

令和4年度 総括研究報告書

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。

研究3年目（最終年度）である令和4年度は、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、今年度は、食品の種類ごとの内部被ばく線量（セシウム摂取量）への寄与割合を解析した。さらに、これまでの我々の研究では、平均食品摂取量（固定値）を用いて内部被ばく線量を推定してきたが、今年度の研究では、高摂取者の内部被ばく線量を過小評価しないように、食品摂取量に分布を仮定することを試みた。まず、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を国民健康・栄養調査における食品の98小分類に飲料水や山菜を加えた合計100分類に対応させた。次に、各食品の平均摂取量と標準偏差を基に、単純モデルとして、正規分布を仮定した食品摂取量分布を食品分類ごとに得た。この各食品分類の摂取量分布からそれぞれ10,000回の無作為抽出を繰り返した。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、先の無作為抽出によって得られた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100種類分を合算し、仮想10,000人分の預託実効線量（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）の場合とした。

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、放射能濃度が比較的高かった食品は、その他の畜肉、その他の鳥肉、山菜、きのこ類であった。しかしながら、セシウム摂取量において、それらの食品は大きな割合を占めておらず、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、食品摂取量に分布を仮定した検証においても、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
- 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。

また、今年度は、食品の種類ごとの内部被ばく線量（セシウム摂取量として評価）への寄与割合を解析した。さらに、新たな取り組みとして、食品摂取量に分布を仮定した内部被ばく線量推定を試みた。これまでのように、食品摂取量として平均値（固定値）を用いるのではなく、分布を仮定した値を用いることにより、高摂取者の内部被ばく線量を過小評価しない線量推定が可能となると考える。

B. 研究方法

1. 対象期間・地域

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小分類に山菜と飲料水を加えた合計100分類を対象とした。

内部被ばく線量推定に当たっては、玄米の放射能濃度は、喫食時の濃度を模擬するために、過去の報告や先行研究^{1,2)}を踏まえて濃度調整を行い4分の1の濃度とした。同様に、熱水で抽出して摂取することが想定され得る植物の乾燥葉（茶葉として扱われているものを除く）については、放射能濃度を50分の1とした。一方、飲用に供する茶については、測定試料として浸出液を用いることが試験法で定められているため、茶葉については濃度調整を行わなかった。また、粉末茶などの粉末飲料は、抽出して摂取されるものではなく、それ自体が消費されるものであり、多様な用途で消費されることから、濃度調整は行わなかった。

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。本研究では、男女20歳以上の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した。Python（バージョン3.11）を用いて100の食品分類ごとに平均値と標準偏差を指定した正規分布からランダムに求めた。ただし、負の値を出す項目につい

ては正の値が出るまでリトライを行った。各食品分類について、仮想100,000人分の食品摂取量を求めた（本方法の詳細については、分担研究報告書に示している）。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。飲料水については、摂取量の標準偏差が利用できないため、摂取量に分布は仮定せず、内部被ばく線量推定に当たっては固定値を利用した。

また、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」の報告書を基に摂取量を集計し、7.67 g/日を山菜の平均摂取量とした（集計方法の詳細については、令和3年度総括研究報告書に示している）。この値は、各山菜の平均摂取量の合計値であるため、標準偏差は利用できない。しかしながら、山菜の摂取量は個人差が大きいと考えられるため、高摂取者の内部被ばく線量を過小評価しないためには、摂取量分布の考慮が不可欠である。そこで、本研究では、国民健康・栄養調査における野菜類（小分類：25～38）の摂取量の平均値に対する標準偏差の比をもとに、山菜の摂取量の標準偏差を決定した。具体的には、野菜類の平均摂取量に対する標準偏差の比の最大値は4.3

（範囲：1.1～4.3）であったため、この4.3を切り上げた5.0を山菜の摂取量（7.

67g/日）に乘じ、山菜摂取量の標準偏差を38 g/日とした。

以上のように、食品摂取量のデータとしては、合計100種類の食品が含まれる。本研究で使用した各食品分類の平均摂取量と標準偏差をTable 1に示す。

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分類に対応させる作業を行った。例えば、モニタリング検査結果での品目名「コマツナ」は、食品摂取量データでの分類のうち「その他の緑黄色野菜」（小分類番号29）として割り当てた。具体的な品目名の表記がない食品（「冷凍食品」など）や加工食品（「カレー」など）はメインの食材を特定できないため除外した。メインの食材を想定しうる加工食品は、メインの食材として扱った。例えば、検査結果における品目名「コロッケ」は食品摂取量データでの分類のうち「じゃがいも・加工品」（小分類番号14）として分類した。

2-3 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とセシウム137の線量係数は、それぞれ 1.9×10^{-8} Sv/Bqと 1.3×10^{-8} Sv/Bqである。これらの値をセシウム134と137の物理学的半減期（基準値策定時と同じくアイソトープ手帳11版を参照し、それぞれ2.06年と

30.2年を採用した)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。本研究で用いた各年度の線量係数をTable 2に示す。

3. データ収集・線量計算

本研究におけるデータ収集と線量計算の概念図をFig. 1に示す。「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。まず、食品摂取量の無作為抽出を100食品分類ごとに10,000回繰り返した。各年度の内部被ばく線量計算には、この食品摂取量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。続いて、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。

前述の2パターンそれぞれで仮想10,000人分の内部被ばく線量を算出した。不検出(not detected: ND)であった試料については、先行研究^{2,3)}を参考にして、各食品分類におけるND試料の割合に応じて、検出限界値(limit of detection: LOD)を基に放射能濃度を付与して線量計算を行った。NDの割合が60%未満の食品分類では放射能濃度をLODの値とした。NDの割合が60%以上80%未満の場合、放射能濃度はLODの半分の値とした。NDの割合が80%以上の場合は、放射能濃度をLODの4分の1とした。また、検査結果が全くない食品分類の放射能濃度は0 Bq/kgとして扱った。

