

# 令和 3 年度事後評価対象課題 成果報告書

## (平成 30 年度)

○目次

1. 内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究（平成 30 年度）・・・P. 1
2. 原子力災害拠点病院のモデル BCP 及び外部評価等に関する調査及び開発（平成 30 年度）・・・P. 119
3. 包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究（平成 30 年度）・・・P. 156



平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費  
(内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究) 事業  
成果報告書

平成31年3月29日

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

本報告書は、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構が実施した「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業」の成果を取りまとめたものです。

## 目次

第1章	はじめに	1
第2章	平成30年度の研究計画と目標	2
2.1	全体計画及び平成29年度の進捗	2
2.1.1	全体計画	2
2.1.2	平成29年度の進捗	3
2.2	平成30年度の研究計画	3
2.2.1	線量係数計算機能の開発	3
2.2.2	核種摂取量推定機能の開発	4
第3章	線量係数計算機能の開発	5
3.1	実施計画と目標	5
3.2	OIR part 3 へ対応するための改良	5
3.2.1	刊行物の調査	5
3.2.2	アルゴリズムの改良	6
3.2.3	検証結果	8
3.3	1990年勧告に準拠する線量係数の計算、日本人パラメータの適用	35
3.3.1	1990年勧告に準拠する線量係数の計算	35
3.3.2	日本人パラメータの適用	40
3.4	コードの全体設計	42
3.4.1	線量評価に用いるモデルとデータの記述方式	42
3.4.2	SAFデータの実装に関する検討	43
3.4.3	組織系動態モデルの実装に関する検討	43
3.4.4	データファイルの作成	47
3.4.5	データファイルを格納したディレクトリの配置	47
3.4.6	計算方法の設定に関する検討	52
3.5	機能の開発や運用に関する情報収集及び調査	54
3.5.1	ICRPによるモデルやデータの公開に関する情報収集	54
3.5.2	OIR part 2 及び part 3 で考慮されている各元素の核種や化学形等の調査	55
3.6	線量係数計算機能の開発のまとめ	57

第4章	核種摂取量推定機能の開発	58
4.1	実施計画と目標	58
4.2	研究者からのニーズ調査	58
4.3	基本機能の開発	60
4.3.1	摂取量推定に用いる数値解析法	60
4.3.2	摂取量推定に関するプログラム開発	64
4.4	試計算	66
4.4.1	仮定した摂取パターンに対する試計算	66
4.4.2	体内放射能及び排泄物中放射能の経時変化	69
4.5	核種摂取量推定機能の開発のまとめ	70
第5章	あとがき	71
	参考文献	73
付録-1	告示別表第2とOIRシリーズで考慮されている放射性同位元素の種類	79
付録-2	プログラムオフィサー会合、専門家との打合せ及び外部発表	95
付録-3	学会発表資料	98

## 第1章 はじめに

原子力規制委員会（以下、「規制委員会」とする。）は、平成 28 年 7 月に原子力規制等を支える強固な技術基盤の構築等を行うための安全研究の基本方針及び実施方針を定めた[1]。その中で、放射線規制・管理の分野における安全研究の推進が示され、平成 29 年度に放射線安全規制研究戦略的推進事業が創設された[2]。同事業では、規制委員会が実施する規制活動のニーズ、国内外の動向、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」[3]（以下、「放射線障害防止法」とする。）の改正、放射線審議会などの動向を踏まえ、年度毎に重点テーマが設定され、これに基づく調査研究が公募されている。

日本国内では、放射線による障害を防止し、公共の安全を確保するため、昭和 32 年 6 月に放射線障害防止法が制定され、放射線障害防止法の下に、政令、規則、告示などが定められている。放射線障害防止法等は、放射線利用の多様化による実態とのずれの是正等を目的として、たびたび改正されてきた[3]。また、これまでの改正では、最新の知見に基づいて見直されてきた国際放射線防護委員会（ICRP）の基本勧告の主旨を取り入れてきた。現在の放射線障害防止法等は、ICRP の 1990 年勧告[4]の主旨を取り入れているが、ICRP はこれに置き換わる 2007 年勧告[5]を公開している。そのため、規制委員会の下に設置された放射線審議会において、2007 年勧告の国内の放射線規制への取入れに関する検討が進められている。

国内の放射線規制の中で、内部被ばくによる放射線障害を防止するため、告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」[6]（以下、「告示：RI の数量等を定める件」とする。）の別表第 2 で、放射性同位元素の種類に応じて、空气中濃度限度、排気中又は空気中の濃度限度、排液中又は排水中の濃度限度が示されている。「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 では、上記の基準値の基礎とした実効線量係数（放射性核種の単位摂取量当たりの預託実効線量、単位：mSv/Bq）が併記されている。これらの実効線量係数は、ICRP が定める核種の体内動態を表すモデルや各組織・臓器へのエネルギー付与データ等に基づいて算出される。現在の「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 に示されている実効線量係数は、1990 年勧告[4]に準拠するモデルやデータに基づき導出されたものである。そのため、将来的に国内規制へ 2007 年勧告を取り入れる場合、ICRP が与える新しい実効線量係数が 2007 年勧告に準拠するモデルやデータに従い正確に導出しているか否か、検証することが必須となる。さらに、2007 年勧告を国内の放射線規制へ取り入れた場合、各事業所においては 2007 年勧告に準拠して内部被ばく線量評価を遂行し、作業者の被ばく管理等を行うこととなる。

以上の背景を踏まえて、平成 29 年 4 月に公募のあった放射線安全規制研究戦略的推進事業においては、「内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究」が重点テーマの一つとして提示された[2]。国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」とする。）は、同テーマに対する研究計画（平成 29 年度から平成 32 年度の 4 か年）を提案し、これが採択された[7]。本報告書は、原子力機構が放射線安全規制研究戦略的推進事業として進めている「内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究」について、平成 30 年度における事業の成果等を取りまとめたものである。

## 第2章 平成30年度の研究計画と目標

### 2.1 全体計画及び平成29年度の進捗

#### 2.1.1 全体計画

平成29年度に放射線安全規制研究戦略的推進事業費の公募では、「内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究」について、2つの成果活用方針が示された[2]。

- ・ 国内規制への実効線量係数取り入れに活用
- ・ 平常時又は事故時の放射線防護における内部被ばく評価手法として活用

原子力機構では、内部被ばく線量の計算や評価に用いる多くのコードを開発してきた実績がある。その中で、1990年勧告の国内規制への取入れの際、科学技術庁の委託調査により、日本原子力研究所（以下、「原研」とする。現在、日本原子力研究開発機構）はINDES/IDEC（INternal Dose Estimation System/Internal Dose Easy Calculation code）コードを開発した[8]。平成21年度から平成26年度までの原子力規制庁などからの委託事業では、2007年勧告に従うモデル・データに準拠した内部被ばく線量計算コードの開発を進めた[9-14]。他、原子力機構では、確率論的事故影響評価コード（レベル3PRA）への実装を目的とし、内部被ばく線量係数を計算するためのDSYS（Dose SYStem）コード[15]、DSYSを高度化して慢性摂取に対する内部被ばく線量を計算できるDSYS-Chronicを開発した[16]。さらに、事故時における線量評価への適用を目的として、REIDAC（REtrospective Internal Dose Assessment Code）コードを開発した実績もある[17]。そこで、これらの計算コード開発で蓄積してきた知見や技術の活用などにより、以下に示す機能を有する内部被ばく線量評価コードを開発することとした。

- i) 線量係数を計算する機能（以下、「線量係数計算機能」とする。）
  - ・ 順次公開される線量評価モデルやデータを逐次実装することを可能とする設計
  - ・ ICRPが提示する実効線量係数等が2007年勧告に従う線量評価モデルやデータに従い導出されることを検証
- ii) 核種摂取量を推定する機能（以下、「核種摂取量推定機能」とする。）
  - ・ モニタリング結果から、摂取条件や核種、経過時間等を考慮し、核種摂取量を推定、内部被ばく線量を評価
- iii) ユーザーの操作性や利便性を鑑みた機能
  - ・ 線量評価用パラメータや核種の摂取条件、モニタリングの測定値等を入力するグラフィカルユーザーインターフェース（GUI）画面
  - ・ 線量係数の評価値、核種の摂取量等を取りまとめた数表、体内や排泄物中の放射性核種量の時間推移を表すグラフ

具体的な研究の進め方として、図 2-1 のロードマップに示すとおり、線量係数計算機能、核種摂取量を推定する機能、ユーザーの操作性や利便性を鑑みた機能を順次開発し、各機能を統合したコードを完成させる計画とした。



実施項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度
1) 線量係数計算機能の開発	ICRP刊行物の調査	ICRPの線量評価モデルの調査		
	計算機能の開発及び検証(OIR Part 2 掲載核種) 基本機能の完成 ▲	新規データ等の取り込みへ向けた機能設計 機能の完成 ▲		
2) 核種摂取量推定機能の開発	摂取量推定機能に係るニーズ調査	推定機能の開発	推定機能の検証	
	解析法の検討	基本機能の完成 ▲	機能の完成 ▲	
	概念設計			
3) 利便性や操作性の向上を図る機能の開発、コードの開発		パラメータ設定法の検討(GUIの基本設計を含む)		試用による意見収集
			GUI及び結果表示機能の開発	改良・マニュアル整備等
			β版の完成 ▲	コード完成、公開 ▲

図 2-1 本研究のロードマップ（平成 29 年度～平成 32 年度、▲：マイルストーン）

### 2.1.2 平成 29 年度の進捗

平成 29 年度[18]は、線量係数計算機能の中で ICRP の線量評価モデルやデータに従い実効線量係数等を正確に導出する基本機能の完成、核種摂取量推定機能の完成形イメージを提示することを目標とした（図 2-1）。

このうち、線量係数計算機能については、ICRP Publ. 133 [19]の比吸収割合（SAF）データ、職業人の放射性核種摂取シリーズ（Occupational Intake of Radionuclide、以下「OIR」とする。）part 2（ICRP Publ. 134 [20]）で示された組織系動態モデル等を実装し、同刊行物が掲載する主要 14 元素の実効線量係数を正確に導出することを検証し、マイルストーンとした基本機能の完成を達成させた。

核種摂取量推定機能の開発においては、既存の類似コードの分析、原子力機構でモニタリングに従事する者との意見交換によるニーズ調査等を進めた。これらの調査結果に基づき、計算フローを決定し、その際に入力項目を設定する GUI 画面のイメージを整理することで、完成形のイメージを提示することができた。一方、複数の研究評価委員より、他の大学や研究機関の研究者や技術者に対し、当該機能のニーズの聴取などを目的とした意見交換を行うことが課題として指摘された。

## 2.2 平成 30 年度の研究計画

図 2-1 に示すロードマップに基づいて、平成 29 年度の研究評価委員会で受けた指摘を反映して、平成 30 年度における線量係数計算機能及び核種摂取量推定機能の開発に関する研究計画を立案した。

### 2.2.1 線量係数計算機能の開発

ICRP による 2007 年勧告に準拠する内部被ばく線量評価に用いるモデルやデータについて、刊行物としての公開状況は表 2-1 に示すとおりである。未公開のデータやモデルとして、成人以外の SAF データ、作業者の主要 28 元素以外の組織系動態モデルがある。そこで、今後も継続される ICRP からのモデルやデータの公開へ対応するため、新規モデルやデータの取

込みによる拡張が可能なコード設計を進めることとした。また、内部被ばく防護の基準値の見直しにおいては、日本人パラメータや1990年勧告に従うパラメータを用いて導出された実効線量係数との比較検証も想定される。そこで、ユーザーによるパラメータ等をGUIにより設定する方法を検討することとした。他、平成30年1月にOIR part 3 (ICRP Publ. 137) [21]が公開されたため、同刊行物が提示したヨウ素、セシウム、ウラン等の組織系動態モデルへ対応させる改良を進め、実効線量係数の正確な導出に係る検討を行うこととした。

表 2-1 ICRP による内部被ばく線量評価モデル・データの公表 (平成30年4月時点)

線量評価モデル、データ	刊行物	公開年
体重データ、組織・重量質量データ	ICRP Publ. 89 [22]	平成14(2002)年
ヒト消化管モデル	ICRP Publ. 100 [23]	平成18(2006)年
放射線加重係数、組織加重係数	ICRP Publ. 103 [5]	平成19(2007)年
放射性核種崩壊データ	ICRP Publ. 107 [24]	平成20(2008)年
ヒト呼吸器モデル、組織系動態モデルの考え方	ICRP Publ. 130 [25]	平成27(2015)年
成人の比吸収割合 (SAF) データ	ICRP Publ. 133 [19]	平成28(2016)年
作業員の組織系動態モデル等 (14 元素)、OIR part 2	ICRP Publ. 134 [20]	平成29(2017)年
作業員の組織系動態モデル等 (14 元素)、OIR part 3	ICRP Publ. 137 [21]	平成30(2018)年

## 2.2.2 核種摂取量推定機能の開発

平成29年度の事業において、原子力機構内の専門家との意見交換により、当該機能のニーズ等を聴取し、開発する核種摂取量推定機能の完成形イメージを提示した。そこで、今年度は、今後の開発へ有益な情報をより広く収集するため、原子力機構外の研究機関や大学で内部被ばくモニタリングや線量評価に係る専門家との意見交換等を進めることとした。また、当該機能の開発においては、モニタリング値に基づく核種摂取量の推定に必要なデータフィッティング法、体内放射能の経時変化の解析法等の開発が重要となる。そこで、単独摂取、慢性摂取及び複数回摂取の各摂取パターン対し、摂取量推定で重要となるモニタリングデータのフィッティング方法を開発することとした。ここでは、平成29年度に実施した概念設計に基づき、最尤推定法 (最尤法) によるデータフィッティングを実施する基本機能の開発を進めることとした。他、体内放射能や排泄物中に含まれる放射能の経時変化を解析する手法を開発することとした。

### 第3章 線量係数計算機能の開発

#### 3.1 実施計画と目標

今年度は、大きく以下に示す2つ研究開発を実施する計画とした。

- ・ ICRP から今後公開されるモデルやデータの継続的な実装、日本人パラメータや1990年勧告に従う線量計算を可能とするために必要な当該機能の設計
- ・ OIR part 3 へ対応するための改良、検証

平成29年度中に線量係数計算機能については、OIR part 2 (ICRP Publ. 134) が与える14元素の実効線量係数を正しく導出することを検証している。当該機能は、体内における放射性核種の移行及び等価線量率の時間変化を表す常微分方程式を解くことにより、体内放射能並びに等価線量及び実効線量を導出するアルゴリズムを含む。また、これらの計算に必要な線量評価データや体内動態を表す数値パラメータ等を実装している。

そこで、今年度は図3-1に示すように、OIR part 3 へ対応するための改良を進めるとともに、ここで得た経験や知見をフィードバックして、当該機能を設計、完成させる。具体的には、OIR part 3 の刊行物を調査し、線量計算アルゴリズムの確認、必要な改良を進めるとともに、今後公開が想定される線量評価データ、モデルを継続的に実装するため、効率的なファイルの記述方法、これらを格納する方法を確立する。また、日本人パラメータや1990年勧告に従う線量計算も可能とするため、各種パラメータを読み込むための検討を進める。上記の研究開発や検討結果に基づいて、当該機能の全体設計を進め、マイルストーンとした機能の完成を達成させる。

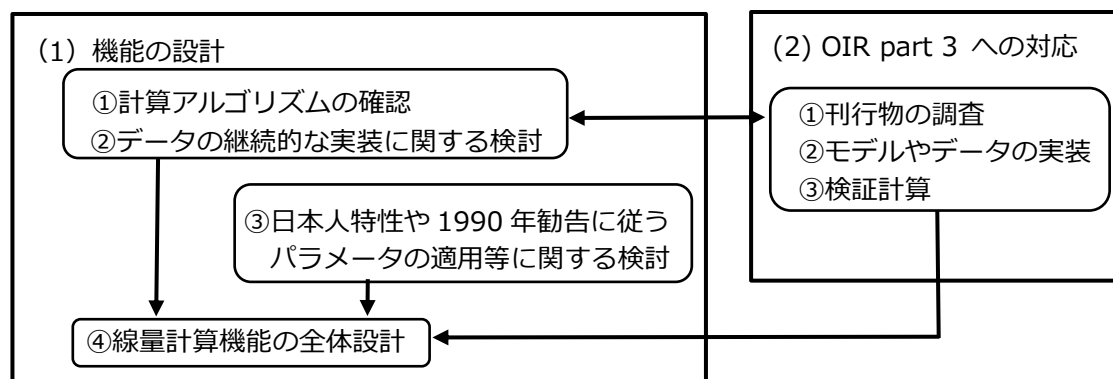


図 3-1 平成30年度における線量係数計算機能の開発フロー

#### 3.2 OIR part 3 へ対応するための改良

##### 3.2.1 刊行物の調査

OIR part 3 [21]は、作業者による主要14元素（ルテニウム、アンチモン、テルル、ヨウ素、セシウム、バリウム、イリジウム、鉛、ビスマス、ポロニウム、ラドン、ラジウム、トリウム及びウラン）の摂取について、見直された血液移行パラメータ及び組織系動態モデル、並びにこれらに基づく実効線量係数を収録している。ラドンについては、ラドン核種を単独で撰

取した場合の線量係数に加え、種々のばく露環境におけるエアロゾルの非付着成分比や子孫核種の平衡係数を考慮した単位ばく露量あたりの実効線量も収録された。また、ラドンの線量係数は、他の元素のように線量評価に基づくアプローチだけでなく、ICRP Publ. 115 [26]にある疫学的アプローチに基づく結果を参照し、数値が決定された。

血液移行パラメータは、吸入摂取については図 3-2 (a)に示す呼吸気道血液移行モデル（以下、「OIR の規定モデル」とする。）に基づく移行係数 ( $d^{-1}$ ) として、経口摂取については消化管から血液への移行割合  $f_A$  値として、化学形の違いを考慮して与えられた。組織系動態モデルは、元素の種類毎にコンパートメントモデルとして構築されており、移行元コンパートメントと移行先コンパートメントの組合せ毎に移行係数 ( $d^{-1}$ ) が与えられた。こうしたデータ構造については、昨年度の事業において調査した OIR part 2 [20]と同様であった。ただし、ウランの一部の化学形については、米国での追跡研究の結果に基づいて、図 3-2 (b)の 1990 年勧告準拠の線量評価において使用されていた血液移行モデル（以下、「従来の規定モデル」とする。）に基づく移行パラメータが与えられた。また、摂取核種の子孫核種にラドンが含まれる場合のラドンの体内動態モデルは、ラドンに用意された組織系動態モデルは適用せずに、他の希ガスと同様の取扱いとすることが明記された。

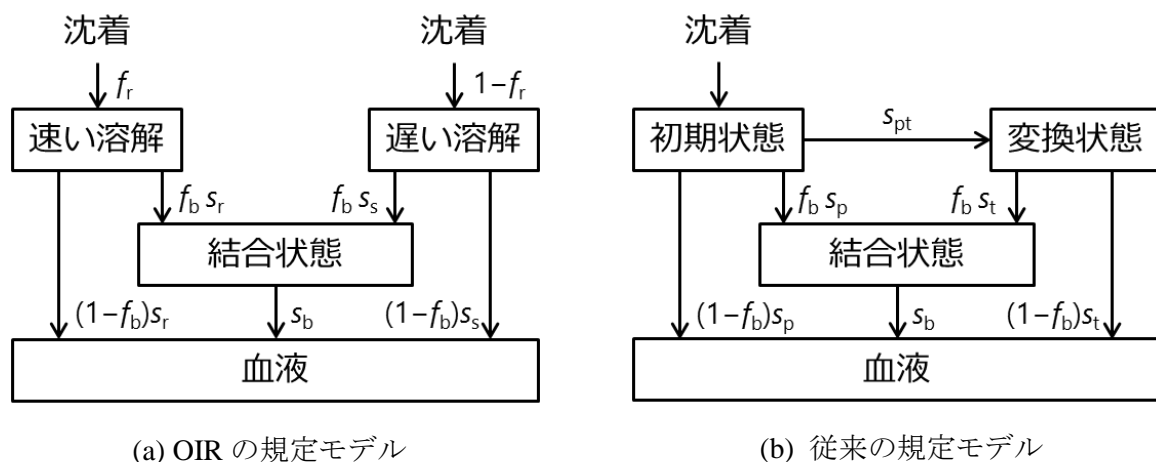


図 3-2 呼吸気道血液移行モデル (OIR part 1, Fig. 3.5 より [25])

$f_r$ : 速い溶解割合、 $f_b$ : 結合状態移行割合、 $s_r(d^{-1})$ : 速い溶解速度係数、 $s_s(d^{-1})$ : 遅い溶解速度係数、 $s_b(d^{-1})$ : 結合状態からの溶解速度係数、 $s_p(d^{-1})$ : 初期溶解速度係数、 $s_{pt}(d^{-1})$ : 変換速度係数、 $s_t(d^{-1})$ : 最終溶解速度係数。

### 3.2.2 アルゴリズムの改良

OIR part 3 に示されたラドンを除く 13 元素に関する新しい血液移行パラメータ及び組織系動態モデルをデータ化し、開発中の線量係数計算機能に実装する際に、線量係数計算機能のアルゴリズムに以下の改良を加えた。

- 従来の呼吸気道血液移行モデルへの対応

OIR part 2 に収録された元素の呼吸気道から血液への移行については、すべての元素に対して OIR の規定モデルが適用されたため、開発中の線量係数計算機能は OIR の規定モデルのみ

に対応していた。しかしながら、OIR part 3 において、ウランの一部の化学形に対して従来の規定モデルに基づく移行パラメータが与えられたため、双方のモデルに対応するためのアルゴリズム改良を行った。

OIR の規定モデルに対応する  $s_r$ 、 $s_s$  及び  $f_r$  のパラメータは、次式により従来の規定モデルに対応する  $s_p$ 、 $s_{pt}$  及び  $s_t$  に変換することができる[25]。

$$\begin{cases} s_p = s_s + f_r(s_r - s_s) \\ s_{pt} = (1 - f_r)(s_r - s_s) \\ s_t = s_s \end{cases} \quad (3-1)$$

そこで、線量係数計算機能のアルゴリズムを、従来の規定モデルに基づくパラメータ ( $s_p$ 、 $s_{pt}$  及び  $s_t$ ) を用いて計算するよう改良し、OIR の規定モデルに基づいて血液移行パラメータを与える場合は、式(3-1)により従来の規定モデルに基づく移行パラメータに変換することとした。そして、従来の規定モデルに基づいて移行パラメータを与える場合は、データファイルにおいて、 $s_p$ 、 $s_{pt}$  及び  $s_t$  に -1 を乗じたものをそれぞれ  $s_r$ 、 $s_s$  及び  $f_r$  として与えることとした。すなわち、プログラムが  $s_r$ 、 $s_s$  及び  $f_r$  のデータを参照した際に、値が正であれば式(3-1)によるパラメータ変換を実施し、値が負であれば各データを正に変換したものを  $s_p$ 、 $s_{pt}$  及び  $s_t$  として取り扱うこととした。この改良により、双方の呼吸気道血液移行モデルを取り扱うことを可能とした。

- 同一元素異動態モデルへの対応

OIR part 1 において、OIR シリーズでは、摂取した核種（親核種）の子孫核種の元素が親核種の元素と異なる場合の子孫核種の体内動態は、子孫核種の元素の特徴を考慮したモデルを適用すること（以下、「個別動態モデル」とする。）が明記された。通常、元素が異なる場合は組織系動態モデルのコンパートメント構造が異なるため、両者を適切に接続できるよう、子孫核種の元素の組織系動態モデルを改造する必要がある。したがって、同じ元素であっても、その放射性核種が摂取した核種（親核種）である場合と子孫核種である場合とで、組織系動態モデルのコンパートメント構造は異なったものとなる。ただし、核異性体が核異性体転移したことにより生成した子孫核種に対しては、直接同じ元素に壊変するため、子孫核種には親核種と同じ組織系動態モデルを適用する。

OIR part 2 に収録された元素・放射性核種には、上記の核異性体転移を除き、子孫核種に親核種と同じ元素が出現するケースはなかった。一方、OIR part 3 では  $\alpha$  壊変核種が新たに収録されたことから、図 3-3 に示すように、摂取した核種が異なる元素の放射性核種を経由した後に、摂取核種と同じ元素の放射性核種となる壊変系列を持つ場合が生じた。この例では、摂取核種である  $^{214}\text{Pb}$  と、その子孫核種である  $^{210}\text{Pb}$  に対し、異なる組織系動態モデルを適用する必要がある。そこで、 $\alpha$  壊変を経て親核種と同じ元素の子孫核種が存在する場合に、異なる組織系動態モデルが適用できるよう、線量係数計算機能のアルゴリズムを改良した。

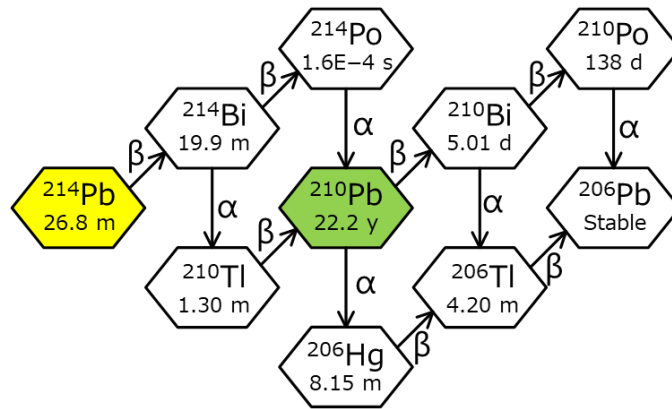


図 3-3  $^{214}\text{Pb}$  を摂取した場合の体内における壊変

### 3.2.3 検証結果

OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 [20]に新たに収録された 13 元素 183 核種、摂取経路や化学系の違いを考慮した 885 種類の摂取条件に対する実効線量係数について、改良したコードによる計算値と OIR Data Viewer の収録値を比較することで、線量係数計算機能のアルゴリズム改良の検証を行った。表 3-1 に示すとおり、改良したアルゴリズムによる計算では数値を概ね再現し、正しく実効線量係数を計算していると判断できる。なお、本事業で開発中の線量係数計算機能の基としたプログラム[18, 27, 28]においても、OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の収録値をほぼ同様に再現したことから、2007 年勧告に従って実効線量係数を導出するためのアルゴリズムの構築やデータ実装は、適切に実施できたと考える。

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (1/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>94</sup> Ru	吸入摂取	四酸化ルテニウム	9.6E-11	9.6E-11
		F	3.7E-11	3.7E-11
		M	4.2E-11	4.2E-11
		S	4.2E-11	4.2E-11
<sup>95</sup> Ru	吸入摂取	全ての化学形	8.7E-11	8.7E-11
		四酸化ルテニウム	5.8E-11	5.8E-11
		F	2.5E-11	2.5E-11
		M	3.0E-11	3.0E-11
<sup>97</sup> Ru	吸入摂取	S	3.1E-11	3.1E-11
		全ての化学形	5.2E-11	5.2E-11
		四酸化ルテニウム	1.2E-10	1.2E-10
		F	8.2E-11	8.2E-11
<sup>103</sup> Ru	吸入摂取	M	7.7E-11	7.7E-11
		S	7.9E-11	7.9E-11
		全ての化学形	9.0E-11	9.0E-11
		四酸化ルテニウム	1.4E-09	1.4E-09
<sup>105</sup> Ru	吸入摂取	F	8.7E-10	8.7E-10
		M	8.0E-10	8.0E-10
		S	1.0E-09	1.0E-09
		全ての化学形	2.6E-10	2.6E-10
<sup>106</sup> Ru	吸入摂取	四酸化ルテニウム	3.7E-10	3.7E-10
		F	9.2E-11	9.2E-11
		M	1.2E-10	1.2E-10
		S	1.3E-10	1.3E-10
<sup>115</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	1.3E-10	1.3E-10
		四酸化ルテニウム	7.0E-09	7.0E-09
		F	7.7E-09	7.7E-09
		M	1.3E-08	1.3E-08
<sup>115</sup> Sb	吸入摂取	S	3.6E-08	3.6E-08
		全ての化学形	2.6E-09	2.6E-09
		F	1.0E-11	1.0E-11
		M	1.3E-11	1.3E-11
<sup>115</sup> Sb	吸入摂取	S	1.3E-11	1.3E-11
		全ての化学形	2.7E-11	2.7E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (2/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>116</sup> Sb	吸入摂取	F	1.2E-11	1.2E-11
		M	1.4E-11	1.4E-11
		S	1.4E-11	1.4E-11
<sup>116m</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	3.6E-11	3.6E-11
		F	2.7E-11	2.7E-11
		M	3.5E-11	3.5E-11
<sup>117</sup> Sb	吸入摂取	S	3.6E-11	3.6E-11
		全ての化学形	6.1E-11	6.1E-11
		F	7.3E-12	7.3E-12
<sup>118m</sup> Sb	吸入摂取	M	1.2E-11	1.2E-11
		S	1.2E-11	1.2E-11
		全ての化学形	1.1E-11	1.1E-11
<sup>119</sup> Sb	吸入摂取	F	7.7E-11	7.7E-11
		M	9.7E-11	9.7E-11
		S	9.8E-11	9.8E-11
<sup>120</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	1.7E-10	1.7E-10
		F	1.6E-11	1.6E-11
		M	1.7E-11	1.7E-11
<sup>120m</sup> Sb	吸入摂取	S	1.8E-11	1.7E-11
		全ての化学形	2.2E-11	2.2E-11
		F	6.2E-12	6.2E-12
<sup>124</sup> Sb	吸入摂取	M	7.5E-12	7.5E-12
		S	7.5E-12	7.5E-12
		全ての化学形	1.7E-11	1.7E-11
<sup>124n</sup> Sb	吸入摂取	F	6.5E-10	6.5E-10
		M	8.0E-10	7.9E-10
		S	8.4E-10	8.4E-10
<sup>124n</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	8.4E-10	8.4E-10
		F	1.8E-09	1.8E-09
		M	3.0E-09	3.0E-09
<sup>124n</sup> Sb	吸入摂取	S	4.3E-09	4.3E-09
		全ての化学形	1.1E-09	1.1E-09
		F	4.2E-12	4.2E-12
<sup>124n</sup> Sb	吸入摂取	M	5.4E-12	5.4E-12
		S	5.6E-12	5.6E-12
		全ての化学形	8.6E-12	8.6E-12



表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (3/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>125</sup> Sb	吸入摂取	F	9.8E-10	9.7E-10
		M	2.0E-09	1.9E-09
		S	8.4E-09	8.4E-09
<sup>126</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	3.7E-10	3.7E-10
		F	1.3E-09	1.3E-09
		M	1.7E-09	1.7E-09
<sup>126m</sup> Sb	吸入摂取	S	2.0E-09	2.0E-09
		全ての化学形	1.3E-09	1.3E-09
		F	1.6E-11	1.6E-11
<sup>127</sup> Sb	吸入摂取	M	2.0E-11	2.0E-11
		S	2.0E-11	2.0E-11
		全ての化学形	4.5E-11	4.5E-11
<sup>128</sup> Sb	吸入摂取	F	4.5E-10	4.5E-10
		M	6.4E-10	6.3E-10
		S	7.0E-10	7.0E-10
<sup>128m</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	4.2E-10	4.2E-10
		F	2.4E-10	2.4E-10
		M	3.3E-10	3.3E-10
<sup>129</sup> Sb	吸入摂取	S	3.4E-10	3.4E-10
		全ての化学形	4.7E-10	4.7E-10
		F	1.3E-11	1.3E-11
<sup>130</sup> Sb	吸入摂取	M	1.5E-11	1.5E-11
		S	1.5E-11	1.5E-11
		全ての化学形	4.1E-11	4.1E-11
<sup>131</sup> Sb	吸入摂取	F	1.1E-10	1.1E-10
		M	1.7E-10	1.7E-10
		S	1.8E-10	1.8E-10
<sup>130m</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	2.0E-10	2.0E-10
		F	4.0E-11	4.0E-11
		M	5.1E-11	5.1E-11
<sup>131m</sup> Sb	吸入摂取	S	5.2E-11	5.2E-11
		全ての化学形	1.0E-10	1.0E-10
		F	5.3E-11	5.3E-11
<sup>131</sup> Sb	吸入摂取	M	4.8E-11	4.8E-11
		S	4.4E-11	4.4E-11
		全ての化学形	1.1E-10	1.1E-10

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (4/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)		
			コード	Data Viewer	
<sup>114</sup> Te	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	4.9E-11	4.9E-11	
		F	2.2E-11	2.2E-11	
		M	2.9E-11	2.9E-11	
		S	2.9E-11	2.9E-11	
<sup>116</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	7.9E-11	7.8E-11	
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.1E-10	1.1E-10	
		F	6.5E-11	6.4E-11	
		M	1.0E-10	1.0E-10	
<sup>117</sup> Te	吸入摂取	S	1.0E-10	1.0E-10	
		経口摂取	全ての化学形	1.5E-10	1.5E-10
		全ての特定されていないガス・蒸気	3.7E-11	3.7E-11	
	<sup>118</sup> Te	吸入摂取	F	2.0E-11	2.0E-11
M			2.7E-11	2.7E-11	
S			2.8E-11	2.8E-11	
経口摂取		全ての化学形	5.3E-11	5.3E-11	
<sup>119</sup> Te	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.5E-09	1.5E-09	
		F	9.2E-10	9.2E-10	
		M	1.3E-09	1.3E-09	
	経口摂取	全ての化学形	1.2E-09	1.2E-09	
<sup>119m</sup> Te	吸入摂取	S	1.4E-09	1.4E-09	
		全ての特定されていないガス・蒸気	9.9E-11	9.9E-11	
		F	7.3E-11	7.3E-11	
	<sup>121</sup> Te	吸入摂取	M	9.2E-11	9.2E-11
S			9.5E-11	9.5E-11	
経口摂取			全ての化学形	1.3E-10	1.3E-10
<sup>121m</sup> Te		吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	5.8E-10	5.8E-10
	F		3.8E-10	3.8E-10	
	M		4.5E-10	4.5E-10	
	経口摂取	全ての化学形	4.7E-10	4.7E-10	
<sup>121</sup> Te	吸入摂取	S	5.3E-10	5.3E-10	
		全ての特定されていないガス・蒸気	4.9E-10	4.9E-10	
		F	2.8E-10	2.8E-10	
	経口摂取	全ての化学形	3.3E-10	3.2E-10	

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (5/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>121m</sup> Te	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.1E-09	1.1E-09
		F	5.1E-10	5.1E-10
		M	1.4E-09	1.4E-09
		S	2.8E-09	2.8E-09
<sup>123</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	4.3E-10	4.3E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.6E-11	1.6E-11
		F	7.0E-12	7.0E-12
		M	1.3E-11	1.3E-11
<sup>123m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	5.3E-12	5.3E-12
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	6.7E-10	6.7E-10
		F	3.2E-10	3.1E-10
		M	9.7E-10	9.6E-10
<sup>125m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	2.6E-10	2.6E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	5.2E-10	5.2E-10
		F	2.4E-10	2.4E-10
		M	6.7E-10	6.7E-10
<sup>127</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	1.9E-10	1.9E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	8.5E-11	8.5E-11
		F	4.2E-11	4.2E-11
		M	7.8E-11	7.8E-11
<sup>127m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	4.6E-11	4.6E-11
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.3E-09	1.3E-09
		F	5.9E-10	5.9E-10
		M	1.8E-09	1.8E-09
<sup>129</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	4.5E-10	4.5E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	5.8E-11	5.8E-11
		F	2.5E-11	2.5E-11
		M	4.1E-11	4.1E-11
<sup>129m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	4.1E-11	4.1E-11
	吸入摂取	全ての化学形	6.1E-11	6.1E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (6/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>129m</sup> Te	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	2.0E-09	2.0E-09
		F	9.9E-10	9.9E-10
		M	2.0E-09	2.0E-09
		S	2.6E-09	2.6E-09
<sup>131</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	8.9E-10	8.9E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	8.1E-11	8.1E-11
		F	4.2E-11	4.2E-11
		M	3.1E-11	3.1E-11
<sup>131m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	8.3E-11	8.3E-11
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.8E-09	1.8E-09
		F	1.1E-09	1.1E-09
		M	6.3E-10	6.3E-10
<sup>132</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	1.1E-09	1.1E-09
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	3.4E-09	3.4E-09
		F	1.8E-09	1.8E-09
		M	1.2E-09	1.2E-09
<sup>133</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	1.9E-09	1.9E-09
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	6.0E-11	6.0E-11
		F	3.0E-11	3.0E-11
		M	2.0E-11	1.9E-11
<sup>133m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	6.3E-11	6.3E-11
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	2.1E-10	2.1E-10
		F	1.1E-10	1.1E-10
		M	7.3E-11	7.3E-11
<sup>134</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	2.0E-10	2.0E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.1E-10	1.1E-10
		F	4.7E-11	4.7E-11
		M	5.9E-11	5.9E-11
<sup>134m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	9.7E-11	9.7E-11
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	5.9E-11	5.9E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (7/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>119</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.1E-11	1.1E-11
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	5.0E-11	5.0E-11
		F	1.2E-11	1.2E-11
		M	1.6E-11	1.6E-11
		S	1.6E-11	1.6E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	3.9E-11	3.9E-11
<sup>120</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.5E-10	1.5E-10
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	2.7E-10	2.7E-10
		F	1.0E-10	1.0E-10
		M	9.7E-11	9.6E-11
		S	9.5E-11	9.5E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	3.0E-10	3.0E-10
<sup>120m</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	7.6E-11	7.6E-11
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	1.7E-10	1.7E-10
		F	5.8E-11	5.8E-11
		M	6.5E-11	6.5E-11
		S	6.5E-11	6.5E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.8E-10	1.8E-10
<sup>121</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	3.0E-11	3.0E-11
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	5.8E-11	5.8E-11
		F	2.1E-11	2.1E-11
		M	1.8E-11	1.8E-11
		S	1.8E-11	1.8E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	4.4E-11	4.4E-11
<sup>123</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.3E-10	1.3E-10
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	2.0E-10	2.0E-10
		F	1.1E-10	1.1E-10
		M	4.9E-11	4.9E-11
		S	3.7E-11	3.7E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.8E-10	1.8E-10
<sup>124</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	6.1E-09	6.1E-09
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	8.7E-09	8.6E-09
		F	5.7E-09	5.7E-09
		M	1.6E-09	1.6E-09
		S	5.5E-10	5.5E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	8.6E-09	8.6E-09

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (8/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>125</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	8.9E-09	8.9E-09
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	1.3E-08	1.3E-08
		F	8.6E-09	8.6E-09
		M	2.1E-09	2.1E-09
		S	3.0E-10	3.0E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.3E-08	1.3E-08
<sup>126</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.5E-08	1.5E-08
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	2.1E-08	2.1E-08
		F	1.4E-08	1.4E-08
		M	3.5E-09	3.5E-09
		S	6.9E-10	6.9E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	2.1E-08	2.1E-08
<sup>128</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.6E-11	1.6E-11
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	8.0E-11	7.9E-11
		F	1.6E-11	1.6E-11
		M	2.3E-11	2.3E-11
		S	2.3E-11	2.3E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	5.7E-11	5.7E-11
<sup>129</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	6.6E-08	6.6E-08
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	9.5E-08	9.4E-08
		F	6.4E-08	6.4E-08
		M	1.7E-08	1.7E-08
		S	1.4E-08	1.4E-08
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	9.4E-08	9.4E-08
<sup>130</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.1E-09	1.1E-09
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	1.6E-09	1.6E-09
		F	8.6E-10	8.5E-10
		M	3.9E-10	3.9E-10
		S	3.0E-10	3.0E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.5E-09	1.5E-09
<sup>131</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.2E-08	1.2E-08
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	1.7E-08	1.7E-08
		F	1.1E-08	1.1E-08
		M	2.7E-09	2.7E-09
		S	6.0E-10	6.0E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.6E-08	1.6E-08

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (9/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>132</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.8E-10	1.8E-10
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	3.3E-10	3.3E-10
		F	1.2E-10	1.2E-10
		M	1.0E-10	1.0E-10
		S	9.7E-11	9.7E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	2.8E-10	2.8E-10
<sup>132m</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.4E-10	1.4E-10
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	2.6E-10	2.6E-10
		F	9.6E-11	9.6E-11
		M	7.0E-11	7.0E-11
		S	6.6E-11	6.6E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.9E-10	1.9E-10
<sup>133</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	2.3E-09	2.3E-09
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	3.3E-09	3.3E-09
		F	1.9E-09	1.9E-09
		M	5.7E-10	5.7E-10
		S	2.8E-10	2.8E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	3.1E-09	3.1E-09
<sup>134</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	5.4E-11	5.3E-11
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	1.5E-10	1.5E-10
		F	4.3E-11	4.3E-11
		M	5.2E-11	5.2E-11
		S	5.2E-11	5.2E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.2E-10	1.2E-10
<sup>135</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	5.4E-10	5.4E-10
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	8.4E-10	8.3E-10
		F	4.0E-10	4.0E-10
		M	2.0E-10	2.0E-10
		S	1.6E-10	1.6E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	7.6E-10	7.6E-10
<sup>125</sup> Cs	吸入摂取	F	1.3E-11	1.3E-11
		M	2.1E-11	2.1E-11
		S	2.1E-11	2.1E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての特定されていない化合物 難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	4.6E-11	4.6E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (10/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>127</sup> Cs	吸入摂取	F	1.9E-11	1.9E-11
		M	2.9E-11	2.8E-11
		S	2.9E-11	2.9E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	3.6E-11	3.6E-11
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	4.4E-11	4.4E-11
<sup>129</sup> Cs	吸入摂取	F	4.7E-11	4.7E-11
		M	6.2E-11	6.2E-11
		S	6.5E-11	6.5E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	7.6E-11	7.6E-11
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	8.7E-11	8.7E-11
<sup>130</sup> Cs	吸入摂取	F	9.3E-12	9.3E-12
		M	1.5E-11	1.5E-11
		S	1.5E-11	1.5E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	3.5E-11	3.5E-11
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	3.4E-11	3.4E-11
<sup>131</sup> Cs	吸入摂取	F	3.5E-11	3.5E-11
		M	3.1E-11	3.1E-11
		S	3.1E-11	3.1E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	5.2E-11	5.2E-11
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	2.8E-11	2.8E-11
<sup>132</sup> Cs	吸入摂取	F	3.4E-10	3.4E-10
		M	2.9E-10	2.8E-10
		S	2.7E-10	2.7E-10
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	5.1E-10	5.1E-10
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	2.9E-10	2.9E-10
<sup>134</sup> Cs	吸入摂取	F	9.5E-09	9.5E-09
		M	6.0E-09	6.0E-09
		S	1.5E-08	1.5E-08
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	1.4E-08	1.4E-08
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	2.0E-09	2.0E-09



表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (11/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>135</sup> Cs	吸入摂取	F	8.8E-10	8.8E-10
		M	1.2E-09	1.2E-09
		S	1.4E-08	1.4E-08
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	1.3E-09	1.3E-09
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	1.3E-10	1.3E-10
<sup>135m</sup> Cs	吸入摂取	F	9.2E-12	9.1E-12
		M	1.2E-11	1.2E-11
		S	1.2E-11	1.2E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	2.7E-11	2.7E-11
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	2.8E-11	2.8E-11
<sup>136</sup> Cs	吸入摂取	F	1.9E-09	1.9E-09
		M	1.4E-09	1.4E-09
		S	1.3E-09	1.3E-09
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	2.7E-09	2.7E-09
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	9.7E-10	9.7E-10
<sup>137</sup> Cs	吸入摂取	F	9.3E-09	9.3E-09
		M	5.6E-09	5.6E-09
		S	5.1E-08	5.1E-08
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	1.4E-08	1.4E-08
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	1.6E-09	1.6E-09
<sup>138</sup> Cs	吸入摂取	F	3.2E-11	3.2E-11
		M	5.0E-11	5.0E-11
		S	5.0E-11	5.0E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	1.3E-10	1.3E-10
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	1.2E-10	1.2E-10
<sup>124</sup> Ba	吸入摂取	F	2.3E-11	2.3E-11
		M	2.5E-11	2.5E-11
		S	2.6E-11	2.6E-11
	経口摂取	水溶性	8.5E-11	8.5E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	8.5E-11	8.5E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (12/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>126</sup> Ba	吸入摂取	F	9.5E-11	9.4E-11
		M	1.2E-10	1.2E-10
		S	1.2E-10	1.2E-10
	経口摂取	水溶性	2.4E-10	2.4E-10
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	2.4E-10	2.4E-10
<sup>127</sup> Ba	吸入摂取	F	9.9E-12	9.9E-12
		M	1.1E-11	1.1E-11
		S	1.1E-11	1.1E-11
	経口摂取	水溶性	2.8E-11	2.8E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	2.8E-11	2.8E-11
<sup>128</sup> Ba	吸入摂取	F	6.0E-10	6.0E-10
		M	8.3E-10	8.3E-10
		S	8.8E-10	8.8E-10
	経口摂取	水溶性	8.9E-10	8.8E-10
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	8.7E-10	8.7E-10
<sup>129</sup> Ba	吸入摂取	F	1.9E-11	1.9E-11
		M	2.4E-11	2.4E-11
		S	2.5E-11	2.5E-11
	経口摂取	水溶性	3.5E-11	3.5E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	3.5E-11	3.5E-11
<sup>129m</sup> Ba	吸入摂取	F	2.9E-11	2.9E-11
		M	3.5E-11	3.5E-11
		S	3.5E-11	3.5E-11
	経口摂取	水溶性	5.8E-11	5.8E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	5.9E-11	5.9E-11
<sup>131</sup> Ba	吸入摂取	F	1.7E-10	1.7E-10
		M	3.3E-10	3.3E-10
		S	3.7E-10	3.7E-10
	経口摂取	水溶性	2.2E-10	2.2E-10
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	2.1E-10	2.1E-10
<sup>131m</sup> Ba	吸入摂取	F	4.1E-12	4.1E-12
		M	5.1E-12	5.1E-12
		S	5.1E-12	5.1E-12
	経口摂取	水溶性	8.3E-13	8.3E-13
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	8.2E-13	8.2E-13

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (13/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>133</sup> Ba	吸入摂取	F	1.3E-09	1.3E-09
		M	1.7E-09	1.6E-09
		S	1.3E-08	1.3E-08
	経口摂取	水溶性	1.0E-09	1.0E-09
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	2.0E-10	2.0E-10
<sup>133m</sup> Ba	吸入摂取	F	7.7E-11	7.7E-11
		M	1.5E-10	1.5E-10
		S	1.7E-10	1.7E-10
	経口摂取	水溶性	6.9E-11	6.9E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	6.4E-11	6.4E-11
<sup>135m</sup> Ba	吸入摂取	F	6.7E-11	6.7E-11
		M	1.3E-10	1.3E-10
		S	1.4E-10	1.4E-10
	経口摂取	水溶性	5.9E-11	5.9E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	5.5E-11	5.5E-11
<sup>139</sup> Ba	吸入摂取	F	5.0E-11	5.0E-11
		M	6.5E-11	6.5E-11
		S	6.6E-11	6.6E-11
	経口摂取	水溶性	1.2E-10	1.2E-10
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	1.2E-10	1.2E-10
<sup>140</sup> Ba	吸入摂取	F	7.0E-10	6.9E-10
		M	1.8E-09	1.8E-09
		S	2.2E-09	2.2E-09
	経口摂取	水溶性	7.1E-10	7.1E-10
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	5.3E-10	5.3E-10
<sup>141</sup> Ba	吸入摂取	F	2.7E-11	2.7E-11
		M	3.3E-11	3.3E-11
		S	3.4E-11	3.4E-11
	経口摂取	水溶性	6.9E-11	6.9E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	6.9E-11	6.9E-11
<sup>142</sup> Ba	吸入摂取	F	1.7E-11	1.7E-11
		M	2.0E-11	2.0E-11
		S	2.0E-11	2.0E-11
	経口摂取	水溶性	3.3E-11	3.3E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	3.3E-11	3.3E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (14/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>182</sup> Ir	吸入摂取	F	2.0E-11	2.0E-11
		M	2.4E-11	2.4E-11
		S	2.4E-11	2.4E-11
<sup>183</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	5.7E-11	5.6E-11
	吸入摂取	F	2.1E-11	2.1E-11
		M	2.9E-11	2.9E-11
		S	2.9E-11	2.9E-11
<sup>184</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	3.9E-11	3.9E-11
	吸入摂取	F	6.6E-11	6.6E-11
		M	9.4E-11	9.4E-11
		S	9.6E-11	9.6E-11
<sup>185</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	1.3E-10	1.3E-10
	吸入摂取	F	8.8E-11	8.8E-11
		M	1.3E-10	1.3E-10
		S	1.4E-10	1.4E-10
<sup>186</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	1.4E-10	1.4E-10
	吸入摂取	F	1.8E-10	1.8E-10
		M	2.4E-10	2.4E-10
		S	2.5E-10	2.5E-10
<sup>186m</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	3.0E-10	3.0E-10
	吸入摂取	F	2.7E-11	2.7E-11
		M	3.7E-11	3.7E-11
		S	3.8E-11	3.8E-11
<sup>187</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	5.4E-11	5.4E-11
	吸入摂取	F	2.8E-11	2.8E-11
		M	4.5E-11	4.5E-11
		S	4.7E-11	4.7E-11
<sup>188</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	4.7E-11	4.7E-11
	吸入摂取	F	3.3E-10	3.3E-10
		M	3.8E-10	3.8E-10
		S	4.0E-10	4.0E-10
<sup>189</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	4.9E-10	4.9E-10
	吸入摂取	F	8.3E-11	8.3E-11
		M	1.6E-10	1.6E-10
		S	1.9E-10	1.9E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学形	4.2E-11	4.2E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (15/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
$^{190}\text{Ir}$	吸入摂取	F	7.4E-10	7.3E-10
		M	7.6E-10	7.6E-10
		S	8.3E-10	8.3E-10
$^{190\text{m}}\text{Ir}$	経口摂取	全ての特定されていない化学形	5.9E-10	5.9E-10
	吸入摂取	F	3.0E-12	3.0E-12
		M	3.1E-12	3.1E-12
		S	3.4E-12	3.4E-12
$^{190\text{n}}\text{Ir}$	経口摂取	全ての特定されていない化学形	2.3E-12	2.3E-12
	吸入摂取	F	4.1E-11	4.1E-11
		M	5.8E-11	5.8E-11
		S	6.0E-11	6.0E-11
$^{192}\text{Ir}$	経口摂取	全ての特定されていない化学形	7.5E-11	7.5E-11
	吸入摂取	F	1.7E-09	1.7E-09
		M	1.9E-09	1.9E-09
		S	2.7E-09	2.7E-09
$^{192\text{n}}\text{Ir}$	経口摂取	全ての特定されていない化学形	4.5E-10	4.5E-10
	吸入摂取	F	1.2E-08	1.2E-08
		M	6.2E-09	6.2E-09
		S	9.3E-08	9.3E-08
$^{193\text{m}}\text{Ir}$	経口摂取	全ての特定されていない化学形	5.4E-10	5.4E-10
	吸入摂取	F	5.3E-11	5.3E-11
		M	2.3E-10	2.3E-10
		S	2.8E-10	2.8E-10
$^{194}\text{Ir}$	経口摂取	全ての特定されていない化学形	3.5E-12	3.5E-12
	吸入摂取	F	2.1E-10	2.1E-10
		M	3.2E-10	3.2E-10
		S	3.3E-10	3.3E-10
$^{194\text{m}}\text{Ir}$	経口摂取	全ての特定されていない化学形	3.4E-10	3.4E-10
	吸入摂取	F	5.8E-09	5.8E-09
		M	4.6E-09	4.6E-09
		S	7.5E-09	7.4E-09
$^{195}\text{Ir}$	経口摂取	全ての特定されていない化学形	1.2E-09	1.2E-09
	吸入摂取	F	3.3E-11	3.3E-11
		M	5.6E-11	5.6E-11
		S	5.7E-11	5.7E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学形	4.8E-11	4.8E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (16/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>195m</sup> Ir	吸入摂取	F	4.1E-11	4.1E-11
		M	7.4E-11	7.4E-11
		S	7.6E-11	7.6E-11
<sup>196m</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	5.1E-11	5.1E-11
	吸入摂取	F	5.1E-11	5.1E-11
		M	7.4E-11	7.4E-11
		S	7.5E-11	7.5E-11
<sup>194</sup> Pb	経口摂取	全ての特定されていない化学形	9.1E-11	9.1E-11
	吸入摂取	F	1.1E-11	1.1E-11
		M	1.3E-11	1.3E-11
		S	1.3E-11	1.3E-11
<sup>195m</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	2.3E-11	2.3E-11
	吸入摂取	F	2.5E-11	2.5E-11
		M	1.8E-11	1.8E-11
		S	1.8E-11	1.8E-11
<sup>196</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	2.3E-11	2.3E-11
	吸入摂取	F	2.5E-11	2.5E-11
		M	2.2E-11	2.2E-11
		S	2.3E-11	2.2E-11
<sup>197m</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	2.6E-11	2.6E-11
	吸入摂取	F	5.0E-11	5.0E-11
		M	3.8E-11	3.8E-11
		S	3.8E-11	3.8E-11
<sup>198</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	3.9E-11	3.9E-11
	吸入摂取	F	7.4E-11	7.4E-11
		M	5.6E-11	5.6E-11
		S	5.7E-11	5.7E-11
<sup>199</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	6.1E-11	6.1E-11
	吸入摂取	F	3.7E-11	3.7E-11
		M	2.2E-11	2.2E-11
		S	2.2E-11	2.2E-11
<sup>200</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	3.4E-11	3.4E-11
	吸入摂取	F	4.0E-10	4.0E-10
		M	2.1E-10	2.1E-10
		S	2.2E-10	2.2E-10
	経口摂取	全ての化学形	1.8E-10	1.8E-10

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (17/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>201</sup> Pb	吸入摂取	F	1.3E-10	1.3E-10
		M	7.9E-11	7.9E-11
		S	7.9E-11	7.9E-11
<sup>202</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	1.0E-10	1.0E-10
	吸入摂取	F	3.0E-08	3.0E-08
		M	9.1E-09	9.0E-09
<sup>202m</sup> Pb	吸入摂取	S	8.2E-08	8.2E-08
		経口摂取	全ての化学形	1.2E-08
	<sup>203</sup> Pb	吸入摂取	F	9.0E-11
M			7.8E-11	7.8E-11
S			7.9E-11	7.9E-11
<sup>203m</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	1.1E-10	1.1E-10
	吸入摂取	F	2.3E-10	2.3E-10
		M	1.2E-10	1.2E-10
S		1.2E-10	1.2E-10	
<sup>204m</sup> Pb	吸入摂取	F	1.2E-10	1.2E-10
		M	2.1E-11	2.1E-11
		S	2.4E-11	2.4E-11
<sup>205</sup> Pb	吸入摂取	F	2.4E-11	2.4E-11
		M	4.9E-11	4.9E-11
		S	2.4E-10	2.4E-10
<sup>205m</sup> Pb	吸入摂取	F	7.7E-11	7.7E-11
		M	1.1E-09	1.1E-09
		S	9.1E-11	9.1E-11
<sup>209</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	9.1E-11	9.1E-11
	吸入摂取	F	7.4E-11	7.4E-11
		M	4.4E-11	4.4E-11
S		4.4E-11	4.4E-11	
<sup>210</sup> Pb	吸入摂取	F	2.3E-11	2.3E-11
		M	7.0E-07	7.0E-07
		S	6.2E-07	6.2E-07
<sup>210m</sup> Pb	吸入摂取	F	9.2E-06	9.2E-06
		M	3.2E-07	3.2E-07
		S	3.2E-07	3.2E-07
<sup>211</sup> Pb	吸入摂取	F	2.5E-08	2.5E-08
		M	1.3E-08	1.3E-08
		S	1.3E-08	1.3E-08
	経口摂取	全ての化学形	1.0E-10	1.0E-10

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (18/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)		
			コード	Data Viewer	
<sup>212</sup> Pb	吸入摂取	F	3.0E-07	3.0E-07	
		M	9.4E-08	9.4E-08	
		S	9.4E-08	9.4E-08	
<sup>214</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	5.6E-09	5.6E-09	
	吸入摂取	F	2.0E-08	2.0E-08	
		M	1.4E-08	1.4E-08	
<sup>200</sup> Bi	吸入摂取	S	1.4E-08	1.4E-08	
		経口摂取	全ての化学形	7.7E-11	7.7E-11
		F	2.7E-11	2.7E-11	
<sup>201</sup> Bi	吸入摂取	M	2.8E-11	2.8E-11	
		S	2.8E-11	2.8E-11	
		経口摂取	全ての化学形	5.0E-11	5.0E-11
<sup>202</sup> Bi	吸入摂取	F	5.4E-11	5.4E-11	
		M	5.6E-11	5.6E-11	
		S	5.6E-11	5.6E-11	
<sup>203</sup> Bi	吸入摂取	経口摂取	全ての化学形	8.8E-11	8.8E-11
		F	4.8E-11	4.8E-11	
		M	4.9E-11	4.9E-11	
<sup>204</sup> Bi	吸入摂取	S	4.9E-11	4.9E-11	
		経口摂取	全ての化学形	9.0E-11	8.9E-11
		F	2.1E-10	2.1E-10	
<sup>205</sup> Bi	吸入摂取	M	2.2E-10	2.2E-10	
		S	2.3E-10	2.3E-10	
		経口摂取	全ての化学形	3.3E-10	3.3E-10
<sup>206</sup> Bi	吸入摂取	F	2.6E-10	2.6E-10	
		M	2.7E-10	2.7E-10	
		S	2.7E-10	2.7E-10	
<sup>205</sup> Bi	吸入摂取	経口摂取	全ての化学形	4.0E-10	4.0E-10
		F	5.0E-10	5.0E-10	
		M	7.3E-10	7.3E-10	
<sup>206</sup> Bi	吸入摂取	S	8.2E-10	8.2E-10	
		経口摂取	全ての化学形	6.1E-10	6.1E-10
		F	9.3E-10	9.2E-10	
<sup>206</sup> Bi	吸入摂取	M	1.2E-09	1.2E-09	
		S	1.3E-09	1.2E-09	
		経口摂取	全ての化学形	1.2E-09	1.2E-09



表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (19/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>207</sup> Bi	吸入摂取	F	8.5E-10	8.5E-10
		M	3.8E-09	3.8E-09
		S	6.5E-08	6.5E-08
<sup>208</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	8.3E-10	8.3E-10
	吸入摂取	F	1.0E-09	1.0E-09
		M	3.6E-09	3.5E-09
S		8.0E-08	8.0E-08	
<sup>210</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	9.8E-10	9.8E-10
	吸入摂取	F	2.5E-09	2.5E-09
		M	2.9E-08	2.9E-08
S		5.7E-08	5.7E-08	
<sup>210m</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	1.1E-09	1.1E-09
	吸入摂取	F	1.3E-07	1.3E-07
		M	1.4E-06	1.4E-06
S		1.4E-05	1.4E-05	
<sup>212</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	2.6E-08	2.5E-08
	吸入摂取	F	2.8E-08	2.8E-08
		M	2.9E-08	2.9E-08
S		2.9E-08	2.9E-08	
<sup>213</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	1.1E-10	1.1E-10
	吸入摂取	F	2.8E-08	2.8E-08
		M	2.9E-08	2.9E-08
S		2.9E-08	2.9E-08	
<sup>214</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	5.5E-11	5.5E-11
	吸入摂取	F	1.4E-08	1.4E-08
		M	1.4E-08	1.4E-08
S		1.4E-08	1.4E-08	
<sup>203</sup> Po	経口摂取	全ての化学形	4.8E-11	4.7E-11
	吸入摂取	F	3.5E-11	3.5E-11
		M	3.7E-11	3.7E-11
S		3.7E-11	3.7E-11	
<sup>204</sup> Po	経口摂取	全ての化学形	4.4E-11	4.4E-11
	吸入摂取	F	2.5E-10	2.5E-10
		M	3.1E-10	3.1E-10
S		3.2E-10	3.2E-10	
	経口摂取	全ての化学形	1.8E-10	1.8E-10

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (20/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>205</sup> Po	吸入摂取	F	3.1E-11	3.1E-11
		M	3.3E-11	3.3E-11
		S	3.4E-11	3.4E-11
<sup>206</sup> Po	経口摂取	全ての化学形	4.8E-11	4.8E-11
	吸入摂取	F	5.4E-09	5.4E-09
		M	1.9E-08	1.9E-08
<sup>207</sup> Po	吸入摂取	S	2.3E-08	2.3E-08
		経口摂取	全ての化学形	2.9E-09
	<sup>208</sup> Po	吸入摂取	F	6.3E-11
M			6.9E-11	6.9E-11
経口摂取		全ての化学形	7.2E-11	7.2E-11
<sup>209</sup> Po	吸入摂取	S	1.0E-10	1.0E-10
		F	3.4E-07	3.4E-07
	経口摂取	全ての化学形	1.5E-06	1.5E-06
<sup>210</sup> Po	吸入摂取	M	5.0E-06	5.0E-06
		S	2.4E-07	2.4E-07
	経口摂取	全ての化学形	3.4E-07	3.4E-07
<sup>210</sup> Po	吸入摂取	F	1.5E-06	1.5E-06
		M	1.2E-05	1.2E-05
	経口摂取	全ての化学形	2.4E-07	2.4E-07
<sup>223</sup> Ra	吸入摂取	F	2.8E-07	2.8E-07
		M	1.1E-06	1.1E-06
	経口摂取	全ての化学形	1.8E-06	1.8E-06
<sup>224</sup> Ra	吸入摂取	S	1.8E-07	1.8E-07
		F	1.9E-07	1.9E-07
	経口摂取	全ての化学形	1.8E-06	1.8E-06
<sup>225</sup> Ra	吸入摂取	M	2.2E-06	2.2E-06
		S	4.1E-08	4.1E-08
	経口摂取	全ての化学形	1.3E-07	1.2E-07
<sup>225</sup> Ra	吸入摂取	F	9.1E-07	9.1E-07
		M	1.1E-06	1.1E-06
	経口摂取	全ての化学形	2.9E-08	2.9E-08
<sup>225</sup> Ra	吸入摂取	F	5.9E-08	5.9E-08
		M	9.6E-07	9.6E-07
	経口摂取	全ての化学形	1.3E-06	1.3E-06
<sup>225</sup> Ra	吸入摂取	S	4.5E-08	4.5E-08
		経口摂取	全ての化学形	

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (21/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>226</sup> Ra	吸入摂取	F	1.6E-07	1.6E-07
		M	1.4E-06	1.4E-06
		S	1.3E-05	1.3E-05
	経口摂取	全ての化学形	1.3E-07	1.3E-07
<sup>227</sup> Ra	吸入摂取	F	2.0E-10	1.9E-10
		M	1.2E-10	1.2E-10
		S	2.7E-10	2.7E-10
	経口摂取	全ての化学形	5.9E-11	5.8E-11
<sup>228</sup> Ra	吸入摂取	F	4.1E-07	4.1E-07
		M	1.2E-06	1.2E-06
		S	2.2E-05	2.2E-05
	経口摂取	全ての化学形	3.4E-07	3.4E-07
<sup>230</sup> Ra	吸入摂取	F	8.9E-11	8.9E-11
		M	1.1E-10	1.1E-10
		S	1.1E-10	1.1E-10
	経口摂取	全ての化学形	1.5E-10	1.5E-10
<sup>226</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を 含む水溶性化合物、フッ化物	5.3E-08	5.3E-08
		F	2.9E-08	2.9E-08
		M	5.5E-08	5.5E-08
	経口摂取	全ての化学形	3.6E-12	3.6E-12
<sup>227</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を 含む水溶性化合物、フッ化物	1.7E-06	1.7E-06
		F	3.7E-07	3.7E-07
		M	1.6E-06	1.5E-06
	経口摂取	全ての化学形	1.3E-09	1.3E-09
<sup>228</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を 含む水溶性化合物、フッ化物	1.1E-05	1.1E-05
		F	1.7E-05	1.7E-05
		M	9.1E-06	9.0E-06
	経口摂取	全ての化学形	2.3E-05	2.3E-05
	経口摂取	全ての化学形	3.1E-08	3.1E-08

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (22/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>229</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	3.4E-05	3.4E-05
		F	1.2E-04	1.2E-04
		M	2.7E-05	2.7E-05
		経口摂取	全ての化学形	9.5E-05
<sup>230</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	2.1E-07	2.1E-07
		F	9.2E-06	9.2E-06
		M	3.4E-05	3.4E-05
		経口摂取	全ての化学形	7.3E-06
<sup>231</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	1.5E-05	1.5E-05
		F	6.0E-08	6.0E-08
		M	1.2E-10	1.2E-10
		経口摂取	全ての化学形	1.3E-10
<sup>232</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	1.7E-11	1.7E-11
		F	1.0E-05	1.0E-05
		M	4.0E-05	4.0E-05
		経口摂取	全ての化学形	8.2E-06
<sup>233</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	5.4E-05	5.4E-05
		F	7.1E-08	7.0E-08
		M	1.6E-11	1.6E-11
		経口摂取	全ての化学形	1.1E-11
<sup>234</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	1.7E-11	1.7E-11
		F	2.2E-11	2.2E-11
		M	2.6E-09	2.6E-09
		経口摂取	全ての化学形	1.9E-09
	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	2.3E-09	2.3E-09
		F	2.9E-09	2.9E-09
		M	5.9E-10	5.9E-10
		S		
	経口摂取	全ての化学形		

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (23/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>236</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	5.8E-11	5.8E-11
		F	3.8E-11	3.7E-11
		M	6.0E-11	6.0E-11
		S	6.0E-11	6.0E-11
	経口摂取	全ての化学形	9.1E-11	9.1E-11
<sup>230</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	1.1E-06	1.1E-06
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	3.6E-06	3.6E-06
		ウランアルミナイド	3.7E-06	3.7E-06
		F	2.5E-07	2.5E-07
		M	2.8E-06	2.8E-06
		S	3.7E-06	3.7E-06
		経口摂取	水溶性の物質	1.3E-08
	難溶性の物質	1.4E-09	1.4E-09	
<sup>231</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	9.6E-11	9.6E-11
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	1.9E-10	1.9E-10
		ウランアルミナイド	1.9E-10	1.9E-10
		F	4.7E-11	4.7E-11
		M	1.6E-10	1.6E-10
		S	2.0E-10	2.0E-10
		経口摂取	水溶性の物質	4.9E-11
	難溶性の物質	4.9E-11	4.9E-11	
<sup>232</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	1.1E-06	1.1E-06
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	2.1E-05	2.1E-05
		ウランアルミナイド	7.4E-06	7.4E-06
		F	1.3E-06	1.3E-06
		M	3.0E-06	3.0E-06
		S	6.8E-05	6.8E-05
		経口摂取	水溶性の物質	1.8E-07
	難溶性の物質	1.8E-08	1.8E-08	

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (24/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)		
			コード	Data Viewer	
<sup>233</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	4.2E-07	4.2E-07	
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	5.6E-06	5.6E-06	
		ウランアルミナイド	3.1E-06	3.1E-06	
		F	2.6E-07	2.6E-07	
		M	1.5E-06	1.5E-06	
	経口摂取	水溶性の物質	3.6E-08	3.5E-08	
		難溶性の物質	3.6E-09	3.5E-09	
		吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	4.1E-07	4.1E-07
			八酸化三ウラン、二酸化ウラン	5.6E-06	5.5E-06
			ウランアルミナイド	3.0E-06	3.0E-06
F	2.5E-07		2.5E-07		
M	1.4E-06		1.4E-06		
経口摂取	水溶性の物質	3.5E-08	3.5E-08		
	難溶性の物質	3.5E-09	3.5E-09		
	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	3.8E-07	3.8E-07	
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	5.1E-06	5.1E-06	
		ウランアルミナイド	2.8E-06	2.8E-06	
F		2.3E-07	2.3E-07		
M		1.3E-06	1.3E-06		
経口摂取	水溶性の物質	3.2E-08	3.2E-08		
	難溶性の物質	3.3E-09	3.3E-09		
	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	6.0E-17	6.0E-17	
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	6.0E-17	6.0E-17	
		ウランアルミナイド	5.9E-17	5.9E-17	
F		6.9E-17	6.9E-17		
M		6.0E-17	6.0E-17		
経口摂取	水溶性の物質	5.8E-19	5.8E-19		
	難溶性の物質	5.9E-20	5.9E-20		

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (25/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)			
			コード	Data Viewer		
<sup>236</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	3.9E-07	3.8E-07		
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	5.2E-06	5.2E-06		
		ウランアルミナイド	2.8E-06	2.8E-06		
		F	2.4E-07	2.4E-07		
		M	1.3E-06	1.3E-06		
	経口摂取	水溶性の物質	1.2E-05	1.2E-05		
		難溶性の物質	3.2E-08	3.2E-08		
		<sup>237</sup> U	吸入摂取	水溶性の物質	3.2E-09	3.2E-09
				難溶性の物質	2.4E-10	2.4E-10
				硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	2.4E-10	2.4E-10
八酸化三ウラン、二酸化ウラン	4.8E-10			4.8E-10		
ウランアルミナイド	4.9E-10			4.9E-10		
経口摂取	吸入摂取	F	1.1E-10	1.1E-10		
		M	4.1E-10	4.1E-10		
		S	4.8E-10	4.8E-10		
		水溶性の物質	7.6E-11	7.6E-11		
		難溶性の物質	7.4E-11	7.4E-11		
<sup>238</sup> U	吸入摂取	水溶性の物質	3.6E-07	3.6E-07		
		難溶性の物質	3.6E-07	3.6E-07		
		硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	4.8E-06	4.8E-06		
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	4.8E-06	4.8E-06		
		ウランアルミナイド	2.6E-06	2.6E-06		
	経口摂取	吸入摂取	F	2.2E-07	2.2E-07	
			M	1.2E-06	1.2E-06	
			S	1.2E-05	1.2E-05	
			水溶性の物質	3.1E-08	3.1E-08	
			難溶性の物質	3.1E-09	3.1E-09	
<sup>239</sup> U	吸入摂取	水溶性の物質	1.8E-11	1.8E-11		
		難溶性の物質	1.8E-11	1.8E-11		
		硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	1.9E-11	1.9E-11		
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	1.9E-11	1.9E-11		
		ウランアルミナイド	1.9E-11	1.9E-11		
	経口摂取	吸入摂取	F	1.6E-11	1.6E-11	
			M	1.9E-11	1.9E-11	
			S	1.9E-11	1.9E-11	
			水溶性の物質	2.4E-11	2.4E-11	
			難溶性の物質	2.4E-11	2.4E-11	

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (26/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>240</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	2.8E-10	2.8E-10
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	3.2E-10	3.2E-10
		ウランアルミナイド	3.2E-10	3.2E-10
		F	2.0E-10	2.0E-10
		M	3.0E-10	3.0E-10
		S	3.2E-10	3.2E-10
		経口摂取	水溶性の物質	2.6E-10
	難溶性の物質	2.6E-10	2.6E-10	
<sup>242</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	3.1E-11	3.1E-11
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	3.1E-11	3.1E-11
		ウランアルミナイド	3.1E-11	3.1E-11
		F	2.9E-11	2.9E-11
		M	3.1E-11	3.1E-11
		S	3.1E-11	3.1E-11
		経口摂取	水溶性の物質	6.2E-11
	難溶性の物質	6.2E-11	6.2E-11	



### 3.3 1990年勧告に準拠する線量係数の計算、日本人パラメータの適用

国内の放射線規制への2007年勧告の取入れに係る検討においては、新旧の実効線量係数の差異やその影響因子に関する知見が重要となる。また、日本人の特性が実効線量係数に及ぼす影響についても、国際データを国内の規制に採用する際の重要な参考データとなる。そこで、本事業では、こうした検討に資するため、1990年勧告に従うモデルやデータ、日本人パラメータを用いた線量係数計算が可能な内部被ばく線量評価コードを開発する計画である。本節では、それぞれの計算を実施するための検討結果及び対応方法を記す。

#### 3.3.1 1990年勧告に準拠する線量係数の計算

放射線加重係数  $w_R$ 、組織加重係数  $w_T$ 、放射性核種崩壊データ、体内動態モデル及びSAFデータを基に等価線量及び実効線量を算出する流れについては、1990年勧告と2007年勧告でほぼ同様である[4, 5]。しかしながら、2007年勧告に準拠した線量評価では、使用する線量評価モデルやデータは全て改訂された。また、実効線量の算出におけるいくつかのルールについても見直しがあった。

コードの維持管理を考慮すると、1990年勧告に準拠する線量係数の計算を実行可能とするにあたって、内部被ばく線量評価コードの構造、アルゴリズム等に変更を加えることは、可能な限り最小限にすることが望ましい。本項では、1990年勧告と2007年勧告について、線量評価モデル・データや実効線量算出手順の差異をまとめるとともに、データの与え方に関する検討結果を記す。

##### (1) 線量評価モデル・データ

表 3-2 に、各基本勧告において参照する線量評価モデル・データの比較を示す。各データ・モデルについて、実効線量を算出するにあたって考慮すべき差異を以下に記す。

表 3-2 線量評価モデル・データの比較

データ・モデル	1990年勧告	2007年勧告
体重、組織・臓器質量	ICRP Publ. 23 [29], ORNL/TM-8381/V1 [30]	ICRP Publ. 89 [22]
放射線加重係数 $w_R$ 、 組織加重係数 $w_T$	ICRP Publ. 60 [4]	ICRP Publ. 103 [5]
放射性核種崩壊データ	ICRP Publ. 38 [31]	ICRP Publ. 107 [24]
体内動態モデル 呼吸気道モデル 消化管モデル 組織系動態モデル	ICRP Publ. 66 [32] ICRP Publ. 30 part 1 [33] ICRP Publ. 30 parts 1-4, 56, 67, 69, 71 [33-40]	ICRP Publ. 130 [25] ICRP Publ. 100 [23] ICRP Publ. 134, 137 [20, 21]
SAF データ	光子：ORNL/TM-12351 [41] 電子、 $\alpha$ 粒子等：ICRP Publ. 30 part 1, 66 [32, 33]	ICRP Publ. 133 [19]

- ・ 体重、組織・臓器質量

2007年勧告において  $w_T$  が適用される組織・臓器が追加されたため、データ数とその数値に差異がある。

- ・ 放射線加重係数、 $w_R$

内部被ばくで重要となる光子、電子、 $\alpha$  粒子 ( $\alpha$  壊変反跳核、自発核分裂片を含む) に対する値は変更がなかったものの、中性子に対してはエネルギー関数の見直しがあった。2007年勧告に準拠した線量係数評価においては、中性子を放出する核種に対して、核種が放出する中性子スペクトルを考慮した平均  $w_R$  がデータ化されており[19]、これを使用することとなる。

- ・ 組織加重係数、 $w_T$

2007年勧告において  $w_T$  が適用される組織・臓器が追加されるとともに、適用する数値の見直しが行われた。

- ・ 放射性核種崩壊データ

使用するデータファイル (RAD ファイル：放出放射線の種類、エネルギー、放出率、BET ファイル： $\beta$  線スペクトルデータ、NDX ファイル：壊変系列、RAD 及び BET ファイルの収録位置等のインデックスファイル) のデータ収録様式が変更された[24, 31]。

- ・ 体内動態モデル

呼吸気道モデルについては、粒子輸送クリアランスに関するコンパートメントモデルの見直しと、標準で使用する血液吸収クリアランスに関するモデルの変更があった[25]。ただし、血液吸収クリアランスについては、2007年勧告に準拠する計算においても、従来の規定モデルを適用するケースも一部存在する[21]。消化管モデルについては、コンパートメントモデルにおけるコンパートメントが追加されるとともに、小腸内容物以外のコンパートメントからの血液移行も考慮できる構造となった[23]。ただし、今のところ、小腸内容物以外から血液に移行する移行パラメータは提示されていない[20, 21]。組織系動態モデルについては、体内動態に関する最新のレビューを反映して見直されたものが順次公開されている[20, 21]。このように、モデルの見直しは進められたが、データの与え方に関する変更はない。

- ・ SAF データ

2007年勧告に準拠した線量評価における SAF データは、男女別に全放射線についてエネルギーの関数として与えられている[19]。一方、1990年勧告に準拠した線量評価では、男女の区別はなく、エネルギーの関数として SAF が与えられたのは光子並びに呼吸気道領域における電子及び  $\alpha$  粒子のみであった。呼吸気道領域を除く電子及び  $\alpha$  粒子に対する SAF はエネルギーによらない一定値として与えられ、骨領域における電子 SAF については 0.2 MeV を境に 2つの値が設定されていた[32, 33, 41]。また、中性子に関する SAF データはなく、Dillman ら[42]による  $^{252}\text{Cf}$  の中性子に対する組織と臓器の組合せ毎に評価された吸収線量データを使用して線量を導出していた。その他、従来データには、エネルギーが 0 に限りなく近づいたときの SAF の極限值という概念はなく、10 keV 未満のデータはなかった。さらに、10 keV 未満の光子については電子の SAF を適用するというルールがあった[41]。

## (2) 実効線量算出手順

線量評価モデル・データから実効線量を算出するまでの手順のうち、1990年勧告と2007年勧告とで異なるものについて、その内容を記す。

### ・線源領域が Other の SAF の計算

2007年勧告における線源領域が Other の SAF、 $\Phi(T \leftarrow \text{Other})$  ( $\text{kg}^{-1}$ )は、式(3-2)に示すとおり、Other に含まれる線源領域 S から各標的臓器 T への SAF、 $\Phi(T \leftarrow S)$  ( $\text{kg}^{-1}$ )の質量加重平均することによって計算する[19]。

$$\Phi(T \leftarrow \text{Other}) = \frac{1}{M_{\text{Other}}} \sum_S M_S \Phi(T \leftarrow S) \quad (3-2)$$

ここで、 $M_{\text{Other}}$  ( $\text{kg}$ )は Other の質量、 $M_S$  ( $\text{kg}$ )は線源領域 S の質量である。一方、1990年勧告における  $\Phi(T \leftarrow \text{Other})$  は、式(3-3)に示すとおり、全身線源の SAF、 $\Phi(T \leftarrow \text{WB})$  ( $\text{kg}^{-1}$ )から、Other に含まれない線源領域 S' から各標的臓器 T への SAF、 $\Phi(T \leftarrow S')$  ( $\text{kg}^{-1}$ )及び心臓内容物 HtC から各標的臓器 T への SAF、 $\Phi(T \leftarrow \text{HtC})$  ( $\text{kg}^{-1}$ )を線源領域の質量で加重し差し引くことにより計算する[41]。

$$\Phi(T \leftarrow \text{Other}) = \frac{M_{\text{WB}} \Phi(T \leftarrow \text{WB}) - \sum_{S'} M_{S'} \Phi(T \leftarrow S') - M_{\text{HtC}} \Phi(T \leftarrow \text{HtC})}{M_{\text{WB}} - \sum_{S'} M_{S'} - M_{\text{HtC}}} \quad (3-3)$$

ここで、 $M_{\text{WB}}$  ( $\text{kg}^{-1}$ )は全身組織質量、 $M_{S'}$  ( $\text{kg}^{-1}$ )は線源領域 S' の質量、 $M_{\text{HtC}}$  ( $\text{kg}^{-1}$ )は HtC の質量である。

### ・放射線加重 S 係数の計算

2007年勧告における  $\beta$  線に対する放射線加重 S 係数  $S_w$  ( $\text{Sv}/(\text{Bq s})$ )の計算においては、すべての線源領域-標的臓器の組合せについてスペクトルデータを参照して行うこととなっている[19]。一方、1990年勧告では、SAF がエネルギー関数で与えられた呼吸気道領域内の線源領域-標的臓器の組合せについてはスペクトルデータを参照し、それ以外の領域については  $\beta$  線の平均エネルギーを用いて  $S_w$  の計算を行っていた[43]。

### ・生殖腺の等価線量の計算

2007年勧告における生殖腺の等価線量は、男性人体モデルに基づく精巣に対する等価線量と、女性人体モデルに基づく卵巣に対する等価線量の算術平均値である[5]。一方、1990年勧告においては、精巣と卵巣をともに有する男女の区別のない人体モデルに基づく精巣及び卵巣に対する等価線量の大きい方が生殖腺の等価線量である[38]。

### ・残りの組織の等価線量の計算

2007年勧告における残りの組織の等価線量  $H_{\text{rem}}$  は、残りの組織に含まれる 13 種類の組織・臓器に対する等価線量の算術平均値である[5]。一方、1990年勧告における  $H_{\text{rem}}$  は、残りの組織に含まれる 10 種類の組織・臓器に対する等価線量の質量加重平均とされていた。また、残りの組織に含まれる組織・臓器の等価線量の最大値  $H_{\text{max}}$  が、個別の  $w_T$  が適用される組織・臓器の等価線量の最大値  $H_T$  より大きい場合、 $H_{\text{max}}$  を与える組織・臓器  $T_{\text{max}}$  に対して残りの組織に対する  $w_T$  の半分が適用され、 $w_T$  の残り半分は  $T_{\text{max}}$  を除く 9 種類の組織・臓器に対する等

価線量の質量加重平均値に適用される、いわゆる分割ルールが採用されていた。式で表すと式(3-4)のとおりである[38]。

$$\begin{cases} H_{\text{rem}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} m_i H_i}{\sum_{i=1}^{10} m_i}, & \text{if } H_{\text{max}} \leq H_{T'} \\ H_{\text{rem}} = 0.5 \frac{\sum_{i=1(i \neq T')}^{10} m_i H_i}{\sum_{i=1(i \neq T')}^{10} m_i} + 0.5 H_{\text{max}}, & \text{if } H_{\text{max}} > H_{T'} \end{cases} \quad (3-4)$$

- ・実効線量の計算

2007年勧告における実効線量は、男女別の人体モデル[44]に基づく男女別の等価線量の平均値に対して  $w_T$  を乗じ、総和するという手順で算出する[5]。一方、1990年勧告における実効線量は、男女の区別のない人体モデル[30]に基づく等価線量に対して  $w_T$  を乗じ、総和することで算出する[4]。

### (3) データの与え方に関する検討

開発中の線量係数計算機能に対してアルゴリズムの追加や変更を実施することなく 1990年勧告に準拠した計算を実行するために、線量評価モデル・データや実効線量算出手順の違いをデータの与え方で対応する方法について検討した。

- ・体重、組織・臓器質量

データ数と各数値の変更のみであり、従来のデータを開発コードのデータ様式で格納することで対応可能である。

- ・放射線加重係数、 $w_R$

内部被ばくによる実効線量の算出において考慮する必要のある放射線の種類は、光子、電子、 $\alpha$ 粒子、 $\alpha$ 壊変反跳核、自発核分裂片、及び中性子である。このうち、中性子以外については、 $w_R$ の数値に変更はない。中性子に対する  $w_R$  は、いずれの勧告においてもエネルギーの関数で与えられるが、2007年勧告に準拠した線量評価では、中性子スペクトルを考慮した  $w_R$  が核種毎にデータ化されており、SAFデータとともに収録されている。そこで、1990年勧告に準拠した線量評価を実行するためには、Dillmanら[42]の $^{252}\text{Cf}$ の中性子に対する線源領域-標的臓器組合せ毎に評価された吸収線量データを基に SAF を導出するとともに、中性子  $w_R$  のエネルギー関数と核崩壊データを基にスペクトルデータで加重平均した  $w_R$  を算出し、ICRP Publ. 133 の中性子 SAF データと同じ様式のデータファイルを作成すれば良い。ここで、SAF は、Dillmanらの吸収線量を $^{252}\text{Cf}$ の平均中性子エネルギーで除することで得られる。

- ・組織加重係数、 $w_T$

データ数と各数値の変更のみであり、従来のデータを開発コードのデータ様式で格納することで対応可能である。

- ・放射性核種崩壊データ

ICRP Publ. 38 のデータを ICRP Publ. 107 の様式に修正した事例[45]があり、対応可能である。

- ・体内動態モデル

呼吸気道の粒子輸送クリアランスモデル、消化管モデル、組織系動態モデルは、従来モデルにおいても移行元と移行先コンパートメントの組合せ毎に移行係数を与えるデータが整備されており、開発コードのデータ様式で記入することにより対応可能である。また、呼吸気道の血液移行モデルについても、3.2.2 項で記したように、開発コードは 1990 年勧告に準拠した線量評価における規定モデルにも対応可能となったため、従来データを開発コードのデータ様式で格納することにより対応可能である。

- ・SAF データ

エネルギーに関係なく一定の値とする SAF については、エネルギー関数で表現することで対応可能である。SAF の極限值という概念については、光子以外の SAF はエネルギーによらず一定値であること、10 keV 未満の光子は電子の SAF を適用することから、データの整備が可能である。また、骨領域における電子 SAF が、0.2 MeV を境に 2 つの値が設定されている点については、RAD ファイルにおけるエネルギーデータの有効数字が 6 桁であることから、0.199999 MeV のエネルギー点データを追加することで対応可能である。以上のことから、従来データを開発コードのデータ様式で格納することにより対応可能である。

- ・線源領域が Other の SAF の計算

2007 年勧告に準拠した線量評価において用いられる SAF データは体全体が何らかの線源領域に区分されているため、式(3-2)によって  $\Phi(T \leftarrow \text{Other})$  を計算することが可能である。一方、従来の SAF データは、全身組織を除く線源領域をすべて足し合わせても全身をカバーできないため、式(3-2)で  $\Phi(T \leftarrow \text{Other})$  を計算することはできない。そこで、従来の組織系動態モデルを参照し、Other に含まれ得るすべての線源領域を全身組織から取り除いた領域を線源とする SAF を式(3-3)によりあらかじめ計算しておくことで、従来の SAF データに基づく  $\Phi(T \leftarrow \text{Other})$  を式(3-2)で計算可能とする方法を考案した。

- ・放射線加重 S 係数の計算

$\beta$  線を除く放射線に対する  $S_w$  の計算は、放射性核種崩壊データ及び SAF データを用意することで 1990 年勧告に準拠した計算方法を実行可能である。しかしながら、 $\beta$  線については、呼吸気道領域においてはスペクトルデータを考慮して、呼吸気道以外の領域においては平均エネルギーで  $S_w$  を計算しなければならない。また、骨領域の電子 SAF は 0.2 MeV を境に 2 つの値を取る[33]ため、スペクトルデータを考慮した計算では 1990 年勧告に準拠した計算手順に基づく  $S_w$  を再現できない。

- ・生殖腺の等価線量の計算

開発中のコードにおける等価線量は、男女で同じ ID が付された組織・臓器の等価線量を算術平均して計算するようハードコーディングされている。開発中のコードによる 2007 年勧告に準拠した生殖腺の等価線量計算では、 $w_T$  を適用する組織を構成する組織・臓器を記述するデータファイルにおいて、男性は精巣を、女性は卵巣を生殖腺の構成組織・臓器として指定している。そのため、生殖腺の等価線量の計算結果は、男性の精巣の等価線量と女性の卵巣

の等価線量の平均値となる。1990年勧告に準拠した生殖腺の等価線量を出力するためには、男性の精巣の等価線量と女性の卵巣の等価線量の大きい方を生殖腺の等価線量とする処理の追加が必要となる。ただし、 $w_T$ を適用する組織のデータファイルにおいて、生殖腺ではなく精巣と卵巣を組織としてデータ化することで、精巣と卵巣の等価線量をそのまま出力することは可能である。

- ・ 残りの組織の等価線量の計算

開発中のコードにおける残りの組織の等価線量  $H_{rem}$  の計算は、残りの組織に含まれる組織・臓器の等価線量を算術平均するようハードコーディングされている。一方、2007年勧告に準拠する線量計算に用いるアルゴリズムにおいて、分割ルールの適用は想定していない。

- ・ 実効線量の計算

1990年勧告に準拠したモデル・データに基づく実効線量の算出手順は、男女別に SAF データファイルを用意し、これに男女共通のデータを格納させることで対応は可能である。しかしながら、上記のように、1990年勧告に準拠した生殖腺及び残りの組織の等価線量を出力するためには、アルゴリズムの検証が必須となる。

#### (4) 検討結果と今後の課題

線量評価モデル・データの更新や実効線量算出手順の変更が実効線量係数に及ぼす影響を把握するためには、1990年勧告及び2007年勧告に従うモデルやデータを個別に設定可能であることが望ましい。この場合、体内動態モデルにおけるコンパートメントと SAF データの線源領域の紐付け、 $w_T$ を適用する組織・臓器と SAF データの標的臓器の関係等、整合性が取れない状況となる。そのため、モデルやデータを個別に選択し、組み合わせる実効線量係数評価を実行するため、今後、アルゴリズムの検討、必要に応じてコードの改良が必要となる。

#### 3.3.2 日本人パラメータの適用

表 2-1 の線量評価モデルやデータは、ICRP が国際的な研究で得た成果や知見を反映して定めたものである。そのため、実効線量係数を「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 にある基準値の改定に適用する場合、日本人に適したパラメータを設定した計算により、その合理性を確認することも想定される。平成 7 年度から平成 11 年度まで、原研（現、原子力機構）では、科学技術庁からの委託事業「原子力発電施設等内部被ばく評価技術調査」により、当時検討されていた 1990 年勧告の国内法令への取入れに対する有効な技術として、内部被ばく線量評価に用いる INDES/IDEC を開発した[8]。この調査においては、日本人の代謝データ等の調査、整備を行い、その結果を反映した線量評価法の検討も進められた。そこで、今年度の事業では、日本人の体格特性や代謝特性（動態や排出）を考慮したデータやパラメータを調査し、当該機能における適用方法を検討した。

- ・ 体格特性

ICRP が Publ. 133 で公開した SAF データについては、Publ. 110 [44]で定めた標準人モデルを採用している。標準人体モデル（RCP-AF:女性、RCP-AM：男性）は Publ. 89 [22]の体重データ、組織・重量質量データに従って構築しており、その数値はコーカソイドの標準値とな

っている。成人日本人は、コーカソイドの成人よりも体格（身長、体重）は小さいことが知られている。そこで、原子力機構では、成人日本人の身体的特性を考慮した線量評価を可能とするため、平均的成人日本人人体モデル（JF-103：女性、JM-103：男性）を開発した[46]。表 3-3 に示すとおり、各ファントムは標準人体モデルよりも小さく、成人日本人の平均的な体格を持たせている。また、Publ. 103 で組織加重係数を割り当てられた全ての臓器・組織を含んでおり、その質量は日本人の平均値と±10%以内で一致している[46]。

表 3-3 成人日本人人体モデル[46]及び ICRP 標準人体モデル[44]の体格

	JF-103	JM-103	RCP-AF	RCP-AM
身長 (cm)	155	171	163	176
体重 (kg)	52	65	60	73

原子力機構では、JF-103 及び JM-103 を用いて、10 keV から 10 MeV の光子及び電子に対する SAF データを計算により解析し、公開した[47, 48]。ICRP の標準人体モデルによる SAF データ (Publ. 133) と成人日本人人体モデルによる計算結果の比較検証により、二種類の各性の人体モデルの差異が SAF データに与えた影響が確認されている[47-49]。また、男性モデル同士、すなわち JM-103 と RCP-AM については、体格の差異が実効線量に及ぼす影響についても確認されている[27]。そのため、成人日本人人体モデルによる SAF データを適用することで、平均的な日本人の体格特性を考慮した内部被ばく線量評価を行うことが期待できる。

#### ・代謝特性

日本人の代謝特性に関する研究の多くは、排泄量、生物学的半減期等、体内における存在量の評価に関係する量を対象としていた。このうち、生物学的半減期として、水素[50]、鉄[51]、ヨウ素[52]、セシウム[53]等の元素に対するデータが報告されている。上記の「原子力発電施設等内部被ばく評価技術調査」においては、ヨウ素及びセシウムの代謝データが特徴的とされ、線量係数が試算された[54]。この試算において、ヨウ素の甲状腺への移行率及び生物学的半減期[52]並びにセシウムの生物学的半減期[53]が適用された。

一方、国内の原子力施設、放射線施設やその周辺における内部被ばく線量評価では、基本的にはICRPによる国際的な標準データを適用してきた。ただし、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針（線量評価指針）」[55]では、原子炉施設の基本設計段階における平常運転時の施設周辺の線量評価に用いるパラメータとして、ヨウ素の甲状腺への移行率をICRPがPubl. 30で与えた0.3 [33]ではなく、日本人特性を考慮した0.2を与えている。ここで与えられている0.2という数値については、1960年代を中心に報告された成果に基づき、出生後の数日間を除いて年齢に拠らず一定という知見[56]に基づいて定められた[55]。その後、1970年代から1980年代にかけても、日本人のヨウ素の甲状腺への移行率を0.2することを裏付ける成果が報告されている[52, 57, 58]。また、線量評価指針で対象としている<sup>131</sup>I及び<sup>132</sup>I以外の同位元素について、上記のパラメータを適用してヨウ素の内部被ばくによる線量係数を試算した研究報告もある[59]。

以上を鑑みて、開発する機能を活用した線量評価では、日本人パラメータについては任意

に指定することが適切と判断される。その中で、ヨウ素の甲状腺への移行率については、日本人特性を考慮したパラメータを予め用意することが適当である。ただし、図 3-4 に示すとおり、OIR part 3 では甲状腺への取込みや排出について、新たに有機ヨウ素とそれ以外のヨウ素を個別に考慮したヨウ素の組織系動態モデルが与えられた[21]。そこで、新旧モデルの差異を分析し、適切なパラメータを準備することが課題となる。

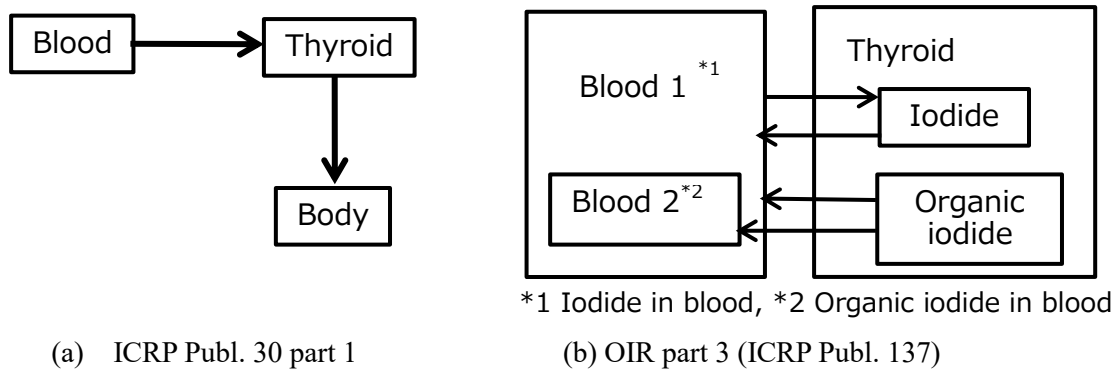


図 3-4 甲状腺におけるヨウ素の代謝（取込み、排出）を表すモデル

### 3.4 コードの全体設計

#### 3.4.1 線量評価に用いるモデルとデータの記述方式

今年度、線量係数計算機能の設計を進めるにあたり、以下の 2 点を考慮してコードの全体設計を行った。

- ・ ICRP が今後公開すると想定される線量評価データ、モデルの継続的な取り込み
- ・ 日本人パラメータや 1990 年勧告に従う線量計算

上記の要件を満たすため、データの追記が可能であり、容易に編集可能となる効率的なファイル記述方法である必要がある。また、パラメータが異なる複数のファイルを切り替えて計算するため、効率的なファイルの格納方法であることが要求される。

線量係数の計算などで必要なモデルやデータの記述方式については、本事業の先行事業（平成 21 年度から平成 23 年度までは文部科学省、平成 24 年度から平成 26 年度までは原子力規制庁からの受託事業）で検討を進めた[9-14]。平成 23 年度の事業において、一定の書式に従うプレーンテキスト方式、タグによりデータの構造や属性を自由に記述できる XML（Extensible Markup Language）を採用することとした。また、各データやモデルの特徴に鑑み、当時は刊行物として未公開のものを含めて、以下の方式で記述することとした[11]。

- ・ プレーンテキスト方式

体重データ、組織・臓器質量データ、放射線加重係数  $w_R$ 、放射性核種崩壊データ、SAF データ

- ・ XML 形式

組織加重係数  $w_T$ 、ヒト呼吸気道モデル、ヒト消化管モデル、組織系動態モデル

先行事業の行われていた平成 26 年度末時点において未公開であったデータのうち、ヒト呼吸気道モデル、成人の SAF データ及び作業者の主要 28 元素に対する組織系動態モデルにつ



いては、それぞれ Publ. 130、Publ. 133、Publ. 134 及び Publ. 137 で公開された。また、ICRP より今後公開が想定されるモデルやデータとしては、成人以外の SAF データ、作業者に対する主要 28 元素以外の組織系動態モデルがある。

#### 3.4.2 SAF データの実装に関する検討

SAF データについては、年齢別の男女のモデルによりエネルギーの関数で整備することが想定され、大幅なデータ量の増加が見込まれていた。そのため、プレーンテキスト形式を採用することを決定した。その中で、全身の組織とそれ以外に分類し、カットオフエネルギーをフラグで表現し整備するとした。しかし、Publ. 133 の付属データとして整備された SAF データは、Pub. 107 で公開された放射性核種データと同様、改変をしないことが利用の許諾条件とされた。そこで、Publ. 133 を改変することなく、プレーンテキスト形式でデータを整備する。なお、中性子放出核種の中性子に対する  $w_R$  について、先行事業ではエネルギーに対する関数で導出される加重係数より計算する設計としたが、上述のように各核種に固有の 1 つの値が与えられている。

今後の公開が想定される成人以外の年齢群の SAF データに関して、導出に必要な人体モデル（ファントム）が本年 8 月に公表された ICRP TG96 によるドラフト文書で記載された[60]。ここでは、新生児、1 歳児、5 歳児、10 歳児及び 15 歳児の年齢群について男女のファントムが示されており、SAF データも上記の 5 つの年齢群に対する整備が想定される。これらのデータについても、成人のデータと同様に改変しないことが、利用の許諾条件とされる可能性が高い。

#### 3.4.3 組織系動態モデルの実装に関する検討

3.4.1 項のモデルやデータの記述方式の検討において、体内での核種動態を示すヒト呼吸気道モデル及び組織系動態モデルは 1990 年勧告に従うモデルを参照した。一方、OIR part 2 及び part 3 のドラフト文書が公開された際、組織系動態モデルは従来のもものと比較して、複雑化することが推測されていた[12]。これらのモデルについては、正式に公開された Publ. 134 及び Publ. 137 で複雑化している一方、移行元と移行先を表すコンパートメント名（臓器や組織名）及び移行係数で公開されることが確認された。

より具体的に組織系動態モデルは、下記のように大きく 2 つに分類されるモデルの前提条件及び数値パラメータにより表現される。

- ・ 元素や物質名、年齢、コンパートメント名（移行元、移行先）等の前提条件
- ・ 移行係数、吸収割合等の数値パラメータ

このうち、数値パラメータは刊行物のデータを与えることになる。年齢については、3.4.2 項で述べたとおり、成人とそれ以外の 5 年齢群となることが推測される。一方、組織系動態モデルに含まれる物質名及びコンパートメントについては、各元素間で数等も異なり、多岐にわたるので、刊行物を調査してデータ実装における留意点を抽出した。

- ・ 物質の種類（化学形等）

OIR part 2 に掲載されている元素のうち、水素及びニオブで明示されている物質の種類（化

学形)、線量係数等を表 3-4 及び表 3-5 にまとめた。これら 2 つの表より、考慮されている物質の種類や線量係数の数については、関連する研究の実施例に応じて、元素間で大きく異なっていると推測される。また、ニオブの粒子の吸入 (Type F) のように、線量係数のみが与えられているケースもある。

表 3-4 水素の線量係数一覧

物質の種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路	線量係数 (mSv/Bq)
トリチウム水 (蒸気)	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入	2.0E-08
トリチウムガス	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入	2.0E-12
トリチウムメタン	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入	5.9E-11
特定されないガスまたは蒸気	ガスまたは蒸気 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入	2.0E-08
有機結合トリチウム (OBT)	粒子 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入	3.5E-08
トリチウム吸蔵 $\text{LaNi}_{4.25}\text{Al}_{0.75}$	粒子 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入	1.3E-08
ガラス破片、発光塗料、トリチウム化チタン、トリチウム化ジルコニウム、全ての特定されていない化合物	粒子 (Type M), $f_A = 0.2$	吸入	2.4E-08
トリチウム化炭素、トリチウム化ハフニウム	粒子 (Type S), $f_A = 0.01$	吸入	2.6E-07
可溶性物質 (有機結合トリチウム及びトリチウム吸蔵 $\text{LaNi}_{4.25}\text{Al}_{0.75}$ )	$f_A = 0.99$	経口	1.9E-08
生体物質	$f_A = 0.99$	経口	5.1E-08
難溶性物質 (ガラス破片、発光塗料、トリチウム化チタン、トリチウム化ジルコニウム、全ての特定されない化合物、トリチウム化炭素、トリチウム化ハフニウム)	$f_A = 0.1$	経口	2.0E-09

表 3-5 ニオブの線量係数一覧

物質の種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路	線量係数 (mSv/Bq)
数値のみ (化学形等なし)	粒子 (Type F), $f_A = 0.01$	吸入	5.6E-07
シュウ酸塩、全ての特定されない化学形	粒子 (Type M), $f_A = 0.002$	吸入	6.9E-07
炭酸塩、酸化物	粒子 (Type S), $f_A = 0.0001$	吸入	8.5E-07
全ての化学形	$f_A = 0.01$	経口	3.0E-07

線量係数の導出においては、化学形等の物質の種類を指定する必要がある。ただし、物質の種類 (化学形) を個別に XML 形式でタグ付けして、組織系動態モデルを表現する場合、水素では、20 を超えるデータセットを整備することになる。一方で、水素では線量係数が 11 個与えられており、計算条件の倍となるデータを用意することになる。そこで、吸収タイプや  $f_A$  値の情報を基本として、線量係数を与えているケース毎に分類して組織系動態モデルに係るデータを整理し、物質の種類 (化学形) を実装することが適切と考える。一方、水素の粒子 (Type F) の吸入摂取、 $f_A$  値が 0.99 の核種の経口摂取のように、複数の種類 (化学形) が存在する場合、両者を区別してデータを読み込む必要がある。

表 3-6 に OIR part 2 及び part 3 に収録された元素について、線量係数が与えられているケースの数をまとめた (ただし、ラドンについては、子孫核種による単位被ばく当たりの線量

が与えられているために含めていない)。ニオブの粒子 (Type F) の吸入のように、線量係数のみが与えられているケースは、カッコ書きで記した。吸入摂取については、表 3-1 に記したとおり、全ての元素で粒子吸入の Types F、M 及び S の 3 つのケースの線量係数を与えている。ただし、カッコ書きのケースを含む 21 の元素については、ICRP が各元素で一部の吸収タイプを与える物質の種類 (化学形) があることを把握していない。開発する機能では、全ての条件で計算させる一方、表 3-6 でカッコ書きとされた条件では、化学形等については明記せず、吸収タイプで種類を認識することにする。

一方、吸入摂取で線量係数が 4 つ以上与えられている元素のうち、トリウム及びウランについては、通常の吸入タイプとは異なる条件を持つ物質の種類 (化学形) も分類されており、固有の線量係数が与えられている。また、水素、硫黄、ルテニウム、テルル及びヨウ素については、蒸気やガスの摂取条件に応じた線量係数がある。今後組織系動態モデル等が公表される予定の元素では、1990 年勧告に準拠する Publ. 68 の調査より、ニッケル、水銀等でガスや蒸気状の摂取条件に対応した線量係数が与えられる可能性がある。

表 3-6 各元素が与える線量係数の数

元素	線量係数の数*		元素	線量係数の数*		元素	線量係数の数*	
	吸入	経口		吸入	経口		吸入	経口
H	8	3	Y	3	1	Cs	2(1)	2
C	7(1)	1	Zr	2(1)	1	Ba	2(1)	2
P	2(1)	1	Nb	2(1)	1	Ir	3	1
S	4(1)	2	Mo	2(1)	2	Pb	2(1)	2
Ca	2(1)	1	Tc	2(1)	1	Bi	1(2)	1
Fe	2(1)	1	Ru	4	1	Po	1(2)	1
Co	3	2	Sb	2(1)	1	Ra	2(1)	1
Zn	3	1	Te	3(1)	1	Th	3(1)	1
Sr	3	2	I	3(2)	1	U	5(1)	2

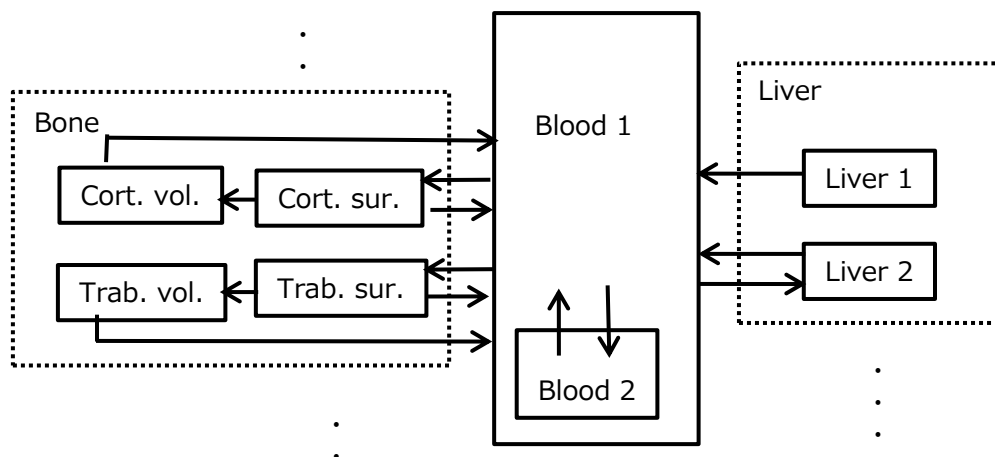
\*物質の種類 (化学形) が明示されている場合の個数 (“特定されていない化学形”等を含む) であり、線量係数のみが与えられているケースはカッコ書きで個数を示している。

・コンパートメント名

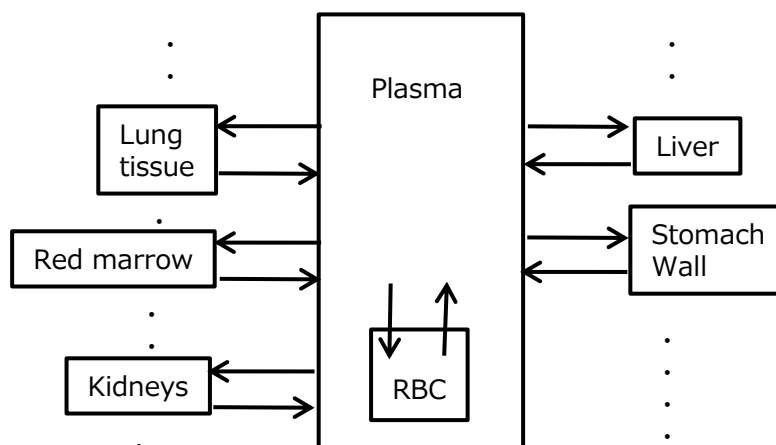
放射性核種の体内動態の移行を示すコンパートメントは、臓器や組織等の名前を含んで与えられる。全身を循環する血液、全身に含まれる骨領域及び排泄物 (膀胱及び結腸内容物) というコンパートメントについては、OIR part 2 及び part 3 に含まれる主要 28 元素の全ての組織系動態モデルで与えられている。他、多くの元素では全身軟組織を表すコンパートメント並びに骨領域の骨皮質及び梁骨の 2 つが含まれている。個別の臓器の中では腎臓及び肝臓を示すコンパートメントが比較的多くの元素に含まれている。このうち、骨領域については、さらに表面と領域 (ボリューム) に分割されており、いくつかの元素では、領域 (ボリューム) での交換 (Exchangeable) の可否も考慮し、コンパートメントが分割されている。腎臓や肝臓についても、領域を細分化、あるいは移行速度の違いを考慮して、複数の腎臓及び肝臓を表すコンパートメントが同様に含まれている。

一方、OIR part 2 と part 3 の調査より、同じような図で表現されているが、異なるコンパー

トメント名で与えられているケースが確認される。その代表的な例として、図 3-5 にイットリウム及びセシウムの血液における移行を示す。図 3-5 (a)のように、OIR part 2 では、ほぼ全ての元素で Blood というコンパートメントがあり、多くの元素で Blood 内に Blood2 というコンパートメントが与えられている。一方、OIR part 3 の多くの元素で、Plasma (血漿) と RBC (赤血球) として、OIR part 2 の Blood と Blood 2 とほぼ同じ関係が与えられている。



(a) Y の組織系動態モデル略図[20]



(b) Cs の組織系動態モデル略図[21]

図 3-5 OIR part 2 と part 3 における血液の移行に関するコンパートメント名の例

また、ごく一部の元素の組織系動態モデルでのみ考慮されている臓器や組織もあり、特に生殖腺、皮膚、心臓、乳房、脂肪等の移行を示すコンパートメントは OIR part 2 では与えられていなく、OIR part 3 の組織系動態モデルで新たに含まれた。そのため、今後公開される組織系動態モデルでは、新たに臓器や組織が追加される可能性もある。

以上を総合的に鑑みて、開発する機能においては、データを正確に転載するため、刊行物で示されたコンパートメント名で体内移行を示すことが適当であると考える。

### 3.4.4 データファイルの作成

開発を進めているコードで使用する入力データファイルの一覧を表 3-7 に示す。先行事業では、核データやモデルの特徴を鑑みて、テキストプレーン方式、または XML 方式でデータを記述することを検討した[11]。本事業においては、今後のデータの拡張を鑑みて、ICRP がテキストデータとして公開し、改変が許可されていぬ放射性核種データ (No. 1-3) 及び SAF データ (No. 4-13) のみ、プレーンテキストでデータを実装することとした。他、評価対象者の年齢や体重、臓器質量のデータ、体内動態を表すモデルやデータ、実効線量の導出に用いる 2 つの加重係数、呼吸気道沈着割合データ等については、XML 形式 (No. 14-32) で実装する。また、計算で用いる時間データ (No. 33) 及び評価核種データ (No. 34) は CSV 形式のデータで与えらる。今後、例えば、ICRP が今後新たな組織系動態モデルを公開した場合には、Systemic biokinetic model の移行係数データ (No. 30) に元素毎の動態モデルのデータを追加することで、対応が可能となる。

図 3-6 に XML 形式での記述方法の一例を示す。XML ではタグを用いることにより、データに構造や属性を付加することができる。そのため、データの内容を読み解くことが容易であり、自由度が高い。ここで、コンパートメント名、物質名等を正しく認識するため、各モデルやデータの内容 (名称) については、ID 番号で付与することでファイルを準備する。なお、Microsoft Excel<sup>®</sup>等のソフトウェアを用いることで効率的な編集及びデータの追加が可能という特徴を有する。

### 3.4.5 データファイルを格納したディレクトリの配置

新旧勧告での係数の差に対する決定因子や日本人特性を調査するため、1990 年勧告に準拠するモデルやデータ、日本人パラメータを使用することが想定される。そのため、同じ開発コードで計算が可能となるように、2007 年勧告に準拠するモデルやデータと同じ取り扱いにすることとした。ここで、3.3.2 項で述べた成人日本人モデルにより解析、整備した SAF データを実装する場合、ICRP と同じ形式でデータファイルを整備する点等を留意する必要がある。また、移行係数パラメータ等のデータを同一のファイルに収録することは、2007 年勧告に従ったデータのアップデートが今後も行われることから、日本人パラメータや 1990 年勧告に従うデータは、別のファイルとして保存することとした。図 3-7 に開発コードのディレクトリ構造を、表 3-8 に各ディレクトリの格納内容を示す。ここで、/dat/bio/ディレクトリ及び /dat/bio90/ディレクトリには、表 3-7 の XML ファイルを配置した。

使用するデータファイルの切り替えは、表 3-9 に示す計算パラメータファイルで指定する。計算パラメータファイルには核種や摂取条件のほか、計算に使用するデータファイルを指定することにより、新旧勧告及び日本人パラメータでの計算を行うことが可能である。なお、計算パラメータファイルにはモニタリングデータも記述することができるため、摂取量推定時にも使用することができる。

表 3-7 開発コードの入力データファイル一覧

No.	データファイル	形式	概要
1	ICRP-07.NDX	プレーン テキスト	放射性核種崩壊データ (半減期、分岐比等)
2	ICRP-07.RAD	プレーン テキスト	放射性核種崩壊データ (放出率、エネルギー)
3	ICRP-07.BET	プレーン テキスト	放射性核種崩壊データ ( $\beta$ 線スペクトルデータ)
4	sregions_2017-03-07.NDX	プレーン テキスト	SAF の線源領域データ
5	torgans_2017-03-07.NDX	プレーン テキスト	SAF の標的領域データ
6	rcp-am_photon_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人男性の光子 SAF データ
7	rcp-am_electron_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人男性の電子 SAF データ
8	rcp-am_alpha_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人男性の $\alpha$ 粒子 SAF データ
9	rcp-am_neutron_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人男性の中性子 SAF データ
10	rcp-af_photon_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人女性の光子 SAF データ
11	rcp-af_electron_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人女性の電子 SAF データ
12	rcp-af_alpha_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人女性の $\alpha$ 粒子 SAF データ
13	rcp-af_neutron_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人女性の中性子 SAF データ
14	1-age.xml	XML	年齢データ
15	1-equivalent-dose.xml	XML	等価線量データ
16	1-material.xml	XML	物質データ
17	1-organ.xml	XML	臓器データ
18	1-radiation-factor.xml	XML	放射線加重係数データ
19	2-body.xml	XML	体重データ
20	2-compartment.xml	XML	コンパートメントデータ
21	2-equivalent-tissue.xml	XML	等価線量を構成する標的組織・臓器データ
22	2-hrtm-absorption.xml	XML	呼吸気道の血液吸収データ
23	3-bladder-transfer.xml	XML	膀胱の移行係数データ
24	3-hatm-absorption.xml	XML	消化管の血液吸収データ
25	3-hatm-transfer.xml	XML	消化管の移行係数データ
26	3-hrtm-deposition-aerosol.xml	XML	呼吸気道のエアロゾル沈着割合データ
27	3-hrtm-deposition-gas.xml	XML	呼吸気道のガス・蒸気状沈着割合データ
28	3-hrtm-transfer.xml	XML	呼吸気道の移行係数データ
29	3-noble.xml	XML	呼吸気道と消化管の希ガス移行係数データ
30	3-systemic-transfer.xml	XML	組織系動態モデルの移行係数データ
31	3-wound-deposition.xml	XML	創傷の沈着コンパートメントデータ
32	3-wound-transfer.xml	XML	創傷の移行係数データ
33	time.dat	CSV	経時変化計算の時間データ
34	nuclide-list.dat	CSV	GUI による評価核種データ

