

まだやっかいな放射線

2 年半が経って汚染と被曝はどうなっているか*1

田崎清明*2

原子力発電所事故から 2 年半以上が経った今、汚染と被曝の現状をいくつかのデータにもとづいて解説する。今の段階では内部被曝は日本中できわめて低く抑えられていること（4 節、5 節）、一方、一部の地域では高めの外部被曝をする可能性が否定できないこと（6 節）を説明するのが主な目的である。

本題からは逸れるが、福島第一原子力発電所の事故に伴う避難で生じた人的被害のこと（1.2 節）、原子力発電所の事故処理と廃炉作業のこと（1.3 節）にも触れ、また、今回の事故で政府・地方自治体などによる初期被曝の対策は不十分だったということも述べる（3 節）。

目次

1	本題に入る前に	2
1.1	この解説について	2
1.2	原子力発電所事故に伴う避難などによる人的な被害	4
1.3	福島第一原子力発電所の現状	7

*1 この解説には 2014 年 4 月に手をいれて、特に 6.2 節の後半を大きく書き換えた。その際、2013 年 10 月より後のデータをいくつか追加したので、文字通り「2 年半が経って」とは言えないこととお断りしておく。ただし、大部分のデータと記述は 2013 年 10 月の時点のままであり、現状に合わせて全体を改訂したというわけではない。

*2 理論物理学者。専門は数理物理学および統計物理学。所属は学習院大学理学部。本稿に関するご意見やご質問は hal.tasaki.h@gmail.com にメールでお願いします（本業で多忙のため、すぐにお返事できない可能性があります。ご容赦ください）。Twitter は使わないでください（mention を読まないこともあります）。

2	被曝について	10
2.1	放射線と被曝の基礎	10
2.2	福島第一原子力発電所事故による初期被曝と継続的な被曝 . . .	13
3	初期被曝	14
3.1	初期被曝の種類と見積もり	14
3.2	政府・地方自治体の初期被曝対策について	18
4	継続的な被曝 — 呼吸による内部被曝	19
4.1	現状での被曝線量の見積もり	20
4.2	展望	21
5	継続的な被曝 — 食品からの内部被曝	22
5.1	食品の中の放射性物質	22
5.2	食事の中の放射性物質	26
5.3	体の中の放射性物質	30
5.4	展望	35
6	継続的な被曝 — 外部被曝	36
6.1	外部被曝の見積もり	36
6.2	現在の空間線量率と個人の被曝線量	39
6.3	展望	44

1 本題に入る前に

1.1 この解説について

これは、ぼくがしばらく前に書いた『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』という本の「^{ぞくへん}続編」というか「^{ほい}補遺」としてまとめた解説である。ぼくの本を読んだ人が気にしているだろう（と、ぼくが^{すいそく}推測する）「その後」の^{じょうきょう}状況（のごく一部）をなるべく^{かんけつ}簡潔にまとめることを目指した。

特に、事故から時間がたって次々と発表される測定データの中から、(ぼくの目に入った範囲で) 重要だと思われるものを紹介することに主眼を置いた。

小説ではないから、もっとも重要な主張を最初に書いてしまおう。この解説では、**現状では、内部被曝は思っていたよりもずっと軽く、むしろ、空間線量率の高い地域での外部被曝が心配だ**ということ、そして、**外部被曝の状況をしっかりと把握するため地方自治体や政府は個人の被曝線量を測定すべきだ**ということ进行を言いたい。

なお、以前に書いた『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』というの、放射線や被曝について知っておいたほうがいい(と、ぼくが判断した)「基礎知識」をまとめた本だ。事故から1年と少しが過ぎたところで、日本の状況を踏まえ、何がもっとも重要かを一生懸命に考え、そして、(放射線、生物学、医学の専門家を含む)多くの人にアドバイスをもらいながら、書いた。

この本は、pdfファイルの形で、

<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/radbookbasic/>

で公開している。ネットの環境があれば、(もちろん)無料でダウンロードして読める。その後、朝日出版社から単行本としても出版されている。

また、ぼくは、本を書くよりも前の2011年6月から、『放射線と原子力発電所事故についてのできるだけ短くてわかりやすく正確な解説』という(長い)タイトルの解説をweb上に公開している*3。既書いてから時間がたってしまったが、参考にしていただければ幸いです。

この解説は田崎晴明の著作物だが、営利目的でなければ、自由に利用していただいてもかまわない。印刷や配布はもちろん自由だし、この文章の内容を、授業、プレゼンテーション、解説、資料、著作などで自由に利用してよい(図の再利用については、47ページを見よ)。その際、出典を明記しなくてもよい。ただし、常に最新版を配布したいので、ネット上での再配布は禁止する。

*3 <http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/>

この解説の最新版は、

<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/rb2/>

から入手できる。紹介して下さる場合は、pdf ファイルにリンクするのではなく、上の URL にリンクして下さい。

最後に、この解説をまとめるにあたって多くの方のお知恵を借りたことに（敢えてお名前はあげず）感謝します。

1.2 原子力発電所事故に伴う避難などによる人的な被害

福島第一原子力発電所の事故によってどれだけの人がどれだけの被害を受けたのか？ この問いにしっかりと答えるのはきわめて難しいし、それはこの解説の主要なテーマでもない。ただ、しっかりと心に留めておくべき問題だと思うので、いくつかのデータを簡単に紹介しよう。

事故から 2 年がたった 2013 年前半の時点で、**約 15 万人にのぼる人たちが、主として原子力発電所事故が原因で、もともと住んでいた家を離れて避難生活**をしていた。このうち、避難指示区域に住んでいた人たちは約 8 万人で、それ以外は自主的に避難した人たちだ。

避難生活が長引けば、とうぜん精神的なストレスも大きくなるし、運動不足などにより健康を害する人も増えてくる。

2013 年 9 月 6 日に福島県が発表した「平成 23 年東北地方太平洋沖地震による被害状況即報（第 1025 報）^{*4}」では、震災に伴う「関連死」は事故以来 1,459 人におよぶとされている。半年前の同じ集計に比べると 144 人増えている。これらの人々の多くは避難生活が原因で命を落としたと考えられる。

こういった単純な数値が被害の現状を忠実に表わしていると主張するつもりはない。命を落とさないまでも、避難生活のあいだに成人病を患^{わづら}う人が多い

^{*4} 以下のページ（コピーしたあと改行をとってください）からダウンロード可能。

http://wwwcms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=24914

という報告もある*⁵。ただ、これだけの人数の死亡が公的機関によって「関連死」と認定されているという事実は重い。

もともと身体が弱く日常的に特別なケアを必要とする病人や老人にとっては、緊急の避難が一般の人よりもずっと大きな負担になることは明らかだろう。原子力発電所事故に伴う避難のために、多くの入院患者や老人介護施設の入居者が命を落としたと考えられる。

野村らは*⁶、福島県南相馬市内の5つの老人介護施設での調査結果を報告している。これら5つの施設はすべて福島第一原子力発電所から20 km以上30 km以内の範囲にある。避難を強制されたわけではないが、ほとんどの住人が避難する状況のなかでは、老人介護施設も入居者とともに避難するしかなかった。

図1は、野村らがまとめた入居者の死亡率の時間経過である。2006年3月11日から、3ヶ月ごとの死亡率を棒グラフにしてある。たとえば、グラフの横軸が「2006年3月11日～」とあるところは、「2006年3月11日から6月10日までの3ヶ月」の死亡率*⁷を表わしている。

*⁵ これから先、避難生活や転居に起因する生活習慣病などが増加し、さらに、若年層の肥満が増えることで将来的に何らかの病気にかかる人が大きく増える可能性があるという警告する医療関係者もいる。

*⁶ Shuhei Nomura, Stuart Gilmour, Masaharu Tsubokura, Daisuke Yoneoka, Amina Sugimoto, Tomoyoshi Oikawa, Masahiro Kami, and Kenji Shibuya, *Mortality Risk amongst Nursing Home Residents Evacuated after the Fukushima Nuclear Accident: A Retrospective Cohort Study*, PLoS ONE 8(3): e60192, (2013). doi:10.1371/journal.pone.0060192.

論文は下記から無償で入手可能。

<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0060192>

*⁷ 正確に言うと、死亡率は、(その期間のあいだの死亡者数) ÷ (滞在期間で重みをつけて平均した、その期間のあいだの入居者数) と定義する。なお、原論文では年間の死亡率を議論しているのだから、数値が4倍になっている。

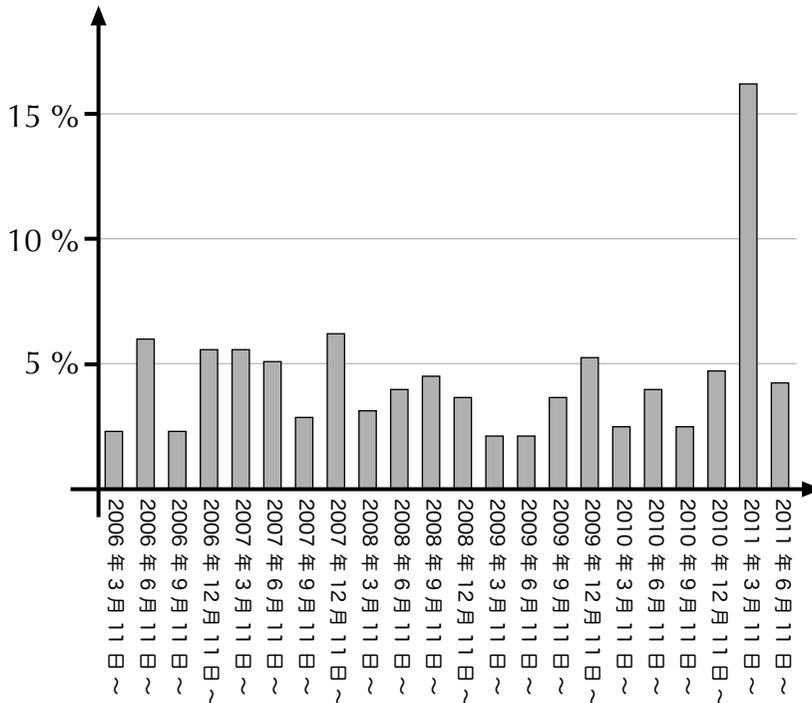


図1 南相馬市の5つの老人介護施設での3ヶ月ごとの死亡率。原子力発電所事故に伴う避難のため、2011年3月以降の死亡率が跳ね上がっている。野村らの Fig.1 をもとに棒グラフを描いた。

事故直後の死亡率が通常の約3~4倍^{*8}に跳ね上がっていることは説明するまでもないだろう。

前代未聞の事故による大混乱、予期せぬ避難のショック、そして、避難先での介護・治療体制の不備のために多くの老人が健康を害し亡くなることは、ある意味では、常識で考えても当たり前のことかもしれない。そうだとすると、このような客観的なデータを残し、再び同様なできごとが起きた際の被害を少

^{*8} ただし、「死亡率が〇〇倍」という数値そのものに重きを置くべきではない。避難に伴う死亡は短期間に集中していたはずで、死亡率の数値そのものは集計をとる期間の長さに応じて変わってしまうからだ。実際、野村らの論文では事故後の死亡率を事故前の2.7倍と評価している（さらに真面目なことをいえば、定常的な状況以外では、「死亡率」という概念そのものに明確な意味はないだろう）。

しでも小さくするための議論の出発点を作る意義は大きい*9。

1.3 福島第一原子力発電所の現状

福島第一原子力発電所で進められている事故処理と廃炉作業は、未知の要素の多い、きわめて困難な事業だ。作業を進めるために新しい技術を開発する必要もあるだろう。廃炉の最終段階までには百年近い年月を要するだろうし、その間、決して手を抜くことはできない。

『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』の3.2節でも強調したように、事故をおこした原子炉と使用済み核燃料を保管しているプールの冷却作業はずっと続けなくてはいけない。冷却を中止すれば（しばらく後に）原子炉や使用済み燃料は高温になり、放射性物質がまわりの環境に再びまき散らされることになる。人々が福島第一原子力発電所のことを忘れてしまったとしても、決して冷却作業をやめるわけにはいかないのだ。

2011年の末に、政府は原子力発電所の事故が「収束に至った」と宣言した。しかし、前の本で強調したように*10、これはまったく意味のない「言葉遊び」に過ぎない。実際、この文章をぼくが書いている2013年9月の段階では、この「収束宣言」を真に受けている人はいないだろう。放射性物質に汚染された水がタンクから漏れだし、さらには、地下水と混ざっていたことが明らかになったからだ（図2）。国内では連日報道されているし、国際的な大騒ぎになっている。

