

健康文化

## 放射線量と健康影響 その2 —様々な被曝—

下 道國

### はじめに

福島第1原発事故が起きてから、早や1年4ヶ月が過ぎた。原子炉の状態は概ね安定に推移しているようであるものの、事故そのものは全く収束していない。事故全般の調査も、平成24年7月末には、民間事故調査報告書、東電事故調査報告書、国会事故調査報告書、政府事故調査報告書と4種の報告書が出揃ってしよう。しかし、部分的には見解の異なる部分が既に報道等で指摘されており、物議を醸しそうであるが、技術的な面から言えば、要は完全な立入りによる目視検査等ができていないからであろう。これらは今後の専門家による更なる詳しい実直な調査に待つしかないと思う。

それはそれとして、いま、目の前にある「放射能」が純粹に生物学的に観て危険性の程度はどれ程か、ということが一般公衆に明示されて、周知されなければならない。ところが、その危険性の程度がどのぐらいなのかが判然としないうちに、行政や多くの一般公衆が「放射能は危険だ」という声の中に巻き込まれ、その結果、一時避難者がいつ帰宅できるかわからない状態に置かれ、除染もその必要性も含めて遅々として進んでおらず、また現時点ではほとんど危険性を意識しなくてもよいレベルの食品に対して過度な反応が見られ、果ては、原発事故の影響をほとんど受けていない宮城県北部や岩手県南部の大量のガレキに対して、神経質なまでの放射能忌避感情が見られるなど、一連の社会的な問題がある。今、我々に求められているのは、この二つの課題を分けて冷静に考え、科学のおよび社会的な合理性をもって対応することであると思う。

この小論では、これらの混乱のベースとなっていると思われる様々なケースの線量について、一般の方から発せられる疑問も含めた幾つかを例として取り上げ、線量がどのぐらいになるかを計算で見積ってみる。

### 様々なケースの線量

#### (1) 放射性雲を吸入したとき

大気中に漏出した放射能が東京都立産業技術研究センターによって測定され、その核種はヨウ素、セシウム (I-131, I-132, Cs-134, Cs-137) と同定されている。放射能は、3月13日、14日は測定されていないが、15日、16日は測定されており、その後は微量である。最も高い値を示したのは3月15日10時～11時で、ヨウ素131が241 Bq/m<sup>3</sup>、ヨウ素132が281 Bq/m<sup>3</sup>、セシウム134が65 Bq/m<sup>3</sup>、セシウム137が60 Bq/m<sup>3</sup>となっている。

放射性物質の吸入による内部被曝線量（預託実効線量）は、原子力安全委員会「環境放射線モニタリング指針」<sup>(1)</sup>により、線量計算式が与えられていて、簡略化して示せば次式となる。

$$H = Q \times M \times T \times K$$

表1 大気中濃度とその吸入被曝線量(濃度データは東京都産業労働局 HP から)

日	時刻	濃度 (Bq/m <sup>3</sup> )				線量 (x 10 <sup>-3</sup> mSv)		
		<sup>131</sup> I	<sup>132</sup> I	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>131</sup> I	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
3月15日	10:00-11:00	241	281	64	60	3.3	1.2	2.2
	0:00-24:00					7.8	2.4	4.4
3月16日	4:00-5:00	22	15	4.7	4.8	0.31	0.087	0.17
	0:00-24:00					1	0.3	0.55

注:時刻は最高値の得られた時間帯と1日、線量下段値は他の時間帯も入れた1日の値

ただし、Hは実効線量 (mSv)、Qは大気中の放射能濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)、Mは呼吸率 (m<sup>3</sup>/h または m<sup>3</sup>/d ; 大人は通常 22.2 m<sup>3</sup>/d)、Tは滞在時間 (h または d)、Kは実効線量係数 (mSv/Bq ; <sup>131</sup>I: 1.5×10<sup>-5</sup> : 甲状腺移行を 20%とした値、<sup>134</sup>Cs: 2.0×10<sup>-5</sup>、<sup>137</sup>Cs: 3.9×10<sup>-5</sup>) である。