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="true"?>
- <data-compartment>
  - <compartment id="100">
    <organ-id>2600</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>ET1</value>
  </compartment>
  - <compartment id="200">
    <organ-id>2700</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>ET'2</value>
  </compartment>
  - <compartment id="300">
    <organ-id>2900</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>ETseq</value>
  </compartment>
  - <compartment id="400">
    <organ-id>3000</organ-id>
    <flag-inout>0</flag-inout>
    <value>LNET</value>
  </compartment>
  - <compartment id="500">
    <organ-id>3100</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>BB'</value>
  </compartment>
  - <compartment id="600">
    <organ-id>3300</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>BBseq</value>
  </compartment>
  - <compartment id="700">
    <organ-id>3400</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>bb'</value>
  </compartment>
  - <compartment id="800">
    <organ-id>3600</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>bbseq</value>
  </compartment>
  - <compartment id="900">
    <organ-id>3700</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>ALV</value>
  </compartment>
  - <compartment id="1000">
    <organ-id>3700</organ-id>
    <flag-inout>0</flag-inout>
    <value>INT</value>
  </compartment>

```

図 3-6 XML 形式データの記述例

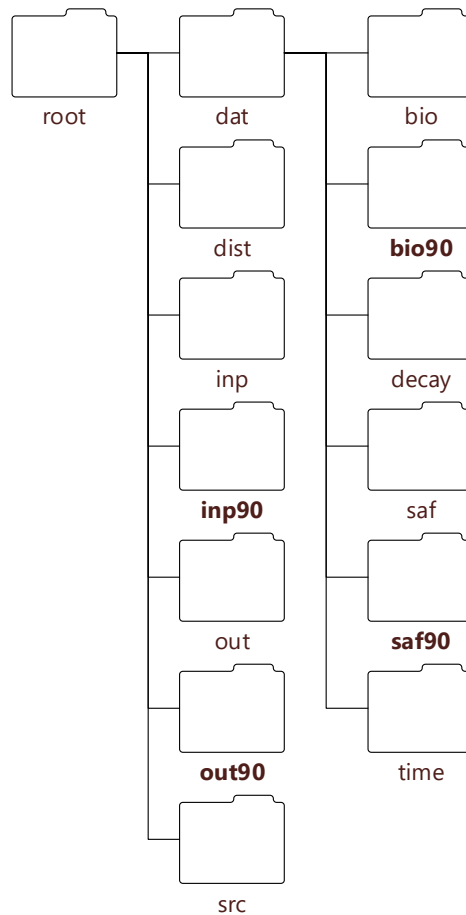


図 3-7 開発コードのディレクトリ構造  
太字は 1990 年勧告準拠のデータを格納するディレクトリを表す。

表 3-8 ディレクトリの格納内容

ディレクトリ	格納内容
/dat/bio/	2007 年勧告の XML データ
/dat/bio90/	1990 年勧告の XML データ
/dat/decay/	放射性核種崩壊データ (Publ. 107)
/dat/saf/	2007 年勧告の SAF データ
/dat/saf90/	1990 年勧告の SAF データ
/dat/time/	経時変化計算の時間データ
/dist/	実行ファイル
/inp/	2007 年勧告の計算パラメータファイル
/inp90/	1990 年勧告の計算パラメータファイル
/out/	2007 年勧告の計算結果の出力ファイル
/out90/	1990 年勧告の計算結果の出力ファイル
/src/	ソースコード



表 3-9 計算パラメータファイルの内容

入力要素		内容				
Input	Data	DecayNdx				放射性核種インデックスデータ
		DecayRad				放出放射線データ
		DecayBet				β線スペクトルデータ
		Age				年齢データ
		Material				物質名データ
		Compartemnt				コンパートメント名データ
		Organ				組織・臓器名データ
		EvaluationTime				計算結果出力時間データ
		AerosolDeposition				呼吸気道沈着割合データ
		GasDeposition				呼吸気道ガス沈着割合データ
		HrtmTransfer				呼吸気道クリアランスデータ
		HrtmAbsorption				呼吸気道血液吸収データ
		HatmTransfer				消化管クリアランスデータ
		HatmAbsorption				消化管血液吸収データ
		WoundDeposition				創傷沈着データ
		WoundTransfer				創傷移行データ
		SystemicTransfer				組織系動態移行データ
		BladderTransfer				膀胱移行データ
		Noble				希ガス移行データ
	RadiationFactor				放射線加重係数データ	
EquivalentDose				等価線量データ		
EquivalentTissue				等価線量組織データ		
BodyMass				体重データ		
	SafMass	Source			線源領域データ	
		Target			標的領域データ	
		SystemicSource			全新線源データ	
		SafList	Saf			
				DayOld	SAF データの日齢(d)	
				PhotonMale	男性光子 SAF データ	
				ElectronMale	男性電子 SAF データ	
				AlphaMale	男性α粒子 SAF データ	
				NeutronMale	男性中性子 SAF データ	
				PhotonFemale	女性光子 SAF データ	
				ElectronFemale	女性電子 SAF データ	
				AlphaFemale	女性α粒子 SAF データ	
				NeutronFemale	女性中性子 SAF データ	
Repository	Folder				保存フォルダ	
Evaluation	Flag				評価選択フラグ	
Exposure	Gender				性別	
	Subject				対象者 (作業員、公衆)	
	DayOld				日齢(d)	
	Period				期間(d)	
Aerosol	Amad				空気力学的中央径(μm)	
Intake	Nuclide				摂取核種	
	Route				摂取経路	
	ChemicalForm				化学形	
	AlimentaryMaterial				消化管モデルの物質名	
	SystemicMaterial				組織系動態モデルの物質名	
	Quantities	Quantity	Date		摂取日付(yyyy/mm/dd)	
			Value		摂取量(Bq)	
Measurement	DeviationType				偏差タイプ	
	Radiations	Radiation				
			Nuclide		測定核種	
			Source		測定線源	
			Limit		検出下限値(Bq)	
			ErrorType		測定誤差タイプ	
		Activities	Date		測定日付(yyy/mm/dd)	
			Value		測定値(Bq)	
			Error		測定誤差	

### 3.4.6 計算方法の設定（GUIによるデータファイルの読み込み）に関する検討

開発したコードの操作性を考慮し、ユーザーによる条件設定に用いる GUI、結果を効果的に表示する機能として、線量係数を取りまとめた数表、体内放射能の経時変化を示すグラフ等の検討を行った。

線量係数計算における GUI のイメージを図 3-8 に、GUI の処理フローを図 3-9 に示す。始めに画面に表示するためのパラメータファイル（表 3-9）を読み込む。パラメータが適切に設定されていない場合は、GUI 上で適宜設定する。

線量係数計算においては、急性摂取及び慢性摂取の計算が可能である。急性摂取は男性及び女性の両方の計算を行うのに対し、慢性摂取の場合は男性又は女性のどちらかを選択し計算を行う。また、慢性摂取のときは、摂取日と摂取量を別画面で入力する。計算条件の設定ができたならば、計算を実行する。計算終了後、急性摂取では単位摂取の体内放射能と線量の経時変化を表と図で確認でき、慢性摂取では総摂取量の体内放射能と線量の経時変化を表と図で確認できる。

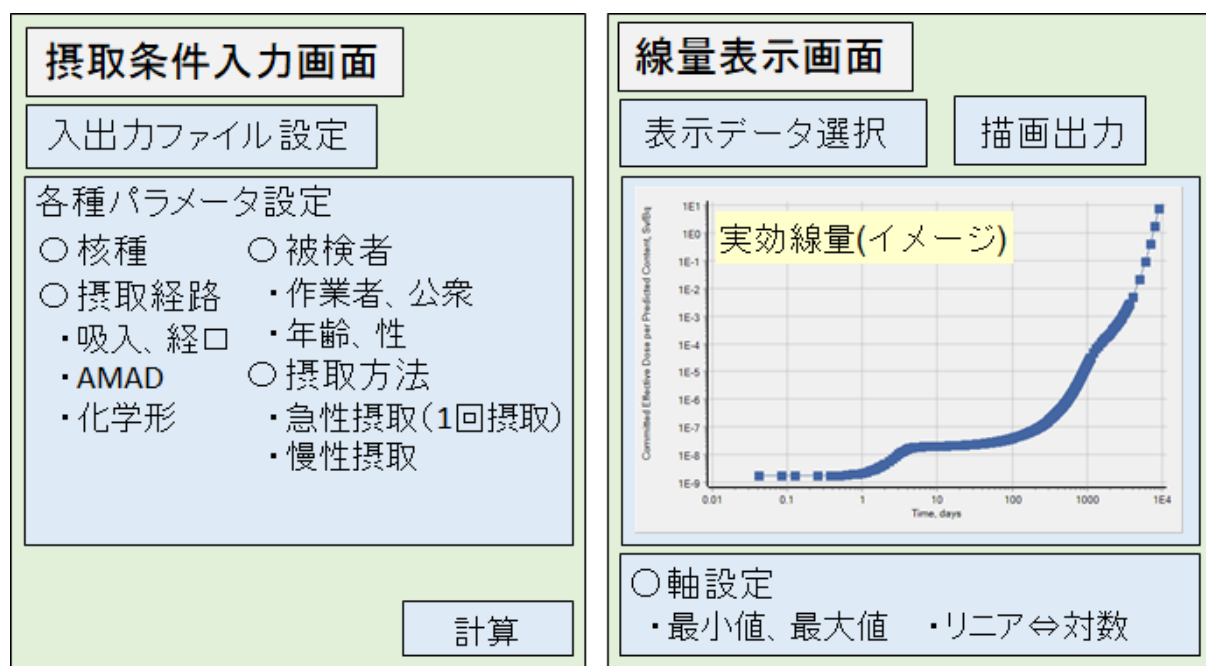


図 3-8 GUI のイメージ

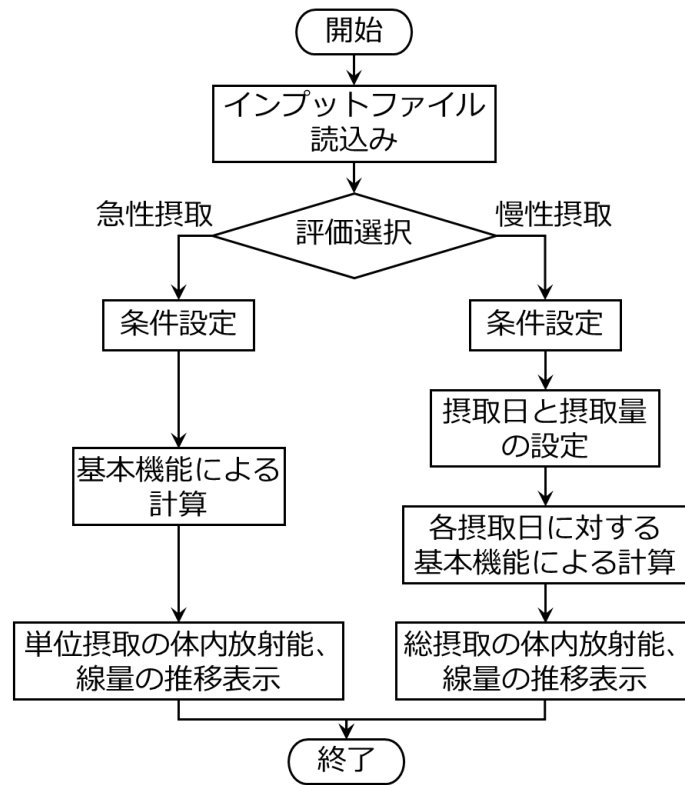


図 3-9 線量係数計算における GUI の処理フロー

### 3.5 機能の開発や運用に関する情報収集及び調査

今年度に設計した機能を活用し、ICRP が今後公開する線量評価モデルやデータを実装した場合、「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 にある基準値の改正に必要なコードを整備していくことが想定される。そこで、ICRP によるモデルやデータの公開状況に関する情報収集を進めるとともに、OIR Data Viewer [20] で線量係数が公開されている主要 27 元素（ラドンを除く）で考慮されている同位元素の種類（化学形等）の調査を行った。

#### 3.5.1 ICRP によるモデルやデータの公開に関する情報収集

表 2-1 より、作業員（主要 28 元素以外）及び公衆の組織系動態モデル及び成人以外の SAF データが今後公開されることが推測される。ICRP では、作業員及び公衆の内部被ばくに対する線量係数の公開や検討状況に関する情報について、HP で平成 30（2018）年 7 月にリリースした[61]。

ランタノイド及びアクチノイドに対する組織系動態モデルについては、線量係数等とともに OIR part 4 として公開される見込みである。既に OIR part 4 については、平成 28（2016）年 9 月に刊行物のドラフト文書が公開され、コメント募集が行われている。その後、OIR part 2 及び part 3 に含まれる主要 28 元素、ランタノイド及びアクチノイドに対する公衆の組織系動態モデルが 1 つの刊行物（EIR part 1）で公開される予定である。公衆の組織系動態モデルを含む刊行物では、線量係数も公表される予定である。その導出に必要な成人以外の SAF データについては、計算に用いた人体モデルとともに公開される予定である。また、ICRP は成人以外の人体モデルを取りまとめた刊行物のドラフト文書を平成 30（2018）年 11 月に HP で公開し、コメント募集を行った。OIR part 2 から part 4 までに含まれる 53 元素以外の作業員及び公衆の組織系動態モデルについては、その後 OIR part 5 及び EIR part 2 として公開される計画となっている。表 3-10 に組織系動態モデルの公開状況、今後の予定等を取りまとめた。

表 3-10 各元素に対する組織系動態モデルの公開状況と今後の予定[61]

元素名	作業員	公衆
H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc (14 元素)	OIR part 2 (Publ. 134) で公開	<ul style="list-style-type: none"> <li>成人以外の SAF データ（刊行物ドラフト文書は、平成 31 年 3 月現在で未公開）の後、EIR part 1 として公開予定</li> <li>SAF データ導出に用いる人体モデルの刊行物ドラフト文書は平成 30 年 11 月公開</li> </ul>
Ru, Sb, Te, I, Cs, Ba, Ir, Pb, Bi, Po, Rn, Ra, Th, U (14 元素)	OIR part 3 (Publ. 137) で公開	
La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ac, Pa, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm (25 元素)	OIR part 4 として公開予定（コメント募集終了）	
その他の元素 (45 元素) *	EIR part 1 に続いて、OIR part 5 として公開予定	OIR part 5 に続き、EIR part 2 として公開予定
<p>*備考：現在の別表第 2 で考慮されているが OIR parts 2-4 に含まれない元素            Be, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, Cl, Ar, K, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Xe, Hf, Ta, W, Re, Os, Pt, Au, Hg, Tl, At, Fr, Md の 45 元素            別表第 2 でサブバージョンのみ考慮されている元素（N, O, Ar, Kr, Xe）は、ICRP が 1990 年勧告に準拠する線量係数を提示していない。</p>		

平成 30 (2018) 年 10 月にフランスで開催された 12th International Conference of the Health Effects of Incorporated Radionuclides (HEIR2018) へ参加し、ICRP で線量係数の検討に携わる研究者と意見交換した際、上記の計画で刊行物が順次公開される予定であることを確認できた。特に、OIR part 2 から part 4 に含まれる 53 元素に対しては、公衆のモデルやデータに関する検討も進捗中であるという情報も得た。ただし、表 3-10 でその他の元素とした 45 元素（「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 で、サブマージョンのみ考慮している元素を除いた場合は 40 元素）については、組織系動態モデルや線量係数の公開見通しは不透明な状況にある。

### 3.5.2 OIR part 2 及び part 3 で考慮されている各元素の核種や化学形等の調査

現在の「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 においては、核種と化学形等の組み合わせで特定される「放射性同位元素の種類」に応じて、内部被ばく防護のための基準値が定められている。ここで、放射性同位元素の種類は第 1 欄に明示され、第 2 欄及び第 3 欄に吸入摂取及び経口摂取をした場合の実効線量係数が放射性同位元素の種類毎に示されている。ここで、第 2 欄及び第 3 欄にある実効線量係数のほとんどは、ICRP Publ. 68 で示された作業者に対する実効線量係数の数値と一致している[62]。そのため、OIR part 2 及び part 3 で掲載された 27 元素（ラドンは除く）について、「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 にある防護のための基準値の改正で考慮される放射性同位元素の種類について調査を進めた。

OIR part 2 及び part 3 に含まれる元素の実効線量係数データを確認できる Data Viewer において、下記の核種が「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 に含まれていないことを確認した。新たに追加を検討すべき核種については、何れも半減期が 20 分未満である。

- Te :  $^{114}\text{Te}$  (半減期 : 15.2 分) が新たに追加
- Pb :  $^{194}\text{Pb}$  (半減期 : 12 分) が新たに追加
- U :  $^{242}\text{U}$  (半減期 : 16.8 分) が新たに追加

Data Viewer では、粒子吸入に対する吸収タイプの Type F、Type M、Type S 等を考慮して、実効線量係数等が与えられている。ただし、多くの元素において、物質名が存在しない吸収タイプが存在する (Data Viewer の Material 欄で、吸収タイプ及び  $f_A$  値のみが明示され、化学形の情報が含まれていない)。このような元素では、他の吸収タイプで“全ての特定されない形 (all unspecified form)” のような表示があるため、ICRP も吸収タイプに該当する化学形を確認できていないと推測する。また、Data Viewer の Material 欄と「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 の第 1 欄と照合した結果、特定されている化学形等の加除も確認される。この中で、留意すべき点として、OIR シリーズでは、表 3-11 に示すとおり、“特定されない化学形の粒子等”の線量係数については、多くの元素で吸収タイプを Type M として導出している (Type M をデフォルトとして位置づけている)。一方、現行の「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 でいくつかの元素については、“〇〇以外の化合物”のように特定されない化学形等の実効線量係数 (第 2 欄) は、ICRP Publ. 68 の中で吸収タイプとして Type F や Type S として導出されるものが多くある (表 3-11)。

炭素は気体 (ガス) に加えて、Data Viewer では粒子吸入も新たに考慮されている。他、蒸気やガスの吸入摂取についても、考慮されている物質に変更が確認されており、経口摂取も

吸収割合（ $f_A$  値）の見直し等により、告示別表第2の第3欄で1つの数値しか与えられなかった元素について、複数の線量係数が与えられているものもある。

以上のように、例えば、「告示：RIの数量等を定める件」の別表第2の改正において、開発した機能により、新旧勧告の実効線量係数の影響因子を調査する場合、化学形等を正確に照合し、さらに考慮している吸収タイプ等を正確に認識することが要求される。付録-1に「放射性同位元素の種類(化学形等)について、告示：RIの数量等を定める件」の別表第2、OIR part 2及び part 3で掲載された27元素（ラドンは除く）で考慮されているものを一覧としてまとめた。

表 3-11 ラドンを除く OIR part 2 及び part 3 の掲載元素で、特定されない物質や化学形を含む粒子の吸入摂取で考慮している吸収タイプ

元素	ICRP Publ. 68*	OIR part 2	元素	ICRP Publ. 68*	OIR part 3
H	Type M	Type M	Ru	Type F	Type M
C		Type M	Sb	Type F	Type M
P	Type F	Type M	Te	Type F	Type M
S		Type M	I	Type F	Type F
Ca	Type M	Type M	Cs	Type F	Type M
Fe	Type F	Type M	Ba	Type F	Type M
Co	Type M	Type M	Ir	Type M	Type M
Zn	Type S	Type M	Pb	Type F	Type F
Sr	Type F	Type M	Bi	Type M	Type M
Y	Type M	Type M	Po	Type M	Type M
Zr	Type S	Type M	Ra	Type M	Type M
Nb	Type M	Type M	Th	Type M	Type S
Mo	Type F	Type M	U		Type M
Tc	Type F	Type M			

\* 「告示：RIの数量等を定める件」の別表第2中の第1欄及び第2欄を照合（斜線のある元素は、“〇〇以外の化合物など“のような化学形が存在しない。）

### 3.6 線量係数計算機能の開発のまとめ

今年度、線量係数計算機能の開発として、ICRPにより今後公開されるモデルやデータへの対応を鑑みた機能の設計及び平成30年1月に公開されたOIR part 3への対応するための改良を進めた。平成29年度までに、OIR part 2が与えた作業者による主要14元素の摂取に対する実効線量係数について、正確に導出することを検証し、基本機能を完成させていた。そこで、OIR part 3への対応に係る改良を進めることで、今後のデータ拡張やアルゴリズム改良を検討することとした。また、1990年勧告に準拠する線量評価及び日本人パラメータの適用について、並行して検討を進めた。

OIR part 3では、ウランやラジウムなどの $\alpha$ 壊変核種が含まれた。この中で、ウラン系列、トリウム系列等に含まれる元素については、摂取核種が体内で崩壊して、同一元素となる複数の子孫核種を生成する条件があった。体内中における動態は、本質的には元素の核種で差異はない。ただし、内部被ばく線量評価においては、子孫核種は取りまとめて取り扱うため、摂取核種と子孫核種を区別するようにアルゴリズムを改良した。例えば、OIR part 4に含まれるアクチノイド元素では、同様の条件が含まれることが想定されるが、本年度に改良したアルゴリズムを採用することで対応できると考える。また、ウランの一部の化学形では、追跡調査に基づいて、従来の呼吸気道血液移行モデルを採用したため、関連するアルゴリズムを改良した。新しく公開される刊行物の中で、基本とするモデル以外のデータを採用した場合に対し、今年度の経験や知見を反映できると考える。また、今後のデータ拡張を鑑みた場合、組織系動態モデルを正確に実装することが重要となることが確認されたので、モデルの内容を正確に記述するファイルの作成法を確立した。

現在の放射性規制で基本とする1990年勧告に準拠する線量評価においては、使用するモデルやデータの種類や構造は2007年勧告に従うものと同等である。一方、線量計算については、一部変更しているため、その対応方法も整理した。日本人パラメータについては、過去の研究の調査結果に基づいて、当該機能で効果的に適用する方法を検討し、GUIによるデータの読み込み方法を確立した。

最終的には、上記の検討や調査に基づいて、ファイルのディレクトリ配置を決定し、今後のデータ拡張等も可能とする当該期機能を完成させた。

## 第4章 核種摂取量推定機能の開発

### 4.1 実施計画と目標

今年度は、大きく以下に示す2つの項目を実施する計画とした。

- ・ 原子力機構外の専門家との意見交換による、当該機能のニーズ等の聴取
- ・ データフィッティング法、体内放射能の経時変化の解析法等(基本機能)の開発

平成29年度は、当該機能に係る調査として、既存の類似コード IDEC [8]、MONDAL (MONitoring to Dose cALculation) [63]及び IMBA (IntEgrated Modules for Bioassay Analysis) [64]の分析、原子力機構でモニタリングに従事する者との意見交換等を進めた。その結果、対象とする摂取条件については、1回の急性摂取の他、複数回摂取あるいは慢性摂取も考慮する必要があることを確認した。また、モニタリングデータのフィッティング方法についても、検討すべき数値解析法として、最小二乗法及び最尤推定法を抽出した。

そこで、今年度は今後の開発へ有益な情報をより広く収集し、開発方針の妥当性を確認するため、原子力機構外の研究機関や大学で内部被ばくモニタリングや線量評価に係る専門家との意見交換等を進めることとした。また、昨年度に抽出したフィッティング手法については、表4-1に示す特徴を有することを確認した。そこで、各手法の特徴を鑑みて、摂取条件に応じて、モニタリング値の不確かさや検出下限値以下の取り扱いを検討したうえで、体内放射能や排泄物中に含まれる放射能の経時変化を効率的に解析する手法を開発する。この研究開発により、マイルストーンとした基本機能の完成を達成させる。

表 4-1 最小二乗法及び最尤推定法の特徴

	最小二乗法	最尤推定法
摂取形態	単一摂取のみ	単一、複数回摂取
モニタリング値の不確かさ	考慮不可	考慮可能
検出下限値以下の結果	考慮不可	考慮可能

### 4.2 研究者からのニーズ調査

平成29年度の事業においては、原子力機構のモニタリング従事者と当該機能に関する意見並びに要望を聴取し、MONDAL 開発者である石博信人氏と意見交換を行った。これらの意見交換により、考慮する摂取シナリオ、モニタリング値の取扱い等の機能に関するものの他、入力条件の設定や結果の確認等の操作性の観点から、有益な要望や意見を聴取することができた。一方、研究評価委員会より、多様な観点から意見を聴取する必要性が指摘された。

上記の進捗及び指摘を踏まえて、高度被ばく医療や原子力災害医療に係る機関や大学等で、当該機能に関する意見交換を行った。聴取した意見は、機能面と実際の利用状況に関するものに大別できた。



## 1) 機能面に関するニーズ

### ① 摂取シナリオの設定

- ・ 創傷汚染モデルは取り扱える方がよい。原子力災害医療訓練では、必ず創傷部汚染を伴ったシナリオとなっている。
- ・ 複数の摂取経路、異なる化学形を同時に考慮できるとよい。(例、吸入摂取+創傷部取込み、吸入摂取のタイプ F+タイプ S)

### ② モニタリング値の不確かさ

- ・ 測定値(モニタリング値)は必ず誤差、不確かさを伴うので、これらを考慮することができるような入力インターフェースとする必要がある。
- ・ 事故対応等、公衆に対するモニタリングは、1回しか測定できないことが多く、摂取時期の不確かさ(摂取の可能性のある期間の幅)が大きいという特徴がある。

### ③ 体内放射能・排泄率推移の計算条件の設定

- ・ エアロゾルの粒径分布は環境によって多様であり、ICRPの既定値とは大きく異なる場合があるため、任意の粒径分布に対応することが望ましい。
- ・ 粒径分布以外にも、エアロゾルの沈着割合に影響を及ぼすパラメータ(評価対象者の体格、運動状態等)も考慮できるとよい。
- ・ 呼吸気道クリアランスに対する補正項目では、評価対象者が簡単に答えられる項目(喘息、喫煙等)は反映できるとよいのではないか。
- ・ 様々なパラメータの感度解析が重要となる。影響が大きいパラメータは可能な限り考慮することを推奨でき、影響が小さい場合は安心して既定値が使用できる。

### ④ 結果の出力

- ・ リスク評価の観点から、吸収線量(Gy)での出力も必要である。
- ・ 時間経過と累積被ばく線量の関係を示す図は、一般の人々への説明において重要なデータとなる。
- ・ 最初の1年間など、任意の期間での被ばく線量を出力できるとよい。
- ・ 子孫核種の放射能推移評価結果も出力できるとよい。(例、 $^{132}\text{Te}$  摂取時の  $^{132}\text{I}$ )

## 2) 機能の利用に関する意見

- ・ 全国に全身カウンタが普及し、体内放射能測定は簡易に行える一方、初期の現場では線量評価の専門知識を持たない人(放射線技師等)が担当となる場合が多くある。このような場合、測定結果(Bq)を線量(Gy、Sv)に変換することに困難を伴う。
- ・ 摂取からの経過日数、測定された放射能を入力するだけで、デフォルトパラメータによる摂取量推定を行い、線量評価結果を出力するような、非常にシンプルなエディションが必要である。(原子力災害拠点病院、協力機関等での利用が想定)

昨年度と同様、複数の摂取に対する対応に係る意見や要望があった。創傷汚染については、昨年度の意見交換では、注入摂取と仮定して評価する方法を採用することが指摘されていたので、傷部位の放射能測定等が適切に実施可能かを鑑みたくうえで、対応を検討する必要がある。また、原子力機構のモニタリング従事者は、主に作業者に対する内部被ばく線量評価を

対象としている一方、今回意見を聴取した大学や研究機関では、公衆の線量評価に関する実績が多くあった。特に、事故対応等の緊急時においては、モニタリングの回数が制限されるため、その結果の不確かさの取扱いに関するコメントが多くあった。また、公衆への説明や初期の対応を行う者を想定した条件設定や結果出力に関する意見もあった。このうち、利用者を想定したエディションの分類については、昨年度も同様の意見があった。今年度に聴取できた要望や意見は、今後の当該機能の運用を鑑みた開発に反映させていく予定である。

#### 4.3 基本機能の開発

内部被ばく線量は、摂取量 (Bq) と線量係数 (Sv/Bq) の積によって評価する。したがって、線量を算出するには、放射性核種の摂取量が必要となる。吸入摂取する空气中濃度 (Bq/m<sup>3</sup>) 又は経口摂取する食物中濃度 (Bq/kg) が既知の場合には、摂取量はこれら濃度と摂取した体積又は重量から定量化することができる。しかし、空气中濃度または食物中濃度が未知の場合には、体内放射能の測定から摂取量を推定する。体内放射能の測定には、体外計測法 (全身、肺、甲状腺の計測) またはバイオアッセイ法 (尿、糞の計測) の2つの方法がある。これらの測定値と体内動態モデルから評価された単位摂取量当たりの体内放射能予測値から統計的手法またはフィッティングによって摂取量が推定できる。本作業では、摂取量を推定する方法として最尤推定法を導入し、最尤推定法に基づいた摂取量推定のコードを開発した。

##### 4.3.1 摂取量推定に用いる数値解析法

###### 1) 最尤推定法

核種の摂取率及び単位摂取の体内放射能予測値が与えられたとき、摂取された核種に対する体内放射能予測値を表すと、

$$Q = qI \quad (4-1)$$

となる。ここで、

$Q$  : 体内放射能予測ベクトル

$$Q = \begin{bmatrix} Q(T_1) \\ \vdots \\ Q(T_m) \end{bmatrix}$$

$I$  : 摂取量ベクトル

$$I = \begin{bmatrix} I(t_1) \\ \vdots \\ I(t_n) \end{bmatrix}$$

$q$  : 単位摂取の体内放射能予測行列

$$q = \begin{bmatrix} q(T_1 - t_1) & \cdots & q(T_1 - t_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q(T_m - t_1) & \cdots & q(T_m - t_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{1,1} & \cdots & q_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m,1} & \cdots & q_{m,n} \end{bmatrix}$$

$Q(T_i)$  : 日齢  $T_i$  (d) の体内放射能予測値 (Bq)

$I(t)$  : 日齢  $t$  (d) の核種摂取率 (Bq/d)

$q(T_i - t_j)$  : 核種を摂取した日齢  $t_j$  (d) 以後の日齢  $T_i$  (d) における単位摂取

の体内放射能予測値(Bq/Bq) ( $T_i < t$ のとき  $q = 0$ )

$t_1$  : 最初に核種を摂取した日齢(d)

$t_n$  : 最後に核種を摂取した日齢(d)

となる。核種の体内動態を1日単位で評価すると、 $T_i$ と $t_j$ は1日単位で評価することとなり、平均摂取量 $I$ は1日で区分した量として与えることとなる。

体内放射能の測定値 $a_i$ が正規分布(式(4-2))または対数正規分布(式(4-3))に従うとして、複数の測定値が互いに独立であるとするならば、全ての体内放射能測定値に関する確率密度関数は関数の積となる。これらの確率密度関数は、未知な摂取量を与えることによって測定値の分布が定まることから、条件付確率密度関数 $p(\mathbf{a}|\mathbf{I})$ となる。よって、摂取量に関する尤度 $L(\mathbf{I}|\mathbf{a})$ は式(4-4)となる。

$$p(a_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{a_i - (qI)_i}{\sigma_i}\right)^2\right] \quad (4-2)$$

$$p(\log(a_i)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\log(\sigma_{gi})} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(a_i) - \log\{(qI)_i\}}{\log(\sigma_{gi})}\right)^2\right] \quad (4-3)$$

$$L(\mathbf{I}|\mathbf{a}) = p(\mathbf{a}|\mathbf{I}) = \begin{cases} \prod_j p(a_j) \delta a & \text{for normal} \\ \prod_j (\log(a_j)) \frac{\delta a}{a_j} & \text{for log normal} \end{cases} \quad (4-4)$$

ここで、

$a_i$  : 日齢 $T_i$  (d)の体内放射能測定値 $a_i$  (または $a(T_i)$ ) (Bq)

$\mathbf{a}$  : 測定値ベクトル

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix}$$

$p(a_i)$  : 測定値 $a_i$ に関する確率密度関数

$\sigma_i$  : 測定値 $a_i$ に関する標準偏差値(Bq)

$\sigma_{gi}$  : 測定値 $a_i$ に関する幾何標準偏差値(Bq) (または $\sigma_{gi}$ を scattering factor (SF<sub>*i*</sub>)で表す)

となる。

与えられた測定値に対してパラメータの摂取量を様々に変えて尤度を評価したとき、最大尤度になった摂取量が与えられた測定値に最も相応しいとする方法が最尤推定法である。式(4-4)の尤度が最大となるのは、

$$\begin{aligned} \min_I \sum_i \left[ \frac{a_i - (qI)_i}{\sigma_i} \right]^2 & \quad \text{for normal} \\ \min_I \sum_i \left[ \frac{\log(a_i) - \log\{(qI)_i\}}{\log(\sigma_{gi})} \right]^2 & \quad \text{for log normal} \end{aligned} \quad (4-5)$$

となる。ここで式(4-5)を満たす摂取量 $\mathbf{I}$ を反復法により解く。試行解を $\mathbf{I}^k$  ( $k = 0, 1, \dots$ )とおくと、 $\mathbf{I}^{k+1} = \mathbf{I}^k + \delta\mathbf{I}$ となり、式(4-5)は式(4-6)に変形できる。

$$\min_I \|\hat{\mathbf{a}}_w - \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}\|^2 \quad (4-6)$$

$$\hat{\mathbf{a}}_w = \mathbf{a}_w - \mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k) + \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^k$$

ここで、

$$\mathbf{a}_w : \text{ベクトル } \mathbf{a}_w = \begin{cases} \begin{bmatrix} a_1 \\ \sigma_1 \\ \vdots \\ a_M \\ \sigma_M \end{bmatrix} & \text{for normal} \\ \begin{bmatrix} \log(a_1) \\ \log(\sigma_{g1}) \\ \vdots \\ \log(a_M) \\ \log(\sigma_{gM}) \end{bmatrix} & \text{for log normal} \end{cases}$$

$$\mathbf{G}_w(\mathbf{I}) : \text{ベクトル } \mathbf{G}_w(\mathbf{I}) = \begin{cases} \begin{bmatrix} (qI)_1 \\ \sigma_1 \\ \vdots \\ (qI)_M \\ \sigma_M \end{bmatrix} & \text{for normal} \\ \begin{bmatrix} \log\{(qI)_1\} \\ \log\{\sigma_{g1}\} \\ \vdots \\ \log\{(qI)_M\} \\ \log\{\sigma_{gM}\} \end{bmatrix} & \text{for log normal} \end{cases}$$

$$\mathbf{J}(\mathbf{I}^k) : M \times n \text{ のヤコビ行列 } \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) = \frac{\partial \mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k)}{\partial \mathbf{I}^k} = \begin{bmatrix} \frac{\partial (\mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k))_1}{\partial (\mathbf{I}^k)_1} & \dots & \frac{\partial (\mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k))_1}{\partial (\mathbf{I}^k)_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial (\mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k))_M}{\partial (\mathbf{I}^k)_1} & \dots & \frac{\partial (\mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k))_M}{\partial (\mathbf{I}^k)_n} \end{bmatrix}$$

となる。式(4-6)は、ベクトル $\hat{\mathbf{a}}_w$ とベクトル $\mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}$ の間の距離を最小にするベクトル $\mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}$ を見つけることに等しい。そのベクトルは、ベクトル $\mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}$ を構成している空間上にベクトル $\hat{\mathbf{a}}_w$ を射影したベクトルに対応する。このとき、行列 $\mathbf{J}(\mathbf{I}^k)$ の列ベクトルとベクトル $\hat{\mathbf{a}}_w - \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}$ との内積がゼロとなり、式(4-7)を満たす。

$$(\mathbf{J}(\mathbf{I}^k))^T (\hat{\mathbf{a}}_w - \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}) = \mathbf{0} \quad (4-7)$$

$$(\mathbf{J}(\mathbf{I}^k))^T \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1} = (\mathbf{J}(\mathbf{I}^k))^T \hat{\mathbf{a}}_w$$

式(4-7)の $m \times n$ のヤコビ行列 $\mathbf{J}$ は、 $m \geq n$  (測定数 $\geq$ 撮取数) のとき $m \times m$ の行列 $\mathbf{J}^T \mathbf{J}$ は逆行列を持ち、 $\mathbf{I}^{k+1}$ に関して解くことができる。しかし、 $m < n$  (測定数 $<$ 撮取数) のとき $\mathbf{J}^T \mathbf{J}$ は逆行列を持たず逆行列によって解くことができない。そこで、上記の条件に関係なく解くことが可能となる特異値分解を用いた方法[65]を適用した。

式(4-7)のヤコビ行列 $\mathbf{J}$ を特異値分解 ( $\mathbf{J} = \mathbf{U} \mathbf{S} \mathbf{V}^T$ 、 $\mathbf{J}(\mathbf{I}^k)$ を単に $\mathbf{J}$ とする) し、 $\mathbf{I}^{k+1}$ に関して次のように解くことができる。

$$\begin{aligned}
(USV^T)^T(USV^T)I^{k+1} &= (USV^T)^T\hat{\mathbf{a}}_w \\
I^{k+1} &= VS^{-1}U^T\hat{\mathbf{a}}_w \\
I^{k+1} &= \begin{cases} V[S_p^{-1} & \mathbf{0}]U^T\hat{\mathbf{a}}_w & (m > n) \\ V\begin{bmatrix} S_p^{-1} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}U^T\hat{\mathbf{a}}_w & (m < n) \\ V_p S_p^{-1} U_p^T \hat{\mathbf{a}}_w & (m = n) \end{cases} \quad (4-8)
\end{aligned}$$

ここで、

$\mathbf{S}$  :  $m \times n$  の行列

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_p \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} (m > n, p = n), \quad [\mathbf{S}_p \quad \mathbf{0}] (m < n, p = m) \text{ or } [\mathbf{S}_p] (m = n = p)$$

$$\text{対角行列 } \mathbf{S}_p = \begin{bmatrix} s_1 & & \\ & \ddots & \\ & & s_p \end{bmatrix}, \quad s_1 \geq s_2 \geq \dots \geq s_p > 0$$

$\mathbf{U}$  :  $m$  次元空間の正規直交基底の列ベクトルで構成された  $m \times m$  の行列

$\mathbf{V}$  :  $n$  次元空間の正規直交基底の列ベクトルで構成された  $n \times n$  の行列

となる。式(4-8)は、測定回数  $m$  と摂取回数  $n$  の大小関係によって場合分けされ、 $m > n$  (測定数 > 摂取数) の場合は、最小 2 乗法による解に対応する。一方、 $m < n$  (測定数 < 摂取数) の場合は、複数の解が存在し、その中から大きさが最小となる解を採用する。よって、 $m < n$  の場合の解には偏りがあり、摂取量が過小評価される可能性があることに注意しなければならない。

## 2) 測定下限値を考慮した摂取量推定

放射能測定では検出下限値 (Limit of detection : LOD) が存在し、測定された放射能が検出下限値未満のときは明確な測定値がわからない。この不明な検出下限値未満の測定値を  $a_{<LOD}$  とする。検出下限値があった場合 ( $a_j = a_{<LOD}$ ) には式(4-4)の尤度を定めることができない。そこで EPA のレポート[66]を基に、検出下限値未満であった測定結果の数が全測定数の 15% 未満である場合は、検出下限値以下の測定値を (検出下限値 ÷ 2) と仮定できるとした。ただし、ある程度の測定データ数がない場合、検出下限値未満のデータを取り扱うことはできない点に留意する必要がある。

## 3) 摂取量の信頼区間

式(4-8)により求められた摂取量  $\mathbf{I}$  の不確かさは、共分散行列  $\text{Cov}(\mathbf{I})$  より求めることができる。ここで  $\hat{\mathbf{a}}_w$  は、式(4-6)の第 2 項と第 3 項について、収束後は定数と見なせるため、 $\text{Cov}(\hat{\mathbf{a}}_w) = \text{Cov}(\mathbf{a}_w)$  となる。今、ベクトル  $\mathbf{a}_w$  の各成分 (測定値) は統計的に独立である仮定していることから、 $\text{Cov}(\mathbf{a}_w)$  は分散を対角成分とする対角行列となり、 $\mathbf{a}_w$  の定義を考慮すれば単位行列となる。したがって  $\text{Cov}(\mathbf{I})$  は、

$$\begin{aligned}
\text{Cov}(\mathbf{I}) &= \text{Cov}(VS^{-1}U^T\hat{\mathbf{a}}_w) \\
&= (VS^{-1}U^T)\text{Cov}(\hat{\mathbf{a}}_w)(VS^{-1}U^T)^T \\
&= (VS^{-1}U^T)(VS^{-1}U^T)^T
\end{aligned} \quad (4-9)$$

となり、摂取量の推定値の 95% 信頼区間は、

$$\begin{aligned}
& I_i \pm 1.96 \times \sqrt{(\text{Cov}(\mathbf{I}))_{ii}} && \text{for normal} \\
& \exp \left[ \log I_i \pm 1.96 \times \sqrt{\log(\text{Cov}(\mathbf{I}))_{ii}} \right] && \text{for log normal}
\end{aligned}
\tag{4-10}$$

となる。

#### 4.3.2 摂取量推定に関するプログラム開発

4.3.1 項で示した最尤法による摂取量推定法に基づいた計算コードを Java 言語で開発した。図 4-1 に開発コードの処理フローを示す。処理を開始する前に、摂取量推定を行うのに必要な計算条件として、体内放射能測定値、その測定値の偏差値タイプ（なし、正規分布、対数正規分布）と偏差値、検出下限値及び単位摂取の体内放射能予測値を入力する。始めに、検出下限値以下の測定値があった場合は、体内放射能測定値を検出下限値の半分に置換する。次に、処理した体内放射能測定値ベクトル、偏差値ベクトル及び単位摂取の体内放射能予測値行列を用いて摂取量を推定する。摂取量は初期値を 0.01 として、ヤコビ行列の特異値分解、摂取量及び分散を反復計算する。収束判定は、絶対残差のノルムが  $10^{-5}$  以下に設定した。最後に収束した摂取量と分散から摂取量の 95%信頼区間を算出する。特異値分解の計算には、Java 言語で開発された la4j ver. 0.6.0 [67]を利用した。

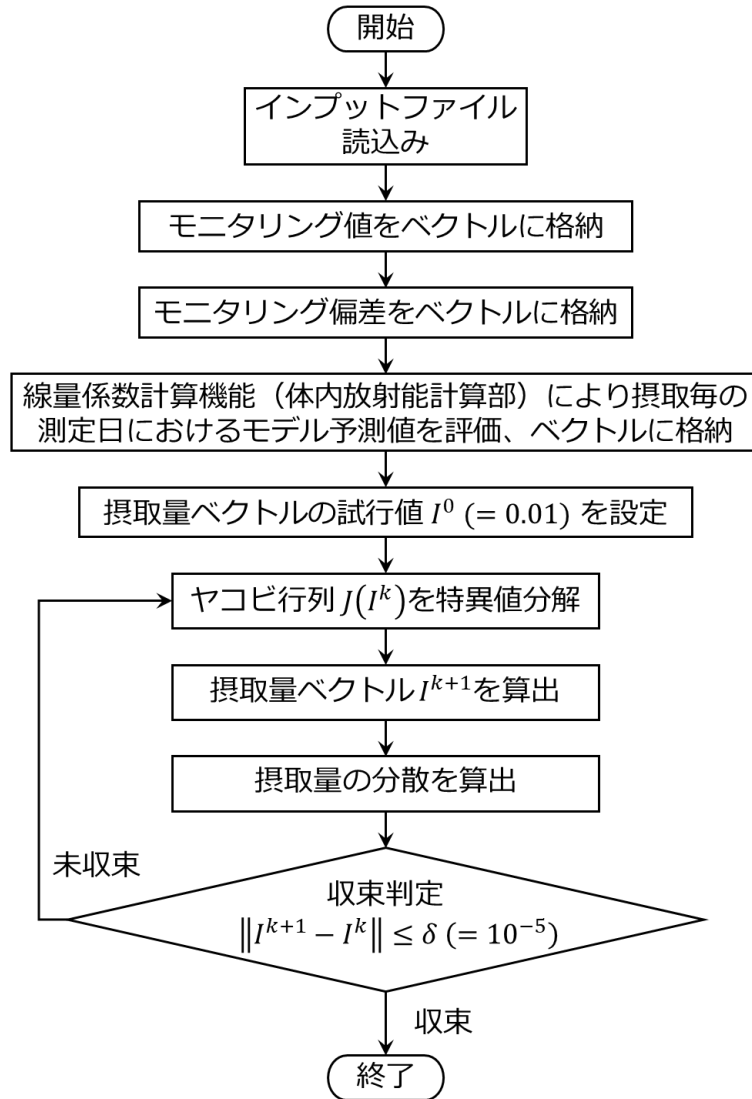


図 4-1 摂取量推定コードの処理フロー

#### 4.4 試計算

##### 4.4.1 仮定した摂取パターンに対する試計算

開発した基本機能プログラムの動作確認のため、欧州線量評価委員会（EURADOS）が行った摂取量推定事例[68]及びIMBAの例題[64]を題材に、試計算を行った。試計算では、モニタリング値と、単位放射能摂取を仮定したときのモニタリング実施日におけるモデル予測値を入力値とした。IMBA ver. 5.0.0による評価も併せて実行し、開発プログラムとIMBAによる評価結果を相互比較した。なお、IMBAと開発コードでは体内放射能計算手法が異なるため、モデル予測値はIMBAによる評価値を入力値とした。

##### 1) 複数回の急性摂取事例

複数回の急性摂取の事例として、作業による $^{137}\text{Cs}$ の2回の経口摂取に対するモニタリングを試計算対象とした。本事例の摂取量推定条件、モニタリング値及びモデル予測値を、それぞれ表4-2及び表4-3に示す。このケースは測定数が摂取回数より多いため、摂取量推定で測定値にフィッティングした1つの推定結果が得られる。測定値の不確かさは対数正規分布で与えられているため、反復して摂取量を算出することとなる。

本事例について、開発プログラムとIMBAを用いて摂取量推定した結果、及びEURADOSによる評価値を表4-4に示す。開発プログラムの計算結果は、IMBAによる推定結果及びEURADOSの評価値と良く一致した。

表 4-2  $^{137}\text{Cs}$  摂取事例の摂取量推定条件

項目	条件
評価対象者	作業員（35歳男性）
核種	$^{137}\text{Cs}$
摂取経路	経口摂取
摂取日	1回目：0日、2回目：38日
モニタリング対象	全身放射能

表 4-3  $^{137}\text{Cs}$  全身放射能のモニタリング値とモデル予測値

測定日 (d)	モニタリング		1 Bq 摂取時のモデル予測値 (Bq)	
	測定値 (Bq)	幾何偏差	1回目	2回目
1	8.8E+04	1.2	9.8754E-01	—
8	6.0E+04	1.2	8.6968E-01	—
17	9.3E+04	1.2	8.1296E-01	—
30	8.3E+04	1.2	7.4803E-01	—
46	4.8E+05	1.2	6.7560E-01	8.6968E-01
50	4.6E+05	1.2	6.5862E-01	8.4113E-01
60	4.4E+05	1.2	6.1801E-01	7.8717E-01



表 4-4  $^{137}\text{Cs}$  摂取事例に対する摂取量推定結果

摂取日 (d)	開発プログラム (Bq)	IMBA (Bq)	EURADOS (Bq)
0	9.3988E+04	9.399E+04	9.3988E+04
38	4.7910E+05	4.791E+05	4.7911E+05

2) 検出下限値以下というモニタリング値を含む事例

モニタリングの結果検出下限値であったことを考慮する事例として、作業員による  $^{238}\text{Pu}$  の吸入摂取に対する尿排泄率測定[64]を試計算対象とした。本事例の摂取量推定条件、モニタリング値及びモデル予測値を、それぞれ表 4-5 及び表 4-6 に示す。本事例は、モニタリング期間が約 6300 日と長く、48 個のモニタリング値のうち最初の 4 回は検出下限値以下である。

開発プログラムと IMBA を用いて摂取量推定した結果を表 4-7 に示す。開発プログラムの計算結果は、IMBA による推定結果と良く一致した。

表 4-5  $^{238}\text{Pu}$  摂取事例の摂取量推定条件

項目	条件
評価対象者	作業員
核種	$^{238}\text{Pu}$
摂取経路	吸入摂取 (AMAD = 5 $\mu\text{m}$ )
摂取日	0 日
モニタリング対象	尿中排泄率

表 4-6  $^{238}\text{Pu}$  尿中排泄率のモニタリング値とモデル予測値

測定日 (d)	モニタリング		モデル予測値 (Bq)
	測定値 (Bq)	幾何偏差	
2	ND	1.8	1.2948E-09
3	ND	1.8	1.8116E-09
4	ND	1.8	2.3745E-09
76	ND	1.8	3.7766E-08
123	0.160	1.8	5.7706E-08
150	0.070	1.8	6.8911E-08
186	0.070	1.8	8.3486E-08
209	0.100	1.8	9.2515E-08
264	0.160	1.8	1.1301E-07
283	0.180	1.8	1.1970E-07
293	0.200	1.8	1.2314E-07
328	0.310	1.8	1.3469E-07
359	0.230	1.8	1.4433E-07
387	0.260	1.8	1.5255E-07
415	0.200	1.8	1.6033E-07
506	0.370	1.8	1.8272E-07
593	0.230	1.8	2.0038E-07
685	0.240	1.8	2.1561E-07
776	0.240	1.8	2.2767E-07
870	0.330	1.8	2.3744E-07
964	0.310	1.8	2.4490E-07
1048	0.350	1.8	2.4988E-07
1143	0.370	1.8	2.5390E-07
1231	0.580	1.8	2.5632E-07
1293	0.210	1.8	2.5736E-07
1481	0.430	1.8	2.5787E-07
1668	0.410	1.8	2.5536E-07
1847	0.440	1.8	2.5102E-07
2027	0.350	1.8	2.4541E-07
2123	0.160	1.8	2.4208E-07
2212	0.210	1.8	2.3883E-07
2212	0.160	1.8	2.3883E-07
2575	0.220	1.8	2.2484E-07
2689	0.280	1.8	2.2038E-07
2881	0.120	1.8	2.1296E-07
3100	0.280	1.8	2.0474E-07
3244	0.290	1.8	1.9954E-07
3446	0.270	1.8	1.9254E-07
3612	0.270	1.8	1.8707E-07
3805	0.270	1.8	1.8103E-07
3988	0.200	1.8	1.7563E-07
4329	0.180	1.8	1.6635E-07
4701	0.450	1.8	1.5731E-07
4831	0.210	1.8	1.5439E-07
5192	0.360	1.8	1.4687E-07
5560	0.270	1.8	1.3999E-07
5924	0.330	1.8	1.3384E-07
6294	0.230	1.8	1.2817E-07

表 4-7  $^{238}\text{Pu}$  摂取事例に対する摂取量推定結果

摂取日 (d)	開発プログラム (Bq)	IMBA (Bq)
0	1.272E+06	1.282E+06

#### 4.4.2 体内放射能及び排泄物中放射能の経時変化

平成 29 年度事業において、単位放射能の 1 回の急性摂取に対する体内放射能及び排泄物中放射能の経時変化出力機能について検証した[18]。一方、核種摂取量推定機能では、複数回の急性摂取及び慢性摂取についても放射能の経時変化が評価できる必要がある。なお、慢性摂取は日単位の摂取量を該当日の開始時に摂取したと近似するため、複数回の急性摂取と取扱いは同じである。そこで、複数の急性摂取に対しても、体内放射能及び排泄物中放射能の経時変化を出力する機能を開発した。

複数回の急性摂取に対する体内放射能及び排泄物中放射能の経時変化は、まず単位放射能摂取時の経時変化を評価し、これに摂取した時期毎の摂取量を乗じて摂取時期の間隔だけシフトさせた各経時変化を足し合わせることで得ることとした。

表 4-4 に示す  $^{137}\text{Cs}$  摂取条件に対する全身放射能 (Bq) 及び尿中排泄率 (Bq/d) の経時変化の評価結果を、図 4-2 に示す。図に示すように、本機能は 2 回の急性摂取に対する放射能の経時変化を評価できた。

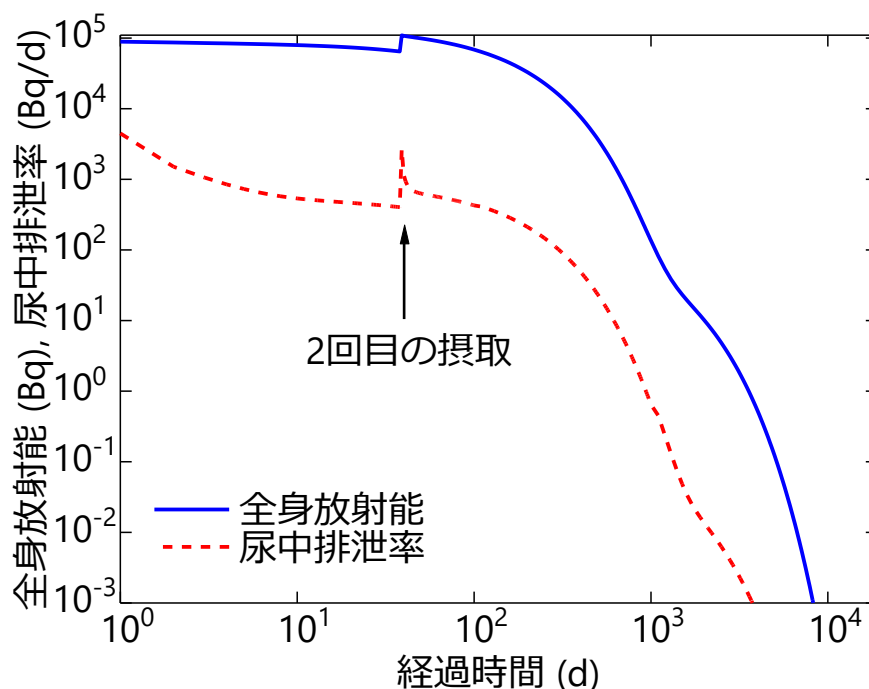


図 4-2  $^{137}\text{Cs}$  複数回摂取時の全身放射能及び尿中排泄率

#### 4.5 核種摂取量推定機能の開発のまとめ

全身カウンタやバイオアッセイ法により得た体内の放射性核種残留量（放射能）に基づく線量評価において、摂取した放射性核種の量（放射能）を推定することが最も重要となる。今年度は、この摂取した放射性核種の量を推定するための計算手法を開発し、そのプログラムを実装することを最大の目標とした。

この計算手法の開発においては、昨年度の既存コードの調査結果に基づいて抽出した数値解析法の中から、最尤推定法の活用を検討した。この推定法では、測定値に対してパラメータとなる摂取量を変化させた際の尤度を評価し、これが最大となった摂取量が与えられる測定値を最適と判断して摂取量を推定する。この手法を採用するにあたっては、実際の適用における課題を抽出し、検出下限値のデータを参照する手法なども検討した。最終的には、開発コードのメイン言語で、これら进行处理できるプログラムを開発した。また、限定的であるが、いくつかの例題により、開発したプログラムの検証を目的とした試計算を行い、その信頼性を確認した。

他、平成 29 年度の事業の研究評価において、広い多角的な観点から当該機能に関するニーズを聴取することが指摘された。そこで、緊急被ばく医療に関係する大学や研究機関において、当該機能に関する意見交換を行った。聴取した意見の中には、昨年度に原子力機構内での意見交換で得たものと同様なものが多くある一方、特に緊急時における評価に必要な条件設定などの情報が含まれていた。これらの意見は、基本機能の開発方針、解析手法の選択に影響はない一方、次年度の実施予定の GUI 開発等で有益となるものであり、今後のコード完成へ向けた研究開発へ反映させる予定である。

## 第5章 あとがき

平成 29 年度からの 4 か年計画で、ICRP の 2007 年勧告に従う新しい線量評価モデルやデータに基づき、内部被ばく線量を導出できるコードの開発に関する研究に取り組んでいる。開発するコードは、国内の放射線規制への 2007 年勧告の取入れにおける実効線量係数の検証、緊急時や平常時のモニタリングに基づく被ばく線量評価での活用を目的としている。平成 30 年度は、コードの基本機能となる線量係数計算機能及び核種摂取量推定機能の開発を進め、線量係数計算機能の設計を完了し、モニタリングデータに基づいて核種の摂取量を推定する基本機能の完成を目標とした。

線量係数計算機能については、平成 29 年度の事業で OIR part 2 (ICRP Publ. 134) で示された実効線量係数を正確に導出することを確認し、基本となる基本機能の妥当性を検証した。今年度は、平成 30 年 1 月に公開された OIR part 3 (ICRP Publ. 137) へ対応するための改良を行い、今後公開されるデータの実装を効率的に遂行するための機能の設計を行った。ここで、新規データの取込みに関する検討において、OIR part 3 への対応で得た知見や経験を反映した。今後公開されるデータの中では、全身における核種の動態を表す組織系動態モデルの実装が大きな課題となる。今年度の事業において、核種の移行を表現するコンパートメント（臓器や組織）名を ID 番号で認識し、先行事業で選定した XML 形式によりモデルの内容を含むファイルを作成することを決定した。さらに、日本人パラメータの読み込み方法を決定し、1990 年勧告に準拠するモデルやデータの実装を含め、データファイルを配置する設計を完了した。また、OIR part 3 では、ウラン系列やトリウム系列に含まれる元素の組織系動態モデル等も公開された。これらの元素に含まれる核種を摂取した場合、体内での壊変により同じ元素の核種が生成し、摂取核種と子孫核種を区別する必要性などの課題を確認した。これら課題を解決するため、線量計算機能のアルゴリズム改良を行い、OIR part 3 で公開された実効線量係数を正確に導出することを検証した。今後、組織系動態モデルが公開された場合、アルゴリズム改良が必要となる可能性もあるが、これまでに構築した機能に基づいて、今年度の経験を活用することで、線量係数計算機能を継続的にアップデートすることに大きな問題は生じないと考える。

核種摂取量推定機能については、昨年度の調査結果に基づいてモニタリングデータより、最尤推定法を用いて、摂取量を推定するという基本機能を開発した。これにより、体外計測法（全身、肺、甲状腺の計測）やバイオアッセイ法（尿、糞の計測）で得たモニタリング結果より、最適な摂取量を推定可能となった。また、種々の摂取パターン、検出下限値が一部含まれる条件への対応も可能とし、実際のニーズに合致する基本機能が完成したと考える。今年度は、いくつかの例題に対する試算を進めたが、次年度の前半において、更なる検証を進める予定である。また、昨年度の研究評価委員会での指摘を受けて、原子力機構以外の大学や研究機関で緊急被ばく医療に携わる専門家との意見交換により、当該機能のニーズ等を聴取することができた。昨年度に原子力機構内の専門家から聴取したものとほぼ同じ内容の意見も多くあった一方、緊急時対応や公衆への説明等の観点からも有益な意見を聴取することができた。来年度、これらの意見を反映してユーザーが計算条件を GUI で設定する方法を

決定する。

平成 31 年度は、核種摂取量推定機能の信頼性を確証したうえで、コードの操作性や利便性の向上を図るため、計算条件を設定する GUI や結果を効果的に表示する機能等を開発する。その後、全機能を統合してコードβ版を開発し、その完成をマイルストーン（目標）として設定する。ここで、β版の開発においては、1990 年勧告及び 2007 年勧告に準拠する実効線量係数の差異の要因分析における線量係数計算機能の活用等の検証も進めていく予定である。他、今後のコード開発、今後の放射線規制の見直しに関する進捗にも影響を与える ICRP の動向については、引き続き調査し、その結果は進捗状況と同様に PO 会合などで報告する。さらに、将来的なコードの普及を鑑みて、学会発表などで内部被ばくに携わる専門家に成果を周知するとともに、開発後の普及対策（講習会開催）の戦略も検討する予定である。

## 参考文献

- [1] 原子力規制委員会, 原子力規制委員会における安全研究の基本方針,  
<https://www.nsr.go.jp/data/000158682.pdf> (最終アクセス日:平成 31 年 3 月 15 日) .
- [2] 原子力規制庁, 「平成 29 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費」の実施について,  
<http://www.nsr.go.jp/data/000185157.pdf> (最終アクセス日:平成 31 年 3 月 15 日) .
- [3] 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律(昭和三十二年法律第百六十七号) .
- [4] ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP **21** (1–3) (1991).
- [5] ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann. ICRP **37** (2–4) (2007).
- [6] 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(平成十年科学技術庁告示第五号) .
- [7] 原子力規制庁, 平成 29 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費の採択結果について,  
<http://www.nsr.go.jp/data/000196751.pdf> (最終アクセス日:平成 31 年 3 月 15 日) .
- [8] 日本原子力研究所, 原子力発電施設等内部被ばく評価技術報告書, 2000 年 3 月 (2000).
- [9] 日本原子力研究開発機構, ICRP (国際放射線防護委員会) 技術的基準等の整備(計算コードの開発), 平成 21 年度原子力利用安全対策等 委託業務成果報告書, 平成 22 年 3 月 (2010).
- [10] 日本原子力研究開発機構, ICRP (国際放射線防護委員会) 技術的基準等の整備(計算コードの開発), 平成 22 年度原子力利用安全対策等 委託業務成果報告書, 平成 23 年 3 月 (2011).
- [11] 日本原子力研究開発機構, ICRP (国際放射線防護委員会) 技術的基準等の整備(計算コードの整備), 平成 23 年度原子力利用安全対策等 委託業務成果報告書, 平成 24 年 3 月 (2012).
- [12] 日本原子力研究開発機構, 平成 24 年度原子力利用安全対策等委託事業 平成 24 年度 ICRP (国際放射線防護委員会) 技術的基準等の整備(計算コードの整備) 委託業務成果報告書, 平成 25 年 3 月 (2013).
- [13] 日本原子力研究開発機構, 平成 25 年度原子力利用安全対策等業務委託費(ICRP (国際放射線防護委員会) 技術的基準等の整備) 事業 委託業務成果報告書, 平成 26 年 3 月 (2014).
- [14] 日本原子力研究開発機構, 平成 26 年度放射線対策委託費(国際放射線防護委員会(ICRP) 勧告を踏まえた放射線障害防止に関する技術的基準等の整備) 事業 委託業務成果報告書, 平成 27 年 3 月 (2015).
- [15] 波戸 真治, 本間 俊充, 原子炉事故時放射線影響解析で用いるための内部被曝線量係数,

- 日本原子力研究所, JAERI-Data/Code 2005-006 (2005).
- [16] 木村 仁宣, 木名瀬 栄, 波戸 真治, 慢性摂取による内部被ばく線量評価コードの開発, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Data/Code 2012-027 (2012).
- [17] O. Kurihara, S. Hato, K. Kanai, C. Takada, K. Takasaki, K. Ito, H. Ikeda, M. Oeda, N. Kurosawa, K. Fukutsu, Y. Yamada, M. Akashi and T. Momose, REIDAC—A Software Package for Retrospective Dose Assessment in Internal Contamination with Radionuclides, *J. Nucl. Sci. Technol.* **44** (10) 1337–1346 (2007).
- [18] 日本原子力研究開発機構, 平成 29 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費 (内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究) 事業成果報告書, 平成 30 年 3 月 30 日 (2018).
- [19] W.E. Bolch, D. Jokisch, M. Zankl, K.F. Eckerman, T. Fell, R. Manger, A. Endo, J. Hunt, K.P. Kim and N. Petoussi-Henss, The ICRP Computational Framework for Internal Dose Assessment for Reference Adults: Specific Absorbed Fractions. ICRP Publication 133, *Ann. ICRP* **45** (2) (2016).
- [20] F. Paquet, M.R. Bailey, R.W. Leggett, J. Lipsztein, T.P. Fell, T. Smith, D. Nosske, K.F. Eckerman, V. Berkovski, E. Ansoborlo, A. Giussani, W.E. Bolch and J.D. Harrison, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134, *Ann. ICRP* **45** (3/4) (2016).
- [21] F. Paquet, M.R. Bailey, R.W. Leggett, J. Lipsztein, J. Marsh, T.P. Fell, T. Smith, D. Nosske, K.F. Eckerman, V. Berkovski, E. Blanchardon, D. Gregoratto and J.D. Harrison, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137, *Ann. ICRP* **46** (3/4) (2017).
- [22] ICRP, Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. ICRP Publication 89, *Ann. ICRP* **32** (3–4) (2002).
- [23] ICRP, Human Alimentary Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 100, *Ann. ICRP* **36** (1–2) (2006).
- [24] ICRP, Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107, *Ann. ICRP* **38** (3) (2008).
- [25] F. Paquet, G. Etherington, M.R. Bailey, R.W. Leggett, J. Lipsztein, W. Bolch, K.F. Eckerman and J.D. Harrison, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130, *Ann. ICRP* **44** (2) (2015).
- [26] M. Tirmarche, J.D. Harrison, D. Laurier, F. Paquet, E. Blanchardon and J.W. Marsh, Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, *Ann. ICRP* **40** (1) (2010).
- [27] K. Manabe, K. Sato and A. Endo, Comparison of Internal Doses Calculated Using the Specific Absorbed Fractions of the Average Adult Japanese Male Phantom with Those of the Reference Computational Phantom-adult Male of ICRP Publication 110, *Phys. Med. Biol.* **59** 1255–1270 (2014).
- [28] K. Manabe, K. Sato and F. Takahashi, Estimating Internal Dose Coefficients of Short-lived Radionuclides in Accordance with ICRP 2007 Recommendations, *J. Nucl. Sci. Technol.* doi:



10.1080/00223131.2019.1585988 (2019).

- [29] ICRP, Report of the Task Group on Reference Man. ICRP Publication 23, Pergamon Press, Oxford (1975).
- [30] M. Cristy and K.F. Eckerman, Specific Absorbed Fractions of Energy at Various Ages from Internal Photon Sources. I. Methods, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-8381/V1 (1987).
- [31] ICRP, Radionuclide Transformations - Energy and Intensity of Emissions. ICRP Publication 38, Ann. ICRP **11–13** (1983).
- [32] ICRP, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66, Ann. ICRP **24** (1–3) (1994).
- [33] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Part 1), Ann. ICRP **2** (3–4) (1979).
- [34] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Part 2), Ann. ICRP **4** (3–4) (1980).
- [35] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Part 3), Ann. ICRP **6** (2–3) (1981).
- [36] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers: An Addendum. ICRP Publication 30 (Part 4), Ann. ICRP **19** (4) (1988).
- [37] ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 1. ICRP Publication 56, Ann. ICRP **20** (2) (1990).
- [38] ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 2 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67, Ann. ICRP **23** (3–4) (1993).
- [39] ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 3 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 69, Ann. ICRP **25** (1) (1995).
- [40] ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 4 Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 71, Ann. ICRP **25** (3–4) (1995).
- [41] M. Cristy and K.F. Eckerman, SEECAL: Program to Calculate Age-dependent Specific Effective Energies, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-12351 (1993).
- [42] L.T. Dillman and T.D. Jones, Internal Dosimetry of Spontaneously Fissioning Nuclides, Health Phys. **29**, 111–123 (1975).
- [43] K.F. Eckerman, R.W. Leggett, M. Cristy, C.B. Nelson, J.C. Ryman, A.L. Sjoreen and R.C. Ward, User's Guide to the DCAL System, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-2001/190 (2006).
- [44] ICRP, Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110, Ann. ICRP **39** (2) (2009).
- [45] K. Manabe, A. Endo and K.F. Eckerman, Impact of the New Nuclear Decay Data of ICRP Publication 107 on Inhalation Dose Coefficients for Workers, Radiat. Prot. Dosim. **138** (3) 245–

250 (2010).

- [46] K. Sato, F. Takahashi, D. Satoh and A. Endo, Construction of Average Adult Japanese Voxel Phantoms for Dose Assessment, Japan Atomic Energy Agency, JAEA-Data/Code 2011-013 (2011).
- [47] 真辺 健太郎, 佐藤 薫, 高橋 史明, 平均的成人日本人男性ファントムを用いた光子及び電子比吸収割合の評価, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Data/Code 2014-017 (2014).
- [48] 真辺 健太郎, 佐藤 薫, 高橋 史明, 平均的成人日本人女性ファントムを用いた光子及び電子比吸収割合の評価, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Data/Code 2016-013 (2016).
- [49] 佐藤 薫, 真辺 健太郎, 遠藤 章, 平均的成人日本人ボクセルファントムの光子比吸収割合への適用, *RADIOISOTOPES* **61** 315–320 (2012).
- [50] 瀧上 誠, 糠沢 敦, トリチウム取扱作業に伴う空気中および作業者の尿中トリチウム濃度, *保健物理* **8** 221–227 (1973).
- [51] 斎藤 宏, 全身測定法による鉄の吸収と排出, *核医学* **2** (3–4) 136–138 (1965).
- [52] M. Uchiyama, G. Tanaka and S. Akiba, Radioiodine Retention by 2 Japanese Male Adults After A Single Oral Dose, *J. Radiat. Res.* **23** 358–370 (1982).
- [53] M. Uchiyama, Estimation of <sup>137</sup>Cs Body Burden in Japanese II. The Biological Half-life, *J. Radiat. Res.* **19** 246–261 (1978).
- [54] 日本原子力研究所, 原子力発電施設等内部被ばく評価技術報告書, 1999年3月 (1999).
- [55] 原子力委員会, 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針について, [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/nc/t19760928001/t19760928001.html](http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/t19760928001/t19760928001.html) (最終アクセス日:平成31年3月15日) .
- [56] ICRP, Report of Committee IV on Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues From Internal Contamination due to Occupational Exposure. ICRP Publication 10, Pergamon Press, Oxford (1968).
- [57] 吉沢 康雄, 草間 朋子, 日本人の甲状腺に関する正常値について, *保健物理* **11** 123–128 (1976).
- [58] G. Tanaka, H. Kawamura and Y. Nakahara, Reference Japanese Man-I. Mass of Organs and Other Characteristics of Normal Japanese, *Health Phys.* **36** 333–346 (1979).
- [59] 外川 織彦, 放射性ヨウ素の摂取に関する日本人の内部被ばく線量換算係数の試算, *保健物理* **27** 27–32 (1992).
- [60] ICRP, Paediatric Reference Computational Phantoms (Draft, 6 August, 2018), <http://www.icrp.org/docs/TG96%20Draft%20Report%20for%20Public%20consultation%202018-08-06.pdf> (最終アクセス日:平成31年3月15日) .
- [61] ICRP, Update on Dose Coefficients for Internal Exposures to Workers and the Public, <http://www.icrp.org/page.asp?id=390> (最終アクセス日:平成31年3月15日) .

- [62] ICRP, Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 68, Ann. ICRP **24** (4) (1994).
- [63] N. Ishigure, M. Matsumoto, T. Nakano and H. Enomoto, Development of Software for Internal Dose Calculation from Bioassay Measurements, Radiat. Prot. Dosim. **109** (3) 235–242 (2004).
- [64] A.C. James, A. Birchall, J.W. Marsh and M. Puncher. User Manual for IMBA Professional Plus (Version 4.0), ACJ & Associates, Inc., Radiation Protection Division Health Protection Agency (2005).
- [65] 波戸 真治, 木名瀬 栄, 特異値分解を用いた放射性核種の摂取量推定, 日本原子力学会和文論文誌 **15** (3) 146–150 (2016).
- [66] EPA, Guidance for Data Quality Assessment, Environmental Protection Agency, EPA QA/G-9 QA00 Update (2000).
- [67] V. Kostikov, Linear Algebra for Java: la4j, <http://la4j.org/> (最終アクセス日 : 平成 31 年 3 月 15 日) .
- [68] C.M. Castellani, J.W. Marsh, C. Hurtgen, E. Blanchardon, P. Berard, A. Giussani and M.A. Lopez, IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data, European Radiation Dosimetry Group e. V., EURADOS Report 2013-01 (2013).



付録-1 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) と OIR シリーズで考慮されている放射性同位元素の種類 (化学形等)

1) 水素

付表 1-1 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -H-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
元素状水素	可溶性または反応性ガス	吸入
メタン	ガスまたは蒸気	吸入
水	可溶性または反応性ガス	吸入
有機物 (メタンを除く)	可溶性または反応性ガス	吸入
上記を除く化合物	粒子 (Type M)	吸入
水	$f_i = 1.0^*$	経口
有機物 (メタンを除く)	$f_i = 1.0$	経口
上記を除く化合物	$f_i = 1.0^*$	経口

\*水の経口摂取は、すぐに体全体に行き渡るという仮定に基づいており、ICRP Publ. 68 では  $f_i = 1.0$  と記載されているが、実際には小腸内容物→血液という経路は考慮されていない。これを除く経口摂取は、消化管を通じて  $f_i = 1$  (i.e. 0.99) で血液に吸収されるという計算である。

付表 1-2 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -H-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
トリチウム水 (蒸気)	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入
トリチウムガス	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入
トリチウムメタン	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入
特定されないガスまたは蒸気 (特定されない有機化合物蒸気を含む)	ガスまたは蒸気 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入
有機結合トリチウム (OBT)	粒子 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入
トリチウム吸蔵 $\text{LaNi}_{4.25}\text{Al}_{0.75}$	粒子 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入
ガラス破片、発光塗料、トリチウム化チタン、トリチウム化ジルコニウム、全ての特定されていない化合物	粒子 (Type M), $f_A = 0.2$	吸入
トリチウム化炭素、トリチウム化ハフニウム	粒子 (Type S), $f_A = 0.01$	吸入
可溶性物質 (有機結合トリチウム及びトリチウム吸蔵 $\text{LaNi}_{4.25}\text{Al}_{0.75}$ )	$f_A = 0.99$	経口
生体物質	$f_A = 0.99$	経口
難溶性物質 (ガラス破片、発光塗料、トリチウム化チタン、トリチウム化ジルコニウム、全ての特定されない化合物、トリチウム化炭素、トリチウム化ハフニウム)	$f_A = 0.1$	経口

2) 炭素

付表 1-3 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -C-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
蒸気	可溶性または反応性ガス	吸入
一酸化物	可溶性または反応性ガス	吸入
二酸化物	可溶性または反応性ガス	吸入
メタン	ガスまたは蒸気	吸入
有機物 (経口)	$f_i = 1.0$	経口

付表 1-4 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -C-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
一酸化物	ガスまたは蒸気(Type V)	吸入
二酸化物	ガスまたは蒸気(Type V)	吸入
メタン	ガスまたは蒸気(Type V)	吸入
特定されないガスまたは蒸気	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
炭酸バリウム	粒子(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
全ての特定されない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.2$	吸入
元素状炭素、トリチウム化炭素	粒子(Type S), $f_A = 0.01$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.99$	経口

3) リン

付表 1-5 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -P-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
Sn のリン酸塩以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
Sn のリン酸塩	粒子(Type M)	吸入
Sn のリン酸塩以外の化合物	$f_i = 0.8$	経口
Sn のリン酸塩	$f_i = 0.8$	経口

付表 1-6 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -P-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
リン酸ナトリウム (リン酸ソーダ)	粒子(Type F), $f_A = 0.8$	吸入
リン酸イットリウム、リン酸スズ、リン酸亜鉛、 全ての特定されない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.16$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.008$	吸入
全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.8$	経口

4) 硫黄

付表 1-7 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -S-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_1$ 値等	摂取経路
蒸気 (二酸化硫黄を含む)	可溶性または反応性ガス	吸入
二硫化炭素	ガスまたは蒸気	吸入
H、Li、Na、Mg、Al、Si、P、K、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Ga、Rb、Sr、Zr、Tc、Ru、Rh、Pd、In、Te、I、Cs、Ba、La、Gd、Hf、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Tl、Pb、Po、Fr、Ac の硫化物と硫酸塩、Cu の無機化合物の硫酸塩、Ge、Mo、Ag、Cd、Sn の硫酸塩、Se の無機化合物の硫化物と硫酸塩、Hg の無機化合物の硫酸塩、Hg の有機化合物の硫化物と硫酸塩及び大部分の六価のウラン化合物の硫化物と硫酸塩	粒子(Type F)	吸入
元素状硫黄 [吸入摂取]、Be、Ca、Sc、Co、Zn、As、Y、Nb、Sb、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Ta、Bi、Ra、Th、Pa、Np、Pu、Am、Cm、Bk、Cf、Es、Fm、Md の硫化物と硫酸塩、Cu の無機化合物の硫化物、Ge、Mo、Ag、Cd、Sn の硫化物、Hg の無機化合物の硫化物及び難溶性、不溶性のウラン化合物の硫化物と硫酸塩	粒子(Type M)	吸入
元素状硫黄	$f_1 = 0.100$	経口
元素状以外の無機化合物	$f_1 = 0.800$	経口
食品中の硫黄	$f_1 = 1.000$	経口
上記を除く化合物		経口

付表 1-8 OIR シリーズの放射性同位元素の種類（化学形） -S-

種類（化学形）	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
二酸化硫黄、二硫化炭素、硫化水素、硫化カルボニル、他の特定されない無機ガス、蒸気	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
他の有機ガス	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
硫酸セシウム、硫酸ニッケル、硫酸ストロンチウム及び硫酸トリウム	粒子(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
硫酸バリウム、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.2$	吸入
数値のみ（化学形等なし）	粒子(Type S), $f_A = 0.01$	吸入
特定されていない無機、有機化合物	$f_A = 0.99$	経口
元素状硫黄及びチオ硫酸塩	$f_A = 0.1$	経口

## 5) カルシウム

付表 1-9 告示別表第 2（ICRP Publ. 68）の放射性同位元素の種類（化学形） -Ca-

種類（化学形）	吸収タイプ、 $f_1$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type M)	吸入
全ての化合物	$f_1 = 0.3$	経口

付表 1-10 OIR シリーズの放射性同位元素の種類（化学形） -Ca-

種類（化学形）	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化カルシウム	粒子(Type F), $f_A = 0.4$	吸入
全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.08$	吸入
数値のみ（化学形等なし）	粒子(Type S), $f_A = 0.004$	吸入
全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.4$	経口



## 6) 鉄

付表 1-11 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Fe-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物及びハロゲン化物以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物及びハロゲン化物	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物及びハロゲン化物以外の化合物	$f_i = 0.100$	経口
酸化物、水酸化物及びハロゲン化物	$f_i = 0.100$	経口

付表 1-12 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Fe-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.1$	吸入
過塩化鉄、酸化鉄、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.02$	吸入
腐食生成物	粒子(Type S), $f_A = 0.001$	吸入
全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.1$	経口

## 7) コバルト

付表 1-13 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Co-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	粒子(Type S)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩以外の化合物	$f_i = 0.100$	経口
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	$f_i = 0.050$	経口

付表 1-14 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Co-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
硝酸コバルト、塩化コバルト	粒子(Type F), $f_A = 0.1$	吸入
全ての特定されていない化合物	粒子(Type M), $f_A = 0.02$	吸入
結合アルミノケイ酸塩 (FAP)、ポリスチレン (PSL)、酸化物	粒子(Type S), $f_A = 0.004$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.1$	経口
不溶性酸化物	$f_A = 0.05$	経口

## 8) 亜鉛

付表 1-15 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Zn-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type S)	吸入
全ての化合物	$f_i = 0.500$	経口

付表 1-16 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Zn-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
酸化物、クロム酸塩	粒子(Type F), $f_A = 0.5$	吸入
硝酸塩、リン酸塩亜鉛、全ての特定されない化合物	粒子(Type M), $f_A = 0.1$	吸入
腐食生成物	粒子(Type S), $f_A = 0.005$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.5$	経口

## 9) ストロンチウム

付表 1-17 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Sr-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
チタン酸ストロンチウム以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
チタン酸ストロンチウム	粒子(Type S)	吸入
チタン酸ストロンチウム以外の化合物	$f_i = 0.3$	経口
チタン酸ストロンチウム	$f_i = 0.010$	経口

付表 1-18 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Sr-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化ストロンチウム、硫酸ストロンチウム、炭酸ストロンチウム	粒子(Type F), $f_A = 0.25$	吸入
全ての特定されていない化学形、燃料破片	粒子(Type M), $f_A = 0.05$	吸入
結合アルミノケイ酸塩 (FAP)、ポリスチレン (PSL)、チタン酸ストロンチウム	粒子(Type S), $f_A = 0.0025$	吸入
チタン酸ストロンチウム	$f_A = 0.01$	経口
他の全ての化学形	$f_A = 0.25$	経口

10) イットリウム

付表 1-19 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Y-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物及び水酸化物以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
酸化物及び水酸化物以外の化合物	$f_i = 1.0E-4$	経口
酸化物及び水酸化物	$f_i = 1.0E-4$	経口

付表 1-20 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Y-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化物を含む水溶性化合物	粒子(Type F), $f_A = 1.0E-4$	吸入
酸化物、リン酸塩、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 2.0E-5$	吸入
結合アルミノケイ酸塩 (FAP)	粒子(Type S), $f_A = 1.0E-6$	吸入
全ての化学形	$f_A = 1.0E-4$	経口

11) ジルコニウム

付表 1-21 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Zr-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硝酸塩及び炭化ジルコニウム以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、及び硝酸塩	粒子(Type M)	吸入
炭化ジルコニウム	粒子(Type S)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硝酸塩及び炭化ジルコニウム以外の化合物	$f_i = 0.002$	経口
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、及び硝酸塩	$f_i = 0.002$	経口
炭化ジルコニウム	$f_i = 0.002$	経口

付表 1-22 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Zr-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.002$	吸入
シュウ酸塩、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 4.0E-4$	吸入
炭酸塩、酸化物、トリチウム化物	粒子(Type S), $f_A = 2.0E-5$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.002$	経口

## 12) ニオブ

付表 1-23 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Nb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物及び水酸化物以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
酸化物及び水酸化物以外の化合物	$f_i = 0.010$	経口
酸化物及び水酸化物	$f_i = 0.010$	経口

付表 1-24 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Nb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.01$	吸入
シュウ酸塩、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.002$	吸入
炭酸塩、酸化物	粒子(Type S), $f_A = 1.0E-4$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.01$	経口

## 13) モリブデン

付表 1-25 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Mo-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
二硫化モリブデン、酸化物及び水酸化物以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
二硫化モリブデン、酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
二硫化モリブデン以外の化合物	$f_i = 0.800$	経口
二硫化モリブデン	$f_i = 0.050$	経口

付表 1-26 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Mo-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化モリブデン及びモリブデン酸アンモニウム	粒子(Type F), $f_A = 0.9$	吸入
酸化物及び全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.18$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.009$	吸入
硫化物	$f_A = 0.05$	経口
他の全ての化学形	$f_A = 0.9$	経口

14) テクネチウム

付表 1-27 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Tc-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩以外の化合物	$f_i = 0.800$	経口
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	$f_i = 0.800$	経口

付表 1-28 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Tc-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
過テクネチウム酸塩、Tc-DTPA	粒子(Type F), $f_A = 0.9$	吸入
