

原子力規制庁

平成 27 年度原子力施設等防災対策等委託費事業

原子力災害時の医療に係わる 基礎研修テキスト

公益財団法人 原子力安全研究協会

平成 27 年 10 月 9 日作成

監修者

浅利 靖 北里大学医学部救命救急医学教授

山口 芳裕 杏林大学大学院医学研究科外科系専攻救急医学分野教授

本教材は、平成 25 年度原子力災害時における医療対応に関する研修事業及び平成 26 年度原子力災害医療に関する研修の実効性向上事業において作成したものを基に改訂しました。作成に当たりご協力いただきました委員の先生方に感謝いたします。

目次

イントロダクション

本日の目標	1
学習の流れ	2
1. 原子力災害と原子力災害対策	3
2. 原子力施設	4
3. 放射性物質、放射線の放出形態	5
4. 原子力災害時の被ばくの経路	7
5. 放射線被ばくの防護措置の基本的考え方	8
6. 原子力災害医療	9
7. 原子力災害医療体制	11

放射線の基礎知識

放射線、放射性物質、放射能	1-1
放射線はどんなもの	1-2
放射線の種類	1-3
放射線の透過力	1-4
放射性核種の壊変	1-5
半減期	1-6
「被ばく」と「汚染」	1-7
「被ばく」と「汚染」の形態	1-8
放射線や放射能の単位	1-9
ベクレル・グレイとシーベルト	1-10
預託線量	1-11
自然放射線量の地域による差異	1-12
さまざまな場所の自然放射線レベル	1-13
身の回りの放射線	1-14
人工放射線による被ばく	1-15

人体への影響と放射線防護

たき火は「距離」が近いほど熱い	2-1
距離が同じでも影響は「時間」によって違う	2-2
距離と時間が同じでも影響は「モノ」によって違う	2-3
放射線の人体への影響	2-4
放射線の生体への影響（イメージ）	2-5
確定的影響と確率的影響	2-6
放射線を受けた時の人体への影響	2-7
放射線防護を目的とした被ばく線量限度	2-8

放射線防護－放射線から身を守るためには	2-9
汚染防止－汚染を拡大させないためには	2-10
汚染防止の例（医療機関での対応）	2-11
汚染・被ばく傷病者への対応	2-12
汚染患者（手のひら程度の大きさ）からの二次被ばく線量【理論値】	2-13
患者からの線量	2-14
急性放射線症候群	2-15
急性放射線症候群の重症度と症状	2-16
まとめ：被ばく・汚染の形態と放射線防護	2-17

医療活動に必要な放射線測定

放射線はすぐに測定できる	3-1
どこで何を測定するのか？	3-2
用途別に見た測定器	3-3
①活動場所は安全か？	3-4
①空間線量率測定 [サーベイメータ]	3-5
活動場所の空間線量の測定	3-6
②「傷病者」はどれくらい汚染しているのか？	3-7
②表面汚染測定 [サーベイメータ]	3-8
体表面汚染の測定	3-9
③活動中に私はどれくらい被ばくしたのか？	3-10
③個人線量測定 [個人線量計]	3-11
個人線量計による測定	3-12
放射線測定の留意点	3-13
放射線測定実習 実習フロー	3-14
1. 個人線量計の取り扱い	3-15
2. サーベイメータの取り扱い	3-17
3. 放射線の性質	3-21
4. 放射線測定器の特性	3-24

イントロダクション



原子力災害時の医療対応に関する基礎知識

本日の目標

原子力災害時における医療対応（以下「**原子力災害医療**」という。）の実践には、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る。

そのため、本日の研修では、原子力災害医療を行う者としての観点から、

- 放射線・放射線影響に関する基本的な知識を習得する
- 原子力災害時の防護対策を理解する
- 原子力災害医療に必要な放射線測定機器の取扱方法を理解する

ことを目標としている。

1

平成27年度原子力事故対応に関する研修会「原子力災害時の医療」資料の基礎 放射線被ばく時の対応 第2章

学習の流れ

1. 原子力災害と原子力災害対策
2. 原子力施設
3. 放射性物質、放射線の放出形態
4. 原子力災害時の被ばくの経路
5. 放射線被ばくの防護措置の基本的考え方
6. 原子力災害医療
7. 原子力災害医療体制

2

基礎研修

1. 原子力災害と原子力災害対策

原子力災害
 ⇒ 原子力施設の事故等に起因する**放射性物質又は放射線の異常な放出により生じる被害**

原子力災害対策
 ⇒ 国民の生命及び身体の安全を確保することが最も重要であるという観点から、緊急事態における原子力施設周辺の住民等に対する**放射線の影響を最小限に抑える防護措置を確実なものとする**こと

3


原子力災害対策指針では、「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又は放射線の異常な放出により生じる被害を意味する。また、原子力災害対策特別措置法（以下、「原災法」という。）においては、原子力施設外における放射性物質又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る。」

また、原子力災害対策とは、「国民の生命及び身体の安全を確保することが最も重要であるという観点から、緊急事態における原子力施設周辺の住民等に対する放射線の影響を最小限に抑える防護措置を確実なものとする」ことにある。」と記載されている。

基礎研修

2. 原子力施設

原子力施設とは、核原料物質、核燃料物質の加工等施設や原子炉の総称
(例) ・発電用原子炉施設
・加工施設
・再処理施設
・使用済燃料貯蔵施設 など

 **施設の種類により事故時の放出形態が異なる**

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(炉規法)の第2条7項において定義

4

「原子力施設」とは、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(炉規法)」の第2条7項において定義がなされており、核原料物質、核燃料物質の加工等施設、原子炉の総称である。

原子力災害時には、施設の種類により想定される放射性物質の放出形態は異なるため、「原子炉施設」と「核燃料施設」について説明する。

基礎知識

3. 放射性物質、放射線の放出形態

原子炉施設で想定される放射性物質の放出形態

- 放射性物質(クリプトンやキセノン等の希ガス、揮発性の放射性ヨウ素、気体中に浮遊する微粒子等)は、気体状又は粒子状の物質を含んだ空気の一団(プルーム)となり、**風下方向の広範囲に影響を及ぼす可能性がある。**
- **降雨雪がある場合には、地表に沈着し、長期間とどまる可能性が高い。**
- **土壌や瓦礫等に付着する場合や冷却水に溶ける場合がある。**

事故による放出形態は、単一的なものではなく、複合的となる。

5

原子力災害対策指針では、「原子炉及びその附属施設（原子炉施設）においては、多重の物理的防護壁が設けられているが、これらの防護壁が機能しない場合は、放射性物質が周辺環境に放出される。その際、大気へ放出の可能性がある放射性物質としては、気体状のクリプトンやキセノン等の放射性希ガス、揮発性の放射性ヨウ素、気体中に浮遊する微粒子（エアロゾル）等の放射性物質がある。これらは、気体状又は粒子状の物質を含んだ空気の一団（プルーム）となり、移動距離が長くなる場合は拡散により濃度は低くなる傾向があるものの、風下方向の広範囲に影響が及ぶ可能性がある。さらに、土壌や瓦礫等に付着する場合や冷却水に溶ける場合があり、それらの飛散や流出には特別な留意が必要である。」と記載されている。

核燃料施設で想定される放出形態

- 火災、爆発等による核燃料物質の放出の場合、原子炉施設と同様に放射性物質がブルームとなって放出、拡散される。
- 爆発等によりフィルタを通さずに放出された場合、粗い粒子状の放射性物質が多くなる。
- 臨界事故が発生した場合、核分裂生成物の放出に加え、核分裂反応により中性子線およびガンマ線が発生する。遮へい効果が十分な場所では放射線の影響は無視できるが、効果が十分でない場合は、中性子線及びガンマ線に対する防護が必要である。

6

原子力災害対策指針では、「核燃料施設においては、火災、爆発、漏えい等によって当該施設からウランやプルトニウム等がエアロゾルとして放出されることが考えられる。これらの放射性物質はブルームとなって放出、拡散される。フィルタを通して放出された場合には、気体状の物質とほぼ同様に振る舞うと考えられる。ただし、爆発等によりフィルタを通さずに放出された場合には、粗い粒子状の放射性物質が多くなる。」

また、「臨界事故が発生した場合、核分裂反応によって生じた核分裂生成物の放出に加え、反応によって中性子線及びガンマ線が発生する。遮へい効果が十分な場所で発生した場合は放射線の影響は無視できるが、効果が十分でない場合は、中性子線及びガンマ線に対する防護が必要である。なお、防護措置の実施に当たっては、中性子線及びガンマ線の放射線量は発生源からの距離のほぼ二乗に反比例して減少する点も考慮することが必要である。」と記載されている。



原子炉施設からの事故時の放出放射性物質の環境中での移行、および経路を模式的に表すと図のようになる。ここで、図中の数字は以下の表のとおり。

被ばく経路と防護対策

段階	被ばく経路	防護対策
初期	① 施設からの外部放射線	屋内退避、避難、制限区域出入管理
	② プルームおよび地面に沈着した放射性物質からの外部放射線	屋内退避、避難、制限区域出入管理
	③ プルーム中の放射性物質の吸入	屋内退避、避難、安定ヨウ素剤の服用、制限区域出入管理
中期	④ 皮膚・衣服の汚染	屋内退避、避難、人の除染
	⑤ 地面に沈着した放射性物質からの外部放射線	避難、一時移転、地域の除染
復旧期 [後期]	⑥ 汚染された飲食物の摂取	飲食物摂取制限
	⑦ 再浮遊した放射性物質の吸入	一時移転、土地や不動産の除染

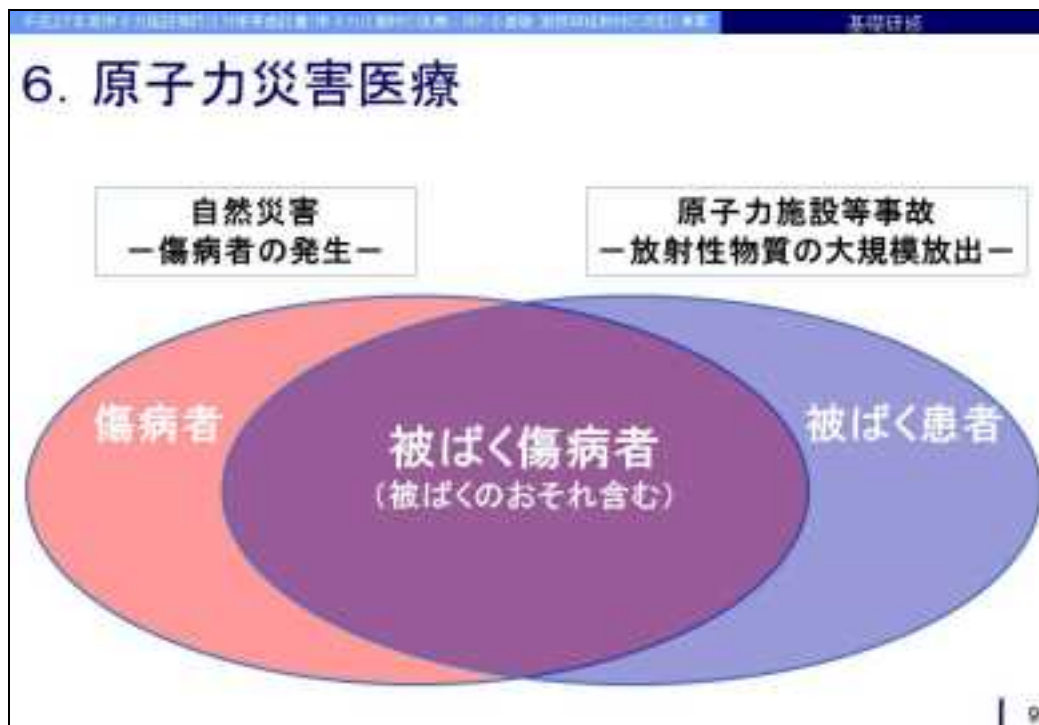
※IAEA GSG-2 を参考に（公財）原子力安全研究協会で作成

5. 放射線被ばくの防護措置の基本的考え方

原子力災害が発生した場合、国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告や国際原子力機関(IAEA)の安全基準等にとり、次の2つの観点が必要となる。

- ① 住民等の被ばく線量を最小限に抑える
- ② 被ばくを直接の要因としない健康等への影響も抑える

原子力災害対策指針では、「原子力災害が発生した場合には、原子力災害の特殊性を踏まえた上で、住民等に対する放射線被ばくの防護措置を講じることが最も重要である。基本的考え方としては、国際放射線防護委員会等の勧告、特に Publication109、111 や国際原子力機関(IAEA)のGS-R-2等の原則にとり、住民等の被ばく線量を最小限に抑えると同時に、被ばくを直接の要因としない健康等への影響も抑えることが必要である。」と記載されている。



ここでは用語を整理する。円の大きさは便宜的なものであり、ここで示すのは各用語の相互関係である。

東日本大震災のような複合災害時には、自然災害時に発生した傷病者への救急・災害医療と原子力施設等の事故で発生した被ばく患者への対応との重なる部分、すなわち被ばく傷病者が発生することから、救急・災害医療を行う専門家が放射線影響等についての知識を併せて有していることが必要となってくる。

汚染状況	放射線障害	傷病無し	傷病等あり
OIL4 以上	あり	被ばく患者 内部被ばく患者 外部被ばく患者	被ばく傷病者
	なし	OIL4 超者	OIL4 超傷病者
OIL4 以下	—	—	傷病者

出典：原子力規制庁「原子力災害拠点病院等の施設要件」（平成27年6月）p.5



●被ばく患者：放射線障害による症状がある患者

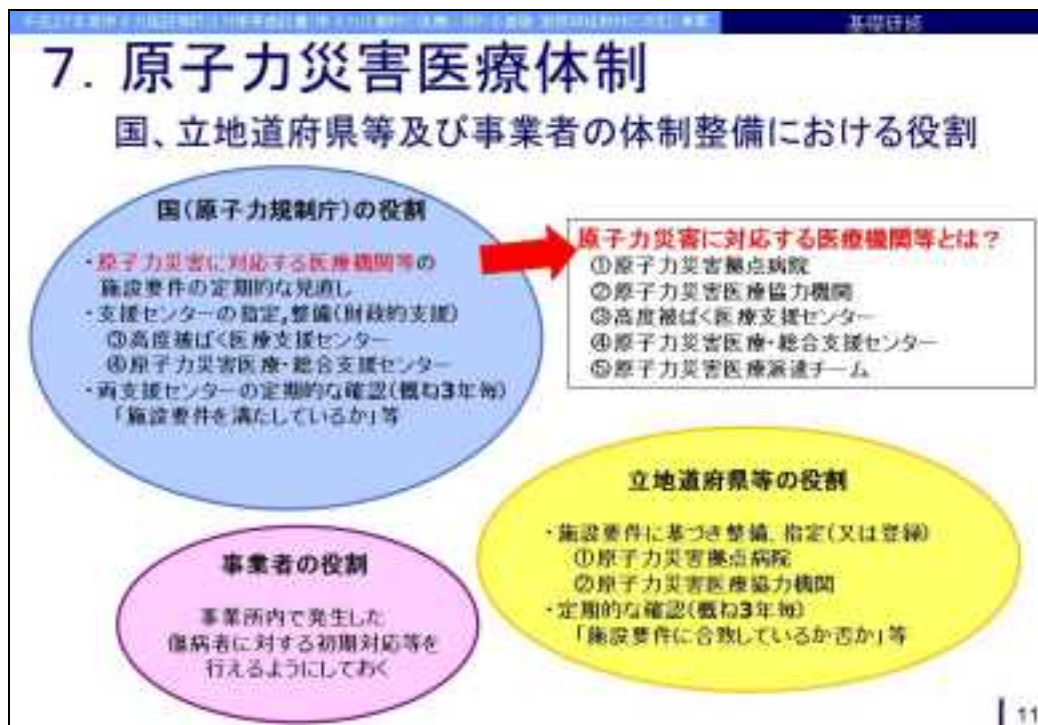
外部被ばく患者：外部被ばくによる障害（放射線皮膚障害等）がある患者

内部被ばく患者：内部被ばくによる障害（甲状腺機能低下等）がある、又は内部被ばくが疑われる患者

●傷病者：外傷又は疾患を有する患者

●OIL4 超傷病者：外傷又は疾患を有し、OIL4 以上の汚染はあるが、放射線障害による症状がない患者

●被ばく傷病者：外傷又は疾患を有し、放射線障害による症状がある患者



国、立地道府県等及び事業者の体制整備における役割

① 国

国は、施設要件を定めるとともに、定期的に必要な見直しを図る。

国は、高度被ばく医療支援センター及び原子力災害医療・総合支援センターについて指定を行う。また、概ね3年毎に、指定された高度被ばく医療支援センター及び原子力災害医療・総合支援センターが施設要件に合致するか確認を行う。さらに、他の医療機関等において施設要件を満たす医療機関等があれば、全国的な配備状況等も勘案しつつ、新規に指定することも検討する。

