

201234054A

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 24 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 25 (2013) 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	9
青野 辰雄 (放射線医学総合研究所 福島復興支援本部)	
2. 食品中放射性セシウム濃度基準値の妥当性検証	17
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	31

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。新たな基準値は、放射性セシウム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 Sr-90、Ru-106、Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241 を評価対象核種として、放射性セシウム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、放射性セシウム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。これらのことから、濃度基準値の妥当性を評価するためには、食品について測定・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) 中の放射性セシウム及びその他の長半減期放射性核種濃度および調理や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セシウムの寄与率の推定から、食品中の放射性セシウム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およ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。

魚類については、加工品(丸干しや開き)によって、内臓の除去や洗浄等により放射性セシウムの濃度が減少することが明らかとなった。シイタケは実験室レベルで試験用の乾燥キノコに加工することで放射性セシウムが 9 倍ほど高く、また放射性セシウムに対する放射性ストロンチウムの寄与率は線量評価に用いたものよりも低いと推定することができた。また 一般流通食品 (農畜産物) 試料中放射性セシウム濃度は、一般食品の基準値である 100Bq/kg を超える農畜産物はなく、Sr-90 濃度は測定が終了した 11 試料全てにおいて検出下限値未満であった。また、もし Sr-90 が検出されたとしても、フォールア

ウトによる Sr-90 の影響について、より詳細な検討が必要であることが明らかとなった。

研究分担者

高橋 知之 京都大学原子炉実験所
青野 辰雄 放射線医学総合研究所

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
塚田 祥文 福島大学うつくしま福島
未来支援センター

A. 研究目的

平成 23 年 3 月の東京電力（株）福島第一原子力発電所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 Sr-90、Ru-106、Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241 を評価対象核種として、放射性セシウム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、放射性セシウム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。

内部被ばく線量に対する放射性セシウム

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・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）中の放射性セシウム及びその他の長半減期放射性核種濃度および調理や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セシウムの寄与率の推定から、介入線量を年間 1mSv とした際の食品中の放射性セシウム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

水産物から魚類の丸干しと開きについて原材料と加工品との放射性物質濃度の比較を行った。また農産物ではシイタケについて、乾燥シイタケを作り、原材料との濃度比較を行った。

2. 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

福島県内の JA 農作物直売所等で、福島県産品であることを確認した上で一般流通食品（農畜産物）試料を購入して、放射性核

種濃度を測定した。また、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濃度の調査を行い、その濃度レベルや、規格基準値導出に用いられた濃度比と比較検討した。

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

水産加工品では、放射性核種の濃度の増加は認められなかった。

シイタケは商業的に生産される過程に準じた方法で乾燥を行ったところ、実験室レベルでは乾燥キノコへの加工に伴い製品当たりの放射性セシウム濃度が平均で9倍程高くなった。

2. 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

一般流通食品（農畜産物）試料を40試料購入して測定した結果、放射性セシウム濃度（Cs-134+Cs-137）は検出下限値未満から40.2Bq/kg-生重量であり、一般食品の基準値である100Bq/kgを超える農畜産物はなかった。また、食品中Cs-137濃度は検出下限値未満から25.2Bq/kg-生重量であった。

Sr-90濃度は、これまでに11試料の測定が終了し、残りは測定を継続中であるが、測定が終了した11試料全てにおいて、Sr-90濃度は検出下限値未満であった。

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

魚類については、原材料(生魚の状態)からすべて内臓等が取り除かれ、機械乾燥や外干しが行われており、水分量の減少による濃縮よりも、加工工程における内臓部等

の除去や洗いによって放射性物質が流出したと考えられた。

シイタケはセシウムを吸収・蓄積するのに対してストロンチウム濃度は低いことから、食品として、放射性セシウムに対する放射性ストロンチウムの寄与率は線量評価に用いたものよりも低いと推定することができた。

2. 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

本研究で検出されたCs-137濃度の範囲と、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、これまでに測定された試料中のSr-90濃度は全て、検出下限値未満であったが、今回検出されたCs-137濃度から、規格基準値の導出に用いられた濃度比によって評価されるSr-90濃度は、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Sr-90濃度と同等かそれよりも低いレベルであるため、もしSr-90が検出されたとしても、その濃度がフォールアウトによるSr-90濃度の範囲と同等程度であれば、必ずしも本事故の影響であると判断することはできず、より詳細な検討が必要であると考えられた。

