

# 令和 3 年度事後評価対象課題 成果報告書

## (令和元年度)

### ○目次

1. 内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究（令和元年度）・・・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（令和元年度）・・・P. 106
3. 包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究（令和元年度）・・・P. 127
4. 短寿命アルファ線放出核種等の合理的安全規制のためのガイドライン等の作成（令和元年度）・・・P. 751
5. 加速器施設の廃止措置に関わる測定、評価手法の確立（令和元年度）・P. 861
6. 発災直後の面的な放射線モニタリング体制のための技術的研究（令和元年度）・・・P. 909



平成 31/令和元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

令和 2 年 3 月 31 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31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31/令和元年度の研究計画	2
2.1	全体計画	2
2.2	これまでの進捗	3
2.2.1	平成29年度の進捗	3
2.2.2	平成30年度の進捗	3
2.3	平成31/令和元年度の研究計画	4
2.3.1	核種摂取量推定機能の開発	4
2.3.2	コードの開発	5
2.3.3	関係する情報の収集	5
第3章	核種摂取量推定機能の開発	6
3.1	目的及び実施計画	6
3.2	検証方法	6
3.3	検証結果	7
3.3.1	事例①： $^{137}\text{Cs}$ の経口摂取	7
3.3.2	事例②： $^{125}\text{I}$ の吸入摂取	9
3.3.3	事例③： $^{235}\text{U}$ の吸入摂取	10
3.3.4	事例④： $^{131}\text{I}$ の吸入摂取	11
3.3.5	事例⑤： $^{238}\text{Pu}$ の吸入摂取	12
3.3.6	事例⑥： $^{60}\text{Co}$ の吸入摂取	13
3.4	核種摂取量推定機能の開発のまとめ	14
第4章	コードの開発	15
4.1	目的及び実施計画	15
4.2	コード操作 GUI の開発	15
4.2.1	計算条件入力モード	16
4.2.2	計算実行・結果閲覧モード	22
4.3	線量係数計算モデル及びデータの編集機能の開発	27
4.3.1	体内動態モデルの編集	28
4.3.2	線量評価モデル及びデータの指定	29
4.4	1990年勧告対応モデル及びデータの実装	31
4.4.1	線量係数計算に関する2007年勧告と1990年勧告の相違点	31
4.4.2	1990年勧告対応モデル及びデータを用いた線量係数計算	35
4.4.3	計算条件設定ファイルの作成	36
4.5	コードβ版の開発	37
4.6	コードの開発のまとめ	37

第5章	線量係数計算機能の適用及び開発に関する情報収集	38
5.1	線量係数計算機能の慢性被ばくへの適用	38
5.1.1	背景と目的	38
5.1.2	方法	38
5.1.3	結果と考察	38
5.1.4	慢性被ばくへの適用のまとめ	41
5.2	ICRPによる線量評価モデル等の公開に係る情報収集	41
第6章	あとがき	43
	参考文献	45
付録1	1990年勧告対応モデル及びデータを用いた実効線量係数の計算結果	49
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	70
付録3	学会等発表資料一覧	73

## 第1章 はじめに

日本国内では、放射線や放射性物質の利用に伴う放射線障害の発生を防止するため、「放射性同位元素等による放射線防止の防止に関する法律」（以下、「放射線障害防止法」とする。）が昭和32年6月に制定、昭和33年4月1日に施行された。原子力規制委員会（以下、「規制委員会」とする。）では、平成28年1月に国際原子力機関（IAEA）の総合規制評価サービス（IRRS）より受けた放射性物質及び関連施設に関する核セキュリティ勧告等を踏まえて、放射性同位元素使用施設等の規制の見直しに関する議論を進めた。その結果、従来の放射線障害防止法については、事故等の報告義務の強化等が追加され、名称も「放射性同位元素等の規制に関する法律」[1]（以下、「RI規制法」とする。）に変更された。RI規制法は、平成29年4月に公布、平成30年4月に施行され、さらに防護措置の義務化や責任の明確化等もなされた（令和元年9月施行）。

RI規制法の前身となる放射線障害防止法の他、同法の施行令、施行規則等は、放射線利用の多様化による実態とのずれの是正、国際放射線防護委員会（ICRP）がその時々を示す勧告の主旨を取り入れるために改正されてきた。現在、国内の放射線利用に係る規制は、ICRPの1990年勧告[2]の主旨を取り入れたものであるが、ICRPはこれに置き換わる2007年勧告[3]を平成19年に公開した。そのため、規制委員会の下に設置されている放射線審議会においては、2007年勧告の国内の規制への取入れに関する検討が継続して進められている。

国内における放射線規制の中では、告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」[4]（以下、「告示：RIの数量等を定める件」とする。）において、外部被ばくや内部被ばくによる放射線障害を防止するための防護基準値等が定められている。このうち、内部被ばくに関する防護基準値については、告示：RIの数量等を定める件の別表第2及び別表第3の中で、作業者の防護に係る「空气中濃度限度」、公衆の防護に係る「排気中又は空气中の濃度限度」及び「排液中又は排水中の濃度限度」が定められている。「告示：RIの数量等を定める件」の別表第2では、各放射性同位元素に与えられている基準値の基礎とした1990年勧告に準拠する実効線量係数が示されている。そのため、将来的に国内規制へ2007年勧告を取り入れた場合、同勧告に準拠する新しい実効線量係数に従い、空气中濃度限度等の基準値も見直されることになる。また、各事業所の作業者等の内部被ばく線量も同勧告に従い評価され、被ばく管理が遂行されることとなる。

他の動向として、規制委員会は、IAEAのIRRSの勧告を踏まえ、放射線防護に関する取り組みも強化した。その中で、放射線・規制管理の分野の安全研究を推進する方針が平成28年7月に示され[5]、平成29年度に放射線安全規制研究戦略的推進事業費が創設された[6]。平成29年4月に同事業の公募があり、規制委員会が進める規制活動のニーズ、国内外の動向等の動向を踏まえて、5つの重点テーマが提示された[7]。その一つとして、「内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究」があり、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。）が平成29年度からの4か年で実施する研究計画を提案し、これが採択された[8]。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費として進めている「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31/令和元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 31/令和元年度の研究計画

### 2.1 全体計画

平成 29 年度の放射線安全規制研究戦略的推進事業費の公募では、重点テーマ「内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究」の中で、2つの成果活用方針が示されていた[7]。

- ・国内規制への実効線量係数取入れに活用
- ・平常時また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

そこで、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。

- ① 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
- ② 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
- ③ 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の時間推移を表すグラフ

コード開発に関する研究については、下記の内部被ばく線量評価に係るコードの開発をはじめとして、原子力機構で蓄積してきた知見や技術等を活用して、進めることとした。

- ・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、当時の日本原子力研究所（以下、「原研」とする。）が開発した INDES/IDEC（INternal Dose Estimation System/Internal Dose Easy Calculation code）[9]
- ・文部科学省及び原子力規制庁の委託事業により開発してきた 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[10-15]
- ・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たもので、内部被ばく線量係数を計算する DSYS (Dose SYStem)[16]及びこれを慢性被ばくに対応させた DSYS-Chronic[17]
- ・事故時における線量評価への適用を目的とした REIDAC（REtrospective Internal Dose Assessment Code）[18]

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、核種摂取量推定機能、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/令和元年度	令和2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	機能の設計		
	基本機能の完成 ▲	機能の完成 ▲		
2) 核種摂取量推定機能の開発	機能のニーズ調査	推定機能の開発	機能の検証	
	解析法検討・概念設計	基本機能の完成 ▲	機能の完成 ▲	
3) コードの開発等		パラメータ設定法の検討		試用意見収集・改良
			GUI等の開発 β版の完成 ▲	マニュアル整備等
				コード完成、公開 ▲

▲ マイルストーン(以下、「MS」とする。)

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

## 2.2 これまでの進捗

### 2.2.1 平成 29 年度の進捗

平成 29 年度は、線量係数計算機能の開発として、平成 27 年度以降に公開された 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の実装を進めた。その結果、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て基本機能を完成させ、同年度の MS を達成した[21]。

核種摂取量推定機能については、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した[21]。

### 2.2.2 平成 30 年度の進捗

平成 30 年度は、線量係数計算機能を今後も継続される ICRP からのモデルやデータの公開へ対応させるため、新規モデルやデータの取込みによる拡張が可能となるように設計した。他に、OIR part 3 (ICRP Publ. 137) [22]が提示したヨウ素、セシウム等の組織系動態モデルへ対応させる改良を進め、同刊行物が掲載するラドン以外の主要 13 元素の実効線量係数を正確に導出することを検証して同機能を完成させ、同年度における MS の一つを達成した。さらに、パラメータ等を GUI により設定する方法を検討した[23]。

核種摂取量推定機能については、単独摂取、慢性摂取及び複数回摂取の各摂取パターンに対し、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等の基本機能を完成させることを目標とした。この開発では、平成 29 年度の研究評価委員会での指摘を受けて、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従事する専門家との意見交換等を進め、ニーズを聴取した。これらの研究開発により、核種摂取量推定機能に関する同年度の MS を達成した[23]。

以上のとおり、平成 30 年度までの 2 か年で、図 2-1 に示すロードマップ中の MS を達成させ、ほぼ当初計画の通りに研究を進捗させてきた。

## 2.3 平成 31/令和元年度の研究計画

図 2-1 に示すロードマップに基づいて、平成 31/令和元年度の研究計画を立案し、核種摂取量推定機能の開発、コードの開発等を重点的に進めることとした。

### 2.3.1 核種摂取量推定機能の開発

放射性核種を摂取した場合、全身カウンタやバイオアッセイ法により得た体内あるいは排泄物中の放射性核種残留（排泄）量に基づいて、摂取した放射性核種の量（放射能）を推定し、内部被ばく線量を評価する。平成 30 年度までに、既存コードの調査や専門家との意見交換により聴取したニーズに基づいて、放射性核種の量を推定するための数値解析手法として、最尤推定法の活用を検討した[23]。この検討により、最尤推定法で測定値に対し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ととした。また、実際の適用における課題を鑑みて、検出下限値という測定値に対して、下限値の半値として測定結果を取り扱う方法等を決定した。以上により、図 2-2 に示すフローでデータフィッティング等を行う基本機能を開発した[23]。

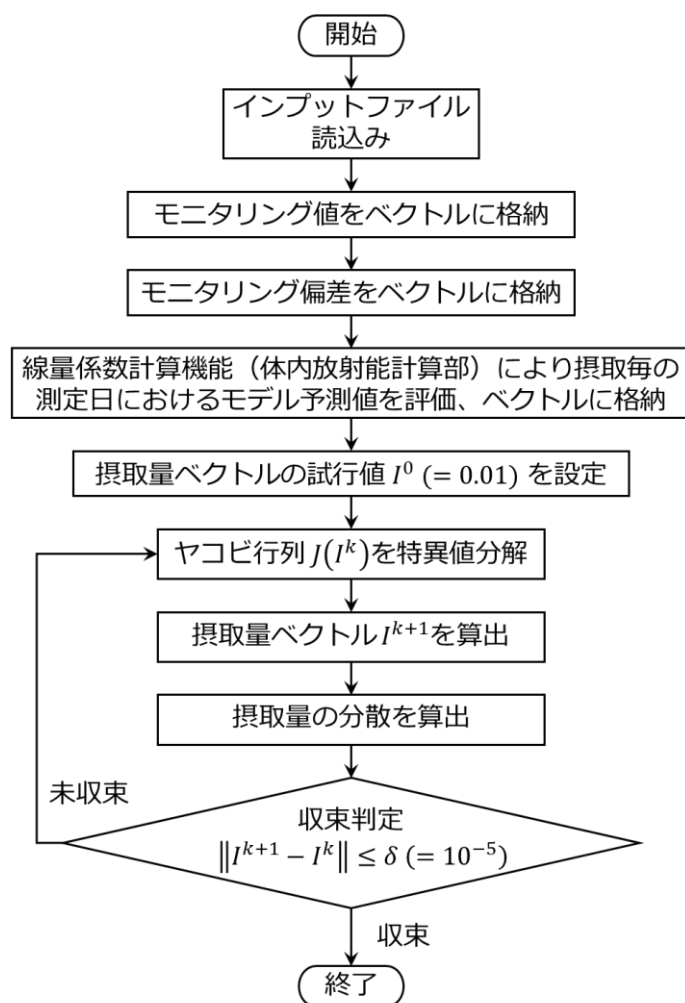


図 2-2 核種摂取量推定機能の基本機能の処理フロー[23]

平成 31/令和元年度は、開発した基本機能について、摂取パターン（摂取回数や経路）、モニタリング値の種類等を変えた条件で、核種摂取量や被ばく線量等を計算し、その信頼性を検証する。この検証では、欧州線量評価委員会（EURADOS）の内部被ばく線量評価ガイドライン（IDEAS ガイドライン）[24]や IAEA が与える例題[25]等を活用し、当該機能の計算結果を他のコードによる計算結果と比較する。これにより、計算結果の妥当性を確認し、当該機能の完成を目標とする。また、国内で内部被ばくモニタリングや線量評価に携わる専門家との意見交換により聴取したニーズ等に基づいて、当該機能の入力設定に用いる GUI の設計を進める。

### 2.3.2 コードの開発

#### (1) 利便性や操作性の向上を図る機能の開発

ユーザーが対話形式で計算条件を設定するための機能として、GUI を開発する。具体的には、線量係数計算機能の利用においては、日本人パラメータ、1990 年勧告に準拠した線量評価モデルやデータ等も任意に設定可能とさせ、計算結果を再検証することを想定して、設定条件を保存する機能を持たせる。一方、計算結果の出力として、線量データを取りまとめた数表の他、体内放射能の経時変化を示すグラフ等を表示する機能を開発する。特に、核種摂取量推定機能については、計算の途中経過の出力、時間経過と累積被ばく線量の関係図等、結果の説明に有用な出力を実装することも検討する。

#### (2) コードβ版の開発

コードの基本となる線量係数計算機能、核種摂取量推定機能及び(1)で開発した機能を統合させてコードβ版を開発し、その完成を今年度の MS とする。ここで、線量係数計算機能について、1990 年勧告に準拠した線量係数の計算に対応したアルゴリズム等の検証も行う。

### 2.3.3 関係する情報の収集

開発するコードの主要な活用策として、「告示：RI の数量等を定める件」[4]に掲載されている内部被ばく防護基準値の改正に当たり、ICRP の新しい実効線量係数の正確な導出の検証がある。一方、平成 30 年度末（平成 31 年 3 月）の段階では、ICRP からは作業者による主要 28 元素（トリチウム、ヨウ素、セシウム、ウラン等）の摂取に対してのみ、2007 年準拠に準拠する実効線量係数等が公開されていた[20,22]。そこで、ICRP による内部被ばく線量評価に関係する組織系動態モデルや実効線量係数等の検討状況について、今年度も引き続き情報を収集する。

なお、事業の進捗については、規制庁が任命するプログラムオフィサー（PO）及び PO 補佐に対し、PO 会合 及び電子メールで報告するとともに、必要な助言を仰ぐこととした。

## 第3章 核種摂取量推定機能の開発

### 3.1 目的及び実施計画

平成 31/令和元年度は、核種摂取量推定機能を完成させることを MS とし、平成 30 年度に開発した核種摂取量推定機能[23]の検証を実施する計画とした。この検証にあたっては、IDEAS ガイドライン[24]やIAEA 安全レポート[25]等に掲載されている放射性核種の取込み事例を調査し、様々な摂取パターンやモニタリング条件に対し、本機能による摂取量推定値の妥当性を検証できる例題をいくつか抽出した。以下、例題の抽出、検証方法や各例題に対する検証結果等を報告する。

### 3.2 検証方法

放射性核種の取込みに対し、モニタリング値と摂取量推定値が報告されている事例を調査し、基本機能の検証に用いることとした。事例からの例題の抽出にあたっては、本機能が持つ以下の特徴について検証できるように配慮した。

- ・モニタリング値の不確かさ (SF\*) を考慮可能
- ・摂取回数よりモニタリング回数が少ない場合も評価可能
- ・複数のモニタリング手法による測定値を同時に考慮可能
- ・検出下限値以下という結果を考慮可能

\*Scattering Factor。モニタリング手法に起因する全体的な不確かさが対数正規分布を持つと仮定したときの幾何標準偏差。

抽出した事例の摂取条件や特徴等を表 3-1 に示す。事例①～③は、IDEAS ガイドライン[24]に掲載された例題である。いずれの事例も、モニタリング値に対して手法に起因する SF が与えられている。また、摂取の経路や回数、モニタリングの方法や回数、核種が互いに異なっている。事例④は、IAEA 安全レポート[25]に掲載された例題であり、摂取回数よりモニタリング回数が少ないという特徴を持ち、抽出した事例の中で唯一 SF が与えられていない。事例⑤は、ICRP 1990 年勧告[2]に対応した摂取量推定機能を持つ内部被ばく線量評価コード IMBA [26]の例題であり、検出下限値以下となった測定結果を考慮した事例である。事例⑥は、近年に公開された摂取量推定・線量評価の国際相互比較演習 (ICIDOSE 2017) [27]の例題のひとつで、2007 年勧告に対応した新しい動態モデル[20, 28]を用いた唯一の事例であり、モニタリング値には SF も与えられている。なお、事例①～⑤は、いずれも 1990 年勧告に対応した体内動態モデル[29–32]に基づく解析となっている。

本機能は、内部被ばく線量評価コードが備える線量係数計算機能のうち体内放射能計算に係る部分を利用しており、基本機能の開発段階では 2007 年勧告に準拠する体内動態モデル及びデータのみを実装していた。そこで、1990 年勧告に基づく摂取量推定事例 (事例①～⑤) を用いて本機能の検証を行うため、1990 年勧告に準拠する体内動態モデル及びデータを本機能に実装した。この 1990 年勧告に準拠するモデル及びデータの実装については、4.4 節において詳細に説明する。



表 3-1 検証に用いた取込み事例の摂取・モニタリング条件

No.	核種	経路	化学形等	摂取回数	モニタリング		特徴	出典
					方法	回数		
①	$^{137}\text{Cs}$	経口	CsCl	2	全身	7	・SF を考慮	[24]
②	$^{125}\text{I}$	吸入	$\text{I}_2$ ガス	3	甲状腺	5	・SF を考慮	[24]
③	$^{235}\text{U}$	吸入	$\text{U}_3\text{O}_8$	1	肺+尿	10	・複数のモニタリング手法 ・SF を考慮	[24]
④	$^{131}\text{I}$	吸入	Type F	3	甲状腺	2	・摂取回数よりモニタリング回数が少ない	[25]
⑤	$^{238}\text{Pu}$	吸入	$\text{PuO}_2$	1	尿	48	・検出下限値以下を考慮 ・SF を考慮	[26]
⑥	$^{60}\text{Co}$	吸入	Type S	1	全身+尿	5	・新動態モデルによる評価 ・SF を考慮	[27]

### 3.3 検証結果

#### 3.3.1 事例①： $^{137}\text{Cs}$ の経口摂取

本事例は、作業者が CsCl（液体）を 2 回経口摂取し、全身カウンタによるモニタリングを 7 回実施したものである。また、2 回目の摂取は、1 回目の摂取の 38 日後であった。表 3-2 に、最初の摂取からの経過時間、モニタリング値（測定値）及び SF を示す。これらのデータを入力値とし、本機能により摂取量を推定した。

本機能による摂取量推定値と文献値の比較を表 3-3 に示す。本機能による摂取量推定値は、文献値[24]に対して約 1%の相対差があった。この原因は、IDEAS ガイドラインの評価手順に

表 3-2 事例①の全身モニタリング結果

摂取後経過時間 (d)	測定値 (Bq)	SF
1	8.8E+04	1.2
8	6.0E+04	1.2
17	9.3E+04	1.2
30	8.3E+04	1.2
46	4.8E+05	1.2
50	4.6E+05	1.2
60	4.4E+05	1.2

表 3-3 事例①の摂取量推定値

摂取時期 (d)	本機能 (Bq)	文献値*1 (Bq)	中間評価値*2 (Bq)
1 回目：0	9.496E+04	9.399E+04	9.495E+04
2 回目：38	4.846E+05	4.791E+05	4.844E+05

\*1IDEAS ガイドラインにおける最終評価値。

\*2IDEAS ガイドラインにおける中間評価値。

よるものと推定された。

IDEAS ガイドラインでは、放射性核種の取込み事例が発生した場合の摂取量推定・被ばく線量評価について、採用すべき線量評価方法を決める判断基準を定めている[24]。図 3-1 に、IDEAS ガイドラインにおける線量評価方法の判断フローを示す。なお、本フローは、同じく IDEAS ガイドラインに掲載されている事例②及び事例③でも適用される。

本フローでは、最初にモニタリング値をあらかじめ定められた基準値と比較し、その値以下である場合は線量評価の必要がないとして処理される。モニタリング値が基準値を超えている場合は、簡易評価による実効線量が 1 mSv 以下であれば、1 mSv 以下の被ばくとして記録される。この簡易評価とは、摂取直後の 1 回のモニタリング値と理想条件における放射能推移データ (ICRP Publ. 78 [33]のデータ等) から単純な比例計算により得られた摂取量推定値に対し、ICRP が定める標準条件 (消化管での吸収割合 ( $f_A$  値)、吸入摂取の場合の放射性エアロゾルの空気力学的放射能中央径 (AMAD) 等) における線量係数を乗じて行う線量評価である。一方、簡易評価による値が 1 mSv を超えている場合は、十分な数のモニタリング値を取得して、これらを同時に考慮した最尤推定を行う。また、必要に応じてモニタリング値をよく再現するように  $f_A$  値や AMAD 等の被ばく条件を調整する。さらに、ここで得られた摂取量推定値に基づく実効線量が 6 mSv を超えた場合は、体内動態モデル・データの調整等、より高度な解析を行うこととなっている。

本事例は、IDEAS ガイドラインの判断基準によると、1 回目、2 回目ともに簡易評価値が 1 mSv を超えており、全てのモニタリング値を考慮した解析を行うため、開発した摂取量推定機能は IDEAS ガイドラインと同様の評価手順であった。その結果、表 3-3 に示すように、本機能による摂取量推定値は、IDEAS ガイドラインにおける中間評価値とほぼ同じ数値となった。本機能は、体内動態モデルを基にした連立常微分方程式を数値的に解くことにより放射能推移を評価しており、IDEAS ガイドラインにおいても同様の方法を採用していると推定される。しかしながら、IDEAS ガイドラインでは、最終的な評価値として、IMBA による推定値を採用していた。IMBA は、あらかじめ用意された指数関数の組合せで体内放射能推移

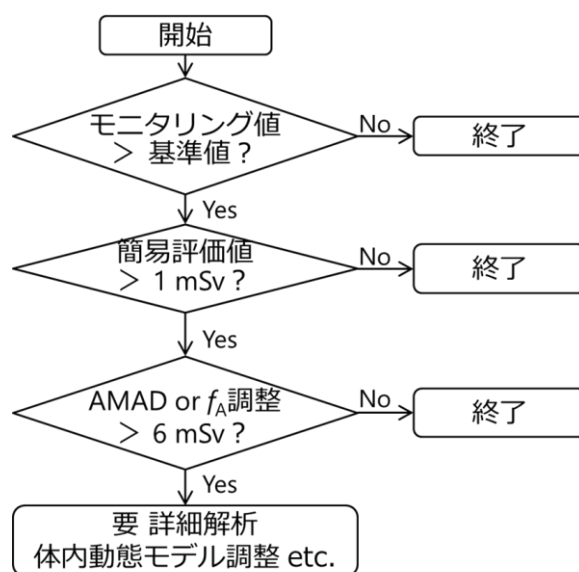


図 3-1 IDEAS ガイドラインにおける線量評価方法の判断フロー

を簡易的に評価している。そのため、本機能による推定値と文献値（最終評価値）に差が生じたと考えられる。ただし、上記のように、本機能による摂取量推定値は IDEAS ガイドラインの中間評価値とほぼ一致しており、開発した機能は複数回の経口摂取、十分なモニタリングデータが得られている事例に対し、信頼性のある評価を実行できることが確認された。

### 3.3.2 事例②：<sup>125</sup>I の吸入摂取

本事例は、作業者がヨウ素ガスを 3 回吸入摂取し、甲状腺モニタにより 5 回モニタリングしたものである。ここで、2 回目及び 3 回目の摂取は、1 回目の摂取のそれぞれ 188 日後及び 281 日後であった。表 3-4 に、最初の摂取からの経過時間、測定値及び SF を示す。これらのデータを入力値とし、本機能により摂取量を推定した。

本機能による摂取量推定値と文献値の比較を表 3-5 に示す。本機能による摂取量推定値（表 3-5 の本機能 1）の文献値[24]に対する相対差は、1 回目、2 回目及び 3 回目の摂取について、それぞれ 3.5%、0.3%及び 32%であった。この差は、IDEAS ガイドラインに基づく評価手順と本機能の評価手順の違いに起因するものであった。

本事例の 3 回の摂取に対する簡易評価値は、全て 1 mSv 以下であった。したがって、図 3-1 に示す判断フローのとおり、IDEAS ガイドラインでは摂取直後のモニタリング値のみで摂取量が評価されることとなる。これに対し、本機能では、全てのモニタリング値を同時に考慮している。また、2 回目の摂取と 3 回目の摂取の間にはモニタリング値が 1 個しかないため、2 回目の摂取に対する本機能による評価値と文献値はほぼ一致したが、1 回目と 3 回目の摂取については評価値に差が生じた。そこで、IDEAS ガイドラインと同様の手順となるよう、本機能を逐次適用して摂取量を推定すると、表 3-5 の本機能 2 に示す値を得た。その結果、本機能による評価値と文献値の相対差は全て 1%未満となり、よい一致を示した。以上より、複数回のヨウ素の吸入摂取について経時的な甲状腺モニタリングの結果が得られている事例に対し、開発した機能は妥当な評価結果を与えることが確認された。

表 3-4 事例②の甲状腺モニタリング結果

摂取後経過時間 (d)	測定値 (Bq)	SF
44	4.41E+03	1.26
140	8.30E+02	1.27
237	7.51E+03	1.26
326	5.78E+03	1.26
411	1.90E+03	1.27

表 3-5 事例②の摂取量推定値

摂取時期 (d)	本機能 1*1 (Bq)	本機能 2*2 (Bq)	文献値 (Bq)
1 回目 : 0	3.868E+04	3.755E+04	3.737E+04
2 回目 : 188	6.847E+04	6.876E+04	6.824E+04
3 回目 : 281	4.830E+04	3.700E+04	3.664E+04

\*1 全てのモニタリング値を考慮して推定した摂取量。

\*2 摂取直後のモニタリング値のみ考慮して逐次推定した摂取量。

### 3.3.3 事例③：<sup>235</sup>U の吸入摂取

作業者が U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (Type M) を 1 回吸入摂取し、肺モニタと尿バイオアッセイによって、表 3-6 のように 5 回ずつのモニタリング値が得られている事例である。本事例は、複数のモニタリング方法による測定値を同時に考慮するという特徴がある。一方、開発した機能は、複数のモニタリング方法による結果の入力や、SF の個別設定が可能な仕様となっているため、このような事例にも対応可能である。

検証の結果、表 3-7 に示すとおり、本機能による摂取量推定値は文献値[24]とよく一致した。そのため、専門家からのニーズとして提示されていた複数の種類のモニタリング値が得られている条件に対しても、開発した機能は要求に応える評価を行うことが確認できた。

表 3-6 事例③の肺及び尿モニタリング結果

(a) 肺モニタ			(b) 尿バイオアッセイ		
摂取後 経過時間 (d)	測定値 (Bq)	SF	摂取後 経過時間 (d)	測定値 (Bq/d)	SF
0.125	43	1.24	2	1.20	1.62
7	29	1.24	9	0.26	1.62
18	26	1.24	16	0.37	1.62
30	27	1.24	30	0.17	1.62
60	22	1.24	58	0.13	1.62

表 3-7 事例③の摂取量推定値

本機能 (Bq)	文献値 (Bq)
665	667

### 3.3.4 事例④：<sup>131</sup>Iの吸入摂取

本事例はIAEA安全レポート[25]で示されており、作業者が<sup>131</sup>Iエアロゾル（Type F）を3回吸入摂取し、甲状腺モニタによるモニタリング値が2個ある。甲状腺モニタリングの結果は、表3-8のように得られている。ここで、2回目及び3回目の摂取は、1回目の摂取からそれぞれ3日後及び4日後に発生しているが、モニタリング回数（2回）が摂取回数（3回）より少ないという特徴がある。

開発した機能は最尤推定法を採用しているが、この推定法では一般的にモニタリング回数が摂取回数以上であることが必要な条件となる。一方、ニーズ調査で本事例のような状況への適用に関するコメントがあった。そこで、本機能の開発においては、最尤推定を行う際に特異値分解という数学的手法を適用[34]することにより、モニタリング回数と摂取回数の大小関係とは無関係に摂取量を推定することを可能とさせた[23]。

本条件に対する本機能による推定値と文献値の比較を表3-9に示す。レポートでは、3回の摂取量が全て同じであると仮定して各回単位摂取時の摂取後5日目、6日目の甲状腺放射能予測値を算出し、2回のモニタリング値それぞれについて比例計算による評価値を算出（1回目：1455 kBq、2回目：1410 kBq）した。最終的には、これらの値の平均値を推定値としている。一方、本機能では、特異値分解を採用したことにより、文献値の全摂取量を適切に再現した。また、各回の摂取量について仮定を設けることなく、それぞれの摂取についてより適切と考えられる推定値が得られることを確認できた。

表 3-8 事例④の甲状腺モニタリング結果

モニタリング	摂取後経過時間 (d)	測定値 (kBq)
甲状腺	5	480
	6	440

表 3-9 事例④の摂取量推定値

摂取時期 (d)	本機能 (kBq)	文献値 (kBq)
1回目：0	1840	1433
2回目：3	1251	1433
3回目：4	1325	1433
Total	4416	4299

### 3.3.5 事例⑤：<sup>238</sup>Puの吸入摂取

IMBA コードに示されている事例[26]であり、作業者が<sup>238</sup>Puエアロゾルを1回吸入摂取し、尿バイオアッセイによるモニタリングを長期間（17年以上）に亘って48回行い、フォローしたものである。全ての尿モニタリング値を表3-10に示すが、最初の4回は検出下限値（0.004 Bq/d）以下であった。本事例は、検出下限値以下という結果を摂取量推定で考慮しているという特徴がある。

開発した機能は、米国環境保護庁のデータ処理に係るガイダンス[35]に基づき、検出下限値以下というモニタリング結果は、検出下限値の半値であったとして摂取量推定に反映する[24]。IMBAも同様の手法を採用しており、表3-11に示すとおり、本機能による摂取量推定値は文献値とよく一致した。プルトニウムを摂取した際の尿バイオアッセイでは、検出下限値以下のモニタリング結果が得られることも想定されるが、このような状況に対しても、開発した機能は摂取量を適切に推定できることが確認された。

表 3-10 事例⑤の尿モニタリング結果

摂取後 経過時間 (d)	測定値 (Bq/d)	SF	摂取後 経過時間 (d)	測定値 (Bq/d)	SF
2	—*	1.8	1293	0.210	1.8
3	—*	1.8	1481	0.430	1.8
4	—*	1.8	1668	0.410	1.8
76	—*	1.8	1847	0.440	1.8
123	0.160	1.8	2027	0.350	1.8
150	0.070	1.8	2123	0.160	1.8
186	0.070	1.8	2212	0.210	1.8
209	0.100	1.8	2212	0.160	1.8
264	0.160	1.8	2575	0.220	1.8
283	0.180	1.8	2689	0.280	1.8
293	0.200	1.8	2881	0.120	1.8
328	0.310	1.8	3100	0.280	1.8
359	0.230	1.8	3244	0.290	1.8
387	0.260	1.8	3446	0.270	1.8
415	0.200	1.8	3612	0.270	1.8
506	0.370	1.8	3805	0.270	1.8
593	0.230	1.8	3988	0.200	1.8
685	0.240	1.8	4329	0.180	1.8
776	0.240	1.8	4701	0.450	1.8
870	0.330	1.8	4831	0.210	1.8
964	0.310	1.8	5192	0.360	1.8
1048	0.350	1.8	5560	0.270	1.8
1143	0.370	1.8	5924	0.330	1.8
1231	0.580	1.8	6294	0.230	1.8

\*検出下限値以下

表 3-11 事例⑤の摂取量推定値

本機能 (Bq)	文献値 (Bq)
1.27E+06	1.27E+06

### 3.3.6 事例⑥：<sup>60</sup>Co の吸入摂取

本事例は、2017年に実施された ICIDOSE 2017 [27]に含まれるもので、作業者が<sup>60</sup>Coエアロゾルを1回吸入摂取し、全身カウンタにより3回、尿バイオアッセイにより1回モニタリングした事例である。表 3-12 に、全身カウンタ及び尿バイオアッセイによるモニタリング値を示す。この事例は、OIR シリーズにより公開された新しい体内動態モデルを用いて、2007年勧告に準拠した摂取量推定値が報告されているという特徴がある[27]。

表 3-13 に示すとおり、本機能による摂取量推定値は文献値とよく一致した。そのため、適切なモニタリングが実施された事例に対し、開発した機能は十分な信頼性を以て最新の体内動態モデルに基づく核種の摂取量を推定することが可能である。そのため、本研究開発の目標としている2007年勧告に準拠した内部被ばく線量評価に対し、開発した機能を適用できることが確認された。

表 3-12 事例⑥の全身及び尿モニタリング結果

摂取後 経過時間 (d)	測定値 (Bq)	SF	摂取後 経過時間 (d)	測定値 (Bq/d)	SF
1	18500	1.15	1	11.2	2.0
10	1875	1.15			
30	1470	1.15			

表 3-13 事例⑥の摂取量推定値

本機能 (Bq)	文献値 (Bq)
3.104E+04	3.103E+04

### 3.4 核種摂取量推定機能の開発のまとめ

今年度は、前年度までに開発した核種摂取量推定機能の基本機能の検証を実施し、本機能を完成させた。検証では、モニタリング値と摂取量推定値がセットで報告されている放射性核種の取込み事例を調査し、検証に適切な事例を抽出した。事例の抽出にあたっては、様々な摂取、モニタリング条件をカバーし、本機能が持つ特徴について検証ができるよう留意した。また、昨年度までの専門家との意見交換で聴取できたニーズも参照し、これらにも対応可能か否かを検証することも留意した。このような観点で抽出した 6 個の事例に対し、開発した核種摂取量推定機能を用いて摂取量推定を行い、文献値と比較することで本機能の妥当性を確認した。

本機能は、内部被ばく線量評価コードの線量係数計算機能のうち体内放射能計算に関する部分を利用しており、今年度当初は 2007 年勧告に対応した体内動態モデルのみを実装している状態であった。一方で、検証では、ひとつの事例（事例⑥）を除き、1990 年勧告に対応した体内動態モデルに基づく摂取量推定が行われていた。そこで、検証に先立ち、1990 年勧告に対応した体内動態モデルを実装した。検証の結果、1990 年勧告、2007 年勧告双方の体内動態モデルによる摂取量推定についても、本機能による評価値は十分に妥当であると判断した。以上の検証を以て、核種摂取量推定機能の開発は完了した。



## 第4章 コードの開発

### 4.1 目的及び実施計画

平成 31/令和元年度は、内部被ばく線量評価コードの  $\beta$  版を完成させることを目的とし、以下の項目を実施することとした。

- ・利便性や操作性の向上を図る機能の開発
- ・コード  $\beta$  版の開発

利便性や操作性の向上を図る機能の開発では、ユーザーが計算条件を設定する際に設定項目が分かりやすく表示され、必要に応じて変更等が容易に行える GUI を開発する。具体的には、線量係数計算機能の利用においては、2007 年勧告に対応したモデルやデータを日本人のデータや 1990 年勧告対応のものに変更したり、任意の動態モデルに修正したりすることを可能とする。また、得られた計算結果をテキストデータだけでなく、視覚的に確認できるよう図表で出力する機能を開発することとした。

コード  $\beta$  版の開発では、内部被ばく線量評価コードの基本となる線量係数計算機能と核種摂取量推定機能を統合するとともに、ユーザーの利便性や操作性を向上させる機能を備えたコード  $\beta$  版を開発し、その完成を今年度の MS とした。

### 4.2 コード操作用 GUI の開発

開発した GUI による処理の流れを図 4-1 に示す。GUI を起動すると、既定の計算条件設定ファイルを読み込み、計算条件入力モードとなる。計算条件設定ファイルとは、GUI で設定可能な項目に関するデータ（例：使用するモデルやデータファイルのディレクトリ及びファイル名、核種、摂取経路等）を格納したファイルである。計算条件設定ファイルの読み込み後、計算条件設定ファイルに基づいて計算用データファイルが出力フォルダに作成され、GUI で計算条件が確認できるようにした。計算条件の変更は、GUI の各ボタンをクリックすると表示されるダイアログに従って行い、設定が完了すると計算実行・結果閲覧モードに移行する。このモードでは、まず S 係数（線源領域において核種が 1 回崩壊したときに標的臓器に与える等価線量）を計算し、続いて体内放射能と等価線量や実効線量の計算を行う。これらの計算結果は出力フォルダにテキストファイルで出力されるとともに、GUI 上で表やグラフによって閲覧できるようにした。本節では、上記のフローに沿って、開発した GUI の基本機能について記す。

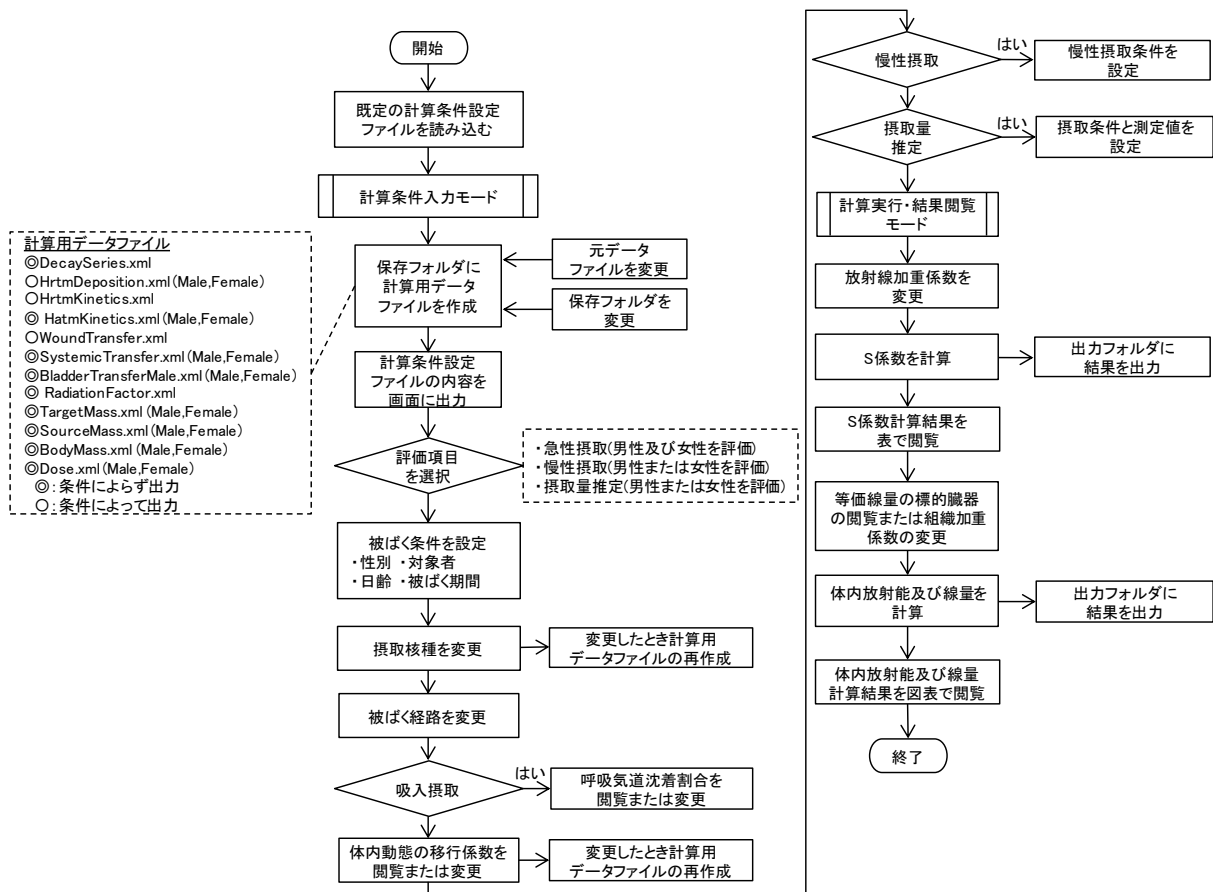


図 4-1 GUI の処理フロー

#### 4.2.1 計算条件入力モード

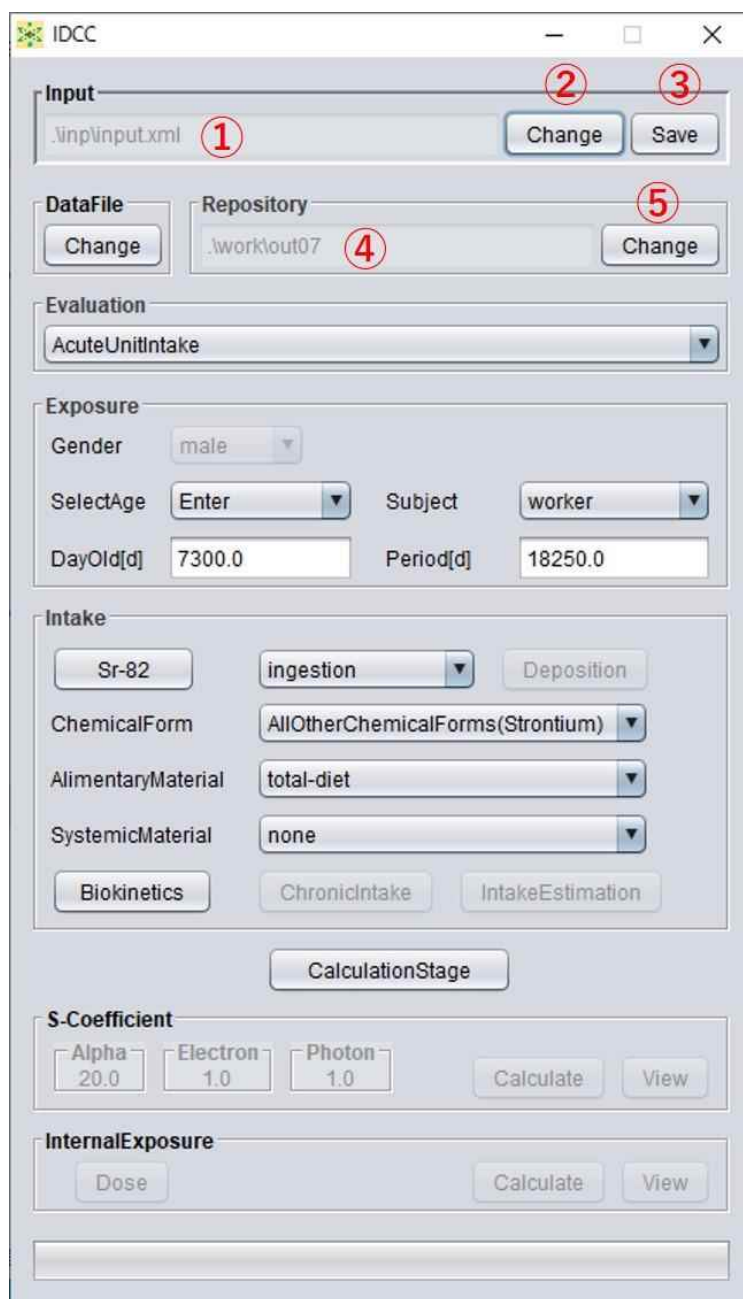
##### (1) 計算条件設定ファイルの読み込み及び出力ファイルの設定

計算条件設定ファイルは、計算に用いる線量評価モデル・データのファイル名（ディレクトリを含む）を格納する構造としている[23]。GUI 起動時に読み込まれる既定の計算条件設定ファイル（./inp/input.xml）は、2007 年勧告に準拠した線量計算を行うためのデータを格納している。GUI 起動時の画面を図 4-2 に示す。計算条件設定ファイルは任意に変更可能とし、Input 枠の Change ボタン（図 4-2 ②）をクリックして表示されるダイアログにより実施することとした。このとき、指定している計算条件設定ファイルが確認できるよう、GUI にファイル名を表示することとした（図 4-2 ①）。ここで、1990 年勧告対応の線量評価モデル・データを用いた計算（4.4 節参照）は、対応する線量評価モデル・データファイル名を格納した計算条件設定ファイルをあらかじめ用意し、このファイルを指定することで実行できるようにした。

核種や摂取経路等を変更した際に、同一条件による再検証の利便性を高める機能として、Save ボタン（図 4-2 ③）をクリックすることにより計算条件を保存可能とした。

また、計算条件設定ファイルに基づいて作成される計算用データファイル及び計算結果を

含むテキストファイルについては、既定の保存フォルダに保存（出力）される。ここで、これらのファイルを任意のフォルダに出力可能とするため、Repository 枠に保存フォルダを変更するための Change ボタン（図 4-2 ⑤）を用意し、指定したディレクトリ及びファイル名を表示するようにした（図 4-2 ④）。



- ① 現在の計算条件設定ファイルが表示される。
- ② 計算条件設定ファイルを変更する。
- ③ 計算条件設定ファイルを保存する。
- ④ 出力ファイルの保存先が表示される。
- ⑤ 出力ファイルの保存先を変更する。

図 4-2 GUI 起動後の計算条件設定ファイルと出力ファイルの設定画面

## (2) 評価項目の設定

評価項目の設定画面を図 4-3 に示す。評価項目は、急性摂取 (**AcuteUnitIntake**)、慢性摂取 (**ChronicIntake**) 及び摂取量推定 (**IntakeEstimation**) の 3 つの条件から選択可能とした。選択は、**Evaluation** 枠内のプルダウンメニューにより行う。

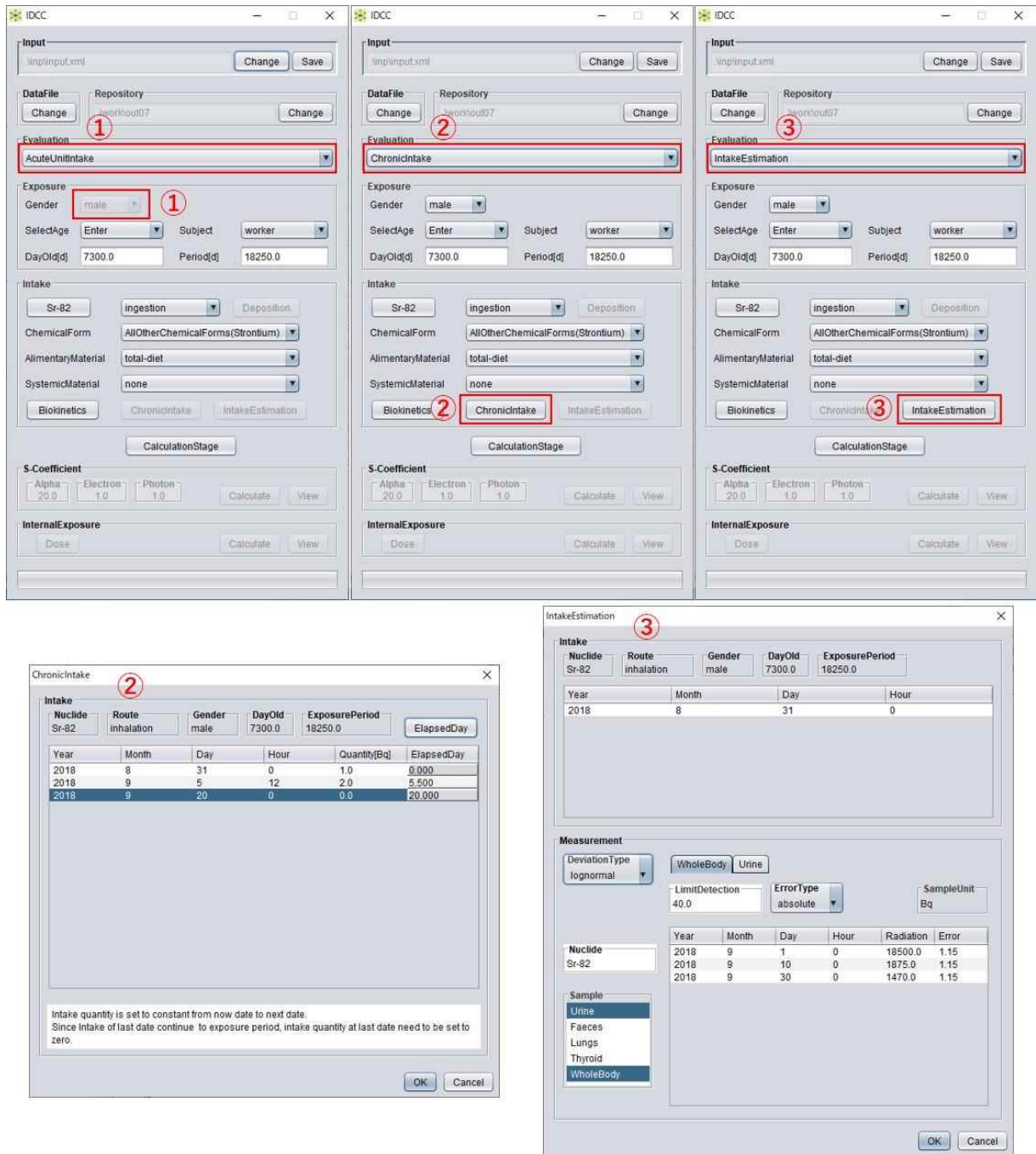
急性摂取は、2007 年勧告に準拠する実効線量係数等の導出で想定されている単独の摂取であり、ICRP の標準ファントムに基づく男女の等価線量係数及び男女平均した等価線量係数に基づく実効線量係数を計算する。

慢性摂取は、複数回の摂取または継続的な摂取が生じている状況を想定している。このような事例での評価には、摂取した時期 (年月日時)、各回の摂取量または摂取率に関する情報が必要となる。そこで、これらの情報を入力し、選択した性別で線量評価を行うこととした。その際、これらの情報の入力、GUI のテーブルへの直接入力、または 5 列構成のテキストデータの貼付けで行えるようにした。

摂取量推定の場合、選択した性別における推定を行うようにした。この評価では、モニタリングデータ (測定方法、測定年月日時及び測定値) と摂取データ (摂取年月日時) の入力が必要になる (図 4-3 ③)。これらのデータは、GUI のテーブルへの直接入力、またはモニタリングデータについては 4 列、摂取データについては 6 列構成のテキストデータの貼付けによって入力できるように設定した。

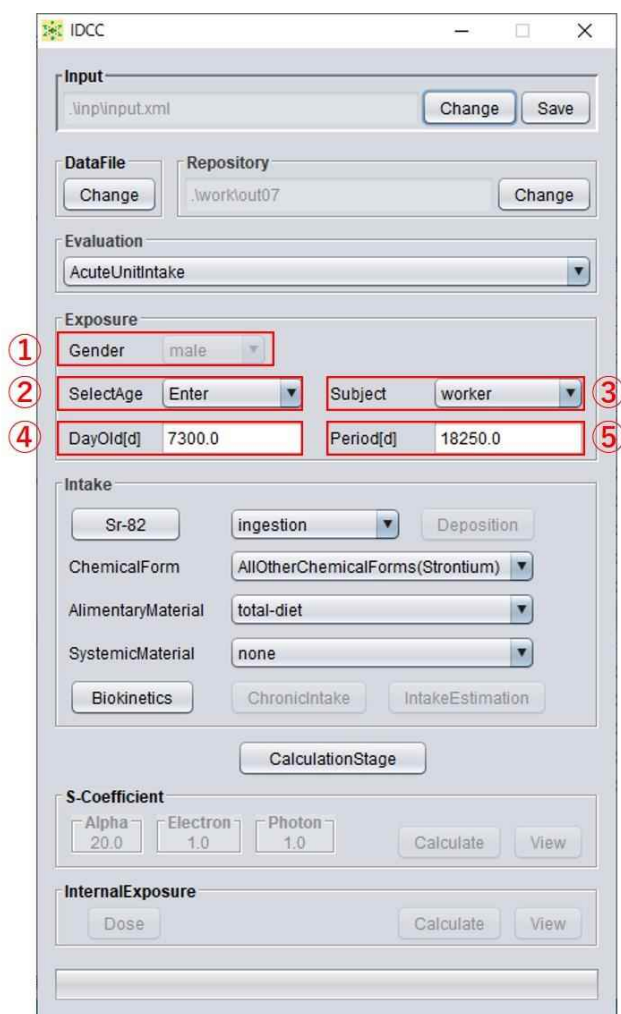
## (3) 被ばく条件の設定

被ばく条件を設定する画面として、図 4-4 に示すとおり、性別、対象者、年齢 (日齢) 及び被ばく期間について設定できる **Exposure** 枠を用意した。年齢については、**SelectAge** プルダウンメニュー (図 4-4 ②) からの選択に加え、日齢で任意に設定 (図 4-4 ④) することも可能とし、この場合は被ばく期間 (図 4-4 ⑤) も入力することとした。今後、公衆に対するデータを追加した場合は、**Subject** プルダウンメニュー (図 4-4 ③) より **worker** または **public** のいずれかを選択可能となる。



- ① AcuteUnitIntake の場合、性別が非表示となり自動的に男女の計算を行う。
- ② ChronicIntake の場合、性別の選択及び ChronicIntake ボタンのクリックが可能となる。  
表示される ChronicIntake ダイアログから、摂取データを Intake 枠に入力する。
- ③ IntakeEstimation の場合、性別の選択及び IntakeEstimation ボタンのクリックが可能となる。  
表示される IntakeEstimation ダイアログから、摂取データを Intake 枠に、測定データを Measurement 枠に入力する。

図 4-3 評価項目の設定とデータ入力画面



- ① 性別（男性または女性）を選択する。
- ② 対象年齢の項目を選択する。Enter の場合、日齢（④）及び被ばく期間（⑤）に任意の値を入力できる。その他の項目の場合、対応する日齢及び被ばく期間が設定される。
- ③ 被ばく対象者を選択する。
- ④ 日齢を入力する（②の SelectAge が Enter の場合に入力可）。
- ⑤ 被ばく期間を入力する（②の SelectAge が Enter の場合に入力可）。

図 4-4 被ばく条件の設定画面

#### (4) 摂取条件の設定

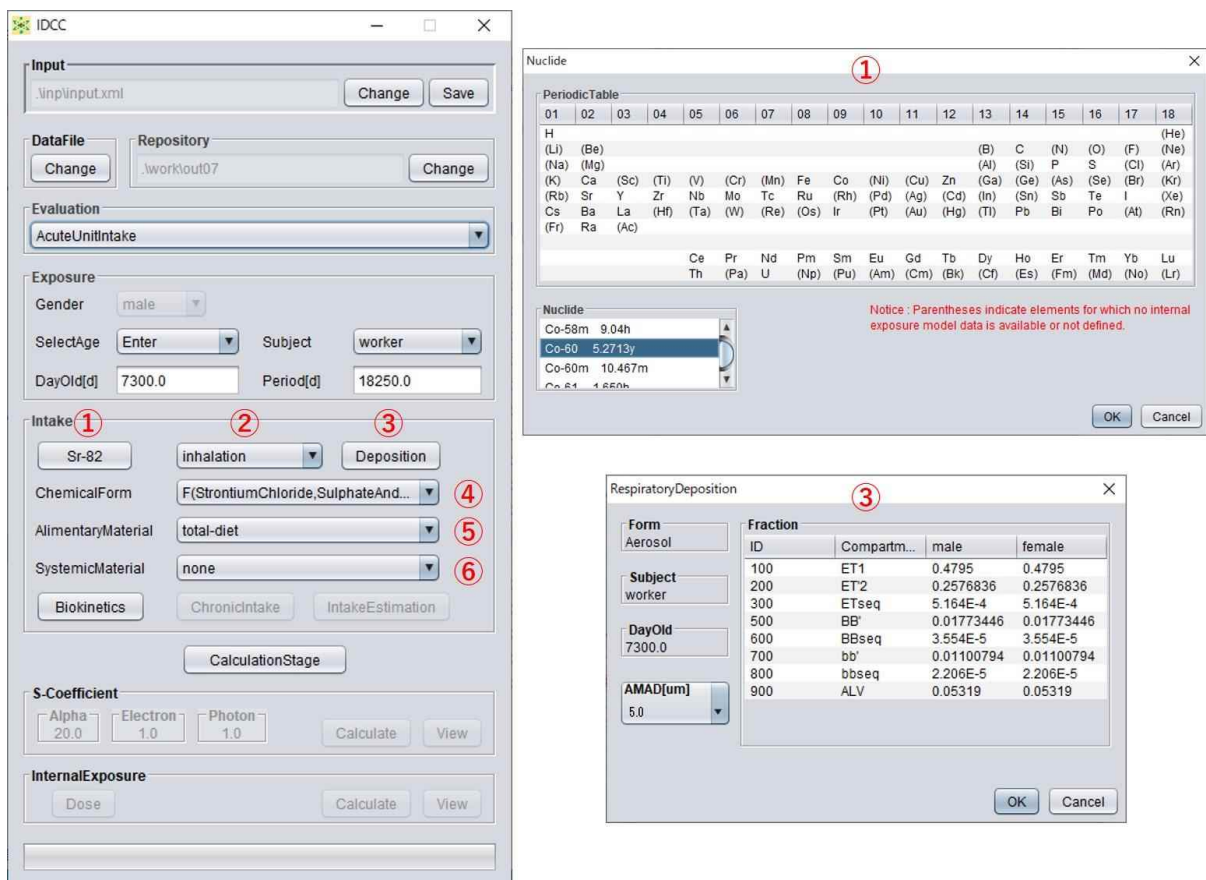
摂取条件を設定する画面として、図 4-5 に示す Intake 枠を用意した。ここでは、摂取核種、摂取経路、呼吸気道の沈着割合、摂取物質の性質、慢性摂取、摂取量推定及び体内動態の条件を設定する。

摂取核種の指定は、核種名表示ボタンをクリックし、表示される Nuclide ダイアログから任意の元素及び核種を選択して行うこととした。なお、周期表内の括弧は、操作時に組織系動態モデルのデータが実装されていない元素を表しており、選択不可としている。今後、これらの元素に対する組織系動態モデルが ICRP より公開された場合、移行係数データ等を実装

することで選択可能となり、図 4-5 ①の表から括弧が外れる。

摂取経路は、プルダウンメニューから吸入摂取 (inhalation)、経口摂取 (ingestion)、注入摂取 (injection) 及び創傷汚染 (wound) を選択可能とした。また、吸入摂取の場合に任意の呼吸気道沈着割合を設定できるよう、Deposition ボタンを用意した。

核種の体内動態を決定する因子となる化学形は ChemicalForm、消化管モデルにおける物質の種類は AlimentaryMaterial、組織系動態モデルは SystemicMaterial のプルダウンメニューから選択する方式とした。このうち、ChemicalForm プルダウンメニューの項目は選択した摂取経路により変化し、SystemicMaterial プルダウンメニューの項目は選択した摂取核種により変化することで、ICRP の示す線量評価モデルに適応した線量評価や摂取量推定が可能となる。



- ① 摂取核種を表示する。クリックすると現れる核種選択ダイアログから摂取核種を選択を行う。
- ② 摂取経路 (inhalation (吸入)、ingestion (経口)、injection (注入)、wound (創傷)) を選択する。
- ③ 摂取経路が inhalation の場合、呼吸気道沈着割合の変更が可能になる。
- ④ 摂取物質の化学形を選択する。
- ⑤ 消化管モデルにおける物質を選択する。
- ⑥ 組織系動態モデルにおける物質を選択する。

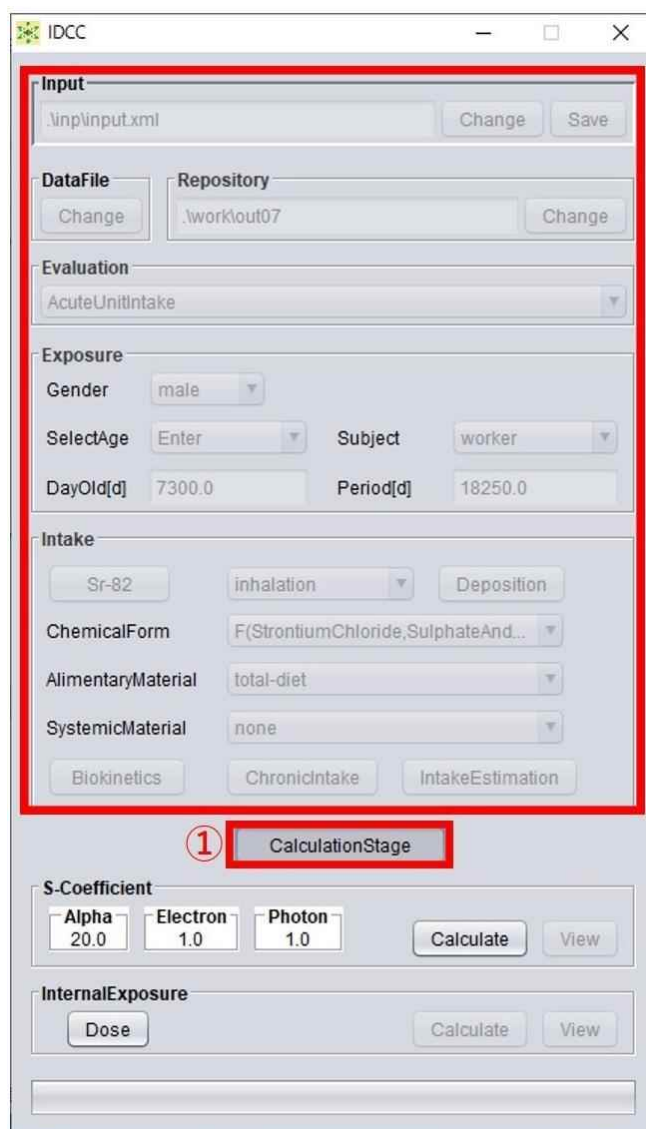
図 4-5 摂取条件の設定画面



#### 4.2.2 計算実行・結果閲覧モード

開発した GUI では、入力した計算条件を確認しながらの計算の実行を可能とするため、条件設定及び計算実行に関する表示をひとつのウィンドウに収めている。一方、計算実行時に意図しない条件変更が行われてしまう可能性もある。そこで、計算条件入力モードと計算実行・閲覧モードを切り替えるための **CalculationStage** ボタンを図 4-6 のように用意した。このボタンを操作して計算実行・結果閲覧モードにすることで、条件設定に関する箇所は操作無効となり、S 係数及び線量の計算の実行と結果の閲覧を行える。また、再度ボタンをクリックすることで、計算条件入力モードに戻る。

以降、GUI を通じた計算実行及び計算結果の閲覧機能について記す。



- ① **CalculationStage** ボタンのクリックにより計算条件が確定され、枠内の計算条件設定が操作不可になる。

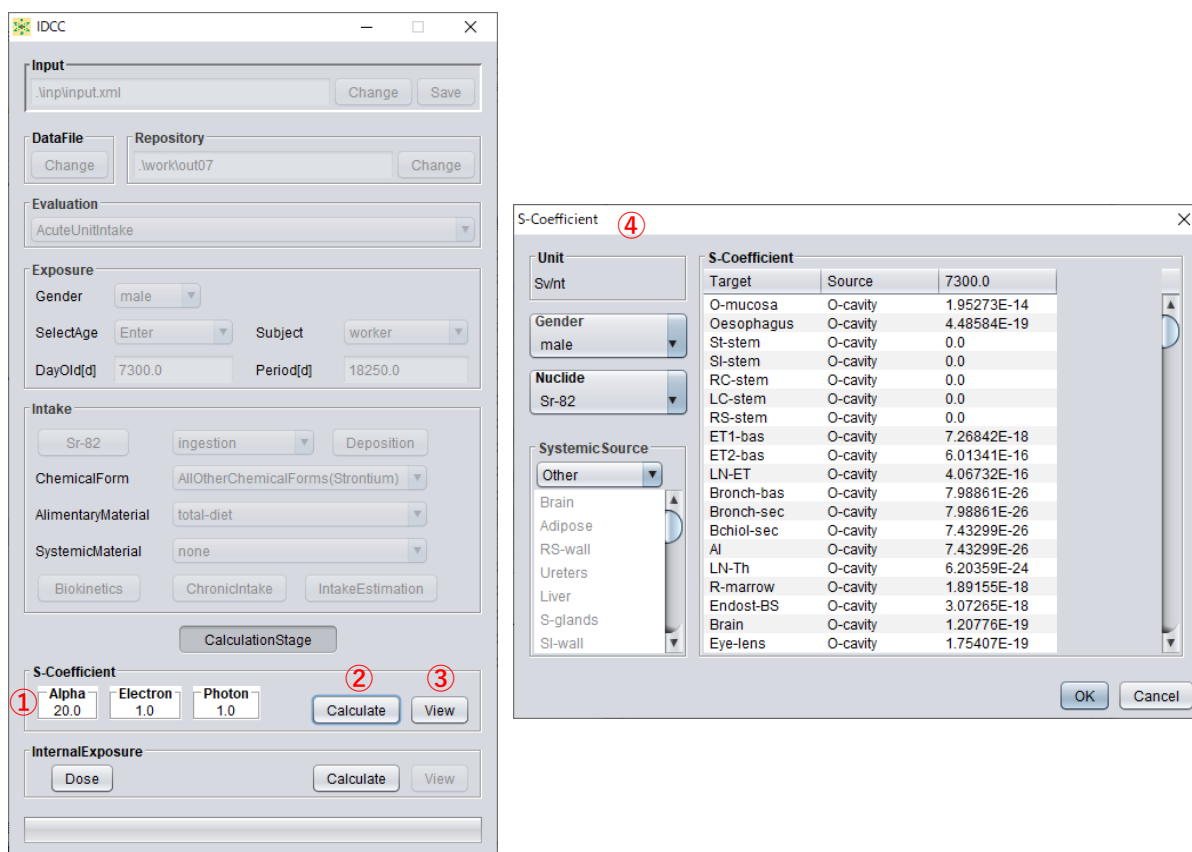
図 4-6 計算条件入力モードと計算実行・結果閲覧モードの切替え画面



## (1) S 係数計算の実行と結果閲覧

S 係数の計算実行及び計算結果閲覧画面を図 4-7 に示す。計算実行・結果閲覧モードの S-Coefficient 枠の Alpha、Electron 及び Photon ボックス (図 4-7 ①) は、それぞれ $\alpha$ 粒子、電子及び光子に対する放射線加重係数である。既定値は 2007 年勧告における値となっており、等価線量が計算される。ここで $\alpha$ 粒子に対する値を 1 にすると、吸収線量を評価することとなる。続いて Calculate ボタン (図 4-7 ②) をクリックすることにより、S 係数の計算を実行する。

S 係数の計算結果は、計算終了後にクリック可能となる View ボタン (図 4-7 ③) により結果閲覧ダイアログが表示され、数値を確認できるようにした。ダイアログには、性別と核種毎に、各日齢に対する S 係数計算結果と、Other 線源領域の構成要素が表示される (図 4-7 ④)。



- ① 放射線加重係数を設定する。
- ② S 係数の計算を実行する。
- ③ S 係数の計算終了後、View ボタンをクリックすると S 係数の結果閲覧ダイアログが表示される。
- ④ 結果閲覧ダイアログ。

図 4-7 S 係数の計算実行及び結果閲覧画面

## (2) 線量計算の実行と結果閲覧

計算実行・結果閲覧モードの線量計算の実行について、図 4-8 に示すように、InternalExposure 枠に Dose、Calculate 及び View の 3 つのボタンを用意した。Dose ボタン (図 4-8 ①) は、組織加重係数を適用する組織・臓器とその値を編集するためのものである。さらに、組織加重係数を適用する組織・臓器を構成する標的臓器とその加重割合も編集可能とした。Calculate ボタン (図 4-8 ②) は S 係数の計算終了後にクリック可能となり、計算が実行される。このとき、体内放射能や排泄率も同時に計算される。

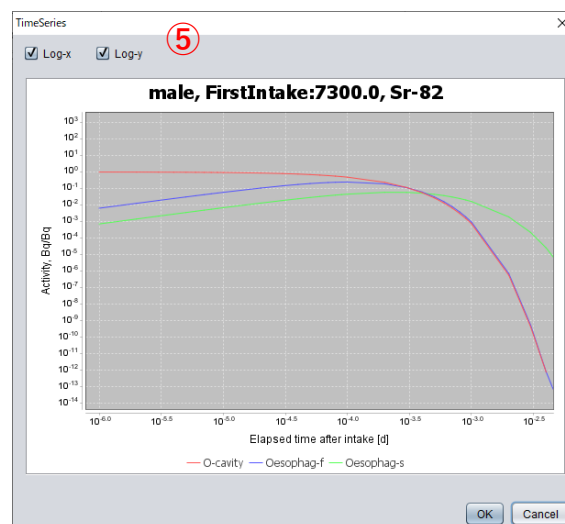
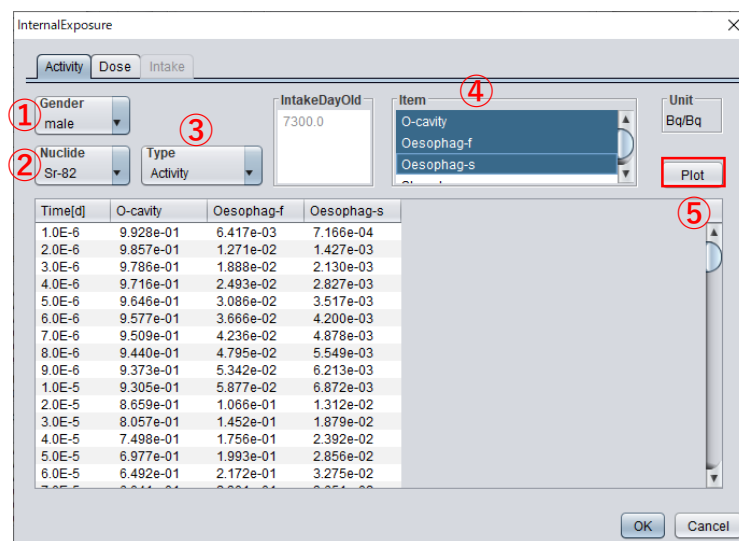
計算終了後にクリック可能となる View ボタン (図 4-8 ③) をクリックすると、計算結果閲覧ダイアログが表示される。ダイアログには Activity、Dose 及び Intake の 3 つのタブを用意し、それぞれのタブで計算結果を表やグラフで確認できるようにした。

The screenshot shows the IDCC software interface with various input fields and buttons. The 'InternalExposure' section at the bottom contains three buttons: 'Dose' (circled with ①), 'Calculate' (circled with ②), and 'View' (circled with ③). Other sections include 'Input' (with a file path and 'Change'/'Save' buttons), 'DataFile' and 'Repository' (with 'Change' buttons), 'Evaluation' (with a dropdown menu), 'Exposure' (with 'Gender', 'SelectAge', 'Subject', 'DayOld[d]', and 'Period[d]' fields), and 'Intake' (with 'Sr-82', 'ingestion', 'Deposition', 'ChemicalForm', 'AlimentaryMaterial', 'SystemicMaterial', and 'Biokinetics'/'ChronicIntake'/'IntakeEstimation' buttons). The 'S-Coefficient' section has 'Alpha', 'Electron', and 'Photon' fields with values 20.0, 1.0, and 1.0, and 'Calculate'/'View' buttons.

