

学校歯科医が知っておくべき 放射線の知識

原発事故から5年、子供たちに笑顔を！



一般社団法人 東京都学校歯科医会



はじめに	1
I 福島第一原発事故と事故炉の現状	3
東日本大震災による被害状況は	3
福島第一原発事故の原因は	3
放出された放射性物質の種類と量は	4
廃止措置に向けた取り組みは	6
■コラム1 放射線の種類	6
■コラム2 放射線の透過能力	7
新たな避難指示区域とは	7
■コラム3 避難指示基準と避難指示解除の基準は	7
II 放射能・放射線の基礎知識と人体への影響	9
1 放射能と放射線	9
放射能とは	9
■コラム4 放射性物質と半減期	9
放射線と被ばく	10
■コラム5 その他の物理量単位	10
■コラム6 放射能と放射線に関する単位	10
等価線量と実効線量	11
■コラム7 被曝と被爆の違い	11
■コラム8 放射線影響の分類	12
内部被ばくの評価は	12
2 放射性物質と被ばく	13
自然放射線源による被ばくは	13
職業被ばく・医療被ばく・公衆被ばく	14
■コラム9 放射線防護体系3原則	15
放射線源別の1人当たりの被ばく線量	15
3 放射線影響と放射線防護	18
DNA損傷と修復	18
臓器・組織の放射線感受性は	18
■コラム10 放射線による急性障害	19
■コラム11 放射線と歯科X線撮影のお話	20
放射線障害の分類は	21
LNT仮説と放射線防護	23
■コラム12 放射線から身を守るには？	23
■コラム13 東京都あきる野市立前田小学校の取り組み	24
■コラム14 放射線治療とは	26
■コラム15 様々な放射線測定機器	26
III 福島の今 — 環境と食品の汚染は —	27
事故後10年間の空間線量率の推移	27
■コラム16 東京近郊における原発事故直後と 5年後の空間線量率の比較	28
県産農水産物の汚染の現状は	29
米（玄米）の全量全袋検査	30
事故による外部線量と内部線量の実情は	31
おわりに	32

はじめに

一般社団法人 東京都学校歯科医会

会 長 川 本 強

2011年（平成23年）3月11日に発生した東日本大震災から5年が経過しました。東北地方太平洋沖地震とそれに伴って発生した大津波により引き起こされた大規模な地震災害は、過去に類例のない甚大な被害となり、とりわけ東京電力(株)福島第一原子力発電所（以下「福島第一原発」）の事故は、1～3号機が炉心溶融（メルトダウン）を引き起こし大量の放射性物質を環境中に拡散させました。同事故は、国際原子力事象評価尺度（INES）で「レベル7（深刻な事故）」と評価され、原子力開発史上最悪とされる1986年4月26日に発生した旧ソ連ウクライナ共和国のチェルノブイリ原子力発電所事故に次ぐものとなってしまいました。

福島第一原発の現場では事故炉の廃止に向けた懸命の作業が行われているものの、廃止措置が完了するまでに今後数十年の歳月を要し、その深刻さが伺えます。しかし、被災された住民以外の人々にとっては、もう過去の不幸な出来事として忘れ去られようとしている感も否めません。2016年4月現在でも約9万5000人が県内外に避難しておられ、長く続く仮設住宅等での生活で生きる意欲を失い、精神的にも窮地に追い込まれている方々も多数おられます。復旧・復興までは長い道のりであり、多くの人たちのさまざまな方面からの支援が必要です。

私たち学校関係者は、子供たちへの健康教育の観点からもこの原発事故を決して忘れてはならず、今後も常に現状を注視し正しい放射線の知識を持ち備えていなければならないと感じています。折しも福島第一原発事故を機に、国民の間では医療用の放射線への関心も高まってきています。

本冊子は、福島第一原発事故の経過をたどりながら、この5年間の被災地の歩み、福島第一原発事故による被ばくと歯科用エックス線などの医療被ばく、そして放射線の人体影響などさまざまな視点から推考し作成いたしました。本冊子が、学校での歯科保健指導にお役にたてば幸いです。



津波と火災で被災した宮城県石巻市立門脇小学校（左）と教室内（右）

屋上には『すこやかに育て心と体』とある。今、私たち学校歯科医は、児童生徒の心身の健康増進に取り組まなければならない。

中長期ロードマップ改訂案のポイント

1. リスク低減の重視

スピード重視



リスク低減重視

（スピードだけでなく、長期的にリスクが確実に下がるよう、優先順位を付けて対応）

汚染水、プール内燃料



可及的速やかに対処

燃料デブリ



周到的準備の上、安全・確実・慎重に対処

固体廃棄物、水処理二次廃棄物



長期的に対処

2. 目標工程（マイルストーン）の明確化



地元の声に応え、今後数年間の目標を具体化

3. 徹底した情報公開を通じた地元との信頼関係の強化等

福島評議会の設置（昨年2月）



コミュニケーションの更なる充実

（廃炉に係る国際フォーラム等）

4. 作業員の被ばく線量の更なる低減・労働安全衛生管理体制の強化

5. 原子力損害賠償・廃炉等支援機構（廃炉技術戦略の司令塔）の強化

原賠・廃炉機構の発足（昨年8月）



研究開発の一元的管理・国内外の叡智結集

目標工程（マイルストーン）の明確化

■ 大枠の目標（青字）を堅持した上で、優先順位の高い対策について、直近の目標工程（緑字）を明確化

全体	廃止措置終了	30～40年後
汚染水対策	建屋内滞留水の処理完了 （冷却水以外の建屋内の水や汚染水の増加量をほぼゼロに）	2020年内
取り除く	敷地境界の追加的な実効線量を1mSv／年未満まで低減（被ばくリスクの低減目標達成）	2015年度
	多核種除去設備処理水の長期的取扱いの決定に向けた準備開始	2016年度上半期
近づけない	建屋流入量を100m ³ ／日未満に抑制（汚染水増加量の大幅抑制）	2016年度
漏らさない	高濃度汚染水を処理した水の貯水は全て溶接型タンクで実施（タンクからの漏えいリスクの大幅低減）	2016年度早期
滞留水処理	建屋内滞留水中の放射性物質の量を半減（建屋からの漏えいリスクの低減）	2018年度
燃料取り出し	使用済燃料の処理・保管方法の決定	2020年度頃
	1号機燃料取り出しの開始	2017年度下半期 → 2020年度
	2号機燃料取り出しの開始	2020年度上半期 → 2020年度
	3号機燃料取り出しの開始	2015年度上半期 → 2017年度
	※目標工程の変更要因は、ダストの飛散防止対策、作業員の被ばく線量低減対策等、「安全・安心対策」の実施等によるものが大半。今後、「トラブル」や「判断遅延」に基づく遅れは起こさないように努める旨を明確化。	
燃料デブリ取り出し	号機毎の燃料デブリ取り出し方針の決定	2年後を目途
	初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定	2018年度上半期
	初号機の燃料デブリ取り出しの開始	2021年内
廃棄物対策	処理・処分に関する基本的な考え方の取りまとめ	2017年度

出典：中長期ロードマップ改定案について（内閣府 廃炉・汚染水対策チーム事務局、2015年6月12日）

I

福島第一原発事故と事故炉の現状

東日本大震災による被害状況は

2011（平成 23）年 3 月 11 日 14 時 46 分、三陸沖の深さ 24 km を震源とする「東北地方太平洋沖地震」が発生しました。地震のマグニチュード（M）は 9.0 で、日本観測史上最大の地震でした。地震により発生した津波は、東北地方を中心に太平洋沿岸部を襲い、政府は 4 月 1 日、この震災を「東日本大震災」と命名しました。

東日本大震災による全国の死者は 1 万 5894 人、行方不明者は 2561 人、重軽傷者は 6152 人に及び、建物被害も全壊 12 万 1805 戸、半壊 27 万 8521 戸、一部破損 72 万 6146 戸と甚大なものになりました（2016 年 3 月 10 日現在）。



2011年3月11日震災当日、宮城県石巻市日和山より
眼下には宮城県石巻市立門脇小学校がある。

福島第一原発事故の原因は

地震発生時、福島第一原子力発電所では 6 基の原子炉のうち 4～6 号機は定期検査のため運転停止中でした。運転中の 1～3 号機では、地震の大きな揺れにより緊急停止しましたが、福島第一原発では地震により受電用の送電鉄塔が倒壊し、外部からの電力供給が断たれました。外部電源喪失事故と呼ばれる恐ろしい事故です。なぜなら運転を停止しても、ポンプにより原子炉内に水を送って炉心を冷却し続けなければならないからです。そうしなければ崩壊熱（放射性物質の崩壊による発熱）により核燃料の温度が上昇して融点（およそ 2800℃）を超え、溶融してしまいます。外部電源を喪失することは、ポンプを稼働させる電源を失うことを意味します。

もちろん外部電源喪失事故に備え、発電所内には内部電源（非常用ディーゼル発電機など）が用意されています。今回の地震の際にも非常用ディーゼル発電機が起動し、非常用炉心冷却装置（ECCS）が稼働して原子炉の冷却は継続されました。ところが地震発生から 55 分後の 15 時 41 分、高さ 15 m の大津波が福島第一原発を襲い、タービン建屋地下などに設置した非常用ディーゼル発電機や配電盤が冠水し、故障・停止した結果、1 号機では原子炉を冷却することができなくなりました。2 号機及

び3号機では交流電源がなくても駆動できる冷却設備がありましたが、やがてこれらの冷却設備も停止しました。こうした事態を受け1～3号機では、消防ポンプなどで代替注水を行うための作業が懸命に行われたものの、原子炉を冷却できない時間があまりにも長過ぎました。

1～3号機は核燃料の温度が上昇した結果、冷却水が蒸発して水位が下がり、核燃料の上部がむき出しになりました。1000℃で燃料被覆管のジルカロイ（ジルコニウム合金の一種）と水蒸気が反応して熱と水素ガスが発生し、やがて燃料被覆管のジルカロイが溶融し、遂にウラン燃料が溶融しました。溶融したジルカロイとウラン燃料は原子炉圧力容器底部に落下し、さらには圧力容器底部をも貫通し、一部は格納容器にまで漏れ出しました。

格納容器の圧力が高くなり破損する恐れがあるため、1～3号機では格納容器ベント（格納容器に取り付けられている弁を開放して排気する作業）が行われましたが、既に原子炉建屋にまで漏れ出していた水素ガスが火花などにより爆発し、1号機と3号機の原子炉建屋上部が吹き飛び、2号機では格納容器底部に位置する圧力抑制室プール付近で水素爆発が起こり、格納容器が一部損傷しました。全交流電源を喪失した時刻は1～3号機でそれぞれ異なり、炉心溶融に至る経緯も十分解明され尽くされているわけではないですが、概ね上述の如くであったと考えられています。



東京電力(株)福島第一原子力発電所
爆発後の3号機原子炉建屋の外観
(東京電力(株)HPより)

