

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

令和2年度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）

研究分担報告書

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第一室長

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。測定方法は、放射能測定法シリーズ記載の α 線測定法および衛生試験法注解等を参考にし、食品群ごとのポロニウム 210 濃度から、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 0.4 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 曾我 慶介

国立医薬品食品衛生研究所生化学部第二室

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をする。

B. 研究背景

国連科学委員会報告（UNSCEAR 2008 report）では、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 となっており、太田らの報告¹⁾に基づき食品中ポロニウム 210 からの線量が増加している（Po-210 0.73 mSv、Pb-210 0.058mSv）。

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。半減期が 1 日以上のは、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 α 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、 α 崩壊して安定核種である鉛 206 に変わるが、 α 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、あるいは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 11 種類（米・米加工品、米以外の穀類、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、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（拡張不確かさ [k=2]：3.0%）と鉛 210（半減期：22.2 年）標準硝酸溶液（拡張不確かさ [k=2]：11.0%）は日本アイソトープ協会を通じて Eckert&Ziegler 社製を購入した。

ポロニウム 210（半減期：138.4 日）の溶液は、鉛 210 標準硝酸溶液から分離調整した。鉛 210 硝酸溶液（100 Bq）を 120°C で加熱乾固後、4M 塩酸を加え、加熱して塩化物フォームとし、後の「化学分離」項に従い分離した。分離したポロニウムの 6M 硝酸溶液 20 mL は超純水で 100 mL にメスアップした。そのうち、1 mL を使用して加熱濃縮、塩酸で塩化物フォームとした後、「電着」「 α 線測定」項に従い、放射能を測定し、化学分離を実施した日に減衰補正し、ポロニウム 210 溶液とした。

3) 食品中ポロニウム 210 の α 線分析

既報²⁾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 α 線を測定した。

・湿式分解

食品試料は生試料 10 -100 g を 1L 容ビーカーに入れ、内部標準物質ポロニウム 209 硝酸標準溶液 1 mL (0.04 Bq 相当) と試料が浸かる量の硝酸を加え、時計皿で蓋をして一晩漬け置きした。ホットプレート上で 120°C まで加熱し、硝酸蒸発後は、硝酸 30 mL と過酸化水素水 1 mL を加え、乾固した。この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。

・化学分離

乾固直前の試料に 4M 塩酸 20 mL を加えて加熱・懸濁し、0.45 μm 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 μm (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、次いで 6M 硝酸 4 mL でカラムを洗浄後、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、パラフィルムで軽く蓋をして電解分析装置 ANA-2 (東京光電社) を用いて 2 時間通電した。電着後はテフロン製容器からステンレス板を取り出し、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。

・ α 線測定

ポロニウムを電着したステンレス板を、450 mm^2 シリコン半導体検出器 PIPS (ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ社) を用いて 86,400 秒間測定し、 α 線スペクトロメトリーを行った。データ解析には Genie 2000 spectroscopy system software (ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ社) を使用した。 α 線スペクトロメトリーのエネルギー校正は Eckert&Ziegler 社から購入したガドリニウム 148 (3.18 MeV)、アメリカニウム 241 (5.49 MeV)、キュリウム 244 (5.79 MeV) の 3 点の円盤標準線源を用いて行った。ポロニウム 209 (4.88 MeV) およびポロニウム 210 (5.30 MeV) のエネルギー領域における、バックグラウンド計測は 160,000 秒間測定した (0 または 1 カウント)。検出限界値 (LOD) は、ISO 11929-7 (IAEA/AQ/12) に基づき、 m_s : 試料重量、 ϵ : 計数効率、 R : ポロニウム 209 回収率、 k : 包含係数、 r_{BG} : バックグラウンド計数率、 t_{Po} : 試料測定時間、 t_{BG} : バックグラウンド計数時間、 u : 不確かさとして、下記の式から算出した。

$$w = \frac{1}{m_s \cdot \epsilon \cdot R}$$

$$a^* = \frac{k}{m_s \cdot \epsilon \cdot R} \sqrt{\frac{r_{BG}}{t_{Po}} + \frac{r_{BG}}{t_{BG}}}$$

$$\text{LOD} = \frac{2a^* + (k^2 \cdot w) / t_{Po}}{1 - k^2 \cdot u^2(w)}$$

ポロニウム 210 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 ΔA_{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 Δn_{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 ΔD : 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 Δn_{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。LOD は、 $A_{Po} = 3\Delta A_{Po}$ とした。測定試料の放射能濃度はカラム分離日に、食品の放射能濃度は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²⁾ 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 のアルファ線 (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、あるいは、喫食量が少ない、加工食品が主となる、砂糖・甘味料類、油脂類、調味料・香辛料類の 3 群は測定対象としなかった。湿式分解条件では、フッ化水素酸や王水などの強力な酸が用いられることもあるが、操作の安全面を考慮し、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 120℃以下で行った。化学分離は、以前の研究では省略する方法も検討したが、今回は効率性や経済性よりも確実性を重視し、全ての試料で実施した。

