

## I. 総括研究報告

# 厚生労働科学研究費補助金 (食品の安全確保推進研究事業)

## 食品中の放射性物質濃度の基準値に対する影響に関する研究 主任研究報告書

研究代表者 明石 真言 (放射線医学総合研究所)

### 研究要旨

平成 23 年 3 月の東京電力(株)福島第一原子力発電所(FD1NPS)事故により食品の摂取による内部被ばくが懸念された。厚生労働省は平成 24 年 4 月以降、介入線量を年間 1mSv として、新たな基準値を適用している。これは放射性セシウム(Cs)濃度について基準値を設定し、その他の核種については、原子力安全・保安院(当時)が公表した放出量試算値のリストに掲載された核種のうち、半減期が1年以上であるストロンチウム-90 ( $^{90}\text{Sr}$ )、ルテニウム-106 ( $^{106}\text{Ru}$ )、プルトニウム-238 ( $^{238}\text{Pu}$ )、プルトニウム-239 ( $^{239}\text{Pu}$ )、プルトニウム-240 ( $^{240}\text{Pu}$ )及びプルトニウム-241 ( $^{241}\text{Pu}$ )を評価対象核種として、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、その線量への寄与を考慮している。また、その他の評価対象外の核種は、モニタリング結果や核分裂収率、物理的半減期等から、放射性 Cs に比べて線量寄与が無視し得る程十分に小さいと考えられ、評価対象核種には含まれていない。つまり、濃度基準値の妥当性を評価するためには、食品について、内部被ばくに対する核種の寄与率の状況を把握する必要がある。

本研究では食品(農畜水産物等)中の放射性 Cs とその他の長半減期放射性核種濃度及び調理加工に伴う濃度変化について調査を行い、基準値作成に用いられた濃度比との比較や食品の摂取に起因する内部被ばく線量に対する放射性 Cs の寄与率の推定から、食品中の放射性 Cs 濃度基準値の妥当性の検証を行うこととした。そこで食品中の放射性物質濃度の基準値に対する影響に関する研究を行うために、食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究及び環境中における放射性物質動態の実態把握に関する研究を実施した。

FD1NPS の水素爆発や高濃度汚染水流出の事故由来の放射性物質だけでなく、その後 FD1NPS から流出した放射性核種の影響を確認する必要もある。市場に流通する福島産水産物及び水産加工物の入手及び FD1NPS から 30km 圏内の海域の魚介類の採取を行い、これらの可食部の放射性核種の測定を行ったところ、食品中の基準値を超えた試料は、平成 25 年に檜葉町沖合で採取したコモンカスベのみで、その放射性 Cs 濃度は 109 Bq/kg-生重量であった。平成 25 年度に比べて平成 26 年度の魚介類中の放射性 Cs 濃度は約 1 割までに減少する傾向にあった。平成 26 年度の魚介類中の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度

は検出下限値未満であった。また水産加工物については、生試料を乾燥して干物にしてもカリウム-40 ( $^{40}\text{K}$ )濃度は増加したが放射性 Cs は検出されなかった。生試料を煮だし実験を行った結果、放射性 Cs と  $^{40}\text{K}$  濃度が調理加工前に比べ調理加工後では 25-77% に低減した。つまり水産物については基準値導出における推定方法が妥当であることが示唆された。また試験栽培のシイタケを用いた実験室レベルで乾燥キノコの加工実験では放射性 Cs が 9 倍ほど高くなった。

福島県産品の食品(農畜産物)の放射性 Cs 濃度は、平成 24 年度に 7.2 (<0.1 ~ 40) Bq/kg-生重量、平成 25 年度に 2.0 (<0.1 ~ 14) Bq/kg-生重量と経時的に減少し、一般食品の基準値である 100 Bq/kg を超えた試料はなかった。また、 $^{90}\text{Sr}$  濃度は、事故の影響が明確に見られた試料はなく、基準値の導出の考え方による  $^{90}\text{Sr} / ^{137}\text{Cs}$  濃度比よりも低いか、大気圏内核実験由来の濃度レベルにあり、基準値導出における推定方法が妥当であることが示唆された。事故由来の Pu は検出しなかった。安定元素濃度を利用して放射性 Cs 及び  $^{90}\text{Sr}$  による内部線量評価を試みた結果、いずれについても介入線量レベルとして設定された年間 1 mSv よりも極めて低い値であり、本基準値による規制が十分妥当であることが示された。