- ① 組織加重係数を編集する。クリックにより編集ダイアログが表示される。
- ② 体内放射能及び線量の計算を実行する。
- ③ 計算終了後、View ボタンをクリックすると計算結果閲覧ダイアログが表示される。

図 4-8 等価線量及び実効線量の計算実行画面

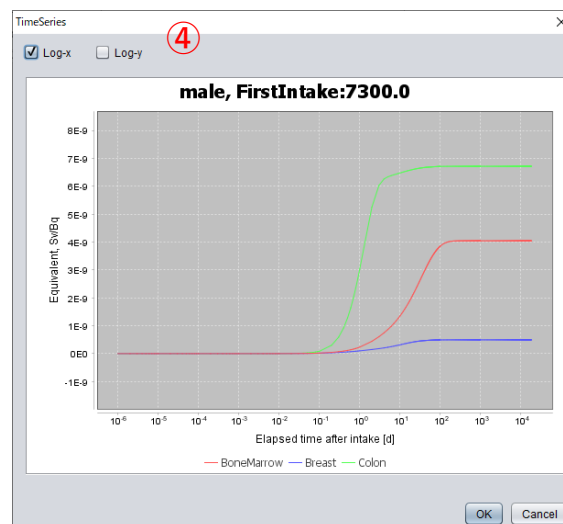
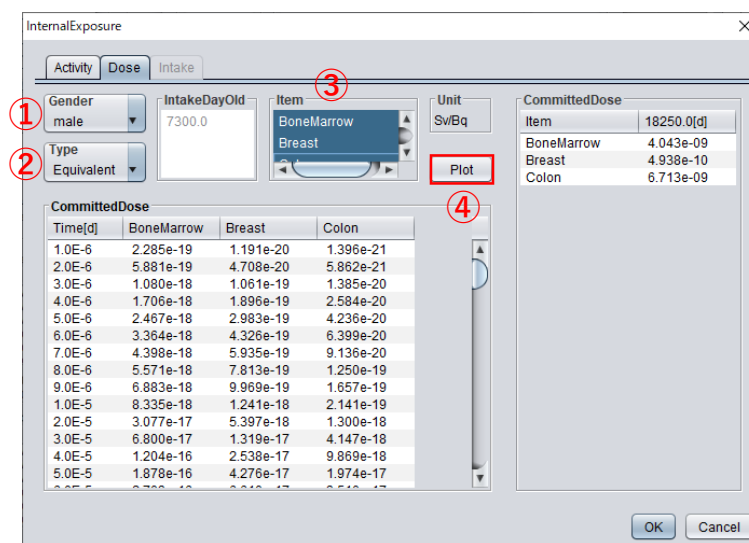
Activity タブでは、図 4-9 に示すように、計算条件入力モードで指定した摂取核種及びその系列核種について、組織系動態モデルで考慮されている組織・臓器毎の体内放射能または排泄率の推移を男女別に表で示す。男女の切替は、タブ内の Gender プルダウンメニュー（図 4-9 ①）で行う。ただし、2007 年勧告に準拠した線量評価法は体内動態については男女共通としているため、現状では同じ結果が表示される。系列核種がある場合は、Nuclide プルダウンメニュー（図 4-9 ②）で表示する核種を選択できるようにした。また、Type プルダウンメニュー（図 4-9 ③）で Activity または ExcretionRate を指定することにより体内放射能と排泄率の表示切替えを行う。さらに、体内放射能と排泄率の経時変化を示すグラフが、Plot ボタンを押すことで表示されるようにした（図 4-9 ⑤）。



- ① 体内放射能または排泄率を表示する性別を選択する。
- ② 表示する核種を指定する。
- ③ 表示する内容 (Type) を体内放射能とするか排泄率とするかを選択する。
- ④ 選択した Type について、表示する項目を指定する。
- ⑤ 計算結果をプロットする。

図 4-9 計算結果閲覧ダイアログ：Activity タブ

Dose タブを選択すると、図 4-10 に示すように、計算条件入力モードで指定した摂取条件に対する等価線量及び実効線量の計算結果を表で確認できる。等価線量の計算結果は、Gender プルダウンメニュー (図 4-10 ①) で male または female を選択すると表示される。このとき、Type プルダウンメニュー (図 4-10 ②) において Equivalent を選択すると、組織加重係数が適用される組織・臓器毎の等価線量を表示する。ここで Target を選択すると SAF データの標的臓器毎の等価線量を確認することができ、より詳細な解析に利用できるようにした。実効線量の計算結果は、Gender プルダウンメニューで both を選択すると表示される。また、等価線量または実効線量の積算の様子をグラフで表示するための Plot ボタン (図 4-10 ④) を用意した。



- ① 表示する結果について、男性の等価線量、女性の等価線量または実効線量を指定する。
- ② 表示する等価線量について、組織加重係数適用組織または標的臓器単位を指定する。
- ③ 等価線量の経時変化を表示する組織・臓器または標的臓器を指定する。
- ④ 選択した項目について、等価線量または実効線量の経時変化をプロットする。

図 4-10 計算結果閲覧ダイアログ : Dose タブ

Intake タブは、計算条件入力モードの Evaluation 枠で IntakeEstimation を指定したときのみ選択可能である。図 4-11 に示すように、摂取量推定の結果を表示する。入力した測定データ (図 4-11 ①)、摂取量推定値 (図 4-11 ②)、放射能予測値 (図 4-11 ③) 及び線量 (図 4-11 ④) の 4 つを分類して表示するようにした。

The screenshot shows the 'InternalExposure' dialog box with the 'Intake' tab selected. It contains several data tables and input fields:

- Measurement Unit:** Bq, Bq/d
- Deviation Type:** lognormal
- Measurement (①):**

Item	Mesurem...	Deviation	LowBound
Co-60_W...	18500.0	1.15	40.0
Co-60_W...	1875.0	1.15	40.0
Co-60_W...	1470.0	1.15	40.0
Co-60_Uri...	11.2	2.0	0.0
- Estimation (②):**

DayOld	Intake	Conf95%-L	Conf95%-U
7300.0	3.104e+04	1.336e+01	7.213e+07
- Residual Square:** 3.442e+05
- Dose Unit:** Sv
- Prediction (③):**

Item	Measurement	Prediction
Co-60_WholeB...	18500.0	19054.96
Co-60_WholeB...	1875.0	1712.137
Co-60_WholeB...	1470.0	1568.618
Co-60_Urine_...	11.2	10.24504
- Dose (④):**

Item	CommittedDose
BoneMarrow	4.472e-04
Breast	6.070e-04
Colon	1.930e-04
Lung	3.573e-03
Stomach	5.461e-04
Gonads	7.936e-06

- ① 入力したモニタリングデータが表示される。
- ② 評価された摂取量推定値が表示される。
- ③ モニタリング値と、推定された摂取量に基づくモデル予測値の比較が表示される。
- ④ 評価された摂取量推定値に基づく線量評価値が表示される。

図 4-11 計算結果閲覧ダイアログ : Intake タブ

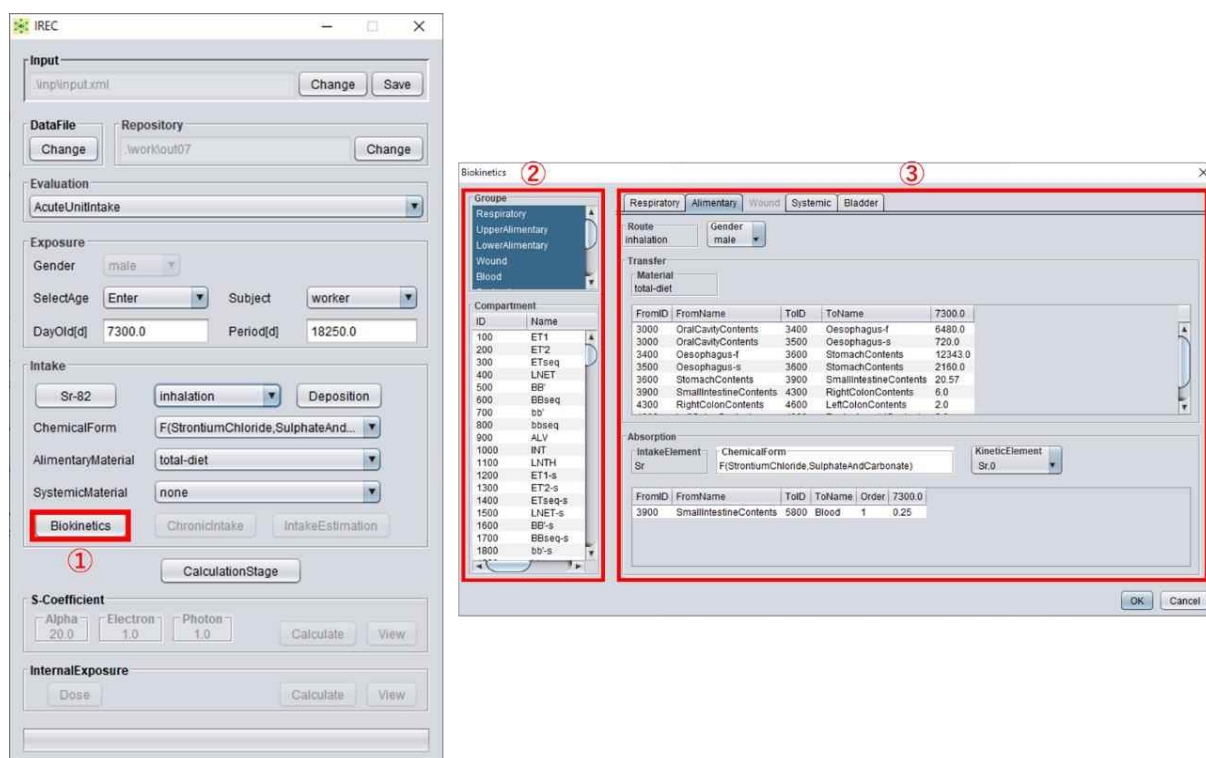
#### 4.3 線量係数計算モデル及びデータの編集機能の開発

本事業では、2007 年勧告に準拠して実効線量係数等の検証及びモニタリング値に基づく摂取量推定の技術基盤を確保することを目的として、内部被ばく線量評価コードの開発を進めている。一方で、2007 年勧告に基づく新しい線量係数と従来の 1990 年勧告に基づく線量係数の差異の原因調査や、日本人に特有のパラメータ等を反映した線量評価は、2007 年勧告の国内における放射線規制への取入れの検討に有益な情報を与えると考えられる。そこで、本コードは、1990 年勧告対応のモデル・データも利用可能とし、日本人パラメータや任意の動態モデル等も設定可能な仕様とした[21, 23]。ここでは、1990 年勧告の動態モデルと 2007 年勧告の SAF データを組み合わせた線量係数の計算も可能とした。

以下、GUI による体内動態モデルの編集と、線量評価に使用するデータファイルの指定に関する機能について記す。

#### 4.3.1 体内動態モデルの編集

図 4-12 に示す画面で、体内動態モデルの編集を可能とした。ここでは、体内動態モデルを閲覧及び編集するダイアログを表示するため、**Biokinetics** ボタンを用意している。この **Biokinetics** ボタンにより表示されるダイアログ (図 4-12 右) は、コンパートメントの一覧表と、**Respiratory** (呼吸気道モデル)、**Alimentary** (消化管モデル)、**Wound** (創傷モデル)、**Systemic** (組織系動態モデル) 及び **Bladder** (膀胱モデル) の 5 つの動態モデルを表示するタブから構成される。ここで、各タブにより、移行経路、移行係数、血液吸収割合等を任意に設定可能とした。



- ① **Biokinetics** ボタンをクリックすると、体内動態データの閲覧及び編集を行うダイアログを表示する (右図)。
- ② コンパートメントの **Group** (表示選択) 及び **Compartment** (ID と名前の一覧) を表示する。
- ③ 体内動態を **Respiratory** (呼吸気道モデル)、**Alimentary** (消化管モデル)、**Wound** (創傷モデル)、**Systemic** (組織系動態モデル) 及び **Bladder** (膀胱モデル) の 5 つのタブで表示する (表示と非表示は摂取経路の選択に依存)。全てのタブに **Transfer** 枠があり、移行経路と移行係数を設定できる。血液吸収が考慮される **Respiratory** と **Alimentary** タブには、それぞれの動態モデルに準拠する形式で **Absorption** 枠があり、血液吸収割合を設定できる。

図 4-12 体内動態モデルの編集画面

#### 4.3.2 線量評価モデル及びデータの指定

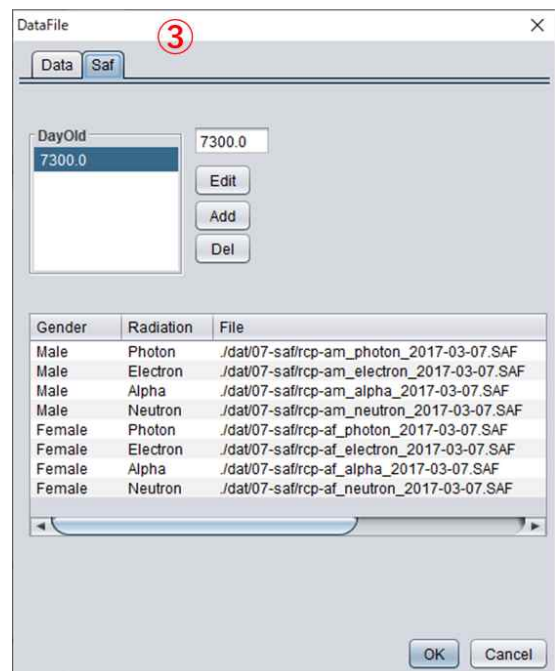
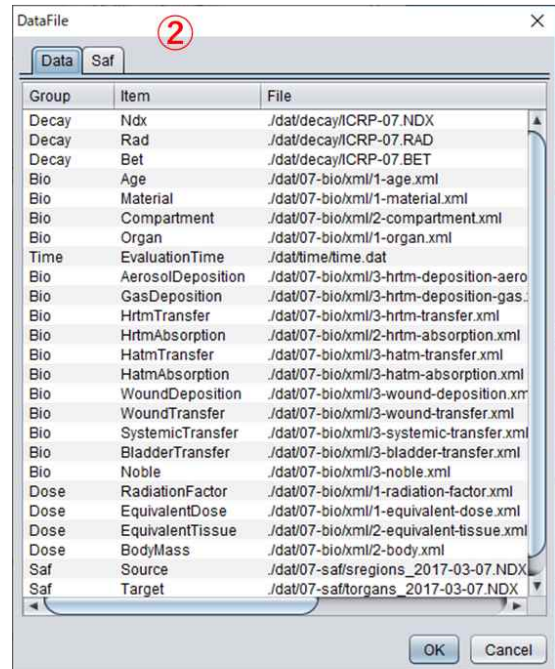
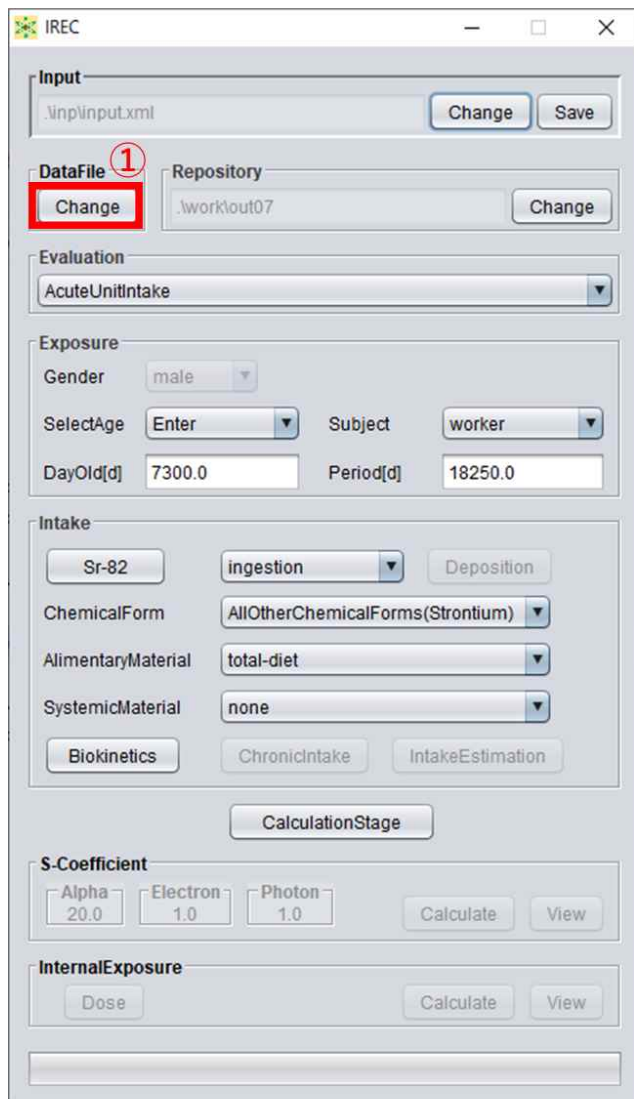
平成 30 年度の事業において、開発するコードでは表 4-1 に示す形式に従ってデータを用意することとした。そこで、同様の形式でデータを設定することにより、任意の SAF や体内動態モデル等を利用可能とするための機能を開発した。

図 4-13 にデータファイルの変更画面を示す。計算に使用するデータファイルの変更は、Change ボタンをクリックすると表示される DataFile ダイアログから行う。このダイアログは Data タブと SAF タブから構成されており、Data タブでは核崩壊データ、体内動態、線量、臓器及び評価時間に関するデータファイル、SAF タブでは日齢、性別及び放射線に対する SAF のデータファイルについてそれぞれ表示し、変更を行うことができる。

表 4-1 データファイル一覧

データファイル	形式	概要
ICRP-07.NDX	定型 TEXT	ICRP Publ.107 の核崩壊データ (半減期、分岐比等)
ICRP-07.RAD	定型 TEXT	ICRP Publ.107 の核崩壊データ (放出率、エネルギー)
ICRP-07.BET	定型 TEXT	ICRP Publ.107 の核崩壊データ ( $\beta$ 線スペクトル)
sregions_2017-03-07.NDX	定型 TEXT	ICRP Publ.133 の SAF データ (線源領域)
torgans_2017-03-07.NDX	定型 TEXT	ICRP Publ.133 の SAF データ (標的領域)
rcp-am_photon_2017-03-07.SAF	定型 TEXT	ICRP Publ.133 の SAF データ (成人男の光子の SAF)
rcp-am_electron_2017-03-07.SAF	定型 TEXT	ICRP Publ.133 の SAF データ (成人男の電子の SAF)
rcp-am_alpha_2017-03-07.SAF	定型 TEXT	ICRP Publ.133 の SAF データ (成人男の $\alpha$ 粒子の SAF)
rcp-am_neutron_2017-03-07.SAF	定型 TEXT	ICRP Publ.133 の SAF データ (成人男の中性子の SAF)
rcp-af_photon_2017-03-07.SAF	定型 TEXT	ICRP Publ.133 の SAF データ (成人女の光子の SAF)
rcp-af_electron_2017-03-07.SAF	定型 TEXT	ICRP Publ.133 の SAF データ (成人女の電子の SAF)
rcp-af_alpha_2017-03-07.SAF	定型 TEXT	ICRP Publ.133 の SAF データ (成人女の $\alpha$ 粒子の SAF)
rcp-af_neutron_2017-03-07.SAF	定型 TEXT	ICRP Publ.133 の SAF データ (成人女の中性子の SAF)
1-age.xml	XML	年齢データ
1-equivalent-dose.xml	XML	等価線量データ
1-material.xml	XML	物質データ
1-organ.xml	XML	臓器データ
1-radiation-factor.xml	XML	放射線加重係数データ
2-body.xml	XML	体重データ
2-compartment.xml	XML	コンパートメントデータ
2-equivalent-tissue.xml	XML	等価線量を構成する標的組織・臓器データ
2-hrtm-absorption.xml	XML	呼吸気道の血液吸収データ
3-bladder-transfer.xml	XML	膀胱の移行係数データ
3-hatm-absorption.xml	XML	消化管の血液吸収データ
3-hatm-transfer.xml	XML	消化管の移行係数データ
3-hrtm-deposition-aerosol.xml	XML	呼吸気道のエアロゾルの沈着割合データ
3-hrtm-deposition-gas.xml	XML	呼吸気道のガス・蒸気状の沈着割合データ
3-hrtm-transfer.xml	XML	呼吸気道の移行係数データ
3-noble.xml	XML	呼吸気道と消化管の希ガスの移行係数データ
3-systemic-transfer.xml	XML	組織系動態モデルの移行係数データ
3-wound-deposition.xml	XML	創傷モデルの沈着コンパートメントデータ
3-wound-transfer.xml	XML	創傷モデルの移行係数データ
time.dat	CSV	経時変化計算の時間データ





- ① 計算に使用するデータファイルを変更する。クリックすると2タブ構成のDataFileダイアログが表示される。
- ② Dataタブでは核崩壊、体内動態、線量、標的線源臓器及び評価時間のデータファイルの表示・変更が可能である。
- ③ SAFタブでは日齢、性別及び放射線に対するSAFのデータファイルの表示・変更が可能である。

図 4-13 データファイルの変更画面



#### 4.4 1990年勧告対応モデル及びデータの実装

本事業では、新旧の線量係数の差異の原因を調査すること等を目的として、1990年勧告に準拠した線量評価モデル及びデータを開発するコードに実装する計画としている。また、第3章に記した核種摂取量推定機能の検証において、候補となる例題の多くは1990年勧告に準拠したものであった。一方、開発するコードの計算アルゴリズムは2007年勧告に準拠する手法に基づいて設計されている。そこで、本コードを用いて、1990年勧告のモデルやデータに基づいて実効線量係数等を導出する方法を確立した。

以下に、線量係数計算における1990年勧告と2007年勧告の相違点と対応方法等について説明する。

##### 4.4.1 線量係数計算に関する2007年勧告と1990年勧告の相違点

開発するコードが実装する2007年勧告に準拠した線量計算を行うためのアルゴリズムにより、1990年勧告の準拠するモデルやデータを用いて1990年勧告に従う線量計算を近似的ではあるが適切に実行する方法を検討した。実効線量の導出手順は、2007年勧告と1990年勧告でほぼ同様である一方で、線量評価モデル・データは多くの改訂があった。表4-2に、新旧それぞれの基本勧告で参照される線量評価モデル・データを示す。以下、昨年度抽出した新旧勧告間における線量評価モデル・データの相違点に対し、データの与え方等を検討した結果を記す。

表 4-2 データファイル一覧

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 [36], ORNL/TM-8381/V1 [37]	ICRP Publ. 89 [38]
放射線加重係数 $w_R$ 、 組織加重係数 $w_T$	ICRP Publ. 60 [2]	ICRP Publ. 103 [3]
核崩壊データ	ICRP Publ. 38 [39]	ICRP Publ. 107 [40]
体内動態モデル		
呼吸気道モデル	ICRP Publ. 66 [30]	ICRP Publ. 130 [28]
消化管モデル	ICRP Publ. 30 part 1 [29]	ICRP Publ. 100 [46]
組織系動態モデル	ICRP Publ. 30 parts 1-4, 56, 67, 69, 71 [29, 31, 32, 41-45]	ICRP Publ. 134, 137, 141 [20, 22, 47]
SAF データ	光子：ORNL/TM-12351 [48] 電子、 $\alpha$ 粒子等：ICRP Publ. 30 part 1, 66 [29, 30]	ICRP Publ. 133 [19]

##### (1) 体重、組織・臓器質量及び組織加重係数

2007年勧告において、個別の組織加重係数が適用される組織・臓器が追加されたため、データ数とその数値について変更があった。ただし、開発中のコードのデータ様式[23]は、1990年勧告に準拠した数値を年齢や組織・臓器名と正確に照合させたいうで、そのまま格納する

ことが可能である。

## (2) 放射線加重係数

内部被ばくによる線量評価において考慮される放射線の種類は、光子、電子、 $\alpha$ 粒子（ $\alpha$ 壊変反跳核及び自発核分裂片を含む）及び中性子である。2007年勧告では中性子の放射線加重係数を決めるエネルギー依存の関数が新たに提案され[3]、中性子を放出する核種毎に、放出する中性子のエネルギースペクトルを考慮した平均の放射線加重係数が公開された[19]。2007年勧告に準拠した線量評価では、この平均化された係数を使用する。

1990年勧告における中性子の放射線加重係数[2]を、2007年勧告と同様のデータ形式で実装する場合は、放射線加重係数を計算するためのアルゴリズムが別途必要となるが、さしあたっては実装しないこととした。なお、第3章に記した核種摂取量推定機能の検証、及び4.4.2項で説明する1990年勧告に準拠したモデル・データを用いた線量係数計算では、中性子が線量へ寄与するケースは存在しなかった。

## (3) 核崩壊データ

ICRP Publ. 38 [39]とICRP Publ. 107 [40]ではデータ収録様式が異なるため、ICRP Publ. 38のデータを本コードで使用するにはICRP Publ. 107のデータ様式に修正する必要がある。しかしながら、核崩壊データの更新が線量係数に大きな影響を及ぼす核種は限定的であることがすでに確認されている[49, 50]。また、ICRP Publ. 38のデータを改編するための許諾条件も不明確である。そこで、開発中のコードにおける1990年勧告に準拠した線量計算では、ICRP Publ. 107のデータを用いることとした。

## (4) 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、血液吸収クリアランスに関する標準モデルに変更があった[28]。消化管モデルについては、粒子輸送に関するコンパートメントモデルの見直しと、小腸内容物以外のコンパートメントから血液への吸収も考慮できる構造となった[46]。組織系動態モデルについては、体内動態に関する最新の知見を反映し、全面的な見直しが行われた[20, 22, 47]。

2007年勧告を受けて、上記の見直しや変更は行われたものの、コンパートメント間で移行経路と移行係数を与える方法については1990年勧告と同様である。したがって、1990年勧告に準拠した動態モデルを表すデータファイルを作成し、これをコードに実装することで対応する。なお、第3章における検証においても本手法を採用した。

## (5) 子孫核種の取扱い

1990年勧告では子孫核種の組織系動態モデルは放射性核種ごとに異なり、親と同じ動態モデルとする場合（共通動態モデル）と、それぞれの子孫核種について子孫核種の元素に固有の動態モデルとする場合（個別動態モデル）の2種類が存在していた[42]。一方、2007年勧告では、全ての放射性核種について個別動態モデルとされた[28]。

本コードにおける1990年勧告対応モデルでは、共通動態モデルを基本に、個別動態モデルを持つ元素・核種については別途データを作成した。

## (6) SAF データ

2007年勧告に準拠した SAF データでは、男女を区別し、全ての放射線及び領域（呼吸気道領域、消化管領域、骨領域及びその他の全身領域）について、決められたエネルギー一点に対する離散的な関数（以下、「エネルギーの関数」とする。）として与えられ、任意のエネルギーに対する SAF は内挿して求める[19]。開発するコードでは、この手順をアルゴリズムとして実装している。一方、1990年勧告に準拠した SAF データは男女の区別がなく、放射線の種類や領域によって異なるデータ様式となっている。光子に対する SAF は、2007年勧告対応のデータと同様に、全ての領域についてエネルギーの関数として与えられている。ただし、10 keV 未満の光子についてはデータが存在せず、10 keV の電子に対する SAF を適用することとなっている[48]。電子及び $\alpha$ 粒子に対する SAF のうち、呼吸気道領域はエネルギーの関数として与えられているが、消化管領域と骨領域については単純な仮定を基に一定値とされている。このうち、骨領域の電子に対する SAF で標的が骨表面の場合は 0.2 MeV を境に 2 個の定数が与えられている。また、その他の全身領域については、電子、 $\alpha$ 粒子ともに自己吸収のみを考慮し、線源領域と標的領域が異なる組合せは全て 0 であるとされた[29, 30, 37, 48]。

1990年勧告に準拠した SAF データを本コードの様式に適用して格納させるため、以下のように対応した。光子や呼吸気道領域に対する電子及び $\alpha$ 粒子の SAF データは、エネルギーの関数として与えられているため、本コードのデータ様式に合わせてそのまま格納した。また、エネルギーによらず一定の値となる電子及び $\alpha$ 粒子に対する SAF データについては、全エネルギー一点に対し同一の値を与えて格納した。一方、10 keV 未満の光子について電子 SAF を適用すること、骨領域における電子 SAF が 0.2 MeV を境に 2 個の定数となっていることについては、エネルギー一点を境に異なる数値となる不連続な関数としてデータを整備する必要がある。そこで、任意のエネルギーに対する SAF は内挿して求めること、核崩壊データファイルにおけるエネルギーデータの有効数字が 6 桁であることを考慮し、エネルギー一点として 0.00999999 MeV (9.99999 keV) 及び 0.199999 MeV を追加して SAF データを与えた。これにより、図 4-14 に示すように、新たに設定したエネルギー一点と SAF が不連続となるエネルギー一点の間のエネルギーを持つ放射線は存在しないため、境界値近傍の不連続関数を再現できた。

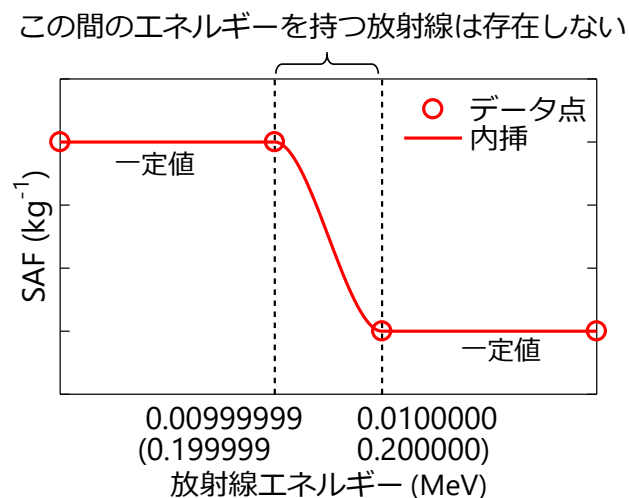


図 4-14 不連続な SAF データの与え方 (模式図)

## (7) 線源領域が Other の SAF

2007 年勧告における線源領域が Other の SAF (以下、「Other 線源 SAF」とする。)は、Other に含まれる全ての線源領域 S から標的領域 T への SAF の線源領域質量による加重平均で求められる[19]。

$$\Phi(T \leftarrow \text{Other}) = \frac{1}{M_{\text{Other}}} \sum_S M_S \Phi(T \leftarrow S) \quad (4-1)$$

ここで、 $M_{\text{Other}}$  (kg)は Other の質量、 $M_S$  (kg)は線源領域 S の質量である。一方、1990 年勧告における Other 線源 SAF は、全身線源の SAF から Other に含まれない線源領域から T への SAF 及び心臓内容物 HtC から T への SAF を線源領域の質量で加重して差し引くことで計算される[48]。

$$\Phi(T \leftarrow \text{Other}) = \frac{M_{\text{WB}}\Phi(T \leftarrow \text{WB}) - \sum_{S'} M_{S'}\Phi(T \leftarrow S') - M_{\text{HtC}}\Phi(T \leftarrow \text{HtC})}{M_{\text{WB}} - \sum_{S'} M_{S'} - M_{\text{HtC}}} \quad (4-2)$$

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。

1990 年勧告に対応した SAF データは、全身組織を除く全ての線源領域を足し合わせても全身をカバーすることができない[37]。また、1990 年勧告に対応した線量係数計算では、多くの核種において共通動態モデルを採用している。そこで、式 (4-2) によりあらかじめ Other 線源 SAF を計算しておき、これを SAF データファイルに追記することで対応することとした。ただし、1990 年勧告に対応した線量係数計算においても、一部の核種に対して個別動態モデルが採用されている。これらの核種には、開発コードのアルゴリズムでそのまま対応させるため、Other に含まれ得る全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 をあらかじめ計算しておき、この領域を常に Other に含めることで、1990 年勧告の SAF データに基づく Other の SAF を 2007 年勧告の式で計算する方法を考案した。

## (8) S 係数の計算 (β 線エネルギーの取扱い)

新旧勧告の間では、β 線に対する S 係数の計算方法に差異がある。2007 年勧告では、全ての線源-標的領域の組合せについて β 線のエネルギースペクトルデータを参照し、計算を行う[19]。一方、1990 年勧告では、呼吸気道領域内の線源-標的領域の組合せについてのみエネルギースペクトルデータを参照し、それ以外の領域では β 線の平均エネルギーを参照して計算を行う[51]。

開発中のコードは、全ての放射線及び線源-標的間において、スペクトルデータを考慮した S 係数計算を実行するよう設計されているため、1990 年勧告に対応したモデルやデータを用いた計算においても、常にエネルギースペクトルを考慮することとした。

## (9) 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の等価線量と女性人体モデルに基づく卵巣の等価線量の算術平均値である[3]。一方、1990 年勧告における生殖腺の等価線量は、両性具有の人体モデルに基づく精巣及び卵巣の等価線量の大きい方を生殖腺の等価線量とする[2]。

開発コードにおける生殖腺の等価線量は、男女で同じ ID が付された組織・臓器の等価線量については、男女モデルによる計算結果の算術平均値を用いるよう設計されている。1990 年勧告に準じた生殖腺の等価線量を再現するためには、男性の精巣と女性の卵巣の等価線量を比較し、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。多くの計算結果で卵巣の等価線量の方が大きい傾向が確認されたことを踏まえ、第 3 章の検証をはじめとする本報告書における 1990 年勧告に準拠した計算では、精巣の組織加重係数をゼロとし、卵巣の等価線量を生殖腺の等価線量として扱うこととした。

#### (10) 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は、残りの組織として定義される 13 の組織・臓器の預託等価線量の算術平均値となっている[3]。一方、1990 年勧告における残りの組織の等価線量は、残りの組織として定義される 10 の組織・臓器の等価線量率の質量加重平均値を計算し、預託期間の時間積分値が用いられる[31]。また、残りの組織として定義される組織・臓器の等価線量の最大値  $H_{T'}$  が、個別の組織加重係数が適用される組織・臓器の等価線量の最大値  $H_{\max}$  よりも大きい場合に限り、残りの組織の等価線量の計算方法が変化する「分割ルール」が存在する[31]。

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

分割ルールが適用される場合、残りの組織の等価線量の計算方法の違いが実効線量係数に及ぼす影響が大きいケースが多い[52]。そのため、開発コードでは、残りの組織の等価線量とそれを含めた実効線量について、新旧両勧告それぞれの計算方法に準拠した 2 通りの値を出力することで対応することとした。

#### (11) 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[53]に基づく男女別の等価線量の平均値に対して組織加重係数を乗じ、総和をとることで導出される[3]。一方、1990 年勧告における実効線量は、男女の区別のない両性具有の人体モデルに基づく等価線量に組織加重係数を乗じ、総和をとることで導出される[2]。

1990 年勧告に準拠したモデル・データに基づく実効線量の計算手順は、男女別に用意された SAF データファイルに、男女の区別のない人体モデルに基づく SAF データを共通で格納することにより対応することとした。

### 4.4.2 1990 年勧告対応モデル及びデータを用いた線量係数計算

4.4.1 項に記した対応方針のもと、1990 年勧告に準拠した線量評価モデル・データの作成を行った。ただし、本コードでは、上記のように 1990 年勧告に準拠したモデルやデータを用いた場合においても、完全に 1990 年勧告に従った手法で線量係数を導出するものではないことに留意する必要がある。そこで、OIR part 2 及び part 3 に収録されたラドンを除く 27 元素に

対し、ICRP Publ. 68 [54]に収録された核種・摂取条件について実効線量係数を計算し、1990年勧告に準拠した線量評価コード DCAL [51]の結果と比較検証を行った。ここでは、OIR Data Viewer [20]で実効線量係数を有効数字2桁で扱っていることを参考に、本検証でも有効数字2桁の範囲で比較することとした。

開発コードにより導出される線量係数と DCAL による計算結果の差異に対する影響因子としては、4.4.1 項で説明した本コードでのモデルやデータ、計算手法の取扱いに加え、DCAL と開発コード間で一部の計算アルゴリズムが異なることも考えられる。そこで、今回比較したコード間のアルゴリズムの違いを以下に記す。

#### (1) 残りの組織の等価線量について

DCAL では、分割ルールの適用可否は比較対象領域の等価線量係数を有効数字2桁に丸めたいえで判断される。そのため、比較対象領域の線量の絶対値に近い一部のケースでは、本来分割ルールが適用されるケースで分割ルールが適用されないことがあり、残りの組織の等価線量が開発コードよりも小さく評価される例があった。

#### (2) SAF データの内挿法について

前年度の検討から、SAF データの内挿法が PCHIP のとき、OIR Data Viewer の数値を最も良く再現できることが分かった[21]。この検討結果を踏まえ、開発コードの SAF データ内挿法には PCHIP [55]を採用している。一方、DCAL では、SAF データの内挿法として対数変換 PCHIP が採用されている[51]。このため、放射線のエネルギーが内挿法の違いの影響を大きく受ける領域に存在する場合には、該当領域の S 係数に有意な差異が生じた例があった。

計算により得られた数値を DCAL による評価値と比較した結果を表 4-3 に示す（実効線量係数の比較結果をまとめた表は、付録 1 に収録した）。両者の数値は概ね一致し、新旧の線量係数の違いの原因を解析するという目的において十分正確に計算できることを確認した。

表 4-3 開発コードと DCAL による実効線量係数の比較結果

動態モデル	共通動態モデル	個別動態モデル
一致	665	59
不一致*	21	16

\*2桁目が2以上異なる場合を不一致とした。

#### 4.4.3 計算条件設定ファイルの作成

1990年勧告に準拠した線量評価モデル・データを用いた線量係数計算または1990年勧告の動態モデルと2007年勧告のSAFデータを組み合わせた線量係数計算(以下、「クロス計算」とする。)を実行する場合は、表 4-1 に示すデータファイルを全て適切に用意し、使用するファイルとして設定する必要がある。そこで、開発を進めるコードの基本設定とする2007年勧告に準拠した線量評価モデル・データを用いた計算を行うための計算条件設定ファイルに加え、1990年勧告に準拠した線量評価モデル・データを用いた線量係数の計算とクロス計算を

実行するための計算条件設定ファイルを作成した。コードを利用するにあたり、GUI 起動時にこれらの計算条件設定ファイルを指定 (図 4-2 ②参照) することにより、簡便に 1990 年勧告に準拠したモデル・データを用いた計算またはクロス計算の設定を行うことができる。

#### 4.5 コードβ版の開発

コードβ版は、本事業で開発を進めている内部被ばく線量評価コードのプロトタイプである。前年度完成させた線量係数計算機能と今年度上半期に完成させた核種摂取量推定機能を 4.2 節で記した GUI で統合し、4.3 節に記した線量評価モデル・データの編集機能を付加することにより、コードβ版を完成させた。

完成したコードβ版の実用性を確認するため、線量係数計算に要する時間の調査及び Windows 以外の OS をインストールした PC での動作確認を行った。計算時間の調査には、一般的な用途に使用される Windows PC (ツクモ製 RM7J-E91/T3、OS : Windows 10 Pro、CPU : Intel Core i7-7700K、メモリ : 16 GB) を用いた。子孫核種を持たない<sup>3</sup>H や、子孫核種の数が少ない<sup>131</sup>I、<sup>134</sup>Cs 等の核種については、S 係数、線量係数の計算がそれぞれ数秒以内で完了した。トリウムやウラン等、子孫核種の数が多い核種では、S 係数の計算に 10 秒程度、線量係数の計算に 20 秒程度要した。このように、条件によって所要時間は異なるが、概ね数十秒以内で計算が完了することを確認した。Windows 以外の OS での動作確認については、Ubuntu 16.04 LTS (Linux)、Red Hat Enterprise Linux 7.7 及び macOS Mojave 10.14.6 の PC で実施し、動作することを確認した。以上より、コードβ版は十分な実用性を有することを確認した。

#### 4.6 コードの開発のまとめ

今年度は、ユーザーの利便性や操作性の向上を図る機能として、幅広いユーザーに対し、線量係数計算や摂取量推定の条件設定が容易に実施できる GUI を開発した。GUI は、設定すべき項目を視覚的に確認することを可能としつつ、高度な条件設定にも対応できるような構成とした。具体的には、体内動態モデルの編集機能を用意するとともに、所定の様式に従ってユーザーが線量評価モデル・データファイルを編集し、これらを使用可能とした。また、この GUI は、線量係数計算機能と摂取量推定機能を統合する機能も担っており、GUI の開発により両機能を備えた内部被ばく線量評価コードのβ版が完成した。

## 第5章 線量係数計算機能の適用及び開発に関する情報収集

### 5.1 線量係数計算機能の慢性被ばくへの適用

#### 5.1.1 背景と目的

内部被ばくの線量管理では、成人の場合は摂取後 50 年間、小児の場合は 70 歳になるまでの間（預託期間）に受ける被ばく線量を導出し、これを摂取したその 1 年間に受けたものとする「預託線量」という概念が用いられる[3,28]。しかしながら、比較的長期間、継続的に放射性核種を摂取するような状況（慢性摂取）では、この概念による被ばく管理は過大評価となるおそれがあり、実際の積算被ばく線量を把握することが重要となる。また、長期間の慢性摂取では、摂取開始から一定時間が経過すると体内放射能が平衡状態となることから、体内放射能が平衡状態に達した状況に置ける年間被ばく線量率を把握することも被ばく管理に有益である。

ICRP は、OIR シリーズにより新しい体内動態モデル（呼吸気道モデル、消化管モデル及び組織系動態モデル）を導入したが、慢性摂取に対するモニタリングデータ（体内放射能や排泄率の推移データ）は提供していない。開発した線量係数計算機能は、長期間の慢性摂取を考慮した被ばく線量評価にも対応し、線量係数の計算過程の情報として体内放射能や積算線量の経時変化を出力することも可能である。そこで、体内動態モデルの更新が慢性摂取時の体内放射能の推移や平衡状態時の年間線量率に及ぼす影響の解析に、本機能を利用した。

なお、本節の内容は、第 2 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会における発表内容[56]を再編集したものである。

#### 5.1.2 方法

線量係数計算機能の慢性摂取評価モードを用いて、体内放射能と積算実効線量の時間推移データを取得した。摂取条件は、軽作業時の成人による  $^{137}\text{Cs}$  の吸入摂取、1 Bq/日の摂取率で摂取期間は 50 年とした。エアロゾルの性状は、公衆に対する ICRP の既定値（AMAD: 1  $\mu\text{m}$ 、密度: 3.0  $\text{g}/\text{cm}^3$ 、形状係数: 1.5）[30]とし、血液への吸収タイプは F と M の 2 種類について検討した（Cs 元素については、OIR シリーズにおいて、タイプ S に特定の化学形を定義していない）。吸入エアロゾルの呼吸気道への沈着割合は ICRP Publ. 130 の Table A.2 [28]を参照し、図 4-5 ③に示す沈着割合編集機能で設定した。従来の動態モデルによる計算は、4.4.3 項で記したクロス計算用の計算条件設定ファイルを用いて実施した。これにより、SAF データについては共通のものを使用するため、動態モデルの更新による影響を解析することができる。

#### 5.1.3 結果と考察

##### (1) タイプ F

吸入摂取タイプ F について、全身放射能の推移を計算した結果を図 5-1 に示す。全身放射能が 50 年経過時の値の 99.7%に達した状態を平衡状態と定義した場合、新動態モデルでは 920 日経過時、旧動態モデルでは 911 日経過時に全身放射能が平衡状態に達した。平衡状態における全身放射能は、新旧それぞれ 57.1 Bq 及び 50.4 Bq であり、モデルの更新により 13%増



加した。平衡状態における放射能の増加の原因は、呼吸気道における粒子輸送クリアランスモデルの見直しによりエアロゾルが呼吸気道に滞留する時間が長くなり、血液へ移行するセシウムの割合が増加したためであった。

図 5-2 に、年実効線量率の時間推移を示す。図に示すように、新旧いずれのモデルにおいても 3 年目から年実効線量率はほぼ一定となり、その値はそれぞれ 2.25  $\mu\text{Sv}/\text{年}$  及び 1.60  $\mu\text{Sv}/\text{年}$  であり、41%の差が見られた。放射能の差に比べて線量率の差が大きい原因は、モデル間でセシウムの体内分布の様子が異なるためと考えられる。旧モデルでは、脂肪組織も含めて全身に均一にセシウムが分布するモデルであるのに対し、新モデルでは、筋肉により集積するモデルとなった。その結果、体幹部に位置する組織加重係数の大きい組織の等価線量が増加し、実効線量率の増加をもたらした。

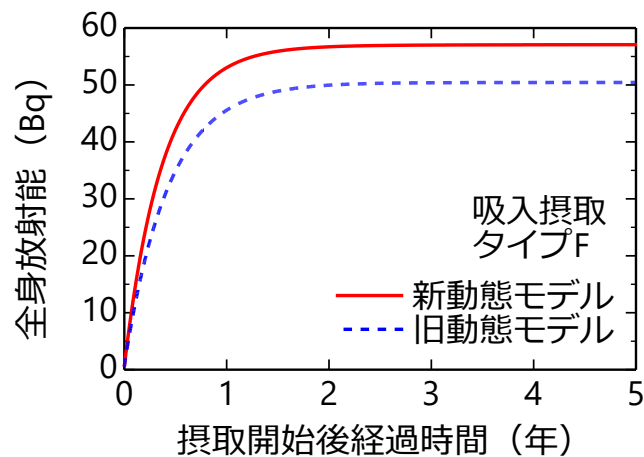


図 5-1  $^{137}\text{Cs}$  の慢性的な吸入摂取（タイプ F）に対する全身放射能の時間推移

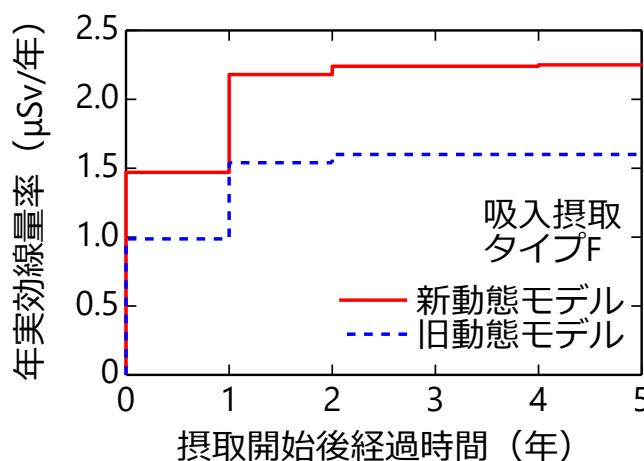


図 5-2  $^{137}\text{Cs}$  の慢性的な吸入摂取（タイプ F）に対する年実効線量率の時間推移

## (2) タイプ M

吸入摂取タイプ M について、全身放射能の推移を計算した結果を図 5-3 に示す。新動態モデルでは 1113 日経過時、旧動態モデルでは 1123 日経過時に全身放射能が平衡状態に達した。平衡状態における全身放射能は、新旧それぞれ 32.9 Bq 及び 28.7 Bq であり、モデルの更新により 14%増加した。平衡状態における放射能が増加した原因は、組織系動態モデルの見直しにより、呼吸気道から消化管にクリアランスされたセシウムの消化管吸収率 ( $f_A$  値) が 0.1 から 0.2 に増加したためであった。

図 5-4 に、年実効線量率の時間推移を示す。図に示すように、新旧いずれのモデルにおいても 3 年目から年実効線量率はほぼ一定となり、その値はそれぞれ 2.75  $\mu\text{Sv}/\text{年}$  及び 3.45  $\mu\text{Sv}/\text{年}$  であり、モデル更新により 20%減少した。モデル更新により平衡状態における放射能は増加したものの年実効線量率は減少した原因は、呼吸気道から血液吸収によりクリアランスされるモデルのパラメータの見直しによるものであった。血液吸収クリアランスモデルのパラメータのうち、タイプ M に対する速い吸収成分の比率が 0.1 から 0.2 に増加したことにより、新モデルではセシウムがより速く呼吸気道から血液へと移行する。そのため、組織加重係数の大きい肺の等価線量が減少し、その結果、年実効線量率も減少することとなった。

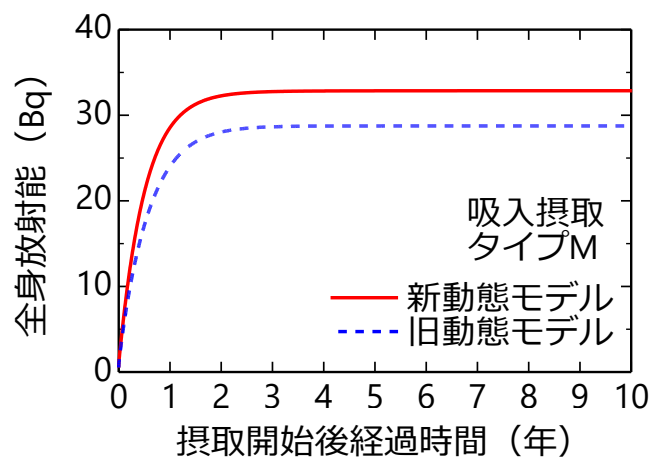


図 5-3  $^{137}\text{Cs}$  の慢性的な吸入摂取 (タイプ M) に対する全身放射能の時間推移

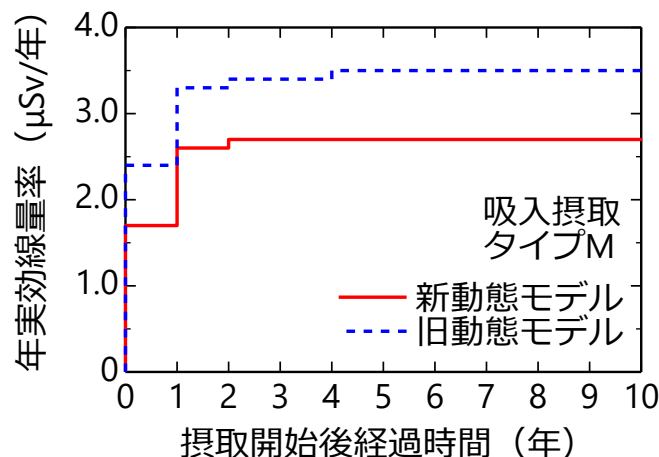


図 5-4  $^{137}\text{Cs}$  の慢性的な吸入摂取 (タイプ M) に対する年実効線量率の時間推移

#### 5.1.4 慢性被ばくへの適用のまとめ

開発した線量係数計算機能を活用し、 $^{137}\text{Cs}$ の慢性摂取について、体内動態モデルの更新が体内放射能や年実効線量率に及ぼす影響を解析した。吸入摂取タイプ F と M では、平衡状態になるまでの時間に大きな変化はなかったものの、平衡状態時の体内放射能や年実効線量率は変化することが明らかになった。

本適用例では、開発した線量係数機能のクロス計算（1990年勧告対応の動態モデルと2007年勧告対応のSAFデータの組合せによる線量計算）設定を用いて解析することにより、動態モデルの更新のみの影響を解析することができた。この他にも、1990年勧告計算とクロス計算との違いを解析することでSAFデータの更新による線量への影響を解析する等、様々な適用方法が期待できる。

## 5.2 ICRPによる線量評価モデル等の公開に係る情報収集

今年度の事業を開始した平成31年4月の段階において、以下のICRPによる2007年勧告に準拠する線量評価モデルやデータが未公開であった。

- ・ 主要28元素以外の元素を作業者が摂取した場合の組織系動態モデル（線量係数）
- ・ 成人以外の年齢群に対するSAFデータ
- ・ 公衆の組織系動態モデル（線量係数）

このうち、作業者がランタノイド及びアクチノイド元素（全25元素）を摂取した場合の組織系動態モデル、実効線量係数等については、OIR part 4 (ICRP Publication 141) [47]として、令和元年12月に公表された。

他のモデルやデータについては、令和元年11月18日より21日に豪州で開催されたICRPシンポジウムにおいて、内部被ばくの線量係数を検討するTG95 (Internal Dose Coefficients)より、下記のように刊行物の公開予定等の報告があった。

- ・ OIR part 5 は2020年に刊行予定
- ・ 公衆被ばくに関する最初の刊行物は2021年に刊行予定

その後、上記のシンポジウムに合わせて開催されたICRP第2専門委員会の会合について、議事が令和2年1月7日にICRPのホームページで公開された。内部被ばく線量評価のモデルやデータについては、TG95の他、TG96 (Computational Phantoms and Radiation Transport)でも検討が進められている。ホームページで公表された議事の中で、TG95及びTG96が検討している報告書の準備状況やスケジュールは、以下のように説明されている[57]。

- 印刷中または刊行が承認
  - ・ TG96：小児の標準ファントム
- 2020年中に意見募集（ドラフト公開）を開始することが承認
  - ・ TG95：OIR part 5（線量係数と組織系動態モデル）
  - ・ TG95：公衆の線量係数 part 1（線量係数と組織系動態モデル）
  - ・ TG96：小児の標準ファントムを用いた内部被ばく線量評価のためのSAFデータ

- 検討が進捗中（スケジュールが明示されていないもの）
  - ・ TG95：公衆の線量係数 part 2（線量係数と組織系動態モデル）
  - ・ TG96：妊婦及び胎児のファントム

上記のスケジュールについては、従来説明されてきた「OIR parts 1-4 に該当する公衆被ばくの線量係数等を公開後、OIR part 5 を刊行」とは異なっている[23]。また、公衆の実効線量係数は、基礎データとなる年齢群ごとの SAF データの後に公開される他、意見募集を完了してから公開まで1年から数年程度の時間が経過することが想定される。そのため、主要 28 元素、ランタノイド及びアクチノイド元素に対する作業者の摂取条件を除き、本事業の完了する令和 2 年度末（令和 3 年 3 月末）までに、実効線量係数が全て公表されることは難しい状況となっている。

## 第6章 あとがき

平成 29 年度からの 4 か年計画で、ICRP 2007 年勧告に準拠して、内部被ばく線量評価に用いる実効線量係数の導出、核種の摂取量を推定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における活用を主要なアウトカムに設定している。平成 31/令和元年度は、コードの基本機能のうち核種摂取量推定機能を検証して同機能の開発を完了するとともに、ユーザーの利便性や操作性を向上させる機能を開発し、2 つの基本機能を統合させたコードβ版の完成を MS とした。

核種摂取量推定機能については、平成 30 年度までの事業で、原子力機構、他の大学や研究機関において緊急被ばく医療やモニタリング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して開発を進めた。その結果、本年度の事業を開始する段階においては、最尤推定法により、最適な摂取量を推定する基本機能を完成させていた。そこで、国際的な枠組みの中で検討あるいは提示された内部被ばく線量評価に関する事例の中から、摂取条件やモニタリングの手法等が異なる例題を抽出し、開発した機能による核種摂取量の推定の妥当性を検証した。IDEAS ガイドラインが示す種々の代表的な条件を含むいくつかの事例に対しては、開発した機能は参照値を合理的に再現した。また、摂取回数がモニタリング回数よりも多い条件、検出下限値未満のモニタリング値が存在する条件等、ニーズ調査で指摘のあった事例に対しても、適切に摂取量を推定することを確認した。本コードの目的としている 2007 年勧告に準拠する線量評価を遂行した例題に対しても、妥当な結果が得られることを検証しており、核種摂取量推定機能の完成という MS は達成したと考える。

ユーザーの利便性や操作性を向上させる機能として、ユーザーが計算条件を設定する際に各項目を確認でき、必要に応じて変更等が容易に行える GUI を開発した。この GUI を活用することで、一連の操作により、対話形式で計算条件を選択、あるいは任意の体内動態モデル等を設定可能とする他、計算結果の表示方法を指定することが可能となった。ここで、任意の線量係数計算モデルやデータについては、GUI を通じてコードによる線量計算等で必要な所定のファイル形式で編集することが可能となった。また、計算結果として、評価対象とする線量や体内の放射能推移等を数表、グラフで確認する他、設定条件と合わせて、これらを保存する機能も実装した。さらに、新旧の勧告に準拠する線量係数の差異の影響因子の調査でコードを活用することを目的として、実装したアルゴリズムを活用し、1990 年勧告に準拠するモデルやデータを適切に用いて、線量計算を実行することを可能とさせた。最終的には、線量係数計算機能及び核種摂取量推定機能という二つの基本機能を GUI で統合し、上記の線量評価モデル・データの編集機能を付加させた。さらに、概ね数十秒以内で計算結果が得られること、Windows に加え Linux 及び macOS においても動作することを確認しており、今年度の MS としたコードβ版の完成を達成したと考える。

さらに、開発するコードの特徴の一つとして慢性被ばくへの対応があるが、放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) の粒子吸入を例題として解析を行い、全身の放射能や線量計算の時間推移、平衡状態に達するまでの時間、その際の数値を導出することに成功した。また、開発するコードの活用策となっている放射線規制における内部被ばく防護基準値の見直しに関して、ICRP に

おける線量評価モデル等の検討状況を調査した。

本事業の最終年度となる令和 2 年度は、コードβ版を国内の専門家に試用提供し、核種摂取量推定機能の操作性等を中心にコメントを聴取し、意見を踏まえて GUI の改良等を行うことで、コードを完成させる予定である。また、操作に必要となるマニュアルを併せて整備し、コードの公開方法や維持管理に係る枠組み等について検討を進める計画としている。

その後のコードの活用策として、内部被ばく防護基準値の見直しで必須となる実効線量係数の検証を想定しているが、今年度の調査を通じて、次年度中に ICRP による新しい実効線量係数が全て公開されない状況であることが判明した。そこで、本事業で進めた実効線量係数の検証結果、OIR シリーズの調査に基づいて分析した新旧の実効線量係数の差異について、その発信方法を検討する。また、今年度までの成果を学会等で周知し、意見交換することにより、モニタリング実施者が核種摂取量推定機能を習得するための講習会等の開催についても検討を進めたい。さらに、以上の検討で必要性が確認された場合、令和 3 年度にコードの活用策に関する研究テーマを本事業で提案する予定である。

## 参考文献

- [1] 放射性同位元素等の規制に関する法律（昭和三十二年法律第百六十七号）。
- [2] ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, *Ann. ICRP* **21** (1–3) (1991).
- [3] ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, *Ann. ICRP* **37** (2–4) (2007).
- [4] 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件（平成十二年科学技術庁告示第五号）。
- [5] 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：令和2年2月19日）。
- [6] 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：令和2年2月19日）。
- [7] 原子力規制庁, 「平成29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）」に係る新規研究課題及びネットワーク事業の公募要項,  
<http://www.nsr.go.jp/data/000186956.pdf>（最終アクセス日：令和2年2月19日）。
- [8] 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：令和2年2月19日）。
- [9] 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。
- [10] 日本原子力研究開発機構, 平成21年度原子力利用安全対策等委託事業「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）」委託業務成果報告書, 平成22年3月(2010)。
- [11] 日本原子力研究開発機構, 平成22年度原子力利用安全対策等委託事業「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）」委託業務成果報告書, 平成23年3月(2011)。
- [12] 日本原子力研究開発機構, 平成23年度原子力利用安全対策等委託事業「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24年3月(2012)。
- [13] 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)。
- [14] 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)。
- [15] 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)。

- [16] 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, JAERI-Data/Code 2005-006 (2005).
- [17] 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, JAEA-Data/Code 2012-027 (2013).
- [18] O. Kurihara, S. Hato, K. Kanai, C. Takada, K. Takasaki, K. Ito, 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).
- [19] ICRP, The ICRP Computational Framework for Internal Dose Assessment for Reference Adults: Specific Absorbed Fractions. ICRP Publication 133, *Ann. ICRP* **45** (2) (2016).
- [20] ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134, *Ann. ICRP* **45** (3/4) (2016).
- [21] 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 (2018).
- [22] ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137, *Ann. ICRP* **46** (3/4) (2017).
- [23] 日本原子力研究開発機構, 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 (2019).
- [24] 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).
- [25] IAEA, Methods for Assessing Occupational Radiation Doses Due to Intakes of Radionuclides, IAEA Safety Report Series No. 37 (2004).
- [26] 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).
- [27] C.M. Castellani, A. Andradi, A. Giussani, T. Pazmandi, G. Roberts, and G. Etherington, InterComparison on Internal DOSE Assessment - ICIDOSE 2017 Analysing the intercomparison results, European Radiation Dosimetry Group e. V, EURADOS Report 2019-01 (2019).
- [28] ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130, *Ann. ICRP* **44** (2) (2015).
- [29] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 Part 1, *Ann. ICRP* **2** (3–4) (1979).
- [30] ICRP, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66, *Ann. ICRP* **24** (1–3) (1994).
- [31] 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).
- [32] 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).
- [33] ICRP, Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers. ICRP Publication 78, *Ann. ICRP* **27** (3–



- 4) (1997).
- [34] 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).
- [35] EPA, Practical Methods for Data Analysis, EPA QA/G-9 QA00 Update, EPA/600/R-96/084 (2000).
- [36] ICRP, Report on the Task Group on Reference Man. ICRP Publication 23, Pergamon Press, Oxford (1975).
- [37] M. Cristy and K.F. Eckerman, Specific Absorbed Fractions of Energy at Various Ages from Internal Photon Sources, ORNL/TM-8381/V1-7 (1987).
- [38] ICRP, Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. ICRP Publication 89, *Ann. ICRP* **32** (3–4) (2002).
- [39] ICRP, Radionuclide Transformations - Energy and Intensity of Emissions. ICRP Publication 38, *Ann. ICRP* **11–13** (1983).
- [40] ICRP, Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107, *Ann. ICRP* **38** (3) (2008).
- [41] ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 1, ICRP Publication 56, *Ann. ICRP* **20** (2) (1990).
- [42] 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).
- [43] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 Part 2, *Ann. ICRP* **4** (3–4) (1980).
- [44] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 Part 3, *Ann. ICRP* **6** (2–3) (1981).
- [45] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers: An Addendum. ICRP Publication 30 Part 4, *Ann. ICRP* **19** (4) (1988).
- [46] ICRP, Human Alimentary Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 100, *Ann. ICRP* **36** (1–2) (2006).
- [47] ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141, *Ann. ICRP* **48** (2/3) (2019).
- [48] M. Cristy and K.F. Eckerman, SEECAL: Program to Calculate Age-Dependent Specific Effective Energies, ORNL/TM-12351 (1993).
- [49] 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).
- [50] 真辺健太郎, 遠藤章, 放射性核種データの改訂が作業者に対する内部被ばく線量係数に及ぼす影響, *Radioisotopes* **60** (9) 375–384 (2011).
- [51] K.F. Eckerman, R.W. Leggett, M. Cristy, C.B. Nelson, J.C. Ryman, A.L. Sjoeren, and R.C. Ward, User's Guide to the DCAL System, ORNL/TM-2001/190 (2006).
- [52] 真辺健太郎, 遠藤章, ICRP 2007 年勧告の組織加重係数等に基づく内部被ばく線量係数、濃度限

度等の試算（受託研究）, JAEA-Data/Code 2010-020 (2010).

[53] ICRP, Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110, *Ann. ICRP* **39** (2) (2009).

[54] ICRP, Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 68, *Ann. ICRP* **24** (4) (1994).

[55] Netlib Repository at UTK and ORNL, slatec/pship,

<http://www.netlib.org/slatec/pchip/>（最終アクセス日：令和2年3月10日）.