4. データ分析

解析したモニタリング検査結果の放射能濃度、得られた食品摂取量、推定内部被ばく線量やセシウム摂取量それぞれに対して、中央値と95パーセンタイル値を示し考察した。

なお、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(例えば、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。

C. 研究結果

1. モニタリング検査結果の解析

モニタリング検査結果における各年度の食品分類ごとの放射能濃度を Fig. 2 に示す。Fig. 2a, b は、それぞれ中央値と 95 パーセンタイル値での内訳を示す。中央値では、全体的に各食品分類の放射能濃度に顕著な違いは認められなかったものの、平成 24 年度は、イノシシを含む「その他の畜肉」（小分類番号 64）の値が若干高かった。一方で、95 パーセンタイル値では、放射能濃度に大きな違いが認められた。平成 24 年度は、最も濃度が高い分類が「その他の畜肉」（小分類番号 64）であり、次いで、野鳥を含む「その他の鳥肉」（小分類番号 66）、山菜、「きのこ類」（小分類番号 46）、「その他の生魚」の順で高値を示した（かぎ括弧内は国民健康・栄養調査で小分類名である）。次年度以降も、上位 4 つの食品分類は同様の傾向が見られ、「その他の畜肉」、「その他の鳥肉」、山菜、「きのこ類」が比較的高値を示した。しかしながら、平成 24 年度と比較すると、以降の年度では放射能濃度は大きく減少した。例外として、令和 3 年度の 95 パーセンタイルでは、「砂糖・甘味料類」（小分類番号 17）の放射能濃度が最も高かった。

2. 内部被ばく線量の経時変化

Fig. 3 に、「規制なし」、「規制あり」それぞれの場合の内部被ばく線量の経年的推移を示す。仮想 10,000 人の預託実効線量における中央値 (Fig. 3a) 及び 95 パーセンタイル値 (Fig. 3b) を示す。「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。中央値では、平成 24 年度は「規制なし」に比べ「規制あり」の内部被ばく線量がわずかに小さく、16.0%の低値を示した。以降の年度においては、「規制なし」と「規制あり」の内部被ばく線量に顕著な違いはみとめられなかった（内部被ばく線量の違いは 10%未満）。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。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。「規制なし」と「規制あり」、中央値と 95 パーセンタイル値の全体を見ると、おおよそ平成 28 年度まで内部被ばく線量は減少し、その後は低線量のままで横ばいであった。

3. セシウム摂取量の内訳

Fig. 4 は、「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の内訳を示したものである。仮想 10,000 人のセシウム摂取量の中央値と 95 パーセンタイル値をそれぞれ Fig 4a, b に示す。中央値では、突出して摂取量が多い分類はなかったが、飲料水の摂取量は比較的多かった。また、一部の年度では、「米」（小分類番号 1）、「茶」（小分類番号 89）、「ビール」（小分類番号 87）でセシウム摂取量が多かった。同様に、95 パーセンタイル値においても、顕著にセシウム摂取量が多い食品分類はなかった

が、一部の年度で「米」（小分類番号 1）のセシウム摂取量が比較的多い場合があった。セシウム摂取量（95 パーセンタイル値）は、平成 24 年度と平成 25 年度が最も多かった。平成 26 年度は減少し、その後は、年度による大きな違いは認められなかった。セシウム摂取量が最大であった平成 24 年度であっても、1 日当たりのセシウム摂取量は 100 Bq 未満であった（一般食品の基準値は 100 Bq/kg）。

4. 食品分類別の食品摂取量の内訳

Fig. 5 は、食品分類別の食品摂取量を示したものである。平均値と標準偏差に基づく正規分布によって推定した値である。中央値では、飲料水、「茶」（小分類番号 89）、「米」（小分類番号 1）の順に食品摂取量が多かった。95 パーセンタイル値では、飲料水、「茶」（小分類番号 89）、「米」（小分類番号 1）、「その他の嗜好飲料」（小分類番号 91）、「コーヒー・ココア」（小分類番号 90）、「ビール」（小分類番号 87）の順で食品摂取量が多かった。

D. 考察

放射性物質に関する一般的なトータルダイエットスタディでは、内部被ばくに寄与する食品の内訳を詳細に知ることはできない。例えば、陰膳調査では、食事全体が試料であるため、個々の食品の放射能濃度を得ることができない。また、マーケットバスケット調査では、14 の食品群に分けられた試料の放射能濃度を測定するため、詳細な食品分類ごとの線量寄与に関するデータは得られな

い。本研究では、個々の食品に対して実施されたモニタリング試験結果に着目し、食品分類ごとに内部被ばく線量に対する寄与度を解析するとともに、食品規制による長期的な線量低減効果の検証を行った。さらに、各食品の摂取量の多い個人の内部被ばく線量を過小評価しないように、食品摂取量については平均値ではなく分布を考慮するという新たな方法を試みた。

食品分類ごとのモニタリング検査結果の放射能濃度の内訳を見ると、中央値では食品分類による大きな違いはなかった（平成 24 年度は「その他の畜肉」の放射能濃度が軽度高値を示した）。一方で、95 パーセンタイル値では、平成 24 年度の「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。検査結果を俯瞰すると、全体的な放射能濃度は年数の経過とともに大幅に低下した。近年では、食品分類による顕著な違いも認められなくなっており、原発事故の影響は小さくなっていると考えられた。しかしながら、令和 3 年度の放射能濃度においては、「砂糖・甘味料類」の 95 パーセンタイル値が最大値を示した。具体的な品目まで遡ると、基準値 100 Bq/kg を超過するハチミツが含まれることが要因であった。この品目は、自主回収の対象とされており⁴⁾、安全対策が効率的に機能したことがわかる。続いて、検査結果の内訳で着目すべきは、中央値

