

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

食品中の放射性物質等検査システムの  
評価手法の開発に関する研究

令和2－4年度 総合研究報告書

研究代表者

国立医薬品食品衛生研究所

蜂須賀暁子

研究分担者

近畿大学

山田 崇裕

国立医薬品食品衛生研究所

中村 公亮

国立医薬品食品衛生研究所

蜂須賀暁子

国立医薬品食品衛生研究所

畝山智香子

## 目 次

### I. 総合研究報告

- 食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の開発に関する研究  
蜂須賀暁子・・・・・・・・・・ 1

### II. 分担研究報告

1. 食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の検討  
山田 崇裕・・・・・・・・・・ 17
2. 食品中放射性物質濃度データの解析  
中村 公亮・・・・・・・・・・ 33
3. 食品中放射性物質等の実態調査  
蜂須賀暁子・・・・・・・・・・ 47
4. 消費者への食品検査及び安全性情報伝達方法に関する検討  
畝山智香子・・・・・・・・・・ 61

### III. 研究成果の刊行に関する一覧表・・・・・・・・・・ 71

# I. 総 合 研 究 報 告

食品中の放射性物質等検査システムの  
評価手法の開発に関する研究

蜂須賀 暁子

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）  
食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の開発に関する研究  
令和2－4年度総合研究報告書

研究代表者 蜂須賀暁子 国立医薬品食品衛生研究所生化学部第一室長

研究要旨

平成23年の東京電力福島第一原子力発電所事故に起因する食品中放射性物質の検査は、原子力災害対策本部が決定したガイドラインに従って、地方自治体において検査計画に基づいて行われている。当該ガイドラインは、モニタリング検査結果の推移や新たな科学的知見の集積、出荷制限等の解除事例の状況等も見極めつつ、検査等を合理的かつ効率的に実施するために随時見直しが行われている。本研究課題では、食品行政に資するために、ガイドラインを改正するための科学的知見を得ることを主目的に、以下の課題について検討した。

**（1）食品中放射性物質の検査体制の評価手法の検討**

福島第一原子力発電所事故の影響による食品中の放射性セシウム測定について、近年試料を前処理せずそのまま測定する非破壊式放射能測定装置が開発され利用されている。このような装置による測定は、設計上想定した試料の配置や放射性物質の分布のばらつきの範囲において測定を行うことが重要となる。本研究では、野生きのこ及び皮付きたけのこ実試料を用いて異なる機種の子非破壊式装置による測定とGe検出器を用いた公定法による測定結果との比較検討を主に進めた。令和元年度～4年度に収集した野生きのこの総検体数は560であり、そのうち10 Bq/kg超は419検体、50 Bq/kg超は271検体であった。また、皮付きたけのこについては、ねまがりたけ30検体及び孟宗竹のたけのこ19検体を用いて測定値を比較した。さらにたけのこについては不可食部を含む試料の測定が可食部濃度の評価に及ぼす影響を検討した。

その結果、野生きのこでは、Ge検出器の測定結果と比較し、非破壊式装置による測定結果の多くで低めに評価される傾向が見られたものの、両者間で良好な相関が得られた。また、野生きのこの4種及びたけのこについて100 Bq/kgに対するスクリーニング検査への適用性について回帰直線の予測区間による方法を用いて検討し、99%予測区間の上限値が100 Bq/kgの場合の予想される試料の放射能濃度を評価した。その結果、機種及び品目によって異なるが、40～70 Bq/kg程度のスクリーニングレベルの設定が可能であることが分かった。また、たけのこについては本検討で用いた試料では可食部濃度と不可食部を含む試料全体の平均濃度の比はほぼ1であり、不可食部を含む試料の測定による可食部濃度の評価が可能であることが示唆された。

以上の成果により事務連絡「非破壊検査法による食品中の放射性セシウムスクリーニング法について」が厚生労働省医薬・生活衛生局食品監視安全課より発出され、野生きのこ4品目及び皮付きたけのこの非破壊式放射能測定装置を利用した検査が可能となった。

**（2）食品中放射性物質濃度データ解析**

モニタリング検査結果の推移や新たな科学的知見の集積、出荷制限等の解除事例の状況等を見極めつつ、検査等を合理的かつ効率的に実施するためにガイドラインの随時見

直しが必要である。そこで本分担研究では、ガイドライン改定のための科学的データを提供するため、厚生労働省ホームページで公開された食品中の放射性セシウム ( $^{134,137}\text{Cs}$ ) 濃度の検査データを解析し、得られた結果を考察した。

令和 2 年度は主に水産物の検査データ解析を行った。その結果、海産物、特に養殖魚の安全性は極めて高いことが示唆された。令和 3 年度は果実類を取り上げ、2020 年～2022 年に採取された生鮮果実類においては  $^{134,137}\text{Cs}$  が検出されたものは 5 種で、基準値超過の報告はない一方で、基準値を超過した果実類の加工食品（干し柿、あんぽ柿）は、近年においても報告されていた。生鮮果実類に関しては、引き続き検査数の削減対象ではあるが、あんぽ柿、干し柿等の果実類の乾燥加工食品については、モニタリングを継続していく必要性が示唆された。令和 4 年度は食品カテゴリが「その他」に報告された食品について解析した。主に加工食品が含まれるが、このカテゴリにおいても、乾燥キノコや干し柿など、加工の過程で  $^{134,137}\text{Cs}$  が濃縮される食品で基準値超過の報告がなされており、このような食品のモニタリングを継続することは食の安全を確保していく上で重要と考えられた。

### （３）食品中放射性物質等有害物質調査

食品からの内部被ばくは、事故で放出されたセシウム等の人工放射性核種よりも天然放射性核種由来のものの方が大きく、水産物の摂取量が多い我が国においてはポロニウム 210 の影響が大きいことがこれまでの研究により示唆されている。しかし、その推定被ばく線量はデータ数が少なく、実態は不明であることから、ポロニウム 210 の摂取量調査をマーケットバスケット試料により行った。まず、測定方法として、放射能測定法シリーズ記載の  $\alpha$  線測定法および衛生試験法注解等を参考にし、カラム分離の有無について比較検討した。両者で良好な相関が認められ、カラム分離なしでも測定可能なことが示唆された。次いで食品群ごとのポロニウム 210 濃度測定値から、摂取量を算出し、被ばく線量を推定した。食品中のポロニウム 210 濃度測定の結果、食品群としては魚介類で高く、喫食量をかけ合わせた摂取量から算出された預託実効線量は 0.3-0.5 mSv/y 程度となり、そのうちの約 8 割が魚介類に由来した。魚介類の喫食量は全体として減少傾向にあり、また若年者で少ないことから、現在の国民一人あたりのポロニウム 210 からの内部被ばく線量は公称値とされる値 (0.73 mSv/y) よりも低い可能性が示唆された。より正確な食品中ポロニウム 210 のリスク評価を行うには、魚介類を主とした品目別、産地別、喫食部位別の放射能濃度および年齢別の喫食量等の詳細なデータに基づく調査研究が必要である。

### （４）消費者への食品検査及び安全性情報伝達方法に関する検討

平成 23 年 3 月の東京電力福島第一原子力発電所事故により、放射性物質が環境に放出されて食品にも移行した。その後食品中の放射性物質に関して新たに基準が設定され、国内外で検査が行われ、膨大な数の検査データが得られている。事故から約 10 年が経過し、これまでのデータからは現在市場に流通している食品にほとんど放射性物質は検出されていないことが示されていて、適切なリスク管理の視点から検査体制の見直しが検討課題となっている。一般の消費者に食品検査の状況が周知されているとは言い難く、いまだに被災地への風評被害が問題となっていて処理水の放出に関するニュースで風評の再燃が懸念されている。この課題ではこれまで「食品の基準値」に関する一般的認識を調査し、放射性物質の基準以前に食品の基準値の意味が理解されていないこと

を明らかにしてきた。今回も継続して食品の基準値の理解と食品安全意識についての調査を行った。放射性物質に限らず、食品中の望ましくない物質とその基準値の設定に関する理解度が、食品安全への信頼と関連する可能性を見いだした。食品にゼロリスクを要求することと食品安全への不安が関連する可能性から、食品そのものの避けられないリスクについてのより一層のコミュニケーションを引き続き推進する必要があると考える。

研究分担者 山田 崇裕 近畿大学原子力研究所准教授

研究分担者 中村 公亮 国立医薬品食品衛生研究所食品部第五室長

研究分担者 畝山智香子 国立医薬品食品衛生研究所安全情報部長

## A. 研究目的

平成23年3月の東京電力福島第一原子力発電所の事故により、食品の放射性物質による汚染が危惧されたため、食品衛生法上の暫定規制値が設定された。続いて、平成24年4月には放射性セシウムの基準値が全ての食品に設定された。食品中の放射性物質検査は、原子力災害対策本部で決定したガイドラインに従い、地方自治体において検査計画に基づくモニタリング検査を実施しており、基準値を超過した食品については回収・廃棄等の対応を行っている。当該検査ガイドラインは、平成29年度には、自治体等の要望を受け、検査対象品目・自治体等の大幅な緩和を行うなど、毎年度改定していることから、ガイドラインの改定による影響を、基準値超過率や超過品目の変動を注視するだけでなく、消費者意識等も含め総合的に評価し、安全確保体制が維持できていることの確認が必要となる。また、復興とともに変化する最新の状況を反映した社会的に合理的な検査体制を保つために、ガイドラインの改定は、今後も毎年度行われることが想定されることか

ら、単に各年度の影響を評価するのみにとどまらず、影響評価手法の開発も必要である。

そこで、本研究では、震災に起因する食品中の放射性物質等に関し、相互に関連する下記4課題について検討を行った。これらの研究課題を遂行することにより、検査ガイドラインの改定に伴う影響を評価することが可能となり、効果的な改定案提出に貢献し、結果として、適切な食品の流通を保証する監視体制が構築・維持され、食品の安全・安心が高まることが期待される。

### (1) 食品中放射性物質の検査体制の評価手法の検討

ガンマ線を利用した食品中放射性物質の検査法は、食品試料を均質化して設定した測定容器に充填し、比較対象とする標準線源とできる限り同じ条件にすることにより信頼性を確保しているが、これらの検体試料は一般に食品としての価値を失う。一方で、食品を破碎せずそのまま測定する非破壊式放射能測定装置が開発されているが、これらを用いた測定法は、測定試料の不定形および不均質性が測定における不確かさを増大させる

ものの、実際の試料測定における測定精度、正確度については十分明らかにはされていない。そこで本課題では、非破壊式装置による測定について、対象試料を選定し、汚染状況と測定精度を考慮した上で、従来行われている検査と同等の信頼性を確保するための適用条件及び運用基準を科学的に設定し、検査手法としての検討を行い、提案する。

## (2) 食品中放射性物質濃度データ解析

厚生労働省に報告される食品中の放射性セシウム検査データを年度ごとに解析し、放射性セシウム濃度の経時的变化、食品群間の放射性セシウム濃度の変動等についての情報を得る。基準値超過食品が流通していないことの確認は、検査と出荷制限の体制が適切に機能していることの根拠となる。また、今後の重大災害時における施策立案の基礎となる知見を得る。

## (3) 食品中放射性物質等有害物質調査

食品からの内部被ばくは、事故で放出されたセシウム等の人工放射性核種よりも天然放射性核種由来のものの方が大きく、水産物の摂取量が多い我が国においてはポロニウム 210 の影響が大きいことがこれまでの研究により示唆されている。しかし、その推定被ばく線量はデータ数が少なく、実態は不明であることから、Po-210 の摂取量を調査し、被ばく線量を推定する。

## (4) 消費者への食品検査及び安全性情報伝達方法に関する検討

生産者の努力により流通食品の基準値超過食品率が極めて低く抑えられているにもかかわらず、依然として国内外の風評被害が存在するという事は、消費者の食品検

査及び食品検査結果についての理解と納得が得られていないことを示している。その現状を認識し、食品の安全性情報の伝え方と消費者意識調査を継続的に行い、安全だけでなく安心に繋げる方法の検討を行う。

## B. 方法

### (1) 食品中放射性物質の検査体制の評価手法の検討

形式の異なる複数の非破壊式装置ごとに、試料中の放射性セシウム分布などの特性を明らかにするとともに、その装置の検出効率への影響、及び形状依存の特徴を把握し、感度変化への影響の程度を評価する手法について検討する。なお、初年度はまつたけ 1 品目を選定して非破壊式装置 3 機種で検討し、2 年目以降は初年度の成果を踏まえて品目数の拡大を図った。

#### 1) 非破壊式装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法の比較検証

これまでのデータ及び検査ニーズに基づき野生きのこの適用試料種を選別し、種別の検討を行った。令和 2 年度は野生きのこを対象とし、まつたけ、まいたけ、なめこ、むきたけ及びならたけ、並びに皮付きねまがりたけを優先品目として検討した。令和 3 年度は、令和 2 年度に選定した品目に加え、ベルトコンベア式の非破壊式装置を対象機器とし、皮付きたけのこ（孟宗竹）について検討した。令和 4 年度は、しろしめじ、ひらたけ、あみたけ、こうたけ、ちちたけを対象に加え、過去 4 年間（令和元年～4 年）のデータを用いて回帰直線の予測区間による方法を用いて検討し、99 % 予測区間の上限

値が 100 Bq/kg の場合の予想される試料の放射能濃度を評価した。

比較性を確保するために同一試料を 3 機種（令和 4 年度は 2 機種）の装置で測定した。ただし、測定室の大きさの制限により測定出来ないものは測定可能な装置でのみ測定した。試料の測定は、1 試料につき 4 回の繰り返し測定を行った。この際、試料は測定の都度置き換えを行った。

試料はその全体形状を把握するため、試料上面及び側面の写真を記録した。非破壊式装置による測定を行った試料は、校正済みの Ge 検出器を用いて、「食品中の放射性物質の試験法について（食安発 0315 第 4 号平成 24 年 3 月 15 日）」に準拠して放射能分析を行った。

2) 試料中の放射性セシウムの分布把握・評価手法の検討

非破壊式装置を用いた測定に影響を及ぼすと考えられる試料中の放射性セシウム不均一分布について、試料固体中の分布状況を把握するため、イメージングプレートを用いた分布測定、および部位別試料の Ge 検出器による測定を行った。

3) 非破壊式測定における放射性セシウムの分布特性、形状特性の物理的評価の検討

統計的に十分な試料数を種別毎に集めるのは容易ではないことから、非破壊式装置の検出効率に対する試料中の放射性セシウムの分布及び試料形状の影響評価について、ファントムの試作実験及び計算シミュレーション等による評価手法の検討を試みた。

## (2) 食品中放射性物質濃度データ解析

全国の自治体等からの食品中放射性セシウム濃度の検査結果は、厚生労働省 Web サイト“東日本大震災関連情報”で 2012 年 4 月から 2022 年 3 月までに公表された“月別の検査結果”から入手した。集計の項目は、日付、食品カテゴリ、品目、流通品／非流通品、放射能濃度、地域などである。放射性セシウムの検出の定義は、 $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の濃度の和が 25 Bq/kg を超えるものとし、基準値超過は一般食品で 100 Bq/kg 超、牛乳・乳児用食品で 50 Bq/kg 超、飲料水で 10 Bq/kg 超とした。プログラムを用いて機械的に抽出を行い、集計したデータを解析した。

## (3) 食品中放射性物質等有害物質調査

### 1) 食品試料と放射能標準溶液

食品モデル試料として、国民健康・栄養調査（平成 30 年度）を参考に食品を 13 種類（米・米加工品、米以外の穀類、砂糖・菓子類、豆類、果物類、緑黄色野菜、その他の野菜・きのこ類・藻類、嗜好飲料類、魚介類、肉類、乳類、調味料、飲料水）に分類し、分類ごとに混合・均一化した混合試料を用いた。ポロニウム 209（半減期 102 年）の標準硝酸溶液は Eckert & Ziegler 社から購入した。

### 2) 食品中のポロニウム 210 放射能分析

食品試料 10-100 g をビーカーに入れ、内部標準物質としてポロニウム 209 硝酸標準溶液を加え、硝酸で湿式分解し、塩酸にてポロニウム塩化物フォームとし、0.45 μm メンブレンフィルターで吸引ろ過を行った。ろ液を抽出カラム Sr/Spec Cartridges-2 ml（Resin 50-100 μm）に負荷し、6M 硝酸 20



mLで溶出し、硝酸溶液をポロニウム塩化物フォームに変換した。カラム分離を行わない場合は、キレート抽出クロマトグラフィーを省略して操作した。ポロニウム塩化物フォームをステンレス板に電着し、金属板上のポロニウム測定試料を、シリコン半導体検出器 PIPS（ミリオンテクノロジー・キャンベラ社）によって 86,400 秒間測定し、 $\alpha$ 線スペクトロメトリーを行った。測定試料の放射能濃度はカラム分離日および試料調製日に減衰補正し、線量の推定に用いた。

#### （４）消費者への食品検査及び安全性情報伝達方法に関する検討

食品中放射能の検査ガイドラインの見直しに関連して、食品に設定されている各種汚染物質の「基準値」についての意識調査を行った。食品の安全に関する講義を行った際に食品中汚染物質の基準値についてアンケートを行った。

アンケートへの回答は講義の前でも後でも可能とし、区別はしていない。対象にしたのは大学生や食品企業の社員、消費者団体関係者、生協組合員等で、研究課題のために講義を行った場合と、別のプログラムで行った講義の際に本研究課題への協力を依頼した場合とがあるが、集計では両者を区別していない。講義内容は全く同じではないが、「震災に起因する食品中の放射性物質ならびに有害化学物質の実態に関する研究」での知見である、①食品への全体的不安は食品に関する専門知識があるほうが小さい、②放射線以外の食品のリスクについての情報を提供されることで放射線への不安やリ

スク受容の程度が変わる場合もある、ことを踏まえて、食品リスクを全体的に提示する内容である。放射線リスクや食品の放射性物質基準に特化した内容は含まれない。年度ごとの結果は年度別の報告書に記した。総合報告書では 3 年間を通じて同じ学校の同じ学年で調査できた 3 校をとりあげて学校別の年次変化をまとめた。

### C. 結果・考察

#### （１）食品中放射性物質の検査体制の評価手法の検討

1) 非破壊式装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による比較検討

令和 2 年度は野生きのこ全 28 種 132 体及びねまがりたけ 25 検体を用いて、3 種の非破壊式装置について比較した。いずれの機種についても Ge 検出器の測定結果と比較し、非破壊式装置による測定結果の多くで低めに評価される傾向が見られたが、両者間で良好な相関が得られた。さらに、まつたけ試料（検出限界超～260 Bq/kg 程度）について食品衛生法に定められた基準値 100 Bq/kg に対するスクリーニング検査への適用性について回帰直線の予測区間による方法を用いて検討し、99%予測区間の上限値が 100 Bq/kg の場合の予想される試料の放射能濃度を評価した。その結果、スクリーニングレベルは機種によって異なり、35～50 Bq/kg 程度の範囲にあった。いずれの機種でも Ge 検出器の結果との相関は良く、ばらつきも一定範囲に抑制されており、今回試験に用いた試料と測定条件がほぼ同等の範囲にある試料に対してはこれらの装置で試料

の前処理を伴う従来のスクリーニング検査とほぼ同等の性能での検査が可能であると考えられた。

令和3年度は野生きのこ全25種141検体、ねまがりたけ及び孟宗竹の皮付きたけのこそれぞれ30検体及び19検体を用いて測定値を比較した。いずれの機種についてもGe検出器の測定結果と比較し、非破壊式装置による測定結果の多くで低めに評価される傾向が見られたが、両者間で良好な相関が得られた。さらに、100 Bq/kgに対するスクリーニング検査への適用性について回帰直線の予測区間による方法を用いて検討した。その結果、機種及び品種によって異なるが、野生きのこ3種(なめこ、むきたけ及びならたけ)で30~70 Bq/kg、皮付きたけのこで50 Bq/kgを超えるスクリーニングレベルの設定が可能であることがわかった。

令和4年度は、野生きのこ全24種84検体を比較測定した。これら野生きのこの100 Bq/kgに対するスクリーニング検査への適用性について、本年度を含む過去4年間(令和元年~4年:全560検体)のデータを用いて回帰直線の予測区間による方法を用いて検討した。その結果、機種及び品種によって異なるが、むきたけ、なめこ、ならたけについて、すでに非破壊式検査の適用種となっているまつたけと同等レベルのスクリーニングレベルが設定可能であることが分かった。

## 2) 試料中の放射性セシウムの分布把握・評価手法の検討

イメージングプレートを用いてまつたけ及びたけのこの試料内の放射能の均質性を

調べた。その結果、まつたけでは笠部により高く局在し、菌傘と菌柄の濃度差は約1.1~1.8の範囲にあった。したがって、きのこ菌傘を検出器側に向けると過大評価、逆に向けると過小評価されることが懸念され、非破壊式測定においては、試料の攪拌等により試料をランダムに配置する必要があると考えられた。皮付きたけのこでは、可食部先端で濃度が高い傾向が確認された。しかし、高濃度部分が全体の質量に占める割合は5%程度であり、可食部濃度と不可食部を含む試料全体の平均濃度の比はねまがりたけのたけのこが $0.96 \pm 0.07$ 、孟宗竹のたけのこが $1.01 \pm 0.21$ であったため、不可食部を含む試料の測定による可食部濃度の評価が可能であることが示唆された。

## 3) 非破壊式測定における放射性セシウムの分布特性、形状特性の物理的評価の検討

・ファントムの試作:

放射性セシウムアルミナ ( $^{137}\text{Cs}$  濃度: 2596 Bq/kg、 $^{134}\text{Cs}$  濃度: 95 Bq/kg) を作成し、試料にみたてた容器に充填することでファントム作成を可能とした。

・半実験的計算手法による不定形状体積試料に対するレスポンス評価の検討:

非破壊式放射能測定装置における検出器上の点線源に対する計数効率の空間分布マップを作成し、まつたけの測定試料の写真から把握した体積試料に対するレスポンスの評価を行った。その結果、写真から求めた放射能濃度は、2試料についてはGe検出器による結果との差が少なかったものの、3試料については30%程度低い結果となった。このことは形状の想定が異なることだけで

はなく、写真からは検出器直上の試料—検出器間の空隙による影響も懸念され、さらなる検討が望まれる。

#### 4) 検査法の提案

以上の検討結果より、まつたけ、むきたけ、ならたけ、なめこ及び皮付きたけのこについて非破壊式検査法の対象品目とすることを提案し、その提案内容は「非破壊検査法に食品中の放射性セシウムスクリーニング法について（令和3年3月：まつたけ新規設定、令和4年3月：皮付きたけのこ追加、令和5年3月：むきたけ、ならたけ、なめこ追加）」に反映された。

### (2) 食品中放射性物質濃度データ解析

令和2年度は、公開されている食品中放射性セシウム濃度の検査結果（2012年4月～2020年8月）を解析した。基準値を超過した「一般食品」は5455件、「牛乳・乳児用食品」は0件、「飲料水」は13件（試料採取日：2012年5-6月）であった。流通品の基準値超過率が低いことから、流通前の検査により、高濃度に放射性セシウムを含む食品が効果的に流通から排除され、我が国の監視体制が効果的に機能していることが改めて示された。

水産物について詳細に解析したところ、海産物についての基準値超過報告は2015年の4検体が最後であった。海に流出した放射性セシウムは希釈されるため、まずは遠海魚、ついで底層魚において汚染物の影響が減少しているとの報告を支持する結果であった。淡水の水産物の基準値超過が報告された産地は、これまでに基準値超過の

報告のあった9県のうち、2019年には福島県と群馬県からのみ報告がなされていた。

淡水の養殖以外の水産物は、継続的な出荷制限措置のため、重点的に検査を継続する必要がある一方で、海水の養殖以外の水産物は、基準値超過の検体は稀であることから、検査コストも考慮し、リスクに見合った検査数の再考の余地も示唆された。

令和3年度は、食品中放射性セシウム濃度の検査結果（2012年4月～2022年3月）のうち、果実類の情報を抽出して解析した。近年に報告された生鮮果実に関するデータの多くは、未検出であった。2020～2022年に採取された生鮮果実で $^{134,137}\text{Cs}$ が検出されたものは、5種10件（クリ3件、ギンナン1件、ユズ3件、カキ2件、ナツハゼ1件）であり、基準値を超過したものはなかった。一方で、基準値を超過した果実類の加工食品は、カキとウメを原材料にしたもの（干し柿75件、あんぼ柿39件、梅干し3件、梅の漬物1件）であった。生鮮果実の基準値超過は、2017年9月採取のクリ以降はなかった。2020～2022年に報告された $^{134,137}\text{Cs}$ が検出された生鮮果実は5種（クリ、ギンナン、ユズ、カキ、ナツハゼ）であった。近年基準値の超過の報告のない生鮮果実の検査数の削減の可能性が示唆された。