全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.18$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.009$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.9$	経口

15) ルテニウム

付表 1-29 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Ru-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
四酸化ルテニウム	四酸化ルテニウム蒸気	吸入
ハロゲン化物、酸化物、水酸化物及び四酸化ルテニウム以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
ハロゲン化物	粒子(Type M)	吸入
酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
ハロゲン化物、酸化物、水酸化物及び四酸化ルテニウム以外の化合物	$f_i = 0.050$	経口
ハロゲン化物	$f_i = 0.050$	経口
酸化物及び水酸化物	$f_i = 0.050$	経口

付表 1-30 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Ru-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
四酸化ルテニウム	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.01$	吸入
塩化物、シュウ酸塩	粒子(Type F), $f_A = 0.05$	吸入
クエン酸塩、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.01$	吸入
二酸化物	粒子(Type S), $f_A = 5.0E-4$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.05$	経口

## 16) アンチモン

付表 1-31 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Sb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硫化物、硫酸塩及び硝酸塩以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硫化物、硫酸塩及び硝酸塩	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硫化物、硫酸塩及び硝酸塩以外の化合物	$f_i = 0.100$	経口
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硫化物、硫酸塩及び硝酸塩	$f_i = 0.100$	経口

付表 1-32 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Sb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化物、酒石酸	粒子(Type F), $f_A = 0.05$	吸入
三酸化物、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.01$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 5.0E-4$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.05$	経口

## 17) テルル

付表 1-33 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Te-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
蒸気	ガスまたは蒸気	吸入
酸化物、水酸化物及び硝酸塩以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物及び硝酸塩	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物及び硝酸塩以外の化合物	$f_i = 0.300$	経口
酸化物、水酸化物及び硝酸塩	$f_i = 0.300$	経口

付表 1-34 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Te-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
全ての特定されていない化合物 (ガス、蒸気)	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.3$	吸入
塩化テルル及び二酸化テルル	粒子(Type F), $f_A = 0.3$	吸入
元素状テルル、テルル化カドミウム及び全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.06$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.003$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.3$	経口

## 18) ヨウ素

付表 1-35 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -I-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
蒸気	可溶性または反応性ガス	吸入
ヨウ化メチル	ガスまたは蒸気	吸入
ヨウ化メチル以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
ヨウ化メチル以外の化合物	$f_i = 0.100$	経口

付表 1-36 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -I-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形 (ガス、蒸気)	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
ヨウ化メチル及びヨウ化エチル	ガスまたは蒸気(Type V)	吸入
ヨウ化ナトリウム、塩化セシウムベクター、ヨウ化銀及び全ての特定されていない化学形	粒子(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type M), $f_A = 0.2$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.01$	吸入
全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.99$	経口

## 19) セシウム

付表 1-37 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Cs-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type F)	吸入
全ての化合物	$f_i = 1.000$	経口

付表 1-38 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Cs-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化セシウム、硝酸塩及び硫酸塩	粒子(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
照射された燃料の破片、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.2$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.01$	吸入
塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.99$	経口
難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	$f_A = 0.1$	経口

20) バリウム

付表 1-39 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Ba-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type F)	吸入
全ての化合物	$f_i = 0.100$	経口

付表 1-40 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Ba-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化バリウム及び炭酸塩	粒子(Type F), $f_A = 0.2$	吸入
硫酸バリウム及び全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.04$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.002$	吸入
水溶性	粒子(Type F), $f_A = 0.2$	経口
不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	粒子(Type M), $f_A = 1.0E-4$	経口

21) イリジウム

付表 1-41 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Ir-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
ハロゲン化物、硝酸塩、酸化物、水酸化物及び金属イリジウム以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
ハロゲン化物、硝酸塩及び金属イリジウム	粒子(Type M)	吸入
酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
ハロゲン化物、硝酸塩、酸化物、水酸化物及び金属イリジウム以外の化合物	$f_i = 0.010$	経口
ハロゲン化物、硝酸塩及び金属イリジウム	$f_i = 0.010$	経口
酸化物及び水酸化物	$f_i = 0.010$	経口

付表 1-42 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Ir-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化イリジウム	粒子(Type F), $f_A = 0.01$	吸入
全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.002$	吸入
元素状イリジウム	粒子(Type S), $f_A = 1.0E-4$	吸入
全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.01$	経口



## 22) 鉛

付表 1-43 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Pb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type F)	吸入
全ての化合物	$f_i = 0.200$	経口

付表 1-44 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Pb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
二塩化物、二臭化物、二フッ化物、水酸化物、硝酸塩、酸化物、全ての特定されていない化学形	粒子(Type F), $f_A = 0.2$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type M), $f_A = 0.04$	吸入
鉍物ダスト	粒子(Type S), $f_A = 0.002$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.2$	経口

## 23) ビスマス

付表 1-45 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Bi-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
硝酸ビスマス	粒子(Type F)	吸入
硝酸ビスマス以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
硝酸ビスマス	$f_i = 0.050$	経口
硝酸ビスマス以外の化合物	$f_i = 0.050$	経口

付表 1-46 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Bi-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.05$	吸入
全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.01$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 5.0E-4$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.05$	経口

24) ポロニウム

付表 1-47 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Po-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_1$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物及び硝酸塩	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物及び硝酸塩以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物及び硝酸塩	$f_1 = 0.100$	経口
酸化物、水酸化物及び硝酸塩以外の化合物	$f_1 = 0.100$	経口

付表 1-48 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Po-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.1$	吸入
塩化物、水酸化物、ガス化されたポロニウム、 全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.02$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.001$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.1$	経口

25) ラジウム

付表 1-49 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Ra-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_1$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type M)	吸入
全ての化合物	$f_1 = 0.200$	吸入

付表 1-50 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Ra-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
硝酸塩	粒子(Type F), $f_A = 0.2$	吸入
全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.04$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.002$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.2$	経口

26) トリウム

付表 1-51 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Th-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物及び水酸化物以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
酸化物及び水酸化物以外の化合物	$f_i = 5.0E-4$	経口
酸化物及び水酸化物	$f_i = 2.0E-4$	経口

付表 1-52 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Th-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 5.0E-4$	吸入
水酸化物	粒子(Type M), $f_A = 1.0E-4$	吸入
酸化物、全ての特定されていない化学形	粒子(Type S), $f_A = 5.0E-6$	吸入
塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	粒子(Specific Type), $f_A = 5.0E-5$	吸入
全ての化学形	$f_A = 5.0E-4$	経口

## 27) ウラン

付表 1-53 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -U-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
六フッ化ウラン、フッ化ウラニル、硝酸ウラニル等の六価の化合物	粒子(Type F)	吸入
三酸化ウラン、四フッ化ウラン、四塩化ウラン等の難溶性の化合物	粒子(Type M)	吸入
二酸化ウラン、八酸化三ウラン等の不溶性の化合物	粒子(Type S)	経口
四価のウラン化合物以外の化合物	$f_i = 0.200$	経口
二酸化ウラン、八酸化三ウラン、四フッ化ウラン等の不溶性の化合物	$f_i = 0.020$	経口

付表 1-54 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -U-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物 ( $UO_4$ )、重ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン ( $UO_3$ )	粒子(Type F/M の間), $f_A = 0.016$	吸入
八酸化三ウラン ( $U_3O_8$ )、二酸化ウラン	粒子(Type M/S の間), $f_A = 6.0E-4$	吸入
ウランアルミナイド (UAIX)	粒子(Type M/S の間), $f_A = 0.002$	吸入
六フッ化ウラン、リン酸トリブチルウラニル	粒子(Type F), $f_A = 0.02$	吸入
アセチルアセトナートウラニル、運動エネルギー弾の使用による劣化ウランのエアロゾル、蒸発した金属ウラン；全ての特特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.004$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 2.0E-4$	吸入
水溶性の物質	$f_A = 0.02$	経口
難溶性の物質	$f_A = 0.002$	経口

## 付録-2 プログラムオフィサー（PO）会合、専門家との打合せ及び外部発表

### 1. プログラムオフィサー（PO）との会合

#### ・第1回 PO 会合

日付：平成30年7月4日

場所：日本原子力研究開発機構東京事務所（東京都千代田区）

出席者：

（研究推進委員会）古田定昭 PO、大町康 PO 補佐

（主任研究員）高橋史明

（研究参加者）真辺健太郎

議題：

- 1) 平成29年度の実施報告
- 2) 平成30年度の実施計画
- 3) 今後のスケジュール

#### ・第2回 PO 会合

日付：平成30年9月13日

場所：日本原子力研究開発機構東京事務所（東京都千代田区）

出席者：

（研究推進委員会）古田定昭 PO、大町康 PO 補佐

（主任研究員）高橋史明

（研究参加者）真辺健太郎

議題：

- 1) 線量係数計算機能の開発の進捗状況
- 2) 核種摂取量推定機能の開発の進捗状況
- 3) その他（今後の予定等）

#### ・第3回 PO 会合

日付：平成30年11月22日

場所：日本原子力研究開発機構東京事務所（東京都千代田区）

出席者：

（研究推進委員会）古田定昭 PO、大町康 PO 補佐

（主任研究員）高橋史明

（研究参加者）真辺健太郎

（派遣労働者）嶋洋佑

議題：

- 1) 核種摂取量推定機能の開発の進捗状況
- 2) 線量係数計算機能の開発の進捗状況
- 3) その他（今後の予定等）

## 2. 専門家との打合せ

### ・内部被ばくモニタリングの専門家との意見交換 その1

日付：平成30年7月19日

場所：長崎大学坂本キャンパス①（長崎県長崎市）

出席者：

（長崎大学）松田尚樹、福田直子

（原子力機構）真辺健太郎

議題：

- 1) 内部被ばく線量評価コード開発の概要説明
- 2) 核種摂取量推定機能について説明と意見交換
- 3) ホールボディカウンタ見学

### ・内部被ばくモニタリングの専門家との意見交換 その2

日付：平成30年7月23日

場所：福島県立医科大学（福島県福島市）

出席者：

（福島医大）石川徹夫

（原子力機構）真辺健太郎

議題：

- 1) 内部被ばく線量評価コード開発の概要説明
- 2) 核種摂取量推定機能について説明と意見交換
- 3) ラドンの線量評価

### ・内部被ばくモニタリングの専門家との意見交換 その3

日付：平成30年7月24日

場所：弘前大学本町地区（青森県弘前市）

出席者：

（弘前大）床次眞司、細田正洋

（原子力機構）佐藤薫、真辺健太郎

議題：

- 1) 内部被ばく線量評価コード開発の概要説明
- 2) 核種摂取量推定機能について説明と意見交換
- 3) ラドンの線量評価

- ・内部被ばくモニタリングの専門家との意見交換 その4

日付：平成30年10月31日

場所：量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所（千葉県千葉市）

出席者：

（放医研）栗原治、谷幸太郎

（原子力機構）真辺健太郎、嶋洋佑

議題：

- 1) 内部被ばく線量評価コード開発の概要説明
- 2) 核種摂取量推定機能について説明と意見交換

### 3. 外部発表

- ・第6回日本放射線事故・災害医学会

日付：平成30年9月22日

場所：東海村産業・情報プラザ（茨城県那珂郡東海村）

発表者：（研究参加者）真辺健太郎

タイトル：ICRP 2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発

- ・12th International Conference on the Health Effects of Incorporated Radionuclides (HEIR2018)

日付：平成30年10月14日

場所：仏国放射線防護原子力安全研究所（IRSN）（仏国フォントネー＝オー＝ローズ）

発表者：（研究参加者）真辺健太郎

タイトル：Development of a function calculating internal dose coefficients based on ICRP 2007 Recommendations

- ・平成30年度研究成果報告会

日付：平成31年2月15日

場所：原子力規制委員会（東京都港区）

発表者：（主任研究者）高橋史明

タイトル：内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究

- ・日本原子力学会 2019年春の年会 2件

日付：平成31年3月21日

場所：茨城大学水戸キャンパス（茨城県水戸市）

1件目

発表者：（主任研究者）高橋史明

タイトル：ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発

(1) 線量計算機能の開発 -平成30年度の進捗状況-

2件目

発表者：（研究参加者）真辺健太郎

タイトル：ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発

(2) 核種摂取量機能の開発 -平成30年度の進捗状況-

1. 第6回日本放射線事故・災害医学会 発表ポスター

# ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発



○真辺健太郎、佐藤薫、高橋史明

日本原子力研究開発機構 安全研究センター リスク評価研究ディビジョン 放射線安全・防災研究グループ

## 背景

国際放射線防護委員会(ICRP)2007年勧告の国内法令への取入れ

- 内部被ばくによる放射線障害の発生を防止するための基準値
  - ✓ 空気中濃度限度 (Bq/cm<sup>3</sup>)
  - ✓ 排気中又は空気中の濃度限度 (Bq/cm<sup>3</sup>)
  - ✓ 排液中又は排水中の濃度限度 (Bq/cm<sup>3</sup>)
- 事業所における内部被ばく管理、災害発生時の線量評価
  - ✓ ホールボディカウンタ、バイオアッセイ等による摂取量評価
  - ✓ 摂取量評価結果に基づく被ばく線量評価

技術的基盤となる内部被ばく線量評価コードの開発

## コードの基本機能

- ICRP2007年勧告に従う線量係数 (Sv/Bq) 計算機能
  - ✓ 基礎的なモデル・データ (体内動態モデル、核崩壊データ、比吸収割合 (SAF) データ) からの線量係数評価
  - ✓ コード完成後に公開・更新されるモデル・データへの対応、1990年勧告対応データ・日本人データ等の個別データを考慮した線量係数評価のためのモデル・データ編集
- モニタリング結果に基づく核種摂取量 (Bq) 推定機能
  - ✓ 残留放射能・排泄率の時間推移の計算
  - ✓ 統計的手法によるモニタリング結果のフィッティング
  - ✓ 摂取量評価値と線量係数を用いた被ばく線量 (Sv) 算出

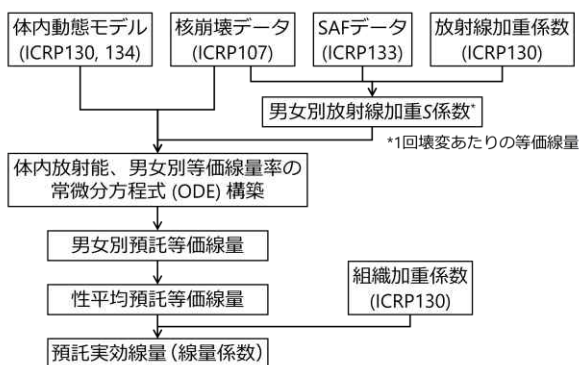
## 開発スケジュール

実施項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度
線量係数計算機能	基本機能の開発、検証	モデル・データ編集機能の設計、開発		
摂取量推定機能	ニーズ調査、概念設計	基本機能の開発	機能の検証	
GUI整備、β版作成、マニュアル整備			入力設定、結果表示機能 (GUI) の開発	β版意見聴取とコードの改良 マニュアル整備

コードの完成・公開

## 線量係数計算機能の開発

### 線量係数計算フロー



- ✓ ICRP2007年勧告の線量評価手順 (ICRP130) に準拠
- ✓ ICRPタスクグループメンバーと情報交換  
⇒ SAF内挿法、体内動態モデルの取扱い等を確認
- ✓ 年齢別の体内動態パラメータにも対応した計算フローを採用

### 機能の検証

- ICRPの線量係数データベース：OIR Data Viewer ver. 2.17との照合
- ✓ 主要14元素 (H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc)、101核種、454種類の摂取条件について、有効数字2桁で収録
  - ✓ 426種類で一致、28種類で2桁目が+1の差

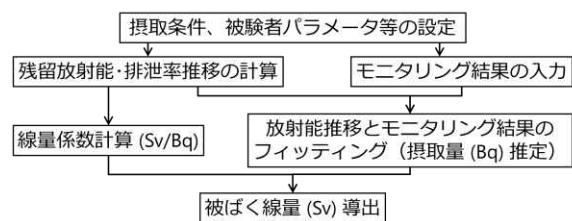
ICRPの線量係数を精度よく再現

## 謝辞

本研究は、原子力規制委員会 放射線安全規制研究戦略的推進事業費 (内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究) 事業によるものです。

## 摂取量推定機能の開発

### 摂取量推定・被ばく線量評価フロー



- ✓ 既存類似コード：IDEC (旧原研)、MONDAL (放医研)、IMBA (英国PHE) を調査し、フローを構築
- ✓ 作業員・公衆、吸入摂取・経口摂取・注入摂取、単一摂取・複数回摂取・慢性摂取を選択可能
- ✓ 残留放射能・排泄率推移計算：線量係数計算機能を利用
- ✓ フィッティング：特異値分解による最尤推定法を採用予定

### ニーズ調査

- JAEAモニタリング従事者、国内外の専門家から意見募集
- 機能面への意見 (例)
    - ✓ 多様な摂取経路、摂取条件 (複数回摂取、慢性摂取) への対応
    - ✓ 複数のモニタリング結果、複数の手法によるデータを用いた評価
    - ✓ 創傷部汚染を摂取経路として含めるか否か
      - ・ 実測困難なため創傷汚染モデルの実装は不要 (注入摂取と仮定)
      - ・ 災害時は創傷汚染が想定されるため、使えるならば使いたい
    - ✓ モニタリング結果の不確かさを考慮したい
    - ✓ 任意の粒径分布、呼吸条件への対応
    - ✓ 安定ヨウ素剤、キレート剤の効果を検討した評価 (注：手法が確立されていないため、本事業での実装は計画外)
  - 操作・利用面での意見 (例)
    - ✓ 入手しやすいこと、様々な計算機環境で動作すること
    - ✓ 一般市民への説明にそのまま利用できるような分かりやすい出力
    - ✓ 専門的な知識を持たない現場対応者が利用できるエディション



2. 12th International Conference on the Health Effects of Incorporated Radionuclides (HEIR2018)  
発表スライド

## Development of a function calculating internal dose coefficients based on ICRP 2007 Recommendations

---

K. Manabe, K. Sato and F. Takahashi



Health Effects of Incorporated Radionuclides 2018 @ Fontenay aux roses, 10th Oct. 2018.

1

### Contents

---

- Introduction
- Development of Internal Dosimetry Code
- Function to Calculate Dose Coefficients
- Summary



2

## Introduction

### Japanese regulatory standards against internal exposures

- Three kinds of concentration limits (Bq/m<sup>3</sup>) for:
  - ✓ Ambient air in facilities
  - ✓ Exhaust from facilities
  - ✓ Drainage from facilities
- Current standards are determined by using committed effective dose per unit intake,  $e(\tau)$  (Sv/Bq), based upon ICRP 1990 Recommendations.

ICRP started to release new  $e(\tau)$  based upon  
2007 Recommendations



- The Nuclear Regulation Authority of Japan (NRA) considers to introduce ICRP 2007 Recommendations into the regulatory system.



3

## Revision of the Japanese Regulatory Standards

### Problems

- It is not clear if **all necessary  $e(\tau)$  are provided by ICRP or not.**
  - ✓ Some short-lived ( $T_{1/2} < 10$  min) nuclides\* are additionally included in the current Japanese standards, comparing to ICRP Publ. 134 (OIR part 2).  
(\* <sup>30</sup>P, <sup>37</sup>S, <sup>49</sup>Ca, <sup>53</sup>Fe, <sup>62</sup>Co, <sup>85</sup>Zr, <sup>94m</sup>Nb, <sup>102</sup>Tc)
- It is important to recognize **what makes the standards change.**
  - ✓ Change in Tissue weighting factors ( $w_T$ )? Biokinetic models?  
Human models? Specific absorbed fractions (SAFs)?
- It is necessary to comprehend the influence of **Japanese specific conditions or parameters** on doses.
  - ✓ Japanese specific biokinetics (e.g. uptake ratio of iodine to the thyroid).
  - ✓ Difference in physique between Japanese and Caucasian (i.e. SAFs).

It is important to establish a technical basis for internal dose estimation.

JAEA proposed a project to develop an internal dosimetry code to NRA,  
and the 4-year project (2017-2020 FY) is ongoing.



4

## Development of Internal Dosimetry Code

### Purposes of the code

- Confirmation of new  $e(\tau)$  for revision of the existing regulatory standards
- Estimation of internal doses considering various conditions for managing internal doses of workers, for evaluating retrospective doses in case of an accident  
based upon ICRP 2007 Recommendations.

### Functions of the code

- To calculate  $e(\tau)$  using basic dosimetric models/data
  - Main function of this code for the purpose (a). Already been constructed
- To estimate intakes of radionuclides and resulted doses from monitoring data
  - Application of the function (1) for the purpose (b).
- To edit dosimetric models/data by using Graphical User Interface (GUI)
  - Ease to consider various conditions for the purpose (b).
  - For calculation by using models/data in accordance with 1990 Recommendations, or Japanese specific data.



5

## Development of Internal Dosimetry Code

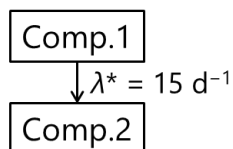
### Language of the code

NRA considers to [distribute the code for free in Japan](#).  
→ Ease of use is also important.

- [Java](#) for making source code
    - ✓ Java application runs on multi-platforms: Windows, macOS, Linux.
  - [XML](#) (eXtensible Markup Language) for some data files
    - ✓ Easy to edit data and understand the meanings
- [New  \$e\(\tau\)\$  including biokinetic models are being discussed in ICRP now.](#)

#### Example

Biokinetic model



\*transfer coefficient

	XML	Plain text
	<pre> &lt;transfer&gt;   &lt;from-comp&gt;comp1&lt;/from-comp&gt;   &lt;to-comp&gt;comp2&lt;/to-comp&gt;   &lt;value&gt;     &lt;rate&gt;15&lt;/rate&gt;     &lt;unit&gt;perd&lt;/unit&gt;   &lt;/value&gt; &lt;/transfer&gt;           </pre>	Comp1 Comp2 1.50E+01
	<p>Tags and tree structure give meanings to the values. → Meaning is explicit. → Easy to search &amp; edit values.</p>	<p>Places or order of values give meanings to the values. → Meaning is implicit. → Less flexibility for editing.</p>



6

## Methodology for $e(\tau)$ Calculation (ICRP Publ. 130)

Effective dose coefficients,  $e(\tau)$  (Sv/Bq):

$$e(\tau) = \sum_T w_T \left[ \frac{h_T^M(\tau) + h_T^F(\tau)}{2} \right] \left[ \begin{array}{l} w_T: \text{Tissue weighting factor.} \\ h_T^{\text{MorF}}(\tau) \text{ (Sv/Bq): Committed equivalent dose per} \\ \text{unit intake of tissue T for male or female.} \end{array} \right]$$

Equivalent dose coefficient,  $h_T(\tau)$  (Sv/Bq):

$$h_T(\tau) = \sum_i \sum_{r_s} \tilde{a}_i(r_s, \tau) S_w(T \leftarrow r_s)_i$$

$$\left[ \begin{array}{l} \tilde{a}_i(r_s, \tau): \text{Number of disintegrations of chain member } i \text{ in source region } (r_s) \text{ during } \tau, \\ \text{Evaluated by integrating simultaneous ordinary differential equations (ODEs)} \\ \text{describing time dependent activities based on biokinetic models.} \\ S_w(T \leftarrow r_s)_i \text{ (Sv): Radiation weighted } S \text{ value of chain member } i \\ \text{from source region } r_s \text{ to } T. \end{array} \right]$$

Radiation weighted  $S$  value,  $S_w(r_T \leftarrow r_s)$ :

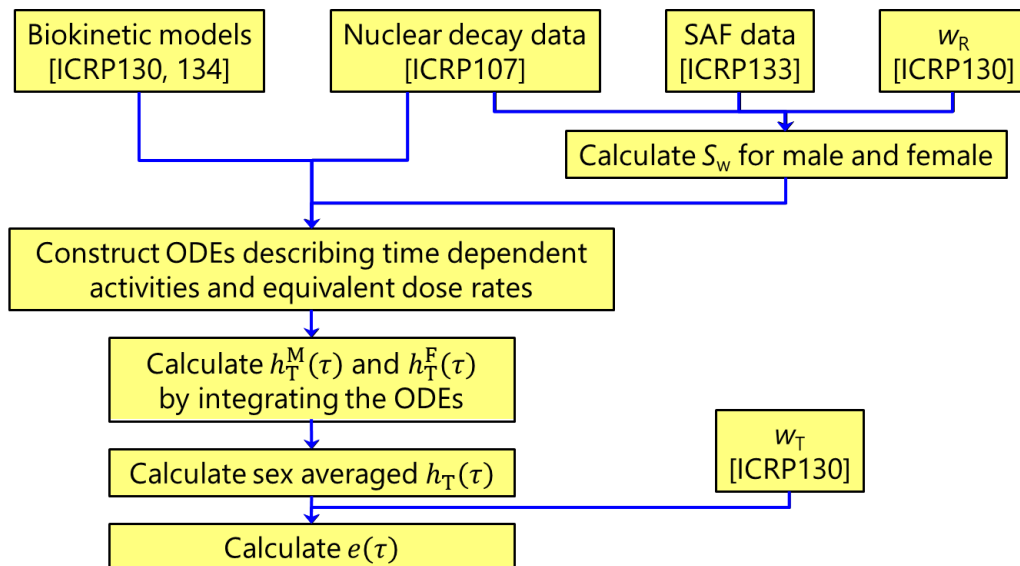
$$S_w(T \leftarrow r_s) = \sum_R w_R \sum_j E_{R,j} Y_{R,j} \phi(T \leftarrow r_s, E_{R,j}) \quad \phi \text{ for specific energy is obtained by interpolating discrete SAF data.}$$

$$\left[ \begin{array}{l} w_R: \text{Radiation weighting factor.} \\ E_{R,j} \text{ (MeV), } Y_{R,j}: \text{Energy and yield of } j\text{-th radiation of type } R \text{ radiation.} \\ \phi(T \leftarrow r_s, E_{R,j}) \text{ (kg}^{-1}\text{): SAF from } r_s \text{ to } T \text{ at energy } E_{R,j}. \end{array} \right]$$



7

## Flowchart of the Function to Calculate Dose Coefficients



Fully in accordance with the dosimetric methodology described in ICRP Publ. 130.



8

## Used Calculation Techniques

### Integration of ODEs

J-LSODE: Package of ODE solver written in Java

- ✓ Based on LSODE (Livermore Solver for Ordinary Differential Equations) written in FORTRAN77.
- ✓ Made from scratch to harmonize the language of the solver with that of the main code.

### Interpolation of SAF data

J-PCHIP: Piecewise Cubic Hermite Interpolation Package written in Java

- ✓ ICRP does not designate an interpolation method in Publications.
  - We confirmed that PCHIP is used in ICRP task group by inquiring of members of the task group.
- ✓ Based on SLATEC\*/PCHIP written in FORTRAN77.
- ✓ Made from scratch to harmonize the language of the package with that of the main code.

\*SLATEC: Sandia, Los Alamos, Air Force Weapons Laboratory Technical Exchange Committee

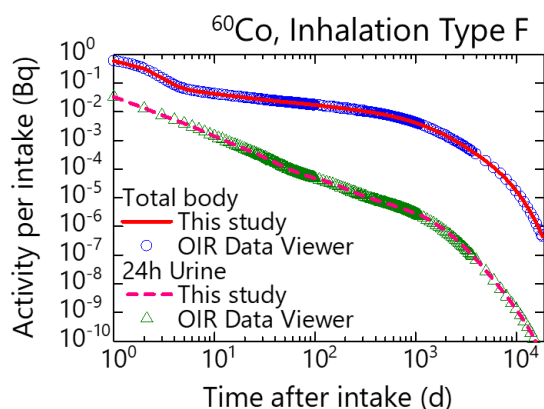


9

## Various Output of Calculation Results

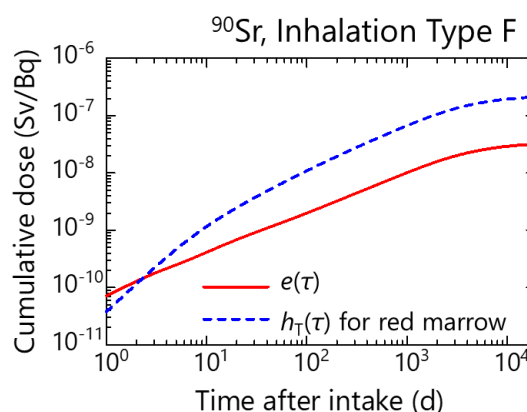
### In addition to $e(\tau)$ and $h_T(\tau)$

- Changes over time in activity and excretion rate



- ✓ Necessary for estimation of intakes
- ✓ Good reproduction of OIR Data Viewer

- Cumulative doses



- ✓ Useful for detail analysis, public understanding,...



10

## Quality Assurance of the Function to Calculate $e(\tau)$

### Reference data

OIR Data Viewer ver. 2.17.10.17

- ✓ for 454 cases of [101 radionuclides](#) of 14 elements  
↑ Photon and/or electron emitters
- ✓ with 2 digits of significant figures

### Comparison of $e(\tau)$ between the function and OIR Data Viewer

- ✓ The values of  $e(\tau)$  [agreed with 2 digits for 426 cases.](#)
- ✓ For 28 cases, the differences were small: [only  \$\pm 1\$  in the 2nd digit.](#)

Quality of the function has been assured for  
photon and/or electron emitters



11

## Summary

- In Japan, a project to develop an internal dosimetry code in accordance with ICRP 2007 Recommendations is ongoing.
- The function to calculate  $e(\tau)$  has been constructed.
- Quality of the function to calculate  $e(\tau)$  has been assured for photon and/or electron emitters.

## Future Tasks

- Implementation of biokinetic models for the next 14 elements described in ICRP Publ. 137 (OIR part 3).
- Development of the function to estimate intakes and GUI for editing data.

This study is funded by the Nuclear Regulation Authority of Japan.



12

3. 日本原子力学会 2019 年春の年会 発表スライド

①

## 2H15

### ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発

#### (1) 線量計算機能の開発 -平成30年度の進捗状況-

原子力規制委員会「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業」で得た成果の一部  
 ⇒ 内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究を平成29年度から32年度の予定で実施  
 本日、(1) 線量計算機能の開発、(2) 核種摂取量推定機能の開発を報告

高橋 史明<sup>1</sup>, 佐藤 薫<sup>1</sup>, 嶋 洋佑<sup>2</sup>, 真辺 健太郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>原子力機構, <sup>2</sup>V.I.C.

日本原子力学会2019年春の年会（平成31年3月20日-3月22日、茨城大学）

②

## 全体背景

- 国際放射線防護委員会(ICRP)の2007年勧告の国内の放射線規制を取入れた場合、同勧告に準拠する新しい実効線量係数に基づき、内部被ばく防護の基準値が改正
- 改正後は、各事業所等でも2007年勧告に従い内部被ばく線量評価を遂行、管理

放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、一種類である場合の空气中濃度限度等  
 (告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」別表第2)

第1欄		第2欄	第3欄	第4欄	第5欄	第6欄
放射性同位元素の種類		吸入摂取した場合の実効線量係数(mSv/Bq)	経口摂取した場合の実効線量係数(mSv/Bq)	空气中濃度限度 (Bq/cm <sup>3</sup> )	排気中又は空气中の濃度限度 (Bq/cm <sup>3</sup> )	排液中又は排水中の濃度限度 (Bq/cm <sup>3</sup> )
核種	化学形等					
<sup>3</sup> H	元素状水素	$1.8 \times 10^{-12}$		$1 \times 10^4$	$7 \times 10^1$	
<sup>3</sup> H	メタン	$1.8 \times 10^{-10}$		$1 \times 10^2$	$7 \times 10^{-1}$	
<sup>3</sup> H	水	$1.8 \times 10^{-8}$	$1.8 \times 10^{-8}$	$8 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^1$
...	...	...	...	...	...	...

1990年勧告に従う数値

内部被ばく防護の基準値

①放射線規制への見直しにおける新しい実効線量係数の検証、  
 ②事業所等での内部被ばく線量管理で、有益な線量評価コードの開発(平成29～32年度)

日本原子力学会2019年春の年会（平成31年3月20日-3月22日、茨城大学）

## 平成29年度の進捗、ICRPによるモデルやデータの公開状況

### 【平成29年度の進捗】

OIR\* part 2の掲載元素について、実効線量係数の正確な導出を検証(基本機能の完成)

\*Occupational Intakes of Radionuclides (職業人の放射性核種摂取)

### 【ICRPによる線量評価モデルやデータの公開状況】

- 平成30年1月にOIR\* part 3 (ICRP Publ.137)として、作業者が主要14元素(下表)を摂取した場合の組織系動態モデル等が公開
- 一方、OIR parts 2及び3(作業者、28元素)以外の動態モデル、成人以外の比吸収割合(SAF)データ等は未公開

#### OIR Part 2 及びPart 3に掲載されている元素

OIRシリーズ(刊行物)	掲載されている元素
OIR part 2 (ICRP Publ.134)	H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc
OIR part 3 (ICRP Publ.137)	Ru, Sb, Te, I, Cs, Ba, Ir, Pb, Bi, Po, Rn, Ra, Th, U



日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月20日-3月22日、茨城大学)

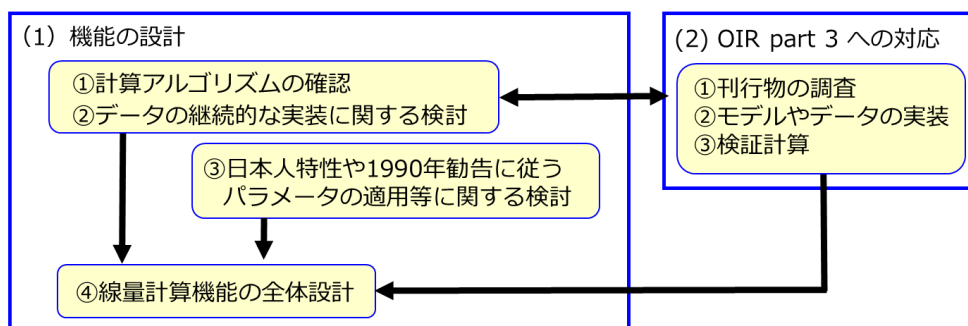
## 平成30年度の線量係数計算機能の開発項目

### 【平成30年度の開発項目】

#### (1) 新規データ等の取込みへ向けた機能の設計

- ICRPから今後公開される新規データの継続的な取り込み等への対応
- 1990年勧告に準拠するモデルやデータ(新旧係数の差異への影響因子の調査)、日本人パラメータ等の計算条件を設定する方法の検討

#### (2) OIR part 3 で与えられたモデルへ対応するための改良



平成30年度の線量係数計算機能の開発に関する実施フロー



日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月20日-3月22日、茨城大学)

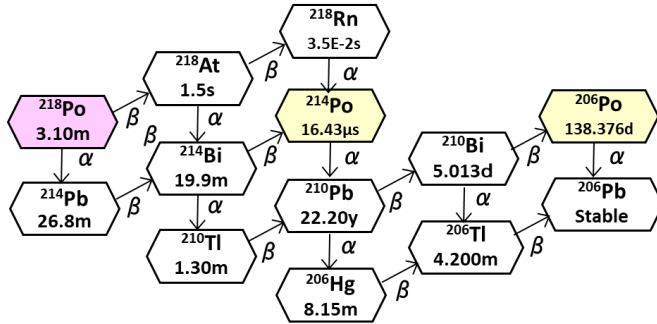


## OIR part 3へ対応するための機能の改良

⑤

### Pb, Bi, Po, Rn, Ra, Th及びUの摂取

体内での崩壊過程で摂取核種と同じ元素が生成するケースが存在 (例、ウラン系列に含まれる核種)



218Po(RaA)摂取時の体内における核種の崩壊

### 機能での体内動態の取り扱い

崩壊過程で生じた子孫核種は、全体をまとめた取り扱い (摂取核種とは異なる)



組織系動態モデルを設定するデータファイルにタグを追加し、その切り替えにより、摂取核種 (親核種) と子孫核種を判別

flag-kinetic=0(親核種)  
 ⇒ 左図で<sup>218</sup>Po  
 flag-kinetic=1(子孫核種)  
 ⇒ 左図で<sup>214</sup>Po

アルゴリズムの見直し、データ等の実装により、ラドンを除く13元素の183核種について、摂取経路や化学形が異なる885ケースの摂取条件に対する実効線量係数を再現

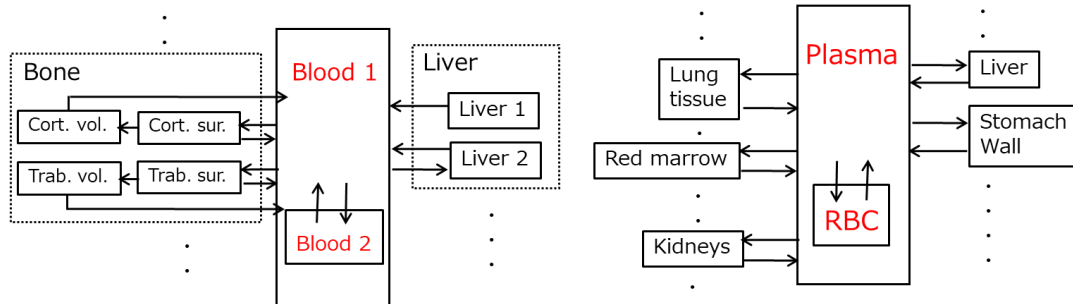
(JAEA) 日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月20日-3月22日、茨城大学)

## 新規公開データの対応に関する検討

⑥

SAFデータ(成人以外) : Publ.133と同様、改変しない条件での利用許諾が想定

組織系動態モデル : **コンパートメント (臓器や組織) 間の移行係数データ**、**同位元素の種類 (化学形、物質名) 等を正確に実装**



(a) Yのモデル略図 (OIR part 2)

(b) Csのモデル略図 (OIR part 3)

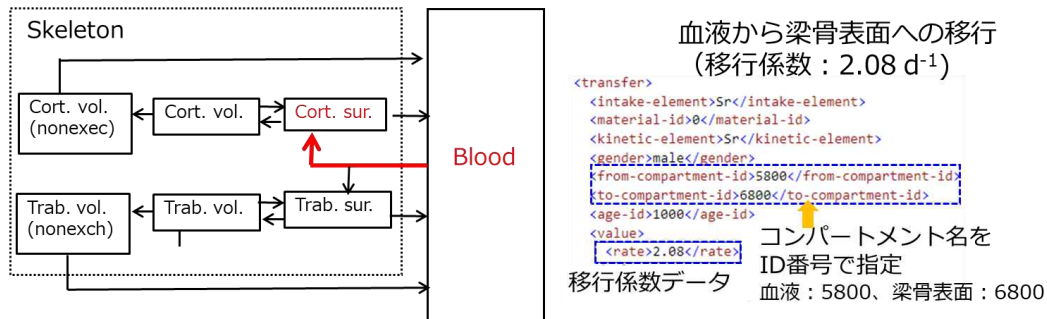
### OIR part 2とpart3における血液の移行に関するコンパートメント名

コードにおけるデータの実装においては、修正の可能性を鑑みて、刊行物の記載を基本とすることが適当

(JAEA) 日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月20日-3月22日、茨城大学)

# 線量係数計算機能の設計 -2007年勧告に準拠するデータ等の継続的な実装-

コンパートメント(組織等)名等をID番号を用いて認識し、汎用的なソフトウェア(MS-Excel®)によるデータ (XML形式)の拡張



組織系動態モデルのXMLデータ化 (例、Srの血液 - 骨領域の移行)

- コンパートメントの他、物質の種類等も**正確に認識し、編集性に配慮したファイル方式**
- 新規モデルやデータを効率的に追加するためのディレクトリ配置

# 1990年勧告に準拠した線量評価

## モデルやデータ

1990年勧告及び2007年勧告に準拠する内部被ばく線量評価において、使用するモデルやデータの種類に変更なし

## 線量計算

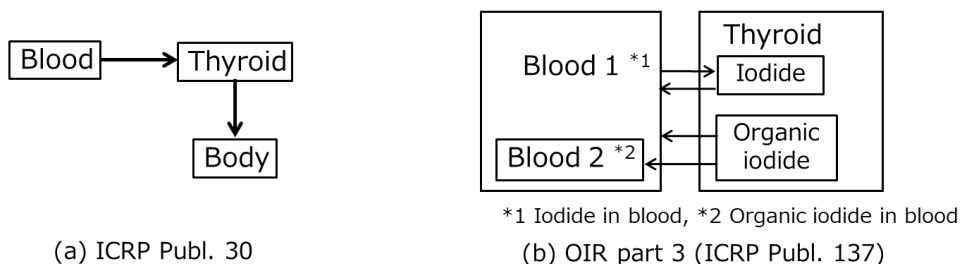
- 自発核分裂核種(中性子放出)の放射線加重係数の割り当て  
1990年勧告) エネルギースペクトルに放射線加重係数(ステップ状)を割り当てて計算  
⇒ 2007年勧告) 予め自発核分裂核種に応じて固有の値を用意
- 残りの組織への組織加重係数の割り当て  
1990年勧告) 各臓器・組織の線量を質量加重平均して加重、Splitting rule\*も適用  
⇒ 2007年勧告) 各臓器・組織の線量を算術平均して加重、Splitting ruleを廃止

\*残りの組織に含まれる臓器、組織の等価線量が個別の加重係数を割り当てられている臓器や組織の線量よりも高い場合は、0.025(0.05の半分)を割り当て

データの実装：2007年勧告に準拠した線量評価用データ等と同様の手法を適用  
線量計算：1つのパッケージで、新旧の勧告に準拠した方法を選択可能  
(来年度に予定しているβ版の開発で検証)

## 日本人パラメータを考慮した線量評価

原子炉施設の設計段階における平常運転時のヨウ素による内部被ばく線量評価  
 ⇒甲状腺に達する割合：ICRP(Publ.30)の0.3でなく、日本人の特性を考慮した0.2を適用



甲状腺におけるヨウ素の代謝(摂入、排出)を表すモデル

### 代謝・動態特性

- ヨウ素の甲状腺への達成割合は、新旧モデルの違いを考慮して予め数値を用意し、ユーザーが選択可能とする設計（次年度のβ版の開発で最適な数値を検証）
- 他元素のデータ(移行係数等)については、任意の数値を入力可能とする設計

### 物理特性(体格)

- 成人日本人モデル (JAEA : JM-103、JF-103)で整備したSAFデータの適用

## まとめ

### 今年度の成果

- 国際放射線防護委員会(ICRP)による今後のモデル公開へ対応するため、モデルやデータを合理的に記述するファイルの作成法、ディレクトリの適切な配置、効率的に読み込む手順等、コード設計を完了
- ICRP Publ.137として刊行されたOIR part 3の掲載元素について、実効線量係数を正しく導出するための改良を進め、妥当性を検証

### 次年度の予定

- 核種摂取量推定機能(次の発表)、ユーザーの操作性や利便性を向上させる機能と統合して、コードβ版を開発する予定(線量係数計算機能の更なる適用検証)

### 謝辞

本件は、原子力規制委員会「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業」により得られた成果の一部である。

2H16

# ICRP2007年勧告に基づく 内部被ばく線量評価コードの開発

## (2) 核種摂取量推定機能の開発

– 平成30年度の進捗状況 –

<sup>1</sup>原子力機構、<sup>2</sup>VIC

○真辺 健太郎<sup>1</sup>、嶋洋佑<sup>2</sup>、佐藤 薫<sup>1</sup>、高橋 史明<sup>1</sup>

本件は、原子力規制委員会「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業」により得られた成果の一部である。

平成31年3月21日（木）



日本原子力学会2019年春の年会（於：茨城大学水戸キャンパス）

1

## 背景・目的

- 放射性核種の体内への取込みに対する内部被ばく評価では、
  - 空气中放射能濃度等の作業環境モニタリング
  - 体外計測やバイオアッセイ等による体内放射能モニタリングに基づき、放射性核種の摂取量を推定する。
- 国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告の国内法令への取入れ  
⇒ 2007年勧告に対応した線量評価モデル・データに基づいた  
摂取量・被ばく線量評価が必要となる。



開発中の線量係数計算機能を活用して、2007年勧告に基づき、  
“モニタリング結果から摂取量を推定する機能”を開発する



2

# 開発ロードマップと平成29年度実施状況

平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度
①摂取量推定機能に係る類似コード・ニーズ調査	他機関へのニーズ調査		
②解析法の検討	推定機能の開発	推定機能の検証	
③概念設計	基本機能の完成 ▲	機能の完成 ▲	
		線量係数計算機能と統合、GUIの開発	試用による意見収集
		コードβ版の完成 ▲	改良・マニュアル整備等
			コード完成、公開 ▲

## 【平成29年度の実施状況】

▲マイルストーン

### ① 類似コード・ニーズ調査

- 調査したコード：INDES/IDEC (JAERI), MONDAL (NIRS), IMBA (英国PHE)
- 聞き取り調査対象：原子力機構のモニタリング従事者

### ② 解析法の検討

- モニタリング値の不確かさを考慮可能な最尤推定法を採用

### ③ 概念設計

- 解析対象シナリオ：摂取時期が既知の1回又は複数回の急性摂取、慢性摂取
- 条件入力、結果出力のグラフィカルユーザインタフェース(GUI)イメージを提示

規制庁評価委員会コメント：他機関の研究者との意見交換が望ましい



3

## 平成30年度 実施内容と目標

### (1) 追加ニーズ調査

内部被ばくモニタリングに関する専門家と面会して意見交換・情報収集

調査対象機関：

高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターから4機関

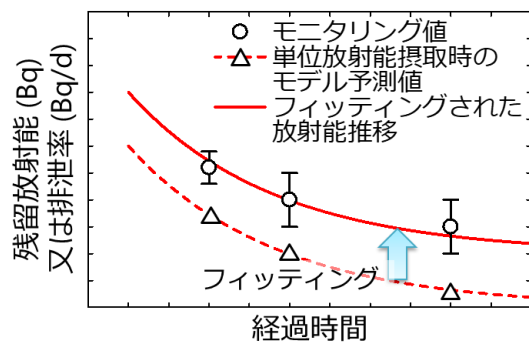
### (2) 基本機能の開発

入力データ：

- ・モニタリング値（測定日、放射能）
- ・摂取条件（核種、摂取経路、摂取日）

出力データ：

- ・摂取日毎の摂取量



今年度の目標：核種摂取量推定機能の基本機能の開発



4

## 追加ニーズ調査 主なコメント

- 摂取シナリオについて
  - 創傷汚染シナリオに対応してほしい。←注入摂取と仮定して評価(昨年度コメント)
  - 複数の摂取経路、異なる化学形(血液吸収特性)を同時に考慮したい。
- モニタリングの不確かさ
  - 測定値の不確かさを考慮したい。
  - 事故時の公衆モニタリングでは、摂取時期の不確かさを考慮したい。
- モデル予測値(計算条件)の設定
  - 粒径分布、運動状態等、呼吸気道沈着割合に影響を及ぼす因子を考慮したい。
  - 様々な因子が考慮できるとよいが、それぞれの感度解析の結果・知見が重要。影響が大きい因子は個々の状況を考慮することを推奨できるし、影響が小さい因子は安心して既定値が使用できる。
- 結果の出力
  - リスク評価の観点から吸収線量(Gy)の出力も必要。
  - 時間経過と累積被ばく線量の関係、任意の期間における被ばく線量等は、一般の人々への説明で重要なデータとなるだろう。
- その他
  - 全身カウンタが普及し、体内放射能測定は簡易に行える一方、測定結果(Bq)を線量(Gy, Sv)に変換することに困難を伴うことが多い。摂取からの経過日数、測定結果のみを入力するだけで評価結果を出力するシンプルなエディションも必要。



5

## 追加ニーズ調査 まとめ

- コメントの概要
  - 平成29年度調査では、作業者に対する評価を想定したコメントが多かった。追加調査により、事故時対応、公衆に対する線量評価を想定したコメントが得られた。
  - 不確かさの取扱いや幅広いユーザー層を想定したエディションの分類等、昨年度と同様のコメントも得られた。
- 事業への反映
  - 得られた意見の大半は、基本機能の使用法に関するもの。
  - 昨年度検討した解析手法(最尤法)は、不確かさの取扱いも可能。



- 基本機能の開発方針、解析手法の選択の妥当性を確認
- 得られた意見はGUI開発(次年度実施)等で事業に反映



6

## 核種摂取量推定機能 基本機能開発

### (1) 計算条件

摂取時期が既知の1回または複数回の急性摂取、慢性摂取  
(慢性摂取：1日当たりの摂取量の繰返し摂取として取り扱う)

### (2) フィッティングフロー

#### ① 体内放射能予測式 $Q = qI$ を導出

$q$ : 単位放射能摂取時の放射能予測行列  
 $I$ : 各回の摂取量ベクトル

線量係数計算機能の一部を活用

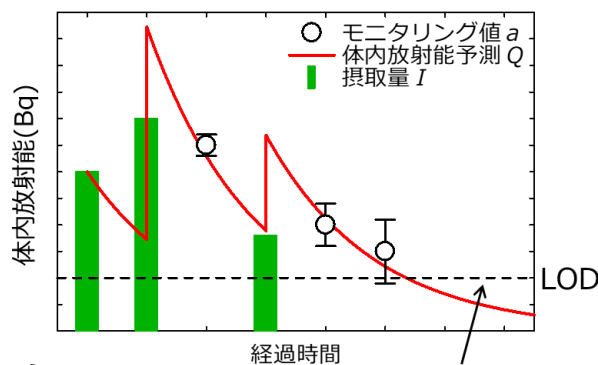
#### ② 最尤法に基づく式から $I$ を決定

$$\min_I \sum_i \left[ \frac{\log(a_i) - \log\{(qI)_i\}}{\log(\sigma_{g,i})} \right]^2$$

$a_i$ :  $i$ 番目のモニタリング値  
 $\sigma_{g,i}$ :  $i$ 番目のモニタリング値の幾何標準偏差

特異値分解により  $\Sigma$  を最小にする  $I$  を決定

Java言語ライブラリ la4j (ver.0.6.0) を使用、コード開発言語をJavaで統一



フィッティングのイメージ



7

## 基本機能 試算結果

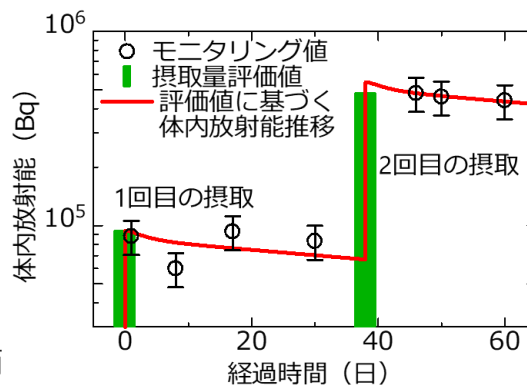
### 例題：

欧州線量評価委員会(EURADOS)の  
IDEASガイドラインver. 2より

### 摂取条件

- $^{137}\text{Cs}$ の経口摂取
- 摂取回数：2回 (0日、38日)
- モニタリング値の数：7個  
(全身カウンタ)

→ 各回の摂取量(Bq)を開発機能により評価



例題の評価結果

摂取日 (d)	本研究	IMBA*	EURADOS
0	9.3988E+04	9.399E+04	9.3988E+04
38	4.7910E+05	4.791E+05	4.7911E+05

\*Integrated Modules for Bioassay Assessment

開発した基本機能は、IDEASガイドライン、  
IMBAコードの評価値をよく一致



8

## まとめ

- 今年度の成果
  - 核種摂取量推定機能に関する追加のニーズ調査を実施  
前年度策定の開発方針、解析手法等の妥当性を確認した。  
GUI開発に有益なコメントを取得した。
  - 核種摂取量推定機能の基本機能を開発  
ICRP 2007年勧告に対応した線量評価モデル・データに基づく  
摂取量推定を実行可能とした。  
試算を実施し、類似コードの評価値、文献値を再現した。
- 次年度の予定
  - 開発した機能の詳細な検証  
より多くのシナリオに対する検証計算を実施する。
  - 内部被ばく線量評価コードβ版の完成  
線量係数計算機能と統合し、コード全体のGUIの開発を行う。

本件は、原子力規制委員会「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業」により得られた成果の一部である。





平成 30 年度

原子力規制庁 放射線対策委託費

(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)

放射線安全規制研究推進事業

原子力災害拠点病院のモデル BCP 及び外部評価等に  
関する調査及び開発

成果報告書

平成 31 年 3 月

国立大学法人 九州大学

本報告書は、国立大学法人 九州大学が実施した「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（原子力災害拠点病院のモデル BCP 及び外部評価等に関する調査及び開発）事業」の成果を取りまとめたものです。

## 目次

1. 研究目的及び研究目標.....	1
1.1. 本年度の研究計画.....	2
1.2. 研究参加機関.....	3
2. 本年度事業の実施内容及び成果.....	5
2.1. 海外調査.....	5
2.2. 文献調査.....	6
2.3. 原子力災害拠点病院に対する質問調査.....	10
2.4. 原子力災害拠点病院に対する訪問調査.....	12
2.5. 九州大学病院における原子力災害のためのBCP策定.....	13
2.5.1. 九州大学病院業務継続計画書（BCP）策定.....	13
2.5.2. 策定したBCPの検証について.....	14
2.6. 全体会議.....	18
3. 本年度事業のまとめ.....	20
3.1. 本年度事業の成果発表.....	21
参考資料 質問調査様式.....	22

## 1. 研究目的及び研究目標

現在、我が国では東京電力福島第1原子力発電所の教訓を踏まえて、原子力災害時の医療体制の整備が全国的に進められている。その中でも地域の中核とされている原子力災害拠点病院が原子力災害時に業務が中断されることなく活動するためには、平時から業務継続計画 Business Continuity Plan（以下「BCP」という。）を策定しておくことが重要と考えられる。

本研究では、原子力災害時における原子力災害拠点病院の医療体制の充実強化のため、BCPを策定するための技術的指針類を開発し、原子力災害医療・総合支援センターとともに全国の原子力災害拠点病院のBCP策定を支援することを目標とする。さらに、策定されたBCPの内容の充実度を評価するための仕組みを提案する。

また、原子力災害時には情報の発信が重要な役割を果たすことから、技術的指針類の一つとして、地域社会や報道機関、そして原子力災害拠点病院の医療スタッフへ情報を発信するためのリスクコミュニケーションのガイドラインについても併せて開発する。

## 1.1. 本年度の研究計画

原子力災害拠点病院の整備の経緯として、平成 27 年 8 月 26 日に改正された原子力災害対策指針に基づき整備されており、平成 31 年 2 月 1 日時点では原子力災害対策重点区域内の道府県において 43 箇所の医療機関が指定されている。しかしながら、医療機関にとって原子力災害拠点病院を担うことは、原子力災害医療を提供するための体制整備（設備・資機材・設備・その他）及び人材育成が大きな負担となることから、整備の推進のためには何らかの技術的支援等が不足している可能性がある。

そのため、1 年目の事業計画として、以下の 6 項目を設定した。

- ①原子力災害拠点病院における BCP の必須項目の抽出
- ②リスクコミュニケーションのためのフレームワーク形成
- ③同フレームワークの有効性を検証・補完するため、文献検索、各地域の拠点病院関係者及び有識者への聞き取り調査
- ④海外先進事例の把握
- ⑤BCP 策定のための想定脅威の分析
- ⑥研究知見に基づき原子力災害拠点病院である九州大学病院における原子力災害のための BCP の策定

## 1.2. 研究参加機関

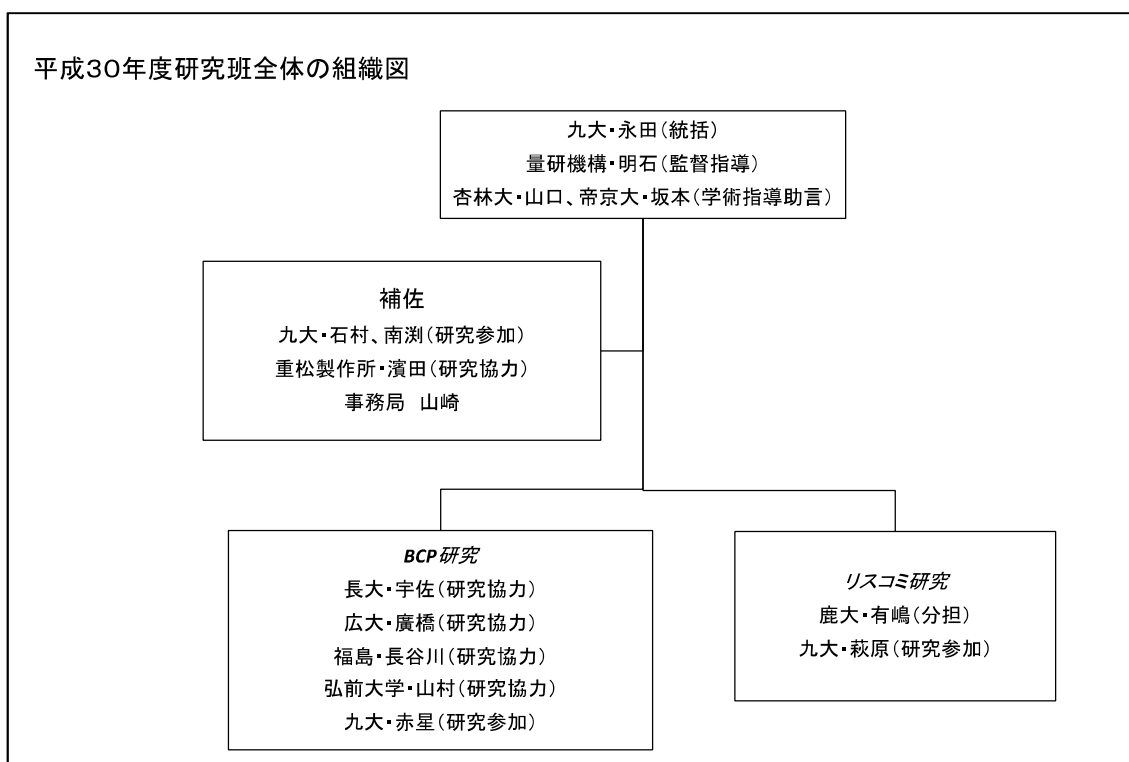
本研究班の構成員は、災害医療、救急医療又は被ばく医療の専門家により構成される。具体的には、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構の明石執行役から研究全体の監督指導、帝京大学病院の坂本院長、杏林大学医学部の山口教授から学術指導・助言を受けながら、国から原子力災害医療・総合支援センターとして指定されている弘前大学、福島県立医科大学、広島大学及び長崎大学で実務を担当する医師を中心に原子力災害拠点病院におけるBCP策定に関する研究を行う。

また、分担研究として、鹿児島大学病院の有嶋医師を中心にリスクコミュニケーションに関する研究を行う。

なお、研究班の構成を以下に記す。

氏名	協力内容	所属機関	所属機関職名
明石 真言	監督指導	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構	執行役
坂本 哲也	学術指導・助言	帝京大学病院	院長
山口 芳裕	学術指導・助言	杏林大学医学部 救急医学教室	教授
山村 仁	研究協力	大阪府立中河内救命救急センター (前 弘前大学)	副所長
長谷川 有史	研究協力	福島県立医科大学 医学部 放射線災害医療学講座	主任教授
廣橋 伸之	研究協力	広島大学 原爆放射線医科学研究所	教授
宇佐 俊郎	研究協力	長崎大学病院 国際ヒバクシャ医療センター	教授
萩原 明人	研究参加	九州大学大学院 医学研究院医療経営管理学講座	教授

赤星 朋比古	研究参加	九州大学大学院 先端 医療医学講座	准教授
石村 徳彦	補佐	九州大学病院	副看護師長
南淵 篤	補佐	九州大学病院	主任
濱田 昌彦	補佐	株式会社重松製作所	主任研究者
有嶋 拓郎	分担研究	鹿児島大学病院 救命救急センター	特任講師



【図1. 研究班集体図】

## 2. 本年度事業の実施内容及び成果

### 2.1. 海外調査

海外調査として、米国ハーバード大学公衆衛生大学院（マサチューセッツ州ボストン）及び同大学教育関連病院並びに米国疾病予防センターCenter for Disease Control and Prevention（ジョージア州アトランタ）の視察等を通じて、公衆衛生や危機管理担当者への聞き取り調査や過去の米国内外の原子力事故、リスクコミュニケーション等の意見交換を行った。

期間：平成30年7月30日～8月3日

場所：米国マサチューセッツ州ボストン ハーバード大学公衆衛生大学院

期間：平成30年9月11日～9月15日

場所：米国ジョージア州アトランタ米国疾病予防センター  
Center for Disease Control and Prevention

期間：平成31年1月5日～1月11日

場所：米国マサチューセッツ州ボストン ハーバード大学公衆衛生大学院教育関連病院等



## 2.2. 文献調査

本年度は、以下の文献調査から課題等の整理を行った。

### (1) BCP について

日本における災害拠点病院のための BCP を策定するに当たり、厚生労働省病院 BCP 作成の手引き（平成 29 年 3 月版）【災害拠点病院用】（作成：本間研究班、分担研究者 横浜市立市民病院 堀内義仁）、東京都福祉保健局「医療機関における事業継続計画（BCP）の策定について」の二つが、医療機関における BCP の代表的なひな形であることから、当該文献の調査を行った。

上記文献のほかに、多くの大学病院において BCP を定めており、代表的なものとして名古屋大学医学部附属病院 BCP、東北大学病院災害対策マニュアル、同病院 BCP が存在しており、インターネット上で公開している。

なお、大学病院に限らず、多くの医療機関においても BCP を病院のホームページ等で公開している。

このほか、厚生労働省が各都道府県において委託する研修会が開催されており、その多くは保険会社シンクタンク各社が災害医療の専門家と協働して行われている。これらの研修会に参加し、BCP 策定のための研修資料を入手した。

上記の文献調査の結果、以下の点が明らかとなった。

- ア. 大規模地震を被害想定としたものが中心であるため、多数傷病者対応に関する病院能力の維持に加え、病院のインフラ整備、備蓄、職員参集、被災 1 か月後を目処とした復旧計画の立案が中心的な内容であること。
- イ. 大規模地震は、想定しうる各種災害（台風、事故、停電等）の中でも厳しい内容のものであり、インフラ整備を中心に病院の業務を包括するものであることから、大規模地震を想定した BCP は極めて有用であると考えられること。
- ウ. 複合災害としての原子力災害については、各種資料の中に一部記載が見られるものもあるが、直接的に原子力災害拠点病院のための BCP

策定に資するものは存在しなかったこと。

以上から、原子力災害拠点病院のための BCP は、大規模地震を想定して作られる災害拠点病院のための BCP を踏まえつつ、大規模地震・津波・原子力災害のような複合災害を想定する必要があると考えられる。

また、海外での文献調査であるが、病院の BCP について学術文献サイトにて hospital, business continuity, disaster をキーワードとして検索すると複数の論文が挙げられる。しかしながら、その多くが災害時における医療機関において災害復興で BCP の必要性を述べたケースレポートであり、原子力災害における病院の業務継続に関する報告は得られなかった。

一方で、医療機関のための BCP 策定ガイドラインは複数のものが公開されている。代表的なものとして、米国カリフォルニア州病院協会 California Hospital Association の病院業務継続テンプレート Hospital Business Continuity Templates がある。日本における災害拠点病院のための BCP テンプレートと基本的な考え方は同じである。相違点としては、必ずしも地震を想定したものでないこと、病院版緊急時指揮調整システム Hospital Incident Command System に準拠していることが挙げられる。一般的に米国では BCP は IT 部門の一環として位置付けられ、災害対応のためのものとしてはあまり捉えられていない。米国の医療機関の災害対応は、災害対応マニュアルの整備も含めて、前述した病院版緊急時指揮調整システム Hospital Incident Command System という包括的なガイドラインに準拠している。

なお、欧米の医療機関では IT 領域において業務継続に関する整備が進んでいる。電子カルテ、検査機器、事務部門等 IT の業務継続無くして医療機関は機能し得ない。そのため、データベースのバックアップや頑強性の担保、IT 部門のセキュリティ対策、万が一 IT 部門が機能不全した場合の計画立案が進められている。

## (2) リスクコミュニケーションについて

災害時におけるリスクコミュニケーションについて、学術文献サイト

において hospital, disaster, risk communication をキーワードとして検索すると数多くの調査研究論文が挙げられる。福島第1原子力発電所事故後、原子力災害におけるリスクコミュニケーションは多くの研究が行われてきており、福島県立医科大学医学部健康リスクコミュニケーション学講座の村上道夫らは、リスクコミュニケーションにおいて専門家(または情報提示側)に必要な7のエッセンスとして、①リスクを評価すること、②リスク受容とリスクトレードオフのフレームを区別すること、③リスクの性質の違いを理解すること、④価値観のフレームを理解すること、⑤高すぎるリスクへの対応に留意すること、⑥信頼関係を築くこと、⑦情報提示のあり方を考えることを挙げている<sup>1</sup>。

福島第1原子力発電所事故当時、原子力災害急性期の混乱期において、医療機関のための報道対応、地域対応、職員対応に関する知見や研究は必ずしも十分でなかったと言われている。その中で、米国の危機管理において、災害時の報道対応やリスクコミュニケーションに関して文献調査等を行い、幾つかの端緒を得ることができた。

参考となる文献を以下に記す。

ア. 米国危機管理庁教育用ウェブサイトコンテンツ

IS-29: 報道官入門 Public Information Officer Awareness

内容: 災害・緊急時における報道官の役割、メディアに関する基本事項、災害時のリスクコミュニケーションの在り方等が紹介。  
米国の自治体職員で報道対応に従事するものは受講が必須。

イ. 米国疾病予防センターCDC 危機・緊急事態における Crisis and emergency risk communication

内容: 災害のみならず、感染症、事件等におけるリーダーそして報道担当者が行うべきリスクコミュニケーションの在り方を提示したものである。

ウ. 米国危機管理庁原子力発電所事故時ならびに事故後のコミュニケーション  
Communicating During and After a Nuclear Power Plant

---

<sup>1</sup> 村上道夫 リスクコミュニケーションにおいて専門家に求められる7のエッセンス イルシー (130), 3-10, 2017-05 日本国際生命科学協会

Incident June 2013

内容：原子力災害時における報道対応、リスクコミュニケーション  
において、回答の雛形を提供。

これらは、日本でほとんど紹介されていないものであり、かつ、本研究に必要な内容を含んでいる。原子力災害時に原子力災害拠点病院が求められるリスクコミュニケーションの在り方の参考になりうるものと考えた。

### 2.3. 原子力災害拠点病院に対する質問調査

国から原子力災害医療・総合支援センターとして指定されている弘前大学、福島県立医科大学、広島大学及び長崎大学の4機関を通じて、原子力災害拠点病院における原子力災害医療体制の現状を把握するための質問調査を実施した。

なお、調査対象及び調査方法を以下に記すとともに、調査様式を参考資料1に添付する。

- (1) 調査対象：原子力災害拠点病院に指定されている43施設（平成30年11月1日現在）
- (2) 調査方法：九州大学から原子力災害医療・総合支援センターである弘前大学、福島県立医科大学、広島大学及び長崎大学の4機関を通じて、管轄内の原子力災害拠点病院の担当者宛てに質問調査の依頼を平成30年12月4日に電子メールで送付し、12月21日までの期間で実施した。
- (3) 調査内容：調査項目は以下に占める4項目47問とした。
  - ① 病院基本情報
  - ② 原子力災害拠点病院に関連する質問
  - ③ 原子力災害時時のリスクコミュニケーションに関する質問
  - ④ 自由記載
- (4) 分析方法：統計解析ソフトRを用いて統計処理等を行い分析した。

また、当該質問調査から得られた知見を以下に記す。

- ア．原子力発電所からの距離に応じて原子力災害拠点病院に求められる役割や機能がある（UPZ内の施設は原子力災害時の傷病者受入に加え、病院避難の可能性）こと。
- イ．原子力災害に対応するBCPを整備した施設は1施設のみであったこと。また、近接の原子力発電所等の事故に対する何らかの行動計画を有する施設は約4割程度であったこと。
- ウ．約5割の施設で専用の原子力災害医療施設を有していること。
- エ．原子力災害病院の指定を受けて、多くの施設がその社会的意義を理解

しつつも、人件費等の負担が大きいと感じていること。

- オ. 原子力災害拠点病院は、自施設職員や原子力災害医療協力機関に対して研修を行うことが義務付けられているが、約7割の施設で何らかの研修会等の技術支援の場を求めていること。

## 2.4. 原子力災害拠点病院に対する訪問調査

前述の原子力災害医療・総合支援センターに指定されている4機関を通じて、原子力災害医療に従事する医療従事者に対して、訪問調査を実施した。

なお、調査対象及び調査方法を以下に記す。

- (1) 調査対象：平成30年11月1日現在で指定されている原子力災害拠点病院43施設中、面会のアポイントが確保できた14施設を訪問し、原子力災害医療を担当する医師及び事務担当者に対して聞き取り調査を行うとともに、現有施設の現状確認を行った。
- (2) 調査方法：永田主任研究者の質問に訪問先施設の担当者が回答するインタビュー形式（非公開）で実施した。
- (3) 調査内容：主に以下の項目を質問し、議論検討した。
  - ① 災害拠点病院としての現状
  - ② 原子力災害拠点病院としての現状
  - ③ 想定しうる原子力災害及び事故
  - ④ 災害時の病院のリスクコミュニケーションに関する取組
- (4) 分析方法：回答を文書化し、匿名性を担保しつつ原子力災害拠点病院のBCP策定に關与する重要項目を抽出した。

また、ヒアリングから得られた知見を以下に記す。

- ア．新規に指定を受けた施設は、具体的な原子力災害の想定や求められる役割について十分に把握できていないこと。
- イ．道府県の災害想定や対応計画に関する議論が原子力災害拠点病院等を交えずに行われることがあること。
- ウ．原子力災害拠点病院で直接診療に当たる医療従事者に対して、災害想定が共有されていないことなどから、国や道府県、電力事業者に対して、一定の不安や不満があること。
- エ．原子力災害拠点病院が何らかのワークショップや研修会等を通じて、原子力災害対応のあり方やリスクコミュニケーションを議論・検討する場を求めていること。

## 2.5. 九州大学病院における原子力災害のためのBCP策定

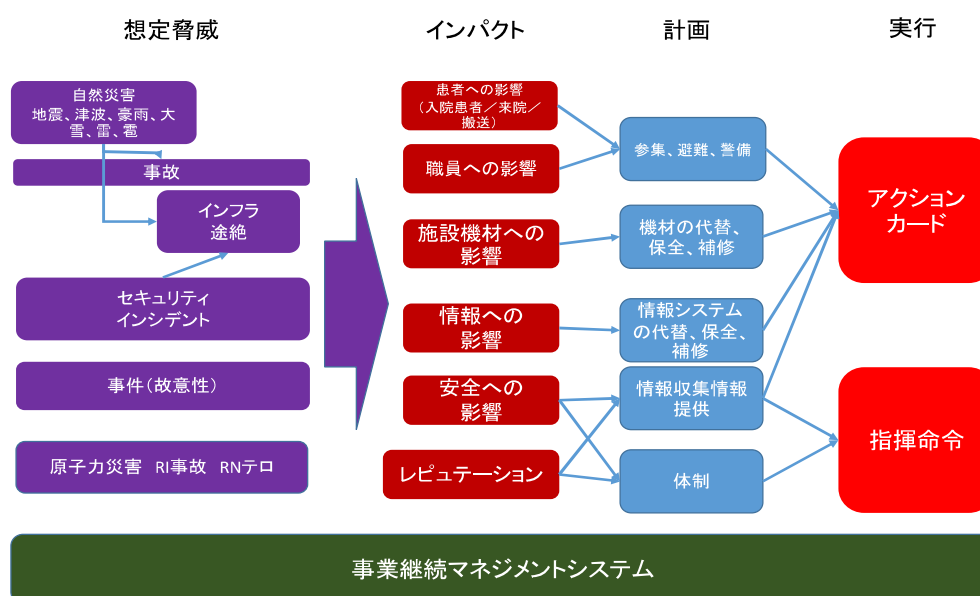
### 2.5.1. 九州大学病院業務継続計画書（BCP）策定

九州大学病院病院長のリーダーシップの下、平成30年4月から危機管理担当副院長を中心にBCPを策定するための災害小委員会ワーキンググループを設置するとともに、素案を作成するためのタスクフォースを設置した。九州大学病院各部署の実査、聞き取り調査、情報交換等を行いながら定期的な会合を重ね、BCPの策定を進めた。

九州大学病院は、災害拠点病院であり、原子力災害拠点病院でもある。加えて、福岡市という大都市に位置する大学病院であるため、様々な想定脅威に対する必要性がある。したがって、図2のように原子力災害も含めたあらゆる想定脅威に対して、九州大学病院が生き残り、地域での医療を提供し続けることを目指して、BCPを検討した。蓋然性の高い警固断層地震（推定マグニチュード7.0、倒壊家屋18,000軒、負傷者22,000名、死者1,200名）による災害を中心とするも、九州電力玄海原子力発電所事故等の複合災害に対しても対応できることを目指した。

検討の結果、九州大学病院BCPは第1版が平成31年2月27日に承認され、同年3月30日に福岡県へ提出される予定である。

## 一般的なBCP策定の考え方



【図2. 一般的なBCP策定の考え方】



## 2.5.2. 策定した BCP の検証について

策定された BCP が機能するか、福岡県原子力防災訓練及び院内災害・BCP 訓練を通じて検証を行っており、検証の結果を踏まえ、BCP の修正を行い、第 1 版を完成させた。

なお、訓練の主な実施内容を以下に記す。

### (1) 平成 30 年度 福岡県原子力防災訓練(被ばく傷病者受入れ訓練)

目的：九州電力玄海原子力発電所で原子力災害が発生した場合に、原子力災害拠点病院を拠点とした被ばく傷病者への医療体制が迅速かつ的確に行われるよう、各関係機関と訓練を実施することにより、原子力災害時における医療提供体制の習熟及び関係機関の連携強化を図る。

日時：平成 31 年 2 月 2 日 10:30～14:00

場所：九州大学病院第 2 駐車場等

訓練想定：九州電力玄海原子力発電所の事故発生後のプルーム通過中に UPZ 内で屋外作業をしていた会社の同僚 2 人が、一時移転の指示を受け、福岡市内の避難所へ自家用車で避難途中に交通事故に遭った。両名とも放射性物質による汚染の疑いがあることから、原子力災害拠点病院である九州大学病院へ搬送し、被ばく傷病者に対する除染及び救急処置を実施する、との想定で各関係機関と連携して訓練を実施した。

訓練内容：1 人目の被ばく傷病者は、軽傷であったことから、除染テントを使用した除染及び救急処置を行った。2 人目の被ばく傷病者は、緊急手術が必要な重症患者であることが判明し、救命処置が優先されるとの想定で、中央診療棟の処置室で除染及び救急処置を実施した。なお、被ばく傷病者の内部被ばくの確認のためにホールボディカウンター検査を併せて実施した。



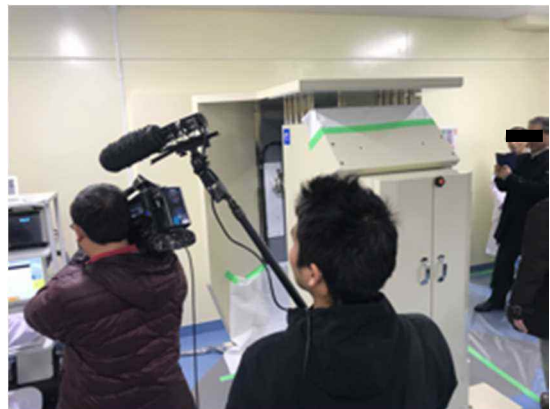
【図3. 除染テント設営】



【図4. 被ばく傷病者受け入れ①】



【図5. 被ばく傷病者受け入れ②】



【図6. ホールボディカウンターによる測定】

## (2) 平成30年度 九州大学病院災害・BCP訓練

目的：地域災害が発生した場合に災害拠点病院として、円滑に対処できるよう、災害対策本部の指揮命令機能の確認と向上を図る。

日時：平成31年2月28日 14:00～16:30

場所：九州大学病院外来診療棟5階 会議室1

訓練方法：平日、昼間の地震発生に対して、病院長を中心とした「災害対策本部」を立ち上げ、初動対応を行う。対策本部の設置、連携部署の受入体制の確認を行い、与えられる原子力災害を含む様々な想定付与に応じて、対策本部アクションカードに沿った行動により本部運営を行った。また、訓練終了後

には問題点等を話し合い、全体を総括した。

訓練想定：14時30分、警固断層を震源地とした大規模地震が発生。震度は福岡市東区6強、マグニチュード7.0であり、火災は院内では発生していないが、院外では発生している。津波の発生はないが、ライフラインの被害として、電気が供給停止しており、非常電源により院内の電力は保たれている状況である。なお、水は通常どおり供給されている。

このような状況下で、複合災害として九州電力玄海原子力発電所事故が発生したという想定。

訓練内容：マグニチュード7.0規模の地震が発生した1日に発生する状況を1時間15分の訓練として再現した。地震発生後、直ちに病院長を本部長とする災害対策本部が設置され、院内の被害状況及び市内の被災状況に関する情報収集を実施した。病院の被害が比較的軽微であることを確認したのちに、外部からの多数傷病者受け入れ体制を構築した。市内の被災状況が甚大であるため、BCPを発動し、病院長は翌日以降の外来・入院に関する病院業務を縮小するとともに1か月以内に復旧するための計画立案を指示した。また、九州電力玄海原子力発電所における原子力災害発生との連絡を受けて、病院長から原子力災害医療体制の準備が指示され、訓練終了となった。



【図7. 指揮所訓練の様子】



【図8. 病院長に情報集約】



【図9. 原子力災害（訓練）のニュース速報】

## 2.6. 全体会議

原子力災害拠点病院を対象とした質問調査の内容に関する検討、リスクコミュニケーションで盛り込むべき項目に関する検討のほか、海外調査や文献調査の情報共有として、本年度は3回の研究班会議を開催した。

なお、研究班会議の主な実施内容を以下に記す。

### (1) 第1回会議

日 時：平成30年6月7日 14時00分～16時00分

出席者：永田（九州大）、有嶋（鹿児島大）、明石（量研機構）、長谷川（福島県立医大）、廣橋（広島大）、宇佐（長崎大）、萩原、赤星（九州大）、濱田（重松製作所）

オブザーバ：鈴木（陸上自衛隊福岡病院）、清水（陸上自衛隊福岡病院）、石川（福島県立医大、プログラムオフィサー：PO）、田中（原子力規制庁）、平瀬（原子力規制庁、PO 補佐）

主な内容：事業計画書に沿って3年間で実施する研究の概要及び本年度実施する項目について、参加者間で共有がなされた。

### (2) 第2回会議

日 時：平成30年11月19日 14時00分～15時45分

出席者：永田（九州大）、有嶋（鹿児島大）、坂本（帝京大）、長谷川（福島県立医大）、山村（中河内救命救急センター）、廣橋（広島大）、宇佐（長崎大）、萩原、赤星、石村（九州大）、濱田（重松製作所）、

オブザーバ：中尾（岡山大）、石川（福島県立医大、PO）、田中（原子力規制庁）、平瀬（原子力規制庁、PO 補佐）

主な内容：原子力災害拠点病院を対象とした質問調査について、質問項目に盛り込むべき内容等を検討した。また、リスクコミュニケーションのガイドライン開発に関する研究の進捗報告がなされた。

(3) 第3回会議

日 時：平成31年1月29日 14時00分～16時00分

出席者：永田（九州大）、有嶋（鹿児島大）、明石（量研機構）、山口（杏林大）、山村（中河内救命救急センター）、廣橋（広島大）、萩原、赤星、石村（九州大）、濱田（重松製作所）

オブザーバ：石川（福島県立医大、PO）、田中（原子力規制庁）、平瀬（原子力規制庁、PO 補佐）

主な内容：12月に実施した原子力災害拠点病院を対象とした質問調査の結果（一部途中経過）について、参加者間で検討を行った。得られた結果については、来年度以降の研究に活用していくことが確認された。また、リスクコミュニケーションのガイドライン開発に盛り込む考え方について検討がなされた。

### 3. 本年度事業のまとめ

1.1. 本年度の研究計画で挙げた1年目の事業計画の6項目は、おおむね実施できた。

なお、各項目の詳細を以下に記す。

- ①原子力災害拠点病院におけるBCPの必須項目の抽出は、質問調査を通じて一定数の有益な知見が得られた。
- ②リスクコミュニケーションのためのフレームワーク形成については、本年度は文献調査、海外事例分析、有識者への聞き取り調査等を実施した。
- ③同フレームワークの有効性を検証・補完するため、本年度は文献検索、各地域の拠点病院関係者及び有識者への聞き取り調査を通じて多くの有益な知見を得ることができた。
- ④本年度は、海外先進事例の把握を通じて多くの知見を得ることができた。
- ⑤BCP策定のための想定脅威の分析は、訪問調査を通じて実施した。なお、原子力災害拠点病院が対応を求められる原子力災害には想定等の具体性を持たせる必要があることが分かった。
- ⑥研究知見に基づき原子力災害拠点病院である九州大学病院における原子力災害のためのBCPの策定は実施できた。

### 3.1. 本年度事業の成果発表

本年度事業の成果については、学会発表を通じて途中経過等を報告している。  
なお、主な学会発表について以下に記す。

- (1) 第6回日本放射線事故・災害医学会年次学術集会(平成30年9月22日 東海村)  
永田 高志  
「原子力災害拠点病院のモデル BCP 及び外部評価等に関する調査及び開発」
  
- (2) 第46回日本救急医学会総会・学術集会(平成30年11月20日 横浜市)  
永田 高志, 有嶋 拓郎, 長谷川 有史, 山村 仁, 赤星 朋比古, 廣橋 伸之, 宇佐 俊郎, 山口 芳裕, 坂本 哲也, 明石 真言  
「原子力災害拠点病院のモデル BCP 及び外部評価等に関する調査及び開発」
  
- (3) 第24回日本災害医学会総会・学術集会(平成31年3月18日 米子市)  
永田 高志, 有嶋 拓郎, 長谷川 有史, 山村 仁, 赤星 朋比古, 廣橋 伸之, 山口 芳裕, 坂本 哲也  
「原子力災害拠点病院のBCP策定に向けて」



参考資料

質問調査様式

「原子力災害拠点病院モデルBCP及び外部評価等に関する調査及び開発」

原子力災害拠点病院活動基本調査票

(平成30年11月1日現在)

☆ この調査は、原子力災害拠点病院が事業継続計画（BCP）を策定するためのモデルとなる技術的指針類を開発することを目的に、原子力規制庁の委託研究事業として調査を行うものです。

☆ この調査により報告された記載内容は、九州大学の規定により秘密が保護されます。また、第三者への提供は行いません。

☆ 病院名を特定しない形で解析結果を公表する場合があります。

☆ 調査の期日は、平成30年12月1日現在です。

☆ 調査項目のうち、選択枝の項目はプルダウンにより該当する回答を選択してください。

☆ 調査票は、平成30年12月21日（金）までに以下の回答先まで電子メールまたはFAXにより回答をお願いします。

【回答先メールアドレス】 saki2645@med.kyushu-u.ac.jp

【問合せ先】

〒812-8582 福岡県福岡市東区馬出3-1-1 総合臨床研究棟4階  
九州大学大学院医学研究院 先端医療医学講座 災害救急医学分野  
担当 永田、山崎  
TEL：092-642-6222  
FAX：092-642-6224

1. 施設の概要

施設名	
住所	住所：〒
電話番号 (代表)	電話：( ) 局 番
施設管理者名 (病院長名)	
記入者の氏名	
本票の記入内容の照会に回答される人（記入者）の	所属（部署名）： 住所：〒
所属（部署名）、所在地、	電話：( ) 局 番（内線 )
電話番号等	メールアドレス：

## 2. 病院基本情報について

病院の基本情報についてお尋ねします。なお、災害拠点病院に指定されている場合は、災害拠点病院として記入してください。

1. 病床数  床

2. 病院職員数（非常勤を含む）

総数  名

（内訳）

医師  名

看護師  名

診療放射線技師  名

事務  名

薬剤師  名

その他の職種の職員  名

注）その他の職種の職員は、医師、看護師、診療放射線技師、事務、薬剤師以外の職員数を記載してください。

3. 救命救急センターの指定について、該当するものにチェックを入れてください。

三次救急医療機関（救命救急センター、高度救命救急センター）

二次救急医療機関

4. 病院内で原子力災害を含めた災害医療を専門に行う施設がありますか？

1 有り

2 無し

回答

5. 耐震構造又は免震構造のどちらですか？

1 耐震構造

2 免震構造

3 どちらでもない

回答

6. 貴院には災害対策マニュアルは作成されていますか？

1 有り ➡ 7へ

2 無し ➡ 6-1、6-2へ

回答

6-1. 今後、災害対策マニュアルを整備する予定はありますか？

1 はい

2 いいえ

回答

6-2. 災害対策マニュアルが作成されていない理由についてお知らせください。（自由記載）

回答

7. 災害対策マニュアルを策定した組織の構成人員、委員会等の名称、院内の位置づけを教えてください。

構 成 人 員		名	うち 医師		名
組織の責任者の役職					
委員会等の名称					
院内の位置づけ					

「院内の位置づけ」の回答例：「副院長をトップに防災対策委員会の下」「病院運営会議の下」等

8. 災害対策マニュアルの被害想定について、該当するもの全てにチェックを入れ、項目に記載してください。

地震：震度（) を想定
  津波
  大雨・台風
  土砂崩れ  
 原子力災害（原子力施設名 )  
 その他（)

9. 上記（問8.）の被害想定の根拠は何ですか。該当するもの全てにチェックを入れてください。

地域防災計画
  津波浸水想定
  市町村ハザードマップ  
 土砂災害警戒区域
  そ の 他（)

10. 貴院が想定する多数傷病者対応（5名以上）において最大の傷病者受け入れ人数を教えてください。

注）院内事故を含む全ての被害における傷病者の受け入れ人数です。（赤タグを想定）

傷病者受け入れ数  名

11. 過去に同時に5名以上の多数傷病者対応の経験がありますか？

- 1 有り      ➡ 11-1へ  
2 無し      ➡ 12へ

回答	<input type="text"/>
----	----------------------

11-1. 具体的な状況、受け入れ人数等を教えてください。

注）複数の経験がある場合は、貴施設に最も困難であったもの、あるいは傷病者数が多かった事案について紹介教えてください。

日 時	平成	<input type="text"/>	年	<input type="text"/>	月	<input type="text"/>	日	<input type="text"/>	
災害状況	<input type="text"/>								
傷病者数	赤	<input type="text"/>	名	黄	<input type="text"/>	名	緑	<input type="text"/>	名

12. 過去に病院において災害対策本部を設置するような大災害の対応を経験したことがありますか？

- 1 有り            ➡ 12-1へ
- 2 無し           ➡ 13へ

回答	
----	--

12-1. 上記の災害対応について、具体的な状況を教えてください。

日時	平成		年		月		日
災害状況							

13. 病院内に災害医療のマネジメントを行う常設の部署がありますか？

- 1 有り            ➡ 13-1、13-2へ
- 2 無し           ➡ 14へ

回答	
----	--

13-1. 上記の部署の人員の総数を教えてください。

部署の人員総数       名

13-2. そのうち、災害医療専従のスタッフは何名ですか？

**注) 災害医療専従とは、同部署にフルタイムで勤務（事務系職員を含む）していることを意味します。**

災害医療専従スタッフ       名

14. 災害医療に関する研修会（院内向け、院外向け）は、年に何回行っていますか？

院内向け研修会       回

院外向け研修会       回

15. 災害訓練は、年に何回行っていますか？

災害訓練              年       回

16. DMAT数と隊員数を教えてください。（総数）

DMAT数	<input style="width: 150px;" type="text"/>	チーム		左記のうち、何らかのCBRNE研修	
医師数	<input style="width: 150px;" type="text"/>	名	➡	を受講したことのある数	<input style="width: 150px;" type="text"/> 名
看護師数	<input style="width: 150px;" type="text"/>	名	➡		<input style="width: 150px;" type="text"/> 名
ロジスティクス隊員数	<input style="width: 150px;" type="text"/>	名	➡		<input style="width: 150px;" type="text"/> 名

病院基本情報に関する質問は以上です。

### 3. 原子力災害拠点病院について

原子力災害拠点病院に関する事項についてお尋ねします。

1. 原子力災害拠点病院として地方公共団体から指定されたのはいつですか？

平成  年  月

2. 原子力災害医療のための専用施設（除染施設等）を保有していますか？

1 はい           ➡ 2-1、2-2、2-3、2-4へ

2 いいえ         ➡ 3へ

回答

2-1. 具体的な施設名を教えてください。

施設名

回答例：「除染施設」「初療施設」「原子力災害医療専用施設」等

2-2. 上記の専用施設は本院とは独立した施設ですか？

1 はい

2 いいえ

回答

2-3. 上記の専用施設の用途について教えてください。（自由記載）

回答	<input type="text"/>
----	----------------------

2-4. 原子力災害医療専用の施設のライフライン（水、電気）は緊急時でも機能するための施設基準を満たしていますか？

1 はい

2 いいえ

回答

3. 直近の原子力発電所・原子力施設までの距離はいくらですか？

原子力施設名	<input type="text"/>	
直線距離	約 <input type="text"/>	k m

4. 上記の施設で事故・災害が発生することを想定した行動計画は策定しましたか？

1 はい

2 いいえ

回答

5. 院内の原子力災害医療の担当者、担当部署、担当診療科を教えてください。

担当者	
担当部署・診療科名	

注) 複数ある場合は全てご記入ください。

6. 原子力災害に関する研修会を定期的に行っていますか？

1 はい            ➡ 6-1へ

2 いいえ          ➡ 7へ

回答	
----	--

6-1. 研修会の具体的な内容をご記入ください。(自由記載)

回答	
----	--

7. 県内あるいは地域内で原子力災害医療協力機関とのネットワークを構築していますか？

県内におけるネットワーク構築

1. はい      2. いいえ

回答	
----	--

地域内におけるネットワーク構築

1. はい      2. いいえ

回答	
----	--

8. 貴施設では、1999年に発生した東海村JCO臨界事故のような急性放射線症候群等の高線量被ばくによる傷病者対応は可能ですか？

注) あくまでも仮定の話としての質問です。急性放射線症候群の対応は、原子力災害拠点病院では、対応が困難な事例とされています。(「原子力災害拠点病院等の施設要件」脚注2より) 事例とされています。(「原子力災害拠点病院等の施設要件」)

1 はい

2 いいえ

回答	
----	--

9. プルトニウムの吸入等で用いるキレート剤や防護のための薬剤の備蓄はありますか？

注) ①～③の薬剤については、高度被ばく医療支援センター等における、診療の提供を受けられる体制が構築されている場合は整っているものとみなす項目とされています。(「原子力災害拠点病院等の施設要件」脚注10より)

①Ca-DTPA            1. はい      2. いいえ

回答	
----	--

②Zn-DTPA            1. はい      2. いいえ

回答	
----	--

③プルシアンブルー    1. はい      2. いいえ

回答	
----	--

④安定ヨウ素剤            1. はい      2. いいえ

回答	
----	--

10. 搬送されてきた患者に、プルトニウムの吸入があった（疑いを含む）と分かった場合に、傷病者の対応は可能ですか？

注) あくまでも仮定の話としての質問です。アクチニドによる内部被ばくの対応は、原子力災害拠点病院では対応が困難な事例とされています。（「原子力災害拠点病院等の施設要件」脚注2より）

1. はい      2. いいえ

回答	
----	--

11. 貴院の原子力災害拠点病院の指定に関し、下記のうち該当するものにチェックしてください。（複数回答可）

- 原子力災害拠点病院として指定されることは名誉である。
- 原子力災害拠点病院活動を通じて人材育成を図ることが出来た。
- 原子力災害拠点病院活動を通じて体制強化を図ることが出来た。
- 原子力災害拠点病院の指定を通じて地域からの信頼を得ることが出来た。
- 原子力災害拠点病院の整備のための予算を通じて体制強化を図ることが出来た。
- 原子力災害拠点病院の整備が日常の診療業務で役に立つことが出来た。
- 原子力災害拠点病院の整備が実際の災害対応で役に立つことが出来た。
- 原子力災害拠点病院の指定は負担である。
- 原子力災害拠点病院の人材育成が負担である。
- 原子力災害医療体制の構築・維持が負担である。
- 原子力災害拠点病院について院内の理解が十分に得られない。
- 原子力災害拠点病院について地域の理解が十分に得られない。
- 原子力災害拠点病院について自治体から協力が十分に得られない。
- 原子力災害拠点病院の具体的な活動が十分に理解できない。
- 原子力災害拠点病院に対する何らかのインセンティブが必要である。
- 原子力災害拠点病院であることについて、院内から反対意見がある。
- 原子力災害拠点病院であることについて、院外から反対意見や事情がある。
