

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

平成29—令和元年度厚生労働行政推進調査事業費補助金
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
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室長

研究要旨

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移行したことは食品衛生上の大きな問題となっている。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、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ったことから、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、今後もガイドラインの改定が想定されることから、その改定に伴う影響の評価手法の開発も必要となっている。これらのことから、以下の研究を行った。

(1) 食品中放射性物質の検査体制の評価手法の検討

非破壊式放射能測定装置による測定は、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、検査のサンプリング精度の重要因子である濃度分布の評価手法として非破壊式装置を用いた方法を含めて検討した。実験方法としては、食品試料を用い、3機種 of 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測定結果との比較検討を中心に行った。その結果、2つの方法による測定値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。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た。前処理を想定した食品中の放射性セシウムスクリーニング法の、非破壊式装置による検査への適用に関する検討では、評価を行った3機種についていずれも適用条件であるスクリーニングレベル下限 50 Bq/kg を満足したものの、本結果は暫定的にそれぞれ回帰直線の傾きを考慮して補正の上評価して得たものであり、このような評価手法の妥当性は、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に関する今後の更なる詳細な検討により確保されることが望まれた。

(2) 食品中放射性物質濃度データ解析

平成 29 年度から令和元年度の 3 年間に厚生労働省で公表された、非流通品牛肉を除く食品中の放射性セシウム濃度データを集計した。各年度の非流通品/流通品における基準値超過率は平成 29 年度 0.53/0.080%、平成 30 年度 0.97/0.095%、令和元年度 0.61/0.046%であり、基準値超過率および放射性セシウムの検出濃度はすべての年度で非流通品と比較して流通品で低い傾向が認められ、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ていることが示唆された。基準値を超過した品目は、山菜、きのこ、淡水魚、野生鳥獣肉など山林に起源をもつ天然品が主体であり、栽培/飼養管理が困難な品目に該当する食品が多く含まれていた。基準値を超える食品を流通させないための監視において、山菜、きのこ、淡水魚、野生鳥獣肉のような栽培/飼養管理が困難な品目に該当する食品中の放射性セシウムの検査を維持していくことが重要と考えられる。非流通品の牛肉については各年度 24 万件以上が検査されているものの検出率も検出濃度も低いことから、リスクの大きさに適した検査体制を整えていくことが重要であると考えられる。

(3) 食品中放射性物質等有害物質調査

原子力施設事故等により環境汚染を引き起こす放射性物質に加え、今後内部被ばくにおいて考慮すべき核種等を探索することを目的とした。平成 29 年度は、文献調査により、天然放射性物質からの内部被ばくの影響が、福島原発事故等に起因する人工放射性物質からの影響に比して大きいことが認められた。特に日本におけるポロニウム 210 からの内部被ばく線量は世界的にも高い値であったが、データ数が少なく、線量範囲にも大きな開きが見られた。データ数が少ない原因の一つに分析法が煩雑なことが挙げられることから、より実用的な食品中ポロニウム 210 分析法の検討を行った。ポロニウムを金属板に沈着する方法として、化学分離後ステンレス板電着法、直接ステンレス板電着法と銀板自然析出法の 3 種類の方法を比較検証し、食品マトリクスに応じて各方法を適宜使い分けることで、分析時間と費用を抑えられることが可能と考えられた。平成 30 年度は、平成 29 年度に検討した分析法について添加回収実験を行った。その結果、全食品カテゴリーで良好な結果が得られ、本分析法は様々な食品試料に適用可能と考えられた。令和元年年度は、流通食品の測定を行った結果、全ての試料からポロニウム 210 が検出された。また、魚類の筋肉と内臓を分離して放射能を測定したところ、筋肉部位に比べて内臓部位では 10 倍以上の高い放射能が認められ、近年の諸外国の文献においても、同様の傾向が確認された。魚介類の内臓を偏って摂取した場合、内部被ばく線量が増加する可能性があるため注意が必要である。

(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

福島第一原子力発電所事故から数年経ち、これまでのデータからは現在市場に流通している食品からは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。しかし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る場合がある。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。そして今回さらに放射性物質検査の内容についてもほとんど理解されていないことが明らかになった。食品の安全性確保と風評被害対策のためには広報やリスクコミュニケーションにより多くの資源を配分する必要があることを再確認した。

(5) 緊急時検査法に関する検討

原子力施設の事故等により放射性核種による環境汚染が引き起こされた場合、食品からの内部被ばくを防止するために食品中放射性物質の規制が行われることから、食品中放射性物質の測定対象核種及び測定手法について検討した。平成30度は、測定対象核種について、我が国の原子力災害対策指針及びIAEA等の国際文書について比較検討した。令和元年度は、前年度に国際文書により抽出された200余核種の測定法について核種の特性に基つき検討した。環境放射能汚染が引き起こされる原子力施設事故等においては、極めて多様な核種が放出されることが予想される。検査の効率面からγ線スペクトル解析法が有用であるが、事故直後には多核種の存在による複数ピークの出現が予想されることから、核種同定には平常時とは異なる注意が必要である。事故等の種類により存在する可能性のある核種を推定し、既存の知識及び情報を活用することが、核種同定の精度を上げることに繋がると考えられる。

