

## Ⅱ. 分 担 研 究 報 告

食品中放射性物質等の実態調査

蜂須賀 暁子

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検査システムの評価手法の開発に関する研究（20KA1010）

令和2年度～令和4年度 総合研究報告書

食品中放射性物質等の実態調査

研究分担者 蜂須賀暁子

国立医薬品食品衛生研究所生化学部主任研究官

食品からの内部被ばくは、事故で放出されたセシウム等の人工核種よりも天然核種由来のものの方が大きく、水産物の摂取量が多い我が国においてはポロニウム 210 の影響が大きいことがこれまでの研究により示唆されている。しかし、その推定被ばく線量はデータ数が少なく、実態は不明であることから、ポロニウム 210 の摂取量調査をマーケットバスケット試料により行った。まず、測定方法として、放射能測定法シリーズ記載の $\alpha$ 線測定法および衛生試験法注解等を参考にし、カラム分離の有無について比較検討した。両者で良好な相関が認められ、カラム分離なしでも測定可能なことが示唆された。次いで食品群ごとのポロニウム 210 濃度測定値から、摂取量を算出し、被ばく線量を推定した。食品中のポロニウム 210 濃度測定の結果、食品群としては魚介類で高く、喫食量をかけ合わせた摂取量から算出された預託実効線量は 0.3-0.5 mSv/y 程度となり、そのうちの約 8 割が魚介類に由来した。この魚介類の喫食量は全体として減少傾向にあり、また若年者で少ないことから、現在の国民一人あたりのポロニウム 210 からの内部被ばく線量の公称値とされる値 (0.73 mSv/y) よりも低い可能性が示唆された。より正確な食品中ポロニウム 210 のリスク評価を行うには、魚介類を主とした品目別、産地別、喫食部位別の放射能濃度および年齢別の喫食量等の詳細なデータに基づく調査研究が必要である。

研究協力者 片岡 洋平

国立医薬品食品衛生研究所生化学部第一室長

曾我 慶介

国立医薬品食品衛生研究所生化学部第二室主任研究官

**A. 研究目的**

平成 23 年 3 月 11 日の東京電力福島第一原子力発電所事故により、放射性核種や化学物質が環境中に放出されて食品に移行したことは、食品衛生上の大きな問題となった。事故後は半年ごとに、人工核種である放射性セシウム、放射性ストロンチウムおよびプルトニウムの食品からの内部被ばくに

についての調査報告が厚生労働省の HP に公表されており、それによると、環境中への飛散量から最も影響が懸念される放射セシウムにおいても、基準値である年間 1 mSv の 0.1%程度と推定されている。一方で、食品には天然の放射性核種も含まれており、原子力施設等からの人工核種の影響を正しく評価するためにも、天然核種の状況を把握

しておくことは重要である。平成 29 年度からの震災に起因する食品中の放射性物質ならびに有害化学物質の実態に関する研究」において、原子力災害による汚染実態と近年の食品に含まれる放射性核種に関する文献調査を行い、人体に影響が大きい放射性核種として考慮すべき核種等を探索し、我が国においては天然放射性核種ポロニウム 210 による内部被ばく量が世界平均と比べて高く、人工放射性核種よりも寄与が大きいことを示してきた。そこで本研究では、流通する食品のポロニウム 210 の放射能濃度を測定し、喫食量データおよび実効線量係数を用いて食品からのポロニウム 210 の被ばく線量を算出し(図 1)、それらについて考察する。令和 2 年度は 2 地域、令和 3 年度は 4 地域の食品について調査検討を行ったが、令和 4 年度は、さらに地域数を増やして調査し、また、新たな分析手法も含めて、検討した。

## B. 研究背景

国連科学委員会報告 (UNSCEAR 2008 report) によれば、自然放射線源から受ける世界一人あたりの平均年間線量は 2.4 mSv とされ、そのうち食物摂取に伴う被ばく線量は 0.29 mSv であり、核種としては主にカリウム 40 とポロニウム 210 を含むウラン系列核種が挙げられている(表 1)。日本における一人あたりの自然放射線からの年間被ばく線量は、原子力安全研究協会の「生活環境放射線」によれば、1992 年版では 1.48 mSv、2011 年版では 2.09 mSv、2021 年版でもその値が引継がれ 2.1 mSv となっている。そのうち食物摂取に伴う被ばくは 0.98 mSv と見積もられており、その根拠は太田らの報告<sup>1)</sup>による食品中ポロニウム 210 から 0.73 mSv、鉛 210 から 0.058 mSv である。

食品からの内部被ばくは、従来は事故等における人工核種が注目されていたが、平

常時では天然核種の方が影響が大きいことから、国際原子力機関 (IAEA) は 2017 年以来、国連食糧農業機関 (FAO) 及び世界保健機関 (WHO) と協働し、食品中の放射線量の管理に向けた科学に基づく国際ガイダンスを各国当局に提供するプロジェクトに取り組んできており、その取りまとめ文書が昨年末に発出された (IAEA-TECDOC-2011、Safety Reports Series 114)。これらの報告書においても、平常時の飲食物からの内部被ばくでは人工核種より天然核種の方が影響が大きく、中でもポロニウム 210 の寄与が大きいとされている。

