

201426044A

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濃度の基準値に対する
影響に関する研究

平成26年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 明石 真言
放射線医学総合研究所

平成27(2015)年3月

目次

I. 総括研究報告	
食品中の放射性物質濃度の基準値に対する影響に関する研究	3
II. 分担研究報告	
1. 食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究	11
青野 辰雄(放射線医学総合研究所 福島復興支援本部)	
2. 農畜産物中放射性核種の測定及び低減化に関する研究.....	19
塚田 祥文(福島大学 環境放射能研究所兼うつくしまふくしま未来支援センター)	
3. 食品中放射性セシウム濃度基準値の妥当性検証.....	31
高橋 知之(京都大学 原子炉実験所)	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	41
IV. 研究成果の刊行物・別刷	45

I. 総括研究報告

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濃度の基準値に対する影響に関する研究 主任研究報告書

研究代表者 明石 真言 (放射線医学総合研究所)

研究要旨

平成 23 年 3 月の東京電力(株)福島第一原子力発電所(FD1NPS)事故により食品の摂取による内部被ばくが懸念された。厚生労働省は平成 24 年 4 月以降、介入線量を年間 1mSv として、新たな基準値を適用している。これは放射性セシウム(Cs)濃度について基準値を設定し、その他の核種については、原子力安全・保安院(当時)が公表した放出量試算値のリストに掲載された核種のうち、半減期が1年以上であるストロンチウム-90(^{90}Sr)、ルテニウム-106(^{106}Ru)、プルトニウム-238(^{238}Pu)、プルトニウム-239(^{239}Pu)、プルトニウム-240(^{240}Pu)及びプルトニウム-241(^{241}Pu)を評価対象核種として、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、その線量への寄与を考慮している。また、その他の核種は、モニタリング結果や核分裂収率、物理的半減期等から、放射性 Cs に比べて線量寄与が無視し得る程十分に小さいと考えられ、評価対象核種には含まれていない。つまり、濃度基準値の妥当性を評価するためには、食品について、内部被ばくに対する核種の寄与率の状況を把握する必要がある。

本研究では食品(農畜水産物等)中の放射性 Cs とその他の長半減期放射性核種濃度及び調理加工に伴う濃度変化について調査を行い、基準値作成に用いられた濃度比との比較や食品の摂取に起因する内部被ばく線量に対する放射性 Cs の寄与率の推定から、食品中の放射性 Cs 濃度基準値の妥当性の検証を行うこととした。そこで食品中の放射性物質濃度の基準値に対する影響に関する研究を行うために、食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究及び環境中における放射性物質動態の実態把握に関する研究を実施した。

FD1NPS の水素爆発や高濃度汚染水流出の事故由来の放射性物質だけでなく、その後に FD1NPS から流出した放射性核種の影響を確認する必要もある。そこで市場流通する福島産水産食品と FD1NPS から 30km 圏内の海域で採取した魚介類について調査した。これらの可食部の測定を行ったところ、食品中の基準値を超えた試料はなかった。また調理加工に伴い、可食部の放射性 Cs 濃度が 50%程低下することが明らかとなった。

福島県産品の食品(農畜産物)の放射性 Cs 濃度は、一般食品の基準値である 100 Bq/kg を超えた試料はなかった。 ^{90}Sr 濃度は、事故の影響が明確に見られた試料はなく、基準値

の導出の考え方による⁹⁰Sr/¹³⁷Cs濃度比よりも低いか、大気圏内核実験由来の濃度レベルにあり、基準値導出における推定方法が妥当であることが示唆された。また、安定元素濃度を利用して放射性Cs及び⁹⁰Srによる内部線量評価を試みた結果、いずれについても介入線量レベルとして設定された年間1mSvよりも極めて低い値であり、本基準値による規制が十分妥当であることが示された。

研究分担者

青野 辰雄 放射線医学総合研究所
塚田 祥文 福島大学環境放射能研究所
兼うつくしまふくしま未来支援センター
高橋 知之 京都大学原子炉実験所

研究協力者

福谷 哲 京都大学原子炉実験所
吉田 聡 放射線医学総合研究所

A. 研究目的

平成23年3月の東京電力(株)(TEPCO)福島第一原子力発電所(FD1NPS)事故により食品の摂取による内部被ばくが懸念された。厚生労働省は平成24年4月以降、介入線量を年間1mSvとして導出された新たな基準値を適用した。新たな基準値の導出においては、放射性セシウム(Cs)濃度について基準値を設定し、その他の核種については、原子力安全・保安院(当時)が2011年6月に公表した放出量試算値のリストに掲載された核種のうち、半減期が1年以上であるストロンチウム-90(⁹⁰Sr)、ルテニウム-106(¹⁰⁶Ru)、プルトニウム-238(²³⁸Pu)、プルトニウム-239(²³⁹Pu)、プルトニウム-240(²⁴⁰Pu)及びプルトニウム-241(²⁴¹Pu)を評価対象核種として、放射性Csとの濃度比を推定することにより、その線量への寄与を考慮している。また、これらの評価対象核種以外は、モニタリング結果

や核分裂収率、物理的半減期等から、放射性Csに比べて線量の寄与が無視し得る程十分に小さいと考えられ、評価対象核種には含まれていない。

内部被ばく線量に対する放射性Cs及びその他の核種の寄与率は、環境モニタリングによる土壤中放射性核種濃度や、これまでの環境移行パラメータによって推定されており、その評価は十分安全側と考えられるが、実際に食品中濃度を測定した結果に基づくものではない。そのため、食品について測定及び評価を行い、内部被ばくに対する主要核種の寄与率の状況を把握する必要がある。

本研究では食品(農畜水産物等)中の放射性Cs及びその他の長半減期放射性核種濃度及び調理加工に伴う濃度変化について調査を行い、基準値作成に用いられた濃度比との比較や食品の摂取に起因する内部被ばく線量に対する放射性Csの寄与率の推定から、介入線量を年間1mSvとした食品中の放射性Cs濃度基準値の妥当性の検証を行うことを目的とした。

