

201426045B

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

国内における食品を介した種々の放射性物質による暴露量の評価

H24-食品-指定-004 (復興)

平成24～26年度 総合研究報告書

研究代表者

国立保健医療科学院

寺田 宙

研究分担者

神奈川県衛生研究所

飯島 育代

埼玉県衛生研究所

三宅 定明

公益財団法人日本分析センター

太田 智子

国立保健医療科学院

山口 一郎

帝京大学医学部

児玉 浩子

松本大学大学院健康科学研究科

杉山 英男

平成27 (2015) 年3月

目 次

総合研究報告

研究要旨	-----	1
A. 研究目的	-----	3
B. 研究方法	-----	3
C. 研究結果	-----	7
D. 考察	-----	12
E. 結論	-----	15
参考文献	-----	16
F. 健康危険情報	-----	17
G. 研究発表	-----	17
別添資料	-----	19

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）

平成 24～26 年度総合研究報告書

国内における食品を介した種々の放射性物質による暴露量の評価

研究代表者	寺田 宙	(国立保健医療科学院)
研究分担者	飯島育代	(神奈川県衛生研究所)
研究分担者	三宅定明	(埼玉県衛生研究所)
研究分担者	太田智子	(公益財団法人日本分析センター)
研究分担者	山口一郎	(国立保健医療科学院)
研究分担者	児玉浩子	(帝京大学医学部)
研究分担者	杉山英男	(松本大学大学院健康科学研究科)

研究要旨

東京電力(株)福島第一原子力発電所（以下、福島原発）の事故後、多くの都市を対象とした放射性物質の暴露量調査を実施することが求められているため、平成 24 年度から平成 26 年度の 3 年間、陰膳方式による食品中の放射性物質のトータルダイエツスタディ（TDS）を実施した。

対象地域は福島県内の 6 都市（相馬市、南相馬市、福島市、郡山市、伊達市、会津若松市）と、北海道、岩手県、宮城県、茨城県、埼玉県、東京都、神奈川県、大阪府、高知県の計 15 地域とし、得られた陰膳試料についてはガンマ線スペクトロメトリにより陰膳試料中の放射性セシウムとカリウム 40 を分析するとともに、一部の試料ではプルトニウム、ストロンチウム 90 と自然放射性物質であるポロニウム 210 の分析も行った。研究協力者には 2 日分の食事を提供していただくとともに、食事の献立等を調査票に記入していただいた。陰膳試料中の放射性物質濃度(Bq/kg) を基に 1 日摂取量を算出し、さらに ICRP の線量係数を用いて被ばく線量を推計した。この他、地方自治体等が実施している食品中の放射性物質の検査ならびに平成 22 年国民健康・栄養調査の結果を基に食事に由来する実効線量の推計を試みた。

各年度とも試料数は約 80 であり、合計で 242 の試料を得た。本研究で放射性セシウム濃度（セシウム 134 と セシウム 137 の合計値）が最も高かったのは平成 25 年度伊達市（幼児）の 11.3 Bq/kg で、現在の一般食品に対する放射性物質の基準値（100 Bq/kg）の約 9 分の 1 であった。当該試料を 1 年間摂取し続けた場合の預託実効線量は 73.7 μ Sv で、現行の食品の基準値を設定する上で基となった年間線量の上限值 1 mSv の約 14 分の 1 であった。

プルトニウムは平成 25、26 年度に分析を行ったいずれの試料からも検出されず、ストロンチウム 90 についても福島原発事故前の 2001～2008 年度と同レベルにあることが示され、福島第一原子力発電所事故の影響は認められなかった。預託実効線量については自然放射性物質であるカリウム 40 とポロニウム 210 由来の線量の方が大きく、ストロンチウム 90 を分析した試料に限定すると放射性セシウムとストロンチウム 90 の寄与は最大でも 1.4%であった。

以上の結果から、福島原発事故由来の放射性物質のうち、今回分析対象とした放射性セシウム、プルトニウム、ストロンチウム 90 については食事による暴露量は幼児を含めて十分に低いレベルにあることが明らかになった。

研究分担者（所属機関、職名）

飯島育代（神奈川県衛生研究所 主任専門員）

三宅定明（埼玉県衛生研究所 生体影響担当部長）

太田智子（公益財団法人日本分析センター 上級技術員）

山口一郎（国立保健医療科学院 上席主任研究官）

児玉浩子（帝京大学医学部 客員教授）

杉山英男（松本大学大学院健康科学研究科 教授）

A. 研究目的

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う東京電力(株)福島第一原子力発電所(以下、福島原発)事故から 4 年以上が経過した。事故後、厚生労働省が定めたガイドラインに基づく検査計画に従い自治体等によって実施された食品中の放射性物質の検査は平成 27 年 3 月現在で 106 万件以上に上る。現行の食品中の放射性物質に係る基準値が施行された平成 24 年 4 月以降の検査結果に限ると、基準値を超過したのは野生鳥獣肉、キノコ類、魚介類等、一部の食品に限られ、全体の 0.4%程度である。また、これら基準値を超過した食品については出荷制限等の措置が取られ、市場に出回ることを防いでいる。これに加えて福島県では出荷対象となるコメを全袋検査するとともに自家消費する食材などの検査

も行っている。しかしながら、国民の放射性物質に対する関心は依然として高く、食品に由来する放射性物質の暴露量の評価が求められている。

このため、本研究では食品中の放射性物質の濃度実態を把握し、食の安心・安全の確保のための基礎資料とすることを目的として、陰膳方式による食品中の放射性物質のトータルダイエットスタディ (TDS) を行った。