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

魚類については丸干しや開きの加工処理を行うことによって放射性セシウムの濃度が減少することが明らかとなった。

シイタケは実験室レベルで試験用の乾燥キノコに加工することで放射性セシウムが9倍ほど高くなった。いずれの食品共に放射性セシウムに対する放射性ストロンチウム

の寄与率は線量評価に用いたものよりも低いと推定することができた。

2. 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

一般流通食品（農畜産物）試料中放射性セシウム濃度（Cs-134+Cs-137）は検出下限値未満から 40.2Bq/kg-生重量であり、一般食品の基準値である 100Bq/kg を超える農畜産物はなかった。また、Cs-137 濃度は検出下限値未満から 25.2Bq/kg-生重量であった。

Sr-90 濃度は、測定が終了した 11 試料全てにおいて検出下限値未満であった。なお、もし Sr-90 が検出されたとしても、その濃度がフォールアウトによる Sr-90 濃度の範囲と同等程度であれば、必ずしも今回の事故の影響であると判断することはできず、より詳細な検討が必要であると考えられた。

F.研究業績 論文発表

1. Tatsuo Aono, Yukari Ito, Tadahiro Saotome, Takuji Mizuno, Toshi Igarashi, Jyota Kanda, Takashi Ishimaru: Observation of radionuclides in marine biota off the coast of Fukushima prefecture after TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Proceedings of the International Symposium on Environmental Monitoring and Dose Estimation of Residents After Accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, p.62-65, 2012.

2. 青野 辰雄、鄭 建、府馬 正一、久保田 善久、渡辺 嘉人、久保田 正秀、溝口 雅彦、尾崎 和久、早乙女 忠弘、五十嵐 敏、伊藤 友加里、神田 穰太、石丸 隆、吉田 聡: 福島沿岸における海洋

生物中の放射性核種について, Proceedings of the Workshop on Environmental Radioactivity (KEK Proceedings), 203-205, 2012.

3. 塚田祥文: 環境中放射性物質の農作物への移行と飲食物の新しい基準値について, 土づくりとエコ農法 44, 2-11, 2012.

4. 国分牧衛、南條正巳、日塔明広、塚田祥文、根本圭介、Peter Slavich、島田和彦、近藤始彦、井上眞理: 東日本大震災からの農業再生と作物生産技術, 日本作物学会紀事 82, 86-95, 2013.

5. 高橋知之: 食品中放射性核種濃度の新たな規格基準、日本原子力学会誌、54(9)、602-605, 2012.

6. 高橋知之: 食品中放射性核種濃度基準値の設定、食品衛生学雑誌、54(2)、97-101, 2013.

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セシウムとの比からその濃度を推定し、放射性セシウムに比べて目標とする線量への影響は無視し得る程十分に小さいと判断している。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。さらに加工や調理等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、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。

魚類は、丸干しや開きの加工によって放射性核種濃度が減少した。シイタケは商業的に生産される過程に準じた方法で乾燥を行ったところ、実験室レベルでは乾燥キノコへの加工に伴い製品当たりの放射性セシウム濃度が平均 8.7 ± 3.2 （範囲 5.0～10.9）倍程高くなった。シイタケはセシウムを特異的に吸収・蓄積するが、ストロンチウムはセシウムに比べて吸収・蓄積が非常に小さいことから、食品として、放射性セシウムに対する放射性ストロンチウムの寄与率は線量評価に用いたものよりも低いと推定することができた。

A. 研究目的

新たな基準は、放射性セシウム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セシウムとの比からその濃度を推定し、放射性セシウムに比べて目標とする線量への影響は

無視し得る程十分に小さいと判断している。食品の摂取に起因する内部被ばく線量に対する放射性セシウムの寄与を精度良く評価するためには、食品加工や調理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セシウム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、「調理加工に伴う水産物中の放射性物質の濃度変動に関する研究」と「調理加工に伴う乾燥野菜やキノコ類等の放射性物質濃度変動に関する研究」を実施した。