半減期は、ヨウ素131が8.02日、ヨウ素132が2.30時間、セシウム134が2.06年、セシウム137が30.2年であるので、半減期の短いヨウ素132を除いて1時間吸入した時の被曝線量(実効線量)は、順に0.0033mSv、0.0012mSv、0.0022mSvとなり、総線量は0.0067mSvとなる<sup>(2)</sup>。他の時間帯での濃度変化も考慮した1日の3核種の総線量は0.015mSvであり、それらを3月16日の値と合せて表1に示した。これらの値は、健康に影響を及ぼす値ではない。

## (2) 雨に濡れた時の皮膚

福島第一原発事故以降、雨が危険と言われるのは、原子力発電所から環境に漏出した放射性物質が雨と共に地表に降下してくるからである。3月21日9時～23日9時の48時間に、東京で降雨があった。この期間に降下したヨウ素131は68000 Bq/m<sup>2</sup>、セシウム137は5630 Bq/m<sup>2</sup>と報告されている（東京都健康安全研究センター報告）。48時間の降雨で均一に降ったとすると、1時間でヨウ素131が1400 Bq/m<sup>2</sup>、セシウム137が120 Bq/m<sup>2</sup>で降ったとみることができる。

この雨でヨウ素131が皮膚に付着したと考えて、皮膚の等価線量を計算してみる。皮膚表面の汚染が1 Bq/cm<sup>2</sup>あたりの皮膚の線量率（nSv/h）は、皮膚の深さ70 μmのとき、ヨウ素-131の線量換算係数は1.319（μSv/h）/（Bq/cm<sup>2</sup>）<sup>(3)</sup>であるから皮膚（深さ70 μm）の線量率は

皮膚の線量率＝皮膚に付着した放射能×線量換算係数

であるから、約0.19 μSv/hとなる。雨にぬれていた時間を12時間とすると、12倍して約2.3 μSvとなる。一方、セシウムの量はヨウ素の約1/10であるから、合計して2.5 μSv程度となる。これは、健康に影響を与えるような値ではない。

## (3) 放射能汚染イワシ200グラムを食べた

セシウム134を50 Bq、セシウム137を50 Bq、ストロンチウムを0.15 Bq含んだイワシを、幼児と成人がそれぞれ200gずつ食べたとする。この場合の線量換算係数（μSv/Bq）は、セシウム134が幼児で0.026、成人で0.019、セシウム137が幼児で0.021、成人で0.013と与えられている。ストロンチウム90については、幼児の値が与えられていないので、成人の倍の値であると仮定して0.056、成人で0.028とする。線量は次式で簡単に計算できる。

預託実効線量＝放射能×線量換算係数

したがって、セシウム134について幼児で1.3 μSv、成人で0.95、セシウム137では幼児で1.05 μSv、成人で0.65 μSv、またストロンチウム90は幼児0.0078 μSv、成人0.0039 μSvとなる。これらの合計の預託実効線量は、幼児で2.4 μSv、成人で1.6 μSvとなり、これも健康影響を考える必要のない値である。

