

慢性の放射線熱傷、白内障、不妊、骨髄抑制などの影響)の発生を予防し、第2に、被曝による発癌や遺伝病などのリスクを減じ、被曝を伴う活動により個人や社会が享受する利便との兼ね合いで被曝が許容される範囲に止まることである。これらの目標を達成するために、①放射線被曝を伴う総ての活動は、社会的損失よりも社会が受ける便益が上回るよう正当化される必要がある(正当化の原則)。②正当化された活動であっても、社会が被る損失が道理にかなった実行可能な範囲で可能な限り低いレベルに止まるよう保証する必要がある(ALARAの原則: as low as reasonably achievable)。③以上の①②の原則を適用した活動により個人あるいは集団の被曝線量が許容リスク範囲に収まるように個人の被曝限度を設定する必要がある(制限)。

テロ行為や事故によって線源が突然日常生活の場に出現する事態においては、通常とは異なる被曝の制限策が必要となる。国際放射線防護委員会は、このような状況においては、①検討中の対策は、それが持つ負の側面を十分代償する被曝線量の低減効果が期待できること(正当化)、②対策が、総体としての便益が最大になるよう方法、規模、活動期間を調整すること(最適化)を行うように示唆している。被曝を低減する措置(介入)を決定する根拠として、平常時の線量限度や事前に決めておいた線量限度を機械的に適応すると、対策を困難にし、正当化の原則に反することが起こりうる。

具体的な被曝線量の低減措置(防護措置)に関するわが国のガイドラインは、以下の通りである。

#### 4-5. 放射線防護ガイドライン

①屋内退避および避難等に関する指標(原子力安全委員会「原子力施設等の防災対策について」平成15年7月改訂)

予測線量(mSv)*		防護対策の内容
外部被曝による実効線量	内部被曝による等価線量*	
10-50	100-500	住民は、自宅等の屋内へ退避すること、その際、窓等を閉めて気密性に配慮すること。ただし、施設から直接放出される中性子線又はγ線の放出に対しては、指示があればコンクリート建屋に退避するか、又は避難すること。
50以上	500以上	住民は、指示に従いコンクリート建屋に退避するか、又は避難すること。

\* 予測線量とは、放射性物質又は放射線の放出期間中、屋外に居続け、

何らの措置も講じなければ受けると予測される線量である。

\* ここで問題としている内部被曝による等価線量は、①放射性ヨウ素による小児甲状腺の等価線量、②ウランによる骨表面又は肺の等価線量、③プルトニウムによる骨表面または肺の等価線量である。

**②放射性ヨウ素が環境中に放出された際の安定ヨウ素剤投与に関する指標**  
 (原子力安全委員会「原子力災害時における安定ヨウ素剤予防服用の考え方について」平成14年4月)

安定ヨウ素剤投与の決定：原子力防災においては、放射性ヨウ素による小児甲状腺等価線量の予測線量が100 mSvに達すると予測される場合、対策本部の決定に従い住民への安定ヨウ素剤投与を実施する。現行法規上、原子力防災以外の場合は、安定ヨウ素剤の投与にさいしては医師の処方が必要となる。

**服用対象者および投与量**

対象者	ヨウ素量	ヨウ化カリウム量
新生児	12.5 mg	16.3 mg
生後1ヶ月以上3歳未満	25 mg	32.5 mg
3歳以上13歳未満	38 mg	50 mg
13歳以上40歳未満	76 mg	100 mg

注：40歳以上の成人は、放射性ヨウ素による甲状腺癌のリスクが増加しないため、安定ヨウ素剤を服用する必要はない。表のヨウ素量は安定ヨウ素剤（ヨウ化カリウム製剤）に含まれるヨウ素量を示す。

**③飲食物摂取制限に関する指標** (原子力安全委員会「原子力施設等の防災対策について」平成15年7月改訂)

核種	飲料水 牛乳・乳製品	野菜	穀類、肉、卵、 魚その他
放射性ヨウ素(混合核種の 代表:ヨウ素 131)	$3 \times 10^2$ Bq/kg 以上	$2 \times 10^3$ Bq/kg 以上 (根菜芋類を除く)	(-)
放射性セシウム	$2 \times 10^2$ Bq/kg 以上	$5 \times 10^2$ Bq/kg 以上	
ウラン	20 Bq/kg 以上	$1 \times 10^2$ Bq/kg 以上	
プルトニウム、超ウラン元素	1 Bq/kg 以上	10 Bq/kg 以上	

(注1) 行政当局がそれぞれの項目の食品あるいは野菜を抽出検査して、レベル以上であれば食品としての流通および摂取を禁ずる。これら

の値は、障害防止法の定義濃度より厳しい事に留意。

(注2) 放射性ヨウ素に汚染された草や水を摂取した家畜においては、  
 摂取された放射性ヨウ素の一部が甲状腺に蓄積され、残りは排泄される。  
 このため、肉や卵が放射性ヨウ素に汚染される危険は少ない。

#### ④臨時放射線管理区域の設定

我が国の法体系の中に事故の際の臨時放射線管理区域を定めたものはない。

日常的に医療目的や商業・研究目的で放射性物質を取り扱う場所に関しては、放射線障害防止法が放射線管理区域の定義を行っており、その放射能レベルに関して限度を定めている。外部放射線の被曝、表面汚染密度、空気中のRI濃度、の3項目に関して定めてあるが、ここでは前二者に関して参考まで記す。

	施設内の人が常時立ち入る場所	管理区域の境界
外部放射線の線量	実効線量 1 mSv / 週以下	実効線量 1.3 mSv / 3ヶ月
表面汚染密度	表面汚染密度限度 ( $\beta$ $\gamma$ 核種 40 Bq/cm <sup>2</sup> ) ( $\alpha$ 核種 4 Bq/cm <sup>2</sup> )	表面密度限度の 1/10

既に上記「4. 放射線防護の理念」で述べたように、日常的な放射線作業の場所に関する規制レベルをそのまま事故時の臨時管理区域に当てはめると、むしろ防災作業や復旧作業を妨げてしまい、適当ではない。そこで、参考までに合衆国放射線防護計測委員会(NCRP)のガイドラインを紹介する。

##### 第1警報レベル 空間 $\gamma$ 線線量率 100 $\mu$ Sv/h

このレベルであれば数時間の活動で公衆の年許容被曝限度 1mSv を超すおそれは少ない。不必要な立ち入りを制限する検問所の設置基準として用いる。ちなみに、通常空間 $\gamma$ 線線量率は 0.05 - 0.1  $\mu$ Sv/h である。