② 立地道府県等

立地道府県等は、原子力災害拠点病院及び原子力災害医療協力機関について、国が示す施設要件に基づき整備し、予め指定又は登録を行っておく。また、概ね3年毎に、原子力災害拠点病院及び原子力災害医療協力機関が施設要件に合致しているか否かを確認する。

③ 事業者

事業者は、事業所内で発生した傷病者に対する初期対応等を行えるようにしておく。



原子力災害医療の実施体制

原子力災害拠点病院

原子力災害時において、汚染の有無にかかわらず傷病者等を受け入れ、被ばくがある場合には適切な診療等を行う。

原子力災害医療協力機関

原子力災害医療や立地道府県等が行う原子力災害対策等を支援する。

高度被ばく医療支援センター

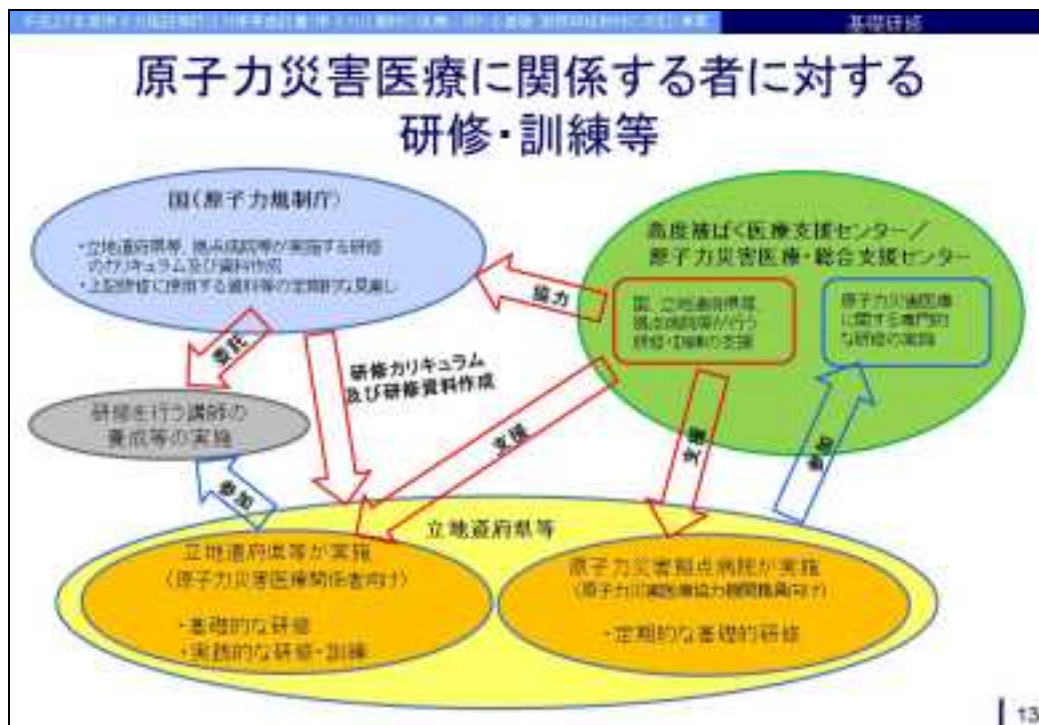
原子力災害拠点病院では対応できない高度専門的な診療及び支援並びに高度専門教育研修等を行う。

原子力災害医療・総合支援センター

平時において、原子力災害拠点病院に対する支援や関連医療機関とのネットワークの構築を行うとともに原子力災害時において原子力災害医療派遣チームの派遣調整等を行う。

原子力災害医療派遣チーム

原子力災害拠点病院等に所属し、原子力災害が発生した立地道府県等内において救急医療等を行う。



原子力災害医療に関する者に対する研修・訓練等

(1) 国

国は、立地道府県等、原子力災害拠点病院等が原子力災害医療に関する基礎的な研修や複合災害や多数の傷病者等への対応も考慮した実践的な研修についての研修カリキュラム及び研修資料の作成を行う。また、当該研修を行う講師の養成等の実施等による支援をする。さらに、基礎的及び実践的な研修に使用する資料等について、定期的に見直しを図る。国は、全国の医療関係者等に対する研修体制も考慮する。

(2) 高度被ばく医療支援センター及び原子力災害医療・総合支援センター

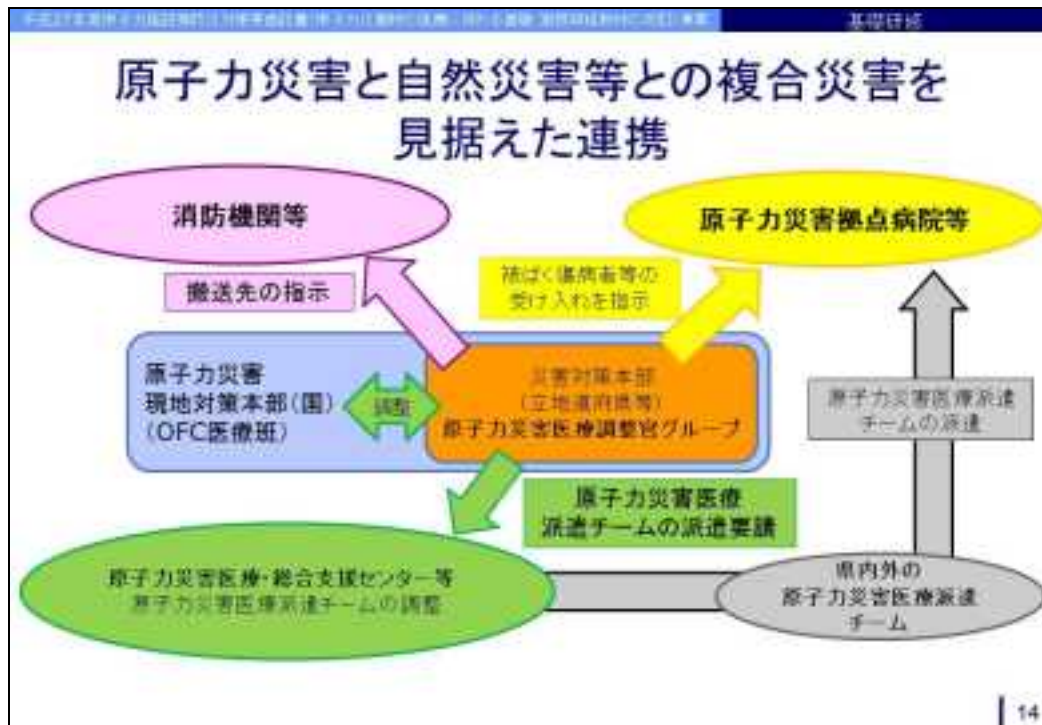
高度被ばく医療支援センター又は原子力災害医療・総合支援センターは、原子力災害医療に関する専門的な研修を実施する。また、高度被ばく医療支援センター及び原子力災害医療・総合支援センターは、国、立地道府県等、原子力災害拠点病院等が行う研修・訓練に対し、適切な講師を派遣し支援する。

(3) 立地道府県等

立地道府県等は、立地道府県等内の原子力災害医療に関係する者に対して、基礎的な研修を実施する。また、立地道府県等内の原子力災害医療に関係する者に対して、実践的な研修・訓練を実施する。

(4) 原子力災害拠点病院

原子力災害拠点病院は、立地道府県等内の原子力災害医療協力機関の職員等に対する基礎的な研修を定期的実施する。



原子力災害と自然災害等との複合災害を見据えた連携を進めるため、「原子力災害医療調整官」を配置するとともに現地の関係者の役割等を具体化する。

(1) 配置場所

立地道府県等は、救急医療、災害医療に加え被ばく医療の体制に詳しい医療行政担当責任者等の関係者を原子力災害医療調整官とし、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。

(2) 事前対策

立地道府県等は、原子力災害医療調整官が立地道府県等の原子力災害対策本部、国の原子力災害現地対策本部及び原子力災害医療・総合支援センター等と調整し、県内外の原子力災害医療派遣チームの派遣先の決定や傷病者等の搬送等の対応に当たる体制を構築しておく。


(3) 原子力災害時における対応

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する。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、その受け入れを確認する。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する。また、原子力災害医療調整官は必要に応じて、原子力災害医療・総合支援センター等に原子力災害医療派遣チームの派遣要請を行い、県内外の原子力災害医療派遣チームを立地道府県等内の原子力災害拠点病院等へ派遣する。

放射線の基礎知識

放射線、放射性物質、放射能

放射線、放射性物質、放射能とは



放射線:
(高いエネルギーを持っている)電磁波や粒子線

放射性物質:
放射線を出すもの

放射能:
放射線を出す能力

物事を正しく理解するためには、最初に言葉（用語）を理解する必要がある。

放射線のことを理解するためには、**放射線**、**放射性物質**、**放射能**の3つの言葉を理解しなければならない。

- ▶ 「**放射線**」とは、一般に、電磁波または粒子線のうち、直接または間接に空気を電離する能力をもつものをいう。
- ▶ 「**放射性物質**」とは、放射線を出す能力を持った物質をいう。
- ▶ 「**放射能**」とは、放射線を出す能力をいう。


わかりやすく、たき火で考えると、たき火の「炎」に相当するのが「放射性物質」（放射線源）であり、炎から飛び出した熱線が「放射線」である。

「放射線」と「放射能」はまったく別のものである。
放射性物質が、放射線を出す能力のことを放射能という。

なお、「放射能汚染」のように「放射性物質」のことを「放射能」と慣用的に呼ぶこともある。



放射線はどんなもの

放射線は、五感に感じない。



- 視覚
- 聴覚
- 触覚
- 味覚
- 嗅覚

しかしながら、適切な測定器を使用すれば、感度よく測定ができる。



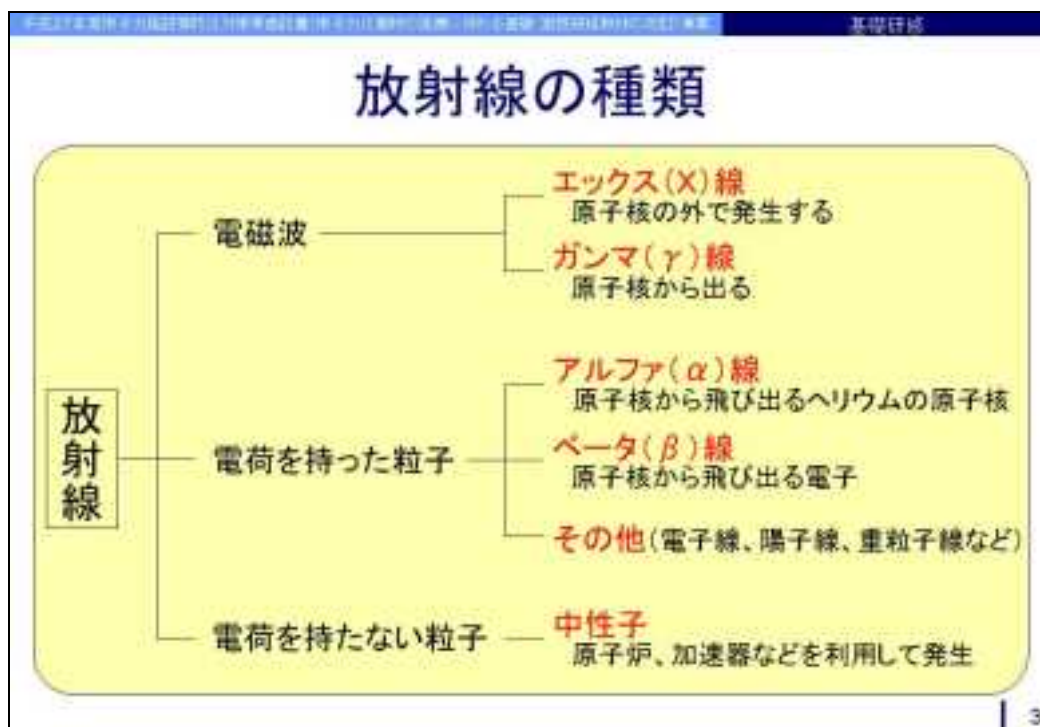
| 2

放射性物質は見たり触ったりすることは可能であるが、そこから出てくる放射線は電磁波や粒子であるため、五感に感じることはできない。

一方、放射線は物質に当たるといろいろな作用を及ぼす。その作用を利用して放射線を検出することができる。測定したい放射線に適した測定器[※]を使用することにより、感度よく測定できる。また、放射性物質を測るときも同様に、目的に適した測定器を使用することが重要である。

放射線は、五感で感じることはできないが、適切な測定器を使用すれば微量でも測定できる。

[※] 放射線の種類、エネルギーや量によって測定器が異なることが多い。



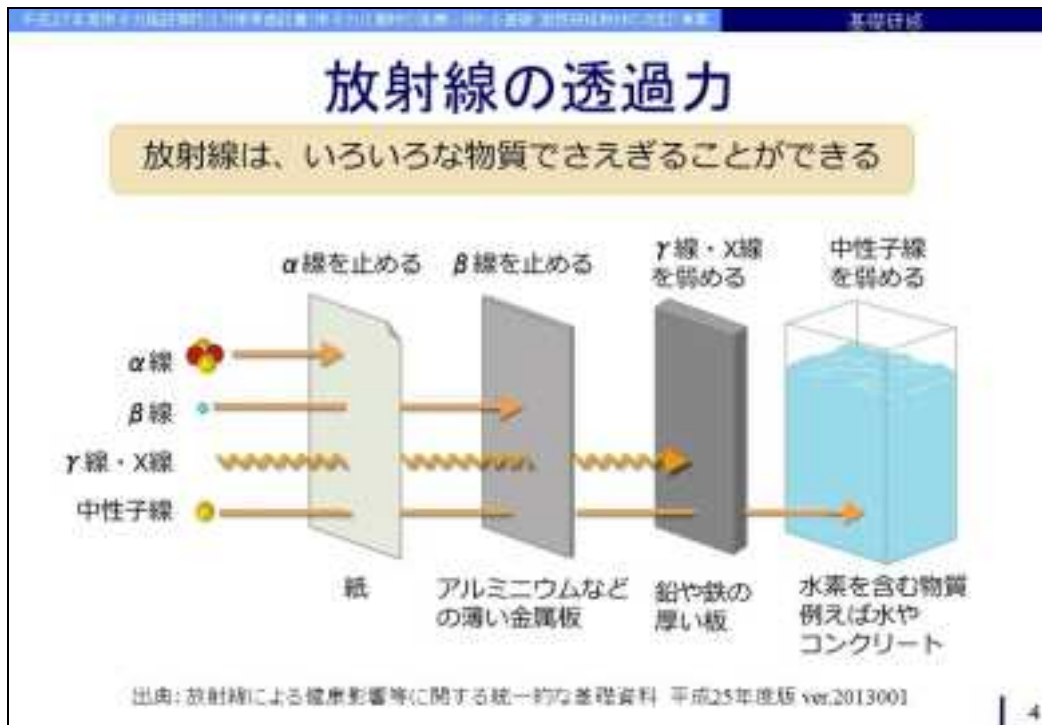
放射線にはいくつかの種類がある。同じ種類の放射線でも、エネルギーが違えば、物質中に与える影響も異なってくる。しかし、どの放射線も電離作用*があるという特徴が共通している（放射線を広く定義した場合、非電離放射線（マイクロ波、可視光線、赤外線、紫外線など）と電離放射線の両者が含まれるが、一般的には放射線という場合、電離放射線を指す）。

放射線の特徴は電離作用をもつこと。

放射線として、アルファ（ α ）線、ベータ（ β ）線、ガンマ（ γ ）線、エックス（X）線がよく知られている。 α 線、 β 線、 γ 線はいずれも不安定な原子核の壊変にともなって放出される（X線は原子の電子遷移にともなって発生される）。 α 線と β 線は粒子であり、 α 線はヘリウムの原子核、 β 線は高速の電子である。一方、 γ 線やX線は電磁波の一種である。

