

令和2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 |
| 研究分担者 | 工藤 幸清 | 弘前大学大学院保健学研究科・教授 |
| 研究分担者 | 對馬 恵 | 弘前大学大学院保健学研究科・講師 |
| 研究分担者 | 細川 翔太 | 弘前大学大学院保健学研究科・助教 |
| 研究協力者 | 平野 大介 | 弘前大学医学部保健学科・学部生 |
| 研究協力者 | 三橋 誌織 | 弘前大学医学部保健学科・学部生 |

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行われており、平成24年度からは年間30万件程度の検査が継続して実施されている。原発事故からおおよそ10年が経過した現在までに蓄積されたモニタリング検査結果は相当数に及ぶ。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。

研究初年度である令和2年度は、基準値適用1年目と5年目である平成24年度及び平成28年度に採取・購入された試料を対象として検証を行った。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、検査結果の品目名（平成24年度と平成28年度で計4,848種）を国民健康・栄養調査における食品の98小分類に飲料水を加えた99分類に対応させた。次に、検査結果から食品の種類（全99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）を乗じて食品99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、これらを比較することにより、内部被ばく線量の低減効果を検証した。

平成24年度の預託実効線量の中央値、95パーセンタイル値、99パーセンタイル値は、規制なしの場合では、それぞれ0.0479、0.207、10.6 mSv/年、規制ありの場合では、それぞれ0.0430、0.0790、0.233 mSv/年であった。同じく、平成28年度の預託実効線量の中央値、95パーセンタイル値、99パーセンタイル値は、規制なしの場合では、それぞれ0.0292、0.0426、0.0655 mSv/年、規制ありの場合では、それぞれ0.0290、0.0402、0.0529 mSv/年であった。両年度ともに、規制ありではすべてが基準値設定根拠の1 mSv/年を下回り、パーセンタイル値が大きいほど規制による線量低減効果が大きかった。平成24年度は規制が特に効果的であったが、規制なしの99パーセンタイル値は1 mSv/年を大きく超え、これは摂取量の多い嗜好飲料のカテゴリに高濃度の試料が含まれていたことに起因する。また、95パーセンタイル値※はいずれも1 mSv/年を下回った。

※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示している。

以上のように、内部被ばく線量は1 mSv/年に比べ大幅に小さいと推定され、現行の基準値適用当時は規制による線量低減効果が特に大きかった。国による規制は効果的な措置であり、放射性物質に関する我が国の食品安全は確保されていることが改めて確認できた。

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いるが、モニタリング検査は年間約 30 万件行われており、暫定規制値適用当時 (平成 23 年 3 月～平成 24 年 3 月) から累計すると令和 2 年 3 月まででおおよそ 260 万件 (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、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、これらと比較することにより、内部被ばく線量の低減効果を検証した。

B. 研究方法

1. 対象期間・地域

研究初年度である令和 2 年度は、原発事故から 1 年あまりが経過し、基準値適用 1 年目である平成 24 年度を対象として線量低減効果を検証した。さらに、基準値適用 5 年目である平成 28 年度についても検証を行った。年度は、試料の採取日 (購入日) によって区別した。

全国でのモニタリング検査結果を用いた線量推定に加えて、原発事故では放射性物質が北西方向に沈着したことから、影響が大きいと予想される地域 (福島県、宮城県) の検査結果のみを対象とした内部被ばく線量推定も実施した。

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。

検査結果には、放射性セシウムの放射能濃度に加え、食品カテゴリ（飲料水、牛乳・乳児用食品、農産物、畜産物、水産物、野生鳥獣肉、その他）、それぞれの具体的な品目名、産地などが示されている。本研究では、まず、食品カテゴリごとの放射能濃度別の試料数とその割合といった検査結果の特性に関する分析を行った。

内部被ばく線量推計に当たっては、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を用いた。また、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 2L/日とし、便宜上、小分類番号を 99 とした。以上全 99 分類の食品の摂取量を考慮した。

モニタリング検査結果の品目名（平成 24 年度は 3,119 品目、平成 28 年度は 1,729 品目）を、食品摂取量データにおける 99 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 (それぞれ 2.06 年と 30.2 年) 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。本研究で用いた平成 24 年度、平成 28 年度に対する線量係数はそれぞれ 1.55×10^{-8} Sv/Bq、 1.40×10^{-8} Sv/Bq である。

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。モニタリング検査結果は、食品摂取量における分類 (全 99 分類) ごとに無作為抽出を行った。無作為抽出は、基準値以内の結果とすべての結果に対して個別に行った。基準値を超える食品は摂取されないという仮定の基で、基準値以内の結果により、「規制あり」の場合の内部被ばく線量を推定した。他方、すべての検査結果を用いて、基準値策定、違反食品の回収・廃棄、出荷制限といった流通規制を行わない場合 (「規制なし」) の内部被ばく線量を推定した。

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。

預託実効線量 (mSv/年)

$$= 365.24 \cdot 10^3 \cdot DCF \sum_{i=1}^{99} I_i \cdot C_i$$

ここで、

DCF: 物理学的半減期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 : 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。

検査結果の無作為抽出を 10,000 回繰り返し、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、GEMS/Food (Global Environmental Monitoring System/Food Contamination Monitoring and Assessment Programme: 地球環境モニタリングシステム/食品汚染モニタリングプログラム) が示す考え方や先行研究^{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与え線量計算を行った。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、放射能濃度を LOD の 4 分の 1 とした。また、検査結果がない食品分類の放射能濃度は 0 Bq/kg として扱った。

なお、ゲルマニウム半導体検出器によるモニタリング検査では、LOD が基準値の 5 分の 1 以下となるように測定を

行うことが試験法で定められている。また、同様に、一般食品に対する NaI (TI) シンチレーションスペクトロメータによるスクリーニング検査では、LOD を 25 Bq/kg 以下とすることが定められている。