ポロニウムは、酸素と同じ第 16 属に属する元素番号 84 の元素で、全ての同位体が放射性であり、安定同位体は存在しない。同位体のうち、半減期が 1 日以上のもは、ポロニウム 208 (半減期 2.9 年)、ポロニウム 209 (半減期 102 年)、ポロニウム 210 (138 日) の 3 核種であり、いずれも  $\alpha$  崩壊をする。ポロニウム 210 はウラン系列(図 2)に属する天然放射性核種であることから生活環境に広く存在し、 $\alpha$  崩壊して安定核種である鉛 206 に変わるが、 $\alpha$  線以外の放射線をほとんど放出しないため、人体への影響としては内部被ばくが問題となる。人体には、飲食物からの摂食やタバコの喫煙からポロニウム 210 を直接取り込むほか、ウラン系列の上流の核種の摂取(例えばラドン 222 の吸入)により取り込まれる。

## C. 研究方法

### 1) 食品試料

食品モデル試料として、国民健康・栄養調査(平成 30 年度)を参考に食品を 13 種類(米・米加工品、米以外の穀類、砂糖・菓子類、豆類、果物類、緑黄色野菜、その他の野菜・きのこ類・藻類、嗜好飲料類、魚介類、肉類、乳類、調味料、飲料水)に分類し、分類ごとに混合・均一化した混合試料を用い

た。

## 2) 放射能標準溶液

ポロニウム 209 (半減期: 102 年) 標準硝酸溶液と鉛 210 (半減期: 22.2 年) 標準硝酸溶液は Eckert&Ziegler 社製を購入した。

## 3) 食品中ポロニウム 210 の $\alpha$ 線分析

既報<sup>2)</sup>および衛生試験法・注解 2020 を参照し、食品試料中の有機物を硝酸で湿式分解したのち、キレート抽出クロマトグラフィーによりポロニウムを分離し、電気分解によりステンレス鋼板上にポロニウムを析出し、その  $\alpha$  線を測定した。カラム分離を行わない場合は、湿式キレート抽出クロマトグラフィーを省略して操作した。

### ・湿式分解

食品生試料 10 -100 g をビーカーに取り、内部標準物質ポロニウム 209 硝酸標準溶液 (0.04 Bq 相当)、硝酸を加えて一晩漬け置きした後、ホットプレート上で 120°C まで加熱した。硝酸 30 mL と過酸化水素水 1 mL を加え、乾固する操作を褐色の気体発生がなくなるまで繰り返した。湿式分解終了後に、6M 塩酸 10 mL を加え乾固直前まで加熱濃縮した。

### ・カラム分離

カラム分離を行う場合は乾固直前の試料に 4M 塩酸 20 mL を加えて加熱・懸濁し、0.45 nm のメンブレンフィルターでろ過した。抽出カラムは Sr/Spec Resin 50-100  $\mu\text{m}$  (Cartridges-2 ml, Eichrom Technologies 社) を使用し、4M 塩酸 20 mL を予め通液後、試料ろ過液を負荷した。4M 塩酸 20 mL で洗浄後、8M 塩酸 20 mL で鉛を溶出させ、次いで 6M 硝酸 4 mL を通液後、6M 硝酸 20 mL で溶出した。溶出液を乾固直前まで加熱濃縮し、6M 塩酸 10 mL を加え、乾固直前まで加熱濃縮した (ポロニウム塩化物フォーム)。

### ・電着

ステンレス板 ( $\Phi 24.5$  mm, 薄さ 1.0 mm, 東京光電社) 上にポロニウムを析出させる

ために、テフロン製の電解セルの底にステンレス板 (陰極) を固定し、アスコルビン酸飽和溶液 1ml を入れ、ついで 0.5M 塩酸 5 mL で溶解したポロニウム塩化物フォームの乾固直前試料を加えた。白金電極 (陽極) を電極間距離 5 mm に調整し、電解分析装置 ANA-2 (東京光電社) を用いて 2 時間通電した。電着後のステンレス板は、純水とアセトンで洗浄後、自然乾燥させて測定試料とした。

### ・ $\alpha$ 線測定

ポロニウムを電着したステンレス板を、450 mm<sup>2</sup> シリコン半導体検出器 PIPS (ミリオンテクノロジー・キャンベラ社) を用いて 86,400 秒間測定し、 $\alpha$  線スペクトロメトリを行った。データ解析には Genie 2000 spectroscopy system software (ミリオンテクノロジー・キャンベラ社) を使用した。

ポロニウム 210 の放射能濃度及びその統計誤差を以下の式を用いて算出した。

$$A_{Po} \pm \Delta A_{Po} = n_{Po} \cdot \frac{D}{n_{add}} \cdot \frac{1000}{W} \\ \pm \Delta A_{Po} \sqrt{\left(\left(\frac{\Delta n_{Po}}{n_{Po}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n_{add}}{n_{add}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(D)}{D}\right)^2\right)}$$

ただし、 $A_{Po}$  および  $\Delta A_{Po}$ : ポロニウム 210 放射能およびその統計誤差 (Bq/kg)、 $n_{Po}$  および  $\Delta n_{Po}$ : ポロニウム 210 の正味計数率およびその統計誤差 (cps)、 $D$  および  $\Delta D$ : 添加したポロニウム 209 の放射能およびその統計誤差 (Bq)、 $n_{add}$  および  $\Delta n_{add}$ : ポロニウム 209 の正味計数率およびその統計誤差 (cps)、 $W$ : 試料重量 (g) である。検出限界値 (LOD) は、 $A_{Po} = 3\Delta A_{Po}$  とした。LOD 以下となった不検出 (ND) の測定値は、LOD の半分 (LOD/2)、0、LOD の 3 種類で計算した。放射能濃度はカラム分離日、および試料調製日に減衰補正した。