B. 研究方法

1. 食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究

平成23年3月のFD1NPSにおける水素爆発や高濃度汚染水流出の事故由来の放射性物質

だけでなく、その後に FD1NPS から流出された放射性核種の影響を確認する必要もあり、FD1NPS から 30km 圏内の海域の魚介類を採取し、その可食部について放射性核種濃度を測定した。また調理加工に伴う濃度の減少について検討した。

2. 農畜産物中放射性核種の測定及び低減化に関する研究

市場流通している農畜産物から、福島県産に限定して作物中の放射性核種濃度等を測定し、その結果を、基準値導出に用いられた濃度比や、過去の大気圏内核実験によるフォールアウトに起因する農作物中放射性核種の濃度レベルと比較検討することにより、基準値策定時に検討した農作物中 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 濃度比の妥当性について検討した。山菜や野獣肉も地域の季節食材として流通することから、それらの放射性 Cs 濃度と調理加工による低減割合について求めた。

3. 食品中放射性 Cs 濃度基準値の妥当性検証

平成 24～25 年度の食品試料中安定元素濃度を測定した。この結果と、安定カリウム(K)及び安定カルシウム(Ca)の摂取量を用いて、農畜産物の経口摂取による放射性 Cs 及び ^{90}Sr に起因する内部被ばく線量を評価し、 ^{90}Sr を考慮した内部被ばく線量と介入線量レベルを比較検討した。

C. 研究成果

1. 食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究

調査を行った 32 試料中で最も高い ^{137}Cs 濃度は、13.5 Bq/kg-生重量(コモンカスベ可食部)で、食品中の基準値を超えた試料はなかった。またコモンカスベ、サバ、アイナメ及びサンマの可食部

において ^{90}Sr 及びプルトニウム-239+240($^{239+240}\text{Pu}$)濃度は検出下限値以下で、事故の影響が明確に見られた試料はなかった。調理加工に伴い、可食部の $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 濃度とカリウム-40(^{40}K)が 50-90%程低下することが明らかとなった。

2. 農畜産物中放射性核種の測定及び低減化に関する研究

平成 24 年度の試料中 ^{90}Sr 濃度は、試料全てにおいて、検出下限値未満であったことから、平成 25 年度に 9 種類の試料について、供試量を約 10 kg に増量して ^{90}Sr 濃度を定量した。この結果、調理加工前の玄米、キュウリ、ジャガイモ及び大豆中 ^{90}Sr 濃度は、0.0047～0.30 Bq/kg-生重量の範囲であった。山菜については、その種類や調理加工方法によって放射性 Cs の低減割合は異なった。また、イノシシ肉の血抜きでは、放射性 Cs 濃度が約 5 分の 1 に低減した。

3. 食品中放射性 Cs 濃度基準値の妥当性検証

平成 24～25 年度の食品試料中安定ストロンチウム(Sr)濃度は 16～6600 $\mu\text{g}/\text{kg}$ と、その範囲は二桁にわたっていた。また安定 Ca 濃度も 16～3900 mg/kg とその範囲は二桁にわたっていた。安定 Cs 及び安定 K 濃度は平成 25 年度の試料のみ測定を行った。安定 Cs 濃度は検出下限値未満の試料が多く、濃度の範囲は ND～5.7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ であった。安定 K 濃度は比較的変動範囲が小さく、1.2～7.5g/kg であった。

D. 考察

1. 食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究

TEPCOのモニタリング結果でも、FD1NPSの港湾外では高い放射性Cs濃度の魚介類は検出され難い状態にある。サンプリングを行った海域の海水やプランクトン中の放射性Cs濃度は事故前のレベルに近い濃度に下がっている。一方で海底堆積物中の濃度は底質組成により海域によって濃度差が大きいために、回遊魚に比べて、底生生物を捕食するヒラメやコモンカスベのような底層魚では放射性Cs濃度は高い傾向にあることが考えられた。また可食部から ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ は検出されなかった。つまり ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は基準値の導出の考え方による $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 及び $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 濃度比よりも低いのか、大気圏内核実験由来の濃度レベルにあり、基準値導出における推定方法が妥当であることが示唆された。

2. 農畜産物中放射性核種の測定及び低減化に関する研究

本研究で検出された ^{137}Cs 濃度及び ^{90}Sr 濃度の検出下限値と、過去のフォールアウトの影響、及び評価に用いられた核種濃度比の比較検討を行った。その結果、 ^{90}Sr について、本事故の影響が明確に見られた試料はなく、フォールアウトによる ^{90}Sr が含まれている可能性を考慮しても、 ^{90}Sr 濃度は基準値の導出の考え方による $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 濃度比よりも低いのか、大気圏内核実験由来の濃度レベルにあり、基準値導出における推定方法が妥当であることが示唆された。

2011年の土壌モニタリングで、原発周辺で採取された土壌からは事故放出によるストロンチウム-89(^{89}Sr)と ^{90}Sr が検出された¹⁾。今回、FD1NPSから西5kmの帰還困難区域内にある大熊町の試験圃場で栽培された農作物中の $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 濃度の比は、基準値策定時に用いられたこの比より低

かった。また、本事故由来のPuは認められなかった。調理加工により山菜や野獣肉中放射性Cs濃度は減少し、特にイノシシ肉は血抜きによって大きく減少した。これは、植物細胞(細胞壁)と動物細胞(細胞膜)の構造上の違いがあると推測される。

3. 食品中放射性Cs濃度基準値の妥当性検証

年間内部被ばく線量推定値を男女別、年齢階層別に評価した結果、年間内部被ばく線量は放射性Cs、 ^{90}Sr ともに 1×10^{-3} のオーダーであり、合計しても介入線量レベルである年間1 mSvを大幅に下回っていた。なお、今回、検出された食品中の ^{90}Sr の大部分は大気圏核実験由来と考えられ、本事故由来の ^{90}Sr による被ばく線量はより小さいと考えられる。ただし、 ^{90}Sr に関する今回の推定結果については不確実性が大きく、より精度の高い推定を行うためには、試料数を増やすなどのより詳細な検討が必要と考えられる。

E. 結論

1. 食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究

採取した魚介類のうち、可食部中の基準値を超えた試料はなかった。また ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ は検出されなかった。流通水産食品だけでなく、福島沖で採取された魚介類については基準値導出における推定方法が妥当であることが示唆された。