##### 第2警報レベル 空間 $\gamma$ 線線量率 100 mSv/h

これ以上の空間線量率の場所では、時間を限った必須の任務を遂行する場合にのみ入域が許容される。

#### ⑤放射線管理区域からの物品持ち出し限度

障害防止法では、放射性物質による汚染表面密度限度の 1/10 を持ち出し限度としている。その数値は $\alpha$ 線放出核種では 0.4Bq/cm<sup>2</sup> その他の核種では

4Bq/cm<sup>2</sup>。

今回のシナリオのように本来放射線作業を予定していない場所で事故が起こってしまい、臨時に管理区域を作る場合には、これを規制する法令はない。しかし、放射能汚染した物品をみだりに持ち出すことは厳に慎むべきであり、障害防止法を準用することが考えられる。警察が証拠品として放射能汚染した物品を持ち出す可能性があるわけであるが、汚染拡大防止の観点から調整が必要と思われる。

臨時の管理区域から放射能汚染した患者を搬送する必要がある場合は、患者の救命が優先されるため、物品持ちだし限度は必ずしも適用されない。可能な限り汚染した衣服を現場に残し、放射能汚染した箇所（頭髪や傷）をカバーして汚染拡大防止に努める。

#### ⑥一般公衆の年被曝限度との関係

医療及び自然放射能を除く全ての放射線源からの公衆の被曝限度は、年実効線量 1mSv である。また、まれにしか発生しない被曝（放射性物質投与患者の介護者などの被曝）に関しては、最大年実効線量 5mSv が定められている。これらの限度は、放射線源の合法的な使用により公衆が受ける被曝を制限する目的で定められており、テロや事故などの管理されていない放射線源からの被曝管理に適用するのは適切でない。年被曝限度を超す被曝があったとしても、多くの場合、直ちに健康影響が問題になるレベルではない。（p50 放射線によるがん発生の項参照）

#### ⑦防災作業者の被曝限度

（イ）災害応急対策活動および災害復旧活動を実施する防災業務関係者の被曝線量は、実効線量で 50mSv を上限とする。（原子力安全委員会「原子力防災対策について」）

（ロ）ただし、防災業務関係者のうち、事故現場において緊急作業を実施する者（例えば、事故を起こした事業所の職員、国から派遣された専門家、警察、消防、自衛隊、緊急医療関係者等）が、災害の拡大の防止及び人命救助等緊急かつやむを得ない作業を実施する場合の被曝線量は、実効線量で 100 mSv を上限とする。また、作業内容に応じて、必要があれば目の水晶体については等価線量で 300mSv、皮膚については等価線量で 1Sv を合わせて上限とする。（原子力安全委員会「原子力防災対策について」）

（注 1）被曝を受ける防災作業に従事する際は、前もって被曝のリスクおよび被曝管理の方法について説明を受けておくことで無用な不安を事

前に軽減し、心理的影響を低減することが出来る。過剰な被曝を避けるため、個人線量計により被曝線量を計りながら作業を行い、決められた線量レベルに達したなら作業を中止し、他の要員と交代する。

- (注2) 合衆国放射線防護計測委員会 (NCRP) 報告第 138 では、計画被曝 (被曝線量が高くなると予測される活動) 作業に従事する作業者は、可能な限り高齢で生涯蓄積実効線量の低い志願者から採用するよう勧告している。また胎児影響を避けるため、生殖可能な女性の志願は避ける。

#### ⑧放射線物質投与患者の管理病棟からの退出基準

患者周辺にいる人々 (占有係数 0.25 : 患者から 1 m 離れたところに 1 日当たり 6 時間接触) が、公衆の年線量限度 1mSv を超えることがないこと、介護者 (占有係数 0.5 : 患者から 1 m 離れたところに 1 日当たり 12 時間接触) が年線量限度 5mSv を超えることがないこと、排泄物による環境汚染が許容範囲であること等を考慮して、厚生労働省が退出基準を示している (非密封線源に関して医薬安第 70 号 (H10.6.30)、密封線源に関して医薬安第 0313001 号 (H15.3.1))。

これによれば、ヨウ素 131 では体表面から 1 m の線量当量率が 30  $\mu$ Sv/h 以下である。同じ考え方でコバルト 60 やセシウム 137 により体内汚染された患者の場合を計算すると、介護者の 5 mSv/行為を考慮するとコバルト 60 で 0.15  $\mu$ Sv/h、セシウム 137 で 0.026  $\mu$ Sv/h となる。核種による差異は、主に放射性核種の物理的半減期による。

事故などにより放射性物質で体内汚染した患者さんの病院からの退出に関しては、厚生労働省の退出基準が参考になる。

## 第5章 被曝低減措置

### 5-1. 放射線防護の三原則

放射線量は線源からの距離の2乗に反比例するため、できるだけ線源から離れることが重要である。例えば、線源からの距離が1メートルと10メートルとでは同じ時間被曝しても受ける線量には100倍の違いがある。さらに、被曝線量は時間に比例するため、放射線を受ける時間をできるだけ短くすることが重要である。もう一つ重要な要素は、遮へいであり、線源との間に物を置くことによって被曝線量を減らすことができる。以上の1. 距離、2. 時間、3. 遮へい、が放射線防護の三原則である(図1)。

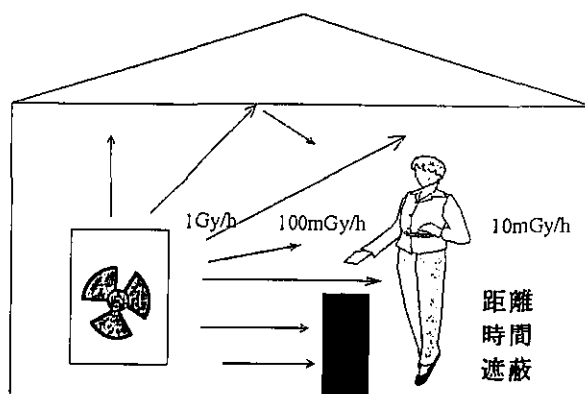


図1. 放射線防護の三原則

線源から0.5mの場所で一時間当たりの被曝線量が1Gyのとき、1.65mの場所では100mGy、5mの場所では10mSvと低下する。被曝時間を制限すれば、1.65mの場所での6分の被曝線量と5mの場所での1時間の被曝線量は同じである。鉛やコンクリートなどの遮蔽物は、中性子線を除く放射線を遮蔽し、被曝を低減できる。

住民に対する放射線防護対策では、放射線防護三原則に基づいて、①大気中の放射性物質から距離を稼ぎ、かつ遮蔽目的で機密性の高い屋内や地下室へ屋内退避する(距離、遮蔽)、②放射能レベルの高い地域から一時的あるいは長期にわたり避難する(距離、時間)、③体表面に付着した放射性物質を除去し、体内に取り込まれた放射性物質の排泄を促進する(距離、時間)。キレート剤や安定ヨウ素剤服用などの措置は③に含まれる。

