

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

影響と評価手法に関する研究

平成 28 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 29(20 17)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と評価手法に関する研究 ……3

### II. 分担研究報告

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 ……13  
塚田祥文(福島大学環境放射能研究所)
2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究 ……25  
青野辰雄(放射線医学総合研究所福島復興支援本部)
3. 内部被ばく線量に対する放射性 Cs の寄与率等の推定 ……34  
高橋知之(京都大学 原子炉実験所)
4. 食品中放射性物質濃度等に関する知見の評価検討 ……45  
明石真言(放射線医学総合研究所)

### III. 研究成果の刊行に関する一覧表 ……71

## 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が大きい。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<sup>90</sup>Sr 濃度、および平成 27 年度の海産物中放射性 Cs 濃度を用いて、平成 28 年度における放射性 Cs および<sup>90</sup>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。<sup>90</sup>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 ± 4.9(0.03 ~ 22、n=27) Bq/kg-生重量であり、基準値を下回った。<sup>90</sup>Sr 濃度は、0.08 ± 0.13(0.01 ~ 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<sup>90</sup>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 ± 0.43(0.37 ~ 1.3、n=4) Bq/kg-生重量であり、基準値を下回った。また、<sup>90</sup>Sr 濃度は 0.04 ± 0.04(0.008 ~ 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<sup>40</sup>K 濃度の測定の結果は、<sup>137</sup>Cs 濃度および<sup>40</sup>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<sup>90</sup>Sr および<sup>239+240</sup>Pu 濃度はいずれも検出下限値(<sup>90</sup>Sr : 0.2 Bq/kg-生重量、<sup>239+240</sup>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、<sup>90</sup>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考えられる。

##### 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

## 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)

### 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 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

#### 研究要旨

東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)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対応して設定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」および「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示された。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。FDNPS 周辺環境では、営農を再開した地域、および営農再開に向けた準備を進めている地域があるが、作物中放射性Csの他に、特にガンマ線測定によるモニタリングでは測定が困難なストロンチウム-90 ( $^{90}\text{Sr}$ )についての不安の声が大きい。そこで、FDNPS から北西に位置する市場流通作物、ここ数年の内に営農再開が予定されている地域を対象に、農作物中の放射性Cs濃度と $^{90}\text{Sr}$ 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。その結果、市場流通品および営農再開前の作物中放射性Cs濃度は、全て基準値を下回り、福島県を除く日本全国調査によって得られた作物中放射性Cs濃度の範囲内にあった。また、作物中 $^{90}\text{Sr}$ 濃度も、日本全国調査で得られた範囲内にあり、今回の調査で採取した試験圃場から採取した作物中放射性Csと $^{90}\text{Sr}$ 濃度は、市場流通で採取した作物中濃度と同様であった。

#### A. 研究目的

薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会は、東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)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 ( $^{90}\text{Sr}$ )、ルテニウム-106( $^{106}\text{Ru}$ ) およびプルトニウム-238( $^{238}\text{Pu}$ )、プルトニウム-239( $^{239}\text{Pu}$ )、プルトニウム

-240(<sup>240</sup>Pu)およびプルトニウム-241(<sup>241</sup>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」および「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。

福島県においては全ての圃場において低減化対策が取られている。これまでの成果からも明らかのように、事故からの時間経過と共に、福島県内で市場流通している作物中放射性Cs濃度は減少している。しかしながら、FDNPSから北西地域の放射性Cs沈着量が比較的高い地域や居住制限区域、避難指示解除準備区域等では、未だに一部の作物では基準値を超え出荷停止されているものがあり、住民の不安の声は大きい。更に、帰還困難区域内で営農再開に向けた準備を進めている地域では、住民の不安は解消されていない。特に、これらの地域では、<sup>90</sup>Sr のデータが十

分に示されていないため、風評被害の払拭には至っていない。

そのため本研究では、FDNPS周辺の浜通り地域で市場流通している農作物、および居住制限区域、避難指示解除準備区域で試験作付されている福島県内産農産物を採取し、作物中の放射性Csおよび<sup>90</sup>Sr濃度等を測定し、その測定結果を比較・検証した。また、福島県以外の日本全国の放射性Csおよび<sup>90</sup>Sr濃度調査結果と比較・検証した。

## B. 研究方法

### 1. 市場流通および試験圃場からの農作物採取

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(27試料)を購入した。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(4試料)を採取し、分析試料とした(表1)。また、<sup>90</sup>Srについては、市場流通作物を11試料、試験圃場作物を4試料について分析対象とした(表2)。<sup>90</sup>Srの分析結果を得るには、作物を灰化・減容し、大量の試料を用いる必要から、原則5kg以上(放射性Csのみの分析対象試料は原則1kg)を採取した。

### 2. 試料の前処理

採取した作物は実験室に持ち帰った後、速やかに洗浄し土壌を除去し、皮むき、根、腐敗部の非可食部の除去等を行い可食部とした後、70℃で3日間以上乾燥した。新鮮重量に対する乾燥重量の割合を表1に示した。放射性Cs分析用試料は、ステンレススチール製カッターブレンダーで粉碎し、均一な試料を作成した。<sup>90</sup>Srの分析試料は、乾燥後450℃以下で灰化、粉碎し均一な試料を作製した。

### 3. 放射性 Cs 濃度の測定

乾燥粉末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 および GC4020)で、放射性 Cs 濃度を測定した。セシウム-134 ( $^{134}\text{Cs}$ )およびセシウム-137 ( $^{137}\text{Cs}$ )の定量には、それぞれ 604.7 keV および 661.7 keV の線を用い、56,000~1,550,000 秒測定した。また、同時にカリウム-40 ( $^{40}\text{K}$ ) (1,460 keV)の測定も実施した。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)の標準試料を用いて効率曲線を作成した。なお、年々作物中濃度が減少しており、試料によっては Ge 検出器による測定時間は、1,550,000 秒(18 日間)もの長時間を要した(表 2)。

### 4. $^{90}\text{Sr}$ 濃度の測定

灰化した作物試料 10~95 g(1,600~8,100 g 生重量)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カルシウム(Ca)を除去した。更に、ラジウム(Ra)を除去するためイットリウム-90 ( $^{90}\text{Y}$ )をミルクングし、低バックグラウンドガスフローカウンターで 100 分間の計測をした。 $^{90}\text{Sr}$  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)等<sup>2-4)</sup>に拠った。

### C. 研究結果

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、 $2.2 \pm 4.9$  (0.03~22、n=27) Bq/kg-生重量であり、

基準値を下回った(表 3 および表 4)。この中で、キュウリが最も低い値(0.03 Bq/kg-生重量)、サツマイモが最も高い値(22 Bq/kg-生重量)を示した。福島県を除く全国農作物中放射性 Cs 濃度モニタリング結果(2015 年)は、検出限界値以下~2.3 Bq/kg 生重量の範囲(茶を除く、n=413)<sup>5)</sup>にあった。

$^{90}\text{Sr}$  の平均濃度は、 $0.08 \pm 0.13$  (0.01~0.45、n=11) Bq/kg-生重量であった。ナスビが最も低く、カブ(葉)が最も高い値であった(表 3)。福島県を除く全国農作物中  $^{90}\text{Sr}$  濃度モニタリング結果(2015 年)は、検出限界値以下~0.56 Bq/kg 生重量の範囲(茶を除く、n=213)<sup>5)</sup>にあり、本課題での測定結果はその範囲内であった。なお、カブ(葉)で比較的高い  $^{90}\text{Sr}$  濃度が検出されたのは、安定 Sr 濃度も他の作物に比べ比較的高い濃度(0.0035 mg/g 生重量)であることから、土壌からカブ(葉)への Sr 移行係数が高いためと考えられる。

一方、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  $0.77 \pm 0.43$  (0.37~1.3、n=4) Bq/kg-生重量であり、基準値を下回った(表 3)。この中で、玄米が最も高い値(1.3 Bq/kg 生重量)、バレイショで最も低い値(0.37 Bq/kg 生重量)であった。また、 $^{90}\text{Sr}$  濃度は  $0.04 \pm 0.04$  (0.008~0.099、n=4) Bq/kg-生重量であり、バレイショで最も低い値(0.008 Bq/kg 生重量)、サツマイモ最も高い値(0.099 Bq/kg 生重量)を示した。

### D. 考察

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。FDNPS 周辺および北

西地域の居住制限区域および避難指示解除準備区域等土壤中放射性 Cs 濃度が比較的高い地域であっても、カリウム施用などの土壤管理によって作物中放射性 Cs 濃度を基準値以下に低減できていることを示唆する結果であると考えられる。平成 25 年度および平成 27 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  $^{90}\text{Sr}$  濃度を比較すると、両地域から採取された作物中  $^{90}\text{Sr}$  濃度も、同様な濃度範囲あった。更に、福島県を除く全国調査の作物中  $^{90}\text{Sr}$  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  $^{90}\text{Sr}$  濃度は大気圏核実験に由来する濃度と同程度であると考えられる。

## E. 結論

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区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。

## 引用文献

1) 福島県農産物等の放射性物質モニタリングQ

& A ,  
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/nou-san-qa.html>

- 2) 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)
- 3) H. Tsukada, A. Takeda, T. Takahashi, H. Hasegawa, S. Hisamatsu and J. Inaba: Uptake and distribution of  $^{90}\text{Sr}$  and stable Sr in rice plants. *Journal of Environmental Radioactivity* 81, 221-231, 2005.
- 4) H. Tsukada, A. Takeda and H. Hasegawa: Uptake and distributions of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in rice plants, 16th Pacific Basin Nuclear Conference, Aomori, Japan, P16 P1121, 2008.
- 5) 環境放射線データベース ,  
<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/>

## 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 radiocaesium 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.
  8. 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).
  9. 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)
  10. 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)
  11. 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).
  12. 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).
  13. 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)
  14. 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」)
  15. 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)
  16. H. Tsukada, SPERA Trends in Environmental Sample Preparation, Lecture, "Soil and

- suspended matter sampling and processing following Fukushima accident” (2016.9.5-9, Bali)
17. 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)
18. 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)
19. 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」
20. 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

表 1 市場流通および試験栽培作物

試料名	試料番号	採取地点	試料採取日	採取試料重量	乾物割合
				g	
キャベツ	2016AP-1	南相馬市	2016年6月1日	3200	0.068
ナガネギ	2016AP-2	南相馬市	2016年6月1日	3600	0.082
ダイコン	2016AP-3	南相馬市	2016年6月1日	6600	0.055
カブ	2016AP-4	南相馬市	2016年6月1日	6600	0.067
カブ(葉)	2016AP-4L	南相馬市	2016年6月1日		0.062
タマネギ	2016AP-5	南相馬市	2016年6月1日	6800	0.096
カボチャ	2016AP-6	南相馬市	2016年6月15日	4100	0.200
パレイショ	2016AP-7	南相馬市	2016年6月15日	5000	0.286
トマト	2016AP-8	南相馬市	2016年7月20日	5300	0.059
ナスビ	2016AP-9	南相馬市	2016年7月20日	5000	0.061
イネ	2016AP-10	南相馬市	2016年9月28日	5000	0.891
パレイショ	2016AP-12	浪江町	2016年7月4日	9700	0.186
カボチャ	2016AP-13	浪江町	2016年8月8日	10000	0.235
サツマイモ	2016AP-14	浪江町	2016年11月6日	6000	0.260
イネ	2016AP-15	浪江町	2016年10月26日	7000	0.877
コマツナ	2016P-1	南相馬市	2016年6月1日	1460	0.064
アスパラガス	2016P-2	南相馬市	2016年6月1日	1100	0.062
キュウリ	2016P-3	南相馬市	2016年6月1日	2150	0.045
インゲン	2016P-4	南相馬市	2016年9月5日	460	0.070
ニンジン	2016P-5	南相馬市	2016年9月5日	1260	0.100
トマト	2016P-6	南相馬市	2016年9月5日	1230	0.055
長ねぎ	2016P-7	南相馬市	2016年9月5日	1290	0.070
長ねぎ(葉)	2016P-7L	南相馬市	2016年9月5日		0.059
ニラ	2016P-8	南相馬市	2016年10月11日	840	0.072
ピーマン	2016P-9	南相馬市	2016年10月11日	950	0.043
ゴボウ	2016P-10	南相馬市	2016年10月11日	500	0.239
サトイモ	2016P-11	南相馬市	2016年10月11日	870	0.152
サツマイモ	2016P-12	南相馬市	2016年10月11日	1000	0.281
ウリ	2016P-13	南相馬市	2016年10月11日	3800	0.038
かぼす	2016P-14	南相馬市	2016年10月11日	710	0.145
落花生(豆)	2016P-15	南相馬市	2016年10月11日	630	0.770
試料数	31				



表2 農作物中放射性セシウムおよび<sup>90</sup>Sr濃度(乾燥重量)(1)

試料名	試料番号	Ge測定時間	放射性核種濃度(乾燥重量)							
			<sup>134</sup> Cs*		<sup>137</sup> Cs		<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K		
s			Bq/kg 乾燥							
キャベツ	2016AP-1	113,682	ND		4.6 ±	0.4	1.72	± 0.10	1049 ±	16
ナガネギ	2016AP-2	117,665	ND		11.1 ±	0.8	0.79	± 0.050	894 ±	24
ダイコン	2016AP-3	315,904	ND		4.0 ±	0.4	0.57	± 0.039	1886 ±	20
カブ	2016AP-4	605,976	ND		3.1 ±	0.3	0.85	± 0.049	1547 ±	14
カブ(葉)	2016AP-4L	401,618	2.3 ±	0.4	14.4 ±	0.5	7.21	± 0.19	2960 ±	23
タマネギ	2016AP-5	401,709	ND		1.7 ±	0.2	0.34	± 0.021	387 ±	2
カボチャ	2016AP-6	606,248	0.7 ±	0.1	1.3 ±	0.1	0.10	± 0.011	555 ±	1
バレイショ	2016AP-7	333,688	7.8 ±	0.3	39.7 ±	0.5	0.06	± 0.007	596 ±	8
トマト	2016AP-8	85,932	3.5 ±	0.5	19.8 ±	0.8	0.20	± 0.025	1471 ±	22
ナスビ	2016AP-9	321,818	ND		4.6 ±	0.4	0.24	± 0.030	1468 ±	19
イネ	2016AP-10	241,560	0.7 ±	0.1	2.9 ±	0.2	0.019	± 0.0020	98 ±	4
バレイショ	2016AP-12	1,554,074	ND		2.0 ±	0.1	0.041	± 0.006	780 ±	6
カボチャ	2016AP-13	230,606	ND		3.5 ±	0.3	0.13	± 0.007	724 ±	12
サツマイモ	2016AP-14	259,498	ND		2.0 ±	0.2	0.38	± 0.012	587 ±	7
イネ	2016AP-15	327,453	ND		1.5 ±	0.1	0.013	± 0.0014	81 ±	3
コマツナ	2016P-1	117,576	3.3 ±	0.5	18.5 ±	0.8	-	-	2568 ±	31
アスパラガス	2016P-2	348,505	ND		2.3 ±	0.2	-	-	1417 ±	12
キュウリ	2016P-3	800,000	ND		0.59 ±	0.06	-	-	1429 ±	5
インゲン	2016P-4	78,719	ND		4.6 ±	0.4	-	-	1032 ±	17
ニンジン	2016P-5	100,000	1.4 ±	0.2	7.7 ±	0.3	-	-	1594 ±	15
トマト	2016P-6	56,452	4.2 ±	0.4	21.0 ±	0.7	-	-	916 ±	17
長ねぎ	2016P-7	109,969	ND		5.0 ±	0.5	-	-	730 ±	16
長ねぎ_葉	2016P-7L	231,787	2.7 ±	0.3	14.1 ±	0.4	-	-	801 ±	12
ニラ	2016P-8	231,644	1.5 ±	0.2	7.0 ±	0.3	-	-	1800 ±	16
ピーマン	2016P-9	233,492	ND		5.3 ±	0.4	-	-	1732 ±	19
ゴボウ	2016P-10	347,430	ND		1.0 ±	0.1	-	-	391 ±	4
サトイモ	2016P-11	230,105	6.4 ±	0.2	35.7 ±	0.4	-	-	708 ±	7
サツマイモ	2016P-12	230,088	11.8 ±	0.2	67.7 ±	0.5	-	-	402 ±	6
ウリ	2016P-13	83,077	ND		5.4 ±	0.3	-	-	1271 ±	14
かぼす	2016P-14	85,821	5.5 ±	0.4	34.0 ±	0.9	-	-	487 ±	14
落花生(豆)	2016P-15	518,130	ND		1.1 ±	0.1	-	-	232 ±	4
試料数	31									
最小値		56,452	0.7		0.6		0.01		81	
最大値		1,554,074	11.8		67.7		7.21		2960	
算術平均値			4.0		11.2		0.84		1051	

\* 604.7 keVの定量結果

表2 農作物中放射性セシウムおよび<sup>90</sup>Sr濃度(乾燥重量)(2)

試料名	試料番号	Ge測定時間 s	放射性核種濃度(乾燥重量)							
			<sup>134</sup> Cs*		<sup>137</sup> Cs		<sup>90</sup> Sr		<sup>40</sup> K	
			Bq/kg 乾燥							
キャベツ	2016AP-1	113,682	ND		4.6 ± 0.4		1.72 ± 0.10		1049 ± 16	
ナガネギ	2016AP-2	117,665	ND		11.1 ± 0.8		0.79 ± 0.050		894 ± 24	
ダイコン	2016AP-3	315,904	ND		4.0 ± 0.4		0.57 ± 0.039		1886 ± 20	
カブ	2016AP-4	605,976	ND		3.1 ± 0.3		0.85 ± 0.049		1547 ± 14	
カブ(葉)	2016AP-4L	401,618	2.3 ± 0.4		14.4 ± 0.5		7.21 ± 0.19		2960 ± 23	
タマネギ	2016AP-5	401,709	ND		1.7 ± 0.2		0.34 ± 0.021		387 ± 2	
カボチャ	2016AP-6	606,248	0.7 ± 0.1		1.3 ± 0.1		0.10 ± 0.011		555 ± 1	
パレিশヨ	2016AP-7	333,688	7.8 ± 0.3		39.7 ± 0.5		0.06 ± 0.007		596 ± 8	
トマト	2016AP-8	85,932	3.5 ± 0.5		19.8 ± 0.8		0.20 ± 0.025		1471 ± 22	
ナスビ	2016AP-9	321,818	ND		4.6 ± 0.4		0.24 ± 0.030		1468 ± 19	
イネ	2016AP-10	241,560	0.7 ± 0.1		2.9 ± 0.2		0.019 ± 0.0020		98 ± 4	
パレিশヨ	2016AP-12	1,554,074	ND		2.0 ± 0.1		0.041 ± 0.006		780 ± 6	
カボチャ	2016AP-13	230,606	ND		3.5 ± 0.3		0.13 ± 0.007		724 ± 12	
サツマイモ	2016AP-14	259,498	ND		2.0 ± 0.2		0.38 ± 0.012		587 ± 7	
イネ	2016AP-15	327,453	ND		1.5 ± 0.1		0.013 ± 0.0014		81 ± 3	
コマツナ	2016P-1	117,576	3.3 ± 0.5		18.5 ± 0.8		-		2568 ± 31	
アスパラガス	2016P-2	348,505	ND		2.3 ± 0.2		-		1417 ± 12	
キュウリ	2016P-3	800,000	ND		0.59 ± 0.06		-		1429 ± 5	
インゲン	2016P-4	78,719	ND		4.6 ± 0.4		-		1032 ± 17	
ニンジン	2016P-5	100,000	1.4 ± 0.2		7.7 ± 0.3		-		1594 ± 15	
トマト	2016P-6	56,452	4.2 ± 0.4		21.0 ± 0.7		-		916 ± 17	
長ねぎ	2016P-7	109,969	ND		5.0 ± 0.5		-		730 ± 16	
長ねぎ(葉)	2016P-7L	231,787	2.7 ± 0.3		14.1 ± 0.4		-		801 ± 12	
ニラ	2016P-8	231,644	1.5 ± 0.2		7.0 ± 0.3		-		1800 ± 16	
ピーマン	2016P-9	233,492	ND		5.3 ± 0.4		-		1732 ± 19	
ゴボウ	2016P-10	347,430	ND		1.0 ± 0.1		-		391 ± 4	
サトイモ	2016P-11	230,105	6.4 ± 0.2		35.7 ± 0.4		-		708 ± 7	
サツマイモ	2016P-12	230,088	11.8 ± 0.2		67.7 ± 0.5		-		402 ± 6	
ウリ	2016P-13	83,077	ND		5.4 ± 0.3		-		1271 ± 14	
かぼす	2016P-14	85,821	5.5 ± 0.4		34.0 ± 0.9		-		487 ± 14	
落花生(豆)	2016P-15	518,130	ND		1.1 ± 0.1		-		232 ± 4	
試料数	31									
最小値		56,452	0.7		0.6		0.01		81	
最大値		1,554,074	11.8		67.7		7.21		2960	
算術平均値			4.0		11.2		0.84		1051	

