

## 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 月の東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)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、介入線量レベルを年間 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( $^{90}\text{Sr}$ )、ルテニウム-106( $^{106}\text{Ru}$ )、プルトニウム-238( $^{238}\text{Pu}$ )、プルトニウム-239( $^{239}\text{Pu}$ )、プルトニウム-240( $^{240}\text{Pu}$ ) およびプルトニウム-241( $^{241}\text{Pu}$ )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の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。

営農再開地域における農作物中の放射性物質の濃度測定を行い、これまでに求めたデータと比較すると共に、全国のモニタリング結果と比較・検証した。また福島県沖合で採取され、市場流通する水産物を入手し、これら水産物の放射性物質濃度の測定を行い、これらの結果により、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。福島県産品の食品(農産物および海産物)の放射性Cs濃度および $^{90}\text{Sr}$ 濃度を用いて内部被ばく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1 mSv よりも極めて低い値であり、現行の基準値によって食品中の放射性物質について安全性が十分に確保されていることを確認した。また食品中放射性物質濃度等に関する知見の評価検討のための基礎資料について取りまとめも行った。

## 研究分担者

塚田 祥文 福島大学環境放射能研究所

青野 辰雄 放射線医学総合研究所

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

## 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(FDNPS)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、介入線量レベルを年間 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(<sup>90</sup>Sr)、ルテニウム-106(<sup>106</sup>Ru)、プルトニウム-238(<sup>238</sup>Pu)、プルトニウム-239(<sup>239</sup>Pu)、プルトニウム-240(<sup>240</sup>Pu) およびプルトニウム-241(<sup>241</sup>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、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 およ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

について測定および評価を行い、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 およびその他の長半減期放射性核種の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および食品中に含まれる放射性物質の濃度等に関する科学的知見の集約を行うことを目的とした。

## B. 研究方法

### 1. 営農再開地域における農作物中の放射性物質の濃度測定に関する研究

FDNPS の周辺でも営農再開地域が徐々に増加しているが、そのような地域における作物中放射性核種濃度に関して、住民の不安は解消されていない。特に、FDNPS 周辺および FDNPS から北西地域で営農再開に向け準備を進めている市町村等にとって、ガンマ線測定によるモニタリングで結果を出せない <sup>90</sup>Sr についての不安の声大きい。そこで、FDNPS 周辺で営農が再開されている浜通り地域の南相馬市から市場流通作物を購入し、また平成 29 年度から帰還の規制を解除した浪江町で試験栽培された作物を採取し、農作物中の放射性 Cs 濃度と <sup>90</sup>Sr 濃度を求め、これまでに求めたデータと比較すると共に、全国のモニタリング結果と比較・検証した。

### 2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究

本研究で対象とする水産物は、福島沖で採取され市場に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を行い、平成 28 年 11 月から 12 月に福島県沖合で採取され市場に流通する水産物(魚類)をいわきと相馬漁協から購入し、放射性物質の濃度測定を行った。

### 3. 内部被ばく線量に対する放射性 Cs の寄与率等の推定

「1. 営農再開地域における農作物中の放射性物質の濃度測定に関する研究」で測定した農作物中放射性 Cs 濃度および  $^{90}\text{Sr}$  濃度、および平成 27 年度の水産物中放射性 Cs 濃度を用いて、平成 28 年度における放射性 Cs および  $^{90}\text{Sr}$  による内部被ばく線量を推定した。放射性 Cs による内部被ばく線量の推定については、全ての食品がこの農作物や水産物に相当すると仮定する極めて保守的な方法と、安定カリウム(K)の摂取量を用いる方法で評価を実施した。 $^{90}\text{Sr}$  による内部被ばく線量の推定については、安定カルシウム(Ca) の摂取量を用いる方法で評価を実施した。これらの内部被ばく線量の評価結果と介入線量レベルを比較検討した。

### 4. 食品中放射性物質濃度等に関する知見の評価検討

東欧における食品中の放射性物質の規制値や基準値について、基礎的な資料を作成するため、規制値や基準値設定の背景や算出方法等について関連する文献調査を行った。

## C. 研究成果

### 1. 営農再開地域における農作物中の放射性物質の濃度測定に関する研究

浜通り地域南相馬市内の圃場で栽培され、市場流通していた作物中放射性 Cs 平均濃度は、

$2.2 \pm 4.9(0.03 \sim 22, n=27)$  Bq/kg-生重量であり、基準値を下回った。 $^{90}\text{Sr}$  濃度は、 $0.08 \pm 0.13(0.01 \sim 0.45, n=11)$  Bq/kg-生重量であった。これらの濃度は福島県を除く全国農作物中放射性 Cs や  $^{90}\text{Sr}$  濃度モニタリング結果(2015 年)の範囲にあった。平成 29 年度から営農再開を計画している浪江町の試験圃場から採取した 4 試料の農作物中放射性 Cs 濃度は  $0.77 \pm 0.43(0.37 \sim 1.3, n=4)$  Bq/kg-生重量であり、基準値を下回った。また、 $^{90}\text{Sr}$  濃度は  $0.04 \pm 0.04(0.008 \sim 0.099, n=4)$  Bq/kg-生重量であった。

