

特集：現存被ばく状況下における放射線リスクコミュニケーション

<総説>

東京電力福島第一原子力発電所事故に起因した食品摂取由来の線量の推計

山口一郎¹⁾, 寺田宙¹⁾, 櫻田尚樹¹⁾, 高橋邦彦²⁾¹⁾ 国立保健医療科学院生活環境研究部²⁾ 国立保健医療科学院政策技術評価研究部**Dose estimation from food intake due to the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident**Ichiro YAMAGUCHI¹⁾, Hiroshi TERADA¹⁾, Naoki KUNUGITA¹⁾, Kunihiko TAKAHASHI²⁾¹⁾ Department of Environmental Health, National Institute of Public Health²⁾ Department of Health Policy and Technology Assessment, National Institute of Public Health

抄録

東京電力福島第一原子力発電所事故により、食品の放射線安全への懸念が国内外で高まり、そのために様々な対策が講じられた。対策の成果を評価するために、食品に由来した線量の推計が様々な方法により試みられている。ここでは、厚生労働省が公表している食品中の放射性物質のモニタリング結果に基づく線量推計例を示す。なお、事故直後から6ヶ月間の被ばく線量の評価例は、2011年10月31日に薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会で報告されている。本稿では、その評価例に引き続くものとして、事故直後から2012年12月までの実効線量と甲状腺の等価線量を積算した評価例を示す。

年齢階級別に東電福島原発事故後の食品中の放射性セシウムと放射性ヨウ素に由来した預託実効線量を推計した結果、中央値が最も高かったのは13-18歳で2012年12月20日までの積算で0.19mSvであった。95%タイル値が最も高かったのは1-6歳で0.33mSvであった。

このような食品からの線量の事後的な推計は、ある集団や個人の放射線リスクの推計や放射線防護対策の評価に役立てることができる。また、今後の食品のリスク管理のあり方の検討にも役立てることができるだろう。

キーワード：放射性セシウム、放射性ヨウ素、基準値、預託実効線量、線量推計

Abstract

Since the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, concerns have arisen about the radiation safety of food raised at home and abroad. Therefore, many measures have been taken to address this. To evaluate the effectiveness of these measures, dose estimation due to food consumption has been attempted by various methods. In this paper, we show the results of dose estimation based on the monitoring data of radioactive materials in food published by the Ministry of Health, Labour and Welfare. The Radioactive Material Response Working Group in the Food Sanitation Subcommittee of the

連絡先：山口一郎

〒351-0197 埼玉県和光市南2-3-6

2-3-6, Minami, Wako-shi, Saitama, 351-0197, Japan.

Tel: 048-458-6259

Fax: 048-458-6270

E-mail: drhyama@niph.go.jp

[平成25年4月23日受理]

Pharmaceutical Affairs and Food Sanitation Council reported such dose estimation results on October 31, 2011 using monitoring data from immediately after the accident through September, 2011. Our results presented in this paper were the effective dose and thyroid equivalent dose integrated up to December 2012 from immediately after the accident.

The estimated results of committed effective dose by age group derived from the radioiodine and radiocesium in food after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident showed the highest median value (0.19 mSv) in children 13-18 years of age. The highest 95% tile value, 0.33 mSv, was shown in the 1-6 years age range.

These dose estimations from food can be useful for evaluation of radiation risk for individuals or populations and for radiation protection measures. It would also be helpful for the study of risk management of food in the future.

Keywords: radiocesium, radioiodine, standard limits, committed effective dose, dose estimation

(accepted for publication, 23rd April 2013)

I. 緒言

東京電力福島第一原子力発電所の事故発生後、食品の放射線安全への懸念が国内外で高まった。このため、飲食に起因する衛生上の危害の発生を防止する立場から厚生労働省により事故直後の平成23年3月17日に通知「放射能汚染された食品の取り扱いについて」が発出され、原子力安全委員会が示した「飲食物摂取制限に関する指標」を暫定規制値とするともに、翌18日以降は17都県を中心に地方自治体で食品中の放射性物質の検査が開始された。検査の結果、基準を超えた食品については食品衛生法上の措置として同一ロットのものが回収、廃棄される。さらに、基準を超えた地点に広がり認められた場合等は原子力災害対策特別措置法に基づき、県域又は県内の一部の区域を単位として出荷制限等、放射能汚染された食品が食用として供されないための対策が取られる。

暫定規制値は事故後の緊急的な対応として放射性ヨウ素に対し甲状腺等価線量50 mSv/年、放射性セシウムについては実効線量5 mSv/年を基準に定められた [1]。暫定規制値に適合している食品は健康への影響はないと一般に評価され、安全性は確保されていたが、より一層食品の安全と安心を確保するためとして、2012年4月に食品中の放射性物質に係る規格基準（以下、新基準値）が施行された。新基準値は以下の考え方をもとに設定されている。