\* 604.7 keVの定量結果

表3 福島県浜通り地域における市場流通および試験圃場農作物中放射性セシウムおよび<sup>90</sup>Sr濃度（生重量）

試料名	試料番号	放射性核種濃度(新鮮重量)				放射性Cs濃度合計		放射能比	
		<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K	<sup>134</sup> Cs+ <sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs/ <sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs/ <sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr/ <sup>137</sup> Cs
		Bq/kg 生				Bq/kg 生			
キャベツ	2016AP-1	ND	0.31 ± 0.03	0.117 ± 0.007	71 ± 1	0.31 ± 0.03	-	0.37 ± 0.04	
ナガネギ	2016AP-2	ND	0.91 ± 0.07	0.065 ± 0.004	73 ± 2	0.91 ± 0.07	-	0.071 ± 0.007	
ダイコン	2016AP-3	ND	0.22 ± 0.02	0.031 ± 0.002	103 ± 1	0.22 ± 0.02	-	0.14 ± 0.02	
カブ	2016AP-4	ND	0.21 ± 0.02	0.0563 ± 0.0033	103 ± 1	0.21 ± 0.02	-	0.27 ± 0.03	
カブ(葉)	2016AP-4L	0.15 ± 0.03	0.89 ± 0.03	0.448 ± 0.012	184 ± 1	1.04 ± 0.04	0.16 ± 0.0	0.50 ± 0.02	
タマネギ	2016AP-5	ND	0.16 ± 0.01	0.0326 ± 0.0020	37 ± 0	0.16 ± 0.01	-	0.20 ± 0.02	
カボチャ	2016AP-6	0.14 ± 0.02	0.26 ± 0.02	0.0203 ± 0.0021	111 ± 0	0.40 ± 0.03	0.54 ± 0.1	0.078 ± 0.011	
ハレイショ	2016AP-7	2.22 ± 0.08	11.3 ± 0.1	0.0172 ± 0.0020	170 ± 2	13.56 ± 0.16	0.20 ± 0.0	0.0015 ± 0.0002	
トマト	2016AP-8	0.21 ± 0.03	1.16 ± 0.04	0.012 ± 0.001	86 ± 1	1.37 ± 0.05	0.18 ± 0.0	0.010 ± 0.001	
ナスビ	2016AP-9	ND	0.28 ± 0.03	0.01 ± 0.002	89 ± 1	0.28 ± 0.03	-	0.051 ± 0.008	
イネ	2016AP-10	0.65 ± 0.10	2.55 ± 0.17	0.0174 ± 0.0017	87 ± 3	3.19 ± 0.20	0.26 ± 0.0	0.0068 ± 0.0008	
ハレイショ	2016AP-12	ND	0.37 ± 0.03	0.0077 ± 0.0010	145 ± 1	0.37 ± 0.03	-	0.021 ± 0.003	
カボチャ	2016AP-13	ND	0.82 ± 0.08	0.0299 ± 0.0016	170 ± 3	0.82 ± 0.08	-	0.036 ± 0.004	
サツマイモ	2016AP-14	ND	0.53 ± 0.05	0.099 ± 0.003	153 ± 2	0.53 ± 0.05	-	0.19 ± 0.02	
イネ	2016AP-15	ND	1.34 ± 0.12	0.0115 ± 0.0012	71 ± 2	1.34 ± 0.12	-	0.0086 ± 0.0012	

表 4 福島県浜通り地域における市場流通農作物中放射性セシウム濃度（生重量）

試料名	試料番号	放射性核種濃度(新鮮重量)				放射性Cs濃度合計		放射能比 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$
		$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{40}\text{K}$	$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$			
		Bq/kg 生		Bq/kg 生				
コマツナ	2016P-1	0.2 ± 0.0	1.2 ± 0.1	165 ± 2	1.40 ± 0.06	0.18 ± 0.0		
アスパラガス	2016P-2	ND	0.1 ± 0.0	88 ± 1	0.14 ± 0.01	-		
キュウリ	2016P-3	ND	0.0 ± 0.0	64 ± 0	0.03 ± 0.00	-		
インゲン	2016P-4	ND	0.3 ± 0.0	72 ± 1	0.32 ± 0.03	-		
ニンジン	2016P-5	0.1 ± 0.0	0.8 ± 0.0	159 ± 2	0.91 ± 0.04	0.18 ± 0.0		
トマト	2016P-6	0.2 ± 0.0	1.2 ± 0.0	50 ± 1	1.39 ± 0.04	0.20 ± 0.0		
長ねぎ	2016P-7	ND	0.4 ± 0.0	51 ± 1	0.35 ± 0.03	-		
長ねぎ_葉	2016P-7L	0.2 ± 0.0	0.8 ± 0.0	47 ± 1	0.99 ± 0.03	0.19 ± 0.0		
ニラ	2016P-8	0.1 ± 0.0	0.5 ± 0.0	130 ± 1	0.61 ± 0.03	0.22 ± 0.0		
ピーマン	2016P-9	ND	0.2 ± 0.0	74 ± 1	0.23 ± 0.02	-		
ゴボウ	2016P-10	ND	0.2 ± 0.0	93 ± 1	0.24 ± 0.02	-		
サトイモ	2016P-11	1.0 ± 0.0	5.4 ± 0.1	108 ± 1	6.40 ± 0.07	0.18 ± 0.0		
サツマイモ	2016P-12	3.3 ± 0.1	19.0 ± 0.1	113 ± 2	22.36 ± 0.16	0.17 ± 0.0		
ウリ	2016P-13	ND	0.2 ± 0.0	48 ± 1	0.21 ± 0.01	-		
かぼす	2016P-14	0.8 ± 0.1	4.9 ± 0.1	71 ± 2	5.72 ± 0.15	0.16 ± 0.0		
落花生(豆)	2016P-15	ND	0.9 ± 0.1	178 ± 3	0.85 ± 0.07	-		
最小値		0.1	0.03	47	0.03	0.2		
最大値		3.3	19.0	178	22.4	0.2		
算術平均値		0.7	2.3	95	2.6 ± 5.60	0.2		

## 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)

### 食品中の放射性核種濃度に関する研究 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福島第一原子力発電所 (FDNPS) 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、食品の摂取による介入線量レベルを年間 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、ストロンチウム-90 ( $^{90}\text{Sr}$ )、ルテニウム-106 ( $^{106}\text{Ru}$ ) およびプルトニウム-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 ( $^{241}\text{Pu}$ ) 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、また放射性 Cs 以外の  $^{90}\text{Sr}$  などに対する内部被ばくの不安は依然として大きいことから、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。

そこで福島県沖合で採取され、市場流通する水産物を入手し、これら試料の測定を行ったところ、セシウム-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) 濃度が 10Bq/kg-生重量を超えた試料はなかった。また可食部中の  $^{90}\text{Sr}$  およびプルトニウム-239+240 ( $^{239+240}\text{Pu}$ ) 濃度は検出下限値以下であった。

#### 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、ストロンチウム-90 ( $^{90}\text{Sr}$ )、ルテニウム-106 ( $^{106}\text{Ru}$ ) およびプルトニウム-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 ( $^{241}\text{Pu}$ ) 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。東京電力福島第一原発発電所 (FDNPS) 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、水産物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、福島沖で採取され、市場流通する魚介類を入手し、「食品中の放射性物質の濃度に関する研究」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、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<sup>1)</sup>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)を福島県の漁協から購入した。入手した魚類について、採取日、海域、測定に使用した試料毎の計測を行い、平均全長、体重および各部位(可食部、内臓部とアラ部)に分割後の重量等の情報を表 1 に示す。

#### 1.2. 核種の濃度の測定

魚類は、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(筋肉部)、内臓部とアラ部(皮、骨、鰓、頭、尾等の可食部および内臓部以外)に分割し、個体毎に冷凍保存した。可食部、アラ部および内臓部について、乾燥を行い、ミキサー等で粉碎後に乾燥試料とした。乾燥率(生重量に対する乾燥重量の割合)は 17~31%であった。これを次に電気炉を用いて 450 度で灰化試料の作製を行った。生重量に対する灰化率は 1~7%であった。可食部、内臓部、アラ部の灰試料を U8 容器またはチューブに詰めて、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 時間以上の核種の測定を行った。Ge 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。セシウム-134(<sup>134</sup>Cs)(604.7 keV および 796keV の加重平均値)、セシウム-137(<sup>137</sup>Cs)(661.7 keV)およびカリウム-40(<sup>40</sup>K)(1460 keV)の定量結果を記録した。<sup>134</sup>Cs は複数のエネルギーで検出されるために、これまでガンマ線放出率が最も高い 604.7 keV (97.62%)の定量結果を用いてきた。しかし、796keV のガンマ線放出率(85.5%)も他のガンマ線エネルギーより高いことから、この 2 つのエネルギーで検出された定量結果を加重平均したものが望ましいため<sup>2)</sup>、今年度はこの計算方法を用いた。なおこれまでの報告結果について影響を及ぼすものではない。なお <sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Cs および <sup>40</sup>K 以外の核種は計測されなかった。<sup>134</sup>Cs および <sup>137</sup>Cs の検出下限値は、概ね 1 Bq/kg-生重量であった(試料重量が少ない場合は検出下限値が高くなる)。測定結果を表 2 に示す。

#### 1.3. <sup>90</sup>Sr およびプルトニウム-239+240(<sup>239+240</sup>Pu)濃度の測定

水産物中の <sup>90</sup>Sr および <sup>239+240</sup>Pu 濃度は、FDNPS 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、同一魚種の個体の灰試料を合わせて分析試料とした。水産物はアジ、マガレイ、ソウハチカレイおよびババカレイで、測定する部位は可食部とした。灰試料を硝酸と過酸化水素水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、鉄沈殿を行い、DGA レジン(Eichrom)を用いてイット

リウム-90(<sup>90</sup>Y)の分離・精製を行い、沈殿物を作製し、Canberra 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。

## C. 研究結果

### 1. 水産物中の放射性物質の濃度測定

平成28年に入手した水産物中の放射性Csおよび<sup>40</sup>K濃度測定の結果を表2に示した。魚種毎の各部位の平均値は、検出された値を用いて、加重平均したものである。

小名浜のアジでは、<sup>134</sup>Csは可食部、内臓部とアラ部で検出はされなかった。<sup>137</sup>Cs濃度(Bq/kg-生重量)は可食部、内臓部とアラ部でそれぞれ、0.48-0.69(平均値0.56, n=5)、<3-5.8(n=5)および0.27-0.48(平均値0.38, n=5)であった。可食部、内臓部とアラ部の<sup>40</sup>K濃度は、それぞれ174-261(平均値212, n=5)、186-402(平均値280, n=5)および86.5-101(平均値90.6, n=5)であった。小名浜のマガレイでは、<sup>134</sup>Csは可食部、内臓部とアラ部で検出はされなかった。<sup>137</sup>Cs濃度は可食部、内臓部とアラ部でそれぞれ、1.15-3.01(平均値2.22, n=5)、<0.4-1.74(平均値1.39, n=4)および0.89-1.74(平均値1.38, n=5)であった。可食部、内臓部とアラ部の<sup>40</sup>K濃度は、それぞれ127-136(平均値129, n=5)、107-163(平均値130, n=5)および87.2-91.2(平均値88.9, n=5)であった。小名浜のソウハチカレイでは、<sup>134</sup>Csは内臓部では検出されなかった。一部の可食部とアラ部で検出されたが検出下限値に近い濃度であった。<sup>137</sup>Cs濃度は可食部、内臓部とアラ部でそれぞれ、0.07-3.26(平均値1.87, n=5)、<0.1-3.41(平均値

1.50, n=4)および0.53-1.66(平均値0.96, n=5)であった。可食部、内臓部とアラ部の<sup>40</sup>K濃度は、それぞれ143-152(平均値146, n=5)、101-154(平均値130, n=5)および87.1-93.2(平均値89.6, n=5)であった。相馬のマガレイでは、<sup>134</sup>Csは可食部、内臓部とアラ部で検出はされなかった。<sup>137</sup>Cs濃度は可食部、内臓部とアラ部でそれぞれ、0.49-1.18(平均値0.86, n=5)、<0.4-0.72(平均値0.58, n=2)および0.25-0.68(平均値0.52, n=5)であった。可食部、内臓部とアラ部の<sup>40</sup>K濃度は、それぞれ114-144(平均値128, n=5)、91.9-167(平均値117, n=5)および80.4-90.8(平均値86.5, n=5)であった。相馬のババガレイでは、<sup>134</sup>Csは可食部、内臓部とアラ部で検出はされなかった。<sup>137</sup>Cs濃度は可食部、内臓部とアラ部でそれぞれ、0.44-2.20(平均値1.23, n=5)、<0.2-1.09(平均値0.75, n=4)および0.47-1.18(平均値0.85, n=5)であった。可食部、内臓部とアラ部の<sup>40</sup>K濃度は、それぞれ108-125(平均値119, n=5)、121-190(平均値149, n=5)および74.8-77.3(平均値75.4, n=5)であった。<sup>137</sup>Cs濃度および<sup>40</sup>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。今回調査した魚種の可食部、内臓部とアラ部の生重量について魚全体の重量からその割合を比較すると、それぞれ25-30%、3-14%と60-81%であった。各部位とも乾燥率(乾燥重量/生重量)は10%以下であったが、灰化率(灰重量/生重量)は可食部と内臓部が数%に対してアラ部は5%以上であった。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カルシウム成分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<sup>90</sup>Srおよび<sup>239+240</sup>Pu濃度はいずれも検出下限値(<sup>90</sup>Sr : 0.2 Bq/kg-生重量、<sup>239+240</sup>Pu : 0.1 Bq/kg-生重量)未満であった。

#### D. 考察

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、 $^{134}\text{Cs}$  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  $^{137}\text{Cs}$  濃度および  $^{40}\text{K}$  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、さらに5匹の算術平均値と加重平均値の結果を表3に示した。今回計測した5種の魚種については、計数誤差を勘案すると概ね一致する値であった。また魚種ごとの  $^{137}\text{Cs}$  および  $^{40}\text{K}$  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。また海産物の環境放射能調査や緊急モニタリングでは、大型魚類の可食部について、放射性物質濃度の計測が実施されている。一方で魚全体を使用する調理加工の場合には、可食部以外のアラ部や内臓部中の放射性物質濃度も考慮する必要がある。今回、得られた結果は各部位ごとの放射性物質濃度分布が特異的な部分に偏在しないこと、また海産物の環境放射能調査や緊急モニタリングでは、同一魚種で複数匹の可食部試料を用いるが、個体間の濃度のばらつきは計測誤差範囲にあることが明らかとなった。ま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 28 年 3 月 24 日)<sup>3)</sup>では、平成 27 年度の水産物試料から  $^{90}\text{Sr}$  は検出下限値未満(0.001 Bq/kg-生重量)で、 $^{239+240}\text{Pu}$  は検出下限値未満(0.001 Bq/kg-生重量)～0.41 Bq/kg-生重量であった。今回、平成 28 年度の水産物可食部中の  $^{90}\text{Sr}$  および  $^{239+240}\text{Pu}$  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過去の大気中核実験等のフォールアウトによる  $^{90}\text{Sr}$  および  $^{239+240}\text{Pu}$  が含まれている可能性を考慮しても、 $^{90}\text{Sr}$  および  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は基準値の導出の考え方による  $^{90}\text{Sr} / ^{137}\text{Cs}$  濃度比および  $^{239+240}\text{Pu} / ^{137}\text{Cs}$  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る。

#### E. 結論

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。

#### 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 28 年検査結果、[http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36035e/sui\\_sanka-monita-top.html](http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36035e/sui_sanka-monita-top.html)
- 2) 米沢 伸四郎: Ge 検出器- $\gamma$  線スペクトロメトリによる玄米認証標準物質中  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{40}\text{K}$  の分析-第 1 部 放射能濃度の定量-、分析化学 65、645-655、2016。
- 3) 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 29 年 3 月 27 日)、<http://www.jfa.maff.go.jp/j/housyanou/attach/pdf/kekka-74.pdf>

#### G. 研究業績



1. Food and drinking water safety monitoring - Fukushima experience, Tatsuo Aono, World Health Organization (WHO) , Korea Institute of Radiological and Medical Sciences (KIRAMS), 2016-12-07.
  2. 食品中の放射性セシウム濃度と基準値に対する影響, 青野 辰雄, 高橋 知之, 福谷 哲, 塚田 祥文, 福田 美保, 山崎 慎之介, 明石 真言, 「環境放射能」研究会, 2017-03-15.
  3. CONCENTRATION RATIOS OF RADIONUCLIDE IN MARINE ORGANISMS AROUND JAPAN, 青野 辰雄, 福田 美保, 山崎 慎之介, 石丸 隆, 神田 穰太, 伊藤 友加里, UNIVERSITY OF GOTHENBURG (SWEDEN) AND UNIVERSITY OF SEVILLE (SPAIN), 2016-11-08
  4. ANNUAL VARIATION OF RADIOCAESIUM IN MARINE ENVIRONMENT OFF FUKUSHIMA AFTER THE FUKUSHIMA NUCLEAR POWER STATION ACCIDENT, Tatsuo Aono, 福田 美保, 山崎 慎之介, 石丸 隆, 神田 穰太, 伊藤 友加里, 早乙女 〇忠弘, 水野〇拓治, 山田〇学, 山 廻邊〇 昭文, Akadémiai Kiadó / AKCongress, 2016-04-13.
- H. 知的財産権の出願・登録状況  
なし