#### 研究分担者

高橋 知之 京都大学原子炉実験所  
青野 辰雄 放射線医学総合研究所  
塚田 祥文 福島大学環境放射能研究所兼  
うつくしま福島未来支援センター

#### 研究協力者

福谷 哲 京都大学原子炉実験所  
吉田 聡 放射線医学総合研究所

#### A. 研究目的

平成 23 年 3 月の東京電力(株)(TEPCO)福島第一原子力発電所(FD1NPS)事故により食品の摂取による内部被ばくが懸念された。厚生労働省は平成 24 年 4 月以降、介入線量を年間 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を設定し、その他の核種につ

いては、原子力安全・保安院(当時)が 2011 年 6 月に公表した放出量試算値のリストに掲載された核種のうち、半減期が 1 年以上であるストロンチウム-90 ( $^{90}\text{Sr}$ )、ルテニウム-106 ( $^{106}\text{Ru}$ )、プルトニウム-238 ( $^{238}\text{Pu}$ )、プルトニウム-239 ( $^{239}\text{Pu}$ )、プルトニウム-240 ( $^{240}\text{Pu}$ )及びプルトニウム-241 ( $^{241}\text{Pu}$ )を評価対象核種として、放射性 Cs との濃度比を推定することにより、その線量への寄与を考慮している。また、これらの評価対象以外の核種は、モニタリング結果や核分裂収率、物理的半減期等から、放射性 Cs に比べて線量の寄与が無視し得る程十分に小さいと考えられ、評価対象核種には含まれていない。

内部被ばく線量に対する放射性 Cs 及びその他の核種の寄与率は、環境モニタリングによる土壤中放射性核種濃度や、これまでの環境移行パラメータによって推定されており、その評価は十分安全側と考えられるが、実際に食品中濃度を測

定した結果に基づくものではない。そのため、食品について測定・評価を行い、内部被ばくに対する主要核種の寄与率の状況を把握する必要がある。

本研究では食品(農畜水産物等)中の放射性Cs及びその他の長半減期放射性核種濃度及び調理加工に伴う濃度変化について調査を行い、基準値作成に用いられた濃度比との比較や食品の摂取に起因する内部被ばく線量に対する放射性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を行うことを目的とした。

## B. 研究方法

### 1. 食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究

FD1NPSから30 km圏内の海域の魚介類の採取を行い、これらの可食部の放射性核種濃度の測定を行った。また市場に流通する福島産水産物及び水産加工物入手し、原材料及び加工品と放射性核種濃度の比較や調理加工に伴う放射性核種濃度の低減割合について調査を行った。また農産物ではシイタケについて、乾燥シイタケを作り、原材料との濃度比較を行った。

### 2. 農畜産物中放射性核種の測定及び低減化に関する研究

福島県内のJA農作物直売所等で、福島県産品であることを確認した上で一般流通食品(農畜産物)試料を購入して、放射性Cs、<sup>90</sup>Sr及びプルトニウム(Pu)を測定した。また、過去の大気圏内核実験によるフォールアウトに起因する農作物中放射性核種濃度の調査を行い、その濃度レベルや、規格基準値導出に用いられた濃度比と比較

検討した。また山菜や野獣肉も地域の季節食材として流通することから、それらの放射性Cs濃度と調理加工による低減割合について求めた。

### 3. 食品中放射性Cs濃度基準値の妥当性検証

平成24~25年度の食品試料中安定元素濃度を測定し、基準値導出に用いられた濃度比や、過去の大気圏内核実験によるフォールアウトに起因する農作物中放射性核種の濃度レベルと比較検討した。また安定カリウム(K)及び安定カルシウム(Ca)の摂取量を用いて、農畜産物の経口摂取による放射性Cs及び<sup>90</sup>Srに起因する内部被ばく線量を評価し、<sup>90</sup>Srを考慮した内部被ばく線量と介入線量レベルを比較検討した。

