



放射線の知識

上田隆司 花井耕三 黒澤秀雄 有路貴樹 田仲 隆*
藤田克也* 山口裕久* 永井優一* 塚田 勝**

IRYO Vol. 63 No. 1 (57-64) 2009

キーワード：放射線，放射能，放射線障害，医療被ばく

はじめに

現代では、放射線を利用した検査・治療が多様であり、その意義も社会に普及している。しかし、放射線については知識が正確に普及しているとはいえない。以上のことより、放射線の基礎知識と被ばくについて概説する。

放射線と放射能

放射線は原子の一部が高速で飛び回る「粒子線」と、光である「電磁波」の2種類に大きく分けられる。

「粒子線」は電子や陽子など、飛んでいる物質によって名称が変わるため多くの種類があり、医療分野ではとくに放射線治療で利用されている。「電磁波」はエネルギーを持った光子が飛んでいるものであり、エネルギーの大きさにより可視光や紫外線、赤外線、X線(γ線)のように名称が変わる。

放射能は、1秒間に出す放射線の数を表す単位(Bq：ベクレル)で正確には原子核の単位時間あたりの壊変数である。

また放射線を出す性質、放射線を出す物質(放射性物質)という3つの意味がある。

放射線を出す物質(放射性物質)は、学術的には不適であるが、一般にはこの意味で使われる。

放射線と放射能は混同されがちであるが、放射線漏れと放射能漏れでは意味が異なる。例を挙げると、香水のビンから香りが漏れているのが放射線漏れで、

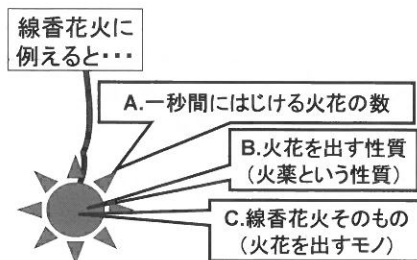


図1 放射能の意味

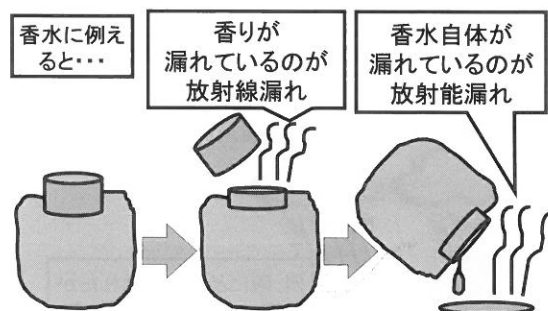


図2 放射線漏れと放射能漏れの違い

国立がんセンター東病院 *国立がんセンター中央病院 **国立病院機構下志津病院
別刷請求先：上田隆司 国立がんセンター東病院 〒277-8577 千葉県柏市柏の葉6-5-5
(平成20年9月19日受付)

Radiation General Knowledge

Takashi Ueda, National Cancer Center Hospital East, National Cancer Center Hospital, NHO Shimoshizu Hospital

Key Words: Radiation, Radiation Active, Radiation Damage, Medical Exposure

香水自体が漏れているのが放射能漏れといえる。

放射線量の単位

代表的な単位は、照射線量・吸収線量・等価線量・実効線量の4つである。

Table 1 用語と単位

用語	単位
照射線量	クーロン/キログラム (C/kg)
吸収線量	グレイ (Gy)
等価線量	シーベルト (Sv)
実効線量	シーベルト (Sv)