表 1 福島県沖において採取され市場流通する水産物の試料リスト

魚種	採取日	海域	緯度	経度	試料数	平均生重量 (kg)				
						平均全長 (cm)	体重	筋肉	アラ	内臓
アジ	平成28年11月25日	小名浜	北緯36度34分	東経14度41分	5	27	0.22	0.05	0.11	0.01
マガレイ	平成28年11月25日	小名浜	北緯36度34分	東経14度41分	5	32	0.38	0.09	0.24	0.03
ソウハチガレイ	平成28年11月25日	小名浜	北緯36度34分	東経14度41分	5	54	1.54	0.55	0.87	0.05
マガレイ	平成28年12月7日	相馬	北緯37度37分	東経14度20分	5	34	0.44	0.11	0.25	0.06
ババカレイ	平成28年12月7日	相馬	北緯37度37分	東経14度20分	5	36	0.54	0.14	0.34	0.03

表2 福島県沖において採取され市場流通する水産物中の放射性核種濃度

海域/魚種	試料番号	<sup>134</sup> Cs Bq/Kg-生重量			<sup>137</sup> Cs Bq/Kg-生重量			<sup>40</sup> K Bq/Kg-生重量		
		可食部	内臓部	アラ部	可食部	内臓部	アラ部	可食部	内臓部	アラ部
小名浜 アジ	1	< 0.4	< 2	< 0.3	0.58 ± 0.04	< 1	0.48 ± 0.04	17.4 ± 2.6	186 ± 10	88.3 ± 1.4
	2	< 0.4	< 5	< 0.3	0.69 ± 0.05	< 3	0.36 ± 0.04	25.1 ± 3.4	271 ± 16	101 ± 1.6
	3	< 0.4	< 3	< 0.3	0.53 ± 0.05	< 2	0.48 ± 0.04	19.5 ± 3.1	233 ± 14	86.5 ± 2.1
	4	< 0.4	< 7	< 0.3	0.52 ± 0.05	5.83 ± 0.30	0.27 ± 0.06	26.1 ± 3.7	402 ± 22	89.5 ± 1.9
	5	< 0.4	< 4	< 0.3	0.48 ± 0.04	< 2	0.33 ± 0.04	18.3 ± 2.7	340 ± 18	87.8 ± 1.4
平均	-	-	-	0.56 ± 0.10	-	0.38 ± 0.10	21.2 ± 7.0	280 ± 37	90.6 ± 3.8	
小名浜 マガレイ	1	< 0.4	< 1	< 0.2	2.04 ± 0.08	1.18 ± 0.16	1.23 ± 0.05	12.9 ± 2.2	137 ± 5.2	91.2 ± 1.2
	2	< 0.4	< 1	< 0.2	1.15 ± 0.10	< 0.4	0.89 ± 0.04	12.7 ± 4.0	163 ± 6.2	87.3 ± 1.7
	3	< 0.4	< 1	< 0.2	1.36 ± 0.10	1.03 ± 0.09	1.04 ± 0.05	12.7 ± 2.6	142 ± 3.9	88.6 ± 1.3
	4	< 0.4	< 1	< 0.2	2.27 ± 0.07	1.19 ± 0.09	1.44 ± 0.04	13.6 ± 1.9	147 ± 4.0	87.2 ± 1.0
	5	< 0.4	< 1	< 0.2	3.01 ± 0.06	1.70 ± 0.07	1.74 ± 0.03	12.7 ± 1.8	107 ± 2.2	89.5 ± 0.8
平均	-	-	-	2.22 ± 0.19	1.39 ± 0.22	1.38 ± 0.09	12.9 ± 5.9	130 ± 10	88.9 ± 2.8	
小名浜 ソウハチカレ	1	0.5 ± 0.03	< 0.5	0.3 ± 0.01	3.26 ± 0.05	1.68 ± 0.05	1.66 ± 0.03	1.48 ± 1.2	15.4 ± 2.1	87.1 ± 0.8
	2	< 0.2	< 0.5	< 0.3	1.76 ± 0.03	3.41 ± 0.11	0.87 ± 0.03	1.46 ± 1.0	101 ± 2.7	88.5 ± 0.9
	3	0.3 ± 0.02	< 0.5	< 0.3	1.59 ± 0.03	0.51 ± 0.04	0.71 ± 0.02	1.40 ± 0.9	118 ± 2.4	90.9 ± 0.7
	4	0.4 ± 0.03	< 0.5	< 0.3	1.90 ± 0.04	0.57 ± 0.05	0.98 ± 0.02	1.52 ± 1.3	102 ± 2.4	93.2 ± 0.7
	5	< 0.2	< 0.5	< 0.3	0.70 ± 0.02	< 0.1	0.53 ± 0.02	1.44 ± 0.8	1.41 ± 2.5	88.9 ± 0.8
平均	-	-	-	1.87 ± 0.08	1.50 ± 0.14	0.96 ± 0.05	1.46 ± 2.4	130 ± 5.4	89.6 ± 1.7	
相馬 マガレイ	1	< 0.4	< 0.4	< 0.1	1.18 ± 0.06	0.47 ± 0.05	0.68 ± 0.05	11.4 ± 2.5	125 ± 2.7	80.4 ± 1.3
	2	< 0.4	< 0.8	< 0.1	0.81 ± 0.08	< 0.4	0.68 ± 0.03	1.44 ± 2.7	163 ± 5.4	86.1 ± 1.1
	3	< 0.4	< 0.5	< 0.1	0.68 ± 0.05	0.72 ± 0.06	0.48 ± 0.03	1.22 ± 1.8	125 ± 3.0	90.1 ± 1.0
	4	< 0.4	< 0.7	< 0.1	0.40 ± 0.04	< 0.4	0.25 ± 0.03	1.32 ± 2.2	167 ± 4.7	90.8 ± 1.4
	5	< 0.4	< 0.4	< 0.1	0.98 ± 0.05	< 0.4	0.60 ± 0.03	1.32 ± 1.8	91.9 ± 2.1	84.4 ± 1.2
平均	-	-	-	0.86 ± 0.13	0.58 ± 0.08	0.52 ± 0.07	1.28 ± 5.0	117 ± 8.5	86.5 ± 2.7	
相馬 ババカレイ	1	< 0.2	< 0.5	< 0.1	1.38 ± 0.04	0.74 ± 0.07	0.82 ± 0.03	1.21 ± 1.4	138 ± 3.3	77.3 ± 0.8
	2	< 0.2	< 0.6	< 0.1	0.73 ± 0.03	< 0.2	0.65 ± 0.02	1.19 ± 1.2	190 ± 4.2	74.8 ± 0.7
	3	< 0.2	< 0.6	< 0.1	1.38 ± 0.06	1.09 ± 0.09	1.09 ± 0.03	1.08 ± 2.3	121 ± 3.3	75.2 ± 1.1
	4	< 0.2	< 0.4	< 0.1	2.20 ± 0.07	0.85 ± 0.06	1.18 ± 0.03	1.25 ± 1.8	153 ± 3.2	75.3 ± 0.7
	5	< 0.2	< 0.4	< 0.1	0.44 ± 0.05	0.42 ± 0.06	0.47 ± 0.02	1.15 ± 1.7	129 ± 3.4	74.8 ± 0.9
平均	-	-	-	1.23 ± 0.12	0.75 ± 0.14	0.85 ± 0.06	1.19 ± 3.8	140 ± 7.8	75.4 ± 2.0	

表 3 福島県沖において採取された魚類中の放射性核種の濃度範囲とその平均値

海域/魚種	試料番号	<sup>137</sup> Cs		<sup>40</sup> K	
		Bq/Kg	生重量	Bq/Kg	生重量
小名浜	1	0.51 ± 0.06	120 ± 10.3	1.45 ± 0.19	104 ± 5.8
	2	0.47 ± 0.06	155 ± 16.7	0.96 ± 0.11	102 ± 9.3
	3	0.46 ± 0.06	120 ± 15.3	1.11 ± 0.14	102 ± 5.2
	4	0.57 ± 0.31	15.4 ± 23.2	1.65 ± 0.12	105 ± 45
	5	0.38 ± 0.05	127 ± 18.6	2.06 ± 0.10	100 ± 2.6
	算術平均	0.48	135	1.44	103
	加重平均	0.47	135	1.59	118

  

海域/魚種	試料番号	<sup>137</sup> Cs		<sup>40</sup> K	
		Bq/Kg	生重量	Bq/Kg	生重量
アジ	1	0.8018 ± 0.093	96 ± 436.4	0.996 ± 0.0858	95.2 ± 3.501
	2	0.7136 ± 0.09	106 ± 6.112	0.674 ± 0.038	93.7 ± 4281
	3	0.5096 ± 0.084	100 ± 3.521	1.148 ± 0.1086	8.42 ± 4212
	4	0.3107 ± 0.049	106 ± 5.639	1.405 ± 0.095	92.2 ± 3.417
	5	0.7269 ± 0.06	99 ± 2.952	0.461 ± 0.0829	88.6 ± 3.675
	算術平均	0.61	101	0.94	91
	加重平均	0.63	113	0.94	114

  

海域/魚種	試料番号	<sup>137</sup> Cs		<sup>40</sup> K	
		Bq/Kg	生重量	Bq/Kg	生重量
相馬	1	2.29 ± 0.08	112 ± 2.3	0.96 ± 0.0858	95.2 ± 3.501
	2	1.27 ± 0.12	110 ± 2.8	0.674 ± 0.038	93.7 ± 4281
	3	1.05 ± 0.05	114 ± 2.5	1.148 ± 0.1086	8.42 ± 4212
	4	1.25 ± 0.07	112 ± 2.5	1.405 ± 0.095	92.2 ± 3.417
	5	0.60 ± 0.02	112 ± 2.6	0.461 ± 0.0829	88.6 ± 3.675
	算術平均	1.29	112	0.94	91
	加重平均	1.31	131	0.94	114

# 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)

## 内部被ばく線量に対する放射性 Cs の寄与率等の推定 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 福谷 哲 京都大学 原子炉実験所

### 研究要旨

東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)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対応するために新しい基準値が設けられた。その適用された食品中放射性核種濃度の基準値は、放射性セシウム(Cs)については「一般食品」については 100 Bq/kg、「乳児用食品」および「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、平成 28 年度に福島県内で生産された食品について、その放射性 Cs 濃度およびストロンチウム-90(<sup>90</sup>Sr)濃度と安定核種濃度を測定し、放射性 Cs および <sup>90</sup>Sr に起因する内部被ばく線量を推定することにより、現行の規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。

### A. 研究目的

薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会は、東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)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対応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(Cs)の限度値を導出することにより、基準値を設定した<sup>1)</sup>。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、介入線量レベルに一定の余裕を持たすため、一般食品の基準値は、この値を安全側に切り下げて 100 Bq/kg と設定することが妥当とした。その設定に際し、モニタリング検査等から得られている実測値や流通食品に輸入食品が多く含まれる実態から、流通する食品の汚染割合を「一般食品」については 50 %であると仮定している。また、「乳児用食品」および「牛乳」に

については、流通する全ての食品に基準値上限の放射性物質が含まれるとしても年間 1 mSv を超えることがないよう、より安全側に 50 Bq/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、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セシウム-134 ( $^{134}\text{Cs}$ ) およびセシウム-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) 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、土壌中放射性核種濃度の比や、環境移行モデルおよびパラメータにより推定した。

そのため本研究は、市場流通している福島県産の農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、基準値の妥当性について検討することを目的としている。

本分担研究では、これらの放射性核種濃度の測定値等を用いて食品摂取による実際の内部被ばく線量を推定し、現行の規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する。

## B. 研究方法

### 1. 本研究で対象とする食品

本研究で内部被ばく線量評価の対象とする農

作物は、「分担研究 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」(以下「分担研究 1.」と記述する。)において採取された、FDNPS 周辺の浜通り地域(南相馬市)における市場流通作物と、平成 29 年度から営農再開を予定している浪江町における試験圃場からの作物とした。なお、分担研究 1. で示されたように、市場流通作物中放射性 Cs 濃度の平均値は 2.2 Bq/kg-生重量であり、その範囲は 0.03 ~ 22 Bq/kg-生重量であった。一方、浪江町の試験圃場から採取された作物中放射性 Cs 濃度の平均値は 0.77 Bq/kg-生重量であり、その範囲は 0.37 ~ 1.3 Bq/kg-生重量であった。このように、放射性 Cs 濃度は測定試料によるばらつきが大きく、市場流通作物と試験圃場から採取された作物の濃度の差異はこのばらつきに比べて線量評価の観点から大きな差異ではないと判断し得ること、および試験圃場の作物も基準値を大幅に下回っており、市場流通に支障がないことから、本評価においてはこれらの食品は区別せずに用いる。

また、海産物の摂取についても内部被ばく線量評価を実施する。海産物中放射性 Cs 濃度については、平成 27 年度に測定された、FDNPS の 30 km 圏内の海域で採取された魚介類の可食部中  $^{137}\text{Cs}$  濃度<sup>2)</sup>を用いることとする。

安定元素の摂取量を利用することによる内部被ばく線量評価を行うため、分担研究 1. において  $^{90}\text{Sr}$  濃度を測定した農作物について、安定 Sr 濃度および安定カルシウム (Ca) 濃度を測定する。測定は ICP 発光分光分析装置 (iCAP-6300, Thermo Fisher Scientific) およびフレームレス原子吸光度計 (ContraAA 700, Analytik Jena) を用いて行い、濃度既知の標準溶液で検量線を作

成し定量する。

放射性 Cs による内部被ばく線量を評価するために用いる安定カリウム(K)濃度は、分担研究 1. で測定されたカリウム-40(<sup>40</sup>K)濃度を、安定 K の単位重量あたりの <sup>40</sup>K 放射エネルギーである 30.4 Bq/kg<sup>3</sup>)で除することによって推定する。

### 3. 線量評価方法

食品摂取による内部被ばく線量は、測定した放射性核種濃度に食品摂取量および内部被ばく線量係数を乗じて合計することによって求めることができる。しかしながら、食品中放射性 Cs および <sup>90</sup>Sr 濃度を測定するための食品試料は、購入できる期間や種類が限られているため、一般に摂取されている食品を網羅的に測定することは困難である。また、<sup>90</sup>Sr については、大量の試料を用いなければ検出ができないため、その試料数および種類は非常に限定的となる。

このため、線量評価方法として、測定した放射性核種濃度に食品摂取量および内部被ばく線量係数を乗じて合計する方法に加え、これらの放射性核種濃度と、その食品に含まれている安定元素の濃度を比較し、一般的な安定元素の摂取量を用いることで、内部被ばく線量を推定することを試みる。なお、安定元素(K, Ca)の摂取量は、平成 25 年国民健康・栄養調査報告<sup>4)</sup>を用いることとする。

## C. 研究結果

### 1. 農畜産物毎のデータを用いた放射性 Cs による内部被ばく線量の試算

平成 28 年度の放射性 Cs 濃度のデータから、これらの食品の摂取による内部被ばく線量の推定を試みた。本評価では実際に福島県内で生産さ

れ、食品として販売されている農産物を対象としていることから、淡水産物および海産物はこの評価では対象としないこととした。また、本評価の対象は成人とし、各食品の摂取量は食品中放射性核種濃度の基準値の算定における 19 歳以上(男子)と 19 歳以上(女子)の値を用いた。内部被ばく線量評価のための線量係数は、ICRP Publication No.72<sup>5)</sup>に記載されている経口摂取に係る内部被ばく線量係数(表 1 参照)の成人の値を用いた。

食品の分類は基準値の導出において用いられたカテゴリーに従った。農作物については、分担研究 1.において採取した食品試料を各カテゴリーに分類して <sup>137</sup>Cs 濃度を平均し、各カテゴリーの濃度とした。ただし「穀類」および「コメ」は、本研究では玄米濃度のみを測定しているため、いずれも玄米の濃度の平均値を用いた。

畜産物は、平成 24 年度の測定で全て検出下限値未満であり、その後は測定を実施していないため、卵については平成 24 年度の卵の検出下限値、その他の畜産物については平成 24 年度の肉類の検出下限値を平均濃度として用いた。「その他」については、キノコ類、菓子類、酒類、嗜好飲料、調味料等、広範囲な食品が含まれることから、上記に分類された農産物の平均値を「その他」の濃度として代表することとした <sup>134</sup>Cs 濃度については、検出されていない試料も多く、誤差も大きいと考えられることから、平成 23 年 3 月 11 日における <sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs 放射能濃度比を 1:1 とし、平成 27 年 9 月 30 日における <sup>134</sup>Cs 濃度との比を算出し、<sup>137</sup>Cs 濃度に乗じることによって推定した。

平成 28 年度採取試料の濃度から推定した 19 歳以上の男女に対する線量の評価結果を表 2 に示す。内部被ばく線量の評価結果はそれぞれ年間 0.019 mSv および 0.015 mSv 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る。

## 2. 海産物のデータを用いた放射性 Cs による内部被ばく線量の試算

海産物については、平成 27 年度に測定された、FDNPS の 30km 圏内の海域で採取された魚介類の可食部中  $^{137}\text{Cs}$  濃度<sup>2)</sup>を用いて、海産物の摂取に起因する内部被ばく線量を評価した。なお、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  放射能濃度比は、農畜産物の評価と同様に平成 27 年 9 月 30 日における  $^{134}\text{Cs}$  濃度との比を用いることとした。

評価に用いた魚介類の可食部中  $^{137}\text{Cs}$  濃度を表 3 に示す。試料数で加重平均した可食部中  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 0.83 Bq/kg 生であった。なお、表 3 に示したように、本平均値は  $^{137}\text{Cs}$  が検出された試料の平均値であり、検出下限値未満の試料は含まれていないことから、本平均値による線量推定は保守的な評価となる。

農作物摂取によると同様に、本評価の対象を成人とし、海産物摂取量を食品中放射性核種濃度の基準値の算定における 19 歳以上(男子)と 19 歳以上(女子)の値を用いた場合の内部被ばく線量の評価結果を表 4 に示す。内部被ばく線量の評価結果はそれぞれ年間 0.00061 mSv および 0.00049 mSv 程度であった。

なお、表 2 に示した農畜産物摂取による被ばく線量評価と合計すると、それぞれ 0.020 mSv および 0.015 mSv 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る。

## 3. $^{40}\text{K}$ 濃度を用いた放射性 Cs による内部被ばく線量の試算

放射性 Cs 濃度の測定においては、あわせて  $^{40}\text{K}$  濃度も測定されている。Cs と K は同じアルカリ

金属であり、生態圏内では似通った挙動を示すと考えられるため、安定 K の摂取量から放射性 Cs 摂取量の推定を行う。

安定 K の単位重量あたりの  $^{40}\text{K}$  放射エネルギーである 30.4 Bq/g を用いて計算を行った結果、 $^{137}\text{Cs}$  濃度/安定 K 濃度比 (Bq/g-K) の平均値は 0.54 であった。また、最大値は 5.1 と、平均値の約 10 倍程度であった。

