



放射線 - 基礎と影響、汚染の状況と対応 -

講師 馬場 護 (東北大)

講師 野村 貴美 (東大)

内 容

1. はじめに	1
2. 放射線・放射能とは	1
2.1 放射線と放射能	
2.2 用語と単位	
2.3 自然界の放射線・放射能	
2.4 医療からの放射線	
2.5 放射線・放射能の性質	
3. 放射線の人体への影響	3
3.1 放射線影響の起こり方	
3.2 放射線影響の度合い	
3.3 子供・女性・妊婦の場合は？	
4. 放射線と放射能の測定	6
4.1 概 要	
4.2 汚染の強い場所や放射線の飛んで来る方向を知る	
4.3 放射能の測定	
5. 汚染と被ばく線量の現状は？	7
5.1 汚染の状況と放射線モニタリング	
5.2 郡山市における放射能汚染対策は？	
5.3 外部被ばくによる線量は？	
5.4 内部被ばくの線量はどうか考える？	
5.5 実際の内部被ばく線量は？	
5.6 水、食料による被ばく線量は？	
5.7 食事丸ごと測定（陰膳方式）	
5.8 食品の基準は？	
6. おわりに	12

資料

東京電力福島第一原子力発電所事故に対する日本放射線安全管理学会の活動

1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故によって、大量の放射性物質が環境に放出され、広い地域が汚染されました。これに伴って発生した深刻な問題によって、厳しい生活を余儀なくされておられる皆様に、学会員一同、心よりお見舞い申し上げますとともに、一日も早い回復と復興をお祈り申し上げます。

事故後の対応にはさまざまな問題がありましたが、放射線モニタリングや調査活動などの努力によって、汚染や被ばくの状況が次第に明らかになり、汚染への対応についても多くの情報が蓄積されつつあります。福島の復興に向けて、放射能汚染の現状をまとめ、汚染にどのように向き合うか、一般の方々から疑問点としてあげられることがらを中心に考えてみたいと思います。

2. 放射線・放射能とは？

2.1 放射線と放射能

レントゲン撮影やCT で使われているものが X 線と呼ばれる放射線で、1895 年にレントゲンによって発見されました。発見直後から透視写真をとれることが分かったため、体や歯のレントゲン写真、がんの治療等に広く使われるようになりました。しかし、不用意な使い方で浴びすぎると人体に深刻な悪影響が生じることも分かってきました。さまざまな深刻な事故の経験などを経て、規制をしながら使うという放射線利用の基本的な仕組みができてきました。

その後、アルファ線、ベータ線、ガンマ線、中性子線などの放射線も発見されました。物質の最小単位の原子は、中心の原子核とその周りを回る電子からなり、放射線はエネルギーの余った不安定な原子か原子核が壊れることによって出ます。ガンマ線と X 線は同じ光（電磁波）の仲間ですが、出所が違うので区別しています。現在問題になっている放射性セシウムはベータ線とガンマ線、ストロンチウムはベータ線だけ、を出します。

これらの放射線に共通するのは、物質や人体中の原子に当たって電子をたたき出す（電離という）という作用で、これが放射線の作用や影響の基本であり、人体の細胞を傷つける原因になります。

2.2 用語と単位

まず、表 1 に用語と単位の整理をしておきます。

表 1 放射線・放射能に関する用語と単位

用語	意味	単位
放射能	放射線を出す能力、性質 「1 秒間に 1 回放射線を出す（壊れる）時」= 1 ベクレル	ベクレル Bq
放射性物質	放射能をもつ物質、 例) セシウム-134、セシウム-137、ストロンチウム-90、カリウム-40	
被ばく	放射線を体に浴びること、で ・ 外部被ばく（体外から放射線で被ばくする）と ・ 内部被ばく（体内の放射性物質からの放射線で被ばくする）、	
線量	放射線の人体への影響の度合い ・ 人体に与えられたエネルギー（グレイ [Gy] で表す）と ・ 人体への影響の度合（臓器、放射線によって違う）で決まる、	シーベルト Sv

* 放射能と放射線は、放射能が電球、線量はその場での光の明るさ、の関係にあたる。

放射能は原子の特性によるので、日常的な方法で弱めたり無くしたりすることはできない。

2.3 自然界の放射線・放射能

人間が放射線を知ったのはX線が発見された約100年前ですが、地球内部には46億年前の地球誕生以来ウラン、トリウム、カリウムなどの大量の放射性物質があり、マグマを溶かす熱源となっています。その放射性物質から地上に放射線や気体のラドンが出てきています。また宇宙には非常に強いさまざまな放射線があり、オーロラの原因は宇宙からの放射線です。また、土、海水などにはカリウム40などの放射性物質が含まれているため、農作物や海産物にもカリウム40などがかなり含まれます。これを食べる人間の体にも、カリウム40が体重60kgの人で4,000ベクレルぐらい、放射性の炭素14が2,500ベクレルぐらい、あることが分かっています。

これらの自然放射線による被ばく線量を表2に示します。世界平均で1年間に合計2.4ミリシーベルト程度ですが、自然の放射線レベルは地域によって大きく違い、イラン、インド、ブラジル、中国などでは平均の10倍から100倍近いところもあります。日本ではラドンが少ない代わりに最近の調査では食物からの被ばくが年間0.98ミリシーベルトと多く、魚の内蔵などに含まれるポロニウムという放射性物質の摂取が多いためであることが分かってきました。なお、国内でも放射性物質を多く含む花崗岩の割合が違うため地域差が大きく、西部には東部より最大1.5倍程度高いところがあります。また、ラジウムなどを含む放射能泉の湧出する温泉地でも放射線レベルの高いところがあります。

表2 自然放射線による被ばく（ミリシーベルト/年）[資料1]

	大地放射線	宇宙線	呼吸 (ラドン等)	食物	合計
世界平均	0.48	0.39	1.26	0.29	2.39
日本	0.33	0.30	0.476	0.98	2.09