- そのほか、何かありましたら以下の欄にご記入ください。（自由記載）

--

12. 原子力災害に関する病院BCPがありますか？

- 1 はい  
2 いいえ

回答	
----	--

13. 原子力災害を想定したBCP策定は必要ですか？

- 1 はい  
2 いいえ

回答	
----	--



14. 原子力災害を想定したBCPを策定することは難しいですか？

- 1 はい           ➡ 14-1へ
- 2 いいえ       ➡ 15へ

回答	
----	--

14-1. 具体的な理由について教えてください。(自由記載)

15. 原子力災害を想定した災害対策マニュアルやBCPを策定する際、具体的な被害想定を立てるのは難しいですか？

- 1 はい           ➡ 15-1へ
- 2 いいえ       ➡ 16へ

回答	
----	--

15-1. どのような点が難しいですか？具体的な理由について教えてください。(自由記載)

16. 原子力災害拠点病院のためのBCPを策定する際に必要と思われる項目について、該当するものにチェックを入れてください。(複数回答可)

- 原子力災害拠点病院BCPのためのテンプレート
- 原子力災害拠点病院BCPのための具体的な被害想定
- 原子力災害拠点病院BCPのためのアクションカード
- 原子力災害拠点病院BCPのための本部機能の在り方に関するガイダンス
- 原子力災害拠点病院BCPのための研修会
- 原子力災害拠点病院BCPのための訓練シナリオ
- そのほか、何かありましたら以下の欄にご記入ください。(自由記載)

17. 原子力災害拠点病院のBCPのあり方に関し、原子力規制庁を含む行政に対して要望があればご記入ください。(自由記載)

18. その他の放射線災害（RⅠ事故やダーティボム等）について想定していますか？

注）あくまでも仮定の話としての質問です。ダーティボムやRⅠ事故の対応は、原子力災害拠点病院の役割として、原子力災害対策指針や原子力災害拠点病院等の施設要件に明記されていません。

- 1 はい
- 2 いいえ

回答	
----	--

19. RⅠ事故やダーティボム等の放射線災害への対応はできますか？

注）上記の注釈と同様にあくまでも仮定の話としての質問です。

- 1 はい           ➡ 20へ
- 2 いいえ       ➡ 19-1へ

回答	
----	--

19-1. 「いいえ」の理由として、該当するものにチェックを入れてください。（複数回答可）

- RⅠ事故の対応について知識、経験、訓練の機会がないから。
- ダーティボムの対応について知識、経験、訓練の機会がないから。
- 原子力災害事故しか想定していないから。
- 放射線災害への対応に関するコンセンサスが得られていないから。
- RⅠ事故やダーティボム等の放射線災害への恐怖心があるから。
- そのほか、何かありましたら以下の欄にご記入ください。（自由記載）

--

20. 放射線災害（RⅠ事故やダーティボム等）対応について、原子力規制庁を含む行政に対して要望があればご記入ください。（自由記載）

注）問18の注釈と同様にあくまでも仮定の話としての質問です。

--

21. 原子力災害拠点病院のためのBCPの中に安全注意義務に関する項目が必要だと思いますか？

- 1 はい           ➡ 21-1へ
- 2 いいえ       ➡ 22へ

回答	
----	--

21-1. 「はい」の理由として、ご意見等がございましたらご記入ください。（自由記載）

--

22. 原子力災害時におけるリスクコミュニケーションについて事前に考えておく必要はありますか？

注) リスクコミュニケーションの定義は「行政、専門家、企業、住民が役割を明らかにし、共通の意識を持ち、協力関係を構築するために、互いに危機について意見や情報を交換し、共有しあうこと。（首相官邸HPから一部抜粋編集）

1 はい                    ➡ 22-1へ

2 いいえ                  ➡ 23へ

回答	
----	--

22-1. 「はい」の理由として、該当するものにチェックを入れてください。（複数回答可）

- 災害・緊急時対応におけるリスクコミュニケーションが重要だから。
- 災害・緊急時において報道対応が重要だから。
- リスクコミュニケーションに関して十分な知識や経験がないから。
- リスクコミュニケーションに関する情報が不足しているから。
- 原子力災害に対する恐怖心があるから。
- 原子力災害に対する不信感があるから。
- 原子力災害に対するリスクコミュニケーションのマニュアルが必要だから。
- 原子力災害に対するリスクコミュニケーションの研修が必要だから。
- そのほか、何かありましたら以下の欄にご記入ください。（自由記載）

--

23. 原子力災害拠点病院にとってリスクコミュニケーションは重要と考えますか？

1 はい

2 いいえ

回答	
----	--

24. 病院向けの具体的なリスクコミュニケーションの対応マニュアルはありますか？

1 はい

2 いいえ

回答	
----	--

25. 住民向けの具体的なリスクコミュニケーションの対応マニュアルはありますか？

1 はい

2 いいえ

回答	
----	--

26. 報道機関向けの具体的なリスクコミュニケーションの対応マニュアルはありますか？

- 1 はい
- 2 いいえ

回答	
----	--

27. 病院向けの具体的な対応マニュアルは必要ですか？

- 1 はい
- 2 いいえ

回答	
----	--

28. 住民向けの具体的な対応マニュアルは必要ですか？

- 1 はい
- 2 いいえ

回答	
----	--

29. 報道機関向けの具体的な対応マニュアルは必要ですか？

- 1 はい
- 2 いいえ

回答	
----	--

30. 原子力災害時における報道対応の窓口やスポークスパーソンはいますか？

- 1 はい
- 2 いいえ

回答	
----	--

31. 原子力災害時におけるリスクコミュニケーションの問題点や意見を教えてください。（自由記載）

--

質問は以上です。御協力有難うございました。

(空 白)

平成 30 年度放射線対策委託費  
(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)  
放射線安全規制研究推進事業

包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究  
成果報告書

平成 31 年 3 月

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構



## 目次

1	研究事業の概要	
1.1	背景と目的	1
1.2	研究内容	2
1.3	研究計画	3
1.3.1	調査研究1：初動対応手順の検討とマニュアル等の作成	3
1.3.2	調査研究2：医療機関での受け入れ体制整備	3
1.3.3	調査研究3：専門的支援体制等の整備	4
1.3.4	検証1：モデル地域での検証	4
1.4	実施体制	4
1.5	研究のマイルストーン	8
2	【調査研究1】初動対応手順の検討とマニュアル等の作成	
2.1	本年度の研究計画	9
2.2	検討の経緯	9
2.2.1	避難退域時検査	9
2.2.2	CBRNE テロ災害の初動対応の教育	9
2.2.3	ソフトターゲットを標的として CBRNE テロ災害	12
2.2.4	第40回日本中毒学会学術集会	13
2.2.5	第24回日本災害医学会総会学術集会	13
2.2.6	テロ対策特殊装備展'18	14
2.3	結果	14
2.3.1	避難退域時検査における課題	14
2.3.2	CBRNE テロ災害での初動対応における課題	16
2.3.3	ソフトターゲットを標的とした CBRNE テロ災害対応での課題	17
2.4	考察	18
2.4.1	避難退域時検査の実行性の向上施策	18
2.4.2	CBRNE テロ災害に関する教育の充実	19
2.4.3	CBRNE テロ災害の想定と対策	20
2.4.4	All hazard approach による初動対応手順	22
2.5	結論	23
	資料 2-1 2018 年度原子力総合防災訓練 避難退域時検査実動訓練	24
	資料 2-2 2018 年度 CBRNE 災害対処千葉連携研修 机上演習	27
	資料 2-3 2018 年度市川市消防局西消防署 特殊災害研修	29



資料 2-4	国際空港エマルゴトレーニング	31
資料 2-5	CBRN 対処合同訓練	33
資料 2-6	大規模集客施設防災訓練	39
<b>3</b>	<b>【調査研究 2】医療機関での受け入れ体制整備</b>	
3.1	本年度の研究計画	41
3.2	検討の経緯	41
3.3	結果	42
3.3.1	原子力災害医療に関する研修の体系化	42
3.3.2	原子力災害医療に関する研修の高度化	46
3.3.3	原子力災害医療に関する研修で使用する標準テキスト作成	47
3.3.4	原子力災害医療に関する研修制度と人材の一元管理	48
3.3.5	被ばく医療に関わる人材へのインセンティブ	50
3.3.6	包括的被ばく医療の研修と教材	51
3.3.7	被ばく医療の初療のフロー図と診療記録用紙	53
3.4	考察	56
3.4.1	原子力災害医療の研修に関する課題	56
3.4.2	包括的被ばく医療に関する課題	56
3.5	結論	57
<b>4</b>	<b>【調査研究 3】専門的支援体制の整備</b>	
4.1	本年度の研究計画	59
4.2	検討の経緯	59
4.3	結果	59
4.3.1	ネットワーク会議を活用した専門的支援	59
4.3.2	検知システム等を活用した専門的支援	61
4.3.3	情報共有システムを活用した専門的支援	64
4.3.4	災害医療との連携	64
4.4	考察	65
4.5	結論	66
<b>5</b>	<b>【検証 1】モデル地域での検証</b>	
5.1	本年度の研究計画	67
5.2	検討の経緯	67
5.2.1	初動対応機関の研修	67
5.2.2	医療機関の研修	67

5.2.3	災害医療との連携の研修	67
5.3	結果	67
5.3.1	初動対応機関の研修	67
5.3.2	医療機関の研修	68
5.3.3	災害医療との連携の研修	68
5.4	考察	69
5.5	結論	69
	資料 5-1 原子力災害拠点病院以外の医療機関での被ばく医療研修	71
	資料 5-2 研修用資機材一覧	73
6	まとめ	75
	診療記録用紙	77
	参考資料 原子力災害、放射線事故・テロ・災害時の患者搬送における汚染拡大防止	79
	別添資料 1	85
	別添資料 2	257
	別添資料 3	609

# 1. 研究事業の概要

## 1.1. 背景と目的

原子力災害、放射線テロまたは核攻撃（以下：RN テロ・災害）、放射線障害防止法の対象事業所（以下：RI 事業所）での労災事故など、発生あるいは災害の種類によって区別されることなく、初動対応や緊急被ばく医療は実施される必要がある。しかし、それぞれの発生場所あるいは災害の種類によって、対応する初動機関、医療機関が分かれており、それぞれの体制整備、人材育成が実施されている(図 1-1)。

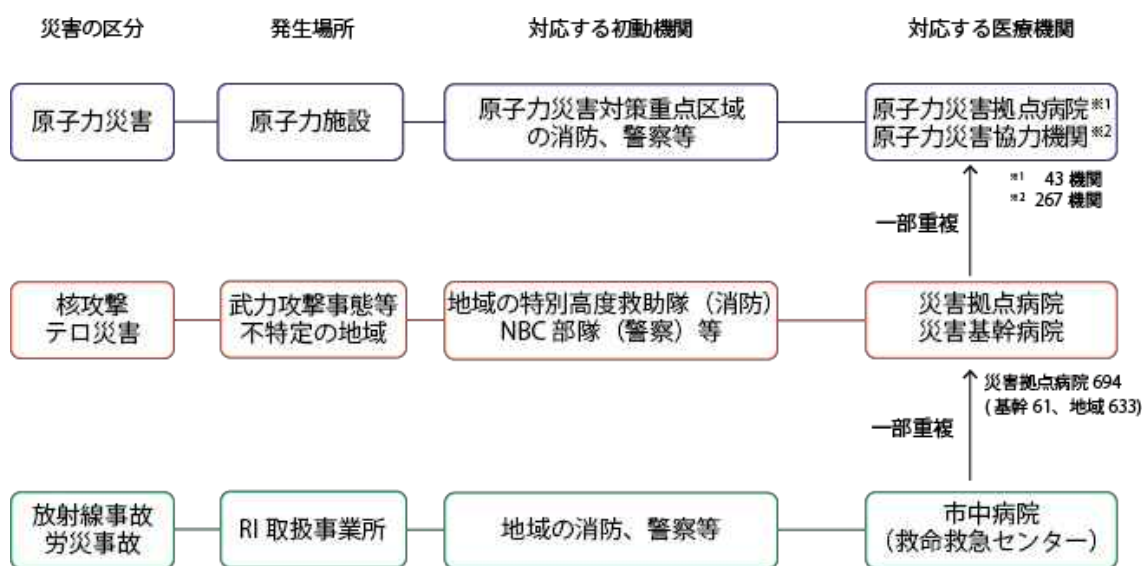


図 1-1 災害の区分と対応機関

原子力災害対策指針は東電福島第一原発事故の経験を踏まえ、被ばく医療等の体制の充実、強化が図られている。しかし、国、支援センター、地方公共団体等が行なっている研修について、研修内容の重複、対象者のミスマッチ等が生じており、研修を整理・体系化し、効率的・効果的な人材育成を行うことが必要であると原子力規制庁により示されている<sup>1</sup>。さらに多数の公衆等への迅速な避難と適切な避難退域時検査の両立の困難等も示されており、原子力災害対策指針等に基づく防護措置及び医療対応の実際的な運用に必要な解決策を見出す必要がある。

また、RI 事業所での事故や RN テロ・災害等に対応できる体制については整備が遅れている。RI 利用の拡大、昨今の核セキュリティへの国際的な取り組みを鑑みると、これらの対策は喫緊の課題である。放射線障害防止法の改正により数量の極めて大きい RI の許可届出使用者又は大規模研究用加速器施設の許可使用者を対

<sup>1</sup> 原子力規制庁；平成 30 年度第 3 回原子力規制委員会 資料 1 「原子力災害拠点病院等の施設要件」の見直しの方向性について、平成 30 年 4 月 18 日

象に、危険時の措置の強化として消防、警察、医療等の対応機関との連携が求められている。また、国民保護に関する基本指針では、核攻撃等による医療、防護措置等の必要性が示され、オリパラ・テロ対策推進要綱では、テロ等発生時の救護体制の強化として、多数傷病者の搬送体制の整備等が示されている。

本研究事業では、原子力災害に限らず、RI事業所での事故、RNテロ・災害等に対応可能な被ばく医療体制構築のため、対応機関の初動対応、初療のマニュアル、専門的支援、人材育成について、現行の原子力災害対策指針等の体制等に基づき検証し、対応機関が包括的に被ばく医療を実践できる対処能力の実効性を向上させる方法を明らかにし、原子力災害等における防護措置及び医療対応の実際の運用方法を明らかにする。

## 1.2. 研究内容

原子力災害対策指針では、原子力災害対策重点区域（24道府県）での被ばく医療体制整備が進められているが、それ以外の地域（23都県）も含め、RI事業所での放射線事故、労災事故など危険時の措置の強化、国民保護に関する基本指針では武力攻撃事態等、緊急対処事態における放射線テロまたは核攻撃等の放射線緊急事態での医療、放射線防護措置等の必要性も示されており、包括的かつ実地的な被ばく医療の体制整備が求められている。

また、多人数を対象とした実地的な放射線防護及び医療対応についての検討、包括的に被ばく医療を提供するためのガイドラインやマニュアル、効果的な現場運用のための研修方法等について、課題の整理、抽出および実施体制の整備等が求められる。さらに、放射線防護、放射線管理、被ばく医療、線量評価等に関して専門的支援体制、情報共有システムの整備が必要である。

このため本研究では、これまで量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所（以下：量研放医研）で実施してきた緊急被ばく医療体制整備、各種セミナー、協力協定病院等を活用し、【調査研究1】初動対応手順の検討とマニュアル等の作成、【調査研究2】医療機関での受け入れ体制整備、【調査研究3】専門的支援体制の整備、【検証1】モデル地域での検証の区分に分けて実施する（図1-2）。さらに本研究では、化学剤、爆発物によるテロ災害等の知見を取り入れ、原子力災害のみでなく、RI事業所や輸送中の事故、核攻撃等も含め、初動対応の手順、医療等を検討する。

最終的な研究成果としては、包括的被ばく医療の体制構築のために、次の項目を目標とする。

- 地域の実情に合わせた研修やマニュアル、ガイドライン等の**最適化**
- 研修内容の**標準化**
- 研修の**体系化、効率化**
- 原子力災害時の医療に関しては、人材育成の**高度化**

- 原子力災害時の医療に携わる人材の一元管理
- 包括的被ばく医療の人材育成
- 専門的支援体制の整備

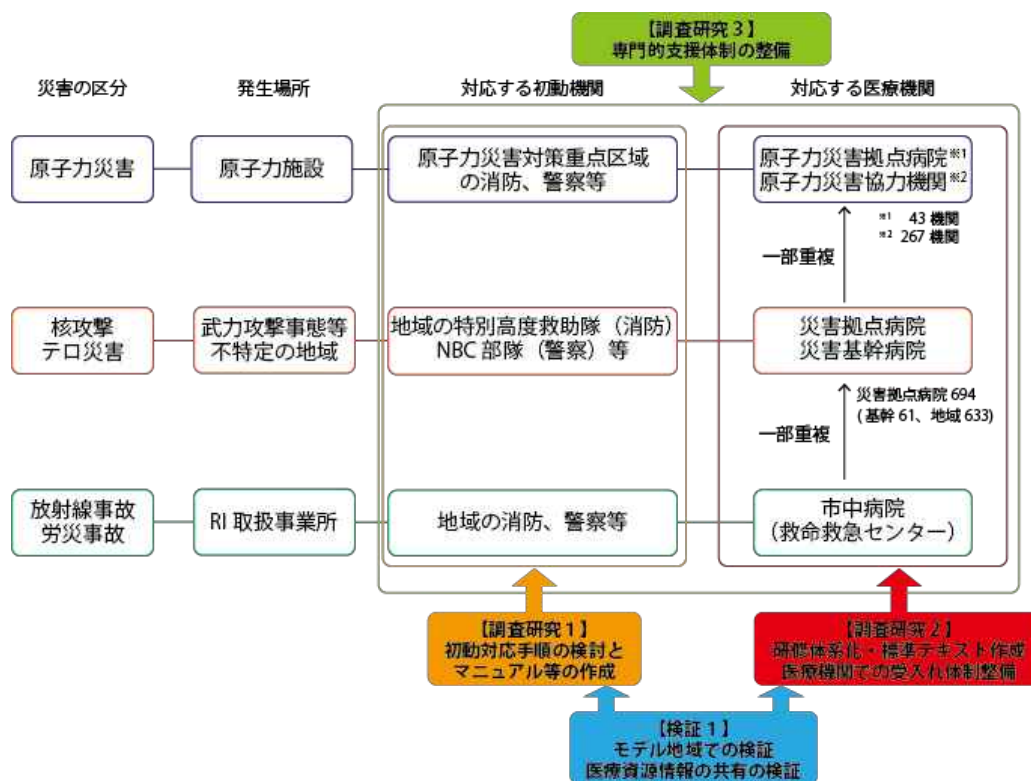


図 1-2 研究の概要

### 1.3. 研究計画

研究は、平成 30 年度から 3 年間の調査研究を計画している。研究区分ごとの計画を示す。

#### 1.3.1. 調査研究 1：初動対応手順の検討とマニュアル等の作成

迅速、的確な初動対応、関係機関間の連携による実効性向上を目的とする。

H30 年度は原子力災害等の研修、演習あるいは有識者等から初動対応機関、RI 事業所の原子力災害等への対応、多機関連携に関連する情報を収集することにより課題を比較・抽出して整理する。H31 年度は脅威の迅速な検知と All hazard approach も含めた初動対応手順及び多人数のスクリーニング方法等を検討し、マニュアル、教材等を作成、検証する。H32 年度は、マニュアル等を再検証し、各地域の実状に合わせて改善する。

#### 1.3.2. 調査研究 2：医療機関での受け入れ体制整備

全国の医療機関の被ばく医療の診療能力の向上により迅速かつ適切な被ばく医療を提供する手段の開発を目的とする。

H30年度は量研放医研の協力協定病院、有識者等の協力を得て、現場除染なしまたは乾的除染で医療機関が傷病者を受入れるために必要な体制、教育等について課題を抽出する。さらに既存の原子力災害医療の研修の体系を整理し、既存のテキストを改定し、研修による人材育成の実効性を向上する。H31年度は、多人数の被災者への対応を含めた、医療機関での初療マニュアル、教材を作成、効果的研修法を検証する。H32年度は、マニュアル等を再検証し、医療機関の実状に合わせて改善する。

#### 1.3.3. 調査研究3：専門的支援体制等の整備

専門的支援の充実による初動対応、被ばく医療の実効性向上を目的とする。

H30年度は、専門機関、染色体および物理学的線量評価ネットワークを活用した被ばく線量評価、被ばく医療等の専門的支援に必要な項目、課題を整理する。H31年度は、専門的支援について、具体的手順、方法、器材等を検討する。初年度から平行して平常時、災害時に活用できる専門的支援における情報共有システムについて課題等を整理し、システムを設計する。また、既存の広域災害救急医療情報システム(EMIS)や健康危機管理支援ライブラリー(H-CRISIS)との連携についても検討する。

#### 1.3.4. 検証1：モデル地域での検証

H30年度は、原子力災害対策重点区域(24道府県)及びそれ以外の地域(23都県)で研修等を実施するモデル地域を選定する。H31～32年度は、モデル地域で効果的な現場運用のための研修法を検討し、調査研究1～3へ反映する。

#### 1.4. 実施体制

本年度は、調査研究1～3および検証1のそれぞれの担当者を図1-3のように割り振り、本研究を実施した。

研究代表者：富永隆子

量子科学技術研究開発機構

放射線医学総合研究所 被ばく医療センター

表 1-1 研究協力者一覧

1	井瀧千恵子	弘前大学	大学院保健学研究科看護学領域
2	伊藤勝博	弘前大学	医学部付属病院高度救命救急センター
3	岩熊真司	東洋紡	AC製品事業部特需グループ

4	宇佐俊郎	長崎大学	長崎大学病院 国際ヒバクシャ医療センター
5	大津留晶	福島県立医科大学	放射線健康管理学講座
6	奥村徹	日本中毒情報センター	
7	河本志朗	日本大学	危機管理学部危機管理学科
8	河野恭彦	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構	核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部環境監視課
9	近藤久禎	国立病院機構 災害医療センター 厚生労働省 DMAT 事務局	臨床研究部・災害医療部
10	酒井明子	福井大学	医学部看護学科
11	隅田博臣	広島大学	広島大学病院診療支援部
12	高田千恵	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構	核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部線量計測課
13	武田聡司	国立病院機構東埼玉病院	放射線科
14	田崎修	長崎大学	長崎大学病院救命救急センター
15	永岡美佳	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構	核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部環境監視課
16	中川貴博	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構	核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部放射線管理第1課
17	長谷川有史	福島県立医科大学	放射線災害医療学講座
18	廣橋伸之	広島大学	原爆放射線医科学研究所 放射線災害医療研究センター 放射線医療開発研究分野
19	細井義夫	東北大学	大学院医学系研究科 放射線生物学分野
20	安田仲宏	福井大学	附属国際原子力工学研究所 原子力防災・危機管理部門
21	山口芳裕	杏林大学	医学部救急医学教室 高度救命救急センター

22	山村仁	地方独立行政法人 市立東 大阪医療センター 大阪府立中河内救命救急セ ンター	
23	山本荘一郎	エス・ティ・ジャパン	危機管理製品部
24	山本尚幸	原子力安全研究協会	放射線災害医療研究所
25	吉村崇	大阪大学	ラジオアイソトープ総合センター 同位体化学研究室

表 1-2 研究参加者一覧

1	金ウングジュ	量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 計測・線量評価部 内部被ばく線量評価チーム
2	栗原治	量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 計測・線量評価部
3	小林圭輔	量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 被ばく医療センター
4	相良雅史	量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 被ばく医療センター
5	数藤由美子	量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 計測・線量評価部 生物線量評価チーム
6	高島良生	量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 計測・線量評価部 生物線量評価チーム
7	立崎英夫	量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 被ばく医療センター
8	谷幸太郎	量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 計測・線量評価部 内部被ばく線量評価チーム
9	堤弥生	量子科学技術研究開発機構	放射線医学総合研究所 被ばく医療センター



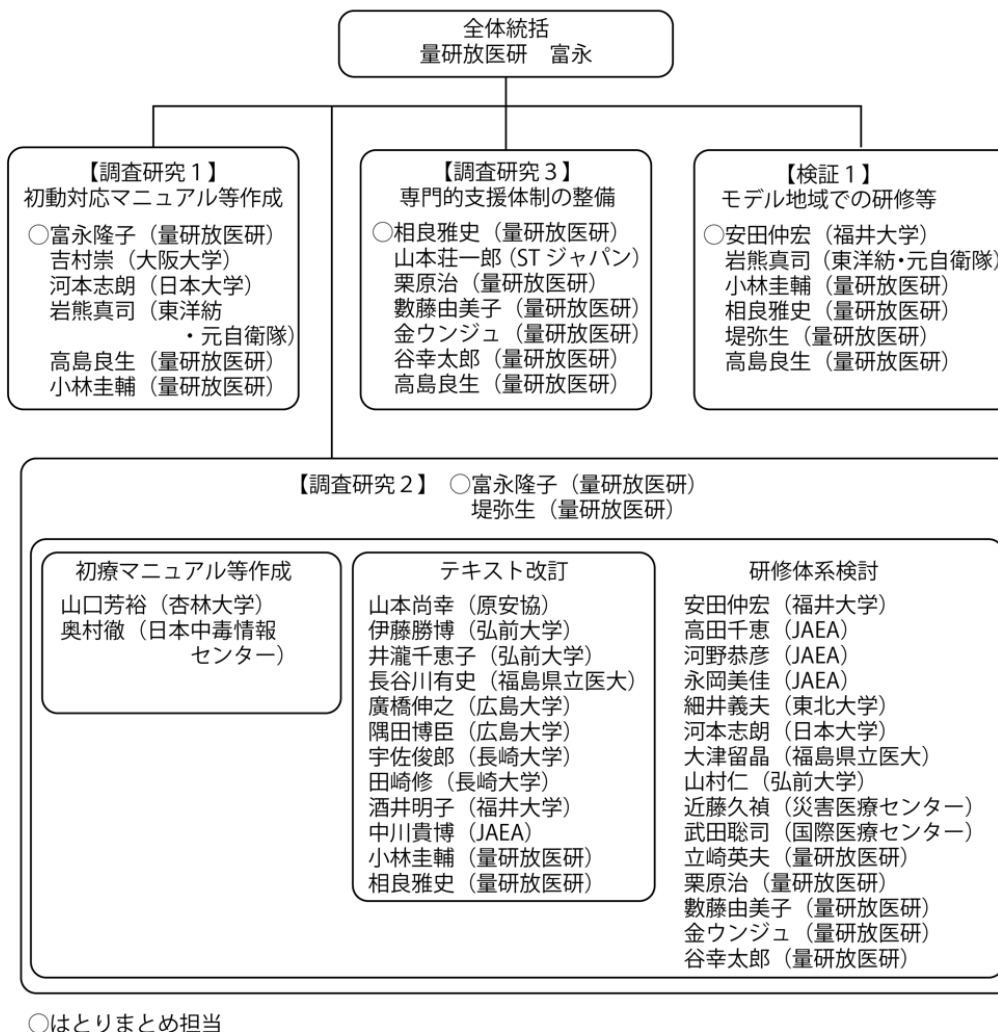


図 1-3 平成 30 年度 (2018 年度) 実施体制

### 1.5. 研究のマイルストーン

3年間の研究のマイルストーンを図1-4に示す。

	H30年度	H31年度	H32年度
<b>【調査研究1】</b> ・迅速、的確な初動対応、関係機関間の連携による実効性向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>情報を収集</li> <li>課題の比較・抽出・整理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>検知と初動対応手順、スクリーニング等の検討</li> <li>マニュアル、教材等の作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>マニュアル等を再検証</li> <li>各地域の実状に合わせて改善</li> </ul>
<b>【調査研究2】</b> ・原子力災害時の医療に関する研修の体系化、標準テキスト作成 ・全国の医療機関の被ばく医療診療能力の向上により迅速・適切な被ばく医療を提供する手段の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>研修体系化提案</li> <li>標準テキスト作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新研修体系での研修開始（パイロットコース）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>マニュアル等を再検証</li> <li>医療機関の実状に合わせて改善</li> </ul>
<b>【調査研究3】</b> ・専門的支援の充実による初動対応、被ばく医療の実効性向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>専門機関、NWを活用した専門的支援に必要な項目、課題の整理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>専門的支援について、具体的手順、方法、器材等を検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EMIS、H-CRISISとの連携の検討</li> </ul>
<b>【検証1】</b> ・モデル地域での研修等による検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデル地域の選定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデル地域で効果的な現場運用のための研修法を検討</li> <li>調査研究1～3へ反映</li> </ul>	

有識者等による技術検討会

図1-4 研究のマイルストーン

## 2. 【調査研究 1】 初動対応手順の検討とマニュアル等の作成

### 2.1. 本年度の研究計画

消防等の初動対応機関での迅速、的確な初動対応、関係機関間の連携による実効性向上を目的とし、今年度は、原子力災害等の研修、演習あるいは有識者等から初動対応機関、RI 事業所の原子力災害等への対応、多機関連携に関連する情報を収集することにより課題を抽出して整理する。

### 2.2. 検討の経緯

原子力災害、放射線事故、放射線テロ災害等に関連する訓練、研修、演習、学会等に参加あるいは開催し、情報を収集し、原子力災害等での初動対応、教育に関連する課題を抽出し、整理した。

#### 2.2.1. 避難退域時検査

##### (1) 原子力総合防災訓練 避難退域時検査実動訓練（資料 2-1）

2018 年度原子力総合防災訓練（2018 年 8 月 26 日）において実施された避難退域時検査実動訓練を視察し、より現実的かつ実行可能な課題解決策について、検討が必要であることを確認した。

さらに避難退域時検査及び簡易除染マニュアル（平成 29 年 1 月 30 日修正）を放射線テロ災害時に活用することの可能性あるいは活用にあたっての課題についても抽出できた。

#### 2.2.2. CBRNE テロ災害の初動対応の教育

座学、実習、机上演習から構成される研修により CBRNE テロ災害での初動対応機関向けの教育に関する課題を抽出した。

##### (1) CBRNE 災害対処千葉連携研修会（資料 2-2）

CBRNE 災害対処千葉連携研修会は千葉県警察本部、千葉市消防局、量研放医研が中心となって、千葉地域での CBRNE テロ災害対処の能力向上のために 2014 年度から開催している研修会である。毎年、CBRNE テロ災害対処に関係する講義や資器材の取り扱い実習、机上演習、実動演習を実施している。本年度は、ダーティボムを想定した対応に必要な研修項目を検討し、ターニケット（止血帯）の使用に関する講演と実習を 2 回、オリンピック・パラリンピックの競技会場となる幕張メッセでのダーティボムによるテロ災害を想定した机上演習を 2 回、「放射線テロ災害での放射線防護と初動対応」の講義を 1 回開催し、参加者から千葉における CBRNE テロ災害対処について、研修等の要望などを聞き取るとともに、机上演習では、初動対応の課題を抽出した（表 2-1）。

表 2-1 2018 年度 CBRNE 災害対処千葉連携研修会

	研修項目	日時	内容等
1	机上演習	2018.7.11	イベントの競技会場での ダーティボムのテロ災害を想定
2	ターニケット研修会	2018.8.27	ターニケット（止血帯）の使用方法について講義と実習
3	ターニケット研修会	2018.8.28	ターニケット（止血帯）の使用方法について講義と実習
4	「放射線テロ災害での放射線防護と初動対応」	2018.9.26	講義
5	机上演習	2018.11.28	イベントの競技会場での ダーティボムのテロ災害を想定

(2) 市川市消防局西消防署特殊災害研修（資料 2-3）

市川市消防局西消防署の機動化学隊、指揮隊、ポンプ隊、救急隊の職員に対する研修の依頼があり、現有部隊、現有資器材での CBRNE テロ災害対応の能力を目的として、化学テロ災害、放射線テロ災害の初動対応のための基礎知識の講義、各種検知器等の資器材を使用した実習、CBRNE テロ災害を想定した机上演習からなる合計 6 回の研修会を実施した（表 2-2）。この研修により、総務省消防庁が各地域の消防本部等に貸与している機材を使用した研修方法、教材について検討でき、保有する資器材が少ない状況での初動対応で安全と危険の判断、早期の救助を実現するにあたっての課題、CBRNE の脅威が複合した場合の初動対応等について、総務省消防庁のマニュアル<sup>1)</sup>には詳細が記載されていない課題について検討できた。

● 化学テロ災害の講義、実習

化学テロ災害の基礎知識の講義の後に、簡単な状況を付与し、考えられる化学剤の可能性をグループで検討したことは、化学剤と症状を整理することに効果的であったと思われる。また、検知紙の実習では擬剤を使用しているため、実際の色調を確認できたことは、経験として有意義であったと思われる。

● 放射線テロ災害の講義、実習

放射線テロ災害の基礎知識の講義の後に、実習を行なっているが、実習で使用した放射線測定器は、総務省消防庁から各消防局、消防本部に貸与されているものと同じ機材を使用した。さらに表示付認証機器とパウチしたマントルを使用して実際に放射線を測定する実習を行なった。このため、警報値の設定など具体的で、詳細な使用方法について習得でき、実際の放射線の測定について、機器の応答速度や感度、特性を実体験できたことは有意義であったと思われる。

● 机上演習

6～7名を1グループとして、入電から出発までと現着から事態收拾までに区分し、与えられた情報を基に状況判断と対応要領を討議し討議結果を発表する実施要領は、全員が参画し真剣に考え意見を交える場を提供できたと考える。

爆発物の爆破に伴う放射性物質及び催涙物質の散布を状況として付与した事は、爆破テロ発生時にあらゆる可能性を予期して対応する原則を印象付けるための効果があった。また、原因物質として、放射性物は医療用ヨウ素、化学物質は一般に入手容易な熊スプレーとした事は、実際に発生する可能性が十分にある印象を与え、CBRNE対応の意識向上につながったものとする。

表 2-2 特殊災害研修の概要

日時	時間	方式	内容
第1回 2019.1.30	9:05 - 10:30	講義	1 有毒化学剤の基礎 2 Cテロ災害対応
第2回 2019.1.31	10:40 - 11:20	討議	症状による初期判断 ・各種有毒化学剤の症状と対応の基本
「化学テロ災害」	11:20 - 12:00	実習	検知紙の取り扱い ・検知紙の変色と判断 ・被服等に付着した液滴の検知要領
第3回 2019.2.19	9:05 - 10:00	講義	「放射線テロ災害対応の基本」 ・放射線の基礎 ・放射線防護
第4回 2019.2.20			・放射線テロ災害の種類 ・放射線テロ災害の初動対応
「放射線テロ災害」	10:00 - 10:10	準備	実習準備
	10:10 - 11:50	実習	1. 個人防護装備着用 2. 空間線量率測定 3. ゾーニング 4. 汚染検査 5. 脱衣
第5回 2019.3.5	9:05 - 9:10	説明	机上演習のルールについて
第6回 2019.3.6	9:10 - 9:50	討議	討議1 情報シート1を配布
「机上演習」	9:50 - 10:20	発表	各班の討議内容の発表 (発表後10分休憩)
	10:30 - 11:20	討議	討議2

			情報シート2を配布
	11:20 - 11:50	発表	各班の討議内容の発表
	11:50 - 12:00	説明	想定 of 解説

### 2.2.3. ソフトターゲットを標的とした CBRNE テロ災害

大規模集客施設でのソフトターゲットを標的とした CBRNE テロ災害を想定した訓練（表 2-3）の視察、評価により、初動対応での課題を抽出し、整理した。

表 2-3 ソフトターゲットを標的とした訓練等の視察、評価

	訓練、研修	日時	内容等
1	国際空港エマルゴトレーニング	2018.7.12	CBRNE テロ災害を想定した演習の視察
2	CBRN 対処合同訓練	2018.8.2 - 3	
3	国際空港エマルゴトレーニング	2018.12.20	CBRNE テロ災害を想定した演習の視察
4	大規模集客施設防災訓練	2019.1.24	防災訓練の視察
5	平成 30 年度多数傷病者発生時における方面救助救急訓練（日本武道館テロ災害対応訓練）	2019.2.7	テロ災害対応訓練の視察

#### (1) 国際空港エマルゴトレーニング（資料 2-4）

エマルゴトレーニングシステム®とは、スウェーデンのリンショーピング大学病院に隣接された Centre for Teaching and Research in Disaster Medicine & Traumatology（災害医療・外傷学教育研究センター）にて 20 年以上前から地域とともに開発されてきた救急・災害医療の机上シミュレーションによる研修法である。災害を想定し、医療従事者及び被災者に見立てたマグネット人形を使用し、これらを白板上で災害現場や病院などに移動する。これらは設定された病床数・増床数職員数・限られた資源を用い、訓練上の時間経過に沿って行われ、評価は、設定された対応法の妥当性及び避けられた合併症、避けられた死の有無の検討で行われる。様々な職種の方が参加することが有用であり、行政職員、自衛隊警察、消防、病院関係者などがトレーニングに参加することにより実災害に近い訓練となる。

国際空港では、エマルゴトレーニングシステムによる航空機災害の研修を実施してきたが、今年度より CBRNE テロ災害（爆発テロ）を想定した研修を実施している（表 2-3）。大規模集客施設での CBRNE テロ災害への事業者を含めた対応について、視察することで、訓練シナリオの作成、初動対応などの課題を抽出した。

(2) CBRN 対処合同訓練 (資料 2-5)

来年度のラグビーワールドカップ開催を控え、CBRN テロ対策に関心が高まっている事を受け、警察、消防、自衛隊の合同訓練が各組織の持ち回りで担当となり実施されており、今回は 3 回目であった。屋内施設にサリンを散布され、約 40 名の傷病者の発生した状況を想定し、初日に机上演習、2 日目に実動訓練を実施し、各機関間の情報共有・連携要領について訓練されていた。化学テロ災害での初動対応について、防護装備や検知活動と救助の連携、関係機関の連携について得られた知見により、All hazard approach の観点から関係機関連携を含めた初動対応手順等の検討に必要な項目の整理ができた。

(3) 大規模集客施設防災訓練 (資料 2-6)

千葉県内に所在する大規模集客施設の地震と津波を想定した防災訓練を視察し、ソフトターゲットを標的にした CBRNE テロ災害の想定や発生時の対応について、課題を整理し、解決策等を検討した。

(4) 多数傷病者発生時における方面救助救急訓練 (日本武道館テロ災害対応訓練)

東京消防庁第一方面本部及び麴町消防署が中心となって開催された 2020 オリンピック・パラリンピックの競技会場である日本武道館における爆発テロによる多数傷病者発生時の訓練に評価者として参加し、大規模イベントにおける現場対応、早期病院搬送のための現場トリアージといった課題等の情報を得た。この訓練の想定は、国際的大規模イベントの開催場所であり、テロ対応の準備が整っている状況での爆発物テロが発生し、対処についての検証を行っていることから、不測の事態が発生しても迅速に対応できる状況での CBRNE テロ災害対処について検証できた。本訓練には、千代田区の行政職員やオリンピック組織委員会等も参加しており、関係機関間の連携の調整の難しさの知見も得られた。

2.2.4. 第 40 回日本中毒学会学術集会 (2018.7.20 - 21)

日本中毒学会における CBRN テロへの最新の取り組み状況 (「CBRN 脅威と対応に関するセミナー」「Tokyo2020 コンソーシアムと中毒学会の取り組み」「安全な社会を守るために海外から学ぶ」「毒ガス講談 化学テロから身を守るには」) について情報収集し、All hazard approach の観点から関係機関連携を含めた初動対応手順等の検討に必要な項目の整理のための知見を得た。

2.2.5. 第 24 回日本災害医学会総会 学術集会 (2019.3.18 - 20)

CBRNE テロ災害、大量殺傷型テロ対応における初動対応での新たな対応方針の提言や医療機関との連携、医療機関での対応について、現状の報告や様々な提言がなさ

れた。また、原子力災害、被ばく医療の教育についても地域の医療機関での研修や現状について報告があった。CBRNE テロ災害、大量殺傷型テロ等への初動対応、原子力災害時の医療の教育、災害医療と被ばく医療との連携について、最新の知見、関係者の意見が得られた。

#### 2.2.6. テロ対策特殊装備展'18 (2018.10.10 - 12)

テロ対策特殊装備展で、検知機材、検知システム等の最新の機材について情報収集するとともに、CBRNE クラウドシステムについて、テロ災害での活用について研究協力者と検討した。

### 2.3. 結果

#### 2.3.1. 避難退域時検査における課題

避難退域時検査の実動訓練での実施地域の実状と抱える課題の中で、どの地域でも共有できる課題と解決策を整理した。

##### ①車両汚染検査と再検査

ゲートモニターによる車両側面の汚染検査と、GM サーベイメーターでのワイパー部分の汚染検査で、OIL 4 以上の表面汚染があれば再汚染検査を実施しているが、マニュアルでは、再汚染検査の項目はなく、不要である。人材確保が困難となる災害時には、省略すべきポイントであると思われる。今回の訓練会場のレイアウトでは、図 2-1 に示す通り、汚染検査後に汚染がある車両と汚染がない車両の動線が交差していた。

##### ②通過証配布

この避難退域時検査は、OIL に基づく避難等の指示を受けた住民等が対象となるため、放射性物質が放出される前に避難した住民等は対象とならない。このため、後日、避難所や仮設住宅等への入所等に通過証が求められるような事態になった場合は、混乱が生じる可能性がある。また、このような場合に通過証の提示を求めないように行政が要請するのであれば、そもそも通過証の発行は不要と思われる。

車両への配布となっているが、汚染があったのか、除染できたのか、などその後の公衆の線量評価に必要な情報の登録等は実施されていない。通過証を発行する場合、公衆の線量評価にも使用できるような情報の管理（通過時刻等の情報の保管）体制も今後の課題となる。

##### ③車両の除染

マニュアルでは、ウェス等での拭き取りによる簡易除染が原則との記載がある。除染テント、除染用の水の準備、水の回収、除染のための人員配置などの労力を考慮すると、拭き取り除染を優先して実施するのが良いと思われる。また、簡易



除染後の再検査は、除染エリアで実施した方が、除染が不完全であり OIL4 以下となっていない場合、すぐに再度の拭き取り除染が可能である。

今回の水を吹きかける程度では、量研放医研等における東電福島原発事故での車両汚染とその除染の経験からは、除染はできないと思われる。本格的に流水による除染をするのであれば、より大量の水、ブラシ等の使用が必要である。

#### ④住民の汚染検査

住民の汚染検査は、車両の汚染があった場合のみに実施されるが、今後、甲状腺簡易検査による内部被ばくの評価等の公衆の線量評価の手順が確立された場合は、汚染状況を確認するのみではなく、内部被ばくの評価のための検査との組合せの方法を検討する必要があると思われる。

原子力災害時に避難指示が出る状況では、迅速に避難させることが優先されるべきである。そのため、住民の汚染検査を全員に実施することが迅速な避難の妨げになるということを考慮して、30km 圏の外に一時的に避難者が待機できる場所を確保し、そこでの避難退域時検査と避難が両立する方法等を検討することも解決策の一つとなり得る。避難後の汚染検査やゲートモニターの使用あるいは指定箇所検査といった短時間で多人数の汚染検査が実施できる体制を構築することが課題となるが、現状として、公園や運動場などの広いエリアが避難退域時検査場所の候補地になっていることも多く、一時的に待機できる場所が選定されていないこともあり、この場所の確保が課題でもある。

#### ⑤住民の汚染検査に関する動線

車両の除染後に住民の汚染検査の区域まで徒歩で移動後、同じルートで車両に戻っている。今回は、住民の汚染の想定はなかったが、実際に汚染がある場合、靴底の汚染が最も考えられるため、汚染拡大防止の観点からは、汚染した靴で歩行したルートとは別のルートを除染後に歩く方が良いと思われる。

#### ⑥避難退域時検査の会場設営、人員配置

車両の除染テントは関西電力、千代田テクノルによる設営、人の除染テントは福井県から委託された業者が設営することになっているとのことであるが、訓練前にテントやゲートモニターの設置がなされており、実際に災害時にどれだけの時間が必要であるのか検証が必要と思われる。

#### ⑦対応者の防護服

汚染検査や誘導係は、タイベックスーツの着用の必要性は低いため、ディスポ白衣、ゴム手袋、綿手袋の着用での対応も考慮できる。

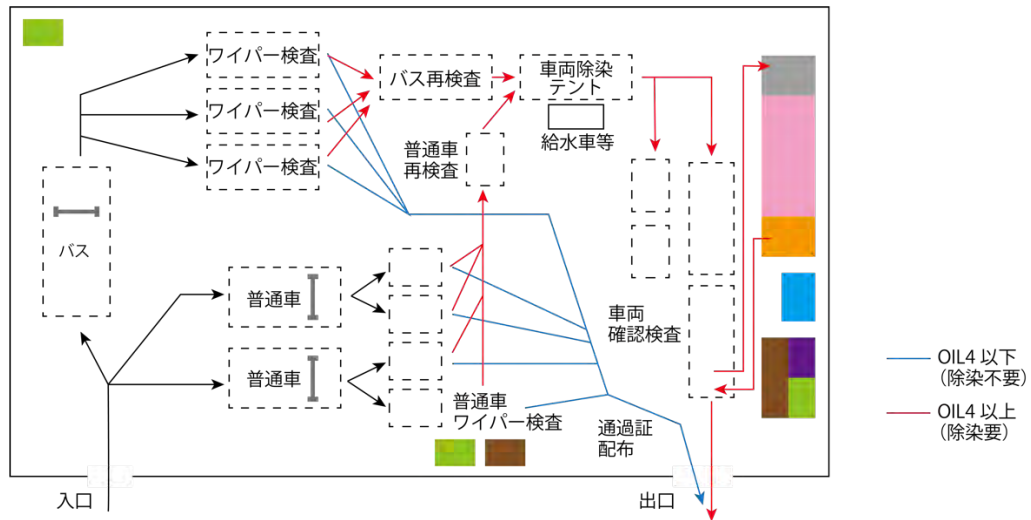


図 2-1 車両の動線

### 2.3.2. CBRNE テロ災害での初動対応における課題

研修や訓練への参加で抽出した課題は次のとおりである。

- 爆発事案の発生時に、NBC 出動となるか、明確な指針が示されていない。
- 多数傷病者発生時に、初動で NBC 対応が開始されない場合、放射線の検知活動が開始されず、放射線テロ災害の認知が遅れ、汚染拡大が懸念される。
- 爆発物の事案であれば、安全確保のため、消防のマニュアルでは集結場所は現場から 300~400m 離れた場所に位置することになっている。要救助者に接触するまでに時間がかかり、爆傷の処置、医療介入が遅れ、救命できない。
- 初動機関の既存の個人線量計は、警備担当の警察職員等には、配備されておらず、活動する職員全員の装着はできない。また、放射線測定器も数量が少なく（消防、警察の各組織で数個程度）、数百人の被災者の汚染検査を短時間で実施するには不十分であった。
- 訓練参加者の CBRNE 対応に関する知識の差がある。爆発テロの想定で、事業者、医療機関は、CBRNE テロ災害時の安全確保の手段、必要性、現有の資器材、体制についての検討がなされなかった一方で、警察、消防は、CBRNE テロ災害を疑い、初動を検討していた。各組織の活動内容や活動方針について、相互理解の機会が必要である。
- 有毒化学剤（放射性物質や生物剤も同様）の特性に関する普及教育が必要である。特に有毒化学剤では、最初に到着できる消防の迅速な対応で、防ぎ得た死をなくすることができるかが左右される。有毒化学剤を正しく認識し恐れず侮らず適切かつ迅速な対応が不可欠である。

### 2.3.3. ソフトターゲットを標的とした CBRNE テロ災害対応での課題

CBRNE テロ災害対応での課題は次のとおりである。

- 各組織の CBRNE テロ災害対応のマニュアル、活動方針の相互理解が不足している。特に、爆発事案であり、他の不審物の爆発の危険性がある中での活動を検討する必要がある場合に、消防や医療機関は独自に安全を判断できないが、警察が安全を保証することはできないことが、相互理解されておらず、安全に関する必要な情報共有、活動方針の調整が円滑でなかった。安全に関する情報と危険に関する情報を整理して、関係機関の活動を調整するための指針等が必要である。
- 初動の時点では、化学剤、放射線、放射性物質、生物剤の脅威に関する情報がない場合に、初動の活動方針について、明確なガイドライン等がなく、初動対応機関の集結場所、装備等について整理されていない。All hazard approach での手順の検討が必要である。
- 爆発による多数傷病者の災害という情報では、多数傷病者対応で活動が開始され、CBRNE テロ災害対応がなされず、検知活動や防護装備による安全確保の対策が実施されない可能性もある。多数傷病者対応と CBRNE テロ災害対応の相違を明確にし、現状の多数傷病者対応に何を追加するのか、あるいは多数傷病者対応で CBRNE テロ災害に対応した場合の問題など課題を抽出し、整理する必要がある。
- 放射線検知に関して、具体的にかかる時間、手順などが検討されていない。放射線テロ災害時のモニタリング体制、汚染検査や除染の体制、手法について検討が必要である。
- 原因物質が判明していない状況で、消防機関は陽圧式化学防護服のレベル A 装備を選択することがほとんどである。これは消防庁のマニュアルに示されている装備の選定基準であるため、変更することは容易ではない。しかし、レベル A 装備でも 40 分間の活動と、かなりの重労働が可能（気温約 40°Cであったにもかかわらず）であることも確認した。1 回の任務に限界がある（時間的、生理的負荷）ので、ポンベの交換と人員の交代が順調にできれば、レベル A 装備での活動も、現着後、検知活動などせず徹底的にまずはショートピックアップで要救助者を危険区域から救助する運用は、非常に有効であると思料する。
- 放射線テロ災害時の専門機関による支援体制の検討が必要である。
- 保有する放射線、化学剤の検知器が少ないため、要救助者の汚染確認に検知器が使用できないなど、活動や対応に制限がある。
- 発災現場における安全性の確認において化学剤検知器を用いていたが、一度化学剤を吸入し警報を発すると清浄空気を通さなければ警報が出っ放しになるため、復帰用の活性炭布製のページ袋の必要性とその運用要領の検討が必要である。

## 2.4. 考察

避難退域時検査、CBRNE テロ災害に関する教育や初動対応手順について、それぞれの課題の解決策について考察した。

### 2.4.1. 避難退域時検査の実行性の向上施策

「原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル」（原子力規制庁放射線防護企画課 平成 29 年 1 月 30 日修正）では、OIL による避難する住民等の汚染状況の確認が目的であるが、車両の汚染検査で OIL4 以上でない場合は、乗員（住民）の汚染検査を実施しないため、住民等の汚染状況の把握ができない。避難の受入の地方公共団体の不安解消をも目的として汚染状況の把握をするには、全員の汚染検査をすることを追求することになるが、迅速な避難とバランスをとる検討が必要となる。一方で、住民としても自身の汚染状況を把握したいという要望があれば、それに応える対応体制も求められる。実際に、避難退域時検査の対象を原則として車両ではなく「人」とする<sup>1</sup>ことや、原則、全住民の検査を実施することを計画<sup>2</sup>している地域もある。さらに、避難退域時検査の効率化のためには、短時間で指定箇所検査ができる方法として、車両に乗車したままの指定箇所検査の方法や人のゲートモニター等の装置、公衆の線量評価のための行動調査、検査結果を後からでも参照できる避難退域時検査情報のシステム等の検討も考慮していく必要がある。この点は、引き続き検討していく予定である。

また、迅速な避難を優先とするのであれば、原子力災害対策重点区域の境界周辺から避難所までの間で実施することになっているため、避難退域時検査を避難所の近傍で実施し、すぐに避難所に移動できるように検討が必要である。

さらに汚染がある車両・乗員（住民等）と汚染がない車両・乗員（住民等）の動線が可能な限り交差しないようにすること、汚染区域と非汚染区域を視覚的にも明瞭に区分し、明示することも必要である。車両および住民の動線、各エリアについて、汚染の可能性があるエリアと汚染のないエリアが混在しないようにした配置図の案を図 2-2 に示す。前述の車両の動線と住民等の動線、エリアの配置案を示しているが、各地域で実施する避難退域時検査の場所や広さ、動員できる人材や機材の人数等、それぞれの実状に応じた対応が必要である。本報告書で示した案は、訓練視察した研究協力者等で考察し、検討した結果であり、放射線テロ災害等での汚染検査の実施にも参考になるものと思われる。

今回は、車両も人も除染テントが準備されていたが、ふき取りによる簡易除染を実施するのであれば、テントは不要である。テント設営の時間と人員を削減することが

---

<sup>1</sup> 新潟県スクリーニング・簡易除染マニュアル（Ver.1.1 平成 31 年 3 月）

<sup>2</sup> 内閣府 大飯地域の緊急時対応

([https://www8.cao.go.jp/genshiryoku\\_bousai/pdf/02\\_fukui\\_0303l.pdf](https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/pdf/02_fukui_0303l.pdf))

可能となり、車両の水除染による水の回収等も不要となる。

放射線テロ災害でも、発生場所によっては、被災者だけでなく自家用車等の汚染検査を考慮しなくてはならない可能性もある。多くの国民保護に関する実動訓練や CBRNE テロ対応の訓練においても車両の汚染検査を取り入れているものは見られない。そのため、車両の動線や汚染検査の指針等として活用できるマニュアルの作成も必要であると思われる。

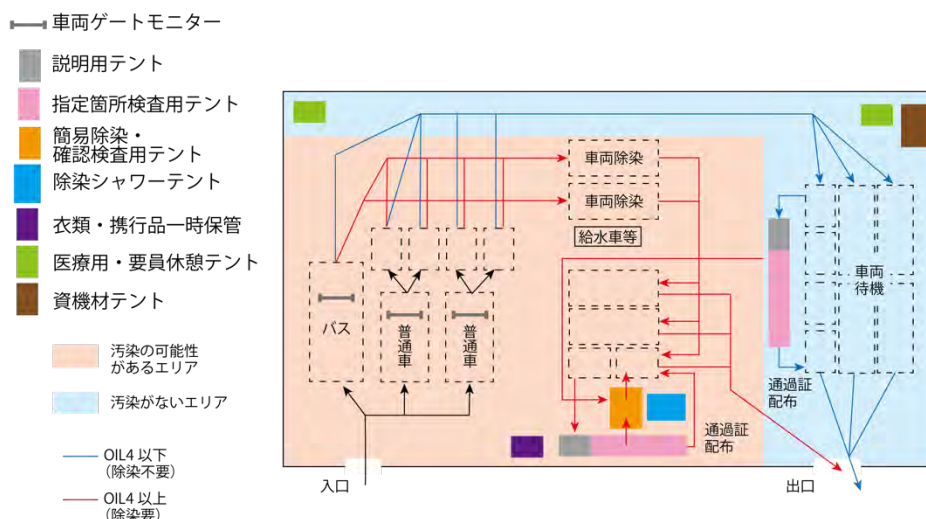


図 2-2 レイアウト案

- (ア)バスのワイパーの部分の汚染検査は、車両ゲートモニターの検査場  
所で実施する。ゲートモニターは低速 (5km/h) での走行より停止  
した方が感度が良いため、一旦停止してワイパーの汚染検査を実施  
することは問題ない。
- (イ)汚染した車両の乗員 (住民) と汚染のない車両の乗員 (住民) の汚  
染検査の場所は別にする。可能な限り汚染拡大防止となるように配  
置する。

#### 2.4.2. CBRNE テロ災害に関する教育の充実

原子力防災には関連がない機関が CBRNE テロ災害対応をする場合は、被ばく医療、原子力災害時の対応の基礎知識を放射線テロ災害対応に応用するという事は期待できないことから、放射線テロ災害に関連する教育、訓練の機会を別途提供し、原子力災害以外でも全ての医療機関、初動対応機関が、最低限の対応ができるようにすべきである。さらに医療機関や初動対応機関が保有する放射線測定器、放射線防護に関連する資器材の種類、保有数等を整理し、現状での効率的な使用方法、配置等を検討し、効率的かつ効果的な資器材の使用法について教育、研修が必要である。

CBRNE テロ災害対応では、防護装備や検知活動、ゾーニングなど過剰に安全対策

を講じる傾向があると思われる。このために要救助者の救助開始までに時間がかかり、救命率低下の原因になると考えられる。これは、CBRNE テロ災害に関して、化学剤、放射線、放射性物質、生物剤の危険性や影響については、教育がなされるが、濃度や密度などの原因物質の存在する量によるリスクの評価とその判断方法、要救助者対応での許容できるリスクの程度について、具体的に教育されていないことが、実際の対応での過剰な安全対策となってしまう原因の一つと考えられる。安全と危険、リスク、防護対策の効果、および相互の関係性と判断方法について、教育方法を検討する必要がある。

化学テロ災害と放射線テロ災害の基礎知識の講義と、消防署の現有資器材を使用した実習により、実際の活動における知識と検知や救助技術の向上が図られたと推測する。このような研修は、消防局、消防本部の資器材がある程度同じである場合は、他の消防本部でも同様に実施することが可能であり、標準的な研修としての展開も可能だと思われる。しかし、研修の指導者は、それぞれの資器材の取り扱いに精通している必要があり、講師の確保は容易でない可能性がある。

#### 2.4.3. CBRNE テロ災害の想定と対策

- 地震等自然災害の被害状況との相違

地震の被害は、施設全体に被害が発生し、負傷者が広範囲に存在すると想定されるため、少数の看護師等を有効活用するには、負傷者を仮説救護所に搬送し、集中的に管理することが望ましいと思われるが、CBRNE テロ災害では、被害は局所に限局（複数箇所の同時多発でもそれぞれの発災場所は限局している）していること、化学剤や放射性物質が付着した可能性のある被災者とこれらの付着の危険がない発災場所から離れた場所にいた来客者が混在しないように避難誘導する必要があること、二次被害の防止のために化学剤や放射性物質が付着した可能性のある被災者を広範囲に移動させない方がよいことを考えると、発災場所の近くに救助者や救護所を展開し、応急救護や除染すべきである。危険物質の流動拡散からの回避を考慮した避難誘導要領の検討も必要である。

また、化学剤や放射性物質の関与は、発災直後に事業所側で検知するのは、検知器材を保有していないとできないため、CBRNE テロ災害が疑われる場合は、救助者は直ちにマスクやゴム手袋の装着ができるように準備しておくことも必要であると思われる。これらの簡易的な防護装備により、救助者の化学剤や放射性物質の吸入による二次被害を防ぐことも可能であると思われる。

- 爆発物テロ

もっとも被害が多くなると想定されるのは、パレードやショーなどで観客が集中している場所での爆発物テロ、放射性物質を混合した Dirty bomb（汚い爆弾）によるテロの発生がある。この場合、避難経路が1か所に集中する、避難経路に観客が座して

いる場合などは、円滑な避難の妨げとなることが予想され、避難時の混雑による転倒や将棋倒しの二次被害の危険もある。

爆発物テロの場合、爆傷による四肢損傷で動脈性出血がある場合は、数分以内の止血が救命率向上のためには不可欠であり、このため、AEDの設置場所（施設内のどこにでも5分以内に到着できる場所に設置されている。）等に止血帯（ターニケット）を準備しておくことも対策の一つと考えられる。

また、発災場所を迂回し、混雑箇所や通路の狭い場所を回避した避難誘導についても検討が必要だと思われる。

#### ● 化学テロ

大勢が集まり、特に小児や幼児の利用の多い、広い空間のある屋内施設で化学剤が散布された場合には、被害の範囲は限定的であっても重症者が多く発生すると予想される。このため、屋内からの迅速な救助と避難経路の明確な指示、屋内の排気を考慮して対応すべきである。排気口の位置によっては二次被害が考えられるため、確認しておくべきである。また、排気システムにガス吸収剤（活性炭）の設置も一案である。

発災当初、化学テロと認識することは非常に困難であり、迅速適切な初期対応がなされない場合、傷病者の拡大・重篤化、二次被害の発生等、被害が拡大することが予測される。このため、職員の教育と訓練、マニュアルの整備が必要である。また、現場救護と並行して除染の所要が発生するが、救命のためには現場職員による迅速な処置が有効であり、職員用の呼吸保護等の防護装備、化学剤による汚染の有無を確認する検知紙、脱衣除染後の毛布等の準備、ふき取り除染用のウェット又はドライシート等の準備も必要である。

#### ● 放射線テロ

人が滞留する場所に放射線源を放置し、外部被ばくの被害が出る場合、線源の発見は非常に難しいと予想される。何らかの状況で線源が発見された場合は、線源の情報により、周辺に滞在した被害者の線量を想定する必要があるが、被害者を特定するのは困難である。事業者と行政が協力して状況、健康影響等について広報する必要があると思われる。また、爆発を伴わない放射性物質の散布でも同様であると考えられる。

放射性物質が散布されても身体的な影響や症状はすぐには出現しないため、放射性物質の散布や汚染を覚知するのは困難であるが、例えば目に見える形で不審な状況で散布されるなど、放射性物質の関与も疑い、検知を行い、放射性物質の付着が発見された場合は、除染の方法を計画しておく必要がある。外套等の脱衣、皮膚や頭髮の拭き取りの実施場所を確保する、脱衣後の衣服の持ち帰り、洗濯方法の広報などは、行政との調整が必要である。

#### ● 原因物質の検知

放射性物質、化学剤の関与がある場合は、検知による原因物質の危険性の把握、原因物質の特定が最終的には必要であるが、まずは放射性物質あるいは化学剤の存在を

認識することが優先である。放射線、化学剤の検知器は公設消防署が保有していると思われるが、通報から検知開始までは時間がかかることが予想される。そのため、物質の特定よりも存在を大まかに把握、検知できる簡易的な検知器等を事業者としても保有しておくことも来客者の安全に寄与すると考えられるが、実効性向上には、検知開始のタイミングや状況、異変や被災者の様態等からの判断要領、検知方法などは簡易的なガイドライン等が必要である。

#### 2.4.4. All hazard approach による初動対応手順

大規模集客施設での爆発事案では、多数傷病者対応と同時に CBRNE を考慮した対応を開始するように初動の手順を明確にすべきであるが、CBRNE テロ災害対応が開始されると、必要以上に原因物質に対する警戒心が先行し、重症の要救助者を救助し、医療が介入するまでに時間がかかり、救命率が著しく低下することも懸念される。

一般的には、爆発事案で多数傷病者発生 of 通報であれば、通常の火災対応を専門とする隊が一番先に到着することとなる。これらの部隊は、NBC 対応装備は限定的であり、関連する識能も残念ながら十分とは言えない。この制約の中で、消防隊員の安全の確保と迅速な対応による救命率の向上を実現しなければならない。そこで、下記の対応を提案する。

- ① 初動対応者全員にアラーム付きのデジタル式個人線量計（線量率も測れるタイプ）を装備し、先着隊には必ず保有させる。
- ② 防護装備は通常火災対応の空気呼吸器と防火服とし、気道の防護と不審液体の皮膚への直接接触を避けることを徹底する。
- ③ 現場に急行して要救助者と接触し、要救助者の症状や臭気など現場の状況から NBC の存在を判断し、努めて迅速に要救助者を危険地域から搬出する。
- ④ 不審な液体等が被災者に付着していることを確認した場合は、脱衣、ふき取りによる除染を実施した後、医療機関へ搬送する。（この際、安価な検知紙を全消防隊員が保有していることが望ましい）
- ⑤ 原因物質の特定のための検知は実施せず、汚染地域と予測される場所（被害者の症状・場所で判断）での活動は努めて短時間にして離脱し、消防服も脱衣しビニール袋等に入れて現場に残置し安全距離を確保して危険が予測される地域（風向・施設形状で判断）を封鎖する。
- ⑥ 検知器を保有する警察・消防の NBC 専門部隊の到着を待ち、汚染物質、汚染地域の処置を任せる。
- ⑦ 発災現場で生存している多量の被災者に対しては、活性炭入りの簡易マスク等を配布装着させ、落ち着いて避難誘導することも必要である。
- ⑧ 汚染された地域の確認、除染の可否等、液状の有毒化学剤の存在を軽易に判断できる装備として、検知紙の普及が有効である。



## 2.5. 結論

訓練の視察により避難退域時検査及び簡易除染マニュアルの実効性のある運用について検討した。このマニュアルを原子力災害でより実効性のある対応とするための方法を今後提案する。また、このマニュアルを放射線テロ災害時に活用するための応用方法についても、今後検討が必要である。

CBRNE テロ災害の対応としては、原因物質や脅威が特定された後のマニュアルや活動要領、対応手順は示されており、それぞれの消防組織でも研修や訓練が実施されている。しかし、CBRNE テロ災害発生時に、原因物質が判明しない初動対応では、All hazard approach も含めた対応手順が必要であり、そのガイドラインや教材作成のために必要な情報をこの一連の研修から得られた。初動対応での安全と危険の判断を適切に行い、状況に応じた最善策を選択できるように知識と技術を習得できることを目標とした研修内容、教材が必要であり、これらの開発を今後行う。

## 参考資料

- 1) 総務省消防庁国民保護・防災部参事官付，平成 28 年度 救助技術の高度化等検討会報告書，平成 29 年 3 月。  
[http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi\\_kento/h28/terro\\_taiou/houkoku/houkokusyo.pdf](http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h28/terro_taiou/houkoku/houkokusyo.pdf) (2019.3.11 アクセス)
- 2) 内閣官房国民保護ポータルサイト 国民保護訓練  
<http://www.kokuminhogo.go.jp/kunren/> (2019.3.11 アクセス)

資料 2-1

2018 年度原子力総合防災訓練 避難退域時検査実動訓練

1. 日時：2018 年 8 月 26 日（日） 10:00～13:00
2. 場所：総合運動公園駐車場
3. 訓練参加人数

表 1 参加内訳

避難者	バス 21 台	562 人	634 人
	乗用車 34 台	44 人	
	福祉車両 11 台	28 人	
運営	医師	1 人	73 人
	車両検査	27 人	
	車両除染	8 人	
	人 指定箇所検査	16 人	
	人 確認検査	4 人	
	人 簡易除染	4 人	
	事務	2 人	
	誘導	7 人	
	通過証	2 人	
	指導	2 人	

4. 事故想定：原子力発電所 3 号機において、北部を震源とした地震による外部電源喪失後、原子炉冷却材の漏えいが発生し、さらに設備故障等により非常用炉心冷却装置による原子炉への全ての注水が不能となり、全面緊急事態となる。他方、別の原子力発電所 4 号機においては、地震による影響は認められなかったが、送電線事故による外部電源喪失後、蒸気発生器への給水が不能となり、また、設備故障等により非常用炉心冷却装置による原子炉への注水が直ちにできなくなり、全面緊急事態となる。

## 5. 会場配置と運営

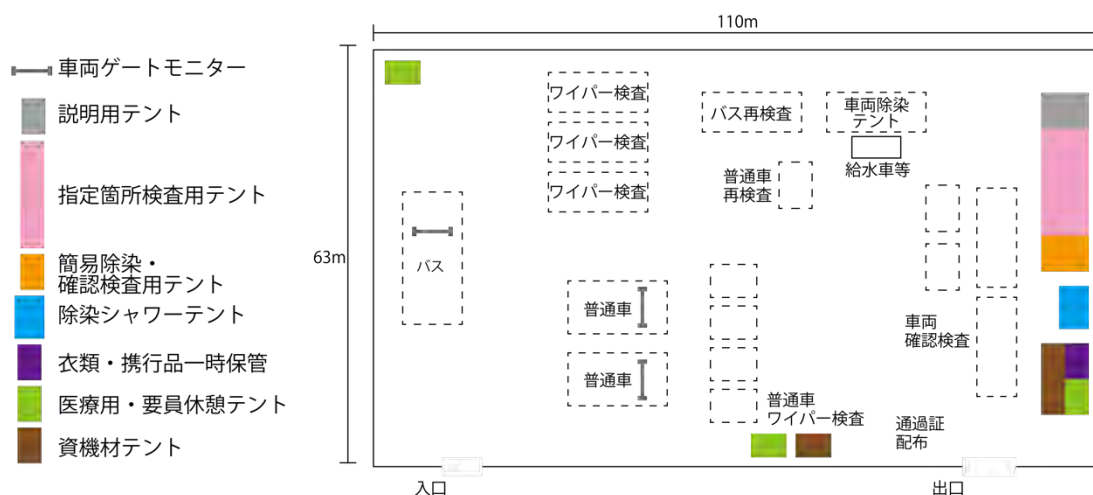


図1 会場配置図

## 6. 訓練の流れ

- ① 対応者の防護服：炎天下での訓練のため、「タイベック着用中」のビブスを着用。
- ② 車両汚染検査：ゲートモニターで側面(タイヤの部分)の汚染検査後、GM サーベイメータを使用し、2人でワイパー部分を検査。バスと普通車は別々のレーンで実施。約2分で完了。



図2 ゲートモニターの通過



図3 ワイパー部分の検査

- ③ 通過証配布：車両1台に対し、1枚配布。
- ④ 汚染再検査：2名がGM サーベイメータを使用し、車両全体の汚染検査を実施。
- ⑤ 車両の除染：水を吹きかけての除染。ブラシ等の使用なし。除染の水はポンプでドラム缶に回収。



図4 通過証



図5 バスの再汚染検査



図6 バスの除染

- ⑥ 除染後車両検査：ワイパー、タイヤ部分の検査。
- ⑦ 乗員(住民)の汚染検査：降車して汚染検査場所に移動。
- ⑧ 避難所へ移動：汚染検査後に同じルートを歩いてバス、乗用車に乗車後、避難所へ移動。

※今回の訓練想定では、住民の汚染はなし。簡易除染の実施はなし。



図7 除染後の再検査



図8 住民の汚染検査

## 資料 2-2

### 2018 年度 CBRNE 災害対処千葉連携研修 机上演習

#### 1. 概要

##### (1) 第 1 回 机上演習

開催日時：2018 年 7 月 11 日(水)14:00 – 17:00

開催場所：量研機構放射線医学総合研究所 講堂

参加機関：千葉県（3 名）、千葉県警察（13 名）、千葉市消防局（18 名）、放射線医学総合研究所（7 名）

##### (2) 第 2 回 机上演習

開催日時：2018 年 11 月 28 日(水)9:00 – 12:00

開催場所：量研機構放射線医学総合研究所 講堂

参加機関：千葉県（3 名）、千葉県警察（17 名）、千葉市消防局（16 名）、幕張メッセ（3 名）、オリエンタルランド（14 名）、成田空港（4 名）、放射線医学総合研究所（7 名）

#### 2. 想定

訓練内容：CBRNE テロを想定した机上演習

訓練想定：演習シナリオ概要

- 想定発生日は 7 月末の平日、夏の日中。
- 幕張メッセでは大規模イベント開催中につき、千葉県警はイベント警備を実施中。
- イベント来場者から幕張メッセ警備へ、エスプラナード中央付近に不審物が留置されているとの通報があり、警備員が現認に向かう途上、エスプラナード中央付近で爆発により負傷者が発生する。
- 現着した消防救助隊等が現場に進入したところ負傷者近くで放射線を検知、同刻不審物件捜索を行っていた警察官がエスプラナード南西側入り口付近にて不審物を発見。
- 放射線検知により消防は NBC 対応へ切替、県警は NBC 隊が出動。不審物件発見のため県警爆処理隊が出動。併せて消防より量研放医研へ現場支援要請。

訓練目的：爆発等の活動危険が伴う状況にて、現実的な部隊展開、迅速な負傷者救出と医療介入、汚染検査や除染等被災者対応、現場保存等について演習にて検討する。

### 3. 訓練内容

災害発生から活動終了までの現場初動対応者が行う活動を対象に、参加機関が連携して対応する。机上演習には2つの目的を設定し、2班に別れて、発災から20分間の初動対応とそれ以降の活動の2つのフェーズに分けて、現有資器材、現有部隊を想定して、それぞれ検討、議論し、検討事項を発表する。

目的1：演習参加者は各機関の活動計画と現場の裁量に鑑みかつ他機関と連携して、演習班ごとに各機関の活動目的達成のための最善の活動手順を検討する。

目的2：千葉県が設置する対策本部等へ共有すべき情報の内容と意味を整理する。



## 資料 2-3

## 2018 年度市川市消防局西消防署 特殊災害研修

## 1. 開催日時、参加者

	日時	参加者（名）			
		主催消防署	近隣消防本部	事業者	量研放医研
第1回	1月30日（水） 9:00~12:00	28	3	3	3
第2回	1月31日（木） 9:00~12:00	25	2	2	3
第3回	2月19日（火） 9:00~12:00	27	3	3	4
第4回	2月20日（水） 9:00~12:00	25	2	3	4
第5回	3月5日（火） 9:00~12:00	26	3	2	4
第6回	3月6日（水） 9:00~12:00	25	3	4	4

## 2. 研修内容

## (1) 第1回・第2回 「化学テロ災害」

時間	方式	内容	担当
9:05 - 10:30	講義	1 有毒化学剤の基礎 ・ 有毒化学の種類と特性 ・ 有毒化学剤の検知 ・ 有毒化学剤の防護 ・ 身体への影響 2 Cテロ災害対応 ・ 対処準備 ・ 症状及び兆候による判断 ・ ゾーニング及び救護 ・ 現地調整所	岩熊
10:40 - 11:20	討議	症状による初期判断 ・ 各種有毒化学剤の症状と対応の基本	岩熊、富永
11:20 - 12:00	実習	検知紙の取り扱い要領 ・ 検知紙の変色と判断 ・ 被服等に付着した液滴の検知要領	岩熊、小林、富永

(2) 第3回・第4回「放射線テロ災害」

時間	方式	内容	担当
9:05 - 10:00	講義	「放射線テロ災害対応の基本」 ・放射線の基礎 ・放射線防護 ・放射線テロ災害の種類 ・放射線テロ災害の初動対応	富永
10:00 - 10:10	準備	実習準備	
10:10 - 11:50	実習	1. 個人防護装備着用 2. 空間線量率測定 3. ズーニング 4. 汚染検査 5. 脱衣	宮後、小林、 堤、富永

(3) 第5回・第6回「机上演習」

時間	方式	内容	担当
9:05 - 9:10	説明	机上演習のルールについて	富永
9:10 - 9:50	討議	討議1：情報シート1を配布	岩熊、小林、堤、富永
9:50 - 10:20	発表	各班の討議内容の発表 (発表後10分休憩)	富永
10:30 - 11:20	討議	討議2：情報シート2を配布	岩熊、小林、堤、富永
11:20 - 11:50	発表	各班の討議内容の発表	富永
11:50 - 12:00	説明	想定 of 解説	富永

3. 参加者の感想・評価

受講者から自由記載で研修の感想、要望、評価等を調査した。

多くは、研修が有意義であり、特殊災害に関する知識の習得に役立ったというものであった。また、実習は、保有する資器材を使用して、擬剤の検知や放射線の検知を実施したことで、使用方法などを実践的に考えられるようになったという意見も多くみられた。講義と関連する資器材を使用した実習で1回の研修を構成するのは、非常に学習効果があると思われる。

さらに、研修の継続、反復を要望する意見や、多くの職員への教育の必要性を訴える意見もあった。

机上演習では一つの想定に対して、様々な意見、活動方針が出たことで、今後の訓練や活動計画、マニュアルの変更等に反映されることを期待する。



**資料 2-4**  
**国際空港エマルゴトレーニング**

1. 訓練概要

開催日時：2018年7月12日(木)10:00 - 17:00

開催場所：国際空港内 多機能施設

参加機関：国際空港株式会社、医療機関、警察、消防本部等

訓練内容：CBRNE テロを想定したシミュレーション訓練

（エマルゴトレーニングシステムを使用）

訓練想定：第2旅客ターミナルビル国際線到着ロビー付近において、大きな爆発音と閃光があり、煙が立ち込めている。周辺には多数の負傷者が倒れており、多くの人が現場から避難している状況。現場では、爆発以外の不審物は発見されず、化学剤、放射線は検知されない。

2. 訓練内容

(1) 各組織での検討

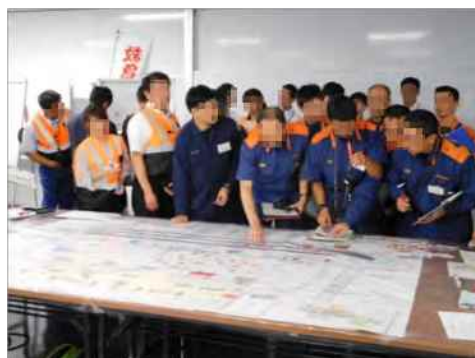
- ・ 空港ブース、医療機関ブース、消防ブース、県警ブースごとに①発災の覚知、②各機関内での情報共有、③現場先着隊の活動、テロの判断と認定、④現場指揮所の活動、⑤複数機関の連携、⑥傷病者、無傷病者、黒タグの対応、について検討し、発表による活動方針、内容の共有を図った。



(2) エマルゴトレーニングシステム※による訓練

- ・ 組織ごとに状況を付与し、活動方針を検討し、訓練の時間想定に合わせて対応の結果を反映させ、全ての要救助者の救助完了までを実施した。
- ・ 爆発発生からの対応の時系列は下記の通り。  
14:00 爆発、負傷者多数発生、軽傷者は屋外の駐車場への誘導開始  
14:40 警察による不審物の検索では、発見されない。消防は安全確保されたと判断し、進入、検知活動開始。

- 14:44 屋内の検知活動完了、DMAT は救急指揮所に到着  
14:46 通常の多数傷病者対応で活動開始  
14:52 全ての要救助者の搬出は完了



※エマルゴトレーニングシステム；エマルゴトレーニングシステム®とは、スウェーデンのリンショーピング大学病院に隣接された Centre for Teaching and Research in Disaster Medicine & Traumatology（災害医療・外傷学教育研究センター）にて20年以上前から地域とともに開発されてきた救急・災害医療の机上シミュレーションによる研修法である。

災害を想定し、医療従事者及び被災者に見立てたマグネット人形を使用し、これらを白板上で災害現場や病院などに移動する。これらは設定された病床数・増床数職員数・限られた資源を用い、訓練上の時間経過に沿って行われ、評価は、設定された対応法の妥当性及び避けられた合併症避けられた死の有無の検討で行われる。様々な職種の方が参加することが有用であり、行政職員、自衛隊警察、消防、病院関係者などがトレーニングに参加することにより実災害に近い訓練となる。

## 資料 2-5 CBRN 対処合同訓練

### 1. 訓練の概要

時期：平成30年8月2日（木）～3日（金）

参加：

警察：60名

消防局：37名

陸上自衛隊：38名

要救助者：隊員家族15名、自衛官161名

内容：屋内施設にサリンを散布され、約40名の傷病者の発生した状況への対応

初日に図上演習、2日目に実動訓練を実施し、各機関間の情報共有・連携要領を練成

### 2. 訓練の状況

#### (1) 図上演習：2日（木）14:30～17:00

警察、消防は課長級の管理者が主として参加、自衛隊は特殊武器防護隊長が進行役と自衛隊の対応役を務め討議を進めた。演習は、実動訓練で使用する場所の地図上において、患者発生から、CBRNを予測した出動準備、現着、指揮所開設、状況把握、役割調整、相互活動の理解、救出、救助、警戒、避難誘導、自衛隊への派遣要請等、時系列で各機関の対応要領・能力等について相互理解を深めた。



#### (2) 実動訓練：3日（金）09:00～12:00

##### (ア) 演習の概要

- ・「工場で異臭発生、数十名の要救護者発生」の通報で状況を開始
- ・被災者には症状がタグ付けされており、検知器に反応する擬剤を散布（気体のみ）
- ・基本的には、被災者の症状と検知器を確認しながら状況判断し処置をするブライント訓練
- ・周辺地域への影響への対処、受入病院の調整等、自治体、医療機関等との連携は

ない

- ・自衛隊は発災後約1時間で現着（実際には困難、またこのケースで派遣要請も疑問）
- ・要救助者を全員回収した時点で状況終了

(イ) クロノロジー

警 察	消 防	自 衛 隊
0900 発災通報	0900 発災通報	
	0910 到着	
	0913 施設管理者との調整	
	0916 進入統制線仮設定	
	0923 施設管理者より内部図面入手	
	0925 歩行可能な子供2名を掌握	
0928 警察到着、消防との情報交換	0928 警察との情報交換	
	0932 大人1子供2掌握	
0933 救助者から聞き取り	0936 偵察レベルA 出発	
0935 機動隊到着、情報収集	0939 レベルA 1F	
0939 被災者から聞き取り	0940 CPに無線「神経剤」反応」	
0945 被災状況の把握→CPに連絡	0943 CPに無線、被災状況、「G」検出	
0946 消防とのバンダレー調整 (警察が1・2階を担当)	0946 警察とのバンダレー調整 (消防が3・4階を担当)	0954 LO現着
0949 偵察出発	0951 11名の要救助者確認→本部報告	0958 35iLS到着→情報交換
1006 G検知→CPに無線	1003 偵察要員4F 離脱	1003 偵察小隊長 現着
	1011 救出1名 レベルA 担架 4名	1006 救出のため35i準備開始
	1016 偵察帰隊	1022 偵察班長⇄機動隊と役割調整
1026 自衛隊との協同偵察出発		1026 機動隊との協同偵察出発
1039 救出 レベルB 4名	1039 患者除染	1031 救出出発 レベルC(35i12名)
1041 救出 レベルC 4名	1040 救出 レベルA 4名	1039 患者後送 →除染所
	1047 救出 レベルA 4名	1044 衛生隊へ申し送り
		1045 偵察2派出発 レベルA
1108 再度任務区分調整	1108 再度任務区分調整	1108 再度任務区分調整
1121 除染要領について自衛隊と調整		1121 除染要領について機動隊と調整
		1129 要救助者1名 搬送・除染
		1132 要救助者1名 搬送・除染
		1145 要救助者1名 階段下搬送
1149 要救助者を掌握搬送		1149 搬送途中患者を機動隊に申し送り
1152 要救助者を除染		
1157 状況終了	1157 状況終了	1157 状況終了

(ウ) 訓練の様子

a. 現地調整所（現場指揮所）の開設

現着後、速やかにテーブルを展開し、現場状況の把握と施設責任者から現場の内部地図を入手し、情報の整理と対処方針の決定を実施していた。

以後、後着した消防、警察がここで調整を行っており、現地調整所としての機能を発揮していた。



b. 統制線の設定

現場指揮所からの指示に従い、統制線（ウオームゾーンとコールドゾーンの境界）を設定し、コーンとポールで明示していたが、その根拠は、前方約 100m の地点に生存者らしき人の存在であった。

c. 目視できた要救助者の状況

有毒化学剤の存在が疑われる地域に、生存しており救助を待つ女性と子供が目視できているにもかかわらず、確認してから救助に向かったのは約 15 分後であった。この地域は発災現場（ホットゾーン）の近傍のウオームゾーンであり、早く避難誘導しなければならぬとの認識は感じられなかった。



d. 避難誘導

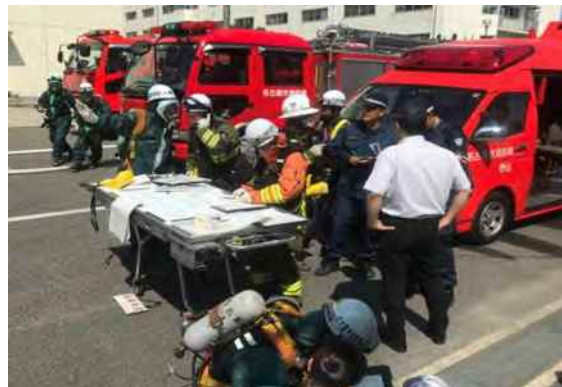
その後、避難誘導したが、歩行可能な 2 名の少女を誘導したのみで、足を怪我した少女 2 名と母親は置き去りにされた。

自分はレベル B で防護された状態で、危険地域との認識があるにもかかわらず、無防護の弱者を危険地域に置き去りにしているとの認識は感じられなかった。



e. 現地調整所での調整

後着の消防隊、警察は逐次当初開設した消防指揮所に集まり、情報収集を行っていたが、この時点では迅速な要救助者の把握と救出のための任務分担等の調整はされておらず、全般的に急いで対処しなければならないとの認識はいずれの機関にも感じられなかった。



f. 歩行可能要救助者への対応

発災施設内に残っていた歩行可能被災者をウォームゾーン内で問診していたが、有毒化学剤による症状が発症していない弱者から、危険なウォームゾーン内で自分はレベルBのままで何を確認する必要があるのか不明であった。(マニュアルの1次トリアージを形式的に実施したものと思われる)



g. レベルAでの行動

レベルAの防護服は、活動時間が短く、行動にも大きな制約があり、視認性も悪いため、偵察活動、救助救出活動等には一般的には不向きであるが、今回確認できた事として、活動時間は高圧縮ボンベにより約40分可能であり、40℃近くの厳しい環境であったが、歩行不能者を2名で引きずり出す程度の行動は可能であった。しかしながら被災者のバイタルサインの確認



や検知器による機微な状況把握等は相当の訓練が必要であると感じた。

また、化学剤検知は、侵入当初から警報が鳴りっぱなしとなり、状況判断にはほとんど使用されていなかった。

h. 要救助者の放置

4名の偵察要員は、約30分かけて要救助者の位置と数を確認

(15名)して、放置したまま拠点に戻ってしまった。写真は4階のサリンのガスが放出された現場であり、擬剤ガスが存在していたにもかかわらず、ショートピックアップの概念はなかった。また、すぐ近くに稼働して



いるエレベータがあるにもかかわらず、これを使用せず、階段を使用して搬送していた。

i. 三者三様

同じホットゾーンからの救出に当たり、消防はレベルAを固執、警察はレベルA、B、Cを使用していたが、確たる根拠に基づき使い分けている様子はなかった。自衛隊はレベルCのみの使用であった。

搬出にあたっては、警察、消防が保有する引きずるタイプのストレッチャーは体力温存のために有効であるが、2名で十分運搬できそうなところ警察、消防とも4名で運用していた。

レベルA、B、Cの同地域の混在は、原理原則的には違和感を感じるが、訓練実施者においてはそれぞれの組織の文化との理解か、特に違和感を感じている様子はなかった。

j. レベルAのその後

レベルAの体力的な負担は非常に大きいため、1回の任務でほぼその隊員は次の任務に就くことは困難である。従って、一度レベルAで活動（約30分間）した後は、まだ要救助者が残されている状況であっても軽装となり、水を十分補給し、涼しい所で十分な休息を取る必要がある。

k. 警察、消防による水除染

警察、消防が連携し、手際よく被服の裁断、水除染を実施して



いた。しかしながら、汚染の状況を確認しておらず、運ばれた被災者はとりあえず全員全身を水除染し、除染後の確認等も実施している様子はなかった。本状況では、サリンガスの吸入による被災なので除染の必要性はなかった。

1. 人員除染待ち

搬送された歩行不能者が、人員除染所の入口で待たされている様子。隣の大型除染所は稼働していなかった。

今回は被災者が少なく、搬送速度が遅いため1名の除染待ちであったが、大量の被災者が発生した場合、除染の要否の確認、除染要領の検討が必要である。



m. 要救助者の放置

除染を終了した歩行不能者が現場指揮所（現地調整所）の後方に運ばれた後、放置されていた。現場指揮所では、発災現場の方向ばかりに関心があり、後方の患者収容、医療機関への引き渡しまで気が回っていないようであった。現地調整所には医療関係者の存在が必要である。





## 資料 2-6 大規模集客施設防災訓練

### 1. 訓練概要

場所：千葉県内の大規模集客施設

日時：2019年1月24日 20:30 - 21:30

訓練想定：東京湾で地震、津波が発生し、来客者を避難誘導する。負傷者は仮設救護所へ担架で移送し、トリアージ後に診療所等へ救急搬送する。

参加者数：職員 2500 人（被災者役 2000 人を含む）

### 2. 訓練内容

#### (1) 屋内外の来客者の避難誘導

地震発生直後に、避難経路の安全確認を実施し、屋内外の来客者を避難誘導していた。屋外の避難は夜間であり足元が暗かったが、避難経路はほとんど段差がなく、つまずきや転倒の危険はあまりなかった。

#### (2) 屋外での待機

電車等が停止しているため、避難者は一旦屋外で待機していた。外気温は低かったが3歳以下の幼児の避難を優先する対応がなされていた。建物の安全確認後に、屋内への避難を行っていた。避難者の人数によっては、負傷者の搬送ルート、救急車のルートの確保の検証が必要である。

#### (3) 仮設救護所の設置、トリアージ

負傷者は訓練エリア内に2箇所設置された仮設救護所に搬送され、看護師によるトリアージ後に診療所等への救急搬送となっていた。出血等に対する現場での応急救護は実施されていないようであった。実際には、止血等の応急処置がなされた方がよい。

担架での搬送には、来園者による互助の呼びかけ、活用を実施していた。夜間の屋外でのトリアージでは仮設の照明が準備されていたが、暗い中でのトリアージ（状態が記載されたカードの内容確認）には、時間がかかっていたようである。一次トリアージ後にすぐ搬送となっていたため、トリアージ後のエリアは設定されていなかった。

#### (4) 屋内避難場所の設置

安全が確認された建物を屋内避難場所として利用しており、冬季や雨天時では、避難者の低体温などの健康影響を回避する対策となる。特に寒冷時には極力速やかに屋内を利用することが好ましいが、どのような施設点検を行うことにより安全を担保するのかを明確にし、いかに早くこの点検を実施し屋内へと誘導するのかの検討も必要である。



### 3. 【調査研究2】医療機関での受け入れ体制整備

#### 3.1. 本年度の研究計画

全国の医療機関の被ばく医療の診療能力の向上により迅速かつ適切な被ばく医療を提供する手段の開発を目的とする。

H30年度は量研放医研の協力協定病院、有識者等の協力を得て、現場除染なし、または乾的除染で医療機関が傷病者を受入れるために必要な体制、教育等について課題を抽出し、解決策を検討する。さらに既存の原子力災害医療の研修の体系を整理し、新たな研修体系を提案するとともに、既存のテキストを改定し、標準テキストを作成することで研修による人材育成の実効性を向上する。

#### 3.2. 検討の経緯

今年度は、調査研究2を担当する研究協力者、研究参加者による検討会を4回開催（第1回～第4回）し、以下の項目について議論した。検討会開催前に、調査研究2を担当する研究協力者に、本件研究事業の概要と今年度の研究計画として原子力災害医療の研修体系化と標準テキストの作成を中心として、包括的被ばく医療の人材育成について検討することを個別に説明し、原子力災害医療の研修体系化と標準テキストについて意見を聴取した。その意見をもとに原案を作成し、4回の検討会の中で議論した。

- 原子力災害医療に関する研修の体系化
- 原子力災害医療に関する研修の高度化
- 原子力災害医療に関する研修で使用する標準テキスト作成
- 原子力災害医療に関する研修制度と人材の一元管理
- 原子力災害医療に関わる人材へのインセンティブ
- 包括的被ばく医療の研修と教材
- 被ばく医療の初療のフロー図と診療記録用紙

検討会の開催日程は下記の通りである。

##### 1. 第1回検討会

日時：2018年8月6日(月) 14:00 – 16:00

場所：フクラシア丸の内オアゾ

東京都千代田区丸の内 1-6-5 丸の内北口ビルディング 15階

議題：議題1：事業概要説明

議題2：研修体系化案

議題3：標準テキスト担当割

議題4：今後について

## 2. 第2回検討会

日時：2018年9月25日(火) 14:00 - 16:00

場所：フクラシア丸の内オアゾ

議題：議題1：研修体系化案；高度専門研修（バイオアッセイ、染色体）

議題2：被ばく医療人材管理システム；受講者データベース

議題3：標準テキスト作成の状況

議題4：今後について

## 3. 第3回検討会

日時：2019年1月11日（金）14:00～16:00

場所：フクラシア丸の内オアゾ

議題：議題1：研修体系化最終案（バイオアッセイ研修、染色体分析研修）

議題2：標準テキスト最終案

議題3：その他

## 4. 第4回検討会

日時：2019年3月12日(火) 13:30 - 15:00

場所：フクラシア丸の内オアゾ

議題：議題1：新研修体系化での2019年度研修開催案

議題2：資料作成「患者搬送における汚染拡大防止」

議題3：資料作成「診療記録」

議題4：成果報告と来年度計画

### 3.3. 結果

#### 3.3.1. 原子力災害医療に関する研修の体系化

原子力規制庁の委託事業として実施してきた既存の研修（表3-1）を見直し、研修の重複がなく、効率的に研修を履修できるようにした研修体系化を次のように提案する（図3-1、表3-2）。

- ① 基礎研修、専門研修、高度専門研修の3つに区分する。
- ② 研修の履修状況によりステップアップする。
- ③ 基礎研修は、立地道府県等が実施する研修で、原子力災害拠点病院あるいは原子力災害医療協力機関の職員、行政職員、消防や警察等の関係者を対象とする。研修は、「原子力防災体制」「放射線の基礎」「放射線の影響」「放射線防護」「汚染検査・除染」「安定ヨウ素剤」「避難退域時検査」「避難と屋内退避の支援」の8つの座学から構成される。
- ④ 専門研修は、基礎研修の履修者を対象とする。被ばく医療研修は、医療関係者を対象とし、高度被ばく医療支援センターが実施する。研修は、「医療機関の原子力災害対策」「医療機関での初期対応」「放射線障害の診断と治療」「外部被

ばくと内部被ばくの線量評価」「原子力災害時のメンタルヘルス」といった講義、実習と机上演習から構成され、原子力災害拠点病院での診療に必要な知識と技能の習得を目標とする。

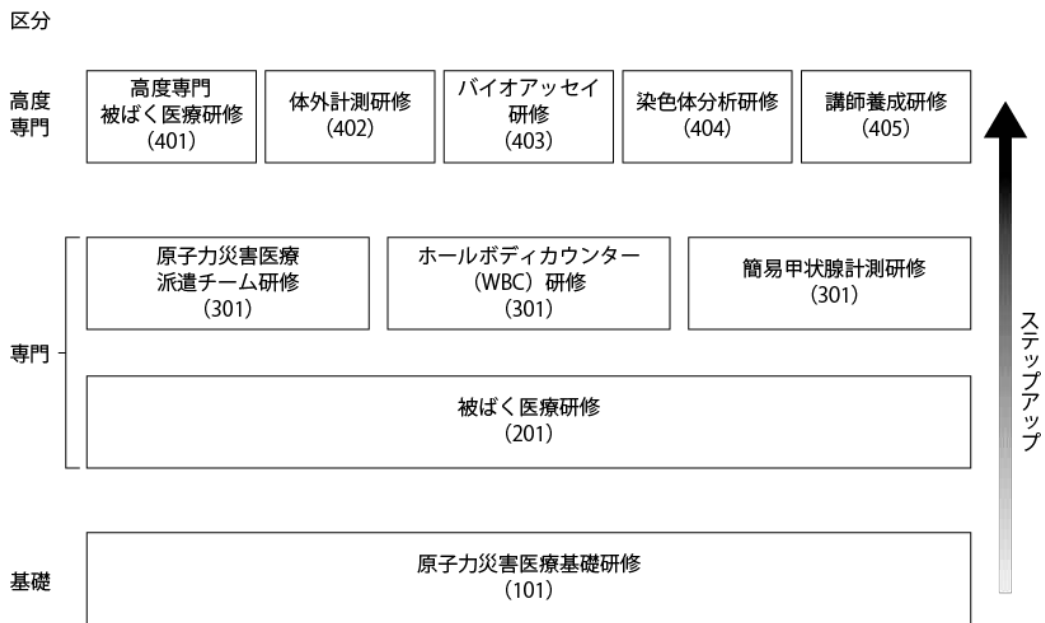
- ⑤ 専門研修の原子力災害派遣チーム研修は、原子力災害拠点病院が保有する原子力災害派遣チーム要員で、被ばく医療研修を履修した者を対象とした研修であり、原子力災害・総合支援センターが実施する。研修は、「原子力災害医療派遣チームの活動」「原子力災害時の救護所活動」「原子力災害時のリスクコミュニケーション」の講義と診療手技の実習から構成され、原子力災害時に、原子力災害が発生した地域の原子力災害拠点病院での診療支援のための知識と技能の習得を目標とする。
- ⑥ 専門研修のWBC研修は、被ばく医療研修を履修した者で、原子力災害拠点病院等でWBC（ホールボディカウンター）による体外計測に携わる医療関係者を対象として、高度被ばく医療支援センターが実施する。研修は、「線量評価の概念」「体外計測法」「バイオアッセイ法」「公衆の線量評価」の座学と体外計測の実習から構成される。
- ⑦ 専門研修の甲状腺簡易計測研修は、被ばく医療研修の履修者で、立地道府県等で甲状腺簡易計測に携わる者を対象にした研修で、高度被ばく医療支援センターが実施する。「線量評価の概念」「体外計測法」「公衆の線量評価」「甲状腺簡易検査」の座学と実習から構成される。
- ⑧ 専門研修まで修了した医療関係者等が、その後に基礎研修、専門研修の講師を務める。
- ⑨ 高度専門研修は、主に高度被ばく医療支援センターと原子力災害医療・総合支援センターの職員を対象として、基幹高度被ばく医療支援センターが実施する研修で、被ばく医療の専門的治療、線量評価ができ、原子力災害拠点病院等での診療の支援ができるようになることを目標とする。高度専門被ばく医療研修、体外計測研修、バイオアッセイ研修、染色体分析研修、講師養成研修の5つの研修である。
- ⑩ 各研修にはコースコードを付与する。コードは、基礎研修が100番台、専門研修の被ばく医療研修が200番台、専門研修としての原子力災害医療派遣チーム研修、WBC研修、甲状腺簡易計測研修が300番台、高度専門研修が400番台とする。

表 3-1 2018 年度に実施されている原子力災害医療の研修

研修名	実施施設	頻度・定員	対象者	研修概要
原子力災害時医療中核人材	高度被ばく医療支援センター	6回/年	原子炉施設等立地道府県等の医療従事者	原子力災害時の医療拠点病院として受け入れ対応と中核人材としての高度専門的な知識と技能を習得する
		20名/回		
原子力災害医療派遣チーム	原子力災害医療・総合支援センター	1回/年 (道府県)	原子炉施設等立地道府県等の医療従事者	原子力災害医療派遣チームの活動のための研修
		10名/回		
WBC 計測研修	高度被ばく医療支援センター (放医研)	1回/年	原子炉施設等立地道府県等の医療従事者 (放射線防護に携わる者)	拠点病院での被ばく線量推定、測定を行う人材の育成
		15名/回		
甲状腺簡易計測研修	高度被ばく医療支援センター (放医研)	1回/年	原子炉施設等立地道府県等の医療従事者 (放射線防護に携わる者)	原子力災害時に周辺住民等、相当数の被験者に対して迅速に甲状腺簡易測定を行う人材の育成
		20名/回		
講師養成講座	原子力安全研究協会	4回/年		放射線の基礎と基本的機材の使用について「いかに教えるか」を学ぶ
		20名/回		
避難退域時検査・簡易除染	原子力安全研究協会	4回/年		避難退域時検査、簡易除染の従事員に効率的に活動するために必要な知識と技術について「いかに教えるか」を学ぶ
		20名/回		
講師養成講座 実践研修	原子力安全研究協会	2回/年	原子炉施設等立地道府県等の医療従事者 消防関係者、行政職員等	汚染傷病者等を医療機関に搬送し、救命に寄与するために必要な知識と技術について「いかに教えるか」を学ぶ
		20名/回		
原子力災害時の医療	原子力安全研究協会	3回/年		被ばく傷病者へ対応について必要な知識と技術について「いかに教えるか」を学ぶ
		20名/回		
安定ヨウ素剤	原子力安全研究協会	2回/年		安定ヨウ素剤の配布に関わる要員が、必要な知識と技術について「いかに教えるか」を学ぶ
		20名/回		

表 3-2 新たな原子力災害医療の研修

区分	研修名	実施機関	頻度・定員	対象者	研修概要・目的
基礎	基礎研修	関係道府県	2回/年 (関係道府県)	原子力防災に関わる関係機関の職員	原子力防災に関する基礎知識、測定器の取扱いの知識の習得研修
		拠点病院	50名/回		
	被ばく医療研修	高度被ばく医療支援センター	5回/年 20名/回	被ばく医療に携わる医療従事者、医療関係者	被ばく・汚染のある傷病者を医療機関で対応するために必要な知識と技能の習得研修
		原子力災害医療派遣チーム研修	4回/年 20名/回	原子力医療派遣チームの要員	原子力災害医療派遣チームの活動に必要な知識と技能の習得研修
専門	ホールボディカウンター (WBC) 研修	高度被ばく医療支援センター	1回/年 20名/回	原子力災害拠点病院の線量推定に携る職員の要員	原子力災害医療拠点病院での被ばく線量推定、測定を行う人材の育成
		甲状腺簡易計測研修	2回/年 (関係道府県) 20名/回	原子力災害時の線量推定に携る職員の要員	原子力災害時に周辺住民等、相当数の被験者に対して迅速に甲状腺簡易測定を行う人材の育成
	高度専門被ばく医療研修	基幹高度被ばく医療支援センター	1回/年 10名/回	高度被ばく医療支援センターの職員	高度専門的対応が必要な患者を受け入れ、診療するのに必要な専門知識の習得研修、最新のトピック
		体外計測研修	1回/年 1~2名/回	高度被ばく医療支援センターの職員	高度被ばく医療支援センターでの体外計測による線量評価を実践できる人材の育成
高度専門	バイオアッセイ研修	基幹高度被ばく医療支援センター	1回/年 1~2名/回	高度被ばく医療支援センターの職員、原子力事業所の職員等	高度被ばく医療支援センターでのバイオアッセイによる線量評価を実践できる人材の育成
		染色体分析研修	1~2回/年 20名/回	全国の医療機関の染色体分析の専門技術者等	放射線事故時に染色体分析による線量評価に協力、支援できる人材の育成、人材確保
	講師養成研修	基幹高度被ばく医療支援センター	1回/2年 20名/回	講師として活動している高度被ばく医療支援センターの職員等	研修内容、標準テキストの見直しとともに実習内容の擦り合わせを実施



( ) 内の数字はコースコード

図 3-1 新たな原子力災害時の医療に関する研修体系化案

### 3.3.2. 原子力災害医療に関する研修の高度化

前述の新たな研修体系化の中で高度専門研修として、高度被ばく医療支援センターと原子力災害医療・総合支援センターの職員を対象とした研修を提案している。これは、現行の原子力災害医療に関する研修は、各地域の原子力災害拠点病院での被ばくあるいは汚染のある傷病者の受け入れのための研修であり、高線量被ばくの病態や治療、内部被ばくの専門的な治療や線量評価、あるいはより複雑な状況（複数の核種が関与している場合など）での体外計測などに関する高度専門的な研修の機会がなかったという問題の解決策の一つとして提案する。

米国保険物理学会、日本保険物理学会の会員数の減少が報告されているが、被ばく医療にとって被ばく線量評価は不可欠であり、若手の人材育成と確保は重要な課題である。特にバイオアッセイの技術は専門性が高く、短期間の研修では習得が難しい。そこで、量研の施設を使用して、4週間前後の研修として、バイオアッセイの標準プロトコルを作成し、放射線管理区域内でのアルファ核種を使用した研修を提案する。研修の内容については、現在詳細を検討中であり、パイロット研修を実施して、研修生の受け入れ、指導方法、安全性について検証している。

染色体分析研修については、日本人類遺伝学会の臨床細胞遺伝学認定士を対象とした研修として実施し、事故や災害時に量研が実施する染色体分析による線量評価において、画像診断の支援ができる人材の育成を目的とする。



### 3.3.3. 原子力災害医療に関する研修で使用する標準テキスト作成

原子力災害医療に関する研修の体系化で示した研修のうち、基礎研修、被ばく医療研修、原子力災害医療派遣チーム研修、WBC（ホールボディカウンター）研修、簡易甲状腺計測研修については、必要な講義項目を整理し、内容が極力重複しないように講義資料を作成した。また、基本的に一つの講義時間は30分とした。これらは標準テキストとして、講義で使用するとともに、受講生に配布し、受講後にはテキストとして使用できるように各スライドには解説を記載した（別添資料1、別添資料2）。

さらに、各地域での汚染のある傷病者の搬送に関する実践的研修のために、参考資料として「原子力災害、放射線事故・テロ・災害時の患者搬送における汚染拡大防止」を作成した。

各研修の講義項目は以下の通りである。

#### (1) 基礎研修

- ・ 原子力防災体制
- ・ 放射線の基礎
- ・ 放射線の影響
- ・ 放射線防護
- ・ 汚染検査・除染
- ・ 安定ヨウ素剤
- ・ 避難退域時検査
- ・ 避難と屋内退避の支援

#### (2) 被ばく医療研修

- ・ 医療機関の原子力災害対策
- ・ 医療機関での初期対応
- ・ 放射線障害の診断と治療
- ・ 外部被ばくと内部被ばくの線量評価
- ・ 原子力災害時のメンタルヘルス
- ・ 放射線管理要員の役割
- ・ 原子力災害事例

#### (3) 原子力災害医療派遣チーム研修

- ・ 原子力災害医療派遣チームの活動
- ・ 原子力災害時の救護所活動
- ・ 原子力災害時のリスクコミュニケーション

#### (4) WBC（ホールボディカウンター）研修

- ・ 線量評価の概念
- ・ 体外計測法
- ・ バイオアッセイ法

- ・ 公衆の線量評価
  - ・ 内部被ばく線量評価の計算
- (5) 甲状腺簡易計測研修
- ・ 甲状腺簡易検査

#### 3.3.4. 原子力災害医療に関する研修制度と人材の一元管理

原子力災害医療に関する研修として、3つの区分で10種類の研修を提案しているが、これらの研修の質の担保と研修状況の把握、被ばく医療に関わる人材の受講歴管理のために、被ばく医療研修制度を提案する。

この研修制度として以下の仕組みを検討した（図3-2）。

- ・ 基幹高度被ばく医療支援センターに被ばく医療研修認定委員会を設置する。
- ・ 研修の主催者から被ばく医療研修認定委員会に対して、研修コースの認定を申請する。
- ・ 被ばく医療研修認定委員会が研修コースを認定し、受講者に研修修了を認定する。
- ・ 受講者は研修主催者に受講申し込みをする。
- ・ 研修主催者は受講者に受講案内する。
- ・ 研修主催者は、研修コース内容、受講者情報を所在する地域の高度被ばく医療支援センターに登録する。
- ・ 高度被ばく医療支援センターは、基幹高度被ばく医療支援センター事務局に研修コースの情報を登録する。
- ・ 基幹高度被ばく医療支援センター事務局は、医療機関、人材・受講歴、研修のデータベースを管理する。
- ・ 技能維持のために、研修修了の認定には一定期間の有効期限（3年程度）を設け、更新制度を設ける。

## 被ばく医療研修制度（案）

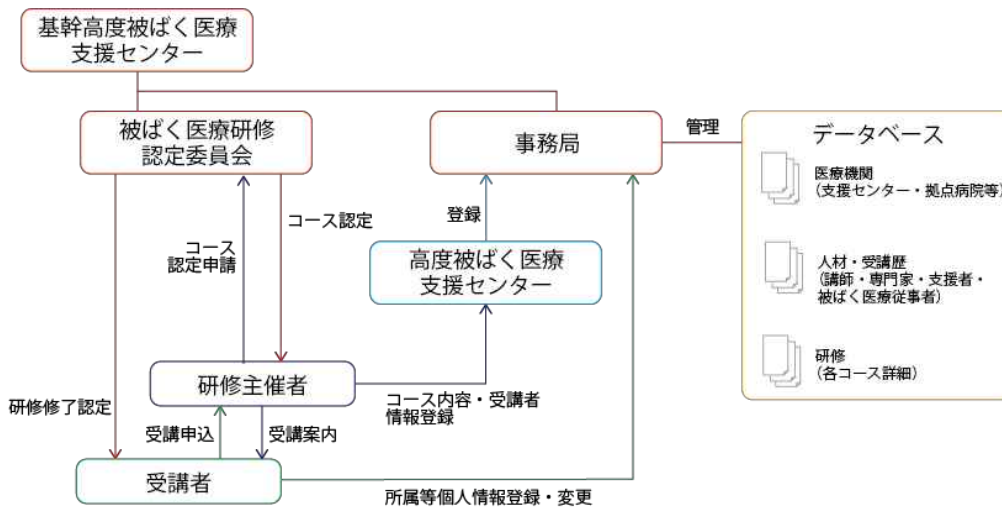


図 3-2 被ばく医療研修制度案

この研修制度による研修、受講者、各地域の原子力災害拠点病院、原子力災害協力機関などの情報をデータベース化し、個人の受講歴や各施設の職員の受講歴を一元管理するための被ばく医療研修管理システム（図 3-3）の構築も提案する。このシステム案は、受講申し込みや研修の認定申請もできるようにすることで、全ての被ばく医療の研修に関連する情報を一元管理することを目的としている。ただし、システムの構築は、予算等を鑑み、段階的に実施することも考慮すべきである。

さらに、研修体系化で提案している各研修コースのコード付与は、この研修制度の中で、研修修了者が自身のレベルを把握する、あるいは研修コースのレベルを把握するための指標となる。また、原子力災害時の医療に関する研修のみでなく、他の被ばく医療の研修でも同様のコースコードを付与することで、研修レベルの比較、把握がしやすくなると考えられる。

## 被ばく医療研修管理システム（案）

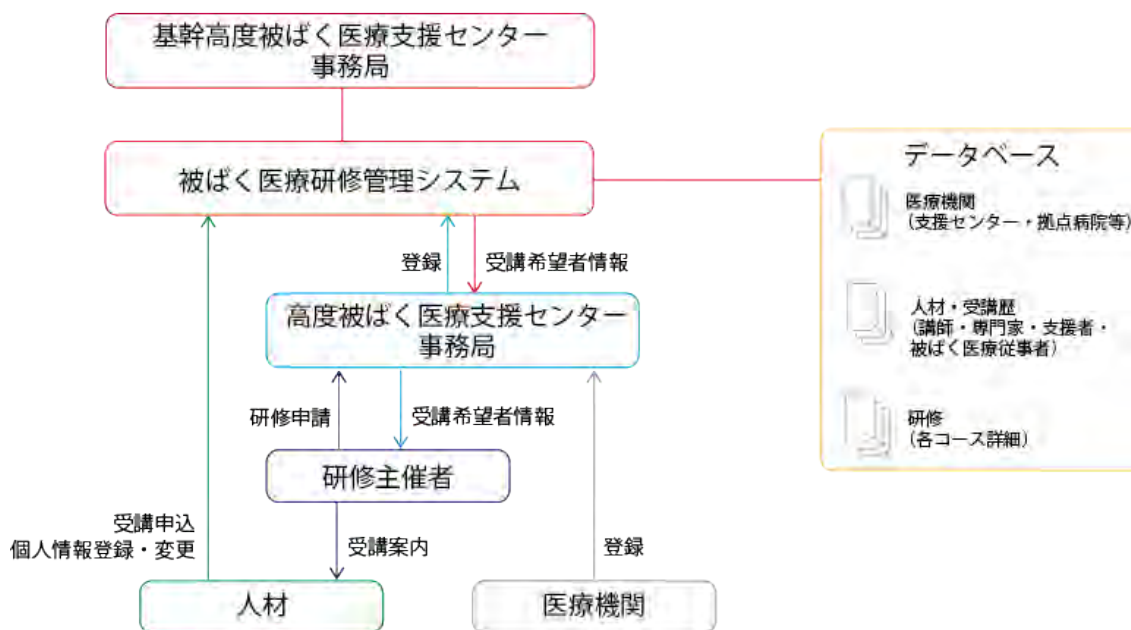


図 3-3 被ばく医療研修管理システム案

### 3.3.5. 被ばく医療に関わる人材へのインセンティブ

研修の受講または指導として関わる人材のモチベーションの向上あるいは、新たに参画する人材をこの被ばく医療に惹きつけるには、組織へのインセンティブと個人へのインセンティブが付与されることが望まれる。組織へのインセンティブは、原子力災害の医療体制の制度設計の中で議論されるべきである。本研究事業では、個人へのインセンティブについて検討し、次の点を個人へのインセンティブとして提案する。

- ・ 日本専門医機構が認定する専門医の基本領域学会の一つである日本救急医学会の救急科専門医更新制度救急科領域講習の Off-the Job Training (Off-JT) として、高度被ばく医療支援センターが主催する被ばく医療研修と原子力災害医療派遣チーム研修を提案する。
- ・ 日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士の更新の研修に放射線被ばくによる染色体異常の画像診断実習の追加を提案する。
- ・ 高度専門研修の染色体分析研修を日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士の更新単位として提案する。

今後、上記のインセンティブについては、関係する学会との調整を行う必要があるが、そのためには、研修の内容、目的、開催場所や開催回数、対象者の選定などを決める必要があり、次年度以降に検討する予定である。

日本救急医学会救急科専門医については、高度被ばく医療支援センター、原子力災害拠点病院等で被ばく医療に携わっている医師で、救急科領域を専門分野としている

医師が比較的多いこと、2011年に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故に関連して、J ビレッジに設置された医療班、あるいは東電福島第一原子力発電所内に設置された5・6号機サービス建屋内救急診療室(5/6ER)へは、日本救急医学会から医師が派遣されていた<sup>1</sup>ことから、需要があると見込んでいる。

日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士制度は、臨床検査として染色体検査にたずさわる医師、研究者および技術者を対象として、臨床細胞遺伝学の専門家の養成と認定を目的としており、染色体分析の基本的な知識と技術をすでに保持している人材であることから、被ばく線量推定での染色体分析の画像診断の知識を習得することで、被ばく医療での染色体分析の支援者としての活躍が期待できる。

この他、日本医学放射線学会放射線科専門医、日本放射線腫瘍学会放射線治療専門医制度の更新単位や、看護師、診療放射線技師の資格に関連したインセンティブについても今後検討することとしている。

### 3.3.6. 包括的被ばく医療の研修と教材

原子力災害対策重点区域(24道府県)での被ばく医療体制整備が進められているが、それ以外の地域(23都県)におけるRI事業所での放射線事故、労災事故など危険時の措置の強化、国民保護に関する基本指針では武力攻撃事態等、緊急処理事態における放射線テロまたは核攻撃等の放射線緊急事態での医療を実施するためには、医療従事者に被ばく医療の教育が必要であり、包括的被ばく医療の研修を検討した。

医療機関での被ばく医療に関する教育や研修は、法的拘束力はないため、各医療機関の自主的な活動に頼ることになる。事故や緊急事態での医療の受け皿としては救急医療部門が最も適していると考えられるが、多忙な業務の中で、医療機関の救急部門の職員に長時間の教育は現実的ではない。

これらの課題を抽出すると以下の点が挙げられる。

- ・ 被ばく医療の知識、技術がないと傷病者の受け入れができない。
- ・ 原子力災害対策重点区域以外の地域では、被ばく医療の教育の機会が少ない。
- ・ 被ばく医療のマニュアル、ガイドライン等がない。
- ・ 研修後の自己学習の方法がない。
- ・ 研修の開催には専門家の協力が不可欠である。

上記課題解決には、効率的な教育が必要であるため、被ばく医療のために必要な最低限の知識と技術を整理し標準テキストを作成し、2～4時間程度の短時間で効率的

---

<sup>1</sup> 日本救急医学会福島原発事故緊急ワーキンググループ；福島第一原発事故復旧作業に対する救急。災害医療支援。日本救急医学会誌。2012；23：116－29。

に実施できる研修のプログラムを提案する。講義と実習の項目は以下である。

<講義> (標準テキストは別添資料)

- ・ 被ばく医療 (講義時間 45 分)
- ・ 医療対応における放射線防護と管理 (講義時間 30 分)
- ・ 医療機関での被ばく医療と放射線防護 (講義時間 45 分)

<実習>

- ・ 施設資機材の養生実習 (60 分)：講義室の一部を汚染傷病者の受入れエリアと想定して、床の養生について指導しながら、実際に研修生が養生を実施
- ・ 個人防護装備着装 (15 分)：サージカルガウン等の PPE を着装
- ・ 汚染検査と除染 (30 分)：汚染 (パウチしたマントルを模擬汚染として使用)のある傷病者に見立てたマネキンの汚染検査と除染を実施
- ・ 個人防護装備脱衣と養生の撤収 (15 分)：自身の PPE の脱衣の仕方について、講師が注意点を解説しながら受講者が各自で脱衣
- ・ 放射線測定器の取り扱い (60 分)：放射線測定器 (GM サーベイメーター、NaI シンチレーションサーベイメーター) の使用方法の説明、マントル等を測定

研修プログラムは、講義と実習から構成されるが、医療機関のニーズに応じて組み合わせが可能である。研修プログラムの例を表 3-3、表 3-4 に示す。

表 3-3 プログラム例 1

項目	時間
講義：被ばく医療	45 分
講義：医療対応における放射線防護と管理	30 分
実習：施設資機材の養生	60 分
実習：個人防護装備着装	15 分
実習：汚染検査と除染	30 分
実習：個人防護装備脱衣と養生の撤収	15 分

表 3-4 プログラム例 2

項目	時間
講義：医療機関での被ばく医療と放射線防護	45 分
実習：放射線測定器の取り扱い	60 分

### 3.3.7. 被ばく医療の初療のフロー図と診療記録用紙

現場除染なし、または乾的除染で医療機関が傷病者を受入れるために必要な体制整備として、被ばく医療の診療マニュアルやプロトコルが必要である。本研究事業では、救急外来等で外部被ばく、あるいは内部被ばく、または放射性物質が皮膚や創傷部に付着した傷病者を受け入れた時の初療について、外来で必要な処置や検査を一つの流れとして示した(図3-4)。さらに、フロー図を組み込んだ診療記録用紙も作成した(図3-5)。診療記録は、汚染検査の結果等を記載する面と被ばくと汚染、汚染検査時の注意点、被ばく線量と前駆症状、被ばく線量と発症期の所見を記載した面から構成される。

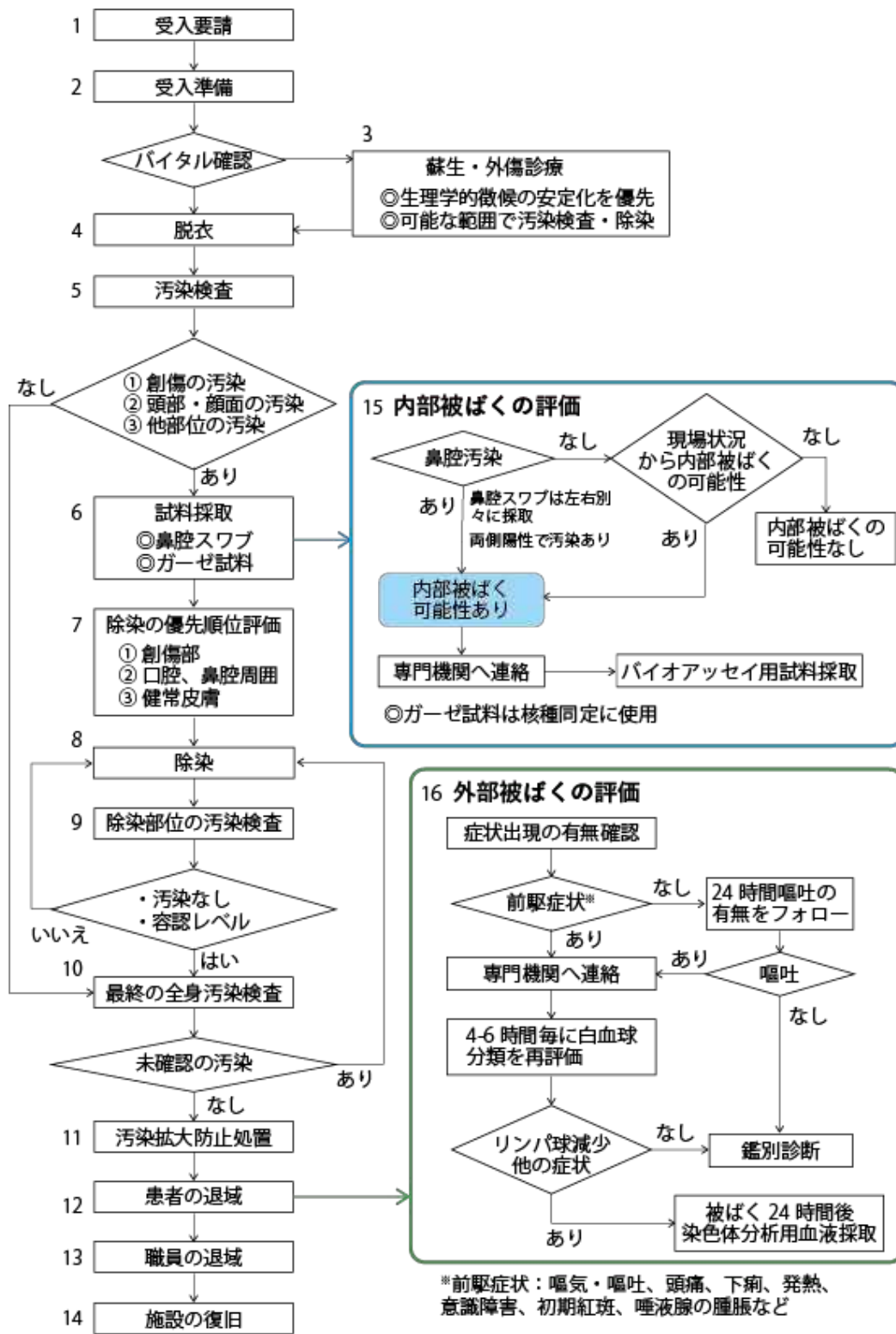
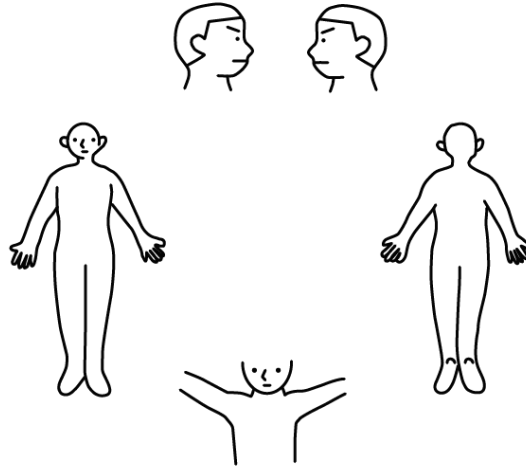
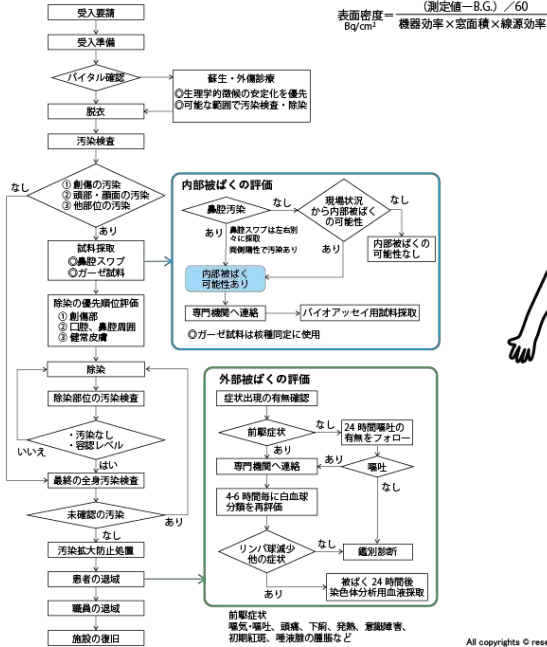


図 3-4 被ばく医療の初療フロー図



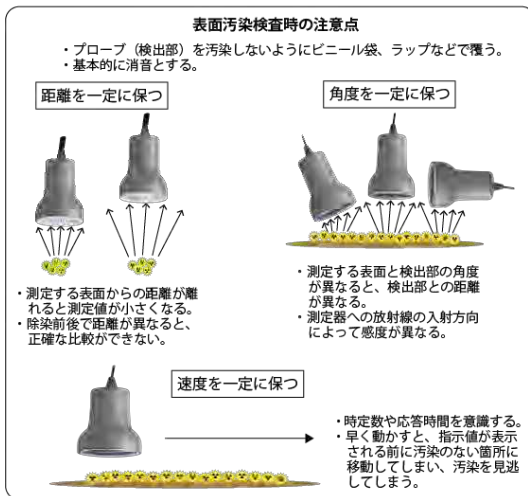
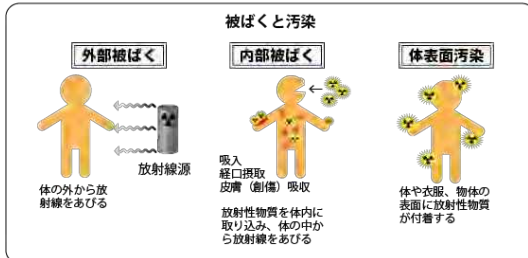
ID	氏名 (男・女)	年齢	事故概要
受傷日時	年 月 日 時 分		
来院日時	年 月 日 時 分		
来院時バイタルサイン	BP / mmHg	HR /min	RR /min
	BT °C	JCS	GCS (E V M)
			SpO <sub>2</sub> % (O <sub>2</sub> L/min)

測定器	表面汚染計	空間線量計	汚染残存 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有
型式			外部被ばくの可能性 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有
B.G.レベル	cpm (min)	μSv/h	内部被ばくの可能性 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有
B.G.測定日時			評価・診断
測定面積			
機器効率			
校正定数			



担当医 看護師

All copyrights © reserved by GST - NRS.



被ばく線量と前駆症状

症状	線量	1~2 Gy	2~4 Gy	4~6 Gy	6~8 Gy	>8 Gy
嘔吐		10~50% 2hr以降	70~90% 1~2hr	100% 1hr以内	100% 30min以内	100% 10min以内
下痢		(-)	(-)	中等度 <10% 3~8hr	重度 >10% 1~3hr	重度 ほぼ100% 1hr以内
頭痛		軽度	軽度	中等度 50% 4~24hr	重度 80% 3~4hr	重度 80~90% 1~2hr
意識		正常	正常	正常	混濁例あり	喪失 (50Gy以上で 100%)
