HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	もっとわかる放射能・放射線
Author(s)	CoSTEP 教育スタッフ
Issue Date	2011-04-29
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/71973
Type	book
File Information	radioactivity2.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

もっとわかる

放射能・放射線

radioactivity

radiation

北海道大学 CoSTEP 著

まえがき

2011 年 3 月 11 日、三陸沖を震源とするマグニチュード 9.0 の大地震が発生し、北海道から千葉県にかけて巨大な津波が押し寄せました。このため福島県にある福島第一原子力発電所では、4 つの原子炉で重大な事故が起き、放射性物質が大量に周囲に漏れ出しました。

津波による惨状とともに、原子力発電所での緊迫した対応が、連日、テレビや新聞で報じられ、今までほとんど聞いたことのない言葉が飛び交うようになりました。ベクレル、シーベルト、放射性ヨウ素、などなど。

わかるようでいて、でも何かしっくりこない表現も、繰り返し耳にするようになりました。「ただちに健康に影響があるレベルではありません。」これも、その一例でしょう。

そこで北海道大学の CoSTEP で科学技術コミュニケーションの教育や研究に携わる私たちスタッフは、ニュース

をもっと理解できるよう、放射能や放射線に関する基本的なことがらを、わかりやすくまとめてみようと思い立ちました。そうしてできあがったのが本書です。

ある会合での、こんなやり取りがたいへん印象的でした。

> 「放射能で汚染したホウレンソウも、茹(ゆ)でれば、食べて大丈夫ですか？」
> 放射線医学を専門とする方が答えました。
> 「そのような、主婦の目線にたった研究のデータは、私たち、持ってないんです。」

科学者たちは、自分たちの世界で重要と目される研究に、日夜しのぎを削っています。そうした研究者たちに、科学の外にいる人々の関心や期待を伝えること、それも科学技術コミュニケーション（専門家と市民との橋渡し）の重要な役割なのだと思います。

本書がそうした橋渡しの一助となることを願い、感想などを Twitter や Facebook で簡単に書き込むことができるようにしました。ここをクリックすると、別のページが開いて詳しい説明が表示されます。

インターネット上では、ウエブページや、ブログ、Twitter、あるいはメーリングリストなどを使って、専門家の方たちが盛んに情報を発信されています。それらから多くを学ばせていただきました。とはいえ、本書には至らない点

もあるかと思います。率直なご指摘をお願い致します。

2011 年 4 月 18 日

CoSTEP 教育スタッフ一同を代表して

杉山滋郎

目次

まえがき i

第 1 章　放射能と放射線 1

1.1　深刻な事故、大きな数値 1

1.2　クイズに挑戦 2

1.3　放射能と、ベクレル 5

1.4　放射能の濃度 7

1.5　放射線と、グレイ 10

1.6　放射性物質は、風で運ばれる 14

1.7　自然放射線 16

1.8　放射線の人体への影響と、シーベルト . . 18

1.9　α 線に注意 20

第 2 章　人への影響 23

2.1　確定的と確率的 23

2.2　がんになる確率は？ 25

2.3 線量限度 26
2.4 放射線量を積算してみる 28
2.5 被曝を減らすには 30
2.6 身体の内にも目を向けよう 31
2.7 体内にも「自然放射線」の源 32
2.8 環境中での、放射性物質の循環 33
2.9 「ただちに健康に影響があるレベルではない」 35
2.10 これからは 38
2.11 自然環境への影響 40

付録１：詳細 43

付録２：ヒント 45

役に立つウエブサイト 47

参考文献 49

索引 50

改訂履歴 53

第 1 章

放射能と放射線

1.1　深刻な事故、大きな数値

4 月 12 日、福島第一原子力発電所の事故の深刻さは「レベル 7 」だと発表されました。発電所から放出された放射性物質の総量を計算してみたところ、37 万〜63 万テラ・ベクレルになったので、レベル 7 と判定されたのです。国際的な事故評価尺度による 8 段階の評価で、もっとも深刻なものです。

「テラ」とは、1,000,000,000,000 倍（1 兆倍）を表わす用語です。何とも大きな値ですね。

原子力や、それに付随する放射能、放射線について考えるときは、大きな数を扱うことが多くなります。そこでまずは、大きな数や小さな数を身近な大きさの数値で表わす

ために使う便利な言葉について、ざっと説明しましょう。

1.2　クイズに挑戦

クイズから始めましょう。

ここに、コップに入った水があります。水の体積はちょうど 180cc で、重さでいうと 180g です。その水は、ものすごくたくさんの「水の分子」H_2O が集まったものです。それら「水の分子」一つひとつに、何らかの方法で印をつけたとしましょう。

そのコップの水を、太平洋のはるか沖合で、海に捨てます。何年も、何十年も、いや実際はもっともっと年数がかかるでしょうが、世界中の海水にまんべんなく混ざったとしましょう。

さて、問題です。再び海に出かけていって、かつて海に捨てたのと同じ量、180cc の水をコップにすくいます。コップの中には、かつて印をつけた「あの水の分子」が何個ぐらい入ってくるでしょうか。

次の 5 つのうち、どれが最も近いと思いますか？

1. 1000 個
2. 1 個
3. $0.001 = \dfrac{1}{1000}$ 個
4. $0.000001 = \dfrac{1}{1,000,000}$ 個

5. $0.000000001 = \dfrac{1}{1,000,000,000}$ 個

分子が 0.001 個 なんてことはあり得ませんから、3. の 0.001 は、1000 回コップですくったら、そのうちの 1 回だけ、コップの中に「あの水の分子」が 1 個入っている、というように理解してください。4. の 0.000001 や、5. の 0.000000001 も同じように、1,000,000 回に 1 回だけ、1,000,000,000 回に 1 回だけと理解してください。

答は、この本を先に読み進んでいくと、どこかに書いてあります。

さて、1000 という数が出てきました。1000 メートルを 1 キロ・メートルというように、1000 倍を表わすときは、「キロ」を前につけます。

逆に小さいほうは、0.001 メートル=1 ミリ・メートルのように、「ミリ」を前につけて 0.001 倍を表わします。

もっと小さくなって 0.000001 倍（100 万分の 1 倍）のときは、0.000001 メートル=1 マイクロ・メートルのように、「マイクロ」を前につけます。幼稚園の子どもたちを送り迎えするバスは、マイクロバス。マイクロは、小さいという意味ですが、科学の世界では 0.000001 倍を表わします。

さらに小さい 0.000000001 倍（10 億分の 1 倍）のときは、0.000000001 メートル=1 ナノ・メートルと、「ナノ」をつけます。携帯音楽プレイヤーにも、小さいことを強調

図 1.1　携帯音楽プレイヤーの一つ、iPod nano（アイポッド ナノ）。

するために「ナノ」という言葉を使っているものがありますね。

第 1.1 節（1 ページ）に出てきた「テラ」も、こうした「前につける言葉」の一つです。この本によく出てくるものを、表にまとめておきましょう。

倍	前につける言葉
1000	キロ
0.001	ミリ
0.000001	マイクロ
0.000000001	ナノ

1.3　放射能と、ベクレル

ウランやヨウ素には、わずかだけ重さの違う幾つかの種類があります。それらを区別するために、ウラン 235 、ウラン 238 のように数字を書き添えて区別します。その数字は、物理学の世界で「質量数」と呼ばれるものです。

ウラン 235 やヨウ素 131 などは、自発的に（つまり外からエネルギーを与えたりしなくても）放射線を出して別の原子に変わっていくという性質（能力）を持っています。その性質を放射能（radioactivity）といいます。

ある決まった時間の間に、放射線を出して別のものに変わっていく原子の個数が多ければ多いほど、「放射能が強い」ことになります。そこで、1 秒間に何個の原子が放射線を出して別の原子に変わっていくか、その個数を「ベクレル」という単位で表わします。