α 線と β 線は粒子、 γ 線とX線は電磁波である。

* 原子核の周りを回っている電子をその軌道から引き離すこと



放射線が物質に当たったときの透過力は放射線の種類によって異なる。

α 線は空気中で数センチしか進むことができないため、コピー用紙程度の紙1枚（厚さ数十 μm ）で止まる。

β 線はエネルギーにより異なるが、3～5mm程度のアリミニウムの板、あるいは10～15mmのプラスチック板で止まる（最大エネルギー1～2MeVの場合）。

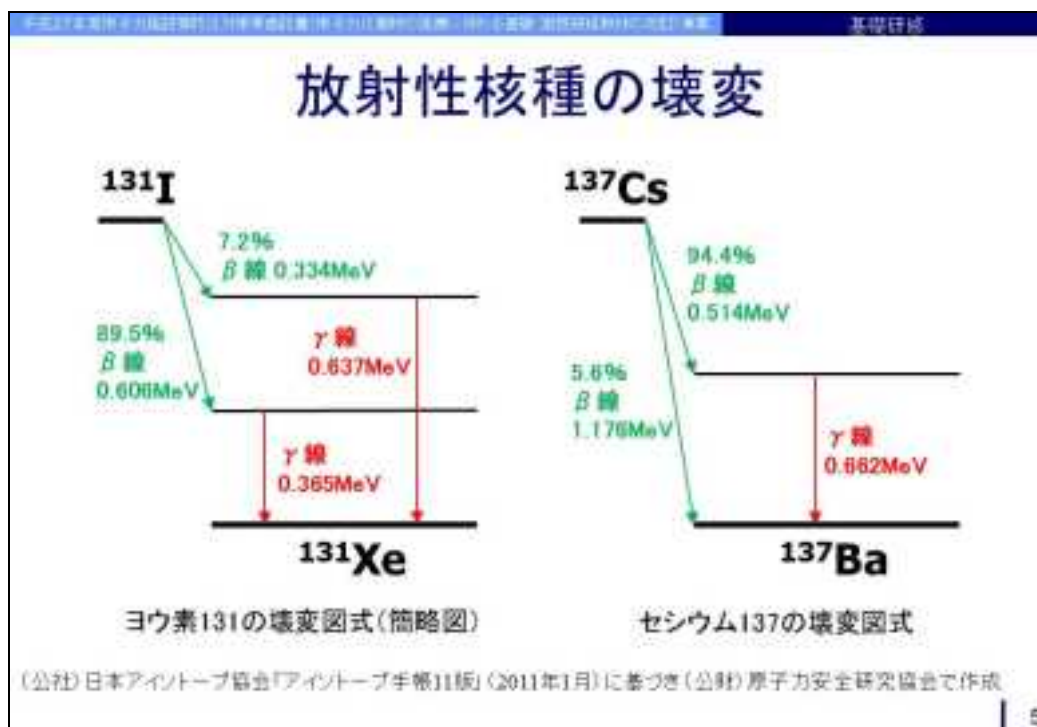
γ 線は紙やアルミニウムを簡単に通り抜けるが、鉛や鉄の厚い板で止まる。きちんと遮蔽しようとするとな数cmの鉛ブロックや数メートルのコンクリート壁が必要となる。

中性子線の遮蔽には大量の水やコンクリートが必要となる。

α 線は紙1枚、 β 線はアルミニウムなどの金属板で止まる。

γ 線の遮蔽には、鉛や鉄の厚い板が有効。

中性子線の遮蔽には、水やコンクリートが有効。

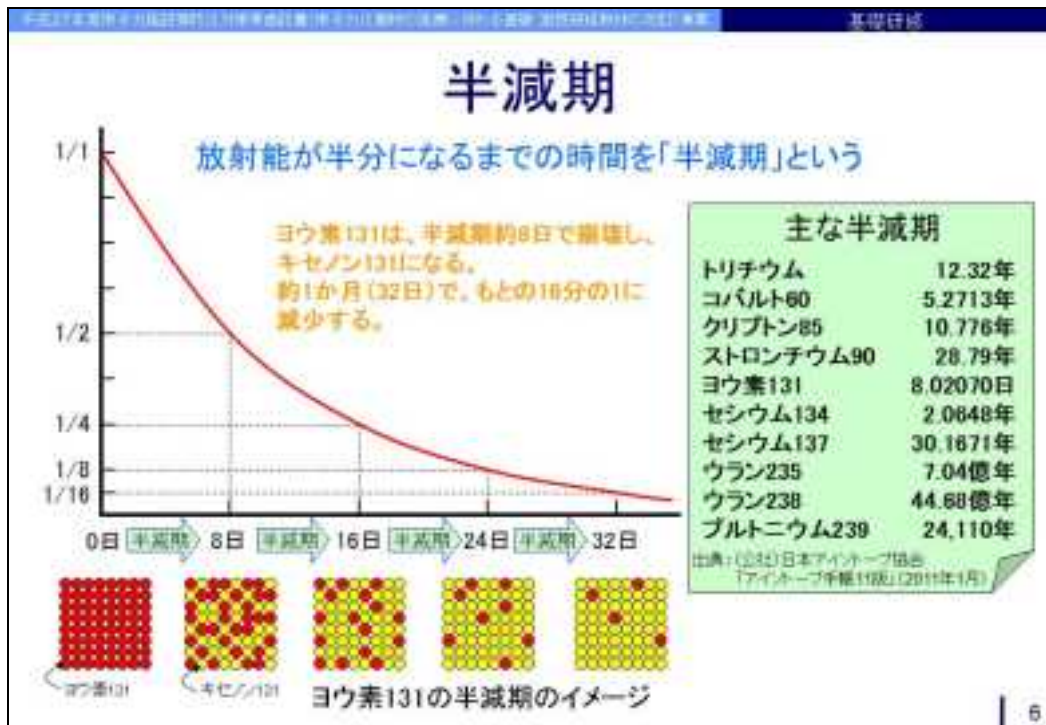


α 線、 β 線、 γ 線は放射性核種の壊変に伴って放出される。

放射性物質は、陽子と中性子と電子の間に働く力のバランスが崩れているため、とても不安定な状態にある。そのため、もっと安定したものになろうとする。その結果、全く違う元素に変化してしまうことがあり、この変化を「壊変」(または「崩壊」)といい、この過程で、余分なエネルギーを放射線として放出する。

ヨウ素 131 は、約 90%が 0.606MeV (メガエレクトロンボルト) のエネルギーを持ったベータ線と 0.365MeV のガンマ線を放出しキセノン (Xe) になる。

また、セシウム 137 は約 94%が 0.514MeV のエネルギーをもったベータ線と 0.662MeV のガンマ線を放出しバリウム (Ba) になる。



放射性物質が放射線を出すことによって、その量が半分になる時間を物理的半減期という。例えば、ヨウ素 131 の物理的半減期は 8 日であり、8 日経てば元の量の半分になる。

これに対して、体内に取り込まれた放射性物質が代謝・排泄によって体外に排出され、取り込んだ量が半分になるまでの時間を表すには、生物学的半減期が用いられる。

物理的半減期 (T_p) と生物学的半減期 (T_b) の両方が関与し、体内の実際の放射性物質の量が半分になるまでに要する時間を有効半減期 (T_e) といい、以下の関係式から求めることができる。

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_b}$$

体内に放射性物質が取り込まれた場合、例えば、ヨウ素 131 (物理的半減期は 8 日) は、摂取すると消化管から吸収され 30% が甲状腺に取り込まれる。残りの 70% のうち 20% はすぐに尿から排泄され、50% も短期間で排泄される。甲状腺に取り込まれたヨウ素の生物学的半減期は 80 日となるため、有効半減期は約 7 日程度となる。また、セシウム 137 (物理的半減期は 30 年) の生物学的半減期は約 100 日 (全身の筋肉に分布)、有効半減期も同様に約 100 日である。これらの生物学的半減期は、成人の値であり、乳児や子どもは、代謝が早いので成人の値より短くなる。



「被ばく」と「汚染」を明確に分けて使うことが重要である。

放射性物質（放射線源）から出た「放射線」を体に浴びることを「被ばく」という。一方、「放射性物質」があるべきでない（管理されていない）場所に存在することを「汚染」といい、放射性物質が体内に入った場合には、体内汚染という。体内汚染があれば、同時に内部被ばくがある。

つまり、たき火の「炎」に相当するのが「放射性物質」（放射線源）であり、炎から飛び出した熱線が「放射線」である。たき火が体外にあれば、「外部被ばく」する。炎が他のところに飛び火すれば、そこは「汚染」されたことになる。炎が体内にまで飛び火すれば、体の中が汚染し、その結果「内部被ばく」することになる。

外部にある放射性物質から放射線を浴びるのが外部被ばく。

放射性物質が体内に入ると体内汚染といい、体の中から放射線を浴びるのが内部被ばく。



「被ばく」と「汚染」の形態を整理する。

被ばくについては、次のように区別できる。

- ①体から離れたところに放射性物質があれば、そこからの放射線により被ばくする。
- ②体の表面や衣服に放射性物質が付着したときにも、そこからの放射線により被ばくする。
- ③傷口に放射性物質が付着したときには、そこからの放射線による（外部）被ばくに加え、その放射性物質が体内に取り込まれることにより（内部）被ばくする。
- ④放射性物質を体の中に取り入れることにより体の中から（内部）被ばくする。

汚染についても次のように区別できる。

- ①衣服や皮膚に付着することを「体表面汚染」という。
- ②傷口（創傷部）に付着した状態を「創傷汚染」という。
- ③体の中に放射性物質を取り込んだ状態を「体内汚染」という。

われわれは、日常の生活で宇宙から飛んで来る放射線（宇宙線）などにより外部被ばくしている。同じく、放射性物質を含む空気、水、食物などを摂取することにより、内部被ばくしている。

名称	単位名(記号)	定義
放射能	ベクレル(Bq)	1秒間に原子核が壊変する数を表す単位
吸収線量	グレイ(Gy)	放射線が物や人に当たったときに、どれだけのエネルギーを与えたのかを表す単位(人では、急性被ばくを評価するときに用いられる)
等価線量 実効線量	シーベルト(Sv)	放射線が人に対して、発がんや遺伝性障害のリスクをどの程度与えているのかを評価するための単位

放射性物質が、1秒間にどれくらい壊変しているかを表す単位がベクレル(Bq)である。

1Bqとは、1秒間に平均1個の原子核が壊変を起こす場合の放射能の強さを表す。

放射線が物や人に当たったときに、どれだけのエネルギーを与えたのか(受け取ったのか)を表す単位がグレイ(Gy)である。

放射線を浴びたときに、将来の発がんリスクを簡略的に数値化した放射線防護のための指標を表す単位がシーベルト(Sv)である。等価線量とは、吸収線量に放射線の種類ごとの影響の大きさに応じた重み付けを行い、臓器や組織が受ける影響の単位に変換したものである。この重み付けに用いる係数を放射線加重係数という。実効線量とは、被ばくした組織・臓器ごとに求めた等価線量に、臓器加重係数(臓器ごとに放射線感受性は異なるため、影響の大きさを加味するための係数)を乗じて算出した被ばくの影響を評価するための線量である。

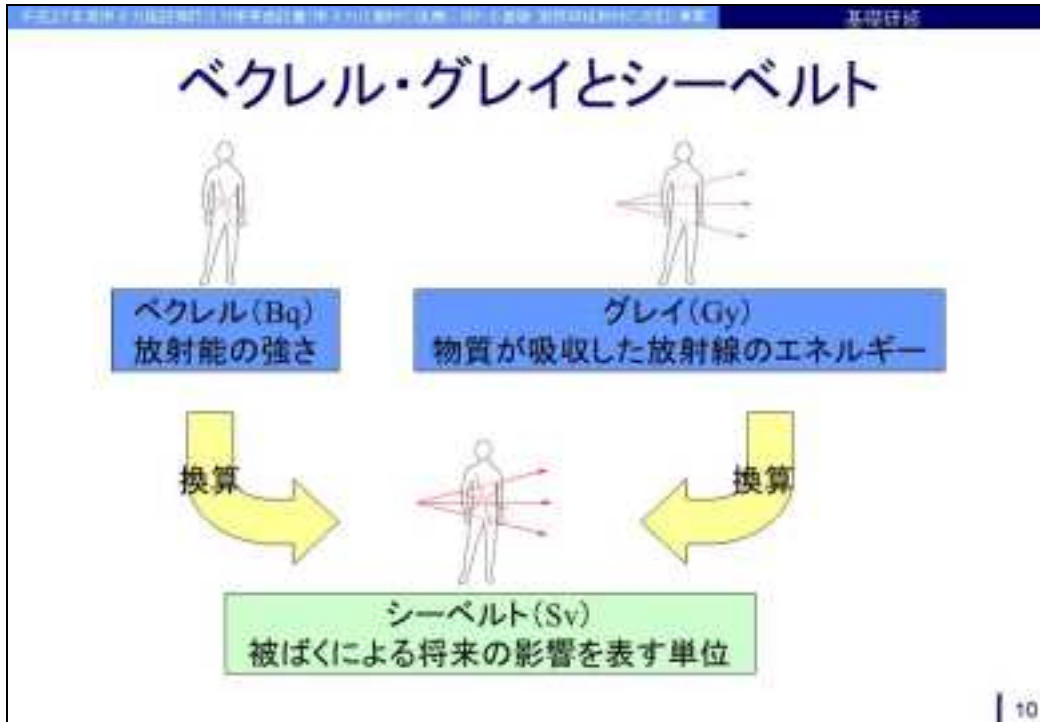
ベクレル(Bq)は放射能の単位。原子核の壊変が1秒間に1回起こること。

グレイ(Gy)は吸収線量の単位。放射線によって、物質に付与されるエネルギー。確定的影響を評価する際に使用される。

シーベルト(Sv)は等価線量・実効線量の単位。確率的影響に対して用いる。

なお、同じシーベルトでも等価線量・実効線量に用いるほかに、サーベイメータや個人線量計での計測に用いるシーベルトもある。このシーベルトを「線量当量」という*。

* 等価線量・実効線量を放射線による人体への影響の評価に主眼を置いた「防護量」、線量当量を測定に主眼を置いた「実用量」という。



シーベルトは、ベクレルやグレイという測定可能な物理量にある係数を掛けて求める。

まず、吸収線量グレイから放射線の種類による影響を考慮するための換算を行い、それぞれの組織・臓器が受ける量（組織等価線量）を求める。続いて、組織等価線量にそれぞれの組織・臓器ごとの放射線感受性を考慮した組織加重係数（致死がんが誘発されやすい組織・臓器に高い係数が割り振られている。）を掛け、すべてを足し合わせて実効線量を導出する。

なお、内部被ばくの場合には、摂取量（Bq）に実効線量係数を掛けることで、預託実効線量を求めることができる。

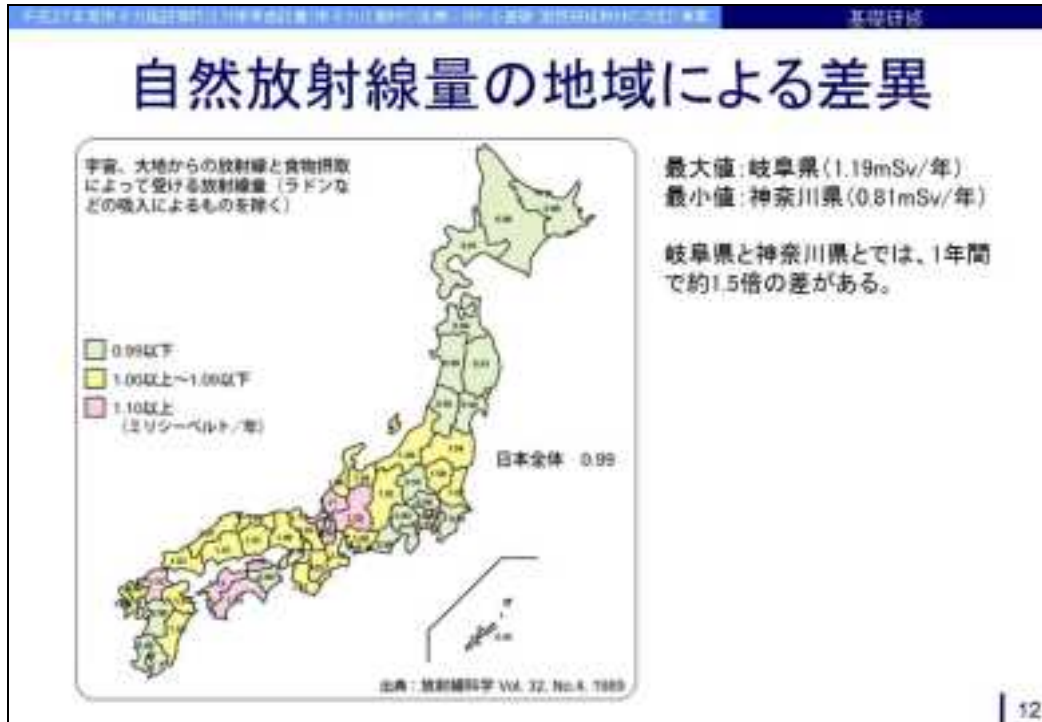


内部被ばくは、摂取された放射性物質が体内に存在する限り継続するが、放射性物質を摂取した後、その物質の体内における壊変によって放射される線量率を時間積分した値を摂取した時点で被ばくしたと見なして計算する。この線量を「預託線量」という。

この積分集計の期間を、作業者（放射線業務従事者）および一般公衆（成人）で50年間、一般公衆（乳幼児および子供）は70歳までと決めている。

特に、実効線量に着目して、積算した値を「預託実効線量」という。

預託線量は、内部被ばくに用いられ、生涯の被ばくを積算している。



自然放射線は地域によって異なる。

一般に西日本は、東日本に比べて自然放射線が高い。これは、西日本は花崗岩が多く、東日本は火山灰の層(関東ローム層)により岩石からの放射線を遮蔽していることによる。西日本の中で熊本県、鹿児島県の線量が低いのも同様に火山灰の層の影響による。

