

II. 分担研究報告書

(2) 食品に含まれる有害元素等の摂取量推定及び汚染実態
の把握に関する研究

研究分担者 鈴木美成

令和5年度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のための研究

分担研究報告書

(2) 食品に含まれる有害元素等の摂取量推定及び汚染実態の把握に関する研究

研究分担者 鈴木美成 国立医薬品食品衛生研究所食品部

研究要旨

本研究では、2023年にマーケットバスケット方式により調製したトータルダイエット(TD)試料の分析を通じ、ヒ素 [総ヒ素及び無機ヒ素(iAs)を含むヒ素化学種]、カドミウム、水銀 [総水銀及びメチル水銀(Me-Hg)]、鉛を含む41元素及び5化学種の全国・全年齢層における平均ばく露量(推定一日ばく露量)を推定した。その結果、不検出値に定量下限値の半値を代入して算出した各元素類の推定一日ばく露量は、B: 1332 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Al: 2850 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、V: 13.9 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Cr: 71.6 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Mn: 3904 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Co: 9.56 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Ni: 158 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、As: 237 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、iAs: 17.7 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Se: 90.7 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Mo: 183 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Cd: 15.9 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Sn: 271 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Sb: 1.41 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Ba: 429 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Hg: 5.41 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Me-Hg: 4.23 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、Pb: 4.29 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 、U: 1.43 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ 等であった。

各元素類のばく露量及び、各元素類のばく露に寄与する食品群について解析した。また、耐用摂取量等の Health-based guideline value (HBGV) が設定されている元素類については、必要に応じて一日当たりの値に換算した後、推定一日ばく露量と HBGV の比(ハザード比、HQ)を求めた。その結果、HQ は iAs (1.07 – 1.50)、Ni (0.14 – 1.02)、Cd (0.29 – 0.81)、Mo (0.67)、Mn (0.51)、Me-Hg (0.27 – 0.41)、Ba (0.04 – 0.39)、Al (0.17 – 0.36)、B (0.12 – 0.25) の順で高い値を示した。さらに、Pb、Cd、As、Hg については、1977年以後に推定されたばく露量の経年変化の情報を更新した。また、健康リスクの高い iAs についてより詳細な検討を行えるよう、簡易分析法を用いて精米中 iAs の地域差についても検討した。

研究協力者

北海道立衛生研究所

青柳 直樹、市橋 大山

新潟県保健環境科学研究所

吉崎 麻友子

横浜市衛生研究所

高橋 京子、石井 敬子、森田 昌弘

名古屋市衛生研究所

宮崎 仁志、高木 恭子、勝原 美紀

和歌山県環境衛生研究センター

新宅 沙織

香川県環境保健研究センター
福岡県保健環境研究所
沖縄県衛生環境研究所
国立医薬品食品衛生研究所食品部

安永 恵、櫻井 麻里南
新谷 依子、中村 麻子、堀 就英
當間 一晃、喜屋武 千早
高橋 未来

A. 研究目的

有害物質のばく露量推定値は、健康リスクの管理を目的とする規格値策定等の行政施策の検討、及び行政施策の効果検証するための重要な科学的根拠となる。

これまでの研究班においては、健康リスクの大きさや懸念の蓋然性を指標に、ばく露評価の対象となる有害物質が選定されてきた。一方で、最近の研究動向としては、ノンターゲット分析（元素分析の研究分野においてメタロミクスといったオミクス研究）に代表される網羅的分析が発展してきている。機器分析の発展に伴いより低濃度の物質を測定することが容易になってきたこと、様々な物質が産業利用されるようになったことが、網羅的分析の必要性が高まってきた背景にある。

元素分析の分野においても、全ての元素は普遍的に含まれているという拡張元素普存説が提唱され、この考えを実証する研究成果が発表されてきている。つまり、食品を介した元素類のばく露は避けることのできないリスクであり、人為的に合成した化学物質とは異なる点となる。

誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS) 法は、高いイオン化効率・広いダイナミックレンジ・多元素分析の適用性といった理由から、様々な試料中で 30 元素以上の網羅的分析の結果が報告されている。そこで本研究では、有害物質として知られるヒ素 [総ヒ素 (As) 並びに無機ヒ素

(iAs) を含むヒ素化合物]、カドミウム (Cd)、水銀 [総水銀 (Hg) 及びメチル水銀 (Me-Hg)]、鉛 (Pb) だけでなく、ICP-MS の特性を活かした網羅的分析を行った。

マーケットバスケット方式によるトータルダイエット (TD) 試料の分析により、日常的な食事を通じた国民平均の一日ばく露量を推定した。本研究に用いた TD 試料は、全国 10 地域の地方衛生研究所等により調製された。TD 試料中の各種元素類の分析は国立医薬品食品衛生研究所において実施した。

地方自治体所管の衛生研究所等に毎年ご協力を受けながら、元素類のばく露評価を継続している。本報告書では、上記元素類の全国・全年齢層における平均ばく露量の推定を目的に、2023 年に実施した TD 研究の成果を報告する。さらに、1977 年以後に継続して推定している As、Cd、Hg、及び Pb のばく露量については、情報を更新し報告する。

B. 研究方法

1. TD 試料の調製

2017 年から 2019 年に行われた国民健康・栄養調査のデータ 22,742 件 (2017 年: 8027 件、2018 年: 7895 件、2019 年: 6820 件) のうち、喫食量のデータがあった 19,753 件を TD 試料作製のために解析した。各地域ブロック (北海道: 北海道、東北: 青森

県、岩手県、秋田県、宮城県、山形県、福島県、関東 I: 埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、関東 II: 茨城県、栃木県、群馬県、山梨県、長野県、北陸: 新潟県、富山県、石川県、福井県、東海: 岐阜県、愛知県、三重県、静岡県、近畿 I: 京都府、大阪府、兵庫県、近畿 II: 奈良県、和歌山県、滋賀県、中国: 鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県、四国: 徳島県、香川県、愛媛県、高知県、北九州: 福岡県、佐賀県、長崎県、大分県、南九州: 熊本県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県) における各食品小分類の一日当たりの喫食量の算術平均値を算出した (Table 1)。なお、集計及び解析は独自に行つたものであり、公表数と一致しない場合がある。

日本人の日常的な食事 (日常食) からの各元素類ばく露量を推定するため、日常食のモデルとなる TD 試料をマーケットバスケット方式により調製した。混合・均質化の際に組み合わせる食品の小分類に応じて、下記 14 群に分割して調製した。1 群: 米及びその加工品、2 群: 雜穀・芋、3 群: 砂糖・菓子類、4 群: 油脂類、5 群: 豆・豆加工品、6: 果実類、7 群: 有色野菜、8 群: その他の野菜・海草類、9 群: 嗜好飲料、10 群: 魚介類、11 群: 肉・卵、12 群: 乳・乳製品、13 群: 調味料、14 群: 飲料水。また、各食品群の喫食量が地域ブロック間で差があるとはいえないかった ($p=0.922$ 、 χ^2 -test)。

全国 10 地域における TD 試料の調製は、地方衛生研究所等で 2023 年 5 月から 10 月までの間に調製された。小売店から食品を購入し、該当地域における一日当たりの喫食量に従つて秤量し、茹でる、焼く等の一般的な調理を行つてから、混合・均質化する

ことで TD 試料を調製した。分析に必要な均質性を確保する目的から、調製時に試料に加水される場合があるが、その量は、元素濃度を算出する過程において考慮した。また、14 群の喫食量は 250 g/day とした。

各地域で調製された TD 試料は、変質等による分析結果への影響に配慮し、不活性容器に入れ冷凍状態を保ちつつ、国立医薬品食品衛生研究所に収集された。全ての化学分析は、国立医薬品食品衛生研究所で実施した。

2. 試薬

超純水は Milli Q Element A10 (メルク社製) により製造したもの (比抵抗: $>18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 、TOC: $<3 \text{ ppb}$) を使用した。硝酸 (1.42 Ultrapur-100)、過酸化水素水 (Ultrapure)、アセトン (残留農薬・PCB 分析用)、トルエン (残留農薬・PCB 分析用)、臭化カリウム (鹿特級)、硫酸銅(II) (鹿特級)、ひ素標準液 (As 100)、及び 25% アンモニア水 (有害金属測定用) は関東化学株式会社から購入したものを使用した。L-システイン塩酸塩一水和物 (特級)、25% テトラメチルアンモニウムヒドロキシド (TMAH; 精密分析用)、1-ブタンスルホン酸ナトリウム、マロン酸 (特級)、メタノール (液体クロマトグラフィー用)、メチルオレンジ (特級) は富士フィルム和光純薬社製のものを使用した。

多元素混合標準溶液として SPEX 社製の XSTC-622 と XSTC-1 を用い、一部の元素標準溶液にはシグマアルドリッヂ社製 (1000 mg/L 水銀標準原液、Be、Ga、Y、In 標準溶液、Trace CERT)、あるいは関東化学社製 (Nd、Sm、Gd 標準溶液) のものを用いた。

水銀分析には ICP-MS 用 1000 mg/L 水銀標準原液 (シグマアルドリッヂ社製)、L-システイン (ナカライトスク社製)、添加剤 B (日本インスツルメンツ社製) を用いた。

ヒ素の化学形態別分析には、亜ひ酸 [As(III); 原子吸光分析用、関東化学社製]、ひ酸 [As(V); NMIJ CRM 7912-a]、モノメチルアルソン酸 (MMAs; Tri Chemical Laboratories Inc.)、ジメチルアルシン酸 (DMAs; NMIJ CRM 7913-a, AIST NMIJ)、アルセノベタイン (AsB; NMIJ CRM 7901-a, AIST NMIJ) を、メチル水銀の分析には塩化メチル水銀 (ジーエルサイエンス社製) を用いた。

人口唾液には、富士フィルム和光純薬社製の α アミラーゼ (生化学用)、ムチン (ブタ胃由来)、尿酸 (99%)、塩化ナトリウム (残留農薬・PCB 試験用)、チオシアン酸ナトリウム (試薬特級)、リン酸二水素カリウム (試薬特級)、炭酸水素ナトリウム (食品添加物)、塩化カリウム (試薬特級)、塩化カルシウム二水和物 (試薬特級)、硫酸ナトリウム (残留農薬・PCB 試験用)、関東化学社製の尿素 (特級)を用いた。

3. 分析機器

元素分析には ICP-MS (iCAPQ、サーモフイッシャーサイエンティフィック社製) を用いた。ICP-MS 分析の前処理に使用するマイクロ波分解装置は、ETHOS-One 及び ETHOS-TC (ともにマイルストーンゼネラル社製) を用いた。ヒ素及び水銀の化学形態別分析には、HPLC (Prominence、島津製作所社製) と ICP-MS (iCAPRQ、サーモフイッシャーサイエンティフィック社製) を接続したハイフネーションシステムを採用した。T-

Hg の分析には総水銀計 (MA-3000、日本インスツルメンツ社) を用いた。

4. ICP-MS による元素分析

多元素分析は、分析用試料 0.50 g を石英製分解容器に量りとり、硝酸 5 mL 及び過酸化水素水 2 mL を加えた。水 5 mL 及び過酸化水素水 2 mL を加えた TFM 製分解容器に前述の石英製分解容器を入れ、マイクロ波分解装置により分解した。マイクロ波分解は次の条件で行った。70°C: 2 分間 → 50°C: 3 分間 → 8.3°C/ 分: 18 分間 → 200°C: 10 分間。分解容器を開封し希釈する操作は HEPA フィルター搭載のクリーンブース [集塵効率 (0.3 μ m 粒子): 99.97% 以上] 内で行った。

分解後の溶液に、混合内部標準溶液 0.5 mL を添加後、水で 50 mL に定容した。定容後の溶液を測定溶液として ICP-MS により測定した。

ただし、14 群の試料に対しては、試料 40 mL に対し硝酸 5 mL、過酸化水素 2 mL を添加し、50 mL に定容したものを ICP-MS 用の分析試料とした。ICP-MS の装置条件は Table 2 に示すとおりである。なお、ICP-MS 測定に係る非金属性の容器・器具は約 3 mol/L の硝酸に 3 日以上浸漬させた後、超純水でよく濯ぎ、HEPA フィルター搭載のクリーンブース [集塵効率 (0.3 μ m 粒子): 99.97% 以上] 内で乾燥させたものを用いた。

また、希土類元素によるヒ素へのスペクトル干渉は、以下で示した数値補正法を用いた補正を行った。

$$I_c^{75}\text{As} = I_m^{75}\text{As} - \alpha I_m^{150}\text{Nd} - \beta I_m^{150}\text{Sm}$$

$$= I_m^{75\text{As}} - \frac{5.6}{17.2} \alpha I_c^{146\text{Nd}} - \frac{7.38}{15} \beta I_c^{147\text{Sm}}$$

ここで、 I_c^X と I_m^X はそれぞれ $m/z = X$ における信号強度の補正值及び測定値を、 α と β はそれぞれ Nd と Sm の 2 値イオン生成率を示す。ただし、 ^{146}Nd と ^{147}Sm の信号強度は、Ba の酸化物 ($^{130}\text{Ba}^{16}\text{O}$) 及び水酸化物 ($^{130}\text{Ba}^{16}\text{OH}$) の干渉を受けるため、下記の補正を行った上で上記の式に当てはめた。

$$\begin{aligned} I_c^{146\text{Nd}} &= I_m^{146\text{Nd}} - \gamma I_m^{130\text{Ba}} \\ &= I_m^{146\text{Nd}} - \gamma \frac{0.11}{11.2} I_m^{137\text{Ba}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_c^{147\text{Sm}} &= I_m^{147\text{Sm}} - \varepsilon I_m^{130\text{Ba}} \\ &= I_m^{147\text{Sm}} - \varepsilon \frac{0.11}{11.2} I_m^{137\text{Ba}} \end{aligned}$$

ここで、 γ と ε はそれぞれ Ba の酸化物と水酸化物の生成率を示す。これらの生成率は単一元素標準溶液を分析することで算出した。

5. ヒ素の化学形態別分析

試料 2.0 g を量り取り、0.3 mol/L 硝酸溶液 5 mL を加え、100°C で 2 時間静置した。なお、30 分おきによく振り混ぜた。2,600 g で 10 分間遠心分離後、水層を 20 mL メスフラスコに移した。残渣に水 5.0 mL を加え、手でよく振どうした後、同様に遠心分離後、水層を上記のメスフラスコに合わせた。同様の操作を計 2 回行った。メスフラスコにメチルオレンジ溶液を 100 μL 加え、5% アンモニア水で約 pH 2.7 (溶液の色が薄い赤色 - オレンジ) に調整した後、20 mL に定容した。この溶液を孔径 0.45 μm の PTFE フィルターでろ過したものを、測定溶液とした。

測定試料 10 μL を HPLC カラムに抽出し、

Table 3 に示した条件にてヒ素の化学種別分析を行った。定量対象とした As 化学種は、無機ヒ素 [iAs; As(III) と As(V) の合計]、MMAs、DMAAs、及び AsB とした。得られた As ピーク面積値の濃度に対する一次回帰式を最小二乗法により求め、検量線を作成した。内部標準として移動相に添加した Te の信号を解析し、Te の信号強度の変動が認められた場合には、As/Te 比を用いて同様に定量を行った。

6. 総水銀の分析

総水銀 (Hg) は総水銀計を用いて Table 4 の条件で測定を行った。標準溶液及び水銀濃度が 0.01 mg/kg 未満の試料の測定には低濃度用の吸光セル、水銀濃度が 0.01 mg/kg 以上の試料の測定には高濃度用の吸光セルを用いた。

サンプルポートは、5 mol/L 硝酸溶液に 12 時間以上浸け置きした後、水でよくすすぎ、使用する直前に 750°C で 3 時間加熱した。冷却後、総水銀計により 850°C で 4 分間再加熱したものを使用した。添加剤 B は使用する直前に 750°C で 5 時間加熱したものを、4 群の T-Hg 測定の際に添加した。標準原液を適宜量りとり、100 mg/L L-システイン溶液で希釈し、検量線用標準溶液とした。

7. メチル水銀の分析

試料 2.0 g を量り取り、10% (v/v) TMAH 溶液 5 mL を加え、80°C で 2 時間加熱した。なお、30 分おきによく振り混ぜた。2,600 g で 10 分間遠心分離後、上澄みを 20 mL メスフラスコに移した。塩酸を用いて pH 2.3 に調整した後、20 mL に定容した。この溶液を孔径 0.45 μm の PTFE フィルターでろ過したも