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 鍋師 裕美 国立医薬品食品衛生研究所食品部主任研究官
研究分担者 曾我 慶介 国立医薬品食品衛生研究所生化学部研究員
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第一室長

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(1F)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、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ったことから、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、今後も毎年度変更す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が必要である。

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5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

食品中の放射性物質濃度分布の推定手法を示すことにより、効率的・効果的なモニタリング検査計画の提案が可能となることから、検査のサンプリング精度の重要因子である濃度分布の評価手法について、非破壊測定機器を用いた方法について検討した。

(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変化、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た。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となる。

(3) 食品中放射性物質等有害物質調査
過去の放射性物質汚染データの集計及び解析を行い、新たに検討すべき核種等を探索する。平成29年度の調査により、日本は天然放射性核種であるポロニウム210の内部被ばく線量が、福島原発事故等に由来する

人工放射性核種からの影響に比して大きいことが認められたため、食品中ポロニウム210分析法の簡便化の検討を行い、食品中のポロニウム210の濃度について検討する。

(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

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。そのためこの研究課題では「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。

(5) 緊急時検査法に関する検討

放射性核種による環境汚染が引き起こされた場合、食品からの内部被ばくを防止するために食品の規制が行われる。1F事故後に国内外で検討が行われていることから、それらの情報を踏まえ、測定対象核種の検討とそれらの測定法について検討する。

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

1) 非破壊式装置の検出効率分布の評価

非破壊式測定における試料中の放射性物質分布の影響を評価することを目的とし、市販の非破壊式装置3機種について、点状

の ^{137}Cs 密封標準線源を用いて、試料測定室内における検出効率分布について実測検証した。

2) 非破壊式測定装置と Ge 検出器を用いた測定の比較検討

試料：平成 29 年度は、非破壊式装置による測定結果が 50Bq/kg 以上のものを用いた。平成 30 年度、令和元年度は野生キノコ類を中心に試料を収集した。

非破壊式装置による測定：試料を混合、配置換えを行って 3-5 回測定した。令和元年度は同一の試料を異なる 3 機種で測定した。Ge 検出器を用いた測定：「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)」に準拠して放射能分析を行った。

3) 試料固体中の放射性セシウム分布手法の検討

試料中の放射性セシウム不均一分布について、シイタケ試料中の分布状況をイメージングプレートにより検討した。

(2) 食品中放射性物質濃度データ解析

厚生労働省ホームページに公表された平成 29 年度から令和元年度の 3 年間までの食品中の放射性セシウムの検査データを、産地、食品分類別、栽培/飼養管理の能否別に集計し、放射性セシウムの検出率、濃度等を求めた。

集計は、公表されたデータから、まず屠畜場における牛肉の全頭検査データが主と思われる非流通品の牛肉のデータと、非流通品/牛肉を除いた食品の検査データに分けてから、それぞれについて解析した。

(3) 食品中放射性物質等有害物質調査

1) 文献調査

PubMed、Google Scholar 等の文献検索エンジンにより学術論文を探索し、UNSCEAR 等の報告書は各機関のホームページより入手した。

2) ポロニウム 210 の α 線分析

食品を 12 群に分類し、群ごとに混合・均一化した混合試料を用いた。食品試料 5~50 g をビーカーに測り取り、内部標準物質としてポロニウム 209 を添加後、硝酸と過酸化水素水によって 120°C で湿式分解し、さらに塩酸を加えて加熱濃縮し、ポロニウム塩化物フォームとした。化学分離を行う場合は、ポロニウム塩化物フォームをキレート抽出クロマトグラフィーにより分離精製した。

ステンレス板にポロニウムを電着する場合は、塩酸酸性下で 0.1A で 1~3 時間通電した。銀板を用いる場合は、ポロニウム塩化物フォームを 90°C で 2~16 時間攪拌し、ポロニウムを析出させた。ポロニウムを電着あるいは析出した測定試料をシリコン半導体検出器により 48 時間測定し、 α 線スペクトロメトリーを行った。

(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。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、生協組合員等である。講義内容は全く同じではないが、本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。

(5) 緊急時検査法に関する検討

主に以下の資料を参考にした。

- ・原子力災害対策特別措置法
- ・原子力規制委員会、放射線審議会等資料
- ・放射能測定法シリーズ（文部科学省及び原子力規制庁）
- ・ IAEA nuclear data services (<https://www.nds.iaea.org/>)
- ・ National Nuclear Data Center (<https://www.nndc.bnl.gov/>)
- ・世界保健機構 WHO／飲料水水質ガイドライン（WHO 飲料水 GL）
- ・国際原子力機関 IAEA／General Safety Guides No. GSG-2（GSG-2）