B.研究方法

1. 調理加工に伴う水産物中の放射性物質の濃度変動に関する研究

1.1. 調査協力と試料入手

本研究で対象とする水産物は、福島県と茨城県の海域で採取され各県内の港で水揚げされた魚を加工したもので、現在市販品として流通しているものとした。福島県は福島県水産試験場の協力を得て、情報収集を行い、福島沖で採取した水産物を地元で加工販売している地域を調査し、協力を要請した。研究の主旨を説明し、協力が得られたところは、福島県小名浜水産加工協同組合であり、3社が対応した。また茨城県では那珂湊漁業協同組合は、理解が

得られ、協力を得られることになった。そしてその地域で採取し、加工し、販売しているものについて購入した。また、加工品の原材料についても合わせて購入を行った。

1.2. γ 核種の濃度の測定

加工品の原材料となる魚類は、できる限り体液等のドリップによる損失が少ないように半解凍の状態、可食部とアラ部（内臓、骨、鰓、頭、尾等の可食部以外）に分離し、ミキサーで粉碎後、U8容器に詰めて、Canberra社製低バックグラウンドゲルマニウム半導体検出器（GX2019）を用いて、24時間の γ 核種の測定を行った。ゲルマニウム半導体検出器は、日本アイソ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用いた。

入手した加工食品は、丸干しと開きであった。加工食品中には鰓や内臓は除去されているものがほとんどであったが、生試料と同様に可食部とアラ部（骨、頭、尾等の可食部以外）に分離し、これを110°Cで恒量になるまで乾燥を行った。これは焼く等の調理加工を行った場合にドリップ等が生じ、その割合を正確に把握できない為に、今回は水分を可能な限り除去することとした。この乾燥試料をミキサーで粉碎後、U8容器に詰めて、ゲルマニウム半導体検

出器を用いて、24 時間の γ 核種の測定を行った。なおサバの開きについては原材料を入手することができなかった。Cs-134 (604.7 keV)、Cs-137 (661.7 keV)、K-40(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。それぞれの測定結果を Table 1 に示す。

2. 調理加工に伴う乾燥野菜やキノコ類等の放射性物質濃度変動に関する研究

2.1. 試料の入手と分類

福島県内の出荷制限地域で研究用に生産されたシイタケを入手し、乾燥シイタケの製造工程を研究室で行い、加工に伴うシイタケの濃度変動を調査した。生シイタケは、1 回につき 5 kg 程度を購入した。シイタケは個体によるばらつきが大きいと予測されるため、1 個体ずつを試料とするのではなく、300 g ずつに取り分けた合計 15 個のバッチを分析試料とした。

2.2. 乾燥シイタケの加工

取り分けた 15 個のバッチから 6 個のバッチは生のまま冷凍した。また、冷凍しなかった残りの 9 個のバッチは乾燥しいたけに加工した。今回は、流通状態での濃度を把握するため、これらのうち、それぞれ 3 バッチについて放射性セシウムの測定を実施した。

シイタケの乾燥は、商業的に生産される際の以下の条件を参照した。まず、シイタケをステンレス製の網の上に広げて乾燥機の中に入れ、室温から 50°C まで 8 時間掛けて昇温し、その後 50°C の定温で 3 時間、55°C の定温で 8 時間、さらに、60°C の定温で 1 時間乾燥を行った。ただし、用いた乾燥機と商業的に利用される乾燥機の性能の違いから、乾燥には、より長時間かかり、十分に乾燥するまで、55°C の乾燥時間は合計で 72 時間まで延長した。乾燥したシイタケはミキサーで粉碎し、粉末試料とした。また生試料はそのままミキサーで粉碎したものを生試料とした。生シイタケのうち 1 つのバッチは、3 つの U8 容器に分けてそれぞれ分析した。

2.3. γ 核種の濃度の測定

粉末試料と生試料はそれぞれ U8 容器に詰めて、Canberra 社製低バックグラウンドゲルマニウム半導体検出器 (GX2019) を用いて、4 時間の γ 核種の測定を行った。ゲルマニウム半導体検出器は、日本アイソ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。