## D. 研究結果・考察

### 1) 食品中ポロニウム 210 濃度

#### ・分析条件の検討

以前の検討（平成 29 年度～令和元年度厚労科学研究）を踏まえ、既報<sup>2)</sup>および衛生試験法 2020 を参考に分析条件を決定した。内部標準には、ポロニウム 210 の  $\alpha$  線（5.304 MeV）とエネルギー差が大きいポロニウム 209（4.883 MeV）を用いた。試料量は、操作性と感度（目標検出下限値 0.02Bq/kg）を考慮して 25 g を標準とし、予想される食品中ポロニウム濃度および喫食量、組成等を参考に増減した。すなわち、十分に検出可能と予想される魚介類は 10 g、喫食量が多い米類、飲料水は 100 g とした。なお、食品群のうち、ポロニウム 210 が低濃度と予想される油脂類は測定対象から除外した。湿式分解条件は、操作性から、硝酸と過酸化水素水による湿式分解とし、加熱は揮発による損失を避けるため 130°C 以下で行った。

酸分解液中のポロニウムを金属板へ沈着させる前のカラム分離の影響について検討した。以前の検討（平成 29 年度～令和元年度厚労科学研究）において、カラム分離をせずに直接ステンレス板に電着する簡便な手法が、NIST 試料および流通食品試料で良好な結果を示していたため、本課題でも、その手法について検証を重ねた。令和 3 年度は 3 地域（ただし、魚介類は 9 地域）について、不検出と予想される飲料水を除く 12 食品群について全 86 試料で、令和 4 年度は同様に 5 地域（ただし、魚介類は 9 地域）について全 80 試料でカラム分離の有無による測定結果を比較した。

全 166 試料のうち、両測定法で共に検出されたものが 96 試料となった。魚介類の 38 試料は全て 1.6 Bq/kg 以上、魚介類以外の試料は 0.2 Bq/kg 以下となり、食品

試料群による濃度領域の違いが見られたものの、カラム処理の有無による回帰直線を求めたところ、傾きは 0.9956、切片は 0.003、相関係数  $R^2$  は 0.99 と、良好な相関が見られた。

#### ・食品中ポロニウム 210 濃度

線量評価のための食品中ポロニウム 210 濃度算出にあたっては、カラム処理有りの方法を用いた。10 地域、13 食品群（ただし、地域 CD は嗜好飲料、乳類、飲料水を除く 10 食品群）、2 併行の測定結果を図 3 に示す。測定試料の放射能濃度は、壊変系列の上流核種からの影響を分断した時点であるカラム分離日に減衰補正した。魚介類が 2-15 Bq/kg で最も高く、ついで、調味料、その他の野菜・きのこ類・藻類、が 0.1-1 Bq/kg 程度であり、それ以外の食品群は不検出～0.2 Bq/kg 程度であった。

次に、カラム分離日より前となる、試料調製日のポロニウム 210 濃度を同様に減衰補正により算出した。試料調製日から測定日までが数ヶ月あったため、試料調製日に補正した値はカラム分離日の約 2.6 倍（1.4～4.5）となった。カラム分離日におけるポロニウム 210 は、食品調製日においてポロニウム 210 であった場合と、親核種である鉛 210 から壊変により生じた場合が考えられるが、ここでは全てポロニウム 210 からとして減衰補正しているため、鉛 210 の寄与が大きい場合は過大評価していることになることに注意が必要である。

### 2) 喫食量

食品群別試料の濃度から被ばく線量推定を行う場合には、食品中濃度と同様に食品群別の喫食量データも重要である。喫食量データには、国民健康・栄養調査の結果が一般的に用いられる。なお、国民健康・栄養調査では食品の摂取を摂取量としているが、本報告書内では食品の摂取

は喫食量、ポロニウム 210 の摂取を摂取量と記載する。令和元年度までの国民健康・栄養調査によると、総数（1 歳以上）の食品群別喫食率では、年次ごと若干の変動はあるものの、喫食量の多い食品群の上位 3 群は、嗜好飲料類、穀類、野菜類の順で変わらず、この 3 群で毎年約 65% となっている。食品中ポロニウムの濃度が高かった魚介類の喫食量について、年齢別に示したものが図 4 である。全年齢層でこの 25 年間、減少傾向にあること、高齢者の方が魚介類の喫食量が多い傾向にあることが読み取れる。

### 3) 実効線量係数

ICRP が Publication 72 で示している公衆のポロニウム 210 の実効線量係数 ( $\mu$  Sv/Bq) は、3 ヶ月児、1 歳、5 歳、10 歳、15 歳、成人で、各々 26、8.8、4.4、2.6、1.6、1.2 であり、離乳食前の 3 ヶ月児を除くと、同じ桁に収まる値となっている。ポロニウム 210 は半減期が 138 日であり、実効線量係数は、摂取後 1 年以降は変わらなくなっている。

### 4) 内部被ばく線量推定

実測した食品群中のポロニウム 210 の濃度を、不検出を LOD/2 として試料調製日に減衰補正して求め、2019 年度の国民健康・栄養調査の喫食量データを用いて 1 日あたりのポロニウム 210 の摂取量を算出した。ポロニウム 210 の放射能濃度 (Bq/kg) が高い食品群は魚介類であったが、それに喫食量 (g/d) をかけ合わせたポロニウム 210 の摂取量 (Bq/d) においても比率が高いのは魚介類であり、全体の 8 割程度 (10 地域平均  $80.2 \pm 5.9\%$ ) となった。今回、油脂類の測定値がないが、過去の報告からポロニウム 210 摂取量への寄与率は低いと考えられる。魚介類以外の食品群の寄与率は、その他の野菜・きのこ類・藻類が約 6% となっており、それ以外