ベクレルという単位名は、ウランの放射能を発見し 1903 年ノーベル物理学賞を受賞したフランスの物理学者アンリ・ベクレル（1852–1908 年）にちなんでいます。

たとえばヨウ素 131 ですと、1 マイクロ・グラム（= 0.000001 グラム）あれば、1 秒間に 46 億個のヨウ素 131 の原子が放射線を出して別の原子にかわっていきます。ですから、1 マイクロ・グラムのヨウ素 131 の放射能（の強さ）は 46 億ベクレルとなります。

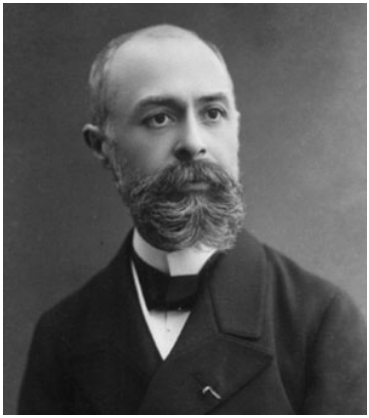


図 1.2　フランスの物理学者、アンリ・ベクレル。Wikipedia より

もしヨウ素 131 の放射能が 92 億ベクレルだとすれば、ヨウ素 131 が先の 2 倍、2 マイクロ・グラムあることになります。ですから「ベクレル」の値は、ヨウ素 131 などの放射性原子が、たくさんあるか少ないかを知る目安になります。

セシウム 137 が 1 マイクロ・グラムあると、その放射能は 320 万ベクレルです。ヨウ素 131 の場合は 46 億ベクレルでしたから、放射線を出す原子の種類（詳しくいうと、原子核の種類）が違うと、同じ重量（今の場合は、ともに 1 マイクロ・グラム）でも、放射能が違います。また、放射能の値が同じでも原子（原子核）の種類が違えば、放射性物質の重量が違ってきます。

1.4　放射能の濃度

「46 億ベクレルのヨウ素 131 を含む水」があったとしましょう。46 億ベクレルのヨウ素は、重量でいうと 1 マイクロ・グラムですが、これだけのヨウ素がどのくらいの量の水に含まれているのかによって、その影響が違ってきます。こうしたときには、「46 億ベクレル」を「水の量」で割り算した、放射能の「濃度」で考えます。

4 月 5 日のある新聞に、こんな記事がありました。

> 福島第一原子力発電所で、問題になっている高濃度の放射能汚染水の保管場所確保と、設備の浸水防止のため、東京電力は 4 日午後 7 時すぎ、原発内にある比較的汚染度の低い水を海に放出し始めた。

ここに出ている「高濃度の放射能汚染水」は 2 号機のもので、その記事によると「放射性ヨウ素で 1cc あたり数百万ベクレル程度」です。この「1cc あたり」のように、ある分量あたりで考えるのが、「濃度」を考えることになります。

このニュースにある「比較的汚染度の低い水」は、集中廃棄物処理施設や、5 号機と 6 号機周辺の地下水を溜めた容器の中にあったものです。放射性ヨウ素が 1cc あたり 1.6〜20 ベクレルだといいます。それらの水の量は、全部合わせて約 1 万トン、そこに含まれる放射性ヨウ素は総計

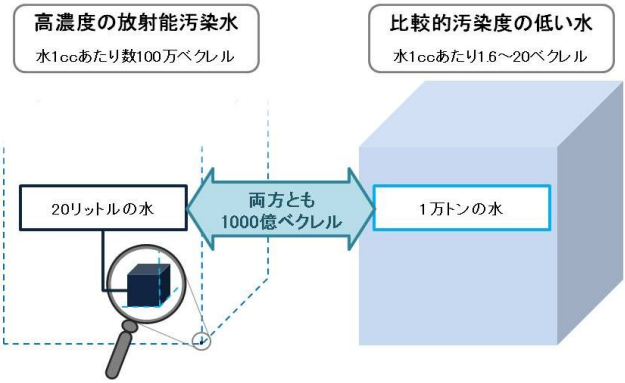


図 1.3　水の量が大きく違っても、そこに含まれる放射能は同じ。

で 1000 億ベクレルほどです。

1000 億といえば、ものすごく大きな値です。でも、2 号機の「高濃度の放射能汚染水」は 1cc あたり数百万ベクレルですから、わずか 20 リットル（＝ 20000cc）で 1000 億ベクレルに達してしまいます[*1]。

高濃度の放射能汚染水は、おそらく 20 リットルをはるかに超える量あるでしょうから、それを周囲に漏れ出させるよりは、1 万トン（1000 万リットル）の比較的汚染

[*1] 数百万＝ 500 万だとしましょう。すると、500［万ベクレル/cc］× 20000［cc］＝ 1000［億ベクレル］ですから、本文にあるように、わずか 20 リットル（＝ 20000cc）で同じ放射能に達することがわかります。

度の低い水を海に放出してでも「保管場所」を確保しよう —— 東京電力はこう判断したのでしょう。汚染度が低いとはいっても、原子炉等規制法で定められた海水での濃度基準の 100 倍ほどでした。

「ベクレル」という単位は、放射性セシウムに関しても、ニュースのなかで次のように出てきます。

- 水揚げされたコウナゴから、食品衛生法の暫定規制値（1 キログラムあたり 500 ベクレル）を超える 570 ベクレルの放射性セシウムが検出された。
- 牛肉から食品衛生法の基準値を 10 ベクレル上回る 1 キロ当たり 510 ベクレルの放射性セシウムが検出された[*2]。
- 政府は、水田の土壌 1 キログラム当たり 5000 ベクレルを超える放射性セシウムが検出された場合に、コメの作付け制限を発動すると発表した。

いずれも 1kg あたりの放射能を取り上げています。ですから、たとえば最初のニュースに出ているコウナゴを仮に 10 グラム食べたとすると、570 ベクレルの 1/100、5.7 ベクレルぶんの放射性セシウムを身体の中に取り込むことになります。

[*2] この件は後日、牛肉の入った容器を包んでいたポリ袋が放射性セシウムで汚染されていて、それが検査の過程で牛肉についた可能性が高い、と厚生労働省によって発表されました。

注意したいのは、「ベクレル」という単位で表わされた数値は、放射性物質がどのくらいの量あるかを知る目安にはなりますが、その放射性物質から出ている放射線がどの程度かを示すものではない、ということです。

放射性物質から遠ざかれば、届く放射線が弱まります。距離が 2 倍になれば 1/4 に、距離が 3 倍になれば 1/9 にというぐあいに、距離の二乗に反比例して弱まっていきます。ですが、放射能は減っていません。このことからも、放射能の強さと、放射線の強さとは別物だということがわかります。

また、放射能が同じでも、放射性物質を容器に入れてしまうことで、放射線があまり出てこないように、あるいはまったく出てこないようにすることができます。このときも、放射能自体は変わっていません。

ここにあげた二つの方法は、放射線からの影響を小さくするために、放射性物質から「遠ざかる」、放射性物質を「閉じ込める」というものです。これに、放射性物質から影響を受ける時間を「短くする」を加えた三つが、放射線から身を護る基本です。

1.5　放射線と、グレイ

放射能をもった物質から出る放射線には、いくつかの種類があります。おもなものは、α（アルファ）線、β（ベータ）線、γ（ガンマ）線です。

これらの放射線が人体にあたると、さまざまな影響が生じます。その影響の度合いを知るには、あたっている放射線からどれだけのエネルギーを吸収するか知る必要があります。吸収するエネルギーが多ければ、それだけ影響は大きく、人体は大きなダメージを受けることになります。

そこでまずは、人体という特別な場合からいったん離れて考えることにしましょう。

水や空気など物質がある場所に置かれて放射線を浴びているとき、その物質が 1kg あたりに吸収するエネルギーを「吸収線量」と呼びます。単位は J/kg です[*3]。