のを、測定溶液とした。

1 群の場合には、試料 2.0 g に対して人口唾液 (1.667 mg/mL NaCl、0.5 mg/mL NaSCN、1.833 mg/mL Na₂SO₄、0.5 mg/mL NaHCO₃、1.5 mg/mL KCl、2.0 mg/mL KH₂PO₄、CaCl₂·H₂O、0.833 mg/mL α-アミラーゼ、0.333 mg/mL 尿酸、0.033 mg/mL 尿素、2.5 mg/mL ムチン) を 3 mL 添加し、37°C で 15 分静置した後、25% (v/v) TMAH を 2 mL 添加し 80°C で 2 時間静置した。以降の操作は、上記と同様に行った。

測定溶液は Table 5 に示した装置条件で分析した。

8. 体重当たり喫食量の解析

体重当たり喫食量の解析には 2017 年から 2019 年に行われた国民健康・栄養調査のデータを用いた。喫食量のデータがあつた国民健康・栄養調査のデータ 19,753 件のうち、体重のデータと紐づけられたものは 15,809 件であり、喫食量の算出方法がばく露量推定に与える影響の解析に用いた。さらに、15,809 件の内、1 – 6 歳のデータ 801 件は、確率論的ばく露量推定に用いた。

国民健康・栄養調査の標本が、国民全体の年齢構成及び人口分布とどれほど一致しているのか検討するために、e-Stat (<https://www.e-stat.go.jp>) で公開されている人口推計の「第9表 都道府県 年齢(5 歳階級)、男女別人口(各年 10 月 1 日現在)」の総人口(補間補正人口)について、2017 年から 2019 年の平均値を算出し比較した。なお、集計及び解析は独自に行ったものであり、公表数と一致しない場合がある。

9. 統計解析

空試験を 3 回以上行い、空試験の信号強度の標準偏差を 10 倍した値を検量線の傾きで除した値を定量下限値 (LOQ) とした。HPLC-ICP-MS 分析においては、検量線最下点のピーク範囲における空試験の信号を積分した値を利用し、信号強度が低い場合にはポアソン分布に近似していると仮定して、ピーク面積値(単位: カウント)の 2 乗根を標準偏差として LOQ を算出した。

LOQ 未満の結果を含むデータの取扱いに関しては、LB 法 (LOQ 未満となったデータに 0 を代入する) と MB 法 (LOQ 未満となったデータに LOQ の半値を代入する) の両方で算出することを基本とした。

元素類のばく露量は、食品群毎に TD 試料中元素濃度に食品喫食量を乗じたものの総和として推定した。この推定値は地域別の全年齢層平均ばく露量(地域別ばく露量)に相当する。地域別ばく露量を平均した値を全国・全年齢層平均ばく露量(推定一日ばく露量)とした。

各種元素類ばく露量推定値やばく露量に寄与する食品群の変動を明らかにし、原因等について考察した。

確率論的ばく露評価として、幼児(1 – 6 歳)を対象とした鉛のばく露量分布を推定した。濃度データには 2022 – 2023 年に行った本研究班の成果を、体重当たり喫食量には 2017 年から 2019 年に行われた国民健康・栄養調査のデータの内 1 – 6 歳の 801 件を用いた。確率的プログラミング言語 Stan を用いてベイズ推定を行うことで、確率密度分布のパラメーター推定を行った。食品中の化学物質濃度は正の実数で

あると考えられるため、対数正規分布・ガンマ分布・ワイブル分布を仮定した統計モデルを検討した。一方で、体重当たりの喫食量は非負値の実数であると考えられる。また、国民健康栄養調査のデータを解析したところ、全ての食品群において 0 を含むデータが確認された。以上のことから、非負値の確率密度分布として、Tweedie 分布、ゼロ過剰対数正規 (ZILN) 分布及びゼロ過剰ガンマ (ZIG) 分布を検討した。

不検出例を含むデータの場合には、不検出例に確率密度関数 $f(Y|\theta)$ に代わって下限値 (LB) – 上限値 (UB) 間の累積分布関数 $F(LB, UB|\theta)$ を用いることで、以下のように尤度を算出できる。

$$L(Y|\theta) = \prod_{i=1}^{N_{\text{obs}}} f(Y_i|\theta) \times \prod_{j=1}^{N_{\text{cen}}} F(LB_j, UB_j|\theta)$$

ここで、 N_{obs} は定量できたサンプルサイズを、 N_{cen} は定量下限値未満のサンプルサイズを示す。

BE 法で得られる事後予測分布 $f_{\text{post}}(\theta|Y)$ は、ベイズの定理を用いて以下のようにあらわすことができる。

$$f_{\text{post}}(\theta|Y) = \frac{L(Y|\theta)f_{\text{pri}}(\theta)}{f_{\text{obs}}(Y)},$$

ここで、 $f_{\text{pri}}(\theta)$ は事前分布を、 $f_{\text{obs}}(Y)$ は観測値 Y の確率密度分布を示す。観測値 Y は観測後には変化しないため、定数とみなせるので、

$$f_{\text{post}}(\theta|Y) \propto L(Y|\theta)f_{\text{pri}}(\theta)$$

と簡略化することができる。つまり、ベイズ推定は尤度を事前知識に基づいて重み付けしたものであると解釈できる。

喫食量に関するベイズ推定においては、

サンプルサイズが充分なため、無情報事前分布として $U(-\infty, \infty)$ の一様分布を用いた。濃度のベイズ推定においては、理論平均値と理論標準偏差の事前分布に、2019 – 2021 年に行った研究で得られた推定分布の理論平均値と理論標準偏差の事後分布の平均値 ($\hat{\mu}_{\text{pre}}$) と標準偏差 ($\hat{\sigma}_{\text{pre}}$) を、以下の確率密度関数であらわされるコーシー分布のパラメーター $[(y_0, \gamma) = (\hat{\mu}_{\text{pre}}, \hat{\sigma}_{\text{pre}})]$ に用いた。

$$f(Y|y_0, \gamma) = \frac{1}{\pi} \frac{\gamma}{(Y - y_0)^2 + \gamma^2}$$

モデル選択は広く使える情報量基準 (WAIC) を用いて、WAIC が小さいモデルを採用した。

以上の解析は、R (4.1.0) と R のパッケージ cmdstanr (ver. 0.5.3)、loo (ver. 2.6.0) を用いた。

C. D. 結果及び考察

1. 各元素類の全国・全年齢層平均ばく露量の推定

2023 年に調製した全 14 群の TD 試料の分析を通じ、各元素類のばく露量を推定した。一斉分析法の対象となる 41 元素 (B、Al、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ge、As、Se、Rb、Sr、Zr、Mo、Cd、Sn、Sb、Cs、Ba、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、W、Hg、Pb、U) について 10 地域の平均値として算出した推定一日ばく露量を Table 6 に示す。また、ヒ素の化学種別の推定一日ばく露量の平均値は Table 7 に示す。Table 8 には、1 群、10 群、及び 11 群の MeHg ばく露量、MeHg 割合を示す。また、全元素のばく露量分布を Fig. 1 に示す。

Fig. 1 より、V、Cr、Ge、Sn、希土類元素、Pb 以外の元素では地域ブロック間の変動は小さかった。Ge と希土類元素は定量値が低くかったことから、測定精度を踏まえると妥当な変動幅であるといえた。

これまでの調査においては、Al、Sn、Sb、Pb、U のばく露量に地域間の変動が大きいことが報告されている。とくに Sn については、缶詰食品の利用やタケノコが含まれているかでばく露量が大きく変動していた。

2. 食品群ごとの寄与率

各元素及びヒ素化学種の食品群ごとの平均寄与率を Fig. 2 及び Fig. 3 に示す。ここでは、ND となった測定結果には便宜的に LOQ の半値を代入して算出した。多くの元素において、これまでの調査と同様の傾向を示した。毒性の高い、As、Cd、Hg、Pb についてその傾向を以下にまとめた。

As のばく露量における寄与率は、これまでの報告と同様に、10 群で 51.6%、次いで 8 群で 38.4% と大きかった。10 群の魚介類においては、ヒ素は毒性の低い AsB として存在していた (Table 7)。8 群では、AsB よりも遅い保持時間に大きな As の信号が検出され、アルセノシュガーであると考えられた。

一方で、iAs はコメや海藻の中でもヒジキには無機ヒ素が多く含まれており、そのリスクが懸念されている。2023 年の調査においても、1 群の寄与率は 72.1%、8 群の寄与率は 11.0% であった。

Cd のばく露量における寄与率は、これまでの報告と同様に、1 群で 27.8%、次いで 8 群の 19.8% と大きかった。

Hg のばく露量における寄与率は、これ

までの報告と同様に、10 群の魚介類で多く 91.7% であった。10 群では 79.6% が毒性の高いメチル水銀として存在していた (Table 8)。

Pb のばく露量における寄与率は、8 群で最も高く 23.8%、次いで 9 群で 18.5% であり、As・Cd・Hg と比較すると特定の食品群からの寄与率が低かった。9 群では ND となつた試料も多かったが、喫食量が大きいためこのような結果になったと考えられた。また、8 群の寄与率の標準偏差は 10.8 であり、寄与率が高い食品群を特定することは出来なかった。

2019 年度の調査から追加した元素である Ti、Ge、Rb、Sr、Zr、Cs、希土類元素、W について、その特徴を以下にまとめる。Ti は 1 群の寄与率が 21.5% と高かった。Ge は 1 群からの寄与が 30.7% と最も高かった。Rb (24.1%) 及び Cs (24.0%) は 11 群の寄与が最も高かった。Sr は 8 群からの寄与が 41.1% と最も高かった。本研究で測定しているのは安定同位体の Sr と Cs であるが、放射性同位体の Sr と Cs の参考にはなると考えられる。Zr (23.5%) は 11 群の寄与が最も高かった。W (41.7%) は 9 群での寄与が最も高かった。希土類元素は、元素によって多少異なるが、8 群で 32.2 – 49.7% と最も寄与率が高く、ついで 10 群 (8.50 – 11.9%) と 2 群 (8.77 – 14.2%) で高い傾向にあった。概して 8 群では重希土で、10 群では軽希土で寄与率が高くなる傾向にあった。

3. Health-Based Guideline Value との比較

各元素の Health-Based Guideline Value (HBGV) を種々の公的機関のデータベー

スから参照し、推定した一日ばく露量と比較からハザード比 (HQ) を算出した (Table 9)。

HQ が最も高かったのは iAs であり、最大で 1.07 – 1.50 であった。ここで、iAs の HBGV については、アメリカ合衆国環境保護庁 (US EPA) が 1999 年に評価した経口ばく露による心臓血管、皮膚障害の RfD と、EFSA が 2005 年に評価した暫定耐用週刊摂取量 (TWI) と比較した。一方で、FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議 (JECFA) は BMDL_{0.5} として 3.0 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ を導出した。BMDL との比較はばく露マージン (MOE) として評価したところ、MOE は 9.3 となった。不確実係数としては、個人差として 10、ばく露量推定の不確実性として 4 を用いたところ、推定した MOE は不確実係数積 (UFs) よりも小さい値となった。EPA が導出した皮膚がんに対する Oral Slope Factor (1.5 per mg/kg-day) を用いて、日本人の推定過剰発がんリスクを求めたところ 4.8×10^{-4} であった。この値は過剰発がんリスクの実質安全量である 10^{-5} と比較すると 48 倍高い値であった。国立がん研究センターが公開しているがん統計 (https://ganjoho.jp/reg_stat/index.html) によると、2021 年における皮膚がんの罹患率は 20.0/10 万、死亡率は 1.4/10 万と報告されている。寿命を 80 年とすると、推定された過剰発がんリスクは $6.0 \times 10^{-5} \text{ year}^{-1}$ となり、皮膚がんの罹患率の 30% が iAs ばく露による影響と試算された。皮膚がんの原因には様々な要因が考えられているが、最も大きい要因は紫外線による影響とされている。これらの点を踏まえると、推定された

iAs ばく露による発がんリスクは、過大な見積もりとなっている可能性がある。現在のところ、食品安全委員会では HBGV を設定するためには、国内のばく露実態及び食事由来のヒ素ばく露を明らかにした上でばく露量を評価する必要があるとしている。また、ヒ素の毒性を修飾する因子として、代謝酵素活性や栄養状態の影響なども示唆されている。以上の点からも、iAs の食事性ばく露による健康リスクが高い可能性があるものの正確な評価については、iAs ばく露量だけでなく栄養状態と代謝酵素に係る遺伝的変異を踏まえた疫学調査が必要と考えられる。

2 番目に HQ が最も高かったのは Ni であり、その値は 0.14 – 1.02 であった。Ni の推定一日ばく露量における各食品群からの寄与率は、5 群 (28.0%) で最も高く、次いで 1 群 (13.7%) で高かった。EPA が 1991 年に導出した RfD は、食品安全委員会が 2012 年に導出した TDI や EFSA が 2015 年に導出した TDI よりも 5 倍以上高い値となっており、このような HQ が広い結果となった。

3 番目に HQ が最も高かったのは Cd であり、その値は 0.29 – 0.81 であった。EFSA が 2011 年に導出した TWI は、食品安全委員会が 2008 年に導出した TWI や WHO/JECFA が 2013 年に導出した PTMI よりも保守的な値となっており、このような HQ が広い結果となった。

毒性の高い元素である MeHg の HQ は 0.27 – 0.41 の範囲であり、今後とも食品を介したばく露量の変動に注視する必要があると考えられた。

一方で、Pb に関しては、BMDL と比較

するため、MOE による検討を行った。ただし、本研究で推定したばく露量は成人も含めたものであるため、幼児に特有の影響である発達神経毒性についての解析は、摂取カロリーを基に 0.688 倍 (1~6 歳: 1047 kcal, 1 歳以上: 1522 kcal) し、1~6 歳のばく露量を推定して算出した。その結果、MOE は 2.5~19.2 の範囲内であった。EFSA の評価書では、鉛ばく露の MOE が 1 でも健康リスクはほとんどないと考えられている。これらのことから、平均的なばく露量としての健康リスクは小さいと考えられた。

4. 微量ミネラルの摂取量

本研究で測定している一部の元素は、必須な微量ミネラルでもある。そこで、日本人の食事摂取基準 (2020 年版) との比較を行った (Table 10)。比較を行った元素の推定摂取量は、推定平均必要量あるいは推奨量を超えており、耐用上限値未満であった。この結果は、平均的には無機栄養は過不足なく摂取されていると考えられた。しかしながら、推定摂取量と推定平均必要量と近いあるいは推奨量に満たない元素として Fe 及び Zn が挙げられた。これらの元素については、寄与率の大きい食品群 (11 群) の喫食量が少ない場合は必要量に満たない可能性がある。性別ごとの摂取量や摂取量分布の評価が今後必要だと考えられた。

5. 経年変動

1977 年より継続的に行ってきの As、Cd、Hg、Pb の推定一日ばく露量の経年変動を Fig. 4 に示す。2018 年以前の調査結果は、厚生労働科学研究費補助事業の研究報

告書より引用した。

2013 年以前の調査では ND となつたデータに 0 と 1/2LOQ (あるいは 1/2LOD) を代入した平均値が報告されていた。一方で、2013~2018 年の報告では ND となつたデータには 0 を代入した値のみが報告されている。そのため、経年変動の解析においては、ND=0 を代入した値を用いた。ここでは、トレンドに関して変化点も踏まえて解析するために、prophet (ver. 1.0) パッケージを用いた解析を行った。なお、ばく露量は正の実数であると考えられるため、対数変換した値を解析に用いた。

As の推定一日ばく露量は、調査開始以降減少傾向にあったが、2007 年以降増加傾向に転じていた。国民健康・栄養調査のデータベースと比較すると As の寄与率が高い 10 群の喫食量は減少していく、8 群に含まれる海藻類の喫食量はほぼ一定の量を示している。これらのことから、食品中の As 濃度が増加している可能性がある。ばく露量だけでなく、食品中濃度及び変動を与える要因について注視する必要があるだろう。

毒性の高い iAs については、2014 年からのデータしか無く中長期での変動傾向を判断するのは難しいが、2014 年度以降における変動をふまえてその傾向を判断すると、ほぼ一定のばく露量で推移しているといった (Fig. 5)。時系列解析を行うだけの十分なデータ数をそろえるためにも、継続的な調査が必要だろう。

Cd は 1977 年の調査開始以来ばく露量は減少してきており、2013 年以降はばく露量のばらつきが小さくなってきた。1977 年のばく露量と比較すると半分以下まで減少