C. 研究結果

1. モニタリング検査結果の解析

平成 24 年度と平成 28 年度のモニタリング検査結果における食品カテゴリ（飲料水、牛乳・乳児用食品、農産物、畜産物、水産物、野生鳥獣肉、その他）ごとの放射能濃度別の試料数とその割合を Table 1 と Table 2 にそれぞれに示す。

平成 24 年度は、牛乳・乳児用食品を除くカテゴリ（飲料水、農産物、畜産物、水産物、野生鳥獣肉、その他）で、基準値を超える試料が認められた。特に、野生鳥獣肉の結果は 100～100,000 Bq/kg まで広い分布が認められた。平成 28 年度は、基準値を超えるカテゴリは減少し、飲料水、牛乳・乳児用食品、畜産物のカテゴリで基準値を超える試料はなかった。また、全般的に、平成 24 年度よりも基準値超過の試料数は減少し、その放射能濃度のレベルも低下したものの、野生鳥獣肉や農産物のカテゴリでは、それぞれ 10,000～50,000 Bq/kg 及び 1,000～5,000 Bq/kg の範囲まで分布が見られた。

平成 24 年度のモニタリング検査結果のうち、放射能濃度の高かった試料の内訳（上位 10 項目）を Table 3 に示す。99 の食品分類それぞれにおける放射能濃度のパーセンタイル（中央値、95 パーセ

ンタイル値、99 パーセンタイル値）を求め、各パーセンタイルでの上位 10 項目の食品分類の放射能濃度を国民健康・栄養調査における小分類番号・分類名とともに示している。パーセンタイルを求めるに当たっては、ND であった試料の放射能濃度を LOD として解析した。中央値において、放射能濃度が高かった食品分類は、具体的な食品としてイノシシを含む「その他の畜肉」であった。「その他の畜肉」を除く分類の放射能濃度は同等であり、かつ、LOD レベルであった。95 パーセンタイルにおける上位 3 項目（100 Bq/kg 超え）は上から、「その他の畜肉」、「その他の鳥肉」（ヤマドリ肉などを含む）、「きのこ類」（原木シイタケや野生キノコを含む）、「その他の生魚」（底生魚や淡水魚を含む）であった。同様に、99 パーセンタイルにおける上位 5 項目は上から「その他の嗜好飲料」、「その他の畜肉」、「その他の鳥肉」、「きのこ類」、「その他の生魚」が高い放射能濃度を示した。なお、99 パーセンタイルで 7 位であった「その他の緑黄色野菜」には、山菜が含まれている（国民健康・栄養調査では山菜のみの小分類はないため、本研究では、山菜をその種類に応じて小分類 29「その他の緑黄色野菜」または 35「その他の淡色野菜」として分類している）。

2. 内部被ばく線量（全国）

全国のモニタリング検査結果を用いて推定した内部被ばく線量の結果を Fig. 2 及び Table 4 に示す。

Fig. 2 に示すとおり、平成 24 年度では、すべての検査結果による推定（「規制なし」）において、1 mSv/年を大きく超える例があった。その一方で、平成 24 年度の基準値以内の結果による推定（「規制あり」）と平成 28 年度の規制なし及び規制ありにおいては、1 mSv/年を超える例はなかった。

Table 4 に示すとおり、平成 24 年度の規制なしにおける推定内部被ばく線量の中央値、95 パーセンタイル値、99 パーセンタイル値、99.9 パーセンタイル値はそれぞれ 0.0479、0.207、10.6、11.8 mSv/年であった。一方、規制ありでは、推定内部被ばく線量の中央値、95 パーセンタイル値、99 パーセンタイル値、99.9 パーセンタイル値はそれぞれ 0.0430、0.0790、0.233、0.289 mSv/年であった。高パーセンタイルほど規制なしに対する規制ありの比率が小さい（規制効果が大きい）傾向があった。

平成 28 年度の規制なしの場合の推定内部被ばく線量の中央値、95 パーセンタイル値、99 パーセンタイル値、99.9 パーセンタイル値はそれぞれ 0.0292、0.0426、0.0655、0.138 mSv/年であった。規制ありの場合の推定内部被ばく線量の中央値、95 パーセンタイル値、99 パーセンタイル値、99.9 パーセンタイル値は、それぞれ 0.0290、0.0402、0.0529、0.0696 mSv/年であった。高パーセンタイルほど、規制なしに対する規制ありの比率が小さかったが、各パーセンタイルにおける比率は平成 24 年度よりも大きな値を示した。

3. 放射性セシウム摂取量の内訳

規制なしの場合（平成 24 年度・全国）で、仮想 10,000 人の 1 日当たりの放射性セシウム摂取量のパーセンタイルを食品分類ごとに解析した。放射性セシウム摂取量（Bq/日）の中央値、95 パーセンタイル値、99 パーセンタイル値における上位 10 項目（食品分類）の内訳を食品摂取量とともに Table 5 に示す。放射性セシウム摂取量は、サンプリングしたモニタリング検査結果と 1 日当たりの食品摂取量の積として算出した。

放射性セシウム摂取量の中央値における上位 5 項目は、上から米、飲料水、茶、きのこ類及びその他の調味料であり、95 パーセンタイルにおける上位 5 項目は、上から米、きのこ類、茶、その他の生果、その他の嗜好飲料であった。また、99 パーセンタイルでは、その他の嗜好飲料によるセシウム摂取量が突出して大きく、次いで、きのこ類、その他の緑黄色野菜、米、その他の生果によるセシウム摂取量が大きかった。