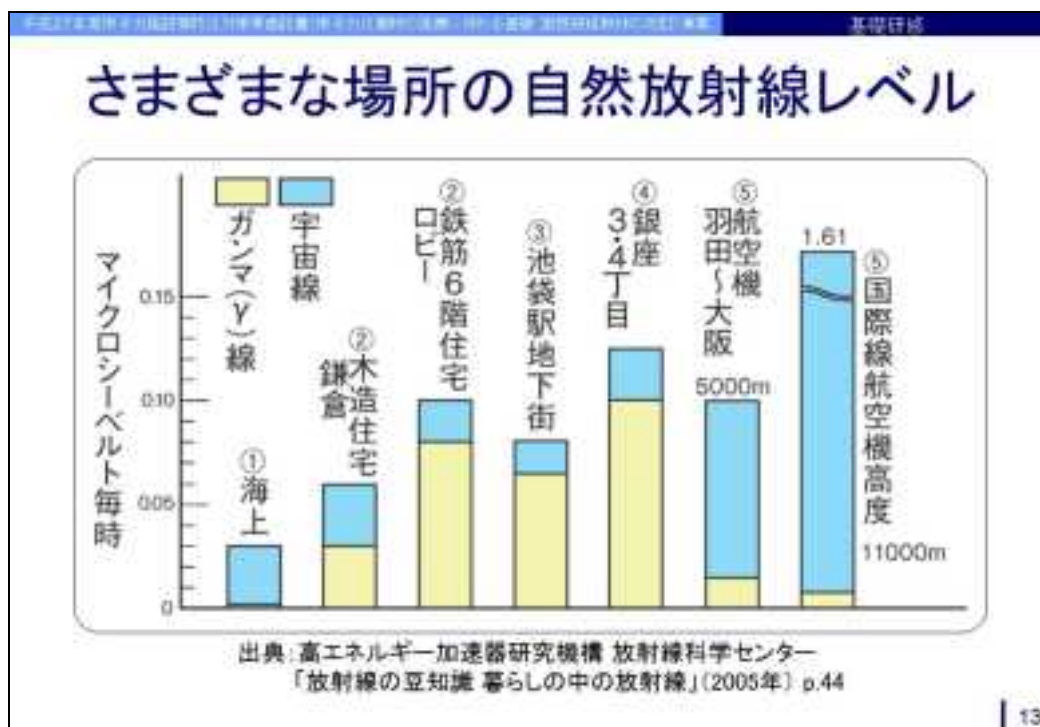
自然放射線の一番高いといわれる岐阜県と一番低いといわれる神奈川県では、年間の被ばく量にして 0.4mSv の差がある。

地域による差だけではなく、その場所の状態によっても放射線量は変わる。

自然放射線は地域によって異なる。

世界的に自然放射線を見ると 10mSv/年 以上の場所も見受けられる。それらの多くは、土壌や岩石に放射性物質が多く含まれていることによる。また、標高が高い都市では、宇宙からの宇宙線が増える傾向がある。

高自然放射線地域として知られている中国の陽江、インドのケララにおける調査では、その地域に住んでいる人と他地域の人を比較して、がんの死亡率や発生率の顕著な増加は報告されていない。



われわれの身の周りの自然放射線は同じ地域の中でも場所によって大きく異なる。

上図には、ガンマ線と宇宙線を示しているが、これらの7地点の結果から以下のことがいえる。

- ①海上では、海水に放射性物質が少なく、海底からのガンマ線が海水によって遮られることから、ガンマ線の線量率は低く、宇宙線のみとなる。
- ②木造住宅と鉄筋(コンクリート)住宅を比べると、木造住宅の方がガンマ線は低い、宇宙線は高い。これは、鉄筋住宅の方が宇宙線の遮蔽能力があるためである。一方、コンクリートや骨材は、天然の放射性同位元素を比較的多く含むため、木造住宅よりも建物からのガンマ線は高くなる。
- ③地下街では、周囲からのガンマ線が高くなるが、宇宙線は低い。
- ④銀座*では、敷石や建物に花崗岩が使われていることから、ガンマ線が高い。
- ⑤航空機高度の違いによって、ガンマ線と宇宙線の割合が異なってくる。高いところほど、ガンマ線は低くなるが、宇宙線は高くなる。

地域の中でも場所によって、自然放射線の量は異なる。

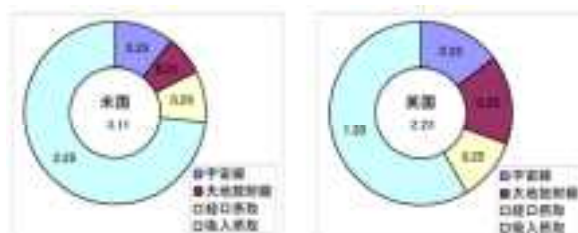
* 車道(アスファルト)上の空間線量率 $0.06 \mu\text{Sv/h}$ 、歩道(花崗岩)上の空間線量率 $0.10 \mu\text{Sv/h}$ との測定結果がある。また、花崗岩は国会議事堂や東京都庁の建物にも用いられている。



われわれは、原子力発電所の事故等に関わらず、日常生活の中でも放射線を浴びている。これは、土壤中に存在する天然の放射性核種と宇宙から降ってくる宇宙線のためである。さらに言えば、我々の体の中にも、天然の放射性核種が含まれており、日常的に内部被ばくもしている。

自然放射線で言うと、世界平均の1年間あたり 2.4mSv に対して、日本の平均は 2.1mSv となる。この内訳を見ると、外部被ばくについては、大地からの放射線の影響が少ない。内部被ばくについては、食品から受ける(経口摂取)線量が3.4倍ほど多い。一方、放射性物質を吸い込む(吸入摂取)線量が $3/8$ ほど少ない。このことは、食品中(特に魚)に含まれる鉛やポロニウムからの寄与が高く、大地からの線量と大地から発生するラドン・トロンの寄与が低いことを示す。

なお、上記のスライドにあるグラフには、東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響は含まれていない。



米国と英国の年間実効線量 (mSv/年)

米国 : NCRP Report No. 160, Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States (2009)
 英国 : HPA-RPD-001, Ionising Radiation Exposure of the UK Population: 2005 Review (2005)

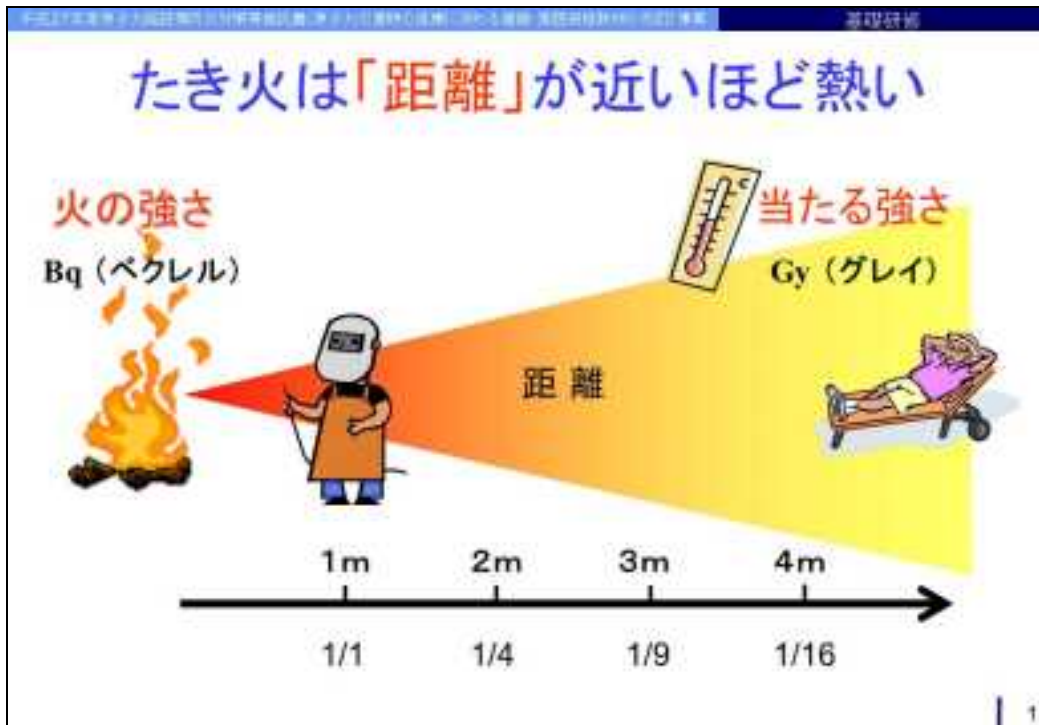
人工放射線による被ばく		
[単位: mSv/年]		
世界平均	被ばく線源	日本平均
0.005	核実験 フォールアウト	0.005
0.005	職業被ばく	0.0015
0.6	医療被ばく	3.87
0.0002	核燃料サイクル (公衆被ばく)	0.0001
0.6	合計	3.87

出典: (公財)原子力安全研究協会 刊行「生活環境放射線(国民線量の測定)」(第2版(数値)) (平成23年12月) p.158-159

人工放射線による被ばくには、医療で診断や治療に使われている放射線、工業や農業分野で使用されている放射線、核燃料サイクル（原子力発電を含む）に伴う放射線、業務としての職業被ばくとともに過去の核実験フォールアウト（降下物）による被ばくなどがある。

放射線診断による医療被ばくは、個人差が多いが、我が国ではCTの普及率が諸外国に比べて格段と高く、それにともない、平均線量も世界の平均に比べて6倍以上多くなっている（医療被ばくには放射線治療に伴う被ばくは含まれていない）。

人体への影響と放射線防護



「たき火」の前に立ったとき、「たき火」に近ければ熱くてたまらないが、徐々に離れていくことで、心地よく感じる距離がある。もっと離れば、「たき火」があることすら感じられなくなる。「たき火」から受ける熱さは、「たき火」からの距離に応じて変化する。

すなわち、「たき火」から受ける熱さの影響は、「距離」が関係する。

「たき火」からある距離で受ける熱さは、放射線では吸収線量 Gy に相当する。吸収線量は、距離の 2 乗に反比例する。「たき火」に例えれば、1m の距離での温度が 400 度するとき、2m の距離での温度は 4 分の 1 の 100 度、4m の距離での温度は 16 分の 1 の 25 度と急速に低下していく。

吸収線量は放射線源からの距離によって異なる。



影響は、距離だけで決まるわけではない。次に「たき火」からある一定の距離にアイスクリームを置いたとする。置いた直後は溶けないが、数十秒後には溶け出し、数分後には完全に溶けてしまう。

「たき火」から受ける熱さの影響は、「距離」に「時間」を加えたものになる。

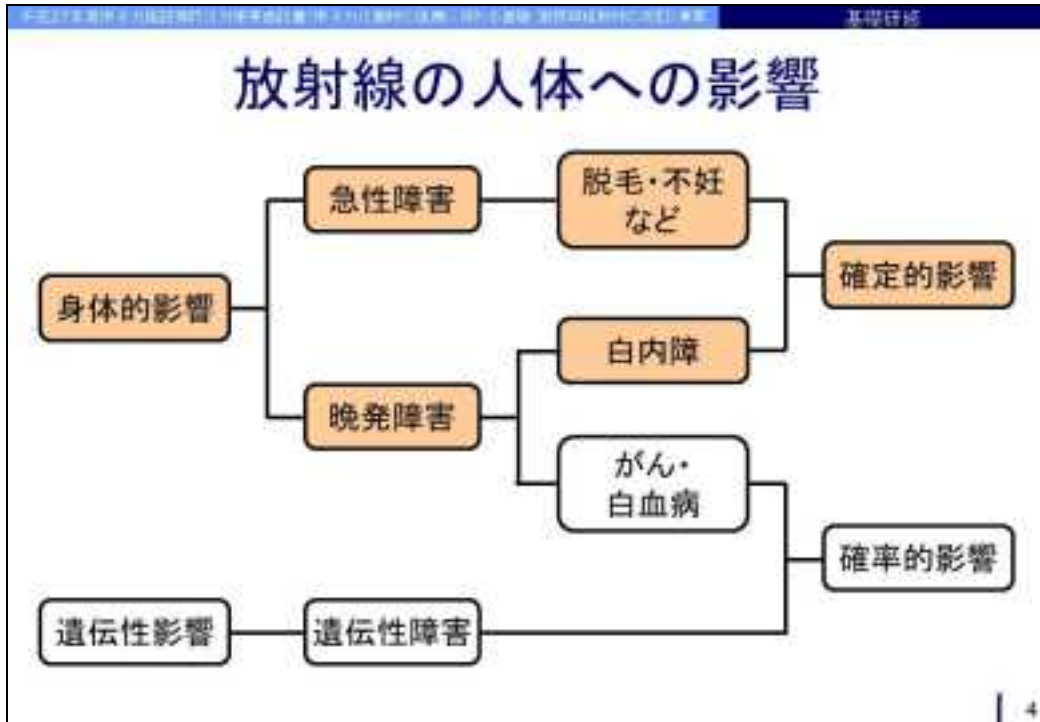


「たき火」から同じ距離に、同じ時間だけアイスクリーム、ケーキ、かぼちやを置いたとする。

アイスクリームは溶ける。ケーキも部分的に少し溶ける。かぼちやは熱くはなっても溶けない。

つまり、「たき火」から同じ距離に、同じ時間だけ、モノを置いたとしても、最終的にモノが「たき火」から受ける熱さの影響は、「距離」と「時間」、そして熱を受けるモノが持つ「熱に対する弱さ」で決まる。

放射線の場合も同様に組織・臓器により影響は異なる。

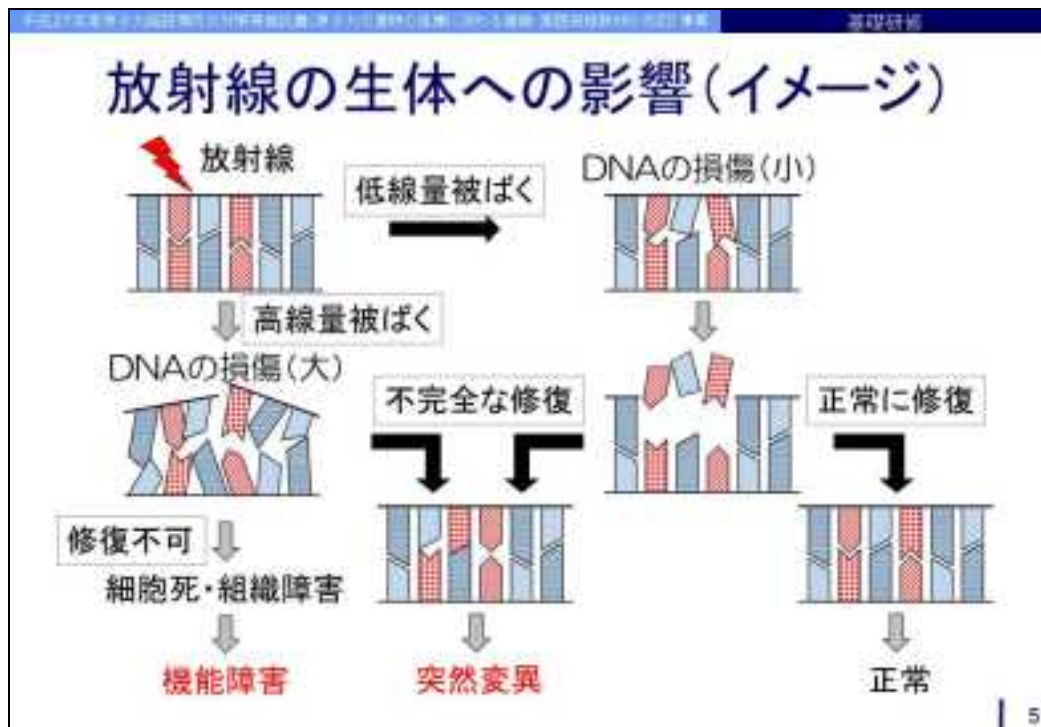


放射線の人体への影響は、被ばくした本人に影響が出る「身体的影響」と被ばくした本人でなく、子孫に影響が現れる「遺伝性影響」に分けられる。

身体的影響には、放射線を受けた直後、または数日ないし数週間以内に症状が出る「急性障害」と数か月から数年後になって症状が出てくる「晩発障害」に分けられる。

また、しきい値のある「確定的影響」としきい値のないと仮定する「確率的影響」に分類することもできる（「確定的影響」と「確率的影響」については別途説明する）。

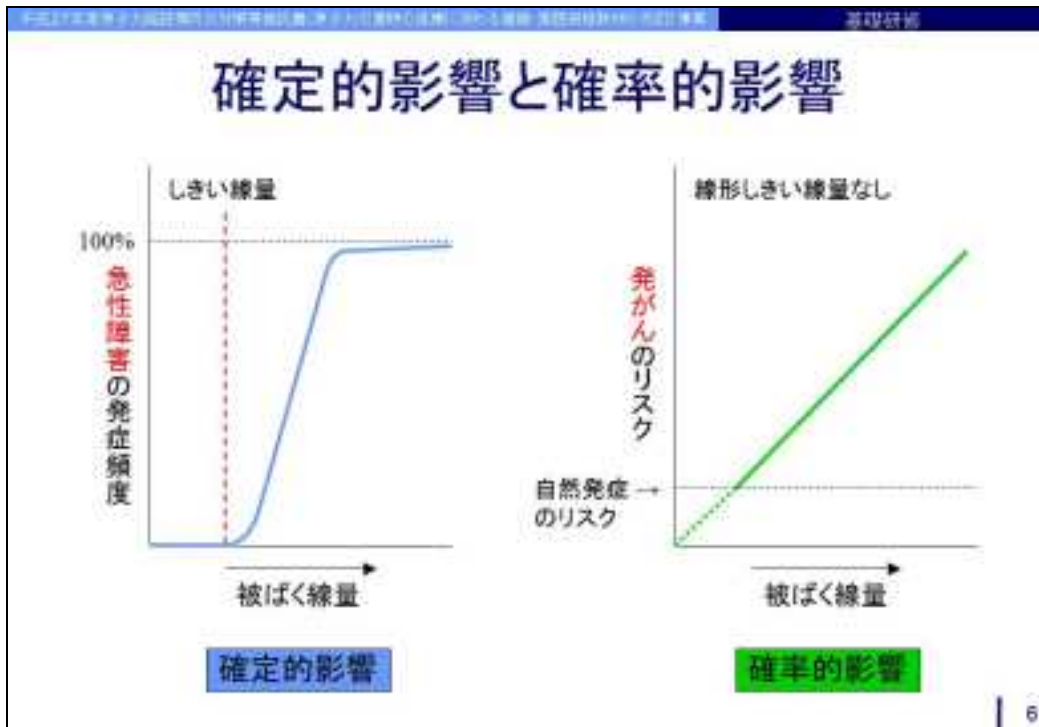
広島・長崎の原爆疫学調査からはヒトにおける遺伝性影響は確認されていない。



放射線を受けると、一瞬のうちに細胞内の染色体内にある DNA が損傷を受けるが、人体は損傷を修復する機能を備えているので、1 秒後には修復が始まると言われている。放射線量が少なく DNA の損傷が小さい場合で正常に修復できれば障害は起こらないが、一度に受けた放射線量が多い場合は修復が間に合わず、細胞死や組織障害を起こし、最悪の場合には急性障害で死亡する。また、放射線量の多少に関わらず不完全な修復が行われた際には、その細胞が突然変異を起こし、将来的にがん（や遺伝性影響）を発生させる可能性がある。