2. 農畜産物中放射性核種の測定及び低減化に関する研究

約10kgの大量の試料を灰化減容し分析した試料について、過去の農作物中 ^{137}Cs 及び ^{90}Sr の濃度の範囲及び食品中放射性Cs基準値の導出

の際に評価した核種濃度比と比較検討した結果、基準値導出における推定方法が妥当であることが示唆された。なお、帰還困難区域内の大熊町の試験圃場の農作物でも、本事故由来のPuは認められなかった。調理加工によって農畜産物中放射性Cs濃度は減少した。

3. 食品中放射性Cs濃度基準値の妥当性検証

安定元素濃度を利用して、平成25年度採取試料の濃度から推定した内部被ばく線量の評価結果は、フォールアウトによる⁹⁰Srの寄与を含めても、介入線量レベルである年間1 mSvを大幅に下回っていた。また、事故に起因する放射性Cs以外の核種の影響は極めて小さく、⁹⁰Sr等の他の放射性核種の寄与を安全側に考慮した放射性Csに対する基準値の算定値は、妥当であったと考えられた。

F. 引用文献

1) 文部科学省、農林水産省：東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の分布状況等に関する調査研究結果、平成23年度科学技術戦略推進費「重要政策課題への機動的対応の推進及び総合科学技術会議における政策立案のための調査」、「放射性物質による環境影響への対策基盤の確立」、1-82-1-88、2012。

G. 研究業績

論文発表

1. 青野辰雄, 福田美保, 山崎慎之介, 吉田聡, 伊藤友加里, 石丸隆, 神田穰太, 早乙女忠弘: 福島沿岸域における海水とプランクトン試料中の放射性Csの濃度変動について,

Proceedings of the 15th Workshop on Environmental Radioactivity (KEK proceedings), 2014-7, 206-209, 2014.

2. T. Aono, M. Fukuda, S. Yoshida, T. Sotome, T. Mizuno, S. Igarashi, Y. Ito, J. Kanda and T. Ishimaru: Activities of radionuclides in the Pacific coastal area of Fukushima since the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident, Proceedings of International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity, COMUNICACION_0_1405422310789.docx.pdf, 2014.

3. 塚田祥文: 土壌中放射性セシウムの経時的な変化, 日本土壌肥科学雑誌 85, 77-79, 2014.

4. 山口克彦, 河津賢澄, 塚田祥文: 福島大学における震災復興への取り組みー住民の視点からの放射線問題への取り組みー, 土木学会誌 99, 50-53, 2014.

5. 塚田祥文, 小山良太: なすびのギモン (食品編), 1-33, 環境省, http://josen-plaza.env.go.jp/nasubinoogimon/pdf/nasu-gimo_vol3_2pver.pdf, 2014.

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし

I. 健康危険情報
なし

II. 分担研究報告

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)

食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究 分担研究報告

分担研究者 青野 辰雄 放射線医学総合研究所
研究協力者 吉田 聡 放射線医学総合研究所

要旨

平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災に起因する東京電力(株)福島第一原子力発電所(FD1NPS)事故によって大量の放射性物質が施設外の環境へ放出されたことにより、食品の摂取による内部被ばくが懸念された。このため、厚生労働省は、平成 24 年 4 月以降は、介入線量を年間 1mSv とし、新たな基準値を適用した。

新たな基準は、放射性セシウム(Cs)濃度について基準値を設定し、その他の核種については、放射性Csとの濃度比を推定することにより、その線量への寄与を考慮している。その寄与率は、環境モニタリングや環境移行パラメータにより推定されており、食品を測定した結果に基づくものではない。食品中の放射性核種濃度を測定することにより、安全が担保されていることを検証することが必要不可欠である。さらに調理加工に伴う放射性核種濃度比の変化を把握することは、この妥当性を検証の上でも重要である。そこで、調理加工に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究を実施した。

FD1NPS から 30km 圏内の海域の魚介類の採取及び市場流通する水産物を入手し、これら試料の測定を行ったところ、食品中の基準値を超えた試料はなかった。また可食部からストロンチウム-90(⁹⁰Sr)及びプルトニウム-239+240(²³⁹⁺²⁴⁰Pu)は検出されなかった。さらに流通する水産物について、調理加工に伴う放射性 Cs とカリウム-40(⁴⁰K)濃度の低減率を確認したところ、50-90%程低下することが明らかとなった。

A. 研究目的

新たな基準は、放射性セシウム(Cs)濃度について基準値を設定し、その他の核種については、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、その

線量への寄与を考慮している。食品の摂取に起因する内部被ばく線量に対する放射性Csの寄与を精度良く評価するためには、調理加工における放射性核種濃度比の変化についても把握する必

要がある。そこで食品中の放射性核種濃度の基準値を策定する際に推定された放射性Csの線量への寄与率について、その妥当性を確認するために実施するものである。福島県を含め国内で流通している魚介類は放射性Csが100 Bq/kg-生重量以下であり、放射性Csに対する他の核種の寄与率を比較することが非常に難しい状況にある。一方で、東京電力(株)(TEPCO)福島第一原発発電所(FD1NPS)内では、汚染水等の漏洩に関する報告が続いた。放射性ストロンチウム(Sr)は水産生物のカルシウム(Ca)を多く含む骨に濃縮されることが知られている。そこで、魚介類中の部位毎の放射性核種の濃度比を明らかにすることを目的に、今年度は、FD1NPSからの影響を確認しやすく、また魚介類が採取可能なFD1NPS沖合30km圏内のモニタリング海域において魚介類を採取及び市場流通する水産物入手し、「食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究」を実施した。

B. 研究方法

1. 水産物中の放射性物質の濃度測定

1.1. 調査協力と試料入手

本研究で対象とする水産物は、FD1NPSから30km圏内で採取される魚類と福島沖で採取され市場流通する水産物とした。福島県水産試験場の協力を得て情報収集¹⁾を行い、TEPCOによる水産物モニタリングで、多くの種類の魚類が採取できるモニタリング測点²⁾を選択し、平成26年11月にFD1NPS北側の南相馬沖合(北緯37度33分、東経141度03分)を、また平成26年11月と平成27年1月にFD1NPS南側の木戸川(楡葉町)沖合(北緯37度15分、東経141度02分)でいわき市漁業協同組合の漁船で刺し網により魚介類