4. 内部被ばく線量（福島県・宮城県）

福島県及び宮城県における推定預託実効線量を Table 6 に示す。

平成 24 年度の規制なしにおける推定内部被ばく線量の中央値、95 パーセンタイル値、99 パーセンタイル値、99.9 パーセンタイル値はそれぞれ 0.0718、10.6、11.8、11.8 mSv/年であった。一方、規制ありでは、推定内部被ばく線量の中央値、95 パーセンタイル値、99 パーセンタイル値、99.9 パーセンタイル値はそれぞれ 0.0552、0.242、0.284、0.314 mSv/年であ

った。全国の場合と比べると、95 パーセンタイル値での規制効果が特に大きかった。

平成 28 年度の規制なしの場合の推定内部被ばく線量の中央値、95 パーセンタイル値、99 パーセンタイル値、99.9 パーセンタイル値はそれぞれ 0.0282、0.0389、0.0549、0.108 mSv/年であった。規制ありの場合の推定内部被ばく線量の中央値、95 パーセンタイル値、99 パーセンタイル値、99.9 パーセンタイル値は、それぞれ 0.0280、0.0372、0.0445、0.0525 mSv/年であった。高パーセンタイルほど、規制なしに対する規制ありの比率が小さく、各パーセンタイルにおける比率は平成 24 年度よりも大きな値を示した。また、全国の場合と顕著な違いはなかった。

D. 考察

原発事故から約 10 年が経過した現在も多くのモニタリング検査が継続して行われているが、規制継続の必要性の検討も念頭に置きながら、食品規制による放射線量の低減効果を検証する意義は大きい。本研究では、蓄積されたモニタリング検査結果を活用して線量評価を行い、基準値の設定、基準値を超過した食品の回収・廃棄、出荷制限といった規制の効果を推定した。

平成 24 年度は、Table 1 と Table 2 に示すように、牛乳や乳児用食品を除く多くのカテゴリで基準値超過が認められた。平成 28 年度は、平成 24 年度に比べて試料の放射能濃度や基準値を超えた試料が大幅に減少した。これは、放射性核種の物理学的半減期による減衰、ウェ

ザリング効果、飼料管理、除染、カリウム施肥などの対策によるものと考えられる。一方、平成 28 年度においても、野生鳥獣肉や農産物で放射能濃度が高い試料が認められた。放射能濃度が高い試料は、野生鳥獣肉のカテゴリではイノシシ、クマ、シカ、野鳥の肉などであり、農産物のカテゴリでは山菜やキノコなどであった。これらの食品は、野生のものでは飼育や栽培の管理が困難であるため、これが一因となり、原発事故から 5 年経った平成 28 年度においても高濃度で放射性セシウムが含まれていたと考えられる。

全国の検査結果、福島県と宮城県の検査結果による推定のいずれにおいても、平成 24 年度は、特に、規制なしに比べ規制ありの内部被ばく線量が小さかった。規制なしでは大幅に 1 mSv/年を超える例があったが、規制ありではすべてが 1 mSv/年以下であり、高パーセンタイルでは規制効果が非常に大きかったことが示された。比較的高い線量を受ける可能性があった住民が、食品規制の適用によって防護されたと言える。また、平成 24 年度の福島県と宮城県の検査結果による推定内部被ばく線量（規制ありの場合）は、各パーセンタイル値ともに全国の検査結果による推定値よりも大きな値を示し、95 パーセンタイル値では顕著であったが、年間を通じて福島県と宮城県の食品のみを摂取することは考えにくく、今回の結果は過大評価されているものとする。平成 23 年の暫定規制値適用当時には、同様の手法により被ばく線量の推定が行われている。暫定規制値

内のモニタリング検査結果を用いて行われた確率論的な線量推計では、被ばく線量は最大で 0.139 mSv/年（中央値）と推定されている⁴⁾。今回の我々の研究では、規制ありの平成 24 年度の全国の結果による内部被ばく線量の中央値は 0.0430 mSv/年と推定された。前提条件が同一ではないため単純比較は困難であるが、暫定規制値適用時より線量が低下しており、これは、食品に含まれる放射性物質が減少したことや暫定規制値よりも厳しい基準が採用されたことによるものと考えられた。平成 28 年度では、高パーセンタイルにおいて、規制ありの方が規制なしよりも被ばく線量が小さかったものの、規制効果の程度は平成 24 年度より小さく、規制ありと規制なしの合計線量（10,000 人分）に顕著な違いはなかった。食品中の放射性物質の影響は、原発事故から数年後には十分に小さくなっていったものと推察される。今後、より詳細な経時変化を検証したい。平成 24 年度の規制ありの場合の被ばく線量と平成 28 年度の規制あり、規制なし両者の被ばく線量は、現行の基準値の設定根拠である 1mSv/年に比べて十分に小さく、また、95 パーセンタイル値¹はいずれの場合も 1mSv/年を下回ったことから、原発事故後に我が国で講じられた食品規制は効果的な措置であり、放射性物質に関する食品の安全は確保されていたと考えられる。