この平均値を用いて放射性 Cs による内部被ばく線量を評価した結果を表 5 に示す。また、 $^{40}\text{K}$  による内部被ばく線量評価結果も同表にあわせて示す。ここで、表 1 の区分に従い、1~6 歳は 5 歳、7~14 歳は 10 歳、15~19 歳は 15 歳、20 歳以上の各区分は成人の線量係数を用いている。

放射性 Cs による年間内部被ばく線量は 0.001 mSv のオーダーであり、介入線量レベルである年間 1 mSv を大幅に下回っている。なお  $^{40}\text{K}$  による年間内部被ばく線量は 0.1 mSv を上回っている。すなわち、放射性 Cs による年間内部被ばく線量は  $^{40}\text{K}$  による年間内部被ばく線量に比べて一桁以上低い値であった。

## 4. 安定 Sr 濃度および安定 Ca 濃度を用いた Sr-90 による内部被ばく線量の試算

分担研究 1.において  $^{90}\text{Sr}$  濃度を測定した食品試料について、安定 Sr および安定 Ca 濃度の測定結果を放射性核種濃度とあわせて表 6 に示す。

食品試料中安定 Sr 濃度は 82~3791  $\mu\text{g}/\text{kg}$  であり、算術平均値は 627  $\mu\text{g}/\text{kg}$  であった。また、安定 Ca 濃度は、61~1839 mg/kg であり、算術平均値は 278  $\mu\text{g}/\text{kg}$  であった。これらの値を用いると、 $^{90}\text{Sr}$  濃度/安定 Ca 濃度比 (Bq/mg-Ca) の平均値は 0.00022 であった。

この平均値を用いて  $^{90}\text{Sr}$  による内部被ばく線量



を評価した結果を表7に示す。19才以下の年齢カテゴリーでは0.001 mSvのオーダー、成人では約0.001 mSvであった。

#### D.考察

##### 1. 農畜産物毎のデータを用いた放射性 Cs による内部被ばく線量の試算

「C.結果」において記載したように、農畜産物毎のデータを用いた19歳以上の男女に対する内部被ばく線量の評価結果はそれぞれ年間0.019 mSvおよび0.015 mSvであり、海産物摂取経路を合計しても、介入線量レベルである年間1 mSvを大幅に下回っている。しかしながら、平成28年2月～3月に調査されたマーケットバスケット法による、放射性セシウムから受ける年間放射線量は福島県内において0.0009～0.0010 mSv<sup>6)</sup>であり、本評価結果はこの結果を一桁程度上回っている。その理由として以下のことが考えられる。

- 1) 本研究では、摂取する食品について、FDNPS 周辺の浜通り地域(南相馬市)における市場流通作物、および、平成29年度から営農再開を予定している浪江町における試験圃場から採取された作物を対象としている。すなわち、本評価結果は、一年間に摂取する食品を全てこれらの地域で生産された食品と仮定した場合となる。実際に摂取される食品はより広範囲から購入されるため、市場希釈の効果が働き、この結果よりもかなり低くなると考えられる。
- 2) 本評価における各食品カテゴリーの寄与率を表8に示す。農作物の寄与率の合計は約6割程度であり、「その他」の寄与率が約3割を占めている。「その他」の中にはキノコ類、菓子類、酒類、嗜好飲料、調味料等が含まれる。本推

定では、全ての試料の平均値を「その他」の濃度として代表している。しかしながら実際には、酒類、嗜好飲料等のように水分量が多く、放射性核種濃度が低い食品が多く、「その他」のカテゴリーの放射性Cs濃度の平均値は、推定値よりも低いと考えられる。

- 3) 本評価では「穀物」、「コメ」の濃度に玄米での測定値を用いているが、一般に食される白米は玄米よりも濃度が低く、玄米の濃度も用いることは過大評価の原因となる。
- 4) 調理加工に伴う放射性セシウム濃度の減少は考慮していない。調理加工によって実際に摂取する放射性セシウム濃度は減少するため、実際に摂取する放射性核種量は本評価よりも少ないと考えられる。
- 5) 畜産物は平成24年度の検出下限値を用いている。畜産物の寄与率は約1割程度であるが、実際には本評価よりも低い濃度であり、寄与も低いと考えられる。

これらのことから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。すなわち、摂取する全ての食品について、原材料も含め全て福島県浜通り地域(海産物についてはFDNPSの30km圏内の海域)から産出されたものとし、かつ、調理加工の効果を無視した場合でも年間被ばく線量は0.02 mSv未満であり、実際の被ばく線量は、より低い値であると解すべきである。

##### 2. 海産物のデータを用いた放射性 Cs による内部被ばく線量の試算

「C.結果」において記載したように、平成27年度のデータを用いた、海産物摂取に起因する19歳以上の男女に対する内部被ばく線量の評価結果はそれぞれ年間0.00061 mSvおよび0.00049

mSv と評価された。

しかしながらこの評価は、摂取する全ての海産物を FDNPS の 30 km 圏内の海域で採取された魚介類と仮定した場合の評価結果であり、実際には市場希釈の効果が働き、この結果よりもかなり低くなると考えられる。

### 3. $^{40}\text{K}$ 濃度を用いた放射性 Cs による内部被ばく線量の試算

表5に示したように、 $^{40}\text{K}$  濃度を用いた放射性 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調査による線量評価結果<sup>6)</sup>よりも数倍高い値となっている。

D.1に記載した原因のうち、「その他の食品」の寄与に関しては本手法が現実的評価を与えると考えられる。しかしながら、 $^{137}\text{Cs}$ /安定 K 比は今回測定された農作物データの平均値を用いているため、一般的に流通している  $^{137}\text{Cs}$  濃度が低い食品(すなわち、 $^{137}\text{Cs}$  /安定 K 濃度比が低い食品)の摂取は考慮されておらず、市場希釈の効果が含まれないことによると考えられる。

### 4. 安定 Sr 濃度および安定 Ca 濃度を用いた $^{90}\text{Sr}$ による内部被ばく線量の試算

安定 Sr 濃度および安定 Ca 濃度を用いた  $^{90}\text{Sr}$  による内部被ばく線量の評価結果は年齢によって大きく変わるが、0.001 mSv オーダーかそれ以下であった。分担研究 1.において記述されているように、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セシウムによる被ばく線量と比べても十分に低いと考えられる。

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。

これらの結果から、事故に起因する年間内部被ばく線量は、 $^{90}\text{Sr}$  の寄与を考慮しても、1 mSv/y を 2 桁下回っており、現行の規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、事故に起因する  $^{90}\text{Sr}$  の寄与は極めて小さく、放射性 Cs 以外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る。

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。

### F. 引用文献

- 1) 厚生労働省ホームページ：  
<http://www.mhlw.go.jp/>
- 2) 明石真言：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と評価手法に関する研究 平成 27 年度 総括・分担研究報告書(2016)。
- 3) アイソトープ便覧(改訂 3 版)、日本アイソトープ協会編、丸善(1984)。
- 4) 厚生労働省：平成 25 年国民健康・栄養調査報

告 (2015).

5) ICRP: Publication 72(1996).

6) <http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11134000-Shokuhinzenbu-Kijunshinsaka/20161216.pdf>

G. 研究業績

なし

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 評価に用いた内部被ばく線量係数 (Sv/Bq)

放射性核種	5歳	10歳	15歳	成人
Cs-134	1.3E-08	1.4E-08	1.9E-08	1.9E-08
Cs-137	9.6E-09	1.0E-08	1.3E-08	1.3E-08
K-40	2.1E-08	1.3E-08	7.6E-09	6.2E-09
Sr-90	4.7E-08	6.0E-08	8.0E-08	2.8E-08

表2 農畜産物摂取による線量推定結果 (平成28年度採取試料)

	19歳以上[男子] 一日摂取量 (g/day)	19歳以上[女子] 一日摂取量 (g/day)	Cs137平均濃度 (Bq/kg)	19歳以上[男子] 一日摂取量 Bq/day	19歳以上[女子] 一日摂取量 (Bq/day)
穀類	127.5	110.9	1.9	0.24	0.21
コメ	424	292	1.9	0.81	0.55
芋類	60	55.8	7.3	0.44	0.41
葉菜類	142.9	130.2	0.6	0.09	0.08
根菜類	85.2	78.1	0.3	0.03	0.02
豆類	64.3	61.7	0.6	0.04	0.04
果菜類	229.7	243.1	1.0	0.23	0.24
乳製品	30.6	38.9	0.6	0.02	0.02
牛肉	17.7	12.1	0.6	0.01	0.01
豚肉	46.6	36.1	0.6	0.03	0.02
鶏肉	22.1	16.2	0.6	0.01	0.01
鶏卵	39.6	34.5	0.4	0.02	0.01
その他*	623.8	374	1.9	1.19	0.71
牛乳	82.3	87	0.6	0.05	0.05
			Cs137摂取量合計 (Bq/y)	1.2E+03	8.7E+02
			Cs134摂取量合計 (Bq/y)	2.2E+02	1.7E+02
			Cs137線量(mSv/y)	1.5E-02	1.1E-02
			Cs134線量(mSv/y)	4.2E-03	3.2E-03
			線量合計(mSv/y)	1.9E-02	1.5E-02

\*その他にはキノコ類、菓子類、酒類、嗜好飲料、調味料等が含まれる

表3 FDNPSの30km圏内の海域で採取された魚介類の  
可食部中Cs-137濃度(平成27年度)

魚種	試料採取日	検出試料数 (括弧内は全試料数)	Cs-137濃度(平均値) (Bq/kg生)
サンマ	平成27年11月16日	3 (10)	0.80
サバ	平成27年11月18日	5 (5)	0.60
アジ	平成27年11月18日	4 (5)	1.15
平均値(加重平均)			0.83

表4 FDNPSの30km圏内の海域で採取された魚介類摂取による線量推定結果(平成27年度)

	19歳以上【男子】	19歳以上【女子】
海産物一日摂取量(g/day)	111.1	89.9
Cs-137年間摂取量(Bq/y)	3.4E+01	2.7E+01
Cs-134年間摂取量(Bq/y)	8.8E+00	7.1E+00
Cs137線量(mSv/y)	4.4E-04	3.6E-04
Cs134線量(mSv/y)	1.7E-04	1.4E-04
線量合計(mSv/y)	6.1E-04	4.9E-04

表5 放射性CsおよびK-40による年間内部被ばく線量推定値(単位:mSv/y)

		1-6歳	7-14歳	15-19歳	20-29歳	30-39歳	40-49歳	50-59歳	60-69歳	70歳以上
男	カリウム一日摂取量(mg/d)	1.5E+03	2.3E+03	2.2E+03	2.0E+03	2.1E+03	2.1E+03	2.3E+03	2.6E+03	2.7E+03
	Cs-137年間摂取量(Bq/y)	2.8E+02	4.4E+02	4.4E+02	3.9E+02	4.2E+02	4.2E+02	4.6E+02	5.1E+02	5.3E+02
	Cs-134年間摂取量(Bq/y)	5.4E+01	8.4E+01	8.3E+01	7.5E+01	7.9E+01	7.9E+01	8.7E+01	9.7E+01	1.0E+02
	Cs-137年間線量(mSv/y)	2.7E-03	4.4E-03	5.7E-03	5.1E-03	5.4E-03	5.4E-03	5.9E-03	6.6E-03	6.9E-03
	Cs-134年間線量(mSv/y)	7.0E-04	1.2E-03	1.6E-03	1.4E-03	1.5E-03	1.5E-03	1.6E-03	1.8E-03	1.9E-03
	Cs-(134+137)線量(mSv/y)	3.4E-03	5.6E-03	7.3E-03	6.5E-03	6.9E-03	6.9E-03	7.6E-03	8.5E-03	8.8E-03
	K-40年間摂取量(Bq/y)	1.6E+04	2.5E+04	2.5E+04	2.2E+04	2.4E+04	2.4E+04	2.6E+04	2.9E+04	3.0E+04
	K-40年間線量(mSv/y)	3.4E-01	3.3E-01	1.9E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.5E-01	1.6E-01	1.8E-01	1.9E-01
女	カリウム一日摂取量(mg/d)	1.4E+03	2.0E+03	1.9E+03	1.8E+03	1.9E+03	1.9E+03	2.2E+03	2.5E+03	2.4E+03
	Cs-137年間摂取量(Bq/y)	2.8E+02	4.0E+02	3.6E+02	3.5E+02	3.7E+02	3.7E+02	4.4E+02	4.9E+02	4.7E+02
	Cs-134年間摂取量(Bq/y)	5.4E+01	7.6E+01	6.9E+01	6.6E+01	7.1E+01	7.0E+01	8.4E+01	9.4E+01	8.9E+01
	Cs137線量(mSv/y)	2.7E-03	4.0E-03	4.7E-03	4.5E-03	4.8E-03	4.8E-03	5.7E-03	6.4E-03	6.1E-03
	Cs134線量(mSv/y)	7.0E-04	1.1E-03	1.3E-03	1.3E-03	1.3E-03	1.3E-03	1.6E-03	1.8E-03	1.7E-03
	線量合計(mSv/y)	3.4E-03	5.1E-03	6.0E-03	5.8E-03	6.2E-03	6.1E-03	7.3E-03	8.2E-03	7.7E-03
	K-40年間摂取量(Bq/y)	1.6E+04	2.3E+04	2.1E+04	2.0E+04	2.1E+04	2.1E+04	2.5E+04	2.8E+04	2.6E+04
	K-40年間線量(mSv/y)	3.4E-01	3.0E-01	1.6E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.3E-01	1.5E-01	1.7E-01	1.6E-01

表6 安定 Sr 濃度および安定 Ca 濃度測定値

	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K	安定Sr	安定Ca
	Bq/kg 生	Bq/kg 生	Bq/kg 生	Bq/kg 生	μg/kg 生	mg/kg 生
キャベツ	ND	0.3 ± 0.0	0.117 ± 0.007	71 ± 1	742 ± 3	423 ± 2
ナガネギ	ND	0.9 ± 0.1	0.065 ± 0.004	73 ± 2	1604 ± 6	268 ± 2
ダイコン(根)	ND	0.2 ± 0.0	0.031 ± 0.002	103 ± 1	383 ± 3	134 ± 2
カブ(根)	ND	0.2 ± 0.0	0.056 ± 0.003	103 ± 1	368 ± 1	145 ± 1
カブ(葉)	0.1 ± 0.0	0.9 ± 0.0	0.448 ± 0.012	184 ± 1	3791 ± 17	1839 ± 31
タマネギ	ND	0.2 ± 0.0	0.033 ± 0.002	37 ± 0	344 ± 2	154 ± 1
カボチャ1	0.1 ± 0.0	0.3 ± 0.0	0.020 ± 0.002	111 ± 0	151 ± 2	90 ± 0
パレイシヨ2	2.2 ± 0.1	11.3 ± 0.1	0.017 ± 0.002	170 ± 2	171 ± 1	61 ± 0
トマト	0.2 ± 0.0	1.2 ± 0.0	0.012 ± 0.001	86 ± 1	148 ± 0	75 ± 0
ナスビ	ND	0.3 ± 0.0	0.014 ± 0.002	89 ± 1	117 ± 0	131 ± 1
玄米	0.6 ± 0.1	2.5 ± 0.2	0.017 ± 0.002	87 ± 3	179 ± 1	105 ± 0
パレイシヨ1	ND	0.4 ± 0.0	0.008 ± 0.001	145 ± 1	82 ± 0	70 ± 0
カボチャ2	ND	0.8 ± 0.1	0.030 ± 0.002	170 ± 3	165 ± 1	115 ± 1
サツマイモ	ND	0.5 ± 0.0	0.099 ± 0.003	153 ± 2	1018 ± 4	457 ± 3
玄米	ND	1.3 ± 0.1	0.012 ± 0.001	71 ± 2	150 ± 1	98 ± 0

表7 Sr-90 による年間内部被ばく線量推定値 (単位: mSv/y)

		1-6歳	7-14歳	15-19歳	20-29歳	30-39歳	40-49歳	50-59歳	60-69歳	70歳以上
男	カルシウム一日摂取量(mg/d)	4.2E+02	6.7E+02	5.0E+02	4.5E+02	4.5E+02	4.4E+02	4.7E+02	5.5E+02	5.9E+02
	Sr-90年間摂取量(Bq/y)	3.3E+01	5.3E+01	4.0E+01	3.5E+01	3.6E+01	3.5E+01	3.7E+01	4.3E+01	4.7E+01
	Sr-90年間線量(mSv/y)	1.6E-03	3.2E-03	3.2E-03	9.8E-04	1.0E-03	9.8E-04	1.0E-03	1.2E-03	1.3E-03
女	カルシウム一日摂取量(mg/d)	4.1E+02	6.1E+02	4.3E+02	4.1E+02	4.4E+02	4.2E+02	4.9E+02	5.4E+02	5.2E+02
	Sr-90年間摂取量(Bq/y)	3.3E+01	4.8E+01	3.4E+01	3.2E+01	3.5E+01	3.3E+01	3.9E+01	4.3E+01	4.1E+01
	Sr-90年間線量(mSv/y)	1.5E-03	2.9E-03	2.7E-03	9.0E-04	9.7E-04	9.3E-04	1.1E-03	1.2E-03	1.2E-03

表8 農畜産物摂取による線量推定結果 (平成27年度採取試料) における  
各食品カテゴリーの寄与率 (単位: %)

	19歳以上【男子】	19歳以上【女子】
穀類	7.6	8.8
コメ	25.3	23.2
芋類	13.7	17.0
葉菜類	2.7	3.3
根菜類	0.8	1.0
豆類	1.2	1.5
果菜類	7.2	10.2
乳製品	0.6	1.0
牛肉	0.3	0.3
豚肉	0.9	0.9
鶏肉	0.4	0.4
鶏卵	0.5	0.6
その他	37.2	29.7
牛乳	1.5	2.2

# 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)

## 食品中放射性物質濃度等に関する知見の評価検討 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

分担研究者 明石 真言 放射線医学総合研究所

### 研究要旨

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として、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に、国際機関や諸外国等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、その設定の背景や算出方法等について調査し、根拠法令や報告書などの関連資料を整理し、資料を作成した。

#### A. 研究目的

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として、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に、東欧における食品中の放射性物質の規制値等の設定の背景や算出方法等および食品中の放射性物質に関する研究論文情報を収集した。

#### B. 研究方法

昨年度、国際機関や諸外国等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、放射性物質の規制値や基準値に関する基礎的な資料を作成した。英語以外の文献調査を行うことができなかったため、非英語文献について調査を行った。またこれまでの食品中の

放射性物質に関する研究論文」の収集と整理を行った。

(1) 東欧における食品中の放射性物質の規制等に関する文献調査

下記の4件の文献(ロシア語、ウクライナ語、ベラルーシ語)の一部または全体を翻訳し、食品中の放射性物質の規制値や基準値について、内容を日本語でとりまとめた。

1) ロシア連邦: チェルノブイリ25周年報告

2) ロシア保健・社会開発省: 衛生規則

3) ウクライナ保健省: ウクライナの食品および飲用水中の放射性核種セシウム137 およびストロンチウム90 の許容レベル

4) ベラルーシ共和国における食品および飲用水に係る放射性核種セシウム137 およびストロンチウム90 の許容水準

(2) 「食品中の放射性物質に関する研究論文」の収集と整理



文献データベースPubMedにおいて検索を行い、食品中の放射性物質に関する研究論文情報を収集した。

#### C. 研究成果

(1) 東欧における食品中の放射性物質の規制等に関する文献調査

4つの文献の該当部分について、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。成果は別紙-1にまとめた。