対象とした放射性物質は放射性セシウム (^{137}Cs および ^{134}Cs)、プルトニウム (^{239}Pu および ^{240}Pu)、ストロンチウム 90 (^{90}Sr) と自然放射性物質のカリウム 40 (^{40}K) とポロニウム 210 (^{210}Po) である。Pu と ^{90}Sr は食品中の放射性物質に係る基準値において規制対象とされた放射性物質であるが、福島原発事故後の食品中の濃度実態については未だ十分な知見が集積されているとは言えない。また、 ^{210}Po については自然放射性物質で、特に魚介類中の濃度が高いことが知られており、諸外国と比較して魚介類の摂取量の多い日本においては被ばくへの寄与という観点で重要な放射性物質である。

この他、厚生労働省から公表されている食品中の放射性物質の検査結果 [1] を基に被ばく線量の推計を試みた。

B. 研究方法

1. 対象集団と試料

1-1 対象地域

対象地域については以下の 10 都道府県とした。

北海道、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、埼玉県、東京都、神奈川県、大阪府、高知県

このうち、福島県については浜通り、中通り、会津の 3 地域に分類することができ、浜通りでは相馬市と南相馬市の 2 都市、中通りでは福島市、郡山市、伊達市の 3 都市、会津については会津若松市の 1 都市を調査対象とした。

1-2 対象集団

本研究では対象集団を成人（20 歳以上）と幼児（3-6 歳）とした。幼児については 1 歳児の方が 5 歳児よりも放射性 Cs の線量係数が大きい [2]、摂食量を勘案すると放射性 Cs による預託実効線量については 5 歳児が 1 歳児を上回ると考えられること、また、1 歳児の食事（2 日分）では分析を行う上で十分な量の陰膳試料を得ることが出来ないため、1-3 歳児ではなく 3-6 歳児を研究対象とした。

成人については福島県内の 6 都市（相馬市、南相馬市、福島市、郡山市、伊達市、会津若松市）と、福島県以外の 9 都道府県の計 15 地域を対象とした。関係自治体の食品衛生主管課、保健所等を介してそれぞれの地域から 3 名を選定し、研究協力者とした（図 1）。

幼児については前述の 15 地域のうち、岩手県、神奈川県、高知県の

3 県を除いた 12 地域において関係自治体の他、保育園等を介して研究協力者を選定した（図 1）。

研究協力者（幼児の場合には保護者）には 2 日分の食事を提供していただくとともに、食品の摂取状況について別紙 2、3 の調査票に記入していただいた。試料採取日については平成 24 年度は連続した 2 日間、平成 25、26 年度は 1 週間のうちのいずれかの 2 日（このうち、1 日は平日）とした。

1-3 試料の採取方法

研究協力者には別紙 1 の手順に従って食事試料を提供していただいた。試料の採取時期は平成 24 年度：平成 25 年 3 月、平成 25 年度：平成 25 年 9～11 月、平成 26 年度：平成 26 年 12 月～平成 27 年 3 月である。

研究協力者が調査日に限って普段と異なる食生活を送ると調査結果が偏るので、これを避けるために、試料採取日は冠婚葬祭、祝日、その他の特別な献立の日を除き、ごく普通の日とした。

この他、試料採取にあたっての注意事項は文部科学省（現在は原子力規制庁に移管）の放射能測定法シリーズ No. 16「環境試料採取法」に準じた。

例えば、魚介類であれば、

- ・メザシやシシャモのように骨ごと食べる魚はそのままとし、骨、皮等を食べなかった魚はその部分を取り除く

- ・シジミ、アサリ、エビ、カニ等は殻を取って身だけを入れる

とし、極力、実際に口にした食事に近い状態とした。

2 食品の摂取状況に関する調査

陰膳試料中の放射性物質の分析の結果、高めの値が検出された場合にその原因を推定する目的で、調査票（別紙 2、3）により研究協力者の食品の摂取状況を調べた。

厚生労働省から公表されている検査結果によると、平成 27 年 3 月現在で高い放射性 Cs 濃度を示しているのは野生鳥獣肉、キノコ類等、魚介類等、一部の食品群に限られている。このため、調査票では各食事の献立とともに、食事中にこれら放射性 Cs 濃度の高い食品群が含まれているかどうかを記入していただいた。

また、体内の放射性 Cs 量を測定することを目的として福島県とその隣県の住民を対象に実施されたホールボディカウンターの検査（～2012 年秋）では自家栽培の野菜を食べた方から比較的高めの放射性 Cs が検出されているため[3]、自家栽培の野菜の摂取状況についても調査票で確認した。幼児についてはこの他、年齢、体重についても尋ねた（別紙 3）。

3 分析方法

3-1 試料調製

研究協力者から提供していただいた 2 日分の食事を試料とし、大型のブレンダーを用いて混合・均一化した。

3-2 γ 線放出核種の分析

γ 線放出核種であるセシウム 134 (^{134}Cs)、セシウム 137 (^{137}Cs)、カリウム 40 (^{40}K) については混合・均一化後の試料を乾燥後、450°C で 24 時間灰化処理し、灰化物を分析用試料として「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」(文部科学省放射能測定法シリーズ 7、平成 4 年改訂)に準じ、以下のとおり分析した。

分析用試料をプラスチック製容器 (U8 容器) に封入してゲルマニウム半導体検出器 (CANBERRA 社製、OXFORD 社製、PGT 社製) のエンドキャップに載せ 80,000 秒以上測定した。バックグラウンド値は検出器に空の U8 容器を載せた状態で適時 200,000～300,000 秒間計測して求めた。測定に先立ち、9 核種混合の放射能標準ガンマ体積線源 (日本アイソトープ協会頒布) を用いてエネルギー校正曲線およびピーク効率曲線を作成した。エネルギー校正、効率校正および定量には γ 線核種解析用ソフト (ガンマスタジオ (SEIKO EG&G)) を使用した。

定量法の概略は次のとおりである。分析対象とする放射性物質のピーク領域内の計数値を用いてピーク面積を計算する。ここで他の放射性物質からの妨害が認められたときは補正した。ピーク面積をピーク効率と分析対象とする放射性物質の γ 線放出比で除し、試料採取終了日における測定試料あたりの放射能を求めた