[56] 真辺健太郎, 佐藤薫, 高橋史明, 放射性セシウムの慢性摂取による内部被ばく線量評価に対する体内動態モデル更新の影響, 第2回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会, 1B1-4, 宮城, 2019年12月.

[57] ICRP, ICRP Committee 2 Meeting, November 18–24, 2019, Adelaide, Australia,

<https://www.icrp.org/admin/Summary%20of%20November%202019%20C2%20Meeting%20Adelaide-202017152212.pdf>（最終アクセス日：令和2年3月2日）.

## 付録 1 1990 年勧告対応モデル及びデータを用いた実効線量係数の計算結果

開発中のコードによる 1990 年勧告に準拠した線量評価モデル・データを用いた実効線量係数と、1990 年勧告対応の内部被ばく線量コード DCAL による評価値との比較について、4.4.2 項で記した。本付録では、実効線量を比較した全ての摂取条件について、両コードの評価値を付表 1-1 に示す。比較においては、2 桁目の数値の差が 2 以上のものを不一致とした。実効線量係数を計算した全 761 種類の摂取条件のうち、不一致は 37 種類であった。その原因は、以下の点に関する両コード間の差違であることを確認した。

- a) 骨領域の電子 SAF の取扱い
- b) 残りの組織の等価線量の計算方法（分割ルール）
- c) 吸気道領域の電子 SAF の取扱い
- d) 個別動態モデルと共通動態モデルの使い分け
- e) 子孫核種としてのラドンの組織系動態モデル
- f) 個別動態モデルを適用するときの Other 線源の S 係数計算方法

付表 1-1 では、実効線量係数の比較で不一致となった摂取条件について、その原因を示す記号（a～f）を実効線量係数の数値の右肩に付した。

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (1/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>3</sup> H	経口摂取	トリチウム水	1.9E-11	1.9E-11
		有機結合トリチウム	4.2E-11	4.2E-11
	吸入摂取	トリチウムガス	1.8E-15	1.8E-15
		トリチウム水	1.8E-11	1.8E-11
		有機結合トリチウム	4.1E-11	4.1E-11
<sup>11</sup> C	経口摂取	標識有機化合物	2.4E-11	2.4E-11
	吸入摂取	蒸気	3.2E-12	3.2E-12
		二酸化物	2.2E-12	2.2E-12
		一酸化物	1.2E-12	1.2E-12
<sup>14</sup> C	経口摂取	標識有機化合物	5.8E-10	5.8E-10
	吸入摂取	蒸気	5.8E-10	5.8E-10
		二酸化物	6.2E-12	6.2E-12
		一酸化物	8.0E-13	8.0E-13
<sup>32</sup> P	経口摂取	全ての化合物	2.4E-09	2.4E-09
	吸入摂取	F	1.1E-09	1.1E-09
		M	2.9E-09	2.9E-09
<sup>33</sup> P	経口摂取	全ての化合物	2.5E-10	2.4E-10
	吸入摂取	F	1.4E-10	1.4E-10
		M	1.2E-09	1.2E-09
<sup>35</sup> S	経口摂取	無機化合物	1.4E-10	1.4E-10
		食品中の硫黄	6.6E-10	6.6E-10
	吸入摂取	F	8.0E-11	8.0E-11
		M	1.1E-09	1.1E-09
		蒸気	6.0E-10	6.0E-10
<sup>41</sup> Ca	経口摂取	全ての化合物	2.3E-10	2.3E-10
	吸入摂取	M	1.5E-10	1.5E-10
<sup>45</sup> Ca	経口摂取	全ての化合物	7.1E-10	7.1E-10
	吸入摂取	M	2.3E-09	2.3E-09
<sup>47</sup> Ca	経口摂取	全ての化合物	1.6E-09	1.6E-09
	吸入摂取	M	2.1E-09	2.1E-09
<sup>52</sup> Fe	経口摂取	全ての化合物	1.4E-09	1.4E-09
	吸入摂取	F	6.9E-10	6.8E-10
		M	9.5E-10	9.5E-10
<sup>55</sup> Fe	経口摂取	全ての化合物	3.3E-10	3.3E-10
	吸入摂取	F	9.4E-10	9.2E-10 <sup>a</sup>
		M	3.4E-10	3.3E-10
<sup>59</sup> Fe	経口摂取	全ての化合物	1.8E-09	1.8E-09
	吸入摂取	F	3.0E-09	3.0E-09
		M	3.2E-09	3.2E-09

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (2/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>60</sup> Fe	経口摂取	全ての化合物	1.2E-07	1.2E-07
	吸入摂取	F	3.5E-07	3.5E-07
<sup>55</sup> Co	経口摂取	M	1.2E-07	1.2E-07
		不特定の化合物	1.0E-09	1.0E-09
	吸入摂取	酸化物、水酸化物及び無機化合物	1.1E-09	1.1E-09
		M	7.9E-10	7.9E-10
<sup>56</sup> Co	経口摂取	S	8.3E-10	8.3E-10
		不特定の化合物	2.5E-09	2.5E-09
	吸入摂取	酸化物、水酸化物及び無機化合物	2.4E-09	2.3E-09
		M	4.0E-09	4.0E-09
<sup>57</sup> Co	経口摂取	S	4.9E-09	4.9E-09
		不特定の化合物	2.1E-10	2.1E-10
	吸入摂取	酸化物、水酸化物及び無機化合物	1.9E-10	1.9E-10
		M	3.9E-10	3.9E-10
<sup>58</sup> Co	経口摂取	S	6.0E-10	6.0E-10
		不特定の化合物	7.5E-10	7.5E-10
	吸入摂取	酸化物、水酸化物及び無機化合物	7.0E-10	7.0E-10
		M	1.4E-09	1.4E-09
<sup>58m</sup> Co	経口摂取	S	1.7E-09	1.7E-09
		不特定の化合物	2.4E-11	2.4E-11
	吸入摂取	酸化物、水酸化物及び無機化合物	2.4E-11	2.4E-11
		M	1.4E-11	1.5E-11
<sup>60</sup> Co	経口摂取	S	1.6E-11	1.7E-11
		不特定の化合物	3.4E-09	3.4E-09
	吸入摂取	酸化物、水酸化物及び無機化合物	2.5E-09	2.5E-09
		M	7.1E-09	7.2E-09
<sup>60m</sup> Co	経口摂取	S	1.7E-08	1.7E-08
		不特定の化合物	1.7E-12	1.7E-12
	吸入摂取	酸化物、水酸化物及び無機化合物	1.7E-12	1.7E-12
		M	1.1E-12	1.1E-12
<sup>61</sup> Co	経口摂取	S	1.2E-12	1.2E-12
		不特定の化合物	7.5E-11	7.5E-11
	吸入摂取	酸化物、水酸化物及び無機化合物	7.5E-11	7.5E-11
		M	7.1E-11	7.1E-11
<sup>62m</sup> Co	経口摂取	S	7.5E-11	7.6E-11
		不特定の化合物	4.9E-11	4.9E-11
	吸入摂取	酸化物、水酸化物及び無機化合物	4.9E-11	4.9E-11
		M	3.6E-11	3.6E-11
<sup>62</sup> Zn	経口摂取	S	3.7E-11	3.7E-11
	吸入摂取	全ての化合物	9.4E-10	9.3E-10
			6.6E-10	6.6E-10

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (3/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>63</sup> Zn	経口摂取	全ての化合物	8.0E-11	8.0E-11
	吸入摂取	S	6.1E-11	6.1E-11
<sup>65</sup> Zn	経口摂取	全ての化合物	3.9E-09	3.9E-09
	吸入摂取	S	2.8E-09	2.8E-09
<sup>69</sup> Zn	経口摂取	全ての化合物	3.1E-11	3.1E-11
	吸入摂取	S	4.3E-11	4.3E-11
<sup>69m</sup> Zn	経口摂取	全ての化合物	3.3E-10	3.3E-10
	吸入摂取	S	3.4E-10	3.4E-10
<sup>71m</sup> Zn	経口摂取	全ての化合物	2.4E-10	2.4E-10
	吸入摂取	S	2.4E-10	2.4E-10
<sup>72</sup> Zn	経口摂取	全ての化合物	1.4E-09	1.4E-09
	吸入摂取	S	1.5E-09	1.5E-09
<sup>80</sup> Sr	経口摂取	不特定の化合物	3.8E-10	3.8E-10
		チタン酸ストロンチウム	3.9E-10	3.9E-10
	吸入摂取	F	1.5E-10	1.5E-10
<sup>81</sup> Sr	経口摂取	不特定の化合物	6.7E-11	6.7E-11
		チタン酸ストロンチウム	6.8E-11	6.8E-11
	吸入摂取	F	3.5E-11	3.5E-11
<sup>82</sup> Sr	経口摂取	不特定の化合物	6.2E-09	6.2E-09
		チタン酸ストロンチウム	6.1E-09	6.0E-09
	吸入摂取	F	3.3E-09	3.3E-09
<sup>83</sup> Sr	経口摂取	不特定の化合物	5.1E-10	5.1E-10
		チタン酸ストロンチウム	6.1E-10	6.1E-10
	吸入摂取	F	3.2E-10	3.2E-10
<sup>85</sup> Sr	経口摂取	不特定の化合物	5.5E-10	5.5E-10
		チタン酸ストロンチウム	3.2E-10	3.2E-10
	吸入摂取	F	5.5E-10	5.5E-10
<sup>85m</sup> Sr	経口摂取	不特定の化合物	6.0E-12	6.0E-12
		チタン酸ストロンチウム	6.1E-12	6.1E-12
	吸入摂取	F	5.7E-12	5.7E-12
<sup>87m</sup> Sr	経口摂取	不特定の化合物	3.0E-11	3.0E-11
		チタン酸ストロンチウム	3.3E-11	3.3E-11
	吸入摂取	F	2.3E-11	2.3E-11
		S	3.6E-11	3.6E-11

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (4/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>89</sup> Sr	経口摂取	不特定の化合物	2.6E-09	2.6E-09
		チタン酸ストロンチウム	2.3E-09	2.3E-09
	吸入摂取	F	1.4E-09	1.4E-09
		S	5.6E-09	5.6E-09
<sup>90</sup> Sr	経口摂取	不特定の化合物	2.8E-08	2.8E-08
		チタン酸ストロンチウム	2.7E-09	2.7E-09
	吸入摂取	F	3.0E-08	3.0E-08
		S	7.7E-08	7.7E-08
<sup>91</sup> Sr	経口摂取	不特定の化合物	6.6E-10	6.6E-10
		チタン酸ストロンチウム	7.8E-10	7.8E-10
	吸入摂取	F	2.9E-10	2.9E-10
		S	5.8E-10	5.8E-10
<sup>92</sup> Sr	経口摂取	不特定の化合物	4.2E-10	4.2E-10
		チタン酸ストロンチウム	4.9E-10	4.9E-10
	吸入摂取	F	1.8E-10	1.8E-10
		S	3.4E-10	3.4E-10
<sup>86</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	9.6E-10	9.6E-10
	吸入摂取	M	8.0E-10	8.0E-10
		S	8.2E-10	8.2E-10
<sup>86m</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	5.6E-11	5.6E-11
	吸入摂取	M	4.8E-11	4.8E-11
		S	4.9E-11	4.9E-11
<sup>87</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	5.5E-10	5.5E-10
	吸入摂取	M	5.1E-10	5.1E-10
		S	5.3E-10	5.3E-10
<sup>88</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	1.3E-09	1.3E-09
	吸入摂取	M	3.3E-09	3.3E-09
		S	3.1E-09	3.1E-09
<sup>90</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	2.7E-09	2.7E-09
	吸入摂取	M	1.6E-09	1.6E-09
		S	1.7E-09	1.7E-09
<sup>90m</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	1.7E-10	1.7E-10
	吸入摂取	M	1.3E-10	1.3E-10
		S	1.4E-10	1.4E-10
<sup>91</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	2.4E-09	2.4E-09
	吸入摂取	M	5.2E-09	5.2E-09
		S	6.1E-09	6.1E-09
<sup>91m</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	1.2E-11	1.2E-11
	吸入摂取	M	1.5E-11	1.5E-11
		S	1.5E-11	1.5E-11

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (5/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>92</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	5.0E-10	5.0E-10
	吸入摂取	M	2.7E-10	2.7E-10
		S	2.8E-10	2.8E-10
<sup>93</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	1.2E-09	1.2E-09
	吸入摂取	M	5.7E-10	5.7E-10
		S	6.0E-10	6.0E-10
<sup>94</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	8.4E-11	8.5E-11
	吸入摂取	M	4.3E-11	4.3E-11
		S	4.5E-11	4.5E-11
<sup>95</sup> Y	経口摂取	全ての化合物	4.3E-11	4.3E-11
	吸入摂取	M	2.4E-11	2.4E-11
		S	2.5E-11	2.5E-11
<sup>86</sup> Zr	経口摂取	全ての化合物	8.6E-10	8.6E-10
	吸入摂取	F	5.2E-10	5.2E-10
		M	6.8E-10	6.8E-10
		S	7.0E-10	7.0E-10
<sup>88</sup> Zr	経口摂取	全ての化合物	3.3E-10	3.3E-10
	吸入摂取	F	4.1E-09	4.1E-09
		M	1.7E-09	1.7E-09
		S	1.8E-09	1.8E-09
<sup>89</sup> Zr	経口摂取	全ての化合物	7.9E-10	7.9E-10
	吸入摂取	F	5.3E-10	5.3E-10
		M	7.3E-10	7.3E-10
		S	7.5E-10	7.5E-10
<sup>93</sup> Zr	経口摂取	全ての化合物	2.8E-10	2.8E-10
	吸入摂取	F	2.8E-08	2.8E-08
		M	6.4E-09	6.4E-09
		S	1.6E-09	1.6E-09
<sup>95</sup> Zr	経口摂取	全ての化合物	8.9E-10	8.9E-10
	吸入摂取	F	3.1E-09	2.9E-09 <sup>a</sup>
		M	3.6E-09	3.6E-09
<sup>97</sup> Zr	経口摂取	S	4.2E-09	4.3E-09
		全ての化合物	2.1E-09	2.1E-09
		F	7.5E-10	7.5E-10
		M	1.3E-09	1.3E-09
<sup>88</sup> Nb	経口摂取	S	1.4E-09	1.4E-09
		全ての化合物	7.2E-11	7.2E-11
		F	5.1E-11	5.1E-11
		M	5.1E-11	5.1E-11
<sup>88</sup> Nb	吸入摂取	S	5.3E-11	5.3E-11
		全ての化合物	7.2E-11	7.2E-11
		F	5.1E-11	5.1E-11



付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (6/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>89</sup> Nb	経口摂取	全ての化合物	2.7E-10	2.9E-10 <sup>b</sup>
		吸入摂取	M	1.8E-10
		S	1.9E-10	1.9E-10
<sup>89m</sup> Nb	経口摂取	全ての化合物	1.4E-10	1.4E-10
		吸入摂取	M	1.1E-10
		S	1.2E-10	1.2E-10
<sup>90</sup> Nb	経口摂取	全ての化合物	1.3E-09	1.2E-09
		吸入摂取	M	1.0E-09
		S	1.1E-09	1.1E-09
<sup>93m</sup> Nb	経口摂取	全ての化合物	1.3E-10	1.3E-10
		吸入摂取	M	3.1E-10
		S	9.3E-10	9.3E-10
<sup>94</sup> Nb	経口摂取	全ての化合物	1.7E-09	1.7E-09
		吸入摂取	M	7.2E-09
		S	2.5E-08	2.5E-08
<sup>95</sup> Nb	経口摂取	全ての化合物	5.9E-10	5.9E-10
		吸入摂取	M	1.3E-09
		S	1.3E-09	1.3E-09
<sup>95m</sup> Nb	経口摂取	全ての化合物	6.1E-10	6.1E-10
		吸入摂取	M	7.9E-10
		S	8.6E-10	9.0E-10 <sup>c</sup>
<sup>96</sup> Nb	経口摂取	全ての化合物	1.1E-09	1.1E-09
		吸入摂取	M	9.8E-10
		S	1.0E-09	1.0E-09
<sup>97</sup> Nb	経口摂取	全ての化合物	6.9E-11	6.9E-11
		吸入摂取	M	6.9E-11
		S	7.3E-11	7.3E-11
<sup>98m</sup> Nb	経口摂取	全ての化合物	1.1E-10	1.1E-10
		吸入摂取	M	9.9E-11
		S	1.0E-10	1.0E-10
<sup>90</sup> Mo	経口摂取	不特定の化合物	3.1E-10	3.1E-10
		硫化モリブデン	6.1E-10	6.1E-10
	吸入摂取	F	2.9E-10	2.9E-10
	M	5.5E-10	5.6E-10	
<sup>93</sup> Mo	経口摂取	不特定の化合物	2.3E-09	2.3E-09
		硫化モリブデン	1.8E-10	1.8E-10
	吸入摂取	F	1.3E-09	1.3E-09
	M	1.1E-09	1.1E-09	

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (7/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>93m</sup> Mo	経口摂取	不特定の化合物	1.6E-10	1.7E-10
		硫化モリブデン	2.9E-10	2.9E-10
	吸入摂取	F	2.0E-10	2.1E-10
		M	3.1E-10	3.2E-10
<sup>99</sup> Mo	経口摂取	不特定の化合物	7.4E-10	7.3E-10
		硫化モリブデン	1.2E-09	1.2E-09
	吸入摂取	F	3.6E-10	3.6E-10
		M	1.1E-09	1.1E-09
<sup>101</sup> Mo	経口摂取	不特定の化合物	4.1E-11	4.1E-11
		硫化モリブデン	4.2E-11	4.2E-11
	吸入摂取	F	2.7E-11	2.7E-11
		M	4.5E-11	4.5E-11
<sup>93</sup> Tc	経口摂取	全ての化合物	6.6E-11	6.6E-11
	吸入摂取	F	7.6E-11	7.6E-11
		M	8.3E-11	8.3E-11
	<sup>93m</sup> Tc	経口摂取	全ての化合物	3.1E-11
吸入摂取		F	3.2E-11	3.2E-11
		M	3.7E-11	3.7E-11
<sup>94</sup> Tc		経口摂取	全ての化合物	1.8E-10
	吸入摂取	F	2.1E-10	2.1E-10
		M	2.2E-10	2.3E-10
	<sup>94m</sup> Tc	経口摂取	全ての化合物	1.1E-10
吸入摂取		F	7.0E-11	7.1E-11
		M	8.2E-11	8.2E-11
<sup>95</sup> Tc		経口摂取	全ての化合物	1.7E-10
	吸入摂取	F	1.8E-10	1.8E-10
		M	1.8E-10	1.8E-10
	<sup>95m</sup> Tc	経口摂取	全ての化合物	6.4E-10
吸入摂取		F	4.9E-10	4.9E-10
		M	8.8E-10	8.8E-10
<sup>96</sup> Tc		経口摂取	全ての化合物	1.1E-09
	吸入摂取	F	9.9E-10	1.0E-09
		M	1.1E-09	1.1E-09
	<sup>96m</sup> Tc	経口摂取	全ての化合物	1.3E-11
吸入摂取		F	1.1E-11	1.1E-11
		M	1.1E-11	1.1E-11
<sup>97</sup> Tc		経口摂取	全ての化合物	8.4E-11
	吸入摂取	F	7.3E-11	7.2E-11
		M	1.7E-10	1.7E-10

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (8/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>97m</sup> Tc	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	6.6E-10	6.6E-10
		F	4.0E-10	4.0E-10
		M	2.7E-09	2.7E-09
<sup>98</sup> Tc	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	2.2E-09	2.2E-09
		F	1.4E-09	1.4E-09
		M	5.7E-09	5.7E-09
<sup>99</sup> Tc	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	7.8E-10	7.8E-10
		F	4.0E-10	4.0E-10
		M	3.2E-09	3.2E-09
<sup>99m</sup> Tc	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	2.2E-11	2.2E-11
		F	2.0E-11	2.0E-11
		M	2.9E-11	2.8E-11
<sup>101</sup> Tc	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.9E-11	1.9E-11
		F	1.5E-11	1.5E-11
		M	2.1E-11	2.1E-11
<sup>104</sup> Tc	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	8.3E-11	8.3E-11
		F	4.0E-11	4.0E-11
		M	5.0E-11	5.0E-11
<sup>94</sup> Ru	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	9.5E-11	9.5E-11
		F	5.1E-11	5.1E-11
		M	7.3E-11	7.3E-11
<sup>97</sup> Ru	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.5E-10	1.5E-10
		F	1.2E-10	1.2E-10
		M	1.6E-10	1.6E-10
<sup>103</sup> Ru	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.6E-10	1.6E-10
		F	7.1E-10	7.1E-10
		M	6.8E-10	6.8E-10
<sup>105</sup> Ru	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.8E-09	1.8E-09
		F	2.1E-09	2.1E-09
		M	2.8E-10	2.8E-10
<sup>106</sup> Ru	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	2.8E-10	2.8E-10
		F	7.0E-09	7.0E-09
		M	9.9E-09	9.9E-09
		S	1.7E-08	1.7E-08
		S	3.5E-08	3.5E-08

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (9/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>115</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	2.4E-11	2.4E-11
		F	1.6E-11	1.6E-11
		M	2.3E-11	2.3E-11
<sup>116</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	3.0E-11	3.0E-11
		F	1.9E-11	1.9E-11
		M	2.6E-11	2.6E-11
<sup>116m</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	6.5E-11	6.5E-11
		F	6.3E-11	6.3E-11
		M	8.3E-11	8.3E-11
<sup>117</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.8E-11	1.8E-11
		F	1.7E-11	1.7E-11
		M	2.7E-11	2.7E-11
<sup>118m</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	2.1E-10	2.1E-10
		F	1.9E-10	1.9E-10
		M	2.3E-10	2.3E-10
<sup>119</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	8.2E-11	8.3E-11
		F	4.4E-11	4.5E-11
		M	5.9E-11	6.0E-11
<sup>120</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.4E-11	1.4E-11
		F	8.5E-12	8.5E-12
		M	1.2E-11	1.2E-11
<sup>120m</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.3E-09	1.3E-09
		F	9.8E-10	9.8E-10
		M	1.3E-09	1.3E-09
<sup>122</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.7E-09	1.7E-09
		F	6.4E-10	6.4E-10
		M	1.2E-09	1.2E-09
<sup>124</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	2.6E-09	2.5E-09
		F	2.0E-09	1.9E-09
		M	4.7E-09	4.7E-09
<sup>124m</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	8.5E-13	8.5E-13
		F	1.0E-12	1.0E-12
		M	1.1E-12	1.1E-12
<sup>125</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.1E-09	1.1E-09
		F	1.8E-09	1.7E-09
		M	3.4E-09	3.4E-09
<sup>126</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	2.7E-09	2.7E-09
		F	1.8E-09	1.8E-09
		M	3.4E-09	3.4E-09

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (10/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>126m</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	3.8E-11	3.8E-11
		F	2.3E-11	2.4E-11
		M	3.4E-11	3.4E-11
<sup>127</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.7E-09	1.7E-09
		F	7.5E-10	7.6E-10
		M	1.7E-09	1.8E-09
<sup>128</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	8.1E-10	8.2E-10
		F	4.8E-10	4.8E-10
		M	7.0E-10	7.0E-10
<sup>128m</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	3.4E-11	3.4E-11
		F	1.9E-11	1.9E-11
		M	2.6E-11	2.6E-11
<sup>129</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	4.3E-10	4.3E-10
		F	2.0E-10	2.0E-10
		M	3.6E-10	3.6E-10
<sup>130</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	9.4E-11	9.4E-11
		F	6.4E-11	6.4E-11
		M	9.2E-11	9.2E-11
<sup>131</sup> Sb	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	2.0E-10	7.3E-11 <sup>d</sup>
		F	7.8E-11	4.3E-11 <sup>d</sup>
		M	1.2E-10	7.1E-11 <sup>d</sup>
<sup>116</sup> Te	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	2.0E-10	2.0E-10
		F	1.3E-10	1.3E-10
		M	1.9E-10	1.9E-10
<sup>121</sup> Te	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	4.6E-10	4.6E-10
		F	4.1E-10	4.1E-10
		M	4.6E-10	4.6E-10
<sup>121m</sup> Te	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	2.4E-09	2.4E-09
		F	2.4E-09	2.4E-09
		M	3.7E-09	3.7E-09
<sup>123</sup> Te	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.4E-09	1.4E-09
		F	1.5E-09	1.5E-09
		M	8.6E-10	8.6E-10
<sup>123m</sup> Te	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	1.4E-09	1.4E-09
		F	1.2E-09	1.2E-09
		M	3.4E-09	3.4E-09
<sup>125m</sup> Te	経口摂取 吸入摂取	全ての化合物	8.7E-10	8.7E-10
		F	6.7E-10	6.7E-10
		M	2.9E-09	2.9E-09

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (11/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>127</sup> Te	経口摂取	全ての化合物	1.7E-10	1.7E-10
	吸入摂取	F	7.3E-11	7.3E-11
		M	1.8E-10	1.8E-10
<sup>127m</sup> Te	経口摂取	全ての化合物	2.4E-09	2.5E-09
	吸入摂取	F	2.0E-09	2.2E-09 <sup>a</sup>
		M	6.2E-09	6.2E-09
<sup>129</sup> Te	経口摂取	全ての化合物	6.3E-11	6.3E-11
	吸入摂取	F	2.9E-11	2.9E-11
		M	5.7E-11	5.7E-11
<sup>129m</sup> Te	経口摂取	全ての化合物	3.0E-09	3.0E-09
	吸入摂取	F	1.8E-09	1.8E-09
		M	5.4E-09	5.4E-09
<sup>131</sup> Te	経口摂取	全ての化合物	8.7E-11	8.7E-11
	吸入摂取	F	4.6E-11	4.6E-11
		M	6.1E-11	6.0E-11
<sup>131m</sup> Te	経口摂取	全ての化合物	1.9E-09	1.9E-09
	吸入摂取	F	1.2E-09	1.2E-09
		M	1.6E-09	1.6E-09
<sup>132</sup> Te	経口摂取	全ての化合物	3.8E-09	3.8E-09
	吸入摂取	F	2.4E-09	2.4E-09
		M	3.1E-09	3.1E-09
<sup>133</sup> Te	経口摂取	全ての化合物	1.5E-10	3.0E-11 <sup>d</sup>
	吸入摂取	F	6.7E-11	2.0E-11 <sup>d</sup>
		M	6.3E-11	2.9E-11 <sup>d</sup>
<sup>133m</sup> Te	経口摂取	全ての化合物	6.2E-10	9.4E-11 <sup>d</sup>
	吸入摂取	F	2.9E-10	7.0E-11 <sup>d</sup>
		M	2.8E-10	1.1E-10 <sup>d</sup>
<sup>134</sup> Te	経口摂取	全ての化合物	9.8E-11	9.8E-11
	吸入摂取	F	8.0E-11	8.0E-11
		M	1.1E-10	1.1E-10
<sup>120</sup> I	経口摂取	全ての化合物	2.9E-10	2.9E-10
	吸入摂取	蒸気	2.5E-10	2.5E-10
		F	1.7E-10	1.7E-10
<sup>120m</sup> I	経口摂取	全ての化合物	1.6E-10	1.6E-10
	吸入摂取	蒸気	1.3E-10	1.3E-10
		F	1.0E-10	1.0E-10
<sup>121</sup> I	経口摂取	全ての化合物	7.5E-11	7.5E-11
	吸入摂取	蒸気	7.9E-11	7.9E-11
		F	3.6E-11	5.0E-11 <sup>b</sup>

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (12/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>123</sup> I	経口摂取	全ての化合物	2.2E-10	2.2E-10
	吸入摂取	蒸気	2.1E-10	2.1E-10
		F	1.1E-10	1.1E-10
<sup>124</sup> I	経口摂取	全ての化合物	1.3E-08	1.3E-08
	吸入摂取	蒸気	1.2E-08	1.2E-08
		F	6.3E-09	6.3E-09
<sup>125</sup> I	経口摂取	全ての化合物	1.5E-08	1.5E-08
	吸入摂取	蒸気	1.4E-08	1.4E-08
		F	7.3E-09	7.3E-09
<sup>126</sup> I	経口摂取	全ての化合物	2.9E-08	2.9E-08
	吸入摂取	蒸気	2.7E-08	2.7E-08
		F	1.4E-08	1.4E-08
<sup>128</sup> I	経口摂取	全ての化合物	4.6E-11	4.6E-11
	吸入摂取	蒸気	6.4E-11	6.4E-11
		F	2.2E-11	2.2E-11
<sup>129</sup> I	経口摂取	全ての化合物	1.1E-07	1.1E-07
	吸入摂取	蒸気	9.8E-08	9.8E-08
		F	5.2E-08	5.2E-08
<sup>130</sup> I	経口摂取	全ての化合物	1.9E-09	1.9E-09
	吸入摂取	蒸気	1.8E-09	1.8E-09
		F	9.2E-10	9.2E-10
<sup>131</sup> I	経口摂取	全ての化合物	2.2E-08	2.2E-08
	吸入摂取	蒸気	2.0E-08	2.0E-08
		F	1.1E-08	1.1E-08
<sup>132</sup> I	経口摂取	全ての化合物	2.8E-10	2.8E-10
	吸入摂取	蒸気	3.1E-10	3.1E-10
		F	2.0E-10	2.0E-10
<sup>132m</sup> I	経口摂取	全ての化合物	7.3E-11	2.2E-10 <sup>d</sup>
	吸入摂取	蒸気	1.3E-10	2.7E-10 <sup>d</sup>
		F	7.6E-11	1.1E-10 <sup>d</sup>
<sup>133</sup> I	経口摂取	全ての化合物	4.3E-09	4.3E-09
	吸入摂取	蒸気	4.0E-09	4.0E-09
		F	2.1E-09	2.1E-09
<sup>134</sup> I	経口摂取	全ての化合物	1.0E-10	1.0E-10
	吸入摂取	蒸気	1.4E-10	1.4E-10
		F	7.7E-11	7.8E-11
<sup>135</sup> I	経口摂取	全ての化合物	8.9E-10	8.9E-10
	吸入摂取	蒸気	8.8E-10	8.8E-10
		F	4.4E-10	4.4E-10
<sup>125</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	3.5E-11	3.5E-11
	吸入摂取	F	2.1E-11	2.1E-11

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (13/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>127</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	2.5E-11	2.5E-11
	吸入摂取	F	4.1E-11	4.1E-11
<sup>129</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	6.1E-11	6.0E-11
	吸入摂取	F	8.0E-11	8.0E-11
<sup>130</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	2.7E-11	2.7E-11
	吸入摂取	F	1.4E-11	1.4E-11
<sup>131</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	5.8E-11	5.8E-11
	吸入摂取	F	4.5E-11	4.6E-11
<sup>132</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	5.2E-10	5.2E-10
	吸入摂取	F	3.9E-10	3.9E-10
<sup>134</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	1.9E-08	1.9E-08
	吸入摂取	F	9.7E-09	9.7E-09
<sup>134m</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	2.0E-11	2.0E-11
	吸入摂取	F	2.7E-11	2.6E-11
<sup>135</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	2.7E-09	2.7E-09
	吸入摂取	F	1.3E-09	1.3E-09
<sup>135m</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	1.9E-11	1.9E-11
	吸入摂取	F	2.4E-11	2.4E-11
<sup>136</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	3.0E-09	3.1E-09
	吸入摂取	F	1.9E-09	1.9E-09
<sup>137</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	1.4E-08	1.4E-08
	吸入摂取	F	6.8E-09	6.7E-09
<sup>138</sup> Cs	経口摂取	全ての化合物	9.7E-11	9.7E-11
	吸入摂取	F	4.8E-11	4.8E-11
<sup>126</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	2.5E-10	2.6E-10
	吸入摂取	F	1.3E-10	1.3E-10
<sup>128</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	2.8E-09	2.8E-09
	吸入摂取	F	1.2E-09	1.2E-09
<sup>131</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	4.6E-10	4.6E-10
	吸入摂取	F	3.6E-10	3.6E-10
<sup>131m</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	5.0E-12	5.0E-12
	吸入摂取	F	6.4E-12	6.4E-12
<sup>133</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	1.0E-09	1.0E-09
	吸入摂取	F	1.8E-09	1.8E-09
<sup>133m</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	5.7E-10	5.7E-10
	吸入摂取	F	2.9E-10	2.9E-10
<sup>135m</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	4.5E-10	4.5E-10
	吸入摂取	F	2.3E-10	2.4E-10
<sup>137m</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	1.0E-12	1.0E-12
	吸入摂取	F	1.0E-12	1.0E-12



付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (14/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>139</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	1.2E-10	1.2E-10
	吸入摂取	F	5.5E-11	5.5E-11
<sup>140</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	2.5E-09	2.5E-09
	吸入摂取	F	1.6E-09	1.6E-09
<sup>141</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	7.4E-11	7.4E-11
	吸入摂取	F	3.7E-11	3.7E-11
<sup>142</sup> Ba	経口摂取	全ての化合物	3.4E-11	3.4E-11
	吸入摂取	F	2.6E-11	2.6E-11
<sup>182</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	5.2E-11	5.2E-11
		F	2.8E-11	2.8E-11
		M	4.1E-11	4.1E-11
		S	4.3E-11	4.2E-11
<sup>184</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	1.9E-10	1.9E-10
		F	1.3E-10	1.3E-10
		M	2.0E-10	2.0E-10
		S	2.0E-10	2.0E-10
<sup>185</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	3.3E-10	3.3E-10
		F	2.0E-10	2.0E-10
		M	3.1E-10	3.1E-10
		S	3.3E-10	3.3E-10
<sup>186</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	5.6E-10	5.6E-10
		F	3.6E-10	3.6E-10
		M	5.3E-10	5.3E-10
		S	5.5E-10	5.5E-10
<sup>186m</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	7.3E-11	7.3E-11
		F	5.8E-11	5.7E-11
		M	8.1E-11	8.1E-11
		S	8.4E-11	8.4E-11
<sup>187</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	1.1E-10	1.1E-10
		F	6.6E-11	6.7E-11
		M	1.1E-10	1.1E-10
		S	1.1E-10	1.1E-10
<sup>188</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	7.6E-10	7.6E-10
		F	5.6E-10	5.6E-10
		M	7.2E-10	7.2E-10
		S	7.4E-10	7.4E-10
<sup>189</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	2.4E-10	2.4E-10
		F	1.6E-10	1.6E-10
		M	3.9E-10	3.9E-10
		S	4.4E-10	4.4E-10

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (15/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>190</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	1.1E-09	1.1E-09
		吸入摂取	1.1E-09	1.1E-09
	吸入摂取	F	1.1E-09	1.1E-09
		M	1.5E-09	1.5E-09
<sup>190m</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	7.0E-12	7.0E-12
		吸入摂取	4.9E-12	4.9E-12
	吸入摂取	F	4.9E-12	4.9E-12
		M	6.9E-12	6.9E-12
<sup>192</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	1.4E-09	1.4E-09
		吸入摂取	2.2E-09	2.2E-09
	吸入摂取	F	2.2E-09	2.2E-09
		M	4.1E-09	4.1E-09
<sup>192n</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	9.1E-10	9.1E-10
		吸入摂取	8.1E-09	8.1E-09
	吸入摂取	F	8.1E-09	8.1E-09
		M	8.4E-09	8.4E-09
<sup>193m</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	2.9E-10	2.9E-10
		吸入摂取	1.5E-10	1.5E-10
	吸入摂取	F	1.5E-10	1.5E-10
		M	8.8E-10	8.9E-10
<sup>194</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	1.3E-09	1.3E-09
		吸入摂取	3.6E-10	3.6E-10
	吸入摂取	F	3.6E-10	3.6E-10
		M	7.1E-10	7.1E-10
<sup>194m</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	2.1E-09	2.1E-09
		吸入摂取	6.5E-09	6.5E-09
	吸入摂取	F	6.5E-09	6.5E-09
		M	6.1E-09	6.1E-09
<sup>195</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	1.0E-10	1.0E-10
		吸入摂取	4.5E-11	4.5E-11
	吸入摂取	F	4.5E-11	4.5E-11
		M	9.7E-11	9.7E-11
<sup>195m</sup> Ir	経口摂取	全ての化合物	1.4E-10	1.4E-10
		吸入摂取	7.7E-11	7.7E-11
	吸入摂取	F	7.7E-11	7.7E-11
		M	1.6E-10	1.6E-10
<sup>195m</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	2.8E-11	2.8E-11
		吸入摂取	2.8E-11	2.8E-11
	吸入摂取	F	2.8E-11	2.8E-11
		M	2.8E-11	2.8E-11
<sup>198</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	1.1E-10	1.1E-10
	吸入摂取	F	8.8E-11	8.8E-11

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (16/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>199</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	4.6E-11	4.6E-11
	吸入摂取	F	3.8E-11	3.8E-11
<sup>200</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	4.0E-10	4.0E-10
	吸入摂取	F	2.6E-10	2.6E-10
<sup>201</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	1.6E-10	1.6E-10
	吸入摂取	F	1.2E-10	1.2E-10
<sup>202</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	1.5E-08	1.6E-08
	吸入摂取	F	2.5E-08	2.5E-08
<sup>202m</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	1.5E-10	1.5E-10
	吸入摂取	F	1.3E-10	1.3E-10
<sup>203</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	2.5E-10	2.5E-10
	吸入摂取	F	1.6E-10	1.6E-10
<sup>205</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	2.7E-10	2.7E-10
	吸入摂取	F	4.0E-10	4.0E-10
<sup>209</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	5.7E-11	5.7E-11
	吸入摂取	F	3.2E-11	3.2E-11
<sup>211</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	1.8E-10	1.8E-10
	吸入摂取	F	5.6E-09	5.5E-09
<sup>212</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	6.0E-09	6.0E-09
	吸入摂取	F	3.4E-08	3.4E-08
<sup>214</sup> Pb	経口摂取	全ての化合物	1.5E-10	1.5E-10
	吸入摂取	F	5.0E-09	5.0E-09
<sup>200</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	5.6E-11	5.6E-11
	吸入摂取	F	4.5E-11	4.5E-11
		M	6.0E-11	6.1E-11
<sup>201</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	1.2E-10	1.2E-10
	吸入摂取	F	9.3E-11	9.4E-11
		M	1.2E-10	1.2E-10
<sup>202</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	1.0E-10	1.0E-10
	吸入摂取	F	9.2E-11	9.2E-11
		M	1.1E-10	1.1E-10
<sup>203</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	4.9E-10	4.9E-10
	吸入摂取	F	3.7E-10	3.7E-10
		M	4.7E-10	4.7E-10
<sup>205</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	9.1E-10	9.1E-10
	吸入摂取	F	6.9E-10	6.9E-10
		M	1.0E-09	1.0E-09
<sup>206</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	1.9E-09	1.9E-09
	吸入摂取	F	1.4E-09	1.4E-09
		M	2.1E-09	2.1E-09

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (17/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>207</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	1.3E-09	1.3E-09
	吸入摂取	F	8.5E-10	8.5E-10
		M	3.2E-09	3.2E-09
<sup>210</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	1.3E-09	1.3E-09
	吸入摂取	F	1.4E-09	1.4E-09
		M	6.0E-08	6.0E-08
<sup>210m</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	1.5E-08	1.5E-08
	吸入摂取	F	5.4E-08	5.4E-08
		M	2.1E-06	2.1E-06
<sup>212</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	2.6E-10	2.6E-10
	吸入摂取	F	1.5E-08	1.5E-08
		M	3.9E-08	3.9E-08
<sup>213</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	2.0E-10	2.0E-10
	吸入摂取	F	1.8E-08	1.8E-08
		M	4.1E-08	4.1E-08
<sup>214</sup> Bi	経口摂取	全ての化合物	1.1E-10	1.1E-10
	吸入摂取	F	1.2E-08	1.2E-08
		M	2.2E-08	2.1E-08
<sup>203</sup> Po	経口摂取	全ての化合物	5.3E-11	5.3E-11
	吸入摂取	F	4.8E-11	4.8E-11
		M	6.9E-11	6.9E-11
<sup>205</sup> Po	経口摂取	全ての化合物	5.6E-11	5.6E-11
	吸入摂取	F	5.4E-11	5.4E-11
		M	7.0E-11	7.1E-11
<sup>207</sup> Po	経口摂取	全ての化合物	1.4E-10	1.4E-10
	吸入摂取	F	1.1E-10	1.1E-10
		M	1.5E-10	1.5E-10
<sup>210</sup> Po	経口摂取	全ての化合物	2.5E-07	2.4E-07
	吸入摂取	F	7.3E-07	7.2E-07
		M	2.2E-06	2.2E-06
<sup>223</sup> Ra	経口摂取	全ての化合物	1.0E-07	1.0E-07
	吸入摂取	M	5.6E-06	5.7E-06
<sup>224</sup> Ra	経口摂取	全ての化合物	6.5E-08	6.4E-08
	吸入摂取	M	2.3E-06	2.4E-06
<sup>225</sup> Ra	経口摂取	全ての化合物	1.0E-07	9.9E-08
	吸入摂取	M	4.8E-06	4.8E-06
<sup>226</sup> Ra	経口摂取	全ての化合物	2.8E-07	1.6E-06 <sup>e</sup>
	吸入摂取	M	2.2E-06	2.6E-05 <sup>e</sup>
<sup>227</sup> Ra	経口摂取	全ての化合物	8.2E-11	8.2E-11
	吸入摂取	M	2.0E-10	2.0E-10

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (18/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>228</sup> Ra	経口摂取	全ての化合物	7.0E-07	6.8E-07 <sup>f</sup>
	吸入摂取	M	1.7E-06	1.7E-06
<sup>226</sup> Th	経口摂取	不特定の化合物	3.5E-10	3.6E-10
		酸化物及び水酸化物	3.5E-10	3.5E-10
	吸入摂取	M	7.3E-08	7.3E-08
		S	7.8E-08	7.8E-08
<sup>227</sup> Th	経口摂取	不特定の化合物	9.1E-09	9.1E-09
		酸化物及び水酸化物	8.3E-09	8.3E-09
	吸入摂取	M	6.2E-06	6.2E-06
		S	7.6E-06	7.6E-06
<sup>228</sup> Th	経口摂取	不特定の化合物	7.2E-08	7.1E-08
		酸化物及び水酸化物	3.5E-08	3.5E-08
	吸入摂取	M	2.2E-05	2.3E-05
		S	2.5E-05	3.2E-05 <sup>f</sup>
<sup>229</sup> Th	経口摂取	不特定の化合物	5.0E-07	4.8E-07 <sup>f</sup>
		酸化物及び水酸化物	2.0E-07	2.0E-07
	吸入摂取	M	7.1E-05	6.9E-05 <sup>f</sup>
		S	4.8E-05	4.8E-05
<sup>230</sup> Th	経口摂取	不特定の化合物	2.2E-07	2.3E-07
		酸化物及び水酸化物	9.2E-08	9.3E-08
	吸入摂取	M	2.9E-05	2.9E-05
		S	7.4E-06	7.4E-06
<sup>231</sup> Th	経口摂取	不特定の化合物	3.3E-10	3.3E-10
		酸化物及び水酸化物	3.3E-10	3.3E-10
	吸入摂取	M	3.7E-10	3.7E-10
		S	3.9E-10	3.9E-10
<sup>232</sup> Th	経口摂取	不特定の化合物	2.3E-07	2.2E-07
		酸化物及び水酸化物	9.4E-08	9.2E-08 <sup>f</sup>
	吸入摂取	M	2.9E-05	2.9E-05
		S	1.2E-05	1.2E-05
<sup>234</sup> Th	経口摂取	不特定の化合物	3.4E-09	3.4E-09
		酸化物及び水酸化物	3.4E-09	3.4E-09
	吸入摂取	M	5.3E-09	5.3E-09
		S	5.9E-09	5.9E-09
<sup>230</sup> U	経口摂取	不特定の化合物	5.6E-08	5.6E-08
		大部分の 4 価の化合物	2.7E-08	2.7E-08
	吸入摂取	F	4.5E-07	4.5E-07
		M	1.0E-05	1.0E-05
		S	1.2E-05	1.2E-05

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (19/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>231</sup> U	経口摂取	不特定の化合物	3.4E-10	3.4E-10
		大部分の4価の化合物	3.4E-10	3.4E-10
	吸入摂取	F	1.8E-10	1.8E-10
		M	4.7E-10	4.7E-10
		S	5.1E-10	5.1E-10
	<sup>232</sup> U	経口摂取	不特定の化合物	3.3E-07
大部分の4価の化合物			3.7E-08	3.5E-08 <sup>f</sup>
吸入摂取		F	4.7E-06	4.4E-06 <sup>f</sup>
		M	4.8E-06	4.8E-06
		S	2.5E-05	2.6E-05
<sup>233</sup> U		経口摂取	不特定の化合物	5.1E-08
	大部分の4価の化合物		8.6E-09	8.3E-09 <sup>f</sup>
	吸入摂取	F	6.8E-07	6.3E-07 <sup>f</sup>
		M	2.2E-06	2.2E-06
		S	7.0E-06	7.0E-06
	<sup>234</sup> U	経口摂取	不特定の化合物	5.0E-08
大部分の4価の化合物			8.4E-09	8.5E-09
吸入摂取		F	6.5E-07	6.5E-07
		M	2.1E-06	2.1E-06
		S	6.8E-06	6.8E-06
<sup>235</sup> U		経口摂取	不特定の化合物	4.7E-08
	大部分の4価の化合物		8.4E-09	8.2E-09 <sup>f</sup>
	吸入摂取	F	6.1E-07	5.7E-07 <sup>f</sup>
		M	1.8E-06	1.8E-06
		S	6.1E-06	6.1E-06
	<sup>236</sup> U	経口摂取	不特定の化合物	4.7E-08
大部分の4価の化合物			7.9E-09	8.0E-09
吸入摂取		F	6.2E-07	6.2E-07
		M	1.9E-06	1.9E-06
		S	6.3E-06	6.3E-06
<sup>237</sup> U		経口摂取	不特定の化合物	7.8E-10
	大部分の4価の化合物		7.9E-10	7.9E-10
	吸入摂取	F	3.4E-10	3.5E-10
		M	1.5E-09	1.5E-09
		S	1.7E-09	1.7E-09
	<sup>238</sup> U	経口摂取	不特定の化合物	4.4E-08
大部分の4価の化合物			7.6E-09	7.4E-09 <sup>f</sup>
吸入摂取		F	5.9E-07	5.5E-07 <sup>f</sup>
		M	1.7E-06	1.6E-06
		S	5.7E-06	5.7E-06

付表 1-1 DCAL と開発コードの実効線量係数の比較 (20/20)

核種	摂取経路	化学形または血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			DCAL	開発コード
<sup>239</sup> U	経口摂取	不特定の化合物	2.7E-11	2.7E-11
		大部分の 4 価の化合物	2.8E-11	2.8E-11
	吸入摂取	F	1.8E-11	1.8E-11
		M	3.3E-11	3.4E-11
<sup>240</sup> U	経口摂取	不特定の化合物	1.1E-09	1.1E-09
		大部分の 4 価の化合物	1.1E-09	1.1E-09
	吸入摂取	F	3.6E-10	3.7E-10
		M	7.6E-10	7.6E-10
		S	8.1E-10	8.1E-10
		S	8.1E-10	8.1E-10

- <sup>a</sup> 骨領域の電子 SAF の取扱いの違い。
- <sup>b</sup> 残りの組織の等価線量の計算方法の違い。
- <sup>c</sup> 呼吸気道領域の電子 SAF の取扱いの違い。
- <sup>d</sup> 個別動態モデルと共通動態モデルの適用の違い。
- <sup>e</sup> 子孫核種としてのラドンの組織系動態モデルの違い。
- <sup>f</sup> Other 線源の取扱いの違い。

## 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. PO との会合

#### ・第1回 PO 会合

日付：令和元年8月28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、小林駿司 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) 本年度の実施計画及びこれまでの進捗
- (2) 事業の進捗状況
  - (2-1) 核種摂取量推定機能の検証
  - (2-2) 放射性セシウムの慢性摂取評価
  - (2-3) 新旧の実効線量係数等の分析
- (3) 線量評価コードβ版の概要
- (4) 今後のスケジュール、その他

#### ・第2回 PO 会合

日付：令和元年11月27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）渡嘉敷雄士

議題：

- (1) 事業の進捗状況
  - (1-1) 全体の進捗状況
  - (1-2) 核種摂取量推定機能の検証
  - (1-3) コードβ版の開発状況
- (2) ICRP における刊行物の公開予定及び検討状況
- (3) 今後のスケジュール、その他



## 2. 専門家との打合せ

- ・研究協力者（モニタリング従事者）との意見交換

日付：令和元年8月2日

場所：日本原子力研究開発機構原子力科学研究所（茨城県那珂郡東海村）

出席者：

（主任研究員）高橋史明

（研究協力者）滝本美咲、高橋聖

（研究参加者）佐藤薫、真辺健太郎

議題：

- (1) 機能面に関するニーズ
- (2) 操作面に関するニーズ
- (3) その他

## 3. 外部発表

- ・雑誌等掲載論文 1件

K. Manabe, K. Sato and F. Takahashi, Development of a Function Calculating Internal Dose Coefficients Based on ICRP 2007 Recommendations, *Bio Conf.* **14** 03011, 2019.

- ・日本原子力学会 2019年秋の大会 2件

日付：令和元年9月11日～13日

場所：富山大学五福キャンパス（富山県富山市）

1件目

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核種摂取量推定機能の検証

2件目

発表者：（主任研究者）高橋史明

タイトル：ICRPによる新しい線量係数の分析（職業被ばくによる主要28元素の摂取）

- ・第7回日本放射線事故・災害医学会 年次学術集会

日付：令和元年9月21日

場所：良稜会館（宮城県仙台市）

発表者：（研究参加者）真辺健太郎

タイトル：ICRP 2007年勧告に対応した内部被ばく線量コード・核種摂取量推定機能の開発

- 5th Asian Radiation Dosimetry Group meeting (ARADOS5)
  - 日付：令和元年 11 月 6 日～7 日
  - 場所：Garden Hotel（中国、北京）
  - 発表者：（主任研究者）高橋史明
  - タイトル：Development of internal-dosimetry code based on ICRP 2007 Recommendations
  
- 5th International Symposium on the System of Radiological Protection (ICRP 2019)
  - 日付：令和元年 11 月 18 日～21 日
  - 場所：Adelaide Convention Centre（豪州、アデレード）
  - 発表者：（研究参加者）真辺健太郎
  - タイトル：Development of a function for estimating intakes of radionuclides using the models and data based on ICRP 2007 Recommendations
  
- 第 2 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会 2 件
  - 日付：令和元年 12 月 4 日～7 日
  - 場所：東北大学青葉山新キャンパス（宮城県仙台市）
  - 1 件目
    - 発表者：（研究参加者）真辺健太郎
    - タイトル：放射性セシウムの慢性摂取による内部被ばく線量評価に対する体内動態モデル更新の影響
  - 2 件目
    - 発表者：（主任研究者）高橋史明
    - タイトル：ICRP 2007 年勧告に準拠する内部被ばく線量評価コードの開発
  
- 令和元年度研究成果報告会
  - 日付：令和 2 年 2 月 6 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 2020 年春の年会（予稿集の公開のみ）
  - 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：コードβ版の開発

### 付録3 学会等発表資料一覧

1. 日本原子力学会 2019 年秋の大会 発表スライド 2 件 (pp. 74–85)
  - ・ ICRP 2007 年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの核種摂取量推定機能の検証
  - ・ ICRP による新しい線量係数の分析(職業被ばくによる主要 28 元素の摂取)
2. 日本原子力学会 2019 年秋の大会 発表ポスター1 件 (p. 86)
  - ・ ICRP 2007 年勧告に基づく内部被ばく線量評価コード・核種摂取量推定機能の開発
3. 5th Asian Radiation Dosimetry Group meeting (ARADOS-5) 発表スライド 1 件(pp. 87–92)
  - ・ Development of internal-dosimetry code based on ICRP 2007 Recommendations
4. 5th International Symposium on the System of Radiological Protection (ICRP 2019)  
発表ポスター1 件 (p. 93)
  - ・ Development of a function for estimating intakes of radionuclides using the models and data based on ICRP 2007 Recommendations
5. 第 2 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会 発表スライド 1 件及び  
発表ポスター1 件 (pp. 94–101)
  - ・ 放射性セシウムの慢性摂取による内部被ばく線量評価に対する体内動態モデル後進の影響
  - ・ ICRP 2007 年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発

3D13

## ICRP2007年勧告に基づく 内部被ばく線量評価コードの 核種摂取量推定機能の検証

JAEA

○真辺 健太郎、佐藤 薫、高橋 史明

本件は、原子力規制委員会「平成31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9月13日（金）



日本原子力学会2019年秋の大会（於：富山大学五福キャンパス）

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
- 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

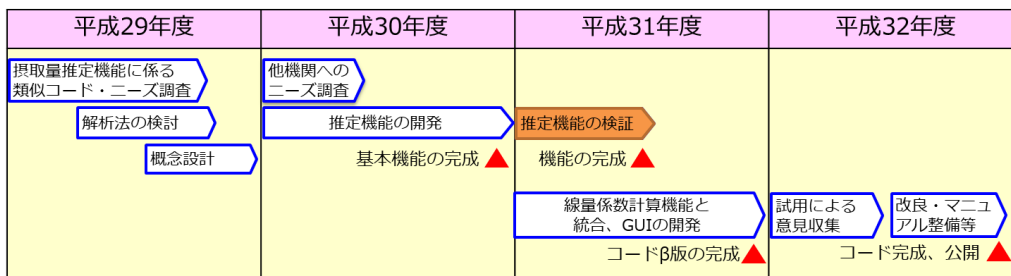


2007年勧告対応の線量係数計算機能（開発済）を活用して  
“モニタリング結果から摂取量を推定する機能”を開発



2

## 平成30年度末までの実施状況と今回の発表内容



### 【平成30年度までの実施状況】

▲マイルストーン

- ・類似コード調査： INDES/IDEC (JAERI), MONDAL (NIRS), IMBA (英国PHE)
- ・ニーズ調査：原子力機構、高度被ばく医療支援センター等の機関
- ・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
- ・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
- ・基本機能の開発：モデル予測値とモニタリング値をフィッティングする機能を開発

体内放射能計算も含めた核種摂取量推定機能の検証



3

## 検証方法

### ➤ 摂取量推定の例題抽出

EURADOS IDEASガイドライン<sup>1)</sup>、IAEA Safety Report<sup>2)</sup>、IMBAマニュアル<sup>3)</sup>

- 1) EURADOS Report 2013-01 (2013). 2) IAEA Safety Reports Series No. 37 (2004).  
3) User Manual for IMBA Professional Plus (Version 4.0) (2005).

- 開発中のコードに1990年勧告対応の体内動態モデルを実装  
呼吸気道モデル、胃腸管モデル、元素毎の全身動態モデル
- 開発機能で摂取量推定、例題の評価結果と比較

### 例題一覧

核種	摂取経路	化学形	摂取回数	モニタリング		出典
				方法	回数	
<sup>137</sup> Cs	経口摂取	CsCl	2	全身	7	IDEAS
① <sup>125</sup> I	吸入摂取	I <sub>2</sub> ガス	3	甲状腺	5	IDEAS
② <sup>131</sup> I	吸入摂取	Type F	3	甲状腺	2	IAEA
<sup>235</sup> U	吸入摂取	Type M	1	肺+尿	10	IDEAS
<sup>238</sup> Pu	吸入摂取	PuO <sub>2</sub>	1	肺	48	IMBA



4

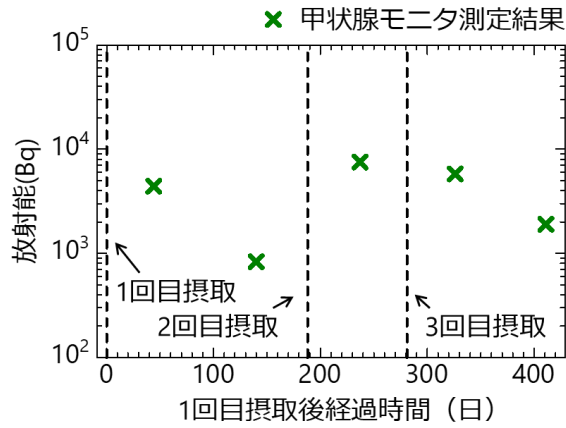
## 例題① $^{125}\text{I}$ の吸入摂取 (IDEASガイドライン)

評価対象者：作業員 (32歳男性)

摂取条件： $^{125}\text{I}$  (ガス)、3回吸入摂取

モニタリング：甲状腺モニタ、5回測定

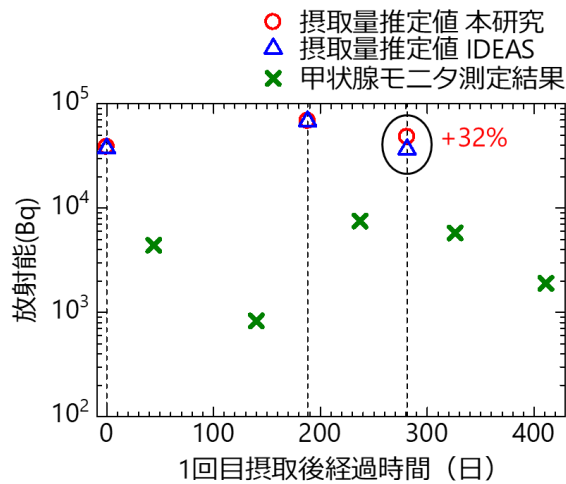
}インプットデータ



摂取タイミングとモニタリング結果

5

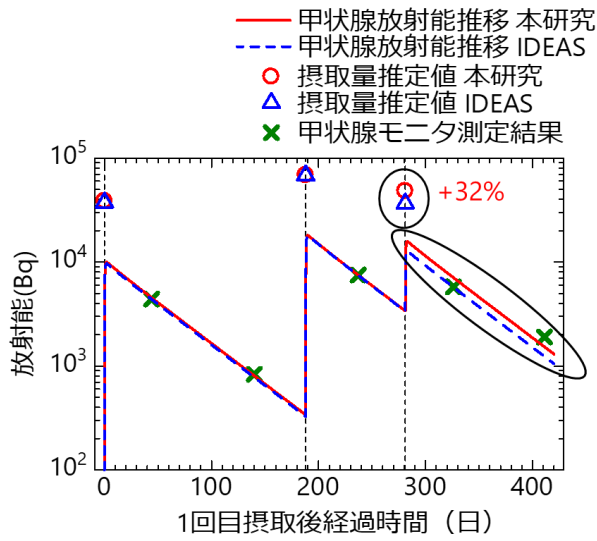
## 例題① $^{125}\text{I}$ の吸入摂取 推定結果



摂取量推定結果

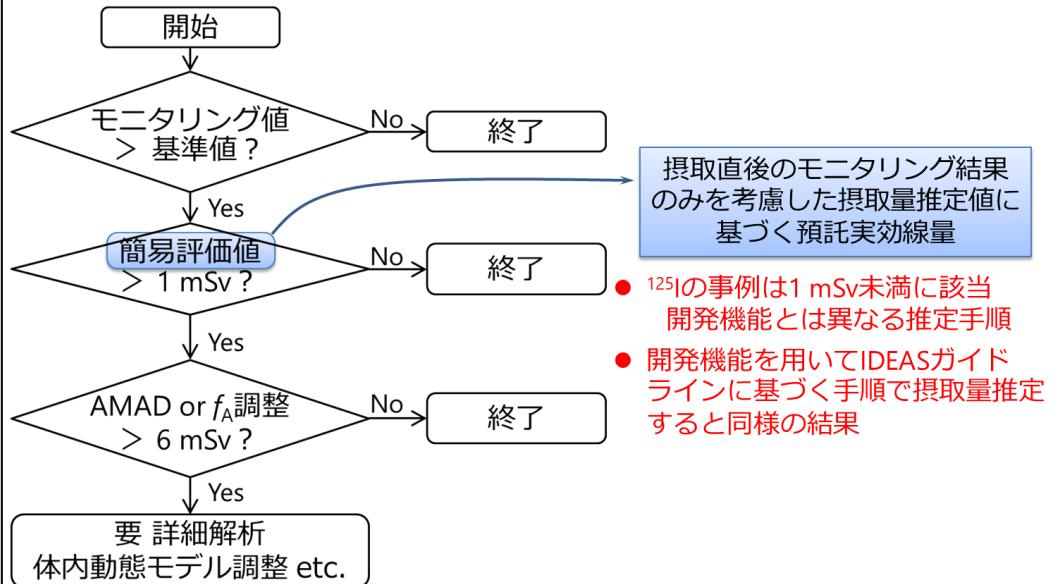
6

### 例題① $^{125}\text{I}$ の吸入摂取 推定結果



摂取量推定値に基づく甲状腺放射能推移

### IDEASガイドラインの摂取量推定フロー

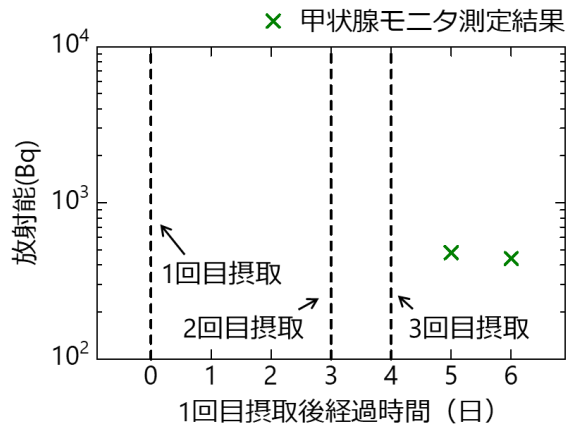


## 例題② $^{131}\text{I}$ の吸入摂取 (IAEA Safety Report)

評価対象者：作業者

摂取条件： $^{131}\text{I}$  (エアロゾルType F)、3回吸入摂取 } **インプットデータ**  
 モニタリング：甲状腺モニタ、2回測定

モニタリング回数 < 摂取回数



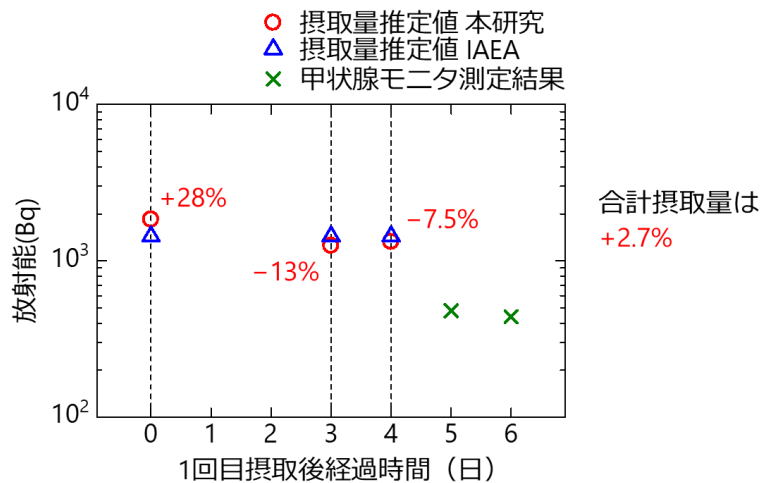
摂取タイミングとモニタリング結果

9

## 例題② $^{131}\text{I}$ の吸入摂取 推定結果

IAEA：3回とも同量摂取したと仮定

本機能：特異値分解を用いたアルゴリズムにより、仮定なしで解析可能



摂取量推定結果

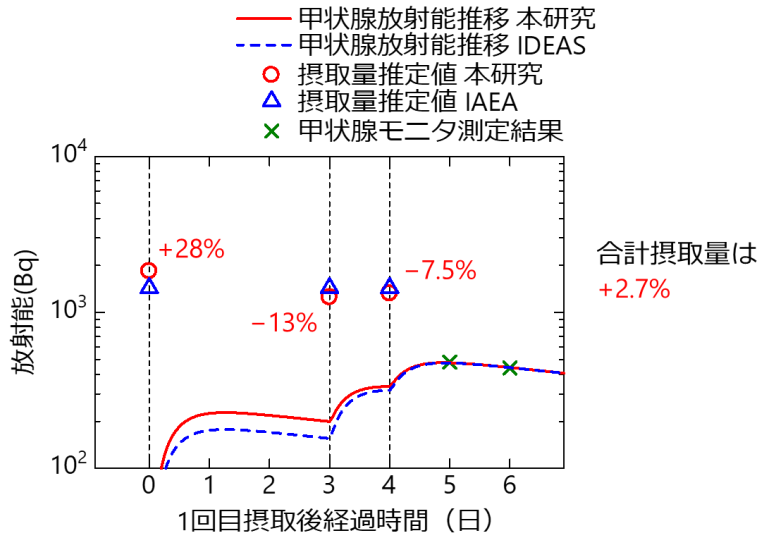
10



## 例題② $^{131}\text{I}$ の吸入摂取 推定結果

IAEA：3回とも同量摂取したと仮定

本機能：特異値分解を用いたアルゴリズムにより、仮定なしで解析可能



摂取量推定値に基づく甲状腺放射能推移

11

## 例題② $^{131}\text{I}$ の吸入摂取 検証結果

- 採用した手法：特異値分解を用いた最尤推定法の特徴により、**モニタリング回数 < 摂取回数** という条件でも解析できることを確認
  - 複数回摂取したことは確実だが、モニタリング回数が確保できない状況に有効
- 作業環境等から、複数回摂取時の摂取比率を設定することが妥当な場合も想定される
  - 本機能は現在未対応 ⇒ 改良により機能を追加

12

## まとめ

- 摂取量推定機能の検証
  - 1990年勧告対応の体内動態モデルを実装した
  - 抽出した例題を用いて摂取量推定を実施した
    - ・ 例題と同様の手順で推定した場合、例題の結果をよく再現
    - ・ 摂取回数とモニタリング回数の大小関係を問わず 解析可能
    - ・ 複数回摂取における各回の摂取割合を指定する機能が必要

## 今後の予定

- 2007年勧告対応の体内動態モデルによる摂取量推定
  - モデルの差違の摂取量推定への影響
- 内部被ばく線量評価コードβ版を完成
  - 線量係数計算機能と統合するコード全体のGUIの開発

本件は、原子力規制委員会「平成31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。



## ICRPによる新しい線量係数の分析 (職業被ばくによる主要28元素の摂取)

本件は、原子力規制委員会「平成31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。



高橋 史明, 佐藤 薫, 真辺 健太郎 (原子力機構)

日本原子力学会2019年秋の大会（令和元年9月11日-9月13日、富山大学）

## 背景

- 国際放射線防護委員会(ICRP)の2007年勧告の主旨を放射線規制を取り入れた場合、現在の1990年勧告に準拠した内部被ばく防護の基準値についても、新しい実効線量係数(単位：Sv/Bq)に従って見直されることが想定
- これまで、ICRP Publ.134及びPubl.137の中で、作業者が主要28元素を摂取した条件に対し、ICRP2007年勧告に準拠した実効線量係数等が公開

### ICRP Publ.134及びPubl.137に掲載されている元素

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

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



- 刊行物等に基づき、内部被ばく防護基準値の見直しで留意すべき事項を調査
- 1990年勧告及び2007年勧告に準拠する実効線量係数の差異と影響因子を分析



日本原子力学会2019年秋の大会（令和元年9月11日-9月13日、富山大学）

## 「告示RIの数量などを定める件」別表第2

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、一部改変)

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>90</sup> Sr	チタン酸Sr以外	$3.0 \times 10^{-5}$	$2.8 \times 10^{-5}$	$7 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-2}$
<sup>90</sup> Sr	チタン酸Sr	$7.7 \times 10^{-5}$	$2.7 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{-2}$
...	...	...	...	...	...	...
<sup>137</sup> Cs	全ての化合物	$6.7 \times 10^{-6}$	$1.3 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-2}$
...	...	...	...	...	...	...