における令和2年度と令和3年度の「米」の放射能濃度がそれ以前よりも高値を示したことである (Fig. 2a)。これは、モニタリング検査の検出下限値の違いが要因であると考えられた。例えば、令和元年度から令和3年度の「米」の検査結果の検出下限値 (不検出であった場合) を解析したところ、令和元年度の検出下限値の中央値は 6.0 Bq/kg であったのに対し、令和2年度と令和3年度の検出下限値 (中央値) は大きく、いずれも 20 Bq/kg であった。このように、Fig. 2a で「米」の放射能濃度が高かったのは、検査の効率化の結果であり、実際の「米」の放射能濃度が高かったわけではないものと示唆される (令和2年度、令和3年度ともに「米」の基準値超過はなし)。

Fig. 3 に示すように、食品摂取による内部被ばく線量は、中央値では「規制なし」と「規制あり」で顕著な違いはなかった (最大で 16.0% の違い)。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。さらに、本研究では不検出の検査結果に対しても放射能濃度も付与して線量推定を行ったため、後述するように、内部被ばく線量は大幅に過大評価されていると考えられる。以上のように、保守的な線量推定においても、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。

本研究で推定された内部被ばく線量の各パーセンタイルの値は、我々の過去の報告^{5,6)}よりも高い値であった。例えば、平成 24 年度の規制下における 95 パーセンタイル値は、以前の研究⁶⁾では 0.0786mSv/年であったが、本研究では 0.143 mSv/年であった。本研究では、食品摂取量に分布を仮定したため (先行研究では固定値である平均値を使用)、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、これが本研究の限界である。さらに、日本の国民健康・栄養調査で示されている食品摂取量は 1 日調査に基づいて算出されているため、習慣的な食物摂取量を反映したものではない。しかし、平均値のみを用いた一般的な線量推定では、食品摂取量のばらつきがまったく反映されないため、本研究での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する。

次に、モニタリング検査結果の放射能濃度、セシウム摂取量、食品摂取量の関係について考察する。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。セシウム摂取量に主に寄与する食品は、飲料水、「米」、「茶」、「ビール」であった。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、放射能濃度が顕著に高い「その他の畜肉」は、セシウム摂取量と相関がなかった。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規制下でのセシウム摂取量に影響を与える大きな要因であると考えられた。

本研究では、検査結果が不検出であっても、各食品分類における不検出試料の割合に応じて放射能濃度を付与し、被ばく線量を算出した。また、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、大きな検出下限値で行われたモニタリング検査の結果を使用しても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。調理方法によって効果は異なるが、例えば、山菜のあくぬきによって放射性セシウム含有量は大幅に低減される⁷⁾。この場合、実際の内部被ばく線量は大幅に小さくなるものと推察される。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(例えば、ある食品を多く摂取すると、同時に摂取される食品の摂取量も多くなる)が反映されていない。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するとともに、各食品分類の内部被ばく線量への寄与度を解析した。線量推定においては、食品摂取量に平均値を用いるのではなく、食品摂取量に分布を仮定するという新たな方法を試みた。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、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。被災地域では復興により食品産業も再開されているため、今後も放射性物質に関する食の安全性を継続的に検証していくことが重要であると考えらる。

謝辞

モニタリング検査に従事しているすべての方々に敬意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤誠，藤村恵人，藤田智博，他．水稲及び玄米における放射性セシウムの分布と炊飯による放射性セシウム濃度変化．*福島県農業総合センター研究報告*．2013; 5: 1-10.
- 2) Terada H, Yamaguchi I, Shimura T, et al. Regulation values and current situation of radioactive materials in food. *J. Natl. Inst. Public Health*. 2018; 67(1): 21-23.
- 3) 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．食品中の放射性物質に係る規格基準の設定について．平成 23 年 12 月 22 日

<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000023nbs-att/2r98520000023ng2.pdf>（最終アクセス日：2023年3月31日）

- 4) 福島県保健福祉部食品生活衛生課・福島県農林水産部畜産課．基準値を超過する放射性セシウムが検出されたはちみつの販売について．令和3年7月22日

<https://www.pref.fukushima.lg.jp/up-loaded/attachment/462711.pdf>（最終アクセス日：2023年3月31日）

- 5) 小山内暢，工藤幸清，對馬恵，細川翔太．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～．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）令和2年度 総括研究報告書．令和3年3月

https://mhlw-grants.niph.go.jp/system/files/report_pdf/202024041A-sokatsu_0.pdf（最終アクセス日：最終アクセス日：2023年3月31日）

- 6) 小山内暢，工藤幸清，對馬恵，細川翔太．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～．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）令和3年度 総括研究報告書．令和4年3月

https://mhlw-grants.niph.go.jp/system/files/report_pdf/202124027A-sokatsu_0.pdf（最終アクセス日：最終アクセス日：2023年3月31日）

- 7) 鍋師裕美，堤智昭，植草義徳，他．調理による牛肉・山菜類・果実類の放射性

セシウム濃度 及び総量の変化．
RADIOISOTOPES. 2016; 65(2): 45-58.

研究成果の活用

線量低減効果の検証結果をリスクコミュニケーションツールとして広く役立てることも研究計画として掲げているため、研究分担者及び研究代表者が担当している講義・講習等において、リスクコミュニケーションを担うであろう医療従事者・医療系学生等への検証結果のインプットを試み、検査結果の活用を行った。さらに、令和4年度は、研究成果を基に、福島県内の住民に対して食品中の放射性物質に関する食の安全性についての説明を行った。

講義名等の詳細は以下のとおりである。

- A大学大学院保健学研究科研修会「はじめての放射線リスク・コミュニケーション」、2022年7月9日（土）、10名
- A大学医学部保健学科放射線技術科学専攻の講義「医療安全管理学・安全基準の考え方」、2022年11月2日（水）、43名
- A大学大学院保健学研究科の講義「医療マネジメント」、2022年11月22日（火）、23名
- B大学保健学部看護学科の講義「放射線医学の基礎」、2022年12月7日（水）、50名
- A大学医学部保健学科看護学専攻・保健師志望者の講義「公衆衛生看護学演習I・食品中の放射性物質」、2022年12月9日（金）、12名
- A大学医学部保健学科放射線技術科学