の食品群は 4% 以下となった。ポロニウム 210 はウラン系列に属する天然核種であることから食品全般に存在すると考えられるが、その濃度は、上述したように魚介類で高く、それ以外の食品群は低く、喫食量の多い米が低濃度であったことから、食品群ごとの寄与率として魚介類が突出した。

ポロニウム 210 の摂取量から内部被ばく線量を算出した 8 地域の結果を表 2 に示す。ポロニウム 210 の預託実効線量係数は公衆成人の  $1.2 \mu$  Sv/Bq を用いた。ポロニウム 210 が不検出となった場合の処理法として 3 とおり (LOD/2、0、LOD) の計算値を示すが、それらに大きな差はなかった。カラム分離日換算 (表 2 A) では、ポロニウム 210 の 1 日の摂取量が 0.6 Bq 程度、年間摂取量が 220 Bq 程度、預託実効線量が 0.3 mSv/y 程度となり、試料調製日換算 (表 2 B) では、ポロニウム 210 の 1 日の摂取量が 1.1 Bq 程度、年間摂取量が 410 Bq 程度、預託実効線量が 0.5 Sv/y 程度となった。この値は、今回測定しなかった食品群からの寄与 (過小評価)、および鉛 210 の影響 (過大評価) により、変動すると予想される。前者については、魚介類に比較してそれ以外の食品のポロニウム濃度は総じて小さいこと推測される。後者については、鉛 210 の量および試料購入からカラム分離日までの時間に依存する。すなわち、試料調製日 (購入日) からカラム分離日までの日数が 0 日であれば、ポロニウム 210 の測定値に鉛 210 は影響しないが、カラム分離日までの日数が長くなり、鉛 210 の量が多くなるほどポロニウム 210 の測定値への影響は大きくなる。太田ら<sup>1)</sup>によれば、食品中からの摂取量はポロニウム 210 が 610 Bq/y、鉛 210 が 85 Bq/y と報告されていることから、この比率で存在していた場合、試料調製

日からカラム分離日までの経過日数が100日、200日、300日の場合は、各々9%、24%、48%の過大評価となる。経過日数が200日、300日の場合は、割合が19.2%、32.4%、今回、6地域（ABE-F）の測定における試料調製からカラム分離までは平均164日、2地域（NO）では平均130日であったことから、鉛210がこの割合で存在する場合は、試料調製日に減衰補正した値は1-2割過大評価となっている可能性がある。表2Aのカラム分離日からの算出では、カラム分離日までの減衰補正が行われていないため過小評価、表2Bの試料調製日からの算出では、鉛210による過大評価となっているため、実際の被ばく線量は、表2Aと2Bの間にあると考えられる。

日本のポロニウム210の摂取量についての報告内容を表3に示す。UNSCEAR 2000 Reportによると、世界平均で58 Bq/y、国・地域別で18-220 Bq/yとなっており、日本はそれらの最大値となっている。各論文の報告値では数値のバラツキが大きいが、杉山ら<sup>3)</sup>の年間摂取量120-670 Bqが全体像を網羅していると考えられる。これは、全国7地域のマーケットバスケット調査で、各地の1日摂取量は0.34-1.84 Bqと報告されており、算術平均を求めると0.67 Bq/d（240 Bq/y）となる。

太田ら<sup>1)</sup>は137種類の食品から9核種の被ばく線量を報告しているが、そのうちのポロニウム210については、年間の摂取量610 Bq、その預託実効線量は0.73 mSvで、そのうち魚介類の寄与は86%としている。調査した魚介類は27試料で、ポロニウム210の濃度は0.02-120 Bq/kgと4桁に渡っており、これらの値から魚介類全体の濃度を算出し、摂取量を推定している。線量推定計算の喫食量は2002年度の国民健康・栄養調査の結果を用いて

いるが、前述したように魚介類の喫食量は近年、減少しており、現在では当時の7割強となっていることから、喫食量の側面から、内部被ばく線量は低下してきていると予想される。

この太田ら<sup>1)</sup>の報告値に基づき、食品中ウラン壊変系列からの被ばく線量の合計0.80 mSv/y（ポロニウム210：0.73 mSv/y、鉛210：0.058 mSv/y、ラジウム226：0.012 mSv/yほか）が、表1に示したように「生活環境放射線 第3版」に引用され、事实上、公称値として扱われている。

国民一人あたりの平均内部被ばくを評価するためには、食品からの摂取量情報が必要である。前述したように、ポロニウム210はウラン壊変系列に属する天然核種であることから、地球上に広範囲に存在し、ほぼ全ての食品に含まれていると考えられるが、その濃度分布には偏りがあり、魚介類で高いことが本研究も含めて報告されている。このことから摂取量調査としては、陰膳試料よりもマーケットバスケット試料を用いて食品群の寄与率を求め、寄与率の高い食品群の食品品目を精査していく手法が適していると考えられる。マーケットバスケット試料からの摂取量調査手法では、食品中濃度と喫食量の情報が必要である。寄与率が高い魚介類だけを取り出してもその食品種類は多く、国民健康・栄養調査でも10種に分類されており、農林水産省の水産物流通調査では80以上に分類されている。また、ポロニウム210の親核種であるウラン238の環境中の濃度分布は幅広く、例えばその影響を受けている飲料水中のウラン238は7桁に及ぶ濃度分布がUNSCEAR 2008 reportで報告されていることから、子孫核種であるポロニウム210の環境中の濃度も幅広いことが予想される。魚介類は生育環境、特に海水の影響が