令和4年度は、食品中放射性セシウム濃度の検査結果（2012年4月～2022年3月）のうち、食品カテゴリ「その他」の情報を抽出して解析した。その結果、「その他」項目には多種多様な食品を対象とした検査結果が含まれており、全国的に検査報告数は減少傾向にあった。基準値超過の報告があっ

た「その他」食品は、その多くは柿とシイタケを乾燥または粉末にさせた加工食品であった。干し柿などの乾燥させた食品については、そのまま喫食するため、このような食品については、食の安全を確保するため、引き続き調査は必要と考えられた。「その他」に含まれる食品については、報告された情報の質について見極める必要がある。多くの場合、産地、加工工程に関する情報が不明であり、雑多なデータであることから、そのままでは、科学的に意味のある解析は困難と考えられた。

### (3) 食品中放射性物質等有害物質調査

#### ・分析条件の検討

酸分解液中のポロニウムを金属板へ沈着させる前に行うカラム分離の影響について調べた。以前の検討において、カラム分離をせずに直接ステンレス板に電着する簡便な手法が、NIST 試料および流通食品試料で良好な結果を示しているため、本課題でも、検証を重ねた。不検出と予想される飲料水を除く 12 食品群について全 166 試料で、カラム分離の有無による測定結果を比較した。魚介類の 38 試料は全て 1.6 Bq/kg 以上、魚介類以外の試料は 0.2 Bq/kg 以下となり、食品試料群による濃度領域の違いが見られたものの、カラム処理の有無の 2 手法で回帰直線を求めたところ、傾きは 0.9956、切片は 0.003、相関係数  $R^2$  は 0.99 と、良好な相関が見られた。

#### ・食品中ポロニウム 210 濃度

線量評価のための食品中ポロニウム 210 濃度算出にあたっては、前年度と同様にカ

ラム処理有りの方法を用いた。10 地域、13 食品群（ただし、2 地域は 10 食品群）について測定し、放射能濃度はカラム分離日に減衰補正した。カラム分離日の放射能濃度は、魚介類が 2-15 Bq/kg で最も高く、ついで、調味料、その他の野菜・きのこ類・藻類が 0.1-1 Bq/kg 程度であり、それ以外の食品群は不検出～0.2 Bq/kg 程度であった。

#### ・内部被ばく線量推定

実測した食品群中のポロニウム 210 の濃度を、カラム分離日または試料調製日に減衰補正し、2019 年度の国民健康・栄養調査の喫食量データを用いて 1 日あたりのポロニウム 210 の摂取量を算出した。比率が高いのは魚介類であり、全体の 8 割程度となった。なお、カラム分離日におけるポロニウム 210 は、食品調製日においてポロニウム 210 であった場合と、親核種である鉛 210 から壊変により生じた場合が考えられるが、ここでは全てポロニウム 210 からとして減衰補正しているため、鉛 210 の寄与が大きい場合は過大評価していることになることに注意が必要である。

ポロニウム 210 の摂取量から内部被ばく線量を 8 地域の測定値から算出した。ポロニウム 210 の預託実効線量係数は公衆成人の 0.0012 mSv/Bq を用いた。カラム分離日換算では、ポロニウム 210 の 1 日の摂取量が 0.6 Bq 程度、年間摂取量が 220 Bq 程度、預託実効線量が 0.3 mSv/y 程度となり、試料調製日換算では、ポロニウム 210 の 1 日の摂取量が 1.1 Bq 程度、年間摂取量が 410 Bq 程度、預託実効線量が 0.5 Sv/y 程度となった。

UNSCEAR 2000 Report によると、ポロニ

ウム 210 の摂取量は世界平均で 58 Bq/y、国・地域別で 18-220 Bq/y となっており、日本はそれらの最大値となっている。各論文の報告値は数値のバラツキが大きく、120-670 Bq/y であった。現在の我が国の事実上の公称値は、「新版 生活環境放射線」に引用されている値で、ポロニウム 210 については摂取量 670 Bq/y に基づく 0.73 mSv/y となっているが、今回の推定値はこれより低いものであった。

ポロニウム 210 はウラン壊変系列に属する天然核種であることから、地球上に広範囲に存在するが、その濃度分布には大きな偏りがあると考えられる。食品中ポロニウム 210 の摂取量の算出においては、被ばく線量推定に用いる各パラメータの信頼性の高いデータが必要である。

#### (4) 消費者への食品検査及び安全性情報伝達方法に関する検討

食品に定められている各種汚染物質の「基準」についての調査では、コメのカドミウムについては現行の国内基準の 0.4 mg/kg を支持する割合が高いが、コメのヒ素については国際基準の 0.2 mg/kg と現行の基準なしへの支持が拮抗する。食品中の放射性セシウムについては現行基準の 100 Bq/kg への支持率が高い。食品の安全については概ね安全だと思っていて、「とても不安」を選ぶ人は極めて希である。そのうえで、ごく僅かではあるが学校毎に一貫した差があった。

興味深いのは食品の安全について「あまり心配していない」と「安全だと思っている」の合計、つまり食品安全に関して概ね信頼

していると回答した人の割合は、食品中の放射性セシウムの望ましい基準値として、検出限界以下を選んだ人の割合と逆相関するように見えることである。つまりたとえ極めて厳しい基準値以下であっても、食品中に放射性物質が存在することが許容できないと考える人では、食品の安全性一般が信用できず食品への不安も高い可能性があるのではないだろうか。現実として食品には天然に放射性物質が含まれるので、原子力発電所事故由来の放射性セシウムだけにこだわってもあまり意味はないと考えることができるかどうかは食品安全への信頼と関連するだろう。

これまでのアンケート結果及び自由記述部分も含めて、堅固な先入観を持つ前の学生のほうが、既に一定の方針をもっている成人より食品リスクについてのコミュニケーションへの反応が良いと感じている。食品業界の社会人と学生では当然業界の方が知識や経験が多く食品への信頼も高い傾向にあるが、学生であっても関連分野を専攻する学生は理解及び信頼を構築しやすい。将来コミュニティのオピニオンリーダーになる可能性のある大学生を集中的にリスクコミュニケーションの対象にすることは有効な戦略の一つだと思われる。

#### D. 結論

##### (1) 食品中放射性物質の検査体制の評価手法の検討

本研究では、異なる機種の新破壊式放射能測定装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による比較検討を、野生きのこ試

料を用いて行った。その結果、いずれの機種も Ge 検出器による測定結果と良好な相関が得られた。ただし、品目や装置の種類によって差はあるものの、多くの野生きのこに対して非破壊式装置の結果が、Ge 検出器の結果よりも低めの評価となる傾向が見られた。本研究では、100 Bq/kg に対するスクリーニング検査への適用性について回帰直線の予測区間による方法を用いて検討し、99 %予測区間の上限値が 100 Bq/kg の場合の予想される試料の放射能濃度を、回帰曲線により非破壊式装置指示値を得、その値を Ge 検出器測定値相当に換算して評価した。その結果、スクリーニングレベルは機種によって異なるが、まつたけ、むきたけ、ならたけ、なめこ及び皮付きたけのこについて 40~70 Bq/kg 程度の範囲にあった。

以上の結果から、まつたけ、むきたけ、ならたけ、なめこ及び皮付きたけのこについては一定の成果が得られたことから、検討内容に基づく検査法を提案し、「非破壊検査法による食品中の放射性セシウムスクリーニング法」に反映された。

今回用いた回帰直線の予測区間による方法はより適切な濃度範囲の試料によって Ge 検出器を用いた測定結果との比較によりスクリーニング性能の評価を可能とするが、一方で、試料数の確保が困難、低濃度の試料しか採取できないなどの状況も想定される。今後は計算も含めた手法を取り入れることで実試料測定データの不足を補い、検査で起こりうる測定のばらつき範囲を評価する手法も検討の余地があると考えられる。このような手法が確立できれば、実試料の形

状等の特徴を把握することで計数効率の妥当性評価に用いることも可能と考えられる。

## (2) 食品中放射性物質濃度データ解析

水産物の検査データの解析の結果、海産物、特に養殖魚の安全性は極めて高いことが示唆された。2020 年~2022 年に採取された生鮮果実類の中で  $^{134,137}\text{Cs}$  が検出されたものは、5 種で、基準値超過の報告はない一方で、基準値を超過した果実類の加工食品（干し柿、あんぽ柿など）は、近年においても報告されている。公開データは、放射性物質の汚染の実態を直接結び付けるための科学的な情報は乏しいため、本研究結果のみから合理的かつ効率的な検査方法への見直しについて結論を導き出すのは難しいが、生鮮果実類に関しては、引き続き検査数の削減対象ではあるが、少なくとも、地方自治体の検査計画の中で検査対象品目に挙げられている、あんぽ柿、干し柿等の果実類の乾燥加工食品については、モニタリングを継続していく必要性が示唆された。また、加工食品においても、乾燥キノコや干し柿など、加工の過程で  $^{134,137}\text{Cs}$  が濃縮されるもので基準値超過の報告がなされており、このような食品のモニタリングを継続することは食の安全を確保していく上で重要と考えられた。

## (3) 食品中放射性物質等有害物質調査

有事の人工放射性核種からの危険度を判断するためには、有害事象の知識だけでなく、平常時の状態を正確に把握していることも重要である。放射線リスク評価におい

ては人工放射性核種だけでなく天然放射性核種からの影響も調べておく必要がある。食品からの内部被ばくでは、事故で放出されたセシウム等の人工核種よりも天然核種由来のものの方が大きく、水産物の摂取量が多い我が国においてはポロニウム 210 の影響が大きいことがこれまでの研究により示唆されている。しかし、その推定被ばく線量はデータ数が少なく実態は不明であることから、ポロニウム 210 の摂取量調査をマーケットバスケット試料により行った。その結果、食品中ポロニウム 210 から算出された預託実効線量は0.3-0.5 mSv/y程度となり、このうちの約8割が魚介類に由来した。現在の国民一人あたりのポロニウム 210 からの内部被ばく線量の公称値とされる値は0.73 mSv/y となっているが、この算出根拠時点よりも魚介類の喫食量が減少していることや今回の推定値から、0.73 mSv/y よりも低い可能性が示唆された。親核種であるウランの環境中の分布に偏りがあること、食品中のポロニウム 210 の濃度分布が幅広いこと、摂取量において寄与率の高い食品群である魚介類を構成する食品の種類が多いこと、魚介類の個体内においても濃度分布に偏りがあること、魚介類の喫食量に年齢差があること、預託実効線量係数に年齢区分があることから、より正確な食品中ポロニウム210のリスク評価を行うためには、魚介類を主とした食品別、産地別、喫食部位別の放射能濃度および年齢別の喫食量等の詳細なデータに基づく調査研究が必要であり、今後の課題と考えられる。

#### (4) 消費者への食品検査及び安全性情報 伝達方法に関する検討

食品の基準値の理解と食品安全意識についての調査を行った。放射性物質に限らず、食品中の望ましくない物質とその基準値の設定に関する理解度が、食品安全への信頼と関連する可能性を見いだした。食品にゼロリスクを要求することと食品安全への不安が関連する可能性から、食品そのものの避けられないリスクについてのより一層のコミュニケーションを引き続き推進する必要があると考える。

#### E. 健康危険情報

なし

#### F. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) Chikako Uneyama, Considering Risks of Food and Radiation–Cancer Risk Assessment– Insights Concerning the Fukushima Daiichi Nuclear Accident Volume 1: Fears and Concerns Just After the Accident, and Anxiety about Radiation, 264-269, Atomic Energy Society of Japan, Published Online on April 2021
- 2) Yamada T, Furutaka K, Hachinohe M and Hachisuka A: Applicability of non-destructive equipment for radioactivity measurement to screening radio-caesium in foods. Appl.Radiat. Isot. 194, 110671 (2023)  
doi: 10.1016/j.apradiso.2023.110671

- 3) Nakamura N, Chiba S, Kiuchi T, Nabeshi H, Tsutsumi T, Akiyama H, Hachisuka A: Comprehensive analysis of a decade of cumulative radiocesium testing data for foodstuffs throughout Japan after the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. PLOS ONE, 17(9): e0274070 (2022)  
doi: 10.1371/journal.pone.0274070. eCollection 2022.
- 4) Nabeshi H, Hachisuka A, Matsuda R, Teshima R, Akiyama H, Tsutsumi T: Uncertainty determination in the screening of radio-caesium in foods without a sample preparation procedure. Food Additives & Contaminants: Part A, (2022)  
doi: 10.1080/19440049.2022.2129099.
- 5) 畝山智香子: 食料安全保障と食品の基準, 公研, 706 14-15(2022)
- 6) 畝山智香子: 食品安全確保のためのリスクコミュニケーション, 獣医公衆衛生研究, 25(2), 18-22(2023)
- 象とした放射性核種 (セシウム、ストロンチウム、プルトニウム) の濃度測定と諸外国が設定したその基準値との比較, 日本薬学会第 141 年会、オンライン開催 (広島)、2021.3.26~29
- 3) 鍋師裕美、松田りえ子、曾我慶介、堤智昭、中村公亮、穂山 浩、蜂須賀暁子: 2019 年度公表の食品中放射性物質濃度検査データの解析、第 57 回全国衛生化学技術協議会年会、オンライン (宮崎)、2020.11.9~10
- 4) 曾我慶介、近藤一成、蜂須賀暁子: 食品中の天然放射性核種ポロニウム 210 の実態と文献調査. フォーラム 2020 衛生薬学・環境トキシコロジー、名古屋、2020.9.4、ポスター
- 5) 山田崇裕、八戸真弓、蜂須賀暁子: 非破壊式放射能測定装置のまつたけ試料スクリーニング検査への適用、第 58 回アイソトープ・放射線研究発表会、東京 (2021.7.7)
- 6) 古高克昌、山田崇裕、三島大輝: 非破壊式放射能測定装置を用いた放射性セシウム測定における不確かさの検討、第 58 回アイソトープ・放射線研究発表会、東京 (2021.7.7)
- 7) 烏野沙和、山田崇裕、八戸真弓、蜂須賀暁子: ネマガリタケ中の放射性セシウム分布評価の検討、日本食品衛生学会第 117 回学術講演会 (2021.10.27)
- 8) 古高克昌、三島大輝、山田純平、山田崇裕: 不定形状試料に対する大口徑  $\gamma$  線検出器の計数効率評価手法の検討、第 3 回日本放射線安全管理学会・日本保健

## 2. 学会発表

- 1) 千葉慎司、中村公亮、鍋師裕美、堤智昭、蜂須賀暁子、穂山浩: 食品中の放射性セシウムに関する公開検査データに基づく日本産水産物の現状について、日本食品化学学会第 27 回総会・学術大会、川崎、2021.6.10~11
- 2) 中村公亮、千葉慎司、秋本智、蜂須賀暁子、穂山浩: 2019 年産日本産食品を対



- 物理学会合同大会、東京 (2021.12.1)
- 9) 千葉慎司、中村公亮、鍋師裕美、堤智昭、蜂須賀暁子、穂山浩：食品中の放射性セシウムに関する公開検査データに基づく日本産水産物の現状について、日本食品化学学会 第 27 回 総会・学術大会、川崎 (2021.6.10-11)
- 10) 蜂須賀暁子、曾我慶介、小室朋子、近藤一成：食品中の天然放射性核種ポロニウム 210 からの被ばく線量推定、フォーラム 2021 衛生薬学・環境トキシコロジー、千葉 (2021.9.10)
- 11) 畝山智香子、蜂須賀暁子、登田美桜、與那覇ひとみ：食品中汚染物質や放射能基準は人々にどう受け止められているか、日本薬学会第 142 年会、名古屋 (2022.3.26)、ポスター
- 12) Yamada T, Furutaka K, Hachinohe M, Hachisuka A: Uncertainty determination in the screening of radio-caesium in foods without a sample preparation procedure. the ICRM-LLRMT 2022, the 8th international conference on radionuclide metrology - low level radioactivity measurement techniques . (ラクイラ、イタリア) 2022.5.4、ポスター
- 13) Yamada T, Furutaka K, Yamashita N, Hachinohe M, Hachisuka A: Research project on the development of evaluation methods for inspection systems of radioactive materials in foods. the ICRM-LLRMT 2022, the 8th international conference on radionuclide metrology - low level radioactivity measurement techniques. (ラクイラ、イタリア) 2022.5.4、ポスター
- 14) 古高 克昌, 山田 崇裕:食品中の非破壊式放射能測定における計数効率の不確かさに関する検討. 第 59 回アイソトープ・放射線研究発表会、東京、2022.7.6
- 15) 古高克昌, 崎山翔弥斗, 山田崇裕 : 非破壊式放射能測定装置による野生キノコ測定における不確かさの要因分析. 第 4 回日本保健物理学会日本放射線安全管理学会合同大会、福岡、2022.11.25
- 16) 千葉慎司、中村公亮、木内隆、鍋師裕美、堤智昭、蜂須賀暁子、穂山浩：果実とそれらを加工した食品に関する公開放射性セシウム検査データの経時的変化、日本食品化学学会 第 28 回総会・学術大会、東京、2022.5.19-20
- 17) 蜂須賀暁子、曾我慶介、小室朋子、近藤一成：食品中の天然放射性核種ポロニウム 210 からの被ばく線量推定-2. フォーラム 2021 衛生薬学・環境トキシコロジー、熊本、2022.8.31、ポスター
- 18) 鍋師裕美、前田朋美、張天齊、蜂須賀暁子、堤智昭：流通食品中の放射性セシウム濃度調査 (2021 年度). 第 59 回全国衛生化学技術協議会年会、川崎、2022.10.31
- 19) H. Nabeshi, T. Tsutsumi, M. Imamura, Y. Uekusa, S. Takatsuki, T. Maeda, K. Nakamura, A. Hachisuka, R. Matsuda, R. Teshima, H. Akiyama:

Estimation of annual committed effective dose of radioactive cesium in Japan after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: Market basket study from 2013 to 2019. ICRP 2021+1, 2022.11.7-10 (パンクーパー+web) ポスター

- 20) 鍋師裕美、張天齊、蜂須賀暁子、堤智昭：マーケットバスケット方式による放射性セシウム及びストロンチウム90の預託実効線量の推定(2020年調査)。日本食品衛生学会第118回学術講演会、長崎、2022.11.11、ポスター
- 21) 蜂須賀暁子、曾我慶介、小室朋子、片岡洋平、近藤一成：食品中放射性物質からの内部被ばく線量についての考察。日本薬学会第142会年会、札幌、2022.3.28、ポスター

#### G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
なし。
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし



## Ⅱ. 分 担 研 究 報 告

食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の検討

山田 崇裕

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）

食品中の放射性物質検査システムの評価手法の開発に関する研究（20KA1010）

令和2年度～令和4年度 総合研究報告書

「食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の検討」

研究代表者 蜂須賀暁子 国立医薬品食品衛生研究所生化学部主任研究者

研究分担者 山田崇裕 近畿大学原子力研究所准教授

#### 研究要旨

福島第一原子力発電所事故の影響による食品中の放射性セシウム測定について、近年試料を前処理せずそのまま測定する非破壊式放射能測定装置が開発され利用されている。このような装置による測定は、設計上想定した試料の配置や放射性物質の分布のばらつき範囲において測定を行うことが重要となる。本研究では、野生きのこ及び皮付きたけのこ実試料を用いて異なる機種非破壊式装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による測定結果との比較検討を主に進めた。本研究では令和元年度～4年度に収集した野生きのこの検体数は560であった（内86検体について放射性セシウムは検出されず）。全数のうち10 Bq/kg 超は419検体、50 Bq/kg を超えるものは271検体であった。また、皮付きたけのこについてはねまがりたけ及び孟宗竹のたけのこそれぞれ30検体及び19検体を用いて測定値を比較した。さらにたけのこについては不可食部を含む試料の測定が可食部濃度の評価に及ぼす影響を検討した。

その結果、野生きのこについて Ge 検出器の測定結果と比較し、非破壊式装置による測定結果の多くで低めに評価される傾向が見られたものの、両者間で良好な相関が得られた。また、野生きのこの4種及びたけのこについて100 Bq/kg に対するスクリーニング検査への適用性について回帰直線の予測区間による方法を用いて検討し、99%予測区間の上限値が100 Bq/kg の場合の予想される試料の放射能濃度を評価した。その結果、機種及び品目によって異なるが、40 Bq/kg～70 Bq/kg 程度のスクリーニングレベルの設定が可能であることが分かった。また、たけのこについては本検討で用いた試料では可食部濃度と不可食部を含む試料全体の平均濃度の比はほぼ1であり、不可食部を含む試料の測定による可食部濃度の評価が可能であることが示唆された。

以上の成果により事務連絡「非破壊検査法による食品中の放射性セシウムスクリーニング法について」が厚生労働省医薬・生活衛生局食品監視安全課より発出され、野生きのこ4品目及び皮付きたけのこの非破壊式放射能測定装置を利用した検査が可能となった。

研究協力者

八戸 真弓 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品研究部門食品流通・安全研究領域 食品安全・信頼性グループ 主席研究員

## A. 研究の背景と目的

食品中の放射性物質の測定は、従来 Ge 検出器を用いた  $\gamma$  線スペクトロメトリーによる方法が一般に用いられている。環境中に存在する放射性核種を効率よく、そして正確に分離・定量するための方法として、環境試料等の放射能分析・測定方法の基準となる「放射能測定法シリーズ」[1]が国（文部科学省及び原子力規制庁）により制定され、公定法として我が国において広く用いられている。また、食品の試験法としては、「食品中の放射性物質の試験法について」[2]が発出され、ここには食品衛生法に基づく食品検査のための測定に関する要件が規定されている。いずれの公定法においても、従来の  $\gamma$  線スペクトロメトリーによる方法においては、測定試料中の放射性物質が適切な前処理により均一化[3]されていることが、その正確性及び信頼性の確保のために重要となる。また、食品の測定では、可食部の放射能濃度を評価する必要がある。さらに、福島第一原子力発電所事故以降、食品検査の迅速化に対応するため、スクリーニング検査として必要とされる性能を規定した「食品中の放射性セシウムスクリーニング法の一部改正について」[4]が発出され、シンチレーション式スペクトロメータも検査に広く用いられるようになった。このスクリーニング法においても測定試料中において放射性物質が均一に分布していることが前提であり、その均一性の程度が測定に及ぼすばらつきを考慮した設計となっている。国際標準化機構が食品などに含まれる放射性物質の迅速スクリーニング法を定めた規格 ISO19581[5]も同様である。一方で、生産サイドによる自主検査においては、スクリー

ニングを目的に玄米のように比較的均質化を図りやすい特定の試料を対象として、試料を破壊せずそのまま測定するための装置を用いた出荷前検査が行われるようになった。また、このような非破壊式放射能測定装置（以下、非破壊式装置という。）は、様々な試料の特性に応じた測定器が開発され利用されている。さらに、住民が自家消費を目的として自家栽培した作物や採取した野生の動植物の測定に対応した測定器も開発され、試料を破碎せずそのまま測定できることから広く利用されている[6][7][8]。このような試料を破碎して均質化せずそのまま測定する場合には、検出器の複数化、大型化などにより試料の形状変化や不均質性の影響の低減化が図られているものの、設計上想定した試料の配置や放射性物質の分布のばらつきの範囲において測定を行うことが重要となる。

平成 29 年度よりこのような非破壊式装置による測定の信頼性を評価することを目的に、非破壊式装置の測定室内における検出効率分布の評価及び実際に放射性セシウム濃度 50 Bq/kg 超の食品試料を用いて、破碎等の前処理をしない非破壊式装置について異なる機種別の装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による測定結果との比較検証を行ってきた。その結果、これまでの検討により各装置による測定結果と Ge 検出器を用いた公定法による測定結果は良好な相関関係を示すことが実測により明らかになり装置の検出効率の形状依存の特徴を十分に把握し、変化の影響を受けにくい状況で測定を行えば、食品の汚染状況の大まかな把握には、非破壊式装置による測定は十分有効である可能性があることが示唆され

た[9]。一方、非破壊測定では真度の低下傾向が観測され、さらに有意にばらつきが大きい試料や、Ge 検出器による測定結果と大きなずれがあるものが見られ、このような手法の妥当性は、各装置の放射能濃度への換算係数の見積もり手法の信頼性検証など更なる詳細な検討により確保されることが望まれた。また、スクリーニング法の準用にあたっては、検査の信頼性を確保する上で、換算係数(校正定数)にあたるこの傾きの真度に与える影響評価、試料中の放射性セシウム不均一分布が測定に及ぼす影響の評価を具体的に適用する試料種を選別し、試料の質量、ジオメトリ等の許容範囲の詳細な決定を行い、試料中の放射性セシウムの不均一度の影響に関し定量的評価を行うことで、試料種別、不均一度に応じた、より効率的なサンプリング手法を含む食品検査手法を本研究成果と今後のより詳細な検討によって科学的根拠に基づき確立することで、モニタリングの加速化につなげられることが期待できることが見込まれた。