C. 研究結果

1. 水産物中の放射性物質の濃度

原材料(生魚の状態)の放射性セシウム濃度は、Cs-134 は検出されず、Cs-137

が 1~3 Bq/kg-wet 以下の検出下限値以下であった。加工品は 110°C で乾燥し恒量になった際の乾燥試料濃度を示した。こちらでも水分がほとんどない状態でも放射性セシウム濃度は、Cs-134 と Cs-137 共に 1~3 Bq/kg-dry 以下の検出下限値以下であった。自然放射性核種 K-40 については、原材料、加工食品共に検出できた。東電福島原発事故により放出された放射性核種が検出されなかったこと、セシウムとカリウムは化学的性質が類似し、生体内で特異的な部位に濃縮することがないことから、K-40 を用いて濃度変化の検証を行った。まず K-40 の原材料から加工品(販売時)への放射性物質の濃度残存率を求めたところ、16~48%であった(Table 2)。今回調査した加工食品は、原材料からすべて内臓等が取り除かれ、機械乾燥や外干しで行われており、水分量の減少による濃縮よりも、加工工程における内臓部等の除去や洗いによる流出による影響が大きいことが考えられる。

2. シイタケ中の放射性物質の濃度

生シイタケと乾燥シイタケ中の放射性物質の定量結果を Table 3 に示す。今回の試料は市場に流通するものではないが、放射性セシウムの値は食品の規制値 (100 Bq/kg) を超えていた。バッチごとのバラツキは大きく、試料の調整方法等に十便な検討が必要であるこ

とが明らかである。K-40 は、生シイタケでは検出限界値以下であり、乾燥シイタケの一部で平均 693 Bq/kg の値が得られた。野生キノコを含めたキノコ中の K-40 は、種類によらず 1000 Bq/kg-dry 程度であることが知られており¹⁾、乾燥シイタケで得られた値は、妥当であるといえる。乾燥シイタケへの加工に伴う放射性セシウムの濃縮は、平均 8.7 ± 3.2 (範囲 5.0~10.9) 倍高くなることが明らかとなった。(Table 4)。

D. 考察

魚類については、丸干しや開きの加工を行うことで、放射性核種の濃度が減少した。原材料(生魚の状態)からすべて内臓等が取り除かれ、機械乾燥や外干しが行われており、水分量の減少による濃縮よりも、加工工程における内臓部等の除去や洗いによって放射性物質が流出したと考えられる。

シイタケの加工については、生シイタケから乾燥キノコへの加工に伴って、製品重量当たりの放射性セシウム濃度は平均 8.7 ± 3.2 (範囲 5.0~10.9) 倍高くなることが明らかとなった。「食品中の放射性物質の試験法の取扱いについて」²⁾では、乾燥シイタケの重量変化率を 5.7 としている。今回は、試験的試料を実験室レベルで作成したものであり、放射性セシウムの濃縮率は、重量変化率と同じであり、得られた結果は概ね妥当と考えられる。

また土壌－作物間のストロンチウムの移行は、作物種類、土壌の性質によって大きく異なることが報告されている³⁾。シイタケを始めとするキノコは、放射性セシウムが菌糸を通して吸収・蓄積することが知られている。また、東電福島原発事故前に実施された野生キノコ中の安定元素の分析結果では、キノコは植物に比べて、セシウムやルビジウム濃度が高く、反対にストロンチウムやカルシウム濃度が低いことが明らかになっている⁴⁾。これらの傾向は土壌との間の移行係数についても同様である。すなわち、基質（原木）からシイタケへの放射性ストロンチウムの移行が放射性セシウムより大きくなることは考え難く、放射性セシウム濃度が乾燥に伴って10倍程高くなっても、放射性ストロンチウム濃度が規格基準値の導入に影響を与えるほど、高くなる可能性はほとんどないと考えられる。

E. 結論

魚類については、開きや丸干しの加工によって放射性核種濃度が減少した。

シイタケは乾燥キノコへの加工に伴い放射性セシウム濃度が約9倍高くなったが、セシウムと異なりストロンチウムはキノコに蓄積されないため、食品として、放射性セシウムに対する放射性ストロンチウムの寄与率は線量評価に用いたものよりも低いと推定することができた。