大きいと考えられるが、魚介類の個体中においてもポロニウム 210 の分布は一様でなく、内臓（肝、中腸線）で高いことが知られている。さらに、放射性物質では預託実効線量係数が年齢に依存する。これらのことから、食品からのポロニウム 210 の摂取量を求めるためには、食品品目、産地、喫食部位別の放射能濃度および年齢別の喫食量の詳細なデータに基づく調査研究が必要である。その際、上流核種である鉛 210 の影響についても考慮する必要がある。

## E. 結論

有事の人工放射性核種からの危険度を判断するためには、有害事象の知識だけでなく、平常時の状態を正確に把握していることも重要である。放射線リスク評価においては人工放射性核種だけでなく天然放射性核種からの影響も調べておく必要がある。食品からの内部被ばくは、事故で放出されたセシウム等の人工核種よりも天然核種由来のものの方が大きく、水産物の摂取量が多い我が国においてはポロニウム 210 の影響が大きいことがこれまでの研究により示唆されている。しかし、その推定被ばく線量はデータ数が少なく、実態は不明であることから、ポロニウム 210 の摂取量調査をマーケットバスケット試料により行った。その結果、食品中ポロニウム 210 から算出された預託実効線量は 0.3-0.5 mSv/y 程度となり、このうちの約 8 割が魚介類に由来した。現在の国民一人あたりのポロニウム 210 からの内部被ばく線量の公称値とされる値は 0.73 mSv/y となっているが、この算出根拠時点よりも魚介類の喫食量が減少していることや今回の推定値から、0.73 mSv/y よりも低い可能性が示唆された。親核種であるウランの環境中の分布に偏り

があること、食品中のポロニウム 210 の濃度分布が幅広いこと、摂取量において寄与率の高い食品群である魚介類を構成する食品の種類が多いこと、魚介類の個体内においても濃度分布に偏りがあること、魚介類の喫食量に年齢差があること、預託実効線量係수에年齢区分があることから、より正確な食品中ポロニウム 210 のリスク評価を行うためには、魚介類を主とした食品別、産地別、喫食部位別の放射能濃度および年齢別の喫食量等の詳細なデータに基づく調査研究が必要であり、今後の課題と考えられる。

## F. 参考文献・資料

### 1. 参考図書、参考データ

- ・平成 29 年度～令和 2 年度 厚生労働科学研究補助金 食品の安全確保推進研究事業「食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の開発に関する研究」分担研究報告書「食品中放射性物質等有害物質濃度データ調査」
- ・アイソトープ手帳 12 版 日本アイソトープ協会編（2020）
- ・衛生試験法・注解 2020、公益社団法人日本薬学会編（2020）
- ・国民健康・栄養調査 厚生労働省 [https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou\\_eiyou\\_chousa.html](https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyou_chousa.html)
- ・生活環境放射線（国民線量の算定）、原子力安全研究協会編（1992）
- ・新版 生活環境放射線（国民線量の算定）第 2 版、原子力安全研究協会編（2011）
- ・新版 生活環境放射線（国民線量の算定）第 3 版、原子力安全研究協会編（2021）
- ・日本食品標準成分表 2020 年版（八訂）文部科学省 [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/syokuhinseibun/mext\\_01110.html](https://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/mext_01110.html)
- ・ICRP Publication 72. Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake

- of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients. (1995)
- UNSCEAR 2000 Report, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
  - UNSCEAR 2008 Report, Sources and Effects and of Ionizing Radiation, Vol. I, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
  - IAEA-TECDOC-2011. Exposure Due to Radionuclides in Food Other Than During a Nuclear or Radiological Emergency, 2022  
<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TECDOC-2011web.pdf>
  - Safety Reports Series 114. Exposure due to Radionuclides in Food Other Than During a Nuclear or Radiological Emergency. Part 1: Technical Material. 2021  
[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/53/004/53004342.pdf?r=1](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/53/004/53004342.pdf?r=1) (preprint)
2. 論文
1. Ota T, Sanada T, Kashiwara Y, Morimoto T, Sato K. (2009) Evaluation for committed effective dose due to dietary foods by the intake for Japanese adults. *Jpn J Health Phys.* 44:80-88
  2. Miura T, Hayano K, Nakayama K. (1999) Determination of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  in environmental samples by alpha ray spectrometry using an extraction chromatographic resin. *Analytical sciences* 15:23-28
  3. Sugiyama H, Terada H, Isomura K, Iijima I, Kobayashi J, Kitamura K. (2009) Internal exposure to  $^{210}\text{Po}$  and  $^{40}\text{K}$  from ingestion of cooked daily foodstuffs for adults in Japanese cities. *J Toxicol Sci.* 34:417-425
  4. Yamamoto M, Sakaguchi A, Tomita J, Imanaka T, Shiraishi K. (2009) Measurements of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in total diet samples: Estimate of dietary intakes of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  for Japanese. *J Radioanal Nucl Chem.* 279:93-103
  5. Ohtsuka Y, Kakiuchi H, Akata N, Takaku Y, Hisamatsu S. (2013) Daily Radionuclide Ingestion and Internal Radiation Doses in Aomori Prefecture, Japan. *Health Phys.* 105:340-350
- G. 研究発表
1. 論文発表
    - 1) Nabeshi H, Hachisuka A, Matsuda R, Teshima R, Akiyama H, Tsutsumi T: Uncertainty determination in the screening of radio-caesium in foods without a sample preparation procedure. *Food Additives & Contaminants: Part A*, (2022)  
[doi.org/10.1080/19440049.2022.2129099](https://doi.org/10.1080/19440049.2022.2129099)
  2. 学会発表
    - 1) 曾我慶介、近藤一成、蜂須賀暁子：食品中の天然放射性核種ポロニウム 210 の実態と文献調査。フォーラム 2020 衛生薬学・環境トキシコロジー、名古屋 (2020.9.4)
    - 2) 蜂須賀 暁子, 曾我 慶介, 小室 朋子, 近藤 一成：食品中の天然放射性核種ポロニウム 210 からの被ばく線量推定。フォーラム 2021 衛生薬学・環境トキシコロジー、千葉 (2021.9.10)
    - 3) 蜂須賀暁子, 曾我慶介, 小室朋子, 近藤一成：食品中の天然放射性核種ポロニウム 210 からの被ばく線量推定-2。フォーラム 2021 衛生薬