を採取した。採取した魚類を表1に示す。

1.2. γ 核種の濃度の測定

採取した魚介類は、個体毎のばらつきを確認するために、体液等のドリップによる損失が少ないように速やかに、可食部、内臓部とアラ部(皮、骨、鰓、頭、尾等の可食部及び内臓部以外)に分割し、個体毎に冷凍保存した。可食部、アラ部及び内臓部について、乾燥を行い、ミキサー等で粉碎後に乾燥試料とした。この一部は電気炉を用いて灰化試料の作製を行った。生重量に対する灰化率は10%以下であった。測定に十分な試料量が確保できた可食部と一部のアラ部の灰試料をU8容器に詰めて、Canberra社製低バックグラウンドGe半導体検出器(GX2019)を用いて、24時間以上の γ 核種の測定を行った。Ge半導体検出器は、日本アイトープ協会製の標準体積線源(5~50mm、9.5~95g、アルミナ)を用いて効率曲線を作成したものをを用いた。セシウム-134(^{134}Cs)(604.7 keV)、セシウム-137(^{137}Cs)(661.7 keV)、カリウム-40(^{40}K)(1460 keV)の定量結果を記録した。これ以外の γ 核種は計測されなかった。 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の検出下限値は、それぞれ0.05 Bq/kg-生重量であった。測定結果を表2に示す。

1.3. ^{90}Sr 及びプルトニウム-239+240($^{239+240}\text{Pu}$)濃度の測定

水産物中の ^{90}Sr 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は、FD1NPS事故以前においてはそれぞれで、検出下限値以下~0.26 Bq/kg-生重量と検出下限値以下~0.07 Bq/kg-生重量の範囲であった。これらの分析には生重量として約0.5~1kgの試料が必要であるため、同一種の個体の灰試料を合わせて分析試料とした。魚種はコモンカスベ、サバ、アイナメ及

びサンマで、部位は可食部とした。灰試料を硝酸と過塩素酸により有機物の分解を行い、溶液試料とし、Sr 分析用と Pu 分析用の試料に二分割した。Sr 分析用試料は、Sr レジンを用いて Sr の分離・精製を行い、炭酸 Sr 沈殿を作製し、Eurisis 社製低バックグラウンドベーターカウンターを用いて測定を行った。Pu 分析用試料は、陰イオン交換樹脂法により Pu の分離・精製を行い、電着試料を作製し、Canberra 社製アルファスペクトロメーターで測定を行った。

2. 調理加工に伴う魚類中の放射性物質濃度変動に関する研究

2.1. 魚類の調理法

福島沖で採取され市場に流通する魚類の可食部について、乾燥試料を秤量し生重量と同じ状態になるように純水を加え、生試料と同じ重量になるように試料を戻した。これをビーカーに入れ、魚類の煮物を想定し、150mL の純水をビーカーに加え、80~90°C の湯浴で 30 分加温した。加温後に試料をビーカーから取り出し、軽く絞り、一度冷却した。この試料は真空乾燥を行い、ミキサー等で粉碎後に再び乾燥試料とした。

2.2. γ 核種の濃度の測定

乾燥試料は U8 容器に詰めて、Canberra 社製低バックグラウンド Ge 半導体検出器(GX2019)を用いて、24 時間以上の γ 核種の測定を行った。測定結果を表 3 に示す。

C. 研究結果

1. 水産物中の放射性物質の濃度測定

平成 26 年 11 月に FD1NPS の北側で採取したサバ(n=7)の可食部及びアラ部の ^{134}Cs 濃度

(Bq/kg-生重量)は、0.05 (検出下限値)以下で、サバの可食部の ^{137}Cs 濃度(Bq/kg-生重量)は 0.08 であった。平成 26 年 11 月に FD1NPS の南側で採取した魚介類の可食部中の放射性 Cs 濃度(Bq/kg-生重量)は、コモンカスベ(9)、ガザミ(<1)とカツオ(1)であった。平成 27 年 1 月では、ババカレイ(18)、マコカレイ(6)、コモンカスベ(6)、アイナメ(3)及びヒラメ(2)であった。昨年度の調査に比べて、同一魚種の可食部濃度は約 90%も減少していることが明らかとなった。同一魚種の試料間の濃度差を比較するために、個体毎に測定を行い、その結果を図 1 に示した。 ^{137}Cs よりも濃度の高い ^{40}K は平均値に対する標準偏差の割合は 25%以下であった。 ^{137}Cs 濃度については平均値に対する標準偏差の割合は甲殻類と中層魚では 30%以下であったが、底生魚のコモンカスベは 40%以上であった。コモンカスベ、サバ、アイナメ及びサンマ可食部中の ^{90}Sr 濃度は検出下限値(0.2 Bq/kg-生重量)未満であった。また同試料中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度も検出下限値(0.01 Bq/kg-生重量)未満であった。つまり FD1NPS 事故による影響は認められなかった。

2. 調理加工に伴う魚類中の放射性物質濃度変動について

調理加工に伴う市場流通する福島産の水産物可食部中の放射性 Cs と ^{40}K 濃度の変動を表 3 に示す。生試料中に ^{134}Cs は検出されず、ホッキ貝可食部で ^{137}Cs は検出されたが、1 Bq/kg-生重量以下と低い値であった。今回は煮物を想定して実験を行った。生重量時の濃度に対して、調理加工後の試料中の放射性 Cs と ^{40}K 濃度が 50-90%減少することが明らかとなった。

D. 考察

今回採取した魚介類から、食品中の基準値を超えた試料はなかった。これは TEPCO のモニタリング結果でも、FD1NPS の港湾外では高い放射性 Cs 濃度の魚介類は検出され難い状態にあること²⁾や、サンプリングを行った海域の海水中の放射性 Cs 濃度は数～数十 mBq/L で、事故前の海水中の放射性 Cs 濃度の約 2mBq/L に対して数倍から十倍程度のレベルまで海水中の¹³⁷Cs 濃度が下がっていることが考えられる。また平成 26 年には同海域で魚類の餌となるプランクトン試料中の濃度が、事故前の濃度レベルであり³⁾、餌生物が生息する海底堆積物中の¹³⁷Cs 濃度は底質組成により海域による差があるが、事故数ヶ月後の濃度に比べてかなり減少していること⁴⁾も影響していると考えられる。一方で底層に生息し、底生生物⁵⁾を捕食するヒラメやコモンカスベのような底層魚中の¹³⁷Cs 濃度が中層魚よりも高い傾向にあることは、海底土を含む底生生物を摂食していることが底層魚中の放射性 Cs 濃度に影響していると考えられる。また調理加工に伴い放射性核種濃度の低減が確認された。