### 2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究

平成 28 年に入手した水産物中の放射性 Cs および  $^{40}\text{K}$  濃度の測定の結果は、 $^{137}\text{Cs}$  濃度および  $^{40}\text{K}$  濃度は、アラ部に比べて可食部でわずかに高い傾向を示した。これはアラ部には有機物よりも骨格部分が多いため灰試料中に Ca が残ったことが要因と考えられる。またすべての魚種の可食部中の  $^{90}\text{Sr}$  および  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度はいずれも検出下限値( $^{90}\text{Sr}$ : 0.2 Bq/kg-生重量、 $^{239+240}\text{Pu}$ : 0.1 Bq/kg-生重量)未満であった。

### 3. 内部被ばく線量に対する放射性 Cs の寄与率等の推定

平成 28 年度採取試料の濃度から推定した放射性 Cs による、極めて保守的な方法を用いた内部被ばく線量の評価結果は、19 歳以上(男子)と 19 歳以上(女子)でそれぞれ 0.019mSv および 0.015mSv であり、介入線量レベルである年間 1 mSv を大幅に下回っていた。安定カリウム(K)の摂取量を用いる方法で評価した結果は 0.001 mSv のオーダーであった。また、 $^{90}\text{Sr}$  による内部被ばく線量の推定について、安定 Ca の摂取量を用いる方

法で評価した結果は、19才以下の年齢カテゴリーでは0.001mSvのオーダー、成人では0.001mSv以下であった。

#### 4. 食品中放射性物質濃度等に関する知見の評価検討

東欧における食品中の放射性物質の規制等に関する4つの文献について、食品中の放射性物質の基準値と規制値について、算出根拠、設定理由、設定の考え方等について整理を行った。また「食品中の放射性物質に関する研究論文」の収集と整理を行った。

#### D. 考察

##### 1. 営農再開地域における農作物中の放射性物質の濃度測定に関する研究

市場流通と試験圃場から採取した作物中放射性Cs濃度は、両者とも基準値を大きく下回り、概ね同様な濃度範囲にあった。平成25年度および平成28年度の市場流通作物の放射性Cs濃度の平均値は、それぞれ2.0および1.9 Bq/kg-生重量であり、採取場所が異なったこともあるが、平成28年度の調査結果は明らかな減少は見られず、変動範囲を考慮すると概ね同等と考えられる。

市場流通と試験圃場から採取した作物中<sup>90</sup>Sr濃度を比較すると、両地域から採取された作物中<sup>90</sup>Sr濃度も、同様な濃度範囲であった。更に、福島県を除く全国調査の作物中<sup>90</sup>Sr濃度範囲内にあり、浜通り地域で採取した農作物から検出された<sup>90</sup>Sr濃度は大気圏核実験に由来する濃度と同程度であるとえられる。

##### 2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究

今回採取した魚介類から、食品中の放射性物

質濃度100Bq/kg-生重量の基準値を超える試料はなく、採取した魚種の可食部については、<sup>134</sup>Cs濃度は検出下限値以下または検出下限値に近い濃度であった。各部位ごとの<sup>137</sup>Cs濃度および<sup>40</sup>K濃度から、各部位の生重量を加味した魚類試料1匹あたりの放射性濃度を求めた。また魚種ごとの<sup>137</sup>Csおよび<sup>40</sup>Kの平均濃度と各部位ごとのこれらの濃度を比較すると、魚種ごとの平均濃度に対して、アラ部中の濃度は低く、可食部濃度は高い傾向にあった。これはアラ部に比べて可食部は軟組織であることが原因と考えられる。入手した水産物から<sup>90</sup>Srおよび<sup>239+240</sup>Puが検出されなかったことから、<sup>90</sup>Srおよび<sup>239+240</sup>Pu濃度は基準値の導出の考え方による<sup>90</sup>Sr/<sup>137</sup>Cs濃度比および<sup>239+240</sup>Pu/<sup>137</sup>Cs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た。

