

I. 総括研究報告

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

平成29年度研究総括報告書

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

福島第一原子力発電所事故後、食品中の放射性物質検査が継続的に行われているが、効率的な検査を行うには試料選定等検査計画が重要である。本研究では、検査精度の重要因子である濃度分布の評価手法について、1) 非破壊式放射能測定装置の性能試験として非破壊式放射能測定装置の測定室内における検出効率分布の評価、及び2) 実際に放射性セシウムで汚染した食品試料を用いた、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行った。その結果、1) については測定装置1機種につき計数効率の空間分布は、ほぼ理論通りであることが確認された。2) については、キノコ、栗等約190検体を用いて非破壊試料と均質化試料の測定値を比較し、その結果、両者間で良好な相関が得られたが、非破壊測定では真度の低下傾向が示された。また、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。これらは試料の特徴に起因するものであることが示唆された。本結果により、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。

（2）食品中放射性物質濃度データ解析

平成29年度に厚生労働省ホームページに公表された、食品中の放射性セシウム濃度データ51,615件を集計し、放射性セシウム検出率、基準値超過率、濃度の統計量を求め、食品分類、産地別の集計を行った。基準値を超える食品の割合は0.39%であった。流通する食品の基準値超過率は0.06%で非常に低かったが、非流通品では0.54%であり、また非常に高濃度の放射性セシウムを含

む試料も見られた。このことから、流通前の検査により、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。山菜、きのこ、野生鳥獣肉、淡水魚は、複数の基準値超過が見られた食品分類であり、いずれも山林にその起源をもつことが特徴である。これらの食品が生育する山林では、事故により拡散した放射性セシウムがそのまま存在する状態が継続していると考えられる。現在有効に機能している、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、野生鳥獣肉、淡水魚のような食品中放射性セシウムの検査をリスクの大きさに応じて維持していく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

食品にはもともと天然の放射性核種等の人体に有害な化学物質が含まれている。そこで本研究では事故等により環境汚染を引き起こす放射性核種を中心に、今後新たに検討すべき核種等を探索することを目的に食品中放射性核種等について調査を行う。原子力災害について調べた結果、原発事故時の原子炉の温度・圧力の状態や燃料の種類によって放出核種の性質や種類が異なることや、また事故の時期によって食品への移行の度合いが異なるなどの特徴が見られた。また、近年の摂取量調査では天然放射性核種であるポロニウム 210 やカリウム 40 の内部被ばく線量が、福島原発事故等の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。特に、現在の日本の国民一人あたりのポロニウム 210 からの内部被ばくは年間 0.73 mSv と見積もられており、世界的に見ても高い値であった。しかし、文献データは測定試料数が少なく、線量範囲も大きな開きが見られ、その原因の一つに分析法が煩雑なことが挙げられた。ポロニウム 210 は純 α 線放出核種なため、適切な前処理が必要であるが、食品中ポロニウム 210 の公定法は存在せず、土壌などの環境試料用の方法が流用されている。そこで、本研究では食品に焦点をあて、より実用的なポロニウム 210 分析法の開発を目的に、半減期の長いポロニウム 209 を用いて分析条件の検討を行った。ポロニウムを金属板に沈着するステップにおいて、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種類の方法の利便性を検証した。様々な食品マトリクスに対し、各手法を適宜使い分けることで、時間と費用を抑えたポロニウム分析が可能なが示唆された。

(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

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。平成 29 年度の検討においても、基準だけではなく食品安全の基本的知識が不足していることが指摘された。放射能についての知識が足りないために風評被害があると認識されている場合があるが、もともと食品安全に関する知識が不足あるいは偏っていることが背景にある。放射能の問題に限定せず、食品安全の基本であるリスクアナリシスの理解を広める必要がある。

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部长

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、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。

前年度までの研究では、事故以前は未経験であった食品中放射性物質検査に関し、測定の信頼性保証を含む効果的な監視体制について検討し、測定検査体制の整備に寄与したほか、流通品において

基準値超過が極めて稀であること、現行の検査体制が適切に機能していることを確認し、サンプリングの精度を濃度分布に基づき明らかにしたが、濃度分布の把握手法に関しては課題となっている。