後、測定供試量で除して定量結果とした。

3-3 プルトニウムの分析

Pu (^{239}Pu および ^{240}Pu) の分析は放射能測定法シリーズ No.12「プルトニウム分析法」に準じた。すなわち、混合・均一化後の試料を灰化し、得られた灰に化学回収率補正用のトレーサーとして ^{242}Pu を添加し、硝酸を加えて加熱分解した。陰イオン交換樹脂カラム法で分離・精製した Pu をステンレス鋼板上に電着し、測定試料とした。測定はシリコン半導体検出器 (ORTEC 社製) により行った。なお、 ^{239}Pu と ^{240}Pu から放出される α 線はお互いのエネルギーが近く、 α 線スペクトロメータでは弁別できない。このため、Pu の値は ^{239}Pu と ^{240}Pu の合計値として評価した。

3-4 ストロネチウム 90 の分析

^{90}Sr の分析は放射能測定法シリーズ No.2 「放射性ストロネチウム分析法」に準じた。操作の概略は以下のとおりである。

陰膳試料を混合・均一化後、灰化して得られた灰試料にストロネチウム担体を添加し、硝酸を加えて加熱分解した。イオン交換法により分離・精製したストロネチウムからイットリウム 90 (^{90}Y) を除去し、2 週間放置して新たに生成した ^{90}Y を水酸化鉄 (III) 沈殿に共沈させ、測定試料とした。低バックグラウンドベータ線測定装置 (アロカ社製) を用いて測定試料を 3,600 秒測定し、 ^{90}Sr 濃度を算出した。

3-5 ポロニウム 210 の分析

現在のところ、 ^{210}Po の分析に関する公定法は定められていないため、本研究では Miura らの方法 [4] に従って以下のとおり ^{210}Po を分析した。

混合・均一化後の試料 (生) に銅、鉛と回収率補正用として ^{209}Po を添加し、硝酸・過酸化水素水による湿式分解後、チオアセトアミドにより硫化物沈殿を生成させた。沈殿物を溶解し、Sr レジンカラム (EICHROM TECHNOLOGIES 社製) に供与後、 ^{210}Po を溶出させた。溶出後、 ^{210}Po を 0.25A で 150 分、ステンレス鋼板上に電着させ、鋼板上の ^{210}Po をシリコン半導体検出器 (ORTEC 社製) により測定した。

4 食品中の放射性物質の検査結果を用いた線量の推計

福島原発事故直後から 2013 年 12 月ならびに 2014 年 1 月から 2014 年 12 月に厚生労働省から公表された食品中の放射性物質の検査結果を用いて、当該期間における食品由来の放射性 Cs による預託実効線量を推計した。線量推計は以下の前提条件の下、行った。

- ・ 食品の分類：国民健康・栄養調査の 99 食品小分類を利用
- ・ 各食品群の摂取量：平成 22 年国民健康・栄養調査の結果を利用
- ・ 検出限界値未満 (ND) の扱い：検査結果が ND の場合、食品中の放射性物質濃度は検出限界値 (DL) 相当とし、DL が不明な場合はそれ

ぞれの放射性物質濃度を 10 Bq/kg とした。月別で ND が 6 割以上の食品分類では DL の半分、8 割以上では 1/4 とした。

- ・ 福島原発事故後初期の 2 か月間は 4 日毎、以降は 1 月毎にサンプリング
- ・ 精米により玄米中の放射性 Cs 濃度が 1/4 に減少
- ・ 飲料水としてのお茶の放射性 Cs 濃度は茶葉中の濃度の 1/50

（倫理面への配慮）

本調査研究は厚生労働省・文部科学省の「疫学研究の倫理指針」にもとづき、国立保健医療科学院倫理委員会の承認を経て実施した（NIPH-IBRA#12042）。

倫理指針に則り、調査開始に先立って本研究の目的・意義・方法・侵襲度・予測される危険性などについて研究協力者に説明し十分な理解を得た。研究への参加により協力者が不利益を被ることがないように配慮した。また、いつでも自由意志で参加の同意の撤回ができ、途中で参加を中止しても、本人に何ら不利な取り扱いを受けないことを保障した。この様な内容について十分に説明を行い、納得承諾頂いたのち調査を実施した。

個人情報については国立保健医療科学院個人情報管理規程に則って個人情報の漏洩がないように努めた。すなわち、調査票（無記名）と試料を保存する容器には予め ID を割り

振って連結可能匿名化し、個人情報が漏洩することのないよう留意した。測定結果は連結可能匿名化をはかりその後のデータの解析に付した。分析結果は個人が特定できないような形で公表する。

C. 研究結果

各調査年度とも福島県内の 6 都市（相馬市、南相馬市、福島市、郡山市、伊達市、会津若松市）と、福島県以外の 9 都道府県の計 15 地域から約 80 の陰膳試料を得た。以下に今回分析対象とした γ 線放出核種（放射性 Cs、 ^{40}K ）、Pu、 ^{90}Sr 、 ^{210}Po それぞれについて、陰膳試料中の濃度、1 日摂取量、預託実効線量の結果を示す。

1 陰膳試料中の γ 線放出核種

1-1 γ 線放出核種の濃度

陰膳試料中の γ 線放出核種濃度（生重量ベース）を表 1～6、地域・年齢別の γ 線放出核種濃度の平均値を図 2、3 に示す。なお、放射性 Cs 濃度（ ^{134}Cs 濃度と ^{137}Cs 濃度の合計値）については、 ^{134}Cs または ^{137}Cs が検出限界値以下の場合はそれぞれの濃度を 0 とせず、試料中に検出限界値の 2 分の 1 相当が存在するものとして算出した。

全 242 の陰膳試料のうち、最も放射性 Cs 濃度が高かったのは平成 25 年度伊達市（幼児）の 11.3 Bq/kg で、現行の一般食品に対する放射性物質の基準値（100 Bq/kg）の約 9 分の 1 であった。各年度の平均値は