水産総合研究センターによる水産物 Sr 等調査結果(平成 27 年 3 月 30 日)⁶⁾では、平成 26 年度の分析試料から⁹⁰Sr は検出下限値未満(0.001 Bq/kg-生重量)で、²³⁹⁺²⁴⁰Pu は検出下限値未満(0.001 Bq/kg-生重量)～0.0022 Bq/kg-生重量であった。今回、平成 26 年度に採取した魚介類可食部中の⁹⁰Sr 及び²³⁹⁺²⁴⁰Pu は検出されなかったことから、福島県沖の魚介類についてもフォールアウトによる⁹⁰Sr 及び²³⁹⁺²⁴⁰Pu が含まれている可能性を考慮しても、⁹⁰Sr 及び²³⁹⁺²⁴⁰Pu 濃度は基準値の導出の考え方による⁹⁰Sr /¹³⁷Cs 濃度比及び²³⁹⁺²⁴⁰Pu /¹³⁷Cs よりも低いあるいは、大気圏内核実

験由来の濃度レベルにあることが考えられる。

E. 結論

TEPCO FD1NPS 30km 圏内の海域において刺し網で採取した魚介類中の放射性 Cs、⁴⁰K、⁹⁰Sr 及び²³⁹⁺²⁴⁰Pu 濃度を測定した。採取された魚介類の可食部で食品中の基準値を超えた試料はなかった。また⁹⁰Sr 及び²³⁹⁺²⁴⁰Pu は検出下限値以下であり、本事故による影響は確認できなかったことから、水産物に対する基準値導出における推定方法も妥当であることが示唆された。

F. 引用文献

- 1) 福島県水産課: 福島県の水産物の緊急時モニタリング検査結果、平成 27 年 5 月 20 日、<http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36035e/suisanka-monita-top.html>
- 2) TEPCO: 魚介類の核種分析結果<福島第一原子力発電所 20km 圏内海域>, 2014 年 10 月 10 日、http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/fl/smp/2014/images/fish02_141017-j.pdf.
- 3) 青野辰雄, 福田美保, 山崎慎之介, 吉田聡, 伊藤友加里, 石丸隆, 神田穰太, 早乙女忠弘: 福島沿岸域における海水とプランクトン試料中の放射性 Cs の濃度変動 について, Proceedings of the 15th Workshop on Environmental Radioactivity (KEK proceedings), 2014-7, 206-209, 2014.
- 4) S. Otosaka, T. Nakanishi, T. Suzuki, Y. Satoh, and H. Narita,: Vertical and lateral transport of particulate radiocesium off Fukushima, Environ. Sci. Technol., 48, 12595–12602, 2014.
- 5) 福島県水産試験場: 魚介類の餌料生物等の放射性セシウム濃度検査結果、2012 年 12 月

28 日、[https://www.pref.fukushima.lg.jp/
uploaded/attachment/37752.pdf](https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/37752.pdf)

- 6) 水産庁、水産総合研究センターによる水産物ストロンチウム等調査結果(平成 27 年 3 月 30 日)、http://www.jfa.maff.go.jp/j/housyanou/pdf/strontium_2.pdf

G.研究業績

1. 青野辰雄, 福田美保, 山崎慎之介, 吉田聡, 伊藤友加里, 石丸隆, 神田穰太, 早乙女忠弘: 福島沿岸域における海水とプランクトン試料中の放射性 Cs の濃度変動 について, Proceedings of the 15th Workshop on Environmental Radioactivity (KEK proceedings), 2014-7, 206-209, 2014.
2. T. Aono, M. Fukuda, S. Yoshida, T. Sotome, T. Mizuno, S. Igarashi, Y. Ito, J. Kanda and T. Ishimaru: Activities of radionuclides in the Pacific coastal area of Fukushima since the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident, Proceedings of International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity, COMUNICACION_0_1405422310789.docx.pdf, 2014.

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし

I. 健康危険情報
なし

表 1 TEPCO-FD1NPS 30km圏内の海域で採取した魚介類

(1) 平成26年11月24日に檜葉町木戸川沖合で採取した魚介類

魚種名	試料数	平均全長(mm)	平均重量(g)
ガザミ	6	180	318
カツオ	1	344	775
コモンカスベ	4	461	847

(2) 平成26年11月28日に相馬沖合で採取した魚介類

魚種名	試料数	平均全長(mm)	平均重量(g)
サバ	8	328	383

(3) 平成27年1月29日に檜葉町木戸川沖合で採取した魚介類

魚種名	試料数	平均全長(mm)	平均重量(g)
コモンカスベ	6	485	903
アイナメ	6	358	492
ヒラメ	2	595	2308
マコカレイ	1	430	1066
ババカレイ	1	416	832

表 2 TEPCO-FD1NPS 30km圏内の海域で採取した魚介類の放射性核種濃度

(1) 平成26年11月24日に檜葉町木戸川沖合で採取した魚介類

魚種	部位	試料数*	Cs-134 Bq/Kg-生重量		Cs-137 Bq/Kg-生重量		K-40 Bq/Kg-生重量	
			平均値	±error	平均値	±error	平均値	±error
ガザミ	可食部	3	< 0.05		0.09	0.01	18.14	3.07
ガザミ	内臓部	1	0.12	0.02	0.39	0.02	10.08	0.35
カツオ	可食部	1	0.14	0.01	0.56	0.01	38.91	0.41
カツオ	アラ部	1	0.07	0.02	0.31	0.02	24.75	0.49
コモンカスベ	可食部	4	2.11	0.92	6.51	2.85	16.92	0.52
コモンカスベ	アラ部	4	1.35	0.59	4.20	1.85	13.50	1.11