(2) 「食品中の放射性物質に関する研究論文」の収集と整理

文献データベースPubMedにおいて、2001年以降で、“Food contamination”, “radioactive”の用語で検索を行ったところ、512件の論文が抽出された。さらにストロンチウムあるいはプルトニウムに関する記載がある論文の絞り込みを行い、134件とした。これについて、調査の目的に合致しない論文は除外した。さらに絞り込み、11論文を選出し、食品中の放射性物質に関する内容を日本語でとりまとめ、別紙-1にまとめた。

#### D. 考察

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、ストロンチウムあるいはプルトニウムに関する記載がある論文は限られており、東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)事故に関連するものはなかった。

#### E. 結論

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。

#### G. 研究業績

なし

#### H. 知的財産の出願・登録情報

なし

## 食品中の放射性物質の規制値等に関する文献調査

## 1. 東欧における食品中の放射性物質の規制等に関する文献調査

国際機関や諸外国等における食品中の放射性物質の規制値や基準値に関する基礎的な資料を作成する作業の一環として、東欧における食品中の放射性物質の規制値等の設定の背景や算出方法等について明らかにすることを目的とし、4件の文献(ロシア語、ウクライナ語、ベラルーシ語)の一部または全体を翻訳し、食品中の放射性物質の規制値や基準値について、その設定の背景や算出方法に関する内容をまとめた。

## 1.1. ロシア連邦

## 1.1.1. 食品中の放射性物質の基準値、規制値

衛生規則規準第 2.3.2.1078-01 号に「特定種類の食料品における Cs-137 および Sr-90 の含有量について」が記載されている(表 1.1)

表 1.1 特定種類の食料品における Cs-137 及び Sr-90 の含有量について

食料品の種類	Cs-137、 Bq / kg ( L )	Sr-90、 Bq / kg ( L )
肉 ( 食肉用家畜、狩猟対象動物、野生動物の全種類 )	160 ( 骨を除く )	50 ( 骨を除く )
骨 ( 全種類 )	160	200
鳥肉 ( 半加工品を含む )	180	80
卵および液状の卵製品 ( 全液卵、卵白、卵黄 )	80	50
ミルク	100	25
魚	130	100
食用穀物 ( 小麦、ライ麦、ライ小麦、エンバク、大麦、キビ、コメ、トウモロコシ、ソルガムを含む )	70	40
豆類 ( えんどう豆、いんげん豆、緑豆、ひよこ豆、レンズ豆など )	50	60
パン、菓子パン類	40	20
はちみつ	100	80
ジャガイモ、野菜、地這い野菜	120	40
果物、ベリー類、ブドウ	40	30
野生のベリー類	160	60
油糧種子	70	90
バター	200	60

### 1.1.2. 算出根拠や考え方

前提としている内部被ばく基準の年間実効線量として、1mSv/年で、その根拠は1990年のICRP勧告に基づくものである。また農村部住人の一般的な食事(食品摂取量)を基準とし、その原材料すべてが許容限度の放射性核種に汚染されていたとしても年間の内部被ばく線量が1mSvに抑えられるように設定されている。なお、1988年では8mSv/年、1991年では5mSv/年を基準としていた。

食品中のCs-137およびSr-90の含有量を決定した計算式に関する情報は見当たらなかった。ただ、食品が基準に適合しているかどうかの特定には「適合指標」を使用することが記載されていた。これは、食品中のCs-137およびSr-90の含有量が許容限度に対してそれぞれの割合の合計が1を超えないものが食品として摂取可能であるというものである。

適合指標の計算式について

$$B = \frac{A_{Cs}}{PSA_{Cs}} + \frac{A_{Sr}}{PSA_{Sr}} \quad \triangle B = \sqrt{\frac{\triangle A_{Cs}}{PSA_{Cs}} + \frac{\triangle A_{Sr}}{PSA_{Sr}}}$$

B; 適合指標、ACs; 食品中のCs-137濃度(測定値)、ASr; 食品中のSr-90濃度(測定値)、PSACs; 各食品におけるCs-137の許容限度、PSASr; 各食品におけるSr-90の許容限度

上記の2式で得られたBおよび△Bが、下記の条件式を満足する場合、食品として摂取が可能となる。

$$B + \triangle B \leq 1.0$$

文献

1. チェルノブイリ25周年報告(ロシア), , < 25 1986-2011>, , 2011
2. ロシア保健省(現ロシア保健・社会開発省), 衛生規則 SanPiN2.3.2.1078-01 (2001年基準)
3. Regulation and control of radionuclide contents in foods in the Russian federation, FGU - Burnasyan Federal Medical Biophysical Centre of Federal Medical-Biological Agency of the Russian Federation

## 1.2. ウクライナ保健省

### 1.2.1. 食品中の放射性物質の基準値、規制値

食品中の放射性物質について表1.2にまとめた。

表 1.2 食品中の放射性物質の規制値

	Cs-137	Sr-90
<b>1 穀物、穀粉、穀物製品、パン製品</b>		
1.1. 食用穀物。小麦粉、小麦、ライ麦、オート麦、大麦、キビ、ソバ、コム、トウモロコシ、ソルガム、およびそのほかの穀類作物を含む。	50	20
1.2. 乾燥豆類。インゲン豆、レンズ豆、そのほかの豆類を含む。	50	30
1.3. 穀粉、製パン用小麦粉、挽き割り穀物、片栗粉、圧延穀物、フレーク化穀物。マカロニ製品、挽き割り穀物製品、燕麦粉。穀物半製品。穀類作物から作った完成品の食料品で、朝食用シリアル、ミューズリー、膨張または焙煎により穀物などから作った製品を含む。	30	10
1.4. 乾燥大豆、大豆加工製品、大豆タンパク質、きな粉、そのほかの完成品などを含む。	50	30
1.5. パンおよびパン製品。添加物を使用するものも含む。穀粉製品。焼き菓子、パン生地を使用した半製品を含む。	20	5
<b>2 乳および乳製品</b>		
2.1. 工業加工向け生乳商品(乳幼児向け食品(ベビーフード)を除く)、液体状のミルク、生クリーム、乳清。発酵乳製品で、生チーズ、ヨーグルト、ヨーグルト製品、新鮮な発酵乳デザート、発酵乳飲料、そのほかを含む。ミルクや生クリームをベースに製造する製品で、ミルク以外の原料を添加するものも含む(ミルクや生クリームをベースに製造したアイスクリーム、アイスクーキ、ミルク飲料、ミルクデザートなど)	100	20
2.2. バター(牛乳、スプレッド、バター脂肪を含む)。バターベースのサンドイッチペースト。	200	40
2.3. レンネットを使用した固形チーズ、塩水発酵チーズ、プロセスチーズ、ブルーチーズ	200	100
2.4. 濃縮させたミルクおよび生クリーム。添加物を使用し濃縮させたミルクおよび生クリーム。	300	60
2.5. 乾燥乳製品で、ミルクパウダー、クリームパウダー、カゼインなどを含む。粉ミルク、ミルクベースの濃縮食品。	500	100
2.6. 工業加工向け生乳製品(乳幼児向け食品(ベビーフード)用)	40	5
<b>3 肉および肉製品</b>		
3.1. 食用用家畜・家禽の肉(生肉、冷蔵肉、冷凍肉)で、骨がついておらず、工業加工用のもの。食用用家畜と家庭で飼育している家禽の肉および食用副産物(生腸、食用血液を含む)で、生のもの、冷凍もの、そのほかさまざまな調理法によるもの。およびそれらの加工品。半製品、完成品、ソーセージ、肉の缶詰、肉と野菜の缶詰を含む。	200	20
3.2. 野生動物および野鳥の肉	400	40
3.3. 食用用家畜や家庭で飼育している家禽の脂肪(背脂を含む)。およびその加工品。	100	30
3.4. 食用用家畜や家庭で飼育している家禽の干し肉。およびその加工品。	400	40
3.5. 一切の種類の動物・鳥の骨	50	200
3.6. ゼラチン	150	50
<b>4 魚、魚以外の狩猟・漁労対象物、およびこれらの加工品</b>		
4.1. 鮮魚、冷凍魚、そのほかの加工法による魚。魚油、魚卵(人工魚卵を含む)、白子、およびそのほかの魚製品。またそれらの加工品で、魚を使用した半製品・完成品の食料品(魚油、イクラバター、魚のすり身など)・真空パック食品・缶詰を含む。	150	35
4.2. 魚以外の狩猟・漁労対象物(エビ・カニ類、貝、およびそのほかの水産無脊椎動物。両生類・爬虫類・海獣の肉)で、生のもの、冷凍もの、またそのほかの方法で加工したもの。またその加工品で、半製品、完成品の食料品、缶詰を含む。海獣の脂肪。	150	35
4.3. 魚の干物、また魚以外の狩猟・漁労対象物(エビ・カニ類、貝、およびそのほかの水産無脊椎動物。両生類・爬虫類・海獣の肉)の干物。	300	70

	Cs-137	Sr-90
4.4. 海藻、海草、およびそれらの加工品。	200	70
4.5. 乾燥させた海藻および海草。	600	200
<b>5 鳥の卵およびその加工品</b>		
5.1. 鳥の卵および液状の鳥の卵製品。鳥の卵を使用した半製品や完成品の食品。	100	30
5.2. 鳥の卵を加工した乾燥食品。卵粉、乾燥卵白、乾燥卵黄を含む。鳥の卵を使用して製造した混合粉末。	400	100
<b>6 野菜とその加工品</b>		
6.1. 生鮮ジャガイモ、およびその加工品。缶詰や瓶詰のジャガイモ、冷凍ジャガイモ、ジャガイモ調理製品、ジャガイモを使用した半製品、そのほかを含む。	60	20
6.2. 生鮮野菜(葉物野菜で、青物野菜、果菜、地這い野菜、根菜を含む)、豆類、トウモロコシ、キノコ(栽培もの)。野菜を加工した製品で、半製品、完成品の食品、ジュース、缶詰などを含む。	40	20
6.3. 濃縮野菜(トマトペースト、トマトソース、ケチャップなど)	120	50
6.4. 乾燥野菜(ジャガイモを含む)、キノコ(栽培もの)、および混合野菜。乾燥野菜の加工品。	240	80
<b>7 果物とベリー類</b>		
7.1. 果物・ベリー類で、生鮮、冷凍、缶詰のもの。フルーツジュースやベリージュース。	70	10
7.2. 果物やベリー類の加工品(プレザーブスタイルのジャム、ペースト、ジャム、ピュレ状原料から煮込んだジャム、ゼリー、そのほか)	140	20
7.3. ドライフルーツおよびドライベリーで、凍結乾燥したもの、果実やベリー類をベースに製造した混合粉末を含む。	280	40
7.4. ナッツとその加工品	70	10
7.5. フルーツジュースやベリージュースに野菜を混ぜたもの。	50	15
<b>8 砂糖、菓子(キャラメル、トフィ、パステラ、ゼリーなど)、ゼリー製品、チョコレートおよびチョコレート製品、チューインガム。</b>	50	30
<b>9 野生のキノコやベリー類で、生鮮、冷凍、瓶詰してあるもの。</b>	500	50
<b>10 野生のキノコやベリー類で、乾燥させているもの。</b>	2500	250
<b>11 油糧種子(ヒマワリ、ピーナッツ、ゴマ、ケシ、そのほか、ただし大豆を除く)、またその加工品、ただし植物油脂を除く。</b>	70	10
<b>12 植物油脂、またそれをベースに製造した製品。マーガリン、調理用油、製菓用油脂、クリームなどを含む。</b>	100	30
<b>13 白毫茶、緊圧茶、植物起源の添加物を使用したアロマ茶、グリーンコーヒー、焙煎済みコーヒー(豆、挽き豆、インスタント)。カカオ豆、カカオマス、カカオパウダー。茶・カカオ・コーヒー・代用コーヒー(ロースト麦芽やチコリーなど)をベースにしたインスタント飲料の粉末。</b>	200	50
<b>14 飲料水(地下水源からの飲料用水は自然界の放射性物質の含有量についても規準が設けられている)</b>	2	2
<b>15 飲料</b>		
15.1. ミネラルウォーター(地下水源からの飲料用水は自然界の放射性物質の含有量についても規準が設けられている)	10	5
15.2. アルコールを含まない飲料およびアルコール度数が低い飲料で、植物起源の原料をベースにするもの。ビール、クワス、果汁を含むアイスクリーム。濃縮飲料でこのほかのカテゴリに属さないもの。	20	20
15.3. アルコール飲料(ビールを除く)	50	30
<b>16 乾燥させた薬草(薬剤の製造に用いられる植物由来の薬剤の原料(有効成分)は対象に含まれない)。ハーブティー、マテ茶(パラグアイ茶)、カルカデ茶(ハイビスカスティー)、そのほか。</b>	200	100
<b>17 タバコおよびタバコ製品</b>	120	50
<b>18 一切の種類の生理活性サプリメント(BAD)。植物起源のエキスと増粘剤(ペクチン、ペクチン酸塩、ペクチン酸の塩類またはエステル。寒天およびそのほかの植物起源の粘質物および増粘剤)</b>	200	50

	Cs-137	Sr-90
19 香辛料、スパイス、またその混合物。ソースを含む調味料(しょう油、キノコソース、ほか)。ただし、トマトソースとからし(完成品のからし、からし粉末)、サラダドレッシング、マヨネーズなどを除く。	120	50
20 食品添加物とその混合物(天然または人工の着色料、安定剤、乳化剤、香料、充てん剤など)。酢、食用ソーダ、食用酵母。スープ・メインディッシュ・デザート・ムース・クリームなどを製造するための濃縮物で、ほかのカテゴリに含まれないもの。即席スープや即席ブイヨン。麦芽エキス。	150	50
21 調理用食塩および塩混合物	120	30
22 ハチミツおよび養蜂業製品	200	50
23 乳幼児向け食品(ベビーフード)		
乳幼児向け食品(ベビーフード)、粉ミルク	40	5

(Bq/ kg または Bq/L)

### 1.2.2. 算出根拠や考え方

前提としている内部被ばく基準の年間実効線量として、1mSv/年で、その根拠は1990年のICRP勧告に基づくものである。またウクライナ国民の被ばく線量(実効線量)を算出するにあたり、住民の年齢構成について考慮する。

食品各種の許容限度の決定については、算出にあたり、(1)各地域における食品中の放射性核種濃度に関するデータを統計解析して得られた、放射性核種の体内摂取に係る各食品の相対的な役割、(2)食事量に対する各食品の占有率を考慮する。なお住民の被ばく線量(実効線量)を算出する際に、ウクライナ国民の一般的な食事量や飲水摂取量に関するデータ(ウクライナ国家統計局による)を考慮し、2000年4月14日付第656号ウクライナ閣議決定に合致した食品摂取量を採用したというものである。

食品中のCs-137およびSr-90の含有量を決定した計算式に関する情報は見当たらなかった。ただ、食料品が基準に適合しているかどうかの特定には「適合指標」を使用することが記載されていた。これは、食品中のCs-137およびSr-90の含有量が許容限度に対してそれぞれの割合の合計が1を超えないものが食品として摂取可能であるというものである。

適合指標の計算式について

$$B = \frac{A_{Cs}}{DU_{Cs}} + \frac{A_{Sr}}{DU_{Sr}}$$

B; 適合指標、ACs; 食品中のCs-137濃度(測定値)、ASr; 食品中のSr-90濃度(測定値)、DUCs; 各食品におけるCs-137の許容限度、DUSr; 各食品におけるSr-90の許容限度

測定結果が計測器の検出限界未満であった場合(ただし、測定誤差40%以下、95%信頼水準に限る)、食品中の各放射性核種濃度(ACsおよびASr)は下記の式により算出する。

$$A_{Cs} = 1.2 \times \frac{MIA}{K_{kCs}} \quad A_{Sr} = 1.2 \times \frac{MIA}{K_{kSr}}$$

MIA; 計測器の各放射性核種に対する測定限界、 $K_{kCs}$ ; Cs-137 の濃縮係数、 $K_{kSr}$ ; Sr-90 の濃縮係数  
 適合指標 B の絶対誤差 B は、下記の式により算出する。

$$\Delta B = K_p \sqrt{\left(\frac{\Delta A_{Cs}}{DU_{Cs}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A_{Sr}}{DU_{Cs}}\right)^2}$$

B; 適合指標 B の絶対誤差、 $K_p$ ; ACs と ASr の確率変数の分散(分布)、信頼水準に依存する係数、  
 $A_{Cs}$ ; Cs-137 測定値の絶対誤差、 $A_{Sr}$ ; Sr-90 測定値の絶対誤差

なお、信頼水準が 0.95 (95%信頼水準)、確率変数分布が不明の場合、 $K_p=1.1$  とする。

各食品の食用適否は、適合指標 B を用いた下記の条件式を用いて評価する。

$$B + 0.6 \Delta B \leq 1.0$$

0.6 は 95%信頼水準による管理の信頼性に関する係数である。上記条件式を満足する場合は、食品として  
 摂取可能。満足しなかった場合、測定時間とサンプル量を増やして再測定する、管理方法の変更を行うな  
 どの措置が推奨される。

## 文献

### 1. ウクライナ保健省 (2006) , 食品・飲料水中の放射性核種 $^{137}\text{Cs}$ および $^{90}\text{Sr}$ の許容レベ

л Про затвердження Державних гігієнічних нормативів

"Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді"

### 1.3. ベラルーシ共和国における食品および飲用水に係る放射性核種 Cs-137 および Sr-90 の許容水準

#### 1.3.1. 食品中の放射性物質の基準値、規制値

食品および飲料水に含まれる放射性物質セシウム 137 とストロンチウム 90 の含有量に関する共和国向け  
 許容レベルは表 1.3 の通りである。

表 1.3 食品中の放射性物質の許容レベル

食品の種類	Cs-137 (Bq/kg, Bq/l)	Sr-90 (Bq/kg, Bq/l)
-------	-------------------------	------------------------

食品の種類	Cs-137 ( Bq/kg,Bq/l )	Sr-90 ( Bq/kg,Bq/l )
飲料水	10	0.37
乳および全乳製品	100	3.7
加糖練乳および濃縮乳	200	-
カッテージチーズ、およびその製品	50	-
ナチュラルチーズ、プロセスチーズ	50	-
バター	100	-
肉・肉製品		-
牛肉、羊肉およびそれらの製品	500	-
豚肉、家禽肉およびそれらの製品	180	-
馬鈴薯	80	3.7
パン類	40	3.7
小麦粉、穀類、砂糖	60	-
植物油脂	40	-
動物油脂、マーガリン	100	-
野菜、根菜	100	-
果物	40	-
ベリー類（栽培）	70	-
野菜・果物・ベリー類（栽培）から作った保存食	74	--
野生ベリー、およびその保存食	185	-
生鮮キノコ	370	-
乾燥キノコ	2,500	-
乳幼児用食品（ベビーフード）	37	1.85
その他の食品	370	-

一人当たり年間消費量が 5 kg 以下の食品(香辛料, 茶, 蜂蜜等)については, 「その他の食品」の 10 倍の基準値を適用する。  
「乳幼児用食品(ベビーフード)」とは, 乳幼児用食品(ベビーフード)に関する基準にしたがって工業生産され, 特に表示を施された食品のことである。乳幼児向け乳製品を含む。馬肉や野生動物の肉を原料に含む肉製品については, 牛肉の基準値を準用する。パスタ製品については, パン類の基準値を準用する。

### 1.3.2. 算出根拠や考え方

前提としている内部被ばく基準の年間実効線量として, 1mSv/年で, その根拠は 1990 年の ICRP 勧告に基づくものである。ロシア連邦で適用されている基準(Cs-137:乳で 50Bq/L、牛肉で 160Bq/kg)に, 将来的に近づけることを目指していたと思われる。

なお, 上記の食品および飲料水に含まれる放射性物質セシウム 137 とストロンチウム 90 の含有量に関する共和国向け許容レベルについては, . . . , . . . , . . .

