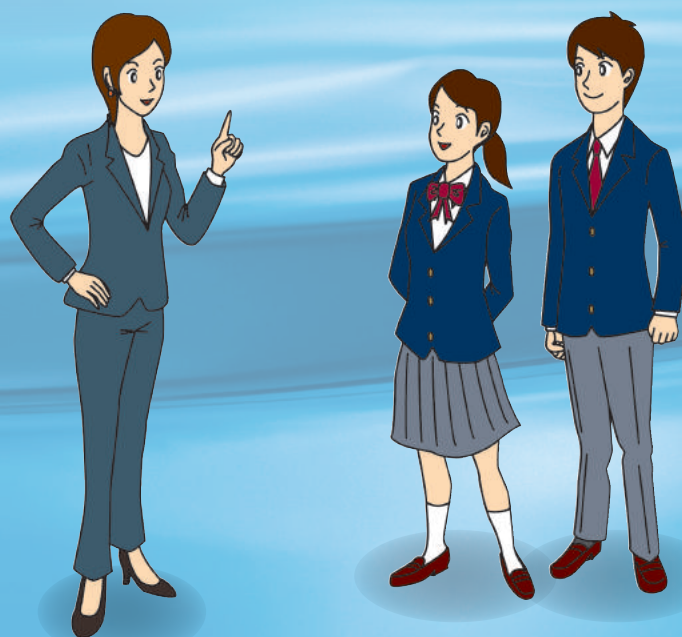


セシウムのABC

c a e s i u m



A

B

C

公益社団法人

日本アイソトープ協会

Japan Radioisotope Association

はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故（以下、福島原発事故）を契機に放射性物質・放射線のことを心配な方、放射性物質・放射線を勉強したい方、興味を持たれた方が多くなりました。この本は一般の方々、特に中学・高校生、学校の教職員、医師、看護師、保健師等、そして放射線の基礎的な知識を求める行政職の方々の教養書として作られました。

姉妹誌「改訂版 放射線の ABC」、「はじめての放射線測定」（共に、日本アイソトープ協会編）がすでに出版されています。本書はこれら 2 冊の本を基礎にして、福島原発事故で話題になっている放射性セシウムについて、「他の放射性物質とどこが違うのか、それは何なのか、人体への影響はどうか、どのようにして身を守るのか、何処にあるのか、どうやって見つけるのか、安全管理はどうなっているのか」など、誰もが気になっていることをわかりやすく解説しています。数式を使わずイラストを駆使して、理解を深めていただく工夫もしました。この本が、私たちの身近な問題となった放射性セシウムの理解の一助になれば幸いです。

平成 26 年 3 月

公益社団法人 日本アイソトープ協会

目 次

はじめに

1 章	放射性セシウムって何ですか？	5
1.1	セシウムの種類	5
1.2	セシウムと放射能	6
2 章	セシウムってどこにあるの？	10
2.1	放射性セシウム	10
2.2	セシウムのある場所	12
2.3	自然界の放射性物質との違い	14
3 章	放射性セシウムによる人体への影響は？	16
3.1	放射線量のものさし	16
3.2	外部被ばくと内部被ばく	17
3.3	急性影響、晩発影響、遺伝的影響について	17
4 章	放射性セシウムを見つけるには？	22
4.1	空間の線量	22
4.2	表面の汚染度合い	24
4.3	食品などに含まれる放射能の量	25
4.4	個人が受ける線量	28
4.5	注意すべき点	30

5 章	放射性セシウムの被ばくから身を守るには？	32
5.1	外部被ばくへの対策	32
5.2	内部被ばくへの対策	37
6 章	安全規制と放射線管理	45
6.1	安全のための規制と関係法令	45
6.2	放射線の管理	48
索引		56
参考文献		58
編集後記		59

1 章 放射性セシウムって何ですか？

▶ 1.1 セシウムの種類

セシウムとは元素の周期表の左端、リチウム、ナトリウム、カリウムなどと同じ列にあるアルカリ金属の一種です。銀白色で非常に軟らかく、融点は約 28℃です。夏には液体になってしまいます。

元素の周期表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 1 H 水素																	2 He ヘリウム
2 3 Li リチウム	4 Be ベリリウム											5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素	9 F フッ素	10 Ne ネオン
3 11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム											13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S 硫黄	17 Cl 塩素	18 Ar アルゴン
4 19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン	35 Br 臭素	36 Kr クリプトン
5 37 Rb ルビジウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルテチウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン
6 55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57 La ランタノイド	72 Hf ハフニウム	73 Ta タンタル	74 W タングステン	75 Re レニウム	76 Os オスミウム	77 Ir イリジウム	78 Pt 白金	79 Au 金	80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム	85 At アスタチン	86 Rn ラドン
7 87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89 Ac アクチノイド	104 Rf ラザホーニウム	105 Db ドブニウム	106 Sg シーボーギウム	107 Bh ボーリウム	108 Hs ハッシュウム	109 Mt マイトネリウム	110 Ds ダームスタチウム	111 Rg レントゲニウム	112 Cn コペルニシウム	113 Nh ウナントリウム	114 Fl フレロビウム	115 Uup ウンウンペンチウム	116 Lv リバモリウム	117 Uus ウンウンセブチウム	118 Uuo ウンウンオクトウム

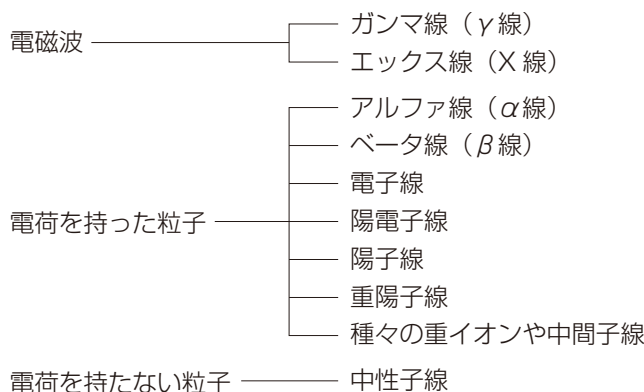
セシウムにはいくつかの種類があります。まず、自然界に存在する、放射線を出さない非放射性のセシウムという元素について説明します。セシウムは、1860 年に電流に関する法則で有名なキルヒホッフと、バーナーで有名なブンゼンという 2 人のドイツ人によって、鉱泉の中から発見されました。日常生活でセシウムを身近に感じることは少ないのですが、実は時間の「秒」を決めるための時計に使われています。1 秒の長さは、セシウム原子が特定の周波数（9,192,631,770（ヘルツ（Hz））のマイクロ波を吸収、あるいは放射する性質を利用して決められています。これをセシウム原子時計と言います。ほかにも工業製品に使われています。例えば、

X線の検出器の材料、あるいは種々の工業製品を作るための促進剤として活用されています。また、セシウムは体の中にも微量に含まれていますが、体にとってどのような働きがあるのかわかっていません。

次に、人工的に作られる放射線を出す放射性セシウムについて説明します。

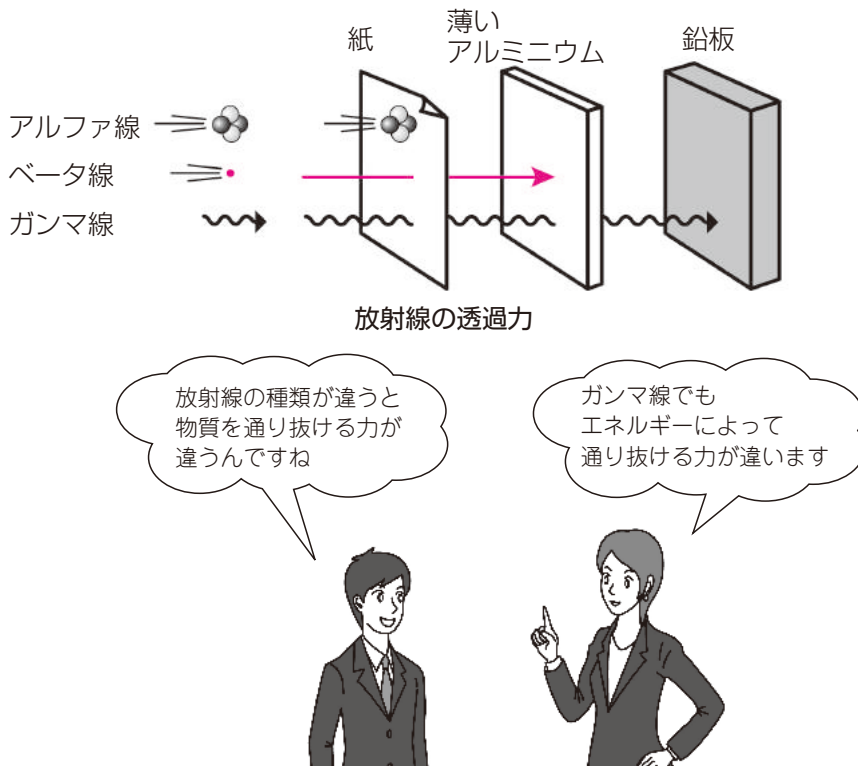
コラム 放射線の種類

放射線とは、空気をプラスとマイナスの電気（正確にはプラスイオンと電子）に分ける（電離という）能力を持つ粒子線あるいは電磁波のことです。図のようにたくさん種類がありますが、放射性セシウムからは粒子線（マイナスの電気を持つ電子）であるベータ線、電磁波であるガンマ線が放出されます。代表的な放射線を以下に示します。



▶ 1.2 セシウムと放射能

福島原発事故で問題になっている、放射性のセシウム 134、セシウム 137 などについて説明します。元素名に付ける数字の意味は何でしょうか？ これは**質量数**と呼ばれるものです。重さの単位と考えてください。原子の中には原子核があります。原子核はプラスの電荷を持った陽子と、電荷を持たない中性子でできています。陽子と中性子の合計した数が質量数です。周期表の並び方に関係するのが**原子番号**です。陽子が1個の原子は水素です。2個はヘリウムです。陽子が55個の原子がセシウムです。この陽子の個数を原子番号と言います。周期表の左から右へ、上から下へ原子番号は大きくなっています。



原子番号が同じで質量数が異なる原子を**同位体（アイソトープ）**と言います。陽子と中性子の個数のバランスによって非放射性の原子になったり、放射性の原子になったりします。放射性の原子を**放射性同位体（ラジオアイソトープ）**あるいは**放射性同位元素（ラジオアイソトープ）**と言います。

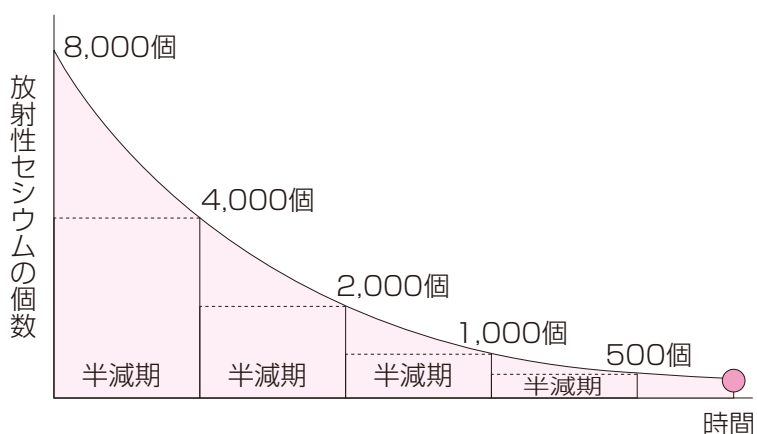
放射性セシウムには数種類ありますが、ここではセシウム 133、セシウム 134、セシウム 137 について表で整理します。表中の「半減期」は、その時間が経過すると放射性セシウムの原子の個数が半分に減るということを意味します。表中の放出割合は、例えば、セシウム 137 は 662 キロ電子ボルト（以下、keV）のガンマ線が 85% 出ること示します。すなわち、セシウム 137 の原子 1000 個が壊れるとき、662 keV のガンマ線を 850 本放出すると考えることができます。

表中の keV はキロエレクトロンボルトと読み、放射線のエネルギーを表しています。

1章 放射性セシウムって何ですか？

種 類	半減期	ベータ線の放出割合	ガンマ線の放出割合	備 考
セシウム 133	安定*	なし	なし	安定な 自然物質
セシウム 134	2 年	658keV 70%、他	605keV 98% 796keV 86% 他	人工物質
セシウム 137	30 年	514keV 94%、他	662keV 85% 他	人工物質

※安定 放射線を出さない非放射性セシウム



セシウム 134 およびセシウム 137 は、ベータ線と一緒にガンマ線を放出します。ガンマ線は空気中を数百 m も飛ぶことができます。これらのガンマ線の強度を半分に下げするためには、およそ 6 mm の厚さの鉛板が必要です。セシウム 134 の半減期は 2 年ですが、セシウム 137 の半減期は 30 年と長いことが特徴です。

コラム ヨウ素 131 の半減期

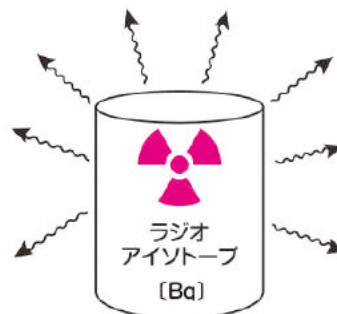
セシウム 137 は半減期が 30 年であり、除染などで大きな問題になっています。ところが、福島原発事故で一緒に放出されたヨウ素 131 は、時間がたった後ではあまり問題にされません。それはヨウ素 131 の半減期が 8 日と短いからです。1 か月後でおおよそ $1/16$ に減り、2 か月後で $1/256$ に減り、1 年後でほぼゼロになります。

ここで放射能の強さを表す単位を説明します。電球を考えると、光を出す能力はワット〔W〕です。それと同じように、放射線を出す能力を考えます。放射線が出るとき、放射性物質の原子（正確には原子核）が壊れます。これを壊変と呼びます。1秒間に1個の原子が壊変する現象を1ベクレル〔Bq〕といいます。その千倍をキロベクレル〔kBq〕、百万倍をメガベクレル〔MBq〕と呼びます。

放射能の強さは、このベクレルで表します。飲食物についての放射能の強さは、ベクレル／キログラム〔Bq/kg〕のように使われています。また、放射性セシウムの土壌の堆積量は平方メートル当たりのベクレル数〔Bq/m²、あるいはkBq/m²〕で表したりします。