## (4) 毎日摂取しているカリウム

我々は、毎日の食事の中でカリウムを摂取しているので、すでに体内では摂取量と排泄量とがバランスしていて、いわゆる飽和状態に達していると考え

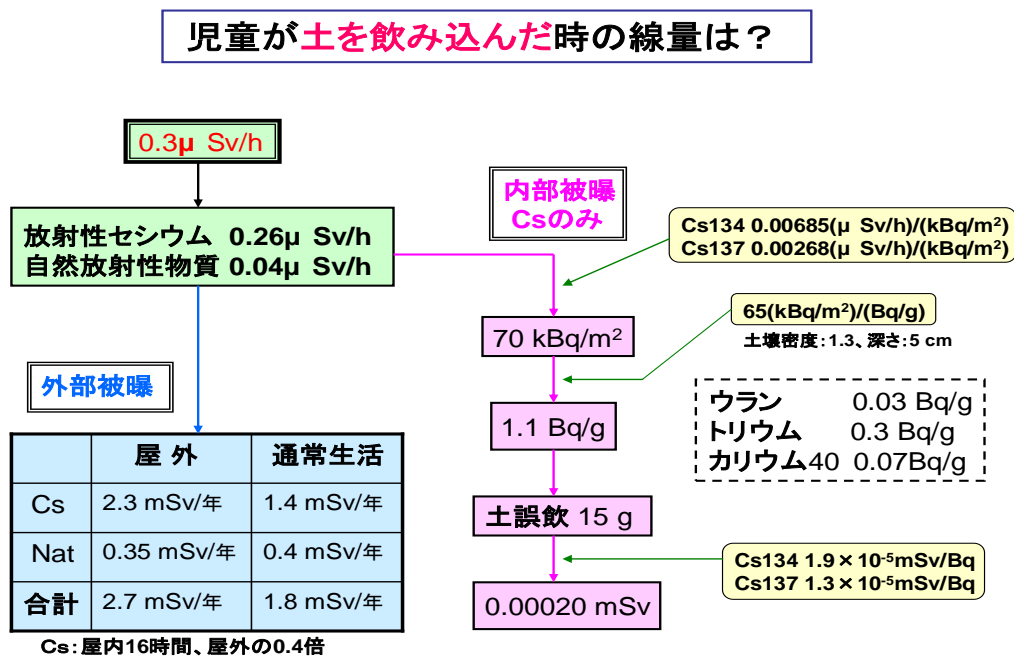
のが合理的である。そのカリウムに含まれる同位元素のカリウム 40 は全カリウムの 0.0117%に過ぎないが、その体内放射能は概ね 4,000 Bq である。

カリウム 40 が 1 年間に壊変する数は、 $4000 \text{ s}^{-1} \times 3.15 \times 10^7 \text{ s} = 1.26 \times 10^{11}$  である。壊変時に出る  $\beta$  線の最大エネルギーは 1.311 MeV であるから、実効エネルギーはその 1/3 の  $0.437 \times 10^6 \text{ eV}$  とする。 $1.26 \times 10^{11}$  にこれに乗じて、さらに eV を J (ジュール) に変換すると、8.8 mJ となる。シーベルトは単位質量当たりのジュールであるから、8.8 mJ を 60 kg で除すことによって 0.15 mSv が得られる。

なお、カリウム 40 は 1.311 MeV 以外に 10.8%ほど別のエネルギーの  $\beta$  線を放出していることと、 $\gamma$  線にも配慮する必要があることを考えると、もう少し大きい値となり、文献等に出ている 0.18 mSv に近い値<sup>(4)</sup>となる。

### (5) 児童が土を誤飲した

園児や学童は園校庭で砂遊びや泥んこ遊びに喜んでいる。喜ぶということは、体がそれを要求していることと考えられるし、またそのことは将来の自己形成に不可欠であるということが意識外として分っているのかもしれない。



注：Nat は自然放射性物質、通常生活は屋内外合せた生活

図 1 土を誤飲した時の線量計算の流れ図

放射線量率が  $0.3 \mu\text{Sv/h}$  の地域を想定してみる。福島県会津地方などにみられる線量率である<sup>(5)</sup>。これは、自然放射線による寄与分も含んだ値であるから、その分である  $0.04 \mu\text{Sv/h}$  を差し引いた  $0.26 \mu\text{Sv/h}$  が事故に由来する線量である。汚染核種は、Cs-134 と Cs-137 で放射能の量は同じとする。地表面に沈着した放射能密度から放射線量率への換算係数 ( $\mu\text{Sv/h}/(\text{kBq/m}^2)$ ) は、Cs-134 が 0.00686、Cs-137 が 0.00268<sup>(6)</sup> であるから、両方を合計した沈着放射能密度は  $70 \text{kBq/m}^2$  となる。これから土の放射能濃度に直すために、土の密度を  $1.3\text{g/cm}^3$ 、土の深さ（その深さまで汚染しているとする）を  $5 \text{cm}$  として換算係数を求めると、 $65 (\text{kBq/m}^2)/(\text{Bq/g})$  となる。沈着放射能密度  $70 \text{kBq/m}^2$  をこの換算係数で除して、土壤濃度  $1.1 \text{Bq/g}$  が求まる。少しややこしいので、その流れを図1に示した。