ここでは汚染水問題について踏み込んだ議論をするつもりはない。ただ、重要だと思う（考えてみれば当たり前の）点を二つ書いておきたい。

一つ目は、**汚染水漏れの問題が発生した最大の原因は、政府の見通しの悪さ**

*9 論文には収められなかった論点にも触れた野村氏の解説『福島原発事故後の避難による高齢者死亡リスクの分析。その教訓は。』も是非ご覧いただきたい。

<http://medg.jp/mt/2013/04/vol181-1.html>

*10 『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』、40ページ（pdf版）、35ページ（単行本版）



図2 福島第一原子力発電所 H4 エリアに並ぶ汚染水用のタンク。右側には^{どのう}土嚢が積まれている。2013年9月6日。東京電力提供。

だったということだ。報道によれば、地下水の汚染が問題になりうることは2011年の段階で政府関係者も十分に認識しており、対策を講じる準備も進められていたという。それを、(おそらくは)財政的な理由で先延ばしにしてしまったために、大きな問題が生じてしまったのである。

そもそも、このような深刻な事故への対応を一企業である東京電力にまかせきついているところに根本的な問題があるとぼくは考えている。汚染水漏れをおこしたタンクは、東電が経費を惜しんで安く作らせたものだという報道もある。それが真実かどうかは別として、あくまで利潤を追求する組織である企業の判断に委ねるには、今回の事故の処理は深刻すぎるのだ。

二つ目は、**汚染水漏れの問題は、これから先に生じる様々な困難な問題の最初の一つに過ぎない**だろうということだ。昨今(2013年9月)のマスコミなどを見ていると、汚染水問題こそが解決して倒すべき「ラスボス*11」だとでも言わんばかりの論調に出会う。しかし、本当の「敵」は、ひどく壊れてしまっ

*11 テレビゲーム等での、最後に倒すべき強い敵のこと。

た原子炉と燃料棒プールだということを忘れてはいけない。今でも、熔け落ちた燃料棒は手つかずのままで、ただ水を入れて冷やしているだけなのだ。

これから、何十年という時間をかけて、燃料棒を取り出して福島第一原子力発電所を廃炉にする、長く苦しい作業が続く。その間には、今は予期していないような様々な新たなトラブルが発生することは覚悟しておかなくてはならない。想定外の事故で壊れてしまった物を片付ける作業だ。マニュアル通りに進むわけではないのだ。

現状を思い出すと、東京電力は「副産物」に過ぎない汚染水の問題だけでも**これほどに行き詰まっている**。このような体制のまま廃炉作業を進めて行ったとして、**将来に生じるかもしれない、もっともっと大きなトラブルに対処できるのだろうか？**

廃炉作業を東京電力に任せきってはいけないということは、多くの人が以前からくり返し指摘していることだ*12。

ぼく自身も、2011年に、『この事故ってやばいの？ もっとひどいことになるの？ そうしたらどうすればいい？』という web 上の解説*13の中の『やばいです』という項目で、以下のように書いている。

個人的な意見を書かせてもらうけれど、**これほどの規模の事故がおきてしまったのに、未だに東京電力が中心になって事故の処理をしていることは、ぼくにはまったく信じられない**。この事故はすでに日本全体に大きな打撃を与えてしまったわけだが、これから先の長い長い事故処理にもたっぷりと資金と人材を使って慎重に取り組まなければ、またしても大きな災害を招いてしまいかねない。しかし、あくまで一つの企業である東電が中心になっているかぎり、資金が足りなくなれば理想的な工程をあきらめて安上がりの処理をしてしまうかもしれない。そもそも、

*12 もちろん、個別の具体的な技術には東電がもっとも通じているのだから、東電を排除せよと言っているのではない。しかし、長期的な展望（そして、資金）に関しては、企業を離れた組織が考えるべきだと言いたいのだ。

*13 <http://www.gakushuin.ac.jp/%7e881791/housha/crisis.html>

東電は本当に百年といった長期的なビジョンをもって事故処理ができるのだろうか？

企業というのはあくまで利潤を追求する組織だ。これほど長期間にわたり、また、日本中への（というか、世界への）影響の大きいプロジェクトを企業にまかせていいのだろうか？ 政府は、もっともっと早い時期に**原発事故を処理するための国の組織を作るべきだった**と思うし、これからであったとしても、少しでも早くそういう方向に向かうべきだとぼくは信じている（しかし、まったくそういう兆候はない。ぼくは、何か考え違いをしているのだろうか？ ぼくが間違っていないとして、どうやれば政府を動かせるのだろうか？）。

別に、これを書いたぼくに先見の明があったと言いたいわけではない。むしろ、政治、経済にめっぽう疎い^{うと}数理物理学者のぼくでさえ、（もちろん、多くの人の意見を読んだり聞いたりした結果）こういう考えを持っていたということを強調したいのだ。**事の大きさを（ある程度でも）実感すれば、これは当たり前前の考え**だと言いたいのである。

2 被曝について

ここから、福島第一原子力発電所の事故による被曝について見ていこう。

2.1 放射線と被曝の基礎

■**基本的な用語など** まず、放射線に関わる概念をざっと復習しておく（この部分は、ほとんどが前に書いたもののコピペなので手抜きです）。より詳しくは、『**やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識**』、『**放射線と原子力発電所事故**についてのできるだけ短くてわかりやすく正確な解説^{*14}』など、何らかの解説を参照していただきたい。

*14 <http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/>

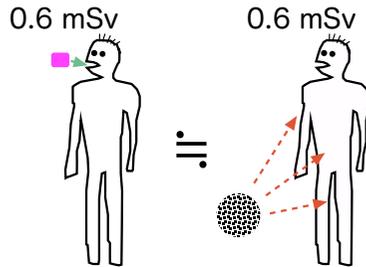


図3 実効線量（単位は、たとえば、ミリシーベルト）が等しければ、内部被曝でも外部被曝でも、体全体として被曝から受けるダメージはほぼ等しいとされている。そもそも、内部被曝の実効線量はそうなることを目指して決められた量なのだ。

放射性物質 不安定な原子核^{げんしかく}を含む物質。不安定な原子核は一定の割合で崩壊^{ほうかい}して（最終的には）安定な原子核に変化し、その際に放射線を出す。「放射線を出す能力」を放射能と呼ぶことがある。

放射線 放射性物質から出る目に見えない「何か」。放射線の正体^{しょうたい}は高いエネルギーを持った電子^{でんし}、光子^{こうし}などの流れ。

被曝^{ひばく} 人が放射線を浴びることを被曝という。体の外から浴びる外部被曝と体の内部から浴びる内部被曝がある。

ベクレル 放射性物質の量を（「放射能」で）測るための単位。記号は Bq である。異なった種類の放射性物質でも、ベクレルで表わした量が等しければ、出てくる放射線の量はごく大ざっぱには同程度。

シーベルト 被曝によって人がどれくらいダメージを受けた可能性があるかを表わす単位。記号は Sv である。年間や生涯での通算で用いる。実用的には、ミリシーベルト (mSv) という単位を使う (1 mSv = 0.001 Sv, 1000 mSv = 1 Sv)。外部被曝にも内部被曝にも用いる。被曝の原因が違って、ミリシーベルトで表わした数値が同じなら、体へのダメージは（だいたい）同じというのが ICRP (国際放射線防護委員会) などの立場である (図3)。

この点については、この節の最後を見よ。なお、シーベルトやミリシーベルトの単位で表わしている量は**実効線量**と呼ばれる。実効線量を単に**被曝線量**と呼ぶこともある。

空間線量率 いわゆる「放射線の強さ」のこと。単位はマイクロシーベルト毎時 ($\mu\text{Sv/h}$)。

■**被曝線量の目安** 被曝の健康影響に関連して、被曝線量を「年間 ○○ mSv」と表わすことが多い。この解説でも、福島第一原子力発電所の事故による継続的な被曝について考えるために、様々な原因による被曝を「年間 ○○ mSv」という数値で統一的に見積もることにする。

この際、線量が「多いか、少ないか」を判断するための一つの目安として、われわれが普段（原子力発電所事故とは関係なく）どれくらい被曝しているかを知っておくといいだろう*15。日本では、一人の人間が（文明とは関係なく）自然から受ける被曝線量が平均で年間 2.1 mSv とされている。ただし、自然から受ける被曝線量は地域によってかなり異なる。**どこに住むかによって、自然からの被曝線量は年間 1~2 mSv 程度はばらつくものなのである***16。

さらに、日本では、医療被曝は平均で年間 3.9 mSv とされる。医療被曝の個人差はかなり大きいと考えられる。

被曝による健康への影響を被曝線量（正確には実効線量）で見積もるとするのは、ICRP（国際放射線防護委員会）がまとめた放射線の防護の方法である。ICRP は、放射線の健康影響についての科学的な知見に基づいて放射線防護に関する基準を作っている科学者の団体である。ICRP がまとめた放射線防護

*15 『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』、57 ページ (pdf 版)、50 ページ (単行本版)

*16 日本では呼吸からの自然被曝は年間約 0.5 mSv だが、たとえば、アメリカ合衆国では年間 2 mSv 以上とされる（これは、米国の住宅の構造のためにラドンの吸入が多いから）。また、下の web ページで世界の都市の空間線量率を見ると、北京 0.09 $\mu\text{Sv/h}$ 、香港 0.23 $\mu\text{Sv/h}$ 、ロサンゼルス 0.12 $\mu\text{Sv/h}$ 、ミュンヘン 0.56 $\mu\text{Sv/h}$ などとなっており、自然放射線による外部被曝だけを考えると、都市によって年間 2 mSv 以上のばらつきがある。

<http://fukushima-radioactivity.jp/world-mapsearch.php>

についての基準は実質的な国際標準になっている。

多くの読者をご存知のように、ICRP の基準に対して批判的な立場もあり、特に ICRP は内部被曝の健康影響を過小評価しているという意見を耳にすることがある。ぼく自身は、ICRP の見積もりは被曝の影響の目安になるだろうと考えている。もっと懐疑的になりたい人は、この解説に登場する内部被曝の実効線量を数倍あるいは十倍程度に読み替えればいいのではないだろうか*17。

2.2 福島第一原子力発電所事故による初期被曝と継続的な被曝

この解説では、今回の事故による被曝を、ごく大ざっぱに、^{しよきひぼく}初期被曝と^{けいぞくてきな}継続的な被曝に分けて考える。あくまで、考えを整理するための^{べんぎてき}便宜的な分類である。

■**初期被曝** 事故のすぐ後には、放射性ヨウ素など半減期の短い放射性物質が大量に環境に出ており、強い空間線量率の原因になっていた。また、一部の地域では空気中にかなりの量の放射性ヨウ素や放射性セシウムが含まれていた。初期被曝とは、文字通り、こういった初期の状況での被曝のことを指す。

ただし、この解説では、初期被曝には深入りしない。3 節で重要な事実だけを簡潔に述べることにする。

■**継続的な被曝** 継続的な被曝というのは、放射性ヨウ素を初めとした短半減期の放射性物質がほとんどなくなり、被曝の原因がほぼ放射性セシウムだけになった状況での被曝のことをいう。だいたい、事故から 1 ヶ月以上たてば継続的な被曝と言っていいだろう。セシウム 137 の半減期は 30 年なので、継続的な被曝は（対策を^{おこた}怠れば）これから何十年も続くかもしれない。

この解説の主要なねらいは、継続的な被曝の現状を、データをもとに解説することである。

4 節では、空気中の放射性セシウムを吸い込むことによる内部被曝につい

*17 十倍したとしても、ほとんどの場合、内部被曝の実効線量は低い。

て、5 節では、食品などから放射性セシウムを採ることによる内部被曝について、そして、6 節では、地面に付着した放射性セシウムからの放射線による外部被曝について見る。

3 初期被曝

この解説の本題ではないが、初期被曝について簡単に見ていこう。

3.1 初期被曝の種類と見積もり

初期被曝としては、大ざっぱに言って、

- 空間線量率が（きわめて）高かった時期の外部被曝
- 空気中に含まれていた放射性セシウムを吸入することによる内部被曝
- 空気中に含まれていた放射性ヨウ素を吸入すること、あるいは、放射性ヨウ素の含まれた食品や水を採ることによる内部被曝