光を出す能力（ワット）



放射能（ベクレル）

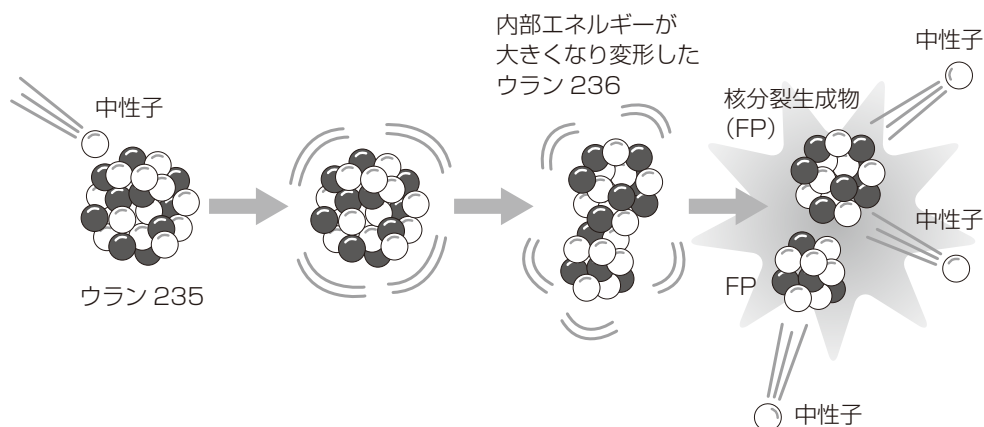
2 章 セシウムってどこにあるの？

▶ 2.1 放射性セシウム

セシウムは主に原子炉の中で作られます。例えば、110 万 kW 級の沸騰水型原子炉では、燃料集合体が 764 本挿入されています。1 本の集合体は 64 個の燃料棒でできています。燃料棒の集合体の中を水が流れ、核分裂のときに生じる熱で沸騰します。この高温高压の蒸気が別の場所に設置されたタービンを回し、連結された発電機が回転し電気を作っています。

燃料棒の中を細かく見ると、直径 10 mm x 長さ 10 mm の小さなペレットが詰められています。

ペレットの中には、ウランの酸化物が詰められています。中性子を吸収して核分裂を起こす放射性ウラン 235 は、天然ウラン全体の 0.7% 程度です。濃縮ウランは、ウラン 235 の割合を 2～4% まで高めたものです。ペレットに中性子が飛び込んできます。すると、図のように、原子核は大きな塊と小さな塊に分裂します。



このとき、次の核分裂のきっかけとなる中性子が 2～3 個放出されます。これらの中性子がそばにあるペレットに入り、次から次へと核分裂が進んでいきます。この反応と同時に熱が発生します。

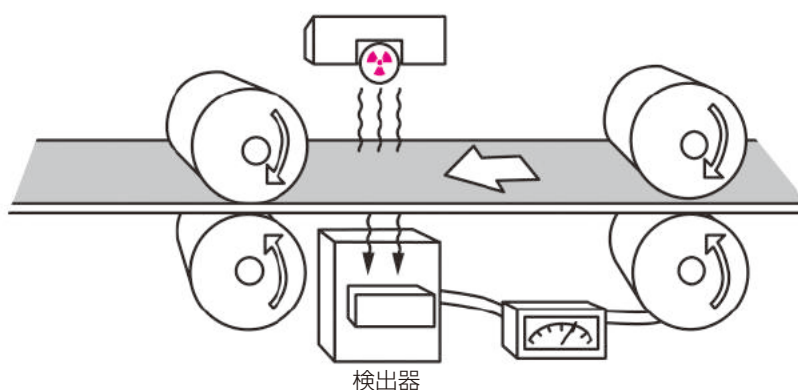
核分裂で原子が真っ二つに割れるわけではありません。多くの場合、質量数 90 前後と質量数 140 前後の原子核に分裂します。体に取り込まれると骨に集まりやすいストロンチウム 90、甲状腺に取り込まれやすいヨウ素 131、そして体全体に分布するセシウム 134 およびセシウム 137 が代表的な核分裂生成物です。このセシウム 137 は、燃料棒の中のペレットの内部で生成されます。このセシウム 137 は、最初にあった原子数が半分に減る半減期が 30 年と長いことから、安全性を高めるため、ステンレスで二重に封入して医療・工業分野などで利用されています。

例えば、輸血用血液にある移植 T リンパ球が輸血された人（宿主）を攻撃する移植片対宿主病の予防のため、セシウム 137 の放射線を照射することにより、輸血用血液製剤中のリンパ球を不活性化します。

工業分野では、船舶や例えば原子炉容器、溶鉱炉、海洋プラットフォームなどの大型容器に使われる厚い鉄板をロールにより薄く延ばす工程をリアルタイムに測定する厚さ計があります。また、石油などの揮発性物質のタンク内の液位を測るレベル計などにも使われています。



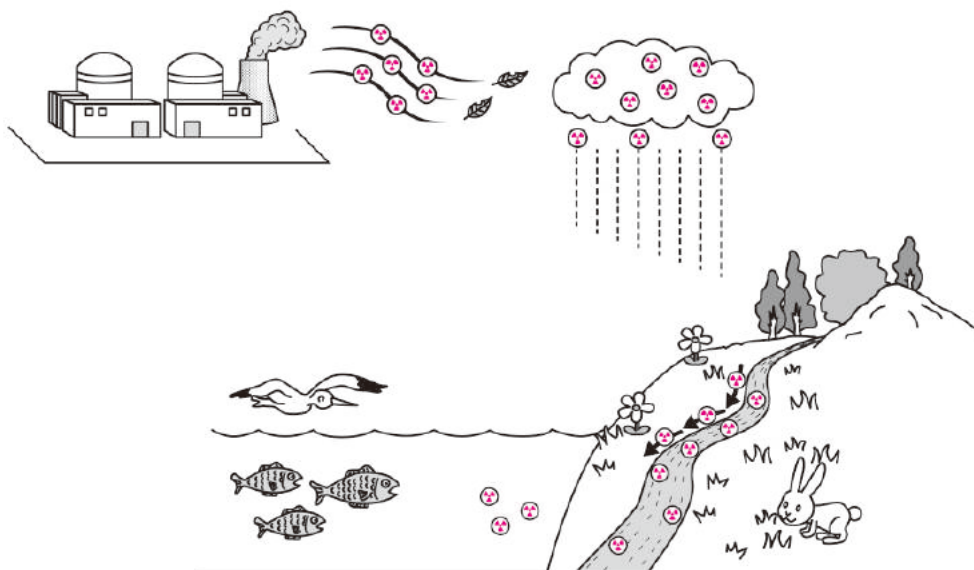
医療分野でのセシウムの放射線の利用（輸血用血液の放射線照射）



工業分野でのセシウムの放射線の利用（厚さ計）

▶ 2.2 セシウムのある場所

通常、放射性セシウムのあるべき場所は、放射線管理の下での密封された容器の中でした。ところが、福島原発事故で様相が一変しました。東日本大震災による津波



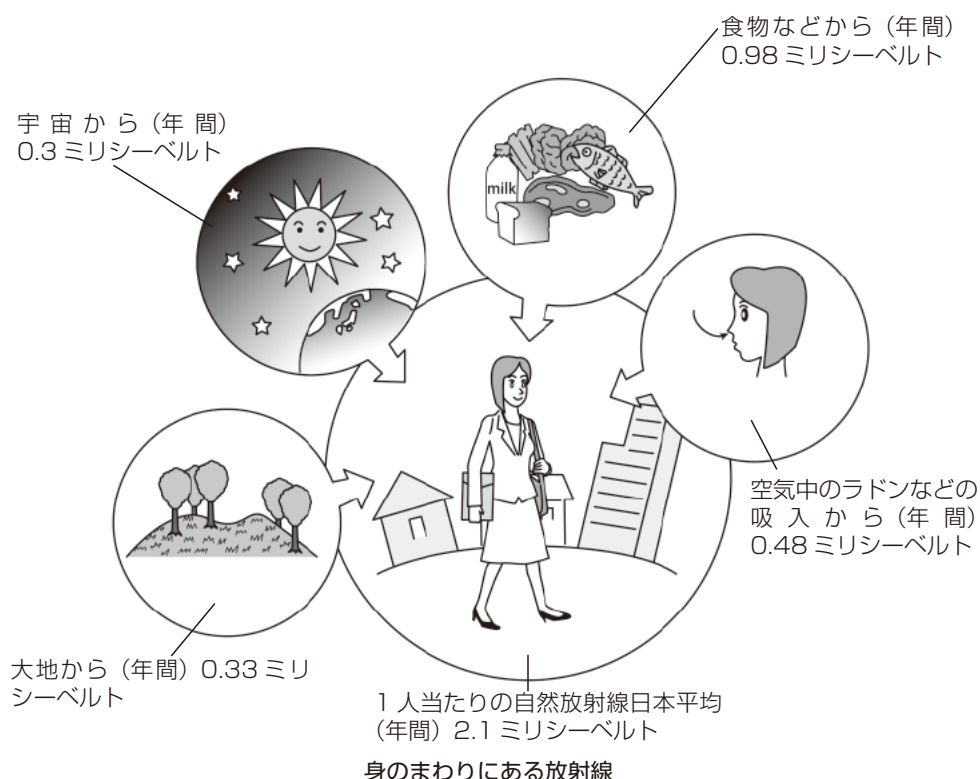
自然界におけるセシウムの動き

福島原発事故のベントにより放出されたセシウム 134、セシウム 137 は、大気中で風により移動し、地上の森林、草原、河川、海などに拡散した。

で原子炉の電源が消失して、核分裂は停止しましたが燃料棒を冷やすことができなくなりました。燃料棒は停止後も熱を持っており、また同時に、核分裂生成物がさらに壊変するときにも熱を出します。これらの熱が蓄積され、ペレットさらにはその集合体、最後には原子炉格納容器の分厚い鉄板をも溶かしてしまい、いわゆるメルトダウンを起こしました。この過程で、冷却用の水が分解され大量の水素が発生し、建屋の上部にたまって水素爆発が起きました。爆発直後は半減期の短い（8日）ヨウ素 131、その後はセシウム 134 およびセシウム 137 が問題になりました。特にこれらのセシウムは、半減期がそれぞれ2年、30年と長いため、人体への影響が懸念されるからです。

地表面に降下した放射性セシウムは、土壌中の粘土などの微粒子に強く吸着します。セシウムを吸着した粘土は雨により地表面を動き回ります。例えば、校庭の水たまりには粘土が集まりますので、放射性セシウムの量も多く存在します。住宅の屋根に降下したセシウムも、降雨により屋根の表面から洗い流され、雨樋^{あまどい}を伝い排水溝へと移動します。特に、屋根では単位面積当たりの放射性セシウム量は少なくとも、面積が大きく、屋根一面に降下した放射性セシウム量は非常に多くなります。雨樋や排水溝は屋根一面分のセシウムが通りぬける経路で、放射性セシウムの一部は吸着するので、線量が高くなります。

その一方、樹木や野菜などの植物に吸着した放射性セシウムについては、地表面や住宅に降下した放射性セシウムとまったく異なる動きをします。葉が大きな面積を占める植物では、降下した放射性セシウムの大部分は葉に吸着し、葉の表面から内部に取り込まれることがわかっています。その後、一部は雨により洗い流されますが、大部分は表面からの取り込みにより、汚染状態が保持されています。そのため、原発事故直後では葉類は洗浄により除染が可能でしたが、時間とともに除染が難しくなってきました。森林では汚染した葉は、落葉し、土壌中の微生物の活動により土に帰ります。土壌中の放射性セシウムは強固に吸着しているので、植物には多くは取り込まれないことがわかっていますが、同じ植物でも種類や土質などにより、植物中あるいはその部位で放射性セシウム濃度はさまざまです。放射性セシウムを含む葉などを食べる土壌中の微生物では、体内に濃縮されるので、食物連鎖により、大型の動物からも放射性セシウムが検出されています。



▶ 2.3 自然界の放射性物質との違い

私たちの身のまわりには、空からくる宇宙線、大地からくる放射線、もともと身体の中から出ている放射線などがあり、このような放射線がある環境の下で、約300万年の間、人類は生活してきました。大地や私たちの身体には、カリウム 40、炭素 14、ラドン 222、ラジウム 226 などの放射性物質が存在します。

これらの宇宙線や放射性物質から出る放射線による被ばくは、1年間に約2.1ミリシーベルトとされています。ただし、場所によってかなり違ってきます。例えば、一般に西日本の方が東日本よりも高く、また、インドのケララ地方やイランのラムサルのように、大地からの放射線の量が日本の10倍から数10倍になるところもあります。有馬温泉（兵庫県）、増富温泉（山梨県）、三朝温泉（鳥取県）、湯抱温泉（島根県）など、ラジウム温泉として有名な地域では、水中や空気中の放射性物質濃度が他の地域よりも若干高いのですが、人の健康に対する影響は見出されていません。

放射性セシウムですが、1950～60年代には、アメリカや旧ソ連などにより大気圏内での核実験が行われ、日本の国土にも、現在の約1,000～10,000倍のセシウム137が、約10年間にわたり降下していました（フォールアウト）。このため、現在50～60歳代以上の人は皆、わずかですが、こうしたセシウム137を農作物や牛乳などを経て体内に取り込んでいます。そして、それらからの放射線を受けてきましたが、有意な健康影響が現れたという報告はありません。福島原発事故による環境汚染により、これらに加えて被ばくを受けることになってしまいました。セシウムはカリウムに化学的性質が似ていると言われますが、カリウムのように人間が長期にわたり馴染んできた物質ではないので、その体内への吸収や排泄、その間の被ばくなどについて同様に考えることは、困難な一面があるかもしれません。しかし、人工の放射性物質であっても放射線の被ばくによる影響（リスク）は、線量が同一であれば自然界の放射性物質との差はないと言えるでしょう。