1990年勧告に従う数値
作業者を対象
公衆被ばくを対象

- 主要28元素の作業者の被ばくに対する実効線量係数が公開(公衆被ばくは未公開)
- ただし、上記別表第2の中で、第1欄の放射性同位元素の種類、第2欄及び第3欄の実効線量係数の大部分は、ICRP Publ.68(作業者による放射性核種の摂取)を参照

日本原子力学会2019年秋の大会 (令和元年9月11日-9月13日、富山大学)

## 放射性核種の見直し及び追加

- 放射性核種データが大幅に改訂され、ICRP Publ.38に置き換わる97元素1252核種のデータがICRP Publ.107として公開・提供
- ICRPは、半減期が10分以上の核種等に対する実効線量係数を公開する方針

### 定義の見直し

- 半減期で区別されていた核種の一部は核異性体として定義  
告示別表第2: <sup>89</sup>Nb(T<sub>1/2</sub>=1.10h), <sup>120</sup>Sb(T<sub>1/2</sub>=0.265h)及び<sup>128</sup>Sb(T<sub>1/2</sub>=0.173h)  
⇒ Publ.134及び137では、それぞれ<sup>89m</sup>Nb, <sup>120m</sup>Sb及び<sup>128m</sup>Sbとして定義
- 核異性体としての定義に変更  
告示別表第2: <sup>98</sup>Nb ⇒ Publ.134では、<sup>98m</sup>Nbとして定義

### 核種の追加

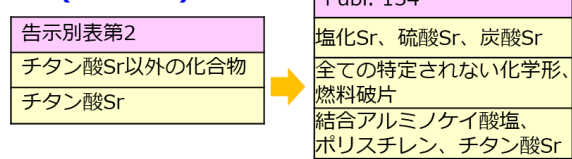
- 告示別表第2に掲載されていない3つの核種が追加  
<sup>114</sup>Te(T<sub>1/2</sub>=15.2m), <sup>194</sup>Pb(T<sub>1/2</sub>=12m)及び<sup>242</sup>U(T<sub>1/2</sub>=16.8m)  
一方、告示別表第2では、半減期10分未満の核種も掲載

日本原子力学会2019年秋の大会 (令和元年9月11日-9月13日、富山大学)

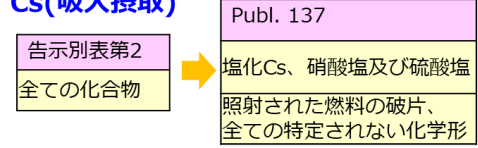
## 化学形等の見直し、特定されない化学形の粒子吸入

- 近年に蓄積された知見(チェルノブイリ事故等)を反映して化学形等が見直し

### Sr(吸入摂取)



### Cs(吸入摂取)



- 特定されない化学形の吸入に対し、血液への吸収タイプの見直し

各元素の特定されない化学形の吸入に対する血液への吸収タイプ (Rnは除く)

	Publ.68 (告示別表第2)*	Publ.134またはPubl.137
Type F	P, Fe, Sr, Mo, Tc, Ru, Sb, Te, I, Cs, Ba, Pb	I, Pb
Type M	H, Ca, Co, Y, Nb, Ir, Bi, Po, Ra, Th	H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Sb, Te, Cs, Ba, Ir, Bi, Po, Ra, U <span style="color: red;">(TypeMをdefaultと取り扱い)</span>
Type S	Zn, Zr	Th

\*Publ.68と告示別表第2にある線量係数の値を照合して分類 (C、S及びUは該当する物質なし)

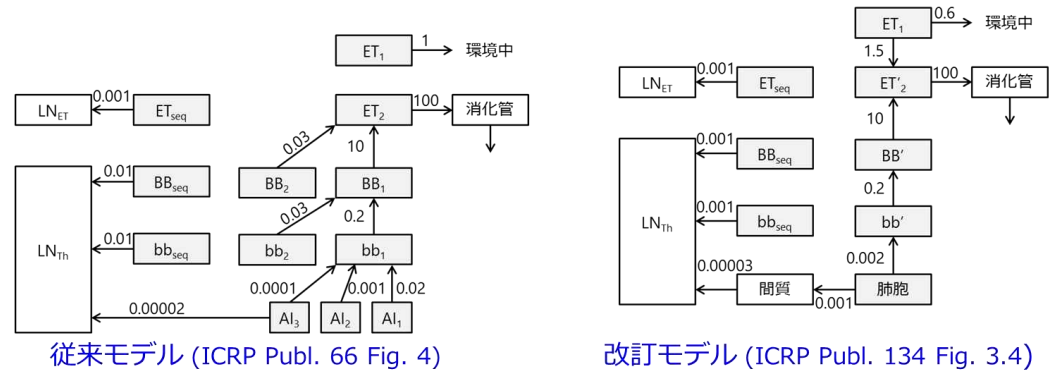
新旧の実効線量係数の比較においては、化学形等を正確に参照することが重要  
(例、粒子吸収タイプに着目して実効線量係数を比較した場合、ミスリードする可能性)

## 実効線量係数の比較(1) <sup>-90</sup>Sr-

チタン酸ストロンチウムの吸入摂取 (ICRP Publ.68及び134でType S)

実効線量係数 7.7E-05 (mSv/Bq) ⇒ 2.0E-04(mSv/Bq)

呼吸気道クリアランスモデルの改訂により、肺の等価線量係数が増加  
6.3E-07 (mSv/Bq) ⇒ 1.4E-03 (mSv/Bq)



肺組織での生物学的半減期が長くなったことが影響と推測

## 実効線量係数の比較(2) $^{92}\text{Nb}$ -

⑦

酸化物の吸入摂取 (ICRP Publ.68及び134でType S)

実効線量係数  $1.5\text{E-}05$  (mSv/Bq)  $\Rightarrow$   $6.5\text{E-}05$  (mSv/Bq)

- 肺組織における生物学的半減期が長くなったことが影響 ( $^{90}\text{Sr}$ : チタン酸Srと同様)

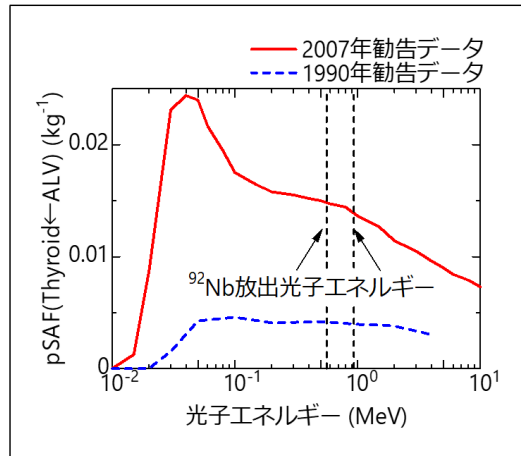
肺の等価線量係数

$6.9\text{E-}05$  (mSv/Bq)  $\Rightarrow$   $2.3\text{E-}04$  (mSv/Bq)

- 肺 $\Rightarrow$ 甲状腺の光子SAFの増加も影響

甲状腺の等価線量係数

$5.4\text{E-}06$  (mSv/Bq)  $\Rightarrow$   $1.7\text{E-}04$  (mSv/Bq)



肺 $\Rightarrow$ 甲状腺の光子SAF



日本原子力学会2019年秋の大会 (令和元年9月11日-9月13日、富山大学)

## 実効線量係数の比較(3) $^{41}\text{Ca}$ -

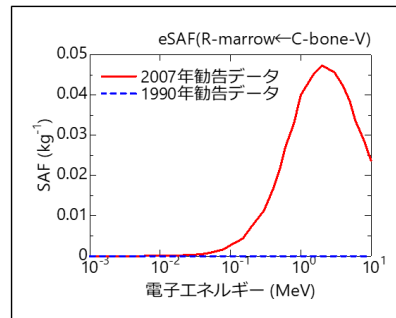
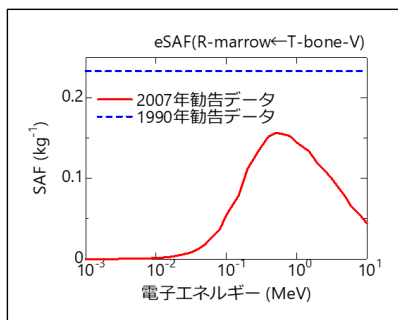
⑧

経口摂取(ICRP Publ.68及び134で、ともに全化合物に共通の実効線量係数が提供)

実効線量係数  $2.9\text{E-}07$  (mSv/Bq)  $\Rightarrow$   $5.7\text{E-}09$  (mSv/Bq)

- 骨領域内の電子SAFの見直し (マイクロ骨モデルを用いた輸送計算の導入)

赤色骨髄の等価線量係数  $2.0\text{E-}06$  (mSv/Bq)  $\Rightarrow$   $1.4\text{E-}08$  (mSv/Bq)



骨領域の電子SAF(左: 梁骨 $\Rightarrow$ 赤色骨髄、右: 骨皮質 $\Rightarrow$ 赤色骨髄)



日本原子力学会2019年秋の大会 (令和元年9月11日-9月13日、富山大学)

## ICRPによる実効線量係数の公開状況

ICRPによる実効線量係数の公開及びその準備の状況 (ICRPのHPを参照)


元素等	作業者	公衆
主要28元素-1 (H-Tc、14元素)	ICRP Publ.134として公開	1冊の刊行物で、OIR-part 4に続いて、公開(ドラフト文書は未公開)
主要28元素-2 (Ru-U、14元素)	ICRP Publ.137として公開	
ランタノイド、アクチノイド (25元素)	ドラフト文書 (OIR-part 4)が公開、パブコメ終了	
53元素以外*	ドラフト文書は未公開	ドラフト文書は未公開

\*53元素以外で、現在の告示別表第2に含まれている元素(45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

上記のうち、告示別表第2でサブマージョンのみ考慮されている元素：N, O, Ar, Kr, Xe

サブマージョンのみが考慮されている元素について、現行の告示別表第2の第2欄または第3欄でICRP1990年勧告に従う線量係数を提示していない。

 日本原子力学会2019年秋の大会 (令和元年9月11日-9月13日、富山大学)

## まとめ


- 内部被ばく防護に関する規制値の見直し、その対応等においては、放射性同位元素の種類 (核種や化学形等) の改定にも留意が必要
- 粒子吸入に対し、Type Sと分類された核種については、体内で保持される時間が長くなる理由により、実効線量係数が増加する傾向

### 今後の予定

- 開発中の内部被ばく線量評価コードにおいて、新旧の実効線量係数の差異を効率的に分析できる機能の実装

### 謝辞

本件は、原子力規制委員会「平成31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。

 日本原子力学会2019年秋の大会 (令和元年9月11日-9月13日、富山大学)



# ICRP2007年勧告に対応した内部被ばく線量評価コード・核種摂取量推定機能の開発



○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・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
  - ✓ 空气中放射能濃度測定等による作業環境モニタリング
  - ✓ 体外計測、バイオアッセイ等による体内放射能モニタリング
    - ⇒ 放射性核種の摂取量推定が必要
- ▶ 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・データに基づく摂取量推定・被ばく線量評価が必要

ICRP 2007年勧告に対応した内部被ばく線量評価コードのひとつの機能として摂取量推定機能を開発

## 内部被ばく線量評価コードの概要

- ▶ ICRP 2007年勧告に従う線量係数 (Sv/Bq) 計算機能
  - ✓ 基礎的な線量評価モデル・データ (体内動態モデル、核崩壊データ、比吸収割合データ) から線量係数を評価
  - ✓ 線量評価モデル・データを編集可能；コード完成後に公開・更新されるモデル・データ、1990年勧告対応データ、日本人データ等に対応
- ▶ モニタリング結果に基づく核種摂取量 (Bq) 推定機能
  - ✓ 特異値分解を用いた最尤推定法を採用
  - ✓ 摂取時期が既知の急性摂取、複数回摂取、慢性摂取に対応
- ▶ 両機能を統合するグラフィカルユーザインタフェース (GUI)

## コード全体の開発スケジュール

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

## 摂取量推定機能の検証方法

### 例題の抽出

入力データ (摂取時期とモニタリング結果) と推定結果の組合せ

- ✓ EURADOS IDEASガイドライン
- ✓ IAEA Safety Report
- ✓ IMBAマニュアル

ICRP 1990年勧告対応の線量評価モデルを用いた摂取量推定事例

### 1990年勧告対応の体内動態モデルの実装

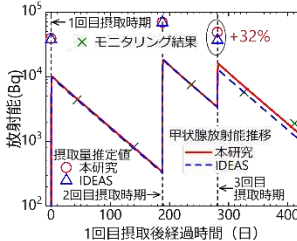
- ✓ 呼吸気道モデル、胃腸管モデル
- ✓ ヨウ素、セシウム、ウラン、プルトニウムの全身動態モデル

開発中の機能で摂取量を推定、例題の推定値と比較・検討

## 検証例②：<sup>125</sup>Iの吸入摂取 (IDEASガイドラインより)

### 計算条件

- ✓ 摂取形態：作業者による<sup>125</sup>I (ヨウ素ガス) の吸入摂取 3回
- ✓ 摂取時期：0日目、188日目、281日目
- ✓ モニタリング：甲状腺モニタ 5回



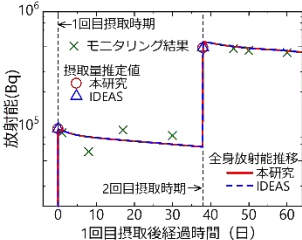
3回目摂取推定値に差異  
IDEASガイドライン：  
4回目のモニタリング結果のみ考慮  
本機能：  
すべてのモニタリング結果を同時に考慮

同じ手順であれば文献値と同様の推定値が得られることを確認

## 検証例①：<sup>137</sup>Csの経口摂取 (IDEASガイドラインより)

### 計算条件

- ✓ 摂取形態：作業者による<sup>137</sup>Cs (CsCl溶液) の経口摂取 2回
- ✓ 摂取時期：0日目、38日目
- ✓ モニタリング：全身カウンタ 7回

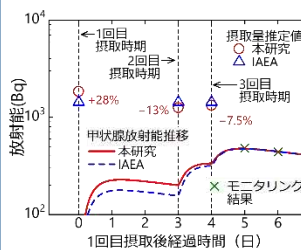


開発中機能による推定値  
↓  
例題の推定値とよく一致  
摂取量推定機能が正しく動作していることを確認

## 検証例③：<sup>131</sup>Iの吸入摂取 (IAEA Safety Reportより)

### 計算条件

- ✓ 摂取形態：作業者による<sup>131</sup>I (Type Fエアロゾル) の吸入摂取 3回
- ✓ 摂取時期：0日目、3日目、4日目
- ✓ モニタリング：甲状腺モニタ 2回



摂取回数 > モニタリング回数  
IAEA：  
3回とも同量摂取したと仮定  
本機能：  
特異値分解を用いた最尤推定法を採用しているため、各回の摂取量比に関する仮定が不要

モニタリング回数を確保できない状況においても摂取量推定が可能であることを確認

## まとめ・今後の計画

- ✓ 摂取量推定機能が正常に動作することを確認した。
- ✓ 令和元年度：内部被ばく線量評価コードのβ版を完成させる。
- ✓ 令和2年度：専門家にβ版を試用してもらい意見募集し、改良を加えてコードを完成させる。


## 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。



# Development of internal-dosimetry code based on ICRP 2007 Recommendations

F. Takahashi, K. Sato and K. Manabe

 Japan Atomic Energy Agency

The 5<sup>th</sup> ARADOS (Asian Radiation Dosimetry Group) meeting  
@ Beijing, 6<sup>th</sup> – 8<sup>th</sup> Nov. in 2019

1

## Introduction

### Japanese regulatory standards against internal exposures

- Three kinds of concentration limits (Bq/m<sup>3</sup>) for:
  - ✓ Ambient air in facilities } Occupational
  - ✓ Exhaust from facilities } Public
  - ✓ Drainage from facilities }
- Current standards are determined by using committed effective dose per unit intake,  $e(\tau)$  (Sv/Bq), based upon ICRP 1990 Recommendations (mainly referred to ICRP Publ.68 and ICRP Publ.72).

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.

## Revision of the Japanese Regulatory Standards

- It should be checked whether **new  $e(\tau)$  are correctly derived on the basis of ICRP dosimetry model or not by ourselves.**
  - ✓ ICRP dosimetry model consists of various functions:  
biokinetic model, nuclear decay data, SAF data and so on.
- It is important to recognize which function makes the coefficient change.
  - ✓ Change in Tissue weighting factors ( $w_T$ )? Biokinetic models?  
Human models? Specific absorbed fractions (SAF)?
- 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).

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



The 5<sup>th</sup> ARADOS meeting, Beijing, 6<sup>th</sup>- 8<sup>th</sup> Nov. in 2019

3

## Development of Internal Dosimetry Code

### Purposes of the code

- (a) Confirmation of new  $e(\tau)$  for revision of the existing regulatory standards
- (b) 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.**

### Main functions of the code

- (1) **To calculate  $e(\tau)$  using basic dosimetric models/data**
  - Main function of this code for the purpose (a). **Main part of this talk**
- (2) **To estimate intakes of radionuclides and resulted doses from monitoring data**
  - Application of the function (1) for the purpose (b).



The 5<sup>th</sup> ARADOS meeting, Beijing, 6<sup>th</sup>- 8<sup>th</sup> Nov. in 2019

4

## Development of Internal Dosimetry Code

**Language** 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	XML	Plain text
Biokinetic model  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;">Comp.1</div> ↓ $\lambda^* = 15 \text{ d}^{-1}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin-bottom: 5px;">Comp.2</div> *transfer coefficient	<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
	Tags and tree structure give meanings to the values. → Meaning is explicit. → Easy to search & edit values.	Places or order of values give meanings to the values. → Meaning is implicit. → Less flexibility for editing.

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

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

$$S_w(T \leftarrow r_S) = \sum_R w_R \sum_j E_{R,j} Y_{R,j} \phi(T \leftarrow r_S, E_{R,j})$$

$\phi$  for specific energy is obtained by interpolating discrete SAF data.

$S_w(T \leftarrow r_S)_i$  (Sv): Radiation weighted S value of chain member  $i$  from source region  $r_S$  to T.

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

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

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

$$\left[ \tilde{a}_i(r_S, \tau) : \text{Number of disintegrations of chain member } i \text{ in source region } (r_S) \text{ during } \tau, \right.$$

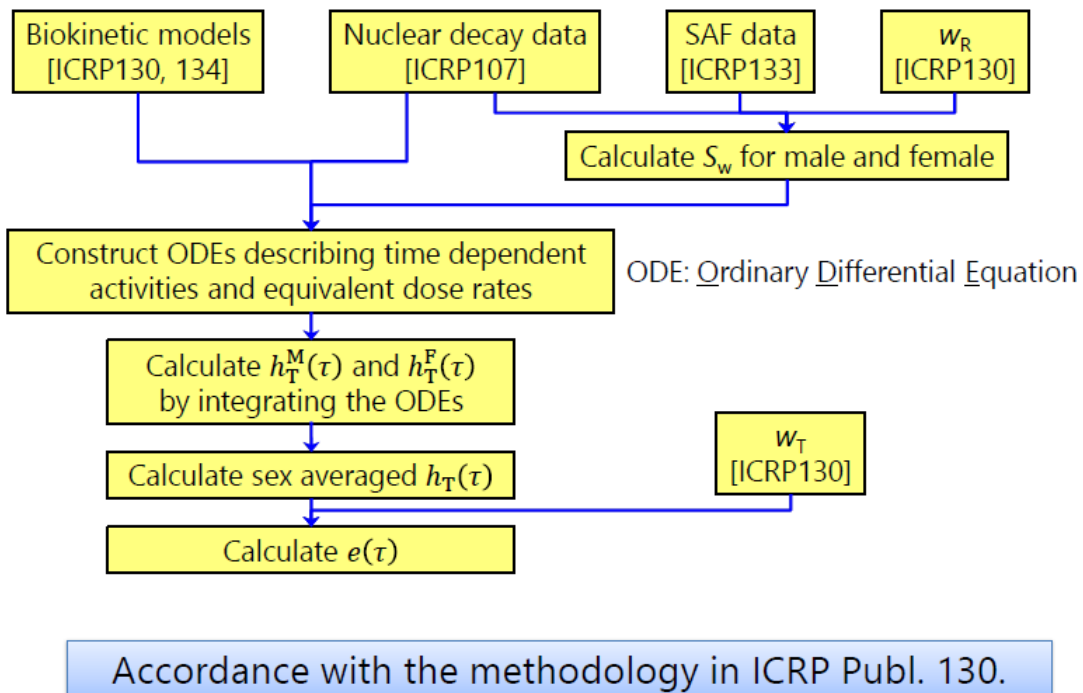
Evaluated by integrating simultaneous ordinary differential equations (ODEs) describing time dependent activities based on biokinetic models.

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

$$e(\tau) = \sum_T w_T \left[ \frac{h_T^M(\tau) + h_T^F(\tau)}{2} \right]$$

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

## Flowchart of the Function to Calculate Dose Coefficients



The 5<sup>th</sup> ARADOS meeting, Beijing, 6<sup>th</sup>- 8<sup>th</sup> Nov. in 2019

7

## Used Calculation Techniques

### Integration of ODEs

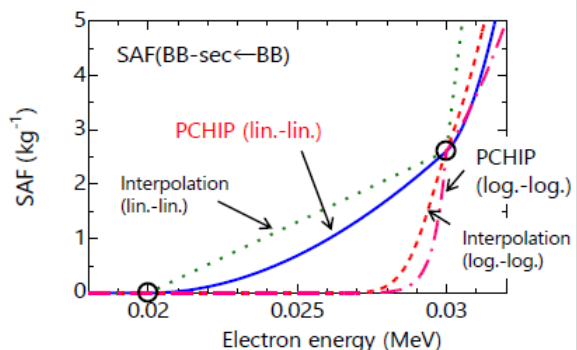
**J-LSODE:** Package of ODE solver written in Java

- ✓ 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

- ✓ We confirmed that **PCHIP (lin.-lin.) is used in ICRP task group.**
- ✓ Based on SLATEC\*/PCHIP written in FORTRAN77.



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

The 5<sup>th</sup> ARADOS meeting, Beijing, 6<sup>th</sup>- 8<sup>th</sup> Nov. in 2019

8



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

### Reference data

$e(\tau)$  in OIR Data Viewer ver. 2.17 and ver 3.01 (except Rn)

- ✓ for 454 cases of 101 radionuclides of 14 elements (ver. 2.17, Publ. 134)
- ✓ for 885 cases of 183 radionuclides of 13 elements (ver. 3.01, Publ. 137)
- ✓ with 2 digits of significant figures

### Comparison of $e(\tau)$ between results by our function and OIR Data Viewer

- ✓ The values of  $e(\tau)$  **agreed with 2 digits for 426 cases** in ver. 2.17 and **835 cases** in ver. 3.01.
- ✓ For **28 cases in ver 2.17 and 50 cases in ver 3.01**, the differences were **only  $\pm 1$  in the 2nd digit** (due to round off).

Quality of the function has been assured for 27 elements in ICRP Publ.134 and Publ. 137



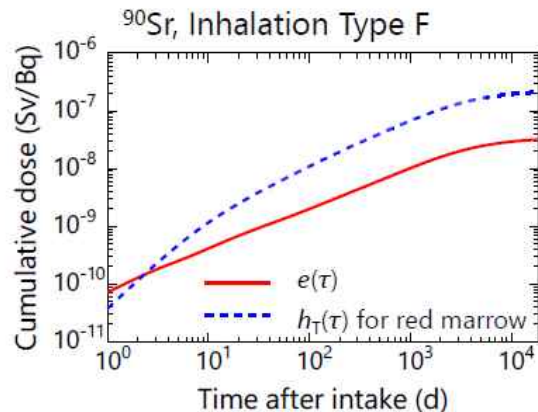
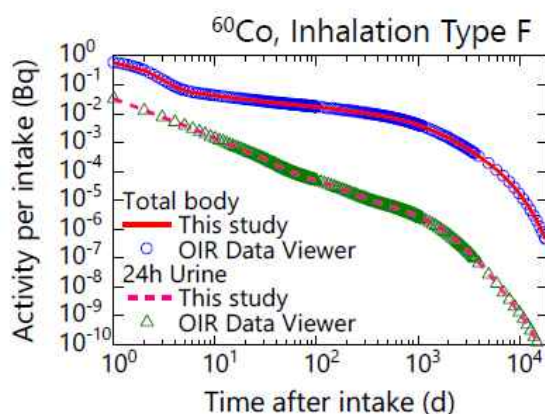
The 5<sup>th</sup> ARADOS meeting, Beijing, 6<sup>th</sup>- 8<sup>th</sup> Nov. in 2019

9

## Various Output of Calculation Results

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

- Changes over time in activity and excretion rate
- Cumulative doses



- ✓ Necessary for estimation of intakes
- ✓ Good reproduction of OIR Data Viewer
- ✓ Useful for detail analysis, public understanding,...

We have progressed development of the function to estimate intakes of radionuclides and doses.



The 5<sup>th</sup> ARADOS meeting, Beijing, 6<sup>th</sup>- 8<sup>th</sup> Nov. in 2019

10

## Summary

- A project is ongoing to develop an internal dosimetry code based upon the ICRP 2007 Recommendations in Japan.
- The function to calculate  $e(\tau)$  has been constructed. Quality of the function has been assured for 27 elements in ICRP Publ.134 and Publ. 137
- We have also developed a function to estimate intakes of radionuclides and resulted doses.

### Foundation

This study is funded by the Nuclear Regulation Authority (NRA) of Japan.  
(Radiation Safety Research Promotion Fund, Development of internal dose calculation code)



#### 4. 5th International Symposium on the System of Radiological Protection (ICRP 2019)

発表ポスター 1 件

## Development of a function for estimating intakes of radionuclides using the models and data based on ICRP 2007 Recommendations



Kentaro MANABE, Kaoru SATO, Fumiaki TAKAHASHI

Radiation Risk Analysis Research Group, Nuclear Safety Research Center, Japan Atomic Energy Agency

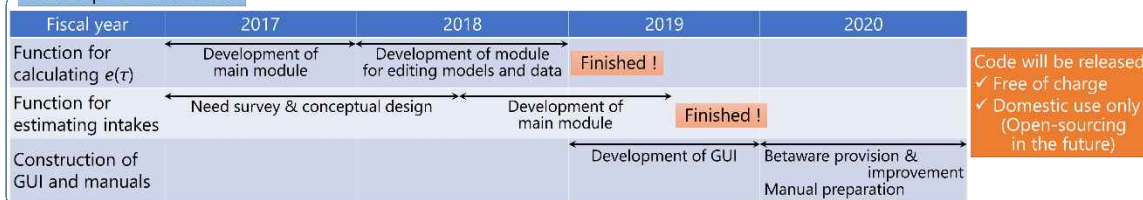
### Background

- We are developing an internal dosimetry code in accordance with the ICRP 2007 Recommendations to revise the RP system in Japan.
  - ✓ Main function: calculating dose coefficients,  $e(\tau)$
- After the Recommendations are incorporated into the RP system, intakes and exposure doses should be estimated by using the revised models and data in accordance with the 2007 Recommendations.
  - ✓ Function for estimating intakes: an application of the function for calculating  $e(\tau)$

### Features of the internal dosimetry code

- Function for calculating  $e(\tau)$ \* \*K. Manabe, et al., Bio Conf. 14 03011 (2019).
  - ✓ Based on the ICRP's dosimetric models and data: nuclear decay data, biokinetic models, specific absorbed fractions...
  - ✓ Enable to edit the models and data: Japanese specific data...
- Function for estimating intakes from monitoring results
  - ✓ Maximum likelihood method with singular value decomposition (SVD) is employed.
  - ✓ Single/multiple acute intakes, and chronic intakes are supported.
- Graphical User Interface (GUI) for integrating the two functions

### Development schedule



### Verification of the function for estimating intakes

- Exercise cases were selected from
    - ✓ IDEAS Guideline (EURADOS Report 2013-01)
    - ✓ IAEA Safety Report Series No. 37
    - ✓ IMBA manual (IMBA Pro ver. 5.0.0)
  - Intakes are estimated by using the former biokinetic models: 1990 Recommendations
  - The former models were implemented to the code
    - ✓ Original respiratory tract clearance models (ICRP Publ. 66)
    - ✓ Gastrointestinal tract model (ICRP publ. 30)
    - ✓ Systemic models for I, Cs, U, Pu (ICRP Publ. 56, 67, 69)
- Estimated intakes by the function ← Comparison → Literature values

### Case 1: Simple case

- Ingestion of  $^{137}\text{Cs}$  (IDEAS)
  - ✓ Intake: 2 times
  - ✓ Monitoring: 7 times by WBC
- 
- Good agreement

### Case 2: Results lower than DL

- Inhalation of  $^{238}\text{Pu}$  special type (IMBA)
  - ✓ Intake: 1 time
  - ✓ Monitoring: 48 times by urine assay
- 
- This function treats monitoring results lower than DL as half of DL.

### Case 3: Multiple measuring methods

- Inhalation of  $^{235}\text{U}$  type M (IDEAS)
  - ✓ Intake: 1 time
  - ✓ Monitoring: 5 times by WBC and 5 times by bioassay (urine)
- 
- This function can consider monitoring results by multiple measuring methods simultaneously.

### Case 4: Shortage of the number of measurements

- Inhalation of  $^{131}\text{I}$  type F (IAEA)
  - ✓ Intake: 3 times
  - ✓ Monitoring: 2 times by thyroid monitor
- Measurement times,  $n_M < \text{Intake times}, n_I$
- 
- IAEA: It is assumed the intakes on each day are equal.  
 This study: Assumption about each intake is NOT necessary for estimating intakes because of SVD.
- This function can estimate intakes without assumptions even if  $n_M < n_I$ .
- Note that assumption is effective in some cases.  
 Eg., information on working time, concentration of activity in work place is available.

### Summary & future plans

- We confirmed the function for estimating intakes of the internal dosimetry code works correctly.
- This FY: We will construct the betaware of the internal dosimetry code in accordance with the ICRP 2007 Recommendations.
- The next FY: We will complete the code based on comments and suggestions from betaware users and prepare manuals.

Foundation: This study is funded by the Nuclear Regulation Authority of Japan (Radiation Safety Research Promotion Fund).

5. 第2回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会  
発表スライド1件、発表ポスター1件

1B1-4

## 放射性セシウムの慢性摂取による 内部被ばく線量評価に対する 体内動態モデル更新の影響

JAEA

○真辺 健太郎、佐藤 薫、高橋 史明

令和元年12月5日（木）  
第2回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会  
於：東北大学青葉山新キャンパス



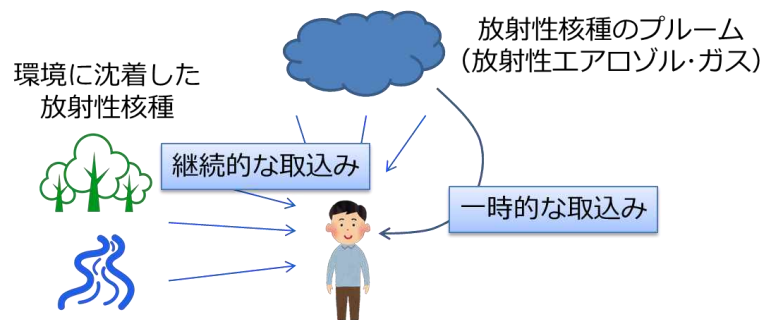
1

### 背景

2H16

#### 環境中への放射性核種の流出

- ✓ プルーム通過時の一時的な取込み：急性摂取
- ✓ 環境に沈着した放射性核種の再浮遊等による継続的な取込み：慢性摂取



#### 国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告に基づく内部被ばく線量

- ✓ 急性摂取：主要28元素について新しい線量係数\*が公開
- ✓ 慢性摂取： ??? ?

\*核種1Bq摂取当たりの預託実効線量

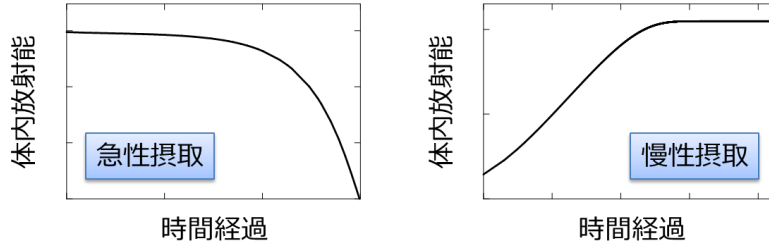
2



## 目的

### 慢性摂取の特徴

- ✓ 一定期間経過すると体内放射能が平衡状態になる



### ICRPによる放射性核種の体内動態モデルの見直し

- ✓ 呼吸気道に沈着したエアロゾルの移行モデル
- ✓ 消化管における移行モデル
- ✓ 血液吸収後の全身循環モデル（元素の種類に依存）

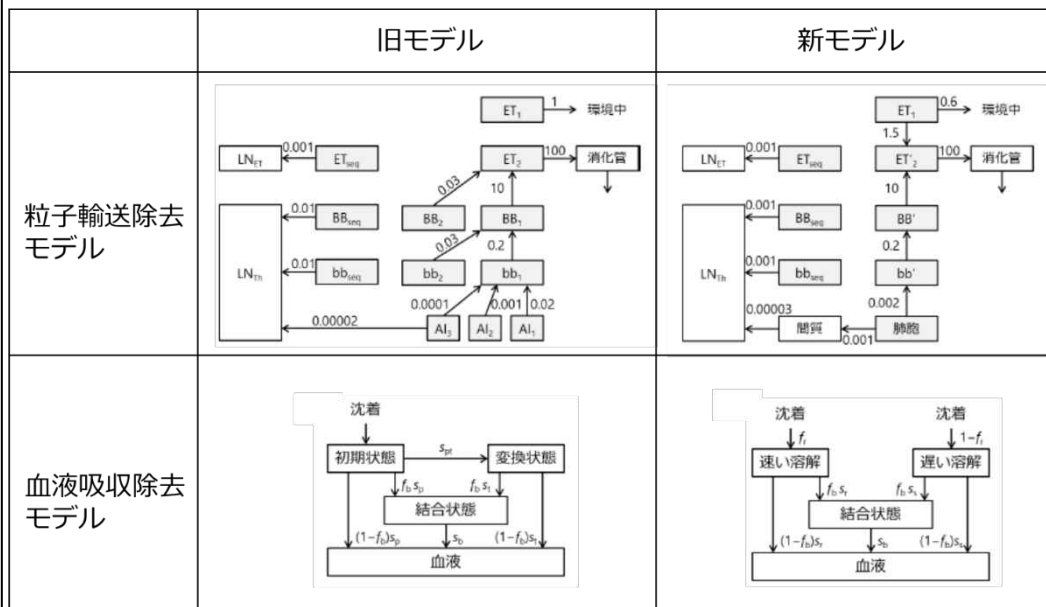
体内動態モデルの更新 ⇒ **Cs**の慢性摂取による内部被ばく線量への影響



3

## 体内動態モデルの違い 呼吸気道モデル

2H16



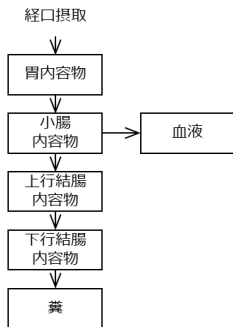
単純化



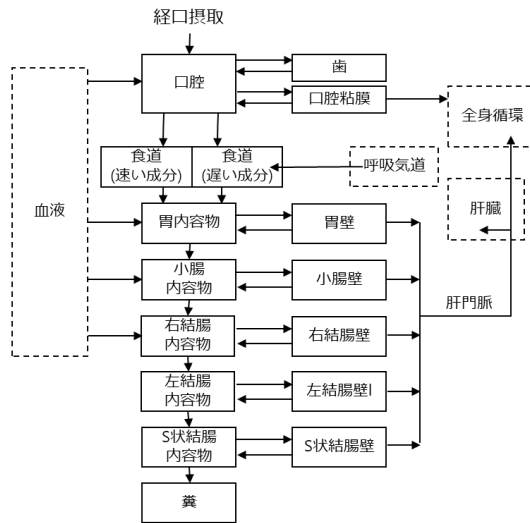
4

## 体内動態モデルの違い 消化管モデル

旧モデル



新モデル



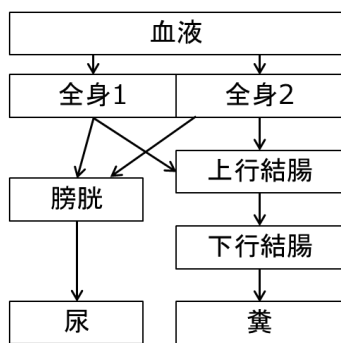
詳細化



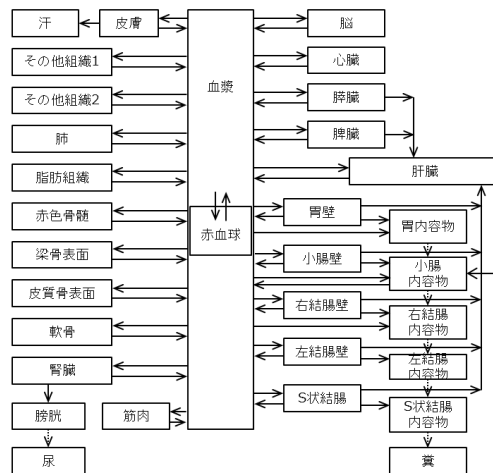
5

## 体内動態モデルの違い Cs血液全身循環モデル

旧モデル



新モデル



詳細化



6

## 体内動態モデルのみ変更した被ばく線量計算

### ICRP2007年勧告対応内部被ばく線量評価コード

- ✓ H29-R2年度 原子力規制庁 放射線安全規制研究戦略的推進事業で開発中
  - 線量係数計算機能
  - 核種摂取量推定機能

詳細はポスターP-40をご覧ください

### 線量係数計算機能

- ✓ 計算に用いるモデルやデータを編集可能

動態モデルの種類	従来モデル (組み込んだモデル)	新モデル (コードの既定モデル)
呼吸気道モデル	ICRP Publ. 66	ICRP Publ. 130
消化管モデル	ICRP Publ. 30	ICRP Publ. 100
Cs全身循環モデル	ICRP Publ. 30, 71	ICRP Publ. 137

- ✓ 体内放射能・積算線量の経時変化を出力可能：解析に利用



7

## 摂取条件と評価した量

### <sup>137</sup>Csの慢性摂取

- ✓ 評価対象：軽作業時の成人
- ✓ 摂取条件：毎日 1 Bq 摂取
- ✓ 摂取経路と化学形：経口摂取（可溶性物質： $f_A = 1$ ）  
吸入摂取（タイプF, M, S）
- ✓ エアロゾル：AMAD\*<sup>1</sup> 1  $\mu\text{m}$ , 密度 3.0  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 形状係数 1.5
- ✓ 評価した量：全身放射能, 年実効線量率 <sup>\*1</sup>空気力学的放射能中央径

### 年実効線量率

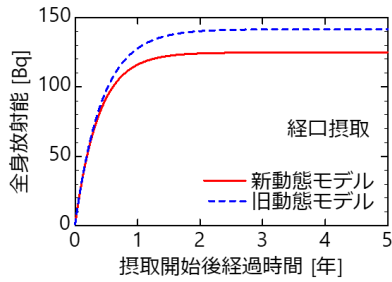
- ✓ 摂取期間を1年毎に区切った時の1年当たりの実際の被ばく線量
- ✓ 預託実効線量\*<sup>2</sup>とは異なる  
<sup>\*2</sup>摂取から50年間又は70歳になるまでの積算線量



8

## 結果：経口摂取

### 全身放射能の時間推移

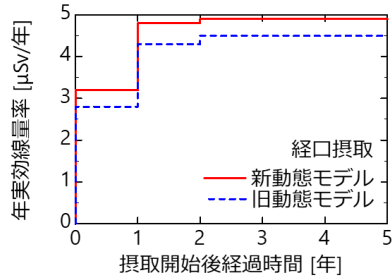


	新モデル	旧モデル	差
平衡状態*になるまでの時間	920日	911日	+1.0%
平衡状態の全身放射能	125 Bq	141 Bq	-12%

\*放射能が50年経過時の放射能の99.7%に達した状態

Csの血液全身循環モデルの見直し  
⇒ 血液→腎臓→膀胱の移行速度が増加

### 年実効線量率の時間推移



✓ 平衡状態における年実効線量率

新モデル：4.93 μSv/年  
旧モデル：4.51 μSv/年

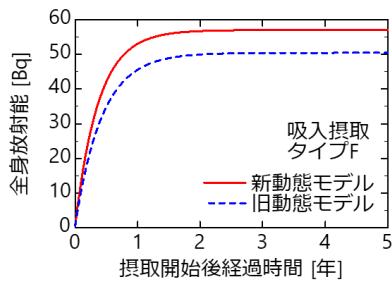
+9.3%

旧モデル：脂肪も含めて全身に均一に分布  
新モデル：筋肉により集中して分布  
⇒ 組織加重係数 ( $w_T$ ) の大きい体幹部の組織の等価線量 ( $H_T$ ) が増加

9

## 結果：吸入摂取タイプF

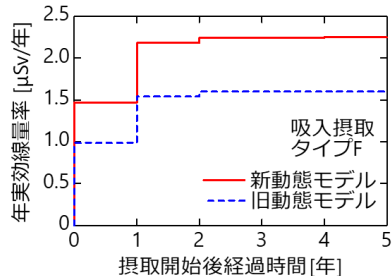
### 全身放射能の時間推移



	新モデル	旧モデル	差
平衡状態になるまでの時間	919日	911日	+0.9%
平衡状態の全身放射能	57.1 Bq	50.4 Bq	+13%

呼吸気道における移行モデルの見直し  
⇒ 血液へ移行する放射性核種の割合が増加

### 年実効線量率の時間推移



✓ 平衡状態における年実効線量率

新モデル：2.25 μSv/年  
旧モデル：1.60 μSv/年

+41%

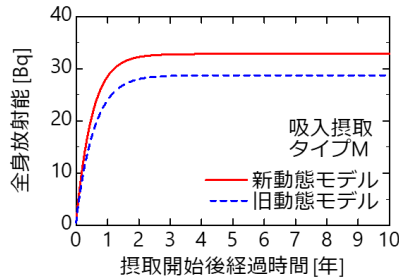
旧モデル：脂肪も含めて全身に均一に分布  
新モデル：筋肉により集中して分布  
⇒  $w_T$  の大きい体幹部の組織の  $H_T$  が増加

経口摂取と同じ

10

## 結果：吸入摂取タイプM

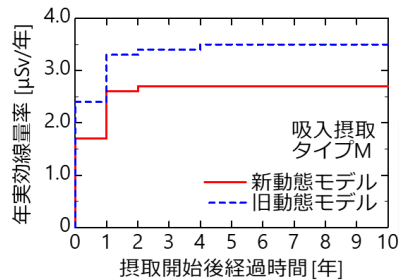
### 全身放射能の時間推移



	新モデル	旧モデル	差
平衡状態になるまでの時間	1113日	1123日	-0.9%
平衡状態の全身放射能	32.9 Bq	28.7 Bq	+14%

呼吸気道から消化管へ移行したCsの血液吸収率 ( $f_A$  値) が0.1から0.2に増加

### 年実効線量率の時間推移



✓ 平衡状態における年実効線量率

新モデル：2.75  $\mu\text{Sv}/\text{年}$   
旧モデル：3.45  $\mu\text{Sv}/\text{年}$  ↩ -20%

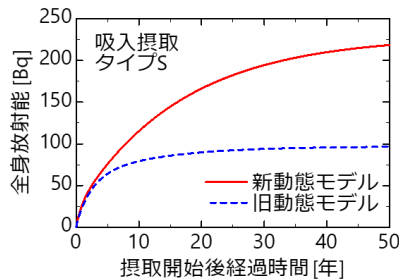
呼吸気道から血液への移行パラメータの見直し  
(速い成分の比率の増加、遅い成分の移行速度の増加)

⇒  $w_T$ の大きい肺の $H_T$ が減少

11

## 結果：吸入摂取タイプS

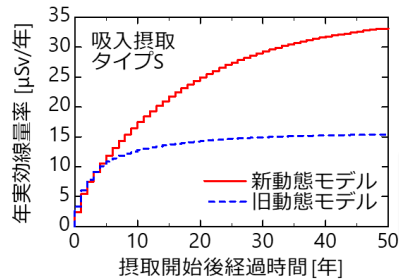
### 全身放射能の時間推移



	新モデル	旧モデル	差
平衡状態になるまでの時間	—	45.5年	—
50年経過時の全身放射能	218 Bq	96.5 Bq	+126%

呼吸気道における移行モデルの見直し  
⇒ 肺胞領域の生物学的半減期が長い (20年)  
成分の割合がほぼ倍増

### 年実効線量率の時間推移



✓ 50年目の年実効線量率

新モデル：33.1  $\mu\text{Sv}/\text{年}$   
旧モデル：15.4  $\mu\text{Sv}/\text{年}$  ↩ +115%

呼吸気道における移行モデルの見直し

⇒  $w_T$ の大きい肺の $H_T$ が増加

12

## まとめ

- ✓ 体内動態モデルの更新が<sup>137</sup>Csの慢性摂取の内部被ばく線量に及ぼす影響を調べた。
  - 平衡状態になるまでの時間に大きな変化はなかった。  
ただし、タイプSは50年では平衡状態に到達しなかった。
  - 平衡状態における全身放射能・年実効線量率の増減傾向は、  
摂取条件により異なっていた。

本研究は、原子力規制庁 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）事業による成果を含みます。

# P-40 ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発



○高橋史明<sup>1)</sup>, 真辺健太郎<sup>1)</sup>, 佐藤薫<sup>1)</sup>, 渡嘉敷雄士<sup>2)</sup> 1) 日本原子力研究開発機構, 2) ヴィジブルインフォメーションセンター

## 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
- (規制) 内部被ばくに対する放射線防護に係る基準値の見直し
    - ✓ 空気中濃度限度 (Bq/cm<sup>3</sup>) ----- 職業被ばく
    - ✓ 排気中又は空気中の濃度限度 (Bq/cm<sup>3</sup>) } 公衆被ばく
    - ✓ 排液中又は排水中の濃度限度 (Bq/cm<sup>3</sup>) }
  - (履行) 事業所での被ばく管理、事故時の線量評価法の見直し
    - ✓ 体外計測、バイオアッセイ等による摂取量評価
    - ✓ 摂取量に基づく内部被ばく線量評価

## コードの概要

- 2つの基本機能
  - ICRP2007年勧告に従う線量係数 (Sv/Bq) を計算する機能
  - モニタリング結果に基づいて核種摂取量 (Bq)を推定し、被ばく線量を評価する機能
- ユーザーの利便性や操作性を向上させる機能
  - 計算条件を適切かつ容易に設定可能とする機能 (GUI)
  - 結果を効果的に表示する機能 (数表やグラフ)

**我が国の技術的基盤となる内部被ばく線量評価コード**

## 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	令和2年度
線量係数計算機能	基本機能の開発、検証	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、結果表示機能の開発(β版の開発)	β版意見聴取とコードの改良 マニュアル整備

令和元年12月

コード完成・公開

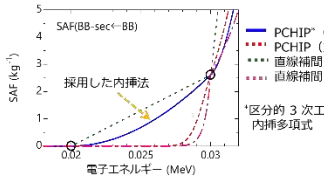
## 開発した基本機能の主な特徴

### ○体内動態モデルの記述 (XML形式の採用)



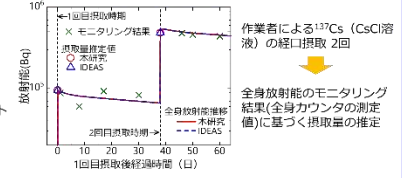
ICRPが今後公開する新規の体内動態モデルを効率的に追加するため、体内移行に関する情報を認識可能なXMLファイル形式を採用した。(MS-Excel等で編集可能)

### ○SAFデータの内挿法 (PCHIPの採用)



刊行物に明記されていない内挿法に関する情報 (PCHIPを適用)を入手、採用した。

### ○種々の摂取条件に対する核種摂取量の推定

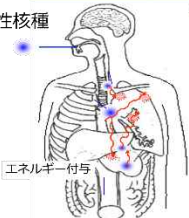


様々な摂取条件やモニタリングの実施状況に応じた計算を可能とし、EURADOS IDEASガイドライン等の例題により、当該機能の妥当性を検証した。

ICRP2007年勧告に準拠する線量評価モデルやデータに基づき、線量係数を導出し、モニタリング値から核種の摂取量を推定する機能を開発 (検証完了)

## コードβ版の開発 (各基本機能に対して、ユーザーの利便性、操作性を考慮)

### 放射性核種



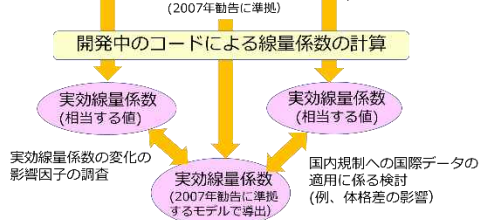
### ○何れの基本機能の操作においても入力条件として設定する主な項目

- 内部被ばく線量評価で必要不可欠な情報
  - ✓ 評価対象者は? ⇒ 作業者? 公衆 (年齢群)?
  - ✓ 摂取した核種名は?
  - ✓ 核種の種類 (化学形等) は?
  - ✓ 摂取経路は? ⇒ 経口? 吸入? ...
- より精緻な線量評価を可能とする情報
  - ✓ 摂取形態 ⇒ 急性? 複数回? 慢性?
  - ✓ 体内移行の追加、移行係数データの変更

**グラフィカルユーザーインターフェイス (GUI)により、容易な計算条件を設定する。**

### ○線量係数を計算する機能に固有な設定

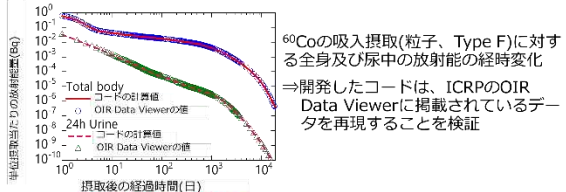
- ✓ 1990年勧告に準拠するモデルの設定 (GUI)
- ✓ ユーザーによる個別データの設定 (GUI)



新旧の係数で生じた差への影響因子、日本人の体格や代謝の特性を考慮した線量係数の導出を可能とさせる。

### ○摂取した放射性核種の量を推定する機能の出力

- 摂取量の推定で必要不可欠な情報を設定 (GUI)
- ✓ モニタリングの対象(方法)及び結果
- ✓ 摂取からモニタリングまでの経過時間
- 核種の摂取量や被ばく線量の評価結果等を表示
  - ✓ 摂取した核種量や実効線量など
  - ✓ 排泄物や体内放射能の時間的推移 (グラフ)



⇒開発したコードは、ICRPのOIR Data Viewerに掲載されているデータを再現することを検証

## 今後の予定

- ✓ 今年度中にコードβ版を整備 ⇒ 聴取した意見を反映させ、コード完成 (マニュアル整備含む)を進める予定
- ✓ 令和2年度中に、線量係数計算機能と摂取量推定機能を統合したコードを完成、公開させる予定

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。

平成31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

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

令和2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31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. 研究参加者 .....	3
2. 本年度事業の実施内容及び成果 .....	5
2.1. BCPに関する調査 .....	5
2.2. 分担研究リスクコミュニケーションに関する調査 .....	6
2.3. 海外調査 .....	8
2.4. 原子力災害拠点病院に対する訪問調査 .....	10
2.5. 原子力災害拠点病院BCPワークショップ開発と実施 .....	11
2.5.1. ワークショップ開発 .....	11
2.5.2. ワークショップ実施 .....	12
2.6. 全体会議 .....	15
3. 本年度事業のまとめ .....	17
3.1. 本年度事業の成果発表 .....	18

補足資料1 「原子力災害拠点病院のための業務継続計画BCP策定の手引き（案）」

補足資料2 「〇〇病院原子力災害拠点病院業務継続計画（案）」

## 1. 研究目的及び研究目標

現在、我が国では平成23年の東日本大震災、そして東京電力福島第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、令和2年12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48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。

また、平成30年度成果報告会にて「#1 緊急対応との関係、及び外部評価・リスク等との関係を明確にすべき、#2 リスクの研修には座学に加えて実学が必要なので、実績のあるコミュニケーターの協力が必要ではないか」との指摘を踏まえて、BCPのあり方、そして原子力災害時におけるリスクコミュニケーションのあり方について研究体制を強化することとした。

なお2年目の事業計画として、以下の4項目を設定した。

- ①原子力災害拠点病院における業務継続計画BCP策定のための  
技術的指針類の作成
- ②策定された業務継続計画BCPの充実度を評価する仕組みの作成
- ③複合災害を想定した原子力災害拠点病院の業務継続計画BCP策定
- ④原子力災害時に原子力災害拠点病院が円滑に活動を行うため地域社会や報道機関に向けたリスクコミュニケーションのガイドラインの確立

## 1.2. 研究参加者

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、茨城県竜ヶ崎保健所の明石所長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。

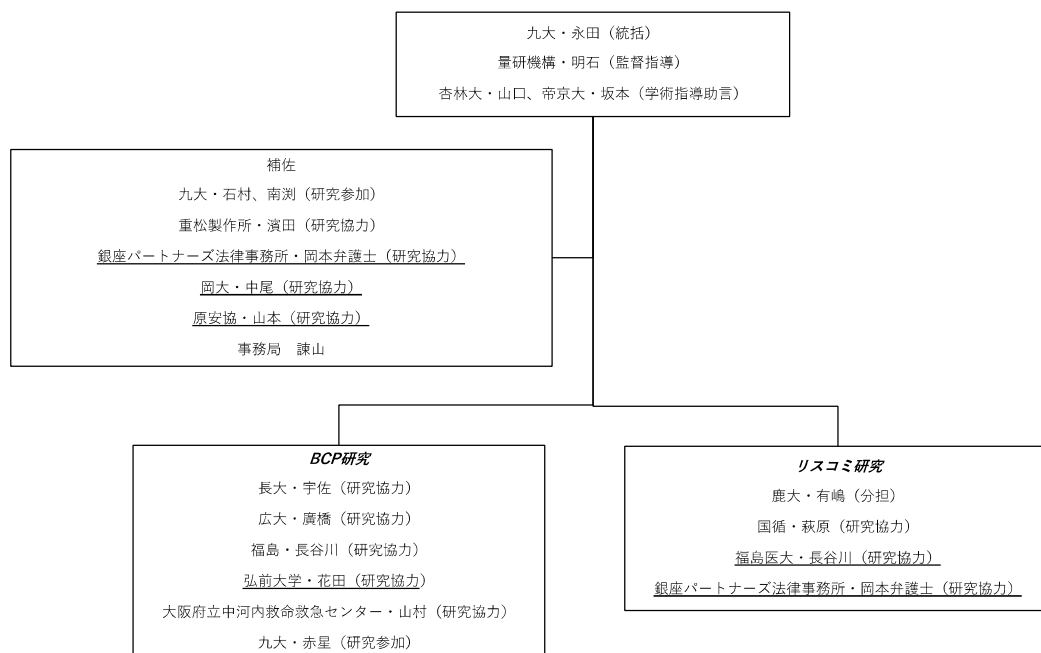
なお、研究班の構成を以下に記す。

	氏名	協力内容	所属機関	所属機関職名
1	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
2	明石 真言	監督指導	茨城県竜ヶ崎保健所 (前国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構)	所長
3	坂本 哲也	学術指導 助言	帝京大学病院	院長
4	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
5	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
6	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
7	山村 仁	研究協力	大阪府立中河内救命救急センター	副所長
8	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
9	濱田 昌彦	研究協力	株式会社重松製作所	主任研究者
10	中尾 博之	研究協力	岡山大学 災害医療マネジメント学講座	教授

11	萩原 明人	研究協力	国立循環器病研究センター研究所 予防医学・疫学情報部 (前九州大学)	客員部長
12	花田 裕之	研究協力	弘前大学大学院災害医学講座	教授
13	山本 尚幸	研究協力	原子力安全研究協会 放射線災害医療研究所	業務執行理事・ 所長
14	岡本 正	研究協力	銀座パートナーズ法律事務所	弁護士
15	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
16	石村 徳彦	研究参加	九州大学病院	副看護師長
17	南淵 篤	研究参加	九州大学病院	主任

### 研究体制図（平成31年4月1日～）

（下線部はH31年度からの追加者）



【図 1. 研究班体制図】

## 2. 本年度事業の実施内容及び成果

### 2.1. BCPに関する調査

#1: 緊急対応との関係、及び外部評価・リスク等との関係を明確にすべき、と評価委員会からの指摘を踏まえ、BCP策定の世界的権威であるNPO団体Disaster Recovery Institute (DRI) が提示するモデルに即して両者の関係を検討したところ、BCPの中で緊急対応や危機広報が明確に位置付けられていることが明らかとなった。危機広報とはリスクコミュニケーションであり、BCPの中で病院内外の関係者にタイムリーに的確な情報を提供することが求められるとされている。このことから、原子力災害拠点病院のBCPにもリスクコミュニケーションの観点を盛り込むこととした。加えて、BCPの妥当性を担保するために、チェックリストを用いて外部評価を行うこととした。

#### Disaster Recovery Instituteが提唱する 業務継続計画BCPのための10項目



1. BCP策定の開始とマネジメント
2. リスク評価
3. 業務影響分析 (Business Impact Analysis)
4. 業務継続戦略
5. 原子力災害医療対応
6. 業務継続計画と導入
7. 啓発と研修プログラム
8. 業務継続計画の演習、評価、維持
9. 危機広報
10. 外部機関との調整

3

なお、永田主任研究者は令和元年6月13日から15日にDRI日本支部にて行われた研修会に参加し修了し、本研究にて同モデルを利用することが承認された。

後述するワークショップの実施後、第3回班会議にて原子力災害拠点病院においてBCP業務継続計画を策定するためには、何らかの手引きとテンプレートが必要であることが指摘された。それを踏まえて、「原子力災害拠点病院のための業務継続計画BCP策定の手引き（案）」を準備した。本報告書に補足資料として添付する。

## 2.2. 分担研究リスクコミュニケーションに関する調査

#2: リスコミの研修には座学に加えて実学が必要なので、実績のあるコミュニケーションの協力が必要ではないかとの評価委員会からの指摘を踏まえ、平成31年度研究班に新たに岡本正弁護士（災害復興学）、福島県立医科大学長谷川有史先生に加わって頂き、論点の整理を行った。福島第一原発事故時には、原子力災害や放射線に対して人々（医療従事者も含めて）は強い恐怖心を抱いたと言われているが、一方で、原子力災害時の医療対応では多くのマンパワーが必要となることが明らかになっている。原子力災害時に職員を参集させるためには、安全配慮義務の観点からも平時からのリスクコミュニケーションが必要となるが、現時点では学習機会が少ない状況である。原子力災害拠点病院のモデルBCPにおいて、リスクコミュニケーションのあり方を明確に示すとともに、ワークショップでは講義に加えてシナリオに基づく演習を行うこととした。

岡本正弁護士（災害復興学）、福島県立医科大学長谷川有史先生、さらに海外の原子力災害やリスクコミュニケーションの専門家と意見交換した。平成23年東日本大震災における、放射線に対する不安・恐怖により病院職員が参集困難となり、病院機能が低下した。この事実を踏まえて、病院職員への安全配慮義務に留意しつつ、病院職員に対する原子力災害のリスクコミュニケーションの重要性に配慮することとした。

分担研究ではリスクコミュニケーションとクライシスコミュニケーションを以下のように整理し、いずれも原子力災害拠点病院が複合災害での原子力災害時に機能するために必要な内容であるものとした。

クライシスコミュニケーションと リスクコミュニケーション	
クライシスコミュニケーション	リスクコミュニケーション
クライシス	リスク
起こってしまった事	起こるかもしれない事
生死、損害・損失	確率、可能性、危険性、安全性
事後対応	事前・事後対応
恐怖	不安

注意1) 両者は明確に分かれるものではないと思われる。特に原子力災害時には状況や時間軸、対象において両者が一緒になりうる。

注意2) 原子力災害拠点病院が活動するのは事後対応なので、本研修ではクライシスコミュニケーションを中心に扱うこととする。



米国政府におけるリスク・クライシスコミュニケーションはVincent Covelli, Peter Sandmanといった専門家が提唱する理論に準拠していることが確認された。

そして欧米の国際標準的な災害・危機時におけるリスクコミュニケーション・クライシスコミュニケーションのあり方を分析し、本研究では、US Environmental Protection Agency. Communicating Radiation Risk. Crisis Communications for Emergency Responder (米国環境保護省 放射線リスクのコミュニケーション 緊急対応要員のためのクライシスコミュニケーション)に準拠する形でワークショップの講義・演習を開発した。

### 原子力災害時のコミュニケーションの手順

1. 危機を評価する
2. 対象者を特定し評価する
3. コミュニケーションの方法を決める
4. メッセージを3つ、つくる
5. メッセージの整合性に留意する
6. 公共やメディアに対してタイムリーに対応する

参考) US Environmental Protection Agency. Communicating Radiation Risk. Crisis Communications for Emergency Responder

### 2.3. 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）同大学教育関連病院、Radiation Injury Treatment Networkの会議参加等を通じて、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31年4月24日～令和元年5月2日

場所：米国 ボストン

#### 調査概要

日付	内容
4.25	ダナファーバーがんセンター血液内科医師と面会。高線量被ばく患者の対応、トリアージ、救急部門との協働について意見交換。
4.25	ブリガム病院救急部医師と面会。救急部門における高線量被ばく患者対応および病院業務を継続するために院内にコマンドセンターを設立する取組について議論。
4.26	タフツ大学心理学部災害・危機時の心理学の専門家と面会。恐怖に関する心理学・生理学に関する一般的な意見交換。
4.27	タフツ大学心理学部災害・危機時の心理学の専門家と再度面会。放射線恐怖症に対するリスクコミュニケーションのあり方について議論。
4.29	マサチューセッツ州危機管理センター責任者そして原子力災害専門官と面会。マサチューセッツ州における原子力災害対応およびリスクコミュニケーションのあり方について意見交換。
4.29	ベスイスラエル病院IT責任者と面会。 米国の病院におけるIT分野でのBCPの策定について情報提供。
4.30	マサチューセッツ総合病院救急部医師と面会。同病院のBCPに関する取り組みについて情報提供。
4.30	ハーバード大学公衆衛生大学院国際保学科武見プログラムを訪問し、責任者およびフェローと面会。公衆衛生上の原子力災害の問題について意見交換。

① 期間：令和元年7月27日～8月3日

場所：米国バージニア州アーリントン郡フォールズチャーチ、クリスタルシティ

調査概要

日付	内容
7.29	研究協力者である長崎大学宇佐先生と翌日からの学会である Radiation Injury Treatment Network会議について打ち合わせ
7.30	ホテルワシントンDCのダブルツリーバイヒルトン長崎大学宇佐先生と一緒にAdvanced Hazard Life Supportに参加
7.30	ホテルワシントンDCのダブルツリーバイヒルトン長崎大学宇佐先生と一緒にRadiation Injury Treatment Network会議に参加
7.31	ホテルワシントンDCのダブルツリーバイヒルトンにて長崎大学宇佐先生と一緒にRadiation Injury Treatment Network会議に参加
8.1	International Association of Emergency Manager本部を訪問し、幹部と面会し米国における原子力関連の危機管理やリスクコミュニケーションについて意見交換

## 2.4. 原子力災害拠点病院に対する訪問調査

昨年度に続き原子力災害医療・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、長崎大学を通じて、原子力災害医療に従事する医療従事者に対して、以下のように訪問調査を実施した。

- (1) 調査対象：令和2年12月1日現在で指定されている原子力災害拠点病院48施設中、面会のアポイントが確保できた11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策定に関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。
  - ・ 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。RI事故も原子力災害拠点病院が対応すべきと考えている施設が存在すること。
  - ・ 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。
  - ・ 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、不安や不満があること。
  - ・ 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。
  - ・ 原子力災害拠点病院の中には災害拠点病院として指定されていない施設もあり、BCPが整備されていないことがある。

## 2.5. 原子力災害拠点病院BCPワークショップ開発と実施

### 2.5.1. ワークショップ開発

昨年度のアンケート調査及び今年度実施したBCPに関する調査、リスクコミュニケーションに関する調査、海外調査そして国内における聞き取り調査を踏まえて、教材開発および時間割を策定した。

#### ワークショップカリキュラム時間割

	時間	講義内容	講師
開会・挨拶	13:00		
講義1	13:10 - 13:50	原子力災害拠点病院のためのBCP研修	九州大学 永田高志
講義2	13:50 - 14:40	原子力災害拠点病院のBCPと病院経営における安全配慮義務の視点	銀座パートナーズ法律事務所 弁護士 岡本 正
休憩	14:40 - 14:50		
演習1 グループ ディスカッション	14:50 - 15:40	複合災害による原子力発電所事故を想定した 原子力災害拠点病院の対応について	九州大学 永田高志 鹿児島大学 有嶋拓郎
休憩	15:40 - 15:50		
講義3	15:50 - 16:10	原子力災害拠点病院に必要なリスク・クライシス コミュニケーションのあり方	九州大学 永田高志
演習2	16:10 - 17:00	原子力災害拠点病院のためのリスク・クライシス コミュニケーション演習	鹿児島大学 有嶋拓郎
質疑応答	17:00 - 17:15		
閉会	17:15		

- ① 「原子力災害拠点病院のためのBCP研修」では、DRIの10項目に準じて、原子力災害拠点病院のBCPを策定するための解説を行った。特に原子力災害時における原子力災害拠点病院にとってのリスク評価、業務影響分析、そして業務継続戦略の重要性を強調した。
- ② 「原子力災害拠点病院のBCPと病院経営における安全配慮義務の視点」では講師の岡本弁護士より、病院職員の安全配慮義務そしてそのためのリスクコミュニケーションのあり方について講義が行われた。
- ③ 「複合災害による原子力発電所事故を想定した原子力災害拠点病院の対応について」では、各道府県における複合災害の中での原子力施設の事故を想定し、その中で各原子力災害拠点病院がリスク評価、業務影響分析、そして業務継続戦略を実施できるようなディスカッションを行った。
- ④ 「原子力災害拠点病院に必要なリスク・クライシスコミュニケーションのあり方」では、後で行う演習に必要な解説を行った。