人には DNA 損傷を直す機能（修復）が備わっている。

DNA 損傷が直せないと細胞死が起きる。



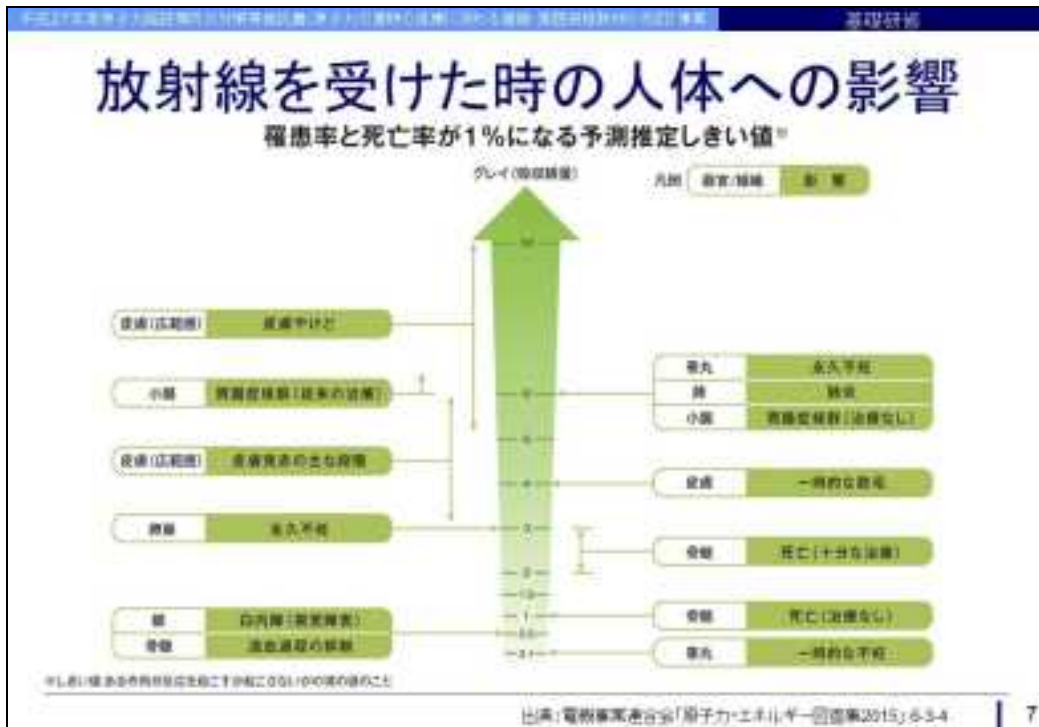
急性障害などの確定的影響（有害な組織反応）は、少ない被ばく線量では健康被害は出現しないが、ある線量を超えると健康被害が現れ始める。このときの線量を「しきい値（線量）」という。

全身で 1,000mGy を超える放射線量を全身に受けると、10%程度の人に吐き気や嘔吐などの臨床症状が起きるとされている。被ばく線量が増大すると目では白内障、頭では脱毛などが起こる。このように確定的影響では、線量の増加にともなって症状の重篤度が増大する。全身に 3,000mGy～5,000mGy の放射線を浴びると半数が、7,000mGy～10,000mGy の放射線を浴びるとほぼ全員が死亡する。

線量に応じて確率的に発生すると考えられる確率的影響で最も留意すべきは、発がんリスクが高まることである。DNA 損傷が、完全に修復されずに突然変異となり、正常な細胞の増殖の維持ができなくなることで起こる。被ばく線量が増大することで DNA 損傷が修復されずに残る確率が増加するとされている。広島・長崎の原爆被爆者の疫学調査から一度に 1,000mSv 浴びることでがんの死亡リスクが 1.5 倍に増えることが分かっている。

確定的影響：白内障、脱毛、白血球の減少などは、それぞれ個別のしきい線量をもつ。

確率的影響：線量に応じて発がんリスクの増加が問題となる。



放射線を体の一部に受けたのか、全身に（ほぼ）一様に受けたのかによって、影響の出方が異なる。前述のとおり、適切な治療が受けられない場合、全身に 3,000mGy の急性全身被ばくを受けると半数の人が 60 日以内に死亡する。一方、同程度の線量を皮膚に浴びた場合は、臨床症状として紅斑が出現するが、死亡することはない。

被ばくによる影響は、どの部位にどの程度の放射線を浴びたかによって異なる。


一度に 100mGy 以上の放射線を受けた場合、急性障害が発生する可能性がある。このような症状は、放射線の感受性が高い臓器ほど低い線量で症状が発生する。細胞分裂が盛んな臓器である精巣は、放射線感受性が高く、一時的な精子の減少は、100~150mGy で出現し、一過性の不妊になることがある。また、骨髄が 500mGy 以上の被ばくをすると造血機能が低下する。

放射線防護を目的とした被ばく線量限度

○ 放射線業務従事者(実効線量)
5年間で100mSv
 ただし、どの1年も50mSvを超えない
 ・電離放射線障害防止規則(厚生労働省)
 ・実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示(経済産業省)

○ 一般公衆(実効線量)
1年間で1mSv
 ※現在、国内法で定められているわけではないが、ICRP(国際放射線防護委員会)では1990年に勧告している

これらの数値には、自然放射線による被ばくや医療被ばくは含まれない。



放射線防護のための線量限度が定められている。放射線防護の目的は、「放射線による被ばくを管理し、制御することによって、**確定的影響の発生の防止と確率的影響のリスクを合理的に達成可能な限り減少させる**」ことにある。業務従事者については、我が国の線量限度を ICRP の勧告に基づき定めている。

放射線業務従事者の実効線量の限度は、5年間で100mSvかつ特定の1年間に50mSvを超えないことと定められている(緊急時の作業を除く)。

一般公衆について、ICRP では計画被ばく状況において被ばく線量限度として1年間1mSvを勧告している。

これらの線量限度値は放射線防護の目的にもあるとおり、確率的影響のリスクを合理的に達成可能な限り減少させることに基づくものであり、安全と危険の境界を定めるものではない。

また、医療被ばくについても診断や治療の便益を考慮して線量限度を適用しない。



被ばく防護の三原則を「たき火の法則」に例えてまとめてみる。

やけどをしないための原則は、たき火の強さを確かめ、①たき火からの距離をとる、②たき火のそばにいる時間を短くする、③遮蔽物を置く、ことである。

同様に、放射線から身を守り、被ばく線量を少なくするためには、①距離をとり、②そばにいる時間を短くし、③適切なもので遮蔽する、という3つの方法を適宜組み合わせることである。そして作業時には、被ばく線量を知らせてくれる「アラーム付き個人線量計」を装着することが望ましい。

汚染防止 — 汚染を拡大させないためには

→ 汚染管理



- ①ペンキが付いているところを確認する
 - ・サーベイ
- ②ペンキが塗られたものを包む
- ③ペンキが付いてもよい装備をする
 - ・室内の養生
 - ・**服装**
 - ・**マスク**
- ④ペンキを洗い落とす(除染)

10

放射性物質が色々なところにあると、人や物が汚染したり、気付かずに吸入、経口、傷口等から体内に入る可能性がある。そこで、放射性物質による汚染が拡大しないようにする。このことを放射性物質の「汚染管理」という。

これも、難しく考える必要はない。放射性物質をペンキに置き換えて「ペンキ塗りたて」のモノを扱う方法を考えると、容易に実行できる。

「ペンキ塗りたて」のモノからペンキが周りに付かないようにするには、まず、ペンキが付いている場所を確認する。放射能汚染は「サーベイメータ」で見つけることができる。

次に、ペンキが付いている場所を包むのが最も簡単な対応である。もしくは、作業前に周りにペンキが付いても捨てることができるように新聞紙等を敷く。服装も同様の理由で汚れてもいい作業服やさらにエプロンを重ね着する。そして、吸い込まないようにマスクを付ける。それでも、万が一、ペンキが付いたら洗い落とす。

汚染防止の例(医療機関での対応)

汚染患者の動線

- 可能であれば、一般患者とは異なる動線
- 必要に応じて、患者の院内移動経路の床を養生

治療区域(一時的管理区域)

- 不必要な機器は治療区域から移動
- ロープ等を張って、一時的に管理する区域を設定
- 床面等を養生




11

実際に医療機関では、汚染患者の処置室までの動線を一般患者とは異なる動線にしたり、移動経路の床を養生したりする。さらに治療する区域についても、不要な機器等を部屋から出し、一時的に管理する区域をロープ等を使って明示する。さらに、床面等の養生を行い患者を受け入れる。

また、搬送機関においても被ばく傷病者の搬送にあたっては、救急車やストレッチャーの養生を行い搬送する。

		汚 染	
		なし	あり
被ばく	なし	日常対応	—
	あり	日常対応	特別対応

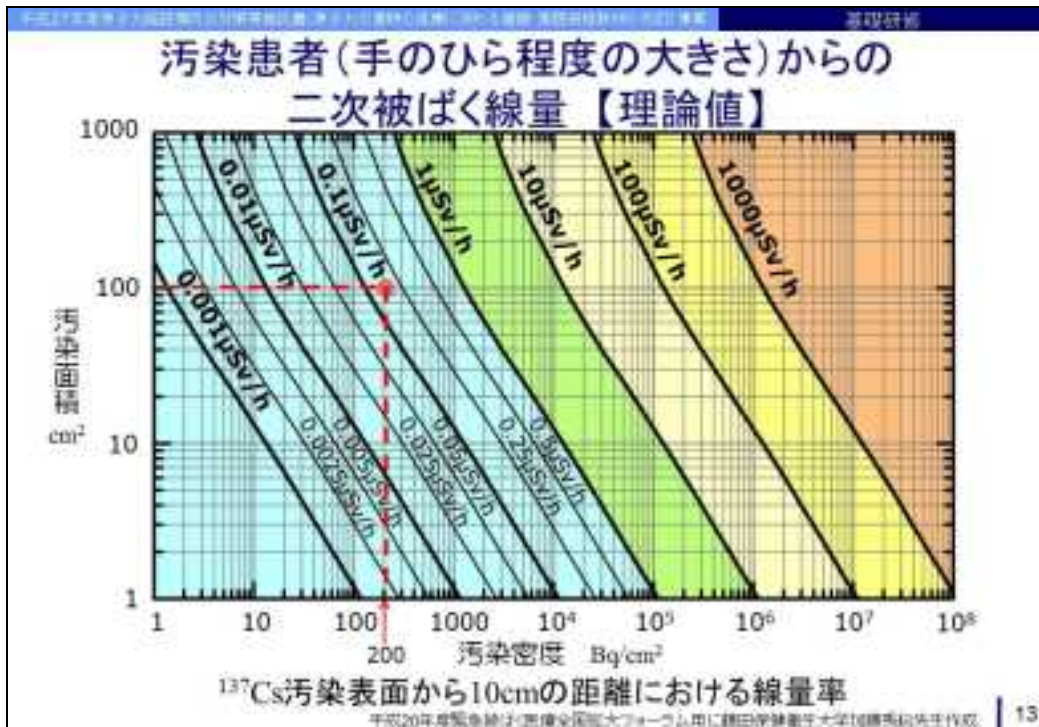
次に汚染・被ばく傷病者への対応を考えてみる。

まず、傷病者の「汚染」・「被ばく」状況を確認する。

傷病者に「汚染なし・被ばくなし」のときには、日常の（救急）医療対応となる。

傷病者に「汚染なし・被ばくあり」のときには、傷病者には被ばくの健康障害が発生することも考えられるが、対応者にはリスクは生じないため、日常の医療対応となる。

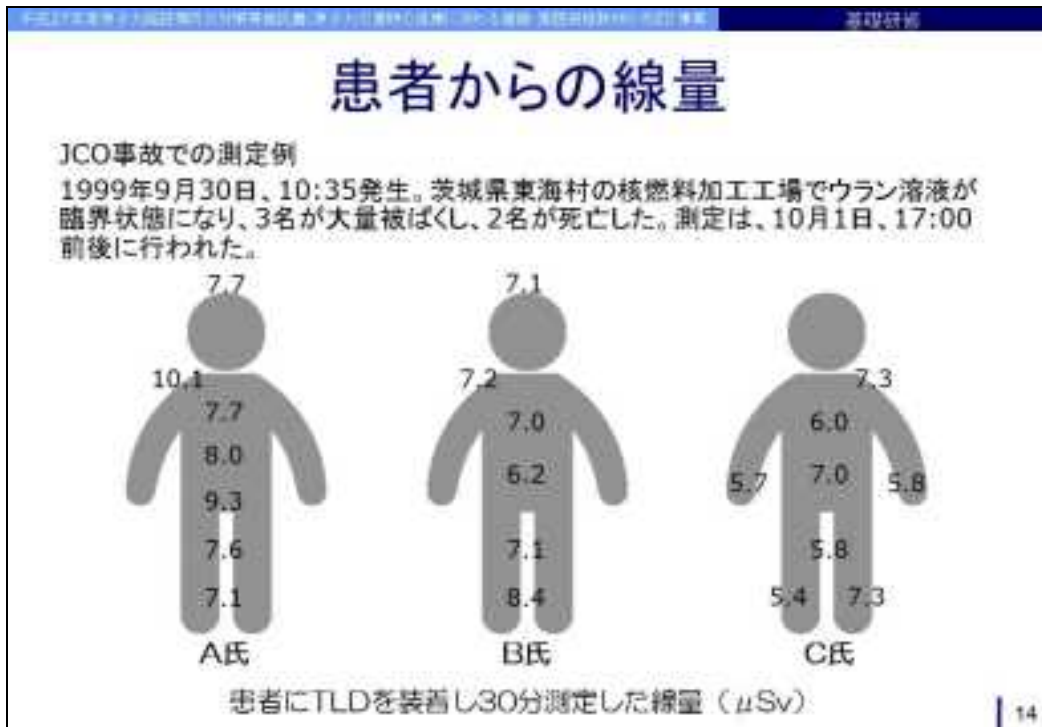
傷病者に「汚染がある場合」には、対応者はその汚染を拡大したり、自らも汚染をしないような服装や対応が必要になる。



対応者が汚染患者から受ける被ばくを二次被ばくと呼ぶ。

この図から、汚染密度と汚染面積が分かればそこからの線量率がわかる。例えば、セシウム 137 の汚染が、 200Bq/cm^2 、 100cm^2 (手のひら程度の大きさ) あったときに、そこから 10cm 離れたときの線量率は、 $0.15\mu\text{Sv/h}$ 程度とわかる。

