

放射線管理要員の役割

原子力災害 被ばく医療 専門研修
被ばく医療-6

時間：30分

内容

- 放射線管理要員とは
- 放射線防護の必要性
- 放射線防護と放射線管理
- 放射線施設
- 放射線障害の防止に関する法規制
- 放射線障害の防止に関するその他の主な法令
- 放射線安全管理の組織
- 放射線安全管理技術
- 線源管理
- 環境管理
- 非密封放射性同位元素を取扱う施設の安全管理
- 個人管理
- 記帳・記録
- 健康診断
- 教育・訓練
- 緊急時・危険時の対応
- 医療処置と放射線管理

放射線管理要員とは

- ❖ 放射性物質を取り扱う事業所内で、放射性物質による人への影響を考慮し、安全で合理的な管理を行う専門家
- ❖ 放射線管理要員は、放射線生物学、物理学、化学、法令の知識を有する。
- ❖ 事業所における事故時には、被ばく患者の身体汚染検査、除染及び被ばく線量の測定、並びに医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止及び汚染検査に協力する。
- ❖ 患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況を搬送先の医療機関に提供する。

放射線管理要員とは放射性物質を取り扱う事業所内で、放射性物質による人への影響を考慮し、安全で合理的な管理を行う専門家のことです。放射線管理要員は、放射線生物学、物理学、化学、法令の知識を有しています。

放射線管理要員は、被ばく患者の身体汚染検査、除染及び被ばく線量の測定、並びに医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止及び汚染検査に協力します。また、被ばく患者を医療機関に搬送する際には、汚染の状況を測定し、傷病の状態を勘案して、できる限りの汚染の拡大防止措置を講じます。また、患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況を搬送先の医療機関に提供し、汚染の拡大防止等に協力します。

事業所は、積極的に放射線管理要員の育成に務めることが求められています。ここでは、まず放射線取扱事業所での放射線管理について説明します。

放射線防護の必要性

❖ 放射線障害の歴史

- ◇ 1895年 RöntgenによるX線発見
- ◇ 1896年 Becquerelにより最初の生物影響の報告（皮膚障害）
- ◇ 1901年 Curieによる皮膚障害の報告
- ◇ 1902年 放射線による皮膚がんの報告
- ◇ 1911年 放射線による白血病の報告
- ◇ 1920年代 ダイヤル・ペインター（ラジウム）の骨肉腫
- ◇ 1930年代 トロトラストによる肝がん、白血病

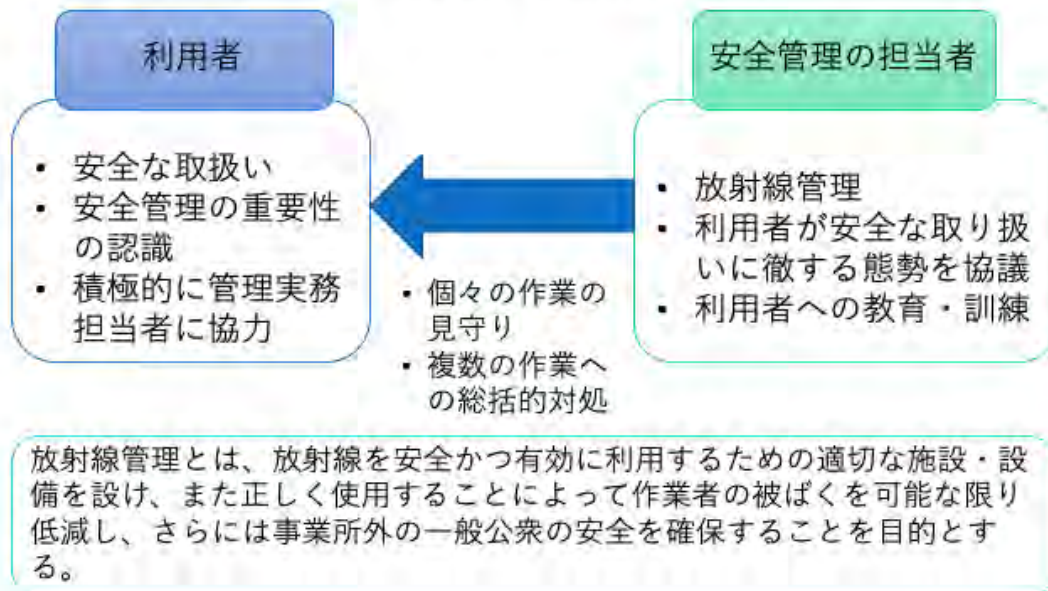
❖ 放射線防護

- ◇ 放射線の利用に伴う障害の防止が必要となった。
- ◇ 放射線利用に関わる線量をはっきりと定義し、放射線の影響と量的関係を知り、効率的な利用を促進するとともに障害を防ごうという動きが起こった。
- ◇ 国際的な機関が設置されるに至った。

1895年にレントゲン博士によりX線が発見されて以降、1896年にベクレル博士が放射能を発見し、以後多くの放射線に関する研究が進められてきました。それと同時に1896年にはベクレル博士によって放射線により皮膚に紅斑が生じた報告がなされ、1901年にはキュリー博士による皮膚障害が報告され、以降も放射線による皮膚がん、白血病の報告、ダイヤルペインターのラジウムによる骨肉腫、トロトラストによる肝がん、白血病といった様々な放射線障害の報告があります。このように放射線の発見直後から、研究者たちは放射線にさらされた皮膚の紅斑や脱毛、潰瘍が生じることを認めていました。放射線の医学利用が発展していきましたが、他方では、放射線利用に伴う障害が問題となっていました。そのため、放射線利用に関わる線量をはっきりと定義し、放射線の影響と量的関係を知り、効率的な利用を促進するとともに障害を防ごうという動きが起こりました。さらに国際放射線単位測定委員会（ICRU）、国際放射線防護委員会（ICRP）、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）、国際原子力機関（IAEA）、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）といった国際機関が設置されるに至りました。

放射線防護と放射線管理

- ❖ 放射線・アイソトープの利用に際しては、放射線防護、放射線の安全確保を常に心がけ、その方策を実践



放射線・アイソトープ利用に際しては、放射線防護、放射線安全の確保を常に心がけ、その方策を実践しなければなりません。

利用に直接携わる者は成果を早急に求めるあまり、時として防護・安全の方策をおろそかにすることが懸念されます。これを防止するためには、第三者による放射線管理が必要です。しかし管理のみで、防護・安全をもれなく確保することは困難であり、利用者の安全な取扱いが実行される必要があります。

安全管理の担当者は、利用者が安全取扱いに徹する態勢を協議または必要に応じて教育・訓練によって醸成し、個々の作業を見守るとともに、複数の作業に対しては、総括的に対処することが求められます。さらに利用者が安全管理の重要性を理解して積極的に管理実務担当者に協力する関係を構築することが強く求められます。

医療機関でも放射線・アイソトープを利用している場合は、放射線の安全管理が求められます。しかし医療機関での放射線安全については、専門部署がなく診療放射線技師または医師が業務の傍らに行っているのがほとんどの現状です。医療機関で被ばく医療を実施する場合には、診療放射線技師が放射線管理の役割を担うことが求められます。

放射線施設

- ❖ 放射線発生装置使用施設
- ❖ 密封された（密封）放射性同位元素使用施設
- ❖ 密封されていない（非密封）放射性同位元素使用施設
- ❖ 核燃料物質・核原料物質使用施設
- ❖ 医療施設
- ❖ その他施設

放射線施設は多種多様存在します。

- 放射線発生装置使用施設
- 密封された（密封）放射性同位元素使用施設
- 密封されていない（非密封）放射性同位元素使用施設
- 核燃料物質・核原料物質使用施設
- 医療施設
- その他施設

複数の許可を所持する施設もあります。例えば、放射線発生装置使用施設のなかの非密封放射性同位元素使用施設です。

ただし、放射線事故・災害で汚染患者に対応する救急外来等は、通常放射線施設としては許可された場所ではない施設、区域で実施することになります。対応者の安全、その他の施設の利用者等の安全を確保するために、患者受け入れ時の放射線管理は重要です。

放射線障害の防止に関する法規制

原子力基本法（昭和30年12月19日 法律第186号）

原子力利用によって社会福祉と生活の向上に寄与することを目的とし、原子力の研究、開発、および利用は平和目的に限り、安全の確保、民主・自主・公開の原則のもとに、国際協力に資することが基本方針

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律

放射線障害の防止と公共の安全確保が目的

核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律

エネルギー利用の個別法

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令

施行令

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則

施行規則

放射線を放出する同位元素の数量等を定める件

告示

我が国の原子力平和利用に関わる基本の法律が1955年に制定・公布されています。これが、「原子力基本法（昭和30年12月19日 法律第186号）」で、原子力利用によって社会福祉と生活の向上に寄与することを目的とし、原子力の研究、開発、および利用は平和目的に限り、安全の確保、民主・自主・公開の原則のもとに、国際協力に資することを基本方針としています。原子力利用は、エネルギー利用と放射線・アイソトープ利用に大別されます。

エネルギー利用の個別法は、「核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律」（原子炉等規制法）で、放射線・アイソトープ利用の個別法は、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」が定められています。

放射線障害防止法関係法令は、法律、その条項を受けて細目を示した施行令、施行規則で構成されており、さらにこれらを補完するために特定の事項について告示が定められています。

放射線障害の防止に関するその他の主な法令

❖ 原子力関係

- ◇ 核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律
- ◇ 原子炉等規制法施行令

❖ 労働関係

- ◇ 労働安全衛生法
- ◇ 電離放射線障害防止規則（労働省令）
- ◇ 作業環境測定法
- ◇ 職員の保健および安全保持（人事院規則）
- ◇ 職員の放射線障害の防止（人事院規則）

❖ 医療関係

- ◇ 医療法
- ◇ 医療法施行規則（厚生省令）
- ◇ 薬事法

❖ 輸送関係

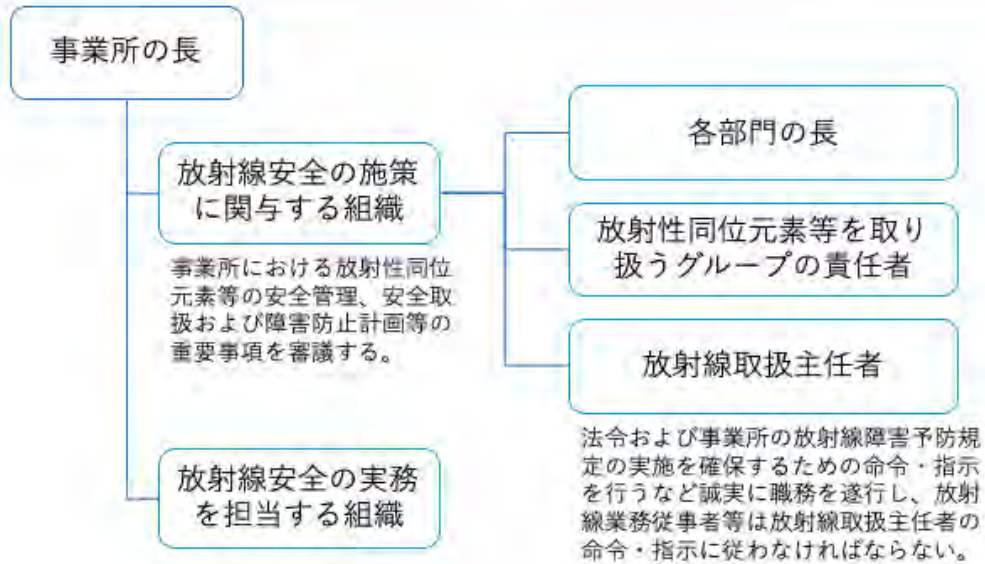
- ◇ 放射性同位元素等車輛運搬規則（運輸省令）

❖ その他

- ◇ 計量法
- ◇ 建築基準法
- ◇ 建築基準法施行令
- ◇ 消防法

行政機関は放射線障害の防止に関する事項を、各関係の関係法令に組み込んでおり、放射線障害防止法はそれらの技術的基準とみなされています。

放射線安全管理の組織



事業所における放射線安全管理の体制は、最高責任者である事業所の長を頂点として、放射線安全の施策に関する組織と放射線安全管理の実務を担当する組織によって構成されます。

また、事業所の長は放射線安全を確保するために、その事業所の実態に適合した管理組織、管理基準等を定め、法令（法第21条、則第21条）に基づく放射線障害予防規定を作成して、原子力規制委員会に届け出ます。

放射線安全管理技術



*X線装置の使用・検査、原子炉の運転なども含む業務

放射線の防護・安全を確保するための管理対象は放射線源と環境と人で、それぞれの放射線管理を線源管理、環境管理、個人管理といいます。事業所の内部で行う放射線安全管理は、日常的に行う教育・訓練、放射線施設の点検に、異常時・危険時の措置のように臨機に行う業務によって遂行されます。

線源管理として、密封放射性同位元素、非密封放射性同位元素、放射線発生装置、放射性廃棄物の管理を行います。環境管理としては、作業環境の管理、周辺環境の管理を行います。個人管理としては、教育訓練の実施、定期的な健康診断、管理区域への入退域記録、外部被ばく線量と内部被ばく線量の管理を行います。

線源管理

密封放射性同位元素 (密封線源)

通常の使用状態では放射性同位元素が外部に漏出する事はないので、放射線（外部被ばく）の防護（時間・距離・遮へい）に留意する。

非密封放射性同位元素 (非密封線源)

放射性同位元素による汚染とその体内摂取による内部被ばくに留意する。

放射線発生装置

運転を停止すると放射線の発生が停止する。運転中は、放射線の防護が必要である。運転中に生成した放射化物が残留するものもあり、放射化物（非密封放射性同位元素）にも放射線防護の措置が必要である。

放射性廃棄物

非密封放射性同位元素によって汚染された物。除染によって発生した物は二次放射性汚染物として取り扱う。法令に定める排気中あるいは排水中の放射性同位元素の種類に対する濃度限度以下であれば、放射線施設の排気・排水設備から一般環境に放出できる。

密封放射性同位元素（密封線源）は、通常の使用では放射性同位元素が容器の外部に漏出することはないので、放射線（外部被ばく）の防護（時間、距離、遮へい）に留意して管理します。

非密封放射性同位元素（非密封線源）は、放射性同位元素等による汚染とそれに関連して発生する体内摂取による内部被ばくが起り得るため、その発生と放射線の防護に留意して管理します。

放射性発生装置は、運転を停止すると放射線の発生が停止します。運転中に生成した放射化物が残留するものもあります。前者では放射線に留意し、後者では放射線と残留する放射化物にも放射線防護措置が必要となります。

放射性廃棄物は非密封放射性同位元素によって汚染された物です。放射性汚染物の汚染を除去（除染）すると、汚染除去の行為によって発生したものは、二次放射性汚染物として取り扱います。極めて低濃度の気体状・液体状の放射性廃棄物は、法令に定める排気中あるいは排水中の放射性同位元素の種類に対する濃度限度以下であれば放射線利用施設の排気・排水設備から一般環境に放出できます。

環境管理

❖ 環境の放射線管理の目的

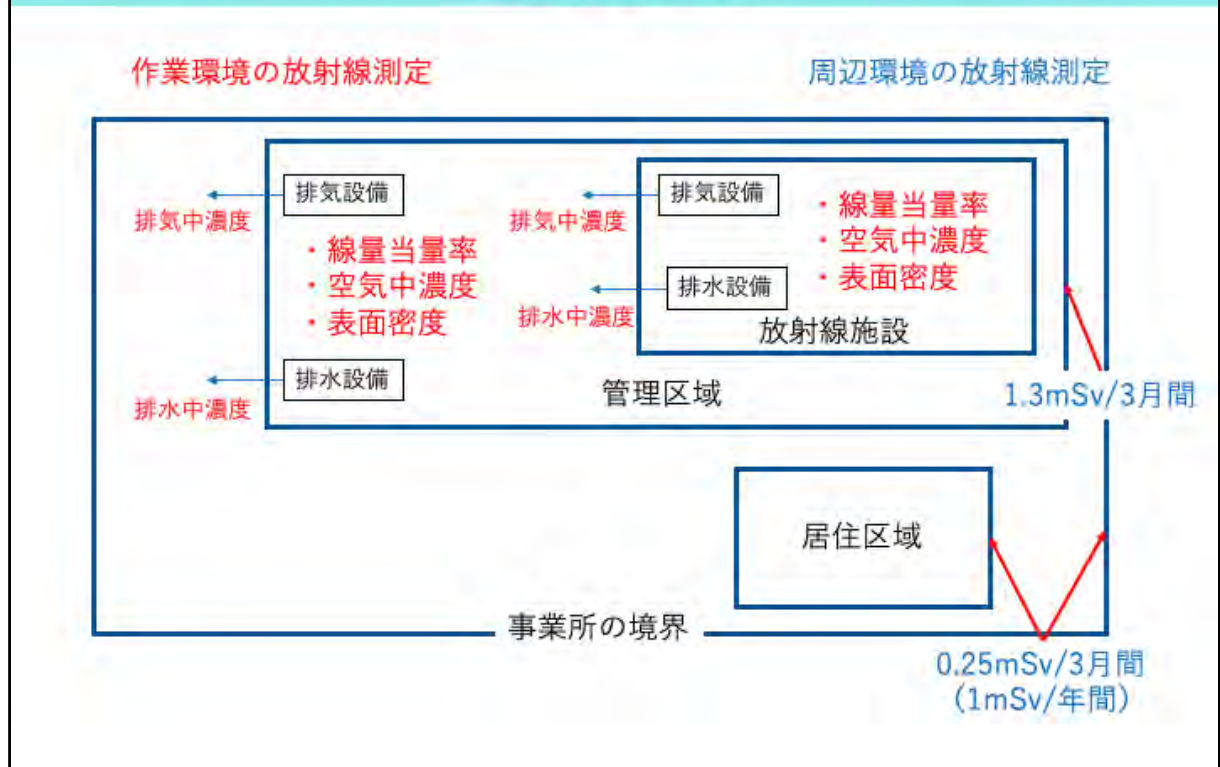
- ◇ 放射線障害の防止；放射線作業従事者等の作業環境の管理
 - 放射線管理区域とその境界の放射線管理
- ◇ 公共の安全確保；公衆が生活する一般環境の保全のための管理
 - 公衆の生活圏の境界における線量が公衆の被ばく線量限度(1mSv/年) を超えないようにする

❖ 放射線の測定

- ◇ 放射線の量；管理区域とその境界および事業所の境界の線量当量率または線量当量
- ◇ 空気汚染；管理区域特に作業室および排気設備の排気口における空気中および排気中の放射性同位元素の濃度
- ◇ 水汚染；排水設備から排出する放射性廃液中の放射性同位元素の濃度
- ◇ 表面汚染；管理区域とその境界および持ち出し物品等の表面の放射性同位元素の密度

放射線の防護・安全に関わる放射線管理の目的は、放射線障害の防止と公共の安全確保です。放射線障害防止とは放射線業務従事者の作業環境の管理で、放射線施設、特に管理区域とその境界の放射線管理です。公共の安全確保とは公衆の生活する一般環境の保全のための管理で、公衆の生活圏の境界における線量が、公衆の被ばく限度（1mSv/年）を越えないようにすることです。放射線量のモニタリングの場所は、管理区域内、管理区域境界、事業所の境界になります。空気汚染については、管理区域特に作業室および排気設備の排気口における空気中および排気中の放射性同位元素の濃度を測定します。水汚染については、排水設備から排出する放射性廃液中の放射性同位元素の濃度を測定します。表面汚染については管理区域とその境界および持ち出し物品等の表面の放射性同位元素の密度を測定します。

非密封放射性同位元素を取扱う施設 の安全管理



管理区域には、密封放射性同位元素のみを取り扱う施設のように放射線の管理のみを行う区域と、非密封放射性同位元素を取り扱う施設のように放射線と汚染の管理を行う区域があります。

非密封放射性同位元素を取り扱う施設では、汚染の管理として床、物品などの表面密度、空气中的放射性同位元素の濃度の管理を行います。表面汚染は、直接法であるサーベイ法（直接物品の表面を測定）と間接法であるスミア法（物品の表面をろ紙等でぬぐい、ろ紙等を測定）があります。

上図は、非密封放射性同位元素を取り扱う施設での作業環境および周辺環境の測定について示しています。

放射線管理区域は、外部放射線量が実効線量で3月間につき1.3mSvを声、3月間についての空气中的放射性同位元素の平均濃度が告示別表第2、第4欄に示す濃度限度の1/10を超え、表面密度限度の1/10を超えるおそれのある場所と定められています。

個人管理

❖ 被ばく線量の管理

- ◇ 個人モニタリング
- ◇ 外部被ばく線量の測定
 - ◆ 個人線量計による測定
 - ◆ 個人線量計の着用部位；男子は原則として胸部、女子は原則として腹部
- ◇ 内部被ばく線量の測定
 - ◆ 体外計測法、バイオアッセイ法、空气中濃度計算法
 - ◆ 吸入摂取、経口摂取した場合またはそのおそれのある場所に立ち入る者に3月を越えない期間ごとに実施

❖ 管理区域への入退域の時刻等の記録

❖ 健康診断

- ◇ 初めて管理区域に立ち入る前の健康診断
- ◇ 管理区域に立ち入った後に定期的健康診断
- ◇ 問診と検査または検診（放射線障害防止法と労働安全衛生法で異なる）

❖ 教育・訓練

- ◇ 放射性同位元素等の取扱業務に従事する者が、取扱技術を習得し、管理区域における作業習慣を会得するため

放射線障害防止法では、「放射性同位元素等の取扱い、管理またはこれに付随する業務」であり、厚生労働省令や人事院規則ではそのほかX線装置の使用・検査、原子炉の運転なども含む業務が放射線業務です。

事業所の所長は放射線業務従事者、取扱い等の業務従事者になろうとする者に教育・訓練および健康診断を受けさせます。管理区域立入後は健康診断を一定期間ごとに、また教育・訓練（再教育）を前回の教育訓練を行った日の属する年度の翌年度の開始日から1年以内に受けさせます。

管理区域に立ち入る者は、入退域の時刻等を記録し、管理区域で受けた放射線の量を外部被ばく線量と内部被ばく線量として測定します。

記帳・記録

- ❖ 目的；現在さらに将来の状況の想定・評価に役立たせる
- ❖ 基本的な記帳・記録の種類
 - ◇ 個人（放射線業務従事者）
 - ◆ 健康診断の記録 永年保存
 - ◆ 被ばく線量の測定記録 永年保存
 - ◆ 教育・訓練の記録 1年ごとに閉鎖、5年間保存
 - ◇ 線源（放射性同位元素、放射線発生装置） 1年ごとに閉鎖、5年間保存
 - ◆ 放射性同位元素の受入れ、保管、使用、運搬、廃棄、払い出し
 - ◆ 放射性発生装置の使用
 - ◇ 環境（放射線施設の内外） 1年ごとに閉鎖、5年間保存
 - ◆ 放射線の量、汚染の状況（表面の放射性同位元素の密度）
 - ◆ 排気中、排水中の放射性同位元素の濃度
 - ◆ 放射線施設の点検及び保守・管理

記帳・記録の目的は、単に過去の事実を書き記し、集積するのではなく、現在さらに将来の状況の想定・評価に役立たせることにあります。

基本的な記帳・記録の種類は、下記の通りです。

個人（放射線業務従事者）

健康診断の記録 永年保存

被ばく線量の測定記録 永年保存

教育・訓練の記録 1年ごとに閉鎖、5年間保存

線源（放射性同位元素、放射線発生装置） 1年ごとに閉鎖、5年間保存

放射性同位元素の受入れ、保管、使用、運搬、廃棄、払い出し

放射性発生装置の使用

環境（放射線施設の内外） 1年ごとに閉鎖、5年間保存

放射線の量、汚染の状況（表面の放射性同位元素の密度）

排気中、排水中の放射性同位元素の濃度

放射線施設の点検及び保守・管理

健康診断

❖ 実施時期

放射線障害防止法	労働安全衛生法（電離則）・人事院規則
1年を越えない期間ごと	6月以内ごとに

❖ 初めて管理区域に立ち入る前

- ◇ 問診；放射線の被ばく歴の有無
- ◇ 検査または検診；末梢血の白血球数、白血球百分率、赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値、白内障（眼）の検査、皮膚の検査

❖ 定期的健康診断

- ◇ 問診；放射線の被ばく歴の有無
- ◇ 検査または検診；末梢血の白血球数、白血球百分率、赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値、白内障（眼）の検査、皮膚の検査
- ◇ 医師の判断等
 - ◆ 検査または検診の項目については、医師が必要と認める場合に限り実施する。（放射線障害防止法）
 - ◆ 検査または検診の全部または一部を省略することができる。（労働安全衛生法）

放射線の取り扱いにかかる業務に就く場合には、放射線障害防止法、労働安全衛生法および人事院規則の法令により特定の健康診断を受診することが義務付けられています。

実施時期は、放射線障害防止法では1年を越えない期間ごと、労働安全衛生法（電離則）・人事院規則では6月以内ごととされています。

健康診断の内容は、初めて管理区域に立ち入る前に行う者では、放射線の被ばく歴の有無、末梢血の白血球数、白血球百分率、赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値、白内障（眼）の検査、皮膚の検査を行います。定期健康診断では、初めて管理区域に立ち入る前に実施する健康診断の項目と変わりないですが、放射線障害防止法では、問診以外は医師の判断により必要と認める場合に限り実施するようになっています。

教育・訓練

❖ 教育及び訓練の項目と時間数

	放射線の人体に与える影響	放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取扱い	放射線障害の防止に関する法令及び放射線障害予防規程
放射線業務従事者	30分	1時間	30分
取扱等業務従事者			

平成30年原子力規制委員会告示第1号

事業者等は、管理区域に立ち入る者および放射性物質あるいは放射線発生装置の取り扱い業務に従事する者に対して、次の項目の教育訓練を行わなければならない。

- (1) 放射線の人体に与える影響
- (2) 放射性同位元素等または放射線発生装置の安全な取扱い
- (3) 放射線障害の防止に関する法令及び放射線障害予防規程

教育訓練の時期は、放射線業務従事者に対しては、管理区域に初めて立ち入る前、および立ち入った後では前回の教育訓練を行った日の属する年度の翌年度の開始日から1年以内に行います。取り扱い等の業務従事者には、取り扱い等の業務を開始する前、および開始後では前回の教育訓練を行った日の属する年度の翌年度の開始日から1年以内に行います。

教育訓練の時間数を上記の表に示しています。

このように放射線業務従事者あるいは放射性物質の取り扱いの業務従事者は、放射線の人体影響や放射線障害予防規程などの知識と技術を有しています。

緊急時・危険時の対応

- ❖ 事業所で被ばく患者が発生した場合には、放射線管理要員は、以下のことに協力する。
 - ◇ 被ばく患者の身体汚染検査
 - ◇ 除染及び被ばく線量の測定
 - ◇ 医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止及び汚染検査
- ❖ 被ばく患者、搬送機関関係者、医療関係者、処置室、搬送車両等（船舶及び航空機を含む。）の汚染の拡大防止措置等（養生など）を含めた放射線管理に必要な措置を行い、事業者を含む関係機関に汚染の有無を報告する。
- ❖ 患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況に関する情報を搬送先の医療機関に提供する。

事業所で被ばく患者が発生した場合には、放射線管理要員は、被ばく患者の身体汚染検査、除染および被ばく線量の測定、医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止および汚染検査に協力します。さらに、被ばく患者、搬送機関関係者、医療関係者、処置室、搬送車両等（船舶及び航空機を含む。）の汚染の拡大防止措置等（養生など）を含めた放射線管理に必要な措置を行い、事業者を含む関係機関に汚染の有無を報告します。

また、患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況に関する情報を搬送先の医療機関に提供します。

医療処置と放射線管理

- ❖ 医療機関で被ばく患者を受け入れる場合は、放射線管理要員として、その医療機関が放射性同位元素等を取扱う医療機関であれば、放射線施設責任者あるいは放射線管理を担当している者または診療放射線技師がその役割を担うことが望ましい。
- ❖ 蘇生や救命処置は最優先であり、被ばく患者の傷病の状態を勘案して、できる限りの汚染拡大防止措置を講じる。
 - ◇ 患者受入れ時の放射線管理は、規制法に基づく平常時の管理ではなく「災害・事故対応の一部」でもある。
 - ◇ 管理区域からの退出基準；平常時であれば電離則第31条、十分な実績、治療法が確立している内用療法では退出基準がある。
- ❖ 被ばく患者対応をした医療チームや施設の放射線管理も担当する。
 - ◇ ホットゾーン等で処置した医療従事者の汚染検査、放射性廃棄物の管理、施設等の汚染検査など

医療機関で被ばく患者を受け入れる場合、その医療機関が放射線等を取り扱う施設でもある場合は、放射線施設の責任者や放射線管理を担当する者、診療放射線技師など、放射線管理、放射線防護、放射線計測を理解している職員が、被ばく医療の放射線管理の役割を担うことが望ましいです。また、事業所から随行してきた放射線管理要員との調整、協力も必要です。汚染または被ばくした患者を受け入れる際には通常状態ではないので、通常法放射線管理とは違うことを認識する必要があります。医療処置を行う際には、蘇生や救命処置は最優先であり、被ばく患者の傷病の状態を勘案して、できる限りの汚染拡大防止措置を講じる必要があります。そのためには、災害・事故対応、医療処置やその他の対応との連携、調整が大切です。また、管理区域からの退出基準は、平常時であれば電離則第31条、十分な実績、治療法が確立している内用療法では退出基準があります。被ばく医療では、傷病者の状態や必要な処置を勘案して、このような基準を参考に対応します。

まとめ

- ❖ 放射線を取扱う施設、事業所では、放射線管理を実施します。
- ❖ 放射線管理とは、放射線を安全かつ有効に利用するための適切な施設・設備を設け、また正しく使用することによって作業員の被ばくを可能な限り低減し、さらには事業所外の一般公衆の安全を確保することを目的とします。
- ❖ 事故等で被ばく患者が発生した場合には、放射線管理要員が汚染検査、除染等の汚染拡大防止措置、医療機関等への情報提供、処置等に協力します。
- ❖ 医療機関で被ばく患者を受け入れる場合は、放射線管理要員として、その医療機関が放射性同位元素等を取扱う医療機関であれば、放射線施設責任者あるいは放射線管理を担当している者または診療放射線技師がその役割を担うことが望ましいです。

原子力災害事例

原子力災害 被ばく医療 専門研修
被ばく医療-7

時間；30分

内容

- 国際原子力事象評価尺度
- 放射線事故件数と影響
- 代表的な事故
- ウラン加工工場臨界事故
- 東京電力福島第一原子力発電所事故

国際原子力事象評価尺度 INES: International Nuclear Event Scale

- ❖ 国際原子力機関 (IAEA) 及び経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) により制定 (1992年より採用)
- ❖ 放射線源に関連して発生した事象が公衆の安全にどの程度の意味を持つのか迅速かつ一貫して伝えるための指標



国際原子力事象評価尺度 (International Nuclear and Radiological Event Scale ; INES) とは、国際原子力機関(IAEA)及び経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA)により制定された、原子力施設等の異常や事故の共通評価を目的とした指標です。

7つのカテゴリーに分類されます。福島第一原子力発電所事故は、放射性物質の放出量から最も深刻なレベル7 (暫定評価) と判断されています。また、ウラン加工工場臨界事故は、レベル4 と判断されています。

カテゴリー

レベル0 (尺度未満) ; 安全上の問題がない

レベル1 (逸脱) ; 年間許容量の超過に伴う被ばく

レベル2 (異常事象) ; 10mSVを超える公衆の被ばく / 放射線作業従事者の被ばく限度 (1年間) 超過

レベル3 (重大な異常事象) ; 従事者が年間許容量の10倍を被ばく / 放射線からの非致死の確定的影響

レベル4 (局地的な影響を伴う事故) ; 地域の食品制限以外には計画的封鎖等を必要としない軽微な放射性物質の放出

レベル5 (広範囲への影響を伴う事故) ; 計画的封鎖が必要な限られた量の放射性物質の放出

レベル6 (重大な事故) ; 計画的な封鎖が必要となる相当量の放射性物質の放出

レベル7（深刻な事故）；広範囲に及ぶ健康と環境への影響を伴った放射性物質の深刻な放出（計画的、広域封鎖が必要）

出典；放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成29年度版)

原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書(2011年6月) より作成

放射線事故件数と影響

事故分類	1945-1965		1966-1986		1987-2007		合計	
	死亡	早期影響	死亡	早期影響	死亡	早期影響	死亡	早期影響
原子力施設	13	42	34	123	3	2	50	167
	19件		12件		4件		35件	
産業施設	0	8	3	61	6	51	9	119
	2件		50件		28件		80件	
身元不明線源	7	5	19	98	16	205	42	308
	3件		15件		16件		34件	
学術/研究作業	0	2	0	22	0	56	0	29
	2件		16件		4件		22件	
医療利用	不明	不明	4	470	42	153	46	623
	不明		18件		14件		32件	

UNSCEAR2008

1945年から2007年までの放射線事故のうち、死亡や影響が発生した件数を示しています。

最も多いのは、産業施設の事故ですが、原子力施設の事故も35件発生しています。しかし、件数は年々減少しています。

代表的な核兵器関連事故

臨界事故

発生年	発生国/施設	概要
1945 1946	アメリカ ロスアラモス研究所	デーモン・コア事故。安全でない実験操作による臨界 2名が被ばくし1名が死亡 8名が被ばくし1名が死亡
1957	旧ソ連 マヤーク核技術施設	ウラル核惨事（キシテム事故） 核分裂性物質タンクの不適切な配置により臨界 発熱によるタンク爆発で大量の放射性物質が環境に放出 6名の作業員が被ばくし、1名が死亡。INES 6
1961	アメリカ SL-1炉	炉の制御棒を素早く手で引き抜いたため臨界 炉の水蒸気爆発により3名死亡
1964	アメリカ ウッドリバージャンク シオン化学処理工場	人的ミスにより高濃度ウラン溶液を容器に注入 作業員3名被ばく、1名が死亡

環境への放出と住民への著しい被ばくの可能性を伴う事故

1957	イギリス ウインズケール原子炉	火災によりI-131 740TBq ほか放射性物質の放出 INES 5
------	--------------------	--

核兵器関連の事故として臨界事故があります。全ての事故で死亡者が発生しています。

代表的な核兵器非関連事故

臨界事故

発生年	発生国/施設	概要
1983	アルゼンチン コンステイユエンス 原子力研究センター	臨界実験装置 RA-2 核分裂性物質が入ったタンクから水を排出する際 の操作ミスにより臨界状態となり、1名が死亡
1999	日本 東海村JCO	核燃料加工施設における非正規手順の作業によ って発生 3名が被ばく、2名が死亡。INES 4

環境への放出と住民への著しい被ばくの可能性を伴う事故

1979	アメリカ スリーマイル島原発	原子炉の水位が低かったため燃料に深刻な障害 550GBqのI-131が環境中に放出 一部住民避難を余儀なくされた。INES 5
1986	旧ソ連 チェルノブイリ原発	運転規定違反、安全手順不履行、設計不具合など複 合要因によって発生。28名が急性放射線障害で死亡 1760PBqのI-131ほか大量の放射線物質が放出。INES 7
2011	日本 東電福島第一原発	大地震に引き続く津波により全電源喪失 冷却機能喪失により炉心溶融 120PBqのI-131ほか大量の放射線物質が放出。INES 7

核兵器には関連しない臨界事故もあります。その一つが日本で1999年に発生したウラン加工工場臨界事故です。この事故の詳細は後述します。

これまで住民への著しい被ばくの可能性を伴う事故として、米国スリーマイル島原発事故、旧ソ連チェルノブイリ原発事故、日本東電福島第一原発事故があります。東電福島第一事故については後述します。

ウラン加工工場臨界事故 1999年 茨城県東海村

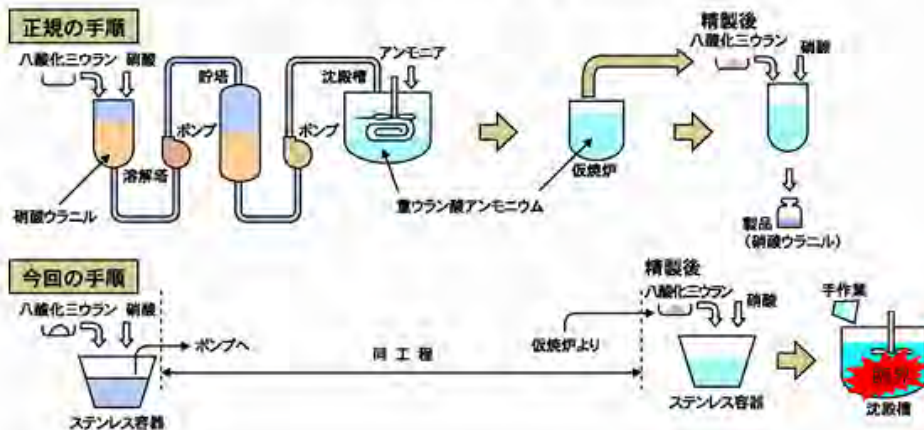
ウラン加工工場臨界事故は、1999年茨城県東海村で発生しました。

事故概要

正規工程を全く無視した手順：
バケツでウランを溶かして沈殿槽に流し込んでいた



ウラン溶液濃度が臨界量を超えた(濃度18.8%)



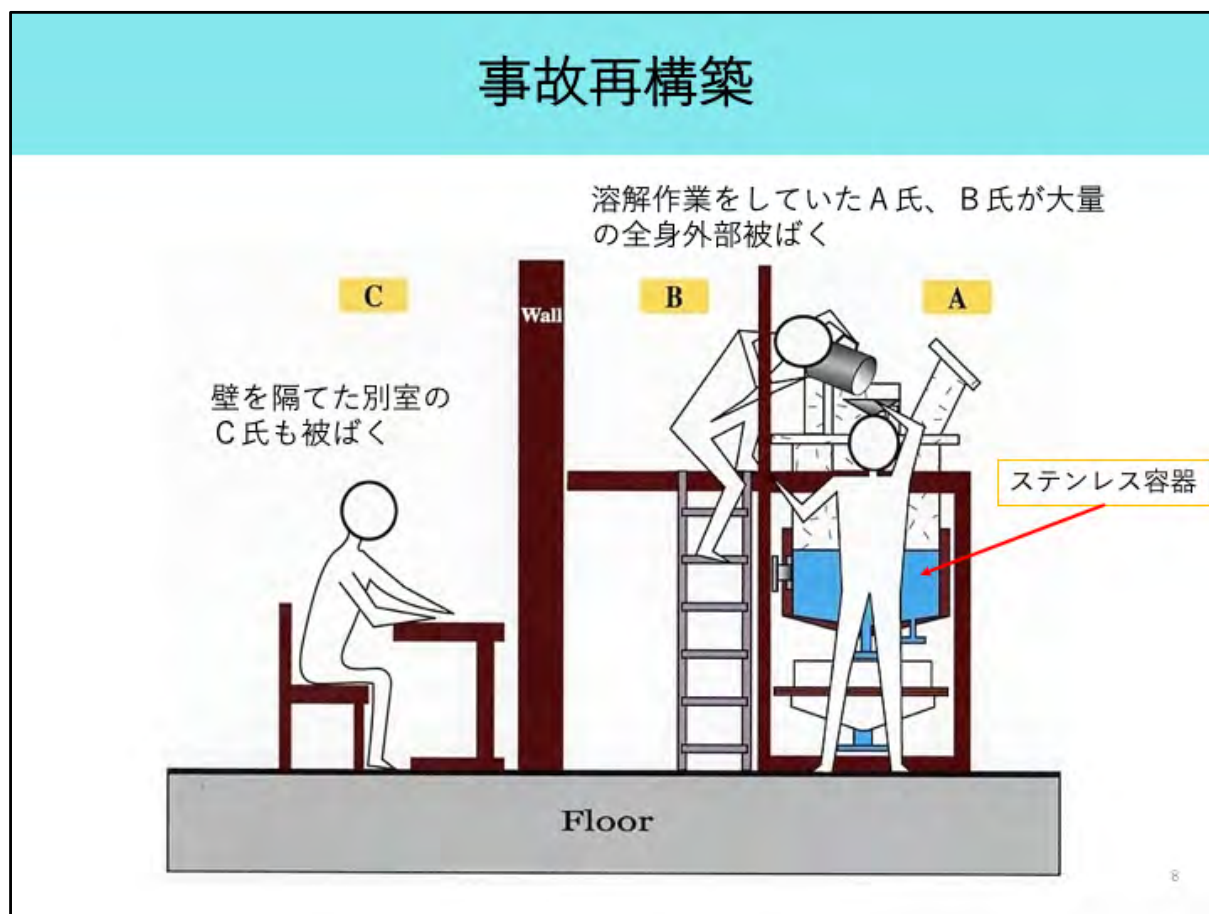
1999年9月30日午前10時35分、茨城県の原子力施設が集中する地域で、高濃度ウラン燃料の加工をしていた工場（茨城県東海村（株）JCO東海事業所 **転換試験棟**）で国内初の臨界事故が発生しました。

事故発生原因は国に提出し認められたマニュアルを改ざんし、さらに発災前日に変えていたためです。臨界条件を避けることを目的に設計された溶解タンクとバッファコラムを用いずに高速増殖炉常陽向け濃縮ウラン(18.8%の²³⁵U)の塊を硝酸の入ったバケツで溶かしては直接沈殿槽に注いでいました。

通常はウランの濃縮度が3～5%の商業用原子炉向け燃料を扱っている為、問題とはなっていませんでした。

この事故で作業員3名が重度の被ばくをし、内2名が死亡しました。周辺住民なども多数被ばくしました。

事故再構築



1999年9月30日の午前10：35分頃、溶解槽内の溶液が約40ℓに達しました。これはウラン16kgに相当し、臨界量です。そのため臨界状態を発生させやすい形状と構造の容器に、大量のウラン235が入ったことで、小型原子炉が臨時に設置されたのと同じ状態になり、その瞬間、核分裂連鎖反応が始まり、大量のγ線と中性子線の放出が始まりました。

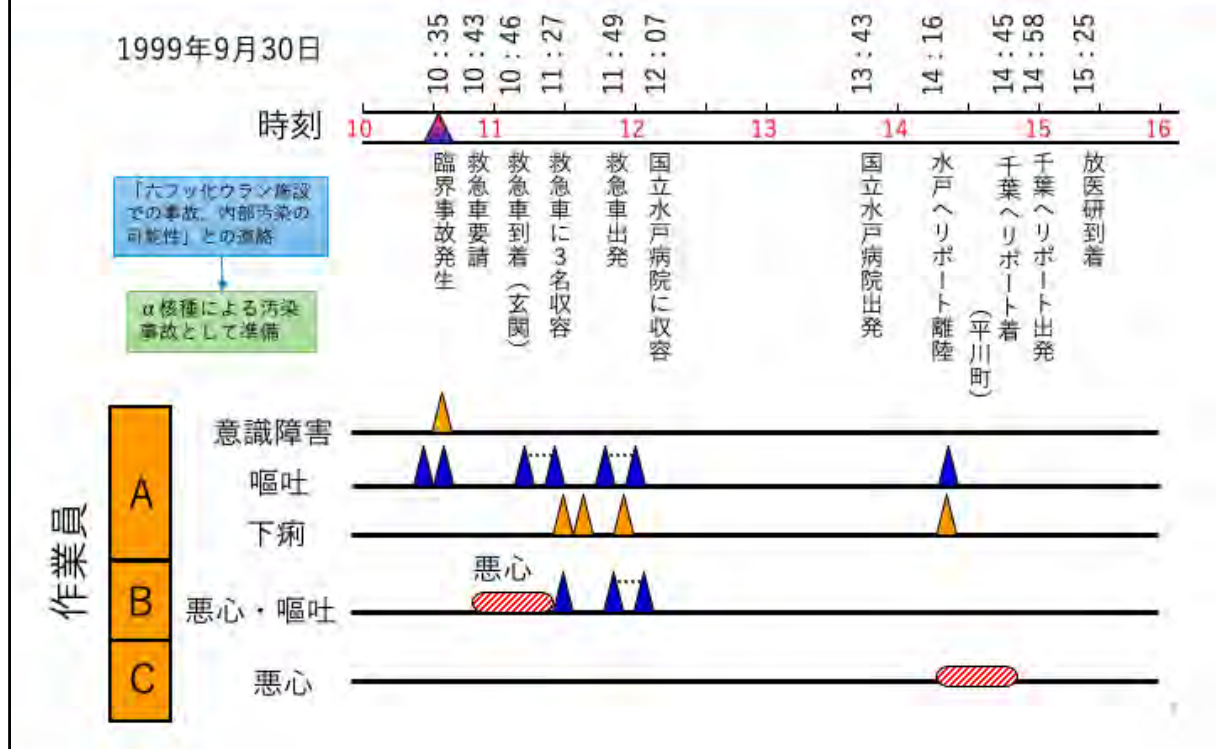
1999年10月1日午前8時50分 臨界から約20時間後に臨界は終息しました。

施設から350m以内に住む161人が避難を命じられ、10km圏内31万人が約18時間屋内に滞在するようにアドバイスされました。

臨界発生時の状況です。

ステンレス容器内でウラン溶液濃度が臨界量を超えたため、大量の中性子が発生し、3名の作業員が被ばくしました。特にステンレス容器の前に立っていたA氏の被ばく線量が最も高く、次にB氏となりました。C氏は壁を隔てた別室にいたため、被ばく線量が最も低かったです。

前駆症状



臨界事故は1999年9月30日10:35に発生しました。3名の作業員の前駆症状の臨床経過を示しています。最も被ばく線量が高いA氏は被ばく後すぐに一時的な意識障害と嘔吐の症状が出現しています。また、1時間後には下痢の症状も出現しています。

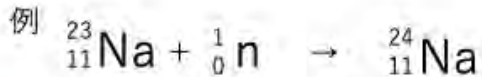
B氏は被ばくから数十分後に悪心を訴え、約1時間後に嘔吐の症状が出現しました。C氏は被ばくから約4時間後に悪心の症状を訴えていました。

この事故は、当初地元の消防署に「転換棟での事故」の通報だったため、「てんかんで人が倒れた」と認識してしまい、当初、消防は放射線の事故だと認識していませんでした。また、放医研へも「東海村ウラン加工施設から放医研に患者搬送」「六フッ化ウラン施設での事故、内部汚染の可能性」との連絡であったことからアルファ核種による汚染事故として受け入れの準備をしました。

放射化

もともとは放射能がない同位体が放射線を受けることによって放射性同位体に変化すること

とくに電荷を持たず運動エネルギーの小さい熱中性子は容易に原子核に接近し核反応を起こす



放射化により人体中で生成される放射性同位元素

${}^{24}\text{Na}$ 、 ${}^{42}\text{K}$ 、 ${}^{32}\text{P}$ 、 ${}^{82}\text{Br}$

${}^{32}\text{P}$ は γ 線を放出せず周辺の要員への被ばくには寄与しない

表面汚染検査 (表面汚染はないが、放射化した放射性同位元素による γ 線を検出する)

- GMサーベイメータ：メータの指針が振り切れる
- α 線サーベイメータ：バックグランドレベル

患者の吐瀉物 $\rightarrow {}^{24}\text{Na}$, ${}^{42}\text{K}$ } などが検出された
患者の所持品 $\rightarrow {}^{24}\text{Na}$, ${}^{56}\text{Mn}$, ${}^{198}\text{Au}$ } \Rightarrow 中性子線の被ばくがあったことの示唆
※血漿中 ${}^{24}\text{Na}$ 濃度は中性子線被ばく量推定に用いられる

もともとは放射能がない同位体が放射線を受けることによって放射性同位体に変化することを放射化と言います。

臨界事故で発生した中性子は、核反応を起こし、体内の Na-23 が Na-24 となり、 γ 線を放出します。体内のナトリウムは血液中に存在するため、全身に分布しています。このため、表面汚染検査で、表面汚染はないが、放射化した放射性同位元素によるガンマ線を検出することになります。

また、吐瀉物や所持品から放射化した同位元素を検出したことから、中性子線の被ばくが示唆されました。

血漿中の Na-24 濃度は中性子線被ばく量推定に用いられました。

病室エリア測定記録



❖ 測定日：
平成11年10月01日（金）09:40

❖ 測定器：
NaI(Tl)シンチレーションサーベ
イメーター
（アロカTCS-161）

❖ 単位：μSv/hr

患者体内のNa-23が中性子により放射化
されNa-24が生成されている

患者から最大12 kcpm（GM管）を検出
（α線は陰性）

放射化したNa-24からガンマ線が放出されるため、被ばくした作業員の周囲の空間線量率も上昇しました。翌日の病室周辺の測定結果を示しています。

Na-24が1MBq存在する場合、1m離れた場所での線量率は0.429μSv/hとなります。

A氏はNa-24が約6MBqでした。また、Na-24の実効半減期は14.1時間です。これから計算すると、

【事故直後のA氏から1mの位置での線量率】

$0.429 \mu\text{Sv/h} \times 6\text{MBq} = 2.6 \mu\text{Sv/h}$ となります。

これは、事故23時間後に測定した患者周辺の線量率と合致します。

このことから、患者から1mの位置にいる対応者の線量は3時間で10μSv以下です。搬送対応者、医療従事者の被ばく線量としては、健康に影響を与える値ではないことが予想されます。

出典；放射線医学総合研究所「東海村ウラン加工工場臨界事故に関する放医研報告書NIRS-M-143」（平成13年1月）

臨床経過

	A氏	B氏	C氏
推定被ばく線量	10 - 20 GyEq	6 - 10 GyEq	1.2 - 5.5 GyEq
被ばく直後	嘔吐、下痢、意識消失	嘔吐、下痢、意識消失	吐き気
3日後	リンパ球が0になる		血球細胞減少に対し無菌管理、輸血等
7日後	骨髄移植 人工呼吸開始 皮膚障害悪化	リンパ球が0になる	
10日後		骨髄移植	
3週間後		皮膚障害が悪化	血球細胞数が回復に転じる
4週間後	下痢の重症化		無菌室退室
7週間後	消化管出血増悪		
83日後	多臓器不全により死亡		
3ヶ月後			退院
21週間後		消化管出血増悪	
211日後		多臓器不全により死亡	

作業員3名の臨床経過をします。

骨髄障害に対して、A氏には、抹消幹細胞移植が実施されました。C氏には、サイトカインが投与されました。

A氏は83日後、B氏は211日後に多臓器不全により死亡しました。C氏は、骨髄障害は回復し、3ヶ月後に退院しました。

環境放射線モニタリング

- ❖ 一般住民の健康や環境に影響を及ぼすものではないと判断された。
- ❖ 周辺で放射化生成物(Na-24など)やガス状核分裂生成物が微量に検出されるも粒子状物質は検出されず。
- ❖ 施設周辺の地表面、民家、農産物等のサーベイはBレベル
- ❖ ガンマ線積算線量: 300 m 地点で270 μ Gy

周辺住民の個人線量推定

実効線量 (mSv)	東海村住民 (職員除く)	那珂町住民 (当時)	職員	合計
～5	77	24	78	179
5～10	7	0	8	15
10～15	4	0	0	4
15～20	0	0	0	0
20～25	1	0	0	1
合計	89	24	86	199

環境放射線モニタリングでは、周辺で放射化生成物(Na-24など)やガス状核分裂生成物が微量に検出されるも粒子状物質は検出されていません。また、一般住民の健康や環境に影響を及ぼすものではないと判断されました。これは臨界事故なので、放射性物質の放出による汚染は全く生じません。

出典:National Institute of Radiological Sciences 2002 NIRS M-154

被ばく線量

分類	人数	備考
従業員	事故発生時に作業に従事していた者	3 24.5GyEq (83日後に死亡)、8.3GyEq (211日後に死亡)、3.0GyEq (治療後退院)
	水抜き作業等に従事した者	18 ホールボディカウンタ、線量計で検出。3.8~48mSv
	ホウ酸水注入に従事した者	6 線量計等で検出。0.7~3.5mSv
	その他事故時に敷地内にいた者	49 ホールボディカウンタ、フィルムバッチで検出。0.6~48mSv
		96 敷地内の端の線量評価とJCOが実施した個人行動調査から推定。0.06~17mSv
防災業務関係者	政府関係機関 (原研、サイクル機構の職員)	57 フィルムバッチ、TLDで測定した206名のうち、56名から検出。0.1~9.2mSv
	消防職員 (事故発生時に救助に従事)	3 ホールボディカウンタで検出。4.6~9.4mSv
	自治体関係者	167 行動調査に基づき推定。0.0002~7.2mSv
	国の関係者	8 行動調査に基づき推定。0.49~2.1mSv
	報道関係者	26 行動調査に基づき推定。0.014~2.6mSv
周辺住民等	実測で線量が評価された者	7 ホールボディカウンタで検出。6.7~16mSv
	居住または勤務する者	199 行動調査に基づき推定。0.01~21mSv
	一時滞在者	28 行動調査に基づき推定。0.01~3.6mSv

出典：第83回原子力安全委員会資料第4号

周辺住民や事故終息に従事した作業員、防災業務関係者等の被ばく線量をフィルムバッチ、ホールボディカウンタ、行動調査に基づいて線量推定しています。その結果を示しています。

社会的影響と風評被害

社会的影響

- ❖ 日常生活関連業務への影響
 - ◇ 10km圏内のスーパー、金融機関、ガソリンスタンド等が営業見合わせ
- ❖ 交通機関等への影響
 - ◇ JR常磐線水戸～日立間運行停止
 - ◇ 常磐自動車道、JCO周辺道路の交通規制
 - ◇ 10km圏内のバス、私鉄等運休
- ❖ 学校・公共施設への影響
 - ◇ 学校230校が休校
 - ◇ 公立の社会福祉施設等67施設が休館

風評被害

- ❖ 農畜産物への影響
 - ◇ 米：533トン、1億3600万円分が出荷停止
 - ◇ 青果物：一時取り引き停止、単価下落
 - ◇ 畜産物：乳業メーカー取引停止、芝浦市場で半径10km以内の豚肉・牛肉の入荷拒否
 - ◇ 水産物：シラス操業停止、消費地市場や量販店で受け入れを拒否
- ❖ 商工業への影響
 - ◇ 売上減少、取引停止、製品の返品など
- ❖ 観光への影響
 - ◇ 観光施設の予約キャンセル（1ヶ月間で17,000名以上）

この事故では、様々な社会的影響がありました。10km圏内のスーパーや金融機関、ガソリンスタンドが営業を見合わせたり、交通規制、バス私鉄等の運休、学校の急行や社会福祉施設等の休館がありました。

汚染を伴う事故ではありませんでしたが、農畜産物、商工業、観光への風評被害もありました。

原子力安全・防災対策

- ❖ 原子力安全規制の抜本的強化と原子力災害に係わる防災対策について、平成11年12月13日に「原子炉等規制法」の一部改正と「原子力災害対策特別措置法」が成立
- ❖ 緊急被ばく医療体制の整備
 - ◇ 「緊急被ばく医療のあり方について」（平成13年6月（平成20年10月一部改定）原子力安全委員会 原子力施設等防災部会
 - ◆ 命の視点を最重要視し、包括的かつ一元的な緊急被ばく医療のあり方とその具体的な対策を取りまとめ
 - ◆ 原子力事業所の従事者と周辺住民等を分け隔てなく、平等に治療する共通認識の確認
 - ◆ 緊急被ばく医療に関わるすべての関係者が適切な研修及び訓練を受けることにより、被ばく患者の診療に際し不安を感じずに、円滑かつ迅速に患者を診療できる具体的体制を提言
 - ◆ 原子力関連施設での事象に限らず、放射性物質が関係した緊急事態をも視野に入れて策定

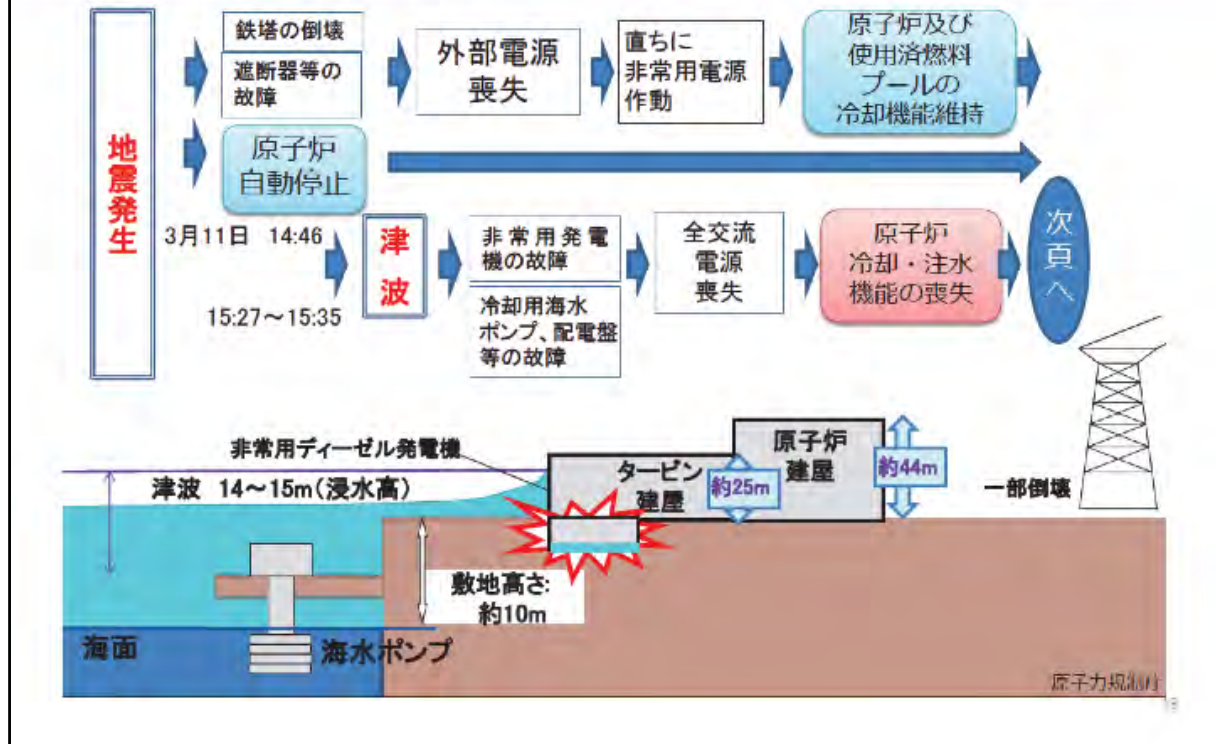
この臨界事故後に原子力安全規制の抜本的強化と原子力災害に係わる防災対策について、平成11年12月13日に「原子炉等規制法」の一部改正と「原子力災害対策特別措置法」が成立しています。また、医療体制も緊急被ばく医療体制が整備され、「緊急被ばく医療のあり方について」（平成13年6月（平成20年10月一部改定）原子力安全委員会 原子力施設等防災部会）が示されています。この中で、緊急被ばく医療に関わるすべての関係者が適切な研修及び訓練を受けることにより、被ばく患者の診療に際し不安を感じずに、円滑かつ迅速に患者を診療できる具体的体制、原子力関連施設での事象に限らず、放射性物質が関係した緊急事態をも視野に入れて策定することを提言しています。

その後、19道府県に緊急被ばく医療体制が整備されました。

東京電力 福島第一原子力発電所事故 2011年 福島県

2011年3月11日14:46に三陸沖でマグニチュード9.0の地震が発生し、東北地方を中心に地震、津波等による大規模な被害が発生しました。

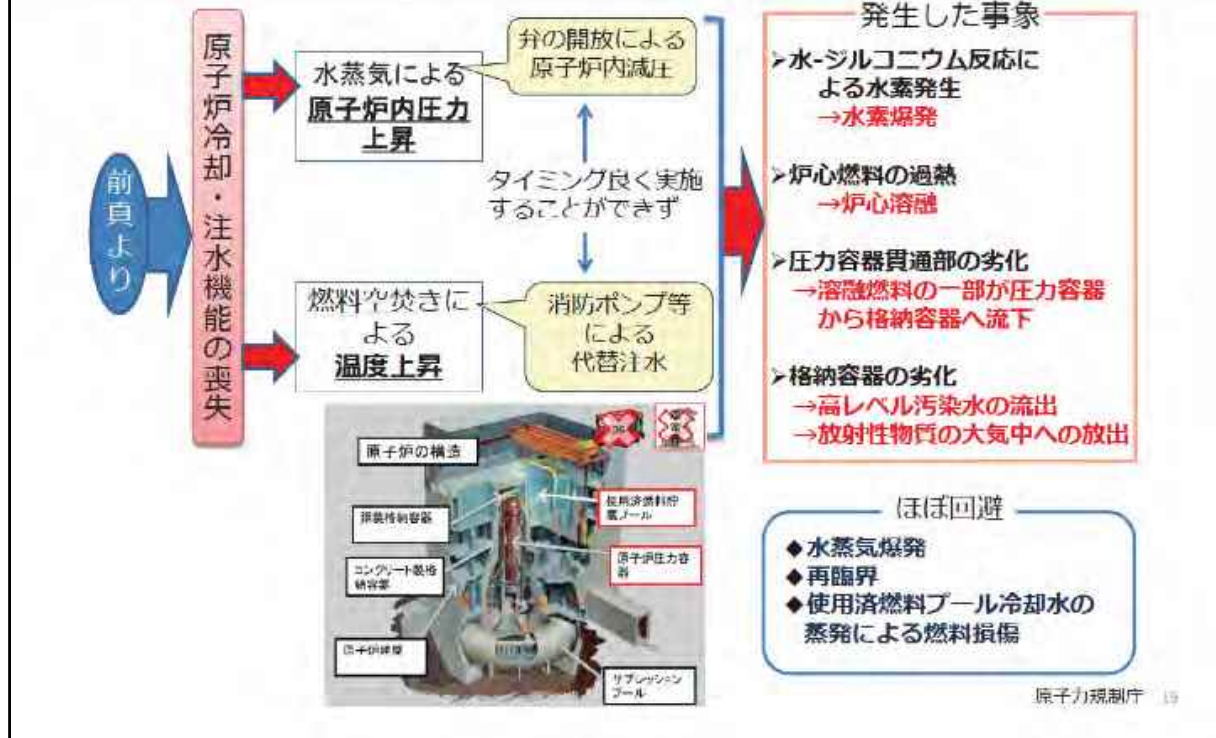
事故の経過



地震発生直後、運転中であった東京電力福島第一原子力発電所の1～3号機は全ての原子炉が自動停止しました。また、送電鉄塔の倒壊等により外部電源が喪失したため、非常用ディーゼル発電機が自動起動しました。しかし、その後の津波の襲来によって非常ディーゼル発電機や配電盤等が被水、冠水したため、6号機を除いて全ての交流電源が喪失し、冷却用の海水ポンプも機能を失いました。その結果、1号機では原子炉を冷却する機能が喪失し、2号機、3号機では、交流電源がなくても駆動できる冷却設備でしばらく原子炉を冷却していましたが、やがてこれらも停止しました。

出典:放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成28年度版)を改変

事故の経過



炉心への注水が停止したことにより原子炉水位が低下して、燃料が露出しました。その結果、炉心溶融が始まり、圧力容器が損傷したと考えられます。格納容器では、炉心損傷の影響で高温・高圧状態となり、閉じ込め機能が劣化し、格納容器の外に通じる配管貫通部等に隙間が生じました。冷却のために原子炉へ注水した水が圧力容器や格納容器から漏洩し、大量の高レベル汚染水が原子炉建屋地下やタービン建屋地下に滞留し、さらにその一部は海洋へ流出しました。圧力容器の損傷や格納容器の閉じ込め機能の劣化により放射性物質を含む蒸気が漏洩したことに加え、原子炉建屋の水素爆発や格納容器ベント等によって大気中に放射性物質が放出されました。

出典:放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成28年度版)を改変

住民の避難経路



全福島県民(約202万人)を対象に福島県が調査した、原発事故発生直後からの各個人の行動パターンが、放射線医学総合研究所が開発した外部被ばく線量評価システムに入力され、個人の外部被ばく線量評価されます。

これは、事故による放射線物質の拡散や避難等を踏まえ、県民の被ばく線量評価を行うとともに、県民の健康状態を把握し、疾病の予防、早期発見、早期治療につなげ、将来にわたる県民の健康の維持、増進を図ることを目的として福島県が実施している「県民健康調査」の基礎調査として実施されたものです。

基本調査の回答率は、福島県全体では27.6%です。

平成29年6月30日までに推計が行われた累計55万2,298人のうち、推計期間いっぱいの4ヶ月間の行動記録の提出が47万3,605人で、さらに放射線業務従事経験者を除いた46万4,420人推計結果では、県南地域では、88.2%、会津・南会津地域では99.3%が1mSv未満となり、相双地域については77.3%が、いわき地域でも99.1%が1mSv未満となっています。最大値は、相双地域の方の25mSvでした。

出典：外部被ばく線量の推計について
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/6494.pdf>

ホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査の実施結果

環境モニタリングの結果等から、他の地域に比べ外部および内部被ばく量が高い可能性がある地域（川俣町山木屋地区、飯舘村、浪江町）や避難区域等の住民に対して、平成23年6月27日からホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査を開始。順次対象地区を県内全域に拡大し、平成29年11月30日までに32万8,354名を実施。セシウム134及び137による預託実効線量で99.9%以上が1ミリシーベルト未満、最大でも3ミリシーベルト未満であり、全員が健康に影響が及ぶ数値ではなかったとされている。

①対象自治体：福島県内全59市町村

②測定実施機関（実績）

福島県、弘前大学医学部附属病院、南相馬市立総合病院、日本原子力研究開発機構、新潟県放射線検査室、広島大学病院、長崎大学病院、大津赤十字病院、杜の都産業保健会、金沢医療センター、愛媛大学医学部附属病院、放射線医学総合研究所

③ホールボディ・カウンタ車の巡回による県外での検査について

福島県では県外に避難された方が受検できるようホールボディ・カウンタ車を巡回して検査を行っており、平成28年3月までに、福島県が検査を委託している常設の機関がない38都道府県（青森県、茨城県、新潟県、石川県、滋賀県、広島県、愛知県、長崎県以外）で検査が実施された。

④測定結果（預託実効線量）（平成29年11月実施分まで：平成29年12月26日発表）

	平成23年6月27日～ 平成24年1月31日	平成24年2月1日～ 平成29年11月30日	合計
1ミリシーベルト未満	15,384名	312,944名	328,328名
1ミリシーベルト	13名	1名	14名
2ミリシーベルト	10名	0名	10名
3ミリシーベルト	2名	0名	2名
合計	15,409名	312,945名	328,354名

※預託実効線量：平成24年1月までは3月12日の1回摂取と仮定。2月以降は平成23年3月12日から検査日前日まで毎日均等な量を継続して日常的に経口摂取したと仮定して、体内から受け取ると思われる内部被ばく線量について、成人で50年歳、子供で70歳までの線量を合計したもの。

福島県ホームページ「ホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査 検査の結果について」より作成

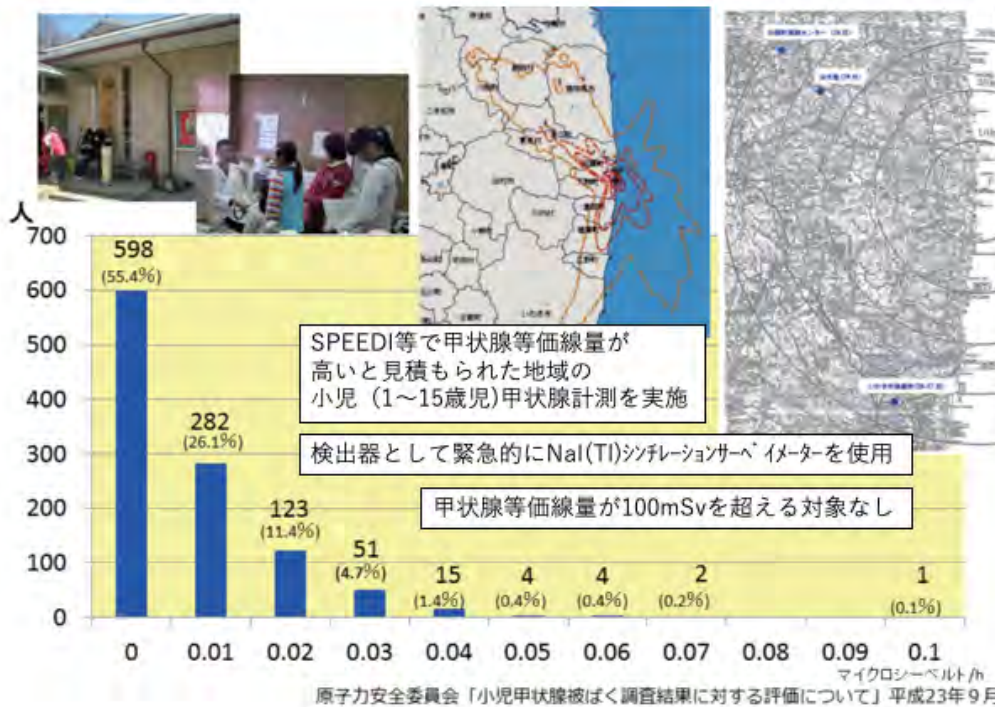
11

環境モニタリングの結果等から、他の地域に比べて外部および内部被ばく量が高い可能性がある地域（川俣町山木屋地区、飯舘村、浪江町）や避難区域等の住民を対象に平成23年6月27日からホールボディ・カウンタ（WBC）による内部被ばく検査が開始されています。対象地区は順次、県内全域に拡大しています。平成29年11月30日までに32万8,354名に検査が実施されています。Cs-134およびCs-137による預託実効線量で99.9%以上が1mSv未満、最大でも3mSv未満であり、全員が健康に影響が及ぶ値ではなかったとされています。

出典：放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成29年度版)

福島県ホームページ「ホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査 検査の結果について」

小児甲状腺スクリーニング調査



平成23年3月23日のSPEEDIの試算を踏まえ、小児への健康影響を把握するため、原子力安全委員会緊急助言組織からの依頼（3月23、25日付）に基づき、現地原子力災害対策本部では小児甲状腺スクリーニング調査を実施しました。調査した1,149人のうち、適切に測定された1,080人の結果が示されています。測定場所の環境放射線量が簡易測定を行うには適当でなかった（測定場所の空間線量率が高く、簡易測定による適切な評価が困難であった）ため、適切に測定結果が出せなかった66人と年齢不詳の3人の結果は除かれていますが、調査を受けた全員が、原子力安全委員会がスクリーニングレベルとした「ま毎時0.2 μ Sv」を下回っていました。

出典:放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成29年度版)を改変

住民の内部被ばく評価

事故直後1年間における公衆の平均実効線量と平均甲状腺吸収線量

住宅区域	実効線量 (mSv)		甲状腺の吸収線量(mGy)	
	成人	1歳児	成人	1歳児
避難をした地区				
予防的避難区域*1	1.1~5.7	1.6~9.3	7.2~34	15~82
計画的避難区域*2	4.8~9.3	7.1~13	16~35	47~83
避難をしていない地域				
避難が行われなかった地域の福島県住民	1.0~4.3	2.0~7.5	7.8~17	33~52
福島近隣県	0.2~1.4	0.3~2.5	0.6~5.1	2.7~15
上記以外	0.1~0.3	0.2~0.5	0.5~0.9	2.6~3.3