していた。コメ中 Cd の基準値は、1970 年以降 1.0 mg/kg 未満とされていた。また、その当時は Cd 濃度 0.4 mg/kg を超えるコメが生産される地域は、何らかの Cd による環境汚染があると考えられていた。このような背景を受け、2010 年 4 月に食品衛生法に基づく Cd の規格基準を「玄米及び精米で 0.4 mg/kg 以下」に改正し、2011 年 2 月末日に施行した。2012 年以前は、不規則にばく露量が高くなる年が 5–10 年に 1 度の頻度で観測されていたが、施工後の 2012 年以降はばく露量の変動が抑えられている。この結果は、何らかの要因で環境中の Cd 濃度が増加しコメに移行するといった突発的な汚染を、食品衛生法の改正によりコントロールできていることを示唆するものと考えられた。

Hg の推定一日ばく露量は 1977–1978 年を除くと 5–12 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ の間を推移していたが、時系列解析の結果、少しずつ減少している傾向にあることが示された。2023 年における Hg の推定一日ばく露量は 1977–1978 年の半分以下であった。国民健康・栄養調査の結果より、魚介類の喫食量は 1997 年以降年々減少し、2019 年の魚介類の喫食量は 1997 年の 0.65 倍であった。Hg の推定一日ばく露量の 2019 年/1997 年比は 0.57 であり、喫食量の変化よりもわずかに減少率が大きかった。これらの結果から、魚介類の喫食量の減少が主な要因であると考えられたものの、他の要因もあると考えられた。厚生労働省は 2010 年に妊婦への魚介類のばく露と水銀に関する注意事項及び Q&A を更新し、特に水銀含有量の高い魚介類を偏って多量に食べることに警鐘を鳴らした。2011 年から

2019 年にかけてまぐろ、かじき類 (4.5 → 3.8 g/day) 及びたい、かれい類 (5.8 → 4.5 g/day) の喫食量が減少しているのに対して、さけ・ますの喫食量は増加 (3.9 → 5.4 g/day) していた。2010 年以降の国民健康・栄養調査の各食品小分類のデータが TD 試料の調製に反映されているのは、2016 年以降の調査であることを踏まえると、各機関におけるリスクコミュニケーションが上手くいって高濃度 Hg を含有する魚種の喫食機会が低減されていることが、喫食量よりも Hg の減少率がわずかに大きいことの要因になった可能性が考えられた。

Pb はこれまで様々な目的で使用されてきて、日本においても 1960 年代までは鉛化合物を添加した有鉛ガソリンを使用していた。また工場等からの排気ガスに鉛が含まれていたことから、大気中の鉛濃度が高い状態であったと報告されている。Pb の推定一日ばく露量は 1977 年の調査以降継続して減少傾向にある。Pb の推定一日ばく露量における 1977–1982 年における急激な減少には 1975 年の有鉛ガソリンの使用禁止が寄与しており、1996 年以降の緩やかな減少は焼却施設に設置されている排ガス除去装置の改善による廃棄物処理施設からの環境への排出量が減少したことが要因であると考えられる。これらの要因により、2023 年の推定一日ばく露量はこれまでの調査における最小値を更新し、1977 年の 5% 以下まで減少していた。

6. 簡易分析法を用いた精米中無機ヒ素濃度の実態調査

令和 4 年の各都道府県における水陸稻の収穫量 (主食用) を基に、50 検体分を

案分し各都道府県産の精白米試料を購入した。50 検体に含まれなかつた都道府県産の精白米試料を 1 試料ずつ追加し、計 63 の精白米試料を収集した。精白米は電動コーヒーミル (M150F、OYUNKEY) にて粉碎し、粉末化した試料を 500 μm のステンレス製篩にかけたものを試料とした。

iAs の簡易析法として、Huang *et al.* (2015、DOI: 10.1039/c5ay01434d) の報告を参考に昨年度開発した簡易分析法 (Fig. 6) を用いて精米中の無機ヒ素濃度の実態評価を行つた。

簡易分析法を用いて推定された iAs/総ヒ素の割合は $66.3 \pm 8.8\%$ であり、Nishikawa *et al.* (2010、DOI: 10.3358/shokueishi.51.178) の報告値 (59 – 120%) 及び Narukawa *et al.* (2012、DOI: 10.1021/jf204240p) の報告値 ($70.6 \pm 7.4\%$) と同程度の値を示した。以上の点から、我々の結果は妥当な値であると考えられた。各地域ブロック別の平均濃度のコロプレス図を Fig. 7 に示す。東海、四国、近畿 I 地域ブロックは iAs 濃度が高い傾向にあつた。一方で、生産量の多い、北海道、東北、北陸地方ブロック産の精白米中 iAs 濃度は平均的な濃度であった。最大濃度であった東海地方ブロック産の精白米中 iAs 濃度は、最小濃度であった南九州地方ブロックの 2.2 倍であった。調査を行つてゐる有害元素の中で、iAs のリスクは最も高いことを踏まえると、地域ブロック毎にばく露評価を行う必要性があると考えられた。

7. 幼児を対象とした鉛の確率論的ばく露評価

ここでは、健康リスクの高い幼児を対象

として確率論的なばく露量推定を行つた。対象とした有害元素は、幼児に特有の健康影響 (発達神経毒性) が認められる Pb とした。

体重当たり喫食量分布の推定結果を Table 11 に示す。各食品群の喫食量の確率密度分布は、8 つの食品群で Tweedie 分布が、4 つの食品群で ZIG 分布が、1 つの食品群で ZILN 分布が最も適していると判断できた。これまでの確率論的ばく露量推定において、喫食量分布がゼロ過剰となる確率密度分布はほとんど利用されてこなかったが、生成した乱数のヒストグラムは国民健康・栄養調査のデータとよく似た形狀を示していた。この結果は、喫食量に関する確率密度分布が適切に推定できたことを示している。

各食品群の Pb 濃度分布の推定結果を Table 12 に示す。各食品群の Pb 濃度の確率密度分布は、10 の食品群で対数正規分布が、2 つの食品群でガンマ分布が、2 つの食品群でワイブル分布が最も適していると判断できた。

幼児を対象とした Pb のばく露量分布の推定結果を Table 13 及び Fig. 8A に示す。一日推定ばく露量の平均値は $0.188 \pm 0.028 \mu\text{g/kg-bw/day}$ と推定された。ND に 0 あるいは LOQ 代入し、摂取カロリーで補正した推定ばく露量は、0.173 及び 0.222 $\mu\text{g/kg-bw/day}$ であり、2D-MCS で推定した平均値はこれらの範囲内であった。2D-MCS を用いて推定した Pb ばく露量の 5、25、50、75、及び 95 パーセンタイル値は、それぞれ 0.076、0.118、0.160、0.220、0.374 $\mu\text{g/kg-bw/day}$ であった。

2D-MCS の結果、MOE の平均値は 3.43

± 0.32 と推定された (Fig. 8 B)。ND に 0 あるいは LOQ 代入し、摂取カロリーで補正して推定した MOE は、2.9 及び 2.3 であり、2D-MCS による推定結果の方が大きな値となった。また、2D-MCS を用いて推定した MOE の 5、25、50、75 及び 95 パーセンタイル値は、それぞれ 1.34、2.28、3.13、4.24、6.56 であった。また、MOE が安全係数積である 1 を下回る確率は $1.9 \pm 2.2\%$ と推定された。

寄与率が最も高かったのは 8 群 (21.80%) であり、ついで 2 群 (11.25%) の順であった。しかしながら、いずれの食品群においても寄与率の不確かさが大きく、主要な Pb のばく露源となる食品 (群) を特定するには至らなかった。

8. 喫食量算出法の違いがばく露量推定に与える影響

本研究では、「7. 幼児を対象とした鉛の確率論的ばく露評価」を除いて、地域別のばく露量を $\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$ の単位で算出した後に平均値を算出し、平均体重で除した値を HBGV 等と比較を行った。この計算方法の代わりに、体重当たり喫食量を用いる方法もある。

一般的に、体重当たりの喫食量は低年齢層で大きな値となるため、平均体重で除した場合は低年齢層においては過小評価となる可能性がある。そこで、年齢層別 (1 – 6、7 – 19、20 – 59、60 – 79、 ≥ 80 歳) の体重当たり喫食量の平均値を Table 14 に、年齢別の体重当たり喫食量のボックスプロットを Fig. 9 に示す。全般的に、年齢増加するにつれて 15 – 20 歳まで体重当たり喫食量が減少する傾向があった。その後、多

くの食品群では平均値はほとんど一定の値を示したが、6 群及び 10 群は 50 歳前後から体重当たり喫食量が増加する傾向にあった。

全国民の平均的なばく露量を求めるという目的からすると、国民健康・栄養調査の標本の年齢・地域構成が、国民の年齢・地域構成と齟齬が無ければ、年齢層や地域によって体重当たりの喫食量が異なる点は問題とならない。そこで、国民健康・栄養調査の標本 (2017 – 2019 年の総和) と人口推計 (e-Stat のデータを利用、2017 – 2019 年の平均値) について、人口ピラミッドを比較した結果を Fig. 10 に示す。人口推計の結果と比較すると、国民健康・栄養調査の標本は、20 – 34 歳の割合が少なく、65 – 79 歳の割合が多くなっている。また、40 代に対する 1 – 14 歳の割合が 0.94 と人口推計の値 (0.82) よりも多かった。

国民健康・栄養調査の標本 (2017 – 2019 年の総和) と人口推計 (2017 – 2019 年の平均値) について、各都道府県における標本数あるいは人口をコロプレス図で比較した (Fig. 11)。人口推計と比較すると、国民健康・栄養調査の標本は、神奈川県、埼玉県、愛知県、岐阜県、大阪府、兵庫県の比重が大きかった。そのため、上記の都道府県が含まれる、関東 I、東海、近畿 I の地域ブロックでばく露量が大きかった場合には、全国の平均値としては過大評価となる可能性がある。

以上、国民健康・栄養調査の標本が必ずしも年齢構成と人口分布を反映しているとは言えない点を踏まえると、全国民を対象とした平均的なばく露量を精緻に推定するには、年齢構成や地域別人口による

重み付けを行う必要があると考えられた。

そこで、体重当たり喫食量 (r 、g/kg-bw)について、算出方法の違いの影響を検討するために、以下の 2 種類の重み付け法について検討した。なお、ここでは地域ブロック別に算出せず全地域としての値を求めた。

1 つ目の重み付けの方法として、年齢構成による重み付けした体重当たり喫食量 $r_{\text{all}}^{\text{w1}}$ を次のように算出した。

$$r_{\text{all}}^{\text{w1}} = \sum_{i=1}^k \omega_i r_i,$$

ここで、 ω_i は年齢層 i の重み付け係数を、 r_i は年齢層 i の体重当たり喫食量 (g/kg-bw) を示す。なお、都道府県別の人ロ推計は 5 歳階級毎の値が提供されているのみである。そこで、2017 – 2019 年における人口推計の平均値を用い、各階級の値を 5 等分し各年齢の人口推計として算出した次の値を用いた: $\omega_1 = 0.0473$ 、 $\omega_2 = 0.1149$ 、 $\omega_3 = 0.4952$ 、 $\omega_4 = 0.2554$ 、 $\omega_5 = 0.0872$ 。

2 つ目の重み付け法として、多くの HBGV が「毎日一生涯にわたって摂取しても健康に悪影響がないと判断される量」であることを考慮して、各年齢層でのばく露期間を考慮した体重当たり喫食量 $r_{\text{all}}^{\text{w2}}$ を次のように算出した。

$$r_{\text{all}}^{\text{w2}} = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^k d_i r_i,$$

ここで、 D は生涯のばく露期間を示し 1 – 80 歳の 79 年とした。 d_i は年齢層 i におけるばく露期間 (年) を示し、 $d_1: 6$ 、 $d_2: 13$ 、 $d_3: 40$ 、 $d_4: 20$ 、 $d_5: 0$ とした。この重み付け法では、 d_i/D が重み付け係数に相当す

る。

体重当たり喫食量の値について、算出方法による違いを比較した結果を Table 15 に示す。標本平均である重み付けなしの値と比較すると、重み付け法 1 では体重当たり喫食量が 0.81 – 0.95 倍と小さく見積もられるのに対して、重み付け法 2 では体重当たり喫食量が 0.94 – 1.16 倍に見積もられた。

重み付け法 1 では、年齢層別の人ロ推計の値が必要となり、国民健康・栄養調査の集計を行う度に算出し直す必要がある。また、公開されている 5 歳階級での年齢別人口推計データを用いる際に、1 歳階級での補正人口をどのように算出するかという問題が生じる。重み付け法 2 は、重み付け法 1 のような問題は生じないが、生涯ばく露期間を 80 年とするのでよいかどうかは議論が必要であろう。

重み付け法 1 と 2 では、ばく露評価の目的が異なるため、本研究班におけるばく露評価の目的について整理する必要があると考えられた。

E. 結論

全国 10 地域よりマーケットバスケット方式により TD 試料を調製し、食品を介した元素類のばく露量推定を行った。HBGV と比較したところ、HQ は iAs (1.07 – 1.50)、Ni (0.14 – 1.02)、Cd (0.29 – 0.81)、Mo (0.67)、Mn (0.51)、Me-Hg (0.27 – 0.41)、Ba (0.04 – 0.39)、Al (0.17 – 0.36)、B (0.12 – 0.25) の順で高い値を示した。一方で、Pb の MOE (2.5 – 19.2) は不確実係数積 (1) よりも大きく健康リスクは小さいと考えられたものの、幼児への発達神経毒

性に関する健康リスクを評価するには確率論的なアプローチを用いたばく露量分布が必要であると考えられた。そこで、幼児(1~6歳)の体重当たり喫食量のデータを用いて確率論的なばく露評価を行ったところ、発達神経毒性に対する MOE の平均値は 3.43 と推定された。

必須元素である微量ミネラルの推定ばく露量は、推定平均必要量あるいは推奨量を超えており、耐用上限値未満であった。しかしながら、推定ばく露量と推定平均必要量と近いあるいは推奨量に満たない元素として Fe 及び Zn が挙げられた。これらの元素については、喫食量が少ない場合は必要量に満たない可能性がある。性別ごとのばく露量やばく露量分布の評価が今後必要だと考えられた。

これまでの調査と比較し経年変動を解析したところ、Cd、Hg、Pb は減少傾向にあり、これまでの政策との関連が示唆された。一方で、As については近年上昇傾向に転じていたが、iAs についてはほぼ一定の値を示していた。iAs は対 HBGV 比も高いことから、継続調査の必要性が改めて示された。

簡易分析法を用いた精白米中 iAs 濃度を調査した結果、地域ブロックの平均値は最大と最小で 2.2 倍の差が認められた。調査を行っている有害元素の中で、iAs のリスクは最も高いことを踏まえると、地域ブロック毎にばく露評価を行う必要性があると考えられた。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

鈴木 美成、高橋 未来、近藤 翠、張本 雅恵、穂山 浩、堤 智昭、食品に含まれる銀ナノ粒子の実態と曝露量推定、メタロミクス研究会 (2023.10).