J は「ジュール」と読みます。エネルギーの単位で、おなじみの単位「カロリー」との間に、1J = 0.24 カロリーの関係があります。ただ、吸収線量はよく使う考えですから、その単位に独自の名前があったほうが良いというわけで、「グレイ」という単位名が作られ、Gy と書くことになっています。1Gy = 1 J/kg です。

テレビなどの電気機器について「消費電力が 100W」のように言いますね。この W（ワット）という単位は、「1 秒あたりのエネルギー」を意味する J/s に、「ワット」と

[*3] このときには、放射線の源がヨウ素 131 かセシウム 137 か、その放射能が何ベクレルかなど、放射性物質の種類や放射能の強さは関係ありません。またあたっている放射線が α 線か β 線かなど、放射線の種類（線種）も関係ありません。あたっている放射線から吸収されるエネルギーだけに注目します。

いう名前をつけ、W と書くことにしたものです。Gy という単位も、これと同じようにして作られたのです。

ちなみに単位名「グレイ」は、イギリスの物理学者ルイス・ハロルド・グレイ（1905 – 1965 年) にちなんでつけられたものです。彼は、放射線が生物にどのような影響を与えるかについて研究し、放射線生物学という研究分野を作り出しました。

水や空気に同じだけの放射線を浴びせても、水か空気かによって吸収線量の値が変わってきます。ですから、「空気吸収線量」「水吸収線量」のように、物質の名前とセットで表わされます。

物質が長い時間、放射線にさらされれば、それに応じて吸収線量は増えていきます。でも、放射線の強さがその間ずっと一定とは限りません。そこで、時間を区切って、「1 時間あたりの吸収線量」を考えます。毎時、何グレイのエネルギーを吸収するかを示すもので、単位は Gy/h となります。h は、hour（時間）を意味します[*4]。

そして、Gy/h という単位で表わされる「1 時間あたりの吸収線量」を「吸収線量率」と言います。末尾に「率」をつけるのです。

[*4] 自動車の走行距離は、長い時間走るほど増えていきます。走る速さが一定とは限りませんから、1 時間あたりに何キロメートル進む早さかを考えて、○ km/h（時速○キロメートル）と言います。Gy/h は、これと同じような考えに基づいています。

たとえば、放射線が飛び交っている地点で、そこにある空気が、1 キログラムあたり、1 時間に 250 ジュールのエネルギーを放射線から吸収したとしましょう。このとき、その場の空気の吸収線量率は 250 グレイ/時（250Gy/h）です。

これを言い換えると、その場で飛び交っている放射線は、空気 1kg に対し、1 時間あたり 250J のエネルギーを吸収させるだけの強度をもっている、ということになります。こう考えると、ある地点の「空気吸収線量率」は、その地点（空間）の放射線の強さを示すことになります。その意味で、「空気吸収線量率」を「空間線量率」ということもできます。

ある地点での空間線量率（空気吸収線量率）は、その地点での放射線の強さを表わす指標なのです。

このたびの原子力発電所の事故に伴い、たとえば茨城県では県内各地の「空間線量率」をリアルタイムで発表しています。そのデータによると、たとえば 4 月 6 日の午後 2 時 30 分には、ひたちなか市馬渡で 250 ナノ・グレイ/時（毎時 250 ナノ・グレイ）でした。これは、ひたちなか市馬渡の測定地点を飛び交っていた放射線は、その場にある空気に対し、1kg あたり、1 時間に 250 ナノ・ジュール（250 × 0.000 000 001 ジュール）のエネルギーを吸収させるだけの強さをもっていた、ということを意味します。

1.6　放射性物質は、風で運ばれる

図 1.4 を見てください。赤の線は、2011 年の 3 月 20 日から 4 月 9 日までの、茨城県水戸市での放射線量の変化を示しています。それとは別に、下のほうに青い線が 2 本あります。今回の原子力発電所の事故が起きる前には、この 2 本の線の間で放射線量が変化していた、ということを示す線です。

縦軸に 0 から 1 まで、0.1 刻みで書かれている数値の単位はマイクロ・グレイ/時です。「マイクロ」が付いていますので、上端の 1 のところが 0.000 001 グレイ（100 万分の 1 グレイ）ということになります。

このグラフからわかるように、青い線で示された通常の時よりも明らかに放射線量が増えています。言うまでもなく、福島第一原子力発電所で大きな事故が起きたせいです。

ただし、事故を起こしている原子力発電所から出た放射線が、直接に水戸市まで届いているわけではありません。水戸市は、福島第一原子力発電所から 100 キロ・メートル以上も離れています。

ですから、原子力発電所で事故が起きて以降に水戸市で観測されている高い空間線量率は、事故を起こした原子力発電所から出た放射性物質が、水戸市まで飛んできて落下

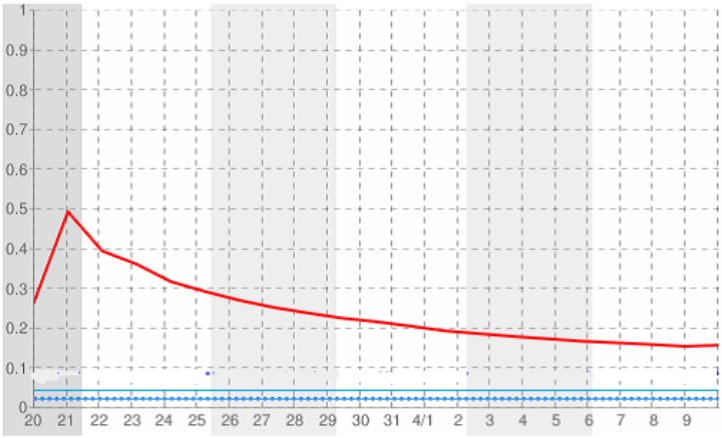


図 1.4　茨城県水戸市での、2011 年 3 月 20 日〜4 月 9 日の空間放射線量率（1 日の最大値）の変化。ウエブサイト「全国の放射能濃度一覧」掲載のものを一部改変。

し、地面や建物、植物などの上に降り積もったり、あるいは空気中に漂ったりして、それらが放射線を出しているせいなのです。

事故を起こした原子力発電所から放射性物質があちこちに飛び広がっていく様子は、噴火した火山から火山灰が飛び広がっていく様子と似ています。風が吹けば、風下に飛んでいきます。空の高いところまで上がれば、上空の偏西風などに乗って、思いのほか遠くまで飛んでいきます。

テレビのニュースなどで、原子力発電所付近の風向きや風の強さが報じられるのは、このような事情があるから

です。

放射性物質は風に乗って飛んでくるのですから、一般的には、事故を起こした原子力発電所から遠いほど、到着するまでに時間がかかりますし、降ってくる量が減ります。

とはいっても現実には、半径 10km、20km、30km などの同心円をなして減っていくわけではありません。風のようすや地形などによっては、ある特定の方角にずっと遠くまで放射線量の高い地域ができたり、周囲に比べ明らかに放射線量の高い地域（こうした地域をホットスポットと言います）がポツリポツリとできたりします。

天候の影響も受けます。雨が降れば、上空で漂っていた小さな火山灰が雨といっしょに降ってくるように、放射性物質も雨といっしょに落ちてきて、地上での放射線量がぐっと大きくなります。

図 1.5 は、茨城県水戸市で空間放射線量率が日ごとに変化している様子を示したものです。ところどころで、ピッと跳ね上がっています。これは、空気中にあった放射性物質が雨もしくは雪といっしょに降り落ちてきたためです。

1.7　自然放射線

図 1.5 は、じつは 2008 年 4 月から 3 月までの 1 年間のものです。（グラフの横軸のところに、ほんとうは日付があるべきなのですが、意図的に書きませんでした。）です