の三つが重要だと考えられる。

事故の初期には、空間線量率も、空気中の放射性物質の濃度も、場所と時刻に応じて目まぐるしく変化したはずだ。だから、外部被曝にせよ、内部被曝にせよ、被曝線量（正確には、被曝による実効線量）は一人一人の行動パターンに応じて大きく異なると考えられる。

以下、上の三つの被曝について、「どれくらい被曝したかをどうやって見積もるか」という原理的なことがらを述べ、実際にどういう見積もりがされているかについても（ぼくが知っている範囲で）簡単に触れる。

■外部被曝 外部被曝の実効線量を正確に求めるほぼ唯一の方法は、ガラスバッジなどの個人積算線量計をずっと身につけて行動することである。ただし、2011 年 3 月の混乱の時期にずっと線量計をつけていたのは、ごく限られた人だけだろう。

そこで、2011 年 3 月の各個人の行動パターン（つまり、「いつ、どこにいた

か」の記録) と、各地での空間線量率の記録を照らし合わせて、一人一人の外部被曝の実効線量を見積もることが行なわれている。福島県、福島県立医科大学が2012年12月に発表した「県民健康管理調査『基本調査』の実施状況について^{*18} (速報値)」という書類に、約36万人についての、そういった見積もりの結果が公表されている。

結果は地区によって大きく異なる。たとえば会津地区では99.7%の人の被曝線量が1 mSv未満と見積もられた。一方、県北地区では、1 mSv未満と見積もられたのは約33%で、2 mSv未満が約90%になる。また、放射線業務従事経験者を除いた約35万人のうち、12名の被曝線量の見積もりが15 mSv以上となっているのも目を引く。

もちろん、これはあくまで事故のすぐ後の時期の被曝線量であり、同じ被曝がずっと続くというものではない。そういう意味では、15 mSvが激烈に高い被曝線量とはいえないだろうが、それでも一般人の被曝線量としては異常に高い。

■放射性セシウムによる内部被曝 初期に空気中の放射性セシウムを吸入したことによる内部被曝の実効線量は、事故から数ヶ月のうちにホール・ボディー・カウンター (WBC) の検査を行えば、ある程度の正確さで見積もることができる^{*19}。ホール・ボディー・カウンターについては、31ページの図7を見よ。

2011年7月から2012年1月にかけて、日本原子力研究開発機構 (JAEA) では、飯館村、川俣町、浪江町を含む11の地区で、約1万人を対象にしたWBC

^{*18} <http://www.pref.fukushima.jp/imu/kenkoukanri/20121227kihontyousa.pdf>

^{*19} WBCでは体内にある放射性セシウムの総量が測れる。事故のときに放射性セシウムを吸入すると (そして、それから後は放射性セシウムをとりこまなければ)、その後の体内の放射性セシウムの量は一定の割合で減っていく。測定した時点での体内の放射性セシウムの量から逆算すれば、どれだけの量を吸入したか (そして、それによってどれだけ被曝するか) を推測できるのである。理想的には、期間をおいて複数回の測定を行えば (減衰していく成分とその後の定常摂取から来る成分を分離できるので) より正確な見積もりが可能はずだ。

による体内の放射性セシウムの量の測定を行なった^{*20}。その結果、99.8 % の人については（初期の放射性セシウムの吸入による）被曝線量は 1 mSv 未満と見積もられた。見積もりが 1 mSv を超えたのは 25 人だった^{*21}。さらに、全体としてみると、95 % の人の被曝線量が 0.1 mSv 以下だった。

■放射性ヨウ素による内部被曝 初期被曝の中でおそらくもっとも深刻な問題なのは、放射性のヨウ素 131 による内部被曝だ^{*22}。チェルノブイリの事故では放射性ヨウ素による内部被曝が小児甲状腺癌の増加につながったことがわかっている。さらに、ヨウ素 131 の半減期はわずか 8 日なので、事故から^{つきひ}月日が経ってしまうと被曝線量の見積もりはほぼ不可能になる。

被曝線量の見積もりは、ヨウ素 131 が消えてしまう前、2011 年 3 月に一部の地域で実施された甲状腺のスクリーニング検査の結果を用いるものが、おそらく、もっとも信頼できる（これについては、ぼくが以前に書いた解説『2011

^{*20} Takumaro MOMOSE, Chie TAKADA, Takahiro NAKAGAWA, Katsuta KANAI, Osamu KURIHARA, Norio TSUJIMURA, Yoshihiro OHI, Takashi MURAYAMA, Takashi SUZUKI, Yasuhiro UEZU, Sadaaki FURUTA, *Whole-body Counting of Fukushima Residents after the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident*, in the Proceedings of “The 1st NIRS Symposium on Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident”, eds. by K. Akahane, S. Fukuda, N. Miyahara, and S. Yonai. NIRS-M-252, 67–82 (2012).

この論文は「東京電力福島第一原子力発電所事故における初期内部被曝線量の再構築」に関する第 1 回国際シンポジウムの報告集に収められている。以下のページの nirs_m_252 から報告集の全文がダウンロードできる。

<http://www.nirs.go.jp/publication/irregular/04.shtml>

日本語での要約が第 2 回シンポジウムの予稿集（以下のページからダウンロード可能）の p15（百瀬他「福島住民のホールボディカウンタによる内部被ばく線量評価」）にある。

<http://www.nirs.go.jp/information/event/report/2013/0127.shtml>

^{*21} 高めの見積もりが出たのは主に子供だった。しかし、WBC で子供を正確に測定するのは難しいようで、この場合も、衣服の汚染などが影響したのではないかと論文では議論している。さらに言えば、事故から 4 ヶ月以上が経ってからの測定では、（体からのセシウムの排出が速い）子供の被曝線量を正確に見積もるのは困難だと考えられる。

^{*22} 『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』、45 ページ（pdf 版）、39 ページ（単行本版）

年3月の小児甲状腺被ばく調査について*23』がある)。また、より広い範囲の人々の被曝線量を見積もるため、空気中のヨウ素の流れから推測する方法、体内の放射性セシウムの量から推測する方法なども試みられている。2013年2月に放射線医学総合研究所がまとめた『「事故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばく線量評価調査」成果報告書*24』は、初期のヨウ素被曝の実効線量の見積もりの総合的かつ専門的な報告である。

これらの解析の結果、もっとも被曝線量の高かった子供でも、甲状腺等価線量は数十ミリシーベルトと見積もられている。以前に本や解説に書いた「チェルノブイリ周辺に比べると、被曝線量は桁違いに小さい」という結論は変わらない。

■甲状腺検査について 「チェルノブイリ周辺に比べると、桁違いに小さい」とはいつても、それで安心してはいけないと思う。以前の解説にも書いたことだが、今回の事故での被曝線量の評価は不確かだし、さらに、どの程度の被曝でどれくらい甲状腺癌(などの疾患)が増えるかも正確にはわからないからだ。

初期被曝は既におきてしまったことであり、それを帳消しにする方法はない。けっきょくは、健康影響が出ないかどうかを適切に検査していくしかないのだ。実際、福島県では(2011年4月1日の時点で)18歳以下だったすべての県民の甲状腺の検査を実施している。

そして、この検査の結果、すでに何名かの甲状腺癌が発見されている。これに関して、「やはり被曝の影響が出てしまったのだ」と即座に主張する人もいれば、「前代未聞の精密な検査を大規模に実施したので普通は発見されない小さな初期の癌が見つかったに過ぎない」と即座に反論する人もいる。多くの読者がそういう議論を目にしたことがあるだろう。

ばく自身は — 優柔不断に聞こえるかもしれないけれど — そんなにあわてて結論を出す必要はないと思っている。

*23 <http://www.gakushuin.ac.jp/%7e881791/housha/details/thyroidscreening.html>

*24 情報公開クリアリングハウスのページからダウンロード可能
<http://clearinghouse.main.jp/wp/?p=774>

言うまでもなく、**もっとも重要なのは個々の人の幸せだ**。検査で何らかの結果が出た人については、初期被曝対策の責任問題とは切り離して、これからの人生のことを考えて、最良の対応をしてほしいと心から願う。

一方で、果たして放射性ヨウ素の内部被曝のために福島（やその周辺）で甲状腺癌（あるいは、他の疾患）が増えるかどうかについて、時間をかけて冷静な議論と分析をしてほしいとも思う。けっきょく、人類はそうやって経験を積み重ねることで、少しずつ知見を増やしていくしかないのだから。

3.2 政府・地方自治体の初期被曝対策について

最後に、**福島第一原子力発電所の事故における初期の被曝を防ぐための政府や地方自治体の体制はまったく不十分だった**ことは、はっきりと言っておきたい。初期被曝への対応は、「甲状腺癌（あるいは、他の疾患）が増えたら失敗、増えなければ成功」というような性質のものではない。そういった結果とは独立に、不十分だったと今の段階で言い切りたいとぼくは考えている。

今回の事故では、食品の流通規制はかなりうまくいったと思われるし、前代未聞の地震と津波の直後という混乱の中で多くの人が賢明の努力をして事態を改善したのも確かだと思う。しかし、そもそも原子力発電所での過酷^{かこく}事故を真剣に想定したプラン作りや避難訓練は行なわれておらず、そのため、住民の避難やヨウ素剤の配布などへの対応は不十分なものになった。結果として、多くの人が不必要な被曝をする可能性があったし、実際に、被曝した人もいる。これはどうしようもない事実だ。数々の偶然が重なって、ひどく大量の被曝をした人はいないようだが、それは、あくまで幸運だったただけだ。対策が十全だったということではない*25。

いずれにせよ、きわめて多くの人が、初期被曝の影響について心配し、悩み、苦しんでいる。多くの子供たちが本来は受ける必要のなかった検査を受け、家

*25 稚拙な比喩かもしれないけれど、シートベルトをしないで運転していた人が事故を起こし、奇跡的に軽い怪我だけですんだとしても、シートベルトは必要なかったという事にはならない（少し運が悪ければ命を落としていただろう）。

族は検査結果に振りまわされている。それを考えただけでも、初期被曝の対策が不十分だったことは明らかではないだろうか？

既に取り返しのつかないことについてダメだったと宣言しても意味がないと思うかも知れない。しかし、そうではないのだ。

当たり前なことだが、重要なのは、対策が不十分だったことをしっかりと認めて今後活かすことである。これからも原子力発電所を使い続けていくのであれば、仮に今回と同程度の（あるいは、今回以上の）事故がおきたとき、どうやって周辺の人々を被曝させないかについて、あらかじめ十分な対策をすることが絶対に必要だ*26。しかし、そういうことを認識して原子力発電所の運用が見直されているようには見えない。もちろん、事故がおきる確率は小さいと考えられるわけだが、それは決して対策を怠る理由にはならないのだ*27。

4 継続的な被曝 — 呼吸による内部被曝

ようやく本題の継続的な被曝の議論に入ろう。最初は、呼吸による内部被曝である。

福島第一原子力発電所の事故で放出された放射性セシウムは、日本の広い地域に降り注いで、未だに地面にくっついている*28。それら放射性セシウムの一部が風で巻き上げられて空気中を漂っている可能性がある。また、廃炉作業中の福島第一原子力発電所からは、今でも、一定量の放射性物質が空気中に放出されている。

これら空気中の放射性物質を吸い込んで体内にとりこむことで、内部被曝を

*26 言うまでもないだろうが、原子力発電を使い続けることに賛成だと言っているわけではない。

*27 またしてもシートベルトの喩えを使うと、シートベルトをしなくて高速道路を疾走したからといって、すぐに死ぬわけではない。というより、普通は（事故などおこさないから）シートベルトがあってもなくても、ほとんど関係はない。しかし、きわめて低い確率とはいえ、大事故をおこしたとき、シートベルトをしているかしていないかは生死を分ける。

*28 『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』、89 ページ (pdf 版)、81 ページ (単行本版)

するかもしれない。現状でどの程度の被曝をする可能性があるのか、見積もってみよう。

4.1 現状での被曝線量の見積もり

基本データとしては、原子力規制委員会が公表している「ダストサンプリング・土壌及び環境試料モニタリングの測定結果*²⁹」という資料を用いる。ひたすら測定結果の表が並んだ無味乾燥な pdf ファイルである。特に、福島第一原子力発電所の北西 62 km の福島市方木田^{ほうきだ}というところでは継続的に空気中の放射性物質の測定が行なわれているので、その結果を使おう。測定結果は、〇〇 Bq/m³ のように、1 m³ (1 立方メートル) の空気中に含まれる放射性物質の量 (の 1 日の平均値) で表わされている。