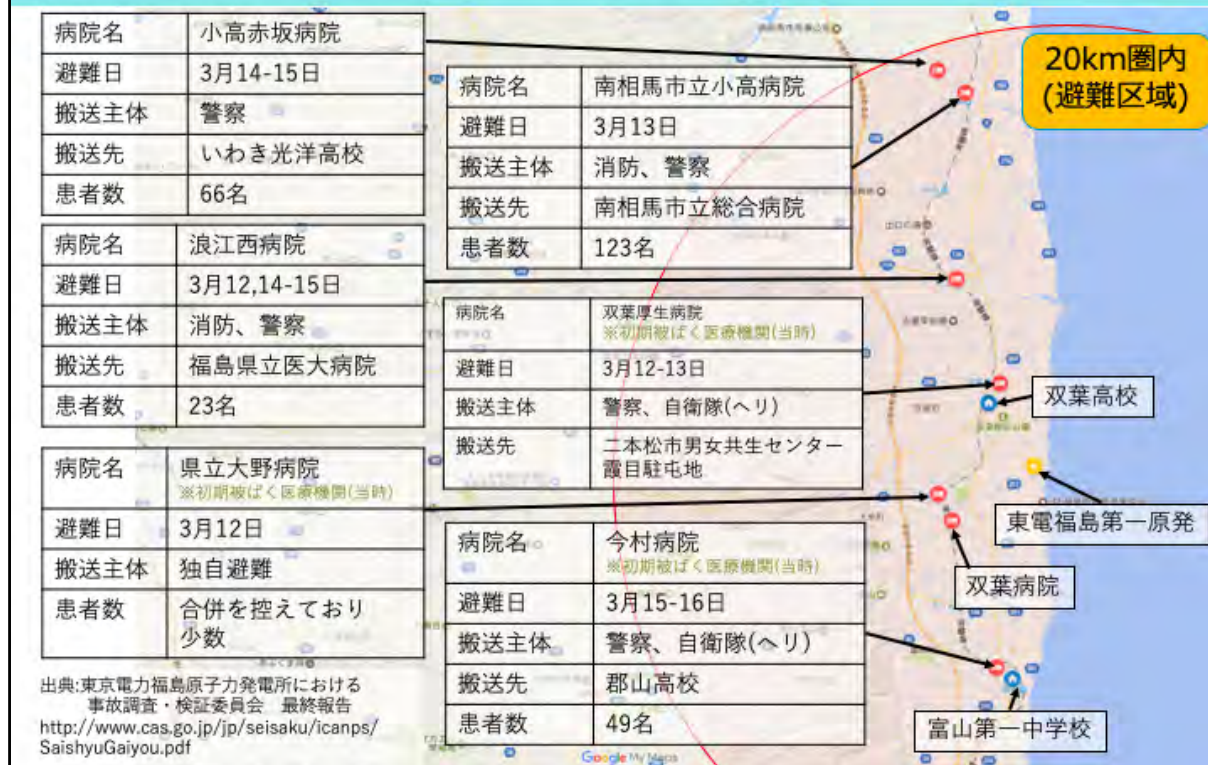
※1 2011/3/12~15にかけて避難を指示された地区

※2 2011/3月末から6月にかけて避難を指示された地区

UNSCEAR Report 2013:

LNT仮説に基づけばわずかな発がんリスク増加が示唆されるものの日本人のベースラインから差を検出するには小さすぎるレベルである。

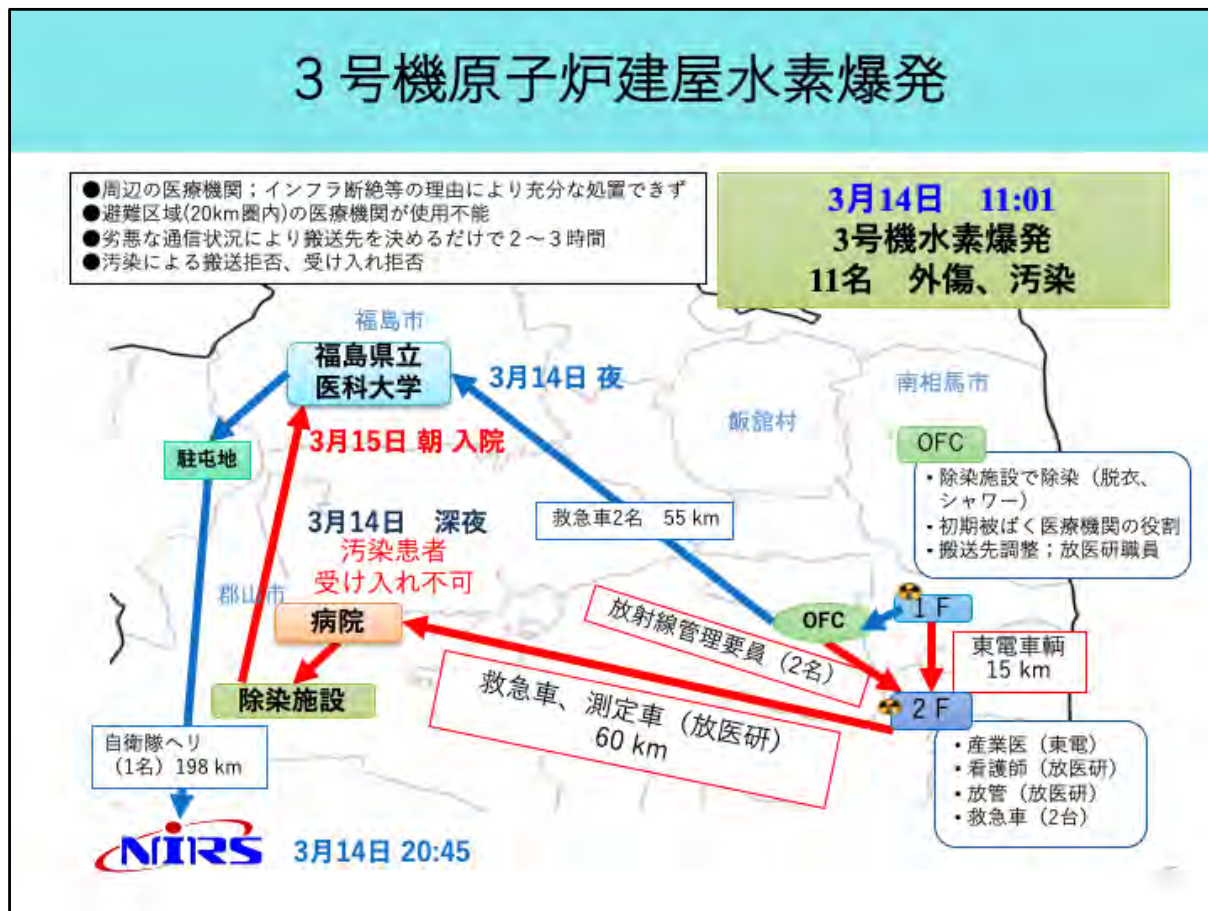
病院避難



2011年3月12日から16日にかけて、20km圏内の避難区域の医療機関から入院患者の避難が実施されました。

医療機関の避難では、情報が関係者間で共有できていなかったり、搬送までに時間がかかったこともあり、搬送中の死亡が発生しています。

3号機原子炉建屋水素爆発



原子力安全・防災対策

- ❖ 災害対策基本法、防災基本計画（第12編「原子力災害対策編」）の改定
- ❖ 原子力規制委員会設置
- ❖ 原子力災害対策指針の策定
 - ◇ 予防的防護措置を準備する区域(PAZ)と緊急時防護措置を準備する区域(UPZ)
 - ◇ 安定ヨウ素剤の予防服用の体制
- ❖ 原子力災害時の医療体制の充実と強化のための見直し
 - ◇ 24道府県に医療体制の整備
 - ◇ 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設置
 - ◇ 道府県による原子力災害拠点病院の指定、原子力災害医療協力機関の登録

2011年に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故により、関連する法令等が改定、策定されました。

中でも原子力災害時の医療体制は、それまでの緊急被ばく医療体制を充実、強化されています。現在も原子力災害時の医療体制は、見直しや改正が行われています。

まとめ

- ❖ 原子力事故・災害には臨界事故、影響が施設内にとどまる事故、放射性物質が環境中に放出される事故、住民の被ばくを伴う事故などがある。
- ❖ 事象の重大さを表す指標としてINESがあり7つのカテゴリーに区分されている。
- ❖ 1945年～2007年までの放射線事故のうち、致死・早期影響事故件数:原子力施設35、産業施設80、不明線源34、研究22、医療32
- ❖ 日本は、1999年ウラン加工工場臨界事故、2011年東京電力福島第一原子力発電所事故があり、事故対応後には、関連する法令等の改正が実施された。

原子力災害医療派遣 チームの活動

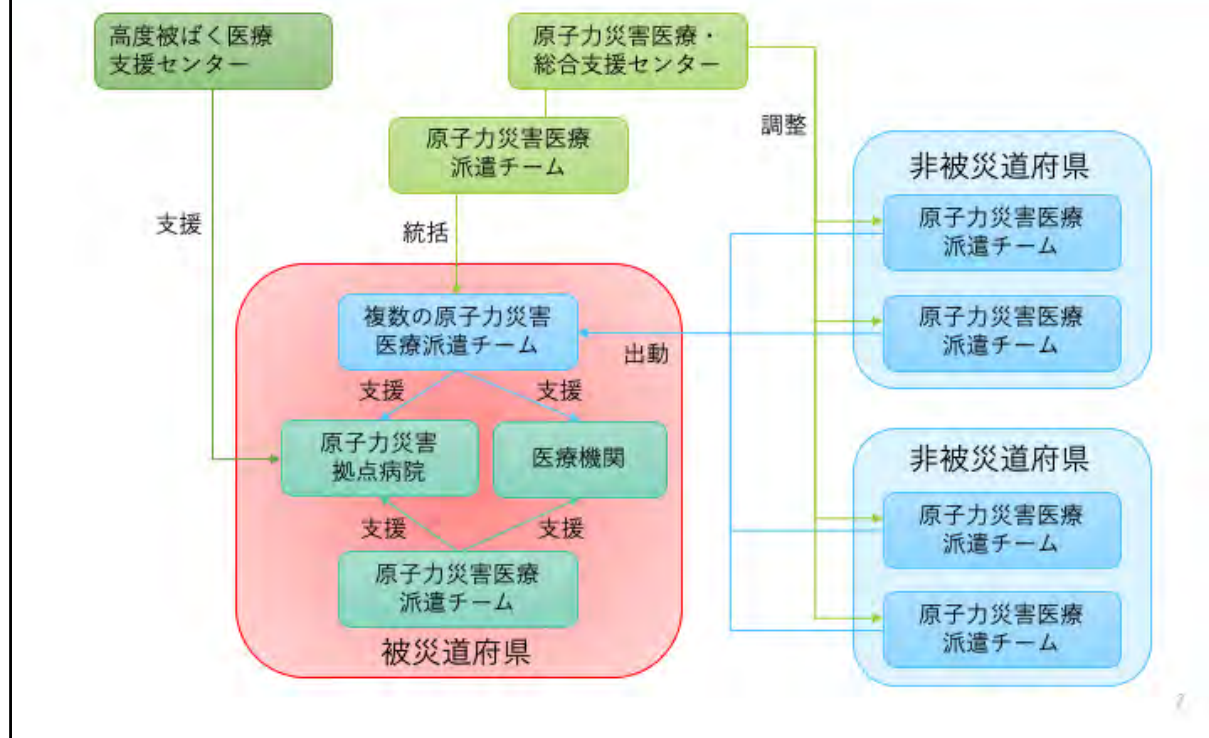
原子力災害 専門研修
派遣チーム-1

時間；30分

内容

- 基本方針
- 関係機関・組織
- 派遣チームの準備
- 資機材
- 派遣チーム受入準備
- 原子力災害発生時の活動の流れ
- 待機要請
- 派遣要請・出動
- 基本的活動
- 安全確保
- 連絡、記録の作成と保管
- 活動の終了
- 費用の支弁

原子力災害医療派遣チーム活動の基本方針



原子力災害医療派遣チーム（以下「派遣チーム」という。）の活動は、平時に派遣チームを保有する医療機関と当該医療機関を管轄する道府県との間で締結された協定（以下「協定」という。）及び地域防災計画等に基づきます。

原子力災害医療・総合支援センター、非被災道府県から派遣チームを出動させることが基本となります。ただし、被災道府県の原子力災害医療調整官が必要性を判断した場合には、被災道府県内の派遣チームを出動させることもできます。

派遣チームの出動先は、被災道府県の原子力災害拠点病院を基本とし、派遣先の機関の長の指揮下で支援活動を行います。

その活動は、例えば汚染のある患者に対する救急医療等の提供など、原子力災害医療に係る活動の支援を基本としますが、出動先の原子力災害拠点病院で対応できない被ばく傷病者等が発生した場合には、高度被ばく医療支援センターまたは原子力災害医療・総合支援センターへ搬送する際の搬送支援を行います。また、原子力災害の発生時に被災道府県または被災道府県内の市町村が事前に策定した原子力防災に係る各種計画の実行に際して、他の関係する対処要員よりも派遣チームによる対応の方がより適切と判断される場合（例えば医療機関における避難計画を実施しようとした際や避難所等での救護活動を行おうとした際に計画上の人員確保が困難と判断される場合）等には、必要に応じて原子力災害時の医療ニーズに可能な範囲で柔軟に対応します。

関係機関・組織

	機関・組織	役割
立地道府県等	原子力災害医療調整官	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地域の医療事情に詳しい者 ・ 医療機関、消防機関等に対して搬送する患者の汚染や推定被ばく線量に基づいて、その搬送先を適切かつ迅速に指示 ・ 必要に応じて、他の立地道府県等に対して派遣チームの派遣を要請
	原子力災害拠点病院	<ul style="list-style-type: none"> ・ 被ばくがある場合の適切な診療等の提供
	原子力災害医療協力機関	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力災害での医療対応や立地道府県等が行う原子力災害対策等を支援
	原子力災害医療派遣チーム	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力災害が発生またはそのおそれがある被災道府県において救急医療等を行うことのできる専門的な研修、訓練を受けた医療チーム
	原子力災害医療・総合支援センター	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力災害医療派遣チームの保有と派遣調整 ・ 教育・研修、訓練の実施
国等	高度被ばく医療支援センター	<ul style="list-style-type: none"> ・ 被ばく患者の線量評価や診療等に関する指導、助言、支援等を行う専門派遣チームを保有
	基幹高度被ばく医療支援センター	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高度被ばく医療支援センターの中心的・先導的役割 ・ 地域の中核となる医療従事者等、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医療従事者、専門技術者等への高度専門的な教育研修
	緊急事態応急対策等拠点施設（オフサイトセンター：OFC）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原災本部長指示、各種対策の実施 ・ オフサイト対策の支援に係る連絡調整 ・ 自治体との具体的対策の検討・調整
	原子力規制庁緊急時対応センター（ERC）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 官邸の意思決定を支える情報分析、現地の対応状況のフォローアップ

原子力災害とは、原子力施設の事故等に起因する放射性物質または放射線の環境への異常な放出により生じる被害を意味します。原子力災害対策特別措置法（以下「原災法」）では、原子力施設外における放射性物質または放射線の放出が一定の水準を超えた場合には、原子力緊急事態（原災法第2条第2号に規定する「原子力緊急事態」をいう。）に該当するものとされ、緊急事態応急対策が講じられます。こうした事態における原子力災害医療の対応には、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。この原子力災害医療を提供するのが、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、高度被ばく医療支援センター、基幹高度被ばく医療支援センターとなります。この中で、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・総合支援センターは原子力災害医療派遣チームを保有します。高度被ばく医療支援センターは専門派遣チームを保有します。

また、原子力災害医療調整官は、地域の医療事情に詳しい者とし、原子力災害医療調整官を長とする複数者からなるグループを組織して立地道府県等が設置する災害対策本部内に配置することとなっています。この原子力災害医療調整官は、医療機関、消防機関等に対して搬送する患者の汚染や推定被ばく線量に基づいて、その搬送先を適切かつ迅速に指示します。その際、救急医療体制を活用し、医療機関に対して傷病者を受け入れるように指示し、その受入れを確認します。特に、重篤な傷病者については指定された原子力

災害拠点病院等に搬送できるようにします。また、原子力災害医療調整官は、必要に応じて、他の立地道府県等に対して派遣チームの派遣要請を行い、立地道府県等内の原子力災害拠点病院等へ派遣します。

原子力災害医療派遣チームの準備

- ❖ 構成員
 - ◇ 医師、看護師、放射線防護関係者、業務調整員等の4名以上
 - ◇ 被ばく医療に必要な知識、技能を保有する者
- ❖ 資機材；7日程度の活動に必要な分量
 - ◇ 備蓄、保管、点検、校正を適切に実施
- ❖ 規程
 - ◇ チームの編成、召集、資機材や車輛の管理、整備、安否確認や情報共有、連絡体制、補償に関する事項
 - ◇ 出動手続き、活動手順、連絡方法等のマニュアル
- ❖ 教育・研修、訓練、ネットワーク構築
 - ◇ 原子力災害医療・総合支援センターが実施する研修を定期的に受講、派遣調整や派遣の訓練に参加
 - ◇ 道府県内で構築される医療ネットワーク会議等及び地域原子力災害時医療連携推進協議会等に参加
- ❖ 道府県との協定締結
 - ◇ 医療機関と管轄する道府県とが派遣チームの運用に関する協定締結
 - ◆ 派遣要請等の手続き、運用、費用支弁、補償
- ❖ 記録の作成・保管
 - ◇ 構成員の教育・研修の受講記録の作成、保管

原子力災害医療派遣チーム（以下、派遣チーム）は4名以上で、原子力災害が発生またはそのおそれがある場合に提供される医療に必要な知識、技能を保有する医師、看護師、放射線防護関係者、業務調整員等から構成されます。

資機材は、移動時間も含めて7日程度の活動に必要な分量を基本として整備し、定期的に点検を行います。

派遣チームの編成や招集、資機材や車輛の管理及び整備、安否確認や情報共有、連絡体制、補償に関する事項など必要とされる規程をあらかじめ院内で整備します。また、派遣チームの出動手続きや活動手順、連絡方法等を定めたマニュアル類を事前に院内で整備しておくことが望ましいです。

原子力災害医療・総合支援センターが主催する派遣チーム研修などの教育・研修を定期的に受講し、派遣調整訓練や派遣訓練等、道府県内で構築される医療ネットワークの会議等及び担当地域の原子力災害医療・総合支援センターが主催する地域原子力災害時医療連携推進協議会等に積極的に参加します。

派遣チームを保有する医療機関は、管轄する道府県と派遣チームの運用に関する協定をあらかじめ締結します。また、派遣チームの構成員の教育・研修の受講記録を作成、保管します。

参考：「原子力災害医療派遣チーム活動要領」 平成29年3月29日 原子力規制庁原子力災害対策・核物質防護課

資機材

項目	品目
車輛	構成員全員の乗車が可能 構成員が休憩、宿泊できるスペース
通信機器	衛星携帯電話など複数の通信手段
個人防護装備	防護服等、個人線量計、安定ヨウ素剤
放射線測定器	空間線量計、表面汚染計
除染用資機材	ガーゼ、膿盆、洗浄用ボトル、吸水シートなど
養生用資機材	ビニール袋、ビニールシート、ろ紙シート、養生用テープなど
医療資機材	救急医療、災害医療に必要な資機材
生活必需品	食料、水など7日分

原子力災害医療派遣チームの資機材です。

放射線測定器等は、定期的に点検、校正して、常に使用できることを確認しておきます。また、生活必需品は、移動時間も含め7日程度の活動に必要な分量を備蓄します。

参考 DMAT隊員養成研修会 DMAT標準資器材リスト

<http://kenkyuukai-113.skillupjapan.tv/images/sys%5Cinformation%5C20110510100123-6B6B6D40DD150D47D0FB91F8E7521B5C6FD7E359DEF65B6C1DEF4A07C657661C.pdf#search='DMAT資器材>

派遣チーム受入準備

- ❖ 複数の派遣チームの支援を受け入れることを想定
 - ◇ 派遣チームの待機場所、活動控室、宿泊や食事の提供場所等の体制整備
 - ◇ 院内外のスタッフの役割分担、資機材の配置等の工夫
- ❖ 情報提供・共有
 - ◇ 災害対策に係る体制、職種別の院内関係者名簿、院外からの支援者名簿、資機材等の配置場所
 - ◇ 原子力規制委員会の「緊急情報メールサービス」、管轄の道府県からの連絡による原子力災害の発生、事態推移等を速やかに把握、共有
 - ◇ 原子力災害医療・総合支援センター、高度被ばく医療支援センターとの連絡体制
- ❖ 院内原子力災害医療コーディネーター
 - ◇ 外部からの原子力災害医療の支援受入れの調整
- ❖ 職種別院内コーディネーター
 - ◇ 医師、看護師、診療放射線技師、薬剤師などの職種ごとに受入れの調整
- ❖ 複数の派遣チームと協働して活動を行うための研修の実施

派遣チームの支援を受け入れる可能性のある原子力災害拠点病院等の医療機関は、複数の派遣チームの支援を受け入れることを想定し、外部からの原子力災害医療の支援受入に関する院内原子力災害医療コーディネーター（以下「院内

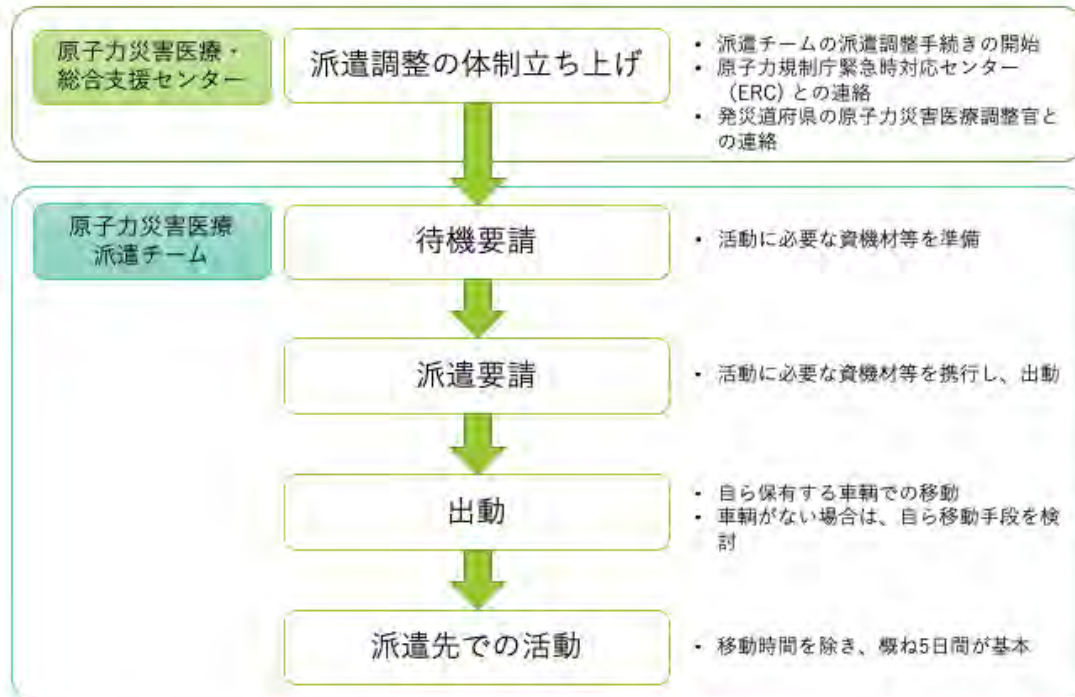
コーディネーター」という。）を定めます。また、必要に応じて、医師、看護師、診療放射線技師、薬剤師といった職種ごとに受入に関する職種別院内コーディネーターを定めます。

体制整備としては、派遣チームの受入待機場所、活動控室、宿泊や食事の提供場所等、災害対策に係る体制、職種別の院内関係者名簿、院外からの支援者名簿、資機材等の配置場所の情報提供体制、原子力規制委員会の「緊急情報メールサービス」、管轄の道府県からの連絡による原子力災害の発生、事態推移等を速やかに把握、共有する体制、原子力災害医療・総合支援センター、高度被ばく医療支援センターとの連絡体制を構築します。

また、複数の派遣チームと協働して活動を行うための研修を実施し、他の機関が主催する訓練等にも積極的に参加します。

派遣チームの緊密な医療ネットワーク構築を目的とする道府県内の医療ネットワークに係る会議や地域を担当する原子力災害医療・総合支援センターが主催する地域原子力災害時医療連携推進協議会等に積極的に参加します。

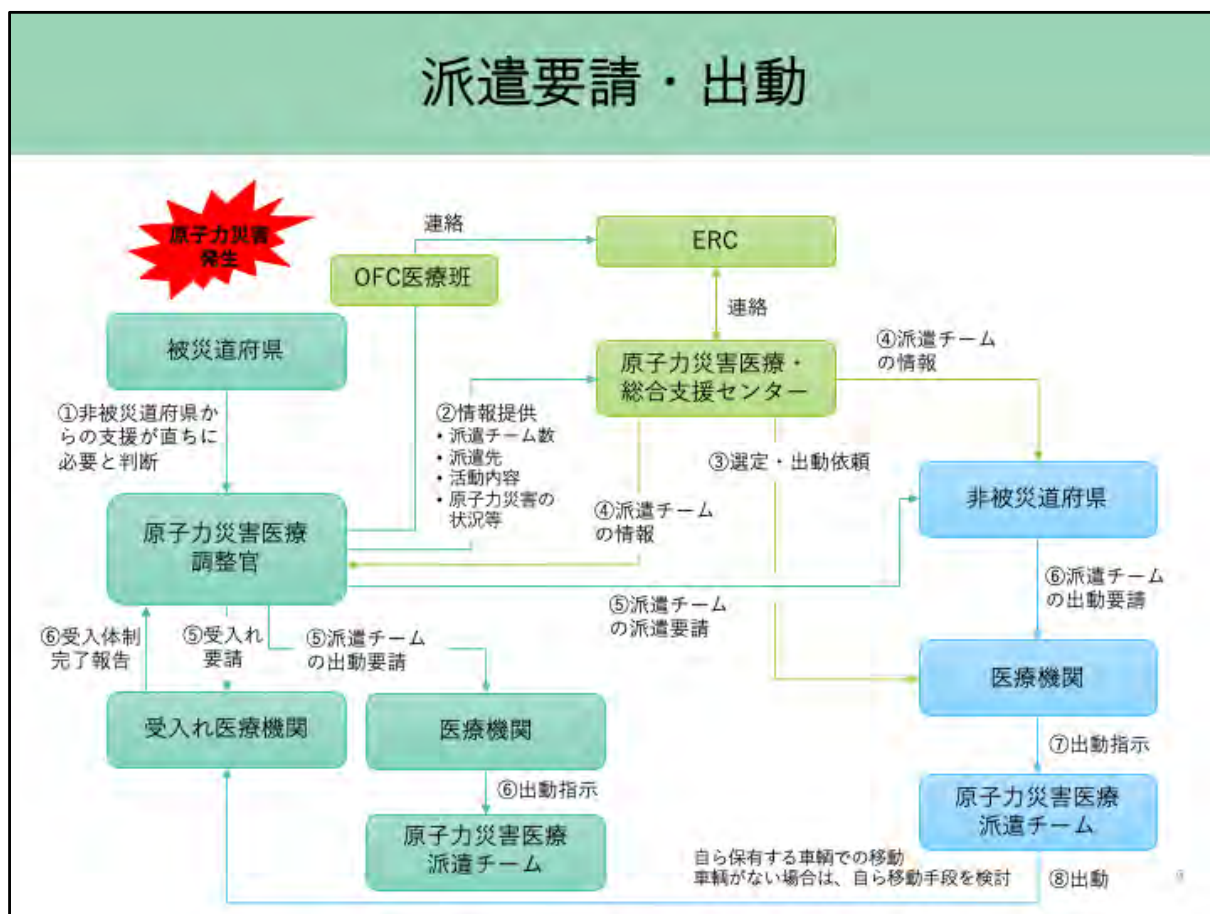
原子力災害発生時の活動の流れ



原子力規制委員会防災業務計画に基づき、事故警戒本部が原子力規制庁緊急時対応センター（ERC）に設置された場合には、警戒事態が発生した道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターは事務局員を当該支援センターに緊急参集させるなど派遣チームの派遣調整手続きを開始できる体制を速やかに構築します。また、原子力統合防災ネットワークシステムの接続を確認するとともに、ERC 及び警戒事態が発生した道府県の原子力災害医療調整官と緊急に連絡がとれる体制を構築します。

原子力災害医療・総合支援センターが派遣チームを保有する医療機関と調整し、派遣候補となる派遣チームを選定し、医療機関に対して出動待機を依頼します。その後、派遣チームは活動に必要な資機材等を準備し、派遣要請がなされた場合は、出動します。

派遣要請・出動



非被災道府県からの原子力災害医療に係る活動の支援が直ちに必要であると被災道府県が判断した場合には、被災道府県の原子力災害医療調整官は被災道府県を担当する総合支援センターに対し、必要とされる派遣チーム数、派遣先、活動内容、原子力災害の状況等に関する情報を提供し、派遣チームの派遣調整を依頼すると同時にOFC医療班を通じてERCにも連絡します。被災道府県を担当する総合支援センターは、原子力災害の規模、被災道府県の所在地や派遣先となる原子力災害拠点病院等の地理的な位置関係等を考慮し、出動待機を要請された派遣チームの中から必要とされる派遣チームを迅速かつ適切に選定し、当該チームを保有する医療機関に対し、派遣チームの出動を依頼します。また、選定した派遣チームの情報を被災道府県の原子力災害医療調整官、当該チームを保有する医療機関を管轄する道府県及びERC医療班にも伝達します。

被災道府県の原子力災害医療調整官は、出動を依頼された派遣チームを保有する医療機関を管轄する非被災道府県に対し、派遣チームの派遣を要請します。さらに、派遣チームの支援受入医療機関に対し、派遣チームの受入を要請します。受入医療機関は、受入体制が整った段階でその旨を被災道府県の原子力災害医療調整官に伝達します。

管轄の非被災道府県から派遣要請を受けた派遣チームを保有する医療機関の長は、派遣チームの構成員に対して出動を指示し、出動を指示された派遣チームの構成員は活動に必要な資機材等を携行し出動します。

派遣チームを出動させる医療機関は、管轄の道府県、被災道府県を担当する総合支援センターを通じて、派遣チームの出動時刻と現地到着予定時刻等について、被災道府県の原子力災害医療調整官に伝えます。

基本的活動

- ❖ 1チームの活動は、移動時間を除き、概ね5日間
 - ◇ 長期の活動が必要と判断される場合
 - ◆ 被災道府県の原子力災害医療調整官は、原子力災害医療・総合支援センターの協力を得て、活動期間の延長あるいは交替について調整
- ❖ 支援受入医療機関での活動
 - ◇ 支援受入医療機関の長の指揮下で活動
 - ◇ 汚染のある患者に対する救急医療等の提供
 - ◇ 高度被ばく医療支援センター等への搬送支援
 - ◇ 必要に応じて原子力災害時の医療ニーズに可能な範囲で柔軟に対応
- ❖ 業務の支援体制
 - ◇ 生活必需品等は、基本的に派遣チーム自らが準備、調達
 - ◇ 業務調整員の同行
 - ◆ 移動、食料、宿泊、入浴等の手配・確保
 - ◆ 活動内容の確認、調整
 - ◆ 活動に必要な医薬品や資機材、水等の調達
 - ◆ 活動内容や活動に要した費用等の記録
 - ◆ 医療機関の院内コーディネーター等と十分に調整して、派遣チームが円滑に活動できるように努める

派遣チームの1チームあたりの活動期間は移動時間を除き概ね5日間を基本とします。ただし、さらに長期に活動することが必要であると判断される場合には、被災道府県の原子力災害医療調整官は、派遣チームの派遣調整の手続きと同様、被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターの協力を得て、活動期間の延長または交替について調整します。

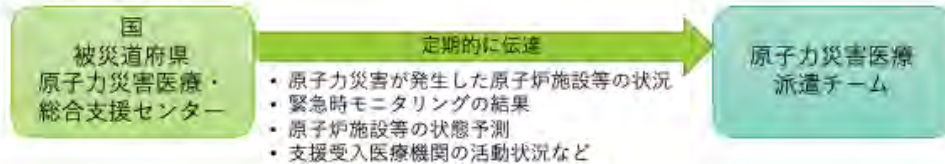
支援受入医療機関での活動は、その医療機関の長の指揮下で行います。汚染のある患者に対する救急医療等の提供、高度被ばく医療支援センター等への搬送支援など原子力災害医療に係る活動の支援が基本となります。また、事前に策定されている各種計画において、派遣チームによる対応の方がより適切と判断される場合（例えば医療機関における避難計画を実施しようとした際や避難所等での救護活動を行おうとした際に計画上の人員確保が困難と判断される場合）等には、必要に応じて原子力災害時の医療ニーズに可能な範囲で柔軟に対応します。

なお、原子力災害医療・総合支援センターの派遣チームが出動した場合は、出動先の組織の長の指示のもと、複数の派遣チームの活動について統括するとともに、必要に応じて他の保健医療関連チームとの活動調整を行います。

関係機関からの支援がなくても単独で活動が続けられるよう、派遣チームの移動時間及び活動期間に必要な食料・飲料水、その他の生活必需品等については、派遣チームが自ら準備・調達することを基本とします。また、後方支援の業務を担う業務調整員の同行が望ましいです。

安全の確保

❖ 情報共有体制



❖ 防護装備

- ◇ 個人被ばく線量計（電子式が望ましい）
- ◇ 個人被ばく線量管理；作業時間、累積線量等を記録
- ◇ 放射性物質による汚染の恐れがある場合は、マスク、防護服等を装着
- ◇ 安定ヨウ素剤の携行

国、被災道府県及び原子力災害医療・総合支援センターは、原子力災害が発生した原子炉施設等の状況、緊急時モニタリングの結果や原子炉施設等の状態予測、支援受入医療機関の活動状況など必要な情報を迅速かつ的確に把握するとともに、これらの情報を派遣チームに定期的に伝達する体制を確保します。また、緊急に対応が必要な場合に迅速に連絡がとれる体制も確保します。

派遣チームを出動させた医療機関の長は構成員一人ひとりに対し、線量管理の観点から個人線量計を貸与し、作業時間、累積線量等を記録します。また、放射性物質による汚染の恐れがある場合は、マスク、防護服等を装着します。原子力施設の状況により放射性ヨウ素を含む放射性物質の放出の可能性が高まった場合に備えて、安定ヨウ素剤を携行します。

連絡、記録の作成と保管

❖ 活動状況

- ◇ 派遣チームの放射線防護関係者は派遣チームを出動させた医療機関の長及び医療機関を通じて被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターに対し定期的に報告

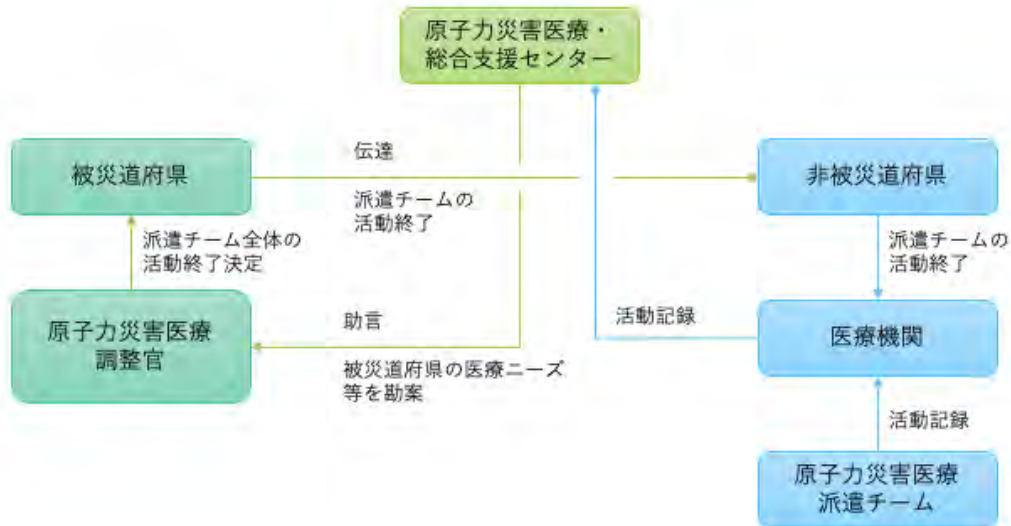
❖ 活動記録

- ◇ 個々の構成員の作業期間
- ◇ 日々の作業時間
- ◇ 作業内容
- ◇ 個人累積線量
- ◇ 環境放射線の測定記録
- ◇ 移動経路、移動手段
- ◇ 所要経費、宿泊費用
- ◇ 購入・借用した資機材等

出動先での活動状況について、派遣チームの放射線防護関係者は派遣チームを出動させた医療機関の長及び医療機関を通じて被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターに対し定期的に報告する。また、可能な範囲で詳細な記録を作成し、紛失または他のものによる改ざん等を受けない措置を講じるよう努めます。

派遣チームの放射線防護関係者は、活動終了後に派遣チームを出動させた医療機関の長に活動記録を提出します。また、個人情報保護に配慮した上で医療機関を通じて被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターにも活動記録の概要を提出します。

活動の終了



出動した個々の原子力災害医療派遣チームの活動の終了は、派遣調整または派遣中の段階であらかじめ調整された（計画された）活動の終了時点の基本とします。

被災道府県における派遣チーム全体の活動の終了は、被災道府県の医療ニーズ等を勘案しつつ、被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターの助言も踏まえ、被災道府県の原子力災害医療調整官が決定します。被災道府県が派遣チーム全体の活動の終了を決定した場合には、被災道府県から派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県に対し、派遣チームの活動の終了を伝達します。

派遣チームの活動の終了を伝達された道府県は、派遣チームを出動させた医療機関に対し、派遣チームの活動の終了を伝達します。派遣チームを出動させた医療機関の長は、被災道府県における全ての派遣チームの活動終了後に、その全記録を集約して被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターに報告します。

費用の支弁

❖ 原則

- ◇ 派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県が当該医療機関に支弁
- ◇ 派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県は、派遣チームの派遣要請を行った被災道府県に対し、上記費用を求償できる。

❖ 災害救助法が適用された場合

- ◇ 要請を受けた非被災都道府県は、災害救助法第20条に基づき、被災道府県に対しその費用を求償できる。
- ◇ 災害救助法第20条に基づき派遣チームの活動に要した費用を求償された被災道府県は、同法第18条により求償した非被災道府県に対して費用を支弁する。

❖ 災害救助法が適用されない場合

- ◇ 被災道府県が非被災道府県あるいは医療機関に費用を支弁
- ◇ 原子力事業者が賠償責任を負う。

派遣チームの活動に要した費用は、原則として、派遣チームを出動させた医療機関と医療機関を管轄する道府県があらかじめ締結した協定に基づき、管轄の道府県が当該医療機関に支弁します。派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県は、派遣チームの派遣要請を行った被災道府県に対し、費用を求償できます。

災害救助法が適用された場合は、要請を受けた非被災都道府県は、災害救助法第20条に基づき、被災道府県に対しその費用を求償し、被災道府県は、同法第18条により求償した非被災道府県に対して費用を支弁します。

災害救助法が適用されない場合は、非被災都道府県が協定に基づき医療機関に費用を支弁した時は、非被災都道府県は、被災道府県に対してその費用を求償できます。協定を締結していない時は、被災道府県は、当該医療機関に対して活動に要した費用を直接支弁します。派遣チームの活動費用は、原則として、原子力事業者が賠償責任を負います。

まとめ

- ❖ 原子力災害医療・総合支援センター、非被災道府県から派遣チームを出動させることが基本
- ❖ 医師、看護師、放射線防護関係者等の4名以上から構成され、移動時間を除く5日間の活動が基本
- ❖ 移動手段、資機材等は自身で準備
- ❖ 関係機関との情報共有、連絡体制は必須
- ❖ 活動記録の作成、保管

原子力災害時の 救護所活動

原子力災害 専門研修
派遣チーム-2

時間；30分

内容

- 原子力災害医療協力機関の支援活動
- 原子力防災体制における救護所活動
- 救護所活動の流れ
- レイアウト、導線 1
- レイアウト、導線 2
- 役割分担
- 救護所活動に必要な防護装備
- 救護所活動での資機材
- 受付・トリアージ・スクリーニング
- 被災地住民行動記録票（例）
- 身体汚染
- 甲状腺簡易検査の方法
- 行動調査
- 行動調査・問診の内容
- 住民対応 外部被ばく線量推定
- 移動型WBC車両の紹介
- 多数傷病者発生時の救護所活動

原子力災害医療協力機関の支援活動

- ❖ 指定避難所等に設置した救護所においては、必要に応じて避難してきた周辺住民等に対する救護や避難等の指示を受けた住民で避難退域時検査を受けていない住民に対する検査及び簡易除染等を行うとともに、被災状況の確認を行う。また、必要に応じて安定ヨウ素剤を配布し、予防服用させる。
- ❖ 原子力災害医療協力機関の支援活動（下記のうち一つ以上を実施）
 - ◇ 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
 - ◇ 被災者の放射性物質による汚染の測定
 - ◇ 原子力災害医療派遣チームを保有し、派遣
 - ◇ 救護所に医療従事者を派遣
 - ◇ 国からの指示に基づき、避難住民等に対し、防護措置を実施すべき基準以下であるか否かを確認する検査（避難退域時検査）を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
 - ◇ 立地道府県等が行う安定ヨウ素剤配布の支援
 - ◇ その他、原子力災害発生時に必要な支援

原子力災害医療協力機関は、原子力災害時に立地道府県等や原子力災害拠点病院が行う原子力災害対策に協力できる機関であり、次の支援活動のうち一つ以上を行います。

1. 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
2. 被災者の放射性物質による汚染の測定
3. 原子力災害医療派遣チームを保有し、派遣
4. 救護所に医療従事者を派遣
5. 国からの指示に基づき、避難住民等に対し、防護措置を実施すべき基準以下であるか否かを確認する検査（避難退域時検査）を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
6. 立地道府県等が行う安定ヨウ素剤配布の支援
7. その他、原子力災害発生時に必要な支援

この中で、原子力災害時などの緊急時に設置させる救護所で行う支援活動としては、4～6があります。また、その他の支援としては、救護所・避難所等での行動調査の聴取や避難者等の心理的不安の解消、事故に関する正確な情報の伝達などがあります。

ここでは、救護所・避難所等で実施する医療に関連した支援活動を解説します。

原子力防災体制における救護所活動

対象；主に施設周辺の住民

活動① 健康状態の把握、救護、健康相談

活動② 汚染状況の把握、必要に応じた除染

活動③ 避難状況の確認；住民の行動軌跡の聴取

活動④ 安定ヨウ素剤の服用の支援

地方公共団体は関係機関の協力を得て、必要に応じて救護を行う場所等を指定し、周辺住民等を対象とした簡易な測定等によるスクリーニングを行うとともに、以下の情報の収集等を行います。

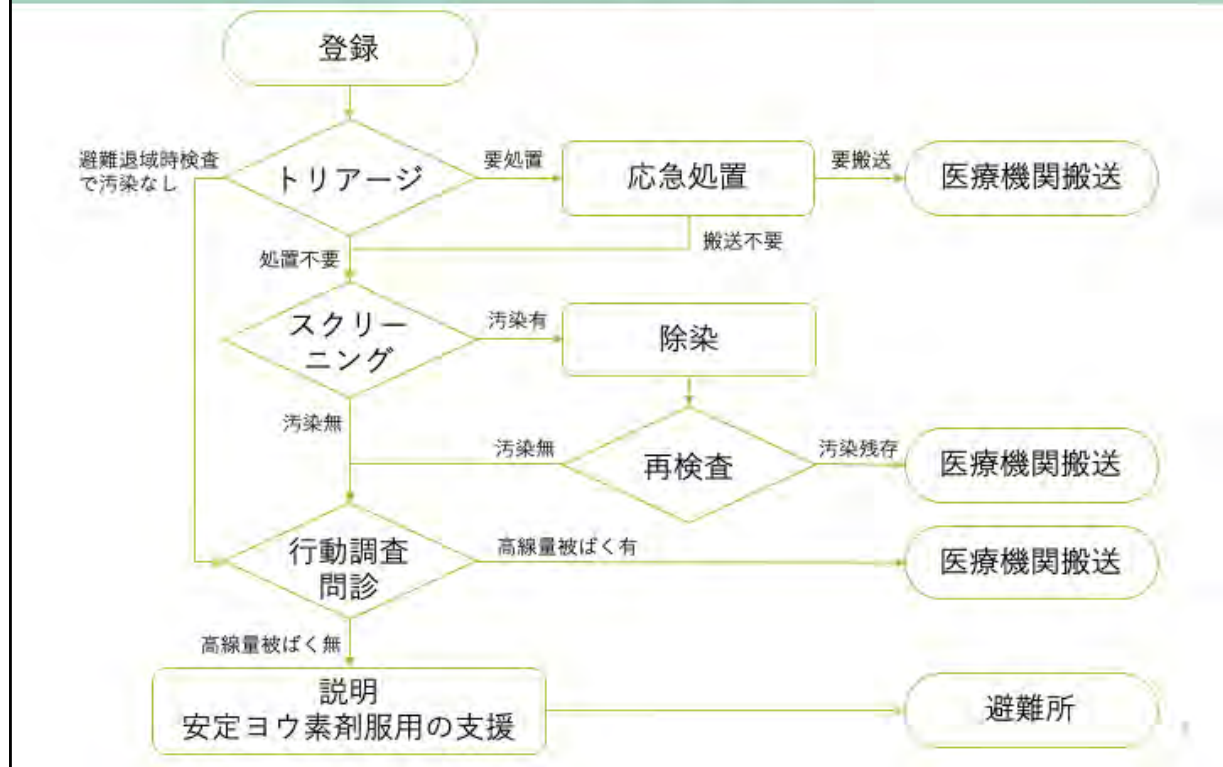
(i)避難した周辺住民等に対し放射線被ばくによる健康影響について説明を行うとともに、住民からの健康相談への対応を行います。

(ii)体表面の汚染レベルや甲状腺等の体内の汚染レベルを測定し、避難所等に到達するまでの汚染状況を把握します。汚染の程度に応じて、ふき取り等の簡易な除染等の処置や医療機関への搬送の決定を行います。

(iii)避難した周辺住民等の登録とスクリーニングレベルを超える周辺住民等の把握を行います。

(iv) 安定ヨウ素剤の服用指示がある場合は、安定ヨウ素剤の服用の支援を行います。これは、安定ヨウ素剤の服用に関連した問診を行い、安定ヨウ素剤服用ができない被災者、慎重投与となる被災者を把握します。

救護所活動の流れ



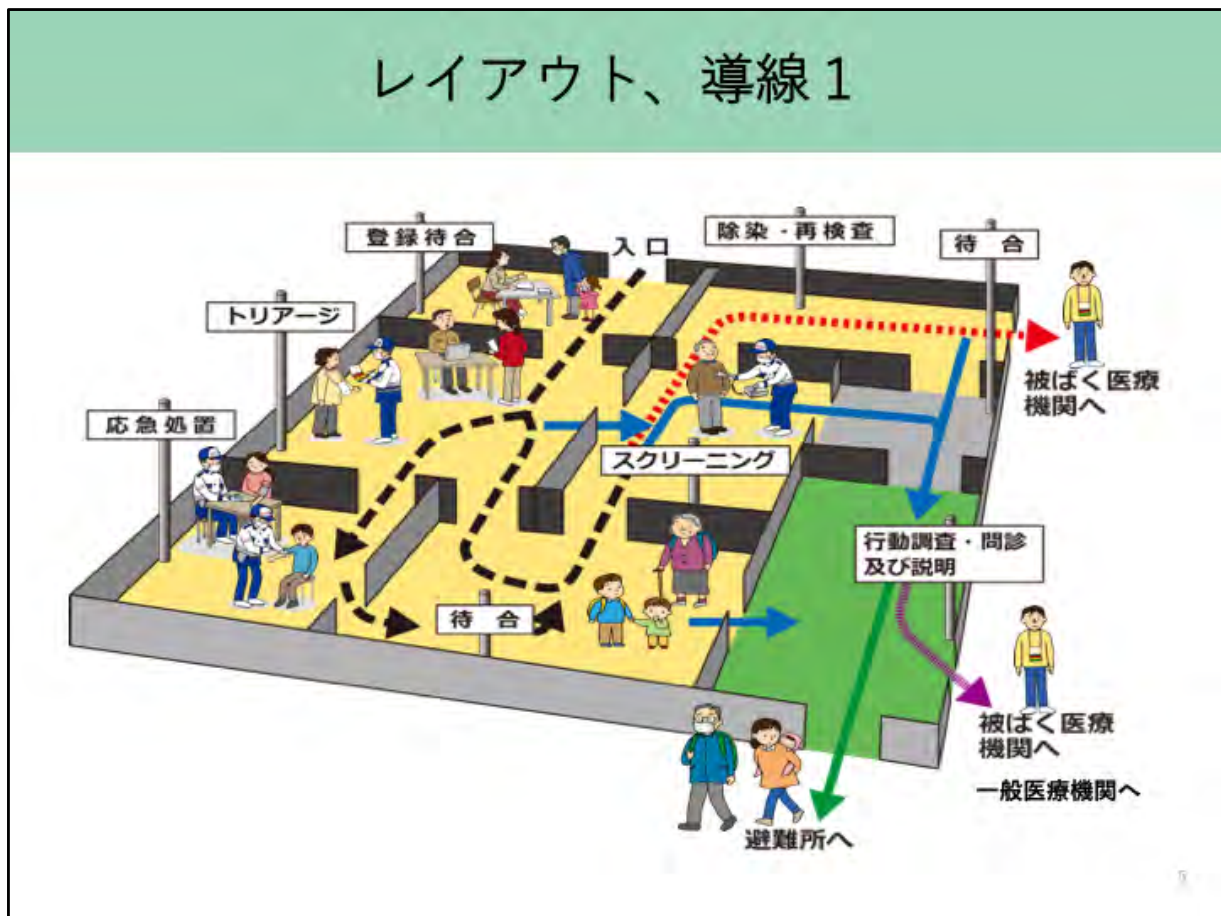
救護所の基本的な流れは、周辺住民の登録、移動中に怪我や具合の悪くなった人に応急処置を行うためのトリアージ、汚染の有無を測定するスクリーニング、スクリーニングより除染が必要とされた人への除染及び再測定、外部被ばく線量を推定するための行動調査・問診、最後に救護所で行われたスクリーニングの結果等の説明となります。

特に傷口が汚染している場合や除染しきれなかった場合、また、大量の被ばくの可能性がある場合は原子力災害医療協力機関あるいは原子力災害拠点病院等の医療機関へ搬送します。

避難退域時検査で、除染の必要が無かった場合は、スクリーニングを実施せず、行動調査に移る場合もあります。

状況に応じて、安定ヨウ素剤の服用の支援も行います。

レイアウト、導線 1



被災者が集まる避難所にスクリーニング等を行うための救護所を開設します。

救護所には、受付、待機場所、スクリーニング、除染、行動調査、説明、応急処置等のエリアを設けます。次に汚染した人の通路と汚染していない人の通路を区別します。汚染が拡大しないように検査の流れは一方通行にします。

待機場所は汚染エリアと非汚染エリアの中間にあり、緩衝地帯としての役割も果たします。検査の流れを円滑に行うために各エリアの標識を表示したり、被災者を誘導する要員を配置することも重要です。汚染した人の通路は、ポリエチレンシート等で覆います。また、傷病者の応急処置のための場所を確保します。

レイアウト、導線 2



スクリーニングを優先して実施する場合のレイアウトの例です。
汚染のある避難者と汚染のない避難者の導線が極力重ならないように工夫してレイアウトします。

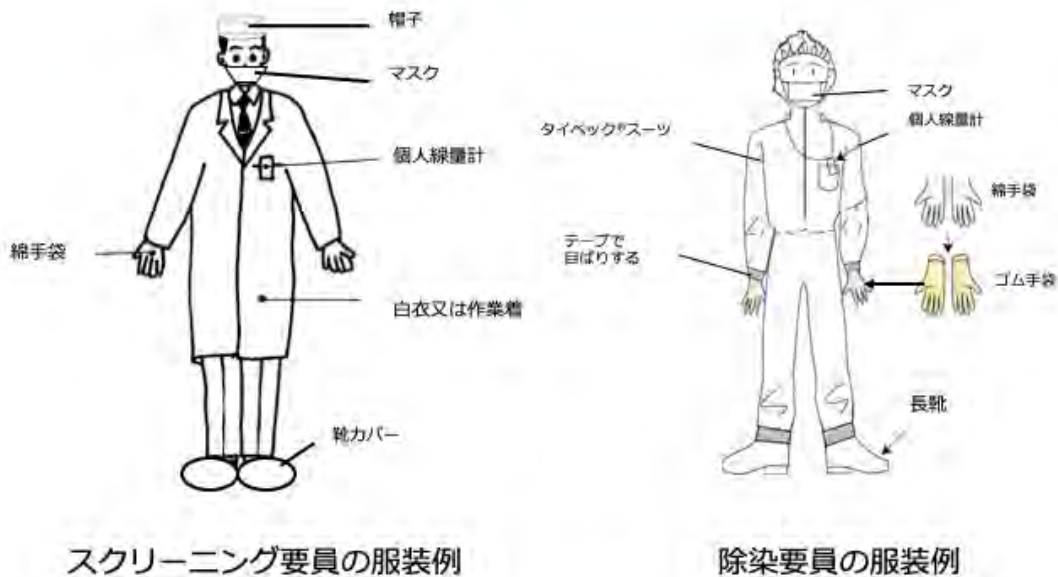
役割分担

チーム	役割
設置運営チーム	救護所の開設と運営、被災者の受付及び登録、トリアージ、誘導、情報収集、連絡
スクリーニングチーム	放射性物質による汚染検査、開口部の汚染検査による内部被ばくのおそれのある被災者のふるい分け
除染チーム	除染、脱衣後の再検査、甲状腺計測、鼻腔スワブ検査実施、汚染衣服の保管
調査・説明チーム	行動調査、説明、被ばく医療機関への搬送の判断、健康相談
医療チーム	医療処置の必要な被災者の応急処置、安定ヨウ素剤配布

救護所の活動を円滑かつ効率的に実施するために、以下のチームを設けることが考えられます。

- ①設置運営チーム
救護所の開設と運営、被災者の受付及び登録、トリアージ、誘導、情報収集、連絡
- ②スクリーニングチーム
放射性物質による汚染検査、開口部の汚染検査による内部被ばくのおそれのある被災者のふるい分け
- ③除染チーム
除染、脱衣後の再検査、甲状腺計測、鼻腔スワブ検査実施、汚染衣服の保管
- ④調査・説明チーム及び
行動調査、説明、被ばく医療機関への搬送の判断、健康相談
- ⑤医療チーム
医療処置の必要な被災者の応急処置、安定ヨウ素剤配布

救護所活動に必要な防護装備



スクリーニング要員の服装例

身体表面汚染検査は、スクリーニングチームが行い、検査員、記録者からなります。要員はマスク、帽子、綿手袋、白衣や作業着を着用し、個人線量計等を所定の位置に装着します。検査員は検査を受ける人には触れないようにし、またサーベイメータが汚染しないように注意します。

除染要員の服装例

除染チームは、住民の誘導、汚染検査、除染介助、記録などを行います。チーム要員は汚染防護服（例えば、タイベック®スーツ）、キャップ、マスク、綿手袋、ゴム手袋、長靴（もしくは靴にシューズカバーをかける）を着用します。また、要員は個人線量計を男性は胸部、女性は腹部に装着します。

被災者が自分で除染をしている間は、指導を行い、汚染拡大防止に心がけます。また、随時サーベイメータでチーム要員自身の衣服等の汚染を検査し、ゴム手袋が汚染した場合は交換します。

救護所活動での資機材

品目	用途
机、椅子など	救護所のレイアウトに必要な機材
筆記具	受付、問診等記録
記録用紙	受付、行動記録票、汚染検査記録票、など
放射線測定器	空間線量計（活動場所の安全確保）、表面汚染計
防護装備	白衣、帽子、マスク、綿手袋、靴カバー タイベックスーツ、マスク、ゴーグル、ゴム手袋、靴カバー
除染用資機材	ガーゼ、洗浄用ボトル、ビニール袋など簡易除染のための資機材
養生用資機材	ビニールシート、ろ紙シート、養生用テープなど汚染検査場所、 除染場所の汚染拡大防止対策
医療資機材	応急処置に必要な医療機材
通信機器	対策本部や医療機関、消防機関等への連絡

救護所活動に必要な資機材を示しています。救護所での活動内容によって適宜必要な資機材を準備します。

受付・トリアージ・スクリーニング

- ❖ 受付；被災者本人が氏名、住所等を被災者登録票に記載
- ❖ トリアージ；傷病等がないか確認
 - ◇ 創傷等あれば、創傷部位の汚染検査と創傷の処置
 - ◇ 救護所での応急処置では不十分であれば、医療機関へ搬送
- ❖ 避難退域時検査後に救護所に来ている場合は、スクリーニングは不要
- ❖ 避難退域時検査を未実施の場合は、スクリーニングを実施
 - ◇ 汚染があれば除染
 - ◇ 除染の基準はOIL4のレベルに準拠

救護所に避難してきた被災者は、まず受付で登録を行います。その際、傷病者の登録を優先的に行いますが、受付などで住民が戸惑ったりしないように誘導する担当者を置くことも必要です。登録手続きは、被災者登録票等を用いて行います。また行動調査票等や汚染検査記録票等も渡しますが、これらの登録票は被災者1人につき1組の登録票を渡します。

記入の際には助言や指導が必要であり、そのための人員の配置が必要です。この登録は、後の追跡調査などの大切な資料になります。受付では被災者本人に氏名、住所などの簡単な記入のみを行わせ、ここでも被災者を受付前で長時間待たせることのないようにします。

なお、被災者登録票や汚染検査記録票は、項目の重複を避けるなど平常時にその様式等について検討しておくことが重要です。

被災者登録は上記のように行っていますが、救護所には数十から数百人といった多数の被災者が避難することになります。その中には避難中にけがをしたり、具合が悪くなったりする人たちがいるかもしれません。このような場合は早期に医療処置を必要とし、外傷があれば創傷汚染の有無を速やかに評価します。また、汚染検査や行動調査などを行う際に介助が必要な被災者もいるかもしれません。受付の段階で多数の被災者の中から処置を優先する必要がある傷病者を的確に選別する（トリアージ）ことが必要です。トリアージにより医療処置が必要となれば応急処置のエリアへ誘導します。創傷があっても全身状態に問題がなければ速やかに汚染検査エリアへ誘導し、創

傷汚染の有無を含め、汚染検査を優先して行います。介助が必要な被災者には誘導要員などが付き添い検査を行っていきます。創傷部に汚染があれば、速やかに医療機関へ移送します。

登録を完了した被災者は、市町村係員の指示に従い、スクリーニングチームにより、身体汚染の有無についてのふるい分け（スクリーニング）の検査を受けます。被災者登録票等や汚染検査記録票等は、汚染検査や処置が終了するまで被災者本人に持たせます。

身体除染

身体除染の原則

除染は、本人による脱衣が基本

除染の留意事項

- ①できるだけ早く除去
- ②汚染の拡大防止
- ③体内への侵入防止
- ④創傷汚染者は傷の手当て後、原子力災医療協力機関等の医療機関へ

除染は汚染検査後、出来るだけ早期に行うことが重要です。時間が経過すると放射性物質が落ちにくく、体内に入ってしまうこともあります。まず、創傷部があれば、そこに汚染があるか否かを判断し、創傷部に汚染がある被災者は最優先で除染が必要です。そのため、創傷汚染のある被災者は創傷の応急処置を行い、汚染拡大防止のため汚染部位を被覆し、速やかに原子力災害医療協力機関等の医療機関へ搬送します。

甲状腺簡易検査の方法



1. 体表面汚染が無いことを確認した後、被検者の咽頭下部（写真）にプローブを密着させた状態で保持し、時定数10秒で指示値が安定したときの数値【測定値（A）】を読み取る。

（補足説明）

- プローブの先端はガーゼ等を被せて、汚染を確認した場合には速やかに外せるようにしておく。
- 可能であれば、プローブを頸部に密着させる前に被検者の頸部前面をウエットティッシュ等で軽く拭う。
- 一度リセットをした場合、指示値が安定するのは30秒後以降（時定数10秒の場合）



2. 着衣の汚染が無いことを確認した後、大腿部中央付近にプローブを密着させた状態で保持し、時定数10秒で指示値が安定したときの数値【測定値（B）】を読み取る。

正味値 = 測定値（A） - 測定値（B）

↑↓
スクリーングレベルと比較

※測定室内の空間線量率も定期的に測定する。

放射性ヨウ素が放出された場合やスクリーニングで開口部周囲に汚染が認められた場合など放射性ヨウ素の吸入が疑われる場合は、頸部を除染した後、甲状腺の線量を γ 線量率測定用のNaI（Tl）シンチレーション式サーベイメータ（例えば、TCS-161、171等）を用い、頸部に密着して測定します。甲状腺の位置と形状をに示します。

甲状腺の被ばく線量が100mSvの場合、放射性ヨウ素131を3,000Bq程度摂取していると推定します。実際にはサーベイメータの指示値(μ Sv/h)から放射性ヨウ素131の甲状腺沈着量(Bq)を求めるためにあらかじめ換算係数を求めておく必要があります。この量を超えると被ばく医療機関で検査する必要があります。

行動調査

行動調査の目的

外部被ばく線量の推定

行動調査の内容

被災者の健康状態の確認

被災者が救護所に来るまでの行動の調査

聞き取り者

保健師、看護師等医療関係者

服装

白衣、手袋（使い捨て）、個人線量計

行動調査は、被災者の健康状態を確認し、また外部被ばく線量を推定し、残存汚染の程度を考え合わせて被災者を被ばく医療機関へ送るかどうかが判断することを目的として行います。身体汚染検査後スクリーニングレベル未満の場合、もしくは除染後の再検査後に行います。

外部被ばく線量は行動調査と環境モニタリング情報等により推定されます。この行動調査は、除染チームや医療チームの中で、保健師や看護師等の医療職に従事している者が行うことが望まれます。

被災者登録票や汚染検査記録票等を参照しつつ、下記の項目について聞き取り、行動調査票等に記入します。聞き取り者は、白衣を着て、白衣の胸ポケット（女性は腹部）に個人線量計等を装着して被災者と対応します。

行動調査・問診の内容

健康状態の確認

- ①急性放射線症の前駆症状はないか？
- ②健康上の問題はないか？

事故発生後から救護所に来るまでの行動調査

- ①どこにいたのか？
- ②何時間そこにいたのか？
- ③服装は？
- ④雨に濡れたか？
- ⑤飲食をしたか？

現在の健康状態；急性放射線症の前駆症状などが現れていないか確認し、高線量被ばくの可能性をチェックします。また、その他に健康上の問題がないか確認します。

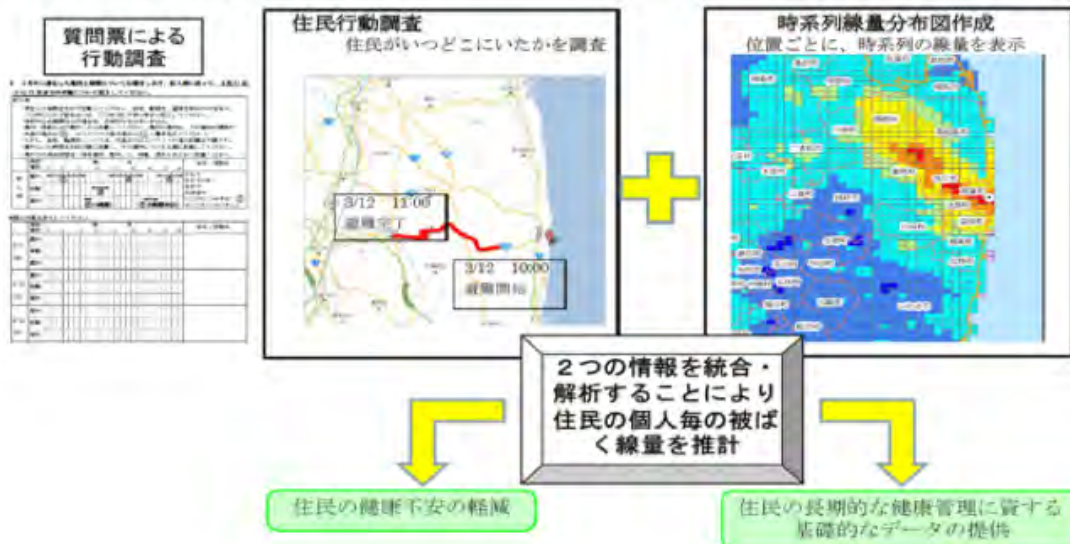
事故発生後から、救護所に来るまでに、以下のことを確認します。これらの情報から、外部被ばくの線量評価を行います。

- どこにいたか（場所、屋外か屋内か、建物の種類はコンクリートか木造か）。
- そこにどのくらいの時間いたか。
- どのような服装でいたのか。
- もし居場所が時間的に変わっていたら、それぞれについて①、②を確かめます。
- 天候によっては、雨や水に濡れたか否か。
- 飲食をしたかどうか。

さらに、安定ヨウ素剤の服用指示が出され、服用の必要がある場合は、安定ヨウ素剤の服用ができない被災者、服用に注意が必要な被災者を確認するための問診を実施します。

住民対応 外部被ばく線量推定

全県民（約202万人）を対象に福島県が調査した、原発事故発生直後からの各個人の行動パターンが、放射線医学総合研究所が開発した外部被ばく線量評価システムに入力され、個人の外部被ばく線量が評価される。



東京電力福島第一原子力発電所では、福島県民を対象に原発事故発生直後からの各個人の行動パターンを調査した情報を時系列で作成された線量分布図の情報と統合して、各個人の被ばく線量を推計しました。

この外部被ばく線量の推定には、事故発生直後からの行動調査が不可欠です。そのため救護所では外部被ばく線量推計のための行動調査を実施します。

移動型WBC車輛の紹介

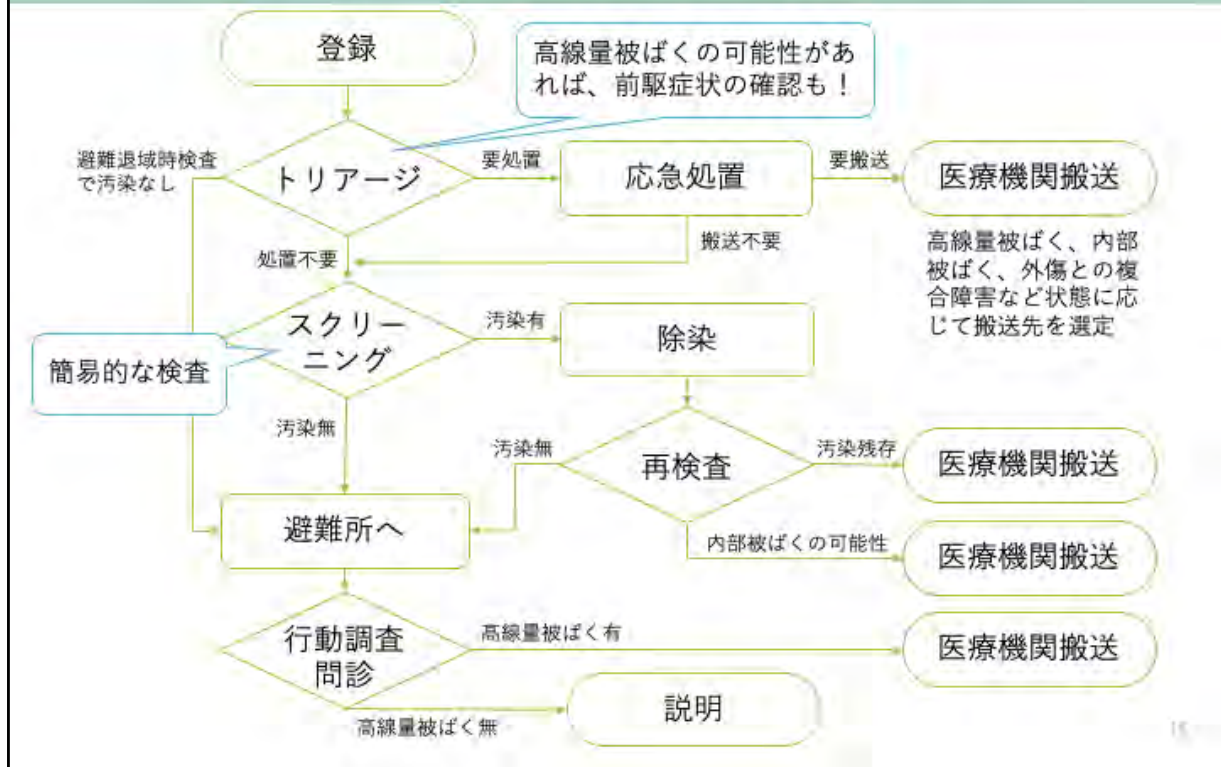
- ❖ いくつかの自治体では、救護所で内部被ばく検査を行うため、移動型WBC車輛を導入しています。
- ❖ 救護所での身体表面汚染検査によって顔面の汚染があったり、放射性プルームの吸入が疑われる場合は、このWBCによって内部被ばくの検査ができます。
- ❖ 内部被ばくがあれば、原子力災害拠点病院等へ搬送し、より精密な評価を行います。



いくつかの自治体では、救護所で内部被ばく検査を行うため、移動型WBC車輛を導入しています。救護所での身体表面汚染検査で、顔面の汚染が検出されたり、放射性プルームの吸入が疑われる場合は、この移動型WBC車輛に搭載しているWBCで内部被ばくの検査ができます。

この移動型WBC車輛での検査は、簡易検査となるため、体内の放射性物質が検出された場合は、原子力災害拠点病院等へ搬送し、内部被ばくの精密な評価が必要となります。

多数傷病者発生時の救護所活動



多数の汚染した被災者が発生したり、多数の負傷者が発生した場合の救護所での活動の流れの一例を示します。状況によって変更が必要です。

トリアージでは、被災者の状態を確認することと同時に高線量被ばくの可能性がある場合は、前駆症状等の有無を確認します。

高線量被ばくや内部被ばく、外傷等の複合障害があれば、状態に応じて搬送先医療機関を選定します。汚染がある傷病者と汚染がない傷病者は別の医療機関に搬送できるように調整しておくことが望ましいです。

多人数のスクリーニングを実施する場合は、頭部、顔面、手指の汚染が付着しやすい部位の汚染検査のみを実施し、短時間で多人数のスクリーニングが可能な体制で実施します。頭部や顔面の汚染があり、鼻腔スワブ等の検査で、内部被ばくの可能性がある場合は、速やかに内部被ばくの精密な検査、処置ができる医療機関へ搬送します。

行動調査や問診は、避難所に移動後に実施することで、救護所に多人数が滞留することなく、対処できるようにします。

まとめ

- ❖ 救護所活動
 - ◇ 必要に応じて避難してきた周辺住民等に対する救護
 - ◇ 避難退域時検査を受けていない住民に対する検査及び簡易除染
 - ◇ 被災状況の確認
 - ◇ 必要に応じて安定ヨウ素剤を配布、予防服用の支援
- ❖ 受付・登録
- ❖ トリアージ；傷病者の把握
- ❖ スクリーニング；汚染者の把握
- ❖ 簡易除染の実施
- ❖ 行動調査・問診；外部被ばく線量の推定
- ❖ 説明
- ❖ 甲状腺の簡易検査

原子力災害時の リスクコミュニケーション

原子力災害 専門研修
派遣チーム-3

時間；30分

内容

- リスクコミュニケーションとは
- 多様なリスク
- リスクコミュニケーションのフェイズ
- クライシス・コミュニケーション
- リスクに関する「知識の不定性」の度合い
- ハザード種別によるリスクの分類
- ステークホルダー（関与者）
- リスク情報の効果的発信
- 科学技術リテラシーと社会リテラシー
- リスク認知の違い
- リスクコミュニケーションの目的と機能
- リスクに関する様々な非対称性
- リスクコミュニケーションの成功
- 原子力災害の特徴
- リスクコミュニケーションの俯瞰図
- リスクコミュニケーション企画

リスクコミュニケーションとは

- ❖ リスクへの適切な対応のために行われること
 - ❖ 多様な関与者の参加が求められること
 - ❖ 関与者の相互作用を重視していること
 - ❖ 関与者間で情報共有を図り信頼関係を構築すること
-
- ❖ 多様な定義
 - ◇ リスクに関係した情報や意見を、リスク評価者、リスク管理者及びその他の関心ある人たちの間で、双方向的にやりとり（交換）するプロセスのこと
 - ◇ リスク分析の全過程において、リスク評価者、リスク管理者、消費者、事業者、研究者、その他の関係者の間で、情報及び意見を相互に交換すること
 - ◇ リスクのより適切なマネジメントのために、社会の各層が対話・共考・協働を通じて、多様な情報及び見方の共有を図る活動