専攻の講義「総合演習IV」、2022年12月22日（木）、1名

- C老人クラブ（福島県内）での講話「食品中の放射性物質について考えよう『食品と放射線のはなし』」、2022年12月17日（土）、49名

受講生や住民からのコメント・感想から、うかがい知ることができた内容を以下に例示する。

<受講生>

地域住民対応のためには、まず、自身が放射線に関する正しい知識を身につけることが重要であることを理解していた。また、食品中の放射性物質に関する基準値は、根拠に基づきながら安全を見込んで設定されていることを多くの学生が理解していた。さらに、リスクアナリシスにおける「安全」や「基準値」といった用語についても理解を深めたようであった。

加えて、受講生の感想からは、自身の医療者としての将来像を見据えながら、放射線安全に関する正しい知識の理解を深め、患者や住民にわかりやすく伝える工夫をしようとする姿勢が垣間見えた。さらに、リスクコミュニケーションを行うには信頼関係の構築が重要であることもしっかりと認識していた。

<住民>

食品に起因する内部被ばく線量は十分に小さい状況にあることを理解し、安心につながった様子であった。講話を聞き、以前よりも不安に感じなくなったという参加者が多く見られた。

また、依然として不安があるため、

食品の放射線安全に関する講話・説明会の定期的な開催を望む声も聞かれた。さらに、天然ものの摂取を控えているといった声もあり、継続的なリスクコミュニケーション活動の必要性を改めて認識した。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- 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

- 三浦茉友, 小山内暢, 田中千尋, 野呂朝夢祐, 工藤幸清, 對馬恵, 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

- 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

図表

Table 1 本研究で使用した各食品分類の平均摂取量と標準偏差

No.	小分類	摂取量 (g/day)		No.	小分類	摂取量 (g/day)		No.	小分類	摂取量 (g/day)	
		平均値	標準偏差			平均値	標準偏差			平均値	標準偏差
1	米	328	186	35	その他の淡色野菜	48.3	55	69	その他の肉・加工品	0.00898	0.46
2	米加工品	4.18	25	36	野菜ジュース	12.7	54	70	卵類	34.1	34
3	小麦粉類	3.56	12	37	葉類漬け物	3.82	16	71	牛乳	60.6	103
4	パン類 (菓子パンを除く)	33.1	44	38	たくあん・その他の漬け物	8.44	19	72	チーズ	2.48	7.9
5	菓子パン類	4.39	22	39	いちご	0.0889	3	73	発酵乳・乳酸菌飲料	30.6	59
6	うどん、中華めん類	43.0	88	40	柑橘類	22.7	55	74	その他の乳製品	6.18	37
7	即席中華めん	5.13	22	41	バナナ	15.9	39	75	その他の乳類	0	0
8	パスタ類	10.7	46	42	りんご	21.9	52	76	バター	0.999	3.0
9	その他の小麦加工品	5.38	20	43	その他の生果	39.9	82	77	マーガリン	1.25	3.4
10	そば・加工品	6.52	39	44	ジャム	1.29	5.0	78	植物性油脂	8.05	8.3
11	とうもろこし・加工品	0.388	5.3	45	果汁・果汁飲料	8.03	48	79	動物性油脂	0.108	0.86
12	その他の穀類	2.04	20	46	きのこ類	17.2	29	80	その他の油脂	0.00779	0.25
13	さつまいも・加工品	6.97	27	47	藻類	10.5	21	81	和菓子類	11.7	29
14	じゃがいも・加工品	25.7	47	48	あじ、いわし類	9.14	28	82	ケーキ・ペストリー類	6.71	24
15	その他のいも・加工品	19.8	41	49	さけ、ます	5.54	21	83	ビスケット類	1.62	8.5
16	でんぷん・加工品	1.98	8.5	50	たい、かれい類	5.69	23	84	キャンディー類	0.165	2.1
17	砂糖・甘味料類	6.74	8.5	51	まぐろ、かじき類	4.77	21	85	その他の菓子類	4.67	20
18	大豆 (全粒) ・加工品	1.28	8.1	52	その他の生魚	9.02	29	86	日本酒	11.3	54
19	豆腐	35.5	57	53	貝類	3.16	15	87	ビール	76.7	225
20	油揚げ類	8.18	22	54	いか、たこ類	4.21	17	88	洋酒・その他	36.1	138
21	納豆	8.04	17	55	えび、かに類	4.73	18	89	茶	296	358
22	その他の大豆加工品	7.20	39	56	魚介 (塩蔵、生干し、乾物)	15.8	32	90	コーヒー・ココア	151	198
23	その他の豆・加工品	1.40	9.0	57	魚介 (缶詰)	2.31	11	91	その他の嗜好飲料	102	228
24	種実類	2.24	8.5	58	魚介 (佃煮)	0.294	3.2	92	ソース	1.88	5.6
25	トマト	15.2	37	59	魚介 (練り製品)	10.2	26	93	しょうゆ	14.2	14
26	にんじん	20.3	27	60	魚肉ハム、ソーセージ	0.729	6.5	94	塩	1.35	1.5
27	ほうれん草	14.7	35	61	牛肉	14.5	35	95	マヨネーズ	2.89	6.1
28	ピーマン	4.86	14	62	豚肉	33.7	46	96	味噌	11.6	12
29	その他の緑黄色野菜	35.9	52	63	ハム、ソーセージ類	12.6	22	97	その他の調味料	63.4	88
30	キャベツ	28.6	49	64	その他の畜肉	0.361	8.3	98	香辛料・その他	0.333	1.1
31	きゅうり	9.68	21	65	鶏肉	23.9	46	飲料水		2000	-
32	大根	32.4	56	66	その他の鳥肉	0.0751	2.8	山菜		7.67	38
33	たまねぎ	31.4	42	67	肉類 (内臓)	1.52	13				
34	はくさい	20.4	50	68	鯨肉	0.0354	1.5				

Table 2 本研究で使用した経口摂取に係る内部被ばく線量係数 (Sv/Bq)