最近の測定結果を見ると、セシウム以外の放射性物質はまったく観測されていない。以下、放射性セシウムのことだけを考えよう。セシウム 134 とセシウム 137 を合計した量をみていく。

放射性セシウムにしても検出限界未満の日、あるいは、検出限界ぎりぎりの日がほとんどだ。こういう日のセシウムの量は 0.0005 Bq/m³ 未満である。ときおり少し多くなっても 0.001 Bq/m³ 未満というところだ。さらに、ごくまれに量が多くなることもあり、たとえば、2013 年 3 月 7 日～8 日の測定結果は約 0.003 Bq/m³ である。

この放射性セシウムの量がどれくらいの被曝線量に相当するかを (乱暴に見るため、思い切って、放射性セシウムの濃度が 0.01 Bq/m³ の空気を丸 1 年間呼吸し続けると仮定してみる。方木田で例外的にセシウムが多かった日の三倍の濃度の空気をずっと吸い続けるということだ。

成人が 1 日に呼吸する空気の体積はだいたい 20 m³ なので、1 年間では、

$$0.01 \text{ Bq/m}^3 \times 20 \text{ m}^3 \times 365 = 73 \text{ Bq}$$

*²⁹ <http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/222/list-1.html>

の放射性セシウムを吸い込むことになる。ここに（結果を大きめに見積もるよう）セシウム 134 の実効線量係数 2.0×10^{-8} Sv/Bq をかければ*30、年間の被曝線量は約 0.0015 mSv と計算される。もちろん、方木田の測定結果を真面目に使って計算すれば、何桁か小さい値が出る。

4.2 展望

こうして、最近のダストサンプリングの測定結果に基づき、ICRP の実効線量係数を用いて評価するかぎりには、放射性セシウムを吸入することによる被曝はきわめて小さいことがわかる。自然被曝の線量が年間 2 mSv だったことを思えば、（やたらと過大に評価して）0.0015 mSv というのは、無視してしまっただかまわない値である。

ところで、この部分の考察をするため調べ、また人に質問してみた結果、継続的に測定されて公表されているダストサンプリングのデータは、どうも方木田のものだけらしいことがわかった。方木田は福島第一原子力発電所からは 62 km も離れているわけだし、これは、いささか不思議に思う。

今、原子力発電所では汚染水漏れが問題になっている。これから先の廃炉作業で何らかのトラブルがあつて空气中に放射性物質が放出される可能性もある。そういった状況に対応するためにも、もっと多くの観測点での継続的なデータを公表した方がいいのではないか*31？

あるいは、福島県のような地域で、風向きによっては原子力発電所から何か

*30 きわめて細かい注：この実効線量係数は『やっかいな放射線と向き合つて暮らしていくための基礎知識』の表 4.2 で紹介したセシウム 134 の吸入摂取の実効線量係数よりも少しだけ大きい。実は、ICRP publ. 72 の吸入摂取の実効線量係数には、吸入の形態（吸入したあと体液に溶け込む程度）に応じて、F, M, S（それぞれ、fast, moderate, slow）の三種類がある。事故の当初、原子炉から直接空気中に出てきた放射性物質を扱う場合は F が妥当のことなので、『やっかいな・・・』には F の値を引用した。ここでは、様々な可能性を考え、もっとも被曝線量の見積もりが高くなるよう S の値を使った。いずれにせよ、このような大ざっぱな評価をする際には、このようなマニアックな点を気にする必要はない。

*31 たとえば、以下の「福島県放射線監視室」からの報告を見ると、かなり徹底したモニタリングを行なつていと推測される。しかし、結果は公表されていないようだ。

<http://wwwcms.pref.fukushima.jp/download/1/20130827moni.pdf>

が飛んでくるのではないかと、可燃ゴミといっしょに放射性セシウムに汚染されたものが燃やされて空気中に放射性セシウムが飛んでいるのではないかと、いった不安を抱いている人たちがいる。そういった不安に答えるためにも、多くの街で空気中の放射性物質の量を測定しその結果を公表するのが望ましいと思う。

5 継続的な被曝 — 食品からの内部被曝

次は、食品による内部被曝を扱う。

広範囲の地面を汚染した放射性セシウムは、畑や水田の地面などを通じて、様々な農作物に取り込まれた可能性がある。飼料となる農作物が放射性セシウムに汚染されれば、それを食べて育った家畜の肉もまた汚染される。さらに、海水も放射性セシウムや放射性ストロンチウムが汚染されているため、それらを取り込んだ魚が食卓に上る可能性もある。

食品の汚染の可能性は大きな問題になり、生産者をはじめとする多くの人たちが、汚染された食品を流通させないための^{こんしん}渾身の努力を続けてきた。以下では、現状での被曝の可能性を示すいくつかのデータを紹介する。

なお、2011年の事故のすぐ後には水道水から放射性ヨウ素が検出されて問題になったが、最近では、水道水から放射性物質は検出されていない^{*32}。水道水を通じた内部被曝の可能性は考えなくてよいだろう。

5.1 食品の中の放射性物質

まず、ぼくたちの口に入る食事のもとになる食品の汚染について見よう。

厚生労働省は、2012年4月から、食品中の放射性物質についての新しい基準を採用した(表1)。食品を4つの^{はんちゅう}範疇に分類し、1kg中の放射性セシウム(セシウム134とセシウム137)の(ベクレルで表わした)量の上限を決めた

^{*32} 以下の厚生労働省のページを参照。

http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/suidou.html

食品区分	放射性セシウムの基準値(Bq/kg)
飲料水	10
乳児用食品	50
牛乳	50
一般食品	100

表1 2012年4月から使われている「食品中の放射性物質に係わる規格基準」。食品1kgに含まれる放射性セシウムの量（単位はBq）の上限を表わしている。

のだ。

流通する食材はこの基準を満たさなくてはならない。そのために、様々な検査が行なわれている。

■汚染の概要 各々の自治体が発表した食品中の放射性物質の検査結果を厚生労働省がまとめて公表している。

厚労省食品検査結果722報（2013年9月6日）までの集計結果は以下のとおり^{*33}。流通品については^{*34}、3万8千件のうち基準値を超えたのは30件で、2013年5月以降は基準値を超える食品はみつかっていない。基準値を超えた割合は0.1%未満ということになる。非流通品についても、42万件のうち基準値を超えたのは約3千件で、基準値を超えた比率は約0.7%だ。しかも、この比率は年とともに下がっている。

食品中の放射性物質を測る際、多くの場合は、検査する食品を選び、バラバラに粉碎してから測定器にかける。牛肉の場合は、首の肉を代表としてとって測定することが多いそうだ。こういった場合、測定に使った食品は出荷はしな

^{*33} 早野龍五氏の集計による。

^{*34} 「流通品」、「非流通品」が明確に定義されているわけではないが、「市場に出て値段がついて消費者が手に取れる（買える）もの」を「流通品」、それ以前の段階のものを「非流通品」と呼んでいるとのことである（厚労省の担当者による）。

い。実際に流通する食品に対して、どれくらいの割合のサンプルを選んで測定しているかは、食品や自治体の方針によって異なるようだ。

■福島県における米の検査 福島産の米については全量・全袋検査が実施されている。実際に出荷される米袋**すべて**をそのまま測定器に通して放射性物質の量をチェックしているということだ*³⁵。こんなことが可能になったのは、米袋からの放射線をきわめて能率的に測定する新しい装置を、いくつかの企業が事故の後に素早く開発したからである。凡庸な感想だが、やはり驚異的な技術力だと思う。

2012年産および2013年産の米については、それぞれ1000万袋以上が検査されている。そのうち、基準値である100 Bq/kgを超えたのは2012年は71袋、2013年は28袋だった。栽培管理など徹底的な対策が功を奏したと言える。詳しい調査結果は、「ふくしまの恵み安全対策協議会」のページ*³⁶にまとめられている。

■汚染の高い食材 厚生労働省が発表する食品中の放射性物質の検査結果は、単なるデータの羅列で、ぼくたちが普通に見たり調べたりするにはまったく不向きだ。奥村晴彦氏は、厚生労働省が発表したデータをもとに、データベース「食品の放射能データ検索」を作成し、

<http://oku.edu.mie-u.ac.jp/food/>

で公開している*³⁷。

これを使えば、汚染のひどいものを食べたらどれくらい被曝するのかといった疑問にもある程度は答えられる。

*³⁵ まず全ての米袋をシンチレーションカウンターで検査し（スクリーニング検査）、値が高かったものについてはゲルマニウム半導体検出器を用いて精密な検査を行なう。

*³⁶ <https://fukumegu.org/ok/kome/year/12>

<https://fukumegu.org/ok/kome/year/13>

*³⁷ もちろん、厚労省に頼まれているわけでもなく、純粋なボランティア活動だ。しかも、一回作れば終わりというものではなく、厚労省から新しいデータがでるたびに、(かなりの部分を手動で) 苦労して入力されているようだ。

No	報告自治体	実施主体		産地			非流通品／流通品	食品カテゴリ	品目		検査機関	検査法	採取日(購入日)	結果判明日	結果 (Bq/kg)			
		主体	部局	都道府県	市町村	その他			品目名	その他					I-131	Cs-134	Cs-137	Cs合計
702020142	-	福島県	-	福島県	南相馬市	-	非流通品	野生鳥獣肉	イノシシ肉	-	福島県原子力センター	Ge	H25.7.17	H25.8.9	-	6470	13800	20000
648020063	-	緊急時モニタリング	-	福島県	田村市	-	非流通品	農産物	コシアブラ	野生	福島県農業総合センター	Ge	H25.5.23	H25.5.24	-	4010	7860	12000
607020040	-	福島県	-	福島県	南相馬市	-	非流通品	野生鳥獣肉	イノシシ肉	-	福島県原子力センター	Ge	H25.3.11	H25.3.26	-	21100	40200	61000
607020035	-	福島県	-	福島県	南相馬市	-	非流通品	野生鳥獣肉	イノシシ肉	-	福島県原子力センター	Ge	H25.3.8	H25.3.26	-	12300	23300	36000
607020023	-	福島県	-	福島県	南相馬市	-	非流通品	野生鳥獣肉	イノシシ肉	-	福島県原子力センター	Ge	H25.3.6	H25.3.26	-	4100	8140	12000
593020043	-	福島県	-	福島県	南相馬市	-	非流通品	野生鳥獣肉	イノシシ肉	-	福島県原子力センター	Ge	H25.2.24	H25.3.5	-	5510	10300	16000
593020042	-	福島県	-	福島県	南相馬市	-	非流通品	野生鳥獣肉	イノシシ肉	-	福島県原子力センター	Ge	H25.2.24	H25.3.5	-	9570	18000	28000
593020040	-	福島県	-	福島県	南相馬市	-	非流通品	野生鳥獣肉	イノシシ肉	-	福島県原子力センター	Ge	H25.2.22	H25.3.5	-	19800	36600	56000

図4 「食品の放射能データ検索 (<http://oku.edu.mie-u.ac.jp/food/>)」
で検索した、汚染が 10,000 Bq/kg 以上の最近の食材。

データベースの使い方は（こういうものに慣れていれば）簡単だ。手始めに、上の三つの欄（都道府県、食品カテゴリ、品目）を空欄にして、I-131 の欄は（もともとあるように）0 に、Cs-134+137 の欄を（思い切って）10000 とでもして、「検索」ボタンを押してみよう。これによって、10,000 Bq/kg 以上、つまり、厚労省の基準の百倍以上の放射性セシウムを含む食材が検索されることになる。

検索結果の上の方だけをコピーして図4に示す（できる人は是非ご自分でもやってみてください）。もちろん、ここで引っかかってくるのはすべて「非流通品」だ。特に野生のイノシシ肉の比率が高く、他には野生の山菜やキノコがある。魚では、2012年3月に、18,700 Bq/kg のヤマメがみついている。

さすがに、ぼくたちが福島の野生のイノシシ肉を食べるチャンスはないだろうから、もう少し現実的な条件で検索してみよう。都道府県は空欄、食品カテ

ゴリに「水産物」と入力、品目は空欄、I-131 の欄は 0、Cs-134+137 の欄を 100 として、検索してみる。これで、厚生労働省の基準を越える水産物が（最近のものから順に）列挙される。

