

令和2～4年度 総合研究報告書

食品中の放射性物質の規制継続による線量低減効果に関する研究
～蓄積検査結果の有効活用による検証～

研究代表者 小山内 暢 弘前大学大学院保健学研究科・助教

研究要旨

東京電力（株）（当時）福島第一原子力発電所事故（以下「原発事故」という。）を受け、平成23年3月に設定された暫定規制値に続き、平成24年4月からは食品中の放射性物質に関する現行の基準値（以下「基準値」という。）が適用されている（一般食品の場合で100 Bq/kg）。この基準値を指標として、原子力災害対策本部で定めたガイドラインに基づき17都県を中心に地方自治体においてモニタリング検査が継続して行われている。原発事故から10年以上が経過した現在（平成24年4月から令和4年3月）までに250万件を超えるモニタリング検査結果が蓄積されてきた。本研究では、当該検査結果を有効活用し、基準値以内の検査結果群及びすべての検査結果群それぞれから放射能濃度を無作為抽出して食品摂取に係る内部被ばく線量を推定し、基準値の設定や違反食品の流通制限といった規制の効果を検証した。

3カ年での本研究課題において、最終的には、平成24年度から令和3年度までの10年間に採取・購入された試料を対象として検証を行った。また、段階的に、①地域住民にとって多様な価値のある山菜の摂取量を考慮した検証、②食品の種類ごとの内部被ばく線量への寄与割合の解析、さらに、③高摂取者の過小評価を防ぐために食品摂取量に分布を仮定した検証といった新たな手法を試みた。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と食品摂取量を紐づけるために、検査結果での品目名（10年間で6,670品目）を国民健康・栄養調査における食品の98小分類に飲料水と山菜を加えた合計100分類（山菜の摂取量を考慮しない場合は99分類）に対応させた。検査結果から食品分類（全100種類）ごとに放射能濃度（セシウム134と137の合計値（Bq/kg））の無作為抽出を10,000回繰り返し、各食品の年間摂取量（kg）及び半減期で加重平均した経口摂取に係る内部被ばく線量係数（Sv/Bq）を乗じて全食品分種類分を合算し、仮想10,000人分の内部被ばく線量として預託実効線量（mSv/年）を算出した。すべての検査結果、基準値以内の検査結果から抽出し算出した内部被ばく線量をそれぞれ、「規制なし」（基準値設定や違反食品の流通制限がないものと仮定）、「規制あり」

(基準値設定や違反食品の流通制限があり) の場合とした。

山菜の摂取量を考慮し、食品摂取量に分布を仮定した検証において、規制の有無にかかわらず、内部被ばく線量の95パーセンタイル値(国際放射線防護委員会は95パーセンタイル値を「代表的個人」の線量とすることを提示している)は、各年度とも1 mSv/年を下回った。平成24年度は規制効果が大きく、平成28年度以降は「規制あり」と「規制なし」の内部被ばく線量に顕著な違いは認められなかった。内部被ばく線量はおおよそ平成28年度まで減少し、その後は低値を示したまま一定であった。モニタリング検査結果において放射能濃度が高い食品の内部被ばく線量への寄与が必ずしも大きいわけではなく、食品中の放射能濃度と内部被ばく線量(セシウム摂取量)には明らかな関係性は認められなかった。食品摂取に係る内部被ばく線量推定に当たっては、試料中の放射能濃度だけでなく、食品摂取量も大きな要因であることが改めて示された。

以上のように、保守的な仮定の上に立った、より精緻な検証においても、我が国における食品中の放射性物質に関する規制は効果的であり、食の安全が確保されていることが確認できた。

研究分担者

- 工藤 幸清 弘前大学大学院保健学研究科・教授
- 對馬 惠 弘前大学大学院保健学研究科・講師
- 細川 翔太 弘前大学大学院保健学研究科・助教

研究協力者

- 野呂 朝夢祐 弘前大学大学院保健学研究科・大学院生
- 平野 大介 弘前大学医学部保健学科・学部生 (当時)
- 三橋 誌織 弘前大学医学部保健学科・学部生 (当時)
- 木村 将乃助 弘前大学医学部保健学科・学部生 (当時)
- 三浦 茉友 弘前大学医学部保健学科・学部生
- 田中 千尋 弘前大学医学部保健学科・学部生