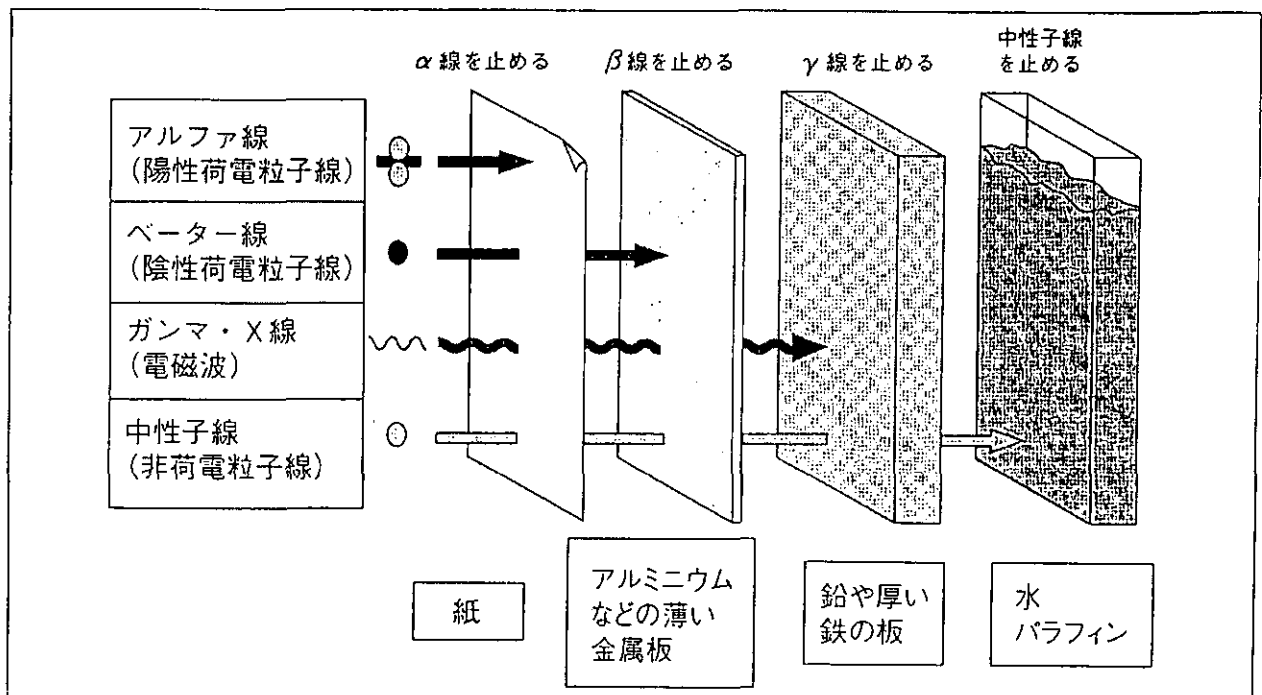
どのような防護対策をどのタイミングで採用するのかは、難しい問題である。我が国の防護対策は、予測実効線量の指標に基づいて対策がとられる(「放射性物質による汚染を規制する法体系」の項を参照)。しかし、個々の対策において

は、その有効性、実効可能性、経済性、心理的影響など総合的な判断が求められる。例えば、欧米様式の住宅であってもその気密性は数時間後より徐々に劣化する。屋内退避を選択するのか、初めから避難にするのかは、大気中の放射性物質の挙動や避難途中の被曝を考慮しながら決定する必要がある。

## 5-2. 放射線の種類と透過力

放射線の種類によって、物質の透過力が異なり、したがって遮へい効果も異なることになる（図 2）。 $\alpha$ 線は紙一枚でも止めることができる。 $\beta$ 線は、2枚重ねのゴム手袋や薄い金属膜などで止めることができる。したがって、 $\alpha$ 線や $\beta$ 線の人体影響は、その核種を体内に直接取り込んだ時や皮膚に付着した場合に問題となる。一方、 $\gamma$ 線は透過力が高く、エネルギーレベルによって異なるが、その遮へいには厚いコンクリートや鉛などの原子番号の高い金属板が必要になる。例えばコバルト 60 (Co-60) から出る $\gamma$ 線の場合、その線量を 10 分の 1 にするためにはコンクリートであれば 15cm、鉛であれば 3cm が必要である。中性子線は、質量数の大きい原子核にぶつかると、エネルギーをあまりロスすることなく弾き飛ばされるため、鉛や鉄の板であっても原子核の中を跳ね返りながら通過する。一方、水素などの質量数の低い原子核に衝突すると、エネルギーを与えて自らは減速する。したがって、中性子線の遮へいには水素を多く含む水やオイルが用いられる。

図 2. 放射線の種類と透過力



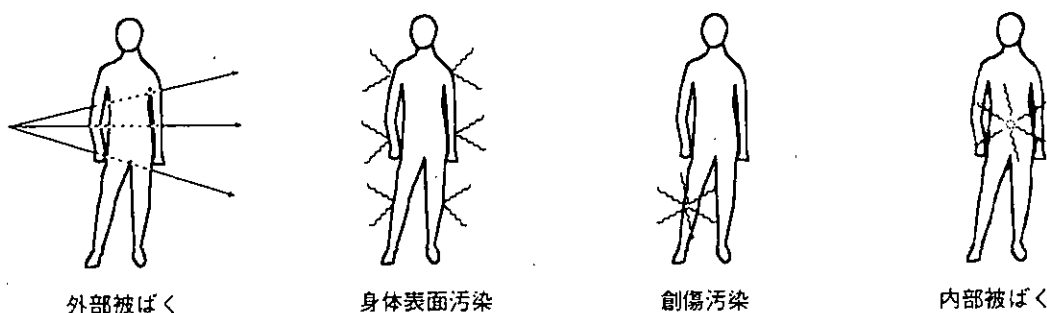
### 5-3. 被曝の様式

放射線被曝の様式には（図3）、

- ① 身体から離れた位置にある線源から照射を受ける外部被曝
- ② 放射性物質が体表面に付着して照射を受ける体表面汚染および創傷汚染
- ③ 放射性物質を体内に取りこんで照射を受ける内部被曝とがある。

外部被曝の場合には防護の三原則に従って、被曝線量の低減を図る。体表面汚染とりわけ創傷汚染の場合には、放射性物質を取り除くこと（除染）が重要である。内部被曝では、放射性物質を吸入したり飲食したりしないことがまず重要であり、体内に取りこんでしまった後には、できるだけ早期に体外に排出させ、また特定の臓器に取りこまれないように処置を行う。