- ・食品の国際規格を作成しているコーデックス委員会の現在の指標を踏まえ、1年間で許容される線量を1 mSvとした。
- ・食品安全委員会が「食品中に含まれる放射性物質の食品健康影響評価」で小児の期間については感受性が成人より高い可能性を指摘したことを受け、食品は小児に対し特別な配慮が必要な食品区分（「飲料水」、「乳児用食品」、「牛乳」）とそれ以外の食品（一般食品）の4区分とした。
- ・事故により放出された放射性物質のうち、半減期が1

年以上のものを規制の対象とした。（事故後初期に問題となったヨウ素131については半減期が約8日と短いため、対象となっていない）

- ・年齢などの違いによる影響をきめ細やかに評価するため、個人を年齢や性別、妊婦などで10区分に分類した。
- ・上記の10区分毎に、1年間摂取し続けた場合に許容線量に相当することになる食品1kg当たりの放射性セシウム濃度（限度値）を食品摂取量や線量係数を用いて算出した。
- ・各区分の限度値のうち、最小のものを安全側に丸めて新基準値とした。

この結果、新基準値は一般食品に対して100Bq/kg、牛乳及び乳児用食品に対しては50Bq/kgと、暫定規制値（飲料水と牛乳・乳製品以外の食品に対し500Bq/kg）に比べて小さい値となり、2012年4月からは新しい基準に基づく検査が実施されている。

以上のような食品に関する放射線安全対策の成果を評価するために、トータルダイエット研究等、様々な方法により食品に由来する線量の推計が試みられている。本稿では厚生労働省が公表している食品中の放射性物質の検査結果を用いた被ばく線量の推計を試みた。同様の評価例は2011年10月31日、薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会により報告されており、事故直後から6ヶ月間の検査結果をもとに事故後1年間の線量の推計結果が示された [2]。これに引き続くものとして、ここでは2012年12月までの実効線量と甲状腺の等価線量を積算した評価例を示す。

II. 方法

1. 線量計算の前提条件

1) 計算対象とした集団

新基準値の誘導の計算に合わせ「1-6歳」、「7-12歳」、「13-18歳」、「19歳以上」の男性を計算対象の集団とした。食品に由来した線量は、経口摂取した放射性物質の量とそれぞれの放射性物質の年齢別の線量換算係数

で決定される。摂取した放射性物質の量は、食品中の放射性物質の濃度とその食品の摂取量で決定される。放射線防護を考える際の防護量としての実効線量や甲状腺の等価線量は、仮想的な標準人を想定したものであり、この標準人は性差を持たない。このため、線量換算係数には性差がない。一般に食品摂取量は男性の方が大きいと考えられるので、男性を計算対象とすることは、日本人全体の評価としては、安全側になると考えられる。

2) 計算対象放射性物質

東京電力福島第一原子力発電所事故で環境に放出された放射性物質のうち、食品に由来した線量に比較的寄与すると考えられるヨウ素131 (I-131), セシウム134 (Cs-134), セシウム137 (Cs-137) を計算対象とした。これら以外の放射性物質の事故後一年以降の寄与に関しては、食品の放射線安全に関する規格基準策定時に薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会により検討されている。この検討では、東京電力福島第一原子力発電所事故で環境に放出されたと考えられる放射性物質のうち、半減期が1年未満の放射性物質および線量寄与が無視できると考えられるものを除き、Cs-134, Cs-137, ストロニウム90, プルトニウム同位体, ルテニウム106が対象とされた。これらの放射性物質については事故を起こした原発サイトから環境への放出と、環境中での農作物等への移行特性に関して放射性セシウムとの比を考慮し、食品に由来した線量における放射性セシウムとそれ以外の放射性物質の寄与を推計している。なお、海産物摂取による線量については、海洋への放射性物質の放出状況が明確ではないことから、安全側になるように、放射性セシウムと他の放射性物質による線量が等量になると仮定している。この仮定に関しては、海産物の実測により、妥当性を随時検証する必要があるが、2013年3月時点までに実施された測定結果では、海産物中の放射性物質は放射性セシウムが支配的であり、上記の想定は相当に安全側の評価であると考えられている。結果として、薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会による検討では19歳以上の男性の場合では、放射性セシウム以外の放射性物質の寄与を12%と見積もっている。