リスクの多様性に応じて、対応の仕方にもバリエーションがあり、それに伴うコミュニケーションのあり方も様々です。多くのリスクコミュニケーションの定義に共通するのは、リスクへの適切な対応のために行われること、多様な関与者の参加が求められること、関与者の相互作用を重視していることです。

また、対象とするリスク、フェイズなどによってリスクコミュニケーションの目的、機能、方法が異なります。

多様なリスク

安全・安心を脅かす要因の分類

分類	項目	内容
人為的要因	犯罪・テロ	犯罪・テロ、迷惑行為
	サイバー空間の問題	コンピューター犯罪、大規模なコンピューター障害
	戦争	戦争、国際紛争、内乱
偶発的要因	事故	交通事故、公共交通機関の事故、火災、化学プラント等の工場事故、 <u>原子力発電所の事故</u> 、社会生活上の事故
	健康問題	新興・再興感染症、病気、子供の健康問題、医療事故
	災害	地震・津波災害、台風などの風水害、火山災害、雪害
社会的要因	食品問題	O157などの食中毒、残留農薬・薬品等の問題、遺伝子組換え食品問題
	社会生活上の問題	教育上の諸問題、人間関係のトラブル、育児上の諸問題、生活経済問題、社会保障問題、老後の生活悪化
	経済問題	経済悪化、経済不安定
	政治・行政の問題	政治不信、制度変更、財政破綻、少子高齢化
	環境・エネルギー問題	地球環境問題、大気汚染・水質汚濁、室内環境汚染、化学物質汚染、資源・エネルギー問題

日常生活の中で「リスク」という言葉を耳にしますが、そもそも「リスク」とは、個人の生活に密着したもののから、社会全体に及ぶものまで、安全・安心を脅かす様々な要因が含まれています。原子力発電所の事故もその一つです。それぞれのリスクについて、適切な対処が求められますが、個々のリスクに目を向けるだけでなく、複数のリスクが複雑に絡み合った、複合リスクも視野に入れる必要があります。また、あるリスクに対してとった行動が、別のリスクを生じさせるリスクについても考慮する必要があります。

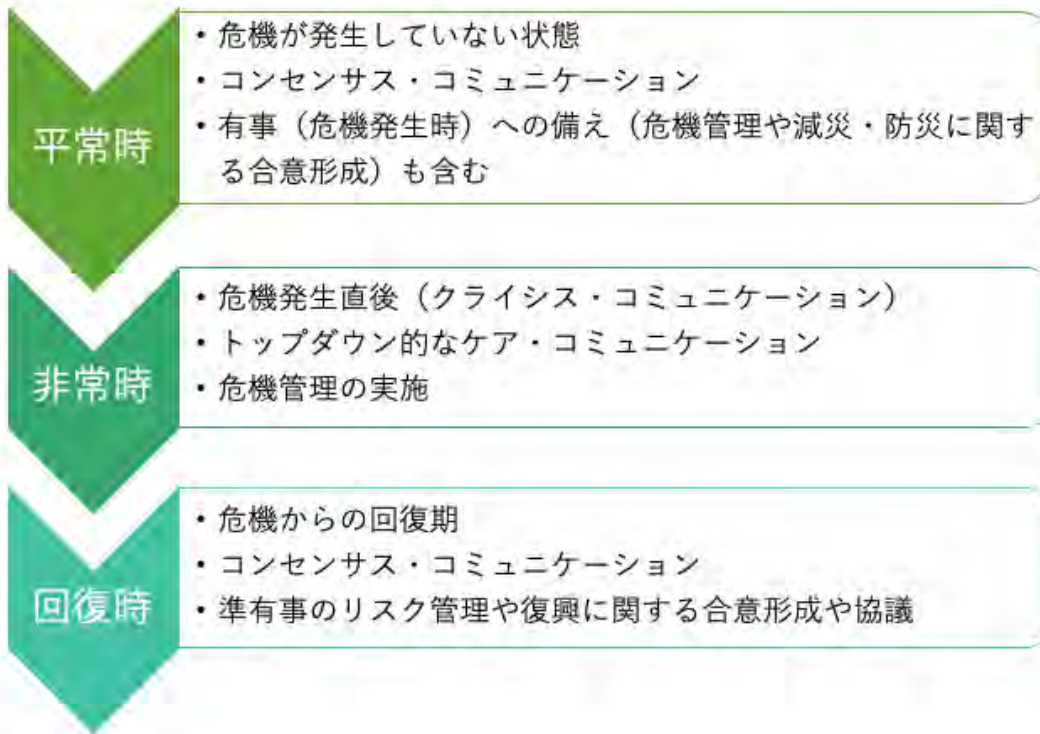
リスクとは、「ハザード（危険・危害因子）と確率の積、コストをベネフィット（利益）で割ったもの、ハザードとアウトレージ（怒りや不安、不満、不信など感情的反応をもたらす因子）の和など多様」、「危害の発生確率（発生頻度）と危害の重大性（危害のひどさ）の組合せ」、「期待される結果に対する不確かさの影響」など様々な定義されますが、多くの定義に共通するのは、なんらかの不確かさや確率、不確実性を含む点です。

出典：「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」
報告書(2004年4月)

「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）

（http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm）をもとに作成

リスクコミュニケーションのフェイズ



リスクコミュニケーションのフェイズとしては、危機が発生していない状態の平常時、危機発生直後の非常時、危機からの復興期である回復期に大別されます。危機発生直後は、クライシスコミュニケーションであり、トップダウン的なケア・コミュニケーションとなります。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

クライシス・コミュニケーション

- ❖ 危機発生後にメディアやステークホルダーに対して危機に関する情報提供、説明を行うとともに、情報を交換し合う双方向のコミュニケーション活動
- ❖ 社会的な関心と呼ぶクライシスにおいては、社会への説明責任が強く求められる。
- ❖ 「真実性」、「透明性」、「迅速性」がカギ
 - ◇ その場限りでない組織の基本姿勢を、正直かつ誠実に語る「真実性」
 - ◇ 何事も包み隠さず積極的に情報公開する「透明性」
 - ◇ とてつもない勢いで、思いもかけない方向へと展開していく事態に対抗する「迅速性」
- ❖ 組織内外のステークホルダーのほとんどがメディアの報道を通じて状況を知り、判断する。
- ❖ 組織に変わって事態の説明をしてくれるのがメディア
- ❖ 真実を直ちに語れ

クライシス・コミュニケーションとは、危機発生後にメディアやステークホルダーに対して危機に関する情報提供、説明を行うとともに、情報を交換し合う双方向のコミュニケーション活動をいいます。特に社会的な関心と呼ぶクライシスにおいては、社会への説明責任が強く求められます。

クライシス・コミュニケーションのカギとなるのが、その場限りでない組織の基本姿勢を、正直かつ誠実に語る「真実性」と、何事も包み隠さず積極的に情報公開する「透明性」です。真実性と透明性を基本にした迅速かつ適切なコミュニケーションがとりわけ重要であり、その対象の中心となるのが、メディアです。組織内外のステークホルダーのほとんどがメディアの報道を通じて状況を知り、判断するからです。また、とてつもない勢いで、思いもかけない方向へと展開していく事態に対抗する「迅速性」も求められます。

出典：「リスクマネジメントと危機管理ーコミュニケーションの視点からー」 井上邦夫 経営論集86号 2005年11月

リスクに関する「知識の不定性」の度合い

知識の不定性	特徴	討議のタイプと目的	意思決定への関与者	ハザード 類別
単純 simple	リスクの性質や管理方法がよくわかっている。その事が社会で広く認知されており、異論や対立が見られない。	手段的討議 ・リスク削減措置の協力的実施	規制当局、直接的関係者、執行機関職員など	
複雑 complex	リスクの評価や管理の仕方について科学的不一致がある。	認識論的討議 ・認識の不一致を解消	上記+科学的見解を異にする専門家・有識者一般	
不確実 uncertain	リスクの評価に関して大きな科学的不確実性がある。	反省的討議 ・不確実性・無知も考慮した上での受忍性を判断 ・規制・保護の過剰/過少も吟味	上記+主要な利害関係集団の代表(産業、直接的被影響者)	
多義的 ambiguous	解釈の多義性；同じリスクの評価結果に複数の解釈が存在する。 規範的な多義性；「何が受容可能か」など、倫理、QOL、リスクと便益の分配など様々な観点から見た考え方が存在する。	参加的討議 ・競合する議論や価値観、信念についてオープンに討議 ・共通の価値、各自の「善き生活」を実現できる選択肢、公正な分配ルール、共通の福祉を実現する方法を追求	上記+一般市民	

国際リスクガバナンス・カウンシル(IRGC)は、リスク問題をそれらに関する知識の「不定性(incertitude)」の違いによって分類しています。この分類は、リスクの管理ならびにリスクコミュニケーション(特に意思決定に直接関わる討議)の関与者の範囲やコミュニケーションの様式(討議のタイプ)を分類し、どのような目的で、誰と誰がコミュニケーションを行うかなどリスクコミュニケーションの実践の企画を立てたり、実施結果を分析・評価する際に利用する事ができます。

実際のリスク問題はこの四分類のどれか一つに1対1対応するわけではなく、一つの問題が複数の側面を併せ持つこともあること、また立場によって判断が異なることもあることは、リスクコミュニケーションを企画・評価する上で重要です。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構(2014年3月)

「リスクコミュニケーション案内」(文部科学省)

(http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm) をもとに作成

ハザード種別によるリスクの分類

ハザード種別	特徴・例	人為性
自然災害・疾病	地震、津波、気候災害（台風、大雨、洪水、干ばつ、酷暑、厳寒など）、感染症等の疾病	低い
従来科学技術	実用化から長い時間が経ち、社会に普及・定着した科学技術。規制も整備されリスクも低減・制御されている。	高い
先端科学技術 萌芽的科学技術	実用化から間もない（先端）か、研究開発途上（萌芽的）であるため、リスクの有無・程度についても利用のされ方についても不確か・未知の事が多い。規制も未整備。（遺伝子組み換え食品、ナノテクノロジー、合成生物学など）	高い

東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故

津波による全電源消失

リスクについて管理も含めてよく知られており、十分に制御可能だと見なされてきた（従来科学技術だと考えられてきた）技術が、想定を外れた事故を起こし、収束困難になる例

有害事象を発生させる可能性のある物質、生物、技術、行為などのハザードの分類には二つの基準があります。

一つ目の基準は、「人為性」による分類です。自然災害や疾病は、「人為的か、自然的か」を考えれば、人為性が低いものです。

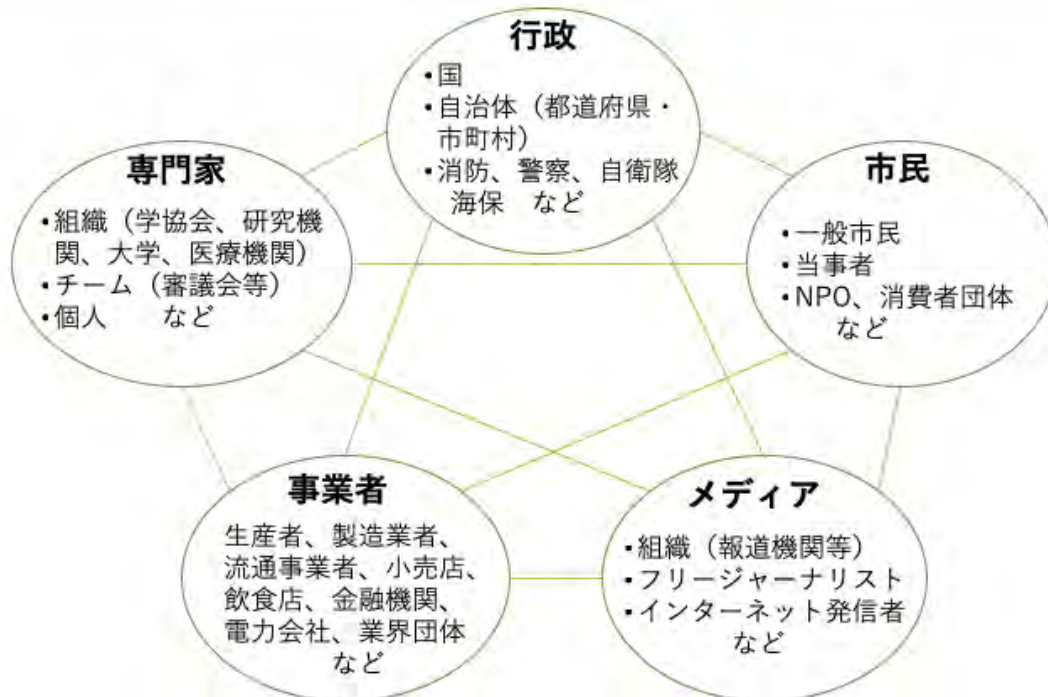
もう一つの基準は、「知識の不定性の度合いのよる分類」です。これは、有害事象の発生によってどのような結果（損害）が生じる可能性があるか（発生結果）や、それがどの程度の頻度・確率で発生するのか（発生確率）、あるいはいつどこで発生するのかについての「知識」に、どの程度の不確実性や曖昧さ（多義性）がどれくらいあるか、という基準です。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）

（http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm）をもとに作成

ステークホルダー（関与者）



ステークホルダー（関与者）は、問題への直接的、間接的に関与する者の属性を意味し、「市民」「行政」「メディア」「事業者」「専門家」に大別されています。社会の関与者はそれぞれが「リスクのより適切なマネジメント」のために果たしうる役割があり、ステークホルダー間で対話・共考・協働が積極的になされることが望ましいです。各ステークホルダーが多様な情報及び見方を共有しようとする活動全体がリスクコミュニケーションと言えます。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

リスク情報の効果的発信

- ❖ 不確かさや見解の相違があるリスク情報の公開は、その根拠を受け手側が検証できることが重要
 - ◇ リスク情報の根拠、検討過程、情報の修正・更新の履歴を含めた迅速な情報公開
- ❖ 情報発信の種類
 - ◇ 科学的な正確性を伝えようとする情報発信
 - ◇ **受け手側の行動変容を起こそうとする情報発信**
 - ◆ 伝えるべきメッセージを整理して明確にする
 - ◆ 端的にわかりやすい情報
- ❖ 確率論的な数値を理解しやすく
 - ◇ 1000mSvの被ばくで5%のリスク増加
 - ◆ リスクとして高いのか？低いのか？受け手側の認識に相違がある

不確かさや見解の相違があるリスク情報の公開に当たっては、その根拠を受け手側が検証できるようにすることが重要です。この検証可能性の確保には、リスク情報の根拠や検討過程、情報の修正・更新履歴を含めた迅速な情報公開が求められます。あるリスク情報やその根拠となるデータを、立場や見解のことなるステークホルダーが独立に検証し、結果の相互参照が行われた時、その情報・データは信頼性が高まると考えられます。さらに、その情報・データのみならず、発信側を含め各ステークホルダーの信頼性も高まります。

また、科学的な正確性を伝えようとする情報発信と、受け手側の行動変容を起こそうとする情報発信は、区別して考える必要があります。リスク情報の効果的な発信をするには、科学的な正確性を重視して細部の精緻な情報発信を心がけるよりも、伝えるべきメッセージを整理して明確にし、端的でわかりやすい情報を実践することが重要です。さらにリスク情報を発信する際に確率論的な数値だけが単に示されても、そのリスクを適切に理解するのは容易ではありません。確率論的な数値をどのように発信し、どのように理解してもらう必要があるのか、発信側と受け手側の共考が求められます。

出典： 「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

科学技術リテラシーと社会リテラシー

- ❖ リスクコミュニケーションの推進には、科学技術リテラシーと社会リテラシーの向上が不可欠
- ❖ 科学技術リテラシー
 - ◇ 全てのステークホルダーが身につけることが望まれる素養
 - ◇ 人々が自然や科学技術に対する適切な知識や科学的な見方および態度を持ち、自然界や人間社会の変化に適切に対応し、合理的な判断と行動ができる総合的な資質・能力（国立科学博物館報告書）
- ❖ 社会リテラシー
 - ◇ 研究者等の発信側が身につけることが望まれる素養
 - ◇ リスクが社会においてどのように捉えられるかの把握・理解
 - ◇ 一般国民が、科学技術・学術に対し何を求めているのか、また、科学技術・学術に関する方法をどのように受けて止めるのかを、一般国民の価値観や知識の多様性を踏まえつつ、適切に推測し、理解する能力。また、こうした多様性に配慮しつつ、科学技術・学術に関する情報を適切に発信できる能力。（東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策のあり方について 平成25年1月17日科学技術・学術審議会）

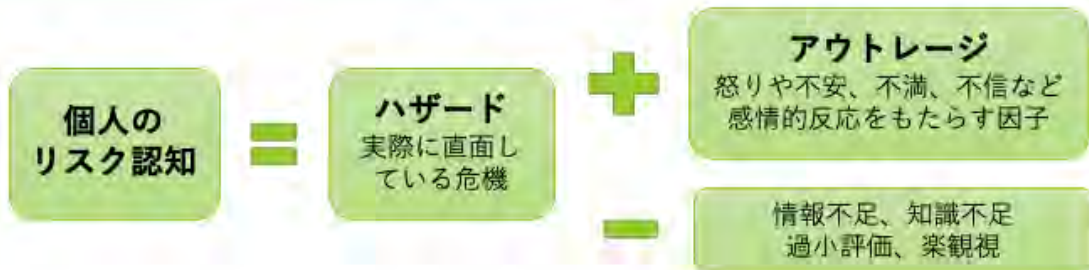
リスクに関する科学技術リテラシーは、リスクマネジメントに携わる人材のみならず、全てのステークホルダーが身につけていくことが望まれる素養です。リスクコミュニケーションが成り立つ社会であるには、今の科学の知識では、答えが一つに定まらないこともあること、不確実性のある事象について一人一人が意思決定を下さないといけない場合があることを全てのステークホルダーが理解することが重要です。

科学技術リテラシーを身につけるには、当事者が主体的に問題発見・解決策を提案する姿勢、またはそのために異なる立場や意見の人々と対話・共考・協同する姿勢を身につけるための教育が必要です。主体的に意思決定を下すことが全ての結果責任を負わなければならないことを意味するのではなく、飽くまでリスクに関する責任はリスクコミュニケーションを通じてステークホルダー間で分配されるものです。

また、リスクの問題には、倫理的・社会的問題も多く含まれるため、特に発信側においては、リスクが社会においてどのように捉えられるかを把握・理解する社会リテラシーを身につけることも重要です。

出典： 「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

リスク認知の違い



- ❖ ハザードが十分小さくてもアウトレンジが大きければリスクとして無視できない。
- ❖ 一方向の説得ではなく、「対話・共考・協働」が重要
- ❖ アウトレンジには様々な要素がある。
 - ◇ 自己決定性、公平性、信頼性などの倫理的・社会的な要素も含む
 - ◇ 倫理的・社会的な要素を軽視したコミュニケーションを行えば、不信や不満など他の要素が増す場合がある。
- ❖ 知識を共有するだけではリスクコミュニケーションとしては不十分

個人はリスクを「ハザード」と「アウトレンジ」の和として捉えるという考え方があります。アウトレンジとは、怒りや不安、不満、不信など感情的反応をもたらす因子で、ハザードが十分小さくてもアウトレンジが大きければ、リスクとして無視できないという認知となります。この場合、「対話・共考・協働」が重要です。アウトレンジには、様々な要素があり、自己決定性、公平性、信頼性などの倫理的・社会的な要素も含まれます。これらの倫理的・社会的な要素を軽視したコミュニケーションを行えば、不信や不満など他の要素が増す場合があります。原子力災害時には、放射線のリスクやその科学的な情報、あるいは測定結果等の数値のみを発信しても、発信者への不信感等があれば、リスクコミュニケーションは成り立ちません。

個人のリスク認知と社会のリスク認知は一般に異なるものです。例えば、個人のレベルでは津波のような甚大な被害をもたらさうるリスクは対処困難として諦めてしまうなど、リスクの深刻さゆえに簡単には認知できない、向かい合えない現実があると考えられます。一方で、社会や集団のレベルでは、そのようなリスクに向き合うことに合理性があります。津波のリスクのように外的要因を認知すれば避けることができるものは、個人のレベルでもリスクを認知し、平常時からリスクコミュニケーションを通じて、このリスク認知の違いを小さくする努力が必要です。

出典： 「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

リスクコミュニケーションの目的と機能

目的	機能
1 教育・啓発と行動変容	リスクとその対象法に関する知識や情報の普及、関心の喚起。リスクに対処するために行動の仕方を変える。
2 信頼と相互理解の醸成	関係者（政府・自治体・事業者・専門家・市民・NPO/NGOなど当該のリスク問題に係るのある個人・組織・団体）の間で互いの信頼や理解を醸成する。
3 問題発見と議題構築、論点の可視化	意見の交換や各自の熟慮を通じて、テーマとなっている事柄に関して、何が問題で（問題発見）、何を社会として広く議論し、考えるべきか（議題構築）、重要な論点とは何か（論点可視化）、その問題に対する人々の懸念や期待はどのようなものであるかを明確化する。
4 意思決定・合意形成・問題解決に向けた対話・共考・協働	最終的な意思決定・合意形成や問題解決に向けて行われる対話・共考・協働。科学的・技術的な事実問題や法制度等に関する議論だけでなく、関係者間の多様な価値観や利害関心についての議論も含む。
5 被害の回復と未来に向けた和解	物理的のみならず社会的・精神的な被害からの回復を促すとともに、問題発生から現在に至る経緯を振り返りつつ、関係者間の対立やわだかまりを解きほぐし、和解を進める。

リスクコミュニケーションを行う目的あるいは機能には様々なものがあります。

国際リスクガバナンス・カウンシル（IRGC）は、リスクのより適切なマネジメントに資するリスクコミュニケーションの目的について、①リスクとその対象法に関する教育・啓発、②リスクに関する訓練等行動変容の喚起、③リスク評価・リスク管理機関等に対する信頼の醸成、④リスクに関わる意思決定への利害関係者や公衆の参加と紛争解決、の4点をあげています。我が国の事例に照らし、より具体的かつ分かりやすくリスクコミュニケーションの目的と機能を分類したものが上記の表です。

リスクコミュニケーションは、ステークホルダーが広く互いの立場や見解を理解しあった上で、それぞれの行動変容に結びつけることのできる「共感をうむコミュニケーション」の場となることを目指すべきです。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

リスクに関する様々な非対称性

専門家や行政等	要因	一般市民等
多い	情報	少ない
リスク対処の権限 責任を持つ	リスクに係る権限と責任	権限・責任はない
少ない	リスクそのものを 引き受ける度合い	多い
確率論的事象として リスクを操作的に認識 「統治者視点」	リスク認知	広く概念的および 感覚的にリスクを認識 「当事者視点」

ステークホルダー間でリスクコミュニケーションを実施する際、多くの場合に、発信側（専門家や行政等）と受けて側（一般市民等）との間に、情報、リスクに係る権限と責任、リスクそのものを引き受ける度合いの非対称性の課題が伴います。いかにこの非対称性に配慮し、双方向を担保したコミュニケーションの場に近づけるかが、リスクコミュニケーション成功の重要なポイントとなります。また、情報の受け手側は、概ね発信側に行動の指針を示してほしいという意見と、情報を基に自分で判断したいという意見に大別されます。どちらが望ましいというものではなく、このような受け手側のリスク情報の理解の仕方を発信側があらかじめ意識する必要があります。

行政や専門家の「統治者視点」では、統計的・確率論的な見方をするのに対して、リスクに直面する一人一人の「当事者視点」では、危害の確率がいくらかであれ、個人がその危害を受けるか受けないかの二者択一としてリスクを捉えたり、アウトレージの要素による価値判断に基づいた個別的な見方をしたりします。

統治者視点からは、責任ある意思決定のためには不確実性の高いリスク情報は、参考となる度合いが低く、開示すれば混乱を招く可能性があるとして排除されがちとなりますが、当事者視点からみれば、不確実性の高いリスク情報であっても、各自が個々の責任で行う意思決定の参考になり得るため、積極的な公開・周知が望ましいとされます。発信側はこのような視点を十分

理解する必要があります。

出典： 「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術お
よび社会連携委員会（2004年3月27日）

リスクコミュニケーションの成功



上の絵では、ある人のAという考えが、相手にA'という形で伝わっています。下の絵では、AとBという異なる考えを持っていた二人が、C、Dという新しい考えにたどり着いたことをあらわしています。C=Dであれば、合意が形成されたこととなりますが、コミュニケーションは必ずしも合意を目指すものではなく、様々な目的・機能があることに注意が必要です。

リスクコミュニケーションは、参加する個々人の感情や価値観にも深く関係・影響するもので、その手法に画一的な解、ゴールは存在しないと考えられ、これに十分留意する必要があります。リスクコミュニケーションは、リスクを伴う事象に対する向き合い方について一つの結論を導くものでもなく、一方向に知識を伝達し共有するものでもありません。「共感を生むコミュニケーション」の場、すなわちステークホルダーが広く互いの立場や見解を理解しあった上で、それぞれの行動変容に結びつけるための場となるべきです。「共感を生むコミュニケーション」の場を適切に設定するには、ステークホルダー間の信頼関係がなにより重要で、対話・共考・協働といった実践の積み重ねが欠かせません。

出典：「科学コミュニケーション案内」 科学技術振興機構 科学コミュニケーションセンター（2015年3月31日）

「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）

（http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm）をもとに作成

原子力災害の特徴

- ❖ 原子力発電所は、リスクについて管理も含めてよく知られており、十分に制御可能だと見なされてきた（従来科学技術だと考えられてきた）技術だったが、想定を外れた事故を起こし、収束困難になった。
- ❖ 同じリスクの評価結果に複数の解釈が存在する。
- ❖ 科学的には「単純」であっても、「多義的」な問題として扱う必要性
 - ◇ 原子力発電所事故によって汚染された環境での低線量放射線の健康リスクは、科学的な観点からは十分低く、管理可能だとされても、当事者にとってはリスク分配やコスト負担の公平性、医療被ばくのように自らの意思で受けるものではないこと(非自発性)などから受け容れがたいと判断される場合がある。

東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故

津波による全電源消失

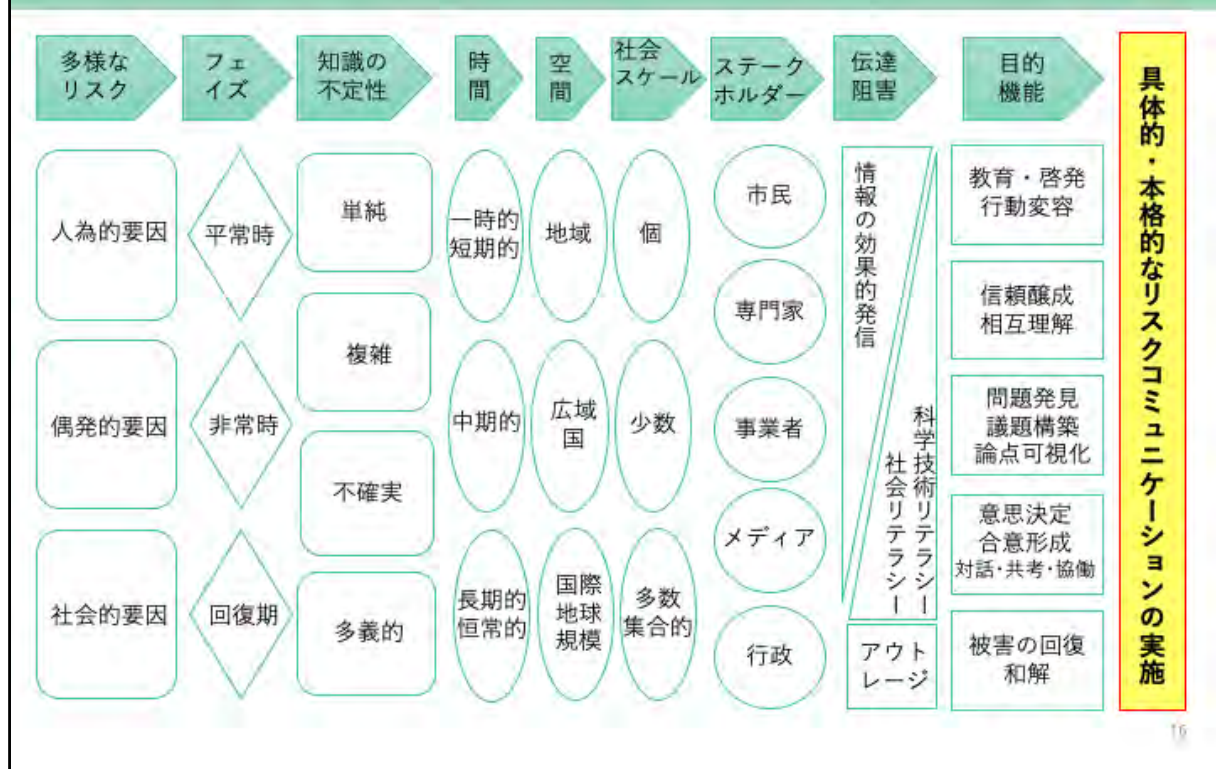
リスクについて管理も含めてよく知られており、十分に制御可能だと見なされてきた（従来科学技術だと考えられてきた）技術が、想定を外れた事故を起こし、収束困難になる例

原子力発電所は、リスクについても十分に制御可能だと見なされていましたが、2011年の東京電力福島第一原子力発電所の事故では、想定を外れた事故を起こし、収束困難になりました。

低線量の放射線の健康リスクは、科学的な観点からは十分に低く、管理可能である「単純」なリスクとされても、周辺住民等の当事者にとっては、リスク分配やコスト負担の公平性、医療被ばくとは違って自らの意思で受け入れるものではないことなどから、受け容れ難いと判断されることもあり、「多義的な」問題として扱う必要があります。

また、同じリスクの評価結果についても、複数の解釈が存在することもあります。

リスクコミュニケーションの俯瞰図



リスクコミュニケーションを適切に行うためには、直面している問題を俯瞰的に捉え直し、目的に応じた手法を選択しなければなりません。リスクコミュニケーションが扱う問題には、時間的・空間的なスケールや分野、人為的か自然的かの相違など、様々な種類があり、これに応じたリスクコミュニケーションの在り方（目的、対象、方法論、時期・期間など）も様々です。国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）科学コミュニケーションセンターで開発された「科学コミュニケーションの分類枠組み」を紹介しています。

リスクの問題とリスクコミュニケーションの分類軸は、問題発生・対応の「時間・空間・社会スケール」、「ハザード種別」、リスクに関する知識の「不定性」の度合い、問題発生・対応の「フェイズ」、問題に関わる「アクター」、リスクコミュニケーションを行う「目的・機能」の6つの軸による複合的な分類枠組みが提案されています。

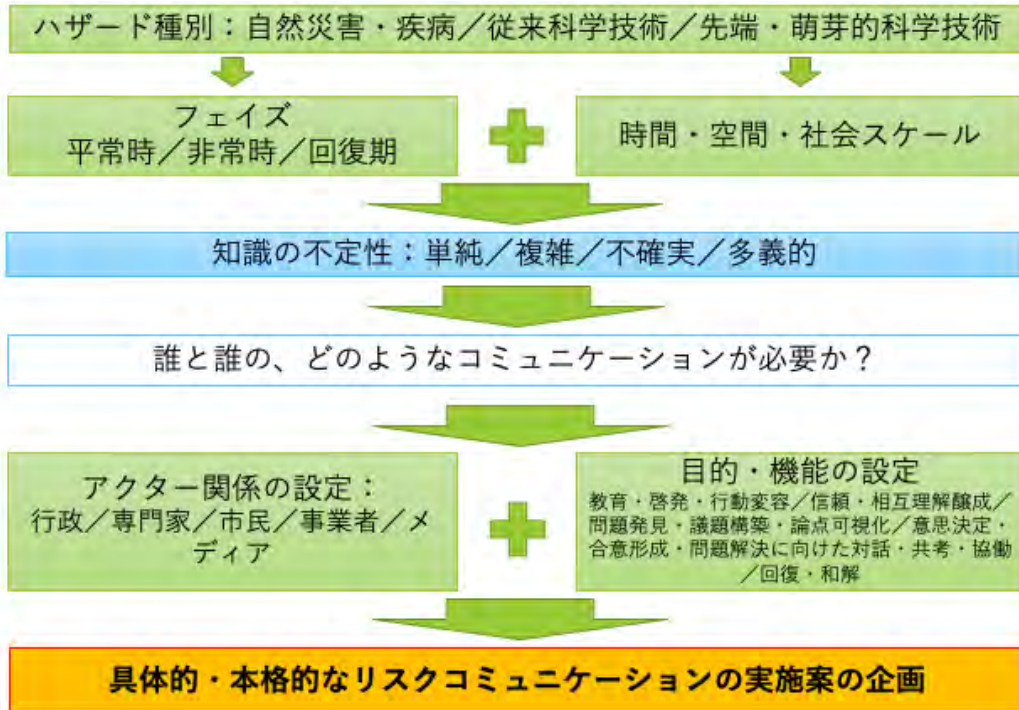
出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「科学コミュニケーション案内」 科学技術振興機構 科学コミュニケーションセンター（2015年3月31日）

「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）

（http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm）をもとに作成

リスクコミュニケーション企画



リスクコミュニケーションの実践の企画や評価における導入的な目安として、上記のフローチャートを示しています。例えば、「ハザード種別」が実用化間もない先端科学技術であり、具体的な被害が発生していない場合には、「フェイズ」は「平常時(下流)」となり、予期される問題の性質に応じて時間・空間・社会スケールが選ばれます。さらに「誰と誰の、どのようなコミュニケーションが必要か」を考えるために、リスクに関する知識の「不定性」がどうであるかを検討します。「単純」の場合には、意思決定に直接かかわるコミュニケーションは、規制当局スタッフ等を中心に行われます。他のアクターとのコミュニケーションはもっぱら「教育・啓発と行動変容」を目的としたものとなります。

ただし、規制当局や専門家からは「単純」に分類されるリスクでも、たとえば消費者から見ると、規制当局等に対する不信感があり、「複雑」や「不確実」に分類されることもありますし、同じ対象でも、「単純」に分類されるリスクのほかに「複雑」などに分類されるリスクも併せ持っている場合があります。その場合には、規制当局外部の一般の専門家や利害関係者、さらには一般市民も対象にしたコミュニケーションが、「信頼醸成」や「意思決定への参加」を目的に行われる必要があります。

また、科学的な観点からは「単純」に分類されるリスクであっても、リスクにさらされる当事者にとって、それを受け容れるか否かは、原理的には、QOL(生命/生活の質)も含めた当人の価値判断に依存し、かつ、この判断に基

づいた自己決定が尊重されなければなりません。実際、そうした規範的な問題がリスクコミュニケーションにおいて問題化することは多々あります。たとえば原子力発電所事故によって汚染された環境での低線量放射線の健康リスクは、科学的な観点からは十分低く、管理可能だとされても、当事者にとってはリスク分配やコスト負担の公平性、医療被ばくのように自らの意思で受けるものではないこと(非自発性)などから受け容れがたいと判断される場合があります。そうした場合には、科学的には「単純」であっても、「多義的」な問題として扱う必要があります。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

まとめ

- ❖ 有事に行われるクライシス・コミュニケーションは、全てのステークホルダーの参加、強制でない合理的対話、明確な権限と正当性の付与がポイントとなる。
- ❖ リスクコミュニケーションは、参加する個々人の感情や価値観にも深く関係・影響する
- ❖ 「共感を生むコミュニケーション」の場
 - ◇ ステークホルダーが広く互いの立場や見解を理解しあった上で、それぞれの行動変容に結びつけるための場
 - ◇ ステークホルダー間の信頼関係が重要
 - ◇ 対話・共考・協働
- ❖ 原子力災害では、同じリスクの評価結果に複数の解釈が存在する。

線量評価の概念

原子力災害 専門研修
WBC・甲状腺-1

被ばく医療と線量評価

被ばく医療

- 診断
- 除染
- 医療措置(カウンセリング等)



連携

放射線学的な対応

- 放射線測定
- 線量評価・線量再構築
- 放射線防護

多様な放射線事故に対応



東海村ウラン加工施設における臨界事故
(1999)



福島第一原子力発電所事故
(2011)

放射線事故が発生した場合には、被ばく医療と放射線学的な対応との適切な連携が必要となります。

放射線学的な対応の中には、放射線計測、線量評価、線量再構築があります。これらの結果は、放射線防護に関する対応策や除染の必要性の有無を判断する材料としてのみではなく、診断・医療措置にあたって参考とすべき情報のひとつとして役立てられます。

被ばく線量評価

緊急被ばく医療における線量評価のニーズ

- 迅速に被ばく線量の程度を把握する（トリアージ/スクリーニング）
- 医療介入を行うための判断材料のひとつとする

物理学的線量評価

- 国際放射線防護委員会(ICRP)により線量評価の方法が提示されている。
- 放射線防護量(実効線量, 等価線量)はトリアージに適した指標となる。
- 高い線量域(例えば実効線量100mSv以上)では詳細な線量評価(再構築)が必要。放射線防護量ではなく組織吸収線量を評価する。

緊急被ばく医療における線量評価のニーズとして、

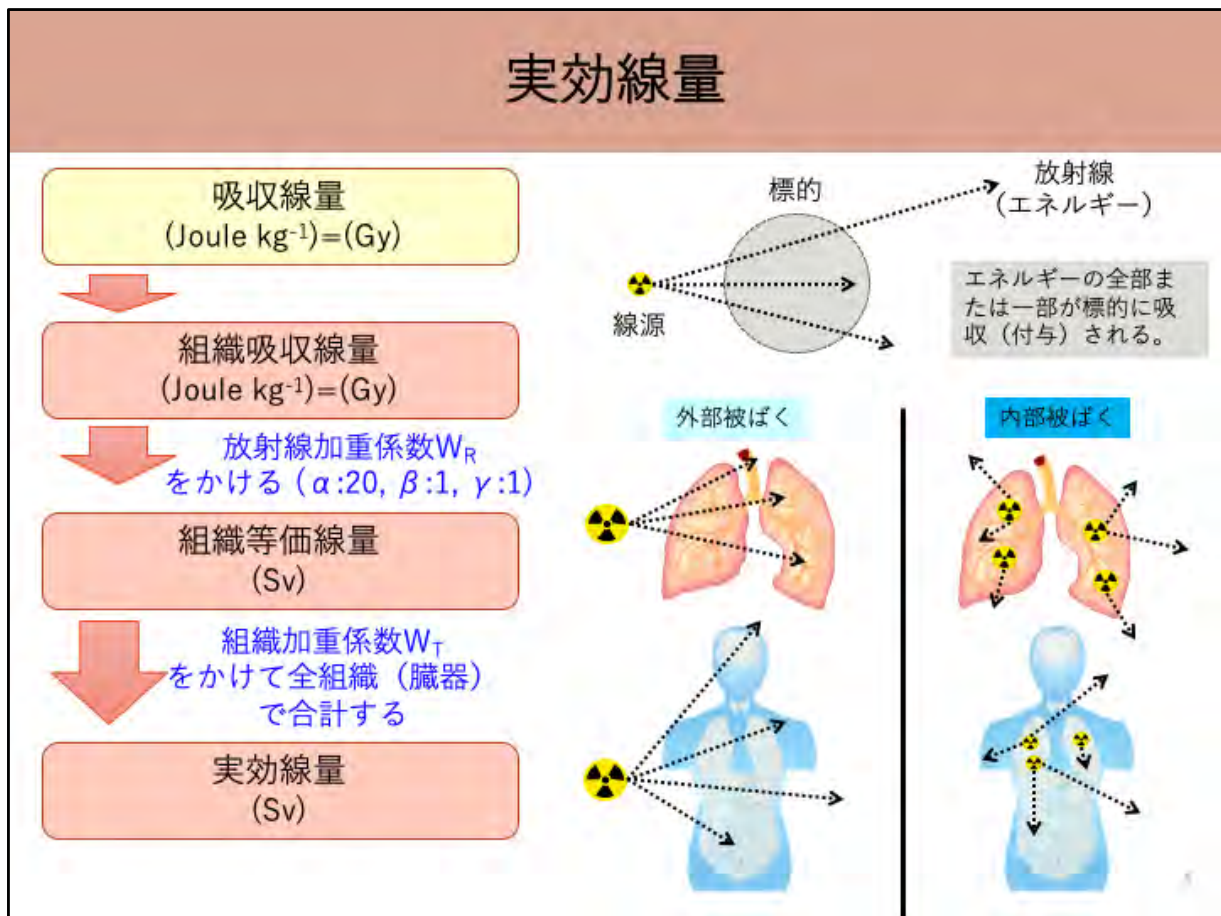
1. トリアージ/スクリーニングにおいて被ばく線量の程度を迅速に把握すること
2. 医療介入を行うための判断材料のひとつとすることが挙げられます。

線量評価には、放射線が人体に付与するエネルギーを直接的に計算する物理学的線量評価と染色体異常の頻度を観察する生物学的線量評価があります。しかし、生物学的線量評価の場合には採血が必要となるため、相当の被ばくを受けたことが明らかでない時点では物理学的線量評価が優先されます。物理学的線量評価の方法は、国際放射線防護委員会(ICRP)によって提示されています。

実効線量や等価線量といった放射線防護量は、平常時において線量限度を超えることがないことを確認する放射線管理の目的に使用されますが、緊急被ばく医療においてもおよそその被ばく線量の程度を把握するトリアージに役立てることができると考えています。

実効線量が100mSv以上となる高い線量を被ばくした場合には、放射線防護量ではなく、利用可能な情報(被ばくした個人の体格・代謝、臓器・組織ごとの生物学的効果比など)を考慮して臓器・組織ごとの吸収線量を評価することになりますが、これには時間を要します。

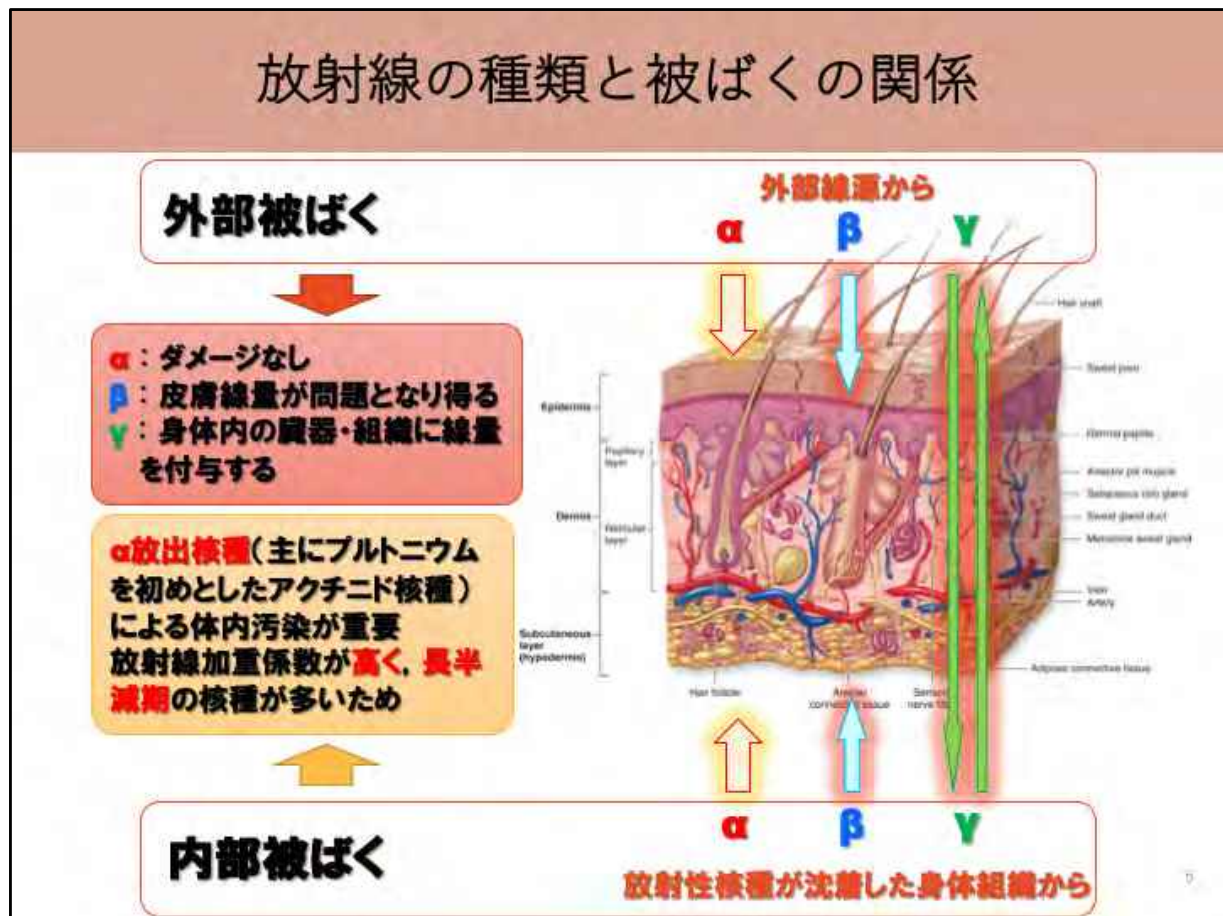
実効線量



放射線被ばくによる臓器・組織ごとの吸収エネルギーは、放射線の種類、臓器・組織の形状、線源の位置などによって変わります。例えば、 α 線や β 線の場合、外部被ばくでは体表面付近にのみにエネルギーが付与されますが、内部被ばくでは放射性核種が取り込まれている体内の臓器・組織に付与されます。臓器・組織が1kgあたりに吸収するエネルギーを組織吸収線量 (Gy) といいます。

たとえ組織吸収線量が同じであったとしても、それが α 線によるものか、 β 線や γ 線によるものかによって生物学的効果は異なります。これを考慮するための係数を放射線加重係数といい、組織吸収線量に掛けることで組織等価線量 (Sv) が計算されます。さらに、臓器・組織ごとの等価線量を組織加重係数で重み付けすることで実効線量 (Sv) が計算されます。

放射線の種類と被ばくの関係



外部被ばくの場合、 α 線は皮膚の表層までしか到達せず、人体への影響はありません。

β 線は、皮膚表面から平均深さ70 μm の位置にある基底層にエネルギーを付与するため、確率的影響や確定的影響を引き起こす可能性があります。

γ 線は、体内の臓器・組織を透過する中で、さまざまな部位に一定のエネルギーを付与する可能性があります。

内部被ばくの場合、 α 線や β 線はそれらを取り込まれた臓器・組織に対して局所的にほぼ全てのエネルギーを付与します。

特に α 線は生物学的効果比が高く、また α 線放射核種であるプルトニウム等のアクチノイド元素の物理学的半減期及び生物学的半減期が両方とも長いので、わずかな摂取でも被ばく線量が高くなる特徴があります。

等価線量を計算するための放射線加重係数

等価線量 [単位 : Sv]

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

H_T : 臓器・組織Tの等価線量

w_R : 放射線加重係数

$D_{T,R}$: 臓器・組織Tの平均吸収線量

主な放射線の種類	Publ. 26	Publ. 60	Publ. 103
光子	1	1	1
電子	1 [†]	1	1
陽子	25	5	2
アルファ粒子	25	20	20

[†]トリチウムから放出されるベータ線については2

等価線量を計算するための放射線加重係数は、表に示すようにICRPによって与えられ、改訂されてきました。

ICRP Publ. 103において、現在は光子及び電子に対して1、陽子に対して2、アルファ粒子に対して20が与えられています。

実効線量を計算するための組織加重係数

臓器・組織	Publ. 26	Publ. 60	Publ. 103
肺	0.12	0.12	0.12
胃	—	0.12	0.12
結腸	—	0.12	0.12
(赤色)骨髄	0.12	0.12	0.12
乳房	0.15	0.05	0.12
生殖腺	0.25	0.20	0.08
甲状腺	0.03	0.05	0.04
食道	—	0.05	0.04
膀胱	0.3	0.05	0.04
肝臓	—	0.05	0.04
骨表面	—	0.01	0.01
皮膚	—	0.01	0.01
脳	—	—	0.01
唾液腺	—	—	0.01
残りの臓器・組織	0.3	0.05	0.12

- 考慮された損害
- ✓ 致死ガンの確率
- ✓ 非致死ガンの加重された確率
- ✓ 重度遺伝的影響の加重された確率
- ✓ 寿命損失の相対的な長さ
- 損害の発生確率の全身平均
- 年齢、性別に関する平均化

実効線量を計算するための組織加重係数も、放射線加重係数と同様にICRPから与えられ、改訂されてきました。

ICRP Publ. 26では6つの臓器・組織にのみに対して個別の組織加重係数が与えられ、それ以外の臓器・組織は「残りの臓器・組織」として扱われていました。

現在は、放射線影響に関する知見に基づいて細分化され、14の臓器・組織について個別の係数が与えられています。特に、遺伝的影響に対するリスクが小さいという理解が進んだことから、生殖腺に対する係数は当初の0.25から0.08にまで下げられました。

放射線加重係数の根拠となる損害（デトリメント）として、致死及び非致死ガンの確率、重度の遺伝的影響の確率、寿命損失などを考慮していますが、これらは人種、年齢、性別等に関して平均化されたノミナルな（名目上の）リスクに基づいています。

それゆえ、実効線量は放射線防護量として、平常時において線量限度を超えることがないことを確認する放射線管理の目的（前向きな評価）に対してのみ使用できるものであり、特に高い線量を被ばくした個人に対する遡及的な評価（後ろ向きな評価）に用いるべきものではありません。

個人線量計による外部被ばく線量の測定

積算式



OSLバッジ



ガラスバッジ

電子式



- 個人線量計は適切な位置に着用!!



外部被ばく線量は一般的に個人線量計による測定によって管理します。個人線量計には、1ヵ月～3ヵ月の期間中に被ばくした線量を測定する積算式と、リアルタイムで線量を確認することができる電子式があります。いずれの個人線量計も、適切な位置に着用して放射線業務に従事することが大切です。

個人線量計による外部被ばく線量の測定

□着用部位

- 体幹部（胸ポケット、腰ベルトの位置）
- 襟元
- 手首又は指

□測定値

- 1cm線量当量
- 70 μ m線量当量
- 3mm線量当量



個人線量計の着用位置は、男性については胸部、女性については腹部となります。

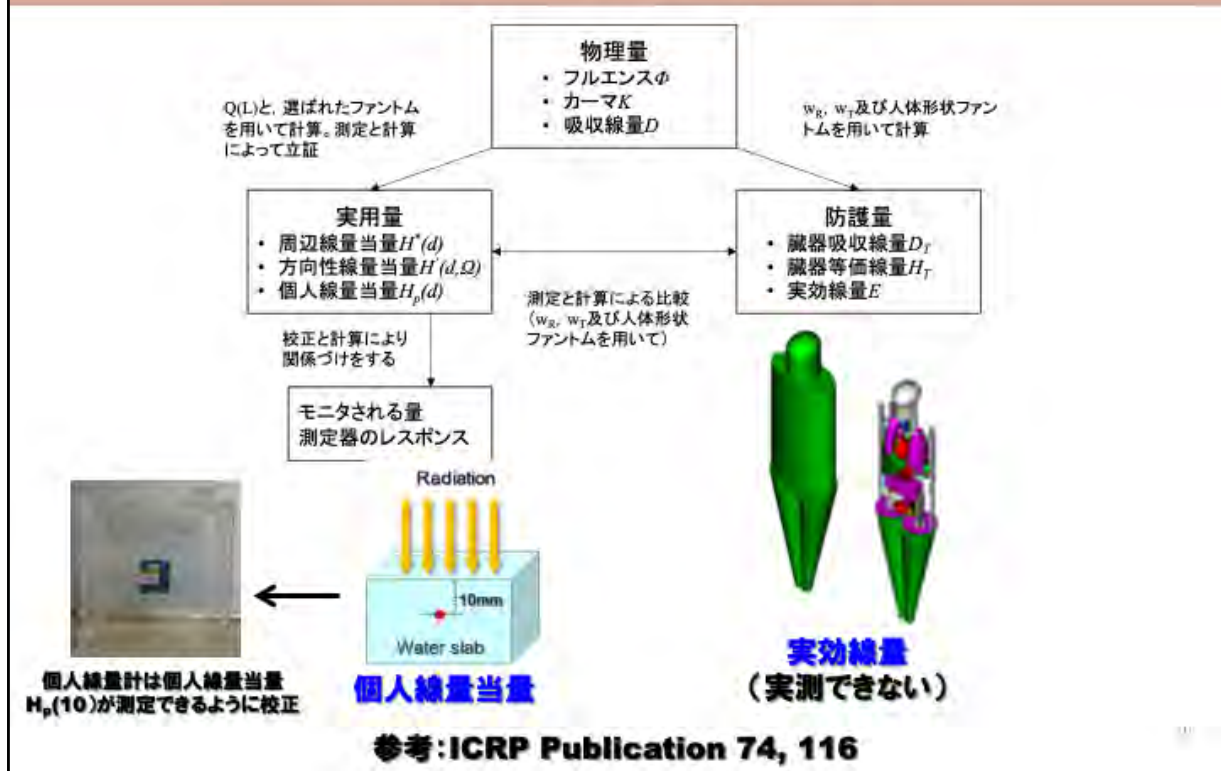
実効線量を評価するためには、組織加重係数が与えられている全ての臓器・組織の組織等価線量を評価する必要がありますが、それは困難であるため、正面からの外部被ばくに対して実効線量よりも高い値が示される1cm線量当量（人体等価物質の深さ1cmの位置での線量）が測定されます。

通常、1cm線量当量と併せて皮膚線量を評価する目的で70 μ m線量当量も測定され、1cm線量当量と70 μ m線量当量のいずれか高い方の値が、水晶体線量を評価する3mm線量当量とみなされます。

指先や頭頸部などが局所的／不均一に被ばくする可能性がある場合には、襟元や手首・指などにも個人線量を着用する場合があります。

近年、水晶体の線量をより正確に測定するために、眼に近い位置で3mm線量当量を直接測定する個人線量計も開発されています。

外部被ばく線量の概念



個人線量計で測定される個人線量当量（1cm/70 μ m/3mm線量当量）やサーベイメータで測定される周辺線量当量は、実際に測定できる実用量と呼ばれています。

実用量は、一般的に防護量（臓器吸収線量、臓器等価線量、実効線量）よりも高い値を示すため、放射線管理の目的で線量限度を超えていないことを簡便に確認することに役立ちます。

外部被ばく線量の概念

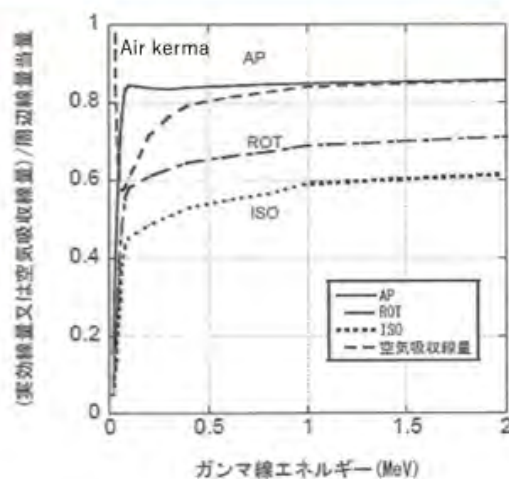
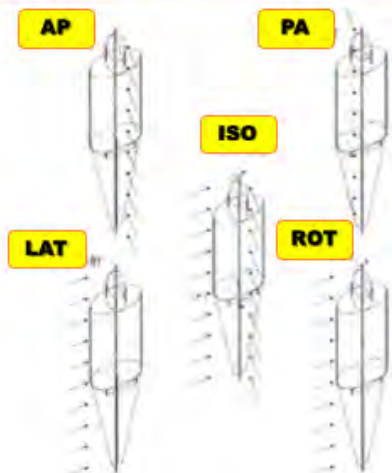

実効線量
 (防護量)

<

周辺線量当量
 (実用量)



(大抵の場合)



特集 放射線防護に用いられる線量概念. 日本原子力学会誌(2013)から引用

環境中において様々な方向からの放射線被ばくする状況についても、サーベイメータで測定される周辺線量当量（実用量）が実効線量（防護量）よりも高い値を示すことが確認されています。

外部被ばく線量の計算

作業者が誤って ^{137}Cs 線源(37TBq)から1.5m離れた場所で約10分間の照射を受けたことが判明した。
この作業者が受けた外部被ばく線量を計算せよ

$\Gamma = 0.0779 \text{ (}\mu\text{Sv m}^2 \text{ MBq}^{-1} \text{ h}^{-1}\text{) for } ^{137}\text{Cs}$

$$E = \frac{A \times \Gamma \times t}{d^2} = \frac{3.7 \times 10^7 \times 0.0779 \times 1/6}{1.5^2} = 2.1 \times 10^5 (\mu\text{Sv}) = 210 (\text{mSv})$$

放射能(MBq) → A
時間(h) → t
距離(m) → d

ある放射性核種の点線源による外部被ばく線量（実効線量）は、実効線量率定数を使用して計算することができます。
実効線量率定数は、1MBqの点線源が1m離れた位置に存在している場合の1時間当たりの実効線量（ μSv ）で、
例えばCs-137の場合は $0.0779 \text{ (}\mu\text{Sv m}^2 \text{ MBq}^{-1} \text{ h}^{-1}\text{)}$ です。
37TBqのC-137線源から1.5m離れた場所で約10分間照射を受けた場合の実効線量は210mSvと計算されます。
スライドの計算式に示すように、線量は距離の2乗に反比例します。

外部被ばく線量率定数

放射性核種	半減期	γ線エネルギー (MeV)－放出率	1MBq, 1mでの 実効線量率(μSv h ⁻¹)	1MBq, 1mでの 周辺線量当量率(μSv h ⁻¹)
²⁴ Na	2.609y	1.275 – 99.9%	0.284	0.333
⁵⁴ Mn	312.1d	0.835 – 100%	0.111	0.13
⁵⁹ Fe	44.5d	1.099 – 56.5%	0.147	0.171
		1.292 – 43.3%		
⁶⁰ Co	5.271y	1.173 – 100%	0.305	0.354
		1.333 – 100%		
^{110m} Ag	249.8d	0.658 – 94.0%	0.354	0.416
		0.885 – 72.2%		
		0.937 – 34.1%		
		1.384 – 24.1%		
¹³⁷ Cs	30.04y	0.662 – 85.1%	0.0779	0.0927
		0.296 – 28.7%		
¹⁹² Ir	73.83d	0.308 – 30.0%	0.117	0.139
		0.317 – 82.7%		
		0.468 – 47.8%		
²⁴¹ Am	432.2y	0.0595 – 35.9%	0.00395	0.00529

参考:アインホープ手帳第10版

主要な放射線源に対する実効線量率定数及び周辺線量当量率定数はスライドに示す通りです。

いずれの核種に対しても、周辺線量当量率定数が実効線量率定数よりもわずかに大きいことが確認できます。

外部被ばく事故時の線量再構築



In the JCO criticality accident
A. Endo and Y. Yamaguchi, Radiation Res. (2003)

In the overexposure case with gamma radiography
FCA DaSaliva et al., J. Radiat.Prot. (2005)

実際の外部被ばく事故では、線源の形状や被ばく時の体勢が状況に応じてさまざまです。

このような状況を再現し、線量を再構築する手法として、数値シミュレーションが有効ですが、専門家の高度な知識及び技術が必要となります。

内部被ばく線量評価の方法

国際放射線防護委員会(ICRP)が放射線防護において推奨する方法



体外計測法
(肺モニタ)



個人モニタリング

摂取から測定までの経過時間に応じた
残留率・排泄率で除す



摂取量の推定

線量係数を乗じる



線量評価 (実効線量)



バイオアッセイ法
(陰イオン交換)



15

内部被ばく線量を評価するためには、体外計測法やバイオアッセイ法による個人モニタリングによって、体内に残留する／排泄物中に含まれる放射能を測定する必要があります。

摂取量を推定するためには、個人モニタリングで測定した体内残留量や排泄物中の放射能を残留率又は排泄率で除すこととなりますが、これらの値は放射性核種を摂取してからの経過時間に依存して変わります。

実効線量は、推定した摂取量に線量係数を乗じることで計算されます。

実効線量の概念

吸収線量 (Gy)

放射線加重係数を乗じる

等価線量 (Sv)

組織加重係数を乗じて、全臓器の合計を計算

実効線量 (Sv)



各臓器の実際の吸収線量は測定できない・・・

したがってモデルを用いる

吸入／経口摂取した放射性核種による内部被ばくの線量係数の導出には、モデルによる計算が必要となります。

はじめに、摂取した放射性核種の体内での挙動を表す体内動態モデルを解析し、各臓器・組織での50年間にわたる総崩壊数が計算されます。

次に、人体を模擬した数値ファントムを使用した放射線輸送計算により、体内で放出された放射線が各臓器・組織にどの程度のエネルギーを付与するかが計算されます。

以上の結果から、1Bqの放射性核種を摂取した場合の実効線量を表す線量係数 (Sv/Bq) が導出されます。

放射性核種の体内動態

核種(厳密には元素)によって体内動態に特徴がある..



甲状腺に集積する元素

ヨウ素



肝臓と骨に集積する元素

プルトニウム

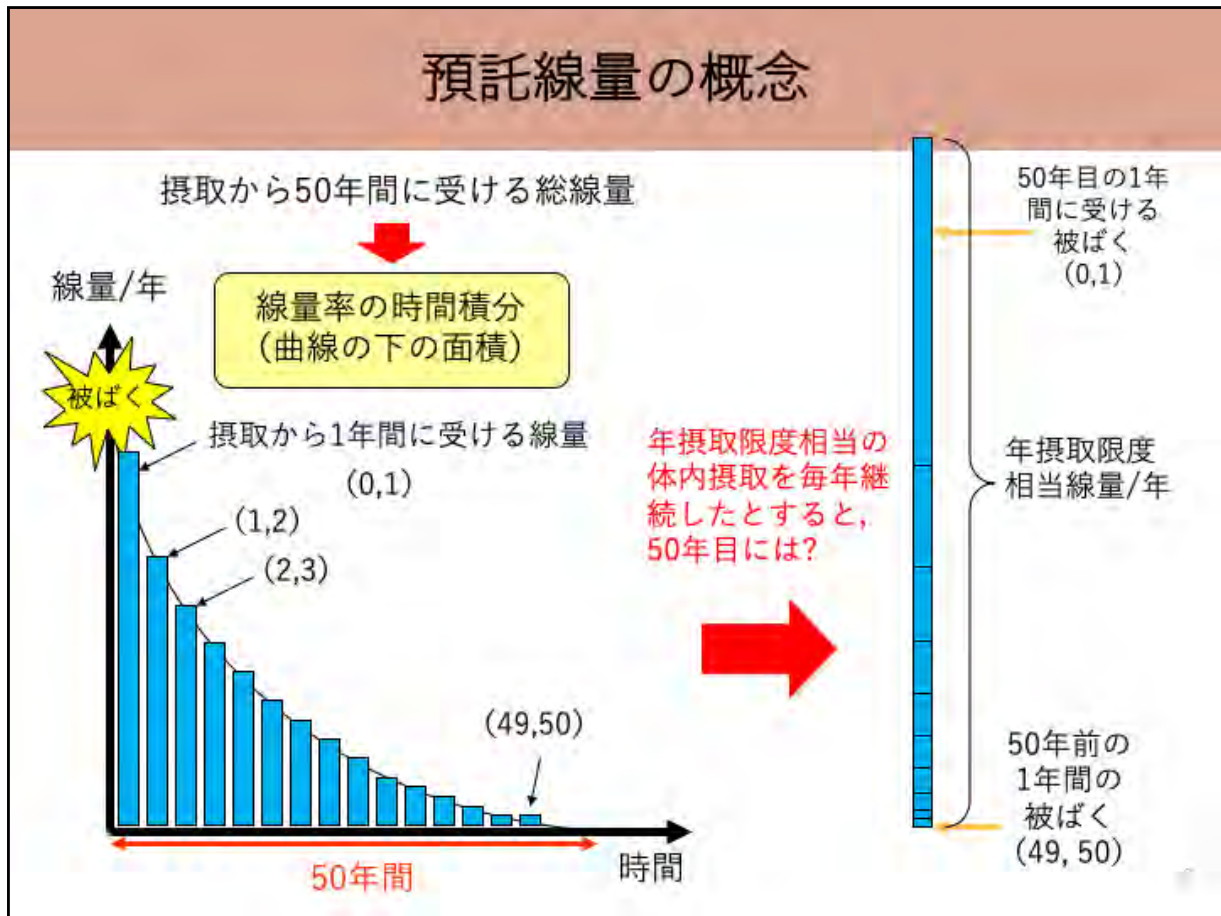


全身に分布する元素

セシウム

放射性核種の体内動態は、元素ごとに大きく異なります。
例えば、ヨウ素は甲状腺、プルトニウムは肝臓と骨に特異的に集積する性質があります。
一方、セシウムは特定の臓器に集積することはなく、全身にほぼ均一に分布します。
これらの性質を踏まえた体内動態モデルがICRPから提示されており、それを解析することにより各臓器・組織での50年間にわたる崩壊数が計算できます。

預託線量の概念

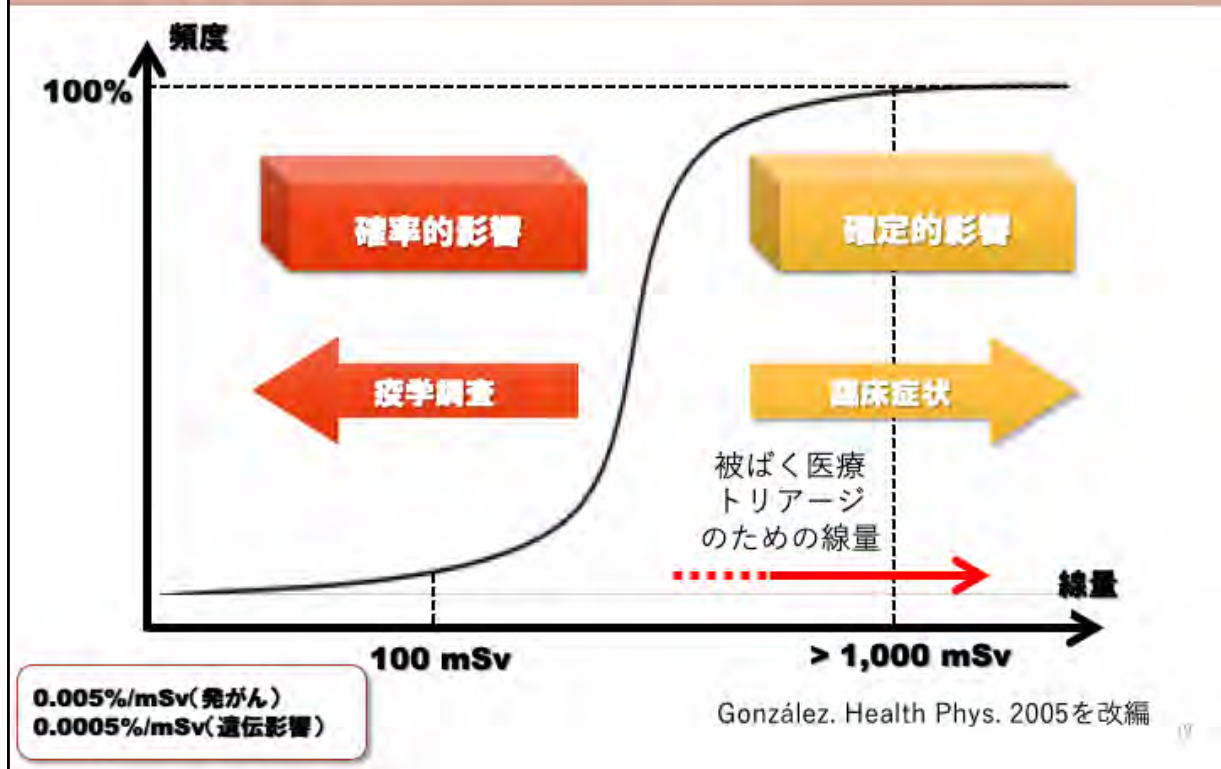


体内に摂取した放射性核種は数年から数十年にわたって残留し、毎年少しずつ被ばくする可能性があります。

しかし、1度摂取した放射性核種によるわずかな被ばく線量を数十年にわたって記録し続けることは放射線管理の観点から効率的ではないため、預託線量という概念によって50年間で被ばくする線量を最初の1年で被ばくしたと仮定して記録し、それが線量限度等を下回ることを確認することとしています。

多くの放射性核種による内部被ばくにおいて、最初の1年目の被ばく線量は、実際に50年にわたる被ばく線量全体の大半を占めます。

放射線被ばくによる健康影響



放射線による被ばく線量が高くなるにつれて、確率的影響のリスクが高くなると考えられています。

広島・長崎における原爆被爆者をはじめとするさまざまな疫学調査の結果として、発がん及び遺伝的影響のリスクは、それぞれ0.005%/mSv及び0.0005%/mSvとされていますが、100mSvを下回る低線量における確率的影響の有意な増加が実際に確認できたことはありません。

被ばく線量が1,000mSvを超えると、臨床症状を伴う確定的影響の頻度が増加していく可能性があると考えられます。

ただし、実効線量や等価線量は低線量における確率的影響のノミナルなリスクに基づいているため、被ばく医療のトリアージを目的とした迅速な評価として利用できる可能性はあるものの、最終的には臓器・組織ごとの生物学的効果比や個人の体格・代謝等を考慮した組織吸収線量 (Gy) の評価に努める必要があります。

放射線による生物学的影響

線量	生物学的影響	疫学的フォローアップ
~ 10 mSv未満 (実効線量)	急性影響なし 極めて小さい発がんの長期的リスクの上昇	対象者の数が多くても検出困難な影響
~ 100 mSvまで (実効線量)	急性影響なし 約0.5%の発がんの長期的リスクの上昇	対象者の数が多数（10万人以上）であれば検出の可能性のある影響
~1000 mSvまで (急性の全身被ばく線量)	吐き気や嘔吐の可能性 少ない骨髄の減少 約10%の発がんの長期的リスクの上昇	数100名程度以上の対象者に対して検出可能な影響
1000 mSv以上 (急性の全身被ばく線量)	吐き気、骨髄障害、医学的評価、治療要 約10%の発がんの長期的リスクの上昇	50%致死率（治療しない場合）： 全身の急性被ばくで4Gy

González. Health Phys. 2005を改編

70

被ばく線量のレベルに対して起こり得る生物学的影響と疫学的フォローアップが表にまとめられています。

10mSv未満のレベルでは、極めて小さい発がんの長期的リスクが上昇する可能性があるとしていますが、非常に多くの対象者を調査したとしても、疫学的影響の有意な増加を確認することはできないと考えられています。

100mSv以下の被ばくによる発がんの長期的リスクは約0.5%であると考えられています。このようなレベルのリスクの増加を識別するためには10万人以上の規模での疫学調査が必要となると考えられています。

これまでに、100mSv以下の被ばくによる疫学的影響の有意な増加が確認できたことはありません。

1,000mSv以下の被ばくでは、一過性の確定的影響が観察される可能性があります。

発がんの長期的リスクも約10%に上昇する可能性があり、その場合には数100名程度の対象者でも疫学的影響の有意な増加が確認されるかもしれません。

1,000mSvを上回る場合には、重篤な確定的影響が観察される可能性があり、治療が必要となります。

全身の急性被ばくで4Gyに達する場合は、治療をしない場合の致死率が50%に及びます。

体外計測法

原子力災害 専門研修

WBC・甲状腺-2

線量評価が必要となる状況

○放射性核種を予期せず体内に取り込んでしまったとき…



職業被ばく



公衆被ばく

目的

- 規制値（線量限度など）との比較
- 防護対策の実施判断
- 被ばく医療の実施判断（詳細な線量評価含む）

○施設設計や個人モニタリングの立案など ○放射性医薬品の投与



職業被ばく
公衆被ばく

目的

- 施設安全性の評価
- 規制値との比較



目的

- 治療や診断に伴う線量の把握

線量評価が必要となる状況として、

- (1) 放射性核種を予期せず体内に取り込んでしまったとき、
 - (2) 原子力発電所等の施設設計や個人モニタリングの立案を実施するとき、
 - (3) 放射性医薬品を患者に投与するとき
- が挙げられます。