##### 3. 内部被ばく線量に対する放射性Csの寄与率等の推定

「C. 結果」において記載したように、農畜産物と海産物の摂取に起因する放射性Csによる、極めて保守的な方法を用いた内部被ばく線量の評価結果は、19歳以上(男子)と19歳以上(女子)でそれぞれ0.019mSvおよび0.015mSvであり、介入線量レベルである年間1mSvを大幅に下回っているが、マーケットバスケット法による年間放射線量を一桁程度上回っている。その理由として、市場希釈の効果を考慮していないこと、「その他」のカテゴリーの放射性Cs濃度は、評価に用いた濃度よりも低いと考えられること、調理加工に伴う放射性Cs濃度の減少を考慮していないこと等があげられ、本推定値は保守的な仮定に基づく過大評価となっていると考えられる。

また、安定Kの摂取量を用いる方法で評価した

放射性 Cs による内部被ばく線量の試算結果は、農畜産物毎のデータを用いた試算結果よりも低い値となったが、マーケットバスケット法よりも数倍高い値となっている。これは、「その他」の寄与に関しては本手法の方が現実的な評価結果を与えると考えられるが、市場希釈の効果等が評価に含まれないことによると考えられる。

$^{90}\text{Sr}$  による内部被ばく線量の評価結果は、0.001 mSv オーダーかそれ以下であったが、今回検出された  $^{90}\text{Sr}$  は大気圏核実験由来と考えられる。よって、事故由来の  $^{90}\text{Sr}$  による被ばく線量はこの評価結果よりも十分に低く、事故に起因する放射性 Cs による被ばく線量と比べても十分に低いと考えられる。

#### 4. 食品中放射性物質濃度等に関する知見の評価検討

ロシア、ウクライナおよびベラルーシの規制値や基準値について、食品基準産出の考え方、レベルの計算方法や前提としている内部被ばく基準が明らかとなった。基本は、1990年のICRPの勧告に基づいたものであった。

食品中の放射性物質に関する研究論文については、SrあるいはPuに関する記載がある論文は限られており、FDNPS 事故に関連するものはなかった。

### E. 結論

#### 1. 営農再開地域における農作物中の放射性物質の濃度測定に関する研究

本研究では、FDNPS 周辺の浜通り地域において、市場流通作物を南相馬市から採取し、放射性 Cs と  $^{90}\text{Sr}$  濃度を測定した。また、平成 29 年度から営農再開を予定している浪江町において試験圃

場から作物を採取し、放射性 Cs と  $^{90}\text{Sr}$  濃度を測定した。浜通り地域、居住制限区域等を含む地域から採取した作物中放射性 Cs 濃度は全て基準値を大きく下回った。また、作物中  $^{90}\text{Sr}$  濃度も福島県を除く全国調査の範囲内にあり、事故由来による作物中  $^{90}\text{Sr}$  濃度の明らかな増加は認められなかった。

#### 2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究

福島県内の海域において採取された魚類中の放射性 Cs、 $^{40}\text{K}$ 、 $^{90}\text{Sr}$  および  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度を測定した。採取された魚類中の放射性 Cs 濃度は、0.4-1.6 Bq/kg-生重量の濃度範囲であり、食品中の基準値を超えた試料はなかった。また  $^{90}\text{Sr}$  および  $^{239+240}\text{Pu}$  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。

#### 3. 内部被ばく線量に対する放射性 Cs の寄与率等の推定

平成 28 年度に採取された農産物中放射性 Cs 濃度、 $^{90}\text{Sr}$  濃度および安定元素濃度を用いて年間内部被ばく線量を試算した結果、極めて保守的な仮定(過去の大気中核実験等のフォールアウトによる  $^{90}\text{Sr}$  の寄与を含める)であっても、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、食品中放射性 Cs 濃度や  $^{90}\text{Sr}$  濃度と安定元素濃度の比はばらつきが大きいいため、より精度の高い推定を行うためには、試料数を増やして放射性物質濃度と安定元素濃度の関連性について評価解析を実施するなど、より詳細な検討が必要と考えられる。

#### 4. 食品中放射性物質濃度等に関する知見の評価検討

東欧における規制値や基準値に関する根拠や計算方法についての資料作成、および「食品中の放射性物質に関する研究論文情報の収集と整理を行い、資料集「食品中の放射性物質の規制値等に関する文献調査」を作成した。