## C. 研究成果

### 1. 食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究

水産加工物については、生試料を乾燥して干物にしてもカリウム-40(<sup>40</sup>K)濃度は増加したが放射性Csは検出されなかった。生試料を煮だし実験を行った結果、放射性Csと<sup>40</sup>Kが40-90%減少し、調理加工に伴い放射性核種濃度の低減が確認された。食品中の基準値を超えた試料は、平成25年に楢葉町沖合で採取したコモンカスベのみで、その放射性Cs濃度は109 Bq/kg-生重量であった。同海域では平成25年度に比べて平成26年度の魚介類中の放射性Cs濃度は約1割までに減少する傾向にあった。平成26年度の魚介類可食部中の<sup>90</sup>Sr及び<sup>239+240</sup>Pu濃度は検出下限値未満であった。また、シイタケは商業的に生産される過程に準じた方法で乾燥を行ったところ、実験室レベルでは乾燥キノコへの加工に伴い製品

当たりの放射性 Cs 濃度が平均で9倍程高くなった。

## 2. 農畜産物中放射性核種の測定及び低減化に関する研究

平成 25 年度に一部試料について供試量を約 10 kg に増量し、 $^{90}\text{Sr}$  濃度を定量することを試みた。(測定は平成 25 年度～26 年度に実施)。その結果、帰還困難区域外の農作物中  $^{90}\text{Sr}$  濃度は、0.0047～0.30 Bq/kg-生重量の値であった。また、帰還困難区域内から採取した作物中濃度は、0.21 及び 0.31 Bq/kg-生重量であった。これらの値は、平成25年に福島県を除く国内から採取された作物中濃度(検出限界値以下～0.91 Bq/kg-生重量)と比較しても、範囲内にあることが確認された。農作物中 Pu 濃度は、きわめて低濃度であり、検出限界値以下～0.000085 Bq/kg-生重量であった。山菜、野獣肉の調理加工による放射性 Cs 濃度を求めた結果、多くの試料が低下した。特に、イノシシ肉の血抜き処理により放射性 Cs 濃度は約5分の一に低下した。

## 3. 食品中放射性 Cs 濃度基準値の妥当性検証

平成 24 年度に福島県内産で一般流通食品(農畜産物)試料を 40 試料購入して測定した結果、放射性 Cs 濃度は検出下限値未満から 40.2 Bq/kg-生重量であり、一般食品の基準値である 100 Bq/kg を超える農畜産物はなかった。また、食品中  $^{137}\text{Cs}$  濃度は検出下限値未満から 25.2 Bq/kg-生重量であった。 $^{90}\text{Sr}$  濃度はすべて検出下限値未満であった。

平成 25 年度の放射性 Cs 濃度は検出下限値未満から 14.0 Bq/kg-生重量であり一般食品の基準値である 100 Bq/kg を超える農畜産物はなかった。

また平成 24～25 年度の食品試料中安定ストロンチウム (Sr)濃度は 16～6600  $\mu\text{g}/\text{kg}$ -生重量と、その範囲は二桁にわたっていた。また安定 Ca 濃度も 16～3900 mg/kg-生重量とその範囲は二桁にわたっていた。安定 Cs 及び安定 K 濃度は平成 25 年度の試料のみ測定を行った。安定 Cs 濃度は検出下限値未満の試料が多く、濃度の範囲は検出下限値未満～5.7  $\mu\text{g}/\text{kg}$ -生重量であった。安定 K 濃度は比較的変動範囲が小さく、1.2～7.5g/kg-生重量であった。