感覚的に理解しやすくするために、放射線を雨に例えてみた。

1) 照射線量

空気にX線またはγ線を照射したときに、単位質量あたりに発生した電荷で表される量である。

照射線量【C/Kg】

空気1kg(重さ)あたり、何C(電荷)電離したか

例:雨がどれだけ降っているか



図3 雨がどれだけ降っているか

2) 吸収線量

物質1kgあたりに吸収したエネルギーの量である。

吸収線量【Gy】=【J/kg】

1kg(重さ)あたり、何J(仕事量)与えたか



図4 吸収線量を雨に例えた図

3) 等価線量

人体への影響の程度は放射線の種類によって異なるが、等価線量は放射線の種類にかかわらず人体への影響を同じように表すことができる単位である。

Fig. 5 に示す放射線荷重係数は放射線の種類によって異なる係数である。

$$\text{等価線量【Sv】} = \text{吸収線量} \times \text{放射線荷重係数}$$

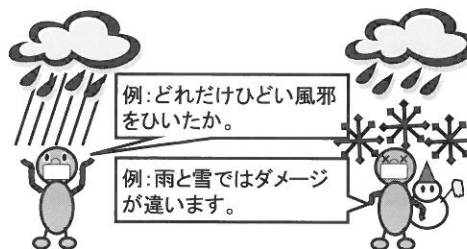


図5 等価線量を雨に例えた図

4) 実効線量

人体への影響を表す単位である。放射線の種類と性質、被ばくした人体の組織や臓器の種類によって影響は異なる。これらを考慮し全身が均等に被ばくしたことにして、換算で求める放射線量を実効線量という。実効線量は、放射線の被ばく管理に用いられる。Fig. 6, Table 2 に示す組織荷重係数は、各臓器・組織の放射線感受性に由来する重み付けの係数であり、合計は1となる。

実効線量【Sv】

$$= \sum (\text{等価線量} \times \text{組織加重係数})$$



図6 実効線量を雨に例えた図

Table 2 組織荷重係数⁵⁾

組織・臓器	組織荷重係数
生殖腺	0.20
赤色骨髄・結腸・肺・胃	0.12
乳房・肝臓・食道・甲状腺・膀胱	0.05
皮膚・骨表面	0.01
残りの組織	0.05

吸収線量と実効線量の単位は日常の被ばくを表現する場合などには大きすぎるので、1/1,000のmGy(ミリグレイ)やmSv(ミリシーベルト)を使用することが多い。

自然界からの被ばく

われわれの住む地球には、もともと多くの種類の放射性物質が存在しており、放射線を出している。また宇宙からは、日光をはじめさまざまな放射線が常に降り注いでいる。したがって、生物は誕生した当初から放射線と共存してきたことになる。この自然に存在する放射線を自然放射線と呼ぶ。自然放射線は、空から降り注ぐもの（宇宙線）、大地や空気中に含まれるもの、食物に含まれるものがある。

普通に生活してても、こんなところから被ばくします。

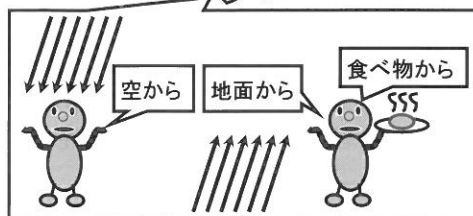


図7 自然界からの放射線の経路

1) 宇宙から降り注ぐ放射線（宇宙線）

宇宙から降り注いでくるいろいろな種類の放射線やそれによって新たに作られる放射線を総称して「宇宙線」と呼ぶ。最も身近な宇宙線は日光である。また、太陽系の外からも宇宙線が飛んできている。

地球の磁場と大気が宇宙線に対するバリアとなり、宇宙から降り注いでくる放射線（宇宙線）は大地に降り注ぐまでになんかなり減少している。しかし、高いところでは大気の層が薄くなり、バリアの効果も薄れ、富士山頂では平地の約5倍になる¹⁾。宇宙線の量は高度や緯度により大きく異なる。

2) 大地からの放射線

土壌や岩石にも放射性物質が含まれている。大地からくる放射線の量は地層に含まれる鉱物によって大きく変わり、比較的多く含まれているのが花崗岩¹⁾。したがって地域によりその量は異なる。日本でも最も多いところと少ないところでは4倍以上の差があり、とくに関東ローム層の影響で関東地方は大地からの放射線は少ないといわれている。また海外では、日本の数十倍多い地域もある。