今後、灰化した試料を用いて、放射性ストロンチウムとプルトニウムの測定を実施する。

F. 引用文献

- 1) Yoshida and Muramatsu (1994) Environ. Sci. 7, 63-70.
- 2) 食品中の放射性物質の試験法の取扱いについて、食安基発 0315 第7号、厚生労働省医薬食品局食品安全部基準審査課、2012.
- 3) Uchida et al. (2007) Journal of Nuclear Science and Technology 44, 628-640.
- 4) Yoshida and Muramatsu (1998) J. Environ. Radioactivity 41, 183-205.

G. 研究業績

1. Tatsuo Aono, Yukari Ito, Tadahiro Saotome, Takuji Mizuno, Toshi Igarashi, Jyota Kanda, Takashi Ishimaru: Observation of radionuclides in marine biota off the coast of Fukushima prefecture after TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Proceedings of the International Symposium on Environmental Monitoring and Dose Estimation of Residents After Accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, p.62-65, 2012.
2. 青野 辰雄、鄭 建、府馬 正一、久保田 善久、渡辺 嘉人、久保田 正秀、溝口 雅彦、尾崎 和久、早乙女 忠弘、

五十嵐 敏、伊藤 友加里、神田 穰太、
石丸 隆、吉田 聡: 福島沿岸における
海洋生物中の放射性核種について、
Proceedings of the Workshop on
Environmental Radioactivity (KEK

Proceedings), 203-205、2012.

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし

Table 1 水産物およびその加工品中の放射性核種濃度

			Cs-134	Cs-137	K-40	
福島県小名浜市			Bq/kg-wet	Bq/kg-wet	Bq/kg-wet err	
さんま	なま	可食部	< 1.4	< 1.2	103.4	6.2
	なま	アラ	< 1.2	< 1.2	135.4	5.7
			Bq/kg-dry	Bq/kg-dry	Bq/kg-dry err	
さんま	丸干し	可食部	< 1.8	< 1.0	183.2	7.9
	丸干し	アラ	< 1.2	< 1.2	135.4	5.7
			Cs-134	Cs-137	K-40	
福島県小名浜市			Bq/kg-wet	Bq/kg-wet	Bq/kg-wet err	
さんま	なま	可食部	< 1.4	< 1.3	103.4	6.2
	なま	アラ	< 3.7	< 3.0	205.4	17.8
			Bq/kg-dry	Bq/kg-dry	Bq/kg-dry err	
さんま	開き	可食部	< 1.2	1.1	213.3	7.2
	開き	アラ	< 1.0	< 3.0	162.2	5.3
			Cs-134	Cs-137	K-40	
茨城県ひたちなか市			Bq/kg-wet	Bq/kg-wet	Bq/kg-wet err	
さんま	なま	可食部	< 1.4	< 1.3	93.3	4.5
	なま	アラ	< 3.0	< 2.5	61.0	5.5
			Bq/kg-dry	Bq/kg-dry	Bq/kg-dry err	
さんま	開き	可食部	< 1.4	< 1.1	108.1	4.5
	開き	アラ	< 12	< 0.9	134.8	5.5

Table 2 販売状態における加工品中のK-40濃度と原材料に対する濃度割合

			Bq/kg	Active ratio
さんま	丸干し	可食部	26.2	0.25
	丸干し	アラ	26.6	0.20
			Bq/kg	Active ratio
さんま	開き	可食部	49.8	0.48
	開き	アラ	53.0	0.26
			Bq/kg	Active ratio
さんま	開き	可食部	16.8	0.18
	開き	アラ	33.8	0.55

Table 3 生シイタケと乾燥シイタケ中の放射性核種濃度

生シイタケ(生シイタケ重量当たりの放射能)

