

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 29 年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 明石 真言

量子科学技術研究開発機構

平成 30(2018)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	4
--	---

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	14
--	----

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）

3. 内部被ばく線量に対する放射性 Cs 寄与率等の推定	30
------------------------------------	----

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	40
---------------------------------	----

青野辰雄（放射線医学総合研究所）

明石真言（量子科学技術研究開発機構）

III. 研究成果の刊行に関する一覧	83
--------------------------	----

I. 総括研究報告

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 (量子科学技術研究開発機構)

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, Fukushima Daiichi Nuclear Power Station)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}Sr)、ルテニウム-106(^{106}Ru)、プルトニウム-238(^{238}Pu)、プルトニウム-239(^{239}Pu)、プルトニウム-240(^{240}Pu) およびプルトニウム-241(^{241}Pu)を評価対象核種として、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、その線量への寄与を考慮している。また、その他の核種は、モニタリング結果や核分裂収率、物理的半減期等から、放射性 Cs に比べて線量寄与が無視し得る程十分に小さいと考えられ、評価対象核種には含まれていない。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。また福島県内で養殖され、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と安定元素の測定を行い、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(農産物および水産物)の放射性 Cs 濃度および ^{90}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1mSv 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 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru)、プルトニウム-238 (^{238}Pu)、プルトニウム-239 (^{239}Pu)、プルトニウム-240 (^{240}Pu)およびプルトニウム-241 (^{241}Pu)を評価対象核種として、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、その線量への寄与を考慮している。また、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ため、福島県内においては作物中放射性核種濃度に関して住民の不安は徐々に解消されているが、全国的にはまだ充分に不安解消には至っていない。特に、FDNPS 周辺の浜通りでは帰還困難区域の解除に至ったものの、未だに市場流通として出荷できずにいる地域も多い。そのため、主に福島県で人口が最も多いいわき市において、市場流通している作物中放射性核種濃度を測定し、十分に基準値を下回っていることを示す必要がある。その際、放射性 Cs のみならず、ガンマ線測定によるモニタリングで結果を出せない ^{90}Sr 濃度についても示す必要がある。平成 29 年度は、いわき市から市場流通作物を購入し、農作物中の放射性 Cs 濃度と ^{90}Sr 濃度を求め、住民の安心・安全の醸成に資するための研究を行った。

2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究

福島県内で養殖、調理加工され、市場に流通する水産物とした。福島県内水面試験場の協力を得て情報収集を行い、平成 30 年1月に福島県の養殖業者から購入し、放射性物質と安定元素の測定を行った。

3. 内部被ばく線量に対する放射性 Cs の寄与率等の推定

平成 28～29 年度における放射性 Cs および ^{90}Sr による内部被ばく線量を推定するために、「1. 営農再開地域における農作物中の放射性物質の濃度測定に関する研究」で測定した農作物中放射性 Cs 濃度および ^{90}Sr 濃度、および平成 28 年度の海産物中放射性 Cs 濃度を用いた。放射性 Cs による内部被ばく線量の推定は、全ての食品がこの農作物や水産物に相当すると仮定する極めて保守的な方法と、安定カリウム(K)の摂取量を用いる方法で評価を実施した。 ^{90}Sr による内部被ばく線量の推定は、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

EU における食品中の放射性物質の規制値等の設定変更の背景や、FDNPS 事故後の食品モニタリングデータを使用して算出された内部被ばくに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

浜通りいわき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、 0.78 ± 1.69 (検出限界値以下～6.6、 $n=27$) Bq/kg-生重量であり、基準値を下回り、一般的なモニタリングでは検出できないほど低濃度になっていることが明らかになった。一方で、基準値は下回ったが、ブルーベリー、ビワおよびミョウガでそれぞれ 6.6、2.8 および 3.3 Bq/kg-生重量であった。また、 ^{134}Cs は時間経過に伴い物理的半減期(2.1 年)で減衰し、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 濃度比は 0.13 まで減少した。いわき市における作物中 ^{90}Sr 濃度は、 0.019 ± 0.017 (0.0050～0.059、 $n=10$) Bq/kg-生重量であり、平成 27 年度および平成 28 年度の報告にあるように、福島県を除く全国農作物中 ^{90}Sr 濃度モニタリング結果と同様な範囲にあった。

2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究

養殖鯉可食部中の ^{134}Cs 濃度範囲(Bq/kg-生重量)は 0.12-0.31 ($n=4$) であった。 ^{137}Cs 濃度範囲(Bq/kg-生重量)は、可食部で 1.2-2.6($n=4$)、アラ部で 0.12-0.19 ($n=3$) および内臓部で 0.3-0.8($n=4$) であった。 ^{134}Cs と ^{137}Cs が検出された可食部とアラ部(1検体)の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度比は 0.11-0.12 で、これはFDNPS 事故由来であった。内臓部では ^{137}Cs 濃度が低いために、この ^{137}Cs がFDNPS 事故由来か判断することはできなかった。アラ部の高い ^{137}Cs 濃度は周辺環境からの影響と考えられる。 ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度は、アラ部(1検体を除き)や内臓に比べて可食部で高い傾向を示した。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。

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(農水産物)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 0.0064mSv および 0.0052mSv 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 0.003-0.007mSv であった。また、 ^{90}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 0.0011-0.0013mSv、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

EUにおける食品中の放射性物質の規制値(1987 年の制定と2016年の改定、一般食品、マイナーフードの選定基準や基準設定根拠等)及びFDNPS 事故後の輸入食品等に関する規制値について、内容をとりまとめた。また「FDNPS事故後の食品中の放射性物質モニタリングデータを用いた内部被ばく線量の推定に関連する研究論文」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

福島県浜通りに位置し県内で最も人口の多いいわき市で栽培され、市場流通している作物中放射性 Cs 濃度は基準値を大きく下回り、他県と比較しても同程度のレベルにまで低下していることを確認した。

いわき市の市場流通作物中 ^{90}Sr 濃度は、福島

県を除く全国調査の作物中 ^{90}Sr 濃度範囲内にあり、農作物から検出された ^{90}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た。

2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究

今回の試料から、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}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。各部位の生重量を加味した養殖鯉1匹あたりの放射性濃度を求めたところ、各部位ごとの ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度範囲(Bq/kg-生重量)は、0.5-8.5 と 56.1-62.7 であった。安定元素の Ca と Sr 濃度はアラ部で高い傾向にあった。K/Cs と Ca/Sr 濃度比は部位や個体による大きな差は認められなかった。安定元素の濃度比を利用した濃度推定が可能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

「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 0.007mSv および 0.006mSv 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が、マーケットバスケット法による年間放射線量を数倍上回っている。その理由として、マーケットバスケット調査の「その他の食品」の寄与よりも市場希釈の効果が影響していると考えられる。

^{90}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}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}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

EU における放射性物質規制基準の考え方と FDNPS 事故対応における EU 食品規制基準にまとめた。また「FDNPS 事故後の食品中の放射性物質モニタリングデータを用いた内部被ばく線量の推定に関連する研究論文」のうち、本評価検討のために抽出された 69 編より 35 件については概要を取りまとめ、さらに 15 編については詳細を取りまとめた。被ばく線量の評価や推定法に関して比較することができた。

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、主に人口の多いいわき市において栽培された市場流通作物を採取し、放射性 Cs と ^{90}Sr 濃度を測定した。作物中放射性 Cs 濃度は全て基準値を大きく下回り、一般的なモニタリングでは検出が困難な程度まで減少した。また、いわき市の作物中放射性 Cs 濃度は、FDNPS より北に位置する地域より低い傾向にあった。作物中 ^{90}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}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

福島県内の養殖鯉中の放射性 Cs、 ^{40}K および安定元素濃度を測定した。養殖鯉 1 匹中の放射

性 Cs 濃度は、0.5–8.5 Bq/kg-生重量の濃度範囲であり、基準値を超えた試料はなく、本事故による影響は確認できなかった。

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 29 年度に採取された農産物中放射性 Cs 濃度、 ^{90}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}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}Sr 濃度と安定元素濃度の比はばらつきが大きいと、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

EU における食品中の放射性物質の規制値等の考え方と FDNPS 事故対応後の規制値の見直しについて資料を作成し、および「FDNPS 事故後の食品中の放射性物質モニタリングデータを用いた内部被ばく線量の推定に関連する研究論文」の情報収集と内容の整理を行い、資料集「食品中の放射性物質の規制値の見直しや被ばく線量の推定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. Y. Unno, H. Tsukada, A. Takeda, Y. Takaku and S. Hisamatsu (2017) Soil-soil solution distribution coefficient of soil organic matter is a key factor for that of radioiodide in surface and subsurface soils. *J. Environ. Radioactivity* 169-170, 131-138.
2. 保高徹生, 申文浩, 恩田裕一, 信濃卓郎, 林誠二, 塚田祥文, 青野辰雄, 飯島和毅, 江口定夫, 大野浩一, 吉田幸弘, 北村清司, 久保田富次郎, 野川憲夫, 吉川夏樹, 山口裕顕, 末木啓介, 辻英樹, 宮津 進, 岡田住子, 栗原モモ, Sandor Tarjan (2017) 陸水中における微量溶存態放射性セシウム濃縮法の比較. *分析化学* 66, 299-307.
3. N. Yamaguchi, H. Tsukada, K. Kohyama, Y. Takata, A. Takeda, S. Isono and I. Taniyama (2017) Radiocesium interception potential of agricultural soils in northeast Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.* 63, 119-126.
4. A. M. Jagonoy and H. Tsukada (2017) Characterization of radiocesium levels and fractions of ^{137}Cs in soil collected from Oguni, Date using manual and instrument software calculation based on Covell method. *Philippine J. Sci.* 146, 193-199.
5. H. Tsukada, S. Nihira, T. Watanabe and S. Takeda (2017) The ^{137}Cs activity concentration of suspended and dissolved fractions in irrigation waters collected from the 80 km zone around TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. *J. Environ. Radioactivity* 178-179, 354-359.
6. M. Murakamia, M. Saha, Y. Iwasaki, R. Yamashita, Y. Koibuchi, H. Tsukada, H. Takada, K. Sueki and T. Yasutaka (2017) Source analysis of radiocesium in river waters using road dust tracers, *Chemosphere* 187, 212-220.
7. H. Tsukada, T. Takahashi, S. Fukutani and M. Akashi (2017) Concentrations of radiocesium and ^{90}Sr in agricultural plants collected from local markets and experimental fields before resuming agriculture in Fukushima Prefecture, Proceeding of the 14th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA14), Cape Town, South Africa, pp 37-42.
8. A. Takeda, H. Tsukada, Y. Unno Y. Takaku and S. Hisamatsu (2017) Effect of soil amendment on attenuation of radiocesium phytoavailability in grassland soil (ICOBTE2017, Zurich, Switzerland).
9. H. Tsukada, A. Takeda, K. Okamoto and S. Takeda (2017) Qualitative change of ^{137}Cs activity concentration in settling particles collected from Oogaki dam in Fukushima, Japan (ICOBTE2017, Zurich, Switzerland).
10. S. Ogasawara, T. Eguchi, A. Nakao, S. Fujimura, Y. Takahashi, H. Matsunami, H. Tsukada, T. Shinano and J. Yanai (2017) Mobility of ^{137}Cs and stable Cs in soil-plant systems in contaminated soils in Fukushima, Japan (ICOBTE2017, Zurich, Switzerland).
11. H. Tsukada, S. Nihira, T. Watanabe and S. Takeda (2017) The ^{137}Cs activity concentration of dissolved and suspended fractions in irrigation waters collected from the 80-km zone around TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (第3回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
12. H. Kawasaki, H. Tsukada, S. Yamasaki, M. Yuasa,

- T. Iki, A. Kihara, C. Kakinaka, S. Nakagomi and H. Yasuda (2017) Education program for public health nurses to decrease residents' anxiety caused by radiation (第3回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
13. M. Muramkami, M. Saha, Y. Iwasaki, R. Yamashita, Y. Koibuchi, H. Tsukada, H. Takada, K. Sueki and T. Yasutaka (2017) Source analysis of radiocesium in rivers using a tracer of road dust (第3回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 14. Ismail M. M. Rahman and H. Tsukada (2017) Application of speciation radiochemistry to understand the distribution and behavior of radionuclides in the environmental systems (第3回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 15. R. Saito, H. Oomachi, Y. Nemoto, T. Mizoguchi and H. Tsukada (2017) Physicochemical fractions of radiocaesium in the stomach contents of wild animals (第3回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 16. 塚田祥文、島長義、北山 響 (2017) 福島県小国における灌漑水中溶存態および懸濁態¹³⁷Cs 濃度の経時変化(第50回日本保健物理学会, 大分).
 17. H. Tsukada, R. Saito, H. Omachi, Y. Nemoto and T. Mizoguchi (2017) Aggregated transfer factors, concentration ratios, and solubility of ¹³⁷Cs in stomach material of wild boar collected from Nihonmatsu, Fukushima Prefecture (ICRER2017, Berlin, Germany).
 18. H. Tsukada, K. Nanba, T. Takase, V. Ioshchenko, K. Okuda, T. Hinton, A. Yokoyama and A. Goto (2017) Fukushima radioecological observatory in Yamakiya (COMET final Event, Bruges, Belgium) oral and poster presentations.
 19. H. Tsukada, B. J. Howard, H. Vandenhove, T. Takahashi and I. Mizushima (2017) Fukushima COMET Workshop in Iizaka, Fukushima July 18-19, 2015 (COMET final Event, Bruges, Belgium) poster presentation.
 20. 黒川耕平、中尾淳、矢内純太、塚田祥文 (2017) 福島県富岡町の除染済み農耕地における放射性セシウムの移行リスク評価(日本土壤肥料学会, 仙台).
 21. 田中佑樹、中尾淳、矢内純太、塚田祥文 (2017) エアサンプラーで採取した大気降下物の放射性セシウム吸着能とその関連諸特性の日別変化(日本土壤肥料学会, 仙台).
 22. 山口裕顕、申文浩、塚田祥文 (2017) 水中の放射性セシウムの前処理法・分析法加圧ろ過法(懸濁態処理)、固相ディスク抽出法(溶存態濃縮) (第54回分析化学講習会、愛媛).
 23. 第5回福島大学環境放射能研究所研究活動懇談会「環境中における放射性セシウム(Cs)の"ふるまい"と福島状況」(2017. 11.25、東京).
 24. 海野佑介、塚田祥文、武田晃、高久雄一、久松俊一 (2018) 土壌-土壌溶液系における土壌有機物の分配係数と放射性ヨウ素の分配係数の関連(第19回「環境放射能」研究会、つくば).
 25. 新里忠史、佐々木祥人、難波謙二、塚田祥文、ヨシエンコ ヴァシル (2018) オフサイトの核種分布特性に基づくサイト内環境中の核種インベントリの推定(4) 樹木における放射性核種分布の経年変化と樹種との関連性(日本原子力学会, 大阪).

26. 平尾茂一、塚田祥文、イスマイル MM ラハマン、高瀬つぎ子、高橋隆行、柴崎直明、渡邊明 (2018) 環境放射能の挙動解明に向けた取り組み～サンプリング技術から分析方法・技術開発の紹介～ (第4回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
27. 塚田祥文 (2018) 土壌とため池底質における¹³⁷Csの経時的な存在形態変化 (第4回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
28. Ismail M. M. RAHMAN、Zinnat Ara BEGUM、Bashir AHMMAD、Suman BARUA、塚田祥文、長谷川浩 (2018) キレート剤を用いた土壌洗浄におけるストロンチウムと地球化学的関連元素の挙動 (第4回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
29. 久保田富次郎、塚田祥文、申文浩、濱松潮香、八戸真弓 (2018) 農業ため池における水および底質中の各態放射性セシウム (第4回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
30. 斎藤梨絵、根本唯、大町仁志、玉置雅紀、中村匡聡、白子智康、塚田祥文 (2018) イノシ体内中の¹³⁷Cs濃度と食性の関係ーDNA解析を用いた食性解析の試み (第4回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
31. The Side Event of the 64 Session of UNSCEAR, “Radiocaesium in agricultural environment and internal radiation dose from foods in Fukushima after the nuclear accident of 2011” (2017.5.29-30, Vienna).
32. 環境水等の放射性セシウムモニタリングコンソーシアム 第3回研究会講演「陸域環境水中放射性セシウム分析法と測定結果」(2017.6.22, 東京).
33. 日本女子大:いま、あらためて福島の放射能を考える「2011年原発事故後の農業環境における放射性セシウムと作物への移行」(2017.8.7,東京).
34. 中部原子力懇談会情勢講演会「福島県の農業環境における放射性セシウムと作物への移行～福島県農産品の安全性を科学的に考える～」(2017.11.2,名古屋).
35. 2nd International symposium of quantum Beam Science” Physicochemical fraction of radiocaesium and its behavior in the terrestrial environment”(2017.12.8-10,水戸).
36. 青野 辰雄, 原子力安全基盤科学3 放射線防護と環境放射線管理, 高橋千太郎編,p.176-182, 京都大学学術出版, 2017.
37. 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, 食品中の放射性セシウム濃度と基準値に対する影響, Proceedings of the Workshop on Environmental Radioactivity (KEK Proceedings), p.253-256, 2017.
38. T. Aono, TEPCO Fukushima NPP accident-4: Foodstuffs, NIRS-KIRAMS Training Course on Radiation Emergency Medicine for Korean Medical Professionals 2017, NIRS, KIRAMS, 2017-04-26.
39. T. Aono, Overview of marine environment after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident: Environmental radioactivity and radiation effects, 第32回台日工程技術研讨会, 中國工程師學會, 2017-11-22.
40. T. Aono, M. Akashi, M. Fukuda, S. Yamazaki, S. K. Sahoo, RADIOACTIVE MATERIAL CONTAMINATION IN FOOD AFTER THE FUKUSHIMA NUCLEAR POWER STATION

ACCIDENT, International Conference on
Radiation Research: Impact on Human Health and
Environment (ICRR-HHE 2018) and 2nd
Biennial Meeting of Society for Radiation
Research (SRR), The Society for Radiation
Research, 2018-02-02.