3) 計算期間

事故後(2011年3月15日)から2012年12月20日までの線量評価期間とした。環境への放出は2011年3月12日に東北電力女川原子力発電所のモニタリングポストでも観測され、2011年3月13日1時50分には空間線量率が $21 \mu\text{Sv/h}$ に達したが [3], 農作物への主な沈着は2011年3月15日以降と仮定した。初期の線量の詳細は、行動パターンにも依存する。

2. 線量計算に使用したパラメータ

1) 計算に用いた食品中の放射性物質の濃度

・食品中のI-131, Cs-134, Cs-137の放射性物質濃度は、事故後から2012年12月20日までの期間で厚生労働省が

集約し、公表したデータを元に、国立保健医療科学院でデータクリーニングし、食品群別に分類したものをを用いた。

- ・それぞれの濃度データは、国民健康・栄養調査で区分されている99の食品群に分類した。
- ・検出限界以下 (ND) の取り扱いに関しては、(1)Cs-134とCs-137では、ND値が明示されている場合はその値とし、ND値が明示されていない場合はWHOの線量推計報告書と同様に 10Bq/kg とした。また、それぞれの月で、NDが6割を超えている食品は上のルールで定めた値のそれぞれ半分とした。(2)I-131に関しては、ND値が明示されている場合は2011年5月中までその値とし、2011年5月以降は 0Bq/kg とした。ND値が明示されていない場合は、2011年5月中まで 10Bq/kg とし、2011年5月以降は 0Bq/kg とした。それぞれの月で、NDが6割を超えている食品は、上のルールで定めた値の半分とした。

加工品など分類が困難な食品は推計対象データから除外した。また、ペットボトルなどで提供されている可能性がある飲料品は推計対象データから除外した。

2) 計算に用いた日本国民の摂取量

- ・食品の摂取量は、「平成21年度国民健康・栄養調査」の99の食品群別の摂取量の個票データを厚生労働省統計情報部の許諾を得て使用した。この調査の標本サイズは9,942人であり、このうち食品摂取量が利用可能な9,006人分のデータを用いた。

3) 線量換算係数

- ・摂取した放射性物質の量から甲状腺等価線量および実効線量への換算係数 (Sv/Bq) は、ICRP Publ. 72およびICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public; Ver. 3.0に示されているものを使用した。

3. 線量計算の方法

99の食品分類について、ある個人の摂取量データをそれぞれランダムに選択し、またその個人が摂取する放射性物質の濃度を実測値からそれぞれランダムに選択し、これらの値を掛け合わせて計算される仮想的な被ばく量を100,000人分算出し、その中央値及び95パーセントイル値を求めた。各食品群の放射性物質の濃度は、経時的に変動しており、特に初期は変化が大きいため、2011年5月31日までは4日毎にサンプリングし、2011年6月以降は月毎にサンプリングした。用いた手法を以下に示す。

- ①：食品の摂取量の個人IDから1件ランダム抽出する。
- ②：その個人IDの摂取量を2012年12月20日まで適用する。
- ③：2011年5月31日までは、4日毎の濃度データからランダム抽出したデータ1件を使って、4日分の食品摂取量をかけて4日間の線量を4日毎に計算。この作業を食品群ごとに計算する。
- ④：2011年6月1日からは、1ヶ月毎の濃度データから

ランダム抽出したデータ1件を使って、1ヶ月分の食品摂取量をかけて1ヶ月間の線量を1ヶ月毎に計算。この作業を食品群ごとに計算する。ただし、コメは2011年9月以降は、翌年の9月まで、それまでのデータをプールした。

- ⑤：2011年5月31日まで4日毎に計算した線量、2011年6月1日から1ヶ月ごとに計算した線量を合算する。
- ⑥：①～⑤の作業を10万回計算する。

このような設定条件による線量計算は、確率論的な方法による線量計算とされる。確率論的な方法による被ばく線量の計算とは、ある個人が摂取する放射性物質の濃度を実測値からランダムに抽出し、また、摂取量も国民の摂取量の分布からランダムに抽出し、これらの値を掛け合わせて計算される仮想的な被ばく量を多数人分算出し、その中央値及びパーセントイル値の線量を計算することである。

III. 結果

上述の方法による線量の推計結果を示す(表1)。

IV. 考察と課題

1. 実効線量

現行の基準値適用の条件における積算実効線量(事故直後から2012年12月まで)の95パーセントイル値は、各年代において0.4mSv以下であった。仮にこれらの線量が安全側の想定のもと1年間で被ばくしたのものとしても、自然放射性物質(カリウム40やポロニウム210など)による年間線量0.99mSv [4]よりも低いレベルであると考えられる。また、自然放射性物質のポロニウム210の摂取による年間実効線量は、国内でも都市別の平均実効線量として0.15mSv - 0.81mSv [5]の変動があり、この変動幅よりも福島原発事故後の食品からの追加の被ばく線量は小さいと考えられる。

