

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放射性核種濃度比の

検証とその影響評価に関する研究

令和2年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 明石 真言

東京医療保健大学

令和3(2021)年3月

目次

I.	総括研究報告	1
	食品中の放射性物質濃度の基準値に対する放射性核種濃度比の検証と その影響評価に関する研究	2
II.	分担研究報告	13
1.	農作物中 Cs と長半減期核種の濃度測定に関する研究 塚田祥文（福島大学 環境放射能研究所）	14
2.	食品中の放射性核種濃度等に関する研究 青野辰雄（量子科学技術研究開発機構） 明石真言（東京医療保健大学）	28
3.	内部被ばく線量の推計に関する研究 高橋知之（京都大学 複合原子力科学研究所） 福谷 哲（京都大学 複合原子力科学研究所）	38
4.	食品中放射性物質濃度等に関する知見の評価検討 青野辰雄（量子科学技術研究開発機構） 明石真言（東京医療保健大学）	55
III.	研究成果の刊行に関する一覧	67

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放射性核種濃度比 の検証とその影響評価に関する研究 総括研究報告書

研究代表者 明石 真言 (東京医療保健大学)

研究要旨

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、厚生労働省は2012年4月以降、食品からの内部被ばくを年間線量1 mSvとして、導出された基準値を適用している。この基準値は、対象となる放射性セシウム(Cs)以外の核種(ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru)及びプルトニウム(Pu)同位体)については、 ^{137}Cs との放射能濃度比から、これらの核種の濃度を推定し、設定された。当該事業では、食品中の放射性物質の基準値に対して、国民が安心・安全を得ることができること、そして国内の食品の安全に関する根拠を示すことを目的に、食品中の放射性物質の基準値の妥当性について検証を行なった。福島県内、周辺地域と比較対象地域における農作物中、特に玄米を中心とした放射性 Cs、 ^{90}Sr 及び ^{129}I 濃度調査では、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り、一般的なモニタリングでは測定も困難なレベルであった。 ^{90}Sr 濃度は、事故由来による ^{90}Sr 濃度の増加は認められず、 ^{129}I 濃度は、福島県浜通りで他の地点より高い傾向にあるが、 ^{137}Cs 濃度に比べ6桁以上低い値であった。本年度測定した玄米と、これまでに測定したハウレンソウ及びジャガイモ中放射性核種濃度を用いて、農作物摂取に起因する ^{137}Cs による年間内部被ばく線量推定した結果、最も高い福島県浜通りの13-18歳の男子でも、年間0.0029 mSvであった。本評価では、測定した農作物から推定される放射性核種濃度の食品を、摂取する農作物全体の1/2と仮定しており、実際に摂取される農作物はより広範囲から購入されること、また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など安全側に評価しており、実際に摂取する放射性セシウム濃度は減少すると考えられる。 ^{90}Sr による被ばく線量は、性別年齢区分によって異なるが、年間0.0001 mSv前後であり、この線量のほとんどが大気圏核実験由来と考えられる。 ^{129}I による被ばく線量推定値が最も高かったのは、福島県浜通りの7~12歳女子であり、年間0.00000077 mSvであった。なお、年間内部被ばく線量推定値の $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比の最大値は0.00060であり、農作物摂取に起因する ^{129}I による被ばく線量は、放射性Csによる被ばく線量に比べ十分に低いことが示唆された。福島相双海域で採取し、市場流通する魚介類中の放射性Csの結果では、魚類可食部で ^{134}Cs は検出下限値以下で、 ^{137}Cs

濃度は 1 Bq/kg-生重量で以下であった。魚類アラ部中の ^{90}Sr 濃度を測定し、結果より推定した魚類(全身)中の ^{90}Sr 濃度は 0.03 mBq/kg-生重量で、海産魚類(全体)中の ^{137}Cs 濃度に対する ^{90}Sr 濃度の割合は、5%以下であった。さらに Pu は魚類の内臓部に濃縮されやすいため、魚類内臓部中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度から推定した魚類全身中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は 0.2-1.2 mBq/kg-生重量であった。さらに魚類中 ^{137}Cs 濃度に対する $^{239-240}\text{Pu}$ 濃度割合は最大で 0.5%であった。以上の結果から、FDNPS 事故由来に起因する年間内部被ばく線量は、 ^{90}Sr 及び ^{129}I の寄与を考慮しても、年間 1 mSv を十分に下回っており、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。なお、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、妥当であり、 ^{129}I による被ばく線量も年間 1 mSv に比べて十分に小さく、また、放射性 Cs による被ばく線量に比べても十分低いことが確認された。

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 量子科学技術研究開発機構
高橋 知之 京都大学複合原子力科学研究所

研究協力者

福谷 哲 京都大学複合原子力科学研究所

A. 研究目的

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2012年4月以降、介入線量レベルを年間1 mSv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(「一般食品」では100 Bq/kg、「乳児用食品」及び「牛乳」では、50 Bq/kg)を設定し、その他の核種については、原子力安全・保安院(当時)が2011年6月に公表した放出量試算値のリストに掲載された核種のうち、半減期が1年以上であるストロンチウム-90(⁹⁰Sr)、ルテニウム-106(¹⁰⁶Ru)、プルトニウム-238(²³⁸Pu)、プルトニウム-239(²³⁹Pu)、プルトニウム-240(²⁴⁰Pu)及びプルトニウム-241(²⁴¹Pu)を規制対象核種として、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、これらの規制対象核種以外は、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、規制対象核種には含まれていない。

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

行い、内部被ばくに対する主要核種の寄与率の状況を把握する必要がある。

本研究では食品(農水産物等)中の放射性Cs及びその他の長半減期放射性核種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1 mSvとした食品中の放射性Cs濃度基準値の妥当性の検証及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. 農作物中 Cs と長半減期核種の濃度測定に関する研究

土壌及び作物(玄米)は、福島県の浜通り、中通り(2地点)、会津の4地点、福島周辺地域として宮城県と栃木県、並びにFDNPS事故の影響が限定されている愛知県の計7地点で採取した。採取した作物や土壌は乾燥や灰化を行い、放射性核種測定用試料を作成した。試料をプラスチック容器(U-8)または2Lマリネリ容器に詰め、Ge半導体検出器を用いてセシウム-134(¹³⁴Cs)、セシウム-137(¹³⁷Cs)及びカリウム-40(⁴⁰K)の定量を行った。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)を用いて福島県で採取した作物中の⁹⁰Sr濃度測定を行った。さらに、加速器質量分析装置(AMS)を用いて作物と土壌中のヨウ素-129(¹²⁹I)濃度を求めた。

2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究

福島県海洋水産研究センターの協力を得て、2020年度に福島沖で採取され、市場に流通する魚介類4種(マダラ、スズキ、ババカレイ及びキアンコウ)を研究対象とした。魚の灰試料を作成し、Ge半導体検出器(GX2019)を用いて、 γ 核種の測定を行った。またこ

れまでに採取した魚介類灰試料を用いて、 ^{90}Sr や $^{239+240}\text{Pu}$ の定量を行い、放射性 Cs に対する濃度比について調査を行った。

3. 内部被ばく線量の推計に関する研究

食品中放射性 Cs、 ^{90}Sr 及び ^{129}I による内部被ばく線量をそれぞれ推定し、比較検討するところを目的としている。今回の研究では、食品の種類を同一種類(玄米)に限定して福島県内外で採取して、それぞれの同一試料中放射性 Cs、 ^{90}Sr 及び ^{129}I 濃度を測定し、これまでに測定したハウレンソウ及びジャガイモ中放射性核種濃度とあわせて、それぞれの核種による内部被ばく線量を推定することを試みた。なお、内部被ばく線量評価のための線量係数は、ICRP Publication No.72 に記載されている経口摂取に係る内部被ばく線量係数を用いた。

4. 食品中放射性物質濃度等に関する知見の評価検討

基準値導出時における汚染食品の割合について、EU における食品中の放射性物質に係る規制や CODEX における誘導レベルの計算方法と、トリチウムに関する情報はインターネット等を利用して、収集を行った。

C. 研究成果

1. 農作物中 Cs と長半減期核種の濃度測定に関する研究

2011 年の事故からの経過時間に伴い、土壤中の ^{134}Cs 濃度は、物理半減期によって ^{137}Cs 濃度の 10% 以下まで減少した。福島県内の浜通り及び中通りでは表土剥ぎ取りによる除染が行われ、放射性 Cs 濃度の低減が進んだ。愛知県の土壌では、2018 年及び 2019 年の調査に続き ^{134}Cs が検出されず、主に核実験由来による ^{137}Cs であることが明らかになった。南相馬市の圃

場土壌中 ^{129}I 濃度は福島県の他地域と比較しても高い値にあるが、 ^{137}Cs 濃度に比べ十万分の一以下の 1.1 mBq/kg であった。また、伊達市の土壌中 ^{129}I 濃度も他の地点に比べ若干高い値であり、2011 年の事故由来であると考えられる。他の 5 地点の土壌中 ^{129}I 濃度は、同様であった。作物中放射性 Cs 濃度は、南相馬市で採取した作物で 1 Bq/kg-生重量を超え 2.0 Bq/kg 生重量となったが、基準値を大幅に下回る値にまで低減した。福島県内で採取した作物中 ^{90}Sr 濃度は、0.004~0.014 Bq/kg-生重量と 0.1 Bq/kg-生重量以下であった。作物中の ^{129}I 濃度は、土壌中濃度が高かった南相馬市で 0.005 mBq/kg-生重量と地点でより高い値であったが、他は 0.001 mBq/kg-生重量を下回るきわめて低い値であった。

2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究

マダラ、スズキ、ババカレイおよびキアンコウから ^{134}Cs は検出下限値(2 mBq/kg-生重量)以下であった。マダラ、スズキおよびババカレイの可食部の ^{137}Cs 濃度の加重平均(n=5)は、それぞれ 0.27 Bq/kg-生重量、0.24 Bq/kg-生重量、0.40 Bq/kg-生重量および 0.25 Bq/kg-生重量であった。これらの値は、福島沖で採取された魚類の ^{137}Cs モニタリング結果と近似していた。またマダラ、スズキ、ババカレイおよびキアンコウの可食部の ^{40}K 濃度の加重平均(n=5)は、それぞれ 118 Bq/kg-生重量、115 Bq/kg-生重量、98 Bq/kg-生重量及び 82 Bq/kg-生重量であった。魚類アラ部中の ^{90}Sr 濃度は、検出下限値(0.015 Bq/kg-生重量)以下と 0.081 Bq/kg-生重量であった。 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は魚類可食部からは検出下限値以下で、スズキ、ババカレイおよびマガレイの内臓部では検出下限値以下から 1.2 mBq/kg-生重量の範囲であった。

3. 内部被ばく線量の推計に関する研究

農作物の摂取による各核種による内部被ばく線量を推定したところ、最も高い ^{137}Cs による被ばく線量推定値は、福島県浜通りの 13-18 歳男子の年間 0.0029 mSv であった。 ^{90}Sr による被ばく線量は、性別年齢区分によって異なるが、年間 0.0001mSv 前後であった。 ^{129}I による被ばく線量推定値が最も高かったのは、福島県浜通りの 7-12 歳女子で、年間 0.00000077 mSv であった。いずれについても、介入線量レベルである年間 1 mSv を大幅に下回っている。また、農作物摂取による年間内部被ばく線量推定値の $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比の最大値は福島県中通り北部の 7-12 歳の女子の 0.00060 であり、 ^{129}I による被ばく線量は、放射性 Cs による被ばく線量に比べ十分に低いことが示唆された。

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に係る規制や CODEXにおける誘導レベルの計算方法と、トリチウムに関する知見を、資料にまとめた。

D. 考察

1. 農作物中 Cs と長半減期核種の濃度測定に関する研究

土壌中 ^{137}Cs 濃度と作物中 ^{137}Cs 濃度は正の相関を示し、FDNPS から放出された放射性セシウムの作物への移行は、作物種が同様であれば、土壌中濃度に対する作物中濃度の比で示される「移行係数」で類推できることがあらためて示された。福島県内の浜通りで採取した玄米中 ^{137}Cs 濃度は他の地点より高いものの、2 Bq/kg 生重量を下回り、基準値を十分に下回っていることを確認した。福島県内における玄米中 ^{90}Sr 濃度は 0.1 Bq/kg-生重量を下回り、また、福島県外で採取された玄米と比較しても同程度にあり、大気圏核実験由来と考えられる。

土壌中 ^{129}I 濃度と玄米中 ^{129}I 濃度は正の相関を示し、移行係数による類推が可能であることが明らかになった。玄米中 ^{129}I 濃度は、南相馬市で採取した試料で他の地点より若干高いものの、0.01 mBq/kg-生重量以下と、 ^{137}Cs 濃度より 6 桁低い濃度であった。

2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究

2021 年 1 月に福島相双海域で採取したマダラ、スズキ、バンバカレイおよびキアンコウから検出された ^{137}Cs 濃度に対して、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比から計算した魚類中の ^{134}Cs の推定濃度は検出下限値に相当し、さらに大量の試料の前処理を行わない限り ^{134}Cs を検出することは難しいことが考えられる。個体重量に対する部位ごとの重量割合は、キアンコウを除き可食部が 40-50%、アラ部が 30-40%で、内臓部が 10-30%であった。魚全体に対する部位ごとの ^{137}Cs 存在量比は、可食部が 50-60%、アラ部が 20-30%で、内臓部が 15-25%であった。魚全身中の ^{137}Cs 濃度は、可食部中の濃度に比べて同等または 2 割ほど低い値であった。これらの傾向は ^{40}K の場合も同じであった。部位中の体液の存在量が影響していることが考えられる。魚類を採取した海域に近い海水中の放射性 Cs 濃度と ^{90}Sr 濃度と、濃縮比(CR)から魚類中の ^{137}Cs 濃度と ^{90}Sr 濃度を推定すると、それぞれ 0.5-0.9 Bq/Kg-生重量と 1.8-2.7 mBq/Kg-生重量であった。魚類中のこれら放射性核種濃度は生息環境の海水中濃度を反映していた。福島事故前から日本沿岸におけるモニタリング調査結果でも、魚類可食部中の放射性 Cs 濃度に比べて放射性 Sr やプルトニウム同位体の濃度は検出下限値以下の報告が多いため、濃縮されやすい部位中の定量を行ない、その結果より、魚類全身あたりの放射性核種の濃度比を計算した結果、いずれの放射性核種共に放射性 Cs に比べて濃度割合が極めて低いことを明らかにした。

3. 内部被ばく線量の推計に関する研究

2020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被ばく線量は、福島(浜通り)で0.0007 mSv、福島(中通り)で0.0008 mSv、福島(会津)で0.0009 mSvであり、また福島県以外では0.0005～0.0014 mSvであることから、地域による差異はほぼ見られなくなっている。本評価における線量は、福島県浜通り以外ではほとんど0.0001 mSvのオーダーであり、この線量評価が農作物摂取を対象としていることを考えると、妥当な評価であると考えられる。また、福島県浜通りではマーケットバスケット法による評価よりも高い推定値となっているが、実際に消費される食品はより広範囲の産地から購入されるため、実際の被ばく線量は本評価値より低くなっていると考えられる。なお、本評価では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が、調理加工によって実際に摂取する放射性セシウム濃度が減少する影響も考えられる。

上記の手法に加え、安定元素の摂取量を用いて内部被ばく線量の試算を実施した。この試算では、農作物の摂取による各核種による内部被ばく線量よりも高い試算結果が得られたが、介入線量レベルである年間1 mSvを大幅に下回っていた。また、本試算においても、 ^{129}I による被ばく線量は、放射性Csによる被ばく線量に比べ十分に低いことが示唆された。

4. 食品中放射性物質濃度等に関する知見の評価検討

食品中の放射性物質の量に係る基準の計算方法に関する考え方については、関係資料から取りまとめることができた。

E. 結論

1. 農作物中Csと長半減期核種の濃度測定に関する研究

福島県内、周辺地域と比較対象地域における作物中放射性Cs、 ^{90}Sr 及び ^{129}I 濃度を調査した。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り、数万秒を超える長時間の測定が必要となり一般的なモニタリングでは検出が困難なレベルに低下している。作物中 ^{90}Sr 濃度は、福島県を除く全国調査の範囲内にあり、事故由来による ^{90}Sr 濃度の増加は認められなかった。作物中 ^{129}I 濃度は、浜通りで他の地点より高い傾向にあるが、 ^{137}Cs 濃度に比べ6桁低い値であった。

2. 食品中の放射性核種濃度等に関する研究

福島相双海域で採取し、市場流通する魚介類中の部位別の放射性Csと ^{40}K を定量した結果、魚類可食部で ^{134}Cs は検出下限値以下で、 ^{137}Cs 濃度範囲は検出下限値以下から1.0 Bq/kg-生重量であった。魚介類が生息する福島沿岸における海水中の放射性Csと ^{90}Sr 濃度から海洋生物への濃縮比を用いて魚類中の放射性Csと ^{90}Sr 濃度の推定を行ったところ、 ^{137}Cs および ^{90}Sr 濃度は環境水を反映していることが確認された。海産魚類(全体)中の ^{137}Cs 濃度に対する ^{90}Sr 濃度の割合は、5%程度であり、食品の基準値の算出基準の考え方に対して影響を与えないものであることが確認できた。さらに魚類で内臓部に濃縮されやすいPuについては、魚類内臓部中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度の測定を行い、その結果より魚類全身中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は、検出下限値以下またはそれに近似した濃度であることを明らかにした。

3. 内部被ばく線量の推計に関する研究

FDNPS 事故由来に起因する年間内部被ばく線量は、 ^{90}Sr 及び ^{129}I の寄与を考慮しても、年間1 mSvを十

分に下回っており、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。なお、事故に起因する⁹⁰Sr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。¹²⁹Iによる被ばく線量も年間1 mSvに比べて十分に小さく、また、放射性Csによる被ばく線量に比べても十分低いことが確認された。なお、¹²⁹Iによる内部被ばく線量評価については、より広範囲な調査研究が重要である。

4. 食品中放射性物質濃度等に関する知見の評価検討

食品のカテゴリーや消費量に関する情報は食品項目や地域等の要因で差があることから安全側に設定されていたが、汚染食品の割合に関する根拠については明確なものがなかった。

東京電力福島第一原子力発電所事故から10年が経過し、食品の基準値策定時に対象となっていなかった高濃度のトリチウムを含む汚染水問題が生じた。トリチウムは宇宙線により生成されるものでもある。放射線リスクも含め正確に情報を発信する必要がある。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究業績

(論文)

1. R. Saito, Y. Nemoto and H. Tsukada (2020) Relationship between radiocaesium in muscle and physicochemical fractions of radiocaesium in the stomach of wild boar, *Scientific Reports* 10, 6796. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63507-5>

2. A. Takeda, H. Tsukada, Y. Unno, Y. Takaku and S. Hisamatsu (2020) Effects of organic amendments on the natural attenuation of radiocaesium transferability in grassland soils with high potassium fertility, *Journal of Environmental Radioactivity* 217, 106207. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020>.
3. M. P. Johansen, D. Anderson, D. Child, M. Hotchkis, H. Tsukada, K. Okuda and T. G. Hinton (2021) Differentiating Fukushima and Nagasaki plutonium from global fallout using ²⁴¹Pu/²³⁹Pu atom ratios: Pu vs. Cs uptake and dose to biota, *Science of the Total Environment* 754, 141890. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141890>.
4. N. P. Thoa, S. Kaneko, S. Koya, H. Ohira, H. Tsukada (2021) Radiation dose rate to Japanese cedar and plants collected from Okuma, Fukushima Prefecture, *Science of the Total Environment*, 779 (2021) 146350. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146350>.
5. IAEA (2020) 4. Agricultural System in Environmental Transfer of Radionuclides in Japan following the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Report of Working Group 4, Transfer Processes and Data for Radiological Impact Assessment, Subgroup 2 on Fukushima Data, IAEA Programme on Modelling and Data for Radiological Impact Assessments (MODARIA II), IAEA-TECDOC-1927, pp31-127.
(学会発表等)
6. 塚田祥文、高橋純子、Mark Zheleznyak, Igor Chizhevskyy, Serhii Keriev, Valery