A. 研究目的

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う東京電力(株)(当時)福島第一原子力発電所事故(以下「原発事故」という。)を受け、事故直後の3月17日に設定された暫定規制値に続き、平成24年4月からは食品中の放射性物質に関する現行の基準値(以下「基準値」という。)が適用されている。暫定規制値は年間の預託実効線量5 mSvを基に緊急的な措置として定められたのに対して、基準値は長期的な状況に対応するものとして薬事・食品衛生審議会等での議論を経た上で、コーデックス委

員会が示す人工放射性核種に対する食品由来の年間線量1 mSvを基に定められた。原発事故で放出されたとされている放射性核種のうち、半減期が1年以上の核種(セシウム134、セシウム137、ストロンチウム90、プルトニウム、ルテニウム106)を規制対象としているが、セシウム以外の核種は測定に非常に煩雑な処理が求められるため、測定が容易な γ 線放出核種であり、内部被ばく線量への寄与が大きい放射性セシウムに代表させた基準値が定められている。基準値(セシウム134と137の合計値)としては、飲料水10 Bq/kg、牛乳50 Bq/kg、乳児用食品50 Bq/kg、一般食品100 Bq/kgが定められている。

本基準値を指標として、原子力災害対策本部で定めたガイドラインに基づき17都県を中心に地方自治体においてモニタリング検査が継続して実施されており、基準値を超過した食品が流通しないように回収・廃棄や出荷制限といった厳格な流通制限(以下「流通制限」という。)の措置が取られている。モニタリング検査結果は厚生労働省が取りまとめてウェブサイト上で公開しており、平成24年4月から令和4年3月までで250万件以上(厚生労働省公表資料を基に算出)に及ぶ。

本研究では、国が蓄積したモニタリング検査結果を活用し、基準値設定や違反食品の流通制限といった規制による線量低減効果を検証した。基準値超えを含むすべての検査結果(以下「すべての検査結果」という。)と、基準値以内の検査結果を用いて推定した預託実効線量

をそれぞれ「規制なし」（基準値設定や違反食品の流通制限がないものと仮定）、「規制あり」（基準値設定や違反食品の流通制限があり）とした。つまり、「規制なし」の線量推定では、実際の現行規制下で基準値超過に該当する検査結果も含まれる場合がある。「規制なし」と「規制あり」の場合の推定線量を比較し、規制効果を検証した。

各年度の研究においては、分担研究として、膨大なデータの効率的な整理方法の構築、放射性セシウムに対する各年度の線量係数の導出、放射性核種の半減期の最新データを踏まえた現行規制の妥当性の確認等を行いながら、段階を経て、山菜の摂取量を考慮した検証、食品の種類ごとの内部被ばく線量への寄与割合の解析、さらに、食品摂取量に分布を仮定した検証を行った。

B. 研究方法

1. 対象期間・地域

3カ年研究で徐々に対象年度を拡大し、最終的には、基準値適用1年目である平成24年度から令和3年度の10年間を対象として検証を行った。年度は、試料の採取日（購入日）によって区別した。モニタリング検査結果は全国の結果を対象とした。

2. データ準備

2-1 モニタリング検査結果

厚生労働省のウェブサイトから月ごとに公表されている月別検査結果をダウンロードし、採取日（購入日）によって検査結果を年度別に再統合した。放射

能濃度（セシウム 134 と 137 の合計値（Bq/kg））、採取日（購入日）が判別できないデータを削除し、採取日（購入日）の表記フォーマットを統一してデータクリーニングを施した上でデータベースを作成した。

まず、各年度の検査結果の食品分類ごとの放射能濃度を解析した。なお、食品分類としては、後に示すとおり、国民健康・栄養調査が示す98小分類に飲料水と山菜を加えた合計100分類を対象とした。山菜の摂取量を考慮しない検証においては、全99分類を対象として検証を行った。