決定した測定手法は NIST 認証試料により評価した。海洋甲殻類乾燥物である NIST-4358 (減衰後 3.5±0.6 Bq/kg) の 5 g を 3 併行で行ったところ、3.8±0.3 Bq/kg [真度 108% (±7%)、併行精度 7%] と良好な結果が得られた。

・測定結果

2 地域 (A、B)、11 食品群、2 併行 (魚介類 A 地域のみ 5 併行) の測定結果を表 2 に示す。測定試料の放射能濃度は、測定時の値を参考として記載し、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。さらに、食品の放射能濃度は、カラム分離日の濃度を基に試料調製日に減衰補正した。また、検出限界値 (LOD) 以下となった不検出 (ND) の扱いを、LOD の半分 (LOD/2)、0、LOD として計算した場合の濃度も併記した。カラム分離日の放射能濃度を見ると、魚介類が数 Bq/kg で最も高く、ついで、その他の野菜・きのこ類・藻類が 0.1 Bq/kg 程度となり、それ以外の食品群は不検出 (約 0.01 Bq/kg) ~0.1 Bq/kg 程度であった。この食品群の傾向は A 地域と B 地域で大きな差は見られなかった。試料調整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 倍となった。カラム分離日におけるポロニウム 210 は、食品調整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、本計算法においては全てポロニウム 210 からとして減衰補正していることから、鉛 210 の寄与が大きい

い場合は過大評価していることになる。

2 併行の値は果実類の A 地域においてバラツキが大きくなった。これは種子等の測定試料サンプリング時の偏りが原因と考えられた。それ以外の値は概ね良好な結果であった。

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。図 3 に厚生労働省の国民健康・栄養調査のデータに基づき、総数（1 歳以上）の食品群別喫食率を示す。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 の摂取を摂食量と記載する。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 群で各年約 65%となっている。

食品群のうち、動物性食品である魚介類、肉類、卵類の喫食量の経年変化を図 4 に示す。卵類は変化がなく、肉類は増加、魚介類は減少傾向が見られた。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 5 である。図 5 A から、高齢者の方が魚介類の喫食量が多い傾向があること、全年齢層でこの 25 年間で減少傾向にあること、総数（1 歳以上）を超えているのは 2003 年までは 40 歳以上、2018 年までは 50 歳以上となっていることがわかる。図 5 B は、2002 年の魚介類の喫食量を 100 としたときの年齢別の経時変化を示しているが、総数（1 歳以上）では 2019 年に 73%程度となっている。減少傾向は、40 歳代、50 歳代で大きくなっており、70 歳代、80 歳以上での減少率は小さくなっている。参考として図 6 に 2019 年度の我が国の年齢別人口比率を示す。50 歳以上が 47%、60

歳以上が 34%となっており、魚介類の喫食量の図 5 A で、加重平均である総数（1 歳以上）のラインが高齢者側によっていることが年齢別人口比率から理解できる。

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 の実効線量係数を図 7 に示す。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（図 7A）。離乳食前の 3 ヶ月児を除くと、預託実効線量は $1.2\sim 8.8E-06$ Sv/Bq と同じ桁に収まる値となっている（図 7B）。

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 の濃度として、不検出を LOD/2 として算出した値に基づき、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ものが表 3 である。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(表 2)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 割程度となった。今回、砂糖・甘味料類、油脂類、調味料・香辛料類の 3 群のデータが取られていない。前 2 者は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、後者調味料・香辛料類はバラツキの大きい食品群である。これらを考慮すると、魚介類からの寄与率は 7-8 割程度になるものと推定される。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 5%となっており、それ以外の食品群は 1-4%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、その濃度は魚介類以外の食品群では 0.5 Bq/kg 以下であり、喫食量の多い米が低濃

度であったことから、魚介類以外の食品群の摂取量は 0.05 Bq/d 程度以下と算出された。

ポロニウム 210 の摂取量から内部被ばく線量を算出した結果を表 4 に示す。ポロニウム 210 の預託実効線量係数は公衆成人の 0.0012 mSv/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) の計算結果を示すが、それらに大きな差はなく、ポロニウム 210 の 1 日の摂取量が 1 Bq 弱、年間摂取量が 300 Bq 程度、預託実効線量が 0.3-0.4 mSv/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)、および減衰補正における鉛 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、後者については摂取量を求める上で寄与率が高い高濃度食品においてはポロニウム 210 の方が鉛 210 より高濃度となる傾向があることから、大幅な変動はないと推測されるものの、今後、より詳細な調査研究が必要である。