- 学・環境トキシコロジー、なし  
2022. 8. 31 (熊本) ポスター
- 4) 鍋師裕美、前田朋美、張天齊、蜂須賀暁子、堤智昭：流通食品中の放射性セシウム濃度調査 (2021 年度). 第 59 回全国衛生化学技術協議会年会、2022. 10. 31 (川崎)
  - 5) H. Nabeshi, T. Tsutsumi, M. Imamura, Y. Uekusa, S. Takatsuki, T. Maeda, K. Nakamura, A. Hachisuka, R. Matsuda, R. Teshima, H. Akiyama: Estimation of annual committed effective dose of radioactive cesium in Japan after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: Market basket study from 2013 to 2019. ICRP 2021+1, 2022.11.7-10 (バンクーバー) ポスター
  - 6) 鍋師裕美、張天齊、蜂須賀暁子、堤智昭：マーケットバスケット方式による放射性セシウム及びストロンチウム 90 の預託実効線量の推定 (2020 年調査). 日本食品衛生学会 第 118 回 学術講演会, 2022. 11. 11 (長崎) ポスター
  - 7) 蜂須賀暁子、曾我慶介、小室朋子、片岡洋平、近藤一成：食品中放射性物質からの内部被ばく線量についての考察. 日本薬学会第 142 回年会、2022. 3. 28 (札幌) ポスター

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

表1 自然放射線源から受ける一人あたりの年間線量

被ばく線源	年実効線量 (mSv/y)		
	世界平均* (典型的範囲)	日本**	日本***
宇宙放射線－直接電離および光子成分	0.28		
－中性子成分	0.10		
宇宙線生成放射性核種	0.01		
<b>宇宙線と生成核種の合計</b>	<b>0.39 (0.3～1.0)</b>	<b>0.29</b>	<b>0.3</b>
外部大地放射線－屋外	0.07		
－屋内	0.41		
<b>屋外と屋内の合計</b>	<b>0.48 (0.3～0.6)</b>	<b>0.38</b>	<b>0.33</b>
吸入被ばく－ラドン (Rn-222)	1.15		0.37
－トロン (Rn-220)	0.10		0.09
－喫煙 (Pb-210、Po-210 など)			0.006
－他のウランおよびトリウム系列	0.006		0.006
<b>吸入摂取被ばくの合計</b>	<b>1.26 (0.2～10)</b>	<b>0.59</b>	<b>0.47</b>
食品摂取被ばく－カリウム K-40	0.17		0.18
－ウランおよびトリウム系列 うち Po-210、Pb-210	0.12		0.80 0.788
－炭素 14			0.014
－トリチウム			0.0000082
<b>経口摂取被ばくの合計</b>	<b>0.29 (0.2～0.8)</b>	<b>0.22</b>	<b>0.99</b>
<b>合計</b>	<b>2.4 (1～13)</b>	<b>1.48</b>	<b>2.1</b>

出典データ

\*世界平均 UNSCEAR 報告書 (2008 年)

\*\*日本平均 原子力安全研究協会「生活環境放射線」(1992 年)

\*\*\*日本平均 原子力安全研究協会「生活環境放射線 第3版」(2020 年)

(原子力安全研究協会「新版 生活環境放射線」(2011 年)と同じ)

表 2 A 食品中ポロニウム 210 からの被ばく線量推定 (カラム分離日換算)

地域	ポロニウム210摂取量 (Bq/d)			ポロニウム210摂取量 (Bq/y)			ポロニウム210預託実効線量 (mSv/y)		
	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD
A	0.32	0.32	0.33	119	118	120	0.14	0.14	0.14
B	0.40	0.40	0.41	148	147	149	0.18	0.18	0.18
E	0.54	0.51	0.57	197	187	209	0.24	0.22	0.25
F	1.09	1.07	1.11	397	389	406	0.48	0.47	0.49
G	0.56	0.54	0.59	206	199	214	0.25	0.24	0.26
H	1.02	1.01	1.05	372	368	382	0.45	0.44	0.46
N	0.56	0.56	0.57	205	203	207	0.25	0.24	0.25
O	0.41	0.40	0.39	150	145	143	0.18	0.17	0.17
平均	0.61	0.60	0.63	224	219	229	0.27	0.26	0.27

表 2 B 食品中ポロニウム 210 からの被ばく線量推定 (食品調製日換算)

地域	ポロニウム210摂取量 (Bq/d)			ポロニウム210摂取量 (Bq/y)			ポロニウム210預託実効線量 (mSv/y)		
	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD
A	0.70	0.69	0.72	255	254	262	0.31	0.30	0.31
B	1.03	1.02	1.05	376	374	382	0.45	0.45	0.46
E	1.21	1.16	1.26	440	425	461	0.53	0.51	0.55
F	1.38	1.35	1.42	504	492	519	0.60	0.59	0.62
G	0.73	0.70	0.77	268	255	283	0.32	0.31	0.34
H	2.45	2.41	2.52	893	881	921	1.07	1.06	1.11
N	0.83	0.82	0.84	303	300	306	0.36	0.36	0.37
O	0.60	0.59	0.59	221	214	214	0.27	0.26	0.26
平均	1.12	1.09	1.15	408	399	419	0.49	0.48	0.50