2-2 食品摂取量

平成24年国民健康・栄養調査結果の食品群別摂取量の平均値（男女20歳以上）を用いた。国民健康・栄養調査では98の小分類（小分類番号1～98）ごとに食品摂取量（g/日）が提示されている。

また、令和4年度に実施した食品摂取量に分布を仮定した内部被ばく線量推定（山菜の摂取量も考慮し100分類を対象とした）では、摂取量の平均値と標準偏差を用い、単純モデルとして、正規分布を仮定した食品摂取量の分布を作成（仮想100,000人分の摂取量を算出）した。この摂取量の中から無作為抽出を10,000回繰り返し、内部被ばく線量推定に用いた。

国民健康・栄養調査に含まれていない飲料水の摂取量は、基準値策定時の想定と同様に2 L/日とした。また、令和3年度以降の研究では、地域住民にと

って多様な価値のある山菜の摂取量も考慮し検証を行った。平成22年に実施された「食品摂取頻度・摂取量調査の特別集計業務」の報告書を基に山菜に該当する食品の摂取量を集計し、7.67 g/日を山菜の平均摂取量とした。

食品摂取量に分布を仮定した検証において、飲料水の摂取量については標準偏差が利用できないため、摂取量に分布は仮定せず、固定値（2 L/日）を利用した。また、山菜の摂取量（7.67 g/日）は、各山菜の平均摂取量の合計値であるため標準偏差の情報はないが、山菜の摂取量は個人差が大きいと考えられるため、一般的な野菜類の摂取量の平均値に対する標準偏差の比を基に、山菜の摂取量の標準偏差を38 g/日と決定し、摂取量の分布推定に用いた。

2-3 検査品目と食品分類の対応作業（データの効率的な整理方法の構築）

モニタリング検査結果の品目名（平成24年度から令和3年度までの10年間で6,670品目）を、食品摂取量データにおける100分類（山菜の摂取量を考慮しない検証では99分類）に対応させる作業を行った。その際に、事前準備としてプログラミング処理等によってそれぞれの検査品目が該当する食品分類の候補を半自動的に抽出することに作業の効率化を図った。

2-4 線量係数

経口摂取に係る内部被ばく線量係数（Sv/Bq）は、国際放射線防護委員会

（International Commission on Radiological Protection: ICRP）による ICRP publication 72 が示す成人に対する値を用いた。成人に対するセシウム 134 と 137 の線量係数をそれぞれの物理学的半減期に基づいた減衰率で加重平均することにより、各年度における放射性セシウム（セシウム 134 と 137 の合計値）に対する線量係数として線量計算に使用した。

令和3年度の分担研究においては、半減期の改定に伴う内部被ばく線量推定に及ぼす影響を検討した。

3. データ収集・線量計算

「規制あり」と「規制なし」の場合それぞれで仮想 10,000 人の内部被ばく線量（預託実効線量）を推定した。各年度のモニタリング検査結果から食品分類ごとに無作為抽出を 10,000 回繰り返した。検査結果の無作為抽出は、①すべての検査結果を用いた「規制なし」、②基準値以内の検査結果を用いた「規制あり」の場合それぞれで独立して行った。

内部被ばく線量として、次式により、年間の預託実効線量（mSv/年）を算出した。

$$\begin{aligned} & \text{預託実効線量 (mSv/年)} \\ & = 365.24 \cdot 10^3 \cdot DC \sum_{i=1}^{100} I_i \cdot C_i \end{aligned}$$

ここで、

- DC : 物理学的半減期による残存率で加重平均した各年度の放射性セシウムの線量係数（Sv/Bq）
 I_i : 無作為抽出された各食品分類の食品摂取量（kg/日）

C_i : 無作為抽出された各食品分類の放射能濃度 (セシウム 134 と 137 の合計値) (Bq/kg)

である。また、この計算過程で得られるセシウム摂取量 (Bq/日) を食品分類ごとに集計し、食品の種類ごとの内部被ばく線量への寄与割合を解析した。

食品摂取量に分布を仮定した検証においては、まず、仮想 100,000 人分の食品摂取量からの無作為抽出を 100 食品分類ごとに 10,000 回ずつ繰り返した。各年度の内部被ばく線量計算には、この無作為抽出で得られた同一のデータセットを使用した。