平成29年度から3ヵ年の以上の研究成果を踏まえ、令和2年度より検査ニーズに基づき優先対象品目を選定しスクリーニング検査への非破壊式検査法の適用性について検討を進めることとした。

## B. 非破壊式放射能測定装置の概要

本研究に用いた非破壊式装置は、主に自家消費用の自家栽培作物や採取した野生の動植物の測定などに用いられている。この装置は、住民から持ち込まれるあらゆる種類の食品の種類、形状、量などを想定した設計であることが特徴である[6][7][8]。本装置では試料の前処理を行わず、比較的大量

の試料を一度に測定できる、試料を出荷形態のまま測定できる、といった利点から、検査の効率化・合理化、出荷前の全数検査を目的とした装置の利用も試みられている。

$\gamma$ 線スペクトロメトリーにより食品中の放射能の測定を行うには測定対象となる核種の $\gamma$ 線のエネルギーに対する検出効率を標準線源によって予め得る必要がある。検出効率は $\gamma$ 線のエネルギーに依存する他、試料と検出器の幾何学的条件によっても変化する。即ち、検出効率は試料の形状や測定位置に依存するため、標準線源と同じ形状の容器に、標準線源と同じ容量の試料を充填し、標準線源で校正した位置と同じ位置で測定する必要がある。また、体積状の試料は、試料中の線源位置によって検出効率が異なり、体積状の標準線源によって得られる見かけの検出効率はいわば各点の検出効率の平均値であることから、体積中の放射能の分布は均一であることが前提となる。非破壊式装置であっても測定の基本原理に変わりはないが、一般に非破壊式装置では複数の検出器配置、大型化や複数検出器の利用による幾何学的効率の高効率化が図られている。このことは非破壊式装置による測定の信頼性を確保する上で極めて重要となる。つまり、測定試料に対して、検出器が十分に大きい場合、検出器直上では線源と検出器との立体角は $2\pi$ となり、線源の位置による検出効率の変化が少なくなる。先にも述べたように $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる放射能測定の場合は、標準線源と同じ形状の容器に同じ容量の試料を詰めて測定することで、標準線源により得た検出効率が適用でき、標準線源—検出器間の幾何学的条件と異なる測定条件になることがず

れやばらつきの要因となる。しかしながら、大型検出器を用いることで幾何学的効率を高め、線源位置による検出効率の変化を少なくすることが出来れば、試料の形状の違いや試料中の放射性物質の不均質性による検出効率の変化は小さく出来、ある程度のばらつきの幅の範囲内での測定が可能になると考えられる。測定対象とする試料の種類は様々であり、たとえ試料の形状の違いや試料中の放射性物質の不均質性による検出効率の変化を小さく出来たととしても、測定試料の検出効率を如何に正確に決定できるかが測定の信頼性の上で重要となる。これを達成するために、様々な形状の標準試料によって検出効率を求める、試料の種類によって、試料質量から試料の高を推定し、試料の種別に決められた検出効率－試料高（質量）関数から近似的に検出効率を求める方法などがとられていると推察される。ただ、依然として試料中の放射性物質の不均質分布に対しては、その程度に幅はあるにせよ誤差を生む要因となる。例えば大きな誤差要因となりうる極端な放射性セシウムの偏在に対して、多数の検出器を組み合わせた装置により、そのうちの一つの検出器での計数率が他の検出器の倍以上計数があった場合に異常判定を出すように措置される装置もある[6]。

以上のように、非破壊式装置では、装置のハード面においては、検出器の大型化、複数検出器の使用による試料－検出器間の大立体角化によって幾何学的効率を高めることが装置の想定する試料形態及び形状と実際の試料形態及び形状の差に起因する測定誤差の軽減につながる。ソフト面では、解析手法は装置によって様々であるが、いずれの

手法もいわば近似的に試料の検出効率を求めることとなり、如何に設計上想定する範囲内で実際の測定が行われるようにするか、ユーザインターフェースの設計も含めて重要となる。

なお、各装置に備わったこのような放射性測定のアлゴリズムは原則としてその詳細は公開されていないことから、本研究では各装置の取扱説明書に従った操作と得られる出力指示値による評価を行った。

### C. 実験方法

形式の異なる複数の非破壊式装置ごとに、試料中の放射性セシウム分布などの特性を明らかにするとともに、その装置の検出効率への影響、及び形状依存の特徴を把握し、感度変化への影響の程度を評価する手法について検討する。なお、初年度はまつたけ1品目を選定して非破壊式装置3機種で検討し、2年目以降は初年度の成果を踏まえて品目数の拡大を図った。

#### 1) 非破壊式装置による測定とGe検出器を用いた公定法の比較検証

これまでのデータ及び検査ニーズに基づき野生きのこ等の適用試料種を選別し、種別の検討を行った。令和2年度は野生きのこを対象とし、まつたけ、まいたけ、なめこ、むきたけ及びならたけ、並びに皮付きねまがりたけを優先品目として検討した。令和3年度は、令和2年度に選定した品目に加え、ベルトコンベア式の非破壊式装置を対象機器とし、皮付きたけのこ（孟宗竹）について検討した。令和4年度は、しろしめじ、ひらたけ、あみたけ、こうたけ、ちちたけを対象に加え、過去4年間（令和元年～4年）のデータを用いて回帰直線の予測区



間による方法を用いて検討し、99%予測区間の上限値が100 Bq/kgの場合の予想される試料の放射能濃度を評価した。

表1に測定に用いた非破壊式装置を示す。比較性を確保するために同一試料を福島県林業研究センターに設置した3機種の装置で測定した。ただし、測定室の大きさの制限により測定出来ないものは測定可能な装置でのみ測定した。ただし、令和4年度は、形式Hitz(日立造船)は評価対象外とした。試料の測定は、1試料につき4回の繰り返し測定を行った。この際、試料は測定の都度置き換えを行った。測定の実務は各施設の検査員により行われた。

試料はその全体形状を把握するため写真に記録した。撮影は卓上で試料上面及び側面からカメラを用いて図1のように撮影した。非破壊式装置による測定を行った試料は、福島県農業総合センター、(一社)福島県環境測定・放射能計測協会に依頼し、校正済みのGe検出器を用いて、文献[2]に準拠して放射能分析を行った。本研究においては、食品中の放射能測定のための試料前処理は、文献[3]に準じて実施することとした。

## 2) 試料中の放射性セシウムの分布把握・評価手法の検討

これまでの研究において、試料中の放射性セシウムの分布が試料の種類によって異なり、非破壊式測定におけるばらつき、大きなずれの要因となりうることが示唆されている。本研究では非破壊式装置を用いた測定に影響を及ぼすと考えられる試料中の放射性セシウム不均一分布について、試料固体中の分布状況を把握するため、令和2年度にまつたけ及びねまがりたけについてイ

メージングプレート(IP)を用いた分布測定を行った。試料は凍結乾燥させ個々の試料を、スライスし、試料をIP上に配置し露光させ、読み取り装置で放射線画像を取得した。また部位別の濃度についてGe検出器による測定を行い、濃度分布の定量的把握を試みた。また、令和3年度は孟宗竹の皮付きたけのこを対象とし、不可食部が可食部濃度の評価に与える影響について検討した。

## 3) 非破壊式測定における放射性セシウムの分布特性、形状特性の物理的評価の検討

野生きのこは、種別依存以上に個々の試料依存の分布偏在や形状による測定結果への影響が大きいと予想される。このため多数の試料について1)の実測検討が重要であるが、統計的に十分な試料数を種別毎に集めるのは容易ではない。そこで非破壊式装置の検出効率に対する試料中の放射性セシウムの分布及び試料形状の影響評価について以下の物理的手法を試みた。

### i) ファントムの試作実験

2)の分布特性結果及びこれまでの試料データ(写真・重量等)から対象試料ファントムの作成を検討した。活性アルミナに放射能濃度既知の溶液を添加し、乾燥させ、放射能濃度既知のアルミナを作成した。

### ii) 計算シミュレーション等による評価の検討

非破壊式測定システムの計数効率の計算による評価を試みた。試料の形状は試料の写真データから近似的に得る方法について検討した。

## D. 実験結果及び考察

### 1) 非破壊式装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法の比較検証

図 2 に本研究において過去 4 年間（令和元年度～4 年度）に収集した野生きのこの種別と検体数を示す。検体数は 560 であり、そのうち 86 検体について放射性セシウムは検出されなかった（ND）。図 3 に試料種別ごとの濃度分布を示す。全数のうち 10 Bq/kg 超は 419 検体、50 Bq/kg を超えるものは 271 検体であった。さらに 260Bq/kg 未満の検体数の種別分布を図 4 に示す。令和 3 年度の重点対象品目のうちまつたけ、まいたけを除くむきたけ、ならたけ及びなめこについて 20 検体を超える試料が 4 年間で確保できた。

令和 2 年度は野生きのこ全 28 種 132 体及びねまがりたけ 25 検体を用いて測定値を比較した。いずれの機種についても Ge 検出器の測定結果と比較し、非破壊式装置による測定結果の多くで低めに評価される傾向が見られたが、両者間で良好な相関が得られた。また、約 20 Bq/kg を超える濃度範囲では、いずれの機種でも非破壊式と Ge 検出器の結果との差は+30/-50%程度の範囲にあった。

さらに、まつたけ試料について 100 Bq/kg に対するスクリーニング検査への適用性について回帰直線の予測区間による方法を用いて検討し、99%予測区間の上限値が 100 Bq/kg の場合の予想される試料の放射能濃度を評価した。本研究では、食品衛生法に定められた基準値 100 Bq/kg に対するスクリーニング検査への適用性についても回帰直線の予測区間による次の方法を用いた。

$$m_{UL} = m + \sqrt{V_e \left\{ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{S_{xx}} \right\}} \times t_{n-2, 0.01}$$

ここに、

- $m_{UL}$ : 回帰直線の予測区間の 99%上限
- $m$ : 回帰直線から予想される濃度  $x$  における測定値
- $V_e$ : 回帰直線の誤差分散
- $n$ : 回帰に使用したデータの数
- $x$ : 放射性セシウム濃度
- $\bar{x}$ : 回帰に用いた放射性セシウム濃度の平均
- $S_{xx}$ : 回帰に用いた放射性セシウム濃度の平方和

適用性について種別毎に検討するため、測定に用いた試料のうち検出限界超～260 Bq/kg 程度の範囲試料の測定結果を用いた。

その結果、スクリーニングレベルは機種によって異なり、35～50 Bq/kg 程度の範囲にあった。いずれの機種でも Ge 検出器の結果との相関は良く、ばらつきも一定範囲に抑制されており、今回試験に用いた試料と測定条件がほぼ同等の範囲にある試料に対してはこれらの装置で試料の前処理を伴う従来のスクリーニング検査とほぼ同等の性能での検査が可能であると考えられた。これらの研究成果は「非破壊検査法による食品中の放射性セシウムスクリーニング法」に反映された。

令和 3 年度は野生きのこ全 25 種 141 検体、ねまがりたけ及び孟宗竹の皮付きたけのそれぞれ 30 検体及び 19 検体を用いて測定値を比較した。いずれの機種についても Ge 検出器の測定結果と比較し、非破壊式装置による測定結果の多くで低めに評価される傾向が見られたが、両者間で良好な相関が得られた。さらに 100 Bq/kg に対するスクリーニング検査への適用性について回

帰直線の予測区間による方法を用いて検討し、99 %予測区間の上限値が 100 Bq/kg の場合の予想される試料の放射能濃度を評価した。その結果、機種及び品種によって異なるが、野生きのこ 3 種（なめこ、むきたけ及びならたけ）で 30~70 Bq/kg、皮付きたけのこで 50 Bq/kg を超えるスクリーニングレベルの設定が可能であることがわかった。

令和 4 年度は、野生きのこ全 24 種 84 検体を比較測定した。これら野生きのこの 100 Bq/kg に対するスクリーニング検査への適用性について、本年度を含む過去 4 年間（令和元年~4 年）のデータを用いて回帰直線の予測区間による方法を用いて検討し、99 %予測区間の上限値が 100 Bq/kg の場合の予想される試料の放射能濃度を評価した。その結果、機種及び品種によって異なるが、むきたけ、なめこ、ならたけについて、すでに非破壊式検査の適用種となっているまつたけと同等レベルのスクリーニングレベルが確保可能であることが分かった。

3 か年の本研究により得られた非破壊式装置のスクリーニングレベル評価結果を表 2-1（野生きのこ）及び 2-2（皮付きたけのこ）に示した。本研究成果によりまつたけ、皮付きたけのこ、むきたけ、なめこ、ならたけが「非破壊検査法による食品中の放射性セシウムスクリーニング法」の適用試料種に追加された。

## 2) 試料中の放射性セシウムの分布把握・評価手法の検討

令和 2 年度はイメージングプレートを用いたまつたけ及びねまがりたけの測定を行った。まつたけ試料は、液体窒素で凍結処理した後、凍結乾燥処理した。乾燥試料を

5~10mm 厚にスライスし測定した。この結果、試料内の放射能の不均一分布が観測された。IP データでは試料の笠部により高く局在することが分かった。この結果より、まつたけ試料を菌傘と菌柄を分けて Ge 検出器で各濃度の分析を行ったところ、濃度差は約 1.1~1.8 の範囲にあった。したがって、きのこ菌傘を検出器側に向けると過大評価、逆に向けると過小評価されることが懸念された。このことから非破壊式測定においては、試料の攪拌等により試料がランダムに配置する必要があると考えられた。

令和 2 年度及び 3 年度は皮付きたけのこについて検討した。たけのこは縦半分に切断後、液体窒素で凍結処理した後凍結乾燥機にて 7 日間乾燥処理した。乾燥後 IP にて測定した。この結果可食部先端の濃度が高い傾向が確認された。しかしながら、高濃度の先端部が全体の質量に占める割合は 5 %程度であり、その結果、可食部濃度と不可食部を含む試料全体の平均濃度の比はねまがりたけのたけのこが  $0.96 \pm 0.07$ 、孟宗竹のたけのこが  $1.01 \pm 0.21$  であった。このことから不可食部を含む試料の測定による可食部濃度の評価が可能であることが示唆された。1) 及びこの研究成果により「非破壊検査法による食品中の放射性セシウムスクリーニング法」の対象品目に皮付きたけのこが追加された。

## 3) 非破壊式測定における放射性セシウムの分布特性、形状特性の物理的評価の検討

### i) ファントムの試作

放射性セシウムを吸着させる媒体として活性アルミナを採用した。アルミナに吸着させる放射性セシウムは福島県内で採取し

た放射性降下物が付着した杉の葉から抽出した溶液を用いた。溶液の放射能濃度測定には校正済みの Ge 検出器を用いた。次に濃度が決定された溶液と同量の活性アルミナ約 90 g を磁器皿に入れ混合し、ヒーターで含水率<1%となるまで攪拌しながら加熱した。同様の手順を繰り返し合計約 1 kg の放射性セシウムアルミナを作成した。放射性吸着アルミナの濃度は  $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{134}\text{Cs}$  それぞれ 2596 Bq/kg 及び 95 Bq/kg となり、放射性セシウム合計の吸着率は 92 % と高い吸着率で放射性セシウムを吸着させることが出来た。この放射性セシウムアルミナを約 3 倍希釈し、希釈後のアルミナを分注して、濃度を測定したところ、濃度の相対標準偏差は 5.3 % であり良好な均一性が得られた。これを試料にみたてた容器に径の異なるプラスチック球体容器等に充填することで嵩密度の異なる放射能既知のファントム試料を作成することが可能となった。

## ii) 半実験的計算手法による不定形状体積試料に対するレスポンス評価の検討

非破壊式放射能測定装置では、通常、試料の種類と質量より推定される嵩から検出器のレスポンスが近似的に決定されているが、試料は不定形状のため、形状の変化がレスポンスにどの程度の不確かさを及ぼし得るかが把握されていなければ、測定の信頼性を確保しがたい。本研究では、このような測定において試料の形状に対応した検出器レスポンスを評価するため、検出器上の点線源に対する計数効率の空間分布マップを作成し、体積試料に対するレスポンスの評価を行った。

不定形状体積状の試料を微小ボクセルの

集合とすると、各 $(x,y,z)$ のボクセルにおける $\gamma$ 線エネルギー $E$ の計数効率 $\varepsilon_p(E,x,y,z)$ に対して、試料に対する計数効率 $\varepsilon_V$ は式(1)で評価できる。

$$\varepsilon_V(E) = \iiint \varepsilon_p(E, x, y, z) dx dy dz / V \cdot F_s \quad (1)$$

ここで $V$ は体積、 $F_s$ は自己吸収の補正係数を表す。本研究では、様々な形状の試料に対応した $5''\phi \times 5''\text{NaI(Tl)}$ シンチレーション検出器に対する $^{137}\text{Cs}$ のレスポンスを得るため、 $\varepsilon_p(E,x,y,z)$  ( $E=662$  keV)の空間分布を取得することとした。点状の $^{137}\text{Cs}$ 標準線源を用い、各測定点で得られた計数効率をボクセルサイズ $10 \times 10 \times 10$  ( $\text{mm}^3$ )における計数効率とみなすこととした。検出器から高さ $z$  ( $z=0,30,60,90,120,150$  mm)の面における $\varepsilon_p(E,x,y,z)$ の分布は同心円状となる想定で、 $X$ 軸正方向のみの各高さ $z$ の面において10 mm刻みで測定を行った。実験データより、各面における検出器中心からの距離と計数効率の関数を求め、各ボクセルの計数効率を計算し、計数効率の空間分布プロファイルを得た。

得られた効率プロファイルから不定形状試料に対しての適用の検討として、同形式の $5''\phi \times 5''\text{NaI(Tl)}$ シンチレーション検出器(非破壊式放射能測定装置)で測定したまっただけ試料の写真から形状を把握し、同様にマップからレスポンスを計算した。形状は楕円錐台に近似し、形状の決定に必要な各寸法を決定した。これらから式(1)により $\varepsilon_V(E)$ を得た。この手法により得た $\varepsilon_V(E)$ 5試料の放射能濃度は、2試料についてはGe検出器による結果との差が少なかったものの、

3 試料については 30 %程度低い結果となった。いずれも低めに評価される傾向は、非破壊式装置による指示値も同様である。このことは形状の想定が異なることだけではなく、写真画像からは検出器直上の試料—検出器間の空隙による影響も懸念され、さらなる検討が望まれる。

#### 4) 検査法の提案

以上の検討結果より、まつたけ、むきたけ、ならたけ、なめこ及び皮付きたけのこについて非破壊式検査法の対象品目とすることを提案し、その提案内容は「非破壊検査法に食品中の放射性セシウムスクリーニング法について」に反映された。非破壊検査法は、今後、検査条件の精査及び手法の改良の検討を行うことにより、さらなる信頼性、検査効率性の改善並びに適用拡大の可能性があると考えられる。

#### E. 結論

本研究では、異なる機種の子非破壊式放射能測定装置による測定と Ge 検出器を用いた公定法による比較検討を、野生きのこ試料を用いて行った。その結果、いずれの機種も Ge 検出器による測定結果と良好な相関が得られた。ただし、品目や装置の種類によって差はあるものの、多くの野生きのこに対して非破壊式装置の結果が、Ge 検出器の結果よりも低めの評価となる傾向が見られた。本研究では、100 Bq/kg に対するスクリーニング検査への適用性について回帰直線の予測区間による方法を用いて検討し、99 %予測区間の上限値が 100 Bq/kg の場合の予想される試料の放射能濃度を回帰曲線によって非破壊式装置指示値を Ge 検出器

測定値相当に換算して評価した。その結果、スクリーニングレベルは機種によって異なるが、まつたけ、むきたけ、ならたけ、なめこ及び皮付きたけのこについて 40～70 Bq/kg 程度の範囲にあった。

以上の結果から、まつたけ、むきたけ、ならたけ、なめこ及び皮付きたけのこについては一定の成果が得られたことから、検討内容に基づく検査法を提案し、「非破壊検査法による食品中の放射性セシウムスクリーニング法」に反映された。

今回用いた回帰直線の予測区間による方法はより適切な濃度範囲の試料によって Ge 検出器を用いた測定結果との比較によりスクリーニング性能の評価を可能とするが、一方で、試料数の確保が困難、低濃度の試料しか採取できないなどの状況も想定される。高い優先度で検査対象の候補とされることが想定される試料は、そもそも試料の放射能濃度が低い(検出限界以下を含む)ものが多いことも考えられる。非破壊式装置による測定原理を考慮すると試料に対する感度(計数効率)は、嵩に依存するため、嵩密度がほぼ同等の範囲にあると見込まれるものを同一のグループとして評価することも考えられる。本結果に示した品目別の非破壊式装置による結果の Ge 検出器による結果との差の傾向は、それが可能であることを示唆するものといえる。これには今後、さらに試料数が不足する品目については試料数を増やし評価に足る統計精度を確保する、加えて、実試料の嵩密度の調査を進め物理的に同等と扱える範囲を明らかにすることが必要であると考えられる。実際の検査への適応性評価にあたっては、対象試料の範囲を決め、実試料の実測を基本とし

つつ、試料種別固有の放射性セシウム分布特性を本研究で示したイメージングプレートを用いた手法などにより把握し、大きさ、形状の違いの幅を決め、その想定する範囲が装置の検出効率に及ぼす影響を計算や放射能が既知のファントム試料によって評価するなどの手法も考えられる。これについて令和2年度より検討を進め、令和3及び4年度は写真データにより得た形状データから計数効率を半実験的計算手法で評価する手法を検討した。このような計算も含めた手法を取り入れることで実試料測定データの不足を補い、検査で起こりうる測定のばらつき範囲を評価する手法も検討の余地があると考えられる。このような手法が確立できれば、実試料の形状等の特徴を把握することで計数効率の妥当性評価に用いることも考えられる。

#### 参考文献

- [1] 文部科学省・原子力規制庁 放射能測定法シリーズ  
<https://www.jcac.or.jp/site/library/series.html> (2020/3/31 現在)
- [2] 厚生労働省 食品中の放射性物質の試験法について、食安発 0315 第 4 号 (2012)
- [3] 文部科学省・原子力規制庁 放射能測定法シリーズ 24 緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法
- [4] 厚生労働省 「食品中の放射性セシウムスクリーニング法の一部改正について」 (2012)
- [5] International Organization for Standardization, ISO19581 : 2017, Measurement of radioactivity -- Gamma emitting radionuclides -- Rapid screening

method using scintillation detector gamma-ray spectrometry (2017)

[6] 石井慶造、食品中の汚染検査のための放射能非破壊検査装置、Isotope News No.729、21-27 (2015)

[7] アドフューテック株式会社、「そのままはかる NDA」の特徴・性能について、[http://www.adfutek.com/image/pdf/Catalog\\_160108-2\\_AFTNDA2.pdf](http://www.adfutek.com/image/pdf/Catalog_160108-2_AFTNDA2.pdf)

[8] 科学技術振興機構、先端計測分析技術・機器開発プログラム 放射線計測領域成果集 2015、複雑形状食品の放射能検査装置の開発、4-5 (2015)

[https://www.jst.go.jp/sentan/result/pdf/Contributing\\_through\\_Innovation\\_2015.pdf](https://www.jst.go.jp/sentan/result/pdf/Contributing_through_Innovation_2015.pdf)

[9] T. Yamada, Keisuke Soga, Mayumi Hachinohe and Akiko Hachisuka, PERFORMANCE EVALUATION OF THE EQUIPMENT FOR MEASURING RADIOACTIVITY IN WHOLE FOODSTUFFS WITHOUT DESTRUCTIVE SAMPLE PREPARATION DEVELOPED AFTER THE FUKUSHIMA NPP ACCIDENT. *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 184, Issue 3-4, October 2019, Pages 355-358

#### F. 研究発表

##### 1. 論文発表

Takahiro Yamada, Katsumasa Furutaka, Mayumi Hachinohe, Akiko Hachisuka  
Applicability of non-destructive equipment for radioactivity

measurement to screening radio-  
cesium in foods

*Applied Radiation and Isotopes* 194  
110671-110671 2023 年 1 月

2. 学会発表  
(国際会議)

[1] Takahiro Yamada, Katsumasa  
Furutaka, Mayumi Hachinohe, Akiko  
Hachisuka

UNCERTAINTY DETERMINATION  
FOR SCREENING OF  
RADIOCESIUM IN FOODS  
WITHOUT SAMPLE PREPARATION  
PROCEDURE

the ICRM-LLRMT 2022, the 8th  
international conference on radionuclide  
metrology - low level radioactivity  
measurement techniques 2022 年 5 月 4 日

[2] Takahiro Yamada, Katsumasa  
Furutaka, Naoto Yamashita, Mayumi  
Hachinohe, Akiko Hachisuka