- ⑤ 「原子力災害拠点病院のためのリスク・クライシスコミュニケーション演習」では、原子力災害拠点病院で想定しうる3つのシナリオを元にグループでの実習を行った。

#### 2.5.2. ワークショップ実施

原子力災害医療・総合支援センターの協力を経て、以下の4回のワークショップを実施した。

(1) 第1回ワークショップ（茨城県）

日 時：令和元年12月11日 13時00分～17時15分  
場 所：水戸医療センター（福島県立医科大学担当地域）  
参 加 者：12名

(2) 第2回ワークショップ（鹿児島県）

日 時：令和元年12月23日 13時00分～17時00分  
場 所：鹿児島大学病院（長崎大学担当地域）  
参 加 者：20名

(3) 第3回ワークショップ（青森県）

日 時：令和2年1月7日 13時00分～17時00分  
場 所：青森県庁（弘前大学担当地域）  
参 加 者：27名

(4) 第4回ワークショップ（島根県）

日 時：令和2年1月9日 13時00分～17時15分  
場 所：島根大学医学部附属病院（広島大学担当地域）  
参 加 者：25名



【図1.水戸医療センターにて】



【図2.島根大学医学部附属病院にて】



【図3.青森県庁でのBCP講義風景】



【図4.青森県庁でのリスコミ演習】

### ワークショップ実施後アンケート調査

ワークショップに参加した受講生ならびにオブザーバーに対してアンケート調査を実施。

全参加者84名中、71名から回答回収。

回答者内訳 医師11名、看護師17名、放射線技師12名、事業所4名、  
病院事務20名、その他7名

#### 講義の内容

講義1 「原子力災害拠点病院のためのBCP研修」

講義2 「原子力災害拠点病院のBCPと病院経営における安全配慮義務の視点

講義3 「原子力災害拠点病院に必要なリスク・クライシスコミュニケーションのあり方」

演習1 グループディスカッション「複合災害による〇〇原子力発電所事故を想定した原子力災害拠点病院の対応について」

## 演習1 「原子力災害拠点病院のためのリスククライシスコミュニケーション演習」

### 講義の点数

全く理解できなかった；1 理解できなかった；2 どちらともいえない；3 理解できた；4 大変良く理解できた；5

### 演習の点数

全く役に立たない；1 役に立たない；2 どちらとも言えない；3 役立つ；4 大いに役立つ；5

### アンケート集計結果

開催日	開催場所	受講生数	講義1	講義2	講義3	講義全体	演習1	演習2	演習全体	総平均	4回平均
令和元年12月11日	水戸医療センター	12	3.8	3.9	3.8	3.9	3.9	3.8	4.1	3.9	4.2
令和元年12月23日	鹿児島大学病院	16	4.1	未実施	4.3	4.1	4.5	4.4	4.4	4.3	
令和2年1月7日	青森県庁	23	4.3	未実施	4.3	4.4	4.3	4.4	4.3	4.3	
令和2年1月9日	鳥根大学医学部附属病院	20	4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	



## 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：令和元年5月31日 14時00分～16時00分

場 所：九州大学大学院医学研究院（福岡県福岡市）

出席者：永田（九州大）、山口（杏林大）、山村（中河内救命救急センター）、花田（弘前大）、長谷川（福島県立医科大学）、濱田（重松製作所）、萩原（循環器病センター）、山本（原安協）、赤星（九州大）

オブザーバ：石川（福島県立医科大学、プログラムオフィサー：P0）、田中（原子力規制庁）、平瀬（原子力規制庁、P0補佐）

主な内容：事業計画書及び前年度の研究結果を踏まえて、今年度実施する研究の概要及び実施項目について、参加者間で共有がなされた。

### (2) 第2回会議

日 時：令和元年10月3日 14時00分～15時45分

場 所：九州大学東京オフィス（東京都）

出席者：永田（九州大）、有嶋（鹿児島大）、山村（中河内救命救急センター）、長谷川（福島県立医科大学）、廣橋（広島大）、中尾（岡山大）、濱田（重松製作所）、萩原（国立循環器病研究センター）、花田（弘前大）、岡本（銀座パ）

オブザーバ：石川（福島県立医科大学、P0）、平瀬（原子力規制庁、P0補佐）

主な内容：ワークショップの原案として、原子力災害拠点病院のためのBCPの講義、実技、テンプレート案、そしてリスク・クライシスコミュニケーションに関する案が提示され、内容の妥当性について検討された。

(3) 第3回会議

日 時：令和2年1月24日 14時00分～16時00分

場 所：九州大学東京オフィス（東京都）

出席者：永田（九州大）、有嶋（鹿児島大）、明石（茨城県竜ヶ崎保健所）、山口（杏林大）、坂本（帝京大）、山村（中河内救命救急センター）、中尾（岡山大）、濱田（重松製作所）、山本（原安協）、花田（弘前大）

オブザーバ：石川（福島県立医科大学、P0）、高山（原子力規制庁）、平瀬（原子力規制庁、P0補佐）

主な内容：令和元年12月、及び令和2年1月に実施されたワークショップの結果を報告した。そして原子力災害拠点病院BCP策定の手引きの必要性が指摘された。

### 3. 本年度事業のまとめ

本年度の研究計画で挙げた2年目の事業計画の4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業務継続計画BCP策定のための技術的指針類の作成

BCPの世界的権威であるDisaster Recovery Institute が提示する10項目に準拠して、原子力災害拠点病院がBCPを策定するための技術的指針を作成した。  
合わせて、手引きとテンプレートを開発した。

#### ② 策定された業務継続計画BCPの充実度を評価する仕組みの作成

前述の10項目に準拠したモデルBCPのテンプレートを作成した。

九州大学病院BCPを原子力災害拠点病院のモデルBCPとして作成した。

またテンプレートに基づき策定されたBCPの充実度について、原子力災害医療・総合支援センター（弘前大学、福島県立医科大学、広島大学、長崎大学）と協力して評価するための素案を作成した。

#### ③ 複合災害を想定した原子力災害拠点病院の業務継続計画BCP策定

ワークショップでは地震・津波等の複合災害により立地県・隣接県にある原子力発電所が発生したと想定して、原子力災害拠点病院の視点からリスク評価、業務影響分析(Business Impact Analysis)、業務継続戦略を実施した。

複合災害としての原子力災害を想定したBCPを元に策定した。

#### ④ 原子力災害時に原子力災害拠点病院が円滑に活動を行うため、地域社会や報道機関に向けたリスクコミュニケーションのガイドラインの確立

平成23年東日本大震災において放射線に対する不安・恐怖による病院職員の参集困難による病院機能低下の経験を踏まえ、安全配慮義務に留意しつつ、病院職員に対する原子力災害のリスクコミュニケーションの重要性を踏まえたガイドラインの作成。

欧米の国際標準的な災害・危機時におけるリスクコミュニケーション・クライシスコミュニケーションのあり方を分析し、方法論を講義・演習を通じて提示。

### 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。

- ・ 第47回日本救急医学会総会・学術集会（令和元年10月4日東京）有嶋拓郎，永田高志，萩原明人  
「原子力災害時のリスクコミュニケーション 既知情報の重要性についての実験的検証」

以下余白

平成 31 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

令和 2 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	4
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	4
1.3.2	調査研究2：医療機関での受け入れ体制整備	4
1.3.3	調査研究3：専門的支援体制等の整備	5
1.3.4	検証1：モデル地域での検証	5
1.4	実施体制	5
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	検討の経緯と内容	9
2.2.1	避難退域時検査等	10
2.2.2	CBRNE テロ災害の初動対応の教育	10
2.2.3	CBRNE テロ災害訓練	13
2.3	結果	14
2.3.1	難退域時検査の効率化の課題	15
2.3.2	安定ヨウ素剤配布時の説明における課題	15
2.3.3	原子力災害時の多機関連携における課題	15
2.3.4	CBRNE テロ災害での初動対応における課題	15
2.3.5	CBRNE テロ災害対応の教育における課題	18
2.3.6	CBRNE テロ災害の初動対応の教材の作成	19
2.3.7	CBRNE テロ災害での初動対応手順の作成	19
2.4	考察	21
2.4.1	避難退域時検査の効率性の向上	21
2.4.2	CBRNE テロ災害に関する教育、教材の充実	21
2.4.3	CBRNE テロ災害の初動対応手順	22
2.4.4	CBRNE テロ災害対処における多機関連携	22
2.5	結論	22
	資料 2-1 令和元年度 鳥取県原子力防災訓練	24
	資料 2-2 救急車養生訓練	26
	資料 2-3 汚染傷病者ヘリコプター搬送訓練	28

資料 2-4	浦安市消防本部 CBRNE テロ対処研修	31
資料 2-5	浦安市消防本部 CBRNE テロ対処机上演習	34
資料 2-6	市川市消防局 CBRNE テロ対処机上演習	35
資料 2-7	CBRNE 対策合同訓練	36
資料 2-8	国際空港エマルゴ訓練	38
資料 2-9	医療機関における CBRNE テロ災害訓練	40
<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	44
3.2	検討の経緯	44
3.3	結果	45
3.3.1	原子力災害医療に関する研修の体系化	45
3.3.2	原子力災害医療に関する高度専門研修	47
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改定	47
3.3.4	原子力災害拠点病院等での全職員向けの研修資料	48
3.3.5	標準テキストの公開	48
3.3.6	被ばく医療の所領のフローチャートとマニュアル	48
3.4	考察	51
3.4.1	原子力災害医療の研修の今後の展望	51
3.4.2	包括的被ばく医療に関する課題と今後の展望	51
3.5	結論	52
<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	53
4.2	検討の経緯	53
4.3	結果	53
4.3.1	ネットワーク会議を活用した専門的支援	53
4.3.2	検知システム等を活用した専門的支援	54
4.3.3	情報共有システムを活用した専門的支援	58
4.3.4	災害医療との連携	59
4.3.5	医療機関への専門的支援体制	59
4.4	考察	60
4.5	結論	61
<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	62



5.2	検討の経緯	62
5.2.1	初動対応機関の研修	62
5.2.2	原子力災害医療の研修	62
5.2.3	災害医療との連携の研修	62
5.3	結果	62
5.3.1	初動対応機関の研修	62
5.3.2	医療機関の研修	63
5.3.3	災害医療との連携の研修	66
5.4	考察	68
5.5	結論	69
	資料 5-1 協力協定病院・東京 DMAT 被ばく医療研修	70
6	まとめ	72
	別添資料	別-1～545



# 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)。

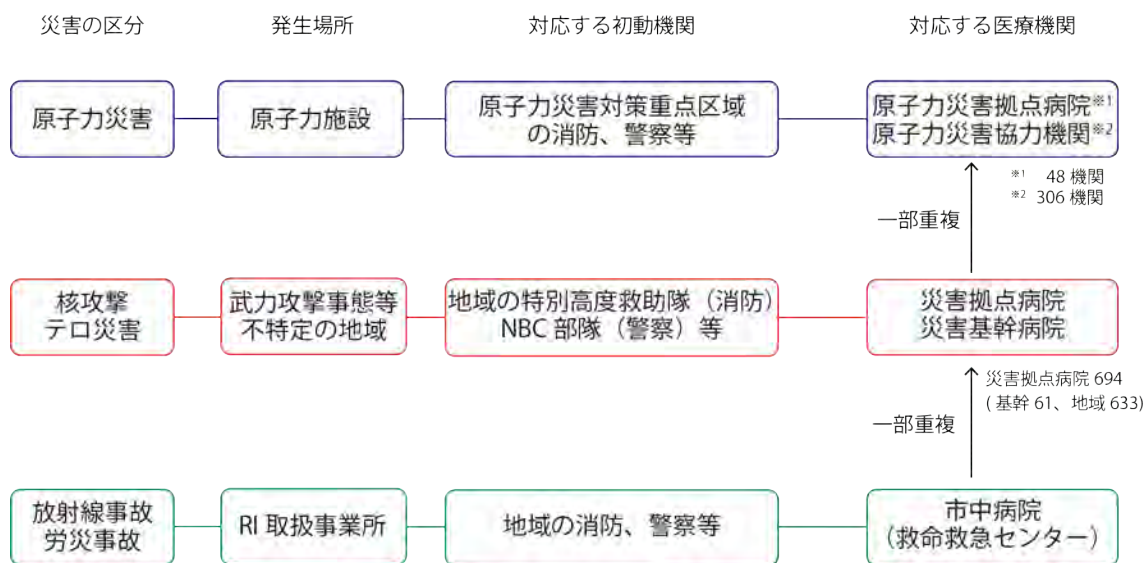


図 1-1 災害の区分と対応機関

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、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、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>。また、これまでの実施された研修で使用されている講義資料は研修毎に講義を担当する講師が作成していること、全ての研修が体系的に整理されておらず講義内容の重複があるといった研修を受講する側としては体系化、標準化されていないといった課題も指摘されていた。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

<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

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。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。

初動対応でも医療機関での初期診療でも、テロ災害や局地災害の発生直後に、放射線や放射性物質が単独で使用されているとは限らず、特に CBRNE テロ災害対応では、放射線や放射性物質以外の化学剤や爆発物、生物剤などの脅威についても、防護措置や検知などは同時に実施することが求められる。さらに、化学剤や爆発物、生物剤などが使用された可能性があると判断される場合も、放射線や放射性物質の存在も考慮して対応することが求められる。初動対応や初期診療で、他の脅威に気づかずに対応してしまうと被害が拡大したり、二次被害が発生したりする。全ての脅威に対してそれぞれの特性に応じた適切な対応をすることが All hazard approach である。

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、全国の 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、包括的かつ実際の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際の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。

原子力災害での医療や対応と、RI 事業所での放射線事故、労災事故あるいは放射線テロまたは核攻撃等の放射線緊急事態での初動対応と医療対応については、放射線の

測定や除染、放射線防護の技術や技能は同じである。一方で、発災の状況や事前の初動や医療の体制については、原子力災害は原子力施設での災害であり、発災の場所が限定されることから原子力災害対策重点区域（24道府県）に限定されて体制整備がなされ、人材育成や資器材の配備などがなされてきた。放射線テロ災害は、発災場所が事前に特定されることはなく、多くは CBRNE テロ災害、危機管理の一環としてそれぞれの地域で教育や体制整備が行われており、関係組織がそれぞれ教育や体制整備を実施している。このような相違点を明確にし、それぞれの対応力が向上することにより原子力災害が発生した場合でも、全国の初動対応機関、医療機関から支援が得られること、放射線テロ災害や RI 事業所での放射線事故発生時でも、遅滞なく必要な被ばく医療が提供できる体制の整備が可能となることが期待される。

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（以下：量研）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

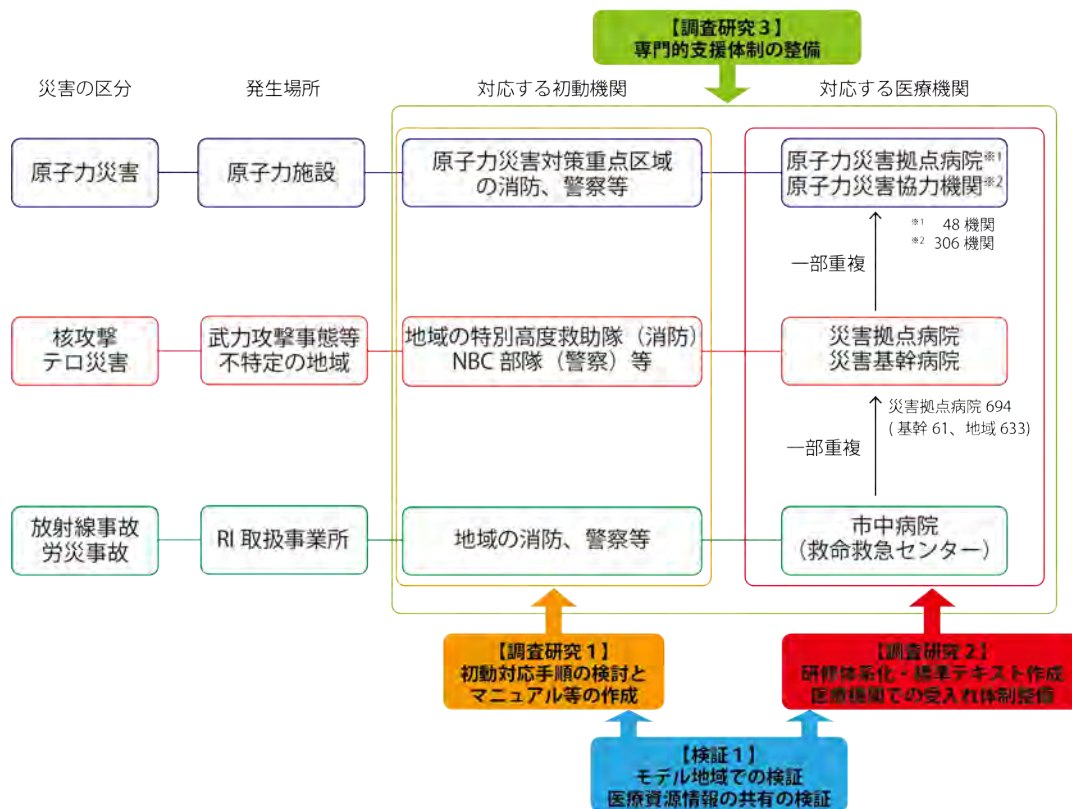


図 1-2 研究の概要

### 1.3. 研究計画

本研究は、平成 30 年度（2018 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（2018 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。R 元年度（2019 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。R2 年度（2020 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（2018 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。R 元年度（2019 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。R2 年度（2020 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（2018 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。R 元年度（2019 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（2018 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。R 元～R2 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 量子医学・医療部門  
高度被ばく医療センター放射線緊急事態対応部

表 1-1 研究協力者一蘭（50 音順、敬称略）

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	医学部附属病院高度救命救急センター
3	岩熊真司	東洋紡株式会社	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

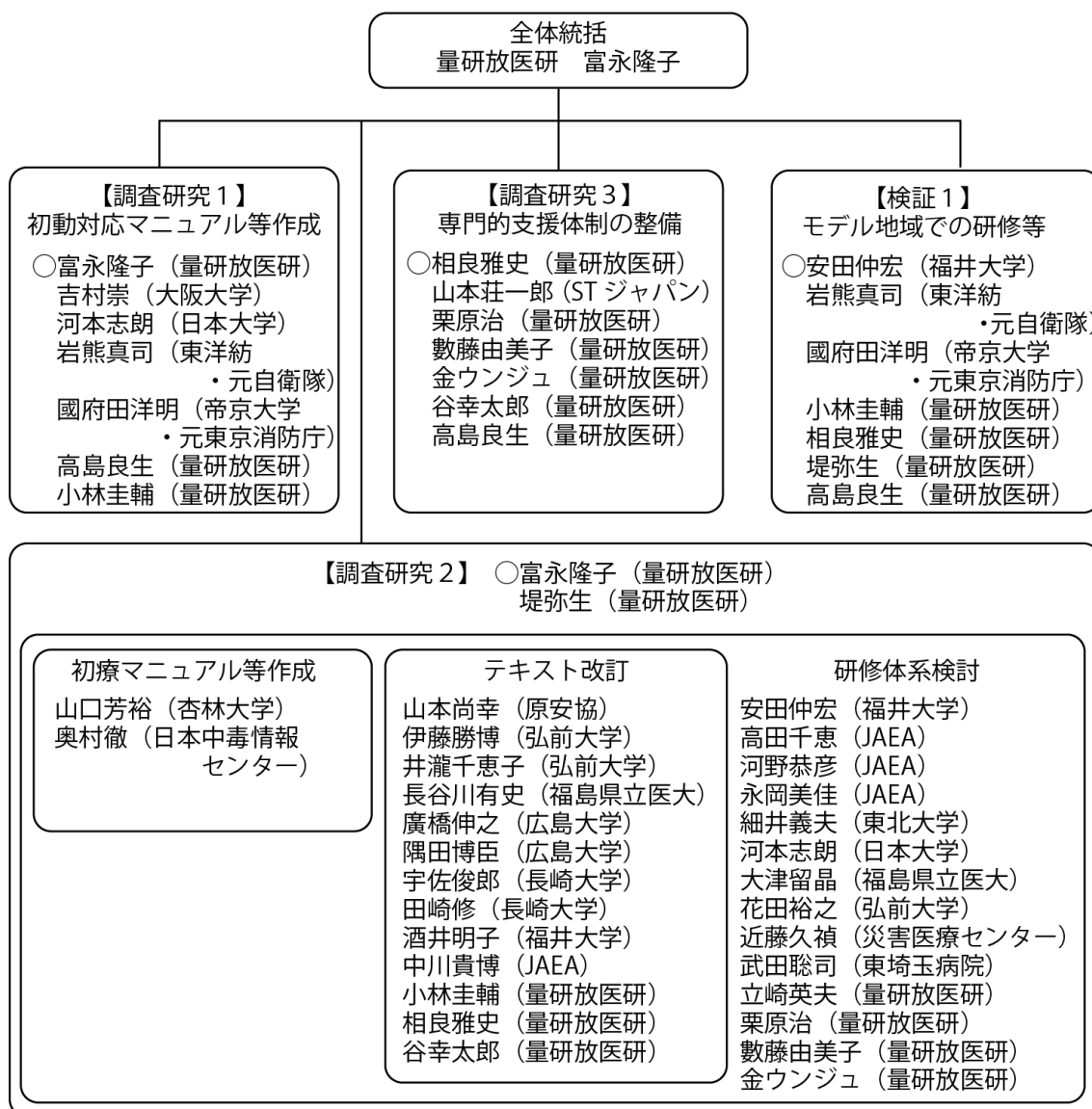
5	大津留晶	福島県立医科大学	放射線健康管理学講座
6	奥村徹	日本中毒情報センター	
7	河本志朗	日本大学	危機管理学部危機管理学科
8	河野恭彦	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構	核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部環境監視課
9	國府田洋明	帝京大学	医療技術学部スポーツ医療学科 救急救命士コース
10	近藤久禎	国立病院機構 災害医療センター 厚生労働省 DMAT 事務局	臨床研究部・災害医療部
11	酒井明子	福井大学	医学部看護学科
12	隅田博臣	広島大学	広島大学病院診療支援部
13	高田千恵	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構	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
14	武田聡司	国立病院機構東埼玉病院	放射線科
15	田崎修	長崎大学	長崎大学病院救命救急センター
16	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
17	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
18	長谷川有史	福島県立医科大学	放射線災害医療学講座
19	花田裕之	弘前大学	大学院医学研究科救急・災害医学講座
20	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
21	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
22	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



23	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
24	山本荘一郎	エス・ティ・ジャパン	危機管理製品部
25	山本尚幸	原子力安全研究協会	放射線災害医療研究所
26	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 (50 音順、敬称略)

1	金ウンジュ	量子科学技術研究開発機構	量子医学・医療部門 高度被ばく医療センター 計測・線量評価部
2	栗原治	量子科学技術研究開発機構	量子医学・医療部門 高度被ばく医療センター 計測・線量評価部
3	小林圭輔	量子科学技術研究開発機構	量子医学・医療部門 高度被ばく医療センター 被ばく医療部
4	相良雅史	量子科学技術研究開発機構	量子医学・医療部門 高度被ばく医療センター 被ばく医療部
5	数藤由美子	量子科学技術研究開発機構	量子医学・医療部門 高度被ばく医療センター 計測・線量評価部
6	高島良生	量子科学技術研究開発機構	量子医学・医療部門 高度被ばく医療センター 計測・線量評価部
7	立崎英夫	量子科学技術研究開発機構	量子医学・医療部門 高度被ばく医療センター 被ばく医療部
8	谷幸太郎	量子科学技術研究開発機構	量子医学・医療部門 高度被ばく医療センター 計測・線量評価部
9	堤弥生	量子科学技術研究開発機構	量子医学・医療部門 高度被ばく医療センター 被ばく医療部



○はとりまとめ担当

図 1-3 令和元年度 (2019 年度) 実施体制

## 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、昨年度から継続して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した。さらに整理した課題の解決策として、避難退域時検査の実行性の向上のための検査の効率化、CBRNE テロ災害に関する教育を充実させるための教材や研修方法を検討した。さらに All hazard approach による初動対応手順を検討し、初動対応機関の CBRNE テロ災害時の現場対応についてフローチャートとマニュアルを作成した。

### 2.2. 検討の経緯と内容

原子力災害と放射線取扱事業所等での労災事故、放射線テロでは、初動対応に様々な相違がある。まず、原子力災害は原子力施設の立地隣接地域でのみ初動対応が求められるが、全国に所在する事業所での労災事故や放射線テロでは、発災場所が限定されない。そして原子力災害では、事象の進展や防護措置など対応が想定されていることが多いが、労災事故や輸送中の事故、放射線テロでは、事象そのものが被ばく事故や汚染事故など多様であり、対応する組織の対応能力もそれぞれの組織で異なる。そのため、平時の体制整備として、原子力防災体制として実施されている原子力災害対策重点区域(24 道府県)のそれ以外の地域の初動対応機関の資器材や教育の体制は異なっている。しかしながら、放射線防護措置、放射線測定、除染などの基本的な技能や放射線、放射線防護等の基本的な知識については同じである。

これらの相違を踏まえ、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、整理した上で、初動対応のためのフローチャートとマニュアル、教材を作成した。教材は研修等で使用し、項目の追加や修正等を行った、また、フローチャート、教材等は、研究協力者、研究参加者が 2 回の検討会で検討し、取りまとめた。

なお、検討会は、調査研究 1 および 3、検証 1 をまとめて開催した。

#### 1. 第 1 回検討会

日時：2019 年 9 月 4 日(金) 14:00 – 16:00

場所：量子科学技術研究開発機構 本部棟 2 階第一会議室

千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

議題： 議題 1：昨年度の成果報告

- 議題 2 : 今年度の事業計画
- 議題 3 : 初動対応手順の検討
- 議題 4 : 初動対応機関への研修開催案
- 議題 5 : 検知機材の活用方法

## 2. 第 2 回検討会

日時 : 2020 年 1 月 23 日(木) 14:00 - 16:00

場所 : フクラシア八重洲 B 会議室

東京都中央区八重洲 2-4-1 ユニゾ八重洲ビル (常和八重洲ビル) 3F

議題 : 議題 1 : 初動対応機関への研修開催報告

議題 2 : 初動対応手順の検討

議題 3 : 初動対応機関向け講義資料

議題 4 : 避難退域時検査の効率化

### 2.2.1. 避難退域時検査等

#### (1) 原子力総合防災訓練 (島根原子力発電所) (資料 2-1)

昨年度は、避難退域時検査の現実的かつ実行可能な課題解決策を提示し、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した。これを踏まえ、2019 年度原子力総合防災訓練 (鳥取県原子力防災訓練) において鳥取県で実施された避難退域時検査実働訓練、住民避難訓練、広域医療搬送訓練を視察し、多数の検査を実施する場合の効率的な器材、安定ヨウ素剤配布時の説明、多機関連携について課題を再度整理した。

### 2.2.2. CBRNE テロ災害の初動対応の教育

昨年度抽出した 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元に、CBRNE テロ災害に必要な研修項目、講義項目を検討し、講義資料等の教材を作成した。さらに研修会での講義で実際に使用したのち、必要な項目の追加や修正を行った。また、放射線や化学剤の検知や防護装備の着脱など、初動対応に必要な基本的な技能について実習の実施要領を検討し、検証した。

#### (1) CBRNE 災害対処千葉連携研修会

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 テロ災害対処に係る講義や資器材の取り扱い実習、机上演習、実働演習を実施しており、昨年度も本研究事業で報告した。本年度は、継続して CBRNE テロを想定した対応に必要な研修、実習、机上

演習を実施した（表 2-1）。

さらに放射性物質により汚染した傷病者の搬送のために必要となる救急車の養生、ヘリコプターの養生と搬送の訓練および擬剤を使用した検知紙の実習を実施した（資料 2-2、資料 2-3）。

この結果、初動対応機関による CBRNE テロ災害の初動対応の教材および CBRNE テロ災害の All Hazard Approach による初動対応のフローチャートとマニュアルの作成についても検討した。

表 2-1 2019 年度 CBRNE 災害対処千葉連携研修会実績

開催日	講義	講師	量研	県警	消防		事業所	合計
					市	県		
2019.7.10 (水) 13:30 - 16:30	化学テロ災害対処	岩熊 真司 氏 (元陸上自衛隊化学学校副校長)	11	22	43	49	7	132
	化学防護服について	稲井 巡 氏 (元陸上自衛隊化学学校副校長)						
2019.8.7 (水) 13:30 - 16:30	NBC災害活動技術 13:30～15:20	東京消防庁特殊災害課 テロ災害係長 小野 浩二 氏	2	19	58	68	7	173
	消防本部のNBC災害対策 の現状について	千葉市消防局花見川消防署 消防司令補 金坂 裕樹 氏						
2019.9.12 (木) 13:30 - 16:30	地下鉄サリン事件から学ぶ ～現場対応～	中村 勝美 氏 (元陸上自衛隊)	3	42	51	-	7	106
	地下鉄サリン事件から学ぶ ～医療機関での対応～	日本中毒情報センター 奥村 徹 氏						
	防護装備の性能	重松製作所千葉営業所 所長 小島 信明 氏						
2019.11.22 (金) 13:30 - 16:30	放射線テロ災害対処	富永隆子 (量研機構)	5	23	45	50	-	123
	機材展示	岩部 悠						
		北村 尚 (量研機構) 富永 隆子						
2019.11.27 (水) 13:30 - 16:30	机上演習	千葉県警察本部 千葉市消防局 量研機構	3 (2)	21	16	-	3	45

(2) 浦安市消防本部 CBRNE テロ対処研修 (資料 2-4)

所管地域に大規模集客施設を有する消防本部 (消防職員数約 200 人) である。集客施設には最大 10 万人以上が滞在することがあり、このような状況で、CBRNE テロ

災害が発生し、多数傷病者が発生すると明らかに消防力劣勢となる。そのため消防本部の多くの職員が CBRNE テロ災害に対応するための基礎知識と技能を有することが重要である。この研修を実施したことにより、講義項目の整理と教材を作成した。

(3) 浦安市消防本部 CBRNE テロ対処机上演習（資料 2-5）

大規模集客施設近隣の鉄道駅での化学剤、爆発物、放射性物質の複数の脅威によるテロを想定し、消防、警察、事業所、医療機関、行政が参加して机上演習を実施した。消防と警察での初動対応では、明らかに活動部隊の能力は劣勢であり、事業者との連携が不可欠である。事業者は、CBRNE テロという特殊な状況についての知識や対応計画は脆弱であり、事業者も含めた初動対応の手順について検討した。

(4) 市川市消防局机上演習（資料 2-6）

昨年度は、市川市消防局西消防署の機動化学隊、指揮隊、ポンプ隊、救急隊の職員に対して、現有部隊、現有資器材での CBRNE テロ災害対応の能力向上を目的として、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。本年度は、この研修を受講した部隊の隊員を含め、消防局全ての消防署を対象として、所管の鉄道駅で発生した CBRNE テロの初動対応についての机上演習を実施した。この机上演習には、所管する消防署と警察の職員が参加したことで、実際の現場の状況が分かっている状況で、相互の活動について、活発に討議、意見交換できた。また、テロ災害の想定は同じであるが、発災場所は、それぞれの消防署が所管する駅としたことで、現有の部隊の活動、配置、資器材に応じた現実的な対処の検討ができ、地域の CBRNE テロ災害対処の実効性向上のための課題が整理できた。さらに初動対応の手順についても検討した。

2.2.3. CBRNE テロ災害訓練

昨年度整理した 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と、本年度の CBRNE テロ災害対処訓練（表 2-2）の視察、評価で得られた課題、知見を元に、CBRNE テロ災害の初動対応について All Hazard Approach でのフローチャートを作成した。

表 2-3 CBRNE テロ災害対処訓練の視察、評価

	訓練、研修	日時	内容等
1	CBRNE テロ対策合同訓練	2019.6.12	Dirty Bomb を想定した演習
2	国際空港エマルゴトレーニング	2019.7.11	化学テロ災害を想定した演習
3	医療機関における CBRNE テロ災害訓練	2019.6.10	化学テロ災害を想定した演習

(1) CBRNE 対策合同訓練 (資料 2-7)

国際空港での Dirty Bomb が使用された事による放射線と爆発物によるテロの想定であった。初動対応の消防機関は、CBRNe クラウドシステムを使用しており、化学剤の検知も同時に実施する対応であった。All hazard approach を実際に実施しており、初動対応における課題を抽出した。

(2) 国際空港エマルゴトレニング (資料 2-8)

エマルゴトレニングシステム®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、昨年度より CBRNE テロ災害を想定した研修を実施しており、今年度は、化学剤テロ (サリン) のシナリオであった。本訓練の視察により初動対応の課題を整理し、初動対応のフローチャートの作成に反映させた。

(3) 医療機関における CBRNE テロ災害訓練 (資料 2-9)

医療機関と自衛隊が合同で実施した化学テロ災害の訓練であった。特に小児や幼児が家族と被災者役で訓練参加していたことにより、CBRNE テロ災害対応における小児や幼児特有の課題を認識することができた。

### 2.3. 結果

原子力災害、放射線事故、放射線テロ災害等での初動対応について、CBRNE テロ災害の All hazard approach の視点で、課題を整理し、効果的、効率的な教材、初動対応のフローチャートとマニュアルを作成した。



### 2.3.1. 避難退域時検査の効率化の課題

人の検査では、簡易検査でも一人当たり2～3分程度時間がかかることがボトルネックであり、避難者全員を検査できない理由の一つである。指定箇所検査が短時間でできる測定器の導入で効率的に検査が可能となり、短時間でも大勢の検査が可能と考えられる。測定器の導入には、費用対効果を検討する必要があるが、検査会場に必要な人員の削減にもなると思われる。

この測定器による指定箇所検査である簡易検査を放射線テロ災害にも実施できれば、短時間で多数の汚染の有無を確認する検査を実施できるようになる。車両の汚染検査にガンマポールなどを使用しているが、これも人の検査に活用できれば、短時間で効率的に多数の被災者の汚染の有無を確認する検査が実施できると思われる。測定器の調達の方法が課題である。



図 2-1 測定器  
指定箇所検査が5秒で実施  
できる。

### 2.3.2. 安定ヨウ素剤配布時の説明における課題

安定ヨウ素剤の問診票のように専門用語での説明は理解が難しい。そのため、原子力災害だけでなく、放射線テロ災害での避難や屋内退避などの広報の文案、既存の様々なQ&A集を活用した広報文案集などがあると便利であると思われる。

### 2.3.3. 原子力災害時の多機関連携における課題

災害時には、専門機関や各対応組織が連携することが重要であるが、各組織の役割や対応能力を相互理解しておく必要がある。相互理解については、会議等での調整だけでなく、訓練によって現場で活動する要員も理解しておく必要があるため、多機関が参加する訓練等を積極的に行うことも望まれる。関係機関との調整やどの機関が主導するのかなど、課題がある。

### 2.3.4. CBRNE テロ災害での初動対応における課題

#### (1) 警備員、先着隊、医療関係者等の防護装備

爆発発生直後に現場確認、避難誘導する警備員、先着隊の警察官等は、呼吸保護がされないまま活動を継続していた。原因物質が特定されない状況での活動は、化学剤あるいは放射線への暴露、放射性物質の吸入などの危険が伴う。CBRNE テロ災害対応の蓋然性が高いと考えられる警備員や先着隊には、最低限の呼吸保護となる使い捨て防塵マスク（N95 マスク）を常時携行させるなどの対策があると一層の安全確保に資すると考える。さらに個人線量計も常に装着しておくことで、放射線テロ災害発生時に、放射線被ばく管理が早期から可能となり、警備員等の安全確保に資すると考える。

多くの活動計画やマニュアル、ガイドラインでは、放射性物質による汚染対策が必要な場所での活動における防護装備にシューズカバーが含まれる。しかし、シューズカバーの多くが、不織布等を使用しており、屋外で活動する場合には、活動中に破損していることがある。これでは、汚染拡大防止対策にはならない。屋外活動時の防護装備としては、シューズカバーに破損防止の対策を講じるか、屋外でも使用可能なシューズカバーの着用を考慮する必要がある。活動計画やマニュアル等に屋外活動時の防護装備の注意点などを記載する必要がある。このため、放射線テロ災害の講義資料では、屋外でのシューズカバーは破損しないようなもの（ゴム底の靴カバーなど）を使用するよう記載した。

視察した実動訓練では、医療チームは除染後の救護所および医療機関での活動であり、コールドゾーンでの活動となるため、防護装備については検討されていなかったようである。しかし、完全な現場除染の実施は、現実的には不可能だと思われ、さらに化学剤と放射性物質が混在している可能性も否定できず、汚染されたまま自力で医療機関を訪れる被災者も多数発生することが予想される。また、ダーティボムといった爆発物や化学剤が使用されるテロでは、完全な除染よりも医療班による救命処置が優先される場合も考えられる。このような可能性を考えると、コールドゾーンでの対応、除染後の対応しかしない場合でも、最低限の安全確保のための防護装備は必要である。これには、個人線量計、検知紙、防護服、ゴム手袋（ニトリル手袋）、呼吸保護のための簡易マスク（化学剤、有害微粒子対応）などの準備が必要である。

## (2) NBC 出動（特殊災害出動）時の検知活動

今年度実施したいくつかの机上演習の結果、NBC 出動（特殊災害出動）の指令であっても、化学剤によると判断される症状や状況が通報された場合、化学テロ災害の対応を考慮しても、放射線や爆発物への対応は考慮されないことがあった。このことから、All Hazard Approach の対応として、NBC 出動（特殊災害出動）の場合は、出動時から化学剤、放射性物質、放射線、爆発物のすべての脅威、二次攻撃を踏まえて対応することを基本とするような初動対応の手順を示す必要がある。

## (3) 保有する資器材の実践的な活用

今回の研修で実施した実習では、各機器の特性も理解できたようであり、実際の災害現場での検知活動において、効率的、効果的に器材を使用して、消防活動の目的である人命救助、二次災害の防止をどのように実践するのか、具体的な活動方針について、各隊員の理解が深まったと思われる。放射線測定器も化学剤検知器も使用する部隊で、使用の講習や訓練は実施しているようであるが、実際に表示付認証機器（教育訓練用放射線源）や化学剤の擬剤を使用した実習は、消防機関だけで実施するのは、容易ではない。そのため訓練用の資器材及びこれらを用いた訓練要領について整備が必要である。資料として化学剤検知紙のハンドアウトを作成した。

(4) 同時多発の場合の対応

市内の消防署の1つで発災し、他の消防署から応援が得られる前提で机上演習の検討を行ったが、同時多発した場合には、初動対応の部隊は今回の検討よりも少なくなると予想され、県内、近隣の消防機関からの応援が必要となるが、救助、医療介入までの時間は長くなると予想される。具体的に県内、近隣消防からの応援部隊が到着するまでの可能な対処についても現実的に検討しておくことも必要である。

(5) ヘリコプターおよび救急車養生の効率化

救急養生の実習は説明の時間を除き、約45分で完了した。しかし、通常の救急搬送では、出動までに45分を要するのは、要救助者の搬送が遅延する原因となる。そのため実際の対応では、養生にかかる時間の短縮が望まれるが、各隊員が養生に慣れること、エステクトシートなどは事前に一定の大きさに切断して準備しておくことで10～15分ほどは効率化が可能と思われる。ヘリコプターの養生は、事前に養生シートをヘリコプターの内部の構造に合わせて切り抜きをしており、養生を実施する場合は、このシートを貼り付けるだけで養生が完了するため、効率的である。しかし、隊員の異動等があるため、継続した訓練等で養生の方法を伝達することも必要であり、そのためには、ヘリコプターの養生の方法を提示した具体的な資料の作成が必要である。

(6) 関係機関との連携と現場対応についての相互理解

市川市消防局の机上演習においては、行政（市当局）や民間事業者、医師等は参加していないが、今後は自衛隊を含め関係機関の参加を募り、広域の対応体制の確認も実施すべきである。一般的に広報や避難には、行政との連携が不可欠であり、医療には、医療機関と原因物質の情報共有が不可欠である。

発災後に通行人の避難誘導や現場の交通整理、立入制限は、消防や警察で実施することが役割であると認識されているが、駅や集客施設の事業者も利用者の安全確保のために避難誘導、立入制限を実施することが改めて認識された。さらに事業者が所有する土地や建物を使用することも現場で円滑に調整できるようであった。このため、事業者にも消防や警察、行政の対応方針や活動内容を理解してもらうことや、CBRNEテロ災害の基本的な対応について理解し、利用者の安全確保に活用できる知識を習得できる研修等の機会があることが望まれる。

さらに、CBRNEテロ災害時には、派遣チームによる現場医療は、安全確保を考慮して、通常の多数傷病者発生時や局地災害発生時と同様には提供されることはないことがほとんどである。さらに現場での除染が実施されないと医療機関での受入がなされないとしている消防の想定があるが、医療機関の受け入れについては、このような机上演習で、医療機関の体制や対応方針について相互理解の機会があることは、地域の実情に応じた計画を立てる上で、非常に有益な情報共有ができると思われる。

(7) 小児、幼児への対応

幼児や小児の生理学的徴候や異常の判断には、小児科医、小児病棟・外来の看護師の協力が必要である。現場では、幼児や小児の対応は、家族と同じ導線に対応する必要があると思われる。また、脱衣後の着替えや靴が基本的に成人用の準備であることが多く、小児等への対応も不足している。大規模集客施設などでの CBRNE テロ災害では、幼児や小児の割合が高いことも予想されるため、CBRNE テロ災害の訓練や研修にも積極的に小児科医、小児病棟・外来の看護師の参加を呼びかけ、実践的な訓練により小児等を含む全ての被災者への対応を考慮すべきである。

#### (8) 実動訓練での検証

机上演習では、理想的な活動時間で活動方針や活動内容を検討していたが、検討した活動に実際に要する時間を実動訓練で検証し、活動計画に反映することで、実際の CBRNE テロ災害対処の能力向上に結びつくと思われる。実動訓練を実施するには、予算措置、想定状況再現などの課題がある。

### 2.3.5. CBRNE テロ災害対応の教育における課題

#### (1) 訓練に参加していない隊員への普及教育、意識の統一

実際の CBRNE テロ災害の現場で迅速に活動するには、全ての消防職員が、それぞれの役割と活動内容、各組織のマニュアルや活動計画を理解し、そのために必要な知識と技能を習得し、基本的な対処については意識の統一が不可欠である。しかし、CBRNE テロ災害に関する研修の機会は少ないようである。すべての職員が参加するには消防や警察の勤務体制の関係で2日続けて同一の研修を実施する必要がある。多機関で実施する場合は、日程や講師の確保が課題となる。国際的イベントの開催や大規模集客施設が近隣に所在することで、研修や実効性向上の必要性は認識しているようであり、より効果的な修学が容易となるように、テキストや自己学習が可能となる資料の作成が必要である。また、CBRNE テロ災害に関する研修での専門的知見を有する講師を派遣する体制も、人材育成としての体制整備にとって課題である。救急車とヘリコプターの養生については、各消防署で具体的な方法について教育、伝達できるように資料の作成が望まれる。さらに今後導入される検知紙についても使用方法について救急隊員のみでなく、救助隊員への周知も現場での安全管理や迅速な脅威の判定には重要である。

#### (2) 多機関が参加する研修等の開催

消防、警察、自衛隊、医療機関、行政、事業者が一堂に会する研修を開催することは各組織の活動方針や体制を相互理解するのに非常に有効であるが、研修の開催趣旨、研修参加の意義、机上演習での討議に積極的に参加できるシナリオや状況付与の作成については、関係機関の多大な努力が必要である。効率的に机上演習を開催するための教材やシナリオ等の作成が必要である。

### 2.3.6. CBRNE テロ災害の初動対応の教材の作成

#### (1) 講義資料作成（別添資料）

消防、警察等の初動対応機関向けの CBRNE テロ災害対処に関する講義資料として下記の3つを作成した。形式としては、原子力災害時の医療体制に関する標準テキストと同様にスライドとその解説を作成し、講義聴講後にも復習や自己学習が可能となる教材とした。

- ・ 放射線テロ災害対処
- ・ 化学剤テロ災害対処
- ・ 爆発物テロ災害対処

#### (2) 化学剤検知紙ハンドアウト（別添資料）

化学剤検知として、様々な器材が初動対応機関では使用されているが、最も安価である検知紙も消防や NBC 部隊では使用されており、新たに購入し配備する部隊もあるとのことであった。そこで検知紙でどのような反応が出るのか、擬剤を用いた実習によって、実際に確認することの他、化学剤の種類と特性、検知紙での検知方法と注意点について A4 用紙 1 枚にまとめた。検知紙と擬剤による実習での補足資料として使用した。

### 2.3.7. CBRNE テロ災害での初動対応手順の作成

放射線テロ災害では、放射線、放射性物質以外の脅威の存在も否定できず、各種の脅威の検知結果により原因物質が特定されるまでは、可能性のある脅威に対する防護措置、対処が求められる。その中でも優先順位を考慮した初動対応が求められる。被災者の状況から化学剤によるテロ災害と判断される場合でも、放射線源あるいは放射性物質を同時に使用していることも否定できないことから、化学剤の検知と同時に放射線の検知活動も必要である。ただし、化学剤が使用された場合、化学剤の除染、治療は即時に実施する必要があるため、放射線検知は、これらの対応の後に実施することが望ましい。化学剤が使用されない場合では、出血や呼吸の異常など放射線以外の脅威に対する処置を優先し、それらの処置が実施された後に、放射線検知を実施する。そこで、昨年度提案した All hazard approach による初動対応手順も考慮して、CBRNE テロ災害の初動対応手順のフローチャート（図 2-2）を作成した。さらにこのフローチャートの各項目についての解説が必要と思われたため、解説を「CBRNE テロ災害初動対応マニュアル」として作成した（別添資料）。

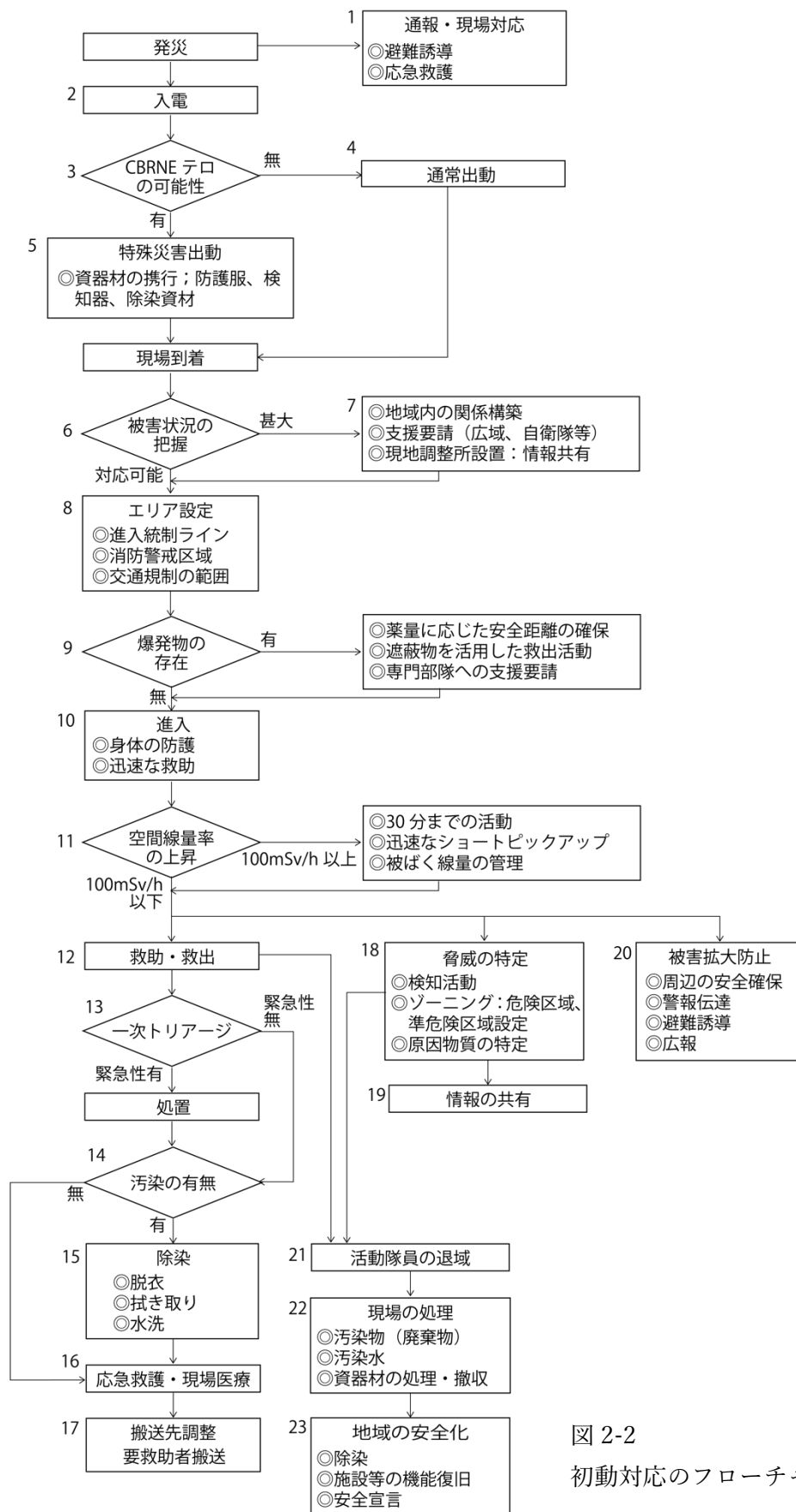


図 2-2  
初動対応のフローチャート

## 2.4. 考察

今年度整理し、作成した避難退域時検査の効率性の向上、CBRNE テロ災害に関する教育や教材、初動対応手順、多機関連携について、それぞれの今後の展開、活用について考察した。

### 2.4.1. 避難退域時検査の効率性の向上

「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 以上となった場合、代表者の指定箇所検査を実施し、さらに OIL4 以上であれば乗員全員の指定箇所検査を実施する。この多段階の検査では、車両と代表者の移動に時間を要し、全員の指定箇所検査を実施することになった場合は、さらに時間を要することになる。そのため、検査の効率化が求められる。さらに避難退域時検査の会場には、多くの人員が配置されているが、原子力災害時には、道路状況や被災状況によってはこれだけの人員が初動から参集できない可能性もあり、検査を担当する人員を削減できる方策も必要であると思われる。そこで、通常の担当者がサーベイメーターを使用した検査よりも指定箇所検査が約 5 秒の短時間でできる測定器の導入は、効率的に検査が可能となり、人員が少なくても、短時間で大勢の検査が可能と考えられる。

また、放射線テロ災害で多数の被災者の汚染検査を実施しなくてはならないような場合にも活用できると思われるが、器材の調達の問題がある。

### 2.4.2. CBRNE テロ災害に関する教育、教材の充実

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や資器材を有していることは稀であると思われる。そのため、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。今年度は、CBRNE テロ災害時の初動対応に関連する項目を整理し、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、効率的かつ効果的な資器材の使用法等について教育、研修のための教材を作成した。

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、警察の部隊の資器材がある程度同じである場合は、他の組織、部隊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。より多くの関係者に教材を使用してもらうため、教材のダウンロードが可能となるウェブサイト等の作成、関係機関への周知をすることが次年度の課題である。

#### 2.4.3. CBRNE テロ災害の初動対応手順

CBRNE 全ての脅威を考慮した対応を開始した初動の手順を明確にし、フローチャートを作成し、フローチャートの各項目の解説としてマニュアルも作成した。今後は、このフローチャートを用いた机上演習等での実効性の検証が必要である。また前述の教材と同様にフローチャートとマニュアルのダウンロードが可能となるウェブサイト等の作成、関係機関への周知をすることが次年度の課題である。

#### 2.4.4. CBRNE テロ災害対処における多機関連携

住民および現地関係機関の職員の生命又は身体の安全確保に関する情報については、出来る限り迅速に共有することとされている<sup>1</sup>が、このためには現地調整所が機能的に設置、運営されなければならない。しかし、現地調整所に関連する研修や講習は少なく、現地調整所での活動や情報共有の項目、方法、各機関が必要とする情報と提供できる情報を整理する必要があると考える。

放射線テロ災害を含め、CBRNE テロ災害での現地調整所の研修や訓練の機会が増えることで、各地域での原子力防災体制、救急・災害医療体制の強化に繋がることが期待される。現状としては、訓練で現地調整所の関係機関が一堂に介し、情報共有するには、調整役の多大な努力に頼らざるを得ない。多くの地域で現地調整所に関連する研修や訓練等が開催される教育体制が整備されることで、現地調整所での活動に対し、それぞれの機関、組織の理解が促進され、安全・危険情報の共有が円滑に行われることで、初動対応機関の組織的、効果的活動が促進され、住民等への影響や二次災害の拡大防止が強化されることが期待される。

CBRNE テロ災害の訓練では、医療機関、行政、消防、警察、自衛隊等、多くの関係機関が連携するようなシナリオ作成も検討する必要がある。実動訓練が望ましいが、関係機関の現実的な状況付与等が困難であるため、図上訓練による多機関連携のために必要な情報共有、相互理解を繰り返し実施することが望ましい。

#### 2.5. 結論

昨年度抽出した課題を元に、CBRNE テロ災害への初動対応に必要な知識と技能を習得する講義や研修のための教材を作成し、原因物質が判明しない初動対応での All hazard approach も含めた対応手順のフローチャートとマニュアルを作成した。CBRNE テロ災害の発生現場では、対応者の安全を確保した上で、検知、除染、現場医療等を実施し、医療機関へ迅速に搬送する体制が求められる。この現場活動の「病院前医療体制」は、放射線テロ災害のみでなく、化学テロ、爆弾テロなどと共通する

---

<sup>1</sup> 内閣官房「国民保護措置を円滑に実施するための現地調整所の在り方について」（平成19年4月9日）



ところもあるため、これらの対策および関係機関と連携して、教育や訓練等を含めた体制の強化、整備が求められる。そのため、作成した教材等が最大限に活用される手段を次年度に検討、実行する。

## 資料 2-1

### 令和元年度 鳥取県原子力防災訓練

1. 期間：2019年11月8日(金)～10日(日)
2. 場所：総合運動公園駐車場
3. 訓練参加人数：鳥取県：35機関 1500人数（全体としては210機関、7600人）
4. 事故想定：島根原子力発電所2号機において、島根県東部を震源とした地震による外部電源喪失後、非常用炉心冷却装置による原子炉への注水を実施する。しかし、非常用炉心冷却装置等にも設備故障等が発生し、同装置等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。

#### 5. 視察内容

##### (1) 原子力災害医療活動訓練：避難退域時検査（11月10日）

会場：名和農業者トレーニングセンター

避難退域時検査会場の設営に必要な資器材はコンテナに入れられており、原子力災害が発生した場合には、鳥取県と契約している事業者が検査会場に輸送し、会場設営をすることになっている。



車両の検査会場、避難者の検査会場の動線も整理されており、円滑な移動ができるようになっている。さらに人の検査会場は屋内であることから、雨天等の悪天候でも対応可能である。

図1 コンテナ  
避難退域時検査会場で使用する器材がまとめられている。

人の指定箇所検査については、一度に指定箇所全てを5秒で検査できる新たな測定器の導入が試みられていた。測定員が1箇所ずつ検査する場合より、2倍以上の処理能力があった。

##### (2) 住民避難訓練、原子力災害医療活動訓練：安定ヨウ素剤（11月9日）

安定ヨウ素剤の事前配布をしていない避難者に対して、一時集結場所で安定ヨウ素剤の緊急配布の訓練であった。薬剤師による安定ヨウ素剤と問診票の説明があったが、「安定ヨウ素剤の配布・服用にあたって」に記載されている問診票を読み上げる説明であり、医療従事者ではない被災者には回答するのが難しい内容であった。

##### (3) 原子力災害医療活動訓練：広域医療搬送（11月9日）

地震災害に対するDMATの広域搬送訓練で、汚染のある負傷者の搬送訓練ではなかったが、DMATがSCUで自衛隊の衛生隊と野外手術ユニットと連携して医療活動、広域搬送を調整していた。

なお、実際には、災害発生から自衛隊の要請、SCUでの野外手術ユニットの展

開までは時間を要するため、このような連携がどの時点で可能であるか検証し、計画しておく必要があると思われる。災害時に多機関連携が円滑に実行できるようにするには、それぞれの役割と実現可能な対応について相互理解が不可欠である。



図2 SCU  
DMAT と自衛隊との連携

## 資料 2-2 救急車養生訓練

### 1. 概要

千葉市内での放射線テロ災害発生時の放射性物質が付着あるいは被ばくした可能性がある傷病者の搬送について、安全かつ円滑に実施できるように救急車養生、化学剤検知紙の取り扱いの訓練を実施した。

### 2. 日時・場所

(1) 日時：2月13日（木）、2月14日（金）10時

(2) 場所：量子科学技術研究開発機構

### 3. 講師

岩熊真司（高度被ばく医療センター放射線緊急事態対応部）

菅原幸喜（放射線医学総合研究所技術安全部保安管理課）

岩部悠（放射線医学総合研究所技術安全部放射線安全課）

北村尚（高度被ばく医療センター放射線緊急事態対応部）

富永隆子（高度被ばく医療センター放射線緊急事態対応部）

### 4. 参加者

千葉市消防局 20名/日

### 5. 訓練詳細

10:00 開催あいさつ、訓練の流れ説明

10:05 検知紙実習（緊急被ばく医療施設トリアージ室）

① 検知紙の概要説明

② マネキンに付着した擬剤の判定

10:20 緊急被ばく医療施設玄関前に移動

10:25 救急車養生の概要説明

10:35 3班に分かれて3台の救急車を養生

11:30 養生終了、講評、質疑応答

11:45 養生撤収

12:00 訓練終了

### 6. 準備資機材

(1) 検知紙実習：擬剤（マロン酸ジエチル、サリチル酸メチル）、検知紙（シール付き）、検知紙片（40名分）、検知紙説明資料（40名分）、検知棒（8本）、ガーゼ、キムタオル、マネキン（ディスプレイ着用）、サランラップ、ゴミ袋



- ・マネキンの両下腿にそれぞれサランラップを巻き、ガーゼを固定。
- ・マネキンにディスポ術衣を着用させ、ガーゼの位置に擬剤を付着させる。
- ・汚染箇所が視覚的に判断できるようにする。

- (2) 救急車養生実習：養生説明資料（40名分）、エステクトシート、エプロテープ、エプロシート、はさみ、カッター、ろ紙シート、ラミロール、ビニール袋（90L、45L）、傘袋

## 7. 訓練内容

### (1) 検知紙実習

- ① 化学剤及び検知紙の概要説明
- ② 検知紙（シール様式）を防護服に貼付し、汚染区域での活動時に化学剤の存在の有無を判定できることを説明
- ③ 各自で検知棒の先に検知紙を挟み、マネキンに付着した擬剤の判定（びらん剤、G剤）
- ④ 体液を模擬した水との反応の違いを確認



検知紙を貼付(○部分)

### (2) 救急車養生実習

- ⑤ あらかじめ養生した救急車で養生のポイント、手順を説明
- ⑥ 車内（6名）とストレッチャー（3名）に分かれてそれぞれの養生を実施
- ⑦ 車内の機器類の使用、椅子に座った時に養生が剥がれないか確認
- ⑧ ストレッチャーの動作確認（昇降や背もたれの稼働等）後に、救急車内に搭載
- ⑨ 養生の状況確認後、養生の撤去時の注意事項を説明し、養生を撤去（1台はそのまま消防署に移動し、訓練に参加していない職員への説明、展示に使用）



○擬剤、○水



## 資料 2-3

### 汚染傷病者ヘリコプター搬送訓練

#### 1. 概要

千葉市内での放射線テロ災害発生時の放射性物質が付着あるいは被ばくした可能性がある傷病者のヘリコプターによる搬送について、安全かつ円滑に実施できるようにヘリコプターの養生、患者搬送の訓練を実施した。

#### 2. 日時

(1) ヘリ養生訓練 2月10日(月) 11時～12時

(2) ヘリ搬送訓練 3月3日(火) 10時～12時

#### 3. ヘリ養生訓練

##### (1) 量研機構参加者

宮後法博(放射線医学総合研究所管理部工務課)

岩部悠(放射線医学総合研究所技術安全部放射線安全課)

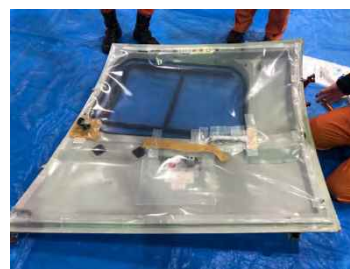
佐藤眞二(高度被ばく医療センター放射線緊急事態対応部)

北村尚(高度被ばく医療センター放射線緊急事態対応部)

富永隆子(高度被ばく医療センター放射線緊急事態対応部)

##### (2) 実施内容

- ① ヘリの形状に合わせて型抜きした養生シートを貼り付ける。
- ② ドアを外して、養生シートを貼り付ける。ハンドル等の部分は切り込みを入れる。
- ③ モニター類の前を養生シートでカーテン状に被覆し、操縦席側と隔離する。モニター類を使用する場合は、モニターの後ろ側に養生シートで隔壁を作成する。
- ④ 座席部分は、エステクトシートで養生した上に、ラミシートを使用(滑り止め)。
- ⑤ 担架部分の養生は、エステクトシートで養生した上に、ラミシートを使用。





#### 4. ヘリ搬送訓練飛行スケジュール

- 9:00 ヘリ養生開始（千葉市消防局） 個人防護装備（タイベック着用）  
量研の訓練参加者参集（緊急被ばく医療施設）、防護服着用後、ヘリポートへ  
移動、REMAT 2号車待機  
ヘリポート準備開始
- 10:05 平川 HP 離陸
- 10:15 量研機構 HP 着陸 放射線計測専門家、医師を同乗
- 10:25 量研機構 HP 離陸
- 10:30 花見川終末処理場 HP 着陸 傷病者収容
- 10:35 花見川終末処理場 HP 離陸
- 10:40 量研機構 HP 着陸  
傷病者引渡し後、ヘリと搭乗者（航空隊）の汚染検査
- 11:15 量研機構 HP 離陸  
QST 職員の防護装備脱衣
- 11:25 平川 HP 着陸  
訓練終了（各組織で訓練終了の判断）  
マネキン、REMAT 2号車、資機材等撤収
- 12:00 訓練終了

#### 5. ヘリ搬送訓練詳細

- (1) ヘリ養生：千葉市消防局航空隊が実施
- (2) 9:00 訓練参加者が緊急被ばく医療施設に参集し、訓練開始
- (3) 量研機構での準備：防護装備着用（タイベックスーツ ケース 7-4/5 を使用）、PD 装着、承諾書取得
- (4) 量研ヘリポートで医師、放射線管理要員が搭乗後、花見川終末処理場で汚染のある傷病者を搭乗させ、量研に搬送
- (5) 搬送中のヘリ内の空間線量率の測定：0.01～0.03 $\mu$ Sv/h で推移し、異変なし。
- (6) 量研ヘリポートでの傷病者引き渡し：救急車（REMAT 2号車）のストレッチャーにマネキンを固定し、緊急被ばく医療施設へ搬送（ヘリポートの外まで移動し、終了）
- (7) 汚染検査：ヘリ内部と航空隊員（4名）の汚染検査を実施し、汚染なしを確認後、タイベックスーツ等脱



衣。養生シートは平川 HP に戻ってから撤去。

(8) 緊急被ばく医療施設に移動後、PD の値を確認（全員  $0 \mu\text{Sv}$ ）し、訓練終了。

## 6. 準備資機材

### (1) ヘリコプター養生用資器材

養生用資機材：エステクトシート（0.3mm, 135cm 幅） 1 本、エプコテープ 4 巻、エプコシート 1 本、傘袋 1 袋、ラミロール 1 本

### (2) 搬送訓練資器材

- ① マネキン（マントル数カ所貼付）、メガムーバー（マネキンの養生＋搬送用）、バックボード
- ② 防護資機材：タイベックスーツ、ゴーグル、N95 マスク、養生テープ、PD 等 30 人分
- ③ 搬送時の測定器：RadEyeB20J, RadEye PRD-ERJ, RadEye SPRDJ 各 2 台
- ④ 測定器（ヘリ、搭乗者の汚染検査用：）GM 2 台



## 資料 2-4

### 浦安市消防本部 CBRNE テロ対処研修

#### 1. 目的

消防職員に対し、CBRNE テロ発生における現場対応要領について必要な知識と技術について情報を提供する。

#### 2. 対象

- CBRNE に関する専門的知識は保有していない一般の隊員
- 救出を主任務とする救助隊員と、応急処置及び搬送を主任務とする救急隊員

#### 3. 参加者数

(1) 12月16日(月)：浦安市消防本部 56名、市川市消防局 23名\*、浦安市危機管理室 3名

(2) 12月17日(火)：浦安市消防本部 56名、市川市消防局 23名\*

\*午前中の講義のみ参加

#### 4. 日時

12月16日(月)および17日(火) 10:00～17:00

#### 5. 会場

浦安市消防本部 講堂

#### 6. 時間割

- |                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| (1) 10:00 - 10:45 | 講義；放射線テロ災害対処               |
| (2) 10:50 - 11:35 | 講義：事故・テロ・災害時の初動対応（化学剤・爆発物） |
| (3) 12:40 - 14:40 | 簡易机上演習                     |
| (4) 14:50 - 16:50 | 実習                         |

#### 7. 講師

岩熊真司（東洋紡、量研機構）

小林圭輔（量研機構）

富永隆子（量研機構）

山本荘一郎（エステイジャパン）

#### 8. 研修会内容

(1) 講義：放射線テロ災害対処

- 放射線の基礎
- 放射線テロ災害での対策：外部被ばく対策、内部被ばく対策、汚染拡大防止

- 要救助者対応

(2) 講義：事故・テロ・災害時の初動対応（化学剤・爆発物）

- テロで使用される可能性のある C 剤の特性
- 初動対応者自身の防護要領
- 救命率向上のための着意事項
- 爆発物が併用された場合の対応



(3) 簡易机上演習：8~10 人／班 × 6 班

化学テロ、放射線テロ、爆発物テロが発生した場合の軽易な状況を作為し、初期情報に基づく状況判断と対応要領について討議した。



(4) 実習

① 電子式個人線量計の動作確認（5分）

電源を入れて、使用方法、注意事項を説明後、タイベックスーツの中に着用する。

② 個人防護装備（15分）

タイベックスーツ、マスク、ディスポ帽子、ゴム手袋二重、靴カバーを着用し、テープで目張りする。着用の前にパウチしたマントルを各自適当に隠す。

③ 化学剤検知（30分）×2回

擬剤（サリチル酸メチル、マロン酸ジエチル）を用いて、被服が汚染されたことを想定し、擬剤を浸したガーゼと水を浸したガーゼを設置し、化学剤検知器（LCD3.3）と検知紙を使用して化学剤の検知実習を行った。化学剤検知器は気状の化学剤を、検知紙は液状の化学剤を検知するため、その特性に応じた運用場面を作為するため、気状化学剤が滞留しやすい室内と、風向により気状化学剤が流動する屋外において実習を行い、化学剤検知器及び検知紙を組み合わせた効果的な使用法について習得させた。



④ 放射線検知（30分）×2回

室内に表示付認証機器 5 個を隠し、3 人一組（10 班）で、1 人が記録、2 人が空間線量計各 1 台を使用して、 $0.5\mu\text{Sv/h}$  のエリアを設定できるように放射線マッピングする。測定器によっては、マイクロ、ミリなどの単位も確実に確認、報告することを指導した。



