

第 1 章

はじめに

1-1 放射線に関する疑問

2011年3月11日の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所（以下、福島原発とする）事故以来、ほぼ連日、放射線に関するニュースがマスメディア（テレビ、ラジオ、新聞など）で報道されています。にもかかわらず、多くの方々は次のような疑問を持っているのではないのでしょうか？

- ・“放射能漏れ”と“放射線漏れ”と“放射性物質漏れ”はどう違うのか？
- ・放射能の強さと放射線の強さはどう違うのか？
- ・放射線の強さ（放射線量率）と放射線量はどう違うのか？
- ・放射線はどの程度浴びても大丈夫なのか？
- ・10ミリシーベルト（mSv）で本当にがんになるのか？
- ・CTやX線写真を撮っても大丈夫なのか？
- ・チェルノブイリ原発事故の避難民とCTの被ばく量がほぼ同じというのは本当なのか？
- ・チェルノブイリ原発事故で甲状腺がんになった子供は、どの程度被ばくしていたのか？
- ・人間はどの程度の放射線を浴びると死亡するのか？
- ・放射線で死亡したり、がんになったり、逆にがんを殺すことができるのはなぜか？
- ・シーベルト（Sv）とSv/hはどう違うのか？
- ・ベクレル（Bq）とシーベルト（Sv）はどう違うのか？
- ・Bq⇒Svの変換は？
- ・“放射線”と“放射能”と“放射性物質”はどう違うのか？
- ・セシウム（Cs）の ^{134}Cs と ^{137}Cs はどこが違うのか？
- ・ ^{134}Cs と ^{137}Cs ばかりが注目されるのはなぜなのか？
- ・ ^{134}Cs が原爆で検出されないのはなぜか？
- ・ヨウ素（I）の ^{131}I や ^{137}Cs の核分裂の相手はどこに行ってしまったのか？
- ・半減期が短い方が被ばくは少ないのか、多いのか？

- ・ どうして β 崩壊核種は特定されにくいのか？
- ・ モニタリングポストで測定しているのは γ 線だけなのか？
- ・ モニタリングポストで測定しているのは放射線量なのか？
- ・ ラドン温泉に入っても問題はないのか？
- ・ 原子炉が停止されても、冷却し続けるのはなぜか？
- ・ 5重の壁とは何なのか？
- ・ 高速増殖炉は何が“高速”で、何が“増殖”するのか？
- ・ プルサーマルとは何なのか？
- ・ 広島原爆、福島、チェルノブイリ原発事故で放出放射能が最も多いのはどれか？

⋮
⋮
⋮

本書の目的は、これらの疑問に答えることです。

1-2 どこにでもある放射線

人間は誰でも、どこにいても放射線に曝されています。それは、放射線を発生する放射性物質が地球上いたるところに存在するからです。大地に含まれる放射性トリウム (^{232}Th) やウラン (^{238}U)、宇宙で生成されるトリチウム (^3H) や炭素 (^{14}C) から放射線を浴び、呼吸する空気中にあるラドン (^{222}Rn)、そして、食物に含まれるカリウム (^{40}K) からの放射線を除くことはできません(表1-1および「3-1 自然放射線」86ページ参照)。人類はこのような放射線を持続的に浴びながら、生存競争をくぐり抜けて進化してきたわけです。

一方、広島・長崎の原爆投下により長い間放射線障害に悩まされ、亡くなった方々も少なくありません。また、福島原発事故により大量の放射性物質が原子炉から放出され、多くの住民が避難を余儀なくされ、被ばくの影響が心配されています。セシウム (Cs)、ストロンチウム (Sr)、プルトニウム (Pu)、ベクレル (Bq)、シーベルト (Sv) など、一般の人はこれまで聞いたことがないような用語がマスメディアを飛び交っています。

また、医療においては、X線写真(図1-1)やX線CT(コンピュータ断層撮影: 図1-2)、核医学検査(シンチグラフィ: 図1-3、SPECT、PET^{*1}: 図1-4)などの放射線を利用した画像診断が病気の発見と治療方針の決定に不可欠になっており、高エネルギー X線(図1-5)や陽子線、高線量率放射性同位元素(図1-6)を使った放射線治療ががん治療の主役になっています。現代医学において放射線は、欠くことのできない存在になっているのです。