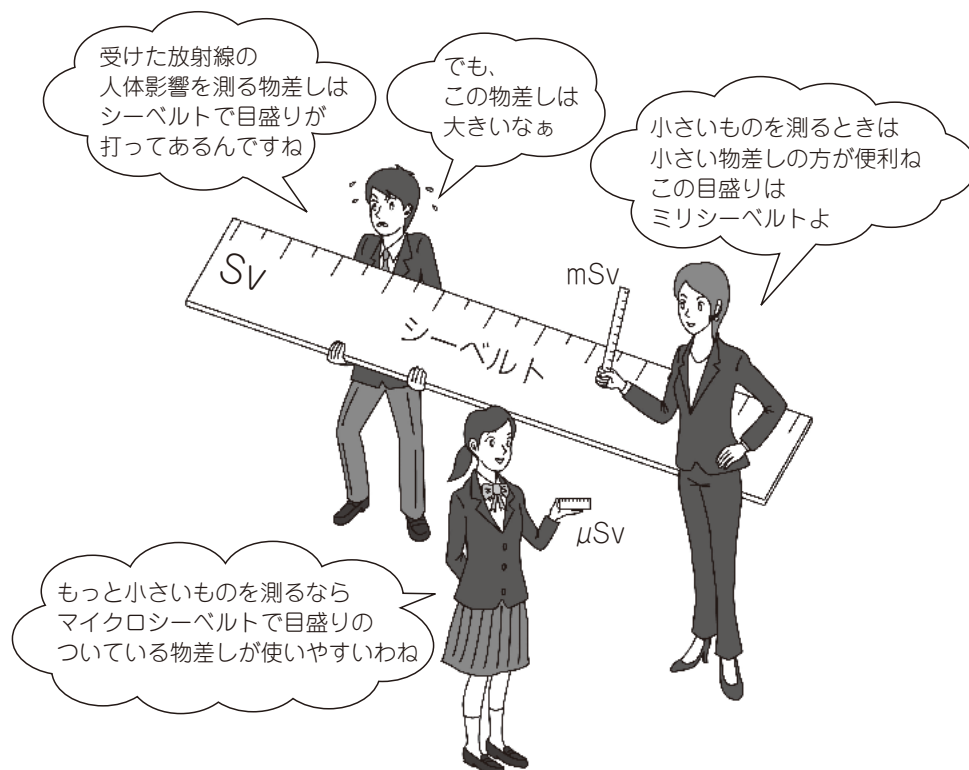
3 章

放射性セシウムによる 人体への影響は？

▶ 3.1 放射線量のものさし

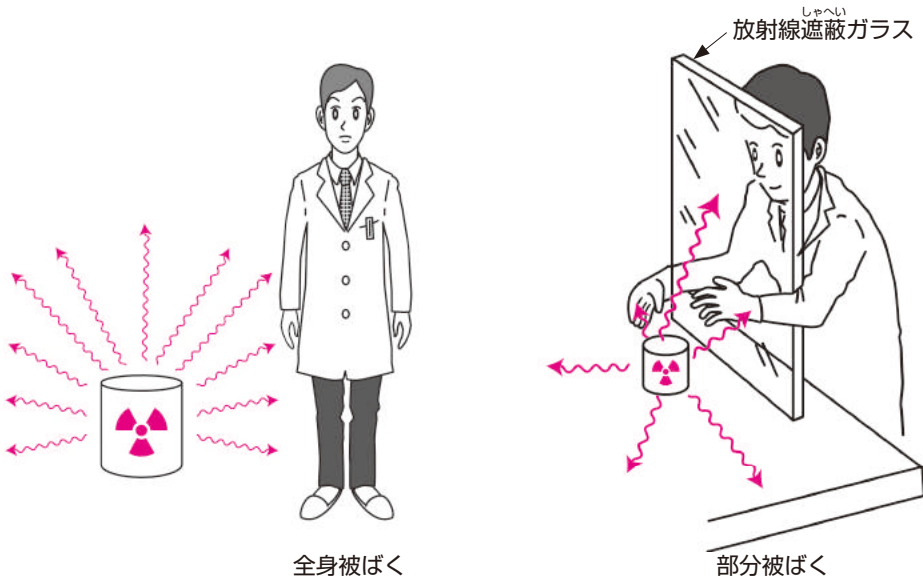
放射性セシウムは、ベータ線とガンマ線を放出しています。ベータ線もガンマ線も人体に影響を与えることがあります。その影響をどう表すかを考えてみます。

ここでは、ガンマ線が人体にぶつかる場合の強さを表す量について考えます。ガンマ線はエネルギーを持った電磁波の一種です。そのエネルギーが人体に吸収されて色々な影響を引き起こします。放射線の種類や体のどこに当たったかなどを考慮して、人体に与える影響を表す単位としてシーベルト [Sv] が作られました。ただ、これでは単位が大きすぎて扱いにくいので、千分の1はミリシーベルト [mSv]、百万分の1はマイクロシーベルト [μ Sv] を用います。



▶ 3.2 外部被ばくと内部被ばく

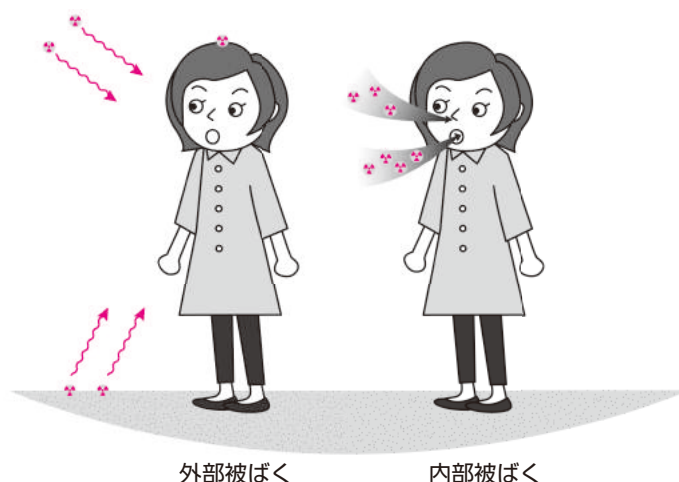
人体が放射線を受けることを被ばくと言います。全身に放射線を受けることを**全身被ばく**と言い、体の一部に放射線を受けることを**部分被ばく**と言います。現在のように、放射性セシウムが地表に堆積している場所を想定すると、種々の方向から放射線を受けるので、全身被ばくと考えてよいことがわかります。



さらに、被ばくは外部被ばくと内部被ばくとに分類することができます。外部被ばくは、放射線を出す物質が体の外側にあって、体の外側から放射線を受けることを言います。放射性セシウムが地表に堆積し、そこからガンマ線が放出され、人体が被ばくを受けることが典型的な例です。内部被ばくは、放射線を出す物質が体の内部に取り込まれ、内部から放射線を受けることです。例えば、放射性セシウムを含む空気を吸い込んだり、それを含む飲食物を摂ったりすることにより内部被ばくが起きます。

▶ 3.3 急性影響、晩発影響、遺伝的影響について

私たちは、生まれながらにして自然の放射線環境の中で生きてきて、1年間に外部被ばく、内部被ばくを合わせて約2.1ミリシーベルトの放射線を受けています。自然環境放射線レベルでは、人体に影響があるのかどうかまだわかりませんが、この環境で人類は進化してきましたので、心配することはないと思います。



ところが、人工的な放射線の場合は状況が異なります。自然の被ばくよりはるかに大きな被ばくを受ける可能性があるからです。1999年9月30日の東海村JCO臨界事故では、作業員が外部から中性子とガンマ線を大量に被ばくしました。福島原発事故ではこのような大量の被ばくはありませんでした。しかしながら、事故現場、汚染地域から避難するときに被ばくしたかどうか不安を感じている方も多いと思います。

ここでは一般的な放射線影響の分類を示し、それから原発事故後の人体への影響について考えます。放射線の人体への影響は、身体的影響と遺伝的影響とに分類することができます。放射線を受けた子孫に現れる可能性のある影響は、遺伝的影響と言われます。広島、長崎の原爆の被災者の方々の影響調査では、子孫に影響があった事実は確認されていません。このことから、福島原発事故についても遺伝的影響を考える必要はないでしょう。

さらに、身体的影響には放射線を受けた本人に経時的に現れる影響で、放射線を受けた直後から数十日以内に生じる急性影響と、何年もたってから現れる晩発影響があります。前者はある線量以上になると発生します。この線量をしきい値と言います。例えば、250ミリグレイ（急性影響のときにはシーベルトは使いません。）を被ばくすると白血球が一時的に減少します。ほかにもそれぞれのしきい値を超えると皮膚の赤い斑点、脱毛、不妊などが生じます。福島原発事故後の人体への影響について、急性影響が現れた報告はありません。したがって、考える必要があるのは晩発影響です。

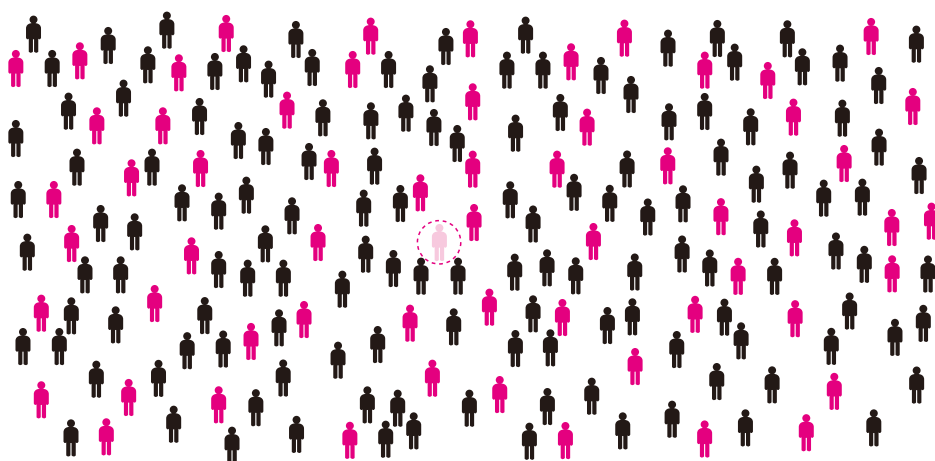
放射線影響	「しきい値のある影響」 (しきい値はかなり高いので、事故などのときでないと起こらない。 確定的影響：組織反応 とも言う。)	皮膚の紅斑、脱毛、白血球減少、不妊など	放射線を受けて間もなく現れる影響 (急性影響)	放射線を受けた人に現れる影響 (身体的影響)
		白内障、胎児への影響など	放射線を受けたのち長い年月がたってから現れる影響 (晩発影響)	
	「しきい値がないと仮定する影響」 (しきい値がなく、低い線量でも起こる可能性があるとして仮定する。 確率的影響：がんと遺伝的影響 とも言う。)	白血病、がんなど		
		代謝異常、軟骨異常など	放射線を受けた人の子孫に現れる影響 (遺伝的影響)	

コラム グレイとシーベルト

グレイは、物質が単位質量（1 kg）あたりに、放射線から受けるエネルギーの量を表しています。急性影響を考えるときに使います。一方、同じエネルギーの吸収でも、放射線の種類や組織・臓器の種類によって、人体に与える影響（がんが発生する割合など）が異なります。この影響を加味したのがシーベルトです。主として、白血病、がんを想定した晩発影響のときに使います。

晩発影響の代表的なものは白血病、がん、白内障です。発症するまでの期間を潜伏期間と言い、それが数年から数十年にもおよぶことがあります。この影響は放射線を受けた人すべてに生じるものではありません。福島原発事故では、100 ミリシーベルトで影響があるのかないのかが話題になっています。この晩発影響については、盛んに研究されています。

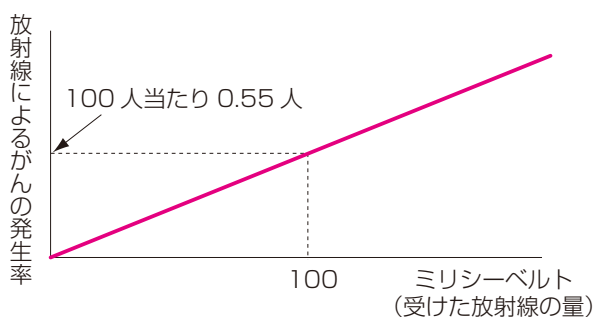
放射線を受けた量が大きくなるにつれてがんが発生することが多くなる、すなわち、がんの発生確率が高くなることが高線量ではわかっています。1000 ミリシーベルトを被ばくするとがんにより亡くなる人は、100 人当たり 5.5 人くらい増えるそうです。100 ミリシーベルトではどうなるか確認されていませんが、高線量の場合と同じように低い線量の領域まで影響があると仮定して、1000 ミリシーベルトの十分の一、すなわち 100 人当たり 0.55 人増えると考えます。地表に堆積



100 ミリシーベルト被ばくした 200 人のうち

日常生活で何らかの原因でがんにかかり亡くなる人 (60 人)

100 ミリシーベルトを被ばくしてがんにかかり亡くなる人 (1 人)

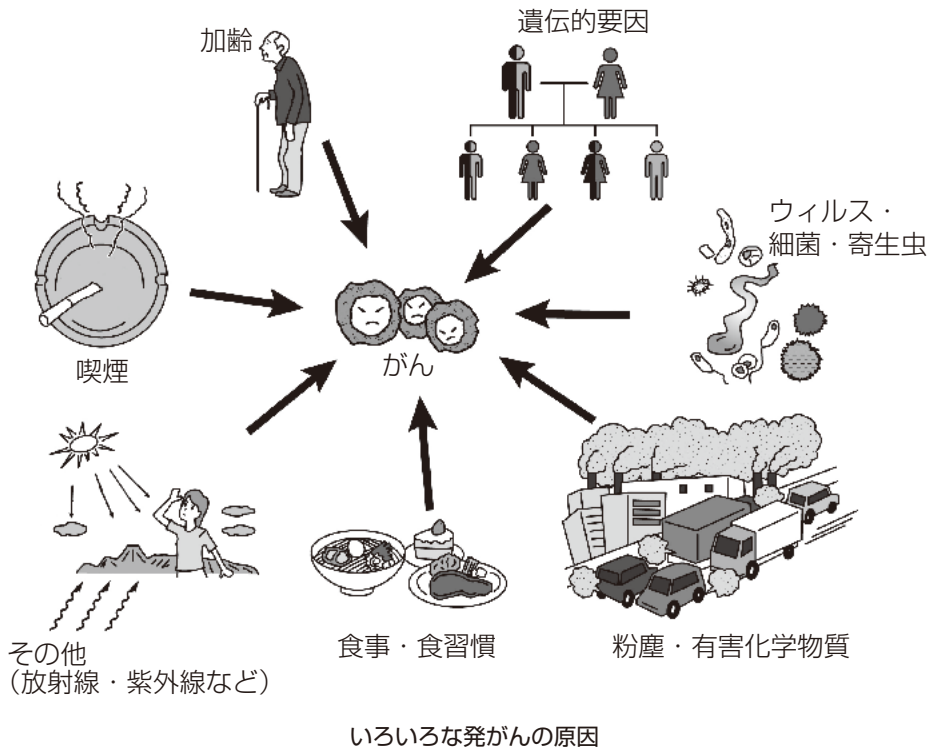


しきい値がないと仮定する影響の例：がんの発生

している放射性セシウムのガンマ線による被ばくは、住民の方が帰宅される地域では年間 1 ミリシーベルト以下なので、さらにがんの発生確率は小さいと考えられます。

少ない放射線被ばくでの影響は、放射線以外のさまざまな人体影響に埋もれてしまい、原因が放射線にあるのかそれ以外なのかを区別することは、現状では難しいと言われています。また、放射線によるがんの発生は、喫煙の影響や、食生活の影響と比べられることがよくあります。個人の意志で避けられる喫煙や食生活の影響と、個人の意志で避けることが難しい福島原発事故の放射線影響を、同じ土俵で比