- Kashparov (2020) チェルノブイリ原子力発電所から 30-km 圏内の試験圃場における土壌からバレイショへの ^{137}Cs および ^{90}Sr の移行 (日本原子力学会, 福岡, オンライン)
7. 沖澤悠輔、塚田祥文 (2020) 2011 年の東京電力福島第一原子力発電所事故による ^{60}Co 飛散の検証 (日本原子力学会, 福岡, オンライン)
 8. 遠藤佑哉、山口克彦、高瀬つぎ子、植頭康裕、塚田祥文 (2020) 2011 年東電福島第一原発事故後の土壌中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係 (日本原子力学会, 福岡, オンライン)
 9. 菊池美保子、塚田祥文 (2020) 避難指示解除地域における自家消費作物の放射性セシウム濃度 (日本原子力学会, 福岡, オンライン)
 10. 大槻知恵子、塚田祥文 (2020) 蘚苔類への放射性セシウムの蓄積 (日本原子力学会, 福岡, オンライン)
 11. 塚田祥文 (2020) 大柿ダム底質から溶出する ^{137}Cs の灌漑水への寄与について (日本土壌肥料学会 2020 年度岡山大会、倉敷、オンライン)
 12. 武田晃、塚田祥文、海野佑介、高久雄一、久松俊一 (2020) 黒ボク土草地土壌に添加した放射性セシウム及びヨウ素の牧草への移行性に及ぼす有機物施用の影響 (日本土壌肥料学会 2020 年度岡山大会、倉敷、オンライン)
 13. 塚田祥文、○山口紀子、山田大吾 (2020) 草地土壌の有機物による放射性セシウム固定阻害 (日本地球化学会、リモート)
 14. 遠藤佑哉、植頭康裕、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文 (2020) 空間線量率を用いた実効線量推定手法の高精度化 (ICRP-JAEA International Conference、リモート)
 15. 沖澤悠輔、塚田祥文 (2020) 2011 年の東京電力福島第一原子力発電所事故による ^{60}Co 飛散の検証 (第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
 16. 遠藤佑哉、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文 (2020) 2011 年東電福島第一原発事故後の土壌中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係 (第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
 17. 菊池 美保子、塚田祥文 (2020) 避難指示解除地域における自家消費作物の放射性セシウム濃度 (第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
 18. 大槻知恵子、塚田祥文 (2020) 蘚苔類への放射性セシウムの蓄積 (第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
 19. Nguyen Phuong Thoa, Shigeo Kaneko, Shishido Koya, Hajime Ohira and Hirofumi Tsukada (2020) Radiation dose rate of Japanese cedar and plants collected in Okuma, Fukushima (第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
 20. 辰野宇大、塚田祥文 (2021) 土壌アーカイブ試料および土壌アーカイブデータベースシステムの紹介 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会、Online)
 21. 塚田祥文、齋藤隆 (2021) 大熊町試験水田における灌漑水・間隙水中 ^{137}Cs 濃度と変動要因 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会、Online)
 22. Nguyen Phuong Thoa and Hirofumi Tsukada (2021) Uptake of radiocaesium by brown rice from soils and irrigation water (第 7 回福島大

- 学環境放射能研究所成果報告会、Online)
23. 沖澤悠輔、塚田祥文 (2021) 2011 年東京電力福島第一原子力発電所事故による ^{60}Co の放出 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
 24. 遠藤佑哉、植頭康裕、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文 (2021) 東京電力福島第一原子力発電所事故後の土壤中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係(第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
 25. 菊池美保子、塚田祥文 (2021) 避難指示解除区域における自家消費作物の放射性セシウム濃度と内部被ばく線量 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
 26. 大槻知恵子、塚田祥文 (2021) 蘚苔類への放射性セシウムの移行と蓄積 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
 27. 遠藤佑哉、植頭康裕、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文 (2021) 東京電力福島第一原子力発電所事故後の土壤中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係(第 6 回次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンス (NDEC-6)JAEA)
 28. 杉浦広幸、塚田祥文 (2021) 福島の高層湿原の植物における放射性セシウム汚染 (放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点報告会)
 29. 塚田祥文 (2020) 福島大学食農学類放射線等学習会「農業環境における放射性セシウムと作物摂取による被ばく線量」(福島)
 30. 塚田祥文 (2020) 令和 2 年度福島県原子力防災研修講師「放射線と放射能の基礎知識」(福島)
 31. 塚田祥文 (2020) 安積高校「福島の農業環境と作物は“いま”—農業環境における放射性セシウムと作物摂取による内部被ばく—」(福島)
 32. H. Tsukada (2020) Internal and external radiation dose rates in organisms collected from a forest observatory site in Yamakiya, Kawamata, Fukushima(日本放射線影響学会第 63 回大会 ワークショップ「福島原発事故による環境への影響」リモート)
 33. N. P. Thoa, S. Koya, H. Ohira, S. Kaneko, and H. Tsukada (2020) Radiation dose rate of Japanese cedar and plants collected from Okuma applying ERICA tool(日本放射線影響学会第 63 回大会 ワークショップ「福島原発事故による環境への影響」リモート)
 34. 塚田祥文(2020)2011 年の事故後の環境放射能(檜葉町立檜葉中学校 放射線教育)(福島)
 35. H. Tsukada (2020) Radiocaesium in the environment(ICRP International Conference、リモート)
 36. 塚田祥文(2020)福島大学環境放射能研究所と福島における環境中 ^{137}Cs の変遷(第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
 37. I.M.M. Rahman, Z.A. Begum, H. Tsukada and H. Hasegawa (2020) Chelator-assisted washing remediation of radionuclide-contaminated soils, In: 2nd International Conference on Research & Innovation in Civil Engineering (Chittagong, Bangladesh)
 38. Tatsuo Aono, Yutaka Yamada: Estimation of internal exposure dose from diet in daily life, Low-dose Radiation for Patients and Population—Science, Technology and Society Concepts for

Communication and Perception Among Medical Doctors and Stakeholders – (Webinar), IAEA, 2020-10-22.

39. Tateda Yutaka, Tsumune Daisuke, Misumi Kazuhiro, Aoyama Michio, Hamajima Yasunori, Ishimaru Takashi, Kanda Jota, Ito Yukari, Aono Tatsuo: The determining factors of radio-caesium levels in fish off Fukushima derived from dynamic biological transfer model simulation, Fukushima Dai-ichi and the Ocean: 10 years of study and insight, University of Tokyo (Webinar), 2021-03-04.

- 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)

農作物中 Cs と長半減期核種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、2012 年4月以降の長期的な状況に対応するために新しい食品中の放射性物質の基準値が設けられた。その基準値は、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」及び「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、対象となる放射性セシウム(Cs)以外の核種(ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru)及びプルトニウム(Pu)同位体)の寄与も考慮されているが、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 FDNPS 周辺地域では不安の声が大きい。また、ヨウ素-131 (^{131}I)については放出量も多く、暫定基準値として設定されたが、半減期 8 日と短半減期であるため、現行基準値において規制対象核種となっていない。一方、2011 年の事故時に放出が認められているヨウ素-129 (^{129}I)については、放出量がきわめて限定されていたため、規制対象外の放射性物質ではあるが、「食品の基準値の導出について」にもあるように、今後の測定によって確認する必要があるとされている。本研究では、2020 年度に福島県で採取した作物(玄米)中の放射性 Cs 濃度及びストロンチウム-90 (^{90}Sr)濃度、並びに基準値の設定において影響が小さいとして規制対象核種に含まれなかった ^{129}I 濃度を測定し、周辺地域や 2011 年の事故による影響が限定的と考えられる対象地域においても作物を採取し、それぞれの濃度を求めた。低減化対策により福島県内で採取された作物中放射性 Cs 濃度は基準値を大幅に下回る値まで減少していた。また、福島県内で採取した作物中 ^{90}Sr 濃度についても、0.1 Bq/kg 以下と極めて低い水準にあった。福島県内で採取した作物中 ^{129}I 濃度は、0.01 mBq/kg 以下と放射性 Cs 濃度より 6 桁低い値にあった。

A. 研究目的

2011 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)事故により、大量の放射性物質が大気及び海洋に放出された。この事故により放出された放射性核種による食品の摂取による内部被ばくが懸念され、厚生労働省は平成 24 年 4 月以降、食品からの内部被ばくを年間線

量 1 mSv として導出された基準値を適用している。この基準値は、対象となる放射性 Cs 以外の核種(ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru)及びプルトニウム(Pu)同位体)については、 ^{137}Cs との放射能濃度比から、これらの核種の濃度を推定し、設定された。また、基準値の設定の際、規制対象核種以外の核種の影響に関しては、いずれも影響は小さいと結論

づけられているが、このうちヨウ素-129 (^{129}I 、半減期 1570 万年)、テクネチウム-99 (^{99}Tc 、半減期 21 万年) 等の長半減期核種については、「長期的には、今後の測定によって確認することが必要であるが、寄与は十分小さいと考えられる」としている。

これまでに、営農再開を予定している地域を含め福島県内で栽培された作物の放射性 Cs や ^{90}Sr 濃度を測定してきた。その結果、放射性 Cs 濃度は、避難指示解除準備区域、居住制限区域等での試験栽培によって得られた作物も含め福島県内の流通作物は全て基準値以下であった¹⁾。また、これまでに実施した本課題や全国モニタリング調査²⁾によっても作物中 ^{90}Sr 濃度は、福島県以外で生産されている作物中濃度の範囲にあり、大気圏核実験由来と考えられ、作物から放射性 Cs 以外には事故の影響は見られなかった。また、測定結果を用いて内部被ばくに対する寄与率の状況を確認し、食品摂取に伴う内部被ばくを計算したところ、保守的な条件であっても十分に 1 mSv/年を下回る結果が得られた。福島県内では徐々に営農再開する地域は拡大している。しかしながら、帰還した地域であってもすべての地域で営農再開を果たしたわけではなく、試験作付けによる作物中放射性核種濃度の検査を継続している地域も多く、食品摂取による内部被ばくに対する不安は未だに大きい¹⁾。

現在環境中に存在する ^{129}I の起源は、主に大気圏核実験、核燃料再処理施設、チェルノブイリ原子力発電所事故などであるが、自然界でも大気中で宇宙線とキセノンの反応、ウランの自発核分裂などでも生成されている³⁾。2011 年の事故でも FDNPS から放出されたことが明らかになっている⁴⁻⁶⁾。そこで、食品中の放射性物質の基準値に対して、国民が安心・安全を得ることができること、そして国内の食品の安全に関する根拠を示すため、食品中の放射性物質の基準値の妥当性について検証を行うことを目的とし、福

島県内と周辺地域、並びに比較対象地域から作物を採取し、放射性 Cs、 ^{90}Sr 及び ^{129}I 濃度を測定し、2011 年の事故由来による作物中濃度への寄与を明らかにした。

B. 研究方法

1. 土壌及び作物採取

土壌及び作物(玄米)は、表 1 及び表 2 に示す福島県の浜通り、中通り(2 地点)、会津の 4 地点、周辺地域として宮城県と栃木県、並びに FDNPS 事故の影響が限定されている愛知県の計 7 地点で採取した。玄米の収穫は、9 月以降となり年度内の分析が困難となることなら 2019 年度産試料を採取した。

土壌は、5 点法によって ϕ 50 mm のコアサンプラーで表層 0~20cm を採取した。作物中 ^{90}Sr の分析結果を得るには、作物を灰化・減容し、大量の試料を用いる必要から、作物は土壌を採取した圃場から非可食部の歩留まりが 5 kg となるように考慮して採取した。土壌及び作物の採取重量は、それぞれ表 1 及び表 2 に示した。

2. 試料の前処理

土壌は、50°C で約 1 週間乾燥後、2 mm のふるいを通し、5 地点から採取した土壌を混合し試料とした。

籾は、含水率が約 15% 程度となるまで乾燥した後、脱穀し玄米とした。玄米試料の一部(500 g)は、1 週間凍結乾燥した後、ステンレススチール製カッターブレンダーで粉碎混合し、 ^{129}I 分析用玄米試料とした。その他の試料は、70°C で 3 日間以上乾燥した後、放射性 Cs の測定試料とした。放射性 Cs を測定した後、450°C で灰化し、粉碎混合して ^{90}Sr 分析試料とした。新鮮重量に対する乾燥重量の割合と新鮮重量に対する灰重量を表 2 に示した。

3. 放射性 Cs 濃度の測定

土壌試料をプラスチック容器(U-8)に、乾燥した玄米試料を 2L マリネリ容器に詰め、Canberra 社製の Ge 半導体検出器(GC2020、GC3020 及び GC4020)で、放射性 Cs 濃度を測定した。セシウム-134 (^{134}Cs) 及びセシウム-137 (^{137}Cs) の定量には、それぞれ 604.7 keV 及び 661.7 keV の γ 線を用い、土壌は 10,000~259,000 秒、作物は 186,413~1,122,317 秒測定した。また、同時にカリウム-40 (^{40}K) (1,460 keV) も定量した。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、作物試料の一部は、7 日間以上測定したが、放射性 Cs を検出できなかった。

4. ^{90}Sr 濃度の測定

福島県内で採取し灰化した作物試料 58~60 g (4,730~5,370 g 生重量相当)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)をミルクし、低バックグラウンドガスフローカウンターで100分間の計測をした。Fe-Y 共沈法で検出下限値を下回った試料(2020P-7)は、炭酸塩の形態で低バックグラウンド 2π ガスフローカウンタにより長時間の β 線計測を行った。 ^{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)⁷⁾等に拠った。

5. ^{129}I 濃度の測定

5.1 土壌試料

土壌試料 5 g と五酸化バナジウムを同量秤量後に混合した。この混合試料を乗せた石膏ボートを石英管内に設置し、石英管内に水蒸気を含んだ酸素気

流下にて 1000°C で加熱し試料からヨウ素を揮発させた。揮発したヨウ素は、アルカリ吸収溶液(TMAH 25% (TAMAPURE-AA, 多摩化学) 0.4 mL、5000 ppm の亜硫酸ナトリウム 0.2 mL 及び超純水 7 mL) 30 mL を使用した。 ^{129}I 測定試料と ^{127}I 測定試料にそれぞれ分取し、 ^{129}I 測定試料にはキャリア 2 mg を添加した。

トルエン 20 mL とアルカリ吸収溶液試料を分液ロート内で混合し、濃硝酸を滴下し pH を 1 に調整、10%亜硝酸ナトリウム水溶液 1 mL を入れ 2 分間振とう、ヨウ素イオンをヨウ素としてトルエンに抽出した。分離した水相をトルエン 10 mL が入った別の分液ロートに分取し再度 2 分間振とうした。2 つの有機相を分液ロート内で混合、超純水 10 mL を加え 2 分間振とうし、有機相の洗浄を行った。洗浄した水相を除き、超純水 20 mL、5000 ppm 亜硫酸ナトリウム 0.8 mL を添加し 2 分間振とう、ヨウ素をヨウ素イオンとして水相側に逆抽出した。水相を回収、残った有機相に超純水 10 mL を加え 2 分間振とうし、先に回収した水相と混合しヨウ素イオン水溶液 30 mL を得た。

抽出を行ったヨウ素イオン水溶液 30 mL に濃アンモニア水 1.5 mL と 1M 硝酸銀水溶液 1 mL を添加し、ヨウ化銀の沈殿を生成した。この沈殿を暗所にて一晩放置後、上澄みを除去し回収した沈殿に対して 3000rpm で 5 分間の遠心分離を行った。遠心分離後の上澄みを除いた試料に超純水を加え、良く攪拌した試料を再び遠心分離した。上澄みを除去し、60°C に設定した乾燥機に 3 時間入れヨウ化銀試料を乾燥させた。乾燥したヨウ化銀試料の重量を測定し、回収量を求めた。

ヨウ化銀試料 (^{129}I 照射試料であるヨウ化銀ターゲット) を米国パデュー大学プライムラボ (Purdue university Purdue Rare Isotope Measurement Laboratory) に送り加速器質量分析装置 (AMS) で ^{129}I と ^{127}I の原子数比の測定を行った。 ^{127}I の定量は、

ICP-MS (Agilent7500cx) で行い、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比と ^{127}I 濃度から試料の ^{129}I 濃度を求めた。

5.2 作物試料

農作物試料 2 g を秤量し石膏ボードに載せ石英管内に設置した。燃焼によって発生するタール等を完全燃焼させるための酸化銅 10 g を試料よりも下流側の石英管内に設置した。石英管内に酸素を流し 800°C で加熱、試料からヨウ素を揮発した。揮発したヨウ素は、アルカリ吸収溶液 (TMAH 25% (TAMAPUREAA, 多摩化学) 30 mL、5000 ppm の亜硫酸ナトリウム 1.0 mL で調整したアルカリ吸収溶液 31 mL) で回収した。アルカリ吸収溶液は、 ^{129}I 測定試料と ^{127}I 測定試料にそれぞれ分取し、 ^{129}I 測定試料にはキャリア 2 mg を添加した。化学分離以降の工程は、土壌試料と同様である。

C. 研究結果

1. 土壌

土壌中放射性核種濃度の測定結果を表 3 に示す。2011 年の事故からの経過時間に伴い、 ^{134}Cs 濃度は、2011 年の事故当初は ^{137}Cs と同程度存在したが、測定時には ^{137}Cs 濃度の 10% 以下まで減少した。福島県浜通り、中通りの圃場土壌中 ^{137}Cs 濃度は、除染により大きく減少したが、数百 Bq/kg 存在した。また、福島県会津の圃場では表土剥ぎ取り除染はされていないものの土壌中 ^{137}Cs 濃度は、中通りや中通りに比べ低い濃度であった。宮城県及び栃木県で採取した土壌からは ^{134}Cs が検出され FDNPS 由来の放射性 Cs の存在を確認した。一方、愛知県の土壌では 2018 年及び 2019 年に採取した試料と同様に ^{134}Cs が検出されなかったことから、FDNPS からの由来は限定的で、大気圏核実験由来による ^{137}Cs であることが明らかになった。南相馬市の圃場土壌中 ^{129}I 濃度は、 ^{137}Cs 濃度に比べ十万分の一以下の 1.1

mBq/kg であったが、他の地点より明らかに高く、2011 年の事故由来であると考えられる。また、中通りの伊達市から採取した土壌も、FDNPS 事故の影響を受けていないと考えられる愛知県の土壌中濃度に比べ 1 桁以上高く、事故由来であることが推測された。それ以外の地域から採取した土壌中 ^{129}I 濃度は、愛知県土壌中濃度レベルと同程度であった。

2. 作物

玄米中放射性核種濃度を表 4 に示す。福島県産の作物中 ^{137}Cs 濃度は浜通りの南相馬市で採取した試料で 1.8 Bq/kg-生重量であったが、それ以外は 1 Bq/kg 生重量を下回り、基準値を大きく下回る値であった。また、愛知県の玄米では、1 週間の測定でも検出されなかった。これらの値は、通常の食品検査などでの測定では検出が難しい状況であることが確認された。2019 年～2020 年の全国調査による ^{137}Cs 濃度範囲は、検出限界値～1.1 Bq/kg-生重量にあった²⁾。また、半減期が 2.06 年の ^{134}Cs 濃度については、物理的半減期によって減衰が進み限定的であった。福島県内で採取した全ての作物中 ^{90}Sr 濃度は、0.1 Bq/kg-生重量を大きく下回る 0.004～0.014 Bq/kg-生重量であり、福島県以外での測定範囲(検出限界値～0.31 Bq/kg-生重量)にあった。これまで同様に大気圏核実験由来と考えられる。作物中 ^{129}I 濃度は、南相馬市で採取した玄米で最も高い 0.005 mBq/kg-生重量であり、他の地域より明らかに高い値を示し FDNPS 事故由来であると考えられた。