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし

II. 分担研究報告

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}Sr)についての不安の声が大きい。そこで、福島県で最も人口が多く浜通りに位置するいわき市で栽培され市場流通している農作物中の放射性 Cs 濃度と ^{90}Sr 濃度を求め、これまでに求めたデータと比較・検証した。その結果、FDNPS から南に位置するいわき市で栽培され流通している作物中放射性 Cs 濃度は、全て基準値を十分に下回り、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 濃度の範囲内にあり、一部の作物を除き一般的なモニタリングでは検出が困難なまでに低下していることが明らかになった。また、作物中 ^{90}Sr 濃度も、日本全国調査で得られた結果の範囲内にあり、明らかな FDNPS 事故由来とは認められなかった。

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}Sr)、ルテニウム-106(^{106}Ru) およびプルトニウム-238(^{238}Pu)、プルトニウム-239(^{239}Pu)、プルトニウム-240(^{240}Pu)およびプルトニウム-241(^{241}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、事故後1年目における限度値が最も小さくなるのは、

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¹⁾。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、⁹⁰Sr 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、福島県で最も人口が多い浜通りいわき市を中心に栽培され市場流通している農作物採取し、作物中の放射性 Cs および

⁹⁰Sr 濃度等を測定し、その測定結果を検証した。また、福島県以外の日本全国の放射性 Cs および ⁹⁰Sr 濃度調査結果と比較した。

B. 研究方法

1. 市場流通農作物採取

FDNPS 周辺で営農が再開されている浜通りの南相馬市(5 試料)・いわき市(27 試料)・広野町(1 試料)から市場流通作物(合計 33 試料)を購入し、分析試料とした(表 1)。また、⁹⁰Sr については、市場流通作物を 16 試料(平成 28 年度に実施した南相馬市との比較のための 5 試料を含む)について分析対象とした(表 2)。⁹⁰Sr 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 5 kg 以上(放射性 Cs のみの分析対象試料は原則 1 kg)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。⁹⁰Sr 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、Cannberra 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(¹³⁴Cs)およびセシウム-137(¹³⁷Cs)の定量には、それぞれ 604.7 keV および

661.7 keV の γ 線を用い、25,000～1,040,000 秒測定した。また、同時にカリウム-40 (^{40}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、試料によっては Ge 検出器による測定時間は、12 日間もの長時間を要した。

4. ^{90}Sr 濃度の測定

灰化した作物試料 5.5～64 g (1,600～4,700 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させた。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}Y) をミルキングし、低バックグラウンドガスフローカウンターで 100～580 分間の計測をした。 ^{90}Sr 濃度の測定方法は、原則文部科学省放射能測定シリーズ 2「放射性ストロンチウム分析法」(平成 15 年改定) 等²⁻⁴⁾に拠った。

C. 研究結果

南相馬市およびいわき市の圃場で栽培され、市場流通していた作物中放射性 Cs 平均濃度は、南相馬市 0.23 ± 0.21 (0.032～0.58、n=5) Bq/kg-生重量およびいわき市 0.78 ± 1.69 (検出限界値以下～6.6、n=27) Bq/kg-生重量、広野町から採取した玄米の放射性 Cs 濃度は 1.1 Bq/kg-生重量であり、基準値を下回った (表 2 および表 3)。この中で、ブルーベリーが最も高い値 (6.6 Bq/kg-生重量) を示した。これまでもチェルノブイリ事故以降に主にヨーロッパでベリー類中放

射性 Cs 濃度の高いことが示されている。これは、ベリー類は有機質に富んだ土壤中で生育するため、植物にとって移行しやすい可給性に富んでいる放射性 Cs の割合が高いためとされている。福島県を除く全国農作物中 ^{137}Cs 濃度モニタリング結果 (2016 年) は、検出限界値以下～2.0 Bq/kg 生重量の範囲 (茶を除く、n=405)⁵⁾にあった。

南相馬市およびいわき市の圃場で栽培され、市場流通していた作物中 ^{90}Sr の平均濃度は、南相馬市 0.053 ± 0.053 (0.006～0.11、n=5) Bq/kg-生重量およびいわき市 0.019 ± 0.017 (0.005～0.059、n=10) Bq/kg-生重量、広野町から採取した玄米の ^{90}Sr 濃度は 0.012 Bq/kg-生重量であった。平成 28 年度と同様に、カブ (葉) が最も高い値であった (表 2)。福島県を除く全国農作物中 ^{90}Sr 濃度モニタリング結果 (2016 年) は、検出限界値以下～0.38 Bq/kg 生重量の範囲 (茶を除く、n=209)⁵⁾にあり、本課題での測定結果はその範囲内であった。参考までに乾燥重量当たりで示した放射性 Cs および ^{90}Sr 濃度を表 4 に示した (表 4)。

D. 考察

浜通りの南相馬市・いわき市・広野町で栽培され市場流通している作物中放射性 Cs 濃度は、一部の作物を除き基準値を大きく下回り、一般的なモニタリングでは検出が困難なレベルにまで低下していた。これは、カリウム施用の土壌管理、放射性 Cs の減衰、エイジングなど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。これまでに調査してきた中通りでも作物中放射性セシウム濃度が十分に低下しており、平成 29 年度に調査を行った福島県で最も人口の多いいわき市においても作物中放射性 Cs 濃度が基準値より十分に低い値で

あったことは、安心・安全の醸成に繋がる。更に、FDNPS 周辺で心配の声が大きい作物中 ^{90}Sr 濃度についても、福島県以外での報告値と同様であり、南相馬市・いわき市・広野町で採取した農作物から検出された ^{90}Sr 濃度は大気圏核実験に由来する全国レベルと同様であった。

E. 結論

本研究では、浜通りのいわき市・広野町・南相馬市で栽培され市場流通している作物を採取し、放射性 Cs と ^{90}Sr 濃度を測定した。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。特に、FDNPS から南に位置するいわき市で採取した作物中放射性 Cs 濃度は、一般的なモニタリングでは検出が困難な程低い濃度であった。また、作物中 ^{90}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}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/nousan-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}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}Sr and ^{137}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. Y. Unno, H. Tsukada, A. Takeda, Y. Takaku and S. Hisamatsu (2017) Soil-soil solution distribution coefficient of soil organic matter is a key factor for that of radioiodide in surface and subsurface soils. J. Environ. Radioactivity 169-170, 131-138.

2. 保高徹生, 申文浩, 恩田裕一, 信濃卓郎, 林誠二, 塚田祥文, 青野辰雄, 飯島和毅, 江口定夫, 大野浩一, 吉田幸弘, 北村清司, 久保田富次郎, 野川憲夫, 吉川夏樹, 山口裕顕, 末木啓介, 辻英樹, 宮津 進, 岡田住子, 栗原モモ, Sandor Tarjan (2017) 陸水中における微量溶存態放射性セシウム濃縮法の比較. 分析化学 66, 299-307.

3. N. Yamaguchi, H. Tsukada, K. Kohyama, Y. Takata, A. Takeda, S. Isono and I. Taniyama (2017) Radiocesium interception potential of agricultural soils in northeast Japan. Soil Sci. Plant Nutr. 63, 119-126.

4. A. M. Jagonoy and H. Tsukada (2017) Characterization of radiocesium levels and fractions of ^{137}Cs in soil collected from Oguni, Date using manual and instrument software calculation based on Covell method. Philippine J. Sci. 146, 193-199.

5. H. Tsukada, S. Nihira, T. Watanabe and S. Takeda (2017) The ^{137}Cs activity concentration of suspended and dissolved fractions in irrigation waters collected from the 80 km zone around TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear

- Power Station. J. Environ. Radioactivity 178-179, 354-359.
6. M. Murakamia, M. Saha, Y. Iwasaki, R. Yamashita, Y. Koibuchi, H. Tsukada, H. Takada, K. Sueki and T. Yasutaka (2017) Source analysis of radiocesium in river waters using road dust tracers, *Chemosphere* 187, 212-220.
 7. H. Tsukada, T. Takahashi, S. Fukutani and M. Akashi (2017) Concentrations of radiocesium and ^{90}Sr in agricultural plants collected from local markets and experimental fields before resuming agriculture in Fukushima Prefecture, *Proceeding of the 14th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA14)*, Cape Town, South Africa, pp 37-42.
 8. A. Takeda, H. Tsukada, Y. Unno, Y. Takaku and S. Hisamatsu (2017) Effect of soil amendment on attenuation of radiocesium phytoavailability in grassland soil (ICOBTE2017, Zurich, Switzerland).
 9. H. Tsukada, A. Takeda, K. Okamoto and S. Takeda (2017) Qualitative change of ^{137}Cs activity concentration in settling particles collected from Oogaki dam in Fukushima, Japan (ICOBTE2017, Zurich, Switzerland).
 10. S. Ogasawara, T. Eguchi, A. Nakao, S. Fujimura, Y. Takahashi, H. Matsunami, H. Tsukada, T. Shinano and J. Yanai (2017) Mobility of ^{137}Cs and stable Cs in soil-plant systems in contaminated soils in Fukushima, Japan (ICOBTE2017, Zurich, Switzerland).
 11. H. Tsukada, S. Nihira, T. Watanabe and S. Takeda (2017) The ^{137}Cs activity concentration of dissolved and suspended fractions in irrigation waters collected from the 80-km zone around TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (第 3 回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 12. H. Kawasaki, H. Tsukada, S. Yamasaki, M. Yuasa, T. Iki, A. Kihara, C. Kakinaka, S. Nakagomi and H. Yasuda (2017) Education program for public health nurses to decrease residents' anxiety caused by radiation (第 3 回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 13. M. Muramkami, M. Saha, Y. Iwasaki, R. Yamashita, Y. Koibuchi, H. Tsukada, H. Takada, K. Sueki and T. Yasutaka (2017) Source analysis of radiocesium in rivers using a tracer of road dust (第 3 回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 14. Ismail M. M. Rahman and H. Tsukada (2017) Application of speciation radiochemistry to understand the distribution and behavior of radionuclides in the environmental systems (第 3 回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 15. R. Saito, H. Oomachi, Y. Nemoto, T. Mizoguchi and H. Tsukada (2017) Physicochemical fractions of radiocaesium in the stomach contents of wild animals (第 3 回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 16. 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).
 17. 塚田祥文、島長義、北山 響 (2017) 福島県小国における灌漑水中溶存態及び懸濁態 ^{137}Cs 濃度の経時変化(第 50 回日本保健物

- 理学会, 大分).
18. H. Tsukada, R. Saito, H. Omachi, Y. Nemoto and T. Mizoguchi (2017) Aggregated transfer factors, concentration ratios, and solubility of ^{137}Cs in stomach material of wild boar collected from Nihonmatsu, Fukushima Prefecture (ICRER2017, Berlin, Germany).
 19. H. Tsukada, K. Nanba, T. Takase, V. Ioshchenko, K. Okuda, T. Hinton, A. Yokoyama and A. Goto (2017) Fukushima radioecological observatory in Yamakiya (COMET final Event, Bruges, Belgium) oral and poster presentations.
 20. H. Tsukada, B. J. Howard, H. Vandenhove, T. Takahashi and I. Mizushima (2017) Fukushima COMET Workshop in Iizaka, Fukushima July 18-19, 2015 (COMET final Event, Bruges, Belgium) poster presentation.
 21. 黒川耕平、中尾淳、矢内純太、塚田祥文 (2017) 福島県富岡町の除染済み農耕地における放射性セシウムの移行リスク評価 (日本土壤肥料学会, 仙台).
 22. 田中佑樹、中尾淳、矢内純太、塚田祥文 (2017) エアサンプラーで採取した大気降下物の放射性セシウム吸着能とその関連諸特性の日別変化 (日本土壤肥料学会, 仙台).
 23. 山口裕顕、申文浩、塚田祥文 (2017) 水中の放射性セシウムの前処理法・分析法加圧ろ過法 (懸濁態処理)、固相ディスク抽出法 (溶解態濃縮) (第54回分析化学講習会、愛媛).
 24. 第5回福島大学環境放射能研究所研究活動懇談会「環境中における放射性セシウム (Cs) の "ふるまい" と福島の状態」(2017. 11.25, 東京).
 25. 海野佑介、塚田祥文、武田晃、高久雄一、久松俊一 (2018) 土壌-土壌溶液系における土壌有機物の分配係数と放射性ヨウ素の分配係数の関連 (第19回「環境放射能」研究会、つくば).
 26. 新里忠史、佐々木祥人、難波謙二、塚田祥文、ヨシエンコ ヴァシル (2018) オフサイトの核種分布特性に基づくサイト内環境中の核種インベントリの推定 (4) 樹木における放射性核種分布の経年変化と樹種との関連性 (日本原子力学会, 大阪).
 27. 平尾茂一、塚田祥文、イスマイル MM ラハマン、高瀬つぎ子、高橋隆行、柴崎直明、渡邊明 (2018) 環境放射能の挙動解明に向けた取り組み～サンプリング技術から分析方法・技術開発の紹介～ (第4回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 28. 塚田祥文 (2018) 土壌とため池底質における ^{137}Cs の経時的な存在形態変化 (第4回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 29. Ismail M. M. RAHMAN, Zinnat Ara BEGUM, Bashir AHMMAD, Suman BARUA, 塚田祥文, 長谷川浩 (2018) キレート剤を用いた土壌洗浄におけるストロンチウムと地球化学的関連元素の挙動 (第4回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 30. 久保田富次郎、塚田祥文、申文浩、濱松潮香、八戸真弓 (2018) 農業ため池における水および底質中の各態放射性セシウム (第4回福島大学環境放射能研究所成果報告会).
 31. 斎藤梨絵、根本唯、大町仁志、玉置雅紀、中村匡聡、白子智康、塚田祥文 (2018) イノシシ体内中の ^{137}Cs 濃度と食性の関係ーDNA 解析を用いた食性解析の試み (第4

回福島大学環境放射能研究所成果報告会).

32. The Side Event of the 64 Session of UNSCEAR, “Radiocaesium in agricultural environment and internal radiation dose from foods in Fukushima after the nuclear accident of 2011” (2017.5.29-30, Vienna).
33. 環境水等の放射性セシウムモニタリングコンソーシアム 第3回研究会講演「陸域環境水中放射性セシウム分析法と測定結果」(2017.6.22, 東京).
34. 日本女子大:いま、あらためて福島の放射能を考える「2011 年原発事故後の農業環境における放射性セシウムと作物への移行」(2017.8.7, 東京).
35. 中部原子力懇談会情勢講演会「福島県の農業環境における放射性セシウムと作物への移行～福島県農産品の安全性を科学的に考える～」(2017.11.2, 名古屋).
36. 2nd International symposium of quantum Beam Science” Physicochemical fraction of radiocaesium and its behavior in the terrestrial environment”(2017.12.8-10, 水戸).

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし

表1 福島県浜通りで採取した市場流通作物

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	
カブ 根)	2017AP-1	南相馬市	2017年6月5日	7374	0.037
カブ 葉)	2017AP-2	南相馬市	2017年6月5日	-	0.055
キャベツ	2017AP-3	南相馬市	2017年6月5日	4653	0.056
カボチャ	2017AP-4	南相馬市	2017年6月5日	4991	0.310
ジャガイモ	2017AP-5	南相馬市	2017年6月5日	5210	0.188
トマト	2017AP-6	いわき市	2017年7月12日	5058	0.052
タマネギ	2017AP-7	いわき市	2017年7月12日	5073	0.107
ナガネギ	2017AP-8	いわき市	2017年9月4日	2856	0.065
ナシ	2017AP-9	いわき市	2017年9月4日	5553	0.107
ジャガイモ	2017AP-10	いわき市	2017年9月4日	4132	0.195
トウガン	2017AP-11	いわき市	2017年9月4日	3445	0.026
スイカ	2017AP-12	いわき市	2017年9月4日	4397	0.086
ハウレンソウ	2017AP-13	いわき市	2017年10月13日	6047	0.071
玄米	2017AP-14	広野町	2017年10月15日	4458	0.982
玄米	2017AP-15	いわき市	2017年10月19日	4900	0.872
玄米	2017P-18	いわき市	2017年11月4日	5000	0.883
ブルーベリー	2017P-1	いわき市	2017年7月12日	900	0.128
オクラ	2017P-2	いわき市	2017年7月12日	800	0.092
ズッキーニ	2017P-3	いわき市	2017年7月12日	2000	0.041
ビワ	2017P-4	いわき市	2017年7月12日	1100	0.125
ニンニク	2017P-5	いわき市	2017年7月12日	600	0.304
エゴマ 葉)	2017P-6	いわき市	2017年7月12日	500	0.166
トウモロコシ	2017P-7	いわき市	2017年7月12日	2000	0.226
ピーマン	2017P-8	いわき市	2017年9月4日	800	0.055
ナス	2017P-9	いわき市	2017年9月4日	850	0.064
ゴーヤ	2017P-10	いわき市	2017年9月4日	2000	0.059
ミュウガ	2017P-11	いわき市	2017年9月4日	900	0.036
キュウリ	2017P-12	いわき市	2017年9月4日	1300	0.032
ショウガ	2017P-13	いわき市	2017年9月4日	900	0.050
インゲン	2017P-14	いわき市	2017年9月4日	1000	0.063
ニンジン	2017P-15	いわき市	2017年9月4日	1500	0.126
サツマイモ	2017P-16	いわき市	2017年10月13日	1000	0.290
サトイモ	2017P-17	いわき市	2017年10月13日	1200	0.191
試料数	33				

表 2 福島県浜通り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⁹⁰Sr 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 Cs	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	⁴⁰ K	¹³⁴ Cs+ ¹³⁷ Cs		¹³⁴ Cs/ ¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr/ ¹³⁷ Cs			
						Bq/kg 生						
カブ 根)	2017AP-1	< 0.03	0.03 ±	0.01	0.021 ±	0.002	89 ±	1	0.03 ±	0.03	-	0.656 ± 0.222
カブ 葉)	2017AP-2	< 0.07	0.15 ±	0.01	0.11 ±	0.007	170 ±	1	0.15 ±	0.07	-	0.752 ± 0.084
キャベツ	2017AP-3	0.06 ±	0.01	0.52 ±	0.11 ±	0.004	69 ±	1	0.58 ±	0.02	0.11 ± 0.02	0.202 ± 0.010
カボチャ	2017AP-4	< 0.19	0.16 ±	0.03	0.016 ±	0.002	150 ±	1	0.16 ±	0.19	-	0.101 ± 0.022
ジャガイモ	2017AP-5	< 0.28	0.22 ±	0.03	0.006 ±	0.001	130 ±	1	0.22 ±	0.28	-	0.026 ± 0.007
トマト	2017AP-6	< 0.05	< 0.04		0.006 ±	0.001	82 ±	1	-		-	-
タマネギ	2017AP-7	< 0.08	0.10 ±	0.01	0.011 ±	0.002	51 ±	1	0.10 ±	0.08	-	0.1148 ± 0.0242
ナガネギ	2017AP-8	< 0.11	0.46 ±	0.03	0.059 ±	0.004	62 ±	1	0.46 ±	0.12	-	0.129 ± 0.013
ナシ	2017AP-9	< 0.11	< 0.12		0.005 ±	0.001	46 ±	1	-		-	-
ジャガイモ	2017AP-10	< 0.11	0.08 ±	0.02	0.006 ±	0.001	120 ±	1	0.08 ±	0.11	-	0.08 ± 0.02
トウガン	2017AP-11	< 0.03	< 0.02		0.010 ±	0.003	45 ±	0	-		-	-
スイカ	2017AP-12	< 0.08	< 0.06		0.020 ±	0.003	44 ±	1	-		-	-
ホウレンソウ	2017AP-13	< 0.08	0.15 ±	0.02	0.034 ±	0.003	270 ±	1	0.15 ±	0.08	-	0.231 ± 0.038
玄米	2017AP-14	0.12 ±	0.02	1.0 ±	0.012 ±	0.002	73 ±	1	1.13 ±	0.04	0.12 ± 0.02	0.01 ± 0.00
玄米	2017AP-15	< 0.05	0.42 ±	0.02	0.022 ±	0.002	51 ±	1	0.42 ±	0.05	-	0.0512 ± 0.0064
玄米	2017P-18	< 0.04	0.11 ±	0.009	0.020 ±	0.003	61 ±	1	0.11 ±	0.04	-	0.1906 ± 0.0296

表 3 福島県浜通り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}Cs	^{137}Cs	^{40}K	$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$						
		Bq/kg 生			Bq/kg 生						
ブルーベリー オクラ ズッキーニ ピーワ ニンニク エゴマ 葉) トウモロコシ ピーマン ナス ゴーヤ ミョウガ キュウリ シヨウガ インゲン ニンジン サツマイモ サトイモ	2017P-1	0.88 ±	0.11	5.7 ±	0.23	21 ±	2	6.62 ±	0.26	0.15 ±	0.02
	2017P-2	<	0.05	<	0.05	102 ±	1	-	-	-	-
	2017P-3	<	0.01	<	0.02	64 ±	0	-	-	-	-
	2017P-4	0.37 ±	0.06	2.5 ±	0.08	61 ±	2	2.84 ±	0.10	0.15 ±	0.03
	2017P-5	<	0.12	<	0.10	108 ±	1	-	-	-	-
	2017P-6	<	0.14	0.16 ±	0.03	160 ±	1	0.16 ±	0.14	-	-
	2017P-7	<	0.11	<	0.12	102 ±	1	-	-	-	-
	2017P-8	<	0.02	0.04 ±	0.01	71 ±	0	0.04 ±	0.02	-	-
	2017P-9	<	0.03	0.03 ±	0.01	72 ±	0	0.03 ±	0.04	-	-
	2017P-10	<	0.02	0.03 ±	0.00	79 ±	0	0.03 ±	0.02	-	-
	2017P-11	0.37 ±	0.04	2.9 ±	0.08	100 ±	2	3.28 ±	0.09	0.13 ±	0.01
	2017P-12	<	0.02	0.06 ±	0.01	78 ±	0	0.06 ±	0.02	-	-
	2017P-13	<	0.03	0.04 ±	0.01	72 ±	0	0.04 ±	0.03	-	-
	2017P-14	<	0.03	0.03 ±	0.01	77 ±	0	0.03 ±	0.04	-	-
	2017P-15	<	0.03	0.04 ±	0.01	128 ±	1	0.04 ±	0.04	-	-
	2017P-16	<	0.10	0.25 ±	0.02	130 ±	1	0.25 ±	0.10	-	-
	2017P-17	<	0.08	0.06 ±	0.02	205 ±	1	0.06 ±	0.08	-	-
最小値		0.37		0.03		21		0.03		0.1	
最大値		0.88		5.74		205		6.6		0.2	
算術平均値		0.54		0.91		96		1.04 ±	2.08	0.14	