Table 3 に示すとおり、モニタリング検査結果の解析では、95 パーセンタイ

ル、99 パーセンタイルにおいて、共通して放射性セシウムの濃度が高い食品は、主に、その他の畜肉、その他の鳥肉、きのこ類、その他の生魚であった。一方で、放射性セシウムの摂取量を示す Table 5 において、95 パーセンタイル、99 パーセンタイルで共通して放射性セシウムの摂取量が多い食品は、その他の嗜好飲料、米、きのこ類、茶、その他の生果、その他の生魚、その他の淡色野菜、その他の畜肉であった。その他の畜肉、その他の鳥肉は、放射性セシウム濃度が高い試料として Table 3 に含まれていたが、放射性セシウムの摂取量（Table 5）として、その他の畜肉の順位は低く、その他の鳥肉は含まれていなかった。その他の畜肉やその他の鳥肉の食品摂取量が少ないことから、放射能濃度が高くても放射性セシウムの摂取量としては小さかったと考えられた。このように、食品摂取による内部被ばく線量には、食品中の放射性物質の濃度だけでなく、食品摂取量も影響することが改めて明らかとなった。さらに、モニタリング検査結果（Table 1、Table 2）におけるカテゴリ「農産物」には、放射性セシウムを高濃度で含有することがある山菜が含まれているが、国民健康・栄養調査では山菜の摂取量が示されていないため、今回の調査ではモニタリング検査結果の山菜を「その他の緑黄色野菜」や「その他の淡色野菜」として分類して摂取量に紐づけた。そのため、今回の線量推定では、山菜の摂取に起因する内部被ばく線量が過小

¹ ICRP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示している

評価または過大評価されている可能性がある。山菜は地元住民にとって多くの面で貴重な食材であるため、今後、何らかの方法により、山菜の摂取量を考慮した検討を行いたい。同様に、食品摂取量に関して、本研究では平均摂取量を用いたため、個人の食生活の偏りは反映されていない。さらに、加工食品の摂取量は、主原料のみを考慮した。加工食品の主原料以外の食材に含まれる放射性物質は被ばく線量評価に反映されていない。このような観点からは、本研究では内部被ばく線量を幾分か過小評価している可能性がある。

平成 24 年度のモニタリング検査結果を用いた推定線量（規制なし）では、10 mSv/年を超える線量を示す場合があった。Table 5 に示すように、この高い値は、主として、その他の嗜好飲料の摂取に起因する。検査結果に遡ると、この「その他の嗜好飲料」は、具体的には、植物の葉を原料とした粉末飲料であった。粉末飲料は、基本的には希釈して飲用することが意図されているが、研究方法で述べたように、粉末飲料はそれ自体が消費されるものであり、その消費方法も、希釈する場合だけでなく、何かに振りかけたり、他の食品に混ぜたりと多様であるため、今回の線量推定に当たって濃度調整は行わなかった。故に、希釈して摂取されることを考えた場合、内部被ばく線量を大きく過大評価した可能性がある。また、モニタリング検査結果では、この試料の詳細な情報が明記されていないが、この粉末飲料が実際には茶葉のように乾燥の後にカットされた植物

の葉（抽出して摂取することを想定）である可能性もある。そこで、この高濃度の放射性セシウムを含む粉末飲料が希釈により 10 分の 1 の濃度で摂取されると仮定して、仮想 10,000 分の内部被ばく線量の再計算をここで別に試みた。平成 24 年度の内部被ばく線量（全国・規制なし）の 99 パーセンタイル値、99.9 パーセンタイル値は、それぞれ 1.10 mSv/年、1.26 mSv/年であった。同様に、この粉末飲料を 50 分の 1 の濃度で希釈して摂取すると仮定した場合、平成 24 年度の内部被ばく線量（全国・規制なし）の 99 パーセンタイル値、99.9 パーセンタイル値は、それぞれ 0.285 mSv/年、0.518 mSv/年であった。したがって、実際の高パーセンタイルの被ばく線量は、より小さかった可能性がある。一方で、希釈を考慮した場合でも、規制なしの高パーセンタイルの被ばく線量は規制ありよりも大きく、原発事故後の食品規制は有効であったと考えられた。

本研究では、我が国において厳格な食品管理が行われていることを踏まえ、基準値を超える食品は流通しないという前提で検証を行った。しかしながら、まれに基準値を超える食品が流通する可能性もあり、今回の線量推定では被ばく線量を過小評価した可能性がある。しかしながら、厚生労働省は、流通食品による内部被ばく線量推定をマーケットバスケット調査により行っているが、それによると、放射性セシウムによる内部被ばく線量は基準値設定根拠の 1mSv/年よりも大幅に小さいことが示されている。例えば、平成 24 年の内部被ばく線

量は 0.0009～0.0057mSv/年と推定されている⁵⁾。このように、実際の流通食品による調査においても内部被ばく線量が十分に小さいことが示されており、我々が今回採用した手法は合理的であった(基準値超過食品が流通したとしてもその影響は小さい)と考えられる。一方で、本研究で推定された被ばく線量は、マーケットバスケット調査結果よりも概して大きい。これは、モニタリング検査の LOD が大きいことに起因する。LOD は測定時間や試料量などに依存するが、モニタリング検査は簡便に実施する必要があり、マーケットバスケット調査よりも大きな LOD で測定が行われているためである(マーケットバスケット調査の LOD は放射性セシウムとして概ね 0.1 Bq/kg)。これは、我々の研究の限界の一つであり、この点においては、我々が推定した内部被ばく量は過大評価となっているだろう。しかしながら、我々の研究の目的は食品規制の効果を評価することであり、規制ありと規制なしの内部被ばく線量は同一条件で推定されているため、LOD が大きいことはさほど大きな問題ではないと考える。また、過大評価という観点では、モニタリング検査は高濃度の放射性物質を含む可能性のある食品を主に対象としているため、推定された内部被ばく線量は実際よりも大きい可能性がある。さらに、同一食品を 1 年間摂取すると仮定して被ばく線量を算出しているため、高パーセントの被ばく線量が過大評価されている可能性があるが、一般的なトー

タルダイエットスタディにおいても同様の仮定が置かれている。

現行の基準値は、ストロンチウム 90 などの放射性セシウム以外の放射性核種を考慮して設定されているが、本研究ではモニタリング検査結果を基にした線量推定を行っており、放射性セシウム以外の放射性核種による内部被ばく線量は考慮していない。線量を精緻に推定するためには、放射性セシウム以外の放射性核種の影響を含める必要がある。しかし、支配的な放射性核種はセシウム 134 とセシウム 137 であり、原発事故後において、食品中のストロンチウム 90 の濃度は事故以前の範囲内であったと推定されている⁶⁾。したがって、他の放射性核種の影響は大きくなかったと考える。