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。

(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、平成29年度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について、非破壊式放射能測定装置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。原子力災害は事例ごとに汚染状況が大きく異なる特徴を有することから、福島原発事故の汚染状況を比較評価し、今後の予測の基礎データとする。検討すべき核種等が特定された場合は、その分析法の開発を検討し、食品安全性研究に貢献する。

(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

現在の流通食品が生産者並びに自治体側の出荷体制及び検査体制の努力により規制値超過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も存在し、被災地復興の障害となっていることから、消費者への効果的な食品検査及び食品安全性情報の発信の方法について検討し、施策の理解向上に役立てる。

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。

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

非破壊式装置の特徴や測定原理を念頭に、主に食品中の放射能汚染を懸念する住民向けに開発された、多種多様な食品の種類、形状、量に対応した測定装置を用いて、①非破壊式装置の性能試験として非破壊式放射能測定装置の測定室内に

おける検出効率分布の評価、及び②実際に放射性セシウムで汚染した食品試料を用いて、破砕等の前処理をしない非破壊式装置による測定とゲルマニウム半導体検出器（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行った。

(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4月から平成30年3月までの、食品中の放射性セシウムの検査データを、産地、食品分類別に集計し、放射性セシウムの検出率、濃度等を求めた。検出率などは母数に影響されるため、検出された件数、試料に比重をおいて解析した。

集計は、公表されたデータから、始めに屠畜場における牛肉の検査データが主と思われる非流通食品の牛肉のデータを除いたものを対象とした。最後に除外した牛肉の検査データのみを解析した。

(3) 食品中放射性物質等有害物質調査

1) 文献調査

PubMed、Google Scholar といった文献検索エンジンを使用して関連する学術論文及び United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) など国連関連のレポートを調査した。

2) ポロニウム分析

食品を11群に分類し、群ごとに混合・均一化した混合試料を用いた。食品認証試料として NIST-4358（海洋甲殻類）と NIST-4359（海藻）を、内部標準溶液とし

てポロニウム 209 (半減期: 102 年) 標準硝酸溶液を用いた。

食品試料は、生試料 50 g に内部標準物質ポロニウム 209 硝酸溶液を 0.04Bq 添加後、硝酸と過酸化水素水を用いて湿式分解し、塩酸で加熱濃縮した (ポロニウム塩化物フォーム)。

化学分離を行う場合は、キレート抽出クロマトグラフィー Sr/Spec Resin 50-100 μm Cartridges-2 ml (Eichrom Technologies 社) により行った。

ポロニウム塩化物フォームの、ステンレス板 (ϕ 24.5 mm, 薄さ 1.0 mm, 陰極) への電着は、電解分析装置 ANA-2 (東京光電社) を用いて 1~3 時間通電し、銀板 (純度 99.99%, ϕ 25.0 mm, 薄さ 1.0 mm) への自然析出では、90°C で 2~16 時間で行った。

ポロニウム電着/析出板を測定試料とし、450 mm² シリコン半導体検出器 PIPS (ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ社) によって 160,000 秒間測定し、 \pm 線スペクトロメトリーを行った。検出限界値は、ISO 11929-7 に基づき、試料量 50 g、計数効率 21%、ポロニウム回収率 75%、 $k=1.625$ として、0.004 Bq/kg と算出された。

各検討におけるポロニウム回収率は標準硝酸溶液ポロニウム 209 により評価した。

(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。平成 29 年度に最も要望が多く関心が高かった話題は「健康食品」であり、放射能への関心は基本的に薄い。

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) 非破壊式装置の測定室内における検出効率分布の評価

非破壊式装置では、検出器の直上に測定試料を配置するための測定室が設けられている。実験に用いた非破壊式装置の検出器直上の測定室面における検出効率は、直行する横軸において、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。検出効率の横軸方向への変化は、高さが高くなるに従い、各高さにおける原点の効率に対して変化が緩やかになり、その比は高さが大きくなると一定値に近づく。このことは、放射能測定の上で、試料の形状の違いの影響が少なくなることを意味する一方で、検出効率の絶対値は検出器からの距離が離れることで低くなるため、実用には試料一検出器の幾何学的条件を最適化する必要があることを示す。