食品全 13 群の測定値より不検出を LOD/2、0、LOD として算出したときの各濃度、20 歳以上の喫食量、預託実効係数：公衆成人の 0.0000012 Sv/Bq を用いて算出

表3 ポロニウム210の摂取量調査

国	摂取量 (Bq/y)	預託 実効線量 (mSv/年)	調査方法	調査期 間	備考	文献
日本	610	0.73	137種類の 食品	1989- 2005		1) Ota T et al., Jpn. J. Health Phys., 44:80-88(2009)
日本	120 -670	0.15 -0.81	153-174種 類/地域の 食品を用い たトータルダイ エットステ ィ	2007- 2008	調査地域：札幌、仙 台、新潟、横浜、大 阪、高知、福岡	3) Sugiyama H et al., J. Toxicol. Sci., 34:417-425(2009)
日本	220	0.053 [0.26*]	陰膳 240 試 料	1990- 1992	調査地域：石川	4) Yamamoto M et al., J Radioanal Nucl Chem 279:93-103(2009)
日本	190 -470	0.23-0.57	陰膳 80 試料	2006- 2010	調査地域：青森 加重平均 194 Bq/y →0.23 mSv/y	5) Ohtsuka Y et al., Health Phys 105:340-350 (2013)
世界 (日本)	58 (220)	→0.07 (→0.26)			世界各国： 18-220 Bq/y →0.02-0.26 mSv/y	UNSCEAR 2000 report

\* 論文の中では ICRP Pub68(1994)の預託実効係数  $2.4E-07$  Sv/Bq を使用して 0.053 mSv となっているが、ICRP Pub72(1995)の  $1.2E-06$  Sv/Bq で計算すると 0.26 mSv となる。

1日摂取量 (Bq/日) =  $\Sigma$  [食品群ごとの濃度 (Bq/g) × 食品群ごとの喫食量 (g/日)]

各群試料中のポロニウム 210 濃度(Bq/g)に、該当群の1日喫食量(g/日)を乗じ、その食品群ごとの値を足し合わせて、1日に摂取する量(Bq/日)を算出する。

1日摂取量 (Bq/日) × 365 (日/年) × 預託実効線量係数(Sv/Bq) = 1年あたりの預託実効線量(Sv/年)

算出した一日摂取量に 365 を乗じて、1年に摂取する量(Bq/年)とし、さらにポロニウム 210 の預託実効線量係数(Sv/Bq)を乗じて、1年当たりの預託実効線量(Sv/年)を求める。