日本のポロニウム 210 の摂取量についての報告内容を表 5 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、杉山ら³⁾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、0.37、0.38、0.45、0.58、0.69、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⁴⁾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%とされている。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。線量推定計算に用いた喫食量は 2002 年度の国民健康・栄養調査の結果を用いているが、図 5B に示すように近年、魚介類の喫食量は減少しており、現在では当時の 7 割強となっていることから、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⁴⁾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 2011 年版の「新版 生活環境放射線」に引用され、さらにそれが量子科学技術研究開発機構 (<https://www.qst.go.jp/uploaded/attachment/22422.pdf>、<https://www.qst.go.jp/site/qms/1455.html>)、および復興庁の放射線リスクに関する基礎的情報 <http://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-1/20140603102608.html> で取り上げられ、事実上、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濃度分布は8桁(0.028-7600 mBq/L)に及ぶと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の濃度も環境中において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。

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、Po-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0.4 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、魚介類の喫食量が年齢差があること、預託実効線量係数に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～令和元年度 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
 - 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)、原子力安全研究協会編 (2011)
 - 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
 - A Procedure for the Sequential Determination of Radionuclides in Phosphogypsum. IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 34 (2014)
 - 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)
 - ISO 11929-7 Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements-Part 7: Fundamentals and general applications. (2005)
 - 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
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}Pb and ^{210}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}Po and ^{40}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}Po and ^{210}Pb in total diet samples: Estimate of dietary intakes of ^{210}Po and ^{210}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
なし
 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)
- H. 知的財産権の出願・登録状況
- なし

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		
宇宙線と生成核種の合計	0.39 (0.3～1.0)	0.29	0.3
外部大地放射線－屋外	0.07		
－屋内	0.41		
屋外と屋内の合計	0.48 (0.3～0.6)	0.38	0.33
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-2100、Po-210 など)			0.01
－他のウランおよびトリウム系列	0.006		0.006
吸入摂取被ばくの合計	1.26 (0.2～10)	0.59	0.48
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			0.0025
－トリチウム			0.0000082
経口摂取被ばくの合計	0.29 (0.2～0.8)	0.22	0.98
合計	2.4 (1～13)	1.48	2.09

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)

内訳は https://www.mext.go.jp/component/b_menu/other/_icsFiles/afieldfile/2011/11/04/1313005_10_1.pdf による

***日本平均 原子力安全研究協会「新版 生活環境放射線」(2011 年)

表2 食品中ポロニウム 210 濃度測定結果

食品群	地域	試料 供与量 (g)	測定日 放射能濃度 (Bq/kg)	カラム分離日			試料調整日			
				放射能濃度 ±SD * (Bq/kg)	平均放射能濃度 (Bq/kg)					
					ND=LOD**/2	ND=0	ND=LOD	ND=LOD/2	ND=0	ND=LOD
米・米 加工品	A	100.2	0.009	0.01 ± 0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
		100.2	0.004	ND*** (0.01)						
	B	100.1	0.012	0.01 ± 0.00	0.01			0.03		
		100.4	0.012	0.01 ± 0.00						
米以外の 穀類・ いも類	A	25.3	0.063	0.06 ± 0.01	0.08			0.25		
		25.7	0.085	0.09 ± 0.02						
	B	25.4	0.024	0.02 ± 0.01	0.03			0.10		
		25.6	0.038	0.04 ± 0.01						
豆類	A	25.0	0.042	0.04 ± 0.01	0.05			0.17		
		25.0	0.053	0.05 ± 0.01						
	B	25.3	0.054	0.06 ± 0.01	0.05			0.19		
		25.2	0.052	0.05 ± 0.01						
果実類	A	25.2	0.267	0.28 ± 0.03	0.15	0.14	0.15	0.39	0.37	0.41
		25.2	0.014	ND (0.03)						
	B	25.5	0.019	ND (0.02)	0.01	0.00	0.03	0.04	0.00	0.08
		25.1	0.013	ND (0.03)						
緑黄色 野菜	A	25.0	0.044	0.05 ± 0.01	0.05			0.14		
		25.3	0.055	0.06 ± 0.02						
	B	25.3	0.037	0.04 ± 0.01	0.03			0.09		
		25.2	0.031	0.03 ± 0.01						
その他の 野菜・ きのこ類 ・藻類	A	25.3	0.076	0.08 ± 0.02	0.07			0.20		
		25.1	0.059	0.06 ± 0.01						
	B	25.4	0.107	0.11 ± 0.02	0.10			0.28		
		25.6	0.093	0.09 ± 0.02						
嗜好飲料	A	25.5	0.012	0.01 ± 0.01	0.02			0.07		
		25.2	0.031	0.03 ± 0.01						
	B	25.3	0.019	0.02 ± 0.01	0.01			0.04		
		25.2	0.010	0.01 ± 0.01						
魚介類	A	10.3	3.755	3.88 ± 0.24	3.46			6.30		
		10.1	3.121	3.22 ± 0.21						
		10.6	3.431	3.57 ± 0.22						
		10.1	3.315	3.45 ± 0.22						
		10.1	3.085	3.20 ± 0.21						
	B	10.5	4.666	4.80 ± 0.29	4.85			11.81		
		10.2	4.754	4.91 ± 0.30						
肉・卵類	A	25.4	0.046	0.05 ± 0.01	0.05			0.15		
		25.6	0.052	0.05 ± 0.01						
	B	25.5	0.052	0.05 ± 0.01	0.05			0.15		
		25.4	0.045	0.05 ± 0.01						
乳類	A	25.2	0.055	0.06 ± 0.02	0.05			0.15		
		25.4	0.032	0.03 ± 0.01						
	B	25.7	0.051	0.05 ± 0.01	0.07			0.22		
		25.3	0.080	0.08 ± 0.02						
飲料水	A	99.8	0.002	ND (0.01)	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02
		100.0	0.000	ND (0.01)						
	B	100.4	0.000	ND (0.01)	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02
		100.4	0.002	ND (0.01)						