	Cs-134		Cs-137		K-40
	Bq/kg	err	Bq/kg	err	Bq/kg
2013/1/16 生シイタケA					
試料-1-1	130	7	261	9	< 128
試料-1-2	131	8	251	12	< 149
試料-1-3	132	2	235	2	< 36
試料-1(平均)	131	1	249	13	
試料-2	188	10	285	13	< 173
試料-3	149	9	301	13	< 177
平均	154	29	277	27	
2013/1/16 生シイタケB					
試料-1	557	12	1001	16	< 103
試料-2	1850	32	3118	42	< 168
試料-3	555	24	1002	33	< 239
平均	830	747	1463	1222	
2013/1/23 生シイタケC					
試料-1	190	10	345	14	< 159
試料-2	98	8	181	11	< 159
試料-3	155	7	290	9	< 140
平均	142	46	262	84	

乾燥シイタケ(乾燥シイタケ重量当たりの放射能)

	Cs-134		Cs-137		K-40	
	Bq/kg	err	Bq/kg	err	Bq/kg	err
2013/1/16 乾燥シイタケA						
試料-1	1994	44	3343	33	< 318	
試料-2	1470	54	2524	71	< 295	
試料-3	1515	54	2675	71	< 305	
平均	1644	290	2826	436		
2013/1/16 乾燥シイタケB						
試料-1	4503	63	8303	83	716	117
試料-2	3335	52	5900	67	651	113
試料-3	4469	65	7865	85	714	133
平均	4064	665	7276	1280	693	37
2013/1/23 乾燥シイタケC						
試料-1	1503	51	2702	70	< 381	
試料-2	1586	53	2996	75	< 486	
試料-3	1552	53	2850	79	< 422	
平均	1547	42	2847	147		

Table 4 乾燥シイタケへの加工に伴うCs-137の濃縮割合

	濃度の変化	重量の変化
	乾燥濃度/生濃度	生重量/乾燥重量
2013/1/16 しいたけA	10.2 ± 1.9	9.8 ± 0.3
2013/1/16 しいたけB	5.0 ± 4.2	6.4 ± 1.0
2013/1/23 しいたけC	10.9 ± 3.5	8.8 ± 0.1
平均	8.7 ± 3.2	8.2 ± 1.7

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)

環境中における放射性物質動態の実態把握 分担研究報告

分担研究者 高橋 知之 京都大学 原子炉実験所
研究協力者 塚田 祥文 福島大学 うつくしまふくしま未来支援センター
研究協力者 福谷 哲 京都大学 原子炉実験所

研究要旨

東京電力(株)福島第一原子力発電所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食品中放射性核種濃度の規格基準値は、放射性セシウムについて「一般食品」については100Bq/kg、「乳児用食品」及び「牛乳」については、より安全側に50Bq/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、放射性セシウム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食品を購入し、その放射性セシウム(Cs-134及びCs-137)濃度、及びSr-90濃度を測定することにより、規格基準値の設定において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た。

福島県産品の食品(農畜産物)を購入して、放射性核種濃度を測定し、過去のフォールアウトによる濃度レベルや、規格基準値の導出に用いられた濃度比と比較検討した。その結果、食品(農畜産物)試料中放射性セシウム濃度(Cs-134+Cs-137)は検出下限値未満から40.2Bq/kg-生重量であり、一般食品の基準値である100Bq/kgを超える農畜産物はなかった。またSr-90濃度は、測定が終了した11試料全てにおいて検出下限値未満であった。本研究で検出されたCs-137濃度の範囲と、過去のフォールアウトの影響、及び規格基準値の導出に用いられた核種濃度比の比較検討を行った。その結果、今回検出されたCs-137濃度から、規格基準値の導出に用いられた濃度比によって評価されるSr-90濃度は、過去のフォールアウトに起因するSr-90濃度と同等かそれよりも低いレベルであるため、もしSr-90が検出されたとしても、必ずしも本事故の影響であると判断することはできず、より詳細な検討が必要であることが明らかとなった。

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放射性核種濃度の規格基準値について、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ミリシーベルトに引き下げることが妥当と判断し、この線量に相当する食品中放射性セシウムの限度値を導出することにより、規格基準値を設定した。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100Bq/kgと設定することが妥当とした。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汚染されていたとしても影響がないよう、より安全側に50Bq/kgの基準値を設定することが妥当とした。

