日本人の食物摂取による実効線量の評価 過去の調査結果からわかること

(財)日本分析センター むつ分析科学研究所 真田 哲也

2011年3月11日に発生した東日本大震災は地震による直接的な被害はもとより、それによって引き起こされた大津波により、さらに多くの壊滅的な被害をもたらした。今回の事故では、ベントや水素爆発による原子炉建屋の損傷により放射性物質の環境への放出があり、広範囲にわたり空間線量率の上昇や農畜産物の汚染、汚染水の漏えいによる、海水や海産物への影響が報告されている。

放射性物質の環境への放出はやがて飲食物の汚染へと広がり、最終的には人への内部被ばくの直接の要因となるため、それらの放射能濃度を把握することは極めて重要である。本稿では平常時の日本人の食物摂取による預託実効線量を評価した結果を概説し、現在では天然の放射性物質(ポロニウム210およびカリウム40)からの寄与が大きいことについて述べる。

I. はじめに

今回の福島原子力発電所の事故では、原子炉や使用済み燃料プールからヨウ素131やセシウム137に代表される放射性物質が環境中に飛散した。その範囲は、原子力発電所近傍のみならず、関東地方にもその影響が報告されている。

今回の事故ではヨウ素131およびセシウム137が広範囲に飛散していることが明らかとなっており、ストロンチウム90も原子力発電所の近傍の土壌から検出されている。

事故直後は飲料水からヨウ素131やセシウム137が検出され、食品中の放射性物質に関する暫定規制値を超えるものも存在した。またその後は、農作物・海産物にも影響が及び、ホウレン草や魚(コウナゴ)からヨウ素131やセシウム137が検出され、その汚染の範囲は甚大である。最近では、牛肉からセシウム137が検出されており、被害の根は深い。さらに、海水への汚染も懸念されることから、今後は海産物への影響も危惧される。

現時点では事故建屋からの放射性物質の飛散は少なくなっているものの、冷温停止には至っておらず、完全な封じ込めは完了していない。また、環境に放出された放射性物質は、除染等を行わない限り、陸圏では地表に留まり、再浮遊により吸入したり、地下水に移行したり、さらに農作物等に移行しそれを摂取したりすることによ

り内部被ばくの要因となる。海洋では拡散により希釈はされるものの、生物濃縮により放射能濃度が高くなった魚を摂取することも考えられる。

本稿では、食物摂取による成人の内部被ばく、特に平常時の食品の放射能濃度レベルとそれによる被ばく線量について解説し、今回のような事故時における被ばく線量を評価する上で参考となるデータを示した。

なお、今回は概説にとどめたので、詳しく知りたい場合は参考資料と後述するホームページを参照していただきたい。

II. 被ばく線量の算出方法

1. 内部被ばくの特徴

被ばくには放射性物質が体の外にあり、そこから発生する放射線で被ばくする外部被ばくと放射性物質が飲食物や大気に含まれて、それを摂取することにより被ばくする内部被ばくに分けられる。文字通り、「外」と「内」の違いである。この違いは放射性物質の振る舞いに反映されるため、線量評価の方法が異なる。また、放射線防護の考え方も異なり、例えば、外部被ばくの場合は線源から、距離をとったり、時間を短くしたり、遮へいを施すことによって、被ばく線量を低減することができる。一方、内部被ばくは、いったん体内に取り込んだ放射性物質に起因しているため、体外に排泄しない限り被ばくは継続する。また、特定の臓器に集まる性質の放射性物質であれば、局所的な被ばくをもたらす。さらに、近くの物質にエネルギーを与える性質の放射線であれば(例えば、ガンマ線に比べてアルファ線)同じ放射能濃度の場合、アルファ線の方が組織(細胞)に与える影響は大き

Evaluation for Committed Effective Dose due to Dietary Foods by the Intake for Japanese Adults: Tetsuya SANADA.