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) 非破壊式装置の検出効率分布の評価

検出器が1台タイプの装置の測定室面における検出効率分布を¹³⁷Cs点線源によ

り得た。その結果、直行する水平方向（XY平面）において、すべての装置の検出効率は原点を中心としたガウス関数にほぼ近似でき、良好な対称性が確認できた。

2) 非破壊式測定装置と Ge 検出器を用いた測定の比較検討

平成 29 年度：

非破壊式装置による測定結果が 50Bq/kg を超えたキノコ類の試料において、非破壊式装置 2 機種による測定結果と Ge 検出器を用いた公定法による結果との比は、機種ごとに 0.98、0.92 と両者の結果は良く一致した。ただし、いずれの結果も外れ値を除いた結果である。ただし、非破壊測定器による 3 回測定のばらつきが、核種の壊変率（放射能）に起因する統計的ばらつきと比較して極端に大きいものや外れ値を含む大きく値がずれているものが確認された。このことは、試料の置き方により検出効率が大きく変化する、あるいは測定への影響が大きい試料中の放射能分布の偏在や不均質があること推定された。これらの試料を写真で確認したところ、共通した特徴の一つとして、試料中の個々のキノコの大きさが大きく異なることが確認できた。このことは試料の置き方により検出効率が大きく変化したり、試料中の放射能分布の偏在や不均質性の要因となったりしうることから、本結果の大きなずれやばらつきは試料の特徴に起因するものであることが示唆された。

平成 30 年度：

①山菜試料：前年度のキノコ類の結果と同様に非破壊式装置 2 機種と Ge 検出器の測定結果には良好な相関が見られた。ただし、

Ge 測定値との比が 0.7~1.3 を超えるもの及び濃度が 5000Bq/kg を超えるものは相関分析では外れ値として処理した。Ge 測定値との比が 0.7~1.3 を超えたものは、特定の種別の試料に見られた訳ではなく、原因究明及び傾向分析には試料の個別的な放射性セシウム分布の分析、さらに多くの試料の分析を要することが見込まれた。検査におけるこのような試料の取り扱い是非破壊式装置を用いた測定における共通的な課題であることが示唆された。

②キノコ試料：前年度に検討した機種とは異なる非破壊式装置 1 機種について、Ge 検出器との測定結果の比較を行ったところ、前年度と同様に良好な相関が得られた。また、100 Bq/kg 以下の試料によっ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た。その結果、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は 48 Bq/kg となり、現在の試料の前処理を想定した食品中の放射性セシウムスクリーニング法におけるスクリーニングレベル 50Bq/kg 以上の条件を下回るもののほぼ適用条件を満足する結果となった。ただし、本装置を用いた試験条件は指定の容器に充填した状態によるものであり、実運用において容器に充填しない場合には容器を用いず評価する必要があると考えられる。

令和元年度：

前年度までの試料の放射能濃度は様々で、Ge 検出器の測定によって検出限界以下のものも含まれていた。令和元年度の試料

で 10 Bq/kg を超えるものは、種別数で 39 種、総数 129 検体であった。各非破壊式装置と Ge 検出器による測定結果の比較した結果、前年度までに検討した 2 機種と別の 1 機種で今までの結果と同様に良好な相関関係を示すことが確認できた。一方で、これまでと同様に Ge 検出器による測定値との比較的大きなずれを示す測定結果も観測され、99%予測区間を超えるものも見られた。非破壊式装置における複数回測定のばらつきは放射能濃度にほぼ依存し、低濃度領域では濃度が上昇するに従いばらつきが小さくなり、そのばらつきの要因は放射性壊変の統計変動が支配的であることによることを示唆するものであった。一方で全範囲にわたってばらつきの大きい結果が散見された。このような場合にはこのばらつきは試料に起因する不確かさが支配的であることが見込まれ、観測された適合値とのずれの要因は試料の不定形性による検出効率の見積もりの誤差の他に、このような試料に起因する大きなばらつきもその要因の一つであると本結果から明らかになった。また、今回の結果では 3 機種それぞれの回帰直線の傾きは、いずれの非破壊式装置の結果も 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。

100 Bq/kg 以下の試料のデータによって、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た検討も進めた。評価に用いた試料種別数は 22、検体数は 53 であった。その結果、換算したスクリーニングレベル 50Bq/kg