較することに抵抗を感じる方が大勢いますが、参考のためにがんの発生要因をまとめました。



コラム 確定的影響と確率的影響

ある量以上の放射線を受けると、確実に影響が現れることがあります。これを確定的影響といいます。身近なところで例えると、50℃のお湯ではやけどはしませんが、沸騰したお湯であれば確実にやけどをします。一方、受けた放射線の量が多くなればがんの発生する確率が高くなります。これを確率的影響といいます。身近な例では、煙草を吸う本数が多いほど、その人はがんにかかりやすいことがわかっています。

4 章

放射性セシウムを を見つけるには？

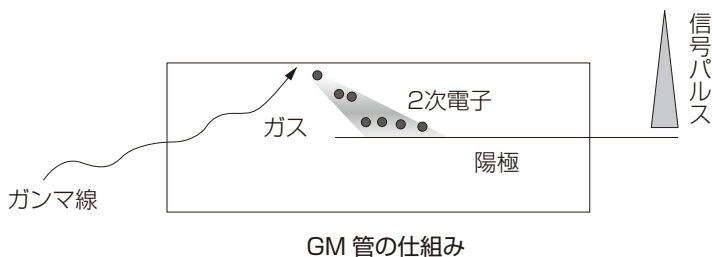
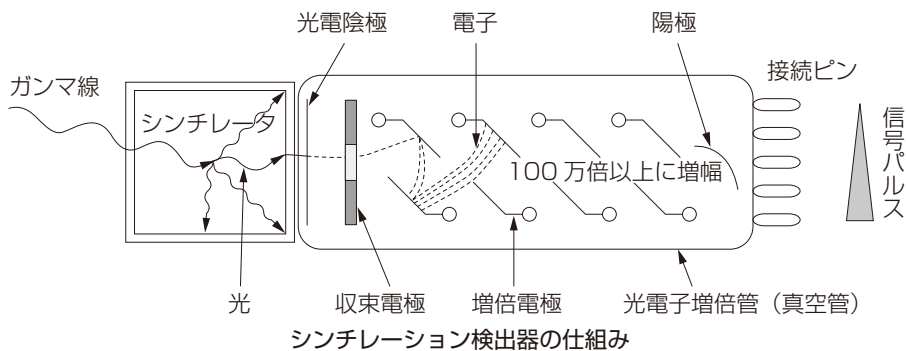
放射線は五感に感じませんが、放射性セシウムから出たベータ線やガンマ線は物を通ったときや物に当たると電離や励起を起こします。

この現象を電流などの電気信号に変えることにより、放射線を見つけることができます。これらの電気信号を基に空間の線量や放射能の量を表すようにしたのが放射線測定器です。

▶ 4.1 空間の線量

空間の線量を測るときには、ガンマ線を対象にします。ガンマ線の測定には**シンチレーション検出器**や**GM 管**などが使われ、次のように測定します。

空間の線量は、1 時間そこにいた人が受ける放射線の量の意味を持つシーベルト毎時〔Sv/h〕で表示します。環境中の数値は低いためマイクロシーベルト毎時



[$\mu\text{Sv/h}$] で表示されます。

空間の線量測定機器には、手に持っていていろいろな場所で測定する**サーベイメータ**、1 か所に設置して連続で測定する**モニタリングポスト**、車などに乗せて走りながらの移動測定ができる**走行サーベイシステム**などがあります。



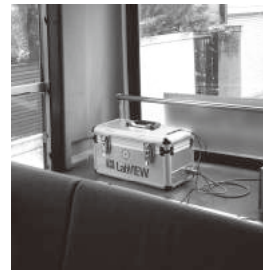
シンチレーションサーベイメータ



ポケットサーベイメータ



簡易型モニタリングポスト



走行サーベイシステム

コラム エネルギー特性

ガンマ線のエネルギーに対し測定器がどう応答するかをエネルギー特性と言います。エネルギーが高すぎると測定器の検出部であるシンチレータを貫通してしまいます。反対に、エネルギーが弱いとシンチレータまで届かないことがあります。このように、測定器を使うときはその特性に注意が必要です。「**エネルギー補償型**」シンチレーションサーベイメータはエネルギーを調べながら測定するので、どんなエネルギーのガンマ線が来ても応答がほぼ等しくなり、精度良く測定できます。

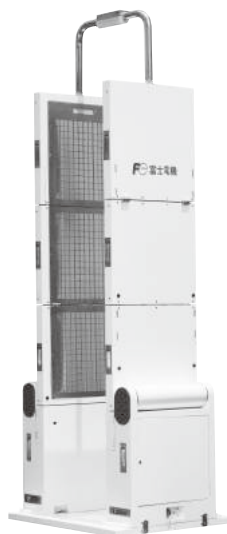
一方、GMサーベイメータではエネルギーの情報がないので、ガンマ線のエネルギーによって応答が変動し過大評価、過小評価することがあります。

▶ 4.2 表面の汚染度合い

除染作業終了後、除染作業に従事した人、除染に使った道具、作業用車両の表面に決められた以上の放射性セシウムが付着（汚染）していないかを調べる必要があります。表面の汚染を調べるには、**GM サーベイメータ**が多く使われます。GM管の中にベータ線が入ると電離作用により生じた電気信号の個数を数えることができます。表面の汚染は、測定面積を対象として、ベクレル毎平方センチメートル〔Bq/cm²〕で規定されています。放射性セシウムからはベータ線、ガンマ線が出ますが、ベータ線を捉えて表面の汚染を測定することが一般的です。

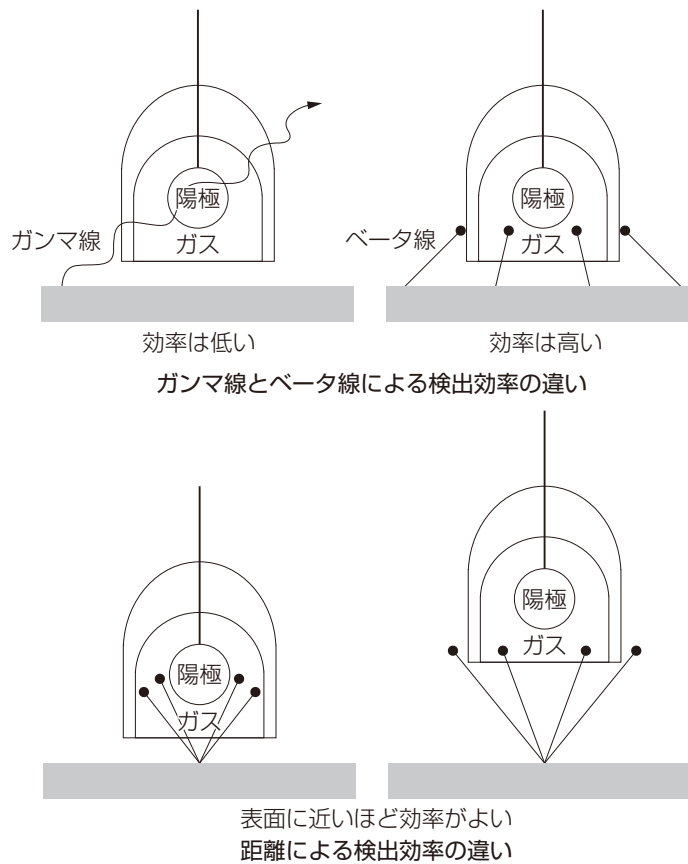


GM サーベイメータ



簡易体表面モニタ

除染現場では表面汚染のベクレル毎平方センチメートルの計算は大変なので、あらかじめこのサーベイメータでは何 cpm（1 分間の計数）が規制された表面汚染

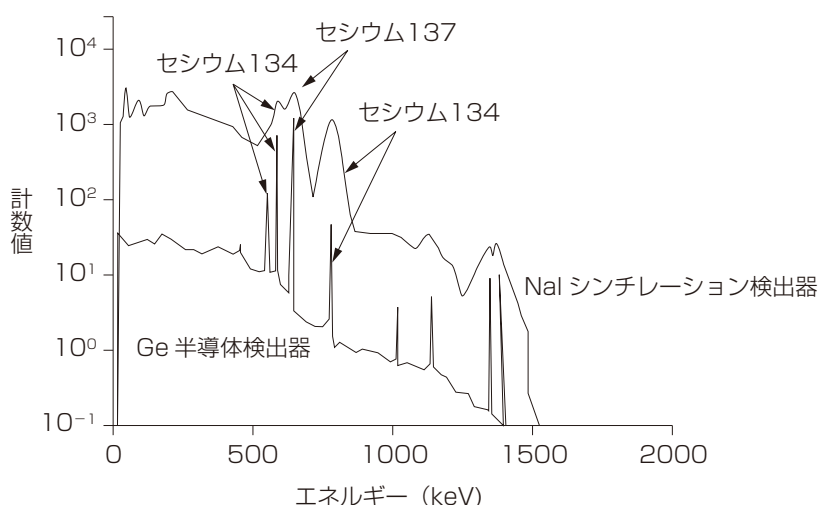


に相当するかを決め、測定する場合もあります。また、除染作業場所から退出する人および持ち出す物品の汚染検査が行われており、24 ページ写真の GM サーベイメータでは 13,000 cpm が管理値として使用されています。

表面の汚染を探すには検出面を移動させ測定します。あまり早く移動すると汚染が見つかりません。検出面を動かす早さは、50 cm に対して 10 秒かけることが推奨されており時間がかかります。除染場所では検出器を移動しないで、人の表面汚染を短時間で測定できる簡易体表面モニタも使われています。

▶ 4.3 食品などに含まれる放射能の量

食品、飲料水、河川水、焼却残渣、土壌などに含まれる放射性セシウムは一定容積、質量中の放射能の量を測定しています。このため、透過力のあるガンマ線を対象とした測定が行われます。



ゲルマニウム半導体検出器とシンチレーション検出器によるガンマ線スペクトルの違い

食品中のセシウム 134、セシウム 137 の放射能の量は合計で管理されていますが、環境省の定める廃棄物ガイドラインではセシウム 134、セシウム 137 を別々に測定することとしています。セシウム 134 とセシウム 137 の区分けの識別はどうしてできるのでしょうか？

セシウム 134、セシウム 137 からは、それぞれに固有のエネルギーのガンマ線が出ます。シンチレーション検出器やゲルマニウム半導体検出器では、ガンマ線エネルギーに比例した大きさの電気信号が得られます。電気信号の大きさを横軸に、

コラム ゲルマニウム半導体検出器とシンチレーション検出器

ガンマ線スペクトルを見ると、ゲルマニウム半導体検出器による測定ピークはほとんど直線、シンチレーション検出器による測定ピークは山のような広がりがあります。この結果、同じ時間セシウム 134 を測定すると、シンチレーション検出器による計数は広がりの多い分、ピークの計数はゲルマニウム半導体より大きくなります。

シンチレーション検出器は感度が高く早く結果がわかることから、食品中の放射性セシウムの濃度測定では食品が市場に出せる上限値以下であることを判断するスクリーニング検査に使用されます。

一方、ゲルマニウム半導体検出器は測定に時間がかかりますが、他の放射性核種の影響を受けることが少ないので 10 ベクレル／kg 以下の放射能測定が可能です。そのため、食品中の放射性セシウムの濃度の正確な測定に用いられています。

その大きさの電気信号の数を縦軸にするとガンマ線の**スペクトル**がグラフで表示されます。セシウム 134、セシウム 137 の違いはこのスペクトルの中で見るができます。

放射性セシウムを測定する場合は、測定対象物の容積または質量を一定にするため、**丸型 V 式容器**（本体材質はポリスチレン）または**マリネリ容器**に入れて測定します。

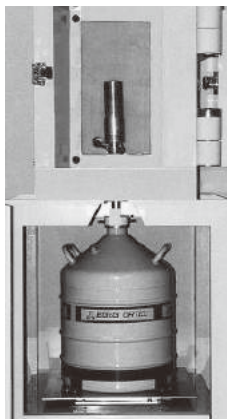
食品などに含まれる放射能の基準は、このような形状および容積の容器に入れて測定したときの数値すなわちベクレル／kg で決められています。ベクレル／kg を求めるため、あらかじめベクレル数およびベクレル／kg のわかった**標準試料**を使います。標準試料で実際に測定して得られた値から、検出器の**計数効率**を求めます。測定試料を測った場合、検出器で測定した 1 秒間当たりの計数を計算し、標準試料から求めた計数効率で割るとベクレル数がわかります。試料質量を測定し 1 kg に換算するとベクレル／kg が測定できます。現在、次のような食品や米の測定に特化した測定器などが使われています。



丸型 V 式容器(本体材質はポリスチレン)



マリネリ容器



ゲルマニウム半導体検出器



シンチレーション検出器



米袋単位で測定する米モニタ

▶ 4.4 個人が受ける線量

個人が受ける線量の測定には、3章（3.2）で述べた**外部被ばく**、**内部被ばく**があります。

4.4.1 外部被ばく線量の測定

外部被ばく線量を測定するための放射線測定器を**個人線量計**と言います。個人線量計には2つのタイプがあります。

- ①その場で外部被ばく線量の値が表示されるタイプ
- ②測定サービス会社に送り、外部被ばく線量を専用の装置で読み取った結果が報告書として通知されるタイプ

前者①は、一般に**ポケット線量計**と呼ばれています。後者②には、**蛍光ガラス線量計**、**光刺激ルミネセンス線量計**などがあります。



左より ポケット線量計



蛍光ガラス線量計



光刺激ルミネセンス線量計

ポケット線量計は体に付けることから、小さな形状にしなければなりません。そのため、多くのポケット線量計では、検出器として小さな半導体を使っています。

人体に与える影響のうち外部被ばく線量を測定しますので、放射性セシウムからのガンマ線が対象になります。

4.4.2 内部被ばく線量の測定

内部被ばく線量を測定するには、鼻粘膜、尿、糞便を採取し体内に取り込まれた放射性セシウムを測定、評価する**バイオアッセイ法**と、体内から出た放射性セシウムのガンマ線を測定する**体外計測法**があります。