図1 食品中ポロニウム 210 の被ばく線量評価

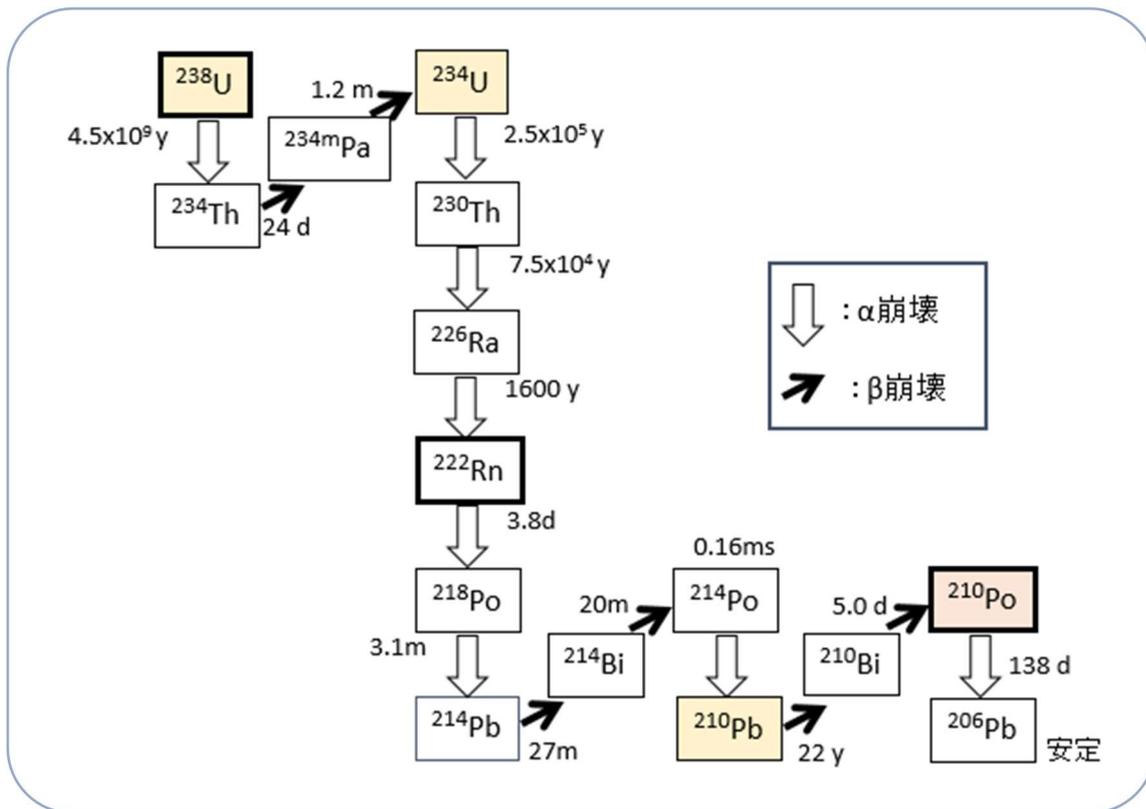


図2 ウラン壊変系列図

$4.5 \times 10^9$  y 等は矢印の反応の半減期を示す

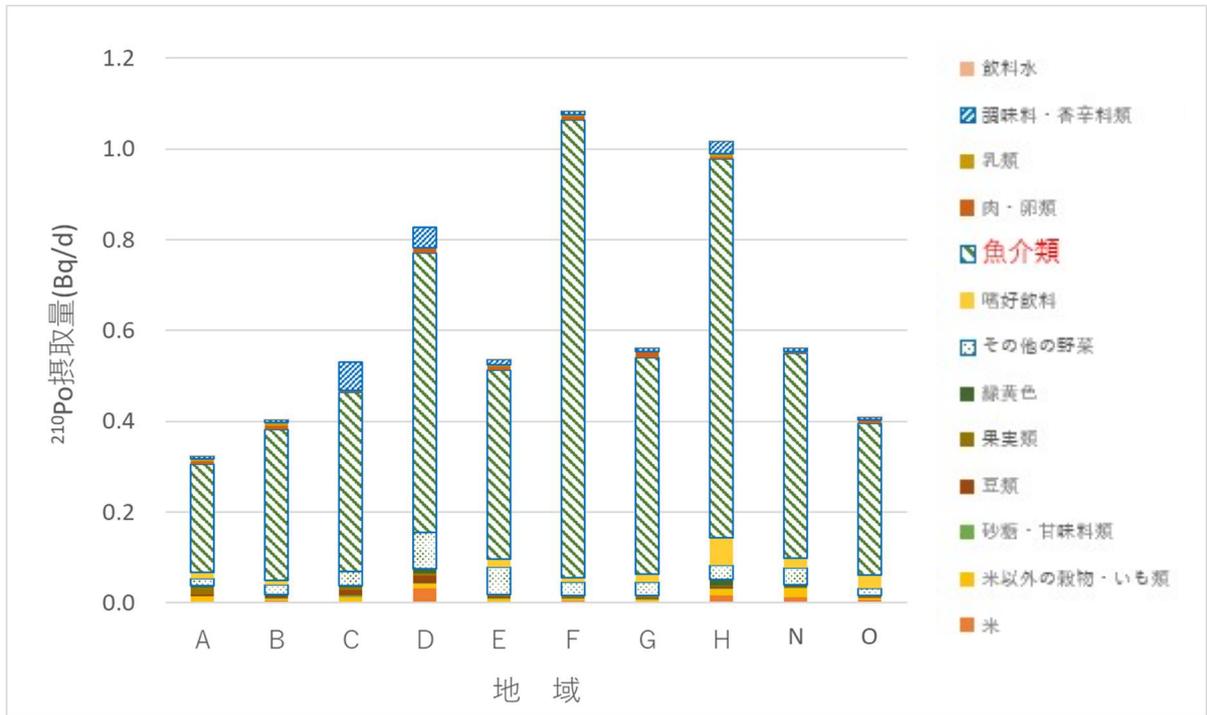


図3 ポロニウム 210 の一日摂取量 (カラム分離日換算、ND=LOD/2)

各地域は油脂類を除く 13 群を測定。ただし、地域 CD は、嗜好飲料、乳類、飲料水を除く 10 群による。

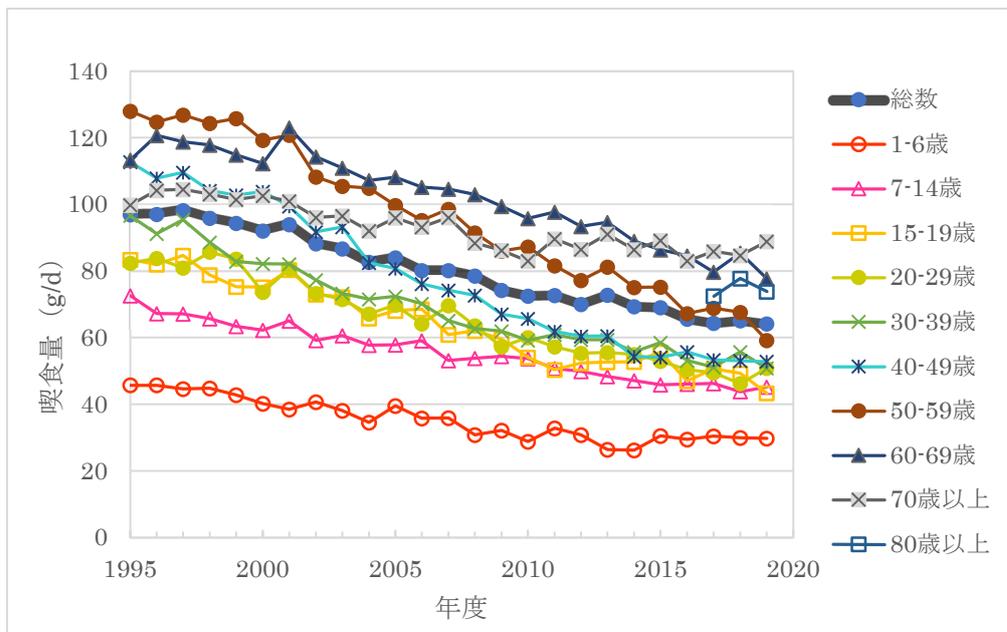


図4 魚介類喫食量の経時変化 (年齢別)