に相当するスクリーニングレベルの 99% 予測区間の上限値は、非破壊式装置 3 機種に対して、90、98 及び 84Bq/kg といずれも 100Bq/kg を下回る結果となり、現在の試料の前処理を想定した食品中の放射性セシウムスクリーニング法におけるスクリーニングレベルの適用条件を満足する結果となった。また、試料毎の検証としてデータ数が 7 で最多であったマツタケについて解析した結果得られた 99% 予測区間上限の換算値は 89 Bq/kg で他の種別の試料を含めた結果とほぼ同じ結果が得られた。この 7 試料の検体質量は 248 g~800 g の範囲にあった。また、非破壊式測定 of 複数回測定における変動係数 (C.V.) は 0.10~0.23 であった。本結果は、このような条件が測定対象とする試料と合致するものであれば、スクリーニングレベルでの検査を、信頼性が確保された上で成立させることが出来ることが期待されることを見込まれるものであった。ただし、本研究での結果はすべて回帰関数によって非破壊装置の指示値を Ge 検出器相当値に換算したものであり、各装置の換算係数の正確性の確保については、今後のより詳細な検討が望まれた。

3) 試料固体中の放射性セシウム分布手法の検討

乾燥シイタケ内の放射能の分布は均一ではなく、シイタケの笠部の端により高く局在することが分かった。また、放射性セシウムの内部分布パターンが試料ごとに異なる可能性が示唆された。

(2) 食品中放射性物質濃度データ解析

1) 非流通品/牛肉以外のデータ 試料数、検出率、基準値超過率

総検査数は平成 29 年度 51,615/平成 30 年度 43,678/令和元年度 43,678 (以下、3 年間の数値を/で区切って表示する)であり、そのうち流通前の段階で収集された食品 (非流通品) が 35,488/30,987/26,188、流通段階で採取された食品 (流通品) が 16,127/12,691/10,870 であった。この 3 年間で検査数は減少しており、その減少率は前年度の約 85% であった。試料全体に対する流通品の割合はどの年度もおよそ 30% でほぼ一定であった。

放射性セシウム濃度が 25 Bq/kg を超えた試料数を検出試料数、全体に対する検出試料数の割合を検出率とした。ただし、牛乳・乳児用食品は基準値の 1/5 である 10 Bq/kg、同様に飲料水も 2 Bq/kg を超えた場合を検出とした。

このように計算したときの全体の検出率は 2.7/4.0/3.0%、非流通品の検出率は 3.8/5.4/4.1%、流通品の検出率は 0.40/0.49/0.42% であった。

全体の基準値超過率は 0.39/0.72/0.45% となった。非流通品における基準値超過率は 0.54/0.97/0.61%、流通品では 0.056/0.095/0.046% であった。

食品分類別試料数、検出率、基準値超過率

食品を、農産物 (きのこ、山菜を除く。以下同じ。)、きのこ、山菜、畜産物、野生鳥獣肉、魚介類、くじら、海藻、加工食品、食事試料、ハチミツ、牛乳、乳児用食品、飲料水に分類した。全体での検査割合が高かった食品分類は、魚介類、農産物、きの

こ、加工食品、山菜であった。3年間で、農産物や海藻、乳児用食品、食事試料の検査割合は低下した一方で、栽培/飼養管理が困難な品目が多く含まれるきのこ、山菜、野生鳥獣肉は、全体、非流通品、流通品ともに増加した。検出率が高い食品分類は、非流通品で野生鳥獣肉、山菜、きのこ、流通品では、山菜、きのこであった。基準値を超過した食品分類は、非流通品では農産物、きのこ、山菜、野生鳥獣肉、魚介類であり、流通品ではきのこ、山菜、加工食品（平成30年度のみ）であった。

産地

検査対象自治体となっている17都県以外では検出されていなかった。

農産物において放射性セシウムが検出された試料の産地は限られた範囲であり、平成29年度は3県、平成30年度では2県、令和元年度では1県であった。基準値超過試料はすべての年度で福島県産のみであった。

きのこは、農産物より広域の14-15県で検出が認められた。基準値を超過した試料は平成29年度は11県、平成30年度および令和元年度は6県であった。

山菜、野生鳥獣肉では、きのこと同様に農産物より広範囲で検出が認められ、ともに9~11県で検出された。魚介類で検出された試料の産地は、6-7県であり、ほぼ福島近接県であった。

非流通品/牛肉を除外した試料において、検出率、基準値超過率共に、流通品が非流通品を大きく下回っていた。また、非流通品には高濃度の試料が見られたが、流通品

においては高濃度試料は少ないことから、緊急時モニタリングをはじめとする非流通品の検査により、高濃度の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ていると考えられた。

検出率には食品分類ごとに差が見られ、検出された食品は、きのこ、山菜、野生鳥獣が主であった。環境中の放射性セシウムの食品への影響と、基準値を超える食品の監視のためには、淡水魚、野生きのこ、山菜、野生鳥獣肉のような食品の測定を継続していくことが重要と考えられる。