表 4 福島県浜通りにおける市場流通農作物中放射性セシウムおよび⁹⁰Sr 濃度（乾燥重量）

試料名	試料番号	Ge測定時間	放射性核種濃度 (乾燥重量)							
			¹³⁴ Cs*		¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr		⁴⁰ K	
			Bq/kg 乾燥							
s										
カブ (根)	2017AP-1	606,425	<	0.9	0.86 ±	0.28	0.56 ±	0.06	2400 ±	14
カブ (葉)	2017AP-2	518,373	<	1.3	2.8 ±	0.3	2.1 ±	0.1	3000 ±	18
キャベツ	2017AP-3	259,520	1.0 ±	0.2	9.3 ±	0.3	1.9 ±	0.1	1200 ±	11
カボチャ	2017AP-4	601,988	<	0.6	0.52 ±	0.10	0.052 ±	0.006	490 ±	5
ジャガイモ	2017AP-5	600,000	<	1.5	1.1 ±	0.2	0.030 ±	0.007	680 ±	8
トマト	2017AP-6	600,000	<	1.0	<	0.8	0.11 ±	0.02	1600 ±	12
タマネギ	2017AP-7	1,036,712	<	0.7	0.89 ±	0.13	0.10 ±	0.02	480 ±	5
ナガネギ	2017AP-8	243,336	<	1.8	7.1 ±	0.5	0.91 ±	0.07	950 ±	16
ナシ	2017AP-9	507,200	<	1.0	<	1.1	0.047 ±	0.012	430 ±	7
ジャガイモ	2017AP-10	603,349	<	0.6	0.40 ±	0.09	0.030 ±	0.007	610 ±	5
トウガン	2017AP-11	572,683	<	1.0	<	0.9	0.38 ±	0.11	1800 ±	13
スイカ	2017AP-12	603,143	<	0.9	<	0.7	0.23 ±	0.03	520 ±	7
ホウレンソウ	2017AP-13	606,751	<	1.1	2.1 ±	0.3	0.48 ±	0.05	3700 ±	18
玄米	2017AP-14	68,707	0.12 ±	0.02	1.0 ±	0.03	0.012 ±	0.002	74 ±	1
玄米	2017AP-15	69,001	<	0.1	0.48 ±	0.02	0.025 ±	0.003	58 ±	1
玄米	2017P-18	171,501	<	0.04	0.12 ±	0.01	0.023 ±	0.003	69 ±	1
ブルーベリー	2017P-1	25,295	6.9 ±	0.9	45 ±	2	-	-	160 ±	16
オクラ	2017P-2	606,177	<	0.6	<	0.5	-	-	1100 ±	7
ズッキーニ	2017P-3	775,055	<	0.3	<	0.4	-	-	1600 ±	6
ピワ	2017P-4	85,001	2.9 ±	0.5	20 ±	1	-	-	480 ±	13
ニンニク	2017P-5	517,856	<	0.4	<	0.3	-	-	360 ±	4
エゴマ (葉)	2017P-6	718,600	<	0.8	0.99 ±	0.16	-	-	960 ±	8
トウモロコシ	2017P-7	517,204	<	0.5	<	0.5	-	-	450 ±	5
ピーマン	2017P-8	605,516	<	0.4	0.66 ±	0.11	-	-	1300 ±	7
ナス	2017P-9	605,215	<	0.5	0.44 ±	0.14	-	-	1100 ±	7
ゴーヤ	2017P-10	663,000	<	0.4	0.51 ±	0.08	-	-	1400 ±	6
ミュウガ	2017P-11	25,414	10 ±	1	80 ±	2	-	-	2700 ±	49
キュウリ	2017P-12	663,300	<	0.7	2.0 ±	0.2	-	-	2500 ±	11
ショウガ	2017P-13	518,070	<	0.5	0.84 ±	0.10	-	-	1400 ±	8
インゲン	2017P-14	664,000	<	0.6	0.51 ±	0.09	-	-	1200 ±	7
ニンジン	2017P-15	517,312	<	0.3	0.35 ±	0.06	-	-	1000 ±	5
サツマイモ	2017P-16	277,000	<	0.4	0.87 ±	0.08	-	-	450 ±	4
サトイモ	2017P-17	627,000	<	0.4	0.33 ±	0.10	-	-	1100 ±	6
試料数	33									
最小値		25,295	0.1		0.12		0.012		58	
最大値		1,036,712	10.2		80		2.1		3700	
算術平均値					7.1		0.43		1131	

* 604.7 keV の定量結果

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}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru) およびプルトニウム-238 (^{238}Pu)、プルトニウム-239 (^{239}Pu)、プルトニウム-240 (^{240}Pu) およびプルトニウム-241 (^{241}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}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。

これまで海産物について調査を行ってきたが、海産物に比べて出荷制限の水産物が多い淡水魚に着目し、福島県内で養殖している水産物入手し、これら試料の測定を行ったところ、セシウム-137 (^{137}Cs) 濃度が 10Bq/kg-生重量を超えた試料はなかった。

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}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru) およびプルトニウム-238 (^{238}Pu)、プルトニウム-239 (^{239}Pu)、プルトニウム-240 (^{240}Pu) およびプルトニウム-241 (^{241}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。

福島沖の海産物の放射性物質濃度のモニタリングでは、95% 以上の水産物で放射性 Cs 濃度が検出下限値 (約 10Bq/kg-生) 以下となっている。一方で、内陸の淡水魚に関しては依然、広域で出荷制限されている魚種が多い¹⁾。これは海水魚に比べて淡水魚は浸透圧が低いために、生息環

境中の影響を受けやすい状況にある。そこで、淡水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、福島県内で養殖されている魚類を入手し、「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、福島県内で養殖、調理加工され、市場に流通する水産物とした。福島県内水面試験場の協力を得て情報収集¹⁾を行い、平成 30 年 2 月に福島県の養殖業者から購入した。入手した魚類(鯉)について、採取日(平成 30 年 2 月 15 日)、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. γ 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、ミキサー等で粉砕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 23~53%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 1~5%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 γ 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用いた。セシウム-134 (^{134}Cs)(604.7 keV および 796keV の加重平均値)、セシウム-137 (^{137}Cs)(661.7 keV)およびカリウム-40 (^{40}K)(1460 keV)の定量結果を記録した。 ^{134}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²⁾、昨年度と同様に、この計算方法を用いた。なお ^{134}Cs 、 ^{137}Cs および ^{40}K 以外の γ 核種は計測されなかった。 ^{134}Cs および ^{137}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)。また安定元素の摂取量を利用する事による内部被ばく線量評価を行うため、安定元素の K と Ca は ICP 発光分光分析装置で、Sr と Cs は ICP 質量分析装置を用いて、既知濃度の標準溶液で検量線を作成し、定量した。それらの測定結果を表 2 に示す。

C. 研究結果

1. 水産物中の放射性物質の濃度測定

平成 29 年に入手した水産物中の放射性 Cs および ^{40}K 濃度測定の結果を表 2 に示した。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。

養殖鯉は、全長 47-48 cm、体重 1.9-2.0 kg であった。 ^{134}Cs は内臓部では検出されず、アラ部では 1 検体のみ、 ^{134}Cs 濃度(Bq/kg-生重量)が 1.8 であった。可食部中の ^{134}Cs 濃度(Bq/kg-生重量)

は0.12-0.31(平均値0.18、n=4)であった。 ^{137}Cs 濃度(Bq/kg-生重量)は、可食部で1.2-2.6(平均値1.6、n=4)、アラ部で0.12-15.8(平均値3.93、n=4)および内臓部で0.3-0.8(平均値0.47、n=4)であった。 ^{134}Cs と ^{137}Cs が検出された可食部とアラ部(1検体)の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度比は0.11-0.12で、これはFDNPS事故由来であった。内臓部では ^{137}Cs 濃度が低いために、検出された ^{137}Cs がFDNPS事故由来か判断することはできなかった。アラ部の高い ^{137}Cs 濃度は周辺環境からの影響と考えられる。 ^{40}K 濃度(Bq/kg-生重量)は、可食部110-117(平均値115、n=4)、アラ部11.3-14.9(平均値12.2、n=4)および内臓部62.9-86.0(平均値67.1、n=4)であった。 ^{137}Cs 濃度および ^{40}K 濃度は、アラ部(1検体を除き)や内臓に比べて可食部で高い傾向を示した。今回調査した魚種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、それぞれ可食部37%、アラ部49%と内臓部14%であった。各部位とも乾燥率(乾燥重量/生重量)は20-50%であったが、灰化率(灰重量/生重量)は可食部と内臓部が1%に対してアラ部は4%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Caが残ったことが要因と考えられる。食品中の放射性物質のモニタリングでは水産物の場合にはシラス以外の魚類は可食部(筋肉部)の測定を行う。IAEAでは可食部中 ^{137}Cs 濃度から魚全体の ^{137}Cs 濃度を評価するための換算係数は1としている。今回、アラ部の ^{137}Cs 濃度が0.2 Bq/kg-生重量の3個体について計算した結果、0.46-0.54であった。

D. 考察

今回の試料から、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}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}Cs 濃度および ^{40}K 濃度(Bq/kg-生重量)から、各部位の生重量を加味した養殖鯉1匹あたりの放射性濃度を求めたところ、 ^{137}Cs 濃度0.5-8.5と ^{40}K 濃度56.1-62.7であった。試料1では他の4試料と比べて可食部と内臓部において放射性Cs濃度が高い傾向にあった。アラ部中の濃度は低く、可食部や内臓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や内臓部は軟組織であることが原因と考えられる。可食部中 ^{137}Cs 濃度から魚全体の ^{137}Cs 濃度を評価するための換算係数は約0.5であった。これは魚種により各部位の ^{137}Cs 濃度と重量割合が異なるためこのような結果が得られたと考えられる。

安定元素のCaとSr濃度はアラ部で高い傾向にあった。K/CsとCa/Sr濃度比は部位や個体による大きな差は認められなかった。安定元素の濃度比を利用した濃度推定が可能であることが示唆された。

E. 結論

福島県内の養殖鯉中の放射性Cs、 ^{40}K および安定元素濃度を測定した。養殖鯉1匹中の放射性Cs濃度は、0.5-8.5 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く、本事故による影響は確認できなかった。

引用文献

- 1) 福島県: 内水面の採捕・出荷資源等の措置一覧

<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/261033.pdf>

- 2) 米沢 伸四郎:Ge 検出器- γ 線スペクトロメ
リーによる玄米認証標準物質中 ^{134}Cs , ^{137}Cs
及び ^{40}K の分析-第 1 部 放射能濃度の定
量-. 分析化学 65, 645-655, 2016.

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし

G.研究業績

1. 青野 辰雄, 原子力安全基盤科学3 放射線
防護と環境放射線管理, 高橋千太郎編、
p.176-182, 京都大学学術出版、2017.
2. 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,
食品中の放射性セシウム濃度と基準値に対
する影響, Proceedings of the Workshop on
Environmental Radioactivity (KEK Proceedings),
p.253-256, 2017.
3. T. Aono, TEPCO Fukushima NPP accident-4:
Foodstuffs, Tatsuo Aono, NIRS-KIRAMS Training
Course on Radiation Emergency Medicine for Korean
Medical Professionals 2017, NIRS, KIRAMS, 2017-
04-26.
4. Tatsuo Aono, Overview of marine environment after the
Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident:
Environmental radioactivity and radiation effects, 第
32 回台日工程技術研討会, 中國工程師學會,
2017-11-22.
5. T. Aono, M. Akashi, M. Fukuda, S. Yamazaki, S. K.
Sahoo, RADIOACTIVE MATERIAL
CONTAMINATION IN FOOD AFTER THE
FUKUSHIMA NUCLEAR POWER STATION
ACCIDENT, International Conference on Radiation
Research: Impact on Human Health and Environment
(ICRR-HHE 2018) and 2nd Biennial Meeting of
Society for Radiation Research (SRR), The Society for
Radiation Research, 2018-02-02.

表 1 福島県産養殖鯉の体長、重量と各部位別重量について

番号	全長 cm	体重 g	筋肉 g	アラ g	内臓 g
1	48	1980	711.3	899.8	332.4
2	47	1860	708.8	898.9	215.1
3	48	1925	716.5	936.8	256.6
4	47	1997	713.2	990.6	243.9

表 2 福島県産養殖鯉の部位(可食部、アラ部および内臓部)中の放射性核種濃度と安元元素濃度について

可食部

番号	Cs-134		Cs-137		K-40		Ca	K	Sr	Cs
	Bq/Kg-wet	± error	Bq/Kg-wet	± error	Bq/Kg-wet	± error	mg/Kg-wet	mg/Kg-wet	mg/Kg-wet	μg/Kg-wet
1	0.31	0.01	2.55	0.04	114.4	1.0	0.34	3.39	0.52	33.89
2	0.15	0.02	1.26	0.04	117.1	1.2	0.31	3.56	0.46	41.28
3	0.16	0.01	1.54	0.03	110.8	0.9	0.26	3.21	0.34	33.93
4	0.12	0.01	1.18	0.03	116.0	0.9	0.37	3.24	0.55	34.53
平均値	0.18		1.63		114.6		0.32	3.35	0.47	35.90

アラ部

番号	Cs-134		Cs-137		K-40		Ca	K	Sr	Cs
	Bq/Kg-wet	± error	Bq/Kg-wet	± error	Bq/Kg-wet	± error	mg/Kg-wet	mg/Kg-wet	μg/Kg-wet	μg/Kg-wet
1	1.78	0.02	15.79	0.06	11.69	0.21	17.52	1.94	24.83	19.26
2	< 0.02		0.19	0.01	12.69	0.18	13.73	1.82	23.31	22.80
3	< 0.02		0.18	0.01	11.35	0.2	19.77	1.44	29.61	20.15
4	< 0.02		0.12	0.01	14.90	0.19	5.83	2.29	9.31	26.65
平均値	-		3.93		12.22		15.47	1.87	23.61	22.26

内臓部

番号	Cs-134		Cs-137		K-40		Ca	K	Sr	Cs
	Bq/Kg-wet	± error	Bq/Kg-wet	± error	Bq/Kg-wet	± error	mg/Kg-wet	mg/Kg-wet	μg/Kg-wet	μg/Kg-wet
1	< 0.1		0.47	0.03	63.1	1.0	0.07	3.03	0.07	15.94
2	< 0.1		0.82	0.06	86.0	1.6	0.06	2.16	0.05	18.58
3	< 0.1		0.38	0.02	62.9	0.9	0.08	2.34	0.07	15.09
4	< 0.1		0.30	0.03	70.0	1.3	0.19	3.57	0.31	18.96
平均値	-		0.47		67.1		0.09	2.80	0.11	16.72

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「一般食品」では 100 Bq/kg、「乳児用食品」および「牛乳」では、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 29 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 (^{90}Sr) 濃度と安定核種濃度を測定し、放射性 Cs および ^{90}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¹⁾。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、事故後 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}Cs) およびセシウム-137 (^{137}Cs) を対象とした。放射性 Cs 以外の核種の影響については、検査の実効性を確保する観点から、放射性 Cs による被ばく線量に対する当該放射性核種の被ばく線量の比を推定することにより管理し、放射性 Cs 濃度で規制を行うこととした。このため、食品の摂取による内部被ばくに対する放射性 Cs の寄与について評価を実施した。すなわち、食品への移行経路毎に放射性核種移行評価を実施して食品中の放射性核種濃度比を推定することにより、放射性 Cs に対する基準値に反映させた。食品中の放射性核種濃度比は、土壤中放射性核種濃度の比や、環境移行モデル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、いわき市及び広野町)における市場流通作物とした。なお、分担研究 1. で示されたように、これらの作物中放射性 Cs 濃度の範囲は ND (検出下限値未満) ~6.6 Bq/kg-生重量であった。

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 28 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}Cs 濃度²⁾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}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) およびフレイムレス原子吸光光度計 (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 (^{40}K) 濃度を、安定 K の単位重量あたりの ^{40}K 放射エネルギーである 30.4 Bq/kg³⁾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 ^{90}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、 ^{90}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⁴⁾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 29 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.72⁵⁾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¹³⁷Cs 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¹³⁴Cs 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¹³⁴Cs/¹³⁷Cs 放射能濃度比を 1:1 とし、平成 29 年 9 月 30 日における¹³⁴Cs 濃度との比を算出し、¹³⁷Cs 濃度に乗じることによって推定した。

平成 29 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 19 歳以上(男子)で年間 0.0064 mSv および 19 歳以上(女子)で年間 0.0052 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 28 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¹³⁷Cs 濃度²⁾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、¹³⁴Cs/¹³⁷Cs 放射能濃度比は、平成 28 年 9 月 30 日における¹³⁴Cs 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¹³⁷Cs 濃度を表3に示す。可食部中¹³⁷Cs 濃度の平均値は 1.35 Bq/kg 生であった。

農作物と同様に、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19歳以上(男子)で年間0.00091 mSv および19歳以上(女子)で年間0.00074 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、19歳以上(男子)で年間0.0073 mSv および19歳以上(女子)で年間0.0059 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}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}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}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}Cs 濃度/安定 K 濃度比 (Bq/g-K) の平均値は0.48であった。また、最大値は8.3 と、平均値の約17 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}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いずれの年齢区分でも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}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}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}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121～2530 $\mu\text{g/kg}$ であり、算術平均値は859 $\mu\text{g/kg}$ であった。また、安定 Ca 濃度は、158～1931 mg/kg であり、算術平均値は596 mg/kg であった。これらの値を用いると、 ^{90}Sr 濃度/安定 Ca 濃度比 (Bq/mg-Ca) の平均値は0.000086 であった。

この平均値を用いて ^{90}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 程度、成人では約0.0001 mSv のオーダーであった。

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0.0064 mSv および0.0052 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29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 mSv⁶⁾であり、本評価結果はこの結果の数倍程度である。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、いわき市及び広野町)における市場流通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0.001 mSvのオーダーであり、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28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0.00091 mSv および0.00074 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}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}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とほぼ同等の結果となり、マーケットバスケット調査による線量評価結果⁶⁾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}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て ^{137}Cs 濃度が低い食品(すなわち、 ^{137}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。

本評価では ^{40}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と、農畜産物毎のデータを用いた試算結果がほぼ同等となっているこ

とから、マーケットバスケット調査による線量評価結果との差異は、「その他の食品」の寄与よりも、市場希釈の効果が影響していると考えられる。

4. 安定 Sr 濃度および安定 Ca 濃度を用いた ^{90}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}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 程度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}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}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。

E. 結論

平成 29 年度に採取された農産物中放射性 Cs 濃度、 ^{90}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、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、過去の大気中核実験等のフォールアウトによる ^{90}Sr の寄与を含めた場合であっても、介入線量レベルである年間 1 mSv を大幅に下回っていた。

すなわち、事故に起因する年間内部被ばく線量は、 ^{90}Sr の寄与を考慮しても、1 mSv/y の 1/100 を下回っており、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}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}Sr 濃度と安定元素濃度の比はばらつきが大きいとため、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 (2017).
- 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-Shokuhinanzentan-Kijunshinsaka/0000187816.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 29 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	0.5	0.06	0.06
コメ	424.0	292.0	0.5	0.21	0.15
芋類	60.0	55.8	0.2	0.01	0.01
葉菜類	142.9	130.2	0.3	0.04	0.04
根菜類	85.2	78.1	0.1	0.01	0.01
豆類	64.3	61.7	0.0	0.00	0.00
果菜類	229.7	243.1	1.2	0.28	0.29
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	374.0	0.6	0.37	0.22
牛乳	82.3	87.0	0.6	0.05	0.05
			Cs137摂取量合計 (Bq/y)	4.1E+02	3.3E+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			Cs134摂取量合計 (Bq/y)	5.7E+01	4.6E+01
			Cs137線量(mSv/y)	5.3E-03	4.3E-03
			Cs134線量(mSv/y)	1.1E-03	8.7E-04
			線量合計(mSv/y)	6.4E-03	5.2E-03

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28年度)

魚種	試料採取日	海域	検出試料数	Cs-137濃度(平均値) (Bq/kg生)
アジ	平成28年11月25日	小名浜	5	0.56
マガレイ	平成28年11月25日	小名浜	5	2.22
ソウハチガレイ	平成28年11月25日	小名浜	5	1.87
マガレイ	平成28年12月7日	相馬	5	0.86
ババガレイ	平成28年12月7日	相馬	5	1.23
平均値				1.35