先に述べたとおり、本研究では、山菜や加工食品の摂取量、食生活の偏りを精緻に反映できていない、内部被ばく線量を過大評価している、放射性セシウム以外の核種を考慮していないといったいくつかの限界があるものの、モニタリング検査結果を有効活用することによって食品規制による放射線量の低減効果を検証することができた。モニタリング検査は食品安全を確保するための有意義な措置であるため、モニタリング検査の効果について継続して検証を行っていきたい。

E. 結論

本研究では、原発事故後の食品規制によって達成された内部被ばく線量の低減効果を評価した。蓄積されたモニタリング検査結果を有効活用し、食品摂取に

起因する内部被ばく線量を推定した。平成 24 年度は、食品規制により預託実効線量が大きく低下したと考えられた。平成 28 年度は、平成 24 年度と比べると規制ありと規制なしの内部被ばく量に顕著な違いはなかったが、高パーセントイルでは規制が特に有効であったと推察された。また、本研究での保守的な推定においても、規制下の平成 24 年度の被ばく線量及び規制の有無両者における平成 28 年度の被ばく線量は、基準値設定根拠の 1 mSv/年よりも十分に小さかった。以上のように、原発事故後に日本で講じられた食品規制は有益な措置であり、食品安全は確保されていると考えられた。

今後は、規制効果の経時的変化を検証するとともに、山菜の摂取量を考慮した検証を行っていきたい。

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: 2021 年 3 月 31 日)

- 4) 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作業グループ (線量計算等). 食品摂取による被ばく量の推計結果

https://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/dl/hibakusenryousuikai_02.pdf (最終アクセス日: 2021 年 3 月 31 日)

- 5) 厚生労働省医薬食品局食品安全部. 食品から受ける放射線量の調査結果 (平成 24 年 9~10 月調査分). 平成 25 年 6 月 21 日

<https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000034z6e.html> (最終アクセス日: 2021 年 3 月 31 日)

- 6) Nabeshi H, Tsutsumi T, Uekusa Y, et al. Surveillance of Strontium-90 in Foods after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *Shokuhin Eiseigaku Zasshi*. 2015; 56(4), 133-143.

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。

講義名等の詳細は以下のとおりである。

- 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」、2020年11月18日(水)、41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」、2020年11月27日(金)、14名
- B大学保健学部看護学科の講義「放射線医学の基礎」、2020年12月1日(火)、53名
- A大学大学院保健学研究科の講義「医療マネジメント」、2020年11月24日(火)、25名

なお、A大学・教員免許状更新講習「食べものと放射線」において研究成果を紹介し、本研究成果を広く周知できるはずであったが、新型コロナウイルス感染症の影響もあり今年度は中止となった。次年度については、すでに申請済みである。

受講生から提出された授業の振り返りから得られたことの一例を以下に示す。

初めは、カリウム40などを含む食品から放射線が出ていることに驚いていた受講生もいたが、食品中の放射性物質に対する基準値の設定手順が理解できた後には、自分たちが普段食べているものは厳正な管理のもと届いていることを知り安心していた。

演習形式における線量計算では、基準値である1 mSvの量をイメージしやすくするため図やシールを多く取り入れた。限られた短い時間で効果的かつ達成感の得られる演習にするためには視覚的な工夫が必須と思われた。

住民の生活や衛生環境を支える将来の保健師などリスクコミュニケーターとしての自覚のもと、リスクコミュニケーションでは透明性・情報共有・信頼関係が重要であることを認識できていた。身近な人や放射線に不安を抱える人に正しい説明をする機会を得たいなど今回の講義を今後活かそうという積極性が垣間見られた。

以上のように、本研究課題の研究計画の一部として、研究成果の広い周知やリスクコミュニケーションツールとしての活用を掲げていたところ、研究初年度においてもこれを試みることができた。今後も継続していきたい。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- Osanai M, Hirano D, Mitsuhashi 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.