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、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セシウム（Cs-134及びCs-137）を対象とし、放射性セシウム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、放射性セシウム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、放射性セシウムに対する規制を行うことで一括して管理することとした。このため、食品の摂取による内部被ばくに対する放射性セシウム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、放射性セシウム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。

本研究は、実際に福島県内で生産され、一般流通食品として販売されている農畜産物中の放射性核種濃度を測定することにより、規格基準値の導出の際に評価した核種濃度比の妥当性について検討した。

B. 研究方法

1. 食品試料の入手

本研究で対象とする食品は、福島県内で生産された農畜産物であり、かつ市販品として一般に流通しているものとした。このため、福島県内のJA農作物直売所等で、福島県産品であることを確認した上で購入することとした。試料の購入は平成24年7月から12月にかけて、40個の農畜産物を購入した。

2. 放射性セシウム濃度の測定

購入した農畜産物試料は、福島大学において、食事に供される状態を前提とし、食品の種類に応じて、水洗い、皮やへたの除去等の前処理を行った。その後、80℃乾燥し、カッターで粉碎・混合して測定試料とした。試料をプラスチック製のU-8容器に詰め、Canberra社製のGe半導体検出器（GC3020及びGC4020）で、放射性セシウム濃度の測定を測定した。Cs-134及びCs-137の定量には、それぞれ604.7 keV及び661.7 keVのγ線を用いた。測定時間は約35,000秒から約330,000秒とした。また、同時にK-40（1460 keV）の定量も実施した。なお、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。

3. Sr-90 濃度の測定

福島大学において放射性セシウムの測定を終了した試料は、京都大学原子炉実験所に移送し、Sr-90 濃度の測定に供した。まず、試料をほぼ全量灰化 (500°C、6 時間) 減容した。灰化試料を硝酸、過酸化水素水で前処理分解し、その後マイクロウェーブ試料分解装置 (TOPWave、アナリティクイエナ社製) でほぼ完全に溶液化した。溶液を加熱乾固し、0.1M 硝酸で再溶解して陽イオン交換樹脂 (Dowex 50Wx8 など) に通し、その後 8M 硝酸でストロンチウムを含む分画を回収した。回収したストロンチウム含有試料をさらに SrResin (EiChrom 社製) に通し、0.05M 硝酸でストロンチウムを選択的に回収した。ストロンチウムの回収率は操作前後の溶液中ストロンチウム濃度を ICP-AES (iCap Duo 6300、サーモサイエンティフィック社製) で測定して算出した。

ストロンチウムを単離した溶液は 20mL 容量のガラスバイアルに入れ、直ちに液体シンチレーションカウンター (Tri Carb 2700 あるいは Tri Carb 2750、パッカード社製) でチェレンコフ光を測定した。その後断続的に測定して、Sr-90 の娘核種である Y-90 の増加を確認した上で、Sr-90 を定量した。

4. 過去の大気圏内核実験によるフォールアウトの影響の調査

人工放射性核種である Cs-137 と Sr-90 は、主に 1960 年代の大気圏内核実験によって大気中に放出されて、地表面に沈着したことから、本事故の前に既に環境中に存在し、農畜産物からも検出されている。このため、本研究で測定された農畜産物中放射性核種濃度には、このフォールアウトの寄与も含

まれており、特に本事故による放射性核種の影響が少ない場合には、核種濃度比もその影響が顕著に現れると考えられる。よって、過去のフォールアウトの影響を把握するために、環境放射線データベース¹⁾から、本事故が発生する前の平成 12 年～平成 22 年の間の農畜産物中 Cs-137 濃度及び Sr-90 濃度のデータを検索した。本研究では核種濃度比の考察が重要となることから、検索されたデータの内、試料の種類、試料採取日及び試料採取場所が同一である試料について「同一試料」と見なし、その同一試料において Cs-137 及び Sr-90 の両方が検出されているデータを抽出して、今回の食品試料の結果と比較検討することとした。なお、Cs-137 濃度の測定値が日本分析センターと地方自治体機関の両方に存在する場合は、Sr-90 濃度の測定機関である日本分析センターによる測定値を採用することとした。