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28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)	5.5E+01	4.4E+01
Cs-134年間摂取量(Bq/y)	1.0E+01	8.4E+00
Cs137線量(mSv/y)	7.1E-04	5.8E-04
Cs134線量(mSv/y)	2.0E-04	1.6E-04
線量合計(mSv/y)	9.1E-04	7.4E-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)	2.5E+02	4.0E+02	3.9E+02	3.5E+02	3.7E+02	3.7E+02	4.1E+02	4.6E+02	4.7E+02
	Cs-134年間摂取量(Bq/y)	3.5E+01	5.5E+01	5.4E+01	4.9E+01	5.2E+01	5.2E+01	5.7E+01	6.4E+01	6.6E+01
	Cs-137年間線量(mSv/y)	2.4E-03	4.0E-03	5.1E-03	4.5E-03	4.8E-03	4.8E-03	5.3E-03	5.9E-03	6.2E-03
	Cs-134年間線量(mSv/y)	4.6E-04	7.7E-04	1.0E-03	9.2E-04	9.8E-04	9.8E-04	1.1E-03	1.2E-03	1.3E-03
	Cs-(134+137)年間線量(mSv/y)	2.9E-03	4.7E-03	6.1E-03	5.5E-03	5.8E-03	5.8E-03	6.4E-03	7.1E-03	7.4E-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)	2.5E+02	3.6E+02	3.2E+02	3.1E+02	3.3E+02	3.3E+02	3.9E+02	4.4E+02	4.2E+02
	Cs-134年間摂取量(Bq/y)	3.5E+01	5.0E+01	4.5E+01	4.3E+01	4.6E+01	4.6E+01	5.5E+01	6.1E+01	5.8E+01
	Cs-137線量(mSv/y)	2.4E-03	3.6E-03	4.2E-03	4.0E-03	4.3E-03	4.3E-03	5.1E-03	5.7E-03	5.4E-03
	Cs-134線量(mSv/y)	4.6E-04	7.0E-04	8.6E-04	8.2E-04	8.8E-04	8.7E-04	1.0E-03	1.2E-03	1.1E-03
	Cs-(134+137)年間線量(mSv/y)	2.9E-03	4.3E-03	5.1E-03	4.9E-03	5.2E-03	5.1E-03	6.2E-03	6.9E-03	6.5E-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

	¹³⁴ Cs			¹³⁷ Cs			⁹⁰ Sr			⁴⁰ 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		
カブ(根)		ND		0.03	±	0.01	0.021	±	0.002	88.5	±	0.5	616	±	7	293	±	2
カブ(葉)		ND		0.15	±	0.01	0.115	±	0.007	170.0	±	1.0	2530	±	91	1931	±	2
キャベツ	0.06	±	0.01	0.52	±	0.02	0.106	±	0.004	68.9	±	0.6	938	±	18	397	±	1
カボチャ		ND		0.16	±	0.03	0.016	±	0.002	150.0	±	1.4	1175	±	17	839	±	2
ジャガイモ		±	0.03	0.22	±	0.03	0.006	±	0.001	130.0	±	1.5	616	±	11	374	±	1
トマト		ND			ND		0.006	±	0.001	81.5	±	0.6	1387	±	60	158	±	0
タマネギ		±	0.02	0.10	±	0.01	0.011	±	0.002	51.3	±	0.5	905	±	42	261	±	2
ナガネギ		±	0.08	0.46	±	0.03	0.059	±	0.004	61.8	±	1.1	467	±	47	382	±	2
ナシ		±	0.03		ND		0.005	±	0.001	45.8	±	0.8	723	±	32	183	±	0
ジャガイモ		ND		0.08	±	0.02	0.006	±	0.001	119.9	±	1.0	180	±	5	313	±	2
トウガン		±	0.10		ND		0.010	±	0.003	45.4	±	0.3	121	±	3	177	±	0
スイカ		ND			ND		0.020	±	0.003	44.4	±	0.6	238	±	4	212	±	2
ホウレンソウ		ND		0.15	±	0.02	0.034	±	0.003	270.0	±	1.3	480	±	22	638	±	10
玄米	0.12	±	0.02	1.01	±	0.03	0.012	±	0.002	73.2	±	0.9	1101	±	31	990	±	5
玄米		ND		0.42	±	0.02	0.022	±	0.002	50.7	±	0.7	1169	±	31	1192	±	12
玄米		ND		0.11	±	0.01	0.020	±	0.003	61.0	±	0.5	1092	±	49	1203	±	5

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)	1.3E+01	2.1E+01	1.6E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.5E+01	1.7E+01	1.9E+01
	Sr-90年間線量(mSv/y)	6.2E-04	1.3E-03	1.3E-03	3.9E-04	4.0E-04	3.9E-04	4.2E-04	4.9E-04	5.2E-04
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)	1.3E+01	1.9E+01	1.4E+01	1.3E+01	1.4E+01	1.3E+01	1.5E+01	1.7E+01	1.6E+01
	Sr-90年間線量(mSv/y)	6.1E-04	1.1E-03	1.1E-03	3.6E-04	3.9E-04	3.7E-04	4.3E-04	4.8E-04	4.6E-04

表8 農畜産物摂取による線量推定結果 (平成 29 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	5.7	6.1
コメ	18.9	16.2
芋類	1.1	1.2
葉菜類	3.8	4.3
根菜類	0.8	0.9
豆類	0.0	0.0
果菜類	24.5	32.3
乳製品	1.6	2.6
牛肉	0.9	0.8
豚肉	2.5	2.4
鶏肉	1.2	1.1
鶏卵	1.4	1.5
その他	33.3	24.8
牛乳	4.4	5.8

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 量子科学技術研究開発機構

研究要旨

EU における食品中の放射性物質に対する規制値等の設定変更に関する背景や、東電福島原子力発電所 (FDNSP) 事故後の食品モニタリングデータを使用して算出された、内部被ばくに関する文献等についてまとめることを目的に、EU における食品中の放射性物質の規制値(1987 年の制定と 2016 年の改定、一般食品、マイナーフードの選定基準や基準設定根拠等)及び FDNSP 事故後の輸入食品等に関する規制値について、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た。また食品中の放射性物質に関する研究の調査として、「東電福島原子力発電所事故後の食品中の放射性物質モニタリングデータを用いた内部被ばく線量の推定に関連する研究論文」に関する資料を作成した。

B. 研究方法

A. 研究目的

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、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、EU における食品中の放射性物質の規制値等の設定変更の背景や食品モニタリングデータを使用して算出された内部被ばくに関する研究論文情報を収集した。

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。EU における食品中の放射性物質の規制値(1987 年の制定と 2016 年の改定、一般食品、マイナーフードの選定基準や基準設定根拠等)及び FDNSP 事故後の輸入食品等に関する規制値について、調査を行った。また食品中の放射性物質に関する研究の調査として、これまでの「東電福島原子力発電所事故後の食品中の放射性物質

モニタリングデータを用いた内部被ばく線量の推定に関連する研究論文」の収集と整理を行った。

(1) EUにおける食品中の放射性物質の規制値等の設定変更の背景に関する調査

下記の資料を中心に、内容を取りまとめた。

1. COUNCIL REGULATION (Euratom) 2016/52 of 15 January 2016, Official Journal of the European Union, L13, の2-11ページ部分.
2. COUNCIL REGULATION (EURATOM) No 3954/87 of 22 December 1987 laying down maximum permitted levels of radioactive contamination of foodstuffs and of feeding stuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency.
3. EU Radiation Protection Publication 105 (EU Food Restriction Criteria for Application after an Accident), 1998.
4. COUNCIL DIRECTIVE 2013/51/EURATOM of 22 October 2013 laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption.
5. COUNCIL DIRECTIVE 87/600/Euratom of 14 December 1987 on Community

arrangements for the early exchange of information in the event of radiological emergency.

6. COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 297/2011 of 25 March 2011 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station.
7. COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 351/2011 of 11 April 2011 amending Regulation (EU) No 297/2011 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station.
8. COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 961/2011 of 27 September 2011 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station and repealing Regulation (EU) No 297/2011 .
9. COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 284/2012 of 29 March 2012 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station and repealing

Implementing Regulation (EU) No 961/2011.

10. COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 996/2012 of 26 October 2012 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station and repealing Implementing Regulation (EU) No 284/2012.

11. COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 322/2014 of 28 March 2014 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station.

(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、文献データベースの検索により、「東電福島原子力発電所事故後の食品中の放射性物質モニタリングデータをを用いた内部被ばく線量の推定に関連する研究論文」に関する情報を収集した。

C. 研究成果

(1) EUにおける食品中の放射性物質の規制値等の設定変更に関する調査

EUにおける食品中の放射性物質規制に関する経緯を、基準値の考え方、介入レベルの設定、代表核種の選定などについて整理した。またFDNSP事故後の対応の概要についても整理を行った。成果は資料-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やJ-Globalなどにおいて、2011年以降で、“Food contamination”, “radioactive”, “exposure”, “regulation”の用語で検索を行ったところ、367件の論文が抽出された。さらに“monitoring”を追加、絞り込みを行い、156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、15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、資料-1にまとめた。

D. 考察

(1) EUにおける食品中の放射性物質の規制値等の設定変更の背景に関する調査
FDNSP 事故への対応として、実施規則 (Implementing Regulation) を設定して対応が行われた。日本の規制当局が示すモニタリング結果を踏まえた輸出規制が、EU の 規則と異なるものであったため、それとの整合性を持たせるために実施規則の内容が変更され、その後も日本側の対応との整合をとりなが

ら実施規則の改訂が行われたことが明らかになった。

(2)「食品中の放射性物質に関する研究論文」の収集と整理

食品中の放射性物質に関する研究論文については、詳細情報整理の成果として 15 件を選択し、まとめた。

E. 結論

EU における食品中の放射性物質の規制値等の設定変更に関する資料、および「食品中の放射性物質の規制値の見直しや被ばく線量の推定等の文献調査」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の見直しや被ばく線量の推定等の文献調査

目的

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、EU における食品中の放射性物質の規制値等の設定変更の背景や東電福島原発事故後の食品モニタリングデータを使用して算出された内部被ばくに関する文献等についてまとめることを目的とする。

第1部 EU における食品中の放射性物質に係る規制について

第2部 食品中の放射性物質に関する研究の調査

第1部 EUにおける食品中の放射性物質に係る規制について

1. 調査業務の目的

EUにおける食品中の放射性物質に係る規制値設定の経緯、根拠等について、仕様書で提示された課題文献（付属資料 1-1）及びその関連文献を用いた整理を行う。注目する事項は以下の通りとする。

- ・食品区分（一般食品、マイナーフーズ等）
- ・規制値の設定の考え方

2. EUにおける食品中の放射性物質規制に係る経緯

EUにおける放射性物質に係る安全基準としては、国際放射線防護委員会（ICRP）等の動向を踏まえ、基本安全基準（BSS、指令 3954/59/EURATOM、指令 80/836/EURATOM、指令 84/467/EURATOM）で対応していた。

チェルノブイリ事故が発生した当時、原子力事故の結果として汚染された食品を扱うための包括的な国際的ガイドラインはなかった。CODEX（食品国際規格）は、各国でとられる対策は緊急時計画の調和をとる必要があるとして、その規格作りに着手し、CODEX 委員会がその最初の規格を公表したのは 1989 年のことであった（CAC/GL 5-1989）。

一方、EU がチェルノブイリ事故対応として、最初の基準を示したのは 1987 年（規則 3954/87）であったが、その時点では整備されていない項目があり、記載された具体的な内容は乳製品と一般食品のみで、幼児用食品、マイナーフーズ及び家畜用飼料については、その後に出された修正等で対応された。

表 1.2.1 EU 規則における食品区分

規制対象食品区分	導入規則	年月日
幼児用食品	規則 2218/89	1989 年 7 月
乳製品	規則 3954/87	1987 年 12 月
一般食品（マイナーフーズを除く）	規則 3954/87	1987 年 12 月
液体状食品	規則 2218/89	1989 年 7 月
家畜用飼料	規則 770/90	1990 年 3 月

2011 年に発生した福島原子力発電所事故への対応として、EU は 2011 年 3 月 25 日に実施規則 297/2011 を発表した。その内容は、上記の規則 3954/87（含む修正版）に基づいて日本の汚染地区からの輸入食品に対する規制を行うものであった。しかし、事故への対応としての日本規制関連機関が公表する対応策が EU の基準と整合性がないものであったた

め、より効率的な規制を実施するため、規制の枠組み（規制対象核種、規制値等）を日本側が実施する出規制と整合性のあるものへと修正を行った（実施規則 351/2011、2011 年 4 月 11 日）。事故後の状況の変化に対応するように日本側の輸出規制の内容に変更が行われ、それらと整合性を持たせるように EU は実施規則の修正で対応を行ってきている。

福島事故へは上記の通り実施規則（implementing regulation）で対応してきたが、規則（regulation）自体はそのままとされていた。EU は国際的な安全基準への適合性を考慮しながら、2013 年には EU としての BSS を改訂した（指令 2013/59/EURATOM）。これらの動きを踏まえ、2016 年 1 月 15 日、EU はそれまでの規則 3954/87（及びその修正版）を廃止し、新しい規則 2016/52 を導入した。ただし、この規則の規制対象食品区分、規制対象核種及び基準値は、それまでの規則 3954/87 及びその修正版でまとめられてきたものと同じである（食品区分の定義等に若干の表現上の相違はある）。

上記で EU が示してきた食品中の放射性物質に係る規制については、規則・実施規則及びその修正版のリストを付属資料 1-2 に示す。

3. 仕様書に基づく調査方針について

上記の経緯を踏まえ、本調査業務による EU の食品中の放射性物質に係る規則の内容についてのとりまとめを、以下の 2 つの観点で整理することとした。

①規則 2016/52 及びその前身である規則 3954/87 で規定されている重要事項の整理

対象課題文献：7.1.1、7.1.2、7.1.3、7.1.4 及び 7.1.5（付属資料 1-2 参照）

EU の”Radiation Protection 105（課題文献 7.1.3）”を出発とし、CODEX/WHO 等の他の国際機関の関連文献の調査を行い、以下の観点での整理を行う。

- ・食品カテゴリー設定の考え方
- ・許容レベル設定の考え方

②福島事故への対応の経緯

対象課題文献：7.1.6、7.1.7、7.1.8、7.1.9、7.1.10 及び 7.1.11（付属資料 1-2 参照）。

前述した通り、日本政府の発表に対応する形で基準を適宜改訂しながら対応してきたという経緯がある。ただし、EU の文献では、何時の時点でどこが発表した内容に基づいて対応を変えてきたかについては、説明がなされていない。従って、日本の規制関連機関が発表してきた資料を収集整理し、福島対応で EU が行ってきた規則の改訂内容との関連性を比較しながら整理を行う。

4. EUにおける食品中の放射性物質規制

4. 1 食品中の放射性物質規制基準の考え方

4. 1. 1 基本的考え方

(1) 基本式

食品中の放射性物質の量に係る基準を、具体的に **Bq/kg** の形の誘導レベルとして評価するための考え方の基本は以下の式で示される。

$$C F I L = E / (f \times D \times I \times C)$$

E：事故でもたらされた汚染した食品の年間の消費から生じる、参照個人実効線量（或いは介入レベルを個人の実効線量で示した値）。単位は **mSv/年**。

C F I L：特定の食品グループ、核種カテゴリーごとの誘導レベル毎の放射能濃度限度。単位は **Bq/kg**。

f：当該食品の個人による消費における年平均の放射能濃度についての判断を示す因子で、放射能濃度限度に対する割合で示す。チェルノブイリ事故後に行われた EU での実験では、0.1 と評価されている。

D：食品摂取に伴う線量係数である。単位は **Sv/Bq**。

I：当該食品の年間消費量。単位は **kg/年**。

C：一般食品（マイナーフーズ以外）のカテゴリーにおいて、対象とする食品の加算性への対応を取り入れるための修正係数である。半減期が数週間以上の核種の場合はこの係数の値は 5、放射性ヨウ素のように半減期が数日間程度の核種の場合は 1 と評価されている。

(2) 参考文献

上式は食品の汚染規制に関する基本式であり、同様な式について解説が記載されている文献として以下のものがあり、それらの文献での表現は若干異なるが、本質的には同じ考え方である。

[参考文献]

1-01) "Radiation protection 105, EU Food Restriction Criteria for Application after an Accident" 1998

この文献は仕様書において課題文献とされたものの一つであり、1998 年の時点での食品に係る基準策定の考え方が示されている。

1-02) "Underlying data for derived emergency reference levels Post-Chernobyl action – Final report", EUR 12553 EN, 1991

詳細な食品関連データと共に、評価の考え方が記載されている。

1-03) "DERIVED INTERVENTION LEVELS FOR RADIONUCLIDES IN FOOD

- Guidelines for application after widespread radioactive contamination resulting from a major radiation accident", WHO, 1988

実際には、いくつかの食品毎・食品グループ毎に評価を行う必要があり、具体的なデータを用いた計算事例も併せて紹介されている。また、実際の計算で用いているデータの値の根拠についても解説が行われている。

1-04) "Criteria for Radionuclide Activity Concentrations for Food and Drinking Water", IAEA TECDOC-1788, 2016

これまでの重要な文献と共に、食品・飲料水における放射性物質の濃度基準策定の考え方、根拠についてレビューを行っている。

4. 1. 2 介入レベルの設定

(1) 介入レベルの設定

チェルノブイリ事故以前から、どの程度の被ばくが予想される場合防護対策を実施するかについての介入レベルについては、いくつかの考え方が提示されていた。ここではまず、IAEA の文献で示されている介入レベルについて紹介する。IAEA は事故中期 (intermediate phase) の防護対策として、食品・飲料水の制限を実施する介入レベルとして 5~50mSv (事故後最初の 1 年間) を提唱していた (IAEA Safety Series 72, 1985, TABLE V)。一方、ICRP はこの問題に対して、事故後最初の 1 年間での線量として 5~50mSv を提案していた (ICRP Publication 40, 1984)。チェルノブイリ事故後の対応として、WHO は、「正当化」という概念からは介入レベルとしては 5mSv が妥当であるとして、この値に基づく評価方法について解説を行っていた (先の文献 1-03, 1988)。

一方、ICRP Publication 43 (1985) では、1985 年の ICRP 声明の以下の文を引用している。

「委員会は、公衆の構成員の確率的影響について、放射性物質に対する被曝からの預託実効線量当量は、いかなる 1 年間においても 5mSv に制限されるべきこと、また、長時間にわたって繰り返される被曝に関してはさらに、終生にわたる被曝の各 1 年につきこれを 1mSv に限定するのが賢明であろうと勧告している。」

即ち、被ばくが長期に及ぶ場合は、介入免除レベルとして 1mSv/年が提示されていたのである。

CODEx では、チェルノブイリ事故後の対応として、CAC/GL 5-1989 において、介入レベルについて以下の考え方を示していた。

「5mSv は、事故による被ばくに対する参照レベルとして採用された。ほとんどの放射性核種に関して、この値は、事故 1 年後までの期間における食物摂取がもたらす預

託実効線量当量を示している。十分に安全側の仮定が採用されており、このレベルを適用すれば、個人の被ばく線量が 1mSv よりも高いものとなることはありそうもない。」

この内容については、ICRP の 1987 年 COMO 会議声明でも繰り返されている。

このような観点から、CODEX では介入免除レベル 1mSv/年に基づく基準を策定したものと考えられる (CODEX STAN 193-1995)。

同様に、EU においてもこれらの動きを踏まえ、介入免除レベルとして 1mSv/年を採用している。

(2) 参考文献

2-01) IAEA Safety Series 72, 1985

2-02) ICRP Publication 40, 1984

2-03) ICRP Publication 43, 1985

2-04) CAC/GL 5-1989, “Guideline Levels for Radionuclides in Foods Following Accidental Nuclear Contamination for Use in International Trade”

2-05) ” GENERAL STANDARD FOR CONTAMINANTS AND TOXINS IN FOOD AND FEED”, CODEX STAN 193-1995

注 1) 上記において ICRP Publication 43 (1985) から引用されているのは、ICRP の 1985 年パリ声明であり、翌年に発表される新しいデータ DS86 の大まかな結論はその時点で既知のものであったと考えられる。広島や長崎の原爆被爆者の健康影響調査に基づく放射線リスク評価データである DS86 は、1986 年に導入された。

注 2) 上記において、5mSv は事故後 1 年間に適用するためのものであり、1mSv は長期間に渡って汚染が継続する状況を想定している。

4. 1. 3 代表核種の選定

(1) 代表核種

1-1) 基本的考え方

実際の原子炉事故で環境中へ放出される放射性核種は、原子炉の型、事故の種類等によって異なる。そもそもの原子炉内での発生量、半減期等を考慮し、かつ野菜等の食品の生態によっても実質的には影響を受ける。原子炉の事故解析の分野では、ソースタームの言葉で研究されてきた課題であり、先の文献 1-03)では、WASH-1400 等の米国で 1970 年代に行われた研究を事例として挙げている。それらの研究の成果として、Sr の放射性同位体（代表は Sr-90）、Cs の放射性同位体（代表は Cs-134,