は小さいと考えられる。

国際放射線防護委員会(ICRP)では、放射線防護において、「代表的な個人」という概念を用いている。集団での線量分布の95パーセントイル値以上の個人を代表的個人とし、公衆の代表的個人の線量が設定された量を超えなければ、その公衆は放射線から防護されていると考えられている。現行の食品の基準値は食品から追加で受ける線量の上限を年間で1mSvとしており、それを満足していることが確認できた。ただし、食品からの線量は食生活に大きく依存する。厚労省が公表している食品中の放射性物質濃度データは、そもそも出荷を想定していない試料も含まれてはいるものの、基本的には、出荷時測定したものが用いられている。このため、出荷を目的としていない食品は、その対象外となり得る。結果として、流通品を摂取しない個人では、線量が大きくなることが考えられるが、その割合をこの推計で推定するのは困難であると考えられる。

2. 甲状腺等価線量

現行の基準値適用の条件における積算甲状腺等価線量(事故直後から2012年12月まで)の95パーセントイル値は、各年代において5mSv以下であった。食品安全委員会の評価書「食品に含まれる放射性物質」によれば、等価線量で100mSvを超える線量において、疫学研究で有意な健康影響が示された報告があることが指摘されている。また、ICRP Publ.103によれば、ヨウ素剤服用の介入レベルとして甲状腺等価線量50-500mSvが勧告されている。推計された線量は、それらよりも低いレベルであると考えられる。ただし、事故直後のデータは十分ではなく、その正確な推計には個人の行動パターンの考慮が必要であろう。

I-131の濃度が最も高かった食品は、2011年3月18日に採取し同年3月20日に結果が公表された茨城県日立市のホウレンソウであった。その濃度は、54,100Bq/kgで、茨城県は3月19日からホウレンソウの出荷を自粛した。

表1 線量の推計結果 [mSv]

		50%タイル				95%タイル			
		1-6歳 男性	7-12歳 男性	13-18歳 男性	19歳- 男性	1-6歳 男性	7-12歳 男性	13-18歳 男性	19歳- 男性
甲状腺 等価線量	規制なし※1	6.00	3.16	2.09	1.04	21.39	8.91	7.80	5.43
	暫定規制値適用※2	1.72	0.90	0.77	0.49	4.57	1.88	1.75	1.31
	現行基準値適用※3	1.71	0.90	0.76	0.49	4.57	1.88	1.75	1.30
実効線量	規制なし※1	0.40	0.29	0.30	0.24	1.20	0.63	0.72	0.64
	暫定規制値適用※2	0.16	0.14	0.19	0.17	0.33	0.22	0.31	0.30
	現行基準値適用※3	0.16	0.14	0.19	0.16	0.33	0.22	0.31	0.30

※1：濃度に関係なく、すべての食品が摂取される可能性があるとして仮定して算定。

※2：暫定規制値の500Bq/kgを超える食品は、摂取されないと仮定して算定。

※3：基準値が適用されるまで(2012年3月31日)は、暫定規制値を超える食品は摂取されない、また現行の基準値が適用された後(2012年4月1日)は、基準値を超える食品は摂取されないと仮定して算定。経過措置も考慮して算定。

厚生労働省は食品中の放射性物質の検査結果を公表する際、当該試料に流通の可能性があるかどうかを示している。上述のハウレンソウはその区分上、非流通であり、このような食品を摂取したかどうか、甲状腺の等価線量推計のポイントになるであろう [6]。その一方、甲状腺の等価線量は、長期的な観点で見れば、放射性Cs由来によるものになる。Csは体内に均一分布するので、甲状腺の等価線量を個別に評価する意義は乏しい。

3. 本推計法の限界

この推計法では、いくつかの過大・過小評価の要因があると考えられる。

食品中の濃度データは都道府県によりサンプリングされたものに基づくが、検査を主に実施している都道府県は、より原発事故の影響を受けた地域であり、サンプリングは、流通する食品に関して濃度が高いものを見逃さないようにするという思想に基づいて実施していることから、平均的な日本人を想定すると過大な評価になりえる。その一方、より線量が大きい集団の推計では過小評価になり得る。