放出された放射性物質の種類と量は

福島第一原発事故により大気中に放出された主な放射性物質は、放射性希ガス(キセノン 133 が主)、放射性ヨウ素(ヨウ素 131 が主)、放射性セシウム(セシウム 137 とセシウム 134 が主)、放射性テルル(テルル 132 が主)です。溶融した核燃料が原子炉圧力容器底部に落下して圧力容器底部を溶融・貫通して核燃料が格納容器にまで漏洩する事故であったため、常温で気体状のキセノンと揮発性元素のヨウ素、セシウム、テルルの放射性物質が、主に原子炉建屋の水素爆発、格納容器ベント、2号機格納容器底部に位置する圧力抑制室プールの損傷部を通じて大気中に放出されました。揮発性と不揮発性の中間の元素（ストロンチウムなど）や不揮発性元素（プルトニウムなど）の放射性物質は、これらの箇所からほとんど大気中に放出されませんでした。実際、福島第一原発のごく近傍を除けば、表層土壌中のストロンチウム 90 及びプルトニウム 239 + 240 の放射能濃度は、大気圏核実験に由来する日本各地の表層土壌中の放射能濃度とほとんど変わらないことが分かっています。

2014年4月に発表された「原子放射線の影響に関する国連科学委員会」(UNSCEAR)の2013年報告書は、信頼性が高い国内外の16研究機関・グループの放射性物質の放出量を表1-1の如く取りまとめています。初期被ばくで問題となるヨウ素 131 は原子炉内の2～8%、事故当初から現在まで問題になり続けているセシウム 137 は同1～3%が大気中に放出されました。チェルノブイリ原

発事故における大気放出量と比較すると、福島第一原発事故ではヨウ素 131 は 1/10 以下、セシウム 137 は 1/5 ～ 1/6 ほどです。チェルノブイリ原発事故と異なる福島第一原発事故の特徴のひとつは、放射性物質の「直接的」な海洋放出があったことです。事故直後の 4 ～ 5 月、確認されているものだけで計 770 トンの高濃度汚染水が海洋に漏洩しました。

大気放出の場合、放射性物質が揮発性（気化しやすい性質）か否かにより放出量は著しく異なります。海洋放出の場合は、放射性物質が水溶性か否かにより漏洩量は大きく異なります。核燃料中のウランとプルトニウムは酸化物として存在し、不溶性です。一方、ヨウ素及びセシウムは容易に水に溶解します。それ故、「直接的」に海洋放出された主な放射性物質はヨウ素 131、セシウム 137 及びセシウム 134 と考えられます。

表 1－1 福島第一原発事故による環境放出量（ペタベクレル：単位記号 PBq）

放射性物質	緊急停止時の 原子炉内放射エネルギー	大気放出量	海洋放出量	
			直接的	間接的
ヨウ素 131	6,000	100 ～ 500	約 10 ～ 20	60 ～ 100
セシウム 137	700	6 ～ 20	3 ～ 6	5 ～ 8

（注1）1 PBq=10¹⁵ Bq=1000兆ベクレル

（注2）海洋放出量の「直接的」は取水口などを通じて海洋に直接放出されたもの、「間接的」は大気放出後に海洋に降下・沈着したものを意味する。

（注3）大気放出量の70～80%は海洋に降下・沈着したと考えられている。

（注4）セシウム134の緊急停止時の原子炉内放射エネルギー、大気放出量、海洋放出量（直接的、間接的）は、セシウム137とほぼ同じと考えられている。

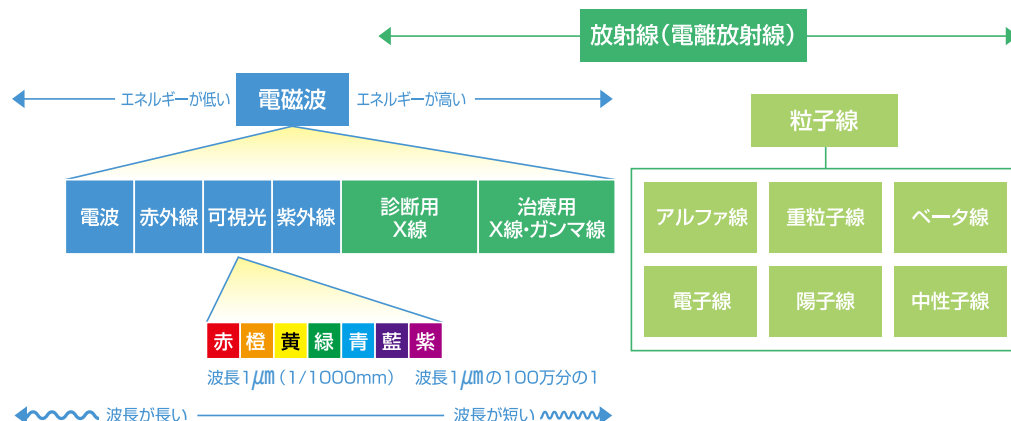
ストロンチウムも水溶性元素であり、ストロンチウム 90 の「直接的」な海洋放出は無視できない可能性があります。しかし、これまでに水産庁により発表されている福島県沖の魚介類中のストロンチウム 90 濃度を見る限り、最大でもセシウム 137 の 1/70 以下です。ストロンチウム 90 の分析試料数が少ないためもっと試料数を増やし信頼性を高めることは必要ですが、魚介類の汚染に関する限り、ストロンチウム 90 は問題にならないと考えられます。

なお、主な大気及び海洋放出の時期は、前者は事故直後から 2011 年 4 月まで、後者は事故直後から同年 5 月までと考えられています。これらの時期以降の放出量はこれまでの全放出量のそれぞれ 1% 以下と考えられています。



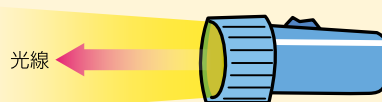
津波で被災した宮城県南三陸町防災対策庁舎（左）と公立志津川病院（右）

コラム 1 放射線の種類



放射線を懐中電灯の光に例えると、

- 放射線……………光
- 放射性物質……………懐中電灯
- 放射能……………懐中電灯がもっている光を出す能力



(広島県医師会：救急小冊子『知っておきたい放射線の基礎知識』を一部改変して引用)

廃止措置に向けた取り組みは

事故収束に向けた道筋として、政府は、事故後3カ月程度内に事故炉を安定的に冷却できることを目標とする「ステップ1」に取り組みました。事故炉の循環注水冷却システムの構築は2011年6月末までに完了しました。続く「ステップ2」では、2011年内に放射性物質の大気放出が管理され放射線量が大幅に抑えられることを目標に、原子炉压力容器底部と格納容器内の温度を概ね100℃以下にする取り組みが行われました。同年12月16日、政府は「ステップ2」の完了を宣言しました。

政府は2011年12月21日、事故炉の廃止措置等に向けた「中長期ロードマップ」を発表しました。ロードマップ（工程表）は何回も見直されています（最新のものは2ページを参照して下さい）が、これに基づき廃止措置は進められています。廃止措置工程は3期に分けられます。

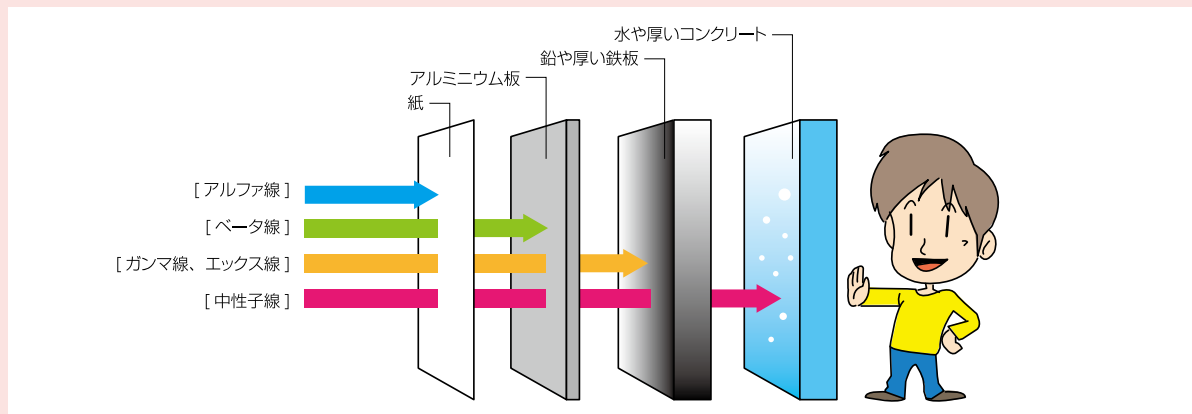
第1期は「ステップ2」完了から2013年12月までの2年間で、使用済み燃料プール内の燃料取り出し開始までの期間に相当します。

第2期は燃料デブリ（溶融した核燃料などが冷えて再び固化したもの）の取り出しが開始される2013年12月～2021年12月までの8年間です。2013年11月に4号機の使用済み燃料の取り出しが始まり、2014年12月に終了しました。3号機の使用済み燃料取り出し開始は2017年度、1号機及び2号機の使用済み燃料取り出し開始は2020年度の予定です。燃料デブリについては、2017年度を目途に取り出し方針を決定、2018年度上半期までに初号機における取り出し方法を確定し、2021年内に初号機の燃料デブリ取り出しが始まる予定になっています。

第3期は1～4号機すべての廃止措置が終了するまでの期間です。「ステップ2」が完了した2011

年 12 月を基点とすると、予定では 30 ～ 40 年後（2041 ～ 2051 年）に廃止措置が終了することになります。燃料デブリ取り出しは、事故炉の廃止措置の中で最難関工程です。格納容器にまで漏れ出た燃料デブリを取り出した経験は、世界中のどこの国にもありません。それを 1 ～ 3 号機までの 3 基を実行することになります。私たち国民としては、政府と東京電力（株）が周到な準備の上、安全最優先で慎重・確実に対処することを願うばかりです。