## D. 考察

### 1. 食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究

水産加工物については、原材料(生魚の状態)からすべて内臓等が取り除かれ、機械乾燥や外干しが行われており、水分量の減少による濃縮よりも、加工工程における内臓部等の除去や洗いによって放射性物質が流出したと考えられた。また煮だし調理加工に伴い、体液と共に放射性物質が流出したと考えられる。FD1NPS から 30km 圏内の海域の魚介類中の放射性 Cs 濃度の低下は、海水や餌となるプランクトン類中の放射性 Cs 濃度が事故前のレベルまで下がっていることや堆積物中の濃度も年々低下していることが要因と考えられる。中層魚に比べて、底層魚は底生生物を捕食する影響で放射性 Cs 濃度が高い傾向になることが考えられる。平成 26 年度に採取した魚介類可食部中の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  は検出されなかったことから、福島県沖の魚介類についてもフォールアウトによる  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  が含まれている可能性を考慮しても、 $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  濃度は基準値の導出の考え方による  $^{90}\text{Sr} / ^{137}\text{Cs}$  及び  $^{239+240}\text{Pu} / ^{137}\text{Cs}$  濃度比よりも低いのか、大気圏内核実験由来

の濃度レベルにあり、基準値導出における推定方法が妥当であることが示唆された。

シイタケは Cs を吸収・蓄積するのに対してストロンチウム (Sr) 濃度は低いことから、食品として、放射性 Cs に対する放射性 Sr の寄与率は基準値導出における推定方法よりも低いと考えられる。

## 2. 農畜産物中放射性核種の測定及び低減化に関する研究

FD1NPS から西 5 km の帰還困難区域内で採取したカボチャとキャベツについては、実測値が評価値を下回り評価が妥当であったことが示された。一方、帰還困難区域外で採取した試料についても、3 試料 (コマツナ、キュウリ、食用菊) を除く評価値が実測値を下回り妥当性が示された。一方、評価値が実測値を上回った 3 試料については、土壤中  $^{90}\text{Sr}$  濃度に事故の寄与が見られないこと、作物中  $^{90}\text{Sr}$  が福島県外で採取された作物中濃度と同様であったことから、大気圏核実験由来であったと考えられた。

また、農作物中 Pu については、濃度が極めて低かったために、事故由来の判断基準となる  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比を確定することができなかった。本事故由来による  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比は 0.323 ~ 0.330 と報告されているが、本研究で求めた土壤中  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比はその値とは異なり、帰還困難区域内から採取した土壤試料も含め、0.171 ~ 0.197 と大気圏核実験由来 (0.180 ± 0.007) の値と一致した。また調理加工により山菜や野獣肉中放射性 Cs 濃度は減少し、特にイノシシ肉は血抜きによって大きく減少した。これは、植物細胞 (細胞壁) と動物細胞 (細胞膜) の構造上の違いがあると推測される。

## 3. 食品中放射性 Cs 濃度基準値の妥当性検証

本研究で検出された  $^{137}\text{Cs}$  濃度及び  $^{90}\text{Sr}$  濃度検出下限値と、過去のフォールアウトの影響、及び評価に用いられた核種濃度比の比較検討を行った。その結果、 $^{90}\text{Sr}$  濃度は過去の大気圏内核実験由来の濃度レベル以下と推定されたが、葉菜類、豆類、果菜類については、フォールアウトによる  $^{90}\text{Sr}$  が含まれている可能性を考慮しても、 $^{90}\text{Sr}$  濃度は基準値の導出の考え方による  $^{90}\text{Sr} / ^{137}\text{Cs}$  濃度比よりも低く、基準値導出における推定方法が妥当であることが示唆された。

本研究によって得られた  $^{137}\text{Cs}$  濃度から農畜産物摂取による被ばく線量を試算した結果、極めて保守的な仮定であっても年間 1 mSv を大幅に下回っており、なおかつ平成 25 年度は平成 24 年度に比べて減少していることが明らかとなった。