H24年度	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度	R元年度	R2年度	R3年度
1.55×10^{-8}	1.51×10^{-8}	1.47×10^{-8}	1.43×10^{-8}	1.40×10^{-8}	1.38×10^{-8}	1.36×10^{-8}	1.35×10^{-8}	1.33×10^{-8}	1.33×10^{-8}

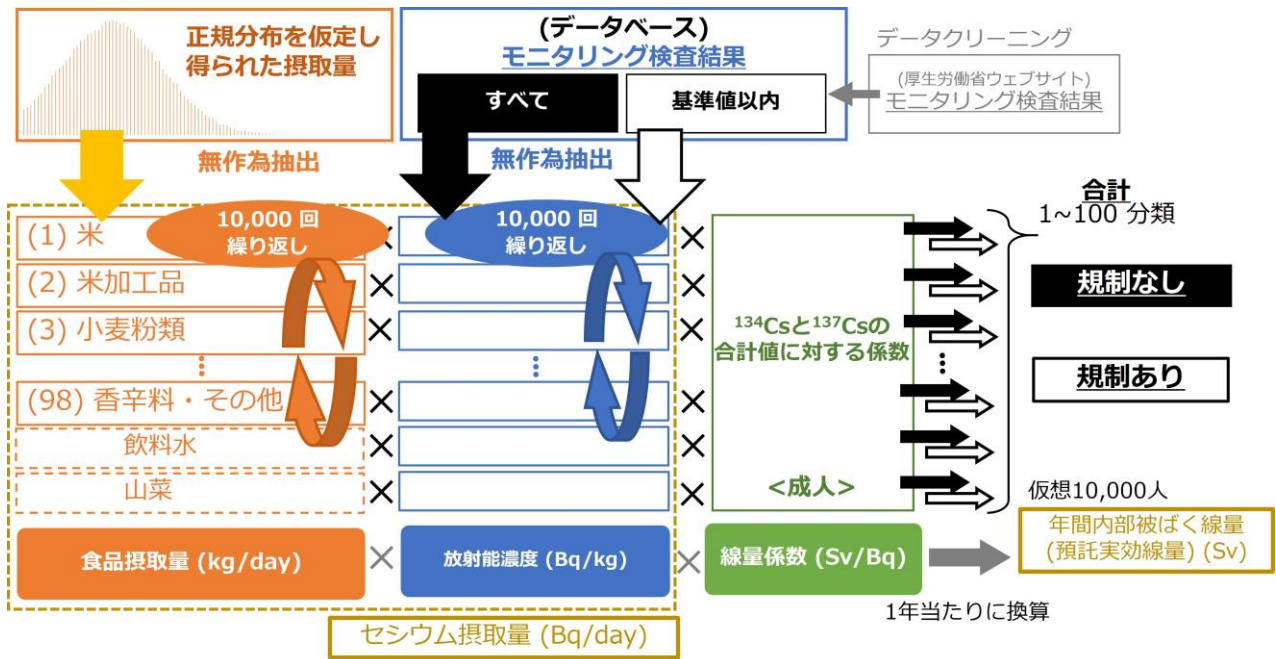


Fig. 1 データ収集と線量計算の概念図

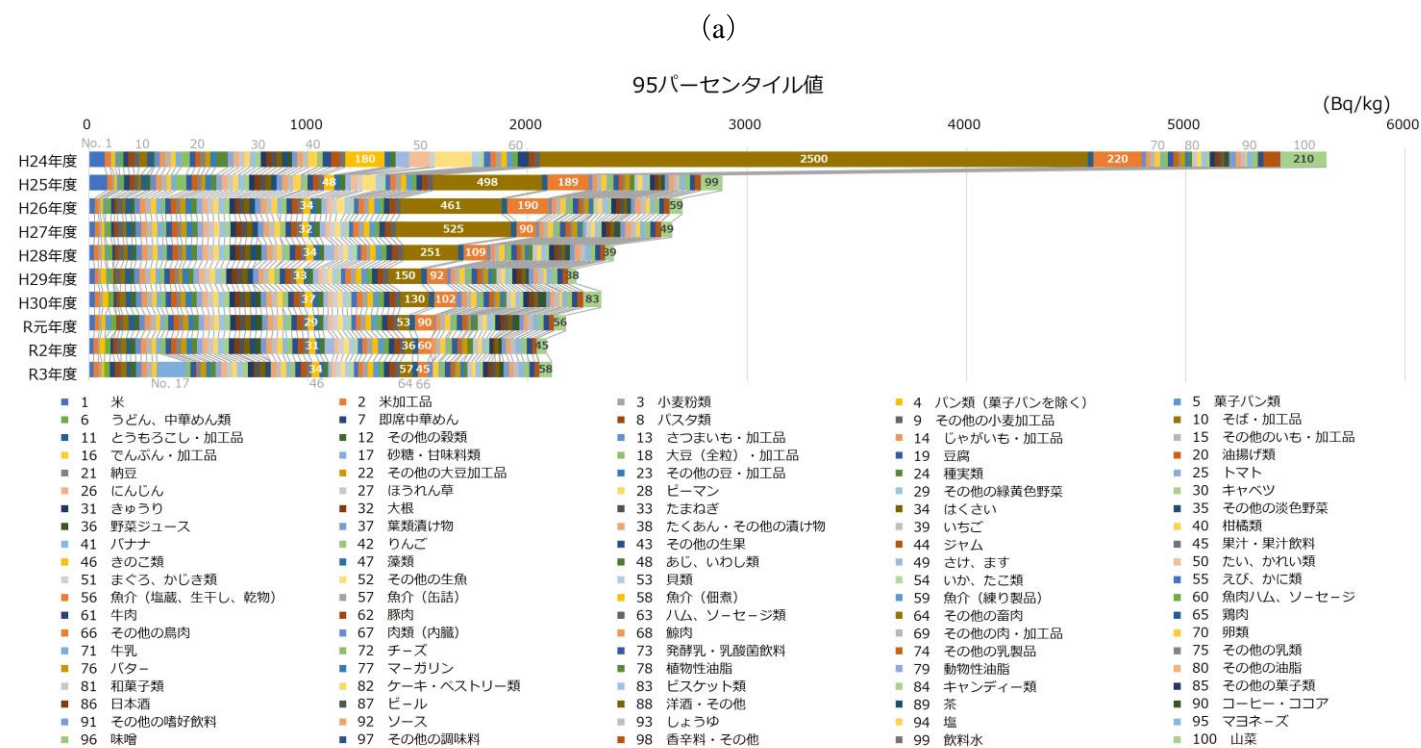
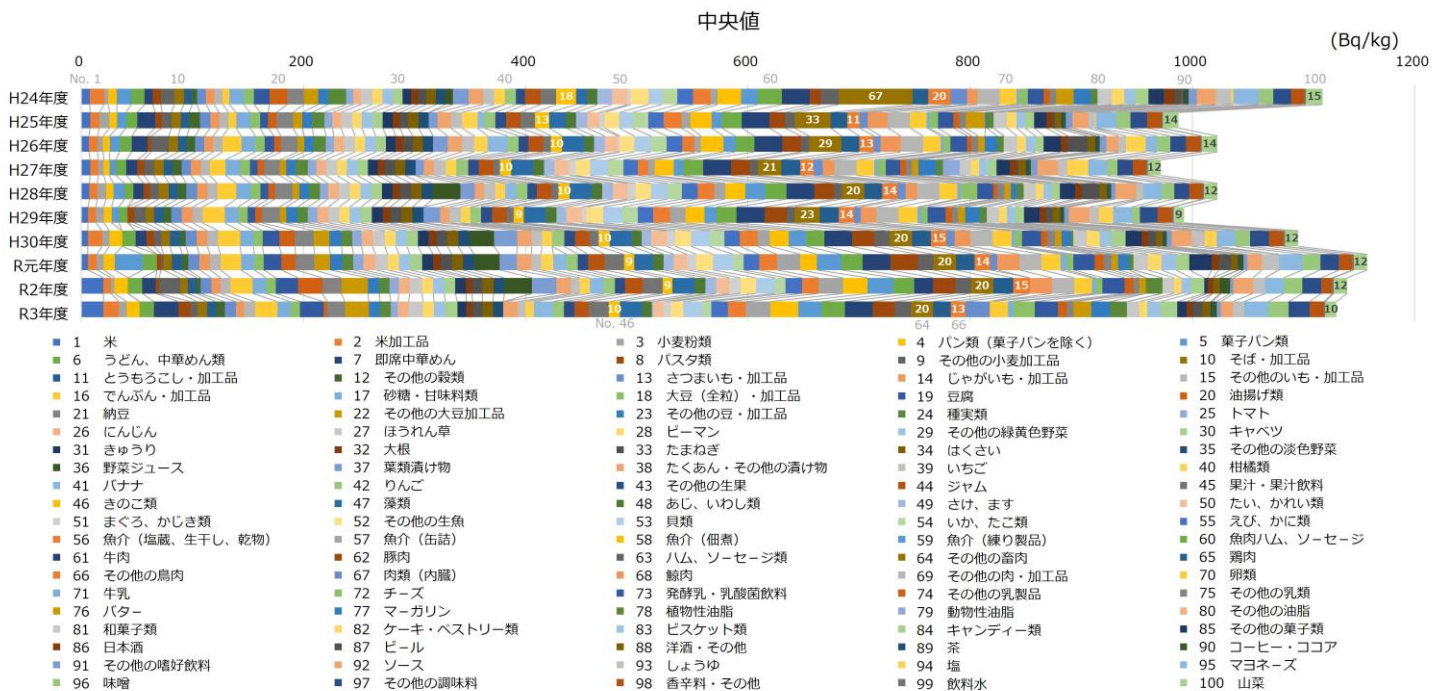
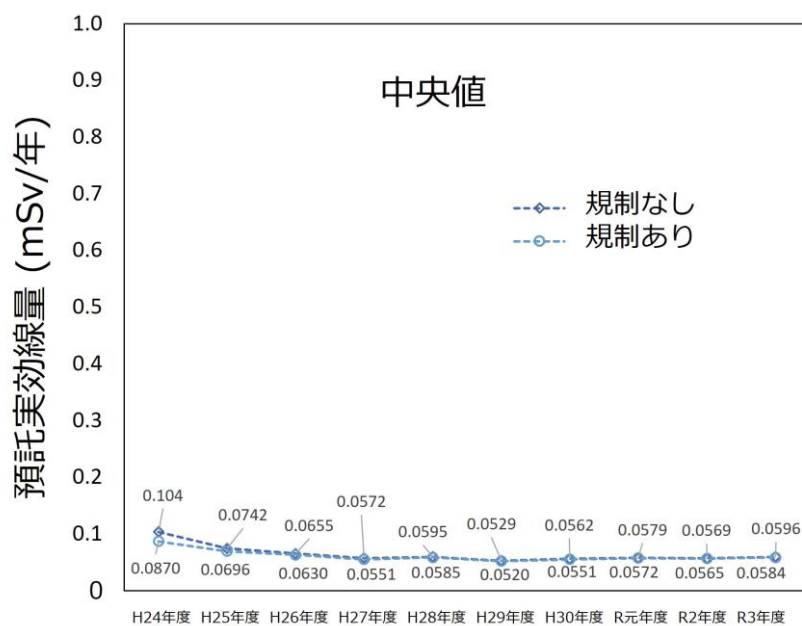