*SD : 計数の統計による標準偏差、統計誤差 **LOD : 検出限界値

***ND : 検出限界値 (LOD) 以下。カッコ内は検出限界値。

表3 食品群別放射能摂取量とその割合

食品	地域	ポロニウム210濃度*1 (Bq/kg)	【総数】				【20歳以上】			
			食品喫食量 (g/d)	ポロニウム210摂取量 (Bq/d)	平均 (%)		食品喫食量 (g/d)	ポロニウム210摂取量 (Bq/d)	平均 (%)	
米・米加工品	A	0.01	301.4	0.004	1	0.8	297.5	0.004	1	0.7
	B	0.03		0.008	1			0.008	1	
米以外の穀物・いも類	A	0.25	159.5	0.041	4	2.7	163	0.041	4	2.6
	B	0.10		0.016	1			0.017	1	
豆類	A	0.17	63.1	0.011	1	1.0	67.3	0.011	1	1.0
	B	0.19		0.012	1			0.012	1	
果実類	A	0.39	96.4	0.038	5	2.5	100.2	0.039	5	2.4
	B	0.04		0.004	0			0.004	0	
緑黄色	A	0.14	81.8	0.012	1	1.1	85.1	0.012	1	1.0
	B	0.09		0.008	1			0.008	1	
その他の野菜・きのこ類・藻類	A	0.20	214.8	0.042	5	5.3	223.7	0.044	5	5.2
	B	0.28		0.060	6			0.062	6	
嗜好飲料	A	0.07	618.5	0.041	5	3.5	673.5	0.045	5	3.6
	B	0.04		0.028	2			0.030	2	
魚介類	A	6.30	64.1	0.404	74	78.0	68.5	0.431	74	78.8
	B	11.81		0.757	82			0.809	83	
肉・卵類	A	0.15	143.4	0.022	2	2.1	142.4	0.022	2	2.0
	B	0.15		0.022	2			0.022	2	
乳類	A	0.15	131.2	0.020	2	2.1	110.7	0.017	2	1.7
	B	0.22		0.028	2			0.024	2	
砂糖・甘味料類			32.0	-*2			30.9	-		
油脂類			11.2	-			11.4	-		
調味料・香辛料類			62.5	-			64.9	-		
飲料水	A	0.01	250	0.003	1	1.0	250	0.003	1	0.9
	B	0.01		0.003	1			0.003	1	
合計	A		2229.9	0.635	100	100	2289.1	0.669	100	100
	B			0.945	100			0.998	100	

*1 不検出を LOD/2 として算出したときの濃度

*2 測定せず

表4 食品中ポロニウム 210 からの被ばく線量

地域	ポロニウム210摂取量 (Bq/d)			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
A	0.64	0.63	0.66	0.28	0.28	0.29
B	0.95	0.94	0.97	0.42	0.41	0.42
平均	0.80	0.78	0.81	0.35	0.34	0.36