体外計測法では ホールボディカウンタが使われます。人を測定するときの形体により、椅子型、立位型、ベッド型があります。いずれも測定の考え方は食品の測定と同じで、人体と同様の形状、既知の容積を持つ放射能の量（ベクレル）のわかった人型ファントムを測定し、測定器の計数効率を求めます。



立位型



ベッド型

ホールボディカウンタ

この測定器では、さまざまな放射線によるエネルギースペクトルが測定されます。そのスペクトルから、体内から出た放射性セシウムのガンマ線が識別され、1秒間当たりの数が計算されます。この値を更に計数効率で割れば、測定当日の人体中の放射性セシウムの量（ベクレル）がわかります。放射性セシウム 137 の半減期は 30 年ですが、体内に取り込まれた後代謝や排泄によっても減少し、成人で約 70 日、子供で約 20 日たつと体内残留量は半分になります。このため、体内に残留する放射性セシウムによる内部被ばく線量を求めるには、いつ体内に入ったか、いつ体外に排泄されたかなど複雑な計算が必要で、専用の計算ソフトウェアを使って、内部被ばくをシーベルトとして求めます。次のような測定手順になります。

▶ 4.5 注意すべき点

4.5.1 簡便な装置について

福島原発事故以降、安価なサーベイメータが多種類、販売されています。一部のものでは、測定値のバラつきや大きな誤差が出ることが報告されています。

このようなサーベイメータの場合、使用上の注意点としては、以下があります。

①測定範囲

測定範囲が 1 マイクロシーベルト以上の測定器の場合は、0.05 マイクロシーベルト毎時の環境において指示値は信頼性がありません。

※表示範囲と実際に測定できる範囲とを混同している装置が多いので注意してください。

②測定時間

放射線測定器では、瞬時には精度が高い測定はできません。指定された時間後に指示値を読み取る必要があります。

③校正証明書あるいはトレーサビリティの有無

④測定誤差

校正されたサーベイメータと比較できればその誤差を確認することができます。

空間の線量測定では、4.1 で述べたようにさまざまなエネルギーのガンマ線を精度良く測定することが必要です。セシウム 137 で校正されているサーベイメータでも「エネルギー補償型」のシンチレーションサーベイメータと比較すると、ある測定場所では一致するが、違う場所では合わないといったケースがあります。それ

はエネルギー特性で述べたように、その場所のガンマ線エネルギーの主体がセシウム 137 以外にあるためです。そのため過大評価、あるいは過小評価した結果となり、値が違ってくるということになります。

4.5.2 測定値のばらつきについて

放射線測定の難しさの要因に測定値のばらつきがあります。

同じ場所で測定しても測定値はばらつきます。同じ放射性物質であっても原子核の壊変が起こるかどうかは確率的なため、出てくるガンマ線の数に時間的変動があります。そのためばらつきをなくすことはできません。

時定数（測定装置の応答速度に関連した量、例えば 3 秒、10 秒、30 秒を選択できる）が長いと測定時間が長くなりますが、多くのガンマ線を数えてから指示しますので、変動が少なくばらつきの少ない測定結果が得られます。一方、時定数が短ければ測定時間は短くてすみますが、数えたガンマ線の数が少なくなりますので、測定値の変動は大きくなり、ばらつきの大きい測定結果になります。ただし、時定数が短い利点は、短時間で測定結果がでますので、多くの測定点の傾向をつかめることです。このように、いくつかの時定数を持っているサーベイメータや測定時間の指定できる測定器では、これらの切換えを上手に使うことが測定のコツです。ばらつきの小さい精度の高い測定をしなければいけない場合は、測定回数を増やすことや、測定時間を長くすることが必要です。ばらつきを小さくできるということは、測定値の信頼性が高くなるだけでなく、検出できる限界（下限）を低くできることにつながります。

コラム ガイドラインの紹介

除染関係ガイドライン（環境省平成 25 年第 2 版）、廃棄物関係ガイドライン（平成 25 年第 2 版）、除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン（平成 23 年基発 1222 号第 6 号）に測定器の使い方が具体的に記載されています。

5 章

放射性セシウムの被ばくから身を守るには？

放射線の被ばくから身を守ること、またはそのことに関連する手法全般を「放射線防護」と呼びます。古くからの経験に基づいて、3章（3.2）に記した外部被ばくと内部被ばくそれぞれに特徴的な放射線防護対策が知られています。また、放射線防護を考えると、

- ①限られた区域の範囲内で、十分に管理された放射線や放射性物質を計画的に、意識的に扱う状況（例：放射線・原子力施設の場合）
- ②放射性物質の漏えい事故などで、環境中の放射線量が広い範囲で上昇し、何らかの復旧対策が必要な状況（例：放射性物質が野外環境に広がった場合）

などがあります。状況が異なっても、基本的な防護対策に変わりはありませんが、それぞれに具体的な工夫もされています。ここではこれらを対比しつつ、特徴を整理します。

▶ 5.1 外部被ばくへの対策

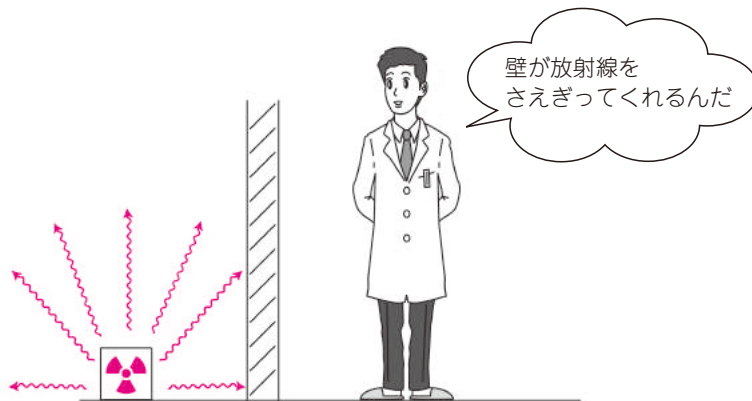
外部被ばくから身を守る方法には、大きく3つあります。「^{しゃへい}遮蔽」「距離」「時間」の3項目に着眼するのが原則です。この3つを必要に応じて上手に組み合わせて、最適な防護をめざします。

5.1.1 ^{しゃへい}遮蔽

放射線の線源と自分との間に、適切な遮蔽物を置くことで、受ける線量を減らすことができます。

1) 放射線・原子力施設の場合

施設の中で管理された放射性物質を、適当な厚さの鉛、鉄、コンクリート、プラ

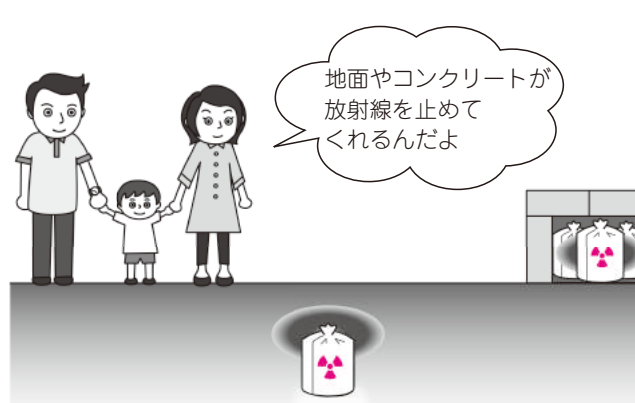


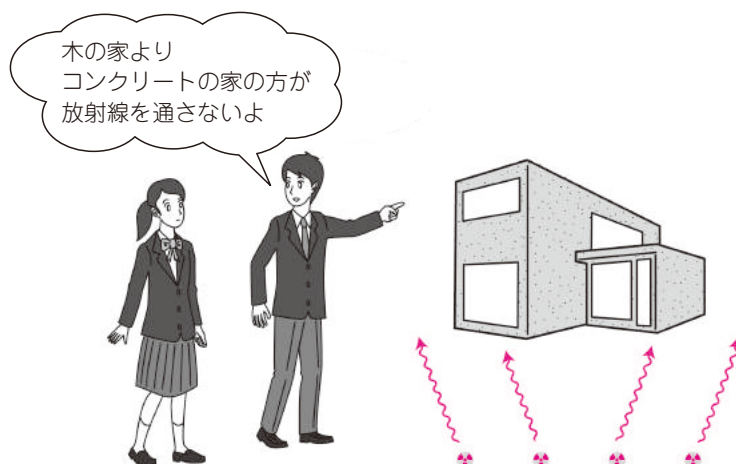
スチック、水などで遮蔽して、作業現場の線量率を下げます。放射線の種類、エネルギーによって効果的な遮蔽対策が異なることに注意が必要です。一般的には、遮蔽は線源のできるだけ近くで行う方が容易であり、また経済的です。

2) 放射性物質が野外環境に広がった場合

地面が線源になっている場合の遮蔽方法のひとつに、覆土や天地返しがあります。セシウム 134、セシウム 137 に対する効果は表のとおりです。放射性物質の大きさが限られている場合には、コンクリート平

覆土厚さ	遮蔽効果
5 cm	51%減
10 cm	74%減
15 cm	86%減
30 cm	98%減





板やブロックで線源を囲うことも、線量率低減には効果的です。

強い放射性物質がかなり広範囲に広がっており、線源そのものを適切に管理できない場合には、コンクリートなどの建物に退避し、野外環境からの放射線を遮ります。

5.1.2 距離

放射性物質からの距離を長くとると、線量を減らすことができます。例えば、ガンマ線を出す線源が1か所にまとまっている場合（正確には、線源が点で仮定できるガンマ線源の場合）、被ばく線量はそこからの距離のほぼ2乗に反比例して減少します。

1) 放射線・原子力施設の場合

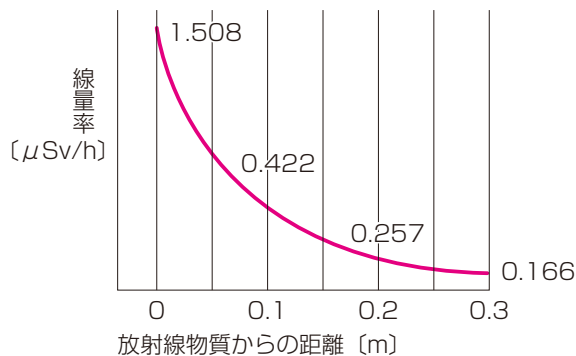
施設の中で管理された強い線源からは、できるだけ離れて作業することが大切です。線源を取り扱うときには、体から距離をおくためにトングやピンセットのような操作器具を使用します。これによって大幅に被ばく線量を低減することができます。

2) 放射線物質が野外環境に広がった場合

環境中の放射線物質の広がりや量は、必ずしも均等ではありません。放射線測定器を



上手に利用すれば、身のまわりのどの場所の線量率が局所的に高いかを知ることができます。その場所に不用意に近づかないことや、必要に応じてその近くの生活動線を工夫することで、被ばく線量を効果的に低減させることができるのです。また、その線源を適切にとり除き、日常の生活圏から遠ざけて管理することも効果的です。

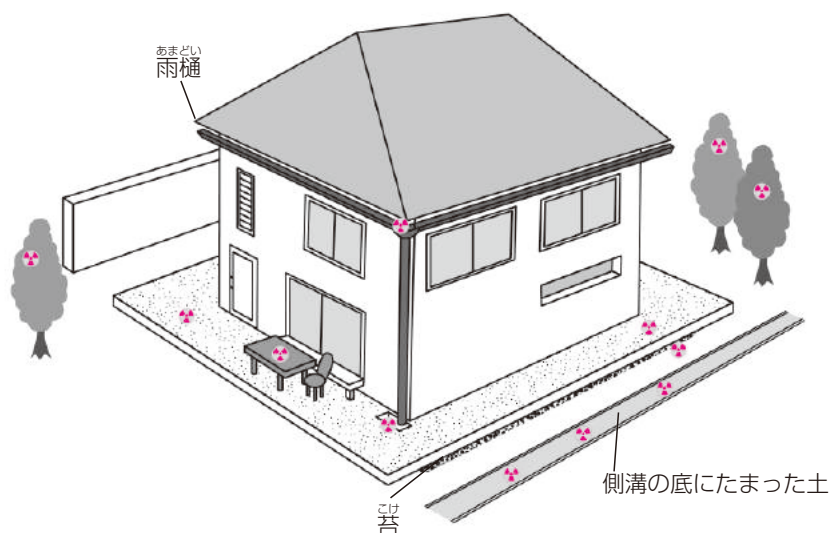


距離による放射線の減衰

コラム 広範囲の飛散汚染で局所的に線量率が高くなる場所とは？

住宅地に放射性物質が飛散した場合、近隣の地表面や屋根、植木などにセシウムは降下し、付着します。これらは降雨により洗い流され、水や細かな土壌粒子とともに移動する場合があります。したがって、水のたまる場所や通り道では周囲に比較して局所的に線量が高くなる**ホットスポット**ができることがあります。例えば、あまどい雨樋や排水溝、側溝などです。植物に付着したセシウムは葉の表面などから内部に

浸入し、植物内にセシウムが保持されますので、植木が集積したところもホットスポットになるかもしれません。身のまわりのホットスポットを探して、その場所を清掃、除染するか、それが難しければ、不用意に近づかないことが大切です。