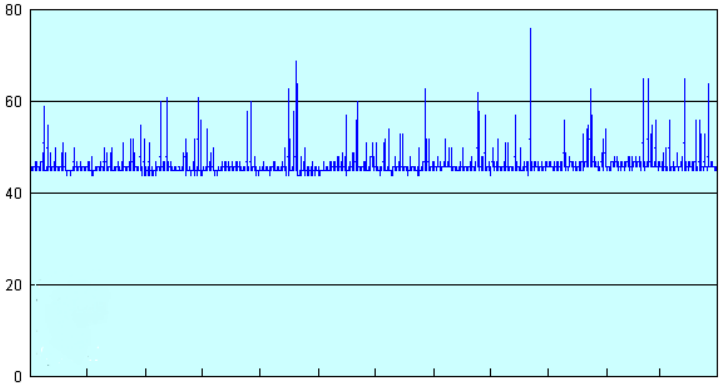


図 1.5　茨城県水戸市での、空間放射線量率の日ごとの変化。縦軸の単位は、ナノ・グレイ/時。ウエブサイト「日本の環境放射能と放射線」掲載のものを一部改変。

から、今回の福島第一原子力発電所で事故が起きる前のものです。それなのに、空間放射線量率がゼロではありません。おおむね 45〜50 ナノ・グレイ/時ぐらいの値を示しています。

どうしてかというと、「自然放射線」があるからです。

自然放射線は、「宇宙の中の地球」という自然環境に由来するもので、私たちがこの地球に住むかぎり避けることのできないものです[*5]。

自然放射線の一つは、空から降り注ぐ宇宙線です。浴び

[*5] 自然放射線に対し、医療で使う放射線や原子力利用に伴う放射線など、人間の活動に伴って発生する放射線を「人工放射線」と呼びます。

る線量は、地球上の緯度や地表からの高さによって変わります。また、地球自体がウランなどの放射性元素をもっており、土壌や岩石などから出る放射線を私たちは常に浴びています。

1.8　放射線の人体への影響と、シーベルト

それでは、人間が放射線を浴びたときの影響について考えましょう。さきに、「吸収するエネルギーが多ければ、それだけ人体は大きなダメージを受けることになります」と書いたのですが、じつは、それほど単純ではありません。

まず、放射線には α 線、β 線、γ 線などの種類があり、同じエネルギーでも身体に与える影響が違います。たとえば α 線は、β 線や γ 線に比べ約 20 倍のダメージを身体に与えます。

また、身体の組織や臓器によって、同じ放射線を浴びても、ダメージを受ける程度が違います。たとえば、肺や乳房は皮膚の 12 倍、肝臓や甲状腺は 4 倍、影響を受けやすいのです。

そこで人体への影響を考えるときには、吸収線量（1kg あたり吸収する放射線のエネルギー）に「ある値」（たとえば、α 線は β 線や γ 線より 20 倍危険だから、20 という

値）をつぎつぎに掛け算していくことで、これら多様な面を考慮に入れます。

こうして得られた値は「実効線量」と呼ばれ、放射線の人体への影響を考えるときにはこれが用いられます。その単位は、吸収線量に数値を掛け算しただけですから、吸収線量と同じ Gy（＝ J/kg）でいいのですが、これでは吸収線量と区別がつきません。そこで実効線量には「シーベルト」という単位を用います。記号は Sv です[*6]。

シーベルトという単位は、放射線からの防護に関して大きな功績を残したスウェーデンの物理学者、ロルフ・マキシミリアン・シーベルト（1896–1966 年）にちなんだものです。

吸収線量の時に、時間を区切って「1 時間あたりの吸収線量」を考え、「吸収線量率」と呼びました。実効線量についても同じように、「1 時間あたり」など時間を区切っての実効線量を考えることがあります。そのときは実効線量率となり、Sv/h という単位で表わされます。

[*6] この「実効線量」のほかに「等価線量」などもありますが、話が複雑になりますので、省略します。

1.9　α 線に注意

さきほど、人体への影響という点で、α 線は β 線や γ 線に比べ 20 倍危険だと言いました。なぜかというと、α 線は、紙でも遮ることができるほどに物体を貫き通す力（透過力）が弱いからなのです。

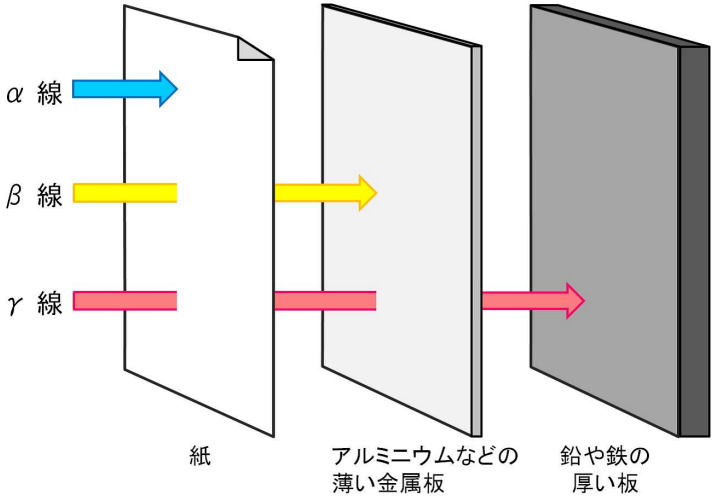


図 1.6　α 線、β 線、γ 線の透過力

図 1.6 に示したように、γ 線がもっとも透過力が強く、鉛や鉄の厚い板でないと遮ることができません。このことから、γ 線がもっとも “強烈” で “危険” という感じを受けるかもしれません。でも、人体への影響という点からは、

そう単純ではないのです。

簡単に遮られるということは、ごく短い距離を通過するうちにエネルギーの全てを失い、止まってしまうということです。α線を遮った物体の側から言うと、ごく狭い範囲でエネルギーのすべてを受け取るのです。α線を遮る物体がもし人体であれば、身体のごく一部で多くのエネルギーを受けとめることになります。ですから、α線による障害は大きく現われるのです。

α線を出す放射性物質には、ラドンやプルトニウムなどがあります。

第 2 章

人への影響

2.1　確定的と確率的

人間が放射線を浴びたときの身体への影響には、二つのタイプがあります。

一つは、ある程度以上の放射線を浴びると必ず、つまり「確定的に」現れるタイプのものです。別の言い方をすると、ある程度以下の放射線であれば障害が現れない、そういう境目があるということです（図 2.1 左）。この境目の値を、閾値（いきち）と言います。（閾とは、敷居（しきい）（部屋を仕切るために敷く横木）という意味です。）

そして、影響が現われるとなれば、その大きさ（障害の重大さ）は、浴びた放射線の量によって変わります。

たとえば、7〜10 グレイの放射線を身体の広い範囲に、

ごく短時間に浴びると、100% の人が死亡します。3〜5 グレイのときは 50% と死亡率は下がりますが、亡くならないまでも、骨髄や皮膚など身体のあちこちに重大な障害が現れます。

また今年 3 月 24 日に、福島第一原子力発電所で作業をしていた人たちのうち 2 人が、放射能を帯びた水に足がつかり、大きく被曝するという事故が起きました。「ベータ線熱傷」の可能性もあるというので、急いで病院に運ばれました。幸い、その後のニュースによると、熱傷の症状は出ず、3 月末に退院されたそうです。

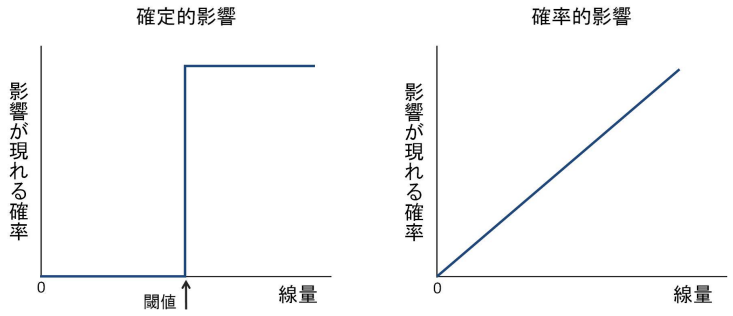


図 2.1　浴びた放射線の量と、障害が現われる確率とのおおよその関係。

もう一つのタイプは「確率的影響」と呼ばれるものです。放射線を浴びたことによって誘発されるがんがこのタイプで、多くの放射線を浴びるほど、障害（がん）の現れる確率が大きくなります。逆に、浴びた放射線の量が少なけれ