表 1-1 さまざまな放射線被ばく量 (実効線量)

	期 間	被ばく量 (mSv)
胸部X線撮影	1回	0.05
飛行機 (東京⇄ニューヨーク)	1回	0.18～0.2
一般人の人工放射線量限度	1年	1
自然放射線 (日本)	1年	1.5～2
広島爆心地から 12km 地点		2
自然放射線 (世界)	1年	2.4 (1～10)
上部消化管造影	1回	4
屋内退避指示	1年	10
PET 検査	1回	2～20
X線CT	1回	5～30
チェルノブイリ原発事故避難民 (平均)	1986～2005	37
放射線従事者の線量限度	1年	50
胎児 (芽) 異常の最低量	1回	50
広島爆心地から 2km 地点		81
健康被害が証明された最低量	1回	100
チェルノブイリ復旧作業員 (平均)	1986～2005	117
宇宙ステーション滞在	1年	170
福島原発3号機作業員	(事故直後)	173～180
原爆被爆生存者の平均		200
白血球減少	1回	250
急性放射線症	1回	1000
5%致死量、出血・脱毛	1回	2000
50%致死量	1回	4000
99%致死量	1回	7000

「放射線を浴びるか浴びないか」とか、「すべての放射線を排除すべきだ」ではなく、「どのくらい浴びるとどの程度の障害を生じるか」「どの程度までなら許されるのか」「有用な放射線をいかに利用するか」「不要な放射線被ばくをいかに避けるか」という問題なのです。不要な放射線を浴びる必要はないし、いたずらに放射線を恐れる必要もありません。これらを理解するためには、まず放射線とは何かということから知っていただかなければなりません。

- * 1 体内に投与した放射性同位元素が放出する γ 線を体外の検出器 (ガンマカメラ) で撮像する画像診断装置がシンチグラフィ。これを断層像 (CTのような断面の画像) に表示するのがSPECT (single photon emission computed tomography: 単光子放出コンピュータ断層撮影) で、陽電子を放出する核種 (例えばF-18) を使って、消滅放射線の体内分布を画像化するのがPET (positron emission tomography: 陽電子放出断層撮影)。

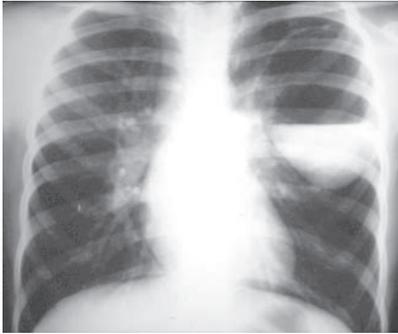


図1-1 胸部X線写真(気管支嚢胞)

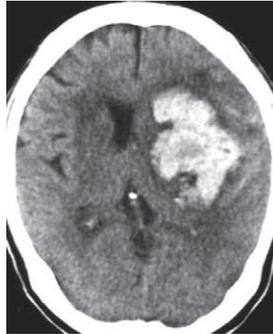


図1-2 頭部CT(脳出血)



図1-3 肺シンチグラム(肺塞栓症)



図1-4 PET(肺がん)



図1-5 放射線治療に使われる直線加速装置(LINAC)
高エネルギーX線と電子線を発生する。



図1-6 放射線治療に使われる高線量率密封線源治療装置(RALS)
→の容器の中に370GBqの放射性イリジウム(^{192}Ir)が
遮蔽格納されている。

2011年3月11日の東日本大震災と津波、そして福島原発事故の時、あなたは何をされていたでしょう。福島原発事故の後を少し振り返ってみましょう。わからない用語があっても、とにかく「1-3 福島原発事故後の空間放射線量率の推移（関東）」（21ページ）と「1-4 福島原発事故後の空中放射性同位元素の推移（関東）」（24ページ）を読んでみてください。