RESEARCH PROJECT ON THE  
DEVELOPMENT OF EVALUATION  
METHODS FOR INSPECTION  
SYSTEMS OF RADIOACTIVE  
MATERIALS IN FOODS

the ICRM-LLRMT 2022, the 8th  
international conference on radionuclide  
metrology - low level radioactivity  
measurement techniques 2022 年 5 月 4 日

(国内会議)

[1] 山田 崇裕、八戸 真弓、蜂須賀 暁子  
非破壊式放射能測定装置のまつたけ試料ス  
クリーニング検査への適用 第 58 回アイ  
ソトープ・放射線研究発表会 2021/7/7

[2] 古高克昌、山田 崇裕、三島 大輝 非  
破壊式放射能測定装置を用いた放射性セシ  
ウム測定における不確かさの検討 第 58  
回アイソトープ・放射線研究発表会  
2021/7/7

[3] 烏野沙和、山田崇裕、戸真弓、蜂須賀  
暁子ねまがりたけ中の放射性セシウム分布  
評価の検討 日本食品衛生学会第 117 回学  
術講演会 2021/10/27

[4] 古高克昌 三島 大輝、山田 純平、  
山田 崇裕 不定形状試料に対する大口徑  
γ線検出器の計数効率評価手法の検討 第  
3 回日本放射線安全管理学会・日本保健物  
理学会合同大会 2021/12/1

[5] 古高 克昌, 山田 崇裕 食品中の非破  
壊式放射能測定における計数効率の不確か  
さに関する検討 第 59 回アイソトープ・  
放射線研究発表会 2022/7/6

[6] 古高克昌, 崎山翔弥斗, 山田崇裕  
非破壊式放射能測定装置による野生きのこ  
測定における不確かさの要因分析  
第 4 回日本保健物理学会日本放射線安全  
管理学会合同大会 2022/11/25

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
なし
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし

表1 本研究に用いた市販の非破壊式放射能測定装置

装置名	形式	検出器の種類 及びサイズ	しゃへい 体	製造元
非破壊式放射能 測定装置	FF1	NaI(Tl) φ 5.08x5.08cm 7本	鉛 50mm	日栄工業(株)
そのままはかる NDA2	AFT- NDA2	NaI(Tl) φ 12.7x12.7cm	鉛 35~ 50mm	(株)アドフューテック
簡易検査装置	Hitz	CsI(Tl) φ 11.0 x 2.5cm	鉛 50mm	日立造船(株)
連続個別非破壊 放射能測定 システム	A01	NaI(Tl) φ 5.08x5.08cm 120本	鉛 50mm	千葉鉄工所(株)
連続個別非破壊 放射能測定 システム	A01S	NaI(Tl) φ 5.08x5.08cm 45ユニット1列	鉛 50mm	千葉鉄工所(株)

表2-1 非破壊式装置のスクリーニングレベル評価結果（野生きのこ）

	試料種別	FF1	AFT-NDA2
スクリーニングレベル指示値 Bq/kg	むきたけ	65	34
	なめこ	68	47
	ならたけ	64	46
スクリーニングレベル指示値 の濃度換算値 Bq/kg	むきたけ	66	44
	なめこ	63	53
	ならたけ	71	60

表2-2 非破壊式装置のスクリーニングレベル評価結果（皮付きたけのこ）

	試料種別	A01	A01S	FF1	AFT-NDA2
スクリーニングレベル 指示値 Bq/kg	ねまがりたけ	-	-	38	61
	孟宗竹	57	84	-	-
スクリーニングレベル 指示値の濃度換算値 Bq/kg	ねまがりたけ	-	-	45	72
	孟宗竹	55	72	-	-





図1 検体の写真撮影（上段：書画カメラ（ELMO・L-12W）と撮影スタジオ  
下段：試料正面写真（左）、同上面写真（右））

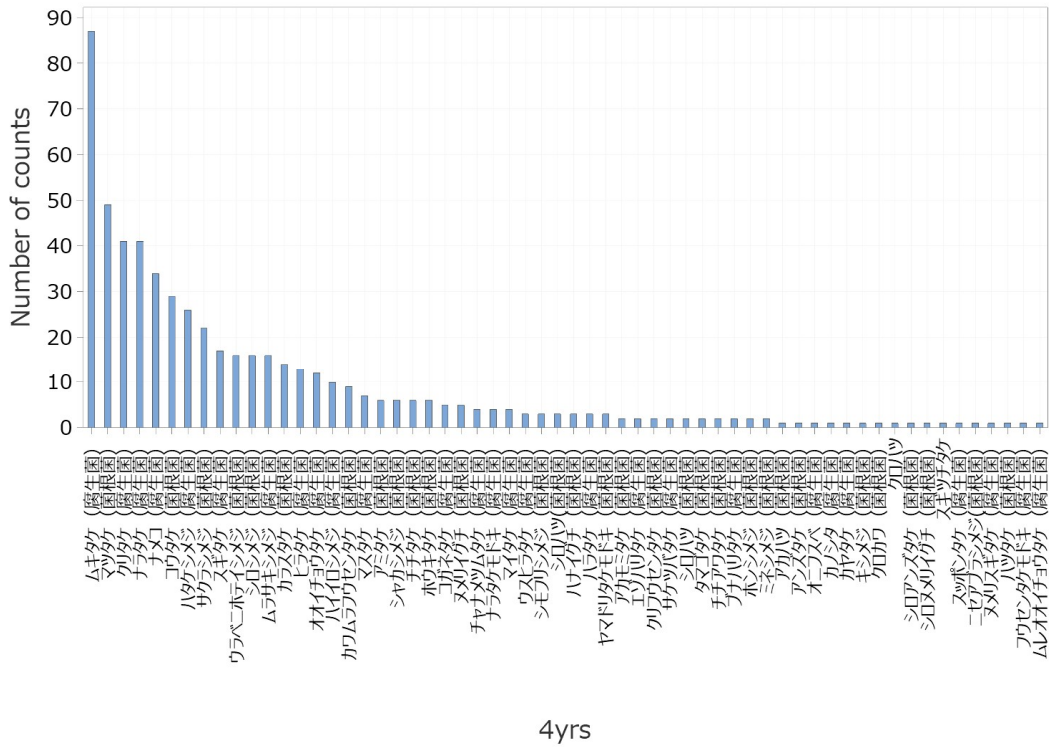


図2 測定に用いた野生きのこの種別と各検体数 (2019~2022 年度)

Distribution of activity concentration (2019-2022)

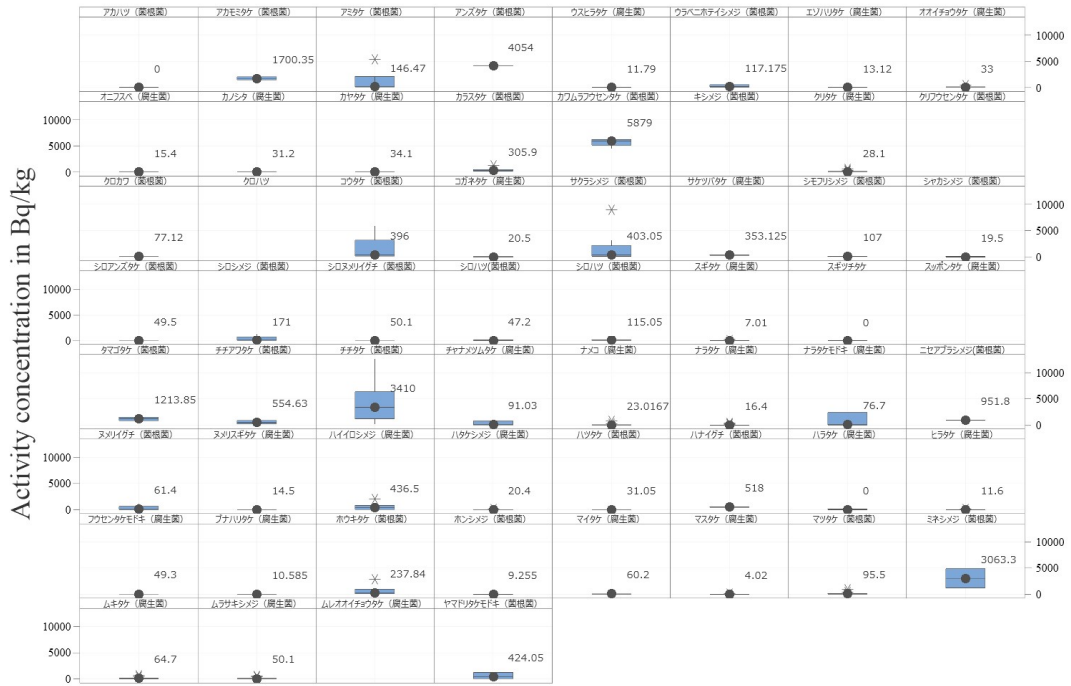


図3 測定に用いたきのこの種別毎の濃度分布(個別値のプロット) 数値は中央値

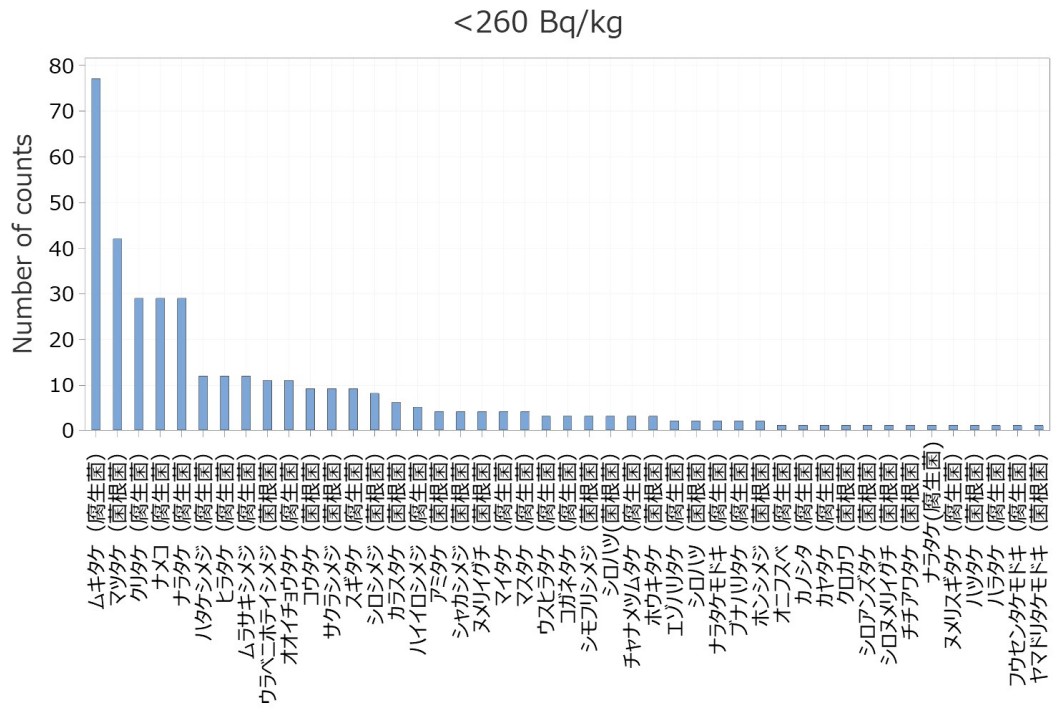


図4 測定に用いた 260Bq/kg 未満の野生きのこの種別検体数 (2019~2022 年度)



## Ⅱ. 分 担 研 究 報 告

食品中放射性物質濃度データの解析

中村 公亮

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)  
加工食品の輸出拡大に向けた規格基準設定手法の確立のための研究  
令和 2~4 年度 総合分担研究報告書

食品中放射性物質濃度データの解析

研究分担者 中村公亮 国立医薬品食品衛生研究所 食品部第五室長

研究要旨

近年、日本産の食品の輸出拡大が期待されている。しかしながら、2011 年に発生した福島第一原子力発電所の事故による放射性物質の汚染に関する懸念から、日本産食品に対する輸出先国の規制が始まり、未だ完全な規制の撤廃には至っていない。撤廃に結び付けるためには、全国から収集される検査データを解析し、その傾向を読み解き科学的エビデンスを提示して、日本産の食品の安全性についての情報を発信し続けることが重要である。また、原子力災害対策本部が決定したガイドライン「検査計画、出荷制限等の品目・区域の設定・解除の考え方」に従って、地方自治体において検査計画に基づいたモニタリング検査が行われているところであるが、モニタリング検査結果の推移や新たな科学的知見の集積、出荷制限等の解除事例の状況等を見極めつつ、検査等を合理的かつ効率的に実施するためにガイドラインの随時見直しが必要である。そこで本分担研究では、厚生労働省ホームページで公開された食品中の放射性セシウム( $^{134, 137}\text{Cs}$ )濃度の検査データ(以下、公開データと略す。)を解析し、得られた結果を考察した。令和 2 年度は、公開データから特に水産物について取り上げた。淡水魚については、年間約 1,900 件程度検査され、基準値の超過は継続的に報告されていたが、養殖魚は 2012 年の福島県産ドジョウ 1 件を最後に報告されていなかった。淡水魚における基準値を超過する検出率は、養殖魚で低く天然魚で高い傾向にあった。淡水域においては周辺環境に生息する生物を食することによる食物連鎖を通じた移行、海水域に関しては、底層に沈積した放射性物質の影響は低くなっている等の海外誌に近年掲載された学術論文の報告の内容と矛盾しない結果を示唆しており、近年の日本産の海産物、特に海水ならびに淡水の養殖魚の安全性は極めて高いことが推察された。令和 3 年度は、公開データの中から果実類ならびにそれらを加工した食品について取り上げた。果実類の多くは  $^{134, 137}\text{Cs}$  未検出と報告されており、2017 年に採取されたクリ 1 件を最後に生鮮果実類には基準値を超えるような報告はなかった。一方で、あんぼ柿、干し柿等の一部の果実類の加工食品には、2021 年にも基準値超過の報告があった。このことから、生鮮果実類に関しては、引き続き検査数の削減対象ではあるが、少なくとも、地方自治体の検査計画の中で検査対象品目に挙げられている、あんぼ柿、干し柿等の果実類の乾燥加工食品については、モニタリングを継続していく必要性が示唆された。令和 4 年度は、公開データの中から食品カテゴリが「その他」に報告された食品について取り上げた。2012~2022 年度までの全データ 2,614,842 件の内、「その他」に分

類された食品で基準値を超過 (>100 Bq/kg)したものは、乾燥キノコ、干し柿、あんぼ柿などの乾燥させた加工食品の計 250 件であった。これらの加工食品は、加工の過程で  $^{134,137}\text{Cs}$  が濃縮(令和 4 年度報告に 190~430 Bq/kg が報告)され、そのまま食するものが多く、このような食品のモニタリングを継続することは食の安全を確保していく上で重要と考えられた。

研究協力者:

千葉慎司 (国立医薬品食品衛生研究所)

木内隆 (国立医薬品食品衛生研究所)

## A. 目的

平成 23 年の東京電力福島第一原子力発電所事故によって生じた食品中放射性物質の検査は、原子力災害対策本部が決定したガイドラインに従って、地方自治体において検査計画に基づいたモニタリング検査が行われている。当該ガイドラインは、モニタリング検査結果の推移や新たな科学的知見の集積、出荷制限等の解除事例の状況等も見極めつつ、検査等を合理的かつ効率的に実施するために随時見直しが行われていることから、今後のガイドライン改定に向けて、現況の解析は引き続き必要である。また、日本産食品の輸出拡大が期待される中で、放射性物質の汚染に関する懸念から、日本産食品に対する輸出先国の規制がなされ、未だ完全な撤廃には至っていないことから、国内外に向けての現状の情報発信が重要である。本研究では、厚生労働省ホームページで公開されている食品中の放射性セシウム( $^{134,137}\text{Cs}$ )濃度の測定データを解析し、全国の検査機関から報告される食品中の放射性セシウム検査データを毎年度ごとに集積し、データを解析することで、放射性セシウム濃度の経時的変化、食品群間の変動、加工品中の放射性物質濃度等についての情報を得る。その中で、地方自治体において

行われているモニタリング検査をより効果的・効率的に実施するための検査計画の検討を行うこと、栽培/飼養管理が困難な品目と可能な品目における放射性セシウムの検出率、基準値超過率についての情報も収集し、ガイドライン改定による検査結果への影響を調べることを目的とする。

## B. 研究方法

1) 初年度(令和 2 年度)

### I. データ解析の方法

#### 1 データソース取得処理

##### 1.1 データソース取得方法

全国の自治体等から厚生労働省に報告された食品中の Cs 濃度検査結果は、厚生労働省 Web サイト “Levels of Radioactive Materials in Foods Tested in Respective Prefectures” に掲載されている月別検査結果を参照し、Cs 濃度の集計表 Excel ファイルから取得した。データは、上記 Web ページより各月ごとに Excel ファイルのダウンロード URL のリンクから取得したが、今回はプログラミング言語「Python3」に加えて Web 解析用ライブラリ「Beautiful Soup4」や HTTP 通信・URL 操作用ライブラリ「urllib3」を使用した Web サイトの構造解析および URL リンク要

素を抽出(以下 Web スクレイピングと呼ぶ)することによって全データファイルのダウンロードを実行した。

## 1.2 データソース取得用コンピューター環境の整備

データ解析用のローカルコンピューターのハードウェア構成は、「CPU: Intel(R) Core(TM) i5-6200U @ 2.30GHz(2コア4スレッド キャッシュサイズ 3MB)」、「メインメモリ: 16.0GB」、「OS: Windows 10 Pro (64bit)」を使用した。プログラムの実行環境は OS に Linux 系 OS のなかでも汎用性と扱いやすさを考慮し「Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」を採用し、プログラミング言語には高い汎用性と柔軟性に加えて扱いやすい機能が豊富なインタプリタ型のスクリプト言語「Python3 (バージョン 3.7.6 Ubuntu 版)」を採用した。プログラムの実行は、Python 環境仮想化管理ツール「pyenv (バージョン 1.2.20-5-g1ec3c6f1)」を導入した上で、科学計算向け Python 用オープンソースディストリビューション「Anaconda3 (バージョン 2020.02)」で環境を構築し、Python プログラムを実行した。Python 動作環境は Web 動作式対話型科学計算向け統合開発環境「Jupyter Notebook (バージョン jupyter 1.0.0, jupyter-client 5.3.4, jupyter-core 4.6.1)」およびその後継拡張環境「JupyterLab-Server(バージョン jupyterlab 1.2.6, jupyterlab-server 1.0.6)」を構築した。プログラムの実行はローカルコンピューターの Web ブラウザ「Mozilla Firefox」から「Jupyter Lab」を稼働し、「Jupyter Notebook」形式で実行した。追加 Python ライブラリには Web スクレイピング用ライブラリ「Beautiful Soup4 (バージョン 4.8.2)」、HTTP 通信・

URL 操作ライブラリ「urllib3 (バージョン 1.25.8)」を使用した。

## 1.3 データソース取得プログラム

データソース取得処理は、先ず準備として BeautifulSoup4, urllib3 の各種ライブラリを Python 上でインポートし、続けて変数の初期化を行った。準備終了後、厚生労働省の Web サイトから urllib3 ライブラリを使用して該当 URL へ HTTP 接続・Web ページの HTML の内容を読み込み、所定の変数へ格納した。HTML の内容を格納した変数から BeautifulSoup4 ライブラリを使用して Web スクレイピングを実行し、抽出した Excel ファイルのダウンロード URL を所定の変数へ格納した。このダウンロード URL を格納した変数から urllib3 ライブラリを使用して Excel ファイルのダウンロード・所定のフォルダへの保存を行った。最後のファイルまでダウンロードが完了した後、処理を終了した。

## 2 データ統合処理

### 2.1 データ統合処理の方法

データ統合処理フェーズでは、データソース取得フェーズで取得したデータファイルを統合・連結した。データファイルは、月毎の Excel ファイルに分割されているため、解析の前処理として Python 言語および Pandas (二次元の配列を index(行)と column(列)を割り振る)ことで、Python で Excel データシートのように操作した。このように作成した各月のファイルをデータフレームとして読み込み、データを統合し、合理的にデータ管理が可能な構造を構築した。

### 2.2 データ統合用コンピューター環境の整備



データ統合ならびに解析に使用したサーバーコンピュータは、「CPU: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 v3 @ 2.40GHz(6コア 12 スレッド キャッシュサイズ 15MB)」、「メインメモリ: 96GB」、「グラフィックボード: NVIDIA Corporation GM107GL [Quadro K620] (rev a2)」、「ストレージ: SSD 2,000GB」、「OS: Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」のハードウェア構成を使用した。ローカルコンピュータのハードウェア構成はデータソース取得フェーズのものを引き続き使用した。プログラムの実行環境は OS には汎用性と扱いやすさを考慮し、「Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」を、プログラミング言語には高い汎用性と柔軟性に加えて扱いやすい機能が豊富なインタプリタ型のスクリプト言語「Python3 (バージョン 3.7.6 Ubuntu 版)」を採用した。プログラムの実行は、Python 環境仮想化管理ツール「pyenv (バージョン 1.2.20-5-g1ec3c6f1)」を導入した上で、科学計算向け Python 用オープンソースディストリビューション「Anaconda3 (バージョン 2020.02)」で環境を構築し、Python プログラムを実行した。Python 動作環境は Web 動作対話型科学計算向け統合開発環境「Jupyter Notebook (バージョン jupyter 1.0.0, jupyter-client 5.3.4, jupyter-core 4.6.1)」およびその後継拡張環境「JupyterLab-Server (バージョン jupyterlab 1.2.6, jupyterlab-server 1.0.6)」を構築した。プログラムの実行は、ローカルコンピュータの Web ブラウザから「Jupyter Lab」を稼働し、「Jupyter Notebook」形式で実行した。追加 Python ライブラリには Excel データシートをデータフレームとして読み込みデータをインデックス(行)とカラム(列)による管理する

ことや、データフレームを CSV ファイルに出力するために Python 用データフレーム処理ライブラリ「Pandas (バージョン 1.1.3)」を導入して行った。

## 2.3 データ統合処理プログラム

データ統合処理プログラムは、先ず準備として Pandas の各種ライブラリをインポートし、続けて変数を初期化してから進めた。準備が済んだら各年初月の Excel ファイルを「pandas.read\_excel」メソッドを使用して各年毎の変数にデータフレームとして読み込んだ。次の月の Excel ファイルは、「pandas.read\_excel」メソッドを同様に使用してデータフレームとして読み込み、「pandas.append」メソッドを用いて年毎の変数へデータフレームを継ぎ足した。読み込んだデータのレコード数(行数)をカウントして各月の検体数として出力し、途中ファイルのない月があった場合、if 文による条件分岐処理を組み込むことでエラーを回避し、どの年月のファイルがないのかメッセージを出力表示した。以上の処理を最後の月まで for 文による繰り返し処理を組み込み実行し、さらに各年月の Excel ファイルの読み込みから最後の月まで for 文によって 2012 年から 2020 年まで繰り返し処理を実行、完了後一連の処理を終了した。

## 3 データ修正・前処理

### 3.1 データ修正・前処理の方法

データ修正・前処理フェーズでは、データ統合フェーズで各年毎に連結したデータの修正・前処理を行った。

### 3.2 データ修正・前処理用コンピュータ環

## 環境の整備

ハードウェア環境は 2 データ統合処理の際に使用した構成をそのまま採用した。プログラムの実行環境は OS には汎用性と扱いやすさを考慮し、「Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」を、プログラミング言語には高い汎用性と柔軟性に加えて扱いやすい機能が豊富なインタープリタ型のスクリプト言語「Python3 (バージョン 3.7.6 Ubuntu 版)」を採用した。プログラムの実行は、Python 環境仮想化管理ツール「pyenv (バージョン 1.2.20-5-g1ec3c6f1)」を導入した上で、科学計算向け Python 用オープンソースディストリビューション「Anaconda3 (バージョン 2020.02)」で環境を構築し、Python プログラムを実行した。Python 動作環境は Web 動作対話型科学計算向け統合開発環境「Jupyter Notebook (バージョン jupyter 1.0.0, jupyter-client 5.3.4, jupyter-core 4.6.1)」およびその後継拡張環境「JupyterLab-Server (バージョン jupyterlab 1.2.6, jupyterlab-server 1.0.6)」を構築した。プログラムの実行はローカルコンピュータの Web ブラウザ「Mozilla Firefox」から「Jupyter Lab」を稼働し、「Jupyter Notebook」形式で実行した。追加 Python ライブラリには Excel データシートをデータフレームとして読み込みデータをインデックス(行)とカラム(列)による管理や、データフレームを CSV ファイルに出力するために Python 向けデータフレーム処理ライブラリ「Pandas (バージョン 1.1.3)」を導入した。