D. 考察

土壌中 ^{137}Cs 濃度と玄米中 ^{137}Cs 濃度の相関を図 1 に示す。両者は正の相関を示し、FDNPS から放出された放射性セシウムは作物への移行は、作物種が同様であれば、土壌中濃度に対する作物中濃度の比で示される「移行係数」で類推できることを示唆し

ている。また、本課題で得られた ^{137}Cs 移行係数の幾何平均値は、青森県で採取した試料から求めた文献値^{8, 9)}と同様であった(表 5)。

福島県内で採取した作物中 ^{90}Sr 濃度の平均値は 0.008 ± 0.005 Bq/kg-生重量 (n=4) であり、また、日本の他地域の値との差が見られず、大気圏核実験由来と考えられ、十分に低い値であることを確認できた。

FDNPS 事故によって環境中に放出された ^{129}I は、8.1 GBq であると評価されている¹⁰⁾。 ^{129}I の半減期は 1570 万年ときわめて長く、環境中ではやがて安定 ^{127}I と類似した移行を示すと考えられる。そのため、 ^{129}I 濃度のみならず、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比を使って示される^{3, 10)}。令和元年に報告した大気圏核実験後の土壤中 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比の値と比較すると、愛知県を除き若干高い値にあり、その中でも南相馬市で高い値であったが、チェルノブイリや核燃料再処理工場周辺土壌 ($10^{-6} \sim 10^{-4}$)¹¹⁾ に比べると低い値であった。土壌における ^{129}I の下方浸透は、 ^{137}Cs より早ことが報告¹²⁾されているが、除染前の福島県における圃場土壌中 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比 ($10^{-10} \sim 10^{-8}$)^{4, 13)} と比較しても同程度にあった。

土壌中 ^{129}I 濃度と玄米中 ^{129}I 濃度の相関を図 2 に示す。両者は正の相関を示し、作物中 ^{129}I 濃度の推定に移行係数が有効であることが確認できた。一方で、 ^{129}I の移行係数は、これまでに得られた文献値による ^{127}I の移行係数^{9, 14)}と同程度にあった(表 5)。

E. 結論

本研究では、福島県内、周辺地域と比較対象地域における作物中放射性 Cs、 ^{90}Sr 及び ^{129}I 濃度を調査した。採取した玄米中放射性 Cs 濃度は全て基準値を大きく下回り、福島県内であっても一般的なモニタリングでは検出が困難なレベル (0.1 Bq/kg-生重量) にまで低下している。玄米中 ^{90}Sr 濃度は、福島県を

除く全国調査の範囲内にあり、事故由来による ^{90}Sr 濃度の増加は認められなかった。浜通りの土壌中 ^{129}I 濃度が中通りよりも高く、作物中 ^{129}I 濃度も浜通りで他の地点より高い値にあった。作物中 ^{129}I 濃度は、土壌中 ^{129}I 濃度と正の相関を示し、土壌濃度から類推が可能であることが示された。福島県産作物の $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比は、 $4.3 \times 10^{-7} \sim 2.7 \times 10^{-6}$ にあり、チェルノブイリ (10^{-6}) や核燃料再処理施設周辺 ($10^{-6} \sim 10^{-4}$) に比べ、低い値であることが確認された。

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) 環境放射線データベース, <http://search.kankyo-hoshano.go.jp/>
- 3) H. Tsukada, J. Ishida and O. Narita: Particle-size distributions of atmospheric ^{129}I and ^{127}I aerosols. *Atmospheric Environment* 25A 905-908, 1990.
- 4) Y. Miyake, H. Matsuzaki, T. Fujiwara, T. Saito, T. Yamagata, M. Honda and Y. Muramatsu: Isotopic ratio of radioactive iodine ($^{129}\text{I}/^{131}\text{I}$) released from Fukushima Daiichi NPP accident, *Geochemical Journal* 46, 327-333, 2012.
- 5) T. Ohno, Y. Muramatsu, Y. Shikamori, C. Toyama, K. Nakano and H. Matsuzaki: Determination of ^{129}I in Fukushima soil samples by ICP-MS with an Octopole reaction system, *Analytical Sciences* 29, 271-274, 2013.
- 6) Y. Muramatsu, H. Matsuzaki, C. Toyama and T. Ohno: Analysis of ^{129}I in the soils of Fukushima Prefecture: preliminary reconstruction of ^{131}I deposition related to the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP). *Journal of Environmental Radioactivity* 139, 344-350, 2015.

- 7) 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)
- 8) H. Tsukada, H. Hasegawa, S. Hisamatsu and S. Yamasaki: Transfer of ^{137}Cs and stable Cs from paddy soil to polished rice in Aomori, Japan. *J. Environ. Radioactivity* 59, 351-363, 2002.
- 9) 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.
- 10) X. Hou, P.P. Provinec, L. Zhang, K. Shi, D. Biddulph, C. Chang, Y. Fan, R. Golser, Y. Hou, M. Jeřkovský, A.J.T. Jull, Q. Liu, M. Luo, P. Steier and W. Zhou: Iodine-129 in seawater offshore Fukushima: distribution, inorganic speciation. *Environmental Science and Technology* 47, 3091-3098, 2013.
- 11) G. Shaw, E. Bailey, N. Crout, L. Field, S. Freeman, S. Gaschek, X. Hou, M. Izquierdo, C. Wells, S. Xu, and S. Young: Analysis of ^{129}I and ^{127}I in soils of the Chernobyl Exclusion Zone, 29 years after the deposition of ^{129}I , *Science of the Total Environment* 966-974, 2019.
- 12) G. Yang, J. Hu, H. Tsukada, H. Tazoe, Y. Shao and M. Yamada: Vertical distribution of ^{129}I and radiocesium in forest soil collected near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant boundary. *Environmental Pollution* 250, 578-585, 2019.
- 13) M. Honda, H. Matsuzaki, H. Nagai and K. Sueki: Depth profiles and mobility of ^{129}I originating from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant disaster under different land uses, *Applied Geochemistry* 85, 169-179, 2017.
- 14) H. Tsukada, H. Hasegawa, A. Takeda and S. Hisamatsu: Concentrations of major and trace elements in polished rice and paddy soils collected in Aomori, Japan. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 273, 199-203, 2007.
- F. 健康危険情報
なし
- G. 研究業績
(論文)
1. R. Saito, Y. Nemoto and H. Tsukada (2020) Relationship between radiocaesium in muscle and physicochemical fractions of radiocaesium in the stomach of wild boar, *Scientific Reports* 10, 6796.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-63507-5>
 2. A. Takeda, H. Tsukada, Y. Unno, Y. Takaku and S. Hisamatsu (2020) Effects of organic amendments on the natural attenuation of radiocesium transferability in grassland soils with high potassium fertility, *Journal of Environmental Radioactivity* 217, 106207.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106207>
 3. M. P. Johansen, D. Anderson, D. Child, M. Hotchkis, H. Tsukada, K. Okuda and T. G. Hinton (2021) Differentiating Fukushima and Nagasaki plutonium from global fallout using $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios: Pu vs. Cs uptake and dose to biota, *Science of the Total Environment* 754, 141890.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141890>
 4. N. P. Thoa, S. Kaneko, S. Koya, H. Ohira, H. Tsukada (2021) Radiation dose rate to Japanese cedar and plants collected from Okuma, Fukushima Prefecture, *Science of the Total Environment*, 779 (2021) 146350.

- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146350>.
5. IAEA (2020) 4. Agricultural System in Environmental Transfer of Radionuclides in Japan following the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Report of Working Group 4, Transfer Processes and Data for Radiological Impact Assessment, Subgroup 2 on Fukushima Data, IAEA Programme on Modelling and Data for Radiological Impact Assessments (MODARIA II), IAEA-TECDOC-1927, pp31-127. (学会発表)
 6. 塚田祥文、高橋純子、Mark Zheleznyak、Igor Chizhevskyy、Serhii Kerieiev、Valery Kashparov (2020) チェルノブイリ原子力発電所から 30-km 圏内の試験圃場における土壤からバレイシヨへの ^{137}Cs および ^{90}Sr の移行 (日本原子力学会, 福岡, オンライン)
 7. 沖澤悠輔、塚田祥文 (2020) 2011 年の東京電力福島第一原子力発電所事故による ^{60}Co 飛散の検証 (日本原子力学会, 福岡, オンライン)
 8. 遠藤佑哉、山口克彦、高瀬つぎ子、植頭康裕、塚田祥文 (2020) 2011 年東電福島第一原発事故後の土壤中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係 (日本原子力学会, 福岡, オンライン)
 9. 菊池美保子、塚田祥文 (2020) 避難指示解除地域における自家消費作物の放射性セシウム濃度 (日本原子力学会, 福岡, オンライン)
 10. 大槻知恵子、塚田祥文 (2020) 蘚苔類への放射性セシウムの蓄積 (日本原子力学会, 福岡, オンライン)
 11. 塚田祥文 (2020) 大柿ダム底質から溶出する ^{137}Cs の灌漑水への寄与について (日本土壤肥料学会 2020 年度岡山大会, 倉敷, オンライン)
 12. 武田晃、塚田祥文、海野佑介、高久雄一、久松俊一 (2020) 黒ボク土草地土壤に添加した放射性セシウム及びヨウ素の牧草への移行性に及ぼす有機物施用の影響 (日本土壤肥料学会 2020 年度岡山大会, 倉敷, オンライン)
 13. 塚田祥文、○山口紀子、山田大吾 (2020) 草地土壤の有機物による放射性セシウム固定阻害 (日本地球化学会, リモート)
 14. 遠藤佑哉、植頭康裕、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文 (2020) 空間線量率を用いた実効線量推定手法の高精度化 (ICRP-JAEA International Conference, リモート)
 15. 沖澤悠輔、塚田祥文 (2020) 2011 年の東京電力福島第一原子力発電所事故による ^{60}Co 飛散の検証 (第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
 16. 遠藤佑哉、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文 (2020) 2011 年東電福島第一原発事故後の土壤中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係 (第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
 17. 菊池 美保子、塚田祥文 (2020) 避難指示解除地域における自家消費作物の放射性セシウム濃度 (第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
 18. 大槻知恵子、塚田祥文 (2020) 蘚苔類への放射性セシウムの蓄積 (第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
 19. Nguyen Phuong Thoa, Shigeo Kaneko, Shishido Koya, Hajime Ohira and Hirofumi

- Tsukada (2020) Radiation dose rate of Japanese cedar and plants collected in Okuma, Fukushima (第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
20. 辰野宇大、塚田祥文 (2021) 土壌アーカイブ試料および土壌アーカイブデータベースシステムの紹介 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会、Online)
 21. 塚田祥文、齋藤隆 (2021) 大熊町試験水田における灌漑水・間隙水中 ^{137}Cs 濃度と変動要因 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会、Online)
 22. Nguyen Phuong Thoa and Hirofumi Tsukada (2021) Uptake of radiocaesium by brown rice from soils and irrigation water (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会、Online)
 23. 沖澤悠輔、塚田祥文 (2021) 2011 年東京電力福島第一原子力発電所事故による ^{60}Co の放出 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
 24. 遠藤佑哉、植頭康裕、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文 (2021) 東京電力福島第一原子力発電所事故後の土壌中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係(第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
 25. 菊池美保子、塚田祥文 (2021) 避難指示解除区域における自家消費作物の放射性セシウム濃度と内部被ばく線量 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
 26. 大槻知恵子、塚田祥文 (2021) 蘚苔類への放射性セシウムの移行と蓄積 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
 27. 遠藤佑哉、植頭康裕、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文 (2021) 東京電力福島第一原子力発電所事故後の土壌中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係(第 6 回次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンス(NDEC-6)JAEA)
 28. 杉浦広幸、塚田祥文 (2021) 福島の高層湿原の植物における放射性セシウム汚染 (放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点報告会)
 29. 塚田祥文 (2020) 福島大学食農学類放射線等学習会「農業環境における放射性セシウムと作物摂取による被ばく線量」(福島)
 30. 塚田祥文 (2020) 令和 2 年度福島県原子力防災研修講師「放射線と放射能の基礎知識」(福島)
 31. 塚田祥文 (2020) 安積高校「福島の農業環境と作物は“いま”ー農業環境における放射性セシウムと作物摂取による内部被ばくー」(福島)
 32. H. Tsukada (2020) Internal and external radiation dose rates in organisms collected from a forest observatory site in Yamakiya, Kawamata, Fukushima (日本放射線影響学会第 63 回大会 ワークショップ「福島原発事故による環境への影響」リモート)
 33. N. P. Thoa, S. Koya, H. Ohira, S. Kaneko, and H. Tsukada (2020) Radiation dose rate of Japanese cedar and plants collected from Okuma applying ERICA tool(日本放射線影響学会第 63 回大会 ワークショップ「福島原発事故による環境への影響」リモート)
 34. 塚田祥文(2020)2011 年の事故後の環境放射能(檜葉町立檜葉中学校 放射線教育)(福島)
 35. H. Tsukada (2020) Radiocaesium in the environment (ICRP International Conference、リモート)

36. 塚田祥文(2020)福島大学環境放射能研究所と福島における環境中 ^{137}Cs の変遷(第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
37. I.M.M. Rahman, Z.A. Begum, H. Tsukada and H. Hasegawa (2020) Chelator-assisted washing remediation of radionuclide-contaminated soils, In: 2nd International Conference on Research & Innovation in Civil Engineering (Chittagong, Bangladesh)

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし

表 1 土壌の採取日及び処理重量

試料番号	採取地点	土壌分類	試料採取日	採取試料重量	乾燥後重量
				g	g
2020S-1	宮城県大崎市	グライ低地土	2019年10月5日	2397	1656
2020S-2	栃木県宇都宮市	灰色低地土	2019年10月9日	1431	973
2020S-3	愛知県知多郡武豊町	グライ低地土	2019年9月13日	2857	2047
2020S-4	福島県南相馬市	グライ低地土	2019年11月10日	2508	1808
2020S-5	福島県伊達市	褐色低地土	2019年11月12日	2825	1957
2020S-6	福島県郡山市	灰色低地土	2019年11月12日	2760	1939
2020S-7	福島県猪苗代町	多湿黒ボク土	2019年11月12日	2426	1473

表 2 玄米の採取日及び処理重量

試料番号	採取地点	試料採取日	採取試料重量	非可食部	可食部	乾燥割合	灰化割合
			g	g	g		
2020P-1	宮城県大崎市	2019年9月28日	5938	7	5932	0.860	0.0158
2020P-2	栃木県宇都宮市	2019年9月4日	5549	28	5520	0.868	0.0148
2020P-3	愛知県知多郡武豊町	2019年9月2日	5490	3	5487	0.863	0.0143
2020P-4	福島県南相馬市	2019年10月13日	6203	4	6199	0.866	0.0146
2020P-5	福島県伊達市	2019年10月16日	5666	27	5639	0.866	0.0142
2020P-6	福島県郡山市	2019年10月17日	5576	16	5559	0.862	0.0146
2020P-7	福島県猪苗代町	2019年11月5日	5656	30	5626	0.861	0.0139

表 3 土壤中¹³⁴Cs、¹³⁷Cs、⁴⁰K、¹²⁹I濃度及び¹²⁹I/¹²⁷I原子数比

試料番号	採取地点	放射性核種濃度(乾燥重量)							¹²⁹ I/ ¹²⁷ I原子数比	Ge測定時間 s
		¹³⁴ Cs* Bq/kg 乾燥	¹³⁷ Cs Bq/kg 乾燥	⁴⁰ K Bq/kg 乾燥	¹²⁹ I mBq/kg 乾燥					
2020S-1	宮城県大崎市	0.5 ± 0.1	6.7 ± 0.2	388 ± 4	0.013 ± 0.0006			9.1E-10	259,000	
2020S-2	栃木県宇都宮市	3.7 ± 0.2	50.9 ± 0.5	430 ± 6	0.033 ± 0.001			1.1E-09	174,292	
2020S-3	愛知県知多郡武豊町	< 0.6	1.9 ± 0.1	484 ± 6	0.012 ± 0.0005			4.3E-10	173,754	
2020S-4	福島県南相馬市	53.3 ± 1.5	876.9 ± 5.3	370 ± 15	1.13 ± 0.04			7.9E-08	30,000	
2020S-5	福島県伊達市	52.1 ± 1.4	825.8 ± 4.9	316 ± 14	0.30 ± 0.009			1.5E-08	30,000	
2020S-6	福島県郡山市	40.7 ± 1.0	614.6 ± 3.6	409 ± 12	0.054 ± 0.002			1.8E-09	50,000	
2020S-7	福島県猪苗代町	8.2 ± 1.2	108.1 ± 3.9	245 ± 23	0.044 ± 0.001			3.8E-10	10,000	
	* 604.7 keVの定量結果									

表 4 玄米中 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^{40}K 、 ^{129}I 濃度及び $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比

試料番号	採取地点	放射性核種濃度				^{40}K	^{129}I	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 原子数比	Ge測定時間 s
		$^{134}\text{Cs}^*$	^{137}Cs	^{90}Sr	Bq/kg 生				
2020P-1	宮城県大崎市	< 0.01	0.08 ± 0.003	-	65.8 ± 0.2	0.00028 ± 0.00003	1.4E-09	776,509	
2020P-2	栃木県宇都宮市	0.01 ± 0.003	0.22 ± 0.004	-	64.4 ± 0.2	0.00022 ± 0.00002	1.0E-09	1,122,317	
2020P-3	愛知県知多郡武豊町	< 0.02	< 0.02	-	58.5 ± 0.3	0.00009 ± 0.00002	1.7E-10	600,861	
2020P-4	福島県南相馬市	0.12 ± 0.009	1.84 ± 0.02	0.014 ± 0.002	60.5 ± 0.4	0.0050 ± 0.0003	1.9E-08	186,413	
2020P-5	福島県伊達市	0.04 ± 0.006	0.74 ± 0.01	0.010 ± 0.001	56.3 ± 0.4	0.00056 ± 0.00004	1.2E-09	258,890	
2020P-6	福島県郡山市	0.03 ± 0.003	0.43 ± 0.004	0.004 ± 0.001	62.1 ± 0.2	0.00019 ± 0.00002	6.2E-10	1,208,997	
2020P-7	福島県猪苗代町	0.02 ± 0.005	0.28 ± 0.008	0.004 ± 0.0002	58.9 ± 0.4	0.00012 ± 0.00002	2.3E-10	271,465	

* 604.7 keVの定量結果

表 6 土壌から作物への ^{137}Cs 、 ^{129}I 及び ^{127}I の移行係数

	幾何平均値	最小値	最大値	試料数
^{137}Cs	0.0024	0.00070	— 0.012	n=6
^{129}I	0.0050	0.0019	— 0.021	n=7
^{127}I	0.012	0.0047	— 0.023	n=7
文献値				
^{137}Cs	0.0038	0.00020	— 0.013	n=20
^{127}I	0.0048	0.00046	— 0.022	n=20