2. 学会発表

なし

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

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

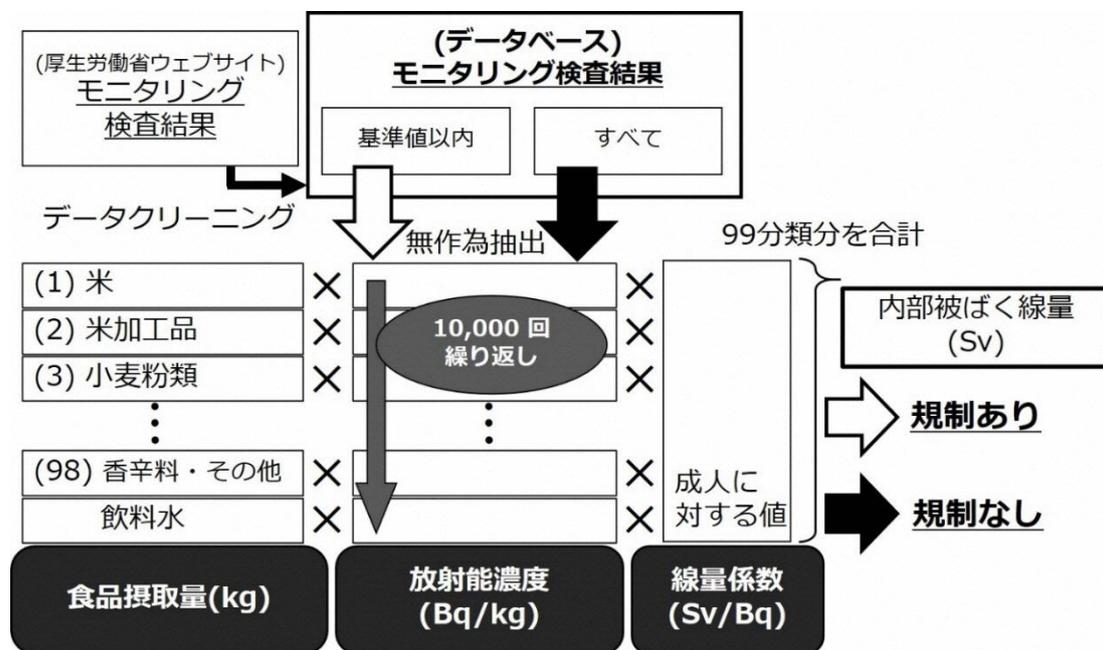


Fig. 1 データ収集と線量計算の概念図

Table 1 モニタリング検査結果における
各食品カテゴリの放射能濃度別の試料（検査結果）数 （単位：件）

| | 放射能濃度 (Bq/kg) | 牛乳・ | | | | | 野生鳥 獣肉 | その他 |
|-----------------------------|------------------|------------|-----------|-------------|--------|-------|-----------|-------|
| | | 飲料水 | 乳児用 食品 | 農産物 | 畜産物 | 水産物 | | |
| 平成 24年度 (268060 件) | ND | 1197 | 5053 | 39732 | 177382 | 11321 | 218 | 9025 |
| | 0-10 | <u>478</u> | 204 | 4198 | 108 | 3272 | 62 | 371 |
| | 10-25 | 13 | 1 | 2665 | 284 | 2646 | 127 | 219 |
| | 25-50 | 0 | <u>0</u> | 1740 | 115 | 1899 | 197 | 188 |
| | 50-100 | 0 | 0 | <u>1370</u> | 26 | 1175 | 252 | 126 |
| | 100-500 | 0 | 0 | 558 | 8 | 967 | 363 | 103 |
| | 500-1000 | 0 | 0 | 74 | 0 | 96 | 48 | 10 |
| | 1000-5000 | 0 | 0 | 27 | 0 | 17 | 74 | 10 |
| | 5000-10000 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 23 | 0 |
| | 10000-50000 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 9 | 4 |
| | 50000-100000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| 計 | | 1688 | 5258 | 50367 | 177923 | 21393 | 1375 | 10056 |
| 平成 28年度 (297712 件) | ND | 507 | 3207 | 21451 | 238408 | 17999 | 508 | 8298 |
| | 0-10 | <u>2</u> | 5 | 1776 | 24 | 922 | 111 | 156 |
| | 10-25 | 0 | 0 | 1533 | 89 | 507 | 238 | 67 |
| | 25-50 | 0 | <u>0</u> | 603 | 8 | 275 | 244 | 31 |
| | 50-100 | 0 | 0 | <u>170</u> | 2 | 65 | 199 | 6 |
| | 100-500 | 0 | 0 | 60 | 0 | 10 | 186 | 2 |
| | 500-1000 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 19 | 0 |
| | 1000-5000 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 12 | 0 |
| | 5000-10000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 10000-50000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| | 50000-100000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 計 | | 509 | 3212 | 25603 | 238531 | 19778 | 1519 | 8560 |

表中の二重罫線はそれぞれの食品の基準値による境界を示す。

Table 2 モニタリング検査結果における
各食品カテゴリーの放射能濃度別の試料数の割合

| | 放射能濃度 (Bq/kg) | 牛乳・ | | | | | | 野生鳥 獣肉 | その他 |
|------------|------------------|--------------|-----------|-------------|---------------|-------|-------|-----------|-----|
| | | 飲料水 | 乳児用 食品 | 農産物 | 畜産物 | 水産物 | | | |
| 平成 24年度 | ND | 70.9% | 96.1% | 78.9% | 99.7% | 52.9% | 15.9% | 89.7% | |
| | 0-10 | <u>28.3%</u> | 3.9% | 8.3% | 0.1% | 15.3% | 4.5% | 3.7% | |
| | 10-25 | 0.8% | 0.02% | 5.3% | 0.2% | 12.4% | 9.2% | 2.2% | |
| | 25-50 | 0% | <u>0%</u> | 3.5% | 0.1% | 8.9% | 14.3% | 1.9% | |
| | 50-100 | 0% | 0% | <u>2.7%</u> | <u>0.01%</u> | 5.5% | 18.3% | 1.3% | |
| | 100-500 | 0% | 0% | 1.1% | 0.004% | 4.5% | 26.4% | 1.0% | |
| | 500-1000 | 0% | 0% | 0.1% | 0% | 0.4% | 3.5% | 0.1% | |
| | 1000-5000 | 0% | 0% | 0.1% | 0% | 0.1% | 5.4% | 0.1% | |
| | 5000-10000 | 0% | 0% | 0.002% | 0% | 0% | 1.7% | 0% | |
| | 10000-50000 | 0% | 0% | 0.004% | 0% | 0% | 0.7% | 0.04% | |
| | 50000-100000 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0.1% | 0% | |
| 平成 28年度 | ND | 99.6% | 99.8% | 83.8% | 99.9% | 91.0% | 33.4% | 96.9% | |
| | 0-10 | <u>0.4%</u> | 0.2% | 6.9% | 0.0% | 4.7% | 7.3% | 1.8% | |
| | 10-25 | 0% | 0% | 6.0% | 0.0% | 2.6% | 15.7% | 0.8% | |
| | 25-50 | 0% | <u>0%</u> | 2.4% | 0% | 1.4% | 16.1% | 0.4% | |
| | 50-100 | 0% | 0% | <u>0.7%</u> | <u>0.001%</u> | 0% | 13.1% | 0.1% | |
| | 100-500 | 0% | 0% | 0.2% | 0% | 0.1% | 12.2% | 0.02% | |
| | 500-1000 | 0% | 0% | 0.03% | 0% | 0% | 1.3% | 0% | |
| | 1000-5000 | 0% | 0% | 0.01% | 0% | 0% | 0.8% | 0% | |
| | 5000-10000 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0.0% | 0% | |
| | 10000-50000 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0.1% | 0% | |
| | 50000-100000 | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0.0% | 0% | |