体温		正常	上昇 10~80% 1~3hr	発熱 80~100% 1~2hr	高熱 100% 1hr以内	高熱 100% 1hr以内

IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998 より改変

被ばく線量と発症期の所見

	急性放射線症の重症度と被ばく線量				
	軽症 1~2 Gy	中等度 2~4 Gy	重症 4~6 Gy	極めて重症 6~8 Gy	致死性 >8 Gy
リンパ球数 (x 10 <sup>3</sup> /mm <sup>3</sup> ) 被ばく後 3~6 日	0.8~1.5	0.5~0.8	0.3~0.5	0.1~0.3	0.0~0.1
顆粒球数 (x 10 <sup>3</sup> /mm <sup>3</sup> )	>2.0	1.5~2.0	1.0~1.5	≤0.5	≤0.1
血小板数 (x 10 <sup>3</sup> /mm <sup>3</sup> )	60~100 10~25%	30~60 25~40%	25~35 40~80%	15~25 60~80%	<20 80~100% <sup>*1</sup>
下痢	なし	なし	稀	被ばく後 6~9日に出現	被ばく後 4~5日に出現
脱毛	なし	中等度 被ばく後 15日以降	中等度ないし 完全 11~21日	完全 11日以降	完全 10日以前
潜伏期(日)	21~35	18~28	8~18	≤7	なし
臨床症状	倦怠感 衰弱	発熱、感染 出血、衰弱	高熱、感染、 出血	高熱、下痢、 嘔吐、めまい、 見当識障害、 血圧低下	高熱、下痢、 意識障害
致死率 死亡時期 <sup>*2</sup>	0	0~50% 6~8週以降	20~70% 4~8週以降	50~100% 1~2週以降	100% ~2週

\*1 50Gyを越すような高線量被ばくの場合は、血球減少の前に死亡する。  
\*2 治療内容により死亡率、死亡時期は変化する。青木芳範/前川和彦「緊急被ばく医療テキスト」(医療科学社)より改変

図 3-5 診療記録用紙 (表と裏)

### 3.4. 考察

#### 3.4.1. 原子力災害医療の研修に関する課題

原子力災害医療の研修として体系化案、標準テキスト、研修制度を提案している。研修の体系化案で、基礎から専門、高度専門の各研修にステップアップすることとしているが、現行の研修修了者、講師がどのように移行するのか、行政としての制度設計を検討しておく必要がある。

各研修の講師は、高度専門研修の修了者が担うことが望ましいが、講師としての資質を評価することは難しい。そのため研修の質の担保の方法として、高度被ばく医療支援センターの専門家等の被ばく医療の研修の指導歴が長い人材が研修に必ず関与するなどの方針が必要である。

標準テキストを使用した講義を実施し、内容を検証し、より使い易く、学習効果のあるテキストに改定していく必要もある。これは、来年度の計画として、研修を実施し、検証する。また、研修には測定器の取り扱いやシミュレーションなどの実習も必要であり、これらの実習の項目、指導要領についても今後検討が必要である。ただし、実習は、それぞれの研修の主催者である高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターの各施設の状況や資機材、指導者によって柔軟に対応すべきであり、実習の指導要領は各高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターで作成されるべきである。

関係する個人へのインセンティブについては、今後、関連する学会等との調整が必要であるが、原子力災害対策重点区域（24道府県）の医療従事者に限定した研修で、専門医の更新単位として認定されるのか、不公平が生じないかなど、検討が必要であると思われる。

#### 3.4.2. 包括的被ばく医療に関する課題

外部被ばく、内部被ばく、放射性物質による汚染の傷病者に対する処置、診断、治療は、原子力災害でも放射線事故、テロでも発生原因にかかわらず同じである。そのため、医療機関での処置については、原因ごとに区別する必要はない。しかし、その教育に関して、原子力災害対策重点区域（24道府県）とそれ以外の地域（23都県）では、機会に差があり、それぞれ別の教育方法を用意する必要がある。本研究では、原子力災害での医療に関する研修体系化とは別に、23都県の医療機関での被ばく医療研修の教材とプログラムを提案したが、今後は、包括的被ばく医療としての研修制度の設計、運用あるいは統合することも検討すべきである。さらに原子力災害拠点病院には、被ばく医療の研修を修了した救急医や看護師が在籍し、被ばく医療に関する講義等の指導も行っているが、量研放医研以外で基本的な被ばく医療について講義、実習の指導ができる人材を確保し、全国の救命救急センターでの被ばく医療の研修の開催を支援する体制構築が望まれる。

また、初療の流れと診療記録用紙を提案しているが、初療については、それぞれの項目を解説したマニュアルの作成が必要である。なお、標準的な診療のマニュアルと多数傷病者発生時のマニュアルを区別して作成することも要検討である。

### 3.5. 結論

原子力災害時の医療に関する研修の体系化、研修制度を提案した。次年度はこれらの研修体系化の詳細な制度を検討し、実習を含めたプログラムを作成するとともに、研修で標準テキストを使用して、内容等を検証する。

研修制度としては、高度被ばく医療支援センターの中で、中心的・先導的な役割を担う基幹高度被ばく医療支援センターで、詳細を設計し、運用していくことが望まれる。さらに、基幹高度被ばく医療支援センターは、高度専門研修を実施することも望まれる。

また、原子力災害以外の被ばく医療については、本研究事業で初療マニュアルを作成し、医療機関における包括的被ばく医療の対処能力の向上に貢献できるようにする。



## 4. 【調査研究3】専門的支援体制等の整備

### 4.1. 本年度の研究計画

専門的支援の充実による初動対応、被ばく医療の実効性向上を目的とする。

H30年度は、専門機関、染色体および物理学的線量評価ネットワークを活用した被ばく線量評価、被ばく医療等の専門的支援に必要な項目、課題を整理する。平常時、災害時に活用できる専門的支援における情報共有システムについて課題等を整理し、システムを設計する。また、既存の広域災害救急医療情報システム（EMIS）や健康危機管理支援ライブラリー（H-CRISIS）との連携についても検討する。

### 4.2. 検討の経緯

今年度は、被ばく医療の専門機関である量研放医研および量研放医研が設置している染色体ネットワーク会議、物理学的線量評価ネットワーク会議を活用した専門的支援について、委員長等と検討した。

さらに専門的支援として、現地派遣の専門家による脅威や原因物質の検知結果を派遣元の災害対策本部等で共有できるシステムとして CBRNE クラウドシステム等の最新の検知器、検知システムを使用した検討を行った。

情報共有システムについては、量研放医研で運用している「緊急被ばく線量評価情報共有・伝達システム」を利用して、量研放医研からの専門家派遣時の情報共有、量研放医研以外の高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターの派遣者との情報共有について、必要項目を整理し、システムの設計に着手できるようにした。さらに、既存の広域災害救急医療情報システム（EMIS）を本システムから閲覧し、災害医療の情報にアクセスすることで、災害医療の情報を確認しながら、原子力災害時の専門家支援で共有すべき情報について検討できるように調整した。

### 4.3. 結果

#### 4.3.1. ネットワーク会議を活用した専門的支援

量研放医研が設置している物理学的線量評価ネットワーク会議と染色体ネットワーク会議は、量研放医研で被ばく医療を実施する際に必要となる線量評価について専門家からの支援を得るためのものであり、量研放医研に対する支援が目的である。

そこで、これらのネットワーク会議を活用した原子力災害等での専門的支援体制の一つとして、染色体ネットワーク会議に、支援者を登録し、事故や災害が発生した際に染色体分析の画像診断に支援を依頼するというものである。これは、調査研究2で提案している原子力災害時の医療に関する研修体系の中で、高度専門研修の一つである染色体分析研修を受講した日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士を、染色体ネットワーク会議の支援者として登録し、事故や災害時に支援を依頼することを検討して

いる。この専門的支援体制の構築には、今後染色体ネットワーク会議での議論、承認が必要となるとともに、研修の実施が不可欠である。また、画像診断を依頼する際には、運用方法、画像の受け渡し方法、結果の受け渡し方法などを決めておく必要がある。

日本人類遺伝学会の臨床細胞遺伝学認定士は、2018年4月時点で、全国に178名、指導士は64名おり、認定士のうち64名は立地隣接道府県の医療機関に所属している。ただし、原子力災害拠点病院、原子力災害医療協力機関に所属している認定士は15名、指導士は7名である。さらに高度被ばく医療支援センターに所属している認定士は量研放医研、弘前大学、広島大学、長崎大学に各1名おり、指導士は量研放医研、弘前大学、広島大学に各1名である。原子力災害拠点病院および原子力災害医療協力機関以外の医療機関に所属している認定士、指導士から、被ばく医療での染色体分析で協力を得られると多数の染色体分析による線量評価が可能となり、線量評価体制の充実にもなる。

物理学的線量評価ネットワーク会議を活用した専門的支援体制については、十分議論ができていないため、次年度にまずは支援として可能な項目を整理する。

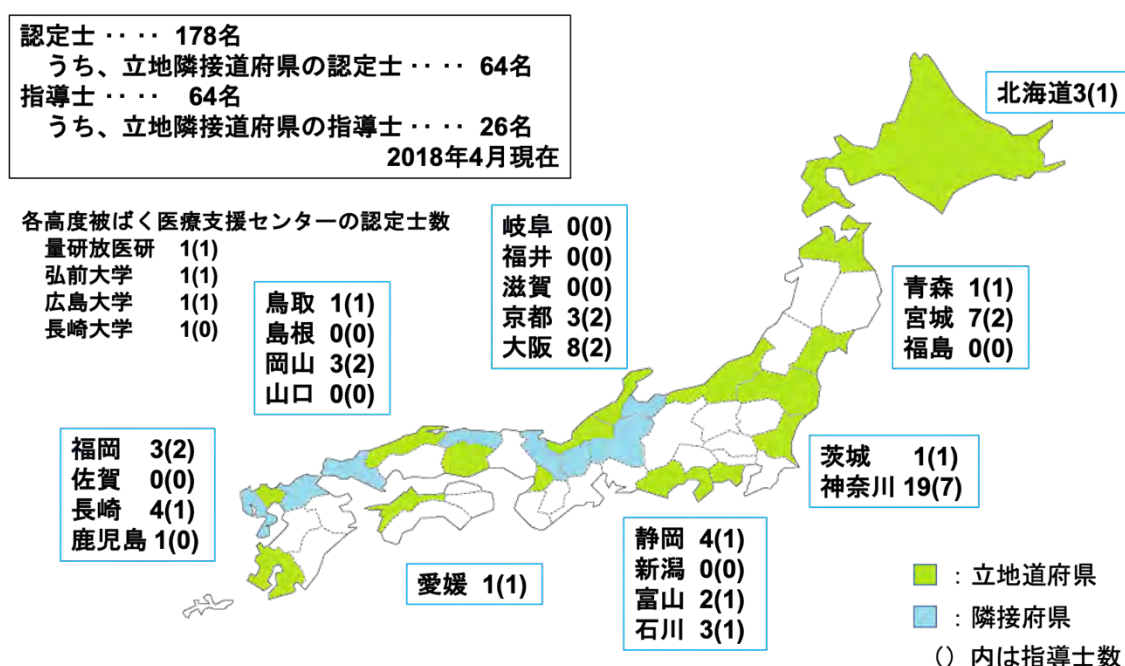


図 4-1 原子力災害対策重点区域の日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士（指導士）  
原子力災害対策重点区域（24 道府県）に所属している臨床細胞遺伝学認定士と指導士の人数を道府県別に示した。また、高度被ばく医療センターに所属する臨床細胞遺伝学認定士と指導士の人数も示している。

#### 4.3.2. 検知システム等を活用した専門的支援

本研究事業で検討した検知システムは放射線モニタリングシステム（ラジプローブシステム）と CBRNE 情報共有システム(CBRNe クラウドシステム)であり、各システムの概要を示す。

##### 1. 放射線モニタリングシステム（ラジプローブシステム）

可搬型の機材は、放射線測定器、制御用パソコン、カメラ、GPS、通信機器から構成され、測定結果等を地上通信もしくは、衛星通信で量研放医研のサーバーにも伝送する。伝送された情報は、モニタリングマップ、核種分析のスペクトル、線量率時間変化、積算線量、中性子線量、周辺映像が一画面として、サーバーにアクセスできるパソコンやタブレットで閲覧可能である。さらに放射線測定器は、高線量 $\gamma$ 線・中性子線検出器、携帯型ゲルマニウム半導体検出装置（高精度測定装置）、高感度小型線量計（CsI(Tl)シンチレーション検出器）を接続できる。これらは環境モニタリング、核種分析など用途に応じて選択する。



図 4-2 ラジプローブシステムの概要

##### 2. CBRNE 情報共有システム(CBRNe クラウドシステム)

CBRNE 情報共有システムは、化学剤検知器と放射線測定器をネットワーク化させて、検知情報、位置情報等をクラウドサーバーに転送し、このクラウドサーバーを通じて測定現場の携帯端末と対策本部等の遠隔地の端末で情報共有ができるシステムである。本システムでは、化学剤検知器は、イオンモビリティ・スペクトロメーターであり、放射線測定器は、空間線量率、各種識別が可能である器材を使用している。さらに、以下のマニュアル類を横断的に検索でき、検知結果とリンクし、警戒区域や新入統制ライン等を地図上に表示できる。

- ・ 緊急時応急処置指針（Emergency Response Guidebook：通称 ERG）
- ・ 総務省消防庁 BC 災害マニュアル（平成 28 年度 救助技術の高度化等

検討会報告書)からの引用

- ・ 総務省消防庁特殊災害室「医療機関、研究機関その他の放射性同位元素等取扱施設等における消防活動上の留意事項に関する検討会」の報告書からの引用、および添付資料個票 (RI, 装備機器, 発生装置)
- ・ 爆発物探知ハンドブックからの引用 (元 科学警察研究所爆発研究室 中村順先生監修)



図 4-3 CBRNe クラウドシステムの概要

#### 4.3.2.1. 専門家派遣での活用

放射線モニタリングシステム (ラジプローブ) は、量研放医研の研究成果の一つであり、原子力災害や放射線テロ災害での活用も考慮している。ラジプローブシステムは、放射線測定器として核種分析が可能である可搬型 Ge 半導体検出器あるいは核種判定機能付き携帯型の検出器を使用すれば、核種の特定や内部被ばくの詳細検査の一つであるバイオアッセイ法による生体試料の簡易的な計測が可能であり、測定結果を後方支援の本部等と情報共有できることで、より詳細な分析結果を現場での専門的支援に活用できる。

また、医療機関ではエリアモニターとして空間線量率を常時測定し、診療エリア等の安全確認に活用できる。NaI シンチレーションサーベイメーター等を常時誰かが監視するのは、狭い空間での人員配置としても難しいと思われる。さらに多数傷病者が



発生したテロ災害で、大勢の汚染した被災者を受け入れ、被災者とともに原因物質が新たに医療機関内に持ち込まれた場合、放射線や化学剤のエリアモニターを設置し迅速に脅威の検知ができることは、エリアの危険性を迅速に確認・把握できることになり、二次災害の防止にも繋がると思われる。

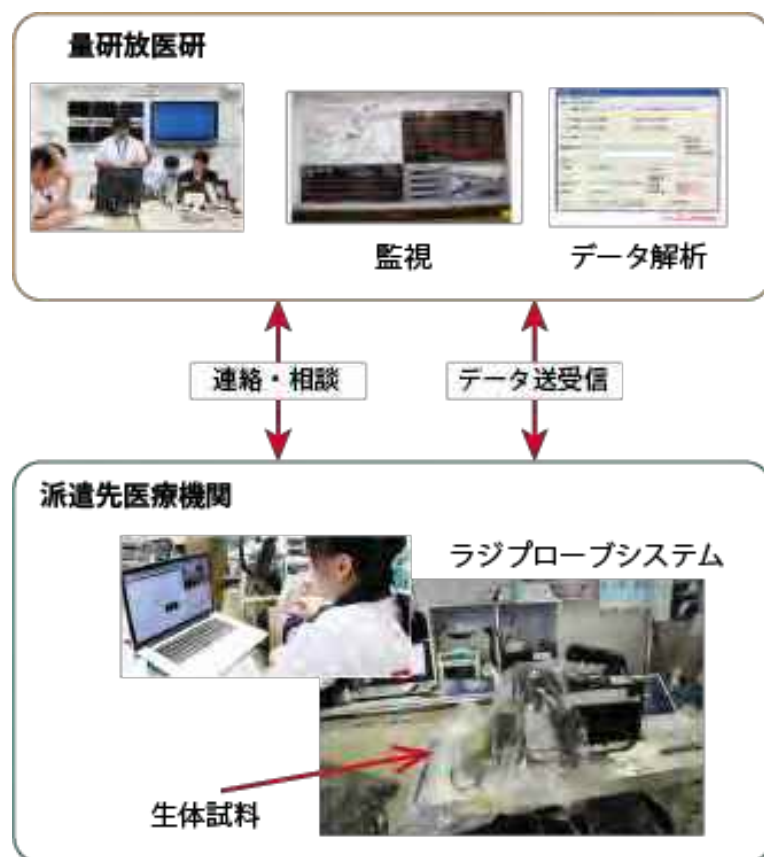


図 4-4 派遣先での簡易計測による活用事例

派遣先の医療機関で、専門家による生体試料（尿）の簡易的測定結果をデータ送信し、測定データを量研放医研の専門家が解析して、解析結果を派遣先の医師等に伝達する。その情報を元に治療の必要性、治療薬等を判断し、派遣先の医療機関で専門的支援をする。

#### 4.3.2.2. 初動対応での活用

CBRNE テロ災害発生時に、初動対応機関等がこれらのシステムを使用して、テロ災害の発生現場で検知活動を行い、災害対策本部や現地調整所、現地指揮本部にいる専門家や、遠隔地の専門機関、研究機関等と検知結果等の危機管理情報をリアルタイムで共有することで、迅速に適切な対策を講じることができ、被害を最小限にとどめる効果があると思われる。

#### 4.3.3. 情報共有システムを活用した専門的支援

量研放医研で運用している「緊急被ばく線量評価情報共有・伝達システム」の機能の中で、専門家派遣で活用できる機能としては、複数の職員間での情報共有としての掲示板機能とラジプローブシステムの閲覧機能である。情報共有システムに派遣先である量研放医研以外の場所からアクセスが可能となるように本年度は、設定を変更した。

量研放医研以外の高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターとその派遣者との情報共有については、それぞれの専門家派遣の状況、患者の受入れの状況が考えられるが、これらも掲示板機能で対応可能と思われる。

また、原子力災害医療派遣チームの派遣と待機の状況、チームの派遣先、活動状況の共有が必要と思われるが、本システムに機能追加するには、原子力災害医療派遣チームの活動の具体的運用方法の整理が必要である。

これらの情報共有システムのページの構成としては、現時点では、ログイン画面、掲示板、ラジプローブシステム、EMIS となる（図 4-5）。

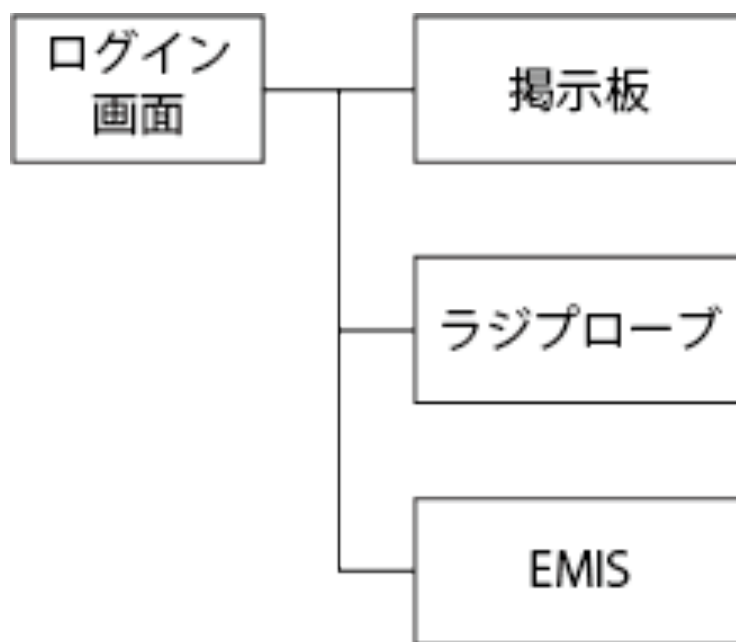


図 4-5 情報共有システムのページの構成

#### 4.3.4. 災害医療との連携

災害医療と原子力災害時の被ばく医療の連携としては、被災地域の医療の状況、原子力災害拠点病院と原子力災害医療協力機関の被災状況、原子力災害医療派遣チームの活動状況の情報共有がある。EMIS には、すべての医療機関がアクセスできることから、被災地域の医療の状況、原子力災害拠点病院の被災状況については、EMIS で

の情報共有が可能である。被災地域の災害医療の状況を把握するため、情報共有システムのページに EMIS のページを表示させる（図 4-6）ことで、ウェブページの切り替えがややスムーズに行える。なお、EMIS のウェブページにアクセスするには、EMIS のログイン ID とパスワードが必要である。なお、通常の EMIS のウェブページから本情報共有システムにはアクセスできない。

原子力災害医療協力機関のうち、医療機関であればこの EMIS を利用することができるが、医療機関でない協力機関は EMIS を利用できない。

原子力災害時の被ばく医療に特有の情報として、被ばくあるいは汚染がある傷病者の受入れに関する情報、避難退域時検査の状況、放射線モニタリング情報、原子力災害医療派遣チームの活動状況などがある。これらの項目は、EMIS には、入力できないため、原子力災害時の情報共有システムとして独自に設計、構築する必要がある。

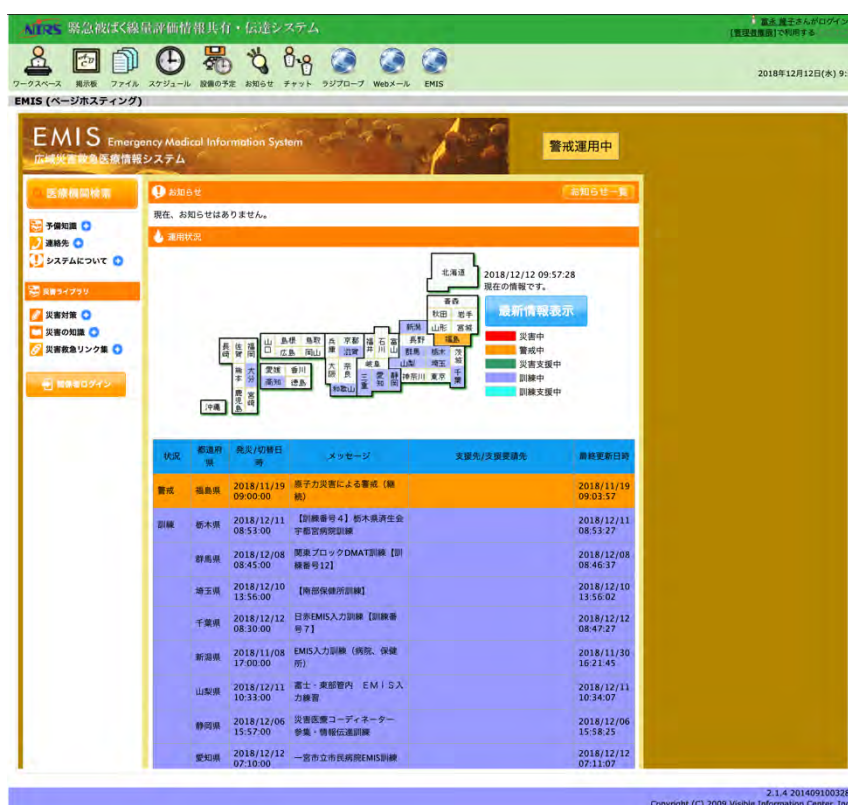


図 4-6 情報共有システム内の EMIS のウェブページ

#### 4.4. 考察

量研放医研が設置している染色体ネットワーク会議を活用する方策の一つとして、日本人類遺伝学会の臨床細胞遺伝学認定士の協力を得る方法がある。これには、被ばく医療での染色体分析の画像診断についての研修開催により被ばく医療での染色体分析の知見を付与し、協力体制の強化につなげる。

検知システムを活用した専門的支援については、All hazard approach による初動対

応手順の検討とともに、有効な活用方法、関係機関との連携方法について、さらに検討が必要である。

情報共有システムの活用として、EMIS との連携があるが、高度被ばく医療支援センターでの利用であれば、現行の EMIS にそれぞれがアクセスし、情報共有が可能であるが、医療機関でない原子力災害医療協力機関が使用するには、災害医療と原子力災害のそれぞれの所管省庁である厚生労働省、原子力規制庁、内閣府での調整、制度設計が必要である。DMAT 隊員への被ばく医療の研修など、災害医療と原子力災害時の被ばく医療の連携が、現場で活動する医療従事者間で進展すれば、情報共有システムが不可欠となることが予想される。原子力災害時の情報共有システムとして新たにシステムを構築するのであれば、システムの詳細設計、管理主体、予算措置などを考慮する必要がある。

#### 4.5. 結論

原子力災害、RN テロ・災害、RI 事業所等での労災事故などにおける専門的支援体制について、染色体ネットワーク会議等の活用、検知システムの活用、情報共有システムの利用、災害医療との連携の各項目について検討した。今後、この専門的支援体制の構築と強化のためには、詳細な検討が必要であり、次年度以降に検討する。

## 5. 【検証1】モデル地域での検証

### 5.1. 本年度の研究計画

本年度は、原子力災害対策重点区域（24 道府県）及びそれ以外の地域（23 都県）で研修等を実施するモデル地域を選定し、調査研究1～3へ反映する。

### 5.2. 検討の経緯

#### 5.2.1. 初動対応機関の研修

原子力災害対策重点区域（24 道府県）における初動対応機関の研修を実施する地域の選定を研究協力者と検討した。さらに、原子力災害対策重点区域以外の地域（23 都県）の初動対応機関である消防、警察に対する研修、講習会に関しては、量研放医研に依頼があった CBRNE 災害対処千葉連携研修会、市川市消防局西消防署特殊災害研修を活用し、多機関連携に関連する情報収集、初動対応の手順、研修方法、教材の開発について検討した。

#### 5.2.2. 医療機関の研修

原子力災害時の医療に関する研修は、調査研究2で提案する新たな体系化による研修を来年度以降に開催して検証する予定とした。原子力災害対策重点区域以外の地域（23 都県）の医療機関に対する研修としては、量研放医研と被ばく医療に関する協力協定を締結している医療機関を対象として研修を実施することを検討し、全国の医療機関に展開できるためのプログラム、研修方法、教材の作成を検討した。

#### 5.2.3. 災害医療との連携の研修

原子力災害が発生した際、地震や津波などの自然災害との複合災害である場合は、災害医療と緊密に連携して、活動することとなっている。そこで、日本 DMAT（災害派遣医療チーム）の技能維持研修の参加者に対して、原子力災害、被ばく医療について研修の機会を提供することを検討した。

### 5.3. 結果

#### 5.3.1. 初動対応機関の研修

原子力災害対策重点区域（24 道府県）の初動対応機関では、各地域あるいは各地域の消防本部等で研修や訓練が実施されているので、統一された研修体系や教材がない。そこで、来年度は、原子力災害時の対応に関して、実際に初動対応機関の職員が必要と考えている研修や教材について、研究協力者等を交えて検討することとした。その結果として、全国で統一した研修や教材の作成を目的とする。

RI 事業所での事故や RN テロ・災害等の初動対応に関する研修としては、CBRNE

災害対処千葉連携研修会と市川市消防局西消防署特殊災害研修で、研修および机上演習等を実施し、All hazard approach での初動対応手順や教材について検討した。教材については、実際に研修で使用した。

CBRNE 災害対処千葉連携研修会では、特にダーティボムを想定した事態に対する必要な項目を検討した結果、「放射線テロ災害での放射線防護と初動対応」の講義の他、負傷者の救命率の向上にはターニケット(止血帯)の使用が不可欠であると考え、これらの研修を実施した。机上演習もダーティボムを想定して実施したところ、出動時の指令、爆発物の事案での対応者の安全確保と救助および救急、医療の介入の遅れといった課題が抽出された。

市川市消防局西消防署特殊災害研修では、CBRNE の原因物質が複合して存在する場合の初動対応について、必要な項目を検討した結果、「化学テロ災害」「放射線テロ災害」の基本的な講義と関連する資機材を使用した実習による研修、CBRNE テロ災害を想定した机上演習を実施した。この結果、教材としては講義資料を作成したが、今後は、標準的なテキストおよび自己学習できる教材として開発予定である。また、初動対応手順については、CBRNE の原因物質が特定されるまでの手順がマニュアルやガイドライン等で明確になっていないことから、同じ想定の上上演習でも参加者によって対応や活動計画が異なる結果となり、基本的な All hazard approach での初動対応手順を検討する必要がある。

また、原子力災害対策重点区域の消防本部とは異なり、放射線測定器の保有数が少なく、限られた数量の測定器を有効に活用して、初動対応要員が安全に活動できるための手順等も検討する必要があることが判明した。

### 5.3.2. 医療機関の研修

原子力災害時の医療に関する研修は、今回提案した研修体系の研修を 2019 年 5 月に量研で開催予定とした。この研修では、本研究事業で作成した標準テキストも使用予定である。

全国の医療機関向けの RI 事業所での事故や RN テロ・災害等での被ばく医療に関する体制整備の課題を抽出するため、量研放医研と被ばく医療に関する協定を締結している医療機関で、現場除染なしまたは乾的除染で医療機関が傷病者を受入れるために必要な知識や技術の習得を目的とした研修を実施した(資料 8 および資料 9)。この研修で参加者に被ばく医療に関する研修についての要望等を自由記載で調査した結果、包括的被ばく医療の研修や教育に関する課題が挙げられた。これは、調査研究 2 の医療機関での受け入れ体制整備の項目に記載している。

### 5.3.3. 災害医療との連携の研修

災害医療と原子力災害医療、被ばく医療の体制が連携するには、それぞれの活動を

担う医療従事者が共通認識を持つことが不可欠である。防災基本計画では、原子力災害対策編において、「被災地方公共団体及び被災地の医療機関は、原子力災害以外の災害の発生状況等を勘案しつつ、拠点となる原子力災害医療機関を中心として医療活動を行うものとする。その際、災害拠点病院や DMAT 等が行う災害医療活動と緊密に連携するものとする」との記載があり、DMAT との連携にあたり、被ばく医療と災害医療について相互に共通認識を持つ必要がある。原子力災害拠点病院の中には、災害拠点病院、基幹災害拠点病院に指定されている医療機関もあり、災害医療と原子力災害時の医療についてどちらも研修を受講している医療従事者は一定数存在する。しかし、原子力災害対策重点区域以外の災害拠点病院、基幹災害拠点病院の職員が原子力災害や被ばく医療の研修を受講する機会はほとんどないと思われる。そこで、本研究事業では、原子力災害対策重点区域以外の 23 都県の DMAT 隊員に被ばく医療の研修の機会を提供することとした。今後は、DMAT の技能研修の日程に合わせ、パイロット研修の実施に向けて、研修内容を検討し、関係者との調整を行う予定である。

#### 5.4. 考察

包括的被ばく医療の体制構築には、原子力災害対策重点区域（24 道府県）以外でも初動対応機関、医療機関が、RN テロ・災害や被ばく医療についての共通認識を持っていることが重要である。そのためには、標準的な研修、講習、テキストが不可欠であるが、原子力災害以外の RI 事業所での事故や RN テロ・災害等に関連する教育は、各関係機関で独自に実施されているのみであり、体系的に実施されていない。対象となる事案、事故、災害の規模や被災者の状況、対応時の安全確保や危険情報についてもそれぞれ異なることから、原子力災害に関する研修よりも広範な事象に対し、最低限必要な対応が確実に実施できるようになる研修が求められる。

DMAT の技能研修での被ばく医療研修の機会の提供については、DMAT と原子力災害医療の所管省庁が異なることから、統一した研修による認識、知識の共通化に支障があると予測されることより、災害医療と原子力災害時の被ばく医療が円滑に連携できないため、省庁間の調整は不可欠である。今後、パイロット研修を実施して、連携あるいは協働した研修の必要性が認識された際には、行政的な調整がなされることを期待する。

#### 5.5. 結論

原子力災害に関する研修は、原子力災害対策指針、原子力災害拠点病院等の施設要件で、教育研修、訓練等の実施について言及されている。しかし、RI 事業所での事故や RN テロ・災害等に関連する教育は、関係機関の独自の研修があるのみで、原子力災害の研修や訓練と統一されたものは実施されていない。そのため、今後は、原因ご

とに必要な研修や教育の内容と、統一して実施すべき研修や教育の内容を詳細に検討し、相互に整合性の取れた研修や教材を作成すべきである。

本研究事業では、次年度以降、原子力災害に関する研修は基礎から専門的な研修まで体系化したものを教材とともに作成し、RI 事業所での事故や RN テロ・災害等に関連する研修は、関係機関に対して効率的に短時間で教育できる教材を作成することを目標とする。



## 資料 5-1

### 原子力災害拠点病院以外の救命救急センター等での研修

#### 1. 日本医科大学千葉北総病院

##### 1. 研修概要

開催日時：2018年9月27日(木)13:30 - 17:00

開催場所：日本医科大学千葉北総病院

参加者：日本医科大学千葉北総病院救命救急センターおよび放射線センターの職員 15 名  
放医研講師 4 名

研修内容：

- ① 講義 (40分) 「被ばく医療」
- ② 講義 (40分) 「放射線防護」
- ③ 実習 (30分) 「施設資機材の養生」
- ④ 実習 (60分) 「PPE 着脱、汚染検査、除染」

##### 2. 研修内容の詳細

- 講義「被ばく医療」；放射線の基礎、放射線の人体影響、放射線事故・テロ・災害の種類、被ばく医療の概要、医療機関での被ばく医療について講義
- 講義「放射線防護」；外部被ばく防護、内部被ばく防護、
- 実習「施設資機材の養生」；講義室の一部を汚染傷病者の受入れエリアと想定して、床の養生について指導しながら、実際に研修生が養生を実施
- 実習「PPE 着脱、汚染検査、除染」；サージカルガウン等の PPE を着装し、汚染のある傷病者に見立てたマネキンの汚染検査と除染を実施したのちに、自身の PPE の脱衣の仕方について、講師が注意点を解説しながら各自で脱衣



## 2. 日本医科大学付属病院

### 1. 研修概要

開催日時：2018年10月11日

開催場所：日本医科大学付属病院

参加者： 日本医科大学付属病院の職員 37名  
放医研講師 4名

### 2. 研修内容

① 講義（30分）「サーベイメーターについて」

② 実習（30分）「放射線測定器の取扱」

### 3. 研修内容の詳細

- 講義「サーベイメーターについて」；放射線測定器のうち主に GM サーベイメーターの取り扱い方について講義
- 実習「放射線測定器の取扱」；放射線測定器（GM サーベイメーター）を用いてマントル等を測定する。

## 3. 東京大学医学部付属病院

### 1. 研修概要

開催日時：2018年11月28日 18:00 – 20:00

開催場所：東京大学医学部附属病院

参加者： 東京大学医学部附属病院の職員 22名  
放医研講師 4名

### 2. 研修内容

① 講義（45分）「被ばく医療と放射線防護」

② 実習（60分）「放射線測定器の取扱」

### 3. 研修内容の詳細

- 講義「被ばく医療, 放射線防護」；放射線の基礎、放射線の人体影響、放射線事故・テロ・災害の種類、被ばく医療の概要、医療機関での被ばく医療、外部被ばく防護、内部被ばく防護について講義
- 実習「放射線測定器の取扱」；放射線測定器（GM サーベイメーター、NaI シンチレーションサーベイメーター）の使用方法の説明、マントル等を測定する。

資料 5-2  
研修用資機材一覧

講義用

ノートパソコン	1 台
発表用データ	必要数
プロジェクター	1 台
プロジェクター周辺機器	必要数
ポインタ	1 個
配布資料	人数分+ $\alpha$
延長コード (ドラム)	必要数
延長コード (テーブルタップ)	必要数

養生実習

ビニールシート	1 本
養生シート	2 本
ハサミ	5 本
養生テープ	5 個
トラテープ	2 個
アララシート	2 本
立入禁止用コーン	必要数
ゴミ袋 (撤去用)	90 L 二袋
ラミロール 840mm x 20m	1 本

防護装備着脱実習

アンダーウェア	人数分+ $\alpha$
個人線量計	人数分+ $\alpha$
個人線量計の記録用紙	一式
マスク	人数分+ $\alpha$
帽子 (男性用/女性用)	人数分+ $\alpha$
タイベックスーツ (M/L/LL)	人数分+ $\alpha$
アイソレーションガウン	人数分+ $\alpha$

フェイスシールド	人数分+ $\alpha$
シューズカバー	人数分+ $\alpha$
綿手袋 (M/L/L L)	人数分+ $\alpha$
ゴム手袋 (M/L/L L)	人数分×2
養生テープ	人数分÷2
サインペン (赤/青/黒)	各3本
椅子 (研修先から借用)	人数分+ $\alpha$
ゴミ袋 (脱衣用)	90 L 二袋
ハサミ	2本
GMサーベイメーター (デモ用)	1台

#### 汚染検査実習

GMサーベイメーター	人数分+講師
NaI シンチレーションサーベイメータ	1台
予備電池	数個
マントル (パウチしたもの)	必要数
記録用紙	人数分+ $\alpha$

#### 除染実習

NaI シンチレーションサーベイメータ	1台
ゴミ箱 (折りたたみ式)	3個
ゴミ袋	90 L 二袋
ゴム手袋 (替え用)	数枚
GMサーベイメーター (ホット用)	1台
GMサーベイメーター (コールド用)	1台
記録用紙	実習分
スミアろ紙	一箱
ビニール袋 (ホット→コールド用)	20 L 一袋
除染資機材一式	1式
訓練用マネキン	1体
水濡れ検知シート (必要であれば)	1本

## 6. まとめ

本研究事業は、包括的被ばく医療の体制構築のために、原子力災害、放射線テロまたは核攻撃（以下、RN テロ・災害）、放射線障害防止法の対象事業所（以下、RI 事業所）での放射線事故や労災事故など、発生場所あるいは災害の種類によって区別されることなく、その事象に対して適切な初動対応や緊急被ばく医療が実施されるように、初動対応機関、医療機関の体制整備、人材育成に資する課題、解決策、システム、教材等を提案することが目的である。この包括的な被ばく医療の体制構築には、これまでの緊急被ばく医療体制、原子力災害医療体制、原子力防災体制などを鑑み、原子力災害への対応の充実と強化、原子力災害以外の RN テロ・災害、労災事故、放射線事故などへの対応能力の向上が必要となる。そこで、本研究事業では、初動対応機関、医療機関、専門機関に分けてそれぞれの対応の充実と強化のための方策を調査、検討し、体制構築、人材育成に必要な資料、教育方法、教材の開発を中心として、課題の抽出と整理を行い、解決策の一案を提案した。

【調査研究1】では、避難退域時検査及び簡易除染マニュアルの実効性のある運用についての課題と解決のために必要な情報、All hazard approach も含めた対応手順の作成のために必要な情報が得られた。

【調査研究2】では、原子力災害での被ばく医療に関する研修の新たな体系化と高度専門的研修、研修制度の提案と、標準テキストの教材の作成を行い、原子力災害以外の被ばく医療については、初療のためのフローチャートを作成し、全国の医療機関（救命救急センター等）で効率的に短時間での研修の座学と実習から構成されるプログラムとテキストを作成した。

【調査研究3】では、専門的支援体制として既存のネットワークの活用と検知システムの活用について提案し、情報共有システムによる原子力災害時の関係機関間の情報共有、災害医療体制との情報共有について考察し、課題と解決策を提案した。

【検証1】では、本年度に作成した教材、研修内容で、実際に研修を行うことで、参加者からのフィードバックが得られ、包括的被ばく医療の体制構築に必要な人材育成の方法、教材等について調査研究1～3に反映できる課題が見出された。

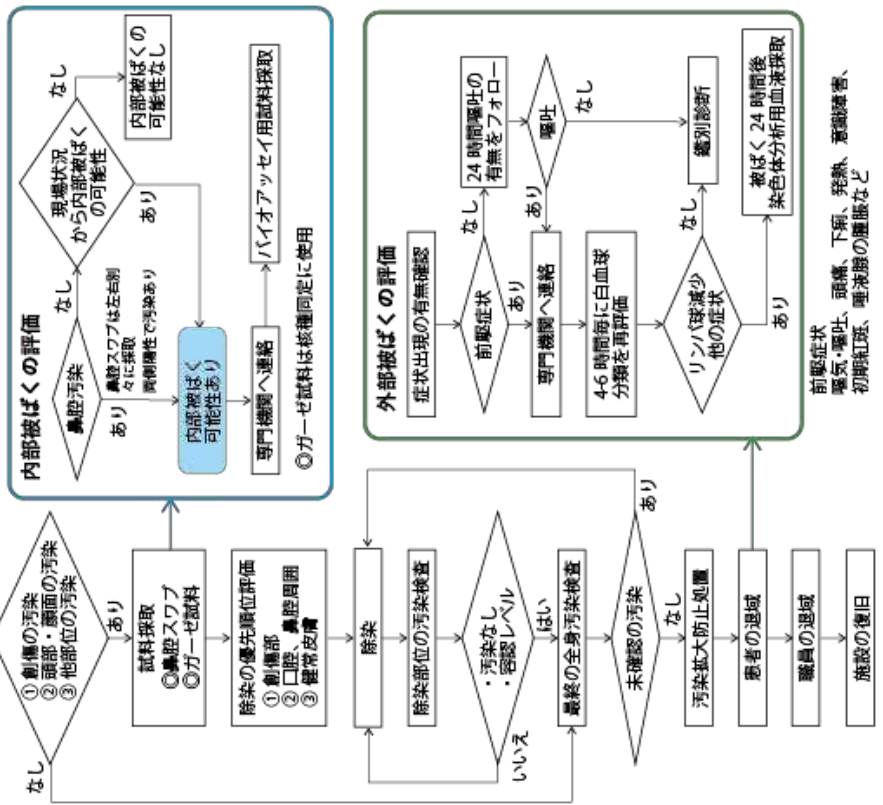
本年度は、包括的被ばく医療の体制構築の課題、その解決策について整理した。次年度以降は、対応機関ごとの研修や人材育成、専門的支援体制からの視点で得られたことや作成した教材や研修体系、研修制度、提案したシステム等を実際使用、運用し、さらに課題を抽出し、改善していくこととする。



ID	氏名 (男・女)		年齢		事故概要				
	年	月	日	時	分				
受傷日時	年	月	日	時	分				
来院日時	年	月	日	時	分				
来院時バイタルサイン	BP	/	mmHg	HR	/min	RR	/min	SpO <sub>2</sub>	% (O <sub>2</sub> L/min)
	BT	°C	JCS	GCS	(E V M)				

表面密度 =  $\frac{\text{測定値} - \text{B.G.}}{\text{機器効率} \times \text{窓面積} \times \text{線源効率}}$   
 $\text{Bq/cm}^2$

蘇生・外傷診療  
 ◎生理学的徴候の安定化を優先  
 ◎可能な範囲で汚染検査・除染



B.G.:バックグラウンドレベル  
 通常時の測定値

測定器	表面汚染計	空間線量計
型式		
B.G.レベル	cpm (mir-)	μSv/h
B.G.測定日時		
窓面積		
機器効率		
校正定数		

汚染残存	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 有
外部被ばくの可能性	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 有
内部被ばくの可能性	<input type="checkbox"/> 無	<input type="checkbox"/> 有
評価・診断		



被ばく線量と前駆症状

症状	線量	1~2 Gy	2~4 Gy	4~6 Gy	6~8 Gy	> 8 Gy
嘔吐		10~50% 2hr以降	70~90% 1~2 hr	100% 1hr以内	100% 30min以内	100% 10min以内
下痢		(-)	(-)	中等度 <10% 3~8 hr	重度 >10% 1~3 hr	重度 ほぼ100% 1hr以内
頭痛		軽度	軽度	中等度 50% 4~24 hr	重度 80% 3~4 hr	重度 80~90% 1~2 hr
意識		正常	正常	正常	混濁例あり	喪失 (50Gy以上で 100%)
体温		正常	上昇 10~80% 1~3 hr	発熱 80~100% 1~2 hr	高熱 100% 1 hr以内	高熱 100% 1 hr以内

IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998 より改変

被ばく線量と発症期の所見

	急性放射線症の重症度と被ばく線量					
	軽症 1~2 Gy	中等度 2~4 Gy	重症 4~6 Gy	極めて重症 6~8 Gy	致死性的 > 8 Gy	
リンパ球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ ) 被ばく後 3~6 日	0.8~1.5	0.5~0.8	0.3~0.5	0.1~0.3	0.0~0.1	
顆粒球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	> 2.0	1.5~2.0	1.0~1.5	$\leq 0.5$	$\leq 0.1$	
血小板数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	60~100 10~25%	30~60 25~40%	25~35 40~80%	15~25 60~80%	< 20 80~100%*1	
下痢	なし	なし	稀	被ばく後 6~9 日に出現	被ばく後 4~5 日に出現	
脱毛	なし	中等度 被ばく後 15 日以降	中等度ないし 完全 11~21 日	完全 11 日以降	完全 10 日以前	
潜伏期 (日)	21~35	18~28	8~18	$\leq 7$	なし	
臨床症状	倦怠感 衰弱	発熱、感染、 出血、衰弱	高熱、感染、 出血	高熱、下痢、 嘔吐、めまい、 見当識障害、 血圧低下	高熱、下痢、 意識障害	
致死率	0	0~50% 6~8 週以降	20~70% 4~8 週以降	50~100% 1~2 週以降	100% ~2 週	
死亡時期*2						

\*1 50Gy を越すような高線量被ばくの場合は、血球減少の前に死亡する。

\*2 治療内容により死亡率、死亡時期は変化する。

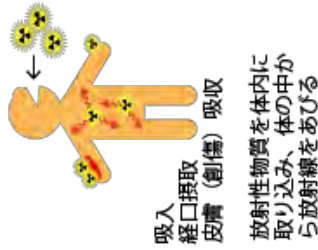
青木芳朗/前川和彦「緊急被ばく医療テキスト」(医務科学社)より改変

被ばくと汚染

外部被ばく



内部被ばく



体表面汚染



表面汚染検査時の注意点

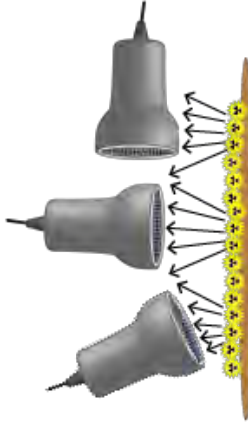
- ・プローブ(検出部)を汚染しないようにビニール袋、ラップなどで覆う。
- ・基本的に消音とする。

距離を一定に保つ



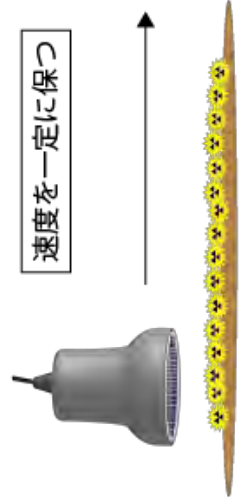
- ・測定する表面からの距離が離れると測定値が小さくなる。
- ・除染前後で距離が異なると、正確な比較ができない。

角度を一定に保つ



- ・測定する表面と検出部の角度が異なると、検出部との距離が異なる。
- ・測定器への放射線の入射方向によって感度が異なる。

速度を一定に保つ



- ・時定数や応答時間を意識する。
- ・早く動かすと、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまう。



**参考資料**

**原子力災害、放射線事故・テロ・災害時の  
患者搬送における汚染拡大防止**

平成 31 年 3 月

量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所

本資料は、原子力規制庁平成 30 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成された成果です。

# 原子力災害、放射線事故・テロ・災害時の患者搬送

## 1. 背景と目的

放射性物質が付着した傷病者を搬送するにあたっては、搬送車両等（救急車やヘリコプター）への汚染拡大防止対策を講じる。対策は、搬送車両や搭載機材、搬送を担当する救急隊員等への放射性物質の付着の防止となる。これらの対策の目的は、放射性物質の汚染拡大防止と資機材の早期の復旧（放射性物質の付着がなく、通常の業務に使用できるようにする）である。本資料はその対策について解説する。

## 2. 傷病者の汚染拡大防止

搬送する傷病者に放射性物質が付着している場合は、その部分をシートやガーゼなどで被覆して接触による汚染拡大を防止する（図1）。放射性物質の付着が全身あるいは広範囲におよび、個別の被覆が困難である場合は、全身を搬送シート等で被覆して汚染拡大を防止する（図2）。事業者によっては、搬送用の袋状になったシート等を保有していることもあり、使用可能な場合もある。このシートは全身の被覆ができるとともに複数箇所にファスナーがついており、血圧測定などで腕のみをシートの外に容易に出せる。

搬送する傷病者の放射性物質の付着部位や全身が搬送シート等で被覆され、汚染拡大防止の処置が講じられている場合は、車両や航空機の養生は状況に応じて不要となる場合がある。



シート等で放射性物質が付着している部分を被覆する。

図1 部分的な被覆



図2 全身の被覆とバックボードでの固定

## 3. 救急車の汚染拡大防止

### (1) 車両内部

救急車内部の汚染拡大防止の方法は、車両の床と壁の養生である。

1. 車両の床をビニールシートで養生する。ストレッチャーの架台などは動作を妨げないようにする。雨天時などビニールシートでは滑るような場合は、車両の床をビニールシートの上から紙シートで養生する。
2. 車内の椅子にビニールシートあるいは大きいビニール袋等を被せる。シートベルトなどの装着ができるように必要な箇所には切れ込みを入れる。
3. シートベルト等は傘用のビニール袋など細長いビニール袋を使用して養生する。
4. 車両の壁はビニールシートで天井近くから床まで養生する。ビニールシートは上辺にあらかじめテープが付いているものを使用すると作業の時間短縮となる。
5. バックドアも壁と同様に養生する。



図3 車両内部の養生

ビニールシートとろ紙シートで床を養生する。

6. 養生終了後は、養生シートがストレッチャーの架台等の動作の妨げになっていないことを確認する。

## (2)資機材

車両等に搭載されているモニター等は、個別にビニール袋等で被覆する方法と、車両の壁の養生の奥に設置されるようにする方法（図4）がある。車両の壁の養生の奥にモニター類がある場合は、ビニールシートに切り込みを入れて、ケーブル等を出し、使用できるようにする。



図4 バックドアの養生

壁の養生と同様に風で剥がれないように辺縁にテープを貼付する。



壁のシートの切れ込み部分からケーブル等を出す。

図5 モニター類の養生

壁の養生シートの奥にモニター類を設置する。

この場合、シートの一部分に切り込みを入れて、ケーブル等を出す。切り込み部分はテープで補強する。

## (3)ストレッチャー

ストレッチャーのマットレス等はビニールシートあるいはビニール袋(45～120ℓの大きいもの)を使用して養生する。サイドフレームやハンドルなどの動作のために放射性物質が付着した手指等で接触する部分は、ビニールシートやラップ、テープ等で養生する。脚部は養生が困難であり、車両に搭載するために脚折れ式となっていることもあり、養生しない。



図6 ストレッチャーの養生

マットレス、サイドフレーム、ハンドルなどはビニール袋、ビニールシート、ラップなどを使用して養生し、ベルト等を通す部分はテープで補強する。

ベルトは、傘用のビニール袋などを利用すると養生が容易である。

#### 4. ヘリコプターの汚染拡大防止

搬送にヘリコプターを使用する場合も可能な限り機内の養生をする。ただし、安全な運行に支障がある場合は、養生を実施せず傷病者の搬送を行い、その後汚染検査と除染を実施することとする。



図7 切り抜いた養生シート  
ベルト等を通す部分はテープで補強する。



図8 養生シートの保管  
切り抜いた養生シートは折りたたんで保管する。

##### (1)養生シートの準備

あらかじめ機内の構造に合わせてビニールシートを切り抜いておく。貼り付ける部分は、バルクロテープなどを貼付しておくことで養生の時間を短縮できる。

##### (2)機内

救急車と同様にビニールシートで機体内を養生する。風等で剥がれないように辺縁はテープで貼付する。

##### (3)資機材

機内に搭載しているモニターやストレッチャーは救急車の資機材と同様にビニールシートやビニール袋で養生する。



図9 養生シートの貼付  
辺縁はテープでしっかりと貼り付ける。  
ベルトなどはビニールに切り込みを入れてだす。ベルト自体は、傘用のビニール袋などを利用すると養生が容易である。



ケーブル類は使用できるように切り込み部分から出す。  
図10 モニター類の養生  
ビニールシートで一括で覆うか、ビニール袋で個別に被覆する。

## 5. 搬送要員の汚染拡大防止

搬送に従事する要員の汚染拡大防止としては、個人防護装備を着用する。



図 11 搬送時の個人防護装備

タイベックスーツ、ゴーグル、マスク、ゴム手袋（二重）、靴カバーを着用する。

内側のゴム手袋、靴カバーは、放射性物質が侵入しないようにテープで目張りをする。

靴カバーは屋外で使用した場合、すぐに破れてしまう、あるいは滑りやすいため、靴底が全面ゴム製のものなどを使用するか、通常の装備であるブーツをそのまま使用し、活動後に靴底の汚染検査、除染をすることも良い。

## 6. 活動後の汚染検査と除染

搬送終了後には、養生シートをゆっくり丁寧に剥がす。その後、車両内部、資機材の汚染検査を行う。汚染があれば拭き取りで除染する。

養生シートを剥がす時は搬送時と同様に個人防護装備を着用する。使用済みの養生シートは放射性物質が付着している廃棄物として、処理する。

## 7. 空調

全身の被覆、防護装備の着用状況では、長時間の搬送による熱負荷での発汗、体温上昇による生理的負荷を回避するため、搬送中の空調は基本的に使用する。環境への放射性物質の放出がない場合は外気循環、環境への放射性物質の放出がある場合は内気循環でエアコンを使用する。エアコンの送風口は塞がない。

## 8. 最後に

放射性物質が付着している傷病者の搬送における車両等の汚染拡大防止対策について解説した。車両等の養生については、傷病者の緊急度、災害の規模、準備にかかる時間などを考慮して、傷病者の被覆のみにする、あるいは床面の養生のみに省略することも可能である。養生にかかる時間は、あらかじめ訓練等で確認しておくことが望ましい。

平成 30 年度放射線対策委託費  
(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)  
放射線安全規制研究推進事業

包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究

成果報告書

別添資料 1

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
放射線医学総合研究所 被ばく医療センター





# 放射線の影響

原子力災害 基礎研修  
原子力災害基礎-3

講義時間；30分

内容

- 外部被ばくと内部被ばく
- 放射線の影響と単位
- 放射線とDNA損傷
- 生存率曲線
- ベルゴニー・トリボンドーの法則
- 実質細胞の放射線感受性
- 放射線の人体影響
- 確率的影響
- 確定的影響（組織反応）
- しきい値
- 被ばくの種類
- 急性放射線症
- 放射線皮膚障害
- 晩発障害
- 放射線によるがんの増加

# 外部被ばくと内部被ばく

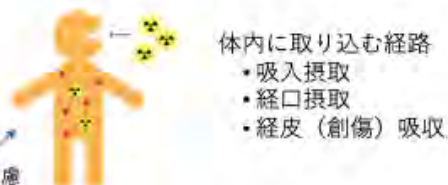
## 外部被ばく

外部被ばくとは、放射性物質（線源）から放出される放射線を体の外から浴びること。被ばく後、身体には放射線は残らない。



## 内部被ばく

内部被ばくとは、身体に取り込んだ（吸入、摂食）放射性物質からの放射線を体内で浴びること。



## 体表面汚染

局所被ばく；体の一部分が被ばくした場合



放射性物質が体表面、衣服等に付着した状態で、一般的に表面汚染では危険な外部被ばくはしない。噴霧、放出された放射性物質を吸入すると内部被ばくにつながる。同時に頭部、顔面の汚染も存在することが多い。

放射線を受ける事を放射線被ばくと言います。

体の外から放射線を浴びるのが外部被ばく、放射性物質を体内に取り込んで体の中から放射線を浴びることが内部被ばくです。

外部被ばくには、全身あるいは体幹部の重要な臓器の大部分を被ばくする全身被ばくと、手指や四肢の一部など身体の一部だけを被ばくする局所被ばくがあります。局所被ばくでは、被ばくした部分の皮膚や骨の影響が現れます。

内部被ばくには、吸入摂取、経口摂取、経皮（創傷）吸収の3つの経路があります。

放射性物質が体の表面や衣服等に付着した状態が汚染です。頭部や顔面に体表面汚染がある場合は、噴霧あるいは放出された放射性物質を吸入したり、放射性物質が浮遊していた空間に滞在していた可能性があるため、内部被ばくの可能性を考えます。

体表面汚染のある部位からは、放射線を検知できますが、局所被ばくの症状が出現するほどの被ばくは通常はありません。ただし、とてもエネルギーが高い放射性物質が高濃度に付着した場合は、皮膚が外部被ばくすることもあります。表面汚染がある人から、周囲の人が外部被ばくするのはとても低いレベルです。

汚染に接触すると汚染拡大するため、注意が必要です。

## 放射線の影響と単位



放射線を受ける側の単位としては、グレイ (Gy)とシーベルト (Sv)があります。放射線が通ったところでは、放射線のエネルギーを吸収します。この吸収線量の単位がGyです。

人体への影響は、各組織・臓器に対する影響と全身に対する影響とに分けて評価します。各組織・臓器に対する影響を「等価線量」、全身に対する影響を「実効線量」で表します。等価線量、実効線量ともに単位はSvです。

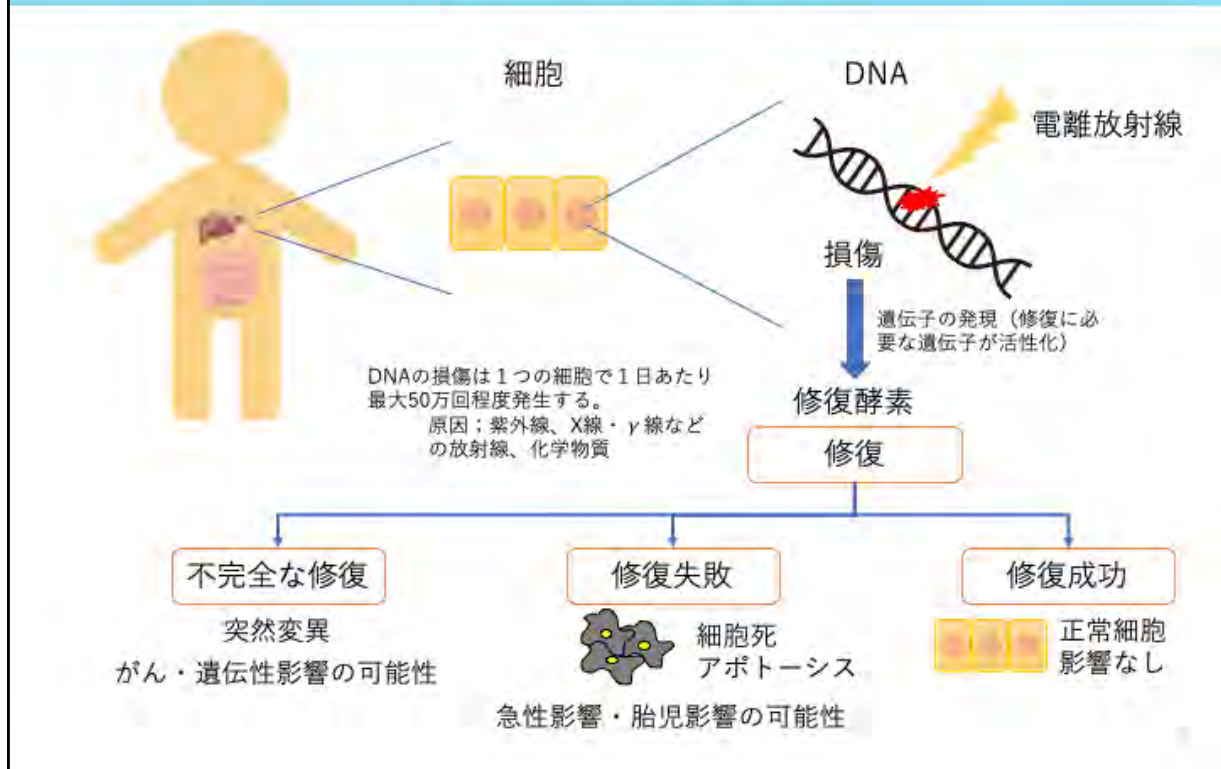
放射線による各組織・臓器への影響は、吸収線量が同じでも、受けた放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い（放射線荷重係数）を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。甲状腺の等価線量、水晶体の等価線量といった使われかたをします。

各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その臓器により影響の現れ方（感受性）が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い（組織荷重係数）を加味して全身について合計したものが実効線量です。防災業務活動では実効線量を測定することになります。

このようにシーベルトは、全身が受ける放射線の量（実効線量）、内部被ばくによって受ける放射線の量（預託実効線量）、ある場所だけ放射線を受取る局所被ばくの量（等価線量）の単位として用いられます。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

## 放射線とDNA損傷



放射線の生物影響は、生体を通過してエネルギーを与える際の連鎖反応の結果です。

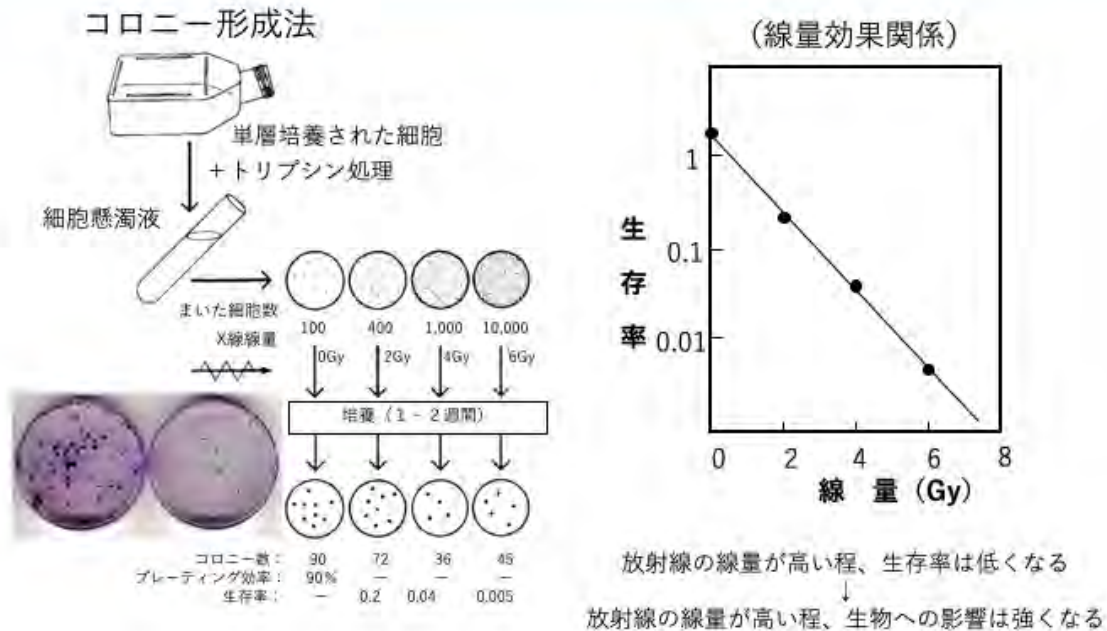
細胞での放射線のターゲットはDNAです。DNAの傷は体の中に備わっているシステムで修復されます。少しの傷なら修復が成功し、元に戻ります。傷が多ければ修復できずに細胞自体が死んでしまいます。また修復が不完全のまま、この細胞は生きながらえた場合、この細胞からがん細胞などが生じる可能性があります。

放射線による人体影響は、細胞が死ぬか、あるいは突然変異を起こすかのどちらかによるものです。

放射線の物理的相互作用は10の<sup>-15</sup>乗秒で起こります。がんが発症するまでには年単位での時間がかかります。

遺伝性影響とは被ばくした個体の子孫に現れる影響を指しますが、ヒトでは観察されていません。

# 生存率曲線



自己増殖する細胞をシャーレに播いて培養すると細胞が増殖を繰り返す、シャーレに細胞塊（コロニー）が形成されます。この細胞の増殖を定量的にするために用いられる方法がコロニー形成法です。

放射線を照射した細胞は、増殖が出来なくなりコロニーの形成が少なくなります。放射線を照射していない細胞群を1としたとき、放射線を照射した細胞群でコロニーが形成される割合を生存率と言います。放射線の線量が高くなるほど生存率は低下します。

$$\text{生存率} = \frac{\text{コロニー数}}{\text{蒔いた細胞数} \times \text{プレーティング効率}}$$

## ベルゴニー・トリボンドーの法則

細胞分裂頻度が高い（細胞周期が短い）細胞  
将来、長期にわたって分裂を続ける細胞  
形態的・機能的に未分化な細胞

→ 放射線感受性が高い



放射線の影響を受け易い

基本的に“未分化で増殖盛んな細胞の放射線感受性が高い”


細胞の種類によっても放射線の感受性が異なり、その細胞の再生能力に比例し、分化の程度に反比例します。

細胞分裂の頻度が高い細胞ほど、将来、長期にわたって分裂を続ける細胞ほど、形態や機能が未分化な細胞ほど放射線の感受性が高いため、放射線の影響を受けやすくなります。これをベルゴニー・トリボンドー（Bergonie and Tribondeau）の法則といいます。

この法則は、組織内の細胞の放射線感受性について細かい比較にまで当てはまるものではないが、基本的に“未分化で増殖盛んな細胞の放射線感受性が高い”ことを示しています。

細胞レベルでの放射線の影響は、細胞周期と関連します。細胞が分裂して再び分列を終了するまでの期間を細胞周期といい、G<sub>1</sub>期（DNA合成が始まるまでの準備期間）、S期（DNA複製が行われる期間）、G<sub>2</sub>期（細胞分裂に必要なタンパク質が合成される細胞分裂準備期間）、M期（細胞分裂が行われる期間）に分けられます。また、G<sub>1</sub>期から静止期(G<sub>0</sub>期)に移行します。放射線感受性はM期が最も高く、G<sub>1</sub>初期から中期にかけていったん低下し、G<sub>1</sub>後期からS期にかけて再び感受性が高まります。S期に入ると再び感受性が低下し、この状態がG<sub>2</sub>期まで続きます。G<sub>0</sub>期は一般に感受性が低いです。このことから盛んに細胞分裂を繰り返している組織や器官では、放射線の感受性が高くなります。

## 実質細胞の放射線感受性

感受性	グループ	増殖、分化	実質細胞の例
 高い	増殖幹細胞	分裂 未分化	造血幹細胞、小腸クリプト (幹細胞)、精原細胞、表皮 幹細胞、リンパ球
	分化している幹細胞	分裂 分化	血液系の分化した幹細胞、精 母細胞、食道上皮細胞、膀胱 上皮細胞
	(血管系、線維芽細胞などの結合組織系)		
	再生可能な分裂頻度の低い 細胞	通常はほとん ど分裂しない 分化	肝臓、腎臓、膵臓、副腎、甲 状腺、脳下垂体、成人の骨、 成人の軟骨
	低い	分裂終了細胞	分裂終了 分化

出典：日本放射線技術学会「放射線生物学（改訂2版）」

細胞分裂が盛んで、分化の程度の低い細胞ほど、放射線感受性が高い傾向にあります。

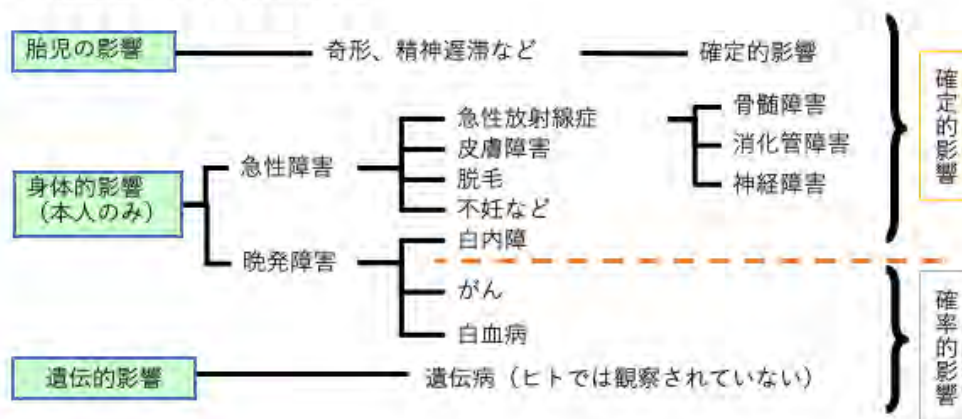
例えば、骨髄にある造血幹細胞はさかんに分裂しながら、血液中の各種細胞に分化する細胞です。幹細胞から分裂（増殖）が進んだ未成熟（未分化）な造血細胞の放射線感受性は極めて高く、分化した細胞よりも少量の放射線で細胞死が起こります。

その結果、血液細胞の供給が止まり、血中の各種の細胞の数が減少します。また消化管の上皮も常に新しい細胞に置き換わる新陳代謝が激しい臓器なので、放射線感受性が高くなります。

一方、細胞分裂をしない神経組織や筋組織は放射線に強いことが知られています。

## 放射線の人体への影響

- 急性障害
  - 急性放射線症：全身に短時間で1Gy以上の線量を被ばくしたときに生じる
  - 放射線熱傷：放射線による皮膚障害、体の一部分の被ばくでも生じる
- 晩発障害
  - 白内障：数年～十数年後に現れる目の症状
  - 悪性腫瘍：がんや白血病など



放射線の人体への影響は、医学的な観点から被ばくした本人に現れる身体的影響と被ばくした人の子孫に現れる遺伝的影響があります。遺伝的影響は人では観察されていません。

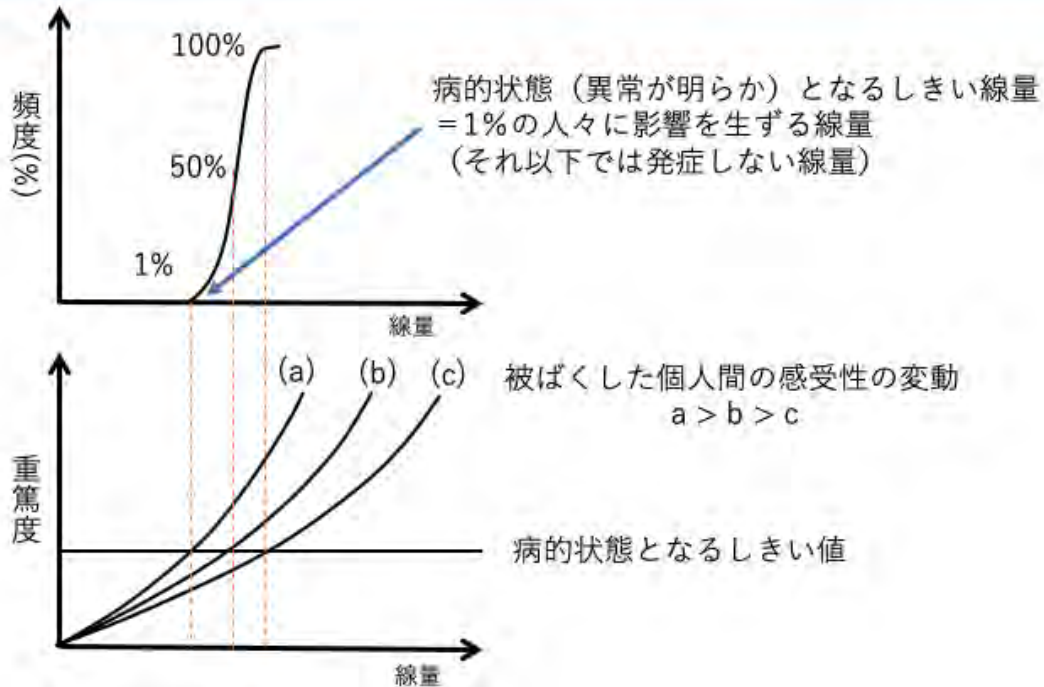
身体的影響は、被ばくした本人の体に症状が現れる時期によって急性障害と晩発障害に分けられます。急性障害は、被ばくして数週間以内に現れる症状で、全身に短時間で1 Gy以上の線量を被ばくした時には、骨髄障害、消化管障害、神経障害などの全身の症状が現れます。これを急性放射線症といいます。また、体の一部分だけを被ばくする事を局所被ばくといい、高線量の局所被ばくをした場合は、皮膚の障害として、熱傷のような症状が現れます。

被ばく後数年から数十年経ってから現れる症状を晩発障害といいます。晩発障害には、白内障、がん、白血病などがあります。

母親の胎内にいた時に被ばくした場合は、胎児の影響があり、奇形や精神遅滞などが現れます。



## 確定的影響（組織反応）



確定的影響とは、大量の放射線を被ばくした場合に、死滅する多くの細胞を補う正常な細胞の分裂増殖が十分でないために発生すると考えられているもので、ある線量以上の被ばくを受けた場合にだけ現れます。この線量を「しきい値」といい、しきい値を超えた線量を被ばくすると、症状の現れ方には多少の個人差はありますが、誰にも同じように症状が現れます。

確定的影響の特徴を整理すると、次のようになります。

- ・症状は、しきい値以上の放射線を被ばくした場合に現れる。
- ・症状の重さは、被ばくした放射線の量に依存する。
- ・同じ程度の量の放射線を被ばくした人には、誰にでも同じような症状が現れる。

なお、症状の発生する頻度が1%の値をしきい値としています。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

## しきい値

影響	器官/組織	発症までの期間	受けた線量 (Sv)	出展
<b>罹患率:</b>			1% の人に生じる	
一時的な不妊	精巣	3-9週間	~0.1	a, b
永久不妊	精巣	3週間	~6	a, b
永久不妊	卵巣	< 1週間	~3	a, b
造血能低下	骨髄	3-7日間	~0.5	a, b
皮膚の発赤	皮膚 (広範囲)	1-4 週間	<3-6	b
放射線熱傷	皮膚 (広範囲)	2-3 週間	5-10	b
一時的な脱毛	皮膚	2-3 週間	~4	b
白内障 (視力障害)	水晶体	数年	~1.5	a, c
<b>死亡:</b>				
<b>骨髄症候群:</b>				
- 治療なし	骨髄	30-60 日間	~1	b
- 適切な治療	骨髄	30-60日間	2-3	b, d
<b>胃腸の障害:</b>				
- 治療なし	小腸	6-9日間	~6	d
- 適切な治療	小腸	6-9日間	>6	b, c, d
<b>肺臓炎:</b>	肺	1-7ヶ月	6	b, c, d

放射線の確定的影響は、それぞれ被ばく後から発現するまでの期間としきい値が決まっています。この表はICRPによって示された、全身γ線被ばく後の成人の臓器および組織にかかわる罹病の1%発生率と死亡に対する、急性吸収線量のしきい値の予測推定値です。急性に1回で被ばくした場合の値です。

出典：ICRP Publication 103

a) ICRP (1984)。

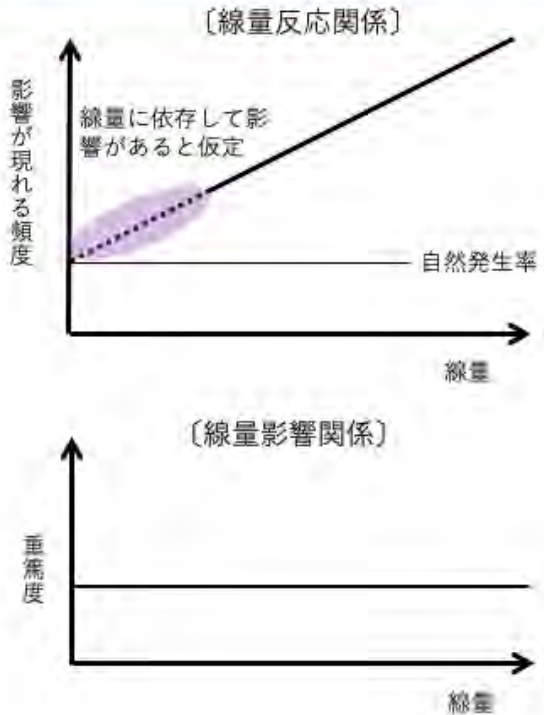
b) UNSCEAR (1988)。

c) Edwards と Lloyd (1996)。

d) Scott と Hahn (1989), Scott (1993)。

e) ほとんどの数値は四捨五入してGy に丸められている。範囲は、皮膚については面積依存性が、骨髄については様々な補助的治療があることを示している。

## 確率的影響



しきい線量は存在しないと仮定

確率的影響とは、**しきい値が存在しない**と考えられている影響であり、具体的には、発がんや遺伝的影響である。

一定の線量以下では、喫煙や飲酒といった他の発がん影響が大きすぎて見えないが、ICRP等ではそれ以下の線量でも影響はあると仮定して、放射線防護の基準を定めることとしている。

確率的影響とは、しきい値が存在しないと考えられている影響であり、具体的には、発がんや遺伝的影響です。

これらの影響には、細胞の突然変異が関わっています。遺伝的影響の場合、生殖細胞に1回、発がんの場合、ひとつの体細胞に数回の突然変異が生じることで起こります。つまり、確率的影響は細胞が一つでも性質を変えれば、発生する可能性があります。

放射線の被ばく線量と影響の間には、しきい値がなく直線的な関係が成り立つという考え方をLNT(Liner non-threshold)仮説といいます。

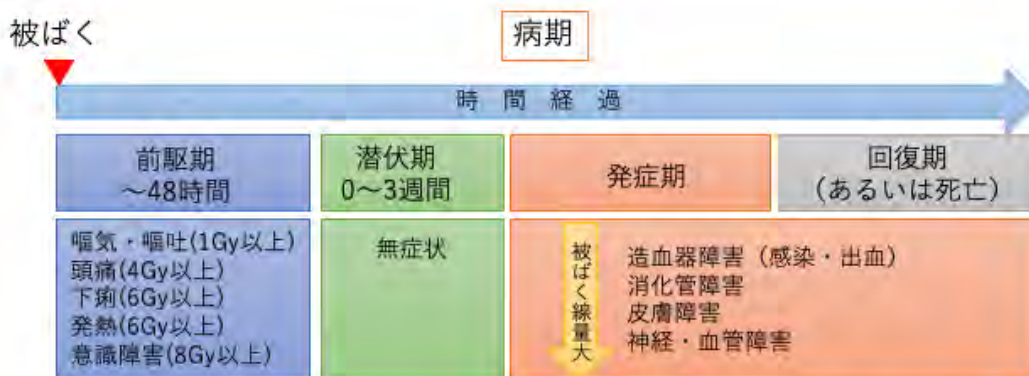
出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

# 急性放射線症

短時間に1 Gy (1000mGy) 以上の全身被ばく後、数時間～数週間後に起こる臨床症状の総称

→多くの組織や臓器障害をおこす

特に細胞増殖の盛んな組織（造血器、消化管粘膜、皮膚、生殖腺の幹細胞など）が影響を受けやすく、これらの臓器の障害による症状が主体



全身に1グレイ (1,000ミリグレイ) 以上の放射線を一度に受けた場合、急性放射線症と呼ばれる、一連の臓器障害をきたすことがあります。この時間経過をみると、典型的には、前駆期、潜伏期、発症期の経過をたどり、その後、回復するか、あるいは死に至ります。

被ばく後およそ48時間以内に見られる前駆症状により、おおよその被ばく量を推定することができます。

1グレイ以上の被ばくで、食欲不振、悪心、嘔吐と言った症状が見られることがあります。

4グレイ以上の被ばくをした場合、頭痛などを訴えることがあります。

下痢や発熱といった症状を示す場合は6グレイ以上被ばくした可能性があります。その後、潜伏期を経て、発症期に入ると、被ばくした線量に応じて造血器障害、消化管障害、神経血管障害の順で現れます。これらの障害は、放射線感受性の高い臓器や組織を中心に現れます。概して線量が多いほど潜伏期は短くなります。

皮膚は、大人で1.3～1.8m<sup>2</sup>と、大きな面積を持つ組織です。被ばく直後に初期皮膚紅斑がでることもありますが、一般には皮膚障害は被ばく後数日以上たってから現れます。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

## 急性放射線症の前駆症状

症状と治療方法		軽度 (1-2Gy)	中等度 (2-4Gy)	重症 (4-6Gy)	非常に重症 (6-8Gy)	致死的 (>8Gy)
嘔吐	発現時期 発現頻度	2時間以降 10-50%	1-2時間以降 70-90%	1時間以内 100%	30分以内 100%	10分以内 100%
下痢	発現時期 発現頻度	なし —	なし —	軽度 3-8時間 <10%	重度 1-3時間 >10%	重度 数分以内-1時間 ほぼ100%
頭痛	発現時期 発現頻度	軽微 —	軽微 —	中等度 4-24時間 50%	重度 3-4時間 80%	重度 1-2時間 80-90%
意識	発現時期 発現頻度	障害なし —	障害なし —	障害なし —	障害の可能性 —	意識喪失 秒分のオーダー 数秒-数分 <100% (> 50Gy)
体温	発現時期 発現頻度	正常 —	微熱 1-3時間 10-80%	発熱 1-2時間 80-100%	高熱 <1時間 100%	高熱 <1時間 100%

( | AEA/WHO Safety Reports Series No.2 "Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries".1998.Vienna  
に基づき原子力施設等防災専門部会が作成)

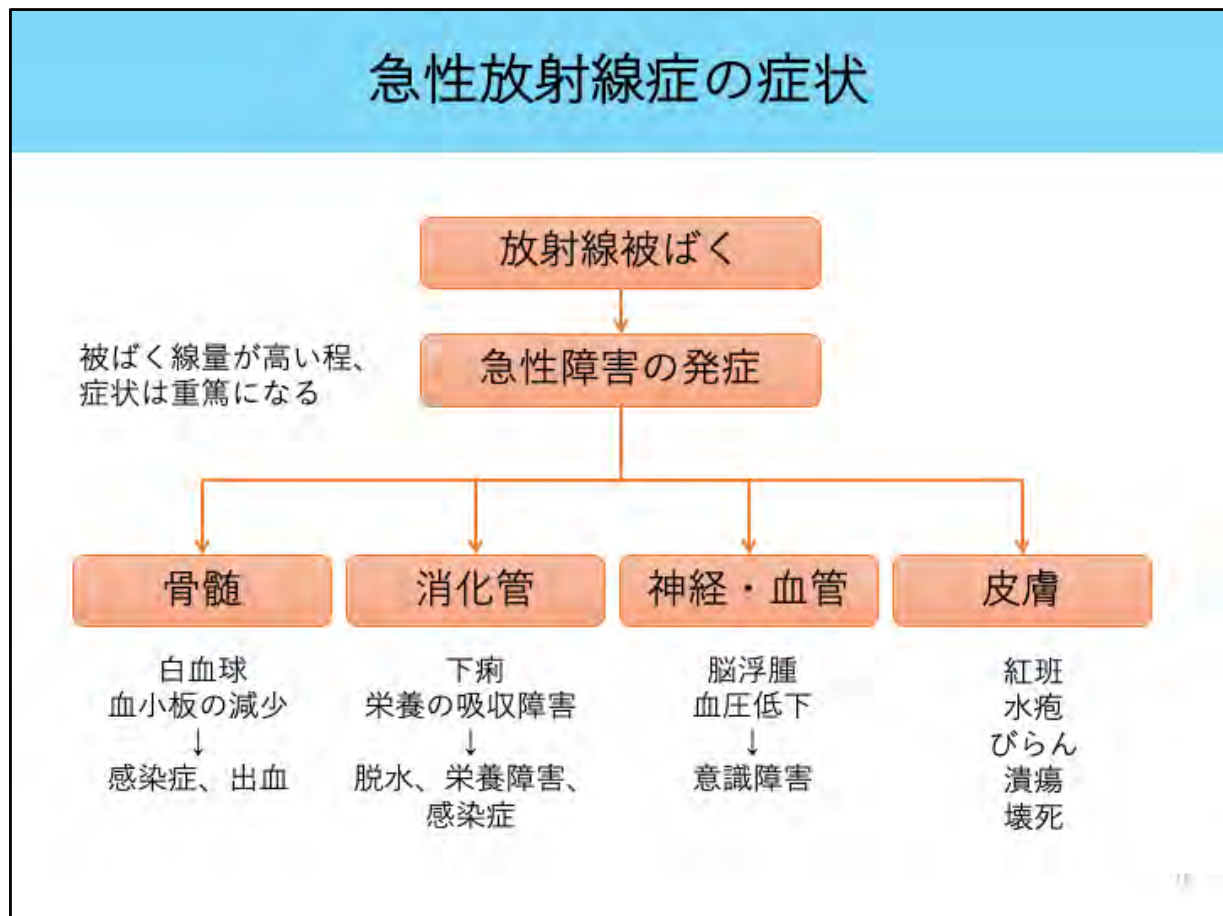
17

急性放射線症の前駆症状と被ばく線量をまとめた表です。

前駆期は被ばく後数分から数時間以内に現れ、48時間まで続くことがあります。食欲低下・悪心・嘔吐・下痢が主な前駆症状で、線量が高いほど出現までの時間が短く重篤です。

嘔吐であれば、1~2Gyの被ばくの場合、2時間以降に10~50%に症状が出現し、2~4Gyでは1~2時間以降に70~90%、4~6Gyでは1時間以内に100%、6~8Gyでは30分以内に100%、8Gy以上では10分以内に100%に症状が出現します。

## 急性放射線症の症状



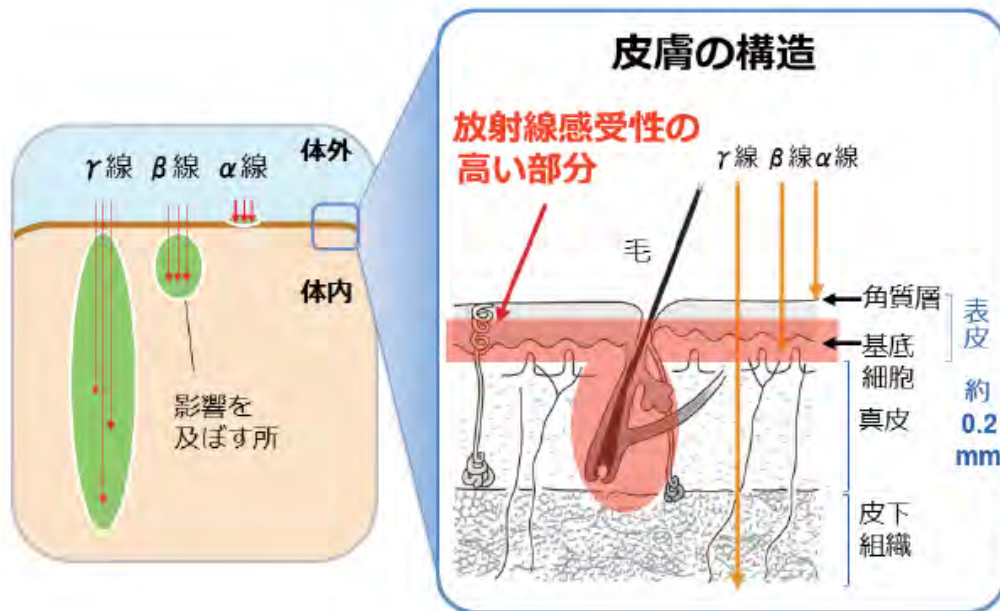
急性放射線症の症状は主に骨髄障害、消化管障害、中枢神経・循環器障害、皮膚障害に分けられます。

骨髄障害は、被ばく後に白血球、血小板が減少し、感染症、敗血症、出血症状を引き起こします。

致死的な線量の被ばくの場合、脳浮腫や血圧低下などの中枢神経と循環器障害が起こり、意識障害となります。

皮膚障害も被ばく線量に応じて、紅斑、水疱、びらん、潰瘍、壊死といった症状が出現します。

## 放射線皮膚障害



放射線による皮膚障害は、症状が熱傷に似ているため、放射線熱傷ともいいます。 $\gamma$ 線は皮膚の基底細胞層まで透過するため、皮膚障害を発症します。透過力の弱い $\alpha$ （アルファ）線は表皮で止まってしまうので影響を及ぼすことはありませんが、 $\beta$ （ベータ）線を出す放射性物質が大量に体表面に付着し、長く放置された場合は、皮膚の放射線感受性の高い基底細胞層や毛根細胞に影響を及ぼすこともあります。

皮膚障害では、被ばくの線量と面積が予後を大きく左右する因子です。

初発症状は発赤（初期紅斑）で、通常は一過性です。およそ2-3 Gy（グレイ）の被ばくから現れます。線量により数日から1~2週間の間を経て、脱毛、色素沈着、落屑、水疱、潰瘍、壊死が生じます。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

## 放射線皮膚障害

	熱傷	放射線皮膚障害 (放射線熱傷)
症状	すぐに痛む 激しい炎症反応 患部の細胞死 組織の破壊	始めは痛みがない 被ばくの線量に応じて症 状の発現時期は異なる
障害の 機序	高温による障害 蛋白凝固 細胞代謝障害 局所循環障害	放射線によるDNA損傷 (細胞の種類により感受 性は異なる)
エネルギー (2度熱傷)	大 (4Cal/cm <sup>2</sup> )	小 (0.0126Cal/cm <sup>2</sup> ) :30Gy

- 皮膚障害の無自覚と深達度の判断の困難性
- **遅発性**；症状発現が遅い
  - 潜伏期（期間は被ばく線量による）がある
- **難治性**；治りにくい
  - 例えば、中性子被ばく（線質）、高線量被ばく（線量）などにより障害がより深達性となる
- **反復性**；繰り返す
  - 障害が反復したり、一度治癒した部分が血流障害の悪化により再度症状再燃する。（～年単位）

放射線による局所の皮膚障害は、熱傷の症状と似ており、放射線熱傷とも呼ばれます。しかし、その発症のメカニズムは異なります。

熱傷は、高温によるタンパク凝固、細胞代謝障害、局所循環障害が原因となり、受傷直後から痛みや水疱、びらんなどの症状が出現します。

放射線熱傷の場合は、皮膚の基底細胞が放射線による影響を受けた結果、細胞分裂ができなくなり、皮膚細胞が再生されなくなるために症状が出現します。このため、始めは痛みの症状はなく、症状の出現にも時間がかかります。



## 放射線皮膚障害の線量と時期

皮膚症状は被ばく直後には出現しない  
(時間が経ってから現れる)

症状	線量(Gy)	発症(day)
紅斑	3-10	12-21
脱毛	>3	14-18
乾性落屑	8-12	25-30
湿性落屑	15-20	20-28
水疱	15-25	15-25
潰瘍	>20	14-21
壊死	>25	>21

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

国際放射線防護委員会 (ICRP) などが放射線皮膚障害のしきい線量、症状の出現時間をまとめています。

皮膚障害も被ばく線量が高くなればなるほど症状は重篤になります。さらに、症状の出現が遅いため、被ばく直後に皮膚障害の程度を判断するのは、非常に困難です。

紅斑は、被ばくから2週間ほどの時間を経て出現します。

3Gy以上の被ばくで脱毛が起こります。8~12Gyでは乾性落屑が起こり、15~20Gyでは湿性落屑や水疱が出現します。

20Gy以上では潰瘍が出現し、25Gy以上では壊死します。潰瘍や壊死などの皮膚障害は、非常に治癒が難しく、一旦症状が軽快しても再び潰瘍が出現する等の難治性、再発性といった特徴があります。

# 晩発障害

## 晩発障害

		潜伏期間	例	放射線影響の機序
影響の出現	身体的影響	数週間以内 = 急性影響 (早期影響)	急性放射線症候群 <sup>※1</sup> 急性皮膚障害	細胞死/細胞変性 で起こる 確定的影響 <sup>※2</sup> 
			胎児の発生・発達異常(奇形)	
	遺伝性影響	数か月以降 = 晩発影響	水晶体の混濁 がん・白血病 遺伝性疾患	突然変異で起こる 確率的影響 

※1：主な症状としては、被ばく後数時間以内に認められる嘔吐、数日から数週間にかけて生じる下痢、血液細胞数の減少、出血、脱毛、男性の一過性不妊症等。  
 ※2：一定量以上の被ばくがないと発生しない。

放射線被ばく後、数ヶ月以上経過した後には現れる影響を晩発障害といい、皮膚障害（表皮の萎縮、色素沈着など）、白内障、がん（白血病を含む）などの症状があります。

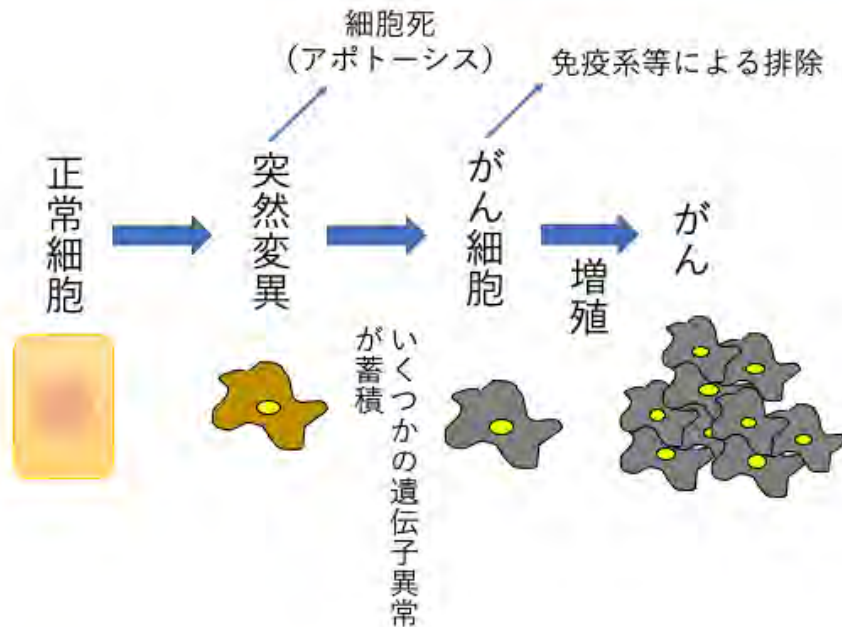
軽度の白内障である水晶体の混濁は500mSvから発症し、白内障は2,000mSv以上の線量を受けた場合に発症します。

急性障害を起こさない程度の放射線を被ばくした場合でも、数年から数十年経過した後にはがんを発症することがあります。原爆被爆者の追跡調査によると、がんによる死亡リスクは100-200mSv以上では放射線の被ばく線量に正比例していますが、それ以下の被ばくについては確認されていません。

また、遺伝的影響も人では確認されていません。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

## 発がんの仕組み

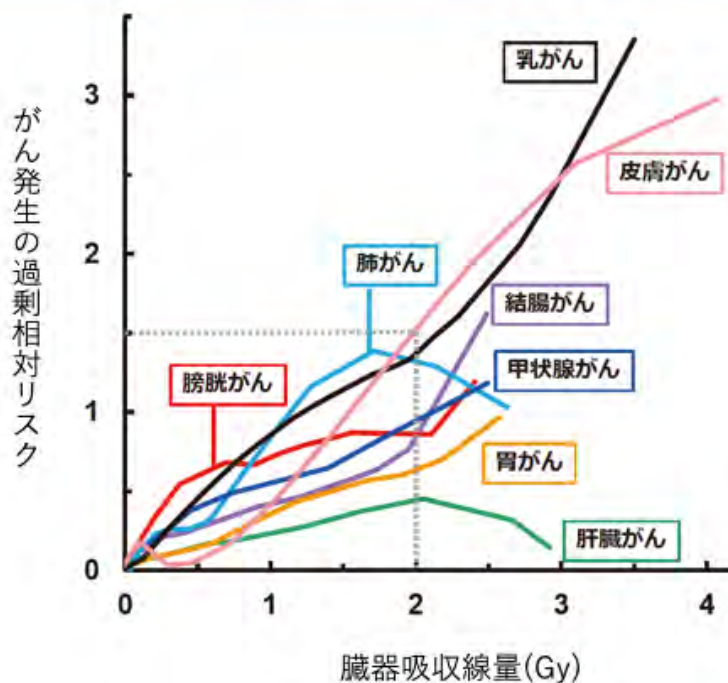


放射線ばかりではなく、様々な化学物質や紫外線等にもDNAを傷つける作用があります。しかし、細胞には傷ついたDNAを修復する仕組みがあり、大抵の傷はすぐに元どおりに修復され、また修復に失敗した場合でも、その細胞を排除する機能が体には備わっています。

ごく稀に、修復し損なった細胞が、変異細胞として体の中に生き残ることがあります。こうしたがんの芽は生じては消え、消えては生じといたことを繰り返します。その中でたまたま生き残った細胞に遺伝子の変異が蓄積し、がん細胞となることがありますが、それには長い時間が掛かります。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

## がん発生の過剰相対リスク



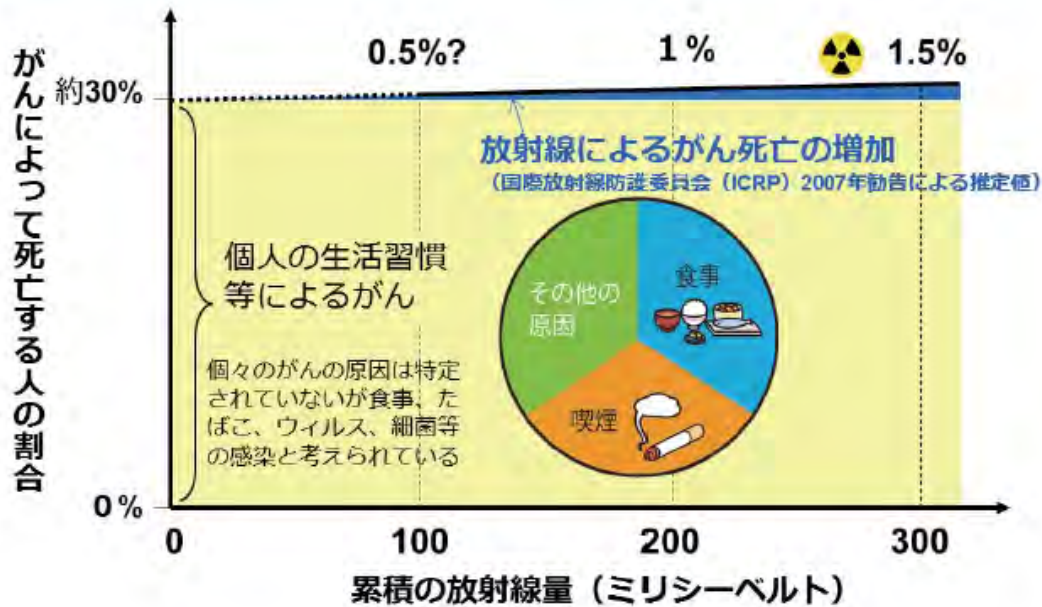
原爆被爆者を対象に、どれだけの線量をどこに受けるとがんのリスクが増加するかを調べたものです。横軸は、原爆投下時の高線量率一回被ばくによる臓器吸収線量で、縦軸は、過剰相対リスクです。相対リスクは、被ばくしていない集団と比べて、被ばくした集団ではどのくらいがん発症のリスクが増加したかを調べたものです。相対リスクが1であれば影響がないことになります。過剰相対リスクは、相対リスクから1を引いたもので、過剰リスクだけを示したものです。

例えば、臓器吸収線量が2Gyの場合は、皮膚がんの過剰相対リスクは1.5となっています。放射線を受けなかった集団と比べて1.5倍のリスクが過剰に発症していることを意味しています。つまり、2Gy被ばくした集団では皮膚がんの発症リスクは、放射線を受けていない集団（1倍）の2.5倍（1+1.5）となります。

こうした疫学研究の結果から、乳腺、皮膚、結腸等は、放射線によってがんが出やすい組織・臓器であることが分かりました。国際放射線防護委員会（ICRP）の2007年勧告では、臓器の感受性やがんの致死性等も考慮し、組織加重係数を定めています。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

## 放射線によるがんの増加



がんは放射線だけでなく、食事、喫煙、ウイルス、大気汚染など様々な要因によって発症すると考えられます。起こった個々のがんが放射線によるものであると特定することはできません。従って、放射線でがんが起きているかどうかを検証するには、多くの集団において、受けた線量とともにがんが起こる確率も上昇するかどうかを調べる必要があります。

原爆被爆者を主とした疫学調査では、およそ100ミリシーベルト以上の線量では、線量とともにがん死亡が増加することが確認されています。およそ100ミリシーベルトまでの線量では、放射線とがんについての研究結果に一貫性はなく、放射線によりがん死亡が増えることを示す明確な証拠はありません。しかしながら放射線防護の目的のための慎重な考え方として、年間100ミリシーベルトまでゆっくりと被ばくする場合、放射線によるがん死亡が1,000ミリシーベルトあたりおよそ5%であるとされており、国際放射線防護委員会 (ICRP) もこれを妥当であるとしています。

日本人は元々約30% (1,000人のうち300人) ががんで亡くなっています。この国際的な推定値を用いると、仮に1,000人の方が100ミリシーベルト※の線量を受けたとすると、生涯にがんで亡くなる方が300人から305人に増加すると計算できます。ただし、ICRPは同時に、この仮定は確実ではないが起こる可能性のある障害を予防するという考え方であり、100ミリシーベルトよりもごく低い線量を合計して集団で出るがんなどの症例数を計算するといった影響の評価には不確実性が大きく、適切でないとしています。

\*ここで言う100ミリシーベルトとは年間の被ばく線量ではなく、これまで受けた積算線量です。また、この100ミリシーベルトには自然界から受ける放射線量は含まれません。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

## まとめ

- 各組織・臓器への影響は「等価線量」、全身への影響は「実効線量」である。
- 放射線はDNAを損傷し、その結果、修復、細胞死（急性影響）、突然変異（発癌など）が起こる。
- 確定的影響には、しきい値があり、被ばく線量に応じて重篤度が増す。
- 確率的影響には、しきい値がなく、発生頻度が被ばく線量に応じて高くなる。
- 癌発生リスクは被ばく量に相関する。

# 安定ヨウ素剤

原子力災害 基礎研修

原子力災害基礎-6

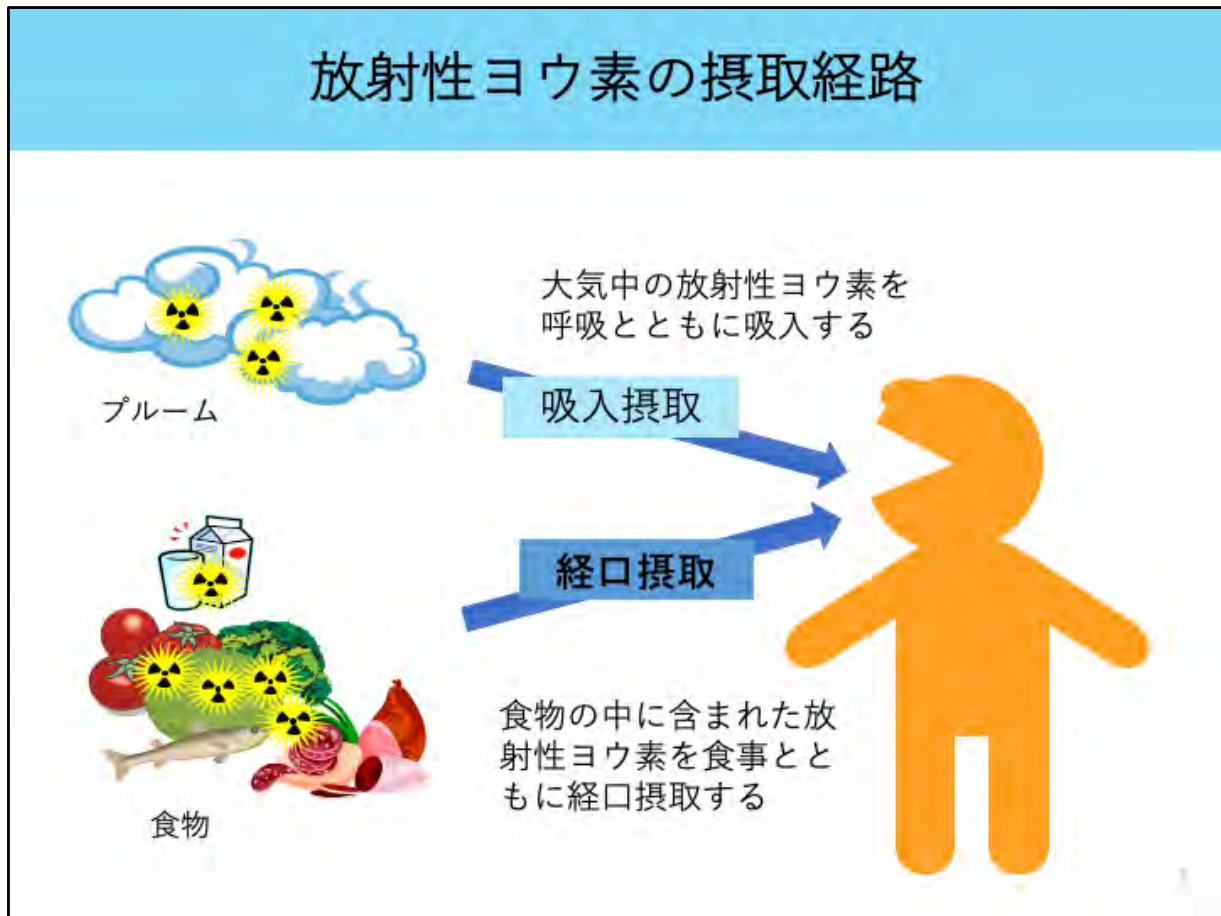
時間：30分

内容

- 放射性ヨウ素の摂取経路
- 安定ヨウ素剤服用の必要性
- 放射性ヨウ素によって引き起こされる健康障害
- 甲状腺癌
- チェルノブイリ原発事故での甲状腺がん
- 甲状腺癌と年齢
- 安定ヨウ素剤の働きと限界
- 安定ヨウ素剤配布
- 服用対象者
- 安定ヨウ素剤服用指示について
- 防災業務関係者の安定ヨウ素剤服用
- 服用ができない場合
- 服用に注意が必要な場合
- 服用時期、服用方法、服用量
- 安定ヨウ素剤の副作用
- 副作用が起こった場合の対処方法
- 過剰服用による影響



## 放射性ヨウ素の摂取経路

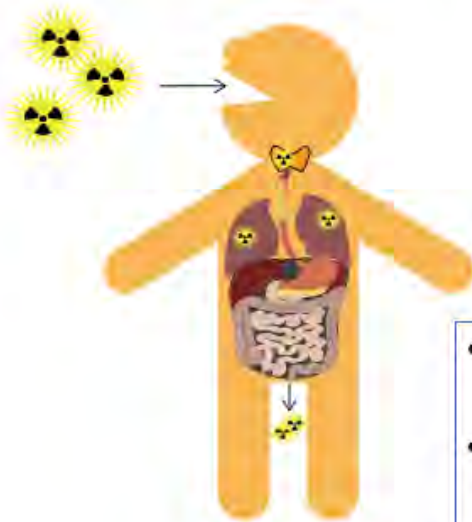


原子力発電所の事故時に大気中に放出された放射性ヨウ素の摂取経路としては、吸入摂取と経口摂取があります。

吸入摂取は、呼吸とともに放射性ヨウ素を吸い込むことで、体内に放射性ヨウ素を取り込みます。

経口摂取は、大気中に放出された放射性ヨウ素が土壌や水に沈着した後、農作物、海産物に移行したり、飲料水に取り込まれたりして、食事とともに食べることで体内に放射性ヨウ素を取り込みます。

## 放射性物質の体内動態



1. 臓器に蓄積する
2. 排泄される
3. 自然に減っていく

- 体の中に残っている放射性物質からの放射線によって被ばくする
- 体の中から放射性物質は時間が経つと減っていく
- 時間経過と共に体内残留量、排泄量が変化する

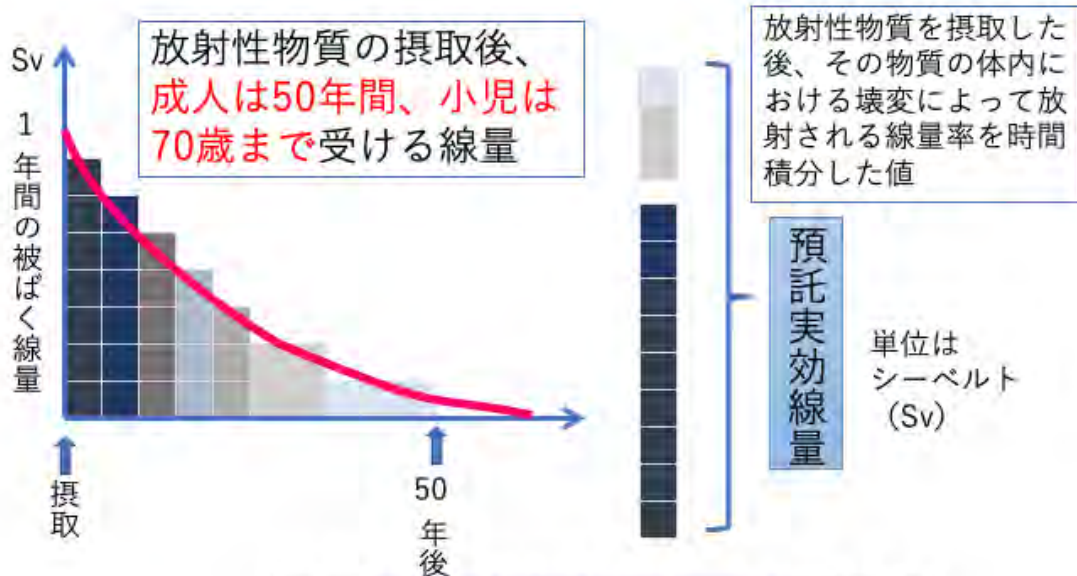
体の中に取り込まれた放射性物質は、臓器に蓄積したり、尿や便で体外に排泄されたりします。また、放射性物質に含まれる放射能は時間とともに減っていくため、体内の放射能も時間経過とともに減っていきます。

内部被ばくは放射性物質が体内に存在している間は被ばくし続けることとなります。しかし、内部被ばくでは外部被ばくと異なり、預託実効線量が1シーベルト (Sv) を超えても急性の症状がでることはほとんどありません。

また、放射性物質である元素の種類によって蓄積する臓器が異なります。たとえば、放射性ヨウ素は甲状腺に蓄積し、その他の臓器にはほとんど集積しないため、全身への影響は少ないのが特徴です。放射性セシウムはカリウムと性質が似ており、量に違いはありますが、特定の臓器に集積せず、全身に分布します。

このようなことから、時間経過とともに放射性物質の体内残留量や排泄量は変化します。

## 内部被ばくの線量（預託実効線量）



ある量の放射性物質を摂取したら、その後  
に受ける未来の被ばく線量を表している

内部被ばく線量は、放射性物質を摂取した後、その物質の体内における壊変によって放射される線量率を時間積分した値ということになります。

これは、成人であれば放射性物質の摂取後50年間、小児では摂取から70歳までの被ばく線量を足し合わせたもので、預託実効線量といい、単位はSv（シーベルト）で表されます。

## 安定ヨウ素剤服用の必要性

- ヨウ素は甲状腺ホルモンの成分で、体内ではほとんどが甲状腺内に存在します。
- 甲状腺ホルモンは、新陳代謝を促したり、子供では成長を促進します。
- 甲状腺は、頸部前面に位置し、重さ15～20 g、3～5 cmの蝶が羽を広げたような形をしています。
- 放射性ヨウ素を体内に取り込んだ場合、肺や消化管から体循環に入り、10～30%が甲状腺に集積し、残りは尿中に排泄されます。
- 安定ヨウ素剤の予防服用で、放射性ヨウ素の甲状腺への集積を阻害、低減します。



ヨウ素は甲状腺ホルモンの成分で、体内ではほとんどが甲状腺内に存在します。

甲状腺ホルモンは、新陳代謝を促したり、子供では成長を促進します。甲状腺ホルモンは、全身の細胞に作用して、呼吸量、エネルギー産生量が増大します。

甲状腺は、頸部前面に位置し、大人では15～20g、3～5cmの蝶が羽を広げたような形をしています。

放射性ヨウ素を吸入または経口摂取した場合、肺や消化管から血液中に入り、吸収された放射性ヨウ素の10～30%が甲状腺に集積します。甲状腺に集積しなかった放射性ヨウ素は腎臓から尿中に排泄され、体の外にでます。甲状腺に集積した放射性ヨウ素からはベータ線が放出されるので、甲状腺の細胞が障害を受けやすくなります。

安定ヨウ素剤を予防服用しておくことで、放射性ヨウ素が甲状腺へ集積するのが阻害されます。このため、原子力災害時に放射性ヨウ素の環境中への放出の可能性がある場合は、事前に安定ヨウ素剤を服用します。

## 放射性ヨウ素による健康障害

### ・急性障害

#### ・甲状腺機能低下症

- ・ しきい線量は5,000 mGy以上
- ・ 甲状腺の細胞が障害を受け、細胞死の結果、甲状腺ホルモンの分泌が低下して発症する
- ・ 症状：全身倦怠感、無力感、皮膚の乾燥、発汗減少、便秘、体重増加、低体温、浮腫、不整脈

高濃度の放射性ヨウ素を吸入する可能性のある作業員のみ

### ・晩発性障害

#### ・甲状腺がん

- ・ 予後が比較的よい乳頭がんが多い
- ・ 致命的なことは少ない
- ・ 甲状腺等価線量で50 - 100 mSvを超える線量から増加がみられる
- ・ 被ばくして4～5年後から増加がみられる
- ・ 乳幼児の方が甲状腺がんの発生のリスクは高い
- ・ I-131内部被ばくと甲状腺がんリスクとの定量的関係に関する情報は十分でない（国連科学委員会2008年報告書）

放射性ヨウ素による被ばくに関して、住民の放射線防護の目的は、晩発性障害の低減である

放射性ヨウ素が甲状腺に極めて大量に集積した場合、甲状腺の細胞が放射線の影響で細胞死を起こし、その結果、急性障害として甲状腺ホルモンの分泌が低下して甲状腺機能低下症が起こります。甲状腺機能低下症の症状は、活動性の低下、全身倦怠感、無力感、皮膚の乾燥、発汗の減少、便秘、体重増加、低体温、浮腫、不整脈などがあります。

また、晩発性障害として、放射性ヨウ素が甲状腺に集積し、放射性ヨウ素が放出する放射線によって数～数十年後に甲状腺がんを発症する可能性があります。甲状腺等価線量で50～100ミリシーベルト以上の放射線被ばくによって甲状腺にがんが過剰に発生することが広島、長崎の原爆被爆者の疫学調査やチェルノブイリ原子力発電所の事故後の調査などによって知られています。

# 甲状腺がん

## 甲状腺悪性腫瘍の組織分類

乳頭癌	Papillary carcinoma	一番多いタイプ
濾胞癌	Follicular carcinoma	甲状腺癌の約8%
低分化癌	Poorly differentiated carcinoma	乳頭癌や濾胞癌に比べて進行がやや早い
髄様癌	Medullary carcinoma	甲状腺癌の約1.5%
未分化癌	Undifferentiated carcinoma	甲状腺癌の約1%
悪性リンパ腫	Malignant lymphoma	甲状腺癌の約2.5%

- チェルノブイリ原発事故時(1986年4月26日)に18歳以下だった12,514人が対象
  - 2001年～2007年の2～4回目の検査で65人の甲状腺がんが診断された
    - Papillary : 61名
    - Follicular : 1名
    - Medullary thyroid cancer : 3名

Brenner et al., Environmental Health Perspectives 119(7):933 – 939, 2011

甲状腺悪性腫瘍の組織分類としては、乳頭癌、濾胞癌、低分化癌、髄様癌、未分化癌、悪性リンパ腫があります。甲状腺がんの発生率のピークは60～70歳代で、他のがんに比べると20～30歳代の若年者での発症も比較的多いです。甲状腺がんの生命予後は10年生存率約90%と比較的良好です。

放射線被ばくによって誘発される甲状腺がんのほとんどは、甲状腺濾胞細胞に由来する乳頭癌で、一般的に予後が良いとされています。

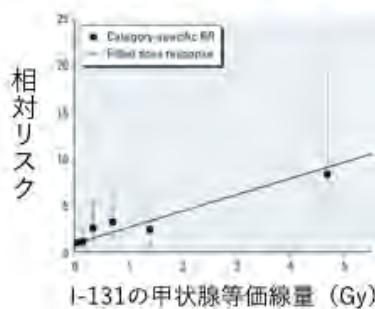
# チェルノブイリ原発事故での甲状腺がん

ロシア、ベラルーシ、ウクライナにおける甲状腺等価線量 (mGy)

	未就学児	就学児童	青年	成人	全人口
3カ国合計	48	19	13	12	16
汚染地域*	289	110	84	75	102

\*汚染地域とは、土壌表面のセシウム-137の量が1平方メートルあたり37キロベクレルを上回る地域

UNSCEAR 2008年報告



- \* ウクライナの研究、チェルノブイリ原発事故時に18歳以下だった人を対象
- \* 甲状腺がんのリスクは被ばく線量に依存して直線的に増加する
- \* 過剰相対リスク 1.91 / Gy
- \* 過剰絶対リスク 2.21 / 1万人・年・Gy

Brenner et al., 2011

甲状腺等価線量の平均が100mSvの1万人の集団を想定すると、40年間で8.8名の甲状腺癌症例が過剰に発症する。

放射線被ばくにより甲状腺がんが誘発され、その発生確率は、特に乳幼児において高くなります。

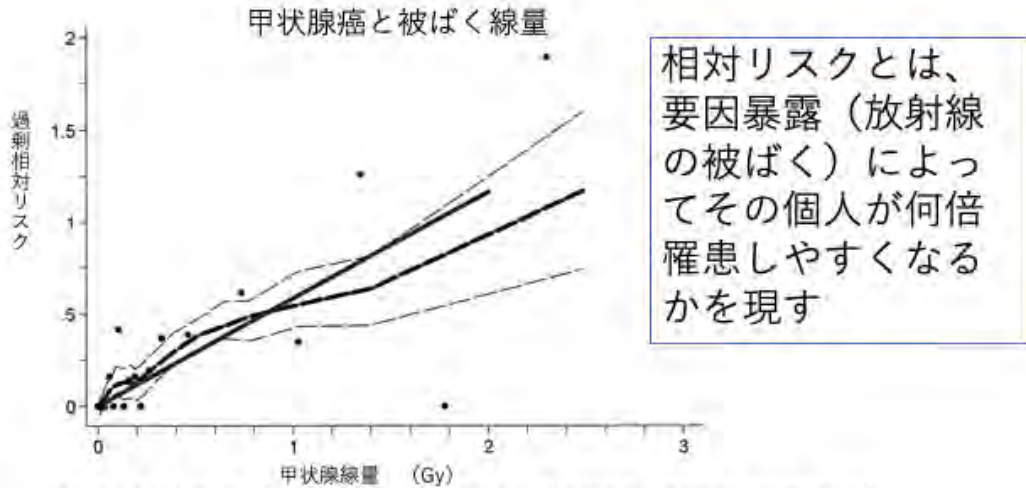
チェルノブイリ原子力発電所事故では、放射性ヨウ素による甲状腺の内部被ばくが問題となりました。

チェルノブイリ原発事故での調査では、過剰絶対リスクの大きさは、2.21 / 1万人・年・Gyです。言い換えると、1万人の甲状腺等価線量の平均が100 mSvの場合、40年間で8.8人の甲状腺がんが過剰に発生することになります。

がんで死亡する人が被ばくのないときに比べてどれだけ増加するかを比率を表わしたのが過剰相対リスクであり、死亡率がどれだけ上乗せされたかを表わすのが過剰絶対リスクです。

## 甲状腺癌と過剰相対リスク

広島・長崎の原爆被ばく者の追跡調査



直線は、被ばく時年齢30歳の人70歳に達した場合に当てはめた、男女平均過剰相対リスク(ERR)の線形線量反応を示す。太い点線は、線量区別別リスクを平滑化したノンパラメトリックな推定値であり、細い点線はこの平滑化推定値の上下1標準誤差を示す。

Preston, D. L., etc., Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958-1998, Radiat. Res. 168, 1-64 (2007).

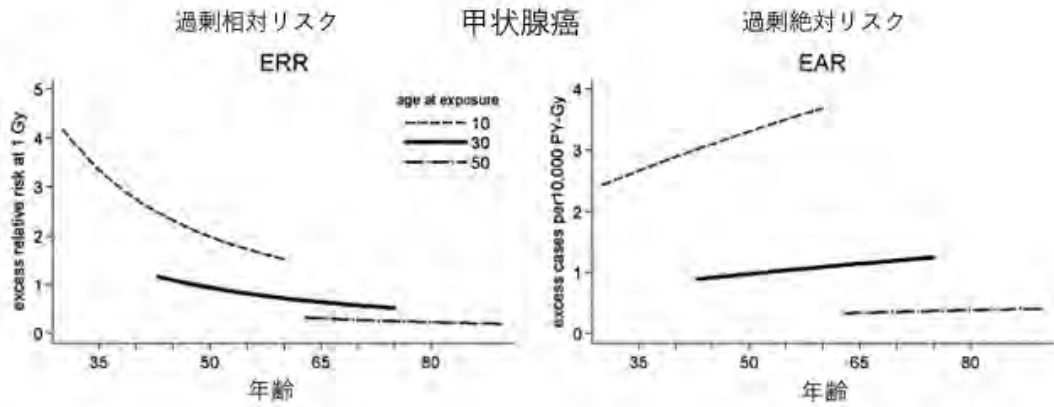
甲状腺がんは、内部被ばく以外でも原爆被爆者や医療被ばくでの外部被ばくに起因するものもあります。原爆被爆者の追跡調査では、甲状腺被ばく線量の増加に伴い、甲状腺がんの発生率は増加しており、線形の線量反応関係が認められています。

過剰相対リスクは、性別と年齢を一致させた対照群と比較して被ばく群のリスクが何倍になっているかを示すものが相対リスクで、相対リスクが1であれば影響がないこととなります。過剰相対リスクは、相対リスクから1を引いたもので、過剰リスクだけを示したものです。いずれも対照群に対する比率を示しています。



## 甲状腺癌の年齢依存性

- 広島長崎の原爆被ばく者の調査
- 被ばく時の年齢が若いほど、リスクが高い

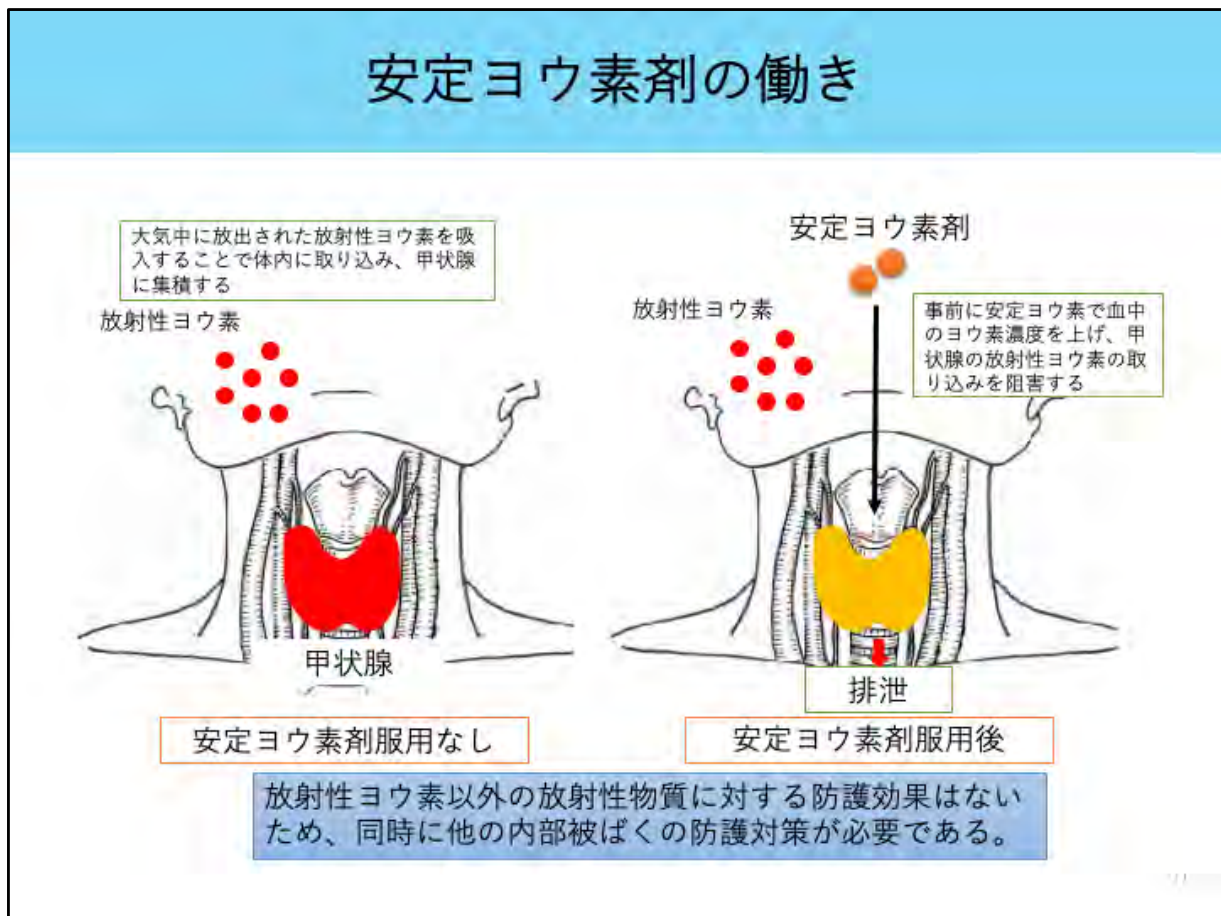


Preston, D. L., etc., Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958-1998. Radiat. Res. 168, 1-64 (2007).

10

原子爆弾被爆者の調査では、被ばく時の年齢が低いほど甲状腺がんの過剰相対リスクは増加し、リスクが高いことが示唆されています。

## 安定ヨウ素剤の働き



放射性ヨウ素は、呼吸により吸入されて、肺から血液中に移行します。また、吸入された放射性ヨウ素の一部は、食道、消化管から吸収されて血液中に移行します。取り込まれた放射性ヨウ素の約10～30パーセントは、24時間以内に甲状腺に集積し、残りの大部分は、主に腎臓から尿中に排泄されます。

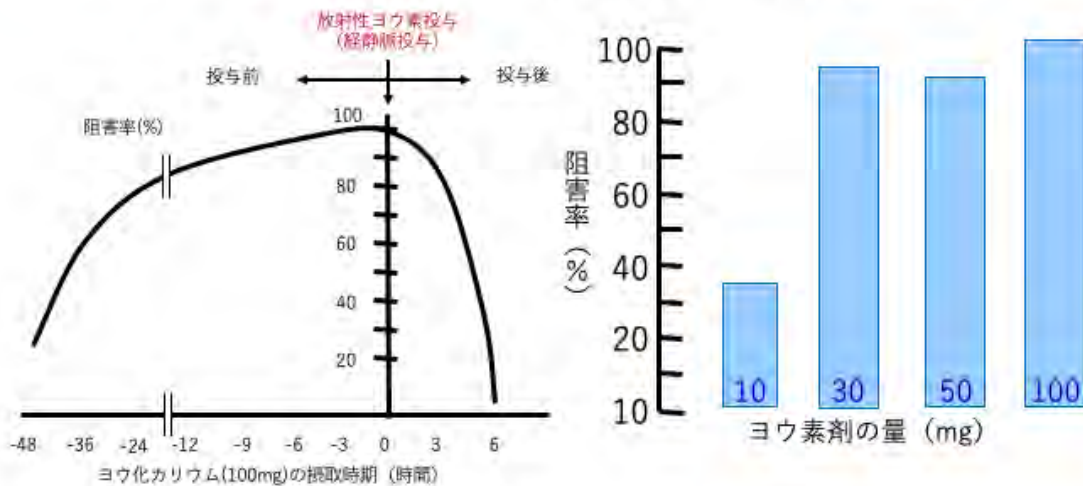
健康な人が安定ヨウ素剤を服用すると、服用後1～2時間以内に、その尿中排泄量が最大となります。その後、時間とともに排泄量は減少し、72時間後には服用した安定ヨウ素剤のほとんどが体から排泄されます。

安定ヨウ素剤の予防服用による放射性ヨウ素の甲状腺への集積を低減させる効果は、高濃度の安定ヨウ素剤との共存によって血中の放射性ヨウ素の甲状腺への取込みと競合することや細胞内へのヨウ素の取込みを抑制することによります。

安定ヨウ素剤は、放射性ヨウ素以外の放射性物質に対する防護効果はないため、同時に放出される他の放射性物質に対する防護対策としてマスクなどの呼吸保護具を使用する必要があります。

## 投与時期、投与量と効果

放射性ヨウ素を摂取する前（24時間以内）の予防投与が原則



Becker, JAMA 1987; 258: 649-654から引用

放射性ヨウ素を吸入あるいは、摂取する前24時間以内または直後に、安定ヨウ素剤を服用すると、放射性ヨウ素の甲状腺への集積を約90パーセント以上抑制することができます。すでに放射性ヨウ素が吸入された後でも数時間以内の服用であれば、約40パーセントの抑制効果が期待できます。

しかし、時間が経過した後であればその効果はほとんどないと報告されています。

成人では、ヨウ素量30 mg以上であれば、放射性ヨウ素の甲状腺への集積を効果的に抑制できます。日本で市販されている安定ヨウ素剤（ヨウ化カリウム丸）50 mgはヨウ素を38 mg含有している製剤で、1～2丸の服用が必要となります。

## 安定ヨウ素剤配布

- PAZ (予防的防護措置を準備する区域) : 原子力施設から概ね5km
  - 地域の住民に対して事前に安定ヨウ素剤を配布
  - 全面緊急事態に至った場合、避難の際に速やかに安定ヨウ素剤を服用
  - 安定ヨウ素剤の服用不適切者や、3歳未満の乳幼児やそのほか丸剤の服用が困難な者にはゼリー剤の準備、あるいは一般住民より早い段階(施設敷地緊急事態)から災害時要援護者等とともに、優先的に避難する体制等を整備
- PAZ外 : 原子力施設から概ね 30 kmを目安とするUPZ (緊急時防護措置を準備する区域)
  - 全面緊急事態に至った場合、安定ヨウ素剤は、避難や屋内退避の際に服用
  - 迅速に安定ヨウ素剤を配布できる体制を整備 : ゼリー剤の準備あるいは集合場所や避難所等において「薬剤師等」が粉末剤から液状の安定ヨウ素剤を調製
  - 避難や屋内退避の際に迅速な配布が困難と考えられる地域や対象者等については安定ヨウ素剤を事前配布

原子力防災体制における安定ヨウ素剤の配布は、次のような方針となっています。

原子力施設から概ね 5 kmのPAZ (予防的防護措置を準備する区域) 地域の住民に対しては、事前に安定ヨウ素剤を配布しておきます。全面緊急事態に至った場合、避難の際に速やかに安定ヨウ素剤を服用するよう指示します。

安定ヨウ素剤の服用不適切者や、3歳未満の乳幼児やそのほか丸剤の服用が困難な者にはゼリー剤を準備したり、一般住民より早い段階(施設敷地緊急事態)から災害時要援護者等とともに、優先的に避難する体制等を整備しておきます。

原子力施設から概ね 30 kmを目安とするUPZ (緊急時防護措置を準備する区域) の住民に対しては、全面緊急事態に至った場合に安定ヨウ素剤を避難や屋内退避の際に配布し、服用するよう指示します。このため、迅速に安定ヨウ素剤を配布できる体制を整備しておくことが必要で、3歳未満の乳幼児やそのほか丸剤の服用が困難な者のために、ゼリー剤または集合場所や避難所等において「薬剤師等」が粉末剤から液状の安定ヨウ素剤を調製する体制も必要です。

避難や屋内退避の際に迅速な配布が困難と考えられる地域や対象者等については安定ヨウ素剤を事前配布しておくことも考慮します。

出典 : 原子力規制庁原子力防災課 : 安定ヨウ素剤の配布・服用に当たって (平成28年9月30日修正)

## 服用対象者

- 下記の者を除いて、安定ヨウ素剤服用の指示を受けた時点で、一時滞在者等を含む全員が服用する。
  - 服用不適切者
  - 自らの意思で服用をしない者
- 3歳未満の乳幼児は、ゼリー剤又は薬剤師等が避難所等で調製した液状の安定ヨウ素剤を服用させる。



ヨウ化カリウム

- 注射用水
- 単シロップ

安定ヨウ素剤水薬  
(12.5mg/ml ヨウ素含有)



ヨウ化カリウム内服ゼリー16.3mg「日医工」



ヨウ化カリウム内服ゼリー32.5mg「日医工」

安定ヨウ素剤は、服用の指示を受けた時点で、服用不適切者と自らの意思で服用しない者を除いて、一時滞在者等を含む全員が服用します。

3歳未満の乳幼児は、ゼリー又は薬剤師等が避難所等で調製した液状の安定ヨウ素剤を服用することとなります。

出典：原子力規制庁原子力防災課：安定ヨウ素剤の配布・服用に当たって  
(平成28年9月30日修正)

## 安定ヨウ素剤服用指示

- 施設敷地緊急事態
  - PAZでは、安定ヨウ素剤服用の準備として、PAZ内の住民に事前配布した安定ヨウ素剤を手元に置くように指示する
- 全面緊急事態
  - PAZ；原則として、原子力規制委員会が避難とともに安定ヨウ素剤服用の必要性を判断し、原子力災害対策本部又は地方公共団体が服用の指示を出す
  - PAZ外；原則として、原子力規制委員会が原子力施設の状況や空間線量率等を勘案し、避難や屋内退避と併せた防護措置として、安定ヨウ素剤の配布・服用の必要性を判断し、原子力災害対策本部又は地方公共団体が配布・服用の指示を出す

原子力災害時の安定ヨウ素剤の服用指示は次の方針です。

施設敷地緊急事態となった場合、安定ヨウ素剤服用の準備として、PAZ内の住民に事前配布した安定ヨウ素剤を手元に置くように指示します。

全面緊急事態となった場合、PAZの住民等に対しては、原則として原子力規制委員会が避難とともに安定ヨウ素剤服用の必要性を判断し、原子力災害対策本部又は地方公共団体が服用の指示を出します。PAZ外の住民等に対しては、原則として原子力規制委員会が原子力施設の状況や空間線量率等を勘案し、避難や屋内退避と併せた防護措置として、安定ヨウ素剤の配布・服用の必要性を判断し、原子力災害対策本部又は地方公共団体が配布・服用の指示を出します。

## 防災業務関係者の服用



防災関係者のうち、原子力施設内において災害に発展する事態を防止する措置等の災害応急対策活動を実施する者で、かなりの被ばくが予測される恐れのある場合は、甲状腺等価線量を瞬時に測定できる計測器がないこと、防護マスク等の装備の機能を考慮しつつ、甲状腺機能低下症の急性障害を予防するため、念のため、安定ヨウ素剤の服用について考慮します。

また、防災関係者が住民の避難誘導、連絡等のために全面緊急事態以降において屋外で災害対策業務に従事する場合は、各所属機関からの服用の指示に基づき、安定ヨウ素剤を服用します。また、作業が1日以上継続する場合は、連続服用も考慮します。

放射性ヨウ素がほとんど存在しない場合や、原子炉の運転停止後から時間が経過して、放射性ヨウ素がほとんどなくなっている場合には、安定ヨウ素剤の服用は必要ありません。

## 服用ができない場合

次の該当者は安定ヨウ素剤の服用できません

- ヨウ素に過敏症の既往がある者
  - ヨウ素に過敏症がある場合、あるいはポピドンヨード液（うがい薬や消毒薬に含まれています）、ルゴール液を使用した後、気分不良、吐き気、嘔吐、腹痛、蕁麻疹、ぜんそく発作、呼吸困難、血圧低下などのアレルギー反応を経験したことがある場合は、安定ヨウ素剤の服用はできません。



ポピドンヨード液

ヨウ素に対して過敏症の既往がある人は安定ヨウ素剤を服用できません。  
安定ヨウ素剤を服用した後、または、ヨウ素が含まれているポピドンヨード液（うがい薬や消毒薬）、ルゴール液を使用した後に、気分不良や吐き気、嘔吐、腹痛、蕁麻疹、ぜんそく発作、呼吸困難、血圧低下などのアレルギー反応を経験した事がある場合は、ヨウ素に対して過敏症があるため、安定ヨウ素剤の服用はできません。

放射性ヨウ素の放出前に避難をしたり、活動を中止する必要があります。



## 服用に注意が必要な場合①

次の場合は安定ヨウ素剤の服用に注意が必要です

- ヨード造影剤過敏症；造影剤過敏症には種々の要因による過敏症が含まれており、その一部がヨウ素過敏症と考えられます。しかし造影剤過敏症に含まれるヨウ素過敏症の割合は推測できません。そのため、すべての造影剤過敏症の人が、安定ヨウ素剤服用によってヨウ素過敏症を発症するとは限りませんが、造影剤過敏症の人は、事前にヨウ素過敏症があるか医師に相談しておくことが望ましい。
- 甲状腺機能亢進症；甲状腺機能亢進症がある場合は、ヨウ素の甲状腺摂取率が上昇しているため、安定ヨウ素剤を服用するが、病状の悪化の恐れがある。
- 甲状腺機能低下症；甲状腺機能低下が悪化する恐れがある。
- 腎機能障害、先天性筋強直症、高カリウム血症；安定ヨウ素剤には、カリウムが含まれるため、血清カリウム濃度の上昇によって病状が悪化する恐れがある。
- 低補体血症性蕁麻疹様血管炎、ジューリング疱疹状皮膚炎；日本では、極めて稀な病気であるが、ヨウ素に過敏であると考えられており、ヨウ素摂取により病状が悪化するとされている。
- 肺結核；ヨウ素は結核組織に集まりやすく、結核を再燃させる恐れがある。

次の場合は、安定ヨウ素剤の服用に注意が必要で、各個人でかかりつけの医師と安定ヨウ素剤服用の可否について事前に相談し、安定ヨウ素剤の服用をするか否かを決定しておく必要があります。

- ヨード造影剤過敏症；造影剤過敏症には種々の要因による過敏症が含まれており、その一部がヨウ素過敏症と考えられます。しかし造影剤過敏症に含まれるヨウ素過敏症の割合は推測できません。そのため、すべての造影剤過敏症の人が、安定ヨウ素剤服用によってヨウ素過敏症を発症するとは限りませんが、造影剤過敏症の人は、事前にヨウ素過敏症があるか医師に相談しておくことが望ましいです。
- 甲状腺機能亢進症；ヨウ素の甲状腺摂取率が上昇しているため、安定ヨウ素剤を服用しますが、病状の悪化の恐れがあります。
- 甲状腺機能低下症；悪化する恐れがあります。
- 腎機能障害、先天性筋強直症、高カリウム血症；安定ヨウ素剤には、カリウムが含まれるため、血清カリウム濃度の上昇によって病状が悪化する恐れがあります。
- 低補体血症性蕁麻疹様血管炎、ジューリング疱疹状皮膚炎；日本では、極めて稀な病気ではありますが、ヨウ素に過敏であると考えられており、ヨウ素摂取により病状が悪化するとされています。
- 肺結核；ヨウ素は結核組織に集まりやすく、結核を再燃させる恐れがあります。

## 服用に注意が必要な場合②

次の薬剤を服用している場合は、安定ヨウ素剤の服用に注意が必要です。

- 現在服用している薬剤と安定ヨウ素剤を併用した場合、健康影響が起こる可能性があります。
- ただし、1回の服用であれば重大な健康影響への懸念は少ないと考えられます。
  - カリウム含有製剤：カリウム補給
  - カリウム貯留性利尿剤：高血圧症
  - エプレレノン：高血圧症
  - リチウム製剤：双極性障害
  - 抗甲状腺薬：甲状腺機能低下症
  - ACE阻害剤：高血圧
  - アンジオテンシンII受容体拮抗剤：高血圧
  - アリスキレンフマル酸塩：高血圧症

次の薬剤を服用している場合は、安定ヨウ素剤と併用した場合に、健康影響が起こる可能性があるため、事前に医師と相談する事が望ましいです。

ただし、1回の服用であれば、重大な健康影響への懸念は少ないと考えられます。安定ヨウ素剤を服用した場合は、かかりつけの医師を受診し、必要な検査等を受けてください。

- カリウム含有製剤：カリウム補給
- カリウム貯留性利尿剤：高血圧症
- エプレレノン：高血圧症
- リチウム製剤：双極性障害
- 抗甲状腺薬：甲状腺機能低下症
- ACE阻害剤：高血圧
- アンジオテンシンII受容体拮抗剤：高血圧
- アリスキレンフマル酸塩：高血圧症

## 安定ヨウ素剤服用時の注意点

安定ヨウ素剤予防服用にあたって注意すべき事項

- 甲状腺機能異常症  
→ 服用（長期摂取でなければ副作用は少ない）
- 結核  
→ 服用
- 新生児  
→ 服用、ただし甲状腺機能をモニター
- 妊婦  
→ 服用（優先度高い、ただし後期の場合新生児の甲状腺機能をモニター）
- 授乳婦  
→ 服用し、母乳から人工栄養に切り替える

安定ヨウ素剤服用時に次のような場合は、注意が必要です。

甲状腺機能異常症：服用させます。長期摂取でなければ副作用は少ないです。

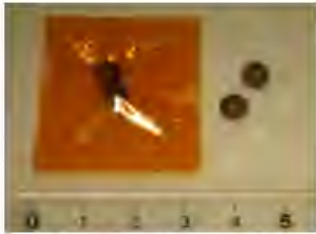
結核：服用させます。

新生児：服用させますが、甲状腺機能をモニターします。

妊婦：優先度が高く、服用させますが、後期の場合新生児の甲状腺機能をモニターします。

授乳婦：服用させますが、母乳から人工栄養に切り替えるように説明します。

## 服用時期、服用方法、服用量



ヨウ化カリウム丸 (50mg)

安定ヨウ素剤水薬  
(12.5mg/ml ヨウ素含有)

- 服用時期
  - 全面緊急事態でPAZに安定ヨウ素剤の服用指示が出た場合
- 服用回数
  - 原則 1 回
  - 連続服用をしなくてよいように、避難等の防護措置を講じることが前提
- 服用方法
  - 経口摂取

対象者	ヨウ素量	ヨウ化カリウム量
新生児	12.5 mg	16.3 mg (安定ヨウ素剤水薬1 ml) 16.3mgゼリー剤1包
生後1ヶ月以上3歳未満	25 mg	32.5 mg (安定ヨウ素剤水薬2 ml) 32.5mgゼリー剤1包
3歳以上13歳未満	38 mg	50 mg (ヨウ化カリウム丸1丸)
13歳以上	76 mg	100 mg (ヨウ化カリウム丸2丸)

安定ヨウ素剤は、日本では、ヨウ化カリウム丸 (50 mg) として承認されています。

安定ヨウ素剤は、放射性ヨウ素を吸入摂取する前に服用します。成人では、1日1回、1回にヨウ化カリウム丸を2丸 (100 mg)、経口摂取します。

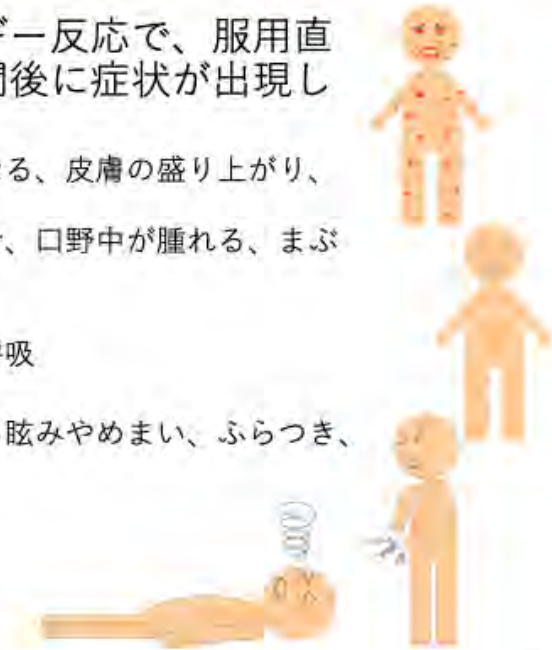
活動が1日以上継続する場合は、2日目以降の服用はなるべく避けるように活動計画を見直す方がいいですが、避けられない場合は、2日目以降の安定ヨウ素剤の連続服用も考慮します。

## 安定ヨウ素剤の副作用

### • ヨウ素に対する過敏症

- ヨウ素に対するアレルギー反応で、服用直後（数分後）から数時間後に症状が出現します。

- 蕁麻疹様皮疹：皮膚が赤くなる、皮膚の盛り上がり、かゆみ
- 浮腫：皮膚のむくみ、唇、舌、口野中が腫れる、まぶたが腫れる
- 喘息発作
- 喘鳴：ゼーゼーと音のする呼吸
- 呼吸困難：息苦しさ
- 血圧低下（ショック）：立ち眩みやめまい、ふらつき、ひどくなると意識を失う
- 嘔吐
- 腹痛



ヨウ素に対する過敏症は、アレルギー反応の一つで、服用直後（数分後）から数時間後に症状が出現します。

症状は、皮膚の症状、粘膜の症状、呼吸器系の症状、循環器の症状、消化器系の症状があります。

- 皮膚の症状  
蕁麻疹様皮疹：皮膚が赤くなる、皮膚の盛り上がり、かゆみ
- 粘膜の症状  
浮腫：皮膚のむくみ、唇、舌、口野中が腫れる、まぶたが腫れる
- 呼吸器系の症状  
喘息発作  
喘鳴：ゼーゼーと音のする呼吸  
呼吸困難：息苦しさ
- 循環器の症状  
血圧低下（ショック）：立ち眩みやめまい、ふらつき、ひどくなると意識を失う
- 消化器系の症状  
嘔吐  
腹痛

## 過剰服用による影響

- 甲状腺機能異常症
  - 安定ヨウ素剤を長期間連用することで、次のような症状が現れる
    - 甲状腺機能亢進症
      - 動悸（頻脈）、体重減少、発汗、高血糖、めまい、不整脈、震え
    - 甲状腺機能低下症
      - 全身倦怠感、無力感、皮膚の乾燥、発汗減少、便秘、体重増加、低体温、浮腫、不整脈

安定ヨウ素剤を一週間以上の長期間連用することで甲状腺の機能異常が起こることがあります。一つは甲状腺機能亢進症で、甲状腺ホルモンが過剰に分泌されて、動悸（頻脈）、体重減少、発汗、高血糖、めまい、不整脈、震えなどの症状がでます。

もう一つは、甲状腺機能低下症で、甲状腺ホルモンの分泌が低下して、全身倦怠感、無力感、皮膚の乾燥、発汗減少、便秘、体重増加、低体温、浮腫、不整脈などの症状がでます。

これらの症状がある場合は、安定ヨウ素剤の服用を中止し、医療機関を受診し、適切な検査等を受けてください。

## 副作用が起こった場合の対処方法

病態	症状	対処方法
アナフィラキシー ショック	ショック症状（意識障害、 血圧低下など）や呼吸器系 の強い症状（強い喘鳴、呼 吸困難）	速やかに（救急車 等で）最寄りの医 療機関を受診
ヨウ素過敏症	膨疹や浮腫、ぜんそく発作、 嘔吐、腹痛など	最寄りの医療機関 を受診
甲状腺機能亢進症	動悸（頻脈）、体重減少、 発汗、高血糖、めまい、不 整脈、震え	直ちに服用を中止 医療機関を受診し、 甲状腺機能の検査 を実施
甲状腺機能低下症	全身倦怠感、無力感、皮膚 の乾燥、発汗減少、便秘、 体重増加、低体温、浮腫、 不整脈	通常は、服用を中 止することで症状 は回復する。

### \*アナフィラキシーショック

ショック症状（意識障害など）や呼吸器系の強い症状（強い喘鳴、呼吸困難）などがあり、状態が重篤な場合は、救急車を呼び、速やかに最寄りの医療機関を受診してください。この場合は、アドレナリンの投与や抗ヒスタミン薬、副腎皮質ステロイド薬などを投与し、入院して経過観察が必要です。

### \*ヨウ素過敏症

蕁麻疹様皮疹や浮腫、ぜんそく発作、嘔吐、腹痛など症状が現れたら、医療機関を受診してください。この場合、軽い皮膚や粘膜症状の場合は抗ヒスタミン薬、呼吸器症状には気管支拡張薬、症状が重くなってくると経口副腎皮質ステロイド薬などの内服薬を投与します。

### \*長期連用による副作用

甲状腺機能亢進症または甲状腺機能低下症の症状が出現した場合は、安定ヨウ素剤の服用を中止して、医療機関を受診してください。

通常は、安定ヨウ素剤の服用を中止することで、症状は回復します。

## まとめ

- 安定ヨウ素剤は体内に取り込んだ放射性ヨウ素の甲状腺への影響のみに防護効果
- 安定ヨウ素剤は、外部被ばくの防護効果なし
- 安定ヨウ素剤服用時は、避難や屋内退避など他の内部被ばくの防護対策も必要
- 安定ヨウ素剤は、放射性ヨウ素の放出がない場合には、服用不要
- 安定ヨウ素剤の服用ができない場合、注意が必要な場合を確認するため、事前に問診票で確認



# 原子力防災体制

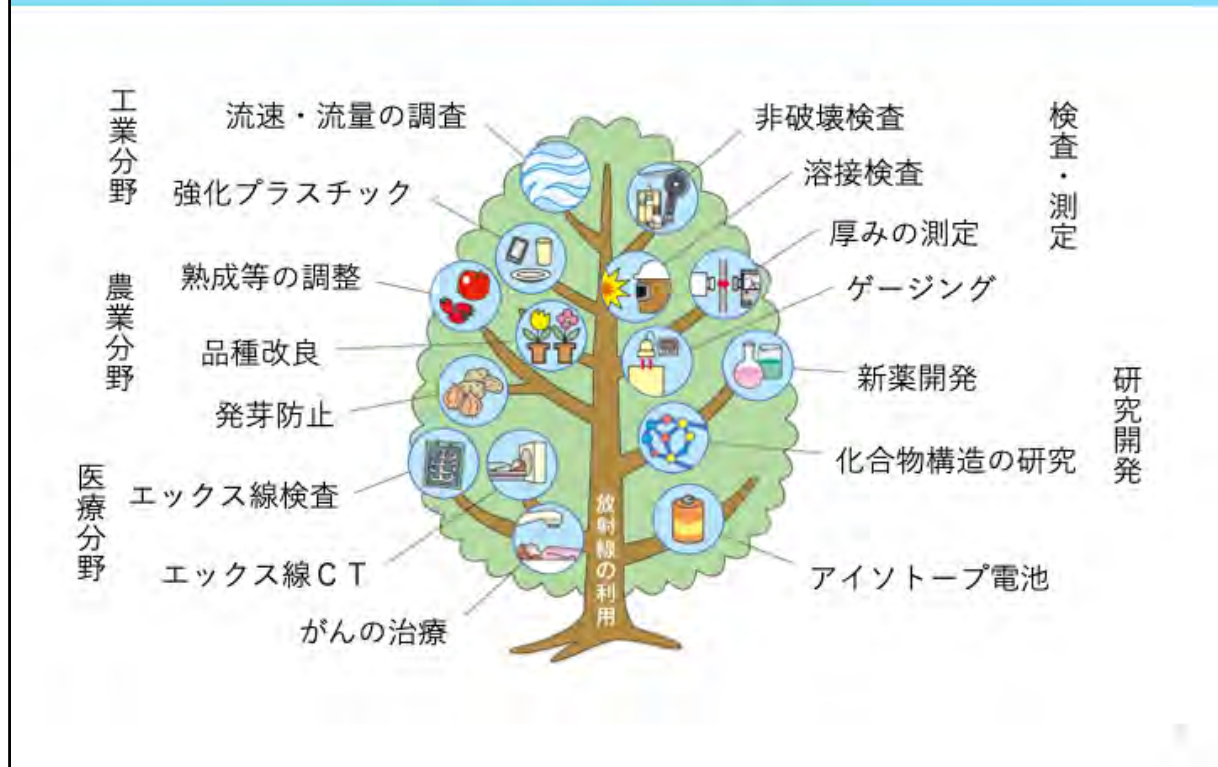
原子力災害 基礎研修  
原子力災害基礎-1

時間：30分

内容

- 放射線の様々な利用
- 放射線事故・災害の種類
- 原子力災害
- 関連文書
- 原子力災害対策指針
- 原子力災害対策重点区域
- 緊急事態の段階
- 緊急事態区分及び緊急時活動レベル(EAL)
- 運用上の介入レベル(OIL)
- OILの初期設定値と防護措置の内容
- 原子力災害時の防護の考え方・基準
- 原子力災害時の医療体制
- 安定ヨウ素剤の予防服用の体制
- 緊急時モニタリング
- 避難退域時検査及び除染

## 放射線の様々な利用



放射線は、医療のみならず、農業、工業などの様々分野で利用されています。

医療の分野では、診断に利用するX（エックス）線撮影、X（エックス）線の透過度の差から臓器を画像化するCT（コンピューター断層撮影）、注射器、手術用の手袋やガウンなどの滅菌、ガンの治療にも利用されています。

農業分野では、放射線を照射することで突然変異を惹起して、病気に強い品種や栄養価値を高めた品種の開発などの品種改良やジャガイモの発芽防止にも利用されています。また、不妊化した成虫を野外に放し、繁殖を抑制することによる害虫の駆除にも役立っています。

工業の分野では、自動車のタイヤなどの高分子化合物に放射線を当てると、熱が強くなり、機械的強度も増します。また、医療のX（エックス）線撮影と同じように物を壊さないで内部を検査する非破壊検査や連続的に物の厚さや密度を測るのにも利用されています。

また、半減期を使用した年代測定や放射性物質の熱を使用したアイソトープ電池等にも利用されています。

出典：原子力・エネルギー図面集2016