なお、面積 (Bq/cm^2) が変わった場合にはこの限りではない。

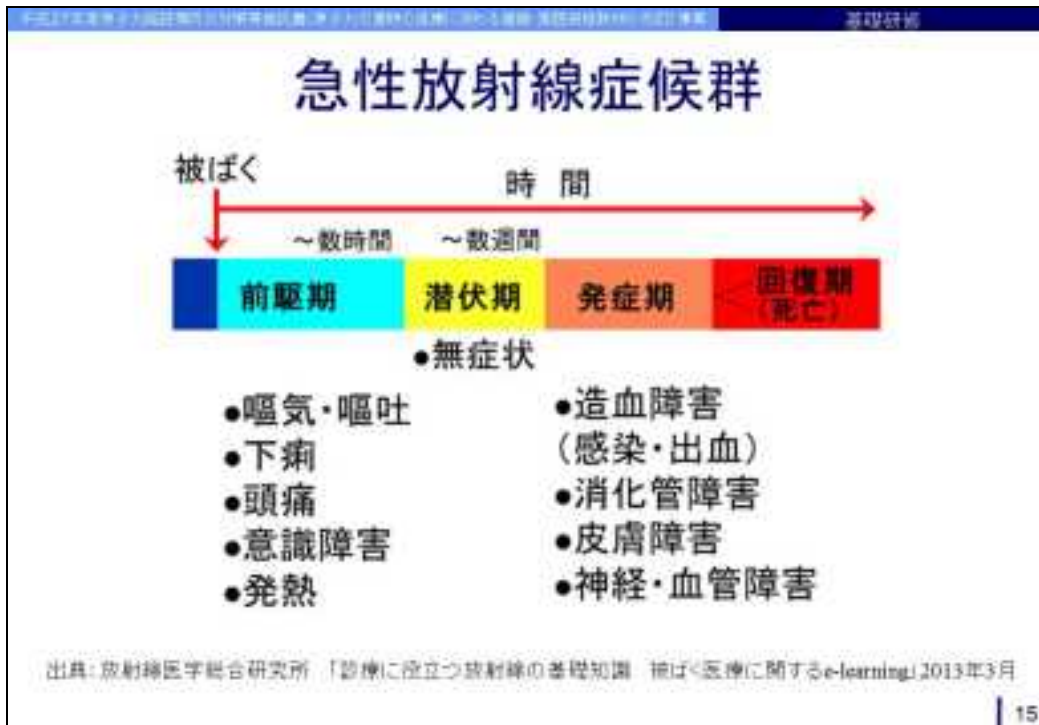


1999年9月30日、10:35に発生したJCO事故の際に放射線医学総合研究所では、搬送されてきた被ばくした患者(患者体内のNaが中性子により放射化され²⁴Naが生成されている)にTLD(熱蛍光線量計)を装着して30分間の測定を行った。この結果は最大でも10.1μSvであり、医療従事者への被ばくは問題となるものではなかった。

測定結果				単位 (μSv)	
A氏		B氏		C氏	
部位	測定結果	部位	測定結果	部位	測定結果
頭部	7.7	頭部	7.1	左肩部	7.3
右肩部	10.1	右肩部	7.2	胸部	6.0
胸部	7.7*	胸部	7.0*	腹部	7.0
腹部	8.0*	腹部	6.2	左手	5.8
下腹部	9.3*	大腿部	7.1*	右手	5.7
大腿部	7.6*	足部	8.4*	大腿部	5.8*
足部	7.1*			左足	7.3*
				右足	5.4*

*は布団上に装着

出典：放射線医学総合研究所「ウラン加工工場臨界事故患者の線量推定最終報告書」(平成14年2月) P.118



全身に 1,000mGy (1Gy) 以上の放射線を一度に浴びると急性放射線症候群と呼ばれる一連の臓器障害を来すことがある。

前駆期には、1Gy 以上の被ばくで、悪心、嘔吐等の症状が見られる。その後の潜伏期を経て、発症期に入ると障害を受けた主な臓器（骨髄、消化管、皮膚、神経・血管系）に臨床症状が現れる。

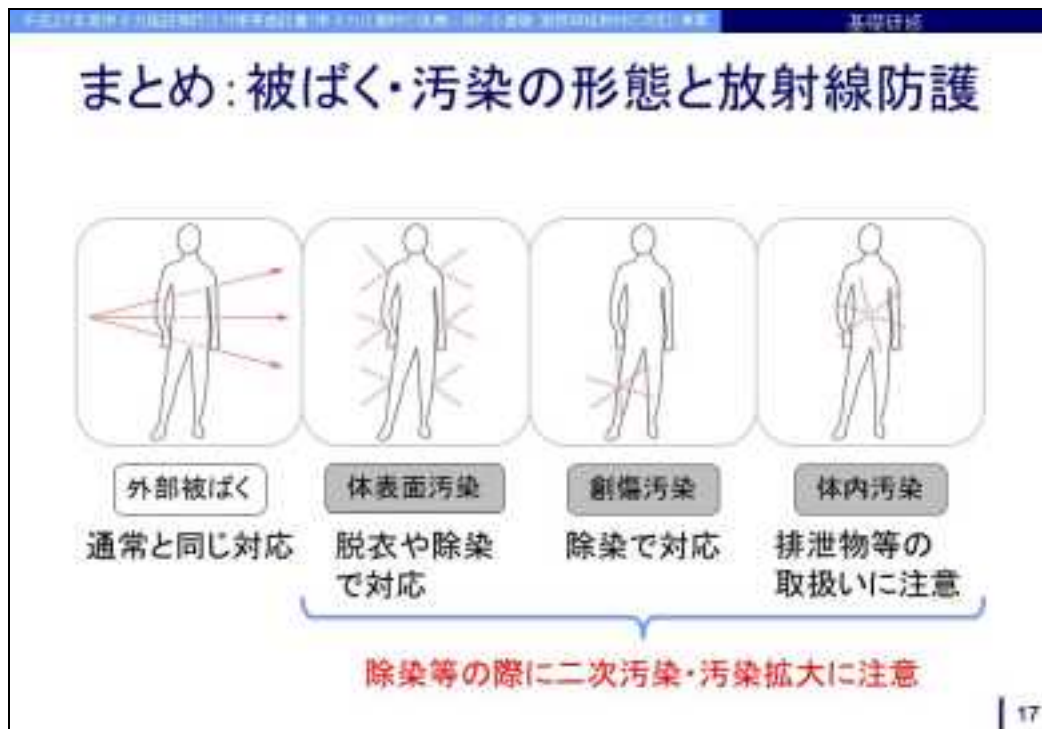
急性放射線症候群は、前駆期の後、無症状の潜伏期を経て発症期へ至る。

症状と治療方針		軽症 (1~2Gy)	中等度 (2~4Gy)	重症 (4~6Gy)	極めて重症 (6~8Gy)	致命的 (>8Gy)
嘔吐	発現時期	2h以降	1~2h後	1h以内	30分以内	10分以内
	発現頻度	10~50%	70~90%	100%	100%	100%
下痢	発現時期	なし	なし	軽度 3~8h	重症 1~3h	重症 数分~1h以内
	発現頻度	—	—	<10%	>10%	ほぼ100%
頭痛	発現時期	軽度	軽度	中等度 4~24h	重症 3~4h	重症 1~2h
	発現頻度	—	—	50%	80%	80~90%
意識障害	発現時期	障害なし	障害なし	障害なし	障害の恐れ	意識喪失 数秒~数分
	発現頻度	—	—	—	—	100% > 50Gy
体温	発現時期	正常	発熱 1~3h	発熱 1~2h	高熱 <1h	高熱 <1h
	発現頻度	—	10~80%	80~100%	100%	100%
治療方針		外来フォロー	総合病院入院 必要に応じ 専門病院	専門病院で治療	専門病院で治療	緊急入院 造血幹細胞移植を 要した先端医療

IAEA / WHO Safety Reports Series No.2 "Diagnosis and Treatment of Radiation Injury", 1998. 参考文献(放射)原子力安全研究協会発行

被ばく後に発現した症状とその時間経過によっておおよその被ばく線量が推計できる。1Gyの被ばくでは、悪心・嘔吐、頭痛が主な症状である。4~6Gyでは、被ばく後24時間以内に50%の人に中等度の頭痛が発生する。6~8Gyでは、被ばく後1~3時間の間に10%の人に重度の下痢が発生する。これらの症状は、被ばく線量が多くなればなるほど、発現までの時間が短くなり、また、症状は重症化する。

急性放射線症候群の前駆期の症状に放射線特有のものはないが、症状とその発生時期からおおよその被ばく線量が推計できる。



最後に傷病者等の被ばくの形態と放射線防護策をまとめた。

被ばく・汚染の形態に応じて、適切な放射線防護措置を講じることにより、二次被ばくや二次汚染を防止し、対応者は自身の安全を確保することができる。

世界的に見ても、これまでの原子力事故において、傷病者等に対応した搬送対応者や医療対応者が二次被ばくや二次汚染により、健康被害を被った事例は報告されていない。

医療活動に必要な放射線測定

放射線はすぐに測定できる

- 適切な測定器を選択するために:
 - 測定すべき放射線は？
(アルファ線、ベータ線、ガンマ線……)
 - 測定の目的や対象は？
(表面汚染、空間線量(率)、個人線量、……)



The illustration shows a person wearing a white protective suit and a mask, holding a radiation detector. A beam of light from the detector is directed towards a fire on the left and a patient lying in a hospital bed on the right. The background is a gradient from orange to yellow.

「たき火の法則」で述べられていたように、たき火が燃えることによりたき火からの火のエネルギーがモノに吸収される。

すなわち、たき火（放射性物質）からエネルギー（放射線）が放出される。

たき火が燃える強さ（放射性物質の放射線を出す能力）をベクレル（Bq）といい、放出されるエネルギー（放射線）を測定すれば燃える強さ（放射能）を測定することができるはずである。

放射線の特徴（放射線と物質との相互作用）を利用すれば、放射線はすぐに測定できる。相互作用としては、電離作用（電流）、蛍光作用（光）、写真作用（黒化）などがあり、いろいろな放射線測定器はこれらの相互作用を利用している。

しかし、放射線の種類によって相互作用の仕方が異なるので、それぞれの放射線に適した放射線測定器を選択しなければならない。

また、たき火が燃える強さを測定、たき火が放出する熱を測定、ヒトの受けた放射線の量を測定するかによっても適した放射線測定器を選択しなければならない。

どこで何を測定するのか？



① 活動場所は安全か？
→ サーベイメータによる空間線量率の把握 (Sv/h)

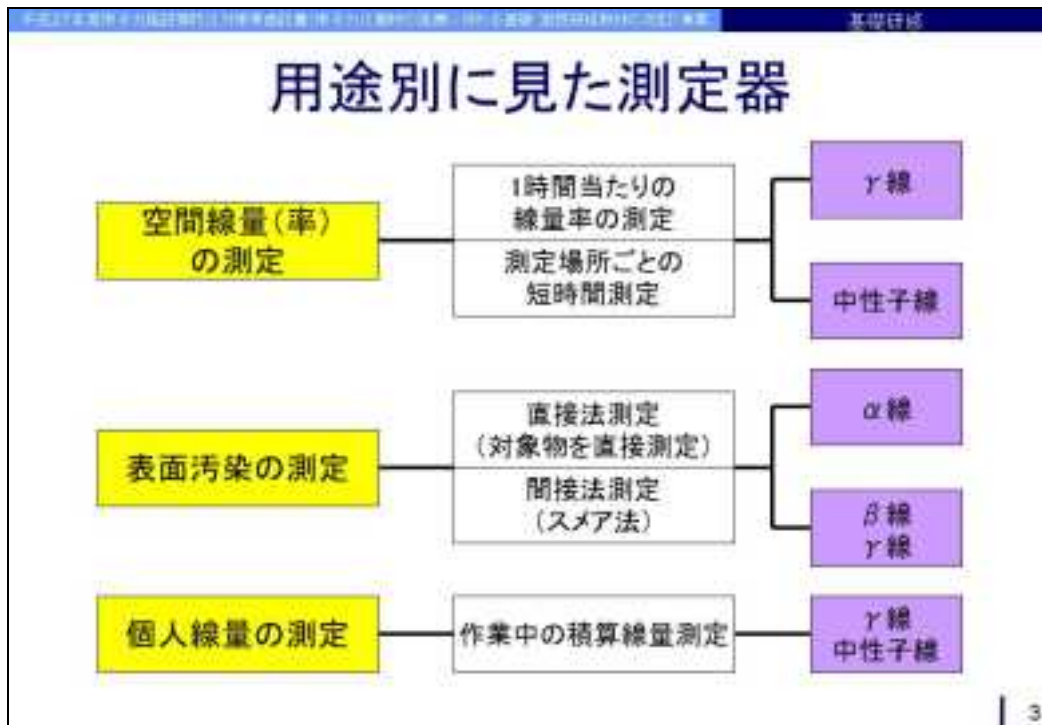
② 被検者(被災者、傷病者)はどれくらい汚染しているのか？
→ サーベイメータによる表面汚染の把握 (Bq)

※ 活動によって私はどれくらい被ばくするのか？
→ 二次被ばく線量の予測

③ 活動中に私はどれくらい被ばくしたのか？
→ 個人線量計による被ばく線量の把握 (Sv)

どこで何を測定するのか。

- ①作業する場所（事故現場、救急車内、病院内）はどの程度の放射線量があり、今後の活動でどの程度の放射線量を受けるのかを推定するために測定する（空間線量率測定、単位は Sv/h）。
- ②被検者（被災者、傷病者）の体表面に放射性物質が付着（汚染）しているのか否か、机や床などに放射性物質が付着（汚染）しているのか否か、付着（汚染）はどの程度なのかを測定する（表面汚染測定、単位は Bq）。
- ※活動に際しての二次被ばくの程度を予測することができれば、それに応じた対応をとることができる。
- 原子力災害医療において、救急車内や病院で考慮すべき放射線は、被検者（被災者、傷病者）の汚染部位からの放射線となる。そのため、汚染部位（線源）からの放射線量がどれくらいであるかを測定することによって、今後の活動でどの程度の被ばくを受けるのかを予測することができる。
- また、汚染部位の汚染拡大防止措置をしっかりと行うことで、二次的な被ばく・汚染を軽減することができる。
- ③原子力災害医療活動中や活動後に医療・搬送関係者が被ばくしているのか否か、医療・搬送関係者がどの程度の放射線を被ばくしたのかを測定する（個人線量測定、単位は Sv）。



用途別に使用する放射線測定器を整理する。

- ① 空間線量(率)測定においては、通常はガンマ線が対象となる。ただし、東海村ウラン加工工場のような臨界事故が起こった場合には、中性子線の測定を行う必要がある。
- ② 表面汚染測定においては、放射性物質から放出される放射線が何かということが重要となる。アルファ線が放出される場合には、ZnS シンチレーション式測定器を使用する必要がある。一方、ベータ線やガンマ線が放出される場合には GM 管式測定器などを使用する必要がある。また、表面汚染の測定方法には、対象物に測定器を近づけて測定する直接法と対象物を拭き取って、拭き取ったものを測定する間接法(スミア法)がある。
- ③ 個人線量測定においては、ガンマ線あるいは中性子線が測定対象となり、個人線量計を使用する。一般に電子式線量計が使用される。

① 活動場所は安全か？ →空間線量率



①活動場所は安全か？

まず、最初に自分たちが活動を行う場所が安全であるかどうかを確認する。

どこかに放射性物質があれば、そこからは放射線が放出されている。放出されている放射線がどのくらいの線量率であるかが重要である。

①空間線量率測定〔サーベイメータ〕			
	形式	検出器	測定範囲
γ線	NaI(Tl)シンチレーション式 サーベイメータ	NaI(Tl)シンチレータ	自然放射線 [※] ～ 30 μSv/h
	電離箱式 サーベイメータ	電離箱	1 μSv/h～1Sv/h
	GM管式 サーベイメータ	GM計数管	0.1 μSv/h～ 300 μSv/h
中性子線	中性子用 サーベイメータ	³ He比例計数管	0.01 μSv/h～ 10mSv/h

※自然放射線(大地からの放射線と宇宙線):0.072μSv/h程度(日本平均)
(公財)原子力安全研究協会「新版 生活環境放射線(国民調査の算定)」(2011年)より算出

サーベイメータとは、携帯に便利のように検出器、電子回路および電源がコンパクトにまとめられた放射線測定器のことである。

空間線量(率)を測定するために、GM管式、NaI(Tl)シンチレーション式、電離箱式サーベイメータが用いられる。

NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータでは、自然放射線から 30 μSv/h までの低線量の測定範囲を持っている。