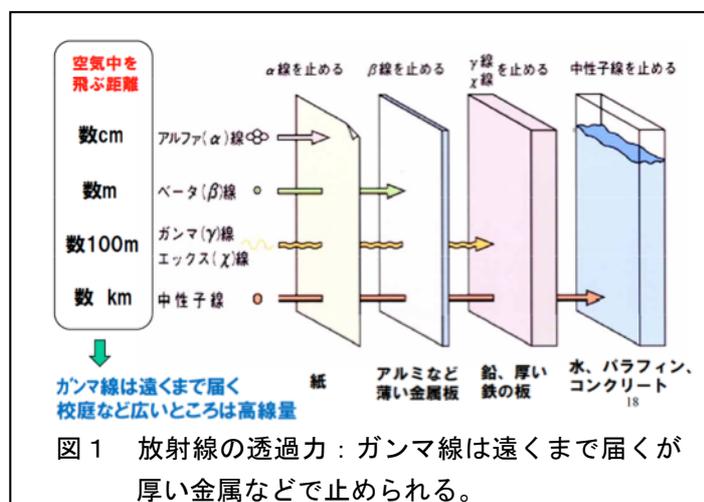
2.4 医療からの放射線

放射線を使った医療診断の発展に伴い、X線CTなど診断に伴う被ばくは世界的に増加しており、近年の日本では年間3.9ミリシーベルト程度と推定されています[資料1]。これは、放射線診断だけで治療に伴う被ばくは含まない値です。

2.5 放射線・放射能の性質 [資料2, 3, 4, 5]

(1) 透過力

レントゲン写真からも分かるように、X線は体を通過することができ、この高い透過力はベータ線、ガンマ線、中性子線などに共通する放射線の特徴です。図1のように、セシウムなどから出るガンマ線は空気中を数100メートルも飛ぶことができるため、放射性物質から離れたところにもガンマ線が飛んで来ます。そのため、校庭や田畑など遮るものが少ないところには、広い範囲から放射線が飛んでくるので放射線量が高くなり、除染を行う場合も広い範囲を行うことが重要です。しか



し、厚い金属やコンクリートなどを使うと十分止める（減らす）ことができます。

アルファ線は空気中での飛程は 4cm 程度で、コピー紙 1 枚で止まりますので、外部被ばくには寄与しませんが、内部被ばくの場合、大きな影響を持ちます。自然の放射能のラドンはアルファ線を出し、自然界からの内部被ばくの主な原因となります。

ベータ線の場合は薄い金属で止まるので、これを利用すると放射線の種類や放射線の飛んでくる方向を知ることができ、ホットスポットを探したり、空間線量の原因を探ったりに使えるので、除染にも有効です。詳細は 4 節で述べます。

(2) 減衰

時間がたつと放射性物質の原子が減るので放射能も減っていきます。これを「減衰」といい、「半分に減る時間」を半減期と呼びます。半減期は原子の種類（例えばカリウム 40）ごとに違います。半減期など主な放射性物質の性質を表 3 にまとめます。事故直後問題であったヨウ素 131 は半減期 8 日のため、十分減衰し現在影響を考える必要はありません。

体内に入った放射性物質は体から排泄によっても減っていきます。体内で半分になる時間を「生物学的半減期」と呼びます。実際に体の中で半分に減る時間（有効半減期という）は、表 3 に示すように、放射性セシウムの場合、成人で 80～90 日、幼児で 40 日ぐらいです。代謝が活発なため、幼児の方が体内から早くなります。ストロンチウムの場合は骨に蓄積するため体内で半分に減る期間が 18 年と長いですが、福島第一原子力発電所事故の場合、放出量が少なかったため過去に行われた核実験による汚染と同程度と考えられます [資料 1]。

セシウムの性質はカリウムに、ストロンチウムの性質はカルシウムに近いので、物質の振る舞いも似ていると考えられます。

表 3 主な放射性物質の性質 [資料 2、3 他]

放射性物質 記号	ヨウ素 131 I-131	セシウム 134 Cs-134	セシウム 137 Cs-137	ストロンチウム 90 Sr-90	カリウム 40 K-40
出す放射線	ベータ線 ガンマ線	ベータ線 ガンマ線	ベータ線 ガンマ線	ベータ線	ベータ線 ガンマ線
半減期	8 日	2.06 年	30 年	30 年	12.8 億年
体内の放射能が半減する時間*1	成人 約 8 日 子供*2 約 8 日	約 80 日 約 34 日	約 90 日 約 37 日	約 18 年	約 30 日
蓄積する臓器	甲状腺	全身	全身	骨	全身

*1 実際に体内で半分に減る時間（有効半減期）、生物学的半減期ではない。

*2 10 才以下

(3) 放射線のさまざまな作用

放射線には透過力のほか、さまざまな作用があり、分析、物質の強化、新物質の製造、殺菌・滅菌、品種改良などさまざまな応用に利用されています。

3. 放射線の人体への影響 [資料 3, 4, 5 他]

3.1 放射線影響の起こり方

放射線の人体への影響はおおよそ次のようにして起こると考えられています。

放射線が人体の組織にあたるとそれを構成する原子から電子をたたき出し、この電子が細胞や遺伝子（DNA）を傷つけます。電子が直接傷つける場合と、電子と残りの原子（イオン）が活性酸素種を作って細胞を傷つける場合があります。後者の方がかなりの割合を占めます。この活性酸素種

を作るものは、紫外線や化学物質など放射線以外にもたくさんあります。

人体には、生命を守るために傷ついた組織を治す修復力があるので、放射線があまり強くなければ、傷ついた細胞や遺伝子も修復され、障害が発症することはありません。しかし、

- 1) 放射線が非常に強くて細胞の損傷が多い場合には修復が追いつかず、大量の細胞が障害を受けるため、急性障害が起こり、重傷になると死亡に至ります。また、
- 2) 修復の際、見落としや間違いが起こると、体細胞の場合には将来がんを発症したり、生殖細胞の場合には子孫に障害が現れたりする（遺伝性影響）可能性が出てきます。ですが、人体には傷ついた細胞を排除したり自殺に導いたりする機構があり、傷ついてもがんに至る確率はかなり低いことが知られています。なお、ヒトの場合、遺伝性影響の発生は確認されていませんが、女性の被ばく線量を低く制限することによって放射線の防護の上では考慮しています。