また、安定元素濃度を利用して、平成 25 年度採取試料の濃度から推定した内部被ばく線量の評価結果は、フォールアウトによる  $^{90}\text{Sr}$  の寄与を含めても、介入線量レベルである年間 1 mSv を大幅に下回っていた。ただし、 $^{90}\text{Sr}$  に関する今回の推定結果については不確実性が大きく、より精度の高い推定を行うためには、試料数を増やすなどのより詳細な検討が必要と考えられる。

帰還困難地域における試料においても事故由来の Pu は検出されなかったこと、本研究も含めこれまでの食品試料の測定において  $^{106}\text{Ru}$  が検出された事例がないことから、これらの核種による影響はほとんど無いと考えられる。

## E. 結論

### 1. 食品加工や調理に伴う食品中の放射性物質の濃度変化に関する研究

魚類については丸干しや開きの加工処理を行うことによって放射性 Cs の濃度が増加することはなく、煮だし調理加工によってその濃度が減少することが明らかとなった。

福島沖の試験操業海域で採取した魚介類について、年々放射性 Cs 濃度は減少していることが明らかとなった。魚類可食部に本事故由来の  $^{90}\text{Sr}$  及び  $^{239+240}\text{Pu}$  は検出されなかった。つまり本事故による影響は確認できなかったことから、水産物に対する基準値導出における推定方法も妥当であることが示唆された。またシイタケは実験室レベルで試験用の乾燥キノコに加工することで放射性 Cs が 9 倍ほど高くなった。

## 2. 農畜産物中放射性核種の測定及び低減化に関する研究

本研究では、福島県において福島県産農畜産物に限定し、一部帰還困難区域内の試験圃場で栽培された作物についても測定を行うことにより、基準値策定時の妥当性について検証した。FD1NPS から西 5 km の帰還困難区域内にある大熊町の試験圃場の土壌で栽培された農作物中  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  濃度比は、評価値よりも低く、その妥当性を検証した。大気圏核実験由来の  $^{90}\text{Sr}$  と考えられる一部試料で評価値を上回ったが、多くは評価値より低い  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  濃度比であった。

Pu については作物中濃度がきわめて低濃度のため、大気圏核実験が事故由来の Pu かの由来を判定することができなかった。しかしながら、作物中 Pu は土壌から移行するため、精度良く測定することができる土壌中  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  原子数比について確認した。その結果、土壌中 Pu は事故由来ではなく大気圏核実験由来であった。よって、作物中 Pu も大気圏核実験由来であると考えられる。

山菜や野獣肉は、調理加工により放射性 Cs 濃度が低減化するため、それら食品中濃度を直接測定した結果より調理加工後の値は、低くなる。そのため、食品中濃度から評価される被ばく線量より、調理加工された食品を摂取することによる被ばく線量は小さな値になると考えられる。

調理加工により山菜や野獣肉中放射性 Cs 濃度は減少し、特にイノシシ肉は血抜きによって大きく減少した。これは、植物細胞(細胞壁)と動物細胞(細胞膜)の構造上の違いがあると推測される。

## 3. 食品中放射性 Cs 濃度基準値の妥当性検証

本研究では、福島県内において福島県産品の食品(農畜産物)を平成 24 年度及び平成 25 年度にそれぞれ 40 個及び 42 個購入し、放射性 Cs 濃度、 $^{90}\text{Sr}$  濃度及び安定元素濃度を測定した。その結果、一般食品の基準値である 100 Bq/kg を超える農畜産物はなかった。なお、 $^{90}\text{Sr}$  濃度は、測定を実施した平成 24 年度の試料において、全て検出下限値未満であった。

本研究において測定された  $^{137}\text{Cs}$  濃度及び  $^{90}\text{Sr}$  濃度の検出下限値を、過去の大気圏核実験によるフォールアウトに起因する、平成 12 年～平成 22 年における農作物中  $^{137}\text{Cs}$  及び  $^{90}\text{Sr}$  の濃度の範囲、及び食品中放射性 Cs 基準値の導出の際に評価した核種濃度比と比較検討した。その結果、葉菜類・豆類・果菜類については、 $^{137}\text{Cs}$  濃度が比較的高い試料においても  $^{90}\text{Sr}$  濃度は検出下限値未満であり、基準値導出における推定方法が妥当であることが示唆された。