Cs-137)、そして Pu-239 に代表されるアクチニドが挙げられる。食品安全という観点からは、これらの特定の放射性核種を対象として規制することで、他の放射性核種についても規制することが可能という考え方である。代表核種選定の重要な要因として、食品検査では膨大な量のサンプルを検査することになるので、比較的、短時間に検査ができる核種を対象とすることが必要となる。

EU の規則 3954/87 で、チェルノブイリ事故対策として食品中の放射性核種に対する規制が導入されたのであるが、事故後の対応について整理し報告書の形で公表されたのが先に挙げた文献 1-02) (EUR 12553 EN, 1991) である。事故後 5 年が経過しているが、事故直後からの EU における検討の結果を踏まえたものと考えられるので、以下の規制対象核種についてどのように記載されているかを整理する。

表 4.1.1 主要核種がもたらす影響

元素	人体影響
Sr	人体中では骨の Ca 成分と入れ替わるため bone-seeker と評価される。成人よりは、幼児・小児で吸収されやすく、体内滞在期間は短いとされる。線量変換係数 Sv/Bq は若いほど大きいという傾向がある。
Ru	体内摂取後、器官・組織によって差はあるがほぼ一様に分布するようになる。体内に摂取したうちの 15% は直接排泄され、残りは体内に一様に分布するようになるが、生物学的半減期については、数日から 1000 日の範囲である。線量変換係数は、体重差による影響を受ける。
I	体内摂取後、すぐに血液中に排出される。食物及び水（ミルクを含む）で体内吸収に差がない。甲状腺摂取後は、有機物質として血液中に出ていく。幼児では甲状腺への取り込みは大きくなる。器官の種類に限らず、若いほど線量変換係数は大きい。
Cs	摂取された可溶性の Cs は、ほぼ完全にかつ急速に消化器官から体内に取り込まれる。血液を経由して身体的全組織に一様に分布するようになる。生物学的半減期としては、2 日、及び 110 日という 2 つの成分があるとされている。小児・幼児では、半減期は短くなる。年齢が低いほど線量変換係数は大きく、かつ Cs-137 よりも Cs-134 のほうが若干大きい。
Pu,Am	体内に摂取後、血液を経由して肝臓及び骨に蓄積されるが、生物学的半減期は肝臓で 20 年、骨で 50 年とされている。分配される割合は両器官とも 0.45 で、残りは他の組織・器官とされているが、短期間では異なり評価値もある。幼児・小児では、Pu の分布は摂取時の年齢に依存し、若い時ほど骨に蓄積する割合が多い。線量変換係数は、若い時に摂取したほど高く、骨表面に蓄積する場合が他の器官・組織よりも高くなる。

出典：EUR 12533EN, 1991

1-2) EU 基準における考え方

①先述したように、誘導レベルは注目する核種の線量変換係数に反比例する。ただし、核種毎に誘導レベルを設定していたのでは、膨大な量のサンプルを処理する

現場では作業効率が悪くなるので、性質が類似したものを一括りとしている。

- ②EU の基準は、先述したように、規則 3954/87（含む修正版）と規則 2016/52 で規制上の核種のカテゴリー分け、そして誘導レベルは同じである。

表 4.1.2 核種区分

核種グループの定義	説明
Sr の同位体合計、特に Sr-90	骨に蓄積する性格が強く、かつ Sr-90 は半減期が長い。
I の同位体合計、特に I-131	事故直後に放出される代表的核種であり、甲状腺に蓄積され、甲状腺がんのリスクが懸念され、小児集団への影響が指摘されている。
Pu 及び超 Pu 元素の α 放出核種の合計、特に Pu-239, Am-241	そもそも長半減期核種であり、生物学的半減期も長く長期に渡り体内に残る核種である。骨や肝臓に蓄積され、リスクが高い。
半減期が 10 日以上その他の核種の合計、特に Cs-134, Cs-137 (C-14 及び H-3 は除く)	半減期の長さで定義され、対象となる核種も多岐にわたる。Cs-134, Cs-137 は事故後に放出される代表的な核種であり、かつ半減期も長い。

出典：参考文献 1-01)

- ③上記の核種カテゴリーにおいて、4 番目のカテゴリーについては定義が広いため、文献 1-01) では、そのカテゴリー分けについて検討がなされたことが紹介されている。属する核種の数が多いが、Cs 及び Ru よりも線量変換係数の値は小さい。即ち、このカテゴリーは主として Cs 及び Ru の放射性同位体に汚染された食品がもたらす被ばく線量を制限するためのものである。このカテゴリーについて再検討がなされ、線量変換係数のオーダーでカテゴリー分けする案等が俎上に上がったものの、EU の作業グループで合意が得られず変更されなかった。

1-3) 核種カテゴリーについての他の事例

基本的なカテゴリー区分について、文献 1-01) では必ずしも明確な定義づけをしているわけではない。CODEX の食品中の放射性核種の濃度に係る基準構築の考え方を付属資料 1-3 に示す。基本的には、事故で放出される可能性が高いとされる核種毎に許容濃度限度（誘導レベル）を計算しておき、それらの数値を丸め、丸めた値でクラス分けしている。また、IAEA (IAEA Safety Series No.109, Annex 1, 1994) の中で、実施する対策に伴う費用（特定の食品を市場から撤去する費用）という観点でこの問題について検討しており、本質的には同じ結果を得ている。

(2) 参考文献

ソースタームに係る文献（参考文献 1-03 で参照されている文献）

1. ALPERT, D.J. ET AL. Relative importance of individual elements to reactor

accident consequences assuming equal release fractions. Albuquerque, NM, Sandia National Laboratories, 1986 (Report NUREG/CR-4467 (SAND85-2575)).

2. CHARLESD, . ET AL. Contributions of nuclides and exposure pathways to the radiological consequences of degraded core accidents postulated for the Sirewell PWR. London, HdSO, 1983 (Report NRPB-MIOO).

3. USNRC. Reactor safety study: an assessment of accident risks in US commercial nuclear power plants. Washington, DC, USNRC, 1975 (Report WASH-1400, App. V1 (NUREG-75/014)).

4. 1. 4 対象食品の区分

食品の消費量は、食品項目、地域等の要因によってかなり差があるが、それらを踏まえた上で、安全側の仮定のもとに消費量を設定している。ただし、食品の区分毎にその仮定の成立が困難な場合もあり、いくつかのカテゴリーに分けて誘導レベルを評価している。EU の規則では食品カテゴリーとして幼児フード、乳製品、マイナーフーズ、他の食品及び液状フーズの5つが導入されている。各カテゴリーで食品中の放射性核種濃度についての誘導レベルが異なるのは、カテゴリー間でそれらの食品カテゴリーの消費量が異なることを反映したものである。

(1) 全体の消費量

EU の規則がどのような考え方で策定されたかを示している文献 1-01) では食品カテゴリー毎に消費量の評価データが示されている。

表 4.1.3 食品の消費量

食品項目	1 才児	EU 成人	
		下限値	上限値
幼児食品	35kg (半年間)	-	-
乳製品	200kg	49kg	206kg
ポテト	10kg	35kg	126kg
肉	10kg	55kg	106kg
果物	20kg(果物+野菜)	52kg	172kg
野菜	-	71kg	156kg
穀物	20kg	58kg	115kg
液体状食品 (飲料水を含む)	250 リットル	600 リットル	-

出典：文献 1-01)

先述した CODEX では、「幼児食品」と「幼児食品以外の食品」の2つのカテゴリーが設定されており、幼児食品以外の食品については平均的な値として 550kg を用いている（付属資料 1-3 参照）。EU 規則で用いられている食品項目カテゴリーに上表を当てはめると、271～675kg となり、CODEX では比較的高いレベルの値を用いていることが分かる（左欄の「ポテト」から「穀物」までの合計に CODEX の「幼児食品以外の食品」が対応すると考える）。

(2) 消費量に係る仮定

①誘導レベルの算定において、上記の食品消費量のうち、10%が事故で汚染された地域からのもの、90%が非汚染地域からのものであると仮定されている。最初に示した誘導レベルの算定式において、 f と記載された因子がこの効果を示しており、計算式において $f=0.1$ とおく。

②食品項目のうち、例えばスパイス類の消費量は他の食品と比較してかなり低いものであることは十分に想定される。その影響を考慮するために、EU 規則では「マイナーフーズ」という食品カテゴリーが設けられている。EU 規則では、この効果については規則 944/89 で具体的な対象となる食品項目が示され、誘導レベルについては一般食品の 10 倍とすることが示された（具体的な消費量については言及されていない）。このことは、マイナーフーズの消費量が少ないため、介入レベルの 1mSv に相当する誘導レベルとしては、一般食品よりも高いものとなることを示している。この 10 倍とする根拠については、IAEA の文献に以下の記載がある。

「一人あたりの年間消費量が少ない食品については（10kg 未満）、誘導レベルを一般食品の 10 倍以上とすることが可能である。」（IAEA Safety Series No.109 の頁 51 の TABLE V.）

尚、CODEX では検討はされたようではあるが、マイナーフーズという概念は用いられていない（CODEX の 1989 年ハーグでの会議等、文献 1-03 には 10 倍という記載はある）。

③EU 規則、CODEX が示す基準は、非常に広範な地域を対象としており、実際には国ごと、地域ごとに食品の消費パターンは異なる。そのため、特殊な地域での誘導レベルについては、その地域特性を踏まえた対応が必要となる。

(3) 飲料水の扱い

①飲料水については、地域差が大きいとされている。

②EU 規則では、“Liquid foods”としてのカテゴリーに組み込まれており、文献 1-01)では介入レベルに汚染されている飲料水は 1%とされている。

③WHO では、成人の飲料水の年間消費量として 700 リットルが仮定されている（文献 1-03）。緊急時というわけではないが、一般的な基準として WHO は飲料水に関するガ

イドラインを示している（Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition, 2011、Table 9.2、日本語訳有）。

注）上記の **Liquid food** のカテゴリに対し、介入レベルに汚染されたものの割合が 1% と想定されていることの理由として、文献 1-01)では以下のように説明されている。

「多くの EU 加盟国において、飲料水の多くは地下水として供給されており、事故による降灰物の影響を直接受けることはない。水源間の相互供給網により、多くのケースにおいて、原子力事故・緊急事態の影響を受けた地域へ、非汚染水を供給することが可能である。従って、供給源の全般的な汚染ということはないという可能性が高い（f 値が極めて小さい）。ただし、他の水供給源を利用できない地域では、飲料水の水源或いは河川が広く汚染されるということが起きうる。そのような状況が発生した場合は、規制当局が放射線学的影響を評価し、可能な対応策を検討することとなる。その場合、市場の動向に委ねるというのではなく、健康影響という観点から規制当局による介入が行われる。」

4. 2 福島事故対応における EU 食品規制基準

4. 2. 1 対応の概要

原子力事故による食品汚染規制への対応の基本は、チェルノブイリ事故後に設定された規則 3954/87（及びその修正等）で対応することが決まっていたが、2011 年 3 月 11 日に発生した福島第一原子力発電所事故への対応として、実施規則（**Implementing Regulation**）を設定して対応が行われた。最初の段階では、それまでの規則 3954/87 で対応するための実施規則であったが、日本の規制当局が示すモニタリング結果を踏まえた輸出規制が、EU の規則と異なるものであったため、それとの整合性を持たせるために実施規則の内容が変更され、その後も日本側の対応との整合をとりながら実施規則の改訂が行われた。

食品の放射線検査対象は時折見直しが行われていたが、それらは必ずしも実施規則の改訂・修正という形はとっていなかったようである。

以下においては、放射性セシウム等による食品の汚染許容基準がどのように変更されたかに注目した動向を整理する。なお、本調査では、福島事故対応ということでは、実施規則 2017/2058（2017 年 11 月 10 日）までを対象とした。

4. 2. 2 福島対応の実施規則変更経緯

以下において、EU が福島事故に対して、食品規制にどのように対応したかを時系列的に整理する。

(1) 実施規則 297/2011 (2011 年 3 月 25 日)

1-1)許容レベル

表 4.2.1 食品中の放射性物質の許容限度 (EU 実施規則 297/2011)

	食品				飼料
	幼児食品	乳製品	他の一般食品 (マイナーフーズを除く)	液体食品	
放射性 Sr、特に Sr-90、の合計	75	125	750	125	
放射性 I、特に I-131、の合計	150	500	2,000	500	
Pu 及び超 Pu の α 放射性同位体の合計、特に Pu-23,Am-241	1	20	80	20	
半減期が 10 日より長い他の放射性核種の合計、特に Cs-134,Cs-137(C-14, H-3 及び K-40 を除く)	400	1,000	1,250	1,000	豚 : 1,250 家禽類、子羊、子牛 : 2,500 その他 : 5,000

注 1) 上記は規則 3954/87 (及びその修正版) と同じ。

2) マイナーフーズに対する許容レベルは、「他の一般食品」の 10 倍 (規則 944/89)。

1-2)輸入制限対象外

- ①2011 年 3 月 11 日以前に収穫・加工されたものであること。
- ②福島県、群馬県、茨城県、栃木県、宮城県、山形県、新潟県、長野県、山梨県、埼玉県、東京都及び千葉県以外からの食品であること。
- ③上記地域 (②で示した地域) からの食品である場合は、I-131、Cs-134/137 のレベルが先の 1-1)で示したレベル以下であることを示すこと。

(2) 実施規則 351/2011 (2011 年 4 月 11 日)

2-1)日本の防護対策への対応

- ①日本の厚生労働省は 3 月 17 日、「飲食物摂取制限に関する指標」を暫定規制値とし、これを上回る食品については食品衛生法第 6 条第 2 号に基づき規制を行うこととした (具体的には後述する)。
- ②この内容は同日付で EU へも通知され、その行動レベルは暫定的なものであるとされ、日本側規制当局からは、「日本国内の市場で流通することが許可されない生産物に対しては、輸出も認められない。」と説明された。その後、日本側の行動レベルは、長期間適用されることが明らかになってきた。
- ③従って、日本の規制当局による輸出前管理と、EU 域内に入ってくる日本に由来する或いは日本から輸送される飼料・食品に対して行われる管理の間で、整合性をとることが適切であるとされた。即ち、日本側の管理基準が EU の管理基準より

低く設定されている限り、日本からの輸入食品に対しては日本の行動レベルと同じ基準を暫定的に課すことが妥当と判断された。

2-2)許容レベル（下表で朱書き部分は、変更点）

表 4.2.2 許容限度の変更（EU 実施規則 351/2011）

	食品				飼料
	幼児食品	乳製品	他の一般食品 （液体食品を 除く）	液体食品	
放射 性 Sr、特に Sr-90、の合計	75	125	750	125	
放射性 I、特に I-131、 の合計	100	300	2,000	300	2,000
Pu 及び超 Pu の α 放 射性同位体の合計、 特に Pu-23,Am-241	1	1	10	1	
半減期が 10 日より長 い他の放射性核種の 合 計、特 に Cs-134,Cs-137(C-14, H-3 及び K-40 を除 く)	200	200	500	200	Cs-134/137 合計 : 500

2-2)輸入制限対象外

- ①福島県、群馬県、茨城県、栃木県、宮城県、山形県、新潟県、長野県、山梨県、埼玉県、東京都及び千葉県以外からの食品に対しては、変更された許容レベル以下であることを示すこと。

(3) 実施規則 961/2011（2011 年 9 月 27 日）

3-1)許容レベル

- ①実施規則 351/2011（2011 年 4 月 11 日）から変更なし。

3-2)輸入制限対象外

- ①2011 年 3 月 11 日以前に収穫・加工されたものであること。
- ②福島県、群馬県、茨城県、栃木県、宮城県、山形県、新潟県、長野県、山梨県、埼玉県、東京都、千葉県、**神奈川県及び静岡県**以外からの食品であること。
（注：神奈川県と静岡県が追加された）
- ③上記地域（②で示した地域）からの食品である場合は、I-131、Cs-134/137 のレベルが先の 3-1)で示したレベル以下であることを示すこと。

(4) 実施規則 284/2012（2012 年 3 月 29 日）

4-1)輸入規制対象外

①2011 年 3 月 28 日以前に日本から搬出されたもの。

②2011 年 3 月 11 日以前に収穫・加工されたもの。

③酒、ウィスキー、焼酎。

注) 上記アルコール飲料については、CN コードでの分類で記載されている。このコードの最新版は実施規則 2016/1821 を参照。

4-2)食品に対する放射性セシウム許容基準

①日本で 2012 年 4 月から導入された新しい基準と整合させるために、EU 実施規則では以下の放射性セシウム許容基準が導入された。

表 4.2.3 日本の新基準へ適合させるために導入された基準
(食品)

	幼児用食品	乳製品	他の食品(以下を除く。 ・ミネラルウォーター及び類似飲料水 ・発酵していない葉からのお茶飲料 ・大豆及び大豆製品	ミネラルウォーター及び類似の飲料水、発酵しない葉からのお茶飲料
Cs-134/137 合計	50	50	100	10

(飼料)

	牛・馬の飼料	豚用飼料	家禽用飼料	魚用飼料
Cs-134/137 合計	100	80	160	40

注) この実施規則 284/2012 は、日本国内で行われてきた規制値の検討結果へ対応したものである。即ち、事故直後は暫定規制値で対応してきたのであるが、薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会での検討を踏まえ、「食品中の放射性物質に係る規格基準の設定について」(2011/12/22) が発表されたことを踏まえての EU としての対応である。

4-3)新基準導入のための移行措置

日本の規制当局が 2012 年 2 月 24 日に設定した、Cs-134/137 合計についての新しい基準へ適合させるための移行措置として、以下の対応が導入された。

a) 乳製品、2012 年 3 月 31 日以前に加工されたミネラル・ウォーター類は、200Bq/kg 以上の放射性セシウムを含んでいてはならない。 米、大豆及び 2012

年 3 月 31 日以前に加工された製品を除く、他の食品は 500Bq/kg 以上の放射性セシウムを含んではならない。

- b) 2012 年 9 月 30 日以前に加工・処理された米から製造される製品は、放射性セシウムを 500Bq/kg 以上含んではならない。
- c) 2012 年 12 月 31 日以前に収穫され、市場に出回った大豆は、500Bq/kg 以上の放射性セシウムを含んではならない。
- d) 2012 年 12 月 31 日以前に加工・処理された、大豆を用いた製品は 500Bq/kg 以上の放射性セシウムを含んではならない。

(5) 実施規則 996/2012 (2012 年 10 月 26 日)

5-1) 輸入規制対象外

- ①2011 年 3 月 28 日以前に日本から搬出されたもの。
- ②2011 年 3 月 11 日以前に収穫・加工されたもの。
- ③アルコール飲料 (CN コード 2203~2208)
 - 2203 : ビール (麦芽から製造)
 - 2204 : ワイン (ぶどうから製造)
 - 2205 : ベルモット
 - 2206 : 他の発酵飲料
 - 2207 : 非変性エチルアルコール (アルコール度数 80%以上)
 - 2208 : 非変性エチルアルコール (アルコール度数 80%未満)

注) CN コードの最新版は実施規則 2016/1821 を参照。

5-2) 日本の規制当局の暫定的な測定への対応

この事項については、実施規則 284/2012 (2012 年 3 月 29 日) から変更なし。

5-3) 放射性セシウムに関する規制

実施規則 284/2012 (2012 年 3 月 29 日) から変更なし。

(6) 実施規則 322/2014 (2014 年 3 月 28 日)

6-1) 規制対象地域の見直し

- ①日本国内で実施されている農産物等のモニタリング結果を踏まえ、規制対象地域の見直しが行われた。

6-2) 日本の規制当局の暫定的な測定への対応

この事項については、実施規則 284/2012 (2012 年 3 月 29 日) から変更なし。

6-3)放射性セシウムに関する規制

実施規則 284/2012 (2012 年 3 月 29 日) から変更なし。

注) この実施規則は、2015 年 3 月 31 日までに見直すとされていた。

(7) 実施規則 2015/328 (2015 年 3 月 2 日)

実施規則 322/2014 の一部修正版。

福島県からのお茶の輸入に係る宣誓書の扱いについて修正。

(8) 実施規則 2016/6 (2016 年 1 月 5 日)

実施規則 322/2014 を廃止し、規則適用に係る修正がなされた。放射性セシウムに係る基準としては、許容基準値についての変更はなかったが、乾燥食品（茶葉、マッシュルーム等）を元に戻した状態で濃度を評価することなどの注釈が付加された。