### 3.3 データ修正・前処理プログラム

データ修正・前処理は、2 データ統合処理で生成したデータフレームを続けて使用した。また以下のメソッドおよび属性を使用した。

空白行など不要要素の削除する際に「drop」メソッドおよび「dropna」メソッドを使用した。必要なカラムを抽出する際に「loc」属性および「iloc」属性を使用した。数値型カラム内の文字列の削除や、誤表記などの文字列の置換する際に「replace」メソッドを使用した。また文字列を置換する際は「regex」引数を使用することで正規表現による文字列のパターンマッチングと完全一致および部分一致を組み合わせて特定の文字列の修正処理を行った。各検体を食品分類に分ける際などに「where」や「merge」といったメソッドを組み合わせて使用した。「Sampling Date」や「Results Obtained Date」といった文字列フォーマットとして認識された年月日項目を日付フォーマットへ変換する際に「pandas.to\_datetime」メソッドを使用した。また「Sampling Date」や「Results Obtained Date」「Press Release Date」といった日付データはサンプリングの時期やサンプリング担当者によって入力された書式が大きく異なるため、極力統一した書式に置き換えを行った。文字列として認識された数値項目は「pandas.to\_numeric」メソッドを使用して数値データへ変換した。空白欄など欠損した箇所は「pandas.fillna」メソッドを使用してデータを補完した。前処理によって整形したデータフレームは「pandas.pivot\_table」メソッドを使用して整合性の確認を行った。前処理の完了後、「pandas.to\_csv」メソッドによって CSV ファイルへ出力した。

## 4 データ集計

### 4.1 データ集計の方法

集計フェーズでは、前処理フェーズで年毎に処理後 CSV ファイルへ出力したデータ

を全て連結させて集計・解析を行った。全体の集計は、検査全体の検体数・流通品および非流通品・食品カテゴリ・確定数値および不確定数値の経年推移を集計した。また採取日(購入日)「**Sampling Date**」と結果判明日「**Results Obtained Date**」の差を計算することで、各検体の「**Sampling Date**」から「**Results Obtained Date**」までに要した日数などを算出し、データの整合性や解析不能データなどを集計・確認した。詳細集計として、食品カテゴリごとの基準値超過検体数・基準値超過検体のリストアップ・流通品および非流通品の検査数と基準値超過数の経年推移・基準値超過検体の食品分類の割合およびその経年変化・食品分類ごとの基準値超過品目の割合とその経年推移・主要な都道府県の食品分類ごとの基準値超過件数などを集計・解析を行った。<sup>134</sup>Cs と <sup>137</sup>Cs の合計の基準値超過における評価項目である『**exceed action levels**』は Cs 基準値超過の評価基準が時期によって異なるため、『食品カテゴリ』から「飲料水」且つ「Cs total」値が 10 を超過した検体または、「牛乳・乳児用食品」且つ「Cs total」値が 50 を超過した検体または、「畜産物」または「農産物」または「水産物」または「野生鳥獣肉」または「その他」且つ「Cs total」値が 100 を超過した検体を『**Exceed**』項目を追加し集計した。

各検体の食品カテゴリについて明確にするため、「畜産物」「水産物」「農産物」「野生鳥獣肉」「その他」を「一般食品」、「牛乳・乳児用食品」と「飲料水」の 3 つのカテゴリに分類し、各検体の情報について「食品カテゴリ\_2」の項目を追記した。食品分類の基準は、「月報作成ルール 201016.xlsx」ファイルの「食品分類」シートを参考に、データフレーム

に「食品分類」項目を各検体の追加属性として付け加え、不要データ削除後、再集計を行った。また都道府県を地域区分に分類し各検体の属性として付け加えた。地域区分の基準は、「総務省 | 政策統括官(統計基準担当) | 地域別表章に関するガイドライン」に記述されている「別紙 地域ブロック区分の主な類型」より「類型 I」を参考に、データフレームに「地域区分」項目を追加情報として加えた。

また、本研究に限り、基準値超過件数は一般食品は 100 Bq/kg 以上、牛乳・乳児用食品は 50 Bq/kg 以上、飲料水は 10 Bq/kg 以上と定義し、プログラムを用いて抽出ならびに集計を行った。

#### 4.2 データ集計用コンピューター環境の整備

プログラムの実行環境は OS には扱いやすさを考慮して「Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」を採用し、プログラミング言語には高速且つ柔軟な計算処理能力に加えて扱いやすさを考慮して数学・統計解析向けプログラミング言語「R 言語 (R version 4.0.3 [2020-10-10])」を採用した。環境は構築の簡便さと再現性を考慮してコンテナ型仮想環境管理プラットフォーム「**Docker**」を導入した。**Docker** コンテナは **Docker Hub** から **RStudio** 向けイメージ「**rocker/rstudio**」を採用、これをベースにコンテナを構築した。R 言語実行環境は「**Docker**」上で「**rocker/rstudio**」のコンテナから **Web** 動作式 R 言語向け統合開発環境「**RStudio Server (Version 1.3.1093)**」を構築した。プログラムの実行はローカルコンピューターの **Web** ブラウザ「**Mozilla Firefox**」から「**RStudio Server**」を稼働し、「**R Notebook**」形式で実行した。追加パッケージには、デ

ータフレーム高速計算処理用パッケージ「dplyr(バージョン 1.0.2)」、データ整形用パッケージ「tidyr(バージョン 1.1.2)」、日付処理用パッケージ「lubridate(バージョン 1.7.9)」、文字列処理用パッケージ「stringr(バージョン 1.4.0)」、高速且つ柔軟なテーブル読み込みパッケージ「readr(バージョン 1.4.0)」を導入した。

#### 4.3 データ集計プログラム

データ集計フェーズでは、まず下準備として RStudio 上の変数を初期化し、作業ディレクトリの確認および設定、「dplyr」「tidyr」「ggplot2」「lubridate」「stringr」「knitr」「readr」「extrafont」の各種パッケージの読み込みを行った。下準備完了後、データ修正・前処理フェーズで整形・出力した CSV ファイルを「readr」パッケージで各年毎に読み込み、rbind 関数で連結した。Cs 濃度などの数値フォーマットのデータが文字列フォーマットとして認識されることがあるため「as.numeric」関数を使用して型変換を行った。その他『都道府県』『流通品/非流通品』『食品カテゴリ』『食品カテゴリ 2』『食品分類』『Inspection instrument』『地域区分』『exceed action levels』のカテゴリ変数の項目を「as.factor」関数を使用して要素の因子化を行った。データ連結・データ型変換・要素の因子化などの作業が完了した状態から、「subset」関数および「filter」関数に正規表現を組み合わせたデータの抽出、「group\_by」関数による要素のグループ化、「summarise」「spread」「count」「xtabs」といった R 関数に加えて、Excel ピボットテーブルなどを一部組み合わせてクロス集計を行った。

## 5 解析・可視化

### 5.1 解析・可視化の方法

解析・可視化フェーズでは、集計フェーズで行った集計結果を元にデータを解析、グラフへ出力・可視化した。

### 5.2 解析・可視化コンピューター環境の整備

プログラムの実行環境は OS には扱いやすさを考慮して「Ubuntu20.04.1 LTS (Focal Fossa)」を採用し、プログラミング言語には高速且つ柔軟な計算処理能力に加えて扱いやすさを考慮して「R 言語(R version 4.0.3 [2020-10-10])」を採用した。環境は構築の簡便さと再現性を考慮して「Docker」を導入した。Docker イメージは Docker Hub から「rocker/rstudio」を採用した。R 言語実行環境は「Docker」上で「rocker/rstudio」のコンテナから「RStudio Server (Version 1.3.1093)」を構築し、「R Notebook」上で実行した。追加パッケージには、データフレーム高速計算処理用パッケージ「dplyr(バージョン 1.0.2)」、データ整形用パッケージ「tidyr(バージョン 1.1.2)」、グラフ描画用パッケージ「ggplot2(バージョン 2 3.3.2)」、テーブル処理用パッケージ「knitr(バージョン 1.30)」、日本語 TrueType フォント対応用パッケージ「extrafont(バージョン 0.17)」を導入した。

### 5.3 解析・可視化プログラム

解析・可視化は、データ集計フェーズで計算した集計結果から解析・可視化を行った。「ggplot2」パッケージを使用して 2012 年から 2020 年までの「Results Obtained Date」と「Cs total」から「geom\_point」関数を使用して散布図を作成した。Cs 濃度基準値超過件数の分布は「geom\_histogram」関数からヒスト

グラムを作成した。検出した Cs 濃度の検出値の分布は「geom\_violin」関数からバイオリンプロットを年毎に作成した。Cs 濃度の基準値超過件数は年・流通品および非流通品・食品分類・品目などに分け「bar\_plot」を極座標表示で出力することで円グラフを作成した。

## 2) 第二年度(令和3年度)

### 1. データソースの取得

全国の自治体等から厚生労働省に報告された食品中の<sup>134,137</sup>Cs濃度検査結果は、厚生労働省 Web サイト“東日本大震災関連情報”で2012年4月から2022年3月までに公表された“月別の検査結果”の Excel ファイルから入手した。

### 2. データの集計

取得したデータは、CSV ファイルへ出力し集計した。データの集計は、検査全体の検体数・流通品および非流通品・食品カテゴリ・確定数値および不確定数値の経年推移を対象に行った。「Sampling Date」と「Results Obtained Date」の差を計算することで、各検体の「Sampling Date」から「Results Obtained Date」までに要した日数などを算出し、データの整合性や解析不能データなどを集計・確認した。詳細な集計として、食品カテゴリごとの基準値超過検体数・基準値超過検体のリストアップ・流通品および非流通品の検査数と基準値超過数の経年推移・基準値超過検体の食品分類の割合およびその経年変化・食品分類ごとの基準値超過品目の割合とその経年推移・主要な都道府県の食品分類ごとの基準値超過件数などを集計・解析を行った。<sup>134</sup>Cs と<sup>137</sup>Cs を合計した値『Cesium total』の基準値超過における評価項目である『exceed action levels』は Cesium 基準値超過の評

価基準が時期によって異なるため、『食品カテゴリ』から「飲料水」且つ「Cesium total」値が 10 Bq/kg を超過した検体または、「牛乳・乳児用食品」且つ「Cesium total」値が 50 Bq/kg を超過した検体または、「畜産物」または「農産物」または「水産物」または「野生鳥獣肉」または「その他」且つ「Cesium total」値が 100 Bq/kg を超過した検体を『Exceed』項目を追加し集計した。

各検体の食品カテゴリについて明確にするため、「畜産物」「水産物」「農産物」「野生鳥獣肉」「その他」を含む「一般食品」、「牛乳・乳児用食品」と「飲料水」の3種類に分類した。食品分類の基準は、「月報作成ルール201016.xlsx」ファイルの「食品分類」シートを参考に、データフレームに「食品分類」項目を各検体の追加属性として付け加え、不要データ削除後、再集計を行った。また都道府県を地域区分に分類し各検体の属性として付け加えた。地域区分の基準は、「総務省 | 政策統括官(統計基準担当) | 地域別表章に関するガイドライン」に記述されている「別紙 地域ブロック区分の主な類型」より「類型 I」を参考に、データフレームに「地域区分」項目を追加情報として加えた。

放射性セシウムの検出の定義は、<sup>134</sup>Cs と<sup>137</sup>Cs の濃度の和が 25 Bq/kg 超であるものとした。また、基準値超過件数は一般食品で 100 Bq/kg 超、牛乳・乳児用食品で 50 Bq/kg 超、飲料水で 10 Bq/kg 超と定義し、プログラムを用いて機械的に抽出ならびに集計した。集計は、データフレームに付け加えた「食品分類」項目から『果実類(種実類含む)』のデータを抽出し、さらに「品目名」項目のうち『リンゴ』『ナシ』『カキ』『クリ』『カキ』『ユズ』『モモ』『ウメ』のデータを抽出して行った。ここから「都道府県」項目のうち『全ての都道府県』および『福島県』『栃木県』『宮城

県』『青森県』『千葉県』『山形県』『群馬県』『茨城県』『山梨県』『静岡県』『徳島県』を抽出、「検査数」「検出数」「基準値超過数」および「検出率」「基準値超過率」の集計データを作成した。集計は、Rを用いて行った。

### 3) 最終年度(令和4年度)

#### 1. データソースの取得

全国の自治体等から厚生労働省に報告された食品中の<sup>134,137</sup>Cs濃度検査結果は、厚生労働省 Web サイト“東日本大震災関連情報”で2012年4月から2023年3月までに公表された“月別の検査結果”のExcelファイルから入手した。

#### 2. データ解析の方法

取得したデータは、プログラミング言語Pythonによってデータの前処理を行った後、CSVファイルへ出力し集計・解析した。

データの集計は、検査全体の検体数・流通品および非流通品・食品カテゴリ・確定数値および不確定数値の経年推移を対象に行った。「Sampling Date」と「Results Obtained Date」の差を計算することで、各検体の「Sampling Date」から「Results Obtained Date」までに要した日数などを算出し、データの整合性や解析不能データなどを集計・確認した。詳細な集計として、食品カテゴリごとの基準値超過検体数・基準値超過検体のリストアップ・流通品および非流通品の検査数と基準値超過数の経年推移・基準値超過検体の食品分類の割合およびその経年変化・食品分類ごとの基準値超過品目の割合とその経年推移・主要な都道府県の食品分類ごとの基準値超過件数などを集計・解析を行った。<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csを合計した値『Cesium total』の基準値超過における評価項目である『exceed action levels』はCesium基準値超

過の評価基準が時期によって異なるため、『食品カテゴリ』から「飲料水」且つ「Cesium total」値が10 Bq/kgを超過した検体または、「牛乳・乳児用食品」且つ「Cesium total」値が50 Bq/kgを超過した検体または、「畜産物」または「農産物」または「水産物」または「野生鳥獣肉」または「その他」且つ「Cesium total」値が100 Bq/kgを超過した検体を『Exceed』項目を追加し集計した。

各検体の食品カテゴリについて明確にするため、「畜産物」「水産物」「農産物」「野生鳥獣肉」「その他」を含む「一般食品」、「牛乳・乳児用食品」と「飲料水」の3種類に分類した。食品分類の基準は、「月報作成ルール201016.xlsx」ファイルの「食品分類」シートを参考に、データフレームに「食品分類」項目を各検体の追加属性として付け加え、不要データ削除後、再集計を行った。また都道府県を地域区分に分類し各検体の属性として付け加えた。地域区分の基準は、「総務省 | 政策統括官(統計基準担当) | 地域別表章に関するガイドライン」に記述されている「別紙 地域ブロック区分の主な類型」より「類型 I」を参考に、データフレームに「地域区分」項目を追加情報として加えた。

放射性セシウムの検出は、<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの濃度の和が25 Bq/kg超であるものとして定義した。また、基準値超過件数は一般食品で100 Bq/kg超、牛乳・乳児用食品で50 Bq/kg超、飲料水で10 Bq/kg超と定義し、解析はオープンソースの統計解析ソフトウェアR言語を用いて機械的に抽出ならびに集計・解析を行った。

データソースのExcelファイルにおいて「食品カテゴリ」項目は、「農産物」「畜産物」「水産物」「牛乳・乳児用食品」「野生鳥獣肉」「飲料水」「その他」の7カテゴリに分類されている平成24年度から令和4年度まで全デ

ータ合計 2,614,842 件のうち、「その他」カテゴリに含まれる 74,999 件の食品についてデータを抽出した。サンプル毎の報告年度は、「採取日(購入日)」「結果判明日」「厚労省公表日」を参照した。「採取日(購入日)」を優先し、その記載のないサンプルについては「結果判明日」、それでも記載のないサンプルは「厚労省公表日」を参照した。報告年度から年度毎の報告数を合算し、それらの放射性セシウム検出率・基準値超過率を算出した。都道府県別の解析は、「産地」項目の「都道府県」項目から報告数・放射性セシウム検出率・基準値超過率を算出した。算出された結果の確認は、「食品カテゴリ」をグルーピングし、各カテゴリに含まれる食品分類件数・品目件数・サンプル数合計・カテゴリごとのサンプル数の割合をクロス集計することで行った。

### C. 研究結果及び考察

令和 2 年度:

厚労省ホームページで公開されている食品検体の<sup>134,137</sup>Cs濃度に関するデータ(2012年4月～2020年8月、計2478048検体)を解析したところ、Ge 半導体測定機器で検査し基準値 100 Bq/kg を超過した「一般食品」は 5455 件、基準値 10 Bq/kg を超過した「飲料水」は 13 件が含まれていた。「牛乳・乳児用食品」の基準値 50 Bq/kg を超過した報告は含まれていなかった。「飲料水」に関しては、基準値超えは 2012 年中に報告されたものであった。また、本研究の集計結果からも流通品の基準値超過率が低いことから、流通前の検査により、高濃度に放射性セシウムを含む食品が効果的に流通から排除され、我が国の監視体制が機能していることが改めて示された。

基準値を超えて報告のあった「一般食品」の中の水産物に焦点を絞って解析を試み、国内の水産物の放射性セシウムの検査について改善すべき方向性を検討したところ、基準値超過した海産物の報告は 2015 年の 4 検体を最後に報告はなかった。これは、海に流出した放射性セシウムが希釈され、遠海魚においては、底生魚に比べ放射性物質の蓄積量は事故後に急激に減少し、近年は、海産物(底層)においても希釈により汚染物の影響が減少している報告を支持する結果であった。しかしながら、2016 年以降も年間 11,953～17,133 件の海産物の検査報告がなされていた。検査数に関しては、改善する余地が残されていると考えられた。

淡水の水産物の基準値超過が報告された場所について考察した結果、これまでに基準値超過の報告のあった 9 県(栃木、福島、茨城、岩手、宮城、群馬、千葉、埼玉、神奈川)の内、2019 年には福島県と群馬県からのみ報告がなされていた。しかしながら、これら 2 県以外に、過去に出荷制限を指示された自治体及びその隣接自治体から産出された水産物の放射性物質の検査結果が 15 県から報告されていた。

淡水の養殖以外の水産物は、継続的な出荷制限措置のため、重点的に検査を継続すべきである一方で、海水の養殖以外の水産物は、基準値超過の検体は稀であることから、近年、検査報告数は減少傾向にあるものの、検査コストも考慮し、リスクに見合った検査数の削減も可能であることが示唆された。

令和 3 年度:

公開データの中から、果実類の<sup>134,137</sup>Cs

濃度の検査データを抽出し、抽出したデータを経時的に解析した。解析データを基に、検査された果実類の食品の種類、検体の採取場所、<sup>134,137</sup>Cs の検出数、基準値超過数ならびに検出率、基準値超過率について解析した。近年に報告された生鮮果実に関するデータの多くは、<sup>134,137</sup>Cs 未検出であった。2020年1月～12月、2021年1月～12月ならびに2022年1月～3月に採取された<sup>134,137</sup>Cs が検出された生鮮果実は、それぞれ2種類(クリ1件、ギンナン1件)、4種類(クリ2件、ユズ3件、カキ2件、ナツハゼ1件)、0種類(0件)であった。基準値を超過した生鮮果実類の報告はない一方で、基準値を超過した果実類の加工食品は、カキとウメを原材料にしたもの(干し柿75件[報告された最終採取日2021年9月20日]、あんぼ柿39件[報告された最終採取日2021年9月15日]、梅干し3件[報告された最終採取日2013年1月31日]、梅の漬物1件[報告された最終採取日2013年5月14日])であった。<sup>134,137</sup>Cs が検出され続けている生鮮果実類の加工食品の加工の方法によっては、加工後の食品に<sup>134,137</sup>Cs が濃縮され、基準値超過となる可能性は考えられる。このような生鮮果実類ならびにそれらを加工した食品を含めモニタリングを継続する必要があるのではないかと思われる。

公開データの中で報告数1千件を超えた果実類は、9品目(リンゴ、ナシ、カキ、ブドウ、ウメ、モモ、クリ、ユズ、ブルーベリー)であった。その内、基準値超過した報告は、ユズ、クリ、ミカン、ウメ、ブルーベリーの5品目であった。基準値超過した生鮮果実は、2017年9月に採取された緊急時モニタリングの結果の報告(福島県産非流通のクリ)以降なかった。2020年～2022年に報告された<sup>134,137</sup>Cs が検出された生鮮果実はクリ、ギンナン、ユズ、カ

キ、ナツハゼであった。<sup>134,137</sup>Cs の汚染に関する実態調査を行い、十分な安全性が担保されれば、近年基準値の超過の報告のない生鮮果実(例えばウメ)の検査数の削減は可能ではないかと思われる。

東京電力福島第一原子力発電所事故1年目に除染作業の一環として実施されたカキ樹体の高圧洗浄処理は、樹皮表面の放射線量や葉中及び果実中の放射性Cs濃度を低下させ、その低減効果は処理数年後も持続することが報告されている。また、表土剥土等による放射性Cs除去の有効性についてもこれまでに学術論文等で報告されている。果実類は、数年以上栽培した草本植物または木本植物から食用として食べられるものと定義されており、農場の放射性物質の除染が科学的に確認され、適切に栽培管理されている果樹から生産される果実類については、新たな放射性物質の沈着の恐れがない限り放射性物質が検出される可能性は低いのではないかと思われる。

令和4年度:

2012年4月から2023年3月までに厚労省に全国から報告された放射性セシウム検査データから、食品カテゴリ「その他」の情報を抽出し解析を行った。その結果、「その他」項目には多種多様な食品を対象とした検査結果が含まれており、全国的に検査報告数は減少傾向にあった。放射性セシウムの濃度として基準値100Bq/kgを超過し報告された「その他」食品は、柿とシイタケを乾燥または粉末にさせた加工食品であった。100Bq/kgを超過した水産物は、2012年に報告された天然の淡水魚を加工した「クチボソ(モツゴ)から揚げ」に限られた。

「その他」項目の加工方法について見て



みると、乾燥・粉砕で基準値を超えたものが多い。特に、除染が行き届いていない場所で収穫された柿、アシタバ、オヤマボクチ、シイタケ、トチ、マイタケ、モツゴ、ヤーコン、桑などを加工した食品に、基準値を超過し報告されやすい傾向にあることが示唆された。干し柿などの乾燥させた食品については、そのまま喫食するため、このような食品については、食の安全を確保するため、引き続き調査は必要と考えられた。

「その他」に含まれる食品については、報告された情報の質について見極める必要がある。報告された情報には、多くの場合、産地、加工工程(例えば、非可食部のヘタ、皮、表皮等からの深度の除去、洗浄の方法、調理加工の方法など)に関する詳細は、不明であることが多いなど、雑多なデータを含んでいることから、データの統計解析は不可能と判断された。

#### D. 結論

日本における<sup>134,137</sup>Csの水質汚染は、近年は魚に蓄積するほど濃度は高くない。淡水域においては周辺環境に生息する生物を食することによる食物連鎖を通じた移行、海水域に関しては、底層に沈積した放射性物質の影響は低くなっていることが報告されている。本研究からも海産物、特に養殖魚の安全性は極めて高いことが示唆された。

2020年1月～2022年3月に採取された生鮮果実類の中で<sup>134,137</sup>Csが検出されたものは、ギンナン、クリ、ユズ、カキ、ナツハゼであった。基準値超過した生鮮果実類の報告はない一方で、基準値を超過した果実類の加工食品(干し柿、あんぼ柿)は、近年においても報告されている。公開データは、放射性物質の汚染の実態を直接結び付けるための科

学的な情報は乏しいため、本研究結果のみから合理的かつ効率的な検査方法への見直しについて結論を導き出すのは難しいが、生鮮果実類に関しては、引き続き検査数の削減対象ではあるが、少なくとも、地方自治体の検査計画の中で検査対象品目に挙げられている、あんぼ柿、干し柿等の果実類の乾燥加工食品については、モニタリングを継続していく必要性が示唆された。

公開データのうち、食品カテゴリ「その他」で報告されている食品は、多種多様なものが含まれていた。農産物、水産物等の生鮮以外の加工食品の多くは「その他」として報告されており、乾燥キノコや干し柿、あんぼ柿などの乾燥した果物等に基準値を超えるものが、近年においても報告されていた。加工の過程で<sup>134,137</sup>Csが濃縮され、そのまま食するものも報告されており、このような食品のモニタリングを継続することは食の安全を確保していく上で重要と考えられた。今後のデータ活用につなげるためには、「その他」として報告される情報の収集の方法にも、継続的に指針を示す必要がある。

#### E. 研究発表

##### 1. 論文発表

Nakamura, K., Chiba, S., Kiuchi, T., Nabeshi, H., Tsutsumi, T., Akiyama, H., Hachisuka, A.. Comprehensive analysis of a decade of cumulative radiocesium testing data for foodstuffs throughout Japan after the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, PLOS ONE, 17, e0274070, 2022

##### 2. 学会発表

1. 中村公亮、千葉慎司、秋本智、蜂須賀暁

子、穉山浩:2019 年産日本産食品を対象とした放射性核種(セシウム、ストロンチウム、プルトニウム)の濃度測定と諸外国が設定したその基準値との比較、日本薬学会 第 141 年会、2021 年 3 月 26 日(金)~29 日(月)、広島、オンライン開催