. . . (ベラルーシ共和国保健省放射線医学・内分泌学臨床研究所)らが原案を作製し, 放射線防護委員会(NCRP)のワーキンググループ(. . . )により検討がなされ, 1993年3月23日付で, 放射線防護委員会の本会議にて承認されている。



## 2. 食品中の放射性物質に関する研究の文献調査

### 2.1. 食品中の放射性物質に関する研究論文の調査方法および結果

文献データベースPubMedにおいて、2001年以降の期間において、検索語“Food contamination”および“radioactive”で検索を行い、512件の論文が抽出された。さらに抄録中にストロンチウムあるいはプルトニウムに関する記載がある論文134件を調査対象とした。

抄録データから、測定対象物(食品の種類、大気・土壌)、測定対象放射性物質(Sr, Cs, Pu)、測定、サンプル年、調査場所、関連事故、研究目的および概要について結果を取りまとめた。表2.1に示す。

さらに、Sr/Csの比率、実測値と基準値について、食品中のSr、Cs、Puの経時変化に関する論文を絞り込み、11報について取りまとめ、表2.2に示す。なお、論文中で $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 比や $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比を記載している事例が少なかったため、記載されている実測データから比率を計算して「算出値」として記載した。

表 2.1 食品中の放射性物質に関する研究論文の検索結果 (1)

No	PMID	タイトル	Description	雑誌、書誌事項	出版年	doi	言語	著者	分類	測定対象物	Sr	Cs	Pu	調査場所	調査年	備考
1	27211857	Radiocesium levels in foodstuffs: 4-7 years of activity by Italian reference centre, as a contribution to risk assessment.	Jammarino M, dell'Oro D, Bertone R, Mengacci M, Damiano R, Chiaravalle AE, ...	Food Chem. 2016 Nov;120:944-54.	2016	10.1016/j.foodchem.2016.04.118	English		2	食品	90	—	—	イタリア	—	イタリアの機関による各種食品中の90Srの測定。
2	26688387	Development of a reference method (spectator for determination of 137Cs, 90Sr and plutonium isotopes).	Choi JK, Park TS, Lee MK, Kim SH, ...	Appl Radiat Isot. 2016 Mar;109:109-13.	2016	10.1016/j.apradi.2015.11.101	English		2.6	食品	90	137	238+239+240	韓国南部 (Jeonju)	—	杜松を使った標準物質の作成。
3	26590666	90Sr in King Baitou Boleus edulis and other mushrooms consumed in Europe and China.	Samewski M, Zaleska T, Krasnić I, ...	Sci Total Environ. 2016 Feb;543(Pt A):287-94.	2016	10.1016/j.scitotenv.2015.11.042	English		2	食品	90	137	—	ポーランド、ベラルーシ、中国、スウェーデン	1005~2013	キノコの90Sr濃度の測定。産物はポーランド、ベラルーシ、中国、スウェーデン。
4	26094571	Natural and anthropogenic radionuclide activity concentrations in the New Zealand diet.	Pearcep AJ, Carr S, Hermsmeider NJ, Glover CN, ...	J Environ Radioact. 2016 Jan;151 Pt 3:601-8.	2016	10.1016/j.jenvra.2015.05.022	English		2	食品	90	137	—	ニュージーランド	—	19種の放射能測定について、400の放射能測定結果の比較。ベラルーシ、ポーランドを参照して分析。137Cs、90Sr、131Iについて濃度を測定した。
5	26490408	Radioactivity in the Kuwait marine environment—Baseline measurements and review.	Uddin S, Abla A, Fowler SW, Behbehani M, Ismael A, Al-Shammerh H, Albotoushi A, ...	Mar Pollut Bull. 2015 Nov;100:21951-61.	2015	10.1016/j.marpolbul.2015.10.018	English		2	食品、天然動植物	90	137	238+239+240	クウェート	—	近隣諸国に隣接する湾が存在することを考慮し、近隣諸国の基準値の把握のための調査。分析対象は食品類、海洋生物。
7	25913055	Long-term monitoring of radioactivity in fish from New York waters.	Freiman EM, Haines DK, Semkow TM, Barr A, ...	J Environ Radioact. 2015 Aug;146:44-59.	2015	10.1016/j.jenvra.2015.04.069	English		2	食品	90	137	—	ニューヨーク州	—	魚に含まれる放射性核種濃度を測定。その魚から受ける曝露量(有効線量)を算出。
8	25761420	Fukushima radionuclides in the NW Pacific, and assessment of doses for Japanese and world population from ingestion of seafood.	Povinec PP, Hirose K, Vos van Avezath A, Brandhoff PN, van Bourgondien BJ, Kriger GC, ...	Sci Rep. 2015 Mar 12;5:9306.	2015	10.1038/srep09016	English		3.5	食品、海水、天然動植物	90	134,137	—	福島沖	—	福島第一原発から放出された放射性核種濃度の測定。福島第一原発の汚染水が、食品中の放射性核種濃度の増加の一因となり、それが日本人であるため、国産食品と考える必要がある。
9	25577324	Rapid screening methods for beta-emitters in food samples.	Loess I, Mourato A, Abrantes J, Carvalho G, Moura MJ, Reis J, ...	J Environ Radioact. 2015 Mar;141:130-7.	2015	10.1016/j.jenvra.2014.12.010	English		6	—	—	—	—	—	—	分析/測定方法
10	26346857	Surveillance of Strontium-90 in Foods after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident.	Nabeshi H, Tsubumi T, Uekusa Y, Hachisaka A, Matsuda R, Teshima R, ...	Shokuhin Eiseigaku Zasshi. 2015;56(4):139-43.	2015	10.35687/shokuei.56.4	English		2	食品	90	134,137	—	福島第一原発付近	—	食品中の放射性核種濃度の測定。福島第一原発の汚染水が、食品中の放射性核種濃度の増加の一因となり、それが日本人であるため、国産食品と考える必要がある。
12	24560851	Quality control assurance of strontium-90 in foodstuffs by LSC.	Loess I, Mourato A, Abrantes J, Carvalho G, Moura MJ, Reis J, ...	Appl Radiat Isot. 2014 Nov;93:29-32.	2014	10.1016/j.apradi.2014.01.022	English		6	—	—	—	—	—	—	分析/測定方法
13	25186083	Determination of the source of bioavailable Sr using 90Sr/87Sr tracers: a case study of hot pepper and rice.	Song BY, Ryu JS, Shin HS, Lee KS, ...	J Agric Food Chem. 2014 Sep 24;62(39):9242-9.	2014	10.1021/jf503040g	English		2	食品、土壌、水	86, 87	—	—	韓国	—	90Srおよび87Srの測定。
18	23871250	Global availability of (238)U, (234)U and (226)Ra for wild berries and meadow grasses in natural ecosystems of Belarus.	Sokolik GA, Ovsianikova SV, Voinikova KV, Ivanova TG, Papienia MV, ...	J Environ Radioact. 2014 Jan;127:155-62.	2014	10.1016/j.jenvra.2013.06.011	English		2	土壌	—	137	238+239+240	ベラルーシ	—	ベリ-類に含まれるU、Raによる内部照射に関する調査。ベリ-類を採取した土地に同じく、調査地のPuとCs濃度に関する記述あり。ベリ-類に含まれるCs、Puに関する記述は見当たらなかった。
19	24141241	Fast-determination of 90Sr activity in milk by flow-cytometry using a beta particle detector for food samples.	Ferova S, Dolgn B, German U, Patis O, Alibabich ZH, Yamada T, ...	Radiat Phys Chem. 2013 Nov;93:162-4.	2013	10.1016/j.radphyschem.2013.09.065	English		6	—	—	—	—	—	—	分析/測定方法
21	23603140	[Co-contamination of agricultural production with 90Sr in Ukraine at the site phase of the Chernobyl accident].	Kashparov VA, Levchuk SE, Oreshko LN, Maloishin IM, ...	Radiocool. 2013 Nov;104(5):481-98.	2013	10.1016/j.jenvra.2013.02.015	Russian		2.7	食品	—	—	90	ウクライナ	—	放射性核種(許容限度 permissible level)と比較して、原産はロシア語。
25	23517769	The sensitivity of different environments to radioactive contamination.	Lu H, Wang Q, Tolstikhin EI, Dasteva MO, ...	Radiat Prot Dosimetry. 2013 Aug;152:1-8.	2013	10.1016/j.jenvra.2013.02.015	English		6	—	—	—	—	—	—	計算/算出/放射モデル
26	2427205	Evaluation on the environmental radioactivity in Shanghai city during the normal operational condition of Qinshan nuclear power station.	Lu H, Wang Q, Tolstikhin EI, Dasteva MO, ...	Radiat Prot Dosimetry. 2013 Aug;152:1-8.	2013	10.1016/j.jenvra.2013.02.015	English		2	食品、飲料、水、土壌	90	137	—	上海	—	上海の原子力発電所付近の環境調査。記述から、90Srと137Csは各食品で測定している可能性がある。
28	2352017	Reconstruction of long-lived radionuclide intakes for Techa river side residents: 137Cs.	Peremysova LM, Shaqina NB, Vorobiova MI, Anspaugh LR, Nagler EA, ...	Health Phys. 2013 May;104(5):481-98.	2013	10.1097/HP.0b013e3182855b7a	English		2.3	食品、水	Sr	Cs	—	ロシア、ウクライナ	—	食品および川の水の飲水摂取によるCs摂取量の詳細に関する。河川のSrとCs濃度比較から飲水摂取によるCs摂取量を計算した。
29	23124280	137Cs, 238,240Pu and 241Am in boreal forest soil and their transfer into wild mushrooms and plants.	Lehto J, Vaaramaa K, Leskinen A, ...	J Environ Radioact. 2013 Feb;116:124-30.	2013	10.1016/j.jenvra.2012.08.012	English		2	土壌	—	137	239+240	フィンランド	—	土壌測定。
31	25191711	Radionuclides of internal radiation dose due to 90Sr and 137Cs intake in population from Zhytomyr oblast in a late period after the Chernobyl NPP.	Vasylenko VV, Tuzanekov MY, Nechaev SY, Pika VO, Zadorozhna GM, Bilonyk AB, ...	Prot Radiat Med Radiobiol. 2013;15(3):99-89.	2013	—	English, Ukrainian		2.7	食品	90	137	—	ウクライナ	—	許容水準(許容限度 permissible level)と比較している。
33	21996550	Food safety regulations: what we learned from Fukushima nuclear accident.	Haneda N, Ogino H, ...	J Environ Radioact. 2012 Sep;111:83-99.	2012	10.1016/j.jenvra.2012.01.008	English		2.7	食品	—	134,137	Pu	日本	—	食品安全規制の背景・議論・問題点およびモニタリングの結果の概要の記載。食生活の理解が不明。
34	22843268	Safety regulations of food and water implemented in the first year following the Fukushima nuclear accident.	Haneda N, Ogino H, Fujimichi Y, ...	J Radiat Res. 2012 Sep;53(5):941-71.	2012	10.1083/jrr/r5032	English		2.7	食品、飲料、水	—	Cs	Pu	日本	—	福島第一原発の概要について。記録では、Pu、Csの種類は不明。

表 2.1 食品中の放射性物質に関する研究論文の検索結果 (2)

No	PMID	タイトル	Description	著者、著誌事項	出版年	doi	言語	報告文献	測定対象物	Sr	Cs	Pu	測定/サンプル年	調査場所	関連事故	備考
35	22311428	Sr isotope measurements in beef-analytical challenge and first results.	Rumelt S, Dekam CH, Hahai S, Kelly M, Baxter M, Manghiesi N, Quétel CR, Larcher R, Nicolini G, Frischel H, Ueckermann H, Högewerff J, Kabai E, Hornung L, Savkin BT, Popitz-Spaulier A, Heersche L, Tolstikhin EI, Degtjeva MO, Pemyshlova LM, Shagina NB, Shishkina EA, Krivoschapov VA, Anasagauhi LR, Napier BA, Bari A, Khan AJ, Semkov TM, Syed UF, Rosehan A, Haines DK, Fedi G, Hill L, Anze M, Fedi S, Kerpenko E, Sancharova N, Fonseca AG, Brown J.	Anal Bioanal Chem. 2012 Mar;402(9):2837-46. Sci Total Environ. 2011 Dec 14;10:411-235-46. Health Phys. 2011 Jul;101(1):248-47. Appl Radiat Isot. 2011 Jun;62(6):834-43. Radiat Environ Biophys. 2010 Nov;69(4):531-47. Radiat Environ Biophys. 2010 Nov;69(4):503-11.	2012	10.1007/s00216-012-0159-3	English	2	食品	86, 87	—	—	2012	フランス、ドイツ、ギリシャ、アイルランド、イタリヤ、スペイン、イギリス	—	87Sr/86Sr: 比の測定。
38	22000291	Fast method and ultra fast screening for determination of 90Sr in milk and dairy products.	Kabai E, Hornung L, Savkin BT, Popitz-Spaulier A, Heersche L, Tolstikhin EI, Degtjeva MO, Pemyshlova LM, Shagina NB, Shishkina EA, Krivoschapov VA, Anasagauhi LR, Napier BA, Bari A, Khan AJ, Semkov TM, Syed UF, Rosehan A, Haines DK, Fedi G, Hill L, Anze M, Fedi S, Kerpenko E, Sancharova N, Fonseca AG, Brown J.	Sci Total Environ. 2011 Dec 14;10:411-235-46. Health Phys. 2011 Jul;101(1):248-47.	2011	10.1016/j.scototenv.2011.08.052	English	6	—	—	—	—	—	—	—	分析/測定方法
39	21617390	Reconstruction of long-lived radionuclide intakes for Techa riverside residents: strontium-90.	Tolstikhin EI, Degtjeva MO, Pemyshlova LM, Shagina NB, Shishkina EA, Krivoschapov VA, Anasagauhi LR, Napier BA, Bari A, Khan AJ, Semkov TM, Syed UF, Rosehan A, Haines DK, Fedi G, Hill L, Anze M, Fedi S, Kerpenko E, Sancharova N, Fonseca AG, Brown J.	Health Phys. 2011 Jul;101(1):248-47.	2011	13.e31820660ff	English	2.3	食品	90	—	—	—	ロシア、テチャ川	テチャ・マヤーク	テチャ川流域の住人に關する、90Srの経口摂取量などの改訂/再計算、(牧草・牛・ミルクの移行に關するより詳細な情報が明らかになったことによる)
40	21388817	Rapid screening of radioactivity in food for emergency response.	Bari A, Khan AJ, Semkov TM, Syed UF, Rosehan A, Haines DK, Fedi G, Hill L, Anze M, Fedi S, Kerpenko E, Sancharova N, Fonseca AG, Brown J.	Appl Radiat Isot. 2011 Jun;62(6):834-43.	2011	10.1016/j.apradi.2011.02.022	English	6	—	—	—	—	—	—	—	分析/測定方法
42	20798950	Radionuclide transfer to marine biota species: review of Russian language studies.	Bari A, Khan AJ, Semkov TM, Syed UF, Rosehan A, Haines DK, Fedi G, Hill L, Anze M, Fedi S, Kerpenko E, Sancharova N, Fonseca AG, Brown J.	Biophys. 2010 Nov;69(4):531-47.	2010	10.1007/s00411-010-0324-y	English	●	食品、天然動物	90	137	239, 239+240	—	—	—	ロシア語文獻のレビュー、海洋生物への移行に關するもの。
43	20711841	Radionuclide concentration ratios in Australian terrestrial wildlife and livestock: data compilation and analysis.	Johanson MP, Twining JR.	Radiat Environ Biophys. 2010 Nov;69(4):503-11.	2010	10.1007/s00411-010-0318-9	English	2	動物	—	—	239, 240	—	オーストラリア	—	野生動物と家畜に對する放射性核種濃度の測定。カンガルー、鶴、羊、牛、水牛など。
47	19932474	Radical fish from consuming fish and wildlife to Native Americans on the Hanford Site (USA).	Dalrymple D, Van Vleet S, Rechette EA.	Environ Res. 2010 Feb;110(2):169-77.	2010	10.1016/j.envres.2009.10.013	English	●	食品、天然動物	90	137	239, 239+240	—	アメリカ、ロシア、ハンフワード・サイト (核兵器製造施設)	ハンフワード・サイト	魚、野生動物の骨格筋(肉)その他の組織での測定と、そのリスク。(年間摂取可能濃度と比較した結果あり)
49	20002056	12. Chernobyl's radioactive contamination of food and people.	Nesterenko AV, Nesterenko VB, Yablouk AV.	Ann N Y Acad Sci. 2009 Nov;1181:289-302.	2009	10.1111/j.1749-6632.2009.04837.x	English	●	食品、天然動物	90	134,137	—	—	—	—	チェルノブイリ原発事故関連、ミルク、野菜、穀物、肉類、魚など多岐にわたる。測定値も複合、許容水準(許容濃度/permissible level)と比較した結果あり。
51	20144584	[Radionuclide situation in the Isar riverside settlements].	Pemyshlova LM, Kostuchenko VA, Popova Ila, Safonova NG.	Radiat Biol Radiocell. 2009 Dec;69(7):714-20.	2009	—	Russian	2	食品、水、土壌	90	—	—	1981~2002	ロシア(Isar River)	テチャ・マヤーク	テチャ・マヤーク関連 Isar River付近の測定結果を記載。ただし、原著はロシア語。
52	19234682	Monte Carlo modeling of beta-radiometer device used to measure milk contaminated as a result of the Chernobyl accident.	Khrutchinsky A, Kutsen S, Mineev V, Zhukova O, Lukyanov N, Bouville A, Drozdovitch V.	Appl Radiat Isot. 2009 Jun;67(6):1089-93.	2009	10.1016/j.apradi.2009.01.072	English	6	—	—	—	—	—	—	—	分析/測定方法
53	19251427	A rapid method for determining 89Sr and 90Sr by Cerenkov counting.	Gurthor K, Lange S, Vett M.	Appl Radiat Isot. 2009 May;67(5):781-5.	2009	10.1016/j.apradi.2009.01.035	English	6	—	—	—	—	—	—	—	分析/測定方法
54	19637741	[Present-day 90Sr and 137Cs contamination levels of soil and agricultural products in the East-Uralis Radioactive Trace area].	Kozhanchikov NN, Popova Ila, Kostuchenko VA, Melnikov VS, Usoltsev DV.	Radiat Biol Radiocell. 2009 May;67(5):781-5.	2009	—	Russian	2	食品、土壌	90	137	—	—	ウラル山脈東部	—	土壌および農畜産物(動物、野菜、ミルク、肉類)などの放射性核種濃度測定。ただし、原著はロシア語。
55	19162380	The influence of diet particle contamination on 90Sr and 137Cs intake to milk and on time-integrated ingestion doses.	Smith JT.	Environ Radiocell. 2009 Apr;100(4):322-8.	2009	10.1016/j.envrad.2008.12.011	English	6	食品	—	—	—	—	—	—	90Srと137Csのミルクへの移行に關する、経口摂取量の変化(摂取量削減)のモデル。
57	18501619	Ingestion doses in Finland due to 90Sr, 134Cs, and 137Cs from nuclear weapons testing and the Chernobyl accident.	Rentavara A.	Appl Radiat Isot. 2008 Nov;66(11):1769-74.	2008	10.1016/j.apradi.2007.12.018	English	●	食品、飲料	90	134,137	—	1960~1986(後半)	フィンランド	チェルノブイリ	フィンランドに於ける食品および飲料水中の放射性核種の測定データを用いて、平均摂取量や内臓臓器に關する評価を行う。
58	18614203	Application of the Spanish methodological approach for environmental assessment to a generic high-level waste disposal site.	Aguero A, Pineda P, Simón I, Cordero C, Huelamo M, Trueta G, Pérez-Sánchez D.	Radiat Environ Biophys. 2008 Mar;64(3):334-58.	2008	10.1016/j.scototenv.2008.04.054	English	6	—	—	—	—	—	—	—	分析/測定方法
59	18665263	[Modelling of fish contamination with 90Sr in relation to the calcium concentrations in water].	Kryzhev AI.	Radiat Environ Biophys. 2008 Mar;64(3):384-9.	2008	—	Russian	6	—	—	—	—	—	—	—	水のCa濃度に關する魚の90Srの汚染モデル。なお、原著はロシア語。
60	18272632	Reconstruction and forecast of doses due to ingestion of 137Cs and 90Sr after the Chernobyl accident.	Kravets AP, Pavlenko YA.	Radiat Environ Biophys. 2008 Apr;62(2):219-23.	2008	10.1007/s00411-008-0156-1	English	6	—	—	—	—	—	—	—	計測/算出/解析モデル
61	18665656	[The dose estimation to the population as a result of radioactive contamination of the Stenipalinsk' Epanova EE.	Spindorova St, Mukushcheva MK, Solomatina VM, Epanova EE.	Radiat Biol Radiocell. 2008 Mar-Apr;64(2):18-24.	2008	—	Russian	5	—	—	—	—	—	—	—	空間分布予測(セミパラチナシラウグ核実験場)
63	18665581	[The agrocenoses flora status in restricted zone 20 years after the Chernobyl NPP accident].	Sapozhnik LM, Dainenko NM, Timocov SF.	Radiat Biol Radiocell. 2007 Sep;63(9):625-36.	2007	—	Russian	2	土壌、天然動物	90	137	—	—	—	—	事故から20年後の農業生態系(土壌、土壌、牧草等)の137Cs, 90Srの情報を含む。ただし、原著はロシア語。
65	18051691	90Sr and 137Cs accumulation in crops by different kinds and grades legumes.	Podolsk AG, Zhanovich VP.	Radiat Biol Radiocell. 2007 Sep;63(9):625-36.	2007	—	Russian	2.7	食品	—	—	—	—	—	—	大豆類の放射性90Srと137Csの蓄積に關して、ただし、原著はロシア語(放射性レベル許容限度 (allowable levels)に關する記述あり)。