約 30m<sup>2</sup> 程の会議室で、20 分ほどの時間を要すること、測定していない場所

は、危険性を確認できていないことを認識し、実際には、救助活動の場所、動線を優先して測定することを指導した。

⑤ 脱衣（10分）

汚染拡大防止に注意しながら、個人防護装備を脱衣し、個人線量計の値を確認する。

⑥ 汚染検査（30分）

3人一組となって、検査者、被検者、記録者を決め、汚染検査する。

測定器の台数に応じて、単位時間あたりに汚染検査できる隊員数が決まることを確認し、活動計画に反映できる知見等を習得させた。

※方法；①、②、⑤、⑥は全員で実施。③、④は2つに分かれて、同時並行で実施。

## 資料 2-5

### 浦安市消防本部 CBRNE テロ対処机上演習

#### 1. 目的

CBRNE テロ発生時の現場対応、現地調整所での活動について、関係機関との連携、協力、役割分担等を検討し、相互理解を深める。

#### 2. 参加者：54名

- (1) 浦安市消防本部（24名）；指揮隊、救助隊、ポンプ隊、救急隊の各隊員
- (2) 行政（3名）、警察（7名）、近隣消防（10名）、医療機関（2名）、事業者（10名）

#### 3. 講師

岩熊真司（東洋紡、量研機構）

奥村徹（中毒情報センター）

國府田洋明（帝京大学）

富永隆子（量研機構）

#### 4. 開催日時

2019年12月19日(木)13:00-17:00 机上演習

#### 5. 机上演習想定

(1) 想定：駅でサリンが散布され、30名程度が暴露した。さらに100mほど離れた地点で塩化セシウムのダーティボムが爆発し、5名ほどが負傷した。

#### (2) 討議事項

- 通報から出動までの対応方針
- 複合の事象が発生した時の現着からの状況判断と対応要領
- 広報、避難に関する調整
- 医療機関への搬送調整、受入調整

## 資料 2-6

### 市川市消防局 CBRNE テロ対処机上演習

#### 1. 目的

CBRNE テロ発生時の現場対応、現地調整所での活動について、関係機関との連携、協力、役割分担等を検討し、相互理解を深める。

#### 2. 参加者：72名

- (1) 市川市消防局（33名/日×2回）；指揮隊、救助隊、ポンプ隊、救急隊の各隊員
- (2) 警察（3名/日×2回）

#### 3. 講師

岩熊真司（東洋紡、量研機構）

國府田洋明（帝京大学）

富永隆子（量研機構）

#### 4. 開催日時・会場

- (1) 2020年1月20日(月)9:00 - 12:00 市川市消防局ホール
- (2) 2020年1月21日(火)9:00 - 12:00 市川市消防局ホール

#### 5. 机上演習概要

- ・ 4つの消防署から参加
- ・ 消防署毎に班分け（3班）し、西署の救助隊は各班に応援部隊として配置
- ・ 3つの班毎に発災場所（駅）が異なるが、想定は同じ
- ・ 現有の資器材と部隊で検討
- ・ 各班にファシリテーター1名を配置



#### 6. 机上演習想定

- (1) 想定：駅の改札前で、ダーティボム（塩化セシウム、TATP）とサリンを所持した男性1名が嘔吐（高線量被ばくの前駆症状）し、駅員と通行人が介抱し、救急通報。救急隊到着時には、サリンが漏出し、男性は痙攣等発症、駅員、通行人もサリンに暴露され、発症。さらに救助隊到着時には駅員、通行人は症状が進行し、他2名にもサリンによる症状が出現している。

#### (2) 討議事項

- ・ 通報から出動までの対応方針
- ・ 事態が想定と異なる、あるいは被害が拡大している時の到着からの状況判断と活動方針の変更
- ・ 第1報ではCBRNEテロ災害の判断ができない場合の活動の変更

**資料 2-7**  
**CBRNE テロ対策合同訓練**

1. 訓練概要

開催日時：2019年6月12日(水)13:30 - 15:00

開催場所：国際空港内

参加機関：警察、消防本部、国際空港株式会社、警備会社等

訓練内容：CBRNE テロを想定した実働訓練

訓練想定：国際空港第2旅客ターミナル到着ロビーにおいて、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。検知の結果、爆発現場周辺からは放射線が検知された。

2. 訓練内容

発災通報から現場出動、検知活動、救助活動、避難誘導、一次トリアージ、汚染検査、除染活動、指揮所設置、現地調整所設置、搜索、救急搬送を実施していた。

(1) 発災通報から現場出動

到着ロビーでの爆発により多数の負傷者が発生し、警備員が避難誘導や負傷者への声かけの対応をしていた。ただし、警備員は呼吸保護のためのマスク等は着用しておらず、これは、放射線を検知した後も同様であった。



(2) 検知活動

消防と警察が同時に爆発現場である建屋内に進入して検知活動を実施した。消防については、化学剤等の有毒ガスと放射線の検知結果をリアルタイムで伝送し、指揮本部などの遠隔地でデータを共有できる CBRNe クラウドシステムを使用していた。化学剤は検知されず、建物の出入り口付近で放射線 100 $\mu$ Sv/h を検知したとの想定であった。屋内の放射線量率の検知結果は見学者には情報がなかった。



(3) 救助活動、避難誘導

検知のために進入してきた消防と警察によって、歩行可能な被災者は屋外へ避難誘導され、歩行不能の負傷者は消防と警察とで、検知活動と同時に救助されていた。迅速に危険区域から救助するために、一人あるいは二人で要救助者を屋外へショートピックアップしていた。その後、別の救助隊によって一次トリアージ



エリアまで担架で搬送されていた。

(4) 汚染検査、除染活動

歩行不能の負傷者は、救助後一次トリアージエリアに搬送され、止血の応急処置後に除染、汚染検査という処置の手順であったが、除染テントの立ち上がり、汚染検査の順番待ちの状況が続き、複数の負傷者が一次トリアージエリアに滞留していた。

歩行可能の被災者については、避難誘導後、汚染検査を実施し、汚染があれば脱衣の方法を説明しながら、脱衣をさせていた。この時、内部被ばくへの対策として使い捨ての防塵マスク(N95)を着用させていた。

(5) 捜索

警察により不審物の捜索などなされたが、防護装備としてタイベックスーツとシューズカバーを使用していた。屋外を歩き回って捜索していたため、シューズカバーが破損し、汚染拡大防止の機能を失っていた。





## 資料 2-8 国際空港エマルゴ訓練

### 1. 訓練概要

開催日時：2019年7月11日(木)10:00 - 16:00

開催場所：国際空港内 多機能施設

参加機関：警察、消防機関、医療機関、警備会社等

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1旅客ターミナル北ウィング到着ロビーで、何者かがペットボトルに入った液体をベンチのそばで床にこぼし、立ち去った。その後、原因不明だが、数人が倒れたと消防に通報あり。NBC 出動、毒劇物対処の指令となった。現場ではサリンが検知された。

### 2. 訓練内容

#### (1) 国際空港 CBRNE テロ対策合同訓練振り返り

- ・ 6月12日に実施された訓練をDVDで供覧した。

#### (2) 各エリアでの検討

- ・ 参加者の約半数は、本訓練の参加が初めてのようであり、訓練の進め方やルールの説明といった事前演習を各エリア、活動部隊に分かれて実施した。

#### (3) エマルゴトレーニングシステム※による訓練

- ・ 活動部隊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と医療機関への搬送の途中までを実施した。
- ・ 被災者の汚染状況として、液滴の付着はフィギュアに赤いマークがついている。
- ・ 被災者発生からの対応の時系列は下記の通り。

12:50 原因不明で複数人が倒れているとの通報により、NBC 第三出動、毒劇物対処での出動指令

13:05 出動から現着までの状況を全体で共有。ビルから 100m 手前で集結、周辺は立入り規制し、20 人ほどは歩行可能で、ターミナルビルの外に出てきている。

13:15 レベル A 防護装備で進入し、屋外では検知無し、屋内でサリンを検知

13:58 消防による現場からの救助完了

14:00 サリンを検知した情報が医療機関へ伝達

14:16 一次トリアージエリア、除染エリアを経て、一人目が二次トリアージエリア、救護所に到着

14:17 医療チームが救護所に到着し、酸素投与の処置開始



14:40 赤タグ2名が医療機関へ搬送

14:45 二次トリアージエリアで被災者18人が滞留。救護所には6名が搬送の待機状態。

15:00 訓練終了

- ・ 酸素投与や気道確保が遅れたため、30人の被災者のうち、4人が死亡と判定された。
- ・ 訓練終了後に、各部隊でフィードバックし、活動報告及び訓練総括を実施した。

※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 2-9

### 医療機関における CBRNE テロ災害訓練

#### 1. 概要

医療機関で化学テロ災害に対応するための院内のマニュアルの検証、職員の対応能力向上のために開催された CBRNE テロ災害訓練に講師および評価者として参加し、all hazard approach による医療機関での初期対応について、課題等を抽出し、解決策を検討した。

#### 2. 日時

2019年6月10日(月) 9:00～17:00

9:00～9:15	訓練概要説明
9:20～10:00	基調講演「CBRNの基礎」 岩熊真司氏(東洋紡、量研客員研究員)
10:00～10:45	基調講演「化学テロ災害初動 より多くの命を救うために」 奥村徹氏(日本中毒情報センター)
10:55～11:30	チームビルディング
13:30～15:00	実動訓練
15:30～16:00	講評

#### 3. 参加機関

医療機関、陸上自衛隊、名消防、警察、日本中毒情報センター、東洋紡、量子科学技術研究開発機構

#### 4. 訓練想定

地下鉄駅構内でサリンが散布され、多数の被害者が発生した。現場から自力で受診および救急搬送された多数の患者について、自衛隊、消防、警察の関係機関と連携して、被害者の初療、除染等を実施し、処置をする。

#### 5. 評価項目と内容

##### ● 実動訓練の実施

平日の通常診療時間帯にこの規模の訓練を行った医療機関には敬意を表したい。雨天にもかかわらず、実務者から病院上層部まで数多くの参加者が熱心に訓練に取り組まれていた。自衛隊との連携においては、自衛隊家族が配偶者、幼児、乳児にいたるまで模擬患者として参加しており、それだけ実際的に訓練できていた。これは国民保護訓練等各種テロ対策訓練としてはかつてない被災者想定への取り組みであり、他の地域でも大いに参考にすべきものだと思われた。

##### ● All hazard approach での放射線検知のタイミング

訓練想定が化学剤と周知されていたため、放射線検知、放射線防護の活動がなかった。テロ災害時には、すべての脅威について考慮し、対策を講じる必要がある。

その中で、放射性物質による汚染がある場合、院内に汚染を持ち込まないように汚染検査を実施するべきである。また、個人被ばく線量計を装着していないため、対応後に放射線の関与が判明した場合には、被ばく線量の管理が困難となることが予想された。

- 職員の安全確保

化学テロ対応の防護装備としては、「TST 防護服ユニット」が4着程あり、除染担当のエリアで装着していた。しかし、一次トリアージエリアでは、現場から直接来院した被害者、および現場除染の実施が不明な傷病者が搬送されてきた場合でも現場の対応に当たる職員が感染防護衣、N95 マスクを装着して対応しており、化学テロ対応としては、安全確保ができていない状況であった。さらに、汚染が疑われる被災者の除染においては、TST 防護ユニットを装着した職員と感染防護衣と N95 マスクの職員が除染エリアで混在して除染しており、化学テロ対応としては、危険であった。



除染が必要な被災者に感染防護衣、N95 マスクで対応

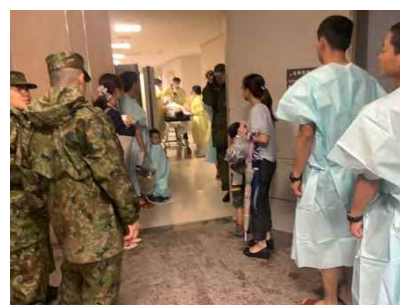
- エリアと動線の設定

赤タグの重症者を除染テントで水除染後に、ストレッチャーで救急外来まで移動しており、その動線は自力歩行者の脱衣後の動線と同じであった。院内で重症者の対応をしているその横に自力歩行者が待機している場面があった。エリア設定としては、重症者が他の被災者の目に触れずに、救急外来に搬入される動線が必要であった。



除染エリアで「TST 防護服ユニット」での対応と感染防護衣、N95 マスクで対応が混在

今回は 30 名程度の被害者の想定で、ほとんどが自力歩行であったが、自力歩行者の一次トリアージの受付と搬送されてきた重症者の受け渡し場所と一次トリアージの場所が同じであったことは、汚染の可能性が低い自力歩行者と汚染が残存している可能性のある重症者が混在し、交差汚染の危険が予想される。



重症と軽症の患者の動線が同じ

- 現場除染の有無の確認

現場から救急搬送された負傷者について、現場除染の有無の確認がなかった。さ

らに除染後であっても、汚染の残存がないかなどの確認がなく、そのまま救急外来に搬入していた。この場合、化学剤の汚染残存があった場合は、院内での対応者の二次被害の発生が予想された。また、せっかく現場除染が行われていても重ねて除染することになり、効率の悪い対応になりかねなかった。

- 水除染

自力歩行不能な重症者に対して水除染を実施していた。さらに水をかけるのみであり、拭き取りなどは実施されていなかった。患者到着前には原因物質がサリンと判明していたこと、視認できる汚染の付着がないことを考慮して、脱衣と拭き取りによる乾的除染を選択できたと思われる。

また、汚染水の処理が不適切なためテント内に汚水が溜まっており、除染対応者がその水の中に入ることもあったため、汚染が拡大し、二次被害が拡大してしまうと予想された。これは放射性物質であっても同様であった。



水をかけるのみの除染  
ふき取りなどされなかった

- 除染後の確認

多くの被災者を水除染する場合、十分に時間をかけて綿密に除染する時間的余裕はなく、除染の効果を確認せずに病院内へと搬入するのは危険である。より多くの被災者に努めて早く医療処置を施す為にも、効率的な除染と除染効果を確認し安全を確保することが必要である。

- 多機関連携として地域の医療機関等との情報共有

重症者への薬剤（アトロピンとパム）の院内在庫の確認がなされていたが、多数傷病者への対応が必要となった場合は、地域内での薬剤の調達等が必要であり、行政や他の医療機関等との被災者の受け入れ状況などについて情報共有が必要であった。さらに消防機関やメディカルコントロールとして、患者の分散搬送や他の医療機関への転院搬送の調整も必要であったと思われる。

今回は、医療機関での受け入れ、除染を主体にした訓練であったため、一部、歩行可能者への脱衣後の事情聴取は県警が対応していたのみであった。このようなテロ災害の想定では、警察、消防、行政、他の医療機関不可欠である。

- 症状のない歩行可能者への対応

地下鉄構内のテロでは、被災者は数千人規模となると予想される。その中には化学剤に暴露されていなくても来院する被災者われるが、すべての被災者の一次トリアージに START 法による呼吸と脈拍の確認をしていたら時間がかかってしま

うと考えられる。化学テロに特化した簡易スコアでのトリアージを検討する。

- 幼児、小児への対応

幼児や小児の生理学的徴候や異常の判断には、小児科医、小児病棟・外来の看護師の協力が必要であったと思われる。



START 法による受付でのトリアージ。小児科医の協力も必要。

### 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。

昨年度提案した原子力災害医療の研修の体系化に基づいて実施される研修の状況を調査し、研修の課題を整理し、作成した標準テキストを改訂する。また、昨年度提案した初療マニュアルについても、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項目を整理した上で、フローチャートを修正し、マニュアルを作成する。

#### 3.2. 検討の経緯

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。

- 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高度専門研修
- 原子力災害医療に関する研修で使用する標準テキスト改訂
- 原子力災害拠点病院等での全職員向けの研修資料
- 標準テキストの公開
- 被ばく医療の初療のフローチャートとマニュアル

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：2019年8月9日(金) 14:00 – 17:00

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：研修実施報告・開催予定

議題3：標準テキスト公開・改定作業

議題4：医療機関の初療マニュアル

議題5：今後のスケジュール

##### 2. 第2回検討会

日時：2019年9月13日(金) 14:00 – 16:00

場所：フクラシア東京ステーション

東京都千代田区大手町 2-6-1 朝日生命大手町ビル

議題： 議題1：標準テキスト改訂について

議題 2：医療機関の初療マニュアル

議題 3：その他

### 3. 第 3 回検討会

日時：2019 年 12 月 25 日(水) 14:00～16:00

場所：フクラシア丸の内オアゾ

議題： 議題 1：研修開催報告

議題 2：標準テキスト改定について

議題 3：標準テキストの新規作成（医療機関向け研修資料）

議題 4：医療機関における初療マニュアル

議題 5：その他

### 4. 第 4 回検討会

日時：2020 年 1 月 27 日(水) 14:00 – 16:00

場所：フクラシア丸の内オアゾ

議題： 議題 1：研修体系化案について

議題 2：標準テキスト改定について

議題 3：標準テキスト公開について

議題 4：バイオアッセイ研修について

議題 5：その他

## 3.3. 結果

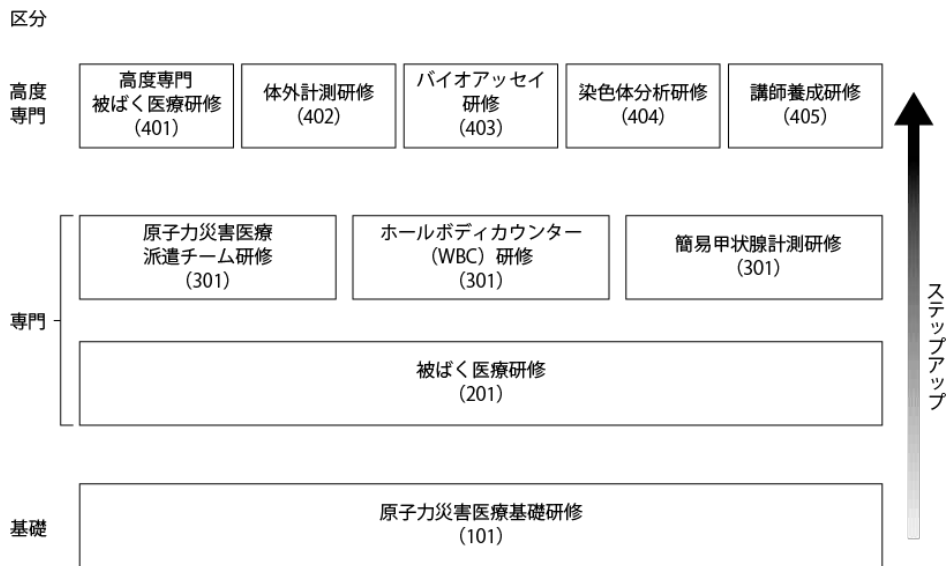
### 3.3.1. 原子力災害医療に関する研修の体系化

昨年度に提案した原子力規制庁の委託事業として実施してきた原子力災害医療の研修体系化（図 3-1）を【検証 1】での研修の実施の結果も踏まえて、再度検討し、修正案（図 3-2）を提案した。高度専門研修のバイオアッセイ研修と染色体分析研修の受講対象者は必ずしも基礎研修、専門研修（中核人材研修、派遣チーム研修など）のステップアップの過程を経由せず、専門技術を持った人材が全国各地から受講することを想定している。そのため、各研修にはコースコードを付与し、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 番台と提案していた中で、バイオアッセイ研修と染色体分析研修は、コースコードを変更した。

なお、基礎研修を修了して、専門研修の原子力災害医療中核人材研修を修了して、原子力災害医療派遣チーム研修、ホールボディカウンター（WBC）研修、簡易甲状腺計測研修を受講するステップアップとしている。原子力災害医療派遣チーム研修終了後に、高度専門被ばく医療研修、講師要請研修を受講し、ホールボディカウンター（WBC）研修終了後に講師要請研修と体外計測研修を受講するステップアップを提

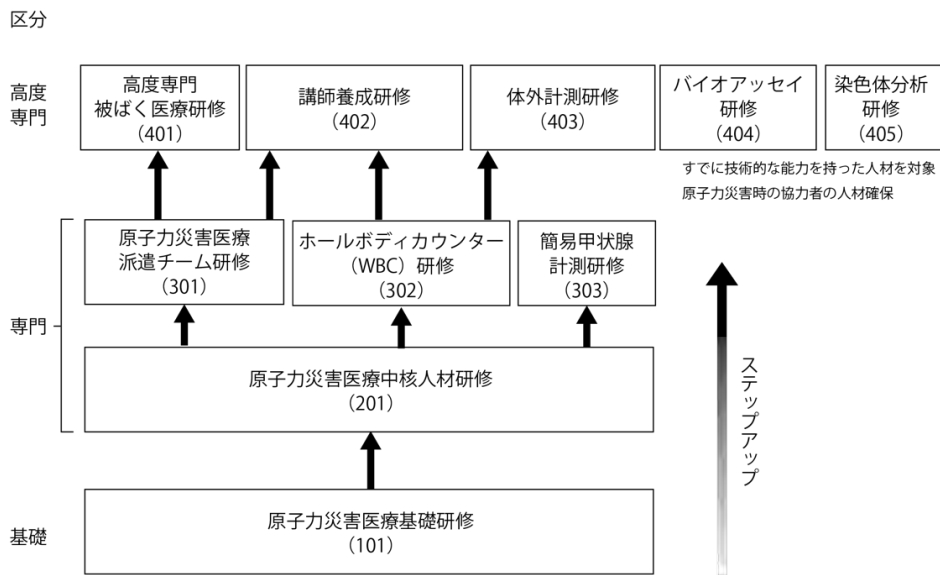
案した。

来年度以降は、提案した原子力災害医療に関する研修の体系化で各地域、高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センター等で開催予定である。研修制度は、基幹高度被ばく医療支援センターに設置される「被ばく医療研修認定委員会」で基準等が設定され、研修および受講者の修了認定がなされる予定である。さらに研修と人材の一元管理のシステムも基幹高度被ばく医療支援センターで構築しており、来年度から稼働する予定である。



( )内の数字はコースコード

図 3-1 2018 年度に提案した原子力災害時の医療に関する研修体系化案



( )内の数字はコースコード

図 3-2 本年度修正した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高度専門研修

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。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した。高度被ばく医療支援センターとして、バイオアッセイによる線量評価が可能となる技術を有した人材を、さらに各センターに1～2名程度増員できるようにすることが目標である。

本研究事業において、「バイオアッセイ研修」と「染色体分析研修」を実施した（【検証1】参照）。なお、高度専門被ばく医療研修は、基幹高度被ばく医療センターの委託事業として実施した。

#### (1) バイオアッセイ研修

昨年度、試行的に量研機構で実施したバイオアッセイ研修により研修内容を取りまとめた（【検証1】参照）。

次年度以降は、基幹高度被ばく医療支援センターにおいて高度専門研修として実施予定である。施設の受入の状況によるが、1回の研修で2～3人の研修生を受け入れることが可能であると想定している。

#### (2) 染色体分析研修

今年度は、日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士制度の更新単位として染色体分析研修を申請し、実施した【検証1】参照）。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。

### 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改訂

昨年度は、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。本年度は、この標準テキストを使用して、基礎研修、原子力災害医療中核人材研修、原子力災害医療派遣チーム研修を実施して使用し、標準テキストを改訂した（別添資料）。主な改訂は、次のとおりである。

- ・ 原子力防災体制：体制図を変更
- ・ 安定ヨウ素剤：安定ヨウ素剤の配布・服用に当たって（令和元年7月3日全部改訂）に合わせて修正
- ・ 医療機関の原子力災害対策：診療エリアのレイアウト図の修正
- ・ 外部被ばくと内部被ばくの線量評価：安定ヨウ素剤のスライドと同様に修正
- ・ その他：誤字等の修正

#### 3.3.4. 原子力災害拠点病院等での全職員向けの研修資料

「原子力災害拠点病院等の施設要件」により、原子力災害拠点病院は原則として時施設の全職員に、原子力災害医療協力機関は原子力災害対策に関係する所属職員に対する教育研修を定期的実施することとなっている。このため、原子力災害拠点病院等の事務職員を含めた全職員向けの資料として、各施設の役割や最低限必要な知識を効率的に短時間で習得できるように原子力災害医療に関する研修で使用する標準テキストに準じて作成した（別添資料）。

#### 3.3.5. 標準テキストの公開

作成した標準テキストは、誰でもがダウンロードし、活用できるように量研機構のウェブページで2020年3月より公開した。活用状況を把握するためにダウンロードを希望する者には、勤務地（47都道府県）、勤務先属性、使用目的を申請した後にダウンロードサイトのIDとパスワードを送付する仕組みとした。また、それぞれのテキストのダウンロードのためのクリック数を把握できる。

原子力災害医療研修テキストのダウンロード

URL : <https://www.qst.go.jp/soshiki/101/37231.html>

テキストダウンロード申請

<https://www.qst.go.jp/ques/questionnaire.php?openid=18&check>

#### 3.3.6. 被ばく医療の初療のフローチャートとマニュアル

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ことから、昨年度は、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フローチャートを示し、フローチャートを組み込んだ診療記録用紙も作成した。今年度は、このフローチャートを見直し、CBRNE テロ対応の All hazard

approach の視点で、救急外来等における初期診療のフローチャートに変更した。さらにフローチャートの各項目の解説を作成し、医療機関における初期診療マニュアルとして作成した（別添資料）。

マニュアルの作成に際しては、医療機関における CBRNE テロ災害訓練の視察（資料 2-9）により見出した課題も踏まえ作成した。

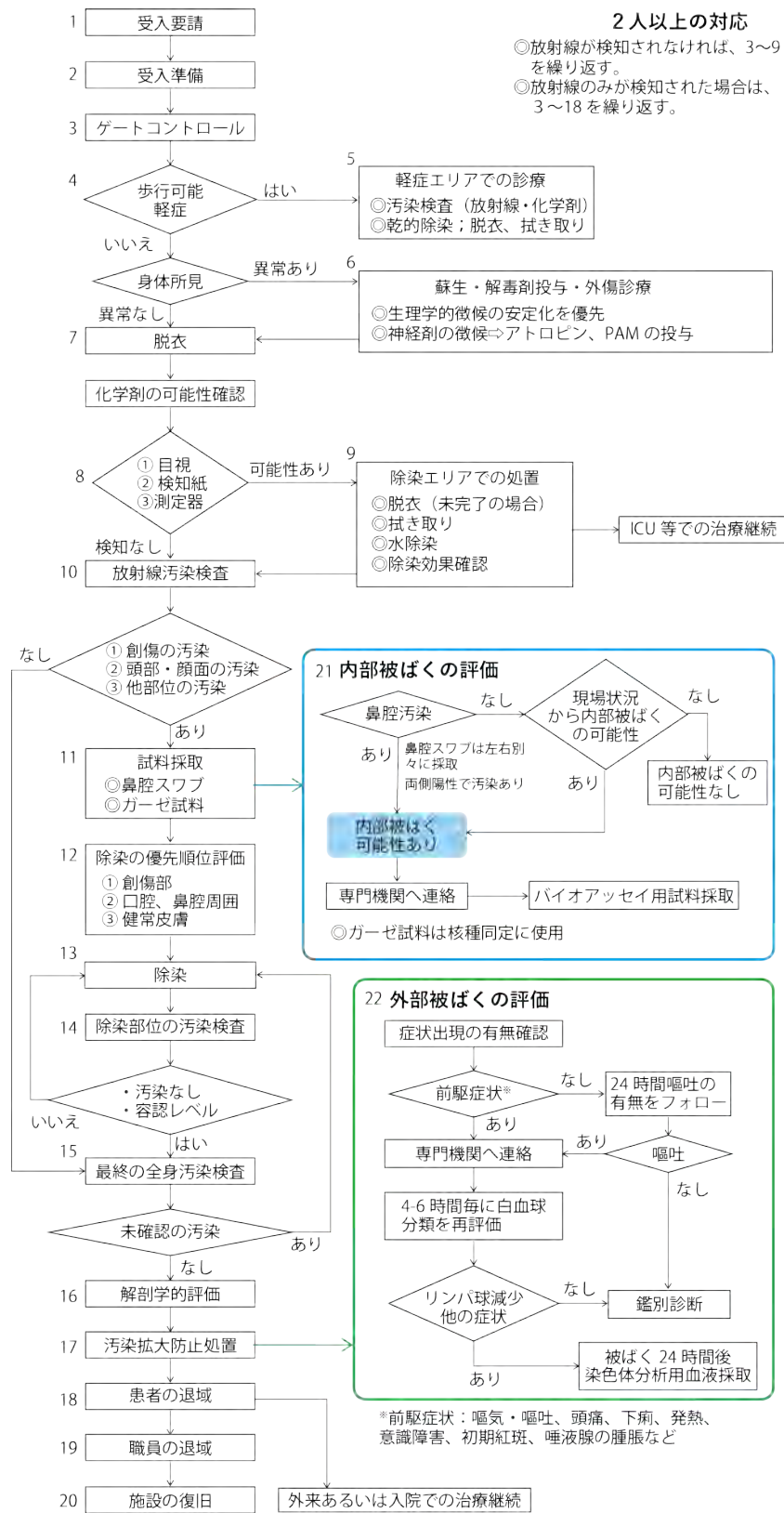


図 3-3 被ばく医療の初療フローチャート

### 3.4. 考察

#### 3.4.1. 原子力災害医療の研修の今後の展望

昨年度提案した原子力災害医療の研修として体系化案、標準テキスト、研修制度により、今年度は試行的に研修を開催した。研修制度については、基幹高度被ばく医療支援センターに設置される被ばく医療研修認定委員会において研修の認定基準や研修終了の基準等が決定され、令和2年度より新体系化の研修が実施されることになっていることから、本研究事業の成果が原子力防災体制整備において活用される見込みである。

今後は、標準テキスト等の教材の活用状況を調査し、再度内容を検証し、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。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。

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ことから、本研究事業で提案している講師養成研修の内容を検討し、試行的に実施する。また、提案している高度専門研修のうち、体外計測研修は研修内容の検討が終了していないため、次年度は研修内容を研究協力者、研究参加者によって検討し、試行的に研修を開催する。

#### 3.4.2. 包括的被ばく医療に関する課題と今後の展望

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、事故や災害発生の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。また、原子力災害対策重点区域以外の地域において、被ばく医療の教育や訓練を実施するには、CBRNE テロ災害対応などの動機付けが重要である。原子力災害時の医療対応のみを対象としていては、他の地域の救急・災害医療の関係者の参画の機会が失われる可能性があるため、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。さらに全国の救命救急センターや各地域のDMAT 隊員へ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、作成したマニュアルや教材が、多くの医療関係者が活用できるように提供方法の検討が必要である。

本年度作成した初期診療のためのマニュアルには、下記の点を追加することを次年度は検討する。

- 職員の安全確保  
対応する職員の安全確保は必須であり、CBRNE テロ災害で、最初に化学剤の脅威を否定できない場合は、化学防護服の着用、全面マスクと吸収缶による呼吸保護が望ましい。また、これらの着用には、事前に練習して、適切に着用できるようになっておく必要がある。一方で、全面マスクは高価で、対応する全職員分を準備することは困難であり、また、全面マスクを装着した状態で患者対応をすることは症状の確認が難しく、患者の不安感を増長する点において好ましくなく、使い捨てのサージカルマスクよりも安全性があり、重装備にはならない程度の簡易防毒マスクも必要となるものと思われた。化学剤への対応で、後から放射性物質による汚染が判明しても、十分に対応可能である。
- エリアと動線の設定  
放射線テロ災害や原子力災害のみでなく、化学剤テロ災害にも対応可能となるように、汚染による重症者と汚染の可能性の低い自力歩行可能者が交差したり、同じエリアに滞在しないで済むような動線とエリアの設定を事前に検討する必要がある。また、汚染の可能性のある地域と、非汚染地域を明確に区分し、誰が見ても明瞭に認識できるよう明示すべきである。
- 症状のない歩行可能者への対応  
症状のない歩行可能者への対応を医療機関で実施すると、処置が必要な被災者への対応の人員を裂かなければならなくなる。そのため、行政等と連携し、相談窓口の開設や避難所等での対応について調整すべきである。RN テロ災害でも放射性物質の付着のみで被ばくがない被災者が、医療機関に搬送されることなく、汚染検査と除染ができる体制が必要である。  
また、化学剤テロ時に迅速に生理学的徴候の異常を判断できる基準やスコアを整理し、活用することも検討すべきである。

### 3.5. 結論

昨年度提案した原子力災害時の医療に関する研修の体系化、標準テキストを再検討し、修正、改訂した。次年度はこれらの研修体系化での標準テキスト等の教材の活用状況を調査し、必要な修正箇所等を検討し、修正する。

高度専門研修については、講師養成研修、体外計測研修の内容を検討し、試行的に開催する。

また、原子力災害以外の被ばく医療については、初期診療の手順を検討し、フローチャートと初療マニュアルを作成した。次年度は、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作成したマニュアルや教材を広く活用してもらうための方策を検討する。

## 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。

専門機関、染色体および物理学的線量評価の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

昨年度整理した専門的支援体制に必要な項目と課題を再度検討し、染色体分析の人材確保について、さらに実効的な方法について、被ばく医療の専門機関である量研が設置している高度被ばく医療支援センター連携会議線量評価部会の部会長等と検討した。

さらに専門的支援として、G20 大阪サミットでの実際の対応を含め、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。また、CBRNE テロ災害時の専門家と初動対応機関との連携や専門的支援についても、実際の活動等を元に検討した。

情報共有システムについては、既存の広域災害救急医療情報システム（EMIS）の項目等を確認し、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、システムの設計に着手できるようにした。

原子力災害時の医療チームの連携についても学会等で最新の知見を収集し、シンポジウム等で討議された内容をまとめた。

これらは、研究協力者、研究参加者が2回の検討会で検討し、取りまとめた。なお、検討会は、調査研究1および3、検証1をまとめて開催した。

### 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

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、染色体分析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、実施主体、支援要請の基準や制度設計が

必要である。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、2019年4月時点で、全国に179名、指導士は61名おり、認定士・指導士のうち87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17名、指導士は8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。原子力災害対策重点区域外の機関に所属している認定士・指導士は、153名であり、この認定士・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。しかし、原子力災害対策重点区域外の機関に所属している場合は、被ばく医療の線量評価における染色体分析の画像診断の研修の機会が皆無でありことから、この認定士・指導士への研修が不可欠である。今年度は、【検証1】で記載しているように高度専門研修として、染色体分析研修を実施した。

物理学的線量評価のネットワークを活用した専門的支援体制としては、高度被ばく医療支援センター連携会議線量評価部会で線量評価に関するマニュアルあるいはガイドライン等の作成を検討されており、今後はそのマニュアル等の活用について検討する。

表 4-1 日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士・指導士数

数値は人数

		認定士	指導士	合計
高度被ばく医療 支援センター	量研機構	1	1	2
	弘前大学	1	1	2
	福島県立医科大学	0	0	0
	広島大学	1	1	2
	長崎大学	1	0	1
原子力災害対策 重点区域	原子力災害拠点病院	7	3	10
	原子力災害医療協力機関	6	2	8
	上記以外	47	15	62
原子力災害対策重点区域外		115	38	153
合計		179	61	240

2019年4月時点

#### 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 4-1 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 4-2 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（ラジプローブシステム）は、量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。昨年度は、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、測定結果を後方支援の本部等と情報共有、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こと、医療機関でのエリアモニターとしての活用を提案した。

今年度は、G20 大阪サミットでの NBC の専門機関としての実際の活動において、このラジプローブシステムおよび CBRNe クラウドシステムを実際に活用した。

ラジプローブシステムは、量研機構のみで情報共有したが、CBRNe クラウドシス

テムは、日本中毒情報センター、現地対応の消防機関も同時に稼働したことで、複数の組織でリアルタイムに、化学剤および放射線のモニタリング結果を共有できた。



図 4-3 派遣先でのラジプロブシステムの活用事例

G20 大阪サミット対応において、現地派遣の量研機構の職員が、現地医療対策本部あるいは関西国際空港の派遣先で、ラジプロブシステムと CBRNe クラウドシステムを連続稼働させて監視した。



図 4-4 ラジプロブシステムの画面  
複数の拠点で、リアルタイムの測定結果を共有した。

#### 4.3.2.2. 初動対応での活用

国際空港の CBRNE テロ対策合同訓練において、消防機関が CBRNe クラウドシステムを活用していた（資料 2-7）。「NBC テロその他大量殺傷型テロ対処現地関係機関連携モデル」<sup>1</sup>では、NBC テロ発生時の対処においては、各都道府県を始めとする地方公共団体を中心とした関係機関の連携が重要であるとされている。この中で、救助・救急搬送、救急医療体制連携モデル、原因物質の特定における連携モデル、汚染検査・除染等における連携モデルが示されており、研究機関、専門機関は、消防本部、都道府県警察、保健所などの実働組織と連携することが示されている。本文書において、専門機関として量研が記載されていることから、放射線テロ災害発生時には、量研は助言や支援を求められる。しかし、発災場所によっては、現地に職員を派遣することに時間を要したり、困難であることも予想され、また、放射線検知結果の詳細（マッピングの情報等）を把握するにも時間を要することが予想される。そこで、本訓練で使用されていた CBRNe クラウドシステムのように、遠隔地でも検知結果の詳細（化学剤の検知結果、放射線の検知結果、マッピング情報）を確認、共有できるシステムにより、遠隔地でも的確な専門的支援が可能となることが考えられる。また、現地に専門家が派遣された場合でも、マッピング情報等の検知結果の把握が短時間で

<sup>1</sup> NBC テロ対策会議幹事会「NBC テロその他大量殺傷型テロ対処現地関係機関連携モデル」（平成 13 年 11 月 22 日（平成 28 年 1 月 29 日改定））

可能であると思われる。原因物質の特定まで CBRNe クラウドシステム等で実施されていたら、除染方法や医療処置についても、より詳細な助言や支援が早期から可能となり、二次災害の防止に資すると考える。

#### 4.3.3. 情報共有システムを活用した専門的支援

昨年度は、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」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ブシステムの閲覧機能を提案し、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。

既存の広域災害救急医療情報システム（EMIS）の項目等を確認したところ、医療機関の検索結果として、以前の被ばく医療機関の情報が表示される状況であり、現在の原子力災害時の医療体制で各道府県が指定している原子力災害拠点病院、原子力災害医療協力機関の情報を更新するための情報提供が必要があると思われる。

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、情報共有システムを構築するには、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。情報共有システムのページの構成としては、ログイン画面、掲示板、放射線モニタリング、EMIS、原子力災害拠点病院の基本情報等、原子力災害医療派遣チームの活動状況を提案する（図4-5）。

#### システム設計案

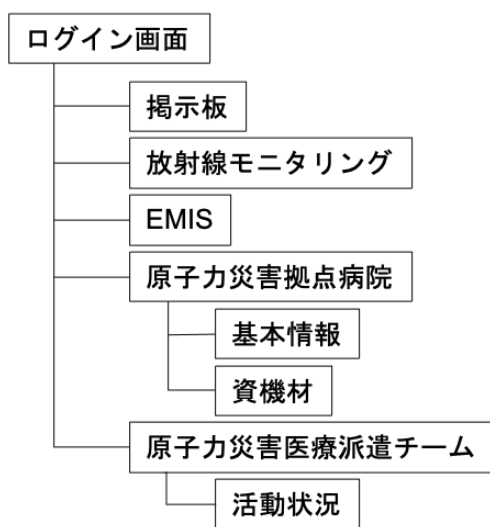


図4-5 情報共有システムのページの構成案

#### 4.3.4. 災害医療との連携

DMAT (Disaster Medical Assistance Team) とは、大地震や列車事故などの災害現場で迅速に救命治療を行う専門的な訓練を受けた災害派遣医療チームであり、規定の研修・訓練を終了した医師、看護師、業務調整員（事務員や放射線技師、薬剤師、検査技師など）の医療従事者から編成される。この DMAT には、厚生労働省が開催する日本 DMAT 隊員養成研修会を受講し登録された日本 DMAT、東京 DMAT のように都道府県と医療機関との間で締結された協定に基づき地域に発生した局地災害現場に日本 DMAT 隊員登録者が出動できる体制、日本赤十字社における DMAT などがある。他に災害時の医療派遣チームとしては、集団災害が発生した場合、被災地域の精神保健医療ニーズの把握、他の保健医療体制との連携、各種関係機関等とのマネージメント、専門性の高い精神科医療の提供と精神保健活動の支援を行う災害派遣精神医療チーム(DPAT; Disaster Psychiatric Assistance Team)や、災害発生後の健康危機管理・公衆衛生学的支援を行う災害時健康危機管理支援チーム (DHEAT; Disaster Health Emergency Assistance Team) などがある。いずれも原子力災害時の活動については明確な規定等はない状況である。原子力災害時に、原子力災害派遣医療チームと様々な医療チームが連携するためには、それぞれの活動の場所、活動の内容、役割分担、相互に協力や支援を要請する活動を明確にすることが不可欠である。

第 25 回日本災害医学会総会 学術集会 (2020.2.20 - 22) では、これまでの災害医療の活動から、シンポジウムの一つでは、原子力災害医療について、原子力災害での医療・保健・福祉の活動や体制についての現状の把握、災害医療との連携や役割分担、人材育成について討議された。

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。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り、この情報共有の手段としては、前述の通り、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。

#### 4.3.5. 医療機関への専門的支援体制

原子力災害では、医療支援として基幹高度被ばく医療支援センター、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指定され、それぞれの役割や要件が示されている<sup>2</sup>。高度被ばく医療支援センターの診療機能としては、原子力災害拠点病院等との医療連携が示されているが、具体的に内部被ばくの治療に必要な薬剤

---

<sup>2</sup> 原子力規制庁「原子力災害拠点病院等の施設要件」(平成 27 年 5 月 15 日 (平成 30 年 7 月 25 日全部改定))

の備蓄等については言及されていない。

国際空港エマルゴ訓練（資料 2-8）において、医療機関では、サリン検知の情報を入手し、治療薬として硫酸アトロピンやプラリドキシム（PAM）の準備、現場での投与を検討していた。通常、医療機関で保有している量では不足することが予想される。そのため、化学テロ災害に備えて、これらの化学剤を用いたテロへの対応に必要な医薬品については、厚生科学審議会健康危機管理部会で提言され<sup>3,4</sup>、国家備蓄されている。これらの国家備蓄の薬剤は、分配場所や緊急配備のスキームなどの課題も指摘されている<sup>5</sup>。一方で、放射線テロ災害への対応に必要と考えられる DTPA やプルシアンブルーなどの医薬品は、国家備蓄となっておらず、高度被ばく医療支援センターが、原子力災害時の医療体制整備の一環として、保有している状況である。2017 年に発生した日本原子力研究開発機構大洗研究開発センターでのプルトニウムによる汚染事故では、治療のために一人に対して Ca-DTPA と Zn-DTPA を合計で 63 アンブル投与した。これは量研機構が保有する DTPA の約 1/4 である。そのため、多数の内部被ばく患者が発生するような放射線テロ災害が起こった場合には、国内の高度被ばく医療支援センターが保有している数量では、不足することが懸念される。

#### 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。今年度は、認定士の更新の単位として認められるように日本人類遺伝学会に申請し、染色体分析研修を開催した。しかし、受講者を原子力災害時等の染色体分析の協力あるいは支援者として活用するには、人材情報の管理、支援要請の主体や手順、運営方法等の制度設計が必要である。

検知システムを活用した専門的支援については、実際の専門家派遣において検討したが、多機関が連携するには、情報の取り扱いやセキュリティ対策といった取り決めが必要である。

情報共有システムとして、EMIS の活用があり、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

---

<sup>3</sup> 厚生科学審議会健康危機管理部会「化学テロリズム対策についての提言」平成 26 年 7 月 10 日

<sup>4</sup> 厚生労働科学研究「化学テロ等健康危機事態における医薬品備蓄及び配送に関する検討」（研究代表者：吉岡敏治）

<sup>5</sup> 厚生労働科学研究費補助金 行政政策研究分野 厚生労働科学特別研究「2020 年オリンピック・パラリンピック東京大会等に向けた化学テロ等重大事案への準備・対応に関する研究」（研究代表者：小井土雄一）



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。また大規模災害発生時には、被災地の医療ニーズ、保健ニーズ、福祉ニーズに応えるため、多くの支援チームが被災地で支援活動を行う。このため EMIS の医療に関する情報のみでなく、災害時の保健、福祉の情報等も共有する手段である災害時保健医療福祉活動情報支援システム -D24H- (Disaster/Digital information system for Health and well-being) といったものも研究開発されている。原子力災害時にこれらの情報共有システム、情報支援システム等と連携するのであれば、原子力災害の情報共有システムを構築する際には、プラットフォーム等をしっかりと検討する必要がある。

#### 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実際の活動や訓練等によって検討した。今後、この専門的支援体制の構築と強化のためには、原子力災害派遣医療チームの活動要領として、活動場所、活動範囲、活動内容をさらに明確にし、他の医療チームに要請する支援や協力の活動について明示する。また、専門的支援ができること、できないことを明確にすることも重要である。

## 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、【調査研究1】、【調査研究2】で作成した教材や標準テキストを使用して、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

量研機構に依頼があった CBRNE 災害対処に関連する研修を活用し、原子力災害、RN テロ災害での消防や警察、自衛隊等の初動対応、多機関連携に関連する必要な知識と検知器材の使用についての技能を習得できるように教材を作成し、実習を含めた研修を実施した（【調査研究1】参照）。これらの研修会開催により得られた知見等で使用した教材を見直し、初動対応の手順としてフローチャートおよび解説のマニュアルに反映させた。

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については研究協力者と検討し、次年度以降に開催を検討することとした。

#### 5.2.2. 原子力災害時医療の研修

原子力災害時の医療に関する研修は、昨年度【調査研究2】で提案する新たな体系化による研修を、標準テキストを用いて開催し、標準テキストの改訂に反映した。また、高度専門研修の染色体分析研修を開催し、染色体分析の技術者が原子力災害時に協力者として活躍できる方法を検討し、昨年度実施したバイオアッセイ研修については、研修内容を研究参加者と再確認した。

#### 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。今年度は、量研機構が NBC テロ災害対応の専門機関として実働する際に、東京 DMAT と連携して活動することも想定されたことから、東京 DMAT および量研機構の協力協定病院の医療従事者に向け NBC テロ災害対応の研修を開催した（資料5-2）。このことにより【調査研究3】の専門的支援体制について検討した。

### 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、本年度は、原子力災害等の対応に関して、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、All hazard approach での初動対応手順について、研究協力者等を交えて検討し、標準的なテキストおよび自己学習できる教材として作成した（【調査研究1】参照）。さらに作成した教材と初動対応手順のフローチャートを用いて、研修や机上演習を実施して、修正した。

特に、防護装備の着脱や救急車の養生は、原子力災害、RN テロ災害にかかわらず CBRNE テロ災害対処時の基本的な必須技能であり、すべてのテロ災害への対応で、活用できる。ヘリコプターの養生についても訓練によって知見を得られた。このことから、次年度は、放射性物質による汚染した傷病者の搬送時の車両やヘリコプターの養生方法の資料を作成する。

### 5.3.2. 原子力災害医療の研修

新たに提案した体系化の研修の中で、本研究事業では5つの研修を開催した。基礎研修、原子力災害医療中核人材研修、原子力災害医療派遣チーム研修は、5つの高度被ばく医療支援センター（弘前大学、福島県立医科大学、広島大学、長崎大学、量研機構）の職員を対象として、量研機構で開催した。

すべての研修は、講義と実習の7割以上の出席を修了認定の基準とした。また、原子力災害医療中核人材研修は、ポストテストの合格も終了の基準とした。

#### (1) 基礎研修

開催日：2019年5月7日

修了人数：合計29名（弘前大学：6名、福島県立医科大学：5名、広島大学：6名、長崎大学：5名、量研機構：7名）

プログラム：

開始		終了		タイトル
14:30	-	14:40	開講式	
14:40	-	15:10	講義1	原子力防災体制
15:10	-	15:40	講義2	放射線の基礎
15:40	-	16:10	講義3	放射線の影響
16:10	-	16:40	講義4	放射線防護
16:40	-	16:50	休憩	
16:50	-	17:20	講義5	汚染検査・除染
17:20	-	17:50	講義6	安定ヨウ素剤
17:50	-	18:20	講義7	避難退域時検査
18:20	-	18:50	講義8	避難と屋内退避の支援
18:50	-	19:00	修了式	

(2) 原子力災害医療中核人材研修

開催日：2019年5月8日～10日

修了人数：合計20名（弘前大学：4名、福島県立医科大学：3名、広島大学：4名、長崎大学：3名、量研機構：6名）

プログラム：

1日目

開始		終了		タイトル
9:00	-	9:10	研修概要説明	
9:10	-	9:40	プレテスト	
9:40	-	10:10	講義1	医療機関での原子力災害対策
10:10	-	10:40	講義2	医療機関での初期対応
10:40	-	10:50	休憩	
10:50	-	11:20	講義3	放射線障害の診断と治療
11:20	-	12:00	講義4	外部被ばくと内部被ばくの線量評価
12:00	-	13:00	昼食	
13:00	-	15:30	実習1	放射線測定器の取扱い
15:30	-	15:40	休憩	
15:40	-	16:40	実習2	防護装備着脱

2日目

開始		終了		タイトル
9:00	-	9:30	講義6	放射線管理要員の役割
9:30	-	10:00	講義7	放射線事故事例
10:00	-	10:40	講義5	原子力災害時のメンタルヘルス
10:40	-	11:00	移動	
11:00	-	11:30	実習3	医療施設の養生
11:30	-	12:00	実習4	除染（蛍光剤使用）
12:00	-	12:30	実習5	傷病者の汚染検査
12:30	-	14:00	昼食	
14:00	-	17:00	机上演習	

3日目

開始		終了		タイトル
9:00	-	9:30	実習準備	役割分担
9:30	-	9:50	移動	
9:50	-	10:40	実習6	WBC

10:40	-	12:10	実習 7	被ばく医療
12:10	-	13:10	昼食	
13:10	-	14:40	実習 7	被ばく医療
14:40	-	15:00	休憩	
15:00	-	15:30	ポストテスト	
15:30	-	16:30	総合討論	
16:30	-	16:50	修了式	

(3) 原子力災害医療派遣チーム研修

開催日：2019年5月11日

修了人数：合計 23 名（弘前大学：3 名、福島県立医科大学：6 名、広島大学：4 名、長崎大学：4 名、量研機構：6 名）

プログラム：

開始		終了		タイトル
9:00	-	9:30	講義 1	原子力災害医療派遣チームの活動
9:30	-	10:00	講義 2	原子力災害時の救護所活動
10:00	-	10:30	講義 3	原子力災害時のリスクコミュニケーション
10:30	-	10:40	休憩	
10:40	-	12:10	机上演習	
12:10	-	13:10	昼食	
13:10	-	15:10	実習	
15:10	-	15:40	移動	
15:40	-	16:10	閉講式	

(4) 染色体分析研修

日時：2019年11月26日（火）

場所：量研機構東京事務所

修了人数：5 名

プログラム：

13:30 - 13:40	開講式
13:40 - 14:20	講義 1 「放射線事故災害と被ばく医療」
14:20 - 15:00	講義 2 「被ばく線量推定～染色体分析を中心に～」
15:10 - 16:40	実習「画像診断練習」（ギムザ染色法による二動原体分析、FISH 法による転座分析）
16:40 - 16:50	閉講式

(5) バイオアッセイ研修

対象：化学実験経験のある研修生 1 名（放射線業務従事者、化学専攻\_技術職）

バイオアッセイ法：従来法(図 3-3)による研修

内容：①放射線教育研修：1 日（核燃料施設作業用の教育訓練、研修の概要）

②分析研修（試料の準備から解析まで）：

化学分析実習：3 日～4 日

測定及び解析：0.5 日

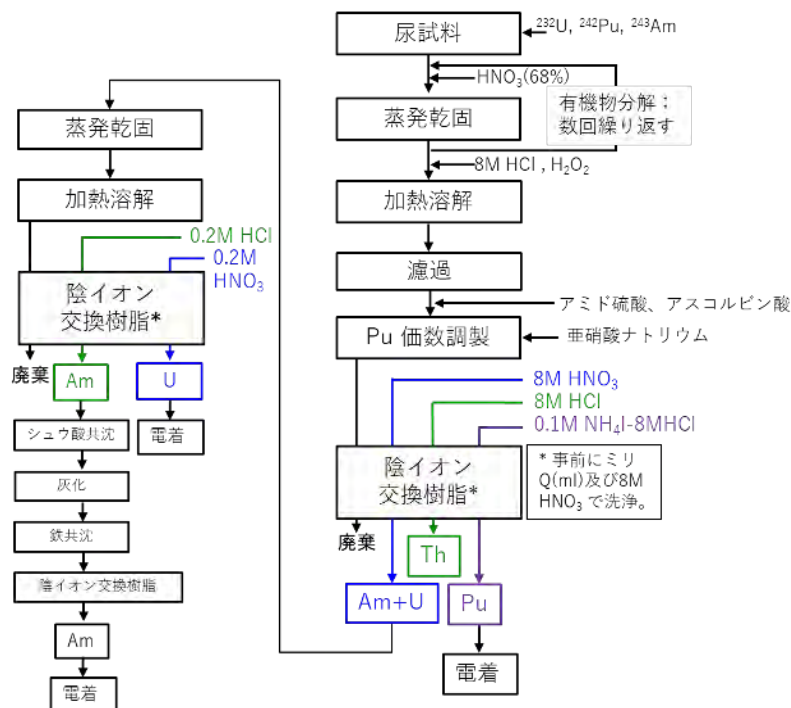


図 5-1 バイオアッセイ 従来法

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。

放射線テロ災害時の患者対応には、放射線の管理が必要であり、放射性物質による汚染がある負傷者の対応には、汚染および除染の有無によらず医療処置が必要な場合がある。そのためには DMAT が放射線テロ災害の現場で救護を実施することが有用であると思われる。この DMAT には、厚生労働省が開催する日本 DMAT 隊員養成研修会

を受講し登録された日本 DMAT、東京 DMAT のように都道府県と医療機関との間で締結された協定に基づき地域に発生した局地災害現場に日本 DMAT 隊員登録者が出動できる体制、日本赤十字社における DMAT などがある。

本年度は、東京 DMAT との研修を開催した（資料 5-1）。災害医療派遣チーム（「東京 DMAT」）NBC 災害発生時活動要領では、特殊災害チームは、NBC 災害時に東京消防庁の管理下で「消防警戒区域」での活動を行う方針となっている。これは、傷病者の救出及び除染の優先度、汚染検査及び除染結果、消防隊員の活動危険、救命処置等への医学的な助言に加え、必要に応じて傷病者に対する救命処置を行うこととなっており、さらに N 災害発生時に限り、「除染区域内」での活動も明記されている。このために、特殊災害チームには、研修を受講した隊員が指定されており、大規模テロ災害対処訓練等への参加が求められている。さらに装備品や医薬品等は東京都が準備している。

放射線テロ災害時での DMAT の活動は、行政と医療機関が必要性を認識し、活動方針を決定しておき、現場での消防機関との連携の調整ができれば、原子力災害に関わらず可能であると思われる。そこで、原子力災害あるいは放射線テロ災害で、原子力災害対策重点区域（24 道府県）以外の都県の DMAT が活動するための課題を次のように整理した。

(1) 行政機関による放射線テロ災害現場での DMAT の必要性の認識と体制整備

DMAT の資器材は行政機関により準備されている。そのため、放射線テロ災害に DMAT の派遣が有益であると認識し、DMAT の活動に必要な放射線測定器、個人線量計、個人防護装備等を準備することが求められる。さらに DMAT の放射線テロ災害現場での活動要領や研修等の隊員の教育体制の整備も求められる。

(2) 医療機関による放射線テロ災害現場での DMAT の必要性の認識と人材育成

放射線テロ災害現場への DMAT の派遣は、放射線被ばくやその他の脅威による危険が伴う。しかし負傷者の救命には、現場での救助と早期の医療処置の連携が重要である。このことを医療機関が認識し、放射線テロ災害現場での DMAT の安全な活動のために必要な教育を隊員に提供することが求められる。

(3) 消防機関等の初動対応機関との調整

DMAT が放射線テロ災害現場で活動する際には、現場の消防機関等と連携する必要がある、さらに現場での安全の確保のためには消防機関等の初動対応機関の指示、指揮下で対応する必要がある。そのため、初動対応機関と DMAT の活動について、活動場所や連携方法の調整が求められる。

(4) 専門機関による支援

DMAT が放射線テロ災害現場で活動する時に、専門機関が測定した放射線の計測結果を共有することは、現場の安全危険情報として必要である。また、放射性物質による汚染がある場合、その除染方法や汚染が残存した場合の対応について助言することも DMAT の活動を支援することになると思われる。このために、

DMAT の派遣要請とともに、行政による放射線テロ災害に対応できる専門機関への支援要請がなされる体制整備も必要と思われる。

「NBC テロその他大量殺傷型テロ対処現地関係機関連携モデル」<sup>1</sup>では、救助・救急搬送、救急医療体制連携モデルにおいて、研究機関・専門機関への情報共有と助言は消防機関と行うこととなっており、DMAT の活動を支援する場合でも消防機関との連携、情報共有が必要と思われる。このことから、前述の初動対応機関と DMAT との調整においては、専門機関との連携も同時に実施することが望まれる。

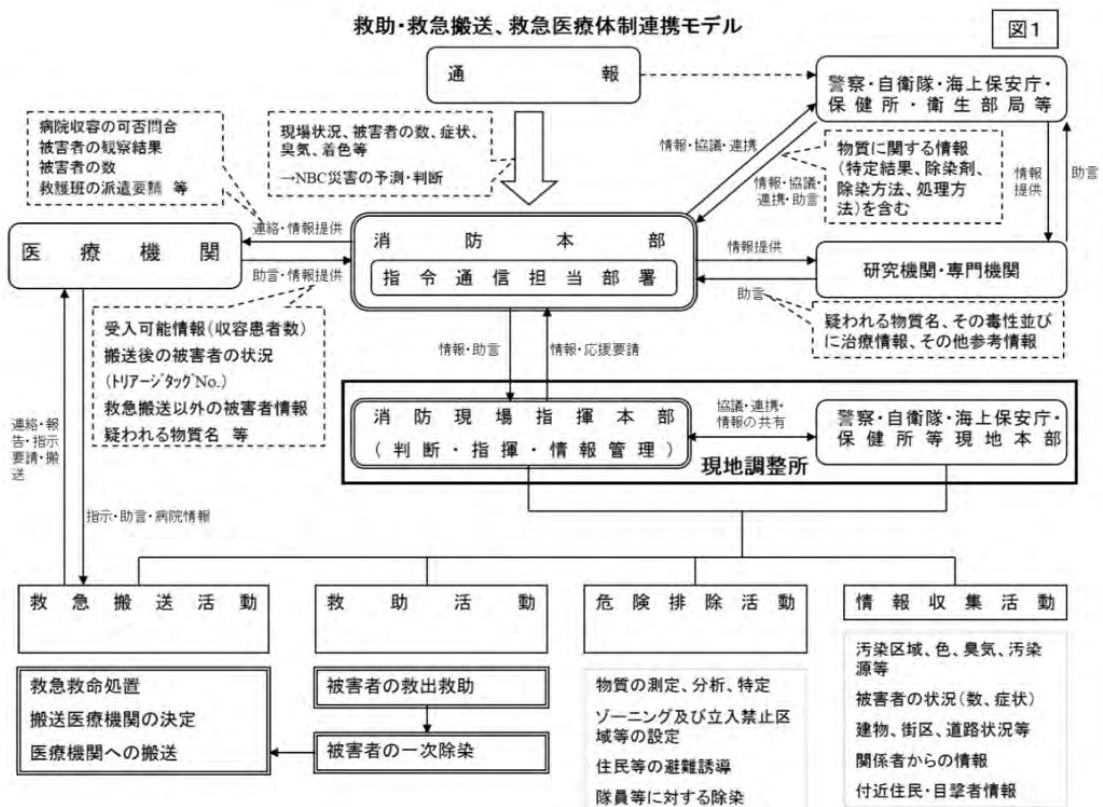


図 5-2 救助・救急搬送・救急医療体制連携モデル

#### 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。また、防護装備の着脱やゾーニングの概念などは、原子力災害に限らず、CBRNE テロ災害での対応の基本的かつ共通の知識と技能である。

日本 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、日本 DMAT

<sup>1</sup> NBC テロ対策会議幹事会「NBC テロその他大量殺傷型テロ対処現地関係機関連携モデル」（平成 13 年 11 月 22 日（平成 28 年 1 月 29 日改訂））

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。しかし、原子力災害時の医療体制整備には、関係しない医療機関や DMAT であっても、昨今の社会情勢や東京オリンピック・パラリンピックの開催を目前に控え、CBRNE テロ災害に関する研修や訓練には、非常に高い関心を示している。これは医療機関や医療チームだけでなく、消防や警察などの初動対応機関も同様である。原子力災害にかかわらず CBRNE テロ災害での初動対応や医療機関での初期診療の人材育成、教育が、原子力災害対策重点区域だけでなく、全国で実施されることで、原子力災害時に全国から支援を受けられる体制も整備できるようになると思われる。

#### 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。

次年度は最終年度として、原子力災害に関する研修の標準テキストをさらに改定し、RN テロ災害や CBRNE テロ災害に関連する教育で活用できる教材の作成と初動対応手順や初期診療手順のマニュアルの作成し、広く活用されるようにすることを目標とする。

## 資料 5-1

### 協力協定病院・東京 DMAT 被ばく医療研修

#### 1. 目的

CBRNE テロ災害発生時に、量子科学技術研究開発機構（量研機構）の協力協定病院あるいは東京 DMAT NBC 指定病院と日本中毒情報センターや量研機構等の NBC テロ災害対処の専門機関が発災現場および医療機関で連携して活動するために、各機関の活動と資機材等について相互理解を深めるため、研修を開催した。

#### 2. 主催等

主催：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

後援：公益財団法人日本中毒情報センター

#### 3. 参加機関、参加人数

量研機構の協力協定病院、東京 DMAT NBC 指定病院、日本中毒情報センター、量研機構の職員 計 26 名

#### 4. 日時

令和元年 10 月 20 日(日) 14:00～17:30

#### 5. 場所

量研機構東京事務所

千代田区内幸町 2 丁目 2 - 2 富国生命ビル 22 階

#### 6. 研修内容

14:00 - 14:05 開会挨拶

量子科学技術研究開発機構 神田玲子

14:05 - 14:20 「G20 大阪サミットの化学テロ対策と即位礼正殿の儀への準備状況」

日本中毒情報センター 理事長 吉岡敏治

14:20 - 14:35 「東京都の特殊災害医療体制の概要」

杏林大学 教授 山口芳裕

14:35 - 14:50 「量研機構の NR テロ災害対応」

量子科学技術研究開発機構 富永隆子

15:00 - 15:15 実習 個人線量計の取り扱い

量子科学技術研究開発機構 北村尚

15:15 - 16:30 実習 防護装備着脱、放射線測定、除染

量子科学技術研究開発機構

濱野毅 富永隆子 佐藤真二 北村尚 小林圭輔 佐々木昭徳

16:35 - 17:00 意見交換

17:00

閉会



## 7. 実施内容

### (1) 講演

日本中毒情報センターと量研機構から CBRNE テロ災害対応の専門機関としてのこれまでの活動と即位礼正殿の儀等での救急・災害医療体制における計画について紹介した。とくに量研機構からは、所有する放射線測定器やラジプロブシステムの説明を行い、放射線テロ災害時に医療機関や DMAT との連携で支援できることを説明した。さらに東京都の特殊災害医療体制の概要として特に東京 DMAT の活動と東京消防庁との連携について紹介があった。



### (2) 実習

「個人線量計の取り扱い」では、デジタル式警報付個人線量計について簡単な説明と注意点、電源の On、Off の方法、警報値の確認と電池交換の方法などを実際に扱いながら実施した。その後の実習に引き続き、電源を入れた個人線量計を各人が装着した。



「防護装備着脱、放射線測定、除染」の実習では、実際の現場活動と同様に、まず各人にタイベックスーツ等の防護装備一式を着用してもらった。



その後、空間線量計の取り扱いを説明し、表示付認証機器を使用して、空間線量率の測定を実施した。この時、線源との距離と空間線量率の関係も体験してもらった。汚染検査の実習としては、まず、マネキン（パウチしたマントルを使用した模擬の汚染、模擬の創傷を準備）の汚染検査を複数人で同時に実施し、汚染箇所、その後の除染の順番等を確認した。

模擬の創傷汚染の部分に対し、汚染拡大防止の処置をした上で、除染をした。除染後の汚染検査時には、周辺の汚染した資材は除去するなどの注意点を説明した。さらに皮膚の除染方法について説明した。

最後にタイベックスーツ等の脱衣について、説明した後に全員が脱衣し、2人1組となってお互いに全身の汚染検査を実施した。この時、PPE 着用時にあらかじめパウチしたマントルを着衣に隠していたため、丁寧に汚染検査を行うように実習ができた。

## 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、それぞれの相違を明確にした上で、発生場所あるいは CBRNE テロ災害を含む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 All hazard approach による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、課題の抽出と整理を行い、体制構築や人材育成に必要な資料、教材の作成、教育方法や専門機関と専門組織等の支援体制や連携について提案した。

【調査研究 1】では、昨年度から継続して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を整理し、フローチャートと各項目の解説のマニュアルを作成し、初動対応機関等が使用できる教材を作成した。

【調査研究 2】では、昨年度提案した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に基づき作成した標準テキストの教材を用いた研修を実施し、標準テキストの改定を行った。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とマニュアルを作成した。なお、昨年度全国の医療機関（救命救急センター等）で効率的に短時間での研修における座学と実習から構成されるプログラムとテキストを提案しており、これらは令和元年度放射線対策委託費（被ばく傷病者への対応のための研修）事業において、実施されていることから、本年度はテキストの改訂等は実施しなかった。

【調査研究 3】では、昨年度に引き続き、専門的支援体制として既存のネットワークと検知システムの活用について検討し、情報共有システムによる原子力災害時の専門的支援を実施する機関と現場医療間の情報共有や連携について考察し、課題と解決策を提案した。

【検証 1】では、昨年度および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 に反映できる課題を見出し、標準テキストや教材を改定した。

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、マニュアルを実際に使用し、さらに多くの関係者に活用してもらう

方策についても検討し、関係機関等とも調整して実行していくこととする。

平成 31 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

令和 2 年 3 月

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

初動対応機関のための教材

放射線テロ災害対処	別-1
化学テロ災害対処	別-41
爆発物テロ災害対処	別-72
化学剤検知紙説明資料	別-88
CBRNE テロ災害初動対応マニュアル	別-89
原子力災害拠点病院等研修資料	別-105
原子力災害医療研修の標準テキスト	別-121
原子力災害・放射線テロ災害医療対応マニュアル	別-515

# 放射線テロ災害対処

初動対応者のための基礎知識

本資料は、原子力規制庁平成31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）において作成されました。

## 内容

- 初動対応の目標
- 放射線、放射性物質、放射能
- 測定器
- 放射線テロ災害対処
  - 外部被ばく対策
  - 内部被ばく対策
  - 汚染対策
- 要救助者対応

## 初動対応の目標

- ❖ 医療優先 → 防ぎ得た死をなくす
  - \* 被ばく・汚染だけで緊急に治療が必要なことはない
  - \* 除染は救命処置にならない
  
- ❖ 無用な被ばくをしない
  - \* 救助者の安全確保、被ばく線量管理（放射線防護）
  
- ❖ 二次災害の予防
  - \* 汚染拡大防止
  - \* 関係機関での安全・危険情報の共有
  - \* 公衆の保護

2

放射線テロ災害に限らず、CBRNEテロ災害が発生した場合は、完璧な対応は難しく、大過ない対応が求められる。放射線テロ災害では、被ばく、汚染だけでは、化学テロとは異なり、緊急に治療が必要なことはなく、除染は救命処置にならないため、放射線以外の脅威（化学剤や爆発、外傷など）に対する医療処置を優先し、防ぎえた死をなくすことが目標となる。次に、救助者と要救助者、被災者の無用な被ばくをしないための安全確保、被ばく線量管理が目標となる。そして、汚染拡大防止や関係機関間の安全、危険情報の共有、公衆の保護による二次災害の予防が目標となる。