Table 1 2017-2019 年 国民健康・栄養調査 喫食量の地域別集計結果 (平均値、単位: g/day)

食品群	小分類	北海道	東北	関東I	関東II	北陸	東海	近畿I	近畿II	中国	四国	北九州	南九州
1群	米	290.9	331.1	281.9	307.8	331.5	301.3	287.6	311.1	307.8	314.9	312.2	316.0
	米加工品	4.2	2.8	4.1	3.7	5.0	4.1	4.3	4.3	3.7	4.1	3.9	3.4
	小麦粉類	3.3	2.8	3.6	3.8	2.9	3.6	4.9	3.6	4.2	5.2	4.2	4.0
	パン類(菓子パンを除く)	34.7	21.4	36.5	30.0	29.2	36.5	43.7	41.5	37.1	34.3	33.1	28.9
	菓子パン類	4.1	5.5	3.9	4.6	4.3	4.1	5.4	6.1	5.0	5.7	6.4	4.9
	うどん、中華めん類	34.8	41.7	36.5	38.5	33.5	32.9	38.9	40.9	39.1	42.5	30.1	26.2
	即席中華めん	6.2	5.6	4.7	4.7	3.4	4.0	4.0	3.2	4.4	4.2	6.8	3.2
	パスタ	11.1	10.1	13.1	8.9	8.1	12.1	8.0	4.8	9.8	8.2	7.8	13.0
	その他の小麦加工品	3.5	5.6	7.0	6.5	4.3	6.0	5.1	5.2	5.5	5.6	5.4	4.1
	そば・加工品	12.6	5.2	8.3	7.5	5.3	4.8	4.6	3.1	3.1	5.3	2.5	3.9
2群	とうもろこし・加工品	1.1	0.58	1.6	1.2	0.82	1.1	1.0	0.89	1.3	0.89	0.99	0.42
	その他の穀類	3.6	2.2	3.0	3.1	1.7	3.3	3.0	1.9	1.8	2.5	4.0	4.2
	さつまいも・加工品	3.7	6.2	7.1	7.2	7.4	7.6	5.5	5.8	10.0	10.7	8.2	5.7
	じやがいも・加工品)	28.0	23.0	25.2	21.9	29.1	22.3	25.7	30.3	25.2	25.7	21.0	20.2
	その他のいも・加工品	11.8	22.4	13.4	17.8	27.6	19.8	15.3	17.6	16.9	16.6	16.5	18.5
	でんぶん・加工品	1.6	2.3	2.2	1.7	3.5	2.4	4.2	2.7	2.4	3.1	2.5	2.4
	種実類	2.1	1.9	3.0	2.4	2.1	2.9	2.3	3.1	2.5	2.5	2.0	2.5
	砂糖・甘味料類	6.2	5.3	6.2	6.0	6.0	7.1	6.6	7.0	7.2	7.6	6.6	7.3
	和菓子類	9.3	10.5	11.4	8.7	11.3	11.0	10.3	10.2	11.0	12.2	9.3	9.1
	ケーキ・ペストリー類	6.1	5.4	6.4	4.7	4.5	7.4	7.4	8.8	5.5	6.4	6.1	2.9
3群	ビスケット類	1.6	1.5	1.8	1.7	2.2	2.0	1.8	1.8	1.8	2.2	1.9	2.0
	キャンデー類	0.25	0.23	0.51	0.31	0.29	0.34	0.55	0.21	0.50	0.51	0.69	0.31
	その他の菓子類	7.4	6.0	8.5	7.3	7.1	7.9	7.2	8.0	6.1	6.7	6.4	5.8
	バター	1.4	0.67	1.3	0.80	0.77	1.1	1.3	1.2	0.95	0.92	0.79	0.84
	マーガリン	0.68	0.80	1.1	1.1	0.84	1.1	1.3	1.1	1.3	1.3	0.96	0.74
	植物性油脂	8.2	8.2	9.4	9.8	8.8	8.5	8.5	8.3	8.5	8.6	8.6	9.9
	動物性油脂	0.20	0.12	0.22	0.25	0.07	0.21	0.15	0.22	0.12	0.17	0.15	0.12
	その他の油脂)	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.03	0.04	0.03	0.02	0.00	0.02	0.02
	大豆(全粒)・加工品	1.3	1.1	1.7	1.5	2.1	2.2	1.5	1.8	1.8	2.1	1.5	2.3
	豆腐	32.4	40.9	33.1	32.5	34.0	32.3	33.5	33.8	32.6	45.1	32.5	42.2
4群	油揚げ類	4.3	5.8	6.0	6.0	9.8	7.4	8.7	9.2	6.6	8.9	7.5	7.2
	納豆	11.7	13.9	10.4	12.2	9.2	7.3	6.5	6.3	6.6	5.1	8.3	10.7
	その他の大豆加工品	8.6	7.7	9.2	7.9	5.8	8.6	8.7	6.2	6.8	6.5	9.6	8.9
	その他の豆・加工品	0.70	0.60	1.5	1.6	1.6	1.2	1.3	0.94	1.6	2.0	0.95	2.3
	いちご	0.61	0.16	0.21	0.21	0.02	0.15	0.10	0.07	0.15	0.06	0.10	0.12
	柑橘類	17.3	14.1	19.5	17.4	19.2	19.1	19.1	26.9	23.6	33.0	23.8	27.9
	バナナ	16.6	11.7	16.5	13.5	12.2	17.3	18.1	16.1	16.0	14.9	16.2	13.2
	りんご	20.7	31.3	20.0	26.8	16.4	17.2	15.7	12.5	15.5	19.3	11.4	13.8
	その他の生果	35.2	34.7	33.0	35.4	55.6	32.3	31.0	31.5	35.1	32.4	24.8	27.3
	ジャム	1.4	1.1	1.5	1.4	0.92	1.5	1.3	1.8	1.4	1.2	0.81	0.69
5群	果汁・果汁飲料	8.0	8.3	12.3	10.3	8.0	8.1	9.3	14.2	7.0	9.2	8.5	9.5

Table 1 つづき

食品群	小分類	北海道	東北	関東I	関東II	北陸	東海	近畿I	近畿II	中国	四国	北九州	南九州
7群	トマト	18.7	12.7	21.4	17.2	15.5	17.4	15.7	14.1	11.5	16.0	14.2	17.3
	にんじん	18.0	20.7	19.9	20.1	22.3	19.4	19.6	18.4	20.7	18.9	18.4	19.7
	ほうれん草)	6.8	13.9	9.0	8.9	9.9	7.8	8.1	9.6	12.2	11.8	8.8	6.5
	ピーマン	5.4	4.0	4.8	4.2	4.3	3.7	3.9	2.6	6.2	3.7	5.2	5.2
	その他の緑黄色野菜	25.8	36.3	32.3	32.4	36.7	28.1	32.5	31.0	35.7	37.8	30.1	36.7
8群	野菜ジュース	12.1	10.0	16.6	12.0	9.7	12.6	13.6	13.2	12.8	10.4	10.6	11.9
	キャベツ	30.2	31.7	30.7	32.6	31.9	28.5	27.1	25.8	27.8	32.5	28.7	36.4
	きゅうり	8.1	7.0	10.0	9.0	8.7	7.8	7.4	6.4	7.8	9.6	8.6	12.5
	大根	25.0	34.8	24.1	30.8	44.8	26.0	26.2	27.9	27.8	26.0	23.2	26.8
	たまねぎ	35.8	29.4	33.4	31.2	32.1	33.6	35.1	34.8	39.0	34.8	37.3	30.6
	はくさい	18.8	23.7	19.8	20.8	24.2	20.3	23.5	25.4	25.1	30.8	24.3	24.0
	その他の淡色野菜	45.2	51.5	50.5	46.9	53.1	42.5	37.5	33.5	39.4	38.3	41.3	47.3
	葉類漬け物	2.2	3.6	3.0	3.8	2.8	2.3	2.3	3.5	2.7	2.0	2.5	1.8
	たくあん・その他の漬け物	6.1	6.9	7.3	5.9	6.6	5.2	4.1	5.0	4.3	4.4	3.6	4.1
	きのこ類	13.2	19.6	15.2	16.3	16.3	16.1	15.1	14.6	17.1	17.2	16.0	22.0
9群	海草類	6.8	9.7	10.4	9.8	9.4	9.6	8.4	7.8	9.6	9.5	8.5	9.9
	日本酒	9.5	11.4	7.6	9.5	12.3	7.5	6.2	8.0	9.0	4.7	6.9	3.2
	ビール	63.1	59.6	60.1	54.7	71.6	51.7	75.1	55.7	54.7	50.9	58.8	65.4
	洋酒・その他	33.3	35.3	38.4	37.4	34.2	28.2	29.6	26.2	30.3	27.3	34.5	50.2
	茶	177.8	167.7	254.5	253.8	197.8	300.5	221.8	224.3	211.7	280.0	258.8	306.7
	コーヒー・ココア	140.2	132.7	133.9	134.4	137.9	138.6	150.4	147.6	163.3	146.2	134.3	123.4
10群	その他の嗜好飲料	102.4	84.5	128.5	123.5	114.2	155.8	181.5	104.9	179.1	136.4	172.2	107.3
	あじ、いわし類	6.8	9.4	7.8	5.5	8.3	8.0	9.0	12.9	9.1	8.5	12.0	12.6
	さけ、ます	6.7	8.7	5.2	4.2	6.3	4.2	4.7	4.7	3.4	3.2	3.8	4.5
	たい、かれい類	5.3	4.1	3.8	2.5	5.8	3.8	5.5	6.2	4.5	5.8	4.7	4.0
	まぐろ、かじき類	3.2	4.3	5.4	4.3	1.4	4.5	2.3	1.9	1.6	3.2	1.5	2.5
	その他の生魚	5.0	6.6	5.0	3.5	9.4	6.6	7.6	7.3	9.0	11.6	7.0	9.3
	貝類	2.9	3.0	3.2	2.1	2.9	2.3	2.2	3.0	1.3	0.60	1.2	1.9
	いか、たこ類	1.8	3.7	2.7	3.6	3.5	2.6	3.1	2.6	3.8	2.5	2.8	2.2
	えび、かに類	1.9	2.9	3.4	2.9	5.3	3.9	4.2	4.5	4.6	3.6	3.2	3.1
	魚介(塩蔵、生干し、乾物)	20.8	18.3	15.8	18.5	13.9	11.1	12.4	15.9	13.2	10.4	10.3	13.3
11群	魚介(缶詰)	5.1	4.2	3.1	4.4	3.7	3.0	3.0	2.1	2.2	1.9	2.7	5.5
	魚介(佃煮)	0.26	0.27	0.20	0.18	0.08	0.16	0.22	0.22	0.10	0.16	0.12	0.12
	魚介(練り製品)	6.5	8.3	7.0	7.8	12.2	8.9	11.3	9.4	9.5	8.8	7.8	7.6
	魚肉ハム、ソーセージ	1.32	1.09	0.62	0.32	0.77	0.83	0.48	0.15	1.13	0.23	1.03	1.06
	牛肉	9.4	11.6	14.3	9.7	6.7	15.7	21.7	21.5	17.4	21.6	15.2	11.9
	豚肉	45.0	42.4	44.1	44.9	37.8	40.1	38.2	33.9	35.9	30.9	37.5	41.7
	ハム、ソーセージ類	15.3	12.6	13.6	14.2	13.2	14.1	12.5	13.9	11.2	11.7	12.3	13.0
12群	その他の畜肉	2.66	0.00	0.30	0.34	0.10	0.36	0.36	0.00	0.72	0.21	0.03	0.32
	鶏肉	24.2	23.1	31.0	30.2	30.1	30.5	34.1	38.0	32.9	28.8	37.5	37.8
	その他の鳥肉)	0.03	0.07	0.04	0.00	0.00	0.04	0.16	0.19	0.15	0.11	0.00	0.33

Table 1 つづき

食品群	小分類	北海道	東北	関東I	関東II	北陸	東海	近畿I	近畿II	中国	四国	北九州	南九州
11群	肉類(内臓)	0.40	1.4	1.3	1.1	1.1	2.4	1.6	0.80	1.2	0.78	2.4	1.8
	鯨肉	0.00	0.16	0.00	0.00	0.02	0.04	0.08	0.13	0.12	0.00	0.06	0.00
	その他の肉・加工品)	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	卵類	41.4	39.0	36.3	35.0	38.4	39.9	44.0	41.9	42.3	42.3	40.7	42.6
12群	牛乳	85.5	73.6	85.8	84.6	74.9	83.6	82.3	81.5	81.5	81.3	78.0	80.2
	チーズ	4.2	2.2	4.8	3.4	3.2	4.0	3.6	3.2	3.0	2.4	3.1	3.2
	発酵乳・乳酸菌飲料	36.2	36.0	41.9	37.2	31.5	41.8	36.2	36.2	37.6	38.3	29.2	34.6
	その他の乳製品	9.0	8.6	8.9	9.4	7.1	8.8	8.2	11.0	7.8	8.4	8.8	7.2
13群	その他の乳類	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.87	1.28	0.00	0.12
	ソース	1.2	1.5	1.9	1.6	1.7	2.0	2.3	1.5	2.0	2.0	1.8	1.3
	しょうゆ	10.5	10.7	11.3	12.1	12.5	11.8	11.7	13.0	12.9	12.9	12.3	13.6
	塩	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.3
	マヨネーズ	3.4	3.8	3.3	3.2	4.4	3.1	3.5	3.5	3.1	2.9	3.2	3.3
	味噌	10.7	13.6	10.0	9.8	11.6	10.2	8.9	8.1	8.7	8.4	9.4	12.2
	その他の調味料	41.9	42.3	45.1	35.5	42.9	41.8	40.5	46.1	42.2	36.0	37.2	40.4
香辛料・その他		0.35	0.28	0.50	0.58	0.35	0.44	0.36	0.36	0.36	0.26	0.31	0.38

Table 2 ICP-MS の分析条件

項目	設定
RF power	1550 W
冷却ガス流量	14.0 L/min
ネブライザーガス流量	1.065 L/min
補助ガス流量	0.8 L/min
ネブライザー	PFA 同軸型
スプレー・チャンバー	サイクロン型
サンプリング深さ	5.00 mm
セルガス流量	He: 4.2 mL/min (Se 以外)、H ₂ : 4.0 mL/min (Se)
積分時間	0.1 s
掃引数	10 回
繰り返し回数	3 回
内部標準	Be ($m/z=11 - 27$)、Y ($m/z=47 - 95$ 、ただし、As と Se には Te を内部標準とした)、In ($m/z=111 - 175$)、Tl ($m/z=208 - 238$)
測定質量電荷比	^{11}B 、 ^{27}Al 、 ^{47}Ti 、 ^{51}V 、 ^{52}Cr 、 ^{55}Mn 、 ^{57}Fe 、 ^{59}Co 、 ^{60}Ni 、 ^{65}Cu 、 ^{66}Zn 、 ^{73}Ge 、 ^{75}As 、 ^{78}Se 、 ^{85}Rb 、 ^{88}Sr 、 ^{90}Zr 、 ^{95}Mo 、 ^{111}Cd 、 ^{118}Sn 、 ^{121}Sb 、 ^{133}Cs 、 ^{137}Ba 、 ^{139}La 、 ^{140}Ce 、 ^{141}Pr 、 ^{146}Nd 、 ^{147}Sm 、 ^{153}Eu 、 ^{157}Gd 、 ^{159}Tb 、 ^{163}Dy 、 ^{165}Ho 、 ^{166}Er 、 ^{169}Tm 、 ^{172}Yb 、 ^{175}Lu 、 ^{182}W 、 ^{208}Pb 、 ^{238}U

Table 3 ヒ素化学種分析の HPLC-ICP-MS 分析条件

項目	設定
HPLC	
カラム	L-column2 (内径 4.6 mm、長さ 25 cm、粒子径 3 μ m)
カラム温度	25°C
移動相	0.05% (v/v) メタノール、12 mM 1-ブタンスルホン酸ナトリウム、4 mM マロン酸、1 mM TMAH 溶液、10 ng/g Te (pH 2.7)
グラジェント条件	Isocratic
流速	0.75 mL/min
注入量	10 μ L
オートサンプラー温度	4°C
ICP-MS	
RF power	1550 W
冷却ガス流量	14.0 L/min
ネブライザーガス流量	1.12 L/min
補助ガス流量	0.8 L/min
ネブライザー	PFA 同軸型
スプレーチャンバー	サイクロン型
セルガス流量	He: 4.85 mL/min
積分時間	0.05 s
掃引数	1 回
繰り返し回数	1 回
測定質量電荷比	^{75}As , ^{125}Te

Table 4 水銀分析計の加熱条件

加熱モード			
	乾燥	分解 1	分解 2
ページ	-	-	850°C、4 min
標準溶液	150°C、1 min		800°C、2 min
TD 試料	150°C、1 min	250°C、10 min	800°C、2 min

Table 5 水銀化学種分析の HPLC-ICP-MS 分析条件

項目	設定
HPLC	
カラム	CAPCELL Pak ADME (内径 4.6 mm、長さ 25 cm、粒子径 3 μm)
カラム温度	25°C
移動相	5% (v/v) メタノール、0.5 g/L L-システイン、1 ng/g Tl (pH 2.3)
グラジェント条件	Isocratic
流速	0.75 mL/min
注入量	10 (10 群)、100 (1 群及び 11 群) μL
オートサンプラー温度	4°C
ICP-MS	
RF power	1550 W
冷却ガス流量	14.0 L/min
ネブライザーガス流量	1.12 L/min
補助ガス流量	0.8 L/min
ネブライザー	PFA 同軸型
スプレーチャンバー	サイクロン型
セルガス流量	He: 4.85 mL/min
積分時間	0.10 s
掃引数	1 回
繰り返し回数	1 回
測定質量電荷比	^{201}Hg 、 ^{205}Tl

Table 6 2023 年に実施したトータルダイエット研究により推定した元素類の一日ばく露量の平均値 (μg/person/day)