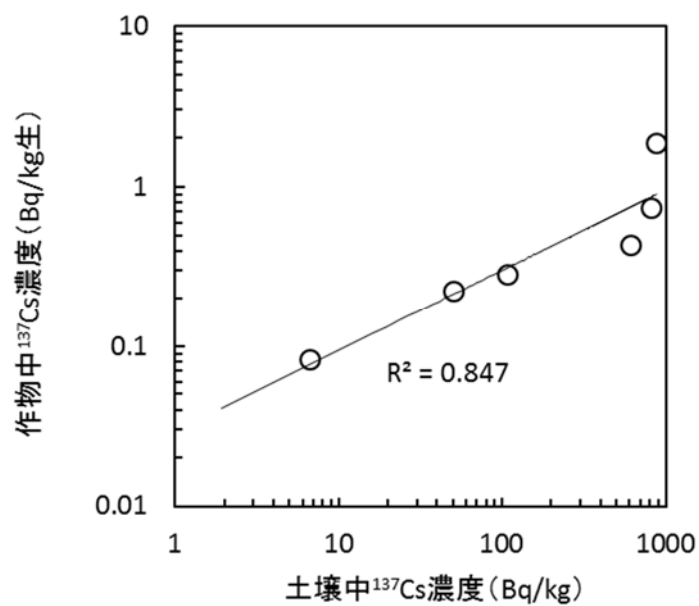


図 1 土壌中 ^{137}Cs 濃度と作物中 ^{137}Cs 濃度の関係

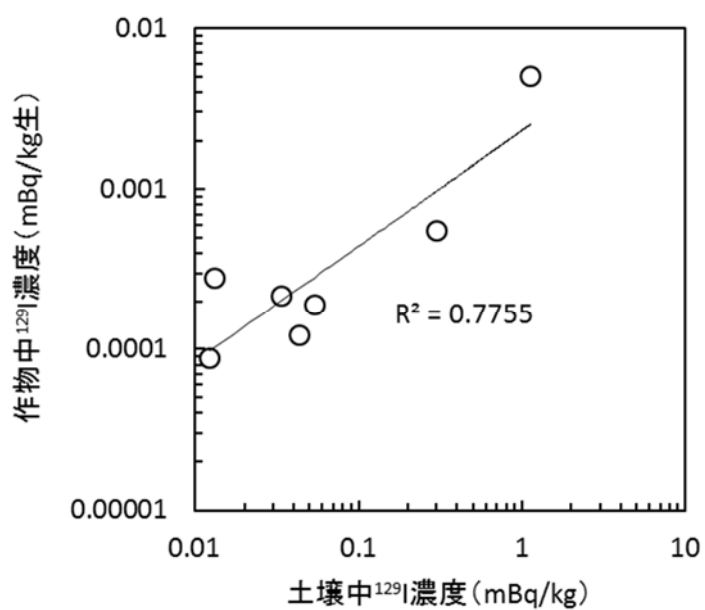


図 2 土壌中 ^{129}I 濃度と作物中 ^{129}I 濃度の関係

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 (量子科学技術研究開発機構)
分担研究者 明石 真言 (東京医療保健大学)

研究要旨

2011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、2012年4月以降は、食品の摂取による介入線量レベルを年間1 mSv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)及びプルトニウム-238(^{238}Pu)、プルトニウム-239(^{239}Pu)、プルトニウム-240(^{240}Pu)及びプルトニウム-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。今年度も福島県内で流通する魚類を入手し、これら試料の測定を行ったところ、魚類各部位共にセシウム-137(^{137}Cs)濃度は1 Bq/kg-生重量を超えなかった。また ^{137}Cs に対する ^{90}Sr や $^{239-240}\text{Pu}$ 濃度割合も5%以下で、基準値への影響が小さいことが明らかになった。

A. 研究目的

新たな基準は、放射性セシウム(Cs)濃度について基準値を設定し、ストロンチウム-90 (^{90}Sr)、ルテニウム-106 (^{106}Ru) 及びプルトニウム-238 (^{238}Pu)、プルトニウム-239 (^{239}Pu)、プルトニウム-240 (^{240}Pu)及びプルトニウム-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、本研究は食品中の放射性物質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-生重量)以下となっている^{1,2)}。今年度は福島第一原発事故から約10年が経過した福島県沖で漁獲された食品として流通する魚類について、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、「食品中の放射性核種等濃度に関する研究」を実施した。これまで、魚類中の可食部中の ^{90}Sr やPu同位体の濃度に関して調査を行ってきた。しかし、Srはカルシウム(Ca)と化学的性質が類似しているために

骨格部、また Pu は内臓部への吸着や濃縮が報告されている。福島事故に伴い環境へ放出された Pu が海水や堆積物に与える影響は無視できると報告されている。一方で、Pu は重金属と同様に海洋生物の内臓部に濃縮されることが報告されている。そこで、これまで本事業で収集した水産物試料を用いて、放射性核種が濃縮されやすい部位中の放射性核種の分析を行い、魚類全身あたりの放射性核種の濃度と食品中の放射性物質濃度の基準値への影響について調査を実施した。

B. 研究方法

1. 水産物中の放射性物質の濃度測定

1.1. 調査協力と水産物試料入手

福島県水産海洋研究センターの協力を得て情報収集²⁾を行い、2021年1月22日～28日に福島相双海域で採取し、市場に流通する魚介類4種(マダラ、ズズキ、ババカレイ及びキアンコウ)を本研究の対象とした。魚種、体長や重量などの試料に関する情報を表1に示す。調査を行った4種では、同種間で個体ごとの体長や重量に大きな差がでないように試料を選別した。また、海水中の放射性 Cs 濃度についても調査するために、採水を行なった。

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、体長や重量等の計量を行い、可食部、内臓部、アラ部(可食部と内臓部以外)に分別処理を行った。110度で恒量になるまで乾燥し、450度で灰化を行なった。この灰試料を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)等を用いて、24時間以上の γ 核種の測定を行った。Ge 半導体検出器は、日本アイントープ協会製の標準体積線

源(5～50mm、9.5～95g、アルミナ)を用いて効率曲線を作成したものをを用いた。¹³⁴Cs(604.7 keV 及び 796keV の加重平均値)、¹³⁷Cs (661.7 keV)及びカリウム-40 (⁴⁰K)(1460 keV)の定量結果を記録した。¹³⁴Cs 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³⁾、昨年度と同様に、この計算方法を用いた。なお ¹³⁴Cs、¹³⁷Cs 及び ⁴⁰K 以外の γ 核種は計測されなかった。試料重量が少ない場合は検出下限値が高くなるが、¹³⁴Cs 及び ¹³⁷Cs の検出下限値は、概ね 1 mBq/kg-生重量であった。海水試料は孔径 0.45 μ m のフィルターを用いてろ過を行い、溶存態放射性 Cs はリンモリブデン酸アンモニウム(AMP)法⁴⁾を用いて処理を行い、ゲルマニウム半導体検出器で測定を行った。検出下限値は、概ね 1 mBq/L であった。

1.3. γ 核種以外の放射性核種の測定

⁹⁰Sr の分析は文部科学省放射能測定法シリーズ2「放射性ストロンチウム分析法」(平成15年改訂)⁵⁾に準じて、前処理及び化学分離・精製を行った。計測は、Canberra社製 2 π ガスフローカウンター(LB4200)等を用いて行なった。魚類アラ部は、2015年から2018年にかけて採取した魚類試料⁶⁾について、同一地域かつ同一種の個体のアラ部を合わせて生重量で概ね 1kg になるように灰試料 18-70g を集約して、この灰試料の分析を行った。魚類アラ部の検出下限値はそれぞれ 15 mBq/kg-生重量であった。²³⁹⁺²⁴⁰Pu の分析は、文部科学省放射能測定法シリーズ No.12「プルトニウム分析法」(平成2年改訂)⁶⁾に従って前処理及び化学分離・精製を行った。計測は、Canberra社製 Alpha

Analyst を用いて行なった。魚類内臓部は、2016 年から 2018 年にかけて採取した魚類試料について、同一地域かつ同一種の個体の内臓部を合わせて生重量で概ね 0.2-0.8 kg になるように灰試料 4-13g を集約して、この灰試料の分析を行った。魚類内臓部の検出下限値は 0.3 mBq/kg-生重量であった。

C. 研究結果

1. 水産物及び海水中の放射性物質の濃度測定

2020 年度に入手した水産物中の放射性 Cs 及び ^{40}K 濃度測定の結果を表 2 と表 3 に示した。各部位の平均値は、検出された値と部位の重量を用いて加重平均したものであり、魚類全身(1 個体)の濃度も同様に計算をして求めた。マダラ、スズキ、ババカレイ及びキアンコウから ^{134}Cs は検出されなかった。マダラ、スズキ及びババカレイの可食部の ^{137}Cs 濃度平均(濃度範囲)は、それぞれ 0.27 Bq/kg-生重量(0.22-0.30 Bq/kg-生重量)、0.24 Bq/kg-生重量(0.21-0.26 Bq/kg-生重量) 及び 0.40 Bq/kg-生重量(0.13-0.98 Bq/kg-生重量) で、キアンコウは検出下限値以下であった。またマダラ、スズキ、ババカレイ及びキアンコウの可食部の ^{40}K 濃度平均(濃度範囲)は、それぞれ 118 Bq/kg-生重量(110-126 Bq/kg-生重量)、115 Bq/kg-生重量(104-120 Bq/kg-生重量)、98 Bq/kg-生重量(93-103 Bq/kg-生重量)及び 82 Bq/kg-生重量(75-86 Bq/kg-生重量)であった。これらの値は、海洋環境における放射能調査及び総合評価事業で 2020 年 6 月と 10 月に福島沖で採取された魚類の濃度と近似していた⁷⁾。

魚類が生息する海水中の放射性 Cs 濃度の結果を表 4 に示した。海水中の ^{134}Cs 濃度は検出下限値以下であった。 ^{137}Cs 濃度は、10-18 mBq/L であった。請戸漁港と富岡漁港は請戸川と富岡川の河口に位置しており、河川水の流入による影響と考えられる。なお、福

島第一原発近傍(半径約 10km 圏)における表層海水中の ^{137}Cs 濃度は、1.9-2.6 mBq/L 以上であり、 ^{90}Sr 濃度は 0.6-0.8 mBq/L 以下であり⁷⁾、今回の結果は平常時レベルと捉えることができる。

魚類アラ部中の ^{90}Sr 濃度および魚類可食部および内臓部中の $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度を表 5 と表 6 にそれぞれに示す。魚類アラ部中の ^{90}Sr 濃度は、検出下限値(0.015 Bq/kg-生重量)以下と 0.081 Bq/kg-生重量であった。

D. 考察

1. 福島沖海産生物中の放射性核種濃度について

2021 年 1 月に福島相双海域で採取したマダラ、スズキ、ババカレイ及びキアンコウから ^{134}Cs は検出されなかった。福島原発事故時に環境へ放出された ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能比は概ね 1:1 であったことが報告されている⁹⁾が、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の物理学的半減期はそれぞれ約 2 年と 30 年であり、この原発事故から約 10 年を経過した 2021 年 1 月の時点では、計算上の ^{134}Cs / ^{137}Cs 放射能比は約 0.06 となる。試料中の放射性 Cs 濃度は低いことが予想されたため、検出下限値を下げるために、可食部、内臓部やアラ部の試料を灰にすることで重量を約数%まで減容した。このいわゆる濃縮した試料中から検出された ^{137}Cs 濃度に、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比を用いて計算した ^{134}Cs の推定濃度は検出下限値に相当した。つまり、今回得られた ^{137}Cs 濃度(数百 mBq/kg-生重量)の傾向が続く場合、さらに試料の前処理を行わない限り ^{134}Cs を検出することは難しいことが考えられる。

魚の部位ごとの重量と ^{137}Cs 濃度の比較を行った。個体重量に対する部位ごとの重量割合は、キアンコウを除き可食部が 40-50%、アラ部が 30-40%で、内臓部が 10-30%であった。魚全体に対する部位ごとの ^{137}Cs 存在量比は、可食部が 50-60%、アラ部が 20-30%で、内臓部が 15-25%であった。つまりアラ部は

主として骨などの硬組織が含まれているために魚全体に占める重量の割合は約50%であるが、体液など水分量が他の2つの組織に比べて低いために、アラ部中の¹³⁷Cs濃度が低いことが考えられる。魚全身中の¹³⁷Cs濃度は、可食部中の濃度に比べて20-30%ほど低い値であった。これらの傾向は⁴⁰Kの場合も同じで、部位中CsおよびK濃度は体液等に影響していることが考えられる。

魚類を採取した海域に近い沿岸における海水中の放射性Cs濃度は、¹³⁴Cs濃度は検出下限値以下、¹³⁷Cs濃度は10-18 mBq/Lであった。海産魚類のCsの濃縮比(CR)⁹⁾を用いて、海水中の¹³⁷Cs濃度から魚類中の¹³⁷Cs濃度を推定すると、0.5-0.9 Bq/Kg-生重量と推定される。今回、分析した魚類中の¹³⁷Cs濃度範囲以下であり、概ね魚類中の放射性Cs濃度は環境水濃度を反映していたことが考えられる。また海水中の⁹⁰Sr濃度は0.6-0.9 mBq/Lであった。海産魚類のSrの濃縮比(CR)^{3¹⁰⁾}を用いて、海水中の⁹⁰Sr濃度から魚類可食部中の⁹⁰Sr濃度を推定すると、1.8-2.7 mBq/Kg-生重量と推定される。この推定値は、文部科学省放射能測定法シリーズ2「放射性ストロンチウム分析法」における検出下限値の6 mBq/Kg-生重量以下となり、概ね魚類中の⁹⁰Sr濃度も環境水濃度を反映していたことが考えられる。

2. 魚類中の放射性Srとプルトニウム同位体

魚類可食部中の放射性Srやプルトニウム同位体の濃度は、福島事故前から日本沿岸におけるモニタリング調査結果でも、放射性Cs濃度¹¹⁾に比べて、検出下限値以下の報告⁷⁾が多い。アラ部中の⁹⁰Sr濃度から魚類全体中の⁹⁰Sr濃度推定の計算を行った結果、マコカレイ(全体)では0.03 mBq/Kg-生重量と推定された。海水中の⁹⁰Sr濃度から魚類可食部中の⁹⁰Sr濃度を推定した結果よりも高い値が示された。一方で、海産

魚類(全体)中の¹³⁷Cs濃度に対する⁹⁰Sr濃度の割合は、4%程度であり、食品の基準値の算出基準の考え方¹³⁾に対して影響を与えない範囲であることが明らかになった。

福島原発事故によって環境へ放出されたPu同位体について、海水や堆積物に沈着した総量が事故前に存在していた総量よりもはるかに小さいため、海洋環境への影響が見られないことが報告されている¹⁴⁾。一方でPuは、重金属類と同様に生物体内に取り込まれた場合には、内臓部に濃縮されることが報告されている¹⁵⁾。そこで魚類可食部と内臓部中の分析を行った。マダラから²³⁹⁺²⁴⁰Puは検出されなかった。スズキ、ハマカレイおよびマガレイの内臓部から得られた²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度の結果より、海産魚類(全身)中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度を計算した結果、内臓部中濃度よりも一桁少ない0.2-1.2 mBq/kg-生重量となった。魚類全身中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度の検出下限値は0.3 mBq/kg-生重量程度であり、モニタリング調査結果の報告と類似していた⁷⁾。つまり、放射性Csに対する²³⁹⁺²⁴⁰Pu放射能比は極めて低いことが明らかになった。

E. 結論

福島相双海域で採取し、市場流通する魚介類中の部位別の放射性Csと⁴⁰Kを定量した結果、魚類可食部で¹³⁴Csは検出下限値以下で、¹³⁷Cs濃度範囲は検出下限値以下から1.0 Bq/kg-生重量であった。魚介類が生息する福島沿岸における海水中の放射性Csと⁹⁰Sr濃度から海洋生物への濃縮比を用いて魚類中の放射性Csと⁹⁰Sr濃度の推定を行ったところ、¹³⁷Csおよび⁹⁰Sr濃度は環境水を反映していることが確認された。海産魚類(全体)中の¹³⁷Cs濃度に対する⁹⁰Sr濃度の割合は、5%程度であり、食品の基準値の算出基準の考え方¹⁴⁾に対して影響を与えないものであることが確認できた。さらに魚類では内臓部に濃縮されやす

いPuについては、魚類内臓部中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度の測定を行い、その結果より魚類全身中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度は、検出下限値以下またはそれに近似した濃度であることを明らかにした。

引用文献

引用文献

- 1) 福島県: 海産魚介類に関する出荷制限等の措置一欄 <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-suisanka-monita-top.html> (2021年3月アクセス)
- 2) 魚介類の放射線モニタリング検査に関する結果: <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/monitoring.html> (2021年3月アクセス)
- 3) 米沢 伸四郎 他: Ge 検出器γ線スペクトロメトリーによる玄米認証標準物質中¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 及び⁴⁰Kの分析-第1部 放射能濃度の定量-. 分析化学 65, 645-655, 2016.
- 4) Aoyama, M. and Hirose, K. (2008) Radioact. in the Environ. 11, 137-162.
- 5) 文部科学省放射能測定シリーズ No.2 「放射性ストロンチウム分析法」(平成15年改定)
- 6) 文部科学省放射能測定法シリーズ No.12 「プルトニウム分析法」(平成2年改訂)
- 7) 公益財団法人海洋生物環境研究所、平成31年度原子力施設等防災対策等委託費(海洋環境における放射能調査及び総合評価)事業 調査報告書、2020.
- 8) 小森 昌史 他:¹³⁴Cs/¹³⁷Cs 放射能比を指標とした福島第一原子力発電所事故に由来する放射性核種の放出原子炉別汚染評価、BUNSEKI KAGAKU 62, 475-483, 2013.
- 9) 立田 穰、海産生物への放射性セシウム移行に関するモデル解析について、Isotope News No.719, 32-36, 2014.

- 10) IAEA, Technical Reports Series No.422: Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, p.36, 2004
- 11) 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27-29年度 総合研究報告書、明石 真言(量子科学技術研究開発機構)、2018.
- 12) 別冊:食品の基準値の導出について、部会報告書(案)「食品中の放射性物質に係る規格基準の設定について」、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(平成23年12月22日開催)、2011.
- 13) Jian Zheng et al., Release of Plutonium Isotopes into the Environment from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: What Is Known and What Needs to Be Known, Environ. Sci. Technol. 47, 17, 9584-9595, 2013.
- 14) 原子力環境整備センター、環境パラメータシリーズ6「海洋生物への放射性物質の移行」、1965.