(2011年 8月23日 受理)

い。

内部被ばくは、上述のように体内に放射性物質が存在し長期にわたり被ばくが継続するため、生涯における健康リスクを評価する必要がある。物理学的半減期と生物学的半減期(代謝による機能)を考慮して成人の場合は50年間、子供の場合は70歳になるまでの総被ばく量を累計した、預託実効線量で評価する。

2. 食品中の放射性物質の濃度

我が国における食品に関する放射能の全国調査は、文部科学省が行っている環境放射能水準調査の一環で、対象となった家庭で一人前多く調理してもらい、それを1日分の食事として分析する陰膳方式で実施された日常食を対象とした調査がある。また、旧ソ連のチェルノブイリ原子力発電所の事故を契機に、流通食品を対象として1989年度から実施された調査と、輸入食品に限定して2003年度から実施された調査があり、現在はいずれも終了しており、「日本の環境放射能と放射線」のホームページ¹⁾でデータを公表している。

このホームページでは環境放射能調査に関する過去のデータの閲覧はもとより、検索したデータを用いたグラフの作成、原子力艦放射能調査に係る3港(横須賀港、佐世保港、金武中城港)のオンラインでの放射線測定データの表示、図表を中心とした放射能・放射線に関する解説等が公開されている。

このホームページで作成した我が国の日常食中のセシウム137放射能濃度の過去30年余の経年変化を第1図に示す。1970年代はそれまで行われた大気圏内核実験の影響を受けて、現在より1桁程度高い値を示している。1986年付近にチェルノブイリ原子力発電所事故に起因するピークが認められるが、全体としては現在まで漸減している。

1989年度から2005年度に実施した11都道府県の流通食品の放射能調査結果を第1表に示す。この調査²⁾では240種類の食品、試料数にして2,000試料以上の食品中のストロンチウム90、セシウム137等の人工の放射性物質(核種)をはじめ、ラジウム226、鉛210、ポロニウム210

第1表 食品に含まれる放射性物質の濃度範囲²⁾

放射性物質	放射能濃度 (Bq/kg)
⁹⁰ Sr	N.D.~ 9.9
¹³⁷ Cs	N.D.~ 19
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	N.D.~ 0.010
²³⁸ U	N.D.~ 5.2
²³² Th	N.D.~ 0.18
²²⁶ Ra	N.D.~ 3.9
²¹⁰ Pb	N.D.~ 45
²¹⁰ Po	N.D.~120

N.D.: 検出下限値以下

等の天然の放射性核種の濃度を測定した。その結果、食品の種類により濃度の範囲は大きく異なり、天然の放射性核種であるポロニウム210が、特に魚介類に多く含まれていることがわかった。

3. 線量評価に用いるパラメータ

(1) 預託実効線量の算出

食品の摂取による預託実効線量の計算は、ICRP Publication 72³⁾に示されている以下の式を用いた。

$$D = \sum \sum C_{fj} M_f h_j \quad (1)$$

ここで、 D : 預託実効線量(mSv)

C_{fj} : 食品 f 中の放射性物質 j の放射能濃度(Bq/kg)

M_f : 食品 f の1日あたりの摂取量(kg)

h_j : 預託実効線量係数(mSv/Bq)

(2) 食品の分類および年間摂取量

飲食物の分類および摂取量は、全国規模の調査である国民健康・栄養調査⁴⁾の食品ごとのデータを基本としている。すなわち、1群から6群(1群: 穀類等, 2群: 野菜類等, 3群: 藻類, 4群: 魚介類, 5群: 肉類, 6群: 卵, 牛乳・乳製品等)に分類し、摂取量を評価した。摂取量は年齢により異なるので、成人のほか、幼児、乳児についても評価されている。なお、今回は成人についてのみ評価した。

(3) 線量係数

放射性物質の放射能濃度がどれくらいの被ばく線量に相当するかを表す係数は、線量係数として表される。経口および吸入摂取による単位摂取量当たりの線量係数(Sv/Bq)は、ICRP Publication 72³⁾に示されており、年齢別で核種ごとに示されている。

ヨウ素131およびセシウム137の経口摂取による線量線量係数を第2表に示す。

この表のように、例えばヨウ素131は年齢による違いが大きく、成人よりも子供の方が放射線に対する感受性が高いことがわかる。しかし、子供は成人と比較して摂取量が少ないことから、この値の差がそのまま線量の差

第1図 日常食中のセシウム137の経年変化¹⁾

第2表 ヨウ素131およびセシウム137の経口摂取による線量係数²⁾

核種	年 齢				
	1 歳	5 歳	10歳	15歳	成人
	(Sv/Bq)				
¹³¹ I	1.8×10^{-7}	1.0×10^{-7}	5.2×10^{-8}	3.4×10^{-8}	2.2×10^{-8}
¹³⁷ Cs	1.2×10^{-8}	9.6×10^{-9}	1.0×10^{-8}	1.3×10^{-8}	1.3×10^{-8}