食品群	B		Al		Ti		V		Cr		Mn	
	LB 法	MB 法										
1 群	81.0	81.0	49.5	84.9	27.0	27.6	0.48	0.52	7.6	14.8	1003	1003
2 群	99.8	99.8	362	362	16.8	16.8	0.69	0.69	0.00	4.81	456	456
3 群	26.5	26.5	49.7	49.7	2.97	2.97	0.20	0.20	0.46	1.27	78.2	78.2
4 群	0.07	0.26	0.87	4.43	0.34	0.48	0.00	0.01	0.00	0.10	0.09	0.10
5 群	233	233	64.7	69.1	6.88	6.88	0.34	0.34	1.87	2.23	510	510
6 群	191	191	21.9	51.0	3.07	4.79	0.11	0.15	0.40	1.27	221	221
7 群	108	108	136	136	6.72	6.72	0.36	0.36	1.93	2.90	214	214
8 群	224	224	335	335	13.2	13.2	6.60	6.60	4.27	5.78	499	499
9 群	168	168	970	970	7.82	10.3	2.09	2.09	0.00	8.96	564	564
10 群	40.6	40.6	442	442	17.2	17.2	1.56	1.56	9.17	9.44	34.8	34.8
11 群	25.7	25.7	141	143	4.65	4.85	0.13	0.14	7.11	7.47	37.4	37.4
12 群	34.8	34.8	20.7	37.7	0.00	1.43	0.03	0.06	2.59	3.55	5.47	5.47
13 群	94.7	95	157	157	5.72	5.80	0.72	0.72	8.68	8.93	282	282
14 群	5.87	5.9	7.20	7.22	0.00	0.02	0.44	0.44	0.00	0.07	0.05	0.05
合計	1332	1332	2758	2850	112	119	13.7	13.9	44.1	71.6	3904	3904

LB 法: 不検出となった値に 0 を代入して算出した。

MB 法: 不検出となった値に LOQ の半値を代入して算出した。

Table 6 つづき

食品群	Fe		Co		Ni		Cu		Zn		Ge	
	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法
1 群	146	183	0.47	0.47	21.1	21.1	279	279	1984	1984	0.23	0.23
2 群	793	793	1.67	1.67	13.0	13.0	146	146	633	633	0.05	0.05
3 群	245	245	0.53	0.53	6.32	6.32	42.0	42.0	169	169	0.01	0.02
4 群	0.00	2.03	0.00	0.00	0.05	0.11	0.12	0.12	0.83	2.22	0.00	0.00
5 群	1195	1195	0.99	0.99	44.8	44.8	170	170	644	644	0.05	0.05
6 群	180	180	0.38	0.38	7.04	7.04	69.2	69.2	111	111	0.01	0.02
7 群	490	490	0.81	0.81	6.95	7.41	64.6	64.6	361	361	0.04	0.04
8 群	1194	1194	1.54	1.54	18.2	18.2	112	112	594	594	0.13	0.13
9 群	138	243	1.29	1.29	11.6	18.0	38.3	38.8	180	180	0.05	0.07
10 群	748	748	0.61	0.61	2.70	2.70	78.8	78.8	826	826	0.05	0.05
11 群	2053	2053	0.25	0.25	1.68	1.71	109	109	3183	3183	0.04	0.05
12 群	37.46	49.6	0.09	0.09	0.77	0.88	6.15	6.15	572	572	0.00	0.02
13 群	626	626	0.92	0.92	16.0	16.0	45.6	45.6	300	300	0.02	0.03
14 群	0.87	1.11	0.00	0.00	0.35	0.36	2.58	2.58	2.21	2.22	0.01	0.01
合計	7846	8003	9.55	9.56	151	158	1163	1164	9559	9560	0.69	0.76

LB 法: 不検出となった値に 0 を代入して算出した。

MB 法: 不検出となった値に LOQ の半値を代入して算出した。

Table 6 つづき

食品群	As		Se		Rb		Sr		Zr		Mo	
	LB 法	MB 法										
1 群	15.8	15.8	3.95	3.95	177	177	25.6	25.6	0.15	0.27	82.7	82.7
2 群	0.71	0.76	11.7	11.7	144	144	133	133	0.41	0.41	12.0	12.0
3 群	0.23	0.23	1.11	1.11	57.1	57.1	27.6	27.6	0.10	0.10	3.20	3.20
4 群	0.00	0.00	0.08	0.08	0.46	0.46	0.20	0.20	0.01	0.02	0.04	0.04
5 群	0.27	0.27	1.78	1.78	123	123	107	107	0.07	0.07	36.2	36.2
6 群	0.33	0.34	0.25	0.25	157	157	58.4	58.4	0.03	0.06	1.81	1.81
7 群	0.12	0.12	0.24	0.26	208	208	92.1	92.1	0.21	0.22	5.08	5.08
8 群	104	104	1.29	1.29	271	271	876	876	0.32	0.34	11.2	11.2
9 群	0.21	0.33	0.45	0.90	259	259	60.5	60.5	0.28	0.45	1.65	1.68
10 群	112	112	34.4	34.4	46.3	46.3	424	424	0.11	0.18	1.18	1.18
11 群	0.69	0.69	28.5	28.5	575	575	35.8	35.8	1.12	1.20	6.93	6.93
12 群	0.00	0.06	3.07	3.07	266	266	54.0	54.0	0.85	0.90	4.85	4.85
13 群	1.99	1.99	3.42	3.42	100	100	129	129	0.03	0.11	16.0	16.0
14 群	0.11	0.11	0.03	0.03	0.66	0.66	16.7	16.7	0.00	0.00	0.15	0.15
合計	237	237	90.2	90.7	2384	2384	2041	2041	3.69	4.34	183	183

LB 法: 不検出となった値に 0 を代入して算出した。

MB 法: 不検出となった値に LOQ の半値を代入して算出した。

Table 6 つづき

食品群	Cd		Sn		Sb		Cs		Ba		La	
	LB 法	MB 法										
1 群	4.22	4.22	0.00	0.53	0.00	0.25	0.28	0.28	8.98	9.35	0.00	0.01
2 群	1.89	1.89	0.63	0.72	0.07	0.18	0.40	0.40	102	102	0.17	0.17
3 群	0.52	0.52	0.10	0.12	0.05	0.07	0.14	0.14	14.7	14.7	0.03	0.03
4 群	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.12	0.25	0.00	0.00
5 群	1.02	1.02	0.27	0.28	0.00	0.04	0.38	0.38	53.8	53.8	0.11	0.11
6 群	0.08	0.08	95.3	95.3	0.01	0.08	0.59	0.59	28.9	28.9	0.12	0.12
7 群	1.29	1.29	2.10	2.21	0.04	0.04	0.47	0.47	42.2	42.2	0.19	0.19
8 群	2.90	2.90	169	169	0.08	0.08	0.70	0.70	80.8	80.8	1.04	1.04
9 群	0.08	0.12	0.00	0.78	0.28	0.31	1.07	1.07	18.4	18.4	0.09	0.10
10 群	3.18	3.18	0.42	0.42	0.07	0.09	1.05	1.05	8.29	8.29	0.16	0.16
11 群	0.05	0.05	0.78	0.90	0.00	0.09	1.99	1.99	23.5	23.5	0.01	0.01
12 群	0.01	0.02	0.00	0.13	0.00	0.07	0.76	0.76	9.15	9.15	0.00	0.01
13 群	0.56	0.56	0.32	0.34	0.04	0.07	0.31	0.31	35.7	35.7	0.07	0.07
14 群	0.00	0.00	0.04	0.04	0.03	0.03	0.14	0.14	2.19	2.19	0.00	0.00
合計	15.8	15.9	269	271	0.68	1.41	8.29	8.29	429	429	2.00	2.01

LB 法: 不検出となった値に 0 を代入して算出した。

MB 法: 不検出となった値に LOQ の半値を代入して算出した。

Table 6 つづき

食品群	Ce		Pr		Nd		Sm		Eu		Gd	
	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法						
1 群	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.000	0.001	0.00	0.00
2 群	0.21	0.21	0.03	0.03	0.12	0.12	0.03	0.03	0.006	0.006	0.03	0.03
3 群	0.04	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.001	0.001	0.01	0.01
4 群	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
5 群	0.09	0.09	0.02	0.02	0.07	0.07	0.01	0.01	0.003	0.003	0.02	0.02
6 群	0.04	0.05	0.01	0.01	0.04	0.04	0.01	0.01	0.001	0.001	0.01	0.01
7 群	0.15	0.15	0.03	0.03	0.09	0.09	0.02	0.02	0.004	0.004	0.02	0.02
8 群	0.80	0.80	0.16	0.16	0.61	0.61	0.15	0.15	0.040	0.040	0.22	0.22
9 群	0.09	0.13	0.04	0.04	0.10	0.11	0.01	0.01	0.003	0.003	0.01	0.01
10 群	0.35	0.35	0.03	0.03	0.11	0.11	0.02	0.02	0.005	0.005	0.03	0.03
11 群	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.000	0.001	0.00	0.00
12 群	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.000	0.001	0.00	0.00
13 群	0.11	0.11	0.02	0.02	0.07	0.07	0.01	0.01	0.003	0.003	0.02	0.02
14 群	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
合計	1.92	2.00	0.33	0.33	1.24	1.28	0.27	0.29	0.068	0.071	0.35	0.36

LB 法: 不検出となった値に 0 を代入して算出した。

MB 法: 不検出となった値に LOQ の半値を代入して算出した。

Table 6 つづき

食品群	Tb		Dy		Ho		Er		Tm		Yb	
	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法
1 群	0.000	0.001	0.00	0.00	0.000	0.001	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
2 群	0.004	0.004	0.03	0.03	0.006	0.006	0.02	0.02	0.002	0.002	0.01	0.01
3 群	0.001	0.001	0.00	0.00	0.001	0.001	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
4 群	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
5 群	0.003	0.003	0.02	0.02	0.004	0.004	0.01	0.01	0.001	0.001	0.01	0.01
6 群	0.001	0.001	0.00	0.00	0.001	0.001	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
7 群	0.002	0.002	0.01	0.01	0.002	0.002	0.01	0.01	0.001	0.001	0.00	0.00
8 群	0.032	0.032	0.20	0.20	0.039	0.039	0.11	0.11	0.014	0.014	0.09	0.09
9 群	0.002	0.002	0.01	0.01	0.002	0.003	0.01	0.01	0.002	0.002	0.01	0.01
10 群	0.004	0.004	0.02	0.02	0.006	0.006	0.02	0.02	0.002	0.002	0.01	0.01
11 群	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
12 群	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
13 群	0.002	0.002	0.01	0.01	0.003	0.003	0.01	0.01	0.001	0.001	0.01	0.01
14 群	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
合計	0.051	0.053	0.32	0.32	0.065	0.066	0.18	0.18	0.024	0.025	0.14	0.15

LB 法: 不検出となった値に 0 を代入して算出した。

MB 法: 不検出となった値に LOQ の半値を代入して算出した。

Table 6 つづき

食品群	Lu		W		Hg		Pb		U	
	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法	LB 法	MB 法
1 群	0.000	0.001	0.04	0.13	0.26	0.26	0.06	0.27	0.00	0.00
2 群	0.002	0.002	0.06	0.09	0.01	0.01	0.47	0.47	0.05	0.05
3 群	0.000	0.000	0.24	0.24	0.01	0.01	0.13	0.14	0.01	0.01
4 群	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
5 群	0.001	0.001	0.05	0.05	0.00	0.00	0.29	0.30	0.03	0.03
6 群	0.000	0.000	0.02	0.02	0.00	0.00	0.05	0.10	0.00	0.00
7 群	0.001	0.001	0.00	0.07	0.01	0.01	0.25	0.25	0.02	0.02
8 群	0.014	0.014	0.00	0.15	0.05	0.05	1.01	1.01	0.96	0.96
9 群	0.002	0.002	0.74	1.11	0.00	0.02	0.82	0.86	0.01	0.02
10 群	0.002	0.002	0.01	0.03	4.88	4.88	0.36	0.36	0.25	0.25
11 群	0.000	0.001	0.01	0.04	0.15	0.15	0.00	0.11	0.04	0.04
12 群	0.000	0.000	0.04	0.06	0.00	0.00	0.05	0.13	0.01	0.01
13 群	0.001	0.001	0.06	0.06	0.01	0.01	0.20	0.20	0.03	0.03
14 群	0.000	0.000	0.02	0.02	0.00	0.01	0.08	0.08	0.00	0.00
合計	0.023	0.026	1.29	2.08	5.38	5.41	3.77	4.29	1.41	1.43

LB 法: 不検出となった値に 0 を代入して算出した。

MB 法: 不検出となった値に LOQ の半値を代入して算出した。

Table 7 2023 年に実施したトータルダイエット研究により推定したヒ素化学種の一日ばく露量の平均値 (μg/person/day as As)

食品群	iAs		MMAs		DMA		AsB	
	LB 法	MB 法						
1 群	12.6	12.6	0.00	0.02	3.18	3.18	0.00	0.04
2 群	0.58	0.63	0.00	0.01	0.03	0.04	0.00	0.02
3 群	0.16	0.17	0.00	0.00	0.03	0.03	0.01	0.01
4 群	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 群	0.15	0.16	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01
6 群	0.25	0.28	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01
7 群	0.07	0.10	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
8 群	2.15	2.17	0.17	0.18	2.76	2.76	0.50	0.51
9 群	0.11	0.37	0.00	0.05	0.00	0.06	0.00	0.05
10 群	0.40	0.44	0.77	0.77	1.23	1.23	69.4	69.4
11 群	0.02	0.16	0.00	0.02	0.05	0.06	0.49	0.49
12 群	0.00	0.08	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02
13 群	0.49	0.49	0.00	0.01	0.12	0.12	1.03	1.03
14 群	0.05	0.07	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
合計	17.0	17.7	0.96	1.13	7.41	7.53	71.4	71.6

LB 法: 不検出となった値に 0 を代入して算出した。

MB 法: 不検出となった値に LOQ の半値を代入して算出した。

Table 8 メチル水銀の推定一日ばく露量と総水銀に対するメチル水銀の割合*

食品群	Me-Hg ($\mu\text{g/person/day as Hg}$)	Me-Hg の割合 (%)
1 群	0.22	83.3
10 群	3.87	79.6
11 群	0.13	87.2
1+10+11 群	4.23	—

* 調査した全ての試料から Me-Hg は検出された。

Table 9 2023 年に実施したトータルダイエット研究により推定した一日ばく露量の平均値と健康リスク評価

元素	HBGV ^a ($\mu\text{g/kg/day}$)	POD ^b ($\mu\text{g/kg/day}$)	出典及び参考値	推定ばく露量 ^c ($\mu\text{g/kg/day}$)	ハザード比 (HQ)	ばく露マージ ン (MOE)
B	96 – 200		US EPA (2004)、RfD (Oral): 200 $\mu\text{g/kg/day}$ (発達) 食品安全委員会 (2012)、TDI (Oral): 96 $\mu\text{g/kg/day}$	24.2	0.12 – 0.25	–
Al	143 – 300		EFSA (2008)、TWI (Oral): 1000 $\mu\text{g/kg/week}$ 食品安全委員会 (2017)、TWI (Oral): 2100 $\mu\text{g/kg/week}$	51.8	0.17 – 0.36	–
V	9		US EPA (1988)、RfD (Oral): 9 $\mu\text{g/kg/day}$ (5 倍、毛髪中システィンの減少)	0.25	0.03	–
Mn	140		US EPA (1995)、RfD (Oral): 140 $\mu\text{g/kg/day}$ (中枢神経系への影響) US EPA (1991)、RfD (Oral): 20 $\mu\text{g/kg/day}$ (体重及び組織重量の減少)	71.0	0.51	–
Ni	2.8 – 20		食品安全委員会 (2012)、TDI (Oral): 4.0 $\mu\text{g/kg/day}$ (皮膚炎) EFSA (2015) TDI (Oral): 2.8 $\mu\text{g/kg/day}$	2.87	0.14 – 1.02	–
iAs	0.21 – 0.30	3.0	US EPA (1991)、RfD (Oral): 0.3 $\mu\text{g/kg/day}$ (心臓血管、皮膚) EFSA (2005)、TWI(暫定): 1.5 $\mu\text{g/kg/week}$ JECFA (2011)、BMDL _{0.5} : 3.0 $\mu\text{g/kg/day}$ (ヒト肺癌)	0.32	1.07 – 1.50	9.3 [UFs ^d =40]
Se	4.0 – 5.0		US EPA (1991)、RfD (Oral): 5.0 $\mu\text{g/kg/day}$ (神経系、血液系、皮膚) 食品安全委員会 (2012)、TDI (Oral): 4.0 $\mu\text{g/kg/day}$	1.65	0.33 – 0.41	–
Mo	5.0		US EPA (1992)、RfD (Oral): 5.0 $\mu\text{g/kg/day}$ (膀胱) US EPA (1988)、RfD (Oral): 1.0 $\mu\text{g/kg/day}$ (食品)、1.0 $\mu\text{g/kg/day}$ (水) (顕著なタンパク尿)	3.33	0.67	–
Cd	0.36 – 1.0		食品安全委員会 (2024)、TWI (Oral): 7.0 $\mu\text{g/kg/week}$ EFSA (2011)、TWI (Oral): 2.5 $\mu\text{g/kg/week}$ WHO/JECFA (2013)、PTMI: 25 $\mu\text{g/kg/month}$	0.29	0.29 – 0.81	–

a: Health-based guideline value、b: Point of departure、c: ND=0.5LOQ を代入し、体重を 55 kg として算出した、d: 安全係数積、e: 1 群、10 群、及び 11 群のみの総和から算出した。