3) 食物中の放射性物質

微量な放射性物質が食物にも含まれている。いろいろな種類の放射性物質が含まれているが、主なものはカリウム（ ^{40}K ）である。

4) 空気中の放射線物質

空気にもガス状の放射性物質が含まれている。その主なものはラドン（ ^{222}Rn ）である。

Table 3 自然放射線による被ばく（世界平均）

1人あたりの世界平均年間線量（mSv）	
宇宙から	0.39
大地から	0.48
呼吸から	1.26
食物から	0.29

日常生活における被ばく

日常生活における被ばくの場合を考えると、飛行機で成田-ニューヨーク間を往復すると0.18mSv程度の被ばくを被る。岩盤浴やラドン温泉も放射性物質を含む岩を使用しているので被ばくする。また、土に多くの放射性物質を含む地域でも被ばくは多くなる。

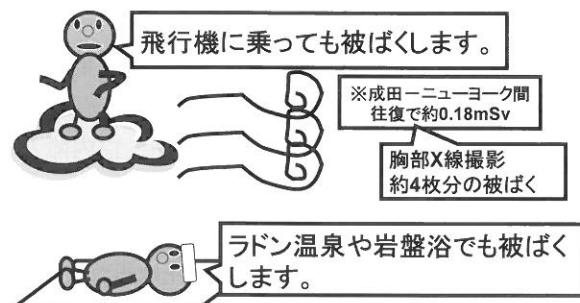


図8 日常生活における被ばく

放射線はわずかな量なら体によいという学説があり、放射線ホルミシスと呼ばれている。これに関する統計学的データが複数報告されているが、科学的には解明されていない。ラドン温泉や岩盤浴はこのことから行われていると思われる。また、現在疫学的調査において200mSv以下の被ばくでは、がんの誘発率や死亡率に有意な差が認められていない²⁾。

人体に対する放射線の影響

被ばくによる影響は2つに分類される。

1) 確率的影響

被ばくする線量が大きいほど影響が発生する確率が増加する。しかし、発生した場合には重症・軽症

の差はない。確率的影響にはがんと遺伝的影響（次世代に受け継ぐ影響）がある。人間では遺伝的影響は現在までに確認されていない¹⁾。

2) 確定的影響

少ない被ばく線量だと発生しないが、ボーダーラインとなる線量（しきい線量）を超えると発生し始める。線量が上がるにつれ徐々に発生頻度が増し、症状も重篤になる。確定的影響には、眼においては白内障、皮膚においては皮膚炎などが挙げられる。

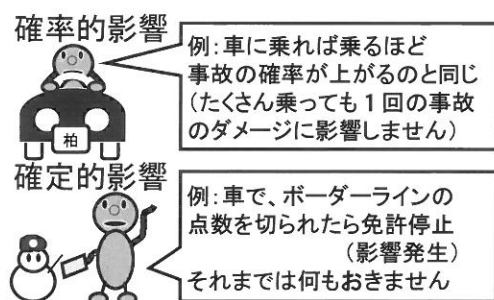


図9 人体に対する放射線の影響

3) 被ばく線量と放射線障害

放射線はボーダーラインとなるしきい線量を超える被ばくをすると確定的影響が発生し始める。Fig. 10に示すように、皮膚紅斑や脱毛、白内障といった障害は数千 mGy 以上で発生し始める。

また、Table 4のように一時的不妊は男性で150 mGy、女性で650mGy 以上、永久不妊は男性で3,500 - 6,000mGy、女性で2,500 - 6,000mGy 以上の被ばくで発生し始める²⁾。しかし、女性の永久不妊のしきい線量である6,000mGy を足に被ばくしても、このことが原因で不妊になることはない。次世代に受け継ぐ遺伝的影響も、生殖腺に被ばくしなければ影響がおこることはない。

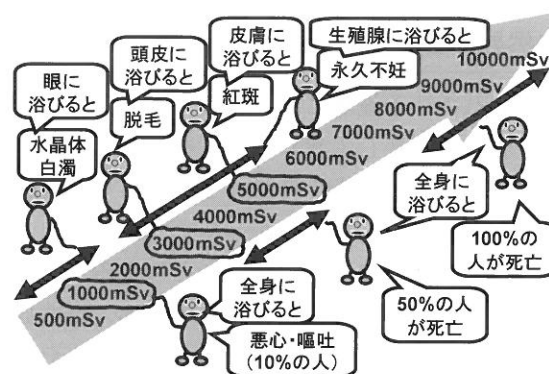


図10 主な確定的影響（全身被ばく・部分被ばく）ICRP Publ. 60よりデータ抜粋

Table 4 不妊に関するしきい線量⁵⁾

	男性 (mGy)	女性 (mGy)
一時的不妊	150mGy以上で発生の可能性がある	650mGy以上で発生の可能性がある
永久不妊	3,500 - 6,000	2,500 - 6,000