(9) 実施規則 2017/2058 (2017 年 11 月 10 日)

実施規則 2016/6 を修正。日本から EU 域内へ輸入される食品について、放射性セシウムに係る規制の対象となる食品の見直しが行われた。セシウムに関する許容基準値に変更はない。

4. 2. 3 日本の規制機関における対応状況

本節では、EU の対応に影響を与えたであろうと考えられる、日本の規制機関が実施してきた措置等について整理を行う。

(1) 厚生労働省の対応

付属資料 1-4 に、「薬事・食品衛生審議会（食品衛生分科会放射性物質対策部会）」に提出された資料に基づき、厚生労働省がどのような対応をとってきたかについて整理した。

1-1)事故直後の緊急的措置

厚生労働省は、事故直後の緊急的措置として、当時の原子力安全委員会により示された「飲食物摂取制限に関する指標」を暫定規制値とし、これを上回る食品については食品衛生法第 6 条第 2 号に基づき規制を行うこととし、各自治体に対して通知した (2011/3/17)。その後、暫くの間は、この「暫定規制値」で対応することとなった。

1-2)薬事・食品衛生審議会での検討

①審議会では、食品安全委員会での検討状況も踏まえながら、暫定規制値に代わる

基準の検討を進めた。食品安全委員会では、福島事故で放出された核種等を踏まえながら、「評価書 食品中に含まれる放射性物質」を発表した（2011/10）。その中では、小児期間における感受性の高さ、そして「累積線量として 100mSv 未満の健康影響について言及することは現在得られている知見からは困難であった」との見解が示された。

②薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会放射性物質対策部会資料(2011.10.31)では、厚生労働大臣発言要旨(2011.10.28 閣僚懇談会)をもとに、検討の方向について、以下の考え方が提示された。

- ・「現在の暫定規制値は、食品から許容することのできる線量を、放射性セシウムでは、年間 5 ミリシーベルトとした上で設定している。この暫定規制値に適合している食品は、健康への影響はないと一般的に評価され、安全は確保されているが、厚生労働省としては、より一層、食品の安全と安心を確保するために、来年4月を目途に、一定の経過措置を設けた上で、許容できる線量を年間 1 ミリシーベルトに引き下げることが基本として、薬事・食品衛生審議会において規制値設定のための検討を進めていく。」
- ・年間 1mSv とする根拠の一つとして、国際規格である CODEX でこの指標が用いられていること、そして食品中の放射性セシウムの検出濃度は、多くの食品で、時間の経過とともに相当程度低下傾向にあること、が提示されている。尚、審議会のこれまでの提出資料（2011/7/12）で、日本の暫定規制値を、CODEX、EU の基準と比較した結果が提示されている。

③「食品中の放射性物質に係る規格基準の設定について」（2011/12/22）

審議会での検討結果が、平成 23 年 12 月の部会で提出され、上記報告書として承認された。

1-3)規格基準の要点

表 4.2.4 新基準値

食品区分	放射性セシウムの基準値(Bq/kg)
飲料水	10
乳児用食品	50
牛乳	50
一般食品	100

上表の形で規格基準が提示されたのであるが、この形で整理されたことの理由については、以下のように説明されている。

①介入線量レベル（1mSv/y）

ALARA の考え方、そして CODEX で食品の介入免除レベルとしてこの値が採用

されていることによる。

②規制対象核種

- ・福島事故で大気中に放出された核種についての原子力安全・保安院の試算に基づきセシウム (Cs-134、Cs-137)、ストロンチウム (Sr-90)、ルテニウム (Ru-106)、プルトニウム (Pu-238、Pu-239、Pu-240、Pu-241) を規格基準における規制の対象となる放射性核種とする。
- ・放射性セシウム以外の核種は、測定に時間がかかるため、放射性セシウムとの比率を算出し、合計して1ミリシーベルトを超えないように放射性セシウムの基準値を設定する。
- ・放射性ヨウ素は、代表核種を I-131 として暫定規制値が設定されているが、福島原発事故による線量全体への寄与が大きいと考えられる放射性ヨウ素の中で、最も半減期が長い I-131 でも約8日であり、平成23年7月15日以降に食品からの検出報告がないことから、規制の対象とはしない。
- ・ウランは、現時点において福島原発の敷地内あるいは敷地外で測定されているウランの同位体比が、天然に存在するウランの同位体比に比べて変化が見られず、放出量は極めて少ないと考えられることから、規制の対象とはしない。

③食品区分

表 4.2.5 食品区分及びその設定理由

食品区分	設定理由	含まれる食品の範囲
飲料水	①すべての人が摂取し代替がきかず、摂取量が大きい ②WHO が飲料水中の放射性物質の指標値 (10Bq/kg) を提示 ③水道水中の放射性物質は厳格な管理が可能	○直接飲用する水、調理に使用する水及び水との代替関係が強い飲用茶
乳児用食品	○食品安全委員会が、「小児の期間については、感受性が成人より高い可能性」を指摘	○健康増進法（平成14年法律第103号）第26条第1項の規定に基づく特別用途表示食品のうち、「乳児用」に適する旨の表示許可を受けたもの ○乳児及び乳製品の成分規格等に関する省令（昭和26年厚生省令第52号）の乳（牛乳、低脂肪乳、加工乳等）及び乳飲料
牛乳	①子どもの摂取量が特に多い ②食品安全委員会が「小児の期間については、感受性が成人より高い可能性」を指摘	
一般食品	以下の理由により、「一般食品」として一括して区分 ①個人の食習慣の違い（摂取する食品の偏り）の影響を最小限にすることが可能 ②国民にとって、分かりやすい規制 ③コーデックス委員会などの国際的な考え方と整合	○上記以外の食品

(2) 農林水産省の対応

2-1)EU 規則への対応

食品中の放射性物質に係る安全基準については厚生労働省において対応がなされてきたが、それらの基準を実際の食品に適用し、検査等の結果を取りまとめたのは農林水産省であった。さらに、農林水産省は、農産物等の輸出という観点から輸出業者等への情報提供を行っており、EU 域内への輸出については、EU 規則への対応について支援を行っている。EU 規則・実施規則等に変更がなされる毎、そして制限地域等に変更があるたびに、関係機関へ情報を提供し、農林水産省のホームページ上でも提供されてきた。特定の都道府県で産出した食品に対しては、EU 規則で「EU の放射性物質基準に適合することの証明」を提出することが求められており、その事項について紹介が行われてきた。

注) 農林水産省食料産業局が対応してきた。

2-2)汚染検査結果の集約

日本国内各地で実施されている農産物等の汚染検査結果について、農林水産省は集約を行い、それらの全データは農林水産省のホームページ上で公開されている。

表 4.2.6 米検査結果概要

	検査点数		放射性セシウム基準値 (100Bq/kg) 以下		放射性セシウム基準値 (100Bq/kg) 超		放射 性 セシ ウム 基準 値 (100Bq/kg) の超過割合
			50Bq/kg 以下 〔検出せず〕を 含む)	50Bq/kg 超 100Bq/kg 以下	100Bq/kg 超 500Bq/kg 以下	500Bq/kg (暫定規制 値) 超	
24 年 度	全 袋 検 査 分	1,037 万	1,036 万	2,086	84	0	0.0008%
	抽 出 検 査 分	9,213	9,204	0	0	0	0%
～23 年度	26,464		25,063	809	553	39	2.24%

(注 1) 検出下限値以下は 50 Bq/kg 以下として集計。

(注 2) 24 年度の結果については、福島県及び宮城県の一部地域で実施した全袋検査を含む。

なお、25 年度に検査した 24 年産の米も含む（平成 26 年 2 月 28 日現在）。

(注 3) 23 年産の米については、一部地域で稲の作付制限を行った上で、その他の地域については収穫前と収穫後の 2 段階の調査体制により放射性物質調査を実施。

福島県の 23 年度末までの結果については、福島県で暫定規制値（500 Bq/kg）を超える放射性物質を含む米が検出されたことを受けて実施した緊急調査の検査結果を含む。

表 4.2.7 野菜検査結果概要

	検 査 点 数	放射性セシウム基準値 (100Bq/kg) 以下		放射性セシウム基準値 (100Bq/kg) 超		放射性セシウム基準値 (100Bq/kg) 超 500Bq/kg (暫定規制 値) 以下の品 目	500Bq/kg (暫定規制 値) 超の品目	放射性セシウム基準値 (100Bq/kg))の超過割合
		50Bq/kg 以下 (「検 出せず」を 含む)	50B q/kg 超 100Bq/kg 以下	100Bq/kg 超 500Bq/kg 以下	500Bq/kg (暫定規 制値) 超			
24 年 度	18,570	18,555	10	5	0	ハウレンソウ 注 1 アシタバ、レ ンコン、 クワイ、コマ ツナ注 1	—	0.03%
～23 年 度	12,671	12,130	156	246	139	(注 2)	(注 3)	3.0%

注 1：超過は各々 1 点のみであり、事故後に汚染された被覆資材の使用による交差汚染の可能性。

注 2：アサツキ、イチゴ、オオバ、オヤマボクチ、カキナ、カブ、キャベツ、クキタチナ、コマツナ、シ
ソ（葉）、シュンギク、セリ、セルリー、ソラマメ、チンゲンサイ、トマト、ナバナ、ニラ、ネギ、
畑ワサビ（葉）花ワサビ、パセリ、非結球レタス、フユナ、ブロッコリー、ハウレンソウ、ミズナ、
ミツバ、ミョウガ、ラッキョウ、レタス、ワサビ

注 3：カキナ、カブ、キャベツ、クキタチナ、紅菜苔、コマツナ、山東菜、信夫冬菜、セリ、ちぢれ菜、
ナバナ、パセリ、畑ワサビ（葉）、ビタミンナ、ブロッコリー、ハウレンソウ、ミズナ、花ワサビ、
ワサビ

注 4：23 年度において野菜として集計していたワサビ、畑ワサビ、花ワサビ、ギョウジャニンニク、オヤ
マボクチは 24 年度は「きのこ・山菜類」として集計。

注 5：クレソン、セリ、ミョウガ、ヤマノイモ、ジネンジョのうち、野生と判明しているものについては
「きのこ・山菜類」として集計。それ以外は「野菜」として集計。

上の 2 つの表において、500Bq/kg は事故後 1 年間用いられてきた暫定規制値、そして
100Bq/kg は事故 1 年後から適用された規制値である。

文献名	要点
<p>7-1-1 COUNCIL REGULATION (Euratom) 2016/62 of 15 January 2016 laying down maximum permitted levels of radioactive contamination of food and feed following a nuclear accident or any other case of radiological emergency, and repealing Regulation (Euratom) No 3954/87 and Commission Regulations (Euratom) No 944/89 and (Euratom) No 770/90</p>	<p>原子力事故あるいはいかなる放射線緊急事態の発生後における食物・飼料の放射能汚染の最大許容レベルを設定し、規制 (EURATOM) No 3954/87 及び委員会規則 (EURATOM) No 944/89 及び No 770/90 を廃止とする。</p> <p>(EU の基準関連)</p> <p>指令 2013/59：放射線防護に係る基本基準、水の汚染に係る要件を設定 (7-1-4)</p> <p>規則 No 3954/87：原子力事故後に適用される放射能汚染の最大許容レベルを設定 (7-1-2) ----> 廃止</p> <p>EU 放射線防護 Publication 105：規則の基本について記載 (原子力事故後に適用する EU 食品制限基準) (7-1-3)</p> <p>(重要項目)</p> <p>定義 (第 2 条)：一般食品、水、マイナーフーズ等の定義。</p> <p>最大許容レベル：事故時に適用する実施規則 implementing Regulation Annex 1：一般食品の放射能汚染許容レベル (出典 関連資料：規則 3954/87、7-1-2)</p> <p>Annex 2：マイナーフーズのリスト、最大許容レベル</p> <p>Annex 3：飼料の最大許容レベル (出典 関連資料 770/90/EURATOM)</p>
<p>7-1-2 COUNCIL REGULATION (EURATOM) No 3954/87 of 22 December 1987 laying down maximum permitted levels of radioactive contamination of foodstuffs and of feedingstuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency</p>	<p>原子力事故あるいは放射線緊急事態の発生後における食品・飼料品の放射能汚染の最大許容レベルを設定したもので、上記の文献 (7-1-1) が施行されたことで廃止された。</p> <p>(EU の基準関連)</p> <p>基本安全基準：指令 211/59/Euratom (チェルノブイリ事故以前の基準)</p> <p>replace 指令 80/836/Euratom</p> <p>amend 指令 84/467/Euratom</p> <p>一般食品安全基準 Annex：規則 2016/52 の元となる基準 (飼料については記載なし。マイナーフーズについては今後の対応として Article 7 に記載)</p> <p>規則 944/89：マイナーフーズについて具体的なリストを示す。</p> <p>規則 2218/89：一般食品についての許容基準表を追記。</p> <p>規則 770/90：飼料の許容レベルについて具体的に示す。</p>
<p>7-1-3 EU Radiation protection 105 (EU Food Restriction Criteria for Application after an Accident), 1998</p>	<p>EU「放射線防護 105」(事故後に適用する EU 食物制限基準)。現在の基準で示されている規制対象核種のカテゴリリー区分を再検討し、適用をより広範に拡大するためのオプションを示唆することを目的とする。</p> <p>基準策定の経緯：規則 3954/87 (事故直後)</p> <p>amend 2218/89/Euratom</p> <p>supplemented 944/89/Euratom</p> <p>ICRP 関連：Publication 63、Publication 72 (線量係数)</p> <p>本文献 105 の目的：現在の食品及び対象核種のカテゴリリーを再検討し、より広範な環境にそれらを適用できるようにする。</p> <p>(核種カテゴリリーの再検討)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・核種カテゴリリーの見直し (特にカテゴリリー 4：半減期 10 日以上の核種、C-14 及び H-3 を除く) ・Table2 として、対象核種とその摂取時の線量係数が BSS から引用されている (Directive 96/29/Euratom L159/1 1996) ・カテゴリリー 4 については、半減期に基づいてさらに 3 つに区分する考え方、そして 1 歳未満の小児に対する線量係数に基づいて 2 つに区分する考え方が提示された (Table3、Table4)。 <p>(食品カテゴリリーの再検討)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事故後の汚染状況は事例毎、地域毎、そして当該地域の食習慣等様々な要因に左右されることを踏まえ、EUR12553EN(1991)での全側の推定に基づいて許容限度を評価した。

	<ul style="list-style-type: none"> • その結果を、各種毎、食品種別毎、そして年齢層毎に評価した年間被ばく線量として Table 5 に示す。それらの評価の根拠となる食品毎の一人当たりの年間消費量については Table 6 に示されている。 (他の国際機関の勧告 ICRP、IAEA、CAC) • EU の規則を、ICRP の最適化の概念でチェックし、改訂する必要はないと結論付けた。
7-1-4 COUNCIL DIRECTIVE 2013/51/EURATOM of 22 October 2013 laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption	<p>人間が消費することを目的とした水に含まれる放射性物質に関して、一般公衆の健康を防護するための要件を設定する。 (水質基準)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 人間が直接使用する水資源については、指令 98/83/EC で規定されているが、そのうち放射能に係る条項を本指令で取替えるものである。 • 水関連の規則の改訂に至った理由としては、先の BSS 以降、EU が放射線防護に係る指令を発行して関連基準等の改訂を行ってきたこと、そして ICRP の 90 年勧告により放射線防護の考え方が大きく変化してきたことを受け、1996 年 5 月に新しい BSS が発行されたことによる (新 BSS、指令 96/29/EURATOM)。 <p>(新基準の改訂点) 指令 98/83/EURATOM の放射能関連事項から指令 2013/51/EURATOM への変更・追記事項</p> <ul style="list-style-type: none"> • 水中の核種に対する規制を、トリチウムの他にラドンを追加。 • 1 年間の指示線量 (Indicative Dose : ID) の評価に関連して、モニタリング及び分析の対象とする核種の許容濃度が記載された。 • Annex 1 : 人が使う水に対するラドン、トリチウム及び ID の許容限度を示す。 • Annex 2 : 人が消費する水をモニタリングするための考え方を提示。その結果は Annex 1 で提示した許容限度を用いて評価する。元情報は、指令 98/83/EURATOM からの引用である。さらにモニタリングの根拠となる規則は、規則 852/2004 の要求事項である HACCP の原則、規則 882/2004 で規定された管理原則である。 • Annex 3 : ID は人が消費する水がもたらす 1 年間の摂取線量であり、本 Annex では、その評価のための方法を提示している。年間の許容被ばく線量 0.1mSv からの誘導レベル (Bq/l) を、自然放射能、人工放射能としての核種毎に提示している。さらに、モニタリング及びその分析方法のレベルが妥当なものであるための基準として、検出限界を核種毎に提示している。
7-1-5 COUNCIL DECISION of 14 December 1987 on Community arrangements for the early exchange of information in the event of a radiological emergency (87/600/Euratom)	<p>放射線緊急事態が発生した際における初期の情報交換にかかわる地域コミュニティにおける調整。 (経緯等)</p> <ul style="list-style-type: none"> • IAEA の原子力事故早期通報条約の発効、そして「欧州原子力コミュニティを構築する条約」Article 2 (b)に基づき、提供すべき情報について記載している。 • IAEA の条約では、Article 2 及び Article 3 において、提供すべき情報についての説明が記載されている。

文献名	要 点
<p>7-1-6 COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 297/2011 of 25 March 2011 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station</p>	<p>福島原子力発電所事故に伴い、日本を産地とする、あるいは日本から輸送された食物・飼料の輸入について特別な条件を課す。 (適用基準) ・規則 395/4/87 (1987 年) (7-1-2) -規則 944/89 マイナーフーズ -規則 2218/89：一般食品についての許容基準表を追記 -規則 770/90：飼料の許容レベル (対象となる食品等) Article 1 ・日本からの食品等の輸入に際しては、規則 395/4/87 に基づく検査を課す。 ・適用除外として、2011 年 3 月 28 日以降に日本を出発したもの、そして 3 月 11 日以前に収穫・加工されたものは適用除外 (詳細は Article 2)。 (専門機関による日本からの輸入に対する検査) ・Article 4 では、日本側当局による輸出前検査を課した。 ・Article 1 に規定される食品等は、規則 669/2009 の Article 3 で規定する意味において、「入域指定地点」(DPE, designated point of entry) で EU 地域に搬入することとされている。 ・検査の内容について、Article 5 で記載。</p>
<p>7-1-7 COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 351/2011 of 11 April 2011 amending Regulation (EU) No 297/2011 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station</p>	<p>先の No 297/2011 の修正 (7-1-6 の修正)。 日本側から、輸出前検査における行動レベルについて、EU へ連絡があった。その後の連絡で、日本国内ではそれらの食品を市場に出すこと、輸出が禁止されていることなどについて連絡があり、しかもそれらの規制が長期に渡ることが明らかになった。従って、日本国内で適用されている行動レベルと整合性を持たせるため、EU の規則 297/2011 を修正することとなった。 (修正事項) ①I-131、Cs-134、Cs-137 の許容レベルを、規則 395/4/87 (及びその修正・追加) に基づくとされていたが、これを ANNEX 2 で規定する値に変更した (厳しい値に変更された)。 ②飼料については、対象となる家畜の種類ではなく、核種ごとの設定に変更された。</p>
<p>7-1-8 COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 961/2011 of 27 September 2011 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station and repealing Regulation (EU) No 297/2011</p>	<p>日本国内における食品汚染基準変更が多々行われており、先の規則 297/2011 (7-1-6) が修正されてきたが、それを整理して規則 961/2011 として新たに設定した。 (重要事項) 輸入食品の添付する宣言書について ・2011 年 3 月 11 日以前に収穫・加工されたものであること、 ・特定県で産出された食品である場合、I-131、Cs-134 及び Cs-137 による汚染レベルが Annex 2 以下であることを、宣言書で示す。 ・宣言書 (保証書) の形式は Annex 1 で示されている。 (検査手順について) 国境における検査当局のなすべき検査について ・I-131、Cs-134 及び Cs-137 についての抜き取り検査 --特定県で産出された食品輸入に際しては、10%を抜き取り検査する --特定県から発送された、あるいは特定県以外の地域で産出及び発送された食品輸入に際しては、20%を抜き取り検査する。</p>
<p>7-1-9 COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 284/2012 of 29 March 2012 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station and repealing Implementing Regulation (EU) No 961/2011</p>	<p>先の実施規則 961/2011 (及びその修正版である 1371/2011) を書き換える (7-1-8 の修正)。 (改正の理由) ・日本の規制当局より 2012 年 2 月 24 日、Cs-134 と Cs-137 の和に対する新しい許容レベルが 4 月 1 日より適用されるとの連絡があった。これは、米、牛肉及び大豆、そして加工食品に関するもので、そのレベルは、規則 395/4/87 (及びその修正条項) で規定するレベルを下回るものであった。安全確保の観点では必要性はないが、日本と同じ許容レベルとすることが妥当と判断された。 (注) 実施規則 961/2011 の修正版である実施規則 1371/2011 で、I-131 についての規制は必要ないと判断されていた。 (改正の内容) ・規制対象外となる食品 (酒、ウィスキー等) が拡大した。 ・食品及び飼料に対する Cs-134、Cs-137 の許容レベルがそれぞれ下げられた。 ・「過渡的措置 (transitional measure)」として、日本の規制当局が採用した (2 月 24 日付)、Cs-134 及び Cs-137 についての許容レベルを採用する (収穫・加工の時期により、本来の許容レベル Annex II より緩和された許容基準を適用することを認めるという措置</p>