2. 千葉慎司、中村公亮、鍋師裕美、堤智昭、蜂須賀暁子、穉山浩:食品中の放射性セシウムに関する公開検査データに基づく日本産水産物の現状について、日本食品化学学会 第 27 回 総会・学術大会、2021 年 6 月 10 日(木)~6 月 11 日(金)、川崎市

3. 千葉慎司、中村公亮、木内隆、鍋師裕美、堤智昭、蜂須賀暁子、穉山浩:果実とそれらを加工した食品に関する公開放射性セシウム検査データの経時的变化、日本食品化学学会 第 28 回 総会・学術大会、2022 年 5 月 19 日(木)~20 日(金)、東京

F. 知的財産権の出願・登録状況

なし



## Ⅱ. 分 担 研 究 報 告

食品中放射性物質等の実態調査

蜂須賀 暁子

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）

食品中の放射性物質検査システムの評価手法の開発に関する研究（20KA1010）

令和2年度～令和4年度 総合研究報告書

食品中放射性物質等の実態調査

研究分担者 蜂須賀暁子

国立医薬品食品衛生研究所生化学部主任研究官

食品からの内部被ばくは、事故で放出されたセシウム等の人工核種よりも天然核種由来のものの方が大きく、水産物の摂取量が多い我が国においてはポロニウム 210 の影響が大きいことがこれまでの研究により示唆されている。しかし、その推定被ばく線量はデータ数が少なく、実態は不明であることから、ポロニウム 210 の摂取量調査をマーケットバスケット試料により行った。まず、測定方法として、放射能測定法シリーズ記載の $\alpha$ 線測定法および衛生試験法注解等を参考にし、カラム分離の有無について比較検討した。両者で良好な相関が認められ、カラム分離なしでも測定可能なことが示唆された。次いで食品群ごとのポロニウム 210 濃度測定値から、摂取量を算出し、被ばく線量を推定した。食品中のポロニウム 210 濃度測定の結果、食品群としては魚介類で高く、喫食量をかけ合わせた摂取量から算出された預託実効線量は 0.3-0.5 mSv/y 程度となり、そのうちの約 8 割が魚介類に由来した。この魚介類の喫食量は全体として減少傾向にあり、また若年者で少ないことから、現在の国民一人あたりのポロニウム 210 からの内部被ばく線量の公称値とされる値 (0.73 mSv/y) よりも低い可能性が示唆された。より正確な食品中ポロニウム 210 のリスク評価を行うには、魚介類を主とした品目別、産地別、喫食部位別の放射能濃度および年齢別の喫食量等の詳細なデータに基づく調査研究が必要である。

研究協力者 片岡 洋平

国立医薬品食品衛生研究所生化学部第一室長

曾我 慶介

国立医薬品食品衛生研究所生化学部第二室主任研究官

**A. 研究目的**

平成 23 年 3 月 11 日の東京電力福島第一原子力発電所事故により、放射性核種や化学物質が環境中に放出されて食品に移行したことは、食品衛生上の大きな問題となった。事故後は半年ごとに、人工核種である放射性セシウム、放射性ストロンチウムおよびプルトニウムの食品からの内部被ばくに

についての調査報告が厚生労働省の HP に公表されており、それによると、環境中への飛散量から最も影響が懸念される放射セシウムにおいても、基準値である年間 1 mSv の 0.1%程度と推定されている。一方で、食品には天然の放射性核種も含まれており、原子力施設等からの人工核種の影響を正しく評価するためにも、天然核種の状況を把握

しておくことは重要である。平成 29 年度からの震災に起因する食品中の放射性物質ならびに有害化学物質の実態に関する研究」において、原子力災害による汚染実態と近年の食品に含まれる放射性核種に関する文献調査を行い、人体に影響が大きい放射性核種として考慮すべき核種等を探索し、我が国においては天然放射性核種ポロニウム 210 による内部被ばく量が世界平均と比べて高く、人工放射性核種よりも寄与が大きいことを示してきた。そこで本研究では、流通する食品のポロニウム 210 の放射能濃度を測定し、喫食量データおよび実効線量係数を用いて食品からのポロニウム 210 の被ばく線量を算出し(図 1)、それらについて考察する。令和 2 年度は 2 地域、令和 3 年度は 4 地域の食品について調査検討を行ったが、令和 4 年度は、さらに地域数を増やして調査し、また、新たな分析手法も含めて、検討した。

## B. 研究背景

国連科学委員会報告 (UNSCEAR 2008 report) によれば、自然放射線源から受ける世界一人あたりの平均年間線量は 2.4 mSv とされ、そのうち食物摂取に伴う被ばく線量は 0.29 mSv であり、核種としては主にカリウム 40 とポロニウム 210 を含むウラン系列核種が挙げられている(表 1)。日本における一人あたりの自然放射線からの年間被ばく線量は、原子力安全研究協会の「生活環境放射線」によれば、1992 年版では 1.48 mSv、2011 年版では 2.09 mSv、2021 年版でもその値が引継がれ 2.1 mSv となっている。そのうち食物摂取に伴う被ばくは 0.98 mSv と見積もられており、その根拠は太田らの報告<sup>1)</sup>による食品中ポロニウム 210 から 0.73 mSv、鉛 210 から 0.058 mSv である。

食品からの内部被ばくは、従来は事故等における人工核種が注目されていたが、平

常時では天然核種の方が影響が大きいことから、国際原子力機関 (IAEA) は 2017 年以来、国連食糧農業機関 (FAO) 及び世界保健機関 (WHO) と協働し、食品中の放射線量の管理に向けた科学に基づく国際ガイダンスを各国当局に提供するプロジェクトに取り組んできており、その取りまとめ文書が昨年末に発出された (IAEA-TECDOC-2011、Safety Reports Series 114)。これらの報告書においても、平常時の飲食物からの内部被ばくでは人工核種より天然核種の方が影響が大きく、中でもポロニウム 210 の寄与が大きいとされている。

ポロニウムは、酸素と同じ第 16 属に属する元素番号 84 の元素で、全ての同位体が放射性であり、安定同位体は存在しない。同位体のうち、半減期が 1 日以上のもは、ポロニウム 208 (半減期 2.9 年)、ポロニウム 209 (半減期 102 年)、ポロニウム 210 (138 日) の 3 核種であり、いずれも  $\alpha$  崩壊をする。ポロニウム 210 はウラン系列(図 2)に属する天然放射性核種であることから生活環境に広く存在し、 $\alpha$  崩壊して安定核種である鉛 206 に変わるが、 $\alpha$  線以外の放射線をほとんど放出しないため、人体への影響としては内部被ばくが問題となる。人体には、飲食物からの摂食やタバコの喫煙からポロニウム 210 を直接取り込むほか、ウラン系列の上流の核種の摂取(例えばラドン 222 の吸入)により取り込まれる。

## C. 研究方法

### 1) 食品試料

食品モデル試料として、国民健康・栄養調査(平成 30 年度)を参考に食品を 13 種類(米・米加工品、米以外の穀類、砂糖・菓子類、豆類、果物類、緑黄色野菜、その他の野菜・きのこ類・藻類、嗜好飲料類、魚介類、肉類、乳類、調味料、飲料水)に分類し、分類ごとに混合・均一化した混合試料を用い

た。

## 2) 放射能標準溶液

ポロニウム 209 (半減期: 102 年) 標準硝酸溶液と鉛 210 (半減期: 22.2 年) 標準硝酸溶液は Eckert&Ziegler 社製を購入した。

## 3) 食品中ポロニウム 210 の $\alpha$ 線分析

既報<sup>2)</sup>および衛生試験法・注解 2020 を参照し、食品試料中の有機物を硝酸で湿式分解したのち、キレート抽出クロマトグラフィーによりポロニウムを分離し、電気分解によりステンレス鋼板上にポロニウムを析出し、その  $\alpha$  線を測定した。カラム分離を行わない場合は、湿式キレート抽出クロマトグラフィーを省略して操作した。

### ・湿式分解

食品生試料 10 -100 g をビーカーに取り、内部標準物質ポロニウム 209 硝酸標準溶液 (0.04 Bq 相当)、硝酸を加えて一晚漬け置きした後、ホットプレート上で 120°C まで加熱した。硝酸 30 mL と過酸化水素水 1 mL を加え、乾固する操作を褐色の気体発生がなくなるまで繰り返した。湿式分解終了後に、6M 塩酸 10 mL を加え乾固直前まで加熱濃縮した。

### ・カラム分離

カラム分離を行う場合は乾固直前の試料に 4M 塩酸 20 mL を加えて加熱・懸濁し、0.45 nm のメンブレンフィルターでろ過した。抽出カラムは Sr/Spec Resin 50-100  $\mu\text{m}$  (Cartridges-2 ml、Eichrom Technologies 社) を使用し、4M 塩酸 20 mL を予め通液後、試料ろ過液を負荷した。4M 塩酸 20 mL で洗浄後、8M 塩酸 20 mL で鉛を溶出させ、次いで 6M 硝酸 4 mL を通液後、6M 硝酸 20 mL で溶出した。溶出液を乾固直前まで加熱濃縮し、6M 塩酸 10 mL を加え、乾固直前まで加熱濃縮した (ポロニウム塩化物フォーム)。

### ・電着

ステンレス板 ( $\Phi 24.5$  mm、薄さ 1.0 mm、東京光電社) 上にポロニウムを析出させる

ために、テフロン製の電解セルの底にステンレス板 (陰極) を固定し、アスコルビン酸飽和溶液 1ml を入れ、ついで 0.5M 塩酸 5 mL で溶解したポロニウム塩化物フォームの乾固直前試料を加えた。白金電極 (陽極) を電極間距離 5 mm に調整し、電解分析装置 ANA-2 (東京光電社) を用いて 2 時間通電した。電着後のステンレス板は、純水とアセトンで洗浄後、自然乾燥させて測定試料とした。

### ・ $\alpha$ 線測定

ポロニウムを電着したステンレス板を、450 mm<sup>2</sup> シリコン半導体検出器 PIPS (ミリオンテクノロジー・キャンベラ社) を用いて 86,400 秒間測定し、 $\alpha$  線スペクトロメトリを行った。データ解析には Genie 2000 spectroscopy system software (ミリオンテクノロジー・キャンベラ社) を使用した。

ポロニウム 210 の放射能濃度及びその統計誤差を以下の式を用いて算出した。

$$A_{Po} \pm \Delta A_{Po} = n_{Po} \cdot \frac{D}{n_{add}} \cdot \frac{1000}{W} \pm \Delta A_{Po} \sqrt{\left(\left(\frac{\Delta n_{Po}}{n_{Po}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n_{add}}{n_{add}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(D)}{D}\right)^2\right)}$$

ただし、 $A_{Po}$  および  $\Delta A_{Po}$ : ポロニウム 210 放射能およびその統計誤差 (Bq/kg)、 $n_{Po}$  および  $\Delta n_{Po}$ : ポロニウム 210 の正味計数率およびその統計誤差 (cps)、 $D$  および  $\Delta D$ : 添加したポロニウム 209 の放射能およびその統計誤差 (Bq)、 $n_{add}$  および  $\Delta n_{add}$ : ポロニウム 209 の正味計数率およびその統計誤差 (cps)、 $W$ : 試料重量 (g) である。検出限界値 (LOD) は、 $A_{Po} = 3\Delta A_{Po}$  とした。LOD 以下となった不検出 (ND) の測定値は、LOD の半分 (LOD/2)、0、LOD の 3 種類で計算した。放射能濃度はカラム分離日、および試料調製日に減衰補正した。

## D. 研究結果・考察

### 1) 食品中ポロニウム 210 濃度

#### ・分析条件の検討

以前の検討（平成 29 年度～令和元年度厚労科学研究）を踏まえ、既報<sup>2)</sup>および衛生試験法 2020 を参考に分析条件を決定した。内部標準には、ポロニウム 210 の  $\alpha$  線（5.304 MeV）とエネルギー差が大きいポロニウム 209（4.883 MeV）を用いた。試料量は、操作性と感度（目標検出下限値 0.02Bq/kg）を考慮して 25 g を標準とし、予想される食品中ポロニウム濃度および喫食量、組成等を参考に増減した。すなわち、十分に検出可能と予想される魚介類は 10 g、喫食量が多い米類、飲料水は 100 g とした。なお、食品群のうち、ポロニウム 210 が低濃度と予想される油脂類は測定対象から除外した。湿式分解条件は、操作性から、硝酸と過酸化水素水による湿式分解とし、加熱は揮発による損失を避けるため 130°C 以下で行った。

酸分解液中のポロニウムを金属板へ沈着させる前のカラム分離の影響について検討した。以前の検討（平成 29 年度～令和元年度厚労科学研究）において、カラム分離をせずに直接ステンレス板に電着する簡便な手法が、NIST 試料および流通食品試料で良好な結果を示していたため、本課題でも、その手法について検証を重ねた。令和 3 年度は 3 地域（ただし、魚介類は 9 地域）について、不検出と予想される飲料水を除く 12 食品群について全 86 試料で、令和 4 年度は同様に 5 地域（ただし、魚介類は 9 地域）について全 80 試料でカラム分離の有無による測定結果を比較した。

全 166 試料のうち、両測定法で共に検出されたものが 96 試料となった。魚介類の 38 試料は全て 1.6 Bq/kg 以上、魚介類以外の試料は 0.2 Bq/kg 以下となり、食品

試料群による濃度領域の違いが見られたものの、カラム処理の有無による回帰直線を求めたところ、傾きは 0.9956、切片は 0.003、相関係数  $R^2$  は 0.99 と、良好な相関が見られた。

#### ・食品中ポロニウム 210 濃度

線量評価のための食品中ポロニウム 210 濃度算出にあたっては、カラム処理有りの方法を用いた。10 地域、13 食品群（ただし、地域 CD は嗜好飲料、乳類、飲料水を除く 10 食品群）、2 併行の測定結果を図 3 に示す。測定試料の放射能濃度は、壊変系列の上流核種からの影響を分断した時点であるカラム分離日に減衰補正した。魚介類が 2-15 Bq/kg で最も高く、ついで、調味料、その他の野菜・きのこ類・藻類、が 0.1-1 Bq/kg 程度であり、それ以外の食品群は不検出～0.2 Bq/kg 程度であった。

次に、カラム分離日より前となる、試料調製日のポロニウム 210 濃度を同様に減衰補正により算出した。試料調製日から測定日までが数ヶ月あったため、試料調製日に補正した値はカラム分離日の約 2.6 倍（1.4～4.5）となった。カラム分離日におけるポロニウム 210 は、食品調製日においてポロニウム 210 であった場合と、親核種である鉛 210 から壊変により生じた場合が考えられるが、ここでは全てポロニウム 210 からとして減衰補正しているため、鉛 210 の寄与が大きい場合は過大評価していることになることに注意が必要である。

### 2) 喫食量

食品群別試料の濃度から被ばく線量推定を行う場合には、食品中濃度と同様に食品群別の喫食量データも重要である。喫食量データには、国民健康・栄養調査の結果が一般的に用いられる。なお、国民健康・栄養調査では食品の摂取を摂取量としているが、本報告書内では食品の摂取



は喫食量、ポロニウム 210 の摂取を摂取量と記載する。令和元年度までの国民健康・栄養調査によると、総数（1 歳以上）の食品群別喫食率では、年次ごと若干の変動はあるものの、喫食量の多い食品群の上位 3 群は、嗜好飲料類、穀類、野菜類の順で変わらず、この 3 群で毎年約 65% となっている。食品中ポロニウムの濃度が高かった魚介類の喫食量について、年齢別に示したものが図 4 である。全年齢層でこの 25 年間、減少傾向にあること、高齢者の方が魚介類の喫食量が多い傾向にあることが読み取れる。

### 3) 実効線量係数

ICRP が Publication 72 で示している公衆のポロニウム 210 の実効線量係数 ( $\mu$  Sv/Bq) は、3 ヶ月児、1 歳、5 歳、10 歳、15 歳、成人で、各々 26、8.8、4.4、2.6、1.6、1.2 であり、離乳食前の 3 ヶ月児を除くと、同じ桁に収まる値となっている。ポロニウム 210 は半減期が 138 日であり、実効線量係数は、摂取後 1 年以降は変わらなくなっている。

### 4) 内部被ばく線量推定

実測した食品群中のポロニウム 210 の濃度を、不検出を LOD/2 として試料調製日に減衰補正して求め、2019 年度の国民健康・栄養調査の喫食量データを用いて 1 日あたりのポロニウム 210 の摂取量を算出した。ポロニウム 210 の放射能濃度 (Bq/kg) が高い食品群は魚介類であったが、それに喫食量 (g/d) をかけ合わせたポロニウム 210 の摂取量 (Bq/d) においても比率が高いのは魚介類であり、全体の 8 割程度 (10 地域平均  $80.2 \pm 5.9\%$ ) となった。今回、油脂類の測定値がないが、過去の報告からポロニウム 210 摂取量への寄与率は低いと考えられる。魚介類以外の食品群の寄与率は、その他の野菜・きのこ類・藻類が約 6% となっており、それ以外

の食品群は 4% 以下となった。ポロニウム 210 はウラン系列に属する天然核種であることから食品全般に存在すると考えられるが、その濃度は、上述したように魚介類で高く、それ以外の食品群は低く、喫食量の多い米が低濃度であったことから、食品群ごとの寄与率として魚介類が突出した。

ポロニウム 210 の摂取量から内部被ばく線量を算出した 8 地域の結果を表 2 に示す。ポロニウム 210 の預託実効線量係数は公衆成人の  $1.2 \mu$  Sv/Bq を用いた。ポロニウム 210 が不検出となった場合の処理法として 3 とおり (LOD/2、0、LOD) の計算値を示すが、それらに大きな差はなかった。カラム分離日換算 (表 2 A) では、ポロニウム 210 の 1 日の摂取量が 0.6 Bq 程度、年間摂取量が 220 Bq 程度、預託実効線量が 0.3 mSv/y 程度となり、試料調製日換算 (表 2 B) では、ポロニウム 210 の 1 日の摂取量が 1.1 Bq 程度、年間摂取量が 410 Bq 程度、預託実効線量が 0.5 Sv/y 程度となった。この値は、今回測定しなかった食品群からの寄与 (過小評価)、および鉛 210 の影響 (過大評価) により、変動すると予想される。前者については、魚介類に比較してそれ以外の食品のポロニウム濃度は総じて小さいこと推測される。後者については、鉛 210 の量および試料購入からカラム分離日までの時間に依存する。すなわち、試料調製日 (購入日) からカラム分離日までの日数が 0 日であれば、ポロニウム 210 の測定値に鉛 210 は影響しないが、カラム分離日までの日数が長くなり、鉛 210 の量が多くなるほどポロニウム 210 の測定値への影響は大きくなる。太田ら<sup>1)</sup>によれば、食品中からの摂取量はポロニウム 210 が 610 Bq/y、鉛 210 が 85 Bq/y と報告されていることから、この比率で存在していた場合、試料調製

日からカラム分離日までの経過日数が100日、200日、300日の場合は、各々9%、24%、48%の過大評価となる。経過日数が200日、300日の場合は、割合が19.2%、32.4%、今回、6地域（ABE-F）の測定における試料調製からカラム分離までは平均164日、2地域（NO）では平均130日であったことから、鉛210がこの割合で存在する場合は、試料調製日に減衰補正した値は1-2割過大評価となっている可能性がある。表2Aのカラム分離日からの算出では、カラム分離日までの減衰補正が行われていないため過小評価、表2Bの試料調製日からの算出では、鉛210による過大評価となっているため、実際の被ばく線量は、表2Aと2Bの間にあると考えられる。

日本のポロニウム210の摂取量についての報告内容を表3に示す。UNSCEAR 2000 Reportによると、世界平均で58 Bq/y、国・地域別で18-220 Bq/yとなっており、日本はそれらの最大値となっている。各論文の報告値では数値のバラツキが大きいが、杉山ら<sup>3)</sup>の年間摂取量120-670 Bqが全体像を網羅していると考えられる。これは、全国7地域のマーケットバスケット調査で、各地の1日摂取量は0.34-1.84 Bqと報告されており、算術平均を求めると0.67 Bq/d（240 Bq/y）となる。

太田ら<sup>1)</sup>は137種類の食品から9核種の被ばく線量を報告しているが、そのうちのポロニウム210については、年間の摂取量610 Bq、その預託実効線量は0.73 mSvで、そのうち魚介類の寄与は86%としている。調査した魚介類は27試料で、ポロニウム210の濃度は0.02-120 Bq/kgと4桁に渡っており、これらの値から魚介類全体の濃度を算出し、摂取量を推定している。線量推定計算の喫食量は2002年度の国民健康・栄養調査の結果を用いて

いるが、前述したように魚介類の喫食量は近年、減少しており、現在では当時の7割強となっていることから、喫食量の側面から、内部被ばく線量は低下してきていると予想される。

この太田ら<sup>1)</sup>の報告値に基づき、食品中ウラン壊変系列からの被ばく線量の合計0.80 mSv/y（ポロニウム210：0.73 mSv/y、鉛210：0.058 mSv/y、ラジウム226：0.012 mSv/yほか）が、表1に示したように「生活環境放射線 第3版」に引用され、事实上、公称値として扱われている。

国民一人あたりの平均内部被ばくを評価するためには、食品からの摂取量情報が必要である。前述したように、ポロニウム210はウラン壊変系列に属する天然核種であることから、地球上に広範囲に存在し、ほぼ全ての食品に含まれていると考えられるが、その濃度分布には偏りがあり、魚介類で高いことが本研究も含めて報告されている。このことから摂取量調査としては、陰膳試料よりもマーケットバスケット試料を用いて食品群の寄与率を求め、寄与率の高い食品群の食品品目を精査していく手法が適していると考えられる。マーケットバスケット試料からの摂取量調査手法では、食品中濃度と喫食量の情報が必要である。寄与率が高い魚介類だけを取り出してもその食品種類は多く、国民健康・栄養調査でも10種に分類されており、農林水産省の水産物流通調査では80以上に分類されている。また、ポロニウム210の親核種であるウラン238の環境中の濃度分布は幅広く、例えばその影響を受けている飲料水中のウラン238は7桁に及ぶ濃度分布がUNSCEAR 2008 reportで報告されていることから、子孫核種であるポロニウム210の環境中の濃度も幅広いことが予想される。魚介類は生育環境、特に海水の影響が

大きいと考えられるが、魚介類の個体中においてもポロニウム 210 の分布は一様でなく、内臓（肝、中腸線）で高いことが知られている。さらに、放射性物質では預託実効線量係数が年齢に依存する。これらのことから、食品からのポロニウム 210 の摂取量を求めるためには、食品品目、産地、喫食部位別の放射能濃度および年齢別の喫食量の詳細なデータに基づく調査研究が必要である。その際、上流核種である鉛 210 の影響についても考慮する必要がある。

## E. 結論

有事の人工放射性核種からの危険度を判断するためには、有害事象の知識だけでなく、平常時の状態を正確に把握していることも重要である。放射線リスク評価においては人工放射性核種だけでなく天然放射性核種からの影響も調べておく必要がある。食品からの内部被ばくは、事故で放出されたセシウム等の人工核種よりも天然核種由来のものの方が大きく、水産物の摂取量が多い我が国においてはポロニウム 210 の影響が大きいことがこれまでの研究により示唆されている。しかし、その推定被ばく線量はデータ数が少なく、実態は不明であることから、ポロニウム 210 の摂取量調査をマーケットバスケット試料により行った。その結果、食品中ポロニウム 210 から算出された預託実効線量は 0.3-0.5 mSv/y 程度となり、このうちの約 8 割が魚介類に由来した。現在の国民一人あたりのポロニウム 210 からの内部被ばく線量の公称値とされる値は 0.73 mSv/y となっているが、この算出根拠時点よりも魚介類の喫食量が減少していることや今回の推定値から、0.73 mSv/y よりも低い可能性が示唆された。親核種であるウランの環境中の分布に偏り

があること、食品中のポロニウム 210 の濃度分布が幅広いこと、摂取量において寄与率の高い食品群である魚介類を構成する食品の種類が多いこと、魚介類の個体内においても濃度分布に偏りがあること、魚介類の喫食量に年齢差があること、預託実効線量係수에年齢区分があることから、より正確な食品中ポロニウム 210 のリスク評価を行うためには、魚介類を主とした食品別、産地別、喫食部位別の放射能濃度および年齢別の喫食量等の詳細なデータに基づく調査研究が必要であり、今後の課題と考えられる。