コラム 2 放射線の透過能力



（広島県医師会：救急小冊子『知っておきたい放射線の基礎知識』より引用）

新たな避難指示区域とは

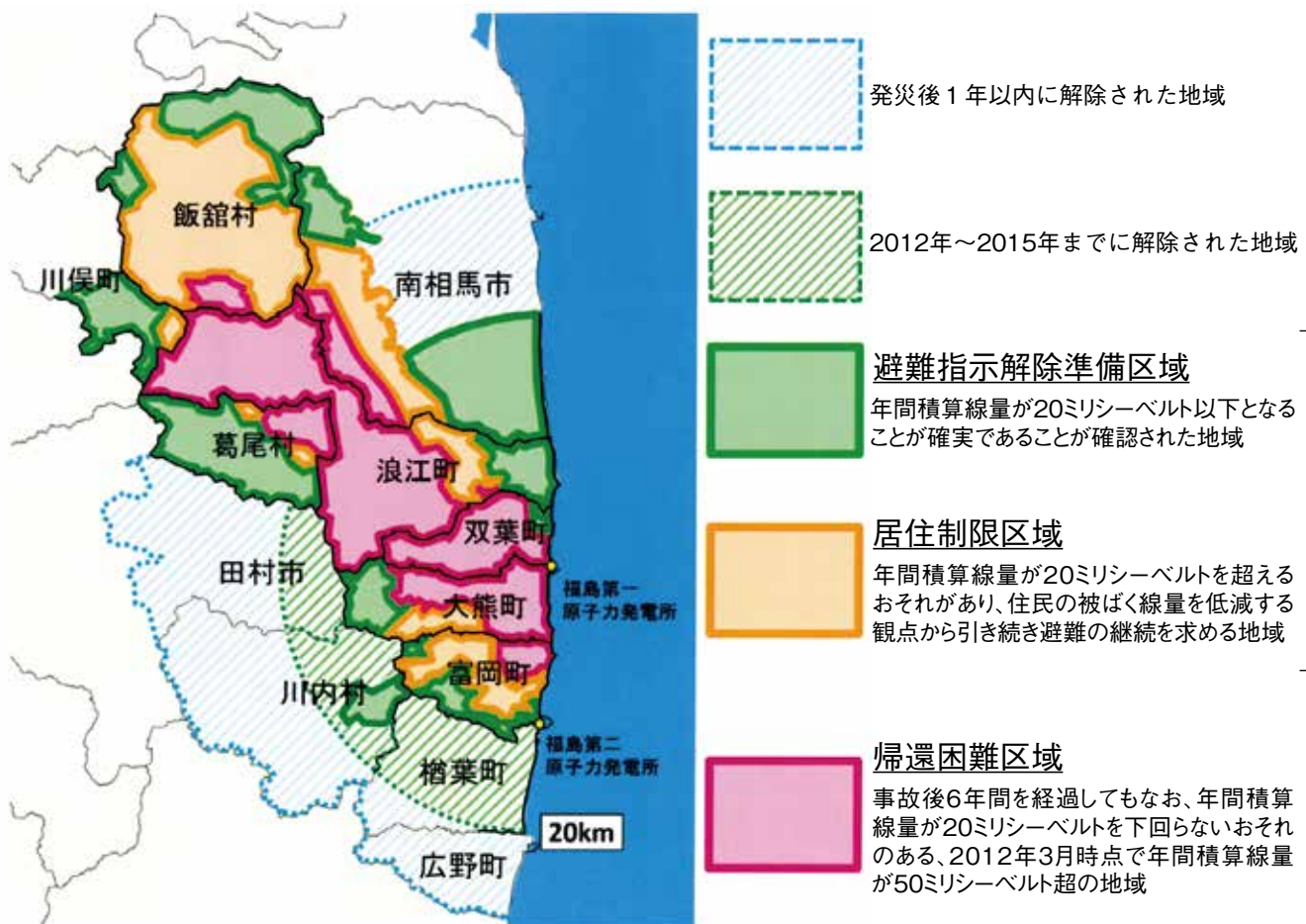
政府は 2011 年 4 月 22 日、一律に立入禁止とする警戒区域（20 km 圏）、計画的避難区域（20 km 圏外で年 20 mSv 超）と、屋内退避や避難がいつでも行えるよう準備しておくことを住民に求める緊急時避難準備区域を指定しました。同年 9 月末、緊急時避難準備区域が解除されました。「ステップ 2」の完了を受け、政府は同年 12 月 26 日に新たな避難指示区域設定の考え方を示しました（表 1－2）。現在の避難指示区域の運用は、この考えに基づいて行われています。2014 年 4 月に田村市都路地区、同年 10 月に川内村毛戸地区、2015 年 9 月に楢葉町、2016 年 6 月に葛尾村及び川内村、同年 7 月に南相馬市（帰還困難区域を除く）の避難指示が解除されました。

コラム 3 避難指示基準と避難指示解除の基準は

避難の基準は、追加的被ばく線量が年 20 ミリシーベルトを超えるか否かである。それなら避難指示解除（帰還）の基準は年 20 ミリシーベルト以下かといえ、そう単純な話ではない。たとえば居住制限区域の線量が年 20 ミリシーベルト以下に下がると、避難指示解除ではなく避難指示解除準備区域に指定されるからだ。原子力災害対策本部によれば、避難指示解除の基準は以下の 3 要件である。（1）追加的被ばく線量が確実に年 20 ミリシーベルト以下となることが確認された地域について、（2）次の①～③が達成された段階で、①日常生活に必須なインフラが概ね復旧する。②医療など生活関連サービスが概ね復旧する。③子どもの生活環境を中心とする除染作業が十分に進捗する。（3）県、市町村、住民との十分な協議を踏まえ、解除することとされている。

表 1 - 2 新たな避難指示区域

	区域の基本的考え方
避難指示解除準備区域	年間積算線量が20ミリシーベルト以下となることが確実であることが確認された地域
居住制限区域	年間積算線量が20ミリシーベルトを超えるおそれがあり、住民の被ばく線量を低減する観点から引き続き避難の継続を求める地域
帰還困難区域	事故後6年間を経過してもなお、年間積算線量が20ミリシーベルトを下回らないおそれのある、2012年3月時点で年間積算線量が50ミリシーベルト超の地域



※ 2016年6月に葛尾村及び川内村、同年7月に南相馬市（帰還困難区域を除く）の避難指示が解除されました。

出典：風評被害の払拭に向けて ～原子力被害からの復興と福島安全・再生のあゆみ～（復興庁、2016年4月）

II

放射能・放射線の基礎知識と人体への影響

1 放射能と放射線

放射能とは

放射能とは、ある種の原子核が自発的に壊れて別の種類の原子核に変化する性質のことです。この時の変化を放射性壊変（放射性崩壊）といいます。時折「放射能を浴びた」と言う人がいますが、これは間違った表現です。おそらく「放射線を浴びた」という意味で言っているに相違ありません。放射線については後述しますが、放射能と放射線はまったく別物です。

放射能の強さは、1秒間に何個の放射性物質の原子核が壊変するかで表現します。放射能の強さを表す単位はベクレル（単位記号 Bq）で、1秒間に1個の原子核が壊変する放射能の強さを1ベクレルといいます。ベクレルは、1896年に放射能現象を初めて発見したフランスの物理学者アントワーン・アンリ・ベクレルに由来する単位です。

$$1 \text{ (Bq)} \equiv 1 \text{ (壊変毎秒)}$$

放射性物質の原子核は壊変するので、時間経過に伴い徐々に原子数が減少します。半減期とは、放射性物質の原子数がはじめの半分に減少する期間のことです。放射性物質は固有の半減期を持っています。半減期の10倍の時間が経つと、放射能の強さははじめの約1000分の1に減少します。半減期の20倍の時間が経つと、放射能の強さははじめの約100万分の1に減少します。大雑把な言い方になりますが、はじめの1000分の1に減少するとほぼ問題のないレベルになる、はじめの100万分の1に減少すると無視できるレベルになる、と考えられます。

$$(1/2)^{10} = 1/1024 \doteq 10^{-3}$$

$$(1/2)^{20} = (1/2)^{10 \times 2} = (1/1024) \times (1/1024) \doteq 10^{-6}$$

コラム 4 放射性物質と半減期

放射性物質はもともと不安定な物質で、不安定の元となる余分なエネルギーを放射線として出しながら、別の物質に変わっていきます。同時に、放射能の強さがだんだん減っていく性質があります。放射能の強さがはじめの半分になるまでの時間を「半減期」といい、この時間は放射性物質の種類によって決まっています。

放射性物質	記号	半減期	脚注
ヨウ素 131	¹³¹ I	8.02070 日	放射性核分裂生成物
ストロンチウム 90	⁹⁰ Sr	28.79 年	放射性核分裂生成物
セシウム 134	¹³⁴ Cs	2.0648 年	誘導放射性物質
セシウム 137	¹³⁷ Cs	30.1671 年	放射性核分裂生成物
プルトニウム 239	²³⁹ Pu	2 万 4110 年	誘導放射性物質
カリウム 40	⁴⁰ K	12 億 5100 万年	天然放射性物質

放射線と被ばく

放射線は、放射性物質の原子核の壊変に伴い放出されます。現在では放射性物質が存在しなくとも病院のエックス線装置のように、人工的に放射線を発生させることもできます。両者の共通点は、ともに高エネルギーの粒子の流れであることです。「流れ」というと川の水の流れのように連続的に移動するイメージが強いですが、むしろ粒粒の雨が降り注いでいる状態をイメージする方が実際の放射線の姿に近いです。

アルファ粒子（ヘリウム4原子核）の雨ならアルファ線、電子の雨ならベータ線（または電子線）、電磁波（光子）の雨ならガンマ線（またはエックス線）、中性子の雨なら中性子線という具合です。

人体の外側にある放射線源から放出される放射線を浴びることを外部被ばく（または体外被ばく）、人体内部にある放射線源から放出される放射線を浴びることを内部被ばく（または体内被ばく）といいます。外部被ばくであれ内部被ばくであれ、被ばく線量が同じならば人体内部に生成される放射線損傷の数や程度に違いはなく、人体が受ける放射線の影響の程度は同じであると考えられています。

コラム 5 その他の物理量単位

- 1ジュール（J）＝1000万エルグ（erg）つまり1（erg）＝1/1000万（J）
- 1エルグ（erg）とは1ダイン（dyn）の力が物体に作用して、その力の方向に1cm動かす仕事（エネルギーの単位）をいう。
- 1ダイン（dyn）＝1/10万ニュートン（N）つまり1（N）＝10万（dyn）
- 1ダイン（dyn）とは質量1gの物体に働いて毎秒毎秒1cmの加速度を生じさせる力の大きさをいう。
- 1ニュートン（N）とは質量1kgの物体に働いて毎秒毎秒1mの加速度を生じさせる力の大きさをいう。

コラム 6 放射能と放射線に関する単位

ベクレル	Bq	放射性物質の原子核が放射性壊変する強さを表す単位つまり、放射能の強さを表す単位
グレイ	Gy	放射線のエネルギーがどれだけ物質に吸収されたかを表す単位
シーベルト	Sv	放射線を浴びた時の人体への影響度を表す単位

放射線の単位を雨に例えてみると

- ベクレル = 単位時間に降る雨粒の数
- グレイ = 人に当たってぬらした水の量
- シーベルト = 人に当たった影響



（広島県医師会：救急小冊子『知っておきたい放射線の基礎知識』を一部改変して引用）

◆ 等価線量と実効線量

等価線量は臓器・組織の被ばく線量、実効線量は全身の被ばく線量を意味します。放射線を照射された物質の受ける影響を評価する基本的な量は吸収線量です。吸収線量の単位はグレイ（単位記号 Gy）で、放射線照射により 1 kg の物質が 1 ジュール（J）のエネルギーを吸収する時、吸収線量は 1 グレイ（Gy）であるといいます。

$$1 \text{ (Gy)} \equiv 1 \text{ (J/kg)}$$

吸収線量は人体に限らず、すべて物質に適用できる線量です。ところが吸収線量が同じでも、放射線の種類やエネルギーにより人体の受ける影響の程度が異なることが分かっています。そこで人体の臓器・組織の受ける放射線の影響を評価する目的で導入されたのが等価線量です。当該臓器・組織の等価線量は、放射線の種類やエネルギーの大きさにより決められる放射線荷重係数（記号 W_R ）という補正値を、当該臓器・組織の平均吸収線量に乗ずることにより求められます（表 2－1）。等価線量の単位はシーベルト（単位記号 Sv）です。

$$[\text{当該臓器・組織の等価線量}] \text{ (Sv)} = [\text{当該放射線の } W_R] \times [\text{当該臓器・組織の平均吸収線量}] \text{ (Gy)}$$

表 2－1 放射線荷重係数（国際放射線防護委員会（ICRP）2007 年勧告による）

放射線の種類	放射線荷重係数 W_R
光子、すべてのエネルギー	1
電子・ミュオン粒子、すべてのエネルギー	1
陽子・荷電パイ中間子	2
アルファ粒子・核分裂片・重イオン	20
中性子	エネルギーにより 2.5 ～ 21 の範囲で変化

コラム 7 被曝と被爆の違い

放射線を浴びることを放射線被ばく（または被ばく）という。漢字表記は「被曝」である。ときおり放射線被ばくを「被爆」と表記している文章を見かけるが、これは間違った表記である。被爆は爆弾による攻撃を受けることを意味し、放射線を浴びるという意味なら、「被曝」と表記しなければならない。なお、「曝」が常用漢字でないため、「被曝」を「被ばく」と表記することもある。本冊子では「被ばく」と表記した。