ば少ないほど、がんになる確率が小さくなっていきます。でも、先の「確定的影響」のように、放射線の量がある値より小さければ障害（がん）が現れない境目（閾値）があるかというと、それはありません（図 2.1 右）[*1]。

2.2　がんになる確率は？

では、放射線を浴びたとき、それが原因でがんになる確率はどのくらいなのでしょうか。

「国際放射線防護委員会」（ICRP）[*2]という、研究者たちの組織があり、放射線防護の基本的な考え方や、防護基準、防護の方法などについて検討し、結果を勧告や報告として発表しています。その ICRP では、これまで積み重ねてきた調査・研究をもとに、一度に 1 シーベルトの放射線を浴びると、がんで亡くなる人が 5% 増加するとしています。浴びる放射線の量と、がんになる可能性（確率）とが

[*1] 確率的影響の場合に閾値があるかどうかについては、じつは研究者の間でも意見の違いがあります。また研究者の中には、「ごく少量の放射線ならば、むしろ有益なのではないか」（ホルムシス説）という人たちもいます。でも ICRP（次節を参照）は、少なくとも現在は、閾値はないという立場をとり、ホルムシス説も否定しています。なお、放射線を浴びたことにより遺伝的影響が生ずることは、広島や長崎の被爆者の調査でも見出されていません。また、放射線による障害は「伝染する」ものでもありません。

[*2] ICRP は、International Commission on Radiological Protection の略です。

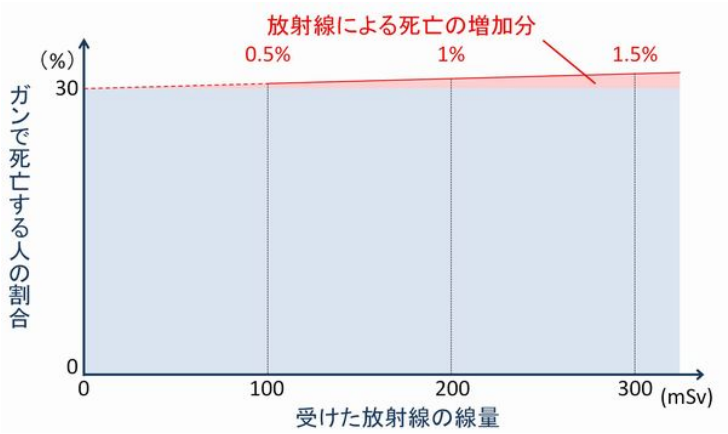


図 2.2　放射線によるがんの増加。［放射線医学総合研究所 2011］を参考に作成。

比例すると仮定すれば、100 ミリ・シーベルトの放射線で 0.5% の増加となります。

日本では、がんで亡くなる人がもともと約 30% いますので、1000 人の人がいれば、そのうち 300 人ががんで亡くなります。仮に、この 1000 人が 100 ミリ・シーベルトの放射線を浴びたとすれば、がんで亡くなる人が 5 人（1000 人の 0.5%）増えて、305 人となります。

2.3　線量限度

日本でもこの ICRP の勧告に基づき、「これ以上の放射線を浴びるとまずい」という限度（これを線量限度といい

ます）を、実効線量について、おおよそ次のように定めています。

- 職業人は、1 年あたり 50 ミリ・シーベルト、かつ 5 年間で 100 ミリ・シーベルト
- 一般の人は、1 年あたり 1 ミリ・シーベルト

「職業人」というのは、原子力発電所で働く人や、医療業務で放射線を利用する人などで、「一般の人」とはそれ以外の人です。

線量限度には、自然放射線や、医療で受ける放射線などによるものは含みません。それらは、この 1 ミリ・シーベルトの枠外です。

なお、上記の線量限度は、原子力発電所での事故などがない、平時のものです。何らかの事故が起きてしまった場合には、別の基準のもとで様々な対策を講じ、少しでも早く平時の状態に戻すことになります。別の基準とは、次のようなものです。

- 緊急事態期：事故による被曝量が、1 年あたり 20〜100 ミリ・シーベルトを超えないようにする
- 事故が収束した後の復旧期：1 年あたり 1〜20 ミリ・シーベルトを超えないようにする

福島第一原子力発電所の事故が収束しないかぎりは緊急事態期であり、「計画的避難区域」の設定にあたっては、20

ミリ・シーベルトの値が用いられています。

2.4　放射線量を積算してみる

このたびの原子力発電所の事故は、私たちの健康にどのような影響を与えるのでしょうか。それを考えるには、ある瞬間に浴びる放射線の量ではなく、毎日浴びる放射線が積もり積もってどのくらいの量になるのか、その積算量（累積量）を考える必要があります。

一般の人の線量限度が「1年あたり 1 ミリ・シーベルト」だというのですから、浴びる放射線の量を1年ぶん積算する必要があります。

図 1.4 に日々の変化が示されている水戸市の場合で考えてみましょう。2011 年 4 月 9 日の空間線量率は、最大値で 0.157 マイクロ・グレイ/時でした。

空間線量の場合は、グレイ＝シーベルトとすることができます[*3]。そこで、仮にこのままの状態がこの先 1 年間続くとすると、0.157［マイクロ・シーベルト/時］× 24［時間/日］× 365［日］＝ 1375.32［マイクロ・シーベルト］ですから、1 年間の実効線量が 1.38 ミリ・シーベルトとなります。

[*3] 空間線量を調べるのにガンマ線を測定しますので、1.8 節（18 ページ）に出てきた「ある値」が 1 なのです。

ただし、この値には、自然放射線の分が含まれています。水戸市では、原子力発電所の事故が起きる前に空間線量率がおおむね 45〜50 ナノ・グレイ/時でしたから、仮に自然放射線が 45 ナノ・グレイ/時（つまり 45 ナノ・シーベルト/時）だとすると、これの 1 年分は、45［ナノ・シーベルト/時間］× 24［時間/日］ × 365［日/年］ = 394200［ナノ・シーベルト/年］より、約 0.39 ミリ・シーベルトとなります。さきの 1.38 ミリ・シーベルトから、この 0.39 ミリ・シーベルトを差し引くと、1 年あたり 0.99 ミリ・シーベルトとなります。健康への影響を考えるには、この値と、1 年あたり 1 ミリ・シーベルトという線量限度とを比べることになります。

この値は、2011 年 4 月 9 日の線量（図 1.4 参照）がこのまま続いたら、という仮定のもとでの計算です。減少傾向がこのまま続いていけば、この先 1 年間の積算線量は、これよりずっと少なくなるでしょう。また、一日のうちかなりの時間は家の中にいるでしょうから、人が実際に浴びる放射線量はさらに小さくなります。

もっとも、この先、原子力発電所から再び放射性物質が大量に大気中に放出されるようなことがあれば、先に計算した結果より増えるかもしれません[*4]。

[*4] ここでの説明は、線量を積算する方法について示すためのものです。結果（数値）だけを一人歩きさせることのないようお願いします。

2.5　被曝を減らすには

放射線から身を護るには、放射性物質から「遠ざかる」、放射性物質を「閉じ込める」、そして放射性物質から影響を受ける時間を「短くする」の 3 つが基本でした（第 1.4 節（10 ページ））。

事故を起こした原子力発電所から待避する、放射線量の大きいところに近づかないなどは、「遠ざかる」に対応します。放射能を含んだ雨に濡れたときは、シャワーで身体を洗い流し、着替えます。これも「遠ざかる」の一つです。身体から放射線の源を「遠ざける」と言ってもいいでしょう。