7-1-10 COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 996/2012 of 26 October 2012 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station and repealing Implementing Regulation (EU) No 284/2012	Annex III。 事故後 2 回目の野菜等の成長期にあたり、日本の規制当局から提供された新しいデータに基づいて先の No 284/2012 を置き換えることとなった。 (改正の内容) ・ Cs の許容レベルについては、実施規則 996/2012 から変更はない。 ・ 規制対象について変更があった。
7-1-11 COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 322/2014 of 28 March 2014 imposing special conditions governing the import of feed and food originating in or consigned from Japan following the accident at the Fukushima nuclear power station	日本の規制当局から提供される情報・データに基づく見直し結果を踏まえての実施規則の修正。 (修正内容) ・ 許容レベルについての見直しはなし。 ・ 日本国内でのモニタリング結果に基づき、規制対象となる食品の見直しが行われた。

第2部 食品中の放射性物質に関する研究の調査

1. 調査業務の概要

文献データベースの検索により、「東電福島原子力発電所事故後の食品中の放射性物質モニタリングデータを用いた内部被ばく線量の推定に関連する研究論文」69件を収集し、抄録をもとに内容を整理し選出した文献15件について、その原文情報を入手し、日本語でとりまとめを行った。

文献名：「福島県川内村における環境放射能汚染と帰還者の放射線量の評価」
出典情報： Taira Y, Hayashida N, Yamaguchi H, Yamashita S, Endo Y, et al., “Evaluation of Environmental Contamination and Estimated Radiation Doses for the Return to Residents’ Homes in Kawauchi Village, Fukushima Prefecture”, PLoS ONE 7(9): e45816. doi:10.1371/journal.pone.0045816, Sep. 2012
(概要) 福島第一原子力発電所から半径 30km 圏内の制限区域である、福島県川内村に残存する人工放射能がもたらす環境汚染及び放射線量を評価するため、土壌サンプル、針葉樹の葉、そしてマッシュルームに含まれる人工放射能の濃度をガンマスペクトロメーターで測定した。発電所の事故後 3 か月後の 2011 年 12 月 19 日及び 20 日にサンプルを採取し、それから 9 か月経過した時点では、全てのサンプルにおける支配的な放射性核種は ^{134}Cs と ^{137}Cs であった。土壌サンプルに起因する外部実効線量の推定値は発電所から 20km 圏内で 0.42~7.2mSv/h (3.7~63.0mSv/y)、20~30km 圏内で 0.0011~0.38mSv/h (0.010~3.3mSv/y) であった。今回の調査では、川内村、特に発電所から 20~30km 圏内では放射線のレベルは十分に低下しつつあることが示された。従って、環境モニタリング、そして不必要な被ばくを低減するための除染や食品の摂取制限等の対策をとることで、自宅への帰還は可能である。川内村のケースは、発電所事故後の自宅への帰還の最初のものとなるであろう。

文献名：「福島原子力発電所事故後における福島県及びその隣接地域の成人住民における食事を經由した放射性セシウムの摂取：2011 年 12 月における 24 時間食品陰膳調査」

出典：

Harada KH(1), Fujii Y, Adachi A, Tsukidate A, Asai F, Koizumi A.

“Dietary intake of radiocesium in adult residents in Fukushima prefecture and neighboring regions after the Fukushima nuclear power plant accident: 24-h food-duplicate survey in December 2011.”

Environ Sci Technol. 2013 Mar 19;47(6):2520-6. doi: 10.1021/es304128t. Epub 2013 Feb 27.

（概要）

S2011 年 3 月に発生した福島第一原子力発電所事故以来、政府は暫定的な規制限度を超えて汚染した食品をスクリーニングし、市場から排除してきた。この研究は、2011 年 4 月の時点で 3 地域から募集した成人の食事を經由した Cs-134,137、そして比較のため自然界の K-40 による被ばく線量を緊急に評価することを目的とした。24 時間食品二重サンプル 53 セットが福島県及び隣接する地域から収集された。Cs-134,137 及び K-40 のレベルは Ge 検出器で測定された。放射性セシウムの摂取を目的として食品二重サンプルの項目が記録され、分析された。福島での 26 サンプルのうち 25 サンプルから放射性セシウムが検出された。放射性セシウムの中央値は 4.0 Bq/日（レンジ：<0.26-17 Bq/日）であった。1 年間を通じて放射性セシウムの 1 日当たりの摂取量は一定であると仮定して年線量が計算され、その中央値は 23 μ Sv/年（レンジ：<2.6-99 Bq/年）であった。福島線のレベルは関東及び西日本より有意に高かった。ステップワイズ多重線形回帰分析により、福島の参加者 26 人の食事を經由した Cs-137 の主な摂取経路は福島産の果物とマッシュルームであることが判明した。地方で生産された柿及びリンゴ（n=16）の C-134,137 の放射能濃度の平均値（ \pm SD）は、それぞれ 23 \pm 28 Bq/kg 及び 30 \pm 35 Bq/kg であった。予備的に評価した福島住民の食事を經由した線量レベルは、食品中の放射性セシウムに関する日本の新基準の限度にもつづく最大許容線量 1mSv/年よりかなり低かった。これからの研究では被ばく評価はバイアスを排除する確率標本抽出で精査されるべきである。

文献名：「福島事故後の放射性物質を含む食物や土の摂取及び大気中放射線によるリスク評価」
<p>出典：</p> <p>Aiichiro Fujinaga¹, Minoru Yoneda and Maiko Ikegami, “Risk Assessment of the Intake of Foods and Soil With the Radionuclides and the Air Radiation Dose After the Fukushima Nuclear Disaster” J. Eng. Gas Turbines Power 136(8), 082901 (Feb 28, 2014) (7 pages) Paper No: GTP-13-1105; doi: 10.1115/1.4026811 History: Received April 19, 2013; Revised January 25, 2014</p>
<p>(概要)</p> <p>福島原子力発電所事故で拡散した放射性核種による被ばく経路を評価し、そのリスクを全体的な被ばく経路に基づいて評価した。その被ばく経路としては、食物摂取、土壌の吸引、及び外部被ばくを含む。本研究では、この災害による空間線量は、$0.2 \mu\text{Sv/y}$ 以下であり、管理すべき食物消費による被ばくは 1mSv/y 以下とされている。しかしながら、生涯線量を 100mSv 以下に抑制するため、放射性物質の崩壊と拡散を考慮すると、mSv/y の被ばく線量に維持することで十分である。</p>

文献名：「福島原子力事故が海洋生物及びシーフード消費者に及ぼす放射線量及びリスクの評価」

出典情報：

Fisher NS, Beaugelin-Seiller K, Hinton TG, Baumann Z,

Madigan DJ, Garnier-Laplace J.

“Evaluation of radiation doses and associated risk from the Fukushima nuclear accident to marine biota and human consumers of seafood”,

Proc Natl Acad Sci U S A. 2013 Jun 25;110(26):10670-5. doi:10.1073/pnas.1221834110.

Epub 2013 Jun 3.

(概要)

2011 年 3 月発生した地震と津波によって損傷した福島第一原子力発電所から放出された放射性核種が、常住海洋動物と移住性の太平洋黒マグロから検出された。この情報の公開は世界的な広がりを持って公衆の不安と関心を引き起こし、また 2011 年 8 月にはカルフォルニア沖で捕獲された太平洋黒マグロからも、天然起源の放射性核種の濃度よりも低かったが、放射性核種が検出された。放射能の潜在的な健康障害に関連して、福島由来と天然起源放射性核種に対して、海洋生物相と魚の消費者に対する線量を計算した。その結果、天然起源アルファ放射 Po-210 が支配的で、福島由来の線量はその 3~4 桁低かった。生態系の最も低い基準である防護レベル ($10 \mu \text{Gy/h}$) に対しおよそ二桁低かった。アメリカ合衆国での汚染された太平洋黒マグロの消費による追加線量は、平均的消費者と漁業者それぞれに 0.9 と $4.7 \mu \text{Sv}$ と計算された。これらの線量は、人類が多く食品の摂取で常時天然起源放射性核種から、飛行機旅行から、そしてその他バックグラウンド線源から受けている線量と同等かそれ以下である。人の低線量電離放射線によるがんのリスクに関しては未だ不確かな点があるものの、太平洋黒マグロを食べて受ける線量による致死がんのリスク増は 10,000,000 分の 2 と推定することができる。

文献名：「福島における陰膳方式（duplicate diet method）で評価された放射性物質の摂取」

出典：

Sato O(1), Nonaka S, Tada JI.

“Intake of radioactive materials as assessed by the duplicate diet method in Fukushima.”

J Radiol Prot. 2013 Dec;33(4):823-38. doi: 10.1088/0952-4746/33/4/823. Epub 2013 Oct 1.

（概要）

福島第一原子力発電所の2号炉から大量の放射性物質が放出された。放出放射能の影響を受けた地域に住んでいる人々が汚染された食物を定常的に摂取することによる、内部被ばくに関する懸念が高くなっている。それらの人々が心配する必要があるかどうかを評価するため、コープ福島により、日常の食事をボランティアに提出してもらい、食事に含まれる放射性セシウムについての広範な調査が行われた。陰膳方式により、2011年11月から2012年3月まで、2012年6月から2012年9月まで、100家族を対象とした調査を行った。200食のうち12でCs-134/Cs-137の濃度が1Bq/kgを超えていた。本調査でもっとも高いセシウム濃度の食事を摂取したとしても、年間の預託実効線量は0.1mSvを超えるものではない。

文献名：「福島第一原子力発電所災害後の内部放射線被ばくの主な要因としての、事故直後の放射性核種の急性摂取」

出典情報：

Masaharu Tsubokura, MD^{1,2,3}; Kenji Shibuya, MD, DrPH⁴; Shigeaki Kato, PhD²; et al Tomoyoshi Oikawa, MD, PhD³; Yukio Kanazawa, MD, PhD³

“Acute Intake of Radionuclides Immediately After the Incident as the Main Contributor of the Internal Radiation Exposure After Fukushima Daiichi Nuclear Disaster”

JAMA Pediatr. 2013;167(12):1169-1170. doi:10.1001/jamapediatrics.2013.2311

(概要)

手法

東京大学医科学研究所の審査委員会はこの研究を承認し、全参加者から書類で同意を得ている。全内部被ばくの代表核種として知られている Cs-134,137 による被ばくに関するボランティア・スクリーニング計画が 2011 年 9 月 26 日に開始された。この計画は全ての南相馬の 6 歳以上の住民が参加して全身カウンター（WBC：FASTSCAN モデル 2251：キャンベラ製）による測定が行われた。2011 年 9 月から 2012 年 9 月までの期間、有意な被ばくが検出された人の毎月のパーセンテージが計算された。

結果

この研究には子供 3992 人（1975 人は少女；49.5%）が登録され、2010 年の南相馬の該当する人口の 66%に相当する。そのうち子供 2831 人（71%は）検査当時南相馬に住んでいた。年齢の中央値は 11 歳（レンジ：6-15 歳）で、325 人（8.1%）はセシウムが検出されたが、その他の核種は検出されていない。毎月のセシウム検出率は図に示されている。2011 年から（57.5%）から 2012 年 9 月（0%）にかけて明らかに減少傾向がみられる。そして 2012 年以降はゼロが続いている。災害以降は継続的にセシウムを摂取していると仮定して、全セシウム被ばくを預託実効線量に換算したが、預託実効線量は全ての参加者が 1mSv 以下であった。

文献名：「福島第一原子力発電所事故の被災地住民の、食物摂取介入による放射性物質による高レベルの体内汚染の低下」

出典情報：

Tsubokura M(1), Kato S(2), Nomura S(3), Gilmour S(4), Nihei M(5), Sakuma Y(5), Oikawa T(6), Kanazawa Y(6), Kami M(1), Hayano R(7).

“Reduction of high levels of internal radio-contamination by dietary intervention in residents of areas affected by the Fukushima Daiichi nuclear plant disaster: a case series.”

PLoS One. 2014 Jun 16;9(6):e100302. doi: 10.1371/journal.pone.0100302.

eCollection 2014.

(概要)

原子力災害により放射性物質に汚染された地域住民の長期的な体内汚染レベルを低く保つことは公衆衛生上の関心事である。一方、体内汚染の効果的な低減方法は未だよく分かっていない。

我々は汚染した環境から高いレベルの体内被ばくをした人のレベルを低減するため、ボランティアの放射線汚染スクリーニングとカウンセリング計画の一環として、汚染が疑われる食品を特定し、南相馬市立総合病院及び平田中央病院で慎重な食物摂取介入を実施した。住民 30,622 人を調査し、このうち 9 名から 50Bq/kg の Cs-137 が検出された。これらの住民の初期の平均体内放射能は 4,830 Bq/全身（レンジ：2,130-15,918 Bq/全身）及び 69.6 Bq/kg（レンジ：50.7-216.3 Bq/kg）であった。汚染レベルの高い人全員は、放射線検査をしていない家庭菜園物を食べたり、度々天然マッシュルームを採取したり、家庭の原木でマッシュルーム栽培していた。

彼らは、主に流通している食品を使うことや出荷が制限されているマッシュルーム、山の幸そして野生の肉は食べないように忠告された。介入後数か月経って Cs のレベルの再検査が行われたが、全ての住民の体内汚染は劇的に低下していた。福島住民の大部分は、体内放射線被ばくレベルは最小だったようだが、知らないうちに高汚染食品を食べた一部の人たちは高レベルの体内汚染を示した。高レベルの体内汚染住民には食物摂取の嗜好に類似性が見られる。事前事後のカウンセリングにもとづく介入やリスクのある食物摂取について医療提供者からの食物摂取アドバイスは住民の食物摂取のあり方を変えうる一つのオプションであり、結果として Cs の体内被ばくの低減となる。

文献名：「2011 年以後の福島市、東京及び大阪の市民における食物を経由した放射性核種の評価」
<p>出典情報：</p> <p>Murakami M(1), Oki T(1).</p> <p>“Estimated dietary intake of radionuclides and health risks for the citizens of Fukushima City, Tokyo, and Osaka after the 2011 nuclear accident.”</p> <p>PLoS One. 2014 Nov 12;9(11):e112791. doi: 10.1371/journal.pone.0112791. eCollection 2014.</p>
<p>(概要)</p> <p>2011 年に発生した福島第一原子力発電所事故で環境に放出された放射性核種は健康リスクを与えている。この調査では、飲料水、食品から I-131 及び Cs-134,137 を摂取した福島市（福島原子力発電所から～50km で避難対象地域外）、東京（～230km）及び大阪（～580km）市民の最初の 1 年の平均被ばく線量を評価した。福島市民については二つのシナリオを仮定した；ケース 1：市民がマーケットから買った野菜を消費、ケース 2：地元栽培野菜を消費（安全側のシナリオ）。Cs-134,137 の実効線量は、買い物かごと食品二重複調査の実効線量とよく一致した。I-131 の食物摂取による成人の平均甲状腺等価線量は、福島市で 840 μ Sv（ケース 1）、2700 μ Sv（ケース 2）、東京で 370 μ Sv、大阪で 16 μ Sv であった。Cs-134,137 の平均実効線量は、それぞれ 19 μ Sv、120 μ Sv、6.1 μ Sv、1.9 μ Sv であった。この研究で評価された線量は、検証と地域の食品流通を十分に考慮してない、特に食品流通が重要であるが、WHO と UNSCEAR から報告された線量よりかなり低かった。95 パーセンタイルの実効線量は平均線量の 2-3 倍であった。食物摂取による甲状腺がんへの生涯寄与リスク（LARs）は福島市で $1.7\text{-}37\times 10^{-6}$（ケース 1）、$6\text{-}79\times 10^{-6}$（ケー2）、東京で $0.73\text{-}13\times 10^{-6}$、大阪で $0.04\text{-}0.49\text{-}1.3\times 10^{-6}$ であった。食物摂取による甲状腺がんへの生涯寄与リスクは、福島市ではそれぞれ全被ばく線量の 5.4-11%-12%（ケース 1）と 11%-25%（ケース 2）であった。</p>

文献名：「福島原子力発電所事故前及び事故後における日本の食品を対象とした放射性核種モニタリングデータの分析」

出典情報：

Stefan Merz, Katsumi Shozugawa, and Georg Steinhauser

“Analysis of Japanese Radionuclide Monitoring Data of Food Before and After the Fukushima Nuclear Accident”,

Environmental Science Technology, 2015, 49, 2875–2885

（概要）

これまで前例のないような食品中の放射性核種モニタリングキャンペーンの一環として、日本政府は福島事故後の食品の安全を確保するための活動に着手した。本研究では、膨大なデータ・セットの一部、特に事故後 1 年間の食品中の放射性セシウムの濃度について分析を行う。野菜中の放射能濃度は、キャンペーンが開始されてすぐにピークとなり、その後すぐに減少したため、2011 年の夏の初め頃には、規制限度を超えるのはわずかなサンプルのみであった。その後、環境中での濃縮性の高いマッシュルームや乾燥食品で許容限度を超える結果が報告された。食肉のモニタリングは、特に福島県以外ではかなり遅れて開始された。家畜体内での蓄積期間の経過後、食肉の汚染レベルは 2011 年 7 月にピークを迎えた。汚染レベルはすぐに低下したのであるが、2011 年 9 月には再びピークを迎えており、これは主として豚肉（放射性セシウムが濃縮されることが知られている）の汚染によるものであった。水道水の汚染は低く、水道水に対する制限は、2011 年 4 月までには停止された。福島事故以前の Cs-137 及び Sr-90 による食品の汚染レベル（大気中核実験によるもの）は、その多くが 0.5Bq/kg より低いものであるが、食肉で主に Cs-137 の濃度が高く、野菜では Sr-90 の濃度が高い。バックグラウンドの放射性 Sr 及び放射性 Cs との相関では、福島事故後に設定された規制上は Sr-90 の濃度の Cs-137 濃度に対する割合が 10%という仮定は、Sr-90/Cs-137 が時間とともに高くなったこともあり、リスクの高い仮定となった。この点は、現在の日本の食品安全規制で考慮していくべきことであり、現在の基準は日本の食品中の Sr-90 の量を低く評価していることになるからである。

文献名：「シイタケの出荷ロットにおける放射性セシウム汚染状況と検査結果」
<p>出典情報：</p> <p>Tsuchiyama T, Miyazaki H, Terada H, Nakajima M.</p> <p>“Observed distribution of radiocaesium contamination in shiitake lots and variability of test results”,</p> <p>Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess. 2015;32(2):205-13.</p> <p>doi: 10.1080/19440049.2014.990996. Epub 2015 Jan 8.</p>
<p>(概要)</p> <p>原木栽培椎茸は、放射性セシウムを濃縮することが知られている。福島第一原子力発電所事故以来、農産物やそのほかの食品に比べ原木栽培の椎茸は限度を超えるものが多くなってきた。椎茸の放射性核種による汚染を検査する場合、出荷ロット中の異種の汚染によるそのサンプル計画の妥当性がかなり曖昧になる可能性がある。現在、原木栽培椎茸の統計的特性に関するデータは僅かしかない。この研究では、放射性セシウムで汚染された椎茸の出荷ロットを特定し、ロット内の放射性セシウム濃度分布を調査した。椎茸の出荷ロットの誤分類リスクは、モンテカルロシミュレーションにより導出された動特性曲線より予測した。種々のサンプル計画の結果も評価した。この研究では、誤分類リスクの許容可能なレベルについて有用な情報を提供する。</p>