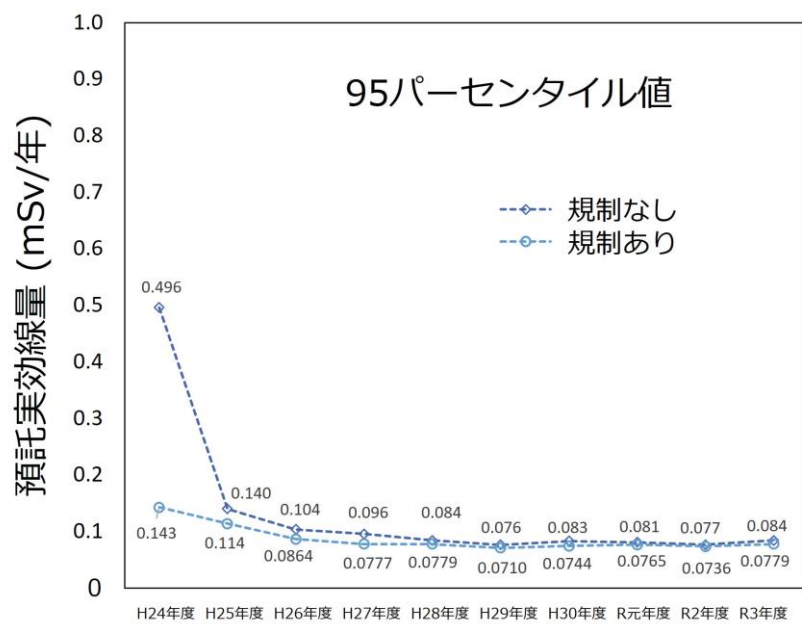
Fig. 2 モニタリング検査結果における各年度の食品分類ごとの放射能濃度

(a) 中央値 (b) 95パーセンタイル値

食品分類ごとに放射能濃度のパーセンタイル値を求め、全食品分類の値をパーセンタイルごとにまとめた。検出限界未満（不検出）の結果は、検出限界値の放射能濃度として分析した。放射能濃度が高い食品分類については図中に数値を示した。



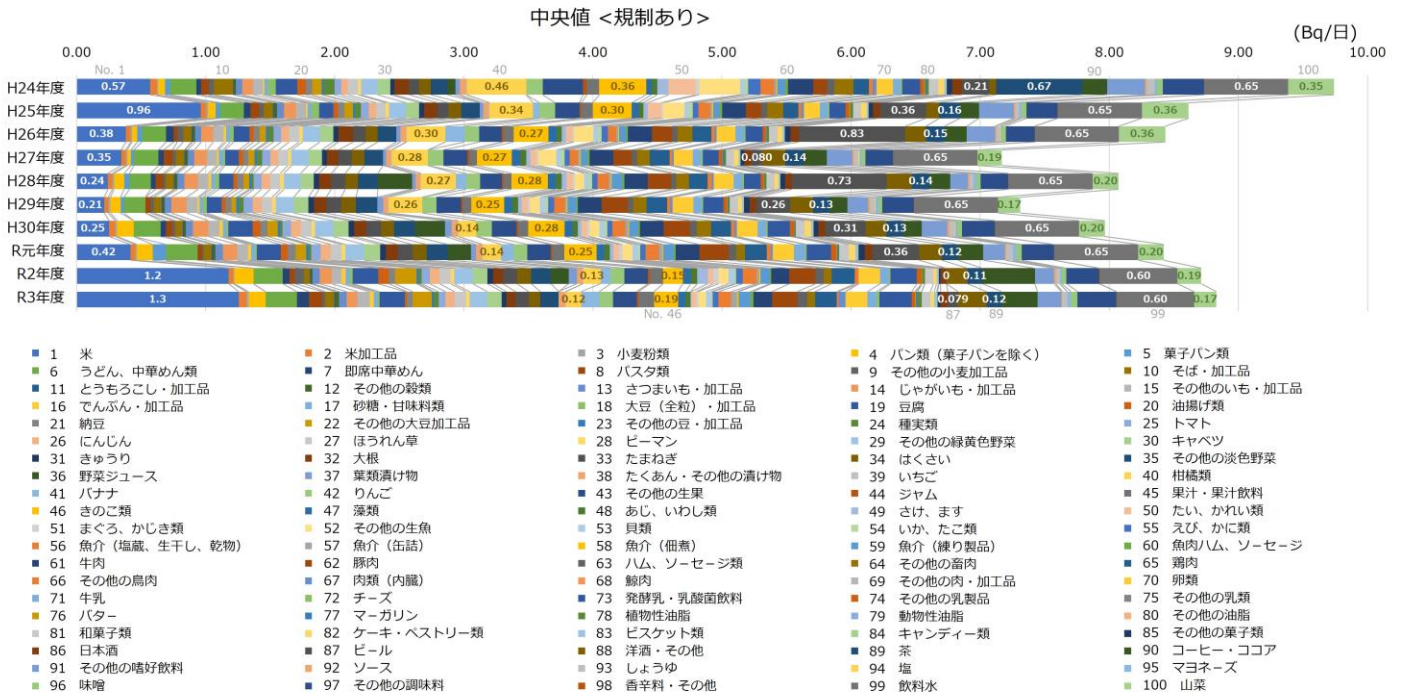
(a)