ここでも挙がってくるのはすべて「非流通品」だ。100 Bq/kg を少々上回るものが多いが、中には、500 Bq/kg から 1,000 Bq/kg のスズキなども見られる。

ぼくたちが、こういう「非流通品」のスズキを入手できるのかどうかということは問わず、仮に、このスズキを食べていたらどれくらいの被曝があるかを考えてみよう。「放射性セシウムの濃度が 1,000 Bq/kg の魚を一日 200 g ずつ、1 年のあいだ食べ続ける」とする。こういうときの年間の被曝線量は、『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』の表 6.2 (pdf 版 113 ページ、単行本 103 ページ) を使うとすぐに計算できる。1 日あたりの摂取量に（成人の場合）0.0056 mSv/Bq をかければいい*38。つまり、

$$1,000 \text{ Bq/kg} \times 0.2 \text{ kg} \times 0.0056 \text{ mSv/Bq} \doteq 1.1 \text{ mSv}$$

となる。年間の被曝線量が約 1 mSv ということだ。

この結果をどう受け取るかは読者の判断におまかせしたいと思う。ただ、普通に流通している商品を買っているかぎり、ここまで汚染された食材を継続的に手に入れる可能性がきわめて低いことは確かだろう。

5.2 食事の中の放射性物質

ぼくたちが食べている食事のなかにどのくらい放射性物質があるかを測れば、実際に摂取してしまう放射性物質の量もわかる。食品中の放射性物質の測定値を使って摂取量を推測するより、直接的で実態に近い方法だといえる。

そのために、^{かげぜん}陰膳調査という手法が用いられる。各家庭にお願いして、家族が食べているのとまったく同じ食事を、一人分、余分に作ってもらうのだ。こ

*38 細かい注：ものすごく細かいことを言えば、本を書いた時点と比べるとセシウム 134 と 137 の比率が少し変わったので、この係数も微妙に変える必要がある。しかし、そんな些細なことが問題になるような計算ではない。

地域	乳児 1歳未満	幼児 1～6歳	小児 7～12歳	青少年以上 13歳～
北海道	0.0011	0.0008	0.0010	0.0015
岩手	0.0013	0.0026	0.0018	0.0048
福島	0.0019	0.0008	0.0010	0.0031
栃木	0.0010	0.0020	0.0018	0.0042
茨城	0.0027	0.0029	0.0027	0.0048
埼玉	0.0007	0.0009	0.0007	0.0026
新潟	0.0009	0.0010	0.0013	0.0019
大阪	0.0007	0.0007	0.0007	0.0010
高知	0.0007	0.0012	0.0010	0.0014

表2 全国の家庭での陰膳調査から推計した、放射性セシウムによる年間の被曝線量。単位はmSv（ミリシーベルト）である。「食品からの放射性物質の一日摂取量の推定について」の表3をそのまま写した。

れが「陰膳」だ^{*39}。そして、陰膳の分はまとめて測定器にかけて、どれだけの放射性物質が含まれているかを測るというわけだ。

■放射性セシウム 既に多くの陰膳調査が実施されているが、まず全国的な傾向をつかむため、厚生労働省が2013年3月11日に発表した「食品からの放射性物質の一日摂取量の推定について^{*40}」という資料を見よう。2012年3月～5月に日本の各地の家庭で行なった陰膳調査の結果をまとめたものである。

表2は、実測された食事の中の放射性セシウムの量から推測した年間の被曝

^{*39} 陰膳というのは、旅行などに出ている家族のために余分な食事を作って供^{そな}えるという、日本の伝統的な風習らしい。ぼくは（実は、かなり非常識なので）知らなかったが、ぼくの（放射線関連の）講演を聞いてくださった年輩の女性は、よくご存知だった。

^{*40} 厚生労働省の以下のページからリンクされている。

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r985200002wyf2.html>

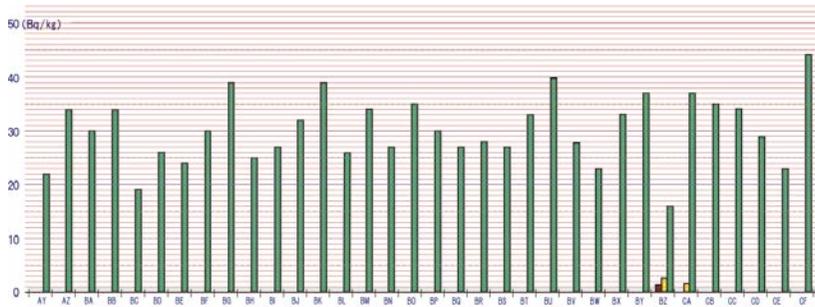


図5 「コープふくしま」による陰膳調査の結果のグラフの一部。2013年度下期の調査では、100家庭のうち4家庭の食事から放射性セシウムが検出された（検出限界は1 Bq/kg）。グラフのほとんどを占める緑の棒で示されているのは食事中の放射性カリウムの量。赤と黄色が、それぞれセシウム134と137の量を示す。

線量の一覧だ。表の数値の単位は mSv（ミリシーベルト）である。

一目見て、被曝線量が全国的に低いことがわかるだろう。2012年4月に厚生労働省が食品中の放射性物質の上限（23ページの表1）を定めたときには、年間の被曝線量を1 mSvに抑えることを目標にしていた。それと比較すれば、どの地域でも被曝線量は桁違いに低い。

この調査は多くの地域を対象にしているが、各地域のサンプル数は決して多くはない^{*41}。そこで、福島県での継続的で大規模な陰膳調査の例として、「コープふくしま」の調査結果をみよう。「コープふくしま」では、2011年11月から開始し、2012年度と2013年度に二回ずつ、これまで合計で五回の調査を行なっている。一回の調査で100家庭の食事をゲルマニウム半導体検出器で測定している。

2013年11月から2014年2月にかけて行なわれた検査では、100家庭のうち4家庭だけで放射性セシウムが検出され、それ以外では検出限界（1 Bq/kg）未満だった^{*42}。図5を見よ（グラフのほとんどを占めている緑の棒は食事中

*41 福島県については、浜通り、中通り、会津の三地域から一家庭ずつ。

*42 http://www.fukushima.coop/kagezen/2013_02.html

の放射性カリウムのデータである^{*43}。仮に、4家庭のうちもっとも放射性セシウムの量が多かった食事（セシウム 137 が 2.6 Bq/kg、セシウム 134 が 1.1 Bq/kg）をずっと一年間食べ続けたとして年間の内部被曝の線量を見積もると、約 0.04 mSv となる。ちなみに、放射性カリウムによる年間の被曝線量は約 0.2 mSv である。

結論としては、食事の中の放射性セシウムは当初に心配されていたよりもずっと少なく、現状では内部被曝を心配する必要はほぼないと言っていいだろう。今後もより広い範囲での調査を続けてほしい。

■放射性ストロンチウムと放射性プルトニウム 上で紹介した調査の不満点は、放射性セシウムしか測定していないことだ。放射性セシウムは比較的容易に精度の高い測定ができるのに対して、放射性ストロンチウムや放射性プルトニウムの測定はずっと困難なのである。

2013年5月に、福島県災害対策本部（原子力班）が「福島県における日常食の放射性物質モニタリング調査結果（ストロンチウムとプルトニウム）」という資料を発表した^{*44}。2012年6月19日～28日のあいだに、福島県内の一般家庭から選定した78名の食事の内容と同じ物を回収し、ストロンチウムとプルトニウムの量を分析した結果の報告である。

結果は以下のとおりだ。78の試料を測定した結果、ストロンチウム 89、プルトニウム 238、プルトニウム 239 および 240 はすべてについて不検出^{*45}だった。ストロンチウム 90 については、75の試料が不検出^{*46}で、3つの試料から

^{*43} なお、このようなデータを見たとき、食事の中の放射性カリウムの量と放射性セシウムの量を比較して、両者による被曝の影響を考えるのは誤りである。被曝にとって問題になるのは、体内にどれくらいの量の放射性物質があるであり、それは摂取した量をそのまま反映するわけではないからだ。放射性カリウムの量は摂取量とはほぼ無関係にほぼ一定に保たれているのに対し、放射性セシウムの量は摂取量を反映する（『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』の6章を参照）。被曝量の比較を行なうには（ICRPの考えに従うなら）実効線量に換算するのが一番よい。

^{*44} <http://wwwcms.pref.fukushima.jp/download/1/nitijyousyoku2013-0509.pdf>

^{*45} 検出下限値は、ストロンチウム 89 は 0.112～0.987 Bq/kg、プルトニウム 238 は 0.0004～0.0046 Bq/kg、プルトニウム 239 および 240 は 0.0004～0.0033 Bq/kg とある。

^{*46} 検出下限値は 0.009～0.083 Bq/kg とある。

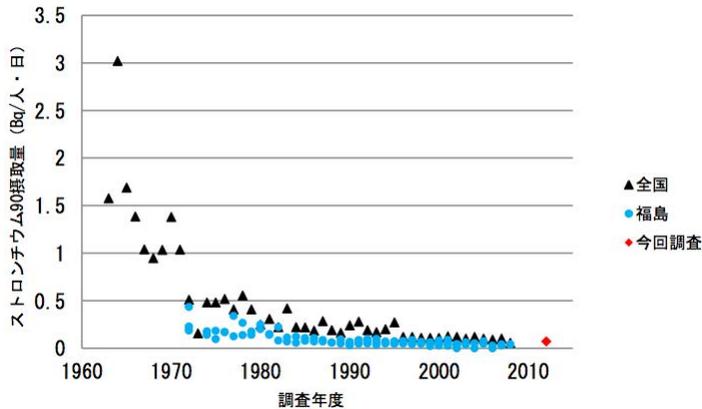


図6 今回の調査で検出された食事中的ストロンチウム90の量は、過去の調査結果に比べても低い。「福島県における日常食の放射性物質モニタリング調査結果（ストロンチウムとプルトニウム）」の図2をそのまま用いた。

検出された（検出量は0.016 Bq/kg, 0.026 Bq/kg, 0.034 Bq/kg）。

この測定結果から、1日あたりのストロンチウム90の摂取量を計算すると、もっとも多い人の場合、1日あたり0.071 Bqだった。これと同じ量のストロンチウム90を1年間にわたって採り続けた場合の年間の被曝線量は0.00073 mSvと見積もられた。これも、自然被曝量と比較すれば、文字通り桁違いの、ごく小さな被曝量である。

この調査結果を、ストロンチウム90の摂取量の過去の調査と並べて表わしたのが、図6である。今回の測定されたストロンチウム90の量は、福島第一原子力発電所事故の前の近年の測定結果とほぼ同程度であること、さらには、（核爆弾実験の影響がもろに出ている、そして、ぼくが（放射線に敏感な！）子供だった）1960年代に比べると桁違いに少ないことが見て取れる。

5.3 体の中の放射性物質

■ホール・ボディー・カウンター 体の中にある放射性セシウムの量を測定して内部被曝の量を見積もるという方法もある。食品を測るより、あるいは、食

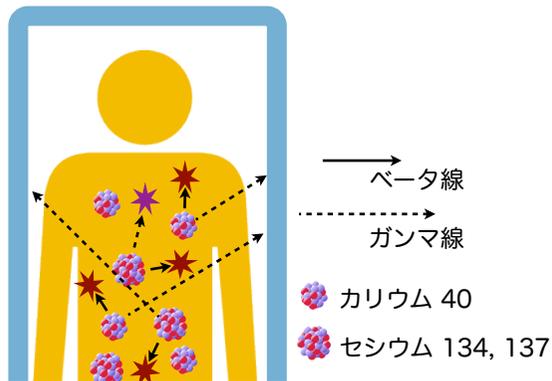


図7 ホール・ボディー・カウンター（WBC）の原理。

体の中にはもともと体重 1 kg あたり約 60 Bq のカリウム 40 がある。事故のため、そこに新たに放射性的のセシウム 134 とセシウム 137 が加わった。カリウム 40、セシウム 134、セシウム 137 はいずれも崩壊するときにガンマ線とベータ線を出す。ベータ線はほぼ全て体に吸収される（そして内部被曝を起こす）が、ガンマ線の半分くらいは（体には何の影響も与えず）外に飛び出してくる。ホール・ボディー・カウンターでは、体をガンマ線の測定器で覆い、体から出てくるガンマ線を測る。