一方、電離箱式サーベイメータでは、μSv/h から Sv/h という高線量までの測定範囲を持っている。


なお、中性子線を測定する場合には、中性子線用のサーベイメータを使用しなければならない。



活動場所の空間線量の測定では、サーベイメータの指示値がそのまま実効線量（率）を表す。

ただし、旧型のサーベイメータで指示値が直接実効線量を表さない場合は、ガンマ線のエネルギーを考慮して補正する必要がある。

② 「傷病者」はどれくらい汚染しているのか？
→表面汚染



「傷病者」はペンキが付いて汚れているのか
ペンキが付いている → 汚染あり
ペンキが付いていない → 汚染なし

②傷病者はどれくらい汚染しているのか？

傷病者は汚染しているのか？汚染していないのか？

汚染している場合には、どのくらい（範囲・程度）汚染しているのかが重要である。

線種	形式	検出器	測定範囲
$\beta(\gamma)$ 線	GM管式 サーベイメータ	GM計数管	10~100k [min ⁻¹] (1分間当りの計数)
	シンチレーション式 サーベイメータ	プラスチック シンチレータ	30~300k [min ⁻¹] (1分間当りの計数)
α 線	シンチレーション式 サーベイメータ	ZnS(Ag) シンチレータ	1~100k [min ⁻¹] (1分間当りの計数)

表面汚染検査には、測定対象がベータ（ガンマ）線の場合にはGM管式サーベイメータあるいはプラスチックシンチレーション式サーベイメータを用い、測定対象がアルファ線の場合にはZnSシンチレーション式サーベイメータを用いる。

広く用いられているGM管式サーベイメータでは、表面汚染密度が1cm²あたり0.3Bq程度から測定可能である。

cpm と min⁻¹

表面汚染検査では、一般に1分あたりどれだけ検出したか（計数率）を測定する。その際、単位としてカウント毎分が用いられる。

cpm (counts per minute) と min⁻¹ はどちらも同じ1分あたりの検出数のことである。なお、新しいサーベイメータでは min⁻¹ の表示が用いられていることが多い。



これらは、直接法と呼ばれ、表面汚染測定用サーベイメータを用いて測定対象物を直接測定する方法である。

アルファ線の場合、ベータ線やガンマ線に比べて、空気中での飛程が短いので、できるだけサーベイメータを対象物に近づけて測定する必要がある。

基礎研修

③ 活動中に私はどれくらい被ばくしたのか？
→個人線量

α 線は紙1枚で遮蔽できる。
 β 線のほとんどは服で遮蔽できる。
 γ 線は紙や服では遮蔽できない。

③活動中に私はどれくらい被ばくしたのか？

アルファ線やベータ線のほとんどは、紙や服で遮へいできるため、活動中の被ばく線量にはほとんど寄与しない。しかし、ガンマ線は遮へいすることができないため、活動中に個人線量計を用いて、どのくらい被ばくしたかを把握することが重要である。

種 類	線量測定範囲例 (γ 線)	γ 線以外への適用			読取方法
		β	熱中 性子	速中 性子	
光刺激ルミネッセンス 線量計 (OSL)	10 μ Sv ~ 10 Sv	○			読取装置
蛍光ガラス線量計	10 μ Sv ~ 10 Sv	○			読取装置
電子式線量計	1 μ Sv ~ 10 mSv	○	○	○	直 読

個人線量測定には、従来、写真フィルムの黒化作用を利用したフィルムバッジがよく使われていたが、最近は使用されなくなってきた。

現在は、光刺激ルミネッセンス線量計（OSL 線量計）や蛍光ガラス線量計（ガラス線量計）がよく使われている。

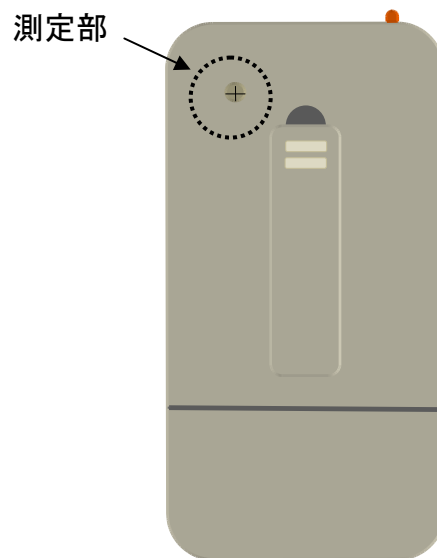
電子式線量計の特徴は、OSL 線量計やガラス線量計と違い、その場で線量を直読できるだけでなく、機種によってはアラームの設定も可能である。

原子力災害医療でも、できるだけ直読式の電子式線量計を利用し、線量を確認しながら作業を行うのが望ましい。



個人線量計は、原則として男性は胸部、女性は腹部に装着する。電子式線量計は、装着する向きがあるので、測定部を必ず外部に向ける。

線量計の表裏を間違えないように注意！



平成27年度厚生労働省委託「放射線測定器の性能評価に関する調査」報告書 基礎研修

放射線測定の留意点

- 原子力事故の状況
- 放射線の種類、エネルギー、強度
- 被ばくの形態
- 測定器の性能と適応性
- 自然放射線(バックグラウンド)の考慮

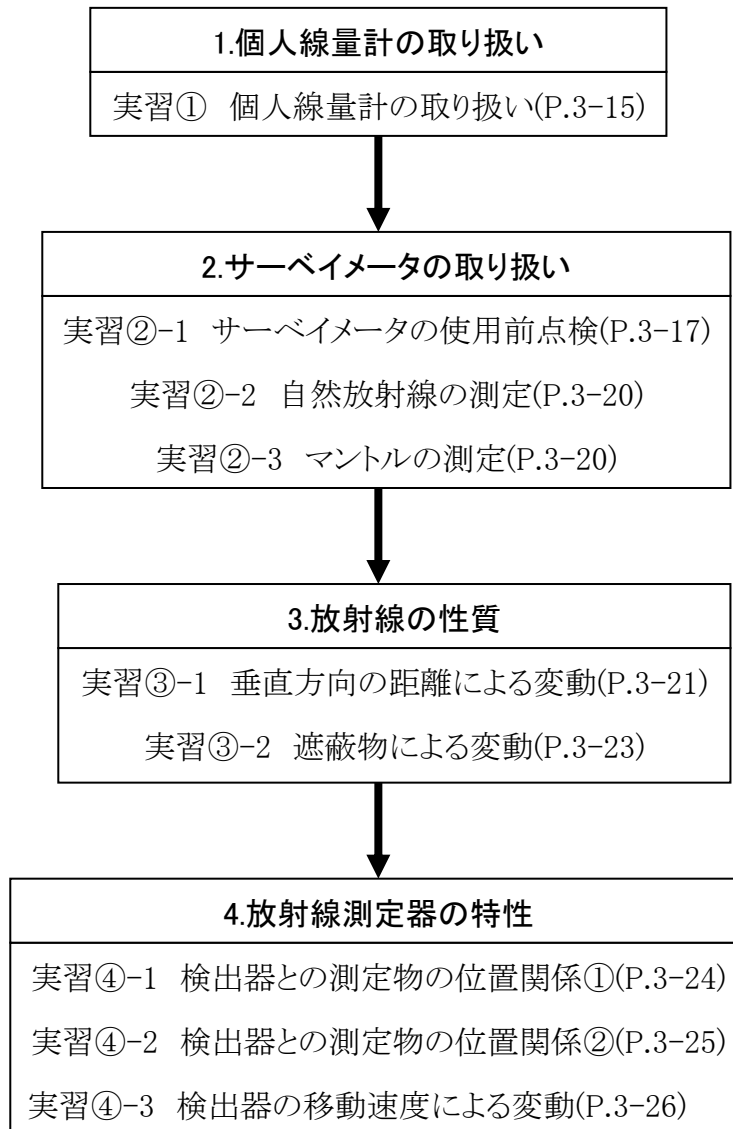
13

一般的な放射線測定の留意点をまとめる。

原子力事故の状況を見極め、放射線の種類と強度を推定し、測定対象に適切な放射線測定器を用いて測定を行う。

その際には、測定値のもつ数字の意味を十分に理解し、線量を評価しなければならない。

放射線測定実習 実習フロー

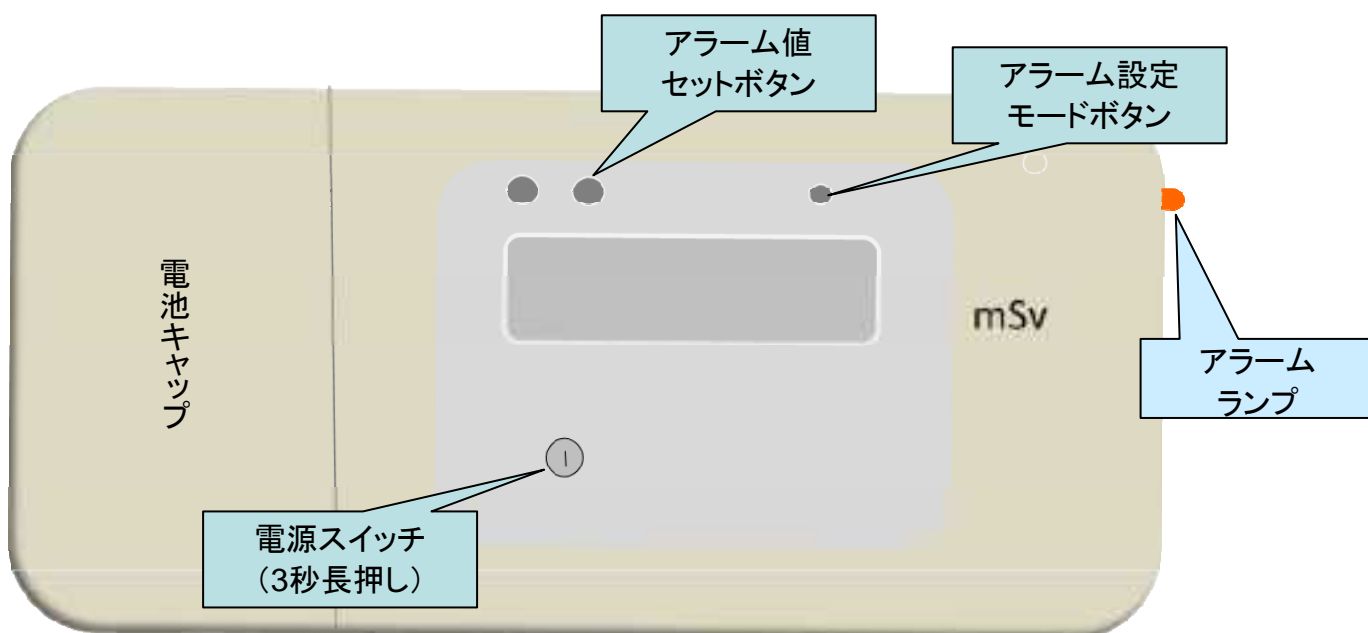


1. 個人線量計の取り扱い

【用意するもの】

アラーム付き個人線量計 1台/グループ

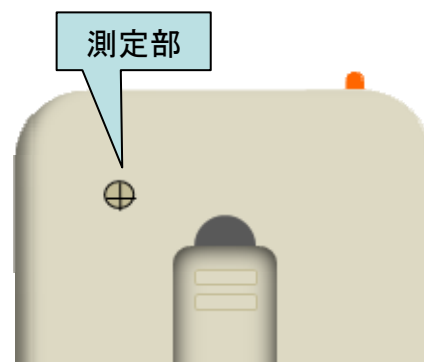
実習① 個人線量計の取り扱い



- ①電源スイッチを長押し（3秒）し、電源を入れる。
- ②液晶表示テストが行われた後、アラーム設定レベルを表示するとともに、1.5秒間ブザーが鳴り、アラームランプが点滅し、本体が振動する。
- ③その後、測定を開始する。なお、それまでの線量値が蓄積されている場合は、積算線量を表示する。積算線量をリセットするときは一旦電源を切り、再度電源スイッチを10秒間以上押し続けて電源を入れる。

④装着方法

- ・測定部を必ず体の外側に向ける（液晶表示部を体の内側に向ける）。
- ・原則として、男性は胸部、女性は腹部に装着する。
- ・使用中に紛失しないよう、付属の紐で首からぶら下げる。
- ・実習の「最初」と「最後」に数値を必ず確認する。



⑤万が一、積算線量がアラーム設定値を超えると、表示が点滅するとともに、ブザーが鳴りアラームランプが点滅し、本体が振動して警報する。

⑥電源を切るときには、電源スイッチを長押し（3秒）する。

実習開始時	mSv
実習終了時	mSv

注意：強い電波を受けると誤計数となることがあります。携帯電話、PHS、高出カトランシーバー等の近くで使用しないようにして下さい。

空間線量率の測定

この場所の空間線量率を測定しましょう。使用する測定器は NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータです。

なお、使用方法の詳細は、「付録 サーベイメータの取扱方法」を参照して下さい。

空間線量率	μ Sv/h
-------	------------

(1時間当たりの線量率)

作業開始時刻	
作業終了時刻	
作業時間	時間

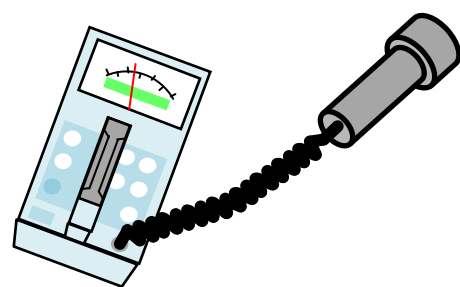
積算線量	μ Sv
------	----------

※1 μ Sv = 0.001mSv

2. サーベイメータの取り扱い

【用意するもの】

サーベイメータ	1台／グループ
マントル	1個／グループ
ラップフィルム	1本／グループ



<実習の目的>

サーベイメータを使用する前には、バッテリーの有無等に関する使用前点検を必ず行う。

本実習では、使用前点検の手順を学び、点検の結果を「表1 サーベイメータのチェックリスト」に記入する。

次に、サーベイメータの使い方、すなわち、サーベイメータのさまざまなスイッチ、つまみについての機能や特徴を実習を通じて理解する。

測定結果は、「表2 自然放射線およびマントルの測定結果」に記録する。

なお、ここに示した手順は、日立アロカメディカル製GMサーベイメータTGS-136を参考としているが、実際の手順は、保有する測定機器の取扱説明書を用いる。

実習②-1 サーベイメータの使用前点検

(1)準備

サーベイメータの検出器（プローブ）をラップフィルムでカバーする。本体裏面の電池ボックスに電池を入れる。このとき、電池の+、-を間違えないように入れ、蓋を確実に閉じる。



検出器(プローブ)


(2)バッテリーチェック

FUNCTIONつまみを [BATT.] に合わせ、メータの指針が「グリーンベルト」（緑帯）にあることを確認する。指針が「グリーンベルト」から外れている場合には、電池が消耗しているため、新しい電池と交換する。

(3) 高圧のチェック

FUNCTIONつまみを [HV] に合わせ、メータの指針が「レッドベルト」(赤帯)にあることを確認する。なお、指針が「レッドベルト」を外れている場合は、所定の高圧が得られておらず正しく計測できないので、メーカーに調整を依頼する必要がある。

(4) 自然放射線 [バックグラウンド(BG)] による点検

①FUNCTIONつまみを [USE] に合わせる。なお、スピーカーを鳴らす場合には  (スピーカー) に合わせる。

機種によってはスピーカーの音をON-OFFするレバーがついているので、目的に応じて切り換える。

②COUNT RATE(min^{-1})つまみを [100] または [300] にセットする。

機種によっては [Range] と表示され、つまみの表示が [$\times 100$]、[$\times 300$]、 \dots [$\times 300\text{k}$] となっている場合は [$\times 100$] または [$\times 300$] にセットする。

③TIME CONST. (時定数) つまみを [10(sec.)] にセットする。

④20～30秒ほど待って指針の振れの中央値付近の値を読み取る。その際、指針は常に振れているので、目測で中央値付近の値を読む。

(5) マントルによる点検

①COUNT RATE(min^{-1})つまみを [30k] (30,000カウント/分) または [10k] (10,000カウント/分) にセットする。

②マントルに検出器の測定窓を密着させ、指針がほぼ一定の値を示すのを待ち (20～30秒)、値を読み取る。

(6) 終了

測定を終了した後には、FUNCTIONつまみを [OFF] にする。なお、測定器の使用を終了するときは、電池を抜き保管する。

表1 サーベイメータのチェックリスト

機 種 :	製造番号 :
点検日 :	点 検 者 :
<p>1)バッテリーチェック</p> <p>FUNCTIONつまみを [OFF] から [BATT.] に合わせる。</p> <p>このとき、メータの指針はグリーンベルト（緑帯）内にあるか？</p> <p><input type="checkbox"/> ある</p> <p><input type="checkbox"/> ない → 担当者に連絡し、電池を交換する。</p>	
<p>2)高圧のチェック</p> <p>FUNCTIONつまみを [HV] に合わせる。</p> <p>このとき、メータの指針はレッドベルト（赤帯）内にあるか？</p> <p><input type="checkbox"/> ある</p> <p><input type="checkbox"/> ない → 担当者に連絡する（修理の必要あり）。</p>	
<p>3)自然放射線による点検</p> <p>測 定 値 [] min^{-1}</p>	
<p>4)マントルによる点検</p> <p>測 定 値（密着させたとき） [] min^{-1}</p> <p>マントルの値（袋に書いてある値） [] min^{-1}</p>	
<p>5)点検後の確認</p> <p>FUNCTIONつまみを [OFF] にしたか？</p> <p><input type="checkbox"/> した</p>	