平成 24 年度：0.148 Bq/kg、平成 25 年度：0.268 Bq/kg、平成 26 年度：0.096 Bq/kg で、平成 25 年度がやや高めの値を示したが、上記の伊達市幼児を除くと 0.128 Bq/kg であり、他の年度と同レベルであった。

なお、放射性 Cs のうち、福島原発事故前にも大気圏内核実験の影響が認められていた ^{137}Cs と異なり、 ^{134}Cs は原子力発電所事故に特有の放射性物質である。1986 年に発生したチェルノブイリ原子力発電所事故後には国内の農産物でも ^{134}Cs が検出されたが、 ^{134}Cs の物理学的半減期は 2.06 年で ^{137}Cs の 30.1 年と比較すると短く、福島原発事故の直前に環境試料で ^{134}Cs が検出されることはなかった。本研究では対照地域として設定した北海道、大阪府、高知県においても陰膳試料から ^{134}Cs が検出されており、程度の差はあれ福島原発事故の影響が認められた。ただし、平成 24 年度と平成 25 年度の調査では北海道、大阪府、高知県のいずれの地域においても一部の陰膳試料から ^{134}Cs が検出されたが、平成 26 年度については北海道と高知県の陰膳試料から ^{134}Cs は検出されなかった。 ^{134}Cs の減衰によるものと考えられる。

自然放射性物質の ^{40}K は必須元素である K の放射性同位体で、その天然存在比は 0.012% である。このため、 ^{40}K は全ての陰膳試料から検出された。 ^{40}K 濃度の最大値は平成 26 年度伊達市（成人）の 59.1 Bq/kg、最小

値は平成 24 年度北海道（成人）の 8.4 Bq/kg であった（表 1～6）。

1-2 γ 線放出核種の 1 日摂取量

陰膳試料中の γ 線放出核種濃度（Bq/kg）に 2 日分の食事の量（kg）（＝試料重量）を乗じ、2 で除した値を γ 線放出核種の 1 日摂取量とした。個々の 1 日摂取量を表 7～12、地域・年代別の平均値を図 4、5 に示した。なお、 ^{134}Cs または ^{137}Cs の濃度が検出限界値を下回った場合は摂取量を 0 とせず、試料中に検出限界値の 2 分の 1 に相当する放射性 Cs が存在するものとして摂取量を算出した。

放射性 Cs の 1 日摂取量の最大値は、成人では 2.20 Bq/人・日（平成 25 年度南相馬市）、幼児では 19.0 Bq/人・日（平成 25 年度伊達市）であった。 ^{40}K の 1 日摂取量については成人では平成 24 年度南相馬市の 158.3 Bq/人・日が最大、幼児では平成 26 年度相馬市の 88.8 Bq/人・日が最大であった。

成人と幼児を比較すると、一般的には成人の方が幼児よりも摂食量が多い。平成 22 年度国民健康・栄養調査では幼児（1-6 歳児）の 1 日あたりの摂食量が平均で 1249.8g なのに対し、成人は 2069.5g である。このため、同一地域で成人と幼児を比較すると、一部の地域を除き成人の方が幼児よりも 1 日摂取量が大きい傾向が認められた（図 4、5）。

1-3 γ 線放出核種による内部被ばく線量の評価

食品中の放射性物質の摂取にともなう内部被ばく線量は放射性物質の摂取量(Bq)と実効線量係数(Sv/Bq)により求めることができ、以下の式で与えられる。

$$H = \sum_m \sum_i K_i \cdot A_{m,i}$$

ここで、

H : 食品摂取に起因する実効線量(Sv)

$A_{m,i}$: 食品 m の摂取に起因する放射性物質 i の摂取量(Bq)

K_i : 放射性物質 i の経口摂取による実効線量への換算係数(Sv/Bq)である。

1-2 で得られた γ 線放出核種の 1 日摂取量の値を基に上記の計算式を用いて、陰膳試料を 1 年間摂取し続けた場合の預託実効線量を算定評価した。なお、実効線量への換算係数については国際放射線防護委員会(ICRP)の値を適用した。具体的には、成人については ICRP Publ. 72 における「成人」に対する線量係数、幼児については「5 歳児」に対する線量係数を用いて線量を算出した。

個々の陰膳試料による預託実効線量を表 13~18、地域・年代別の平均値を図 6 に示した。なお、1 日摂取量と同様、陰膳試料中の放射性 Cs の濃度が検出限界値を下回った場合は預託実効線量を 0 とせず、試料中に検出限界値の 2 分の 1 に相当する放射性 Cs が存在するものとして線量を求めた。

放射性 Cs による預託実効線量が

個別で最も大きかったのは平成 25 年度伊達市(幼児)で、73.7 μ Sv であった。現在の食品中の放射性物質に対する基準値は食品摂取に由来する年間線量が 1 mSv を超えないように設定されているが、放射性 Cs による預託実効線量は最大でも上限値の約 14 分の 1 であり、十分に小さい値であることが示された。

^{134}Cs と ^{137}Cs の線量係数ならびに食品の摂取量はいずれも幼児が成人を下回るため、放射性 Cs による預託実効線量の地域・年齢別の平均値については幼児の方が小さい傾向が認められた(図 6)。 ^{40}K による預託実効線量については、最大値は 681 μ Sv(平成 26 年度相馬市幼児)、最小値は 16 μ Sv(平成 24 年度北海道成人)であった。

また、放射性 Cs と ^{40}K による預託実効線量を地域・年齢別の平均値として図 7、8 に示した。図から明らかなように放射性 Cs の線量への寄与は小さく、放射性 Cs による預託実効線量が最も大きかった平成 25 年度伊達市(幼児)でも、その線量は ^{40}K の 6%程度であった。なお、 ^{40}K の線量係数(Sv/Bq)は 5 歳児の方が成人よりも大きい(成人: 6.2×10^{-9} 、5 歳児: 2.1×10^{-8})。このため、 ^{40}K による預託実効線量は、幼児の方が ^{40}K の 1 日摂取量が少ないのにもかかわらず成人よりも大きい値を示し、放射性 Cs と ^{40}K による預託実効線量の合計値についても幼児が成人を上回る傾向が認められた。