(2) 平成26年11月28日に相馬沖合で採取した魚介類

魚種	部位	試料数	Cs-134 Bq/Kg-生重量		Cs-137 Bq/Kg-生重量		K-40 Bq/Kg-生重量	
			平均値	±error	平均値	±error	平均値	±error
サバ	可食部	7	< 0.05		0.08	0.04	34.53	2.20
サバ	アラ部	7	< 0.05		< 0.05		24.49	0.90

(3) 平成26年1月29日に檜葉町木戸川沖合で採取した魚介類

魚種	部位	試料数*	Cs-134 Bq/Kg-生重量		Cs-137 Bq/Kg-生重量		K-40 Bq/Kg-生重量	
			平均値	±error	平均値	±error	平均値	±error
コモンカスベ	可食部	6	1.34	0.94	4.35	3.03	10.86	2.38
アイナメ	可食部	6	0.78	0.21	2.51	0.68	27.63	2.87
ヒラメ	可食部	2	0.42	0.22	1.42	0.75	31.87	2.14
マコカレイ	可食部	1	1.37	0.02	4.46	0.03	24.23	0.28
ババカレイ	可食部	1	4.22	0.03	13.49	0.05	20.85	0.25

*試料数が1の場合は、実測値±計測誤差である。

表3 流通する魚介類可食部中の調理加工に伴う放射性核種濃度の変動

放射性核種		$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$			^{40}K		
採取海域	魚種名	生試料	調理後試料	低減率*	生試料	調理後試料	低減率*
		Bq/kg-生	Bq/kg-生	%	Bq/kg-生	Bq/kg-生	%
福島沖	ホッキ貝	0.68	0.31	45.6	98.10	29.15	29.7
	サンマ 可食部	<0.05	<0.05	-	73.73	2.44	3.3
	サンマ 内臓部	<0.05	<0.05	-	52.21	4.23	8.1
	サンマ アラ部	<0.05	<0.05	-	65.97	5.39	8.2

*低減率：生重量時の濃度に対する調理後の濃度の割合

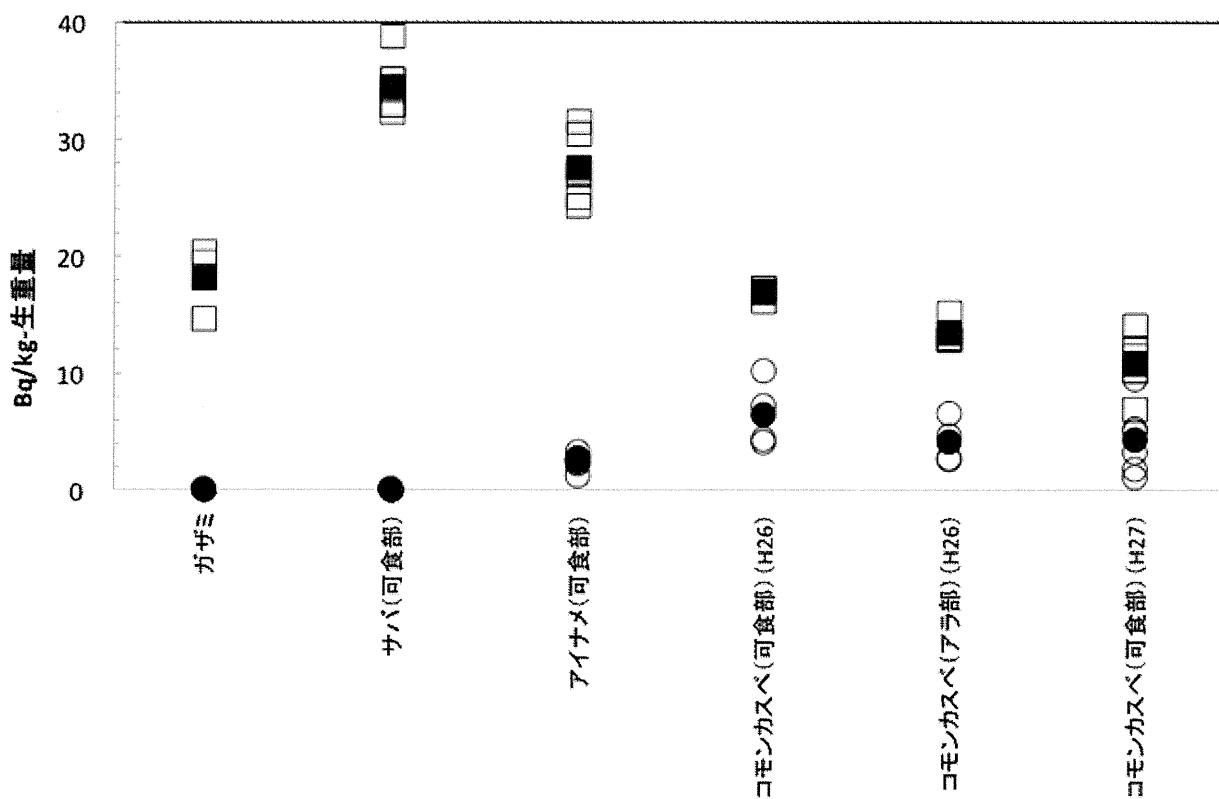


図1 同一魚種の個体毎の ^{137}Cs 及び ^{40}K 濃度差について。

○： ^{137}Cs 濃度、●： ^{137}Cs 平均濃度、□： ^{40}K 濃度、■： ^{40}K 平均濃度

厚生労働科学研究費補助金

(厚生労働科学特別研究事業)