Table 9 つづき

元素	HBGV ^a ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)	POD ^b ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)	出典及び参照値	推定ばく露量 ^c ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$)	ハザード比 (HQ)	ばく露マージ ン (MOE)
Sn	2000		WHO/JECFA (1988)、PTWI: 14000 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{week}$	4.93	2.5×10^{-5}	—
Sb	0.4 – 6		US EPA (1987)、RfD (Oral): 0.4 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ (血液系、Other) EFSA (2004) TDI (Oral): 6 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ (3 倍)	0.026	0.005 – 0.064	—
Ba	20 – 200		US EPA (2005)、RfD (Oral): 200 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ (腎毒性) 食品安全委員会 (2012)、TDI (Oral): 20 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ (高血圧、心臓病、腎臓病)	7.80	0.04 – 0.39	—
Hg	0.57		WHO/JECFA (2011)、PTWI: 4 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{week}$ EFSA (2012)、TWI (Oral): 1.3 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{week}$	0.098	0.17	—
MeHg	0.19 – 0.29		WHO/JECFA (2007)、PTWI: 1.6 $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{week}$ 食品安全委員会 (2005)、TWI (Oral): 2.0 $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{week}$	0.077 ^e	0.27 – 0.41	—
Pb	–	0.5 – 1.5	EFSA (2010)、BMDL ₀₁ : 0.50 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ (発達神経毒性)、BMDL ₀₁ : 1.50 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ (血圧への影響)、BMDL ₁₀ : 0.63 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ (慢性腎臓病) US EPA (1989)、RfD (Oral): 3.0 $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ (膀胱、その他)	0.078 (0.197) ^f	—	2.5 – 19.2 [UFs ^d = 1]
U	0.2 – 3.0		EFSA Contam (2009)、TDI (暫定): 0.6 $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$ 食品安全委員会 (2012) TDI: 0.2 $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{day}$	0.03	0.01 – 0.13	—

a: Health-based guideline value、b: Point of departure、c: ND=0.5LOQ を代入し、体重を 55 kg として算出した、d: 安全係数積、e: 1 群、10 群、及び 11 群のみの総和から算出した、f: 幼児 (1-6 歳) の推定ばく露量。摂取カロリーを基に 0.688 倍した。体重は 15 kg として算出した。

Table 10 微量ミネラルの推定摂取量と日本人の食事摂取基準 (2020 年版)^aとの比較

元素	推定摂取量 (μg/person/day)	推定平均必要量 ^b (μg/day)	推奨量 ^b (μg/day)	耐用上限値 ^b (μg/day)
Cr	71.6	–	10 ^c (18 歳以上)	500 (18 歳以上)
Mn	3904	–	1500 – 4000 ^c	11000 (18 歳以上)
Fe	8003	3000 – 8000	4500 – 12000	20000 – 50000
Cu	1164	200 – 700	300 – 900	7000 (18 歳以上)
Zn	9560	2000 – 10000	3000 – 12000	30000 – 45000 (18 歳以上)
Se	90.7	10 – 30	10 – 35	100 – 450
Mo	183	10 – 25	10 – 30	500 – 600 (18 歳以上)

a: 「日本人の食事摂取基準 (2020 年版)」策定検討会報告書より引用

b: 性別及び年齢等により必要量は異なり、1 歳以上を対象としてその範囲を記載している。妊婦及び授乳婦に対する付加量は含まない。

c: 目安量

Table 11 幼児 (1 - 6 歳) の体重当たり喫食量 (g/kg) に関する確率密度分布のパラメーターに関するベイズ推定の結果

Food Group	Distribution	Parameter 1 ^a	Parameter 2 ^b	Parameter 3 ^c	Estimated theoretical mean	Estimated theoretical SD ^d
1	Tweedie	13.2 ± 0.2	1.79 ± 0.18	1.23 ± 0.04	13.2 ± 0.2	6.50 ± 0.17
2	Tweedie	7.04 ± 0.18	1.14 ± 0.08	1.56 ± 0.04	7.04 ± 0.18	4.88 ± 0.15
3	ZIG	0.923 ± 0.009	0.894 ± 0.042	0.417 ± 0.025	1.98 ± 0.08	2.24 ± 0.10
4	ZIG	0.919 ± 0.010	1.55 ± 0.08	3.44 ± 0.20	0.414 ± 0.013	0.366 ± 0.014
5	ZIG	0.740 ± 0.015	1.16 ± 0.06	0.389 ± 0.026	2.21 ± 0.10	2.57 ± 0.12
6	Tweedie	6.37 ± 0.24	3.15 ± 0.12	1.45 ± 0.02	6.37 ± 0.24	6.79 ± 0.25
7	ZIG	0.938 ± 0.008	1.32 ± 0.06	0.327 ± 0.018	3.78 ± 0.12	3.52 ± 0.13
8	Tweedie	6.53 ± 0.16	1.13 ± 0.07	1.53 ± 0.03	6.53 ± 0.16	4.45 ± 0.13
9	Tweedie	16.0 ± 0.6	3.71 ± 0.16	1.58 ± 0.02	16.0 ± 0.6	17.2 ± 0.7
10	Tweedie	1.95 ± 0.09	2.06 ± 0.08	1.53 ± 0.02	1.95 ± 0.09	2.39 ± 0.10
11	Tweedie	5.32 ± 0.12	1.17 ± 0.07	1.37 ± 0.04	5.32 ± 0.12	3.41 ± 0.10
12	Tweedie	13.6 ± 0.4	3.30 ± 0.16	1.49 ± 0.02	13.6 ± 0.4	12.6 ± 0.4
13	ZILN	0.998 ± 0.002	1.17 ± 0.05	2.26 ± 0.05	2.46 ± 0.08	2.40 ± 0.14

a: Parameter 1 は、Tweedie 分布の μ 、ZILN 分布と ZIG 分布の p を示す。

b: Parameter 2 は、Tweedie 分布の ϕ 、ZILN の e^μ 、ZIG 分布の α を示す。

c: Parameter 3 は、Tweedie 分布の θ 、ZILN 分布の e^σ 、ZIG 分布の β を示す。

d: standard deviation

Table 12 Pb 濃度 (ng/g) に関する確率密度分布のパラメーターに関するベイズ推定の結果

Food Group	Distribution	Parameter 1 ^a	Parameter 2 ^b	Estimated theoretical mean	Estimated theoretical SD ^c
1	Weibull	2.09 ± 0.98	0.961 ± 0.274	0.894 ± 0.222	0.557 ± 0.567
2	Gamma	8.67 ± 2.43	3.43 ± 1.00	2.54 ± 0.20	0.892 ± 0.154
3	Lognormal	2.05 ± 0.58	3.83 ± 1.08	5.06 ± 1.65	13.0 ± 8.3
4	Weibull	3.47 ± 1.74	0.944 ± 0.195	0.861 ± 0.173	0.324 ± 0.164
5	Lognormal	3.06 ± 0.51	2.72 ± 0.42	5.04 ± 0.88	6.79 ± 2.41
6	Gamma	1.89 ± 0.71	1.20 ± 0.48	1.63 ± 0.32	1.26 ± 0.38
7	Lognormal	2.48 ± 0.42	2.53 ± 0.43	3.83 ± 0.73	4.63 ± 1.96
8	Lognormal	4.95 ± 0.58	2.01 ± 0.26	6.34 ± 0.88	5.10 ± 1.76
9	Lognormal	0.734 ± 0.196	2.56 ± 0.44	1.13 ± 0.27	1.37 ± 0.59
10	Lognormal	5.41 ± 0.95	2.04 ± 0.35	7.10 ± 1.88	6.15 ± 3.92
11	Lognormal	0.531 ± 0.270	5.70 ± 2.28	2.47 ± 1.67	16.5 ± 18.4
12	Lognormal	0.276 ± 0.177	5.29 ± 1.59	0.942 ± 0.394	3.88 ± 2.76
13	Lognormal	3.60 ± 0.48	1.97 ± 0.17	4.53 ± 0.59	3.47 ± 0.74
14	Lognormal	0.214 ± 0.044	2.96 ± 0.51	0.386 ± 0.091	0.604 ± 0.272

a: Parameter 1 は、対数正規分布の e^μ 、ガンマ分布の α 、ワイブル分布の m を示す。

b: パラメーター2 は、対数正規分布の e^σ 、ガンマ分布の β 、ワイブル分布の η を示す。

c: standard deviation

Table 13 二次元モンテカルロシミュレーションを用いた幼児 (1-6 歳) の推定 Pb ばく露量 ($\mu\text{g}/\text{kg-bw/day}$) 分布

Food Group	Mean ^a	Standard deviation ^a	5 th percentile	25 th percentile	50 th percentile	75 th percentile	95 th percentile	Contribution ratio (%) ^a
1	0.012 ± 0.004	0.010 ± 0.013	0.001	0.004	0.009	0.016	0.031	7.53 ± 7.02
2	0.018 ± 0.002	0.014 ± 0.003	0.002	0.007	0.014	0.024	0.046	11.25 ± 9.37
3	0.010 ± 0.006	0.025 ± 0.027	0.000	0.000	0.002	0.007	0.039	4.75 ± 9.24
4	0.000 ± 0.000	0.000 ± 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.24 ± 0.31
5	0.011 ± 0.005	0.023 ± 0.018	0.000	0.000	0.003	0.011	0.047	5.81 ± 9.88
6	0.010 ± 0.003	0.016 ± 0.007	0.000	0.001	0.005	0.013	0.041	6.11 ± 8.63
7	0.014 ± 0.005	0.024 ± 0.017	0.000	0.002	0.006	0.016	0.054	7.88 ± 10.47
8	0.042 ± 0.009	0.047 ± 0.024	0.003	0.012	0.027	0.052	0.129	21.80 ± 17.10
9	0.018 ± 0.007	0.032 ± 0.021	0.000	0.001	0.006	0.019	0.071	9.04 ± 12.49
10	0.014 ± 0.005	0.023 ± 0.015	0.000	0.000	0.005	0.016	0.054	7.43 ± 10.72
11	0.013 ± 0.016	0.041 ± 0.088	0.000	0.001	0.002	0.007	0.041	4.95 ± 10.25
12	0.013 ± 0.003	0.037 ± 0.080	0.000	0.000	0.002	0.008	0.049	5.32 ± 10.69
13	0.011 ± 0.003	0.015 ± 0.007	0.001	0.003	0.006	0.013	0.037	6.74 ± 7.93
14	0.002 ± 0.001	0.002 ± 0.002	0.000	0.000	0.001	0.002	0.006	1.16 ± 1.91
Total	0.188 ± 0.028	0.121 ± 0.076	0.076	0.118	0.160	0.220	0.374	—

a: 二次元モンテカルロシミュレーションに用いた 2000 個のパラメーターセットにおける推定の不確かさ

Table 14 年齢層別体重当たり喫食量 (g/kg-bw) の平均値

Food Group	All	1 – 6 years old	7 – 19 years old	20 – 59 years old	60 – 79 years old	≥80 years old
1	5.936	13.18	9.079	5.216	4.858	5.806
2	3.232	7.034	4.089	2.753	3.080	2.824
3	0.7019	1.982	1.151	0.5360	0.5933	0.6379
4	0.2146	0.4139	0.2850	0.2052	0.1887	0.1627
5	1.228	2.203	1.329	0.965	1.343	1.276
6	2.161	6.354	2.159	1.063	2.616	2.947
7	1.916	3.786	2.027	1.509	2.052	2.016
8	3.926	6.527	4.816	3.178	4.092	4.132
9	11.93	15.96	9.50	11.59	12.50	11.59
10	1.233	1.942	1.200	0.914	1.449	1.447
11	2.701	5.311	4.038	2.607	2.224	1.970
12	3.190	13.548	7.492	1.712	2.281	2.622
13	1.351	2.395	1.578	1.195	1.331	1.266

Table 15 体重当たり喫食量 (g/kg-bw) の算出方法による差異

Food group	重み付けなし ^a	重み付け法 1 ^b	重み付け法 2 ^c
1	5.936	5.490	6.366
2	3.232	2.952	3.381
3	0.7019	0.6429	0.7615
4	0.2146	0.2021	0.2300
5	1.228	1.077	1.214
6	2.161	1.743	2.038
7	1.916	1.683	1.904
8	3.926	3.481	3.933
9	11.93	10.78	11.81
10	1.233	1.052	1.175
11	2.701	2.574	2.951
12	3.190	2.932	3.706
13	1.351	1.226	1.384

a: 標本 (≥ 1 歳) の算術平均値

b: 年齢層別的人口推計による重み付け平均値で、重み付け係数は次の値を用いた。1 – 6 歳: 0.0473、7 – 19 歳: 0.1149、20 – 59 歳: 0.4952、60 – 79 歳: 0.2554、 ≥ 80 歳: 0.0872

c: ばく露期間による重み付け平均値で、重み付け係数は次の値を用いた。1 – 6 歳: 0.0795、7 – 19 歳: 0.1646、20 – 59 歳: 0.5063、60 – 79 歳: 0.2532、 ≥ 80 歳: 0

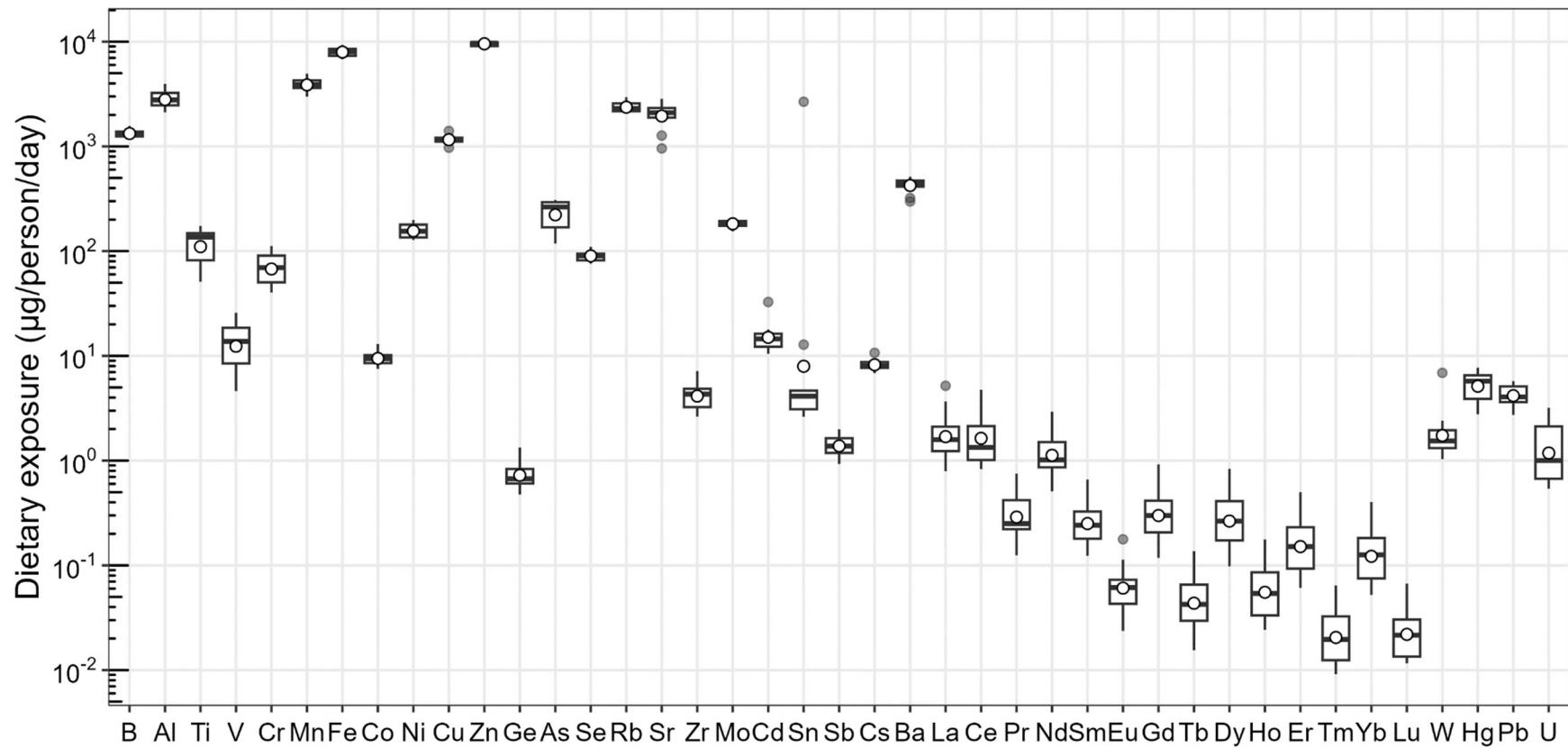


Fig. 1 2023 年に 10 地域の TD 試料から推定した元素類の推定一日ばく露量

ND となった測定結果には LOQ の半値を代入した。白丸: 幾何平均値; 横線: 中央値; 箱: 四分位範囲; ひげ: [第 1 四分位点-1.5×四分位、第 3 四分位点+1.5×四分位] 範囲内の最大/最小値; 灰色丸: 外れ値