放射性核種が管理区域や原子力施設の中にとどまっている状況では、実際にそこで作業している放射性業務従事者に被ばくの可能性は限られます。しかし、放射性核種が原子力施設の外や環境中に放出される状況では、公衆が被ばくする可能性が生じます。

放射性業務従事者が被ばくすることを職業被ばく、公衆が被ばくすることを公衆被ばくといいます。

放射性核種を予期せず体内に取り込んでしまったときの線量評価の目的として、

- (1) 線量限度などの規制値と比較すること
 - (2) 何らかの防護対策の実施する必要性を判断すること
 - (3) 何らかの被ばく医療を実施する必要性を判断すること
- が挙げられます。

施設設計や個人モニタリングの立案などにおいても、将来起こりうる職業被

ばくと公衆被ばくの両方を想定した上で、
（１）施設の安全性を評価すること
（２）規制値を満たすことを確認すること
を目的とした線量評価が必要となります。

放射性医薬品が投与された場合は、治療や診断に伴う線量が評価されます。

被ばくの形態

外部被ばく



体外からの放射線による

防護方法

- ・被ばく低減の3原則
(遮へい・距離・時間)
- ・防護具の着用
(遮へい)

体表面汚染



内部被ばく(内部汚染)



放射性物質が、吸入、経口、経皮により体内中に摂取される。

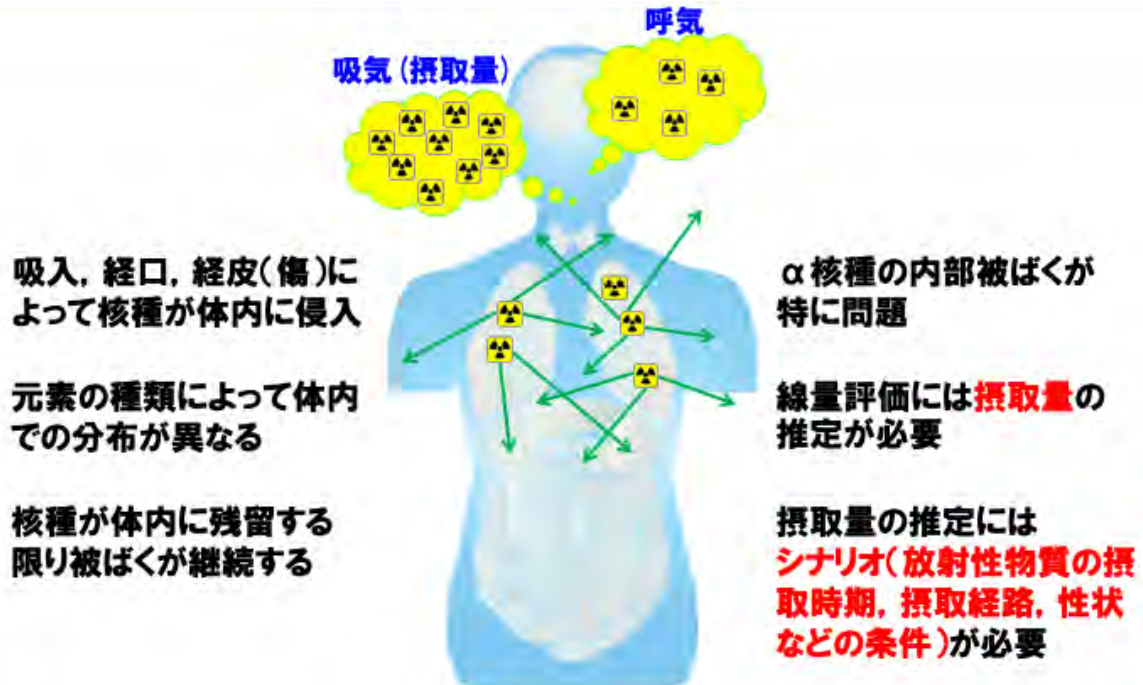
防護方法

- ・呼吸保護具(マスク等)
- ・カバーオール

被ばくする際に、放射性物質がどこに存在しているかによって、
(1) 外部被ばく、(2) 体表面汚染、(3) 内部被ばく(内部汚染)
といった3つの被ばくの形態に分けられます。

外部被ばくは、放射性物質が人体から離れた位置に存在している場合に、その放射性物質から放出される放射線によって被ばくすることです。外部被ばくを防護するための手段として、被ばく低減の3原則(遮へい・距離・時間)が有効です。つまり、鉛などの原子番号の大きい物質が含まれる遮へい材の設置や防護具の着用したり、線源から離れた位置で手際よく作業することによって被ばく線量を低減することができます。放射性物質が人体や身に着けている物に付着した状態を体表面汚染といいます。体表面汚染に対しては被ばく低減の3原則による効果はなく、付着した放射性物質を除染するまで被ばくが続いてしまうことに注意が必要です。内部被ばく(内部汚染)は、吸入や経口、経皮によって体内に放射性物質が取り込まれ、そこから放出された放射線によって被ばくすることです。体内に取り込まれた放射性物質を取り除くことは難しいため、放射性物質を取り込むおそれがある場合には呼吸保護具(マスク等)やカバーオールの着用による防護を実施することが大切です。

内部被ばくの特徴



内部被ばくの特徴として、体内に取り込まれた放射性物質の体内分布が、侵入経路や元素によって異なることが挙げられます。

放射性物質を吸入によって摂取した場合、その一部が呼吸気道に沈着し、残りの放射性物質は呼気とともに体外へと排出されます。

呼吸気道に沈着した放射性物質は、さらに肺から血液中へと吸収されます。一方、経口によって摂取した放射性物質は、肺に沈着することなく、消化管を移動しながら一部が小腸などから血液中へと吸収され、残りは便中に排泄されます。

吸入摂取又は経口摂取した放射性物質が、それぞれ肺又は小腸から血液中に吸収される速度は、その化学形によって異なります。また、血液中の放射性物質がさまざまな臓器・組織に分布しながら代謝・排泄されていく過程は、元素の種類によって変わります。

したがって、測定した体内残留量や尿中／便中排泄量から内部被ばく線量を評価するための摂取量を推定するためには、適切な摂取シナリオ（放射性物質の摂取時期、摂取経路、化学形などの性状）を

仮定し、そのシナリオに基づいて計算された体内残留割合や尿中／便中排泄割合を調べる必要があります。

摂取した核種が体内に残留する限り被ばくが継続すること、とりわけ体内で放出された α 線は局所的に全てのエネルギーを沈着させるために被ばく線量が高くなることも内部被ばくの特徴です。

ラジウム (Ra)



ダイアルペインター
(ラジウムガール: ^{226}Ra)



Xofigo ($^{223}\text{RaCl}_2$)
骨転移去勢抵抗性前立腺癌に有効
(バイエル薬品から輸入販売)
※55kBq/kgを4週間間隔で最大6回まで静脈投与する

内部被ばくによる代表的な障害例として、ダイアルペインターの骨髄炎、白血病、骨肉腫があります。

米国では、1900年代から時計の文字盤に放射性物質であるラジウムが含まれた夜光塗料が利用されていました。

ダイアルペインターと呼ばれていた女性従業員は、筆の穂先を舐めて整えながら夜光塗料を文字盤に塗布していたため、その際にラジウムを体内に取り込んでしまいました。

ラジウムには骨に沈着しやすい性質があるため、骨の放射線障害が多く確認されました。

現在、ラジウムは国内で初めての α 線による放射性医薬品として医学利用されています。骨に沈着しやすい性質を利用することで、骨に転移したがん細胞の増殖を抑制させることができます。

職業被ばく線量評価

ICRP の2007年勧告によると

- ❖ 外部被ばく:通常, 均一な全身被ばくによる実効線量よりも高い値を示す個人線量当量Hp(10)を個人線量計で測定される指示値で管理
- ❖ 内部被ばく: 体外計測法やバイオアッセイ法による測定値 (または空气中放射能濃度) から, 摂取シナリオに基づいて放射性核種の摂取量(Bq)を推定し, 預託実効線量(E(50))を掛けて評価

$$E = H_p(10) + E(50)$$

$$E(50) = \sum_j I_{j,inh} \cdot e_{j,inh}(50) + \sum_j I_{j,ing} \cdot e_{j,ing}(50)$$

吸入摂取による線量

吸入摂取による摂取量, $I_{j,inh}$ に
預託実効線量係数 $e_{j,inh}(50)$

経口摂取による線量

経口摂取による摂取量, $I_{j,ing}$ に
預託実効線量係数 $e_{j,ing}(50)$

職業被ばくの線量評価の手法や考え方を含む放射線防護体系については、国際放射線防護委員会（ICRP）の主勧告である2007年勧告に記述されています。外部被ばく線量評価は、局所的な被ばくを伴う作業に従事する場合を除いて、胸部又は腹部に着用した個人線量計で測定される指示値で管理されます。この指示値は個人線量当量Hp(10)であり、あらゆる線種・エネルギーの放射線に対して、全身が均一に被ばくした場合の実効線量よりも常に高い値を示します。

一方、内部被ばく線量は、体外計測法やバイオアッセイ法による測定値から、仮定した摂取シナリオに基づいて摂取量 (Bq) を推定し、その値に預託実効線量 (E(50)) を掛けることで預託実効線量が評価できます。体外計測法やバイオアッセイ法による摂取量の推定が難しい場合には、空气中放射能濃度から推定することになりますが、呼吸量や防護マスク等による低減効果を正確に把握することは難しく、不確かさが大きくなります。

平常時の放射線業務に伴う個人被ばく管理の目的であれば、外部被ばくによる個人線量当量と内部被ばく（吸入・経口摂取等）による預託実効線量の合計値を、線量限度や参考レベルと比較することができます。

内部被ばく線量評価の方法

個人モニタリング

体外計測法: 残留量 ÷ 残留割合 = 摂取量

バイオアッセイ法: 排泄量 ÷ 排泄割合 = 摂取量

$$\text{摂取量 (Bq)} \times \text{線量係数 (Sv/Bq)} = \text{被ばく線量 (Sv)}$$

↑
ICRPによる

環境モニタリング

空気中濃度 × 呼吸量 = 摂取量 (土壌中濃度 × 再浮遊係数 × 呼吸量 = 摂取量)

飲食物中濃度 × 食べた量 = 摂取量 (土壌中濃度 × 飲食物への移行係数 × 食べた量 = 摂取量)

内部被ばく線量は、摂取量に線量係数を掛けることで計算できます。摂取量を推定する方法として、個人モニタリング又は環境モニタリングに基づく2通りがあります。

個人モニタリングでは、体外計測法又はバイオアッセイ法によって、それぞれ体内に存在している放射性物質の残留量又は尿や便等の生体試料に含まれる排泄量が測定できます。それぞれの測定値を、残留割合や排泄割合で割ることで摂取量が計算できますが、これらの割合は摂取日から測定日までの経過日数によって変わることには注意が必要です。

一方、環境モニタリングでは、空気中や飲食物中の放射能濃度が測定できません。これらの濃度に、呼吸量や食べた量を掛けることで摂取量が計算できますが、実際に体内に摂取された放射性物質を測定しているわけではないので、個人差に伴う不確かさが大きくなります。土壌中の放射性物質も、再浮遊や食物への移行によって吸入・経口摂取する可能性があります。このような経路による摂取量は比較的小さくなります。

体外計測法

- ❖ 体内に残留している放射性物質から放出される放射線を、体外の検出器で検出し、全身又は特定の臓器の残留量を測定する方法。その測定結果及び摂取シナリオから摂取量(Bq)算出により預託実効線量(Sv)を評価
- ❖ 放射線検出器(γ (X)線測定用)の種類
 - ◇ NaI(Tl)シンチレーション検出器→全身, 甲状腺
 - ◇ 高純度Ge検出器→全身, 甲状腺, 肺
 - ◇ CsI(Tl)/NaI(Tl)のホスイッチ検出器→ 肺
- ❖ ホールボディカウンタ(WBC)
 - ◇ γ 線検出器, 遮へい体, 回路システム, データ処理装置
- ❖ 測定部位及び測定対象
 - ◇ 全身: ^{131}I , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{60}Co 等 γ 線放出核種 (50keV ~ 3000keV)
 - ◇ 甲状腺: 放射性ヨウ素
 - ◇ 肺: Pu, Am等 α 線放出核種 (低エネルギー光子10keV~100keV)

体外計測法とは、「体内に残留している放射性物質から放出される放射線を、体外に設置した検出器で検出し、全身又は特定の臓器の残留量を測定する方法」です。

測定できる主な放射線の種類は γ 線であるため、主にNaI(Tl)シンチレーション検出器や高純度Ge検出器が使用されます。

全身残留量を測定するホールボディカウンタ(WBC)は、 γ 線検出器の他、自然放射線によるバックグラウンドの上昇を抑えるための遮蔽体、測定を制御する回路システム、測定結果を分析するデータ処理装置から構成されています。

Cs-137, Mn-54, Co-60等の多くの γ 線放出核種に対しては全身残留量が測定されますが、放射性ヨウ素は甲状腺に特異的に集積することが分かっているため、甲状腺残留量が測定されます。

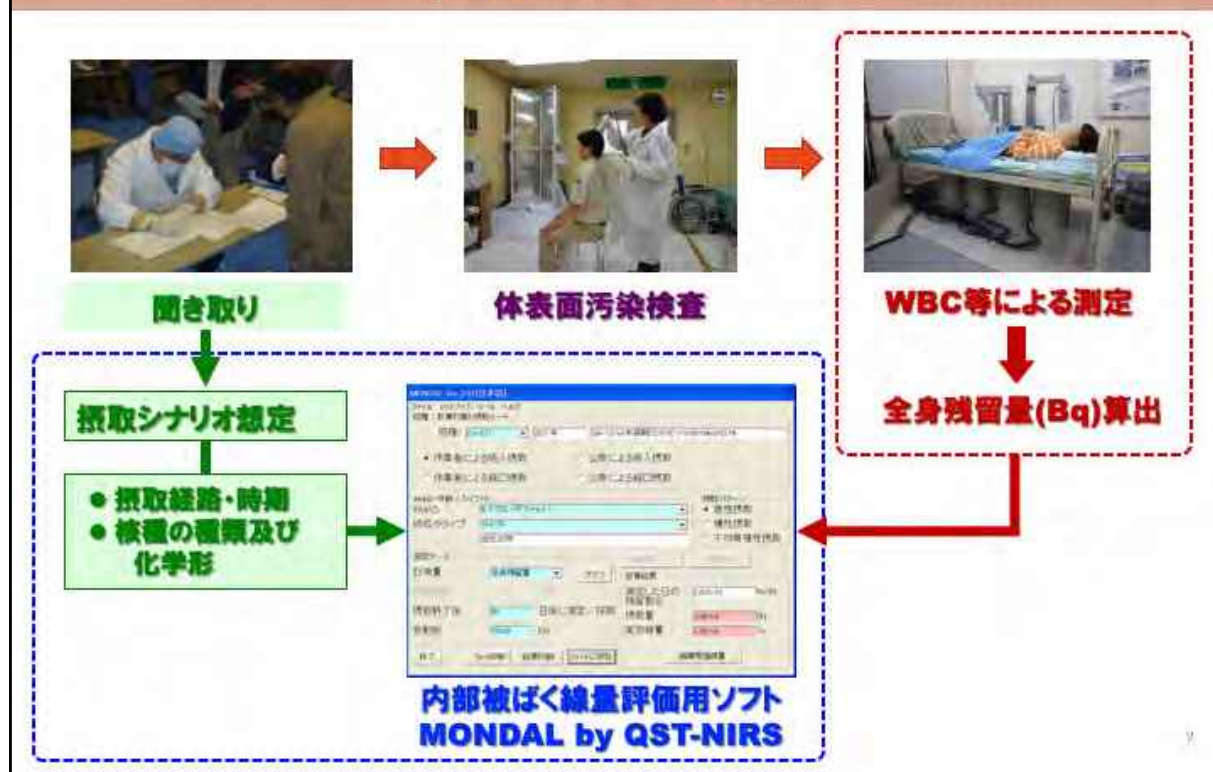
また、吸入摂取したPuやAm等の α 線放出核種であるアクチニド元素は肺に長く沈着するため、肺残留量を測定することが一般的です。

ただし、放射性核種から放出される γ 線のエネルギーは、多くの場合50~3000keVですが、アクチニド元素から放出される光子は10-100keVの γ 線やX線であるため、入射窓を薄くした低エネルギー用のGe検出器を使用する必要があります。

低エネルギー用のGe検出器が主流となる以前は、CsI(Tl)とNaI(Tl)のシンチレータを組み合わせたホスイッチ検出器が肺残留量の測定に使用されていました。

ホスイッチ検出器は、体内から放出された低エネルギー光子を入射面側にあるNaI(Tl)の結晶で検出し、CsI(Tl)とNaI(Tl)の両方の結晶で同時に検出される自然放射線のノイズを除去することができます。

聞き取りから線量評価までのフロー (例：体外計測法)



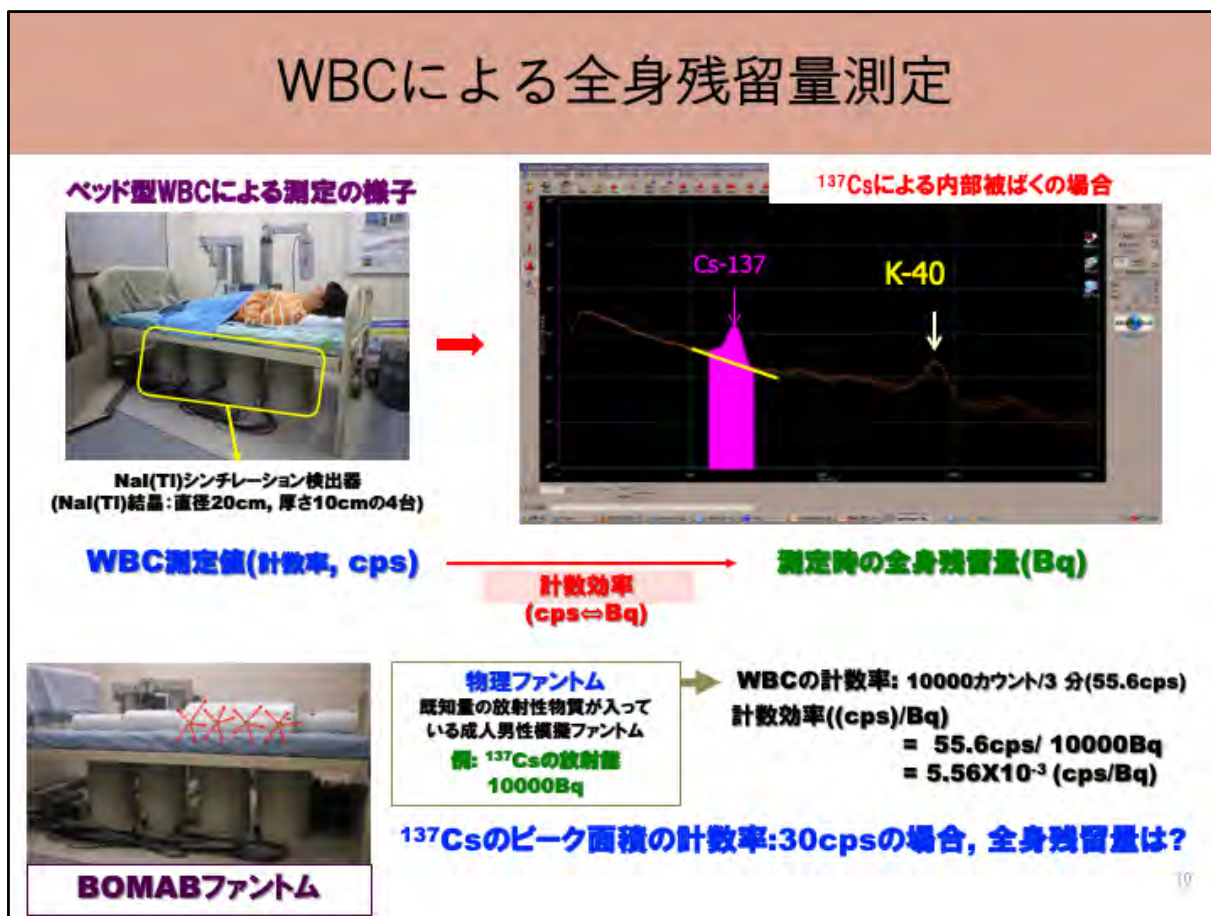
体外計測を実施する前には、聞き取り調査と体表面汚染検査が必要になります。

聞き取り調査の目的は、摂取経路・時期、核種の種類や化学形を決定する摂取シナリオを想定するために必要な情報を得ることです。
想定した摂取シナリオに基づいて体内残留割合を決定し、体外計測による測定値（例えば、WBCで測定される全身残留量（Bq））から摂取量を推定します。

QST-NIRSで開発された内部被ばく線量評価用のソフトウェアである「MONDAL」を使用すれば、想定したシナリオと測定値を入力するだけで摂取量と被ばく線量が自動的に計算されます。

体外計測を実施する前に最も重要なことは、体表面汚染検査を実施することです。
体表面に放射性物質が付着している状態で測定してしまうと、体内にある放射性物質から放出された放射線が検出されたり、計測装置を汚染させたりするおそれがあります。
体表面汚染が見つかった場合には、必ず着替えたり除染したりしてから測定しなければなりません。

WBCによる全身残留量測定



WBCで測定した結果は、エネルギースペクトルとして得られます。エネルギースペクトルには、人の体の中に存在している自然放射性核種であるK-40から放出される1460keVの γ 線のピークが必ず現れます。Cs-137を体内に取り込んでいる場合は、K-40のピークとは別に、662keVの γ 線のピークが現れます。ピーク付近に設定した関心領域 (ROI) において、グロス面積 (総計数値) からバックグラウンドの計数値を差し引いたピーク面積 (正味の計数値) が、Cs-137から放出された662 keVの γ 線に対する計数値となります。

662 keVの γ 線のピーク面積=グロス面積-バックグラウンド

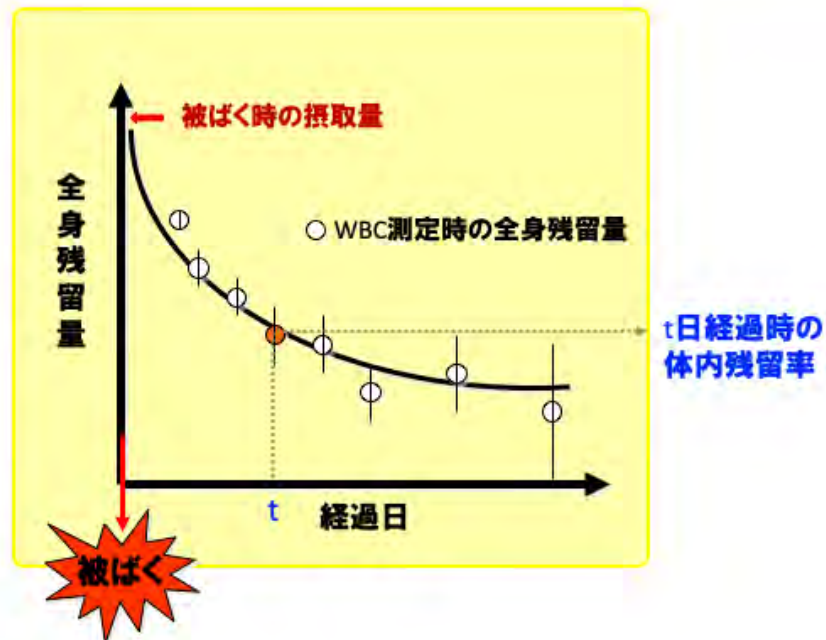
また、ピーク面積を測定秒数で割ることで、1秒あたりの計数値である計数率 (cps: counts per second) が計算できます。

計数率 (cps) から全身残留量 (Bq) を計算するためには、人体を模擬した物理ファントムを使用した校正によって計数効率 (cps/Bq) を予め調べておく必要があります。典型的な物理ファントムとして、既知量の放射性物質が含まれている円柱状のブロックを並べることで成人男性を模擬できるBOMABファントムがあります。

例えば、10,000BqのCs-137が含まれているBOMABファントムを3分間（180秒）測定した場合の計数値が10,000カウントであったとすると、計数率は55.6cps（=10,000カウント／180秒）となり、計数効率 ϵ は0.00556cps/Bq（=55.6cps／10,000Bq）となります。

このWBCで実際に被験者を測定した時のCs-137のピーク面積に基づく計数率が30cpsであったとすると、被験者の全身残留量は約5,400Bq（=30cps／0.00556cps/Bq）と評価されます。

全身残留量と経過時間との関係



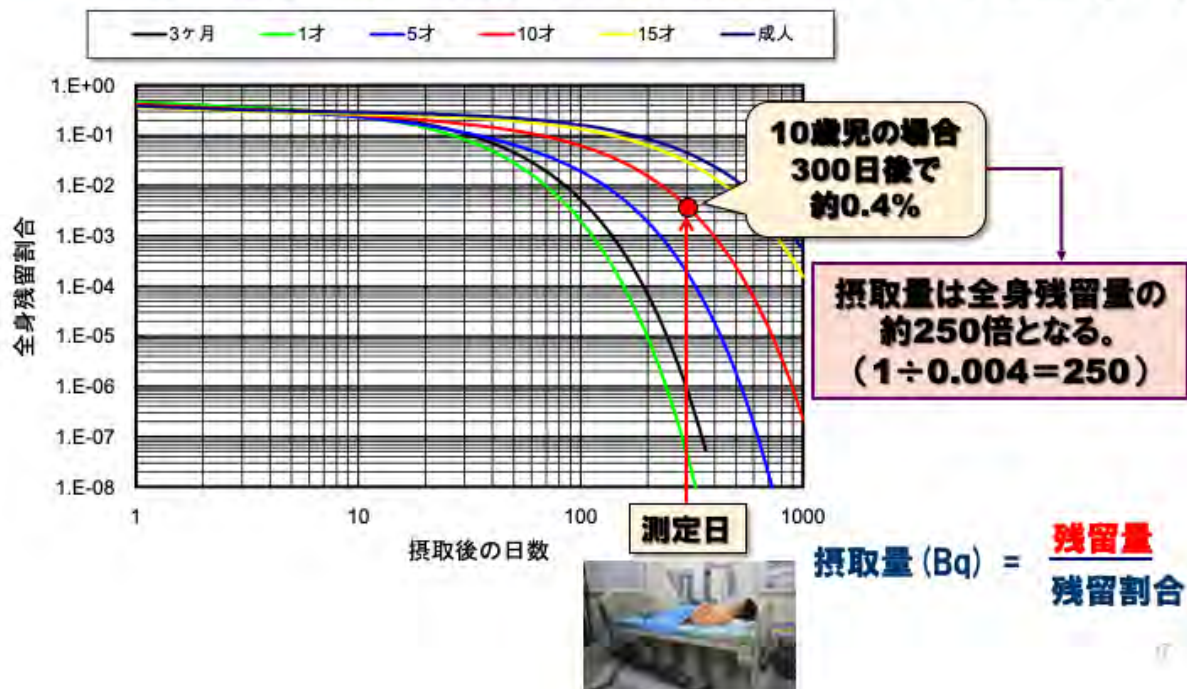
体内に取り込んだ放射性物質の全身残留量は、時間経過とともに物理学的半減期及び代謝・排泄に基づく生物学的半減期の両方の影響で減少していきます。

WBCによる測定を複数回実施することにより、全身残留量の変化を把握することができます。

しかし、一般に全身残留量が減少するほど測定に伴う不確かさが大きくなります。

WBC測定結果から摂取量へ

^{137}Cs の急性摂取での全身残留割合(吸入摂取, タイプF, 粒径 $1\mu\text{m}$)



1Bqの放射性物質を摂取した後の体内残留量を「体内残留割合」といいます。ここでは、摂取シナリオとして、タイプF、粒径 $1\mu\text{m}$ のCs-137の急性吸入摂取を仮定した場合の体内残留割合の時間変化を年齢別（3ヵ月、1才、5才、10才、15才、成人）に示しています。

例えば、摂取から300日後における10歳児の全身残留割合は約0.4%です。したがって、摂取量は、この日に測定した全身残留量の約250倍（ $=1/0.004$ ）であったと評価されます。

代表的核種の実効線量係数（内部被ばく）

体内摂取に伴う実効線量係数

(Sv Bq⁻¹)

核種（化学形）	吸入摂取	経口摂取
⁶⁰ Co（酸化物）	1.7×10^{-8}	2.5×10^{-9}
¹³¹ I（全て）	1.1×10^{-8}	2.2×10^{-8}
¹³⁷ Cs（全て）	6.7×10^{-9}	1.3×10^{-8}
²³⁹ Pu（酸化物）	8.3×10^{-6}	9.0×10^{-9}
²³⁹ Pu（硝酸塩）	3.2×10^{-5}	2.5×10^{-7}

約5000倍
約20倍

➤ ICRP Publication 68



プルトニウム(²³⁹Pu)の線量係数が高い理由

- α放射体である。
- 生物半減期・物理半減期が長い。
(主要器官である肝臓, 骨に沈着しやすい)

一方で経口摂取の線量はそれほど高くない
→ 胃腸管吸収が極めて低い(0.1%~0.01%)

単位摂取量（1Bq）あたりの実効線量を表す実効線量係数（Sv/Bq）は、ICRP Publication 68等の中で摂取シナリオごとにまとめられています。ここでは、代表的な核種・摂取シナリオに対する実効線量係数を示しています。

特に、Cs-137とPu-239の線量係数には大きな差があり、摂取量が同じでもPu-239の線量は20倍（経口摂取）～5000倍（吸入摂取）となります。

この理由として、

- (1) Pu-239がα線放出核種であること
- (2) 物理学的半減期が長いこと
- (3) 肝臓や骨に集積しやすく生物学的半減期が長いこと

が挙げられます。

一方、Pu-239の経口摂取による線量が吸入摂取の場合と比べて低い理由は、消化管から血液へ吸収される割合が0.1～0.01%と低く、経口摂取したPu-239の多くが数日以内に便中へと排泄されるためです。

摂取量から預託実効線量へ

$$\text{(預託) 実効線量(Sv)} = \text{摂取量(Bq)} \times \text{実効線量係数(Sv/Bq)}$$

- 単位摂取量あたりの(預託)実効線量を与える係数
- 摂取形態 (吸入摂取, 経口摂取) 毎に与えられる。

例: ^{137}Cs (5 μm , Type F)の線量係数 : 6.7×10^{-9} (Sv/Bq)
 ^{239}Pu (5 μm , Type M)の線量係数 : 3.2×10^{-5} (Sv/Bq)

1. 1mSvに相当する ^{137}Cs の摂取量は

$$0.001(\text{Sv}) / 6.7 \times 10^{-9}(\text{Sv/Bq}) \approx 149254\text{Bq}$$

2. 1mSvに相当する ^{239}Pu の摂取量は?

$$0.001(\text{Sv}) / 3.2 \times 10^{-5}(\text{Sv/Bq}) \approx 31(\text{Bq})$$

実効線量 (Sv) は摂取量 (Bq) に実効線量係数 (Sv/Bq) を掛けることで計算されます。

Cs-137 (5 μm , Type F) 及びPu-239 (5 μm , Type M) の線量係数はそれぞれ 6.7×10^{-9} Sv/Bq及び 3.2×10^{-5} Sv/Bqであり、1mSvに相当する摂取量は149,254Bq及び31Bqとなります。

WBC(ホールボディカウンタ)



立位型WBC



ベッド型WBC



椅子型WBC

15

写真に示すように、WBC（ホールボディカウンタ）には、立位型、ベッド型、椅子型などのいくつかの種類があります。
種類ごとに計数効率や検出下限値が異なるため、装置ごとにファントムを使用した校正が必要です。

WBC校正用物理ファントム

- ❖ BOMAB ファントム
(Bottle Manikin ABSorption phantom)
- ❖ IGORファントム
(Unified solid phantom of whole body (UP-02T))
- ❖ その他ファントム
(水, アクリル, 塩化ビニルファントム)

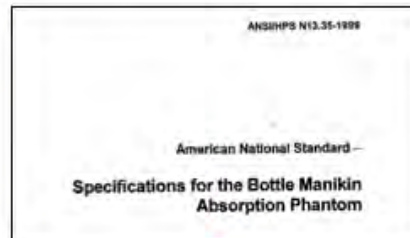
WBCを校正するための物理ファントムとして、円柱ブロックを組み合わせたBOMABファントムや小さな直方体ブロックを数多く組み合わせたIGORファントムがあります。
その他、水、アクリル、塩化ビニル等で作成されたファントムが使用されます。

BOMABファントム

- ❖ WBC校正用 (200keV~3MeV光子用)
- ❖ 米国規格 (ANSI/HPS N13.35-1999)
- ❖ 年齢別 (体格別) 規格化
 - ◇ 4歳児, 10歳児, 成人女性, 成人男性, 95パーセントイル成人男性
- ❖ 円柱及び楕円筒を組み合わせた人型
 - ◇ 頭部, 頸部, 胸部, 腹部, 大腿部(左右), 足部(左右), 腕部(左右)の10パーツ
- ❖ 各パーツ: シェル(高密度ポリエチレン, 密度: $0.94\sim 0.965\text{ g/cm}^3$)とフィルター(放射線標準溶液)



成人男性 成人女性 10歳児 4歳児



BOMABファントムの使用目的, 体格別規格値, ファントム容器の材質, BOMABの品質保証等の関連情報が記載されている。

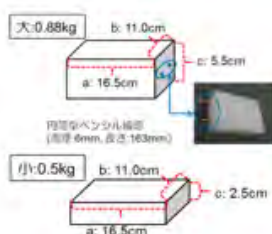
BOMABファントムは、ANSI（米国国家規格協会）によって、使用目的、体格別規格値、ファントム容器の材質、品質保証等が標準化されているWBC校正用ファントムです。

4歳児、10歳児、成人女性及び成人男性の4種類の体格ごとに大きさの異なる10個の円柱又は楕円筒のパーツを組み合わせて人体を模擬します。

各パーツは高密度ポリエチレンで作られた容器で、中に放射線標準溶液が封入されています。

IGORファントム (Unified solid phantom of whole body (UP-02T))

- ❖ ホールボディカウンター校正用 (350keV~3MeV)
- ❖ ブロックを組み合わせた人型
- ❖ 体格別に組み合わせ可能
- ❖ ブロックへのペンシル線源(直径6mm)の挿入により全身での均一分布
- ❖ ファントム(ブロック)の材質：ポリエチレン(密度: 0.93~0.96g/cm³)



年齢	ブロック (大)	ブロック (小)
2歳児 (82.3cm, 10.7kg)	12	0
6歳児 (122cm, 21.2kg)	21	6



実際の使用例

IGORファントムは直径6mmのペンシル線源を挿入した大小2つのポリエチレンブロックを数多く組み合わせることにより、様々な体格及び姿勢を模擬できるファントムです。

水, アクリル, 塩化ビニルファントム



ブロックファントム

BfSボトルファントム



樹脂ブロック
(点線源使用)



アクリル形状
(体積線源使用)

↓
トランスファファントム

Figure 5.3: Bottle phantom (70-kg-configuration) in the WBC.

→ カールスルーエ工科大学 (Karlsruhe Institute of Technology)

その他のファントムとして、比較的大きな直方体容器を並べるブロックファントム、数多くのボトル容器を並べるボトルファントムがあります。また、点線源や体積線源を使用するだけで簡便に校正することを可能としたファントムもあります。

WBC以外の体外計測装置および校正用ファントム



甲状腺モニタ



$^{133}\text{Ba}+^{137}\text{Cs}$



^{133}Ba

頸部模擬ファントム（甲状腺ファントム付き）



肺モニタ



LLNL phantoms
 $^{241}\text{Am}+^{152}\text{Eu}$,
 $^{238}\text{Pu}+^{239}\text{Pu}+^{241}\text{Am}$ each



JAERI phantom
NIRS lung, ^{241}Am

肺模擬ファントム

20

WBC以外の体外計測装置として、甲状腺モニタや肺モニタがあります。それぞれ、甲状腺や肺に含まれる放射性物質に対して校正する必要があるため、甲状腺が含まれる頸部模擬ファントムや肺模擬ファントムが開発されています。甲状腺計測の対象となる主要核種は365keVの γ 線を放出するI-131ですが、I-131の物理学的半減期は8日しかなく、校正できる期間が短いため、一般に356keVの γ 線を放出するBa-133が代用されています。

バイオアッセイ法

原子力災害 専門研修
WBC・甲状腺-3

バイオアッセイ法

- ❖ 生体試料（尿又は便）に含まれる放射性核種（排泄量）を測定し、摂取シナリオに基づく排泄割合を用いて摂取量を推定する方法。摂取量に実効線量係数を掛けることで預託実効線量を計算
- ❖ 体外計測法による線量評価ができない場合
- ❖ 対象核種： α/β 線放出核種、低エネルギー光子放出核種

バイオアッセイ法とは、生体試料（尿又は便）に含まれる放射性核種（排泄量）を測定し、摂取シナリオに基づく排泄割合を用いて摂取量を推定する方法です。

摂取量に実効線量係数を掛けることで預託実効線量が計算されます。

放射性核種の排泄割合には体内動態の個人差に基づく不確かさが伴うため、一般に体外計測法による測定が難しい場合（ α/β 線放出核種や低エネルギー光子放出核種）が対象となります。

生体試料

- ❖ 尿試料：吸入摂取, 経口摂取, 傷口または皮膚
 - ◇ 水溶性放射性核種
 - ◇ 男: 1.4 liter/24hr, 女: 1.2 liter/24hr
 - ◇ 摂取後, ~5日間の全量
 - ◇ スポット尿：クレアチニン量または比重値を用いて補正
- ❖ 便試料：吸入摂取, 経口摂取
 - ◇ 不溶性放射性核種
 - ◇ 摂取後, ~5日間の全量
 - ◇ 男: 150g/24hr, 女: 120g/24hr
 - ◇ 採取後：灰化または冷凍保管
- ❖ 採取時の注意点
 - ◇ 尿試料：壊れにくいポリエチレン容器等を使用, 便試料：専用の容器
 - ◇ 採取場所：非管理区域または自宅
 - ◇ 被検者の所属, 名前, 採取日時及び場所
 - ◇ 薬物の服用及び医療用RI投与有無

水溶性放射性核種を体内に取り込んだ場合には、その摂取経路に関わらず尿中へと排泄される割合が高くなります。一般的な尿の排泄量は1.4L/24hr（男性）、1.2L/24hr（女性）であり、可能な限り放射性物質の摂取から5日間にわたり全量を採取します。全量を採取できない場合は、クレアチニン量又は比重値を用いて補正します。不溶性放射性核種の場合は血中へ吸収されにくいため、尿中への排泄割合は低く、便中へ排泄される割合が高くなります。一般的な便の排泄量は150g/24hr（男性）、120g/24hr（女性）であり、こちらも可能な限り放射性物質の摂取から5日間にわたり全量を採取します。採取後は冷凍保存し、分析の時に灰化します。尿試料を採取する場合は壊れにくいポリエチレン容器等を使用し、便試料の場合は専用の容器を使用します。非管理区域又は自宅で採取し、被験者の所属、名前、採取日時、場所を記録してもらいます。また、他の薬物の服用及び医療用放射性薬剤の投与の有無も重要な情報となります。

バイオアッセイ法の流れ

化学分析過程

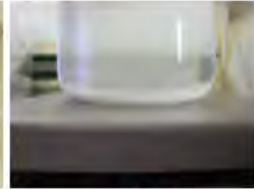
前処理
(不純物を除去)
乾式/湿式灰化法, 共沈法



乾式湿式灰化



湿式灰化(強酸化剤)



共沈法

化学分離
(対象核種分離)
共沈法, イオン交換法,
溶媒抽出法



共沈法



イオン交換法



測定用試料作成
(電着法)



電着法による試料作成

測定

注意
クロス汚染

バイオアッセイ法には、前処理、化学分離、測定用試料の作成、測定の手順があります。

前処理：不純物を除去します

化学分離：測定対象とする放射性核種を分離します。化学分離の方法として、共沈法、イオン交換法、溶媒抽出法があります。

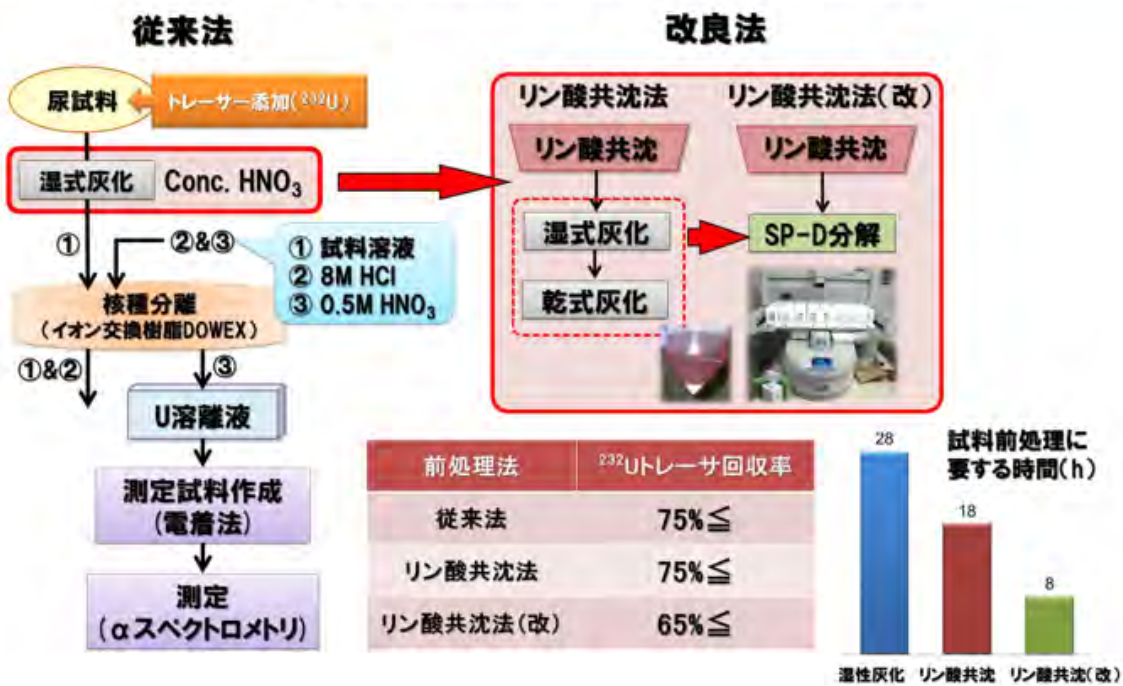
測定用試料作成：分離した放射性核種を電着します。

測定：放射線検出器で電着した試料の放射能を測定します。

バイオアッセイ法の化学分析の過程では、同じ実験室で一度に多数の試料を処理する場合があるため、試料間でのクロス汚染が生じないように注意しなければいけません。

バイオアッセイ法の迅速化

試料前処理の高速化に向けた検討（尿ウラン試料の場合）



バイオアッセイ法の課題として、前処理に時間がかかる点が挙げられます。この課題を解決する方法として、例えばウランを含む尿試料を対象としたリン酸共沈法が開発されています。この方法により、通常湿性灰化の場合には28時間かかる前処理を、18時間に短縮することが可能となります。化学処理の過程による損失を補正するために添加されるトレーサの回収率も、従来法と同等（75%以上）であることが確認できています。さらに、マイクロ波による分解を利用することにより、回収率を65%以上に保ったまま8時間以下にまで短縮することができます。

回収率補正用トレーサ

化学過程（前処理、化学分離等）において対象核種の損失量を評価するため

対象核種	トレーサ
^{90}Sr	Sr標準溶液
^{234}U , ^{235}U , ^{238}U	^{232}U
^{238}Pu , ^{239}Pu	^{242}Pu
^{241}Am , ^{244}Cm , ^{252}Cf	^{243}Am

前処理や化学分離等の化学処理の過程において避けることのできない対象核種の損失量を補正するために、回収率を評価するトレーサの添加が必要となります。

トレーサは対象核種と同じ化学的挙動を示す必要があるため、表に示すような対象核種の同位体を使用されます。

試料測定用放射線計測器



α 線スペクトロメータ



β 線スペクトロメータ
(GMガスフローカウンタ及び
プラスチックシンチレーションカウンタ)



γ 線スペクトロメータ
(HP Ge detector)



α 線/ β 線用液体シンチレーションカウンタ



誘導結合プラズマ質量分析装置

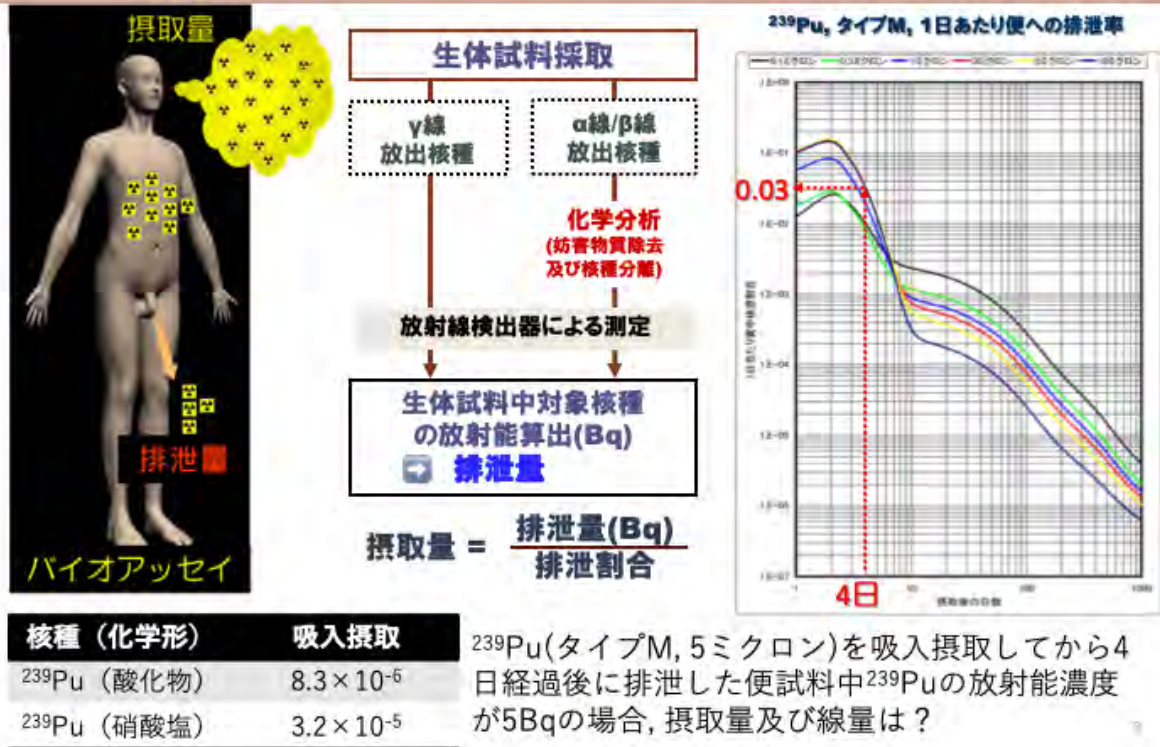
対象核種から放出される放射線の種類によって、使用する放射線計測器を選択します。

α 線や β 線を対象とした測定には、Si半導体検出器を使用した α 線スペクトロメータ、ガスフロー型GM管を使用した β 線スペクトロメータ又は液体シンチレーションカウンタが使用されます。

また、 γ 線を対象とした測定には、高純度Ge半導体を使用した γ 線スペクトロメータが使用されます。

一方、誘導結合プラズマ質量分析装置を使用し、対象核種の放射能ではなく質量を測定する方法もあります。

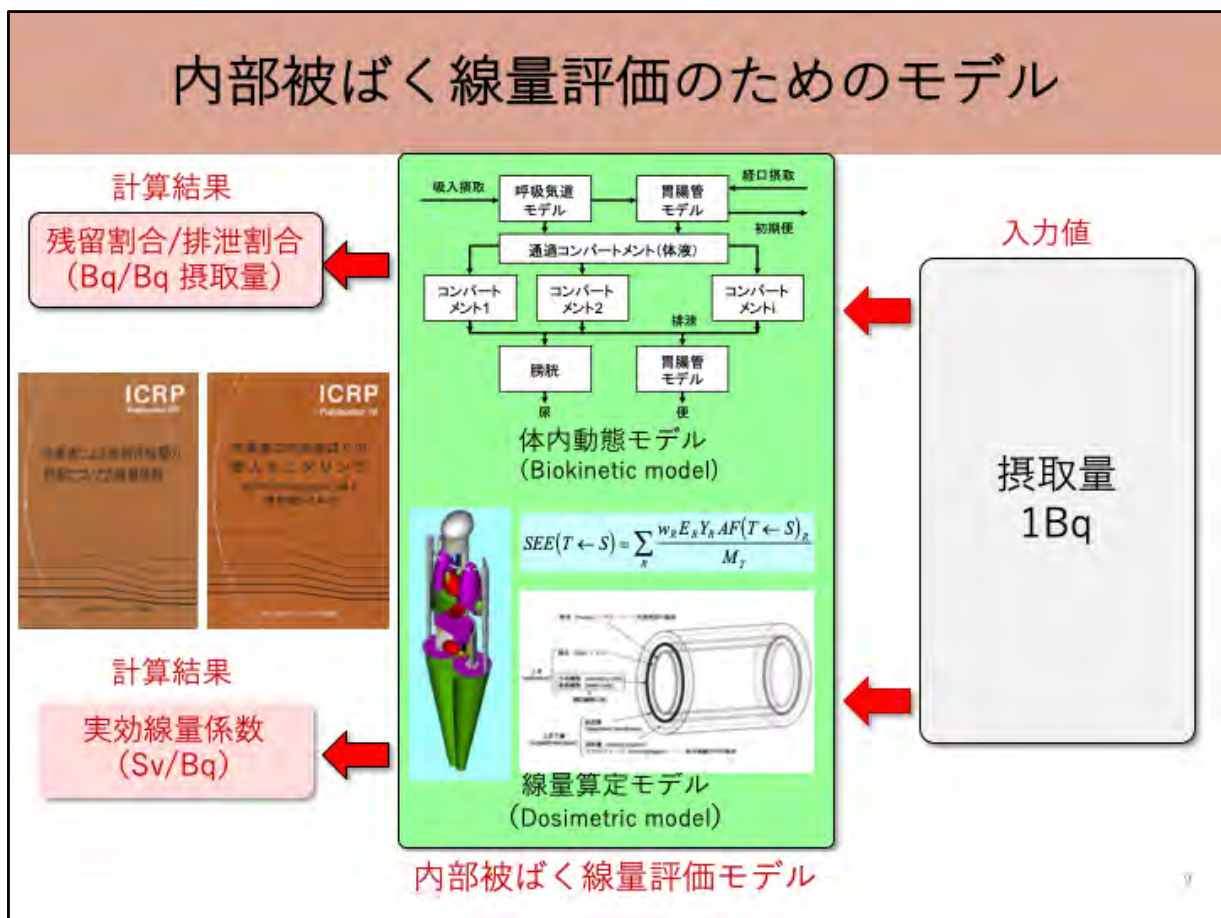
バイオアッセイ法による摂取量算出



放射性核種の摂取量は、バイオアッセイ法によって測定した排泄量 (Bq) を排泄割合で割ることで計算されます。グラフに示すように、排泄割合は粒径及び摂取後の経過日数に応じて変化します。

例えば、Pu-239 (タイプM, 5 μm) の吸入摂取から4日経過した時点の1日あたりの便中への排泄割合は0.03です。したがって、採集した便試料に含まれる放射能が5Bqであった場合の摂取量は、約167Bq (=5Bq/0.03) となります。Pu-239の酸化物と硝酸塩の吸収タイプは、それぞれタイプS及びタイプMです。摂取量167Bqに伴う線量は、タイプMの吸入摂取に対する線量係数 3.2×10^{-5} Sv/Bqを用いて、5.34mSvと計算されます。

内部被ばく線量評価のためのモデル



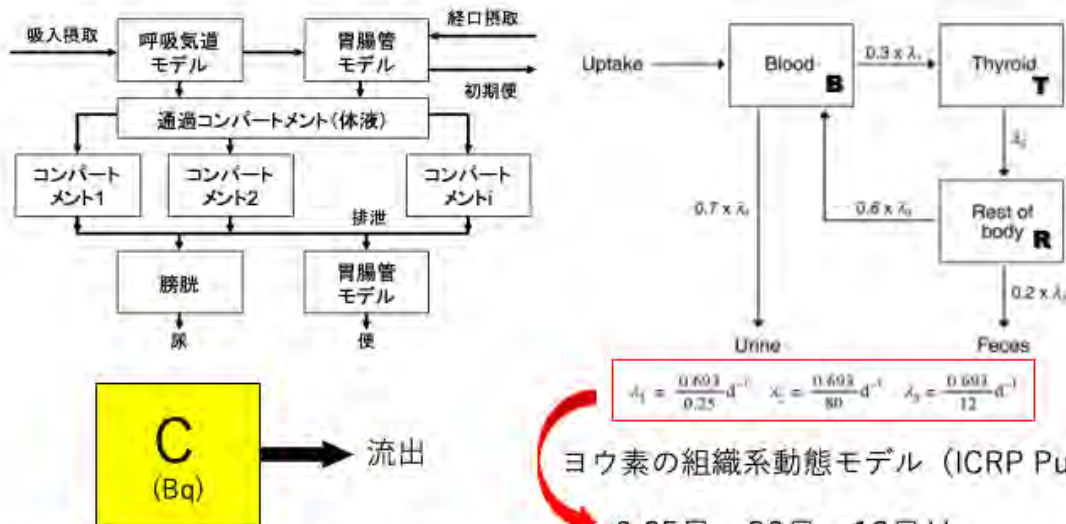
内部被ばく線量を評価するためには、摂取後の各臓器・組織における放射能の時間変化を把握するための体内動態モデルの解析が必要です。1Bq摂取した場合の全身、肺、甲状腺等における残留割合や尿中、便中への排泄割合は、体外計測法やバイオアッセイ法で測定された残留量や排泄量から摂取量を計算するために使用されます。

一方、各臓器・組織における放射性核種の総崩壊数は、人体を模擬した計算用ファントムに基づく線量計算に使用され、1Bqの摂取に対する線量が実効線量係数 (Sv/Bq) として与えられます。

さまざまな核種に対する全身、肺、甲状腺における残留割合や、尿中、便中の残留割合及び実効線量係数はICRP Publication 78などで公表されています。

コンパートメントモデル (例)

体内の放射性核種の動態を数学的に記述するモデル



$$dC/dt = -\lambda C \quad \lambda = \text{Ln}(2)/T$$

TはCの半減期

ヨウ素の組織系動態モデル (ICRP Publ.56)

0.25日, 80日, 12日は,
血中, 甲状腺, 残りの部位における
生物半減期

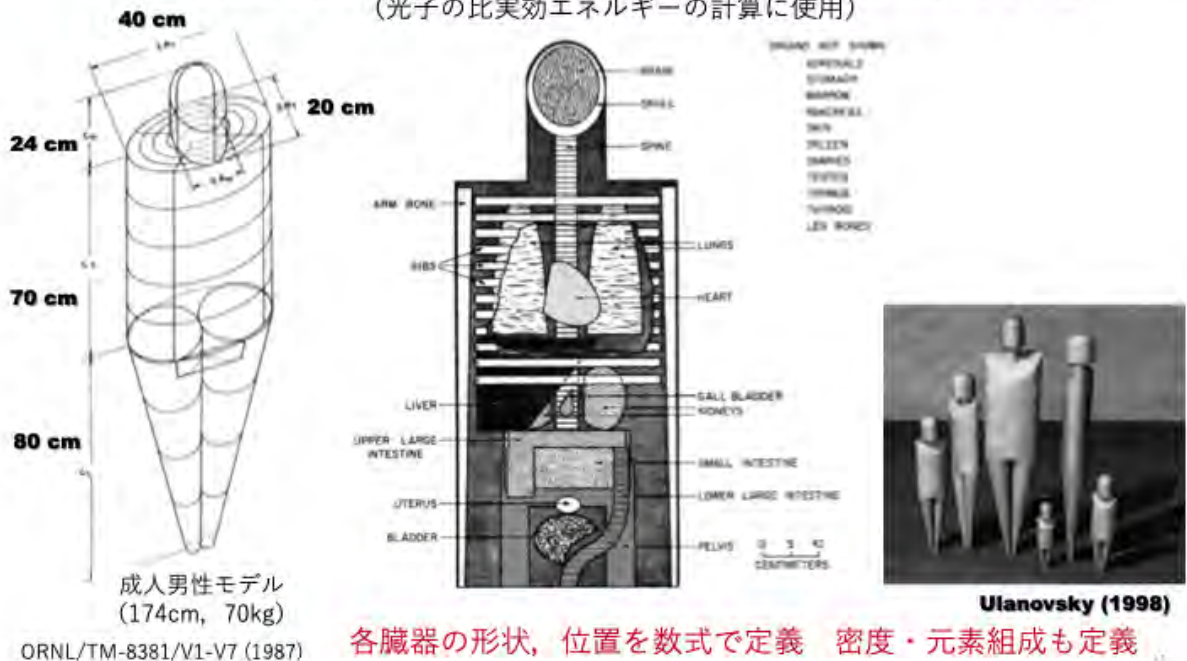
体内動態モデルでは、各臓器・組織がコンパートメントとして表されます。各コンパートメントにおける放射能の時間変化は、物理学的半減期と生物学的半減期に従う微分方程式で記述されます。

例えば、ICRP Publication 56に記述されているヨウ素の組織系動態モデルは、血液、甲状腺及びその他の臓器の3つのコンパートメントで構成されています。血液中のヨウ素は生物学的半減期0.25日で70%が尿中へ排泄され、30%が甲状腺へ取り込まれます。

甲状腺中のヨウ素は生物学的半減期80日で残りの臓器へ移動し、さらに生物学的半減期12日で20%が便中排泄され、残りの80%は再び血液中に戻ります。

数学ファントム

米国核医学会が規格化したMIRDファントムをベースに改良されたファントム
(光子の比実効エネルギーの計算に使用)



成人男性モデル
(174cm, 70kg)
ORNL/TM-8381/V1-V7 (1987)

各臓器の形状、位置を数式で定義 密度・元素組成も定義

各臓器・組織に放射性核種が存在する時の線量を評価するためには、人体を模擬した数学ファントムを使用した計算が必要になります。
代表的な数学ファントムとして、米国核医学学会が規格化したMIRDファントムやそれを改良したのがあります。
これらのファントムは各臓器の形状や位置が数式で定義されており、密度や元素組成も与えられています。
当初は成人男性のみがモデル化されていましたが、後に年齢別のファントムも開発されました。

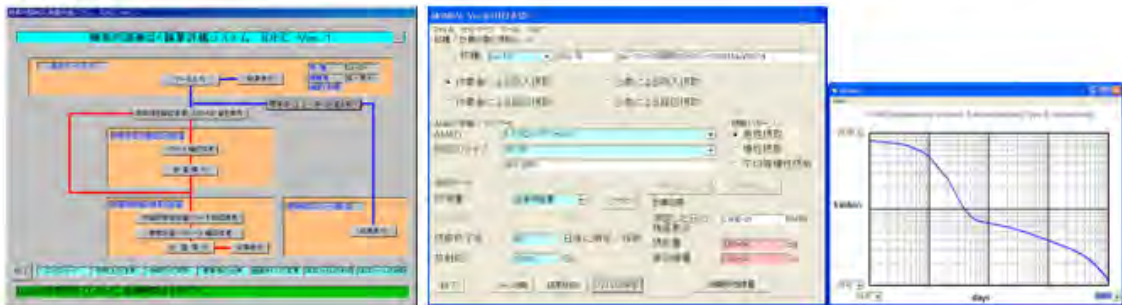
内部被ばく線量計算コード

❖ IDEC (Internal Dose Easy Calculation Code)

- ◇ 日本原子力研究所が開発整備した計算コード
- ◇ ICRP標準コード (ORNL/TM-6980.1980) をもとに、最新のICRP呼吸気道モデル、体内動態モデルを採用して開発

❖ MONDAL3

- ◇ 放医研によって開発された計算コード。Webでの公開あり。
(<http://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/mondal3j.php>)

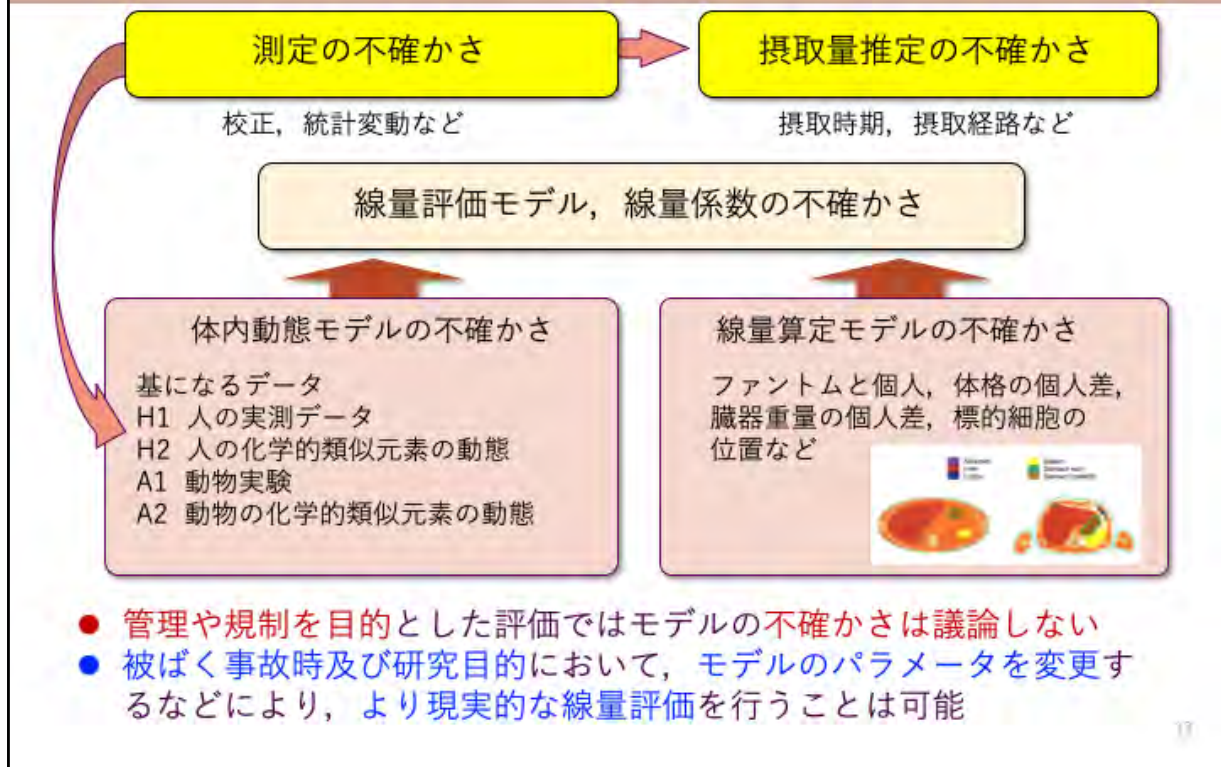


内部被ばく線量を簡便に評価するために、体内動態モデルの計算結果や実効線量係数を出力するコードが開発されています。

日本原子力研究所が開発したIDECは、ICRP標準コードを基に最新の呼吸気道モデルや体内動態モデルが取り入れられました。

また、放射線医学総合研究所が開発したMONDAL3は、年齢別の体内動態モデルの解析結果を出力できるコードで、Web上でも公開されています。

内部被ばく線量評価の不確かさ



内部被ばく線量評価にはさまざまな不確かさが伴います。

体外計測法やバイオアッセイ法の測定には、校正や統計変動などの不確かさがあり、摂取量の推定にあたっては摂取シナリオ（時期・経路等）の仮定に不確かさがあります。

また、ICRP Publicationで与えられている体内動態モデルや線量係数そのものにも不確かさがあります。

体内動態モデルは、必ずしも対象核種に対する人の実測データに基づいているわけではなく、化学的に類似している元素の動態に関するデータや動物実験のデータにも基づいています。

また、線量を計算するためのファントムは標準人を仮定したものであり、実際の個人の臓器・組織の形状、重量、位置等を再現しているとは限りません。しかし、平常時の放射線従事における低線量被ばくに対する管理や規制を目的とした前向きな計画被ばくの評価にあたっては、不確かさを考慮する必要はありません。

被ばく事故後や研究のための評価において、より現実的な線量を評価する場合には、個人ごとに最適なモデルのパラメータを選択したり、不確かさについて議論することになります。

体外計測法とバイオアッセイ法

	体外計測法	バイオアッセイ法
対象核種	γ 線放出核種	α 線放出核種 β 線放出核種 (γ 線放出核種)
測定対象	全身, 甲状腺, 肺等	生体試料(尿, 便等)
評価法	体外計測器による体内残留核種及び放射能評価	化学分析法による生体試料中の放射性核種及び放射能評価
長所	測定結果がすぐわかる	放射線の種類に関連なく評価可能
短所	測定場所及び評価可能な核種が制限	生体試料の採集から線量結果が出るまでの時間がかかる。

体外計測法とバイオアッセイ法の特徴が表にまとめられています。一般に、体内に存在する放射性核種を直接検出する体外計測法が適用できない場合に、バイオアッセイ法が適用されます。

原子力施設事故での想定核種

❖ 原子力発電所

^{131}I , ^{144}Xe , ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{137}Cs 等
(通常運転時には, ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{131}I 等)

❖ 再処理施設

^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{106}Ru (^{106}Rh), ^{239}Pu , ^{241}Am 等
(臨界事故時には, ほとんど全ての核種)

❖ その他

非破壊検査用の不特定線源による事故等

(松岡著, 核燃料サイクル関連核種の安全評価より)

原子力発電所事故時として想定される核種として、核分裂生成物である I-131、Xe-144、Kr-85、Sr-90、Cs-137等が挙げられます。

一方、再処理施設での事故時として想定される核種には、Pu-239、Am-241等の α 線放出核種であるアクチニド元素が含まれます。

その他、非破壊検査用の不特定線源による事故等が想定されます。

内部被ばく線量用データ集

リソース	データ	備考
ICRP Publication 68	<ul style="list-style-type: none"> ・ 作業者の線量係数 ※吸入(1μm, 5μm), 経口 	日本アイソトープ協会より和訳版刊行
ICRP Publication 78	<ul style="list-style-type: none"> ・ 作業者の線量係数 ※吸入(5μm), 経口 ・ 残留率/排泄率 ※線量係数と同じ+血液注入 	日本アイソトープ協会より和訳版刊行
ICRP Publication 71, 72	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公衆の線量係数 ※吸入(1μm), 経口 	
ICRP CD-ROM	<ul style="list-style-type: none"> ・ 作業者及び公衆の線量係数 ※吸入(0.001μm~10μm), 経口 	Elsevier Scienceから入手できる (約£100)
MONDAL	<ul style="list-style-type: none"> ・ 作業者及び公衆の線量係数 ・ 残留率/排泄率 	放医研から無償で入手できる
IAEA Safety Series No.37 Methods of assessing occupational radiation dose due to intakes of radionuclides	<ul style="list-style-type: none"> ・ 作業者の線量係数 ※吸入(1μm, 5μm), 経口, 血液注入 ・ 残留率/排泄率 ※線量係数と同じ条件 	IAEAのHP上で公開

内部被ばく線量を評価するための線量係数に関するデータ集を表にまとめます。

古くから放射線業務に従事する作業者を対象としたデータが整備されてきましたが、チェルノブイリでの原子力発電所事故後の後、幼児・小児を含む公衆も対象に含まれました。

内部被ばく線量評価のためのモデル

国際放射線防護委員会（ICRP）の関連刊行物（その1）

刊行物No.	刊行年	刊行物名称
Publication 2	1959	体内放射線の許容線量
Publication 10	1968	職業被ばくによる体内汚染からの身体組織への線量評価
Publication 10A	1971	反復取込みまたは長期の取り込みに由来する体内汚染の算定
Publication 19	1972	プルトニウム及びその他のアクチノイド化合物の代謝
Publication 20	1973	成人におけるアルカリ土類金属の代謝
Publication 23	1975	標準人に関するタスクグループ報告
Publication 30 (Index, Part 1-4)	1979-1988	作業による放射性核種の摂取の限度
Publication 53	1988	放射性医薬品からの患者の放射線線量
Publication 54	1989	作業による放射性核種の摂取に関する個人モニタリング：立案と解釈
Publication 56	1990	放射性核種の摂取による公衆の年齢別線量 - Part 1
Publication 61	1991	1990年勧告に基づく作業による放射性核種の年摂取量限度
Publication 66	1994	放射線防護のためのヒト呼吸気道モデル
Publication 67	1993	放射性核種の摂取による公衆の年齢別線量 - Part 2 経口線量係数
Publication 68	1994	作業による放射性核種の摂取についての線量係数

内部被ばく線量を評価するための体内動態モデルに関するICRP Publicationを表にまとめます。

内部被ばく線量評価のためのモデル

国際放射線防護委員会 (ICRP) の関連刊行物 (その2)

刊行物No.	刊行年	刊行物名称
Publication 69	1995	放射性核種の摂取による公衆の年齢別線量 - Part 3 経口線量係数
Publication 70	1995	放射線防護に用いる解剖学及び生理学に関する基礎データ - 骨格
Publication 71	1995	放射性核種の摂取による公衆の年齢別線量 - Part 4 吸入線量係数
Publication 72	1995	放射性核種の摂取による公衆の年齢別線量 - Part 5 経口/吸入線量係数
Publication 78	1997	作業者の内部被ばくの個人モニタリング (Publ.54に置き換わるもの)
Publication 80	1998	放射性医薬品からの患者の放射線線量 (Publ.53の補遺)
Supporting Guidance 3	2002	ICRPヒト呼吸気道モデルの実用化のためのガイド
Publication 88	2001	母親による放射性核種の摂取からの胚/胎児への線量
Publication 89	2002	放射線防護参考値に用いる解剖学及び生理学に関する基礎データ
Publication 95	2004	母乳中の放射性核種の摂取からの乳児への線量
Publication 100	2006	ヒト消化管モデル
Publication 128	2014	放射性医薬品からの患者の放射線線量：使用頻度の高い薬剤に関する更新の情報の大要
Publication 130	2015	放射性核種の職業摂取: Part 1

スライド17の続きです。

参考資料

❖ ICRP Publications

- ◇ For external exposure:Publ.74
- ◇ For internal exposure:Publ.68 & 78 (Workers), Publ.72 (Public)
- ◇ Others:Publ.60 & Publ.103 (Recommendations), Publ.96 (Radiological Attack)

❖ IAEA Documents

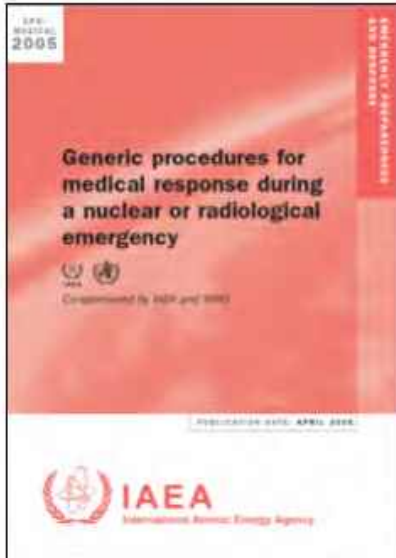
- ◇ Safety Standard Series: No. RS-G-1.1, 1.2 & 1.3
- ◇ Safety Reports Series: No.37 (for internal exposure)
- ◇ Generic Procedures for Medical Response during a nuclear or radiological emergency (IAEA & WHO)



参考資料はスライドの通りです。

原子力災害時の線量評価のあり方

スクリーニングの参考となる資料



原子力災害時の線量評価のあり方に関して、スライドに示す資料があります。我が国でも、福島での原子力発電所事故の教訓を活かした甲状腺スクリーニングの実施体制を整えるべく、多くの研究が進行しています。

公衆の線量評価 (東電福島原発事故の経験から)

原子力災害 専門研修
WBC・甲状腺-4

住民の放射線防護及び線量評価対応



原子力事故が発生した場合は、住民の放射線防護及び線量評価を実施しなければいけません。

福島第一原子力発電所事故の直後から、住民避難・屋内退避、緊急時環境モニタリング、食品の放射能検査及び飲食物摂取制限が実施されました。

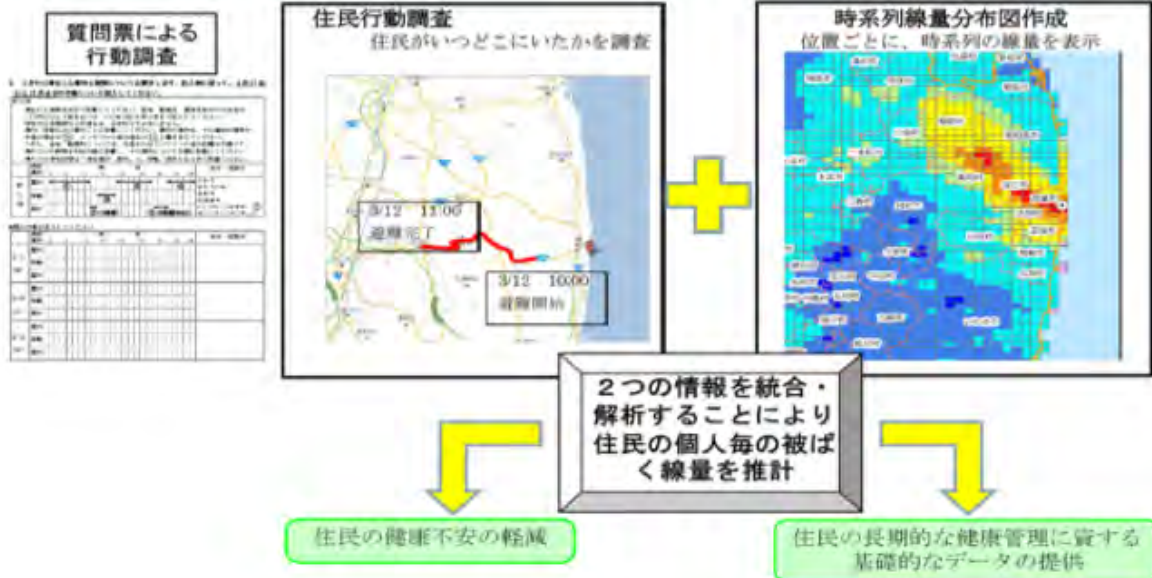
また、事故後1年以内の中期フェーズから、個人線量計を用いた外部被ばく線量測定やWBCを用いた福島県住民の内部被ばく検査が実施されました。

小児を対象とした甲状腺スクリーニングも事故後1ヵ月以内の初期フェーズで実施されましたが、甲状腺被ばくをもたらす主要な核種であるI-131の物理学的半減期が8日であるため、十分な測定ができたとはいえない状況です。

福島での事故の教訓として、事故後1週間以内に甲状腺スクリーニングを実施し、1ヵ月以内により詳細な測定ができるような体制を整備しておく重要性が認識されました。

住民対応 外部被ばく線量推定

全県民（約202万人）を対象に福島県が調査した、原発事故発生直後からの各個人の行動パターンが、放射線医学総合研究所が開発した外部被ばく線量評価システムに入力され、個人の外部被ばく線量が評価される。

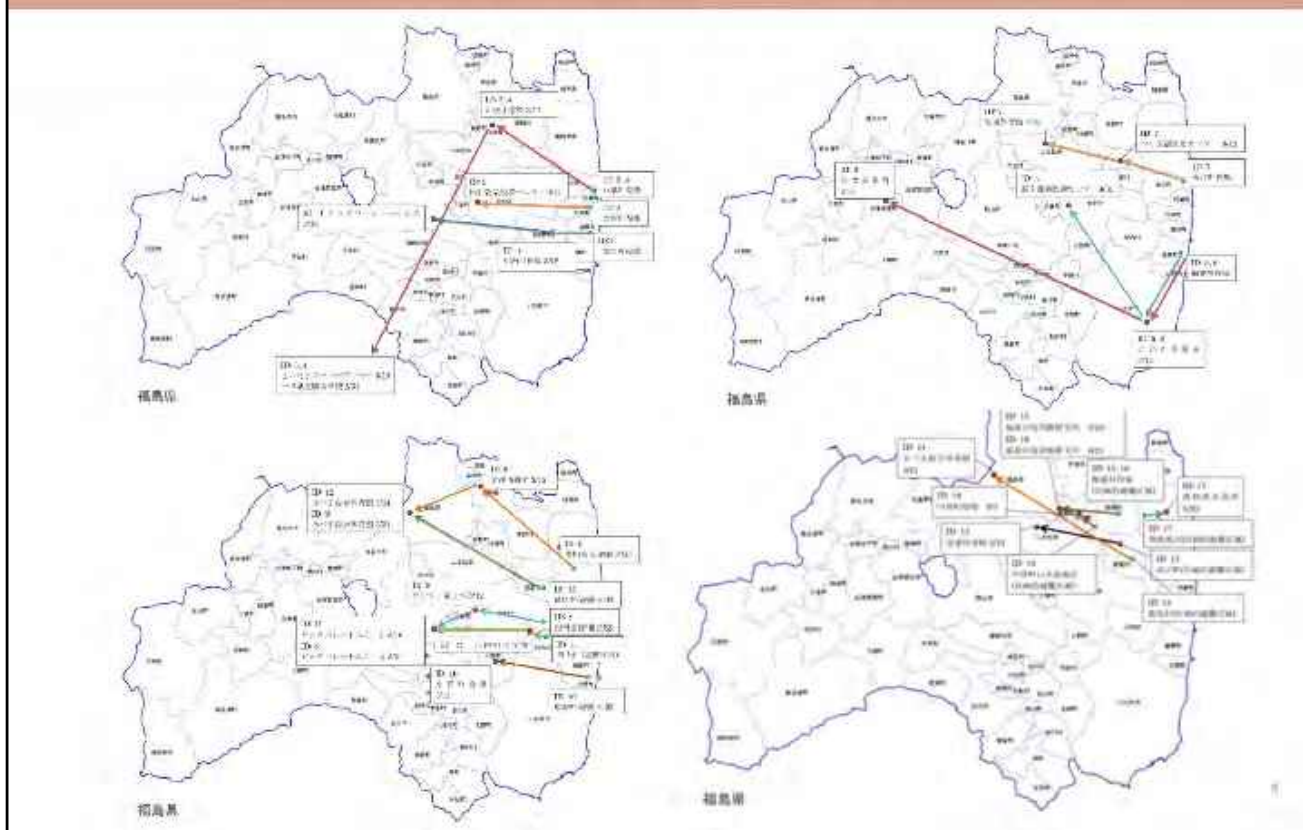


3

福島での事故後は、福島県民を対象に調査した個人の行動パターンに関する情報を整理し、経時的な線量分布図と照らし合わせることで、の外部被ばく線量を推定しました。

このような被ばく線量の推定にあたっては、事故発生直後からの行動を調査し、記録しておくことが不可欠となります。

住民の避難経路



全ての福島県民(約202万人)を対象に調査した各個人の行動パターンは、放射線医学総合研究所が開発した外部被ばく線量評価システムに入力されました。この調査・作業は、住民の被ばく線量を評価するとともに、健康状態の把握、疾病の予防と早期発見・治療に役立てることにより、将来にわたる健康の維持、増進を図ることを目的とした福島県主導の「県民健康調査」の一環として実施されました。

基本調査の回答率は、27.6%です。

平成29年6月30日までに55万2,298人の外部被ばく線量が推定されました。

このうち、事故後4ヶ月間にわたる全ての行動記録を提出できた47万3,605人のうち、放射線業務従事経験者を除いた46万4,420人の推定結果をみると、県南地域の88.2%、会津・南会津地域の99.3%、相双地域の77.3%が、いわき地域の99.1%が1mSv未満でした。最も線量が高かったと推定された住民は、相双地域に住んでいた方で25mSvでした。

外部被ばく線量の推定について、以下のサイトを参照いただけます。

<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/6494.pdf>

甲状腺中ヨウ素-131(¹³¹I)測定

Tokonami *et al*/ Sci. Rep. 2 (2012).