この土を  $15 \text{g}$ （大さじ一杯）飲んだとする。線量換算係数 ( $\text{mSv/Bq}$ ) は、Cs-134 が  $1.9 \times 10^{-5}$  で、Cs-137 が  $1.3 \times 10^{-5}$  であるから、誤飲による預託実効線量は  $0.00020 \text{mSv}$  となり、これも健康に影響を及ぼすとは考えられない値である。図中の外部被曝は、事故由来のセシウムと自然放射性核種による被曝で、屋外で8時間、屋内で16時間過ごし、かつ屋内では建物による遮蔽効果で屋外からの放射線は40%としている<sup>(1)</sup>。ただし、自然放射性核種は建材中にも含まれることなどから、この適用はしていない。

## （6）野焼きとどんど焼き

平成23年夏の京都では、「大文字の火」が中止になった。また、愛知県日進市では花火大会が中止になった。これらは、いずれも主催者が東日本大震災に見舞われた東北の人達を少しでも応援しようと、現地の木材や花火を使って行おうという善意から出た計画であった。しかし、市民の間に「放射能に汚染された（かもしれない）ものを燃やすことによって、放射能がばらまかれるのではないか」という疑念が生じ、それが不安となり、そして強い抗議となって、中止となったのは誠に残念なことであった。行政当局は、迅速に専門家に線量評価を依頼し、その結果によりもっと冷静に対処すべきであったことは言うまでもない。

農村では米の収穫後に稲藁を燃やす風習がある。また、正月の行事として「オの神（どんど焼き）」がある。これらの風習は、わが国では、今でこそ、特に都会では見られなくなったが、高度成長以前には各地に残っていて、取り立てて珍しい風景ではなかった。福島県では、これらの煙による放射能の再汚染が心配された。

これらは、いずれも焼却行為に伴う放射能汚染の心配という点で、同じであるが、場所は、方や遠く離れた近畿・中部地方であり、方や事故を抱えた福島県である。実際に、線量はどれぐらいと評価されるであろうか。

これらを計算するには、原子力安全委員会の防災・環境に関する指針類が参考になる。条件として、放出源を地上、放出放射能を 1 GBq/h、 $\gamma$ 線の実効エネルギーを 1 MeV、風速を 1 m/s とする。すなわち、大気が安定していて「煙が遠くまで飛ばない状態（パスキルの安定度 A に相当した状態）」では、煙は 500 m×150 m の楕円形内に留まると仮定すると、楕円形の境界上の線量率と放射能の換算係数は $(1 \times 10^{-3} \mu \text{ Gy/h}) / (10^9 \text{ Bq})$ となることが示されている<sup>(7)</sup>。

さて、実際の計算であるが、燃やした物の量を 100kg、放射能の量を 100Bq/kg と仮定して、1 時間かけて燃したものがすべて飛散、または灰となったとする。以下に幾つかの状況について計算例を示す。

1) すべて飛散した場合の 500 m×150 m 楕円形の境界上での空間放射線量は、

$$100 \text{ kg} \times 100 \text{ Bq/kg} \times 1 \text{ h} \times (1 \times 10^{-3} \mu \text{ Gy/h}) / (10^9 \text{ Bq}) = 1 \times 10^{-8} \mu \text{ Gy}$$

となる。ここでは厳密性を問わないので、グレイとシーベルトは同じ値と考えて読み替え、 $1 \times 10^{-8} \mu \text{ Gy} = 1 \times 10^{-8} \mu \text{ Sv}$  とする。これは極めて微量な線量であることがわかる。この楕円形内では、線量が数桁上がると考えても、全く問題にならない線量である。実際には、セシウム 137 からの  $\gamma$ 線は 0.662 MeV、セシウム 134 では 0.796 MeV、0.609 MeV で、仮定したエネルギーより低いので、さらに線量は小さくなる。

2) その楕円形内の地上 100m 以内の空気に含まれる放射能は、

$$100 \text{ kg} \times 100 \text{ Bq/kg} / (500 \text{ m} \times 150 \text{ m} \times 3.14 \times 100 \text{ m}) = 0.00042 \text{ Bq/m}^3$$

となる。ただし、飛散したのはすべてがセシウムとして、この空気を 1 時間吸った時の内部被曝は、

$$0.00042 \text{ Bq/m}^3 \times 1.2 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ h} \times (1.9 \times 10^{-5} \text{ mSv/Bq}) = 0.96 \times 10^{-8} \text{ mSv}$$