本研究によって得られた測定結果から推定した内部被ばく線量の評価結果は、フォールアウトによる  $^{90}\text{Sr}$  の寄与等他の核種の影響を含めても、介入線量レベルである年間 1 mSv を大幅に下回っ

ていた。これらの結果から、事故に起因する放射性 Cs 以外の核種の影響は極めて小さく、<sup>90</sup>Sr 等の他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。

## F.研究業績

### 論文発表

1. T. Aono, Y. Ito, T. Sohtome, T. Mizuno, T. Igarashi, J. Kanda, T. Ishimaru: Observation of radionuclides in marine biota off the coast of Fukushima prefecture after TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Proceedings of the International Symposium on Environmental Monitoring and Dose Estimation of Residents After Accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, p.62-65, 2012.
2. 青野辰雄、鄭建、府馬正一、久保田善久、渡辺嘉人、久保田正秀、溝口雅彦、尾崎和久、早乙女忠弘、五十嵐敏、伊藤友加里、神田穰太、石丸隆、吉田聡: 福島沿岸における海洋生物中の放射性核種について, Proceedings of the Workshop on Environmental Radioactivity (KEK Proceedings), 203-205, 2012.
3. 塚田祥文: 環境中放射性物質の農作物への移行と飲食物の新しい基準値について, 土づくりとエコ農法, 44, 2-11, 2012.
4. 高橋知之: 食品中放射性核種濃度の新たな規格基準, 日本原子力学会誌, 54, 602-605, 2012.
5. 国分牧衛、南條正巳、日塔明広、塚田祥文、根本圭介、Peter Slavich、島田和彦、近藤始彦、井上眞理: 東日本大震災からの農業再生と作物生産技術, 日本作物学会紀事, 82, 86-95, 2013.
6. 高橋知之: 食品中放射性核種濃度基準値の設定, 食品衛生学雑誌, 54(2), 97-101, 2013.
7. 青野辰雄、石丸隆、神田穰太、伊藤友加里、早乙女忠弘、五十嵐敏、吉田聡: 福島沿岸における海洋生物中の放射性核種について, Proceedings of the Workshop on Environmental Radioactivity (KEK Proceedings), 261 -264, 2013.
8. T. Aono, Y. Ito, T. Sohtome, T. Mizuno, S. Igarashi, J. Kanda, and T. Ishimaru: Observation of Radionuclides in Marine Biota off the Coast of Fukushima Prefecture After TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, Radiation Monitoring and Dose Estimation of the Fukushima Nuclear Accident, S. Takahashi (ed.), 115 - 123, 2014-01, DOI: 10.1007/978-4-431-54583-5\_11, Springer, 2014.
9. 青野辰雄、福田美保、山崎慎之介、吉田聡、伊藤友加里、石丸隆、神田穰太、早乙女忠弘: 福島沿岸域における海水とプランクトン試料中の放射性 Cs の濃度変動 について, Proceedings of the 15th Workshop on Environmental Radioactivity (KEK proceedings), 2014-7, 206-209, 2014.
10. 塚田祥文: 土壌中放射性セシウムの経時的な変化, 日本土壌肥科学雑誌 85, 77-79, 2014.



11. 山口克彦, 河津賢澄, 塚田祥文: 福島大学における震災復興への取り組み - 住民の視点からの放射線問題への取り組み -, 土木学会誌 99, 50-53, 2014.

12. 塚田祥文, 小山良太: なすびのギモン(食品編), 1-33, 環境省, [http://josen-plaza.env.go.jp/nasubinogimon/pdf/nasu-gimo\\_vol3\\_2pver.pdf](http://josen-plaza.env.go.jp/nasubinogimon/pdf/nasu-gimo_vol3_2pver.pdf), 2014.

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

I. 健康危険情報

なし