表中の二重罫線はそれぞれの食品の基準値による境界を示す。

Table 3 モニタリング検査結果における99の食品分類それぞれの放射能濃度の中央値、95パーセンタイル値、99パーセンタイル値ごとの上位10項目
(平成24年度・全国)

| | 順位 | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 中央値 (Bq/kg) | 66 | | | | | | | | | |
| 小分類 | (64) その他の畜肉 | | | | | | | | | |
| 95%タイル (Bq/kg) | 2500 | 220 | 170 ^{※2} | 170 ^{※2} | 92 | 73.5 | 71 | 62 | 55 | 50 |
| 小分類 | (64) その他の畜肉 | (66) その他の鳥肉 | (46) きのこ類 | (52) その他の生魚 | (50) たい、かれい類 | (98) 香辛料・その他 | (1) 米 | (49) さけ、ます | (24) 種実類 | (61) 牛肉 |
| 99%タイル (Bq/kg) | 17112 | 9000 | 878 | 725 | 491 | 263 | 260 | 251 | 170 | 160 |
| 小分類 | (91) その他の嗜好飲料 | (64) その他の畜肉 | (66) その他の鳥肉 | (46) きのこ類 | (52) その他の生魚 | (50) たい、かれい類 | (29) その他の緑黄色野菜 | (98) 香辛料・その他 | (49) さけ、ます | (43) その他の生果 |

(注) 食品分類名に付された括弧内の数字は、国民健康・栄養調査における小分類番号を示す。

※1 具体的には、「油揚げ類」，「種実類」，「きのこ類」，「その他の生魚」，「魚介（塩蔵、生干し、乾物）」，「魚介（佃煮）」，「魚肉ハム、ソーセージ」，「牛肉」，「ハム、ソーセージ類」，「その他の鳥肉」，「その他の肉・加工品」，「バター」，「ソース」，「マヨネーズ」，「その他の調味料」（小分類番号順）が含まれる。

※2 95パーセンタイル値における(46)きのこ類と(52)その他の生魚の放射能濃度は同値である。

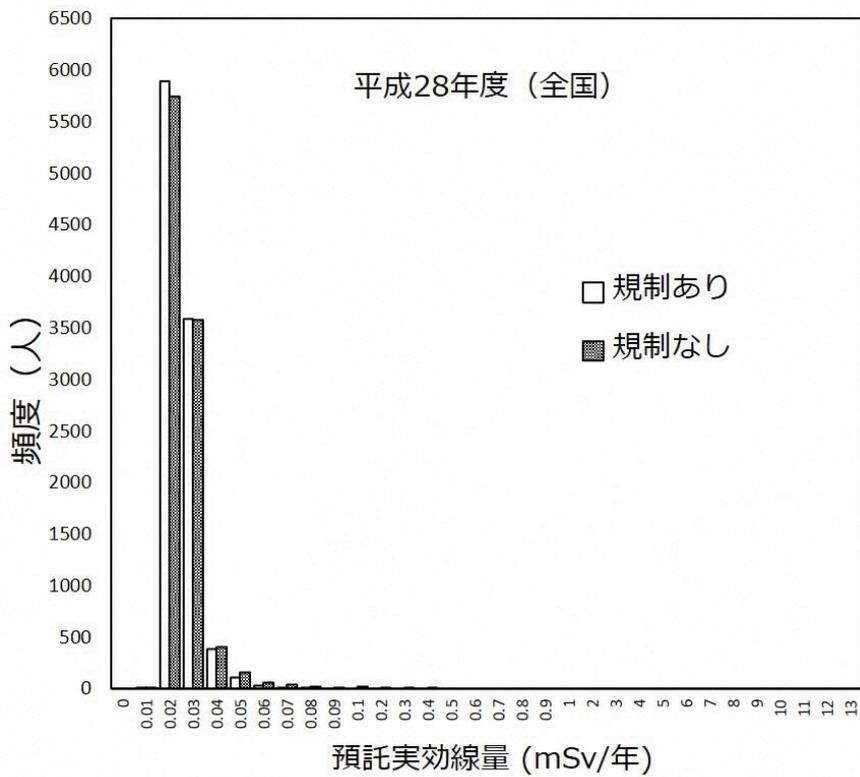
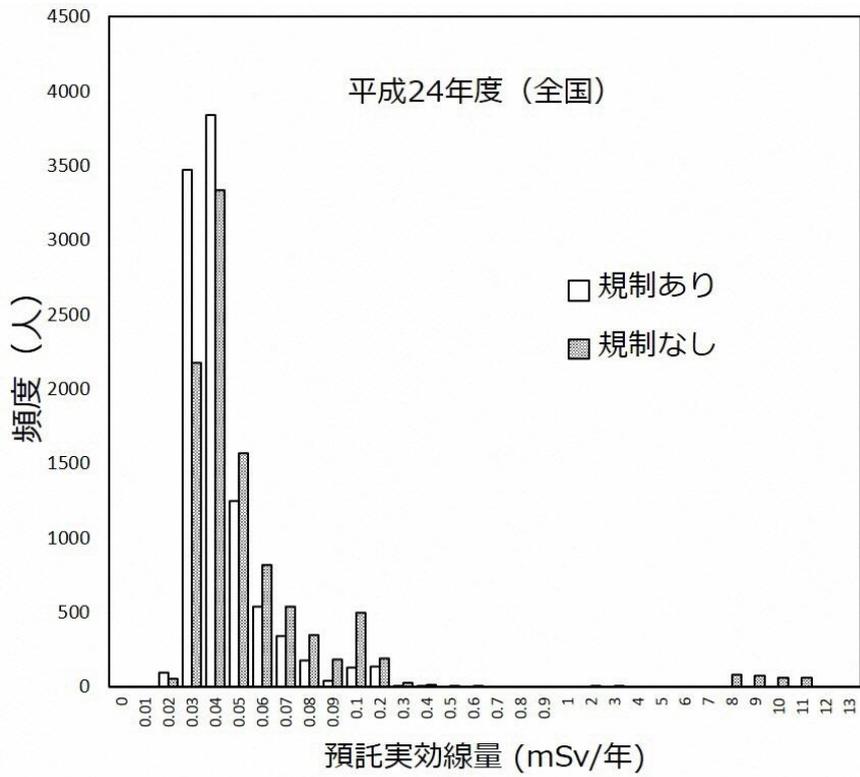