表 2.1 食品中の放射性物質に関する研究論文の検索結果 (4)

No	PMID	タイトル	Description	雑誌、書籍事項	出版年	doi	言語	翻訳文数	分類	測定対象物	Sr	Cs	Pu	測定/サンプル年	調査場所	関連事故	備考
119	11993947	Plutonium and other alpha emitters in mushrooms from Poland, Spain and Ukraine.	Mietelski J.W, Baeza AS, Gullen J, Buzimny M, Tsiganov N, Garcia P, Jasińska M, Surovic M, Kowalczyk IG, Bruk GY, Gorkol VY, Balonov MI, Howard BJ, Brown J, Strand P, Kravtsova EM, Gawrilov AP, Kravtsova OS, Mubassarov AA, Travnikova IG, Shutov VN, Bruk GY, Balonov MI, Skuterud L, Strand P, Pogorely JA, Burkova TF.	Appl Radiat Isot. 2002; 56(5):717-29.	2002		English		2	食品		Cs	239+240	1992-1999	ポーランド、スペイン、ウクライナ	チェルノブイリ	対象食品はキノコ類。抄録では、Csの種類は不明。
125	12113508	Current contamination by 137Cs and 90Sr of the inhabited part of the Tetcha river basin in the Urais.	Travnikova IG, Shutov VN, Bruk GY, Balonov MI, Skuterud L, Strand P, Pogorely JA, Burkova TF.	J Environ Radioact. 2002; 81(1):91-109.	2002		English		2	食品、畜産、天然動植物、土壌	90	137		1992-1999	ウラル山脈子チャ川流域	チャ川流域のムスリモボ村とプロトカルマク村の土壌、牧草類、食品類における放射性核種濃度の調査。川魚、水鳥、家畜、ミルクで高濃度(137Csと90Sr)が検出。	
128	11938611	Assessment of current exposure levels in different population groups of the Kola Peninsula.	Travnikova IG, Shutov VN, Bruk GY, Balonov MI, Skuterud L, Strand P, Pogorely JA, Burkova TF.	J Environ Radioact. 2002; 80(1):235-48.	2002		English		2,3	食品、天然動植物	90	137		1998-1999	ロシア、コラ半島	ロシア、コラ半島における牧草、刈草類、コガ、キノコ類、トナカイ肉、農産物(ジャガイモ)、ベリー類、魚類などにおける137Csと90Sr濃度と、採取による汚染経路評価。	
127	12018748	Uncertainties on predicted concentrations of radionuclides in terrestrial foods and ingestion doses.	Smith KR, Brown J, Jones JA, Menstfield P, Smith JG, Haywood SM, Yeliseyeva CB, Chukhova EV, Svalin MN, Novikova N, Iatsenko VN, Korotkov P, Poliskit OG, Bazukova O.	Radiat Prot Dosimetry. 2002; 98(3):313-28.	2002		English		6								放出測定モデルの精度調査。各種ハラメータの決定。
129	11238469	[Results of radiation monitoring in Moscow].	Poliskit OG, Bazukova O.	Gig Sanit. 2001 Jan-Feb(1):26-30.	2001		Russian		2	大気	90	137		1979-1998	ロシア、モスクワ		モスクワでの放射線モニタリング結果。原著はロシア語。
132	11378920	Fallout strontium and caesium transfer from vegetation to cow milk at two lowland and two Alpine pastures.	Gasberger M, Steinhäusler F, Gerzabek MH, Hubner A.	J Environ Radioact. 2001; 54(2):267-73.	2001		English		4	食品、天然動植物							畜産の行き届いた牧草地で採取されている乳牛における、牧草-ミルクへの移行係数の決定について。(90Sr,137Csを要素に測定した場合は記載なし)
133	11202659	Radionuclide transfer from soil to fruit.	Carni F.	J Environ Radioact. 2001; 52(2-3):237-79.	2001		English		1	(レビュー論文)	Sr	Cs					土壌から果実植物への移行に関するレビュー論文。

表 2.2. 関連論文の詳細(1)

文献番号：28

文献情報	PMID	23532077
	タイトル	Reconstruction of long-lived radionuclide intakes for Techa riverside residents: $^{137}\text{Cs}$ .
	著者	Tolstykh EI, Degteva MO, Peremyslova LM, Shagina NB, Vorobiova MI, Anspaugh LR, Napier BA.
	筆頭著者情報	Urals Research Center for Radiation Medicine, Vorovskogo 68 a, 454076 Chelyabinsk, Russian Federation. evgenia@urcrm.ru
	書誌事項	Health Phys. 2013 May;104(5):481-98.
	doi	10.1097/HP.0b013e318285bb7a
主要データ	調査場所	テチャ川流域 (ムスリモボ村、メトリノ村など)
	サンプル年	1950年～1953年
	関連事故	マヤーク核施設(テチャ川流域への計画的 液体放射性廃棄物の放出など)
	測定対象物	テチャ川の水、テチャ川氾濫原の土壌
	測定放射性核種	$^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$
	放射性核種の比率	Sr, Cs, Pu に関する結果：欄外参考情報(1)を参照 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ：欄外参考情報(2)を参照 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ：- $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ ：-
規制との関連事項	-	
文献概要	<p>マヤーク核施設からの液体放射性廃棄物のテチャ川放流により、テチャ川は <math>^{90}\text{Sr}</math> および <math>^{137}\text{Cs}</math> に汚染されることとなった。食事による放射性物質の摂取量は、テチャ川流域の住人の内部被ばく量推定に使用されるが、近年、放射性核種の放出に関するデータや <math>^{90}\text{Sr}</math> の広範囲な測定データを考慮して、<math>^{90}\text{Sr}</math> の摂取についての関数 (<math>^{90}\text{Sr}</math> 摂取関数) が改良された。そこで、本研究では、テチャ川流域の住人の <math>^{137}\text{Cs}</math> の摂取量を、<math>^{90}\text{Sr}</math> 摂取関数と、テチャ川の <math>^{90}\text{Sr}</math> に対する <math>^{137}\text{Cs}</math> の比 (<math>^{137}\text{Cs}</math> to <math>^{90}\text{Sr}</math>) を使用して再検討がなされている。</p> <p>再検討にあたり使用したテチャ川の <math>^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}</math> 比の一覧や、ムスリモボ村周辺のテチャ川の <math>^{137}\text{Cs}</math> 濃度の表、1953～1980年のテチャ川の <math>^{137}\text{Cs}</math> の相対濃度、移行係数などと共に、計算式が記載されている。</p>	

表 2.2. 関連論文の詳細(2)

文献番号：42

文献情報	PMID	20798950
	タイトル	Radionuclide transfer to marine biota species: review of Russian language studies.
	著者	Fesenko S, Fesenko E, Titov I, Karpenko E, Sanzharova N, Fonseca AG, Brown J.
	筆頭著者情報	International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria. s.fesenko@iaea.org
	書誌事項	Radiat Environ Biophys. 2010 Nov;49(4):531-47.
	doi	10.1007/s00411-010-0324-y
主要データ	調査場所	海洋； レビュー論文のため、詳細情報は得られなかった。 ただし、Sivintsev et al.(2005)はロシア近海 Key 論文 15 報中、9 報は実験室内での研究、5 報はフィールド測定、1 報は実験室内とフィールド測定の併用
	サンプル年	サンプル年：詳細不明； レビュー文献のため、詳細情報は得られなかった。 Key 文献の発行年：1964 年～2008 年
	関連事故	-
	測定対象物	甲殻類、軟体動物、魚類、海藻類、その他の海洋生物（哺乳類、底生生物） 海藻類に関しては、実験室内における試験のみ
	測定放射性核種	□フィールド測定した放射性核種 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{239-240}\text{Pu}$ □フィールド測定した、その他の放射性核種 $^{40}\text{K}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{91}\text{Y}$ 、 $^{99}\text{Tc}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{241}\text{Am}$
	放射性核種の比率	Sr, Cs, Pu に関する結果： - $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ： - $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ： - $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ ： -
	規制との関連事項	-
文献概要	<p>海洋生物への放射性核種の移行に関する、ロシア語文献のレビュー。</p> <p>研究は、実験室内とフィールドの 2 タイプ合計 15 の論文が Key 論文として記載されている。(うち、フィールドでの測定結果から濃縮係数を算出している論文は 6 報)</p> <p>本レビュー論文は、海洋生物への移行に主眼を置いており、主要アウトプットとして濃縮係数を抽出しているため、放射性核種それぞれについての生物内濃度について記載されていなかった。しかし、フィールド測定を行っている 6 報には、それぞれの放射性核種についての測定データが記載されていると思われる。6 文献の概要を欄外参考情報(1)に示す。ただし、6 報中 1 報は、Sr、Cs、Pu の測定を行っていない。</p>	



表 2.2. 関連論文の詳細(3)

文献番号：47

文献情報	PMID	19932474
	タイトル	Radiological risk from consuming fish and wildlife to Native Americans on the Hanford Site (USA).
	著者	Delistraty D, Van Verst S, Rochette EA.
	筆頭著者情報	Washington State Department of Ecology, N. 4601 Monroe, Spokane, WA 99205-1295, USA. DDEL461@ecy.wa.gov
	書誌事項	Environ Res. 2010 Feb;110(2):169-77.
	doi	10.1016/j.envres.2009.10.013
主要データ	調査場所	アメリカ合衆国 ワシントン州 ハンフォード・サイト
	サンプル年	1995年～2007年
	関連事故	ハンフォード・サイト
	測定対象物	魚類および野生動物（鳥類、哺乳類） 対象部位：骨格筋および筋組織以外の組織（肝臓、心臓、腎臓、腸、骨、死骸）
	測定放射性核種	$^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{238}\text{Pu}$ , $^{239/240}\text{Pu}$ その他) $^{60}\text{Co}$ , $^{99}\text{Tc}$ , $^{234}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$
放射性核種の比率	Sr, Cs, Pu に関する結果：欄外参考情報(1)参照 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ：欄外参考情報(2)参照（算出値） $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ：- $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ ：-	
規制との関連事項	放射性核種の摂取に関して、推定年間実効線量（0.36 mrem/yr）は、米国 USEPA（the United States environmental Protection Agency）の線量限度の 15mrem/yr、ICRP の線量限度 100mrem/yr と比べ、より低値であった。	
文献概要	<p>近隣のネイティブアメリカンの摂取量（魚、野生動物）は、本論文に記載されている 12 の論文より決定し、魚類、鳥類、哺乳類における放射性核種の組織内含含有量（測定データ）は、Hanford Environmental Information System database から抽出している。（1995年～2007年）</p> <p>骨格筋における平均放射性核種濃度は、50<sup>th</sup>パーセンタイルと 95<sup>th</sup>パーセンタイルで、それぞれ 0.01 および 0.1pCi/g 以下であり、onsite（汚染区域の動物）と offsite（それ以外の区域の動物）とで有意な差は見られなかった。</p> <p>骨格筋以外の部位では、哺乳類の骨における Sr-90 濃度を除き、50<sup>th</sup>パーセンタイルと 95<sup>th</sup>パーセンタイルで、それぞれ 0.1 および 1pCi/g 以下であり、onsite（汚染区域の動物）と offsite（それ以外の区域の動物）とで有意な差は見られなかった。</p>	



表 2.2. 関連論文の詳細(4)

文献番号：49

文献情報	PMID	20002056
	タイトル	12. Chernobyl's radioactive contamination of food and people.
	著者	Nesterenko AV, Nesterenko VB, Yablokov AV.
	筆頭著者情報	Institute of Radiation Safety (BELRAD), 2-nd Marusinsky St. 27, Minsk 220053, Belarus. anester@mail.ru
	書誌事項	Ann N Y Acad Sci. 2009 Nov;1181:289-302
	doi	-
主要データ	調査場所	ベラルーシ、ウクライナ、その他各国 (チェルノブイリ原発事故に関する調査報告書)
	サンプル年	1986年～2008年 (複数の文献を対象としている)
	関連事故	チェルノブイリ原発事故
	測定対象物	食品各種
	測定放射性核種	$^{90}\text{Sr}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 その他) $^{131}\text{I}$
	放射性核種の比率	Sr, Cs, Pu に関する結果：欄外参考情報(1)参照 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ： $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ：欄外参考情報(2)参照(算出値) $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ ：
	規制との関連事項	<b>ベラルーシ</b> ：1992年、ベラルーシ3州で、小規模農場産ミルクで最大15%、その他の食品で最大80%が $^{137}\text{Cs}$ の許容値を超過した。1997年、ゴメリ州とプレスト州で、許容値を上回る食品割合が増加。1992年、基準値を超過した食品と基準値一覧については、欄外参考情報(3)、1993年～2007年における、ミルクおよび食品割合についての詳細は欄外参考情報(4)を参照。 <b>ウクライナ</b> ：(2000年)ヴォルイニ、ジトミール、キエフ、ロヴノ、チェルニゴフ各州の牛乳と食肉について、1.1%から最大で70.8%が、 $^{137}\text{Cs}$ 許容値を超過した。 <b>ポーランド</b> ：1987年、ポーランドからバングラデシュに出荷された粉ミルクから許容値を超える放射能が検出された。
文献概要	チェルノブイリ原発事故に関する汚染状況に関する調査報告書。ベラルーシにおける許容値を超過した食品とその割合の一覧(欄外参考情報(3))と各州のデータとミルクに関する測定結果(欄外参考情報(4))が掲載されている。ベラルーシでは、2005年から2007年にかけても、ミルクで許容値を超える放射性核種濃度が検出された。ベラルーシ以外の各国の状況についての報告も記載されている。食品の汚染調査のほか、子どもの放射線被ばくの評価、ベラルーシ・ウクライナ・ヨーロッパ側ロシアの重度汚染地域における、体内に取り込まれた放射性核種のモニタリングなどについても言及されている。	

表 2.2. 関連論文の詳細(5)

文献番号：57

文献情報	PMID	18501619
	タイトル	Ingestion doses in Finland due to (90)Sr, (134)Cs, and (137)Cs from nuclear weapons testing and the Chernobyl accident.
	著者	Rantavaara A.
	筆頭著者情報	Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), P.O. Box 14, FIN-00881 Helsinki, Finland. aino.rantavaara@stuk.fi
	書誌事項	Appl Radiat Isot. 2008 Nov;66(11):1768-74.
	doi	10.1016/j.apradiso.2007.12.018
主要データ	調査場所	フィンランド
	サンプル年	1960年～2005年 著者所属機関の the Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK)によるデータを利用
	関連事故	核実験およびチェルノブイリ原発事故
	測定対象物	乳製品、肉類、卵類、シリアル、野菜類（野菜、果物、ジャガイモ）、水、天然食品、トナカイ、淡水魚、その他の魚類、（土壌）
	測定放射性核種	$^{90}\text{Sr}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Sr}$
	放射性核種の比率	Sr, Cs, Pu に関する結果： - $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ： - $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ： - $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ ： - 本論文には使用データの記載はなかった。データは、著者所属機関である STUK の annual report やその補助資料等（STUK-A57,58,59...など）に記載のデータを使用している。
規制との関連事項	-	
文献概要	<p>本論文は、核実験およびチェルノブイリ原発事故に由来する、フィンランドにおける食品・飲水中の <math>^{90}\text{Sr}</math>、<math>^{134}\text{Cs}</math>、<math>^{137}\text{Cs}</math> の摂取による預託実効線量の算出を目的とする。（参考：1960年～2005年 2.2 mSv、1986年のチェルノブイリ以降；1.3mSv）</p> <p>算出にあたり、放射性核種の平均摂取量と摂取による放射線量の評価を行ったが、これには、著者所属機関である STUK（the Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority）が測定した堆積量（土壌）、農産物、食品の加工および消費量に関するデータが使用されたが、詳細な値についての記述はなかった。使用した値は、STUK から発行されている他の資料（Annual report）等に記載されている。</p> <p>なお、STUK では、食品中の放射性核種について 1960年に測定が開始され、ミルクにおける <math>^{90}\text{Sr}</math> および <math>^{137}\text{Cs}</math> については 1960年から、シリアルは 1962年、野菜・果物は 1974年、牛肉・豚肉は 1976年から測定され、1986年以降は、魚や天然食品などについても測定されている。</p>	