実際の試料は体積状であることが想定されるため、測定により得られた各点の検出効率分布から、面状及び体積状の試料を想定した検出効率について検討した。点状線源で得た検出効率の、半径方向への積分値として得られる面線源に対する検出効率の線源径に対する変化は、点状線源より緩やかとなる。また、各大きさでの面線源に対する効率は測定室底面からの高さが増すにつれ一定値に収束する。さらに、円柱体積状の試料に対する検出効率は、この面状線源に対する効率を高さ方向に積分することにより得られ、円柱で考えた場合、検出効率は底面積と高さに依存する関数で表される。即ち、例えば底面積を決定できるような容器に試料を詰める場合には、試料によるγ線の自己吸収を別途考慮する必要があるものの、試料の充填高さから検出効率を求めることが出来、米、豆といった粒状物質などでは、このような関数から比較的正確に検出効率を得ることができる。ただし、想定する形状と実際の形状の誤差から生じる検出効率の誤差を出来るだけ小

さくする必要がある。本検討の結果より、誤差を小さくするためには、底面積を広くとった場合の充填高さによる検出効率の変化は、底面積が狭い場合よりも緩やかで、有利であることがわかる。また、試料の嵩が少なく、充填高さが低い場合には、大きな誤差を生みやすく注意が必要である。

2) 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

本検討において実験に用いた試料は、非破壊式装置による各測定所においてスクリーニングレベルの 50 Bq/kg を超えたものを対象とし、合計 91 試料を用いた。全試料のうち、キノコ類がその約 65% を占めた。本実験では、非破壊式装置で測定した試料は、そのほぼ全量を前処理し、Ge 検出器を用いて放射能分析を行った。そのため、1 試料から 1~3 個の分析用 U8 容器充填試料を作成、合計 U8 試料 190 個を分析した。試料の中には、非可食部が含まれているものもあったため、Ge 検出器の測定においても非可食部も測定の対象とし、放射能濃度は非可食部を含む濃度として求めた。

キノコ類の Ge 検出器を用いた公定法と 2 種類の非破壊式装置による測定結果との比は、1.02 及び 1.09 で良い相関が得られた。詳細にデータを見ると、非破壊測定器による 3 回測定のばらつきが、壊変率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。キノコ類のうち、Ge 検出器による測定

結果と比較し 30%以上の差が見られた試料を抽出して精査したところ、非破壊式装置による測定結果が Ge 検出器による結果と比較して、その差が大きだけでなく、1 試料を除いて、いずれも標準偏差が放射性壊変による統計的変動よりも有意に大きくなってい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性があることが推定される。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。

イノシシ肉及びその他の試料の測定結果は、相関性の評価を行うには測定試料数が少ないが、個々のデータの特徴を見ると、例えば非破壊式装置による栗の測定結果では、3 回測定のばらつきは、他の試料と比べ明らかに小さいことが確認できる。これは、栗が比較的大きさの揃った粒状であることから、試料の形状変化が少なく、極端な偏在がなければ均質化されやすいことによるものと推定される。

(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

総試料数は 51,615 であり、その内 35,488 が流通前の段階で収集された食品（非流通品）、16,127 が流通段階で採取された食品（流通品）であった。試料全体に対する流通品の割合はおよそ 30%であった。

放射性セシウム濃度が 25 Bq/kg 以上の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 以上の場合を検出とした。このように計算したときの検出試料数は 1,396、検出率は 2.7%となった。非流通品の検出率は 3.8%、流通品の検出率は 0.40%であった。

基準値を超過した試料数は 200 であり、全試料中の基準値超過試料の割合は 0.39%、非流通品においては 0.54%、流通品では 0.06%であった。

食品分類

食品分類は、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、海藻、牛乳、乳児用食品、加工食品、飲料水とした。非流通品で検出率が高い食品分類は、野生鳥獣肉（28%）、山菜（8.5%）、きのこ（8.2%）であった。流通品では、きのこ（7.3%）、山菜（6.4%）、野生鳥獣肉（2.6%）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、超過率はそれぞれ 0.06%、0.38%、1.0%、7.7%、0.07%であった。流通品で基準値を超過した食品分類はきのこ、山菜で、超過率はそれ