4) 胎児の被ばくと放射線障害

妊娠していない女性の腹部に X 線を照射しても、将来生まれてくる新生児に遺伝的影響が発生する現象は、現在のところ確認されていない。

しかし胎児が被ばくを被った場合、発育段階と被ばく量により確定的影響が生じる。

着床前期（受精-9日）では早流産、器官形成期（3-8週）では奇形、胎児期（8-15週）では精神発達遅延がとくに高感受性であり、器官形成期以降（3週-）で発育遅延と発がんがおこる可能性も示唆されている。

また Table 5に示すように、胎児の確定的影響は100mGy 以上の被ばくがなければおこることがないため、ICRP（国際放射線防護委員会）の勧告では「100mGy 以下では放射線の被ばくを理由に中絶をしてはいけない」とされている⁶⁾。

Table 5 胎児に関する確定的影響のしきい線量 ICRP Publ. 84⁶⁾

期間	影響	しきい線量（以上で発生の可能性がある）
着床前期（受精 - 9日）	胚死亡（流産）	100
器官形成期（3 - 8週）	奇形	100 - 200
胎児期（8 - 15週）	重度の精神発達の遅れ	100 -
器官形成期以降（3週 - ）	発達遅延	100 -

Table 6 放射線量の関数として示した健康な子どもが生まれる確率⁶⁾

胎児の受ける放射線量 (自然放射線超過分mGy)	子どもが形態異常を 持たない確率 (%)	子どもががんにならない 確率 (%) 年齢 0 - 19歳
0	97	99.7
> 1	97	99.7
> 5	97	99.7
>10	97	99.6
>50	97	99.4
>100	97% に近い	99.1