図3. 放射線の被曝の様式



### 5-4. 体表面汚染の除染

放射性核種が皮膚に付着していたとしても、それが原因で放射線熱傷が起きる可能性はほとんど無い。皮膚の除染は、汚染核種を吸入して内部汚染に移行しないように**可動性の汚染を取り除くことが目的**である（特に $\alpha$ 核種）。

体表面汚染の除染では、まず汚染した衣服を除去することが大事である。この処置だけで外部汚染の約70%を除去できる。脱いだり切断した衣服はビニール袋に入れて保管し、後で核種の同定などの放射線学的検査を行えるようにする。袋には患者名、時間、日付、場所をラベルしておく。汚染衣服の脱衣はできるだけ事故現場で済ませることが望ましい。

皮膚の除染は、まず中性洗剤をしみこませたガーゼを一操作毎取り替えながら周辺から汚染中心部に向けて数回ぬぐう。次に、バケツなどで汚水を集めながら少量の水で洗う。除染操作終了後、サーベイメータで確認する。残存汚染があるようなら、再度操作を繰り返す。二度行っても除染効果が認められなければ、除染を終了する。皮膚が傷つくと、放射性物質が体内に侵入する危険が高まるので、激しく擦ったりしないように気をつける。汚染の最も強い部分から始め、汚染度の低い部分に広げていく。ガーゼによるぬぐい取りと少量の水に



よる洗浄が済んだなら、汚水管理を解除して水道水で洗う。

汚染した頭髪は髪の毛の流れに沿って、中性洗剤をつけたガーゼでぬぐう。一操作毎ガーゼを取り替えながら数回繰り返す。本人の同意があればはさみでカットする。そのあと汚水管理を解除してシャンプーをする。

汚染された傷は、水や生理食塩水で洗うことにより除染する。依然として汚染レベルが高い場合には、汚染された組織を外科的に取り除くデブリドメントと同様な処置を考慮しなければならない。外科的な処置は、外科医や保健物理専門家の助言が得られるまでははじめてはならない。

汚染された熱傷は、表面をゆるやかに洗う。擦ったりして表面の皮膚を剥がさないようにする。熱傷からの浸出液は汚染物質を洗い流すという作用もある。水疱は、通常の熱傷と同様に破らないようにする。

繰り返すが、放射性物質は皮膚表面や傷口に固着する場合があるので、完全な除染は通常不可能である。可動性の放射性物質を取り除けば十分である。

汚染した水やガーゼ類は、保管しておき、放射能レベルが定義レベル（「放射性物質による汚染を規制する法体系」の項参照）未満であることが確認出来るまで廃棄することは出来ない。

#### 5-5. 内部汚染の評価

内部汚染は放射性物質を飲みこんだり、吸い込んだりして起こる。また、創傷から吸収される場合がある。トリチウムなどを除けば、健常な皮膚からの吸収はほとんどない。飲み込んだ場合の消化管からの吸収されやすさは、放射性物質によって異なる。親水性の物質（セシウムやヨウ素）は吸収されやすく、疎水性の物質（プルトニウムなど）は吸収されにくい。一方、気道に吸入された放射性物質の一部は局所にとどまるため、疎水性であるか否かにかかわらず、影響を生じうる。一般に $\alpha$ 線をだす核種および臓器に蓄積しやすい核種（放射性ヨウ素、ストロンチウム 90、セシウム 137 など）は、内部被曝による影響が大きい。

内部被曝を評価するために、事故後早期に鼻腔スメアを採取し、分析に提出する。左右の鼻腔粘膜を湿った綿棒で軽く拭い、付着した放射性物質を測定する。鼻腔スメアの測定値の約 40 倍が内部汚染の量と考えられる。汚染が疑われる場合は、内部被曝特殊モニタリング（肺モニタ、ホールボディカウンタ、バイオアッセイ）の適応となる。内部汚染がある場合には、最低 1 週間は、一日量の尿、便、吐物の全量を冷蔵または冷凍保存し、放射性物質の量を測定する。鼻をかんだ紙、傷口をふいたガーゼ、切除組織なども保存しておく。

#### 5-6. 内部汚染の除染

内部除染の目的は、放射性物質の吸収を減少させ、排泄を促進することであり、被曝後の時期が早ければ早いほど有効度が高い。これまでに生じた原発事故で内部汚染が問題となった主な核種は、放射性ヨウ素と放射性セシウムである。両者ともβ線とγ線を放出する。これらの核種は水溶性のため、体内に取り込まれやすい。

### ① 消化管からの放射性物質の除去

- a. 胃洗浄：多量摂取が明らかで、まだ胃に残っていることが確かな時期でないとは効果が期待できない（食物などの胃内滞在時間は平均1時間前後とされている）。
- b. 催吐剤：胃洗浄と同様に胃内に放射性物質が残っていないと有効性は落ちる。アポモルフィン（5～10mg 皮下）やイペカック（吐根1～2g、200～300mlの水と一緒に内服）が一般的だが、意識障害のある患者では用いるべきではない。
- c. 緩下剤：作用の早く出現するものが望ましく、膨張性緩下剤や湿潤性緩下剤は適当ではない。原因不明の腹痛の場合には、緩下剤の使用は禁忌である。
- d. 吸着剤、イオン交換剤：プルシアンブルーは、セシウム137の被曝に有用であり、1～3gを1日に3回経口投与する。プルシアンブルーは、消化管内に排泄されたセシウム137の再吸収も妨害するので、被曝後時間がたってから投与しても有用である。ケイキサレートも有用であり、1日30gを投与する。
- e. 硫酸バリウム（造影剤）、アルミニウム制酸剤（マーロックスやアルミゲル）はストロンチウム90汚染が疑われる場合には有用であり、消化管からの吸収を85%減少させる。

### ② 安定ヨウ素剤

原発事故等により環境中に放出された放射性ヨウ素は、ガスとして直接吸入したり、汚染された水や野菜、ミルクなどを飲食することを通じて体内に取り込まれたりする。放射性ヨウ素は甲状腺に蓄積し、特に小児で甲状腺発癌の原因となる。放射性ヨウ素は摂取量の10～30%が甲状腺に取り込まれ、残りは2日以内に尿中に排泄される。甲状腺への取り込みは、摂取後2時間で約20%が、12時間で約70%が甲状腺に取り込まれる。したがって、甲状腺への放射性ヨウ素の取り込みを抑えるためには早期の安定ヨウ素剤の摂取が必要である。