3.2 放射線影響の度合い

急性障害は被ばく線量が全身平均 1,000 ミリシーベルト以上あたりで起こり始め、4,000 ミリシーベルト程度で半数の人が死に至りますが、今回の事故ではこのような大量の被ばくは考えられませんので、以下の議論からは除外します。

一方、がんの発生については主に広島・長崎の被爆生存者についての調査から、被爆者のがんによる死亡は被爆しなかった人に比べ、100 ミリシーベルト以上で線量とともにほぼ直線的に増えるが、それより低い線量では増加は認められない、ことが分かっています。増加がないように見えるのは、放射線以外の原因（不適切な生活習慣、ストレス、野菜・運動不足等）による発がん比べて少ないためと考えられます。実際、現在の日本では放射線以外の原因によるがん死亡の割合はほぼ 30 %です。このような事情のため、国際放射線防護委員会（ICRP）は、「致死がんの発生割合は線量とともに直線的に増え、1,000 ミリシーベルトにつき 5% 増える」、という仮説（直線仮説）を採用しています。100 ミリシーベルト増えると 0.5 %増加して 30.5%、10 ミリシーベルト増えると 0.05%増加して 30.05% に増えることとなります。

この仮定では低い線量でも発がんの可能性があるので、「被ばくはなるべく小さく」というのが原則になりますが、実際には、私たちは自然放射線や医療に伴う放射線をすでに受けており、これをなくすことはできません。放射線被ばくを減らそうとして、避難や疎開をされたり、外出や屋外での運動を控えたり、あるいは食材の産地制限などを行うこともあるかと思われませんが、それらによって逆にさまざまな不自由やストレス、運動不足、食事の偏りなどが生じ、がんのリスクをかえって高める危険性もあります。それに見合う放射線リスクなのか、の判断が重要と思われます。また、チェルノブイリ事故では、強制避難に伴うマイナス面が大きかったことが指摘されています。また、保護者の不安が子供や胎児の心身に影響を与えることも知られており、必要以上に子供に不安を与えないようにすることが望まれます。皆様の不安に真摯に向き合うことも学会としての重要な役割と考えています。

さらに、弱い放射線をゆっくりと被ばくする場合は、原爆のように短期間に被ばくした場合より修復の効果が大きいので、放射線の影響が小さくなることが考えられます。動物実験等ではゆっくりした被ばくの場合、影響が 1/2~1/10 になることが報告されていますが、ICRP は 1/2 という大きな（安全側の）値を採用しています。自然放射線レベルが高いインド、ケララ州（大地放射線の強さは平均で年間 3.8 ミリシーベルト、日本の平均（表 2）の 10 倍以上）の住民に対する疫学調査で、致死がんの発生率は積算線量 600 ミリシーベルト程度までは線量の低い他地域と比べて増加が見られないという報告があります。

以下によく議論される問題点について述べます。

1) 「低い線量の被ばくの影響は分からない」とよく言われますが、これは「影響が大きいかわからない」という意味ではなく、小さいために「どれくらいかをきちんと言えない」という意味に理解すべきではないでしょうか。図2に示すように、低線量領域については、上で述べた直線仮説のほかに、低線量では修復機能が強まる、という適応応答の考え方や、低い線量の放射線は体の免疫機構などを高め体に良い、というホルミシス説、など直線仮説より影響が小さいという考え方もあります。また、バイスタンダー効果（放射線が当たらない細胞も放射線に反応する）によって影響が直線より大きくなる、という考え方もありますが、マイナスの影響だけでなくプラスの効果もあるという報告もあります。いずれの考え方も科学的根拠が十分とは言えず、直線仮説が採用されているのが現状です。

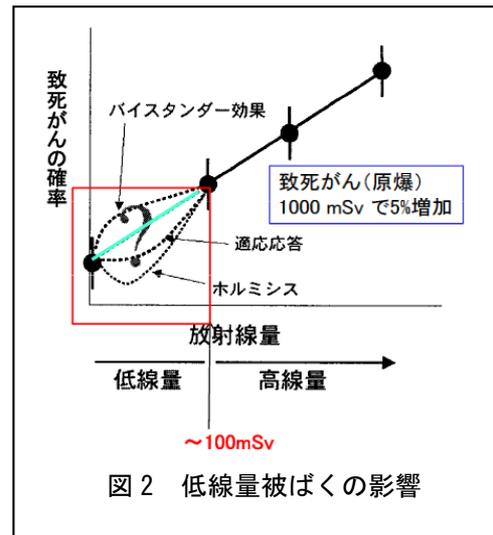


図2 低線量被ばくの影響

2) 「法律で一般人の線量が年間1ミリシーベルト以下に制限されている」という意見がありますが、法律が規定しているのは、「放射線施設が周辺の一般環境に及ぼす影響が年間1ミリシーベルトを超えないように施設を管理すること」ということです。また、この中には自然放射線と医療診断に伴う被ばくは含めず、放射線利用に伴って追加的に受ける放射線量を制限しようということで、一般人がこれ以上浴びてはいけない限度、という意味ではありません。

また、年間1ミリシーベルトという線量は、自然界から受ける平均的な被ばくの約半分以下で、被爆者で影響が見られ始めた100ミリシーベルトの1/100、直線仮説で考えても「放射線による致死がんの発生が0.005%増えるかもしれない」という線量です。一般人の場合、普段は被ばく線量を測定しているわけではないので、線量にある程度の変動があっても問題にならないように余裕を見て低い値に設定されている、と言えます。この考え方は、あとで述べる食品の基準の場合も同様で、これを超えれば問題があるという値よりはずっと低く設定されています。

原発由来のセシウムによる被ばくについても年間1ミリシーベルト以下にという考え方で政策が進められていますが、現在のように、放射線の被ばくを減らそうとする処置のために、他のさまざまなリスクが発生する可能性のある状況では、より緊急度の高いものから対応しつつ、受ける放射線の量を効率的に低減していくことが重要ではないでしょうか。