2 陰膳試料中のプルトニウム

本研究で対象とした15地域(福島県内の6都市と9都道府県)のうち、平成23年度のマーケットバスケット(MB)方式によるTDS [5]で対象地域とした福島市、宮城県、東京都、さらに浜通りの相馬市(26年度は南相馬市)、対照地域としての高知県、平成24年度のTDSにおいて放射性Cs濃度が福島県以外の地域の中では比較的高かった岩手県の陰膳試料を対象にPu($^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$)の分析を行った(平成25、26年度)。

平成25年度(全29試料)、26年度(全27試料)ともにPuは検出されず、全て検出限界値以下(約0.0005 Bq/kg)であった。検出限界値相当のPuが陰膳試料に存在するものと仮定し、当該試料を1年間摂取し続けた場合のPuによる預託実効線量を算出したところ、成人の最大値は平成26年度:0.130 μSv 、平成25年度:0.116 μSv 、幼児についてはそれぞれで0.095 μSv 、0.082 μSv であった(表19、20)。上記の算出方法ではPuによる預託実効線量を過大に評価することになるが、成人の最大値でも食品に由来する年間線量の上限值1 mSvの約7700分の1であった。

3 陰膳試料中のストロンチウム 90

Puと同様、福島市、宮城県、東京都ならびに相馬市(26年度は南相馬市)、高知県、岩手県の陰膳試料を対象に ^{90}Sr の分析を行った。得られた結果を基に ^{90}Sr の1日摂取量、預託

実効線量を算出し、平成26年度の結果を表21、平成25年度の結果を表22、平成24年度の結果を表23に示した。

平成26年度は全27試料中18件、25年度は全28試料中9件、24年度は全29試料中10件から ^{90}Sr が検出された。 ^{90}Sr 濃度の最大値は平成26年度:0.024 Bq/kg(岩手県、高知県の成人)、平成25年度:0.028 Bq/kg(岩手県成人)、平成24年度:0.022 Bq/kg(岩手県、高知県の成人)であった(表21~23)。 ^{90}Sr による預託実効線量の最大値は平成26年度:0.663 μSv (高知県成人)、平成25年度:0.638 μSv (岩手県成人)、平成24年度:0.543 μSv (高知県成人)で、最大でも食品に由来する年間線量の上限値の約1500分の1であった。

4 陰膳試料中のポロニウム 210

Pu、 ^{90}Sr と同様、福島市、宮城県、東京都ならびに相馬市(平成26年度は南相馬市)、高知県、岩手県の陰膳試料を対象に ^{210}Po の分析を行った。平成26年度における ^{210}Po の陰膳試料中の濃度ならびに1日摂取量、預託実効線量を表24、また、平成25、24年度の結果をそれぞれ表25、26に示した。

^{210}Po 濃度の最大値は0.766 Bq/kg(平成26年度宮城県成人)、最小値は0.047 Bq/kg(平成26年度福島市幼児)であり、 ^{210}Po による預託実効線量は平成25年度宮城県幼児の845 μSv が最大であった。

また、自然放射性物質である ^{40}K

と ^{210}Po 、ならびに人工放射性物質である放射性 Cs と ^{90}Sr による各年度の年間の預託実効線量を地域・年齢別の平均値として図 9 に示した。 ^{210}Po による預託実効線量は ^{40}K と比較するとバラつきが認められたが、放射性 Cs 等の人工放射性物質と比較すると高い値を示した。上記の 4 つの放射性物質による預託実効線量の合計値は平成 25 年度東京都幼児の $681 \mu\text{Sv}$ が最大、平成 26 年度福島市成人の $129 \mu\text{Sv}$ が最小であった。人工放射性物質である放射性 Cs と ^{90}Sr の預託実効線量の合計値と自然放射性物質 (^{40}K 、 ^{210}Po) による線量との比は最大でも 1.4% で、人工放射性物質の線量への寄与は自然放射性物質と比べて小さいことが明らかになった。

5 食品中の放射性物質の検査結果を用いた線量の推計

厚生労働省から公表された食品中の放射性物質の検査結果と平成 22 年国民健康・栄養調査の食品群別摂取量の調査結果を利用して成人の食品由来の放射性 Cs による預託実効線量を推計した。

福島原発事故直後から 2013 年 12 月までの預託実効線量の積算値

成人の放射性 Cs による預託実効線量について、福島原発事故が発生した 2011 年 3 月から 2013 年 12 月までの積算値を表 27 に示した。

現行の食品中の放射性物質に関する基準値が適用される 2012 年 4 月 1 日までは暫定規制値を超える食品は

摂取されず、それ以降は基準値を超える食品は摂取されないと仮定して算定した場合の推計値は 50 パーセントイル値で 0.14 mSv 、99.9 パーセントイル値で 0.49 mSv であった。なお、推計に当たっては基準値適用に係る経過措置も考慮した。

また、同じ条件下で福島県産の食品のみを摂取し続けた場合の積算値を求めたところ、50 パーセントイル値で 0.19 mSv 、99.9 パーセントイル値で 0.65 mSv と先の結果よりも大きな値を示したが、1 年間あたりの線量に換算すると 99.9 パーセントイル値でも 0.23 mSv で、食品由来の年間線量の上限值である 1 mSv の約 4 分の 1 の値であった。

2014 年 1 月から 2014 年 12 月までの線量の積算値

2014 年 1 月から 12 月までの成人の放射性 Cs による預託実効線量の積算値を表 28 に示した。

現行の食品中の放射性物質に関する基準値を適用し、市場に出回っている食品の放射性 Cs 濃度が全て基準値以下と仮定した場合の預託実効線量は 50 パーセントイル値 0.023 mSv 、90 パーセントイル値で 0.028 mSv 、99.9 パーセントイル値で 0.044 mSv であった。