## F. 参考文献・資料

### 1. 参考図書、参考データ

- ・平成 29 年度～令和 2 年度 厚生労働科学研究補助金 食品の安全確保推進研究事業「食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の開発に関する研究」分担研究報告書「食品中放射性物質等有害物質濃度データ調査」
- ・アイソトープ手帳 12 版 日本アイソトープ協会編（2020）
- ・衛生試験法・注解 2020、公益社団法人日本薬学会編（2020）
- ・国民健康・栄養調査 厚生労働省 [https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou\\_eiyou\\_chousa.html](https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyou_chousa.html)
- ・生活環境放射線（国民線量の算定）、原子力安全研究協会編（1992）
- ・新版 生活環境放射線（国民線量の算定）第 2 版、原子力安全研究協会編（2011）
- ・新版 生活環境放射線（国民線量の算定）第 3 版、原子力安全研究協会編（2021）
- ・日本食品標準成分表 2020 年版（八訂）文部科学省 [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/syokuhinseibun/mext\\_01110.html](https://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/mext_01110.html)
- ・ICRP Publication 72. Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake

- of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients. (1995)
- UNSCEAR 2000 Report, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
  - UNSCEAR 2008 Report, Sources and Effects and of Ionizing Radiation, Vol. I, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
  - IAEA-TECDOC-2011. Exposure Due to Radionuclides in Food Other Than During a Nuclear or Radiological Emergency, 2022  
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TECDOC-2011web.pdf>
  - Safety Reports Series 114. Exposure due to Radionuclides in Food Other Than During a Nuclear or Radiological Emergency. Part 1: Technical Material. 2021  
[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/53/004/53004342.pdf?r=1](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/53/004/53004342.pdf?r=1) (preprint)
2. 論文
1. Ota T, Sanada T, Kashiwara Y, Morimoto T, Sato K. (2009) Evaluation for committed effective dose due to dietary foods by the intake for Japanese adults. *Jpn J Health Phys.* 44:80-88
  2. Miura T, Hayano K, Nakayama K. (1999) Determination of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  in environmental samples by alpha ray spectrometry using an extraction chromatographic resin. *Analytical sciences* 15:23-28
  3. Sugiyama H, Terada H, Isomura K, Iijima I, Kobayashi J, Kitamura K. (2009) Internal exposure to  $^{210}\text{Po}$  and  $^{40}\text{K}$  from ingestion of cooked daily foodstuffs for adults in Japanese cities. *J Toxicol Sci.* 34:417-425
  4. Yamamoto M, Sakaguchi A, Tomita J, Imanaka T, Shiraishi K. (2009) Measurements of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in total diet samples: Estimate of dietary intakes of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  for Japanese. *J Radioanal Nucl Chem.* 279:93-103
  5. Ohtsuka Y, Kakiuchi H, Akata N, Takaku Y, Hisamatsu S. (2013) Daily Radionuclide Ingestion and Internal Radiation Doses in Aomori Prefecture, Japan. *Health Phys.* 105:340-350
- G. 研究発表
1. 論文発表
    - 1) Nabeshi H, Hachisuka A, Matsuda R, Teshima R, Akiyama H, Tsutsumi T: Uncertainty determination in the screening of radio-caesium in foods without a sample preparation procedure. *Food Additives & Contaminants: Part A*, (2022)  
[doi.org/10.1080/19440049.2022.2129099](https://doi.org/10.1080/19440049.2022.2129099)
  2. 学会発表
    - 1) 曾我慶介、近藤一成、蜂須賀暁子：食品中の天然放射性核種ポロニウム 210 の実態と文献調査。フォーラム 2020 衛生薬学・環境トキシコロジー、名古屋 (2020.9.4)
    - 2) 蜂須賀 暁子, 曾我 慶介, 小室 朋子, 近藤 一成：食品中の天然放射性核種ポロニウム 210 からの被ばく線量推定。フォーラム 2021 衛生薬学・環境トキシコロジー、千葉 (2021.9.10)
    - 3) 蜂須賀暁子, 曾我慶介, 小室朋子, 近藤一成：食品中の天然放射性核種ポロニウム 210 からの被ばく線量推定-2。フォーラム 2021 衛生薬

- 学・環境トキシコロジー、なし  
2022. 8. 31 (熊本) ポスター
- 4) 鍋師裕美、前田朋美、張天齊、蜂須賀暁子、堤智昭：流通食品中の放射性セシウム濃度調査 (2021 年度). 第 59 回全国衛生化学技術協議会年会、2022. 10. 31 (川崎)
  - 5) H. Nabeshi, T. Tsutsumi, M. Imamura, Y. Uekusa, S. Takatsuki, T. Maeda, K. Nakamura, A. Hachisuka, R. Matsuda, R. Teshima, H. Akiyama: Estimation of annual committed effective dose of radioactive cesium in Japan after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: Market basket study from 2013 to 2019. ICRP 2021+1, 2022.11.7-10 (バンクーバー) ポスター
  - 6) 鍋師裕美、張天齊、蜂須賀暁子、堤智昭：マーケットバスケット方式による放射性セシウム及びストロンチウム 90 の預託実効線量の推定 (2020 年調査). 日本食品衛生学会 第 118 回 学術講演会, 2022. 11. 11 (長崎) ポスター
  - 7) 蜂須賀暁子、曾我慶介、小室朋子、片岡洋平、近藤一成：食品中放射性物質からの内部被ばく線量についての考察. 日本薬学会第 142 回年会、2022. 3. 28 (札幌) ポスター

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

表1 自然放射線源から受ける一人あたりの年間線量

被ばく線源	年実効線量 (mSv/y)		
	世界平均* (典型的範囲)	日本**	日本***
宇宙放射線－直接電離および光子成分	0.28		
－中性子成分	0.10		
宇宙線生成放射性核種	0.01		
<b>宇宙線と生成核種の合計</b>	<b>0.39 (0.3～1.0)</b>	<b>0.29</b>	<b>0.3</b>
外部大地放射線－屋外	0.07		
－屋内	0.41		
<b>屋外と屋内の合計</b>	<b>0.48 (0.3～0.6)</b>	<b>0.38</b>	<b>0.33</b>
吸入被ばく－ラドン (Rn-222)	1.15		0.37
－トロン (Rn-220)	0.10		0.09
－喫煙 (Pb-210、Po-210 など)			0.006
－他のウランおよびトリウム系列	0.006		0.006
<b>吸入摂取被ばくの合計</b>	<b>1.26 (0.2～10)</b>	<b>0.59</b>	<b>0.47</b>
食品摂取被ばく－カリウム K-40	0.17		0.18
－ウランおよびトリウム系列 うち Po-210、Pb-210	0.12		0.80 0.788
－炭素 14			0.014
－トリチウム			0.0000082
<b>経口摂取被ばくの合計</b>	<b>0.29 (0.2～0.8)</b>	<b>0.22</b>	<b>0.99</b>
<b>合計</b>	<b>2.4 (1～13)</b>	<b>1.48</b>	<b>2.1</b>

出典データ

\*世界平均 UNSCEAR 報告書 (2008 年)

\*\*日本平均 原子力安全研究協会「生活環境放射線」(1992 年)

\*\*\*日本平均 原子力安全研究協会「生活環境放射線 第3版」(2020 年)

(原子力安全研究協会「新版 生活環境放射線」(2011 年)と同じ)

表 2 A 食品中ポロニウム 210 からの被ばく線量推定 (カラム分離日換算)

地域	ポロニウム210摂取量 (Bq/d)			ポロニウム210摂取量 (Bq/y)			ポロニウム210預託実効線量 (mSv/y)		
	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD
A	0.32	0.32	0.33	119	118	120	0.14	0.14	0.14
B	0.40	0.40	0.41	148	147	149	0.18	0.18	0.18
E	0.54	0.51	0.57	197	187	209	0.24	0.22	0.25
F	1.09	1.07	1.11	397	389	406	0.48	0.47	0.49
G	0.56	0.54	0.59	206	199	214	0.25	0.24	0.26
H	1.02	1.01	1.05	372	368	382	0.45	0.44	0.46
N	0.56	0.56	0.57	205	203	207	0.25	0.24	0.25
O	0.41	0.40	0.39	150	145	143	0.18	0.17	0.17
平均	0.61	0.60	0.63	224	219	229	0.27	0.26	0.27

表 2 B 食品中ポロニウム 210 からの被ばく線量推定 (食品調製日換算)

地域	ポロニウム210摂取量 (Bq/d)			ポロニウム210摂取量 (Bq/y)			ポロニウム210預託実効線量 (mSv/y)		
	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD
A	0.70	0.69	0.72	255	254	262	0.31	0.30	0.31
B	1.03	1.02	1.05	376	374	382	0.45	0.45	0.46
E	1.21	1.16	1.26	440	425	461	0.53	0.51	0.55
F	1.38	1.35	1.42	504	492	519	0.60	0.59	0.62
G	0.73	0.70	0.77	268	255	283	0.32	0.31	0.34
H	2.45	2.41	2.52	893	881	921	1.07	1.06	1.11
N	0.83	0.82	0.84	303	300	306	0.36	0.36	0.37
O	0.60	0.59	0.59	221	214	214	0.27	0.26	0.26
平均	1.12	1.09	1.15	408	399	419	0.49	0.48	0.50

食品全 13 群の測定値より不検出を LOD/2、0、LOD として算出したときの各濃度、20 歳以上の喫食量、預託実効係数：公衆成人の 0.0000012 Sv/Bq を用いて算出

表3 ポロニウム210の摂取量調査

国	摂取量 (Bq/y)	預託 実効線量 (mSv/年)	調査方法	調査期 間	備考	文献
日本	610	0.73	137種類の 食品	1989- 2005		1) Ota T et al., Jpn. J. Health Phys., 44:80-88(2009)
日本	120 -670	0.15 -0.81	153-174種 類/地域の 食品を用い たトータルダイ エットステ ィ	2007- 2008	調査地域：札幌、仙 台、新潟、横浜、大 阪、高知、福岡	3) Sugiyama H et al., J. Toxicol. Sci., 34:417-425(2009)
日本	220	0.053 [0.26*]	陰膳 240 試 料	1990- 1992	調査地域：石川	4) Yamamoto M et al., J Radioanal Nucl Chem 279:93-103(2009)
日本	190 -470	0.23-0.57	陰膳 80 試料	2006- 2010	調査地域：青森 加重平均 194 Bq/y →0.23 mSv/y	5) Ohtsuka Y et al., Health Phys 105:340-350 (2013)
世界 (日本)	58 (220)	→0.07 (→0.26)			世界各国： 18-220 Bq/y →0.02-0.26 mSv/y	UNSCEAR 2000 report

\* 論文の中では ICRP Pub68(1994)の預託実効係数  $2.4E-07$  Sv/Bq を使用して 0.053 mSv となっているが、ICRP Pub72(1995)の  $1.2E-06$  Sv/Bq で計算すると 0.26 mSv となる。



1日摂取量 (Bq/日) =  $\Sigma$  [食品群ごとの濃度 (Bq/g) × 食品群ごとの喫食量 (g/日)]

各群試料中のポロニウム 210 濃度(Bq/g)に、該当群の1日喫食量(g/日)を乗じ、その食品群ごとの値を足し合わせて、1日に摂取する量(Bq/日)を算出する。

1日摂取量 (Bq/日) × 365 (日/年) × 預託実効線量係数(Sv/Bq) = 1年あたりの預託実効線量(Sv/年)

算出した一日摂取量に 365 を乗じて、1年に摂取する量(Bq/年)とし、さらにポロニウム 210 の預託実効線量係数(Sv/Bq)を乗じて、1年当たりの預託実効線量(Sv/年)を求める。

図1 食品中ポロニウム 210 の被ばく線量評価

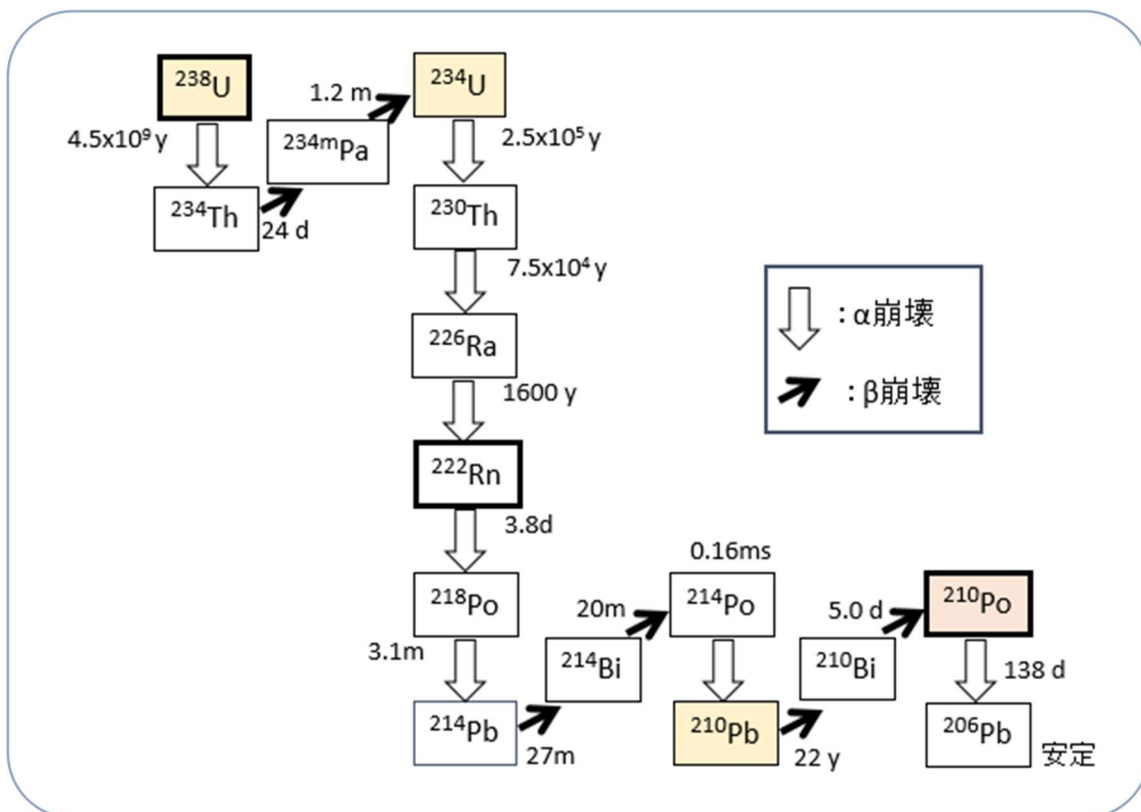


図2 ウラン壊変系列図

$4.5 \times 10^9$  y 等は矢印の反応の半減期を示す

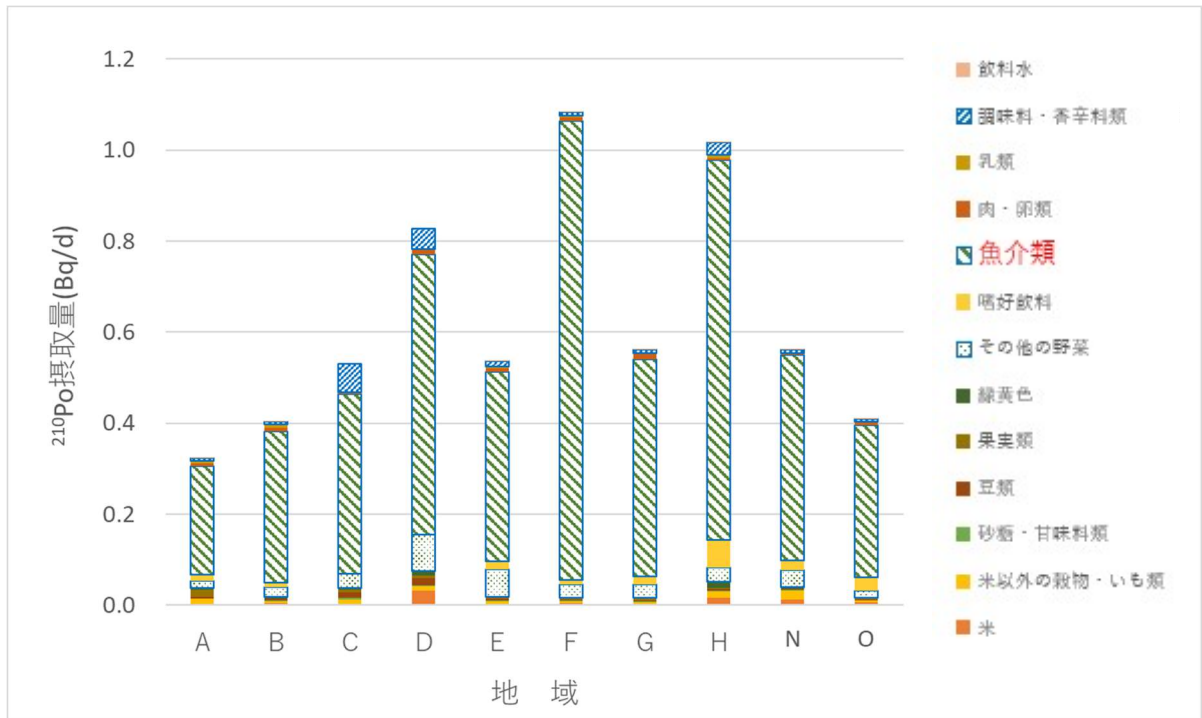


図3 ポロニウム 210 の一日摂取量 (カラム分離日換算、ND=LOD/2)

各地域は油脂類を除く 13 群を測定。ただし、地域 CD は、嗜好飲料、乳類、飲料水を除く 10 群による。

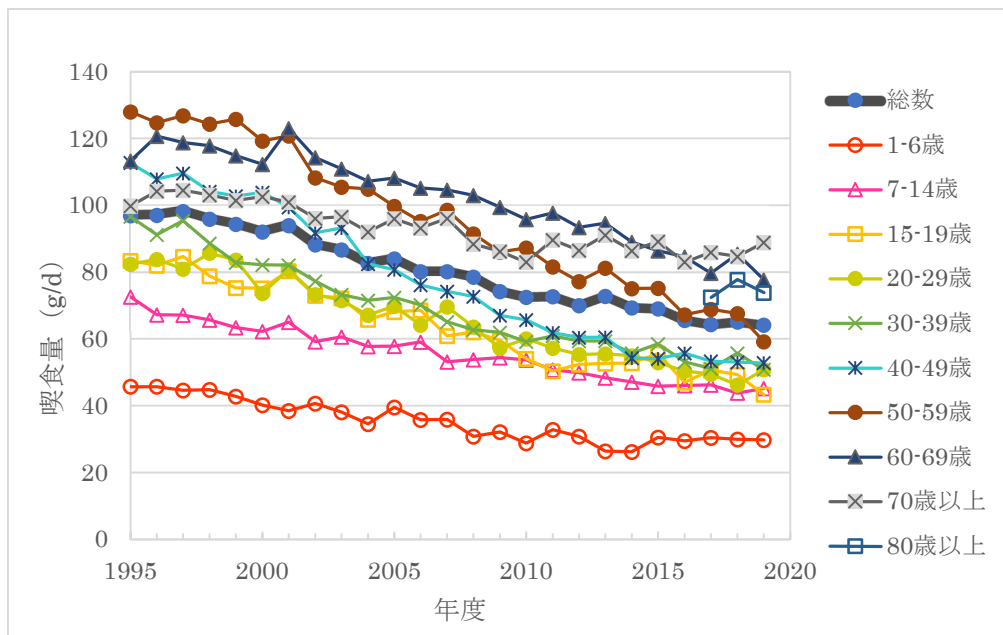


図4 魚介類喫食量の経時変化 (年齢別)

## Ⅱ. 分 担 研 究 報 告

消費者への食品検査及び安全性情報伝達方法に関する検討

畝山智香子

厚生労働科学研究費事業費補助金 食品の安全確保推進研究事業  
食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の開発に関する研究  
(20KA1101)

令和2～4年度 総合研究分担報告書

研究分担課題：消費者への食品検査及び安全性情報伝達方法に関する検討

研究分担者 畝山智香子

国立医薬品食品衛生研究所安全情報部

要旨 平成23年3月の東京電力福島第一原子力発電所事故により、放射性物質が環境に放出されて食品にも移行した。その後食品中の放射性物質に関して新たに基準が設定され、国内外で検査が行われ、膨大な数の検査データが得られている。事故から約10年が経過し、これまでのデータからは現在市場に流通している食品にほとんど放射性物質は検出されていないことが示されていて、適切なリスク管理の視点から検査体制の見直しが検討課題となっている。一般の消費者に食品検査の状況が周知されているとは言い難く、いまだに被災地への風評被害が問題となっていて処理水の放出に関するニュースで風評の再燃が懸念されている。この課題ではこれまで「食品の基準値」に関する一般的認識を調査し、放射性物質の基準以前に食品の基準値の意味が理解されていないことを明らかにしてきた。今回も継続して食品の基準値の理解と食品安全意識についての調査を行った。放射性物質に限らず、食品中の望ましくない物質とその基準値の設定に関する理解度が、食品安全への信頼と関連する可能性を見いだした。食品にゼロリスクを要求することと食品安全への不安が関連する可能性から、食品そのものに避けられないリスクについてのより一層のコミュニケーションを引き続き推進する必要があると考える。

研究協力者 登田美桜 国立医薬品食品衛生研究所安全情報部第三室  
與那覇ひとみ 国立医薬品食品衛生研究所安全情報部第三室

## A. 研究目的

平成23年3月の東京電力福島第一原子力発電所事故により、放射性物質が環境に放出されて食品に移行したことは食品衛生上の大きな問題となった。現在、原子力災害対策本部で決定したガイドラインに従って地方自治体が検査計画を作成し、それに基づいた監視体制が取られている。一方国内流通する食品の検査結果からは基準値超過率が極めて低いことが確認され続けている。それにもかかわらず、依然として国内外に風評被害が存在し、消費者の食品検査についての理解と納得が得られていない。特に政府が2023年に開始を目指すとした福島第一原子力発電所敷地内に貯まり続けるトリウムなどの放射性物質を含むALPS処理水の

海洋放出に関連するニュースが流れるようになると風評被害という言葉が再び頻出するようになっている。この研究課題では「震災に起因する食品中の放射性物質ならびに有害化学物質の実態に関する研究」で明らかにしてきた消費者への適切な情報提供の重要性を踏まえ、引き続き食品の安全性情報の伝え方と消費者意識調査を継続的に行い、安全から安心に繋げる方法の検討を行う。

## B. 研究方法

食品中放射能の検査ガイドラインの見直しに関連して、食品に設定されている各種汚染物質の「基準値」についての意識調査を行った。食品の安全に関する講義を行った際に食品中

汚染物質の基準値についてアンケートを行った。アンケート内容は資料1に示す。アンケートへの回答は講義の前でも後でも可能とし、区別はしていない。対象にしたのは大学生や食品企業の社員、消費者団体関係者、生協組合員等で、研究課題のために講義を行った場合と、別のプログラムで行った講義の際に本研究課題への協力を依頼した場合とがあるが、集計では両者を区別していない。講義内容は全く同じではないが、「震災に起因する食品中の放射性物質ならびに有害化学物質の実態に関する研究」での知見である、①食品への全体的不安は食品に関する専門知識があるほうが小さい、②放射線以外の食品のリスクについての情報を提供されることで放射線への不安やリスク受容の程度が変わる場合もある、ことを踏まえて、食品リスクを全体的に提示する内容である。放射線リスクや食品の放射性物質基準に特化した内容は、特に説明して欲しいという希望が無かったので含まれない。各年度ごとの結果は年度別の報告書に記した。総合報告書では3年間を通じて同じ学校の同じ学年で調査できた3校をとりあげて学校別の年次変化をまとめた。

### C. 研究結果

アンケート結果は資料2に示す。ここでA大学とC大学は同じ地震と津波の被災地県の国立大学と公立大学、B大学は首都圏の私立大学、B大学とC大学は同じ学部、学年は全て2-3年生で、専攻は全て理系（農学及び薬学）である。

### D. 考察

1. 全体として、食品に定められている各種汚染物質の「基準」についてはコメのカドミウムについては現行の国内基準の0.4 mg/kgを支持する割合が高いがコメのヒ素については国際基準の0.2 mg/kgと現行の基準なしへの支持が拮抗する。食品中の放射性セシウムについては現行基準の100 Bq/kgへの支持率が高い。食品の安全については概ね安全だと思っていて、「とても不安」を選ぶ人は極めて希である。そ