3.3 子供・女性・妊婦の場合は？

ここまでの議論は、性別や年齢を問わない平均の場合で、放射線の影響を受けやすい子供・女性・妊婦について次に補足します。

子供の場合は、細胞分裂が盛んなため放射性ヨウ素によって甲状腺がんを発症しやすいこと、生存期間が長いので、成人よりは発がんの可能性が高いことが挙げられますが、一方、代謝が活発なので体内に入った放射性物質が早く排泄されるという面もあります。事故直後問題となった放射性ヨウ素の影響については、シンチレーション検出器やホールボディカウンターを用いた体外測定や行動記録から被ばく線量の推定がなされ、現段階では小児甲状腺がんの発症リスクは十分低いと考えられています。更なる健康調査等が続けられます。他の発がんについては原爆被爆生存者の調査で、被爆時年齢が低い場合、全年齢平均の場合に比べ固形がんや白血病が約1.8倍から3.5倍程度になっています。あとで述べる内部被ばくの影響や食品基準などを考える際も、子供の放射線感受性が高いことに配慮がなされています。

また、生殖細胞に突然変異が引き起こされると、遺伝性影響が子孫に現れる可能性があります。しかし、上述の広島・長崎の被爆生存者に対する調査では、被ばく後に妊娠した親の胎児または新生児の死亡や奇形の発生は認められていません。また、流産や奇形、精神発達遅延などは妊娠初期・中期の時期に50ミリシーベルト程度以上の被ばくをしないと起こらないことが知られています。今回の事故では、このような被ばくの可能性は十分低いと考えられます。

放射線防護においては、女性に対するこれらのデータを反映して、厳しい限度値が採られています。

4. 放射線と放射能の測定 [資料6]

4.1 概要

次節とも関係するので放射線、放射能測定について簡単に述べておきます。

放射線は見えない、聞こえない、臭わないので容易には気付かれず危険、と言われますが、放射線が物質にあたるときに放出される電子や光、傷、化学変化等を検知することによって、自然放射線レベルまで、放射線や放射能を測定することができます。

放射線の検出には、電離を利用するガスや半導体と光を利用するシンチレータが主に使われますが、さまざまな検出器があり、放射線を数える効率（検出器に入射した放射線粒子を検出器内で捉えて信号にする割合）や放射線の種類、エネルギーなどを識別する性能、等は検出器によって大きく異なるので、目的にあわせたものを選び、得られたデータを正しく解釈する必要があります。

測定器の使用に際しては、それぞれ使用法が異なるので指示に従うことが重要です。個人線量計の場合は、身につける位置と向きに注意しましょう。また、放射線は不規則にやってきますので、測定にあたっては、10-60秒程度待って値が落ち着いてから読むことが重要です。また、検出器によっては、マイクロシーベルト/時 ($\mu\text{Sv/h}$) の表示であっても低い線量では大きめに表示されるものや、性能に問題のあるものも報告されているので、注意が必要です。

いずれにしても、線量計として用いるには、放射線量を正しく読めるように校正され、定期的にも校正ができることが必要です。

4.2 汚染の強い場所や放射線の飛んで来る方向を知る

2節に述べたように、ベータ線を数えるGM検出器の場合は、薄いベータ線の入り口（入射窓という）にベータ線の入る方向を絞る金属筒（コリメータ）をつけると、その方向からのベータ線だけを数えることになり、汚染の強いホットスポットを発見したり、高い空間線量の原因を調べたりする場合に利用できます。

4.3 放射能の測定

現在は、食材や水、土壌などの放射能測定が重要になっていますが、放射能の測定には、測定効率と放射線を出す原子核を識別できることが重要です。ガンマ線は原子核ごとに固有のエネルギーを持つので、図3に示すように、エネルギー別のガンマ線の数によって、原子核の種類と放射線の数、すなわち放射能を知ります。そのためには、高い効率とエネルギー測定（一つ一つのガンマ線のエネルギーの大きさを計測すること）の

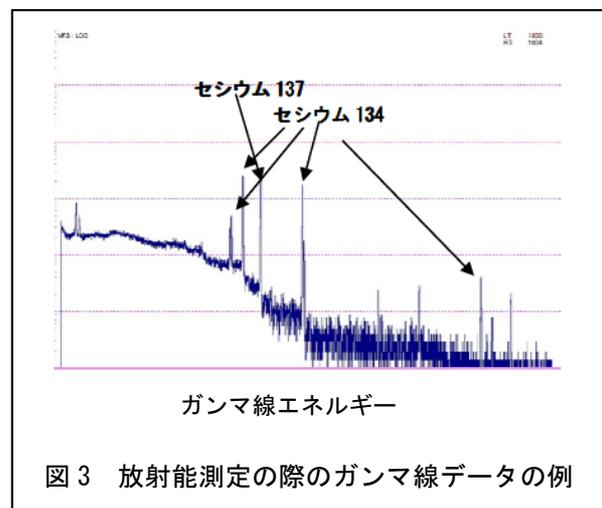


図3 放射能測定の際のガンマ線データの例

精度が必要ですが、両者を満たすものはありません。ガンマ線のエネルギーを測るには、半導体（ゲルマニウム）とシンチレータの検出器が使われますが、シンチレータはサイズや密度を大きくできるので、ガンマ線を捕まえる効率は高いのですが、エネルギーの測定精度が劣り、他の原子核からのガンマ線との区別がつきにくくなります。逆にゲルマニウムの場合にはエネルギー測定精度は高いものの効率が上がりません。そのため、効率優先で大まかに測る「スクリーニング」測定と精密測定に分けることが行われます。また効率は試料の形や材質によって変わるので、万能の測定器は困難です。

また、もう一つの問題は、試料からの弱い放射線を測る上で、自然の放射線がじゃまになることで、それを減らすのに遮蔽体で検出器を覆うとともに、測定可能な最低放射能（検出限界）を下げるには長時間の測定が必要になります。新基準では検出すべき放射能のレベルが下がったため、さらに長時間の測定が必要になりました。この測定でも、検出限界などの特性を確認して測定結果を見る必要があります。