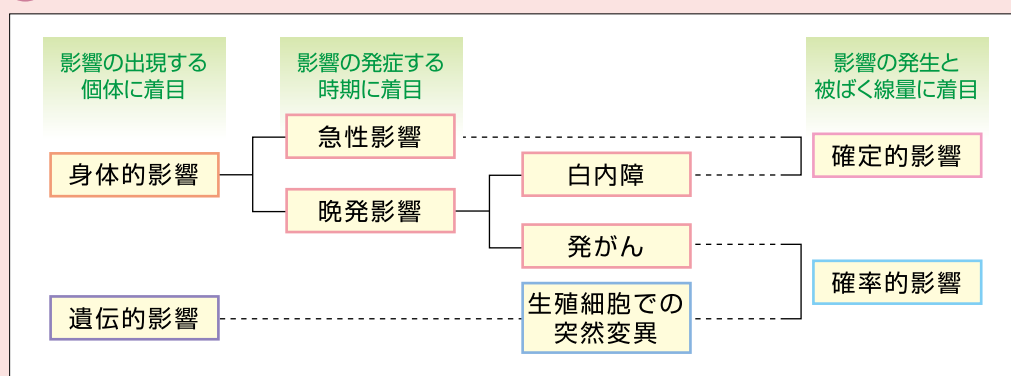
全身が被ばくするのか（全身被ばく）、あるいは身体の限られた一部分だけが被ばくするのか（局所被ばく）により、人体の受ける影響の程度は異なります。また、同じ1シーベルトの局所被ばくであっても、各臓器・組織により放射線感受性が異なるため、被ばくした臓器・組織の種類により影響の程度は異なります。そこで全身被ばくか局所被ばくかという違いや被ばくする臓器・組織の種類の違いを考慮して、被ばくが原因で生ずる発がんや遺伝的影響の程度を一律に評価する尺度として導入されたのが実効線量です。実効線量は、当該臓器・組織の放射線感受性を表す組織荷重係数（記号 W_T ）を、当該臓器・組織の等価線量に乘じ、それをすべての臓器・組織について加算することにより求められます（表2-2）。実効線量の単位は、等価線量と同じシーベルトです。

$$[\text{実効線量}] (\text{Sv}) = \sum_T [\text{当該臓器・組織の } W_T] \times [\text{当該臓器組織の等価線量}] (\text{Sv})$$

表2-2 組織荷重係数（ICRP 2007年勧告による）

臓器・組織	組織荷重係数 W_T	合計
骨髄（赤色）、結腸、肺、胃、乳房、残りの組織	0.12	0.72
生殖腺	0.08	0.08
膀胱、食道、肝臓、甲状腺	0.04	0.16
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	0.01	0.04
合計		1.00

コラム 8 放射線影響の分類



（広島県医師会：救急小冊子『知っておきたい放射線の基礎知識』より引用）

内部被ばくの評価は

外部被ばくの測定は通常、ガラスバッジやフィルムバッジなどの個人線量計を着用することにより行います。それなら飲食物を通じて放射性物質を経口摂取する、または呼吸を通じて吸入摂取する内部被ばくの評価は、どうすればよいでしょうか。

内部被ばくの評価は、たとえばホールボディカウンタ(WBC)法の場合、人体内(または臓器・組織内)における放射性物質の種類と放射エネルギーをWBCにより求め、代謝モデルを使って体内に取り込んだ時点でさかのぼって放射エネルギーを算出し、同様に代謝モデルを使って体内に放射性物質を取り込んでから50年間(成人の場合)または70歳になるまで(子供と乳幼児の場合)の累積線量を積分して求めます。この累積線量を預託実効線量といいます。代謝モデルは年齢、臓器・組織の種類、放射性物質の種類やその化学形態、摂取の経路(経口か吸入か)などにより異なり、大変に複雑です。内部被ばくの専門家でもない限り、容易に求められるものではありません。

それ故、国際放射線防護委員会(ICRP)は、1 Bqの放射性物質を取り込んだ場合の預託実効線量を算出するため、年齢、放射性物質の種類、摂取の経路ごとに実効線量を換算する係数(実効線量係数)を公表しています。表2-3にICRP刊行物72から転載した実効線量係数を例示します。内部被ばくの評価は、実効線量係数を以下のように使って行います。たとえば5歳の子供が、セシウム137の放射能濃度が1 kg当たり50 Bqの食品を1回に0.2 kg、計3回食べる場合、預託実効線量は0.000288mSvになります。

$$50 \text{ (Bq/kg)} \times 0.2 \text{ (kg/回)} \times 3 \text{ (回)} \times 9.6 \times 10^{-6} \text{ (mSv/Bq)} = 0.000288 \text{ (mSv)}$$

表2-3 経口摂取の場合の実効線量係数の例(単位はmSv/Bq)

放射性物質	3カ月	1歳	5歳	10歳	15歳	成人
ヨウ素131	4.8×10^{-4}	1.8×10^{-4}	1.0×10^{-4}	5.2×10^{-5}	3.4×10^{-5}	2.2×10^{-5}
セシウム134	2.6×10^{-5}	1.6×10^{-5}	1.3×10^{-5}	1.4×10^{-5}	1.9×10^{-5}	1.9×10^{-5}
セシウム137	1.1×10^{-5}	1.2×10^{-5}	9.6×10^{-6}	1.0×10^{-5}	1.3×10^{-5}	1.3×10^{-5}

2 放射性物質と被ばく

◆ 自然放射線源による被ばく

自然界にもたくさんの放射性物質と放射線が存在します。地上にも宇宙線は存在しますが、ジェット機が飛行する高空に行くと、地上における実効線量率の100倍以上の宇宙線が存在します。自然放射線源に由来する被ばく線量の世界平均は年2.4 mSv(UNSCEAR 2008年報告書による)と評価されています。また、日本平均は年2.09 mSv(『新版 生活環境放射線(国民線量の算定)』原子力安全研究協会、平成23年12月、による)と評価されています。世界平均も日本平均も2/3が内部被ばく、1/3が外部被ばくです(表2-4)。

表 2-4 自然放射線源による被ばくの年実効線量 (mSv/年)

線 源		世界平均	日本平均
外部被ばく	宇宙線	0.38	0.3
	大地放射線 (屋外, 屋内)	0.48	0.33
内部被ばく (吸入摂取)	ラドン 222 (ラドン) とその子孫	1.15	0.37
	ラドン 220 (トロン)	0.1	0.09
	喫煙 (鉛 210、ポロニウム 210 など)	} 0.006	0.01
	その他 (ウランなど)		0.006
内部被ばく (経口摂取)	主に鉛 210、ポロニウム 210	0.12	0.80
	水素 3 (トリチウム)	} 0.01	0.0000082
	炭素 14		0.0025
	カリウム 40	0.17	0.18
合 計		2.4	2.09

職業被ばく・医療被ばく・公衆被ばく

職業被ばくとは、たとえば病院などの医療機関において医師・歯科医師・診療放射線技師などが診療行為中に受ける被ばくや原子力発電所の放射線作業員などが勤務時間中に受ける被ばくのことです。一方、医療被ばくとは、患者が放射線を用いた検査や治療の際に受ける被ばくのことです。これとは別に、一般人が通常の生活の中で受ける被ばくを公衆被ばくといいます。自然放射線源による被ばくは公衆被ばくになります。

日本の現行法令は、ICRP 1990 年勧告に準拠しています。職業被ばくについての現行法令の線量限度(線量上限値)を表 2-5 に示しました。ICRP は医療被ばくについて線量限度を設けておりません。その理由は、医療被ばくに線量限度を設けると、患者にとって必要な検査や治療を受けられなくなる場合が生じ、患者の便益を確実に損なうおそれがあるからです。勿論たとえ医療被ばくといえども、医療従事者には、患者の被ばく線量を合理的に達成できる限り低くする努力が求められることは言うまでもないことです。公衆被ばくについても、現行法令では線量限度を設けておりません。なお、線

表 2-5 日本の現行法令の線量限度 (職業被ばく)

実効線量限度	① 50 mSv/年かつ 100 mSv/5 年 (②及び③の者を除く)	
	②妊娠可能な女子* 5 mSv/3 月	
	③妊娠中の女子 (使用者等が妊娠の事実を知った時から出産までの期間 1 mSv (内部被ばく))	
等価線量限度	眼の水晶体	150 mSv/年
	皮膚	500 mSv/年
妊娠中の女性従事者	書面で申告後の妊娠期間 腹部表面で 2 mSv (等価線量限度)	

(*) 職業人の女性の線量限度はICRP 1990年勧告ではなく、日本の現行法令特有のもの。

量限度は安全と危険の境界を意味するものではありません。自然放射線による被ばく（実効線量）が年 2 mSv 以上ある現実を見れば、この点は理解できると思います。線量限度は安全と危険の境界よりはるかに低いレベルに設定されています。

コラム 9 放射線防護体系 3 原則

ICRP は、線量制限を目的とした放射線防護体系 3 原則を勧告している。放射線被ばくを伴う行為は、次の 3 原則を満足させなければならない。

- (a) 行為の正当化：被ばくを伴う行為は、放射線利用によるプラス面とマイナス面を勘案し、その導入が正味でプラスの利益を生むのであれば採用してはならない（正当化の原則）。
- (b) 防護の最適化：被ばくは、経済的及び社会的な要因を考慮に入れながら、合理的に達成できる限り低く保たなければならない（最適化の原則）。
- (c) 線量限度：個人に対する線量は、ICRP がそれぞれの状況に応じて勧告する線量限度を超えてはならない（線量限度順守の原則）。

この 3 原則は必ず (a) → (b) → (c) の順に適用し、被ばくを伴う行為はこれらをすべて満足させなければならないというのが放射線防護体系 3 原則である。ただし、医療行為上の放射線利用は一律に線量限度を決めることができないため、(a) 及び (b) は当然の如く適用されるものの、(c) の線量限度順守の原則は適用されない。

放射線源別の 1 人当たりの被ばく線量

放射線源別の 1 人当たりの被ばく線量について、世界平均は UNSCEAR 2008 年報告書、日本平均は前掲『新版 生活環境放射線』をもとに作成した表 2-6 を紹介します。この表から分かることは、医療被ばくの日本平均が世界平均の 6～7 倍高いことです。旧版では医療被ばくは 2.25 mSv/年でしたが、新版では 3.87 mSv/年と 1.7 倍以上も大きくなりました。この主な原因はエックス線 CT（コンピュータ断層撮影）が急速に普及したからであると考えられています。

表 2-6 放射線源別の一般人 1 人当たりの年実効線量 (mSv/年)

放射線源	世界平均	日本平均
自然放射線	2.4	2.09
大気圏内核実験降下物	0.005	0.0025
医療被ばく（診断）	0.6	3.87
職業被ばく	0.005	0.0015
原子力施設による被ばく	0.0002	0.0001
その他*	0.002	0.004
合 計	3.0	5.97

(*) 世界平均はチェルノブイリ原発事故、日本平均は航空機乗客の線量が主。

医療被ばくについてももう少しデータを紹介します。表 2-7 は前掲『新版 生活環境放射線』から引用したものです。日本人の医療被ばくは 1 人当たり年 3.87 mSv と評価されていますが、表 2-7 はその内訳を示したものです。X 線 CT 検査いわゆる CT スキャンが 59%、一般 X 線診断が 38%、両者で医療被ばく全体の 97% 以上を占めています。X 線 CT 検査の医療被ばくは、日本人の自然放射線による被ばく線量（年 2.09mSv）と同程度か、上回る水準にあります。一方、歯科 X 線診断は医療被ばく全体の 0.6% を占めるにすぎません。