平成29年度より「検査計画、出荷制限等の品目・区域の設定・解除の考え方」において、検査対象品目に「栽培/飼養管理が困難な品目群」「栽培/飼養管理が可能な品目群」の区分が示された。環境に放出された放射性物質は、新たな汚染が起こらない限り、核種ごとの物理的半減期を含めた環境的半減期によって減衰する。食品中放射性物質の検査では、これまでの測定データに基づき、品目、地域ごとにきめ細やかに濃度予測をし、そのリスクの大きさに適した規模の検査体制を整えて行くことが合理的かつ効率的に検査を進めていく上では重要と考えられる。

2) 非流通品/牛肉のデータ

非流通品の牛肉に分類されるデータは各年およそ25万件あり、流通品の牛肉として報告のあったモニタリング記載の試料を加えると、検査総数の83-87%に相当する。25 Bq/kg以上の検出は2017年度で10試料、2018年度で4試料、2019年度で19

試料あり、それらの放射性セシウム濃度は、いずれもスクリーニング検査による参考値ではあるものの、48 Bq/kg 以下であり基準値を超過した試料はなかった。食肉用の牛においては飼料管理が適切になされ、放射性セシウムの摂取が低い状態を維持し続けていることが示唆された。

(3) 食品中放射性物質等有害物質調査

1) 文献調査

人工核種：

UNSCEAR 報告書において核兵器施設及び非核兵器施設の計7件の事故について調べ、放出された放射性核種等について福島第一原子力発電所事故と比較した。

日本では平成24年4月に、半減期1年以上の8核種からの被ばくが年間1 mSv以下になるように、食品中放射性セシウム(Cs-134+Cs-137)の基準値が設定された。放射性セシウム以外の6核種はほとんど検出されないことから、食品中放射性セシウムによって原発事故により飛散した放射性物質の食品からの影響を評価することが可能と考えられる。福島原発事故以後の放射性セシウムのマーケットバスケット調査では、現行基準値の設定根拠である年間上限線量1 mSvの1%以下となっている。

天然核種：

天然放射性物質カリウム40はよる内部被ばくは、世界平均で0.17 mSv、国内の各地域で0.1~0.2 mSvと推定され、地域差はほとんど見られなかった。

同じく天然放射性物質のポロニウム210による内部被ばくは、世界平均は0.07 mSv、

日本の平均は0.053-0.81 mSvとされ、人工核種である放射性セシウム等よりも大きいと見積もられる。ポロニウム210は α 線を放出する放射性物質で、最も毒性の高い核種の1つと考えられており、経口摂取による成人の実効線量係数は0.0012 mSv/Bqとされ、放射性セシウムより約100倍高い。しかし、食品中ポロニウム210濃度は食品によって大きく異なることから、精度の良い摂取量推定のためには多数の試料による調査が必要と考えられた。

2) ポロニウム210分析法の検討

純アルファ線放出核種であるポロニウム210の実用的な食品分析法を検討した。

金属板への沈着法の検討：

ステンレス板電着法では2時間、銀板自然析出法では8時間でポロニウム回収率が約90%に達した。ステンレス板電着法は、再現性が高く、時間効率も良く、低コストの手法と考えられた。しかし、電解質を多く含む試料では、電着効率が悪く、化学分離を行う必要があることが示唆された。 α 線スペクトロメトリーによる測定では、精製度が悪い測定試料で自己吸収によりスペクトル形状が低エネルギー側へシフトする。

真度及び精度評価：

NIST 認証標準試料を用いて検証した。海洋甲殻類は直接ステンレス板電着法で、ミネラルが多く含まれると考えられる海藻は化学分離後ステンレス板電着法及び銀板自然析出法で、良好な結果が得られた。一般的な食品は、金属板にポロニウムを沈着させる際に主に直接ステンレス板電着法を

使用し、ミネラルが多く含まれる場合などには化学分離を追加する手法または銀板自然析出法を行うことが食品の分析法として実用的と考えられる。

ポロニウム210回収率は全食品カテゴリーで93~113%で、その併行精度は10%未満と良好な結果が得られた。また、 α 線スペクトルの半値幅と1/10値幅も良好な値であった。本分析法は様々な食品試料に適用可能と考えられる。

3) 流通食品中のポロニウム210濃度

流通している魚介類のポロニウム210放射能を測定したところ、分析したすべての試料で検出された。また、魚類(サンマ、マイワシ、マアジ、ニシン)の筋肉と内臓を分離し、それぞれのポロニウム210濃度を測定したところ、筋肉部位に比べて内臓部位では10倍以上の高い放射能濃度が認められ、魚介類では筋肉より内臓部位に多くのポロニウム210が蓄積されていることが示唆された。また、近年の食品に関連したポロニウム210に関する諸外国の文献を調べたところ、魚介類で同様の傾向が確認された。