5. 汚染と被ばく線量の現状は？

次に現在の汚染状態とそれに伴う被ばく線量がどれほどになるか、郡山市周辺を中心に具体的に考えてみます。被ばくには外部被ばくと内部被ばくがあるので、被ばく線量も外部被ばく線量+内部被ばく線量、で求めます。

5.1 汚染の状況と放射線モニタリング

現在問題となっている放射性物質による汚染は、昨年3月15日から20日にかけて福島第一原子力発電所から大量の放射性物質が放出され、風によって運ばれ、雨や雪によって降下し沈着したために発生しました。そのため、汚染と放射線量は発電所の状況と風向き、降雨、降雪などの気象条件によって大きく左右されました。地面、道路、家屋、樹木等に沈着した放射性物質が雨で流され、側溝や雨樋、雨水路、排水マス、などに貯まった結果、線量の高いホットスポットができました。

この事故で放出された放射線量は、チェルノブイリ事故の場合の15%程度と見積もられていますが、原子炉そのものが炎上したチェルノブイリ事故の場合よりストロンチウムやプルトニウムなどの放出が少なく、かつ発電所周辺に限られたと考えられています。

放射線の人体や環境への影響を知るには、1) 放射線量の強さ(空間線量率)、2) 空気中の放射能濃度、3) 降下する放射性物質の量(放射性降下物)、4) 土壌、農地、山林、海洋、河川等の放射性物質密度、5) 水、食料の汚染、などさまざまな情報が必要です。1) は外部被ばく、2)、3)、5) は内部被ばくと汚染を知るのに必要です。このうち、1)、2)、3) 等については、文部科学省や県、市町村などによって測定が開始され、データが蓄積・報告されています。郡山市における測定例を図4に示します。

3月15日に最大の放出があり、郡山市でも毎時8.2マイクロシーベルト程度の高い線量が観測されましたが、24日頃には毎時2マイクロシーベルト程度に減り、ずっと単調に減少しています(24日の増加は測定点の変更による)。当初、放射性物

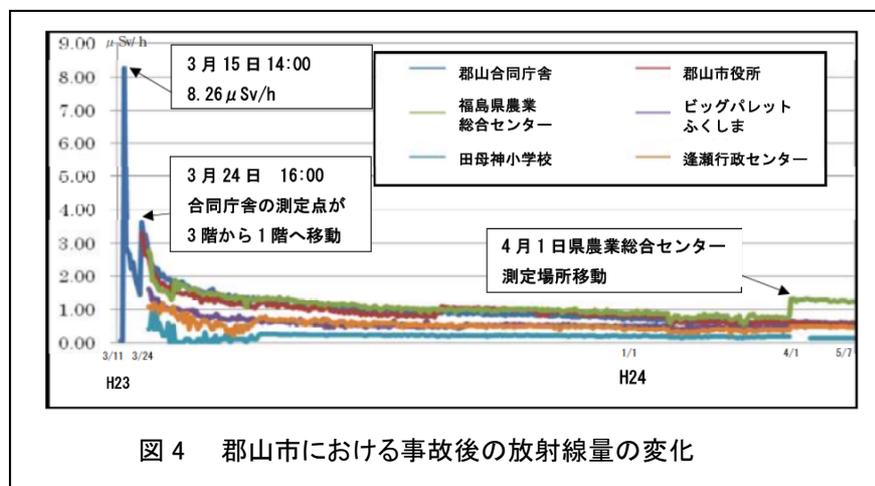


図4 郡山市における事故後の放射線量の変化

質が空気中に浮遊しそこからの放射線が主でしたが、次第に地面、家屋、樹木等に落下して沈着し、そこからの放射線が主となりました。昨年3月中の放射線量はほとんどが半減期8日のヨウ素131によるもので、その後は次第にセシウム134とセシウム137によるものに変わり、セシウム134の減衰と若干の拡散によってゆっくりと減衰しています。事故から2年でほぼ当初の3分の2、6年で30%程度に減るものと予測されます。なお、当初ストロンチウム90やプルトニウム239等の発見も報告されましたが、上に述べたように放出量が少なかったため、過去の大気圏内核実験によってまき散らされた量とほぼ同程度と見積もられています[資料1]。

最近、郡山市内ではおおむね毎時1.5マイクロシーベルトを下回っていますが、一方、川、池、水路の周辺などで線量が高い場所が報告されています。水中の放射性物質は少ないものの底に貯まった泥などの放射性セシウム密度がかなり高く、雨で流された放射性セシウムが川や池に流れ込み、川底に貯まったためと考えられています。水が抜かれている場合は特に線量が高いようです。こうした場所については、モニタリング情報に注意するとともに、対策の強化を求めていくことが必要と思われます。

2) 空気中の放射能濃度や、3) 降下する放射性物質の量(放射性降下物)の測定には、試料の採取や測定に時間がかかるため、測定数はあまり多くはありませんが、文部科学省などでデータがまとめられています。事故直後は、塵などの降下物にかなりの量のヨウ素131が含まれ、野菜や水、牛乳などに汚染を引き起こしましたが、福島県でも昨年後半からほとんど観測されていません(図5)。福島市での降下物観測では、今年初めにわずかながら上昇が観測されましたが、その後減少し検出限界以下の日が多く、全体として事故前のレベル程度であると言えます[福島県ホームページ]。

空気中の放射能濃度				
試料採取場所: 田村市都路町古道				
測定者: 文部科学省(文科省ホームページ): 2011年8月1日~2012年3月28日 1-4回/日				
採取日	放射能濃度(Bq/m ³)			空間線量率 (μSv/hr)
	I-131	Cs-134	Cs-137	
8月5日	不検出	0.49	0.99	0.7
9月14日	不検出	0.34	不検出	0.7
10月12日	不検出	不検出	0.6	0.6
11月19日	不検出	0.34	0.50	0.6
12月13日	不検出	不検出	不検出	0.6