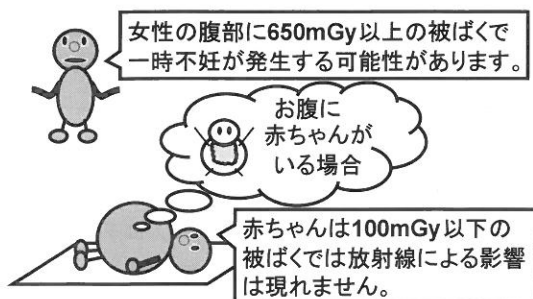


図11 女性の被ばくと胎児の被ばく

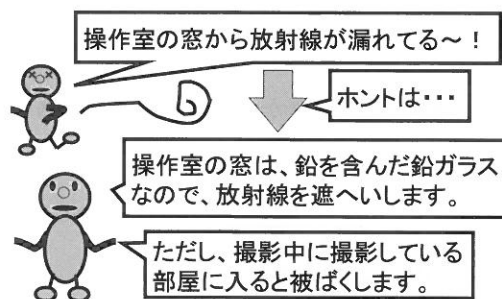


図13 医療現場で使用する放射線（CT検査）

医療現場で使用する放射線

放射線診療において、被ばくによる影響に不安を感じる人は多い。ここでは各種検査現場で患者や医療スタッフから質問を受ける内容について解説する。

1) X線撮影（一般撮影）

X線撮影ではX線装置の照射ボタンを押してからX線が照射される。

X線の照射時間は短く、胸部X線撮影の場合は約0.02秒である（施設・撮影法にもよる）。

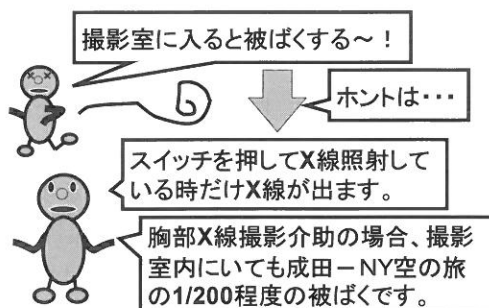


図12 医療現場で使用する放射線（一般撮影）

2) CT検査

CT操作室と撮影室境界の窓は鉛を含有した「鉛ガラス」となっており、放射線を遮蔽する。したがってCT操作室にいても被ばくすることはない。

3) 放射線治療

患者において、放射線を当てている場所以外で放射線による影響が現れることはない。したがって、例えば腹部に照射している場合は頭髪の脱毛がおこることはない。

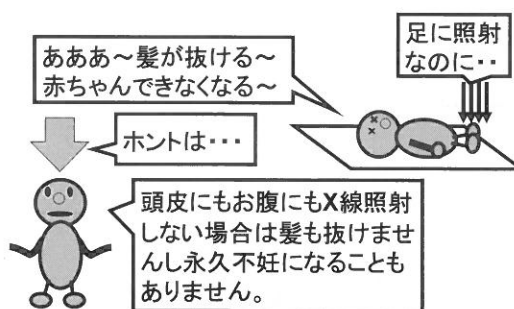


図14 医療現場で使用する放射線（放射線治療）

X線撮影・CT検査・放射線治療で使用する放射線は、照射ボタンを押している時間のみ照射される。そのため、照射中でなければ医療従事者の被ばくはない。

4) 核医学検査（RI検査）

核医学検査で患者に投与される薬剤は、通常微量な放射線を放出する放射性物質である。

放射性物質は、時間経過とともに放射能（1秒間あたりに出す放射線の量）が減衰していく。したがって、たとえば骨シンチの薬剤では24時間経過後に

放射能は6%程度にまで減衰する。薬剤は尿中や便中に排泄するものが多いため、これよりも早く体内の放射性物質は減少する。このため、患者のオムツの管理に留意する必要がある。

また、放射線源から距離をとるほど、医療従事者の被ばくは減少する。Table 7に示すように、患者との距離によって医療従事者が被る被ばく線量は大きく異なり、骨シンチ薬剤投与後3時間の例では、患者から1mの距離をとると自然放射線の6倍程度になる（自然放射線を0.05 μ Sv/hとした場合）。患者と近接している場合においても、医療従事者の被ばくは生物学的に影響が発生することはないので、心配は必要ないレベル線量である。

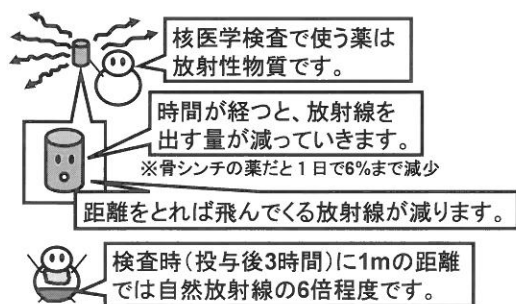


図15 核医学部門における放射線の誤解

Table 7 骨シンチ薬剤（740MBq）投与患者からの放射線量⁷⁾

体表面からの距離 (cm)	静注後 5 分 (μ Sv/h)	静注後 4 時間 (μ Sv/h)
5	155	36
50	22	8
100	9	3

放射線検査による医療従事者の被ばく

1) 放射線検査による医療従事者の被ばく

国立がんセンター東病院で行った実測データを提示する。

胸部X線撮影の際に、患者の真横で介助した場合の被ばく線量を測定したところ0.0012mSvであった。介助者の被ばくは患者の被ばくの約40-50分の1と算出された。

また、ポータブルX線撮影でも同等の被ばくとなった。この結果より概算した場合、患者の横で胸部X線撮影の介助をプロテクタなしで2,000回行くと、被ばくの世界平均2.4mSv/年と同じ被ばく線量を被ることになる。

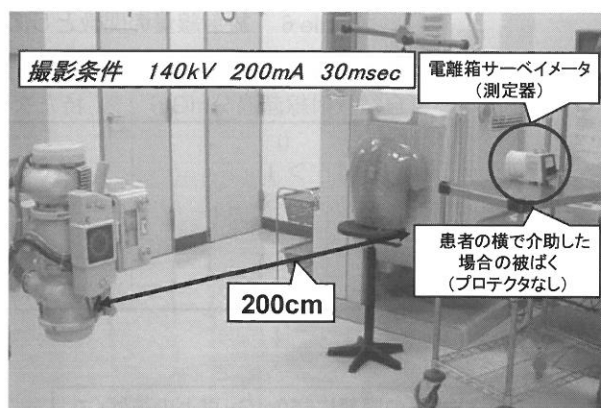


図16 胸部X線撮影介助時の医療スタッフの被ばく線量測定

X線TVの透視では、患者の横では20分で胸部X線撮影1枚分の被ばくとなり、プロテクタを着けた場合では胸部X線撮影の1/25となった。また、撮影1枚あたりでは、胸部撮影の1/25となり、プロテクタを着けた場合では1/500となった。