Q1 本文（17ページ）と脚注*1（18ページ）では“シンチグラフィ”、図1-3の説明（19ページ）では“シンチグラム”となっていますが、どう違うのですか？

A1 すばらしい注意力です。シンチグラフィ（scintigraphy）はガンマカメラによる核医学検査を、シンチグラム（scintigram）はその検査で撮影された画像を指します。一般に“～グラフィ（～graphy）”は、その検査あるいは検査装置を指し、“～グラム（～gram）”はその画像（写真）を指します。後者は、“～グラフ（～graph）”とも言われることもあります。例えば、X線（レントゲン）撮影ならびにX線撮影装置は radiography（roentgenography）、X線写真は radiogram（roentgenogram）または radiograph（roentgenograph）になります。

Episode 1 3.11に私は？

2011年3月11日の13時45分頃、私は関西の大学での講義の帰りで、静岡発甲府行きの「特急ふじかわ」に乗っていました。その名の通り、日本3大急流の一つである富士川沿いの急斜面を切り開いて走る身延線というローカル線です。特急とは名ばかり、ゆっくりガタゴトと揺れながら走ります。このガタゴトにマスクされたのか、地震の揺れには全く気付きませんでした。が、電車は次の駅（山梨県に入った最初の駅）で緊急停車し、そのまま動きませんでした。2時間を経ても停止したままなので、折よく駅前に停まっていたタクシーで山梨大学に向かいました。山間の道を抜け、甲府盆地に入ると、停電で交通信号が作動していないので大混乱、大渋滞でした。1万5000円の出費でしたが、結果は正解でした。結局、身延線はその後1週間動かず、さらに9月の集中豪雨による崖崩れで線路が吊り橋状態になり、1年後にやっと再開通しました。崖崩れは、私が3.11の東日本大震災に遭遇した（といっても気付かなかっただけ）場所と、偶然にもほぼ同じ地点でした。

表1-2 東京都新宿区の空間放射線量率
(東京都健康安全研究センター測定)

日付	最大値 ($\mu\text{Gy/h}$)	平均値 ($\mu\text{Gy/h}$)
2011/3/01	0.0461	0.0368
2011/3/14	0.0377	0.0341
2011/3/15	0.809	0.109
2011/3/16	0.161	0.0719
2011/3/17	0.0562	0.0511
2011/3/20	0.524	0.0457
2011/3/21	0.147	0.0969
2011/3/22	0.166	0.137
2011/3/23	0.158	0.146
2011/3/24	0.144	0.137
2011/4/01	0.103	0.0971
2011/5/01	0.0742	0.0678
2011/6/01	0.0632	0.0594
2011/8/01	0.0606	0.0568
2011/10/01	0.0599	0.0560

1-3 福島原発事故後の空間放射線量率の推移 (関東)

福島原発事故後、関東地方のモニタリングポストで測定した空間放射線量率〔放射線量ではない！ Q18 (55ページ) 参照〕は3月15、16日に急上昇し、一旦下がって、3月21日に再び急上昇して、その後は次第に減少していました。例えば、東京都新宿区の3月1日～14日までの空間放射線量率は、毎日の平均が $0.0338 \sim 0.0368 \mu\text{Gy/h}$ 、最大値が $0.0372 \sim 0.0461 \mu\text{Gy/h}$ でしたが、3月15日には平均 $0.109 \mu\text{Gy/h}$ 、最大値が $0.809 \mu\text{Gy/h}$ に急上昇、3月17日には平均 $0.0511 \mu\text{Gy/h}$ 、最大値が $0.0562 \mu\text{Gy/h}$ まで低下しましたが、3月21日には平均 $0.0969 \mu\text{Gy/h}$ 、最大値 $0.147 \mu\text{Gy/h}$ と再び上昇、22、23日をピークにその後、次第に低下しました(表1-2)。

一方、福島原発では、3月14日の23時頃に3号機のメルトダウン(これは後でわかったことですが)が生じ、14日の0時2分に建屋のベント(排気)を開始しましたが、11時01分に水素爆発が生じて、建屋の上部が吹っ飛びました。これによって、大量の放射性物質が空中にばらまかれたわけです(この前にも、12日の15時36分に、1号機の水素爆発で放射性物質がばらまかれています)。放射性物質は、15日未明から午前中にかけて、北風に乗って北