放射線量の大きい地域では、「屋内待避」が求められることがあります。これは、「閉じ込める」の例とも言えましょう。あちこちの土の上などに降り積もった放射性物質を「閉じ込める」ことが現実的に無理なので、やむを得ず人間のほうが家の中に閉じ込もることで、浴びる放射線の量を少しでも減らそうというのです。外に比べ、車の中なら 8 割、木造家屋の中で 4 割、コンクリートの建物の中で 1 割にまで減少するというデータもあります。

放射能を帯びた雨に濡れてシャワーを浴びるなら、できるだけ速やかに。これは放射線の影響を受ける「時間を短くする」ことになります。

2.6　身体の内にも目を向けよう

「放射線を浴びる」といったとき、私たちはふつう、身体の外側から放射線を浴びることを考えます。レントゲン撮影がそうですし、今回のように原子力発電所で事故が起きたときも、そうでしょう。

でも実は、身体の内側から浴びる放射線にも十分に注意する必要があります。身体の外から放射線を浴びることを「外部被曝」と言います。それに対し身体の内側から放射線を浴びることを「内部被曝」と言います。

さきに、線量限度の値を示しました。一般の人の場合、1 年あたり 1 ミリ・シーベルトでした。この値は、外部被曝と内部被曝を合わせての値です。

身体の内側からの被曝が起きるのは、私たちが放射性物質を身体の中に取り込んでしまった場合です。空気を吸い込むのといっしょに、漂っていた放射性物質を身体の中に取り込んだり、食べ物や飲み物のなかに含まれていた放射性物質を取り込んだり、といった場合です[*5]。

外部被曝の場合は、「遠ざかる」「閉じ込める」「時間を短くする」という 3 つの対処法があります。ところが内

[*5] このほかに、皮膚から、あるいは傷口から血流に浸入する場合もあります。

部被曝の場合は、放射線の源が身体の中に入ってしまうのですから、遠ざかる（遠ざける）こともできなければ、閉じ込めることも、時間を短くすることもできません。しかも、放射線の源と、放射線を受けとめる身体との距離が、ゼロです。内部被曝は、外部被曝に比べ、ずっと厄介なのです。

吸い込むことによる体内被曝を避けるためには、

- 放射線量の高い地域（放射性物質の多い地域）から待避する
- 小さな塵などを吸い込まないよう、マスクをする
- 建物内に待避して、窓を閉め切り、換気扇も目張りする
- やむを得ず外出するときは、車に乗って移動する

といった対処をする必要があります。放射性物質は多くの場合、塵などに附着して飛散しているからです。

2.7　体内にも「自然放射線」の源

第 1.7 節（16 ページ）で、私たちがこの地球に住むかぎり避けることのできない自然放射線について説明しました。

この自然放射線の源は、私たちの身体の中にもあります。代表的なものは放射性のカリウム 40 です。

人間の身体には、体重 1kg あたり約 2g のカリウムが含まれており、その 0.0117%（カリウム原子 1 万個につき 1 個の割合）が放射性のカリウムです。このカリウムの出す β 線と γ 線により、人は平均して 1 年間に 170 マイクロ・シーベルトの放射線を受けています。

わたしたち人間にとっての三大栄養素といえば、炭水化物と、脂肪、たんぱく質です。他方、植物にとっての三大栄養素は、窒素、リン、カリウムです。ですから、私たちが食べる野菜などにもカリウムが豊富に含まれており、それらカリウムの約 0.01% が、放射性カリウムなのです。

この放射性カリウムによる被曝は、「1 年あたり 1 ミリ・シーベルト」という限界線量の中には含まれません。私たちが注意しなければならない内部被曝は、これ以外の食べ物や飲み物、あるいは呼吸を通して体内に入ってくる放射性物質からの被曝です。

ちなみに、日本に暮らす人が 1 年間に浴びる自然放射線の量は、宇宙線によるもの、大地からの放射線によるもの、食べ物からのものなどを合わせて、約 1.4 ミリ・シーベルトです。

2.8　環境中での、放射性物質の循環

原子力発電所が事故を起こして、ひとたび放射性物質が外に放出されると、それは様々な経路を通って人間に到達

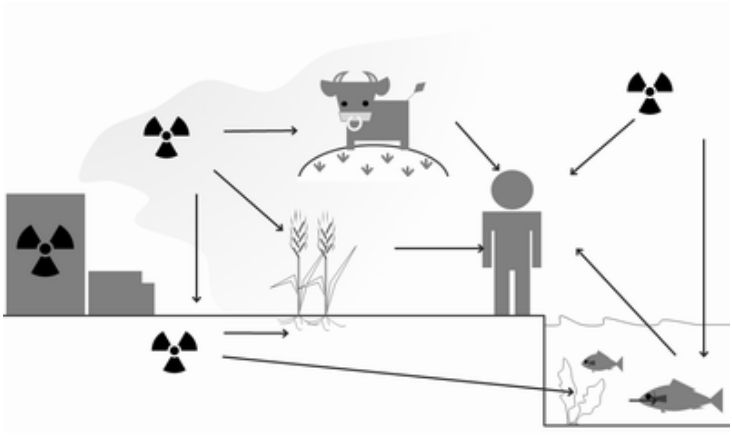


図 2.3　放射性物質が私たちの口に入るまでの、様々な経路。［草間朋子, 1991］p.105 の図を参考にして作成。

します。

風で運ばれた放射性物質は、田んぼや畑の作物にも降りかかります。また土の中に含まれた放射性物質が、作物の成長とともに根から作物の中に吸収されます。その結果、それらの作物を食べた私たちの身体の中にも、放射性物質が入り込んできます。

牛乳を介して、私たちの口に放射性物質が入ることもあります。牛が、放射能で汚染された牧草を食べるなどして取り込んだ放射性物質が、乳の中に出てくるのです。

また、地上に降り注いだ放射性物質は、やがて海に流れ込みます。それが海藻に取り込まれ、あるいは魚に取り込

まれ、やがて私たちの口に入ります。放射能で汚染されたプランクトンを小さな魚が食べ、その小さな魚を大きな魚が食べる、ということを繰り返していくうちに、一匹あたりの魚に含まれる放射性物質の量が増えてもいきます。

食べ物や飲み物を通しての内部被曝を避けるには、放射性物質で汚染されたものを食べたり飲んだりしないようにするしかありません。

2.9 「ただちに健康に影響があるレベルではない」

2011 年の 3 月 19 日のことです。茨城県北部で栽培されていたホウレンソウから、食品衛生法で定められた暫定基準値（1kg あたり 2000 ベクレル）を超える、6100〜15020 ベクレル/kg の放射性ヨウ素 131 が検出されたというニュースがありました。また、福島県の農場で採取された原乳からも、基準を超える放射性ヨウ素 131 が検出されました。そして、いずれも出荷制限の措置がとられました[*6]。

この時以来、「ただちに健康に影響があるレベルではない」という発表をたびたび聞くようになりました。これは

[*6] これらの措置は、その後、解除されたり、対象地域がもっと限定されたりしました。

どういう意味なのでしょうか。

放射性ヨウ素 131 の濃度が最も高かったホウレンソウ（1 キロ・グラムあたり 15020 ベクレル）を、1 日に 50 グラム（おひたし 1 皿にほぼ相当します）食べたとしましょう。このときの被曝は、0.0165 ミリ・シーベルトとなります（付録 1 参照）。そして、これだけの放射能で汚染されたホウレンソウを毎日食べ続けたとすると、約 60 日で、ほぼ 1 ミリ・シーベルト被曝することになります。もし規制値ぎりぎりの 2000 ベクレル/kg であれば、50 グラムのおひたしを 450 回食べないと、1 ミリ・シーベルトに達しないのです。長期間にわたって食べ続けない限り、健康に影響があるほどの被曝量には達しません。

「ただちに健康に影響があるレベルではない」という表現は、こうした意味で使われています。「影響が出るのは、20 年も 30 年もたってから」という意味ではないことに注意してください*7。