F. 健康危険情報
なし

G.研究業績

1. Tatsuo Aono, Yutaka Yamada: Estimation of internal exposure dose from diet in daily life, Low-dose Radiation for Patients and Population-Science, Technology and Society Concepts for Communication and Perception Among Medical Doctors and Stakeholders - (Webinar), IAEA, 2020-10-22.
2. Tateda Yutaka, Tsumune Daisuke, Misumi Kazuhiro, Aoyama Michio, Hamajima Yasunori, Ishimaru Takashi, Kanda Jota, Ito Yukari, Aono Tatsuo: The determining

factors of radio-caesium levels in fish off Fukushima
derived from dynamic biological transfer model
simulation, Fukushima Dai-ichi and the Ocean: 10 years
of study and insight, University of Tokyo (Webinar),
2021-03-04

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表 1 福島相双海域で採取した魚介類のリスト

魚種	番号	全長	体長	部位別生重量			
				生重量	可食部	アラ部	内臓部
		cm	cm	kg	kg	kg	kg
マダラ	採取日 2021年1月22日						
	CF-1	46.0	42.0	1.03	0.35	0.43	0.26
	CF-2	49.0	45.0	1.01	0.48	0.42	0.11
	CF-3	48.0	44.0	1.09	0.45	0.51	0.13
	CF-4	46.0	42.0	1.10	0.47	0.39	0.24
	CF-5	47.0	42.5	1.13	0.45	0.50	0.18
スズキ	採取日 2021年1月28日						
	SB-1	56.5	48.0	1.27	0.60	0.54	0.13
	SB-2	51.0	44.0	1.07	0.49	0.46	0.12
	SB-3	52.0	45.0	1.21	0.60	0.45	0.16
	SB-4	44.5	39.0	0.78	0.34	0.31	0.13
	SB-5	49.0	41.5	0.91	0.42	0.32	0.17
ババカレイ	採取日 2021年1月22日						
	BFF-1	43.0	37.0	0.63	0.37	0.23	0.03
	BFF-2	36.0	30.0	0.51	0.28	0.18	0.05
	BFF-3	37.0	32.0	0.72	0.41	0.24	0.06
	BFF-4	40.5	35.5	0.84	0.50	0.26	0.08
	BFF-5	42.5	37.5	0.83	0.47	0.28	0.08
キアンコウ	採取日 2021年1月25日						
	AF-1	42.0	36.0	1.10	0.33	0.47	0.30
	AF-2	38.5	33.0	1.01	0.33	0.38	0.30
	AF-3	44.5	41.0	1.32	0.42	0.63	0.28
	AF-4	45.5	39.0	1.27	0.45	0.58	0.25
	AF-5	38.5	33.0	0.90	0.30	0.40	0.19

表2 福島相双海域で採取した魚介類中のCs-137濃度

魚種	番号	全身 ¹⁾		可食部		アラ部		内臓部	
		Bq/kg-fresh	err	Bq/kg-fresh	err	Bq/kg-fresh	err	Bq/kg-fresh	err
マダラ	CF-1	0.21 ± 0.02		0.30 ± 0.02		0.18 ± 0.02		0.14 ± 0.03	
	CF-2	0.11 ± 0.01		0.24 ± 0.02		< 0.07		< 0.17	
	CF-3	0.20 ± 0.02		0.29 ± 0.02		0.13 ± 0.02		< 0.15	
	CF-4	0.14 ± 0.01		0.22 ± 0.02		< 0.07		0.07 ± 0.02	
	CF-5	0.21 ± 0.02		0.30 ± 0.03		0.16 ± 0.02		< 0.11	
	平均値 ²⁾	0.17 ± 0.04		0.27 ± 0.04		0.16 ± 0.02		0.11 ± 0.05	
スズキ	SB-1	0.18 ± 0.02		0.22 ± 0.02		0.16 ± 0.02		0.11 ± 0.01	
	SB-2	0.21 ± 0.02		0.26 ± 0.02		0.15 ± 0.02		0.20 ± 0.02	
	SB-3	0.20 ± 0.02		0.25 ± 0.02		0.14 ± 0.02		0.16 ± 0.01	
	SB-4	0.19 ± 0.03		0.21 ± 0.03		0.17 ± 0.03		0.19 ± 0.02	
	SB-5	0.22 ± 0.02		0.26 ± 0.02		0.19 ± 0.02		0.18 ± 0.02	
	平均値 ²⁾	0.20 ± 0.01		0.24 ± 0.02		0.16 ± 0.02		0.17 ± 0.04	
ババカレイ	BFF-1	0.16 ± 0.02		0.13 ± 0.03		0.13 ± 0.01		0.68 ± 0.01	
	BFF-2	0.26 ± 0.04		0.32 ± 0.03		0.15 ± 0.04		0.34 ± 0.10	
	BFF-3	0.30 ± 0.03		0.28 ± 0.02		0.19 ± 0.03		0.83 ± 0.10	
	BFF-4	0.19 ± 0.02		0.20 ± 0.02		0.14 ± 0.03		0.33 ± 0.01	
	BFF-5	0.76 ± 0.04		0.98 ± 0.03		0.45 ± 0.04		0.57 ± 0.08	
	平均値 ²⁾	0.35 ± 0.24		0.40 ± 0.34		0.22 ± 0.13		0.54 ± 0.22	
キアンコウ	AF-1	< 0.09		< 0.09		< 0.09		< 0.09	
	AF-2	< 0.09		< 0.09		< 0.09		< 0.09	
	AF-3	< 0.09		< 0.09		< 0.09		< 0.09	
	AF-4	< 0.09		< 0.09		< 0.09		< 0.09	
	AF-5	< 0.09		< 0.09		< 0.09		< 0.09	

1) 全身中のCs-137濃度は、可食部、アラ部および内臓部中のCs-137合計量と個別重量から計算した。

2) 平均値は、全身中のCs-137濃度と個体重量のから加重平均により計算した。

表3 福島相双海域で採取した魚介類中のK-40濃度

魚種	番号	全身 ¹⁾		可食部		アラ部		内臓部	
		Bq/kg-fresh	err	Bq/kg-fresh	err	Bq/kg-fresh	err	Bq/kg-fresh	err
マダラ	CF-1	87.4	± 1.2	115.0	± 1.3	73.0	± 1.0	74.5	± 1.2
	CF-2	95.5	± 1.2	116.3	± 1.2	78.4	± 1.1	71.1	± 1.8
	CF-3	92.3	± 1.1	125.8	± 1.2	65.9	± 0.9	80.7	± 1.8
	CF-4	82.8	± 1.1	110.2	± 1.1	64.3	± 1.0	59.0	± 1.1
	CF-5	97.6	± 1.2	120.1	± 1.2	90.7	± 1.1	60.7	± 1.3
	平均値 ²⁾	91.1	± 6.0	117.5	± 5.8	74.7	± 10.7	67.8	± 9.2
スズキ	SB-1	88.7	± 1.1	117.7	± 1.0	62.5	± 1.1	63.0	± 1.5
	SB-2	91.1	± 1.2	119.7	± 1.1	67.7	± 1.1	63.2	± 1.6
	SB-3	87.6	± 1.1	114.2	± 1.0	62.2	± 1.1	58.9	± 1.3
	SB-4	87.7	± 1.3	103.8	± 1.2	71.2	± 1.3	85.6	± 1.9
	SB-5	90.5	± 1.3	115.3	± 1.2	67.0	± 1.2	73.3	± 1.5
	平均値 ²⁾	89.1	± 1.2	114.9	± 6.1	65.6	± 3.8	68.6	± 10.8
ババカレイ	BFF-1	86.1	± 1.2	98.4	± 1.3	66.6	± 1.6	83.6	± 5.7
	BFF-2	83.5	± 0.8	99.1	± 1.4	66.6	± 1.7	60.8	± 3.8
	BFF-3	89.6	± 0.9	103.4	± 1.2	70.6	± 1.5	72.1	± 3.4
	BFF-4	83.0	± 0.9	93.4	± 1.1	64.5	± 1.4	78.0	± 3.0
	BFF-5	84.4	± 0.9	96.8	± 1.1	67.9	± 1.4	69.6	± 2.9
	平均値 ²⁾	85.3	± 2.7	97.9	± 3.7	67.2	± 2.2	72.3	± 8.6
キアンコウ	AF-1	57.0	± 0.9	81.8	± 1.2	46.4	± 0.8	46.4	± 1.1
	AF-2	55.6	± 1.3	77.6	± 1.2	46.9	± 1.0	42.5	± 1.0
	AF-3	60.0	± 1.4	84.5	± 1.1	44.6	± 0.7	57.8	± 1.2
	AF-4	62.4	± 0.9	85.9	± 1.1	46.6	± 0.8	56.6	± 1.3
	AF-5	53.1	± 0.8	75.4	± 1.2	39.4	± 0.9	47.0	± 1.4
	平均値 ²⁾	58.0	± 3.6	81.6	± 4.5	44.9	± 3.1	49.9	± 6.8

1) 全身中のCs-137濃度は、可食部、アラ部および内臓部中のCs-137合計量と個別重量から計算した。

2) 平均値は、全身中のCs-137濃度と個体重量のから加重平均により計算した。

表4 福島沿岸における海水中の放射性Cs濃度

番号	採取点	位置	北緯	東経	採取日時	Cs-134 ¹⁾	Cs-137 mBq/L
1	請戸漁港	双葉郡浪江町請戸中島	37° 28'52"	141° 01'45"	2020年9月30日	検出下限値以下	11.99 ± 0.28
2	請戸漁港	双葉郡浪江町請戸中島	37° 28'52"	141° 01'45"	2020年10月1日	検出下限値以下	10.27 ± 0.27
3	富岡漁港	双葉郡富岡町仏浜釜田	37° 20'11"	141° 01'39"	2020年9月30日	検出下限値以下	17.41 ± 0.34
4	富岡漁港	双葉郡富岡町仏浜釜田	37° 20'11"	141° 01'39"	2020年10月1日	検出下限値以下	18.29 ± 0.63

1) ¹³⁴Csの検出下限値は、1.5-1.9 mBq/Lである。

表5 福島沖で採取した魚介類アラ部中の⁹⁰Sr濃度から推定する魚介類全身中の⁹⁰Srおよび¹³⁷Cs濃度

No.	魚種	採取域	採取日	試料量 生重量 (g)	灰化率 (%)	アラ部中のSr-90 濃度 (測定値)		全身中のSr-90 濃度		全身中のCs-137 濃度
						(Bq/kg-生)	検出下限値	(Bq/kg-生 推定値)	(Bq/kg-生 実測値)	
1	スズキ	相双海域	2020/2/12	1005.6	8.57	ND	0.015	ND		0.52 ± 0.07 ¹⁾
2	マコカレイ	相双海域	2020/2/12	1006.6	7.86	0.081 ± 0.007	0.016	0.03 ± 0.003		0.64 ± 0.05 ¹⁾

1) 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放射性核種濃度比の検証とその影響評価に関する研究、平成30年度総括・分担研究報告書、明石真言（量子科学技術研究開発機構）、2019。

表6 福島沖で採取した魚介類内臓部中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度から推定する魚介類全身中の²³⁹⁺²⁴⁰Pu濃度

No.	採取域	魚種	可食部中の ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu濃度	内臓部中の ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu濃度	全身中の ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu濃度	可食部中の ¹³⁷ Cs濃度
			(測定値)	(測定値)	(推定値)	(測定値) ¹⁾
採取日:2020年2月12日						
			mBq/kg-生	mBq/kg-生	mBq/kg-生	Bq/kg-生
1	相双海域	スズキ	検出下限値(0.3)以下	1.5 ± 0.4	0.2 ± 0.1	0.52 ± 0.07
2	相双海域	マダラ	検出下限値(0.3)以下	検出下限値(0.3)以下	検出下限値(0.3)以下	0.20 ± 0.05
3	相双海域	マコカレイ	検出下限値(0.3)以下	2.1 ± 0.6	0.2 ± 0.1	0.64 ± 0.05
4	相双海域	ババカレイ	検出下限値(0.3)以下	15.7 ± 1.6	1.2 ± 0.1	0.23 ± 0.04

1) 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放射性核種濃度比の検証とその影響評価に関する研究、平成30年度総括・分担研究報告書、明石真言（量子科学技術研究開発機構）、2019。

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)

内部被ばく線量の推計に関する研究 分担研究報告

分担研究者 高橋 知之 (京都大学 複合原子力科学研究所)

研究協力者 福谷 哲 (京都大学 複合原子力科学研究所)

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、2012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の放射性物質の基準値は、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、規制対象核種について、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、測定対象核種である放射性 Cs 以外の核種の寄与も考慮されている。規制対象核種は、原子力安全・保安院(当時)が作成・公表した試算値のリストに掲載された核種のうち、半減期が1年以上の核種としているため、半減期が約8日のヨウ素-131 (^{131}I) は含まれていない。また、半減期が約1570万年のヨウ素-129 (^{129}I) は原子力安全・保安院の試算値に含まれていないため規制対象核種となっていないが、規制対象核種以外の核種の影響に関しては、いずれも影響は小さいとされている。本研究では、2018～2020年度に福島県内で生産された農作物中の放射性 Cs 濃度及びストロンチウム-90 (^{90}Sr) 濃度、並びに基準値の設定において影響が小さいとして規制対象核種に含まれなかったヨウ素-129 (^{129}I) 濃度の測定結果から、放射性 Cs および ^{90}Sr 及び ^{129}I 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。

A. 研究目的

2011年3月11日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(以下「FDNPS 事故」という。)により、大量の放射性物質が大気及び海洋に放出された。このことから、厚生労働省は、2011年3月17日に原子力安全委員会(当時)が原子力施設等の事故に備えて定めていた「原子力施設等の防災対策について」の「飲食物摂取制限の指標値」を「暫定規制値」として設定し

た。また、食品安全委員会は、放射性物質による食品健康影響評価を実施し、10月27日に厚生労働大臣に対し、食品中に含まれる放射性物質に関する食品健康影響評価書を答申した。薬事・食品衛生審議会は、この答申を受け、2012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た。そして、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⁾。

この基準値を設定する際、農畜産物等への放射性核種の移行評価を行うことにより、食品の摂取に起因する内部被ばく線量評価を実施した。その結果、限度値が最も小さくなるのは、1年目における13-18歳(男)であり、想定外の食品摂取をしても安全が確保できるよう、介入線量レベルに一定の余裕を持たすため、一般食品の基準値は、この値を安全側に切り下げて100 Bq/kgと設定することが妥当とした。その設定に際し、モニタリング検査等から得られている実測値や流通食品に輸入食品が多く含まれる実態から、流通する食品の汚染割合を「一般食品」については50%であると仮定した。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(¹³⁴Cs)およびセシウム-137(¹³⁷Cs)を測定対象核種とした。なお、この内部被ばく線量評価の対象とする核種(以下「規制対象核種」という。)は、今回の事故で福島原発から大気中に放出され、原子力安全・保安院(当時)が作成・公表した試算値のリストに掲載された核種のうち、この基準値が2012年4月以降に適用されることに鑑み、半減期が1年以上の核種すべてを規格基準の設定で考慮することが妥当であるとした。すなわち、放射性セシウム(¹³⁴Cs、¹³⁷Cs)以外に、ストロンチウム-90(⁹⁰Sr)、ルテニウム-106(¹⁰⁶Ru)、プルトニウム同位体(²³⁸Pu、²³⁹Pu、²⁴⁰Pu、²⁴¹Pu)を規格基準における規制の対象となる放射性核種とした。よって、半減期が約8日のヨウ素-131

(¹³¹I)は規制対象核種に含まれていない。また、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。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各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。

また、この基準値の設定において、規制対象核種以外の核種の影響に関しては、いずれも影響は小さいと結論づけられている。このうち、ヨウ素-129(¹²⁹I)、テクネチウム-99(⁹⁹Tc)等の長半減期核種については、「長期的には、今後の測定によって確認することが必要であるが、寄与は十分小さいと考えられる」としている。

本研究は、食品の安全に関する根拠を線量評価によって明示することにより、食品中の放射性物質の基準値の妥当性について検証し、国民の安心・安全を得ることを目的としている。本分担研究では、「分担研究1. 農作物中Csと長半減期核種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・測定された、FDNPS周辺における食品中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安全性が十分に確保されていることについて検証する。特に長半減期核種である¹²⁹Iに着目し、「寄与は十分小さいと考えられる」とした報告の妥当性について検討する。

B. 研究方法

1. 線量評価方法

食品摂取による内部被ばく線量は、各食品中放射

性核種濃度に、当該食品の摂取量および当該放射性核種の内部被ばく線量係数を乗じて、対象食品及び核種につい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、FDNPS 事故による放射性核種の沈着量は地域及び核種によって大きく異なる。よって、FDNPS 事故に起因する内部被ばく線量を精度良く評価するためには、一般に摂取されている食品中の各放射性核種濃度を地域ごとに網羅的に測定することが必要である。

本研究は、食品中放射性 Cs、⁹⁰Sr と ¹²⁹I による内部被ばく線量をそれぞれ推定し、比較検討することを目的としている。しかしながら ⁹⁰Sr 及び ¹²⁹I については、大量の試料や特別な機器を用いなければ検出ができない。このため、測定に供する試料数および種類は非常に限定的とならざるを得ない。

よって、本研究では、2018～2020 年度の 3 年間にわたり、食品の種類を各年度 1 種類に限定して福島県内外で採取し、それぞれの試料中放射性 Cs、⁹⁰Sr、¹²⁹I 濃度を測定することにより、それぞれの核種による内部被ばく線量を推定することを試みる。

また、本研究では、試料の種類が限られていることから、試料中放射性 Cs、⁹⁰Sr、¹²⁹I 濃度に加え、土壌から農作物への移行係数や、各試料中安定元素濃度を用いて、より精度良く内部被ばく線量を推定することを試みる。

なお、内部被ばく線量評価のための線量係数は、ICRP Publication No.72²⁾に記載されている経口摂取に係る内部被ばく線量係数を用いる(表 1 参照)。

2. 対象とする食品

内部被ばく線量評価を実施するための測定試料とする農作物は、本研究の分担研究 1.において 2018 年度³⁾、2019 年度⁴⁾及び本年度に採取された、福島県内外におけるホウレンソウ、ジャガイモ、玄米とする。

3. 安定元素濃度の測定及び推定

Cs とカリウム(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 摂取量の試算を行う。分担研究 1. において、放射性 Cs 濃度の測定とあわせて ⁴⁰K 濃度も測定されている。安定 K 濃度は、分担研究 1. で測定されたカリウム-40(⁴⁰K)濃度を、安定 K の単位重量あたりの ⁴⁰K 放射エネルギーである 30.4 Bq/kg⁵⁾で除することによって推定する。

⁹⁰Sr による内部被ばく線量の試算においては、Sr と同じアルカリ土類金属である安定カルシウム(Ca)濃度を用いる。分担研究 1. において採取された作物について、安定 Sr 濃度および安定 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)及び ICP 質量分析装置 (PlasmaQuant MS, 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。

¹²⁹I による内部被ばく線量の試算においては、安定ヨウ素濃度として分担研究 1. で測定された ¹²⁷I 濃度を用いる。

なお、各年度において試料を採取した地点は、各地域内で若干異なるため、線量評価を実施する地域のカテゴリは、それぞれを代表する名称とする(表 2 参照)。

C. 研究結果

1. 農作物中放射性核種濃度の比較検討

分担研究 1. において測定された玄米中の ¹³⁷Cs、⁹⁰Sr、⁴⁰K 及び ¹²⁹I 濃度を表 3 に示す。分担研究 1. で考察されたように、¹²⁹I 濃度は福島県浜通りが最も高く、FDNPS 事故の影響による濃度の上昇が現れている可能性がある。しかしながら、大気圏核実験由来の放射性核種濃度のばらつきは数オーダーにわたることから、福島県浜通りも含め、今回測定され

た放射性核種濃度について、FDNPS 事故の影響と大気圏核実験の影響を明確に区別することは困難である。よって本評価においては、分担研究 1. において測定された濃度をそのまま用い、FDNPS 事故由来と大気圏核実験由来を区別せずに線量評価を行うこととする。また、 ^{90}Sr は福島県内の試料のみ測定されているが、今回検出された ^{90}Sr はほとんどが大気圏核実験由来と考えられる。

なお、本研究では、2018～2020 年度に測定されたデータを使用するが、3 年間の ^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^{129}I の放射性崩壊による減少の影響は小さいため、線量評価において各年度間の放射性崩壊による補正は行わず、測定された放射性核種濃度をそのまま用いることとする。

2. 安定元素濃度の測定及び推定結果

玄米試料について、安定元素濃度を推定あるいは測定した結果を表 4 に示す。前述したように、安定 K 濃度は分担研究 1. において測定された ^{40}K 濃度からの推定値、安定 Sr および安定 Ca 濃度は本分担研究における測定値、安定 I 濃度は分担研究 1. で測定された ^{127}I 濃度である。

表 4 に見られるように、K は濃度が比較的安定している。Ca、Sr 及び I はこれらに比べて濃度ばらつきが若干大きい、ほぼ一桁の範囲内に収まっている。

3. 農作物摂取量を用いた内部被ばく線量評価

基準値の設定において用いられた各年齢性別区分における、食品区分毎の食品摂取量¹⁾を表 5 に示す。なお、1歳未満は調整粉乳からの摂取量が大きいことから、本評価からは除外する。

本研究では農作物のみを試料としていることから、食品摂取量を用いる方法では畜産物や水産物中濃度を推定することは困難であるため、農作物摂取による内部被ばく線量について検討する。

土壌から農作物への元素の移行のし易さは元素の種類によって異なることから、同じ放射性核種濃度の耕作地で栽培された農作物でも、可食部中の放射性核種濃度は異なる。よって、ホウレンソウ、ジャガイモ及び玄米中の放射性核種濃度を用いて他の農作物中における放射性核種濃度を推定するため、放射線医学総合研究所が資源エネルギー庁事業において測定した土壌-農作物移行係数^{6,9)}を用いることとする。