ただし、今の日本の被曝のレベルだと、体から出てくるガンマ線のほとんどはカリウム 40 から来るもので、放射性セシウムの汚染とは関係がない。そこで、ホール・ボディー・カウンターでは、体から出てきたガンマ線のエネルギーを測定することで、カリウムから来る大多数のガンマ線と、少数派のセシウムからのガンマ線を区別している。そうして測ったガンマ線の量から逆算して、体の中にどれくらいの放射性的セシウムがあるかを定めるのだ。

ちなみに、食品や食事中的放射性的セシウムの測定の原理も、これと同じである。

事を測るより、さらに直接的な方法だ。そのために、ホール・ボディー・カウンター（WBC）という装置を用いる。図7を見よ。

ホール・ボディー・カウンターでの測定結果は、「体全体に放射性的セシウムが〇〇 Bq」（これを、〇〇 Bq/body と書く）または「体重 1 kg あたり放射性的セシウムが△△ Bq」（これを、△△ Bq/kg と書く）という形で表わされる。

表3に、「体内の放射性的セシウムが△△ Bq/kg」ということの持つ意味に

体内の放射性セシウムの濃度	対応する目安
約 370 Bq/kg	年間の被曝線量が 1 mSv
約 60 Bq/kg	もともと体内にあるカリウム 40 の量
約 10 Bq/kg	1964 年の日本人の体内のセシウム 137 の量
約 5 Bq/kg	WBC の検出限界

表3 ホール・ボディー・カウンターで測定される体内の放射性セシウムの濃度についてのいくつかの目安。成人の場合。

ついて、簡単にまとめておいた。年間の被曝線量（内部被曝の実効線量）が 1 mSv になるのが約 370 Bq/kg という事^{*47}、また、1960 年代の核爆弾実験の時代には日本人の体内に平均で約 10 Bq/kg のセシウム 137 があったということを見ておけばいいだろう。

■ホール・ボディー・カウンターによる測定結果 福島県では県民を対象にした大規模なホール・ボディー・カウンターによる検査を行なっている。2011 年 6 月から 2013 年 7 月までの 145,306 人の測定の結果は^{*48}、

預託実効線量	人数
1 mSv 未満	145,280 人
1 mSv	14 人
2 mSv	10 人
3 mSv	2 人

^{*47} このように被曝線量を見積もる際には、体の中の放射性セシウムの量は 1 年以上の期間で大きくは変化しないと仮定している。ほぼ一定の濃度で汚染された食品を 1 年以上摂り続けていれば、この仮定はほぼ正しい。詳しくは、『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』の 6 章を参照。

^{*48} 以下のページ（コピーしたあと改行をとってください）より。

http://wwwcms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet?CONTENTS_ID=26211&DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004

とまとめられている*49。「預託実効線量」とは、年間の被曝線量（内部被曝の実効線量）のことである。

要するに「ほぼ全員の被曝が年間 1 mSv 未満」と言っているわけだが、これだけではいささか情報が少ない。実際にはどの程度の被曝をしている可能性があるのかわからない。また、事故から間もない 2011 年 6 月からの通算の結果だけを見ても、現状がどうなっているのかはよくわからない。

そこで、以下では、地域は限定されるがより詳しい情報のある早野らの 2013 年 4 月の論文*50の結果の一部を紹介しよう。論文の日本語抄訳も公開されているので*51、より詳しいことが知りたい読者はそちらを（あるいは、原論文を）読んでほしい。

結論からいうと、ひらた中央病院（福島県石川郡平田村）でのホール・ボディ・カウンターの測定結果を見る限り、**人々の体内の放射性セシウムの量はきわめて少なく、しかも、年々少なくなっている。**

特に、2012 年 5 月以降に検査を受けた 10,237 人の小児の中で、放射性セシウムが検出された例は一つもなかった。最悪の場合を仮定して、検出限界（全身で 300 Bq）ぎりぎりの放射性セシウムが体内にあったとして被曝線量を計算すると*52、15 歳の場合は年間 0.013 mSv、10 歳の場合は年間 0.021 mSv

*49 表の「1 mSv」は「1 mSv 以上 2 mSv 未満」、「2 mSv」は「2 mSv 以上 3 mSv 未満」、「3 mSv」は「3 mSv 以上」の意味だろう。

*50 Ryugo S HAYANO, Masaharu TSUBOKURA, Makoto MIYAZAKI, Hideo SATOU, Katsumi SATO, Shin MASAKI, and Yu SAKUMA, *Internal radiocesium contamination of adults and children in Fukushima 7 to 20 months after the Fukushima NPP accident as measured by extensive whole-body-counter surveys*, Proceedings of the Japan Academy, Series B, 89(4), 157–163 (2013). doi:10.2183/pjab.89.157

以下で全文を読む。

https://www.jstage.jst.go.jp/article/pjab/89/4/89_PJA8904B-01/_pdf

*51 <https://docs.google.com/file/d/0Byf-QYeEON7pTWfYRnVhMnhZnmM/edit?pli=1>

*52 全員が不検出だったということは、そのようなぎりぎりの量が体内にある児童はきわめて少ないことを意味している。このあたりを詳しく知りたい人は、ぼくが書いた解説『「検出限界」とは何か？ 統計学的仮説検定超入門』をどうぞ。

<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/docs/SHT.pdf>

となる。上で見た福島県の発表の仕方だと、この場合もすべて「1 mSv 未満」ということになってしまうことに注意しよう。

ごく例外的に、放射性セシウムの量が 100 Bq/kg (全身で数千 Bq) を超える年輩の人が数名みつまっている。この人たちは、検査を受けていない天然のキノコ、イノシシ肉、川魚などを自分で採って調理して食べていたことがわかっている(美味しそう)。そして、食生活を変えることで体内の放射性セシウムの量が着実に減っていくことも確認された。これら例外的な人の中でもっとも放射性セシウムの量が多かった人でも、年間の被曝線量の見積もりは 1 mSv 程度だという。

ひらた中央病院では、福島第一原子力発電所から西に約 50 km 離れた三春町で、小中学生のほぼ全員を対象にしたホール・ボディー・カウンターによる検査を行なっている。ほぼ全員について測定することで、病院に自分から検査を受けにくる(つまり、被曝から身を守ることについての意識の高い)人に限らない、より実情に近いデータが得られると期待される。その結果は、

	在校生数	測定者数	測定率	¹³⁷ Cs 検出者数
2011 年	1,585	1,494	94.3 %	54
2012 年	1,456	1,383	95.0 %	0

となっており(早野らの論文の表 4)、放射性セシウムが検出される子供の数が着実に減っている(ゼロになっている)ことがわかる。

このように、早野らの論文で紹介されたデータからは、ひらた中央病院で検査を受けた人たちの内部被曝はきわめて軽いことがわかる。もちろん、このデータが福島全体を代表しているわけでないことには注意すべきだが、それでも、これは大きな安心材料だと言っていいだろう。福島のあるいは、他県の他の地域での内部被曝の状況についても — 単に「1 mSv 未満」などと言うのではなく — 同様の詳しい分析と報告が行なわれることを強く期待する。

5.4 展望

2011年3月の事故の後、多くの人が食品中の放射性物質による内部被曝の危険を強く訴えた。その強い危惧^{きぐ}に答えるべく、様々な立場の人たちが内部被曝を減らすことに全力で取り組み、今も努力を続けている。

上の三つの節で見た、食品中の放射性物質、陰膳^{かげぜん}の中の放射性物質、そして体内の放射性物質の現状のデータは、このような努力が（少なくとも今の段階では）十分に功を奏していることを物語っていると思える。2012年4月に厚生労働省が食品中の放射性物質の上限（23ページの表1）を定めたときに想定していた年間1 mSv という線量に比べると、実際に測定された被曝線量は文字通り「桁違い」に小さかったのである。

日本における内部被曝対策の「滑り出し」はかなり見事に成功したと言っていいとぼくは思っている。

ただ、これで話が終わったわけではない。チェルノブイリ原子力発電所事故から25年以上を経た今日のヨーロッパでも、未だに放射性セシウムに汚染されたキノコが採れる（!）という事実からもわかるように、放射性物質による汚染の影響は長く、長く、続く^{*53}。気の重い話だが、油断をすれば、汚染の高い食品が市場に出回ってしまう可能性は常にある。また、生産法や産地がはっきりしている農作物に比べると、魚介類はぼくたちの見ていないところで生まれ育っている。海水や海底の汚染の状況にはわからないことも多い以上、汚染された魚介類がぼくたちの食卓に上がらないか、冷静かつ気長に調べていかななくてはならないだろう。

^{*53} 農地は除染して放射性セシウムの量を減らすことができるが、森林の除染はほとんど不可能だろう。

6 継続的な被曝 — 外部被曝

最後に、継続的な被曝の三つ目として外部被曝について見ていこう。そして、実は（少なくとも現状では）これがもっとも「やっかい」だということを説明する。

福島第一原子力発電所の事故で放出されてぼくたちの周辺の地面にしっかりとくっついた放射性セシウムは、崩壊する際にガンマ線とベータ線を出す。実際、ぼくの住んでいる東京でも、簡単な線量計を持って外に出れば地面の放射性セシウムの出すガンマ線を測ることができる。

地面の放射性セシウムの出すベータ線はぼくらの体にはほとんど影響を及ぼさないが、ガンマ線は体に吸収されると外部被曝を引き起こす。福島などの空間線量率の高い土地でどの程度の外部被曝がありうるかを見ていこう。

6.1 外部被曝の見積もり

線量計で測定する「ある場所での放射線の強さ」を**空間線量率**と呼ぶ。単位は $\mu\text{Sv/h}$ である^{*54}。

外部被曝による被曝線量（正確には実効線量）を簡単に見積もるには、空間線量率に時間をかければよい。『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』で説明した、年間の被曝線量の簡易版の計算法は、

空間線量率（単位は $\mu\text{Sv/h}$ ）の数字を5倍あるいは10倍して、単位を mSv に変えたものが、年間の被曝線量のざっぱな目安

というものだった。10倍というのはずっと同じ強さの放射線を浴びるとした計算で、5倍というのは（国が推奨する）家の中では放射線が弱まることを（かなり乱暴に）取り入れた計算に対応する。

^{*54} 『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』、26 ページ（pdf 版）、22 ページ（単行本版）

しかし、現実の放射線の強さは場所ごとに大きく異なっている。屋外でも放射線の強い場所もあれば弱い場所もある（次の 6.2 節を見よ）。屋内といても、屋外とあまり変わらずに放射線が強い場合もあれば、たとえばマンションの上層階などでは線量率は極端に低いという。ぼくらは、放射線の強い場所にいる間は多く被曝するが、弱い場所にいる間はあまり被曝しない。だから、どの場所にどのくらいの時間いたかという、細かい行動パターンによって、実際の被曝線量は大きく変わってしまうのだ。

一人一人の被曝線量を正確に測るためには、**ガラスバッジ**などの**個人積算線量計**を用いる^{*55}。一人一人が 1 日中ずっと身につけて、どれくらいの放射線を浴びたかを測るための装置だ。

実際に積算線量計で個々人の被曝線量を測定してみると、空間線量率から簡易に見積もった被曝線量とはかなり異なる場合があることがわかってきた^{*56}。

図 8 のグラフには、2011 年 5 月から 1 年の間の、34 名の個人の被曝線量の時間変化がプロットしてある^{*57}。どの人の場合も、（当然ながら）時間にほぼ比例して線量が増えていくのだが、増え方は人によって大幅に異なっている。実は、この 34 名は同じ福島のテレビ局に勤務している社員なのだ。そういう意味では、日々の生活環境は似通っていると推測されるが、それでも、被曝線量にはこれほどのバラツキがあるということだ。

^{*55} 細かい注意：ICRP や ICRU の枠組みに厳密に従うと、モニタリングポストなどの線量計の測定値から決まる被曝線量は周辺線量当量であり、個人積算線量計で測る被曝線量は個人線量当量である。これら二つの線量当量の定義は微妙に違う。さらに、周辺線量当量と個人線量当量はどちらも実用量と呼ばれ、ICRP の防護基準に登場する実効線量とも微妙に異なっている。この解説では、そういった細かいところには踏み込まない。

ただし、一つだけ強調しておきたいのは、実用量は実効線量を下回ることがないよう工夫されて作られているということだ。よって、**個人積算線量計で測った実効線量は、実際の実効線量よりも（少しだけ）大きめであり、個人の被曝量の信頼できる尺度になるのである。**