ところで、体内に取り込まれた放射性物質は、種類によっては特定の臓器に集まる性質があります。たとえば放射性ヨウ素は、70〜90% は体外に排泄されますが、10〜30% は甲状腺に集まります。

甲状腺は首の付け根付近にあって、甲状腺ホルモンを

*7 上の説明では、じつは、厳密に考えるべきところを単純化して示しています（付録 1 参照）。ですが、「ただちに・・・ではない」の意味については、お伝えできていると思います。

作っています。そのホルモンを作るのにヨウ素が必要なのですが、甲状腺には、放射性のヨウ素も放射性でないヨウ素も区別がつきませんから、甲状腺は放射性ヨウ素もせっせと自分の中に取り込みます。その結果、放射性ヨウ素が甲状腺に集中してしまうのです。

しかも甲状腺は、大人でも左右の 2 つを合わせて 20g ぐらいという小さな臓器です。このこともまた、放射性ヨウ素の影響を大きくする要因となります。

放射性ヨウ素による体内被曝を避けるには、放射性ヨウ素で汚染された食べ物を口に入れないというのが基本です。

原子力発電所で重大事故が発生したときなど緊急事態に際しては、「ヨウ素剤」の服用を指示されることがあります。甲状腺を放射性ではないヨウ素で満たしてしまい、放射性ヨウ素が甲状腺に集まるのを防ごうというのです。でもヨウ素剤を服用すると、甲状腺の障害やアレルギーなど副作用を起こすことがあります。そもそも服用する必要があるかどうかも見極める必要があります。ですから、ヨウ素剤の服用については専門家の指示に従うことが大切です。

2.10　これからは

放射性物質のもつ放射能は、種類をとわず、時間がたつにつれて弱まっていきます。その弱まり方には決まりがあって、放射性物質の種類によって決まった、ある期間ごとに、半分ずつに減っていきます。

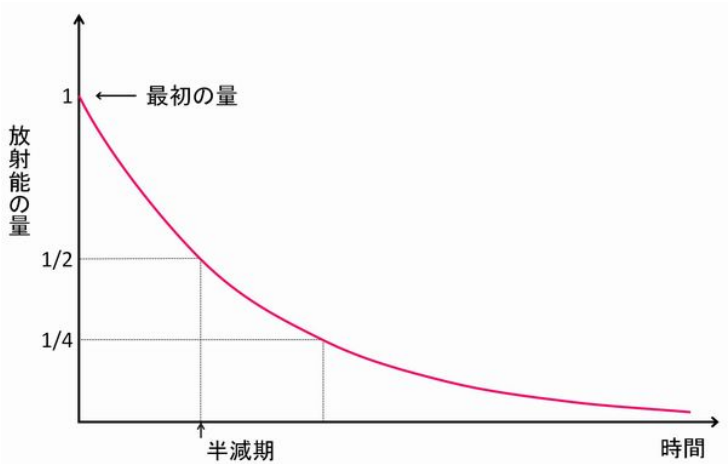


図 2.4　放射能が、時間がたつにつれ弱まっていくようす。

半分に減るのにかかる期間を半減期といいます。放射性ヨウ素の半減期は約 8 日です。16 日後には 1/4、24 日後には 1/8 と減っていき、3 ヶ月も経てば 1/2000 以下になります。このため、「放射性ヨウ素が検出された」というニュースは、次第に減っていくと思われます。逆に言う

と、「放射性ヨウ素が検出された」というニュースがあるうちは、事故を起こした原子力発電所から、まだ放射性物質が漏れ出ているという可能性にも注意する必要があるでしょう。

事故を起こした原子力発電所からは、ヨウ素 131 以外の放射性物質も外に放出されました。

その一つが放射性セシウムです（第 1.4 節（9 ページ）参照）。セシウムは、身体の中に取り込まれると、10 %ほどはすぐに排泄されるのですが、残りは 100 日以上、身体の中に留まります。ても、特定の臓器に集中することはありません。

放射性セシウムには、セシウム 134 とセシウム 137 があります。このうちセシウム 134 は半減期が 2 年ですが、セシウム 137 の半減期は 30 年と長く、60 年たっても 1/4 までしか減りません。土の表面近くにたまる傾向があり、植物の根から吸収されて私たちの口に入る可能性があります。そのため、農作物の作付を制限したり、放射能で汚染された土壌を入れ替えるなど、適切な対応をとる必要があります。

放射性ストロンチウムも検出されました。3 月 16 日と 17 日に、原子力発電所から 30 キロメートルあまり離れた地点の土からストロンチウム 90 が、3.3〜32 ベクレル/kg 検出されたのです。ストロンチウム 90 は半減期が 29 年とかなり長く、身体の中に入ると、カルシウムと似た性質

をもつため骨に集まります。

このほかに、ごく微量のプルトニウムが福島第一原子力発電所の敷地内で検出されたという報道が、3 月の末にありました。プルトニウムにもいろいろな種類がありますが、使用済みの核燃料の中でもっとも多い（約 6 割を占める）プルトニウム 239 では、半減期が 2 万 4000 年ほどです。α 線を出すことに加え、わずかの量でも大きな放射能を示すこともあって、体内被曝に注意が必要です。

2.11　自然環境への影響

これまでずっと、放射能の「人への影響」について説明してきました。でも、自然環境そのものへの影響は考えなくていいのでしょうか？

たとえば放射性ヨウ素と放射性セシウムについて、原子炉等規制法で、海水 1 リットルあたり 40 ベクレル以下、90 ベクレル以下と決められています。これらの値は基本的に、人間の健康に影響がないようにという観点から決められたものです。

これまでは、影響を受けやすい人間を放射線から護れば、おのずと環境も放射線から護られる、と考えられてきました。でも ICRP は、2007 年の勧告で初めて「環境の防護」という項目を立て、生物多様性や生態系の健全性を保つための方策について研究を開始すべきだとしました。

原子力発電所の事故を早く収束させるとともに、自然環境への影響についても目を向けていく必要がありそうです。

ところで、第 1.2 節（2 ページ）で出したクイズの答をまだ言っていませんでしたね。答は 1000 個です。

「えー、そんなに多いの？」と驚いた人が多いのではないでしょうか。

コップ 1 杯の水に比べ、地球上の海水はものすごく多いですよね。だいたい、7.6×10^{21} 倍もあります。7.6×10^{21} は、22 桁もある、ものすごく大きい数です。

でも、コップ 1 杯の中にある水 H_2O 分子の個数は、それを上回る大きな数で、6×10^{24} 個です。その結果、印をつけた「あの水分子」が 1000 個もコップの中に入ってくるのです。

何ごとにつけ、“感覚” だけに頼ることなく、きちんと計算された値に基づいて判断することが大切、ということでしょう。

付録 1 ：詳細

第 2.9 節（36 ページ）で用いた 0.0165 ミリ・シーベルトがどのようにして出てきたかを記しておきましょう。

第 1.8 節（18 ページ）で、人体への影響を考えるときには、吸収線量（単位グレイ）に「ある値」を掛け算することで実効線量に変換すればよいと言いました。この考えをさらに進めると、放射能の強さ（単位ベクレル）に、もう一つ別の「ある値」を掛け算することで実効線量を求めることができるようになります[*8]。

放射性ヨウ素 131 を食べ物とともに口から摂取したときの「ある値」は、2.2×10^{-8} であることがわかっています。そうすると、放射性ヨウ素 131 の濃度が最も高かった（15020 ベクレル/kg）ホウレンソウを 50g（おひたし 1 皿）食べたとすると、15020［ベクレル/kg］ × 0.05［kg］ × 2.2×10^{-8}［シーベルト/ベクレル］ $=1.65 \times 10^{-5}$［シー