- 浪江町住民の甲状腺中¹³¹Iをスペクトロメータを用いて測定。
- 46人/62人から検出(74%)
- 成人(20歳≤):ND~**33** mSv (median: 3.5 mSv)
- 子ども(≤19歳):ND~**23** mSv (median: 4.2 mSv)



Matsuda *et al*/ Radiation Res. (2013).

- 事故発生から1ヶ月以内に福島県に滞在した初動対応者及び避難者をWBCを用いて測定。
- ¹³¹Iは55人/173人から検出(32%)
- 甲状腺等価線量の最大値:**20.04** mSv
- 滞在時期が早い集団ほど線量が高い。



Kim *et al*/ NIRS-M-252 (2012).

- 原子力安全委員会(当時)の依頼により現地対策本部が行った1,080名のNaI(Tl)サーベイメータを用いたスクリーニング検査
- 甲状腺等価線量の最大値**43** mSv※
※校正定数や摂取シナリオを見直す前の数値

合計しても
1,300件程度...

5

福島での事故後の線量評価に関する課題のひとつは、I-131を対象とした甲状腺計測の件数が非常に限られることです。

浪江町住民を対象とした測定では62人中46人で検出され、甲状腺線量の最大値は成人で33mSv、子どもで23mSvと評価されました。また、福島県に滞在した初動対応者及び避難者を対象とした測定では、173人中55人で検出され、最大値は20.04mSvと評価されました。

原子力安全委員会の依頼によって実施されたスクリーニング検査は、最も測定件数が多く、1080名の子どもが対象とされ、最大値は43mSvと評価されました。

これらの甲状腺計測を合計しても1,300件程度にしかありません。

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査(1)

- 川俣町、いわき市、飯館村の3市町村にて、**1080名**の子ども(15歳以下)の甲状腺中ヨウ素(^{131}I)の測定が原子力災害現地対策本部によって実施。
- 全員スクリーニングレベル($0.2 \mu\text{Sv/h}$)未満⇒**甲状腺等価線量100mSv未満**



ほぼ全員が30mSv未満

6

事故後に実施された甲状腺計測の中で最も測定件数の多かった1080名の子どもを対象とした甲状腺スクリーニングは、川俣町、いわき市、飯館村飯館村の3市町村で実施されました。

甲状腺等価線量100mSvに相当するスクリーニングレベルとして、NaI(Tl)サーベイメータの指示値として $0.2 \mu\text{Sv/h}$ が設定されました。

頸部での線量率から体幹部での線量率をバックグラウンドとして差し引いた正味値がスクリーニングレベルと比較され、対象者全員がスクリーニングレベル未満であり、ほぼ全員が30mSv未満であると評価されました。

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査(2)

スクリーニングレベルの導出(当時)

1歳児の甲状腺等価線量 100 mSv(当時)*

摂取シナリオの設定(12日間連続吸入)

摂取後翌日の甲状腺中¹³¹I残留量を計算

甲状腺中¹³¹I残留量に対応する
検出器の応答を評価

0.2 μSv/h (1歳児)

5歳児では約60mSv, 成人では約15mSvに相当

*100 mSvは「原子力施設等の
防災指針について(当時)」の安定
ヨウ素剤の予防的服用の基準値
として示されていた



参考)鈴木敏和, 放射線事故医療研究会(2011)

7

スクリーニングレベルは、最も線量が高くなる1歳児を想定した12日間の連続した吸入摂取シナリオに基づいて、0.2μSv/hと算出されました。

このスクリーニングレベルに相当する5歳児及び成人の甲状腺線量は、それぞれ約60mSv及び約15mSvとなります。

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査(3)

NaIサーベイメータの校正(当時)

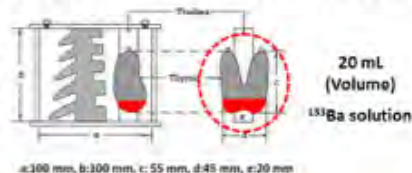


ファントムを用いて校正

測定器:アロカ製(現在, 日立製作所)
TCS-161, 171, 172

校正条件:京都科学製ファントムの甲状腺形状容器に¹³³Ba溶液を, 年齢に応じた甲状腺容積*を考慮して封入

- 1歳児:2.5 ml
- 5歳児:6.1 ml



照射施設で高線量場の再現

年齢区分	0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 正味値に相当する ¹³¹ I量	12日間吸入摂取翌日に計測した場合の実効線量	左条件での甲状腺等価線量
1歳児	4400 Bq	5.4 mSv	108 mSv
5歳児	4690 Bq	3.2 mSv	64 mSv
成人	6030 Bq	0.8 mSv	16 mSv

(1歳児条件の場合, 1 $\mu\text{Sv/h}$ は約22 kBq)

Ref. Mettler et al. J. Nucl. Medicine (1996)

スクリーニングレベルの設定にあたり、甲状腺残留量 (Bq) とNaIサーベイメータの指示値 ($\mu\text{Sv/h}$) との関係を調べるために、甲状腺ファントムを使用した実験が実施されました。

ファントム内の甲状腺容器に、Ba-133溶液を2.5ml (1歳児を想定) 封入して測定した結果、0.2 $\mu\text{Sv/h}$ の指示値に相当する甲状腺中のI-131は4400Bqであることが明らかとなりました。12日間の吸入摂取を続けた翌日に測定されたとするシナリオに基づく、4400Bqの甲状腺残留量に相当する実効線量及び甲状腺線量は、それぞれ5.4mSv及び108mSvと計算されます。

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査(4)

シンチレーションサーベイメータによる甲状腺線量の簡易測定法 (2011年3月25日改訂版:当時)

1. 概要

本測定法は簡易的に甲状腺内の放射能を調査することを目的とする。

2. 測定対象

1歳児～15歳児

3. 使用可能な測定器

TCS-161, 171, 172に限定する。

4. 測定条件

- 1)音は出ないようにする。
- 2)時定数を10秒にする。
- 3)指示値を $\mu\text{Sv/h}$ 単位とする。
- 4)測定は30秒とし、30秒後の指示値を3回読んで、その平均値を記録する。
- 5)プローブは養生すること。子どもが対象であることから、その上にティッシュを巻くこと。

5. バックグラウンド測定

測定場所のバックグラウンドを甲状腺測定前に測定し、記録する。

6. 甲状腺測定

- 1)首の回りを汚染のない濡れタオルで拭き、除染する。水は未開封のペットボトルの水を用いると良い。
- 2)甲状腺にプローブを密着して測定する。プローブの位置は体軸中心で高さは首と鎖骨の交点である。
- 3)指示値を記録し、バックグラウンドの値を差し引き、正味値を求める。
- 4)正味値が $1\mu\text{Sv/h}$ のとき、甲状腺残留放射能は 22kBq である。これは1歳児の場合であり、年齢とともに数値は減少する。
- 5)正味値は居住地や避難経路とともに記録する。
- 6)1歳児以下で $0.2\mu\text{Sv/h}$ を超える場合、放医研に問合せとする。

当時の資料を一部修正して掲載

9

実際の甲状腺スクリーニング検査では、スライドに示す方法に従って実施されました。

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査(5)

各測定場所における被検者数

実施日	測定場所	被検者数	評価対象者数
3月24日	川俣町保健センター	18	(18) ^{*1}
	川俣町山木屋出張所	48	(48) ^{*1}
3月26, 27日	いわき市保健所	137	134 ^{*2}
3月28-30日	川俣町中央公民館	631	631
3月29, 30日	飯館村役場	315	315
合計		1,149	1,080

*1 高BGのため、評価対象者から除外

*2 年齢不詳の3名を評価対象者から除外

	川俣町	いわき市	飯館村
評価対象者数	631	134	315
人口(15歳以下)*	1,917	50,482	865

* 2010年国勢調査より

10

2011年3月24日～30日にかけて実施された甲状腺スクリーニングの測定場所及び被検者数はスライドに示すとおりです。

評価対象者は川俣町、いわき市、飯館村でそれぞれ631名、134名、315名でした。

15歳以下の全人口に対する評価対象者の割合は、川俣町及び飯館村については約35%であったものの、いわき市については1%にも満たなかったことが課題として残されました。

ホールボディカウンタによる内部被ばく検査

福島県内におけるホールボディカウンタ(WBC)を用いた 福島県等住民の内部被ばく検査

被検者数: 324,858 名(平成23年6月～平成29年8月)
1 mSv 未満 324,832人(99.99%)
(1 mSv:14名, 2 mSv:10名, 3 mSv:2名)



現存被ばく状況下における内部被ばくのリスクはほぼゼロ



福島県HP <http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-wbc-kensa-kekka.html>

11

福島県内におけるWBCを用いた内部被ばく検査は、平成23年6月～平成29年8月の期間に実施され、被検者数は324,858名となりました。

このうち、実効線量が1mSv未満と評価された人数は324,832名(99.99%)で、1mSv、2mSv、3mSvと評価された人数はそれぞれ14名、10名、2名でした。

この結果から、少なくとも事故から1ヵ月～数ヵ月経過した時点の現存被ばく状況下における内部被ばくのリスクはほぼないといえます。

福島県におけるWBC検査の経験



<http://www.jhps.or.jp/report/pdf/report9.1.pdf>

12

福島県におけるWBC検査に関する経験の詳細については、日本保健物理学会が設置した「体外計測に関する標準計測法の策定に関する専門研究会」の報告書にまとめられています。

ホールボディカウンタ(WBC)

放医研の簡易型WBC



体外に出てくる γ 線を**体外**に配置した放射線測定器で検出する

13

放射線医学総合研究所においても、所内の簡易型WBCを使用した測定が実施されました。

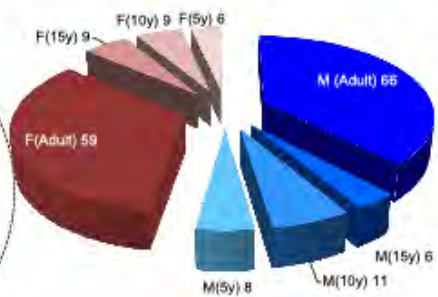
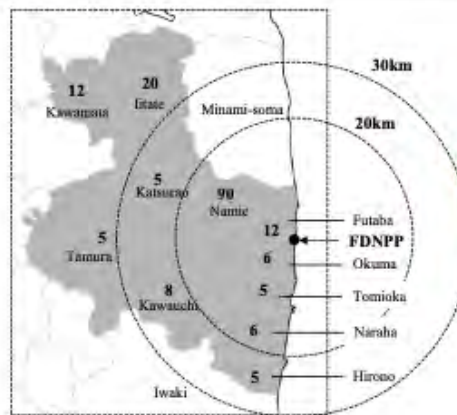
放医研パイロット調査(1)



Paper

EARLY INTAKE OF RADIOCESIUM BY RESIDENTS LIVING NEAR THE TEPCO FUKUSHIMA DAI-ICHI NUCLEAR POWER PLANT AFTER THE ACCIDENT. PART 1: INTERNAL DOSES BASED ON WHOLE-BODY MEASUREMENTS BY NIRS

Eunjoon Kim,* Osamu Kurihara,* Naoaki Kumshima,* Takashi Nakano,* Kotaro Tani,* Misao Hachiya,* Takumaro Momose,† Tetsuo Ishikawa,‡ Shinji Tokonami,§ Masahiro Hosoda,§ and Makoto Akashi*



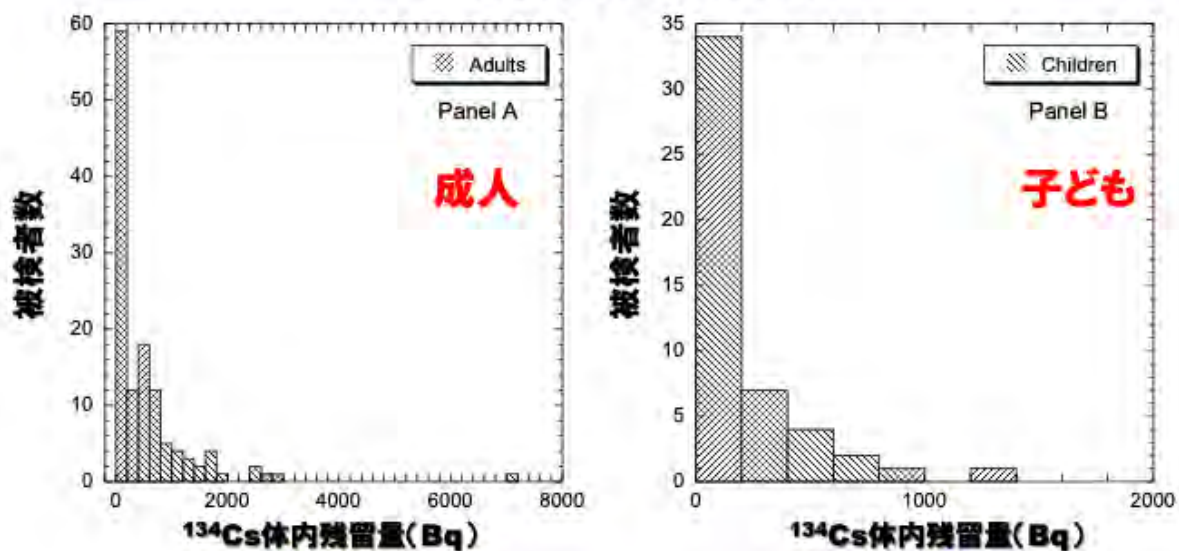
福島県委託により放医研で実施した初期の内部被ばく検査(2011/6/27-7/28)
被検者数:174名(成人125名, 子ども49名)

14

2011年6月27日～7月28日までの期間で、福島県の委託による内部被ばく検査を174名（成人125名、子ども49名）に対して実施しました。

放医研パイロット調査(2)

^{134}Cs 体内残留量の結果

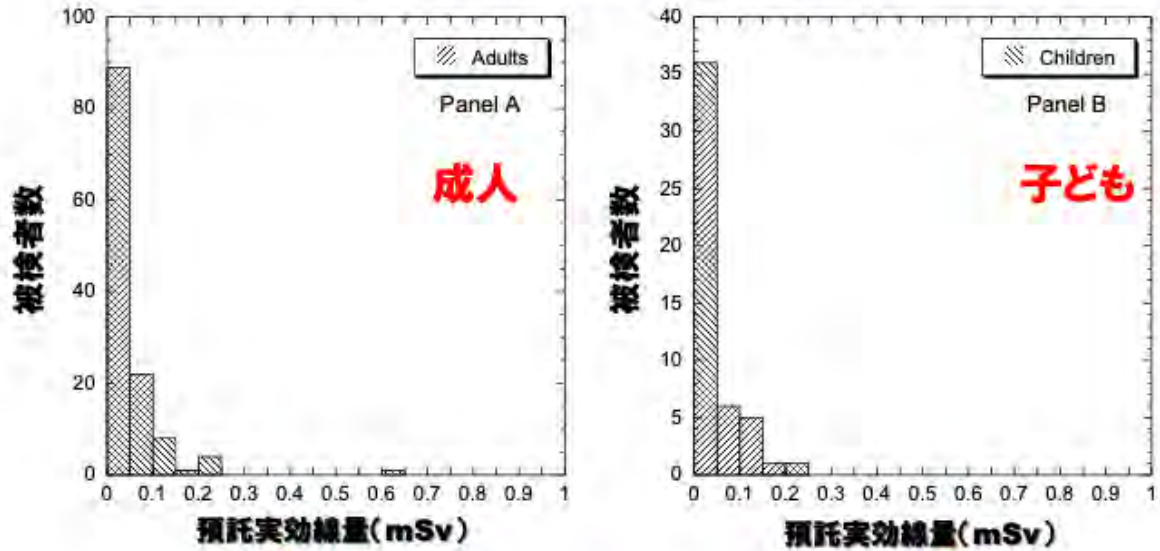


有意差あり ($p = 0.007^*$)

Cs-134の体内残留量は、成人と子どもで有意な差が見られます。

放医研パイロット調査(3)

Csによる預託実効線量の結果



有意差なし ($p = 0.264$)

16

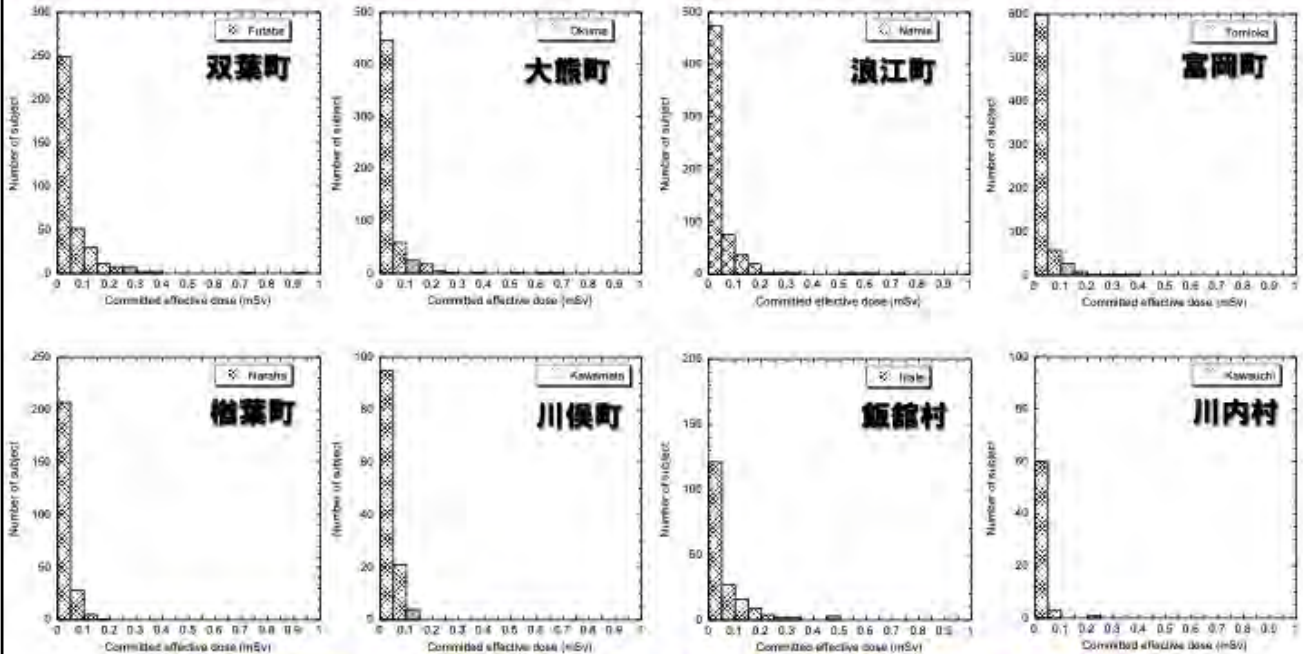
しかし、体内残留量から計算される実効線量には、成人と子どもで差はみられません。

これは、成人と子どもで体内残留割合や線量係数が異なることが理由です。

一般に、子供の代謝・排泄は成人よりも早いため、摂取した放射性物質を測定できる期間は短くなります。

原子力機構によるWBC測定

各市町村の成人被検者の預託実効線量分布



Cs預託実効線量の90パーセンタイル値は~0.1 mSv

Kim et al. J. Radiat. Res. (2016)

17

各市町村における成人被検者の実効線量分布をスライドに示します。
放射性セシウムによる実効線量の90%タイル値は0.1mSv以下であり、少なくとも事故後の中長期にわたっては被ばくがほとんどなかったといえます。

福島原発事故の教訓(線量評価)

- **個人モニタリングの遅れ**: 迅速な住民避難や飲食物摂取制限により被ばくを低減できたものの、**初期内部被ばく線量の推計が困難**→対応: 迅速かつ実効的な個人モニタリング体制の構築
- **モニタリング対象者の選定**: 事故初期の甲状腺被ばくスクリーニング検査(3地域のみ)、WBC検査では子供を優先して実施→対応: 後の健康調査等に資する個人モニタリングの検討
- **個人モニタリングの課題(住民、作業員)**: 上昇した放射線バックグラウンド環境下での実施、大規模な自然災害→対応: 最悪な状況を想定した堅牢な個人モニタリング手法の検討



地域の原子力災害対応の一環として確実な準備が不可欠

18

線量評価に関する福島での事故の教訓として、個人モニタリングの遅れ、モニタリング対象者の選定等に関する課題が明らかとなりました。
地域の原子力災害対応の一環として、モニタリング体制を整備を進めています。

甲状腺簡易検査

原子力災害 専門研修
WBC・甲状腺-5

甲状腺簡易検査

【甲状腺簡易検査とは...】

原子力災害が発生し、放射性ヨウ素等の放射性物質が環境中に放出された場合、周辺住民の内部被ばくの状態を速やかに確認し、防護措置を講じる必要がある。その一環として、甲状腺に集積した放射性ヨウ素を簡易的な方法で測定することにより、被ばく線量の程度を迅速に把握するための検査。

【対象者】

UPZ内において放射性核種による顕著な汚染が認められた地域からの避難住民の内、**退域時避難検査で有意な汚染が認められた者が想定される。**
※乳幼児は検査が困難(同じ家族の者を代わりに検査)

【いつ、どのように行うのか...】

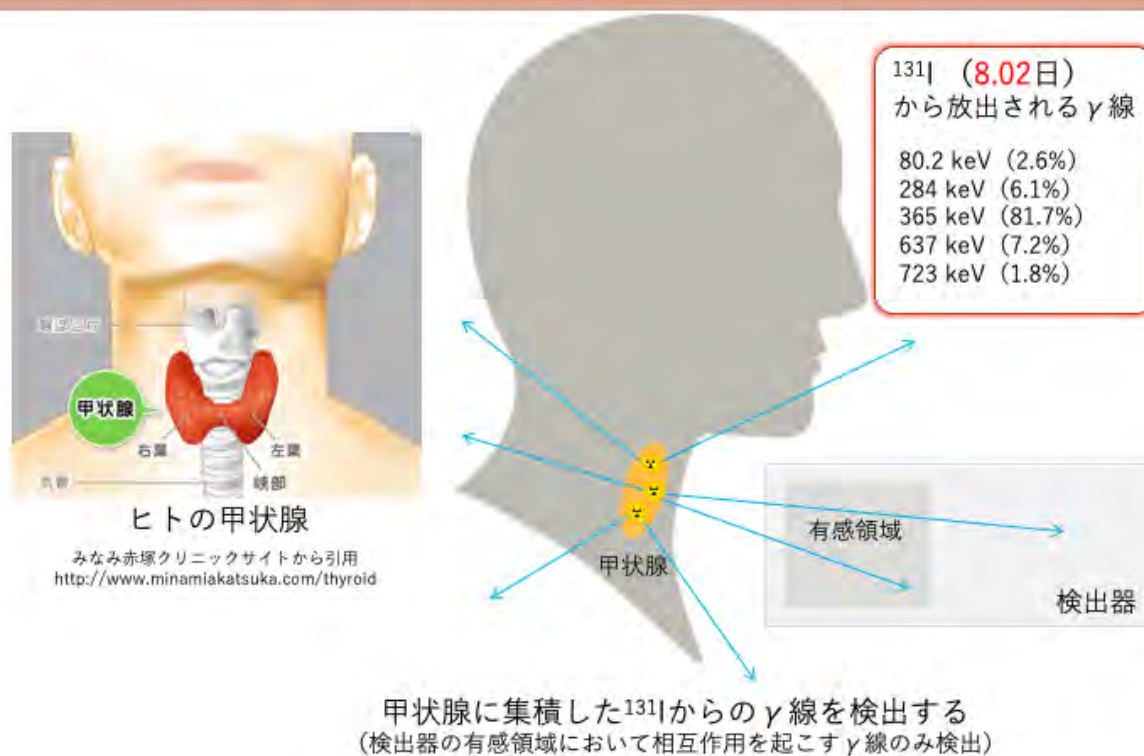
事故発生から**概ね1週間以内**に、空間線量率測定用NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを用いて行う。
※放射性ヨウ素が甲状腺に集積するまでに約1日かかることも考慮

【どこで行うのか...】

避難所または事前に指定した他の公共施設等。

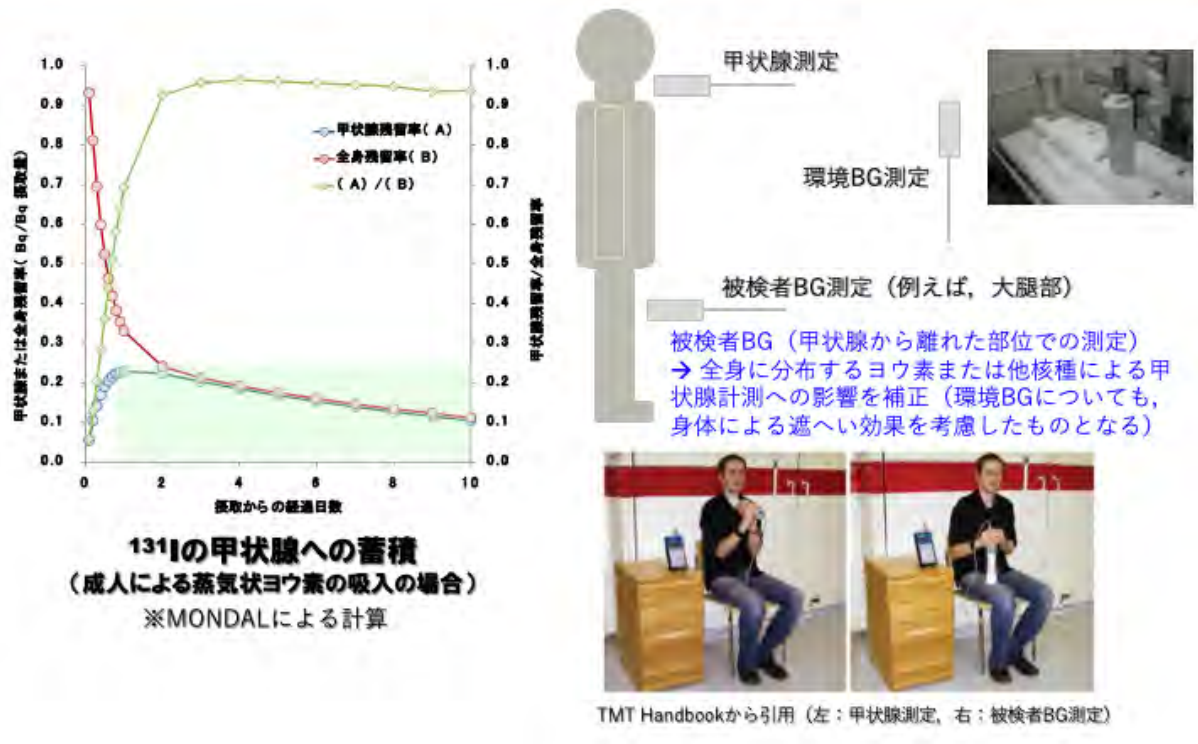
原子力災害によって環境中に放出された放射性ヨウ素による内部被ばくの状態を把握するために、甲状腺簡易検査を実施する必要があります。想定される対象者は、避難住民の退域時検査で有意な汚染が認められたもので、概ね事故後1週間以内にNaI(Tl)サーベイメータを用いて実施することとしています。

甲状腺中ヨウ素の測定原理(1)



ヨウ素は甲状腺ホルモンの合成に必要な元素であり、原子力災害で放出されるI-131などの放射性ヨウ素も甲状腺に選択的に取り込まれます。I-131は物理学的半減期8.02日で崩壊しながら、さまざまなエネルギーの γ 線を放出するため、それらを体外に設置した放射線検出器で測定することで甲状腺に残留するI-131の放射能を定量することができます。

甲状腺中ヨウ素の測定原理(2)



吸入したI-131は、肺から血液中に吸収され、徐々に甲状腺へと移行していきます。

グラフに示すように、I-131の甲状腺残留率は吸入摂取から約1日かけて上昇するため、それ以降のなるべく早い時期に甲状腺計測を実施することが望ましいといえます。

甲状腺以外の全身に分布しているヨウ素や他の核種による甲状腺計測への影響を補正するために、被験者のBG測定も実施する必要があります。

甲状腺を対象とした測定値から、被験者BGの測定値を引いた正味の測定値を算出し、その値に基づいて甲状腺線量を評価します。

測定器

○甲状腺簡易検査用



TCS-172B (日立製)



PMT シンチレータ

機器の仕様

- 測定放射線： γ 線
- シンチレータ：25.4 Φ × 25.4 mm NaI(Tl)
- 時定数：3, 10, 30秒
- 測定エネルギーレンジ：50 keV-3 MeV
- 測定範囲 (線量当量率)：BG-30 μ Sv/h
- 測定範囲 (計数率)：0-30 ks⁻¹
- エネルギー特性：¹³⁷Csに対して $\pm 15\%$ 以下

※内部で波高スペクトルにG関数を演算して線量率を計算

○詳細検査用



HPGe
検出器

5cm厚鉛遮蔽

機器の仕様

- 検出器：N-type HPGe x1式
(Type: LOAX-70450/30P, ORTEC社製)
- 電気冷却装置 (X-Cooler II, ORTEC社製)
- 鉛シールド (5 cm厚)
- 主な測定部位：甲状腺
- 検出限界値：約40 Bq (¹³¹I, 3分測定)

甲状腺簡易検査には、取り扱いが簡便なNaI(Tl)サーベイメータを使用します。波高スペクトルにG関数を演算して計算される線量率 (μ Sv/h) が読み取れるため、これをスクリーニングレベルと直接比較することで、詳細検査の必要性の有無を判断します。測定時間は約30秒です。

詳細検査では、高純度Ge半導体検出器によって測定した波高スペクトルから、I-131から放出される365keVのカウント数が解析できます。鉛遮蔽等を使用した数分間の測定によって、より正確な評価が可能となります。

甲状腺簡易検査の方法



1. 体表面汚染が無いことを確認した後、被検者の咽頭下部（写真）にプローブを密着させた状態で保持し、時定数10秒で指示値が安定したときの数値【測定値（A）】を読み取る。

（補足説明）

- プローブの先端はガーゼ等を被せて、汚染を確認した場合には速やかに外せるようにしておく。
- 可能であれば、プローブを頸部に密着させる前に被検者の頸部前面をウエットティッシュ等で軽く拭う。
- 一度リセットをした場合、指示値が安定するのは30秒後以降（時定数10秒の場合）



2. 着衣の汚染が無いことを確認した後、大腿部中央付近にプローブを密着させた状態で保持し、時定数10秒で指示値が安定したときの数値【測定値（B）】を読み取る。

正味値 = 測定値（A） - 測定値（B）



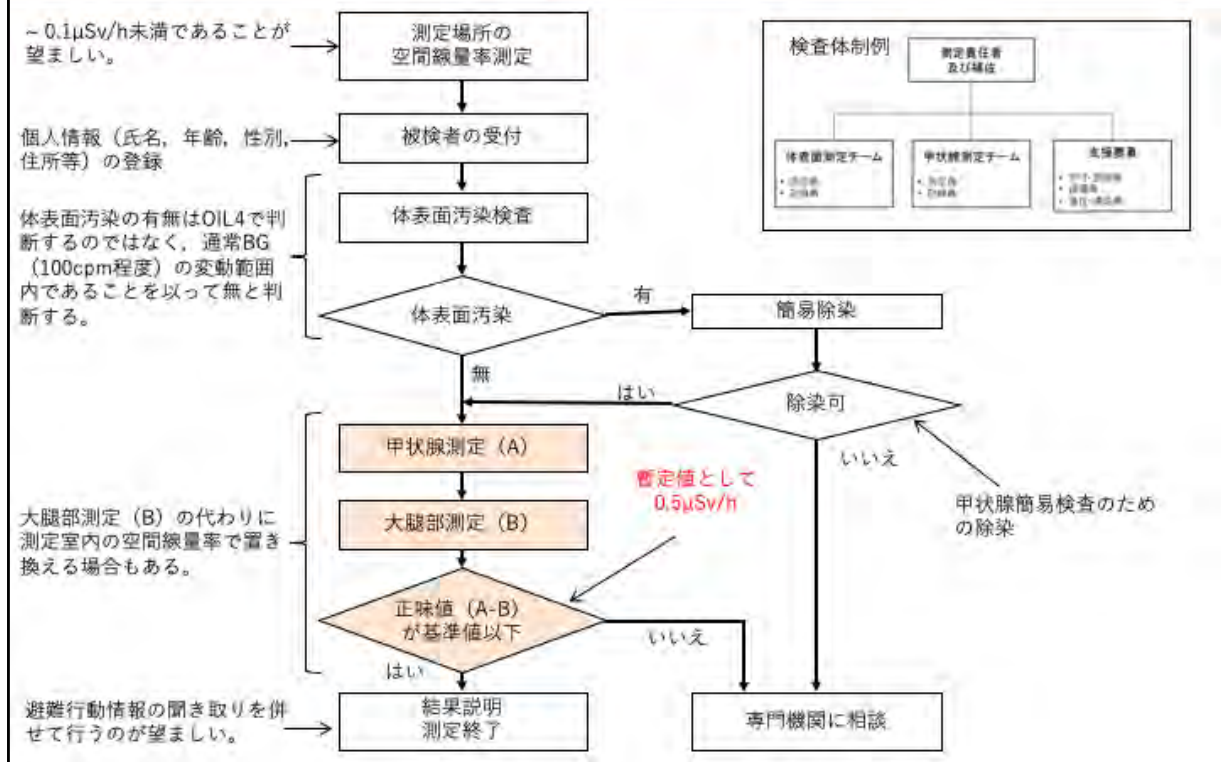
スクリーニングレベルと比較

※測定室内の空間線量率も定期的に測定する。

環境中に放出された放射性ヨウ素の吸入が疑われた場合は、頸部の体表面汚染がないことを確認した後で、NaI(Tl)サーベイメータのプローブを頸部に密着させて測定します。

甲状腺を対象とした測定値から大腿部を対象とした被検者BG測定値を引いた正味値をスクリーニングレベルと比較します。

甲状腺簡易検査の流れ



甲状腺簡易検査の実施にあたり、通常よりもバックグラウンドの線量率が高くなっている場合には、できる限り低い場所を探すことで測定の不確かさを低減することができます。

被検者の受付では、氏名、年齢、性別、住所等の情報を登録し、体表面汚染検査に進みます。

体表面検査で汚染が認められた場合には簡易除染を実施し、汚染がなくなったことを確認してから甲状腺測定、大腿部での被検者BG測定を実施します。甲状腺の測定値から被検者BGの測定値を差し引いた正味値がスクリーニングレベル以下であれば、結果を説明して終了しますが、スクリーニングレベルを上回っていれば専門機関に相談の上、詳細検査等を実施することになります。

乳児・幼児・小児の測定



(左から、4歳男児、8歳女児、11歳女児)

(1歳男児)

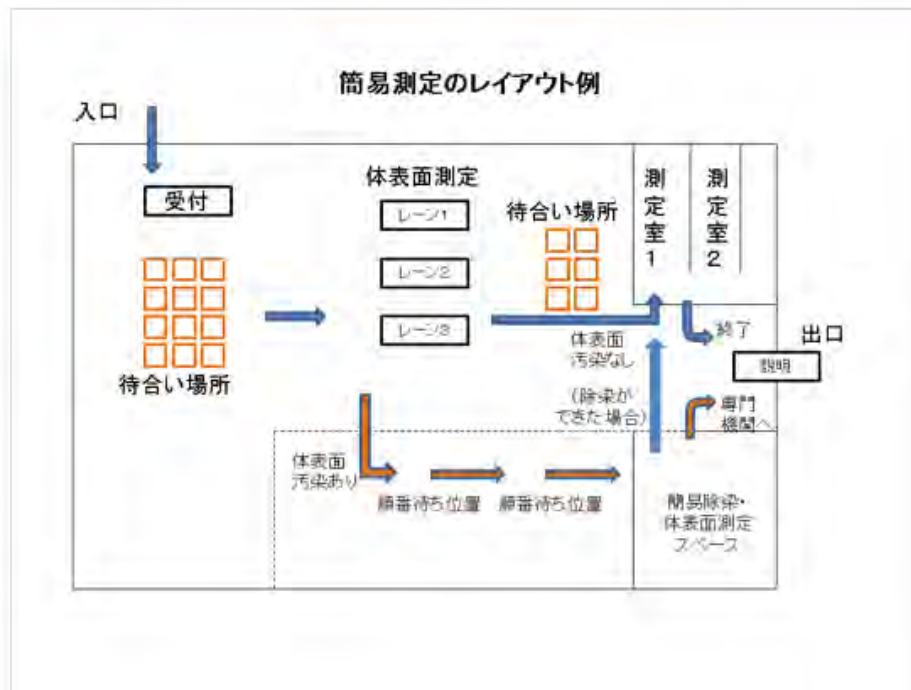
就学前小児の甲状腺検査に関しては今後の検討課題…

甲状腺を測定する際には、サーベイメータのプローブを頸部に密着させて測定します。

しかし、特に1歳児の場合には頸部が短くプローブを密着させることができない可能性があります。

このような状況で正確に測定することは難しく、不確かさが大きくなってしまったため、より良い測定方法を検討していくことが課題となっています。

測定場所のレイアウト例



甲状腺測定場所のレイアウトの例を示します。

甲状腺簡易検査の記録様式例

簡易測定法による甲状腺の放射性ヨウ素測定記録（例）

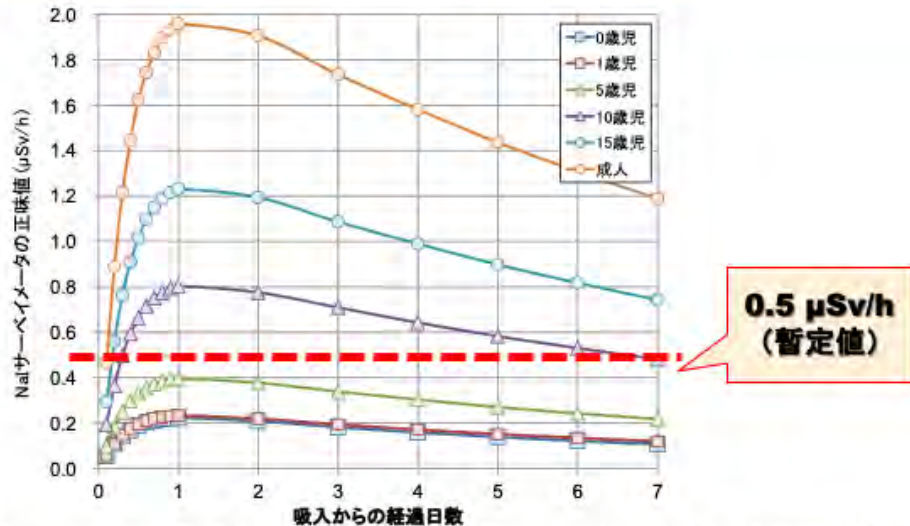
測定年月日	測定者	記録者	
測定施設	測定機種	校正日	校正定数
測定場所	環境のバックグラウンド値(時刻)	[a (b-c)]	環境のバックグラウンド値(時刻)
測定口番号	環境のバックグラウンド値(時刻)	[a (b-c)]	環境のバックグラウンド値(時刻)

測定者氏名	年齢	性別	住所または所在地	対象地区等	測定時刻	大腸部	甲状腺	正味値	補正値の係	備考
						(a)	(b)	(b/a)	(a/b) × 100(%)	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										

使用するNaI(Tl)サーベイメータの定期点検が1年以内に行われていることを確認

甲状腺簡易検査の記録様式の例を示します。
 使用するNaI(Tl)サーベイメータについては、定期点検が1年以内に行われていることを確認する必要があります。

甲状腺簡易検査の基準値



甲状腺等価線量100mSvに相当する ^{131}I 残留量に対するNaI(Tl)サーベイメータの指示値
(ただし、 $1\mu\text{Sv/h}=30\text{kBq } ^{131}\text{I}$ の関係を年齢に関係なく用いた)

(補足) $1\mu\text{Sv/h}\leftrightarrow 30\text{kBq } ^{131}\text{I}$ の換算係数は成人の頸部を模擬したファントムで得られたものである。小児では検出感度が成人よりも高くなるため、成人と同じ ^{131}I 甲状腺残留量でも指示値が高くなる。また、 γ 線放出率の高い ^{132}I (^{132}Te の子孫核種)の単位量当たりの検出感度が ^{131}I よりも高く、線量係数は ^{131}I よりも低いため、 ^{131}I のみと仮定して線量評価を行う場合よりも実際は線量が低くなると考えられる。ただし、サーベイメータの検出感度や測定精度の個体差が大きい($\pm 20\%$ 程度)ことも留意する必要がある。

グラフは、甲状腺等価線量100mSvに相当する摂取があった後に甲状腺計測を実施した場合の指示値 ($\mu\text{Sv/h}$) の変化を年齢別に示したものです。

例えば、スクリーニングレベルを $0.5\mu\text{Sv/h}$ に設定した場合、甲状腺計測によってスクリーニングレベルを下回っていれば、特に甲状腺がんのリスクが高いとされる0歳児、1歳児及び5歳の甲状腺線量は100mSv未満であると判断することができます。

ただし、甲状腺簡易検査や線量評価にはさまざまな不確かさを伴うため、それらを考慮したスクリーニングレベルの設定について今後も検討が必要です。

甲状腺被ばくに対するOIL8



OIL8の基礎となる包括的判断基準は、
甲状腺等価線量で100~200 mSv

表 10 甲状腺からの線量率に対する OIL8 の初期設定値

この OIL の初期設定値は甲状腺からの線量率に対するものであり、以下のように測定される必要がある：(a) 対象者の除染及び汚染着衣の脱衣後に、(b) 放射性ヨウ素の摂取の可能性があった時から 1-6 日後に、(c) 有効面積が 15 cm² 以下のプローブを用い、(d) 甲状腺の前面の皮膚に接触させ、測定用のプローブを設置し、(e) バックグラウンド線量率が 0.2 μSv/h 未満の場所を実施。

OIL8 ^a	測定された人々への措置
<p>被ばく後、1 から 6 日後に 甲状腺の前面の皮膚に接触させ バックグラウンド線量率に対する 超過値</p> <p>0.5 μSv/h^c 2 μSv/h^c 年齢 ≤ 7 歳 年齢 > 7 歳</p>	<p>即時：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 未服用であれば、ITB 剤服用を指示； - 不注意による経口摂取を抑制するよう指示； - 測定されたすべての人々を登録し、甲状腺線量率を記録する；さらに - OIL8 を超えた場合、2.3 節と一貫性のある医療スクリーニングを実施。 <p>数日以内：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 参考文献[30]に従って、医学検査や診療及び追跡調査が正当とされるかどうか決定するため OIL8 を超えた甲状腺線量率の人々の線量を推定。

- a ガンマ線量率測定器の検出部の位置は甲状腺上で皮膚の近傍。
b 手を洗淨するまで飲食、喫煙をしないことや手を口から離れた場所に置いておくことを助言。これは、OIL 値を超過したかどうかにかかわらず、汚染のおそれがあるならば実施される必要がある。
c バックグラウンド線量率に対する超過値。

引用：JAERI-Review 2016-013

事故後の防護策を実施するための基準として、運用上の介入レベル (OIL: Operational Intervention Level) の設定がIAEAから提案されています。被ばく後1-6日後に実施した甲状腺計測に対するスクリーニングレベル (OIL8) としては、7歳以下の小児に対して0.5μSv/hが与えられています。OIL8を我が国に取り入れるべきかどうか、議論が続いています。

人材育成 甲状腺簡易検査実習（1）

量研機構・放医研で実施される
研修プログラムの概要



甲状腺簡易検査に関する体制整備・人材育成のための取り組みの例として、量研機構・放医研が実施する「甲状腺簡易測定研修」があります。この研修は、原子力災害時に甲状腺簡易検査を担当／関与している方、又はその可能性のある方を対象として、甲状腺簡易検査の目的を理解し、NaI(TI)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査方法を習得することを目的として実施されています。

スライドに示す講義、実習、質疑・討論を1日で実施します。

実習では、より実際的な状況を意識して検査方法を習得できるよう、模擬被検者（マネキン）を用いています。

また、原子力災害時には比較的高いレベルのバックグラウンド（BG）の中で検査を実施する必要性が想定されるため、密封線源の設置によって空間線量率を高めた状態での測定にも臨みます。

人材育成 甲状腺簡易検査実習 (2)

Nal (TI) シンチレーションサーベイメータの使い方

TCS-172B (日立製作所製) の場合



時定数の設定



3秒→10秒
→30秒→3秒



バッテリーチェック:
BATT= ■■■■■



HVチェック: HV=OK

時定数と測定時間



- ▶ 時定数 T , 測定時間 t の場合、測定時間 t 後の指示値は最終指示値の $1 - \exp(-t/T)$ 倍
- ▶ 指示値の安定する測定時間の目安はリセット後、時定数の3倍程度: $T = 10 \text{ s} \Rightarrow \sim 30 \text{ s}$
- ▶ 測定する対象、緊急度などの目的に応じて時定数を選択

サーベイメータ取扱時の注意

使用時: 電源投入後、必ずHV(高圧)、BATT(電池)を確認する
バックグラウンド (BG) を適宜測定する
汚染が懸念される際にはプローブを養生し、汚染防止を図る

管理時: 定期的な校正を行う (1回/1年)
常温、日光に当たらない場所で保管する
長時間使用しない場合は電池を抜き、液漏れを防止する

甲状腺簡易検査の実習に使用する検出器は、空間線量率を測定するためのNaI (TI) シンチレーションサーベイメータです。

スライドに示すように、実際に使用するサーベイメータ (日立製作所製TCS-172B) の基本的な操作を実習の中で説明します。

特に、指示値の安定する測定時間の目安が、時定数の3倍程度であるということが重要で、例えば時定数を10秒に設定した場合、プローブを測定位置に合わせてから30秒程度経過してから指示値を読まなければいけません。

また、検出器自体が汚染してしまうことが懸念される状況では、プローブ (及び本体) を養生する必要がある場合もあります。

平常時から、1年に1回以上の定期的な校正が望まれます。

人材育成 甲状腺簡易検査実習（3）



模擬被検者（発泡スチロール製マネキン）

頸部下部の内側に甲状腺中ヨウ素放射能を模擬するためのガンマ線ポイント線源を設置

K. Yajima et al. Radiat. Prot. Dosim. (2018)から引用

高レベルBG環境の構築

マネキンの後方に空間線量率用 ^{137}Cs 線源を設置

模擬被検者として発泡スチロール製のマネキン12体を使用しています。
12体のうち、10体のマネキンの頸部下部の内部に甲状腺中放射性ヨウ素を模擬した密封線源を設置し、2体はblankとします。
また、マネキン後方にCs-137（又はCo-60）の密封線源を設置することで高レベルBG環境を再現しました。

人材育成 甲状腺簡易検査実習（４）

模擬被検者の測定

甲状腺測定
甲状腺測定値
頸部下部に密着

大腿部測定
被検者BG

プローブを頸部下部（喉仏と鎖骨の間あたり）に軽く触れる程度で密着させる

被検者BGは台のボールの目印付近の高さで測定する

被検者BG（大腿部など甲状腺から離れた部位を測定）
全身に分布するヨウ素または他核種による甲状腺測定への影響を補正。環境BGについても、身体による遮蔽効果を考慮したものとなる

NaIサーベイメータを用いた模擬被検者の甲状腺測定

甲状腺測定：頸部下部にプローブを軽く密着させて測定
 被検者BG：台の下の指定位置における空間線量率（大腿部測定の代用）測定
 引用：平成30年度「甲状腺簡易測定研修」甲状腺簡易検査実習テキスト

甲状腺簡易検査実習用 記録用紙

測定日： 年 月 日 測定員： _____
 測定場所： _____ 記録員： _____

機器番号： _____ 測定BG： [μSv/h]
 校正定数： _____ 基準値： 0.5 [μSv/h]

測定開始時刻： () 測定終了時刻： ()

被検者番号	単位：μSv/h				基準値/測定 ✓記入
	①被検者EG	②甲状腺測定値	③正味値 (②-①)	④補正値 (③×校正定数)	
あ					
い					
う					

$$\text{正味値 } (\mu\text{Sv h}^{-1}) = \text{甲状腺測定値} - \text{被検者BG測定値}$$

$$\text{補正値} = \text{正味値} \times \text{NaIサーベイ校正定数}$$

大腿部測定はマネキン台下の空間線量率で代用

スクリーニングレベル（暫定 0.5 μSv h⁻¹）と比較

模擬被検者の測定は、甲状腺及び大腿部を想定して1回ずつ実施します。甲状腺を想定した測定では、マネキンの頸部下部に正面からNaIサーベイメータのプローブを軽く密着させます。一方、大腿部を想定した測定は、マネキンの頸部内部に設置した密封線源の影響を受けにくい指定の位置で実施し被検者BG測定値とします。甲状腺の測定値から被検者BG測定値を差し引いた正味値を、スクリーニングレベル（例えば0.5 μSv h⁻¹）と比較します。

人材育成 甲状腺簡易検査実習（5）

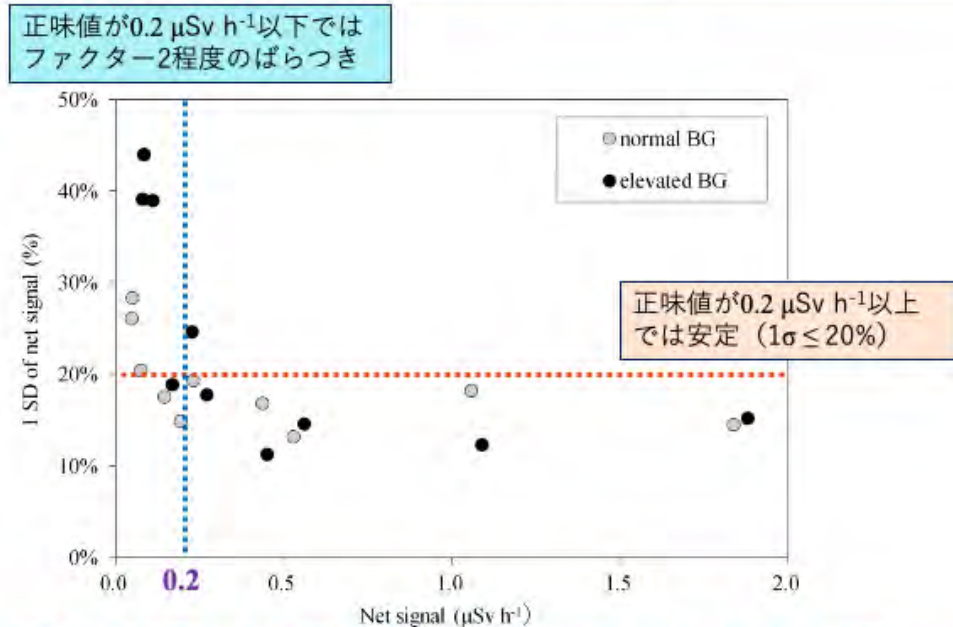


甲状腺簡易検査実習の風景

平成29年度実施実習より K. Yajima et al. Radiat. Prot. Dosim. (2018)から引用

実際の甲状腺簡易検査の実習風景を示します。
この実習には、20人の実習生が2人1組で測定及び記録を体験しました。

甲状腺簡易検査実習からのフィードバック (甲状腺簡易検査精度の考察)



甲状腺線量率正味値とその測定グループ間のばらつき (1σ) の関係

甲状腺簡易検査実習 (平成29年度) で取得されたデータ

K. Yajima et al. Radiat. Prot. Dosim. (2018)から引用した図を加工

この実習の目的は、参加者がNaI(Tl)サーベイメータを使用した甲状腺簡易検査の方法を習得することですが、同時に甲状腺簡易検査における技術面・運用面での問題点を特定するためのデータ解析も実施しています。スライドに示したグラフは、平成29年度実習において測定された正味値に対する測定グループ間のばらつき (1SD) を示しています。正味値が $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ 以上の場合、通常BG ($\sim 0.06 \mu\text{Sv h}^{-1}$) と高レベルBG ($\sim 0.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$) のいずれの環境下においても、20%未満のばらつきで安定した測定が可能であることが示唆されました。

内部被ばく線量の計算（実習）

量子科学技術研究開発機構
放射線医学総合研究所 計測・線量評価部

1. はじめに

この実習では、被ばくシナリオを与え、内部被ばく線量を実際に算定してみる。この実習を通し、内部被ばく線量算定法の理解を確実なものとし、原子力災害拠点病院等被ばく医療機関に搬送された患者の内部被ばく線量のおおよその算定ができるようにする。

昨日の講義「内部被ばく線量評価の基礎 1」及び「内部被ばく線量評価の基礎 2」で述べられたように、ホールボディカウンタやバイオアッセイの測定結果から摂取量や内部被ばく線量を算定するためには、摂取した量が測定時に何パーセント体内に残っているか（残留率）、あるいは試料採取日に何パーセント排泄されたか（排泄率）、を知る必要がある。これらの値は、複雑なモデル（付録 A, B, C 参照）を用いて計算しなければならず、実際にモデルにまで立ち還って計算することは煩雑な作業であり、現実的ではない。ここでは、ホールボディカウンタ等の測定結果から放射性物質の摂取量と預託実効線量とを計算・評価するために開発された PC 用ソフトウェア: MONDAL3 (Monitoring to Dose Calculation ver.3) を用いた実習を行なう。

2. MONDAL3 の概要と使用法

MONDAL3 は、作業員や一般公衆が吸入もしくは経口により放射性物質を摂取したとき、ホールボディカウンタ等体外計測法による全身または特定臓器中の放射能の測定結果やバイオアッセイ法による尿・糞便中の放射能の測定結果を用いて、放射性物質の摂取量および預託実効線量を計算するソフトウェアである。

2.1. 必要なハード/ソフトウェア

MONDAL3 は、次の環境の下で動作する。

- (a) MS Windows 95, 98, millennium, 2000, XP, 7(互換モード) のいずれかの OS
- (b) CD-ROM が読み込めるドライブ
- (c) 640×480 以上の画面解像度のモニター
- (d) ハードディスク容量の残りが下記以上
 - ・ 23 MB (すべてをハードディスクにコピーする場合)
 - ・ 1 MB (制御プログラムのみコピーし、データは CD-ROM から読み込む場合)
- (e) マウスもしくはポインティングデバイスなどそれに相当するもの

2.2. モデル及びパラメータ値

MONDAL3 は、現行法令が準拠している ICRP (国際放射線防護委員会) の内部被ばく線量評価モデルに基づき計算される。

(1) モデル:

- (a) 呼吸気道モデル: ICRP Publication 66 (付録 A 参照)
- (b) 胃腸管モデル: ICRP Publication 30 (付録 B 参照)
- (c) 組織系動態モデル: ICRP Publications 30, 56, 67, 69, 71 (付録 C 参照)

(2) 評価対象者:

- (a) ICRP の標準作業員 (呼吸率 1.5 m³/h の軽活動を 5.5 時間, 呼吸率 0.54 m³/h の

着席を 2.5 時間行っている成人男子)

(b) ICRP の勧告する公衆の構成員

- 3 ヶ月 (1 才未満)
- 1 才 (1 才以上 3 才未満)
- 5 才 (3 才以上 8 才未満)
- 10 才 (8 才以上 13 才未満)
- 15 才 (13 才以上 18 才未満)
- 成人 (18 才以上)

(3) 放射性エアロゾルの特性 :

(a) AMAD = 0.1, 0.3, 1.0, 3.0, 5.0, 10 μm (作業者の場合), 1.0 μm (公衆の場合)

(b) 粒子の密度 = 3 g/cm^3

(c) 粒子の形状係数 = 1.5

(d) 幾何学的標準偏差 : ICRP Publication 66 の式(16)より計算

$$2.5(\text{AMAD} = 5.0 \mu\text{m}), 2.47(\text{AMAD} = 1.0 \mu\text{m})$$

(4) 計算対象の放射性核種 :

H-3, P-32, Cr-51, Mn-54, Fe-59, Co-57, Co-58, Co-60, Zn-65, Rb-86, Sr-85, Sr-89, Sr-90, Zr-95, Ru-106, Ag-110m, Sb-124, Sb-125, I-125, I-129, I-131, Cs-134, Cs-137, Ba-140, Ce-141, Ce-144, Hg-203, Ra-226, Ra-228, Th-228, Th-232, U-234, U-235, U-238, Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Cm-242, Cm-244, Cf-252 の 42 核種

2.3. MONDAL3 の使用法

2.3.1. インストールとプログラムの起動

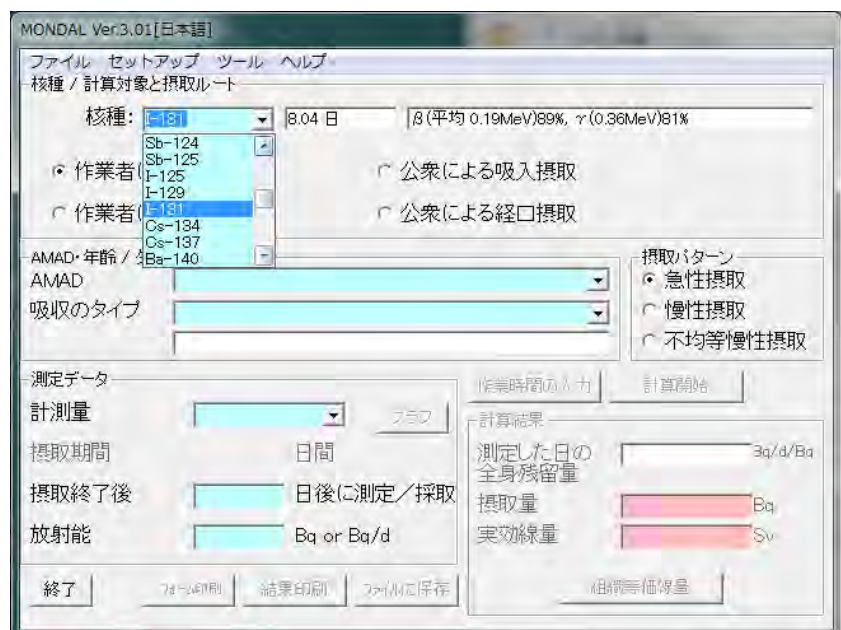
まず, CD-ROM 内のフォルダ [MONDAL-J] を中味ごと各自の PC のハードディスク (HD) にコピーする。次に, PC のフォルダ [MONDAL-J] を開き, 実行ファイル "MONDAL3J.exe" をダブルクリックすると MONDAL3 は起動する。

HD にコピーせず CD-ROM から直接起動することも可能である。なお, 計算結果をファイルとして出力する場合はファイルを保存するフォルダを HD に作っておく。

STEP 1 核種を選択

プルダウンメニューから核種を選択する。42 核種が搭載されている。核種の右の窓に半減期, さらにその右の窓に測定に利用される主な放射線の種類, エネルギー, 放出率が表示される。

右図では, I-131 が選択されている。



STEP 2 計算対象と 摂取ルートを選択

ラジオボタンにより、
[作業者による吸入摂取], [作業者による経口摂取], [公衆による吸入摂取], [公衆による経口摂取], のどれかを選択する。

右図では、[公衆による吸入摂取]を選択。

STEP 3 AMAD・年齢 の選択

プルダウンメニュー
から年齢群を選択する。

STEP 2 で作業者による
摂取を選択した場合は、
年齢群の代わりに粒子径
(0.1, 0.3, 1, 3, 5, 10
ミクロン)を選択する。

右図では、10 歳を
選択。

STEP 4 吸収のタイプ の選択

プルダウンメニュー
から吸収のタイプを選択
する。右図では隠れて
いるが、選択した吸収の
タイプに対応する化合物
が、吸収のタイプの窓の
すぐ下に表示される。

右図では蒸気を選択。

STEP 5 摂取パターンの選択

ラジオボタンにより、
[急性摂取], [慢性摂取],
[不均等慢性摂取], のど
れかを選択する。

右図では、[急性摂取]
を選択。

STEP 6 計測量の選択

プルダウンメニュー
からモニタリング計測量
を選択する。

右図では、[甲状腺残
留量]を選択。

STEP 7 測定日を入力

摂取後何日目に測定し
たかを入力する。

たとえば、7月1日に摂
取し、7月4日に測定した
場合は、3と入力する。

STEP 8 測定値を入力

放射能の測定値を入力する。

右図は、摂取してから3日経って測定した甲状腺の残留放射能が10000 Bqであった場合を示している。

STEP 9 結果の表示

「計算開始」ボタンを左クリックすると、摂取量と預託実効線量の計算結果が薄赤色の窓に表示される。

右図では、摂取量 5×10^4 Bq、預託実効線量 2.4×10^{-3} Svと評価された。

なお、入力条件および計算結果はファイルに保存、あるいはプリントアウトすることができる。

等価線量の表示

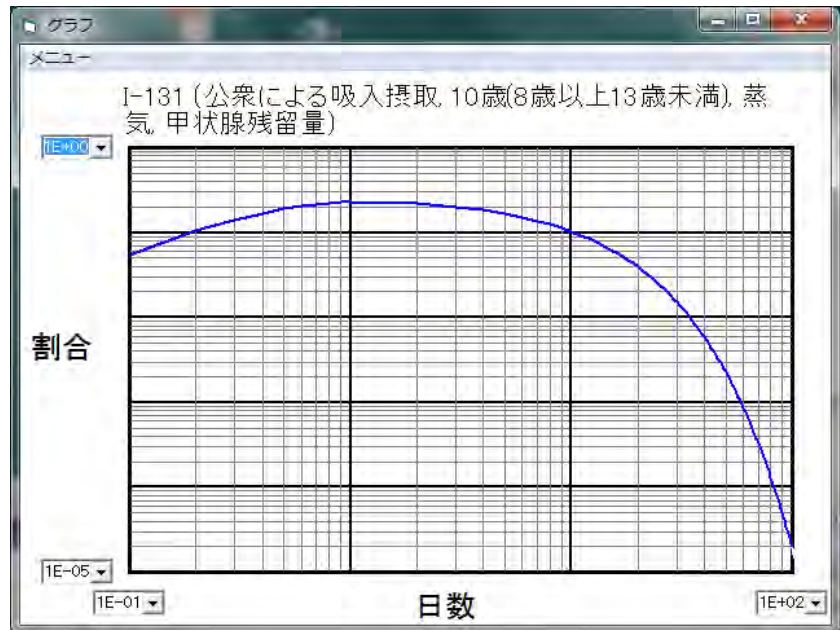
実効線量の算定に用いられる臓器・組織の等価線量を参照したいとき、「組織等価線量」ボタンを左クリックするとそれらが表示される。