(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

1) 汚染物質の基準値について

全体としては現行基準または国際基準への支持が多い。回答者の属性から学生・主に食品関連業務の社会人・消費者に分けて集計すると、消費者が最も小さい数字を指向し、社会人は国際基準を支持する割合が高く、学生はその中間といった傾向が窺

える。放射性物質についてだけ特別な傾向があるというわけではなくカドミウムやヒ素でも同様である。この調査対象に含まれる消費者は消費者団体に属していたり生協の学習会に参加するような、食品安全に関心の高い人達であり、食品中汚染物質の基準は厳しい方が良いと考える傾向が一般の消費者より強いかもしれない。そういう人達と食品を供給したり食品の安全監視を業務としているような現場の人達との認識のギャップが大きいということがおそらくは最大の不幸であろう。学生の意見がニュートラルなものだとみなすと、そこから食品を提供する側になるか消費する側になるかで違う情報を受け取って意見が別れていくように見える。柔軟性の高い学生のうちに適切な教育を受けることが将来の分断を生まないために役立つ可能性がある。

2) 年次比較

3年間同じ大学の同じ専攻科の学年でアンケート調査ができたところについては経年変化があるかどうかを検討した。結果として特に一貫した傾向は認められなかった。福島第一原子力発電所事故があってから相当な時間が経過し、当時小中学生だった学生にとっては必ずしも関心が高くないことが示唆された。

若い人達については放射性物質についてだけ特別に何かを伝えるというより食品安全の全体的な理解を促すほうが良いだろうと考える。

3) 食品中放射能の検査について

食品中放射能の検査が行われていること自体は比較的良好に知られているがその具

体的中身についてはあまり知られていない。検査により安全性を確認しているということへの信頼はあるようなので、一般的な食品中汚染物質や残留農薬等の監視と同様に、より効果的で効率的な検査を実施して広報に努めることが望ましいと考えられる。

(5) 緊急時検査法に関する検討

1) 測定対象核種

我が国の原子力災害対策指針等、IAEAの全般的な安全指針 GSG-2、WHO 飲料水 GL、CODEX 一般規格に記載の核種を検討し、200 余核種を抽出した。それらの半減期、壊変形式、生成核種などの物理的特性や実効線量係数のほか、各種文書での運用上の介入レベル (Operational Intervention Level : OIL) やガイダンスレベルの比較をした。抽出した核種は、そのものが核燃料物質、あるいは核分裂で直接生成するものから、いくつかの核壊変を経て生成するものまで様々である。核種によっては、壊変系列を成し、核分裂直後よりも、経過時間に依存して増加するものもあり、その存在比は半減期のみでは予測できず生成過程も含めて考える必要がある。緊急時における汚染核種の存在比率は、汚染の原因となる事故等の状況だけでなく、気象条件等も加わって、複雑に変化するものと予想される。そのような中で、原子力規制委員会はいくつかの条件を設定して、Cs-137 100TBq 放出時の各核種放出量を試算している。これらの試算も活用し、IAEA の安全要件「原子力または放射線の緊急事態に対する準備と対応」に要求されているように、汚染核種および

その量を幅広く想定し、モニタリング手法を平常時に用意しておくことが重要と考えられる。

2) 測定法

緊急時においては、前処理が簡易で迅速に測定ができるガンマ線測定、中でもエネルギー分解能が優れ核種分析が可能なゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトル測定が核種同定及び定量には有力であることから、抽出した核種について測定線種を γ 線、 β 線、 α 線の順に分類した。放出エネルギーが 100 keV 以上で、その放出率が 10% 以上のものは 108 核種であった。これらはその物理的特性から、 γ 線による測定の可能性があるものであるが、緊急時に多種類の核種による複数のピークがスペクトル上に観測される場合には、効果的に測定できるとは限らないことに注意が必要である。

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、検査のサンプリング精度の重要因子である濃度分布の評価手法として非破壊式装置を用いた方法を中心に検討を進めた。平成 29 年度より 3 年間、福島県内の市町村測定所に設置されている非破壊式装置を用い、Ge 検出器による公定法による測定結果の比較検証を行い、両者の良好な相関を確認するとともに、前処理を行わずに測定を行う故の試料に起因するばらつきや増大と予期せぬずれが起りうることを明らかにした。これらの検討を踏まえ、