茨城から栃木県北部に、さらに千葉、埼玉、東京上空に達しました。これが、3月15の東京（および関東地方）における空間放射線量率の第1回目の急上昇に符号します。15日の午後から夜には、風向きが西から北西方向へ変わり、福島原発の北西側に大量の放射性物質を落としました。3月20～23日には、再び風向きが南から南東方向となりました。加えて、21～23日の関東地方は雨でした。空中高くを漂っていた放射性物質が雨とともに地表近くに落ちてきたため、第2回目の空間放射線量率急上昇になったわけです。ちなみに、新宿区の空間放射線量率測定モニタリングポストは、地上19.8mの高さに設置されていました。

Episode 2 ラドン温泉と空間放射線量率

今回の福島原発事故後の東京（新宿）のモニタリングポストにおける放射線量率（放射線の強さ）の最高値は $0.809 \mu\text{Gy/h}$ ($\mu\text{Sv/h}$)、1日平均 $0.109 \mu\text{Gy/h}$ でした。天然ラドン温泉として名高い新潟県の村杉温泉のホームページには、線量率計で温泉浴室内を測定している写真が掲載されており、 $0.32 \mu\text{Sv/h}$ を示しています。モニタリングポストで測っているのは γ 線（外部被ばく）であり、ラドン温泉で実際に吸入するのは ^{222}Rn の α 線（ここでの被ばくは、肺に吸入することによる内部被ばく）であることを考慮すると、東京都でのこの日の被ばく量は、ラドン温泉に1回入浴した程度ということでしょう。と話す、聞き手の反応は次の2つに大別されます。

- a) 温泉は好きで行くんだろ。そもそも放射線被ばくを温泉にたとえるなど、不謹慎極まらない（カッカカッカ）。
- b) 1回のラドン温泉と同じと聞いて、気が楽になった（アンシンアンシン）。

どちらの意見も尊重すべきです。が、b)の方の方が長生きするでしょう。この程度の低線量被ばくより、ストレスの方が生命へのリスクが高いからです。

Q2 モニタリングポストはなぜ、こんなに高いところに設置されているのでしょうか？

A2 福島原発事故以前は、少なくとも各県に1か所公式のモニタリングポストがあり、これらは原則として、地上20m付近に設置されています（これ以外に原子力発電所などの原子力施設の周囲には、もちろん多数設置されています）。もともと1950～60年代に行われた核実験を監視する目的で、世界各地に設置されました。核実験場から空中高く漂ってくる放射性物質をとらえるのが目的だったので、このように高い位置に設置されたのです。当時のソ連がひた隠しにしていたチェルノブイリ原発事故（1986年4月26日に発生）に最初に気付いたのはスウェーデンのフォルスマルク原子力発電所ですが、これとともに、ヨーロッパ各国のモニタリングポストの測定異常値がソ連当局に事故を公表させる力になりました。チェルノブイリ原発事故以後、モニタリングポストは日本を含め世界各地で増設されました。しかし、原発事故や核実験の監視が目的で、人間の被ばく量のモニタリングを想定していたわけではない（日本政府も電力会社も日本の原子力発電所は安全で事故はあり得ないと断言していた）ので、高い位置のままです。また、地面に近い位置だと、大地や建物（コンクリートなど）からの放射線や降雨の影響が大きい（空間放射線量率の変化をとらえにくい）という理由もあります。しかし、福島原発事故以後、地上で生活する人間への放射線の影響が専らの関心事となり、地上1m（成人を想定）や50cm（小児を想定）における空間放射線量率を測定して、従来のモニタリングポストの線量率とともに発表するところが多くなっています。

Q3 3月21～23日の降雨で、関東地方の空間放射線量率は急上昇しました。しかし、4月以降は雨が降ると、空間放射線量率はわずかですが一時的に低下しています。なぜでしょうか？