として示されるわけではない。緑黄色野菜を例にとると、年摂取量の平均値⁴⁾は1歳から6歳は18.7 kg、20歳以上は35.9 kg で約2倍の差がある。

Ⅲ. 線量評価の結果

1. 食品群別の線量

流通食品を対象とした放射能調査²⁾の結果を基に、上述の(1)式を用いて食品群ごとの預託実効線量を計算した。

食品群別の年摂取量と預託実効線量を第3表に示す。この表から、全食品群からの預託実効線量の合計は0.80 mSv であった。ここで、Ⅳ類の魚介類の実効線量が0.64 mSv と全体の80%を占めており、寄与割合が大きい。後述するが、これは魚介類のポロニウム210の放射能濃度が他の食品と比較して高いことや、日本人の魚介類の摂取量が多いという食習慣に起因している。

2. 放射性物質別の線量

次に、放射性物質別の預託実効線量を第4表に示す。ストロンチウム90、セシウム137、プルトニウム239+240

の人工放射性物質からの線量寄与は少なく、ポロニウム210やカリウム40等の天然の放射性物質からの寄与が大きい。特に、ポロニウム210とカリウム40で全体の92%を占めており、現在では人工の放射性物質からではなく、天然の放射性物質からの寄与が大きいことがわかる。日本人は世界的に見ても魚介類の摂取量が多いことから、それらに含まれる天然の放射性物質からの寄与が大きい。これは、国連科学委員会の2000年報告書⁵⁾に示されている世界の平均値と比較しても明らかである。ポロニウム210とカリウム40の世界の平均値は、それぞれ0.070 mSv および0.17 mSv で、我が国の平均値は、0.73 mSv および0.18 mSv である。カリウム40の値はほぼ同じであるが、ポロニウム210は1桁高い値であり、これは魚介類の摂取量が多いことによるところが大きい。

次に、放射性物質ごとの預託実効線量の食品群別寄与割合を第2図に示す。前述のように、ポロニウム210はⅣ類(魚介類)の寄与が86%と大きく、次いでⅥ類の卵類、牛乳・乳製品類等である。一方、人工の放射性物質であるストロンチウム90はⅥ類の卵類、牛乳・乳製品類等の寄与が41%と最も高く、Ⅰ類、Ⅱ類、Ⅲ類が20%前後でほぼ同程度である。セシウム137はⅠ類、Ⅱ類、Ⅲ類がほぼ同程度で、この3つで約90%を占めている。プルトニウム239+240はⅠ類とⅢ類で96%を占めており、特にⅢ類の藻類からの寄与が大きいことがわかる。

セシウムの経年変化図(第1図)で示したように、現在では過去の核実験の寄与は極めて低く、食品においてはポロニウム210やカリウム40といった天然の放射性物質

第3表 食品群別の年摂取量と預託実効線量²⁾

食品群	分類	年摂取量 (Kg/年)	年間の放射能量 (Bq/年)	預託実効線量 (mSv)
Ⅰ	穀類	168	36	0.017
	いも類	22.8	7.9	0.0017
	砂糖・甘味料類	2.63	1.0	0.00069
	豆類	21.5	7.6	0.0016
	種実類	0.843	10	0.00063
Ⅱ	野菜類	98.5	26	0.0060
	果実類	45.4	4.9	0.0020
	きのこ類	5.44	7.4	0.0023
Ⅲ	藻類	5.33	42	0.014
Ⅳ	魚介類	32.2	550	0.64
Ⅴ	肉類	28.2	6.0	0.0029
Ⅵ	卵類	13.3	5.5	0.0030
	牛乳・乳製品類	61.5	16	0.0044
	油脂類	0.803	0.17	0.00012
	菓子類	9.67	3.8	0.0014
	嗜好飲料類	60.8	110	0.087
	調味料・香辛料類	31.9	33	0.016
合 計		609	870	0.80

第4表 放射性物質別の預託実効線量²⁾

放射性物質	年間の放射能量 (Bq/年)	線量換算係数 (mSv/Bq)	預託実効線量 (mSv)	合計の線量に 対する割合(%)
⁹⁰ Sr	59	0.000028	0.0017	0.17
¹³⁷ Cs	60	0.000013	0.00078	0.079
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0.039	0.00025	0.0000097	0.00098
²³⁸ U	15	0.000045	0.00067	0.068
²³² Th	1.7	0.00023	0.00039	0.039
²²⁶ Ra	43	0.00028	0.012	1.2
²¹⁰ Pb	85	0.00069	0.058	5.8
²¹⁰ Po	610	0.0012	0.73	74
⁴⁰ K	—	—	0.18 ⁶⁾	18
合計	870	—	0.98	—