最終年度は3種の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、対象試料を野生キノコ試料に限定し、試料数を増やして実施した。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、それぞれの回帰直線の傾きは、検討した新破壊式装置3機種とも、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。試料の前処理を前提としたスクリーニング法においては、負のバイアスは回避する必要がある、本結果のように回帰曲線の傾きが1を下回することは許容されない。このことは放射能濃度への換算係数の適正化等の対処が必要であることを意味している。また、回帰式のy切片が負の値をとることも同様に負のバイアスを意味する。この影響は、放射能濃度が低いほど相対的に影響が大きくなることに注意しなければならない。本結果ではいずれの装置でもスクリーニング法の性能要件は満足する結果であったが、本法は適切な校正による換算係数が得られていることが前提条件となっており、今回行ったような得られた回帰直線による換算が同法で必ずしも許容されているわけではない。今後、本データなどを基に実際に各装置で評価されている換算係数が検証され適正化されることが望まれる。

従前の結果より、新破壊式の測定では、試料の不定形性、試料中の放射性セシウムの不均一分布に起因する比較的大きなずれやばらつきが観測され、本結果でも同様の傾向がみられる。検査の信頼性を確保するには、このような例について個別的な詳細

検討を行い、測定により起こりうるばらつきの範囲を評価する必要があると考えられる。そのためにより多くの試料の測定が求められる一方で、検証に適した多数の試料を取集するのは実際に容易ではない。実際の検査への適応にあたっては、対象試料の範囲を決め、実試料を実測することを基本としつつ、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科学的に推定し、適用基準を決定することが有用と考えられた。

(2) 食品中放射性物質濃度データ解析

産地での出荷前検査が機能を果たし、流通食品での検出率は低く抑えられていると考えられるが、放射性セシウム濃度が高くなりやすい天然きのこ、山菜、野生鳥獣肉のような、いまだ検出率が高い食品、すなわち栽培/飼養管理が困難な品目に該当する食品を重点的に検査する体制を整備し、維持することが重要と考えられる。

(3) 食品中放射性物質等有害物質調査

文献調査を行ったところ、近年の食品の摂取量調査では、福島第一原発事故によって飛散した放射性核種よりも、天然放射性核種の内部被ばく寄与が一般的に大きいこ

とが報告されていた。中でもポロニウム 210 からの寄与は大きいことが推定されるが、分析に時間と費用がかかり、煩雑なため、食品分析結果が少ないのが現状であった。そこで、食品中ポロニウム分析法について、前処理を簡便化するための手法の検討を詳細に行った。その結果、化学分離を行わない直接ステンレス電着法によって、一般的な食品はポロニウムの分析が可能であることが示唆された。しかし、調味料類などミネラル分を多く含む食品では直接ステンレス電着法では分析が困難なため、Sr カラムなどの化学分離を行うか、または銀板直接自然析出法による試料調製が必要であると考えられた。

検討したポロニウム 210 分析法を用いて魚介類を測定したところ、イワシ、マアジ、アサリ、カキ、シラスでは比較的高い放射能 ($>10 \text{ Bq/kg}$) が認められた。特にイワシの内臓の分析値は極めて高く、 $1,000 \text{ Bq/kg}$ を超過した。諸外国の分析結果においても、魚介類の内臓にポロニウム 210 が蓄積していることが認められた。国内の一般的な食生活であれば、実効線量 1 mSv/年 を超過する可能性は低いが、内臓等の偏食等による内部被ばくには注意が必要である。

(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

本課題ではこれまで「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。そして今回さらに放射性物質検査の内容について

もほとんど知られていないことを再確認した。食品の安全性確保と風評被害対策のためには広報やリスクコミュニケーションにより多くの資源を配分する必要がある。

(5) 緊急時検査法に関する検討

原子力施設の事故等により放射性核種による環境汚染が引き起こされた場合、食品からの内部被ばくを防止するために食品の規制が行われることから、測定対象核種及び測定法について検討した。事故等により環境汚染を引き起こす可能性のある核種は多く、国内外の文書により 200 余核種を抽出し、核種の特성에基づきその測定法について検討した。測定法としては、前処理が簡易で迅速に測定ができる γ 線測定が有用であることから、ガンマ線スペクトロメトリーによる手法を念頭に、 γ 線のエネルギーと放出率を中心に核種を分類した。文書の目的や想定する状況が異なるため単純な比較はできないものの、我が国の原子力災害対策指針で具体的に取り上げられている核種数は検討した文書の中で最も少なく、緊急時における食品汚染の可能性が高いものに絞り込まれており、網羅的ではなく、より管理の実用性、実効性を重視した立場をとっていることが明確であった。実際に 1F 事故後に放射性セシウムを代表核種とする管理体制が敷かれたが、事故の特徴も影響し、効率的に作用していると考えられる。

環境放射能汚染が引き起こされる原子力施設事故等においては、極めて多様な核種が放出されることが予想される。検査の

効率面から γ 線スペクトル解析法が有用であるが、事故直後には多核種の存在による複数ピークの出現が予想されることから、核種同定には平常時とは異なる注意が必要である。事故等の種類により存在する可能性のある核種を推定し、既存の知識及び情報を活用することが、核種同定の精度を上げることに繋がると考えられる。そのためには、平常時より汚染の可能性のある核種およびその量を幅広く想定し、モニタリング手法を用意しておくことが重要と考えられる。