右図には、甲状腺の等価線量が、他の臓器・組織に比べて桁違いに大きいことが示されている。

単位[Sv]	1日間	7日間	30日間	1年間	5年間	10年間	20年間	30年間	60年間
副腎	2.2E-06	3.2E-06	4.5E-06	4.7E-06	4.7E-06	4.7E-06	4.7E-06	4.7E-06	4.7E-06
膀胱壁	4.7E-05	5.0E-05	5.4E-05	5.4E-05	5.4E-05	5.4E-05	5.4E-05	5.4E-05	5.4E-05
骨表面	2.6E-06	5.0E-06	8.4E-06	8.8E-06	8.8E-06	8.8E-06	8.8E-06	8.8E-06	8.8E-06
脳	2.8E-06	5.0E-06	8.4E-06	8.9E-06	8.9E-06	8.9E-06	8.9E-06	8.9E-06	8.9E-06
乳房	2.0E-06	4.0E-06	6.4E-06	6.4E-06	6.4E-06	6.4E-06	6.4E-06	6.4E-06	6.4E-06
食道	3.5E-06	1.1E-05	2.0E-05	2.1E-05	2.1E-05	2.1E-05	2.1E-05	2.1E-05	2.1E-05
胃壁	6.9E-06	7.9E-06	8.9E-06	8.9E-06	8.9E-06	8.9E-06	8.9E-06	8.9E-06	8.9E-06
小腸壁	2.5E-06	3.1E-06	4.1E-06	4.3E-06	4.3E-06	4.3E-06	4.3E-06	4.3E-06	4.3E-06
大腸上部壁	2.9E-06	3.9E-06	5.9E-06	5.9E-06	5.9E-06	5.9E-06	5.9E-06	5.9E-06	5.9E-06
大腸下部壁	3.4E-06	5.9E-06	9.4E-06	9.9E-06	9.9E-06	9.9E-06	9.9E-06	9.9E-06	9.9E-06
結腸	3.1E-06	4.7E-06	7.4E-06	7.4E-06	7.4E-06	7.4E-06	7.4E-06	7.4E-06	7.4E-06
腎臓	2.1E-06	2.7E-06	3.7E-06	3.9E-06	3.9E-06	3.9E-06	3.9E-06	3.9E-06	3.9E-06
肝臓	2.2E-06	3.0E-06	4.2E-06	4.4E-06	4.4E-06	4.4E-06	4.4E-06	4.4E-06	4.4E-06
筋肉	2.7E-06	6.4E-06	1.1E-05	1.1E-05	1.1E-05	1.1E-05	1.1E-05	1.1E-05	1.1E-05
卵巣	2.6E-06	3.2E-06	4.2E-06	4.3E-06	4.3E-06	4.3E-06	4.3E-06	4.3E-06	4.3E-06
脾臓	2.5E-06	3.8E-06	4.6E-06	4.8E-06	4.8E-06	4.8E-06	4.8E-06	4.8E-06	4.8E-06
赤色骨髄	2.3E-06	4.3E-06	6.9E-06	6.9E-06	6.9E-06	6.9E-06	6.9E-06	6.9E-06	6.9E-06
胸郭外気道	1.0E-04	1.5E-04	1.5E-04	1.5E-04	1.5E-04	1.5E-04	1.5E-04	1.5E-04	1.5E-04
肺	4.3E-05	4.6E-05	5.0E-05	5.0E-05	5.0E-05	5.0E-05	5.0E-05	5.0E-05	5.0E-05
皮膚	1.9E-06	3.4E-06	5.4E-06	5.4E-06	5.4E-06	5.4E-06	5.4E-06	5.4E-06	5.4E-06
脾臓	2.2E-06	3.1E-06	4.4E-06	4.6E-06	4.6E-06	4.6E-06	4.6E-06	4.6E-06	4.6E-06
精巣	2.4E-06	2.8E-06	3.5E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06
胸腺	3.5E-06	1.1E-05	2.0E-05	2.1E-05	2.1E-05	2.1E-05	2.1E-05	2.1E-05	2.1E-05
甲状腺	2.9E-03	2.2E-02	4.4E-02	4.7E-02	4.7E-02	4.7E-02	4.7E-02	4.7E-02	4.7E-02
子宮	3.4E-06	4.0E-06	4.9E-06	5.0E-06	5.0E-06	5.0E-06	5.0E-06	5.0E-06	5.0E-06
残りの臓器・組織	2.7E-06	6.4E-06	1.0E-05	1.1E-05	1.1E-05	1.1E-05	1.1E-05	1.1E-05	1.1E-05
実効線量	1.5E-04	1.1E-03	2.2E-03	2.4E-03	2.4E-03	2.4E-03	2.4E-03	2.4E-03	2.4E-03

モニタリング計測量の グラフ表示

「グラフ」ボタンを左クリックすることにより、1Bq急性摂取に対するモニタリング計測量の時間変化予測値のグラフが表示される。



計算結果のファイル保存 とプリントアウト

「結果印刷」ボタンを左クリックすることにより、右図のような計算条件と計算結果がプリントアウトされる。

また、「ファイルに保存」ボタンを左クリックすることにより、右図のような計算条件と計算結果がファイルに保存される。

MONDAL Ver. 3.01 [日本語]

2017/12/04 11:02:41

タイトル : 実習

核種 : I-131

半減期 : 8.04 日

放射線の種類 : β (平均 0.19MeV) 89%, γ (0.36MeV) 81%

計算対象と摂取ルート : 公衆による吸入摂取

年齢 : 10 歳 (8 歳以上 13 歳未満)

吸収のタイプ : 蒸気

化学形 : ヨウ素分子

摂取パターン : 急性摂取

計測量 : 甲状腺残留量

摂取終了後 3 日後に測定 / 採取

放射能 10000 Bq

摂取量 : 5.0E+04 Bq

預託実効線量 : 2.4E-03 Sv

コメント :

注意事項 : いずれの年代も、作業者を対象とした ICPR 30 の胃腸管モデルを使用して計算しました。

3. 被ばくシナリオ

以下に与えられた 6 つの被ばく事例について、MONDAL3 を用いて放射性核種の摂取量および預託実効線量を評価する。

シナリオ 1 :

倉庫の中に古くなった厚さ計用 ^{137}Cs 密封線源が保管されていた。12 月 10 日、男が倉庫に忍び込み、好奇心から線源を盗み出し自宅で分解した。線源粉末が手指に付着したようだが手をきれいには洗わずに調理し食事をした。一週間後、線源の盗難がテレビで報じられ、心配になった男はあくる日（12 月 18 日）H市保健医療センターを訪れた。当センターは原子力災害拠点病院であり、ホールボディカウンタを備えていた。ただちにその男を測定したところ、 ^{137}Cs が 43000Bq 検出された。当センターは、 ^{137}Cs の摂取量と預託実効線量とを評価することとした。なお、この男への聞き取り調査によると、盗み出した線源は、12 月 11 日の朝ゴミ出しされており、分解時以外は接触していない。

回答

核種	
計算対象被検者	
摂取ルート	
摂取パターン	
AMAD	
吸収のタイプ,あるいは f_1	
化合物の種類	
計測量	
摂取期間(慢性摂取の場合)	
測定日(摂取後日数)	
放射能測定値	
摂取量の計算結果	
預託実効線量の計算結果	

メモ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

シナリオ 2 :

J 県の原子炉施設で ^{131}I の異常放出があり、近隣住民が救護所に避難した。救護所で体表面の汚染検査を行ったところ、3 名に ^{131}I の有意な体表面汚染が認められた。ともにスクリーニングレベルよりも低い値であったが、正確な線量評価を行なうため、同県の原子力災害拠点病院に搬送されてきた。ただちに当機関に設置されている甲状腺モニターで測定したところ、次の放射能の ^{131}I が検出された。

7 歳女 1500 Bq
9 歳男 800 Bq
35 歳女 4200 Bq

当病院は、これら 3 名の被災者について、 ^{131}I の摂取量と預託実効線量とを評価することとした。なお、摂取してから測定までにおおよそ 10 時間が経過していると推測された。

回答

核種			
計算対象被検者	7 歳女	9 歳男	35 歳女
摂取ルート			
摂取パターン			
AMAD			
吸収のタイプ, あるいは f_1			
化合物の種類			
計測量			
摂取期間(慢性摂取の場合)			
測定日 (摂取後日数)			
放射能測定値			
摂取量の計算結果			
預託実効線量の計算結果			

メモ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

シナリオ 3 :

アイソトープ製造業者のホットセルで、 ^{60}Co 密封線源を製造するため、中性子照射されたコバルト針線を扱っていたところ、突然エアモニタの警報が鳴った。当作業員はただちに針線を容器に納め、作業現場を離れた。翌日、製造業者は当作業員を伴い、同じ地域にある県立病院を訪れた。当県立病院は原子力災害拠点病院であり、ホールボディカウンタを備えていた。ただちに当作業員をホールボディカウンタで測定したところ、 ^{60}Co が 6300 Bq 検出された。当病院はこの測定値に基づき摂取量と預託実効線量を評価した。さらに、摂取してから 180 日後、および 365 日後にも同病院に来院してもらい測定を行なった。その結果、180 日後には 1100 Bq に、365 日後には 850 Bq に減衰していた。これらの新たな測定結果を加味して再度摂取量と預託実効線量を評価することとした。

回答

核種			
計算対象被検者			
摂取ルート			
摂取パターン			
AMAD			
吸収のタイプ, あるいは f_1			
化合物の種類			
計測量			
摂取期間(慢性摂取の場合)			
測定日 (摂取後日数)	1 日後	180 日後	365 日後
放射能測定値			
摂取量の計算結果			
預託実効線量の計算結果			

メモ

シナリオ5

原子炉の定期検査に11日間従事した作業員をホールボディカウンタで測定したところ、 ^{59}Fe が30000Bq 検出された。当施設の安全管理担当部署は、摂取量と預託実効線量とを評価することとした。なお、作業時間、計測日は、以下の通りであった。

10月16日(月) 2時間	10月17日(火) 4時間	10月18日(水) 0時間
10月19日(木) 4時間	10月20日(金) 5時間	10月21日(土) 0時間
10月22日(日) 4時間	10月23日(月) 4時間	10月24日(火) 0時間
10月25日(水) 5時間	10月26日(木) 2時間	10月27日(金) 計測日

回答

核種	
計算対象被検者	
摂取ルート	
摂取パターン	
AMAD	
吸収のタイプ, あるいは f_1	
化合物の種類	
計測量	
摂取期間(慢性摂取の場合)	
測定日(摂取後日数)	
放射能測定値	
摂取量の計算結果	
預託実効線量の計算結果	

メモ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

シナリオ 6

核燃料取扱施設で日常モニタリングの一環として、2017年9月10日、研究員から便が採取され、Puの分析が行われた。その結果、有意な放射能（ α 放射体）0.01Bqが検出された。安全管理担当部署は早速摂取量と預託実効線量とを評価することとした。なお、当研究員の施設立入記録から、当研究員は同年5月21日から5月25日の間に、同じ方法で硝酸Puを取り扱っていることが判明した。また、取り扱われているPu同位体の放射能、及び²⁴¹Amの放射能の比は、放射化学分析により、 $1(^{238}\text{Pu}) : 3(^{239}\text{Pu}) : 2(^{240}\text{Pu}) : 4(^{241}\text{Am})$ であることが分かっている。

回答

核種	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am
計算対象被検者				
摂取ルート				
摂取パターン				
AMAD				
吸収のタイプ, あるいは f_1				
化合物の種類				
計測量				
摂取期間(慢性摂取の場合)				
測定日 (摂取後日数)				
放射能測定値				
摂取量の計算結果				
預託実効線量の計算結果				

メモ

付録 A ICRP の呼吸気道モデル

A1. はじめに

吸入被ばくの評価に用いられている呼吸気道モデルは、20 年以上前に刊行された ICRP Publication 66 (1994)で記述されたものである。このモデルは、解剖学、呼吸生理学、そして放射線生物学といった関連する諸分野の当時の学術的段階を踏まえた上で精密に作られており、公衆の全構成員への適用、特定物質の沈着やクリアランス特性の使用の許容といった多様な被ばくの条件にも対応できるオールマイティとも言えるモデルである。

このモデルは、刊行後に行われた研究や新しい知見を反映するように見直しが行われ、一昨年、その改訂版が ICRP Publication 130 (2015)に掲載された。改訂モデルがいずれは法令に取り入れられるであろうが、当面は、現行法令が準拠している ICRP Publication 66 のモデルが線量算定に使われるものと思われる。

本稿では、現行法令が準拠している ICRP Publication 66 のモデルの概要を紹介する。

A2. 呼吸気道の領域区分

人間の呼吸器は、鼻道、咽頭、喉頭、気管、主気管支、気管支、細気管支、終末細気管支、呼吸細気管支、肺胞管+肺胞に大別される。このモデルでは、これらの解剖学的部位が、放射線感受性とクリアランス特性とが反映されるよう整理され、図 A1 に示すようにグループ化されている。まず胸郭の外の領域と中の領域とに大別し、このうち胸郭の外の領域 (ET: Extrathoracic) は、a) 前鼻道からなる胸郭外領域 1 (ET₁)、b) 後鼻道、咽頭、喉頭からなる胸郭外領域 2 (ET₂)、の 2 領域に、胸郭内の領域は、a) 気管、主気管支、気管支からなる気管・気管支領域 (BB)、b) 細気管支、終末細気管支からなる細気管支領域 (bb)、c) 呼吸細気管支、肺胞管+肺胞からなる肺胞・間質領域 (AI)、の 3 領域に、合計 5 領域に区分されている。一方、リンパ組織も胸郭外領域のリンパ節 (LN_{ET}) と胸郭内領域のリンパ節 (LN_{TH}) とに区分されている。なお、各領域は、その領域名称ではなく ET₁ 等の記号で呼ばれることが多い。以降、本稿においてもこれらの記号を使用する。

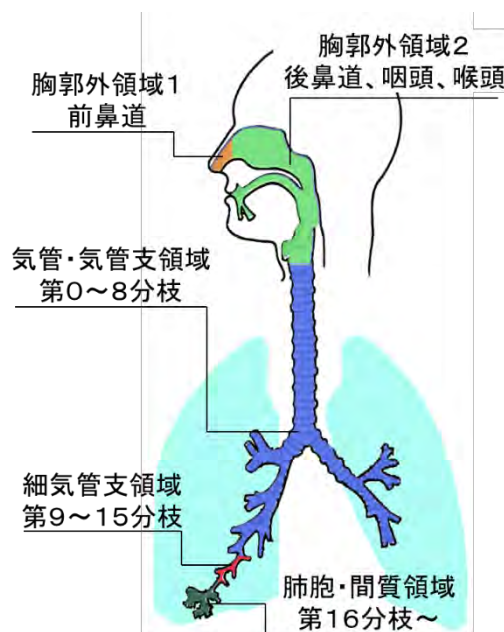


図 A1 呼吸気道の領域区分

A3. 粒子沈着モデル

吸入被ばくは、空気を吸って吐くその往復の過程における放射性粒子の気道壁への沈着によって始まる。そしてこの粒子沈着には、多くの物理学的、生物学的因子が関わっている。例えば、粒子の大きさ、形、密度は沈着率や気道内の沈着部位に影響する。また、同じ空気を呼吸していても、その人の呼吸の仕方や呼吸気道の寸法によって沈着率は変化する。

「はじめに」で述べたように、このモデルは、多様な被ばくの条件にも対応できることを目標として作られている。例えば、粒子の大きさに対しては、原子の大きさ(およそ 0.0005 μm)から空気力学的放射能中央径 (AMAD) が 100 μm の大きなエアロゾルまで、人が吸入する可能性のある大きさの放射性粒子について沈着計算を行なうことができる。参考までに、図 A2 に、種々の粒子径に対する領域沈着率の計算結果を示す。一方、睡眠、着席、軽い運動、強い運

動といった身体運動の状態の違いにより、一回換気量，呼吸流量率などが変化し，沈着率は影響を受けるが，このモデルでは，こうした種々の身体運動レベルに応じた沈着計算が可能となっている。図 A2 は，睡眠時の沈着率の計算結果である。さらに，気道の長さなどが異なる種々の年齢に対しても沈着計算が可能となっている。

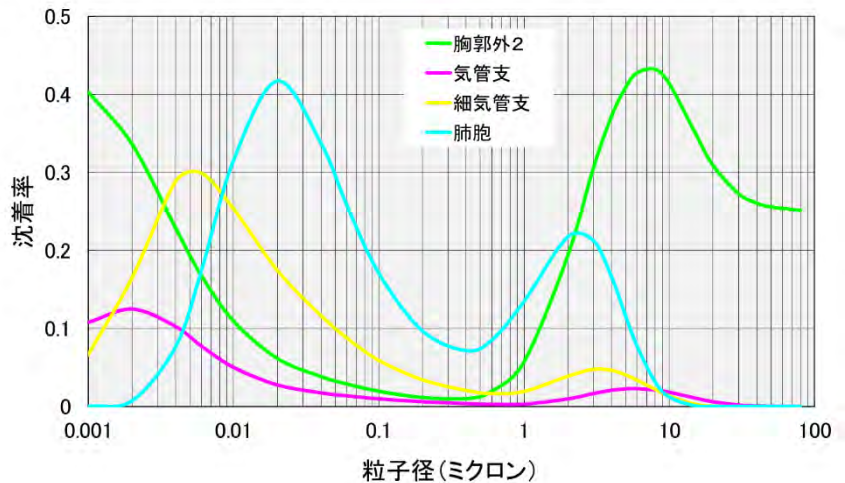


図 A2 睡眠時の領域沈着率の計算結果

A2 章で述べた 5 つの気道領域がそれぞれ固有の沈着効率をもつエアフィルタと見なされ，これらが吸息時には ET_1 から順に AI まで，次に逆に呼息時には AI から ET_1 まで，合計 9 段（口呼吸では ET_1 領域を除く 7 段）直列に連なっている多段フィルタが想定され，この多段フィルタを吸入空気が通過していく過程で粒子が気道壁に沈着・補足されると考えられている。

粒子の沈着機構としては，空気力学的（重力沈降，慣性衝突）および熱力学的（熱拡散）沈着機構が考えられ，各々の機構による沈着効率が計算される。そして，領域個々の各機構による沈着効率が，粒子径等の粒子性状パラメータ，呼吸流量率等生理学パラメータ，および気道の寸法等形態計量学的パラメータ，の 3 者の関数として数式表現されている。また，熱力学的機構による沈着計算に適するよう，粒子径の表現として，AMAD に加え，AMTD（Activity Median Thermodynamic Diameter，熱力学的放射能中央径）が定義・導入されている。

粒子の沈着機構としては，空気力学的（重力沈降，慣性衝突）および熱力学的（熱拡散）沈着機構が考えられ，各々の機構による沈着効率が計算される。そして，領域個々の各機構による沈着効率が，粒子径等の粒子性状パラメータ，呼吸流量率等生理学パラメータ，および気道の寸法等形態計量学的パラメータ，の 3 者の関数として数式表現されている。また，熱力学的機構による沈着計算に適するよう，粒子径の表現として，AMAD に加え，AMTD（Activity Median Thermodynamic Diameter，熱力学的放射能中央径）が定義・導入されている。

A4. クリアランスモデル

このモデルで記述されているクリアランスに関するコンパートメントモデルを図 A3 に示す。

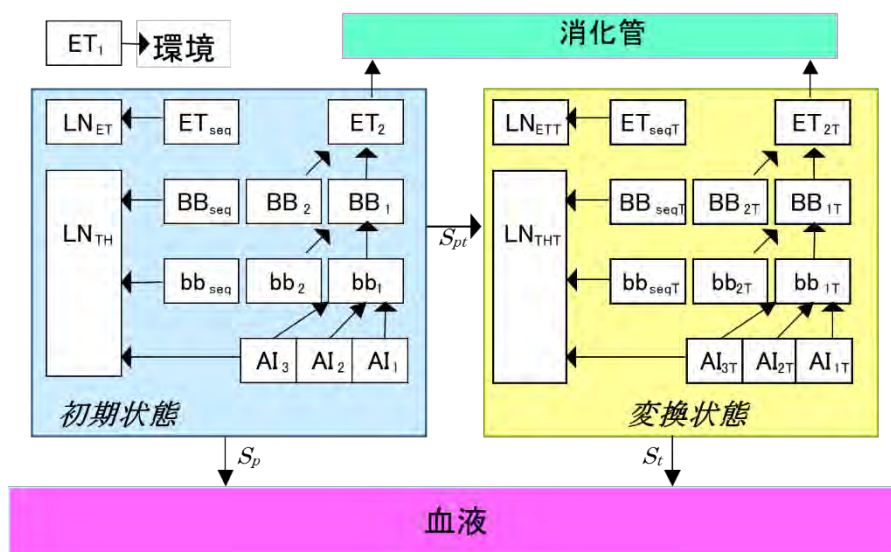


図 A3 クリアランスに関するコンパートメントモデル

一旦気道壁に沈着した物質は，時間が経つと，あるものは気道壁から吸収され，血管を透過し

て血中に入り、血流に乗って他の組織へと運ばれる。他のあるものは、気道壁の粘液繊毛運動によって口の方へ運ばれ、消化管へ飲み込まれる。またわずかではあるが、リンパ液の流れに乗りリンパ節へ運ばれるものもある。そしてこれらの排除過程、いわゆるクリアランスは、沈着物質の化学的性質により影響される。

クリアランスの経路として、a) 血中への吸収、b) 消化管への粒子輸送（図中、上向きおよび斜め上向きの矢印）、c) リンパ組織への粒子輸送（図中、左向きの矢印）、の3経路が考えられており、これらのクリアランス過程が競合的に進行すると仮定されている。

A4. 1. 血中吸収

血中への吸収速度は、粒子の物理化学的性状のみに依存し、 ET_1 領域を除く全ての領域で同じであると仮定されている。なお、 ET_1 領域では血中吸収が起きないと仮定されている。

血中吸収は、粒子の溶解（dissolution）および溶解物質の取り込み（uptake）の2段階を経て行われ、それぞれの段階の速度定数は時間とともに変化すると仮定されている。溶解過程の時間依存性を数学的に容易に処理できるようにするために、“初期状態”にある粒子が、速度 S_p で溶解するのと競合して、速度 S_{pt} で“変換状態”に変化して行くというモデルが考え出された。そしてこの“変換状態”からは、 S_p とは別の速度 S_t で溶解が生ずるとされた。図 A3 の右側の大きいボックスは、この“変換状態”を表したものである。

取り込み過程の時間依存性は、溶解した物質のうち f_b という割合が、気道の組織等との“結合状態”に一旦留まったあと、速度 S_b で血中に取り込まれ、一方、残りの割合 $(1-f_b)$ は溶解と同時に血中に取り込まれるとモデル化されている。但し、今のところ“結合状態”に留まる割合 f_b のデフォルト値は0とされており、実際上は“結合状態”は考慮しなくともよいことになっている。図 A3 においてもこの部分は省略した。

A4. 2. 粒子輸送

粒子輸送の速度は粒子の種類によらず一定とされている。以下に粒子輸送について呼吸気道領域ごとに記述する。

ET_1 領域：この領域に沈着した粒子は、鼻をかんだり拭ったりすることで除去される。除去速度は当然のことながらケースバイケースで異なるが、作業を進めるための半減期のデフォルト値として17時間が与えられている。

ET_2 領域：沈着粒子の大部分は粘液繊毛運動によって半減期10分で咽頭へ輸送され胃腸管に飲み込まれる。ごく一部0.05% (ET_{seq}) は上皮組織の基底膜付近に長期間留まり、半減期700日でリンパ組織に輸送される。

BB領域：気道表面は6 μm のゾル層の上に5 μm のゲル層が乗っており、ゾル層に漬かっている繊毛の運動によって、ゾル層、ゲル層が喉頭へ向かって流れているとモデル化されている。沈着粒子のうち、ゲル層 (BB_1) に分布しているものは、こうした粘液繊毛運動によって半減期100分で ET_2 領域へ輸送され、一方、ゾル層 (BB_2) に分布しているものは、非常にゆっくり（半減期23日） ET_2 領域へ輸送される。なお、沈着粒子の BB_1 と BB_2 への配分比は粒子サイズに依存すると仮定され、これを求める式が幾何学的粒子径の関数として与えられている。また、沈着粒子のごく一部0.7%は、マクロファージの層 (BB_{seq}) に分布し、半減期70日でリンパ組織に輸送される。

bb領域：BB領域同様、ゲル層 (bb_1 , 2 μm) とゾル層 (bb_2 , 4 μm) からなり、 bb_1 に分布する粒子は半減期8時間で、一方 bb_2 に分布する粒子は半減期23日で BB_1 へ輸送される。なお、 bb_1 と bb_2 への配分比は、上記の BB_1 と BB_2 への配分比と同じ数式を使って求める。また、沈着粒子のごく一部0.7%は、マクロファージの層 (bb_{seq}) に分布し、半減期70日でリンパ組

織に輸送される。

AI 領域：ヒトおよび実験動物の観察結果から、不溶性粒子の肺からのクリアランスは3成分の指数関数で表すことが適当と考えられ、この領域は3コンパートメントに分割された。最も速いコンパートメント (AI₁) は半減期 35 日、次に速いコンパートメント (AI₂) は半減期 700 日、最も遅いコンパートメント (AI₃) は半減期 7000 日である。また、AI₁, AI₂, AI₃ への配分比は、0.3 : 0.6 : 0.1 と仮定されている。

A4. 3. 化合物の分類

血中への吸収速度が粒子の物理化学的性状に依存することは既に述べた。パラメータ S_p , S_{pt} , S_t として、化合物に固有の

値を使うことは許容されているが、信頼性の高い値が得られているものは少ない。このモデルでは、化合物固有の値を使わない場合のデフォルト値が3組勧告されている。すなわち、化合物の中で非常に早く溶解するものをタイプ F (fast の略)、中くらいの速さで溶解する化合物をタイプ M (moderate の略)、容易に溶解しない化合物をタイプ S (slow の略) とし、それぞれのタイプの S_p 等の値が表 A1 のように与えられた。そして各元素の全ての化合物を、この3つのタイプのどれかに割り付けた。表 A2 にいくつかの元素のタイプ分類を示す。化合物に固有の値を使わない、あるいは使えない場合は、実用上、こうした分類とそれぞれの分類

表A1 デフォルトの吸収速度 (d^{-1})

モデルパラメータ	タイプF	タイプM	タイプS
S_p	100	10	0.1
S_{pt}	0	90	100
S_t	0	0.005	0.0001

表A2 化合物の吸収のタイプ分類の例

元素	タイプ	化合物
コバルト	M	不特定の化合物
	S	酸化物、水酸化物、ハロゲン化物および硝酸塩
ストロンチウム	F	不特定の化合物
	S	チタン酸ストロンチウム
ヨウ素	F	全ての化合物
セシウム	F	全ての化合物
ラジウム	M	全ての化合物
トリウム	M	不特定の化合物
	S	酸化物および水酸化物
ウラン	F	大部分の6価の化合物
	M	難溶性の化合物
	S	非常に不溶性の化合物
プルトニウム	M	不特定の化合物
	S	不溶性の酸化物

に与えられたパラメータ値に従ってクリアランスを記述することになる。

A5. ガスおよび蒸気

ガス状物質のあるものは、気道表面から吸収され、気道壁内部を拡散し、血液へ吸収されて体組織へ運ばれる。この過程はかなり複雑であり、ガスの性質に強く依存する。このうち気道表面からの吸収は、ガスの、表面の液体との反応性および溶解性に依存する。このモデルでは、反応性と溶解性の大きさに対応して、物質を3つのクラス (SR-0, SR-1, SR-2) に区分した。しかし、ガス状物質の等級付けに関する溶解性等の数値的基準が示されていないし、等級が示されている物質も限られており、実際の適用に当っては、ICRP は十分な情報を与えていない。取りあえず以下に現行のモデルを記述する。

SR-0 クラス（低可溶性かつ低反応性のガス）

H₂, He, N₂, SF₆のような化学作用を起こさないガスがこの例である。これらのガスに対する被ばくでは、呼吸気道内が均一ガス濃度で満たされていて、摂取されないとする。従って、このクラスのガスでは、多くの場合、半無限層の外部被ばくと考えられる。

SR-1 クラス（可溶性または反応性のガス）

可溶性および反応性の組み合わせにより、気道表面からの吸収による摂取が起き得る。O₂, H₂O, Rn 等のガスがその例である。このクラスのガスは、気道からの摂取率の情報がない場合、保守的な仮定として、100%が気道表面から摂取されると仮定されている。

SR-2 クラス（可溶性かつ反応性のガス）

SO₂, HF のような高い溶解性および反応性を示すガスがこの例である。これらは、100%が ET 領域で吸収摂取され、喉頭より深部へは侵入しないと仮定されている。

A6. 線量計算モデル

A6.1. 基本計算方式

ICRP Publication 30 (1979)において、標的組織 T の預託等価線量を、線源組織 S での 50 年間の総壊変数と、S 内で放出された放射線のエネルギーのうち T で吸収される割合 AF (Absorbed Fraction, 吸収割合) とから計算する方式が示された。Publication 66 には、α線、β線および光子について、各気道領域を線源および標的組織とする AF あるいは SAF (Specific Absorbed Fraction, 比吸収割合) が与えられており、これらを利用することができる。

A6.2. 呼吸気道の標的細胞と気道壁の幾何学モデル

このモデルでは、呼吸器全体の平均的な線量ではなく、気道領域ごとに発がんリスクを考慮すべき細胞 (cells at risk) を標的細胞として指定し、その細胞の核が分布する層の吸収線量を計算するようになっていく。各気道領域の標的細胞とその気道表面からの深さを表 A3 に、また例として BB 領域の気道壁の幾何学モデルを図 A4 に示す。

しかしながら、表 A3 に示した分泌細胞と基底細胞の両者がともに同等の感受性細胞かどうかについては、現在でもまださまざまな議論があるようである。プルトニウム、ラドン娘核種等、アルファ線放出核種による線量は、アルファ線の飛程が短いので、感受性細胞の位置にとりわけ敏感である。

表A3 各気道領域の標的細胞と深さ

気道領域	標的細胞	核の深さ (μm)
ET ₁	基底細胞	40-50
ET ₂	基底細胞	40-50
BB	分泌細胞	10-40
	基底細胞	35-50
bb	分泌 (クララ) 細胞	4-12
AI	分泌 (クララ) 細胞	一様分布
	II 型上皮細胞	

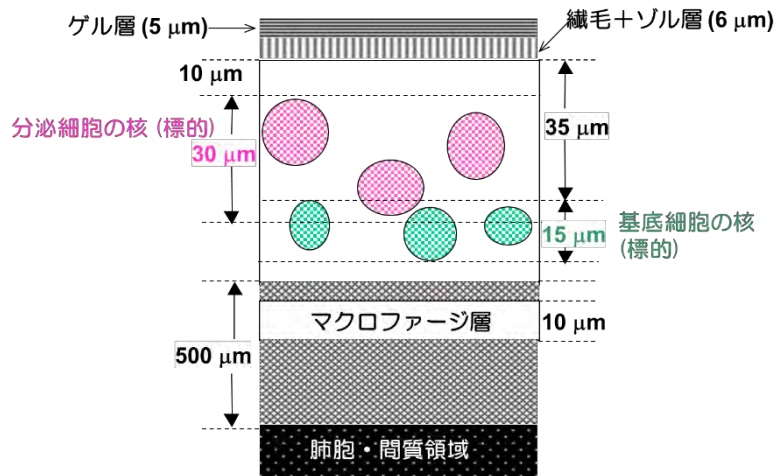


図 A4 BB 領域の気道壁の幾何学モデル

A6.3. デトリメントの気道領域間の分配

放射線感受性が気道領域により異なる可能性を考慮するため、各気道領域にそれぞれの相対的感受性に応じた比率を定め、これを各気道領域の線量に乘じ、合計することによって呼吸気道全体の預託等価線量を求めることとされた。但し、現在のところ、充分信頼にたる詳細なデータに欠けるので、BB, bb, AI の3つの領域に同じ荷重係数 0.333 ずつが与えられている。

A7. 標準パラメータ

ここまで述べたように、この呼吸気道モデルは、沈着モデル、クリアランスモデル、および線量計算モデルから構成されている。実際に線量計算を行うためには、様々なパラメータを用意する必要がある。

A7.1. 粒子性状パラメータ

この ICRP Publication 66 で勧告されている粒子性状パラメータに関するデフォルト値を以下に示す。

- 粒子の密度：3 g/cm³
- 粒子の空気力学的形状係数：1.5
- 空気力学的放射能中央径：1 μm（公衆被ばく）、5 μm（職業被ばく）
- 幾何標準偏差：2.47（公衆被ばく）、2.5（職業被ばく）

これらの値は、種々の放射性物質取扱施設において集積された多くの粒子性状データから判断されたものである。

A7.2. 解剖学的・生理学的パラメータ

前述したように、領域個々の沈着効率、粒子性状パラメータ、気道の形態計量学および、呼吸生理学的パラメータ、これら3者の関数として数式表現されている。ICRP Publication 66 で勧告されているデフォルト値を以下に示す。

(1) 解剖学的パラメータ

- 解剖学的死腔容積：50 mL (ET), 49 mL (BB), 47 mL (bb)
- 機能的残気量：3301 mL

(2) 呼吸生理パラメータ

- 一回換気量：625 mL（睡眠時）、750 mL（着席時）、1250 mL（軽い運動時）、1920 mL（強い運動時）
- 呼吸流量率：250 mL/s（睡眠時）、300 mL/s（着席時）、833 mL/s（軽い運動時）、1670 mL/s（強い運動時）

これらのデフォルト値は、コーカシアン成人男子に対し設定された値であるが、Publication 66 には、この他に、女性、15 才児、10 才児、5 才児、1 才児、3 ヶ月児の値も与えられており、公衆被ばくの評価にも使えるとしている。

B1. はじめに

消化管へは、放射性物質を含む飲料あるいは食物の経口摂取により直接到達するか、あるいは呼吸気道に沈着した放射性物質が喉頭の方へ運ばれ、消化管へと飲み込まれることにより到達する。これらの放射性物質の消化管における動態、及び線量算定に関するモデルが ICRP により提示されている。

現行法令が準拠している ICRP Publication 30 の胃腸管モデルが提示されたのは 1979 年とかなり古い。ICRP は、その後の様々な新しい知見を取り入れた消化管モデルの開発に着手し、2006 年に全面的に改定されたヒト消化管モデルを Publication 100 (2006) に掲載した。この消化管モデル、Human Alimentary Tract Model(HATM)は、現在 ICRP により進められている実効線量係数の改訂作業で使われている。

本稿では、現行法令が準拠し、MONDAL3 でも使われている ICRP Publication 30 の胃腸管モデル、及び Publication 100 のヒト消化管モデルについて、その概要を紹介する。

B2. Publication 30 の胃腸管モデル

実効線量係数の導出に使われている Publication 30 の胃腸管モデルを図 B1 に示す。同図に示した数値は、放射性物質が各コンパートメントに滞留する平均期間[h]である。この数値の単位を day に変換し、その逆数をとると次のコンパートメントへの移行係数[d⁻¹]となる。放射性物質の血中への吸収は小腸でのみ起きると仮定されている。血中吸収は小腸→大腸上部への移行と競合して起きるので、血中への移行係数 λ_B は吸収割合 f_1 と大腸上部への移行係数 λ_{ST} とから次式により求められる。

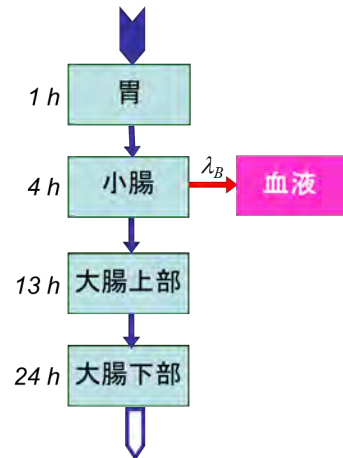


図 B1 ICRP Publication 30 の胃腸管モデル

$$\lambda_B = \frac{f_1 \lambda_{ST}}{(1 - f_1)}$$

上式において、 f_1 が 1、すなわち 100%吸収される場合には、 $f_1=0.99$ として計算される。

具体的な情報が得られない場合の f_1 のデフォルト値が様々な元素について ICRP により与えられている。例えば、H, C, K, I, Cs などには 1 が、Ca, Sr, Te などには 0.3 が与えられている。Pu では、不特定の化合物 5.0×10^{-4} 、硝酸塩 1.0×10^{-4} 、不溶性酸化物 1.0×10^{-5} というように化合物の種類により異なった f_1 が与えられている。

このモデルでは、消化管の各区分の粘膜層の線量が計算される。消化管の内容物から放出された放射線の粘膜層に対する比吸収割合(SAF)は、X 線、 γ 線等の透過性放射線と α 線、 β 線等の非透過性放射線とについて別々の方法で計算されている。前者には、数式ファントムによるモンテカルロシミュレーションが、後者には次式が用いられた。

$$SAF = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{M_T} \cdot \nu$$

ここで、 M_T は内容物の質量、 ν は放射線が粘膜を透過する程度を表す 0 と 1 の間の係数である。係数 1/2 は、非透過性放射線の場合、内容物の表面における線量が内容物の体積内の線量のほぼ 1/2 であるという理由で導入されている。 ν は、 α 粒子については一律に 0.01、 β 線に

については一律に1とされている。

B3. Publication 100 のヒト消化管モデル

Publication 30 のモデルでは、経口摂取された、あるいは呼吸気道から消化管へと排出された放射性物質は直接胃に飲み込まれ、その後、胃から小腸、大腸上部、大腸下部を経て糞便中に排泄される。各消化管腔を通過する速さは成人男女、小児、幼児を問わず一律に仮定されている。我が国の現行法令が準拠している 1990 年勧告において、それ以前は一括して“残りの組織”に分類されていた食道、胃、結腸に対し、個別に組織加重係数が割り当てられた。このことにより、各消化管の線量をより詳しく評価する必要性が生じた。しかし、その目的のためには、Publication 30 モデルは、食道が含まれていないなど単純化され過ぎていた。また、チェルノブイリ事故以降、種々年齢で構成される公衆に対しても、内部被ばく線量評価の要求が高まった。Publication 30 のモデルは、もともとは成人作業員の線量評価に用いることを目的とするものであった。ICRP は、1990 年勧告との整合を図り、また呼吸気道モデル等と水準を揃える必要性から、公衆の全構成員に適用できる本格的な消化管モデルの開発を図ったものと推察される。Publication 100 のヒト消化管モデル(HATM)の構造を図 B2 に示した。

B3.1. 物質の消化管通過

Publication 30 モデルにおいて、放射性物質の消化管通過時間の決定は、バリウム検査からの臨床情報にその多くを負い、また、 ^{59}Fe あるいは ^{140}La 標識化合物を用いた実験研究が参考にされた。それらのデータは、各消化管腔の滞留時間が 25~120 分 (胃)、1~7 時間 (小腸)、6~22 時間 (大腸上部)、15~72 時間 (大腸下部) を示しており、これらのデータから、B2 章で述べたように、平均滞留時間を 1 h (胃)、4 h (小腸)、13 h (大腸上部)、24 h (大腸下部) と決定している。

Publication 30 モデルの開発以降、非侵襲的なシンチグラフィ手技を用いることによって、放射性物質の消化管通過に関する多くのデータが得られるようになった。それらのデータには、摂取物が固体か液体かによる相違、年齢や性別による相違、また病気の影響が含まれている。これらの新しいデータが、HATM において、年齢依存性の、また、性に特異的な消化管通過時間の決定に用いられた。

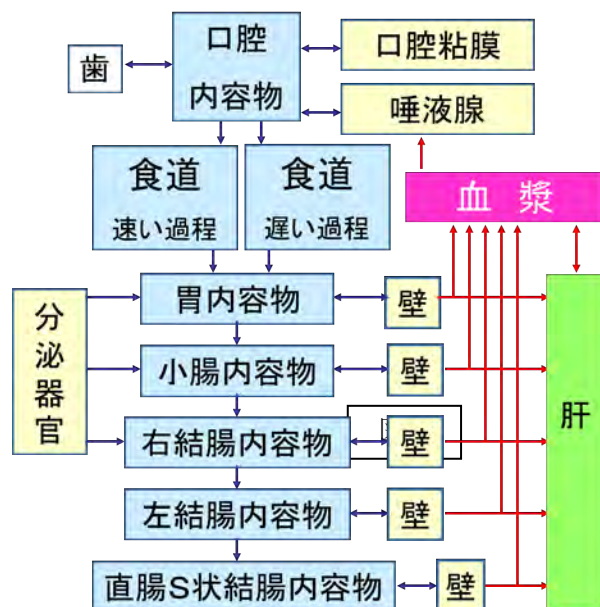


図 B2 ICRP Publication 100 のヒト消化管モデル(HATM)

B3.2. 消化管組織内部での滞留

Publication 30 モデルにおいて、小腸内容物から血中への吸収に際し、消化管組織内部の通過や組織内部での滞留は考慮されていない。つまり、放射性物質が消化管腔を通過する際の線量は、内容物に様に分布する放射性核種のみ起因すると仮定されている。近年、放射性物質の中には、小腸の組織内部に滞留し、局所線量に大きく寄与するもののあることが示された。また、哺乳類における出生直後の血中吸収の亢進が小腸の組織内部での滞留に関係していることが明らかとなった。放射性物質の口腔組織における滞留も報告されている。これらの新しい知見を考慮し、限られた場合のみではあるが、HATM では、組織内部に滞留する放射性物質が

らの線量が計算できるようにされた。

B3. 3. 小腸以外の消化管からの血中吸収

多くの放射性物質は、血中への吸収は小腸において生ずる。しかし、他の消化管領域からも血中へ吸収されるものがあることが分かってきた。例えば、ヨウ素は小腸とともに胃からも吸収される。HATM では、小腸以外にも口腔、胃、大腸からの吸収を扱うことができる。但し、種々領域からの吸収に関するデータは限られたものしかなく、多くの放射性物質において、従来通り血中吸収は小腸のみから生ずると仮定されている。

B3. 4. 感受性細胞の線量計算

付録 A で述べたように呼吸気道モデルにおいては、気道領域ごとに発がんリスクを考慮すべき細胞が標的細胞として定められ、その細胞が分布する層の線量が計算されるようになっている。それに対し、Publication 30 の胃腸管モデルでは、B2 節で述べたように、感受性細胞に関する記述は無く、線量の計算は胃腸管各領域の粘膜層について行われる。HATM には、小腸クリプトの幹細胞のようなリスクを考慮すべき細胞群の特異的な配置に関するたいへん詳細な幾何学モデルが組み込まれている。大きな進歩として、呼吸気道モデル同様、上皮組織における感受性幹細胞の位置が定められ、その細胞が分布する層の線量が計算されるようになった。

B4. 胃腸管モデル(Publication 30)とヒト消化管モデル(Publication 100)との比較

参考までに、図 B3 に、それぞれのモデルで計算された糞便中排泄率を示す。

Publication 100 には、女性に対する消化管通過時間のデフォルト値も与えられている。毎日の排泄率には、モデル間、男女間で差がみられ、特に、女性は男性よりもやや遅れて排泄される。しかし、便排泄は、個人間、また同一個人内でも変動が大きいので、摂取が疑われたときは、通常、数日間の糞便が採取・分析される。数日間の合計の排泄率には、モデル間、男女間で殆ど差がみられない。

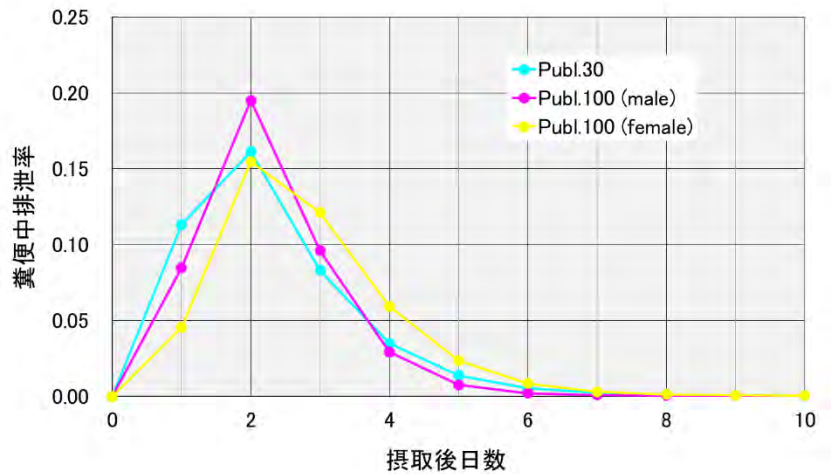


図 B3 ^{90}Sr (Type S, $5\mu\text{m}$) の吸入に対する糞便中排泄率

付録 C 組織系動態モデル

C1. はじめに

吸入あるいは経口摂取された放射性物質のうちある割合のものは血液に吸収される。血液に吸収された放射性核種のプールとしての細胞外液は通過コンパートメントと呼ばれる。このコンパートメントから放射性核種が組織へ移行しあるいは組織から還流しつつ体内に分布・再分布し、また腎臓、胃腸管等を通じて体外へと排泄される。通過コンパートメント内の放射性核種は全身に均等に分布すると仮定されている。またこのコンパートメントからの消失の半減期として、指定がない場合 0.25 日の値を使うことが推奨されている。こうした血液に吸収された放射性核種が組織に移行し排泄される過程を記述したモデルは組織系動態モデルと呼ばれる。

本稿では、現行法令が準拠し、MONDAL3 でも使われている組織系動態モデルのうち、シナリオ 1~6 で対象とした元素について、その概要を紹介する。

C2. 鉄の組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 69 (1995)に記載されたモデルである。(図 C1)。

鉄の代謝については比較的多くの研究が行われており、これらの知見と矛盾しないようにモデルが作られている。

血液循環に入った鉄は血漿トランスフェリンと結合し、その 2/3 が赤色骨髄に移行する。さらにそのうちの 3/4 が赤血球のヘモグロビンと結合して血液循環の流れに入り、120 日という寿命の後、赤血球の分解とともに放出される。赤色骨髄に移行しないもの、すなわち血漿鉄のうち 1/3 は肝臓と代謝回転の速い軟組織に移行し、そこで鉄の交換が行われる。

赤血球の分解により放出された鉄は、肝臓、骨髄、脾臓に蓄えられる。鉄の人体からの消失は、胃腸管系統、皮膚、あるいは尿排泄経路で起こり、その比率は、6 : 3 : 1 と仮定されている。

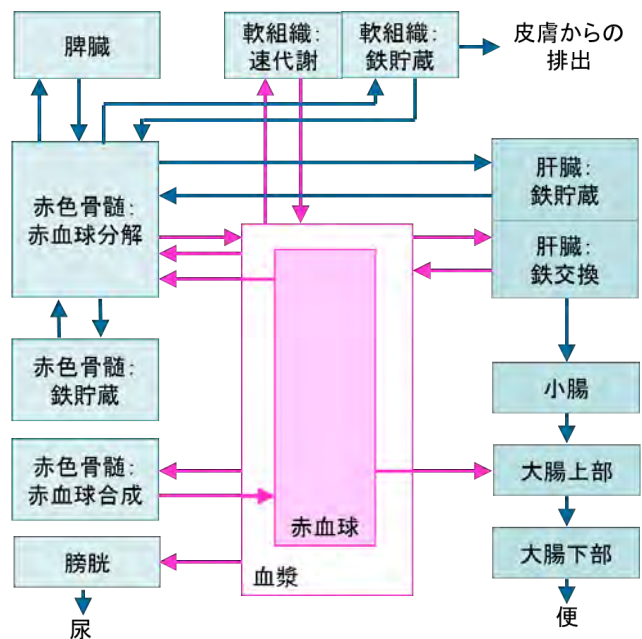


図 C1 鉄の組織系動態モデル

C3. コバルトの組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 69 に記載されたモデルである。(図 C2)。

血液に吸収されたコバルトは、生物学的半減期 0.5 日で血液中から消失する。このとき、50%が直接排泄経路へ、5%が肝臓へ、そして残る 45%がその他のすべての組織へ移行する。肝臓及び他の組織へ移行したコバルトは、その生物学的半減期（以降、単に半減期と記す）によって 3 成分に分けられる。0.6 の割合は半減期 6 日、0.2 は 60 日、残る 0.2

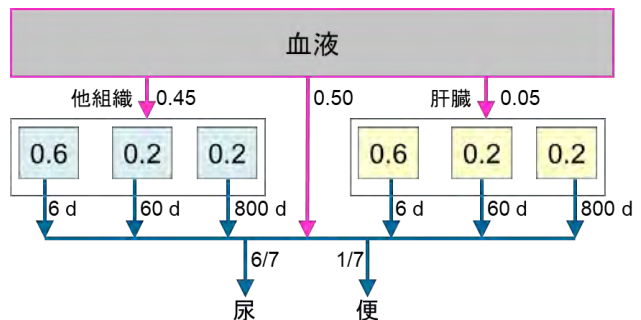


図 C2 コバルトの組織系動態モデル

は 800 日の半減期で排泄される。尿中及び便中に排泄される割合は、6 : 1 と仮定されている。

C4. ヨウ素の組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 56 (1989)に記載されたモデルである。(図 C3)。

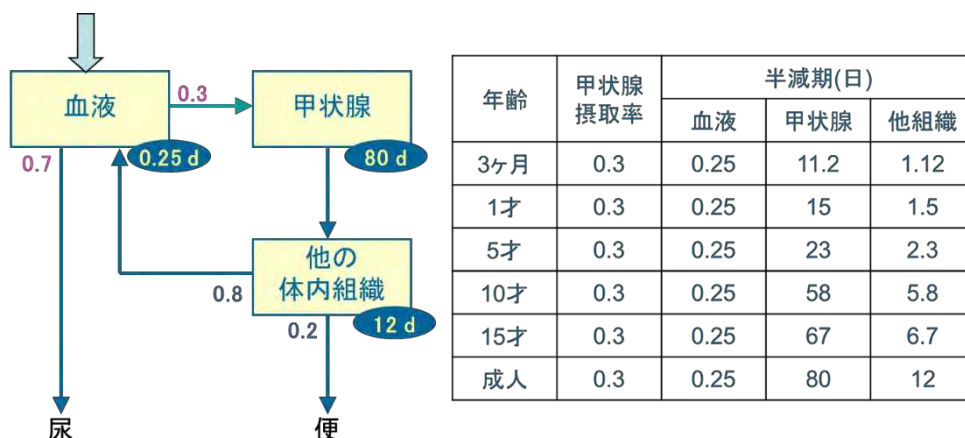


図 C3 ヨウ素の組織系動態モデル

血液に吸収されたヨウ素は、半減期 0.25 日で血液中から消失する。このとき、年齢によらず、70%が直接尿中排泄経路へ、30%が甲状腺へ移行する。甲状腺に移行したヨウ素は甲状腺ホルモンの合成に利用され、甲状腺ホルモンの構成成分として他の体内組織へと運ばれる。この時の半減期は、図 C3 中の表に示したように年齢が若いほど短く、例えば、5 才で 23 日、10 才で 58 日、成人では 80 日とされている。体内組織に運ばれたヨウ素の 20%は無機ヨウ素に解離されて血液循環に入り、そのうちの 70%が直接尿中排泄経路へ、30%が甲状腺へ移行し、甲状腺ホルモンの合成に再利用される。他の体内組織の半減期は、図 C3 に示したように年齢が若いほど短い。以上のように、ヨウ素に対しては、再循環されるモデルが使われている。

C5. セシウム の組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 56 に記載されたモデルである。(図 C4)。

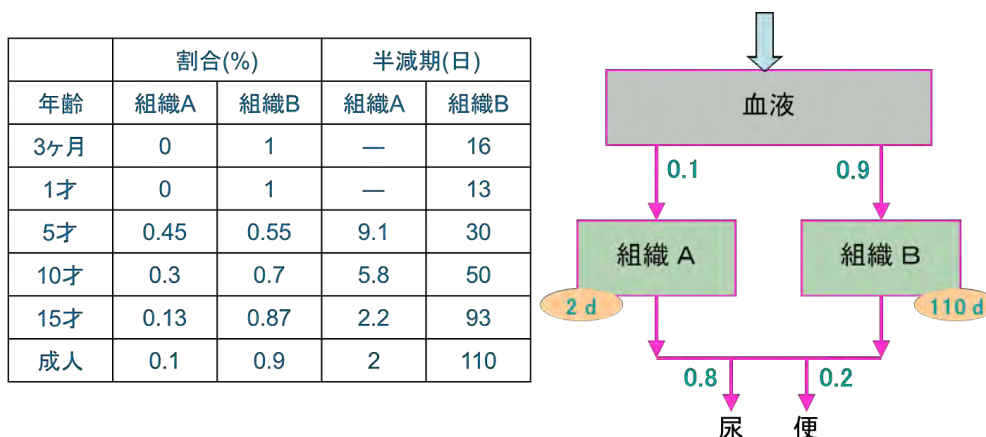


図 C4 セシウムの組織系動態モデル

血液に吸収されたセシウムは、カリウムと類似の挙動を示す。筋肉の濃度が他の組織よりも高いという研究報告があるが、全身の組織間の濃度差は比較的小さく、線量評価の目的には、セシウムは全身に均等に分布すると仮定されている。

セシウムの体内からの排出は、速い成分、遅い成分の 2 つの指数関数の和で表されている。速い成分の排出は、主に腎臓に集積したセシウムの尿中排泄に対応しており、遅い成分は、筋肉その他の組織に沈着したセシウムの、徐々に進行する尿中排泄に対応している。

速い成分、遅い成分それぞれのコンパートメントへの移行割合、及びそれぞれのコンパートメントの半減期が図 C4 中の表のように与えられている。年齢が若いほどセシウムの排出速度が速く、新生児を除き速い成分の割合が増加することを示す証拠がいくつかある。図 C4 中の表の年齢依存性パラメータ値は Publication 56 が刊行された当時の全身のカリウム量の年齢依存性等のデータに基づき求められたものである。

C6. ウランの組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 69 (1995)に記載されたモデルである。(図 C5)。

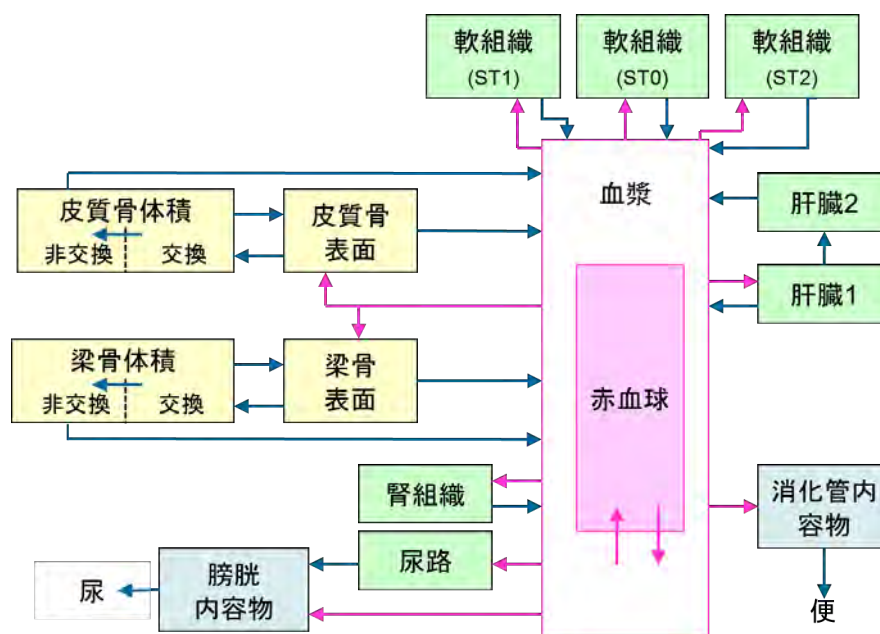


図 C5 ウランの組織系動態モデル

ウランの血漿からの消失の半減期は 0.02 日と仮定されている。血漿中のウランの 30%は、血漿との速い交換を行う軟組織の部分 ST0 へ移行する。残り 70%のうちの 63% (すなわち血漿中ウランの 41%) は膀胱に移行し尿中へと排泄される。以下では、移行割合を、血漿中ウランのうち ST0 へ移行する割合を除く 70%分を 100 とする百分率で表す。

(イ) 骨格における代謝；骨格は梁骨と皮質骨とに分けられる。骨表面へ 15%が移行する。梁骨と皮質骨への沈着率の比は 1.25 : 1 である。骨表面の半減期は 5 日であり、1/2 は骨体積(交換)へ移行し、1/2 は血漿に戻る。骨体積(交換)の半減期は 30 日で、3/4 は骨表面に戻り、1/4 は骨体積(非交換)へと移行する。骨体積(非交換)から血漿へ戻る半減期は、梁骨で約 4 年、皮質骨では 23 年と長い。

(ロ) 肝臓における代謝；肝臓は 2 コンパートメントから成ると仮定されている。血漿から Liver 1 へ 1.5%が移行する。Liver 1 からは、そのうちの 93%が血漿へ戻り、7%が Liver 2 へ移行する。その半減期は 7 日である。Liver 2 からは半減期 10 年で血漿へ戻る。

(ハ) 軟組織における代謝；軟組織は、ST0 の他に中間の代謝回転の部分(ST1)、遅い代謝回転の部分(ST2)に分けられている。ST1 へは、6.65%が移行し、半減期 20 日で血漿に戻る。ST2 へは 0.3%が移行し、半減期 100 年で血漿に戻る。

07. プルトニウムの組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 67 (1993)に記載されたモデルである。(図 C6)。

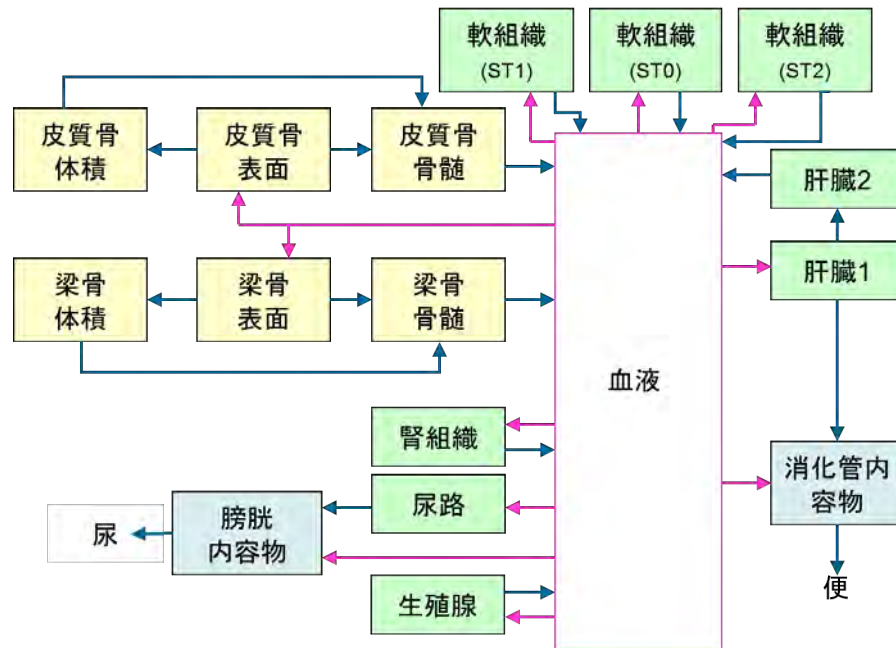


図 C6 プルトニウムの組織系動態モデル

血液に吸収されたプルトニウムは、生物学的半減期 0.75 日で血液中から消失する。主な移行先の組織は、骨格(35%)、肝臓(21%)、軟組織(40%)、生殖腺(0.035%)である。

(イ) 骨格における代謝；骨格は梁骨と皮質骨とに分けられる。さらにそれぞれが骨表面、骨体積、骨髄に分けられている。血液を離れたプルトニウムのうち、21%が梁骨表面に、14%が皮質骨表面に沈着する。骨表面のプルトニウムはその 2/3 が骨再吸収によって骨髄へ移行し、1/3 が骨形成に伴い骨体積へ埋め込まれてゆく。埋め込まれたプルトニウムも骨再吸収によって次第に骨髄へと移行する。このように、骨表面に沈着したプルトニウムは骨髄を経て血液へ戻り、再び体内の組織に再配分される。

(ロ) 肝臓における代謝；肝臓は、胆汁分泌経路で比較的速く消化管へと排出される Liver 1 と長期間残留する Liver 2 の 2 コンパートメントに分けられている。血液から離れたプルトニウムのうち 21%が Liver 1 へ移行する。そのうちの 7%が胆汁の分泌と共に小腸へ排出され、便中に排泄される。残りの 93%は Liver 2 へ移行する。Liver 2 からは生物学的半減期 9 年で血液へ戻る。

(ハ) 軟組織における代謝；軟組織は、速い代謝回転の部分(ST0)、中間の代謝回転(ST1)の部分、遅い代謝回転(ST2)の部分の 3 コンパートメントに分けられている。血液から離れたプルトニウムのうち、30%が ST0 に、12.5%が ST1 に、2%が ST2 へ移行する。ST0 は細胞外液を含むプルトニウムのプールであり、数時間から数日のオーダーで血液とプルトニウムの交換を行っている。ST1 と ST2 は、特定のコンパートメントとしてはモデルに明示されていない軟組織の部分であり、このうち 2 年までの残留を示す部分を ST1、それ以上の残留を示す部分を ST2 としている。

参考文献

- ICRP : ICRP Publication 30 Part 1 “Limits for Intakes of Radionuclides by Workers”, Ann. ICRP 2(3/4), 1979.
- ICRP : ICRP Publication 56 “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides: Part 1”. Ann. ICRP 20(2), 1989.
- ICRP : ICRP Publication 66 “Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection”. Ann. ICRP 24(1-3), 1994.
- ICRP : ICRP Publication 67 “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides: Part 2 Ingestion Dose Coefficients”. Ann. ICRP 23(3/4), 1993.
- ICRP : ICRP Publication 69 “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides: Part 3 Ingestion Dose Coefficients”. Ann. ICRP 25(1), 1995.
- ICRP : ICRP Publication 71 “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides: Part 4 Inhalation Dose Coefficients”. Ann. ICRP 25(3/4), 1995.
- ICRP : ICRP Publication 78 “Individual Monitoring for Internal Exposure for Workers”. Ann. ICRP 27(3/4), 1997.
- ICRP : ICRP Publication 100 “Human Alimentary Tract Model for Radiological Protection”. Ann. ICRP 36(1-2), 2006.
- ICRP : ICRP Publication 130 “Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1”. Ann. ICRP 44(2), 2015.
- Ishigure, N., Matsumoto, M., Nakano, T., Enomoto, H. : “Development of Software for Internal Dose Calculation from Bioassay Measurements”. Radiat. Prot. Dosim., 109, 235-242, 2004.
- 石樽信人 : 内部被ばくの防護に用いられる線量. RADIOISOTOPES, 62, 465-492, 2013.

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

包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究

成果報告書

別添資料 3

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
放射線医学総合研究所 被ばく医療センター

医療機関での 被ばく医療と放射線防護

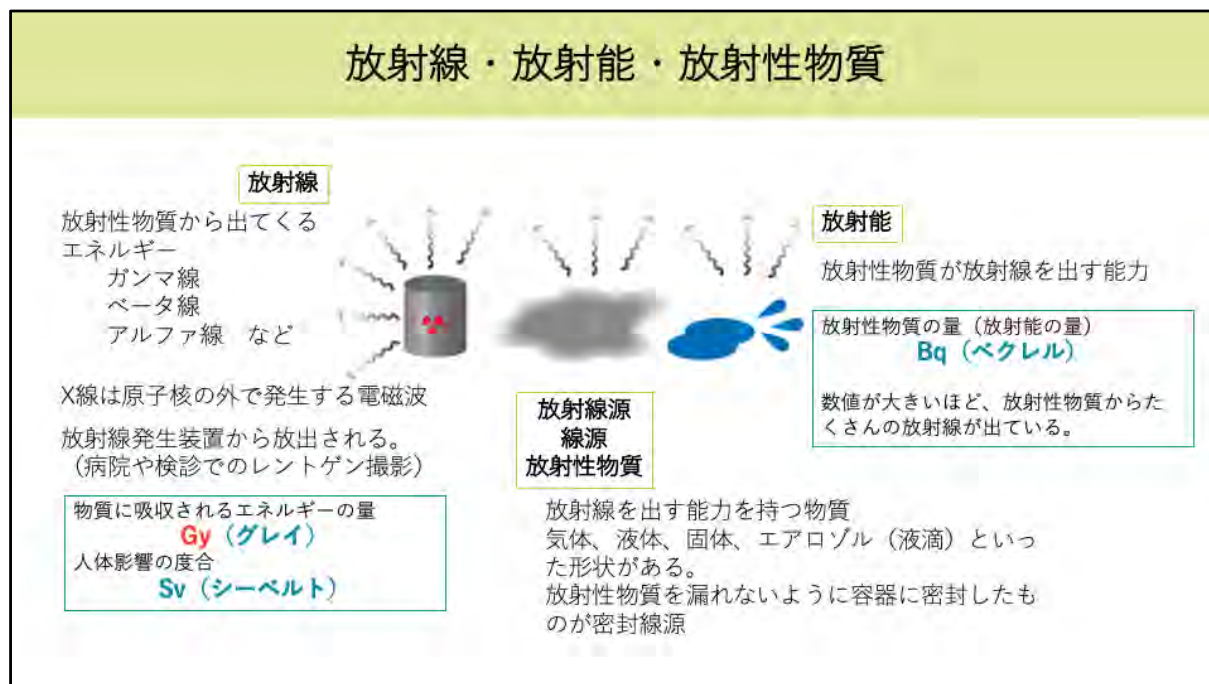
放射線事故医療対応

時間；45分

内容

- 放射線・放射能・放射性物質
- 被ばくと汚染
- 放射線の人体影響
- 外部被ばく、内部被ばく、体表面汚染への対策
- 放射線テロ・災害の種類
- 被ばく医療の概要
- 被ばく医療の実践

放射線・放射能・放射性物質



放射線とは、放射性物質から出てくるエネルギーです。種類としては、高いエネルギーを持つ電磁波のガンマ線、エックス線と高速で動く粒子線のアルファ線、ベータ線などがあります。中性子線は、電荷を持たない放射線です。放射線は原子核が不安定な状態から安定な状態に変化（壊変）するときに出されたり、原子核以外では発生装置からも放出されます。

原子は原子核とその周りを回る電子から構成されており、原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されています。原子核がエネルギー的に不安定な場合、安定になるうとして放射線を放出します。原子核から放射線を出すことを壊変といい、壊変は大きく分けると α （アルファ）壊変と β （ベータ）壊変があります。



放射線は五感で感じることはできませんが、測定器で検知、計測ができます。

放射性物質とは、放射線を出す物質のことです。形状としては気体、液体、固体などがあります。放射性物質を放射線源ということもあります。

放射性物質が放射線を出す能力のことを放射能といいます。放射能の単位はBq（ベクレル）であり、数値が大きいほど放射性物質からたくさんの放射線が出ていることとなります。

また、放射線の強さを放射線による人体への影響の度合いで表す単位がSv（シーベルト）となります。

放射線被ばくと汚染

被ばく	汚染
<p>放射線をあびること</p>  <p>放射線源 全身被ばく 局所被ばく 吸入摂取 経口摂取 経皮（創傷）吸収 外部被ばく 内部被ばく</p> <p>外部被ばくとは、放射性物質（線源）から放出される放射線を体の外から浴びること。 被ばく後、身体には放射線は残らない。 ・ 全身被ばく；全身あるいは体幹部に被ばくした場合 ・ 局所被ばく；体の一部分が被ばくした場合</p> <p>内部被ばくとは、身体に取り込んだ（吸入、摂食）放射性物質からの放射線を体内で浴びること。</p>	<p>放射性物質が付着すること</p>  <p>放射性物質が皮膚や衣類に付着すること。 汚染に接触すると汚染は広がる = 汚染拡大</p> <p>噴霧、放出された放射性物質を吸入すると内部被ばくにつながる。同時に頭部、顔面の汚染も存在する 경우가多い。</p>

放射線を浴びる事を放射線被ばくと言います。

体の外から放射線を浴びるのが外部被ばく、放射性物質を体内に取り込んで体の中から放射線を浴びることが内部被ばくです。

外部被ばくには、全身あるいは体幹部の重要な臓器の大部分を被ばくする全身被ばくと、手指や四肢の一部など身体の一部だけを被ばくする局所被ばくがあります。局所被ばくでは、被ばくした部分の皮膚や骨の影響が現れます。

内部被ばくには、吸入摂取、経口摂取、経皮（創傷）吸収の3つの経路があります。

放射性物質が体の表面や衣服等に付着した状態が汚染です。頭部や顔面に体表面汚染がある場合は、噴霧あるいは放出された放射性物質を吸入したり、放射性物質が浮遊していた空間に滞在していた可能性があるため、内部被ばくの可能性も考えます。

体表面汚染のある部位からは、放射線を検知できますが、局所被ばくの症状が出現するほどの被ばくは通常はありません。ただし、とてもエネルギーが高い放射性物質が高濃度に付着した場合は、皮膚障害が出現することもあります。表面汚染がある人から、周囲の人が外部被ばくするのはとても低いレベルです。

汚染に接触すると接触した手などに放射性物質が付着します。放射性物質が付着した手などで別の場所、部位を触ると放射性物質が触った場所、部位に新たに付着して汚染拡大するため、注意が必要です。

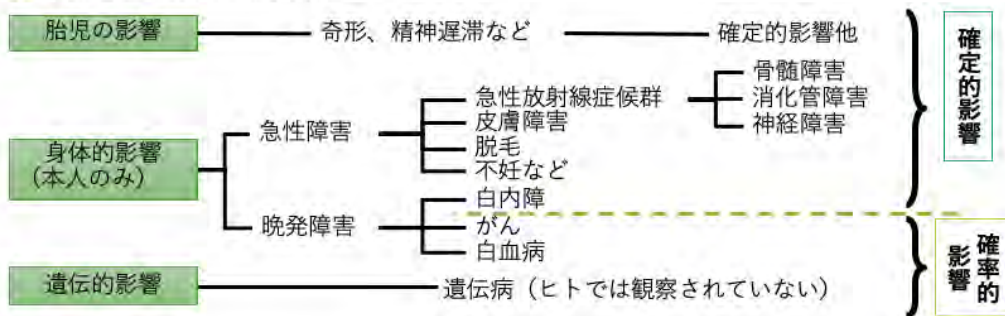
放射線の人体への影響

❖ 急性障害

- ◇ 急性放射線症候群：全身に短時間で1Gy以上の線量を被ばくしたときに生じる
- ◇ 放射線熱傷：放射線による皮膚障害、体の一部分の被ばくでも生じる

❖ 晩発障害

- ◇ 白内障：数年～十数年後に現れる目の症状
- ◇ 悪性腫瘍：がんや白血病など



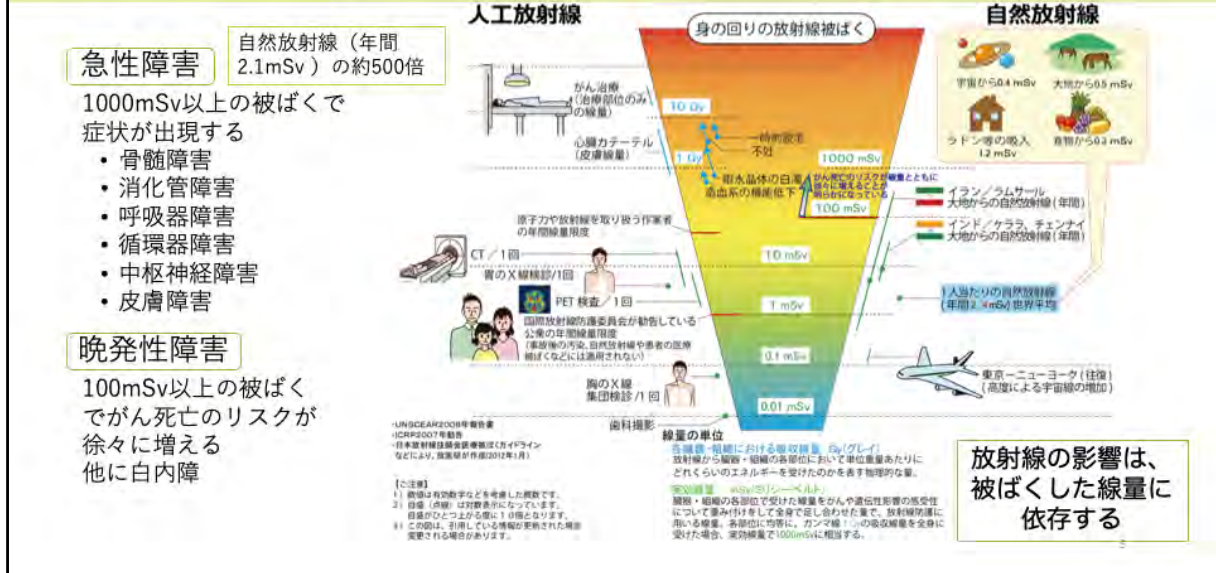
放射線の人体への影響は、医学的な観点から被ばくした本人に現れる身体的影響と被ばくした人の子孫に現れる遺伝的影響があります。遺伝的影響は人では観察されていません。

身体的影響は、被ばくした本人の体に症状が現れる時期によって急性障害と晩発障害に分けられます。急性障害は、被ばくして数週間以内に現れる症状で、全身に短時間で1 Gy以上の線量を被ばくした時には、骨髄障害、消化管障害、神経障害などの全身の症状が現れます。これを急性放射線症候群といいます。また、体の一部分だけを被ばくする事を局所被ばくといい、高線量の局所被ばくをした場合は、皮膚の障害として、熱傷のような症状が現れます。