表 2.2. 関連論文の詳細(6)

文献番号 : 68

文献情報	PMID	17766017
	タイトル	Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: part 2. Transfer to milk.
	著者	Fesenko S, Howard BJ, Isamov N, Voigt G, Beresford NA, Sanzharova N, Barnett CL.
	筆頭著者情報	International Atomic Energy Agency, 1400 Vienna, Austria. s.fesenko@iaea.org
	書誌事項	J Environ Radioact. 2007;98(1-2):104-36.
	doi	10.1016/j.jenvrad.2007.06.007
主要データ	調査場所	ロシア、ベラルーシなど：レビュー論文のため、文献により調査場所は異なる。
	サンプル年	- (レビュー論文のため、詳細情報は得られなかった。)
	関連事故	(フィールド測定に関する論文) ウラル核惨事 (Kyshtym)、チェルノブイリ原発事故
	測定対象物	ミルク、牧草、牛肉
	測定放射性核種	$^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$
	放射性核種の比率	Sr, Cs, Pu に関する結果 : - $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ : - $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ : - $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ : - 移行係数が主要アウトプットであるため該当情報なし
規制との関連事項	-	
文献概要	<p>放射性核種のミルクへの移行に関するロシア語文献についてのレビュー文献。本レビュー文献では、123 の参照文献のうち、最終的には 47 文献を採用し、実験詳細について十分な情報がない、または、他の論文と全く同じデータを採用しているものは除外した。</p> <p>そのうち、38 の Key 文献が Table 1 に記載されており、うち、フィールド測定している文献は 5 文献である。5 文献の概要を欄外参考情報(1)に示す。</p>	

表 2.2. 関連論文の詳細(7)

文献番号：71

文献情報	PMID	17728028
	タイトル	$^{137}\text{Cs}$ and $^{90}\text{Sr}$ transfer to milk in Austrian alpine agriculture.
	著者	Lettner H, Hubmer A, Bossew P, Strebl F.
	筆頭著者情報	Division of Physics und Biophysics, University of Salzburg, Hellbrunnerstrasse 34, 5020 Salzburg, Austria. herbert.lettner@sbg.ac.at
	書誌事項	J Environ Radioact. 2007;98(1-2):69-84.
	doi	10.1016/j.jenvrad.2006.09.011
主要データ	調査場所	アルプス（オーストリア） 土壌・牧草：1 アルプスあたり、9 か所から 11 か所、高度は 500m ~ 1200m の地点 ミルク：9 アルプス；Gottschallalm, Kringsalm, Hinter-Naßfeldalm, Vorder-Naßfeldalm, Meilingeralm, Postalm, Schaidbergalm, Schreiberalm, Steinkaralm
	サンプル年	牧草：2002 年夏、ミルク：2002 年夏、（土壌：2002 年 9 月） なお、ミルクに関して、Vorder-Naßfeldalm では、2003 年に継続的（毎週）サンプリングされた。（Cs と Sr の食餌による移行係数と体内動態調査のため）
	関連事故	チェルノブイリ原発事故
	測定対象物	牧草・ミルク・（土壌） ・牧草（土壌）；家畜が食べる長さの牧草と、地面から 2-3cm にカットした草。コケの類は取り除くが、洗うなどの処理は行わず、105 で 24 時間以上かけて乾燥させたもの。 著者らは土壌についても測定を行ったとのことだが、土壌の詳細については、土壌から植物への移行に関する別の論文で取り上げている。
	測定放射性核種	$^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Cs}$
	放射性核種の比率	Sr, Cs, Pu に関する結果： 土壌中の Cs：21.2 ~ 35.3Bq/m <sup>2</sup> (Conclusion より) 牧草・ミルク中の Cs、Sr：欄外参考情報(1)参照 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ：欄外参考情報(2)参照（算出値） $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ：- $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ ：-
	規制との関連事項	-

表 2.2. 関連論文の詳細(8)

文献番号：105

文献情報	PMID	14972411
	タイトル	$^{90}\text{Sr}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{234}\text{U}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{40}\text{K}$ and $^{239/240}\text{Pu}$ in Emmental type cheese produced in different regions of Western Europe.
	著者	Froidevaux P, Geering JJ, Pillonel L, Bosset JO, Valley JF.
	筆頭著者情報	Institute of Applied Radiophysics, University of Lausanne, Grand Pré 1, 1007 Lausanne, Switzerland. pascal.froidevaux@inst.hospvd.ch
	書誌事項	J Environ Radioact. 2004;72(3):287-98.
	doi	10.1016/S0265-931X(03)00179-6
主要データ	調査場所	フランス(2 か所) スイス、ドイツ、オーストリア、フィンランド
	サンプル年	-
	関連事故	チェルノブイリ原発事故
	測定対象物	エメンタルチーズ
	測定放射性核種	$^{90}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{239/240}\text{Pu}$ ( $^{239+240}\text{Pu}$ ) その他) $^{234}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{40}\text{K}$
	放射性核種の比率	Sr, Cs, Pu に関する結果： Sr：欄外参考情報(1)および(2)(算出値)を参照 Cs：検出限界未満(0.1Bq/kg 未満) Pu：検出限界未満(0.3mBq/kg 未満) $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ： $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ： $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ ：
規制との関連事項	-	
文献概要	<p>本研究の目的は、ヨーロッパ各地のエメンタルチーズに含まれる <math>^{90}\text{Sr}</math> を定量し、チェルノブイリ原発事故による放射性核種の堆積量、乳製品汚染の地形の役割を評価すること、乳製品中のウランを測定し、飼料からミルクへの移行に関する情報の収集ことを目的とする。スイス、オーストリア、フランス、ドイツ、フィンランドの5か国のエメンタルチーズを対象として、放射性核種：<math>^{40}\text{K}</math>、<math>^{90}\text{Sr}</math>、<math>^{137}\text{Cs}</math>、<math>^{234}\text{U}</math>、<math>^{238}\text{U}</math>、<math>^{239/240}\text{Pu}</math> について分析を行った。</p> <p>分析の結果、<math>^{90}\text{Sr}</math> の最大値は、1.13Bq/kg、最小値は 0.29Bq/kg であった。また、ウランの濃度は低く、最大でも 27mBq/kg であった。これは、チーズの産地の地形的な影響ではなく、牧草、土壌、地下水の地域的な特長によるものと考えられた。</p> <p>なお、<math>^{137}\text{Cs}</math> と <math>^{239/240}\text{Pu}</math> は検出限界未満であり、それぞれ 0.1Bq/kg 未満、0.3mBq/kg 未満であった。</p>	

表 2.2. 関連論文の詳細(9)

文献番号：116

文献情報	PMID	12362793
	タイトル	Instrumental neutron activation analysis of minor and trace elements in food in the Russian region that suffered from the Chernobyl disaster.
	著者	Zaichick V.
	筆頭著者情報	Medical Radiological Research Centre, Obninsk, Kaluga Region, Russia.
	書誌事項	Food Nutr Bull. 2002 Sep;23(3 Suppl):191-4.
	doi	-
主要データ	調査場所	ロシア、カルーガ
	サンプル年	-
	関連事故	チェルノブイリ原発事故
	測定対象物	ミルク、チーズ、豚肉、牛肉、ソーセージ、パン（精白）、ライ麦パン、ジャガイモ、トマト、玉ねぎ、パセリ、甜菜、ニンジン、カブ、エンドウ豆、インゲン豆、果物（乾燥）、キノコ（乾燥）
	測定放射性核種	$^{134}\text{Cs}$ , $^{78\text{m}}\text{Sr}$ その他 ) $^{49}\text{Ca}$ , $^{38}\text{Cl}$ , $^{60}\text{Co}$ , $^{51}\text{Cr}$ , $^{59}\text{Fe}$ , $^{203}\text{Hg}$ , $^{42}\text{K}$ , $^{27}\text{Mg}$ , $^{56}\text{Mn}$ , $^{24}\text{Na}$ , $^{86}\text{Rb}$ , $^{124}\text{Sb}$ , $^{46}\text{Sc}$ , $^{75}\text{Se}$ , $^{65}\text{Zn}$  本論文の抄録記載のセシウムは 134、ストロンチウムは 78 のものであった。
	放射性核種の比率	Sr, Cs, Pu に関する結果：欄外参考情報(1)参照 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ： - $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ： - $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ ： -
規制との関連事項	カルーガ地区のいずれの食品においても、( 1 ) Gabovich RD, Pripulina LS. Hygienic bases of nutritional protection from hazardous chemical agents. Kiev: Zdorovja, 1987、および( 2 ) WHO, Trace elements for human nutrition. WHO Report of Expert Committee No 532. Geneva: WHO, 1975. のどちらに対しても正常範囲内であった。	
文献概要	チェルノブイリ原発事故の影響を受けた地域( $15\text{Ci}/\text{km}^2$ に達したロシアのカルーガ南西部 ) の食品 ( 肉類、乳製品、パン、野菜類、豆類、根菜類、果物、キノコ類 ) および IAEA の標準物質の双方について、セシウムやストロンチウムを含 17 種の元素 ( Ca, Cl, Co, Cr, Cs, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Rb, Sb, Sc, Se, Sr, Zn ) を INAA ( instrumental neutron activation analysis ) を用いて測定した。( ただし、当該試験方法はカルシウムのみ IAEA の信頼区間を逸脱 )	

表 2.2. 関連論文の詳細(10)

文献番号：125

文献情報	PMID	12113508
	タイトル	Current contamination by $^{137}\text{Cs}$ and $^{90}\text{Sr}$ of the inhabited part of the Techa river basin in the Urals.
	著者	Shutov VN, Travnikov IG, Bruk GY, Golikov VY, Balonov MI, Howard BJ, Brown J, Strand P, Kravtsova EM, Gavrilov AP, Kravtsova OS, Mubasarov AA
	筆頭著者情報	Research Institute of Radiation Hygiene, St. Petersburg, Russia.
	書誌事項	J Environ Radioact. 2002;61(1):91-109.
	doi	10.1016/S0265-931X(01)00117-5
主要データ	調査場所	ロシア、マヤーク核施設近郊、テチャ川下流域に残されている 4 村のうちの 2 村(ムスリモボ村、プロドカルマク村)および、テチャ川の氾濫原の 9 地点。詳細座標は欄外参考情報(1)参照。
	サンプル年	ミルク：1992～1998 年 畜産品：1998～1999 年 その他：1998 年
	関連事故	マヤーク核施設(テチャ川流域への計画的 液体放射性廃棄物の放出、キシテム事故、放射性核物質飛散事故など)
	測定対象物	土壌、植物(牧草、干し草)、食品(ジャガイモ、甜菜、ニンジン、キュウリ、ペポカボチャ、トウガラシ、エンドウ豆、ディル(せり科植物)、葉玉ねぎ(ワケギ)、玉ねぎ、にんにく、干しブドウ、ラズベリー、ミルク、牛肉、豚肉、ラム肉、馬肉、兎肉、雌鶏、卵、ガチョウ肉、鴨肉、淡水魚(川)、淡水魚(湖))
	測定放射性核種	$^{90}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$
	放射性核種の比率	Sr, Cs, Pu に関する結果：欄外参考情報(2)～(5)参照 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ ：欄外参考情報(2)および(6)参照(算出値) $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ：- $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ ：-
規制との関連事項	-	
文献概要	<p>ロシア、テチャ川流域のムスリモボ村およびプロドカルマク村における調査。</p> <p>1992 年から 1998 年の間、ムスリモボ村およびプロドカルマク村のどちらのミルクにおいても、<math>^{137}\text{Cs}</math> および <math>^{90}\text{Sr}</math> の平均放射能濃度の有意な変化はなかった。畜産品に関しては、牛肉や馬肉における放射能濃度(<math>^{137}\text{Cs}</math>)は、豚肉や羊肉、兎肉と比べてかなり高値であった。これは、テチャ川の氾濫原の牧草を摂取している、あるいは、飼料として氾濫原の牧草を使用しているためと考えられる。</p> <p>魚の筋肉部の <math>^{137}\text{Cs}</math> 濃度は、<math>^{90}\text{Sr}</math> の 3~8 倍高かった。</p>	



表 2.2. 関連論文の詳細(11)

文献番号：126

文献情報	PMID	11936611
	タイトル	Assessment of current exposure levels in different population groups of the Kola Peninsula.
	著者	Travnikova IG, Shutov VN, Bruk GY, Balonov MI, Skuterud L, Strand P, Pogorely JA, Burkova TF.
	筆頭著者情報	Research Institute of Radiation Hygiene, St Petersburg, Russia. irina@it6293.spb.edu
	書誌事項	J Environ Radioact. 2002;61(1):91-109.
	doi	10.1016/S0265-931X(01)00106-0
主要データ	調査場所	ロシア、コラ半島
	サンプル年	1998年～1999年 1987年～1997年：Murmansk Regional Center for Sanitary Inspection (MRCSI)のデータを使用。トナカイ肉、キノコ類、ホロムイチゴ、ビルベリー、コケモモ、ミルク(牛)における <sup>137</sup> Csのデータが記載されている。
	関連事故	チェルノブイリ、(1986年以前については、核実験)
	測定対象物	地衣類、コケ、牧草、キノコ類、ビルベリー、コケモモ、ホロムイチゴ、クランベリー、トナカイ肉、淡水魚(サーモン、シグ族サケ、ドジョウ、カワカマス、カワメンタイ)、海水魚(タラ、ヒラメ/カレイ)、ミルク、牛肉、豚肉、パン、ジャガイモ
	測定放射性核種	<sup>137</sup> Cs、 <sup>90</sup> Sr
	放射性核種の比率	Sr, Cs, Pu に関する結果：欄外参考情報(1)参照 <sup>90</sup> Sr/ <sup>137</sup> Cs：欄外参考情報(2)(算出値) <sup>134</sup> Cs/ <sup>137</sup> Cs：- <sup>239</sup> Pu/ <sup>240</sup> Pu：-
規制との関連事項	-	
文献概要	<p>ロシアのコラ半島における植物や自然食品に関する<sup>137</sup>Csと<sup>90</sup>Srの放射能濃度調査と、内部被ばくの評価を行った。サンプリングは1998年～1999年にかけて行い、それ以前の1987年～1997年についてはMRCSI(Murmansk Regional Centre for Sanitary Inspection)のデータを使用した。</p> <p>植物や食品サンプル中の各々の放射能濃度測定結果は、この10年間におけるその他の測定結果と十分に一致しており、<sup>137</sup>Csによる汚染濃度は緩やかに減少していた。これは、主に、放射性物質の物理的崩壊による。</p> <p>また、地衣類やコケ、キノコ類などは、牧草や農産物(ジャガイモ)などの植物と比べて有意に高い放射能濃度を示した。また、トナカイ肉における<sup>137</sup>Csの濃度は、現地の牛肉や豚肉よりも非常に高く、2桁ほど高値であった。</p>	



### **III. 研究成果の刊行物に関する一覧表**

研究成果の刊行に関する一覧表

原著論文

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
L. Cao, J. Zheng, H. Tsukada, S. Pan, Z. Wang, K. Tagami and S. Uchida	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	2016
K Kitayama, K. Ohse, N. Shima, K. Kawatsu and H. Tsukada	Regression model analysis of the decreasing trend of cesium-137 concentration in the atmosphere since the Fukushima accident	J. Environ. Radioactivity	164	151-157	2016
A. Takeda, H. Tsukada, Y. Takaku, N. Satta, M. Baba, T. Shibata, H. Hasegawa, Y. Unno, and S. Hisamatsu	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	2016
N. Akata, H. Tsukada, H. Kakiuchi, T. Takahashi and S. Fukutani	A simple method for sampling and analysis of particulate, inorganic gaseous and organic gaseous halogens in the atmosphere	Radiat. Environ. Med.	5	29-32	2016
H. Tsukada and K. Ohse	Concentration of radiocaesium in rice and irrigation water, and soil management practices in Oguni, Date, Fukushima	Int. Environ. Assess. Manage.	12	659-661	2016
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	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	2016
A. Nakao, S. Sugihara, Y. Maejima, H. Tsukada and S. Funakawa	Ferralsols in the Cameroon plateaus, with a focus on the mineralogical control on their cation exchange capacities	Geoderma	285	206-216	2017

書籍（査読付き）

著者氏名	論文タイトル名	書籍編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
なし							

プロシーディング、年報、総説、解説、紹介記事

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
なし					

## 学会発表等

1. 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).
2. 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。
3. 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。
4. 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).
5. 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).
6. 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。
7. 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」、日本土壌肥料学会、佐賀。
8. H. Tsukada (2016) Research Activities of the Institute of Environmental Radioactivity at Fukushima University, Five Years after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, SPERA Keynote Lecture, The 14th Biennial Conference of the South Pacific Environmental Radioactivity Association, SPERA2016, Bali (Indonesia).
9. H. Tsukada, (2016) Soil and suspended matter sampling and processing following Fukushima accident, SPERA Trends in Environmental Sample Preparation, Lecture, The 14th Biennial Conference of the South Pacific Environmental Radioactivity Association, SPERA2016, Bali (Indonesia).
10. 塚田祥文 (2016) 「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」、特別シンポジウム招待講演、日本影響学会第 59 回大会、広島。
11. 塚田祥文 (2017) 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解態  $^{137}\text{Cs}$ 」、環境創造センター環境動態部門セミナー、三春。
12. 塚田祥文(2017) 食と放射能に関する説明会、食糧庁依頼講演、本宮。

13. H. Tsukada (2017) Radiocaesium in the agricultural environment and internal radiation dose from foods in Fukushima after the nuclear accident of 2011, Invited Seminar, KU Leuven (Belgium).
14. Tatsuo Aono (2016) Food and drinking water safety monitoring – Fukushima experience, The 2nd Asian REMPAN Workshop on Emergency Preparedness and Response to Radiation Emergencies, Soul (Korea).
15. T.Aono, M. Fukuda, S.Yamazaki, T. Ishimaru, J. Kanda, Y. Ito, T. Shotome, T. Mizuno, M. Yamada, A. Yamanobe (2016) Annual variation of radicaesium in marine environment off Fukushima after the Fukuhishima Nuclear Power Station accident, International Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry(RANC-2016), Budapest (Hungary).
16. T.Aono, M. Fukuda, S.Yamazaki, T. Ishimaru, J. Kanda, Y. Ito (2016) Concentration ratios of radionuclide in marine organisms around Japan, II INTERNATIONAL CONFERENCE ON RADIOECOLOGICAL CONCENTRATION PROCESSES (50 years later), SEVILLE (SPAIN).
17. 青野辰雄, 高橋知之, 福谷哲, 塚田祥文, 福田美保, 山崎慎之介, 明石真言 (2017) 食品中の放射性セシウム濃度と基準値に対する影響, 第18回「環境放射能」研究会, つくば.