農畜産物中放射性核種の測定及び低減化に関する研究 分担研究報告

分担研究者 塚田 祥文 福島大学 環境放射能研究所

兼うつくしまふくしま未来支援センター

研究要旨

東京電力(株)福島第一原子力発電所(FD1NPS)事故直後に設定された暫定規制値に代わり、平成24年4月以降の長期的な状況に適用された飲食物中放射性核種濃度の基準値は、放射性セシウム(Cs)について「一般食品」については100 Bq/kg、「乳児用食品」及び「牛乳」については、より安全側に50 Bq/kgとすることが妥当であると考えられた。この基準値の導出には、食品への移行経路毎に放射性核種移行評価を実施して食品中の放射性核種濃度比を推定することにより、放射性Cs以外の核種の寄与も考慮されている。本研究では、福島県内で生産された農作物を購入し、その放射性Cs濃度、及びストロンチウム-90(⁹⁰Sr)濃度等を測定することにより、基準値の設定に用いられた放射性核種の移行評価及びその結果導出された核種濃度比の妥当性について検討し、基準値の導出が適当であったことを確認した。また、作物中プルトニウム(Pu)については、その濃度が低いために、精度の高いプルトニウム-240(²⁴⁰Pu)/プルトニウム-239(²³⁹Pu)原子数比を求めることができなかった。そこで土壤中²⁴⁰Pu/²³⁹Pu原子数比を測定した結果、帰還困難区域内外とも、大気圏核実験由来の原子数比と同様であり、本事故由来によるPuの寄与は確認できなかった。また、地域住民にとって季節的な作物として流通する山菜や野獣肉については、灰汁抜き、血抜き等の調理加工による低減化率を求めたところ、作物種によって低減化率は異なるが、多くが減少した。また、イノシシ肉は血抜きによって80%の放射性Csが減少した。

A. 研究目的

薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会は、東京電力(株)福島第一原子力発電所(FD1NPS)事故直後に設定された暫定規制値に代わり、平成24年4月以降の長期的な状況に適用する食品中の放射性物質の基準値について、合理的に達成できる限り線量を低く保つという考えに立ち、より

一層、国民の安全・安心を確保する観点から、介入線量レベルを年間1 mSvに引き下げた。この線量に相当する食品中放射性核種について、放射性セシウム(Cs)、ストロンチウム-90(⁹⁰Sr)、ルテニウム-106(¹⁰⁶Ru)及びプルトニウム(Pu)を考慮した放射性Csの限度値を導出することにより、基準値を設定した。その際、農畜産物等への放射性

核種の移行評価を行うことにより、食品の摂取に起因する内部被ばく線量評価を実施した。その結果、限度値が最も小さくなるのは、1年目における13-18歳(男)であり、想定外の食品摂取をしても安全が確保できるよう、介入線量に一定の余裕を持たすため、基準値は、この値を安全側に切り下げて100 Bq/kgと設定した。また、「乳児用食品」及び「牛乳」については、流通する全ての食品が基準値上限の放射性物質が含まれるとしても影響がないよう、より安全側に50 Bq/kgの基準値を設定した。

基準値の設定にあたっては、最も内部被ばく線量に対する影響が大きいと推定され、迅速にかつ比較的容易に多数の食品について測定可能な放射性Csを対象とした。放射性Cs以外の核種の影響については、検査の実効性を確保する観点から、放射性Csによる被ばく線量に対する当該放射性核種の被ばく線量の比を推定することにより管理し、放射性Cs濃度で規制を行うこととした。このため、食品の摂取による内部被ばくに対する放射性Csの寄与について評価を実施した。すなわち、食品への移行経路毎に放射性核種移行評価を実施して食品中の放射性核種濃度比を推定することにより、放射性Csに対する基準値に反映させた。食品中の放射性核種濃度比は、土壤中放射性核種濃度の比や、環境移行モデル及びパラメータにより推定した。

そのため本研究は、市場流通している農畜産物から、福島県産に限定して作物中の放射性核種濃度等を測定し、その測定結果を比較検討することにより、基準値の導出の際に評価した放射性Csに対する核種濃度比の妥当性について検討した。あわせて、事故前には地域住民にとって季節の作物として食されていた山菜や野獣肉は、

一般に調理加工の後食されることから、これら食品にも着目し、調理加工に伴うセシウム-137(¹³⁷Cs)の低減割合を求めた。

B. 研究方法

1. 農作物と土壌試料並びに野獣肉の採取

本研究で対象とする試料は、福島県内で生産及び採取された農畜産物とした。市場に流通している農作物は、福島県内の商店等で、福島県産品であることを確認した上で購入した。2011年の土壌モニタリングで、原発周辺で採取された土壌から事故放出によるストロンチウム-89(⁸⁹Sr)と⁹⁰Srが検出されている¹⁾。そこで、FDINPSから西5kmの帰還困難区域内にある大熊町の試験圃場で栽培された農作物についても採取した。更に、これら農作物を採取した圃場から土壌も採取し、分析試料とした。農作物と土壌試料の採取場所と日時を表1に示した。

山菜は、伊達市小国で2014年5月～6月に「放射能からきれいな小国を取り戻す会」で採取した試料を提供いただいた。採取した山菜試料は、タケノコ(モウソウダケ、ハチク、カラタケ)、コシアブラ、タラノメ、ワラビ、フキ、コゴミの8試料である。野獣肉については駆除対象となり捕獲されたイノシシ肉を福島市及び浪江町から入手した(表2)。