F. 健康危険情報  
なし

#### G. 研究業績

1. L. Cao, J. Zheng, H. Tsukada, S. Pan, Z. Wang, K. Tagami and S. Uchida (2016) Simultaneous determination of radiocesium ( $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) and plutonium ( $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ) isotopes in river suspended particles by ICP-MS/MS and SF-ICP-MS. *Talanta* 159, 55-63.
2. K. Kitayama, K. Ohse, N. Shima, K. Kawatsu and H. Tsukada (2016) Regression model analysis of the decreasing trend of cesium-137 concentration in the atmosphere since the Fukushima accident. *J. Environ. Radioactivity* 164, 151-157.
3. A. Takeda, H. Tsukada, Y. Takaku, N. Satta, M. Baba, T. Shibata, H. Hasegawa, Y. Unno, and S. Hisamatsu (2016) Measurement of iodide, iodate and total iodine concentration in environmental water samples by HPLC with electrochemical detection and post-column reaction method. *Anal. Sci.* 32, 839-845.
4. N. Akata, H. Tsukada, H. Kakiuchi, T. Takahashi and S. Fukutani (2016) A simple method for sampling and analysis of particulate, inorganic gaseous and organic gaseous halogens in the atmosphere. *Radiat. Environ. Med.* 5, 29-32.
5. H. Tsukada and K. Ohse (2016) Concentration of radiocesium in rice and irrigation water, and soil management practices in Oguni, Date, Fukushima. *Int. Environ. Assess. Manage.* 12, 659-661.
6. 三上剛史, 眞家永光, 嶋田浩, 塚田祥文, 柿崎竹彦, 馬場光久, 高松利恵子, 丹治肇 (2016) 阿武隈川支流の堤外地における  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量の経時的変化. *水環境学会誌* 39, 171-179.
7. A. Nakao, S. Sugihara, Y. Maejima, H. Tsukada and S. Funakawa (2017) Ferralsols in the Cameroon plateaus, with a focus on the mineralogical control on their cation exchange capacities, *Geoderma* 285, 206-216.
9. H. Tsukada, T. Takahashi, S. Fukutani and M. Akashi (2016) Concentrations of radiocesium and  $^{90}\text{Sr}$ , and the concentration ratio of  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  in agricultural plants collected in Fukushima Prefecture (14<sup>th</sup> International Congress of the International Radiation Protection Association, IRPA 14, Cape Town, South Africa).
10. 塚田祥文, 高橋知之, 福谷哲, 明石真言 (2016) 福島県産農作物中放射性 Cs および  $^{90}\text{Sr}$  濃度とそれら摂取による被ばく線量評価 (第 49 回日本保健物理学会, 弘前)
11. 塚田祥文, 山口裕顕, 太田誠一, 梅原孝之 (2016) 固相ディスクを用いた陸水中放射性 Cs 濃縮分離法 (アイソトープ・放射線研究発表会, 東京)
12. H. Tsukada, S. Nihira, T. Watanabe, S. Takeda

- (2016) Concentration of  $^{137}\text{Cs}$  in dissolved and suspended fractions in agricultural waters collected from 80-km zone around TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (The 14th Biennial Conference of the South Pacific Environmental Radioactivity Association, SPERA2016, Bali, Indonesia).
13. F. Carini, M. Sato, D. Takata, K. Tagami, H. Tsukada, B. J. Howard (2016) The transfer of radiocaesium to fruit trees after the Fukushima Daiichi accident (II International Conference on Radioecological Concentration Processes, Seville, Spain).
14. 塚田祥文、大瀬健嗣、島長義、武田晃 (2016) 福島県農業用水における存在形態別  $^{137}\text{Cs}$  の経時変化 (日本土壌肥料学会, 佐賀)
15. 塚田祥文 (2016) 福島県における農作物中放射性セシウムとストロンチウム-90 濃度および作物摂取による被ばく線量評価 - 福島県農作物の現状 - (日本土壌肥料学会「2016年佐賀大会公開シンポジウム」)
16. H. Tsukada, SPERA Keynote Lecture, "Research Activities of the Institute of Environmental Radioactivity at Fukushima University, Five Years after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident" (2016.9.5-9, Bali)
17. H. Tsukada, SPERA Trends in Environmental Sample Preparation, Lecture, "Soil and suspended matter sampling and processing following Fukushima accident" (2016.9.5-9, Bali)
18. 塚田祥文, 日本影響学会第 59 回大会特別シンポジウム招待講演「陸域環境における放射性セシウムの濃度および存在形態と作物への移行」(2016.10.26-28, 広島)
19. 塚田祥文, 環境創造センター環境動態部門セミナー: 陸水環境における放射性セシウムの動態について「東電福島第一原発から 80 km 圏内における農業用水中懸濁態および溶存態  $^{137}\text{Cs}$ 」(2017.1.23, 三春)
20. 塚田祥文, 食糧庁からの依頼講演 (2017.2.5, 本宮)  
「食と放射能に関する説明会」
21. H. Tsukada, Invited Seminar, "Radiocaesium in the agricultural environment and internal radiation dose from foods in Fukushima after the nuclear accident of 2011" (2017.3.20, KU Leuven)
- H. 知的財産権の出願・登録状況  
なし