5.1.3 時間

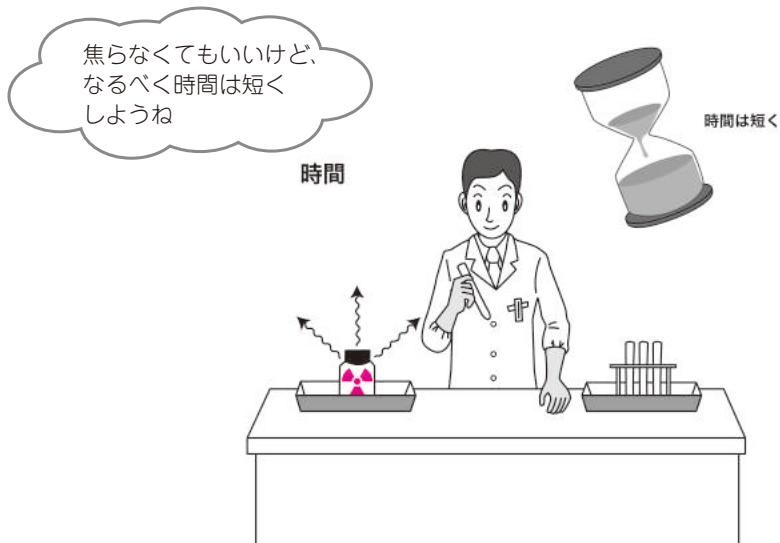
放射線を受ける時間を短くすると、線量を減らすことができます。

1) 放射線・原子力施設の場合

あらかじめ作業手順などを十分に検討しておいて、手際よく放射性物質を扱う作業を行います。作業時間を短くすることが大切です。

2) 放射性物質が野外環境に広がった場合

線量率が局所的に高くなっている場所に不用意に長時間滞在しないこと、滞在時間を短くすることが大切です。



▶ 5.2 内部被ばくへの対策

放射性物質が体内に侵入する経路には次の3つがあります。

- ①呼吸器を通しての摂取（吸入摂取）
- ②口、消化管を通しての摂取（経口摂取）
- ③皮ふ、特に傷口を通しての摂取（経皮摂取）

この3つの経路を効果的に遮断すれば内部被ばくを避けることができます。

5.2.1 吸入摂取

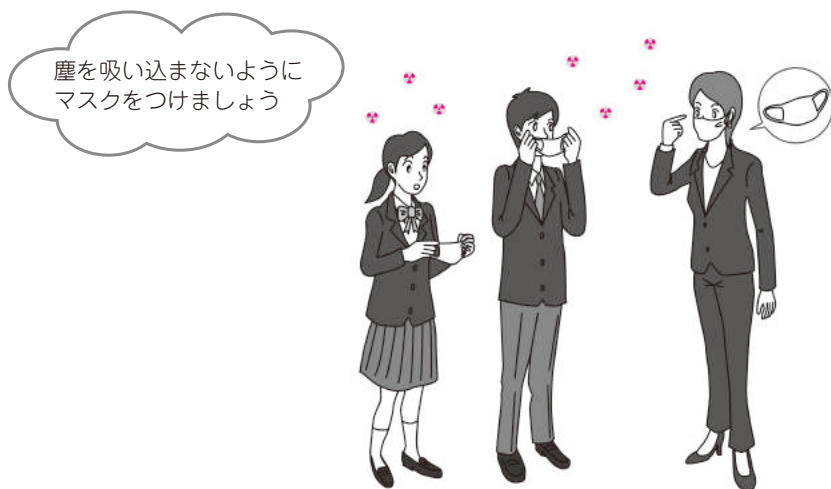
1) 放射線・原子力施設の場合

施設の中での作業のときに、塵やガス、蒸気を発生する可能性のある場合には、放射性物質をフードの中で取り扱えば吸入を避けることができます。リスクに応じて、グローブボックスのような完全に気密な装置内に閉じ込めて取り扱った方がよい場合もあります。



2) 放射性物質が野外環境に広がった場合

空気中に多くの放射性物質が混入し、正にほこりやガスとして浮遊、移動しているときは、放射性物質を体内に取り込まないように、マスクやハンカチで鼻や口をふさぎます。空気中に過大な放射性物質が混入している時期が過ぎ、平常時と変わらない状況になれば、その必要がなくなります。



コラム マスクの着用が内部被ばく防止になぜ有効か？

高温に加熱された原子炉から漏洩したガス状のセシウム 134 やセシウム 137 が、冷却されて固体状態の粒子になります。このとき、セシウムは単原子・単分子状態で存在することはエネルギー的に不安定なため、周辺の微粒子（空気中には海塩粒子、砂ぼこり、花粉などの多量の粒子が存在します）に吸着して、ある一定の大きさにまで成長します。したがって、マスクなどを着用すると、空気中に浮遊している放射性粒子がマスクなどに付着し、内部被ばく線量を大幅に削減できるのです。

5.2.2 経口摂取**1) 放射線・原子力施設の場合**

放射性物質を扱う作業現場では、飲食、喫煙、化粧直しなどをしてはいけません。作業で発生した放射性物質が手や物品に付着する可能性があり、気づかずに体内に浸入させてしまうかもしれないからです。液体試料を採取するためのピペットを使う場合は、口吸式ではなく、口を使わないで操作できる安全ピペットを選択することが重要です。



安全ピペット

2) 放射性物質が野外環境に広がった場合

放射性物質で汚染されている食品を飲食することは避けるべきです。このような**経口摂取**を避けるため、政府は国内のみならず、海外からあるいは海外へ輸出入される食品の流通規制を行っています。国や自治体によって摂取制限、流通制限された飲食物は摂らないことが大切です。逆に、摂取制限、流通制限されていない飲食物は、放射線被ばくの観点では人体へのリスクが問題になることはなく、安心して食べてよいことにも十分な理解が必要です。

コラム 各国の食品中の放射能濃度規制値について

食物による内部被ばく線量を1年間当たり1 mSv以下にすることを考えます。

平成24年4月1日に施行された基準では、飲料水は10 Bq/kgです。この濃度の水を1年間飲み続けても、年間の内部被ばく線量は約0.1 mSvであることから、残りの0.9 mSvを一般食品（乳児用食品、牛乳を含む）からの寄与として割振っています。一般食品の基準値は、年齢や性別などにより1歳未満から19歳以上、そして妊婦を含む10区分に分け、区分ごとに摂取量と体格や代謝を考慮した係数を用いて限度値を算出しています。ここで最も厳しい値となったのが13～18歳の男子に対する120 Bq/kgであり、これを下まわる100 Bq/kgが基準値として採用されました。乳児用食品や牛乳については、放射線感受性が高い可能性がある子どもへの配慮から、基準線量をさらに引き下げ、一般食品の半分である50 Bq/kgが基準値となりました。

これらは、食品の国際基準（Codex）やEU、米国に比べて非常に厳しい値となっています。乳児用食品や牛乳で100%、一般食品では50%が汚染されているとする前提に、国際基準との差異の大きな要因があります。一方、食品の流通事情に違いがあるものの、チェルノブイリ原発事故の影響を受けたベラルーシやウクライナとは、ほぼ同等の基準値となっています。

単位【ベクレル /kg】

品名	国際食品安全基準 (Codex)	日本	EU	米国	ベラルーシ	ウクライナ
		新基準値				
飲料水	1,000	10	1,000	1,200	10	2
牛乳・乳製品	1,000	50	1,000	1,200	100	100
野菜類	1,000	100	1,250	1,200	100	40
穀類	1,000	100	1,250	1,200	80* ¹	60* ¹
肉類	1,000	100	1,250	1,200	500* ²	200
米・パン	1,000	100	1,250	1,200	40	20
基準の設定根拠	目標線量は年間 1 mSv	目標線量は年間 1 mSv	目標線量は年間 1 mSv	目標線量は年間 5 mSv	目標線量は年間 1 mSv	目標線量は年間 1 mSv
	食品中 10% まだが汚染エリアから入荷と仮定	一般食品は 50%、牛乳・乳製品と乳児用食品は 100% が汚染されていると仮定	食品中の 10 % が汚染されていると仮定	食品の 30% が汚染されていると仮定	流通産業が大きく発達しておらず、汚染地区から住民が採取した食品を市場に持ち込む事例あり。	
備考					* 1 : ジャガイモの場合 * 2 : 牛肉・羊肉の場合	

(2013 年 8 月現在)



5.2.3 経皮摂取

1) 放射線・原子力施設の場合

放射性物質を取り扱う作業の前に、手肢や顔などの皮膚を中心に、傷がないかを確認します。あれば、その箇所を適切に封じ、万が一放射性物質が飛散して皮膚に付着することがあっても、傷口から体内に侵入しないようにします。また、身体に放射性物質が付着しないように、必要に応じて、適切な防護服、帽子、履物、ゴム

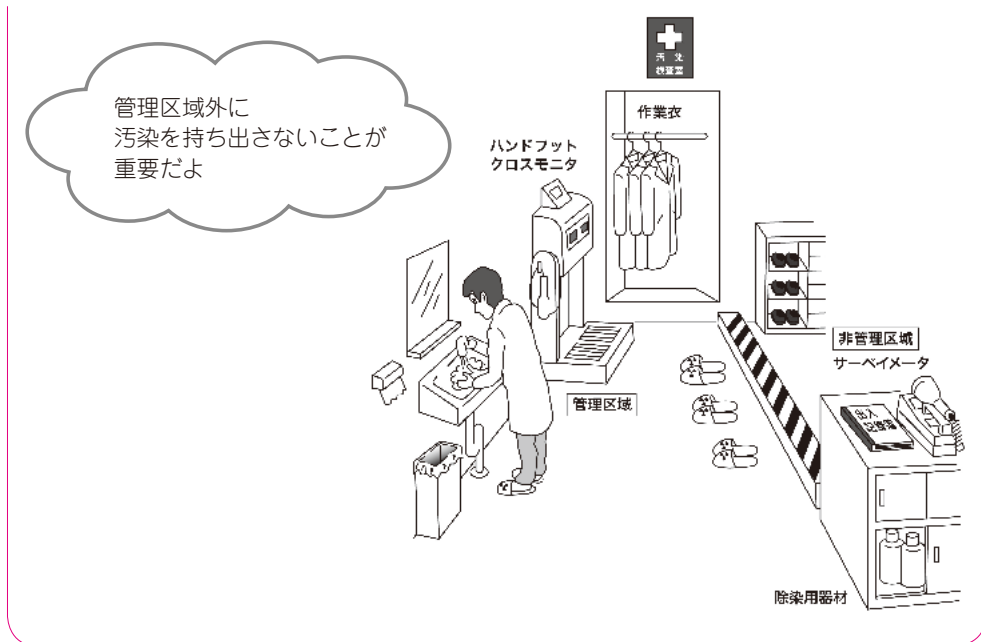
手袋、防塵マスクなどの防護具を着用することも効果的な工夫です。



コラム

密封されてない放射性物質を扱う施設での防護に関する工夫の例

放射性物質の汚染を発生させない注意をすると同時に、汚染の可能性を拡大しない工夫も重要です。放射性物質の汚染拡大の可能性を防ぐために、専用の作業衣や履物、ゴム手袋などを着用し、管理区域から出るときには、手足や衣服に汚染が無いことを確認するため、ハンドフットクロスモニタを使います。その後、作業衣を着替え、手などをよく洗います。このルールを守ることが、内部被ばくの可能性、拡大の可能性を大きく減じることになります。



2) 放射性物質が野外環境に広がった場合

放射性物質でひどく汚染した物に直接触れることは避けるべきです。例えば、業務で身のまわりの放射性物質を取り除く作業（除染）の場合には、取り扱う汚染量に応じて、汚染の防止のため、作業員には手袋や特殊な紙で作ったタイベックなどの着用が義務づけられています。（吸入摂取を避けるための防塵マスクの着用も義務づけられています。）

除染作業時に着用する業務用作業用具

	高濃度汚染土壌など (50 万 Bq/kg を超える)	高濃度汚染土壌など以外 (50 万 Bq/kg 以下)
高濃度粉じん作業 (10 mg/m^3 を超える)	長袖の衣類の上に全身化学防護服（タイベックなど）、ゴム手袋（綿手袋と二重）、ゴム長靴、捕集効率 95% 以上の防じんマスク	長袖の衣類、綿手袋、ゴム長靴、捕集効率 80% 以上の防じんマスク
上記以外	長袖の衣類、ゴム手袋（綿手袋と二重）、ゴム長靴、捕集効率 80% 以上の防じんマスク	長袖の衣類、綿手袋、ゴム長靴、捕集効率 80% 以上の防じんマスク*

* 草木や腐葉土の取扱等作業の場合には、サージカルマスク、不織布製マスクなどの着用で差し支えありません。

以上、放射性セシウムの被ばくから身を守る方法をまとめますと、表のようになります。

放射線防護の方法

外部被ばくの低減方法			内部被ばくの低減方法		
キーワード (外部被ばく 防護三原則)	線量低減策の例		キーワード (体内浸入経 路)	線量低減策の例	
	放射線・ 原子力施設	放射線源が野 外環境に広が った場合		放射線・ 原子力施設	放射線源が野 外環境に広が った場合
遮蔽 (さえぎる)	適当な厚さの鉛、鉄、コンクリート、プラスチック、水などで線源を遮蔽する	覆土や天地返し。コンクリート平板やブロックで線源を囲うことも有効	吸入摂取	放射性物質をフードやグローブボックスの中で取り扱う	マスクやハンカチで鼻や口をふさぐ
距離 (遠ざける)	tongやピンセットのような操作器具を使用する	線量率が局所的に高い場所に不用意に近づかない	経口摂取	飲食、喫煙、化粧直しなどの禁止。安全ピペットを使用する	摂取制限、流通制限された飲み物や食べ物をとらない
時間 (短くする)	作業手順などを事前に十分に検討し、作業時間を短くする	線量率が局所的に高くなっている場所に不用意に長時間滞在しない	経皮摂取	皮膚に傷がないかを確認する。適切な防護具を着用する。(これは吸入摂取、経口摂取の防止にも役立つ)	放射性物質で強く汚染した物質を直接に触れることは避ける

6 章

安全規制と放射線管理

▶ 6.1 安全のための規制と関係法令

6.1.1 規制の考え方

放射性セシウムをはじめとする放射性物質は、研究、教育、産業、医療などさまざまな分野で利用されています。放射性物質は非常に有用ですが、誤った取扱いをすれば放射線障害が発生するおそれがあります。このため、放射性物質の使用や廃棄、運搬などに規制を加え、放射性物質を取り扱う人に対して放射線障害が発生しないようにする、または、その発生リスクを小さくする必要があります。

わが国では、国民の生命、健康および財産の保護、環境の保全などのために安全を確保するという原子力基本法の基本方針のもとに、放射性物質などの取扱いを規制して放射線障害を防止し、公共安全を確保するために「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」（略称：放射線障害防止法）や、その他の法令が定められています。これら放射線関連の法令は、原則的には、**国際放射線防護委員会（略称：ICRP）**の勧告に示された基本的な考え方に基づいて定められています。