図5 空気中の放射能濃度測定結果の例

4) 土壌、農地、山林、海洋、河川等の放射性物質密度、についても、国や研究機関、大学等による各種測定が行われ、状況が明らかになってきました。土壌についても原発から100km圏までの組織的な調査によって放射性セシウムの密度(ベクレル/kg)のマップが作られ、農作物の作付け等を考える資料に利用されました。しかし、農作物や果樹への放射性物質の移行を予測するのに、土壌中の放射性セシウム密度だけでは不十分で、山林などからの流れ出しや樹皮などからの吸収なども考慮する必要のあることが改めて確認されました。また、農作物や果樹の汚染を防ぐための方策も検討され、セシウムに似た性質のカリ肥料や吸収するゼオライト吸着剤の散布、樹皮の洗浄、などの日本の土壌の特性に合わせた有効な方法も分かってきました。

5.2 郡山市における放射能汚染対策は? [参考: 郡山市の原子力災害対策(第5版)、5月23日]

郡山市では、空間線量のモニタリングと汚染マップの作成、水・食料の検査、学校や保育所、幼稚園における放射線モニタリングと除染、下水処理汚泥のモニタリング等が進められてきました。小中学校、および保育所等校庭の除染は、国に先駆けて行われ、昨年4月末から表土除去によって行い、平成24年5月初旬の段階で、全校で毎時0.5マイクロシーベルトを下回ったことが市から報告されています。

また、公園での除染や線量率の表示、一般住宅でのモデル除染、地域での線量低減化活動支援、農地の除染(反転耕、砕土、踏圧等含む)やカリウム肥料購入費用助成などによる農業支援が進

められております。今後の本格的な除染に向けて説明会と具体的な計画が進められています。さらに、モニタリングサービスとして、個人宅の線量測定、個人への簡易型サーベイメータや電子式個人線量計の貸し出しが進められています。

食品の安全確保に向けては、ゲルマニウム半導体検出器 2 台、シンチレーションスペクトロメータ（市民用 44 台、市業務用 14 台）が整備され、一般食品や小中学校、保育所等の給食食材と給食、水道水、井戸水等のモニタリングが行われています。効率の高いシンチレーションスペクトロメータで検出限界が 10 Bq/kg 程度の測定検査、ゲルマニウム半導体検出器（検出限界 1 Bq/kg）で基準値の低い水道水、井戸水やシンチレーションスペクトロメータで汚染が見出された食品等の精密検査が行われています。また、食材測定器も市内各地で利用できるようになっており、活用したいものです。

5.3 外部被ばくによる線量は？

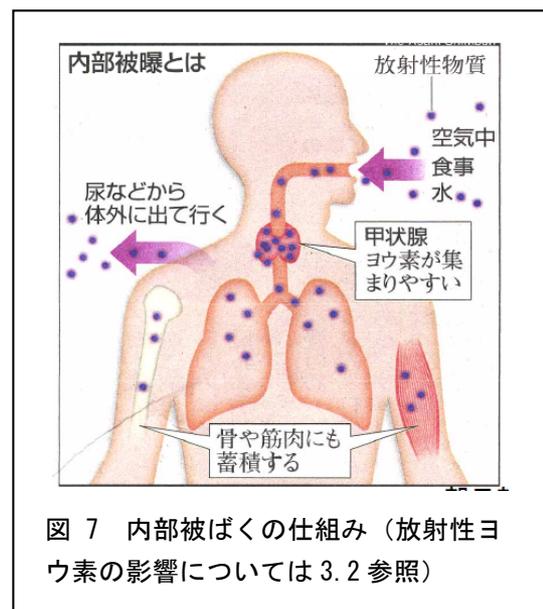
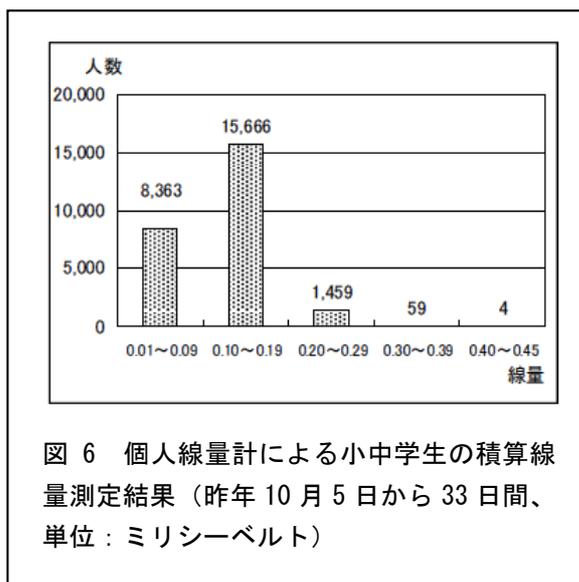
外部被ばく線量は、個人線量計を用いた測定値か、空間線量（その場所の線量）の測定値から推定します。前者の個人線量計による測定は福島県内各地で昨年からはじめられ、そのデータが報告されています。後者の方法では、その場所の空間線量率（マイクロシーベルト/時）× 時間 × 遮蔽効果、で求めます。

空間線量率のデータは、郡山市や福島県のホームページから得られ、例えば、最近の郡山周辺では 毎時 0.3～1.0 マイクロシーベルトぐらいの幅がありますが、平均的な線量として、毎時 0.5 マイクロを考えます。自然放射線が毎時 0.04 マイクロシーベルト程度なので、追加線量は屋外に 8 時間、木造の家（遮蔽効果 0.4、コンクリート建屋ではそれより小さい）の中に 16 時間いるとすると

年間の追加被ばく線量

$$\begin{aligned} &= \{(0.5 - 0.04) \times 8 + (0.5 - 0.04) \times 0.4 \times 16\} \times 365 \\ &= 2,417 \text{ マイクロシーベルト} \\ &= 2.42 \text{ ミリシーベルトとなります。} \end{aligned}$$

個人線量計による小中学生の測定結果（平成 23 年 10 月 5 日から 33 日間）を図 6 に示します。現在までのデータでは、個人線量計による値の方が空間線量から予想されるよりは少なめのです。