安定ヨウ素剤とは、原子力施設等の事故に備えて、服用のために調合された

放射能をもたないヨウ素製剤のことをいい（「安定」とは放射性ではないという意味である）、ヨウ化カリウム（KI）またはヨウ素酸カリウム（KIO<sub>3</sub>）という化合物として用意される。国内ではヨウ化カリウム（KI）錠剤が医薬品として使用されており、その1錠は50mgのヨウ化カリウム（ヨウ素としては約38mg）を含む。

放射線の甲状腺に対する発癌性は、小児では高いが、成人では低い。このため、小児は特にヨウ素剤の投与が必要となる。原子力安全委員会は、平成14年4月に「原子力災害時における安定ヨウ素剤予防服用の考え方について」を策定した。これによれば、何ら対策をとらなかった場合に屋外にいる小児の甲状腺予測等価線量が100mSvに達すると予測される場合に対策をとる事となっている。

安定ヨウ素剤は対象者の年齢によって服用量が異なる（表1）。新生児、生後1ヶ月以上7歳未満の乳幼児・小児には、医薬品ヨウ化カリウムの原薬（粉末）を滅菌蒸留水や注射用水に溶解し、単シロップを適量添加したしたものを用いる事が推奨されている。7歳児以上の小児や成人は、ヨウ化カリウム丸薬を一錠ないし二錠服用する。40歳以上の成人は、放射性甲状腺癌のリスクが消失しているため、服用は行わない。なお、ヨウ素アレルギーや造影剤アレルギーの既往歴のある者、ジューリング疱疹状皮膚炎の既往歴が有る者または治療中の者、および低補体性血管炎の既往がある者または治療中の者は投与禁忌とされている。

1986年のチェルノブイリ原発事故後、ポーランドや旧ソ連邦で住民に対する安定ヨウ素剤の投与が行われた。ポーランドでは、1千万人の小児と7百万人の成人に対してヨウ化カリウム液が1回投与された。この時の経験によれば、頭痛、胃痛、下痢、嘔吐、発疹、動悸などの副作用が0.1-2.4%の服用者に認められたが、加療を必要とする者はいなかった。胃痛、下痢、嘔吐などは、苦みの強いヨウ化カリウム液の影響が考えられる。発疹は、小児成人共に服用者の約1%で観察されたが、皮膚科による診察は行われておらず、ヨウ素アレルギー症状か否かは明らかでない。成人では、喘息患者でヨウ素アレルギーの既往のある2名に呼吸困難が発生し、入院加療が必要であった。

表1. 安定ヨウ素剤服用量

対象者	ヨウ素量	ヨウ化カリウム量
新生児	12.5 mg	16.3 mg
生後1ヶ月以上3歳未満	25 mg	32.5 mg
3歳以上13歳未満	38 mg	50 mg
13歳以上40歳未満	76 mg	100 mg

### ③キレート剤

プルトニウム 239、アメリシウム 241、キュリウム 244 など、原子番号が 92 番（ウラン）より大きい放射性物質の内部汚染では、臓器への沈着を防ぐ目的で、キレート剤である DTPA（ジエチレントリアミン五酢酸）を用いる。キレート剤は金属に強力に結合する性質を有する。最もよく知られているのは EDTA（エチレンジアミン四酢酸）であるが、内部除染では一般的に、DTPAの方が EDTA よりも強力な効果を示す。というのは、DTPA 複合体の方が EDTA 複合体よりも安定であり、排泄されるまでに放射性物質を放出しにくいからである。投与法は、DTPA 1g を 250ml の 5% ブドウ糖液に溶解し、1 時間以上かけて点滴静注する（5 日間まで可能）。DTPA は日本では医薬品として認可されていないが、放射線医学総合研究所や核燃料取り扱い事業所などに常備されている。

ウラン汚染の場合には、ウランによる腎障害（ウラニルイオンが尿細管に沈着する）が DTPA により加重されるため、DTPA の投与は禁忌となる。この場合には重炭酸ナトリウムを点滴静注する。

キレート剤投与などの医療介入の目安（下限）は内部汚染核種による預託線量が 50 ミリシーベルト（mSv）（1 ミリシーベルトは 1 シーベルトの 1000 分の 1）とされる。 $\alpha$  核種であれば 100Bq オーダーの吸入、ストロンチウム 90 など特殊な核種は 10 万 Bq オーダーの吸入、大多数の  $\beta$   $\gamma$  核種は 100 万 Bq オーダーの内部汚染がなければ医療介入のレベルに達しない。

### ④気管支肺胞洗浄

放射性物質が吸入された場合、気管支肺胞洗浄が処置の選択肢として挙がってくるが、それ自体のリスクもあるので、特に吸入量が非常に多い場合（預託線量が 2Sv 以上）に考慮される。吸入後 3-4 日は、放射性物質の一部は喀痰とともに排泄される。

## 5-7. 医療従事者の放射線防護

医療スタッフや救急隊員などが放射能汚染された患者に接する場合、1.患者に付着した放射性物質を処置者が触れたり吸入したりすることによる二次汚染、2.患者に付着した放射性物質（中性子線による被曝の場合は患者の体内で放射化した元素）から出る放射線によって被曝する可能性がある。

二次汚染については、感染症対策と同様に防水性の手術着とゴム手袋、マスク、手術用帽子、ゴーグルを着用することにより十分に防護可能である（図 4）。パウダー状の汚染物質に関しては汚染部に水をゆるやかに噴霧、または水分を充分含ませたガーゼなどで汚染部を覆い、空中に舞い上がらせないように注意す

る。

患者に付着した放射性物質や患者体内で放射化した物質からの放射線に対しては、 $\alpha$ 線の場合、手術着、ゴム手袋などで十分に防護可能である。 $\beta$ 線の場合は手術着、2枚重ねのゴム手袋でかなりの防護が可能であり、さらに長ピンセットなどを使うことにより、汚染物と手指との距離をとるようにする。 $\gamma$ 線の場合、個人線量計で被曝線量をチェックする。アラームが鳴った場合には、他の要員と交代する。また防護のため、長ピンセットを使用する。X線撮影用の鉛エプロンは、高エネルギーの $\gamma$ 線に対する遮蔽効率が悪く、かつ作業効率が低下するので、使用しない。