本評価で用いる食品分類に対応する、安定 Cs、安定 Sr 及び安定 I の土壌-農作物移行係数の幾何平均値を表 6 にまとめて示す。これらの土壌-農作物移行係数を用いて、ホウレンソウ、ジャガイモ及び玄米中濃度から各農作物中濃度を推定する。農作物の種類及び生育形態の観点から、コメ(白米)及び穀類は玄米中濃度、葉菜、豆類及び果菜類はホウレンソウ中濃度、芋類及び根菜類はジャガイモ中濃度を用いてそれぞれの濃度を推定する。なお、 ^{134}Cs 濃度は検出されていない試料が多いことから、全ての試料について、平成 23 年 3 月 11 日における $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度比を 1:1 とし、令和 2 年 9 月 30 日における ^{134}Cs 濃度との比を算出し、 ^{137}Cs 濃度に乗じることで推定する。

年齢区分「1-6 歳」には 5 歳、「7-12 歳」には 10 歳、「13-18 歳」には 15 歳、「19 歳以上」及び「妊婦」には成人の線量係数を用いる。また、基準値の設定における想定と同様に、当該放射性核種が含まれる食品は、摂取する食品の 1/2 と仮定する。

農作物の摂取による各核種による内部被ばく線量の推定結果を表 7 に示す。 ^{137}Cs による被ばく線量推定値が最も高かったのは、福島県浜通りの「13-18 歳【男子】」であり、年間 0.0029 mSv であった。 ^{90}Sr による被ばく線量は、性別年齢区分によって異なるが、年間 0.0001 mSv 前後であり、推定値が最も高かったのは福島県浜通りの「13-18 歳【男子】」で、年間

0.00015 mSv 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いと考えられる。

^{129}I による被ばく線量推定値が最も高かったのは、福島県浜通りの「7-12 歳【女子】」であり、年間 0.00000077 mSv であった。いずれについても、介入線量レベルである年間 1 mSv を大幅に下回っている。

また、農作物摂取による年間内部被ばく線量推定値の $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比を表 8 に示す。比の最大値は福島県中通り北部の「7-12 歳【女子】」の 0.00060 であり、農作物摂取による ^{129}I による年間内部被ばく線量は、 ^{137}Cs による被ばく線量よりも極めて小さいことが明らかである。

4. 安定元素濃度を用いた内部被ばく線量の試算

測定された放射性核種濃度と、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年間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。

安定 K 及び安定 Ca の年間摂取量は、平成 29 年 (2017 年)国民健康・栄養調査報告¹⁰⁾を用いる。しかしながら、安定 I の年間摂取量は国民健康・栄養調査報告には含まれていない。

「日本人の食事摂取基準(2020 年版)「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書¹¹⁾では、「日本人のヨウ素摂取量は、昆布製品などの海藻類をあまり含まない献立での 500 μg /日未満を基本に、間欠的に摂取する海藻類を含む献立分が加わり、平均で 1~3 mg/日だと推定できる。」としている。

すなわち、安定ヨウ素の摂取は「海藻類を多く含む食事分」の影響が非常に大きい。一方、本研究では農作物であるホウレンソウ、ジャガイモ及び玄米のデ

ータを用いることから、このデータによって海藻類を含む摂取量に外挿することは不確実性が非常に大きい。よって、安定 I の摂取量については、「昆布製品などの海藻類をあまり含まない食事からの 500 μg /日未満」を基として推定することとする。

まず、成人における「海藻類をあまり含まない食事」における安定 I 摂取量を安全側に 500 μg /日と仮定する。次に、表 5 に示した「摂取量合計」から「海産物」を除いた摂取量を用い、「19歳以上【男子】」と「19歳以上【女子】」の当該摂取量の平均値を求める。この平均値で前述の安定 I 摂取量(500 μg /日)を規格化し、各年齢性別区分の安定 I 摂取量の推定値とする。なお、国民健康・栄養調査報告の年齢区分は「1~6 歳」、「7~14 歳」、「15~19 歳」、「20 歳以上」(20 歳以上は 10 歳毎に区分した上「20 歳以上」として再集計されている)となっているため、表 4 の「1~6歳」、「7~12 歳」、「13~18 歳」、「19 歳以上」をそれぞれ対応させることとする。これらの方法によって取りまとめた各年齢性別区分の各安定元素摂取量を表 9 に示す。

玄米中 ^{137}Cs /安定 K、 ^{90}Sr /安定 Ca 及び ^{129}I /安定 I を表 10 (1) に示す。安定 K 濃度は分担研究 1.において測定された ^{40}K 濃度からの推定値、安定 Sr および安定 Ca 濃度は本分担研究における測定値、安定 I 濃度は分担研究 1. で測定された ^{127}I 濃度である。食品の種類は多岐にわたることから、本手法による線量の試算では、ホウレンソウ、ジャガイモ及び玄米におけるこれらの比の平均値を用いることとする。平均値を表 10 (2) に示す。なお、 ^{134}Cs /安定 K は、平成 23 年 3 月 11 日における $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能濃度比を 1:1 とし、令和 2 年 9 月 30 日における ^{134}Cs 濃度との比を算出し、 ^{137}Cs 濃度に乗じることによって推定する。

安定元素摂取量を用いた年間内部被ばく線量推定値を表 11 (1)~(8) に示す。なお、ここで、 ^{134}Cs 、

^{137}Cs 、 ^{90}Sr 、 ^{40}K は全食品による摂取を対象とした推定値であるが、 ^{129}I による被ばく線量は、前述したように、「海藻類を多く含む食事分」を除いた推定値である。

全ての食品を考慮した放射性 Cs による年間内部被ばく線量は、最も線量の高かった福島県浜通りの「男子 20 歳以上」でも年間 0.0043 mSv 程度であり、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。

また、 ^{90}Sr による被ばく線量は、多くが年間 0.0001 mSv のオーダーであり、最大は福島県浜通りの「男子 7-14 歳」と「男子 15-19 歳」で、年間 0.0020 mSv 程度であった。

^{129}I による「海藻類をあまり含まない食事」における年間内部被ばく線量は、最も線量の高かった最大で福島県浜通りの「男子 7-14 歳」で、年間 0.000031 mSv 程度であり、放射性 Cs による年間内部被ばく線量に比べて十分に低い値であった。

D. 考察

1. 農作物摂取量を用いた内部被ばく線量評価

表 7 に示したように、農作物摂取による年間内部被ばく線量推定値は、最も高い南相馬市の福島県浜通りの「13-18 歳【男子】」でも年間 0.0029 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。

なお、2020 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被ばく線量¹²⁾は、福島（浜通り）で 0.0007 mSv、福島（中通り）で 0.0008 mSv、福島（会津）で 0.0009 mSv であり、また福島県以外では 0.0005～0.0014 mSv であることから、地域による差異はほぼ見られなくなっている。本評価における線量は、福島県浜通り以外ではほとんど 0.0001 mSv のオーダーであり、こ

の線量評価が農作物摂取を対象としていることを考えると、妥当な評価であると考えられる。また、福島県浜通りではマーケットバスケット法による評価よりも高い推定値となっているが、実際に消費される食品はより広範囲の産地から購入されるため、被ばく線量は本評価値より低くなっていると考えられる。なお、本評価では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が、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影響も考えられる。

^{90}Sr による被ばく線量は、性別年齢区分によって異なるが、年間 0.0001 mSv 前後であった。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いと考えられる。

^{129}I による被ばく線量推定値が最も高かったのは、福島県浜通りの「7-12 歳【女子】」であり、年間 0.00000077 mSv であった。また、農作物摂取による年間内部被ばく線量推定値の $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比を考えた場合、比の最大値は福島県中通り北部の「7-12 歳【女子】」の 0.00060 であった。これらのことから、農作物摂取による ^{129}I による年間内部被ばく線量は、十分に低いことが示唆された。

2. 安定元素濃度を用いた内部被ばく線量の試算

安定 K 濃度を用いた放射性 Cs による全ての食品を考慮した年間内部被ばく線量は、最も線量の高かった福島県浜通りの「男子 20 歳以上」でも年間 0.0043 mSv 程度であり、この手法による試算で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。これは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被ばく線量¹²⁾を上回っているが、このような差異は、前述したように、実際に摂取される食品はより広範囲の産地から購入されることや、

調理加工等に起因すると考えられる。また、農作物における比の平均値を全ての食品に適用したよる不確かさも考えられる。

安定 Ca 濃度を用いた ^{90}Sr による全ての食品を考慮した内部被ばく線量の試算結果は年齢によって大きく変わるが、ほぼ 0.0001 mSv のオーダーであり、最大で 0.0020 mSv 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試算結果よりも十分に低いと考えられる。

^{129}I による「海藻類をあまり含まない食事」における年間内部被ばく線量は、最も線量の高かった福島県浜通りでも年間 0.00001 mSv のオーダーであり、放射性 Cs による年間内部被ばく線量の試算結果に比べて十分に低い値であった。

なお、本試算においては、安定 I の成人における摂取量について、「海藻類をあまり含まない食事」として 500 $\mu\text{g}/\text{日}$ ¹¹⁾と仮定している。しかしながら、日本人学生を対象としたヨウ素摂取量調査¹³⁾では、藻類を全く摂取しない人の 1 日平均ヨウ素摂取量を 72.7 $\mu\text{g}/\text{日}$ 、中央値が 68.1 $\mu\text{g}/\text{日}$ となっており、本試算は農作物摂取の線量推定と考えた場合には過大評価となっている可能性がある。

このように、 ^{129}I による被ばく線量は放射性セシウムに比べて十分に低いと考えられるが、その推定結果については、現時点では不確実性が大きい、より精度の高い評価のためには、海藻類を含む海産物摂取の評価等、より広範囲な調査研究が重要である。

E. 結論

本年度採取された玄米に加え、2018 年度～2019 年度に採取されたハウレンソウ及びジャガイモ中放射性 Cs 濃度、 ^{90}Sr 濃度、 ^{129}I 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推定した結果、

極めて保守的な仮定を用い、過去の大気中核実験等のフォールアウト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、FDNPS 事故由来に起因する年間内部被ばく線量は、 ^{90}Sr 及び ^{129}I の寄与を考慮しても、年間 1 mSv を十分に下回っており、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。なお、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。 ^{129}I による被ばく線量も年間 1 mSv に比べて十分に小さく、また、放射性 Cs による被ばく線量に比べても十分低いことから、基準値の設定において、「寄与は十分小さいと考えられる」と想定したことが妥当であることが確認された。

なお、本研究は3種類の農作物によって線量評価を実施した。食品中放射性核種濃度や、安定元素に対する濃度比はばらつきが大きく、また、同じ市町村においても沈着量のばらつきが大きい。特に本研究において着目した ^{129}I による内部被ばく線量評価については、安定 I の摂取経路において海藻類の寄与が大きいことから、陸域環境における調査のみならず、より広範囲な調査研究が重要である。

本研究は、食品中の放射性物質の基準値に対して、国民が安心・安全を得ることができること、そして国内の食品の安全に関する根拠を示すことを目的に、食品中の放射性物質の基準値の妥当性について検証を行うことを目的としている。本研究によって、FDNPS 事故由来に起因する年間内部被ばく線量は介入線量レベルである年間 1 mSv を大幅に下回っている蓋然性が高いことを示したが、より精度の高い推定を行うためには、試料数を増やして測定を継続的にを行い、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) 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(平成23年12月22日開催)(2011).
- 2) ICRP: Publication 72(1996).
- 3) 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放射性核種濃度比の検証とその影響評価に関する研究 平成30年度総括・分担研究報告書 (2019).
- 4) 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放射性核種濃度比の検証とその影響評価に関する研究 令和元年度総括・分担研究報告書 (2020).
- 5) アイトープ便覧(改訂3版)、日本アイトープ協会編、丸善(1984).
- 6) S. Uchida et al.: Soil-to-Plant Transfer Factors of Stable Elements and Naturally Occurring Radionuclides (1) Upland Field Crops Collected in Japan, J. Nucl. Sci. Technol., **44**, 628-640 (2007).
- 7) S. Uchida et al.: Soil-to-Plant Transfer Factors of Stable Elements and Naturally Occurring Radionuclides: (2) Rice Collected in Japan, J. Nucl. Sci. Technol., **44**, 779-790 (2007)

- 8) S. Uchida and K. Tagami: Iodine transfer from agricultural soils to edible part of crops, Proc. Radiochim. Acta **1**, 279-283 (2011).
- 9) 放射線医学総合研究所:放射性廃棄物共通技術調査等委託事業「放射性核種生物圏移行評価高度化調査6年間(平成19年度~平成24年度)のまとめ[詳細版]」(2013).
- 10) 厚生労働省:平成29年国民健康・栄養調査報告 (2018).
- 11) 厚生労働省:日本人の食事摂取基準(2020年版)「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書 (2019).
- 12) 厚生労働省:食品中の放射性セシウムから受ける放射線量の調査結果(令和2年2~3月調査分) (2020).
- 13) 塚田信他:日本人学生のヨウ素摂取量調査 - 「日本食品標準成分表2010」に基づいて-、日本臨床栄養学会雑誌、**35**、30-38(2013).

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(mSv/Bq)

放射性核種	5歳	10歳	15歳	成人
Cs-134	1.3E-05	1.4E-05	1.9E-05	1.9E-05
Cs-137	9.6E-06	1.0E-05	1.3E-05	1.3E-05
Sr-90	4.7E-05	6.0E-05	8.0E-05	2.8E-05
I-129	1.7E-04	1.9E-04	1.4E-04	1.1E-04
K-40	2.1E-05	1.3E-05	7.6E-06	6.2E-06

表2 各年度の試料採取地点と地域名

地域名	2018年度	2019年度	2020年度
宮城県	宮城県大崎市	宮城県大崎市	宮城県大崎市
栃木県	栃木県日光市	栃木県鹿沼市	栃木県宇都宮市
愛知県	愛知県武豊町	愛知県武豊町	愛知県武豊町
福島県浜通り	福島県南相馬市	福島県南相馬市	福島県南相馬市
福島県中通り北部	福島県二本松市	福島県福島市	福島県伊達市
福島県中通り中部	福島県三春町	福島県郡山市	福島県郡山市
福島県会津地方	福島県下郷町	福島県猪苗代町	福島県猪苗代町

表3 分担研究1.において測定された玄米中放射性核種濃度

採取場所	¹³⁷ Cs			⁹⁰ Sr			⁴⁰ K			¹²⁹ I		
	Bq/kg 生			Bq/kg 生			Bq/kg 生			Bq/kg 生		
宮城県大崎市	8.2E-02	±	3.4E-03	-	-	-	6.6E+01	±	2.3E-01	2.8E-07	±	2.8E-08
栃木県宇都宮市	2.2E-01	±	3.8E-03	-	-	-	6.4E+01	±	2.0E-01	2.2E-07	±	2.3E-08
愛知県武豊町		<	1.9E-02	-	-	-	5.9E+01	±	2.5E-01	8.8E-08	±	1.8E-08
福島県南相馬市	1.8E+00	±	2.0E-02	1.4E-02	±	1.6E-03	6.0E+01	±	4.4E-01	5.0E-06	±	2.5E-07
福島県伊達市	7.4E-01	±	1.2E-02	9.7E-03	±	1.5E-03	5.6E+01	±	3.6E-01	5.6E-07	±	3.9E-08
福島県郡山市	4.3E-01	±	4.4E-03	3.8E-03	±	1.2E-03	6.2E+01	±	1.9E-01	1.9E-07	±	2.1E-08
福島県猪苗代町	2.8E-01	±	7.9E-03	3.8E-03	±	1.9E-04	5.9E+01	±	3.6E-01	1.2E-07	±	2.1E-08

表4 玄米中安定元素濃度

採取場所	安定K (⁴⁰ Kから算定)	安定Sr	安定Ca	安定I
	gK/kg 生	gSr/kg 生	gCa/kg 生	gI/kg 生
宮城県大崎市	2.2E+00	3.3E-04	2.8E-01	2.6E-05
栃木県宇都宮市	2.1E+00	1.4E-04	9.3E-02	3.5E-05
愛知県武豊町	1.9E+00	1.5E-04	9.4E-02	8.0E-05
福島県南相馬市	2.0E+00	1.3E-04	7.2E-02	4.4E-05
福島県伊達市	1.9E+00	2.0E-04	1.1E-01	7.1E-05
福島県郡山市	2.0E+00	1.9E-04	8.9E-02	4.4E-05
福島県猪苗代町	1.9E+00	1.2E-04	8.9E-02	8.0E-05

表 5 食品区分ごとの平均1日摂取量(g/日)¹⁾

	1歳未満	1-6歳 【男子】	1-6歳 【女子】	7-12歳 【男子】	7-12歳 【女子】	13-18歳 【男子】	13-18歳 【女子】	19歳以上 【男子】	19歳以上 【女子】	妊婦
穀類	20.8	82.7	82.1	127.5	110.9	127.5	110.9	127.5	110.9	141.6
コメ	69.3	195.5	168.2	319.4	276.3	499.4	323.8	424.0	292.0	228.0
芋類	13.0	36.8	34.1	85.0	78.2	79.2	67.6	60.0	55.8	57.7
葉菜類	5.7	68.9	61.8	125.1	122.1	139.9	128.3	142.9	130.2	128.3
根菜類	4.5	37.0	35.2	69.3	67.9	77.1	68.4	85.2	78.1	67.1
豆類	10.0	29.1	28.4	66.0	63.0	64.4	61.9	64.3	61.7	48.4
果菜類	66.8	174.9	178.7	151.6	161.2	149.4	156.1	229.7	243.1	230.3
乳製品	22.0	52.6	47.4	28.0	35.4	25.8	35.5	30.6	38.9	47.3
牛肉	0.1	10.2	7.9	15.5	15.0	27.3	19.1	17.7	12.1	21.2
豚肉	0.7	36.8	31.6	51.4	42.5	68.0	50.5	46.6	36.1	43.8
鶏肉	2.0	14.1	14.1	23.6	23.2	39.1	30.7	22.1	16.2	21.7
鶏卵	2.9	28.0	24.3	35.5	32.1	51.4	47.4	39.6	34.5	39.2
淡水産物	3.0	3.2	3.5	5.2	4.7	6.1	5.5	9.4	7.6	4.5
海産物	9.7	38.0	39.5	75.9	67.1	82.3	71.9	111.1	89.9	53.6
その他*	22.6	292.9	310.0	395.2	331.6	398.5	332.7	623.8	374.0	533.6
牛乳	5.8	159.7	139.2	308.2	259.9	216.2	152.2	82.3	87.0	100.2
調製粉乳(粉状)	114.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
摂取量合計	372.9	1260.4	1206.0	1882.4	1691.1	2051.6	1662.5	2116.8	1668.1	1766.5

* その他にはキノコ類、菓子類、酒類、嗜好飲料、調味料等が含まれる。

表 6 各安定元素の土壌-農作物移行係数の幾何平均値(乾重量あたり)⁶⁻⁹⁾

	Cs	Sr	I
玄米	1.0E-03	3.2E-03	4.2E-03
白米	4.6E-04	8.1E-04	2.4E-03
芋類	5.5E-03	2.7E-02	6.9E-03
葉菜類	5.5E-03	2.2E-01	1.2E-02
根菜類	1.8E-03	1.2E-01	6.1E-03
麦類	7.6E-04	1.5E-02	4.9E-03
豆類	3.7E-03	7.5E-02	4.7E-03
果実類	5.8E-03	5.4E-02	1.4E-02

表 7 農作物摂取による年間内部被ばく線量推定値(単位:mSv/y)