ぞれ 0.75%、1.5%であった。

産地

農産物においては、検出された試料は非流通品および流通品合わせて 56 件であり、そのうち福島県産が 51 件 (91%) であった。基準値超過は 5 件でいずれも福島県産であった。なお、基準値超過 5 件のうちの 4 件が干し柿・あんぼ柿であった。きのこは、農産物より広域で検出が認められた。非流通品は 14 県で検出され、そのうち 8 県で基準値超過が認められた。流通品で検出が見られた地域は、非流通品よりも範囲が狭く 8 県であり、基準値超過は 3 県であった。山菜及び野生鳥獣肉は、きのこで検出が報告された地域をやや狭くした範囲で検出が認められた。魚介類で検出された試料の産地は、さらに狭い範囲であり、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る。

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、野生鳥獣肉が主であった。流通品検査が、流通前で見逃された違反を発見することが目的であるならば、流通品検査においては検出率・基準値超過率の高い地域を産地とする野生鳥獣肉、淡水魚、きのこ、

山菜を重点的に検査すべきと考えられる。

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 254,975 件であり、平成 29 年度に報告された検査の 83%にあたる。検査の結果、25 Bq を超えた件数は 9 件、検出率は 0.004%、最大値は 45 Bq/kg となっており、基準値を超過したものはなかった。

(3) 食品中放射性物質等有害物質調査

1) 文献調査

過去の原子力施設事故と福島第一原発事故の比較

UNSCEAR 報告書 (2008) によれば、福島第一原発事故以前の、重大な被害をもたらした原子力施設事故は 7 件あった。中でもチェルノブイリ原発事故が重篤な被害をもたらした。そこで、2011 年の福島第一原発事故とチェルノブイリ原発事

故によって放出された放射性核種を比較した。

全体的にみると、福島第一原発事故で飛散した放射性核種の放射能は、チェルノブイリ原発事故の 1/10 程度であった。核種の性質ごとに見てみると、希ガスの放出量は福島第一原発事故の方が多く、揮発性元素はチェルノブイリ原発事故の方が同程度から 10 倍以上多かった。福島第一原発事故では非揮発性核種の放出量は少なく、対して、チェルノブイリ原発事故では半揮発性・難揮発性物質も多く放出しており、100 km 離れた地域までそれらを沈着させた。この原因として、福島第一原発では、地震により緊急停止措置が取られ、環境放出時に臨界状態にはなく、多くの非揮発性核種が環境中に飛散しなかったと考察されている。原子炉施設事故による放射性核種の放出パターンは、事故時の温度、圧力などの状況に影響される。また、セシウム 134/セシウム 137 の比率は、福島第一原発事故の際は約 1 であったが、チェルノブイリ原発事故では約 0.5 であった。これは原子炉の形式とその燃料の違いによるとされる。

福島第一原発事故では核分裂により生じた希ガス・揮発性物質である放射性キセノン、ヨウ素、セシウム、テルルが主に環境中に放出され、次いで揮発性の低い放射性ストロンチウム、プルトニウムなどが放出されている。UNSCEAR の委員会では、キセノンは放出量が多いものの、半減期および化学的性質から放射線影響の点では無視できるとしている。半減期が一年未満と短い放射性ヨウ素、テ

レル等は現在の食品放射性物質の基準値に含まれていないが、減衰が速いため、食品に残留することによる長期的影響は少ないとされる。大気と陸域環境において、地表に沈着したストロンチウムのレベルは、セシウムのそれより大幅に低いいため、UNSCEAR の委員会は評価に含めていない。また、地表に沈着したプルトニウムのレベルは非常に低く、ほとんどが検出限界以下であった。

日本では平成 24 年 4 月に、半減期が一年以上の 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（セシウム 134 および 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濃度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である。福島原発事故以後のセシウムの摂取量調査では、いずれの報告でもセシウムの影響は「1mSv/年」を大きく下回っており、2012 年でも 0.1 mSv/年以下であったことから、食品検査に基づく出荷制限等の流通規制の施策が効果的に機能していることが裏付けられていると考えられた。