2. 試料の前処理

2.1 土壌試料

採取した土壌試料は、50℃で約1週間乾燥後、2mmの篩を通し、十分に混合して分析用試料とした。Pu分析試料についてはメノウ乳鉢で微粉碎した。

2.2 ⁹⁰Sr分析用農作物試料

採取した約 30 kg の農作物を洗浄し、皮むき等で可食部とした後、105℃で約1週間乾燥した。その後、450℃以下で灰化、粉碎し均一な試料を作製した。

2.3 山菜試料

・タケノコ

採取試料を水洗いし、付着した土壌を取り除いた後、水分を拭き取り外皮を排除し 3 等分(a、b、c)に分割した。

a) 未処理:表皮を排除し、賽の目に切断した後乾燥・粉碎した。

b) とぎ汁灰汁抜き:外皮を排除したタケノコにコメのとぎ汁が浸るようにし、約1時間茹でた。その後、表皮を排除し、賽の目に切断した後乾燥・粉碎した。

c) ヌカ灰汁抜き:外皮を排除したタケノコに水が浸るように入れ、更にヌカを加え、約1時間茹でた。その後、表皮を排除し、賽の目に切断した後、乾燥・粉碎した。

・コシアブラ、タラノメ、コゴミ、フキ

採取試料を水洗いし、付着した土壌を取り除いた後、水分を拭き取り外皮を排除し 3 等分(a、b、c)に分割した。

a) 未処理:賽の目に切断した後乾燥・粉碎した。

b) お浸し:約 0.1~0.3%の塩化ナトリウム溶液を沸騰し、試料をさっと茹でる。

c) 天ぷら:試料に天ぷら粉の衣を付け、170℃の食用油で数分間揚げた。

・ワラビ

採取試料を水洗いし、付着した土壌を取り除いた後、水分を拭き取り 2 等分(a、b)に分割した。

a) 未処理:賽の目に切断した後乾燥・粉碎した。

b) 灰汁抜き:試料に炭酸水素ナトリウムの粉末を

ふりかけ熱湯を注ぎ、6 時間程放置した後、水分を拭き取り、賽の目に切断した後乾燥・粉碎した。

2.4 イノシシ肉

各個体から採取したロース及びモモ肉を 2 等分(a、b)した。

a) 未処理:賽の目に切断した後乾燥・粉碎した。

b) 血抜き:ブロック状の肉塊を流水中に 24 時間浸した。

3. 放射性 Cs 濃度の測定

粉末またはブロック状の試料をプラスチック容器(U-8)に詰め、Canberra 社製の Ge 半導体検出器(GC2020、GC3020 及び GC4020)で、放射性 Cs 濃度を測定した。¹³⁴Cs 及び ¹³⁷Cs の定量には、それぞれ 604.7 keV 及び 661.7 keV の γ 線を用いた。また、同時にカリウム-40(⁴⁰K) (1460 keV) の定量も実施した。なお、日本アイソトープ協会製の 5 種類(5~50 mm、9.5~95.0 g)の標準試料で効率曲線を作成した。

4. ⁹⁰Sr 濃度の測定

平成 25 年度に採取した作物灰試料、及び土壌試料中 ⁹⁰Sr を分析した。

灰化した農作物試料約 15 g に安定 Sr キャリアを添加し、硝酸、過酸化水素水で溶液に分解後、水酸化ナトリウム溶液で pH 10 以上とし、炭酸 Sr 沈殿を作製し、分離した。炭酸 Sr 沈殿を塩酸で溶解し、シュウ酸塩沈殿を生成する。沈殿を灰化後、塩酸に溶解し、陽イオン交換樹脂で Ca を除去した。更に、ラジウム(Ra)を除去しイットリウム-90(⁹⁰Y)をミルクングし、⁹⁰Sr を求めた。土壌試料は、450℃で灰化後、Sr キャリアを加え、塩酸で加熱抽出した後、農作物試料と同様に分離して、

^{90}Sr 濃度を求めた^{2,3)}。 ^{90}Sr 濃度の測定方法は、原則“文部科学省放射能測定シリーズ2「放射性ストロンチウム分析法」(平成15年改定)”⁴⁾に拠った。

5. ^{239}Pu 及び ^{240}Pu 濃度の測定

灰化した農作物試料の一部と土壌試料の一部について Pu を分析した。灰試料を硝酸と過酸化水素で分解した後、陽イオン交換樹脂で精製し、ICP-MS で Pu を測定した。土壌試料についても同様に、 450°C で有機物を除去し、硝酸で抽出した後、陽イオン交換樹脂を用いて精製し、ICP-MS で測定した。

C. 研究結果

1. 農作物及び土壌中放射性 Cs 及び ^{90}Sr の測定結果

大量の農作物試料を灰化して分析した ^{90}Sr 濃度と放射性 Cs 濃度の結果を表 3 に示す(一部試料は平成 24 年度に報告済み)。また、作物栽培地点から採取した土壌中濃度について、表 4 に示す。

市場流通している帰還困難区域外から採取した農作物中放射性 Cs 濃度は、基準値を大きく下回る値であった。一方、帰還困難区域の試験圃場から採取した作物中濃度は、カボチャで基準値を超えた。しかしながら、土壌中の放射性 Cs 濃度が極めて高いにもかかわらず、キャベツでは基準値を下回った。福島県を除く国内から採取した作物中放射性 Cs 濃度は、最大 15 Bq/kg -生重量であった⁵⁾。

帰還困難区域外の農作物中 ^{90}Sr 濃度は、 $0.0047\sim 0.30\text{ Bq/kg}$ -生重量の値であった。また、帰還困難区域内から採取した作物中 ^{90}Sr 濃度は、

0.21 及び 0.31 Bq/kg -生重量であった。これらの値は、2013 年に福島県を除く国内から採取された作物中 ^{90}Sr 濃度(検出限界値以下 $\sim 0.91\text{ Bq/kg}$ -生重量)と比較しても、範囲内にあることが確認された。土壌中 ^{90}Sr 濃度は、帰還困難区域外及び内で、それぞれ $0.63\sim 1.0$ 及び $1.7\sim 4.7\text{ Bq/kg}$ -乾であった。帰還困難区域外に比べ帰還困難区域内試験圃場の土壌中の ^{90}Sr 濃度で若干高い値であった。なお、今回の測定結果は、福島県を除く国内の土壌中 ^{90}Sr 濃度(検出限界値以下 $\sim 5.9\text{ Bq/kg}$ -乾)の範囲内にあった。

2. 農作物及び土壌中 Pu の測定結果

農作物中 Pu 濃度については、極めて低濃度であり、検出限界値以下 $\sim 0.000085\text{ Bq/kg}$ -生重量であり、世界で最も検出感度の高い方法で試みたにも関わらず多くの試料で検出が難しかった(表 3)。国内の農作物中 Pu 濃度については、検出限界値以下の報告しかなく、他の結果と比較できなかった。

3. 山菜及び野獣肉中放射性 Cs の測定結果

山菜及び野獣肉中放射性 Cs 及び ^{40}K 濃度をそれぞれ表 5 及び表 6 に示す。両者とも一部試料については基準値を下回ったが、管理された条件で栽培や飼育された農畜産物と異なり、基準値を超える試料が存在した。

D. 考察

1. 農作物中 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 濃度比

平成 24 年度に報告したように、文科省モニタリングデータによる ^{137}Cs に対する ^{90}Sr の土壌中濃度の比率は、 $1.6\times 10^{-4}\sim 5.8\times 10^{-2}$ であり、算術平均は 2.6×10^{-3} であることから、地表面に沈着した