放射性セシウムは管理された室内のみならず、過去の核実験や原子力発電所の事故などにより屋外の環境中にも存在しています。平成 23 年の福島原発事故の後、平成 24 年 6 月 27 日に環境基本法が改正され、放射性物質による環境汚染の防止についても環境法体系に組み入れられました。

コラム 放射線利用に関する諸法令

放射線の利用に関しては、原子力の平和利用に関わる基本方針を定めた原子力基本法の個別法として、エネルギー利用と放射線・アイソトープ利用に関する法律に大別されます。核燃料物質・核原料物質に関しては核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（原子炉等規制法）、放射性同位元素と放射線発生装置に

関しては放射線障害防止法、放射性医薬品については医療法と医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律（旧薬事法）が定められています。

（用語解説）

- ・ 核燃料物質：ウラン、トリウムなど原子核分裂の過程において高エネルギーを放出するもの
- ・ 核原料物質：核燃料物質の原料となるウラン鉱、トリウム鉱など
- ・ 原子炉発電用原子炉、研究用原子炉など：
核燃料物質を燃料として使用する装置
- ・ 放射線発生装置：サイクロトロン、シンクロトロンなど荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置
- ・ 放射性同位元素：放射線を放出する同位元素およびその化合物や含有物であって、数量および濃度が種類ごとに法令で定められた下限数量および濃度を超えるもの
- ・ 放射性医薬品：放射線を放出する医薬品

6.1.2 放射性セシウムに関する規制

放射性同位元素等を規制する法令は、その取扱いや放射線発生の態様などによって異なります。

1) 原子炉での発生

放射性セシウムの最も一般的な生成は、原子炉の中で行われます。原子炉内で生成された放射性セシウムを分離する過程では、ウラン・プルトニウム・トリウムの製錬、加工、貯蔵、再処理および廃棄と原子炉の設置について規定している「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（略称：原子炉等規制法）の規制を受けます。

2) 研究、工業、農業分野などでの利用

放射性セシウムは、教育、研究、工業、農業分野などで利用されています。利用分野における放射性セシウムは、放射線障害防止法の規制を受けます。放射線障害防止法は、放射性同位元素や放射線発生装置の使用などや放射性同位元素によって

汚染されたものの廃棄などを規制することによって、放射線障害を防止し、公共の安全を確保することを目的に制定された法律です。放射線施設では管理区域を設定して一般の人々の立入りを制限し、放射性同位元素等を安全に取り扱うために放射線施設で守るべきルールを定めています。また、環境中へ排気・排水するときの放射性同位元素の濃度限度を定めています。

3) 医療分野での利用

密封した放射性セシウムの針状小線源を咽喉などに埋め込んで、がんの治療に利用することがあります。また、第2章(2.1)で述べたように、輸血する血液の拒絶反応を避けるため、放射性セシウムが血液照射に利用されています。これらの場合には、医療法も適用され、使用する施設の構造設備、予防措置など、一定の事項を届け出る必要があります。また、使用室に放射線障害の防止に必要な注意事項を掲示することや、管理区域を設定すること、放射線診療従事者の被ばく防止に必要な措置を講じることなどが義務付けられています。

4) 労働者の保護

労働者を放射線障害から保護することを目的として労働安全衛生法の下に電離放射線障害防止規則、国家公務員法の職員の放射線障害防止を規定した人事院規則、船員の放射線障害防止を規定した船員電離放射線障害防止規則などの法令があります。

5) 異常時の措置

放射線施設において、地震、火災その他の災害によって放射線障害が発生するおそれがある場合、または放射線障害が発生した場合は、放射線施設の責任者は放射線障害を防止するため、消防署への通報、避難や救出、汚染の広がり防止・除去など、緊急の措置を講じることが義務付けられています。緊急作業に従事する放射線業務従事者の被ばく線量限度は、全身で100ミリシーベルト、眼の水晶体（等価線量）で300ミリシーベルト、皮膚について1シーベルト（1000ミリシーベルト）まで認められています。

6) 環境の汚染

放射性物質による環境汚染の対処や防止に関しては、福島原発事故に関する時限立法などがあります。東日本大震災に伴う原子力発電所の事故によって放出された放射性物質による環境の汚染が生じており、人の健康または生活環境におよぼす影響を速やかに低減することが喫緊の課題となっています。こうした状況を踏まえ、「平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」（以下、「放射性物質汚染対処特措法」）が平成 23 年 8 月 30 日に制定され、廃棄物の処理と土壌等の除染などについて規定されました。

除染特別地域内などで事故由来放射性物質によって汚染された土壌、落葉や汚泥などの除去、土壌や廃棄物の収集、運搬、保管などの業務を行う者が電離放射線を受けることをできるだけ少なくするため、「東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための業務等に係る電離放射線障害防止規則」が定められています。また、事故由来廃棄物の処分に関して、「電離放射線障害防止規則」では管理区域を設定することや汚染の防止について規定されています。

7) 輸送

核燃料物質や放射性物質の輸送は、輸送の種類（陸上、海上、航空輸送）により、さまざまな法令の規制を受けます。

▶ 6.2 放射線の管理

放射線リスクから人や環境を防護するためには、被ばくする「人」に対する安全の規準を定め、放射線がある「場」を適切な状態にし、放射線を発生する「物質や装置」を適切に維持管理する必要があります。

放射性セシウムによる被ばくが想定される状況には、5章で述べたように、次の2つがあります。

- ①限られた区域の範囲内で十分に管理された放射線や放射性物質を計画的に、意識的に扱う状況（例：放射線・原子力施設の場合）
- ②放射性物質の漏えい事故などで環境中の放射線量が広い範囲で上昇し、何らかの復旧対策が必要な状況（例：放射性物質が野外環境に拡がった場合）

いずれの状況でも、法令に基づき、さらには必要に応じて、ICRP が勧告する放射線防護体系の理念や国際原子力機関（IAEA）などの国際機関の指針などを基盤にして、「人」「場」「物質や装置」を確実に管理していく必要があります。

コラム 国際放射線防護委員会（ICRP）の3つの被ばくの状況

ICRP はその 2007 年勧告（ICRP Publication 103）において、想像できるすべての線源、すべての事情を、次の3つの被ばくの状況に適切に分類することを勧告しました。

- ・ **計画被ばく状況**：線源の意図的な導入と運用を伴う状況のこと。計画被ばく状況は、発生が予想される被ばく（通常被ばく）と発生が予想されない被ばく（潜在被ばく）の両方を生じさせることがある。
- ・ **緊急時被ばく状況**：計画された状況を運用する間に、もしくは悪意ある行動から、あるいは他の予想しない状況から発生する可能性のある好ましくない結果を避けたり、減らしたりするために緊急の対策を必要とする状況のこと。
- ・ **現存被ばく状況**：管理について決定をしなければならないときにすでに存在する被ばくの状況のこと。緊急事態の後の長期被ばく状況はこれに含まれる。

本稿の5章および6章で整理された被ばくのうち、「放射線・原子力施設の場合」は、放射線施設の通常の運用時、つまり平時には「計画被ばく状況」であり、なんらかのトラブルや事故が発生した直後は「緊急時被ばく状況」として区分されることになります。また、「放射性物質が野外環境に広がった場合」は、緊急事態後の復旧、復興時の環境として「現存被ばく状況」として区分されます。現存する被ばく状況には、自然放射線のリスクレベルが高まっている環境も含まれ、規制当局がたとえ自然の放射線であっても管理すべきと考えた場合には、このカテゴリーの中で何らかの対策がとられることになります。

6.2.1 人の管理

1) 放射線・原子力施設の場合

職業として放射線を取り扱う人（放射線業務従事者）の被ばく線量限度は5年間につき100ミリシーベルト（ただし、どの年も50ミリシーベルトを超えないこと）と法令で定められています。

また、ICRP は、管理された放射線施設から受ける放射線被ばくについて、一般

の人（公衆）の線量限度を1年間につき1ミリシーベルトに抑えることを勧告しており、わが国の法令にもこの考え方が導入されています。

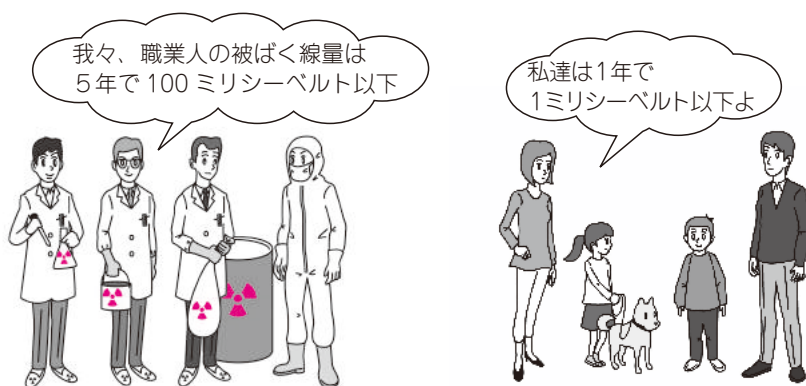
ただし、いずれの場合も、自然放射線の被ばくと患者として医療で受ける被ばくは、この対象から除きます。

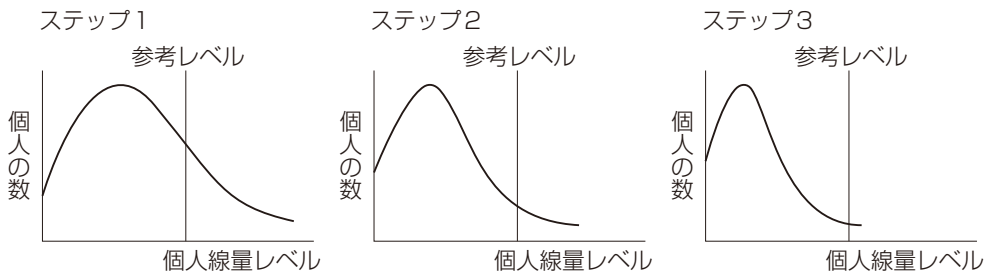
2) 放射線源が野外環境に広がった場合

福島原発事故の後、国は飲料水と食品の摂取制限ための基準値（100 ベクレル／kg、など）や、環境除染の目安値（0.23 マイクロシーベルト毎時、など）などを定めました。これらの基準値は国際的には「参考レベル」と呼ばれているものです。いったん決めた線量目標（参考レベル）が達成できたら、あるいは、ほぼ達成できそうになったら、うまく線量を下げられる部分がほかにないかを検討して、必要に応じてさらに低い目標値に切り替えて線量低減の努力をします。そのようなプロセスを繰り返すことで、自然放射線などの分を除く、事故の後に高められた追加的な線量を長期的には年間1ミリシーベルトに近づけて、線量を低減し最適化していきます。

例えば、飲料水と食品の摂取制限ための基準値として、当初 500 ベクレル／kg（公衆の追加線量として年間5ミリシーベルト相当）であったものが、事故後1年後（平成24年4月）に100 ベクレル／kg（公衆の追加線量として年間1ミリシーベルト相当）に引き下げられたのは、基本的には前述の考え方に基づいています。

ここで使われている参考レベルの「年間5ミリシーベルト」「年間1ミリシーベルト」は、管理されて計画的に放射線を扱うとき（例：放射線・原子力施設の場合）の管理で用いる線量限度とはまったく性質が異なるものです。

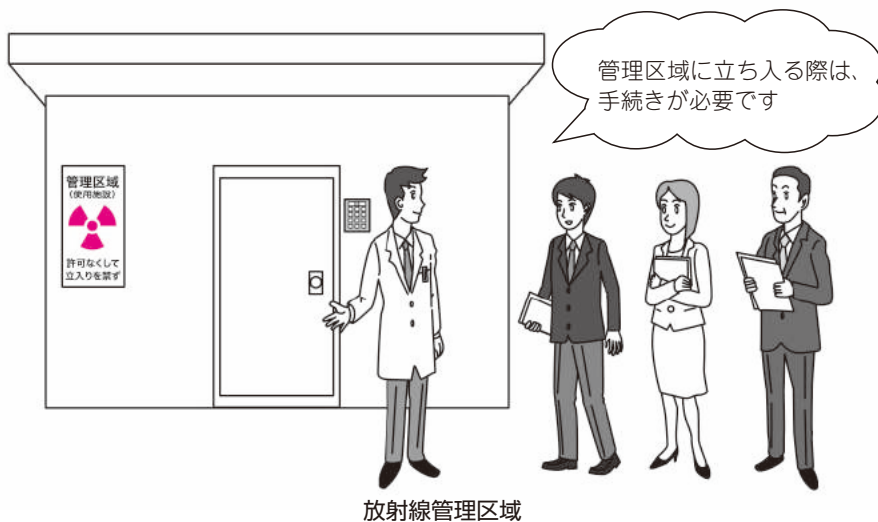




6.2.2 場の管理

1) 放射線・原子力施設の場合

放射線レベルがある程度（3か月で1.3ミリシーベルト）以上になるおそれのある場所を放射線管理区域に設定して、その境界を明示し、一般の人々の立ち入りを制限しています。



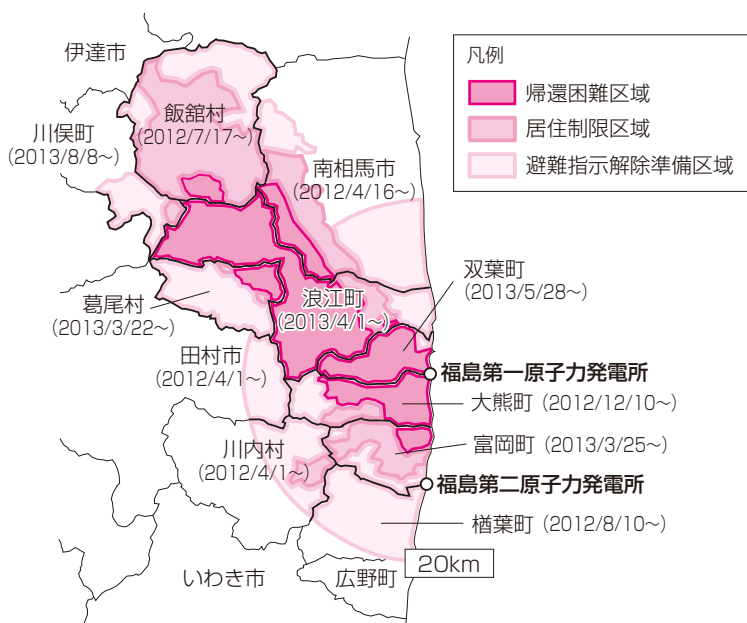
2) 放射性物質が野外環境に広がった場合

福島原発事故の後、政府は放射能汚染の被害を受けた地域を、線量のレベルや地方行政上の地域境界等を根拠に、大きく2つのゾーンに区分しました。「**除染特別地域**」と「**汚染状況重点調査地域**」です。「除染特別地域」とは、国が除染の計画を策定し除染事業を進める地域として、放射性物質汚染対処特措法に基づき指定されている地域です。基本的には、事故後1年間の積算線量が20ミリシーベルトを