一方、福島県産の食品のみを食べ続けたと仮定した場合の推計結果は 50 パーセントイル値： 0.018 mSv 、90 パーセントイル値： 0.024 mSv 、99.9 パーセントイル値： 0.043 mSv で、全国の検査結果を基にした推計

結果と大きな違いはないことが示された。

なお、厚生労働省の公表結果では野生鳥獣肉で高い濃度の検査結果が認められているが、摂取量が少ないために平均的な食生活パターンでは線量への寄与は1%未満と推定された。

D. 考察

1 福島原発事故後の放射性 Cs による預託実効線量の推移

本研究に先立ち、杉山らは福島原発事故後の平成23年10、11月にマーケットバスケット（MB）方式によるTDSを実施しており[5]、図10に仙台市、福島市、東京都の3地域について平成23年度以降の放射性Csによる預託実効線量の推移を示した。平成23年度と比較すると、いずれの地域も放射性Csによる預託実効線量は大きく減少しており、福島市については平成23年度が $16.8 \mu\text{Sv}$ なのに対し、平成24年度： $1.9 \mu\text{Sv}$ 、平成25年度： $0.43 \mu\text{Sv}$ 、平成26年度： $0.70 \mu\text{Sv}$ であった。

平成23年度のTDSにおける放射性Cs由来の預託実効線量を食品群別にみると、仙台市、東京都では乳類、福島市では米・米加工品類の寄与が特に大きく、以下、果実類、乳類の順であった（図11）。このうち、乳類についてはMB方式によるTDSを実施した平成23年10月以降、放射性Cs濃度は大きく減少している（図12）。程度や傾向の違いはあるものの、

米・米加工品類や果実類についても同様である[7]。本研究は陰膳方式によるTDSであるため、個々の食品群の寄与については明らかとなっていないが、以上の点を考慮すると、預託実効線量の減少はこれらの食品群の放射性Cs濃度の減少によるものではないかと推察された。

なお、平成23年度の放射性Csによる預託実効線量の最大値（ $16.8 \mu\text{Sv}$ ）も食品由来の年間線量の限度値（ 1mSv ）の約60分の1であり、十分に低い値である。

2 福島原発事故前のMB方式によるTDS結果との比較

図13に杉山らが福島原発事故前に成人を対象として実施したMB方式によるTDSの結果を示した（平成19～21年度厚生労働省科学研究費補助金食品の安心・安全確保推進研究事業）。本研究と同様、放射性Csが不検出の場合、検出限界値の2分の1に相当する放射性Csが存在すると仮定すると*、平成19～21年度の預託実効線量は最大値が $0.24 \mu\text{Sv}$ 、最小値が $0.11 \mu\text{Sv}$ であった。前述のとおり、平成24～26年度における成人の放射性Csによる預託実効線量は平成23年度と比較して大きな減少が認められているが、その地域別平均の最大値は $6.70 \mu\text{Sv}$ （図6）であり、福島原発事故前と比較すると依然として高い水準にあるといえる。ただし、食品由来の年間線量の限度値（ 1mSv ）の約150分の1で十分に低い値である。

*平成 19～21 年度の報告書では放射性 Cs が不検出の場合、検出限界値相当の放射性 Cs が存在すると仮定して線量を算出したため、図 13 の値と異なる。

3 福島原発事故前の陰膳方式による TDS 結果との比較

ここでは放射性 Cs と ^{90}Sr の 1 日摂取量について環境放射線データベース [6] に記載されている日常食の結果 (1963～2008 年度) と本研究における結果を比較した。

大気圏内で核実験が行われていた 1960 年代前半は ^{137}Cs の 1 日摂取量が多く、最大で 4.4 Bq/人・日であった (図 14)。また、2001～2008 年度の結果に限ると、 ^{137}Cs の 1 日摂取量の最大値は 0.56 Bq/人・日であった。本研究における放射性 Cs の 1 日摂取量の最大値 19.0 Bq/人・日 (平成 25 年度伊達市幼児) は 1960 年代の最大値を上回るが、図 14 に示すとおり、一部を除いて放射性 Cs の 1 日摂取量は福島原発事故前の範囲内にあることが確認された。

なお、本研究で放射性 Cs の 1 日摂取量が最大であった平成 25 年度伊達市幼児について調査票 (別紙 3) を確認したところ、2 日間の献立は以下のとおりであった。

・ 1 日目

朝食：ご飯、味付海苔、すじこ、卵焼き、さんまの煮つけ、きのことなすの炒め煮

昼食：コロッケパン、牛乳、みか

ん

おやつ：玉こんにゃく、お茶

夕食：うどん入りいも煮汁、おにぎり、ウーロン茶

・ 2 日目

朝食：トースト (バター)、牛乳、柿

昼食：ミートソーススパゲティ、チキンナゲット、サラダ (ブロッコリー)、コンソメスープ、桃の缶詰

おやつ：スイートポテト、茶まんじゅう、牛乳

夕食：ご飯、まぐろの刺身、焼き魚 (鯛)、いか・大根・さといもの煮物、マカロニサラダ、まつたけの茶碗蒸し、ラフランス、みかん

また、調査票の「家庭菜園でとれた野菜を食べていますか」という問いに対し、「食べている」との回答であったため、研究協力者に確認したところ、福島原発事故の前から自家栽培の野菜を摂取しているが、事故後は野生きのこ、山菜等、放射性 Cs 濃度が高いものは避けているとのことであった。

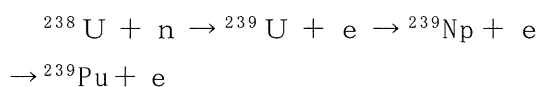
当該試料を 1 年間摂取し続けた場合の放射性 Cs による預託実効線量は $73.7 \mu\text{Sv}$ で食品摂取による年間線量の上限值 1 mSv を十分に下回るものの、厚生労働省の公表結果を用いた線量推計における福島県の 5 歳児の 99.99 パーセンタイル値 (年間換算で $47 \mu\text{Sv}$) を上回る。流通食品のみを摂取している場合に預託実効線量が 99.99 パーセンタイル値を