被ばく後数年から数十年経ってから現れる症状を晩発障害といいます。晩発障害には、白内障、がん、白血病などがあります。

母親の胎内にいた時に被ばくした場合は、胎児の影響があり、奇形や精神遅滞などが現れます。

身の回りの放射線被ばくと影響



放射線の影響は、被ばくした線量に依存します。
身の回りの放射線被ばくの線量と影響を図にまとめたものを示します。

放射線による外部被ばく対策



- ❖ 放射線を体の外から浴びる
- ❖ 一度に大量に浴びると危険 ⇒急性障害
- ❖ 放射線災害では、ガンマ線（ γ 線）に注意
- ❖ **空間線量率**で危険性を把握



- ❖ **個人線量計**で被ばく管理
 - ◇ 活動中の被ばく線量の測定
 - ◇ 被ばく線量限度と警報値の設定
- ❖ 浴びてしまったら、なかったことにはできない



外部被ばくとは、放射線を身体の外から浴びることで、一度に大量の放射線を浴びると急性障害を発症し、危険です。

放射線事故、災害、テロの対応では、ガンマ線に注意し、空間線量率を測定して、その場所の危険性を把握します。また、外部被ばくは個人線量計で管理します。外部被ばくは被ばく時間を短くする、または線源から離れる、もしくは遮蔽することで、被ばく線量を抑えることができます。しかし、放射線を外部被ばくした場合、浴びてしまった放射線量を減らすことはできません。

線量限度

一般職国家公務員の被ばく線量限度と健康管理は、人事院規則10-5「職員の放射線障害の防止」（昭和38年9月25日）に基づいて実施される。
災害・テロ対処では、放射線被ばくが“0”（ゼロ）は、ありえない。そのため線量限度が設定されている。

区 分	実効線量限度	等価線量限度
国家公務員	100 mSv/5年 (50mSv/年) 女子 5mSv/3月 妊娠中の女子（出産までの内部被ばく） 1mSv	水晶体：150mSv/年 皮膚：500mSv/年 妊娠中の女子（出産までの腹部表面） 2mSv
	緊急作業：100mSv	水晶体：300mSv 皮膚：1Sv
一般公衆	1mSv/年	水晶体：15mSv/年 皮膚：50mSv/年

ICRPの放射線防護の考え方及びその勧告に基づき、放射線障害の防止に関する法令で放射線を職業的に扱う人（放射線業務従事者）に対し、線量限度を定めています。国家公務員の場合は、人事院規則10-5（職員の放射線障害の防止）で被ばく線量限度が定められています。また、放射線業務従事者である個人の線量のほか、公衆に対する線量の寄与を把握するため、事業所の境界や、放射線を取り扱う管理区域の境界など、場所についての線量も定められています。

放射線業務従事者の線量限度は、男性では1年間で50mSv、5年間で100mSv、女性の場合は、3ヶ月で5mSvと定められています。人命救助などの緊急作業では100mSvです。一般公衆の線量限度は、1年間で1mSvです。

原子力災害や放射線事故、災害の現場活動では、被ばくを“0（ゼロ）”とすることはできません。このため、線量限度を越えないように活動計画では被ばく線量を管理しなければなりません。また、無用な被ばくをしないように対処することも重要です。

外部被ばくの防護三原則



時間

作業時間を短くする。

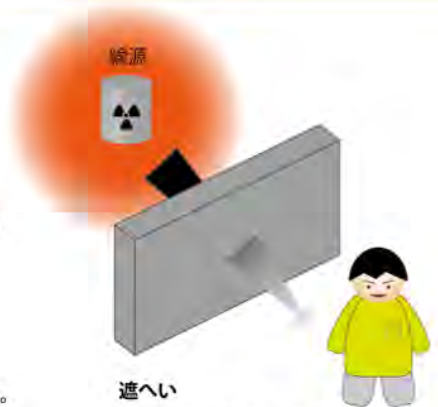
被ばく線量は時間とともに増えます。被ばく時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。



距離

線源からできるだけ離れる。

放射線の強さは遠くに離れると弱くなり、線量は距離の2乗に反比例して減ります。



遮へい

線源と人の間に遮へい体を置く。

物体を間に置くと放射線を弱めてくれます。建物の壁などは遮へい体になり、空間線量率が低くなります。


外部被ばく防護のポイントは「時間」「距離」「遮へい」です。被ばくする時間を短くする、放射線源からの距離をとる、放射線を遮へいすることで、被ばく線量が低減できます。

放射線にさらされる活動時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。

放射線は、放射線源からの距離の二乗に反比例して減少します。そのため放射線源からの距離をとることで被ばく線量を少なくすることができます。逆に、放射線源からの距離が半分の位置(1/2の距離)に近づくと放射線量は元の位置の4倍になり、急激に空間線量が上昇することになるため、特に危険区域での活動時には注意が必要です。

放射線源との間に遮へい物があると放射線量は減少します。コンクリートの壁、鉄や鉛の金属の板などがあれば、遮へい材として使用できます。放射線源の位置、形状が明確であれば、鉛のブロックなどで線源を囲むことによって周辺の空間線量率を低減することもできます。

放射性物質による内部被ばく対策

- 
- 吸入摂取
経口摂取
経皮（創傷）吸収
- ❖ 放射性物質を体内に取り込んで被ばく
 - ❖ 急性障害はない
 - ◇ 線量評価は、体の中に取り込んだ放射性物質の量から今後50年間で被ばくする量
 - ◇ 体外計測、バイオアッセイで評価
 - ❖ 頭部・顔面に汚染があれば内部被ばくを疑う
 - ◇ 表面汚染検査で可能性をチェック
 - ◇ 鼻腔スワブ
 - ❖ 体内に取り込まないように呼吸保護



内部被ばくは、放射性物質を吸入したり、経口摂取して体内に取り込んで被ばくすることである。内部被ばくは、放射性物質が体内に存在している間は、被ばくし続けることになるが、一度に被ばくすることではないため、急性の症状が出ることはほとんどない。

また、頭部や顔面に汚染がある場合は、放射性物質が浮遊した空間を移動して呼吸によって放射性物質を吸入した可能性がある。そのため、表面汚染検査、鼻腔スワブの検査で内部被ばくの可能性を確認する。

内部被ばくの防護は、呼吸保護をする。

放射性物質による表面汚染対策



汚染の濃度が極端に高くない限り、全身または皮膚の被ばくの症状は出ない

- ❖ 放射性物質が体表面、衣服等に付着した状態
- ❖ 表面汚染では危険な外部被ばくはしない
- ❖ 浮遊した放射性物質による内部被ばくに注意
- ❖ 放射線災害で汚染があれば汚染拡大防止
 - ◇ 養生
 - ◇ 汚染検査
- ❖ **表面汚染計**で測定
- ❖ **防護服**で皮膚、衣類への付着を防止
 - ◇ **防護服で外部被ばくは防護できない**



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

放射性物質が体表面、衣服、資機材等に付着した状態が表面汚染です。体表面の汚染からの放射線は、それほど強くないため、危険な外部被ばくはしません。

放射線災害で汚染が関与していれば、汚染拡大防止を行います。そのためには表面汚染系で汚染の程度を測定し、防護服で皮膚、衣類等への付着を防止します。

防護服は、タイベックスーツの他に、アイソレーションガウンなどを使用しても良いです。

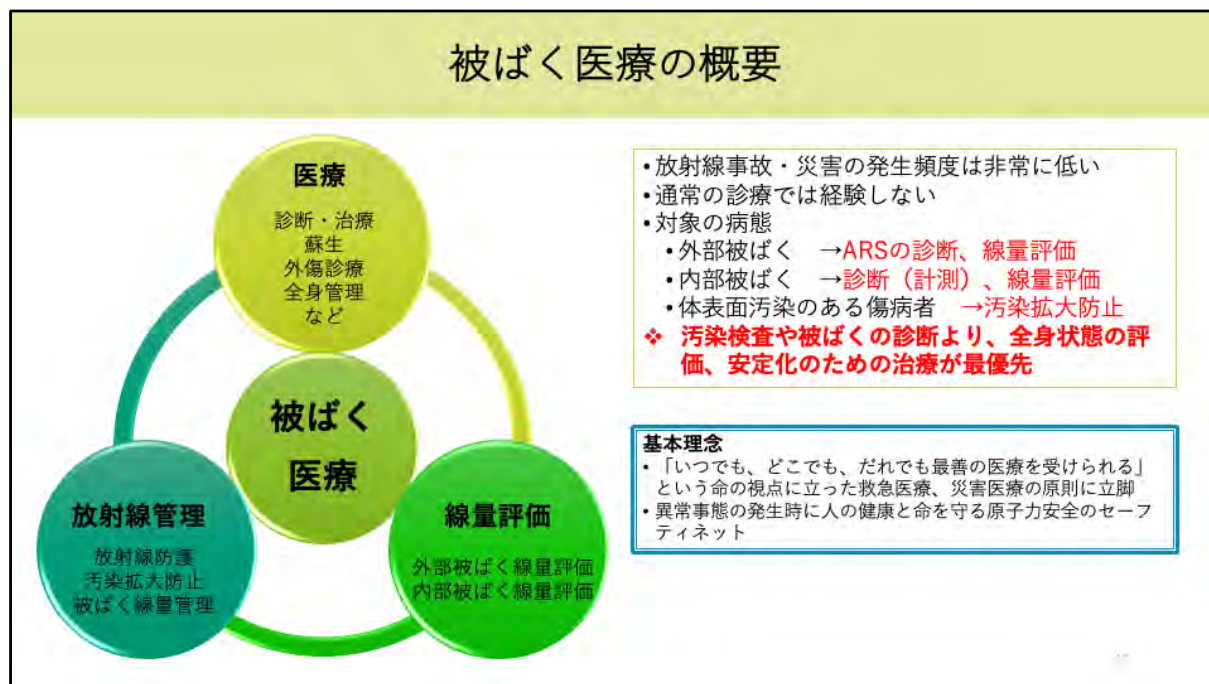
放射線テロ・災害の種類

放射線源（放射線を出す物質の塊）からの放射線に暴露される、あるいは放射性物質の汚染が拡散する事態



放射線のテロ・災害には、放射線源の放置による外部被ばく、放射性物質の拡散による汚染と内部被ばくを生じるものがあります。爆発物を使用した放射性物質の拡散の場合は、被災者に爆傷の被害が生じます。また原子力施設の破壊行為や核兵器の使用では、外部被ばく、内部被ばく、汚染の全てが混在して生じることになります。

被ばく医療の概要



被ばく医療の対象は、原子力施設あるいは原子力災害、放射線事故、放射線テロ等で、外部被ばく、内部被ばくをした傷病者と体表面汚染が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、原子力災害時等が発生した場合に、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。

病院での緊急被ばく医療

計画

- ・院内マニュアルの整備
- ・教育、訓練

準備

- ・事故発生後の情報収集
- ・受け入れ施設の準備（臨時の管理区域設定を含む）、資機材の準備
- ・スタッフの防護

診療

- ・傷病者の受け入れから処置
- ・汚染の程度、被ばくの線量評価

復帰

- ・个人防护装備の脱衣
- ・施設の復帰

病院での緊急被ばく医療としての初期対応の流れを示しています。
できれば、院内マニュアルを整備し、関係者に教育、訓練を行います。
実際に事故等が発生し、被ばくあるいは汚染した傷病者を受け入れる場合は、施設、スタッフの準備を行い、診療後には、スタッフ及び施設の汚染検査等を行い、施設を元どおりに復帰させます。

患者受け入れの準備

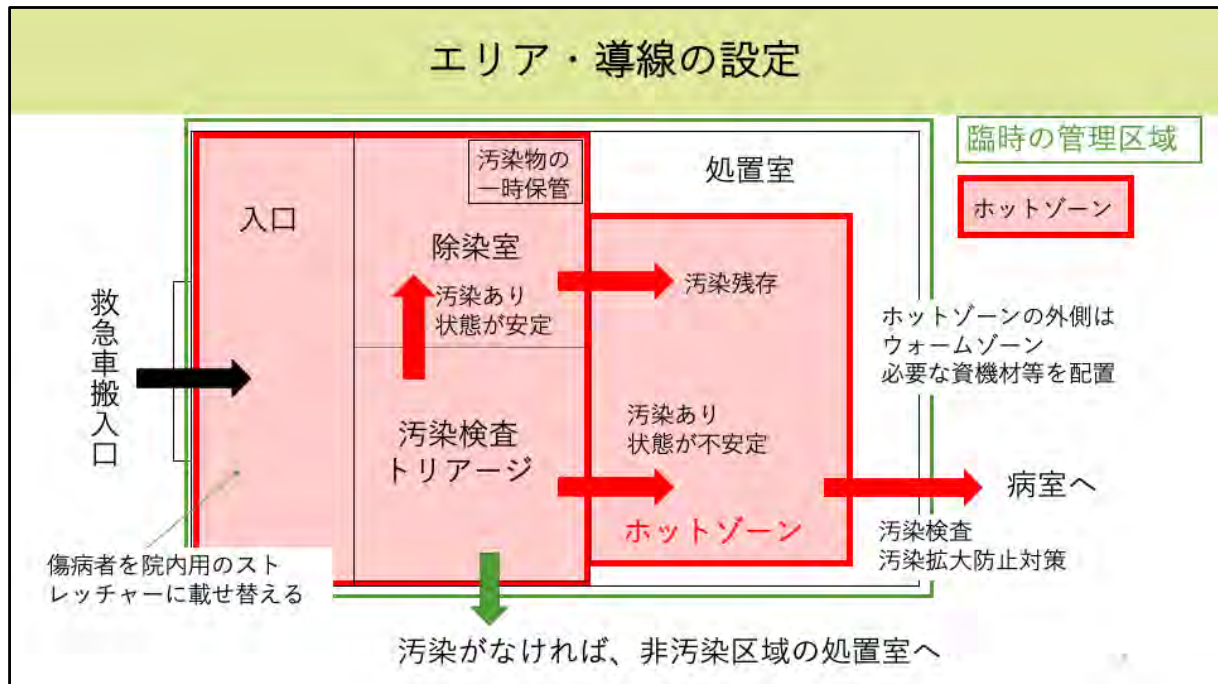
外傷診療	汚染患者診療
ホットラインでの情報収集	被ばく、汚染に関する情報収集
受け入れ決定、助言	脱衣、被覆等の助言
スタッフ招集、情報共有、役割分担	HOT、COLDの役割分担
蘇生用具一式、加温した輸液類	養生（汚染拡大防止）・除染の資機材
各種モニター	放射線測定器
ポータブルエックス線撮影装置、超音波診断装置	汚染対策（エリアの設定、施設・医療機材の養生）
感染に対する標準予防策	PPE(個人防護装備、個人線量計)

被ばくあるいは汚染のある傷病者の受け入れが決定したら、計画に基づいた受入れ準備を開始します。

被ばく医療の専門的知識や技能を有した医療従事者を参集し、得られた情報を共有します。

また、施設や現場の救急隊員から患者情報、事故の状況などの情報を収集し、事業所の放射線管理要員の同行を要請します。

医療機関では、放射線管理や汚染検査に慣れている診療放射線技師が施設と対応者の放射線管理を担当します。また、放射線測定器、除染用資機材、医療資機材を準備します。



汚染のある傷病者の診療エリアは、汚染拡大防止対策と放射線管理が行えるように、一方通行の導線、汚染のない区域との交差をしない導線となるようなエリアを設定します。救急車からの搬入口が近い場所、救急医療の処置が可能な場所が望ましいです。

診療エリアには、院内用のストレッチャーに載せ替える入り口のスペース、汚染検査やトリアージを行うスペース、除染室（除染テントでも代用可能）、汚染のある傷病者の処置室、汚染物の一時保管場所等を設定します。これらはホットゾーンとなります。医療機材等はホットゾーンの外側に配置し、汚染拡大防止対策を講じます。除染後には、汚染検査あるいは汚染拡大防止対策を実施して、入院病室等へ移動させる導線を確保します。汚染傷病者の診療エリアは、処置後の汚染検査が終了するまで臨時の放射線管理区域として設定し、対応します。

養生（例）

- ❖ 汚染のない患者を移動させる
- ❖ 必要のない資機材を移動させるかカバーをかける
- ❖ 資機材に耐水性、使い捨てのカバーをかける
- ❖ 傷病者が到着する前に資機材、測定器の動作確認チェック
- ❖ バックグラウンドの確認
- ❖ 管理区域を設定する



入り口から処置室までの廊下の養生



床；ビニールシートとろ紙シートで二重に養生（被覆）

養生

医療施設や機材が放射性物質によって汚染されないようにビニールシート等で予め被覆しておくこと

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)



長時間使用時は、排気口を開ける

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。ストレッチャーはや処置台には、複数枚のシーツをかけておくと、脱衣や除染で汚染した場合に、1枚のシーツを取り除いても、問題ありません。モニター類は、検知部分以外は可能な限り養生しますが、画面等は、操作あるいは表示を確認できるようにしておきます。

医療機材は、その機能や操作の妨げにならない程度に養生します。

外傷診療と被ばく医療

外傷診療	被ばく・汚染傷病者診療
第一印象	<ul style="list-style-type: none"> 空間線量率の確認 放射線線源の持ち込みの有無 場の安全確認
Primary surveyと蘇生	<ul style="list-style-type: none"> エックス線撮影・FASTの汚染拡大防止 脱衣（衣服に汚染があることを考慮） 汚染検査
Secondary survey	<ul style="list-style-type: none"> 全身の汚染検査 除染 内部被ばくの有無の確認（鼻腔スワブ）
Tertiary survey	<ul style="list-style-type: none"> 被ばく線量評価 外部被ばく（ARS、局所被ばく）→個人線量計、染色体分析 内部被ばく→体外計測、バイオアッセイ（生体試料の測定）
根本治療	<ul style="list-style-type: none"> 外部被ばく（ARS、局所被ばく）の治療 内部被ばくの治療（体内除染剤等の投与）

外傷診療の流れに被ばく医療の診療を組み合わせる場合は、それぞれの外傷の処置、診療の場面ごとに被ばくや汚染への対応を追加します。

外傷診療で、第一印象を確認する間に、診療放射線技師により空間線量率を確認し、放射線源の持ち込みの有無など処置時の場所の安全確認を行います。

Primary surveyと蘇生では、ポータブルエックス線撮影、超音波検査装置の汚染拡大防止の対策を講じるとともに脱衣、汚染検査を行います。Secondary surveyでは、全身の汚染検査と除染を行い、内部被ばくの有無を確認するため、鼻腔スワブを採取します。Tertiary surveyでは被ばく線量評価に必要な情報と試料を採取します。根本治療は急性放射線症、局所被ばく、内部被ばくの治療を行います。

単純X線撮影

- ❖ フィルムカセットはビニール袋に入れる
- ❖ ポータブルX線撮影装置のアームをのばして撮影する
- ❖ ホットゾーンからカセットを出す時はビニール袋から取り出し、コールドゾーンに渡す



19

外傷等の診療において、除染よりも単純エックス線撮影を優先する場合は、フィルムカセットの汚染対策が必要です。カセットはビニール袋等で覆い、ホットゾーンからカセットを出す時にはビニール袋から取り出し、カセットのみをコールドゾーンに出します。

ポータブルエックス線撮影装置は、本体はコールドゾーン（ウォームゾーン）に置き、アームを伸ばして撮影します。

脱衣と体表面汚染検査



汚染した衣服をシートごと
取り除く
→新しいシートが下にある



1.創部→2.開口部→3.健常皮膚
頭からつま先まで汚染のサーベイ
背部も忘れずに

20

汚染のある衣服を脱がせることで、体表面の汚染の約90%を取り除くことができます。搬送時に傷病者を包んできた毛布やシート、衣類は、取り除いた後にビニール袋へ入れ、汚染が拡大しないようにします。

汚染した衣類などを触った後は、素早く外側のゴム手袋を交換します。

1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で汚染検査を行います。頭からつま先までの汚染検査したら、背部の汚染検査を行います。

除染

1.創部 → 2.開口部 → 3.健常皮膚

❖ 除染の方法

- ◇ ぬれたガーゼでふき取る、洗剤、オレンジオイルでふき取る
- ◇ 水で洗い流す
- ◇ うがい
- ◇ 全身のシャワー除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控える

❖ 除染の基本

- ◇ 汚染検査で汚染の範囲を確認する
- ◇ 患者自身にできることは患者にさせる
- ◇ 使用した綿球・ガーゼ等（一回目）は氏名・部位・日時を記して測定（核種の同定）
- ◇ 水、ガーゼは汚染のある廃棄物として管理する
- ◇ 除染後に再測定する→必要に応じて再除染
- ◇ 基本的に汚染が残存しても皮膚障害は起きない→Debridementは急性障害を起こすもしくは医学的理由があるときのみ



体表面汚染は、1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で除染します。

除染の方法は、ぬれたガーゼで拭き取ったり、部分的に水で洗い流したりします。水だけでは除染できない場合は、洗剤やオレンジオイル等を使って拭き取ります。口腔内の汚染はうがいをしてもらいます。

全身のシャワーによる除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控えます。

除染は、本人が行える場合は、自分で拭き取ったり、洗ったりしてもらいます。核種の同定が必要な場合は、使用したガーゼなどをビニール袋に入れ、患者氏名、採取部位、採取日時を記録して、測定者に渡します。

除染後の水やガーゼは放射性物質の汚染がついた廃棄物として管理、処分します。

創傷部の除染

1. 汚染のない部分を被覆する
2. 膿盆、紙おむつ等で水を受ける
3. 水をかけながらガーゼ等で創傷部を洗浄する



22

創傷部の汚染は、部分的に水をかけながら除染するので、汚染のない部分は防水のシート等を用いて被覆し、汚染した水がかからないようにします。

膿盆や紙おむつで汚染した水を受けるようにします。

創傷部は、ガーゼと鑷子を用いたり、ブラシを用いて水をかけながら除染します。除染後は再度表面汚染の検査を行います。汚染がなくなるか、除染の効果がなくなるまで除染を繰り返します。

顔面の除染



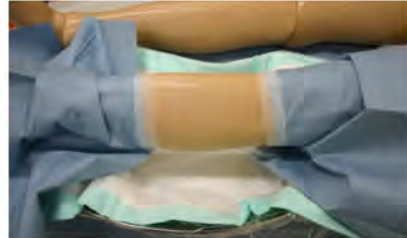
耳の汚染がある場合は、外耳は湿ったガーゼやタオルで拭き取り、外耳道は綿棒等で拭き取ります。

目の汚染は、流水をかけながら洗浄します。

鼻腔の汚染がある場合は、鼻をかんでもらい、汚染が残っている場合は、綿棒で拭き取ります。

皮膚の除染

- ❖ 汚染のない部分を被覆する
- ❖ 膿盆や紙おむつで水を受ける
- ❖ 濡れたガーゼ等で外側から内側の方向に拭き取る
- ❖ 水で除染できない場合はボディソープや石けん、スポンジを使用する



皮膚の汚染がある場合は、汚染のない部分を防水のシート等で被覆して、汚染した水がかからないようにします。膿盆や紙おむつで水を受けるようにします。ぬれたガーゼやスポンジなどで外側から内側の方向に拭き取り、汚染を広げないようにします。水で除染出来ない場合は、ボディソープや石けん、洗剤などを使用します。

皮膚を傷つけないように丁寧に除染します。

除染後の再検査

どこまで除染するか？

❖ 創傷汚染

- ◇ バックグランドレベルまで
- ◇ 除染の効果がなくなるまで

❖ 健常皮膚

- ◇ B.G.まで
- ◇ 除染の効果がなくなるまで
- ◇ 皮膚を傷つけない程度まで（発赤が出現しない程度）

❖ 汚染が残った場合

- ◇ 皮膚の新陳代謝（ターンオーバー）で自然に除染される
- ◇ GMサーベイメーターで測定できる範囲であれば、皮膚、創傷部の汚染から吸収される放射性物質が内部被ばくに寄与する程度は小さい

内部被ばくの診断

- ❖ 体内からの放射性物質もしくは放射線の検出により診断
- ❖ 鼻腔・咽頭スミア；吸入による内部被ばくの可能性
- ❖ 口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染；吸入、吸収の可能性
- ❖ 問診；内部被ばくが疑われる場合は、放射性核種、化学形態、溶媒等について確認



- ❖ 生体試料（尿、便）の放射性物質の計測
- ❖ 体外計測；ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター

➡ 内部被ばくの診断

内部被ばくは、吸入による経気道、経口摂取による経消化管、創傷部からの吸収によって体内に放射性物質が取り込まれることによって起こります。体内に入った放射性物質は、安定型の核種と同じ体内動態を示すため、核種に応じた治療薬が必要になります。

初期には、口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染があれば、放射性物質の吸入や吸収の可能性があります。また、鼻腔や咽頭のスワブ採取によって放射性物質を検出した場合も内部被ばくが疑われます。内部被ばくが疑われた場合、事業所や施設等での事故の場合は、放射線管理要員等に放射性核種、化学形態、溶媒等について確認します。

内部被ばくの最終診断と線量評価は、尿や便の生体試料の放射性物質の計測（バイオアッセイ法）と、体内からの放射線の計測（体外計測）によって行われます。

試料の受け渡し

- ❖ ビニール袋の外側が汚染されないように受け取る（コールドエリア）
- ❖ 採取部位、日時、氏名等を記入した試料袋に入れ、測定に出す
- ❖ ビニール袋の表面の汚染検査（スメア法）を実施して測定者に渡す（確実な汚染拡大防止）



27

汚染の原因となっている核種の同定や内部被ばくの評価、その他通常の血液検査などのために採取した試料をホットゾーンからコールドゾーンの測定員に渡す必要があります。

そこで、汚染拡大防止のため、コールドゾーンの担当者がビニール袋で試料を受け取り、ビニール袋の表面をガーゼなどでぬぐって汚染検査を実施します。汚染がなければ、試料を測定員に渡します。採取した試料の容器には、採取部位、採取日時、氏名を記入します。

外傷等がありホットゾーンでの単純X線撮影が必要な場合は、フィルムカセットをビニール袋に入れ、汚染の付着を防止します。可能であればポータブルX線撮影装置のアームをコールドゾーンから伸ばして撮影します。撮影後は、ビニール袋からカセットを取り出して、コールドゾーンの担当者に渡します。

医療機関での対応

- ❖ 外部被ばく → 前駆症状を確認する。
高線量外部被ばくの線量評価を行う。
治療の必要性、程度の判断をする。
- ❖ 内部被ばく → 急性障害はない。
内部被ばくの線量評価を行う。
薬剤による治療の判断をする（核種に応じた薬剤の選択）。
- ❖ 体表面汚染 → 生命の危険には関与しない。
除染は救命処置にはならない。



- ❖ 医療機関での救命処置は、まず放射線以外の原因、外傷等に対して実施される。
- ❖ これらの救命処置は、除染よりも優先される。

医療機関での対応として、外部被ばくが疑われる場合は、前駆症状を確認し、高線量外部被ばくの線量評価を行い、治療の必要性や程度を判断、診断します。内部被ばくが疑われる場合は、急性障害はありませんが、線量評価を行い、核種に応じた薬剤を選択して、早期の治療を開始します。体表面汚染は生命の危険には関与しないため、除染は救命処置にはなりません。

医療機関での救命処置は、放射線以外の原因、外傷等に対して優先して実施されます。

線量評価の方法

	試料・資料	対象	内容
生体試料の測定・観察 放射線の影響による変化の観察、測定	血液	血球細胞数の変化 染色体異常の解析	リンパ球、好中球の減少など 放射線による染色体異常の発現頻度
	身体所見	唾液腺の腫脹、疼痛、口腔粘膜の症状等 皮膚症状の出現	高線量被ばくによる前駆症状 紅斑や放射線皮膚障害の症状
	スワブ	鼻腔や口腔粘膜のスワブ	汚染の有無による内部被ばくの可能性と推定
	血液、嘔吐物等	生体内のナトリウム、塩素の放射化から計測	中性子線による放射化の分析
	歯のエナメル質	生体組織に生じるラジカルを測定	電子スピン共鳴 (Electron Spin Resonance; ESR)
	情報の解析	問診等での病歴、事故の状況	被ばくの可能性の評価
線源、放射性物質等の情報		計算	計算による線量推定
計測	個人線量計	個人被ばく線量	被ばく線量の実測値
放射線、放射性物質の計測	身体、臓器	体外計測（ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター）	体内残留量の計測
	尿、便	バイオアッセイ法	排泄量の計測
	再構築	線源等の情報による事故状況の再現と実測結果からの計算	事故状況の再現、実測、計算

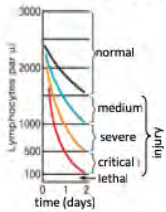
被ばく線量評価には、様々な手法があります。

生体試料を測定して、放射線の影響による実際の細胞や組織の変化を評価する方法があります。これには、血液試料による血球細胞数の変化や染色体異常の解析、身体所見による高線量被ばくの症状の確認と発症時期による線量の推定、鼻腔や口腔粘膜のスワブ（ぬぐいとり試料）の汚染検査による内部被ばくの推定、血液や嘔吐物の放射化の測定による中性子線被ばくの線量評価などがあります。これらの生体試料の測定による方法を生物学的線量評価と称します。

また、事故の状況や被ばくの時間、作業時間等を問診で確認することで被ばくの可能性の評価ができ、さらに線源や放射性物質等の情報を追加することで計算による線量推定ができます。また、実際に放射線や放射性物質を計測して評価することもできます。体外計測は、身体や臓器から放出される放射線を測定して、体内の放射性物質の残留量を計測し、内部被ばく線量を計算します。尿中や便中の放射性物質の排泄量を測定して内部被ばく線量を計算する方法がバイオアッセイ法です。また、線源や被ばくした患者の位置関係などから事故時の状況を再現し、放射線を実測した結果から、被ばく線量を計算する再構築の方法もあります。計算や計測による線量評価を物理学的線量評価と称します。

ARSのPrimary Triage : 初期の48時間

	Score I	Score II	Score III
症状が出現するまでの時間	12時間以内	5時間以内	30分以内
皮膚紅斑	0	+/-	+++; 3時間以内
衰弱	+	++	+++
悪心	+	+++	(-)
24時間での嘔吐の回数	最大 1	1 to 10	10以上; 対処困難
下痢/ 24時間あたりの便の数	最大 2-3; 固形便	2-9; 軟便	10以上; 水様便
腹痛	軽度	重度	激烈
頭痛	0	++	激烈; 頭蓋内圧上昇の兆候
体温	38°C以下	38-40°C	40°C以上
血压	正常	正常—一時的な低下の可能性	拡張期 80mmHg以下
一時的な意識障害	0	0	+ / 昏睡
depletion of blood lymphocytes			
	at 24 hour	at 24 hour	at 24 hour
	at 48 hour	at 48 hour	at 48 hour
	1500/μ以上	1500/μ以下	500/μ以下
	1500/μ以上	1500/μ以下	100/μ以下
	外来診療	治療のための 入院診療	入院診療 (多臓器不全)



多数の急性放射線症を発症する患者が発生し、入院施設等の医療資源が限られた場合は、入院診療を必要とする被ばくした者を初期の段階でトリアージする必要があります。全ての臨床症状とその発症時期を記録します。

1Gy未満と判断される場合には、外来で経過観察するだけで良いです。1Gy以上の患者は、より詳細な線量評価や治療のための入院が必要です。

出典；EBMT pocket guide

<https://www.ebmt.org/sites/default/files/2018-03/EBMT%20Nuclear%20Accident%20Committee%20Pocket%20Guide%202017.pdf>

内部汚染への対応

- ❖ 病歴、開口部汚染等から内部汚染を疑う
- ❖ 核種の同定、預託実効線量（50年間）の評価
- ❖ Risk vs benefit を考慮した治療
 - ◇ 一般的な治療
 - ◇ 適切な体外除去剤の選択と早期投与
- ❖ 排泄物等の管理（線源として）
- ❖ 尿、便等も検体となる→保管
- ❖ 口腔、胃、肺、気道等の洗浄（リスクを考慮）
- ❖ 内部汚染除去剤
 - ◇ セシウム → プルシアンブルー
 - ◇ プルトニウム → DTPA
- ❖ 競合剤
 - ◇ 放射性ヨウ素に対する安定ヨウ素剤



内部被ばくでは、基本的に急性障害は起こりません。そのため、治療の目的は、体内の放射性物質からの放射線被ばくによる将来の生物学的影響の低減となります。内部被ばくの治療の原則は、吸収と内部沈着の低減及び体内に入った核種の除去と排泄の促進です。放射性物質が体循環に入っていない場合に最も治療効果が高くなります。また、標的臓器の細胞に取り込まれる前に治療を行う必要があります。しかし、内部被ばくの事故では、摂取量や体内動態がすぐに判明しないことがほとんどです。そのため、内部被ばくが疑われる場合は、治療による副作用が少なく、近畿がない場合には、すぐに治療を開始すべきです。また、治療の適応には、明確な指標がありません。預託実効線量を参考にして、治療のメリットとデメリットを勘案して適応を決定します。

プルシアンブルー（ラジオガルドーゼ®カプセル500mg）は、フェロシアン化第二鉄に属します。消化管に吸収されない毒性の低いコロイド状の妖怪可能な携帯を持ち、ある種の一価の陽イオンに対しイオン交換体のような働きがあります。放射性セシウムが血液に入った場合、経口投与されたプルシアンブルーが朝刊から再吸収されるセシウムの取り込みを防ぎます。

Diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA)はEDTAより多価の放射性同位元素に対してより効果的です。キレート体は、安定で、体外に腎臓から排泄されます。静脈的に投与した後、DTPAは最初の1時間に尿中に約50%が排泄されます。CaDTPA、ZnDTPAは超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム、カリホルニウム、ネプツニウム）をキレートします。

CaDTPAによる重篤な副作用の報告はありません。しかし長期間投与するとCaDTPAにより亜鉛欠乏症を起こします。

まとめ

- ◆ 外部被ばくの患者対応では対応者は被ばくしない
 - ◇ 外部被ばくの対策；「時間を短く」「距離を取る」「遮へいを利用」
 - ◇ 個人線量計による被ばく線量管理
- ◆ 内部被ばくでは急性障害はない
 - ◇ 内部被ばくの対策；呼吸保護
- ◆ 汚染では、患者も対応者も危険な被ばくはしない
 - ◇ 汚染拡大防止；防護服、汚染検査、除染
- ◆ まずは、医療処置で状態を評価し、安定化させる（呼吸と循環の安定）
 - ◇ 通常の処置に汚染検査、除染を追加
- ◆ 汚染検査は最優先ではない（除染で救命はできない）

参考資料

111

用法・用量

薬品	用法・用量	
プルシアンブルー (フェロシアン化第二鉄)	水とともに1回3gを1日3回3週間 内服	0.5g/cap
アルギン酸ナトリウム (アルロイドG)	アルギン酸ナトリウム10g (アルロイドG 200ml) あるいは1.5~3gを内服	5%液
ヨウ化カリウム	成人100mg内服	50mg/tab
ジメルカプロール (バル)	1日目 1回2.5mg/kg筋注 6hr毎 2日目~1日1回を6日間 1回1gを生食100mlで30分で1日1回静注 週5日連続投与	100mg/ml
CaDTPA ZnDTPA	混合療法：1回目CaDTPA 1g、2回目以降ZnDTPA 1gを4日間投与。その後超ウラン元素の排泄率の増加が見られなくなるまで1週間に2-dose(1-doseあたりZnDTPA1g)投与。	1g/5ml
レボチロキシン (チラージンS)	1回25~100μg内服	25μg/cap
チオ硫酸ナトリウム (デトキソール)	1日1~2g 緩徐に静注	2g/20ml
マールックス懸濁内服液	1回1.6~4.8g (1gを水10mlに懸濁)	1.2g/包
ラキソベロン液	(CF前) 1回20ml内服	10ml/本
酸化マグネシウム		1g/包
硫酸バリウム	1回100~300ml内服	
薬用炭	1回20gを水に懸濁し内服	20g/包

内部被ばくの選択薬剤 1

核種	直後の処置	考慮すべき薬剤	注意
アメリシウム (Am) Americium	DTPA	DTPA, CaEDTA	可及的早期にキレート化を行う。 DTPAが入手困難ならばCaEDTAを用いる。
セシウム (Cs) Caesium	プルシアンブルー、 洗浄、下剤	プルシアンブルー、 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$	
コバルト (Co) Cobalt	洗浄、下剤	大量被ばくでは、 ベニシラミンが考慮。	コバルト塩は不溶性であるから 飲んだ場合は、特に治療は要しない。
フッ素 (F) Fluorine	水酸化アルミニウム ムゲル		
ヨウ素 (I) Iodine	KI投与	KI	できるだけ早くヨウ化カリウム 130 mg (ヨウ素として100 mg) を飲ませる。
マンガン (Mn) Manganese	洗浄	DTPA	陰イオンとして存在するMnは治療不可能。
リン (P) Phosphorus		水酸化アルミニウム (経口)	大量の時は副甲状腺ホルモンも。
プルトニウム (Pu) Plutonium	DTPA	DTPA、 CaEDTA、 DFOA	DTPAが入手困難ならばCaEDTA を用いる。早期にはDFOAも用い らる生物学的半減期は、肝で40 年、骨は100年である。

内部被ばくの選択薬剤 2

核種	直後の処置	考慮すべき薬剤	注意
ルテニウム (Ru) Ruthenium	洗浄、下剤	クロールサイアザイド DTPA	クロールサイアザイドは尿中排泄を増す。DTPAの効果は一定しない。
トリウム (Th) Thorium	DTPA	DTPA DFOA	DTPA、DFOAは可溶性成分に有効で、排泄を増加。二酸化トリウムには、有効な治療はない。
トリチウム (H) Tritium	洗浄 多量の水分を採らせる	利尿剤	
ストロンチウム (Sr) Strontium	洗浄 直ちに磷酸アルミニウムゲル又は水酸化アルミニウムゲル100mlを飲ませる。 硫酸マグネシウム10g服用により、消化管停留を短縮し、吸収を減少。	安定ストロンチウムステロイド剤 Potassiumrhodizoate(C ₆ O ₂ K ₂) ブレドニン	乳酸ストロンチウム500-1500 mg/日を経口投与し、連日数週間続ける。創傷汚染は、いかに小さくとも見逃してはならず十分水洗いするがPotassiumrhodizoate 1gを撒布すれば、Srは局所的に不溶性となり、吸収されない。コルチコステロイド投与は、放射性ストロンチウムの尿中排泄を3倍に増加。ブレドニン経口5-20mg/日、又はメチルブレドニゾロン10-40mg静注。
ウラン (U) Uranium	DTPA	DTPA 重炭酸ナトリウム	DTPAは4時間以内が有効である。重炭酸ナトリウムは、腎を保護する。
亜鉛(Zn) Zinc	DTPA、洗浄	DTPA	DTPAが入手困難ならば、CaEDTAを用いる。

医療対応における 放射線防護と管理

放射線事故医療対応

時間；30分

内容

- 放射線防護の目的
- 外部被ばく、内部被ばく、体表面汚染への対策
- 線量限度
- 測定器
- 汚染検査
- 処置室の準備
- 処置後の対応

医療対応時の放射線防護の目的

- ◆ 無用な被ばくをしない
 - ◇ 確定的影響の防止と確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させる
 - ◇ 外部被ばくの防護
 - 個人被ばく線量管理、空間線量率の測定
 - ◇ 内部被ばくの防護
 - 呼吸保護
- ◆ 二次災害の予防
 - ◇ 対応者の無用な被ばくの防止
 - ◇ 汚染拡大防止：汚染検査、除染、施設の養生
 - ◇ 関係機関での安全・危険情報の共有

原子力災害時の放射線防護の目的は、外部被ばく防護と内部被ばく防護による無用な被ばくをしないことと、二次災害の予防です。具体的には、確定的影響の防止と確率的影響の低減となるリスクを合理的に達成できる程度に減少させることとなります。

放射線防護の方法は、外部被ばくの防護と内部被ばくの防護に分けられます。さらに二次災害の予防として汚染拡大防止対策を講じます。

放射線による外部被ばく対策



- ❖ 放射線を体の外から浴びる
- ❖ 一度に大量に浴びると危険 ⇒急性障害
- ❖ 放射線災害では、ガンマ線（ γ 線）に注意
- ❖ **空間線量率**で危険性を把握



- ❖ **個人線量計**で被ばく管理
 - ◇ 活動中の被ばく線量の測定
 - ◇ 被ばく線量限度と警報値の設定
- ❖ 浴びてしまったら、なかったことにはできない



外部被ばくとは、放射線を身体の外から浴びることで、一度に大量の放射線を浴びると急性障害を発生し、危険です。

放射線事故、災害、テロの対応では、ガンマ線に注意し、空間線量率を測定して、その場所の危険性を把握します。また、外部被ばくは個人線量計で管理します。外部被ばくは被ばく時間を短くする、または線源から離れる、もしくは遮蔽することで、被ばく線量を抑えることができます。しかし、放射線を外部被ばくした場合、浴びてしまった放射線量を減らすことはできません。

外部被ばくの防護三原則



時間

作業時間を短くする。

被ばく線量は時間とともに増えます。被ばく時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。



距離

線源からできるだけ離れる。

放射線の強さは遠くに離れると弱くなり、線量は距離の2乗に反比例して減ります。



遮へい

線源と人の間に遮へい体を置く。

物体を間に置くと放射線を弱めてくれます。建物の壁などは遮へい体になり、空間線量率が低くなります。

外部被ばく防護のポイントは「時間」「距離」「遮へい」です。被ばくする時間を短くする、放射線源からの距離をとる、放射線を遮へいすることで、被ばく線量が低減できます。

放射線にさらされる活動時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。

放射線は、放射線源からの距離の二乗に反比例して減少します。そのため放射線源からの距離をとることで被ばく線量を少なくすることができます。逆に、放射線源からの距離が半分の位置(1/2の距離)に近づくと放射線量は元の位置の4倍になり、急激に空間線量が上昇することになるため、特に危険区域での活動時には注意が必要です。

放射線源との間に遮へい物があると放射線量は減少します。コンクリートの壁、鉄や鉛の金属の板などがあれば、遮へい材として使用できます。放射線源の位置、形状が明確であれば、鉛のブロックなどで線源を囲むことによって周辺の空間線量率を低減することもできます。

個人被ばく線量計



電子式個人線量計



汚染させないように防護服の中あるいはビニール袋などに入れて装着する。

- ・ 活動中の**被ばく線量の積算値**
- ・ 装着の方向を確認する。
- ・ アラームの設定ができる。
- ・ アラーム音は小さいため、聞こえない場合がある。
- ・ 誤計数の可能性があるため、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。

電子式・直読式の個人線量計を用いると、被ばくの積算線量がリアルタイムで表示されるので、一定期間ごと、あるいは作業ごとに、自分の線量を知ることができます。また、被ばく線量があらかじめ設定した値に達すると、アラームや振動で着用者に知らせてくれる、アラーム付きのポケット線量計もあります。放射線の事故や災害などの緊急時の対応にはアラーム付きのポケット線量計を使用します。

男性は胸部に、女性は妊娠の可能性も考慮し腹部に付けることが一般的です。個人線量計は汚染させないように防護服の内側に、向きを確認して装着します。誤計数の可能性があるため、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します。

個人線量計には、光刺激ルミネッセンス (OSL) 線量計、ガラス線量計といったタイプのももあります。これらは、一ヶ月等の一定期間、身につけて、積算線量を測定するもので、リアルタイム値は表示されません (現像しないと分からない写真フィルム、のようなイメージに近いです)。

線量限度

一般職国家公務員の被ばく線量限度と健康管理は、人事院規則10-5「職員の放射線障害の防止」（昭和38年9月25日）に基づいて実施される。

災害・テロ対処では、放射線被ばくが“0”（ゼロ）は、ありえない。そのため線量限度が設定されている。

区 分	実効線量限度	等価線量限度
国家公務員	100 mSv/5年 (50mSv/年) 女子 5mSv/3月 妊娠中の女子（出産までの内部被ばく） 1mSv	水晶体：150mSv/年 皮膚：500mSv/年 妊娠中の女子（出産までの腹部表面） 2mSv
	緊急作業：100mSv	水晶体：300mSv 皮膚：1Sv
一般公衆	1mSv/年	水晶体：15mSv/年 皮膚：50mSv/年

ICRPの放射線防護の考え方及びその勧告に基づき、放射線障害の防止に関する法令で放射線を職業的に扱う人（放射線業務従事者）に対し、線量限度を定めています。国家公務員の場合は、人事院規則10-5（職員の放射線障害の防止）で被ばく線量限度が定められています。また、放射線業務従事者である個人の線量のほか、公衆に対する線量の寄与を把握するため、事業所の境界や、放射線を取り扱う管理区域の境界など、場所についての線量も定められています。

放射線業務従事者の線量限度は、男性では1年間で50mSv、5年間で100mSv、女性の場合は、3ヶ月で5mSvと定められています。人命救助などの緊急作業では100mSvです。一般公衆の線量限度は、1年間で1mSvです。

原子力災害や放射線事故、災害の現場活動では、被ばくを“0（ゼロ）”とすることはできません。このため、線量限度を越えないように活動計画では被ばく線量を管理しなければなりません。また、無用な被ばくをしないように対処することも重要です。

空間線量計

						
種類	NaIシンチレーションサーベイメーター	電離箱式サーベイメーター	RadEye PRD-ER (NaI検出器)	RadEye G-10 (GM検出器)	中性子サーベイメーター	HDS-101G/GN (CsI(Tl), 半導体, LiI(Eu))
測定原理	励起作用	電離作用	励起作用	電離作用	³ He比例計数管	励起作用、半導体
検出対象	γ線	γ線、β線	γ線	γ線	中性子線	γ線、中性子線
単位	μSv/h	mSv/h, Sv/h	cps, μSv/h, mSv/h, Sv/h	μSv/h, mSv/h, Sv/h	μSv/h, mSv/h, Sv/h	Sv/h, mSv/h
測定範囲	B.G.~30μSv/h	0.03mSv/h~1Sv/h	0.01μSv/h~100mSv/h	0.05μSv/h~100mSv/h	0.01μSv/h~10mSv/h	0.01~100μSv/h 拡張 0.1~10mSv/h
光子エネルギーの範囲	50keV~3MeV	30keV~2MeV	60keV~1.3MeV	45keV~1.3MeV	0.025eV~約15MeV	γ線:30keV~3MeV 中性子線:0.025eV~15MeV
時定数 応答時間	時定数 3秒 10秒 30秒	応答時間 5秒以内	反応時間 < 150 cps:16秒 151~400 cps:4秒 > 400 cps:1秒	応答時間 B.G.~1μSv/h~:60秒 B.G.~3μSv/h~:20秒 B.G.~10μSv/h:3秒	各指示範囲で標準偏差10%以内となるよう設定されている	
保護レベル	なし	なし	完全防塵/耐噴流 IP65	完全防塵/耐噴流 IP65		耐衝撃/耐振動/防水 IP54
動作時間/周辺温度			-20~+50°C	-20~+50°C	-10~+45°C	-20~+50°C

放射線を測定する場合、測定する目的と測定の対象とする放射線の種類によって、適切な測定機器を選ぶ必要があります。適切な放射線測定器を選択していないと、過剰な被ばくをしたり、身体汚染を起こすこととなり、注意する必要があります。


放射線を測定する目的は、

- ・空間放射線量率の測定
- ・表面汚染の測定
- ・個人被ばく線量の測定 があります。

空間放射線量率の測定に適している測定器は、ガンマ(γ)線を測定する場合は、NaIシンチレーション式、電離箱式、GM計数管式です。中性子線の空間放射線量率を測定する場合、³He計数管式(レムカウンタ)です。

また、放射線測定器は、それぞれ測定原理、測定範囲、応答時間等が異なります。測定目的に応じて、適切な測定器を選択します。

放射性物質による内部被ばく対策

- 
- 吸入摂取
経口摂取
経皮（創傷）吸収
- ❖ 放射性物質を体内に取り込んで被ばく
 - ❖ 急性障害はない
 - ◇ 線量評価は、体の中に取り込んだ放射性物質の量から今後50年間で被ばくする量
 - ◇ 体外計測、バイオアッセイで評価
 - ❖ 頭部・顔面に汚染があれば内部被ばくを疑う
 - ◇ 表面汚染検査で可能性をチェック
 - ◇ 鼻腔スワブ
 - ❖ 体内に取り込まないように呼吸保護



内部被ばくは、放射性物質を吸入したり、経口摂取して体内に取り込んで被ばくすることである。内部被ばくは、放射性物質が体内に存在している間は、被ばくし続けることになるが、一度に被ばくすることではないため、急性の症状が出ることはほとんどない。

また、頭部や顔面に汚染がある場合は、放射性物質が浮遊した空間を移動して呼吸によって放射性物質を吸入した可能性がある。そのため、表面汚染検査、鼻腔スワブの検査で内部被ばくの可能性を確認する。

内部被ばくの防護は、呼吸保護をする。

放射性物質による表面汚染対策



汚染の濃度が極端に高くない限り、全身または皮膚の被ばくの症状は出ない

- ❖ 放射性物質が体表面、衣服等に付着した状態
- ❖ 表面汚染では危険な外部被ばくはしない
- ❖ 浮遊した放射性物質による内部被ばくに注意
- ❖ 放射線災害で汚染があれば汚染拡大防止
 - ◇ 養生
 - ◇ 汚染検査
- ❖ **表面汚染計**で測定
- ❖ **防護服**で皮膚、衣類への付着を防止
 - ◇ **防護服で外部被ばくは防護できない**



放射性物質が体表面、衣服、資機材等に付着した状態が表面汚染です。体表面の汚染からの放射線は、それほど強くないため、危険な外部被ばくはしません。

放射線災害で汚染が関与していれば、汚染拡大防止を行います。そのためには表面汚染系で汚染の程度を測定し、防護服で皮膚、衣類等への付着を防止します。

防護服は、タイベックスーツの他に、アイソレーションガウンなどを使用しても良いです。

汚染検査

- ❖ 表面汚染検査は、物体や身体、衣服などに付着した放射性物質の量を測定
- ❖ 表面汚染の程度を測る測定器は、測定器に入ってきた放射線の数をもとに1分間当たりあるいは1秒間当たりの計数として表示
 - ◇ 単位；は min^{-1} 、cpm (count per minute)、 s^{-1} 、cps (count per second)
- ❖ 表面汚染の測定器の種類
 - ◇ GM計数管式サーベイメータ；ベータ線、ガンマ線の表面汚染を測定
 - ◇ ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータ；アルファ線の表面汚染を測定



GM計数管式サーベイメータの例

表面汚染検査は、物体や身体、衣服などに付着した放射性物質の量を測定します。

表面汚染の程度を測る測定器は、測定器に入ってきた放射線の数をもとに1分間当たりあるいは1秒間当たりの計数として表示し、単位は min^{-1} 、 s^{-1} などを使用します。測定器の種類には、GM計数管式サーベイメータ、シンチレーション式サーベイメータがあります。ベータ線の表面汚染の計測には、GM計数管式サーベイメータが用いられ、アルファ線の表面汚染の計測には、ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータが用いられます。ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータでは、ベータ線は測定できませんし、GM計数管式サーベイメータでは、アルファ線は測定できません。

身体の汚染検査

- ❖ 検査は、2人 or 3人 1組が望ましい。
- ❖ GMサーベイメーターを使用して体表面汚染を検査する。
- ❖ 頭部からつま先まで検査する。
- ❖ 身体表面から約1 cm離し、1秒間に5 cm程度のゆっくりした速さで、検出部を移動
- ❖ 全身の汚染検査には5～10分程度必要
- ❖ 汚染の箇所と数値を記録する。



身体の汚染検査では、GM計数管式サーベイメーターを使用して、全身を測定します。原則として、検査は2人1組で行い、1人が測定を、もう1人が記録を行います。要員に余裕があれば、検査員2人が協力して検査し、時間短縮が可能です。

全身汚染検査では、頭からつま先、背中側をまんべんなく検査します。このため、全身汚染検査には、一人当たり約10分ほど時間を要します。

簡易汚染検査では、頭部、顔面、肩、手指、靴といった汚染が付着しやすい部位を検査します。この場合は、全身汚染検査よりも検査時間を短縮することができます。

汚染検査の結果を記録用紙に記載します。

口角、鼻周囲などの開口部に汚染が確認された場合は、放射性プルームの吸入が疑われますので、体内汚染の有無を判断するために、鼻腔スワブを綿棒で採取します。汚染検査の結果、有意な体内汚染の可能性が高いと判断された場合は、WBC（ホールボディカウンター）や甲状腺モニターによる内部被ばくの評価が必要となります。これらの検査は、被ばく医療機関等に設置されているWBC、甲状腺モニターを利用します。

記録用紙の例

実習 汚染検査		スクリーニング測定記録票	
氏名	被検者A	<p>汚染箇所を○で囲む</p> <p>除染後の結果も記載する。</p>	<p>記入例</p>
測定年月日	平成23年12月6日		
時間	16:30 ~ 18:40		
測定器機種	GMサーベイメータ TGS-136		
測定器番号	装置3-3		
B.G値	70 cpm		
測定者氏名	*** **		
記録者氏名	*** **		
除染	①・不要		
備考			

除染後の値について、除染回数を○で、数値を（）内に記載する。

記録用紙には、被検査者氏名、測定年月日、時間、測定器機種、測定器番号、バックグラウンド値、測定者氏名、記録者紙面、除染の要否等を記載します。これらの情報があれば、後日、表面密度を求めることも可能となります。測定結果は、汚染のある部位を○で囲み、計数値を記載します。除染した場合は、除染の回数を○で示し（例；1回目の除染①、2回目の除染②）、除染後の計数値を記載します。

表面汚染の測定時の注意点

- ❖ プローブ（検出部）を汚染しないようにビニール袋、ラップ等で覆う。
- ❖ 消音とする。

距離を一定に保つ



- ・測定する表面からの距離が離れると測定値が小さくなる。
- ・除染前後で距離が異なると、正確な比較ができない。

角度を一定に保つ



- ・測定する表面と検出部の角度が異なると、検出部との距離も異なる。
- ・測定器への放射線の入射方向によって感度が異なる。

速度を一定に保つ



- ・時定数や応答時間を意識する
- ・早く動かすと、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまう。

測定器のプローブ（検出部）に放射性物質が付着しないようにします。通常はビニール袋やラップなどで覆い、汚染したらこのビニール袋等を交換します。

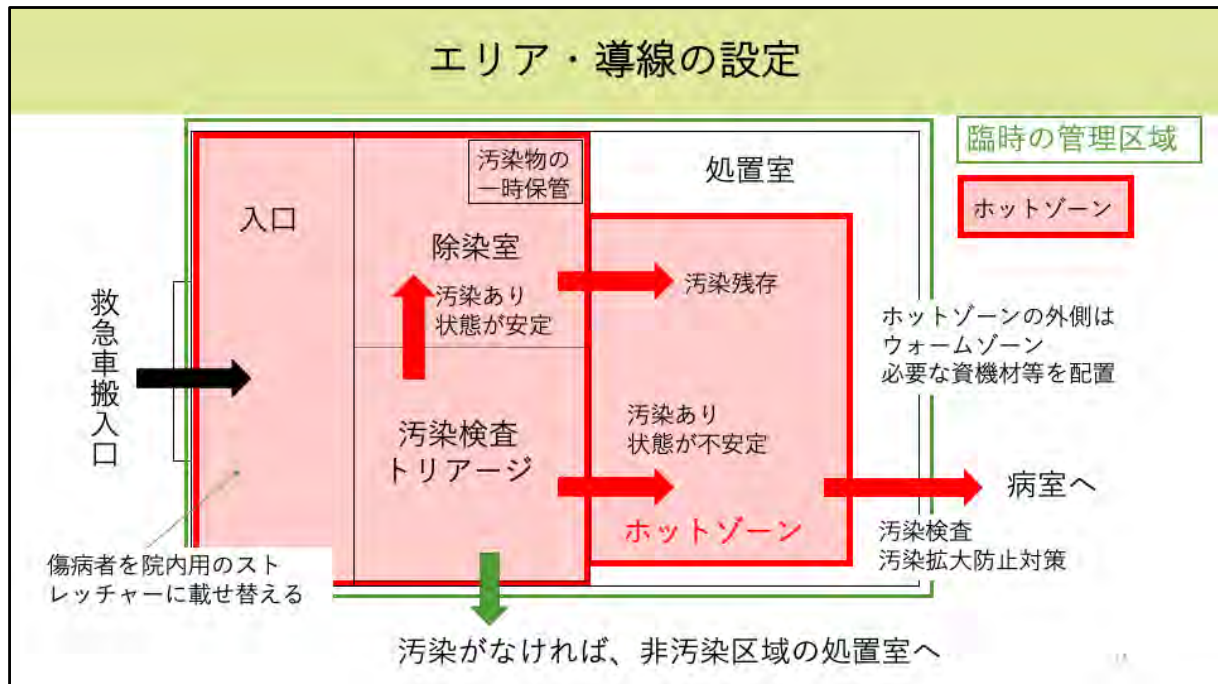
また、被災者の放射線被ばくに対する不安を考慮して、サーベイメータのスピーカーはオフにします。

測定時は、測定の対象物から一定の距離を保つこと、角度を一定に保つこと、ゆっくり動かすことに注意します。

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

GMサーベイメータは、検出部の窓以外からはベータ線が入射しません。表面と検出部の角度が異なると検出部との距離も異なります。そのため、表面と検出部の角度を一定に保ちます。

表面汚染検査では、検出部は1秒間に5～6cmの距離を動かします。速度が速すぎると、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまいます。



汚染のある傷病者の診療エリアは、汚染拡大防止対策と放射線管理が行えるように、一方通行の導線、汚染のない区域との交差をしない導線となるようなエリアを設定します。救急車からの搬入口が近い場所、救急医療の処置が可能な場所が望ましいです。

診療エリアには、院内用のストレッチャーに載せ替える入り口のスペース、汚染検査やトリアージを行うスペース、除染室（除染テントでも代用可能）、汚染のある傷病者の処置室、汚染物の一時保管場所等を設定します。これらはホットゾーンとなります。医療機材等はホットゾーンの外側に配置し、汚染拡大防止対策を講じます。除染後には、汚染検査あるいは汚染拡大防止対策を実施して、入院病室等へ移動させる導線を確保します。汚染傷病者の診療エリアは、処置後の汚染検査が終了するまで臨時の放射線管理区域として設定し、対応します。

養生（例）

- ❖ 汚染のない患者を移動させる
- ❖ 必要のない資機材を移動させるかカバーをかける
- ❖ 資機材に耐水性、使い捨てのカバーをかける
- ❖ 傷病者が到着する前に資機材、測定器の動作確認チェック
- ❖ バックグラウンドの確認
- ❖ 管理区域を設定する



入り口から処置室までの廊下の養生



処置台

廃棄物用コンテナ
ゴミ袋等は多めに必要

床；ビニールシートとろ紙シートで二重に養生（被覆）

養生

医療施設や機材が放射性物質によって汚染されないようにビニールシート等で予め被覆しておくこと

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)

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。ストレッチャーはや処置台には、複数枚のシーツをかけておくと、脱衣や除染で汚染した場合に、1枚のシーツを取り除いても、問題ありません。モニター類は、検知部分以外は可能な限り養生しますが、画面等は、操作あるいは表示を確認できるようにしておきます。

医療機材の養生

❖ ポータブルX線撮影装置



❖ 超音波診断装置



❖ 表面汚染計



フィルムカセットはビニール袋で養生

❖ モニター等



16

医療機材は、その機能や操作の妨げにならない程度に養生します。

活動後の対応

❖ 汚染エリアからの退出

- ◇ 外側の手袋とテープをとる
- ◇ 帽子とマスクをとる
- ◇ 内側を外にするように巻きながらガウンを脱ぐ
- ◇ 靴カバーを内側を外に巻きながら脱ぐ
- ◇ 足底の汚染検査を行ってから、足をコールドゾーンにつける
- ◇ 汚染検査



ホットゾーンでの処置が終了したら、対応した医療スタッフは防護服を脱衣し、汚染検査を実施してホットゾーン、臨時の管理区域から退出します。

防護服の脱衣は次の順番で行います。

1. 外側の手袋とテープをとる
2. 帽子とマスクをとる
3. 内側を外にするように巻きながらガウンを脱ぐ
4. 靴カバーを内側を外に巻きながら脱ぐ
5. 足底の汚染検査を行ってから、足をコールドゾーンにつける

処置室の復帰

1. 処置室から廃棄物を移動する
2. 処置室の汚染検査
3. 必要であれば除染
 - ◇ 通常の清掃と同じ
 - ◇ 再度、汚染検査を実施する
4. 管理区域の設定を解除する

❖ 汚染のある廃棄物

- ◇ 汚染のない廃棄物とは区別する
- ◇ 放射性物質の付着している廃棄物はビニール袋もしくはコンテナに入れる
- ◇ ビニール袋あるいはコンテナをサーベイする
- ◇ 放射性物質の廃棄物からの被ばくを避けるために壁での遮蔽や距離をとる



すべての処置が終了したら、ポットゾーンと管理区域を設定した処置室を復帰させます。

まず、廃棄物をすべて臨時の保管場所に移動させます。その後、処置室の床、資機材などの汚染検査を行います。汚染があれば除染しますが、あらかじめカバーなどをしていた場合は、そのカバーを取り外します。床などに直接汚染が付着している場合は、通常の清掃と同じようにモップや布などで除染し、除染後に再度汚染検査を行います。

すべての汚染検査が終了したら、管理区域の設定を解除します。

汚染のある廃棄物は、ビニール袋やコンテナに入れ、汚染が拡散しないようにします。さらに容器の外側の空間線量率を測定し、保管場所の安全を確認します。保管場所は可能なかぎり個室や人の通行から離れた場所にします。

退出後に汚染が見つかったら・・・

- ❖ 汚染している可能性のあるエリアを全て閉鎖する
 - ◇ 患者や職員の動線から推定
- ❖ エリア内の職員は、汚染検査を実施後、エリア外へ出る
- ❖ エリア内の施設、資機材の汚染検査を実施
- ❖ 汚染があれば除染する
- ❖ 汚染が広がっていても、その後の検査、除染をきちんとすれば問題ない

処置後や活動後にホットゾーンや管理区域を退出した後に汚染が発見された場合は、汚染している可能性のあるエリアを全て閉鎖します。

エリア内の職員は、汚染検査を行った後にエリア外へ出ます。エリア内の処置室や施設、資機材の汚染検査を行います。汚染があれば除染します。

汚染が後から発見されても、その後の検査、除染をきちんと対応すれば問題ありません。

まとめ

- ◆ 対応者の安全
 - ◇ 外部被ばくの防護
 - ◇ 内部被ばくの防護
- ◆ 汚染拡大防止
 - ◇ 対応者；个人防护装備、汚染検査
 - ◇ 施設；養生

被ばく医療

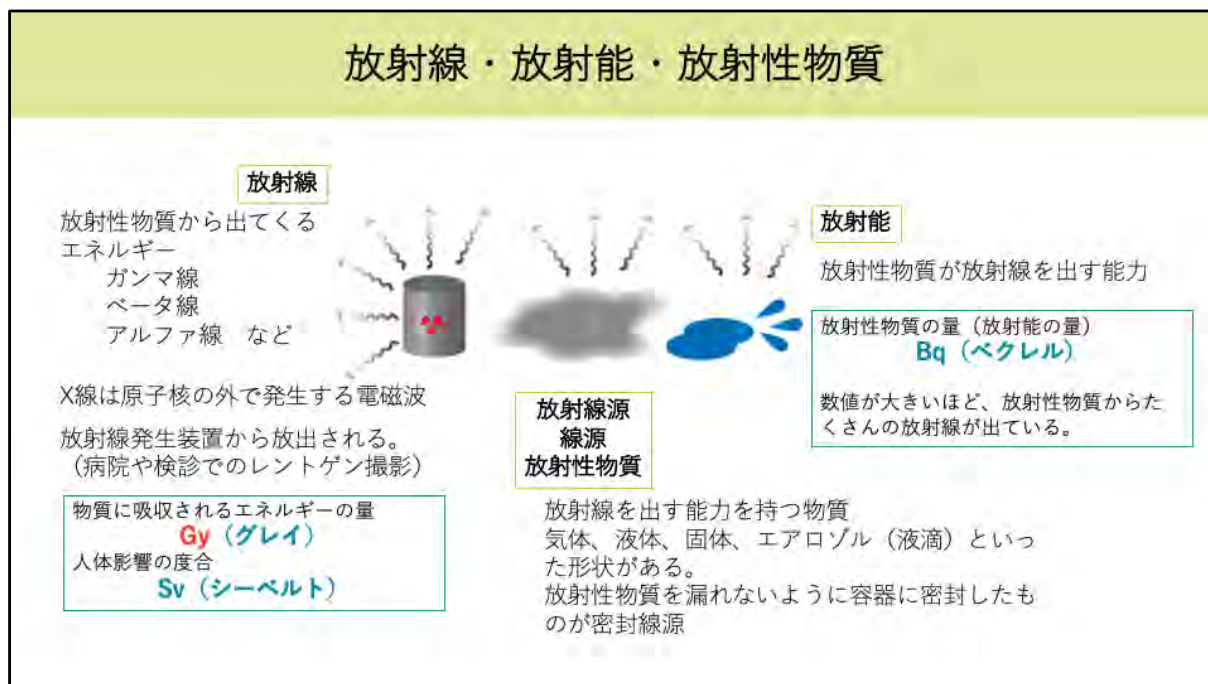
放射線事故医療対応

時間；45分

内容

- 放射線の基礎
- 放射線の人体影響
- 放射線テロ・災害の種類
- 被ばく医療の概要
- 被ばく医療の実践

放射線・放射能・放射性物質



放射線とは、放射性物質から出てくるエネルギーです。種類としては、高いエネルギーを持つ電磁波のガンマ線、エックス線と高速で動く粒子線のアルファ線、ベータ線などがあります。中性子線は、電荷を持たない放射線です。放射線は原子核が不安定な状態から安定な状態に変化(壊変)するとき放出されたり、原子核以外では発生装置からも放出されます。

原子は原子核とその周りを回る電子から構成されており、原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されています。原子核がエネルギー的に不安定な場合、安定になるようとして放射線を放出します。原子核から放射線を放出することを壊変といい、壊変は大きく分けると α (アルファ)壊変と β (ベータ)壊変があります。



放射線は五感で感じることはできませんが、測定器で検知、計測ができます。

放射性物質とは、放射線を出す物質のことです。形状としては気体、液体、固体などがあります。放射性物質を放射線源ということもあります。

放射性物質が放射線を出す能力のことを放射能といいます。放射能の単位はBq(ベクレル)であり、数値が大きいほど放射性物質からたくさんの放射線が出ていることとなります。

また、放射線の強さを放射線による人体への影響の度合いで表す単位がSv(シーベルト)となります。

放射線被ばくと汚染

被ばく	汚染
<p data-bbox="264 456 480 483">放射線をあびること</p>  <p data-bbox="264 622 432 649">外部被ばく</p> <p data-bbox="552 663 655 689">内部被ばく</p> <p data-bbox="277 712 727 891">外部被ばくとは、放射性物質（線源）から放出される放射線を体の外から浴びること。 被ばく後、身体には放射線は残らない。 ・ 全身被ばく；全身あるいは体幹部に被ばくした場合 ・ 局所被ばく；体の一部分が被ばくした場合 内部被ばくとは、身体に取り込んだ（吸入、摂食）放射性物質からの放射線を体内で浴びること。</p>	<p data-bbox="1043 456 1326 483">放射性物質が付着すること</p>  <p data-bbox="839 689 1294 837">放射性物質が皮膚や衣類に付着すること。 汚染に接触すると汚染は広がる = 汚染拡大 噴霧、放出された放射性物質を吸入すると内部被ばくにつながる。同時に頭部、顔面の汚染も存在する人が多い。</p>

放射線を浴びる事を放射線被ばくと言います。

体の外から放射線を浴びるのが外部被ばく、放射性物質を体内に取り込んで体の中から放射線を浴びることが内部被ばくです。

外部被ばくには、全身あるいは体幹部の重要な臓器の大部分を被ばくする全身被ばくと、手指や四肢の一部など身体の一部だけを被ばくする局所被ばくがあります。局所被ばくでは、被ばくした部分の皮膚や骨の影響が現れます。

内部被ばくには、吸入摂取、経口摂取、経皮（創傷）吸収の3つの経路があります。

放射性物質が体の表面や衣服等に付着した状態が汚染です。頭部や顔面に体表面汚染がある場合は、噴霧あるいは放出された放射性物質を吸入したり、放射性物質が浮遊していた空間に滞在していた可能性があるため、内部被ばくの可能性も考えます。

体表面汚染のある部位からは、放射線を検知できますが、局所被ばくの症状が出現するほどの被ばくは通常はありません。ただし、とてもエネルギーが高い放射性物質が高濃度に付着した場合は、皮膚障害が出現することもあります。表面汚染がある人から、周囲の人が外部被ばくするのはとても低いレベルです。

汚染に接触すると接触した手などに放射性物質が付着します。放射性物質が付着した手などで別の場所、部位を触ると放射性物質が触った場所、部位に新たに付着して汚染拡大するため、注意が必要です。

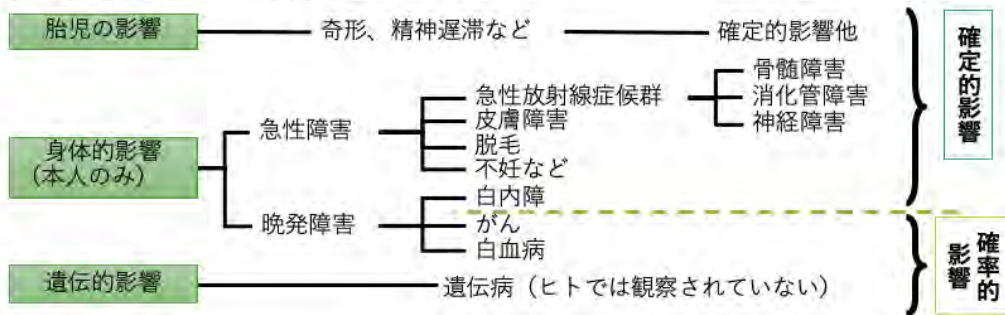
放射線の人体への影響

◆ 急性障害

- ◇ 急性放射線症候群：全身に短時間で1Gy以上の線量を被ばくしたときに生じる
- ◇ 放射線熱傷：放射線による皮膚障害、体の一部分の被ばくでも生じる

◆ 晩発障害

- ◇ 白内障：数年～十数年後に現れる目の症状
- ◇ 悪性腫瘍：がんや白血病など



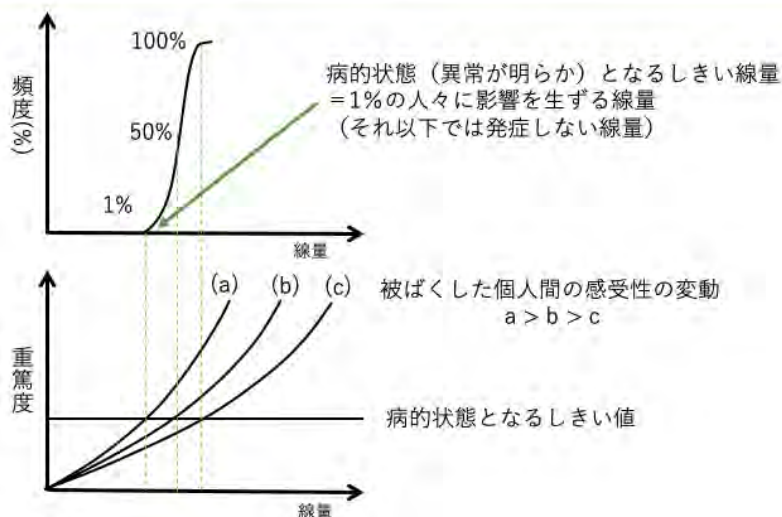
放射線の人体への影響は、医学的な観点から被ばくした本人に現れる身体的影響と被ばくした人の子孫に現れる遺伝的影響があります。遺伝的影響は人では観察されていません。