超えるおそれがあるとされた「計画的避難区域」と、東京電力福島第一原子力発電所から半径 20 km 圏内の「警戒区域」を指します。一方、これよりも線量は低いのですが、年間追加被ばく線量が 1 ミリシーベルト以上になる可能性がある地域を、国は「汚染状況重点調査地域」に指定しています。指定を受けた市町村は、必要に応じて重点的な調査測定を実施し、実際に除染を行う区域（除染実施区域）を定めた上で、除染実施区域の除染計画（除染実施計画）を策定、除染を実施することになっています。

コラム 除染特別地域における除染の進め方と区域の整理

除染特別地域では、国が市町村などの関係者と協議・調整を行い、具体的で実効ある「特別地域内除染実施計画」を策定します。その後、難指示区域の見直しの動向や除染技術の開発状況などを踏まえ、市町村ごとに除染する対象区域、除染の優先順位を具体的に計画に示し、除染を進めることになっています。除染特別地域は、その線量のレベルに応じて、さらに「帰還困難区域」「居住制限区域」「避難指示解除準備区域」の 3 つに区分され、除染計画の策定や実施、街の復旧復興計画を策定するためのひとつの目安としています。



避難指示区域の概念図

 帰還困難区域 (50 ミリシーベルト／ 年以上)	5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まわらないおそれのある、現時点で年間積算線量が 50 ミリシーベルト超の地域	5年以内にお戻りいただくことが、難しい状況です。
 居住制限区域 (20～50 ミリシーベ ルト／年未満)	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	帰宅を希望される方全員が 1 日も早くご帰宅できるよう、除染を進めていきます。
 避難指示解除準備区域 (20 ミリシーベルト／ 年未満)	避難指示区域のうち、年間積算線量が 20 ミリシーベルト以下になることが確実であると確認された地域	

(出典：平成 24 年 5 月 原子力被災者生活支援チーム資料をもとに作成)

(平成 25 年 8 月 8 日現在)

6.2.3 物の管理

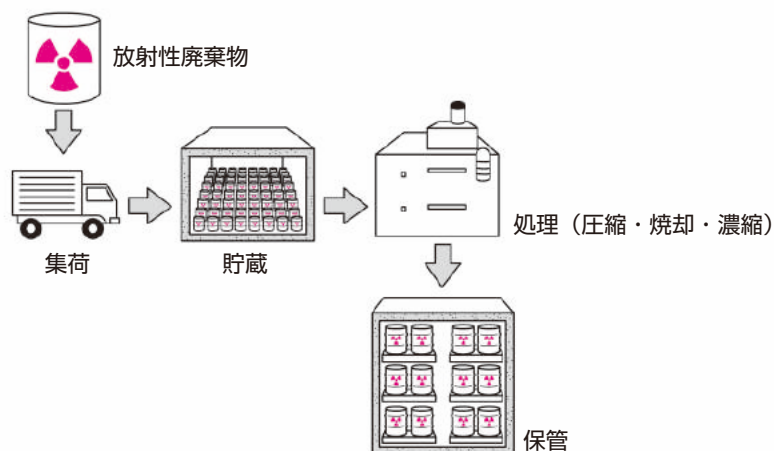
1) 放射線・原子力施設の場合

施設内の放射性物質の在庫管理について、厳しく法令で定められています。また、余計な放射性物質が施設の外に漏れて環境を汚染することがないように、あるいは放射線が外に漏れて一般の人が余計な放射線を受けることのないように、厳重に管理し、監視することも義務づけられています。例えば、放射性物質を扱う施設からの排水は、必ず貯留層に溜め、適切な処理を行い、放射能濃度を測定して安全を確かめてから放流します。排気はエアフィルタなどで浄化し、放射能濃度を十分に低くしてから外部に放出します。

放射性物質を使ったあとで不用になった放射性廃棄物は、一般の廃棄物と一緒に捨てられません。これらは国の委託を受けた機関などが法令にしたがって集荷し、安全に処理・保管しています。今後、処分のための埋設施設が設置されれば、法律で定められた実施機関が法令の定める基準にしたがって埋設を実施していく予定です。

2) 放射性物質が野外環境に広がった場合

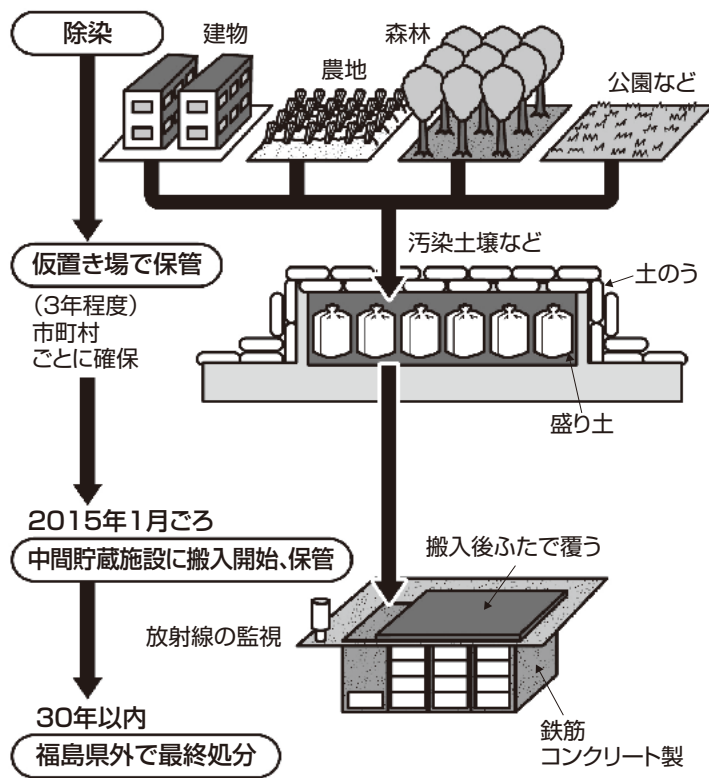
例えば、除染特別地域や除染実施区域での除染で取り除いた土などは、市町村の協力を得て決定した一時的な保管場所（仮置場または現場保管）で 3 年程度保管し、



放射性廃棄物の集荷から中間貯蔵施設での保管・管理までの流れ

安全性を確認しながら管理することになります。一時的な保管場所では、空間線量率が上がらないように、安全対策を講じて管理します。敷地境界線での空間線量率が、搬入終了後に周辺環境とおおむね同程度の水準になるように、設計の基準（盛土の厚さや柵の位置）を設定し、搬入中での空間線量率の上昇も十分低く抑えられるように管理します。遮水シートなどによる水を通さない層や除去土壌を入れる容器（フレキシブルコンテナなど）、覆土で、放射性物質の飛散・流出・地下浸透を防ぐ工夫がなされます。また、覆土や土のうなどで遮蔽し、放射線を遮断するとともに、敷地境界での空間線量率と、地下水の放射性物質の濃度をモニタリングします。

中間貯蔵施設は、除染で取り除いた土や放射性物質に汚染された廃棄物を、最終処分をするまでの間、安全に管理・保管するための施設です。福島県で発生した、除染で取り除いた土や放射性物質に汚染された廃棄物の物量を正確に見積もることは大変に難しいので、最終処分するまでの間、安全に集中的に管理・保管するための中間貯蔵施設を福島県内に設置することが決まりました。



放射能物質によって汚染された土壌、廃棄物の除染から最終処分までの流れ

索引（五十音順）

<あ 行>

あ	アイソトープ	7
	アルファ線（ α 線）	6
	厚さ計	11
い	遺伝的影響	18
う	宇宙線	14
え	エックス線（X線）	6
	エネルギー補償型	23, 30
お	汚染	24, 40, 51
	汚染状況重点調査地域	51

<か 行>

か	外部被ばく	17
	壊変	9
	核原料物質、核燃料物質及び	
	原子炉の規制に関する法律	46
	確定的影響	18
	核分裂	10
	確率的影響	18
	カリウム 40	14
	がん	19
	簡易体表面モニタ	25
	ガンマ線（ γ 線）	6
き	急性影響	18
	吸入摂取	37, 44
	距離	34, 44
	緊急時被ばく状況	49
く	グレイ	19
け	計画被ばく状況	49
	蛍光ガラス線量計	28

	経口摂取	39, 44
	計数効率	27
	経皮摂取	41, 44
	ゲルマニウム半導体検出器	26
	原子	6
	原子核	6, 10
	原子番号	6
	原子炉	10
	原子炉等規制法	46
	現存被ばく状況	49
こ	国際原子力機関	49
	国際放射線防護委員会	45, 49
	個人が受ける線量	28

<さ 行>

さ	サーベイメータ	23, 30
	最適化	51
し	シーベルト	16, 19
	シーベルト毎時	22
	時間	36, 44
	質量数	6
	遮蔽	32, 44
	食物連鎖	12
	除染特別地域	51
	身体的影響	18
	シンチレーション検出器	22, 26
	シンチレーションサーベイメータ	
		23, 30
す	ストロンチウム 90	11
	スペクトル	27

せ	セシウム 134	6, 11	ベクレル	9
	セシウム 137	6, 11	ほ	放射線障害防止法
	全身被ばく	17		45
そ	走行サーベイシステム	23		放射性同位元素
				7
<た 行>				放射性同位体
た	体外計測法	29		7
	炭素 14	14		放射線防護
ち	中性子	6, 10		32
て	電磁波	6		放射能
	電離	6, 22		8
と	同位体	7		ホールボディカウンタ
	トレーサビリティ	30		29
<な 行>				ポケット線量計
な	内部被ばく	17		28
<は 行>				ホットスポット
は	バイオアッセイ法	29		35
	白内障	19	<ま 行>	
	白血病	19	ま	マイクロシーベルト毎時
	半減期	7, 8		22
	晩発影響	18		マリネリ容器
ひ	光刺激ルミネセンス線量計	28		27
	被ばく	17		丸型 V 式容器
	標準試料	27		27
ふ	フォールアウト	15	め	メルトダウン
	部分被ばく	17		12
へ	ベータ線 (β線)	6	も	モニタリングポスト
				23
			<や 行>	
			よ	陽子
				6
				ヨウ素 131
				8, 12
			<ら 行>	
			ら	ラジウム 226
				14
				ラジオアイソトープ
				7
				ラドン 222
				14
			り	リスク
				15
				粒子線
				6
			れ	励起
				22
				レベル計
				11

索引 (アルファベット)

G	GM 管	22	I	IAEA	49
	GM サーベイメータ	24		ICRP	45, 49, 50

参考文献

改訂版 放射線の ABC

初めての放射線測定

5 版 やさしい放射線とアイソトープ

アイソトープ手帳（11 版）

一般社団法人日本原子力学会編「原子力がひらく世紀」

文部科学省ホームページ

文部科学省「放射線副読本」

環境省ホームページ

環境省除染情報サイト <http://josen.env.go.jp/index.html>

厚生労働省ホームページ

原子力規制委員会ホームページ

独立行政法人放射線医学総合研究所ホームページ

「放射線被ばくの早見図」

ICRP Publication.103

千葉県柏市「放射線対策ニュース」

千葉県柏市「放射線キホンのキ」

写真提供メーカー一覧

エッペンドルフ株式会社

キャンベラジャパン株式会社

セイコー・イージーアンドジー株式会社

関谷理化株式会社

株式会社千代田テクノル

長瀬ランダウア株式会社

日立アロカメディカル株式会社

富士電機株式会社

編集後記

本書では、特に放射性セシウムについて、いろいろな側面を紹介しました。放射性セシウムは、医療・工業分野で有効利用されている一方で、他国の核実験や原子力発電所の事故による環境汚染により日常生活に不安を与えています。そこで、平成 25 年度日本アイソトープ協会理工学部会の下に放射能測定・除染技術等に関する調査検討専門委員会を設置し、放射線に関する基礎的知識の普及ワーキンググループにおいて汚染された環境を引き受けなくてはならなかった方々の一助にと本書を編集しました。一人でも多くの方々がこの現状を正しく理解され、少しでも上手に放射性セシウムと向き合うことができればと思います。

公益社団法人日本アイソトープ協会 第 24 期理工学部会

放射能測定・除染技術等に関する調査検討専門委員会

委員長	小嶋	拓治（独）日本原子力研究開発機構）
委員	大石	晃嗣（清水建設（株）技術研究所）
	白川	芳幸（独）放射線医学総合研究所）
	松原	昌平（日立アロカメディカル（株））
	柚木	彰（独）産業技術総合研究所）

放射線に関する基礎的知識の普及ワーキンググループ

主査	白川	芳幸（独）放射線医学総合研究所）
委員	飯本	武志（東京大学 環境安全本部）
	大石	晃嗣（清水建設（株）技術研究所）
	木下	哲一（清水建設（株）技術研究所）
	田中	守（日立アロカメディカル（株））
	松原	昌平（日立アロカメディカル（株））

セシウムの ABC

2014 年 6 月 30 日 初版発行

編集 公益社団法人
発行 日本アイソトープ協会

〒113-8941 東京都文京区本駒込二丁目28番45号
電 話 代表 (03) 5395-8021
学術・出版 (03) 5395-8082

E-mail syuppan@jrias.or.jp
U R L <http://www.jrias.or.jp>

発 売 丸善出版株式会社

〒101-0051 東京都千代田区神田神保町 2-17
電 話 (03) 3512-3256

U R L <http://pub.maruzen.co.jp/>

© Japan Radioisotope Association, 2014 Printed in Japan

印刷・製本 株式会社フォレスト

ISBN978-4-89073-243-2 C1040

ISBN978-4-89073-243-2

C1040 ¥1300E

定価(本体 1,300 円+税)



9784890732432



1921040013005



発売所 **丸善出版**