超えることは考えづらいことと上記の食事の状況を勘案すると、当該試料中の放射性 Cs 濃度が高くなったのは自家栽培の野菜、米等が原因ではないかと推察された。また、陰膳方式による TDS は MB 方式と比較すると、地域、年齢に加え個人の嗜好等を反映しやすい点の特徴であり、本結果はその特徴が表れたものといえる。

^{90}Sr の 1 日摂取量 (Bq/人・日) については 2001~2008 年度が 0.02~0.125 であったのに対し、本研究は 0.015~0.065 と 2001~2008 年度の 1 日摂取量の範囲内にあり、福島原発事故の影響は認められなかった (図 15)。

4 陰膳試料中のプルトニウム

Pu は原子炉内で以下のような反応を経て生成される。



ウランと同様、Pu は α 線放出核種であるが、その物理学的半減期は 24110 年 (^{239}Pu) で、 ^{238}U の約 45 億年や ^{235}U の約 7 億年と比較して極めて短く、単位重量当たりの放射能の強さを示す比放射能については Pu の方が遥かに大きい。このため、Pu は放射性毒性が強く、原発事故時に憂慮すべき放射性物質の 1 つである。

福島原発事故前の国内における食品中の Pu の実態については環境放射能水準調査 (現在の実施主体は原

子力規制庁) で調査されており、その結果は環境放射線データベース [6] に収載されている。環境放射線データベースによれば、食品中の Pu 濃度は放射性 Cs と比較すると低く、最大値は 0.266 Bq/kg (さざえ) で、全 6217 件中 0.1 Bq/kg を上回ったのは 49 件であった。原子力発電所等周辺環境放射線モニタリングでやや高めの値が得られており、Pu 濃度が 0.1 Bq/kg を上回ったのはいずれも原子力発電所等周辺環境放射線モニタリングの結果である。それ以外の調査における Pu の検出件数は 78 件 (全 1476 件) で、最大値は 0.029 Bq/kg (あおのり) であった。食品群別では貝類と藻類等の水産物の Pu 濃度が高い傾向にあった。

原子力安全・保安院は福島原発事故による Pu の放出量を ^{238}Pu : 1.9×10^{10} Bq、 ^{239}Pu : 3.2×10^9 Bq、 ^{240}Pu : 3.2×10^9 Bq、 ^{241}Pu : 1.2×10^{12} Bq と推計しているが [8]、表 19、20 のとおり本研究では分析対象とした全ての陰膳試料から Pu は検出されておらず、その影響は認められなかった。

5 陰膳試料中のポロニウム 210

平成 23 年度に実施した MB 方式による TDS での ^{210}Po による預託実効線量を食品群別に示した (図 16)。食品群別で線量への寄与が最も大きいのは X 群の魚介類で、仙台市、福島市、東京都における魚介類の寄与率はそれぞれ 93.5%、77.3%、86.5% であった。本研究で ^{210}Po 濃度に

<0.023～0.766 Bq/kg と試料間のバラつきが認められたのは魚介類の摂取量の違いによるものと推察され、個人の嗜好を反映したものと考えられる。

6 食品中の放射性物質の検査結果を用いた線量の推計

平成 26 年 1 月～12 月の厚生労働省の公表結果を基に算出した当該期間の食品摂取による成人の預託実効線量は全国で 50 パーセンタイル値が 23 μ Sv、90 パーセンタイル値が 28 μ Sv、福島県で 50 パーセンタイル値が 18 μ Sv、90 パーセンタイル値が 24 μ Sv と福島県が下回った（表 27）。本推計では該当する食品分類で検査実績がない場合には放射性 Cs 濃度を 0 Bq/kg とする一方、検査実績が一つでもあれば結果が検出下限値以下であっても検出下限値相当の濃度を与えている。平成 26 年は 99 分類中 88 分類で検査が行われているが、福島県産食品についてはこのうち 23 分類で検査実績がなく、福島県産の方が 0 Bq/kg とした食品が多くなったために線量が低くなったものと考えられる。

以上の結果から、平均的な食生活を送っていれば放射性 Cs による預託実効線量は十分に低いことが明らかとなった。平成 26 年度の陰膳調査における放射性 Cs による預託実効線量の最大値は 5.300 μ Sv とさらに小さく、本研究によって実際の食事による放射性 Cs 由来の線量も十分に低いレベルにあることが示され

たと評価できる。

なお、本推計の結果が陰膳調査の結果を上回ったのは以下の理由によるものと考えられる。

(1) 食品の検査結果の多くが検出限界未満であるが、本推計ではこれらの試料の濃度を保守的に見積もっていること

(2) 食品の検査は過去に基準を超過したことがある産地の食品等を重点的に実施しており、ほとんど流通品で構成される陰膳試料に比べると濃度が高い方に偏っていること

E. 結論

本研究で陰膳試料中の放射性 Cs 濃度が最も高かったのは平成 25 年度伊達市（幼児）の 11.3 Bq/kg で、現在の一般食品に対する放射性物質の基準値（100 Bq/kg）の約 9 分の 1 であった。当該試料を 1 年間摂取し続けた場合の預託実効線量は 73.7 μ Sv で、現行の食品の基準値を設定する上で基となった年間線量の上限值 1 mSv の約 14 分の 1 であった。

Pu は平成 25、26 年度に分析を行ったいずれの試料からも検出されず、⁹⁰Sr についても福島原発事故前の 2001～2008 年度と同レベルにあることが示され、福島原発事故の影響は認められなかった。預託実効線量については自然放射性物質である ⁴⁰K と ²¹⁰Po 由来の線量の方が大きく、⁹⁰Sr を分析した試料に限定すると放射性 Cs と ⁹⁰Sr の寄与は最大でも 1.4%であった。