		1-6歳 【男子】	1-6歳 【女子】	7-12歳 【男子】	7-12歳 【女子】	13-18歳 【男子】	13-18歳 【女子】	19歳以上 【男子】	19歳以上 【女子】	妊婦
宮城県	¹³⁴ Cs	5.4E-06	5.1E-06	8.3E-06	7.8E-06	1.3E-05	1.1E-05	1.4E-05	1.2E-05	1.1E-05
	¹³⁷ Cs	8.0E-05	7.6E-05	1.2E-04	1.1E-04	1.8E-04	1.5E-04	1.9E-04	1.7E-04	1.5E-04
	⁹⁰ Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	¹²⁹ I	9.4E-09	9.2E-09	1.3E-08	1.3E-08	1.1E-08	9.6E-09	9.8E-09	9.3E-09	8.9E-09
栃木県	¹³⁴ Cs	7.9E-06	7.3E-06	1.3E-05	1.2E-05	2.3E-05	1.7E-05	2.2E-05	1.7E-05	1.6E-05
	¹³⁷ Cs	1.2E-04	1.1E-04	1.9E-04	1.7E-04	3.2E-04	2.4E-04	3.0E-04	2.4E-04	2.2E-04
	⁹⁰ Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	¹²⁹ I**	3.2E-09	3.1E-09	4.9E-09	4.6E-09	4.2E-09	3.5E-09	3.5E-09	3.1E-09	3.0E-09
愛知県	¹³⁴ Cs*	9.6E-07	9.0E-07	1.5E-06	1.4E-06	2.6E-06	2.0E-06	2.5E-06	2.1E-06	2.0E-06
	¹³⁷ Cs*	1.4E-05	1.3E-05	2.2E-05	2.0E-05	3.5E-05	2.8E-05	3.4E-05	2.9E-05	2.7E-05
	⁹⁰ Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	¹²⁹ I**	2.9E-09	2.8E-09	4.1E-09	4.0E-09	3.3E-09	3.0E-09	3.0E-09	2.9E-09	2.7E-09
福島県浜通り	¹³⁴ Cs	7.7E-05	7.2E-05	1.2E-04	1.1E-04	2.1E-04	1.6E-04	2.1E-04	1.7E-04	1.6E-04
	¹³⁷ Cs	1.1E-03	1.1E-03	1.8E-03	1.6E-03	2.9E-03	2.2E-03	2.8E-03	2.3E-03	2.1E-03
	⁹⁰ Sr	5.3E-05	5.0E-05	1.1E-04	1.0E-04	1.5E-04	1.4E-04	5.6E-05	5.1E-05	5.2E-05
	¹²⁹ I	5.8E-07	5.7E-07	7.6E-07	7.7E-07	5.9E-07	5.7E-07	5.8E-07	5.8E-07	5.5E-07
福島県中通り北部	¹³⁴ Cs	2.5E-05	2.3E-05	4.3E-05	3.9E-05	7.6E-05	5.6E-05	7.0E-05	5.5E-05	5.1E-05
	¹³⁷ Cs	3.7E-04	3.4E-04	6.1E-04	5.5E-04	1.0E-03	7.7E-04	9.6E-04	7.6E-04	7.0E-04
	⁹⁰ Sr	4.1E-05	3.9E-05	8.2E-05	7.8E-05	1.2E-04	1.1E-04	4.4E-05	4.0E-05	4.1E-05
	¹²⁹ I	3.1E-08	1.9E-07	1.9E-07	3.3E-07	2.4E-07	2.7E-07	1.9E-07	2.3E-07	2.1E-07
福島県中通り中部	¹³⁴ Cs	1.5E-05	1.3E-05	2.6E-05	2.3E-05	4.6E-05	3.4E-05	4.1E-05	3.2E-05	3.0E-05
	¹³⁷ Cs	2.2E-04	2.0E-04	3.7E-04	3.3E-04	6.2E-04	4.6E-04	5.6E-04	4.4E-04	4.1E-04
	⁹⁰ Sr	1.7E-05	1.6E-05	3.5E-05	3.3E-05	4.9E-05	4.4E-05	1.8E-05	1.7E-05	1.7E-05
	¹²⁹ I	1.2E-08	1.2E-08	1.6E-08	1.6E-08	1.3E-08	1.2E-08	1.2E-08	1.2E-08	1.1E-08
福島県会津地方	¹³⁴ Cs	7.9E-06	7.1E-06	1.4E-05	1.2E-05	2.5E-05	1.8E-05	2.2E-05	1.7E-05	1.5E-05
	¹³⁷ Cs	1.2E-04	1.0E-04	1.9E-04	1.7E-04	3.4E-04	2.4E-04	3.1E-04	2.3E-04	2.1E-04
	⁹⁰ Sr	1.7E-05	1.7E-05	3.7E-05	3.5E-05	5.3E-05	4.7E-05	1.9E-05	1.8E-05	1.8E-05
	¹²⁹ I**	6.4E-09	6.3E-09	8.7E-09	8.7E-09	6.9E-09	6.5E-09	6.6E-09	6.4E-09	6.1E-09

* 愛知県の ¹³⁴Cs 及び ¹³⁷Cs の線量は、¹³⁷Cs 濃度の検出下限値が使用されている。

** 栃木県、愛知県、福島県会津地方の ¹²⁹I の線量は、一部に ¹²⁹I 濃度の検出下限値が使用されている。

表 8 農作物摂取による年間内部被ばく線量推定値の ¹²⁹I/¹³⁷Cs 比

		1-6歳 【男子】	1-6歳 【女子】	7-12歳 【男子】	7-12歳 【女子】	13-18歳 【男子】	13-18歳 【女子】	19歳以上 【男子】	19歳以上 【女子】	妊婦
宮城県	¹²⁹ I/ ¹³⁷ Cs	1.2E-04	1.2E-04	1.1E-04	1.1E-04	5.8E-05	6.4E-05	5.2E-05	5.6E-05	5.7E-05
栃木県	¹²⁹ I/ ¹³⁷ Cs	2.8E-05	2.9E-05	2.6E-05	2.7E-05	1.3E-05	1.5E-05	1.2E-05	1.3E-05	1.4E-05
愛知県	¹²⁹ I/ ¹³⁷ Cs	2.1E-04	2.2E-04	1.8E-04	2.0E-04	9.4E-05	1.1E-04	8.8E-05	9.9E-05	1.0E-04
福島県浜通り	¹²⁹ I/ ¹³⁷ Cs	5.1E-04	5.4E-04	4.4E-04	4.8E-04	2.1E-04	2.6E-04	2.1E-04	2.5E-04	2.6E-04
福島県中通り北部	¹²⁹ I/ ¹³⁷ Cs	8.2E-05	5.4E-04	3.1E-04	6.0E-04	2.3E-04	3.5E-04	2.0E-04	3.0E-04	3.0E-04
福島県中通り中部	¹²⁹ I/ ¹³⁷ Cs	5.5E-05	5.9E-05	4.3E-05	4.8E-05	2.0E-05	2.6E-05	2.2E-05	2.7E-05	2.8E-05
福島県会津地方	¹²⁹ I/ ¹³⁷ Cs	5.6E-05	6.0E-05	4.5E-05	5.1E-05	2.0E-05	2.7E-05	2.1E-05	2.8E-05	2.9E-05

表 9 安定元素濃度摂取量(単位:g/y)

		1-6歳	7-14歳	15-19歳	20歳以上
男性	K	5.2E+02	8.5E+02	8.4E+02	8.7E+02
	Ca	1.5E+02	2.5E+02	1.9E+02	1.9E+02
	I	1.2E-01	1.8E-01	2.0E-01	2.0E-01
女性	K	4.8E+02	7.7E+02	7.0E+02	8.2E+02
	Ca	1.3E+02	2.4E+02	1.7E+02	1.9E+02
	I	1.2E-01	1.7E-01	1.6E-01	1.6E-01

表 10 (1) 玄米中の安定元素重量に対する放射性核種の放射能比

採取場所	¹³⁷ Cs/安定K	⁹⁰ Sr/安定Ca	¹²⁹ I/安定I
	Bq/gK	Bq/gCa	Bq/gI
宮城県大崎市	3.8E-02	-	1.1E-02
栃木県宇都宮市	1.0E-01	-	6.2E-03
愛知県武豊町*	1.0E-02	-	1.1E-03
福島県南相馬市	9.3E-01	2.0E-01	1.1E-01
福島県伊達市	4.0E-01	9.2E-02	7.8E-03
福島県郡山市	2.1E-01	4.3E-02	4.3E-03
福島県猪苗代町	1.5E-01	4.3E-02	1.5E-03

*武豊町の¹³⁷Csの評価は¹³⁷Cs濃度の検出下限値を使用する。

表 10(2) 農作物中の安定元素重量に対する放射性核種の放射能比

(ホウレンソウ、ジャガイモ、玄米の平均値)

採取場所	¹³⁴ Cs/安定K	¹³⁷ Cs/安定K	⁹⁰ Sr/安定Ca	¹²⁹ I/安定I
	Bq/gK	Bq/gK	Bq/gCa	Bq/gI
宮城県	1.1E-03	2.2E-02	-	3.7E-02
栃木県**	2.2E-03	4.3E-02	-	4.5E-03
愛知県*	2.4E-04	4.9E-03	-	8.8E-03
福島県浜通り	1.8E-02	3.7E-01	1.3E-01	8.9E-01
福島県中通り北部	8.2E-03	1.6E-01	6.5E-02	1.3E-01
福島県中通り中部	5.3E-03	1.1E-01	3.0E-02	2.0E-02
福島県会津地方**	2.7E-03	5.3E-02	3.2E-02	7.3E-03

* 愛知県の¹³⁴Cs及び¹³⁷Csの濃度の平均値は、¹³⁷Cs濃度の検出下限値が使用されている。

また¹²⁹I濃度の平均値は、一部に¹²⁹I濃度の検出下限値が使用されている。

** 栃木県及び福島県会津地方の¹²⁹I濃度の平均値は、一部に¹²⁹I濃度の検出下限値が使用されている。

表 11 (1) 安定元素摂取量を用いた年間内部被ばく線量試算値(単位:mSv/y)

(男子 1-6 歳)

採取場所	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹²⁹ I	⁴⁰ K
	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y
宮城県	7.4E-06	1.1E-04	-	7.7E-07	3.3E-01
栃木県**	1.5E-05	2.2E-04	-	9.6E-08	3.3E-01
愛知県*	1.7E-06	2.5E-05	-	1.9E-07	3.3E-01
福島県浜通り	1.2E-04	1.8E-03	9.2E-04	1.9E-05	3.3E-01
福島県中通り北部	5.5E-05	8.2E-04	4.7E-04	2.8E-06	3.3E-01
福島県中通り中部	3.6E-05	5.3E-04	2.2E-04	4.3E-07	3.3E-01
福島県会津地方**	1.8E-05	2.7E-04	2.3E-04	1.5E-07	3.3E-01

* 愛知県の ¹³⁴Cs 及び ¹³⁷Cs の線量の試算は、¹³⁷Cs 濃度の検出下限値が使用されている。また ¹²⁹I 濃度の線量の試算は、一部に ¹²⁹I 濃度の検出下限値が使用されている。

** 栃木県及び福島県会津地方の ¹²⁹I 濃度の線量の試算は、一部に ¹²⁹I 濃度の検出下限値が使用されている。

表 11(2) 安定元素摂取量を用いた年間内部被ばく線量試算値 (単位 : mSv/y)

(女子 1-6 歳)

採取場所	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹²⁹ I	⁴⁰ K
	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y
宮城県	6.9E-06	1.0E-04	-	7.4E-07	3.1E-01
栃木県**	1.4E-05	2.0E-04	-	9.2E-08	3.1E-01
愛知県*	1.5E-06	2.3E-05	-	1.8E-07	3.1E-01
福島県浜通り	1.2E-04	1.7E-03	8.2E-04	1.8E-05	3.1E-01
福島県中通り北部	5.1E-05	7.6E-04	4.1E-04	2.7E-06	3.1E-01
福島県中通り中部	3.3E-05	4.9E-04	1.9E-04	4.1E-07	3.1E-01
福島県会津地方**	1.7E-05	2.5E-04	2.1E-04	1.5E-07	3.1E-01

*愛知県の ¹³⁴Cs 及び ¹³⁷Cs の線量の試算は、¹³⁷Cs 濃度の検出下限値が使用されている。また ¹²⁹I 濃度の線量の試算は、一部に ¹²⁹I 濃度の検出下限値が使用されている。

** 栃木県及び福島県会津地方の ¹²⁹I 濃度の線量の試算は、一部に ¹²⁹I 濃度の検出下限値が使用されている。

表 11(3) 安定元素摂取量を用いた年間内部被ばく線量試算値(単位:mSv/y)

(男子 7-14 歳)

採取場所	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	^{129}I	^{40}K
	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y
宮城県	1.3E-05	1.9E-04	-	1.3E-06	3.4E-01
栃木県**	2.6E-05	3.7E-04	-	1.6E-07	3.4E-01
愛知県*	2.9E-06	4.2E-05	-	3.1E-07	3.4E-01
福島県浜通り	2.2E-04	3.1E-03	2.0E-03	3.1E-05	3.4E-01
福島県中通り北部	9.7E-05	1.4E-03	1.0E-03	4.7E-06	3.4E-01
福島県中通り中部	6.3E-05	9.0E-04	4.6E-04	7.1E-07	3.4E-01
福島県会津地方**	3.2E-05	4.6E-04	5.0E-04	2.5E-07	3.4E-01

* 愛知県の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の線量の試算は、 ^{137}Cs 濃度の検出下限値が使用されている。また ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

** 栃木県及び福島県会津地方の ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

表 11(4) 安定元素摂取量を用いた年間内部被ばく線量試算値(単位:mSv/y)

(女子 7-14 歳)

採取場所	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	^{129}I	^{40}K
	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y
宮城県	1.2E-05	1.7E-04	-	1.1E-06	3.0E-01
栃木県**	2.3E-05	3.3E-04	-	1.4E-07	3.0E-01
愛知県*	2.6E-06	3.8E-05	-	2.8E-07	3.0E-01
福島県浜通り	2.0E-04	2.8E-03	1.8E-03	2.8E-05	3.0E-01
福島県中通り北部	8.8E-05	1.2E-03	9.3E-04	4.2E-06	3.0E-01
福島県中通り中部	5.6E-05	8.1E-04	4.3E-04	6.4E-07	3.0E-01
福島県会津地方**	2.9E-05	4.1E-04	4.6E-04	2.3E-07	3.0E-01

* 愛知県の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の線量の試算は、 ^{137}Cs 濃度の検出下限値が使用されている。また ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

** 栃木県及び福島県会津地方の ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

表 11(5) 安定元素摂取量を用いた年間内部被ばく線量試算値(単位:mSv/y)

(男子 15-19 歳)

採取場所	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	^{129}I	^{40}K
	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y
宮城県	1.7E-05	2.4E-04	-	1.0E-06	1.9E-01
栃木県**	3.4E-05	4.7E-04	-	1.3E-07	1.9E-01
愛知県*	3.9E-06	5.3E-05	-	2.5E-07	1.9E-01
福島県浜通り	2.9E-04	4.0E-03	2.0E-03	2.5E-05	1.9E-01
福島県中通り北部	1.3E-04	1.8E-03	1.0E-03	3.8E-06	1.9E-01
福島県中通り中部	8.4E-05	1.1E-03	4.7E-04	5.7E-07	1.9E-01
福島県会津地方**	4.3E-05	5.8E-04	5.0E-04	2.0E-07	1.9E-01

* 愛知県の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の線量の試算は、 ^{137}Cs 濃度の検出下限値が使用されている。また ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

** 栃木県及び福島県会津地方の ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

表 11(6) 安定元素摂取量を用いた年間内部被ばく線量試算値(単位:mSv/y)

(女子 15-19 歳)

採取場所	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	^{129}I	^{40}K
	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y
宮城県	1.5E-05	2.0E-04	-	8.3E-07	1.6E-01
栃木県**	2.9E-05	3.9E-04	-	1.0E-07	1.6E-01
愛知県*	3.3E-06	4.5E-05	-	2.0E-07	1.6E-01
福島県浜通り	2.5E-04	3.3E-03	1.7E-03	2.0E-05	1.6E-01
福島県中通り北部	1.1E-04	1.5E-03	8.8E-04	3.1E-06	1.6E-01
福島県中通り中部	7.0E-05	9.6E-04	4.1E-04	4.6E-07	1.6E-01
福島県会津地方**	3.6E-05	4.9E-04	4.4E-04	1.6E-07	1.6E-01

* 愛知県の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の線量の試算は、 ^{137}Cs 濃度の検出下限値が使用されている。また ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

** 栃木県及び福島県会津地方の ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

表 11(7) 安定元素摂取量を用いた年間内部被ばく線量試算値(単位:mSv/y)

(男子 20 歳以上)

採取場所	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	^{129}I	^{40}K
	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y
宮城県	1.8E-05	2.5E-04	-	8.2E-07	1.6E-01
栃木県**	3.6E-05	4.9E-04	-	1.0E-07	1.6E-01
愛知県*	4.0E-06	5.5E-05	-	2.0E-07	1.6E-01
福島県浜通り	3.0E-04	4.2E-03	6.7E-04	2.0E-05	1.6E-01
福島県中通り北部	1.3E-04	1.8E-03	3.4E-04	3.0E-06	1.6E-01
福島県中通り中部	8.7E-05	1.2E-03	1.6E-04	4.6E-07	1.6E-01
福島県会津地方**	4.4E-05	6.0E-04	1.7E-04	1.6E-07	1.6E-01

* 愛知県の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の線量の試算は、 ^{137}Cs 濃度の検出下限値が使用されている。また ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

** 栃木県及び福島県会津地方の ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

表 11(8) 安定元素摂取量を用いた年間内部被ばく線量試算値(単位:mSv/y)

(女子 20 歳以上)

採取場所	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	^{129}I	^{40}K
	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y	mSv/y
宮城県	1.7E-05	2.3E-04	-	6.5E-07	1.6E-01
栃木県**	3.4E-05	4.6E-04	-	8.0E-08	1.6E-01
愛知県*	3.8E-06	5.2E-05	-	1.5E-07	1.6E-01
福島県浜通り	2.9E-04	3.9E-03	6.7E-04	1.6E-05	1.6E-01
福島県中通り北部	1.3E-04	1.7E-03	3.4E-04	2.4E-06	1.6E-01
福島県中通り中部	8.2E-05	1.1E-03	1.6E-04	3.6E-07	1.6E-01
福島県会津地方**	4.2E-05	5.7E-04	1.7E-04	1.3E-07	1.6E-01

* 愛知県の ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の線量の試算は、 ^{137}Cs 濃度の検出下限値が使用されている。また ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

** 栃木県及び福島県会津地方の ^{129}I 濃度の線量の試算は、一部に ^{129}I 濃度の検出下限値が使用されている。

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 量子科学技術研究開発機構
分担研究者 明石 真言 東京医療保健大学

研究要旨

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等に関する基礎的な資料を作成する作業の一環として、放射性物質の基準値導出時における汚染食品の割合に関する情報の収集を行い、とりまとめを行った。また東京電力福島第一原子力発電所(FDNPS)事故時、トリチウムは大量の放出が確認されていないために、食品の基準値策定時には、対象核種ではなかった。FDNPS 事故から 10 年が経過し、施設内に保管されている汚染水の取扱いやこの汚染水に含まれる高濃度トリチウムの影響に関する議論が行われている。そのため、トリチウムは食品の基準値の対象核種でないものの、風評被害や不安の払拭のために、情報や知見も取りまとめる必要があると考えられ、とりまとめを行った。

A. 研究目的

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等に関する基礎的な資料を作成する作業の一環として、放射性物質の基準値導出時における汚染食品の割合に関する情報やトリチウムに関する情報の収集の調査を行うこと目的とした。

B. 研究方法

公表されている情報を、インターネット等を利用して、資料の収集を行った。

C. 研究成果

1. 基準値導出時における汚染食品の割合

食品中の放射性物質の量に係る基準等を考慮する

上で、食品摂取量や輸入食品の割合に関する情報が重要なために、資料-1 に EU における食品中の放射性物質に係る規制について、資料-2 に CODEX における誘導レベルの計算方法について、まとめた。

2. トリチウムに関する知見

FDNPS 事故時、トリチウムは大量の放出が確認されていないために、食品の基準値策定時には、対象核種ではなかった。事故から 10 年が経過し、施設内に保管されている汚染水の取扱い、この汚染水に含まれる高濃度トリチウムの取扱いやその影響に関する議論が行われている。トリチウムは食品の基準値の対象核種でないものの、風評被害や不安の払拭のために、関連する文献を資料-3 にまとめた。

D. 考察

1. 基準値導出時における汚染食品の割合

食品中の放射性物質の量に係る基準の計算方法に関する考え方については、関係資料から取りまとめることができた。一方で、食品のカテゴリーや消費量に関する情報は食品項目や地域等の要因で差があることから安全側に設定されていたが、汚染食品の割合に関する根拠については明確なものがなかった。

2. トリチウムに関する知見

原子力施設から廃棄および放出される放射性廃棄物に関しては、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(原子炉等規制法)」により周辺監視区域外の放射性核種の限度濃度が定められている。しかし、環境放射能水準調査等で実施されているモニタリングにおける環境におけるトリチウム濃度レベルに対して、放射性核種の限度濃度が高いため不安が生じている。一方でトリチウムは宇宙線により生成されるものでもある。放射線リスクも含め正確に情報を発信する必要がある。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究業績

なし

H. 知的財産の出願・登録情報

なし

EU における食品中の放射性物質に係る規制について

1. はじめに

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、整理を行なった。食品区分(一般食品、マイナーフーズ等)と規制値の設定の考え方について調査した。

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(以下、福島事故)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輸出規制と整合性のあるものへと修正を行った(EU 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参考文献のリストは以下の通りである。

- 1.1 COUNCIL REGULATION (Euratom) 2016/52 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.
- 1.2 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.
- 1.3 EU Radiation protection 105 (EU Food Restriction Criteria for Application after an Accident), 1998.
- 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.
- 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).