表5 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 ダイエツト スタディ	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) = Σ [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)を乗じたものの群ごとの総和から、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

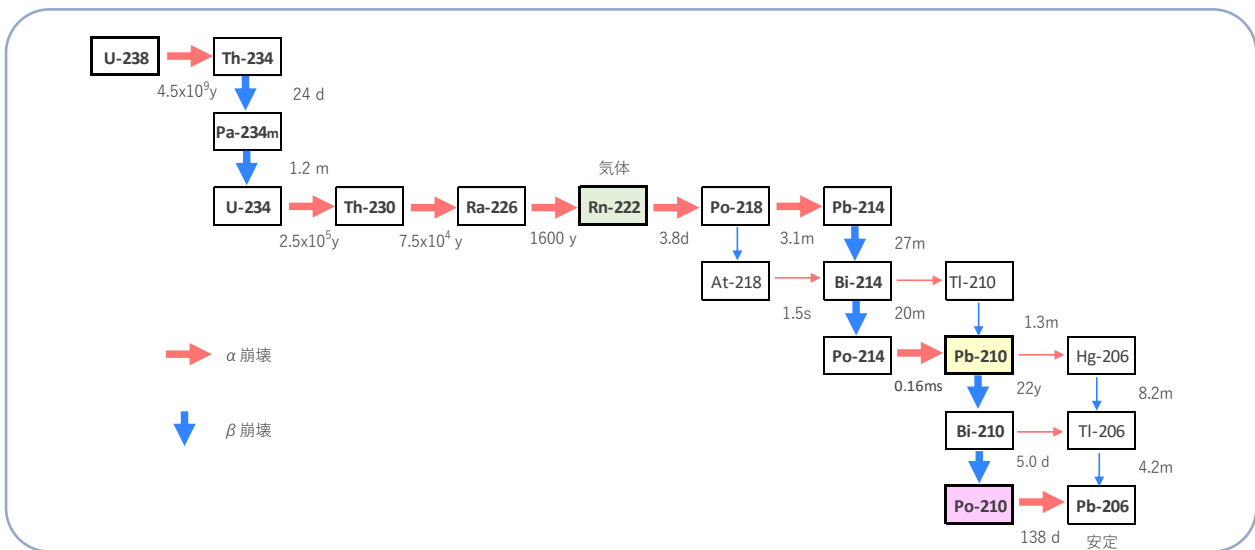


図2 ウラン壊変系列図

4. 5×10^9 y 等は半減期を示す

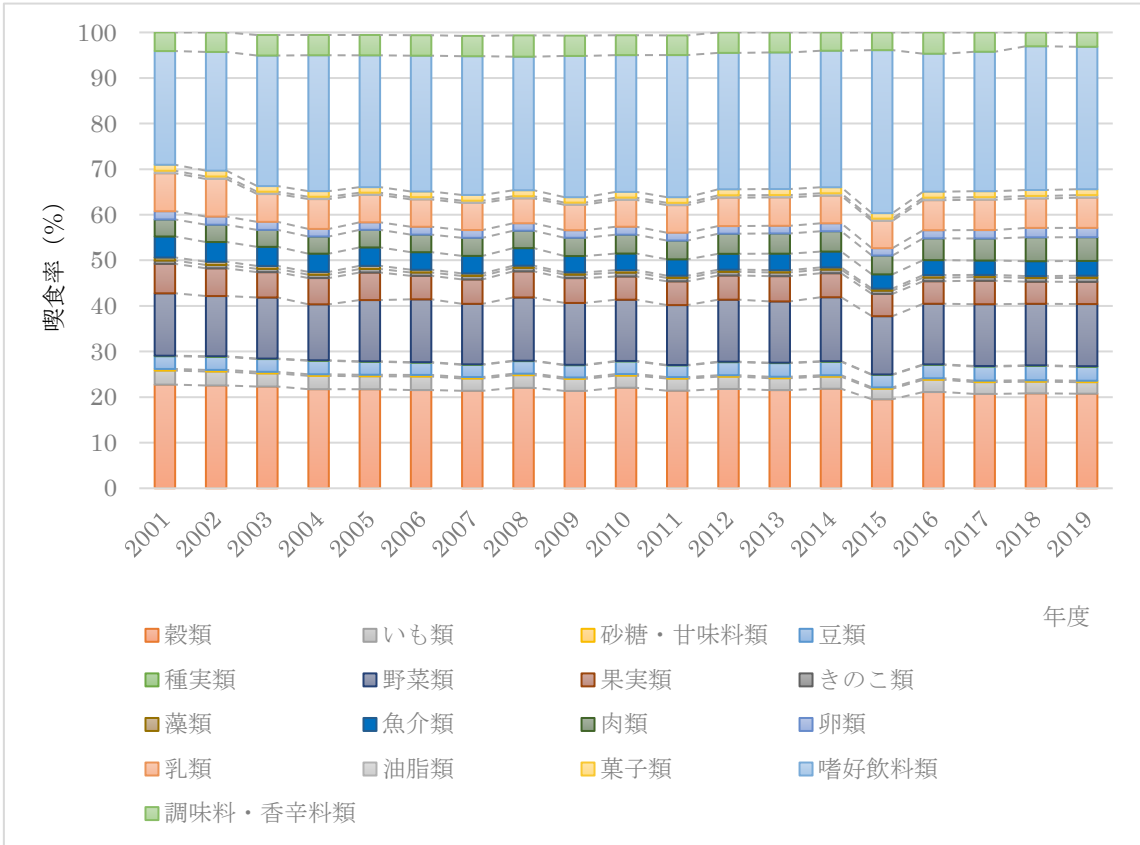


図3 食品群ごとの喫食率の経年推移 【総数（1歳以上）】