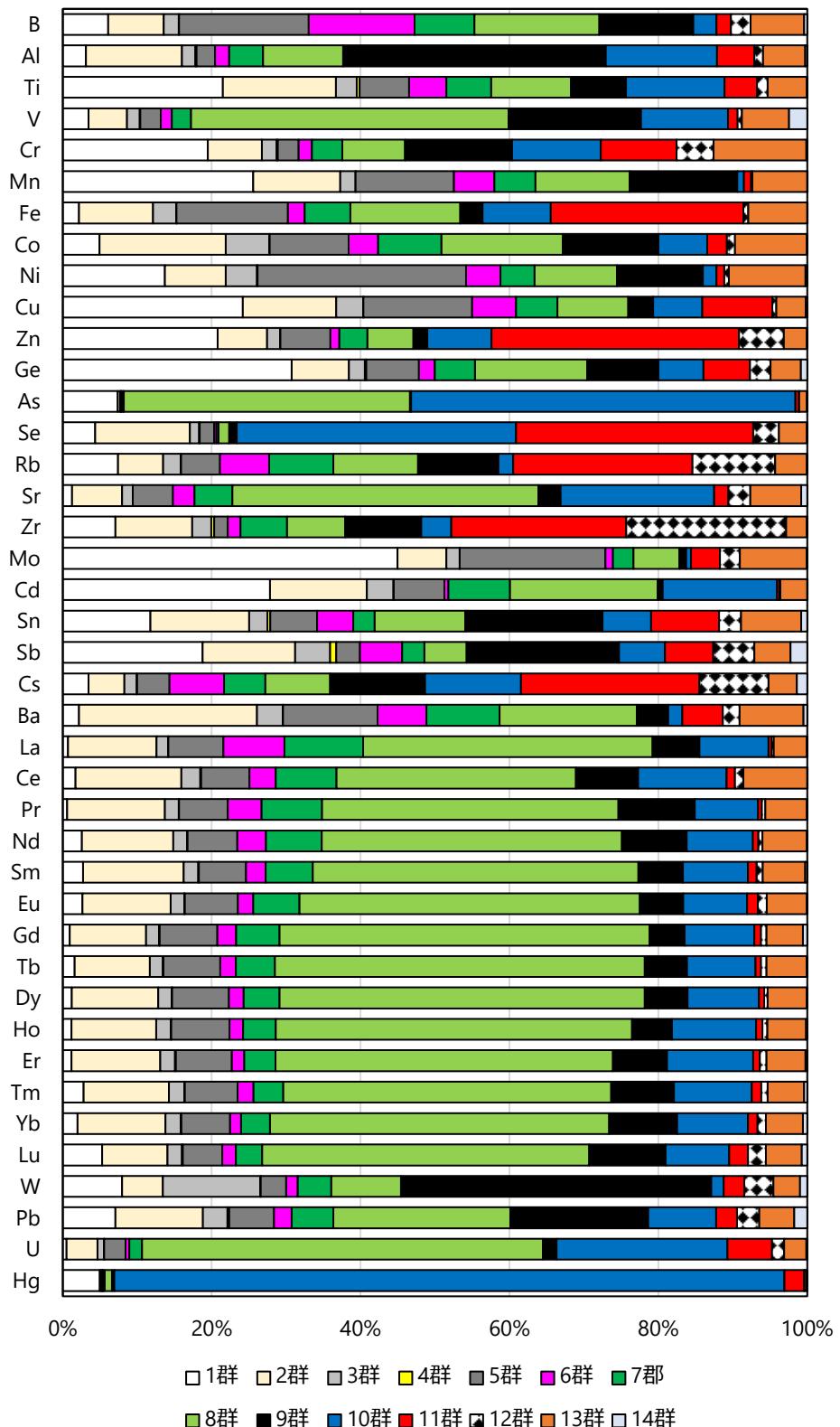


Fig. 2 2023 年に行った TD 研究における有害元素ばく露量の各食品群の平均寄与率
ND となった測定結果には LOQ の半値を代入して算出した。

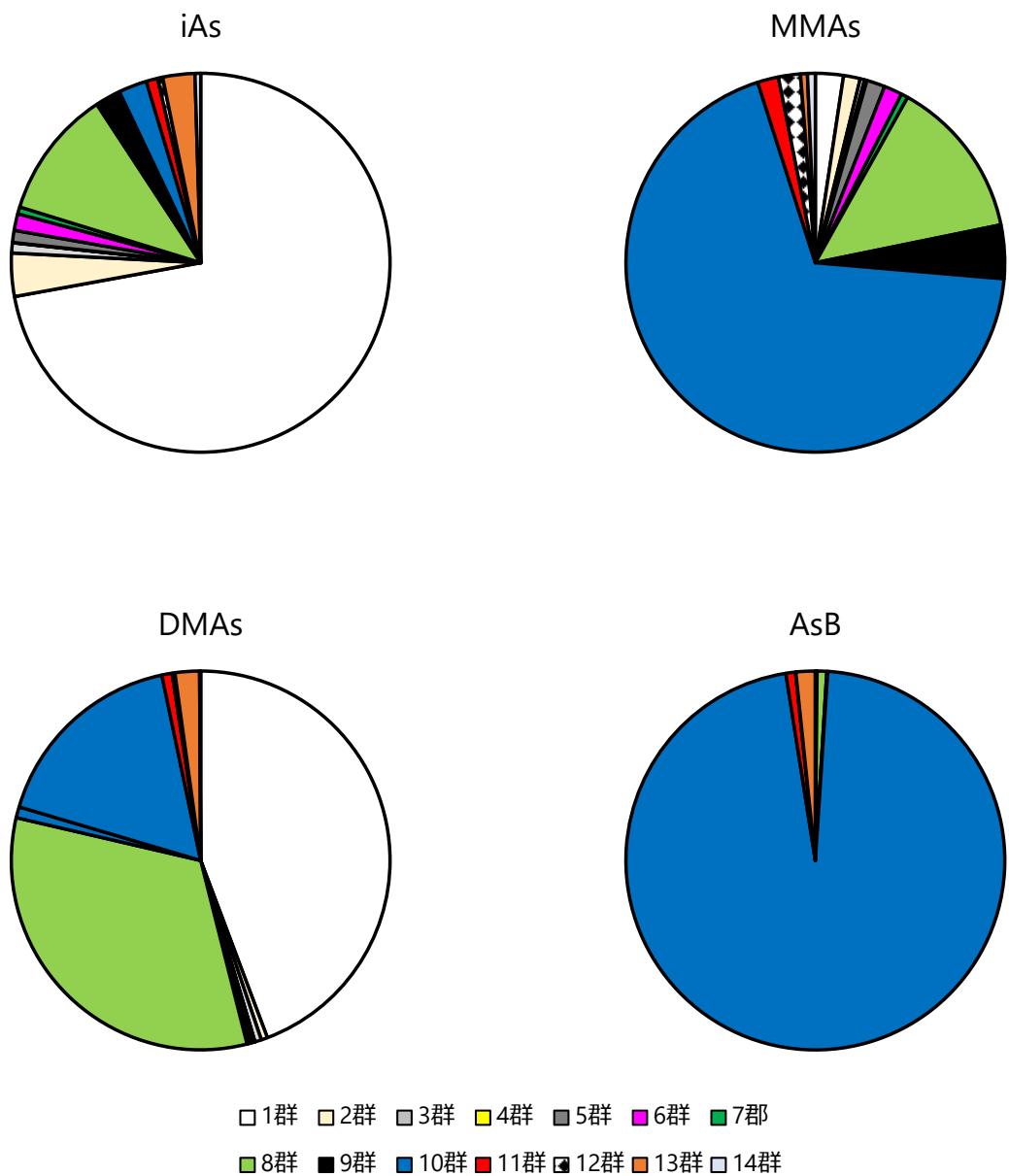


Fig. 3 As 化学種のばく露量における各食品群の寄与率
ND となった測定結果には LOQ の半値を代入した。

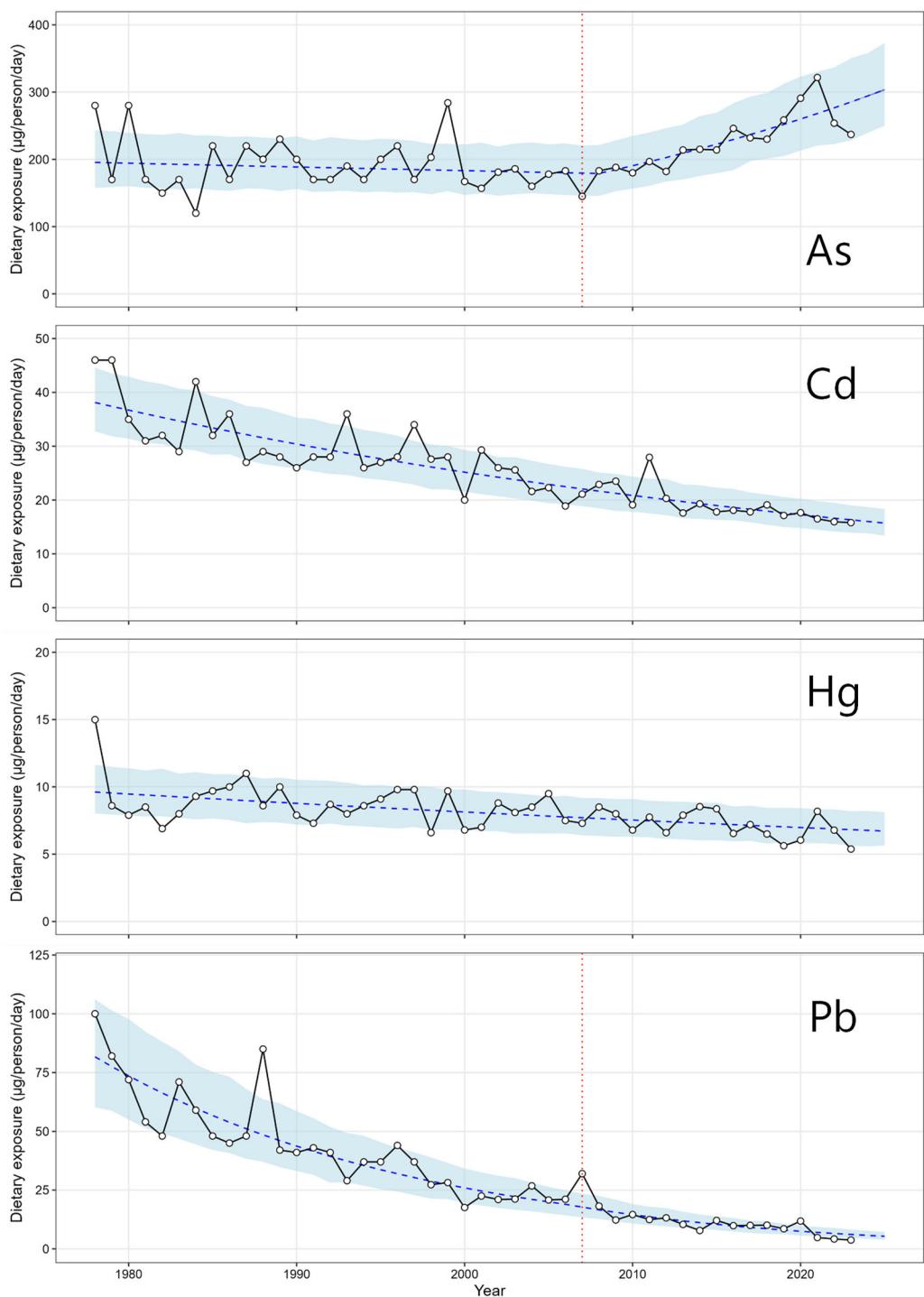


Fig. 4 As, Cd, Hg, Pb の推定一日ばく露量の経年変動

1978 年のデータは 1977-1978 年に行ったデータ。ND となったデータには 0 を代入し平均値を算出した。青破線はトレンドを、水色のエリアは 80% 予測区間を、赤点線は変化点を示す。

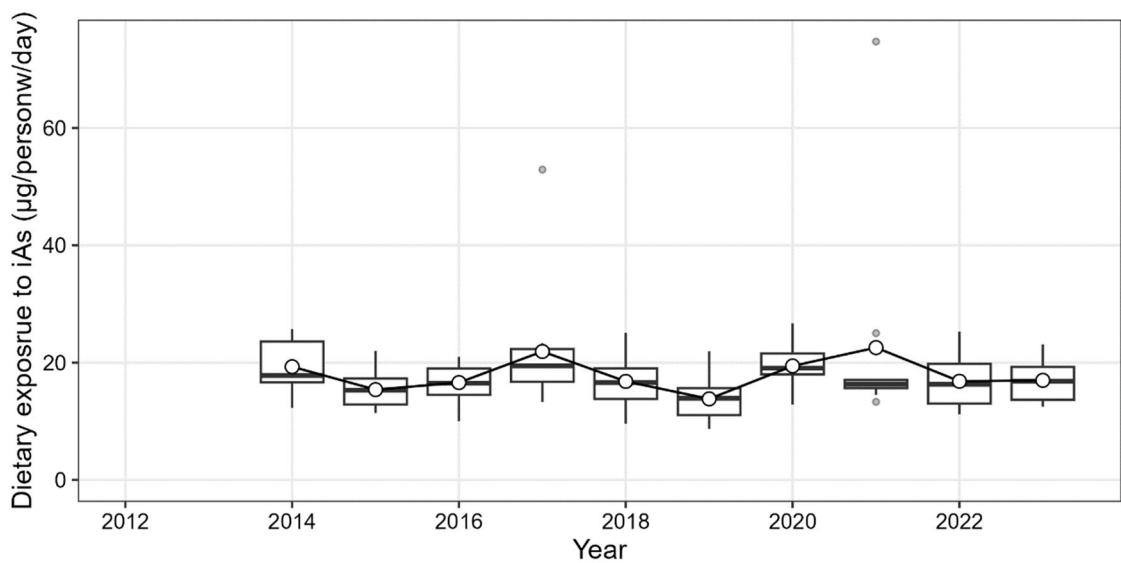


Fig. 5 iAs のばく露量の経年変動

NDとなったデータには0を代入し算出した。白丸: 平均値; 横線: 中央値; 箱: 四分位範囲; ひげ: [第1四分位点-1.5×四分位、第3四分位点+1.5×四分位]範囲内の最大/最小値; 灰色丸: 外れ値

秤量

↓ 試料: 1.0 g

抽出

- ↓ 分析用試料 1.0 g を量りとり、10 mL ガラス製ネジロ試験管に入る
- ↓ 0.3 mol/L HNO₃ を 2 mL 添加し、ボルテックスミキサーで攪拌する
- ↓ 試験管を 100°C で 2 時間加熱後 (30 分毎にボルテックスミキサーで攪拌)、室温で放冷
- ↓ 超純水 5 mL を加え、ボルテックスミキサーで攪拌した後、遠心分離 (3500 rpm, 10 min) で得られた上清を 20 mL メスフラスコに分取。この操作を計 3 回行う
- ↓ 超純水で 20mL に定容
- ↓ 定容後の溶液 2 mL に対し、濃塩酸 15.3 mL を添加し、0.2% (w/v) となるようチオ尿素を添加、攪拌後 20 分静置 (①)