汚染患者を医療スタッフが処置する場合に、基本的には放射線防護や汚染管理の原則を遵守すれば、汚染患者から受ける放射線の量は低いレベルであり、医学的に心配する必要はない。例えば、患者の皮膚が $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ という汚染密度のコバルト60で $100\text{cm}^2$ にわたり汚染されていたとして、医療スタッフが患者から平均して $30\text{cm}$ 離れて作業した場合、1時間に受ける線量は約 $0.02$ マイクロシーベルト( $\mu\text{Sv}$ ) (1マイクロシーベルトは1ミリシーベルトの1000分の1、したがって1シーベルトの100万分の1)と推計される。この放射線量は、1回の胸部レントゲン検査で受ける線量が $50\mu\text{Sv}$ ( $0.05\text{mSv}$ )であることを考えれば、かなり低い線量といえる(表2)。被曝線量は、汚染密度や被曝時間に比例して増加し、また汚染面積の広さにも関係する(図4)。

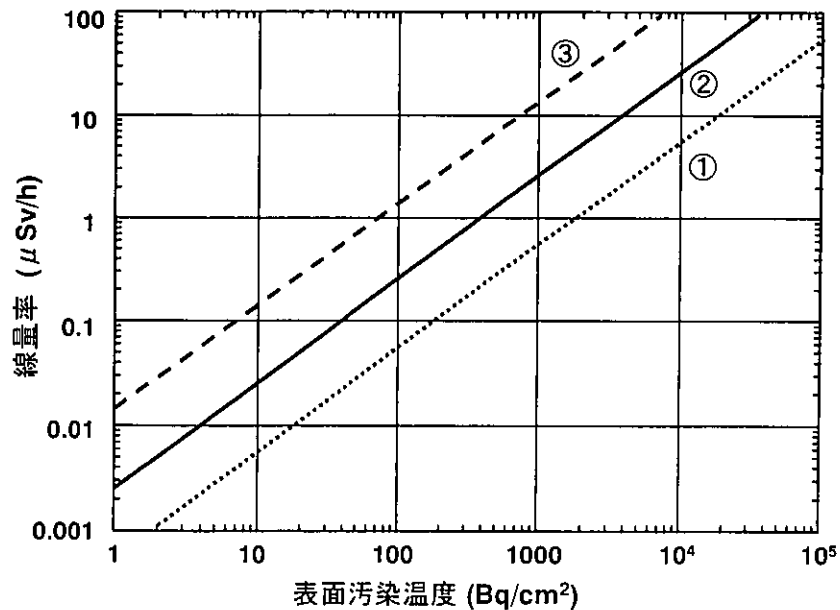
図3.放射線防護のための処置室での服装



表2. 日常生活で受ける放射線量

放射線源	放射線量 (mSv)
年間自然放射線(世界平均)	2.4
宇宙から	0.4
大地から	0.5
食物から	0.3
吸入により(主にラドン)	1.2
胸部レントゲン撮影	0.05
胃の集団検診	0.6
胸部のCTスキャン	6.9
東京-ニューヨーク往復(航空機)	0.02

図4. 表面汚染の密度、線量、面積との関係



患者から30cmの距離での値

コバルト60(Co-60)による汚染面積:① 100cm<sup>2</sup> ② 200cm<sup>2</sup> ③ 300cm<sup>2</sup>

## 第6章 被曝レベルと健康影響

放射線被曝による健康への影響は、被曝直後におこる症状と、被曝後数年以内あるいは数年以上たって起こる中・長期的な影響がある。どの時期に影響が現れるのかは、線量、時間的因子（1回または急性被曝、分割被曝）、放射線の質、線源の位置（体外、体内）、被曝時の年齢、被曝部位の大きさ（全身被曝か部分被曝か、部分被曝の場合は被曝した大きさ）、どの臓器あるいは組織を被曝したかによって決まる。

### 6-1. 半致死線量

ある集団が放射線の急性被曝を受けると、その線量が増すにしたがって死亡が生じ始め、ある線量のところで全員が死亡する。集団の50%が死亡する線量は、半致死線量（50% lethal dose; LD50）と呼ばれている。国連原子放射線影響科学委員会は、原爆放射線被曝、放射線事故被曝、放射線治療の情報に基づいて骨髄のLD<sub>50/60</sub>（60日目における集団の50%が死亡する線量）を推定し、医療がほとんど期待できない場合には、LD<sub>50/60</sub>は約2.5Gy、十分な医療が可能な場合は5Gy以上としている。

### 6-2. 急性放射線被曝による症状および臨床検査所見

腸の細胞、骨髄、毛根細胞など分裂の盛んな細胞は放射線影響を受けやすく、これらの細胞の障害によって急性放射線症状が生じる。急性被曝の場合は、症状の種類とその出現時期、血液細胞の推移などにより大まかな線量評価が可能である。急性放射線症状および臨床検査所見の出現時期と出現する線量の模式図を図1, 2に示し、表1.にまとめてみた。

#### 1) 前駆症状（被曝直後から48時間以内）

被曝直後から48時間以内に、吐き気、嘔吐、下痢、頭痛、発熱、意識障害などが発現する。これらの症状を前駆症状と呼ぶ。線量により前駆症状の出現時間や種類が異なり、線量が高いほど出現時期が高まり、頻度、重症度も高くなる。表1に示すように、各症状と発現時間から、大まかな線量評価を行い治療方針を決定することができる。例えば、被曝線量が2-4Gyでは、ほとんど人が1-2時間後に嘔吐がみられ、1-3時間で微熱が出現する。

同じ線量の急性被曝であっても全ての線量を数分以内に受ける場合のほうが前駆症状がしやすい。分割照射あるいは持続的であるが時間当たりの線量が低い被曝では、受けた総線量の割には症状は少なくなる。

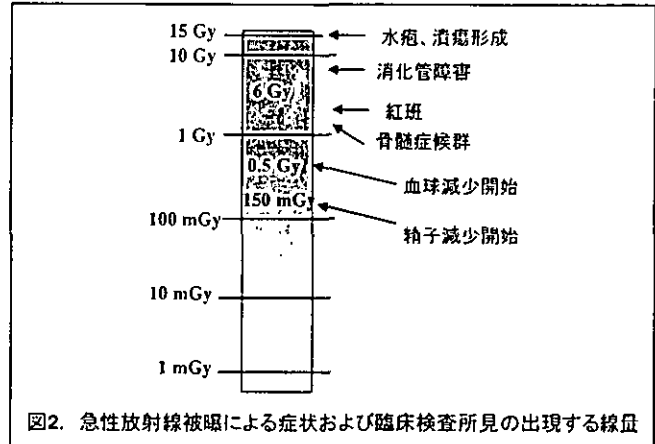
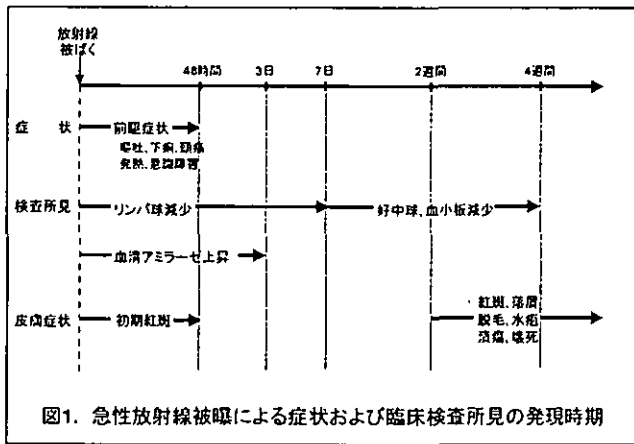