なお、様々な線量の関係に関心がある読者は、平山英夫、中島宏、佐波俊哉、山口恭弘、佐藤理、高木俊治、鈴木敏和、岩井敏『放射線防護に用いられる線量概念』を参照されたい。
<http://ccdb5fs.kek.jp/tiff/2012/1227/1227044.pdf>

^{*56} これは、脚注 ^{*55} で述べた周辺線量当量と個人線量当量の微妙な違いなどよりずっと大きな違いがあるということだ。

^{*57} 個人線量当量 $H_p(10)$ を測定するように校正された個人積算線量計を使用した。

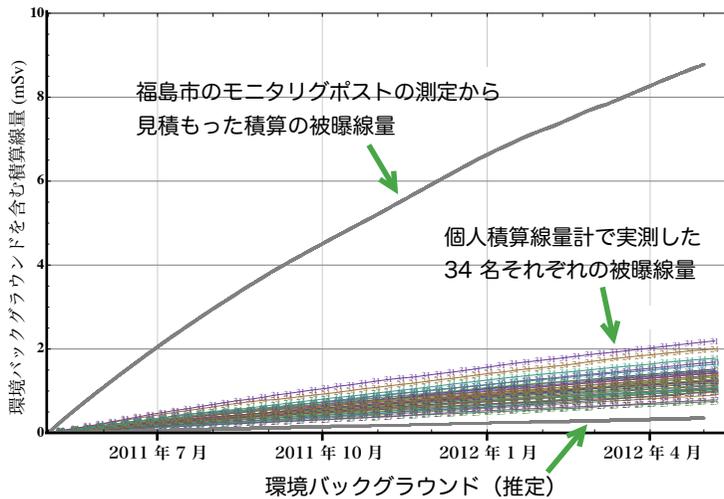


図8 福島市のTUF（テレビユー福島）の社員34名が2011年5月から1年間携行した積算線量計データと福島市モニタリングポスト積算値の比較。各個人の被曝線量が大きくばらついていることがわかる（データ提供：大森真、グラフ作製：早野龍五）。

さらに、同じグラフには、福島市のモニタリングポストで測定された空間線量率をもとに見積もった被曝線量もプロットしてある*58。この場合、モニタリングポストから見積もった被曝線量は、積算線量計による実測に比べると、かなり大きいことがわかる。実際、34名の平均の被曝線量は年間 1.3 ± 0.3 mSvだが、モニタリングポストの空間線量率から見積もった年間の被曝線量はその数倍の約9 mSvなのである。

他にも、「積算線量計で測った（正確な）個人の被曝線量が、モニタリングポストの空間線量率から見積もった被曝線量よりも低かった」という報告はある。ただし、だからといって、「個人の被曝線量は、モニタリングポストから見積もった被曝線量よりも低い」という一般的な規則があると考えるのは危険だろう。たとえば、図8にあるのは、テレビ局に勤務して都市型の生活をして

*58 福島県が公表した県北保健福祉事務所での測定値を用いた。

いる人たちのデータだということに注意しよう。生活している環境での空間線量率や行動パターンによっては、モニタリングポストから見積もったのと同じくらいの（あるいは、それ以上の）被曝をする人も実際にいる。

だから、図 8（や類似の報告）から読み取るべき教訓は、**個人の被曝線量は行動パターンによって大きく異なる**ということ、そして、モニタリングポストの空間線量率から個人の被曝線量を正確に見積もることはできないということだろう。**被曝線量を正確に知る最良の方法は、各個人がガラスバッジなどの個人積算線量計を身につけることなのだ**（脚注 *55 を見よ）。

6.2 現在の空間線量率と個人の被曝線量

■空間線量率のバラツキについて 事故から 2 年半以上が経った今、（福島第一原子力発電所事故の影響を被った）様々な地域での放射線の強さ（空間線量率）は、一様とはほど遠く、激しくばらついている。

そもそも、初めに福島第一原子力発電所から出た放射性セシウムが地面に降り注いだ直後にも、気象条件などの違いを反映して、地表のセシウムの濃度はかなりのムラがあった。その後、セシウムが付着した土が雨や風で移動するに伴い、セシウムの濃度のムラはより大きくなっていったと考えられる。さらに、人が住んでいる地域では積極的に除染が進められた結果、いよいよ濃度のムラが大きくなっている。それに加えて、ガンマ線はさえぎる物がなければ数十メートル離れたところからもとんでくるから^{*59}、周囲の地形や障害物の有無によっても、ある地点での空間線量率は大きく変わってしまうのだ。

現在の各地での空間線量率は、たとえば、原子力規制庁の「放射線モニタリング」のページ

<http://radioactivity.nsr.go.jp/map/ja/>

^{*59} 『やっかいな放射線と向き合って暮らしていくための基礎知識』の 5.2 節を参照。

から見ることができる^{*60}。適当な地域のデータを見れば、同じエリア内でも空間線量率にかなりのバラつきがあることがわかるはずだ。

さらに注意しなくてはならないのは、同じ地域の中に、「放射線モニタリング」に登場する測定点よりも空間線量率の高い地点がほぼ確実にあるということだ。ぼく自身も、2013年の半ばに福島のある街を訪れたときにそれを実感した。訪問の前に「放射線モニタリング」で空間線量率を調べると、だいたい0.2 μSv/hから高くても0.5 μSv/h程度に収まっていた。その街に行ってみて自分で測定してみても、ほとんどの場所でその程度の線量率だった。ところが、汚染状況に詳しい地元の人に案内された場所で測定してみると、線量率は1.5 μSv/hを超えていた。測定点は、別に山の中などではなく、街中の立派な公園の駐車場の横の茂みだ。

しかし、落ち着いて考えてみれば、限られた観測点で地域をくまなく覆うことなど、そもそも絶対にできない話だ。そして、地域の様々な予期せぬ場所に放射性セシウムが一定の範囲に集まった大小の「ホットスポット」が作られているのだ。「空間線量率の高い場所を探す」という目標を持って地域を探索すれば、観測点よりも空間線量率が高い地点がみつけれられるのは当然といえば当然なのである^{*61}。

■特別に外部被曝が高い人がいる可能性 そうすると、代表的なモニタリングポストでの空間線量率がたとえば0.2～0.3 μSv/hといった地域でも、どこかに1.5～2 μSv/hといった高い空間線量率の場所があると想定する必要があるということになる。

空間線量率2 μSv/hというのは、6.1節の冒頭で紹介した簡易版の見積もりに従えば、年間10～20 mSvの被曝線量に相当することになる。もちろん、

^{*60} 福島県についての情報は、下の「福島県放射能測定マップ」にもまとめられている。

<http://fukushima-radioactivity.jp/index.php>

^{*61} これは、「線量率を低く見せるように、観測点をわざと高線量の場所からずらしている」という意味ではない。観測点というのは、一定の地点で同じ条件で空間線量率を測定し続けることに意味があるので、最初に設定したいくつかの地点で測定を続けるのはまっとうなことだろう。

「空間線量率を用いた簡易な被曝線量の見積もり」をそのまま信用してはいけないことは既に強調した通りだ。とはいえ — ものすごく例外的なケースかもしれないが — たまたま家の裏山が空間線量率 $2 \mu\text{Sv/h}$ 程度のホットスポットになっていて、裏山での活動時間が長く、また、家は木造で寝ている部屋は裏山に接しており・・・といった風に「運の悪さ」が重なってしまえば、年間 $10\sim 20 \text{ mSv}$ の被曝はありうる。

これが単なる架空の物語で、そんな「運の悪い例外的な人」などはいないのか、それともそれに近い状況の人がいるのか？ その実情を知ることは重要な課題だ（そして、被曝量が極端に高い人がもしあれば、被曝を減らす対策をとらなくてはならない）。そのためには — これは、次の 6.3 節でまた書くことだが — 個人の被曝線量を丁寧に測定するのが最良の方法なのである。

■個人の被曝線量の実例 個人積算線量計での実際の測定結果がどうなっているかを福島市の公開データをもとに見よう。福島市は福島県内でも空間線量率の高い地域である。

福島市では、中学生以下を対象にしたガラスバッジによる被曝線量の調査を行ない、その結果を公表している。2011 年の冬、2012 年 11 月から 2013 年 1 月、2013 年 9 月から 11 月、それぞれ三ヶ月間にわたって測定が行なわれた^{*62}。参加人数は、それぞれ、36,767 名、16,223 名、10,110 名だった。

図 9 は、測定結果を年間の追加被曝線量^{*63}に換算^{*64}してヒストグラムとしてまとめたものである。横軸が年間の追加被曝線量で、縦軸はそれに対応する人数のパーセンテージを表わしている。また、被曝線量が高い人のパーセンテージはきわめて少なく、グラフに描いてもわからないので、最大の被曝量を

^{*62} 2012 年の結果については、

<http://www.city.fukushima.fukushima.jp/uploaded/attachment/19567.pdf>
の 7 ページを、2013 年の結果については以下を参照。

<http://www.city.fukushima.fukushima.jp/uploaded/attachment/29075.pdf>

^{*63} ガラスバッジの読みをもとに推定した年間の被曝線量から、自然被曝線量（おそらく年間 0.54 mSv ）を差し引いたもの。

^{*64} 三ヶ月の追加被曝線量を 4 倍にしたという意味。2011 年の事故のあとの被曝線量はずっと高かったはずだから、これが本当の年間の被曝線量ではない。

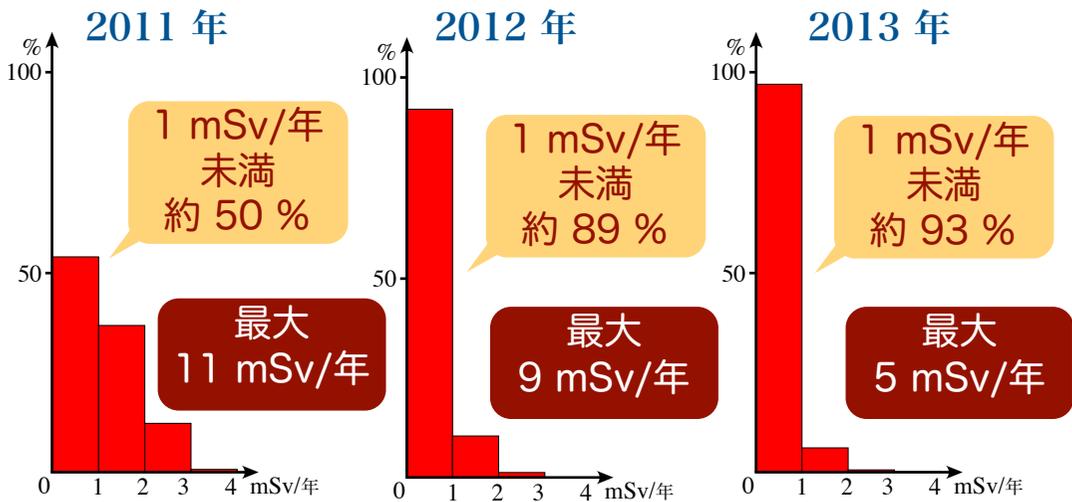


図9 福島市における三回のガラスバッジによる個人被曝線量の測定の結果を表わすヒストグラム。横軸が年間に換算した追加被曝線量で、縦軸はそれに対応する人数のパーセンテージ。福島市の公開データを元に私がプロットした。

グラフの中に書き込んでおいた。

まず、注目したいのは、2011年、2012年、2013年と時間が経過するにしたがって被曝線量が着々と下がっているということだ。実際、追加被曝線量が年間1 mSv以下の人は、2011年には全体の約50%だが、2012年には約89%、2013年には約93%まで上がっている。これは主として除染が進んだ効果を表わしていると考えられる。さらに、被曝線量が低下していくことを期待する。

一方で、このヒストグラムに現れる被曝線量が決して低くはないことに注意したい。もちろん、ぼくが心配したような年間20 mSvなどという人は（少なくともこの範囲には）いない。それでも、たとえば2011年には年間（に換算して）4 mSv以上の余分な被曝をしたとされる人は110人もいる（比率で言えば、全体の約0.3%）。2013年の調査でも、最大の人の追加被曝線量は年間5 mSvである。これまで、呼吸による被曝（4節）や食品による被曝（5節）を