Fig. 2 全国のモニタリング検査結果による推定内部被ばく線量
(上：平成24年度、下：平成28年度)

Table 4 全国のモニタリング検査結果による推定内部被ばく線量（単位：mSv/年）

| | 平成24年度 | | | 平成28年度 | | |
|----------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|
| | 規制なし | 規制あり | (あり/なし) | 規制なし | 規制あり | (あり/なし) |
| 中央値 | 0.0479 | 0.0430 | (0.90) | 0.0292 | 0.0290 | (0.99) |
| 95%タイル | 0.207 | 0.0790 | (0.38) | 0.0426 | 0.0402 | (0.94) |
| 99%タイル | 10.6 | 0.233 | (0.02) | 0.0655 | 0.0529 | (0.81) |
| 99.9%タイル | 11.8 | 0.289 | (0.02) | 0.138 | 0.0696 | (0.51) |
| 合計線量 | 3320 | 499 | (0.15) | 311 | 302 | (0.97) |

Table 5 仮想10,000人の食品分類別の放射性セシウム摂取量（Bq/日）の中央値、95パーセンタイル値、99パーセンタイル値における上位10項目の内訳（規制なし・平成24年度・全国）

| | | 上位10項目 | | | | | | | | | |
|------------|-----------------------|----------------------|--------------|-----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 中央値 | セシウム 摂取量 (Bq/日) | 0.77 | 0.65 | 0.53 | 0.29 | 0.25 | 0.22 | 0.20 | 0.18 | 0.14 | 0.13 |
| | 食品摂取量 (g/日) | 328.2 | 2000 | 295.6 | 17.2 | 63.4 | 22.7 | 101.9 | 39.9 | 9.0 | 43.0 |
| | 小分類 | (1) 米 | 飲料水 | (89) 茶 | (46) きのこ類 | (97) その他の 調味料 | (40) 柑橘類 | (91) その他の 嗜好飲料 | (43) その他の 生果 | (52) その他の 生魚 | (6) うどん、 中華めん類 |
| 95% タイル | セシウム 摂取量 (Bq/日) | 5.9 | 2.8 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.2 | 1.0 | 0.93 | 0.90 |
| | 食品摂取量 (g/日) | 328.2 | 17.2 | 295.6 | 39.9 | 101.9 | 9.0 | 48.3 | 2000 | 22.7 | 0.4 |
| | 小分類 | (1) 米 | (46) きのこ類 | (89) 茶 | (43) その他の 生果 | (91) その他の 嗜好飲料 | (52) その他の 生魚 | (35) その他の 淡色野菜 | 飲料水 | (40) 柑橘類 | (64) その他の 畜肉 |
| 99% タイル | セシウム 摂取量 (Bq/日) | 1861 | 13 | 8.6 | 8.2 | 6.4 | 6.2 | 5.8 | 4.2 | 3.4 | 2.3 |
| | 食品摂取量 (g/日) | 101.9 | 17.2 | 35.9 | 328.2 | 39.9 | 295.6 | 48.3 | 9.0 | 0.4 | 32.4 |
| | 小分類 | (91) その他の 嗜好飲料 | (46) きのこ類 | (29) その他の 緑黄色野菜 | (1) 米 | (43) その他の 生果 | (89) 茶 | (35) その他の 淡色野菜 | (52) その他の 生魚 | (64) その他の 畜肉 | (32) 大根 |

食品分類名に付された括弧内の数字は、国民健康・栄養調査における小分類番号を示す。飲料水は国民健康・栄養調査の小分類に含まれない。

Table 6 福島県・宮城県のモニタリング検査結果による
推定内部被ばく線量 (単位：mSv/年)

| | 平成24年度 | | | 平成28年度 | | |
|----------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|
| | 規制なし | 規制あり | (あり/なし) | 規制なし | 規制あり | (あり/なし) |
| 中央値 | 0.0718 | 0.0552 | (0.77) | 0.0282 | 0.0280 | (0.99) |
| 95%タイル | 10.6 | 0.242 | (0.02) | 0.0389 | 0.0372 | (0.96) |
| 99%タイル | 11.8 | 0.284 | (0.02) | 0.0549 | 0.0445 | (0.81) |
| 99.9%タイル | 11.8 | 0.314 | (0.03) | 0.108 | 0.0525 | (0.49) |
| 合計線量 | 11302 | 748 | (0.07) | 297 | 289 | (0.97) |

平成24年度は65,748試料、平成28年度は63,542試料を用いて被ばく線量を推定した。