ただし、線量係数は Cs-134 の線量係数（より過大評価側）で計算しているが、全く問題とならない線量であることがわかる。

3) 飛散した灰が楕円形状内にすべてのセシウムが均一に沈着したと仮定すると、沈着量は

$$100 \text{ Bq/kg} \times 100 \text{ kg} / (\pi \times 500 \text{ m} \times 150 \text{ m}) = 0.042 \text{ Bq/m}^2$$

となり、福島県会津地方のセシウム 134+137 の沈着量 (30-60 kBq/m<sup>2</sup>; 8月28日現在、文部科学省公表データ) と比較して、極めて少ない量と見積られる。

4) 飛散しないで灰の中に全量の残ったとした場合、その放射能量は

$$100 \text{ Bq/kg} \times 100 \text{ kg} = 10,000 \text{ Bq}$$

となるが、現実的には相当分が飛散してしまっていると考えられ、このような残りの分を汚染汚泥の処理と同様に考える必要はないことがわかる。以上であるが、物量が10倍の1トンになっても状況は同じである。

### おわりに

ここでは、6つのケースについて線量計算をして、それらを取るに足らない線量であり、健康への影響を考える必要のない量であることを示した。本文中の結論を表2にまとめた。

表2 様々なケースでの被曝線量とその評価

被曝のケース	線量 (mSv)	判断
放射性雲の吸入(11/3/15 1日)	0.015	健康に影響なし
放射性雨で濡れた皮膚(11/3/21, 12時間)	0.0025	健康に影響なし
汚染イワシ(200g)の摂取	0.0016	健康に影響なし
毎日のカリウム摂取(飽和状態)	0.15	日常生活
土(15g)を誤飲	0.00020	健康に影響なし
野焼きとどんど焼き	$1 \times 10^{-11}$	健康に影響なし
流通食品による1年間の線量*	0.043	健康に影響なし

\*厚生労働省による試算（放射線審議会の資料より）

なお、参考として、表の最下段に厚生労働省の試算を入れた。また、コープ福島による実際の食事の放射能測定では、放射性セシウムそのものが検出される例が少ない（27試料中3例）上に、放射能濃度は自然のカリウム40のおおよそ1/10と示されていて、いずれも健康影響には関係しない程度であることがわかる。

これらよりも最も注意しなければならないのは、事故当初のヨウ素の吸入被曝、とくに乳幼児での影響であるが、現在、専門機関によって福島県民の調査が進行しているので、それから情報を得るのが最も正確である。

私たちは、保健物理屋は、今、何をなすべきなのか。保健物理屋は、純粋に学問の真理だけを追求し、それを述べていけばよいという単なる学者・研究者ではなく、放射線の利用に伴う管理と防護を担う実務者でもある。自ら真理を追究すると共に、防護に関する知見を総合的に理解し、実社会に受け入れられるようにしなければならない職務を負っている。理学と工学、そして社会学や

心理学を理解し、いかに現実の社会に対応していくか、である。さらに、今は、人生は斯くあるべしと論じている平穏時ではない。人生がまさに問題となっている時である。それに応えているのか、それが問われている。

### 参考文献

- 1) 原子力安全委員会：環境放射線モニタリング指針、平成20年3月。
- 2) 下 道國：エアロゾル状放射能の健康影響、環境技術、40, 40-41, 2011.
- 3) 例えば、(社)日本アイソトープ協会：アイソトープ手帳11版、p.158.
- 4) 原子力安全研究協会：「新版生活環境放射線（国民線量の算定）」、p.64、平成23年12月。
- 5) 文部科学省原子力災害対策支援本部：放射線量等分布マップの作成等に関する報告書I、平成24年2月。
- 6) Gamma-Ray Spectrometry in the Environment: International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU Report #53, 1994.
- 7) 原子力安全委員会：「原子力施設等々の防災対策について」、原子力安全委員会指針集、p.1431, 平成15年3月。

(藤田保健衛生大学大学院 客員教授)

.....

著者よりの訂正：本誌第46号（放射線量と健康影響—ラドン温泉と福島原発事故—）の記述中、誤りがありましたので以下のように訂正させていただきます。

30ページ 上から2行目 誤：0.04 mSv 正：0.4 mSv

(pdf版では、すでに訂正済みです)