天然放射性核種の調査

天然放射性核種のデータに着目すると、ポロニウム 210 による内部被ばくは、UNSCEAR の公表する世界平均の年間実効線量は 0.07 mSv であるが、日本の平均は 0.73 mSv、0.15-0.81 mSv と見積もられ、被ばく寄与の大きい核種であることが示唆された。一方、カリウム 40 は UNSCEAR によると世界平均では 0.17

mSv、国内では0.1~0.2 mSvと推定され、地域差は見られなかった。ポロニウム210は最も毒性の高い放射性核種の1つと考えられており、国際放射線防護委員会(ICRP)による経口摂取による成人の実効線量係数は0.0012 mSv/Bqで、放射性セシウムより約100倍高い。食品中ポロニウム210濃度は食品種や地域によって大きく偏りが見られることから、摂取量推定のためには今後さらに多数の試料を用いた調査が必要と考えられる。

2) ポロニウム分析法の検討

ポロニウム210は、純±線放出核種であるため測定が困難であることから、本研究では実用的な食品中ポロニウム210分析法の検討を行った。

ポロニウムの金属板への沈着法の検討

①ステンレス板にポロニウムを電着する方法(ステンレス板電着法)②銀板にポロニウムを自然析出させる方法(銀板自然析出法)の2種類の手法について標準硝酸溶液で検討した。その結果、ステンレス板電着法は銀板自然析出法よりも迅速でかつ金属板の価格コストが低く、有用と考えられた。

食品群別混合試料を用いた検討

各食品群別の混合試料を用いて、湿式分解、金属板へ沈着、±線測定の条件を検討した。湿式分解では、50g生試料の分解に要する時間を食品群別に調べると、米、果実、野菜類は短く、約2日間、長いもので14日間であった。

金属板へ沈着させる方法を、ポロニウム209の回収率で評価したところ、米、穀、菓子、果実、野菜、乳製品類は70%

以上、豆、魚、肉類は50-70%であった。一方、調味料類ではポロニウムを検出できず、これら電解質を多く含む試料の場合は、化学分離を行う必要性があった。

ポロニウム209の±線測定においては、半値幅は豆類を除いて許容範囲であったが、豆類は半値幅66.9~88.3 keV、1/10値幅127.0~187.4 keVと高値であったことから核種エネルギー別の解釈には注意が必要である。

認証試料を用いたポロニウム210分析法の評価

検討した3種の前処理法(①直接ステンレス板電着法、②化学分離後ステンレス板電着法、③銀板自然析出法)のNIST認証試料を用いた評価結果をまとめると、真度91-120%、併行精度10%以下となり、良好な真度と精度が得られた。一般的な食品では、主に直接ステンレス板電着法を使用し、場合によってSrカラムを用いた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。

(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

アンケート結果の集計により、以下の問題点が抽出された。

全体として、食品に定められている各種汚染物質の「基準」についてはよくわかっていないという意見が多かった。このことは大きな問題で、食品の安全を確保するためのしくみの基本があまり理解されていないことを示す。食品中に含まれる重金属や放射性物質のような汚染物質

に由来する健康リスクがある場合に、そのリスクを一定レベル以下にするための管理方法の一つが「基準値」を定めて検査し、それを超えるものが市場に出回らないようにする、ということである。しかしこれは数あるリスク管理方法のうちの一つの方法でしかなく、常に最良の方法でもない。もともとの汚染によるリスクが十分小さければ基準値を設定して定期的に検査してもリスクが下がる効果は得られないだろう。そういう場合の検査の目的は監視（モニタリング）になる。検査をして濃度の高いものを排除するよりリスクの高い特定のものへの注意喚起のほうが好ましい場合もある。例えば魚中のメチル水銀に関して、FDA はマグロなどの水銀濃度の高い魚に水銀基準を設定して高濃度のものを廃棄するという方法ではなく、妊婦や乳幼児向けに魚摂取に関する助言を提供する方法を選んでいる。これは仮に魚の水銀基準を 1ppm に設定してそれ以上のものを捨てたとしても、0.5 ppm の魚を多く食べれば摂取量が多くなってしまうために暴露量を削減する効果があまりなく、費用と水産資源の無駄を考えると良い方法ではないと判断されたためである。この管理方法は日本でも基本的には同様で、水銀濃度の高い魚に対しては妊婦向けに助言を提供することを主な対策としており、水揚げされたマグロの水銀を全て検査するというような方法はとられていない。現在の日本の食品中の放射性物質検出状況にあてはめると、野生のキノコや山菜、野生の獣（ジビエ）に注意喚起することに相当