表 2-7 中の「歯科 X 線診断 0.023 mSv/年」は、アナログ方式、デジタル方式の両方の年間被ばく量を足し算し、それを人口で割って 1 人当たりの年平均線量を求めており両方が混在しています。

表 2-7 医療被ばくによる日本人 1 人当たりの年実効線量*

項 目	年実効線量 (mSv/年)
一般 X 線診断	1.47
X 線 CT 検査	2.3
集団検診（胃）	0.038
集団検診（胸部）	0.0097
歯科 X 線診断	0.023
核医学診断	0.034
合 計	3.87

(*) 『新版 生活環境放射線』より引用

表 2-8 は、赤羽恵一「医療被ばくの現状」（月刊インナービジョン、2010 年 6 月号）から引用したものです。表 2-7 と表 2-8 との違いは、前者が 1 人当たりの平均被ばく線量、後者が 1 検査当たりの平均被ばく線量の違いです。

表 2-8 日本における放射線診療による実効線量（1 検査当たり）

検査の種類	実効線量 (mSv/1 検査)
胸部 X 線撮影	0.06
上部消化管検査（バリウム検査）	3
CT 撮影	5~30
核医学検査	0.5~15
PET 検査	2~10
乳房撮影（マンモグラフィ）	2 mGy*
歯科 X 線撮影	0.002~0.01

(*) 乳房の吸収線量であり、実効線量ではない。

最後に、表 2-9 と表 2-10 に歯科撮影時の被ばく線量をまとめました。いずれも岩井一男「歯科 X 線撮影における防護 Q&A」（日本大学歯学部同窓会雑誌、第 46 巻 1 号、2001 年）から引用したものです。表 2-6 ～表 2-8 の被ばく線量の単位がミリシーベルト（mSv）であるのに対し、表 2-9 及び表 2-10 の被ばく線量の単位がマイクロシーベルト（ μ Sv）であることに注意してください。医療被ばくでは線量限度は適用されませんが、正当化の原則と最適化の原則は適用されます。無用な被ばくを極力減らして被ばく線量をできる限り低くすることは、たとえ医療被ばくといえども貫かれなければならないでしょう。

なお、表 2-9 及び表 2-10 は X 線フィルムを使用した通常の撮影法の場合（アナログ方式）です。デジタル撮影の場合は、各社さまざまな機種がある中でおよそアナログ方式の数分の 1 ほどの被ばく線量に軽減します。

表 2-9 日本におけるデンタル・パノラマ撮影時の等価線量（ μ Sv/1 撮影）

臓器・組織	デンタル撮影		パノラマ撮影
	上顎大臼歯	下顎大臼歯	
皮膚	3600	3400	400
脳	12.6	31	26
唾液腺	200	2100	820
甲状腺	194	2420	233
肺	1.1	8	1.7
赤色骨髄	14.5	3.5	15.1
生殖腺	0.03	測定限界以下	0.08

表 2-10 日本におけるデンタル・パノラマ撮影時の実効線量（ μ Sv/1 撮影）

撮影部位		実効線量
上 顎	大臼歯	18
	小臼歯	12
	犬 歯	9
	切 歯	10
下 顎	大臼歯	24
	小臼歯	6
	犬 歯	4
	切 歯	6
パノラマ撮影		11
（参考）胸部 X 線撮影		55

3 放射線影響と放射線防護

◆ DNA 損傷と修復

生体内の細胞が放射線により照射されると、細胞内の生体高分子を構成する原子を直接電離して破壊し、細胞に障害を与えます（直接作用）。特に生体高分子が遺伝情報の継承と発現を担う DNA（デオキシリボ核酸）の場合、その効果は他の分子に比べて非常に大きいものになります。放射線が直接電離しなくとも、生体内の水分子などに作用してフリーラジカル（ヒドロキシルラジカル・OH など）を生成し、フリーラジカルが生体高分子を破壊し、細胞に障害を与えることもあります（間接作用）。ベータ線とガンマ線（またはエックス線）の場合、直接作用と間接作用の割合はおよそ 1:3 とされています。

放射線による直接または間接作用により作られる DNA の傷を DNA 損傷と呼んでいます。DNA 損傷には、塩基の一部損傷の他、重要なものに鎖切断があります。DNA の二重らせんのうち、片方の鎖が切れることを 1 本鎖切断、向かい合う 2 つの鎖が切れることを 2 本鎖切断といいます。ベータ線とガンマ線（またはエックス線）の場合、1 グレイ当たり 1 個の細胞に平均 1000 個の 1 本鎖切断と 30 ～ 40 個の 2 本鎖切断が起こるといわれています。被ばくしなくとも、通常の活動の中で生体内の 1 個の細胞は 1 日当たり数万～数十万個の DNA 損傷を起こしています。DNA 損傷を引き起こす要因は、放射線以外にも大気汚染物質、薬剤、紫外線、たばこ、酒、ストレスなど私たちの身の回りにたくさんあるからです。

DNA 損傷が起きても、生物は多くの DNA 修復酵素を持っており、DNA 損傷を修復します。DNA 損傷を修復し損ねた場合、アポトーシス（細胞自爆）やその他の生体内防御機構により異常細胞を排除する仕組みもあります。しかし、何がしかの原因によりアポトーシスやその他の生体内防御機構により異常細胞を排除できなかった場合、異常細胞が変異細胞（がんの芽）として生き残ります。変異細胞は生じては消え、消えては生ずるといったことを繰り返し、ごく希に生き残った変異細胞に遺伝子の異常が長時間かけて蓄積し、がん細胞になることがあります。変異細胞が発がんに至るまでには多くのプロセスが必要であり、数年から数十年を要します。

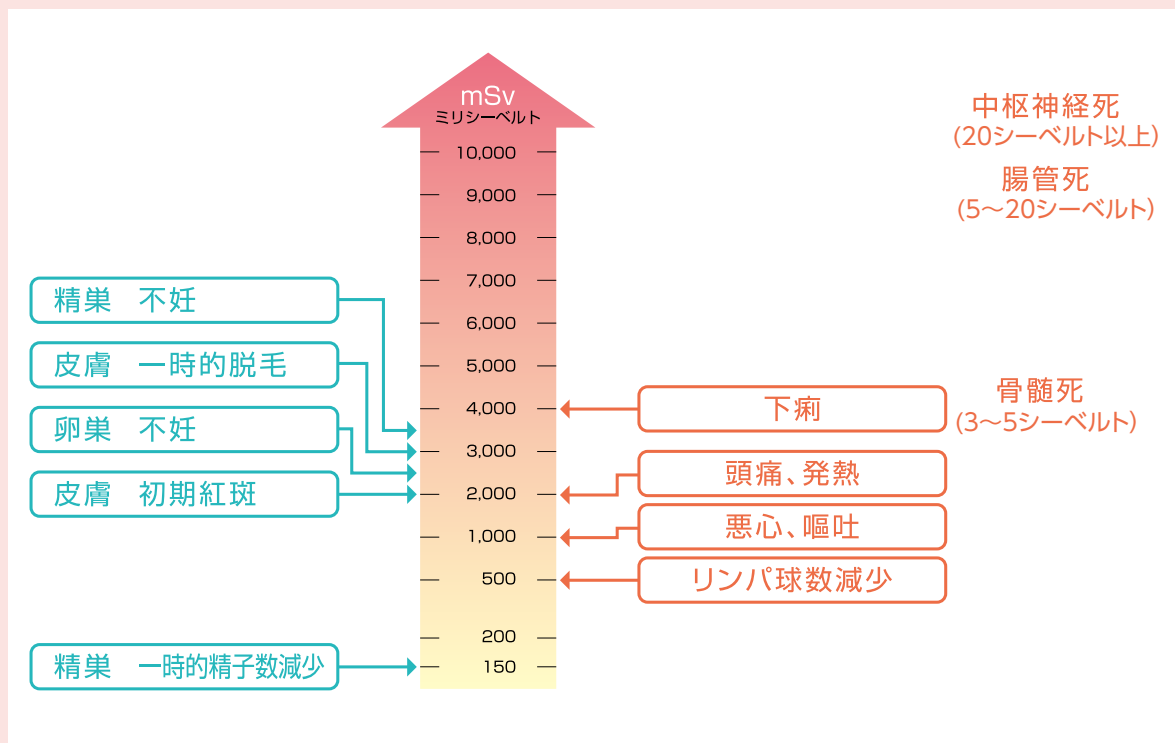
◆ 臓器・組織の放射線感受性は

生体を構成する臓器・組織は、それぞれ放射線感受性が異なります（表 2-11）。細胞や臓器・組織の放射線感受性については、フランスの生物学者ジャン・ベルゴニーとルイ・トリボンドーが 1906 年に発見したベルゴニー・トリボンドーの法則があります。（1）細胞分裂頻度の高いものほど感受性が高い、（2）将来行う細胞分裂回数の多いものほど感受性が高い、（3）形態及び機能が未分化のものほど感受性が高い。幾つかの例外はあるものの、今日においてもこの法則は哺乳動物の細胞や臓器・組織の放射線感受性を考える際の重要なものです。なお、末梢血中のリンパ球は分化を終えた細胞であるにもかかわらず放射線感受性が高く、この法則に従わない代表例です。

表 2 - 11 臓器・組織の放射線感受性

放射線感受性	臓器・組織	摘 要
非常に高い	リンパ組織, 造血組織 (骨髄, 胸腺, 脾臓), 生殖腺 (卵巣, 精巣), 粘膜, 小腸絨毛	細胞再生系で幹細胞の分裂頻度が 高いもの
比較的高い	唾液腺, 毛嚢, 汗腺, 皮脂腺、皮膚, 水晶体	内分泌腺, 外分泌腺の一部, 汗腺 など
中程度	漿膜, 肺, 腎臓, 副腎, 肝臓, 脾臓, 甲状腺	細胞再生系で幹細胞の分裂頻度は 高くないもの, 及び外分泌腺
低 い	筋肉, 結合組織, 脂肪組織, 軟骨, 骨, 神経組織, 神経線維	主に身体の構造を支持しているも ので, 成体では細胞分裂を行わな いか極めて低いもの