5.4 内部被ばくの線量はどうか考える？

内部被ばくは、図 7 に示すように、放射性物質を呼吸や飲食などで体内に取り込むために起こり、これらの放射性物質による臓器などの被ばくは、次式で求めます。

内部被ばく線量 = 取り込んだ放射性物質の量(ベクレル) × 実効線量係数 (シーベルト/ベクレル)。

「実効線量」は体全体について平均した線量で、「実効線量係数」は放射性物質の摂取経路やどの臓器に集まるかなど体内での分布、および減衰と排泄で減ること、を考慮しながら、50 年後(子供で 70 年後)までに臓器 に与えられる 1 ベクレルあたりの線量(シーベルト)を求めるものです。影響の度合いや排泄が年齢に関係するため、実効線量係数は被ばく時の年齢によって違います。表 4 に成人と子供の実効線量係数を示します。子供に対する値が大きくなっていますが、子供の場合は摂取量が少ないので、このままの影響になるわけではありません。通常は放射性物質の摂取が単回(急性摂取)として 50 年後までの累積線量を求めますが、「福島県県民健康管理調査」では、事故直後から測定日まで継続的に放射性物質を摂取した(慢性摂取)として取り扱っています。このとき、ガンマ線だけでなくベータ線やアルファ線による線量も考慮します。(ガンマ線しか考えていないということはありません。)

また、体の組織は体外からの放射線か体内からの放射線か区別できませんので、内部被ばくと外部被ばくの影響は線量(シーベルト)で表せば同じで、内部被ばくの影響の方が大きいということもありません。

なお、体内の放射性物質の量は、排泄や減衰で減るので増え続けることはありません。体を健康に保つことはこの面でも重要です。

表 4 内部被ばくに伴う線量：実効線量係数 [資料 4、ICRP 報告 72]

放射性物質 記号	ヨウ素 131 I-131	セシウム 134 Cs-134	セシウム 137 Cs-137	ストロンチウム 90 Sr-90	カリウム 40 K-40	
出す放射線	ベータ線 ガンマ線	ベータ線 ガンマ線	ベータ線 ガンマ線	ベータ線	ベータ線 ガンマ線	
半減期	8 日	2.06 年	30 年	30 年	12.8 億年	
蓄積する臓器	甲状腺	全身	全身	骨	全身	
実効線量係数 μSv/Bq	成人	0.022	0.019	0.013	0.028	0.0062
	子供*	0.18	0.02	0.026	0.23	0.062

*0-1 才, 1-2 才, 2-7 才, 7-12 才, 12-17 才に対する値のうち最大のもの

5.5 実際の内部被ばく線量は？

内部被ばくの原因として、

- 1) 呼吸による空気中の放射能の吸入
- 2) 土壌の舞い上がりの吸入や口からの取り込み
- 3) 水、食料中の放射能の取り込み、が考えられます。

このうち、1) は、5.1 に述べたように、現在空気中に浮遊している放射性セシウムはほとんど観測されていないので、ゼロとみなして良いと考えられます。従って、洗濯物を外に干したり、窓を開けたりすることは、特に問題ありません。ご心配な場合は、学会にご連絡をいただければ測定のお手伝いをいたします。

2) は建物の気密性などさまざまな条件に依存しますが、吸入によるものは土壌中の放射性物質

による外部被ばくの約2~4%、口からの取り込みによるものは外部被ばくの0.04~0.3%（最大で年間0.039ミリシーベルト）程度と見積もられています。

[<http://wwwcms.pref.fukushima.jp/download/1/josen-kenkoueikyo0513.pdf> （日本原子力学会ホームページから資料入手可）]

両者ともに、十分少ない被ばく線量ですが、風の強い場合などはマスクを着用すればさらに小さくできます。従って子供が砂場などで遊ぶことも現状では問題ないと考えられますが、遊び終わったら念のため、手洗い、うがいをすれば安心だと思います。3) については次項で詳しく述べます。

5.6 水、食料による被ばく線量は？

水道水、食材に関しても、郡山市のホームページに詳細な報告があります。水道水に関しては、事故直後を除き放射性物質は検出されておらず、現在それに伴う被ばくは考える必要はありません。井戸水の場合も同様ですが、放射性セシウムが汚泥に固着するため水面まで浸透するのに時間がかかるので、安全性は高いと言えます。

食料については、食材単独の測定と食事や給食の丸ごと測定が行われています。野菜、魚介類、肉、加工品等各種食材についての報告があります。福島県では最近、キノコ類、山菜、川魚、海産物等について、新基準値を越えたため出荷停止が引き続いていますが、全体としては決して多い割合というわけではありません。

例えば、郡山市の5月分の野菜、魚の検査結果79件のうち、放射性セシウムで検出限界値（17ベクレル/kg程度）を超えたのは7件で、最大のタケノコについても48ベクレル/kgで新基準値（100ベクレル/kg）を超えてはいません。また、5月分の食肉（豚、馬）についても、スクリーニング検査400件のうち、1件が検出限界（~25ベクレル/kg）を超え、精密検査の結果1部が基準値を超え、出荷停止になった以外は全て検出限界以下です。牛肉に関しては福島県農業総合センターが全頭検査を行っており、新基準値を下回った牛肉のみが出荷されています。

郡山市では、保育所や学校での給食については、米、野菜など食材の段階での測定と給食1食分の測定が行われていますが、どれについても、検出限界（~10ベクレル/kg）を越える値は報告されていません。給食丸ごとの測定は他所でも行われており、食事に由来した被ばく線量の推計の質を高めるのに役立つでしょう。

5.7 食事丸ごと測定（陰膳方式）

食事丸ごとの測定は、食事に伴う実際の被ばく線量を知るのに有効で、京都大学、コープふくしま、京都大学-朝日新聞、NHK あさイチ、などさまざまな取り組みが行われています。最初に、自然放射能カリウム40の値が出ているコープふくしまによる「陰膳方式」の測定結果を紹介しします[資料7]。

これは福島の100家族から2日間6食分の食事を提供してもらい、一緒にミキサーにかけて1kgあたりの放射能を、ゲルマニウム検出器を用いて測定したものです。14時間の長時間測定で検出限界1ベクレル/kgを達成しています。なお、4家族は西日本の食材を利用していました。