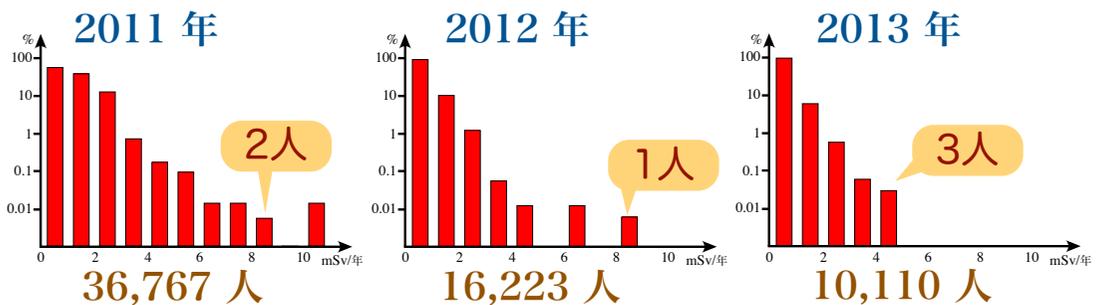


図10 図9と同じデータを縦軸を対数目盛にしてプロットし直したもの。横軸は図9と同様に年間に換算した追加被曝線量。縦軸はやはり人数のパーセントだが、目盛りを見ればわかるように、下に行くほど一目盛りに対応するパーセントが小さくなっていく。これによって、ごく少人数のところもグラフに見えるようになっている。福島市の公開データを元に私がプロットした。

みたときには、年間1 mSvの被曝が問題になったのはイノシシ肉などを食べていた例外的な人だけで、多くの人の被曝線量は自然被曝線量（年間2 mSv程度）に比べて桁違いに小さかったことを思い出そう。外部被曝による実効線量は、かなり高いのだ。

ほとんどの人の被曝線量が低くても、一部の例外的な人が高い被曝をしている可能性があることを上で強調した。図9のヒストグラムでは、被曝線量の高いところは人数が少な過ぎて見えないので、例外的な人について考えるには不向きである。そこで、縦軸だけを対数目盛にして同じデータをプロットし直したものを、図10に示した。

対数目盛をご存知ない読者は、図10の縦軸の目盛りをよくご覧いただきたい。等間隔に区切られているが、目盛りの数値は100%、10%、1%、0.1%という具合に、一目盛りごとに十分の一になっている。縦軸では、下に行くほど目盛りが拡大されていると思えばいいだろう。これによって、大人数のところ

とごく少人数のところを同じグラフで比較できることになる^{*65}。

図 10 を見ると、確かに被曝線量の高いほうに向かってゆるやかな「裾野」が続いていることがわかる。言い換えれば、**人数はどんどん少なくなっていくものの、かなり高い被曝をしている人たちがいる**ことがグラフから見て取れる。

もっと大人数を対象にして同様の調査を行なったとき、この「裾野」がどうなるかが、大きな問題だ。たとえば 2013 年にもっともっと多くの人について調査したデータを加えたとしよう。それによって、グラフのおおよその形は変わらず、被曝線量の最大値も 5 mSv あたりで止まってくれれば、ありがたい。しかし、被曝線量の低い方のグラフの形は変わらないものの、「裾野」は被曝線量の高いほうに向かってどんどん育っていくという可能性もあるのだ。その場合には、調べる人数を多くすればするほど、被曝線量の最大値も大きくなっていくということになる^{*66}。「何カ所かに極端に空間線量率の高いホットスポットがあり、例外的な生活をしている人が、たまたま運悪く、大きな被曝をしてしまう」というシナリオを念頭に置くなら、後者のような可能性も考慮する必要がある。

6.3 展望

4 節、5 節とは違い、この節では、「まずは一安心」といった結論を書くことがためられる。

^{*65} といっても縮尺が激しく変わっているので、普通のグラフのつもりで比較してはいけない。たとえば、2011 年のグラフでは、一番左側の棒は約 1 万 9 千人を表わしており、一番右側の棒は 5 人を表わしている。各々のグラフに、もっとも短い棒が表わしている人数を書き込んでおいた。

^{*66} あまり気持のいい例ではないが、個人の年収を調査すると、このようなふるまいが見られることが知られている。日本中から無作為に何人かの人を選んで（図 9 や図 10 のように）その年収のヒストグラムを作る。ある程度の人数をそろえれば、無収入から「普通の高収入」までの分布の形はだいたい決まり、その形は人数を増やしてもほとんど変化しない。しかし、ごく例外的に異常に収入が高い人たちが（ぼくの身のまわりにはいないが、どこかに）いるために、人数を増やせば増やすほど分布の裾野は高収入側に移動していくことになる（もちろん、日本でもっとも儲けている人が統計に加われれば、それで最大値は移動しなくなるわけだが）。

もちろん、除染が進められ、空間線量率も多くの人によって測定され、さらに、ガラスバッジなどの個人積算線量計による検査も普及し、状況が圧倒的に改善していることは確実だ。それでも、外部被曝の全容がつかめているかどうかには疑問が残るし、事故から二年半が経った今でもある程度の（たとえば、年間で数 mSv 以上の）外部被曝をしている人がいる可能性はある。

外部被曝の状況を把握するのが困難な最大の理由は、既に議論してきたように、**外部被曝の被曝線量が一人一人の生活環境や行動パターンに応じて大きく「ばらつく」**からである。福島市のガラスバッジの調査から得られた図 10 のグラフは、**大多数の人の被曝は低く抑えられているが、ごく少数の人は高い被曝をしている**という可能性を示している（とぼくは思う）。

そうであれば、今、（地方自治体や政府が）優先して行なうべきなのは、**個人の被曝線量を網羅的に調査することで**、全体の傾向をつかむだけでなく、**例外的に被曝の高い個人を探し出す**ことではないだろうか。そして、そのような個人がみつければ、高い被曝の原因を個別に検討し、住環境の除染や行動パターンの見直しなどを進めていくのである。最近では、1 時間ごとの積算線量を簡単に読み出すことのできる個人積算線量計（D-シャトル）が開発されており*67、一人一人が細かく被曝の状況や原因を調べることができるようになりつつある。

現在、ガラスバッジの貸与や結果の集計には、個々の自治体がそれぞれ独自の方針で取り組んでいるようだ。ぼく自身は、ごく一部の例を見聞きしただけなのだが、**ガラスバッジの調査は「外部被曝に不安を感じている住民を安心させるために実施する」**ととらえている自治体が少なくないように感じる。もちろん、そういう側面が重要なことは言うまでもない。しかし、（個人の立場ではなく、地方自治体の立場からは）**ガラスバッジの調査の最大の目的は「例外的に被曝の高い個人を探し出す」**ことであるべきだと信じる。

*67 早野龍五、宮崎真『福島の内被ばくと外被ばく ～測って伝える個人線量～』
FBNews No.447（株式会社千代田テクノ）
<http://www.c-technol.co.jp/pdf/447FBN.pdf>

そう考えれば、ガラスバッジの調査の方法も自ずと変わってくるはずだ。つまり、被曝への意識の高い住民にガラスバッジを貸し出すだけではなく、むしろ、そういったことに関心の低い人たちにも、お願いして、ガラスバッジの調査に協力してもらう必要があるだろう。さらに、ガラスバッジの調査をできるかぎり気軽に受けてもらえる工夫も必要だ。バッジを装着している期間には細かな行動記録を義務づける自治体もある。もちろん、それが望ましいのは事実だが、調査のハードルを上げすぎてしまうのは得策ではないだろう。どこかでバランスを取る必要がある。

結局、この節の結論は、**政府・地方自治体は、外部被曝の現状の把握の仕方について、方針を見直してほしい**ということになる^{*68}。さらには、**除染の計画も、個人の被曝線量のデータと関連づけて、立てていくべきだ**ということも主張しておきたい。

もちろん、こういうことは、ぼくが言い出したことでも思いついたことでもなく、既に多くの（かなりの影響力のある）人たちが声高に主張し続けていることだ。今さら、ぼくが騒ぎ立てたところで、大きな効果があるはずもない。ただ、状況を改善していくには、データと理由を丁寧に説明して、多くの人の認識を少しずつ変えていくしかないのだと思う。

ぼくも（ほとんど無力ですが）できるだけことはしようと思っている。これを読まれて、賛同してくださる人たちにも、何らかの形で、政府や地方自治体のやり方を改善していくための働きかけをしていただければと願っています^{*69}。

^{*68} 以下の部分は、ほぼ 2013 年 10 月に書いたものそのままである。その後の変化は取り入れていないのでいささか時代遅れの部分もでてきたかもしれないがご容赦いただきたい（2014 年 4 月）。

^{*69} 2013 年 11 月の原子力規制委員会からの提言では、汚染地域に住民が帰還する際には、個人線量にもとづいて被曝の評価を行なうべきだという方針が打ち出されている。この方針そのものは望ましいが、実際の運用では様々な問題が生じているようだ。

図の再利用について

図 1 脚注 *6 の野村らの論文の Fig. 1 をぼくが少し加工したもの。もとの論文はオープンアクセスなので、出典を明記すれば、内容は自由に再利用できるとのこと。よって、この図も野村らの論文を引用すれば（最低限の表示は、S. Nomura et al., PLoS ONE 8(3): e60192 (2013)) 自由に再利用できる。ぼくに言及する必要はありません。

図 2 東京電力写真・動画集のページ (<http://photo.tepco.co.jp/index-j.html>) から取得した。このページの素材は利用申請の必要がないとのことなので、自由に再利用できる。

図 3 ぼくのオリジナルなので再利用は自由ですが、誰も使わないか・・・

図 4 これは、奥村晴彦氏の「食品の放射能データ検索 (<http://oku.edu.mie-u.ac.jp/food/>)」の出力結果をそのままコピーした図。再利用する場合は、奥村氏のページに言及してほしい。ただし、これをそのまま使うよりは、新たに検索して出力することをおすすめする。

図 5 「コープふくしま」の web ページの図の一部を（特に許諾はとらず）利用した。再利用は各自の判断で。

図 6 福島県災害対策本部の資料の図をそのまま利用。ぼくは、公的機関が公表した素材はそのまま利用してよいと考えているので、利用許可は取っていない。再利用は各自の判断で。

図 7 人物シルエットのフリー素材 (<http://www.emstudio.jp/free/data1006/>) を利用してぼくが描いた図。元の素材が商用を含めて自由に利用できるとのことなので、この図の再利用もご自由に。ぼくに言及する必要はありません。

図 8 早野龍五氏提供のグラフ。再利用の際には「データ提供：大森真、グラフ作製：早野龍五」ということを断ってください。

図 9、図 10 福島市の公開データを元に私がプロットした。再利用はご自由に。ぼくに言及する必要はありません。

索引

D-シャトル, 45

ICRP, 12
ICRU, 37

JAEA, 15

WBC, 15, 31

医療被曝, 12

汚染水漏れ, 7

介護施設, 5
核爆弾実験, 30, 32
陰膳調査, 26
ガラスバッジ, 14, 37, 41, 45
関連死, 4

ガンマ線, 31, 36, 39

牛肉, 23

空間線量率, 36, 39
—のバラツキ, 39

継続的な被曝, 13

原子力規制委員会, 46

甲状腺癌, 16
厚生労働省, 23, 23, 24, 35
行動パターン, 14, 37
国際放射線防護委員会, 12
個人積算線量計, 14, 37
個人線量当量, 37
コープふくしま, 28
米, 24

自然被曝, 12
死亡率, 5
収束宣言, 7
周辺線量当量, 37
初期被曝, 13

食品, 23
食品の放射能データ検索, 24
シートベルト, 18
シーベルト, 12

実効線量係数, 21
実用量, 37
除染, 39, 46

水道水, 22
ストロンチウム, 29

積算線量計, 37
セシウム, 20, 23, 28, 36, 39

ダストサンプリング, 20

チェルノブイリ, 16, 35

テレビュー福島, 37

日本原子力研究開発機構, 15

廃炉作業, 9, 19, 21

避難, 4
被曝線量, 12
—の目安, 12
ひらた中央病院, 33
非流通品, 23

福島市, 41
プルトニウム, 29

ベクレル, 11

ベータ線, 31, 36

方木田, 20
ホットスポット, 40
ホールボディーカウンター, 15, 31

南相馬市, 5

目安

被曝線量の—, 12

モニタリングポスト, 38

ヨウ素, 16

ラドン, 12

流通品, 23

老人介護施設, 5