表 1. 急性放射線症候群の重症度と急性放射線被曝線量

症状と治療方針		軽度 (1-2Gy)	中程度 (2-4Gy)	重度 (4-6Gy)	非常に重症 (6-8Gy)	致命的* (>8Gy)
嘔吐	発現時期	2時間以降	1-2時間後	1時間以内	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 3-8時間	重度 1-3時間	重度 数分以内-1時間
	発現頻度	-	-	<10%	>10%	ほぼ100%
頭痛	発現時期	軽微 -	軽度 -	中程度 4-24時間	重度 3-4時間	重度 1-2時間
	発現頻度	-	-	50%	80%	80-90%
意識	発現時期	障害なし -	障害なし -	障害なし -	障害の可能性 -	意識喪失 秒分のオーダー 数秒-数分
	発現頻度	-	-	-	-	-100%(>50Gy)
体温	発現時期	正常 -	微熱 1-3時間	発熱 1-2時間	高熱 <1時間	高熱 <1時間
	発現頻度	-	10-80%	80-100%	100%	100%
治療方針		外来フォロー	総合病院に収容 必要に応じて 専門病院へ	専門病院で 治療	専門病院で 治療	姑息的治療 (幹細胞移植を 含めた 先端医療)

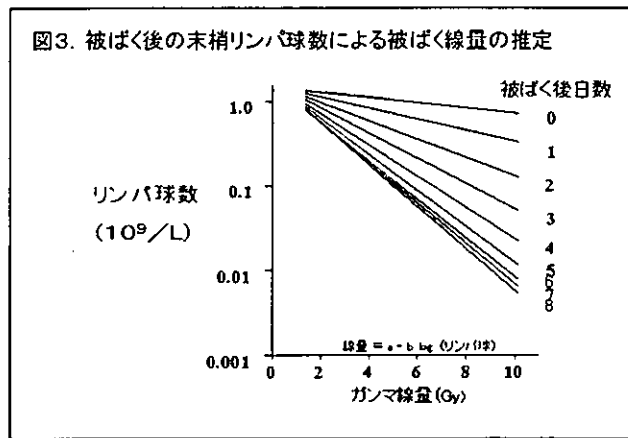


## 2) 検査所見

### (1) 被曝当日-7日

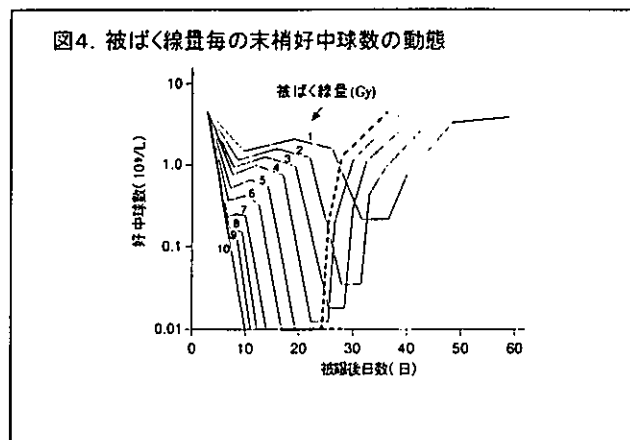
リンパ球は放射線感受性が高く、被曝後早期に細胞死（アポトーシス）が起こる。このため被曝当日から7日の時点で、末梢血リンパ球数を指標に被曝線量が推測できる（図3）。

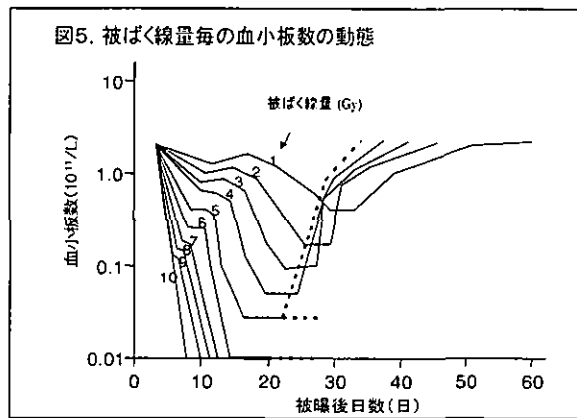
唾液腺も放射線感受性が高く、0.6Gy以上の被曝があると被曝当日から2-3日間、血清アミラーゼ値が上昇する。この時期には、顎下腺や耳下腺が腫脹し圧痛が見られる。ただし、被曝によるアミラーゼ値上昇は、個人差が大きいためこれによる線量評価は難しいとされている。



### (2) 被曝後1~4週間

被曝後1~4週後で、好中球（白血球の中の1つ）や血小板が低下し始める（図4,5）。好中球や血小板の変化は生き残っている血液を造る幹細胞の数を反映している。骨髓幹細胞が枯渇して、被曝後10日から2ヶ月前後にわたり好中球や血小板が低下することに起因する一連の症候を急性放射線骨髓症候群と呼ぶ。9-10Gy以上の被曝では、造血幹細胞が枯渇して減少したままの状態が続くとともに、消化管粘膜の再生が傷害されるため被曝1週目以降に激しい下痢や消化管出血や敗血症などの病状がおきる。これを急性放射線消化管症候群と呼ぶ。





### 3) 皮膚反応

被曝当日、翌日に皮膚の発赤（初期紅班）が見られる。初期紅班はおよそ3Gy以上の被曝によって出現する。被曝後2週以降に、脱毛、局所的な放射線皮膚障害（放射線やけど）が起こってくる。放射線皮膚障害には、脱毛、紅班、落屑（皮膚の表面が剥がれ落ちる状態）、水疱、潰瘍、壊死（組織の死滅）がある。脱毛は3Gy以上、紅班は3-10Gy被曝した時に出現する。皮膚障害の起きる時期によっても、おおよその線量が推計できる（表2）。

放射線皮膚障害の重症度は線量、線量率、線質、被曝した面積、被曝部位により異なる。低エネルギーのX線やβ線による放射線皮膚障害は、表2より早期に症状が始まるが、一般に予後はよい。中性子線は影響が強く、2.8-3.7倍の多量のγ線を被曝した場合と同じ影響がでる。