## 放射線

放射性物質から出てくる**エネルギー**

を持った粒子や電磁波

ガンマ線

ベータ線

アルファ線 など



- 五感で感じられない
- 測定器で検知できる

いつの間にか被ばくする。  
どこに放射線・放射性物質があるか、測定器がないとわからない。  
線源に近いと放射線は強い。

放射線とは、放射性物質から放出されるエネルギーを持った粒子や電磁波である。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、ベータ線などがある。中性子線は、電荷を持たない放射線である。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）するときに放出されたり、原子核以外では発生装置からも放出される。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る。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する。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）壊変になる。

放射線は五感で感じることはできないが、測定器で検知、計測ができる。



## 放射性物質

### 放射線源



### 放射線を出す物質

気体、液体、固体、エアロゾル（液滴）

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

4

放射性物質とは、放射線を出す物質のことである。形状としては気体、液体、固体、エアロゾル（液滴）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を密封線源といい、この放射性物質を放射線源ということもある。

## 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。

5

放射性物質が放射線を出す能力のことを放射能という。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になる。

放射能は、単位時間あ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秒間あたり1個の原子核が壊れることを表す。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あたりの放射能を表す、 $Bq/cm^3$ 、 $Bq/cm^2$ 、 $Bq/kg$ などで使われる。

## 測定器



6

放射線測定器の種類、性能は様々である。測定する目的に合ったものを選択する必要がある。

活動する場所の外部被ばくの危険性の評価には、ガンマ線の空間線量率を測定する器材を用いる。

表面汚染の程度は、単位面積当たりの放射性物質の密度に依存する。そのため、表面汚染計で放射能の程度を評価する。

放射性物質を特定するにはスペクトルグラムを分析する。

## 放射線テロ災害対処

### ❖被ばく対策（外部被ばく・内部被ばく）

\*空間線量率測定、個人線量計、呼吸保護、ゾーニング



### ❖汚染拡大防止

\*汚染検査、個人防護装備、養生、ゾーニング、除染



放射線テロ災害の現場では、被ばく対策と汚染拡大防止が重要である。

# 被ばく

放射線をあびること



## 外部被ばく

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。



吸入摂取

経口摂取  
経皮（創傷）吸収

## 内部被ばく

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。

放射線の事故、災害時には、「被ばく」と「汚染」が生じる。被ばくとは、放射線を浴びることであり、体の外から放射線を浴びるのが外部被ばくであり、放射性物質を身体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ある。

# 外部被ばく対策

9

放射線テロ災害の現場対応では、放射線を完全に遮蔽して被ばくしないようにすることはできない。そのため、外部被ばく対策は、放射線の測定、被ばく管理が重要になる。



## 個人線量計の装着

- \* 被ばく線量管理：活動中の被ばく線量の積算値
- \* 線量限度以下での活動
- \* アラーム設定で線量限度以上の被ばくを避ける
- \* アラームは2段階設定のものもある

10

外部被ばく対策の一つは、個人線量計を装着し、活動中の被ばく線量の積算値を管理することである。放射線の関与が疑われる状況で、個人線量計を装着しておく。被ばく線量は、現場で放射線を検知した後で測定を開始しても、測定開始前の被ばく線量を確認することができない。

管理としては、被ばく線量限度以下での活動を補助するために、アラーム（警報）を設定する。電子式個人線量計は機種によってはアラームを2段階に設定することも可能である。

# 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
- ❖ 装着の方向を確認
- ❖ アラーム音は小さい
- ❖ 誤計数の可能性があるため、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。



11

個人線量計は汚染させないように防護服の中に装着するか、ビニール袋に入れて装着する。装着の方向を間違えないようにする。またアラーム音が小さいこともあり、活動中に聞き取れない可能性もあるため、可能であれば振動による発報の機能があるとよい。個人線量計の機種によっては、高出力トランシーバーやスマートフォンの電波によって誤計数の可能性があるため、これらの装置と同じポケットには入れないなどの注意が必要である。



## 消防活動時の被ばく線量限度

外部被ばくと内部被ばくを合わせた線量限度

区分		個人被ばく線量計 警報設定値
通常の 消防活動	1回の活動あたりの 被ばく線量の上限 <b>10 mSv 以下</b>	左記の値未満で設定
人命救助等の 緊急時活動	被ばく線量限度 <b>100 mSv</b>	30 ~ 50 mSv の範囲で設定
繰り返し活動 を行う場合	決められた5年間の線量が 100 mSv (ただし、任意の1年に50 mSvを超えるべきでない。)	左記の条件を確実に満たす ように設定する。

原子力施設等における消防活動対策マニュアル  
(2014.3. 消防庁 消防・救助技術の高度化等検討会報告書)

12

消防活動時の被ばく線量限度と個人被ばく線量計の警報設定値を示す。

通常の活動時の警報設定値は8~9mSvとする。緊急時の警報設定値は、鳴動後に退避する間も被ばくするため、退避時の被ばく線量も考慮して30~50mSvとする。

出典：原子力施設等における消防活動対策マニュアル  
(2014.3. 消防庁 消防・救助技術の高度化等検討会報告書)

## 放射線検知<sub>活動</sub>

- \*放射線の存在を確認する（警報）
  - ❖放射線が関わることを認識する
- \*放射線量率を測る（分析）
  - ❖ゾーニング、被ばく管理
  - ❖複数の検知器



13

外部被ばく対策の一つとして放射線検知活動がある。  
まず、放射線の関与が疑われる現場では、空間線量計や表面汚染計によって放射線の存在を確認する。バックグラウンドレベル以上の放射線が検知されたら、放射線が関与している。  
放射線を検知したら、放射線量率（空間線量率）を測定し、詳細な危険の程度を分析する。

## ゾーニング

- \*危険区域（ $100\mu\text{Sv/h}$ 以上）の設定
- \*放射線計測、放射線管理ができる状態で  
進入
- \*放射線源から離れるほど安全

14

線量率に応じてゾーニングと外部被ばく管理を行う。外部被ばく対策のためのゾーニングは、危険区域を $100\mu\text{Sv/h}$ 以上の区域で設定し、準危険区域をバックグラウンド以上から $100\mu\text{Sv/h}$ の区域で設定する。準危険区域、危険区域に進入する場合は、放射線の測定器の持参と個人線量計の装着は必須である。また、危険区域あるいは準危険区域では、放射線源からは離れるほど放射線量は弱くなるため、安全である。

## 放射線測定器到着までの目安

情 況	暫定的安全境界域
屋 外	
非遮蔽あるいは破壊された危険性のある線源	周囲30m
危険性の高い線源からの漏洩	周囲100m
危険性の高い線源を巻き込んだ火災、爆発、煙霧	周囲300m
ダーティーボム（爆発後、未爆発）	爆発から防護するため半径400m以上
屋 内	
危険性の高い線源の破壊、遮蔽消失、漏洩	現場の部屋と隣接する部屋（上下階を含む）
危険性の高い線源を巻き込んだ火災などで、建物内に換気システムなどにより放射性物質が蔓延する可能性	建物全体と上記周囲
放射線学的モニタリングに基づく拡大	
地上1mでの空間線量率 100 $\mu$ Sv/h	左記の計測値が計測される範囲

- 空間線量率>100mSv/h；救命活動のため、30分以内
- 空間線量率>0.1mSv/h；安全境界線
- 注意：測定器が“0”を示したエリアは、放射線レベルが高く、非常に危険

15

先着隊の到着時に放射線測定器がない場合は、状況に応じて暫定的に安全境界域を設定する必要があり、その目安を表に示す。この表の数値は、ある程度大きな線源（例えば100TBq Cs-137など）が存在している場合を想定している。

## 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

\*100mSv/h以上の場所での活動は

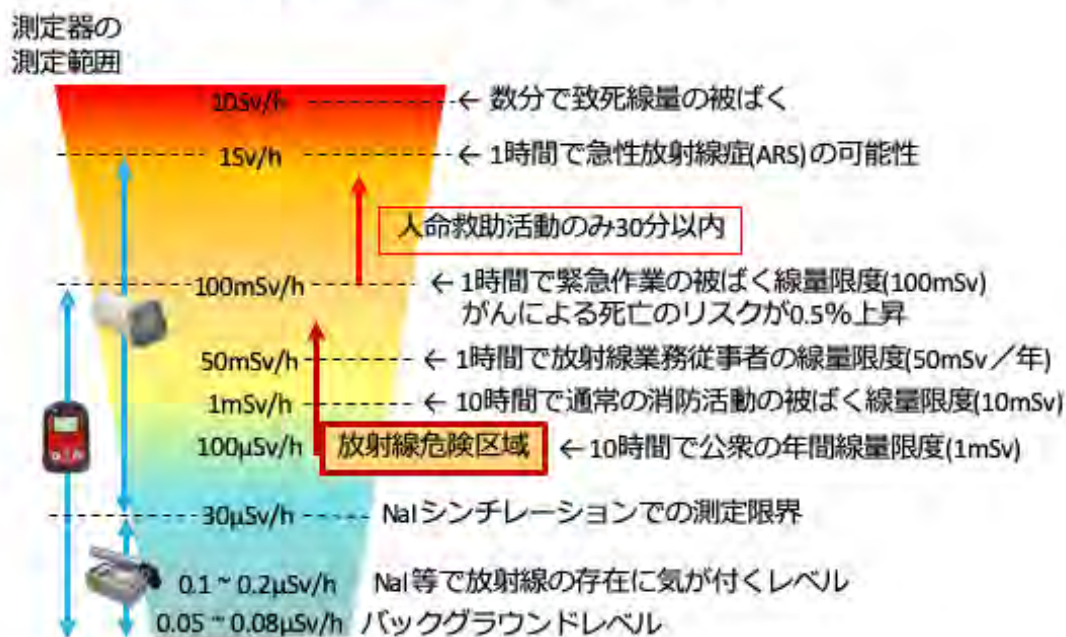
**30分以内**

16

活動現場の空間線量率に応じて、各個人が被ばく線量限度を超えないように活動内容、活動時間を管理する必要がある。また、100mSv/h以上の空間線量率の場所では、人命救助などの緊急作業のみ立ち入ることができ、活動時間は30分以内とすることが望ましい。



## 空間線量率と危険性



17

空間線量計は、測定器の機種等によって測定範囲が異なる。放射線危険区域（ $100\mu\text{Sv/h}$ 以上）を設定する場合は、このレベル以上を計測できる空間線量計が必要である。

例えば、 $100\mu\text{Sv/h}$ の場所に1時間滞在した場合の被ばく線量はおよそ $100\mu\text{Sv}$ となり、10時間の滞在で、公衆の年間線量限度の $1\text{mSv}$ となる程度である。放射線危険区域を設定したら、区域内に進入する場合は、放射線測定器、個人線量計を装着し、必ず放射線管理ができる装備で進入する。区域への入退域管理をしっかりと実施する。

$100\text{mSv/h}$ 以上の場所は、それ以上の線量率の場所が存在する可能性もあり、場合によっては数分～1時間程度で急性障害を引き起こす可能性のある高線量被ばくをする可能性があるため、進入は人命救助活動のみとし、活動時間は30分以内とすることが望ましい。

## 外部被ばくの防護三原則

時間 活動計画、時間管理

### 作業時間を短く

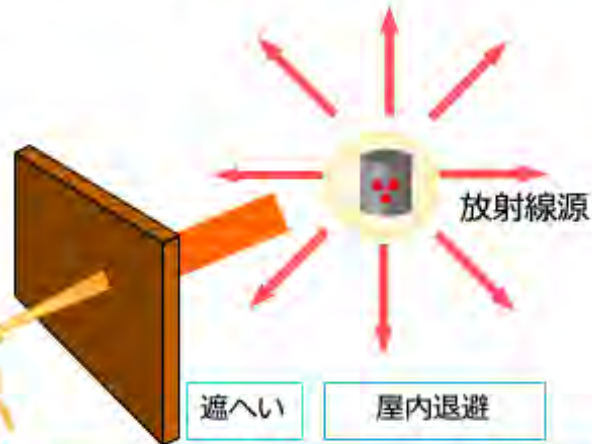
被ばく量は時間とともに増えます。  
活動時間を短くします。

距離

避難

### 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。  
ゾーニングによる危険区域の設置で距離を  
とります。



### 放射線に応じた遮へい体を線源と人の間に置く

物体によって空気と比べて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ます。

18

外部被ばく防護のポイントは「時間」「距離」「遮へい」である。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る。

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る。

放射線は、放射線源からの距離の二乗に反比例して減少するため、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る。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ある。

放射線源との間に遮へい物があると放射線量は減少する。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る。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る。

## 鉛入り防護服

- ❖ 遮蔽効果なし
- ❖ 重くて活動性低い
- ❖ 時間がかかると余計に被ばくする



エネルギー(keV)	遮へい効果(%)
60 (Am-241)	94.2
662 (Cs-137)	9.4
1250 (Co-60)	4.4

防護服一式に含まれる鉛ベストは鉛3mm相当

19

鉛入りのインナーベストや放射能防護服があるが、その遮へい効果を実際に確認した結果を示している。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から放出される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。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ない。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る。

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））



❖放射線の遮蔽効果はどれにもない

❖汚染の付着防止の効果はどれも同じ

レベル	A	B	C	D
適用する状況	最高レベルの防護を要する場合	皮膚の危険がより低い場合	空気中の有害物質が少ない場合	化学物質暴露の危険がない場合
防護装備	<ul style="list-style-type: none"> <li>完全に密封された化学防護服と自給式呼吸器 (SCBA)</li> <li>陽圧式化学防護服</li> </ul> <p>*爆発の危険がある場合は着用しない。 →ダーティボムの事案では着用しない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>呼吸保護に関してはレベルAと同じ装備 (供給式) だが、スーツから露出</li> <li>化学防護服 (皮膚防護はレベルA程度を必要としない)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>供給式以外のガスマスク (吸取缶を装着したもの)</li> <li>化学防護服</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通常の作業衣</li> <li>マスクは必要ないレベル</li> </ul> <p><b>放射線災害の場合 汚染対策</b></p>

20

化学防護服は、どのレベルのものであっても放射線の防護効果はない。皮膚に放射性物質が付着することを防止する効果は、どれも同じである。また、陽圧式化学防護服は爆発の危険がある場所では着用しないことが望ましく、ダーティボムの事案では着用しない方が良い。

放射線テロ災害の現場では、放射性物質の汚染が付着した場合に、すぐに脱衣し、廃棄できる防護服の方が望ましく、防護服は汚染対策のための装備である。

放射線による外部被ばくに関しては、防護服ではなく、個人線量計と放射線測定器による放射線管理と時間管理を行う。

# 内部被ばく対策

21

放射線テロ災害の現場での内部被ばく対策は体内に放射性物質を取り込まないようにすることである。

# 呼吸保護

- ❖ 体内に放射性物質を吸入しない
- ❖ 放射性物質の浮遊がある／疑われる



空気呼吸器



全面マスク  
フィルタ  
(吸収缶)



半面マスク  
フィルタ  
(吸収缶)

- ❖ 汚染対応（汚染検査、搬送など）



使い捨て  
防じんマスク  
(N95マスク)



サージカルマスク

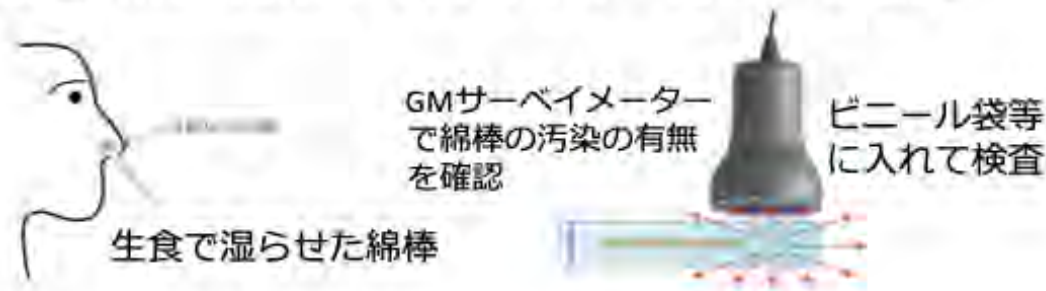
内部被ばく対策として、呼吸によって放射性物質を吸入しないように、呼吸保護が重要である。

屋内で持続的な放射性物質が放出されている場合は、活動中は常に呼吸保護が必要である。屋外では、一時的な放射性物質の散布であれば、時間が経過すると放射性物質は拡散して、多量の放射性物質を吸入する危険性は低下すると考えられる。

しかし、放射性物質の浮遊がある場合あるいは疑われる場合（周辺に汚染がある場合など）は、空気呼吸器、防塵フィルタを使用する。汚染検査や汚染した患者の搬送、応急救護などウォームゾーンでの活動は、使い捨て防塵マスクでの対応が良い。医療機関での処置など放射性物質が浮遊する可能性が少ない場合は、サージカルマスクでの対応が良い。

## 鼻腔スワブ

- ❖内部被ばくの有無の確認
- ❖鼻腔を傷つけないように左右別々に採取
- ❖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



放射線テロ災害での現場活動が終了した後、内部被ばくの有無を簡易的に検査する方法が鼻腔スワブである。放射性物質を吸入した場合、鼻腔や口腔の粘膜に放射性物質が付着する。そこで、鼻腔や口腔を生理食塩水等で湿らせた綿棒で擦り、綿棒に汚染が付着しているか検査する。綿棒に汚染があれば、放射性物質を吸入している可能性があるため、より詳細な検査としてホールボディカウンターやバイオアッセイ法による検査を実施する。

## 汚染

放射性物質が付着



汚染に接触  
⇒汚染拡大



放射性物質の吸入 = 内部被ばく

↓  
汚れた大気の場合に滞在

↓  
頭部、顔面の汚染

24

放射線の事故、災害時には、「被ばく」と「汚染」が生じる。被ばくとは、放射線を浴びることであり、体の外から放射線を浴びるのが外部被ばくであり、放射性物質を身体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ある。汚染とは、体の表面や衣服、資器材に放射性物質が付着することである。汚染に接触すると汚染は広がって行く。また、噴霧、放出された放射性物質を吸入すると内部被ばくと同時に、頭部、顔面の汚染も存在する場合が多い。

表面汚染では危険な

## 外部被ばくはしない



全身または皮膚の被ばくの症状は出ない

25

表面汚染が皮膚や衣服にあっても、健康影響が出るような外部被ばくはしない。

$\beta$ 線核種による高濃度の汚染では、放射線皮膚障害が発症した事例があるが、通常のGMサーベイメーターで測定できる範囲内の汚染の程度では、全身または皮膚に被ばくの症状は出ない。



# 汚染対策 (汚染拡大防止)

26

放射線テロ災害現場の汚染対策は、放射性物質の拡散、汚染の拡大を防止することである。

# 個人防護装備

\*皮膚、衣類への付着を防止

\*外部被ばくは防護しない



破れる



安全のため、  
靴カバー使用なし

ゴム製の靴底  
野外での活動でも破れない

タイベックスーツ

ゴーグル  
マスク



ゴム手袋  
(二重)  
目張り

靴カバー

個人防護装備は、皮膚や衣類への放射性物質の付着を防止するものであり、放射線の外部被ばくを防護するものではない。基本的には不織布の防護服（タイベックスーツ）、ゴーグル、マスク、ゴム手袋（二重）、靴カバーを装着する。内側のゴム手袋と靴カバーの端はタイベックスーツに袖や裾にテープで目張りし、放射性物質の侵入を防ぐ。野外での活動では、不織布の靴カバーは破損するため、ゴム製の靴底の靴カバーを使用する方が良い。



# 呼吸保護

**\*浮遊した放射性物質による内部被ばくに注意**



28

表面汚染から浮遊した放射性物質を吸入することには注意が必要であり、そのような現場活動時には、呼吸保護を確実に実施する。

## 養生

\*資器材への付着を防止

\*汚染検査用の測定器もビニールで養生



29

資機材に放射性物質が付着するのを防止するためにビニールシート等で器材を被覆する。このことを養生ともいう。

特に汚染検査に使用する測定器は、汚染され易いので、ビニール袋でしっかりと養生する。

資器材を養生した場合は、ビニールやテープなどで動作が制限されていないか、正常に動作するか確認する。

# 封じ込め

\*汚染を直接触らないようにする



30

放射性物質が付着し、除染できない場合は、汚染を直接触らないように、ビニールシートや防水シートなどで覆い、放射性物質が拡散しないように封じ込める。

## ゾーニング

\*100 $\mu$ Sv/h以下でも汚染区域がある

\*汚染はホットゾーン、ウォームゾーン

\*汚染を持ち出さない

31

放射性物質による汚染区域であっても、空間線量率が100 $\mu$ Sv/hまで上昇しないこともあるため、空間線量率による放射線危険区域以外にも汚染による放射線危険区域を設定する必要がある。汚染がある現場はホットゾーンであり、汚染検査や除染を行う場所はウォームゾーンとなる。ウォームゾーン、ホットゾーンは汚染がある区域となるため、進入時には汚染対策の個人防護装備を着用し、退出時には汚染検査、除染を実施して、コールドゾーンに汚染を持ち出さないようにする。

# 汚染検査

\*汚染の持ち出しを防止

\*表面汚染計



簡易汚染検査

- ❖ 頭部、顔面、肩、手指の汚染検査  
\* 汚染が付着しやすい部位を検査
- ❖ 検査時間を短縮

32

放射性物質の汚染検査は、表面汚染計を用いて測定し、汚染があれば除染して、汚染をコールドゾーンに持ち出さないようにする。簡易汚染検査は、放射性物質が付着しやすい頭部、顔面、肩、手指、足（靴底）の汚染検査を実施する。これらの身体の一部の検査は、1～2分程度で実施でき、検査時間を短縮することができる。多数の対象者を短時間で検査する場合に用いられる。



## 表面汚染の測定

❖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

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



- ・測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。

33

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する。また、被災者の放射線被ばくに対する不安を考慮して、サーベイメータは消音にする。

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する。

計測する表面からの距離が離れると計数値は小さくなる。また、距離が異なると正確な評価ができなくなる。

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ない。表面と検出部の角度が異なると検出部との距離も異なる。そのため、表面と検出部の角度を一定に保つ。

表面汚染検査では、検出部は1秒間に5～10cmの距離を動かす。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う。

# 除染

## \*脱衣

✦脱衣した衣類はビニール袋に入れて汚染拡大防止

## \*拭き取り

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る。搬送時に傷病者を包んだ毛布やシーツ、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する。汚染した衣類などを触った後は、他の箇所を触る前に素早く外側のゴム手袋を交換する。

脱衣で除染できなかった皮膚や資器材の汚染は、濡れたガーゼやタオルなどで拭き取る。拭き取りに使用したガーゼやタオルは放射性物質が付着しているので、ビニール袋へ入れ、汚染が拡大しないようにする。

# 要救助者対応

35

放射線テロ災害で要救助者がいる場合は、その対応を優先する。



## まず避難、救出

- \*外部被ばく →とりあえず被ばくを低減
- \*内部被ばく →可能な限り吸入しない
- \*体表面汚染 →付着の機会を少なく
- \*その他の脅威→離れることで危険を回避

36

放射線災害での現場対応では、要救助者をまず避難、救助し、発災現場から可能な限り離れた安全な場所に移動させることが優先である。

外部被ばくについては、現場から離れることで被ばくを低減でき、内部被ばくも可能な限り吸入する放射性物質の量を減らすことができる。体表面汚染は、放射性物質の付着する機会を少なくする。また、放射線以外の化学剤や爆発物等の脅威についても現場を離れることで危険を回避できる。

## ❖外傷等（放射線以外の原因）の 応急処置

- \*放射線の影響は現場では出現しない。
- \*大量出血に対する止血帯（ターニケット）

37

外部被ばくと内部被ばくは現場での症状出現はほぼないため、被ばくに対する現場の医療活動はない。体表面汚染は、生命の危険には関与せず、除染は救命処置にはならない。このため、放射線テロ災害での現場医療での救命処置は、放射線以外の原因である外傷や化学剤等への症状の改善が目的となる。これらの救命処置は、除染よりも優先される。  
特に大量出血に対する止血帯の使用は、救命に大きく関与する。

# 汚染検査

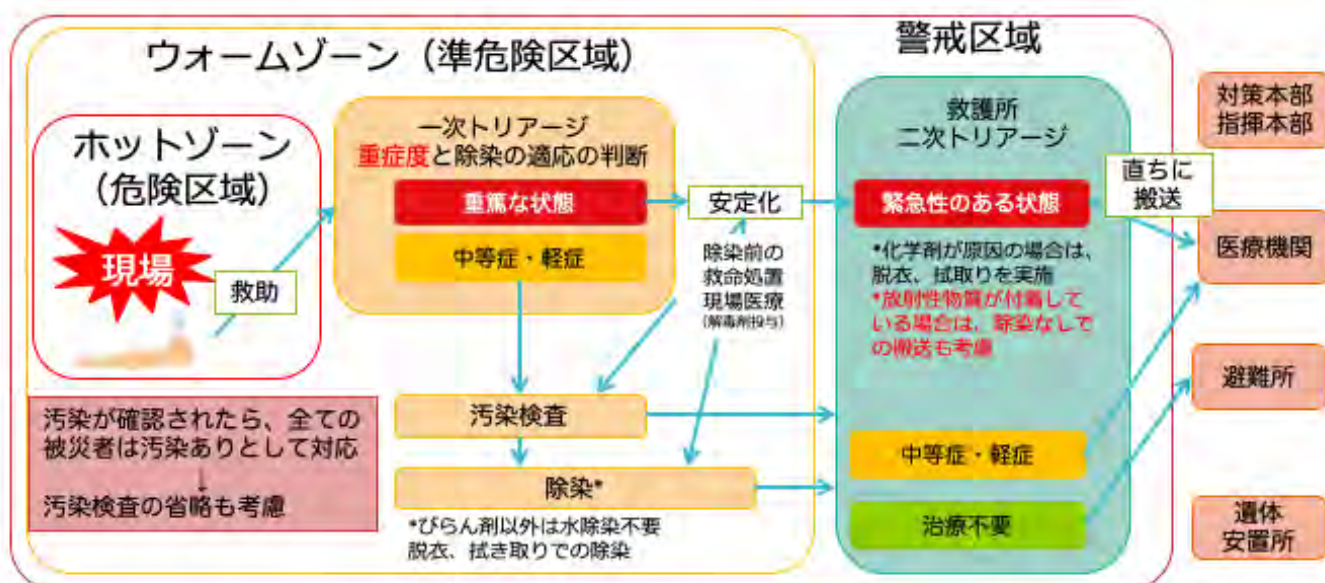
❖避難、救助してきた人々には汚染が付着している可能性がある。

❖可能な限り、汚染検査を実施

38

放射線の発災現場から避難、救助してきた人々には、放射性物質が付着している可能性がある。応急処置等で状態が安定している（緊急の処置が不要）場合、外傷等がなく医療処置が不要な場合は、可能な限り汚染検査を実施し、汚染拡大防止対策を実施する。

## 現場でのトリアージ



39

要救助者を危険区域から救助し、一次トリアージを行う。一次トリアージでは、重症度と除染の適応を判断する。重篤な状態であれば、安定化のための応急処置を実施し、汚染検査をせずに脱衣のみで直ちに医療機関に搬送する。

中等症、軽症であれば、汚染検査を実施し、必要に応じて除染する。放射性物質の付着では、生命に危機的状況となることはなく、化学剤への対処と異なり、除染は救命処置とはならない。

危険区域で放射性物質による汚染が確認されたら、すべての被災者に汚染があると脱衣等の対応をする。汚染検査を実施していなくても、脱衣をすることで、汚染拡大防止となる。

## 放射線テロ災害対処

### ❖被ばく対策（外部被ばく・内部被ばく）

\*空間線量率測定、個人線量計、呼吸保護、ゾーニング



### ❖汚染拡大防止

\*汚染検査、個人防護装備、養生、ゾーニング、除染



放射線テロ災害対処で重要なのは、被災者、活動隊員に対して、被ばく対策と汚染拡大防止の措置を実施することである。

# 化学剤テロ災害対処

初動対応者のための基礎知識

本資料は、原子力規制庁平成31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）において作成されました。

## 内容

- ・ 化学剤の基礎
- ・ 化学剤からの防護
- ・ 化学剤の検知
- ・ 化学テロ災害対応

# 化学剤の基礎

1. 有毒化学の種類と特性
2. 身体への影響
3. 有毒化学剤の防護
4. 有毒化学剤の検知

2

有毒化学剤について、その種類と特性、身体への影響、防護、検知について、基本的な内容を解説する。

現場対応として重要なのが、自分自身の安全確保と要救助者の人命救助である。

さらに化学剤には拡散する特性があるため、その二次被害拡大を防止することが現場対応に求められる。



## 化学剤の種類と特性

	名称	外観	臭気	蒸気密度 (空気比)	持久度	半数致死量 mg・min/m <sup>3</sup>
<b>神経剤</b> 神経系	タブン	無色液	無臭	5.6	数日	400
	サリン	無色液	無臭	4.8	数時間	100
	ソマン	無色液	無臭	6.3	数日	50
	VX	無色液	無臭	9.2	数日～週	10
<b>びらん剤</b> 皮膚・呼吸器系	マスタード	無色液 (淡黄)	にんにく臭	5.5	数日～週	1,500
	ルイサイト	無色液 (褐色)	ゼラニウム臭	7.1	数日	1,500
<b>血液剤</b> 細胞系	青酸	無色液・気	アーモンド臭	0.9	数分～時	2,500
	塩化シアン	無色液・気		2.1	数時間	10,000
<b>窒息剤</b> 呼吸器系	ホスゲン	無色気	干し草臭	3.5	数分～時	3,000
	塩素	無色液・気	刺激臭	2.5	数時間	6,000
	クロルピクリン	無色液・気	刺激臭	5.7	数時間	2,000

3

化学剤にはいくつかの種類があり、それぞれ特性が大きく異なるため、種類ごとに対応の仕方も異なることを意識しなければならない。

少量で人体に影響があるもの、匂いや色がないものが危険な化学剤である。表は軍用化学剤である。血液剤、窒息剤は産業毒性物質として、事業所、工場などで使用されている。神経剤、びらん剤は殺傷目的で合成されたものである。

ほぼ全ての化学剤は空気より重い。そのため、特に室内においては低い位置に滞留するため低い姿勢でいると危険である。

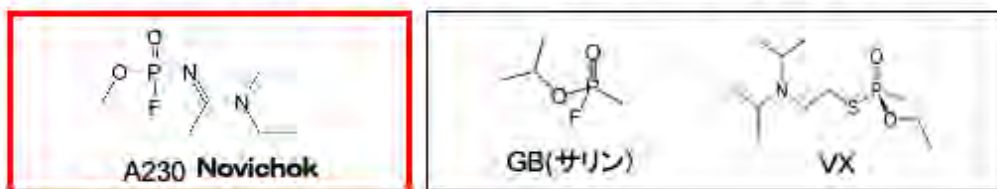
持久度は、揮発しやすさであり、持久度が短いものは有毒ガスとして揮発しやすく、持久度が長いものは、汚染物質として残留し除染が必要となる。

半数致死量は数値が小さいほど、危険である。産業毒性物質は、半数致死量が大きく、匂いもあるため、何らかの匂いがした時点で防護措置を講じることにより被害を局限できる。



## Novichok (ノビチョク)

- ❖ 1970年代にソ連が開発した神経剤で、第4世代の化学兵器
- ❖ 派生の化学物質は100種類以上。VXの5～8倍の毒性
- ❖ 液体、固体（超微粒子）の各種存在
- ❖ バイナリーとして安全性、安定性が高く取扱いが容易
- ❖ 速効性（30秒から2分）～遅効性（パウダー状で約18時間）
- ❖ エージングが数分と短く、拮抗薬PAMの効果が期待できない
- ❖ 不可逆的な神経損傷を起こし、永久的な障害の可能性



新たな神経剤として登場したのが、ノビチョクである。

ソビエト連邦が開発したと言われているが、構造式が明らかとなっており、有機化学合成の技術があれば製造は可能である。

100種類以上の派生型があると言われており、基本的には検知器による検知は困難である。

これまで最も毒性が高いと言われていたVXのさらに5～8倍の毒性と言われており、極めて脅威が高い。

パウダー状で使用された場合、10数時間後に発症する例もあり、使用されたことすら不明のまま被害が拡大する可能性もある。

## 神経剤の特徴

- ❖ 化学剤の中で**最も毒性が強く致死**的
- ❖ 神経組織に作用  
**縮腫**、涎、鼻汁、呼吸困難、嘔吐、頭痛、全身痙攣、失禁、呼吸停止
- ❖ 呼吸器からの**吸入**又は皮膚からの**浸透**し **速やかに症状**が現れる
- ❖ 通常、**無色**、**無臭**で五感による検知は困難
- ❖ 汚染持久度の長いものと短いものがある。

5

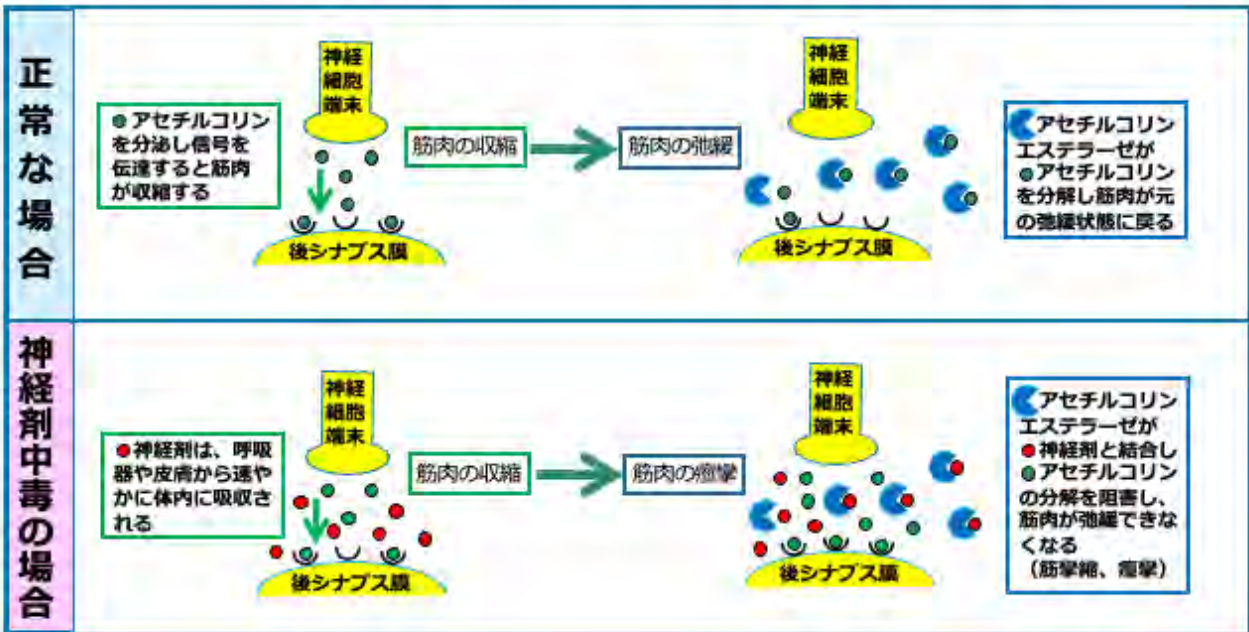
神経剤は吸入後、時間の経過とともに症状が進行する。最初に発現するのが縮腫である。その後、流涎、鼻汁の出現があり、呼吸困難、呼吸停止に至る。

経路としては、吸入が主であるが、液滴が直接皮膚に触れた場合、10数分で浸透し同様の症状を発症する。

通常は無職、無臭で五感による検知は困難である。

持久度が短いサリンは揮発して有毒ガスとなりやすく呼吸器保護が重要となるが、持久度が長いVXはほとんど揮発することなく、呼吸器の保護は重要ではないが、数mgの液滴の付着で致死である。

# 神経剤の人体への作用



神経剤の人体への作用としては、神経伝達物質（アセチルコリン）が元に戻ろうとする時必要な物質（コリンエステラーゼ）を阻害し、筋肉が元の状態に戻れず、弛緩、収縮できなくなる（筋攣縮、痙攣）ことで影響が出現し、瞳孔収縮、分泌過多、痙攣、心肺停止に至る。神経剤とコリンエステラーゼの結合は時間が経つと離れなくなり、この現象をエージングと言う。この神経剤とコリンエステラーゼの結合を解除するか、過剰な神経伝達物質の伝達を阻止する働きをするのが拮抗剤である。

## 神経剤に対する応急処置

- ❖ アトロピン(直接的な治療剤)
  - \* アセチルコリン過剰状態を受容体側でブロック
- ❖ パム(直接的な治療剤)
  - \* アセチルコリンエステラーゼから神経剤を解離吸着
  - \* 解離できなくなる現象をエージングと言い、エージングが起きる前に投与する必要がある
- ❖ ジアゼパム (二次時的な影響 (痙攣) の治療)
  - \* 直接神経剤には作用せず、痙攣で生じる脳障害を抑制
- ❖ 気道確保及び呼吸補助 (根本的治療までの対処療法)
  - \* 呼吸停止状態を補助することで救命が可能



神経剤には拮抗薬がある。抗コリン剤であるアトロピンは、末梢性ムスカリン作動部位（全ての副交感神経末端と、汗腺への交感神経末端）において過剰のアセチルコリンの効果を阻止することにより作用する。

PAMは神経剤とコリンエステラーゼの結合を解除し、コリンエステラーゼを再生することにより作用する。

ジアゼパムは抗痙攣薬で直接神経剤には作用しないが、痙攣持続で生じる脳障害を抑制する。

現場で対応できることとして、化学剤を吸入する状況から少しでも早く救出し、清浄な空気を吸入させることである。



## びらん剤の特徴

- ❖ 熱傷状の水疱を生じ、皮膚、口、鼻、喉、肺、目に障害を及ぼす  
特に湿った部位に影響する
- ❖ 吸入により肺を損傷し、肺水腫により死に至る
- ❖ マスタードは無痛、ルイサイトは激痛を伴う
- ❖ 蒸気曝露では、目の刺激症状、充血、上気道の刺激症状が起きる
- ❖ マスタードは数時間後に発症し、皮膚細胞が液化壊死する
- ❖ 独特の臭気により存在を察知することができる
- ❖ 持久性であり、汚染が必要である（人員、地域、施設）

8

びらん剤は第二次大戦時の化学剤である。国内各地から旧軍の化学弾が発掘または海中から発見されることがある。

症状としては、熱傷の症状と類似した皮膚症状が出現する。

発赤の徴候が1時間後、その後2～3時間で紅斑が現れ、10数時間後に水疱が発生する。

マスタードは当初無痛のため汚染に気づかないが、ルイサイトは付着すると痛みがあるため、直ぐに覚知することが可能である。

## びらん剤に対する応急処置

- ❖ マスタードの解毒薬はなく、**対症療法**が主体
- ❖ ルイサイトには、BALが内部臓器の傷害を軽減
- ❖ 迅速な除染、水洗、ふき取りが有効
- ❖ 皮膚の損傷には、通常の熱傷と同様の処置



R S D L (Reactive Skin Decontamination Lotion)



個人用除染具（自衛隊装備）

9

マスタードには解毒薬はなく、皮膚のびらんに対する対症療法が主体となる。

ルイサイトにはBAL（British Anti-lewisite）が、内部臓器の傷害を軽減する効果がある。

被服の上からの汚染であれば、汚染面を皮膚に付着させないように脱衣する。

皮膚に付着した場合は、迅速な除染剤による除染、または水洗、ふき取りが有効である。

皮膚細胞の液化壊死の症状に対しては、通常の熱傷と同様の処置を施す。

## 血液剤（シアン化物）の特徴

- ❖ 細胞の酸素代謝を直接阻害（細胞の窒息）
- ❖ めまい、頭痛、嘔吐、頻呼吸、皮膚紅潮、痙攣、昏睡、呼吸困難、心肺停止
- ❖ 数秒で発症し、高濃度時は10分程で心肺停止
- ❖ アーモンド臭により嗅覚での検知が可能
- ❖ 持久効果はない（除染の必要はない）
- ❖ 産業毒性物質（メッキ、プラスチック工場等）
- ❖ 気道確保、拮抗薬（亜硝酸アミル）の吸入が有効
- ❖ 口による人工呼吸厳禁、吐物も危険

10

窒息性化学物質の塩化シアン及び青酸は、作用速度が極めて早く、細胞の酸素代謝を直接阻害する。

症状としては、眼や鼻、喉に刺激性の痛みを感じる、頭痛、めまい、吐き気を起こす、胸部圧迫感、呼吸困難、痙攣がある。

処置は、亜硝酸アミルの吸入、呼吸補助の実施である。現場では、早期に酸素投与、呼吸補助をする。

メッキ工場、写真工業等での漏洩事故、またはアクリル製品工場等での火災で発生する。この化学剤は、持久効果はなく、除染の必要はない。

## 窒息剤の特徴

- ❖ 肺胞毛細血管床の透過性を亢進し肺細胞を損傷
- ❖ 気道、肺胞から組織液が漏出し肺水腫により窒息
- ❖ 咳、胸部圧迫感、頭痛、嘔吐、皮膚の青紫変色、泡を含んだ痰、肺水腫、呼吸困難、心肺停止
- ❖ 低濃度では24時間以上の潜伏期（遅発性）の場合あり
- ❖ 特有の臭気により嗅覚での検知が可能
- ❖ 持久効果はない（除染の必要はない）
- ❖ 産業毒性物質（ポリウレタン原料）
- ❖ 解毒薬はなく、呼吸管理等の対処療法

11

窒息剤のホスゲン、塩素、クロルピクリンは、呼吸により肺の中に入り、気道、肺細胞を損傷し、気道、肺胞から組織液が漏出し肺水腫により窒息する。

症状は咳、胸部圧迫感、頭痛、嘔吐、皮膚の青紫変色、泡を含む痰、の症状を呈し、肺水腫、呼吸困難、心肺停止に至る。

激しい刺激を伴い即効性であるが、低濃度の場合、24時間以上の潜伏期を経て発症する場合がある。

特有の臭気または激しい刺激臭により嗅覚での検知が可能である。揮発性が高いので液体から有毒ガスが発生しやすいが、身体への付着物に対する除染の必要はない。

染料、ポリウレタン製品、ポリカーボネート樹脂等の原料に広く使用され、フロンの過熱でも発生することがある。



## 防護のレベル

	レベルA	レベルB	レベルC	レベルD
外観				
概要	全身を化学防護服で覆い、自給式空気呼吸器で呼吸保護し、陽圧で汚染物の被服内侵入を防止	化学防護服を装着し、自給式空気呼吸器で呼吸保護、ボンベ交換が容易で連続使用が可能	化学防護服を装着し、吸収缶式防護マスクで呼吸保護、低酸素、高濃度環境下では使用が制限	危険物質がないことが確認され、化学防護服及び呼吸保護の必要がない場合

12

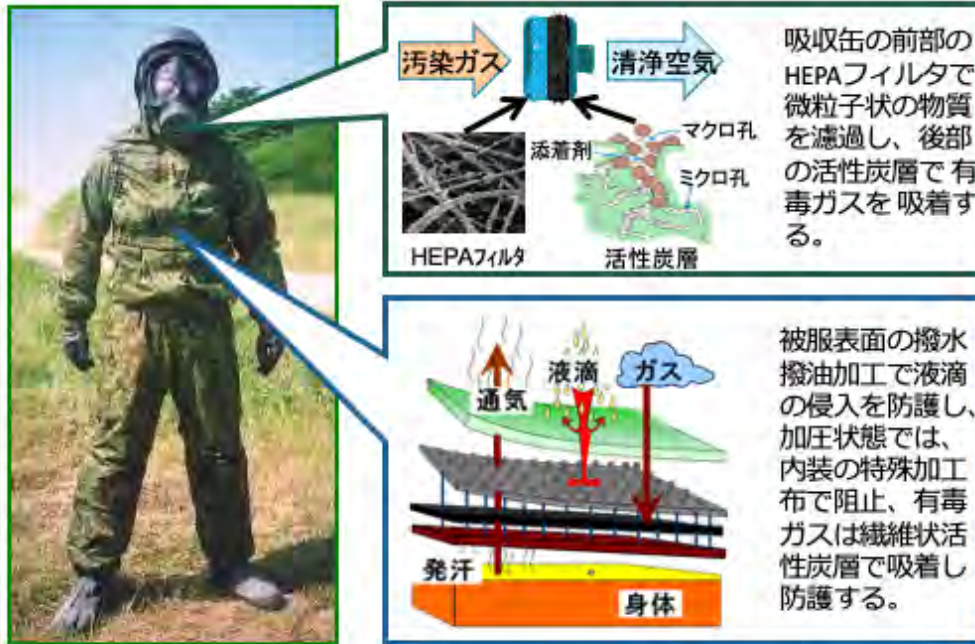
レベルAは、自給式空気呼吸器と耐化学防護服で全身を覆い、呼気による陽圧により汚染物の侵入を防護できるため、最も防護性が高いが、生理的負担が大きいことと、ボンベ交換が困難であるため、30分程度の活動時間に限られる。空気呼吸器は防護服の内側にある。

レベルBは、自給式空気呼吸器と耐化学防護服で全身を防護し、空気呼吸器は防護服の外側にあるため、ボンベ交換により比較的長時間の活動が可能となるが、完全に気密させるためには、マスク、手袋、ブーツとの接合部をテープで目張りする必要がある。

レベルCは、吸収缶式の防護マスクに耐化学防護衣で全身を防護し、吸収缶の破過（通常10時間程度）まで活動が可能であるが、酸素濃度が低い場合、低分子量の有害物質（青酸等）では使用できず、高濃度の有毒ガス環境下では使用時間が短くなる。

どのような危険物質があるか不明だが迅速に要救助者を危険な地域からショートピックアップするにはレベルAが、被災者の状況（生存者の存在）から判断し、比較的長時間汚染地域内で活動するためにはレベルCが、その中間の用途でレベルBが適している。

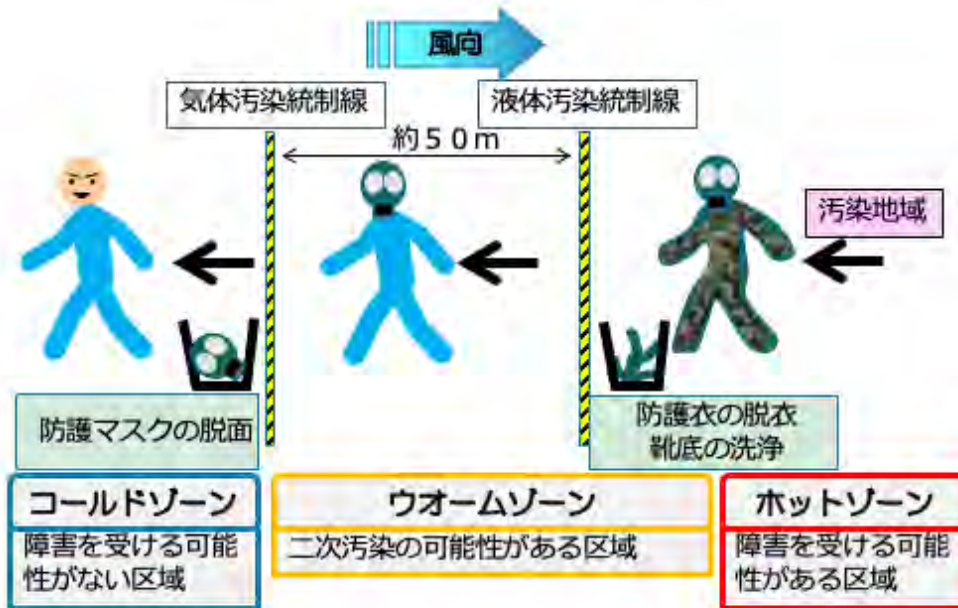
## 戦闘用防護衣（レベルC）



13

自衛隊及び警察のNBC部隊が保有する防護衣は、長時間（10時間程度）汚染環境内で活動するのに適している。これを可能にするため、呼吸器は活性炭式の吸収缶で、微粒子状の有害物質を濾過し、活性炭で有毒ガスを吸着する。防護衣は、生理的負担を軽減するため機能性の布帛により通気性を有しつつ、気状・液状の有毒化学剤から防護することが可能である。

## 脱面・脱衣の位置



14

汚染区域から退出してきたら、ウォームゾーンで防護衣を脱衣し、液状の有毒化学剤を拡散させない様に留意する（液体汚染統制線）。

有毒ガスは流動するので、防護マスクは風上側の安全な区域まで約50m程移動して、コールドゾーン（期待汚染統制線）で呼吸保護具を外す。

## 有毒化学剤の検知

- ❖ 見えない敵をいかに見るか（見えないから怖い）
- ❖ 検知器が反応しなければ大丈夫なのか
- ❖ 検知器がなければ何もわからないのか

15

見えない敵をいかに見る（知る）か、検知器だけが検出手段ではない。

VXなどはほとんど揮発しないため、ガスを検知する機器では検知が難しい。検知器だけで全てを検知できるものではない。

最も早く現着する消防隊員が検知器を保有しているとは限らないため、検知器以外での化学剤の存在を確認する手段を理解しておく必要がある。

## 徴候による化学剤の存在の判断

- ❖ 視覚、嗅覚
  - \* 異様な液体、不自然な容器、異臭
- ❖ 動植物の異変
  - \* 死骸、異常な行動、植物の変色
- ❖ 自覚症状
  - \* 鼻水、胸喉の締め付け感、息苦しい、目がボンヤリ、チカチカ、暗く感じる
- ❖ 被災者の症状
  - \* 流涎、鼻汁、縮瞳、嘔吐、痙攣、失禁、呼吸困難

16

初動対応者が現着した際、視覚・嗅覚、動植物の状況等、普段と違う徴候に注意をはらうと共に、自覚症状がないかも留意する必要がある。

また、被災者の状況・様態は危険物質の存在を判断する非常に重要な情報源である。

これらの情報は、関係機関で共有すると共に、保健所、市町村等関係機関、専門機関（日本中毒情報センター）情報提供し、原因物質の特定・分析、対処要領等の支援を受けることが重要である。



# 検知紙

- ◆微量 ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) の化学剤を数秒以内で検知
- ◆びらん剤 (赤)、G剤 (黄)、V剤 (濃緑) を検知
- ◆水以外の有機溶媒等に偽陽性を示す

アセトン、トルエン、マロン酸ジエチル → 黄色  
サリチル酸メチル、水酸化ナトリウム → 赤色  
ジエチルアミン、アミノブタノール → 深緑色



17

検知紙は、液状化学剤に反応して、発色する。液状のものがあるということは、除染が必要ということである。びらん剤は赤色、G剤は黄色、V剤は濃緑色となる。化学剤以外にも発色するので、疑陽性を示す場合がある。しかしながら訓練では、このような化学物質を擬剤として使用し、実戦的な訓練が可能となる。

## CBRNテロ災害の特徴

- ❖ 大量の傷病者が発生、現場以外に被害が拡大
- ❖ 地域・施設が一時的に使用不能となり経済的損失
- ❖ 発災当初の即時の認知が困難
- ❖ 対処要員が二次被害を受ける可能性
- ❖ 対応にあたり専門的知識が必要
- ❖ 迅速な判断、対応、統制、多機関の連携が必要
- ❖ パニックを防止する適切な情報発信が重要

18





CBRNテロの特性として、一度に大量の傷病者が発生し、現場周辺から風下方向への流動や、汚染物質が付着した人員の移動により被害が拡散する可能性がある。また、地域・施設が一時的に使用不能となり経済的な損失も伴う。

CBRN兵器は軍事的には大量破壊兵器（WMD：Weapons of Mass Destruction）と言われているが、目に見えないため、発災当初の使用の認知が困難で、CBRN対応のスイッチが入り難い。また、通常災害の準備で対応すると、対処要員が二次被害を受けることになる。

したがって、対応にあたり専門的知識が必要であり、また、被災者の救命のためには迅速な判断、対応が必要となり、また、強制力を持った統制、警察、消防、自治体、事業所、医療機関、専門機関、自衛隊等、多機関の連携も必要となる。

また、被害拡大防止のため、近隣住民等に速やかに危険を伝達し、避難または屋内退避等を促す必要があるが、パニックを防止するような情報発信、広報に努めることが重要である。

# 化学テロの主な散布手段

	携行型	噴霧装置	時限式散布	無人機等
外観				
特性	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 化学剤をペットボトルやスプレー等で散布</li> <li>2 地下鉄サリン事件では、ビニール袋で携行し散布</li> <li>3 携行・秘匿性に優れている反面、自曝する可能性</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 化学剤を大型の噴霧装置で大量に散布</li> <li>2 松本サリン事件では、加熱式噴霧器を荷台に設置して使用</li> <li>3 多量の化学剤を噴霧できるため広範囲にわたる被害</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 爆発力の小さい爆薬に化学剤を入れた容器を抱かせて時限装置等で起爆させて散布</li> <li>2 携行・秘匿性に優れており、同時多発的に使用可能</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 化学剤を無人機等に搭載したタンク等から散布</li> <li>2 車両等に搭載して移動後、警戒線等を容易に超えて比較的広範囲にわたる被害</li> </ol>

19

化学剤の散布手段としては、地下鉄サリン事件で使用された携行型は、最も簡単で、閉鎖空間で使用すれば甚大な被害につながるが、使用者本人が自爆する可能性もある。

松本サリン事件で使用された噴霧装置では、大量の化学剤を散布することが可能で、影響範囲は広範囲（松本サリン事件では800m×570m）に及ぶ。

爆発物と複合的に化学剤が使用された場合、対応に多大な労力を要し、テロの目的である恐怖を与えるには最も効果的な方法である。

ドローンを使用した場合は、使用者の安全、秘匿を確保しつつ犯行に及ぶことが可能であり、また、警戒を厳重にしている要点であっても攻撃が可能となる。



## サリン事件の被害状況

	地下鉄サリン事件	松本サリン事件
死亡者数	13名	8名
負傷者数	6,300名	143名
被害範囲	消防職員、病院職員等に大量の二次被害発生	南北800m、東西570mに拡散
散布要領	サリン約500gを入れたビニール袋2～3個を新聞に包み傘で突き刺して電車内に散布	車両に搭載した散布装置からサリン約12Lを気化させ約10分間屋外で放出

20

地下鉄サリン事件では、13名の死亡者と6,300名に及ぶ負傷者が発生した。負傷者の内、99%は二次被害であり、救助に当たった消防隊員も135名が二次被害を受けた。このため、二次被害を防止するための教育訓練が行われてきたが、二次被害を恐れる余り、現場対応に非常に時間を要するようになった。CBRNによる被害は、汚染環境下にいる時間経過と共に重篤化する。

二次被害を出さないよう準備し、迅速な対応により、救命率を向上させなければならない。

また、松本サリン事件では、放出したサリンが南北800m東西570mに拡散して被害者が発生しており、風下に危険地域が広がることわかる。

また、被害防止として、窓を閉めていた部屋からは被害者が出ておらず、風下地域の住民は避難するよりも屋内で窓を閉鎖し密閉した方が安全が確保できる。

## 初動対応：判断

どの情報をもってCBRNテロのスイッチを入れるか

- ❖ 通常可燃物を取り扱わない場所での爆発
- ❖ 通常有害物質が存在しない場所での中毒症状
- ❖ 同時、同一箇所、同一症状の複数患者の発生
- ❖ テロ災害が疑われたら、最悪を想定
  - \* 二次攻撃の可能性
  - \* 有毒化学剤、放射性物質、生物剤の存在

21

事案が発生した場合、CBRNテロなのか、通常の事故なのか判断する必要がある。

通常、可燃物等がない場所での爆発、通常有害物質がない場所での中毒症状、同時、同一箇所、同一症状の複数患者の発生等の徴候は、CBRNテロを疑って対応を開始しなければならない。

CBRNテロを疑った場合、二次攻撃、化学剤、放射性物質、生物剤の存在等最悪を想定すべきである。

## 初動対応：出動準備

誤情報、混乱、情報不足が常態

- ❖ 有毒化学物質、放射性物質を検出する器材の準備
- ❖ 呼吸保護具の準備、化学防護衣の装着、ゴム手袋（ニトリル製）
- ❖ 火災対応装備（空気呼吸器、火炎防護服）でも可
- ❖ 情報不十分な状態での出動
- ❖ 風向がわかれば極力風上側から接近、拠点の決定

22

CBRN対応装備を保有していれば、化学剤、放射性物質、生物剤に対応できるよう全て携行する。

これらを保有しない消防署では、初動の速さが勝負であるので、とりあえず、空気呼吸器とゴム手袋（ニトリルなど耐化学薬品のもの）、火炎防護服等通常の準備の延長線上で出動し、現場では、呼吸器の確実な保護、不審な液体等に絶対に接触しない、生存者のいないような高濃度の閉鎖空間には近づかないことに留意する。当初の情報は不正確、不十分、誤報であることが多く、現場の状況の確認、通報者等からの情報収集が重要となる。

また、安全を確保するため、風向に注意し、極力風上側からの接近に努める。

## 初動対応：現着後

時間との勝負、迅速に救助することが重要

- ❖ 現場情報の入手
  - \* 被害者の位置、症状→被災者の状況は重要な情報源
  - \* 通報者からの聞き取り
- ❖ 現着後10分以内が勝負
- ❖ 二次被害を過剰に避けると被災者の命を失う
- ❖ 除染を待たせない→すぐに脱衣、ふき取り

23

入電時に全ての正しい情報が得られるわけではない。何らかの異常が発生していることを察知し、安全対策を講じて迅速な対応が求められる。

現着後、通報者や施設管理者等からの聞き取りも重要であるが、被害者の状況からの判断も重要である。

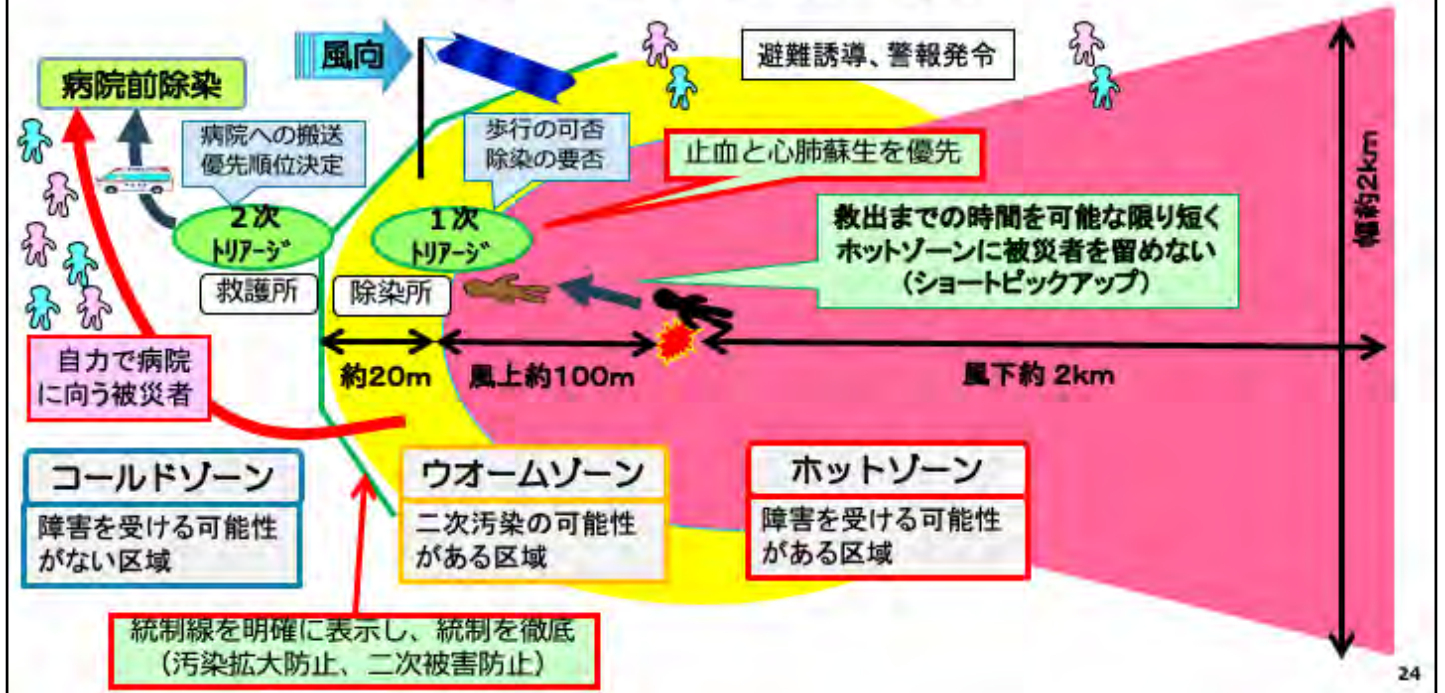
被害者の状況から、有害物質が使用されたこと、使用された場所、が判明し、その後速やかな汚染箇所からの被災者のショートピックアップが重要となる。

できれば現着後10分以内には危険地域から被災者を引き離すことを追及するべきである。

その後の除染も、できるだけ早く脱衣と皮膚への付着が確認されたら、ふき取りを行うことも救命のために重要となる。



# ゾーニングの一例



以下の条件をホットゾーンとし、ホットゾーンを基準にウオームゾーン及び統制線、コールドゾーンを決定する。

## ホットゾーン

- 化学剤収納容器等の残留物が目視で確認（液体等）できる場所及び液体等による曝露危険がある付近一帯
- 人が倒れている、人がうずくまっている付近一帯
- 簡易検知により反応がでる付近一帯
- 曝露者のものと思われる吐しゃ物、血液等がある付近一帯

## 進入統制ラインの設定

### 1. 目的

簡易検知活動を経て各ゾーンが設定される前に、危険な事象が発生している若しくは発生する可能性がある地域と安全な地域とを区別することにより、活動隊員の安全を確保するとともに、曝露者（疑いがある者を含む。）の退出を規制し、二次曝露（曝露者が媒体となった被害の拡大）を防止する。

## 2. 実施要領

各ゾーンが設定され、ウォームゾーンとコールドゾーンの境界が明確にされるまでの間、周囲の状況を確認し危険がない場所（異常がある場所から目安として120m以上離れた風上側の場所を参考）に進入統制ラインを設定する。

ロープ、標識、カラーコーン、立入禁止テープ等に加え、文字情報より、設定した進入統制ラインを関係機関や要救助者に対しても明確に分かるように表示する。

## 3. 留意事項

必ずしも検知結果に基づき設定しなければならないものではなく、設定時点の災害状況（臭気の有無、負傷者のいる位置等）から指揮者が「危険」と判断したところを基準に設定し、適宜確認して安全を確保するとともに、必要に応じて変更を行う。

各ゾーン設定後は、現地調整所において関係機関と共有する必要がある。

## 迅速な医療介入

- ❖ ショートピックアップ
  - \* 危険な地域からの迅速な救出
- ❖ 一時トリアージ
  - \* 迅速な分類（歩行の可否、除染の要否）
  - \* いかに早く医療介入するか
- ❖ 二次トリアージ
  - \* 病院搬送の優先順位の決定
- ❖ 二次被害防止のための除染
  - \* 脱衣、ふき取り、状況により水除染

25

救命にあたり最も重要な事は、迅速な医療介入である。

まずは、CBRNによる汚染物質が存在する危険な地域からの迅速な救出であり、ショートピックアップする。この際、大量出血を伴っていた場合、止血を最優先すべきである。

次に一次トリアージを実施し、必要に応じて心肺蘇生、気道確保である。状況により（縮瞳、分泌亢進、痙攣）の処置（拮抗剤の投与）を実施する。

汚染検査、除染後に二次トリアージを行い、状態、緊急度に応じて病院搬送の優先順位を決定する。最大多数に最善を尽くすため、様態により治療・搬送の優先順位を決めるが、逐次変化する様態に注意をはらう必要がある。

二次被害の防止のためには、除染により原因物質を除去する（病院前除染）ことが最善であるが、完璧な除染が出来ない場合もあるため、医療機関では、簡易マスクによる呼吸保護を実施しておく。

## 除 染

- ❖ 除染が先か、救護が先か
  - \* 止血、心肺蘇生を優先
  - \* 神経剤症状対処（拮抗剤の投与）
- ❖ 除染はどこで実施するべきか
  - \* 現場除染と病院前除染
- ❖ どのように除染すればいいのか
  - \* 大量の被災者を効率的に除染するには→脱衣・ふき取りを主体
  - \* 除染が必要な被災者の選別
- ❖ 除染後の汚染被服、汚水をどうすべきか
  - \* 汚染物、汚水は全て回収しビニール袋等で密閉保管
  - \* できるだけ汚水を出さない→ふき取りを主体

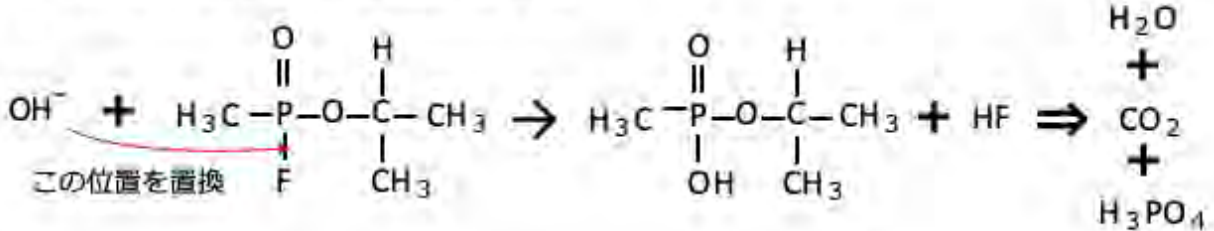
26

救命が目的であり、除染を優先したため死亡してしまうことのないよう被災者の様態をよく観察し、止血、心肺蘇生、気道確保、神経剤の症状への処置を迅速に判断し対応しなければならない。除染の目的は、被災者の被害を局限することと、二次被害の発生を防止することであり、現場での除染及び病院での除染（処置室に搬入前の除染）に区別される。汚染された傷病者が自力で病院に行く可能性があり、病院前除染は必ず必要である。大量の被災者が発生した場合、本当に除染が必要な被災者の除染を待たせることがあってはならない。汚染物質が身体に付着した被災者のみが除染対象であり、有毒ガスを吸入して発症した被災者は除染する物質が付着していないので除染の必要はない。除染が必要な被災者であっても、脱衣とふき取りにより現場での除染は十分である。水洗による除染は効果的ではあるが、時間を要する事、汚水が発生すること、低体温のリスク等の問題を有している。