## 放射線事故・災害の種類



原子力災害は、原子力発電所や原子力施設などの事故・災害です。原子力災害対策特別措置法では、原子力災害とは、原子力緊急事態により国民の生命、身体または財産に生ずる被害を指します。ここでいう原子力緊急事態とは、原子力事業者の原子炉等の運転等により放射性物質または放射線が異様な水準で当該原子力事業者の原子力事業所外へ放出された事態を指します。

その他、放射線の事故・テロ・災害には、放射線源による外部被ばく、放射性物質の拡散による汚染と内部被ばくを生じるものがあります。爆発物を使用した放射性物質の拡散の場合は、被災者に放射性物質による汚染や体内への吸入等による内部被ばくに加えて爆傷の被害が生じます。また原子力施設の破壊行為や核兵器の使用では、外部被ばく、内部被ばく、汚染の全てが混在することになります。

放射線事故や災害の種類は、

原子力施設の事故

放射性物質及び放射線の使用施設の事故

核物質や放射性物質の輸送中の事故

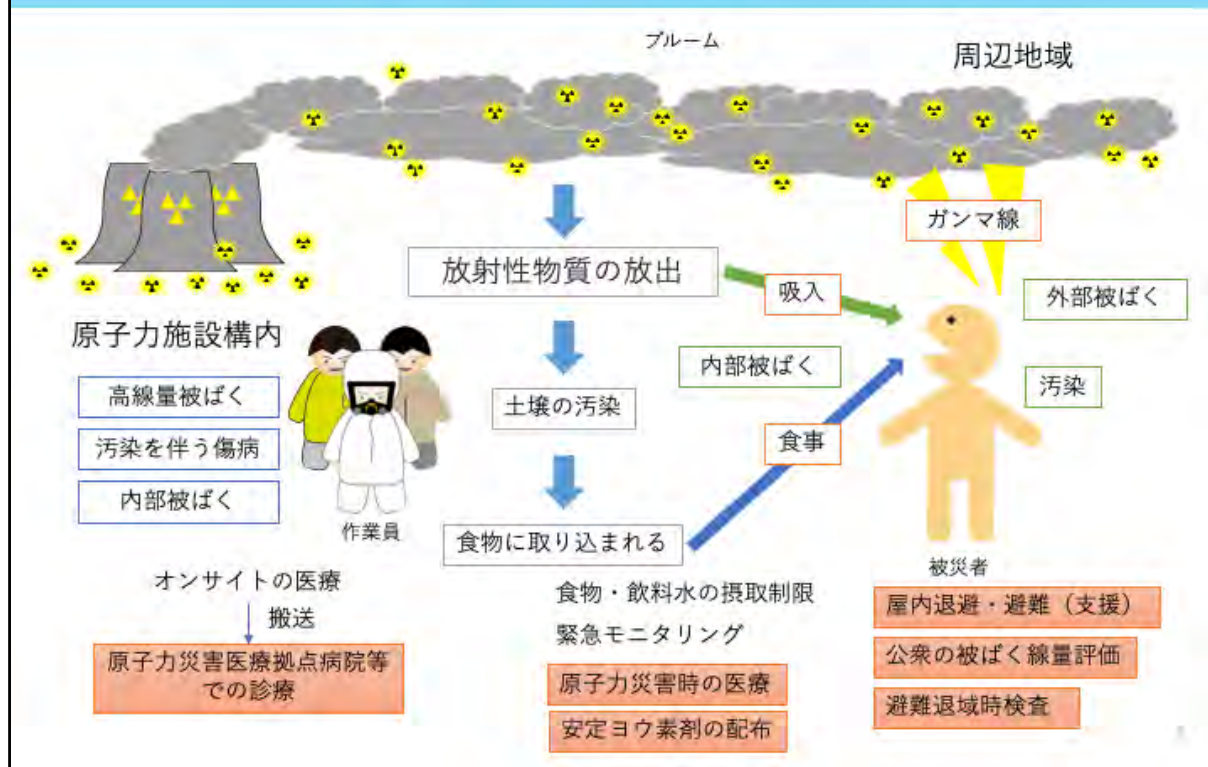
小規模な核兵器

原子力発電所や放射線使用施設への破壊行為、いわゆるテロ

放射性物質を意図的なまき散らし、いわゆる、ダーティボムなど、

様々種類が考えられます。

# 原子力災害

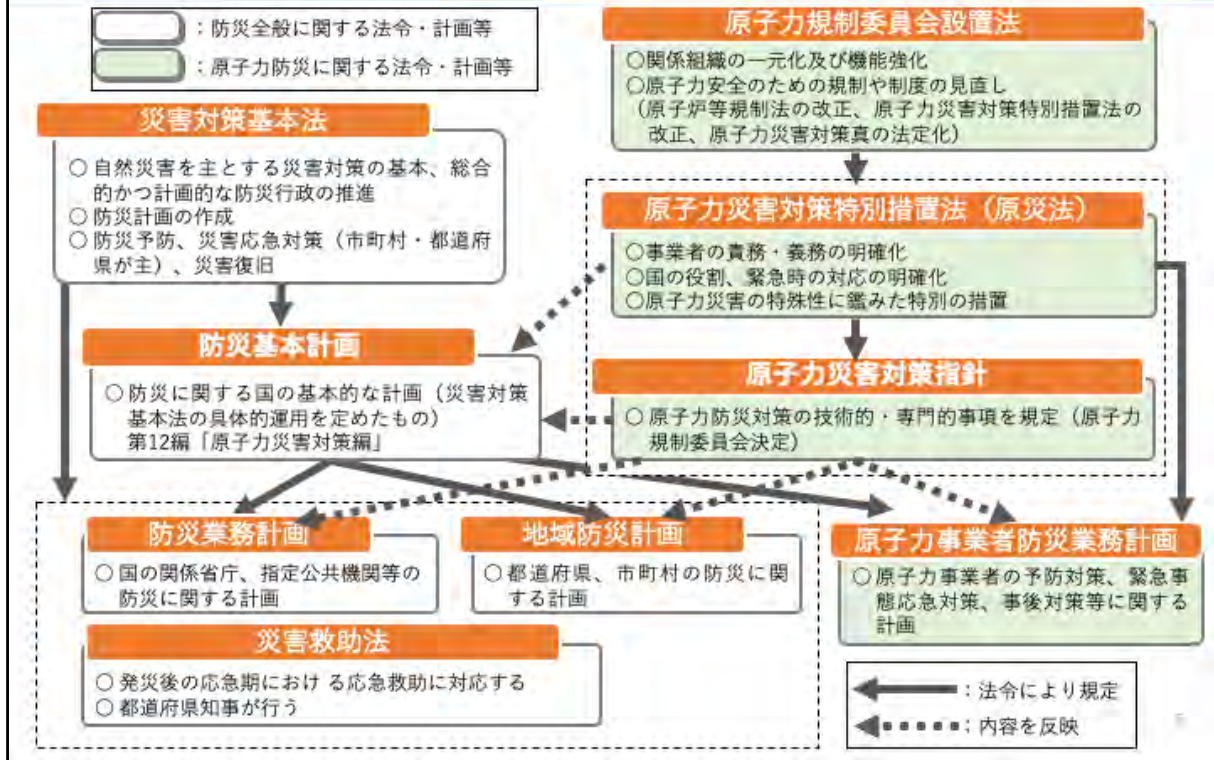


原子力発電所では、ウランが核分裂して発生させる熱を発電に利用しています。この核分裂によって生じたものが核分裂生成物で、放射性物質を多く含んでいます。主に、キセノン、クリプトンなどの放射性希ガス、ヨウ素-131、ヨウ素-133、トリチウムの揮発性物質、クロム-51、マンガン-54、鉄-59、コバルト-58、コバルト-60、セシウム-134、セシウム-137、ストロンチウム-90など粒子状物質の気体や液体が生じます。事故で燃料のペレットや被覆管が破損すると、これらの放射性物質が外部へ漏れ出ます。

福島第一原子力発電所の事故では、津波によって全電源が喪失し、そのために原子炉を冷却できなくなり、原子炉内の温度や圧力が上昇して大量の放射性物質が環境中に放出されました。放出された気体状の放射性物質は、雲のような状態で大気中を流れます。このプルームから降ってきた放射性物質が地表に沈着したり、野菜などの食物に取り込まれます。そこで、プルームが通過した地域にいと汚染したり、プルームからのガンマ線による外部被ばくをしたり、吸入や食事から内部被ばくをしたりします。

原子力災害時における医療対応には、通常の救急医療、災害医療に加えて被ばく医療の考え方が必要となります。すなわち、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供する事です。

# 原子力防災に関する主な法令及び計画



原子力災害も他の災害と同じように「災害対策基本法」と、「災害対策基本法」等の特別法である、「原子力災害対策特別措置法」が基本になります。

また、「災害対策基本法」に基づき、中央防災会議は、内閣の重要政策に関する会議の一つとして、内閣総理大臣をはじめとする全閣僚、指定公共機関の代表者及び学識経験者により構成され、防災基本計画の作成や、防災に関する重要事項の審議等を行います。

この防災基本計画は、政府の防災対策に関する基本的な計画で、災害の種類に応じて、災害予防・事前準備、災害応急対策、災害復旧・復興という災害対策の時間的順序に沿って記述され、国、地方公共団体、住民等、各主体の責務を明確にするとともに、それぞれが行うべき対策をできるだけ具体的に記述されています。その第12編が原子力災害対策についてです。

さらに、原子力災害対策指針は、「原子力災害対策特別措置法」に基づき、原子力規制委員会が、原子力災害策を円滑に実施するために、専門的・技術的事項について定めたものです。

この防災基本計画及び原子力災害対策指針に基づき、指定行政機関及び指定公共機関は防災業務計画を、地方公共団体は地域防災計画を作成し、災害

## 原子力災害対策指針（H30.7.25全部改正）

- 原子力災害対策指針は、原子力災害対策特別措置法に基づき、原子力事業者、指定行政機関の長及び指定地方行政機関の長、地方公共団体、指定公共機関及び指定地方公共機関その他の者が原子力災害対策を円滑に実施するために定めるもの。
- 国民の生命及び身体の安全を確保することが最も重要であるという観点から、緊急事態における原子力施設周辺の住民等に対する放射線の重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するための防護措置を確実なものとする。
- 原子力災害特別措置法では、次の事項を定めるとされている。
  - 一 原子力災害対策として実施すべき措置に関する基本的な事項
  - 二 **原子力災害対策の実施体制**に関する事項
  - 三 原子力災害対策を重点的に実施すべき区域の設定に関する事項
  - 四 前三号に掲げるもののほか、**原子力災害対策の円滑な実施の確保に関する重要事項**

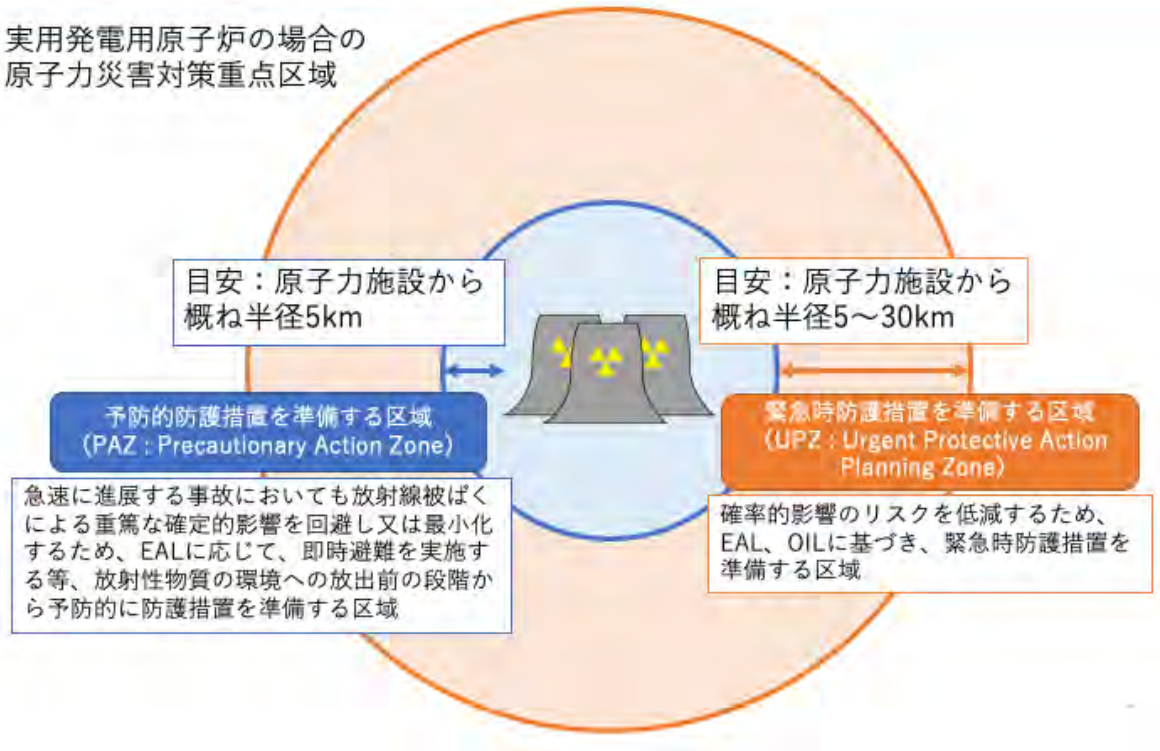
本指針は、原子力災害対策特別措置法(平成11年法律第156号。以下「原災法」という。)第6条の2第1項に基づき、原子力事業者、指定行政機関の長及び指定地方行政機関の長、地方公共団体、指定公共機関及び指定地方公共機関その他の者が原子力災害対策を円滑に実施するために定められたものです。

本指針の目的は、「国民の生命及び身体の安全を確保することが最も重要であるという観点から、緊急事態における原子力施設周辺の住民等に対する放射線の重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するための防護措置を確実なものとする」とあります。

この指針を十分に理解し、関係者の間で共通認識としておくことは、原子力災害に対応するにあたって、極めて重要です。また、様々な防護措置等につ

# 原子力災害対策重点区域

実用発電用原子炉の場合の  
原子力災害対策重点区域



## 予防的防護措置を準備する区域 (PAZ : Precautionary Action Zone)

PAZとは、急速に進展する事故においても放射線被ばくによる重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、EALに応じて、即時避難を実施する等、通常の運転及び停止中の放射性物質の放出量とは異なる水準で放射性物質が放出される前の段階から予防的に防護措置を準備する区域です。発電用原子炉施設に係るPAZの具体的な範囲については、IAEAの国際基準において、PAZの最大半径を原子力施設から3～5 kmの間で設定すること(5kmを推奨)とされていること等を踏まえ、「原子力施設からおおむね半径5km」を目安としています。

## 緊急防護措置を準備する区域 (UPZ : Urgent Protective Action Planning Zone)

UPZとは、確率的影響のリスクを低減するため、EAL、OILに基づき、緊急防護措置を準備する区域です。発電用原子炉施設に係るUPZの具体的な範囲については、IAEAの国際基準において、UPZの最大半径は原子力施設から5～30kmの間で設定されていること等を踏まえ、「原子力施設からおおむね半径30km」を目安としています。

ただし、炉規法第43条の3の33の規定に基づく廃止措置計画の認可を受け、かつ、照射済燃料集合体が十分な期間冷却されたものとして原子力規制委員会が定めた発電用原子炉施設については、原子力災害対策重点区域の範囲は原子力施設からおおむね半径5kmを目安とし、当該原子力災害対策重点区域の全てをUPZとしています。

## 緊急事態の段階

### 1. 準備段階

- ・原子力事業者、国、地方公共団体等がそれぞれの行動計画を策定
- ・関係者に周知
- ・訓練等で検証・評価し、改善

### 2. 初期対応段階

- ・情報が限られた中でも、放射線被ばくによる重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するため、迅速な防護措置等の実施

### 3. 中期対応段階

- ・放射性物質又は放射線の影響を適切に管理
- ・環境放射線モニタリングや解析による放射線状況の把握
- ・初期対応段階で実施した防護措置の変更・解除や長期にわたる防護措置の検討

### 4. 復旧段階

- ・その段階への移行期に策定した被災した地域の長期的な復旧策の計画に基づき、通常の社会的・経済的活動への復帰の支援

緊急事態においては、事態の進展に応じて、関係者が共通の認識に基づき意思決定を行うことが重要です。

すなわち、緊急事態への対応の状況を、準備段階・初期対応段階・中期対応段階・復旧段階に区分し、各段階の対応の詳細について検討しておくことが有効です。

・準備段階では、原子力事業者、国、地方公共団体等がそれぞれの行動計画を策定して関係者に周知するとともに、これを訓練等で検証・評価し、改善する必要があります。

・初期対応段階では、情報が限られた中でも、放射線被ばくによる重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するため、迅速な防護措置等の対応を行う必要があります。

・中期対応段階では、放射性物質又は放射線の影響を適切に管理することが求められ、環境放射線モニタリングや解析により放射線状況を十分に把握し、それに基づき、初期対応段階で実施した防護措置の変更・解除や長期にわたる防護措置の検討を行う必要があります。

・復旧段階では、その段階への移行期に策定した被災した地域の長期的な復旧策の計画に基づき、通常の社会的・経済的活動への復帰の支援を行う必要があります。



## 緊急事態区分及び緊急時活動レベル(EAL)

- 原子力施設の状況に応じた3区分
- 各区分での原子力事業者、国及び地方公共団体の果たすべき役割の明確化
  - **警戒事態**；その時点では公衆への放射線による影響やそのおそれが緊急のものではないが、原子力施設における異常事象の発生又はそのおそれがあるため、情報収集や、緊急時モニタリングの準備、施設敷地緊急事態において早期の避難等の防護措置の実施が必要な者の避難等の防護措置の準備を開始する必要がある段階
  - **施設敷地緊急事態**；原子力施設において公衆に放射線による影響をもたらす可能性のある事象が生じたため、原子力施設周辺において緊急時に備えた避難等の主な防護措置の準備を開始する必要がある段階
  - **全面緊急事態**；原子力施設において公衆に放射線による影響をもたらす可能性が高い事象が生じたため、重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するため、迅速な防護措置を実施する必要がある段階

緊急事態の初期対応段階においては、情報収集により事態を把握し、原子力施設の状況や当該施設からの距離等に応じ、防護措置の準備やその実施等を適切に進めることが重要です。このような対応を実現するため、以下のとおり、原子力施設の状況に応じて、緊急事態を、警戒事態、施設敷地緊急事態及び全面緊急事態の3つに区分し、各区分における、原子力事業者、国及び地方公共団体のそれぞれが果たすべき役割を明らかにしています。

これらの緊急事態区分に該当する状況であるか否かを原子力事業者が判断するための基準として、原子力施設における深層防護を構成する各層設備の状態、放射性物質の閉じ込め機能の状態、外的事象の発生等の原子力施設の状態等に基づき緊急時活動レベル(Emergency Action Level；EAL)を設定しています。

## 運用上の介入レベル（OIL）

- OIL（Operational Intervention Level）とは、防護措置導入の判断に用いられる測定器による測定値などより求めたレベル
- OILは、事故の態様、放出放射性核種の別、気象条件、被ばくの経路（外部、吸入、食物摂取）等を仮定して、包括的判断基準（個々の防護措置の実施によって予想される線量あるいは既に受けてしまった線量によって表わされる判断基準）に相当する計測可能な値として導き出される。
- OILとしては、空間線量率、表面汚染密度、食品中の放射性核種濃度から初期設定値が定められている。

緊急時活動レベル（EAL）の他に、放射性物質の放出後、緊急時モニタリングの結果等の実測値に基づいて防護措置を実視する必要があります。この防護措置を実施すべき基準が、運用上の介入レベル（OIL）です。

次項に初期設定値と防護措置の内容を記載しています。

## OILの初期設定値と防護措置の内容

	基準の種類	基準の概要	初期設定値 <sup>*1</sup>	防護措置の概要		
緊急防護措置	OIL 1	地表面からの放射線、放射性物質の吸入等による被ばくを防止するため、住民等を避難や屋内退避等させるための基準	地上1mでの線量率 <sup>*2</sup> 500 $\mu$ Sv/h	数時間内に区域を特定し、避難等を実施		
	OIL 4	経口摂取、皮膚汚染からの被ばくを防止するため、除染を講じるための基準	$\beta$ 線：40,000cpm <sup>*3</sup> $\beta$ 線：13,000cpm <sup>*4</sup> 【1ヶ月後】	避難者のスクリーニング、除染		
早期防護	OIL 2	地表面からの放射線、放射性物質の吸入等による被ばく影響を防止するため、地域生産物摂取を制限、住民等を1週間程度内に一時移転させるための基準	地上1mでの線量率 <sup>*2</sup> 20 $\mu$ Sv/h	生産物の摂取制限、1週間程度内に一時移転		
飲食物摂取制限 <sup>†</sup>	飲食物のスクリーニング基準	OIL6による飲食物の摂取制限を判断する基準として、飲食物中の放射性核種濃度測定を実施すべき地域を特定する際の基準	地上1mでの線量率 <sup>*2</sup> 0.5 $\mu$ Sv/h <sup>†</sup> (BGによる寄与も含めた値)	数日内に飲食物中の放射性核種濃度の測定区域を特定		
	OIL 6	経口摂取による被ばく影響を防止するため、飲食物の摂取を制限する際の基準	核種 <sup>*1</sup>	飲料 <sup>†</sup> 水、牛乳・乳製品、魚、他	基準を超えるものは摂取制限	
			ヨウ素	300Bq/kg		2,000Bq/kg
			セシウム	200Bq/kg		500Bq/kg
			プルトニウム、超U元素、 $\alpha$ 核種	1Bq/kg		10Bq/kg
ウラン	20Bq/kg	100Bq/kg				

- ※ 1 「初期設定値」とは緊急事態当初に用いるOILの値であり、地上沈着した放射性核種組成が明確になった時点で必要な場合にはOILの初期設定値は改定される。
- ※ 2 本値は地上1mで計測した場合の空間放射線量率である。実際の適用に当たっては、空間放射線量率計測機器の設置場所における線量率と地上1mでの線量率との差異を考慮して、判断基準の値を補正する必要がある。
- ※ 3 我が国において広く用いられている $\beta$ 線の入射窓面積が $20\text{cm}^2$ の検出器を利用した場合の計数率であり、表面汚染密度は約 $120\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となる。他の計測器を使用して測定する場合には、この表面汚染密度より入射窓面積や検出効率を勘案した計数率を求める必要がある。
- ※ 4 ※ 3と同様、表面汚染密度は約 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となり、計測器の仕様が異なる場合には、計数率の換算が必要である。
- ※ 5 「地域生産物」とは、放出された放射性物質により直接汚染される野外で生産された食品であって、数週間以内に消費されるもの（例えば野菜、該当地域の牧草を食べた牛の乳）をいう。
- ※ 6 実効性を考慮して、計測場所の自然放射線によるバックグラウンドによる寄与も含めた値とする。
- ※ 7 その他の核種の設定の必要性も含めて今後検討する。その際、IAEAのGSG-2におけるOIL6値を参考として数値を設定する。
- ※ 8 根菜、芋類を除く野菜類が対象。

※9 IAEAでは、飲食物摂取制限が効果的かつ効率的に行われるよう、飲食物中の放射性核種濃度の測定が開始されるまでの間の暫定的な飲食物摂取制限の実施及び当該測定の対象の決定に係る基準であるOIL3等を設定しているが、我が国では、放射性核種濃度を測定すべき区域を特定するための基準である「飲食物に係るスクリーニング基準」を定める。

# 原子力災害時の防護の考え方・基準

		PAZ	UPZ	UPZ外
警戒事態	地方公共団体	・住民への情報伝達 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備	・住民への情報伝達	・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力
	国	・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備の指示		・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力の要請
施設敷地緊急事態	地方公共団体	・住民への情報伝達 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難 ・住民避難の準備 ・安定ヨウ素剤の服用の準備	・住民への情報伝達 ・屋内退避の準備	・住民への情報伝達 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ ・住民の避難準備への協力
	国	・施設敷地緊急事態要避難者の避難の指示 ・住民避難の準備の指示 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示	・屋内退避の準備の指示	・施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ要請 ・住民の避難の準備への協力の要請
全面緊急事態	地方公共団体	・住民への情報伝達 ・住民避難 ・住民等への安定ヨウ素剤の服用の指示	・住民への情報伝達 ・屋内退避 ・安定ヨウ素剤の服用の準備 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応	・住民への情報伝達 ・住民避難の受け入れ ・安定ヨウ素剤の服用の準備 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応
	国	・住民避難の指示 ・地方公共団体への安定ヨウ素剤の服用の指示	・屋内退避の指示 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応	・住民避難の受け入れ要請 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応

原子力発電所の事故が発生した場合、防護措置が開始されます。

防護措置は、緊急時活動レベル（EAL）に基づいた緊急事態区分に基づいて予め定められている防護措置と、緊急時モニタリング等で得られた測定値を基準値とした運用上の介入レベル（OIL）に基づいて実施されます。

緊急時活動レベル（EAL）に基づいた防護措置の考え方

予防的防護措置を準備する区域（PAZ）においては、確定的影響を回避するために、警戒事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難準備を行い、施設敷地緊急事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難、住民避難の準備及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行い、全面緊急事態にいたった場合は、住民避難及び安定ヨウ素剤の服用されます。

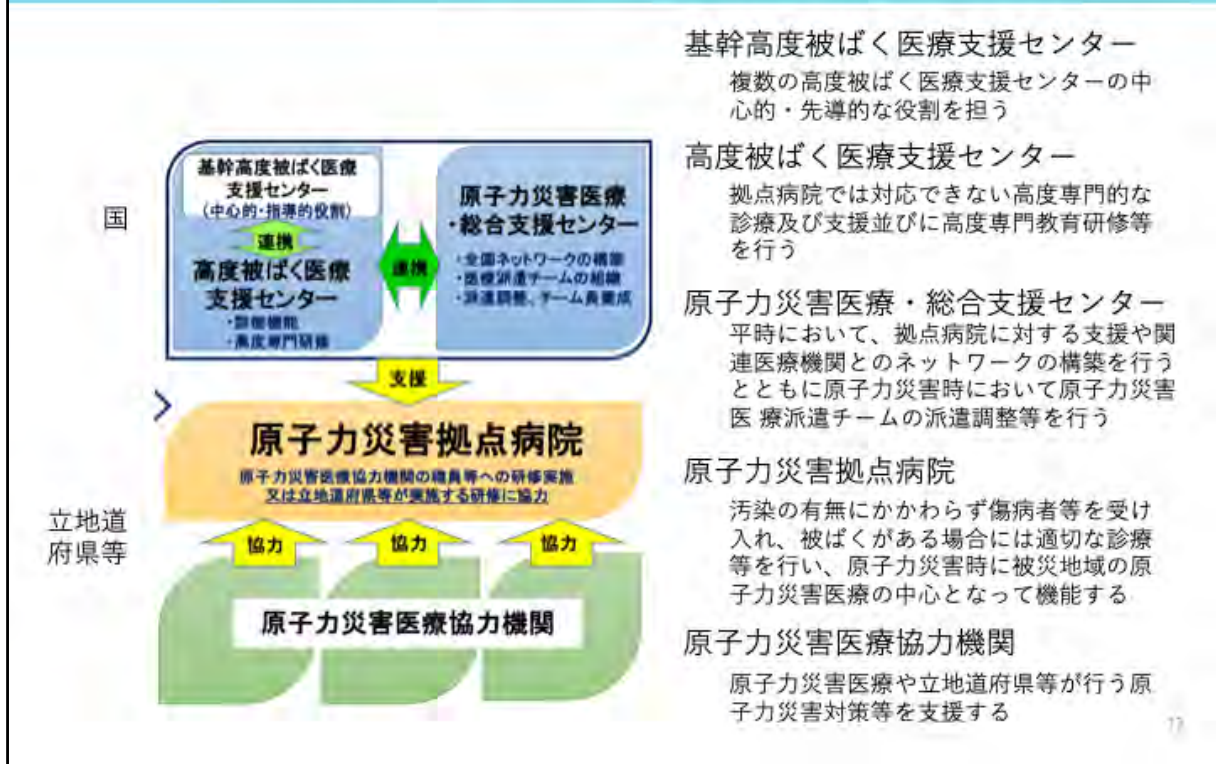
また、緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）においては、確率的影響のリスクを低減するために、施設敷地緊急事態において、屋内退避の準備を行い、全面緊急事態において、屋内退避及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行います。

放射性物質の放出後、UPZ及びUPZ外においては、OILに基づいて、防護措置が実施されます。

施設敷地緊急事態要避難者

避難の実施に通常以上の時間がかかり、かつ、避難の実施により健康リスクが高まらない災害時要援護者等（傷病者、入院患者、高齢者、障害者、外国人、乳幼児、妊産婦その他の災害時に援護を必要とする者をいう。）、安定ヨウ素剤を事前配布されていない者及び安定ヨウ素剤の服用が不適切な者のうち、施設敷地緊急事態において早期の避難等の防護措置の実施が必要な者をいいます。

# 原子力災害時の医療体制



原子力災害時における医療対応には、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供することが必要となります。そのためには、各地域の状況を勘案して、各医療機関等が各々の役割を担うことが必要であり、平時から救急・災害医療機関が被ばく医療に対応できる体制と指揮系統を整備・確認しておくことが重要です。

次の体制が整備されています。

- 原子力災害時において、被災地域の原子力災害医療の中心となって機能し、汚染の有無にかかわらず傷病者等を受け入れ、被ばくがある場合には適切な診療等を行う「原子力災害拠点病院」
- 原子力災害医療や立地道府県等が行う原子力災害対策等を支援する「原子力災害医療協力機関」
- 拠点病院では対応できない高度専門的な診療及び支援並びに高度専門教育研修等を行う「高度被ばく医療支援センター」
- 複数の高度被ばく医療支援センターの中心的・先導的な役割を担う「基幹高度被ばく医療支援センター」
- 平時において、拠点病院に対する支援や関連医療機関とのネットワークの構築を行うとともに原子力災害時において原子力災害医療派遣チームの派遣調整等を行う「原子力災害医療・総合支援センター」
- 拠点病院等に所属し、原子力災害が発生した立地道府県等内において救急医療等を行う「原子力災害医療派遣チーム」

## 各地域の担当



高度被ばく医療支援センターの担当地域は次のようになっています。

- 弘前大学；北海道、青森県、宮城県
- 福島県立医科大学；福島県、新潟県、茨城県、神奈川県、静岡県
- 広島大学；石川県、富山県、岐阜県、福井県、滋賀県、京都府、大阪府、鳥取県、島根県、山口県、愛媛県
- 長崎大学；福岡県、佐賀県、長崎県、鹿児島県

## 安定ヨウ素剤の予防服用の体制

- 放射性ヨウ素は、身体に取り込まれると、甲状腺に集積し、数年～十数年後に甲状腺がん等を発生させる可能性がある。このような放射性ヨウ素による内部被ばくは、安定ヨウ素剤をあらかじめ服用することで低減することが可能である。このため、放射性ヨウ素による内部被ばくのおそれがある場合には、安定ヨウ素剤を服用できるよう、その準備をしておくことが必要である。

〔服用の方策〕 投与指示は、原子力規制委員会が判断

- PAZ：事前配布し、原則として、避難の際に服用の指示に基づき服用し、服用できない者は、施設敷地緊急事態において避難する。
- PAZ外：避難や一時移転等と併せて、原子力施設の状況等に応じて必要性を判断して配布・服用を指示。

原子力発電所で事後が発生した場合、放射性ヨウ素を含む放射性物質が環境中に放出される場合があります。放射性ヨウ素が体内に取り込まれると甲状腺に集積し、将来ガンなどを発生させる可能性があります。

そのため、事前に安定ヨウ素剤を服用すると、血中のヨウ素濃度が高くなり、甲状腺ホルモンの合成が一時的に抑えられ、甲状腺へのヨウ素の取り込みが抑制されます。これが、安定ヨウ素剤の予防服用です。

安定ヨウ素剤の服用に当たっては、甲状腺に対する被ばく防止以外に効果がないこと、抑制効果は1日程度しか続かず、服用するタイミングが重要なこと、副作用の可能性があること、避難や屋内退避等の防護措置と組み合わせて実施されることにも注意しなければなりません。

通常は、市販されている丸薬を大人が2丸、小児が1丸、3歳未満には、ヨウ化カリウムゼリー剤またはヨウ化カリウム末から調整した水薬を服用してもらいます。

服用の指示は、原子力規制委員会が判断し、予防的防護措置を準備する区域（PAZ）においては、事前に配布し避難の際に服用します。緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）においては、プラントの状況、空間放射線量率等に応じて避難や一時移転等の防護措置が講じられ、その際に服用が指示されます。



## 緊急時モニタリング

- 国、地方公共団体、原子力事業者及び関係指定公共機関は、緊急時モニタリング実施計画に基づいて緊急時モニタリングセンターの指揮の下、緊急時モニタリングを実施する。初期モニタリングにおいては、**OILによる防護措置の判断に必要な空間放射線量率の測定**を重視する。また、**放射性ヨウ素を中心とした空气中放射性物質濃度の測定**も行う。
- 緊急時モニタリングの結果は、緊急時モニタリングセンターで妥当性を判断した後、国が一元的に集約し、必要な評価を実施して、OILによる防護措置の判断等のために共有し、活用する。また、国は、集約及び共有した全ての緊急時モニタリング結果を分かりやすく、かつ迅速に公表する。

施設敷地緊急事態において、国は、地方公共団体の協力を得て、緊急時モニタリングセンターを立ち上げ、動員計画に基づき必要な動員の要請を行い、緊急時モニタリングを開始する等の初動対応を行います。

## 避難退域時検査及び除染

- 避難退域時検査等による汚染程度の把握は、吸入及び経口摂取による内部被ばくの抑制及び皮膚被ばくの低減、汚染の拡大防止のためには不可欠であり、医療行為を円滑に行うためにも実施しなければならない。
- 避難退域時検査等の実施に当たっては、それが必要な対象全てに対して実施できるような場所を選定すべきであり、この避難退域時検査等は、可能な限りバックグラウンドの値が低い所で行うことが望ましい。
- なお、OILに基づく防護措置としての避難又は一時移転の対象となった住民等については、原子力災害対策重点区域の境界周辺から避難所等までの場所において、避難退域時検査を行い、基準値を超えた場合には簡易除染等を行うことが必要である。

立地道府県等は、OILに基づく防護措置として避難又は一時移転を指示された住民等(ただし、放射性物質が放出される前に予防的に避難した住民等を除く。)を対象に避難退域時検査及び簡易除染を実施します。なお、避難退域時検査及び簡易除染は、避難や一時移転の迅速性を損なわないよう十分留意して行います。また、避難退域時検査及び簡易除染によって健康リスクが高まると判断される住民等については、体調等が悪化しないよう十分配慮します。

## まとめ

- 原子力施設においては、原子力災害の発生を未然に防止するため、炉規法、原災法等に基づき、原子力災害予防対策が講じられる。
- しかし、原子力災害予防対策を講じているにもかかわらず、原子力災害が発生した場合には、原子力事業者、国、地方公共団体等が、住民の健康、生活基盤及び環境への影響を、事態の段階に応じた最適な方法で緩和し、影響を受けた地域が可能な限り早く通常の社会的・経済的な活動に復帰できるよう、様々な行動をとらなければならない。
- これらの行動が、事態の段階に応じて有効に機能するためには、平時から、適切な緊急時の計画の整備を行い、訓練等によって実行できるように、準備を十分に行っておく必要がある。

## 確定的影響の包括的判断基準

包括的判断基準	防護措置あるいは他の措置の例
<b>急性外部被ばく (10時間未満)</b> 赤色骨髄*1: 1 Gy 胎児: 0.1 Gy 体組織*2: 25 Gy (深部0.5cm) 皮膚*3: 10 Gy (100cm <sup>2</sup> )	線量が予測されたら、包括的判断基準以下に線量を保つための予防的緊急防護措置(困難な状況下においても) ・ 公衆への情報提供及び警告 ・ 早期除染等の防護活動を予防的に行う
<b>急性摂取による内部被ばく AD (Δ)</b> (Δ=30日間*4) 赤色骨髄: 0.2 Gy (原子番号90以上の核種*5) 2 Gy (原子番号89以下の核種*5) 甲状腺: 2 Gy 肺*7: 30 Gy 結腸: 20 Gy 胎児*8: 0.1 Gy	もし被ばくを受けたら、以下を実施: ・ 迅速な医療診断、問診及び所要の処置 ・ 汚染管理 ・ 直ちに体内除染*6 (適用可能な場合) ・ 長期医療追跡調査の登録 ・ 包括的な心理カウンセリング

出典: IAEA GSR Part7 TABLE II.1.

\*1 均一な放射場での強い透過性放射線の照射によって生じる赤色骨髄、肺、小腸、生精腺、甲状腺、水晶体に対する外部被ばく  
 \*2 (手やポケットに入れて携帯される放射源などの) 接触により、組織の深さ0.5cm で100cm<sup>2</sup>にもたらされる線量  
 \*3 線量は、表皮から40mg/cm<sup>2</sup>の深度(すなわち0.4mm)で100cm<sup>2</sup>の皮膚組織に対するものである。  
 \*4 AD (Δ)は、被ばくした人の5%に健康影響を生じるような摂取量(I<sub>05</sub>)

によって期間Δの間にもたらされる吸収線量を指す。  
 \*5 放射性核種の摂取量閾値の違いを考慮するため異なる基準を使用。  
 \*6 体内除染に対する包括的判断基準は、体内除染なしの予測線量に基づく。  
 \*7 本文書の目的上、「肺」とは、気道の肺胞-間質領域(AI)を意味する。  
 \*8 子宮内での成長期間における吸収線量。

国際的には、重篤な確定的影響を回避する為の包括的判断基準Generic Criteria (以下GC)、確率的影響のリスクの低減に関する緊急のGC、確率的影響のリスクの低減に関する早期のGC、飲食物制限に関するGC、の4つのGCが定められて、GCを達成するべく種々の基準値が定められている。

## 確率的影響の包括的判断基準

包括的判断基準		防護措置あるいは他の措置の例
以下の包括的判断基準を超える予測線量：緊急防護措置と他の対応措置を実施する		
甲状腺等価線量	50mSv (最初の7日間)	安定ヨウ素剤予防服用
実効線量	100mSv (最初の7日間)	屋内退避、避難、除染、食物やミルク、水の摂取制限、汚染管理、公衆の安心確保
胎児等価線量	100mSv (最初の7日間)	
以下の包括的判断基準を超える予測線量：緊急時の早い段階での防護措置と他の対応措置を実施する。		
実効線量	100mSv (年間)	一時的避難、除染、食物やミルク、水の摂取制限、汚染管理、公衆の安心確保
胎児等価線量	100mSv (子宮内発育全期間)	
以下の包括的判断基準を超えて受けた線量：放射線に起因する健康影響を検出し効率よく対処するため、長期医療対策を実施する。		
実効線量	100mSv (月間)	(医療追跡調査の基礎としての) 特定の放射線感受性の高い臓器の等価線量に基づくスクリーニング、カウンセリング
胎児等価線量	100mSv (子宮内発育全期間)	個々の状況で告知に基づく決定を実施するためのカウンセリング

出典：IAEA GSR Part7 TABLE II.2.

確率的影響に関する包括的基準に関しては、ALARAの概念に従い、可能な限り無理なく達成することを目標としています。

## 飲食物に関する包括的判断基準

包括的判断基準		防護措置あるいは他の措置の例
食物、牛乳、飲料水の摂取および他の商品の使用により以下の包括的判断基準を超える予測線量：防護措置と他の対応措置を実施する		
実効線量	10mSv (年間)	食物、牛乳、飲料水の消費、流通、販売を制限し、他の商品の仕様と流通を制限する。必要な食物、牛乳、飲料水をできるだけ早く交換するか、代替品が入手できない場合は影響を受ける人々を避難させます。食物、牛乳、飲料水を摂取あるいは他の商品を使用した可能性のある人の線量を推定して、表II.2に従って、医療上の注意が必要な線量になったかどうかを判断します。
胎児等価線量	10mSv (子宮内発育全期間)	

出典：IAEA GSR Part7 TABLE II.3.

食品、牛乳、飲料水を制限すると、脱水症状、深刻な栄養失調、その他の深刻な健康への影響が生じる可能性があります。したがって、必要不可欠な食品、牛乳、飲料水は、代替品がある場合に限り制限されるべきです。

# IAEAと原子力災害対策指針のOIL比較

	IAEA (EPR-NPP-OILs)			原子力災害対策指針			
	包括的判断基準 (実効線量)	初期設定値		初期設定値			
避難等	100mSv/週	OIL1	1,000μSv/h	OIL1	500μSv/h 【GC: 50mSv/週に相当】		
除染	皮膚線量10Gy/10時間 100mSv/週	OIL4	γ線: 1μSv/h β線: 60,000cpm	OIL4	β線: 40,000cpm 【GC: 50mSv/週に相当】 β線: 13,000cpm (1ヶ月後の値)		
一時移転等	100mSv/年	OIL2	100μSv/h (炉停止後10日間) 25μSv/h (11日以降)	OIL2	20μSv/h 【GC: 20mSv/年に相当】		
飲食物 摂取制限	10mSv/年	OIL3	1μSv/h	飲食物に係るスク リーニング基準	0.5μSv/h 【GC: 5mSv/年に相当】		
	10mSv/年	OIL7	核種	飲料水 牛乳 食べ物	核種	飲料水 牛乳・乳製品 野菜類、穀 類、肉、魚、 その他	
			I-131				1,000Bq/kg
	10mSv/年	OIL6 (GSG-2より、 核種合計 で評価 Σ≦1)	357核種ごとの値を設定。 うち、 I-131: 3,000Bq/kg Cs-137: 2,000Bq/kg U-238: 100Bq/kg Pu-239: 50Bq/kg		OIL5 (放射線ヨウ素は 甲状腺等価線量 50mSv、それ以外は 実効線量5mSv/年)	放射性セシウム	200Bq/kg
ウラン			20Bq/kg	100Bq/kg			
					プルトニウム及び 超ウラン元素の アルファ核種	1Bq/kg	10Bq/kg
健康調査対象 スクリーニング	幼児の甲状腺 等価線量100mSv	OIL8	0.5μSv/h	OIL8	-		

\*: 根菜、芋類を除く野菜類が対象

出典：平成 30 年 4 月 11 日 原子力規制庁 資料2 「包括的判断基準 (GC) 及び運用上の介入レベル (OIL)について」

# 放射線の基礎

原子力災害 基礎研修

原子力災害基礎-2

講義時間；30分

内容

- 放射線、放射能、放射性物質
- 放射線の種類
- 放射線の性質
- 原子の構造と周期律
- 壊変
- 物理学的半減期
- 放射性核種と半減期
- 放射線的作用
- 放射線的作用と放射線測定器
- 放射線の単位
- 補助単位
- 身の回りの放射線
- 大地の放射線
- まとめ



# 放射線、放射能、放射性物質

**放射線**  
放射性物質から出てくるエネルギー  
ガンマ ( $\gamma$ ) 線  
ベータ ( $\beta$ ) 線  
アルファ ( $\alpha$ ) 線 など

空間中、物質を通過するときのエネルギーの放出あるいは伝播

X線は原子核の外で発生する電磁波  
放射線発生装置から放出される。  
(病院や検診でのレントゲン撮影)

五感で感じられないが、測定器で検知できる

**放射線源  
放射性物質**  
放射線を出す物質  
気体、液体、固体、エアロゾル（液滴）といった形状がある。  
放射性物質を漏れないように容器に密封したものが密封線源

**放射能**  
放射性物質が放射線を出す能力  
数値が大きいほど、放射性物質からたくさんの放射線が出ている。

放射線の事故、災害対応、マニュアルを使用する際には、放射線、放射性物質、放射能という用語を知っておく必要があります。

放射線とは、放射性物質から出てくるエネルギーです。種類としては、高いエネルギーを持つ電磁波のガンマ線、エックス線と高速で動く粒子線のアルファ線、ベータ線などがあります。中性子線は、電荷を持たない放射線です。放射線は原子核が不安定な状態から安定な状態に変化（壊変）するときに出したり、原子核以外では発生装置からも放出されます。

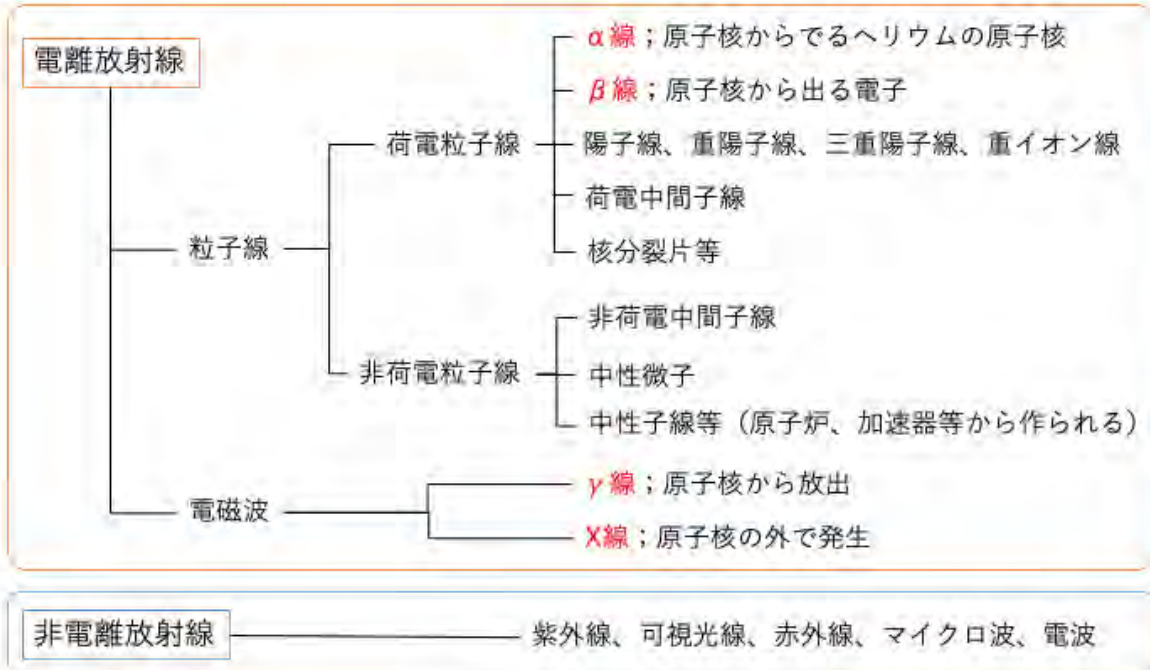
原子は原子核とその周りを回る電子から構成されており、原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されています。原子核がエネルギー的に不安定な場合は、安定になるよう放射線を放出します。原子核から放射線を放出することを壊変といい、壊変は大きく分けると $\alpha$ （アルファ）壊変と $\beta$ （ベータ）壊変があります。

放射線は五感で感じることはできませんが、測定器で検知、計測ができます。

放射性物質とは、放射線を出す物質のことです。形状としては気体、液体、固体などがあります。放射性物質を放射線源ということもあります。

放射性物質が放射線を出す能力のことを放射能といいます。放射能の単位はBq（ベクレル）であり、数値が大きいほど放射性物質からたくさんの放射線が出ていることとなります。

## 放射線の種類



※一般的に放射線といった場合は、電離放射線を指す。

放射線には、物質を構成する原子を電離（+電荷のイオンと-電荷の電子に分離）する能力を持つ電離放射線と原子を電離する能力を持たない非電離放射線があります。

放射線と一般的にいった場合は、電離放射線を指します。

電離放射線には、粒子の粒の流れの粒子線と光の仲間の電磁波があります。

粒子線の仲間には、 $\alpha$ （アルファ）線、 $\beta$ （ベータ）線、中性子線等が含まれます。

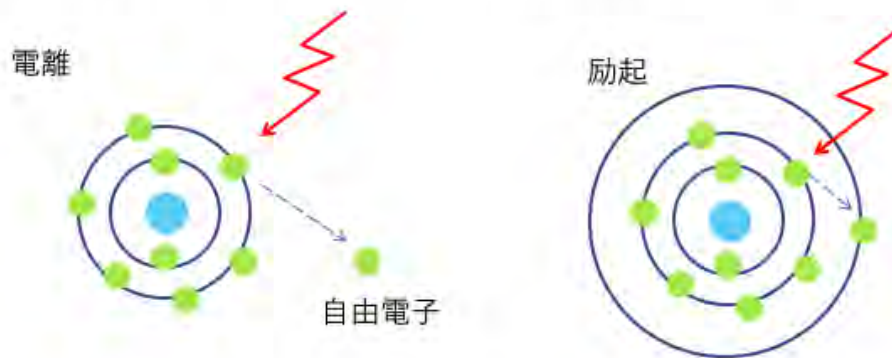
$\alpha$ （アルファ）線は、原子核から放出された陽子2個と中性子2個とが一つになった、ヘリウムの原子核の流れです。 $\beta$ （ベータ）線は、原子核から放出された電子の流れです。

中性子線は、原子核を構成する、中性子の流れです。

電磁波には、X（エックス）線、 $\gamma$ （ガンマ）線があります。X（エックス）線は原子核の外側で発生し、 $\gamma$ （ガンマ）線は原子核の内側で発生し、発生機構で区別しています。

## 電離と励起

- 放射線が物質を通過するとき、放射線が原子や分子にぶつかり相互作用が起こる。
  - 電離：分子（原子）がエネルギーを受けて電子を放出したり、外から電子を得ること
  - 励起：軌道電子が原子から出ず、外側の軌道に移ること



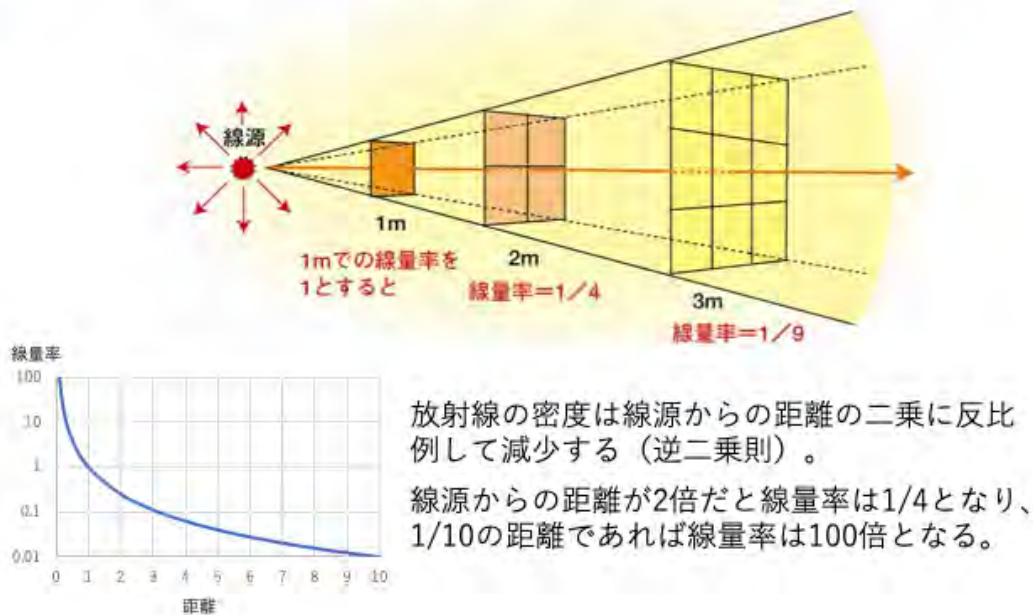
放射線は、物質を通過する際に、物質を構成する原子や分子と互いに影響を与えます。これが放射線と物質の相互作用です。

放射線が物質中を通過する場合、持っているエネルギーにより、原子が持つ軌道電子をはじき出して、陽電荷を帯びた状態の原子（または陽イオンの分子）と自由な電子（自由電子）とに分離します。軌道電子が原子の外に弾き出してしまうことを電離と言います。

軌道電子が原子から飛び出さず、外側の軌道に移ることを励起と言います。励起原子では、外側の軌道電子が内側の空の軌道に移ろうとします。内側の軌道電子が持つエネルギーは小さいので、電子は余分なエネルギーを光（電磁波）の形で放出します。この励起原子から出る光は蛍光と呼ばれます。

## 放射線の性質；等方性

**等方性** 放射線は、放射性物質（線源）から全方向に均一に放出される。



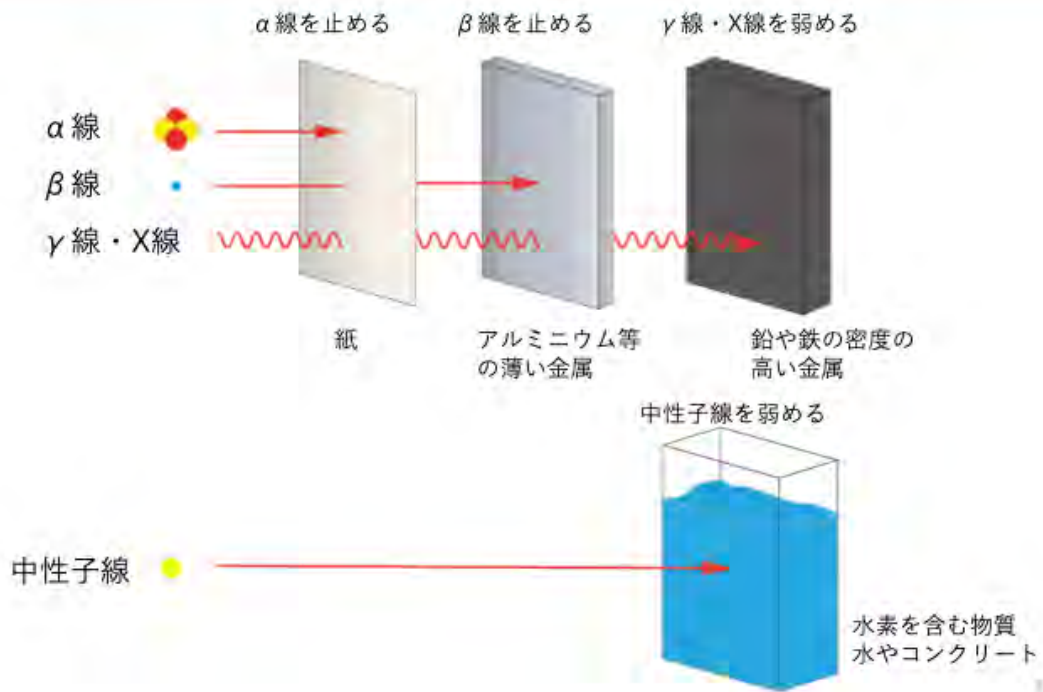
放射性物質からの放射線は光と同様に全方向に均一に放出され、これを等方性といいます。

電球の近くでは明るく、遠くでは暗いのと同様に、放射性物質の近くでは放射線の量は多く、遠くでは少なくなります。放射線の密度は放射性物質からの距離の二乗に反比例することから「逆二乗則」といいます。

例えば、1mの距離の放射線量率を1とすると、2mの距離では4分の1、3mの距離では1/9になります。

なお、逆二乗となるのは放射線源が点線源かそれに近い場合で、点線源とみなせない場合は、必ずしも当てはまらないことには注意が必要です。（例えば、地表などに沈着した放射性物質や空気中の放射性物質からの放射線、リニアック、コリメートされた線源形状、加速器等からのビーム状の放射線等）

## 放射線の性質；透過力



放射線には物質を通り抜ける力（透過力）があります。物質内に入った放射線（電荷を持つ粒子や電磁波）は、電気、磁気的作用によってエネルギーを失い、最終的には止まります。つまり、遮へい物によって放射線を遮ることができます。

アルファ線は、透過力が弱いので、紙一枚で止めることができます。ベータ線は、核種ごとのエネルギーに依存しますが、アルミニウムやアクリルなどの薄い板で止めることができます。ガンマ線、X線は、透過力が大きく、密度の高い鉛や鉄の板で弱めることができます。中性子線は、電荷を持たないため、透過力が大きいですが、水素原子の弾性衝突で止めることができます。そのため、水素原子の密度が高い、水やコンクリートで弱めることができます。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」を改変

# 原子の構造と周期律

原子



原子核

- 陽子；+（プラス）の電荷を持つ
- 中性子；電荷を持たない

電子；-（マイナス）の電荷を持つ

化学的性質；陽子の数で決まる。

質量数 = 陽子 + 中性子

同位元素；陽子の数が同じで、中性子の数が異なる元素

		族																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
周期	1	1 H 1.008																	2 He 4.002
	2	3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
	3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
	4	19 K 39.1	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.9	36 Kr 83.8
	5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (99)*	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
	6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La (138.905)	58 Ce 140.9	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0	
	7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np (237)*	94 Pu (239)*	95 Am (243)*	96 Cm (247)*	97 Bk (247)*	98 Cf (251)*	99 Es (252)*	100 Fm (257)*	101 Md (258)*	102 No (259)*	103 Lr (260)*	

\* 括弧内は、その元素の代表的な放射性同位体の質量数である (IUPAC)

文部科学省 「一家に一枚周期表6版」

原子は原子核とその周りを回る電子から構成されています。原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されています。

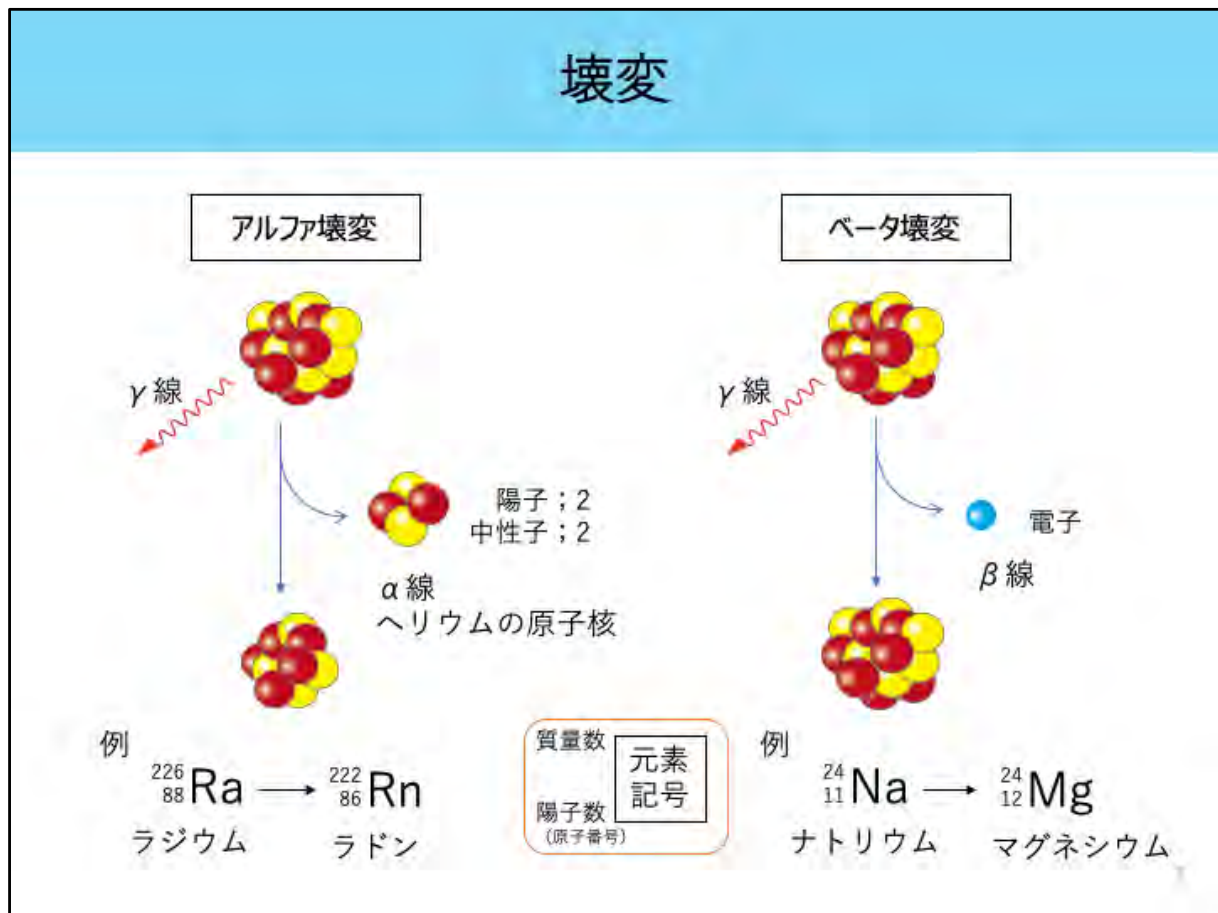
原子の化学的性質は陽子の数で決まります。例えば炭素は陽子が6個の元素ですが、中性子が5個のもの、6個のもの、7個のもの、8個の炭素などが存在しています。

陽子と中性子の数を足したものを質量数と呼びます。

例えば陽子が6個の炭素は、中性子が5個のものは質量数11、中性子が6個のものは質量数12、中性子が7個のものは質量数13、中性子が8個のものは質量数14となります。

これらの原子を区別して呼ぶ場合は、元素名のあとに質量数を付けて、炭素11、炭素12、炭素13、炭素14と呼びます。

# 壊変



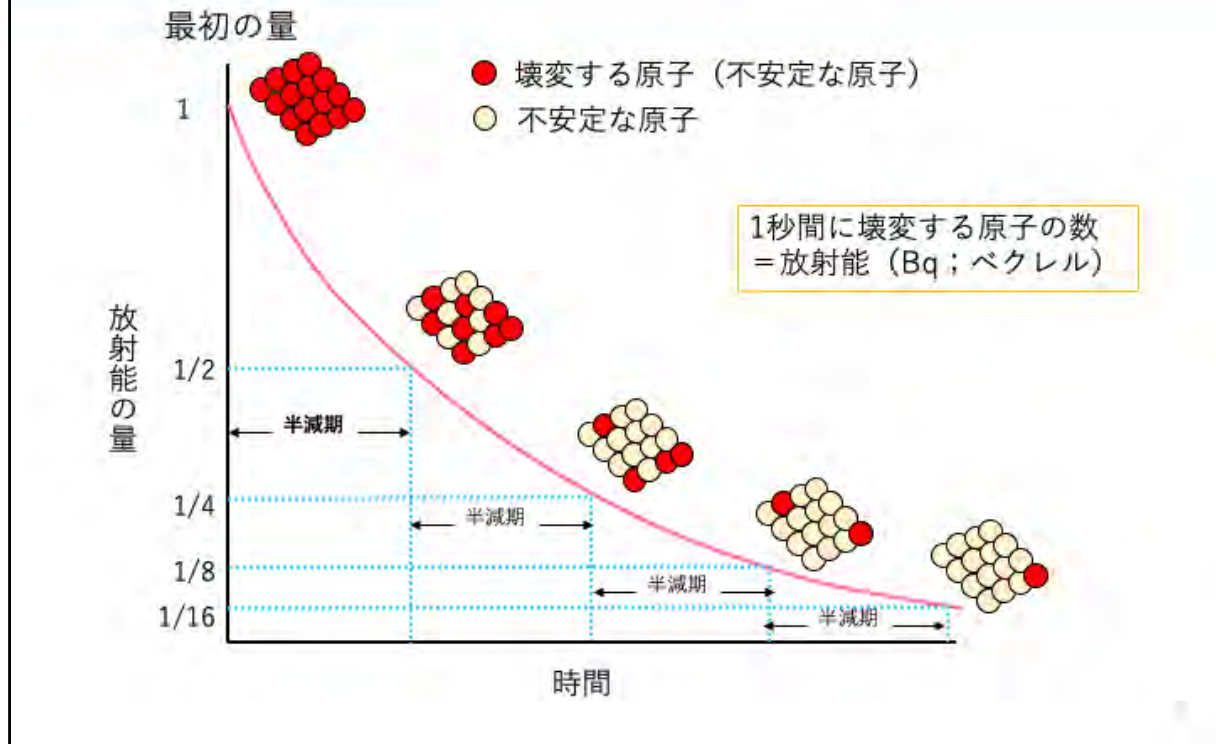
原子核がエネルギー的に不安定な場合、安定になろうとして放射線を放出します。原子核から放射線を放出し、別の原子核に変化する現象を壊変といいます。壊変は大きく分けるとα壊変とβ壊変になります。

α壊変は、原子核から陽子2個と中性子2個が一塊の粒子（ヘリウムの原子核）となって放出される壊れ方で、このヘリウムの原子核がα（アルファ）線です。多くの場合、α線の放出に伴って電磁波であるγ線も放出されます。比較的質量数の大きい原子核で起こり、質量数が4、原子番号（陽子の数）が2つ減ります。

β壊変は、原子核から電子が放出される壊れ方で、この電子がβ線です。α壊変同様、多くの場合、β線の放出に伴って電磁波であるγ線も放出されます。α壊変を起こす質量数より小さい原子核で起こり、質量数は変わらず、原子番号（陽子の数）が1つ増えます。中性子線はウランやプルトニウムが核分裂したときや、α壊変に伴って放出される中性子です。

例えば、炭素14は、窒素14に宇宙線の一つである中性子が当たり、陽子を追い出してできる自然界に存在する放射性物質です。原子核には陽子が6個、中性子が8個ありますが、両者の数のバランスが悪く、エネルギー的に不安定な状態です。一つの中性子が陽子になると、陽子も中性子も7個ずつになって安定します。このとき、余分なエネルギーが電子として放出されます。これがβ線の正体です。つまり、炭素14はβ線を出すことで、陽子数が7個の窒素に戻り、エネルギー的に安定になります。

## 物理学的半減期



放射能の単位にはBq (ベクレル) が用いられます。放射能は、単位時間当たりに放射性物質に含まれている原子核が「どれだけ壊れるか」で定義され、1 Bqは1秒間当たり1個の原子核が壊れることを表します。Bqは単独で使う以外に、単位体積、単位面積あるいは単位重量当たりの放射能を表す、 $Bq/cm^3$ 、 $Bq/cm^2$ 、 $Bq/kg$ などを使います。

放射性核種が壊れて別の原子核に変わるということは、時間の経過とともに放射性物質に含まれる放射性核種の数々が減っていくこととなります。したがって、放射能も段々減っていきます。この変化の時間は、核種(放射性物質)の種類ごとに決まっており、元の放射性物質が半分に減少するまでの期間を「物理学的半減期」と呼んでいます。

半減期は放射性核種の種類によって異なり、数十億年という長いものから1秒以下の短いものまで色々あります。



## 核分裂反応

- 核分裂反応；不安定核が分裂してより軽い元素を二つ以上作る反応

- U-235原子核に低速の中性子が当たるといったん複合核を形成した後、2個の核分裂片XとYに分裂し、その際2～3個の中性子が放出される。
- 核分裂によって膨大な熱エネルギーが発生する。



- 核分裂生成物；核分裂反応によって発生する核分裂片

- 核分裂では、原子番号の和と質量数の和は、いずれも分裂の前後で保存されるが、A、B、a、bの値が一意的には定まらず、分裂パターンは多様化し、核分裂生成物の質量数は、72～162まで広く分布する。

熱中性子による核分裂で生じる主な核分裂生成物

生成物	U-235収率	Pu-239収率	半減期
セシウム133	6.70%	7.02%	安定
ヨウ素135	6.28%	6.54%	6.57h
ジルコニウム93	6.30%	3.80%	1.53My
セシウム137	6.19%	6.61%	30.17y
テクネチウム99	6.05%	N/A	211ky
ストロンチウム89	4.73%	1.72%	50.53d
ストロンチウム90	5.75%	2.10%	28.9y
ヨウ素131	2.83%	3.86%	8.02d
プロメチウム147	2.27%	N/A	2.62y
サマリウム149	1.09%	1.22%	安定
ヨウ素129	0.54%	1.37%	15.7My
キセノン133	6.70%	7.02%	5.2475d

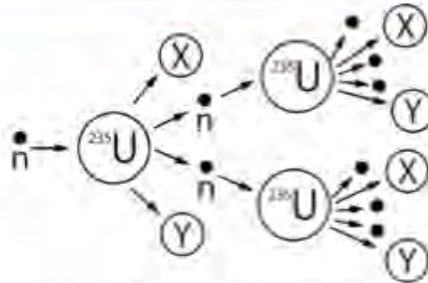
U-235原子核に低速の中性子が当たるといったん複合核を形成した後、2個の核分裂片XとYに分裂し、その際2～3個の中性子が放出されます。さらに核分裂の伴って膨大な熱エネルギーが発生します。これを核分裂反応といい、核反応の一つです。核分裂はU-235だけでなく、Th-232やU-233、U-238、Pu-239でも起こります。

核分裂片は核分裂生成物（FP; Fission Products）と呼ばれます。核分裂生成物の大部分は、強い放射能を帯びており、放射性廃棄物になります。核分裂では、原子番号の和と質量数の和は、いずれも分裂の前後で保存されますが、A、B、a、bの値が一意的には定まらず、分裂パターンは多様化し、核分裂生成物の質量数は、72～162まで広く分布します。

ウラン238、カリウム40のように半減期が長い放射性物質は、遠い昔に宇宙で作られ、地球が誕生する時に地球に取り込まれたものです。

セシウム137、ストロンチウム90、ヨウ素131、プルトニウム239は、原子力発電所が事故を起こすと環境中に放出されることがあります。

## 臨界



- **連鎖反応**；核分裂の際に放出された中性子が、近くのU-235原子核に当たると、そこでも核分裂が起こる。このように中性子が担い手となって次々にねずみ算式に次々と増大しながら進む反応
- **臨界**；中性子の数が増えもせず、減りもしない状態で、核分裂の連鎖反応が一定に持続している状態
  - 原子炉は連鎖反応が徐々に進み、それを制御できるようにした装置
  - U-235の濃度や量が少ないと核分裂で生じた中性子が次のU-235に当たらないので、連鎖反応が起こらない。

核分裂の際に放出された中性子が、近くのU-235原子核に当たると、そこでも核分裂が起こります。このように中性子が担い手となってねずみ算式に次々と増大しながら進む反応を連鎖反応と言います。

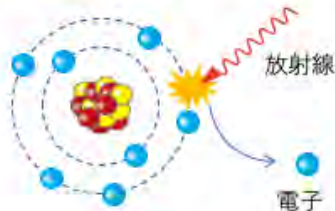
原爆は連鎖反応が瞬時に進むようにしたものであり、原子炉は連鎖反応が徐々に進み、それを制御できるようにした装置です。

中性子の数が増えもせず、減りもしない状態で、核分裂の連鎖反応が一定に持続している状態を臨界と言います。U-235の濃度や量が少ないと核分裂で生じた中性子が次のU-235に当たらないので、連鎖反応が起こりません。連鎖反応が起こるためには、一定量以上のU-235が必要になります。その最小量を臨界量と言います。

臨界量は、核燃料の種類、濃度、量、形状、溶液の有無などのよって変わります。そのため、臨界量以上の核燃料を1箇所に集めると、連鎖反応が一気に進み、危険です。これが臨界事故となります。

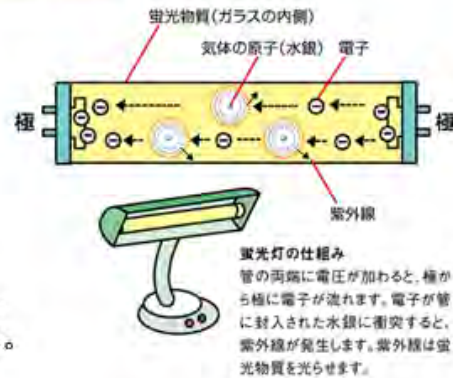
# 放射線の作用

**電離作用** 電子をはじき出す



直接作用；物質を直接電離する。  
間接作用；物質との相互作用によって発生した二次電子によって間接的に電離する。

**蛍光作用** 光を出させる



**透過作用**

物質を通り抜ける



放射線が物質中を通過する場合、持っているエネルギーにより、原子が持つ軌道電子をはじき出して、陽電荷を帯びた状態の原子（または陽イオンの分子）と自由な電子とに分離します。これを電離作用といいます。

電離放射線の中には、直接物質を電離するものと、間接的に電離するものがあります。

$\alpha$ （アルファ）線、 $\beta$ （ベータ）線等の電気を持った粒子線は、物質を直接電離します。特に $\alpha$ 線は、 $\beta$ 線等の数百倍の密度の電離を引き起こします。

$\gamma$ （ガンマ）線、X（エックス線）は、物質との相互作用によって発生した二次電子によって、物質を間接的に電離します。

蛍光作用とは、紫外線や放射線などが特別な物質に当たった時、その物質から特殊な光を出させる働きのことです。

透過作用とは、前述の通り物質を通り抜ける作用です。物質を通り抜けるときに、放射線（電荷を持つ粒子や電磁波）は、電気、磁気的作用によってエネルギーを失い、最終的には止まります。

放射線の他の作用として写真作用や化学作用もあります。写真作用の原理は、原則としてフィルムの写真と同じです。放射線が写真乳剤中の原子・分子に電離作用を及ぼしてイオンや自由電子を発生させます。このイオンを還元すると像として残ります。この像を現像、定着すると放射線の写真ができます。

出典；「原子力・エネルギー図面集2015」より改変

## 放射線の作用と放射線測定器

検出方法	測定器の例	主な測定対象放射線
気体の電離作用を利用	電離箱式サーベイメータ	γ線
	GM計数管式サーベイメータ	β線, γ線
固体の電離作用を利用	電子式ポケット線量計	γ線
蛍光作用を利用	シンチレーション式 サーベイメータ	γ線, α線
	TLD、蛍光ガラス線量計	γ線, β線

放射線は人間の五感に感じないので、なんらかの手段によって検出する必要があります。放射線の検出（測定器）は、電離作用、蛍光作用などを利用して、放射線を検出し、測定することができます。

放射線の検出方法と測定器の例及び主な測定対象放射線を示します。

気体の電離作用を利用した放射線測定器に、電離箱式サーベイメータがあります。電離箱式サーベイメータは、放射線の電離作用によって生じた、電離箱内の空気中を流れる電流を測定することにより、放射線の量を測る測定器です。

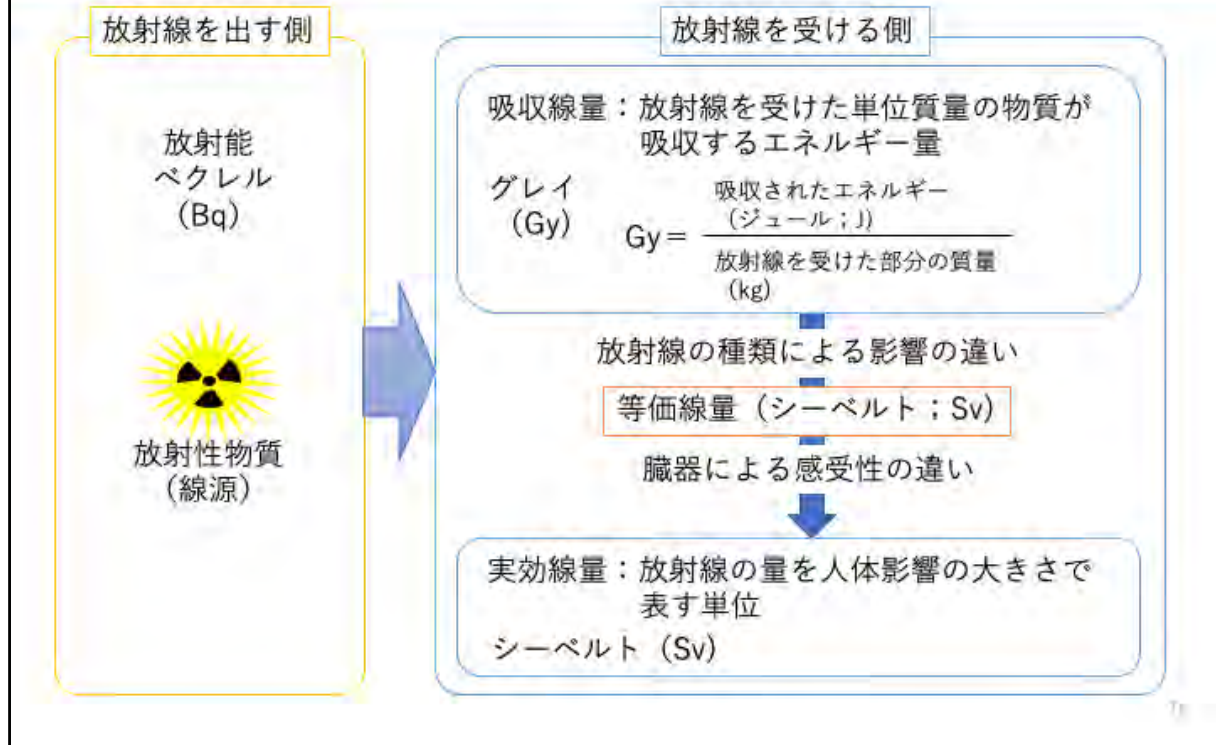
GM計数管式サーベイメータも放射線の電離作用を利用した測定器ですが、GM計数管は信号を増幅しているため電離箱よりも感度がよく、微量な放射線の測定に適しています。

個人線量計の一つである電子式ポケット線量計は固体（半導体）の電離作用を利用した測定器です。同じ作用を利用したものに、γ線のエネルギーの違いから放射性核種の種類を判別するために用いられるゲルマニウム半導体γ線スペクトロメータがあります。

蛍光作用を利用した放射線測定器に、シンチレーション式サーベイメータがあります。シンチレーション式サーベイメータはシンチレータと呼ばれる蛍光物質が出す光を電気信号に変えて計測することにより、放射線の量を測定する測定器です。

TLD（熱ルミネセンス線量計）及び蛍光ガラス線量計は、放射線を照射した後に所要の処理を施すことにより蛍光を発する作用を利用しています。

# 放射線の単位



放射線が物質に当たった場合、放射線の「エネルギーがどれだけ物質に吸収されたか」を表す量を吸収線量といいます。吸収線量の単位にはGy（グレイ）を用います。1 Gyは、物質1 kg当たり1ジュールのエネルギーが吸収されたときの放射線量です。

人が被ばくしたとき、放射線が人体に与えた影響の大きさを表す単位がSv（シーベルト）です。人体への影響は、各組織・臓器に対する影響と全身に対する影響とに分けて評価します。各組織・臓器に対する影響を「等価線量」、全身に対する影響を「実効線量」といいます。等価線量、実効線量ともにSvで表します。

放射線による各組織・臓器への影響は、吸収線量が同じでも、受けた放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い（放射線荷重係数）を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。甲状腺の等価線量、水晶体の等価線量といった使われかたをします。各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その部位により影響の現れ方（感受性）が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い（組織荷重係数）を加味して全身について合計したものが実効線量です。防災業務活動では実効線量を測定します。

Svは単独で使う以外に、単位時間当たりの線量としてのSv/h（1時間当たりの線量）やSv/年（年間当たりの線量）のような使い方があります。自然界の

バックグラウンド線量率は $\mu\text{Sv/h}$ 又は $\text{nSv/h}$ で表され、緊急時の防護対策では $\text{mSv/h}$ や $\text{mSv}$ が多く使われます。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

## 放射線の影響と単位



人が被ばくしたとき、放射線が人体に与えた影響の大きさを表す単位がSv (シーベルト) です。

人体への影響は、各組織・臓器に対する影響と全身に対する影響とに分けて評価します。各組織・臓器に対する影響を「等価線量」、全身に対する影響を「実効線量」で表します。等価線量、実効線量ともに単位はSvです。

放射線による各組織・臓器への影響は、吸収線量が同じでも、受けた放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い (放射線荷重係数) を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。甲状腺の等価線量、水晶体の等価線量といった使われかたをします。

各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その臓器により影響の現れ方 (感受性) が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い (組織荷重係数) を加味して全身について合計したものが実効線量です。防災業務活動では実効線量を測定することになります。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

## 補助単位（接頭語）

- 非常に大きな数値や小さな数値を扱う場合、その数値をそのまま表現したら分かりにくいので、補助単位（接頭語）を使用する。

大きい数値を表す補助単位

補助単位	よみ	大きさ
k	キロ	$10^3$
M	メガ	$10^6$
G	ギガ	$10^9$
T	テラ	$10^{12}$

小さい数値を表す補助単位

補助単位	よみ	大きさ
m	ミリ	$10^{-3}$
$\mu$	マイクロ	$10^{-6}$
n	ナノ	$10^{-9}$
p	ピコ	$10^{-12}$

$$1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv} = 1000000 \text{ } \mu\text{SV}$$
$$1 \text{ } \mu\text{SV} = 0.001 \text{ mSv} = 0.000001 \text{ Sv}$$

Bq、Sv、Gyなどの単位の他に、接頭語が使われます。

これは、放射線分野で扱う数値が非常に大きいものから小さいものまであり、その数値をそのまま表現したら分かりにくいので、特に、M（メガ、百万倍）、m（ミリ、千分の一）、 $\mu$ （マイクロ、百万分の一）、n（ナノ、十億分の一）などの接頭語が多く使われます。

1Svは1000mSvであり、1,000,000 $\mu$ Svということになります。



## 身の回りの放射線



mSv：ミリシーベルト

出典：国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告、原子力安全研究協会「新生活環境放射線 (平成23年)」、ICRP103 他より作成

17

日常生活をする中で、知らず識らず、私たちは放射線を受けています。

宇宙からそして大地から受ける自然放射線による外部被ばくや、食物や空気中のラドンから受ける自然由来の放射性物質から受ける内部被ばくは、合計すると年間で2.4mSv になります(世界平均)。また日本においては放射線検査等で受ける医療被ばくの割合が大きいことが知られています。これは一回の検査あたりの被ばく量が多いCT検査が広く普及していることや胃がん検診で上部消化器検査が行われているためと考えられます。

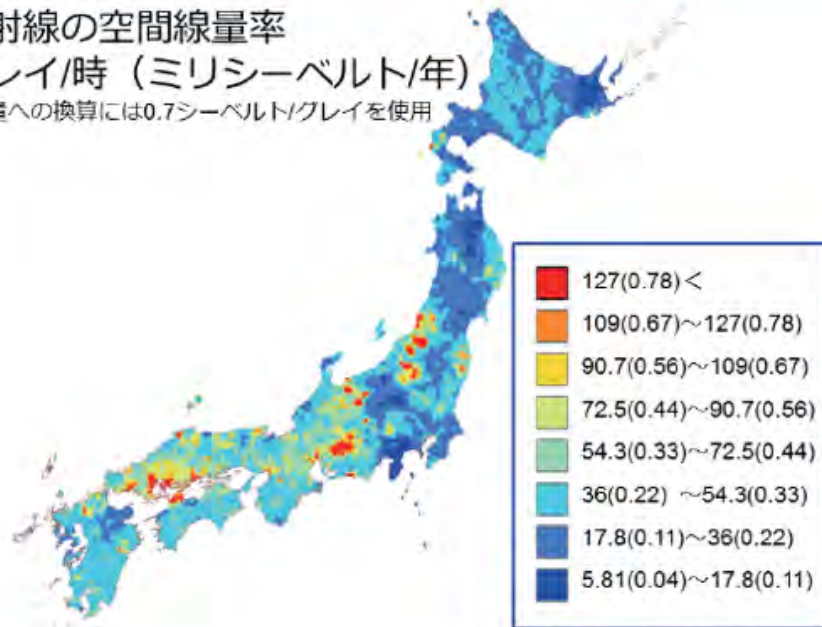
日本人が欧米諸国に比べて食品からの線量が高い理由は、魚介類を多く摂取する日本人の食生活が関係しています。魚介類にはポロニウム210が多く含まれているため、その分、実効線量が大きくなっています。一方、ラドン・トロンによる被ばくが少ないのは、日本家屋は通気性が良く、地中から屋内に侵入したラドン・トロンが速やかに屋外に拡散するためと考えられています。

出典；環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

## 大地の放射線

### 自然放射線の空間線量率 ナノグレイ/時 (ミリシーベルト/年)

・実効線量への換算には0.7シーベルト/グレイを使用



出典：日本地質学会ウェブサイトより

18

日本国内でも、大地からの放射線レベルにはわずかに差があります。

関東ローム層が大地からの放射線を遮へいする関東平野では、おおむね大地からの放射線量は少なくなっています。一方、花崗岩が直接地表に露出した地質が多い西日本では、東日本より大地からの放射線の量が高い傾向にあります。

最も高い岐阜県と最も低い神奈川県では年間0.4ミリシーベルトの差があるといわれています。しかし、だからといって、西日本に住んでいる人達に、放射線による悪影響がある、ということではありません。そのような事実はありません。この高低差はあくまで、低い自然放射線のレベルの中での高低差であって、日常生活の範囲での話です。事故時などのレベルは、これよりもはるかに高いレベルになります。

自然放射線量を計算で求めるには、大地に含まれるウランとトリウムとカリウム（放射性K-40）の濃度を用いますが、すでに公表されている元素の濃度分布図である地球化学図のデータを用いることができます。

地上1mの高さでの線量率D(nGy/h)の計算

$$D = 13.0 C_K + 5.4 C_U + 2.7 C_{Th}$$

ここでCK(%), CU(ppm), CTh(ppm)はそれぞれカリウム、ウラン、トリウムの濃度です。単位はナノグレイ(nGy)であるのでこれをマイクログレイ( $\mu$ Gy)に換算して表したのが上図です。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29  
年度版」（日本地質学会ウェブサイトより引用）  
産総研地質調査総合センターウェブサイト  
(<http://www.geosociety.jp/hazard/content0058.html>)  
参考：<https://gbank.gsj.jp/geochemmap/>  
[https://gbank.gsj.jp/geochemmap/setumei/radiation/setumei-  
radiation.htm](https://gbank.gsj.jp/geochemmap/setumei/radiation/setumei-radiation.htm)

## まとめ

- 放射線 ( $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線、X線、n線) と放射能 (放射線を出す能力)
- 放射線の作用による、電離 (電子の放出) と励起 (外側の軌道に移転)
  - 電離作用、蛍光作用→放射線測定器、透過作用→X線撮影、CT
- 等方性による距離の2乗減衰と遮蔽減衰 ( $\alpha$ :紙、 $\beta$ :7 $\mu$ m、 $\gamma$ :鉛、n:水)
- $\alpha$ 壊変 ( $\alpha$ 線+ $\gamma$ 線)、 $\beta$ 壊変 ( $\beta$ 線+ $\gamma$ 線)、核分裂 (n線+ $\gamma$ 線)
- 臨界 (連鎖反応に至る限界) →連鎖反応 (核分裂が次々に増大)
- 放射線により透過力が違う。
- 核種毎固有の半減期を有し、放射能は1半減期で1/2、2半減期で1/4
- 放射線の単位
  - ベクレル(放射能の単位)
  - グレイ(物質が吸収したエネルギーを表す単位)
  - シーベルト (放射線量、被ばく線量の単位)
- 自然界にも放射線は存在する。
  - 日本の年間自然放射線の量 2.1mSv
  - 世界の年間自然放射線の量 2.4mSv

# 放射線防護

原子力災害 基礎研修

原子力災害基礎-4

時間：30分

内容

- 原子力災害時の放射線防護の目的
- 防護の三原則
- 被ばく線量限度
- 放射線測定器
- 外部被ばく防護の三原則
- 外部被ばく対策
- 空間線量率個人被ばく線量
- 個人被ばく線量計
- 個人被ばく線量管理
- 遮へいの効果
- 遮へいと屋内退避
- 放射能防護服
- 内部被ばく経路の防護
- 吸入摂取の防護
- 鼻スワブ検査
- 汚染対策
- 汚染と被ばく線量

## 原子力災害時の放射線防護の目的

- 無用な被ばくをしない
  - 確定的影響の防止と確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させる
  - 外部被ばくの防護
  - 内部被ばくの防護
- 二次災害の予防
  - 対応者の無用な被ばくの防止
  - 汚染拡大防止：汚染検査、除染
  - 関係機関での安全・危険情報の共有
- 住民の保護
  - 広報：情報提供（内容、方法）
  - 避難退域時検査
  - 避難
  - 屋内退避

原子力災害時の放射線防護の目的は、外部被ばく防護と内部被ばく防護による無用な被ばくをしないことと、二次災害の予防です。具体的には、確定的影響の防止と確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させることとなります。このために、原子力災害時には、放射線防護を実施します。放射線防護の方法は、外部被ばくの防護と内部被ばくの防護に分けられます。さらに二次災害の予防として汚染拡大防止対策を講じます。

## 防護の三原則

### 正当化

便益  
(ベネフィット、メリット) >> 放射線のリスク

**防護の最適化** 個人の被ばく線量や人数を、経済的及び社会的要因を考慮に入れた上、合理的に達成できる限り低く保つこと

ALARA(As Low As Reasonably Achievable)

### 線量限度の適用

職業人 (実効線量)	一般公衆 (実効線量)
1年間 50mSv かつ	1年間 1mSv
5年間 100mSv	

がんや遺伝性影響では、影響の現れ方が確率的であり、現在の放射線防護では、低線量域でも直線しきい値なし(LNT)モデルを適用しているため、安全と危険を明確に区分することはできません。そこで、国際放射線防護委員会(ICRP)は、どんなに小さくても有限のリスクがあるものとして、「リスクを容認できること」を基準に、防護のレベルを考えることを推奨しています。その防護の三原則が、「正当化」「線量限度の最適化」「線量限度の適用」です。

正当化とは、放射線を使う、被ばくの変化をもたらす行為や活動に対して、もたらされる便益(ベネフィット、メリット)が放射線のリスクを上回る場合のみ認められることです。

放射線を伴う行為のメリットが放射線のリスクを上回る場合は、合理的に達成可能な限り被ばく量を減らして、放射線を利用します。これがALARAの原則です。防護の最適化とは、社会的、経済的なバランスも考慮しつつ、できるだけ被ばくを少なくするよう努力するということ、必ずしも被ばくを最小化することではありません。

線量限度は計画被ばく状況に適用されます。ICRPの2007年勧告では、職業人の実行線量限度は5年間で100mSv、特定の1年間に50mSvと定めています。一般公衆の場合は、実行線量限度は年間1mSvです。線量限度は、管理の対象となるあらゆる放射線源からの被ばくの合計が、その値を超えないように管理するための基準値であり、安全と危険の境界を示す線量ではありません。

## 被ばく線量限度

### 電離放射線障害防止規則による線量限度

区 分	実効線量限度	等価線量限度
業務従事者	100 mSv/5年 (50mSv/年) 女子 5mSv/3月 妊娠中の女子 (出産までの内部被ばく) 1mSv	水晶体：150mSv/年 皮膚：500mSv/年  妊娠中の女子 (出産までの腹部表面) 2mSv
	緊急作業：100mSv	水晶体：300mSv 皮膚：1Sv
一般公衆	1mSv/年	水晶体：15mSv/年 皮膚：50mSv/年

※ 国家公務員の場合は、人事院規則10-5（職員の放射線障害の防止）で被ばく線量限度が定められている。

ICRPの放射線防護の考え方及びその勧告に基づき、放射線障害の防止に関する法令で放射線を職業的に扱う人（放射線業務従事者）に対し、線量限度を定めています。国家公務員の場合は、人事院規則10-5（職員の放射線障害の防止）で被ばく線量限度が定められています。また、放射線業務従事者である個人の線量のほか、公衆に対する線量の寄与を把握するため、事業所の境界や、放射線を取り扱う管理区域の境界など、場所についての線量も定められています。

放射線業務従事者の線量限度は、男性では1年間で50mSv、5年間で100mSv、女性の場合は、3ヶ月で5mSvと定められています。人命救助などの緊急作業では100mSvです。一般公衆の線量限度は、1年間で1mSvです。

原子力災害や放射線事故、災害の現場活動では、被ばくを”0（ゼロ）”とすることはできません。このため、線量限度を越えないように活動計画では被ばく線量を管理しなければなりません。また、無用な被ばくをしないように対処することも重要です。



## 放射線測定器

対象	測定方法	測定する放射線	測定器
空間線量率	1時間あたりの線量 測定場所ごとの短時間測定	ガンマ線	NaIシンチレーション式 サーベイメーター 電離箱式サーベイメーター GM計数管式サーベイメーター
		中性子線	$^3\text{He}$ 計数管式（レムカウンタ）
表面汚染	直接法 (対象物を直接測定) 間接法 (スミア法など)	アルファ線	ZnSシンチレーション式 サーベイメーター
		ベータ（ガンマ）線	GM計数管式サーベイメーター
個人被ばく 線量	積算線量	ガンマ線 中性子線	電子式個人線量計
			警報付き個人線量計

放射線を測定する場合、測定する目的と測定の対象とする放射線の種類によって、適切な測定機器を選ぶ必要があります。適切な放射線測定器を選ばないと、過剰な被ばくをしたり、身体汚染を起こすこととなり、注意する必要があります。

放射線を測定する目的は、

- ・空間放射線量率の測定
- ・表面汚染の測定
- ・個人被ばく線量の測定 があります。

空間放射線量率の測定に適している測定器は、ガンマ( $\gamma$ )線を測定する場合は、NaIシンチレーション式、電離箱式、GM計数管式です。中性子線の空間放射線量率を測定する場合、 $^3\text{He}$ 計数管式（レムカウンタ）です。

アルファ( $\alpha$ )線を放出する放射性物質の表面汚染の測定に適しているのは、ZnSシンチレーション式が、ベータ( $\beta$ )線（ガンマ( $\gamma$ )線）を放出する放射性物質の表面汚染の測定に適しているのはGM計数管式です。

個人被ばく線量の測定に使用される、電子式個人線量計は、活動中に被ばく線量ができ、さらに、設定した線量に至るとアラーム等で警報を発する、警報付個人線量計（アラームメータ）もあります。

## 外部被ばく防護の三原則



### 時間

作業時間を短くする。

被ばく線量は時間とともに増えます。被ばく時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。



### 距離

線源からできるだけ離れる。

放射線の強さは遠くに離れると弱くなり、線量は距離の2乗に反比例して減ります。



### 線源

### 遮へい

線源と人の間に遮へい体を置く。

物体を間に置くと放射線を弱めてくれます。建物の壁などは遮へい体になり、空間線量率が低くなります。



外部被ばく防護のポイントは「時間」「距離」「遮へい」です。被ばくする時間を短くする、放射線源からの距離をとる、放射線を遮へいすることで、被ばく線量が低減できます。

放射線にさらされる活動時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。放射線は、放射線源からの距離の二乗に反比例して減少します。そのため放射線源からの距離をとることで被ばく線量を少なくすることができます。逆に、放射線源からの距離が半分の位置(1/2の距離)に近づくと放射線量は元の位置の4倍になり、急激に空間線量が上昇することになるため、特に危険区域での活動時には注意が必要です。

放射線源との間に遮へい物があると放射線量は減少します。コンクリートの壁、鉄や鉛の金属の板などがあれば、遮へい材として使用できます。放射線源の位置、形状が明確であれば、鉛のブロックなどで線源を囲むことによって周辺の空間線量率を低減することもできます。

## 外部被ばく対策

### 空間線量率の測定

活動する場所の安全確認、管理  
危険区域の設定



### 個人線量計の装着

線量限度以下での活動、個人被ばく線量の管理  
アラームの設定：線量限度以上の被ばくを避ける



### 時間管理

現場の空間線量率に応じて、線量  
限度を超えないように管理

$$\text{被ばく線量} = \text{空間線量率} \times \text{活動時間}$$



外部被ばくの対策には、空間線量率を測定して、活動する場所の安全確認と管理をします。

個人被ばく線量計を装着して、被ばく線量管理を行います。

活動時間は、活動する場所の空間線量率に応じて、線量限度を越えないように管理します。

## 空間線量率と個人被ばく線量

### 実効線量

放射線被ばくによる全身の影響を表す。計算により算出し、直接測定はできない。

被ばく管理のために、実効線量の代わりに実際に測定できる線量当量を用いる。

### 周辺線量当量（空間線量）；Sv シーベルト

環境モニタリングで用いられる。  
人体の組織を模した直径30cmの球の表面から深さd※で生じる線量当量測定を行った空間の線量を表す。



### 個人線量当量；Sv シーベルト

個人モニタリングで用いられる。  
人体のある指定された点における深さd※の線量当量測定器を体に身につけて測定するときの単位



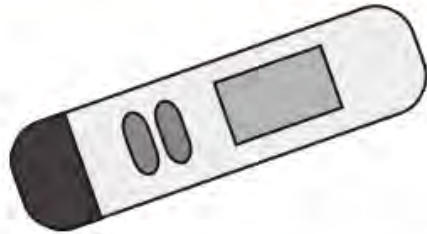
※深さd：実効線量 1 cm、水晶体3mm、皮膚70μm

実効線量は計算によって算出される量で、直接測定することはできません。そこで、被ばく管理のために、実効線量の代わりに実際に測定できる量（実用量）として、周辺線量当量と個人線量当量を用います。

空間線量計は周辺線量当量を示し、個人線量計は個人線量当量が示されます。

周辺線量当量は、人体の組織を模した直径30cmの球の表面から1cmの深さにおける線量（1cm線量当量）で表されます。人体の組織の多くは体表面から1cmより深いところにあるので、結果的に周辺線量当量は実効線量よりも高い値となります。そのため周辺線量当量を用いることで、安全側での被ばく管理ができます。

## 個人被ばく線量計



電子式個人線量計



汚染させないように防護服の中あるいはビニール袋などに入れて装着する。

- ・ 活動中の被ばく線量の積算値
- ・ 装着の方向を確認する。
- ・ アラームの設定ができる。
- ・ アラーム音は小さいため、聞こえない場合がある。
- ・ 誤計数の可能性があるので、携帯電話、PHS、高出力トランシーバーなどの装置の近辺での使用は十分注意する。

電子式・直読式の個人線量計を用いると、被ばくの積算線量がリアルタイムで表示されるので、一定期間ごと、あるいは作業ごとに、自分の線量を知ることができます。また、被ばく線量があらかじめ設定した値に達すると、アラームや振動で着用者に知らせてくれる、アラーム付きのポケット線量計もあります。放射線の事故や災害などの緊急時の対応にはアラーム付きのポケット線量計を使用します。

男性は胸部に、女性は妊娠の可能性も考慮し腹部に付けることが一般的です。個人線量計は汚染させないように防護服の内側に、向きを確認して装着します。誤計数の可能性があるので、携帯電話、PHS、高出力トランシーバーなどの装置の近辺での使用は十分注意します。

個人線量計には、光刺激ルミネッセンス（OSL）線量計、ガラス線量計といったタイプのももあります。これらは、一ヶ月等の一定期間、身につけて、積算線量を測定するもので、リアルタイム値は表示されません（現像しないと分からない写真フィルム、のようなイメージに近いです）。

# 個人被ばく線量管理

## 個人被ばく線量の測定記録票の例

記録年月日	平成 年 月 日 (曜日)							
記録者氏名								
測定条件	①天候 (晴れ、曇り、雨、雪)      ②その他 ( )							
作業場所								
作業者氏名	線量計型式及び番号		作業前指示値 ( $\mu$ Sv)	作業後指示値 ( $\mu$ Sv)	被ばく線量 ( $\mu$ Sv)	作業時間		
	型式	番号				作業前時刻	作業後時刻	作業時間

注：被ばく線量 = 作業後指示値 - 作業前指示値

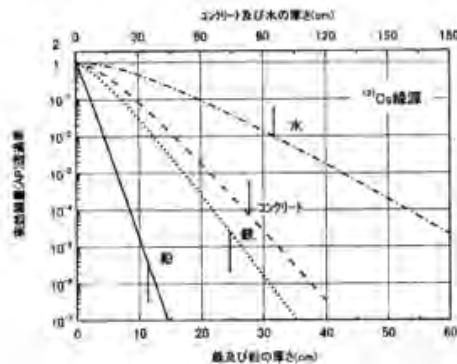
70

活動時の個人被ばく線量を記録します。

個人線量計の中には、電源を切ると測定結果がリセットされてしまうものもありますので、注意が必要です。

## 遮蔽の効果

核種	鉛(cm)		鉄(cm)		コンクリート(cm)	
	半価層	1/10価層	半価層	1/10価層	半価層	1/10価層
Co-60	1.2	4.0	2.0	6.7	6.1	20.3
I-131	0.7	2.4	-	-	4.6	15.3
Cs-137	0.7	2.2	1.5	5.0	4.9	16.3



放射線は透過する物質の密度が高いほど減衰する。

遮へい材の遮へい効果を表すのに半価層及び1/10価層がよく用いられています。半価層は入射 $\gamma$ 線の線量率を1/2に減じるのに必要な遮へい物の厚さ、1/10価層は入射ガンマ( $\gamma$ )線の線量率を1/10に減じるのに必要な遮へい物の厚さになります。

ガンマ( $\gamma$ )線では、実効線量透過率を1/10程度にするのに、鉛や鉄を用いても数cmの厚さが必要なこと、コンクリートでは同程度の遮へい効果を得るには、20cm前後の厚さが必要となることが分かります。

実効線量透過率とは遮へい体がない場合のガンマ( $\gamma$ )線の実効線量率と遮へい体がある場合のガンマ( $\gamma$ )線の実効線量率の比をいいます。この図は、線源から5m離れた場所に遮へい物を置いたときに、その後方でどれだけ実効線量透過率が低下するかを示しています。例えば、Co-60線源の場合、厚さ30cmの鉄では、その後方で実効線量透過率は約 $10^{-4}$ 、すなわち、1万分の1に低下します。

出典；JAERI-Data/Code 2000-044 実効線量評価のための光子・中性子・ベータ線制動輻射線に対する遮へい計算定数

総務省消防庁 スタート！RI119 消防職員のための放射性物質事故対応の基礎知識（平成23年3月（平成27年3月一部改定））

## 遮へいと屋内退避



場所	低減係数*
木造家屋（1～2階建）	0.4
ブロックあるいはレンガ家屋（1～2階建）	0.2
各階450～900m <sup>2</sup> の建物（3～4階建）の1～2階	0.05
各階900m <sup>2</sup> 以上の建物（多層）の上層	0.01

\*建物から十分離れた屋外での線量を1とした時の、建物内の線量の比

原子力災害時の防護措置として屋内退避があります。これは、屋内では建材による遮へいの効果、床下には汚染がないことから屋外よりも空間線量率が低くなるためです。

屋内での線量率を求める場合は、建築物による遮へいや床下に汚染がないことを考慮して、近くの屋外線量率の値に低減係数を乗じて、屋内の空間線量率を推定します。

低減係数は、建材の種類によって異なります。木造家屋は、外からの放射線の約6割を低減します。ブロックやレンガの家屋、鉄筋コンクリート家屋ではより遮へい効果が高まります。また、高層階になるに従い、土壌表面の放射性物質からの距離が離れるため、放射線量も少なくなります。

出典；環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

原子力安全委員会「原子力施設等の防護対策について」（昭和55年6月（平成22年8月一部改訂））



## 鉛入り防護服



人体ファントム（人体模型）に個人線量計を装着し、防護服の有無による遮へい効果を、3種類（Am-241 (60keV)、Cs-137 (662keV)、Co-60 (1250keV) )の線源を用いて確認した。

エネルギー(keV)	遮へい効果(%)
60	94.2
662	9.4
1250	4.4

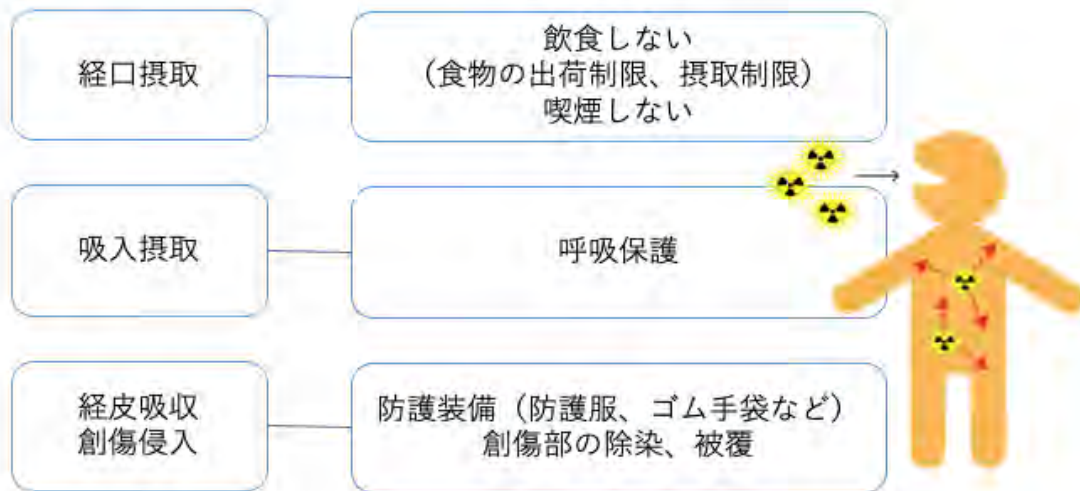
防護服一式に含まれる鉛ベストは鉛3mm相当でしかなく、アメリカシウム-241や線といった低エネルギーの放射線に対しては遮へい率95%前後と、有効であると言えるが、セシウム-137やコバルト-60に対しては遮へい率が10%以下となる。

鉛入りのインナーベストや放射能防護服がありますが、その遮へい効果を実際に確認した結果を示しています。防護服一式に含まれる鉛ベストは鉛3mm相当でしかなく、アメリカシウム-241や線といった低エネルギーの放射線に対しては遮へい率95%前後と、有効であると言えるますが、セシウム-137やコバルト-60に対しては遮へい率が10%以下となります。また、鉛ベストの側面(脇腹部分)は鉛が入っておらず、側面から被ばくをした場合、遮へい効果は期待できません。

防護服一式の総重量等による機動性の低下により、活動時間が延長し、被ばく線量が増大することも考えられます。

出典；総務省消防庁 スタート！RI119 消防職員のための放射性物質事故対応の基礎知識（平成23年3月（平成27年3月一部改定））

## 内部被ばく経路の防護



内部被ばくの経路には、経口摂取、吸入摂取、傷口や皮膚から体内に入る経皮摂取の三つがあります。そのため、内部被ばくを防ぐためには、この三つの経路から、放射性物質が体のなかに取り込まれないようにします。

経口摂取を防ぐには、汚染している区域で飲食、喫煙等をしない、手や物品を舐めるなど、口を使った作業をしないようにします。

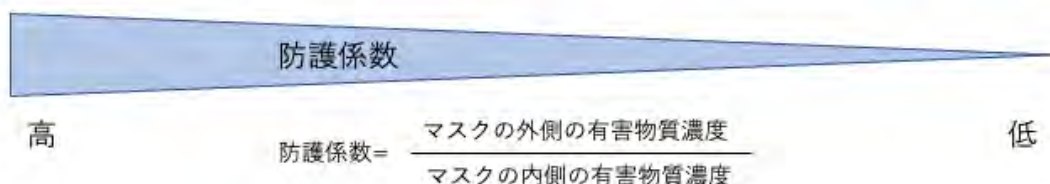
吸入摂取の防止は、次のページに例示するマスクなど、必要に応じて、呼吸保護具を着用します。

経皮摂取の防止ですが、傷口や皮膚からの放射性物質の取り込みを防ぐためには、傷口であれば保護（カバー、覆い）をする、皮膚については、次のページに例示する身体用の防護装備（つなぎ服、ゴム手袋等）を着用するなどして、放射性物質が直接、皮膚に接触しないようにします。

以上の3つは、人の内部被ばくにつながる三つの経路を断つという、身体に関する防護ですが、放射性物質そのものに対する防護としては、「閉じ込め」、「除染」、「整理・整頓（線源の管理）」の、内部被ばく防護の三原則があります（数は諸説あり）。これらはいずれも、「汚染状況の把握と拡大・飛散の防止」という、シンプルな原則に基づくもので、考え方は難しくないのでありますが、いずれも放射線計測・測定を伴うため、放射性物質の取扱い・管理について不明な場合には、放射線管理要員の助言を得ることがよいでしょう。

## 吸入摂取の防護

防護性能は、顔面とマスクの密着度合にも左右される。



吸入摂取の防護には、呼吸保護具（マスク）を装着します。このマスク性能を表す数値として防護係数があります。防護係数が高いほどマスク内への粉じんの漏れ混みが少ないことを示しています。

原子力災害時の対応では、使用するマスクは、空気中に舞っている放射性物質の種類と濃度によりますが、汚染の程度が低ければ、サージカルマスクやN95マスクで対応します。

放射性物質濃度が高い場合、放射性ヨウ素、 $\alpha$ 線放出核種等の場合には、チャコールフィルター（活性炭フィルター）等により可能な、半面マスクや全面マスクを使うこともあります。

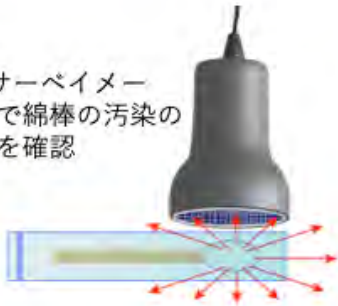
なお、派遣チームで標準的に利用することは想定されませんが、事業所内の状況によっては、陽圧式呼吸保護具など、特殊な装備が使われることもあります。

マスク着用の際の注意点ですが、写真の例であれば、サージカル・N95などでは、鼻筋に当たる部分を密着させる（針金部を曲げて調整する）こと、面体のあるマスク（写真の例は全面マスク）では、顔にしっかり密着させることです。

## 鼻腔スワブ（鼻スメア）検査



GMサーベイメーターで綿棒の汚染の有無を確認



- ・ 綿棒を生食で湿らせ、鼻腔を傷つけないように採取
- ・ 左右別々に採取
- ・ 採取部位、日時、氏名等を記入
- ・ 汚染があれば、内部汚染の可能性があるため、詳細な検査（ホールボディカウンターなど）を実施

19

放射性物質を吸入した場合、鼻腔の粘膜に放射性物質が付着します。そこで、内部被ばくの可能性を確認する場合に鼻腔スワブの汚染検査で確認する方法があります。綿棒を生食で湿らせて、鼻腔を擦ります（綿棒を生食等で湿らせる方が粘膜を傷つけません。）。綿棒やスワブに汚染があれば、放射性物質を吸入した可能性があるため、ホールボディカウンターでの計測などで、詳細な検査を行います。

## 汚染対策

放射線あるいは放射性物質のみが原因の場合、放射性物質の付着防止のために防護服はタイベックスーツが選択される。  
(どんな防護服でも外部被ばくは防護できない)

タイベックスーツ

二重のゴム手袋

テープで目張り

くつカバー

靴底が全面ゴム製になったものだと野外での活動でも破れない

ゴーグル

マスク(シールド付)

必要に応じて吸収缶付きマスクを着用

- ・放射線を防ぐものではない
- ・放射性物質の吸入、付着を防ぐことが目的

表面汚染対策としては、防護衣、マスク、ゴーグル、ゴム手袋、靴カバーを装着します。

適切な防護装備の選択には、作業環境の線量率、汚染（表面汚染密度）、放射性物質の種類（核種）等を勘案します。

例えば、汚染が低い場合は、白衣、綿手及びマスク等で十分ですが、汚染が高い場合には、より重い装備を選択する必要があります。対象となる放射性物質の種類や、作業環境の情報が得られず、不明である場合は、重装備を選びます。

汚染することが前提である場合や可能性が高い場合は、ゴム手袋を二重にし、一重目を交換していくなどの運用も必要です。

## 汚染と被ばく線量

$$H = A \times D \times T \times K \quad (\text{nSv})$$

A：単位皮膚表面汚染密度あたりの吸収線量 [(nGy/h)/(Bq/cm<sup>2</sup>)]  
(皮膚表面から70μm直下)で図より読取ります

D：汚染した箇所の表面汚染密度 (Bq/cm<sup>2</sup>)

T：皮膚被ばくの継続時間 (h)

K：吸収線量 (Gy) から皮膚の被ばく線量 (Sv) への換算係数 (1Sv/Gy)

皮膚が表面密度120Bq/cm<sup>2</sup>のI-131に汚染し、汚染してから除染が完了するまで2時間かかったときの皮膚の被ばく線量は、

$$\begin{aligned} H &= A \times D \times T \times K \\ &= 1.400 \times 120 \times 2 \times 1 \\ &= 336,000 \quad (\text{nSv}) \\ &= 0.34 \quad (\text{mSv}) \end{aligned}$$

皮膚の被ばく線量の計算式；  $H = A \cdot D \cdot T \cdot K$  (nSv)

A：単位皮膚表面汚染密度あたりの吸収線量 [(nGy/h) / (Bq/cm<sup>2</sup>)] (皮膚表面から70μm直下)で図より読取ります

D：汚染した箇所の表面汚染密度 (Bq/cm<sup>2</sup>)

T：皮膚被ばくの継続時間 (h)

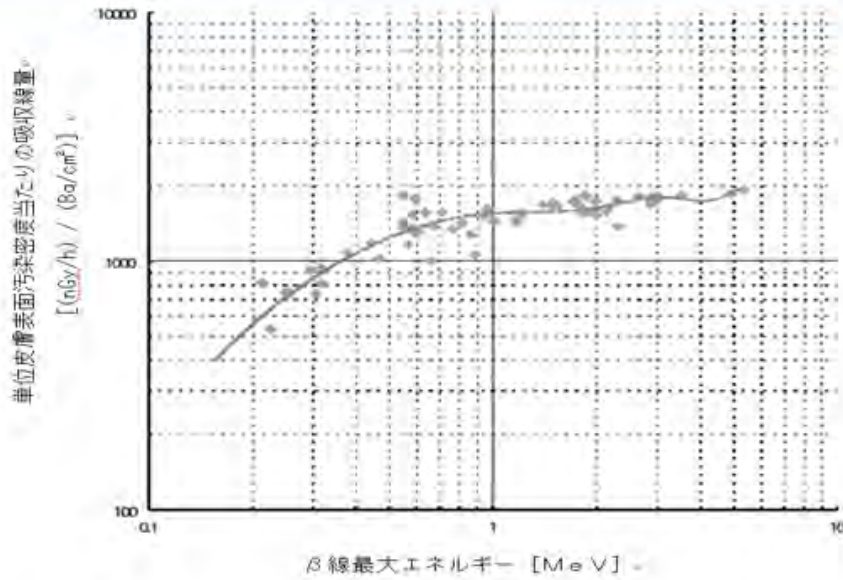
例として、I-131が表面汚染密度120 Bq/cm<sup>2</sup>で汚染して、汚染してから除染が完了するまでに2時間かかったときの、皮膚の被ばく線量は0.34mSvとなります。

放射線業務関係者の皮膚に関する等価線量限度500mSv (緊急時においては1Sv(1,000mSv))にくらべて、小さいことが分かります。

## まとめ

- 防護の三原則；正当化、防護の最適化、線量限度の適用
- リスクの容認(便益>>リスク、可能な限り低く(ALARA)、線量限度の適用)
- 目的に応じた測定器の使用(空間線量率Sv/h、表面汚染cpm、個人被ばく線量Sv)
- 外部被ばく防護三原則:出来るだけ短時間、距離を離隔、遮蔽体を使用
- 個人被ばく線量計:防護服内側、胸部(男)腹部(女)、向き確認、電波機器から離す
- 半価層:鉛1.2cm(Co-60)、0.7cm(Cs-137)であり、鉛ベスト(3mm)では、遮蔽の効果10%、屋内退避が有効
- 内部被ばく防止:口、鼻、皮膚、創傷からの侵入防止、汚染の把握・拡大飛散防止
- 放射性浮遊物;空気呼吸器・吸収缶マスク、汚染検査等;防塵マスク(密着注意)
- 汚染対策:防護衣、マスク、ゴーグル、ゴム手袋(二重)、靴カバー、テープ目貼り

## 参考



例えば、  
I-131の場合、β線の  
エネルギーを  
0.6MeV（横軸）とする  
と、単位皮膚表面汚  
染密度あたりの吸収  
線量（縦軸）は  
約1,400 (nGy/h) /  
(Bq/cm<sup>2</sup>) と読みます。

図1-5 単位皮膚表面汚染密度当たりの吸収線量とβ線最大エネルギーとの関係（出典：ICRU Report56, 1997 改）。



# 汚染検査・除染

原子力災害 基礎研修  
原子力災害基礎-5

時間；30分

内容

- 表面汚染
- 汚染検査
- 表面汚染計の使用方法
- 身体汚染検査
- 記録用紙の例
- 表面汚染の測定時の注意点
- 表面密度の計算
- OIL4について
- 医療機関での汚染検査
- 除染
- 身体除染

## 表面汚染

- 放射性物質が体表面、衣服等に付着した状態
- 表面汚染では危険な外部被ばくはしない
- 浮遊した放射性物質による内部被ばくに注意
- 放射線災害で汚染があれば汚染拡大防止
- **表面汚染計**で測定
- 防護服で皮膚、衣類への付着を防止



汚染の濃度が極端に高くない限り、全身または皮膚の被ばくの症状は出ない

放射性物質が体表面、衣服、資機材等に付着した状態が表面汚染です。体表面の汚染からの放射線は、それほど強くないため、近くで対応しても危険な外部被ばくはしません。

放射線災害で汚染が関与していれば、汚染拡大防止を行います。。そのためには表面汚染計で汚染の程度を測定し、防護服で皮膚、衣類等への付着を防止します。

## 汚染検査

- 表面汚染検査は、物体や身体、衣服などに付着した放射性物質の量を測定
- 表面汚染の程度を測る測定器は、測定器に入ってきた放射線の数を1分間当たりあるいは1秒間当たりの計数として表示
  - 単位；は $\text{min}^{-1}$ 、cpm (count per minute)、 $\text{s}^{-1}$ 、cps (count per second)
- 表面汚染の測定器の種類
  - GM計数管式サーベイメータ；ベータ線、ガンマ線の表面汚染を測定
  - ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータ；アルファ線の表面汚染を測定



GM計数管式サーベイメータの例

表面汚染検査は、物体や身体、衣服などに付着した放射性物質の量を測定します。

表面汚染の程度を測る測定器は、測定器に入ってきた放射線の数を1分間当たりあるいは1秒間当たりの計数として表示し、単位は $\text{min}^{-1}$ 、 $\text{s}^{-1}$ などを使用します。測定器の種類には、GM計数管式サーベイメータ、シンチレーション式サーベイメータがあります。ベータ線の表面汚染の計測には、GM計数管式サーベイメータが用いられ、アルファ線の表面汚染の計測には、ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータが用いられます。ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータでは、ベータ線は測定できませんし、GM計数管式サーベイメータでは、アルファ線は測定できません。

## 表面汚染計の使用法

1. 電源を入れる。
    - サーベイメーターは電池を使用するため、電池の残量を確認する。
  2. バックグラウンドレベル (B.G.) を測定する。
    - 自然界にも放射線は存在する。そのため、自然界の放射線のレベルを測定しておく。
    - 測定結果の計数値からこのバックグラウンドレベルの値を差し引くことで正味の計数値が得られる。
  3. 汚染と判断する基準値あるいは警報値の設定を確認する。
    - 同じ表面密度でも測定器ごとに測定値が異なる。
    - 測定器によっては警報値を設定することができる機種もある。
  4. 測定を開始する。
- ❖測定器は経年劣化するため年1回校正する。  
❖校正：測定器の指示値の正確さを確認する。

基本的な表面汚染計の使用法は以下です。

1. 電源を入れる。

サーベイメーターは電池を使用するため、電池の残量を確認します。
2. バックグラウンドレベル (B.G.) を測定する。

自然界にも放射線は存在するため、自然界の放射線のレベルを測定します。そして、測定結果の計数値からこのバックグラウンドレベルの値を差し引くことで正味の計数値が得られます。
3. 汚染と判断する基準値あるいは警報値を設定を確認する。

同じ表面密度でも測定器ごとに測定値が異なります。また、測定器によっては警報値を設定することができる機種もあります。
4. 測定を開始する。

放射線測定器は、経年劣化します。そのため、測定器の性能をチェックするために最低でも年1回の校正が推奨されています。放射線測定器の校正とは、国家計量標準とつながる基準測定器の値（基準値）と、測定器の値（測定値）を比較し、測定器の指示値の正確さを確認する作業です。

## 身体の汚染検査

- 検査は、2人 or 3人 1組が望ましい。
- GMサーベイメーターを使用して体表面汚染を検査する。
- 頭部からつま先まで検査する。
- 身体表面から約1 cm離し、1秒間に5 cm程度のゆっくりした速さで、検出部を移動
- 全身の汚染検査には5～10分程度必要
- 汚染の箇所と数値を記録する。



身体の汚染検査では、GM計数管式サーベイメーターを使用して、全身を測定します。原則として、検査は2人1組で行い、1人が測定を、もう1人が記録を行います。要員に余裕があれば、検査員2人が協力して検査し、時間短縮が可能です。

全身汚染検査では、頭からつま先、背中側をまんべんなく検査します。このため、全身汚染検査には、一人当たり約10分ほど時間を要します。

簡易汚染検査では、頭部、顔面、肩、手指、靴といった汚染が付着しやすい部位を検査します。この場合は、全身汚染検査よりも検査時間を短縮することができます。

汚染検査の結果を記録用紙に記載します。

口角、鼻周囲などの開口部に汚染が確認された場合は、放射性プルームの吸入が疑われますので、体内汚染の有無を判断するために、鼻腔スワブを綿棒で採取します。汚染検査の結果、有意な体内汚染の可能性が高いと判断された場合は、WBC（ホールボディカウンター）や甲状腺モニターによる内部被ばくの評価が必要となります。これらの検査は、被ばく医療機関等に設置されているWBC、甲状腺モニターを利用します。

## 記録用紙の例

実習 汚染検査		スクリーニング測定記録票	
氏名	被災者A	<div style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px; color: white; font-weight: bold;">記入例</div>	
測定年月日	平成23年12月6日		
時間	16:30 ~ 16:40		
測定器機種	GMサーベイメータ TGS-136		
測定器番号	装置3-3		
B.G値	70 cpm		
測定者氏名	***		
記録者氏名	***		
除染	○ 要 / 不要		
備考			

記録用紙には、被検査者氏名、測定年月日、時間、測定器機種、測定器番号、バックグラウンド値、測定者氏名、記録者氏名、除染の可否等を記載します。

これらの情報があれば、後日、表面密度を求めることも可能となります。  
測定結果は、汚染のある部位を○で囲み、計数値を記載します。

除染した場合は、除染の回数を○で示し（例；1回目の除染①、2回目の除染②）、除染後の計数値を記載します。

## 表面汚染の測定時の注意点

- プローブ（検出部）を汚染しないようにビニール袋、ラップ等で覆う。
- 消音とする。

### 距離を一定に保つ



- 測定する表面からの距離が離れると測定値が小さくなる。
- 除染前後で距離が異なると、正確な比較ができない。

### 角度を一定に保つ



- 測定する表面と検出部の角度が異なると、検出部との距離が異なる。
- 測定器への放射線の入射方向によって感度が異なる。

### 速度を一定に保つ



- 時定数や応答時間を意識する
- 早く動かすと、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまう。

測定器のプローブ（検出部）に放射性物質が付着しないようにします。通常はビニール袋やラップなどで覆い、汚染したらこのビニール袋等を交換します。

また、被災者の放射線被ばくに対する不安を考慮して、サーベイメータのスピーカーはオフにします。

測定時は、測定の対象物から一定の距離を保つこと、角度を一定に保つこと、ゆっくり動かすことに注意します。

計測する表面からの距離が離れると計数値は小さくなります。また、距離が異なると正確な評価ができません。

GMサーベイメータは、検出部の窓以外からはベータ線が入射しません。表面と検出部の角度が異なると検出部との距離も異なります。そのため、表面と検出部の角度を一定に保ちます。

表面汚染検査では、検出部は1秒間に5~6cmの距離を動かします。速度が速すぎると、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまいます。

## 表面密度の計算

$$\text{表面密度 } A [\text{Bq/cm}^2] = \frac{n - n_b}{\varepsilon_i \cdot W \cdot \varepsilon_s}$$

A : 表面密度[Bq/cm<sup>2</sup>]

n : 測定された計数率 [cps]

n<sub>b</sub> : バックグラウンド計数率 [cps]

ε<sub>i</sub> : β(α) 線に対する機器効率 (2π)

W : 検出部の入射窓面積 [cm<sup>2</sup>]

ε<sub>s</sub> : 対象核種の線源効率

ALOKA TGS-146の場合  
入射窓面積 : 19.6 cm<sup>2</sup>

S/N	R03011
機器効率	48.3%(2π at 5mm)
校正日	平成24年7月23日
線源	Cl-36

10000 cpm (min<sup>-1</sup>) の  
汚染を検出した

計算すると・・・

35 Bq/cm<sup>2</sup>

表面汚染は、単位表面積に存在する放射能(Bq/cm<sup>2</sup>)で表され、これを表面密度といいます。

表面汚染の測定器によって得られた計数(min<sup>-1</sup>)から表面密度を求めるには、計算が必要です。

機器効率とは、標準線源に対して一定の条件で測定した時のアルファ線またはベータ線表面放出率に対する測定器の正味の計数率の比（線源から放出される放射線の量と測定器で検出される放射線の量の比率）であり、測定器ごとに異なります。測定器の校正をしている場合、校正証明書に記載されています。線源効率とは、汚染表面の材質、状態等によるアルファ線やベータ線の散乱や吸収の程度を示すものです。測定器の入射窓面積は取扱説明書に記載されています。

同じ汚染を測定しても、測定器が異なると測定器の機器効率、入射窓面積が異なるため、実際に表示される計数は異なります。そのため、同じ現場で、異なる種類の表面汚染の測定器を使用する場合、除染の適応のレベルを同じ表面密度で統一するには、あらかじめ測定器ごとに計数を設定しておく必要があります。

線源効率

β線最大エネルギーが0.4MeV以上；0.5

β線最大エネルギーが0.15から0.4MeV；0.25

α線放出核種；0.25



## OIL4について

- 不注意な経口摂取、皮膚汚染からの外部被ばくを防止するため、除染を講じるための基準
- 基準を超える際は迅速に除染



40,000cpm



?? cpm  
計数率を求める

- $\beta$ 線：40,000cpm
  - 主に放射性ヨウ素を想定
  - 我が国において広く用いられている  $\beta$ 線の入射窓面積が $20\text{cm}^2$ の検出器を利用した場合の計数率であり、表面密度は約 $120\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となる。他の計測器を使用して測定する場合には、この表面密度より入射窓面積や検出効率を勘案した計数率を求める必要がある。
- $\beta$ 線：13,000cpm【1ヶ月後の値】
  - 放射性ヨウ素が減少し、放射性セシウムが汚染の主体となることを想定
  - 表面密度は約 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となり、計測器の仕様が異なる場合には、計数率の換算が必要である。

OIL4は不注意な経口摂取、皮膚汚染からの外部被ばくを低減するために、除染を講じるための基準です。

基準値を超える場合は、迅速に除染します。

原子力災害が発生し、最初の1ヶ月は $\beta$ 線で40,000cpmが基準値です。これは主に放射性ヨウ素を想定しており、さらに日本で広く用いられている入射窓面積が $20\text{cm}^2$ の測定器での計数値を想定しています。この場合、表面密度は約 $100\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となります。他の測定器を使用する場合は、この表面密度から計数値を計算します。

原子力災害が発生して1ヶ月後には、OIL4は $\beta$ 線で13,000cpmになります。これは、半減期の短い放射性ヨウ素が減少して、汚染の主体は放射性セシウムとなるためです。この場合、表面密度は約 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となります。

## 医療機関での対応

- 救命や蘇生に必要な処置を優先する。汚染検査のために医療処置が遅れてはならない。
- 創傷部位があれば優先する。
- 「可能な限り」除染するが、健常皮膚を傷めるなどは逆効果。
- 臥位の傷病者は、背部も忘れずに実施。



10

救命や蘇生に必要な処置を優先します。また、臥位の傷病者の汚染検査では、背部の汚染検査を忘れないようにします。

病院での除染は、創傷部の汚染は可能な限り除染します。また、健常皮膚部の汚染も、除染の効果があれば、可能な限り除染します。

どこまで除染をするかは、医療にかける時間（傷病者の負担を含む）と除染の効果（低減される線量）により判断されます。

## 除染

- 除染の目的
  - 汚染拡大防止
  - 内部被ばくの危険性を低減
- 除染を行う者
  - 本人による実施が基本、必要により介助
- 除染の原則
  - ①できるだけ早く行う
  - ②汚染の拡大を防止しながら行う
  - ③体内への侵入を防止しながら行う

汚染があれば、除染します。除染とは、放射性物質を拭きとったりして、除去する事です。

拭きとった布やタオルには、汚染が付着します。これらは、汚染を広げないようにビニール袋などに入れて保管し、可能であれば除染します。廃棄できる使い捨ての不織布等を使用した場合や除染ができない場合は、廃棄します。

除染は、基本的に本人が実施しますが、必要な場合は、介助します。

また、除染はできるだけ早く実施します。これは、汚染拡大防止のためでもあり、汚染からの被ばくをできるだけ低減する事にもなります。除染時には、汚染が広がらないように、汚染の中心に向かって拭きとることが原則です。なお、頭髪や顔面の除染時には、流れた水を飲み込まないように注意が必要です。

## 身体除染 衣服の除染（脱衣）

汚染した衣服は脱いで着替える



被災者の汚染は、ほとんどの場合、衣服で、脱衣によりほぼ除染ができます。脱衣がされずに搬送されてきた場合は、そこから始めます。汚染されている衣類は、ポリ袋に入れ、氏名・日時を明記したラベルを貼り、保管します。着替えやバスタオル等をあらかじめ用意しておくことが望まれます。

## 身体除染 頭髪の除染



湿った布で拭き取る。  
拭き取りは上から下に一方向に限定



拭き取りで不十分な場  
合、  
シャンプーを用いて洗髪  
する。

頭髪は湿った布で毛先に向かって拭き取ります。これで除染が不十分な場合は、シャンプーで頭髪を洗う等の処置を行います。頭髪を切ることは、通常行いません。

## 身体除染 顔面の除染



目は清潔な水を用いて、洗びんなどをつかって、除染側を下にして受水器を当てながら洗い流します。水は鼻側から外側へ流れるようにします。

鼻は本人に鼻をかませてから、湿った綿棒で軽く拭き取ります。

口は口角を綿棒で拭き取り、洗ってから、うがいをします。

耳は表面を湿ったガーゼでよく拭き取ってから、聞こえや痛みなどの異常が無いことを確認後湿った綿棒で耳の穴を拭き取ります。

その他の皮膚は湿ったガーゼで拭き取ります。いずれの場合も、目、鼻、耳に除染に用いた濡れたガーゼの水（汚染水）が入らないよう注意します。

これらの処置で生じる洗い水、ガーゼ、綿棒等は、場合によっては測定・分析対象とすることがありますので、安易に廃棄扱いとしないようにしま

## 身体除染 皮膚の除染



皮膚の除染は湿ったガーゼ等によるふき取りで行います。

拭き取りは、常に汚染の中心に向かって行い、汚染を拡げないように注意します。このため一度使用したガーゼは再使用しません。

皮膚の除染は、除染効果が期待できるかどうかによりますが、通常は2回程度までを目安とします。

落ちないからといって、過度の除染を試みることは、健常な皮膚を傷つけ、逆効果になりかねません。

除染しても落ちないということは、汚染が拡散・拡大しない、ということでもありますので、その部分はシート等で覆って、より高度な除染が可能な機関へ搬送するなどの対応も考えられます。

## まとめ

- 身体表面の汚染検査の目的
  - 外部被ばく、内部取り込み、汚染拡大の防止 → 線量低減
- 身体表面の汚染検査の方法
  - 検出部を身体表面から約1cm離し、約5cm/秒で動かし測定
  - 身体の除染
  - 衣服の除染 脱衣
  - 頭髪の除染 湿った布で拭き取る。洗髪する。
  - 顔面の除染 湿った布で拭き取る。綿棒も活用する。
  - 皮膚の除染 汚染を広げないように除染する。



## 参考 GMサーベイメーターの使い方



・電源スイッチを約2秒間押すと、液晶表示器の表示が下記のようになり、自動的に電源チェック等が行われ、問題がなければ測定状態となる。