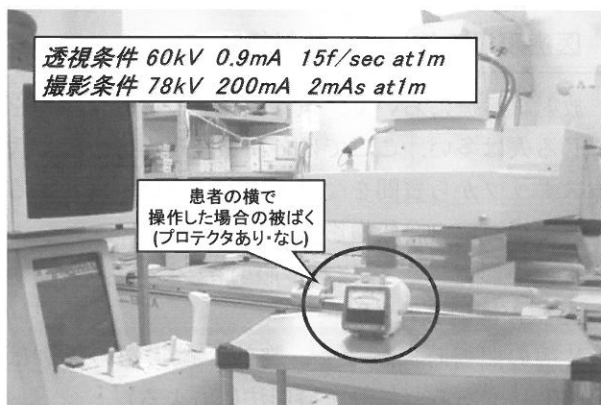


図17 X線TV操作時の医療スタッフの被ばく線量測定

血管撮影の透視では、医師がプロテクタなしで患者の横にいる場合、20分で胸部X線撮影1枚分の被ばく、プロテクタを着て患者の横にいる場合では胸部X線撮影の1/50となった。また、撮影（Digital Subtraction Angiography）30秒ではプロテクタなしで胸部X線撮影約1枚分の被ばくとなり、プロテクタありでは胸部X線撮影の1/10となった。



図18 血管撮影操作時の医師の被ばく線量測定

また、Angio 室にて看護師の被ばくを測定したところ、プロテクタの外に出した状態で、胸部 X 線撮影の 1/16 の被ばくとなった。



図19 血管撮影操作時の看護師の被ばく線量測定

CT 室では寝台の斜め横が一番被ばくが多く、胸部 X 線撮影1.5枚分の被ばくとなった。



図20 CT 室内にいる場合の角度ごとの散乱線 (水平面にて)

法律上（放射線障害防止法）の線量限度と基本的な被ばく防護の知識

1) 一般人の公衆被ばく線量限度

公衆被ばくとは、放射線業務従事者として被る職業被ばくや、患者として放射線検査をする場合に被る医療被ばくを除いた被ばくのことである。

一般人にとって放射線による人体への影響は、タバコや排ガスなど多くの要因のうちの一つである。したがって、放射線以外の危険因子による影響を考慮して、一般人の公衆被ばく線量限度は厳しく設定されており、被ばくの世界平均2.4mSv/年よりも低い1mSv/年とされている。この値は生物学的な影響を考えるには低すぎるため、マスコミによる「公衆被ばく線量限度の何倍」という書き方は一般人の不安と誤解を招くことがあり、しばしば風評被害をもたらしている。

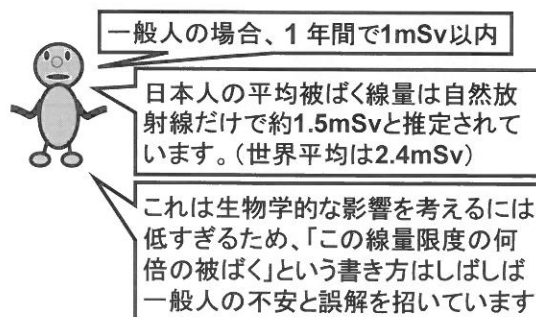


図21 一般公衆被ばくの線量限度

2) 職業被ばくの線量限度

放射線業務従事者の職業被ばく線量限度は5年間で100mSvを超えないようにする。また、どの1年間も50mSvを超えないこととされている。

放射線業務従事者はガラスバッジやフィルムバッジ（放射線量の測定を行う）をつけており、個人被ばく線量を毎月報告されている。大きな値が出ることは一般的には考えにくく、ほとんど0.1-0.3mSv/月、年間集計1.0mSv以下で報告されている。