I：穀類，いも類，砂糖・甘味料類，豆類，種実類，II：野菜類，果実類，きのこ類，III：藻類，IV：魚介類，V：肉類，VI：卵類，牛乳・乳製品類，油脂類，菓子類，嗜好飲料類，調味料・香辛料類

第2図 放射性物質ごとの預託実効線量の食品群別寄与割合²⁾

からの影響が大きい。なお、吸入による内部被ばく線量の寄与が大きい放射性物質として、ウラン系列の天然放射性物質であるラドン222があり、それによる被ばく線量は0.45 mSv⁷⁾で、吸入による被ばく線量の大部分を占めている。

IV. おわりに

本稿では食物摂取による内部被ばくの平常時の濃度レベルについて解説し、今回のような緊急時における被ばく線量を評価する上で基礎となるデータを示した。

今回の事故においては、国の定める暫定規制値を超えるヨウ素131やセシウム137を含む飲食物が報告されており、これらが将来、環境中でどのような振る舞いをし、食品に影響していくかについては、今回紹介した過去の

データが役立つのではないかと期待する。すなわち、ここで紹介した食品中に含まれる人工の放射性物質は、1960年代を中心に行われた大気圏内核実験やチェルノブイリ原子力発電所の事故により環境に放出されたものの痕跡であり、今回の事故のこれからを予測する基礎データとなると考える。

福島原発では現在も全力で復旧作業が続けられている。廃炉まで含めると長期的なスケジュールになると思われるが、1日も早い収束を願うと同時に、周辺環境が3月11日以前のレベルに戻るよう取り組む必要がある。

また、周辺環境の汚染状況の把握と住民の被ばく線量評価には、文部科学省が作成した放射性セシウムの土壌濃度マップを活用し、線量評価にはホールボディカウンタ等を用いた長期にわたる内部被ばく線量の測定が重要

である。また、外部被ばくに関しては、必要に応じて個人被ばく線量計(フィルムバッジ)の携帯等を一元的な管理の下で実施する必要があると考える。さらに、環境放射能調査には、分析値の信頼性確保のため、試料採取法、分析測定法の標準化、共通化が必須である。また、相互比較分析等を行い、得られたデータの信頼性を担保することも重要であろう。

事故の対応には様々な分野の専門家や技術者が数多く携わっているので、産学官の連携はもとより、学会も含め連携した調査体制を構築し、情報を共有して英知を結集することがこの難局に立ち向かっていく最も重要なことであると考え。もちろんそれは、周辺住民の方々や被災された方々の心のケアを含めた協力と理解の上に成り立つことは言うまでもない。

—参考資料—

- 1) 文部科学省, 日本の環境放射能と放射線, <http://www.kankyo-hoshano.go.jp/>.
- 2) T. Ota, T. Sanada, Y. Kashiwara, T. Morimoto, K. Sato, "Evaluation for committed effective dose due to dietary foods by the intake for Japanese adults", *Jpn. J. Health Phys.*, **44**[1], 80-88(2009).
- 3) ICRP Publication 72, Age-dependent dose to members of

the public from intake of radionuclides: Part 5
Compilation of ingestion and inhalation dose coefficients,
(1996).

- 4) 厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室, 平成20年国民健康・栄養調査報告, 平成23年1月.
- 5) 国連科学委員会, 放射線の線源と影響, 原子放射線の影響に関する国連科学委員会の, 総会に対する2000年報告書 附属書付, 実業公報社, (2002).
- 6) H. Sugiyama, H. Terada, K. Isomura, I. Iijima, J. Kobayashi, K. Kitamura, "Internal exposure to ^{210}Po and ^{40}K from ingestion of cooked daily foodstuffs for adults in Japanese cities", *J. Toxicol. Sci.*, **34**[4], 417-425(2009).
- 7) T. Sanada, K. Fujimoto, K. Miyano, M. Doi, S. Tokonami, M. Uesugi, Y. Takata, "Measurement of nationwide indoor Rn concentration in Japan", *J. Environ. Radioact.*, **45**, 129-137(1999).

著者紹介

真田哲也(さなだ・てつや)

(財)日本分析センター

(専門分野/関心分野)環境放射能分析, 放射化学分析, ラドン濃度測定, 地球化学(陸水, 特に温泉水中の希土類元素の動態)