```

ALOKA TGS-146 : 形名
  ↓
15/02/1413:30 : 時刻
  ↓
BATT. = ■■■■ : 電池残量
  ↓
ALARM OFF : 警報動作設定
  ↓
HV=OK : HV状態
  ↓
  3           0 : 測定状態
  ↑           ↑
時定数     計数率
    
```

なお、エラー表示については、以下のとおりである。

・電池残量表示

電池残量表示がBATT.=■□□□で点滅している場合、バッテリーダウン予告表示なので電池を早めに交換する。なお、測定中に液晶表示器の左に“B”が点灯した 場合も同様である。

・HV状態表示

HV=ERRORは、HV出力異常のため、正しい計測ができないので、調整をメーカー等に依頼する。

# 避難退域時検査

原子力災害 基礎研修  
原子力災害基礎-7

時間：30分

出典；原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル（原子力規制庁）より抜粋

内容

- 避難帯域時検査の概要
- 避難帯域時検査の流れ
- 検査及び簡易除染の体制
- 標準的な要因の役割と人数
- 資機材

## 避難退域時検査の概要

- 原子力災害時に放射性物質が放出された後に緊急時モニタリングの結果により必要があると判断された場合にOIL1に基づく防護措置として住民に避難や一時移転の指示される。その防護措置としての避難等の際に避難や一時移転される方の汚染状況を確認することを目的として実施される検査
- 対象者
  - OILに基づく防護措置としての避難等の指示を受けた住民等
  - 避難等の指示があった後に、この指示の対象となる区域から避難等をする住民のほか、労働者や旅行者等の一時滞在者も含む
- 国がOILに基づく防護措置の指示とともに地方公共団体に実施を指示
- 検査場所
  - 原子力災害対策重点区域の境界周辺(境界から概ね数キロメートルの範囲)から避難所等までの場所
  - 地域の実情を踏まえ選定
  - 避難経路上に複数の検査場所を設置

原子力災害時においては、国又は地方公共団体は、放射性物質が放出される前に予防的に実施する避難の指示の他、放射性物質が放出された後に緊急時モニタリングの結果により必要があると判断された場合には、「OIL1に基づく防護措置として住民に避難や一時移転(以下：避難等)」の指示を出します。

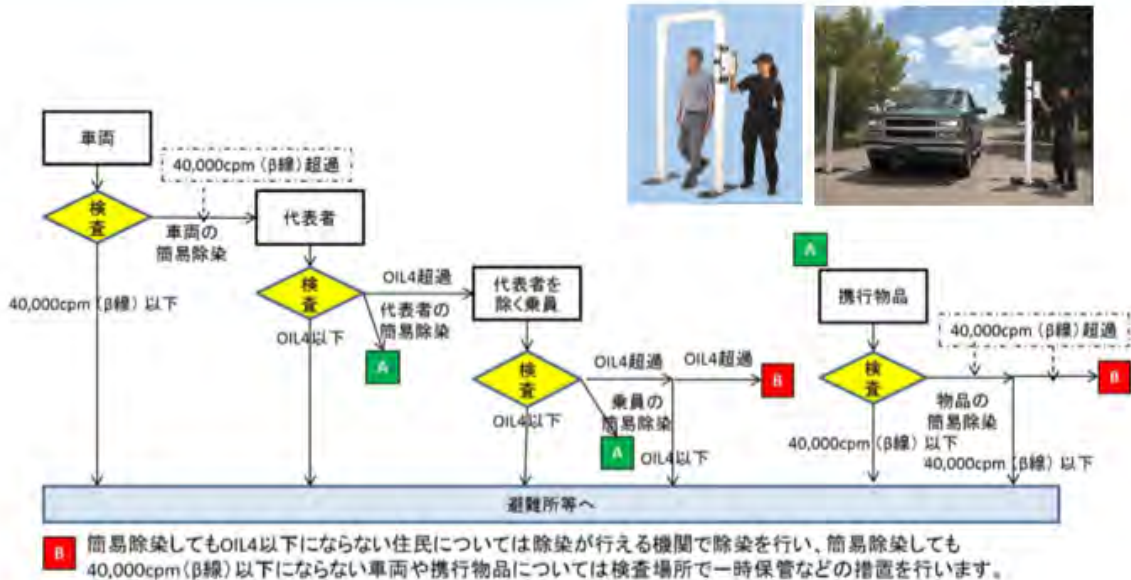
このOILに基づく防護措置としての避難等の際に、避難や一時移転される方の汚染状況を確認することを目的として実施される検査のことを「避難退域時検査」といいます。

対象者は、OILに基づく防護措置としての避難等の指示を受けた住民等で、避難等の指示があった後に、この指示の対象となる区域から避難等をする住民のほか、労働者や旅行者等の一時滞在者も含みます。

検査の指示は、国がOILに基づく防護措置の指示とともに地方公共団体に実施を指示します。

検査場所は、原子力災害対策重点区域の境界周辺(境界から概ね数キロメートルの範囲)から避難所等までの場所で、地域の実状を踏まえ選定します。

## 避難退域時検査の流れ



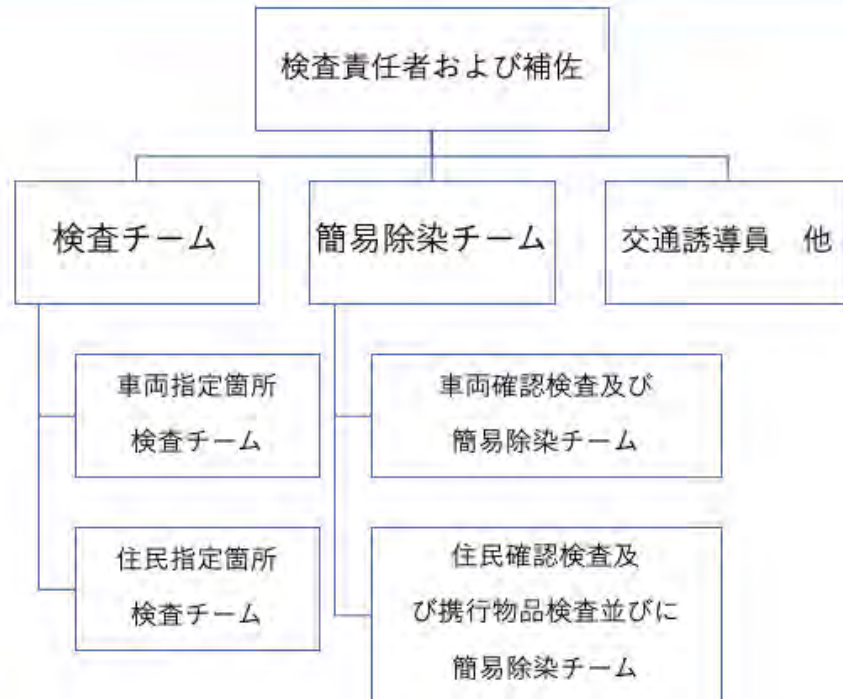
自家用車やバス等の車両を利用して避難等をする住民の検査は、乗員の検査の代用として、まず車両の検査を行います。この結果がOIL4 (初期設定 40,000 cpm (β線)) 超の場合には、乗員の代表者に対して検査を行います。この代表者がOIL4超の場合には、乗員の全員に対して検査を行います。携行物品の検査は、これを携行している住民がOIL4超の場合にのみ検査を行います。

検査の結果、OIL4超の住民、車両及び携行物品には簡易除染を行います。簡易除染によってもOIL4超の住民は除染が行える機関で除染を行い、簡易除染によっても OIL4超車両 や携行物品は検査場所以で一時保管などの措置を行います。

なお、検査の実施に際しては、要配慮者に対する健康上の配慮等が必要です。例えば、避難所等から離れた場所で行う場合、この検査によって健康リスクが高まると判断される要配慮者及びその車両については、避難所等そのまま向かっていただき、そこで健康上の配慮を行いつつ検査を行うことも考慮する必要があります。

出典；原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル (原子力規制庁) より抜粋

## 検査及び簡易除染の体制



検査及び簡易除染を行う者だけではなく、検査場所の規模に応じ、車両の誘導を行う交通誘導員、空調等の運転保守要員、受付・説明員、通信・連絡員等を配置することが望ましいです。

出典；原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル（原子力規制庁）より抜粋

## 標準的な要員の役割と人数

チーム区分、要員	役割	要員数
検査責任者及び補佐	<ul style="list-style-type: none"> <li>検査場所における業務の全体統括及び地方公共団体の現地災害対策本部等との連絡調整(検査及び簡易除染の状況、バックグラウンドレベル等の報告等)</li> <li>バックグラウンドの測定、検査責任者へ検査チームや簡易除染チームの活動状況等の報告</li> </ul>	2名
車両指定箇所検査チーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>車両用ゲート型モニタ又は表面汚染検査用の放射線測定器による車両の指定箇所検査</li> </ul>	1名以上
車両確認検査及び簡易除染チーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面汚染検査用の放射線測定器による車両の確認検査及び簡易除染後の簡易除染の効果の確認</li> <li>車両の簡易除染</li> </ul>	2名以上
住民指定箇所検査チーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>体表面汚染モニタ又は表面汚染検査用の放射線測定器による住民の指定箇所検査</li> </ul>	1名以上
住民確認検査及び携行物品検査並びに簡易除染チーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面汚染検査用の放射線測定器による住民の確認検査及び携行物品の検査並びに簡易除染後の簡易除染の効果の確認</li> <li>住民及び携行物品の簡易除染並びにその補助(説明・指導等)</li> </ul>	2名以上
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>車両の誘導 他</li> </ul>	1名以上

検査の効率化を図るため、検査対象となる車両、住民及び携行物品の数に応じて、上記に示すチームの複数配置や他のチームによる支援などのチーム間での役割分担の調整、必要に応じて各チームの要員の増員を考慮します。

検査責任者及び補佐は、原則、地方公共団体の職員(又は地方公共団体が指定する者)で、原子力防災に関する基礎的な研修を受講した者、同等の知識を有する者又は実務経験者等の中から、検査会場の全体統括など、その役割を果たすことができる者が担います。

また、検査責任者及び補佐を除く要員には、本マニュアルで示す検査及び簡易除染が実践できるよう、原子力防災に関する基礎的な研修及び機器の取扱い実習を、予め受講しておくことが望ましいです。

## 資機材

個人防護装備	不織布防護服、綿手袋、ゴム手袋、サージカルマスク、キャップ(帽子)、シューズカバー、個人被ばく線量計(ポケット線量計(PD)等)
放射線測定器	表面汚染検査用の放射線測定器(GM サーベイメータ等)、空間線量率用の放射線測定器(NaI シンチレーション式サーベイメータ等) (使用できる場合)体表面汚染モニタ、車両用ゲート型モニタ
養生資材	養生用シート、粘着テープ等
簡易除染用品	養生用シート、粘着テープ、ウェットティッシュ、ウエス、洗車用ブラシ、ビニールシート、大小ポリ袋、帽子、綿手袋、ゴム手袋、サージカルマスク、着替え用衣類とタオル等

このほか、地方公共団体の現地災害対策本部等との通信連絡のため、携帯電話、衛星携帯電話などの通信機器を整備する必要があります。  
また、検査場所によっては、運営に必要な仮設テントや机、照明器具、熱中症対策のための保冷剤、送風機、暖房器具、雨具、荒天時対策の装備等が必要となります。なお、自動体外式除細動器(AED)は用意することが望ましいです。

数量等はチーム数等に応じて調整します。

- 個人被ばく線量計は、原則として、日本工業規格(JIS Z4511)に準拠して校正された機器を用います。また、長期使用しない場合は、電池を取り外し、予備電池を用意しておきます。必要数は、要員と交代要員の数に加え、予備を考慮します。
- 空間線量率用の放射線測定器は、原則として、日本工業規格(JIS Z4511)に準拠して校正された機器を用います。放射線測定器は、定期的(半年に1回以上推奨)に動作確認を行い、バックグラウンド計測値に異常がないことを確認しておきます。また、長期使用しない場合は、電池を取り外しておくとともに、予備電池を用意しておきます。
- GMサーベイメーター(入射窓面積が20cm<sup>2</sup>)以外の表面汚染検査用の放射線測定器を使用する場合は、指示値のOIL4 (40,000 cpm)への換算を個別に確認しておきます。また、機器の仕様によっては、メーター針とデジタル表示を持つもの、デジタル表示のみのものなど、様々です。
- 体表面汚染モニタ又は車両用ゲート型モニタを使用する場合は、40,000cpmを検出できる性能であることをメーカーに確認しておきます。

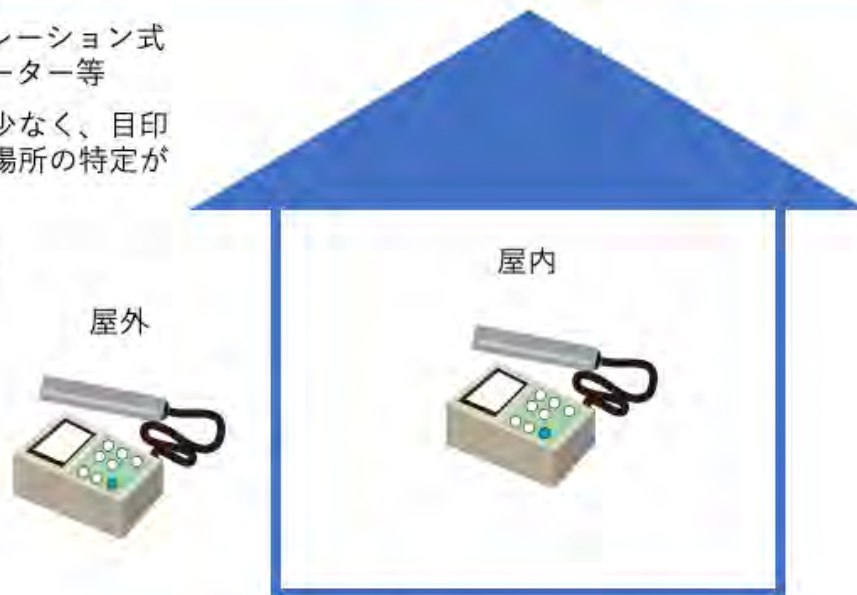


## バックグラウンドの測定方法と取扱い

NaI シンチレーション式  
サーベイメーター等

車の通行が少なく、目印  
があって、場所の特定が  
容易な地点

時定数10秒



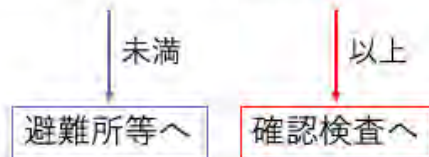
測定日時、測定場所、測定者及び測定値を記録

検査責任者の補佐は、検査の準備段階から検査終了までの間、空間線量率用の放射線測定器(NaI シンチレーション式サーベイメーター等)を使って、以下の方法により、定期的にバックグラウンド測定を行います。

1. 検査責任者の補佐は、検査場所の屋内・外の2ヶ所程度を選んで測定点(定点)とします。測定点は、車の通行が少なく、目印があって、場所の特定が容易な地点を選びます。
2. 測定器を準備し、測定点において検出部を地上から1m(腰部付近)の高差で水平に保ちます。毎回、同一の向きで測定します。
3. 時定数を10秒とし、約30秒(時定数の3倍)経過後、指示値を読み、記録します。指示値の読み方は、メーター針のある機種では、針の振れの中央を読みます。
4. 空間線量率の測定は、検査を開始する前及び検査中1時間に1回程度行います。
5. 測定結果として測定日時、測定場所、測定者及び測定値を記録します。
6. 原子力施設の状況の変化や各チームからの検出報告等、注意すべき情報が得られた場合には、連続監視等、測定の頻度を上げます。

## 指定箇所検査

- GMサーベイメータ（入射窓面積が20cm<sup>2</sup>のもの）を用いた測定
- 設定
  - 時定数；3秒
  - 測定レンジ；10kcpm(10,000cpm)
  - 消音
  - 距離；対象物の表面から数cm以内
  - 速度；毎秒約10cm
- 測定箇所；放射性物質が付着する可能性が高いところ(指定箇所)
- 基準値；6kcpm(6,000cpm)



1. 時定数を3秒に設定します。
2. 測定レンジは、10kcpm (10,000 cpm)に設定します。
3. 計数音はオフ(消音)にします。
4. 検査対象の表面と検出部の距離を数cm以内に保ちながら、毎秒約10cmの速度でプローブを移動させます。
5. 検査を行う箇所は、放射性物質が付着する可能性が高いところ(指定箇所)とします。
6. 指示値が6kcpmを超えていないことを確認します。超えた場合は、次の「確認検査」に移行します。
7. 一世帯又は車両1台の検査が終わった後、バックグラウンド値に著しい変化がないことを確認します。確認の結果、著しい変化があった場合は、ラップフィルムを交換します。ラップフィルムの交換後もバックグラウンド値が戻らない場合は、他の原因が考えられますので、検査責任者の補佐に連絡します。

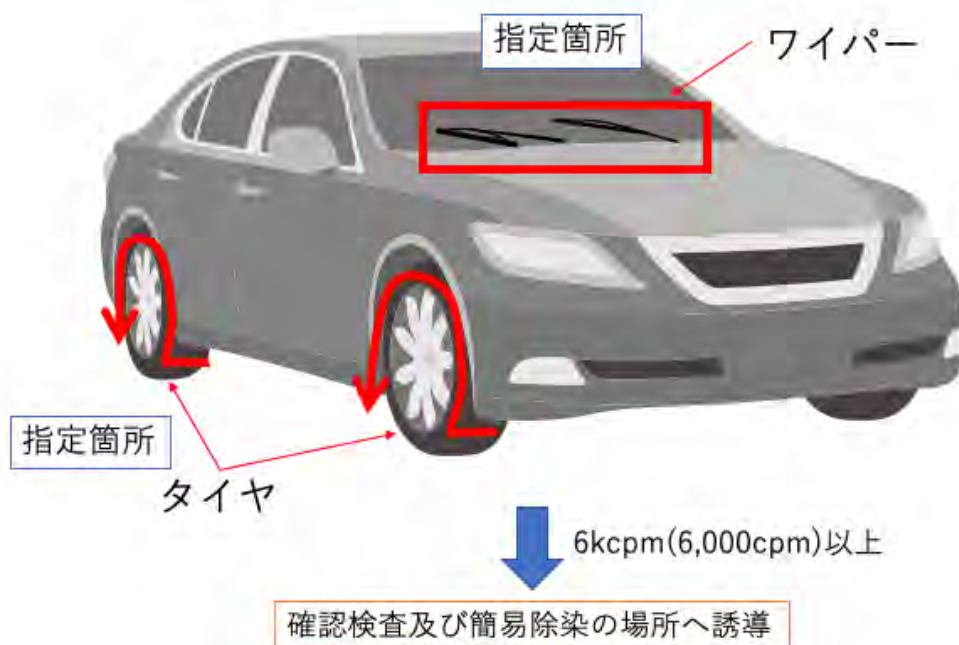
線源と検出部の距離を10mmに固定して測定した際に40,000cpm ( $\beta$ 線)に相当する計数率が得られる場合、この線源に対し、時定数3秒、検出部入射面との高さを10mmに保ち、毎秒約10cmで水平移動させて測定できる計数率の最大値は6,000cpm以上となります(白川芳幸「サーベイメータの適切な使用のための応答実験」『ISOTOPE NEWS』第635号, 2007年3月, 19-24頁を参照)。

## 確認検査

- GMサーベイメータ
- 設定
  - 時定数；3秒
  - 測定レンジ；指示値に応じて切り替える
  - 消音
  - 距離；対象物の表面から数cm以内
  - 速度；毎秒約10cm
  - 測定箇所
- 測定箇所；指定箇所検査で検出された箇所を含めた検査対象の全面又は簡易除染を行うときはその箇所
- 有意に指示値が高い場所でプローブを縦・横に動かし、指示値が最も高くなる箇所でプローブを約 10 秒固定して、測定

1. 時定数を3秒に設定します。
2. 測定レンジは、指示値に応じて適宜、切り替えます。
3. 計数音はオフ(消音)にします。
4. 検査対象の表面と、検出面の距離を数cm以内に保ちながら、毎秒約10 cmの速度でプローブを移動させます。
5. 検査を行う箇所は、指定箇所検査で検出された箇所を含めた検査対象の全面又は簡易除染を行うときはその箇所です。原則として検査員による検査が可能な範囲とします。
6. 有意に指示値が高い場所でプローブを縦・横に動かし、指示値が最も高くなる箇所でプローブを約 10 秒固定して、測定値を読み、OIL4以下であるかを確認します。バックグラウンドの減算は行いません。
7. 有意に指示値が高い場所が複数あるときは、それぞれの箇所で同様に測定します。
8. バックグラウンド値の確認と処置は、指定箇所検査の7と同様に行います。

## 車両の検査

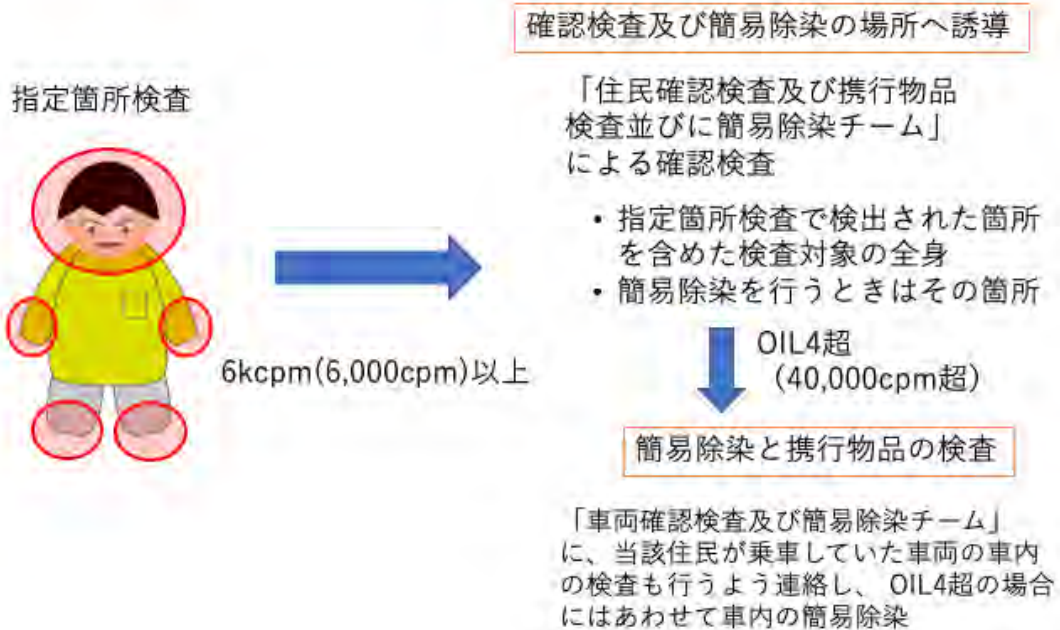


車両は以下の指定箇所検査を行います。

1. タイヤ(原則として全輪) シャーシより下部の接地面(ゴム部)を中心に、側面ゴム部も検査します。
2. ワイパー部(フロントガラス下部) ワイパーのゴム部分だけでなく、フロントガラスの下部パッキンにかけてのワイパー周辺一帯も検査します。

指定箇所検査でOIL4超の可能性があると判定(6,000cpm以上)された場合は、確認検査及び簡易除染の場所へ誘導し、「車両確認検査及び簡易除染チーム」による確認検査を実施します。その結果、OIL4超の場合は、簡易除染と乗員の検査を行います。

## 住民の検査

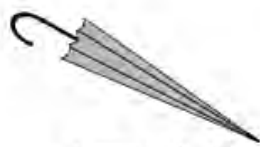


「住民指定箇所検査チーム」による表面汚染検査用の放射線測定器を用いた住民の検査では、放射性物質が付着している可能性が高い、①頭部、顔面、②手指、③靴底を指定箇所検査します。なお、検査の際には、帽子、上着等は着衣のまま、その上から検査します。

指定箇所検査でOIL4超の可能性があると判定された場合は、確認検査及び簡易除染の場所へ誘導し、「住民確認検査及び携行物品検査並びに簡易除染チーム」による確認検査を実施します。その結果、OIL4超の場合は、簡易除染と携行物品の検査を行います。また、「車両確認検査及び簡易除染チーム」に、当該住民が乗車していた車両の車内の検査も行うよう連絡し、OIL4超の場合にはあわせて車内の簡易除染を行います。

## 携行物品の検査

- 対象となる物品の表面検査
- 原則として表面全面の検査
- スーツケース、鞆、袋など密封されたものは、開封せずに、外側を検査



表面を検査



外側を検査

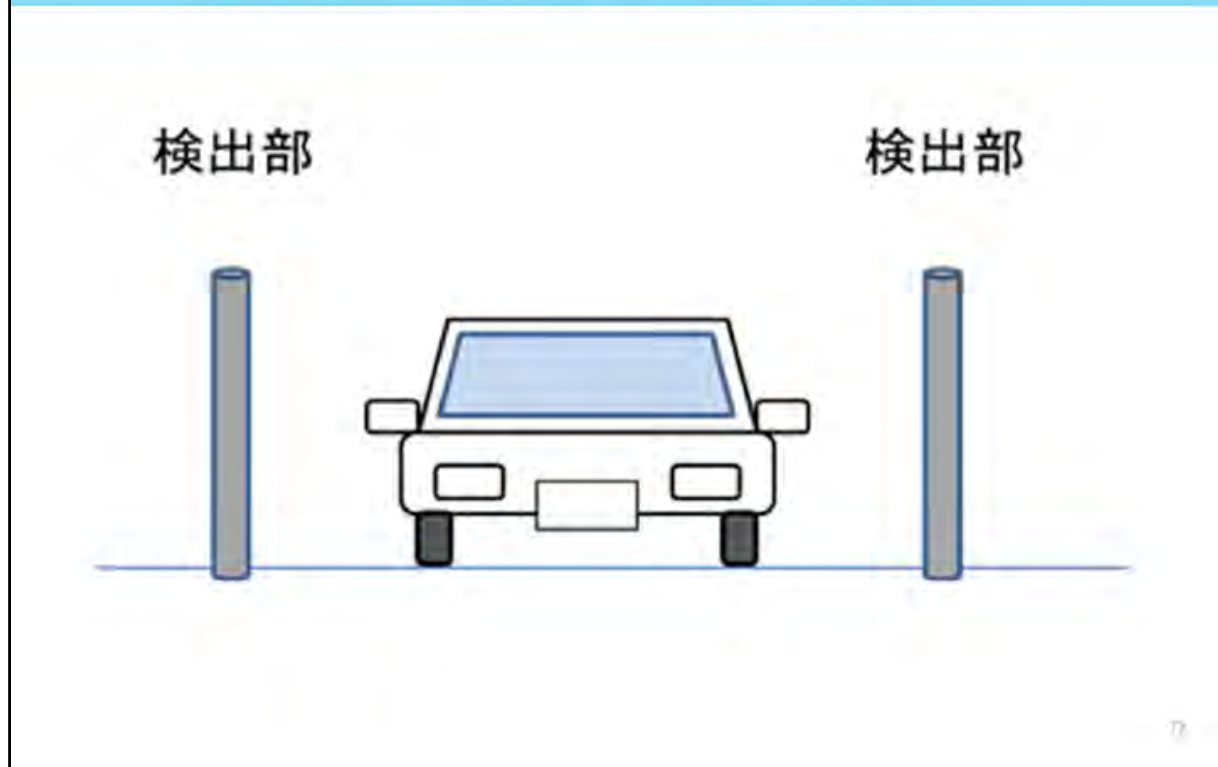


OIL4超 (40,000cpm超)

簡易除染

「住民確認検査及び携行物品検査並びに簡易除染チーム」による表面汚染検査用の放射線測定器を用いた携行物品の検査では、対象となる物品の表面を検査します。原則として表面全面を行って下さい。なお、スーツケース、鞆、袋等密閉されたものは、開封して検査する必要はありません。検査OIL4超の場合は、簡易除染を行います。

## 車両用ゲート型モニタによる検査



一般的に車両用ゲート型モニタは、検出部に大容量のプラスチックシンチレータ等を用いており、 $\beta$ 線ではなく $\gamma$ 線を検出する方式のものが多くです。検出部は移動できる2本のポールで構成し、車両は、ポールとポールの間(ゲート)を通過する方式としたものがほとんどです。

車両用ゲート型モニタは、以下に示す検査方法等であれば、表面汚染検査用の放射線測定器による指定箇所検査に代えることができます。実際に車両用ゲート型モニタを導入するときには、その性能等をメーカーによく確認して下さい。

1. 検査員は、通過する車両の大きさ(バス、乗用車の車幅等)に合わせて、車体側面からポールまで 1.5 m 以内の間隔となるように設置します。
2. ゲートの手前で車両を一時停止させ、ゲートの中心線に沿って、およそ 5km/h 以下で一台ずつ通過させます。
3. 検査員は、ゲート通過後、車両を再度、一時停止させます。このとき、要員の安全を確保するため、ギアはパーキング又はニュートラルに、また、サイドブレーキが引いてあることを確認します。
4. 検査員は、ワイパー部(フロントガラス下部)を表面汚染検査用の放射線測定器で指定箇所検査します。ワイパー部は、車体に体が触れない程度の、手の届く範囲を検査します。
5. 検査の終わった車両を、次のところに誘導します。

## 車両の簡易除染

- 原則として、簡易除染員が濡らしたタオル等を用い、付着している放射性物質を拭き取る
  - OIL4超の箇所の周囲から中心に向かって一方向に拭き取ります。
  - 1枚のタオル等で何度も繰り返して拭き取らないようにします。
  - 1度拭き取りに使ったタオル等は所定の容器等へ入れます。
  - 該当箇所に強固に泥が付着している場合は、洗車用ブラシを使うなどして、泥を落とす。

原則として、簡易除染員が濡らしたタオル等を用い、付着している放射性物質を拭き取ります。拭き取りの方法は、以下のとおりです。

- OIL4超の箇所の周囲から中心に向かって一方向に拭き取ります。
- 1枚のタオル等で何度も繰り返して拭き取らないようにします。
- 1度拭き取りに使ったタオル等は所定の容器等へ入れます。

該当箇所に強固に泥が付着している場合は、洗車用ブラシを使うなどして、泥を落とします。落とした泥は、シートで受け、ビニル袋等に集めておき、一般の廃棄物と分別しておきます。

流水を利用する場合は、簡易除染員の吸入・汚染防止(マスク、防水用装備の着用)と水の拡散防止(周囲に防水シートを敷き、立ち上がりを設けて堰とします)を確保した上で行います。



## 住民・携行品の簡易除染

- 原則として住民本人による脱衣
- 手袋とマスクを着用
- 衣服の表を中に巻き込むように脱衣

### 携行品の簡易除染

- 水で濡らしたタオル等による拭き取り
- 所有者の希望があれば、本人が手袋をした上で、拭き取り



### 脱衣

衣服がOIL4超の場合は、原則として住民本人による脱衣を行ってまいります。その際、替えの衣服も予め用意しておきます。脱衣の際は、衣服や身体への放射性物質の拡大を防止する必要があります。そのため、簡易除染員から住民へ以下の説明と指導を行います。なお、自分で脱衣を行えない住民には、簡易除染員が手伝います。

- 手袋とマスクを着用します。
- 衣服の表を中に巻き込むように脱ぎます。
- 脱衣の際に皮膚に触れる場合は、テープ等で覆ってから脱衣します。

脱衣後、該当箇所の身体を確認検査し、測定の結果、OIL4超の場合は、次の簡易除染を行います。

なお、放射性物質の付着がごく一部分に限られている場合は、拭き取ることもできます。

### 拭き取り

頭髪や皮膚がOIL4超の場合は、原則として住民本人によるウェットティッシュ等を用いた拭き取りを行ってまいります。

簡易除染員から住民へ以下の説明と指導を行います。なお、自分で拭き取りが行えない住民には、簡易除染員が手伝います。

- ・手袋(手の簡易除染時は着用しません)とマスクを着用します。
- ・OIL4超の箇所周囲から中心に向かって拭き取ります。
- ・1枚のウェットティッシュ等で何度も繰り返して拭き取らないようにします。
- ・1度拭き取りに使ったウェットティッシュ等は所定の容器等へ入れます。
- ・アルコールにアレルギーのある住民には、水でぬらしたガーゼ、布等を使います。

1回の簡易除染でOIL4超の場合は、2回を目安に簡易除染を行い、確認検査を行います。

#### 流水の利用

流水を利用する場合は、原則として住民本人に洗い流してもらいます。簡易除染員から住民へ以下の説明と指導を行います。なお、自分で行えない住民には、簡易除染員が手伝います。

- ・目や口に水が入らないようにします。
- ・頭髪がOIL4超の場合は、洗髪します。
- ・傷がある場合には、傷口に水がかからないよう、絆創膏で保護するなどして行います。なお、創傷の程度によっては、医療処置を優先します。

携行品は、水で濡らしたタオル等による拭き取ります。所有者の希望があれば、本人が手袋をした上で、拭き取りをしてもらうこともできます。

簡易除染の効果の確認方法は、「確認検査」に準じて行います。1回の簡易除染でOIL4超の場合は、2回を目安に簡易除染を行い、確認検査を行います。

## OIL4以下にならなかった場合の処置

- 車両
  - 車両の所有者氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録
  - 当該車両に対する取扱いについては、例えば、検査場所が避難所等に近接している場合は、検査場所に一時保管（駐車）して徒歩で移動
  - 避難所等から離れている場合は、一時保管後、バス等の代替え交通手段で移動
- 住民等
  - 住民の氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録
  - 当該住民に対しては、追加の除染を行う必要があるため、検査結果を記載した書面を渡すとともに、OIL4以下でない部位をタオル等で覆うなどして拡散防止処置を施した上で、除染処置について専門的な知識及び技能を有する機関まで移動
- 衣服、携行品
  - 脱衣した衣服、携行物品は、ポリ袋に入れて封をし、所有者氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録
  - 封をしたまま避難所まで持参、廃棄処分、検査場所で一時保管のいずれか

### 車両

車両の所有者氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録します。

当該車両に対する取扱いについては、例えば、検査場所が避難所等に近接している場合は、検査場所に一時保管(駐車)して徒歩で移動することが考えられます。一方、避難所等から離れている場合は、一時保管後、バス等の代替え交通手段で移動することも考えられます。

### 住民等

住民の氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録します。

当該住民に対しては、追加の除染を行う必要があるため、検査結果を記載した書面を渡すとともに、OIL4超の部位をタオル等で覆うなどして拡散防止処置を施した上で、除染処置について専門的な知識及び技能を有する機関まで移動をお願いします。

### 衣類、携行物品

脱衣した衣服、携行物品は、ポリ袋に入れて封をし、所有者氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録します。その後の取扱いは、(イ)封をしたまま避難所等まで持参、(ロ)廃棄処分（住民が所有権を放棄した場合）、(ハ)検査場所で一時保管します。

## 汚染物等の取扱い



簡易除染で発生したタオルやウェットティッシュ等の汚染物（所有者が所有権を放棄した携行物品を含む）は、「汚染」と表記したポリ袋に入れ、一般の廃棄物と分別



流水を利用した場合等の廃水の処理については、「汚染」と表記したドラム缶やポリ容器等に封入

17

簡易除染で発生したタオルやウェットティッシュ等の汚染物（所有者が所有権を放棄した携行物品を含みます。）は、「汚染」と表記したポリ袋に入れ、一般の廃棄物と分別しておきます。なお、検査員等が使用したゴム手袋や防護服、マスク等も、汚染している可能性があるともなし、同様に取り扱います。

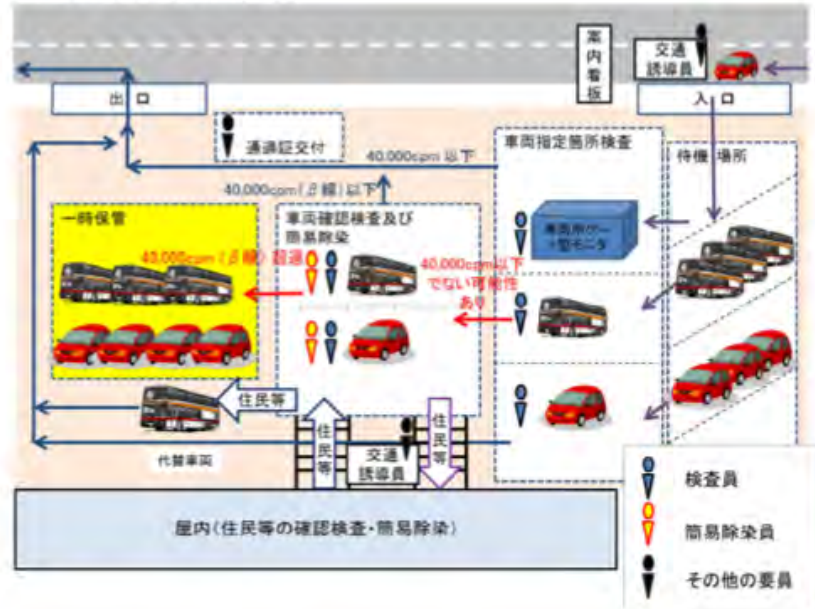
流水を利用した場合等の廃水の処理については、環境や一般の下水道へ排水することは適切でないため、「汚染」と表記したドラム缶やポリ容器等に封入し、一時的に貯留します。

これらの汚染物等は、計画に定めた保管場所に一時保管します。一時保管場所は、住民や要員の出入りの少ない場所とし、可能であれば、施錠できる場所であってコンクリート壁等に囲まれた、遮へい効果が期待できる場所を選びます。

汚染物等の引取りは、地方公共団体が、予め、国及び原子力事業者と協議の上、決めておくことが必要です。

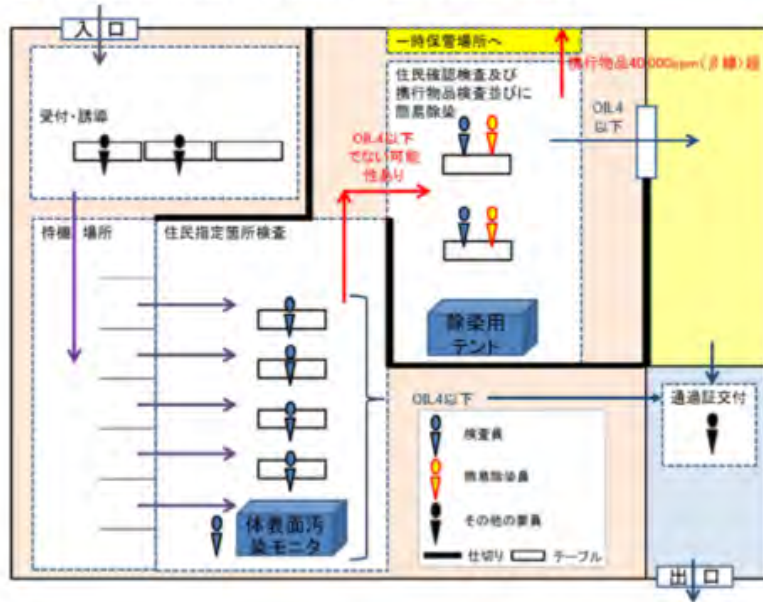
# 検査場所の例（屋外）

屋外の配置計画図、動線図の例



# 検査場所の例（屋内）

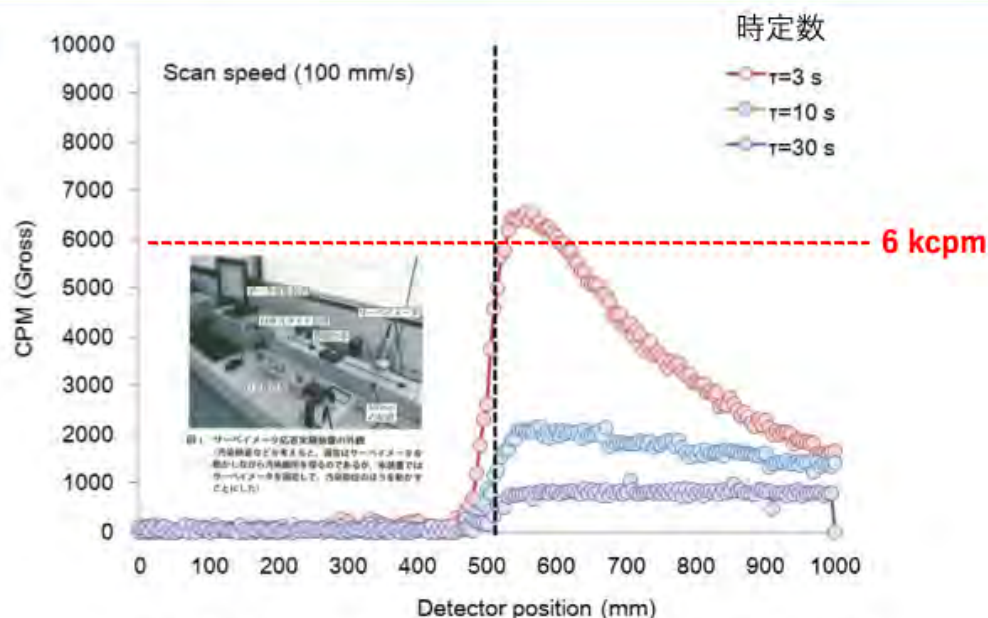
屋内の配置計画図、動線図の例(住民等の検査が必要となった場合)



## まとめ

- 判断基準：OIL4（初期値40,000cpm）
- 体制：責任者、検査チーム、簡易除染チーム、交通誘導員他
- 資機材：個人防護装備、放射線測定器、養生資材、簡易除染用品
- 車両の検査（ワイパー、タイヤ）：6,000cpm以上→確認監査、簡易除染
- 住民の検査（頭部、手、靴）：6,000cpm以上→簡易除染、携行品検査
- 携行品検査（表面全面の検査、開封しない）：OIL4超→簡易除染
- 車両の簡易除染：濡らしたウエスで拭き取る
- 住民の簡易除染：表を中に巻き込む様に脱衣しポリ袋に入れる
- 携行物品の簡易除染：濡らしたウエスで拭き取る
- OIL4超の場合：氏名、連絡先、月日、検査結果を記録（保管、飛散防止）
- 汚染物の取扱い：ゴミ袋に「汚染」と記載し、一時保管

## 補足



スキャン速度に応じたGMサーベイメータの指示値の変動  
 (コイン線源の1cm直上にプローブが静止状態にある場合の指示値は40000cpm)

白川, Isotope News 2007年3月号参考

線源と検出部の距離を10mmに固定して測定した際に40,000cpm ( $\beta$ 線)に相当する計数率が得られる場合、この線源に対し、時定数3秒、検出部入射面との高さを10mmに保ち、毎秒約10cmで水平移動させて測定できる計数率の最大値は6,000cpm以上となります(白川芳幸「サーベイメータの適切な使用のための応答実験」『ISOTOPE NEWS』第635号, 2007年3月, 19-24頁を参照)。



# 避難と屋内退避の支援

原子力災害 基礎研修

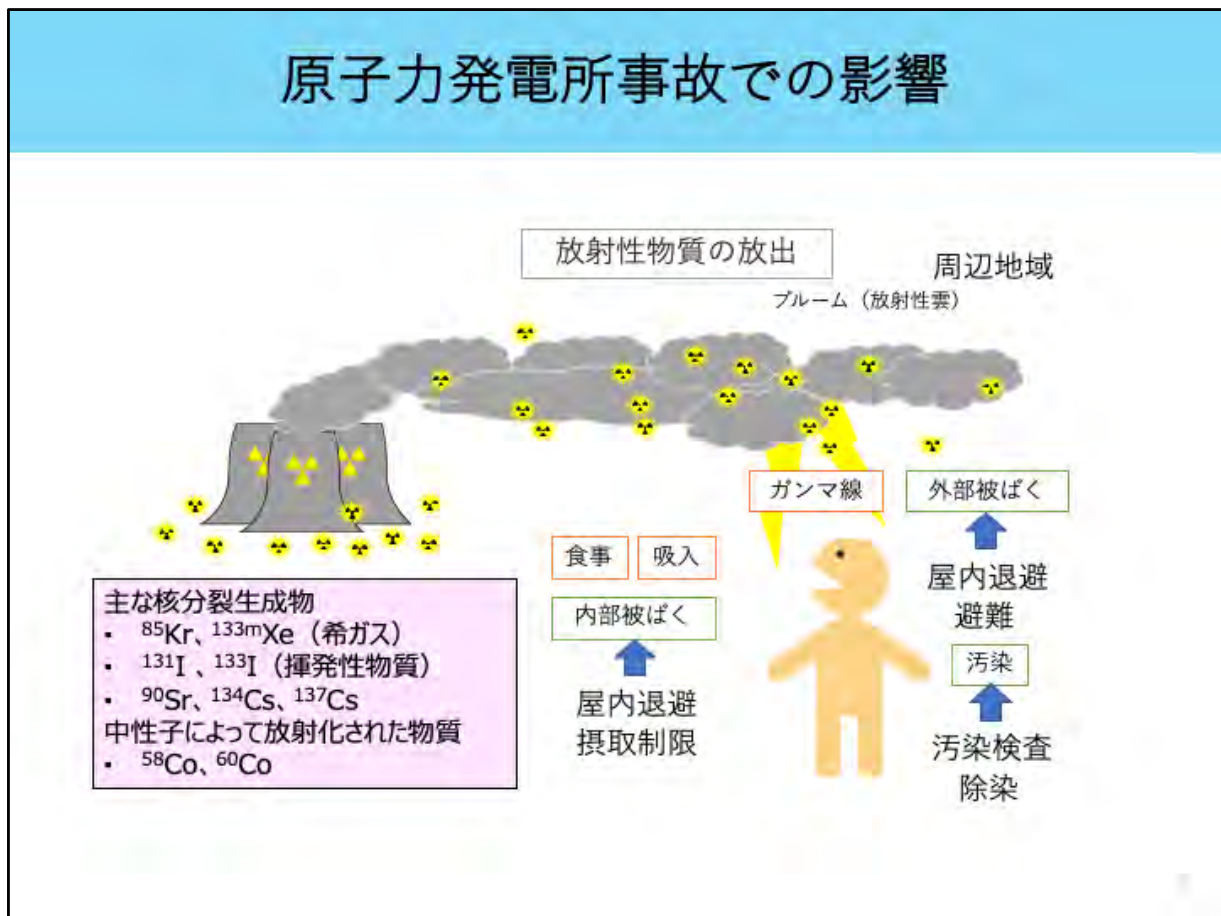
原子力災害基礎-8

時間；30分

内容

- 原子力発電所事故での影響
- 原子力災害時の防護措置
- 原子力発電所事故時の防護
- 防護措置の効果
- 屋内退避時の注意点
- 医療・福祉施設の避難
- 避難時の注意点
- 避難退域時検査
- 汚染検査
- 原子力災害時の病院避難
- 避難時の防護対策
- 車椅子の汚染検査
- 受け入れ先医療機関での対応
- 屋内退避・避難時のチェックリスト

## 原子力発電所事故での影響



原子力発電所では、ウランが核分裂して発生させる熱を発電に利用しています。この核分裂によって生じたものが核分裂生成物で、放射性物質を多く含んでいます。

原子力災害では、事故で燃料のペレットや被覆管が破損すると、大量の放射性物質が環境中に放出されます。

放出された気体状の放射性物質は、雲のような状態で大気中を流れます。このプルームから降ってきた放射性物質が地表に沈着したり、野菜などの食物に取り込まれます。そこで、プルームが通過した地域にいと汚染したり、プルームからのガンマ線による外部被ばくをしたり、吸入や食事から内部被ばくをしたりします。このため、原子力施設周辺の住民等に対する放射線の重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するための防護措置を講じる必要があります。

# 原子力災害時の防護措置

主体	PAZ	UPZ	UPZ外
警戒事態	地方公共団体	・住民への情報伝達	・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力
	国	・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備の指示	・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力の要請
施設敷地緊急事態	地方公共団体	・住民への情報伝達 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難 ・住民避難の準備 ・安定ヨウ素剤の服用の準備	・住民への情報伝達 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ ・住民の避難準備への協力
	国	・施設敷地緊急事態要避難者の避難の指示 ・住民避難の準備の指示 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示	・屋内退避の準備の指示 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ要請 ・住民の避難の準備への協力の要請
全面緊急事態	地方公共団体	・住民への情報伝達 ・住民避難 ・住民等への安定ヨウ素剤の服用の指示	・住民への情報伝達 ・住民避難の受け入れ ・安定ヨウ素剤の服用の準備 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応
	国	・住民避難の指示 ・地方公共団体への安定ヨウ素剤の服用の指示	・屋内退避の指示 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応 ・住民避難の受け入れ要請 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応

原子力発電所の事故が発生した場合、防護措置が開始されます。

緊急時活動レベル（EAL）に基づいた防護措置の考え方

予防的防護措置を準備する区域（PAZ）においては、確定的影響を回避するために、警戒事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難準備を行い、施設敷地緊急事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難、住民避難の準備及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行い、全面緊急事態にいたった場合は、住民避難及び安定ヨウ素剤の服用されます。

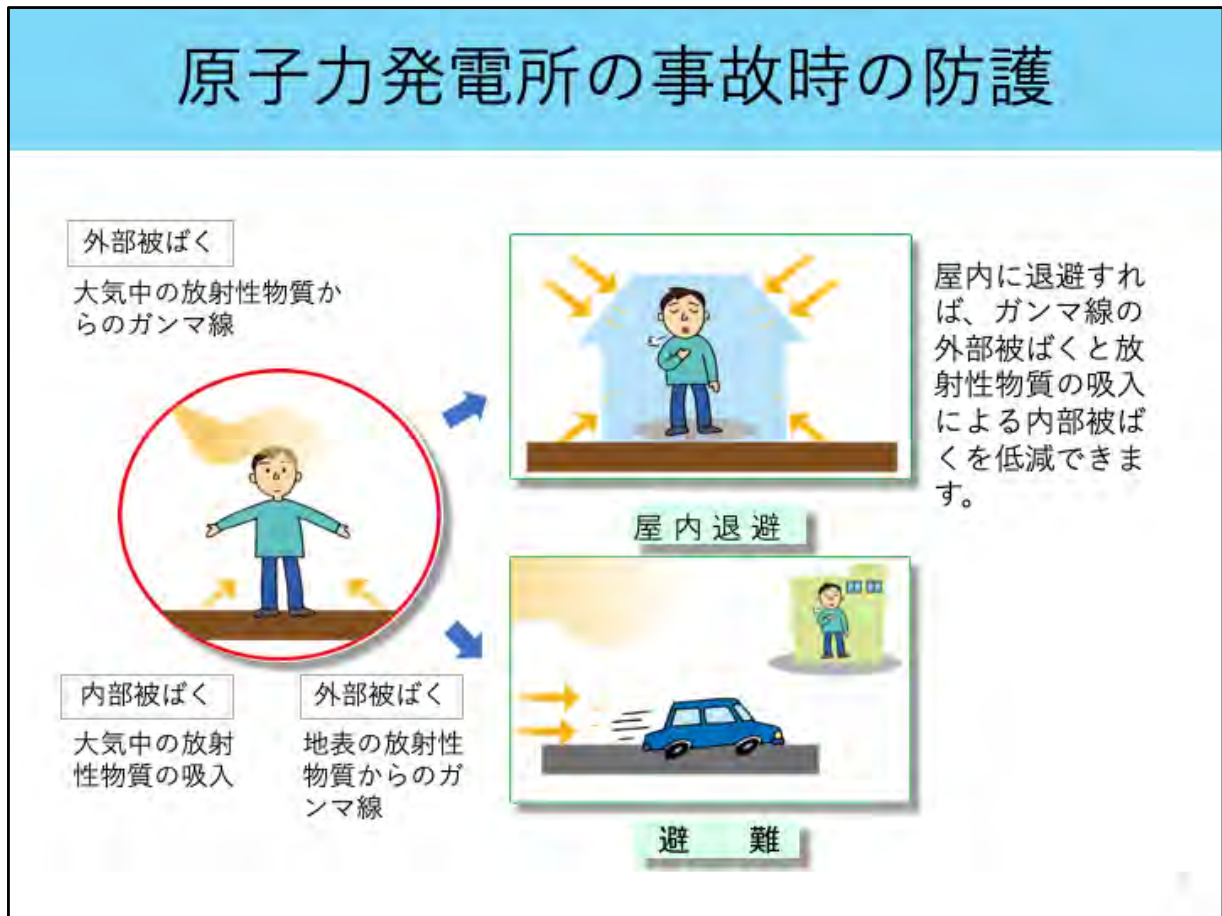
また、緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）においては、確率的影響のリスクを低減するために、施設敷地緊急事態において、屋内退避の準備を行い、全面緊急事態において、屋内退避及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行います。放射性物質の放出後、UPZ及びUPZ外においては、OILに基づいて、防護措置が実施されます。

PAZの医療機関は施設敷地緊急事態で、避難を開始することになります。

施設敷地緊急事態要避難者

避難の実施に通常以上の時間がかかり、かつ、避難によって健康リスクが高くなる要配慮者等（傷病者、入院患者、高齢者、障害者、外国人、乳幼児、妊産婦その他の災害時に援護を必要とする者をいう。）、安定ヨウ素剤を事前配布されていない者及び安定ヨウ素剤の服用が不適切な者のうち、施設敷地緊急事態において早期の避難等の防護措置の実施が必要な者をいいます。

# 原子力発電所の事故時の防護



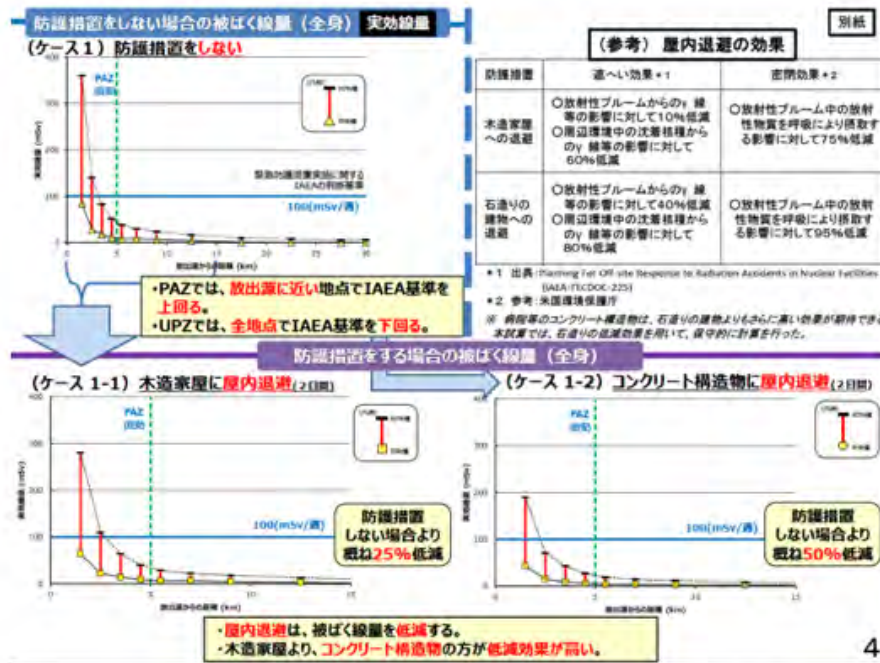
放射性物質が環境中に放出された場合、大気中あるいは地表の放射性物質からのガンマ線によって外部被ばくします。屋内に滞在した場合は、建物の壁や屋根によって放射線を遮ることができ、被ばく線量を低減できます。建物は木造建屋よりもコンクリート建屋の方が放射線の遮へい効果があります。

また、窓や扉を閉めることで、大気中の放射性物質が建物の中に入ってくることを防ぎ、放射性物質の吸入を防ぐことによって内部被ばくの防護ができます。

原子力災害が起こった時の防護の基本は、屋内退避と避難です。これらの行動の基準は、原子力災害対策指針（原子力規制委員会）に定められており、国や地方公共団体によって指示されます。医療機関や介護福祉施設等の避難に支援が必要な機関では、地域防災計画等によって定められている屋内退避や避難をします。

原子力災害時には、空間線量率が毎時500マイクロシーベルトを超えた地域は、直ちに避難をします。また、毎時20マイクロシーベルトを超えた地域は、1週間を目処に一時移転します。これらは、防護措置の実施を判断する基準として運用上の介入レベル(OIL)として設定されています。

# 防護措置の効果（全身の被ばく線量）



出典：緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について（案）  
平成26年5月28日 原子力規制委員会

屋内退避の防護効果を示します。ここでは、セシウム137が100テラベクレル、その他核種がセシウム137と同じ割合で換算された量、さらに希ガス類が全量、環境中に放出されるような仮想的な事故を想定しています。

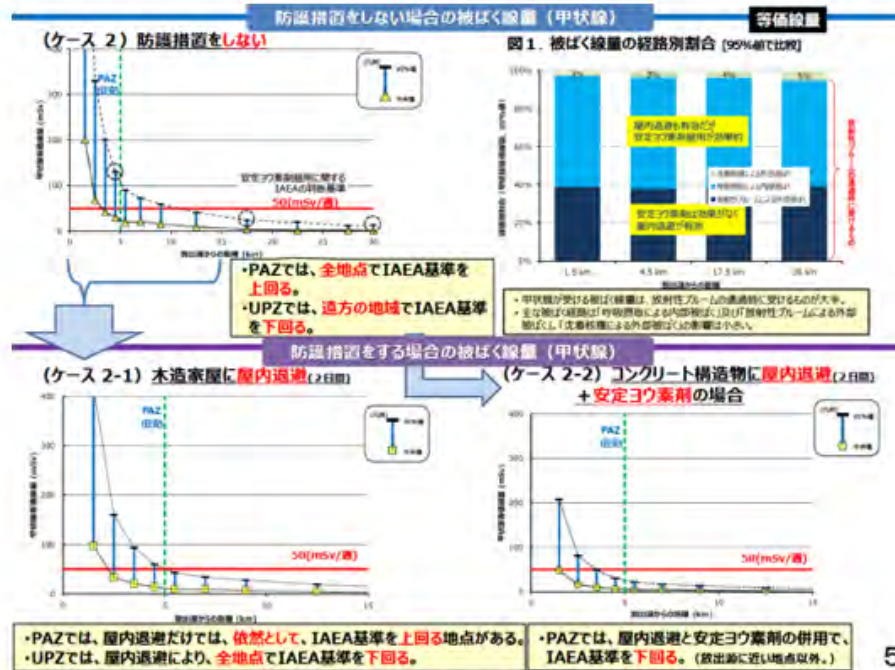
防護措置をしない場合に比べて、屋内退避は被ばく線量を低減することができます。さらに木造家屋より、コンクリート構造物の方が被ばく線量の低減効果は高いです。

このように、一時的には、屋内退避による防護効果が期待できるため、PAZでは、予防的な避難を行うことによって、かえって健康リスクが高まるような要配慮者については、無理な避難を行わず、屋内退避を行うとともに、適切に安定ヨウ素剤を服用することが合理的です。

病院等のコンクリート建物に対して放射線防護機能を付加することで、より一層の低減効果を期待できます。

避難勧告・避難指示、屋内退避が長期に及ぶと予想される場合は、避難に切り替えることが必要です。

# 防護措置の効果（甲状腺）



出典：緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について（案）  
平成26年5月28日 原子力規制委員会

屋内退避による甲状腺の被ばく線量の低減効果を示します。  
木造家屋に屋内退避した場合より、コンクリート建屋への屋内退避と安定ヨウ素剤の服用の併用によって、さらに甲状腺の被ばく線量を低減する効果が高くなります。

## 屋内退避時の注意点

窓を閉める



換気扇を止める



冷暖房器具を止める。



空調を止める。



屋内退避が指示されたときの注意事項は、外気を取り入れないことがポイントです。

- ・窓や扉を閉める。
- ・換気扇を止める。（空気の流れを止める。）
- ・冷暖房器具を止める。  
ただし、家庭用のエアコンなど外気を取り入れない（熱交換だけを行う物）は、使用することができます。
- ・大きな建物などに設置されている、換気装置を止める。

その他

- ・テレビ、ラジオ、防災無線、広報車等から、正確な最新の情報を入手します。
- ・外から建物の中に入るとき、手洗い等を行います。
- ・食品を汚染させないように、食品をタッパ、ラップ、冷蔵庫等に保管します。
- ・避難、一時移転の防護措置が指示された場合に備えて、避難の際に持ち出す物品を準備します。

## 屋内退避時の注意点



避難や一時移転を実施した方が良いが、避難により健康リスクが高まる災害時要配慮者（傷病者、入院患者、高齢者、障害者、外国人、乳幼児、妊産婦等）等、実施が困難な場合、国及び地方公共団体の指示により屋内退避が実施されます。その際、一般的に遮へい効果や建家の気密性が比較的高いコンクリート建屋への屋内退避が有効です。さらに、空気の清浄装置や遮へい材の設置も考慮されます。

特に、屋内退避を実施している期間は、食料、医薬品及び日常生活の必需品等支援を受ける必要があるため、事前に市町村や道府県等の関係機関と十分調整し、実効性のある計画を策定する必要があります。

原子力緊急事態が発生した場合は、道府県や市町村の災害対策本部と連絡を密にし、上記の支援物資の提供や放射線防護について留意し、必要な情報の提供を絶えず受けます。情報が提供されない場合は、退避者側から取りに行くことも大切です。



## 医療・福祉施設の避難

- 施設内にいた患者、職員は基本的に汚染されていない。
- 放射性物質の放出後に外出した職員あるいは外から来た家族等は汚染の可能性がある。
- 放射線防護の観点から、汚染検査よりも迅速な避難が優先される。



病院や福祉施設において、屋内退避から避難に防護措置が切り替わったときは、避難者に医師や看護師が同行します。

医師や看護師は、避難先へ避難者に関する情報をできるだけ早い段階に提供することも必要です。

防災計画として、避難先と受け入れの調整を事前に実施しておくことが推奨されます。

## 避難時の注意点



戸締まりを忘れずにする。



近所の人に避難するよう声をかける。



皮膚を出さない服装をする。



常用薬、お薬手帳は必ず携行する。



元栓を閉め、ブレーカーを忘れず落とす。

原子力災害が起こった時の防護の基本は、屋内退避と避難です。避難の時には、放射性物質が、万が一、環境中に放出された場合の対策も必要です。

外部被ばくの対策として、屋外の滞在時間をなるべく短くします。避難する場合には、車やバスなどを使用します。

内部被ばくの対策として、放射性物質を吸入しないようにマスクを使用します。マスクがない場合は、ハンカチなどで口を覆と放射性物質の吸入が少なくなります。

汚染の対策として、帽子、手袋、コートなどの長袖の衣類を一枚多く着用します。これは、汚染が髪や皮膚に付着することを防ぎ、汚染した場合には脱衣することで放射性物質を取り除くことができます。

避難する際には、戸締まりをして、電気のブレーカーを落とし、ガス・水道の元栓を閉め、近所の人に声をかけることも必要です。

医療・衛生関係では、常用薬、お薬手帳、粉ミルク、紙おむつなどは忘れずに必ず携行しましょう。

## 避難退域時検査



避難時の検査

避難時に汚染していないことを確認するために、避難退域時検査が行われます。特に、避難の初期は迅速性が重んじられ、避難車両の検査が中心に行われ、検査結果がOILの基準を超えている場合は、除染が実施されます。

## 汚染検査



GMサーベイメーターを使用して、体表面の放射性物質の付着の有無を調べます。これを汚染検査と言います。  
測定器のプローブを体表面から1cmほど離して、毎秒5～6cm動かしながら検査します。



頭からつま先まで腹側と背側の両方を検査します。靴底も忘れずに検査します。



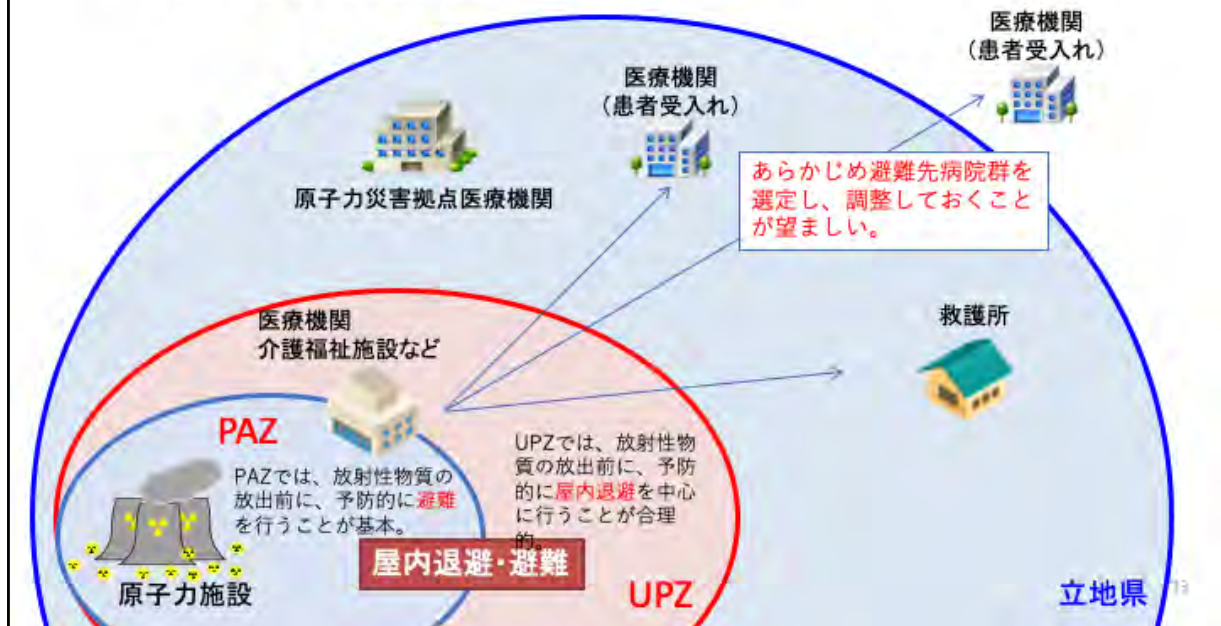
車椅子やストレッチャーに乗っている場合も、全身の汚染検査をできる限り実施します。

汚染検査には、GMサーベイメーターなどの表面汚染計を使用します。人の汚染検査の場合、手や靴底の汚染検査が重要で、手指の汚染は内部被ばくの可能性を示唆し、靴底の汚染は、歩行した範囲の汚染を示唆します。

ストレッチャーや車椅子での避難時にもできる限り汚染検査を実施します。

# 原子力災害時の病院避難

地元自治体からの指示に基づき、屋内退避、避難を行う。  
搬送手段は、原則地元自治体が確保する。



入院患者は、施設敷地緊急事態要避難者であることから、PAZに立地する医療機関や介護福祉施設などは、施設敷地緊急事態となった時点で避難を開始することになります。また、避難先の選定には時間を要するため、平時にあらかじめ避難先病院群を選定し、調整しておくことが望ましいです。  
搬送手段は、原則地元自治体が確保することになります。

## 避難時の防護対策

- 避難時の外部被ばくの対策
  - 屋外の滞在時間を短くする
  - 車やバスなどを利用する
- 避難時の内部被ばく対策
  - マスク、ハンカチ
- 避難時の汚染対策
  - 帽子
  - 手袋
  - コートなどの長袖の洋服



ストレッチャー等での搬送時には、使い捨てのシーツを上からかけておくと、毛布や衣服の汚染防止になる。



避難時の服装  
汚染した場合は、帽子、マスク、上着、手袋を脱ぐ。

医療・福祉施設の避難時にも、外部被ばく、内部被ばくの防護対策が必要です。これらの防護対策は入院患者も病院職員なども同じです。ストレッチャーでの搬送時には、使い捨てのシーツを上からかけておくと、毛布や衣服の汚染防止になります。

## 車椅子の汚染検査



15

車椅子を使用している避難者の汚染検査は、車椅子に乗ったまま行うか、車椅子から移動できる場合は、別の椅子や車椅子に移動してから汚染検査を行います。

車椅子を養生する場合は、車輪の養生は難しく、汚染が付着します。そのため、汚染がある区域から汚染がない区域へ移動する場合は、車椅子を変えることで汚染拡大防止ができます。

ストレッチャーでの搬送の場合も同様です。

## 受入れ先医療機関での対応

- 基本的に、放射性物質が環境中に放出される前に避難が開始されるので、汚染されている可能性は小さい。
- そのため、受け入れ医療機関での安全確保、汚染対策は基本的に不要である。
  - 対応者の安全確保
    - 汚染検査と除染の対応者は個人線量計、防護装備を準備する。
      - 被ばく対策：空間線量計と個人線量計による管理
      - 汚染対策：防護装備
  - 施設の受入れ準備
    - 汚染対策
      - 汚染が院内に広がらないように汚染検査、除染のエリアを設置する。
  - 受入れ
    - 汚染検査と除染（必要な場合）を行なったのち、汚染のない区域へ移動する。

医療・福祉施設等の避難の場合、入院患者や高齢者にとって長距離の避難は負担となります。また、屋内に滞在していたのち、車両での避難である場合は、身体表面の汚染はほとんどないことが予想されます。そのため、受け入れ先の医療機関等では、汚染検査に時間をかけることで、避難してきた入院患者や高齢者等の負担を増幅することがないようにすべきです。

避難者の汚染が想定される場合には、汚染検査を実施し、必要に応じて除染します。



## まとめ

- 原子力災害時の防護措置はEAL及びOILを組み合わせて実施
- 避難は、放射線・放射性物質から遠ざかることによって防護
- 屋内退避は、建物の気密性や遮へい効果を利用して防護
- 屋内退避の注意点
  - 扉・窓を閉める
  - 換気扇を止める
  - 正確で最新の情報の入手
  - 避難等を実施すべき際の屋内退避
  - 支援を確実に受けられる体制の整備
- 避難時の注意点
  - 皮膚を出さない服装
  - 戸締まりやガスの元栓等を閉める
  - 避難退域時検査
  - 救護所
- 原子力災害時の医療機関の避難では、あらかじめ避難先病院群を選定し、調整しておくことが望ましい。



平成 30 年度放射線対策委託費  
(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)  
放射線安全規制研究推進事業

包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究

成果報告書

別添資料 2

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
放射線医学総合研究所 被ばく医療センター



# 医療機関の 原子力災害対策

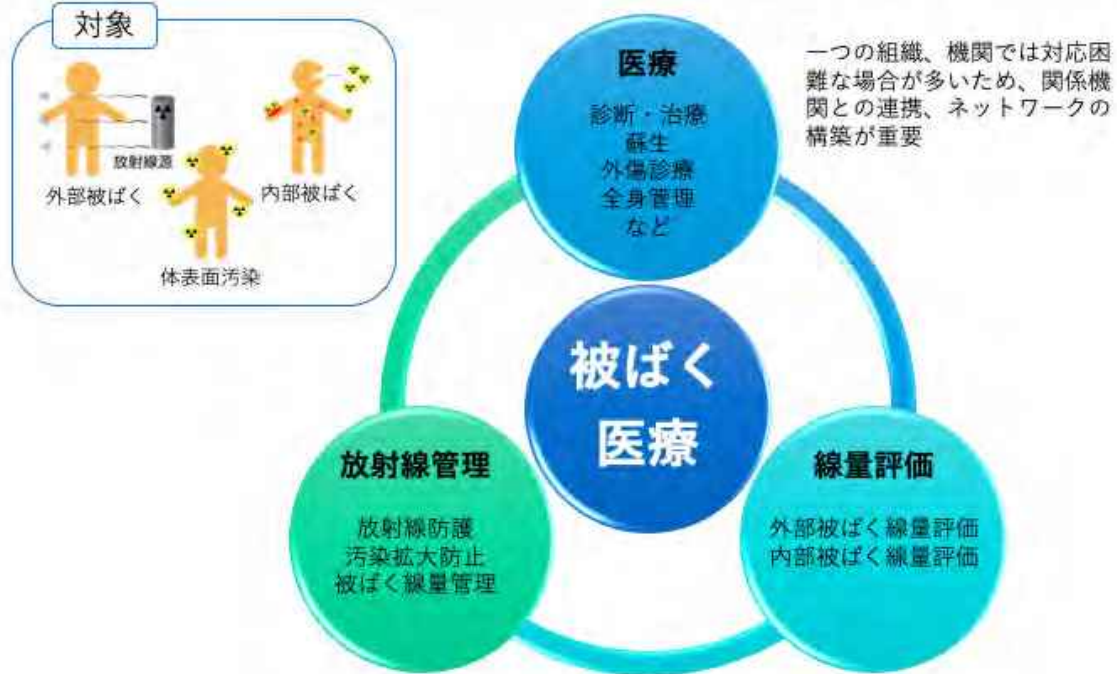
原子力災害 被ばく医療 専門研修  
被ばく医療-1

時間；30分

内容

- 被ばく医療
- 原子力災害と被ばく医療
- 災害医療と原子力災害
- 原子力災害拠点病院
- 原子力災害医療協力機関
- 被ばく医療の診療の準備
- 汚染傷病者の診療エリア
- 記録用紙
- 防護装備
- 除染室、除染テント
- 処置室の養生
- 病室の養生
- 医療機材の養生
- 除染用紙機材
- 放射線測定器
- 体外計測機器
- 試料採取用資材
- 教育、研修、訓練

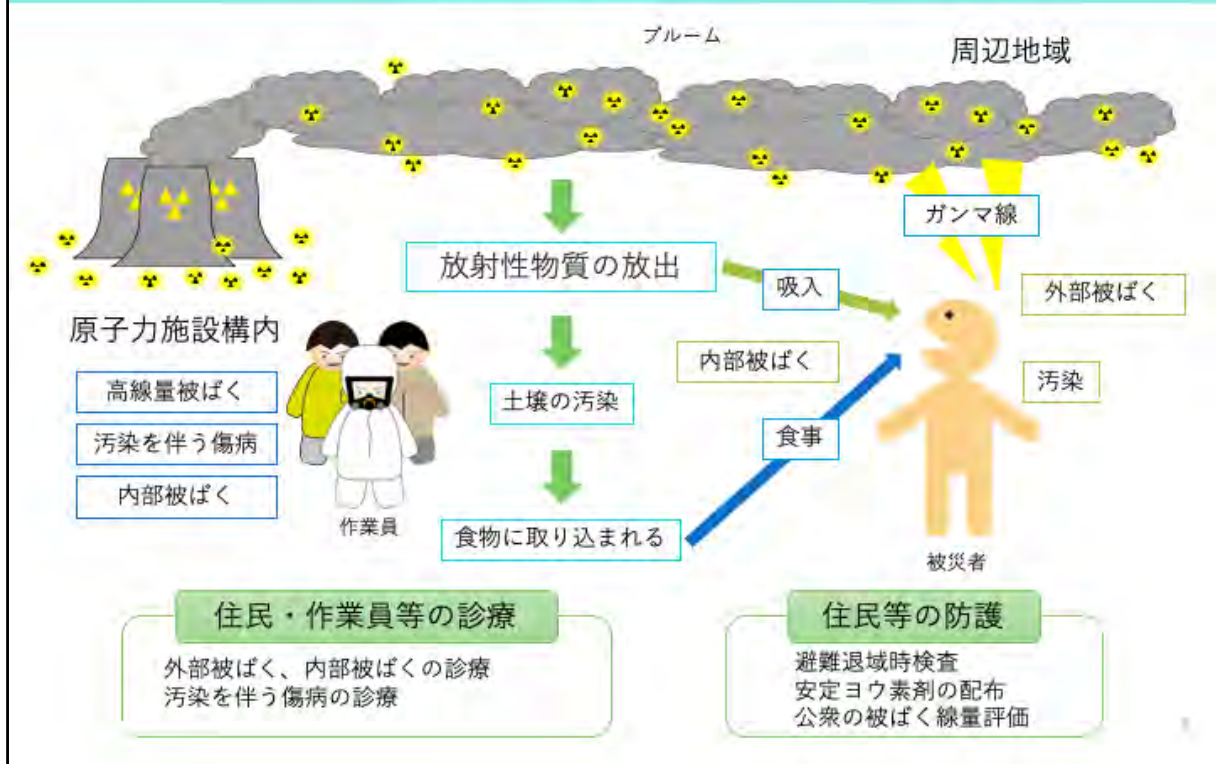
# 被ばく医療



被ばく医療の対象は、原子力施設あるいは原子力災害等で、外部被ばく、内部被ばくをした人と体表面汚染を合併した傷病者となります。

被ばく医療は、医療としての放射線障害の診断と治療、蘇生や外傷診療、全身管理と同時に被ばく線量評価と放射線管理を行う必要があります。被ばく線量評価は専門的な対応が必要なため、一つの組織や機関では対応困難なことがあります。そのため、平時に関係機関との連携やネットワークを構築して、事故や災害が発生した場合に備えておきます。また、医療機関は、原子力災害時に被ばく医療を円滑に提供できるように備えておくことが重要です。

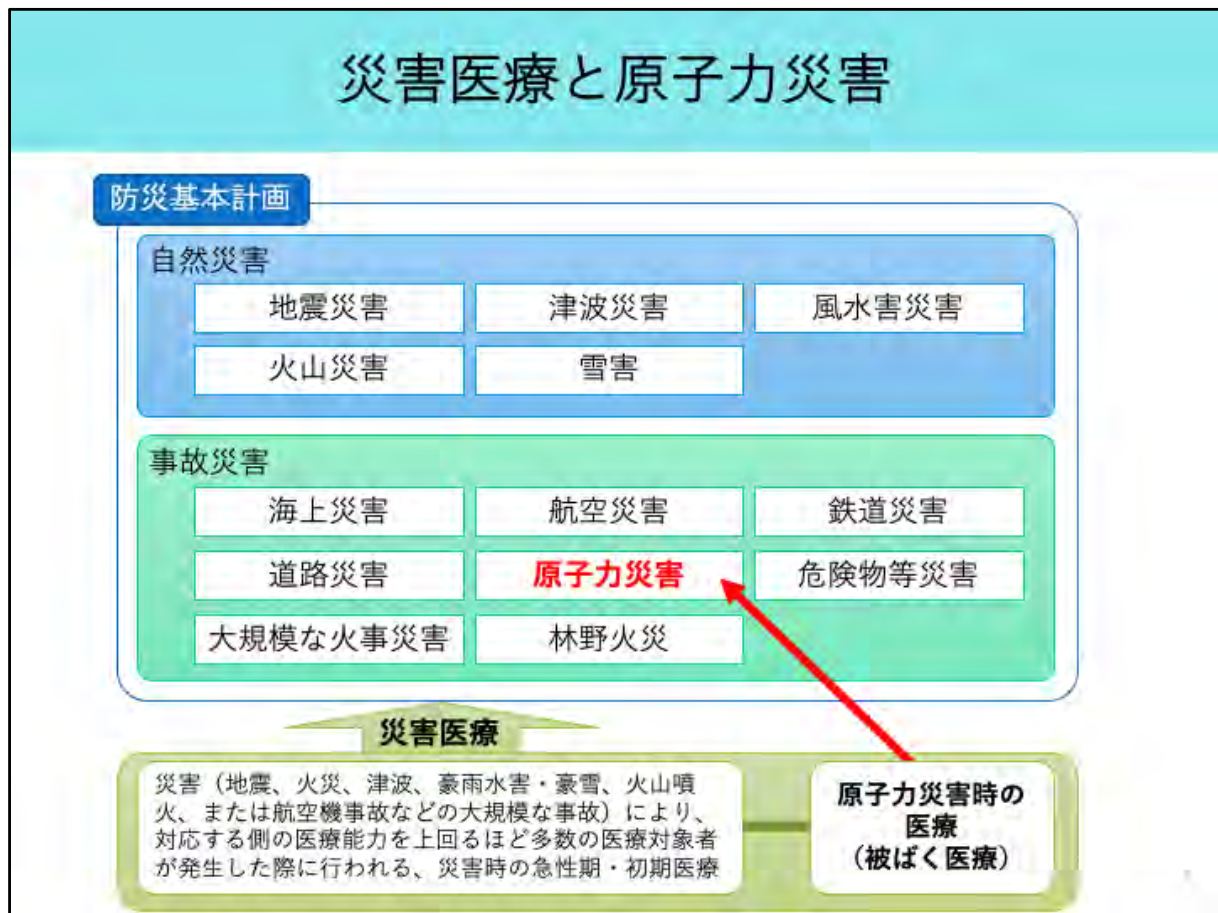
# 原子力災害と被ばく医療



原子力災害時における医療対応には、通常の救急医療、災害医療に加えて被ばく医療の考え方が必要となります。すなわち、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供する事です。これは、住民や作業員等の被ばくや汚染を伴う傷病の診療と、住民等の防護措置に分けられます。

原子力災害拠点病院、原子力災害医療協力機関、高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターは、外部被ばく、内部被ばくあるいは汚染を伴う傷病の診療を行います。さらに汚染または被ばくしている人たちに対する検査、除染、救護所等における健康管理も実施します。

# 災害医療と原子力災害

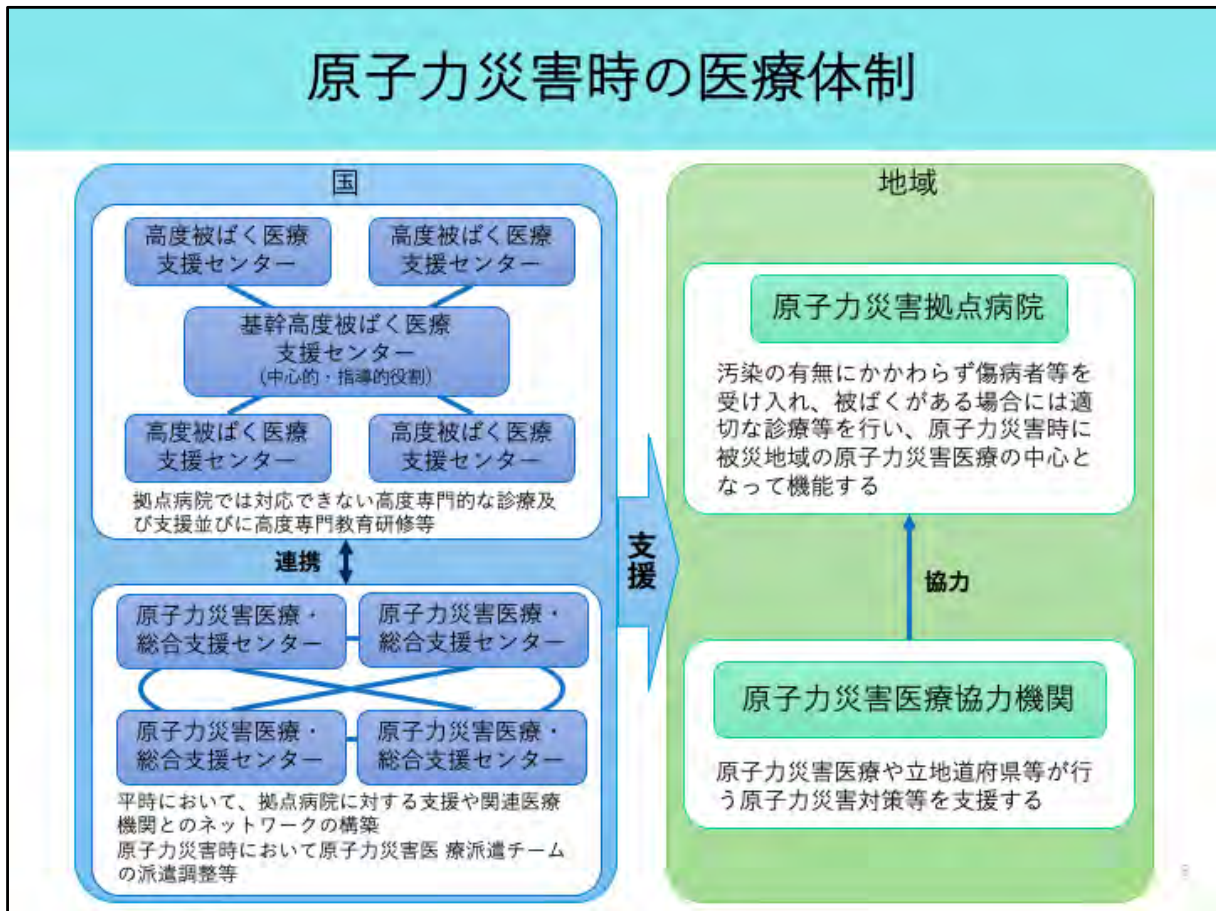


防災基本計画は、災害対策基本法（第34・35条）に基づき、中央防災会議が作成する基本指針を示す防災計画で、防災分野の最上位計画です。防災に関する総合的かつ長期的な計画、中央防災会議が必要とする防災業務計画および地域防災計画作成基準を示し、防災予防、発生時の対応、復旧等が記されています。行政のみではなく、住民の自治防災についても記述されています。

自然災害と事故災害が記述されており、原子力災害もその一つです。災害医療は、災害（地震、火災、津波、豪雨水害・豪雪、火山噴火、または航空機事故などの大規模な事故）により、対応する側の医療能力を上回るほど多数の医療対象者が発生した際に行われる、災害時の急性期・初期医療です。原子力災害時の医療は、原子力災害発生時に提供される被ばく医療などで、複合災害では、災害医療と同時に提供するため連携あるいは協働が必要になります。



# 原子力災害時の医療体制



原子力災害時における医療対応には、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供することが必要となります。そのためには、各地域の状況を勘案して、各医療機関等が各々の役割を担うことが必要であり、平時から救急・災害医療機関が被ばく医療に対応できる体制と指揮系統を整備・確認しておくことが重要です。

次の体制が整備されています。

- 原子力災害時において、被災地域の原子力災害医療の中心となって機能し、汚染の有無にかかわらず傷病者等を受け入れ、被ばくがある場合には適切な診療等を行う「原子力災害拠点病院」
- 原子力災害医療や立地道府県等が行う原子力災害対策等を支援する「原子力災害医療協力機関」
- 拠点病院では対応できない高度専門的な診療及び支援並びに高度専門教育研修等を行う「高度被ばく医療支援センター」
- 複数の高度被ばく医療支援センターの中心的・先導的な役割を担う「基幹高度被ばく医療支援センター」
- 平時において、拠点病院に対する支援や関連医療機関とのネットワークの構築を行うとともに原子力災害時において原子力災害医療派遣チームの派遣調整等を行う「原子力災害医療・総合支援センター」
- 拠点病院等に所属し、原子力災害が発生した立地道府県等内において救急医療等を行う「原子力災害医療派遣チーム」

## 原子力災害拠点病院

- ❖ 地域の原子力災害医療の中心
  - ◇ 施設管理者を含め、原子力災害医療に関する専門的な研修を受講した者を配置
- ❖ 放射性物質による汚染や被ばくを伴う傷病者の受入れ、診療
  - ◇ 災害時に多発する重篤な傷病者に対し高度な診療を提供
  - ◇ 被ばく傷病者等に対して、線量測定、除染処置、集中治療等の診療を提供
  - ◇ 救急医療と被ばく医療の両方を連携して提供する
- ❖ 原子力災害医療派遣チーム
  - ◇ 災害医療の知識と技能、被ばく医療に係る専門的知見を有する医師、看護師、診療放射線技師等から構成
  - ◇ 原子力災害時に被災した立地道府県内等の原子力災害拠点病院での救急医療等を実施
- ❖ 平時から教育研修、訓練等で理解を深める
- ❖ 地域連携ネットワークの構築
  - ◇ 立地道府県等、原子力災害医療協力機関、他の原子力災害拠点病院との連携、支援、

原子力災害拠点病院は、災害拠点病院であることを原則として、災害拠点病院に準ずる医療機関であると立地道府県等が認めた施設であり、地域の原子力災害医療の中心としての役割を担い、次の要件を満たすものです。

診療機能としては、汚染の有無にかかわらず重篤な傷病者に対し高度な診療を提供し、被ばく傷病者に対して線量測定、除染処置、集中治療等の診療を提供し、救急医療と被ばく医療の両方を連携して提供できる医療機関です。また、災害医療の知識と技能、被ばく医療にかかる専門的知見を有する医師等から構成される原子力災害医療派遣チームを有しています。

そのため、平時から教育研修、訓練等で原子力災害、被ばく医療に関する理解を含め、立地道府県等、原子力災害医療協力機関や他の原子力災害拠点病院との連携と支援のための地域連携ネットワークを構築します。

## 原子力災害医療協力機関

- ❖ 原子力災害時に立地道府県等や原子力災害拠点病院が行う原子力災害対策に協力できる医療機関、職能団体等
- ❖ いずれかの機能を有する
  - ◇ 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
  - ◇ 放射性物質による汚染の測定
  - ◇ 原子力災害医療派遣チームとその派遣体制
  - ◇ 救護所への医療従事者の派遣
  - ◇ 避難退域時検査を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
  - ◇ 安定ヨウ素剤配布の支援
  - ◇ 原子力災害発生時に必要な支援
- ❖ 必要な研修、訓練を実施
- ❖ 原子力災害拠点病院が構築する地域連携ネットワークに積極的に参画

原子力災害医療協力機関は、立地道府県等が指定した原子力災害時に原子力災害対策に協力できる医療機関、職能団体等です。

以下のいずれかの機能を有し、必要な研修や訓練を実施したり、参加します。

- 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
- 放射性物質による汚染の測定
- 原子力災害医療派遣チームとその派遣体制
- 救護所への医療従事者の派遣
- 避難退域時検査を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
- 安定ヨウ素剤配布の支援
- 原子力災害発生時に必要な支援

## 被ばく医療の診療の準備

- ❖ 被ばく医療のマニュアル等の整備
- ❖ 人材；被ばく医療に関する研修・訓練を受けた人材の確保
  - ◇ 教育、研修、訓練
  - ◇ 被ばく医療チーム（医療機関での受入れ）
    - ◆ チームリーダー；被ばく医療に精通していること
    - ◆ 医師 ◆ 臨床検査技師
    - ◆ 看護師 ◆ 薬剤師
    - ◆ 診療放射線技師 ◆ ロジスティック
- ❖ 施設；被ばく医療の診療の場所、資機材の保管場所を確保
  - ◇ 汚染がある傷病者の対応が可能な除染室、処置室、入院病室等の設定
  - ◇ 導線の確認；汚染と非汚染が交差しないように設定
- ❖ 資機材；通常の診療で使用する医療機材に加え、以下のものを準備
  - ◇ 個人防護装備（PPE）
  - ◇ 養生用資機材；汚染拡大防止のための資機材
  - ◇ 除染用資機材
  - ◇ 放射線測定器
  - ◇ 試料採取用資材；染色体分析やバイオアッセイなどの試料採取用
  - ◇ 災害時の通信機器；衛星電話、衛星回線など

必要な種類、個数を  
確認、保管

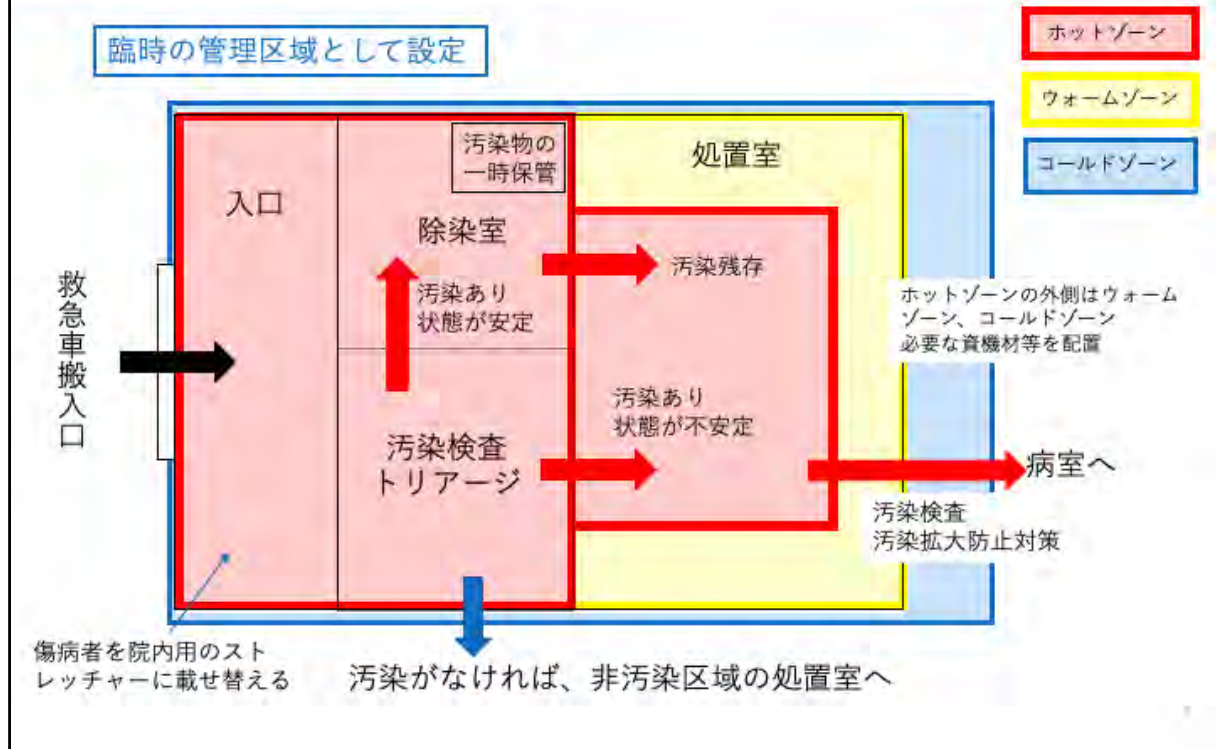
放射線障害あるいは放射性物質による汚染のある傷病者の診療をするには、準備が必要です。

まず、医療機関や地域の実情に合わせた被ばく医療のマニュアル等を整備します。マニュアル等を作成したら実効性のある体制を確保するため、教育、研修、訓練等を実施して人材育成するとともに、マニュアルの実効性も検証します。

被ばく医療の診療の場所や資機材の保管場所の確保も必要です。汚染がある傷病者の対応が可能な除染室、処置室、入院病室等を予め設定しておきます。また、汚染がある傷病者と汚染がない傷病者が交差しないように導線も確認しておきます。

通常の診療で使用する医療機材に加え、個人防護装備、養生様資機材、除染用資機材、放射線測定器、試料採取用資材、災害時の通信機器等を準備します。資機材は、必要な種類、個数を確認し、保管します。

## 汚染傷病者の診療エリア



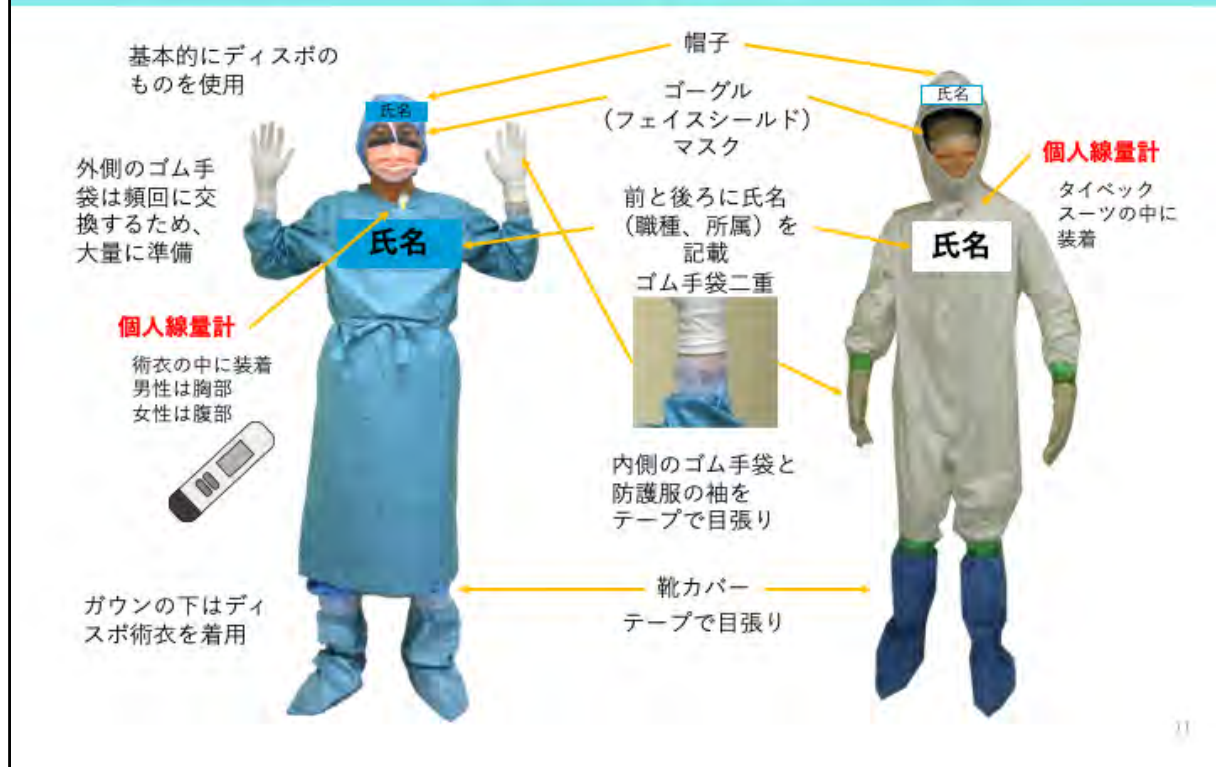
汚染のある傷病者の診療エリアは、汚染拡大防止対策と放射線管理が行えるように、一方通行の導線、汚染のない区域との交差をしない導線となるようなエリアを設定します。救急車からの搬入口が近い場所、救急医療の処置が可能な場所が望ましいです。

診療エリアには、院内用のストレッチャーに載せ替える入り口のスペース、汚染検査やトリアージを行うスペース、除染室（除染テントでも代用可能）、汚染のある傷病者の処置室、汚染物の一時保管場所等を設定します。これらはホットゾーンとなります。医療機材等はホットゾーンの外側に配置し、汚染拡大防止対策を講じます。除染後には、汚染検査あるいは汚染拡大防止対策を実施して、入院病室等へ移動させる導線を確保します。汚染傷病者の診療エリアは、処置後の汚染検査が終了するまで臨時の放射線管理区域として設定し、対応します。

放射線管理では、区域はホットゾーンとコールドゾーンの2つに分けます。医療等で使用しているホットゾーンとウォームゾーンが放射線管理の分野で使用する用語でホットゾーンとなります。原則として、ウォームゾーンは汚染が拡大している可能性があるため、ウォームゾーンからの退域時には汚染検査を行います。



# 個人防護装備

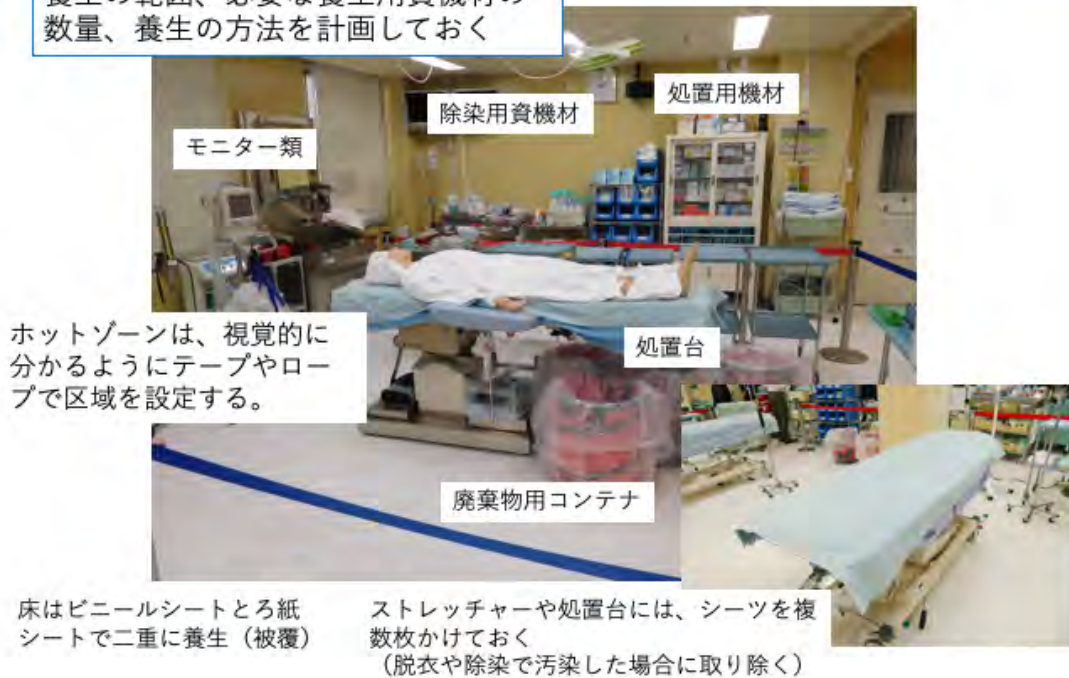


個人防護装備は、基本的にディスポのものを使用します。

院内での対応には、通常の業務でも使用しているガウンやディスポ術衣、帽子、マスク、ゴーグルを着用します。ゴム手袋は二重に装着し、外側のゴム手袋は汚染が付着するような処置を実施したら、その都度交換します。また、内側のゴム手袋と袖口、靴カバーと術衣のズボン、は、テープで目張りし、放射性物質の侵入を防止します。ガウンの代わりにタイベックスーツでも良いです。被ばく線量管理のため、防護服の中に個人線量計を着用します。また、職種あるいは所属と氏名を記載します。

## 処置室の養生

養生の範囲、必要な養生用資機材の数量、養生の方法を計画しておく



12

処置室は、養生の範囲や必要な養生用資機材の数量、養生方法を計画しておきます。ホットゾーンは視覚的に明確になるようにテープやロープ等で区域を設定できるようにします。また、除染後には、汚染が付着した廃棄物が多量に出るため、コンテナやゴミ袋は十分数量を準備しておきます。床は、ビニールシートで養生しますが、これだけでは、除染で水がこぼれた場合に滑りやすくなるなど危険であるため、ろ紙シートで二重に養生します。ストレッチャーや処置台には、複数枚のシーツをかけておくと、脱衣や除染で汚染した場合に、1枚のシーツを取り除いても、問題ありません。モニター類は、検知部分以外は可能な限り養生しますが、画面等は、操作あるいは表示を確認できるようにしておきます。



## 病室の養生



ベッドの養生



ベッド本体、マットレス等を別々にビニールシートで被覆  
可能であれば、ディスポのリネンを使用



操作が必要なものは可能な限りビニール袋などで被覆

廊下と病室の床はビニールシートとろ紙シートで養生

13

汚染が残存したままで入院する可能性がある場合は、病室の養生も行います。ベッドは本体、マットレス等を別々にビニールシートで被覆して、可能であれば、ディスポのリネン類を使用します。廊下と病室の床はビニールシートとろ紙シートで養生します。

また、操作のために汚染した手指等で触れる可能性があるリモコン等はビニール袋等で被覆します。

## 医療器材の養生

### ❖ ポータブルX線撮影装置



### ❖ 超音波診断装置



### ❖ 表面汚染計



フィルムカセットはビニール袋で養生

特に汚染が付着しやすい検出部（プローブ）はビニール袋やラップ等で覆う

### ❖ モニター等



表示が分かるように透明のビニール袋等で覆う  
ケーブルなども可能であれば、細長いビニール袋等で覆う

14

医療器材は、その機能や操作の妨げにならない程度に養生します。

## 除染用資機材



水や除染用ボトル



吸水シート

除染に使用した水を吸水し、汚染拡大防止（取扱やすくなる）



ドレープ

周辺への汚染拡大防止のため被覆用



膿盆

使い捨てケリーパッド



使い捨て鑷子



ガーゼ類



ブラシ

除染用の資機材は、除染用の水やボトルとガーゼやブラシ、ディスポの鑷子を使用して、汚染箇所を洗い流すため、汚染した水等を受ける膿盆と吸水シートを準備します。また、膿盆の代わりに使い捨てのケリーパッドを使用することもできます。

# 放射線測定器

## 空間線量計

活動する場所の空間線量の測定による安全管理



NaI(Tl)シンチレーション式  
サーベイメーター



電離箱式サーベイメーター

## 表面汚染計

表面汚染を測定  
汚染拡大防止



GM計数管式  
サーベイメーター  
 $\beta$  ( $\gamma$ ) 線を測定



ZnS(Ag)シンチレーション式  
サーベイメーター  
 $\alpha$  線を測定

## 個人線量計

活動中の被ばく線量の  
積算  
個人被ばく線量管理

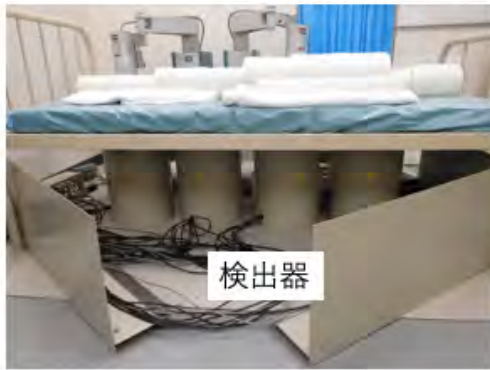


デジタル式の場合、活  
動後に被ばく線量の確  
認がすぐ出来る

放射線測定器は、空間線量計、表面汚染計、個人線量計の3種類を準備します。

## 体外計測機器

ホールボディカウンター



ベッド型



立位型

甲状腺モニター



ファントムによる校正を行い、正確な計測できるように準備しておく

17

内部被ばく線量評価に必要な対外計測機器には、ホールボディカウンターや甲状腺モニター、肺モニターがあります。ホールボディカウンターには、ベッド型、立位型などがあります。また、ファントムによる校正を定期的の実施して、正確な計測ができるように準備しておきます。

## 試料採取用資材

鼻腔スワブ（鼻スメア）用



綿棒やスワブ



試料受け渡し用のビニール袋



ヘパリン採血管  
染色体分析用  
3~10ml



汚染の核種分析のためにガーゼを使用することもある

ラベル

試料番号:

患者氏名	ID	
試料名	鼻腔スワブ(右・左)	口角スワブ
	創傷ガーゼ(部位: )	
	除染ガーゼ(部位: )	血液 尿
	衣服( ) 排泄物( )	
	その他( )	
採取日時	年 月 日 時 分	
測定結果	汚染なし・( )	
測定日時	年 月 日 時 分	
検査種別		
担当者名		
測定・検査項目	定性・定量・生化学・( )	
結果報告	来・済 (年 月 日)	
備考		

採取した試料の情報を記載

被ばく医療の診断のための生体試料の採取が必要となります。  
内部被ばくの可能性を確認する鼻腔スワブ（鼻スメア）には、綿棒やスワブを準備します。汚染の放射性物質を分析するためにガーゼ等で拭き取った試料を使用することもあります。染色体分析にはヘパリン採血管（緑色のキャップ）を準備します。これらの試料を採取したら、患者氏名のほか、試料の採取部位あるいは試料名、採取日時、容器の汚染検査結果等を記載します。予めラベルを準備しておきます。

また、試料を採取したら、測定、分析の担当者に受け渡すためのビニール袋等を準備します。

## 教育、研修、訓練

- ❖ 原子力災害の医療に関する教育、研修
  - ◇ 原子力災害拠点病院が実施する研修
  - ◇ 高度被ばく医療支援センターが開催する研修
  - ◇ 原子力災害医療・総合支援センターが開催する研修（原子力災害医療派遣チーム） etc.
  
- ❖ 立地道府県等が行う訓練
  - ◇ 被ばく医療
  - ◇ 安定ヨウ素剤配布
  - ◇ 避難退域時検査 etc.
  
- ❖ 国が行う原子力総合防災訓練
  - ◇ 原子力災害対策特別措置法に基づき国が主体となって行う
  - ◇ 立地道府県等が行う訓練と連携して実施される

被ばく医療のマニュアル等や資機材を準備するだけでなく、原子力災害の医療に関する教育や研修、訓練に、医療従事者も参加します。原子力災害拠点病院や高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターが開催する被ばく医療の研修や、立地道府県等が行う被ばく医療、安定ヨウ素剤配布、避難退域時検査の訓練、国が行う原子力総合防災訓練などがあります。

## まとめ

- ❖ 被ばく医療は、外部被ばく、内部被ばくした人あるいは汚染を合併した傷病者に対応する医療
- ❖ 被ばく医療には、診療、放射線管理、被ばく線量評価が必要
- ❖ 原子力災害時には、医療機関等は、被ばくあるいは汚染を伴う傷病者に対応する医療と住民等の防護に関する措置を行う
- ❖ 立地道府県等では原子力災害発生時には、原子力災害拠点病院が中心となって被ばく医療を実施する
- ❖ 被ばく医療の診療の準備として、マニュアル等の整備、教育、訓練、施設や資機材の準備が必要
- ❖ 施設の動線や養生の範囲、資機材の使用方法等は、対応者が熟知しておく



# 医療機関での初期対応

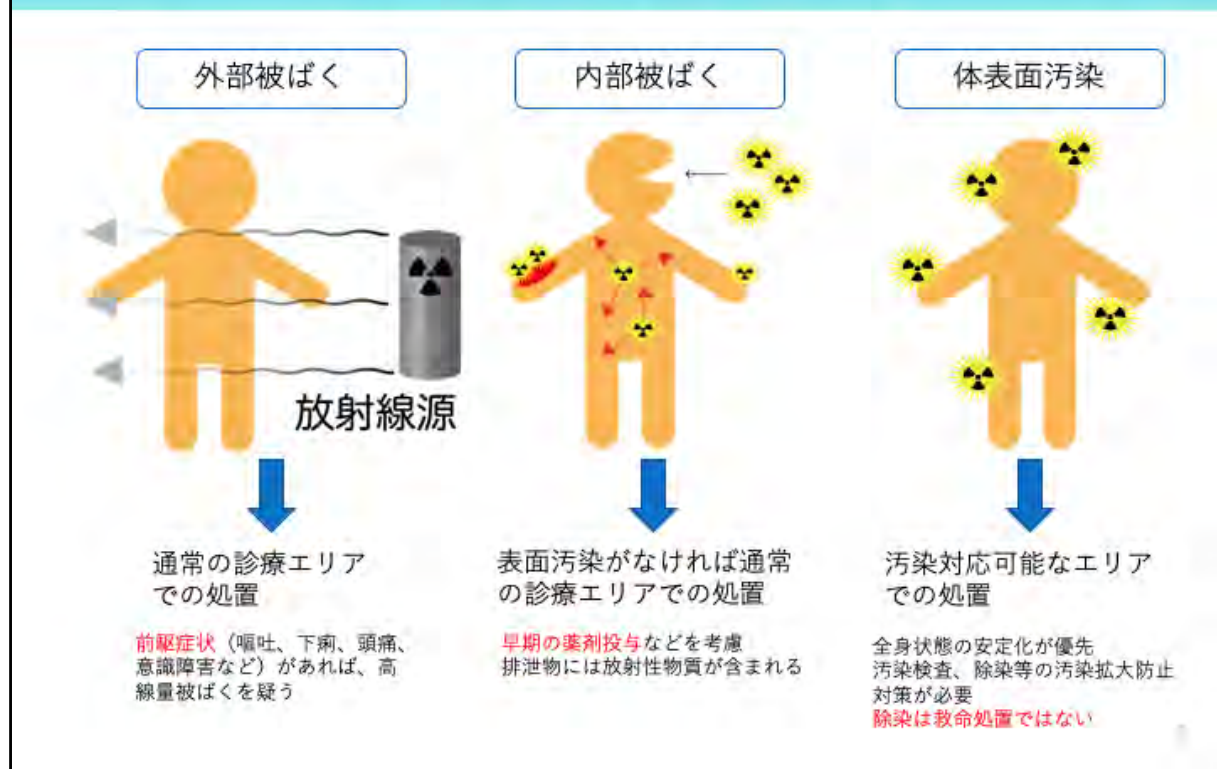
原子力災害 被ばく医療 専門研修  
被ばく医療-2

時間；30分

内容

- 被ばくと汚染への対応
- 放射線事故・災害対応の原則
- 被ばく医療での体系的アプローチ
- 医療機関での受け入れ準備
- 対応者の安全確保
- 病院での患者対応の流れ
- 外傷診療と被ばく医療
- 被ばく医療の初期評価
- 診療の流れ
- 脱衣と表面汚染検査
- 除染
- 試料などの受け渡し
- 記録
- ホットゾーンからの移動
- 活動後の対応
- 処置室の復帰

## 被ばくと汚染への対応



被ばく医療では、放射線障害のある外部被ばく、内部被ばくの傷病者や体表面汚染のある傷病者の診療を行います。

外部被ばくのみの場合は、通常の診療エリアでの処置を行います。

内部被ばくがある場合は、表面汚染の有無を確認し、汚染がなければ、通常の診療エリアでの処置が可能です。排泄物には、放射性物質が含まれるので、取り扱いには注意します。

体表面汚染がある場合は、汚染対応可能なエリア（施設等の養生による放射線管理）での処置を行います。ただし、除染は救命処置ではないため、全身状態の安定化など重篤な病態への対応が優先されます。

## 放射線事故・災害対応の原則

### ❖ 二次災害の予防

- ◇ 救助者の安全確保、被ばく線量管理（放射線防護）
  - ◆ 外部被ばく防護：防護三原則、放射線測定器、個人線量計
  - ◆ 内部汚染の防護：マスク、喫煙、飲食の禁止
- ◇ 汚染拡大防止：防護装備、ゾーニング、汚染検査、除染、封じ込め（被覆）
- ◇ 事故状況、被ばく状況、汚染状況の把握

### ❖ 医療優先

- ◇ 傷病者の全身状態の評価、安定化は最優先
- ◇ 全身状態やバイタルサイン等が不安定な状態では最小限の拡大防止措置で早期搬送判断（早期の医療介入）
- ◇ 放射線障害による症状は一般的に被ばく後すぐには出現しない
- ◇ 被ばく・汚染だけで緊急に治療が必要なことはない

放射線事故・災害では、二次災害の予防として、汚染拡大防止対策、救助者の安全確保、被ばく線量管理を行います。

傷病者への対応としては、医療優先が原則です。傷病者の全身状態の評価、安定化は、汚染検査や除染よりも優先されます。これは、被ばくや汚染だけでは、緊急に治療が必要となることはなく、放射線障害による症状は一般に被ばくすぐには出現しないのですが、不安定なバイタルサインの状況を放置すると、さらに生理学的異常が増悪して生命の危険が増します。

## 被ばく医療での体系的アプローチ

指揮命令系統・連携の確立 Command & Control	<ul style="list-style-type: none"> <li>各機関は縦の連携、関係機関は個々の役割り分担を明確にし、関係機関の連携を効率的に行う。</li> </ul>
安全管理 Safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>現場活動する自身：個人防護装備</li> <li>現場：危険・有害な物質の確認、エリア設定、ゾーニング</li> <li>被災者・患者：救助、処置、避難、汚染検査</li> </ul>
情報伝達・共有 Communication	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全、危険情報の共有</li> <li>情報不足、確認不足、協力不足が起こらないようにする。</li> </ul>
評価 Assessment	<ul style="list-style-type: none"> <li>災害現場の状況（被ばく、汚染）をいち早く把握し、傷病者の数、重症度を見積もる。</li> </ul>
トリアージ Triage	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた資源でトリアージ（搬送先等の選定）</li> <li>救命等処置優先の判断</li> </ul>
治療 Treatment	<ul style="list-style-type: none"> <li>被ばく線量評価</li> <li>高線量被ばく、内部被ばくの治療</li> <li>創傷汚染等の除染</li> </ul>
搬送 Transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力災害拠点病院への搬送</li> <li>高度被ばく医療支援センターへの搬送</li> </ul>

被ばく医療における体系的アプローチを記載します。原子力災害時には、通常の災害医療の一部として被ばく医療や原子力災害時の医療を提供します。

各機関は機関内の指揮命令系統を確立するとともに、連携の確立では、被ばく医療における様々な関係機関、組織の個々の役割り分担を明確にして、関係機関間の連携を効率的に行う必要があります。また、災害医療との連携も必要です。

安全管理としては、個人防護装備、現場の安全確認、放射線管理を行います。また、放射線計測の結果等の安全・危険情報の共有や被ばくや事故状況の情報共有をおこなます。

被ばくや汚染の状況を把握し、傷病者の数や重症度、被ばくの程度を評価します。多数傷病者が発生した場合や、高線量被ばくの治療、内部被ばくの線量評価や治療など特殊な対応が必要な場合は、搬送先の選定などを状況に応じて行います。被ばく線量評価を行い、治療します。外傷等に放射性物質による汚染が合併している場合は、除染等の処置を行います。

原子力災害医療協力機関での対応が困難な場合は、原子力災害拠点病院への搬送、原子力災害拠点病院での対応が困難な場合は、高度被ばく医療支援センターへの搬送を行います。

参考：MIMMS 大事故災害への医療対応 現場活動における実践的アプローチ 第3版（MIMMS日本委員会、永井書店）

## 医療機関での受入準備（CSCA）

- ❖ 被ばく医療の対応者の参集
  - ◇ チームリーダー、医師、看護師、診療放射線技師等を参集
  - ◇ 得られた情報の共有
- ❖ 情報収集
  - ◇ 患者情報：状態（全身状態、外傷、症状など）、数、氏名、年齢等、被ばく、汚染の有無・程度、核種
  - ◇ 事故の状況：発生日時、場所（管理区域内での事故か？）
  - ◇ 追加情報の要請、連絡先の確認
  - ◇ 事業所の専門家（放射線管理要員）の同行を要請
  - ◇ 到着予定時刻
- ❖ 放射線管理
  - ◇ 個人防護装備
  - ◇ 施設；区域の設定（臨時的放射線管理区域、ホットゾーンなど）、処置室や病室の養生
- ❖ 資機材
  - ◇ 放射線測定器
  - ◇ 除染用資機材
  - ◇ 通常の医療資機材

被ばくあるいは汚染のある傷病者の受け入れが決定したら、計画に基づいた受入れ準備を開始します。

被ばく医療の専門的知識や技能を有した医療従事者を参集し、得られた情報を共有します。

また、施設や現場の救急隊員から患者情報、事故の状況などの情報を収集し、事業所の放射線管理要員の同行を要請します。

施設と対応者の放射線管理を実施します。また、放射線測定器、除染用資機材、医療資機材を準備します。

## 対応者の安全確保 (Safety)

### ❖ 外部被ばく対策

- ◇ 空間線量計による活動場所の測定
- ◇ 個人被ばく線量計の装着

### ❖ 内部被ばく対策

- ◇ サージカルマスク、防塵マスク等での吸入の防止

### ❖ 汚染拡大防止

- ◇ 防護服等による防護
- ◇ 汚染検査と除染

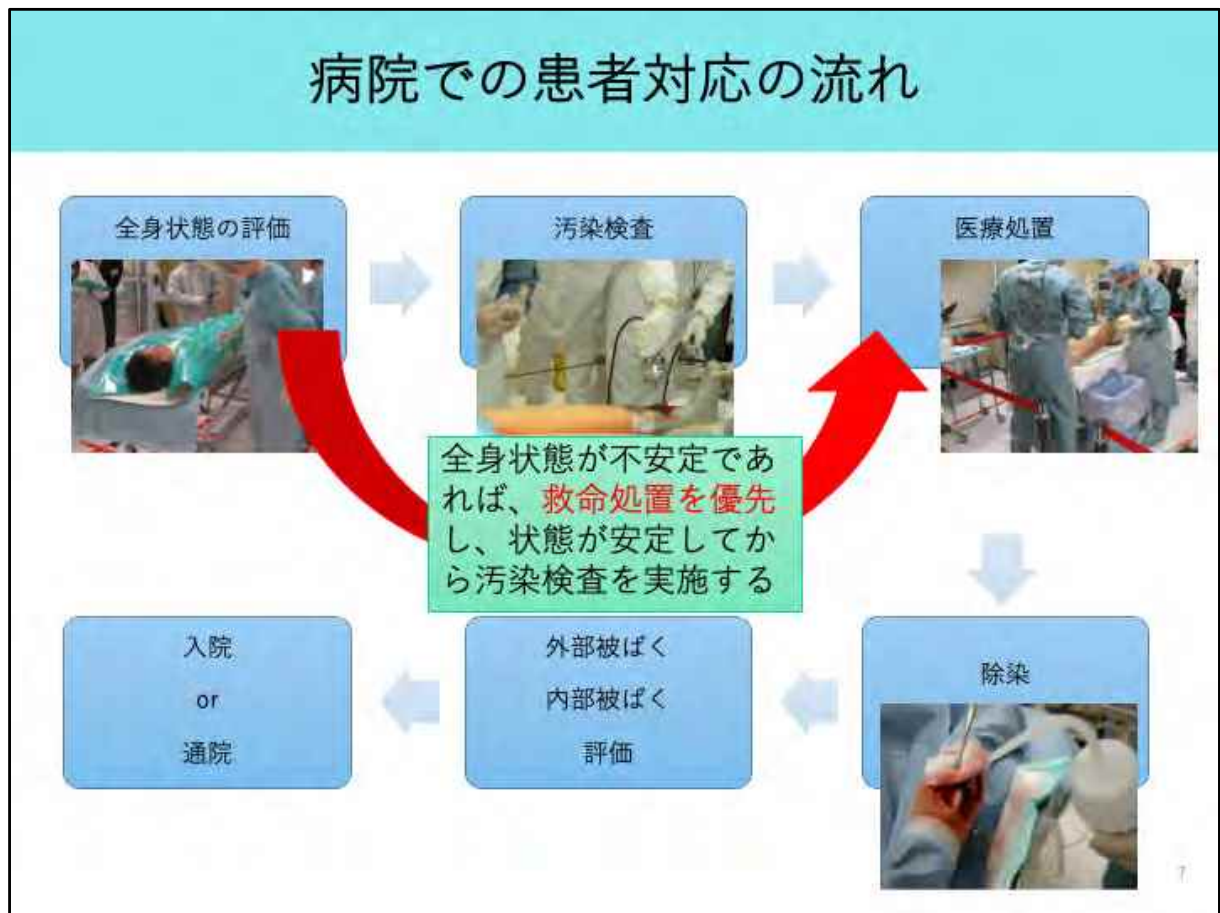


原子力災害時の対応者の安全確保としては、外部被ばく対策として、空間線量計による活動場所の測定を行い、個人被ばく線量計を装着します。

内部被ばく対策としては、呼吸保護をします。医療機関での処置では、汚染物質の性状や汚染の程度等に応じてサージカルマスクや使い捨ての防塵マスク等で対応します。医療機関での汚染検査、除染などの処置では、通常はサージカルマスクでの対応で十分です。

汚染拡大防止対策としては、防護服等による防護と確実な汚染検査、除染を行います。

## 病院での患者対応の流れ



まず生理学的評価を行います。状態が不安定であれば救命処置を行います。全身状態が安定している場合は解剖学的評価と全身の汚染検査を並行して行います。状態に応じて医療処置や除染を行います。その後、外部被ばくと内部被ばくの評価を行います。

ここまでが外来での処置となります。最後に必要に応じて入院または通院によるフォローを継続します。

## 外傷診療と被ばく医療

外傷診療		被ばく・汚染傷病者診療
第一印象	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>空間線量率の確認</li> <li>放射線線源の持ち込みの有無</li> <li>場所の安全確認</li> </ul>
Primary surveyと蘇生	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱衣（衣服に汚染があることを考慮）</li> <li>汚染検査（可能な範囲で、顔面、頸部、胸部）</li> <li>画像検査装置の汚染拡大防止</li> </ul>
Secondary survey	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>全身の汚染検査</li> <li>除染</li> <li>内部被ばくの有無の確認（鼻腔スワブ）</li> </ul>
Tertiary survey	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>被ばく線量評価</li> <li>外部被ばく（ARS、局所被ばく）→個人線量計、染色体分析</li> <li>内部被ばく→体外計測、バイオアッセイ（生体試料の測定）</li> </ul>
根本治療	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>外部被ばく（ARS、局所被ばく）の治療</li> <li>内部被ばくの治療（体内除染剤等の投与）</li> </ul>

外傷診療の流れに被ばく医療の診療を組み合わせる場合は、それぞれの外傷の処置、診療の場面ごとに被ばくや汚染への対応を追加します。

外傷診療で、第一印象を確認する間に、診療放射線技師により空間線量率を確認し、放射線源の持ち込みの有無など処置時の場所の安全確認を行います。

Primary surveyと蘇生では、ポータブルエックス線撮影、超音波検査装置の汚染拡大防止の対策を講じるとともに脱衣し、同時に可能な範囲で顔面、頸部、胸部の汚染検査を行います。Secondary surveyでは、全身の汚染検査と除染を行い、内部被ばくの有無を確認するため、鼻腔スワブを採取します。Tertiary surveyでは被ばく線量評価に必要な情報（被ばく時の状況、個人線量計の値、前駆症状の有無と発症時期など）と試料（尿、便、染色体分析用血液）を採取します。根本治療は急性放射線症、局所被ばく、内部被ばくの治療を行います。



## 被ばく医療の初期診療

- ❖ バイタルサインの確認
  - ◇ 被ばくあるいは汚染以外の重篤な傷病の処置、治療
- ❖ 病歴聴取
  - ◇ 事故等の状況
    - ◆ 外部被ばく、内部被ばく、体表面汚染の可能性を確認
  - ◇ 前駆症状等の有無
    - ◆ 嘔吐、下痢、発熱、意識障害
    - ◆ 外部被ばくの可能性、その程度を評価
- ❖ 身体所見
  - ◇ 汚染検査；汚染箇所の同定
  - ◇ 前駆症状；唾液腺の腫脹、疼痛、圧痛、皮膚の紅斑、口腔粘膜の毛細血管拡張
  - ◇ 皮膚障害の有無（局所被ばくから数日経過している場合）
- ❖ 試料採取
  - ◇ 血液
    - ◆ 白血球数（特にリンパ球数）の経時的変化
    - ◆ 高線量被ばくが疑われ、骨髄移植を考慮する場合は、HLAタイピング用の血液試料
    - ◆ 染色体分析用の血液試料（通常は被ばくから24時間後に採取）
  - ◇ 鼻腔スワブ（鼻スメア）；内部被ばくの可能性の評価
  - ◇ 尿、便；内部被ばくのバイオアッセイ用
  - ◇ 汚染したガーゼ等；核種同定

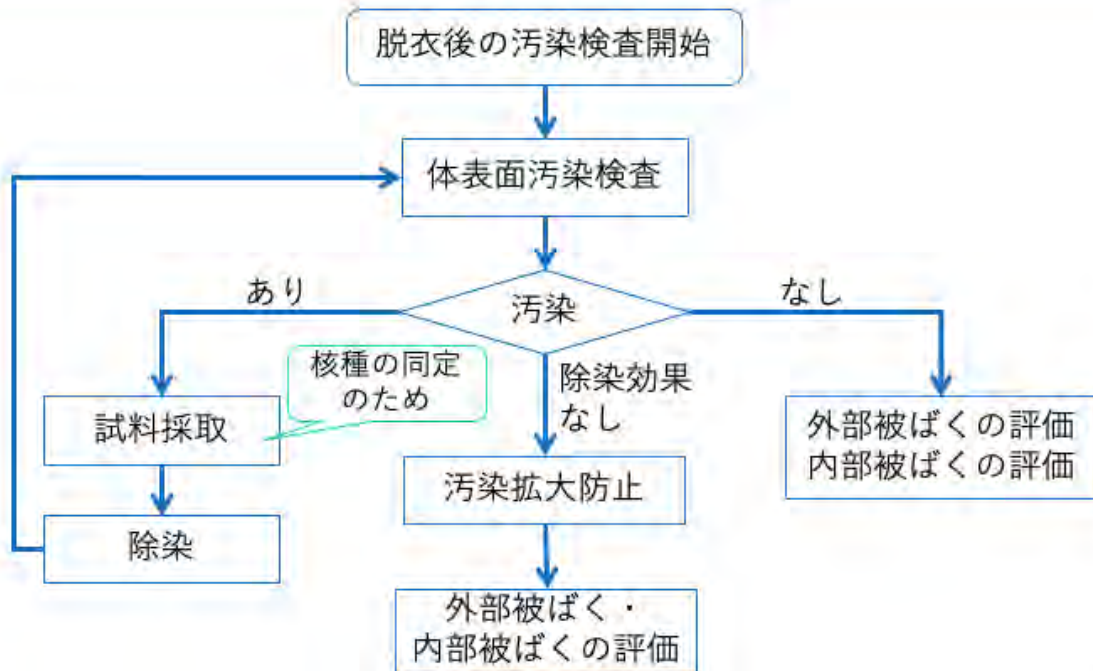
被ばく医療の初期診療としては、バイタルサインの確認により、被ばく医療の重篤な状態を評価し、処置、治療を行います。

病歴の聴取は、事故の状況から外部被ばく、内部被ばく、体表面汚染の可能性を確認し、医療機関に受診する前に前駆症状等の出現がなかったか確認します。

身体所見として汚染箇所の特定、前駆症状として唾液腺の腫脹や疼痛、皮膚の初期紅斑、口腔粘膜の毛細血管拡張、皮膚障害の有無の所見を確認します。

被ばく線量評価に必要な血液、鼻腔スワブ、尿、便、汚染したガーゼ等の試料を採取します。

## 汚染検査の流れ



衣類を脱衣させた後に、全身の汚染検査を行います。その流れを示しています。

汚染検査は、体表面から約1 cmの距離を表面汚染計測器のプローブを毎秒5～6 cmずつ動かしながら、頭から足まで検査します。汚染があれば、汚染の原因の放射性核種を同定するために、汚染したガーゼなどを試料として採取します。その後、除染を行います。汚染の核種は、内部被ばくの評価に必要な情報となります。除染後に再度汚染検査を行い、汚染が残っていれば再度除染します。除染後と除染前とで汚染の程度に変化がなく除染の効果がない場合は、ガーゼ等で被覆し、汚染拡大防止を行います。

除染後に外部被ばくと内部被ばくの評価を行います。

## 脱衣と表面汚染検査



- **脱衣**→約90%の除染ができる
- 衣類、シーツ、毛布等は必ずビニール袋へ
- 衣類や汚染した物を触った後は手袋をかえる
- 粉塵が舞い散るようであれば、患者にマスクを装着し、内部被ばくを防止

### 汚染検査

- 1.創部
- 2.開口部
- 3.健常皮膚

頭からつま先まで  
汚染のサーベイ  
背部も忘れずに

11

汚染のある衣服を脱がせることで、体表面の汚染の約90%を取り除くことができます。搬送時に傷病者を包んできた毛布やシーツ、衣類は、取り除いた後にビニール袋へ入れ、汚染が拡大しないようにします。脱衣時に粉塵が舞い散るようであれば、患者にマスクを装着し、内部被ばくを防止します。

汚染した衣類などを触った後は、素早く外側のゴム手袋を交換します。

1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で汚染検査を行います。頭からつま先までの汚染検査したら、背部の汚染検査を行います。

ただし、生理学的異常があり、救命処置が必要な場合は、顔面、頸部、胸部の汚染検査を優先して行います。

参考：<https://chemm.nlm.nih.gov>

The Primary Response Incident Scene Management (PRISM) “Rule of tens”

# 除染

1.創部 → 2.開口部 → 3.健常皮膚

## ◆ 除染の方法

- ◇ ぬれたガーゼでふき取る
- ◇ 水で洗い流す
- ◇ 洗剤、オレンジオイルでふき取る
- ◇ うがい
- ◇ 全身のシャワー除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控える
  - ◆ 汚染対応のシャワー室があれば使用する

## ◆ 除染の基本

- ◇ 患者自身にできることは患者にさせる
- ◇ 創傷部を最初に行う
- ◇ 以後は汚染の程度の高い部位から順に
- ◇ 使用した綿球・ガーゼ等（一回目）は氏名・部位・日時を記して測定へまわす
- ◇ 水、ガーゼは放射性廃棄物として管理する

体表面汚染は、1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で除染します。

除染の方法は、ぬれたガーゼで拭き取ったり、部分的に水で洗い流したりします。水だけでは除染できない場合は、洗剤やオレンジオイル等を使って拭き取ります。口腔内の汚染はうがいをしてもらいます。

全身のシャワーによる除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控えます。

除染は、本人が行える場合は、自分で拭き取ったり、洗ったりしてもらいます。核種の同定が必要な場合は、使用したガーゼなどをビニール袋に入れ、患者氏名、採取部位、採取日時を記録して、測定者に渡します。

除染後の水やガーゼは放射性物質の汚染がついた廃棄物として管理、処分します。

## 創傷部の除染（例）

1. 汚染のない部分を被覆する
2. 膿盆、吸水シート等で水を受ける
3. 水をかけながら ガーゼ等で創傷部を洗浄する



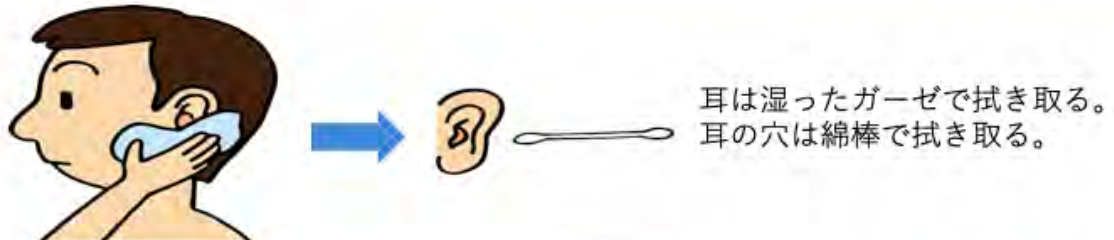
13

創傷部の汚染は、部分的に水をかけながら除染するので、汚染のない部分は防水のシート等を用いて被覆し、汚染した水がかからないようにします。

膿盆や紙おむつで汚染した水を受けるようにします。

創傷部は、ガーゼと鑷子を用いたり、ブラシを用いて水をかけながら除染します。除染後は再度表面汚染の検査を行います。汚染がなくなるか、除染の効果がなくなるまで除染を繰り返します。

## 顔面の除染（例）



目の洗浄



鼻は、鼻をかんだ後、綿棒  
で拭き取る。

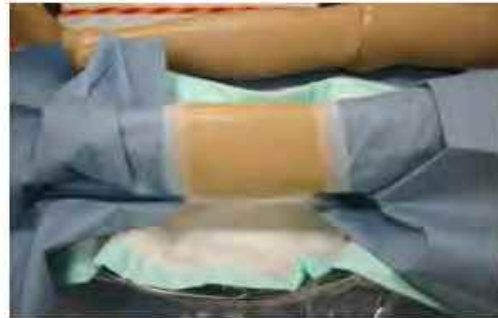
耳の汚染がある場合は、耳殻は湿ったガーゼやタオルで拭き取り、外耳道は綿棒等で拭き取ります。

目の汚染は、流水をかけながら洗浄します。

鼻腔の汚染がある場合は、鼻をかんでもらい、汚染が残っている場合は、綿棒で拭き取ります。

## 皮膚の除染（例）

1. 汚染のない部分を被覆する
  2. 膿盆や紙おむつで水を受ける
  3. 濡れたガーゼ等で外側から内側の方向に拭き取る
  4. 水で除染できない場合はボディソープや石けん、スポンジを使用する
- 皮膚を傷つけないようにする（健常皮膚に発赤が出現しない程度に機械的刺激を抑える）



15

皮膚の汚染がある場合は、汚染のない部分を防水のシート等で被覆して、汚染した水がかからないようにします。膿盆や紙おむつで水を受けるようにします。ぬれたガーゼやスポンジなどで外側から内側の方向に拭き取り、汚染を広げないようにします。水で除染出来ない場合は、ボディソープや石けん、洗剤などを使用します。

皮膚を傷つけないように丁寧に除染します。

## 試料などの受け渡し

### ❖ 試料の受け渡し

- ◇ ウォームゾーンで直接汚染に触れないように受け渡す
- ◇ ウォームゾーンではビニール袋の外側が汚染されないように受け取る
- ◇ 採取部位、日時、氏名等を記入した試料袋に入れ、測定に出す
- ◇ ウォームゾーンからコールドゾーンへは、ビニール袋の表面の汚染検査（スミア法）を実施して検体検査する測定者に渡す（確実な汚染拡大防止）

### ❖ 単純X線撮影

- ◇ フィルムカセットはビニール袋に入れる
- ◇ ポータブルX線撮影装置のアームをのばして撮影する
- ◇ ホットゾーンからカセットを出す時はビニール袋から取り出し、ウォームゾーンに渡す
- ◇ ウォームゾーンからコールドゾーンへは、カセットの表面の汚染検査をする



汚染の原因となっている核種の同定や内部被ばくの評価、その他通常の血液検査などのために採取した試料をホットゾーンからウォームゾーンの測定員に渡す必要があります。

そこで、汚染拡大防止のため、ウォームゾーンの担当者がビニール袋で試料を受け取り、ビニール袋の表面をガーゼなどでぬぐって汚染検査を実施します。汚染がなければ、試料をコールドゾーンの測定員に渡します。採取した試料の容器には、採取部位、採取日時、氏名を記入します。

外傷等がありホットゾーンでの単純X線撮影が必要な場合は、フィルムカセットをビニール袋に入れ、汚染の付着を防止します。可能であればポータブルX線撮影装置のアームをウォームゾーンから伸ばして撮影します。撮影後は、ビニール袋からカセットを取り出して、ウォームゾーンの担当者に渡します。

ウォームゾーンからコールドゾーンへ試料を受け渡す場合には、必ず表面の汚染検査を行います。

検査室等でビニール袋から検体を取り出す場合は、容器の表面の汚染検査を実施します。ウォームゾーン等で容器表面の汚染検査を実施している場合は、検査室での汚染検査は省略することも可能です。





## ホットゾーンからの移動



退出  
病室へ移動

ホットゾーンの中いろ紙シートを敷いて、新たなストレッチャーを入れ、患者を移動させる。  
ろ紙シートを汚染させないようにホットゾーンでの対応者はろ紙シートを踏まないように注意！

18

処置が終了したら、ホットゾーンから入院病室等へ患者を移動させます。

ホットゾーンで処置に使用したストレッチャーの車輪等の汚染検査を行って、ホットゾーンから移動させることも可能ですが、より確実に汚染拡大防止対策を行うには、新たなストレッチャーに寄せ換える方法があります。一つの方法としては、ホットゾーンとウォームゾーンの境界までストレッチャーを移動させ、ウォームゾーンに準備した新しいストレッチャーに寄せ換えます。別の方法としては、ホットゾーンの中に新たにろ紙シートを敷き、その上を移動させて新たなストレッチャーをホットゾーンの中に入れ、患者を載せ替えます。この時、ホットゾーンでの対応者はろ紙シートを踏まないように注意が必要です。

また、患者のストレッチャー間での移送の際にホットゾーンのスタッフが協力する場合には、両上肢や胸部前面など患者に触れる可能性のある部分について測定器で汚染がないことを確認してから行います。

## 活動後の対応

### ❖ ホットゾーンからの退出

1. 外側の手袋とテープをとる
2. 帽子とマスクをとる
3. 内側を外にするように巻きながらガウンを脱ぐ
4. 靴カバーを内側を外に巻きながら脱ぐ
5. 足底の汚染検査を行ってから、足をウォームゾーンにつける
6. コールドゾーンへの退域前に脱衣後の全身の汚染検査



ホットゾーンでの処置が終了したら、対応した医療スタッフは防護服を脱衣し、汚染検査を実施してホットゾーン、臨時の管理区域から退出します。

ホットゾーンでの防護服の脱衣は次の順番で行います。

1. 外側の手袋とテープをとる
2. 帽子とマスクをとる
3. 内側を外にするように巻きながらガウンを脱ぐ
4. 靴カバーを内側を外に巻きながら脱ぐ
5. 足底の汚染検査を行ってから、足をウォームゾーンにつける

原則として、ウォームゾーンは汚染が拡大している可能性があるため、ウォームゾーン（緩衝地帯）からコールドゾーンへの退域時に脱衣後の全身の汚染検査を行います。

## 処置室の復帰

1. 処置室から廃棄物を移動する
2. 処置室の汚染検査
3. 必要であれば除染
  - ◇ 通常の清掃と同じ
  - ◇ 再度、汚染検査を実施する
4. 臨時の管理区域の設定を解除する

### ❖ 放射性物質による汚染のある廃棄物

- ◇ 汚染のない廃棄物とは区別する
- ◇ 放射性物質の付着している廃棄物はビニール袋もしくはコンテナに入れる
- ◇ ビニール袋あるいはコンテナをサーベイする
- ◇ 放射性物質の廃棄物からの被ばくを避けるために壁での遮蔽や距離をとる



すべての処置が終了したら、ポットゾーンと管理区域を設定した処置室を復帰させます。

まず、廃棄物をすべて臨時の保管場所に移動させます。その後、処置室の床、資機材などの汚染検査を行います。汚染があれば除染しますが、あらかじめカバーなどをしていた場合は、そのカバーを取り外します。床などに直接汚染が付着している場合は、通常の清掃と同じようにモップや布などで除染し、除染後に再度汚染検査を行います。

すべての汚染検査が終了したら、管理区域の設定を解除します。

汚染のある廃棄物は、ビニール袋やコンテナに入れ、汚染が拡散しないようにします。さらに容器の外側の空間線量率を測定し、保管場所の安全を確認します。保管場所は可能なかぎり個室や人の通行から離れた場所にします。

## 退出後に汚染を検知した場合の対応

- ❖ 汚染している可能性のあるエリアを全て閉鎖する
  - ◇ 患者や職員の動線から推定
- ❖ エリア内の職員は、汚染検査を実施後、エリア外へ出る
- ❖ エリア内の施設、資機材の汚染検査を実施
- ❖ 汚染があれば除染する
- ❖ 汚染が広がっていても、その後の検査、除染をきちんとすれば汚染拡大防止ができます

処置後や活動後にホットゾーンや管理区域を退出した後に汚染が新たに発見された場合は、汚染している可能性のあるエリアを全て閉鎖します。

エリア内の職員は、汚染検査を行った後にエリア外へ出ます。エリア内の処置室や施設、資機材の汚染検査を行います。汚染があれば除染します。

汚染が後から発見されても、その後の検査、除染をきちんと対応すれば以降の汚染の拡大防止ができます。

## まとめ

- ❖ 外部被ばくの患者対応では対応者は被ばくしない
- ❖ 汚染では、患者も対応者も危険な被ばくはしない
- ❖ 汚染では即死しない
- ❖ まずは、生理学的評価しを行い、必要に応じて救命処置を行う
- ❖ 汚染検査は最優先ではない
- ❖ 除染は、脱衣、拭き取り、水をかけながら洗い流すの三つの方法がある

# 放射線障害の診断と治療

原子力災害 被ばく医療 専門研修  
被ばく医療-3

時間；30分

内容

- 急性放射線症の病態
- 急性放射線症の発症期
- 急性放射線症の診断
- ARSのPrimary Triage
- 急性放射線症の前駆期の処置
- 急性放射線症の治療方針
- 複合障害
- 放射線皮膚障害の病態
- 放射線皮膚障害の病期と初期変化
- 放射線皮膚障害の診断
- 放射線皮膚障害の治療
- 内部被ばくの診断
- 内部被ばく対応の基本方針
- 内部被曝の治療
- プルシアンブルー
- DTPA

## 急性放射線症の病態

### ❖ 急性放射線症(acute radiation syndrome: ARS)

- ◇ 1Gy (グレイ) を超える急性被ばくを全身受けると、骨髄障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による確定的影響が被ばく線量に応じて発現



1Gyを超える急性被ばくを全身に受けると骨髄障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による確定的影響が被ばく線量に応じて発現します。これらの一連の症候を急性放射線症(acute radiation syndrome: ARS)と言います。

ARSの病期は、時間的経過によって前駆期、潜伏期、発症期、回復期に分けられます。

前駆期は、悪心、嘔吐、下痢、発熱、初期紅斑、唾液腺の腫脹などの前駆症状と呼ばれる症状が一過性に出現します。これらの症状は、消化管の蠕動運動亢進や消化管ホルモン分泌亢進、皮膚、粘膜の毛細血管拡張および透過性亢進、神経血管反応亢進などの基礎病態に基づきます。

潜伏期は、比較的無症状の期間で、被ばく線量が高いほど短くなります。発症期は放射線による細胞死に伴う細胞の欠落による臓器の症状が発現する時期です。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変



## 急性放射線症の発症期

		急性放射線症の重症度と被ばく線量				
		軽症(1-2Gy)	中等度(2-4Gy)	重症(4-6Gy)	極めて重症(6-8Gy)	致命的(>8Gy)
血液細胞	リンパ球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ ) (被ばく後3~6日)	0.8 - 1.5	0.5 - 0.8	0.3 - 0.5	0.1 - 0.3	0.0 - 0.1
	顆粒球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	>2.0	1.5 - 2.0	1.0 - 1.5	$\leq 0.5$	$\leq 0.1$
	血小板数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	60 - 100 10 - 25 %	30 - 60 25 - 40 %	25 - 35 40 - 80 %	15 - 25 60 - 80 %	<20 80 - 100 % <sup>※1</sup>
潜伏期	長さ(日)	21 - 35	18 - 28	8 - 18	$\leq 7$	なし
臨床症状	下痢	なし	なし	稀	被ばく後 6~9日に出現	被ばく後 4~5日に出現
	脱毛	なし	中等度、被ばく後15日以降	中等度ないし完全 11~21日	完全 11日以降	完全 10日以前
	その他の症状	倦怠感 衰弱	発熱、感染、 出血、衰弱	高熱、感染、 出血	高熱、嘔吐、 めまい、 見当識障害、 血圧低下	高熱、 意識障害
予後	致死率 死亡時期 <sup>※2</sup>	0	0 - 50 % 6-8週以降	20 - 70 % 4-8週以降	50 - 100 % 1-2週以降	100 % -2週

※1 50Gyを越すような高線量被ばくの場合は、血球減少の前に死亡する。

※2 治療内容により死亡率、死亡時期は変化する。

1Gy以上の全身被ばくでは、骨髄症候群が発症します。これは、放射線感受性が高い骨髄の造血幹細胞が細胞死によって減少し、血液細胞の減少による機能障害が起こります。白血球が減少すると免疫不全、易感染性となり、血小板減少によって出血傾向となります。末梢血の好中球数は、4Gyでほぼ3週間、2~3Gyでほぼ4週間で、1Gyでは5週間足らずで最低となります。好中球数は、1週間ほどで回復し始め、2~3週間で正常域に回復します。

6Gy以上の全身被ばくでは、消化管粘膜からの細菌移行が起こることが実験的に示されています。10Gy以上の被ばくでは、骨髄障害に加え、水様性下痢や下血などの症状を呈する消化管障害が発現します。消化管障害の発生機序は、放射線による粘膜上皮細胞の再生障害です。10~15Gyの被ばくでは、粘膜上皮の幹細胞であるクリプト（陰窩）細胞の分化が停止し、消化管の絨毛が退縮してバリア機能が低下します。腸管蠕動障害、吸収障害、下痢が発症します。粘膜の剥奪がさらに進行すると消化管出血が生じます。

また、被ばく線量に応じて口腔粘膜に発赤、腫脹、出血、潰瘍、壊死を生じます。7~8Gyを越す被ばくでは、1~3ヶ月後に肺障害の初期症状、肺浮腫が出現します。放射線による肺障害の主なものは肺臓炎と肺線維症です。

10Gyを越す被ばくでは、2~3週間後に放射線皮膚障害が臨床上的の問題となります。20Gyを越す高線量全身被ばくでは、早期に意識障害、血圧低下などの中枢神経症状、血管透過性亢進による浮腫、胸腹水の貯留、肺水腫、下痢などを伴う神経血管症候群が発症します。

出典；青木芳朗／前川和彦「緊急被ばく医療テキスト」（医療科学社）改変

## 急性放射線症の診断

- ❖ 放射線の関与が明らかな場合
  - ◇ 事故の状況；関係者、施設の放射線管理者から事故の状況に関する情報を得る。線源の種類や大きさ等
  - ◇ 症状、徴候；嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹、疼痛、圧痛などの前駆症状
  - ◇ 事故後の血液の変化；末梢血リンパ球数の減少、血清アミラーゼ値の上昇
  - ◇ 染色体異常、個人線量計の値
  
- ❖ 放射線の関与が不明な場合
  - ◇ 原因不明の嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹、疼痛があれば、発症時期、1～2週間の生活歴、仕事内容などの問診
  - ◇ 手指や胸腹部、臀部、四肢に浮腫、紅斑、脱毛、落屑、水疱形成、潰瘍形成、壊死などの皮膚変化の診察
  - ◇ 血液検査の変化
  - ◇ 臨床症状が顕在化するまで慎重な観察と検査の繰り返し

原子力施設や大型照射施設等で起こった被ばく事故の場合は、放射線の関与があったことを認識して診療にあたるものがほとんどです。この場合は、施設の関係者や放射線管理者から事故の状況に関する情報を得ることが極めて重要です。また、前駆症状を認めればARSの可能性は高いです。診察時には、唾液腺の腫脹、圧痛を見落とさないようにします。3Gyを越す被ばくでは、皮膚の紅斑や口腔粘膜の毛細血管拡張を観察します。0.5Gyを超える全身被ばくがあれば、前駆期に末梢血リンパ球数の減少、血清アミラーゼ値の上昇が観察されます。発症期には、末梢血のリンパ球数、好中球数、血小板数の減少が認められます。

放射線の関与が不明な場合は、原因不明の嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹と疼痛などがあれば、それらの発症時期、1～2週間の生活歴、仕事の内容などについて注意深く問診を行い、放射線の関与の可能性を検討します。また、四肢、胸腹部、臀部、手指に浮腫、紅斑、脱毛、落屑、水疱形成、潰瘍形成、壊死などの皮膚障害の症状が出現していなか観察します。血液検査による血球細胞数の変化を観察します。臨床症状が顕在化するまで慎重な観察と検査の繰り返しが重要です。

# ARSのPrimary Triage : 初期の48時間

多数のARS対応が必要な場合のトリアージ



多数の急性放射線症を発症する患者が発生し、入院施設等の医療資源が限られた場合は、入院診療を必要とする被ばくした者を初期の段階でトリアージする必要があります。全ての臨床症状とその発症時期を記録します。1Gy未満と判断される場合には、外来で経過観察するだけで良いです。1Gy以上の患者は、より詳細な線量評価や治療のための入院が必要です。