C. 研究結果

1. モニタリング検査結果の解析

各年度のモニタリング検査結果で、比較的高濃度の傾向を示したのは、イノシンを含む「その他の畜肉」、野鳥を含む「その他の鳥肉」、山菜、「きのこ類」、「その他の生魚」であった (かぎ括弧内は国民健康・栄養調査で小分類名である)。

2. 内部被ばく線量

本研究課題の最終段階で実施した、食品摂取量に分布を仮定した検証において、仮想 10,000 人の内部被ばく線量の中央値では、いずれの場合も 1 mSv/年を下回り、「規制なし」と「規制あり」で顕著な違いはみとめられなかった (違いは最大 16%)。95 パーセンタイル値 (ICRP は、被ばく線量の 95 パーセンタイル値を「代表的個人」が受ける線量とすることを提唱している。ある集団の被

ばく線量の 95 パーセンタイル値が、採用されている基準を下回っていれば、その集団は防護されていると考える) では、「規制なし」、「規制あり」の両者において、すべての年度で内部被ばく線量は 1 mSv/年を下回った。95 パーセンタイル値では、平成 24 年度から平成 27 年度にかけて、「規制あり」の内部被ばく線量は「規制なし」と比較して 10%以上小さかった。その中で、平成 24 年度は「規制あり」の内部被ばく線量が「規制なし」に比べ 70%以上小さく、その違いが顕著であった。平成 28 年度以降は、「規制なし」と「規制あり」の内部被ばく線量に大きな違いはなく、その差は 10%未満であった。おおよそ平成 28 年度まで内部被ばく線量は低下し、その後は低線量のままで横ばいであった。

なお、令和 2 年度に実施した検証では、福島県・宮城県の平成 24 年度規制効果が全国よりも大きかったことが示されている。

また、令和 3 年度に実施した検証では、山菜の摂取量を考慮した場合としない場合の内部被ばく線量 (「規制あり」の場合) に顕著な違いなかった。「規制なし」では、山菜の摂取量を考慮しない場合の内部被ばく線量が、山菜の摂取量を考慮した場合よりも軽度高値を示す例があった。

3. セシウム摂取量の内訳

「規制あり」での食品分類ごとの 1 日当たりのセシウム摂取量 (Bq/日) において、顕著にセシウム摂取量が多い食品分類はなかったが、飲料水、「米」、「茶」、

「ビール」の摂取量がやや大きい場合があった。

4. 食品分類別の食品摂取量の内訳

食品摂取量に分布を仮定した検証において食品摂取量が大きかったのは、飲料水、「茶」、「米」、「その他の嗜好飲料」、「コーヒー・ココア」、「ビール」であった。

5. 半減期の改定に伴う内部被ばく線量推定に及ぼす影響

最新データでは、セシウム134と137の半減期はそれぞれ2.0652年と30.08年(アイソトープ手帳12版)であり、改定前のセシウム134と137の半減期は2.0648年と30.167年(アイソトープ手帳11版)であった。それぞれの半減期によって加重平均した線量係数(成人)に違いはなかった。年齢区分によっては、値が軽度異なる場合があったが、その違いは0.01%未満であり無視できるほどに小さかった。

D. 考察

モニタリング検査結果の放射能濃度では、「その他の畜肉」、「その他の鳥肉」、山菜、「きのこ類」、「その他の生魚」の放射能濃度が、他の食品分類よりも比較的高値を示した。これらの食品分類は栽培・飼育管理ができない食品を含んでいるため、高値を示したと考えられる。