固相抽出

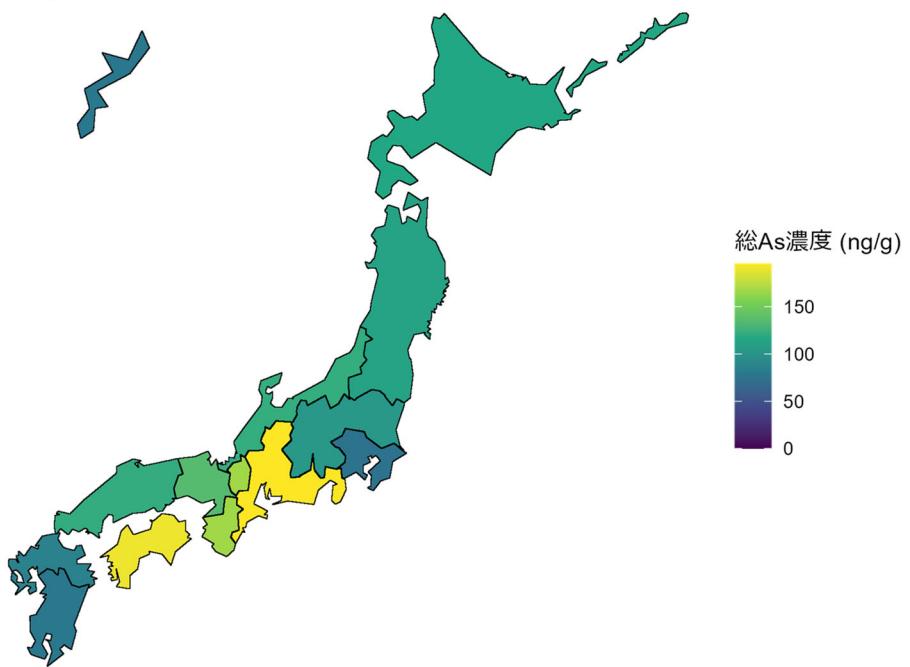
- ↓ SupelcleanTMENVITM-Chrom P SPE チューブ (250 mg, volume 3 mL, Supelco) をメタノール 3 mL、超純水 3 mL、10 mol/L HCl 2 mL でコンディショニング (流速: ca. 0.6 mL/min)
- ↓ ①を全量負荷 (流速: ca. 0.6 mL/min)
- ↓ 10 mol/L HCl 2 mL で洗浄 (流速: ca. 0.6 mL/min)
- ↓ 乾燥 (10 min)
- ↓ 超純水 2 mL で溶出 (流速: ca. 0.6 mL/min)
- ↓ 内標準物質として In を添加し、超純水で 20 mL に定容

ICP-MS

- As(III)標準溶液をもちいて、0.7% (v/v) HCl、0.3 mol/L HNO₃ を含む検量線溶液を 10 点 (0.025 – 5.0 ng/mL) 作成
- KED モードで定量分析

Fig. 6 無機ヒ素の簡易分析法のフロー

(A)



(B)

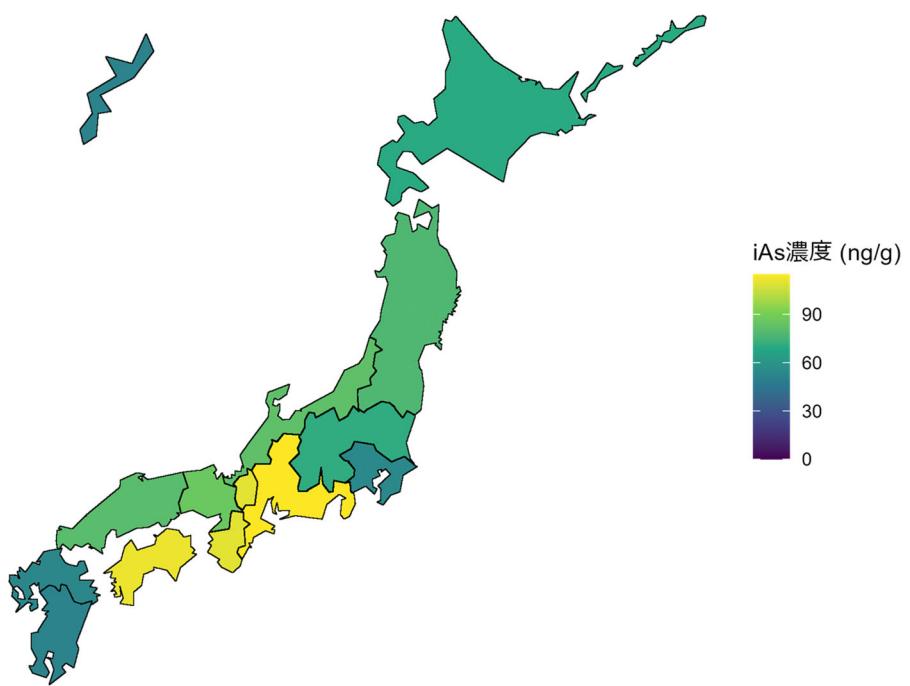
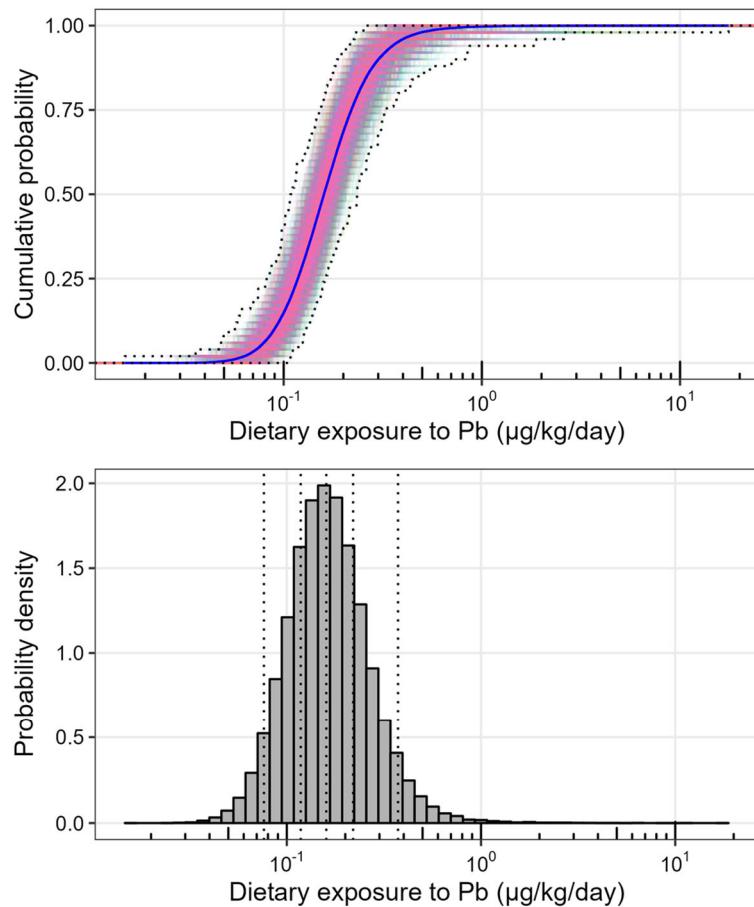


Fig. 7 地域ブロック産精白米に含まれる平均総ヒ素 (A) 及び無機ヒ素 (B) 濃度

(A)



(B)

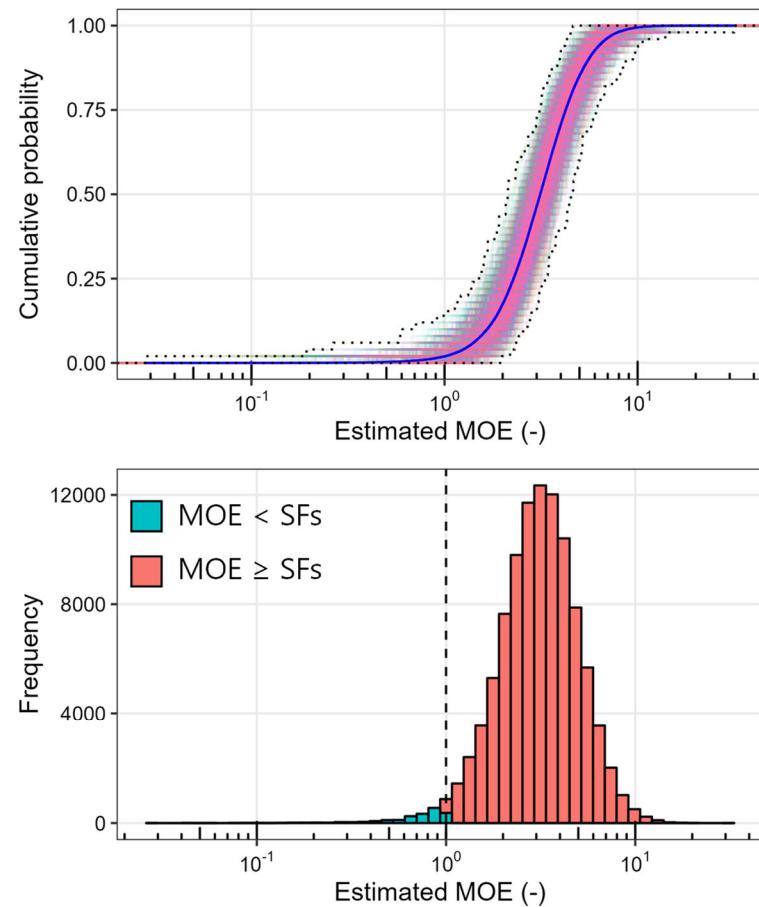


Fig. 8 幼児 (1 – 6 歳) に対する鉛のばく露量分布 (A) 及びばく露マージン分布 (B)。上段は経験的累積分布関数 (eCDF) を下段はヒストグラムを示す。上段の青線はアンサンブルシミュレーションから取得された eCDF を、他の色の線は 2000 個のパラメーターから取得された eCDF を、点線の領域はアンサンブル eCDF の最も広い範囲である確率ボックスを示す。

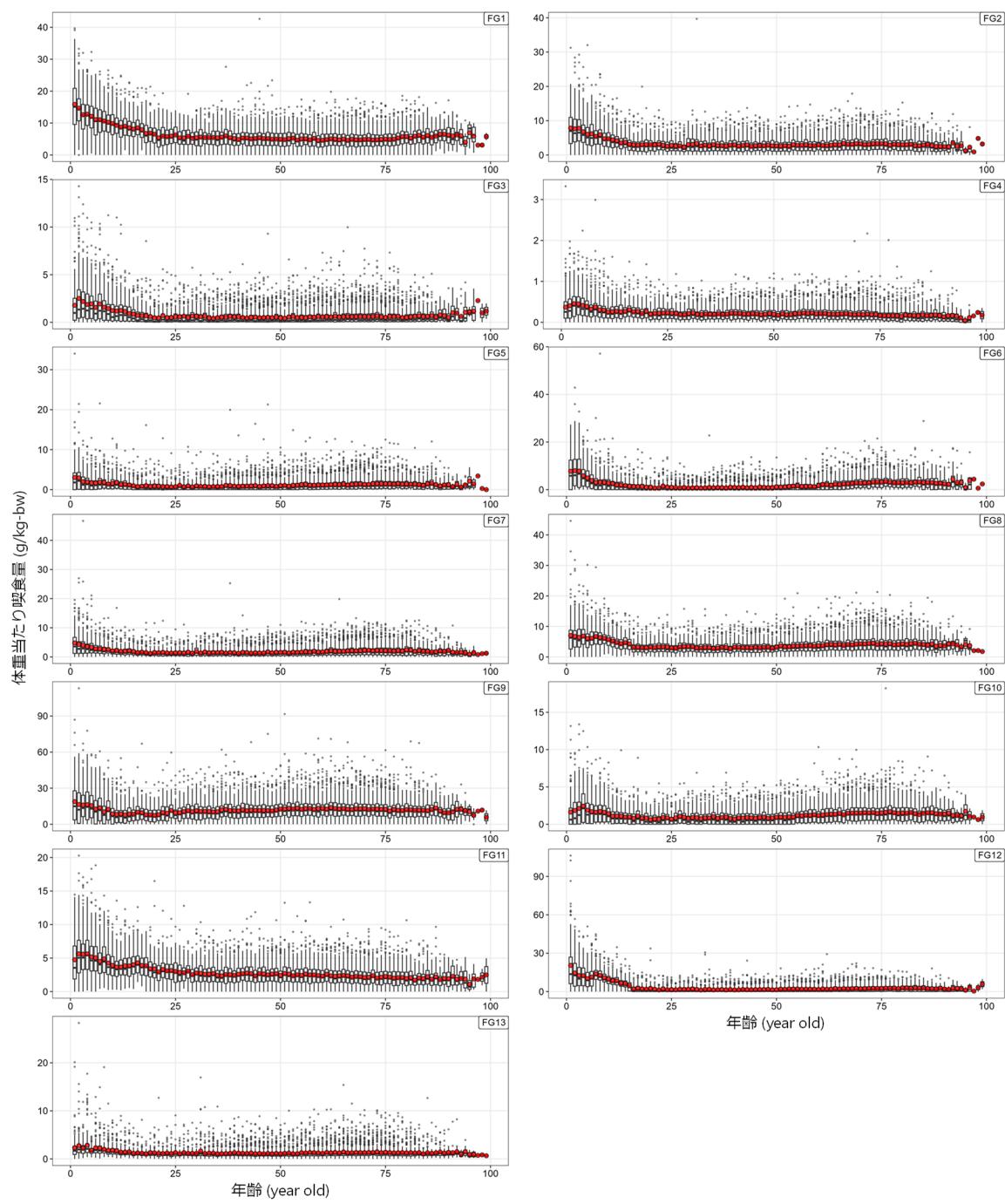
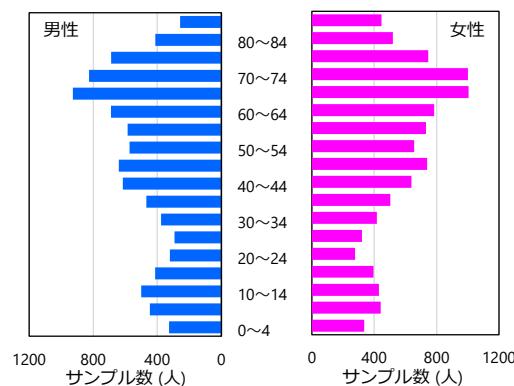


Fig. 9 各食品群の体重当たり喫食量の年齢による変化

2017~2019年の国民健康・栄養調査
(喫食量のデータがあるものの総和)



2017~2019年の人口推計
(e-Statのデータを利用、平均値)

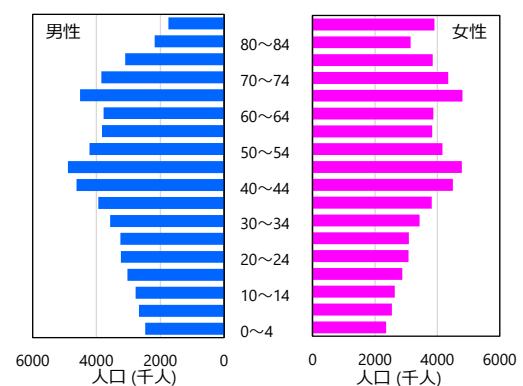
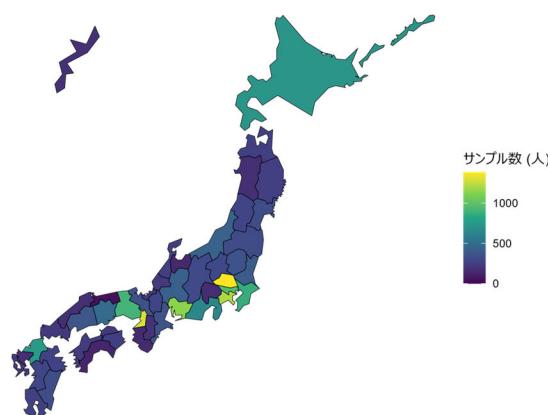


Fig. 10 国民健康・栄養調査と人口推計データにおける人口ピラミッドの比較

*国民健康・栄養調査は1歳以上が対象である

2017~2019年の国民健康・栄養調査
(喫食量のデータがあるものの総和)



2017~2019年の人口推計
(e-Statのデータを利用、平均値)

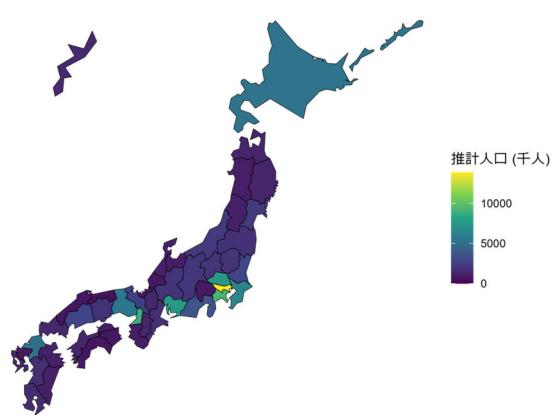


Fig. 11 国民健康・栄養調査と人口推計データにおける人口分布の比較