マントルとは



マントルとは、ランタン（キャンプ等に使う照明器具）の網状になっている芯（発光体）のことです。このマントルには、発光効率を向上させるために酸化トリウム等のトリウム系列の物質が含浸されているものがあります。なお、1個当たりのマントルに含まれるトリウムの量は、0.5g以下であることから被ばくは無視できます。

実習②-2 自然放射線の測定

- ①測定レンジを [100] または [300] に設定する。
- ②時定数を [30(sec.)]、[3(sec.)] に順次設定し、それぞれの時定数における指針の振れを観察し、記録する。
- ③自然放射線のように低い計数率 [min⁻¹] の測定のために、どの時定数を選定すべきか考察する。

実習②-3 マントルの測定

- ①測定レンジを [30k] または [10k] に設定する。
- ②時定数を [30(sec.)]、[3(sec.)] に順次設定し、それぞれの時定数における指示値が最大値となるまでの時間を観察し、記録する。なお、検出器の測定窓はマントルに密着させる。
- ③高い計数率 [min⁻¹] の測定のために、どの時定数を選定すべきか考察する。

表2 自然放射線およびマントルの測定結果

機 種 :		製造番号 :		
点検日 :		点 検 者 :		
	自然放射線の変動			マントルの測定値
時定数	最小値 [min ⁻¹]	最大値 [min ⁻¹]	中央値 [min ⁻¹]	最大値を示すまでの時間
30秒				秒
3秒				秒
	測定に適した時定数 [] 秒			測定に適した時定数 [] 秒

3. 放射線の性質

【用意するもの】

サーベイメータ	1台／グループ
マントル	1個／グループ
測定セット	1台／グループ
遮蔽板セット	1個／グループ

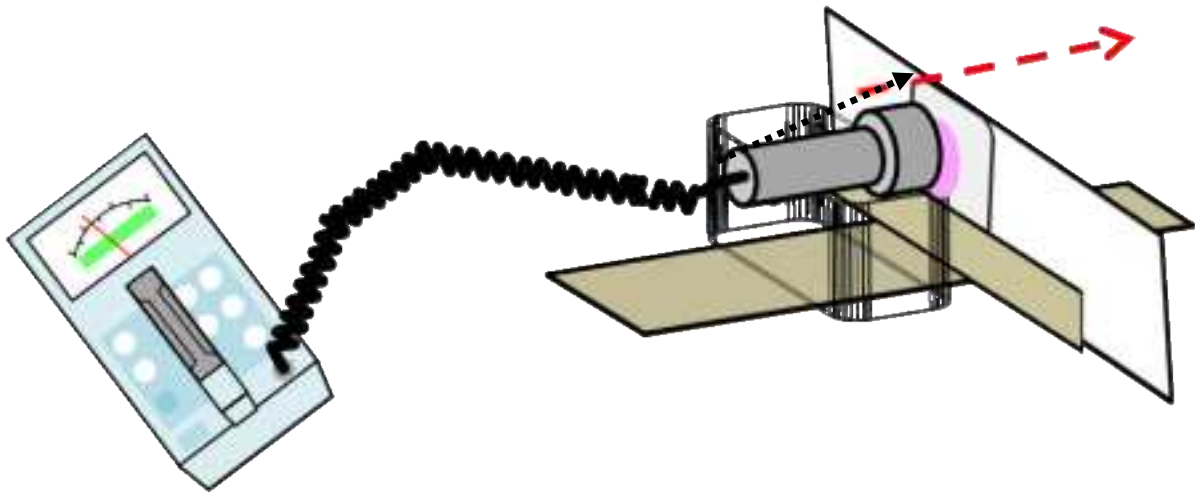
＜実習の目的＞

放射線防護の三原則のうち、「距離の逆2乗」および「遮蔽効果」について、簡単な実験によってその概略を理解する。

測定結果は、「表3 マントルからの距離と計数率との関係」および「表4 遮蔽物による変動」に記録する。

実習③-1 垂直方向の距離による変動

- ①時定数を [10(sec.)] にセットする。途中、(指針の振れが大きく) 測定しにくくなった場合には、[30(sec.)] にする。
- ②検出器の測定窓をマントルに密着 (0cm) させた状態で計数率を求め、記録する。
- ③マントルから垂直方向に、1cm、5cm、(10cm)、20cmと順次移動し、それぞれの距離における計数率を求め、記録する。このとき、サーベイメータの指針がメータ中央部にくるように、測定レンジを選択する。

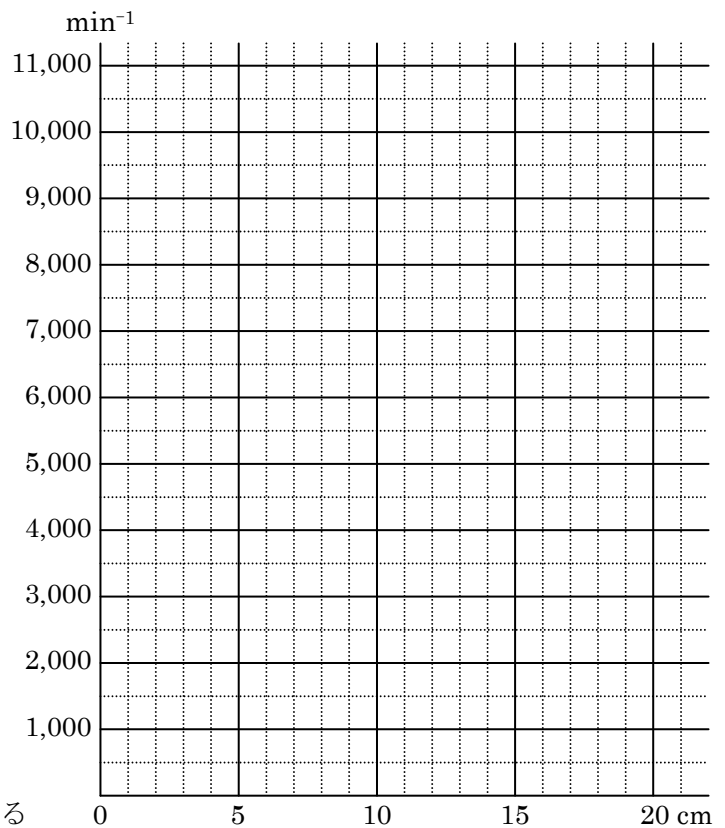


垂直方向の測定

表3 マントルからの距離と計数率との関係

【垂直方向】

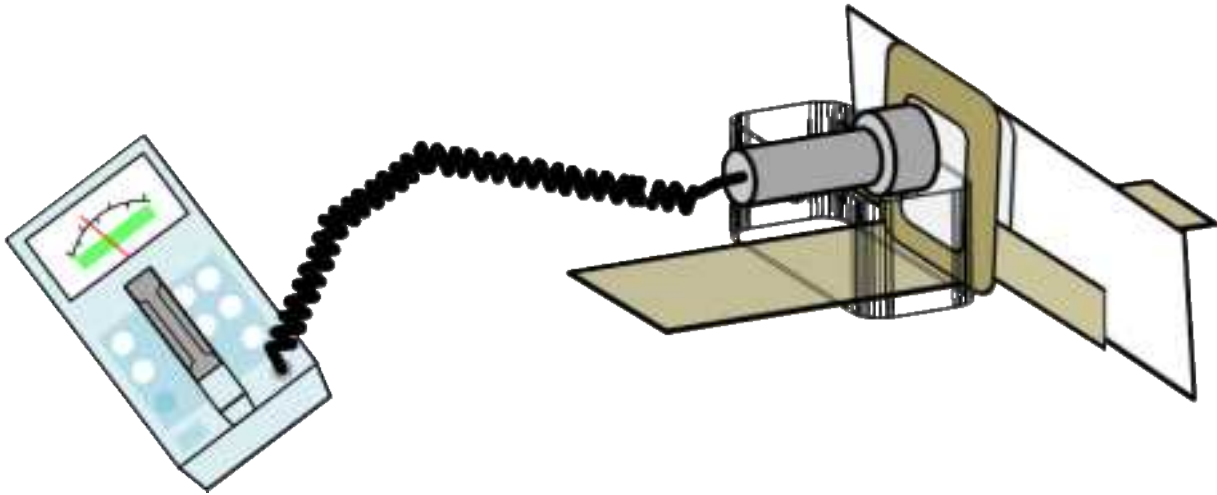
自然放射線の計数率		min^{-1}
距離	測定値	正味計数率*
0cm	min^{-1}	**
1cm	min^{-1}	**
5cm	min^{-1}	**
10cm	min^{-1}	**
20cm	min^{-1}	min^{-1}



* 自然放射線の計数率を差し引いた値
 ** 自然放射線の計数率の差し引きを省略できる

実習③-2 遮蔽物による変動

- ①時定数を [10(sec.)] にセットする。
- ②検出器とマントルの間を約2cm離れた状態で計数率を求め、記録する。
- ③検出器とマントルの間に、鉛板、アルミ板、アクリル板、タイベックを挟んで測定する。



遮蔽物を挟んだときの測定

表4 遮蔽物による変動

マントルの測定値		min^{-1}
鉛板		min^{-1}
アルミ板		min^{-1}
アクリル板		min^{-1}
タイベック		min^{-1}

4. 放射線測定器の特性

【用意するもの】

サーベイメータ	1台／グループ
マントル	1個／グループ
測定セット	1台／グループ

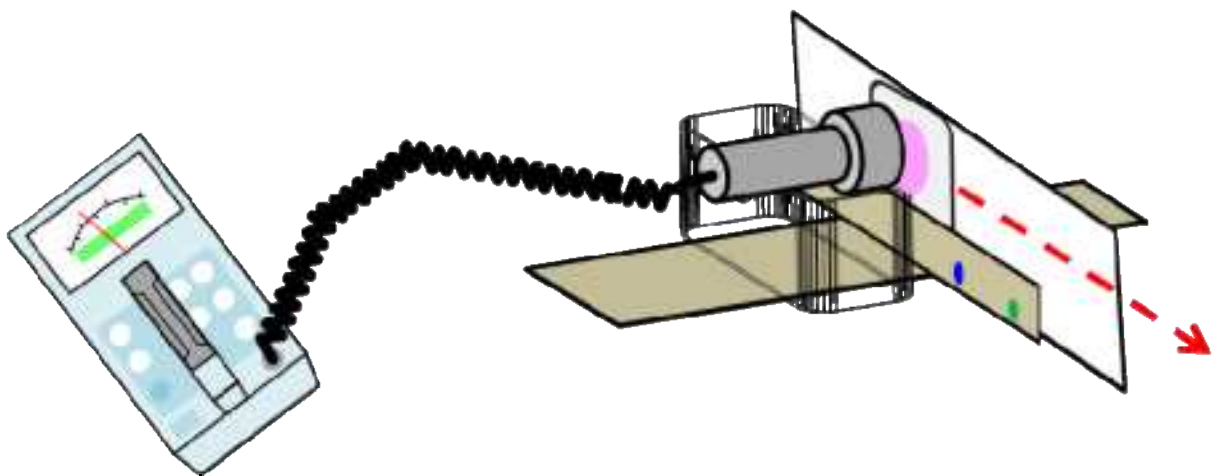
＜実習の目的＞

放射線測定における検出器（プローブ）と測定対象との位置関係、検出器の移動速度による変動を理解する。

測定結果は、「表5 マントルからの水平方向の位置と計数率の関係」、「表6 マントルとの角度と計数率の関係」および「表7 検出器の移動速度と計数率の関係」に記録する。

実習④-1 検出器と測定物の位置関係①

- ①時定数を [10(sec.)] にセットする。
- ②検出器をマントルから約2cm離れた位置で固定し計数率を求め、記録する。
- ③検出器の中心をマントルから水平方向に5cm、10cmと順次移動し、各距離における計数率を求め、記録する。いずれの場合も、マントルと検出器の間隔は約2cmとする。



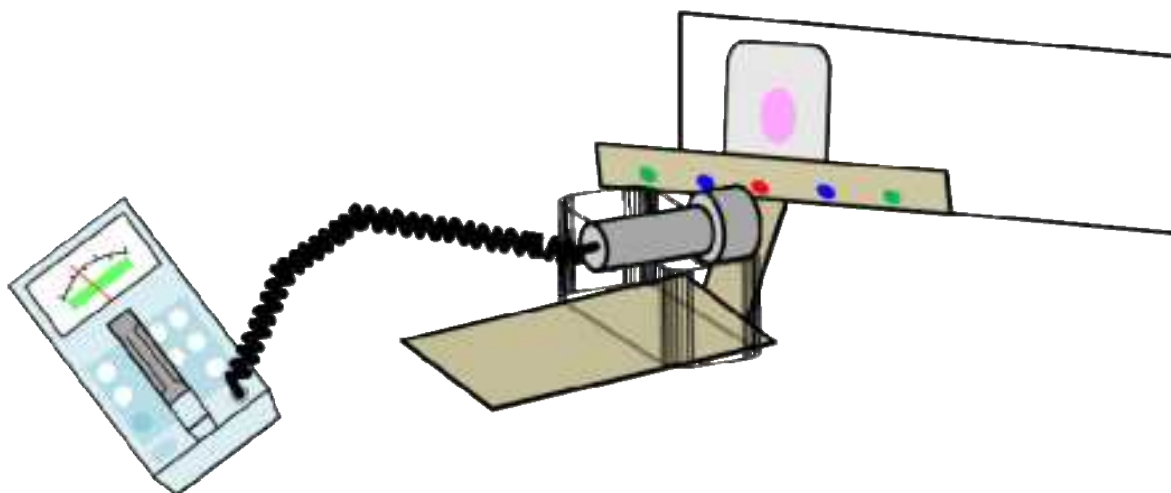
水平方向の測定

表5 マントルからの水平方向の位置と計数率との関係

水平方向の位置	計数率	正味の計数率 (計数率－自然放射線の計数率)
自然放射線の計数率	min^{-1}	
0cm	min^{-1}	min^{-1}
5cm	min^{-1}	min^{-1}
10cm	min^{-1}	min^{-1}

実習④-2 検出器と測定物の位置関係②

- ①時定数を [10(sec.)] にセットする。
- ②検出器をマントルから約15cm離れた位置で固定した状態 (0度) で計数率を求め、記録する。
- ③マントルの位置を45度、90度と順次移動し、各位置における計数率を求め、記録する。
いずれの場合も、マントルと検出器の間隔は約15cmとする。



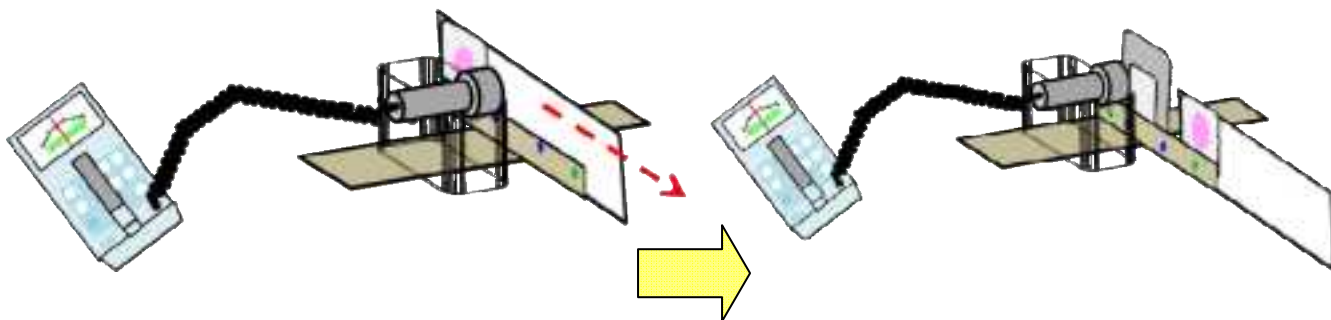
異なる角度の測定 (図は45度)

表6 マントルとの角度と計数率の関係

マントルの位置	計数率	正味の計数率 (計数率－自然放射線の計数率)
自然放射線の計数率	min^{-1}	
0度	min^{-1}	min^{-1}
45度	min^{-1}	min^{-1}
90度	min^{-1}	min^{-1}

実習④-3 検出器の移動速度による変動

- ①時定数を [3(sec.)] にセットする。
- ②マントルを2cm離れた時の計数率を求め、記録する。
- ③距離を保持したまま、20cmの間を2秒（1秒間に10cm）、4秒（1秒間に5cm）、10秒（1秒間に2cm）の速さで移動させ、その時の針の振れを確認し、最大値を記録する。



移動速度と計数率の関係

20cmの間をそれぞれの速さで移動させる

表7 検出器の移動速度と計数率の関係

検出器の移動速度 (20cm)	計数率 (最大値)
2cm離れたときの計数率	min ⁻¹
2秒 (10cm/秒)	min ⁻¹
4秒 (5cm/秒)	min ⁻¹
10秒 (2cm/秒)	min ⁻¹