のうえで、ごく僅かではあるが学校毎に一貫した差があった。

2. A大学が一貫してB大学及びC大学より現在の日本の基準値を支持する割合が高く、食品が安全だと思っている割合も高い。年度による多少の増減はあるものの、傾向は同じである。従ってこの場合の食品への信頼を高める要因は居住地域（被災地かそうでないか）とは関係ないと思われる。興味深いのは食品の安全について「あまり心配していない」と「安全だと思っている」の合計、つまり食品安全に関して概ね信頼していると回答した人の割合は、食品中の放射性セシウムの望ましい基準値として、検出限界以下を選んだ人の割合と逆相関するように見えることである。つまりたとえ極めて厳しい基準値以下であっても、食品中に放射性物質が存在することが許容できないと考える人では、食品の安全性一般が信用できず食品への不安も高い可能性があるのではないだろうか。現実として食品には天然に放射性物質が含まれるので、原子力発電所事故由来の放射性セシウムだけにこだわってもあまり意味はないと考えることができるかどうかは食品安全への信頼と関連するだろう。専門教科はまだそれほど多くは履修していない段階でのA大学の他の大学との最も大きな違いは難易度である。

3. これまでのアンケート結果及び自由記述部分も含めて、堅固な先入観を持つ前の学生のほうが、既に一定の方針をもっている成人より食品リスクについてのコミュニケーションへの反応が良いと感じている。食品業界の社会人と学生では当然業界人の方が知識や経験が多く食品への信頼も高い傾向にあるが、学生であっても関連分野を専攻する学生は理解及び信頼を構築しやすい。将来コミュニティのオピニオンリーダーになる可能性のある大学生を集中的にリスクコミュニケーションの対象にすることは有効な戦略の一つだと思われる。

### F. 研究発表

#### 1. 論文発表

1) Chikako Uneyama, Considering Risks of Food and Radiation–Cancer Risk Assessment– Insights Concerning the Fukushima Daiichi Nuclear Accident Volume 1: Fears and Concerns Just After the Accident, and Anxiety about Radiation, 264-269, Atomic Energy Society of Japan, Published Online on April 2021

2) 畝山智香子 北米のベビーフード騒動と日本の報道 畝山智香子 公研 2021 6 (694) 12-13

3) 畝山智香子 食料安全保障と食品の基準 公研 2022.6 (706) 14-15

4) 畝山智香子 食品安全確保のためのリスクコミュニケーション 獣医公衆衛生研究 25(2), 18-22(2023)

## 2. 学会発表

1) 食品中化学物質の安全性に関するリスクコミュニケーション 日化協 LRI 研究報告会シンポジウム 2年 8月 21日

2) 畝山智香子、蜂須賀暁子、登田美桜、與那覇ひとみ、食品中汚染物質や放射能基準は人々にどう受け止められているか、 2022年 3月 26日、日本薬学会 第 142 年会（名古屋）

G. 知的財産権の出願，登録状況  
なし

H. 健康危機情報  
なし

## 資料1 アンケート用紙

1. 食品に含まれる望ましくない成分の基準値についての意見をお聞かせ下さい。

国際基準と日本の基準が同じではないものについて、どれがいいと思うか○をつけて下さい。

### ● コメのカドミウム

- ・ 0.2 mg/kg (中国)
- ・ 0.4 mg/kg (コーデックスによる国際基準、現在の日本の基準)
- ・ 1.0 mg/kg (玄米) (昭和45年から平成22年までの日本の基準、実際には0.4 mg/kgで運用)
- ・ 基準なし

### ● コメのヒ素

- ・ 乳幼児用食品向けの米 0.1 mg/kg (EU)
- ・ 精米 0.2 mg/kg (コーデックスによる国際基準)
- ・ 基準なし (現在の日本)

### ● 食品中の放射性セシウム (セシウム134と137の和)

- ・ 検出限界未満 (機器により検出下限は異なる。ゼロではない。)
- ・ 100 Bq/kg 以下 (現在の日本の基準)
- ・ 370 Bq/kg 以下 (チェルノブイリ事故後の日本の輸入食品に対する基準)
- ・ 500 Bq/kg 以下 (原子力発電所事故後の日本の暫定基準)
- ・ 1000 Bq/kg 以下 (コーデックスによる国際基準)
- ・ 基準なし

2. 普段食品の安全性を心配していますか。当てはまる項目に○をつけて下さい。

とても不安 ・ やや不安 ・ あまり心配していない ・ 安全だと思っている

また何が安全上の問題だと思うか自由にお書き下さい。(複数可)

ありがとうございました

資料2 アンケート結果のまとめ（3年分）

I. 全体

単位%

年	コメのカドミウム				コメのヒ素		
	0.2mg/kg	0.4mg/kg	1.0mg/kg	基準なし	0.1mg/kg	0.2mg/kg	基準なし
2020	9.9	81.1	7.0	2.1	11.6	51.9	36.5
2021	15.0	75.0	8.3	1.7	16.4	53.8	29.8
2022	14.8	69.1	12.2	3.9	21.7	42.7	35.6

食品中の放射性セシウム					
検出限界 未満	100Bq/kg 以下	370Bq/kg 以下	500Bq/kg 以下	1000Bq/kg 以下	基準なし
3.1	65.2	10.6	7.9	13.2	0.0
10.1	60.9	12.2	6.9	9.2	0.6
9.0	58.0	9.7	7.6	12.6	3.1

食品の安全性				
とても不安	やや不安	あまり心配し ていない	安全だと思っ ている	「あまり心配していない」 と「安全だと思っている」 の合計
1.2	13.2	70.0	15.6	85.6
0.8	17.3	65.3	16.6	81.9
0.9	18.9	63.2	17.0	80.2



## II. 各大学の三年間の合計

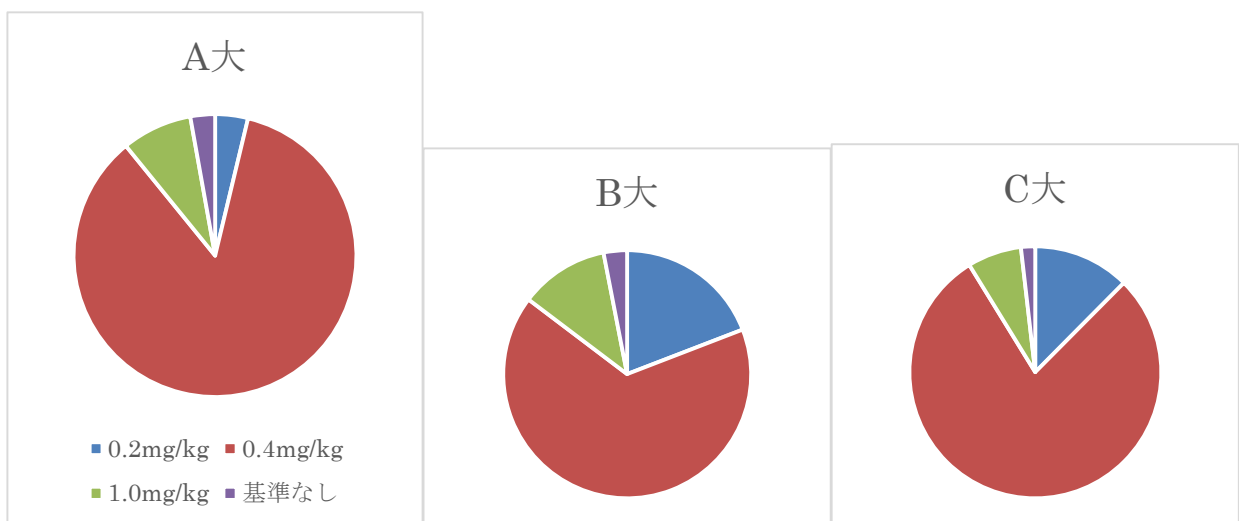
	コメのカドミウム				コメのヒ素		
	0.2mg/kg	0.4mg/kg	1.0mg/kg	基準なし	0.1mg/kg	0.2mg/kg	基準なし
<b>A</b>	3.8	85.4	8.0	2.8	5.2	46.2	48.6
<b>B</b>	19.1	66.2	11.6	3.0	21.3	46.8	31.9
<b>C</b>	12.4	78.8	6.9	1.8	20.9	55.3	23.7

食品中の放射性セシウム					
検出限界未満	100Bq/kg以下	370Bq/kg以下	500Bq/kg以下	1000Bq/kg以下	基準なし
1.9	65.9	11.4	10.0	10.4	0.5
11.9	53.0	12.6	8.5	12.3	1.7
6.1	70.0	7.0	3.3	11.7	1.9

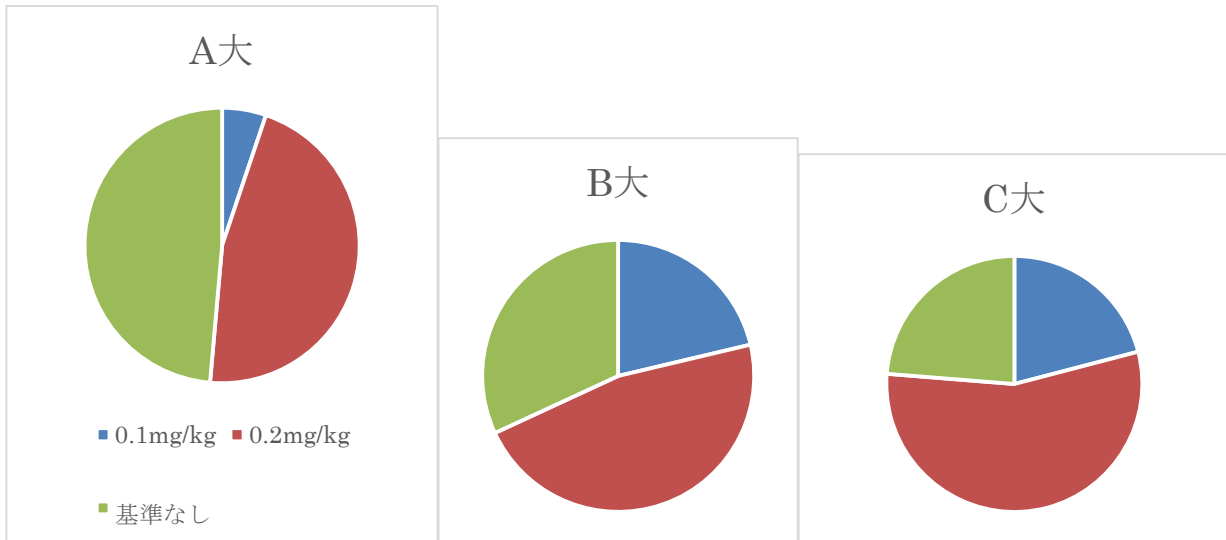
食品の安全性				
とても不安	やや不安	あまり心配していない	安全だと思っている	「あまり心配していない」と「安全だと思っている」の合計
0.9	10.7	68.8	19.5	88.4
1.2	19.9	64.4	14.6	79.0
0.5	16.4	65.9	17.3	83.2

### グラフ

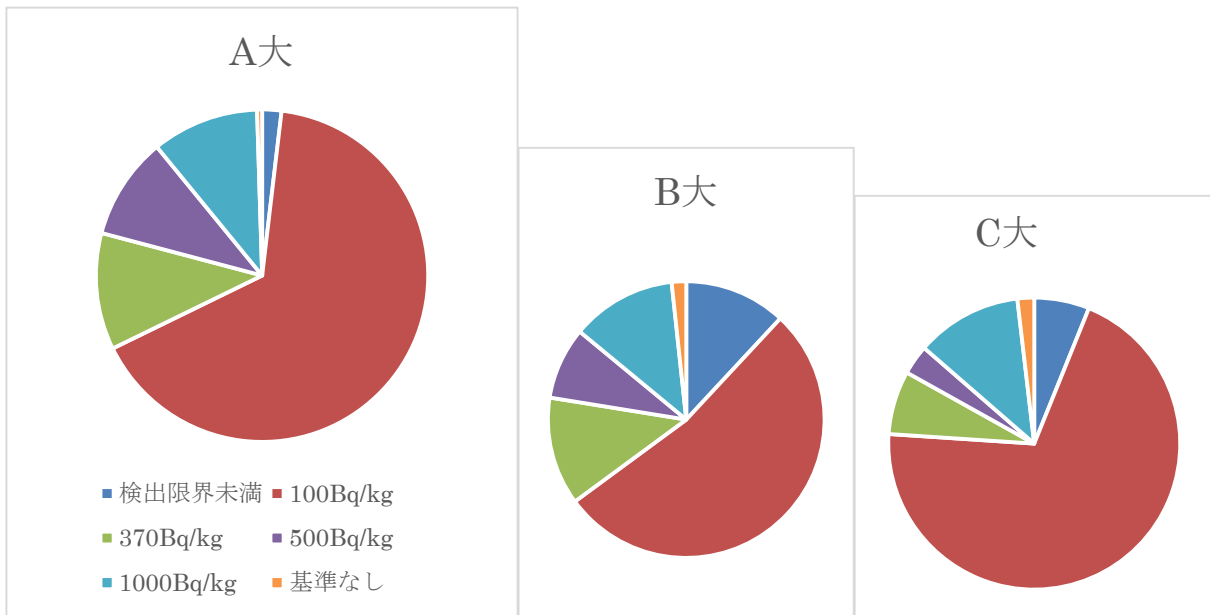
#### コメのカドミウム



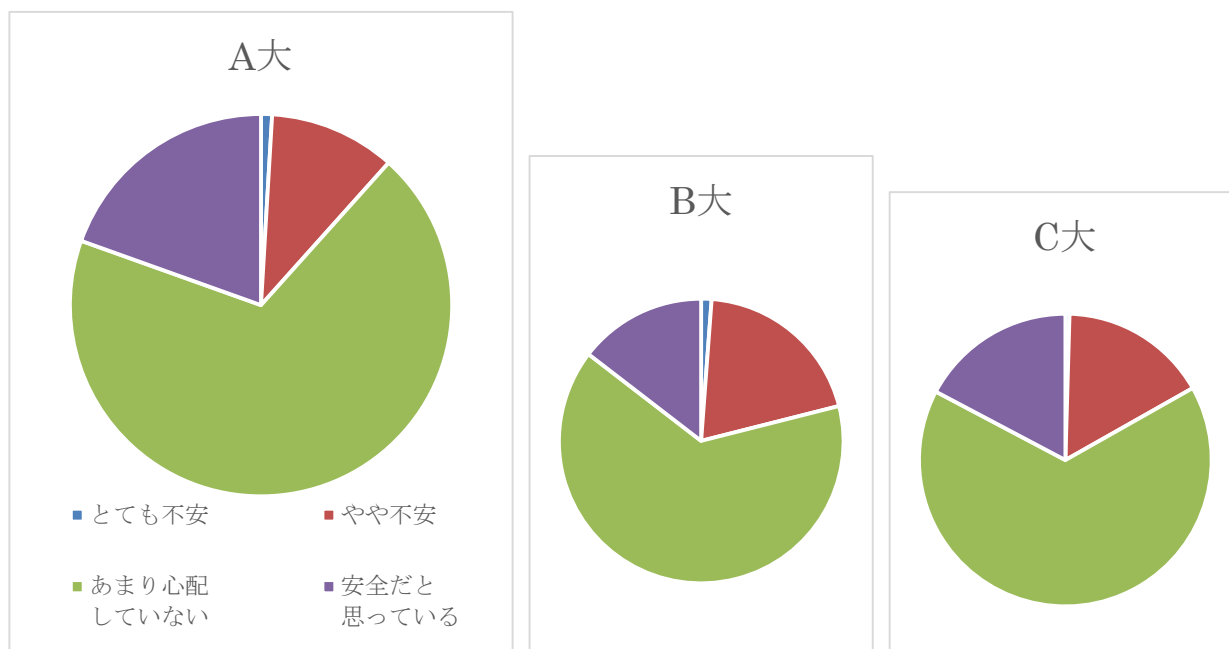
コメのヒ素



食品中の放射性セシウム

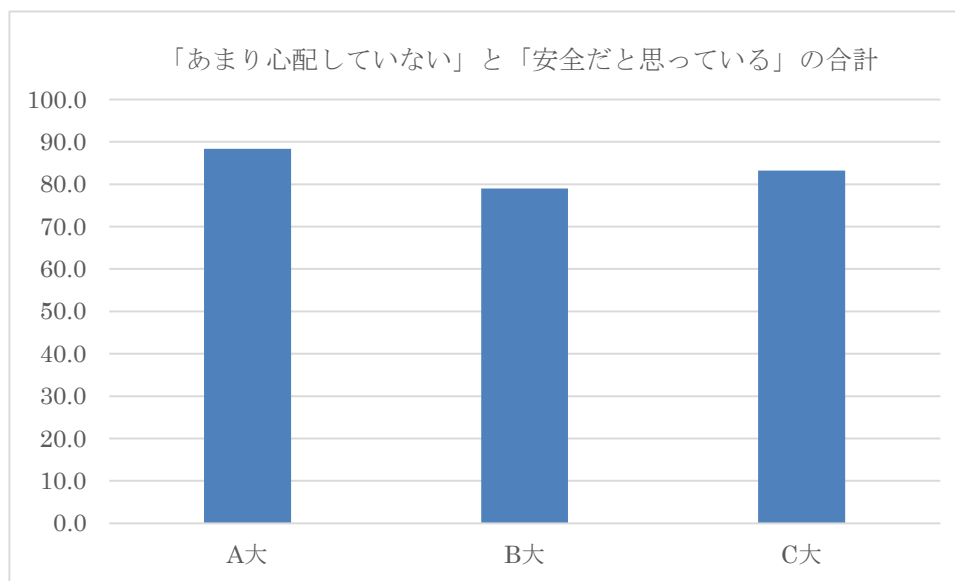


## 食品の安全



「あまり心配していない」と「安全だと思っている」を選んだ人の合計

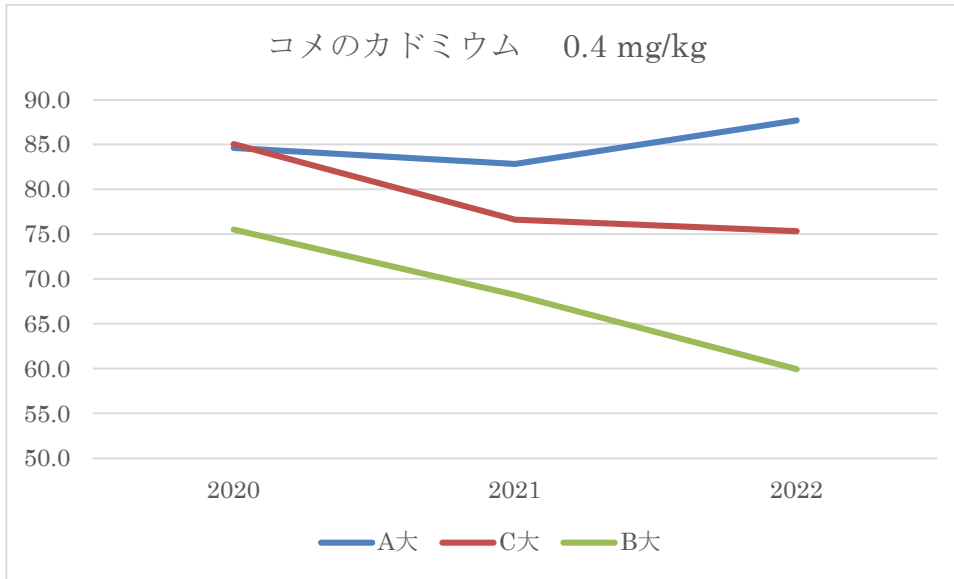
A大	88.4
B大	79.0
C大	83.2



### III. 一部の項目の年次変化

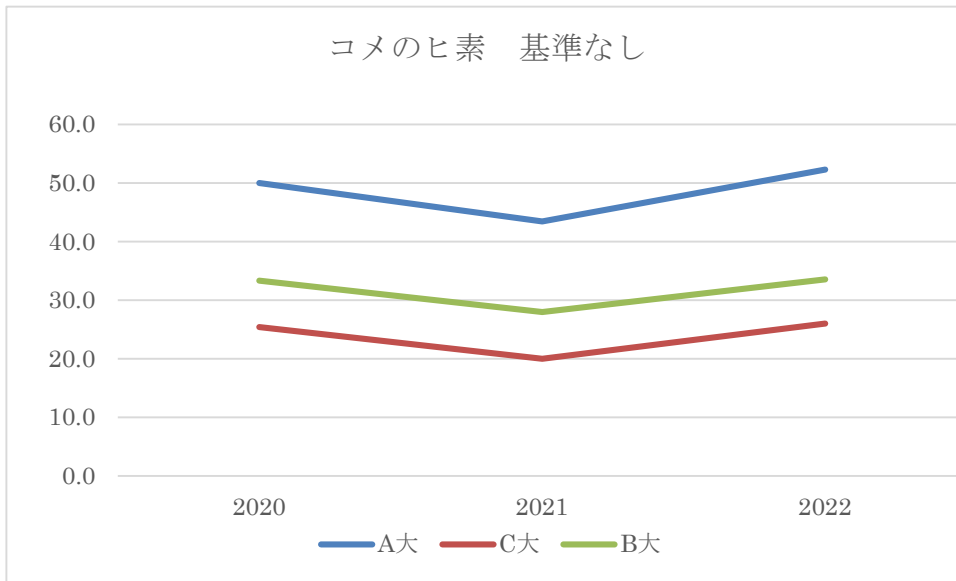
①コメのカドミウム 0.4mg/kg を選んだ人の割合

	A大	B大	C大
2020	84.6	75.5	85.1
2021	82.9	68.2	76.6
2022	87.7	60.0	75.3



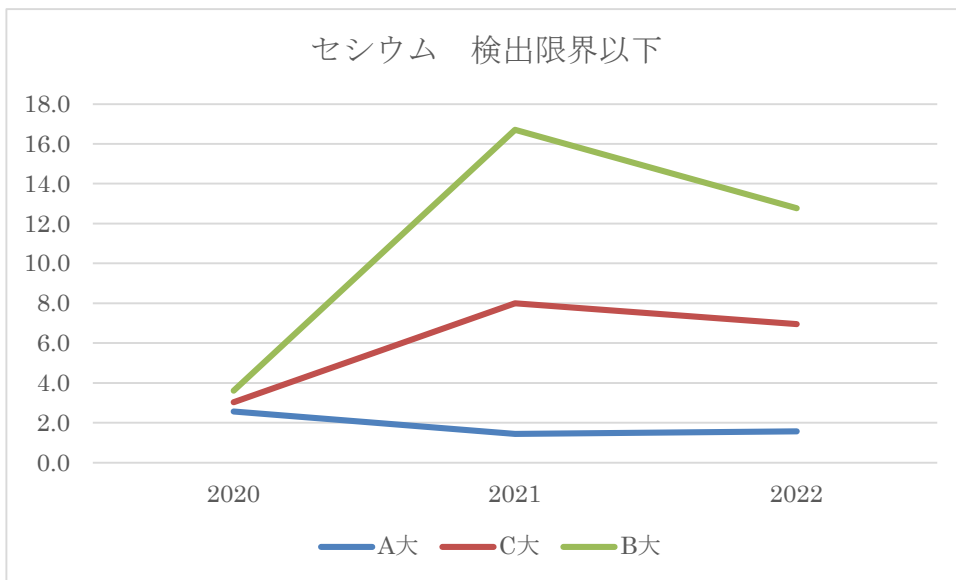
②コメのヒ素 基準なしを選んだ人の割合

	A大	B大	C大
2020	50.0	33.3	25.4
2021	43.5	28.0	20.0
2022	52.3	33.6	26.0



③食品中の放射線セシウム 検出限界以下を選んだ人の割合

	A大	B大	C大
2020	2.6	3.6	3.0
2021	1.4	16.7	8.0
2022	1.6	12.8	6.9



### Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍 なし

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Chikako Uneyama	Considering Risks of Food and Radiation-Cancer Risk Assessment- <a href="https://www.aesj.net/document/fukushima_vol1/1-264_269.pdf">https://www.aesj.net/document/fukushima_vol1/1-264_269.pdf</a>	Insights Concerning the Fukushima Daiichi Nuclear Accident Volume 1: Fears and Concerns Just After the Accident, and Anxiety about Radiation	—	264-269	2021
Yamada T, Furutaka K, Hachinohe M and Hachisuka A	Applicability of non-destructive equipment for radioactivity measurement to screening radio-cesium in foods. doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.110671	Appl.Radiat.Isot.	194	110671	2023
Nakamura N, Chiba S, Kiuchi T, Nabeshi H, Tsutsumi T, Akiyama H, Hachisuka A	Comprehensive analysis of a decade of cumulative radiocesium testing data for foodstuffs throughout Japan after the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. doi: 10.1371/journal.pone.0274070. eCollection 2022.	PLOS ONE	17(9)	e0274070	2022
Nabeshi H, Hachisuka A, Matsuda R, Teshima R, Akiyama H, Tsutsumi T	Uncertainty determination in the screening of radio-cesium in foods without a sample preparation procedure. doi.org/10.1080/19440049.2022.2129099	Food Additives & Contaminants: Part A			2022
畝山智香子	食料安全保障と食品の基準	公研	706	14-15	2022
畝山智香子	食品安全確保のためのリスクコミュニケーション	獣医公衆衛生研究,	25(2)	18-22	2023