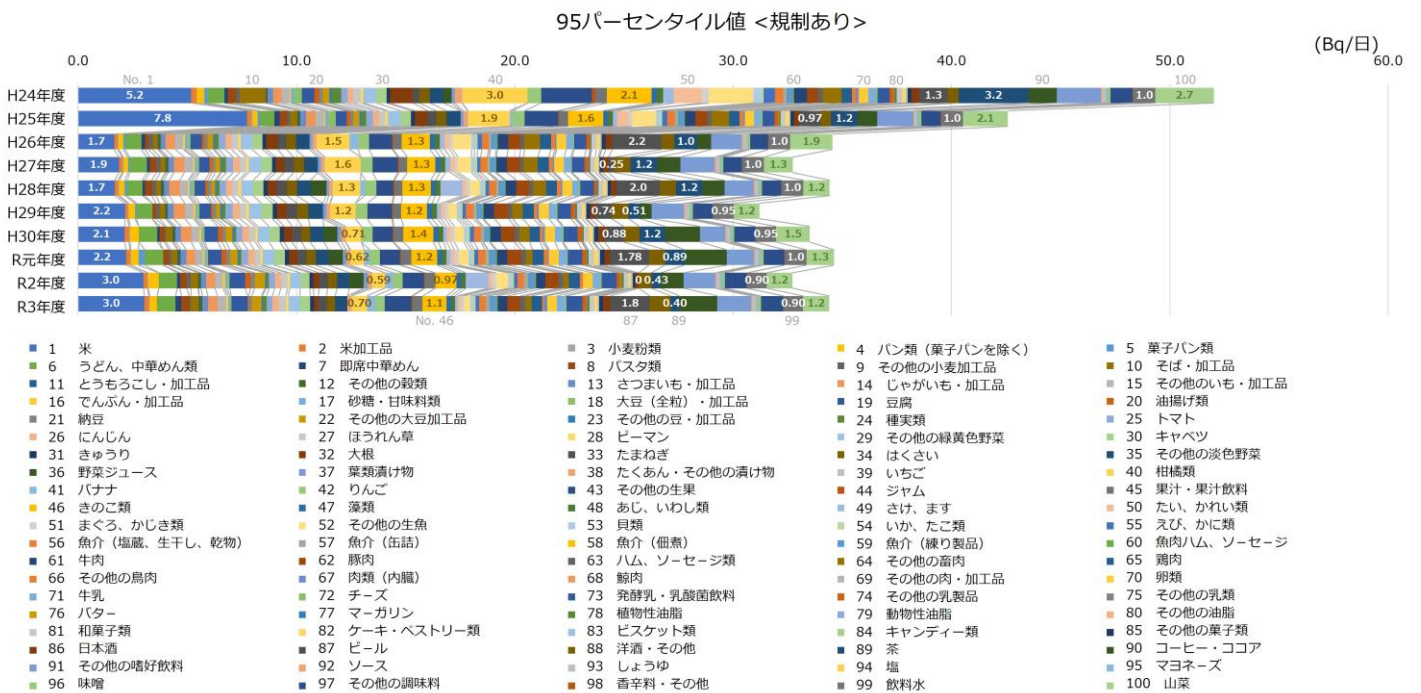
(b)

Fig. 3 内部被ばく線量の経年的推移

(a) 中央値 (b) 95パーセンタイル値



(a)



(b)

Fig. 4 「規制あり」における食品分類ごとの1日セシウム摂取量の内訳

(a) 中央値 (b) 95パーセンタイル値

食品分類ごとのセシウム摂取量のパーセンタイル値を求め、全食品分類の値をパーセンタイルごとにまとめた。したがって、同一仮想人物がすべて摂取するわけではない。セシウム摂取量が比較的に多い食品分類については、図中にセシウム摂取量の値を示している。

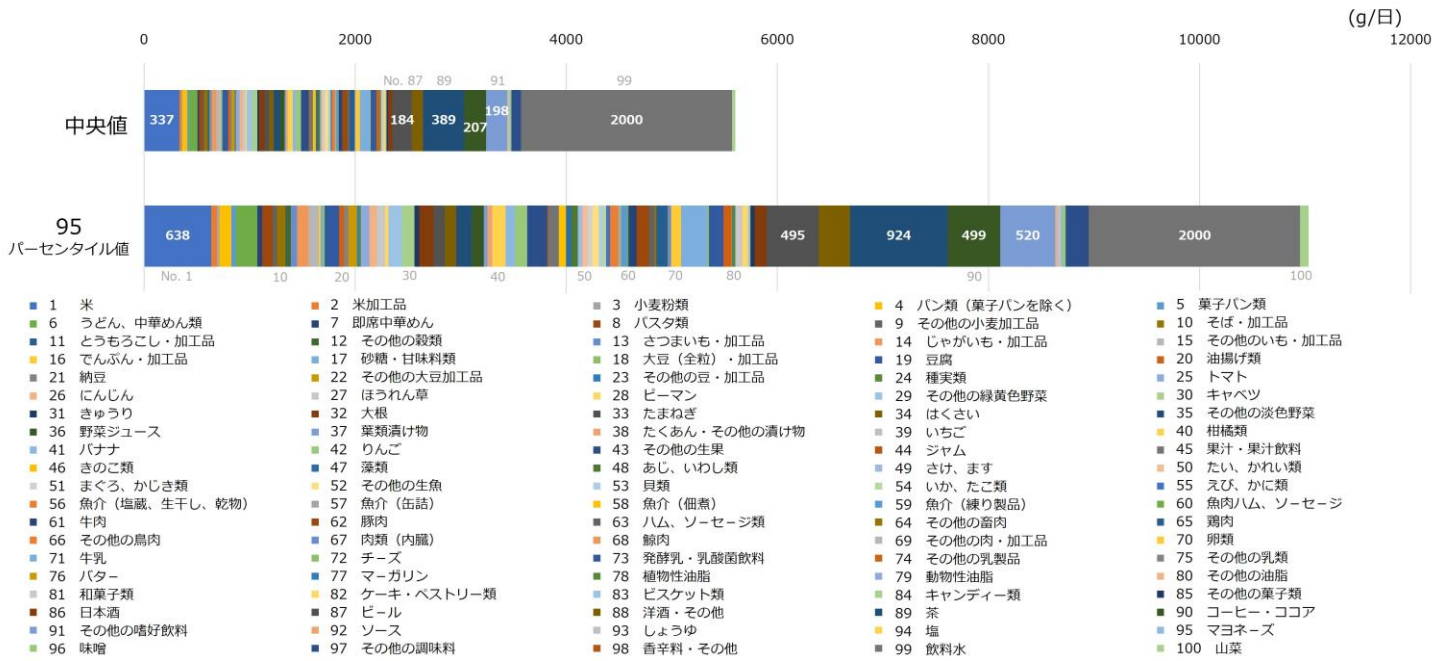


Fig. 5 食品分類別の食品摂取量

各食品分類における食品摂取量のパーセンタイル値を求め、全食品分類の値をパーセンタイルごとにまとめた。したがって、同一人物が同じ割合で摂取していることを意味するものではない。飲料水の摂取量は分布を仮定できないため固定値として扱った。食品摂取量が多い食品分類については図中に摂取量の値を示した。