国民健康・栄養調査より

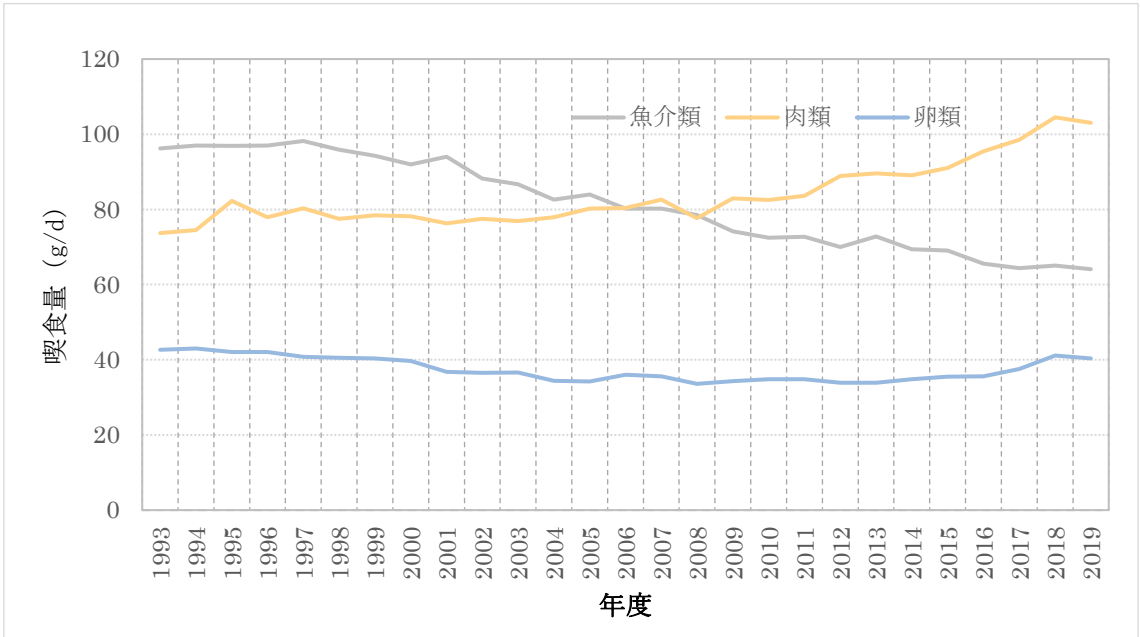


図4 魚介類・肉類・卵類の喫食量経時変化 【総数（1歳以上）】

国民健康・栄養調査より

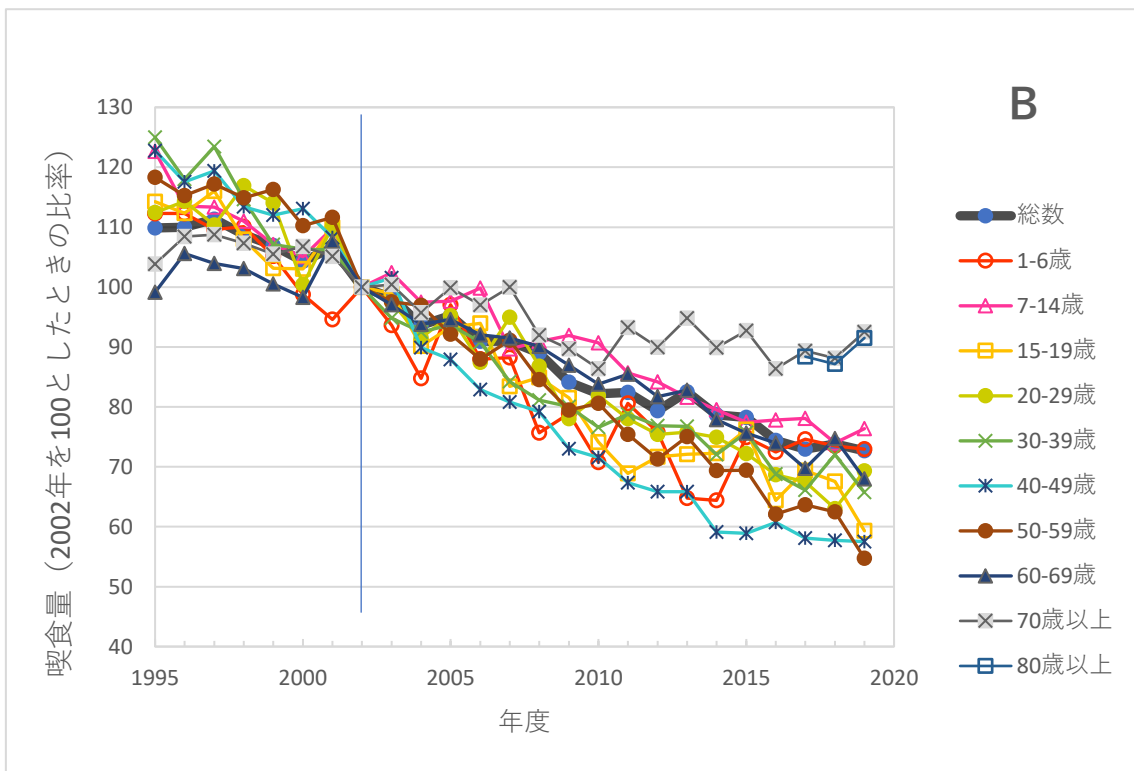
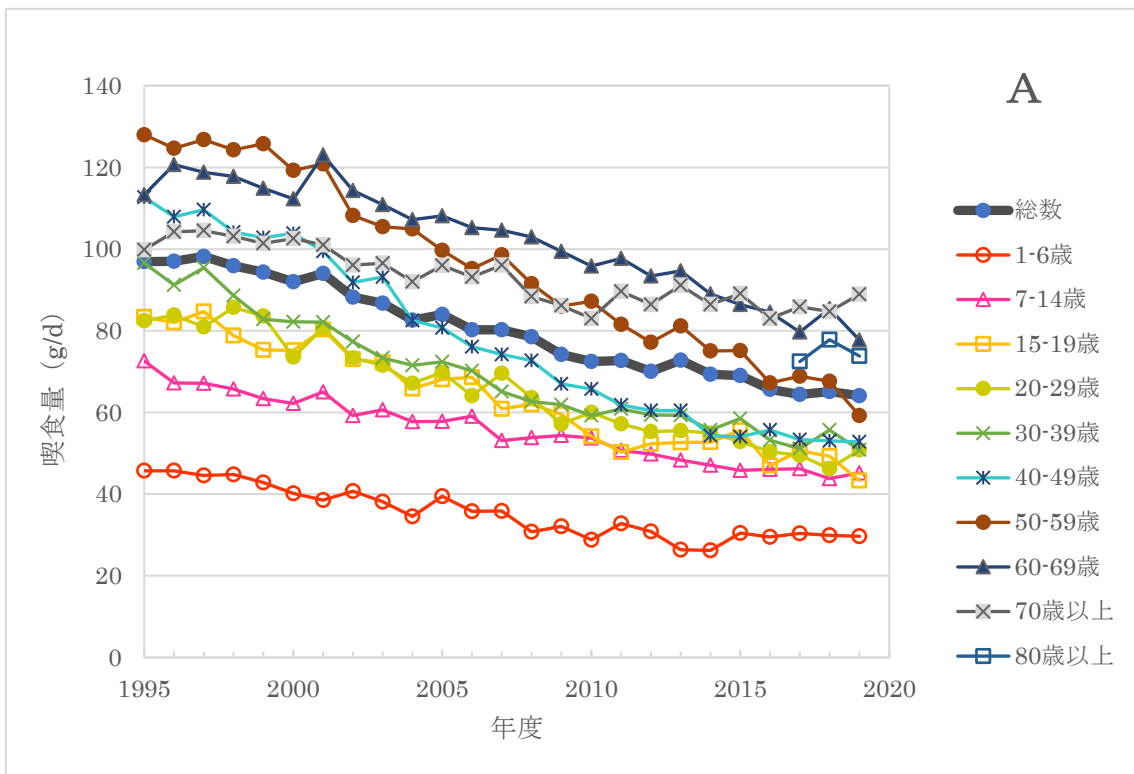