以上の結果から、今回分析対象とした放射性 Cs、Pu、⁹⁰Sr の食事由来の暴露量は幼児も含めて十分に低いレベルにあると評価できる。

謝辞

試料採取にご協力いただいた皆様方や調整の労をおとり頂いた自治体職員の方々に厚く御礼申し上げます。試料の前処理やデータの整理では松本品氏の援助を受けた。線量推計での食品の摂取量は、平成 22 年度国民健康・栄養調査の個票データを厚生労働省統計情報部の許諾を得て使用した。

参考文献

- [1] 厚生労働省. 東日本大震災関連情報「食品中の放射性物質への対応」. Available;
http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/shokuhin.html
- [2] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients, Publication 72, Pergamon Press, Oxford, Annals of the ICRP Vol.26 No.1 (1995).
- [3] Hayano, Ryugo S., Masaharu Tsubokura, Makoto Miyazaki, Hideo Satou, Katsumi Sato, Shin Masaki,

Yu Sakuma. Internal radiocesium contamination of adults and children in Fukushima 7 to 20 months after the Fukushima NPP accident as measured by extensive whole-body-counter surveys. Proc. Jpn. Acad., Ser. B 89. 2013; 157-163.

[4] T. Miura, K. Hayano, K. Nakayama. Determination of ²¹⁰Pb and ²¹⁰Po in Environmental Samples by Alpha Ray Spectrometry Using an Extraction Chromatographic Resin. Anal. Sci. 1999; 15: p23-28.

[5] 杉山英男、寺田宙、小谷野道子、飯島育代、三宅定明. 分担研究報告：食品中の放射性核種の摂取量調査・評価研究. In：厚生労働省科学研究費補助金食品の安心・安全確保推進研究事業「食品を介したダイオキシン類等有害物質摂取量の評価とその手法開発に関する研究」（主任研究者：松田りえ子.〈課題番号：H22-食品-一般-017〉）平成 23 年度分担研究報告書；2012. p. 1-40.

[6] 原子力規制庁. “環境放射線データベース”.
<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top>, (参照 2014-03-24).

[7] 国立保健医療科学院. 食品中の放射性物質検査データ. Available;
<http://www.radioactivity-db.info>

[8] 原子力安全・保安院. 東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故

に係る1号機、2号機及び3号機の炉心の状態に関する評価について。

Available;

<http://www.meti.go.jp/press/2011/06/20110606008/20110606008-1.pdf>

F. 健康危険情報

陰膳試料中の放射性 Cs 濃度は最大でも 11.3 Bq/kg と、一般食品に対する基準値である 100 Bq/kg の約 1/9 であった。また、食品中の放射性 Cs に由来する預託実効線量についても最大値は 73.7 μ Sv と、基準値を設定する上で基になった年間線量の上限値である 1 mSv の約 14 分の 1 で、健康危険情報に該当するものはなかった。

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

寺田宙、飯島育代、林孝子、三宅定明、樺田尚樹、山口一郎、松本品、児玉浩子、杉山英男。国内における食品を介した放射性物質による暴露量の評価。第 50 回全国衛生化学技術協議会；2013；富山。同講演集。P136-137

飯島育代、杉山英男、三宅定明、酒井康宏、児玉浩子、山口一郎、小谷野道子、松本品、樺田尚樹、寺田宙。国内各地における食事からの放射性物質の摂取量～東京電力福島第一原子力発電所事故前後の推移～。第 106 回日本食品衛生学会学術講演

会；2013；宜野湾。同講演要旨集。P185

山口一郎、寺田宙、杉山英男、飯島育代、酒井康宏、三宅定明、児玉浩子、樺田尚樹。食品中の放射性セシウムに由来した線量評価 -陰膳調査と食品モニタリング調査の比較-。日本放射線安全管理学会第 12 回学術大会；2013；札幌。同講演予稿集。P91

Ichiro Yamaguchi, Hiroshi Terada, Ikuyo Iijima, Sadaaki Miyake, Hiroko

Kodama, Hideo Sugiyama.

Radioactivity Ingestion Dose Estimation Following the Fukushima Nuclear Disaster in Japan; 2013. 11. 18-22; Tokyo. J. Trace Elem. Med. Biol. 2013; 27S1(suppl): p. 28.

福島原発事故から 2 年後の食事由来の放射性核種の摂取量 -放射性セシウムとカリウム 40 -。寺田宙、飯島育代、酒井康宏、三宅定明、太田智子、山口一郎、松本品、樺田尚樹、児玉浩子、杉山英男。第 51 回アイソトープ・放射線研究発表会；

2014；文京区。同講演要旨集。P159
福島原発事故から 2 年後の食事由来の放射性核種の摂取量 -プルトニウムとポロニウム -。太田智子、飯島育代、酒井康宏、三宅定明、山口一郎、松本品、樺田尚樹、児玉浩子、杉山英男、寺田宙。第 51 回アイソトープ・放射線研究発表会；2014；文京区。同講演要旨集。P159

国内各地における日常食を介する放射性物質の摂取・暴露量評価．寺田宙．第73回日本公衆衛生学会総会シンポジウム7 原子力災害後の食品摂取による放射線曝露への対応と現状；2014；宇都宮．同総会抄録集．P104

寺田宙、飯島育代、酒井康宏、三宅定明、太田智子、児玉浩子、山口一郎、松本晶、櫻田尚樹、杉山英男．国内各地における種々の放射性物質の

摂取量について．第51回全国衛生化学技術協議会；2014；別府．同講演集．P162-163

飯島育代，三宅定明，太田智子，児玉浩子，山口一郎，松本晶，櫻田尚樹，杉山英男，寺田宙．東京電力福島第一原子力発電所事故後の食品中の放射性物質の濃度実態．日本薬学会第136年会；2015；横浜．同講演要旨集．