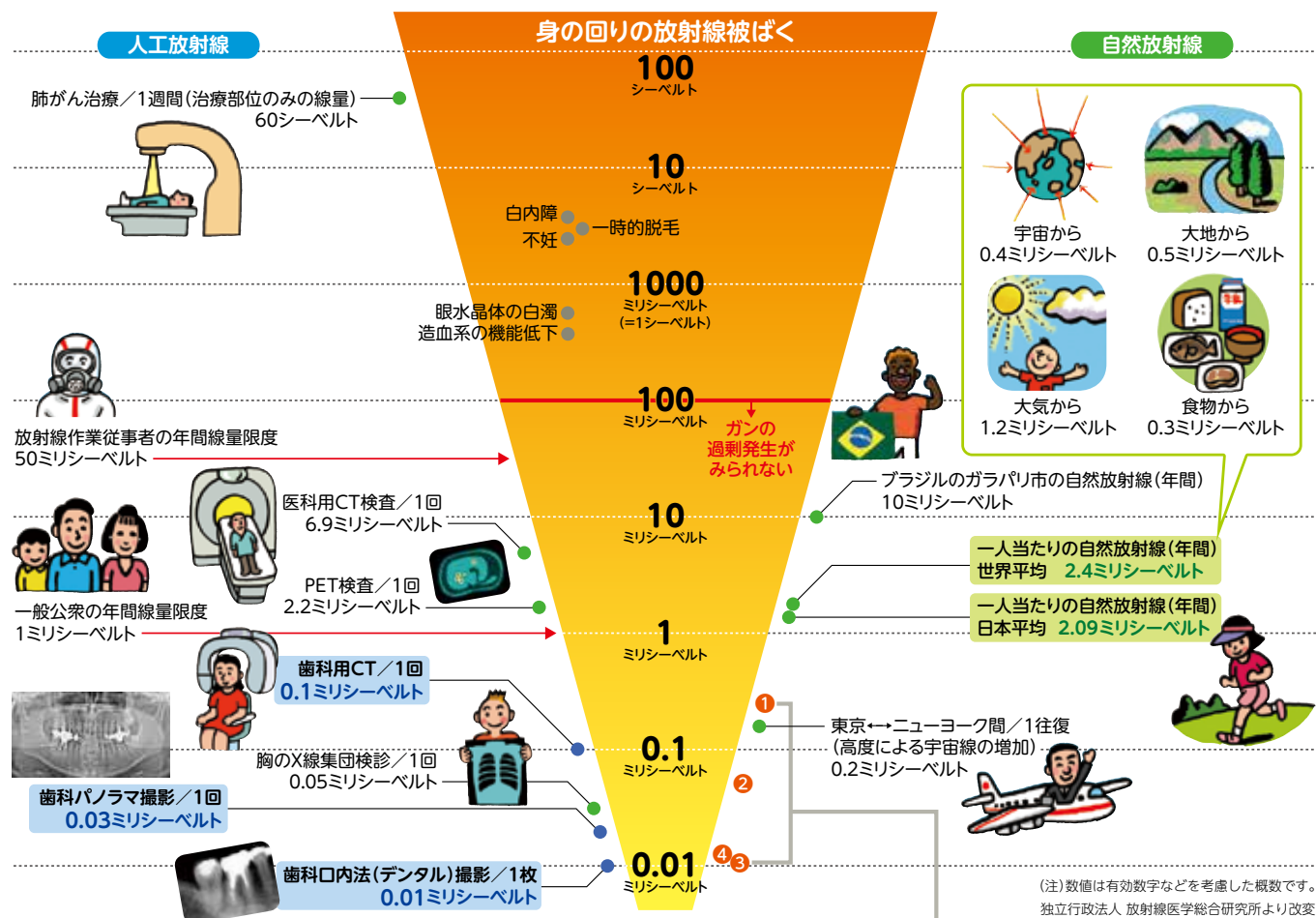
コラム 10 放射線による急性障害



(広島県医師会：救急小冊子『知っておきたい放射線の基礎知識』を一部改変して引用)

コラム 11 放射線と歯科 X 線撮影のお話

歯科治療時に撮影されるデンタル X 線 1 枚の放射線の量は 0.01 ミリシーベルト程度、パノラマ X 線撮影は約 0.03 ミリシーベルト程度で、自然放射線 1 年分に比べて極めて少ない値です。X 線写真から得られる情報は歯科治療において不可欠なものです。



飲食物からの体内被ばくにおける実効線量の目安

ヨウ素131の場合		セシウム134・137の場合	
① 水	たとえば、300ベクレル／リットルの水を1日2リットル、1ヵ月間飲み続けた ⇒0.4ミリシーベルト	③ 牛肉	たとえば、4,350ベクレル／キログラムの牛肉を1回200グラム食べた ⇒0.012ミリシーベルト
② ほうれん草	たとえば、2,000ベクレル／キログラムのほうれん草を1日50グラム、1ヵ月間食べ続けた ⇒0.07ミリシーベルト	④ お茶	たとえば、7.8ベクレル／リットルのお茶を1日1リットル1年間飲み続けた ⇒0.046ミリシーベルト

(「東京都歯科医師会雑誌 第59巻第8号 付録／監修：(公社)東京都歯科医師会広報常任委員会(学術)
・日本大学歯学部歯科放射線学教室 川嶋祥史、本田和也」を一部改変して引用)

放射線障害の分類は

被ばくすることにより現れる影響のうち、健康に異常を生じ医療行為の対象となるものを放射線障害といいます。

放射線障害を医学・生物学的立場から分類すると、身体的影響と遺伝的影響に大別されます。身体的影響は、被ばくした本人の身体に現れる障害、遺伝的影響は被ばくした人の子孫に現れる障害です。被ばくしてから症状が現れるまでの期間を潜伏期といい、潜伏期の長さにより身体的影響は急性障害と晩発障害に分類されます。急性障害は被ばく後数カ月以内に症状が現れる障害、晩発障害は被ばく後数カ月以上経ってから症状が現れる障害をいいます。急性障害には、皮膚の紅斑や脱毛などの皮膚障害、白血球・栓球（血小板）・赤血球の減少などの造血臓器の障害、生殖腺の障害（不妊）、消化管の障害、中枢神経の障害などがあります。晩発障害には、白内障、胎児の障害、発がんなどがあります。

前述の分類とは別に、放射線障害を放射線防護学的立場から分類すると、確定的影響と確率的影響に大別されます。確定的影響は、被ばく線量と障害の発生確率の関係が図2-1のようなシグモイド型（またはS字型）の曲線で表され、被ばく線量がある限界線量（しきい値）を超えると感受性の高い人々から発症し始め、線量の増加とともに急激に発生確率が増加し、やがて全員に発症するような障害です。さらに高い線量の被ばくをすると、障害の重篤度（症状の重さ）は被ばく線量に応じて増加します。発がんや遺伝的影響を除くすべての身体的影響は、確定的影響と考えられています。表2-12に確定的影響のしきい値を示しました。

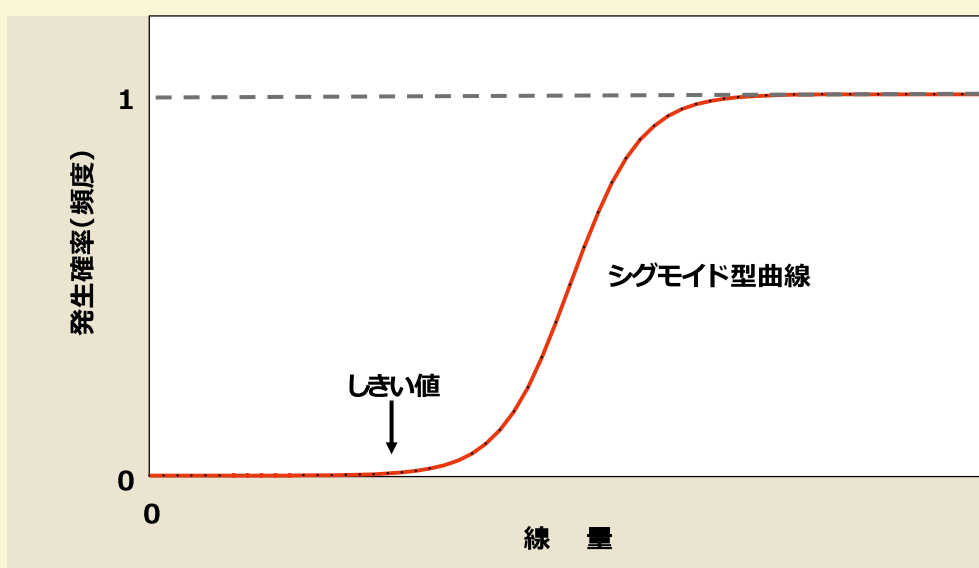


図2-1 確定的影響の線量-効果曲線

表 2 - 12 確定的影響のしきい値の例（急性照射の場合）

	症状		しきい値 (Gy)
骨 髄	白血球減少		0.5
不 妊	男 性	一時的不妊	0.15
		永久不妊	3.5～6
	女 性	一時的不妊	0.65～1.5
		永久不妊	2.5～6
眼	白内障		5.0
皮 膚	初期紅斑		2
	一時的脱毛		3
胎 児	奇 形		0.1
	精神発達遅延		0.12～0.2

一方、確率的影響は、図 2 - 2 のようにしきい値はないと考えられています。確定的影響では被ばく線量の増加とともに障害の重篤度が増加しましたが、確率的影響では障害の重篤度は被ばく線量と無関係であり、被ばく線量の増加とともに障害の発生確率が増加します。確率的影響には発がんや遺伝的影響が含まれます。

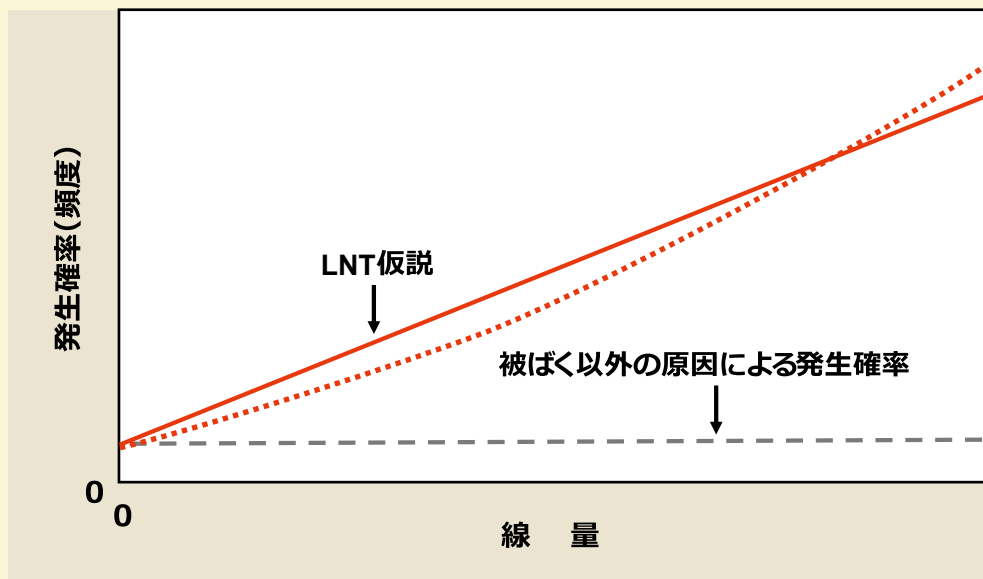


図2-2 確率的影響の線量-効果曲線

◆ LNT仮説と放射線防護

図2-1や図2-2のように、横軸に被ばく線量、縦軸に障害の発生確率をとって描いた曲線を線量-効果曲線といいます。図2-2では確率的影響の線量-効果曲線を直線（赤実線）と曲線（赤点線）で描きましたが、放射線防護学的立場から確率的影響の線量-効果曲線を「しきい値なしの直線」と仮定したのがLNT仮説です。LNTは“Linear Non-Threshold”の頭文字です。中・高線量領域における信頼性の高い発がんに関する人のデータは存在するのに対し、100 mSv以下の低線量領域における信頼性の高い発がんに関する人のデータは存在しません。それ故、100 mSv以下の低線量領域における人の発がんリスクは、中・高線量領域における発がんに関する人のデータを基にLNT仮説により外挿（既知の事実から未知のことを推測、予測すること）し推定しています。低線量領域ではDNA損傷も少なく、人体内の修復機能により完全に修復される可能性が高いため、臨床的には発がんに至らず、しきい値はあるはずだと考える医学研究者も少なくありません。しきい値があるとする考えに従えば、LNT仮説を基に低線量領域における発がんリスクを評価するのは過大評価になります。しかし、低線量領域における信頼性の高い発がんに関する人のデータがないにもかかわらず、しきい値があると考えて発がんリスクを推定することは、安全性の点で危険な考えを推し進めることになりかねない、と多くの放射線防護学者は考えています。