摂取量に関して国民健康栄養調査は、11月に調査されたものである。季節別摂取量を調べた調査例があり、そのデータを使うことで推計の質を向上できる。

この推計法で、最も大きいと考えられる限界は、検出限界未満のデータの扱いである。原発事故後は対策が強化され、出荷の制御がなされていることから、食品中の濃度データの大半が、このモニタリングでは、検出限界未満となっている。トータルダイエツト研究の結果に比べて、この推計法で線量が大きいのは、この要因が効いていると考えられる。検出限界未満のデータが多数を占めることから、この方法では、推計の質を向上させることに限界がある。

その一方で、各評価期間（4日間や1ヶ月間）内に濃度データが存在しない食品群の濃度をゼロとして計算したことで、過小評価になっている。近い日にちの濃度データを減衰補正した値を割り当てることで推計の質を向上できるかもしれない。

個々の食品群では、玄米については、精米による放射性物質の低減を考慮していないため過大評価になっている。精米などでの低減効果を考慮することにより推計の質を向上できる。

乾燥食品の濃度については、水戻し率を考慮していないため過大評価になっている。水戻し率を考慮することで、推計の質を向上できるが、摂取量が少ないため、推計への影響は限定的である。

ウーロン茶などの飲料品を推計データから除いたため、過小評価になっている。ウーロン茶などの飲料品を推計対象とすることで推計の質を向上させることができると考えられる。

出荷制限対象の食品であっても暫定規制値もしくは基準値以下であれば推計データとして採用したため、過大

評価になっている。出荷制限を考慮することで、推計の質を向上させることができると考えられる。

4. 他の推計法との比較

食品による被ばくの実態を知るには目的に応じたトータルダイエツト研究（通常の食生活において、特定の化学物質などをどの程度摂取しているかを推定する方法）も有用であると考えられる。本推計は、仮想的な集団の線量を評価したことから、本院でも実施されているトータルダイエツト研究や体外測定やバイオアッセイなどその他の内部被ばく調査と比較しつつ、妥当性を検証していく必要がある。また、測定対象放射性物質以外による関連するデータを補完する検討が本院でも行われている。今後それらの検討結果を踏まえて、放射性セシウムとのスクーリングファクタ（放射性セシウムとその他の放射性物質との濃度の比）などを考慮して食品による線量を推計することが望まれる。

V. まとめ

年齢階級別に東電福島原発事故後の食品中の放射性セシウムと放射性ヨウ素に由来した預託実効線量を推計した。中央値が最も高かったのは13-18歳で2012年12月20日までの積算で0.19mSvであった。95%タイル値が最も高かったのは1-6歳で0.33mSvであった。これらの値は新基準値を設定する上で基となった線量である年間1mSvを十分に満足することが確認できた。

このような食品からの線量の事後的な推計は、ある集団や個人の放射線リスクの推計や放射線防護対策の評価に役立てることができる。また、今後の食品のリスク管理のあり方の検討にも役立てることができるだろう。

謝辞

本研究は国立保健医療科学院基盤的研究費および平成24年度厚生労働科学研究費補助金（食品の安全確保推進研究事業）により行われ、食品濃度データの整理は、松本品さんの援助を受けた。食品の摂取量は、平成21年度国民健康・栄養調査の個票データを厚生労働省統計情報部の許諾を得て使用した。

文献

- [1] 寺田宙, 山口一郎. 放射性物質による食品汚染の概要と課題. 保健医療科学. 2011; 60(4):300-5.
- [2] Yamaguchi I. Radioactive concentration of food caused by Fukushima Nuclear Power Plant disaster and new radiological standards for foodstuffs in the existing exposure situation in Japan after a severe nuclear accident. Jpn J Health Phys. 2012; 47:144-7.
- [3] 女川原子力発電所 モニタリング・ポストデータ

- (2011-3-28). Available from: <http://www.tohoku-epco.co.jp/ICSFiles/afieldfile/2011/03/28/11032816genshiryoku.pdf> (accessed 2013-03-28)
- [4] 原子力安全研究協会. 生活環境放射線 (国民線量の算定). 東京: 原子力安全研究協会; 2011.
- [5] Sugiyama H, Terada H, Isomura K, Iijima I, Kobayashi J, Kitamura K. Internal exposure to ^{210}Po and ^{40}K from ingestion of cooked daily foodstuffs for adults in Japanese cities. *J Toxicol Sci.* 2009;34:417-25.
- [6] Yamaguchi I. Estimation of Ingestion Dose due to I-131 in the Initial Month by using Food-monitoring Data after the Fukushima Nuclear Disaster in Japan. In: Kurihara O, Akahane K, Fukuda S, Miyahara N, Yonai S, editors. NIRS-M-252. Proceedings of the first NIRS symposium on reconstruction of early internal dose due to the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident; 2012 July 10-11; Chiba, Japan: 2012. p.83-95.