放射線皮膚障害の特徴は、一定の潜伏期間後に症状が発現し、症状の軽減や増悪を繰り返す傾向にあり、深部組織の障害を合併することである。

\*適切な支持療法がおこなわれれば、12Gyという高線量全身被曝患者でも3ヶ月以上延命できた症例が報告されている。

表2. 放射線皮膚障害のおきる線量と時期

症 状	線 量(Gy)	発症時期(日)
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 形 成	15-20	15-25
潰瘍形成(皮膚)	>20	14-21
壊死(深部の損傷)	>25	>21

(JAEA/WHO Safety Reports Series No.2 "Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries", 1998, Vienna より改変収録)

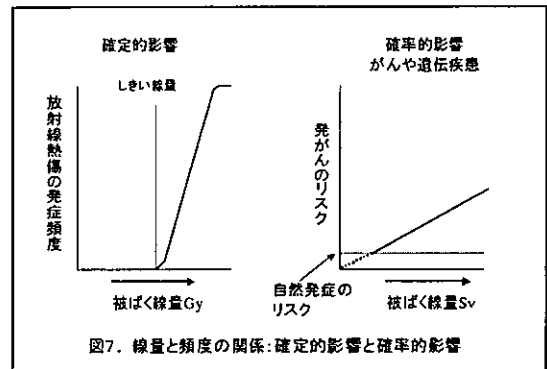
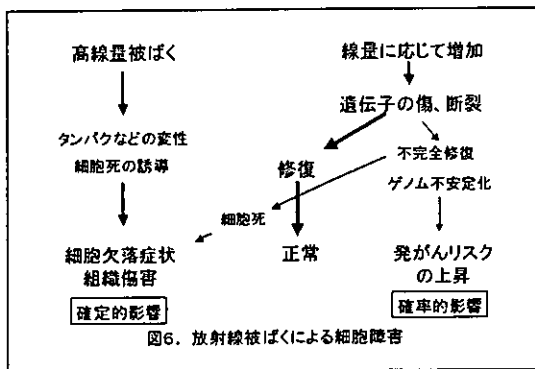
### 6-3. 放射線の中・長期的な健康影響

#### 1) 放射線の健康影響の機序

放射線の影響はその機序によって確定的影響と確率的影響に大分される（図6）。

確定的影響とは、細胞の死滅に伴い組織の機能が障害されるための影響である。放射線被曝によって、タンパクなどの変性や細胞死が起こるが、被曝線量がある線量以下であれば死ぬ細胞の割合も少なくその後の細胞増殖によりもとの細胞数に戻り、その組織の機能も回復する。しかし、線量があるレベル（しきい値）を越えると、回復できないほどに細胞死が起こるとその組織が障害される。被曝直後に起こる脱毛、やけど、血球減少、中期的影響としておこる不妊、放射線白内障は確定的影響として知られている。確定的影響にはしきい値があり、放射線白内障のしきい値は急性被曝で2-10Gy、慢性被曝で0.15Gy/年である。男性の一時不妊のしきい値は0.15Gy、男性永久不妊のしきい値は3.5-6.0Gyである。女性の不妊症は高齢被曝ほど感受性が増すが2.5-6.0Gy以上の被曝で出現する。

これに対して確率的影響とは、被曝した細胞のDNA損傷に起因する影響である。DNA損傷は放射線の線量に応じ障害（がんや遺伝疾患）が発生する（図7）。



#### 2) 放射線によるがん発生

放射線による長期健康影響は、広島・長崎の原爆被曝者について大規模な疫学調査から、明かにされている。原爆被曝による白血病の発生のピークは被曝後5年前後であり、白血病以外のがん（固形がん）のリスクの増加は被曝の約10年後に始まった。被曝による発がんリスクは、線量、被曝時年齢および性によって異なる。被曝時年齢が低いほどリスクは高い傾向にある。

原爆被曝者においては、被曝線量に応じて、乳、肺、結腸、胃、肝、甲状腺、皮膚などの主要ながんが増加している。がん全体で見ると1Sv被曝線量が増えたとがん発生は約1.6倍になった。ライフタイムリスク（生涯にある疾患を発症（あるいは死亡）する割合）で、放射線に起因するがんのリスクを示したのが

表 3 である。被曝時年齢が 10 歳の場合、被曝しなくてもがんで死亡する割合は、男性では 30%、女性では 20%であるが、被曝によって放射線に関連したがんで死亡する割合（ライフタイムリスク）は 0.1Sv 当たり男性では 2.1%、女性で 2.2% 増加する（表 3）。

表 3. 0.1Sv 被曝による放射線に関連したがんのライフタイムリスク

被曝時年齢	性	放射線に関連したがんの ライフタイムリスク(%)	がんで死亡する割合(%)
10	男	2.1	30
	女	2.2	20
30	男	0.9	25
	女	1.1	19
50	男	0.3	20
	女	0.4	16

(Preston D.L. et al. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. Radat Res 160:381-407,2003.から引用)

#### 6-4. 染色体への影響

染色体は長い DNA 分子とさまざまなたんぱく質から構成されている。電離放射線により DNA が切れて、その後切断点の間で修復が起こる。放射線量が大きくなると、切断されたところが多くなり、同じ染色体の中であるいは違う染色体の切断点の間で修復が起こる。被曝後早期に出現する染色体異常（環状染色体、二動原体染色体）と被曝後年数がたっても残存している染色体異常（逆位や転座）があり、これらの染色体異常の頻度で線量の推定を行うことができる。

#### 6-5. 胎児に対する影響

胎児は放射線に対する感受性が高い。胎児に対する放射線影響のうち、奇形、精神遅滞にはしきい値が存在し、それぞれの影響に対する感受性の高い時期にしきい値をこえる放射線を被曝した場合には影響が発生する可能性がある。

動物実験では、卵細胞死の半致死線量は 0.05Gy、中枢神経系障害のしきい値は 0.1Gy とされている（表 4）。ヒトに関しては、広島、長崎胎内被爆者の脳障害および小頭症に関する調査から、小頭症を伴うまたは伴わない重度精神遅滞の発生は、受胎後 8-15 週齢と 16-25 週齢で認められ、特に 8-15 週に被ばくしていた人に顕著である。重度精神遅滞のしきい値は 0.39 から 0.45Gy（95%下限値は 0.12 から 0.23Gy）の範囲である。しかし、母親の被ばく線量が、0.1 から 0.19Gy でも小頭症が認められていることから、1980 年（BEIR）レポート(Committee on