出典；EBMT pocket guide

<https://www.ebmt.org/sites/default/files/2018-03/EBMT%20Nuclear%20Accident%20Committee%20Pocket%20Guide%202017.pdf>

## 急性放射線症 前駆期の処置

- ❖ 線量により症状は多様であるが、**対症療法**が中心
- ❖ 悪心、嘔吐に対して（制吐剤投与）
  - ◇ 5-HT<sub>3</sub> (5-hydroxytryptamine,セロトニン) 受容体拮抗薬：Granisetron (カイトリル), Ondansetron (ゾフラン) など
  - ◇ 抗ドパミン薬：メトクロプラミド (プリンペラン)、ドンペリドン (ナウゼリン)
- ❖ 頭痛
  - ◇ 鎮痛剤投与
- ❖ 循環血液量減少
  - ◇ 輸液
  - ◇ 重症(4Gy~)の場合、下痢や嘔吐が激しいため輸液により電解質維持、水分補給が必要になる。非常に重症の場合、血圧低下が起こり、大量輸液、昇圧薬が必要になる。
- ❖ 粘膜炎（→潰瘍、感染）
  - ◇ 口腔内の衛生を保つ→うがいなど
- ❖ 精神的、社会的支援

急性放射線症の前駆期の症状は多様ですが、対症療法が中心となります。

## 急性放射線症の治療方針

(Gy)	1-2	2-4	4-6	6-8	>8
治療	経過観察	入院, 速やかに <b>無菌室</b> へ			
	サイトカイン→	速やか(1W以内)にG-CSF かGM-CSF投与開始		GM-CSF/G- CSF+EPO+TPO	
	抗生物質など→	広域スペクトル抗生物質(潜伏期が終わる頃~), 抗 真菌剤・抗ウイルス剤(必要に応じ), SDD(6Gy↑)			
	血液製剤→	成分輸血: 血小板, 赤血球(必要に応じて)			
	*1-2Gyが予測される場合、 線量が確定するまでは線 量がより高いことを想定 し対処する。	L-グルタミン, エレメンタリ-ダイエット 投与, 完全経静脈栄養, 電解質補正			
		血漿交換(必要に応じ第2または3週~) DICの予防(必要に応じ第2週~)		<b>骨髄移植</b> →	

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

急性放射線症の治療は、症状と徴候、一般検査の結果、線量評価に基づき行います。治療法の多くは、放射線療法副作用軽減法や治療法の転用、動物実験の臨床応用、数少ない治療経験などで、科学的根拠に基づいたものはほとんどありません。

骨髄障害に起因する感染症などの合併症を予防することが重要です。骨髄機能の回復が見込まれる1~4Gyの被ばくであれば、患者を無菌室に隔離し、注意深く発熱、出血、上咽頭痛や発赤、潰瘍などについての臨床的評価を行います。細菌学的検査を継続し、感染症が起こった場合に備えて、サイトカインを含む有効な治療薬を投与できるようにしておきます。被ばく線量が4~6Gyを越すと考えられる場合は、血液幹細胞が不可逆的に障害を受けている可能性が高いため、感染症対策を入院直後から実施します。さらに複数のサイトカインを組み合わせて治療を行います。また、入院後すぐに選択的消化管除菌法(SDD; selective decontamination of the digestive tract、例えば tobramycin 80mg、polymyxin B 50万単位、amphotericin B 500mmg)を行い、抗生物質の全身的投与を開始します。体表面の消毒を行なった後に、無菌室に隔離します。

3~10Gy程度の被ばく線量で造血幹細胞移植を行うことが考えられてきました。しかし移植両方の副作用とサイトカイン療法の発展から、移植の有効性が合理的に期待できるのは、6~10Gy程度と考えられています。移植の目的は、ドナー由来細胞が永久的に生着することではなく、一過性に生命を支持する

ことです。

顆粒球コロニー刺激因子（G-CSF）や顆粒球マクロファージコロニー刺激因子（GM-CSF）は、被ばく後の患者の造血速度を促進するので、幹細胞が残っている場合には、骨髄移植を不要のものとする可能性があります。2～6(8)Gyの被ばくでは移植を行わずにサイトカイン療法を行います。

消化管障害の治療は、現時点では確立されておらず、輸液による電解質管理、完全静脈栄養、成分輸血などの対症療法が中心となります。

放射線肺臓炎は、8Gy以上の被ばくで発症頻度が増加します。被ばく後の軟部組織の硬化、繊維化を予防、治療するため、長期（半年から1年）にわたるペントキシフィリンとビタミンEの併用が有効であるとの動物実験および臨床研究の報告があります。

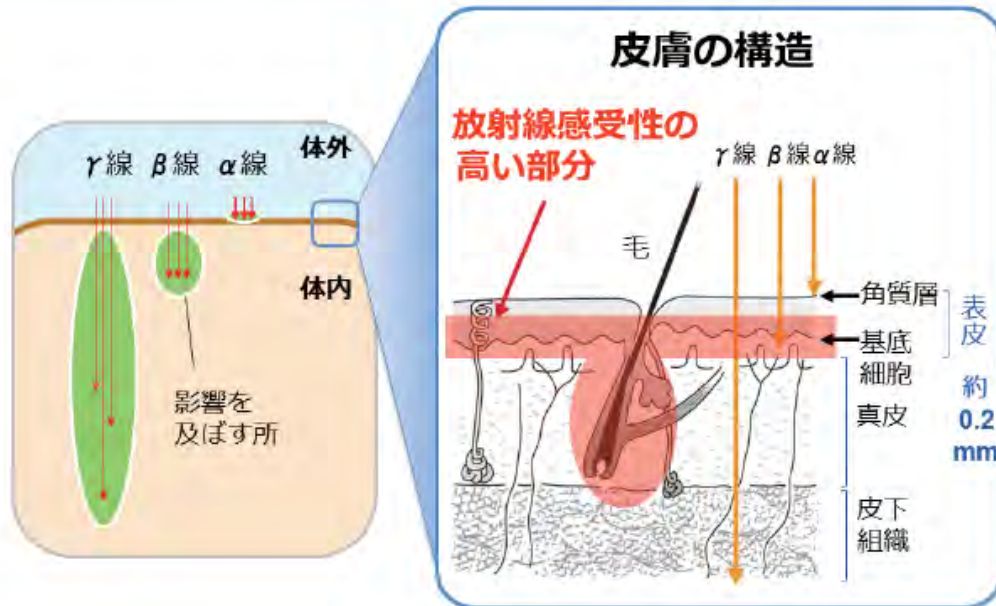
## 複合障害 (combined radiation injuries)

- ❖ 放射線による障害に外傷、熱傷、感染症、化学障害などが合併したもの
- ❖ 放射線単独の障害より予後が悪い
- ❖ 放射線事故や核爆発では、被災者の多くは放射線被ばくに熱傷や外傷を伴う
  - ◇ 広島・長崎の被爆者の60～70%に外傷を合併していた
    - ◆ 被ばく2～3週間後に合併症を発症：特に骨髄抑制の影響
    - ◆ 創傷治癒の遅滞
    - ◆ 多くの被ばく者が敗血症で死亡
  - ◇ チェルノブイリ事故の237名の被災者のうち10%に重篤な放射線被ばくと熱傷の両方を合併していた
- ❖ 免疫系の障害、感染防御機能の障害のため、少量の病原菌で感染し、症状はより重篤となる
- ❖ 初療は全身状態の安定、合併している外傷の治療を行う
- ❖ 高線量被ばくと外傷において、外科的処置が必要であれば、**被ばく後72時間以内に手術を行う**

放射線による障害に外傷、熱傷、感染症、化学障害などが合併したものを複合障害(combined radiation injuries)と言い、放射線単独の障害よりも予後が悪くなります。動物実験では、全身被ばくと熱傷が合併すると死亡率が上昇する結果があります。

放射線の事故や核爆発では、被災者の多くは放射線被ばくに熱傷や外傷を伴うことが多いです。この複合障害では、骨髄抑制の影響で、少量の病原菌で感染し、症状はより重篤となり、多くが敗血症で死亡します。また、創傷治癒の遅延が起こります。外傷等を合併している場合は、全身状態の安定と外傷等の治療をまず行います。また、外傷診療として外科的処置が必要であれば、被ばく後72時間以内に手術を行います。

## 放射線皮膚障害の病態



皮膚は表層側から表皮、真皮、皮下組織の3層から構成されます。表皮は、表層から扁平な細胞が重なった角層、数層の顆粒層、数層の有棘層、単層の基底層から構成されます。放射線による障害は、基底細胞に強く出ます。基底層の細胞は分裂が盛んで、皮膚の再上皮化を起こす場所で、ここが放射線で損傷すると皮膚障害が発生します。通常、基底層から顆粒層へ細胞増殖のための移行時間が $14 \pm 6$ 日、顆粒層から表層までには $18 \pm 6$ 日かかります。

放射線皮膚障害の重症度を規定する因子は、放射線の線質、被ばく線量、皮膚の厚さ、年齢などがあげられます。 $\alpha$ 線の場合では、軟部組織表層からの透過距離は約0.04mmであり、表皮基底層には達しません。 $\gamma$ 線、中性子線による障害は深層への透過性が極めて強く、皮膚、皮下組織、筋肉、骨にも達します。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」



## 放射線皮膚障害の病期と初期変化

I	超急性期 ~7日	皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させる。
II	急性期 7日~6カ月	放射線によって引き起こされる表皮基底層のDNA障害は、潜伏期間（通常2~3週単位）を経て、2~3週間（細胞周期と同じ）ごとに細胞障害や組織死が段階的に進み、多彩な症状が続く。
III	慢性期 6カ月以上	表皮が再生した後は、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。

症状	線量(Gy)	発症(day)
紅斑	3-10	12-21
脱毛	>3	14-18
乾性落屑	8-12	25-30
湿性落屑	15-20	20-28
水疱	15-25	15-25
潰瘍	>20	14-21
壊死	>25	>21

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

10

放射線皮膚障害の病期は、超急性期（7日未満）、急性期（7日以後～6カ月まで）、慢性期（6ヶ月以降～数年）に分けられます。

皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させ、全身組織へのケミカルメディエーターの放出が惹起されます。そのため浮腫や紅斑が出現します。

急性期の放射線皮膚障害の程度は、被ばく線量と被ばくした組織の放射線感受性によって決まります。10Gy前後では初期の皮膚症状（発赤、紅斑、浮腫）が3～4日で消退後、潜伏期の後、3週目ごろより再度、組織腫脹、掻痒感、発赤、疼痛感、市販などが現れます。進行は緩徐です。

慢性期では、表皮が再生した後、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。10Gy以上の被ばくによる皮膚障害では、一度障害された皮膚が上皮化した後も、再度皮膚障害が反復し、潰瘍や皮膚剥離がおきます。また、6カ月以上経過してから皮膚の繊維化や色素沈着などが出現します。真皮層には、多くの血管が存在します。血管内皮細胞は放射線感受性が高いため、被ばくした領域ではこれらの血管の内膜に障害が生じ、内膜の肥厚や微小血栓の形成を通じて微小循環障害や局所の血流障害を起こします。

## 放射線皮膚障害の診断

- ❖ 病歴の聴取
  - ◇ 密封線源の事故では、被ばくした自覚がないことが多いため、原因不明の熱傷様病変に遭遇した場合には、放射線皮膚障害を念頭に入れ、放射線の可能性を疑って診断を進める。
- ❖ 身体所見の確認
  - ◇ 全身被ばくの有無を評価；線源が大きい場合は、局所被ばく以外にも全身被ばくをしている可能性がある。
  - ◇ 極端に高い線量による局所被ばく；全身への平均被ばく線量の評価として染色体分析を実施
- ❖ 障害部位の評価
  - ◇ 皮膚病変の経時的変化の記録
  - ◇ 骨の変化の比較；X線
  - ◇ CT・MRI；炎症の波及範囲や血流を評価
  - ◇ サーモグラフィ・超音波ドップラ検査法；非侵襲的に血流の程度を評価
- ❖ 線量評価
  - ◇ 物理学的線量評価；線源と被ばく部位の位置関係、被ばく時間、周辺の遮へい物の影響、事故の再構築

11

密封線源の事故では、被ばくした自覚がないことが多いため、原因不明の熱傷様病変に遭遇した場合には、放射線皮膚障害を念頭に入れ、放射線の可能性を疑って、病歴を聴取するなどの診断を進めることが重要です。

線源が大きい場合は、局所被ばく以外にも全身被ばくをしている可能性があるため、全身被ばくの評価も同時に行います。被ばく当日を含む3日間程度は末梢血全血球数計算（CBC）を行い、リンパ球数の減少の有無を確認します。局所被ばくの線量が極端に高い場合は、全身への平均被ばく線量を正確に知るために染色体分析による線量評価を実施します。

皮膚病変の経時的変化の記録をします。骨の変化の比較のため、単純X線撮影を行います。また、CT・MRIでは炎症の波及範囲や血流を評価します。サーモグラフィ・超音波ドップラ検査法でも非侵襲的に血流の程度を評価できます。

放射線皮膚障害の範囲、深達度の判断には、線量評価が必要です。主として、物理学的線量評価を行います。線源と被ばく部位の位置関係、被ばく時間、周辺の遮へい物の影響の情報をもとに計算する他に、事故の再構築により、実際に放射線を測定してその情報をもとに計算します。これらの情報は、記憶に頼る部分があるため、結果には相当な幅があります。

## 放射線皮膚障害の治療

深達度	症状	治療
I度熱傷相当	紅斑や発疹、浮腫	・ワセリン基剤などによる皮膚の保湿
浅達性II度熱傷相当	水疱、落屑、乾皮炎、滲出性表皮炎など	・ステロイドや抗生物質含有のワセリン基剤、創傷被覆剤 ・疼痛コントロールには、モルヒネ、フェンタニルなどの麻薬あるいは非麻薬系の鎮痛剤
深達性II度熱傷相当	滲出性表皮炎、潰瘍、乾酪様壊死など	・表層のブラッシングなど外科的な処置 ・創感染症には、全身の抗生物質の投与 ・感染の悪化、2ヶ月以上上皮化傾向が認められない潰瘍では、全身状態を勘案して植皮手術も選択
III度熱傷相当	全層にわたる乾酪様壊死、壊死	・2～3ヶ月以上治癒傾向がないものは、植皮手術の対象

放射線皮膚障害の治療はその程度により異なるため、深達度の分類は重要です。原則的には、温熱熱傷の治療と同様に全身管理、局所管理からなります。全身被ばくがあれば骨髄抑制や消化管障害に対する治療も必要です。

### ・ I度熱傷相当

紅斑や発疹、浮腫などは、被ばく直後または3～4週後以内に出現します。数週から数ヶ月の経緯で徐々に消失します。ワセリン基剤などで皮膚の保湿を図ります。

### ・ 浅達性II度熱傷相当

水疱、落屑、乾皮炎、滲出性表皮炎などの皮膚障害は、10Gy以上の被ばく後4～6週で発現します。I度熱傷に相当する紅斑が被ばく後3～4週で出現した後に、4～6週でII度熱傷に相当する水疱に移行します。被ばく線量が高いとより早期から症状が出現します。感染すると皮膚の障害はより深部に及ぶ可能性があります。深度や症状が悪化しない様であれば、残存する真皮層が1～2ヶ月の保存的治療でそうは閉鎖します。疼痛は、放射線皮膚障害が重症化する初期の特徴であり、疼痛コントロールには、モルヒネ、フェンタニルなどの麻薬あるいは非麻薬系の鎮痛剤を使用します。局所の治療には、ステロイドや抗生物質含有のワセリン基剤を塗布したり、創傷被覆剤を使用します。

### ・ 深達性II度熱傷相当

滲出性表皮炎、潰瘍、乾酪様壊死などの皮膚障害は、10Gy以上20Gy未満の被

ばく線量で発症します。紅斑、水疱、皮膚剥離などの症状は4から8週ぐらいの時間経過で潰瘍創となります。潰瘍層表層にはフィブリン様の壊死物質が存在し、薬剤は浸透しません。そのため、表層のブラッシングなど外科的な処置が繰り返し行われています。一般細菌や真菌などの感染を合併して、難治性潰瘍になりやすいです。創感染症には、全身の抗生物質の投与が必要となります。保存療法を第一選択として治療を開始しますが、感染の悪化、2ヶ月以上上皮化傾向が認められない潰瘍では、全身状態を勘案して植皮手術も選択されます。

- III度熱傷相当

20Gy以上の高線量を被ばくすると受傷から3～4周からIII度熱傷相当の全層にわたる乾酪壊死、壊死の皮膚障害を呈します。前述の症状が出現せずに徐々に皮膚構造が崩れ始め、表皮が剥離し、真皮が露出します。潰瘍層ができ、血流に乏しく、出血は認められません。2～3ヶ月以上治癒傾向がないものは、植皮手術の対象となります。しかし、皮下脂肪や筋層の損傷もおこっており、壊死組織の切除深度や四肢の切断の適応の判断は難しいです。

- 慢性期

急性期に上皮化が終了した部分でも、真皮のダメージは慢性期で再燃して、繊維化や色素沈着、再潰瘍化など新たな病像を呈します。放射線による骨壊死には高圧酸素療法が有効とされる。また、血流障害による疼痛や感染がコントロールできず、機能が廃絶している様な場合には、四肢の切断も考慮します。

## 内部被ばくの診断

- ❖ 体内からの放射性物質もしくは放射線の検出により診断
- ❖ 鼻腔・咽頭スミア；吸入による内部被ばくの可能性
- ❖ 口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染；吸入、吸収の可能性
- ❖ 問診；内部被ばくが疑われる場合は、放射性核種、化学形態、溶媒等について確認



- ❖ 生体試料（尿、便）の放射性物質の計測
- ❖ 体外計測；ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター

➡ 内部被ばくの診断

内部被ばくは、吸入による経気道、経口摂取による経消化管、創傷部からの吸収によって体内に放射性物質が取り込まれることによって起こります。体内に入った放射性物質は、安定型の核種と同じ体内動態を示すため、核種に応じた体内除染が必要になります。

初期には、口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染があれば、放射性物質の吸入や吸収の可能性があります。また、鼻腔や咽頭のスワブ採取によって放射性物質を検出した場合も内部被ばくが疑われます。内部被ばくが疑われた場合、事業所や施設等での事故の場合は、放射線管理要員等に放射性核種、化学形態、溶媒等について確認します。

内部被ばくの最終診断と線量評価は、尿や便の生体試料の放射性物質の計測（バイオアッセイ法）と、体内からの放射線の計測（体外計測）によって行われます。

## 内部汚染対応の基本方針

- ❖ 将来の生物学的影響の低減が目的
- ❖ 治療の原則；吸収と内部沈着の低減、体内に入った核種の除去と排泄促進
- ❖ 治療の適応；明確な指標はない。実効線量（預託実効線量）を参考に治療するメリット、デメリットを勘案して適応を決定する。
  - ◇ 実効線量20 mSvが1つの目安
- ❖ 事故時には摂取量、体内動態がすぐには判明しない。
- ❖ 治療の副作用が少なく、禁忌がない場合はすぐに治療を開始すべきである。
- ❖ 勘案すべき要素
  - ◇ 確実な汚染か疑いか
  - ◇ 体内動態
  - ◇ 治療目標の現実性
  - ◇ 治療のメリットとデメリット
  - ◇ 年齢、健康状態、精神的状態

内部被ばくでは、基本的に急性障害は起こりません。そのため、治療の目的は、体内の放射性物質からの放射線被ばくによる将来の生物学的影響の低減となります。内部被ばくの治療の原則は、吸収と内部沈着の低減及び体内に入った核種の除去と排泄の促進です。放射性物質が体循環に入っていない場合に最も治療効果が高くなります。また、標的臓器の細胞に取り込まれる前に治療を行う必要があります。しかし、内部被ばくの事故では、摂取量や体内動態がすぐに判明しないことがほとんどです。そのため、内部被ばくが疑われる場合は、治療による副作用が少なく、禁忌がない場合には、すぐに治療を開始すべきです。また、治療の適応には、明確な指標がありません。預託実効線量を参考にして、治療のメリットとデメリットを勘案して適応を決定します。

## 内部被ばくの治療

### ❖ 消化管での吸収を低減

- ◇ 胃洗浄
- ◇ 催吐剤
- ◇ 下剤
- ◇ イオン交換剤
- ◇ Prussian Blue
- ◇ アルミニウムを含む制酸剤
- ◇ 硫酸バリウム

### ❖ 阻害剤／希釈剤；安定元素で代謝過程を飽和して放射性核種の摂取を低減

- ◇ ヨウ素
- ◇ ストロンチウム
- ◇ 水分摂取
- ◇ カルシウム
- ◇ 亜鉛
- ◇ カリウム

### ❖ キレート剤

- ◇ EDTA
- ◇ DTPA
- ◇ Dimercaprol (BAL)
- ◇ Penicillamine
- ◇ Deferoxamine

### ❖ その他

- ◇ 抗甲状腺薬
- ◇ 利尿剤
- ◇ 副甲状腺ホルモン剤

内部被ばくの治療には、消化管で吸収を低減する方法、特定臓器を安定同位元素で飽和することによって放射性物質の摂取を低減する方法（阻害）、大量の安定元素または化合物の投与によって放射性物質を希釈する方法、キレート効果による排泄、利尿剤による排泄促進といった方法があります。

内部被ばくの治療は、体内からの放射性物質の排泄量などをモニタリングしながら、薬剤の投与による放射性物質の排泄が効果的にできる場合は、さらに治療を継続することを検討します。

治療した場合と薬剤の投与を行わなかった場合の尿中排泄率の比較や、ホールボディカウンターで判定した体内からの除去効果を考慮して、治療の中止を判断します。

## プルシアンブルー

### ❖ 効能・効果

- ◇ 放射性セシウムによる体内汚染の軽減
  - ◆ 生物学的半減期115日→40日

### ❖ 用法・用量

- ◇ 1回6カプセル（3g）を1日3回経口投与する。
- ◇ 患者の状態、年齢、体重に応じて適宜増減する

ヘキサシアノ鉄（II）酸鉄（III）水和物  
（ラジオガルダーゼ®カプセル500mg）



承認番号：22200AMX00966000

薬価収載：薬価未収載

承認日：2010年10月27日

プルシアンブルー（ラジオガルダーゼ®カプセル500mg）は、フェロシアン化第二鉄に属します。消化管に吸収されない毒性の低いコロイド状の溶解可能な形態を持ち、ある種の一価の陽イオンに対しイオン交換体のような働きがあります。放射性セシウムが血液に入った場合、経口投与されたプルシアンブルーが腸管から再吸収されるセシウムの取り込みを防ぎます。



# DTPA

## ◆ 効能・効果

- ◇ 超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム）による体内汚染の軽減

## ◆ 用法・用量

- ◇ ペンテト酸カルシウム三ナトリウムとして1000mg、もしくは、ペンテト酸亜鉛三ナトリウムとして1055mgを1日1回点滴静注、又は緩徐に静脈内投与する。
- ◇ 本剤は、100～250mLの5%ブドウ糖注射液又は生理食塩液で希釈して約15～60分かけて点滴静注する、又は3～4分間かけて緩徐に静脈内投与すること。
- ◇ 患者の状態、年齢、体重に応じて適宜減量する。

## ◆ プロトコール

- ◇ 単独静脈内投与
  - ◆ CaDTPAもしくはZnDTPAを1g
- ◇ 混合静脈内投与
  - ◆ 1日目 CaDTPA
  - ◆ 2～5日 ZnDTPA
  - ◆ 1～2回/週 ZnDTPA

## ◆ 使用例

- ◇ アメリカではプルトニウムとアメリシウムの体内沈着の除去のため、1995年までに610人に使用された。
- ◇ 2017年プルトニウム内部被ばく事故で日本でも5名の作業員に投与された。

ペンテト酸カルシウム三ナトリウム  
(ジトリペンタートカル®静注1000mg)



承認番号:22300AMX00609000  
薬価収載:薬価未収載  
承認日:2011年7月1日

ペンテト酸亜鉛三ナトリウム  
(アエントリペンタート®静注1055mg)



承認番号:22300AMX00610000  
薬価収載:薬価未収載  
承認日:2011年7月1日

Diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA)はEDTAより多価の放射性同位元素に対してより効果的です。キレート体は、安定で、体外に腎臓から排泄されます。静脈的に投与した後、DTPAは最初の1時間に尿中に約50%が排泄されます。CaDTPA、ZnDTPAは超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム、カリホルニウム、ネプツニウム）をキレートします。

CaDTPAによる重篤な副作用の報告はありません。しかし長期間投与するとCaDTPAにより亜鉛欠乏症を起こします。

## まとめ

- ❖ 急性放射線症は、1Gy（グレイ）を超える急性被ばくを全身に受けた場合に発症し、骨髄障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による確定的影響が被ばく線量に応じて発現する。
- ❖ 急性放射線症、放射線皮膚障害の診断は、問診、身体所見、血液検査、線量評価によって行う。
- ❖ 臨床の現場では、線量が決定するまでは、高めに被ばく線量を推定し、治療を開始する。
- ❖ 内部被ばくの診断は、問診や鼻腔スワブ等により可能性を把握し、バイオアッセイ法、体外計測法により診断する。
- ❖ 内部被ばくでは核種ごとに治療に使用する薬剤が異なる。

## 用法・用量

薬品	用法・用量	
プルシアンブルー (フェロシアン化第二鉄)	水とともに1回3gを1日3回3週間 内服	0.5g/cap
アルギン酸ナトリウム (アルロイドG)	アルギン酸ナトリウム10g (アルロイドG 200ml) あるいは1.5~3gを内服	5%液
ヨウ化カリウム	成人100mg内服	50mg/tab
ジメルカプロール (バル)	1日目 1回2.5mg/kg筋注 6hr毎 2日目~1日1回を6日間	100mg/ml
CaDTPA ZnDTPA	1回1gを生食100mlで30分で1日1回静注 週5日連続投与 混合療法:1回目CaDTPA 1g、2回目以降ZnDTPA 1gを4日間投与。その後超ウラン元素の排泄率の増加が見られなくなるまで1週間に2-dose(1-doseあたりZnDTPA1g)投与。	1g/5ml
レボチロキシン (チラージンS)	1回25~100μg内服	25μg/cap
チオ硫酸ナトリウム (デトキソール)	1日1~2g 緩徐に静注	2g/20ml
マーロックス懸濁内服液	1回1.6~4.8g (1gを水10mlに懸濁)	1.2g/包
ラキソベロン液	(CF前) 1回20ml内服	10ml/本
酸化マグネシウム		1g/包
硫酸バリウム	1回100~300ml内服	
薬用炭	1回20gを水に懸濁し内服	20g/包

## 放射性核種による汚染時の選択薬剤 1

核種	直後の処置	考慮すべき薬剤	注意
アメリシウム (Am) Americium	DTPA	DTPA, CaEDTA	可及的早期にキレート化を行う。 DTPAが入手困難ならばCaEDTAを用いる。
セシウム (Cs) Caesium	プルシアンブルー、 洗浄、下剤	プルシアンブルー、 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$	
コバルト (Co) Cobalt	洗浄、下剤	大量被ばくでは、ペ ニシラミンが考慮。	コバルト塩は不溶性であるから飲 んだ場合は、特に治療は要しない。
フッ素 (F) Fluorine	水酸化アルミニウ ムゲル		
ヨウ素 (I) Iodine	KI投与	KI	できるだけ早くヨウ化カリウム100 mg (ヨウ素として16 mg) を飲ま せる。
マンガン (Mn) Manganese	洗浄	DTPA	陰イオンとして存在するMnは治療 不可能。
リン (P) Phosphorus		水酸化アルミニウム (経口)	大量の時は副甲状腺ホルモンも。
プルトニウム (Pu) Plutonium	DTPA	DTPA、 CaEDTA、 DFOA	DTPAが入手困難ならばCaEDTAを 用いる。早期にはDFOAも用いられ る。生物学的半減期は、肝で40年、骨 は100年である。

## 放射性核種による汚染時の選択薬剤 2

核種	直後の処置	考慮すべき薬剤	注意
ルテニウム (Ru) Ruthenium	洗浄、下剤	クロールサイアザイド DTPA	クロールサイアザイドは尿中排泄を増す。DTPAの効果は一定しない。
トリウム (Th) Thorium	DTPA	DTPA DFOA	DTPA、DFOAは可溶性成分に有効で、排泄を増加。二酸化トリウムには、有効な治療はない。
トリチウム (H) Tritium	洗浄 多量の水分を採らせる	利尿剤	
ストロンチウム (Sr) Strontium	洗浄 直ちに磷酸アルミニウムゲル又は水酸化アルミニウムゲル100mlを飲ませる。硫酸マグネシウム10g服用により、消化管停留を短縮し、吸収を減少。	安定ストロンチウムステロイド剤 Potassiumrhodizoate(C <sub>6</sub> O <sub>2</sub> K <sub>2</sub> ) プレドニン	乳酸ストロンチウム500-1500 mg/日を経口投与し、連日数週間続ける。創傷汚染は、いかに小さくとも見逃してはならず十分水洗いするがPotassiumrhodizoate 1gを撒布すれば、Srは局所的に不溶性となり、吸収されない。コルチコステロイド投与は、放射性ストロンチウムの尿中排泄を3倍に増加。プレドニン経口5-20mg/日、又はメチルプレドニゾン10-40mg静注。
ウラン (U) Uranium	DTPA	DTPA 重炭酸ナトリウム	DTPAは4時間以内が有効である。重炭酸ナトリウムは、腎を保護する。
亜鉛(Zn) Zinc	DTPA、洗浄	DTPA	DTPAが入手困難ならば、CaEDTAを用いる。

71

# 外部被ばくと内部被ばくの線量評価

原子力災害 被ばく医療 専門研修  
被ばく医療-4

時間；40分

内容

- 被ばく線量評価
- 線量評価の方法
- 実効線量
- 血球数による線量推定
- 染色体解析による外部被ばく線量推定
- 前駆症状と被ばく線量
- 個人線量計による算定方法
- 線量推定
- 再構築
- 内部被ばくの特異性
- 内部被ばく線量評価の方法
- 内部被ばくの線量（預託実効線量）
- 体外計測法とバイオアッセイ法
- 預託実効線量の算出

# 被ばく線量評価

## 外部被ばく



- どの程度被ばくしたのか？
- 今後どのような症状が出るのか？
- 健康影響のリスクはどの程度か？

## 線量評価

様々な手法がある

被ばく医療には線量評価が不可欠

診断、治療方針の決定、予後の評価

## 内部被ばく



- ◆ 絶対的なものではなく、総合的に評価する
- ◆ 正確な被ばく量が完全に決定するまで実際にはかなり時間がかかる
- ◆ 被ばく線量は幅を持たせて考える必要がある（どちらかといえば重症の方に考えて対処）

放射線に被ばくしたら、診断や治療方針の決定、予後の評価には、被ばくの程度を評価する必要があります。それが線量評価となります。線量評価には、生物学的線量評価と物理学的線量評価があります。

外部被ばくの線量評価には、染色体分析や計測、放射化分析、ESR、再構築、線量推定といった手法があります。内部被ばくの線量評価には、体外計測法、バイオアッセイ法があります。

線量評価は、絶対的な手法はなく、それぞれの評価法を用いて、総合的に評価します。また、正確な被ばく線量が完全に決定するまでには、時間がかかります。また、被ばく線量は、幅をもたせて考える必要があります。

## 線量評価の方法

	試料・資料	対象	内容
生体試料の測定・観察 放射線の影響による変化の観察、測定	血液	血球細胞数の変化	リンパ球、好中球の減少など
		染色体異常の解析	放射線による染色体異常の発現頻度
	身体所見	唾液腺の腫脹、疼痛、口腔粘膜の症状等	高線量被ばくによる前駆症状
		皮膚症状の出現	紅斑や放射線皮膚障害の症状
	スワブ	鼻腔や口腔粘膜のスワブ	汚染の有無による内部被ばくの可能性と推定
	血液、嘔吐物等	生体内のナトリウム、塩素の放射化から計測	中性子線による放射化の分析
歯のエナメル質	生体組織に生じるラジカルを測定	電子スピン共鳴(Electron Spin Resonance; ESR)	
情報の解析	問診等での病歴、事故の状況	被ばくの可能性の評価	患者本人あるいは放射線管理要員より聴取
	線源、放射性物質等の情報	計算	計算による線量推定
放射線、放射性物質の計測	個人線量計	個人被ばく線量	被ばく線量の実測値
	身体、臓器	体外計測（ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター）	体内残留量の計測
	尿、便	バイオアッセイ法	排泄量の計測
	再構築	線源等の情報による事故状況の再現と実測結果からの計算	事故状況の再現、実測、計算

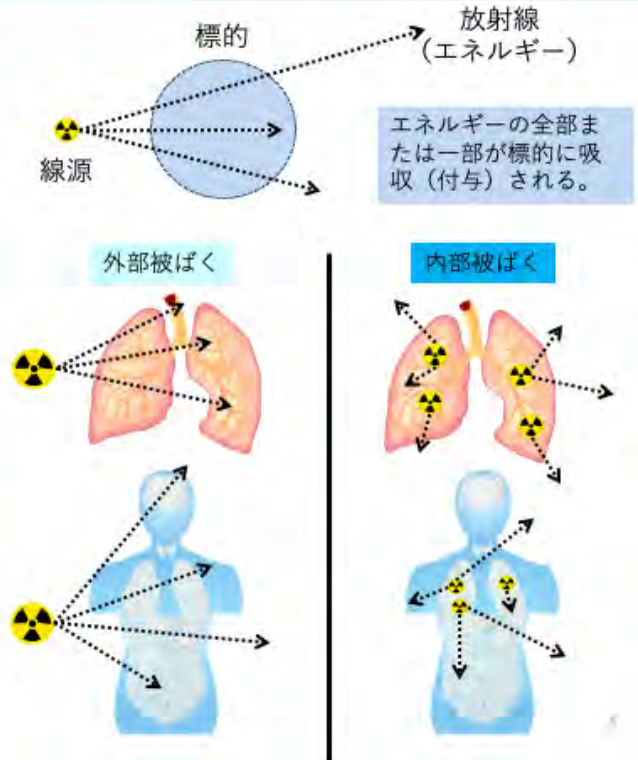
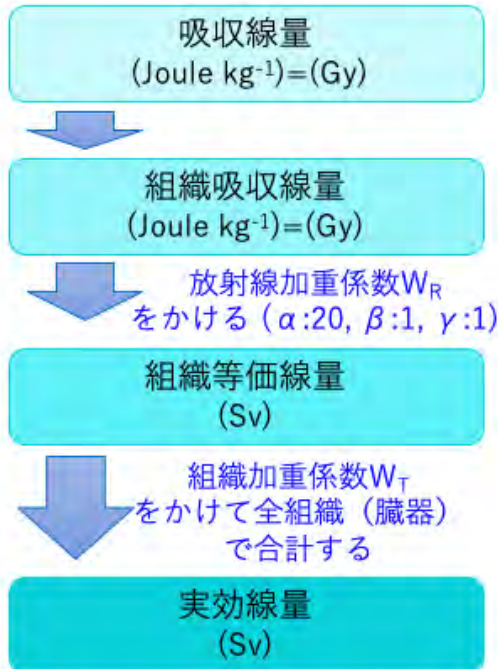
被ばく線量評価には、様々な手法があります。

生体試料を測定して、放射線の影響による実際の細胞や組織の変化を評価する方法があります。これには、血液試料による血球細胞数の変化や染色体異常の解析、身体所見による高線量被ばくの症状の確認と発症時期による線量の推定、鼻腔や口腔粘膜のスワブ（ぬぐいとり試料）の汚染検査による内部被ばくの推定、血液や嘔吐物の放射化の測定による中性子線被ばくの線量評価などがあります。これらの生体試料の測定による方法を生物学的線量評価と称します。

また、事故の状況や被ばくの時間、作業時間等を問診で確認することで被ばくの可能性の評価ができ、さらに線源や放射性物質等の情報を追加することで計算による線量推定ができます。また、実際に放射線や放射性物質を計測して評価することもできます。体外計測は、身体や臓器から放出される放射線を測定して、体内の放射性物質の残留量を計測し、内部被ばく線量を計算します。尿中や便中の放射性物質の排泄量を測定して内部被ばく線量を計算する方法がバイオアッセイ法です。また、線源や被ばくした患者の位置関係などから事故時の状況を再現し、放射線を実測した結果から、被ばく線量を計算する再構築の方法もあります。計算や計測による線量評価を物理学的線量評価と称します。



# 実効線量

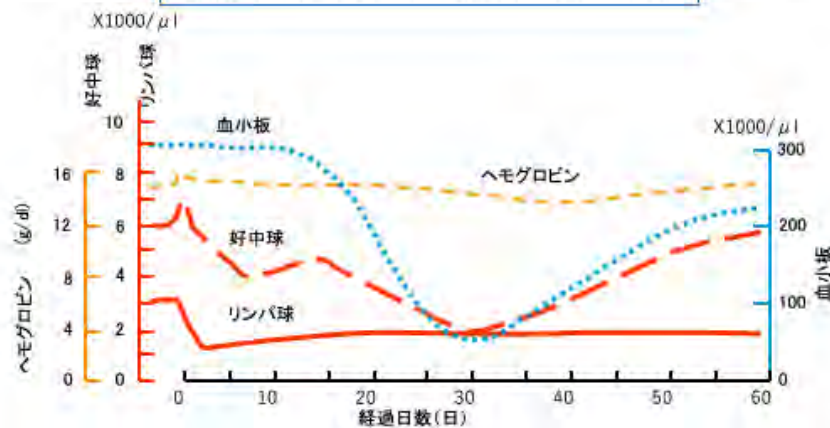


物質が吸収するエネルギーによる影響は、放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い（放射線荷重係数）を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その臓器により影響の現れ方（感受性）が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い（組織荷重係数）を加味して全身について合計したものが実効線量です。

## 末梢血による外部被ばく線量評価

- ❖ 容易、低侵襲で確度の高い外部被ばく線量評価が可能
- ❖ 全身平均線量を評価できる
- ❖ 血算、不安定型染色体異常、安定型染色体異常、小核、遺伝子突然変異などを指標とする方法が考案されている

2Gy被ばくしたときの末梢血の変化例



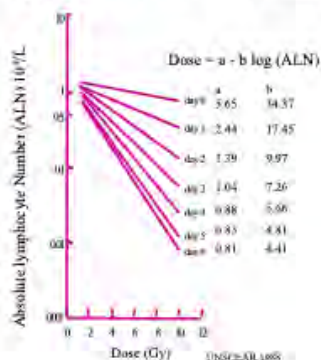
末梢血の血球による被ばく線量評価は、容易であり、侵襲の度合いの低い被ばく線量評価となります。これは、全身の平均線量を評価できます。血球数の推移による評価や染色体異常の分析による線量評価があります。2 Gyの被ばくをした場合の末梢血の血球数の推移を図に示しています。

出典：HÜBNER, K.F., FRY, S.A. (Eds), The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (Proc.REAC/TS International Conference Oak Ridge, 1979), Elsevier, Amsterdam and New York (1980).

## 血球数による線量推定

	ARSでの血球数と被ばく線量				
	1 - 2 Gy	2 - 4 Gy	4 - 6 Gy	6 - 8 Gy	> 8 Gy
リンパ球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ ) (被ばく後 3 ~ 6 日)	0.8 - 1.5	0.5 - 0.8	0.3 - 0.5	0.1 - 0.3	0.0 - 0.1
好中球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	> 2.0	1.5 - 2.0	1.0 - 1.5	$\leq 0.5$	$\leq 0.1$
血小板数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	60 - 100 10 - 25 %	30 - 60 25 - 40 %	25 - 35 40 - 80 %	15 - 25 60 - 80 %	< 20 80 - 100 %

50 Gy を超すような非常に高線量被ばくした場合には、血球減少の前に死亡する



- ❖ 高線量被ばくが疑われる場合は、4～8時間毎に末梢血のリンパ球数を評価する。
- ❖ 血球数の減少の程度により、被ばく線量が推定される。

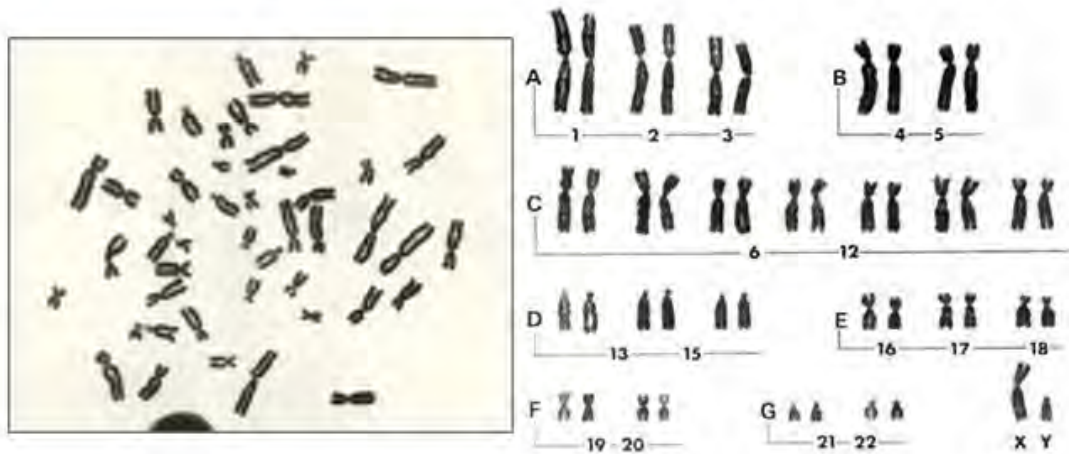
血球数の推移による線量推定の目安を表に示しています。高線量被ばくが疑われる場合は、4～8時間ごとに末梢リンパ球数を評価し、その推移によって被ばく線量を推定します。

50Gyを超える被ばくは、血球減少が出現する前に死亡してしまいます。

出典；IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より改変

## ヒト染色体

- ❖ 染色体はヒトの設計図(遺伝情報)の担体である。
- ❖ 常染色体 44本と性染色体2本がある

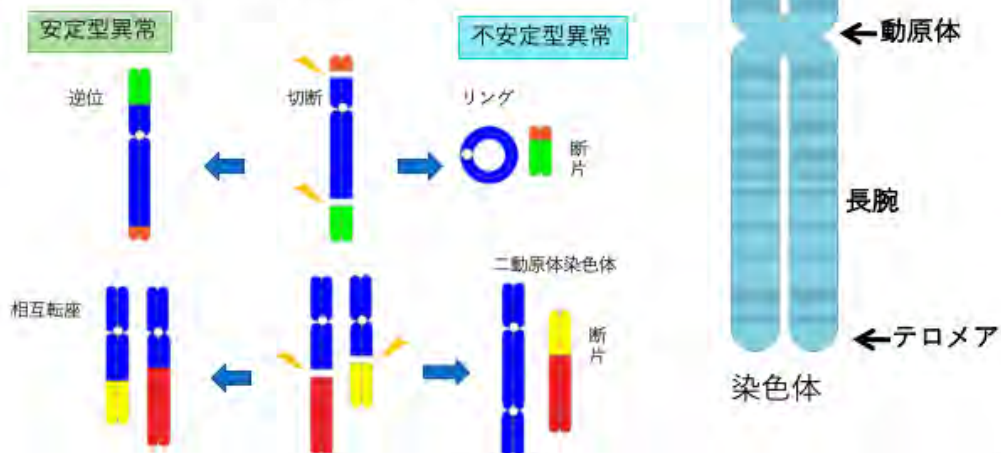


DNAはヌクレオチドという分子が長く繋がった糸状の分子で、そのほとんどが細胞の核の中にあります。DNAは核の中では、ヒストンというタンパク質に巻きついた形で存在し、これをクロマチン構造と言います。クロマチンが最大限に凝縮されたものがM期に見られる中期染色体です。

人の体細胞には、44本の常染色体と2本の性染色体があります。常染色体は第1番から第22番までの染色体が2本ずつあります。中期染色体は、動原体を挟んで両手両足を開いたような形をしています。

## 染色体解析による外部被ばく線量評価

- ◆ 末梢血リンパ球に起こる不安定型染色体異常を指標とする
  - ◇ スライドガラス上に染色体を展開し、染色して顕微鏡観察する
    - ◆ 二動原体染色体頻度；異常な染色体（二動原体染色体）の数を数える
    - ◆ PCC法
    - ◆ 染色体分染法（FISH法、M-FISH法）
- ◆ 外部被ばくの全身被ばく線量を最も正確に検出することができる
- ◆ 線量評価に採血から3日間程度の時間が必要



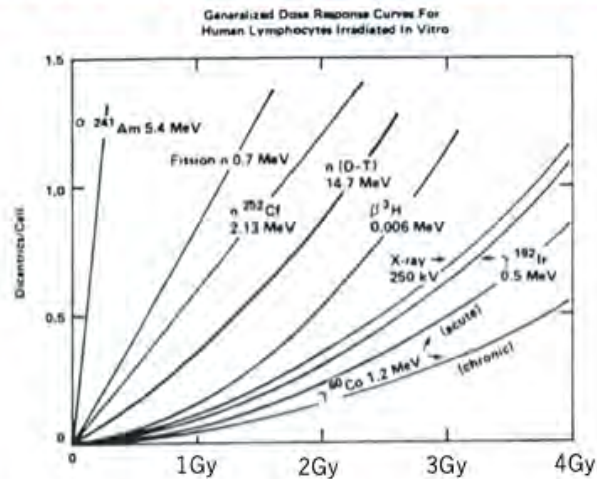
放射線により被ばくすると染色体異常が起こります。放射線によって染色体が切断され、切断面同士が再度接着するときに、染色体異常が起こります。染色体異常の頻度と線量との関係が分かっていると、染色体異常の頻度から被ばく線量を推定することができます。

二動原体染色体や環状染色体のように、細胞分裂を起こすと細胞が死んでしまうような異常を不安定型異常といい、転座や逆位のように生存への影響の少ない異常を安定型異常と言います。不安定型異常は被ばくからの年月に応じて減少しますが、安定型異常は失われずに残ります。

末梢血リンパ球をフィトヘマグルチニン（PHA）という薬剤で処理すると、細胞分裂を人為的に誘発でき、染色体構造を顕微鏡で観察することができるようになります。染色体異常の検出方法には、二動原体染色体頻度によるもの、PCC法、FISH法やM-FISH法といった染色体分染法があります。この染色体異常からの線量評価は、外部被ばくの全身被ばく線量を最も正確に検出することができます。末梢血リンパ球の培養の時間が必要なため、線量評価には採血から3日間程度の時間が必要となります。

## 染色体解析による外部被ばく線量評価

染色体異常頻度と線量には数理的な関係がある



線質の異なる放射線による二動原体染色体出現頻度

R. J. Dufraim et al., 1980 より抜粋

予め細胞のin vitro照射実験で検量線を作製しておけば、放射線被ばくを受けた人の染色体異常頻度から線量評価ができる。

染色体異常と線量には、数理的な関係があります。あらかじめ照射実験で検量線を作成しておけば、放射線被ばくでの染色体異常頻度から線量評価ができます。

また、二動原体染色体の出現頻度は、放射線の線質によっても異なります。LETが高くなると染色体上の誘発率は増加します。

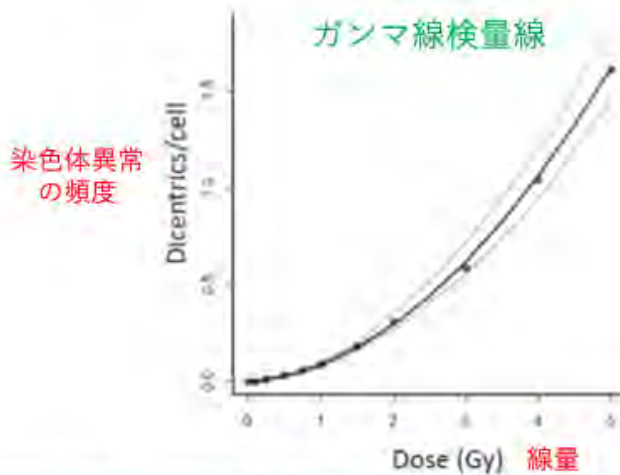
# 染色体分析による線量評価の流れ



染色体分析用の採血後、リンパ球を分離し、48時間培養します。その後、細胞を回収し、標本を作成します。顕微鏡画像解析システムによる染色体分析を行い、異常の頻度に基づく線量評価を実施します。この手順は、国際標準の手順があります。  
染色の手法としては、ギムザ染色、蛍光in situハイブリダイゼーション (fluorescent *in situ* hybridization; FISH) がある。

## 検量線

福島原発事故で線量評価に使用した検量線



$$Y = (0.00015 \pm 0.00017) + (0.0302 \pm 0.0044) \times D + (0.0588 \pm 0.0028) \times D^2$$

Y: 染色体異常の頻度, D: 線量 (Gy); p value of goodness of fit test : p = 0.73.

あらかじめ作成した検量線に、測定データを当てはめて被ばく線量を推定します。また、線質により同じ線量でも誘発される突然頻度は異なります。そのため放射線の種類によって検量線を使い分ける場合と、ガンマ線相当に換算して評価する場合があります。

出典；Y. Suto et al., Health Phys. (2013)



## 染色体分析の試料採取

- ❖ 染色体分析のための血液サンプルを確保する。
- ❖ 採血量：ヘパリン採血で10ml、最低3ml。（シリンジでも採血管でも良い、採血後十分に混合する）
- ❖ 採血時期：事故後24時間以降から4週間（1ヶ月）以内
  - ◇ ただし、高線量被ばくが予想される場合、血液中のリンパ球数の変化を見ながら激減するようであれば直ちに線量評価用の血液を確保する
  - ◇ 輸血などの措置が必要とされる場合は、輸血前に採血する
  - ◇ 採取した血液はただちに輸送できない場合、冷蔵（～室温）保存（凍結させない）
- ❖ 被ばく歴等の確認；線量評価の結果に影響を与えるため、次の項目を確認する。
  - ◇ 生年月日（年齢）
  - ◇ 性別
  - ◇ 医療被ばくの有無（放射線治療、X線検査、IVR検査・治療、核医学検査・治療）
  - ◇ 既往歴
  - ◇ 服薬歴
  - ◇ 飲酒歴
  - ◇ 過去15年間のX線検査歴
  - ◇ 放射線関連作業従事歴

染色体分析に用いる血液サンプルは、ヘパリン採血管を使用します。採血量は10ml（最低3ml）です。採血時期は、被ばく後24時間以降から4週間以内です。被ばくから24時間経過すると、リンパ球が全身に均等に分布するため、正確な評価ができるようになります。ただし、高線量被ばくでリンパ球数が24時間以内に激減するようであれば、直ちに線量評価用の血液サンプルを確保します。また、輸血をする場合は、輸血の前に血液サンプルを採取します。輸血用の血液製剤は、放射線照射をしているため、正確な評価ができなくなるためです。

採取した血液サンプルを保存する場合は、凍結させずに冷蔵保存します。

また、線量評価の結果に影響を与える因子として年齢、性別、被ばく歴、既往歴、服薬歴、飲酒歴などを確認します。

## ARS 前駆症状と被ばく線量

	1~2Gy	2~4Gy	4~6Gy	6~8Gy	>8Gy
嘔吐	10-50% 2h以降	70-90% 1-2h	100% 1h以内	100% 30min以内	100% 10min以内
下痢	(-)	(-)	中等度 <10% 3~8h	重度 >10% 1~3h	重度 100% 1h以内
頭痛	軽度	軽度	中等度 50% 4~24h	重度 80% 3~4h	重度 80~90% 1~2h
意識	正常	正常	正常	混濁例あり	喪失 (50Gy 1)
体温	正常	微熱	発熱	高熱	高熱

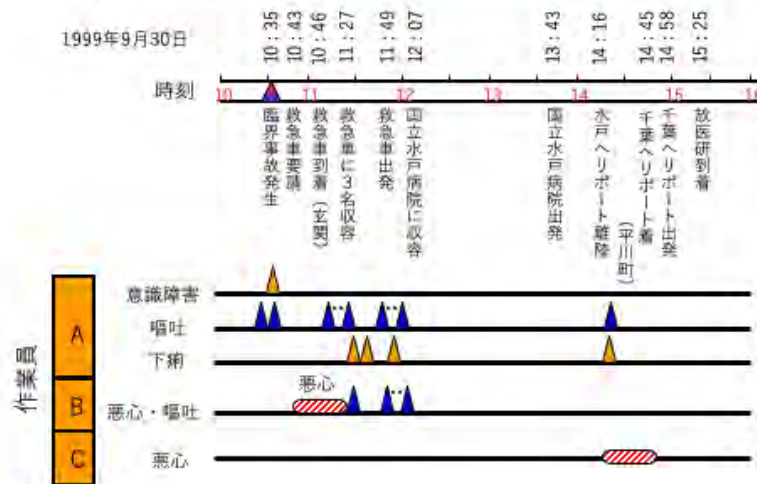
臨床症状からの被ばく線量の推定としては、急性放射線症(ARS)の前駆症状の重篤度と発症時期による推定があります。

前駆症状の発現時期が早ければ早いほど、また症状が重篤であるほど、被ばく線量は高いことが推定されます。これは、医療機関で被ばく患者を受け入れた際に、大まかな状態と高線量被ばくの可能性を推定する際に役立ちます。

出典；IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より改変

## 嘔吐と推定被ばく線量

被ばくからの時間	推定被ばく線量(Gy)
< 30 分	> 6
0.5 - 1 時間	4 - 6
1 - 2 時間	2 - 4
2 - 3 時間	1 - 4
症状なし	< 1



前駆症状の中でも嘔吐は最も現れやすい症状です。

被ばく線量が高いほど嘔吐が出現する時期は、早くなります。被ばくから30分以内の嘔吐であれば、6Gy以上の被ばく線量が疑われます。2～3時間での嘔吐は1～4 Gy程度の被ばくが疑われます。4時間以上経過しても嘔吐の症状がなければ、高線量の被ばくの可能性は低くなります。

出典；International Atomic Energy Agency, Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries. Safety Report Series No.2. Vienna, 1998.

International Atomic Energy Agency, Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency. Vienna, 2005.

## 個人線量計による実効線量及び等価線量の算定方法

被ばく状況	評価項目	算定方法	
均等被ばく	実効線量	胸腹部に装着した個人線量計から評価した1cm線量当量	
	等価線量	皮膚	体幹部に装着した個人線量計から評価した70 $\mu$ m線量当量（等価と見なせる場合は1cm線量当量でもよい）
		眼の水晶体	体幹部に装着した個人線量計から評価した70 $\mu$ m線量当量または1cm線量当量のうちどちらか大きい方（等価と見なせる場合は1cm線量当量でもよい）
		妊娠を申告した女子の腹部表面	腹部に装着した個人線量計から評価した1cm線量当量
不均等被ばく	実効線量	頭頸部、胸部及び上腕部、腹部及び大腿部、その他の部位に必要な応じて個人線量計を装着し、それらから得られる1cm線量当量の加重平均値を実効線量と見なす	

個人線量計による実効線量と等価線量の算定方法を示しています。

## 線量推定

- ❖ 諸条件（核種、放射能など）から被ばく線量を計算し、線量を推定する

線源で全身被ばく    線源で局所被ばく



放射線緊急事態時の評価

核種や放射能などの諸条件から被ばく線量を計算して被ばく線量を推定する方法もあります。

## 外部被ばく線量の計算

作業者が誤って $^{137}\text{Cs}$ 線源 (37TBq) から1.5m離れた場所で約10分間の照射を受けたことが判明した。この作業者が受けた外部被ばく線量を計算せよ

$\Gamma = 0.0779 (\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1})$  for  $^{137}\text{Cs}$

$$E = \frac{A \times \Gamma \times t}{d^2} = \frac{3.7 \times 10^7 \times 0.0779 \times 1/6}{1.5^2} = 2.1 \times 10^5 (\mu\text{Sv}) = 210 (\text{mSv})$$



実効線量率定数は、放射能(Ba)から被ばく線量(Sv)を算出するのに必要な定数で、核種毎に値が異なり、アイソトープ手帳の放射線同位元素表で確認する必要があります。この際、m、 $\mu$ 、M等の桁に注意して計算します。

ある線源からの外部被ばく線量を計算するには、線源の大きさ (放射能; Bq)、線源からの距離 (m)、被ばくした時間 (h)、核種の実効線量率( $\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$ )が必要となります。

例えば、Cs-137線源(37TBq =  $37 \times 10^6 \text{MBq}$ )から1.5m離れた場所で約10分間照射を受けた場合の被ばく線量は、上記の式となり、210mSvとなります。

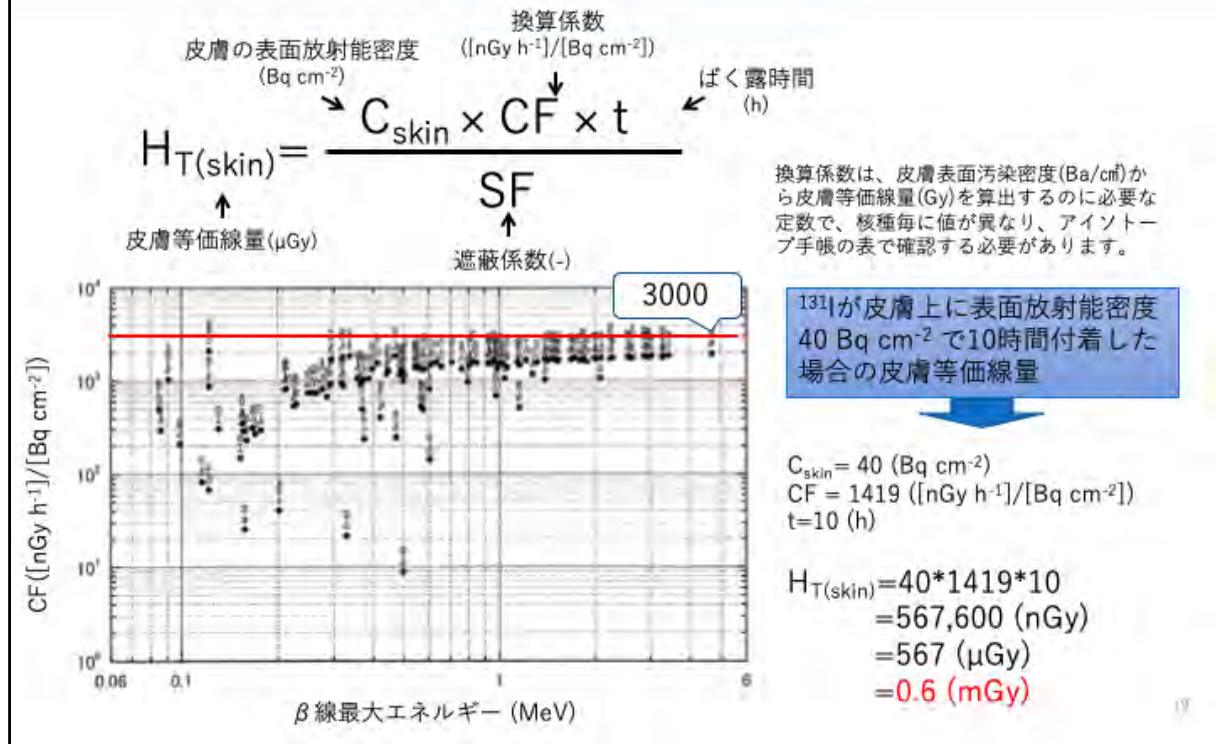
## 外部被ばく線量率定数

放射性核種	半減期	$\gamma$ 線エネルギー (MeV) - 放出率	1MBq, 1mでの 実効線量率( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )	1MBq, 1mでの 周辺線量当量率( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )
$^{24}\text{Na}$	2.609y	1.275 - 99.9%	0.284	0.333
$^{54}\text{Mn}$	312.1d	0.835 - 100%	0.111	0.13
$^{59}\text{Fe}$	44.5d	1.099 - 56.5%	0.147	0.171
		1.292 - 43.3%		
$^{60}\text{Co}$	5.271y	1.173 - 100%	0.305	0.354
		1.333 - 100%		
$^{85}\text{Sr}$	64.84d	0.514 - 96.0%	0.0697	0.0826
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	249.8d	0.658 - 94.0%	0.354	0.416
		0.885 - 72.2%		
		0.937 - 34.1%		
		1.384 - 24.1%		
$^{137}\text{Cs}$	30.04y	0.662 - 85.1%	0.0779	0.0927
$^{192}\text{Ir}$	73.83d	0.296 - 28.7%	0.117	0.139
		0.308 - 30.0%		
		0.317 - 82.7%		
		0.468 - 47.8%		
$^{241}\text{Am}$	432.2y	0.0595 - 35.9%	0.00395	0.0529

核種ごとに実効線量率が異なります。その代表的な各種の実効線量率を示しています。

出典：アイソトープ手帳第10版

# 皮膚線量の計算

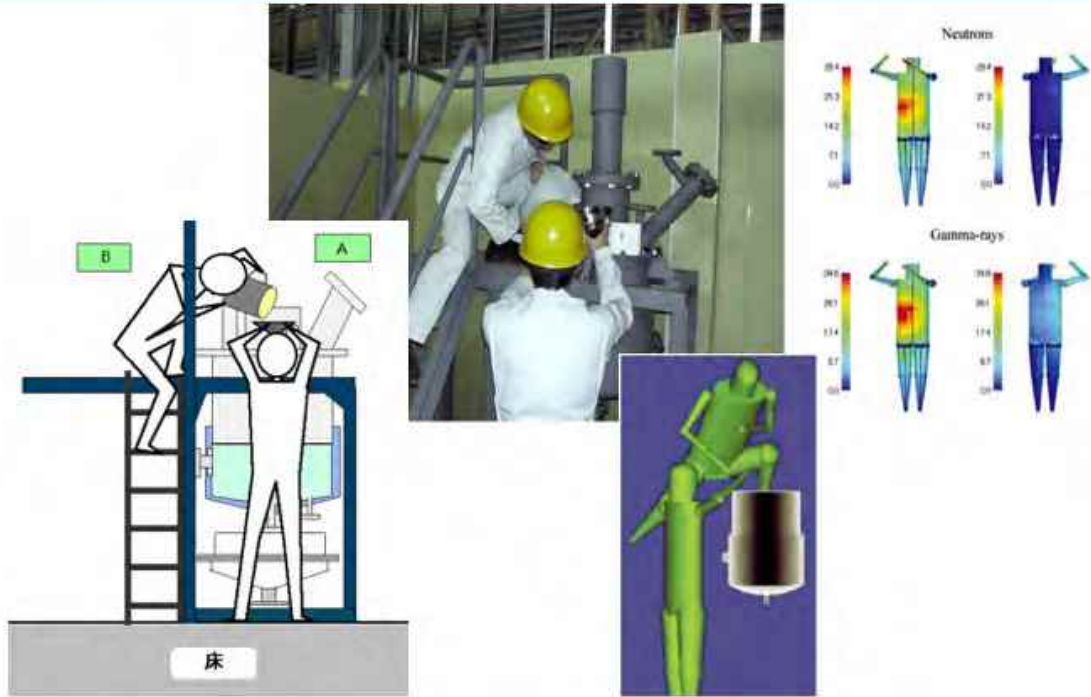


表面汚染から受ける皮膚の被ばく線量（皮膚等価線量）は、表面密度 (Bq/cm<sup>2</sup>)、換算係数([nGy h<sup>-1</sup>]/[Bq cm<sup>-2</sup>])、被ばく時間(h)、遮蔽係数から計算します。

I-131が皮膚上に表面密度40Bq/cm<sup>2</sup>で10時間付着した場合の皮膚等価線量は0.6mGyとなります。



## 再構築



20

事故時の状況を再現し、状況と実測結果から被ばく線量を推定します。

## 内部被ばくの特異性

- ❖ 体内の放射性核種からの被ばく線量が急性障害を引き起こすことはまれ → 全身の症状としては出現しない、鼻腔スワブ等での確認
- ❖ 放射性物質が体内から消失するまで被ばくが続く。
- ❖ 晩発性の健康影響として、放射線誘発がんの危険性の増加がある。
- ❖ 被ばく線量は直接測定できない。
  - ◇ 計測法、分析法、体内挙動の評価モデルなどを用いて線量を評価
  - ◇ 元素の種類によって体内での分布が異なる
  - ◇  $\alpha$ 核種の内部被ばくが特に問題
  - ◇ 線量評価には**摂取量の推定**が必要
  - ◇ 摂取量の推定にはシナリオ（放射性物質の摂取時期、摂取経路、性状などの条件）が必要



内部被ばくとは、放射性物質が体内に入り、被ばくする事です。内部被ばくでは、急性障害が起きることは極めて稀で、全身被ばくの症状は出現しません。身体所見から内部被ばくを診断することはできませんが、鼻腔や口腔粘膜のスワブ（ぬぐいとり試料）に付着した放射性物質を検出することで内部被ばくの可能性を評価できます。

しかし、放射性物質が体内から消失するまで被ばくが続き、低線量率の被ばくとなります。健康影響としては、晩発性の影響で、放射線誘発がんの危険性が増加します。

この内部被ばくの線量は直接測定することはできません。そこで、計測法、分析法、体内挙動の評価モデルなどを用いて、線量を評価します。また、体内に入った放射性物質は、核種によって体内での分布が異なります。内部被ばくの線量評価には、最初に取り込んだ放射性物質の量（摂取量）の推定が必要です。この推定には、放射性物質の摂取時期、摂取経路、性状などのシナリオの条件が必要です。

## 内部被ばく線量評価の方法

### 個人モニタリング

体外計測法： 残留量 ÷ 残留割合 = 摂取量

バイオアッセイ法 排泄量 ÷ 排泄割合 = 摂取量

摂取量  
(Bq)

×

線量係数  
(Sv/Bq)

=

実効線量  
(Sv)



後で説明

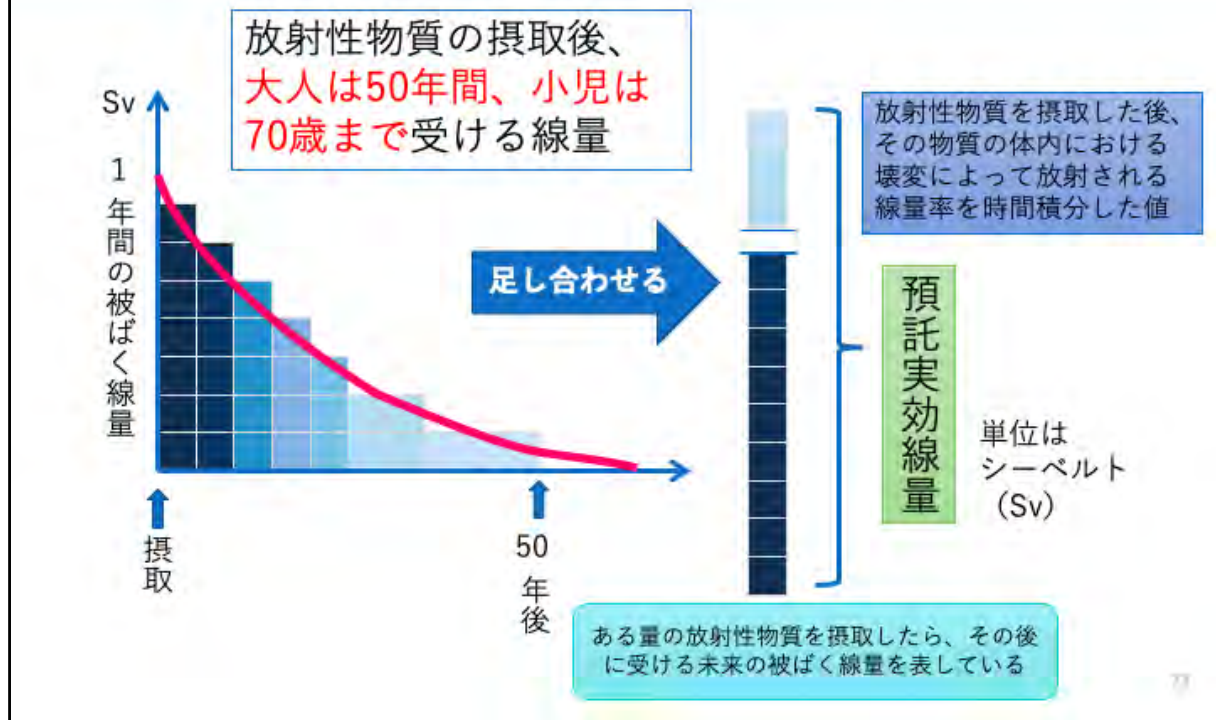
### 環境モニタリング

空気中濃度 × 呼吸量 = 摂取量 (土壌中濃度 × 再浮遊係数 × 呼吸量 = 摂取量)

飲食物中濃度 × 食べた量 = 摂取量 (土壌中濃度 × 飲食物への移行係数 × 食べた量 = 摂取量)

内部被ばく線量評価のために、まず摂取量を推定する必要があります。これには、個人モニタリングである体外計測法とバイオアッセイ法があり、環境モニタリングである空気中濃度と呼吸量からの推定、飲食物中濃度と食べた量からの推定といった方法があります。

## 内部被ばくの線量（預託実効線量）



内部被ばくでは、体内の放射性物質が消失するまで被ばくが持続します。そこで、内部被ばく線量評価は、放射性物質を摂取した後、体内で放射される線量率を時間積分した値で表します。成人では、摂取後50年間を積算し、小児では、70歳までの線量を積算します。これが預託実効線量(Sv)となります。外部被ばくの線量は、すでに被ばくしてしまった値を示しますが、内部被ばくの線量は、その後に受ける将来の被ばく線量を表しています。

## 体外計測法とバイオアッセイ法

比較項目	体外計測法	バイオアッセイ法
対象核種	ガンマ線放出核種	アルファ線放出核種 ベータ線放出核種 (ガンマ線放出核種)
測定対象	全身または局所	尿、便など
装置	ホールボディカウンタ 甲状腺モニタ 肺モニタ	前処理装置 化学分析装置 放射能測定装置
利点	体内放射能の直接測定	試料入手により遠隔地でも測定可能
弱点	核種が限定される	試料採取、化学分析操作に時間を要する
結果が示すもの	測定時点の体内残留量	測定時点の排泄量

内部被ばくの線量評価に必要である摂取量の推定には、体外計測法による残留量からの評価と、バイオアッセイ法による排泄量からの評価の方法があります。

体外計測法は、ガンマ線放出核種を対象としますが、バイオアッセイ法はアルファ線放出核種、ベータ線放出核種も対象となります。

体外計測法は、ホールボディカウンターで全身の計測をしたり、甲状腺モニターや肺モニターで局所を計測します。計測の結果は、測定時点での体内の残留量となります。

バイオアッセイ法は、尿や便の中の放射性物質を計測するため、前処理、化学分析が必要で、時間を要します。この結果は、尿中あるいは便中の排泄量となります。

## 体外計測法

- ❖ 体外に出てくる $\gamma$ 線を体外に配置した放射線測定器で検出
  - ◇  $^{137}\text{Cs}$ の662keVの全吸収ピーク効率：1%程度



体内からの放射線も  
体外からの放射線も  
区別なく検出してし  
まうため、体表面汚  
染を必ず確認する。

25

体外計測法は、体内の放射性物質から放出されるガンマ線を検知して、測定しています。この時、体表面に汚染が付着していると、体内からのガンマ線なのか、体外のガンマ線なのか区別できず、正確な線量評価ができなくなります。そのため、体外計測の前には、必ず体表面汚染の有無を確認します。

# バイオアッセイ法

アクチニド核種の場合

前処理

(2日程度)



灰化



蒸発濃縮



共沈

核種分離

(1日程度)



共沈



イオン交換



試料作成

(半日程度)



電着



放射能測定 (Si)

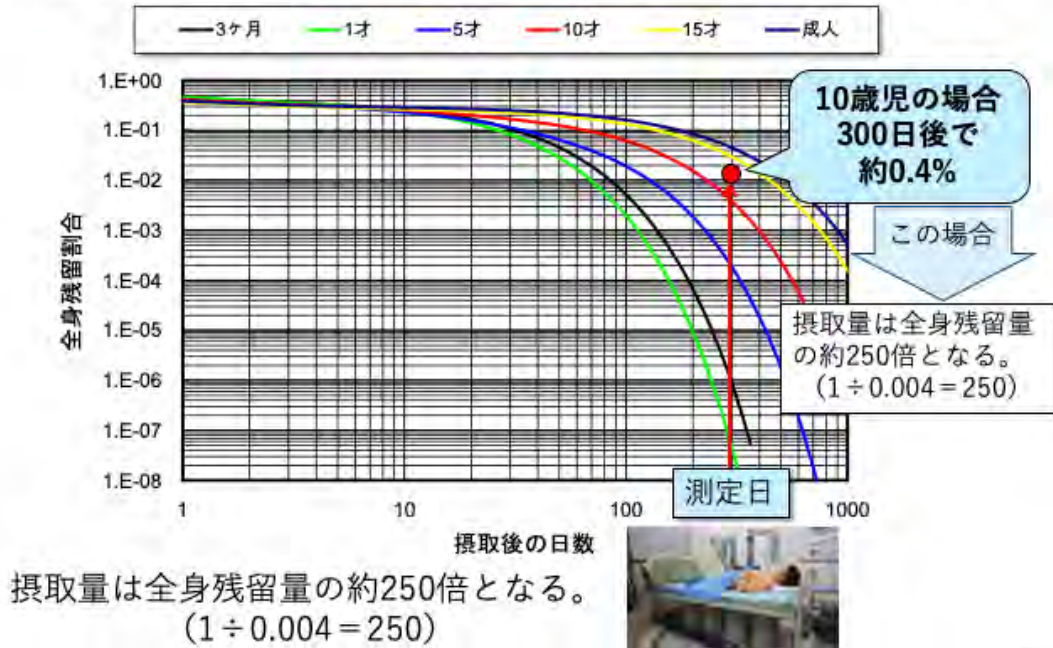
放射能定量

(1日程度)

バイオアッセイの手順を示しています。まず、前処理で便の場合は灰化し、尿の場合は、蒸発濃縮します。それを共沈作用、イオン交換によって核種分離します。その後、プレートに電着し、測定器で放射能測定を実施します。

## 放射性核種の残留割合

$^{137}\text{Cs}$ の急性摂取での全身残留割合（吸入摂取，タイプF，粒径  $1\ \mu\text{m}$ ）

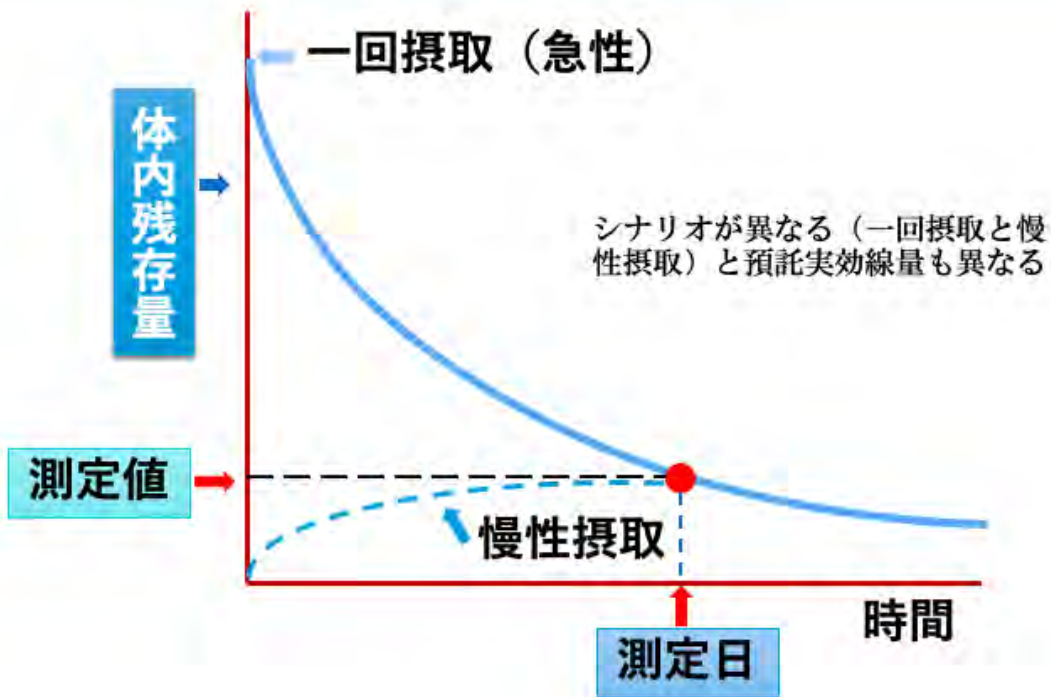


$\text{Cs-137}$ を1回の急性摂取した場合の全身残留割合を示しています。体外計測法での測定結果から摂取量を評価する場合、測定日と測定結果から、体内の残留割合を用いて、最初の摂取量を求めることができます。例えば、10歳児の $\text{Cs-137}$ の摂取から300日後の体内の残留割合は約0.4%です。そのため、最初の摂取量は、全身残留量の約250倍となります。

バイオアッセイ法の場合は、摂取からの時間経過によって体内からの排泄割合が変化します。バイオアッセイ法では、得られた結果と測定時点での排泄割合から最初の摂取量を評価します。



## WBCの計測値



また、WBCの測定結果が同じであっても、急性の1回摂取の場合と、少量を継続して摂取する慢性摂取のシナリオでは、預託実効線量は異なります。そのため、被ばく線量評価の推定には、摂取のシナリオ（急性なのか、慢性なのか）も重要です。

## 内部被ばく線量の算出

- ❖ 実効線量係数とは、摂取した放射性物質の量と被ばく線量の関係を表す係数（単位は Sv/Bq）
- ❖ 1 Bqの摂取による預託実効線量（Sv/Bq）  
（1 Bqとは1秒間に1個の原子が壊変すること）
- ❖ **預託実効線量 = 実効線量係数 × 摂取量**
  - ◇ 吸入・経口摂取により異なる
  - ◇ 核種、化学的形態、物理的形態により異なる

ある原子力発電所の定期点検作業中に作業者が<sup>60</sup>Coを含むダストを吸入したおそれのある事象が発生した。事故翌日のWBC測定によって1MBqの残留量が全身にあることが確認された。この作業者の摂取量及び実効線量を評価する。

$$\begin{aligned} \text{摂取量} &= \text{残留量} \div \text{残留率} \\ &= 1\text{E}+06 \div 0.49 = 2.04\text{E}+06 \\ &= 2.04\text{MBq} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{預託実効線量} &= \text{摂取量} \times \text{実効線量係数} \\ &= 2.04\text{E}+06 \times 1.7\text{E}-08 \\ &= 0.0347\text{Sv} \\ &= 34.7\text{mSv} \end{aligned}$$



実効線量係数とは、摂取した放射性物質の量と被ばく線量の関係を表す係数です。同じ核種でも吸入摂取か、経口摂取かにより異なり、核種の化学的形態、物理的形態によっても異なります。

例えば、作業者がCo-60を吸入した場合、WBC測定で1MBqの残留量があると確認された場合、残留率は0.49、実効線量係数は $1.7 \times 10^{-8}$ であり、計算すると34.7mSvとなります。

## 内部被ばく線量評価の一例

MONDAL Ver. 3.01 [日本語]

ファイル セットアップ ツール ヘルプ

核種 / 計算対象と摂取ルート

核種: Co-60 5.27 年  $\gamma$  (1.17MeV)100%,  $\gamma$  (1.33MeV)100%

作業者による吸入摂取  公衆による吸入摂取

作業者による経口摂取  公衆による経口摂取

AMAD・粒径 / タイプ・n

AMAD: 5 ミクロン(デフォルト)

吸収のタイプ: タイプS  
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硝酸塩

摂取パターン

急性摂取  慢性摂取  不均等慢性摂取

測定データ

計測量: 全身残留量 グラフ

摂取時間: 1 日

摂取終了後: 1 日後に測定/採取

放射能: 1000000 Bq

計算結果

測定した日の残留割合: 4.90E-01 Bq/Bq

摂取量: 2.0E+06 Bq

実効線量: 3.5E-02 Sv

終了 7e-4印刷 結果印刷 ファイルに保存 組織等価線量

**35mSv**

前述の作業者のCo-60の吸入について、MONDAL 3に測定結果と必要な条件（核種、作業者の吸入摂取、粒径、吸収のタイプ、計測量、放射能）を入力すると同様の結果が得られます。

## 内部被ばく線量評価の一例

### 他の粒径と吸収タイプの条件での線量評価結果

条件	$f_1$	e(50) Sv/Bq	全身残留率 (摂取1日後)	摂取量 Bq	実効線量 mSv
タイプS, 5 $\mu$ m	0.05	1.7E-08	0.490	2.0E+06	35
タイプS, 1 $\mu$ m	0.05	2.9E-08	0.346	2.9E+06	84
タイプM, 5 $\mu$ m	0.1	7.1E-09	0.485	2.1E+06	15 <b>5.6倍</b>
タイプM, 1 $\mu$ m	0.1	9.6E-09	0.340	2.9E+06	28

この数値の違いが計算結果の違いとなる。  
この係数の違いは、吸入した放射性物質の化学的形態の違いによる体内における吸収速度の違いと、粒径の違いによる。

**現場の情報が重要!!**

化学形態、粒径

内部被ばく線量評価では、同じ核種でも粒径や吸収のタイプが異なると線量評価の結果も異なります。そのため、正確な被ばく線量評価には、現場からの情報が重要です。

## まとめ

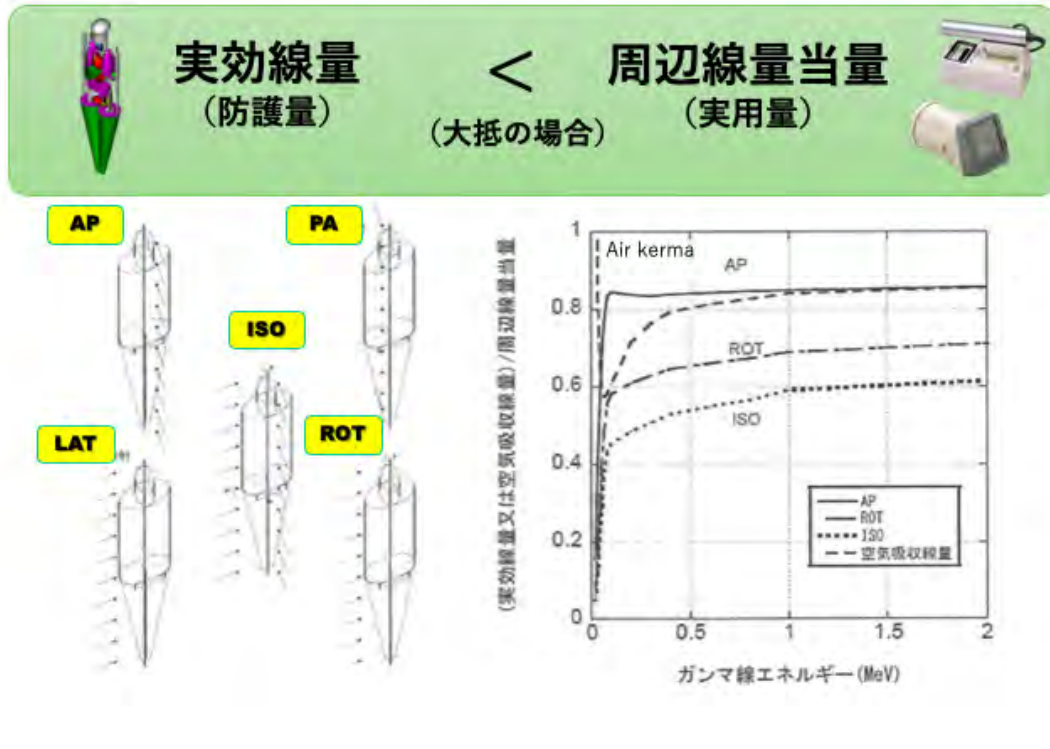
- ❖ 被ばく線量評価は、治療方針、予後の推定等に重要である。
- ❖ 被ばく線量評価は、治療方針・予後の推定等に必要であり、様々な方法を用いて実施し、総合的に判断する。
- ❖ 外部被ばく線量計算:  $Bq \rightarrow Sv$  実効線量率定数 [ $\mu Sv m^2 MBq^{-1} h^{-1}$ ]
- ❖ 皮膚等価線量計算:  $Bq/cm^2 \rightarrow Gy$  換算係数 [ $nGy h^{-1}/Bq cm^{-2}$ ]
- ❖ 内部被ばく線量計算:  $Bq \rightarrow Sv$  内部被ばく線量係数 [ $Sv/Bq$ ]
- ❖ 急性摂取の残留割合(減衰率×排泄率)、慢性摂取のそれぞれのシナリオから摂取量を計算し、預託実効線量として評価

## 実効線量（当量）係数-作業者

核種	Publication 68					Publication 54		
	タイプ	吸入摂取 (Sv/Bq)			経口摂取 (Sv/Bq)		吸入摂取 (Sv/Bq)	
		$f_1$	粒径1 $\mu\text{m}$	粒径5 $\mu\text{m}$	$f_1$		クラス	粒径1 $\mu\text{m}$
<sup>60</sup> Co	M	0.1	$9.6 \times 10^{-9}$	$7.1 \times 10^{-9}$	0.1	$3.4 \times 10^{-9}$	W	$8.0 \times 10^{-9}$
	S	0.05	$2.9 \times 10^{-8}$	$1.7 \times 10^{-8}$	0.05	$2.5 \times 10^{-9}$	Y	$4.1 \times 10^{-8}$
<sup>106</sup> Ru	F	0.05	$8.0 \times 10^{-9}$	$9.8 \times 10^{-9}$	0.05	$7.0 \times 10^{-9}$	D	$1.5 \times 10^{-8}$
	M	0.05	$2.6 \times 10^{-8}$	$1.7 \times 10^{-8}$	-	-	W	$2.5 \times 10^{-8}$
	S	0.05	$6.2 \times 10^{-8}$	$3.5 \times 10^{-8}$	-	-	Y	$1.2 \times 10^{-7}$
<sup>131</sup> I	F	1.0	$7.6 \times 10^{-9}$	$1.1 \times 10^{-8}$	1.0	$2.2 \times 10^{-8}$	D	$8.8 \times 10^{-9}$
	V	1.0	$2.0 \times 10^{-8}$		-	-		
<sup>134</sup> Cs	F	1.0	$6.8 \times 10^{-9}$	$9.6 \times 10^{-9}$	1.0	$1.9 \times 10^{-8}$	D	$1.3 \times 10^{-8}$
<sup>137</sup> Cs	F	1.0	$4.8 \times 10^{-9}$	$6.7 \times 10^{-9}$	1.0	$1.3 \times 10^{-8}$	D	$8.7 \times 10^{-9}$
<sup>238</sup> U	F	0.02	$4.9 \times 10^{-7}$	$5.8 \times 10^{-7}$	0.02	$4.4 \times 10^{-8}$	D	$6.4 \times 10^{-7}$
	M	0.02	$2.6 \times 10^{-6}$	$1.6 \times 10^{-6}$	0.002	$7.6 \times 10^{-9}$	W	$1.7 \times 10^{-6}$
	S	0.002	$7.3 \times 10^{-6}$	$5.7 \times 10^{-6}$	-	-	Y	$3.2 \times 10^{-5}$
<sup>239</sup> Pu	M	$5 \times 10^{-4}$	$4.7 \times 10^{-5}$	$3.2 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-7}$	W	$1.1 \times 10^{-4}$
	S	$1 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-5}$	$8.3 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$	$9.0 \times 10^{-9}$	Y	$8.1 \times 10^{-5}$
			-	-	$1 \times 10^{-4}$	$5.3 \times 10^{-8}$		

作業者の実効線量係数を主な核種について示しています。  
一般公衆の実効線量係数は作業者と異なります。

## 実効線量と周辺線量当量の関係（光子）



実効線量は、人体の臓器や組織の線量から計算される量で、測定器を使って直接測ることはできません。そこで、被ばく管理のために、実際に測定できる量（実用量）として、周辺線量当量と個人線量当量が用いられています。空間線量を測定するNaI(Tl)シンチレーションサーベイメーターや電離箱式サーベイメーターといった機器では、周辺線量当量を表示するように調整されています。

実効線量と周辺線量当量の比率は、核種の違い（放出されるガンマ線エネルギーの違い）や照射条件により異なりますが、成人の場合、実効線量は、概ね周辺線量当量の0.55倍～0.85倍程度になります。

出典；特集 放射線防護に用いられる線量概念，日本原子力学会誌（2013）

## ホールボディカウンタの校正



既知量の放射性核種を封入した  
ファントム

ピークカウント：C

放射能：A



計数効率： $C/A = \epsilon$



被検者

ピークカウント：C'



放射能： $A' = C' / \epsilon$



—————

ホールボディカウンタの校正として、既知の量の放射性物質を封入したファントムを測定し、ピークカウントと放射能から係数効率を算出しておきます。被検者を実測したときに得られたピークカウントをこの係数効率で除すると体内に残留している放射能が得られます。



# 原子力災害時の メンタルヘルス

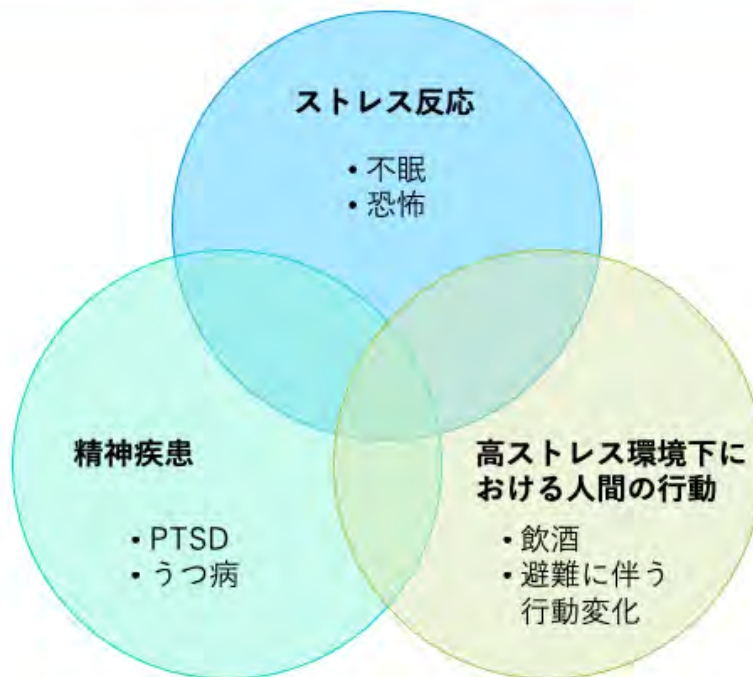
原子力災害 被ばく医療 専門研修  
被ばく医療-5

時間；30分

内容

- 災害による心理的影響
- 災害後の心理状態の変化
- 災害に関連するストレス
- 心的外傷後ストレス障害（PTSD）
- 悲嘆反応
- 被災者の回復の二極化
- ハイリスクの被災者
- 災害支援者が被る災害ストレス
- 災害支援者のセルフケア
- 支援者の精神健康対策
- 原子力災害後の心理状態の変化
- 原子力災害の特徴
- スティグマ・差別・中傷
- 原子力災害時のメンタルヘルス対策

## 災害による心理的影響



アメリカ医学研究所は災害の心理的影響を分類する枠組みを策定し、その中で、行動の変化、ストレス反応、精神疾患の3つの大きなカテゴリーを設定しています。

行動の変化は、災害後に様々な人々の行動や生活において認められる変化を含んでいます。一般的に見られる行動変化として、退行的行動の再発や潜在的に先々問題を引き起こしうる行動をとることが挙げられます。飲酒量の増加や喫煙の再開などはその典型的な例です。

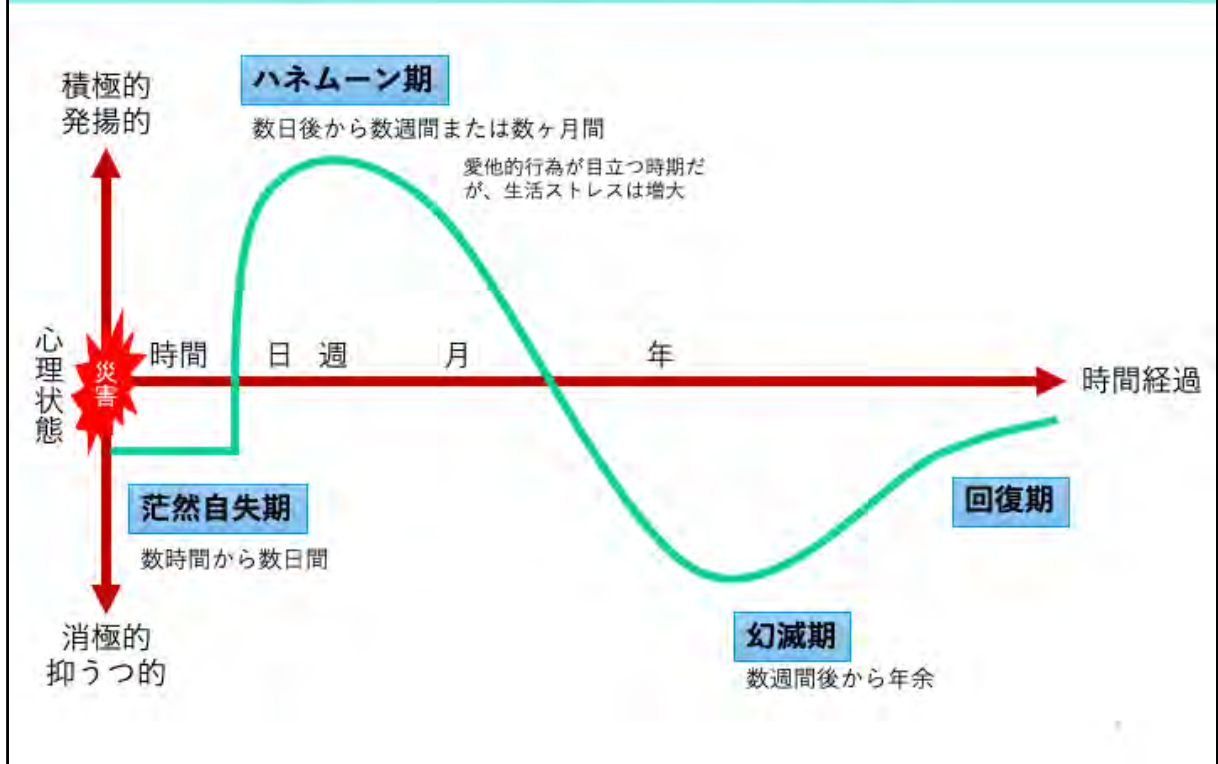
どのような体験に対してもストレス反応は生じます。その反応は異常もしくは不適応な反応であることもあれば、そうでないこともあります。これらの反応は認知、情動、身体の3つの側面に及びます。不眠は行動の変化とストレス反応のカテゴリーに重複して考えられます。認知の変化には、困惑や気が散ることも含まれます。情動的反応にもさまざまあり、典型的なものとして不安、恐怖、悲嘆、諦めなどがあります。共同体意識や精神性の高まりなどのポジティブな情動も生じ得ます。身体的原因が明らかに存在しない場合でも、被災者は頭痛や腹痛などの身体反応が生じることで医療的ケアを求めます。

多くの場合、行動の変化やストレス反応の程度や移り変わりの早さは時間とともに落ち着きます。しかし、このような改善が見られず、いろいろな問題が重なってくると、精神疾患を発症するに至ることもあります。最もよくみられる災害後の精神疾患として、心的外傷後ストレス障害 (post-traumatic

stress disorder: PTSD)、うつ病、アルコール使用障害があげられます。  
PTSDとは、生命や身体に脅威を及ぼし、強い不安、恐怖、無力感をもたらす  
ようなトラウマ体験によって出現する心の後遺症ともいえる症候群です。

出典：フレデリック・J・スタッダードJr.他（編）「災害精神医学」（星和  
書店 2015）

## 災害後の心理状態の変化



災害発生後の被災者の心理状態は3相性の段階を踏んで経過します。

茫然自失期は、発災から数時間から数日間であり、誰しもがショックを受け、茫然自失の状態になる時期です。気分は消極的、抑うつ的となります。

ハネムーン期は、発災数日後から数週間または数ヶ月間続きます。被災者が被害の回復に向かい、一丸となって、積極的な気分になります。しかし一見、元気に見えるが、生活ストレスは増大します。

幻滅期は、発災数週間後から年余にかけて続きます。この時期は、メディア等が災害を報じなくなり、被災地外の人々の関心が薄れることで、被災者は無力感や倦怠感にさいなまれるようになります。また、被災者の立ち直り（心理的および経済的生活再建）状況の個人差が拡大していき、災害時要支援者、要配慮者対策の重要性が増します。

その後、復旧が進み生活の目処がつき始めると、現状を受け入れ、気分が安定し、将来のことを考えられるようになります。

このように被災者の心理状態は時間経過とともに変化します。その変化して行くニーズを把握し、柔軟に対応する必要があります。

出典：岩井圭司（金吉晴 編）「心的トラウマの理解とケア 第2版」p66,  
（株式会社じほう, 2006）より改変

CDC「Psychological first aid in radiological disasters」

# 災害に関連するストレス

## 心的トラウマ

- ◇ 災害の体験；地震の揺れや音、火災の炎や熱、爆発の音や熱風など
- ◇ 災害による被害；負傷、近親者の死傷、自宅の被害など
- ◇ 災害の目撃；死体、火災、家屋の倒壊、人々の混乱など

## 悲嘆、喪失、怒り、罪責

- ◇ 死別、負傷、家財の喪失などによる悲嘆
- ◇ 罪責；自分だけが生き残ったこと、適切に振る舞えなかったこと
- ◇ 周囲に対する怒り；援助の遅れ、情報の混乱など
- ◇ 過失による災害の場合の過失責任機関・責任者に対する怒り

## 社会・生活ストレス

- ◇ 避難、転宅；新しい居住環境でのストレス、集団生活など
- ◇ 日常生活の破綻；学校、仕事、地域生活、これまでの疾病への治療、乳幼児や高齢者・障害者のケアなど
- ◇ 新たな対人関係や情報の負担；情報の援助を受けるための対人接触、情報内容の処理
- ◇ 被災者として注目されることの負担；人目につくことのストレス、同情や好奇の対象になっているのではないかと不安など

心的トラウマは生命危機ストレスであり、災害の衝撃に直接起因するものであり、災害直後には急性ストレス反応や激しい興奮あるいは昏迷、幻覚妄想を主体とする一過性の反応性精神病状態を引き起こすことがあります。その発生率は、決して高くはないですが、医療的介入を要することがあります。また、生命危機ストレスの大きさは、その後のPTSDの発症にも影響します。

当初の茫然自失や気持ちの高ぶりが収まった後、深刻な喪失感、悲哀感を感じる場合があります。何か自分に落ち度があるように感じ、特に犠牲者が出た時には、自分だけが生き残ったことへの負い目の気持ち（サバイバーズ・ギルト）や自分が適切に対応できなかったことなどで自分を責める場合があります。また同時に自分がそのような運命に陥ったことへの憤り、援助者や周辺の者への怒りとなることもあります。

社会・生活ストレスは、新しい生活環境によるストレスで、災害後の不自由な生活状況に起因します。被災者の全般的健康を低下させます。具体的には、種々の心身の不調、不定愁訴、不眠、苛立ちなどが増加します。特に体育館などでの集団生活が長期化した場合には、プライバシーの確保、生活環境の整備、子供や高齢者、傷病者などへのケア、避難所での感染症対策などが問題となります。また、報道取材からの保護も重要な問題です。

出典；災害時地域精神保健医療活動ガイドライン

## 心的外傷後ストレス障害 (PTSD)

- ❖ Post-traumatic stress disorder; PTSD
- ❖ 診断基準DMS-5；トラウマ体験から1ヶ月後においても症状が持続し、苦痛、社会などへの機能の障害を起こしている
  - ◇ ト라우マ体験の定義；災害体験それ自体による衝撃
  - ◇ **侵入症状**
    - ◆ 単に「思い出す」ではなく、「頭の中に入り込んでくる」「目の前にありありと、その場面が再現される」「考えたくない、嫌なのに考えてしまう」
  - ◇ **持続的回避**
    - ◆ 災害についての、苦痛な記憶、思考、感情や、それらを引き起こすような人、場所、会話、行動、物、状況などを避けようとする
  - ◇ **認知と気分の陰性変化**
    - ◆ 災害の重要な側面を思い出せないことや、過剰に否定的な信念や予想が含まれる
    - ◆ 恐怖、戦慄、怒り、罪悪感、恥などの持続や、重要な活動への意欲低下、他者からの孤立感、疎外感などのネガティブな感情に支配され、幸福や満足、愛情を感じられないなど、うつ病と重複する症状も見られる
  - ◇ **覚醒と反応性の変化**
    - ◆ 攻撃性や苛立ち、激しい怒りや無謀あるいは自己破壊的な行動
    - ◆ 過度の警戒心や過剰な驚愕反応で、集中困難や睡眠障害も伴う
- ❖ 1ヶ月未満であれば急性ストレス障害 (ASD)

2013年に改定されたDSM-5（米国精神医学会による精神疾患診断基準マニュアル、Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders）より、PTSDの診断基準が示されています。症状が発症後1ヶ月以上経ってからも続いていることを確認します。これが1ヶ月未満であれば急性ストレス障害（ASD）という診断になります。自然災害においてはPTSDの発症率は10%前後とされています。

A項目は前提となる「トラウマ体験」の定義であり、PTSD症状としてはB項目「侵入症状」、C項目「持続的回避」、D項目「認知と気分の陰性変化」、E項目「覚醒と反応性の変化」の4つのカテゴリーに分けられています。

「侵入症状」は、PTSDを最も特徴付けている症状です。単に「思い出す」ではなく、「頭の中に入り込んでくる」「目の前にありありと、その場面が再現される」「考えたくない、嫌なのに考えてしまう」ということです。解離症状、フラッシュバック、悪夢などです。また、心的外傷的出来事の側面を象徴するまたはそれに類似する、内的または外的なきっかけに対する顕著な生理的反応（動悸など）があります。

「回避」は、災害についての、苦痛な記憶、思考、感情や、それらを引き起こすような人、場所、会話、行動、物、状況などを避けようとするということです。

「認知と気分の陰性変化」は、例えば自分がどのように逃げたか覚えていないといった災害の重要な側面を思い出せないことや、「私が悪い」「誰も

信用できない」「世界は徹底的に危険だ」などの過剰に否定的な信念や予想が含まれます。恐怖、戦慄、怒り、罪悪感、恥などの持続や、重要な活動への意欲低下、他者からの孤立感、疎外感などのネガティブな感情に支配され、幸福や満足、愛情を感じられないなど、うつ病と重複する症状も見られます。

「覚醒と反応性の変化」は、攻撃性や苛立ち、激しい怒りや無謀あるいは自己破壊的な行動といった形で現れます。過度の警戒心や過剰な驚愕反応（特に音に対する過敏性が強くなる）で、集中困難や睡眠障害も伴います。

出典；長純一（編）「大規模災害時医療」 4章復興期（慢性期）メンタルケア：PTSD、悲嘆反応など

## 悲嘆反応

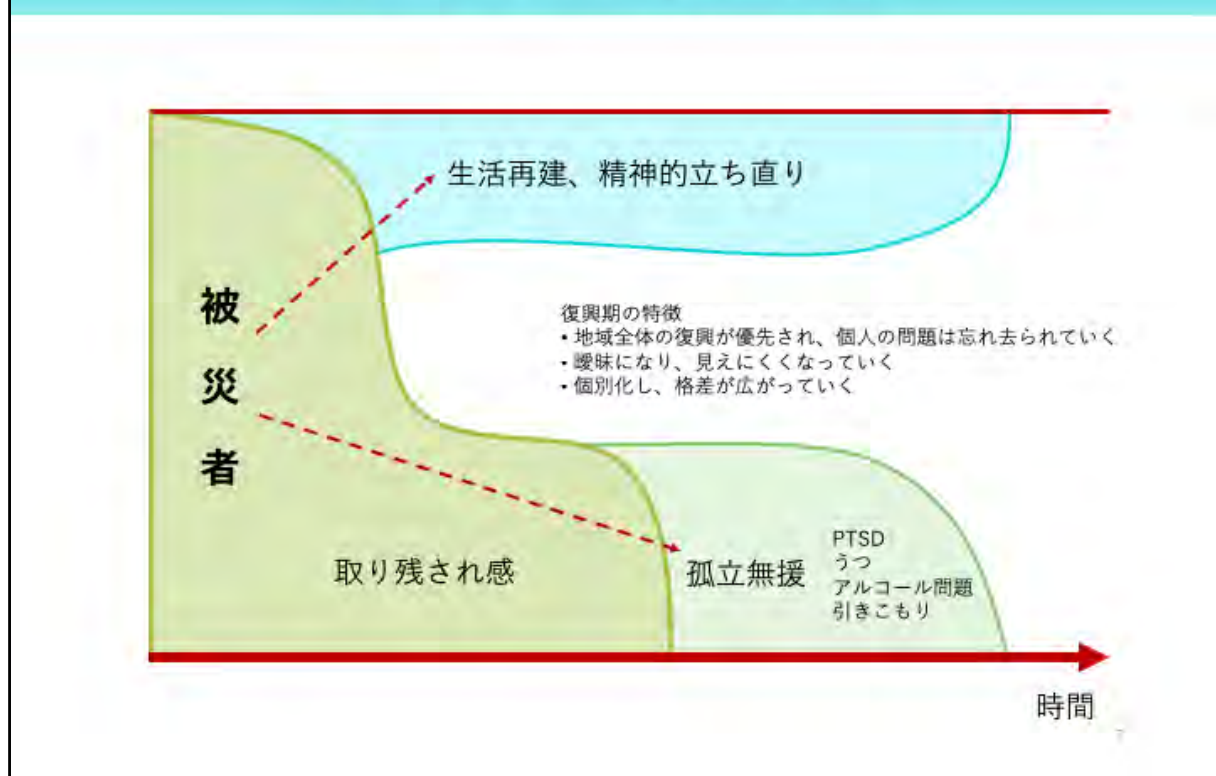
### ❖ 喪失体験の後に現れる悲嘆反応

1. ショック・茫然自失・感覚鈍麻；頭が真っ白になった状態
2. 混乱・興奮・パニック状態；泣き叫ぶなど
3. 事実の否認；喪失した事実（愛する人の死など）を認めたくない、信じたくないという心理
4. 怒り；人為災害など加害者がいる場合、また時には理不尽な怒りとして第三者やケアする救援者に向けられることもある
5. 起こり得ないことを夢想し願う；どこかで生きていると考えるなど、奇跡を願うような気持ち
6. 後悔・自責；サバイバーズギルトとも呼ばれ、「なぜ助けてあげられなかったのか」と自分を責めたりする
7. 事実に直面し、落ち込む（抑うつ）
8. 絶望・深い悲しみ
9. 事実を受け入れる
10. 再適応；新たな環境に適応する

大規模災害における喪失体験とは、大切な家族や友人との死別、家屋や家財道具やペットなどの喪失、自身の健康障害、職業や経済的な喪失、住み慣れた故郷の町の風景やコミュニティの喪失、そして未来への希望や安心感の喪失など多岐にわたります。この喪失体験の後に現れる悲嘆反応のプロセスを示しています。これらは、順番通りに現れるとは限らず、行ったり来たりします。また個人差も大きいです。



## 被災者の回復の二極化



本格的に復興が始まってくると、復興の話が増え、被災者は世間の関心が薄れてくると感じるようになります。精神的な打撃から比較的立ち直りがスムーズな人と、取り残され感を強くだき、なかなか立ち直れない人に分かれていきます。また、仮設住宅に移転した場合などは、長期的な環境や生活の変化が二次的なストレスの原因となったり、取り残され感が募ると孤立無援の心境になっていきます。中にはうつ状態、アルコール問題などが出現する人もいます。生活面でひきこもりがちになり、支援者が状況を把握できない人も出てくるため、PTSDが見過ごされてしまうこともあります。従って、PTSDをきちんとスクリーニングすることが、復興期のメンタルヘルス対策としては重要です。

出典：岩井圭司, 加藤寛 (金吉晴 編) 「心的トラウマの理解とケア 第2版」p86, (株式会社じほう, 2006) より改変

## ハイリスクの被災者

- ❖ 生命の危険が高かった人
- ❖ 近い人を亡くした人
- ❖ 経済損失の大きい人
- ❖ 避難者
- ❖ 女性（特に妊婦）
- ❖ 子供
- ❖ 高齢者
- ❖ 外国人
- ❖ 障害者
- ❖ 支援者・救援者

強烈な体験をした者  
要配慮者  
支援者・救援者

被災者が心的外傷に起因する精神疾患を発症するリスクを引き上げる数多くの心理社会的要因が特定されています。最も顕著なリスク要因は、暴露の程度です。災害への暴露の程度が大きいほどPTSDを発症するに至るリスクが高まることは多くの研究で支持されています。暴露の程度は個人的要因や経済的要因まで様々な要因を内包し得ます。

心的外傷となる出来事の間近にいること、家族の喪失、大きな身体的外傷を受けること、年少者であること、女性であることといった要因が、災害後の子供の精神的問題に関係していることがわかってきています。さらに親の精神障害（特に不安障害）と心的外傷後ストレス症状は、子供の心的外傷後ストレスに関係していることもわかってきました。

女性の方が災害後に精神面での障害をきたすリスクが高いことが示唆されています。

高齢者は、身体合併症があることがリスク要因となる可能性があります。高齢者の年齢からくる脆弱さ、認知機能障害、身体的健康状態の不良、複数の身体疾患への罹患などがリスク要因としてあげられます。

重篤な精神疾患、持続する精神疾患、精神疾患による社会機能低下の持続、身体的健康状態の不良、複数の身体疾患への罹患、世話をする近親者の欠如などもリスク要因として挙げられます。

身体的な障害を持つ被災者は、災害現場に取り残されたままになる、避難所の運営が身体管理のニーズに対応できなかった、身体上の障害のために、

一般の被災者に提供されたサービスを受けることができなかったなどが理由で、リスクが高まる可能性も示唆されます。

外国人も言葉の問題など、被災者に提供されるサービスを受けられないことも考えられます。

過酷な被災現場での作業に長期間に渡って従事すること自体、心的外傷体験に暴露する機会が高く、過去の心的外傷や精神疾患の既往のような脆弱性を引き起こすような背景がある場合、精神疾患への罹患の可能性を引き上げかねません。

このようにある種のマイノリティ集団は、災害後の困難な状況に対してとりわけ脆弱です。

## サイコロジカル・ファーストエイド(PFA)

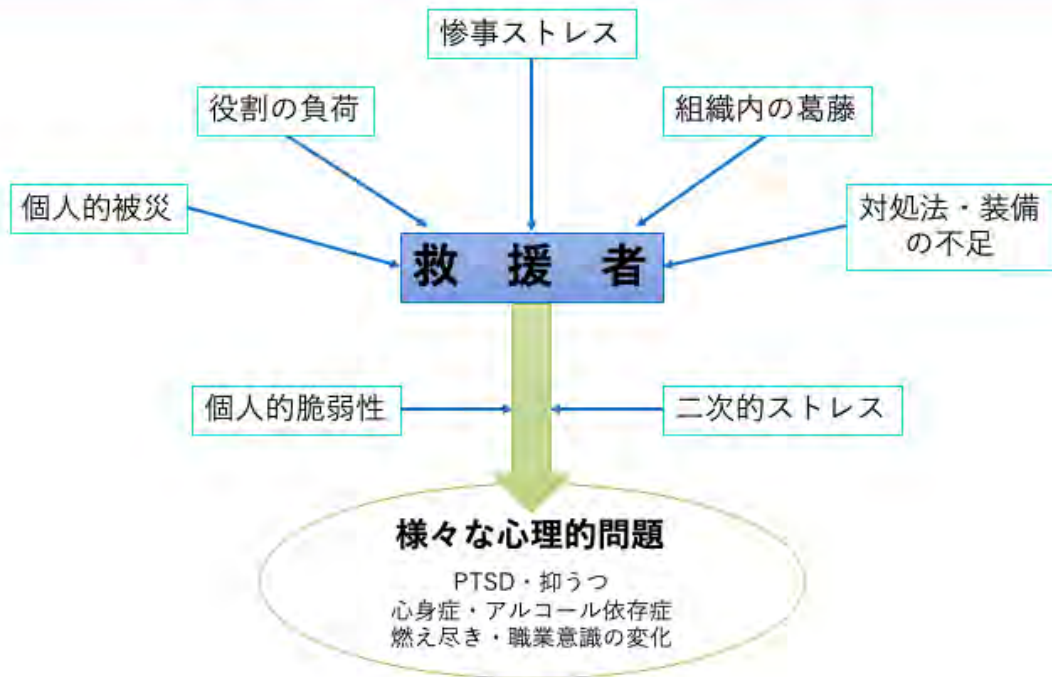
- ❖ 目的；トラウマ的出来事によって引き起こされる初期の苦痛の軽減、短期・長期的な適応機能と対処行動の促進
- ❖ 活動内容
  1. 被災者に近づき、活動を始める
    - ◆ 被災者の求めに応じる。あるいは、被災者に負担をかけない共感的な態度でこちらから手を差し伸べる。
  2. 安全と安心感
    - ◆ 当面の安全を確かなものにし、被災者が心身を休められるようにする。
  3. 安定化
    - ◆ 圧倒されている被災者の混乱を鎮め、見通しが持てるようにする。
  4. 情報を集める
    - ◆ 周辺情報を集め、被災者が今必要としていること、困っていることを把握する。その上で、その人にあったPFAを組み立てる。
  5. 現実的な問題の解決を助ける
    - ◆ 今必要としていること、困っていることに取り組むために、被災者を現実的に支援する。
  6. 周囲の人々との関わりを促進する
    - ◆ 家族・友人など身近にいて支えてくれる人や、地域の援助機関との関わりを促進し、その関係が長続きするよう援助する。
  7. 対処に役立つ情報
    - ◆ 苦痛を和らげ、適応的な機能を高めるために、ストレス反応と対処の方法について知ってもらう。
  8. 紹介と引き継ぎ
    - ◆ 被災者が今必要としている、あるいは将来必要となるサービスを紹介し、引き継ぎを行う。

サイコロジカル・ファーストエイド（Psychological First Aid ; PFA）は、災害や大きなトラウマ的出来事で傷ついた人々の心への、初期の段階での関わり方として、多くの組織、団体で推奨されています。これは、災害やテロの直後に子供、思春期の人、大人、家族に対して行うことのできる効果の知られた心理的支援の方法を、必要な部分だけ取り出して使えるように構成したものです。PFAは、トラウマ的出来事によって引き起こされる初期の苦痛の軽減、短期・長期的な適応機能と対処行動の促進を目的としています。その原理および手法は、次の4つの基本的規格を満たしています。

1. トラウマのリスクと回復に関する研究結果に合致する
2. 災害現場への適応が可能で、実用性がある
3. 生涯発達の各段階に適切である
4. 文化的な配慮がなされており、柔軟に用いることができる

このPFAの提供者として想定されているのは災害救援活動を行う組織の一員として、被災した子供、大人、家族などへの早期支援を行う精神保健担当者、および、その他の分野の災害支援者です。

## 災害支援者が被る災害ストレス



大規模災害における救援者・支援者のストレス（惨事ストレス）は甚大です。惨事ストレスには、惨状の体験・目撃、被災者・遺族への関わり、遺体への関わり、二次災害の危険性、指揮系統の混乱、過重労働、自分自身も被災者、使命感のために自分自身のストレスを自覚しにくい、などがあります。

職業的な救援者でも、救援活動の遂行中には、気分の高揚を経験します。しかし、高揚した気分や肥大した自尊心が必要以上に長く続くと、周囲と様々な軋轢を生むだけでなく、業務の遂行にも支障をきたすこととなります。活動が十分な成果をあげられなかったり、救援を断念しなければならなかった時は、罪責感が一層強まることとなります。また、支援者自身の体験や感情と、被災者のそれを重ね合わせてしまう「同一化」、被災者が過剰に支援者に依存し、支援者の側はそれに全面的に応えようとする関係に陥る「感情転移・逆転移」に類似したもの、組織的な救援活動がうまくいかなかった場合などに組織に対しての怒りと不信感を生むこともあります。満足な活動ができなかったという不全感は、罪責感に直結するとともに、職業的アイデンティティを深く傷つけ、労働意欲の低下を生みます。さらに大規模災害で支援者自らが被災した場合でも、家族の安全を確認できない場合、あるいは危険な状況に家族を送り出したという不安などから、支援者とその家族の間に葛藤が生じることもあります。

出典：加藤寛（金吉晴 編）「心的トラウマの理解とケア 第2版」 p122,  
（株式会社じほう, 2006）より改変

## 災害支援者のセルフケア

- ❖ 職務の目標選定
  - ◇ 支援業務への専念、業務の重要性、誇りを忘れない、業務請負を見失わない、日報等で頭の中を整理
- ❖ 生活ペースの維持
  - ◇ 十分な睡眠、食事、水分摂取、酒・タバコの摂取過剰に注意
- ❖ 自分の心身の反応に気づくこと
  - ◇ 頭痛、食欲低下、睡眠障害、苛立ち、不安、怒り、罪悪感、恐怖、引きこもり、休息の必要性の否定など
  - ◇ 心身の反応が出ている場合は、休憩・気分転換を心がける
  - ◇ 支援者自身が調子を崩すとその影響が周囲に及びうる
- ❖ 気分転換の工夫
  - ◇ 深呼吸、瞑想、ストレッチ、散歩、食事、入浴など
- ❖ 一人で溜め込まないこと
  - ◇ 家族・友人などに積極的に連絡
  - ◇ 職員同士でお互いのことを気遣う
    - ◆ なるべくこまめに声を掛け合う、お互いの頑張りをねぎらう、お互いの気づきあい  
が大切、他職員の負担が強くなっている場合には、本人・管理者に伝える必要性

災害支援者は自分自身のケアなしに、他人のケアに当たることはできません。災害支援者のセルフケアは、災害支援活動中活動後に一部の災害支援者が経験する好ましくない影響を緩和する上でも他人をケアする機能を高める上でも、重要です。セルフケアで重要なのは、自分の感情と他人の感情が自分自身に与える影響を認識することです。二次心的外傷性ストレス、共感性疲労、代理性犠牲という3つの重複する概念は、潜在的に災害支援活動に伴って生じる負の影響です。その影響への対応としては、災害支援を回避するのではなく、適切なセルフケアの計画を立て、実践しながら支援活動に従事することが推奨されます。

燃え尽きは、主に感情的な疲労困憊の結果、徐々に出現するが、これとは対照的に、共感性ストレスや共感性疲労は予兆なしに突然出現する可能性があります。

所属する組織や団体において、職員が自らのストレス状況と心身の状態を知り、対処法を知ることは重要です。日常的なストレスへの対処法だけでなく、異常な状況の現場に遭遇した場合の対処法を事前に学習しておく必要があります。経験のある同僚や上司から対処法について学ぶなどして、具体的な対処法（例えば、悲惨な死体を扱う場合は死体の顔を見ないようにする、単なる物体と思うようにするなど）を知っておくことは、その後の心理的影響を軽減するだけでなく、ストレスの高い現場で最大限に能力発揮するのにも役立ちます。また、利用しやすい相談窓口を整備する必要があります。

## 支援者の精神健康対策

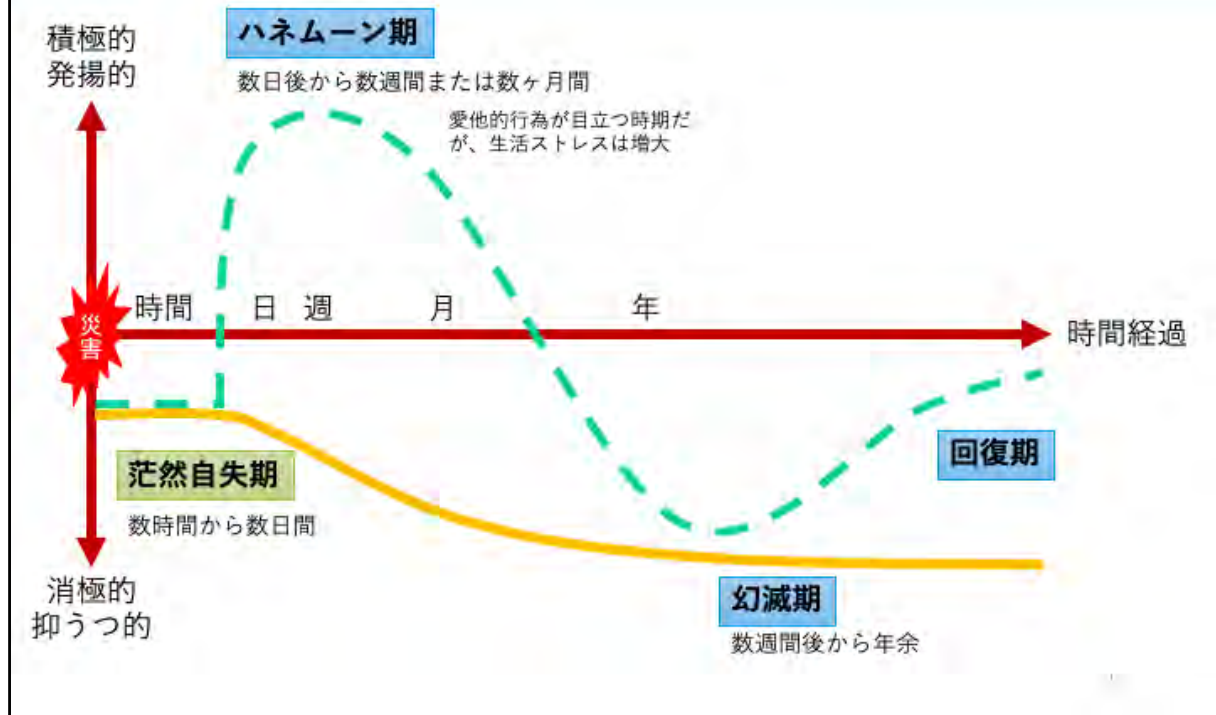
- ❖ 業務ローテーションと役割分担の明確化
  - ◇ できるだけ早期に活動期間、交代時期、責任・業務内容の明確化
- ❖ 支援者のストレスについての教育
  - ◇ ストレスは恥じるべきことではなく、適切に対処すべきことである
- ❖ 心身のチェックと相談体制
  - ◇ チェックリスト配布
  - ◇ 健康相談の体制
- ❖ 住民の心理的な反応についての教育
  - ◇ 被災者から心理的な反応として、怒りなどの強い感情を向けられる
  - ◇ 研修でのロールプレイ
- ❖ 被災現場のシミュレーション
  - ◇ 災害現場のスライド等でのシミュレーション
- ❖ 業務の価値付け
  - ◇ 支援業務の意義、効果について価値を明確にし、労をねぎらう

1. 業務ローテーションと役割分担の明確化  
できるだけ早期に、動員された支援者の活動期間、交代時期、責任・業務内容を明確にします。
2. 支援者のストレスについての教育  
支援者に生じるストレスについて、それが恥じるべきことではなく、適切に対処すべきことであることを教育しておきます。
3. 心身のチェックと相談体制  
心身の変調についてチェックリストを支援者に手渡すなどして、必要があれば健康相談を受けられることが重要です。
4. 住民の心理的な反応についての教育  
支援活動において、被災者から心理的な反応として、怒りなどの強い感情を向けられることがあることについて教育を行い、可能であれば、研修に被災者とのやりとりについてロールプレイなどを取り入れておくことが有効です。
5. 被災現場のシミュレーション  
各種災害が生じた場合の情景、死傷者の光景などについて、スライド体験などのシミュレーションを行っておくことも有効です。
6. 業務の価値付け  
支援業務について、それに従事した個々人が組織の中で評価され、報いられることは意外に少ないです。支援業務の意義、効果については、公

の広報などでその価値を明確に記載し、また組織の中ではしかるべき担当者が、支援活動の価値を明確に認め、労をねぎらうことが重要です。



## 原子力災害後の心理状態の変化



原子力災害時には、自然災害時の心理状態の変化に見られるハネムーン期に大きな違いがあります（オレンジの線）。これは、放射線に対する恐怖と知識の不足から生じるもので、原子力災害の被災者に対して、時には医療関係者や家族が支援を拒否することもあり、社会的な支援等が不足するために生じます。

また、原子力災害では、環境の汚染により長期間の避難あるいは住み替えを余儀なくされることにより、心理状態が回復するのは困難であり、長期的となることもあります。さらに放射線に関連したスティグマ（stigma；他者や社会集団によって個人に与えられた負の烙印）により被災者を孤立させ、復興が遅れます。平時あるいは災害以前の精神状態に戻ることは難しく、“新たな普通の状態”を作る必要があります。

出典：CDC「Psychological first aid in radiological disasters」

## 原子力災害の特徴

- ❖ 人為災害であり、加害者（過失責任者、監督責任者）が存在
- ❖ 罪の償いを求める気持ち（怨恨感情）が強い
- ❖ 過失責任者や監督責任者から報告される情報への不信（情報不安）
  - ◇ 初期の段階での情報の錯綜
  - ◇ 過失責任者側からのみ被害や汚染に関する情報が開示されると、情報への不信が高まり、情報不安の状態から、苛立ち、精神的動揺、疑心暗鬼といった心理が被災者の間に広くみられるようになる。
- ❖ 長期にわたる健康不安、払拭しきれない不安の遷延
  - ◇ 晩発影響に関する健康不安
  - ◇ 健康不安が続くと身体愁訴が増加する。
  - ◇ 医学的に説明のつかない身体症状
- ❖ 自身の健康不安だけでなく、子どもへの後遺症への懸念
- ❖ 生活への影響
  - ◇ 転居を余儀なくされたり、農漁業などの地域産業が打撃を受けると社会的経済的な二次ストレスと、それによる心身への影響

原子力災害は人為災害であり、加害者が存在するため、被災者心理としては割り切れなさや罪の償いを求める気持ち（怨恨感情）が強く残ることが多いです。

## スティグマ・差別・中傷

- ❖ スティグマ；烙印。ある特定の人間や集団に、社会からの心ない偏見が焼き付けられてしまうこと
  - ◇ ト라우マ反応の一部として生じた言動 →本人の劣った点であるかのようにみなす。
    - ◆ PTSDの過覚醒や麻痺が、「怒りっぽい」「態度がはっきりしない」など否定的な評価につながる。
  - ◇ 社会や周囲の人がそのような事故や災害が起こってしまったことを受け入れられず、「本人が悪かった」ということを理由に、自分が落ち着こうとする。
    - ◆ 「内なる不安」を和らげるために「外を攻撃」
    - ◆ 「見えない敵」を「見える敵」に置き換える。
  - ◇ こころのケア自体も、スティグマとして受け取られる



特定集団を批判・差別・中傷の対象とする  
スティグマ

スティグマとは、ウシなどに押す焼きごての印のことで、ある特定の人間や集団に、社会からの心ない偏見が焼き付けられてしまうことを指します。

トラウマ反応の一部として生じた言動を捉えて、それが本人の劣った点であるかのようにみなすことがもっとも多いです。PTSD症状の過覚醒や麻痺が、「怒りっぽい」「態度がはっきりしない」などの否定的な評価につながることもあります。

また、このような事件や災害が起こってしまったことを社会や周囲の人が受け入れられず、「本人が悪かった」ということを理由にして、自分が落ち着こうとするものです。

こころのケアもスティグマとして受け取られることがあります。身体のケアや生活相談を並行させるなどの工夫により、スティグマへの不安を刺激しないようにすることが必要です。

# 原子力災害時のメンタルヘルス対策

## 安全の確保と生活ストレスの軽減

- 被害状況の把握
- 備蓄物資・機材の確認
- 必要物資・機材の評価
- スタッフ間での役割分担
  - 精神保健活動の担当；精神科医、精神科ソーシャルワーカー、保健師、看護師、臨床心理士など**多職種連携**

- アウトリーチ
- 宣伝活動
- 被災者ニーズの把握
- 被災者援助業務全般への評価、提言
- 精神保健領域以外の一般業務への協力

- 既存の保健医療システムでの活動
- 精神保健の基礎知識を提供
  - 被災者援助上の基礎知識
  - 救援者自身のための基礎知識
- 精神保健的ケアの提供
  - PTSD、うつ病、不安障害、アルコール症などへの個別対策

自然災害等が発生し、災害現場に派遣されたら、まずは被害状況や資機材の状況を確認、把握します。その後、精神保健活動の担当者の役割分担等を行います。被災者に見られる情動的な反応の多くは、災害によって引き起こされた生活上の問題から生じます。そのため、被害状況の把握や被災者のニーズを把握することは重要です。

一般の援助活動の一環として、地域全体（集団）の精神健康を高め、集団としてのストレスと心的トラウマを減少させるための活動を行います。これには、支援者や地域精神保健医療従事者が被災地域へ出かけていくアウトリーチ活動と、災害情報の提供、一般的な心理教育、比較的簡単な相談活動が中心となります。また、災害復旧や生活支援などの現実的な支援は、それ自体が集団の精神健康を高める効果を持ちます。特に高齢者は孤立し、また移動が難しい状況にあるため、アウトリーチ活動が必須となります。

また、個別の精神疾患に対する予防、早期発見、治療のための活動としては、疾患のある個人をスクリーニングし、受診への動機付け、個別的な心理教育、専門医への引き渡しを中心となります。

## まとめ

- ❖ 原子力災害時には、自然災害と同様に様々なメンタルヘルスの問題が生じ、さらに原子力災害特有の問題も生じる
  - ◇ 目に見えない脅威
  - ◇ 長期的な健康への不安
- ❖ スティグマ・差別・中傷が生じうる
- ❖ 高リスク者は「要配慮者」であり、対策が必要
- ❖ 平時より、既存の医療保健システムの中でメンタルヘルスを考え、多職種連携を行う