[*8] ここでの「ある値」は、実効線量係数と呼ばれます。

ベルト]、つまり 0.0165 ミリ・シーベルトの放射線を受けることになります。

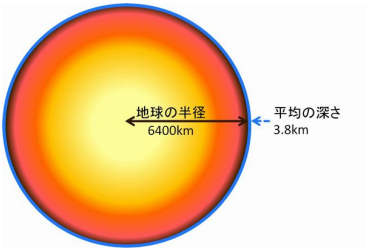
なお、放射性ヨウ素 131 が人体に与える影響をきちんと考えようとすれば、次の点などを考慮に入れる必要があります。

- 放射性ヨウ素は、甲状腺に集中的に集まる性質をもっていること
- 大人にくらべ、子どもや幼児は、放射性ヨウ素から、はるかに影響を受けやすいこと
- 「この値を超えるとまずい」という限界線量を、事故が起きていない平時のもので考えるか、事故が起きてしまった“緊急時”のもので考えるか

付録２：ヒント

まずは、地球上の海水の全量を概算してみましょう。

地球の表面積を S、海の平均の深さを D とすると、海水の体積 V は、$0.7 \times S \times D$ で求まります。0.7 を掛けたのは、地球上の 7 割だけが海で、残りは大陸だからです。地球の表面積 S は、地球の半径を R とすると、$4\pi R^2$ で求まります。



一方、コップ 1 杯の水の体積 v は、約 180［cc］=180［cm^3］です。

水の分子量は 18 ですから、コップ 1 杯の水 180g に含

まれる水分子の個数は、$6 \times 10^{23} \times \dfrac{180}{18} = 6 \times 10^{24}$［個］ほどです。

以上のことから、再びコップですくったときに入ってくる「あの水の分子」の個数は、$6 \times 10^{24} \times \dfrac{v}{V}$ から求まります。

役に立つウエブサイト

インターネット上に様々な情報が提供されています。それらの中から、グラフや図を使っていて視覚的に理解しやすいものを、いくつか紹介します。

全国の放射能濃度一覧 http://atmc.jp/　文部科学省が公表したデータをもとに、全国の放射線量や、関東地域の水道水の放射能濃度、福島第一原子力発電所周辺の海水の放射能濃度、原子力発電所の状況などを、グラフで示しています。ここ数日間の変化の状況を、直感的に知ることができます。

緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（SPEEDI） http://www.nsc.go.jp/mext_speedi/　福島第一原子力発電所から放射性物質がどのように飛び広がっていくかを、1 時間ごとに予測して地図上に表示しています。

日本の環境放射能と放射線 http://www.kankyo-hoshano.

go.jp/　環境中の放射能や放射線についてわかりやすく説明しています。文部科学省が行っている環境放射能調査の結果も見ることができます。

福島大学放射線計測チーム　http://www.sss.fukushima-u.ac.jp/FURAD/FURAD/data-map.html　放射線レベルがどのように分布しているかを調査して、マップで示しています（4 月 9 日掲載）。

日本の自然放射線量のマップ　http://www.geosociety.jp/hazard/content0058.html　自然放射線量のデータと岩石の分布を示す地質図を重ねて表示することで、自然放射線量とその地域の地質の特徴とを関連づけて閲覧できるようになっています。（地図右上にある Overlays のところのチェックを入れたりはずしたりして、表示を変える。）

参考文献

[1] 放射線医学総合研究所「放射線被曝に関する基礎知識　サマリー版　第１号（Ver1.0）」http://www.nirs.go.jp/ 2011

[2] 草間朋子・甲斐倫明・伴 信彦（共著）『放射線健康科学』杏林書院 2000

[3] 草間朋子（編）『ICRP 1990 年勧告　その要点と考え方』日刊工業新聞社 1991

[4] 飯田博美・安齊育郎（共編）『絵とき 放射線のやさしい知識』オーム社 1984

[5] 日本の環境放射能と放射線 http://www.kankyo-hoshano.go.jp/

[6] 全国の放射能濃度一覧 http://atmc.jp/

索引

ICRP, 25, 26, 40
ある値, 18, 28, 43
α線, 10, 18, 20, 21, 40
閾値, 23, 25
宇宙線, 17, 33
確定的影響, 23, 25
確率的影響, 24, 25
火山灰, 15, 16
環境, 33, 40
外部被曝, 31, 32
外部被曝, 31
がん, 24–26
γ線, 10, 18, 20
吸収線量, 11, 18, 19, 43
吸収線量率, 12, 19
緊急事態期, 27
空間線量, 28
空間線量率, 13, 14, 28, 29
空間放射線量率, 16, 17
計画的避難区域, 27
限界線量, 44
甲状腺, 36, 37, 44
暫定基準値, 35
自然放射線, 17, 27, 29, 32, 33
実効線量, 19, 27, 28, 43
実効線量率, 19
人工放射線, 17
積算, 28
線量限度, 26–29, 31
体内被曝, 40
等価線量, 19
透過力, 20
遠ざかる, 10, 30, 31
閉じ込める, 10, 30, 31
内部被曝, 31, 32, 35
濃度, 7
半減期, 38, 40
復旧期, 27
平時, 27
β線, 10, 18, 20
放射線, 10, 23, 31
放射能, 5
ホルムシス説, 25
短くする, 10, 30, 31
ヨウ素, 5, 38, 40
ヨウ素剤, 37
ウラン, 5, 18
カリウム, 32, 33
カルシウム, 39
カロリー, 11
キロ, 3, 4
グレイ, 11
シーベルト, 19
ジュール, 11
ストロンチウム, 39
セシウム, 6, 9, 39, 40
テラ, 1, 4
ナノ, 4

プルトニウム, 21, 40
ベクレル, 5, 9, 10
ホットスポット, 16
マイクロ, 3, 4
ミリ, 3, 4
ラドン, 21
ワット, 11

改訂履歴

誤字の訂正など軽微なものは除いてあります。

1.0 版 → 1.1 版　（2011.4.20）

- 23 ページ：第 2 章の冒頭に節見出し「2.1　確定的と確率的」を追加 → 以下、節の番号が順にずれる
- 28 ページ：空間線量（空気の吸収線量）の場合は → 空間線量の場合は
- 28 ページ脚注：「空間線量を調べるのにガンマ線を測定しますので、」を加筆
- 40 ページ：「化学物質としての毒性」に関する記述を削除し、「わずかの量でも大きな放射能を示すこと」などを加筆

1.1 版 → 1.2 版　（2011.4.29）

- 8 ページ：図 1.3 を追加。以下、第 1 章の図の番号

が順にずれる。

- 37 ページ：放射性ヨウ素による甲状腺への影響を少なくするためにも「バランスのとれた食生活が大切」という趣旨の記述を削除し、緊急時に服用するヨウ素剤についての記述を加筆
- 45 ページ：第 2 段落の語順を一部変更
- 47 ページ：「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（SPEEDI）」を追加
- 52 ページ：索引を追加

CoSTEP（コーステップ）

北海道大学高等教育推進機構 高等教育研究部 科学技術コミュニケーション教育研究部門。英語名称 Communication in Science and Technology Education and Research Program をもとに、CoSTEP と略称。
科学技術コミュニケーター（科学技術の専門家と市民とを橋渡しする人）を養成するなど、科学技術コミュニケーションに関する教育と研究を行なっている。講義に加え“実践を通して学ぶ”ために、サイエンスカフェの開催，科学書籍や科学映像作品の制作、グラフィックデザインなどを行なっている。e-Learning でも学習でき、全国から約 80 名が受講。

もっとわかる 放射能・放射線

2011 年 4 月 18 日　第 1.0 版
2011 年 4 月 20 日　第 1.1 版
2011 年 4 月 29 日　第 1.2 版

著　者　CoSTEP 教育スタッフ
発　行　CoSTEP
北海道大学高等教育推進機構
科学技術コミュニケーション教育研究部門
〒060-0817　札幌市北区北 17 条西 8 丁目
Tel：011-706-5320
Email：office@costep.hucc.hokudai.ac.jp
http://costep.hucc.hokudai.ac.jp