文献名：「福島第一発電所事故後の川内村で採取された野生キノコ中の放射性セシウム濃度」
<p>出典：</p> <p>Nakashima K(1), Orita M(1), Fukuda N(2), Taira Y(3), Hayashida N(4), Matsuda N(5), Takamura N(1).</p> <p>“Radiocesium concentrations in wild mushrooms collected in Kawauchi Village after the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.”</p> <p>PeerJ. 2015 Nov 24;3:e1427. doi: 10.7717/peerj.1427. eCollection 2015.</p>
<p>(概要)</p> <p>1986年のチェルノブイリ原発事故後、放射性セシウムが野生キノコに濃縮することはよく知られている。この調査で、地域住民の体内被ばくリスクを評価するため福島第一原子力発電所から 30km にある福島県川内村で採取した野生キノコを採取し、放射性セシウムの濃縮度を評価した。その結果、154 個のキノコ中 125 個から 100Bq/kg 以上が検出された (81.2%)。これらのセシウムのデータをもとに日本人の平均年摂取量を 6278g(> 20 歳、17.2g/日摂取)をとして計算した結果、預託実効線量は 0.11-1.60mSv となった。もし住民が汚染食品を数回食べたとしても、預託実効線量は限定されるが、事故後の福島復興のためには食品、飲料水および土壌の放射性セシウム測定結果にもとづく包括的なリスクコミュニケーションは必要なものとする。</p>

文献名：「福島事故後 1 年間に於ける福島事故後食品モニタリング・キャンペーンの效果の評価：一つの仮説」

出典情報：

Georg Steinhauser,

“Assessment of the effectiveness of the post-Fukushima food monitoring campaign in the first year after the nuclear accident: A hypothesis”,

Journal of Environmental Radioactivity 151 (2016) 136-143

(概要)

本研究の目的は、福島事故後の食品モニタリング・キャンペーンは許容限度を超して汚染された食品が消費者に届く件数を低減することに成功したかどうかを評価することである。本研究における仮説とは、市販後 (post market) 食品がこの目的に利用できるものであるものであり、放射性核種 (Cs-134、Cs-137) についてスクリーニングされた食品項目の全体における市販後食品 (p) と許容限度を超す市販後食品 (p') を比較する。実際には、許容限度以上のレベルにある品目において ($p'/p < 1$)、ほとんどの野菜生産品の割合は大きく減少しており、モニタリング・キャンペーンの効果が高いことを示している。しかしながら、お茶については、評価結果ではキャンペーンの効果が低い ($p'/p \approx 1$) ことを示されている。牛肉については、許容限度を超すサンプルのうち市販後食品の割合は、測定されたサンプル全体における市販後食品の割合より高く ($p'/p > 1$)、牛肉についてのキャンペーンの効果が低かったことを示している。著者は、政府のモニタリング・マニュアル (第2の優先順位に適合するものだけを対象とする) に従うことで、急な上限を超す汚染食品の出現に準備のできていないモニタリング当局が遭遇し、牛肉に対するより密度の高いモニタリングの実施が数週間遅れることになる。その時でも許容限度を超す食品が市場に入り込んでいることになる (この期間のモニタリングが市販後のものを対象としていることがその原因である)。従って、許容限度以上のいくつかの牛肉が、公衆によって消費されることになる可能性がある。他の肉生産品については、市販後サンプルの割合が極めて低いため、モニタリング・キャンペーンの効果の検証が困難である。全体として、モニタリングは、肉類にたいしてより、野菜についてはより効果的であると考えられる。

文献名：「日本における放射能汚染対策の現状：政策についての分析」

出典情報：

Gilmour S(1), Miyagawa S(2), Kasuga F(3), Shibuya K(1).

“Current Measures on Radioactive Contamination in Japan: A Policy Situation Analysis.”

PLoS One. 2016 Mar 23;11(3):e0152040. doi: 10.1371/journal.pone.0152040. eCollection 2016.

(概要)

背景：

2011年3月11日に発生した東日本大地震とそれに引き続いて発生した福島第一原子力発電所の災害は、周辺環境を放射能で汚染した。事故直後の惨状の中で、政府は放射能汚染食品に厳密な対策をとり、放射能汚染モニタリング行動を強化した。日本は世界保健機構（WHO）の食品媒介疾患不可疫学参照グループ（FERG）の主導的立場の国であり、この主導的な立場を通して食品流通ネットワークの中で化学物質や毒物について政策的影響を与えるような報告をする機会を持っている。原子力事故は非常にまれで、福島第一原子力発電所事故に対する日本政府の対応政策を分析することは日本の科学者の責任である。この研究は、放射能汚染リスク低減に対する日本政府の政策を評価し、将来起る可能性のある放射線事故に対する可能な限りの対策を確保するため、食品行政方針の強化戦略を明確にすることにある。

方法と結果：

我々は、内閣府、食品安全委員会、厚生労働省、農林水産省および食品安全基準に関係する地方政府が公表している政策資料と3月11日以降に放射線汚染基準に関連した変更事例を調査した。われわれは、食品の出荷と販売制限、許容可能な放射能汚染限度、モニタリング活動とその結果に関する情報を抽出した。一般食品は放射性セシウム（Cs-134,137）、100Bq/kg、幼児用の人工とすべてのミルク製品は50 Bq/kg、飲料水は10 Bq/kgとする基準が食品衛生法のもとで2012年4月に制定された。一方、放射能汚染に関する暫定基準は原子炉事故発生以来適応されていた。放射線汚染のリスクのある地域では商用販売と特定食肉、野菜、魚製品の制限が解除された。放射能汚染食品の拡散を抑えるため、各地方で主に出荷以前に加工食品中の放射性物質のモニタリング実施された。2011年3月から2012年3月までに非商用と商用商品につて133,832点の検査が行われた。このうち1,204点（0.9%）が暫定基準を超えていた。2012年4月からは278,275点の検査が行われ、2,372点（0.9%）が改定基準を超えていた。厚生労働省が実施した、2014年2月から3月に全国15地点での代表的な食品買い物かご調査では、食事による放射性セシウムの摂取は(0.0007-0.019 mSv/年)非常に低かったと推定されている。原子炉事故の影響を受けている海岸地域の魚製品のモニタリング結果から、汚染は限定されていて、福島県外の生鮮魚の放射能汚染は減少していることが分かった。魚のモニタリング

は範囲が制限されていて:ほんのわずかな魚種しか対象にされています。

結論：

地域を特定して生産と流通を禁止することは、日本の食品市場では放射性汚染を防ぐ有効である。最近、日本では食品の小売り店での放射性セシウム汚染について大きな関心は払われなくなっている。食品検査の優位付や県特定の制限の見直しについて透明性のある、目的を持った枠組みが必要とされている。天然の魚と海産物のモニタリングは規則化されるべきであり、情報も公開しアクセス可能にすべきである。モニタリング活動は食品安全のリスクはもはやないことを確認するまで拡大すべきである。生産者と消費者の相談は、彼らの関心事が適切で透明性のある方法で正規の政策見直しに取り入れられる事を保証するためにももっと様式化されるべきである。事故後食品管理と暫定的放射能汚染限度の施行に関する利用可能な情報が限られていたにもかかわらず、最近の日本の政策は国民を商業食品市場からの放射能汚染リスクから防護するに十分である。

文献名：「日本における食品中の現在の放射性セシウム限度」

出典：

Iwaoka K.

“The Current Limits for Radionuclides in Food in Japan.”

Health Phys. 2016 Nov;111(5):471-8. doi: 10.1097/HP.0000000000000562.

(概要)

福島第一原子力発電所の事故後、日本ではセシウムによる食品汚染に関しては一般公衆の国際基準である放射線被ばく限度、実効線量 1mSv/年もとに放射性セシウム-134, 137 について次の限度が設定された。

一般食品：100Bq/kg

ミルクおよび乳児食品：50Bq/kg

飲料水：10Bq/kg

これらの限度を超えた場合、食物の回収や制限対策が実施された。その結果、事故後およそ 1 年たった時点での実際の放射性セシウムによる実効線量は 0.01mSv/年を下回った。しかしながら、現存する情報を総合的に論評した文献の中でこれらの限度の現状に関する情報は少ない。この論文では、これら限度の考え方、その根拠及び食品モニタリングの結果を論評している。この情報は今後事故が起きた場合、また現在の限度を理解するうえで、さらに汚染食品からの放射線被ばくに対する一般公衆の不安を緩和する一助となるだろう。

文献名：「核実験及びチェルノブイリ事故後における日本の食品中の放射性セシウム汚染の時間経過：福島事故後の長期汚染に係る示唆」

出典情報：

Smith JT(1), Tagami K(2), Uchida S(3).

“Time trends in radiocaesium in the Japanese diet following nuclear weapons testing and Chernobyl: Implications for long term contamination post-Fukushima.”

Sci Total Environ. 2017 Dec 1;601-602:1466-1475. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.05.240.

Epub 2017 Jun 8.

(概要)

食料品中の放射性核種の時間変化を評価することは日本の食品移管する福島事故の長期的影響を予測する鍵となる。核実験とチェルノブイリ事故後の日本における食品とすべての食品中の Cs-137 について 50 年に亘り 4,000 以上の測定を実施してきている。Cs-135 の放射能濃度には、異なる農産食品の間で広く一貫した長期的な傾向がみられる。全食品については日本のいろいろな地域の平均値については全般的にほとんど差がない結果となっている。福島県における核実験後のデータに対するモデルブラインテストは、すべての食品、ほうれん草および大根（長期テストが可能であった）中の放射性セシウムについて良好な予測を示している。福島事故から 2015 年までの期間、平均的な食品中の放射性セシウムは核実験後とチェルノブイリのデータと一致していて時間経過とともに減少していた。福島事故後の異なる地域のデータは地域間で食品の高い混合率を示している。すなわち、地産食品が消費されたと仮定した場合のみに平均食品の Cs-137 について過大評価がされたこと。福島県の非避難地域における食品中の Cs-137 による平均預託実効線量（2011－2061 年）の予測値の平均内部被ばく線量は比較的低いことを示している。この研究は平均的な地域の摂取線量率に焦点を当てており、地点を特定して予測をしたものではない。しかしながら、明らかになった時間的傾向は、避難区域の内外における農産物と食品中の長期間に亘る放射能濃度について特定地点の予測のベースとすることができるだろう。

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
Y. Unno, H. Tsukada, A. Takeda, Y. Takaku and S. Hisamatsu	Soil-soil solution distribution coefficient of soil organic matter is a key factor for that of radioiodide in surface and subsurface soils	J. Environ. Radioacti vity	169 - 170	131-138	2017
保高徹生, 申文浩, 恩田裕 一, 信濃卓郎, 林誠二, 塚 田祥文, 青野辰雄, 飯島和 毅, 江口定夫, 大野浩一, 吉田幸弘, 北村清司, 久保 田富次郎, 野川憲夫, 吉川 夏樹, 山口裕顕, 末木啓 介, 辻英樹, 宮津 進, 岡 田住子, 栗原モモ, Sandor Tarjan	陸水中における微量溶存態放 射性セシウム濃縮法の比較	分析化学	66	299-307	2017
N. Yamaguchi, H. Tsukada, K. Kohyama, Y. Takata, A. Takeda, S. Isono and I. Taniyama	Radiocesium interception potential of agricultural soils in northeast Japan.	Soil Sci. Plant Nutr.	63	119-126	2017
A. M. Jagonoy and H. Tsukada	Characterization of radiocesium levels and fractions of ^{137}Cs in soil collected from Oguni, Date using manual and instrument software calculation based on Covell method	Philippine J. Sci.	146	193-199	2017
H. Tsukada, S. Nihira, T. Watanabe and S. Takeda	The ^{137}Cs activity concentration of suspended and dissolved fractions in irrigation waters collected from the 80 km zone around TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station	J. Environ. Radioacti vity	178 - 179	354-359	2017
M. Murakamia, M. Saha, Y. Iwasaki, R. Yamashita, Y. Koibuchi, H. Tsukada, H. Takada, K. Sueki and T. Yasutaka	Source analysis of radiocesium in river waters using road dust tracers	Chemosp here	187	212-220	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
青野 辰雄	福島第一原子力発電所 事故に伴い放出された 放射性物質による海洋 汚染と海洋生物への影 響	高橋千太郎	原子力安全基盤科 学3 放射線防護と 環境放射線管理	京都大 学学術 出版	京都	2017	176-182

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
H. Tsukada, T. Takahashi, S. Fukutani and M. Akashi	Concentrations of radiocesium and ^{90}Sr in agricultural plants collected from local markets and experimental fields before resuming Agriculture in Fukushima Prefecture	Proceeding of the 14th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA14)		37 - 42	2017

学会発表等

1. A. Takeda, H. Tsukada, Y. Unno Y. Takaku and S. Hisamatsu (2017) Effect of soil amendment on attenuation of radiocesium phytoavailability in grassland soil (ICOBTE2017, Zurich, Switzerland).
2. H. Tsukada, A. Takeda, K. Okamoto and S. Takeda (2017) Qualitative change of ^{137}Cs activity concentration in settling particles collected from Oogaki dam in Fukushima, Japan (ICOBTE2017, Zurich, Switzerland).
3. S. Ogasawara, T. Eguchi, A. Nakao, S. Fujimura, Y. Takahashi, H. Matsunami, H. Tsukada, T. Shinano and J. Yanai (2017) Mobility of ^{137}Cs and stable Cs in soil-plant systems in contaminated soils in Fukushima, Japan (ICOBTE2017, Zurich, Switzerland).
4. H. Tsukada, S. Nihira, T. Watanabe and S. Takeda (2017) The ^{137}Cs activity concentration of dissolved and suspended fractions in irrigation waters collected from the 80-km zone around TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (第3回福島大学環境放射能研究所成果報告会, 福島).
5. H. Kawasaki, H. Tsukada, S. Yamasaki, M. Yuasa, T. Iki, A. Kihara, C. Kakinaka, S. Nakagomi and H. Yasuda (2017) Education program for public health nurses to decrease residents' anxiety caused by radiation (第3回福島大学環境放射能研究所成果報告会, 福島).
6. M. Muramkami, M. Saha, Y. Iwasaki, R. Yamashita, Y. Koibuchi, H. Tsukada, H. Takada, K. Sueki and T. Yasutaka (2017) Source analysis of radiocesium in rivers using a tracer of road dust (第3回福島大学環境放射能研究所成果報告会, 福島).
7. Ismail M. M. Rahman and H. Tsukada (2017) Application of speciation radiochemistry to understand the distribution and behavior of radionuclides in the environmental systems (第3回福島大学環境放射能研究所成果報告会, 福島).
8. R. Saito, H. Oomachi, Y. Nemoto, T. Mizoguchi and H. Tsukada (2017) Physicochemical fractions of radiocaesium in the stomach contents of wild animals (第3回福島大学環境放射能研究所成果報告会,

福島).

9. 塚田祥文、島長義、北山 響 (2017) 福島県小国における灌漑水中溶存態および懸濁態 ^{137}Cs 濃度の経時変化(第 50 回日本保健物理学会, 大分).
10. H. Tsukada, R. Saito, H. Omachi, Y. Nemoto and T. Mizoguchi (2017) Aggregated transfer factors, concentration ratios, and solubility of ^{137}Cs in stomach material of wild boar collected from Nihonmatsu, Fukushima Prefecture (ICRER2017, Berlin, Germany).
11. H. Tsukada, K. Nanba, T. Takase, V. Ioshchenko, K. Okuda, T. Hinton, A. Yokoyama and A. Goto (2017) Fukushima radioecological observatory in Yamakiya (COMET final Event, Bruges, Belgium).
12. H. Tsukada, B. J. Howard, H. Vandenhove, T. Takahashi and I. Mizushima (2017) Fukushima COMET Workshop in Iizaka, Fukushima July 18-19, 2015 (COMET final Event, Bruges, Belgium).
13. 黒川耕平、中尾淳、矢内純太、塚田祥文 (2017) 福島県富岡町の除染済み農耕地における放射性セシウムの移行リスク評価(日本土壤肥料学会, 仙台).
14. 田中佑樹、中尾淳、矢内純太、塚田祥文 (2017) エアサンプラーで採取した大気降下物の放射性セシウム吸着能とその関連諸特性の日別変化(日本土壤肥料学会, 仙台).
15. 山口裕顕、申文浩、塚田祥文(2017) 水中の放射性セシウムの前処理法・分析法加圧ろ過法(懸濁態処理)、固相ディスク抽出法(溶存態濃縮)(第 54 回分析化学講習会、愛媛).
16. 第5回福島大学環境放射能研究所研究活動懇談会「環境中における放射性セシウム(Cs)の " ふるまい " と福島の状況」(2017. 11.25、東京).
17. 海野佑介、塚田祥文、武田晃、高久雄一、久松俊一(2018) 土壌-土壌溶液系における土壌有機物の分配係数と放射性ヨウ素の分配係数の関連(第19回「環境放射能」研究会、つくば).
18. 新里忠史、佐々木祥人、難波謙二、塚田祥文、ヨシエンコ ヴァシル (2018) オフサイトの核種分布特性に基づくサイト内環境中の核種インベントリの推定(4) 樹木における放射性核種分布の経年変化と樹種との関連性(日本原子力学会, 大阪).
19. 平尾茂一、塚田祥文、イスマイル MM ラハマン、高瀬つぎ子、高橋隆行、柴崎直明、渡邊明 (2018) 環境放射能の挙動解明に向けた取り組み～サンプリング技術から分析方法・技術開発の紹介～ (第 4 回福島大学環境放射能研究所成果報告会, 福島).
20. 塚田祥文 (2018) 土壌とため池底質における ^{137}Cs の経時的な存在形態変化 (第 4 回福島大学環境放射能研究所成果報告会, 福島).
21. I. M. M. Rahman, Z. A. Begum, B. Ahmmad, S. Barua, 塚田祥文, 長谷川浩 (2018) キレート剤を用いた土壌洗浄におけるストロンチウムと地球化学的関連元素の挙動 (第 4 回福島大学環境放射能研究所成果報告会, 福島).
22. 久保田富次郎、塚田祥文、申文浩、濱松潮香、八戸真弓 (2018) 農業ため池における水および底質中の各態放射性セシウム (第 4 回福島大学環境放射能研究所成果報告会, 福島).
23. 斎藤梨絵、根本唯、大町仁志、玉置雅紀、中村匡聡、白子智康、塚田祥文 (2018) イノシシ体内中の

¹³⁷Cs 濃度と食性の関係－DNA 解析を用いた食性解析の試み (第 4 回福島大学環境放射能研究所成果報告会, 福島).

24. 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, 食品中の放射性セシウム濃度と基準値に対する影響, *Proceedings of the Workshop on Environmental Radioactivity (KEK Proceedings)*, p.253-256, 2017.
25. T. Aono, TEPCO Fukushima NPP accident-4: Foodstuffs, Tatsuo Aono, NIRS-KIRAMS Training Course on Radiation Emergency Medicine for Korean Medical Professionals 2017, NIRS, KIRAMS, 2017-04-26.

(招待講演)

1. H. Tsukada, The Side Event of the 64 Session of UNSCEAR, “Radiocaesium in agricultural environment and internal radiation dose from foods in Fukushima after the nuclear accident of 2011” (2017.5.29-30, Vienna)
2. 塚田祥文, 環境水等の放射性セシウムモニタリングコンソーシアム 第3回研究会講演「陸域環境水中放射性セシウム分析法と測定結果」(2017.6.22, 東京)
3. 塚田祥文, 日本女子大;いま、あらためて福島の放射能を考える「2011 年原発事故後の農業環境における放射性セシウムと作物への移行」(2017.8.7, 東京)
4. 塚田祥文, 中部原子力懇談会情勢講演会「福島県の農業環境における放射性セシウムと作物への移行～福島県農産品の安全性を科学的に考える～」(2017.11.2, 名古屋)
5. H. Tsukada, 2nd International symposium of quantum Beam Science” Physicochemical fraction of radiocaesium and its behavior in the terrestrial environment”(2017.12.8-10, 水戸)
6. T. Aono, Overview of marine environment after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident: Environmental radioactivity and radiation effects, 第 32 回台日工程技術研討会, 中國工程師學會, 2017-11-22 台湾.
7. T. Aono, M. Akashi, M. Fukuda, S. Yamazaki, S. K. Sahoo, RADIOACTIVE MATERIAL CONTAMINATION IN FOOD AFTER THE FUKUSHIMA NUCLEAR POWER STATION ACCIDENT, International Conference on Radiation Research: Impact on Human Health and Environment (ICRR-HHE 2018) and 2nd Biennial Meeting of Society for Radiation Research (SRR), The Society for Radiation Research, 2018-02-02 India.