諸説あるこの辺の事情を熟慮してICRPは、「LNT仮説は生物学的真実として受け入れられているのではなく、むしろ私たちが極低線量の被ばくにどの程度のリスクがあるかを実際に知らないため、被ばくによる不必要なリスクを避けることを目的とした公衆衛生上の慎重な判断である」と述べています。ICRPに限らず、UNSCEARやアメリカ科学アカデミー電離放射線の生物学的影響に関する委員会（BEIR）などもLNT仮説を支持し採用しています。

コラム 12 放射線から身を守るには？

外部被ばく

外部被ばく防止の3原則を守ること

- 時間：短いほど量は少なくなる
- 距離：離れているほど量は少なくなる
- 遮へい：遮へい物で放射線をさえぎることもできる

内部被ばく

放射性物質の取り込みを減らすこと 取り込んだ放射性物質を減らすこと



（広島県医師会：救急小冊子『知っておきたい放射線の基礎知識』より引用）

コラム 13 東京都あきる野市立前田小学校の取り組み

前田小学校では、長きに渡り食育授業の一環で無農薬の米作りを行っている。指導者は、学校歯科医（澤田章司）である。東日本大震災が発生した 2011 年も例年のように豊作で約 400kg（もち米）の収穫があり、子供たちは、このお米を東北の被災地の皆さんに届けたいとの願いから、宮城県石巻市へ 5 年間継続して届けている。PTA や地域ボランティアが、臼や杵など道具一式を前田小から運び餅つきで交流を深め、子供たちからの応援のメッセージも持参し、それに対して現地の方々がお礼の寄せ書きをして下さっている。

餅つきは、津波を免れた宮城県石巻市にある鹿島御児神社境内をお借りして行い、毎年、子供から老人まで多くの方々が楽しみにしている。そこには、年を追うごとにたくさんの“笑顔”が見られるようになった。



東京都あきる野市のゆるキャラ（森っこサンちゃん）と一緒に



餅つき大会



年を追うごとに笑顔が増えている



東京都あきる野市立前田小学校の活動拠点
宮城県石巻市にある鹿島御児神社境内。眼下には門脇小学校があった。

コラム 14 放射線治療とは

がん患者における治療方法は、基本的に「外科手術」「化学（薬物）療法」「放射線治療」の3種類があり、三大治療として確立されている。さまざまな検査を行いながら、患者の年齢や性別、環境や要望なども考慮して総合的に判断され、治療方法が提案される。2つ以上の治療を組み合わせる場合もある。

放射線治療に使われる放射線としてよく利用されているのはエックス線であるが、粒子線を使う陽子線治療や重粒子線（炭素イオン線）治療も実用化が進んでいる。また、ヨウ素¹³¹などの非密封放射性同位体（RI）を用いる場合もある。

放射線治療では、放射線のがんの病巣部に照射してがん細胞を死滅させる。そのため、病巣部の吸収線量は通常分割照射（数十回）により数十グレイ（Gy）に達する。治療前の検査技術や照射方法の進歩により、がんの大きさや位置を正確に把握し、その病巣部だけに集中的に照射する。病巣部周辺の正常細胞も照射されることは避けられないが、病巣部以外を遮蔽体で覆い、可能な限り正常細胞の吸収線量が低くなるように配慮されている。

放射線治療の問題点としては、①照射部分の炎症症状などの放射線障害が現れる、②めまいなどの全身症状があらわれることがある、などがある。



コラム 15 様々な放射線測定機器

測定機器



ゲルマニウム
半導体検出器



NaI(Tl)シンチレーション式
サーベイメータ



GM 計数管式
サーベイメータ

個人線量計



光刺激ルミネッセンス
線量計（OSL）



蛍光ガラス線量計



電子式線量計

（環境省・放射線医学総合研究所『放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 上巻』より引用）

III

福島は今 ー環境と食品の汚染はー

事故後 10 年間の空間線量率の推移

福島第一原発事故で大気放出された放射性物質の中で事故直後から長期にわたって陸上に存在し続けるのはセシウム 134（半減期 2.065 年）とセシウム 137（同 30.17 年）です。既に述べたように、事故直後のセシウム 134 とセシウム 137 の放射能比は 50：50 でした。詳しい説明は省略しますが、両者の放射能の強さが同じ場合、セシウム 134 の方がセシウム 137 より多くのガンマ線を放出するため、両者の線量率比は 73：27 になります。この数値を使って、事故後 10 年間の空間線量率の推移を求めました（図 3－1）。

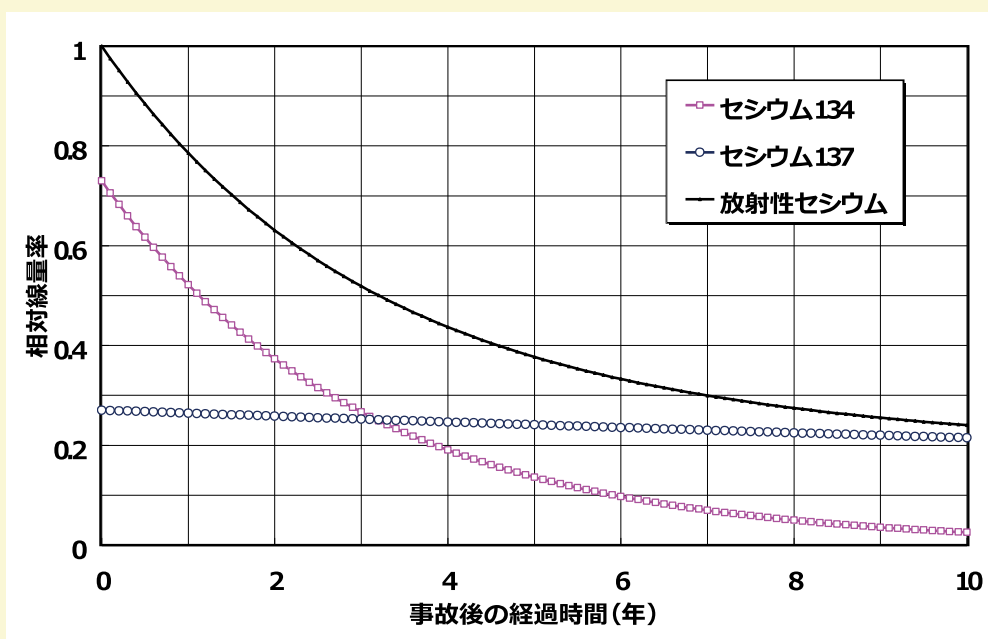


図3－1 事故後10年間の相対線量率の推移

放射性セシウムの相対線量率は、事故直後を 1 とすると、1 年後に 0.79、2 年後に 0.63、3 年後に 0.52、4 年後に 0.44、5 年後に 0.38、6 年後に 0.33、7 年後に 0.30、8 年後に 0.27、9 年後に 0.26、10 年後に 0.24 に減少します。図 3－1 は放射性壊変に伴う放射能の減衰のみを考慮して算出しています。しかし、相対線量率は、実際には風雨などによる流失により、この図より速く減少するはずですが、1960 年代初頭の米国と旧ソ連による大気圏内核実験に由来する放射性降下物のセシウム 137 の放射能分析結果から、水田表土で 9～24 年、畑表土で 8～26 年で半減することが分かっています。セシウムと強く吸着する粘土質成分が表土にどれだけ含まれているかなど、表土の性質により減少速度はかなり異なります。除染を行えば、相対線量率はさらに速く減少します。福島県の浜通り地方や中通り地方では、現在除染作業が懸命に進められています。その理由は、除染が相対線量率の減少を速め、外部被ばく線量を低減させる有効な方法だからです。

コラム 16 東京近郊における原発事故直後と 5 年後の空間線量率の比較

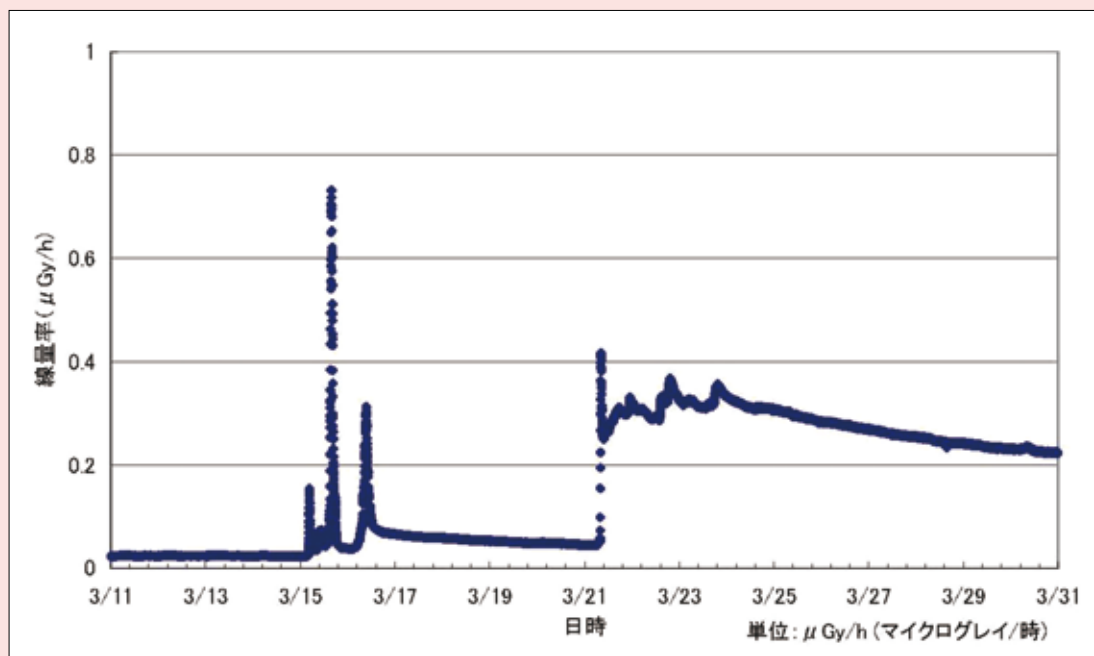
図は、福島第一原発の南 215km の千葉市稲毛区にある公益財団法人日本分析センターのモニタリングポストの 2011 年 3 月 11 ～ 31 日における空間線量率の測定データである。

3 月 14 日までは通常レベルの $0.022 \mu\text{Gy}/\text{時}$ であったが、15 日深夜、事故由来放射性物質が関東地方に風で運ばれてきた。以後 2 日間、空間線量率は急上昇と急降下を繰り返し、この間の主成分は放射性希ガスのキセノン 133 であった。

(その後の主成分は、ヨウ素 131、テルル 132 とヨウ素 132、セシウム 134、セシウム 136、セシウム 137、テルル 129 など)

空間線量率の最大値は 15 日の $0.732 \mu\text{Gy}/\text{時}$ (事故前の 30 倍以上) で、21 日に急上昇したのは、降雨により空気中に漂っていた放射性物質が地表面に降下・沈着したことによる。しかし、半減期の短いヨウ素 131、テルル 132、ヨウ素 132 などの放射能は減衰するため、24 日以降は徐々に減少している。既に半減期の短い放射性物質は減衰し尽くして消滅し、事故 5 年後の現在も地表面に残っているのはセシウム 137 (半減期 30.17 年) とセシウム 134 (半減期 2.065 年) に限られる。