図5 魚介類喫食量の経時変化 (年齢別)

A: 喫食量、B: 2002年を100としたときの比率

国民健康・栄養調査より

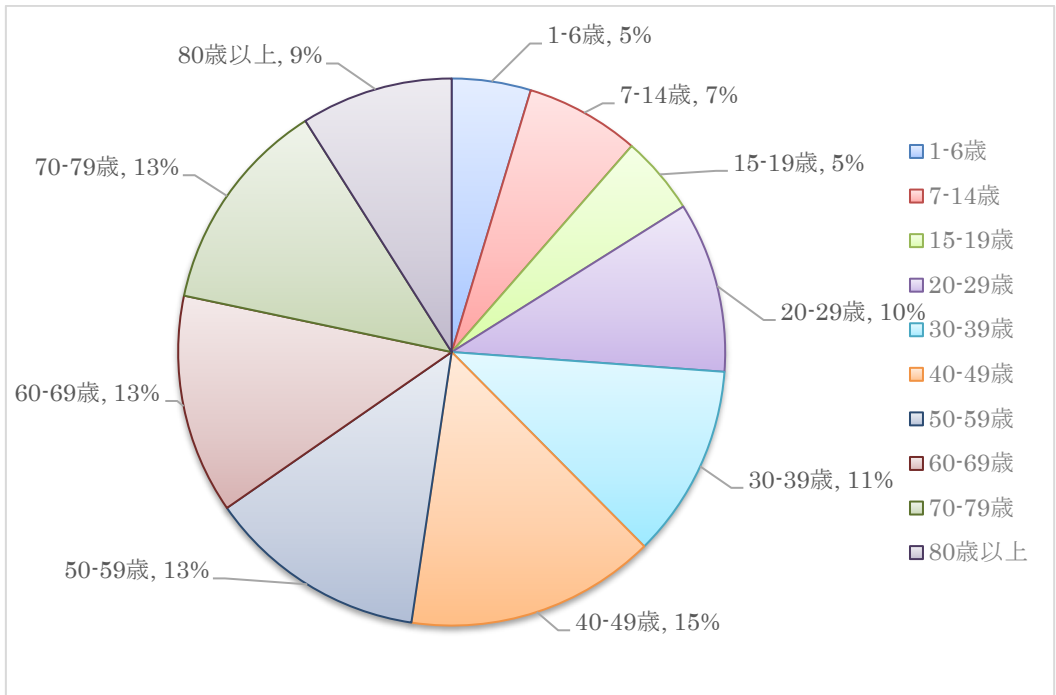
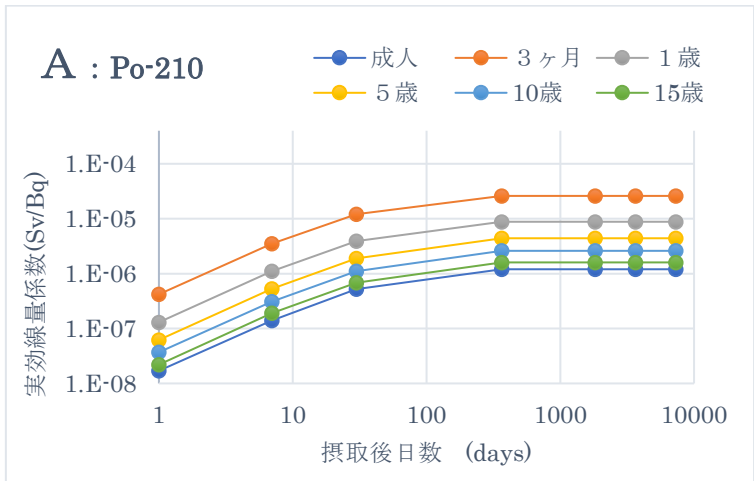


図6 年齢別人口比率 (令和元年度)

総務省統計局データ <http://www.stat.go.jp/data/nihon/02.html>



B

年齢	預託実効線量係数 (Sv/Bq)
成人	1.20E-06
3ヶ月	2.60E-05
1歳	8.80E-06
5歳	4.40E-06
10歳	2.60E-06
15歳	1.60E-06

図7 ポロニウム 210 の預託実効線量係数

A : 実効線量係数の経時変化

B : 預託実効線量係数 (公衆)

ICRP Publication 72 より