するだろう。基準を設定して検査するのはリスクを下げるためである、という本来の目的をしっかりと周知させる必要があるだろう。

全体として食品の基準だけではなく食品安全の基本的知識が不足している。学生はともかく、食品企業で働く人たちの食品リスクに関する知識はもっと改善できるであろう。放射能についての知識が足りないために風評被害があると認識されている場合があるが、もともと食品安全に関する知識が不足あるいは偏っていて残留農薬や食品添加物などが常に必要以上に悪者扱いされていた（風評被害に遭っていた）のが現実である。1999年の所沢ダイオキシン騒動でも風評被害が問題になったが、解決されたというより忘れ去られただけである。食品を巡るこれまでの風評被害問題を解決できていないのに、放射能汚染の問題だけは解決できるはずはない。放射能の問題に限定せず、食品安全の基本であるリスクアナリシスの理解を広める必要がある。

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、1) 非破壊式放射能測定装置の測定室内における検出効率分布の評価、及び 2) 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行った。1) の実験において、装置が対称性のある検出効率分布を持っていることが確認できた。また、点状線源により得た検出効率プロファイ

ルにより、体積線源に対する効率について計算し、形状の変化や不均質の影響の軽減のためには、底面積を広くとり、試料高さを十分に確保することが有効であることがわかった。また、検出器直上付近では、検出効率の変化率が大きいため、検出器表面からある程度距離をとることが、検出効率そのものは低くなるものの、不均質の影響の低減には有効であることが分かった。2) の実験においては、キノコの測定による非破壊式装置の結果は Ge 検出器の結果と良好な相関関係があり、ほぼ一致した。一方で、非破壊式装置は、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。これらは試料の特徴に起因するものであることが示唆された。本結果により、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うという条件下においては、食品の汚染状況の大まかな把握などの目的には、非破壊式装置による測定も十分有効である可能性が示唆された。また、自主的なスクリーニング目的に活用できる可能性もあるものの、本研究結果でも過小評価の事例などが見られたように、測定の信頼性を高めるには、適用条件を測定器及び試料の特性等の把握により決定して運用されることが必要である。

(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、食品中の放射性セシウム濃度データ

51,615 件を集計し、放射性セシウム検出率、基準値超過率、濃度の統計量を求め、食品分類、産地別の集計を行った。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、きのこ、天然山菜、野生鳥獣肉のような、いまだ検出率が高い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

UNSCEAR の報告書および学術論文を参考に、特に大きな被害をもたらしたチェルノブイリ原発事故と福島原発事故の放出核種と汚染状況を比較調査した。事故時の原子炉の状態（温度や圧力など）や燃料の種類によって、放出核種の性質や種類が異なり、また事故の時期によって食品への移行が異なると考えられた。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、分析にコストがかかり、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、米、穀、菓子、果物、野菜、肉、魚、乳製品等の一般的な食品はポロニウムの分析が可能と考えら

れる。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。今後、今回検討した基本的な手法結果に基づき、ポロニウム 209 を内部標準物質として、様々な食品中ポロニウム 210 の分析精度を調べていく予定である。

(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

国内流通する食品の放射性物質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。食品に定められている各種汚染物質の基準だけではなく、食品安全の基本的知識が消費者に不足していることがその原因と考えられた。放射能汚染の風評被害問題を解決するためには、放射能の問題に限定せず、食品安全の基本であるリスクアナリシスの理解を広める必要がある。

E. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 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)
- 2) 畝山智香子 安全な食品とは何か? -リスクのものさしで考える-, 調理食品と技術, 23(4), 1-7 (2017)
- 3) 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)

2. 学会発表

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, Raleigh, North Carolina, July 2017

3. その他

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

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