身体的影響は、被ばくした本人の体に症状が現れる時期によって急性障害と晩発障害に分けられます。急性障害は、被ばくして数週間以内に現れる症状で、全身に短時間で1 Gy以上の線量を被ばくした時には、骨髄障害、消化管障害、神経障害などの全身の症状が現れます。これを急性放射線症候群といいます。また、体の一部分だけを被ばくする事を局所被ばくといい、高線量の局所被ばくをした場合は、皮膚の障害として、熱傷のような症状が現れます。

被ばく後数年から数十年経ってから現れる症状を晩発障害といいます。晩発障害には、白内障、がん、白血病などがあります。

母親の胎内にいた時に被ばくした場合は、胎児の影響があり、奇形や精神遅滞などが現れます。

確定的影響（組織反応）



確定的影響とは、急性障害、胎児への影響及び晩発障害のうちの確率的影響以外のものをいいます。これらの影響は、大量の放射線を被ばくした場合に、死滅する多くの細胞を補う正常な細胞の分裂増殖が十分でないために発生すると考えられており、ある線量以上の被ばくを受けた場合のときだけに現れます。

この線量を「しきい値」といい、しきい値を超えた線量を被ばくすると、症状の現れ方には多少の個人差はありますが、誰にも同じように症状が現れます。

確定的影響の特徴を整理すると、次のようになります。

- ・症状は、しきい値以上の放射線を被ばくした場合に現れる。
- ・症状の重さは、被ばくした放射線の量に依存する。
- ・同じ程度の量の放射線を被ばくした人には、誰にでも同じような症状が現れる。

なお、症状の発生する頻度が1%の値をしきい値としています。

しきい値

影響	器官/組織	発症までの期間	受けた線量 (Sv)
罹患率:			1%の人に生じる
一時的な不妊	精巣	3-9週間	~0.1 ^{a,b}
永久不妊	精巣	3週間	~6 ^{a,b}
永久不妊	卵巣	< 1週間	~3 ^{a,b}
造血能低下	骨髄	3-7日間	~0.5 ^{a,b}
皮膚の発赤	皮膚 (広範囲)	1-4 週間	< 3-6 ^b
放射線熱傷	皮膚 (広範囲)	2-3 週間	5-10 ^b
一時的な脱毛	皮膚	2-3 週間	~4 ^b
白内障 (視力障害)	水晶体	数年	~1.5 ^{a,c}
死亡:			
骨髄症候群:			
- 治療なし	骨髄	30-60 日間	~1 ^b
- 適切な治療	骨髄	30-60 日間	2-3 ^{b,d}
胃腸の障害:			
- 治療なし	小腸	6-9日間	~6 ^d
- 適切な治療	小腸	6-9日間	> 6 ^{b,e,d}
肺臓炎:	肺	1-7ヶ月	6 ^{b,c,d}

放射線の確定的影響は、それぞれ被ばく後から発現するまでの期間としきい値が決まっています。この表はICRPによって示された、全身γ線被ばく後の成人の臓器および組織にかかわる罹病の1%発生率と死亡に対する、急性吸収線量のしきい値の予測推定値です。急性に1回で被ばくした場合の値です。

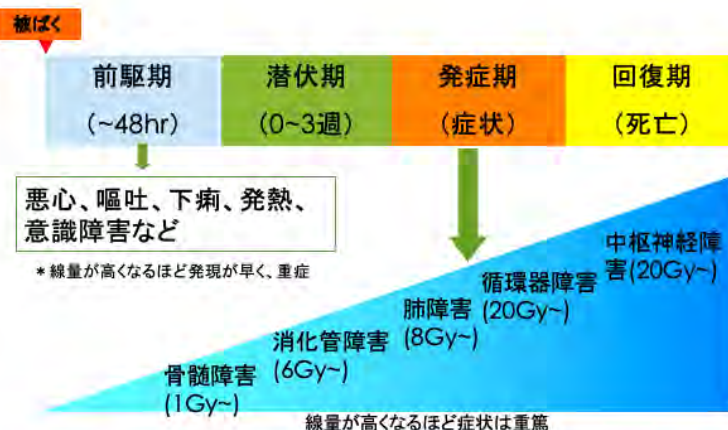
出典：ICRP Publication 103

- a) ICRP (1984)。
- b) UNSCEAR (1988)。
- c) Edwards と Lloyd (1996)。
- d) Scott と Hahn (1989) , Scott (1993)。
- e) ほとんどの数値は四捨五入してGy に丸められている。範囲は、皮膚については面積依存性が、骨髄については様々な補助的治療があることを示している。

急性放射線症 (Acute Radiation Syndrome, ARS)

❖ 短時間に全身被ばく (1Sv 以上) 後、数時間～数週間後に起こる臨床症状の総称
→ 多くの組織や臓器障害をおこす

❖ 特に細胞増殖の盛んな組織 (造血器、消化管粘膜、皮膚、生殖腺の幹細胞など) が影響を受けやすく、これらの臓器の障害による症状が主体



全身に1グレイ (1,000ミリグレイ、ガンマ線であれば1シーベルト) 以上の放射線を一度に受けた場合、急性放射線症と呼ばれる、一連の臓器障害をきたすことがあります。この時間経過をみると、典型的には、前駆期、潜伏期、発症期の経過をたどり、その後、回復するか、あるいは死に至ります。

被ばく後およそ48時間以内に見られる前駆症状により、およそその被ばく量を推定することができます。

1グレイ以上の被ばくで、食欲不振、悪心、嘔吐といった症状が見られることがあります。

4グレイ以上の被ばくをした場合、頭痛などを訴えることがあります。

下痢や発熱といった症状を示す場合は6グレイ以上被ばくした可能性があります。その後、潜伏期を経て、発症期に入ると、被ばくした線量に応じて造血器障害、消化管障害、神経血管障害の順で現れます。これらの障害は、放射線感受性の高い臓器や組織を中心に現れます。概して線量が多いほど潜伏期は短くなります。

皮膚は、大人で1.3~1.8m²と、大きな面積を持つ組織です。被ばく直後に初期皮膚紅斑がでることもありますが、一般には皮膚障害は被ばく後数日以上たってから現れます。

ARS 前駆症状と被ばく線量

	1~2Gy	2~4Gy	4~6Gy	6~8Gy	>8Gy
嘔吐	10-50% 2h以降	70-90% 1-2h	100% 1h以内	100% 30min以内	100% 10min以内
下痢	(-)	(-)	中等度 <10% 3~8h	重度 >10% 1~3h	重度 100% 1h以内
頭痛	軽度	軽度	中等度 50% 4~24h	重度 80% 3~4h	重度 80~90% 1~2h
意識	正常	正常	正常	混濁例あり	喪失 (50Gy↑)
体温	正常	微熱	発熱	高熱	高熱

臨床症状からの被ばく線量の推定としては、急性放射線症(ARS)の前駆症状の重篤度と発症時期による推定があります。

前駆症状の発現時期が早ければ早いほど、また症状が重篤であるほど、被ばく線量は高いことが推定されます。これは、医療機関で被ばく患者を受け入れた際に、大まかな状態と高線量被ばくの可能性を推定する際に役立ちます。

出典；IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より改変

ARSの治療方針

(Gy)	1-2	2-4	4-6	6-8	>8
治療	経過観察	入院, 速やかに 無菌室 へ			
	サイトカイン→	速やか(1W以内)にG-CSF かGM-CSF投与開始		GM-CSF/G- CSF+EPO+TPO	
	抗生物質など→	広域スペクトル抗生物質(潜伏期が終わる頃~), 抗真菌剤・抗ウイルス剤(必要に応じ), SDD(6Gy↑)			
	血液製剤→	成分輸血: 血小板, 赤血球(必要に応じて)			
	*1-2Gyが予測される場合、 線量が確定するまでは線 量がより高いことを想定 し対処する。	L-グルタミン, エレメンタリー-ダイエット投 与, 完全経静脈栄養, 電解質補正		血漿交換(必要に応じ第2または3週~) DIC の予防(必要に応じ第2週~)	
		骨髄移植 →	骨髄幹細胞移植(第1週)		

急性放射線症の治療は、症状と徴候、一般検査の結果、線量評価に基づき行います。治療法の多くは、放射線療法の副作用軽減法や治療法の転用、動物実験の臨床応用、数少ない治療経験などで、科学的根拠に基づいたものはほとんどありません。

骨髄障害に起因する感染症などの合併症を予防することが重要です。骨髄機能の回復が見込まれる1~4Gyの被ばくであれば、患者を無菌室に隔離し、注意深く発熱、出血、上咽頭痛や発赤、潰瘍などについての臨床的評価を行います。細菌学的検査を継続し、感染症が起こった場合に備えて、サイトカインを含む有効な治療薬を投与できるようにしておきます。被ばく線量が4~6Gyをコスト考えられる場合は、血液幹細胞が不可逆的に障害を受けている可能性が高いため、感染症対策を入院直後から実施します。さらに複数のサイトカインを組み合わせ治療を行います。また、入院後すぐに選択的消化管除菌(SDD、例えばtobramycin 80mg, polymyxin B 50万単位、amphotericin B 500mg)を行い、抗生物質の全身的投与を開始します。体表面の消毒を行なった後に、無菌室に隔離します。

3~10Gy程度の被ばく線量で造血幹細胞移植を行うことが考えられてきました。しかし移植両方の副作用とサイトカイン療法の発展から、移植の有効性が合理的に期待できるのは、6~10Gy程度と考えられています。移植の目的は、ドナー由来細胞が永久的に生着することではなく、一過性に生命を支持することです。

顆粒球コロニー刺激因子(G-CSF)や顆粒球マクロファージコロニー刺激因子(GM-CSF)は、被ばく後の患者の造血速度を促進するので、幹細胞が残っている場合には、骨髄移植を不要のものとする可能性があります。2~6(8)Gyの被ばくでは移植を行わずにサイトカイン療法を行います。

消化管障害の治療は、現時点では確立されておらず、輸液による電解質管理、完全静脈栄養、成分輸血などの対症療法が中心となります。

放射線肺臓炎は、8Gy以上の被ばくで発症頻度が増加します。被ばく後の軟部組織の硬化、繊維化を予防、治療するため、長期（半年から1年）にわたるペントキシフィリンとビタミンEの併用が有効であるとの動物実験および臨床研究の報告があります。

放射線皮膚障害

	熱傷	放射線皮膚障害（放射線熱傷）
症状	すぐに痛み 激しい炎症反応 患部の細胞死 組織の破壊	始めは痛みがない 被ばくの線量に応じて 症状の発現時期は異なる
障害の機序	高温による障害 蛋白凝固, 細胞 代謝障害, 局所 循環障害	放射線によるDNA損傷 (細胞の種類により感 受性は異なる)
エネルギー (2度熱傷)	大(4Cal/cm ²)	小 (0.0126Cal/cm ²):30Gy

- ❖ 皮膚障害の無自覚と深達度の判断の困難性
- ❖ 遅発性
 - ◇ 潜伏期（期間は被ばく線量による）がある
- ❖ 難治性
 - ◇ 例えば、中性子被ばく（線質），高線量被ばく（線量）などにより障害がより深達性となる
- ❖ 障害の反復性
 - ◇ 障害が反復したり，一度治癒した部分が血流障害の悪化により再度症状再燃する（～年単位）

放射線皮膚障害の症状は熱傷の症状と類似していますが、病態は異なります。放射線による障害は、基底細胞に強く出ます。基底層の細胞は分裂が盛んで、皮膚の再上皮化を起こす場所で、ここが放射線で損傷すると皮膚障害が発生します。通常、基底層から顆粒層へ細胞増殖のための移行時間が 14 ± 6 日、顆粒層から表層までには 18 ± 6 日かかります。

放射線皮膚障害の重症度を規定する因子は、放射線の線質、被ばく線量、皮膚の厚さ、年齢などがあげられます。 α 線の場合では、軟部組織表層からの透過距離は約0.04mmであり、表皮基底層には達しません。 γ 線、中性子線による障害は深層への透過性が極めて強く、皮膚、皮下組織、筋肉、骨にも達します。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

放射線皮膚障害の病期と初期変化

I	超急性期 ～7日	皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させる。
II	急性期 7日～6カ月	放射線によって引き起こされる表皮基底層のDNA障害は、潜伏期間（通常2～3週単位）を経て、2～3週間（細胞同期と同じ）ごとに細胞障害や組織死が段階的に進み、多彩な症状が続く。
III	慢性期 6カ月以上	表皮が再生した後は、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。

症状	線量(Gy)	発症(day)
紅斑	3-10	12-21
脱毛	>3	14-18
乾性落屑	8-12	25-30
湿性落屑	15-20	20-28
水疱	15-25	15-25
潰瘍	>20	14-21
壊死	>25	>21

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

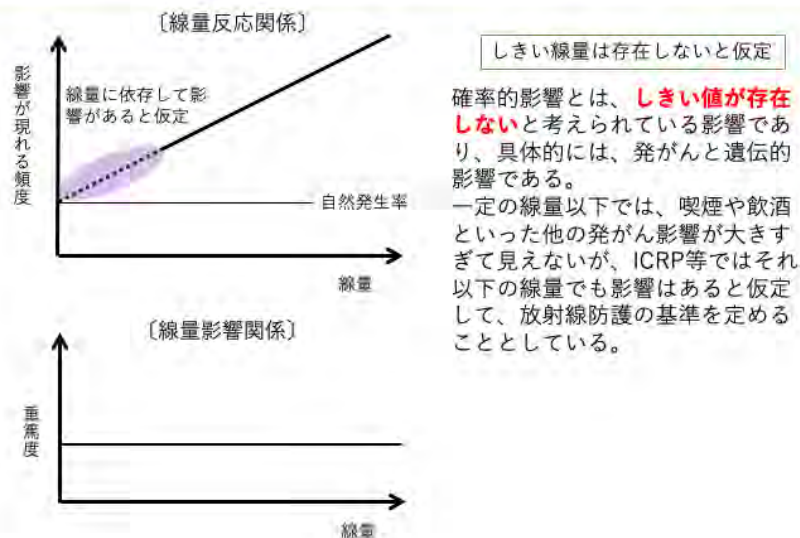
放射線皮膚障害の病気は、超急性期（7日未満）、急性期（7日以後～6カ月まで）、慢性期（6ヶ月以降～数年）に分けられます。

皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させ、全身組織へのケミカルメディエーターの放出が惹起されます。そのため浮腫や紅斑が出現します。

急性期の放射線皮膚障害の程度は、被ばく線量と被ばくした組織の放射線感受性によって決まります。10Gy前後では初期の皮膚症状（発赤、紅斑、浮腫）が3～4日で消退後、潜伏期の後、3週目ごろより再度、組織腫脹、掻痒感、発赤、疼痛感、市販などが現れます。進行は緩徐です。

慢性期では、表皮が再生した後、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。10Gy以上の被ばくによる皮膚障害では、一度障害された皮膚が上皮化した後も、再度皮膚障害が反復し、潰瘍や皮膚剥離がおきます。また、6カ月以上経過してから皮膚の繊維化や色素沈着などが出現します。真皮層には、多くの血管が存在します。血管内皮細胞は放射線感受性が高いため、被ばくした領域ではこれらの血管の内膜に障害が生じ、内膜の肥厚や微小血栓の形成を通じて微小循環障害や局所の血流障害を起こします。

確率的影響

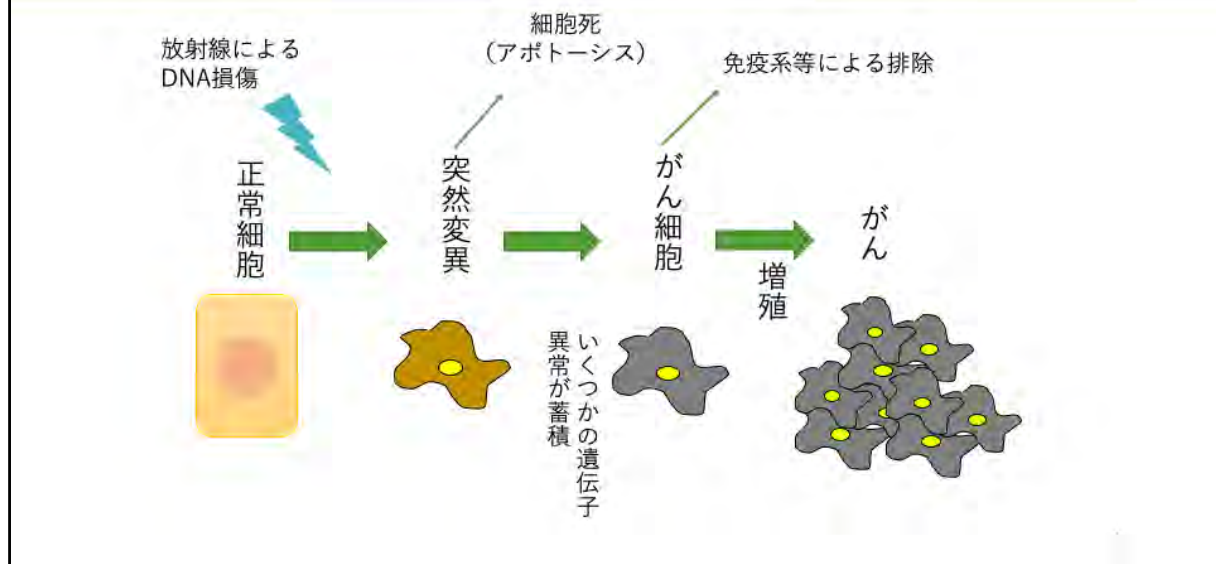


確率的影響とは、しきい値が存在しないと考えられている影響であり、具体的には、発がんや遺伝的影響です。

これらの影響には、細胞の突然変異が関わっています。遺伝的影響の場合、生殖細胞に1回、発がんの場合、ひとつの体細胞に数回の突然変異が生じることで起こります。つまり、確率的影響は細胞が一つでも性質を変えれば、発生する可能性があります。

放射線の被ばく線量と影響の間には、しきい値がなく直線的な関係が成り立つという考え方をLNT(Liner non-threshold)仮説といいます。

放射線と発がん

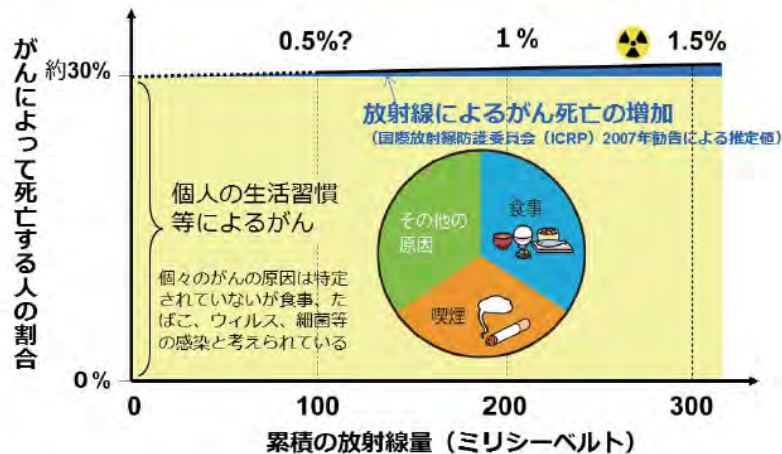


放射線ばかりではなく、様々な化学物質や紫外線等にもDNAを傷つける作用があります。しかし、細胞には傷ついたDNAを修復する仕組みがあり、大抵の傷はすぐに元どおりに修復され、また修復に失敗した場合でも、その細胞を排除する機能が体には備わっています。

ごく稀に、修復し損なった細胞が、変異細胞として体の中に生き残ることがあります。こうしたがんの芽は生じては消え、消えては生じといったことを繰り返します。その中でたまたま生き残った細胞に遺伝子の変異が蓄積し、がん細胞となることがありますが、それには長い時間が掛かります。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

放射線によるがんの増加



がんは放射線だけでなく、食事、喫煙、ウイルス、大気汚染など様々な要因によって発症すると考えられます。起こった個々のがんが放射線によるものであると特定することはできません。従って、放射線でがんが起きているかどうかを検証するには、多くの集団において、受けた線量とともにがんが起こる確率も上昇するかどうかを調べる必要があります。

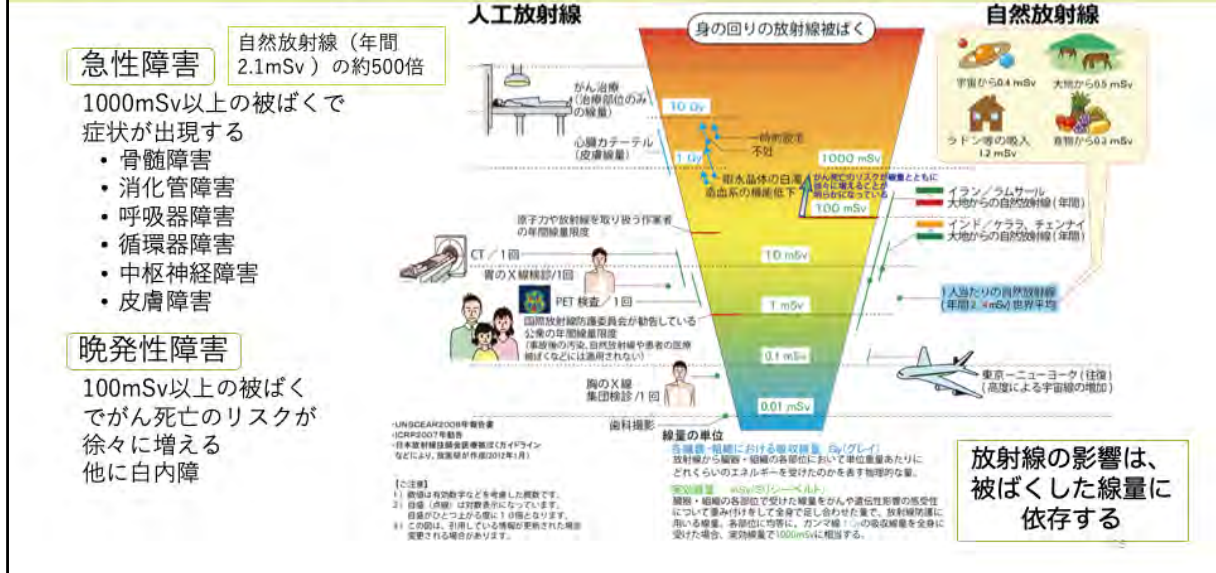
原爆被爆者を主とした疫学調査では、およそ100ミリシーベルト以上の線量では、線量とともにがん死亡が増加することが確認されています。およそ100ミリシーベルトまでの線量では、放射線とがんについての研究結果に一貫性はなく、放射線によりがん死亡が増えることを示す明確な証拠はありません。しかしながら放射線防護の目的のための慎重な考え方として、年間100ミリシーベルトまでゆつくりと被ばくする場合、放射線によるがん死亡が1,000ミリシーベルトあたりおよそ5%であるとされており、国際放射線防護委員会 (ICRP) もこれを妥当であるとしています。

日本人は元々約30% (1,000人のうち300人) ががんで亡くなっています。この国際的な推定値を用いると、仮に1,000人の方が100ミリシーベルト※の線量を受けたとすると、生涯にがんで亡くなる方が300人から305人に増加すると計算できます。ただし、ICRPは同時に、この仮定は確実ではないが起こる可能性のある障害を予防するという考え方であり、100ミリシーベルトよりもごく低い線量を合計して集団で出るがんなどの症例数を計算するといった影響の評価には不確実性が大きく、適切でないとしています。

*ここで言う100ミリシーベルトとは年間の被ばく線量ではなく、これまで受けた積算線量です。また、この100ミリシーベルトには自然界から受ける放射線量は含まれません。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

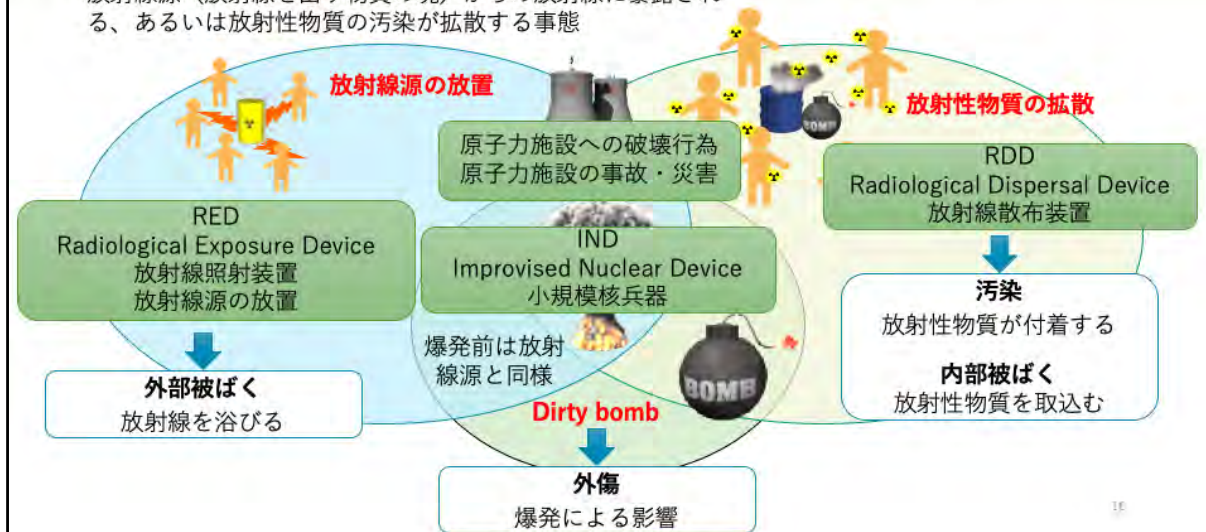
身の回りの放射線被ばくと影響



放射線の影響は、被ばくした線量に依存します。
身の回りの放射線被ばくの線量と影響を図にまとめたものを示します。

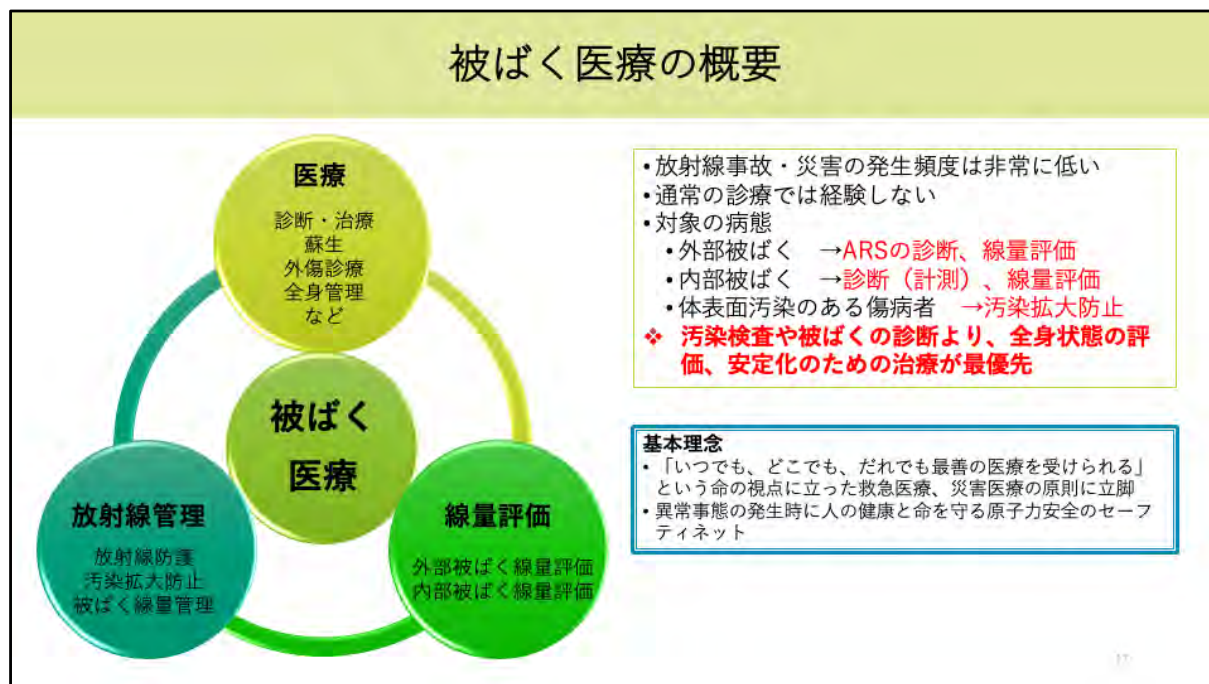
放射線テロ・災害の種類

放射線源（放射線を出す物質の塊）からの放射線に暴露される、あるいは放射性物質の汚染が拡散する事態



放射線のテロ・災害には、放射線源の放置による外部被ばく、放射性物質の拡散による汚染と内部被ばくを生じるものがあります。爆発物を使用した放射性物質の拡散の場合は、被災者に爆傷の被害が生じます。また原子力施設の破壊行為や核兵器の使用では、外部被ばく、内部被ばく、汚染の全てが混在して生じることになります。

被ばく医療の概要



被ばく医療の対象は、原子力施設あるいは原子力災害、放射線事故、放射線テロ等で、外部被ばく、内部被ばくをした傷病者と体表面汚染が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、原子力災害時等が発生した場合に、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。

病院での緊急被ばく医療

計画

- ・院内マニュアルの整備
- ・教育、訓練

準備

- ・事故発生後の情報収集
- ・受け入れ施設の準備（臨時の管理区域設定を含む）、資機材の準備
- ・スタッフの防護

診療

- ・傷病者の受け入れから処置
- ・汚染の程度、被ばくの線量評価

復帰

- ・个人防护装備の脱衣
- ・施設の復帰

病院での緊急被ばく医療としての初期対応の流れを示しています。

できれば、院内マニュアルを整備し、関係者に教育、訓練を行います。

実際に事故等が発生し、被ばくあるいは汚染した傷病者を受け入れる場合は、施設、スタッフの準備を行い、診療後には、スタッフ及び施設の汚染検査等を行い、施設を元どおりに復帰させます。

患者受け入れの準備

外傷診療	汚染患者診療
ホットラインでの情報収集	被ばく、汚染に関する情報収集
受け入れ決定、助言	脱衣、被覆等の助言
スタッフ招集、情報共有、役割分担	HOT、COLDの役割分担
蘇生用具一式、加温した輸液類	養生（汚染拡大防止）・除染の資機材
各種モニター	放射線測定器
ポータブルエックス線撮影装置、超音波診断装置	汚染対策（エリアの設定、施設・医療機材の養生）
感染に対する標準予防策	PPE(個人防護装備、個人線量計)

被ばくあるいは汚染のある傷病者の受け入れが決定したら、計画に基づいた受入れ準備を開始します。

被ばく医療の専門的知識や技能を有した医療従事者を参集し、得られた情報を共有します。

また、施設や現場の救急隊員から患者情報、事故の状況などの情報を収集し、事業所の放射線管理要員の同行を要請します。

医療機関では、放射線管理や汚染検査に慣れている診療放射線技師が施設と対応者の放射線管理を担当します。また、放射線測定器、除染用資機材、医療資機材を準備します。

医療機関での対応

- ❖ 外部被ばく → 前駆症状を確認する。
高線量外部被ばくの線量評価を行う。
治療の必要性、程度の判断をする。
- ❖ 内部被ばく → 急性障害はない。
内部被ばくの線量評価を行う。
薬剤による治療の判断をする（核種に応じた薬剤の選択）。
- ❖ 体表面汚染 → 生命の危険には関与しない。
除染は救命処置にはならない。



- ❖ 医療機関での救命処置は、まず放射線以外の原因、外傷等に対して実施される。
- ❖ これらの救命処置は、除染よりも優先される。

医療機関での対応として、外部被ばくが疑われる場合は、前駆症状を確認し、高線量外部被ばくの線量評価を行い、治療の必要性や程度を判断、診断します。内部被ばくが疑われる場合は、急性障害はありませんが、線量評価を行い、核種に応じた薬剤を選択して、早期の治療を開始します。体表面汚染は生命の危険には関与しないため、除染は救命処置にはなりません。

医療機関での救命処置は、放射線以外の原因、外傷等に対して優先して実施されます。

外傷診療と被ばく医療

外傷診療	被ばく・汚染傷病者診療
第一印象	<ul style="list-style-type: none"> 空間線量率の確認 放射線線源の持ち込みの有無 場の安全確認
Primary surveyと蘇生	<ul style="list-style-type: none"> エックス線撮影・FASTの汚染拡大防止 脱衣（衣服に汚染があることを考慮） 汚染検査
Secondary survey	<ul style="list-style-type: none"> 全身の汚染検査 除染 内部被ばくの有無の確認（鼻腔スワブ）
Tertiary survey	<ul style="list-style-type: none"> 被ばく線量評価 外部被ばく（ARS、局所被ばく）→個人線量計、染色体分析 内部被ばく→体外計測、バイオアッセイ（生体試料の測定）
根本治療	<ul style="list-style-type: none"> 外部被ばく（ARS、局所被ばく）の治療 内部被ばくの治療（体内除染剤等の投与）

外傷診療の流れに被ばく医療の診療を組み合わせる場合は、それぞれの外傷の処置、診療の場面ごとに被ばくや汚染への対応を追加します。

外傷診療で、第一印象を確認する間に、診療放射線技師により空間線量率を確認し、放射線源の持ち込みの有無など処置時の場所の安全確認を行います。

Primary surveyと蘇生では、ポータブルエックス線撮影、超音波検査装置の汚染拡大防止の対策を講じるとともに脱衣、汚染検査を行います。Secondary surveyでは、全身の汚染検査と除染を行い、内部被ばくの有無を確認するため、鼻腔スワブを採取します。Tertiary surveyでは被ばく線量評価に必要な情報と試料を採取します。根本治療は急性放射線症、局所被ばく、内部被ばくの治療を行います。

単純X線撮影

- ❖ フィルムカセットはビニール袋に入れる
- ❖ ポータブルX線撮影装置のアームをのばして撮影する
- ❖ ホットゾーンからカセットを出す時はビニール袋から取り出し、コールドゾーンに渡す



23

外傷等の診療において、除染よりも単純エックス線撮影を優先する場合は、フィルムカセットの汚染対策が必要です。カセットはビニール袋等で覆い、ホットゾーンからカセットを出す時にはビニール袋から取り出し、カセットのみをコールドゾーンに出します。

ポータブルエックス線撮影装置は、本体はコールドゾーン（ウォームゾーン）に置き、アームを伸ばして撮影します。

脱衣と体表面汚染検査



汚染した衣服をシートごと
取り除く
→新しいシートが下にある



1.創部→2.開口部→3.健常皮膚
頭からつま先まで汚染のサーベイ
背部も忘れずに

24

汚染のある衣服を脱がせることで、体表面の汚染の約90%を取り除くことができます。搬送時に傷病者を包んできた毛布やシート、衣類は、取り除いた後にビニール袋へ入れ、汚染が拡大しないようにします。

汚染した衣類などを触った後は、素早く外側のゴム手袋を交換します。

1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で汚染検査を行います。頭からつま先までの汚染検査したら、背部の汚染検査を行います。

除染

1.創部 → 2.開口部 → 3.健常皮膚

❖ 除染の方法

- ◇ ぬれたガーゼでふき取る、洗剤、オレンジオイルでふき取る
- ◇ 水で洗い流す
- ◇ うがい
- ◇ 全身のシャワー除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控える

❖ 除染の基本

- ◇ 汚染検査で汚染の範囲を確認する
- ◇ 患者自身にできることは患者にさせる
- ◇ 使用した綿球・ガーゼ等（一回目）は氏名・部位・日時を記して測定（核種の同定）
- ◇ 水、ガーゼは汚染のある廃棄物として管理する
- ◇ 除染後に再測定する→必要に応じて再除染
- ◇ 基本的に汚染が残存しても皮膚障害は起きない→Debridementは急性障害を起こすもしくは医学的理由があるときのみ



体表面汚染は、1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で除染します。

除染の方法は、ぬれたガーゼで拭き取ったり、部分的に水で洗い流したりします。水だけでは除染できない場合は、洗剤やオレンジオイル等を使って拭き取ります。口腔内の汚染はうがいをしてもらいます。

全身のシャワーによる除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控えます。

除染は、本人が行える場合は、自分で拭き取ったり、洗ったりしてもらいます。核種の同定が必要な場合は、使用したガーゼなどをビニール袋に入れ、患者氏名、採取部位、採取日時を記録して、測定者に渡します。

除染後の水やガーゼは放射性物質の汚染がついた廃棄物として管理、処分します。

創傷部の除染

1. 汚染のない部分を被覆する
2. 膿盆、紙おむつ等で水を受ける
3. 水をかけながらガーゼ等で創傷部を洗浄する



26

創傷部の汚染は、部分的に水をかけながら除染するので、汚染のない部分は防水のシート等を用いて被覆し、汚染した水がかからないようにします。

膿盆や紙おむつで汚染した水を受けるようにします。

創傷部は、ガーゼと鑷子を用いたり、ブラシを用いて水をかけながら除染します。除染後は再度表面汚染の検査を行います。汚染がなくなるか、除染の効果がなくなるまで除染を繰り返します。

顔面の除染



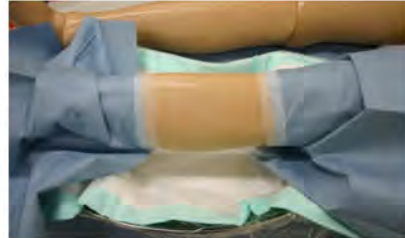
耳の汚染がある場合は、外耳は湿ったガーゼやタオルで拭き取り、外耳道は綿棒等で拭き取ります。

目の汚染は、流水をかけながら洗浄します。

鼻腔の汚染がある場合は、鼻をかんでもらい、汚染が残っている場合は、綿棒で拭き取ります。

皮膚の除染

- ❖ 汚染のない部分を被覆する
- ❖ 膿盆や紙おむつで水を受ける
- ❖ 濡れたガーゼ等で外側から内側の方向に拭き取る
- ❖ 水で除染できない場合はボディソープや石けん、スポンジを使用する



皮膚の汚染がある場合は、汚染のない部分を防水のシート等で被覆して、汚染した水がかからないようにします。膿盆や紙おむつで水を受けるようにします。ぬれたガーゼやスポンジなどで外側から内側の方向に拭き取り、汚染を広げないようにします。水で除染出来ない場合は、ボディソープや石けん、洗剤などを使用します。

皮膚を傷つけないように丁寧に除染します。

除染後の再検査

どこまで除染するか？

❖ 創傷汚染

- ◇ バックグランドレベルまで
- ◇ 除染の効果がなくなるまで

❖ 健常皮膚

- ◇ B.G.まで
- ◇ 除染の効果がなくなるまで
- ◇ 皮膚を傷つけない程度まで（発赤が出現しない程度）

❖ 汚染が残った場合

- ◇ 皮膚の新陳代謝（ターンオーバー）で自然に除染される
- ◇ GMサーベイメーターで測定できる範囲であれば、皮膚、創傷部の汚染から吸収される放射性物質が内部被ばくに寄与する程度は小さい

線量評価の方法

	試料・資料	対象	内容
生体試料の測定・観察 放射線の影響による変化の観察、測定	血液	血球細胞数の変化 染色体異常の解析	リンパ球、好中球の減少など 放射線による染色体異常の発現頻度
	身体所見	唾液腺の腫脹、疼痛、口腔粘膜の症状等 皮膚症状の出現	高線量被ばくによる前駆症状 紅斑や放射線皮膚障害の症状
	スワブ	鼻腔や口腔粘膜のスワブ	汚染の有無による内部被ばくの可能性と推定
	血液、嘔吐物等	生体内のナトリウム、塩素の放射化から計測	中性子線による放射化の分析
	歯のエナメル質	生体組織に生じるラジカルを測定	電子スピン共鳴 (Electron Spin Resonance; ESR)
	情報の解析	問診等での病歴、事故の状況	被ばくの可能性の評価
線源、放射性物質等の情報		計算	計算による線量推定
計測	個人線量計	個人被ばく線量	被ばく線量の実測値
放射線、放射性物質の計測	身体、臓器	体外計測（ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター）	体内残留量の計測
	尿、便	バイオアッセイ法	排泄量の計測
	再構築	線源等の情報による事故状況の再現と実測結果からの計算	事故状況の再現、実測、計算

被ばく線量評価には、様々な手法があります。

生体試料を測定して、放射線の影響による実際の細胞や組織の変化を評価する方法があります。これには、血液試料による血球細胞数の変化や染色体異常の解析、身体所見による高線量被ばくの症状の確認と発症時期による線量の推定、鼻腔や口腔粘膜のスワブ（ぬぐいとり試料）の汚染検査による内部被ばくの推定、血液や嘔吐物の放射化の測定による中性子線被ばくの線量評価などがあります。これらの生体試料の測定による方法を生物学的線量評価と称します。

また、事故の状況や被ばくの時間、作業時間等を問診で確認することで被ばくの可能性の評価ができ、さらに線源や放射性物質等の情報を追加することで計算による線量推定ができます。また、実際に放射線や放射性物質を計測して評価することもできます。体外計測は、身体や臓器から放出される放射線を測定して、体内の放射性物質の残留量を計測し、内部被ばく線量を計算します。尿中や便中の放射性物質の排泄量を測定して内部被ばく線量を計算する方法がバイオアッセイ法です。また、線源や被ばくした患者の位置関係などから事故時の状況を再現し、放射線を実測した結果から、被ばく線量を計算する再構築の方法もあります。計算や計測による線量評価を物理学的線量評価と称します。

外部被ばくの線量評価

❖ 生物学的線量評価

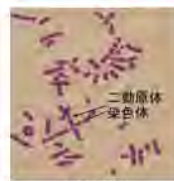
- ◇ 臨床症状：症状の重篤度、発現時期などから推定
- ◇ リンパ球数：リンパ球数の減少の程度から推定
- ◇ 染色体分析：染色体異常の割合から評価（専門家による評価のため、ヘパリン採血管(10 ml)を使用し、輸送)

❖ 物理学的線量評価

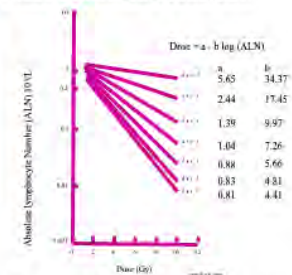
- ◇ 計測：測定器による計測
 - ◆ 個人線量計の値
 - ◆ 電子スピニング共鳴 (Electron Spin Resonance, ESR)
- ◇ 再構築：事故現場を再構築し、シミュレーション計算
- ◇ 線量推定：諸条件（核種、放射能など）から被ばく線量を計算し、線量を推定

被ばくからの時間	推定被ばく線量(Gy)
< 30分	> 6
0.5 - 1時間	4 - 6
1 - 2時間	2 - 4
2 - 3時間	1 - 4
症状なし	< 1

1. International Atomic Energy Agency, Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries. Safety Report Series No.2. Vienna, 1998.
 2. International Atomic Energy Agency, Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency. Vienna, 2005.



顕微鏡像
染色体分析



被ばく線量ごとのリンパ球数

外部被ばくの線量評価の方法には、生体試料等を使用する生物学的線量評価として、臨床症状からの推定、リンパ球数による推定、染色体の異常分析による評価の方法があります。

血球数の推移による線量推定の目安を表に示しています。高線量被ばくが疑われる場合は、4～8時間ごとに抹消リンパ球数を評価し、その推移によって被ばく線量を推定します。50Gyを超える被ばくは、血球減少が出現する前に死亡してしまいます。

臨床症状からの被ばく線量の推定としては、急性放射線症(ARS)の前駆症状の重篤度と発症時期による推定があります。

前駆症状の発現時期が早ければ早いほど、また症状が重篤であるほど、被ばく線量は高いことが推定されます。これは、医療機関で被ばく患者を受け入れた際に、大まかな状態と高線量被ばくの可能性を推定する際に役立ちます。

前駆症状の中でも嘔吐は最も現れやすい症状です。

被ばく線量が高いほど嘔吐が出現する時期は、早くなります。被ばくから30分以内の嘔吐であれば、6Gy以上の被ばく線量が疑われます。2～3時間での嘔吐は1～4 Gy程度の被ばくが疑われます。4時間以上経過しても嘔吐の症状がなければ、高線量の被ばくの可能性は低くなります。

染色体分析に用いる血液サンプルは、ヘパリン採血管を使用します。採血量は10ml（最低3ml）です。採血時期は、被ばく後24時間以降から4週間以内です。被ばくから24時間経過すると、リンパ球が全身に均等に分布するため、正確な評価ができるようになります。ただし、高線量被ばくでリンパ球数が24時間以内に激減するようであれば、直ちに線量評価用の血液サンプルを確保します。また、輸血をする場合は、輸血の前に血液サンプルを採取します。輸血用の血液製剤は、放射線照射をしているため、正確な評価ができなくな

るためです。

採取した血液サンプルを保存する場合は、凍結させずに冷蔵保存します。

また、線量評価の結果に影響を与える因子として年齢、性別、被ばく歴、既往歴、服薬歴、飲酒歴などを確認します。

計測等による物理学的線量評価の方法もあります。

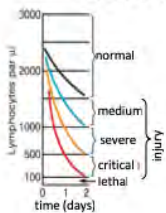
個人線量計の値といった測定器による計測や、核種や放射能などの諸条件から被ばく線量を計算して被ばく線量を推定する方法などがあります。

出典；IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より改変

International Atomic Energy Agency, Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency. Vienna, 2005.

ARSのPrimary Triage : 初期の48時間

	Score I	Score II	Score III
症状が出現するまでの時間	12時間以内	5時間以内	30分以内
皮膚紅斑	0	+/-	+++; 3時間以内
衰弱	+	++	+++
悪心	+	+++	(-)
24時間での嘔吐の回数	最大 1	1 to 10	10以上; 対処困難
下痢/ 24時間あたりの便の数	最大 2-3; 固形便	2-9; 軟便	10以上; 水様便
腹痛	軽度	重度	激烈
頭痛	0	++	激烈; 頭蓋内圧上昇の兆候
体温	38°C以下	38-40°C	40°C以上
血压	正常	正常—一時的な低下の可能性	拡張期 80mmHg以下
一時的な意識障害	0	0	+ / 昏睡
depletion of blood lymphocytes			
at 24 hour	1500/μ以上	1500/μ以下	500/μ以下
at 48 hour	1500/μ以上	1500/μ以下	100/μ以下
	外来診療	治療のための 入院診療	入院診療 (多臓器不全)



急性放射線症（ARS）での重症度の判定のガイドラインの例です。
 多数の急性放射線症を発生する患者が発生し、入院施設等の医療資源が限られた場合は、入院診療を必要とする被ばくした者を初期の段階でトリアージする必要があります。全ての臨床症状とその発症時期を記録します。
 1Gy未満と判断される場合には、外来で経過観察するだけで良いです。1Gy以上の患者は、より詳細な線量評価や治療のための入院が必要です。

出典；EBMT pocket guide

<https://www.ebmt.org/sites/default/files/2018-03/EBMT%20Nuclear%20Accident%20Committee%20Pocket%20Guide%202017.pdf>

内部被ばくの診断

- ❖ 体内からの放射性物質もしくは放射線の検出により診断
- ❖ 鼻腔・咽頭スミア；吸入による内部被ばくの可能性
- ❖ 口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染；吸入、吸収の可能性
- ❖ 問診；内部被ばくが疑われる場合は、放射性核種、化学形態、溶媒等について確認



- ❖ 生体試料（尿、便）の放射性物質の計測
- ❖ 体外計測；ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター

➡ 内部被ばくの診断

内部被ばくは、吸入による経気道、経口摂取による経消化管、創傷部からの吸収によって体内に放射性物質が取り込まれることによって起こります。体内に入った放射性物質は、安定型の核種と同じ体内動態を示すため、核種に応じた治療薬が必要になります。

初期には、口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染があれば、放射性物質の吸入や吸収の可能性があります。また、鼻腔や咽頭のスワブ採取によって放射性物質を検出した場合も内部被ばくが疑われます。内部被ばくが疑われた場合、事業所や施設等での事故の場合は、放射線管理要員等に放射性核種、化学形態、溶媒等について確認します。

内部被ばくの最終診断と線量評価は、尿や便の生体試料の放射性物質の計測（バイオアッセイ法）と、体内からの放射線の計測（体外計測）によって行われます。

試料の受け渡し

- ❖ ビニール袋の外側が汚染されないように受け取る（コールドエリア）
- ❖ 採取部位、日時、氏名等を記入した試料袋に入れ、測定に出す
- ❖ ビニール袋の表面の汚染検査（スメア法）を実施して測定者に渡す（確実な汚染拡大防止）



34

汚染の原因となっている核種の同定や内部被ばくの評価、その他通常の血液検査などのために採取した試料をホットゾーンからコールドゾーンの測定員に渡す必要があります。

そこで、汚染拡大防止のため、コールドゾーンの担当者がビニール袋で試料を受け取り、ビニール袋の表面をガーゼなどでぬぐって汚染検査を実施します。汚染がなければ、試料を測定員に渡します。採取した試料の容器には、採取部位、採取日時、氏名を記入します。

外傷等がありホットゾーンでの単純X線撮影が必要な場合は、フィルムカセットをビニール袋に入れ、汚染の付着を防止します。可能であればポータブルX線撮影装置のアームをコールドゾーンから伸ばして撮影します。撮影後は、ビニール袋からカセットを取り出して、コールドゾーンの担当者に渡します。

内部汚染への対応

- ❖ 病歴、開口部汚染等から内部汚染を疑う
- ❖ 核種の同定、預託実効線量（50年間）の評価
- ❖ Risk vs benefit を考慮した治療
 - ◇ 一般的な治療
 - ◇ 適切な体外除去剤の選択と早期投与
- ❖ 排泄物等の管理（線源として）
- ❖ 尿、便等も検体となる→保管
- ❖ 口腔、胃、肺、気道等の洗浄（リスクを考慮）
- ❖ 内部汚染除去剤
 - ◇ セシウム → プルシアンブルー
 - ◇ プルトニウム → DTPA
- ❖ 競合剤
 - ◇ 放射性ヨウ素に対する安定ヨウ素剤



内部被ばくでは、基本的に急性障害は起こりません。そのため、治療の目的は、体内の放射性物質からの放射線被ばくによる将来の生物学的影響の低減となります。内部被ばくの治療の原則は、吸収と内部沈着の低減及び体内に入った核種の除去と排泄の促進です。放射性物質が体循環に入っていない場合に最も治療効果が高くなります。また、標的臓器の細胞に取り込まれる前に治療を行う必要があります。しかし、内部被ばくの事故では、摂取量や体内動態がすぐに判明しないことがほとんどです。そのため、内部被ばくが疑われる場合は、治療による副作用が少なく、近畿がない場合には、すぐに治療を開始すべきです。また、治療の適応には、明確な指標がありません。預託実効線量を参考にして、治療のメリットとデメリットを勘案して適応を決定します。

プルシアンブルー（ラジオガルドーゼ®カプセル500mg）は、フェロシアン化第二鉄に属します。消化管に吸収されない毒性の低いコロイド状の妖怪可能な携帯を持ち、ある種の一価の陽イオンに対しイオン交換体のような働きがあります。放射性セシウムが血液に入った場合、経口投与されたプルシアンブルーが朝刊から再吸収されるセシウムの取り込みを防ぎます。

Diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA)はEDTAより多価の放射性同位元素に対してより効果的です。キレート体は、安定で、体外に腎臓から排泄されます。静脈的に投与した後、DTPAは最初の1時間に尿中に約50%が排泄されます。CaDTPA、ZnDTPAは超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム、カリホルニウム、ネプツニウム）をキレートします。

CaDTPAによる重篤な副作用の報告はありません。しかし長期間投与するとCaDTPAにより亜鉛欠乏症を起こします。

まとめ

- ❖ 外部被ばくの患者対応では対応者は被ばくしない
- ❖ 内部被ばくでは急性障害はない
- ❖ 汚染では、患者も対応者も危険な被ばくはしない
- ❖ まずは、医療処置で状態を評価し、安定化させる（呼吸と循環の安定）
- ❖ 汚染検査は最優先ではない
- ❖ 除染は、脱衣、拭き取り、水をかけながら洗い流すの三つの方法がある

サーベイメータの使用方法及び実習



- 1. 放射線の種類、測定器について
- 2. サーベイメーター取り扱い方法
- 3. サーベイメーター測定方法（実習）

放射線計測器

現在配備しているサーベイメーター一覧

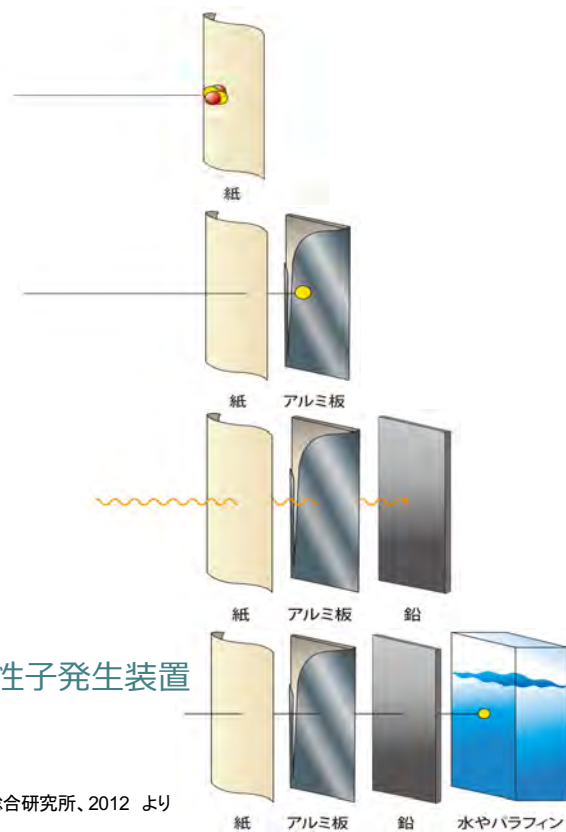


(1)α線用シンチレーションサーベイメータ TCS-232B(アロカ製)	1台
(2)β線用シンチレーションサーベイメータ TCS-312 (アロカ製)	1台
(3)NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ TCS-171(アロカ製)	1台
(4)GMサーベイメータ TGS-146B(アロカ製)	2台
(5)電離箱式サーベイメータ ICS-321B(アロカ製)	1台
(6)収納ケース TH-D8299	1台

- 1. 放射線の種類、測定器について
- 2. サーベイメーター取り扱い方法
- 3. サーベイメーター測定方法（実習）

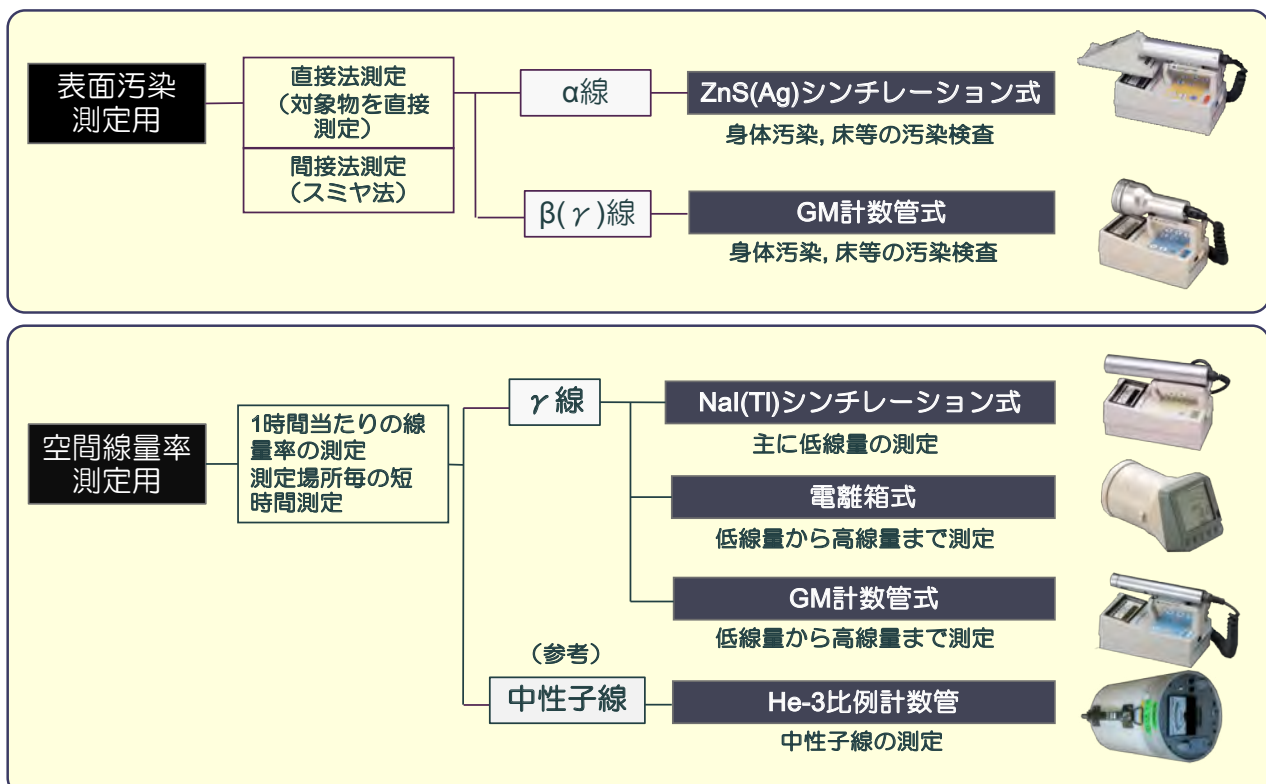
放射線の種類

- アルファ線（ヘリウム原子核）
主に核燃料・粒子加速器
荷電粒子
空気中で数cmオーダーの飛程
- ベータ線（電子）
多くの放射性物質・電子加速器
荷電粒子
空気中で数mオーダーの飛程
- ガンマ線・X線（電磁波）
多くの放射性物質・X線発生装置
非荷電粒子
空気中で～100mオーダーの飛程
- 中性子線（中性子）
臨界事故・原子炉・中性子線源・中性子発生装置
非荷電粒子
空気中で～100mオーダーの飛程



医学教育における被ばく医療関係の教育・学習のための参考資料、放射線医学総合研究所、2012 より
http://www.nirs.qst.go.jp/publication/igaku_siryo/igaku_siryo.pdf

放射線計測器（サーベイメータ）の種類



GM管式サーベイメーター

- ・ β (γ)線測定用
GMサーベイメーター

主な測定対象	B (γ)線
主な測定用途	表面汚染検査
検出器	GM計数管
時定数	3, 10, 30 sec
重さ	約 1.5kg(検出器、電池含む)



NaI (TI) シンチレーションサーベイメータ

- ・ γ 線測定用
NaI (TI) シンチレーションサーベイメータ

主な測定対象	γ 線
主な測定用途	空間線量(比較的低い線量率 $\sim 30 \mu\text{Sv/h}$)
検出器	NaIシンチレーション検出器
時定数	3, 10, 30 sec
重さ	約 1.5kg(検出器、電池含む)



電離箱式サーベイメータ

- ・ β (γ) 線測定用
電離箱式サーベイメータ(ICS-321)

主な測定対象	γ 線、X線、 β 線
主な測定用途	比較的線量の高い γ 線等の測定
検出器	PC/ABS製円筒型電離箱
時定数	—
重さ	約620 g



β 線用サーベイメータ

- ・ β (γ) 線用
 β 線用シンチレーションサーベイメータ(TCS-312)

主な測定対象	B線、 γ 線
主な測定用途	β 線放出核種による汚染測定
検出器	プラスチックシンチレーション検出器
時定数	3, 10, 30 sec
重さ	約0.6 kg



α 線用サーベイメータ

- α 線測定用
 α 線用サーベイメータ(TCS-232)

主な測定対象	α 線
主な測定用途	α 線放出核種による汚染測定
検出器	ZnS(Ag)シンチレーション検出器
時定数	3, 10, 30 sec
重さ	約0.8 kg



- 1. 放射線の種類、測定器について
- 2. サーベイメータ取り扱い方法
- 3. サーベイメータ測定方法（実習）

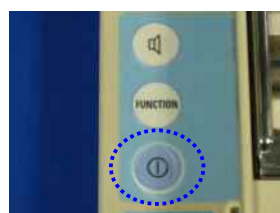
○ GM計数管式サーベイメータ (TGS-146)



測定線種 : $\beta(\gamma)$ 線
 主な用途 : $\beta(\gamma)$ 核種による汚染の検査、測定
 単 位 : cpm(counts per minute) = min^{-1}

- 人や物品に付着した放射性物質の確認に使用します。
- 検出面を、対象の表面から数cm以内に近接させて測ります。
- 検出部を薄手のラップで包み(カバー)、汚染を防止します。
対象に触ってしまうなどして汚れた場合は、カバーを交換します。
- 突起物で検出部の窓(GM計数管)を破損しないように注意する。

○ 起動動作 (GM計数管式サーベイメータ)



電源On&Off



入射窓(20 cm²)



バッテリーチェック: BATT=■■■■



HVチェック: HV=OK

○メーターの読み方（GM計数管式サーベイメータ）



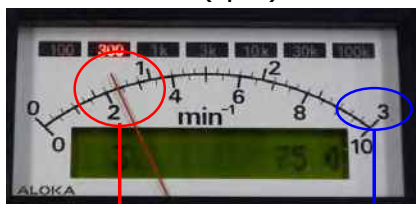
時定数: 3, 10, 30
測定時間(秒): 時定数×3



測定レンジ(cpm) :
100, 300, 1k, 3k,
10k, 30k, 100k

▲ → 測定レンジを広げる
▼ → 測定レンジを狭める

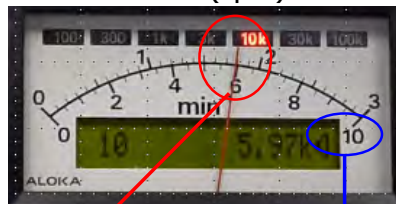
測定レンジ(cpm): 300



赤針: 70cpm

300を意味する

測定レンジ(cpm): 10k



赤針:
6kcpm

10kを意味する

測定レンジを超える場合



汚染レベルが100kcpmを超えていることを意味する。

○ NaI(Tl) シンチレーションサーベイメータ

(TCS-171)



測定線種 : γ 線のみ
主な用途 : 場所(空間)の線量率測定
単位 : $\mu\text{Sv/h}$

- 現場や病院(処置室)の放射線線量率の確認に使用します。
- 地上(床面)から高さ1m(腰の高さ付近)での測定が標準です。
- 感度に方向性があります。検出部を正面に向けます。
- γ 線しか検知しません。
- 表面の汚染を測る用途には使えません。その場所(空間)を飛び交っている γ 線を拾います。

○起動動作

NaI(Tl) シンチレーションサベーパーイメータ

Sound (ON/OFF)

電源 (ON/OFF)

測定レンジ (UP/DOWN)

測定モード (線量率 / 計数值)

検出部

PMT: 光電子増倍管

信号処理部

NaI(Tl) 結晶の大きさ:
直径 25.4 mm × 厚さ 25.4 mm
測定エネルギー範囲: 50 keV ~ 3 MeV

○メーターの読み方 (NaI(Tl) シンチレーションサベーパーイメータ)

単位: $\mu\text{Sv/h}$

時定数

レンジ

0.3 1 3 30 $\mu\text{Sv/h}$ ks

10 0.07 $\mu\text{Sv/h}$ 10

7 SURVEY METER TCS-172

0.3、3、30が点灯
目盛りに対して、
・0.3 $\times 0.1$
・3 $\times 1$
・30 $\times 10$

1、10 が点灯
目盛りに対して、
・1 $\times 0.1$
・10 $\times 10$

サーベイメータ取扱い上の注意点

(測定時)

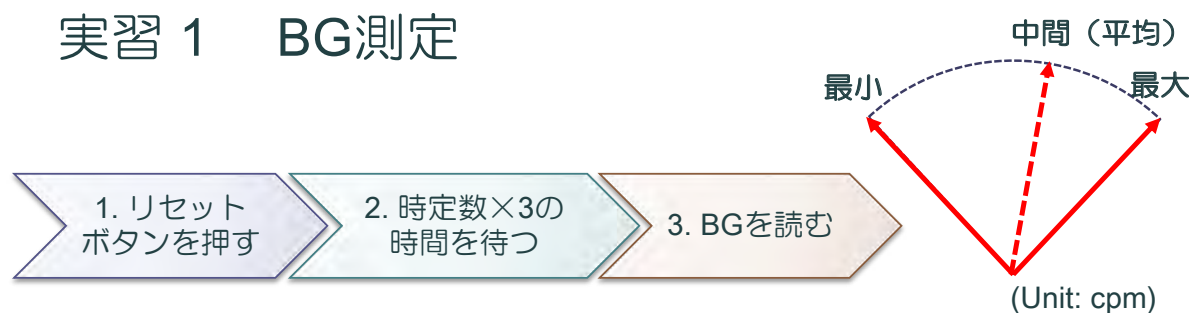
- 必ずバックグラウンド測定を実施します。
- 指示値は一定しません。変動（針の振れ）の中央を読みます。
- 指示値は低い値から高い値まで、大きく変動する場合があります。レンジの切り替え（上げ下げ）をし、おおむね、針がメーターの中央付近に来るようにします。
- モニター音は患者さんの心理的な動揺につながるおそれがありますので、OFFが基本です。

(保管中)

- 正しい値を指示させるため、年1回校正を行います。
なお、「測定値×校正定数」で値を補正します。
- 検出部の破損とケーブルの断線に、特に注意します。
- 長時間使用しない場合は電池を抜き、液濡れを防止する

- 1. 放射線の種類、測定器について
- 2. サーベイメーター取り扱い方法
- 3. サーベイメーター測定方法（実習）

実習 1 BG測定



時定数	最大値	最小値	中間値 (平均値)
10 秒			

- 赤い針の揺れに注意して、最大値, 最小値, 中間値を読み, 記録用紙に記入する。
- 時定数を3秒、30秒に変えて、赤い針の揺れを確認する。

- 時定数が短い：
 - 変化に対して敏感だが揺らぎが大きい。
 - 時定数が長い：
 - 変化に鈍感だが揺らぎが平均化されて値が読みやすい。
 - しかし, 測定に時間がかかる。
- 指示値のゆらぎの大きさ：時定数 $3 > 10 > 30$
- 指示値の読みやすさ：時定数 $3 < 10 < 30$

**時定数は, 測定する対象, 緊急度等その目的に合わせて,
選択する必要がある。**

実習用試料について

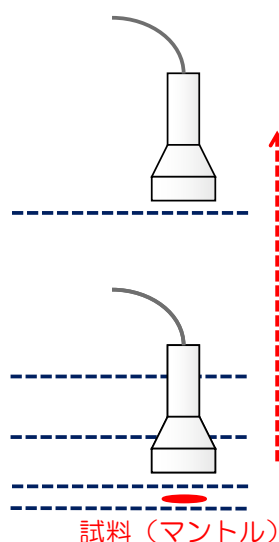
ランタン用マンテル(市販品)

繊維にトリウムが含まれている。
トリウム(^{232}Th)は自然界に存在する放射性物質であり、マンテルからは α 線, β 線, γ 線を放出する。



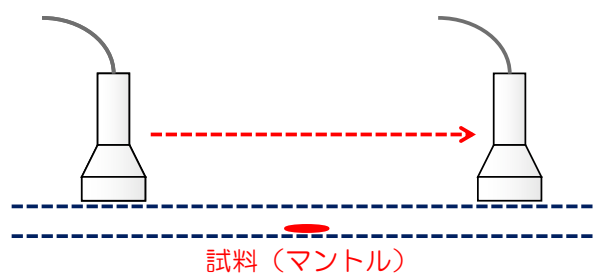
測定の距離

1. 時定数を10秒にセットする。
2. 試料を測定する距離を変えて測定を行い、その時の最大値を読み取る。



測定の速さ

1. 時定数を10秒にセットする。
2. 試料を測定する速さ（ゆっくり、速く）を変えて測定を行う、

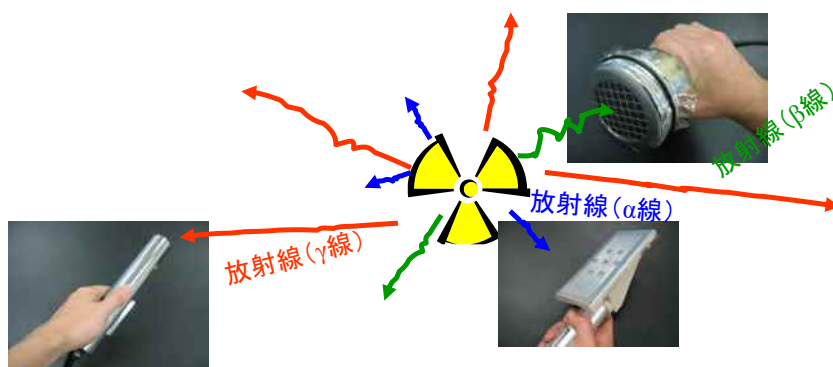


- 検出部と試料は一定の距離(約1cm程度)を維持

正味値* = 計測値 - バックグラウンド

- 放射線によって、検出方法が異なるため、測定器を間違えると、測れない。
- メーターの読み方を間違えると、測定結果が大きく変わってしまう。
- 検出部が汚染箇所と離れすぎていたり、早く動かしすぎると汚染を見逃してしまうことがある。

→ 測定したい放射線の種類や強度に応じた測定器の選択、操作方法の習熟、検出部の位置や関係・速度に配慮



スクリーニング測定記録票

氏名		
測定年月日		
時間	~	
測定器機種		
測定器番号		
B G 値	cpm	
測定者氏名		
記録者氏名		
除染	要・不要	
備考		

* 除染後の値については、除染回数を○で、数値を()で記載すること。

まとめ

※ 汚染核種が不明なケースもありますが、被災者の受け入れを想定するケースでは、

「GMサーベイメータ」による表面汚染の検査 と、
「NaIサーベイメータ」によるその場のγ線のモニタ
が適切です。

※ 被災者の測定にあたっては・・・

- 救命措置を優先する。
- 創傷部から測定する。
- 全身を測定する。（内部被ばくの取込み部（目、鼻、口）、露出部（手）から測定）
- 検出部と身体表面から1cm位離し、身体表面と平行に測定する。
- 毎秒で1～数cm動かすつもりで汚染箇所を捜す。早すぎると、見付からない。
- 汚染箇所が見付かったら、検出器をそこで止めて最大値を検出する。
- 汚染箇所は1箇所とは限らないので注意する。

時定数と測定時間 (参考)

時定数:T, 測定時間:tの場合,
測定時間 t での指示値 = 最終指示値の(1-exp(-t/T))倍を示す

(例) 時定数: 3秒の場合,

測定時間: 3秒での指示値: 最終指示値の0.63倍
 6秒での指示値: 最終指示値の0.86倍
 9秒での指示値: 最終指示値の0.95倍

➡ 測定時間は時定数の3倍

GMの計数値	時定数: 3秒	時定数: 10秒	時定数: 30秒
100cpm	100±32 (68 ~ 132)	100±17 (83 ~ 117)	100±10 (90 ~ 100)
10000cpm	10000±320 (9680 ~ 10320)	10000±173 (9827 ~ 10173)	10000±100 (9900 ~ 10100)

$$n: \text{計数値(cpm)}, r: \text{時定数(min)} \quad \sigma = \frac{n}{\sqrt{2nr}} = \frac{100}{\sqrt{2 \times 100 \times 0.5}} = 10[\text{cpm}]$$

➡ 汚染レベル:
低い場合: 時定数は長く, 高い場合: 時定数を短く

汚染の表面密度の計算方法

(参考)

測定された正味計数率が検出限界計数率より大きい場合、汚染の表面密度 A_s (Bq/cm²) は次式で示すことができる。

$$A_s = \frac{N - N_b}{\varepsilon_i \times W \times \varepsilon_s}$$

N : 測定された計数率 (cps)

N_b : バックグラウンド計数率 (cps)

ε_i : α 線または β 線に対する機器効率

ε_s : 汚染物の線源効率

W : 検出器の入射窓面積 (cm²)

機器効率 (ε_i)、線源効率 (ε_s) を合わせて計数効率 (検出効率) とする場合もある

問題

GMサーベイメータで対象物を測定したところ、1分間当たり2000カウント検出された。この時の汚染の表面密度(Bq/cm²)を求めよ。ただし、B.Gは60cpm、機器効率50%、線源効率50%、検出器の入射窓面積は19.6cm²とする。