E. 研究発表

1. 論文発表

- 1) T. Yamada, K. Soga, M. Hachinohe, A. 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*, 184(3-4), 355-358 (2019)
- 2) 畝山智香子：食品安全のためのリスクコミュニケーション, *食品衛生研究*, 68(1), 9-17(2018)
- 3) 畝山智香子：安全な食品とは何か？ーリスクのものさしで考えるー, *調理食品と技術*, 23(4), 1-7 (2017)
- 4) 畝山智香子：食品安全を確保するためのリスクコミュニケーション, *FFI ジャーナル*, 223(1),36-43 (2018)
- 5) 畝山智香子：食品安全のために全ての関係者に必要な情報を, *畜産コンサルタント*, vol 54 No647 pp34-37, 2018
- 6) 畝山智香子：全頭検査という神話, *公研*, No.666, p14-15, 2019
- 7) 畝山智香子：安全な食品とは何かーリスクのものさしで考える, *即席食品*, No. 355, 2019
- 8) 曾我慶介、亀井俊之、近藤一成、最上（西巻）知子、蜂須賀暁子：食品中自由水のトリチウム汚染に対する実用的な簡便検査法の検討, *Isotope News* 751, (2017) 72-74

2. 学会発表

- 1) 山田崇裕, 蜂須賀暁子, 曾我慶介, 非破壊式食品放射能測定装置を食品中の放射性物質測定手法の評価 第 55 回アイソトープ・放射線研究発表会, (2018.7) 東京
- 2) T. Yamada, K. Soga, M. Hachinohe and A. Hachisuka: Performance evaluation of the equipment for measuring radioactivity in whole foodstuff without sample preparation techniques after the Fukushima Daiichi NPP accident. 9th International Conference on High Level Environmental Radiation Areas, (2018.9) Hirosaki, Japan
- 3) 山田崇裕, 蜂須賀暁子, 曾我慶介：非破壊式食品放射能測定装置を用いた食品中の放射性物質測定手法の評価. 第 56 回アイソトープ・放射線研究発表会 (2019.7) 東京
- 4) T. Yamada, A. Hachisuka, K. Soga and Hachinohe: Adaptability evaluation of the food screening without destructive sample preparation to ISO 19581.

- ENVIRA 2019, (2019.9) Prague
- 5) M. Hachinohe, T. Yamada, A. Hachisuka, K. Soga, S. Horii, T. Miura: Localization of radioactivity in dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*). ENVIRA 2019, (2019.9) Prague
 - 6) 友岡弓乃, 山田崇裕, 山西弘城, 稲垣昌代: イメージングプレートを用いたきのこ中の放射性セシウム分布測定とその定量解析に関する検討. 日本保健物理学会第 52 回研究発表会、(2019.12) 仙台
 - 7) 曾我慶介, 松田りえ子, 鍋師裕美, 今村正隆, 堤智昭, 近藤一成, 蜂須賀暁子: 2017 年度公表の食品中放射能検査結果の解析. 第 55 回全国衛生化学技術協議会年会 (2018.11) 横浜
 - 8) 鍋師裕美, 松田りえ子, 今村正隆, 曾我慶介, 堤智昭, 穂山浩, 蜂須賀暁子: 2018 年度公表の食品中放射性物質濃度検査データの解析. 第 56 回全国衛生化学技術協議会年会 (2019.12) 広島
 - 9) Soga, K., Nishimaki-Mogami, T., Kondo, K., Hachisuka, A.: Practical improvement of tritium analysis in foods using a liquid scintillation counting after azeotropic distillation method. 2017 Health Physics Society, Radiation Safety Conference, (2017.7) Raleigh, North Carolina
 - 10) 曾我慶介, 蜂須賀暁子, 近藤一成「食品中の天然放射性核種ポロニウム分析法の簡便化に向けた検討」フォーラム 2018 衛生薬学・環境トキシコロジー (2018.9.10) 長崎
 - 11) 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 分析法の評価. フォーラム 2019 衛生薬学・環境トキシコロジー (2019.8.31) 京都
 - 12) 畝山智香子, 蜂須賀暁子, 登田美桜, 與那覇ひとみ: 福島第一原子力発電所事故後の食品中放射能についてのリスク認知は食品リスク情報の提供によって影響されるか. 日本薬学会第 140 年会、(2020.3.27) 京都
- 3. 単行本**
なし
- 4. その他**
(1) 講演
- 1) 鍋師裕美: 食品中の放射性物質の規制と現状. iTEX 講演会 (兼「レギュラトリーサイエンス講座」、「薬剤動態制御学特論」講義) (2019.12)
- 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