C. 研究結果

一般流通食品 (農畜産物) 中放射性核種濃度の測定結果を表 1 に示す。放射性セシウム濃度 (Cs-134+Cs-137) は検出下限値未満から 40.2Bq/kg-生重量であり、一般食品の基準値である 100Bq/kg を超える農畜産物はなかった。また、食品中 Cs-137 濃度は検出下限値未満から 25.2Bq/kg-生重量であった。なお、畜産物であるシャモ肉、鶏肉、豚肉、タマゴはいずれも検出下限値未満であった。このため、「D.考察」においては、農作物のみを考察の対象とする。

一方 表 1 に示したように、食品 (農畜産物) 中 Sr-90 濃度は、これまでに 11 試料の測定が終了し、残りは測定を継続中である。測定が終了した 11 試料全てにおいて、Sr-90 濃度は検出下限値未満であった。

現時点では Sr-90 が検出されていないことから、「D.考察」においては、本研究で検出

された Cs-137 濃度の範囲と、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うこととする。

D. 考察

1. 規格基準値の導出の考え方による農作物核種濃度比の評価²⁾

規格基準値の導出にあたり、農作物に関しては、長期的には、耕作土壌から吸収された放射性核種による汚染が支配的となってくると考えられることから、この経路（経根吸収経路）を評価している。すなわち、ある時点を起点とする1年間の、農作物における各放射性核種の Cs-137 に対する濃度比は、以下の式で与えられる。

$$RCc_n(t) = RCs_n^0 \cdot RTFc_n \int_{t'}^{t'+1} \frac{\exp(-\lambda_n t)}{\exp(-\lambda_{cs-137} t)} dt$$

ここで、

$RCc_n(t)$: 農作物における評価年 t の核種 n の年間平均濃度比(-)

RCs_n^0 : 核種 n の耕作土壌中初期濃度比(-)

$RTFc_n$: 核種 n の土壌から農作物への移行係数比(-)

である。農作物への移行係数比は農作物の種類によって異なるため、農作物における評価は、農作物分類毎に行っている。

土壌における放射性核種の初期濃度比は、文部科学省が実施している放射線量等分布マップの作成のために測定されたモニタリングデータが存在する場合は、そのデータを用いることとしている。文科省モニタリングデータによる Cs-137 に対する Sr-90 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 Sr-90 の Cs-137 に対する土壌中濃度比として、 2.6×10^{-3} を高い値に丸めた 3×10^{-3} (平成 23 年 6 月 14 日時点) から換算して用いている。

一般に土壌から農作物への移行を評価する場合、農作物中の放射性核種濃度が土壌中濃度に比例するモデルが用いられる。このモデルの比例係数が、土壌—農作物間の移行係数である。規格基準の導出では、独立行政法人放射線医学総合研究所、公益財団法人環境科学技術研究所及び独立行政法人農業環境技術研究所において得られた放射性核種及び安定元素による移行係数データと、IAEA が 2010 年に取りまとめたテクニカル・レポート・シリーズ (TRS) No. 472 に示された放射性核種の移行係数を参照し、4 機関のデータを比較し、最も高い比を示す値を選択し、過小評価とならないように選択している。なお、コメについては、玄米と白米の両方のデータを比較し、玄米の方が、ストロンチウムのセシウムに対する移行係数の比が高いことから、玄米だけを食する人でも安全が担保できるよう、コメの移行係数比として玄米の移行係数比を採用している。規格基準の導出に用いられた土壌から農作物への移行係数比を表 2 に示す。

本研究における食品試料の採取は平成 24 年 7 月から 12 月に実施していることから、そのほぼ中間である平成 24 年 9 月 30 日における、上述した規格基準値の導出の考え方による農作物核種濃度比を評価した結果を表 3 に示す。なお、Cs-137 の半減期は約 30 年、Sr-90 の半減期は約 29 年であり、この 2 核種の半減期は比較的近い値であることから、若干の期間設定の差異は核種濃度比の評価結果に影響を及ぼさない。

なお、規格基準の設定で用いた仮定である Cs-134/Cs-137 比を 9.2×10^{-1} (平成 23 年 6