結果は、以下のようにまとめられます。

- 1) 検出限界1ベクレル/kgを超えたのは、10世帯で、90世帯は検出限界以下、最大はセシウム134が5ベクレル/kg、セシウム137が7.6ベクレル/kg、
- 2) どの家庭でも自然放射能のカリウム40が20~40ベクレル/kg程度出ており、セシウムのレベルはそのばらつきの範囲内程度と言える、
- 3) この食事が続いたとして、放射性セシウムによる食事からの被ばく線量は年間0.02~0.14ミリシーベルトの範囲であり、カリウム40の線量に比べて非常に少ない。

京都大学-朝日新聞の陰膳方式によるデータでも、福島県平均で年間 0.023 ミリシーベルト程度、京都大学のデータ（福島県で食材を購入、測定）でも、最大で年間 0.083 ミリシーベルトで、両者ともコープふくしまのデータにかなり近く、データの信頼性は高いと言えます。この調査では、福島、関東、関西の地区間の違いも出しており、放射エネルギーは福島がもっとも高いが、被ばく線量にするとその差は年間 0.023 ミリシーベルトという程度です。なお、自家作物や山菜等については、次節を参照下さい。従って、現状では検査・チェック体制が正しく機能しており、食品の放射性物質濃度は、新基準に照らしても十分に低い、と言えます。

5.8 食品の基準は？

ここで、食品の基準値についてまとめておきます。

平成 24 年 4 月 1 日から施行された新基準は、

- ・ 一生の間に飲料水・食事から受ける内部被ばくを 100 ミリシーベルトに抑えることとし、
- ・ 水、一般食料の半分（EU では 1/10）が汚染され、その標準的な量を毎日、一年間とり続けた時に 1 ミリシーベルトになる、ように、放射エネルギーを定めたものです。

この基準は、汚染割合（市場希釈率という）を半分（EU は 1/10）と高く見積もっていることなどから、世界的に見てももっとも厳しい基準となっています。

基準値の本来の趣旨は「この値を超えたら対策を考える」というもので、「これを超えたら危険」ということではありません。すなわち、基準値超えの食材あるいは食事を数回とっても健康上の問題になることはなく、むしろ、新鮮な地元産の食材を避けたりすれば、生産者だけでなく消費者にとってもマイナスの面が強いのではないかと思います。そのためには、きちんとしたモニタリングと情報公開、それに基づいた判断が望まれます。なお、郡山市では自家製農作物の検査を行っており、その検査件数は平成 24 年 5 月 7 日現在で 8,793 件に達しています。

また、自家農作物や山菜等についても、農作物や山菜等で 100 ベクレル/kg を超えるような汚染は多くないこと、またこれらの場合、季節限りであって継続的にすることは考えにくいこと、などから、仮に基準超えの汚染があっても大きな問題はないと考えられますが、念のため、市内各地に配置されている検査装置で時々測定して確認したらいかがでしょうか。

6. おわりに

以上、放射線、放射能と影響、東京電力福島第一原子力発電所事故による汚染と被ばくの現状を整理してみました。

空間放射線量は事故以来福島県内全般に低下してきており、放射性降下物や空気中の放射能濃度も原発の近くを除けば考慮する必要のない程度に低減してきています。また、福島第一原子力発電所も、原子炉、燃料プールともに連続的な冷却と窒素ガスの注入が行われ、建物の補強なども行われたので、当面、放射能の大量放出の危険性はかなり低くなっているように思われます。しかし、川や池、水路の周辺などで空間線量が高く、底土の汚染が高い場所が見つかり、モニタリングと対策の充実が必要と思われます。

最近では食料新基準の実施と農作物の出荷時期と重なったことに伴って、出荷停止などの食材がかなり発生してはいるものの、全体としては多いわけではないようです。また、給食や食事の丸ごと測定などによって、実際の給食や食事の汚染がかなり少ないことも明らかになってきています。加えて、汚染の原因や汚染しやすい食材の種類や条件、などもかなり解明され、情報が蓄積されつつあります。また、作付け制限区域での試験的な作付けや作物への取り込みを減らす工夫、研究などが各地で進められていることも心強い材料です。

魚介類や川魚の汚染についても、福島県では操業は行われてこなかったものの、モニタリングは継続的に行われて情報が蓄積されてきております。海については、川からの放射性物質の流れ

込みなどによって汚染が進行しているという調査結果もあり、今後も注視が必要と思われませんが、近々福島県でも試験操業が開始される予定で、これによって汚染の状況や汚染を避ける方法などさらに多くの情報を得ていくことが重要と考えられます。

これらの情報を有効に生かして、生産者と消費者が協力して復旧・復興に向けた仕組みを構築することが望まれます。

資料

1. 新版 生活環境放射線（国民線量の算定）平成 23 年 12 月 公益財団法人 原子力安全研究協会発行
2. アイソトープ手帳（11 版）、日本アイソトープ協会
3. 放射線影響学会ホームページ <http://jrrs.kenkyuukai.jp/special/?id=5548>
4. 放射線医学総合研究所ホームページ <http://www.nirs.go.jp/information/qa/qa.php>
5. 日本アイソトープ協会ホームページ <http://www.jrias.or.jp/disaster/info.html>
6. やさしい放射線測定 - 誰もが正しく測定するために- 5 よりダウンロード可能
7. コープふくしま <http://www.fukushima.coop/>

東京電力福島第一原子力発電所事故に対する日本放射線安全管理学会の活動

日本放射線安全管理学会では、事故発生直後より、水、野菜、衣服等の汚染状況の調査と除去方法の開発、内部被ばく評価、ホットスポットの調査方法、除染法の開発などに取り組んで参りました。その活動や報告書は以下の学会ホームページに掲載されています。放射線 Q & A のページもありますのでご覧下さい。

<http://www.jrsm.jp/shinsai/index.htm>

今後も福島の復興に向けて微力ながらお手伝いできればと願っております。ご要望等がありましたら下記までご連絡頂ければ幸いです。

日本放射線安全管理学会事務局メールアドレス : office@jrsm.jp,