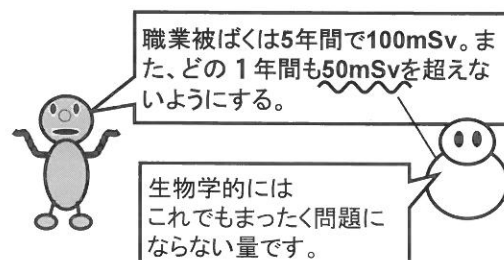


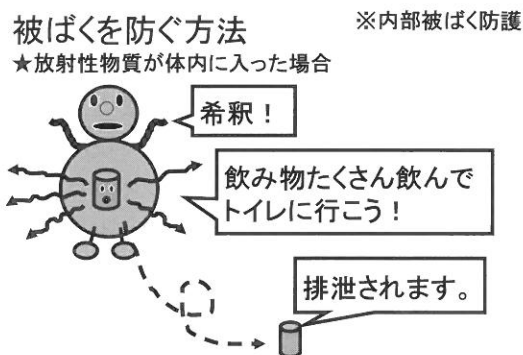
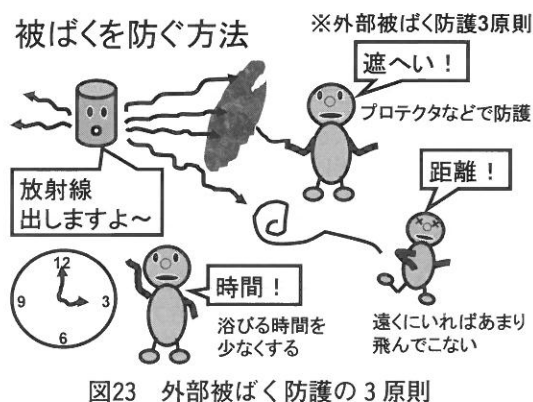
図22 職業被ばくの線量限度

3) 放射線防護の3原則と人体内放射性物質除去の基本的な考え方

放射線は距離の逆2乗で減弱していくので、1m離れた距離よりも2m離れた距離の方が、単位時間あたりの被ばく量は1/4に減少する。同じ距離とX線強度であれば、1秒間の被ばくよりも2秒間の被ばくの方が2倍大きくなる。また、種類やエネルギーにもよるが、放射線はプロテクタなどで遮へいすることで被ばくを軽減・回避できる。

この3つ（距離・時間・遮へい）は被ばく防護の3原則といわれ、外部放射線防護（外部被ばく防護）に対する基本的な考え方である。

また、核医学検査で放射性物質を投与された場合、検査終了後もしばらく放射性物質は体内に残留しているが、内部被ばく防護の基本的な方法は多量の水分を摂取して希釈により排泄を促すことである³⁾。



おわりに

現代医療において放射線の利用は必要不可欠となってきた。しかし一方で、放射線はむやみに恐れられる傾向にある。何が怖くて何が怖くないかを的確に判断したうえで適切な放射線防護に努め、患者の不安を解消することが大切であると考える。

[文献]

- 1) 放射線影響協会. 放射線の影響がわかる本. 東京：放射線影響協会；2000.
- 2) 草間朋子, あなたと患者のための放射線防護 Q&A. 改訂新版. 東京：医療科学社；2005.
- 3) 青木芳朗, 渡利一夫, 放射線医学総合研究所. 人体内放射能の除去技術-挙動と除染のメカニズム. 東京：談社；1996.
- 4) 飯田博美. 放射線概論. 第6版. 東京：通商産業研究社；2005.
- 5) 国際放射線防護委員会 Publication60
- 6) 国際放射線防護委員会 Publication84
- 7) 日下部きよ子, 放射線内用療法およびPET 検査等の被ばく・放射線防護, 第25回ベイシティカンファランス講演.
- 8) 永井優一. 2006年度国立がんセンター東病院 新人看護師オリエンテーション；2006.
- 9) 上田隆司. 2008年度国立がんセンター東病院 新人看護師オリエンテーション；2008.