なお、日本分析センターのモニタリングポストでは、事故 5 年後の現在の空間線量率は事故前の 2 倍以上のレベル ($0.05 \mu\text{Gy}/\text{時}$) にあるが、この程度の空間線量率は関西地方では珍しくない。天然の地殻放射線が関東ローーム層で遮蔽されている関東地方と比べて、関西地方では地殻がむき出しになっているからである。いずれにせよ現在では、被ばくが問題になるレベルより、はるかに低いレベルまで下がっている。



日本分析センターにおける空間放射線量率の測定結果 (2011年3月11日～31日)

県産農水産物の汚染の現状は

事故直後には、福島県内外の原乳や露地栽培の野菜類（ホウレンソウやカキナなど）などから暫定規制値を超えるものが見つかり、出荷制限措置や摂取制限措置が取られました。事故当初は放射能監視体制も不十分だったため一部は市場に出荷され、大きく騒がれましたが、その後、放射能監視体制は急速に整備されました。放射性セシウムの経根吸収抑制対策として、水田などにカリウム肥料（塩化カリウム）が散布されました。表3-1は、平成23～27年度の福島県産の食品の放射能検査結果を厚生労働省が取りまとめたものです。2012年4月に暫定規制値から現行の基準値に引き下げられたため、平成24年度は基準値超過件数と同割合が増えたものの、平成25年度以降は基準値超過件数と同割合は時間経過に伴い急速に減少しています。なお、現行の基準値は、1kg当たり一般食品100Bq、牛乳及び乳児用食品50Bq、飲料水10Bqです。

表3-1 福島県産の食品の年度別検査結果

検査年度	検査件数	基準値超過件数	基準値超過割合（％）
平成23年度*	21,549	718	3.3
平成24年度**	34,857	1,377	4.0
平成25年度	42,199	647	1.5
平成26年度	39,525	289	0.73
平成27年度	39,979	68	0.17

(*) 平成23年度分には、平成22年度分に相当する同年3月分が含まれる。

(**) 平成24年3月31日までは暫定規制値、同年4月1から現行基準値が適用されている。

表3-2は、表3-1にある平成27年度の検査件数3万9979件を食品群毎に分類したものです。基準値超過食品については、「栽培／飼育管理を行っていないもの」と「栽培／飼育管理を行っているもの」に分類して整理しています。

表3-2 平成27年度に検査した福島県産の食品の内訳

食品群	検査件数	基準値超過件数	基準値超過品目*	
			【栽培／飼育管理を行っていない】	【栽培／飼育管理を行っている】
農産物	9,774	11	野生クサソテツ (2), 野生オオバギボウシ, 同ゼンマイ, 同ウド, 同フキ, 同フキノトウ (各1)	大豆 (2), 玄米 (2)
畜産物	18,850	—		
水産物	8,910	7	イワナ (3), ヤマメ (3), アユ (1)	
牛乳・乳児用	429	—		
野生鳥獣肉	50	35	イノシシ (33), ツキノワグマ (2)	
飲料水	39	—		
その他	1,927	15	干し柿 (14), あんぽ柿 (1)	
合 計	39,979	68	64	4

(*) 基準値超過食品は市場に流通されません。基準値を超過した玄米は平成26年度産。

「栽培／飼育管理を行っていない」とは野生または自生を意味します。農産物では、9774 件の検査を行い、野生の山菜類が 7 件、栽培／飼育管理を行っているものでは大豆と玄米の各 2 件が基準値超過でした。このうち玄米は平成 26 年度産で、平成 27 年度に検査したものです。基準値超過は、平成 27 年度産の玄米に関する限りゼロ件です。畜産物は 1 万 8850 件の検査を行い、基準値超過はゼロ件でした。畜産物の汚染は餌に由来するため、餌の管理を厳しく行っている結果だといえます。水産物は、淡水魚では基準値超過が 7 件、海水魚では基準値超過はゼロ件でした。牛乳・乳児用食品及び飲料水も基準超過はゼロ件でした。野生鳥獣肉は、検査した 50 件のうち 35 件が基準値超過でした。その他の食品では検査した 1927 件のうち基準超過は 15 件あり、このうち 14 件が干し柿、1 件があんぽ柿でした。他の放射能分析データを含めて勘案すると、一般に基準値超過の割合が相対的に高いのは、①山菜類（タケノコを含む）、②淡水魚、③野生鳥獣肉、④干し柿類、⑤福島第一原発の南側の水深 50 m より浅いところに生息する底魚です。とはいえ底魚の放射能濃度は時間経過に伴い着実に減少しています。前述したように、平成 27 年度に検査した海水魚は、基準値超過はゼロ件です。

米（玄米）の全量全袋検査

福島県産の米（玄米）は、平成 24 年度産から全量全袋検査が行われています。年 1030 万～1100 万件という気が遠くなるような検査です。検査のしくみは、30 kg を 1 袋とする全量全袋検査ではスクリーニング検査を行い、検査結果がスクリーニングレベルを超過したものについて詳細検査を行います。スクリーニングレベルを超過したものは国の基準値を確実に下回ると保証できないからです。詳細検査に回される米（玄米）は年 30～900 件ほどです。表 3－1 や表 3－2 の農産物に含まれるのは詳細検査数のみです。表 3－3 は、スクリーニング検査結果と詳細検査結果の合計した数値です。基準値超過数は平成 24 年度産が 71 件、同 25 年度産が 28 件、同 26 年度産が 2 件と時間経過に伴って着実に減少し続け、遂に平成 27 年度産はゼロ件でした。なお、平成 26 年度産の基準値超過の 2 件が、表 3－2 の農産物中の基準値超過の 2 件の米（玄米）です。

表 3－3 福島県産の米（玄米）の年度別検査結果

収穫年度	全検査数	放射性セシウム濃度 (Bq/kg)				
		25 未満*	25 ～ 50	51 ～ 75	76 ～ 100	100 超
24 年度産	10,346,169	10,323,674	20,357	1,678	389	71
25 年度産	11,006,551	10,999,223	6,484	493	323	28
26 年度産	11,014,647	11,012,721	1,910	12	2	2
27 年度産	10,488,348	10,487,683	647	17	1	0

(*) 検出限界値未満を含む。

事故による外部線量と内部線量の実情は

福島県民の外部被ばく線量（実効線量）については、事故当初の4カ月間（2011年3月11日～同年7月11日）の日時と場所について全県民（およそ205万5000人）を対象に問診票を用いた調査を行い、その回答結果に基づき放射線医学総合研究所が研究開発した方法により評価しています。事故後4カ月間の時期は、もっとも追加外部被ばく線量が高かった時期に相当します。56万4000人（調査対象者の27.4%）から回答が得られ、54万7000人（回答者の97.0%）の線量推計が終わっています。27.4%という回答率が少ないと思う人がいるかも知れません。しかし、相双地域の住民の回答率は46.0%であり、被ばく線量が高いと予想される同地域内の浪江町60.7%、双葉町、富岡町、葛尾村、大熊町、楢葉町、飯館村、川内村と50%を超えており、信頼性は高いと考えられます。県民の93.8%は2mSv未満、99.8%は5mSv未満と評価されています。相双地域では94.9%が2mSv未満、98.7%が5mSv未満と評価されています。表3-4は、全地域及び地域別の最大値、平均値、中央値を示したものです。最大値は相双地域の住民の25mSvでした。平均値及び中央値の最高は県北地域の住民でそれぞれ1.4mSvでした。

表3-4 事故当初4ヶ月間の県民の外部線量（mSv）

	全地域	県北	県中	県南	会津	南会津	相双	いわき
最大値	25	11	6.3	2.6	6.0	1.9	25	5.9
平均値	0.8	1.4	1.0	0.6	0.2	0.1	0.8	0.3
中央値	0.6	1.4	0.9	0.5	0.2	0.1	0.5	0.3

出典：福島県「県民健康調査」基本調査（平成27年12月31日現在）

事故後4カ月以降の追加外部被ばく線量の測定は、ガラスバッジなどの個人線量計を用いて各市町村で行われています。たとえば福島市では、希望する市民にガラスバッジが配布され、測定されています。本宮市では希望する15歳以下の子供と妊婦を対象にガラスバッジが配布され、測定されています。2011年9月から現在まで継続して測定されている本宮市の測定結果をみると、追加外部被ばく線量の平均値（各年の9～11月分）は2011年が0.42mSv、2012年が0.23mSv、2013年が0.16mSv、2014年が0.11mSv、2015年が0.08mSvと着実に減少しています。また、追加内部被ばく線量はWBC法、陰膳法（実際に摂取している食事2～3日分をまとめて放射能分析し、その分析結果をもとに推定する方法）などによる推定値から、追加外部被ばく線量の0.1～1%に過ぎないことが分かっています。



津波で被災した宮城県石巻市南浜地区（左）と石巻市立門脇小学校校舎（右）

おわりに

福島第一原発事故により大気中に放出された放射性物質の中で、今後長期間にわたって陸上に残ると予想されるのは半減期がおおよそ30年のセシウム137です。地表面に降下・沈着したセシウム137は、海洋のように希釈拡散や海底への沈降が期待できません。事故炉の廃止措置は、政府のロードマップ（工程表）通りに進捗したとしても2041～2051年までかかります。実際はもっと時間を要すると見ている専門家もいます。

その意味では、事故で放出された放射性物質による健康不安は、私たちが数十年間にわたって向き合っていかなければならない課題です。子供たちに対する教育（放射能・放射線教育を含む）はもとより、将来誕生してくる子供たちに対する健康教育も重要な課題です。

今後も学校歯科医は放射線に対する正しい知識を持って、被災地だけでなく全国の学校関係者や児童・生徒に対して同じような教育・指導ができるようになることが望まれます。このことが、児童・生徒が心身の健康を育み、同時に風評被害やいじめなどをなくす結果にもつながるのではないかと考えます。

担当理事 澤田 章司

謝 辞

本稿を執筆するにあたり、多大なご支援をいただいた日本大学歯学部歯科放射線学講座の本田和也教授並びに野口邦和准教授（福島県本宮市放射線健康リスク管理アドバイザー）に深甚なる謝意を表します。



石巻市南浜地区津波復興祈念公園の工事風景（2016年4月）

学校歯科医が知っておくべき放射線の知識

原発事故から5年、子供たちに笑顔を！

編 集 一般社団法人 東京都学校歯科医会
会 長 川本 強
副会長 小嶋 憲
末高 英世
専務理事 鈴木 博
理 事 渡邊 実
箭本 治
奥野 圭子
長沼 善美
高橋 裕幸
酒井 克典
高橋 文夫
中村 卓志
長井 博昭
澤田 章司
牧野 寛
監 事 後藤 有里
石川 文一
吉田 慶造

発行日 2016 年（平成 28 年）10 月 10 日

発 行 一般社団法人 東京都学校歯科医会
〒 102-0073 東京都千代田区九段北 4-1-20 歯科医師会館内
TEL：03-3261-1675 FAX：03-3222-6528

印 刷 一世印刷株式会社
〒 161-8558 東京都新宿区下落合 2-6-22
TEL：03-3952-5651 FAX：03-3953-7751



一般社団法人 東京都学校歯科医会