A3 もともと空中を漂ったり、建物や樹木などに付着した、モニタリングポストに近い放射性物質の一部が雨で地表に落ちるので、一時的に空間放射線量率が低下します。放射線量は線源（ここでは放射性物質）からの距離の二乗に反比例するからです。が、モニタリングポストが検出する γ 線は空中を何百メートルも進むので、その差はわずかです。雨が上がると、風や人間の活動（自動車走行など）によって、再び地表の放射性物質が舞い上がって元に戻ります。

1-4 福島原発事故後の空中放射性同位元素の推移 (関東)

千葉市にある日本分析センターでは、放射性同位元素（放射性物質の種類）ごとの空間放射線量率を測定しています〔 α 線と γ 線はそのエネルギーから、核種（同位元素の種類）を特定することができます：Q33（83ページ）参照〕。これによりますと、3月15～21日頃までは、放射性ヨウ素（ ^{131}I 、 ^{132}I ）、キセノン（ ^{133}Xe ）が放射性物質の大半を占めていました。しかし、3月24日には、 ^{131}I 、 ^{132}I と ^{134}Cs がほぼ同量（Sv/h単位で）となり、 ^{137}Cs が続いています。6月14日以降に検出されるのは、 ^{134}Cs と ^{137}Cs だけになってしまいました。つまり、放射線を出す物質は、時間とともに変わっていくのです。これは最初の放出量と半減期、および放射性同位元素の壊変によるものです。と、読み進めた結果はいかがでしたか？ 放射性物質、放射性同位元素、放射線量、放射線量率、 ^{131}I 、 ^{132}I 、 ^{133}Xe 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、Gy/h、Sv/h、半減期、壊変など、馴染みのない用語ばかりでよくわからない、と感じませんでしたか？

そう感じた読者のために、これから説明します。大体理解できたという方でも、最初（「1-1放射線に関する疑問」16ページ）に挙げたような疑問を持っているのではないのでしょうか。第2章からは、もっと詳しく説明していきます。

Q4 18ページの脚注（*1）にあった陽電子、消滅放射線とは何ですか？

A4 原子は原子核〔2-1-2「原子核」（30ページ）参照〕とその周囲を周遊する電子で構成されます。この電子は負（-）の電荷を持っていますが、これに対して正（+）の電荷を有する電子を陽電子（positron）と呼びます。放射性同位元素は通常は α 線、 β 線か γ 線を放出します〔「2-1 電離放射線」（28ページ）参照〕が、まれに陽電子を放出する放射性同位元素があります。例えば、 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{18}F などです。陽電子は通常の世界（われわれが住んでいる世界）には存在できない反物質なので、放出されると直ちに電子と結合して消滅してしまいます。とはいえ、電子と陽電子が消滅するわけですから、この時に双方の質量に相当するエネルギー（0.511 MeV）が放射線として放出されます。これを消滅放射線と呼びます。質量（ m ）はエネルギー（ E ）に換算されるからですね（ $E=mc^2$ ： c は光速）。このような反物質と物質の結合によるエネルギー放出（爆発）を脅迫の手段とした小説（映画にもなりました）が、ダン・ブラウン（Dan Brown）の『天使と悪魔』です。

Episode 3 『天使と悪魔』と『ダヴィンチコード』

ハーバード大学symbology (印象学) のR.Langdon 教授が活躍する『天使と悪魔 (Angels and Demons)』は『ダヴィンチコード (The Da Vinci Code)』の続編として映画化されました。小説としては『天使と悪魔』の方が先に執筆・出版され、順序が逆になっています。『ダヴィンチコード』では、ヨハネはマグダラのマリア (女性) であると主張しています。確かに、ミラノのサンタ・マリア・デレ・グラツィエ修道院にあるダヴィンチの壁画「最後の晩餐」のキリストの右隣 (向かって左) に座るヨハネ (とされる人物) は、どう見ても女性です (12使徒は男性であるという先入観で何気なく見ていると気が付かないのですが)。「最後の晩餐」は、ダヴィンチ以外にも何人かが描いています (例えば、カスターニョ作：サンタ・ポローニャ修道院、フィレンツェ) が、ヨハネが女性のように見える作品が多いようです。実際、女性なのか否かはわかりませんが、先入観なしに物を見るということの大切さを教わりました。