食品摂取による内部被ばく線量の95パーセンタイル値では、一部の年度で、「規制あり」の内部被ばく線量が「規制なし」よりも小さかった。平成24年度

は、「規制なし」と「規制あり」の違いが顕著であった。事故後間もない時期に比較的高い線量を受けたであろう人に対して、食品規制が特に有効であったことを示している。規制の有無に関わらず、各年度の95パーセンタイル値は、現在の基準値設定の根拠となっている1 mSv/年よりも大幅に低い値であった。前述のとおり、ICRPは、95パーセンタイル値を「代表的個人」の線量としており、95パーセンタイル値が基準値(今回の場合は1 mSv/年)を下回っていれば、その集団は防護されていると考える。また、山菜は、地元住民にとって多様な価値のある食材であるが、栽培管理が難しいことが多く、比較的高濃度の放射性セシウムを含むことがあるため、線量評価の対象に含める意義は大きい。そこで、令和3年度の研究では、山菜の摂取量を考慮した場合と考慮しない場合それぞれの検証を行った。「規制あり」において、山菜の摂取量を考慮した場合としない場合で内部被ばく線量に顕著な違いはなかったが、「規制なし」では、山菜の摂取量を考慮しない場合の内部被ばく線量が軽度高値を示す例があった。これは、山菜の摂取量を考慮しない場合、検査結果の無作為抽出において、山菜の検査結果が一般的な野菜としてピックアップされることに起因するものと考えられた(山菜よりも一般的な野菜の摂取量のほうが大きいため、内部被ばく線量が過大評価される)。山菜の摂取量を考慮すると、より精緻な線量評価が可能となるものとする。このように、保守的な仮定の上に立った、より精緻な検証に

においても原発事故後の食品の安全性は十分に確保されていると考えられた。

令和4年度は、食品摂取量に分布を仮定することにより、高摂取者の内部被ばく線量をより精緻に評価することができたと考える。しかしながら、食品摂取量は必ずしも正規分布に従うわけではないため、本研究で用いた食品摂取量分布は実際の分布と異なる可能性があり、今後、別の分布を想定する必要があるかもしれない。一方で、平均値のみを用いた線量推定では、食品摂取量のばらつきがまったく反映されないため、本研究で実施した食品摂取量分布を用いた新しい手法は十分に意義があるものと考えられる。

モニタリング検査結果で放射能濃度が中程度に高い食品は、主に「その他の畜肉」、「その他の鳥肉」、山菜、「きのこ類」であった。他方、セシウム摂取量においては、飲料水、「米」、「茶」、「ビール」の摂取量が大きい場合があった。このように、食品中の放射能濃度とセシウム摂取量には、明らかな相関関係は認められなかった。特に、放射能濃度では「その他の畜肉」が顕著に高かったが、「その他の畜肉」のセシウム摂取量は大きくなかった。食品摂取量に関しては、飲料水、「茶」、「米」、種々の飲料が大きな割合を占めた。従って、食品中の放射能濃度だけでなく、その食品の摂取量もセシウム摂取量に影響を与える大きな要因であることが確認できた。

モニタリング検査では、その効率性を考慮し比較的高い検出下限値が設定されている。試験法では、検査の目的に応

じて検出下限値を 25 Bq/kg または基準値の 5 分の 1 以下とすることが求められている。一方で、マーケットバスケット調査では、モニタリング検査よりも大幅に低い検出下限値 (0.1 Bq/kg 程度) が採用されている。したがって、本研究で推定した内部被ばく線量は過大評価されていると考えられる。しかしながら、本研究のように、「規制なし」と「規制あり」の内部被ばく線量を比較したり、食品ごとの内部被ばく線量への寄与の違いを明らかにしたりする場合は、同一条件で線量推定が行われているため、この点はさほど問題はないものとする。ただし、この方法で推定された内部被ばく線量は、過大評価されている可能性があることに留意する必要がある。

この研究には他にも限界がある。食材の調理・加工(煮る、焼く、漬けるなど)による放射性物質の含有量の変化は考慮していない。また、食品摂取量の無作為抽出は食品分類ごとに独立して行ったため、本研究では食品分類間の摂取量の相関関係は反映されていない。また、基準値は、ストロンチウム 90 などの放射性セシウム以外の核種からの線量寄与を考慮して設定されているが、本研究では放射性セシウム以外の核種からの内部被ばく線量を考慮できなかった。しかし、実質的には、支配的な核種は放射性セシウムであるため、推定内部被ばく線量への影響はさほど大きくないものと考えられる。