3. EUの食品中の放射性物質に係る規則

EUの食品中の放射性物質に係る規則の内容について、以下の2つの観点で整理した。

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

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、食品カテゴリー設定と許容レベル設定の考え方を整理する。

② 福島事故への対応の経緯

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った。

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。

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

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。

CFIL: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

- "Radiation protection 105, EU Food Restriction Criteria for Application after an Accident" 1998
- "Underlying data for derived emergency reference levels Post-Chernobyl action – Final report", EUR 12553 EN, 1991
- "DERIVED INTERVENTION LEVELS FOR RADIONUCLIDES IN FOOD - Guidelines for application after widespread radioactive contamination resulting from a major radiation accident", WHO, 1988
- "Criteria for Radionuclide Activity Concentrations for Food and Drinking Water", IAEA TECDOC-1788, 2016

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。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)。

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

- IAEA Safety Series 72, 1985
- ICRP Publication 40, 1984
- ICRP Publication 43, 1985
- CAC/GL 5-1989, “Guideline Levels for Radionuclides in Foods Following Accidental Nuclear Contamination for Use in International Trade”
- ”GENERAL STANDARD FOR CONTAMINANTS AND TOXINS IN FOOD AND FEED”, CODEX STAN 193-1995

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、DERIVED INTERVENTION LEVELS FOR RADIONUCLIDES IN FOOD (WHO, 1988) 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。

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。

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、Radiation protection 105 (1988) 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は、CODEX STAN 193-1995 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、その値を用いて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。

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

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 Radiation protection105 (1988)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	-

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(CODEX STAN 193-1995)。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、Radiation protection105 (1988)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。

参考文献

- COUNCIL REGULATION (Euratom) 2016/52 of 15 January 2016, Official Journal of the European Union, L13.
- 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
- EU Radiation Protection Publication 105 (EU Food Restriction Criteria for Application after an Accident), 1998
- 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
- COUNCIL DIRECTIVE 87/600/Euratom of 14 December 1987 on Community arrangements for the early exchange of information in the event of radiological emergency

CODEX における誘導レベルの計算方法

食品中の放射性核種に係る誘導レベルについての EU 規則 3954/87 は、チェルノブイリ事故への対応として、1987 年から 1990 年にかけて整備された。同時期に CODEX は、事故直後という状況において、事故後1年間に適用する誘導レベルとして CAC/GL 5-1989 を発表した。その後、CODEX では、1年経過後も適用できる基準として、CODEX STAN 193-1995 を 1995 年に発表している。本資料では、本調査は現在の EU 規則に係るものであり、それに対応するものは CODEX STAN 193-1995 で、こちらに基づいて CODEX における考え方を整理する。

(1) 計算で用いる基本式及び仮定

①基本式

$$GL=IED/(M\times IPF\times e_{ing})$$

GL=CODEX ガイドラインレベル(誘導レベル) Bq/kg

IED=介入免除線量レベル(mSv/y) 1mSv/y と仮定

M=食品消費量(kg/y) 550kg/y

IPF=輸入生産率 10%

e_{ing} =食品摂取線量変換係(mSv/kg)

②上記パラメータについての仮定

- i 介入免除線量レベルとしては、長期に渡ることを想定しているため 1mSv/y とした(事故後1年間の場合は 5mSv/y)。
- ii 成人の食品摂取量を 550kg/y とした。
- iii 幼児の食品及びミルクの消費量を 200kg/y とした。
- iv 輸入食品の 10%が、汚染地域から輸入されたものと仮定。従って、IPF の値は 0.1 を採用した。
- v GL の利便性を図るため、適切な値に丸めることとした。同様に、放射性核種摂取に伴う線量変換係数も同程度にグルーピングを行った(オーダーで)。ただし、幼児と成人では、その影響の程度の差を考慮するため、区別して評価を行った。

(2) 計算事例

①幼児食品における I-131

$$GL=1\text{mSv}/(200\text{kg}\times 0.1\times 0.00018\text{mSv/Bq})=278\text{Bq/kg}$$

この計算値を 100Bq/kg と丸めた。

②成人食品における Cs-137

$$GL=1\text{mSv}/(550\text{kg}\times 0.1\times 0.00013\text{mSv/Bq})=1400\text{Bq/kg}$$

この計算値を 1000Bq/kg と丸めた。

上記において、線量変換係数は ICRP Publication 72 を用いている。

(3) 誘導レベルの評価結果

先の(2)の計算を代表核種について実行した結果を下表に示す。

誘導レベル Bq/kg	幼児食品 対象核種	幼児食品以外の食品 対象核種
1	Pu-238,Pu-239,Pu-240,Am-241	Pu-238,Pu-239,Pu-240,Am-241
100	Sr-90,Ru-106,I-129,I-131,U-235	Sr-90,Ru-106,I-129,I-131,U-235
1000	S-35,Co-60,Sr-89,Ru-103 Cs-134,Cs-137,Ce-144,Ir-192	S-35,Co-60,Sr-89,Ru-103 Cs-134,Cs-137,Ce-144,Ir-192
10000	H-3,C-14,Tc-99	H-3,C-14,Tc-99

参考文献

- Fact Sheet on Codex Guideline Level for Radionuclide in Foods Contaminated Following a Nuclear or Radiological Emergency – prepared by Codex Secretariat(2 May, 2011)
- Guideline Levels for Nuclides in Foods Following Accidental Nuclear Contamination for Use in International Trade, CAC/GI 5-1989

トリチウムについて

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故時、は大量のトリチウムが放出されていないために、食品の基準値の策定時には、対象核種ではなかった。事故から10年が経過し、施設内に保管されている汚染水の取扱い、この汚染水に含まれる高濃度トリチウムの取扱いやその影響に関する議論が行われている。トリチウムは食品の基準値の対象核種でないものの、風評被害や不安の払拭のために、関連する文献を資料にまとめた。

2. 関連する資料

2.1 厚生労働省「食品中の放射性物質への対応 > よくある質問」

「Q4 東京電力福島第一原子力発電所から、トリチウムやストロンチウムを含む汚染水が海に流出しているとの報道がありますが、トリチウムやストロンチウムとは どのような物質ですか。水産物を食べて大丈夫ですか。」があり、トリチウムに関する解説記事がある。

Website: https://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/shokuhin_qa.html

2.2 国立保健医療科学院生活環境研究部「トリチウムはどうなっているの？」

保健福祉職員向け原子力災害後の放射線学習サイト内に、「放射線リスクを考えてみたい?」、「そもそもトリチウムって何?」、「原子炉でのトリチウムの生成」や「再処理工場からトリチウムの計画放出」などについて記載されている。

Website: <https://ndrecovery.niph.go.jp/trustrad/tritium-2.html>

2.3 トリチウム研究会「トリチウムとその取扱を知るために」

2018年3月に開催されたトリチウム研究会(主催/日本原子力学会、後援/日本原子力研究開発機構)の資料で、「環境中のトリチウム」、「環境生態系へのトリチウム影響」、「規制と管理」、「福島第一原子力発電所の汚染水の現状と汚染水中のトリチウム」などの講演資料が掲載されている。

Website: https://fukushima.jaea.go.jp/info/20140314_1.html

2.4 水産庁「東京電力福島第一原子力発電所事故における 水産物の安全性と汚染水対策について」

水産物の放射性物質調査の流れや調査結果について解説があり、「ストロンチウム90とトリチウムについて」や「福島第一原発専用港湾内への汚染水漏洩による影響について」の解説がされている。

Website: <https://www.jfa.maff.go.jp/j/koho/saigai/index.html>

2.5 福島県漁業協同組合連合会「1F 周辺海域における魚のトリチウム濃度分析結果」

東京電力福島第一原子力発電所海域における魚のトリチウム濃度分析結果とQ&Aが掲載されている。

Website: <http://www.fsgyoren.jf-net.ne.jp/sono/buhin/H3bunseki.pdf>

2.6 原子力規制庁「放射性廃棄物に対する規制について」

東京電力福島第一原子力発電所における放射性廃棄物に対する法令上の規制について解説している。

Website: https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/osensuitaisaku/committee/takakusyu/pdf/011_03_02.pdf

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
R. Saito, Y. Nemoto and H. Tsukada	Relationship between radiocaesium in muscle and physicochemical fractions of radiocaesium in the stomach of wild boar	Scientific Reports	10	6796	2020
A. Takeda, H. Tsukada, Y. Unno, Y. Takaku and S. Hisamatsu	Effects of organic amendments on the natural attenuation of radiocesium transferability in grassland soils with high potassium fertility	Journal of Environmental Radioactivity	217	106207	2020
M. P. Johansen, D. Anderson, D. Child, M. Hotchkis, H. Tsukada, K. Okuda and T. G. Hinton	Differentiating Fukushima and Nagasaki plutonium from global fallout using $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios: Pu vs. Cs uptake and dose to biota	Science of the Total Environment	754	141890	2021
N. P. Thoa, S. Kaneko, S. Koya, H. Ohira, H. Tsukada	Radiation dose rate to Japanese cedar and plants collected from Okuma, Fukushima Prefecture	Science of the Total Environment	779	146350	2021

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 et al.	4. Agricultural System in Environmental Transfer of Radionuclides in Japan following the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Report of Working Group 4, Transfer Processes and Data for Radiological Impact Assessment, Subgroup 2 on Fukushima Data, IAEA Programme on Modelling and Data for Radiological Impact Assessments (MODARIA II)	IAEA-TECDOC	19 27	31- 127	20210

学会発表等

1. 塚田祥文、高橋純子、Mark Zheleznyak, Igor Chizhevskyy, Serhii Kerieiev, Valery Kashparov (2020) チェルノブイリ原子力発電所から 30-km 圏内の試験圃場における土壌からバレイショへの ^{137}Cs および ^{90}Sr の移行(日本原子力学会, 福岡, オンライン)
2. 沖澤悠輔、塚田祥文 (2020) 2011 年の東京電力福島第一原子力発電所事故による ^{60}Co 飛散の検証(日本

原子力学会, 福岡, オンライン)

3. 遠藤佑哉、山口克彦、高瀬つぎ子、植頭康裕、塚田祥文 (2020) 2011 年東電福島第一原発事故後の土壤中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係(日本原子力学会, 福岡, オンライン)
4. 菊池美保子、塚田祥文 (2020) 避難指示解除地域における自家消費作物の放射性セシウム濃度(日本原子力学会, 福岡, オンライン)
5. 大槻知恵子、塚田祥文 (2020) 蘚苔類への放射性セシウムの蓄積(日本原子力学会, 福岡, オンライン)
6. 塚田祥文 (2020) 大柿ダム底質から溶出する ^{137}Cs の灌漑水への寄与について(日本土壌肥料学会 2020 年度岡山大会、倉敷、オンライン)
7. 武田晃、塚田祥文、海野佑介、高久雄一、久松俊一 (2020) 黒ボク土草地土壌に添加した放射性セシウム及びヨウ素の牧草への移行性に及ぼす有機物施用の影響(日本土壌肥料学会 2020 年度岡山大会、倉敷、オンライン)
8. 塚田祥文、○山口紀子、山田大吾 (2020) 草地土壌の有機物による放射性セシウム固定阻害(日本地球化学会、リモート)
9. 遠藤佑哉、植頭康裕、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文 (2020) 空間線量率を用いた実効線量推定手法の高精度化(ICRP-JAEA International Conference、リモート)
10. 沖澤悠輔、塚田祥文(2020)2011 年の東京電力福島第一原子力発電所事故による ^{60}Co 飛散の検証(第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
11. 遠藤佑哉、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文(2020)2011 年東電福島第一原発事故後の土壤中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係(第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
12. 菊池 美保子、塚田祥文(2020)避難指示解除地域における自家消費作物の放射性セシウム濃度(第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
13. 大槻知恵子、塚田祥文(2020)蘚苔類への放射性セシウムの蓄積(第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
14. Nguyen Phuong Thoa, Shigeo Kaneko, Shishido Koya, Hajime Ohira and Hirofumi Tsukada(2020) Radiation dose rate of Japanese cedar and plants collected in Okuma, Fukushima(第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
15. 辰野宇大、塚田祥文 (2021) 土壌アーカイブ試料および土壌アーカイブデータベースシステムの紹介 (第7回福島大学環境放射能研究所成果報告会、Online)
16. 塚田祥文、齋藤隆 (2021) 大熊町試験水田における灌漑水・間隙水中 ^{137}Cs 濃度と変動要因 (第7回福島大学環境放射能研究所成果報告会、Online)
17. Nguyen Phuong Thoa and Hirofumi Tsukada (2021) Uptake of radiocaesium by brown rice from soils and irrigation water (第7回福島大学環境放射能研究所成果報告会、Online)
18. 沖澤悠輔、塚田祥文 (2021) 2011 年東京電力福島第一原子力発電所事故による ^{60}Co の放出 (第7回福島大学環境放射能研究所成果報告会)

19. 遠藤佑哉、植頭康裕、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文 (2021) 東京電力福島第一原子力発電所事故後の土壤中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係(第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
20. 菊池美保子、塚田祥文 (2021) 避難指示解除区域における自家消費作物の放射性セシウム濃度と内部被ばく線量 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
21. 大槻知恵子、塚田祥文 (2021) 蘚苔類への放射性セシウムの移行と蓄積 (第 7 回福島大学環境放射能研究所成果報告会)
22. 遠藤佑哉、植頭康裕、高瀬つぎ子、山口克彦、塚田祥文 (2021) 東京電力福島第一原子力発電所事故後の土壤中放射性セシウムによる空間線量率と実効線量の関係(第 6 回次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンス(NDEC-6)JAEA)
23. 杉浦広幸、塚田祥文 (2021) 福島の高層湿原の植物における放射性セシウム汚染 (放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点報告会)
24. 塚田祥文 (2020) 安積高校「福島の農業環境と作物は“いま”－農業環境における放射性セシウムと作物摂取による内部被ばく－」(福島)
25. 塚田祥文(2020)2011年の事故後の環境放射能(檜葉町立檜葉中学校 放射線教育)(福島)
26. Tatsuo Aono, Yutaka Yamada: Estimation of internal exposure dose from diet in daily life, Low-dose Radiation for Patients and Population–Science, Technology and Society Concepts for Communication and Perception Among Medical Doctors and Stakeholders – (Webinar), IAEA, 2020-10-22.
27. Tateda Yutaka, Tsumune Daisuke, Misumi Kazuhiro, Aoyama Michio, Hamajima Yasunori, Ishimaru Takashi, Kanda Jota, Ito Yukari, Aono Tatsuo: The determining factors of radio-cesium levels in fish off Fukushima derived from dynamic biological transfer model simulation, Fukushima Dai-ichi and the Ocean: 10 years of study and insight, University of Tokyo (Webinar), 2021-03-04

(招待講演)

1. 塚田祥文 (2020) 福島大学食農学類放射線等学習会「農業環境における放射性セシウムと作物摂取による被ばく線量」(福島)
2. 塚田祥文 (2020) 令和 2 年度福島県原子力防災研修講師「放射線と放射能の基礎知識」(福島)
3. H. Tsukada (2020) Internal and external radiation dose rates in organisms collected from a forest observatory site in Yamakiya, Kawamata, Fukushima (日本放射線影響学会第 63 回大会 ワークショップ「福島原発事故による環境への影響」リモート)
4. N. P. Thoa, S. Koya, H. Ohira, S. Kaneko, and H. Tsukada (2020) Radiation dose rate of Japanese cedar and plants collected from Okuma applying ERICA tool (日本放射線影響学会第 63 回大会 ワークショップ「福島原発事故による環境への影響」リモート)
5. H. Tsukada (2020) Radiocaesium in the environment (ICRP International Conference、リモート)

6. 塚田祥文(2020)福島大学環境放射能研究所と福島における環境中 ^{137}Cs の変遷(第一回 環境研研究交流セミナー 六ヶ所村)
7. I.M.M. Rahman, Z.A. Begum, H. Tsukada and H. Hasegawa (2020) Chelator-assisted washing remediation of radionuclide-contaminated soils, In: 2nd International Conference on Research & Innovation in Civil Engineering (Chittagong, Bangladesh)

令和3年 3月 31日

厚生労働大臣 殿

機関名 東京医療保健大学

所属研究機関長 職名 学長

氏名 亀山 周二 印



次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

- 研究事業名 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）
- 研究課題名 食品中の放射性物質濃度の基準値に対する放射性核種濃度比の検証とその影響評価に関する研究
- 研究者名 （所属部局・職名） 東京医療保健大学・教授
（氏名・フリガナ） 明石 真言 （アカシ マコト）

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入（※1）		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査（※2）
ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（※3）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称：)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

（※1）当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他（特記事項）

（※2）未審査に場合は、その理由を記載すること。

（※3）廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由：)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関：)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由：)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容：)

（留意事項） ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

厚生労働大臣

令和 3年 3月 31日

機関名 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

所属研究機関長 職名 理事長

氏名 平野 俊夫



次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

- 研究事業名 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）
- 研究課題名 食品中の放射性物質濃度の基準値に対する放射性核種濃度比の検証とその影響評価に関する研究
- 研究者名 （所属部局・職名）量子医学・医療部門高度被ばく医療センター福島再生支援研究部
（氏名・フリガナ）青野 辰雄（アオノ タツオ）

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入（※1）		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査（※2）
ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（※3）	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること （指針の名称：)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

（※1）当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他（特記事項）

（※2）未審査に場合は、その理由を記載すること。

（※3）廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合はその理由：)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合は委託先機関：)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> （無の場合はその理由：)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> （有の場合はその内容：)

（留意事項） ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

厚生労働大臣 殿

令和3年3月31日

機関名 京都大学

所属研究機関長 職名 総長

氏名 湊 長博 印

次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

- 研究事業名 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)
- 研究課題名 食品中の放射性物質濃度の基準値に対する放射性核種濃度比の検証とその影響評価に関する研究 (H30-食品-指定-004)
- 研究者名 (所属部局・職名) 複合原子力科学研究所・准教授
(氏名・フリガナ) 高橋 知之 (タカハシ トモユキ)

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 (※3)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/>
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。