## 除染と汚水の発生

❖ 除染剤で分解して無害化する



❖ 拭き取り、脱衣は汚染物質が残る⇒ビニール袋に密封保管

❖ 水洗は、毒物が移動するだけ⇒汚水が発生⇒密封容器に回収

27

水洗による除染は、効果が高いが、汚水が発生し二次被害の可能性があるので下水に放出することはできない。

この汚水は除染剤により無害化されるが、下水への排出基準への適合を確認するまで放出することはできない。

脱衣や拭き取りにより発生した汚染物はビニール等の密封容器に入れ、ウオームゾーンで一時保管し、処置について自治体と協議する。

これら汚染物の処理は、高温焼却炉での焼却か、除染剤による無害化の後、廃棄する等の処置が必要となる。

## 被害者大量発生時の除染

- ❖ 脱衣：10分以内が理想。汚染面を皮膚に付けない→約90%除去
- ❖ 応急除染：拭き取る手段で直ちに汚染を除去→約99%まで除去
  - \* ドライ：紙おむつ等の吸着素材で皮膚から汚染を除去
  - \* ウェット：水（ガーゼ、スポンジ等）で濡らし、拭き取る
- ❖ 水的除染：消防車2台を並べ、ミスト状でスプレー（15～90秒）
  - \* タオル等で皮膚に押し込まない様に摘み取って拭き取る→99.9%
- ❖ 完全除染：専用の除染ユニットや多くの資器材を使用
  - \* 準備に時間を要し、除染にあたり汚水が発生する

28

最も効率的な除染は脱衣である。迅速な脱衣による除染が重要である（理想としては10分以内）。これにより約90%の除染が可能であり、汚染の皮膚浸透を防ぎ、衣服からの蒸発・気化による二次被害を防ぐことができる。

脱衣は汚染面が皮膚に触れない様注意し、汚染面を包み込むように脱衣する。可能であればハサミで被服を切断し脱衣を容易にする。

皮膚の露出部位、または被服を浸透し皮膚が汚染されている場合は、ふき取りにより除染をする。この際、紙おむつ等に使用されている吸着素材または濡れたガーゼで湿らせた後拭き取る方法により、約99%の除染が可能である。

水的除染は、被服に付着した汚染がシャワーで皮膚へと移動するので、シャワー前に必ず脱衣することが必要である。

現場での完全除染は、専用の除染ユニットや多くの資器材を使用するため準備に時間を要し、除染に当たり汚水が発生するため、汚水の回収保管が必要となる。

また、救助者を冷たい水で除染することは、体温を下げるなど、状態を悪化させることになるため、全身に水をかける除染は推奨しない。

## 除染の必要性

- ❖ 被災者の9割は液体の付着ではなく、ガスの吸引
- ❖ 歩行可能な被災者は、皮膚の汚染はほぼない



大量の被災者の中で本当に除染が必要なのは誰か

- ❖ 歩行可能な被災者は除染を待たない
- ❖ 救急車を待たず勝手に病院に押し寄せる



二次被害防止のための病院前除染

障害が発生している被害者全てが除染対象となるわけではない。除染が必要な化学剤の汚染物質（液体）に直接接触した被害者は、発生現場のすぐ近くにいた人員のみであり、大半は除染の必要がない有毒化学剤のガスを吸引し発症した被害者である。神経剤の場合は、ある程度時間が経った後に、歩行可能な被災者（神経剤による症状がない被災者）には皮膚の汚染はないと判断できる。被服や靴底が汚染された歩行可能被害者は、消防が準備した除染を待つことなく、自力でまたはタクシー等を使用して病院に向かうことを止めることはできない。したがって、病院では二次被害を防止するためゲートコントロールを厳正に実施し、汚染の有無の確認と除染の実施が必要である。

## まとめ

- ❖ 見えない敵を見極め、正しく認識すればCBRNは怖くない
- ❖ CBRNE事態は100%阻止も100%完璧な対応も困難
- ❖ いかなる事態も大過なく合格点がとれる対応
- ❖ 警察、消防、自衛隊、自治体、専門機関の連携が不可欠
- ❖ 想像したくない最悪を考え、空振は幸運と思い万全の備え

30

CBRNテロは目に見えない有害物質であるため、非常に恐怖心を煽り、この恐怖心がテロを行う側の目的でもある。

この見えない物質の存在を見極め、関連する知識により正しく認識すれば、安全を確保しつつ被災者の救助が可能である。

しかしながら、CBRNEテロ災害対処は、常に受け身であるため、完璧な阻止も完璧な対応も困難である。

これに対応するファーストレスポンドーは、いかなる事態でも、大過ない対応、つまり被災者の防ぎ得る死をいかになくすかである。このため、消防、警察、自治体、自衛隊、事業所管理者、専門機関の連携が不可欠であり、この連携を有効に発揮するため、日頃からの関係機関による、最悪事態を想定した机上演習及び実践的な訓練が重要となる。

# 爆発物テロ災害対処

初動対応者のための基礎知識

本資料は、原子力規制庁平成31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）において作成されました。

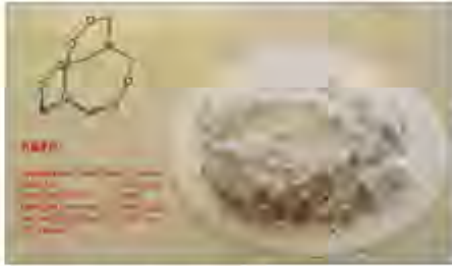
## 内容

- ・爆弾テロの概要
- ・爆弾テロ災害対応



## 爆発物テロの特性

- ❖ 爆弾テロは最も蓋然性が高く、テロの70%を占める
- ❖ 市販薬品とインターネット情報で作成可能
- ❖ 最も蓋然性が高いのは有機過酸化物による爆破テロ
- ❖ 二段攻撃、化学剤、放射性物質等、複合的危険の存在の可能性



**HMTD(有機過酸化物)**



**IED (Improvised Explosive Device)**

2

世界で発生しているテロの約7割は爆発物によるもので、誰でも手に入れることのできる市販薬とインターネット情報で爆発物を作成することが可能である。

紛争地域では、軍用爆弾と起爆装置を組み合わせたIEDが使われることが多いが、我が国において最も蓋然性が高いのは、市販薬で容易に製造できる有機過酸化物である。

また、テロは対応する側が最も嫌がる手段を使うため、爆発の二段攻撃や、爆発物に化学剤や放射性物質を組み合わせたダーティボムも警戒する必要がある。

## 爆発物テロ未然防止対策

### ❖ 未然防止

- \* 巡回強化、職務質問の徹底
- \* 監視カメラの増設
- \* アナウンス、ポスター等による協力要請

### ❖ 不審物対応

- \* 触れず、速やかに遠ざかり、警察に通報
- \* 周囲の人への注意喚起、避難誘導
- \* 処置は専門家に任せる

3

爆発物テロを未然に防止するためには、まず、不審物を設置させる隙を与えないことである。特に集客施設等テロの対象となる場所では、監視や不審者への警戒を強化すると共に、イベントへの参加者等に対しても、不審物・不審者への警戒の協力を促すことも未然防止のため重要である。

不審物を発見した場合、不用意に触れることなく、速やかに遠ざかり、警察に連絡すると共に、周囲に人にも注意喚起を促し、パニックに陥ることなく冷静に避難することが重要である。

爆発の可能性のある不審物からは十分な距離を設けて立ち入り禁止とし、専門部隊である警察の爆発物処理班の出動を待つ。

## 爆発物テロ初動対応

- ❖ 二次爆発物の存在に留意し行動する
- ❖ 爆発物の疑いのある不審物に近づかない
- ❖ 救助のためやむを得ない場合は
  - \* 建物等の隠蔽物を最大限利用する
  - \* 爆処理用の盾等を使用する
  - \* 車両、土嚢、水缶等遮蔽物を使用する
  - \* いかなる場合も20m以内には近づかない

4

爆発物テロは、当初の爆発による被害者を助けるファーストレスポンスに攻撃を与える二段階攻撃が行われる可能性がある。したがってテロが疑われた場合、爆発物の疑いのある不審物には掩護物を利用する等、十分に注意を払う必要がある。

人命救助のためやむを得ない場合、前スライドの避難命令距離以内に入ることを避け、爆発物に内包された金属片から防護するため建物等の遮蔽物の最大限利用、防護盾、車両、土嚢、水缶等の遮蔽物を使用し、極力低い姿勢で要救助者を救出する。



## 爆発物の種類

区分	爆燃物質	爆ごう物質		
法的区分	火薬	一次爆薬	二次爆薬	三次爆薬
代表例	黒色火薬 無煙火薬	有機過酸化物 TATP,HMTD DDNP(雷管)	TNT、C4 ヘキソーゲンRDX ペンスリットPETN ニトログリセリン 含水爆薬	硝酸アンモニウム ニトロメタン
起爆源	点火具	点火玉	雷管、一次爆薬	二次爆薬
伝播速度	数100m/s以下	数1,000m/s～10,000m/s		
圧力	密閉度に依存	10～数10 GPa		
用途	推進薬、発射薬	発破、地雷、榴弾、魚雷		

5

過去には、花火等に使用されている黒色火薬を集めて密閉容器に入れて爆破させるケーもあったが、これらは爆燃物質と言われ爆発威力は限定的である。

紛争地域における爆弾テロであれば、爆轟物質といわれる軍用のTNTが使用されることが多いが、外国からわが国に持ち込み可能な爆薬としてプラスチック爆薬（RDX、C4）等がある（韓国大統領暗殺未遂、大韓航空機爆破など）。

西側先進国では、最近ではTNTは使用されず、パリ、ロンドン、ブリュッセル、ボストン、ニューヨークで発生した爆発物テロでは、いずれも有機過酸化物が使用されている。

## 爆発の影響

- ❖ 空気を圧縮し衝撃波を形成、全方向に音速を超えて伝搬
- ❖ 閉鎖空間における爆発は、衝撃波が反射し被害が拡大
- ❖ 水中での爆発は影響が強く、危険距離が3倍となる
- ❖ 爆風圧、熱、破片、有害物質により多様な傷病者が発生
- ❖ 爆発物の内容物（金属片等）は、初速千m/s以上で飛散する
- ❖ 爆発物の近くの物体は、大きな物でも数百m/sで飛散する

6

爆発の影響は、爆風による殺傷と爆風に伴い金属片等が飛散し、これによる殺傷効果がある。

爆風は、爆発物に近い程致命的であり、また閉鎖空間や水中ではその効果が増大する。

爆発物の内容物（ボールベアリング等）は初速千m/s以上で飛散し、これは拳銃等の弾丸よりも危険である。

また、爆風により窓ガラスやテーブル等も数百m/sの速度で飛散し身体に衝突した場合、生命の危険がある。

## 爆発による被害（爆傷）

区 分	損傷の原因	症 状
一次爆傷	衝撃波による損傷	鼓膜破裂、肺挫傷、眼球破裂、 腹腔内出血、腸管穿孔、脳震盪
二次爆傷	飛散物による損傷	多発性穿通創、体内遺物、 皮膚軟部組織損傷、外傷性剥離骨折
三次爆傷	吹き飛ばされる損傷 建物の崩壊による損傷	内出血、脳損傷、脊椎脊髓損傷、 骨折、胸腹部骨盤損傷
四次爆傷	その他の損傷 主に熱傷及び有害ガス	熱傷、煙及び粉塵による呼吸症状、 一酸化炭素等中毒

7

爆発による被害の原因は、一次爆傷から四次爆傷がある。  
 一次爆傷は、爆発による衝撃波による損傷で、避難命令距離以内で爆発を受けた場合で、致命的である。  
 二次爆傷は、爆発物に内包された金属片または爆破により破壊されたガラス片等の飛散物による損傷である。銃で撃たれた場合と同様の殺傷力があり、身体の重要部位または穿通・穿刺により大量出血した場合、致命的であるが、防護盾等で防護可能である。  
 三次爆傷は、爆風に身体が吹き飛ばされ、床や壁面にたたきつけられることによる損傷で、低い姿勢または伏せることにより回避が可能である。また、建物の崩壊による損傷もこれに含まれるが、堅固な建造物の柱等の活用が有効である。  
 四次損傷は、爆発に伴い発生したガス、熱傷、煙、粉塵等による呼吸症状、及び一酸化炭素中毒であり、通常の火災対応と同様である。

## 爆薬量と避難距離

爆発物の種類 (容器、車両等の種類)	爆発物 TNT換算薬量(kg)	避難命令距離(m)	避難推奨距離(m)
鉄パイプ、圧力鍋	2.3	21	366
ベスト	9.2	34	518
スーツケース	23	46	564
軽自動車	227	98	580
バン、RV車	454	122	732
2tトラック	1,814	195	1,159
4tトラック	4,536	263	1,555
大型トレーラー	27,216	479	2,835

出典：爆発物検知・CBRNEテロ対策ハンドブック

8

避難命令距離は、建物内に避難する場合の距離で、避難推奨距離は屋外で避難する場合の距離の基準である。

避難命令距離は、建物の強度に依存するが大きな被害や崩壊などが発生しない建物の中にいて、かつ窓から離れている場合の距離である。日本の木造家屋は、この避難距離では半壊し、爆破片が壁を貫通する可能性もあることから、この距離はビルなど堅固な建造物を対象として避難距離と考えたほうが良い。

避難推奨距離は、爆発物に仕込まれた金属片等が飛散する距離、またはガラスの破損等による危険の恐れがある距離に相当する。西側先進国で、空港、地下鉄、バスなどの爆破にはいずれも有機過酸化物が5kg程度使用されている。これは自爆ベルトやデイバッグなどに入れて怪しまれず持ち込める量のためである。



## 遮蔽物による防護

❖ 飛散物から防護するために遮蔽物が必要

❖ 建造物の頑丈な柱等による遮蔽

頑強な建造物の影（通視できない所）の利用

❖ 防護盾、土嚢等による遮蔽

防護盾の使用、土嚢壁の設置

❖ 避難命令距離以内には立ち入らない

爆発破片からの防護（二次爆傷からの防護）

爆風からの防護困難（一時爆傷からの防護効果なし）

遮蔽物素材	厚さ
鋼板	5mm
ポリカーボネート	10mm
コンクリート	20mm
砂	125mm
直径9.5mm鋼球 衝突速度500m/s	

9

人命救助等止むを得ない場合、遮蔽物を最大限利用する着意が必要となる。

建造物の頑丈な柱の陰や床が低くなっている構造等を利用し、不審物が爆発した場合であっても飛散物が身体を直撃しないよう防護することが重要である。

建造物の利用が困難な場合、防護盾の使用や土嚢の設置が有効である。防護盾は、直径9.5mmの鉄球が500m/sで飛散することを過程した場合、

鋼板であれば約5mm、ポリカーボネートであれば約10mmで防護可能である。また、土嚢であれば砂を詰め約125mmの厚さにすることで防護できる。

これは2次爆傷（破片効果への防護）であり、防護盾がある場合であっても避難命令距離以内に入ってはいけない。

## 爆発物テロによる負傷者への対応

- ❖ 医療関係者は爆破地点付近に極力近づかない
- ❖ 二次爆発に留意する
- ❖ 多数傷者発生に対するトリアージが重要
- ❖ 創傷部の迅速な止血が救命率を左右する
- ❖ 体表が軽傷でも臓器損傷の可能性を疑う
- ❖ 化学剤、放射性物質等による汚染を疑う

10

爆発による負傷者への対応として、応急救護、現場医療があるが、医療関係者がテロ現場に派遣された場合は、極力爆破地点付近には近づかないことである。

さらに爆発物の他、化学剤や放射性物質などが同時に使用される可能性にも留意する。爆発物テロ発生時には、多数傷病者が発生するため、救命率の向上にはトリアージも重要なポイントであり、現場での迅速な止血が有効である。さらに爆傷では体表の損傷が軽微でも臓器損傷が隠れている可能性があることに留意する。

トリアージ、現場医療、搬送、医療機関の選定、広域搬送等には、関係機関の連携が必要である。

## 爆傷（多数傷）のトリアージ

区 分	症 状
緊急治療群 (赤タグ)	気道閉塞、呼吸困難、非代償性ショックの徴候のある患者
待機治療群 (黄タグ)	代償性ショックの有無に関わらず内臓臓器損傷の患者
治療不要群 (緑タグ)	鼓膜損傷や難聴などの歩行可能な傷病者
救命困難群 (黒タグ)	呼吸停止、心肺停止の患者

出典：CBRNE テロ災害対処ガイドブック

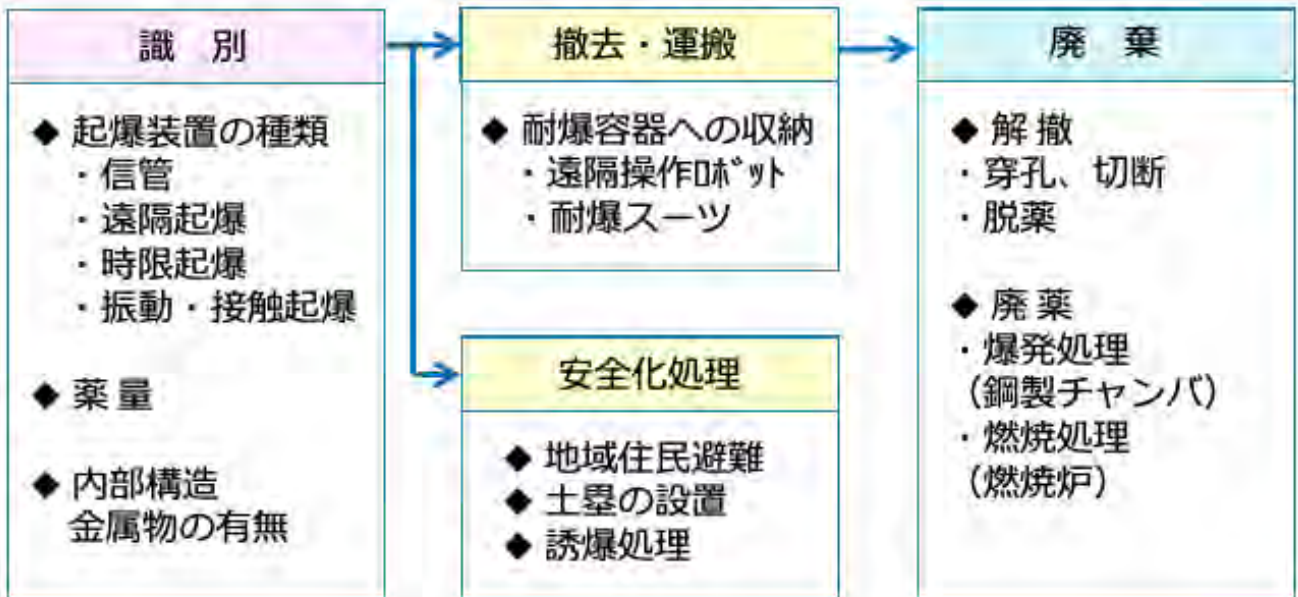
11

爆発が発生した場合、多くの被害者が一度に発生する。このため、現場ではトリアージが重要となる。

現場では、止血及び心肺蘇生等の応急処置を速やかに実施した後、医療機関への搬送を行う。

この際、気道閉塞、呼吸困難、非代償性ショックの徴候のある患者の搬送を優先し、次いで内臓臓器破損の疑いがある患者となる。多数傷対応の場合、生命に影響がない鼓膜破損や難聴等の歩行可能者は自力による医療機関への受診を推奨する。

# 爆発物処理の概要



12

爆発物処理は専門部隊の仕事である。その概要は、まず識別であり、起爆装置の種類を確認し爆発の緊急度を確認すると共に薬量を確認し爆発の影響度を推定する。爆発物を移動させることが可能と判断した場合、耐爆容器に収納し、処理可能な施設へ運搬する。

移動させることが非常に危険である場合、地域住民を避難させ、土塁等により周りを取り囲み、誘爆により処理を行う。

廃棄は、解体が可能であれば穿孔・切断により爆薬を抜き取り焼却処理を行う。解体が困難な場合、薬量に応じた鋼製チャンバの中で爆破処理する。



## 爆発物の探知方法と特性

探知方法	トレース探知	バルク探知	液体物検査	ボディスキャナー
対象	手指、被服等に付着する微量の爆薬成分	爆薬、起爆装置等の有無	危険な液体か安全な液体かの識別	被服内に隠し持つ爆発物の探知
方法	イオンビーム法 質量分析法 増幅蛍光ポリマー 爆弾探知犬	X線透過像 X線CT X線回析	レーザーラマン X線後方散乱 赤外分光	X線 ミリ波
特徴	極微量検出 低誤報率 量の判別は困難	形状情報から判断 材質識別 高処理速度	液体物種類判別 容器材質種類判別	高処理速度 被ばく問題 プライバシー問題

13

不審物は各種探知方法により、爆発物か否か、危険性の程度等を判断する。

トレース検知は、微量な爆薬成分を探知する技術で、pg（ピコグラム）オーダーの検知が可能である。これは爆発物を取り扱った人物の手や服はもちろんの事、手や服が触れた部分にも次々と痕跡が転写され追跡が可能な程精度が高い。

バルク探知は、X線を使用するもので、形状から判断する。

液体物検査は容器に入った液体爆薬を探知するもので、空港等で機内持ち込みの場面等で目にすることが多い。

ボディスキャナーはX線または身体に影響のないミリ波を使用し高速で被服内に隠し持つ不審物を探知するものである。

# 爆発物からの防護

## 防護装備



ヘルメット



防爆盾



簡易防護服  
重量約6kg

- ◆ 距離
- ◆ 遮蔽
- ◆ 低い姿勢



ターニケット

## 専門部隊装備



爆発物処理用具



防爆スーツ  
最大45kg

14

爆発物からの防護装備として、ヘルメット、防護盾、また、飛散する金属片等から防護可能な簡易防護服等がある。

専門部隊が使用し、爆発物に緊迫する際の装備として、遠隔操作や防弾板で防護されたマジックハンド、車両タイプの爆発物処理用具、防爆スーツ等がある。

この他、爆発物から身体を防護する着意として、できる限り距離をとり近付かない、遮蔽物の最大限の利用、低い姿勢の保持が原則である。

また、爆発による被災者は四肢切断、動脈損傷等、大量出血を伴う場合が多い為、救助にあたりターニケットの準備も重要である。

## 耐爆防護容器

- ❖ 空港や鉄道等公共施設に設置
- ❖ 緊急時の処置として一時的に保管
- ❖ 爆発しても周囲への被害を局限
- ❖ 数kg程度の爆発物の爆風と爆発破片を防護



耐爆防護容器  
(直径60cm高さ100cm)

15

耐爆防護容器は、空港や鉄道等公共施設にごみ箱と共用で設置し、爆発物にも対応できるよう設計された容器である。

諸外国では比較的多くみられるが、我が国で見るとはまだ少ない。

これは、緊急時の処置として不審物を一時的に保管するもので、この容器内で爆発しても周囲に爆風や飛散物が飛散せず、被害を局限することが可能である。

写真の容器で、数kgの薬量の爆発物から防護が可能である。しかしながら、爆発物をこの容器に入れるため移動させる時に危険が伴う。

## まとめ

- ❖ テロの7割は爆発物による
- ❖ 爆発は最初の爆発の後の2次攻撃に留意する
- ❖ 不審物に不用意に近づかない
- ❖ 人命救命等止むを得ない場合、遮蔽物を最大限利用する
- ❖ 止血、心肺蘇生を安全な場所で速やかに実施する
- ❖ 爆発物処理は専門部隊に任せる
- ❖ 放射性物質、有毒化学剤等の併用を疑う

16

世界で発生するテロの内、約7割は爆発物によるテロである。爆発は最初の1回だけでは終わらず、続いて起きる2次攻撃の被害を局限しなければならない。

不審物から迅速に離隔することが原則であるが、1次爆発で負傷した傷病者の救出のためやむを得ない場合は、遮蔽物を最大限利用することが重要である。

救助にあたっては、不審物の爆発の影響のない所で、止血、心肺蘇生を速やかに実施することが優先される。

爆発物の処理は専門部隊に任せ、爆発に伴い放射性物質や湯毒化学剤等が併用された複合攻撃も疑う着意が必要である。



# 化学剤 検知紙

## 化学剤の種類と特性

	名称	外観	臭気	蒸気密度 (空気比)	持久度	半致死量 mg・min/m <sup>3</sup>
<b>神経剤</b> 神経系	タブン	無色液	無臭	5.6	数日	400
	サリン	無色液	無臭	4.8	数時間	100
	ソマン	無色液	無臭	6.3	数日	50
	VX	無色液	無臭	9.2	数日～週	10
<b>びらん剤</b> 皮膚・ 呼吸器系	マスタード	無色液 (淡黄)	にんにく臭	5.5	数日～週	1,500
	ルイサイト	無色液 (褐色)	ゼラニウム臭	7.1	数日	1,500
<b>血液剤</b> 細胞系	青酸	無色液・気	アーモンド臭	0.9	数分～時	2,500
	塩化シアン	無色液・気		2.1	数時間	10,000
<b>窒息剤</b> 呼吸器系	ホスゲン	無色気	干し草臭	3.5	数分～時	3,000
	塩素	無色液・気	刺激臭	2.5	数時間	6,000
	クロル ピクリン	無色液・気	刺激臭	5.7	数時間	2,000

化学剤にはいくつかの種類があり、それぞれ特性が大きく異なるため、種類ごとに対応の仕方も異なることを意識しなければならない。

少量で人体に影響があるもの、匂いや色がないものが危険な化学剤である。表は軍用化学剤である。血液剤、窒息剤は産業毒性物質として、事業所、工場などで使用されている。神経剤、びらん剤は殺傷目的で合成されたものである。

ほぼ全ての化学剤は空気より重い。そのため、特に室内においては低い位置に滞留するため低い姿勢でいると危険である。

持久度は、揮発しやすさであり、持久度が短いものは有毒ガスとして揮発しやすく、持久度が長いものは、汚染物質として残留し除染が必要となる。

半数致死量は数値が小さいほど、危険である。産業毒性物質は、半数致死量が大きく、匂いもあるため、何らかの匂いがした時点で防護措置を講じることにより被害を局限できる。



- ◆微量 (μg/cm<sup>2</sup>) の化学剤を数秒以内で検知
- ◆びらん剤 (赤)、G 剤 (黄)、V 剤 (濃緑) を検知
- ◆水以外の有機溶媒等に偽陽性を示す  
アセトン、トルエン、マロン酸ジエチル → 黄色  
サリチル酸メチル、水酸化ナトリウム → 赤色  
ジエチルアミン、アミノブタノール → 深緑色



# **C B R N E テロ災害 初動対応マニュアル**

Ver. 201912

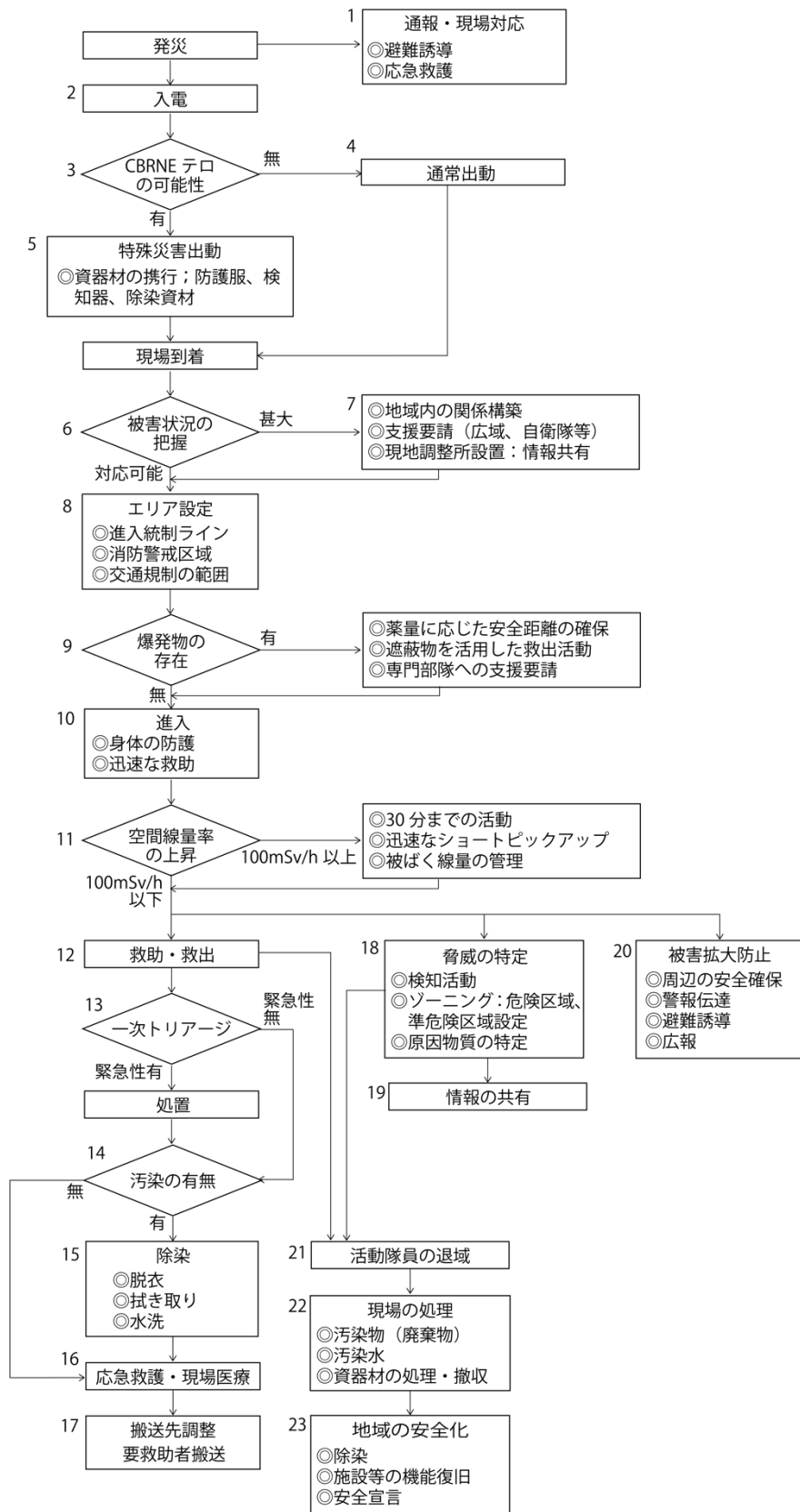
本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)放射線安全規制研究推進事業(包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究)において作成されました。

## 目次

災害現場、災害医療の CSCATTT .....	1
1. 通報・現場対応 .....	1
2. 入電 .....	1
3. CBRNE テロの可能性の判断 .....	1
4. 通常出動 .....	1
5. 特殊災害出動準備 .....	2
6. 被害状況の把握 .....	3
7. 被害甚大時の対応 .....	3
8. エリア設定 .....	4
9. 爆発物存在時の対処 .....	4
10. 進入 .....	5
11. 空間線量率の上昇 .....	5
12. 救助・救出 .....	6
13. 一次トリアージ .....	6
14. 汚染の有無 .....	6
15. 除染 .....	7
16. 応急救護・現場医療 .....	7
17. 搬送先調整、要救助者搬送 .....	7
18. 脅威の特定 .....	8
19. 情報の共有 .....	8
20. 被害拡大防止 .....	9
21. 活動隊員の退域 .....	9
22. 現場の処理 .....	10
23. 地域の安全化 .....	10



対応フローチャート



### 災害現場、災害医療の CSCATTT

災害時には、「医療ニーズ」が「供給能力」を上回った状態であり、最大多数の救命、一人でも多くの救える命を救うことが目標になる。そのために、トリアージ (Triage) を行い、医療資源を投入すべき傷病者を選別し、治療 (Treatment) や搬送 (Transportation) の順位を決定します。これらの医療行為を行う体制を整えるために、指揮命令系統の確立 (Command & Control)、安全確保 (Safety)、情報収集と伝達 (Communication)、評価 (Assessment) が重要とされ、このコンセプトが CSCATTT である。

	Command&Control 指揮と調整	Safety 安全	Communication 情報共有	Assessment 評価	Triage トリアージ	Treatment 治療	Transportation 搬送
1				○			
2	○		○	○			
3				○			
4		○					
5		○					
6				○			
7	○						
8		○					
9		○					
10		○					
11		○		○			
12		○					
13		○			○		
14				○			
15				○			
16						○	
17	○						○
18				○			
19	○		○				
20	○	○	○				
21		○					
22	○	○		○			
23	○	○					

1. 通報・現場対応
  - (1) 施設管理者または現場警備担当者等  
可燃物のない場所での爆発、同症状の複数患者の発生、異臭や不審物、不審な液体等を確認した場合、CBRNE テロを疑って行動する。
  - (2) 通報  
発生場所、被災者数、被災者の様態、原因（爆発、火災、異臭、煙、不審な液体）を通報する。
  - (3) 避難誘導  
発災場所の風上方向を基準に、避難方向を明確に示し、冷静沈着な行動を促す。
  - (4) 応急救護  
CBRNE テロを疑った場合、発災場所に不用意に近づかない。周辺の被災者の様態を確認し、化学剤の徴候がなければ、大量出血及び心肺停止患者については応急的な止血及び蘇生を行う。
  
2. 入電
  - (1) 被害状況の確認  
不正確、不足した情報であることが多い、また多数傷病者が発生した場合は、複数の通報となる。
  - (2) 確認項目  
発生場所、被災者数、被災者の様態、原因（爆発、火災、異臭、煙、不審な液体）
  
3. CBRNE テロの可能性の判断
  - (1) 化学テロ  
同一場所での複数の同一症状、異臭、不審な液体、可燃物等扱っていない場所での爆発
  - (2) 生物テロ（秘匿的攻撃、パンデミックは含まない）  
不審な粉
  - (3) 放射線テロ（核兵器によるテロ等は含まない）  
不審な粉、可燃物等扱っていない場所での爆発、不審物の放置
  - (4) 爆発物テロ  
可燃物等扱っていない場所での爆発、不審物の放置
  
4. 通常出動
  - (1) 携行品、装備等  
通常出動となった場合でも、呼吸保護装備、防護手袋（ニトリル系）は携行し、事象の変化が生じた場合、あるいは化学テロを疑った場合は直ちに着用する。

(2) 継続的な情報収集

専門機関及び警察等関係機関との情報共有、及び現場状況の変化等継続的な情報収集に努める。

(3) 現着後特殊災害と判明した場合

呼吸保護装備を装着し、身体の露出部位をなくし、特に手袋は二重に装着し、不審な液体等に絶対に触れないように注意して風上側から接近し、被災者のショートピックアップが可能であれば短時間で実施する。また、可能な範囲で応急救護を実施し、専門部隊の応援を要請する。

5. 特殊災害出動準備

(1) 携行資材の準備

CBRNE テロ発生を判断し、特殊災害出動となった場合、複合使用等最悪を想定し全ての CBRNE 脅威に対応できるよう準備する。

(2) 防護服

a レベル A 防護服

化学テロ災害時、現場到着後直ちに発災場所に進入し、最も危険な発災点から歩行不能被災者を迅速にショートピックアップする場合に適する。

b レベル B 防護服

化学テロ災害時、ホットゾーン及びウオームゾーンにおける被災者の搬送、除染、検知をする場合に適する。(30分以上行動する場合はボンベ交換が必要)

c レベル C 防護服

化学テロ災害時、ホットゾーン及びウオームゾーンにおける被災者の搬送、除染、検知をする場合に適する。しかしながら、長時間(一般的に12時間有効、高濃度の有毒ガスが存在する場合はこれより短時間となる)行動する場合は吸収缶の交換が必要となる。また、酸素が欠乏している場合及び吸収缶の適用ガス以外の有毒ガスが存在している場合は使用できない。

d 簡易防護服(タイベック)

放射線テロまたは生物テロ災害時、身体の汚染を防止する場合に適する。なお、ゴム手袋、靴カバー、防護マスク(N95以上)を装着し、結合部はテープによる目張りをする。

(3) 検知器

a 化学

化学剤検知器、分析器、検知紙、可燃性ガス測定器、酸素濃度測定器、有毒ガス測定器

b 放射線

個人線量計、線量率計(空間線量測定用、汚染密度測定用)

個人線量計および空間線量率計は出動時から電源を入れ、測定を継続しながら出動する。

c 生物

簡易検査チケット、テストストリップ

(4) 除染器材

a 乾的除染

ビニール袋（汚染物回収用）、はさみ、ふき取り用紙タオル、毛布等

b 水的除染

除染剤（器資材除染用）、紙タオル、ビニール袋（汚染物回収用）、除染テント、毛布、汚水回収用ポンプ、汚水回収用容器等

6. 被害状況の把握

(1) 優先事項

発災現場に残された被害者の迅速なショートピックアップを最優先とし、到着後の情報収集、現場確認及び測定器による確認は、努めて速やかに実施する。

(2) 情報収集

通報者、現場施設責任者、目撃者等から情報を収集する。

(3) 現場確認

被害者の概数及び被害様相により化学剤の可能性の有無を判断し、放射線の有無については検知器により迅速に確認する。さらに不審物（爆発物、化学剤など）に注意し、二次攻撃に留意する。

7. 被害甚大時の対応

(1) 地域内の関係構築（顔の見える関係構築）

先着隊の活動計画では対応ができないほど被害が甚大である場合は、県内外の消防本部、警察、自衛隊等へ支援要請をすることとなるが、各組織への支援要請の方法、手順は事前に把握し、カウンターパートを確認しておく必要がある。

(2) 現地調整所の開設；情報共有

当初現着消防隊の指揮所に情報を集約・共有し、逐次現着する関係機関の各指揮所を当初の現場指揮所近傍に開設する。自治体による担当者の現着後、現地調整所として開設し、情報の集約、現状把握、行動方針の決定、役割分担の調整、広報等を組織的に実施する。

(3) 広域支援要請

多数被害、汚染物質の存在及び被害拡大の可能性が確認された場合、直ちに消防本部に通報し、増援、NBC 災害対応部隊の支援を要請する。自衛隊への支援要請は、支援要請の内容、目的等を明確にし、地区担当自治体担当者から都道府県防

災担当者（知事権限）へ連絡し、都道府県防災担当者（知事権限）から災害派遣要請をする。

## 8. エリア設定

### (1) 進入統制ライン

発災現場の状況を確認し、各ゾーンが設定される前に、危険な事象が発生しているもしくは、発生する可能性がある地域と安全な地域とを区別し、活動隊員の安全を確保する。また、この進入統制ラインから発災現場への進入は防護装備の着用、検知器材の携行が必須である。

放射線テロ災害の場合は、バックグラウンドレベル以上の空間線量率が検知される、あるいは放射性物質の飛散による汚染が疑われる地域との境界で設定するのが原則である。

化学テロ災害の場合は、要救助者が倒れている場所から風上 120m で設定するのが原則である。

### (2) 立入禁止区域等

現場での消防活動、捜査等を効果的に行うために必要なエリアを確保し、住民や一時滞在者等の安全確保を図り、外周を標識等により明示する。消防警戒区域、立入禁止区域等がそれぞれ担当の消防、警察により設置される。区域内からの退避および区域内への出入りを禁止または制限する。

### (3) 交通規制の範囲

緊急車両、救急車の傷病者搬送等の円滑な通行の確保、住民や通行者の二次災害防止のため、発災現場を中心に十分広い区域において、交通規制する。交通規制は警察によって実施される。

## 9. 爆発物存在時の対処

### (1) 安全距離の確保

不審物の大きさから概略を判断（人員可搬型のテロの場合、薬量 5kg 以下が大半）し、爆発物の薬量に応じた安全距離を確保する（下表）。なお、いつ爆発するかわからないことを常に意識して行動する。

爆発物の種類 (容器、車両等の種類)	爆発物 TNT 換算薬量 (kg)	避難命令距離 (m)	避難推奨距離 (m)
鉄パイプ、圧力鍋	2.3	21	366
ベスト	9.2	34	518
スーツケース	23	46	564
軽自動車	227	98	580
バン、RV 車	454	122	732
2tトラック	1,814	195	1,159

4tトラック	4,536	263	1,555
大型トレーラー	27,216	479	2,835

出典：火薬学会爆発物探知専門部会編 爆発物探知・CBRNE テロ対策ハンドブック

(2) 専門部隊への支援要請

警察（爆発物処理班）への出動を要請する。専門部隊到着までの間、要救助者の様態（大量出血、化学剤併用による症状の出現等）の確認し、専門部隊到着時間と要救助者の救命のための時間的猶予を判断する。

(3) 遮蔽物等を利用した救出

建築物、構築物の壁、柱、堅固な施設付帯物、ソファ等々の遮蔽物、防爆盾、車両等遮蔽に活用できるものは全て活用し、救命のための時間的余裕のない被災者のショートピックアップに努める。遮蔽物があっても 20m 以内に近付いてはいけない。

10. 進入

(1) 身体の防護

呼吸器と皮膚が防護されていれば化学剤及び生物剤からは防護可能である。レベル A 防護服であれば、爆発、強度の放射線を除き、身体の防護は可能である。

(2) 迅速な救助

CBRNE テロ災害の場合の被災者は、汚染物質からの離隔、及び拮抗剤の投与（神経剤の場合）、心肺蘇生、止血（大量出血の場合）、を可能な限り迅速に行うことが救命率を向上させる。

11. 空間線量率の上昇

(1) 空間線量率の測定

出勤時から放射線の測定を実施し、バックグラウンド以上の放射線を検知した場合、あるいは個人線量計で数値が上昇した場合は、放射線の測定を継続する。100mSv/h 以下の地域では、個人線量計による被ばく線量管理を行い、被ばく線量が 100mSv を超えないように活動計画を立て、救助等必要な活動を実施する。

(2) 100mSv/h を超える地域での活動

100mSv/h 以上の地域では、活動時間を 30 分以下に制限し、人命救助のみを行い、迅速なショートピックアップを行う。

(3) 放射線防護の 3 原則

a 時間の原則

時間に比例し被ばく線量が蓄積されるため、迅速な活動に徹する。

b 距離の原則

放射線源から離れば著しく低減するため、放射線発生源の近くを避ける。

### c 遮蔽の原則

建造物、車両等が遮蔽物として利用できれば努めて活用する。

## 12. 救助・救出

### (1) 処置の優先順位

拍動性出血を確認した場合、止血を最優先する。原因物質により汚染されている地域における心肺停止患者は、風上側にショートピックアップした後、速やかに心肺蘇生の処置を行う。

### (2) 歩行不能患者

化学剤または放射性物質が存在する地域からの離隔を迅速に実施する。多数傷の場合、レスキューキャリアマット（患者を包み込みロープで引きずるタイプの救出具）を活用すると効率的である。

### (3) 歩行可能患者

避難方向を明確に示し、冷静沈着な避難を促す。視覚障害、意識レベルの低下、錯乱している場合、歩行を補助する。

## 13. 一次トリアージ

### (1) 緊急度の判断

生命維持に必要なバイタルサイン（心拍、意識状態、呼吸、痙攣、出血）を確認し迅速な処置を実施する。

### (2) 拮抗薬の投与

神経剤による症状が発生している場合、新鮮な空気を投与する。また条件を満たしている場合は、自動注射器により拮抗薬（アトロピン、パム）を投与する。

### (3) 除染の必要性の判断

歩行の可否と汚染物質の付着状況により除染要領（脱衣、ふき取り、水洗）を分類する。汚染物質が付着していない有毒ガスを吸引しただけの患者は除染の必要がなく、速やかコールドゾーンに誘導する。

## 14. 汚染の有無

### (1) 化学剤による汚染の検査

化学剤による汚染は液体の付着によるものであるため、目視、検知紙による検査が有効である。化学剤検知器による検査はウォームゾーン内では汚染空気存在の可能性があり、汚染検査において疑陽性の誤報が出る場合がある。

### (2) 放射性物質による汚染の検査

放射線測定器を体表面から1cmの距離を維持し、1秒間で5～6cmの速度で動



かし確認する。また、 $\alpha$ 線放出核種による汚染の場合、汚染検査は難しく、汚染拡散予測等の状況によっても汚染の有無を判断せざるを得ない。

(3) 生物剤による汚染の検査

炭疽菌の場合、鼻腔スメア、または被服等に付着した白い粉のスメアにより検査できる場合があるが、それ以外の生物剤の場合、除染の要否を確認するための汚染検査は困難である。生物剤テロが発生した場合、その近傍の拡散予測範囲にいた人員は全員除染対象となる。

15. 除染

(1) 脱衣による除染

一番外側の衣服の脱衣及び脱靴で概ね 90%の除染が可能であり、脱衣した被服等はビニールの袋に入れてウオームゾーンに一時保管する。

(2) 拭き取りによる除染

露出皮膚及び被服の浸透が疑われる場合、ふき取りにより除染する。この際、RSDL等の除染具があれば使用する。脱衣とふき取りにより 99%の除染が可能である。

(3) 水洗による除染

水洗が最も効果があるが、時間を要し、低体温、汚水発生等の問題を有する。大人数の迅速な除染の要領として、消防車等からシャワー状に放水し汚染人員を通過させて除染をする方法（ラダーパイプ）もある。

(4) 除染後の確認

化学剤は化学剤検知器あるいは検知紙を用い、放射性物質は表面汚染計で除染効果を確認する。

16. 応急救護・現場医療

(1) 応急救護

呼吸補助、止血、創傷の応急処置を実施する。

(2) 現場医療

現場に医療チームがいる場合は、気管挿管、拮抗薬の投与などを実施する。

17. 搬送先調整、要救助者搬送

(1) 搬送先調整

地域の災害医療体制、計画に基づいて、搬送先を選定、調整する。

(2) 要救助者搬送

放射性物質が付着している場合は、汚染拡大防止として被覆し、搬送する。通常の救急搬送と同様の車内活動は実施する。

## 18. 脅威の特定

### (1) 検知活動

#### a 化学剤の検知

化学剤検知器及び検知紙等を使用し、汚染物質の特定及び汚染範囲の決定を行う。この際、被災者の症状、証言、不審物の状況等も総合的な判断要素とする。

#### b 放射線の検知

放射線量率計により放射線強度を測定し危険範囲を決定する。また、スメア法（ふき取り）により汚染の有無、範囲を決定する。核種が判明できる検知器があればその結果を医療従事者に通報する。

#### c 生物剤の検知

白い粉の散布等、明示的なテロ以外では発災現場での検知は困難である。明示的な散布の場合、抗原抗体反応を利用した簡易検査キットやテストストリップで特定の生物剤の検知が可能である。秘匿的な散布の場合、数日から十数日経過後発症するため、保健機関による疫学調査により特定せざるを得ない。

### (2) ゾーニング

#### a 危険区域（ホットゾーン）

原因物質に直接接触する可能性のある区域で、不審物の存在、検知器による反応を示す一帯、歩行不能者が倒れている一帯で、発災地点から約 100m 距離を目安とする地域に設定し、立ち入り禁止テープ、カラーコーン等で表示する。

#### b 準危険区域（ウォームゾーン）

直接的な危険は少ないが、救出活動等により二次汚染の可能性のある地域で、ホットゾーンの風上側 100m～120m の地域に設定し、除染活動等を行う。

#### c 安全区域（コールドゾーン）

危害が及ばない安全な区域で救護所や現場指揮本部、現地調整所等を設置する。

### (3) 原因物質の特定

分析装置または専門機関に採取試料を後送り剤種を特定する。

## 19. 情報の共有

### (1) 現地関係機関の活動に関する情報

現地関係機関の部隊等の編成、装備、能力、救出、検知等活動状況の現状、支援要請、増援部隊等の状況等について関係機関で情報を共有し、効率的・効果的な活動に資する。

### (2) 災害に関する情報

被害者の人数、様態、歩行不能者の位置、有害物質の特性、散布量、汚染範囲、二次被害、被害拡大の状況等の情報を集約し、迅速な救出活動による救命率の向上に資する。

(3) 住民に関する情報

現場付近に存在した歩行可能者の状況、危険が予測される区域の住民等の状況、警報発令、避難誘導、避難場所の状況等の情報を共有し、被害の拡大を防止する。

20. 被害拡大防止

(1) 周辺の安全確保

CBRNE テロ災害では危険区域は発生現場だけでなく風下方向に拡散し、大気の状態が安定しており風速2～5 m/sの場合、風下数 km に拡散する場合がある。

スマホアプリの WISER(The Wireless Information System For Emergency Responders)を使用し、気象、化学剤等の条件の入力で風下危険区域が算定できる。

(2) 警報伝達

発災現場周辺では、拡声器等により避難を呼びかけ、迅速な避難を促す自治体を通じ、周辺住民に対し警報を伝達し、屋内待機又は避難指示を徹底すると共に、警察による交通統制、地域封鎖との連携を図る。伝達手段としてエリアメール、テレビ、ラジオ、防災無線などを活用する。

(3) 避難誘導

汚染の流動方向から迅速に離脱する方向に誘導するため、避難方向、避難場所、危険個所の回避を明確に伝わるよう努める。また、パニックによる二次被害を防止するため、冷静沈着な対応を促す。

(4) 広報

周辺住民の安全を確保するための情報発信を最優先し、住民の不安を除去するため、適時・正確な情報発信に努める。この際、広報の窓口を一本化し、整理された公式見解の発表を行う。

21. 活動隊員の退域

(1) 二次汚染の有無の確認

活動時に付着した汚染の有無を検知器、検知紙を用いて確認する。特に靴、要救助者に触れた箇所は汚染されていると判断する。

(2) 防護衣の脱衣

汚染面に身体が触れないように脱衣する。また、化学テロ対応時は、脱衣した場所から風上側に約 50m移動した地点で呼吸保護具を外すことが望ましい。脱衣した防護衣は十分に除染するかビニール袋に入れウォームゾーンに一時保管する。

(3) 残留汚染の確認と除染

防護装備の脱衣後は、化学剤検知器及び放射線測定器により、身体の汚染の有無を確認する。

身体に汚染を確認した場合、直ちに洗浄（石鹼水の使用が望ましい）し、被服に

汚染を確認した場合は、直ちに脱衣しビニール袋に封入しウォームゾーン内で一時的に保管する。

汚染地域内で使用した検知器、救助具等はウォームゾーンで確実に除染する。

(4) 汚染状況及び汚染物質等の表示

退域時には、汚染された地域・施設等はその後の除染を容易にするため可能な範囲で汚染状況及び汚染範囲を表示する。また、活動により発生した汚染廃棄物等は、密閉容器等により安全化し所要の表示をする。

## 22. 現場の処理

(1) 汚染物（廃棄物）の処理

救助活動、検知活動等で発生した汚染物、及び発災現場の汚染物等は、密閉容器への封入により危険物質の漏洩がないことを確認後、焼却処分できる施設に移送する。移送が困難な汚染物は、現場にて除染剤により無害化する。この際発生する汚水についても回収する。輸送の可否、一時保管、処分要領等について自治体の指示に従い実施する。

(2) 汚水の処理

除染により発生した汚水は極力回収して密閉容器に封入し、じ後の処置について、自治体の指示に従う。

回収した汚水を放出する場合は、専門機関による安全性と排出基準への適合について確認し、安全の確認後、自治体の許可を得て下水に放水する。

(3) 資器材の処理

養生が施されている場合、汚染面を包むように養生シートを外しビニール袋に密封する。

放射性物質による汚染がある場合は、原則としてふき取または水洗を実施する。除染できない場合は、廃棄、交換することが原則となる。化学剤による汚染があり、養生が施されていない場合、5%次亜塩素酸でのふき取りを実施する。布製部位は原則として廃棄し交換することが望ましい。

水除染が不適な精密器材等は事前にビニール等で養生することが望ましい。

## 23. 地域の安全化

(1) 地域等の除染

化学剤により汚染された地域の除染は、大量の除染剤が必要となるため自衛隊の支援を要請する。地域の除染により発生する汚水は通常回収が困難であるため、除染開始前に自治体と除染要領について協議する。

除染剤は腐食性があるため、除染が適さない部位については、化学剤の種類により放置して揮発させることが適する場合もある。

放射性物質による地域の汚染を除去する場合は、吸引、除土、水洗（汚水回収）等の手段がある。

(2) 安全宣言

除染後、検知器等を使用し残留する危険物質の有無を確認する。

安全宣言は、専門機関の助言を得ながら自治体が判断する。

# 原子力災害拠点病院等 研修資料

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

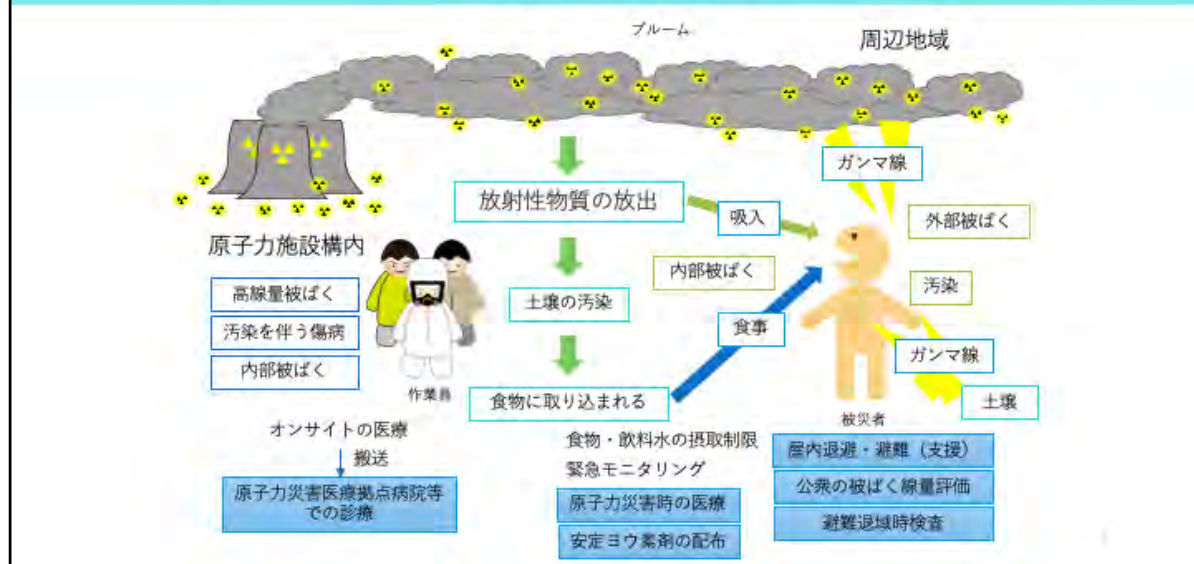
Ver.201912

本資料は、原子力規制庁平成31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）において作成されました。

## 内容

- 原子力災害と医療体制
- 被ばくと汚染
- 医療機関での準備と対策

# 原子力災害

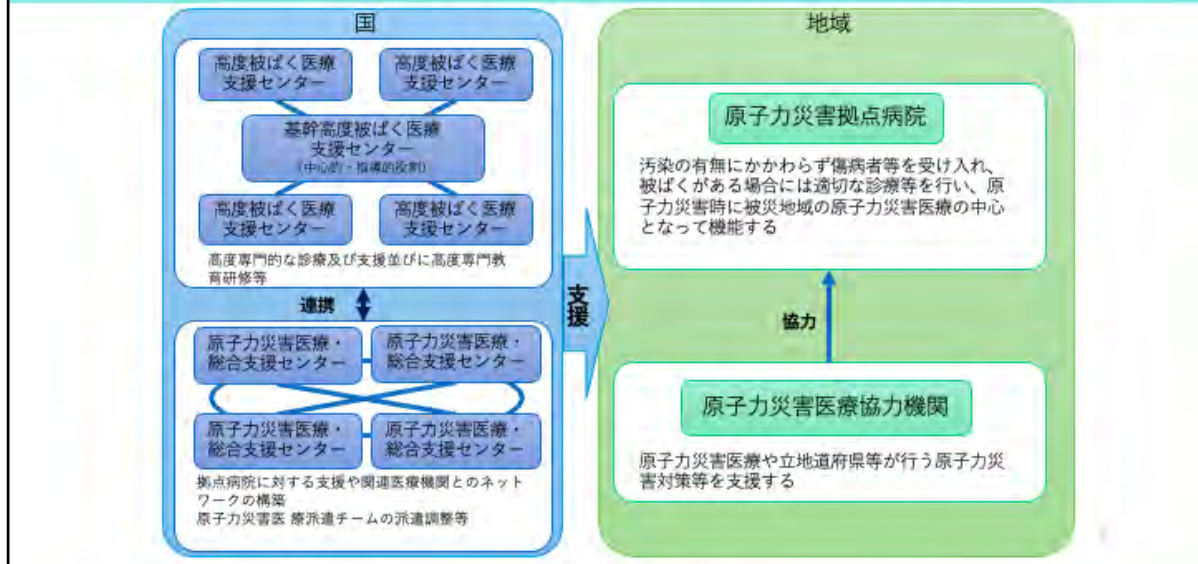


原子力発電所では、ウランが核分裂して発生する熱を発電に利用しています。この核分裂によって生じたものが核分裂生成物で、放射性物質を多く含んでいます。主に、キセノン、クリプトンなどの放射性希ガス、ヨウ素-131、ヨウ素-133、トリチウムの揮発性物質、クロム-51、マンガン-54、鉄-59、コバルト-58、コバルト-60、セシウム-134、セシウム-137、ストロンチウム-90など粒子状物質の気体や液体が生じます。事故で燃料のペレットや被覆管が破損すると、これらの放射性物質が外部へ漏れ出ます。

東京電力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（プルーム）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、プルームや地表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。

# 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。

原子力災害時の医療として、次の体制が整備されています。

- **原子力災害拠点病院**：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。
- **原子力災害医療協力機関**：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。
- **高度被ばく医療支援センター**：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。
- **基幹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。
- **原子力災害医療・総合支援センター**：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。
- **原子力災害医療派遣チーム**：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。原子力災害拠点病院、原子力災害医療協力機関、原子力災害医療・総合支援センターが整備する。



## 地域の担当



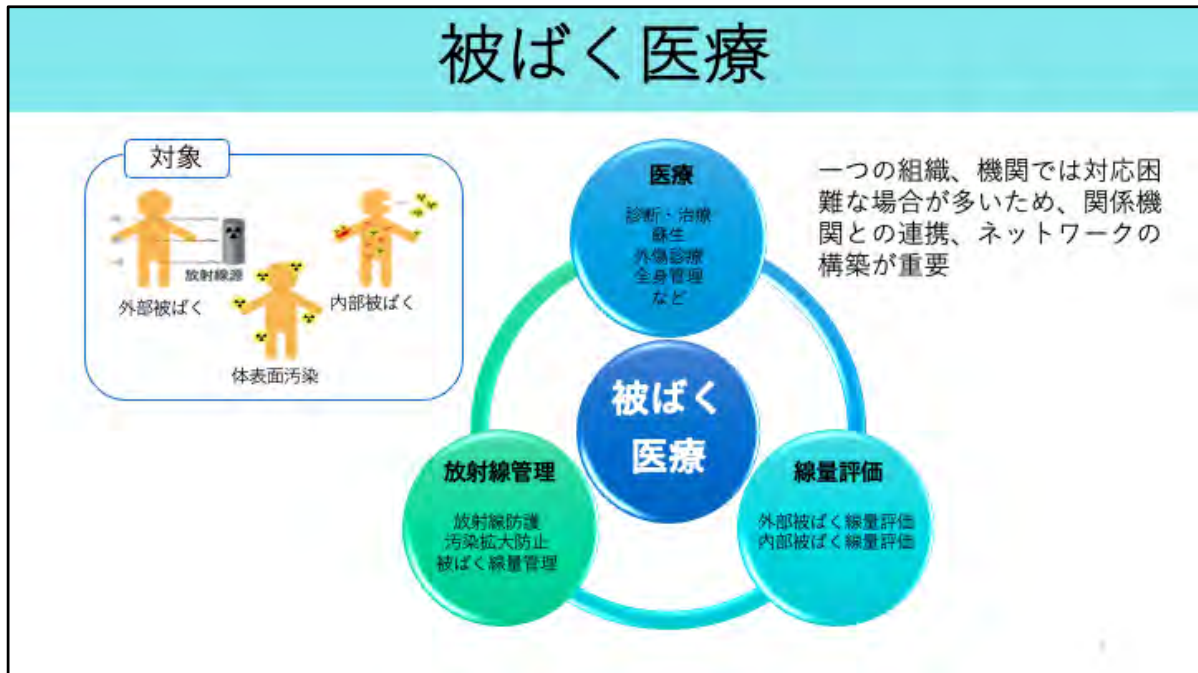
量子科学技術研究開発機構は、基幹高度被ばく医療支援センターと高度被ばく医療支援センターに指定されています。

弘前大学、福島県立医科大学、広島大学、長崎大学は、高度被ばく医療支援センターと原子力災害医療・総合支援センターに指定されています。

原子力災害医療・総合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；富山県、石川県、福井県、岐阜県、滋賀県、京都府、大阪府、鳥取県、島根県、岡山県、山口県、愛媛県
- 長崎大学；福岡県、佐賀県、長崎県、鹿児島県

# 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。

被ばく医療での診療は、放射線による外部被ばくと内部被ばくに対して治療し、放射性物質が付着した創傷や皮膚は除染して放射性物質を取り除きます。線量評価には外部被ばくの線量評価と内部被ばくの線量評価があり、様々な手法があります。原子力災害拠点病院等に設置されているホールボディカウンターは、内部被ばく線量評価のための計測機器です。

# 被ばく

## 放射線をあびること



### 外部被ばく

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。



### 吸入摂取

経口摂取  
経皮（創傷）吸収

### 内部被ばく

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。

被ばくとは、放射線を浴びることです。体の外から放射線を浴びるのが外部被ばくで、放射性物質を身体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。

外部被ばくでは、一度にたくさんの放射線を浴びると急性障害が起こります。少量の被ばくでは、放射線の被ばく量に応じて発がんのリスクが高くなります。

内部被ばくでは急性障害が生じることは非常に稀です。放射性物質を体内に取り込む経路としては、呼吸による吸入摂取、飲食物の摂取による経口摂取、創傷や皮膚からの経皮吸収があります。医療機関では、吸入摂取をしないように使い捨て防塵マスクで呼吸保護をします。

# 汚染

## 放射性物質が付着



汚染に接触  
⇒汚染拡大



創傷の汚染  
⇒創傷処置と除染

汚染とは、創傷部位や体の表面（皮膚）、衣服、資器材に放射性物質が付着することです。汚染に接触すると汚染は広がります。創傷部の汚染は、通常の処置に加えて、除染が必要となります。除染とは、拭き取りや水による洗浄によって、付着した放射性物質を除去することです。創傷部に放射性物質の付着があれば、創傷の措置と同時に、除染をします。除染で使用したガーゼや水などの資器材は放射性物質が付着しています。除染できるものは除染し、廃棄できるものは、汚染拡大防止としてビニール袋に入れ、廃棄します。原子力災害では、放射性物質が付着した廃棄物は、事業者が引き取ることになっています。

## 汚染による被ばく

表面汚染では危険な



**外部被ばくはしない**

全身または皮膚の被ばくの  
症状は出ない

身体表面に放射性物質が付着しても、急性障害を生じるような外部被ばくはしません。

特に医療機関で通常使用されている一般的なGMサーベイメーターでは、測定範囲を超過したような汚染の濃度が極端に高い場合は、皮膚障害が起こる可能性もありますが、通常は表面汚染で全身または皮膚に被ばくの症状は出ません。

また、表面汚染がある患者の処置をしても、対応者が外部被ばくすることもありません。

## 医療機関での準備

- ❖ 対応者の安全対策
- ❖ 施設の汚染対策（養生）
- ❖ 資器材

医療機関で被ばくあるいは汚染のある患者を受け入れる場合は、対応者の安全対策、施設の汚染対策、資器材の準備が必要です。

## 対応者の安全対策

### 被ばく管理



個人線量計

### 汚染拡大防止

個人防護装備



対応者の安全対策は、個人線量計の装着による被ばく管理と、個人防護装備の着用による汚染拡大防止となります。  
被ばく管理は個人線量計を装着します。これは、活動中の被ばく線量の積算値を計測します。様々な種類のものがありますが、緊急時の対応では電子式、直読式の個人線量計を使用します。  
汚染拡大防止は、衣服や身体に放射性物質が付着しないようにディスポ手術用ガウン、タイベックスーツなどの個人防護装備を着用します。



# 個人防護装備

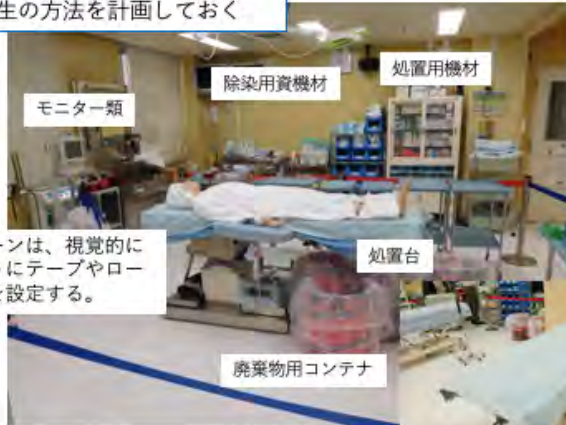


個人防護装備は、基本的にディスポのものを使用します。医療機関での対応には、通常の業務でも使用しているガウンやディスポ術衣、帽子、マスク、ゴーグルを着用します。ゴム手袋は二重に装着し、外側のゴム手袋は汚染が付着するような処置を実施したら、その都度交換します。また、内側のゴム手袋と袖口、靴カバーと術衣のズボン、テープで目張りし、放射性物質の侵入を防止します。ガウンの代わりにタイベックスーツでも良いです。被ばく線量管理のため、防護服の中に個人線量計を着用します。また、全員が同様の格好をするため、識別できるように職種あるいは所属と氏名を記載します。



## 施設の汚染対策（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



ホットゾーンは、視覚的に分かるようにテープやロープで区域を設定する。

床はビニールシートとろ紙シートで二重に養生（被覆）

ストレッチャーや処置台には、シーツを複数枚かけておく  
（脱衣や除染で汚染した場合に取り除く）



シーツの縁はテープで床に隙間なく貼付する。ビニールシートの下に放射性物質が入り込まないようにする。

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くことですぐに汚染を除去できます。病院の入り口から処置室までの廊下も養生をします。廊下の養生は、処置室とは異なり、ビニールシートのみで良いです。ストレッチャーや通行者が安全に通行できるようにシーツの重なり部分、つなぎ目の部分は、引っかからないようにテープ等でしっかりと床に貼り付けます。

# 医療器材の養生

## ❖ ポータブルX線撮影装置



Hot zoneの中で操作する部分だけビニール袋で養生

本体はHot zoneの外で操作

## ❖ 超音波診断装置



プローブカバーで長さが足りない部分は、細長いビニール袋で対応

長時間使用時は、排気口を開ける

## ❖ 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

医療器材は、その機能や操作の妨げにならない程度にビニール袋やビニールシートなどで養生します。養生後には動作確認をして、正常に作動することを確認します。

放射線測定器は検知部（プローブ）は汚染が付着しやすいため、汚染が付着したらすぐに交換できるようにします。モニター類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。

## 資器材

❖ 個人防護装備

❖ 養生用資器材

❖ 放射線測定器

❖ 除染用資器材



ビニールシート、ろ紙シート、  
養生テープなど



吸水シート



膿盆



ガーゼ類



使い捨て鑷子

使い捨てケリーパッド

通常の診療に必要な資器材に加え、個人防護装備、放射線測定器、養生用資器材、除染用資器材を準備します。

個人防護装備は前述の通りです。放射線測定器は、空間線量計、表面汚染計を準備します。養生用資器材は、ビニールシート、ろ紙シート、養生テープなどを準備します。除染用資器材は、吸水シート、膿盆や使い捨てケリーパッド、ガーゼ、鑷子などを準備します。

## まとめ

- ❖ 原子力災害時には、被ばく医療を提供する。
- ❖ 汚染では、危険な被ばくはしない。

原子力災害拠点病院あるいは原子力災害医療協力機関は、原子力災害時に被災者等に必要な被ばく医療を迅速、的確に提供することが役割です。  
また、職員の安全対策、施設の汚染対策を適切に実施できれば、汚染がある被災者を医療機関で受け入れても、対応する職員は危険な被ばくはしません。