E. 結論

本研究では、原発事故後の食品規制に

よる長期的な内部被ばく線量低減効果を検証した。食品摂取量に分布を仮定した高摂取者の内部被ばく線量を反映した推定においても、規制の有無にかかわらず、代表的個人の内部被ばく線量は1 mSv/年（現行の基準値の設定根拠）を大きく下回った。また、原発事故後の初期に比較的高い線量を受けたであろう人々に対して、食品規制が特に効果的であったことが示された。また、線量推定に当たっては、食品中の放射能濃度だけではなく、その食品の摂取量も重要な要因であることが改めて示された。以上のように、より精緻で保守的な検証によっても、原発事故後の食の安全性が確保されていることが示された。

謝辞

モニタリング検査に従事しているすべてのの方々に敬意を表します。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- Osanai M, Hirano D, Mitsunashi S, Kudo K, Hosokawa S, Tsushima M, Iwaoka K, Yamaguchi I, Tsujiguchi T, Hosoda M, Hosokawa Y, Saito Y. Estimation of effect of radiation dose reduction for internal exposure by food regulations under the current criteria for radionuclides in foodstuff in Japan using

monitoring results. *Foods*. 2021; 10(4): 691.

- Osanai M, Noro T, Kimura S, Kudo K, Hosokawa S, Tsushima M, Tsuchiya R, Iwaoka K, Yamaguchi I, Saito Y. Longitudinal Verification of Post-Nuclear Accident Food Regulations in Japan Focusing on Wild Vegetables. *Foods*. 2022; 11(8): 1151.
- Osanai M, Miura M, Tanaka C, Kudo K, Hosokawa S, Tsushima M, Noro T, Iwaoka K, Hosoda M, Yamaguchi I, Saito Y. Long-Term Analysis of Internal Exposure Dose-Reduction Effects by Food Regulation and Food Item Contribution to Dose after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *Foods*. 2023; 12(6): 1305.

2. 学会発表

- 小山内暢, 平野大介, 三橋誌織, 工藤幸清, 細川翔太, 對馬恵, 岩岡和輝, 山口一郎, 辻口貴清, 細田正洋, 細川洋一郎, 齋藤陽子. モニタリング検査結果を活用した食品中の放射性物質の規制による内部被ばく線量低減効果の検証. 第58回アイソトープ・放射線研究発表会. 2021年7月. オンライン開催
- 野呂朝夢祐, 小山内暢, 木村将乃助, 工藤幸清, 對馬恵, 細川翔太, 土屋

涼子. 食品中の放射性物質の規制による内部被ばく線量低減効果. 第8回保健科学研究発表会. 2021年9月. 弘前

- 三浦茉友, 小山内暢, 田中千尋, 野呂朝夢祐, 工藤幸清, 對馬惠, 細川翔太. 食品中の放射性物質の規制による長期的な線量低減効果の検証. 第12回東北放射線医療技術学術大会. 2022年11月. 新潟

3. その他

- 平野大介, 三橋誌織, 小山内暢 (指導教員). 食品中の放射性物質の規制効果～モニタリング検査結果を用いた基礎的検証～. 弘前大学医学部保健学科放射線技術科学専攻卒業研究発表会. 2020年11月. 弘前
- Osanai M. Food safety in Japan after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. 2021 KIRAMS – Hiroasaki University Webinar on Radiation

Emergency Medicine. 2021年9月. virtually

- 野呂朝夢祐, 木村将乃助, 小山内暢 (指導教員). 食品中の放射性物質の規制に関する研究. 弘前大学医学部保健学科放射線技術科学専攻卒業研究発表会. 2021年11月. 弘前
- 三浦茉友, 田中千尋, 小山内暢 (指導教員). 食品中の放射性物質の規制に関する研究～被ばく線量低減効果と食品別線量寄与割合の長期解析～. 弘前大学医学部保健学科放射線技術科学専攻卒業研究発表会. 2022年11月. 弘前

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし