

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

加工食品の輸出拡大に向けた  
規格基準設定手法の確立のための研究

令和2～4年度 総合研究報告書  
(20KA1009)

研究代表者 中村 公亮

2023年5月

## 目 次

### I. 総括研究報告

加工食品の輸出拡大に向けた規格基準設定手法の確立のための研究 . . . . . 1

中村 公亮

### II. 分担研究報告

1. 海外の残留農薬の規格基準の設定の際に議論されたデータの情報解析と加工係数予測モデルの開発 . . . . . 27

中村 公亮、山崎 由貴

2. 調理加工係数のデータベースの構築 . . . . . 40

吉池 信男

3. 加工食品の摂取状況を把握するための全国食事調査のデータ解析 . . . . . 48

佐々木 敏

III. 研究成果の刊行に関する一覧表 . . . . . 100

## I. 総括研究報告書

## 加工食品の輸出拡大に向けた規格基準設定手法の確立のための研究

研究代表者	中村 公亮	国立医薬品食品衛生研究所食品部
研究分担者	吉池 信男	青森県立保健大学大学院健康科学研究科
研究分担者	佐々木 敏	東京大学大学院医学系研究科
研究分担者	山崎 由貴	国立医薬品食品衛生研究所食品部

### 研究要旨

本研究では、最新の全国食事調査データを用いて加工食品からの有害な化学物質の摂取量(特に残留農薬の摂取量)を精密に推定できる新たな手法の開発を目的とする。食品中の残留農薬は、科学的根拠と国際整合性を踏まえ、リスク分析がなされ、残留基準が設けられ厳しく規制されている。そのような中で、人が日々の食事から残留農薬の摂取量を精密に推計し、人へのリスク分析に生かすことは健康を護るための安全な食品を確保する上で極めて重要である。食は時代によって常に変化しているため、我が国の喫食の実態に合わせて最新の情報を取り入れ推計することが求められる。食の安全に対する関心は国内のみならず、海外でも高い。したがって、我が国の最新の食事調査データを用いて、残留農薬の摂取量の推定を行い、科学的エビデンスに基づいた精密なばく露評価を行うことは、安心安全な日本産食品の輸出拡大にもつながる。本研究では、①わが国の食品の摂取量、②調理加工係数、③国際機関で残留農薬の評価に用いられる加工係数を調査し、それらのデータを統合することで、わが国の実態に合致した食事を通じた残留農薬の摂取量を精密に推計する手法を開発した。

#### A. 研究目的

本研究では、近年行われた全国食事調査データを活用し、加工食品からの化学物質の摂取量を精密に推定できる新たな手法の開発を目的とする。食の安全を確保していく上では、日々の食事を通じて、残留農薬、動物用医薬品、放射性物質等の有害な化学物質の摂取量を精密に推計し、人へのリスク分析に生かし、食の安全性を確保することが求められる。現在、加工

食品からの化学物質の摂取量を推計する際には、平成 17~19 年度に行われた食品摂取頻度・摂取量調査データを基に平成 22 年度に集計されたデータが考慮された手法が用いられている。しかしながら、食は時代によって変化するため、我が国の加工食品の喫食の実態に合わせて推計する必要がある。食の安全に対する関心は国内のみならず海外でも高い。有害な化学物質の摂取量を推定し安全性を確認す

ることは、日本の食の安全性に関する輸出先国の評価、ひいては輸出拡大につながることを期待される。本研究では、わが国の輸出重点品目とされる作物と加工食品に対して、輸出先国の残留農薬の規格基準の設定に関する調査、ならびに、これまでに未対応であった①わが国の最新の食品の摂取量、②調理加工係数、③加工係数に関する調査を実施し得られたデータを取り纏めデータベース化し、さらにはこれまでに作物に検出された残留農薬を例に取り上げ、残留農薬の摂取量を精密に算出して、食事による短期ならびに長期ばく露量を推計するツールを開発する。令和2年度は、わが国の最新の食品の摂取量、調理加工係数、加工係数に関する調査に必要な情報の調査、データの収集、整理ならびに解析を行った。令和3年度は、1. 令和2年度厚生労働省委託事業「食品摂取頻度・摂取量調査」において取り纏められた食事調査データから、食事記録をもとに食品を加工レベルに応じて分類するシステムを構築し、日本人における加工食品の摂取状況、ならびに、国内外の食事調査法の相違点を調査、2. 日本食品標準成分表2015年版（七訂）に掲載されている加工食品について、原材料的食品の配合割合を推測する方法について整理、3. 輸出拡大が期待されている日本産農作物のうち、りんご、ぶどう及びトマトに着目し、これらの加工食品における加工係数の予測法の検討を行った。令和4年度は、1. 超加工食品の摂取量と、食事の質、食品選択の価値観およびフードリテラシー、ならびに年齢、性別、喫煙状況等の個人的特性との関連を調査、2.

日本食品標準成分表2020年版（八訂）に掲載されている加工食品2,428食品について、原材料的作物への分解係数（調理加工係数）を推定し、データベース化、3. 生鮮食品から加工食品への加工過程における残留濃度の変化率（加工係数）の予測モデルを開発した。本研究で収集した①～③の情報をもとに、残留農薬等の長期ならびに短期ばく露量を推計可能なツールを開発し、算出されたばく露量と国内外の基準値と比較して考察した。

## B. 研究方法

### ①加工食品の摂取状況を把握するための全国食事調査のデータ解析（佐々木分担報告）

#### （研究1）全国食事調査の実施とデータ集計

平成30年度までの全国食事調査（食品摂取頻度・摂取量調査）では1歳以上79歳以下の日本人4032人の調査をすることとし、2016～17年に参加者の約6割の食事記録調査を行い（第1ラウンド）、2017～18年に残りの参加者の調査を行った（第2ラウンド）。さらに、幼児の食事データを収集するため、2019年11月から2020年8月にかけて1～6歳児を対象とした追加の食事調査を実施した（小児の追加調査）。参加者はほぼ健康と見なされる1歳以上6歳以下の日本人432人とした。予定参加者数は、平成28～30年度に実施した調査（東京大学倫理委員会 No. 11397）における参加者数（約400人）に推定脱落率（8%）を考慮して設定した。

第1・第2ラウンドと同様に、全国32都道府県（北海道、岩手県、宮城県、山形県、茨城県、群馬県、埼玉県、千葉県、東

京都、神奈川県、新潟県、富山県、山梨県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県、徳島県、愛媛県、福岡県、熊本県、大分県、沖縄県）に在住する栄養士（以下、調査担当栄養士と呼ぶ：159人）が実施可能性を考慮して選んだ者（同僚、その近隣住民など）を対象とした。なお、調査担当栄養士からは事前に文書による承諾を得た。参加者に対しては調査担当栄養士から本調査の目的を説明し、文書による調査参加への同意を得た。

2019年10～11月に、属性ならびに通常の食事習慣を含む生活習慣ならびに健康状態等に関する基本質問票、簡易型自記式食事歴法質問票（BDHQ3y）による調査を実施した。また、身長と体重を測定した。

半秤量式食事記録は、2019年11月（秋季）、2020年2月（冬季）、6月（春季）、8月（夏季）に不連続の2日間ずつ、合計8日間にわたって実施した（以下、食事記録と呼ぶ）。砂糖および甘味類・油・調味料・副材料として用いる小麦粉（揚げ衣など）は、1回の摂取量が少ない割に摂取頻度が高く、秤量に伴う負担が大きい。これらの食品の秤量を義務化すると、食事記録全体の丁寧さに悪影響を及ぼすと考えられるため、秤量せずに名称だけを記録すればよいこととした。参加者は記録が終了し次第、調査担当栄養士に食事記録用紙を提出し、その後、調査担当栄養士、または、調査事務局にて、記録内容の確認を行い、記録内容に不明な点などがあれば、調査担当栄養士を通じて、参加者に記

録内容に関する質問を口頭・電話・メールなどにより行い、参加者の可能な範囲で、不明確な記録内容についてはより具体的な回答をしていただくよう再調査を行った。砂糖および甘味類・油・調味料・小麦粉の摂取重量が記録されていない場合には、調査事務局にて一般的なレシピや各種資料をもとに摂取量を推定した。

この方法で収集した小児の追加調査のデータを第1・第2ラウンドのデータと統合し、摂取量の集計を行った。食事データ集計から電子データ化までの概要を図1に示す。集計の参加者は食事調査の第1ラウンド・第2ラウンド・小児の追加調査の各8日間の食事記録調査のうち、少なくとも1日に参加した者とした。年齢区分ごと（1～6歳、7～64歳、65歳以上、14～50歳の妊娠可能年齢の女性）と参加者全体（1歳以上）における全2228食品の摂取状況について、参加者全体の摂取量（g/人・日）の分布（平均値と標準偏差）、各食品の登場回数（人・日）、摂取者内における摂取量（g/人・日）の分布（平均値と標準偏差、および0・50・95・97.5・99・100パーセンタイル値）、摂取者の平均体重（kg/人・日）を集計し、表にまとめた。同様の集計を128食品群に対しても実施した。食品群摂取量の算出にあたっては、重量換算係数を用いて各食品を生重量に変換してから食品群の摂取量に合算した。

## （研究2）加工食品の定義と分類に関する先行研究のレビュー

食事調査のデータから加工食品の摂取量を算出するためには、何を加工食品とするか定義・分類する必要がある。そこで、

諸外国における加工食品の分類システムについて PubMed と Web of Science を用いた先行研究の調査を行った。検索語には processed food、classification、definition、およびそれらに関連する用語を組み合わせて使用した。その結果、分類システムとして最も広く用いられていることが明らかになった NOVA の食品分類を和訳した。また、先行研究で示された NOVA の食品分類では、加工レベルごとに食品の例がまとめて羅列されていたため、各食品が加工レベルに応じてどのように分類されているのかわかりにくかった。そこで、NOVA で例示された各加工レベルに属する食品を日本標準食品成分表に記載されている食品群ごとに分けて分類し整理した。

また、近年、食品加工の程度が高い ultra-processed foods (超加工食品) の摂取量と健康影響について注目が高まっているため、研究状況を把握することを目的とした先行研究のレビューを行った。2021 年 3 月 2 日に PubMed を用いて以下の検索語で検索を行った：(ultra-process\*[TIAB] or ultra process\*[TIAB] or ultraprocess\*[TIAB] ) AND (food[TIAB] OR foods[TIAB]) AND NOVA。検索フィルターを用いて、対象論文の言語を英語と日本語に限定した。得られた論文について、タイトル、著者名、雑誌や発行年などの書誌情報に加え、研究が実施された国、研究デザイン、参加者 (子供、大人など)、調査名、食事アセスメント方法、解析における ultra-processed foods の変数としての取り扱い (総エネルギー摂取量に対するエネルギー寄与率や

総食品摂取重量に対する重量寄与率など)、加工食品との関連をみた因子などについて表にまとめ、考察した。

### (研究 3) 日本人の食事記録に基づく加工食品の摂取状況の把握

日本人の加工食品の摂取状況を把握するためには、食品を加工レベルに応じて分類するシステムを構築する必要がある。そのため、まずは過去に行われた比較的小規模かつ詳細な食事記録調査のデータを用いて、分類システムの構築を試みることにした。調査は 2013 年 2~3 月にかけて 23 都道府県で実施された。参加者は 20~69 歳の健康な女性 196 人と男性 196 人である。参加者の中に管理栄養士や医療従事者、医師や管理栄養士による食事療法を受けたことがある人、糖尿病による教育入院歴がある人、妊娠中・授乳中の人は含まれなかった。参加者は非連続の 4 日間 (夜勤の日とその前後の日を除く勤務日 3 日および非勤務日 1 日) に、摂取したすべての食品と飲料を食事記録用紙に記録した。各地域の調査担当管理栄養士が食事記録のつけ方とデジタルスケール (KD-812WH、タニタ) の使い方を説明した。食事記録用紙は 4 つの食事場面 (朝食・昼食・夕食・間食) に分かれており、各場面で以下の項目を記録するよう求めた：①料理名、②食品名 (飲み物や料理に含まれる食材を含む)、③料理が手作りか、既製品か、あるいはその他 (新鮮な野菜や果物など生の状態で食べる食品) か、④食べた食品のおおよその量または測定重量、⑤食事をとった場所。また、市販の商品については商品名とメーカー名、外食につ

いてはメニュー名と店舗名を記録してもらった。包装食品については、パッケージをとっておくようお願いした。

食事記録用紙とパッケージは、記録後すぐに各施設の調査担当栄養士に提出された。調査担当栄養士はできるだけ早く記録用紙を確認し、必要に応じて参加者に問い合わせを行った。各施設の管理栄養士は、日本食品標準成分表を用いて、統一された手順で各食品に食品番号を付与した。包装食品と惣菜に含まれる食材の摂取重量は、おおよその分量、レストランやメーカーのホームページ、料理本、原材料表示、栄養成分表示などから、できるだけ正確に推定した。

食事記録用紙の食品名の欄に記録されたすべての食品を、調査担当栄養士が以下の3つに分類した。(1) 自家製食品：家庭で調理された食品(例：炊いた飯、家庭で焼いたパン)、(2) 市販食品：惣菜に含まれる食材や、製造業者によって加工された食品(例：レトルトカレー、加工肉、チョコレート)、(3) その他の食品：家庭で調理する前の未加工の食材(新鮮な野菜、肉、魚、牛乳など)や、家庭での調理時や食卓で加える調味料(サンドイッチを作るときに使うマヨネーズなど)。これらの食品分類と食品番号、重量は、研究事務局の2人の管理栄養士が再確認した。

体重(0.1 kg 単位)と身長(0.1 cm 単位)は、軽装かつ裸足の状態で調査担当栄養士または医療従事者が標準的な手順で測定した。BMI (body mass index) は体重(kg)÷身長(m)の二乗として算出した。また、性、年齢、喫煙状況に関する情報を自記式質問票により収集した。

次に、食事記録用紙の料理名の欄に登場する、サプリメントを除く延べ 25,989 個の料理を、ノースカロライナ大学チャペルヒル校(UNC)の研究者が開発した分類システムに基づき、食品の工業的加工のレベルに応じて分類した。

ステップ1：加工されていない食品や自家製の作られた料理は、各食材に対して分類を行う(例：家庭で作る味噌汁の味噌、水、ほうれん草、卵など)。

ステップ2：単一の食材から構成される既製の料理(例：インスタントラーメン)については、食材に対して分類を行う。

ステップ3：複数の食材を使用し、パッケージ食品の商品名、ブランド名、メーカー名、ファーストフード店のチェーン名などがある既成の料理は、料理に対して分類を行う。(マクドナルドで買ったハンバーガーは、その食品成分に分解せず、1つの商品として分類する)

ステップ4：その他、ブランドやメーカーを特定する情報がない既製の料理(例：ブランド名のわからない調理済みのハンバーガー)については、以下の2つの方法で分類する。[方法A] 全品目を工業的に製造された食品とみなす(すなわち、料理を食材に分解せず、料理ごと分類する)、または [方法B] 全品目を職人によって手作りされた食品とみなす(よって、料理を食材まで分解し、食材ごとに分類を適用する)。ステップ1と2、およびステップ4の方法Bでは、日本食品標準成分表の食品番号をもとに、各食品が市販食品か否かを



考慮して分類を行った。例えば、食品コード 16042「ウーロン茶／浸出液」の場合、自家製の食品は「未加工、最小限の加工」の категорияに、市販の食品は「基本的な加工」の categoriaに分類した。既製品に「自家製」または「その他」の食品が含まれている場合（例：市販の中華餃子に家庭で調味料を加えて食べた場合）、「自家製」または「その他」の食品を市販品から分離し、食品番号に基づいて個別に分類した。ステップ 4 の方法 A では、すべての料理が、UNC の分類体系において、冷凍食品や保存食品ではなく、調理済み食品や加熱食品であると仮定して分類した。

参加者一人一人の食品摂取量を 4 日間の平均として算出し、参加者の特性ごとに、UNC 分類に従って、(1) 未加工／最小限の加工、(2) 基本的な加工、(3) 中程度の加工、(4) 高度に加工された食品、の 4 つの加工レベルごとに摂取量を示した。摂取量は、食品の総摂取重量(g/日)と総エネルギー摂取量 (kcal/日) に加え、総摂取重量に対する各カテゴリーの食品の重量寄与率(%）、総エネルギー摂取量に対する各カテゴリーの食品のエネルギー寄与率 (%)として示した。参加者特性の categoriaによって「高度な加工」に分類される食品の重量寄与率とエネルギー寄与率が異なるかどうかを検討するため、対応のない t 検定または一元配置分散分析を行った。categoria間には Tukey の多重比較検定を行った。P<0.05 の場合に有意差ありとした。統計解析には SAS 9.4 を用いた。

#### (研究 4) 各国の食事調査法のレビュー

各国の食事調査法の違いを明らかにするため、世界各国の国を代表する規模の食事調査に関するレビュー論文から、各調査に関する情報を抽出した。抽出した情報は、各レビュー論文に重複する調査項目、すなわち国名、調査名、調査年、参加者数、調査参加者の年齢層、食事調査法とした。一つの国に対して複数の調査（異なる年に行われた同一の調査など）の情報がある場合、調査年が最新の情報のみを抽出した。ただし、異なる調査で調査参加者の年齢が全く異なる場合には、それぞれの調査を分けて表にまとめた。必要な情報に応じて食事調査に関する文献を参照し、情報を補足した。

#### (研究 5) 超加工食品の摂取量と食事の質との関連の検討

2013 年に日本の 20 地域（23 道府県）に住む 20～69 歳の日本人成人 388 人から得られた食事記録のデータを使用した。参加者は、4 日間にわたって食べたり飲んだりしたものを全て計量して記録した。記録されたすべての食品を、UNC の研究者らが開発した食品分類の枠組みを用いて、加工レベルが低い順に「未加工／最小限の加工」「基本的な加工」「中程度の加工」「高度な加工（超加工食品）」の 4 段階に分類した。食事の質は、Healthy Eating Index-2015（アメリカ人のための食事ガイドラインの順守の程度を測る指標）と Nutrient-Rich Food Index 9.3（食事全体を栄養素密度の観点から評価する指標）の 2 つを使って評価した。また、外食や惣菜など家庭外で調理された料理を、①食材に分解せずに料理ごと加工レベル別に分類す

る場合（料理レベルでの分類）と、②料理に含まれる食材を個別に分類する場合（食品レベルでの分類）で、超加工食品の推定摂取量や、食事の質との関連が異なるかどうかを調べた。

#### （研究 6）超加工食品の摂取量と尿中リン・カリウム・ナトリウム排泄量との関連の検討

研究 1 と同じ食事記録データを用いた。ただし、参加者のうち正しい手順で 2 回の 24 時間蓄尿データが得られた 322 人のみを対象とした。尿中リン・ナトリウム・カリウム排泄量は 2 日間の 24 時間蓄尿の平均値として算出した。尿中リン・ナトリウム・カリウム排泄量と超加工食品の関連は重回帰分析で調べた。食事記録から推定した各尿中排泄量（mg/日）を従属変数とし、独立変数を超加工食品の摂取重量（g/日）、エネルギー摂取量（kcal/日）、食品の総摂取重量に対する重量寄与割合（%グラム）、総エネルギー摂取量に対するエネルギー寄与割合（%エネルギー）の 4 通りで検討した。調整変数は性（男性・女性）、BMI（kg/m<sup>2</sup>）、年齢（歳）、身体活動レベル（MET s・時）、喫煙状況（非喫煙者、過去喫煙者、現在喫煙者）、教育歴（中学または高校、専門学校または短大、大学または大学院）、総エネルギー摂取量（kcal/日）とした。

#### （研究 7）超加工食品の摂取量と、食品選択の価値観およびフードリテラシーとの関連の検討

2018年に日本の32都道府県に住む18～80歳の日本人成人2232人を対象に実施した全国規模の質問紙調査のデータを用いた。8つの食品選択の価値観（入手しやす

さ、便利さ、健康、伝統、感覚的魅力、オーガニック、快適さ、安全性）に加え、栄養知識、料理技術、食全般に関わる技能、8つの食行動（空腹感、食物反応性、感情的な過食、食物の楽しみ、満腹感反応性、感情的な食欲不振、食べものの好き嫌い、食事の遅さ）によって特徴づけられるフードリテラシーを評価した。超加工食品の摂取量は、簡易型食事歴法質問票（BDHQ）を使用して推定した。解析は男女別に行った。超加工食品の摂取量（g/1000kcal）と年齢（歳）、BMI（kg/m<sup>2</sup>）、総エネルギー摂取量（kJ/日）、食品選択の価値観およびフードリテラシーの各スコアとの関連を、重回帰分析により評価した。

#### （研究 8）超加工食品の摂取量と、年齢、性別、喫煙状況等の個人的特性との関連の検討

2016～2018年に日本の32都道府県に住む18～79歳の日本人成人2742人から得られた食事記録のデータを使用した。参加者は、8日間にわたって食べたり飲んだりしたものを全て計量して記録した。そして、記録されたすべての食品を研究者が加工レベル別に分類した。また、外食や惣菜などの家庭外で調理された料理を、①料理に含まれる個々の食材をそれぞれ加工レベル別に分類する場合（超加工食品をより少なく見積もるシナリオ）と、②すべて超加工食品に分類する場合（超加工食品をより多く見積もるシナリオ）の2通りで食品分類を行なった。各推定シナリオにおいて超加工食品の摂取量を推定し、個人的特性（年齢、性別、BMI、世帯

収入、教育歴、雇用形態、喫煙状況、身体活動量)との間に関連があるかどうかを調べた。

#### (研究 9) 残留農薬等の基準値が設定されている食品分類名への食品番号の付与

残留農薬等の基準値が設定されている食品リストに記載された 313 個の食品分類名のそれぞれに日本標準食品成分表(七訂)の食品番号を付与した。まず各食品分類名について、該当する食品名が食品成分表にあるかどうかを検討した。しかし、食品リストと成分表では食品の名称や分類の仕方が異なるため、リストに記載されたすべての食品を成分表の食品番号に一对一で紐づけることが困難であった。そのため、ある食品分類名に該当する食品が食品成分表に 1 つ以上ある場合には、それらの食品番号を以下のいずれかに分類した:(食品リストの食品分類名に)①完全に当てはまる、②部分的にあてはまる、③判断できない。たとえば食品リストの「あひるの筋肉(食品分類コード 004002)」については、成分表の「かも・あひる・肉・皮つき・生(食品番号 11203)」と「かも・あひる・肉・皮なし・生(食品番号 11247)」を紐付けた。「かも・あひる・肉・皮つき・生(食品番号 11203)」の一部分(皮を除いた部分)は「あひるの筋肉」であるため「②部分的にあてはまる」とした。一方、「かも・あひる・肉・皮なし・生(食品番号 11247)」はまさに「あひるの筋肉」であるとみなし、「①完全に当てはまる」とした。また、たとえば食品リストの「コーヒー豆(食品分類コード 050000)」に抽出液を含めるべきかどうか

(部分的にあてはまると考えてよいかも含めて)判断が困難であったため、食品成分表に記載されている 6 つの食品、すなわち豆乳・豆乳飲料・麦芽コーヒー(食品番号 4054)、乳飲料・コーヒー(食品番号 13007)、ゼリー・コーヒー(食品番号 15088)、コーヒー・浸出液(食品番号 16045)、コーヒー・インスタントコーヒー(食品番号 16046)、コーヒー・コーヒー飲料・乳成分入り・加糖(食品番号 16047)を、③判断できない、とした。

#### (各研究における倫理面への配慮)

研究 2・4・9 については人を対象としたデータを利用していないため倫理面での問題がない。それ以外の研究は、ヘルシンキ宣言のガイドラインに従って実施され、東京大学医学部倫理委員会の承認を得ている。承認番号は以下の通りである。研究 3・5・6:10005 番、研究 7:12031 番、研究 1・8:11397 番。これらの研究では参加者全員から(研究 7 においては参加者が 20 歳未満の場合のみさらに参加者の親から)、書面によるインフォームド・コンセントを得た。

#### ②調理加工係数の問題点の把握(吉池分担報告)

##### 1) 初年度(令和 2 年度)

日本食品標準成分表 2015 年版に掲載されている食品を対象に、調理加工係数を推定する上での課題を検討した。成分表に掲載されている食品は、原材料的食品と加工食品に分けられる。原材料的食品の調理食品は、日本食品標準成分表 2015 年版で示された重量変化率を用いて、原

材料的食品の「生」や「乾」などの未調理食品の重量を決定した。一方、加工食品は、2通りの方法で、原材料的食品の「生」や「乾」などの未調理食品の重量を推定した。

① 日本食品標準成分表の成分値が、計算値で示されている加工食品

原材料配合割合は、日本食品標準成分表の食品群別留意点に記載されていることから、そのまま用いた。

② 日本食品標準成分表の成分値が、計算値以外の加工食品

加工食品の原材料を、日本食品標準成分表の食品群別留意点や関連書籍から加工食品の原材料を把握した。次に、その原材料の成分値と加工食品の成分値から方程式などを用い、加工食品 100g を作るのに必要な原材料の重量を推定した。

2) 第2年度（令和3年度）

日本食品標準成分表 2015 年版に掲載されている食品を対象に、加工食品を製造するための原材料的食品の重量の推定方法を検討した。まず、今回の作業のために食品を以下のように類型化した。

調理後の食品、それ以外の方法（物理的、化学的、生物学的方法）で加工された食品を加工食品とし、調理後の食品、加工食品いずれでもない食品を原材料的食品（食材）とした。

日本食品標準成分表に掲載されている食品の成分値の決定根拠は、「分析値」、「文献値」、「計算値」、「類推値」、「借用値」、「推定値」のいずれかとした。調理加工係数の計算値は、日本食品標準成分表に収載されている食品の成分値と、食品群別

留意点または備考欄に記載されている標準的な原材料配合割合を用いた。

原材料配合割合が掲載されていない食品の原材料は、食品群別留意点及び関連書籍から特定した。原材料配合割合の推定は、①乾燥品、②塩蔵品、③アルコール発酵、酢酸発酵によって製造する食品、④その他の加工食品に分け、検討した。

乾燥食品は、原材料的食品を乾燥させただけの加工食品である。そこで、原材料的食品の水分量と加工食品の水分量から、加工食品を製造するために必要な原材料的食品の重量を算出した。

塩蔵食品は、主な原材料的食品 1 つと食塩から製造される食品とした。塩蔵の過程で水分とともに多くの成分が流出したり、発酵により化学変化が起こる。そこで食塩には水分がないことから、原材料的食品の水分量と加工食品の水分量から、加工食品を得るための原材料的食品の重量を算出した。塩蔵品に含まれる食塩の量から塩蔵品を製造するために必要な食塩の量を求めた。

アルコール発酵、酢酸発酵によって製造する食品は、アルコール発酵、酢酸発酵の化学反応式と量的関係を用いて、加工食品中の利用可能炭水化物、アルコール、酢酸の量から原材料的食品の重量を推定した。

3) 最終年度（令和4年度）

3) -1 対象食品

日本食品標準成分表 2020 年版（八訂）に掲載されている食品のうち、「18 群：調理済み流通食品群」（50 食品）を除く 2428 食品を対象とした。

対象とした食品は、①未調理・未加工の食品、②調理後食品 (cooked foods)、③加工食品 (raw primary commodity (RPC) derivatives) に分類した。ここでの調理は、水煮、ゆで、炊き、蒸し、電子レンジ調理、焼き、油いため、ソテー、素揚げ、天ぷら、フライおよびグラッセの加熱調理と、水さらし、水戻しの非加熱調理とした。

### 3) -2 調理後食品における調理加工係数の推定方法

調理後食品の調理加工係数は、日本食品標準成分表に掲載されている調理による重量変化率、揚げ物における衣の割合及び脂質量の増減、いため物における脂質量の増減をもとに推定した。

### 3) -3 加工食品における調理加工係数の推定方法

加工食品の成分変化から、乾燥食品 (dried foods)、塩蔵品 (salted foods)、発酵食品 (fermented foods)、原材料を組み合わせることができる食品 (mixed foods (other foods that multiple ingredients are mixed, excluding dried, salted and fermented ones)) に分けて、調理加工係数を推定した。

#### 乾燥食品 (43 食品)

原材料が1つの食品で、乾燥する前と乾燥した後のいずれも日本食品標準成分表に掲載されている食品を「乾燥食品」に分類した。乾燥前後の水分の重量に着目し、乾燥により水分が減少すると考え、乾燥前の食品の水分量と乾燥後の食品 (= 乾燥食品) の水分量から、乾燥食品の原材料 (= 乾燥前の食品) の重量、すなわち調理加工係数を推定した。

#### 塩蔵品 (32 食品)

調理加工係数の算定方法に関して、以下の様に分類した。

- a) 原材料が1つと食塩からなる食品 (22 食品)
- b) 原材料が1つで食塩と米ぬかから作られる「ぬかみそ漬」 (6 食品)
- c) 原材料が1つで食塩とみそから作られる「みそ漬」、原材料が1つで食塩と酢から作られる「酢漬」 (1 食品)
- d) 原材料が1つで食塩と酢、砂糖から作られる「甘酢漬」 (4 食品)

上記の a)~e) について、以下のように調理加工係数を推定した。

- a) 塩蔵前後の水分の重量と食塩の重量をもとに推定した。すなわち、塩蔵の過程で脱水し、水分が減少し、食塩が添加されると考えた。
- b) ぬかみそ漬：原材料と食塩の重量は、原材料が1つで食塩からなる塩蔵品と同様に推定し、米ぬかの重量はぬかみそ漬のビタミン B<sub>1</sub> の重量から推定した。
- c) みそ漬：原材料と食塩の重量は、原材料が1つで食塩からなる塩蔵品と同様に推定し、みその重量はみそ漬のたんぱく質の重量から推定した。
- d) 酢漬：原材料と食塩の重量は、原材料が1つで食塩からなる塩蔵品と同様に推定し、酢の重量は酢漬の炭水化物の重量から推定した。

#### 発酵食品 (30 食品)

ここでの発酵食品は、アルコール発酵や酢酸発酵により作られ、日本食品標準成分表にアルコールの重量や酢酸の重量が掲載されている食品である。これらの発

酵により、原材料中の炭水化物の一部は、アルコール(エタノール)や酢酸に変化するが、アルコールや酢酸を作るのに必要なブドウ糖の量は知られているため、その値と原材料および発酵食品の炭水化物の重量を用いて調理加工係数を推定した。

### 原材料を組み合わせてできる食品(897食品)

原材料を組み合わせてできる食品には、日本食品標準成分表に原材料配合比が掲載されている食品(258食品)と掲載されていない食品(639食品)とがある。日本食品標準成分表に原材料配合比が掲載されている食品は、その配合比を用いて調理加工係数を推定した。

原材料配合比が掲載されていない食品は、一部の栄養成分は加工により変化しないと仮定し、(連立)方程式により調理加工係数を推定した。(連立)方程式に用いる栄養素は、加工によって変化しないと考えられること、原材料の成分含有率が多い栄養成分を中心に選定した。

### ③海外の残留農薬の規格基準の設定の際に議論されたデータの情報解析と残留農薬の摂取量の推定への応用(中村・山崎分担報告)

#### *PF データの収集*

WHO/FAO のホームページより、1975 年から 2022 年までに公開された JMPR/JMPS の評価書(Evaluation)及び報告書(Report) 1,740 点を入手した(最終確認日:2022年1月18日)。

入手した評価書及び報告書のうち、りんご、ぶどう及びトマトのジュース、ポマー

ス及び乾燥ポマースの加工係数について報告のある農薬を選択し、各評価書及び報告書より PF に関するデータを収集した。データの収集は、各加工食品の表記ゆれを考慮した上で行い、ジュースにおいては「Juice」に加えて「Apple juice」、「Grape Juice」、「Tomato juice」、「Pasteurized juice」、「Raw juice」等のデータを、ポマースにおいては「Wet pomace」に加えて「Strain rest」、「Pomace, wet」等のデータを、乾燥ポマースにおいては「Dry pomace」に加えて「Dried pomace」、「Pomace, dry」等のデータをあわせて収集した。

また、本研究では、圃場試験 1 回につき 1 つの PF に関するデータを収集した。すなわち、同条件で栽培した農産物について複数回の加工試験が行われている場合には、各加工試験の PF の平均値をデータとして収集した。なお、同一圃場内で収穫前日数が異なる PF が複数示されている場合には、別データとして取り扱うこととした。

#### *PF データの整理*

収集した PF データのうち、農薬の規制対象に代謝物が含まれる場合には、親化合物の PF のみを解析対象とした。RAC 及び加工食品の双方において親化合物の残留が認められず、かつ代謝物の物性値が明らかでない場合、当該農薬は解析対象外とした(例えば、殺菌剤 Thiram)。また、RAC 及び加工食品の双方において親化合物の残留が認められない一方、代謝物が検出され、かつ代謝物の物性値が明らかとなっている場合には、代謝物の PF データを対象として解析を行った(例えば、殺

菌剤 Benomyl 及び除草剤 Dichlobenil)。

ぶどうについては、ジュース及びワインの間で製法及び得られる加工食品の組成が大きく異なることから、「Juice production」と「Wine production」が明確に区別して記載されている場合、「Wine production」由来のジュース及びポマースのデータは解析対象外とした。

また、RAC における残留濃度が定量限界未満のデータ、RAC における残留濃度が示されておらず PF 計算時の分母が「Washed fruits」のデータ、りんごにおいて果皮除去後にジュースを調製しているデータについても解析対象外とした。

#### トマト加工試験

トマトに農薬を散布し、商業的な加工を模した加工方法でトマトの juice, wet pomace 及び dry pomace を調製した。なお、本試験は加工試験に関する経済協力開発機構 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) ガイドラインに準じて行った。

##### 1) 農薬の選定

本加工試験の対象農薬として、我が国においてトマトに基準値が設定されており、かつ LC/MS による農薬等の一斉試験法I(農産物)の対象化合物のうち、 $\log K_{ow}$  が  $-0.13$  から  $5.55$ 、 $W_s$  が  $0.0015$  から  $26,000$  mg/L と幅広い物性を示す農薬 23 品目を選定した。次いで、選定した 23 品目について、 $\log K_{ow}$  が 2 未満を示すもの (7 品目)、2 以上 4 未満を示すもの (8 品目)、4 以上を示すもの (8 品目) の 3 群に分類し、各群から 1 品目を無作為に選出した。選出した boscalid, clothianidin 及び

fenpyroximate の 3 品目をテストデータ用の農薬とし、その他の 20 品目を訓練データ用の農薬とした。

##### 2) トマトの栽培及び農薬散布

圃場におけるトマトの栽培及び農薬の散布は、一般社団法人日本植物防疫協会に委託した。試験には、対象農薬の防除履歴のないトマト (CF ハウス桃太郎) を用いた。定植後、週に 1~2 回程度、点滴灌水用チューブを用いて  $4,000\sim 6,000$  L/10 a 灌水した。

1 区画あたり  $1.5\text{ m} \times 10.0\text{ m} \times 2$  畝の試験区を 4 区画用意し、それぞれ無処理区、処理区 A、B 及び C とした。各試験区におけるトマトの株数は 80 株であった。また、散布時の作物ステージは草丈 170 cm の収穫期であった。各処理区に散布機 (MSB1100Li, 丸山製作所) 及びノズル (狭角コーンノズル, 丸山製作所) を用いて農薬を散布した。散布回数はいずれも 2 回、散布間隔は 7 日とした。加工試験においては、加工食品で定量可能な残留濃度を得るために、農薬使用基準よりも多量の農薬を適用することが推奨されている。このことから本試験では、農薬使用基準の最小希釈倍数の  $1/3$  の倍数、すなわち農薬使用基準の 3 倍の濃度の薬液を散布することとした。また、各農薬の使用基準における散布液量は、metalaxyl-M では  $100\sim 400$  L/10 a、その他の農薬では  $100\sim 300$  L/10 a 又は  $150\sim 300$  L/10 a と定められていることから、多くの農薬の最大散布液量とほぼ同等の  $280$  L/10 a とした。すなわち、本試験においては、metalaxyl-M については農薬使用基準の 2.1 倍量を、その他の農薬については農薬使用基準の 2.8

倍量を散布した。

本試験では、複数の農薬を同時に、かつ農薬使用基準よりも高濃度で散布することにより、作物に毒性が現れる可能性が考えられた。そこで、選定した農薬 23 品目を 3 つのグループに分割し、処理区 A、B 及び C にそれぞれ散布した。処理区 A には、アクタラ顆粒水溶剤 [10.0% thiamethoxam 水溶剤、シンジェンタジャパン (東京)]、アドマイヤー水和剤 [10.0% imidacloprid 水和剤、バイエルクロップサイエンス (東京)]、バリアード顆粒水和剤 (30.0% thiacloprid 水和剤、バイエルクロップサイエンス)、アミスター20フロアブル (20.0% azoxystrobin 水和剤、シンジェンタジャパン)、シグナム WDG (6.7% pyraclostrobin / 26.7% boscalid 水和剤、BASF アグロ)、カスケード乳剤 [10.0% flufenoxuron 乳剤、BASF アグロ (東京)]、フェニックス顆粒水和剤 [20.0% flubendiamide 水和剤、日本農薬 (東京)] を、処理区 B にはアフェットフロアブル [20.0% penthiopyrad 水和剤、三井化学アグロ (東京)]、ベトファイター顆粒水和剤 [24.0% cymoxanil / 10.0% benthiavalicarb-isopropyl 水和剤、日本曹達 (東京)]、ダントツ水溶剤 [16.0% clothianidin 水溶剤、住友化学 (東京)]、モスピラン顆粒水溶剤 (20.0% acetamiprid 水溶剤、日本農薬)、ライメイフロアブル [17.7% amisulbrom 水和剤、日産化学 (東京)]、プレバソンフロアブル 5 [5.0% chlorantraniliprole 水和剤、エフエムシー・ケミカルズ (東京)]、マッチ乳剤 (5.0% lufenuron 乳剤、シンジェンタジャパン) を、処理区 C にはトリフミン水和剤 (30.0% triflumizole 水和剤、日本

曹達)、レーバスフロアブル (23.3% mandipropamid 水和剤、シンジェンタジャパン)、アグロスリン水和剤 (6.0% cypermethrin 水和剤、住友化学)、ニマイバー水和剤 (25.0% diethofencarb 水和剤、住友化学)、ランマンフロアブル [9.4% cyazofamid 水和剤、石原バイオサイエンス (東京)]、ダニトロンフロアブル (5.0% fenpyroximate 水和剤、日本農薬)、フォリオゴールド (3.3% metalaxyl-M 水和剤、シンジェンタジャパン) を散布した。分析対象の 23 品目以外にも、ニマイバー水和剤には 25.0% benomyl が、フォリオゴールドには 32.0% chlorothalonil が含まれていたが、両化合物は LC/MS による農薬等の一斉試験法I (農産物) の分析対象化合物でないことから、本試験では分析対象外とした。

農薬の最終散布から 3 日後に、各処理区より 20~22 個、重量として 3.2~3.3 kg のトマト検体を収穫した。検体の輸送及び保管は 4°C で行った。

### 3) トマトの加工

各処理区より収穫した検体のうち、2.6~2.7 kg (17~18 個) のトマトを加工に供した。いずれの処理区の検体も、収穫の 2 日後に加工を行った。RAC からの juice, wet pomace 及び dry pomace の調製方法は、German Federal Institute for Risk Assessment (BfR), National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) 及び Benaki Phytopathological Institute (BPI) が示している代表的な加工方法に従った。

トマト果実よりへたを除去し、25°C に調整したトマト重量の 2 倍の水道水で 2 分間洗浄した。グラインドミックス GM



300 (Retsch GmbH, Haan, Germany) の逆回転モードを用いて 1000 rpm で 15 秒間磨砕した後、得られたマッシュをステンレス小型密閉容器に入れ、90~95°C で 3 分間加熱して hot break した。直径 0.8 及び 2.0 mm のメッシュフィルターを有するジュースャー (低速ジュースャーMJ-L600, パナソニック、大阪) で搾汁し、85~90°C で 3 分間低温殺菌して juice を得た。搾汁して得られた wet pomace の一部を分析用に採取した後、70°C で 24 時間乾燥させることにより dry pomace を得た。Dry pomace の水分含有量は、水分計 (MOC63u, 島津製作所、京都) により測定した。

なお、RAC は、我が国の残留農薬分析においてトマトの検体部位として定められている「へたを除去したもの」とした。得られた RAC, juice, wet pomace 及び dry pomace は、分析まで-30°C で保管した。

#### 4) 残留濃度分析

RAC, juice, wet pomace 及び dry pomace における各農薬の残留農薬分析は、LC/MS による農薬等の一斉試験法I (農産物) を一部改変して行った。

##### ① 試薬・試液

Acetamiprid 標準品、benthiavalicarbisopropyl 標準品、cymoxanil 標準品及び triflumizole 標準品、試験溶液の調製に用いた残留農薬試験用アセトニトリル、トルエン及びメタノール、及び LC-MS 用蒸留水及びメタノールは関東化学 (東京) より購入した。Amisulbrom 標準品、azoxystrobin 標準品、boscalid 標準品、chlorantraniliprole 標準品、clothianidin 標準品、cyazofamid 標準品、cypermethrin 標準

品、diethofencarb 標準品、fenpyroximate 標準品、flubendiamide 標準品、flufenoxuron 標準品、imidacloprid 標準品、lufenuron 標準品、mandipropamid 標準品、metalaxyl-M 標準品、penthioopyrad 標準品、pyraclostrobin 標準品、thiacloprid 標準品、thiamethoxam 標準品、残留農薬試験用塩化ナトリウム及びケイソウ土 (No. 545) は富士フィルム和光純薬 (大阪) より購入した。その他の試薬については、市販のものを使用した。

各農薬 10 mg を精秤し、アセトニトリル 10 mL に溶解して 1 mg/mL 標準原液を調製した。アセトニトリルへの溶解性が低い場合には、メタノール又はアセトンに溶解して調製した。添加回収試験用の混合標準溶液は、各農薬の標準原液を混合し、濃縮又はアセトニトリルで適宜希釈して調製した。

##### ② 試料の調製

RAC は、包丁で果実を 2 等分した後、GM 300 の正回転モードを用いて 4,000 rpm で 30 秒間磨砕した。Wet pomace 及び dry pomace は、液体窒素で凍結させた後、マルチビーズショッカー (安井器械、大阪) を用いて 2,000 rpm で 30 秒間凍結粉砕した。

##### ③ 試験溶液の調製

###### A. 抽出

RAC 及び juice においては、試料 20.0 g にアセトニトリル 50 mL を加え、1 分間ホモジナイズした後、ケイソウ土をろ過助剤として吸引ろ過した。残留物を採り、アセトニトリル 20 mL を加えて 1 分間ホモジナイズした後、吸引ろ過した。得られたろ液を合わせ、アセトニトリルを加え

で正確に 100 mL とした。Wet pomace 及 dry pomace においては、試料 2.00 g に水 5 mL を加え、30 分間静置した。これにアセトニトリル 50 mL を加え、1 分間ホモジナイズした後、ケイソウ土をろ過助剤として吸引ろ過した。残留物を採り、アセトニトリル 20 mL を加えて 1 分間ホモジナイズした後、吸引ろ過した。得られたろ液を合わせ、アセトニトリルを加えて正確に 100 mL とした。

RAC においては抽出液 10 mL、juice 及び wet pomace においては抽出液 20 mL、及び dry pomace においては抽出液 5 mL を分取した。次いで、RAC 及び dry pomace のみ、10 及び 15 mL のアセトニトリルを加えた。これに塩化ナトリウム 10 g 及び 0.5 M リン酸緩衝液 (pH7.0) 20 mL を加えて 10 分間振とうした後、3,000 rpm で 5 分間遠心した。得られたアセトニトリル層を 40°C 以下で濃縮して溶媒を除去した後、残留物をアセトニトリル及びトルエン (3:1) 混液 2 mL に溶解した。

アセトニトリル及びトルエン (3:1) 混液 10 mL でコンディショニングしたグラフィートカーボン/アミノプロピルシリル化シリカゲル積層ミニカラム (500 mg/500 mg、ジーエルサイエンス、東京) に上記の溶解液を注入した後、アセトニトリル及びトルエン (3:1) 混液 20 mL を注入した。全溶出液を 40°C 以下で濃縮して溶媒を除去した後、残留物をメタノールで溶解し、RAC, juice 及び wet pomace においては正確に 10 mL としたものを、及び dry pomace においては正確に 5 mL としたものを試験溶液とした。各試験溶液は、定量範囲を考慮して適宜希釈した上

で測定に供した。

#### ④ LC-MS/MS 分析

各農薬の分析は、LC-MS/MS により行った。LC-MS は、Nexera X3 / LC400D X3 送液ユニット (島津製作所)、SIL-40CX3 オートサンプラー (島津製作所) 及び LCMS-8060NX (島津製作所) を用いた。得られたデータは LabSolutions (島津製作所、ver. 5.113) 及び LabSolutions Insight LCMS (島津製作所、ver. 3.8.351.3) を用いて解析した。メタノールで調製した検量線用試料の各濃度に対するピーク面積値をプロットして検量線を作成し、絶対検量線法により濃度を求めた。

ガードカラム及び分析カラムは ACQUITY UPLC BEH C18 VanGuard Pre-Column (1.7  $\mu$ m, 2.1 mm x 5 mm, Waters, Milford, USA) 及び ACQUITY UPLC BEH C18 Column (1.7  $\mu$ m, 2.1 mm x 100 mm, Waters) を用い、注入量は 3  $\mu$ L とした。カラムオープンの温度は 40°C、流速は 0.3 mL/分とした。移動相は溶離液 A (5 mM 酢酸アンモニウム水溶液) 及び溶離液 B (5 mM 酢酸アンモニウムメタノール溶液) の混合溶媒を用いた。グラジエント条件は 0~0.5 分を 15~40%溶離液 B の直線グラジエント、0.5~1.75 分を 40%溶離液 B、1.75~3 分を 40~50%溶離液 B の直線グラジエント、3~4 分を 50~55%溶離液 B の直線グラジエント、4~8.75 分を 55~95%溶離液 B の直線グラジエント、8.75~15 分を 95%溶離液 B とした。

イオン化モードはエレクトロスプレーイオン化 (electrospray ionization, ESI) positive 又は negative モードとし、selected reaction monitoring (SRM) モードで測定を

行った。各農薬の検出及び定量は、Table 2 に示した定量イオン及び確認イオンをモニターすることにより行った。ESI positive モードにおけるキャピラリー電圧は、cypermethrin においては 1.5 kV、その他の農薬においては 1 kV とした。また、ESI negative モードにおけるキャピラリー電圧は、flubendiamide 及び lufenuron においてそれぞれ-1 及び-2 kV とした。インターフェイス温度及び脱溶媒温度は 250°C、ヒートブロック温度は 350°C、ネブライザーガス流量は 3 L/分、ドライイングガス流量は 10 L/分、及びヒーティングガス流量は 15 L/分とした。

#### ⑤ PF の計算

Juice, wet pomace 及び dry pomace における各農薬の残留濃度を RAC における残留濃度で除すことにより、各加工食品における PF を算出した。

#### 農薬の物性値の収集

The Pesticide Manual Online 及び JMPR の評価書及び報告書より、各農薬の分子量 (molecular weight, Mw)、 $K_{ow}$ 、 $W_s$ (mg/L, 20~25°C)、比重 (specific gravity, Sg)、融点 (melting point, Mp, °C)、ヘンリー定数 [Henry's constant (Hc, Pa·m<sup>3</sup>/mol)] 及び蒸気圧 (vapor pressure, Vp, mPa) を収集した。

#### データ解析

データ解析は、R ソフトウェア及び JMP ソフトウェア (SAS Institute Japan, 東京) を用いて行った。JMPR の PF データ解析において、1 品目の農薬について複数の PF が得られている場合には、PF の中央値を解析に供した。また、各農薬の Mp はケ

ルビン温度に変換した上で解析に供した。

データの正規性は Shapiro-Wilk test により確認した。PF 及び農薬の物性値の関連性は相関分析により検討した。相関分析においては Spearman の順位相関係数を算出し、多重比較は false discovery rate (FDR) 法により補正した。

PF 予測モデルの構築は、PF を目的変数、農薬の物性値を説明変数とした重回帰分析及び正則化回帰法 elastic net により行った。Elastic net 回帰においては、平均二乗誤差を最小にする最適な  $\alpha$  及び  $\lambda$  をクロスバリデーションにより決定した後に回帰式の推定を行った。得られた回帰式における多重共線性は、各説明変数の variance inflation factor (VIF) を求めることにより評価した。

確立した PF 予測モデルの性能は、PF の実測値及び予測値を比較することにより評価した。実測値に対する予測値の比が 0.50~2.00 を示した農薬の割合、すなわち予測値が実測値の 2 倍以内の値を示した農薬の割合を、%inside 2-fold として算出した。

いずれの検定においても、 $p < 0.05$  を有意差ありとした。各解析及び作図においては、R ソフトウェアの追加パッケージ psych, ggplot2, ggpubr, tidyr, tidyverse, glmnet, useful 及び car を使用した。

#### C. 研究結果、考察、および結論

##### ①加工食品の摂取状況を把握するための全国食事調査のデータ解析 (佐々木分担報告)

研究 1 では、全国食事調査の結果をもとに、食品と食品群摂取量の分布を明らか

にした。食事記録調査の結果に関しては、砂糖および甘味類・油・調味料・小麦粉を摂取した場合、参加者は原則として秤量をせず名称のみを記入し、調査事務局にて摂取量の推定を行った。そのため、これらの食材に関しては秤量が行われた他の食材と比べて推定精度が低い可能性がある。

研究 2 の結果より、加工食品の分類方法に関しては、NOVA 分類は栄養政策の決定や疫学研究に広く用いられている一方で、食品の定義や分類に一貫性がないという問題点があることを認識した。

また、日本人の **ultra-processed foods** の摂取状況に関する研究は 2 つしかなく、その調査集団の人数と居住地域が限定的であることから、より代表性の高い集団における大規模な食事調査の結果に基づいて日本人における加工食品の摂取量を明らかにすること、またそれらと健康関連指標との関連を検討することは喫緊の課題であると考えられた。また、NOVA の分類では日本でよく食べられるような食品の分類は例示されておらず、日本における先行研究はいずれも同じ研究グループによるものである。したがって、日本人の食事に登場する食品を加工の程度に応じてどのように分類するか、何を加工食品として分類するかという点は今後の研究課題であると考えられた。

研究 3 では、本研究では食品を加工レベルに応じて分類するためのシステムを構築し、その方法について記述するとともに、日本人集団における加工食品の重量・エネルギー寄与率を調べた。加工食品の分類方法による違いをみると「高度な

加工」食品のエネルギー寄与率は方法 A で 48%、方法 B で 33%であり、方法 A において高かった。方法 A では商品情報がない既製の料理を分解せずそのまま「高度な加工」に分類する一方、方法 B では食品レベルまで分解して分類するため、この結果は当然といえる。どちらの方法がよいかどうかは現時点では不明だが、方法により「高度な加工」食品の摂取量の見積もりに 15%の差が出る点は、加工食品の摂取量を推定したり、異なる調査間でデータを比較したりする際に考慮する必要がある。

本研究と同じ UNC の分類システムを使用した先行研究（2012 年に米国で行われた世帯を対象とした食品購入状況調査 (4)）では、高度な加工食品のエネルギー寄与率は 61%であった。よって、方法によらず、日本人における「高度な加工」食品のエネルギー寄与率はかなり米国に比べて低いレベルであることが明らかになった。

性別間で比較すると、「高度な加工」食品の重量寄与率は男性のほうが高い一方で、エネルギー寄与率は女性のほうが高かった。これは、女性のほうがエネルギー密度の高い「高度な加工」食品をより多く摂取しているためと考えられる。

また、60 歳以上の高齢なグループは、より年齢の若いグループと比べて「高度な加工」食品の重量・エネルギー寄与率が低かった。さらに、喫煙歴のないグループは現在喫煙しているグループに比べて「高度な加工」食品の重量・エネルギー寄与率が低かった。我々の知る限り、日本人集団において、こうした参加者の特性による

加工食品の摂取量の違いはこれまで報告されていない。加工食品による健康影響や、添加物や農薬の摂取量は属性によって異なると考えられるため、今後検討が必要であると考えられた。

研究 4 では、海外の食事調査法について調査を行った。その結果、詳細な食事データを得られる方法である 24 時間思い出し法と食事記録法が広く用いられていることが示唆された。

複数の食事調査法を組み合わせで使用している調査が全体の 4 割程度存在した。これらの調査ではそれぞれの調査法からの推定摂取量を比較することで、精度向上につなげていた。日本では食事記録法のみを使用し、一日のみの調査のため、食事の日間変動や調査方法による推定摂取量の差異が考慮されていない。日本の国民健康・栄養調査が世帯対象で 1 日のみの調査であることは、データを各国の食事調査との直接的な比較を困難にするだけでなく、科学的に不十分とみなされ国際学術誌に論文を掲載するにあたってのハードルになる可能性があり、今後の検討課題であると考えられた。

2016 年から 2019 年にかけて実施された食品摂取頻度・摂取量調査は、詳細な食事記録調査を 4692 人に対して各季節 2 日間、合計 8 日間行った大規模な全国食事調査である。この食品摂取頻度・摂取量調査と、今回レビューに含めた食事調査のなかで 24 時間思い出し法と食事記録法を行っていた 47 の調査（国民健康・栄養調査を含む）について、参加者数と調査日数を解析した。その結果、食品摂取頻度・摂取量調査の参加者数・調査実施期間は、各

国の調査の中でも参加者数と調査日数ともに上位にあった。これは、全国から参加者を募っているために代表性が高く、全国の管理栄養士の協力の下、標準的かつ丁寧な手法で食事記録とデータ整理を行ったという方法的利点のためであることが考えられた。これらのことから、食品摂取頻度・摂取量調査から得られたデータは、基礎データとして世界の食事調査に比肩するものであり、食事中の化学物質に関する政策決定にとどまらず、様々な目的の健康・栄養行政に広く資するものであると考えられた。

研究 5 と研究 9 では、日本人成人において 1 日の総摂取エネルギー量のうち超加工食品から摂取するエネルギーの割合は、少なく見積もると 28%、多く見積もると 48%であることが明らかになった。諸外国における超加工食品からのエネルギー寄与割合は、食生活の違いだけでなく超加工食品の分類方法や食事調査方法の違いによりばらつきがあるが、本研究で得られた値はイタリアより高く (17%)、英国 (53%) やカナダ (54%)、米国 (59%) より低い一方で、日本の小規模な先行研究 (38%) や、ブラジル (24%)、韓国 (26%)、チリ (29%)、メキシコ (30%)、フランス (36%)、オーストラリア (39%) などで行われた研究と同程度であった。

また、研究 1 において観察された、超加工食品の摂取量と食事の質との負の関連は、他の多くの国でも一貫して観察されている。さらに超加工食品の摂取過多は、過体重や肥満、心血管疾患や脳血管疾患、メタボリックシンドローム、うつ病、死亡率などの健康上の不利益につながる可能

性があるため、注意を要する。

研究7および8では、超加工食品の摂取に関わる個々人の内的・外的要因を明らかにした。研究7では、食品選択の価値観や食品リテラシーに関するいくつかの因子が超加工食品の摂取と関連するとともに、関連する因子は男女で異なることが示唆された。これらの知見は、超加工食品の摂取に関する栄養政策を検討する際に重要であると考えられる。また、研究8の結果より、超加工食品の摂取量を減らすための介入戦略において、若年層と現在喫煙している人々をターゲットにすることが有効であるかもしれない。

研究5では、残留農薬等の基準値が設定されている食品リストに記載された食品分類名のうちおよそ6分の1が、食品成分表に記載された食品番号のいずれに当てはまらなかった。また、約7割の食品が2つ以上の食品番号と紐付けられた。1対1対応にならないのは、残留農薬等の基準値が設定されている食品リストと成分表で、食品の分類や名称が大きく異なるためと考えられる。ある食品番号を付与すべきか判断の難しい食品分類名も多かったため、食事データから残留農薬の摂取量を解析できるようにするためには今後さらなる検討が必要であると考えられる。

## ②調理加工係数の問題点の把握（吉池分担報告）

1) 初年度（令和2年度）

### ①日本食品標準成分表の成分値が、計算値で示されている加工食品

「くし団子・みたらし」(食品番号 15019)

を例として説明する。食品群別留意点に、「製品部分割合：団子9、たれ2、原材料配合割合：団子〔上新粉100〕、たれ〔砂糖（上白糖）95、こいくちしょうゆ54、じゃがいもでん粉14〕」と示されている。したがって、製品部分割合、原材料配合割合を用いた場合、くし団子・みたらし100gを作るのに必要な上新粉は

$$\frac{9}{9+2} \times 100 = 81.8g、$$

砂糖（上白糖）は

$$\frac{2}{9+2} \times \frac{100}{100+54+14} \times 100 = 10.8g、$$

こいくちしょうゆは

$$\frac{2}{9+2} \times \frac{54}{100+54+14} \times 100 = 5.8g、$$

じゃがいもでん粉は

$$\frac{2}{9+2} \times \frac{14}{100+54+14} \times 100 = 1.5g$$

と求められた。

### ② 日本食品標準成分表の成分値が、計算値で示されていない加工食品

#### ②—1 加工食品の主な原材料が1つであり、加工により成分値が大きく変化しないと仮定できる成分値がある場合

たとえば、「豆乳」（食品番号 04052）の主な原材料は、大豆である。豆乳類の日本農林規格は、大豆たんぱく質含有率により定められている。豆乳100gのたんぱく質3.6gであり、大豆100gのたんぱく質33.8gであることから、豆乳100gを作るのに必要な大豆は  $3.6 \times 100 / 33.8 = 10.7g$  と推定された。

#### ②—2 加工食品の主な原材料が複数の食品であり、加工により成分値が大きく

## 変化しないと仮定できる成分値がある場合

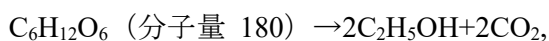
たとえば、ぶどう豆の主な原材料は、大豆、砂糖（上白糖）、こいくちしょうゆである。ぶどう豆 100g の原材料を大豆  $x$ (g)、砂糖  $y$ (g)、しょうゆ  $z$ (g) とすると、ぶどう豆 100g のたんぱく質 14.1g、炭水化物 37.0g、食塩相当量 1.6g であり、大豆 100g のたんぱく質 33.8g、炭水化物 29.5g、食塩相当量 0.0g であり、砂糖 100g のたんぱく質 0.0g、炭水化物 99.3g、食塩相当量 0.0g であり、しょうゆ 100g のたんぱく質 7.7g、炭水化物 7.9g、食塩相当量 14.5g であるから

$$\frac{1}{100} \begin{bmatrix} 33.8 & 0.0 & 7.7 \\ 29.5 & 99.3 & 7.9 \\ 0.0 & 0.0 & 14.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 14.1 \\ 37.0 \\ 1.6 \end{bmatrix}$$

が成り立ち、 $x=27.1$ 、 $y=28.6$ 、 $z=8.3$  と求められた。

## ②-3 加工により成分が化学変化する場合、その化学変化が化学反応式として表される場合

たとえば米酢の主な原材料は水稻穀粒・精白米・うるち米である。



から、酢酸 60g を作るのに必要なブドウ糖は  $180 \div 2 = 90g$  であることから、米酢 100g 中の米に由来する炭水化物は

$$7.4 + 4.4 \times \frac{90}{60} = 14.0g$$

となる。したがって、米 100g の利用可能炭水化物は 83.1g であるので、米酢 100g を作るのに必要な米は

$$14.0 \times \frac{100}{83.1} = 16.8g$$

と推定された。

## 2) 第2年度（令和3年度）

### ①日本食品標準成分表に原材料配合割合が記載されている食品

日本食品標準成分表に原材料配合割合が記載されている食品は、穀類で 18 食品、卵類で 3 食品、菓子類で 114 食品、調味料及び香辛料類で 33 食品であった。

### ②乾燥食品

日本食品標準成分表に、乾燥させる前の食品、すなわち生の食品と乾燥させた後の食品の両方が掲載されている食品は、いも類で 1 食品、野菜類で 5 食品、果実類で 5 食品、きのこ類で 2 食品、藻類で 1 食品、魚介類で 13 食品であった。

干物では、製造過程でたんぱく質や脂質が変化することが知られている。そこで、乾燥食品と原材料的食品の水分に着目して、乾燥食品を製造するのに必要な原材料的食品の重量を推定した。水分  $a$ (%)の原材料的食品が  $w$ (g)脱水し、水分  $b$ (%)の乾燥食品 100g になったとすると

$$\frac{a}{100} = \frac{b + w}{100 + w}$$

から

$$w = \frac{100(a - b)}{100 - a}$$

となり、乾燥食品 100g を製造するのに必要な原材料的食品は

$$100 + w = \frac{100(100 - b)}{100 - a} \text{ (g)}$$

と求められた。

### ③塩蔵食品

塩蔵食品の計算手順は以下のようにな

る。水分  $a(\%)$ の原材料的食品が、 $w(\text{g})$ 脱水し、食塩  $s(\text{g})$ 移行し、水分  $b(\%)$ の塩蔵食品  $100 \text{ g}$ になったとすると

$$\frac{a}{100} = \frac{b + w}{100 + w - s}$$

から

$$w = \frac{100(a - b) - as}{100 - a}$$

となり、したがって、塩蔵食品  $100 \text{ g}$  を製造するのに必要な原材料的食品は

$$100 + w - s = \frac{100(100 - s - b)}{100 - a} (\text{g})$$

と求められた。

日本食品標準成分表に掲載されている食品で、塩蔵食品に該当する食品は、野菜類で 16 食品、果実類で 3 食品、魚介類で 29 食品、肉類で 4 食品であった。

塩蔵食品における推定方法を応用できる、ぬかみそ漬は 7 食品、酢漬は 1 食品、粕漬は 2 食品、こうじ漬は 2 食品、甘酢漬は 4 食品、しょうゆ漬は 1 食品、みそ漬は 1 食品があり、いずれも野菜類であった。

ぬかみそ漬の主な原材料は野菜、食塩、米ぬかであり、酢漬は主な原材料は野菜、食塩、酢であり、粕漬の主な原材料は野菜、食塩、酒かすであり、こうじ漬は主な原材料は野菜、食塩、米こうじである。ぬかみそ漬の野菜と食塩の重量は塩蔵食品と同様に計算し、米ぬかの重量は増加したビタミン  $B_1$  の量、酢漬、粕漬、こうじ漬の野菜と食塩量は塩蔵食品と同様に計算し、酢、酒かす、米こうじの重量は増加した炭水化物の量から推定した。

甘酢漬の主な原材料は野菜、食塩、食酢、砂糖である。甘酢漬の野菜と食塩量は塩

蔵食品と同様に計算し、砂糖の重量は増加したしょ糖の量から推定し、食酢の重量は増加した炭水化物が食酢と砂糖に由来すると仮定の下、推定した。

しょうゆ漬の主な原材料は野菜、食塩、しょうゆ、砂糖であり、みそ漬の主な原材料は野菜、食塩、みそ、砂糖である。しょうゆ漬、みそ漬の野菜の重量は塩蔵食品と同様に計算し、しょうゆ、みその重量は増加したたんぱく質の量から推定し、食塩の重量は増加した食塩相当量がしょうゆまたはみそと食塩に由来するとして推定し、砂糖の重量は増加した炭水化物がしょうゆまたはみそと砂糖に由来するとして推定した。

#### ④アルコール発酵、酢酸発酵によって製造する食品

アルコール発酵、酢酸発酵によって製造する食品に該当する食品は、嗜好飲料類で 11 食品、調味料及び香辛料類で 6 食品であった。

アルコール発酵の主反応は  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$ 、酢酸発酵の主反応は  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$  であり、ブドウ糖、エタノール、酢酸の分子量はそれぞれ 180、46、60 であるので、加工食品  $100 \text{ g}$  に含まれるエタノールが  $a(\text{g})$  のとき、原材料的食品に由来するブドウ糖は  $a/46 \times 1/2 \times 180 = 45/23 a(\text{g})$  となる。また、加工食品  $100 \text{ g}$  に含まれる酢酸が  $b(\text{g})$  のとき、原材料的食品に由来するブドウ糖は  $b/60 \times 1/2 \times 180 = 3/2 b(\text{g})$  となる。その後の計算は、5. その他の加工食品と同様である。

しかし実際には、アルコール発酵中に酵母菌が増殖するためにブドウ糖が約 20%消



費され、ブドウ糖 1 kg から得られるエタノールは約 0.42 kg であるとされる。また、酢酸発酵でも、発酵中に酢酸菌が消費する他エタノールとして残存する分もあり、1 kg のエタノールから約 1 kg の酢酸が生成されるとされる。加工食品 100 g に含まれるエタノールが a(g) のとき、原材料的食品に含まれるブドウ糖は 2.38a(g) となる。また、加工食品 100 g に含まれる酢酸が b(g) のとき、原材料的食品に含まれるブドウ糖は 2.38b(g) となる。

#### ⑤その他の加工食品

うどんの原材料は、中力粉と食塩である。うどん 100 g の中力粉、食塩の重量をそれぞれ x(g)、y(g) とすると、うどん 100 g の炭水化物は 56.8 g、食塩相当量 2.5 g であり、中力粉 100 g の炭水化物 75.1g、食塩相当量 0.0g であり、食塩 100 g の炭水化物は 0.0 g、食塩相当量 99.5 g であるから、連立方程式として

$$\frac{1}{100} \begin{bmatrix} 75.1 & 0.0 \\ 0.0 & 99.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 56.8 \\ 2.5 \end{bmatrix}$$

が成り立つ。これを解くと x=75.6 g, y=2.5 g と求まる。この方法では、原材料の数と同じ数だけ栄養素等の成分値が必要となる。

#### 3) 最終年度 (令和 4 年度)

日本食品標準成分表 2020 年版 (八訂) に掲載されている 2478 食品のうち、調理済み流通食品群に該当する 50 食品を除外した 2428 食品について、調理加工係数の推定を試みた。928 食品 (38%) が未調理・未加工の食品、487 食品 (20%) が調理後食品、1013 食品が加工食品であった。

1013 の加工食品のうち、乾燥食品に該当する食品が 43 食品、塩蔵品に該当する食品が 35 食品、発酵食品に該当する食品が 40 食品であった。また、原材料を組み合わせることができる食品で日本食品標準成分表に原材料配合比が掲載されている食品が 258 食品、掲載されていない食品が 637 食品であった。

原材料を組み合わせることができる食品で日本食品標準成分表に原材料配合比が掲載されていない食品のうち、日本食品標準成分表に原材料が掲載されていない、原材料の食品が多すぎる、加工工程が複雑であることにより、105 食品は調理加工係数を推定することができなかった。

本研究で推定した調理加工係数の限界として、2 点考えられる。まず、日本食品標準成分表に掲載されている栄養成分値を用いて推定したことである。そのため、加工食品の原材料となる食品を日本食品標準成分表に掲載されている食品から選択したが、加工食品に用いられる品種とは異なっている可能性がある。品種が異なることで、栄養成分値が異なり、それに伴い調理加工係数の値が異なってくる可能性がある。また、組み合わせることができる食品で原材料配合比が掲載されていない食品は、加工により栄養成分値が変化しないと考えられる栄養成分を用いて計算していることである。計算に用いる栄養成分の選定についても検討する必要がある。

欧州食品安全機関 (European Food Safety Authority; EFSA) は raw primary commodity model を提唱し、加工食品の調理加工係数を示している。今後は、我々が推定した調理加工係数と欧州食品安全機関が提唱し

ている調理加工係数について、推定根拠も含め比較及び検証する必要がある。

### ③海外の残留農薬の規格基準の設定の際に議論されたデータの情報解析と残留農薬の摂取量の推定への応用(中村・山崎分担報告)

本分担研究では、JMPR ならびに JMPS から公開されている報告書や評価書を参照し、これまでに議論されてきた農薬(合計 407 種類)の PF 値のデータを文章と表中から収集し、データの解析を行った。PF 値に関しては、特に欧米の食品を中心に議論される傾向にあった。本研究では、海外への輸出が期待される日本産の果実(ブドウ、リンゴ、トマト)の加工食品に関するデータの解析を行った。ジュースならびに搾りかす中の PF については、農薬の水への溶解性を表すような溶解度や、生物への浸透率を示すような  $\log K_{ow}$  (水/1-オクタノール分配係数)との比例関係が示唆され、各々の農薬の物性値と PF 値の関係性を明らかにすることができた。

残留農薬の PF 値に関しては、これまでに JMPR ならびに JMPS で議論された作物は約 140 種類であった。その中には、国内であまり食されないが、西洋で食されるような地中海北部原産のものや沿岸原産のもの(例えば、コールラビやリーキといった野菜)について多く議論がなされている一方で、日本国内で食されるような小豆、モチ米、白菜、水菜などの報告は少ない傾向であることが分かった。

加工形態に関しては、約 740 種類の加工形態が議論されていた。報告されていた加工形態としては、Tier2 に分類されるよ

うな簡単な熱などの急激な物理的加工や添加物を加えた状態の段階(例えばジュース、ジャム、ペーストなど)で、文化的な背景や調理法によって加工形態が複雑になるような Tier3 に属する加工食品(例えば、ピザ、ラザニア、スパゲティなど)に関する PF の報告は、圧倒的に少ないことが示唆された。Tier3 の加工食品は、PF 値が 1 以下になる傾向があるのに対して、加工・調理の過程が少ない加工食品(Tier1,2)は、PF 値が 1 以上になる農薬が多く報告される傾向にあることが判った。

PF 値は、作物残留試験のために試験農場での決まった農薬の散布方法・濃度・散布回数等のあらかじめ決められた手順に従って栽培され、その後、収穫、調理加工され、残留農薬が定性・定量的に分析後算出される。特に、農薬申請企業からは、PF 値が 1 以上になるような作物と調理・加工が選択され、実験的に数値を算出することが求められる。ブドウ、リンゴ、トマトなどの果実については、「juice」、「wet pomace」、「dry pomace」の 3 種類の食品に分類して、それぞれの作物と加工形態に属する PF の数値を収集し、データを解析した。その結果、「Dried pomace」と「Wet pomace」に関しては、PF と  $\log K_{ow}$  に正の比例関係、「Juice」に関しては PF と  $\log K_{ow}$  に負の比例関係にあることが判り、PF と溶解度は、逆に「Dried pomace」と「Wet pomace」に関しては、PF と  $\log K_{ow}$  に負の比例関係、「Juice」に関しては PF と  $\log K_{ow}$  に正の比例関係にあることが示唆された。

以上の結果から、特に調理・加工時の工

程が複雑でないような食品に関しては、各々の農薬について作物残留試験や残留濃度を分析・測定は必要なく、加工形態がシンプルであれば、各農薬の物性値から PF 値を予測可能であることが示唆された。

次に、JMPR 及び本研究で実施したトマト加工試験の PF データを詳細に解析することにより、トマトの juice, wet pomace 及び dry pomace における PF と農薬の物性値の関連性を明らかにした。また、PF を目的変数、PF と相関が認められた農薬の物性値を説明変数として、正則化回帰法 elastic net を用いた PF 予想モデルを確立した。さらに、トマト加工試験のデータを基に確立した PF 予測モデルについて、モデルの予測性能を評価した。

PF との間に有意な相関が認められた物性値を説明変数として、重回帰分析による PF 予測モデルの確立を試みた。しかし、重回帰分析により得られた回帰式においては、多重共線性が認められることが明らかとなった。そこで、正則化回帰法 elastic net による PF 予測モデルの構築を試みたところ、各説明変数の VIF が 5.3 以下を示す回帰式が得られた。これらの結果から、elastic net を用いることにより、多重共線性を回避した上で PF 予測モデルを構築できることが示唆された。過去の報告において、りんごの juice における農薬の PF を Kow 及び土壌吸着定数 (organic carbon partition coefficient, Koc) により説明する回帰式が確立されているが、この研究において、多重共線性は考慮されていない。したがって、本研究で開発した PF 予測モデルは、多重共線性を克服した上で、農薬の物性値に基づいて PF を予

測可能な初めてのモデルであると言える。

トマト加工試験の PF データから得られた PF 予測モデルについて、PF の実測値及び予測値を比較することにより、モデルの予測性能を評価した。juice, wet pomace 及び dry pomace のいずれにおいても、%inside 2-fold は訓練データ用の農薬 20 品目において 80~95%、テストデータ用の農薬 3 品目において 100%を示した。テストデータ用の農薬数が 3 品目と限られているため、予測性能の詳細については今後さらなる検証が必要ではあるものの、本研究で開発した PF 予測モデルは、一定の精度をもって PF を予測可能であると考えられた。本モデルを活用することにより、PF が未知の農薬についても、煩雑な加工試験を都度行うことなく、農薬の物性値に基づいて PF を予測できると期待される。

Elastic net により JMPR の PF データから得られた回帰式のうち、juice の回帰式における  $R^2$  は 0.085 と低値を示し、JMPR のデータセットにおいては、juice について PF 予測モデルを構築することは困難であると考えられた。この原因として、各農薬間で①農薬の最終散布から収穫までの期間 (pre-harvest interval, PHI) が異なる、②加工の詳細な条件が異なる等の要因が考えられる。特に①について、果皮から果実内部への農薬の浸透は農薬の性質及び時間に依存することが報告されていることから、各データ間で PHI が異なることにより、主に果肉に由来する juice の残留濃度にはばらつきが生じると考えられる。また、②についても、加工試験における食品の加工方法はできる限り

「industrial or domestic practices」を模すこととされているが、その詳細は定められておらず、加工試験ごとに異なる方法及び機器を用いてRACの加工を行っている。JMPRのPFデータにおいては、同一の農薬及び加工形態内でもPF値にばらつきが認められる場合があり (data not shown)、この一因としても、試験間でPHI及び加工方法が統一されていないことが挙げられる。実際に、PHI及び加工方法が同一のトマト加工試験のデータにおけるjuiceの回帰式の $R^2$ は0.604を示し、wet pomace及びdry pomaceについても、回帰式の $R^2$ はJMPRのデータに比較して高値を示した。さらに、過去の報告において、りんごに複数の農薬を散布し、juiceにおける各農薬のPFを同一加工条件下で算出した結果、Kow及びKocを説明変数とした $R^2 = 0.702$ の重回帰モデルが得られることが示されている。また、収穫後のぶどうに複数の農薬を添加し、ワインにおける各農薬のPFを同一加工条件下で算出した結果、pKowを説明変数とした $R^2 = 0.8522$ の単回帰モデルが得られることも示されている。以上より、PF予測モデルの構築においては、PHIや加工方法を統一、又は各条件の違いを考慮したデータを用いることが重要と考えられた。

本研究で行ったトマト加工試験の対象農薬は、我が国においてトマトに基準値が設定されており、かつLC/MSによる農薬等の一斉試験法I (農産物)の対象化合物から選定された。すなわち、一般的にGC/MSにより分析される農薬は解析に含まれていない。GC/MSで分析される農薬は揮発性が高いことから、加工過程に含

まれる加熱操作において揮散し、揮発性の低い農薬と異なる挙動を示す可能性が高い。揮発性の高い農薬についても本モデルのコンセプトを適用可能か否かについては、さらなる検討が必要である。また、本研究においては、解析に投入した農薬の物性値は、いずれもその値が一意に示されているパラメーターのみとした。過去の報告においてPF予測の説明変数として用いられているKoc及びPFとの関連性が報告されている加水分解性及び熱分解性については、一意の値が示されていない、又は一部の農薬でデータが欠損していたことから、解析に投入することができなかつた。今後、これらの物性値についても解析に含めることにより、PF予測モデルの予測性能はさらに向上するものと期待される。また、加工操作の試行回数や訓練データ用の農薬の数を増やすことも、モデルの改良に有効かもしれない。

本研究では、トマトのjuice, wet pomace及びdry pomaceを対象食品として解析を行った。他の作物及び加工食品についても同様のPF予測モデルを確立することができれば、「農薬の物性値に基づいてPFを予測する」コンセプトの有用性はさらに高まるものと考えられる。我が国では、MRLの設定にあたって、加工試験は要求されていない。この背景から、海外で加工試験の実施が少なく、かつ日本では主要な加工食品、すなわち米、茶等由来の加工食品については、PFに関する情報が限られているのが現状である。これらの加工食品におけるPF予測モデルの適用可能性を明らかにすることができれば、我が国における残留農薬のリスク管理及びリ

スク評価や、日本産の加工食品の輸出拡大の一助となると期待される。また、EUの PF データベース及び OECD ガイドラインにおいては、類似の作物及び加工方法への PF の外挿可能性について議論がなされている。本研究により確立されたトマトの juice, wet pomace 及び dry pomace おける PF 予測モデルの他の作物及び加工食品への外挿可能性についても、今後さらなる検証を行いたい。

本研究でその一部を示したように、加工試験に求められるデータは膨大であり、試験の実施には多大な費用、時間及び手間を要する。国際的には、PF を用いてより詳細な暴露評価を行うことがトレンドとなっているが、我が国の農薬使用基準に従って全ての作物、加工食品及び農薬について PF を取得し、新たに PF データベースを構築することは現実的ではない。我が国では、EU のデータベース等を活用することを念頭に、諸外国で広く PF データが得られている作物及び農薬については、加工方法及び作物間の外挿可能性の解明に注力すべきと考える。一方で、海外で加工試験の実施が少なく、かつ日本では主要な加工食品のうち、特に喫食量の多い加工食品又は PF が高値を示す加工食品については、我が国において加工試験の実施を考慮する必要がある。加工試験を行うにあたっては、EU のデータベースにおいて *representative processed techniques* が示されているように、加工方法の詳細について情報を収集及び整理することも重要と考えられる。

#### **D. 健康危険情報**

なし

#### **E. 研究発表**

各分担研究報告欄に記載した。

#### **F. 知的財産権の出願・登録状況**

なし

## II. 分担研究報告書

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）  
加工食品の輸出拡大に向けた規格基準設定手法の確立のための研究  
総合分担研究報告書

海外の残留農薬の規格基準の設定の際に議論されたデータの情報解析と  
加工係数予測モデルの開発

研究分担者 中村 公亮 国立医薬品食品衛生研究所 食品部第五室長  
研究分担者 山崎 由貴 国立医薬品食品衛生研究所 食品部第五室主任研究官

研究要旨

加工食品から人が農薬を摂取する量を精密に推計する際には、調理・加工工程における残留農薬の減衰または濃縮の割合（加工係数; Processing factor, PF）を把握することが、食の安全を考慮する上で重要である。PF については、過去 50 年以上 1991 年以降は毎年のように、残留農薬に関する Codex 基準策定に関わる国際的な枠組み（Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues [JMPR]や Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Specifications [JMPS]）の中で実験データに基づいて科学的に議論されている。PF は、試験農場で行われる作物残留試験から、農作物を採取し、加工したサンプルから残留農薬を抽出精製後、化学分析にて残留量を測定してその変化の割合を算出して求められている。本研究では、JMPR/JMPS で議論された報告書や評価書の文章や表中の記述から PF に関するデータを網羅的に収集・解析し、農薬の物性と PF の双方向に予測可能な方法を考案した。トマト加工試験をモデルに、PF と相関が認められた農薬の物性値を説明変数として、正則化回帰法 elastic net を用いた PF 予測モデルを確立した結果、予測値が実測値の 2 倍以内の値を示す農薬の割合は、訓練データ用の農薬 20 品目で 80~95%、テストデータ用の農薬 3 品目で 100%を示した。以上の結果より、本研究で開発した PF 予測モデルは、多重共線性を回避した上で、一定の精度をもって PF を予測可能であることが示唆された。今後、本モデルの他の作物及び加工食品への適用可能性を検討することにより、残留農薬のリスク解析への貢献が期待される。

研究協力者：

柏原奈央（国立医薬品食品衛生研究所）  
千葉慎司（国立医薬品食品衛生研究所）  
木内隆（国立医薬品食品衛生研究所）

## A. 研究目的

本分担研究では、輸出拡大が期待されている日本産農作物の中からトマトを取り上げ、それらを加工した加工食品をモデルに農薬等化学物質の摂取量を精密に推定できる新たな手法を開発することを目的とした。初年度では、先ず、欧州、米国やアジアの国々が参加している残留農薬等の規格基準設定に関わる国際会議（FAO/WHO 合同残留農薬専門家会議 [Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Specifications, JMPS]）ならびに FAO/WHO 合同農薬規格会議 [Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Specifications, JMPS] の 2019 年までに公開された報告書から、食品の加工形態に関して調査を実施した。初年度は、この様な国際的な公の場で議論されてきた情報を収集し、得られたデータを用いて解析を行うことで、日本産加工食品に含有する残留農薬の摂取量を農薬の物性値から加工食品の出発原材料（作物）に残留した農薬の加工・調理における濃度の変化の割合（加工係数；Processing factor, PF）を予測できる手法の検討を行うことを目的とした。

PF を実験的に求めるためには、圃場での作物の栽培、農薬散布、収穫を経て、収穫した作物の加工試験を行う必要があることから、多大な時間及び費用を要する。何らかの手法で PF を予測することができれば、農薬摂取量の精緻化の一助となると考えられる。

そこで、農薬の物理化学的性質に基づいて PF を推定可能な PF 予測モデルを開発した。トマトの加工食品である juice, wet pomace 及び dry pomace を対象とし、

PF 及び農薬の物性値との関連性について詳細に解析した上で、正則化回帰法 elastic net による PF 予測モデルの構築を行った。

## B. 研究方法

### PF データの収集

WHO/FAO のホームページより入手した評価書及び報告書のうち、りんご、ぶどう及びトマトのジュース、ポマース及び乾燥ポマースの加工係数について報告のある農薬を選択し、各評価書及び報告書より PF に関するデータを収集した。データの収集は、各加工食品の表記ゆれを考慮した上で行い、ジュースにおいては「Juice」に加えて「Apple juice」、「Grape Juice」、「Tomato juice」、「Pasteurized juice」、「Raw juice」等のデータを、ポマースにおいては「Wet pomace」に加えて「Strain rest」、「Pomace, wet」等のデータを、乾燥ポマースにおいては「Dry pomace」に加えて「Dried pomace」、「Pomace, dry」等のデータをあわせて収集した。

また、本研究では、圃場試験 1 回につき 1 つの PF に関するデータを収集した。すなわち、同条件で栽培した農産物について複数回の加工試験が行われている場合には、各加工試験の PF の平均値をデータとして収集した。なお、同一圃場内で収穫前日数が異なる PF が複数示されている場合には、別データとして取り扱うこととした。

### PF データの整理

収集した PF データのうち、農薬の規制対象に代謝物が含まれる場合には、親化



化合物の PF のみを解析対象とした。RAC 及び加工食品の双方において親化合物の残留が認められず、かつ代謝物の物性値が明らかでない場合、当該農薬は解析対象外とした(例えば、殺菌剤 Thiram)。また、RAC 及び加工食品の双方において親化合物の残留が認められない一方、代謝物が検出され、かつ代謝物の物性値が明らかとなっている場合には、代謝物の PF データを対象として解析を行った(例えば、殺菌剤 Benomyl 及び除草剤 Dichlobenil)。

ぶどうについては、ジュース及びワインの間で製法及び得られる加工食品の組成が大きく異なることから、「Juice production」と「Wine production」が明確に区別して記載されている場合、「Wine production」由来のジュース及びポマースのデータは解析対象外とした。

また、RAC における残留濃度が定量限界未満のデータ、RAC における残留濃度が示されておらず PF 計算時の分母が「Washed fruits」のデータ、りんごにおいて果皮除去後にジュースを調製しているデータについても解析対象外とした。

#### トマト加工試験

トマトに農薬を散布し、商業的な加工を模した加工方法でトマトの juice, wet pomace 及び dry pomace を調製した。なお、本試験は加工試験に関する経済協力開発機構 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) ガイドラインに準じて行った。

##### 1) 農薬の選定

本加工試験の対象農薬として、我が国においてトマトに基準値が設定されてお

り、かつ LC/MS による農薬等の一斉試験法I(農産物)の対象化合物のうち、 $\log K_{ow}$  が  $-0.13$  から  $5.55$ 、 $W_s$  が  $0.0015$  から  $26,000$  mg/L と幅広い物性を示す農薬 23 品目を選定した。次いで、選定した 23 品目について、 $\log K_{ow}$  が 2 未満を示すもの (7 品目)、2 以上 4 未満を示すもの (8 品目)、4 以上を示すもの (8 品目) の 3 群に分類し、各群から 1 品目を無作為に選出した。選出した boscalid, clothianidin 及び fenpyroximate の 3 品目をテストデータ用の農薬とし、その他の 20 品目を訓練データ用の農薬とした。

##### 2) トマトの栽培及び農薬散布

圃場におけるトマトの栽培及び農薬の散布は、一般社団法人日本植物防疫協会に委託した。試験には、対象農薬の防除履歴のないトマト (CF ハウス桃太郎) を用いた。定植後、週に 1-2 回程度、点滴灌水用チューブを用いて  $4,000-6,000$  L/10 a 灌水した。

1 区画あたり  $1.5$  m  $\times$   $10.0$  m  $\times$  2 畝の試験区を 4 区画用意し、それぞれ無処理区、処理区 A、B 及び C とした。各試験区におけるトマトの株数は 80 株であった。また、散布時の作物ステージは草丈 170 cm の収穫期であった。各処理区に散布機 (MSB1100Li, 丸山製作所) 及びノズル (狭角コーンノズル, 丸山製作所) を用いて農薬を散布した。散布回数はいずれも 2 回、散布間隔は 7 日とした。加工試験においては、加工食品で定量可能な残留濃度を得るために、農薬使用基準よりも多量の農薬を適用することが推奨されている。このことから本試験では、農薬使用基準の最小希釈倍数の  $1/3$  の倍数、すなわち

農薬使用基準の3倍の濃度の薬液を散布することとした。また、各農薬の使用基準における散布液量は、metalaxyl-Mでは100–400 L/10 a、その他の農薬では100–300 L/10 a又は150–300 L/10 aと定められていることから、多くの農薬の最大散布液量とほぼ同等の280 L/10 aとした。すなわち、本試験においては、metalaxyl-Mについては農薬使用基準の2.1倍量を、その他の農薬については農薬使用基準の2.8倍量を散布した。

本試験では、複数の農薬を同時に、かつ農薬使用基準よりも高濃度で散布することにより、作物に毒性が現れる可能性が考えられた。そこで、選定した農薬23品目を3つのグループに分割し、処理区A、B及びCにそれぞれ散布した。処理区Aには、アクタラ顆粒水溶剤 [10.0% thiamethoxam 水溶剤、シンジェンタジャパン (東京)]、アドマイヤー水和剤 [10.0% imidacloprid 水和剤、バイエルクロップサイエンス (東京)]、バリアード顆粒水和剤 (30.0% thiacloprid 水和剤、バイエルクロップサイエンス)、アミスター20フロアブル (20.0% azoxystrobin 水和剤、シンジェンタジャパン)、シグナム WDG (6.7% pyraclostrobin / 26.7% boscalid 水和剤、BASF アグロ)、カスケード乳剤 [10.0% flufenoxuron 乳剤、BASF アグロ (東京)]、フェニックス顆粒水和剤 [20.0% flubendiamide 水和剤、日本農薬 (東京)]を、処理区Bにはアフェットフロアブル [20.0% penthiopyrad 水和剤、三井化学アグロ (東京)]、ベトファイター顆粒水和剤 [24.0% cymoxanil / 10.0% benthiavalicarb-isopropyl 水和剤、日本曹達 (東京)]、ダン

トツ水溶剤 [16.0% clothianidin 水溶剤、住友化学 (東京)]、モスピラン顆粒水溶剤 (20.0% acetamiprid 水溶剤、日本農薬)、ライメイフロアブル [17.7% amisulbrom 水和剤、日産化学 (東京)]、プレバソンフロアブル5 [5.0% chlorantraniliprole 水和剤、エフエムシー・ケミカルズ (東京)]、マッチ乳剤 (5.0% lufenuron 乳剤、シンジェンタジャパン) を、処理区Cにはトリフミン水和剤 (30.0% triflumizole 水和剤、日本曹達)、レーバスフロアブル (23.3% mandipropamid 水和剤、シンジェンタジャパン)、アグロスリン水和剤 (6.0% cypermethrin 水和剤、住友化学)、ニマイバー水和剤 (25.0% diethofencarb 水和剤、住友化学)、ランマンフロアブル [9.4% cyazofamid 水和剤、石原バイオサイエンス (東京)]、ダニトロンフロアブル (5.0% fenpyroximate 水和剤、日本農薬)、フォリオゴールド (3.3% metalaxyl-M 水和剤、シンジェンタジャパン) を散布した。分析対象の23品目以外にも、ニマイバー水和剤には25.0% benomyl が、フォリオゴールドには32.0% chlorothalonil が含まれていたが、両化合物はLC/MSによる農薬等の一斉試験法I (農産物) の分析対象化合物でないことから、本試験では分析対象外とした。

農薬の最終散布から3日後に、各処理区より20–22個、重量として3.2–3.3 kgのトマト検体を収穫した。検体の輸送及び保管は4°Cで行った。

### 3) トマトの加工

各処理区より収穫した検体のうち、2.6–2.7 kg (17–18個) のトマトを加工に供した。いずれの処理区の検体も、収穫の2

日後に加工を行った。RAC からの juice, wet pomace 及び dry pomace の調製方法は、German Federal Institute for Risk Assessment (BfR), National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) 及び Benaki Phytopathological Institute (BPI) が示している代表的な加工方法に従った。

トマト果実よりへたを除去し、25°C に調整したトマト重量の 2 倍の水道水で 2 分間洗浄した。グラインドミックス GM 300 (Retsch GmbH, Haan, Germany) の逆回転モードを用いて 1000 rpm で 15 秒間磨砕した後、得られたマッシュをステンレス小型密閉容器に入れ、90–95°C で 3 分間加熱して hot break した。直径 0.8 及び 2.0 mm のメッシュフィルターを有するジュースャー (低速ジュースャー MJ-L600, パナソニック、大阪) で搾汁し、85–90°C で 3 分間低温殺菌して juice を得た。搾汁して得られた wet pomace の一部を分析用に採取した後、70°C で 24 時間乾燥させることにより dry pomace を得た。Dry pomace の水分含有量は、水分計 (MOC63u, 島津製作所、京都) により測定した。

なお、RAC は、我が国の残留農薬分析においてトマトの検体部位として定められている「へたを除去したもの」とした。得られた RAC, juice, wet pomace 及び dry pomace は、分析まで–30°C で保管した。

#### 4) 残留濃度分析

RAC, juice, wet pomace 及び dry pomace における各農薬の残留農薬分析は、LC/MS による農薬等の一斉試験法 I (農産物) を一部改変して行った。

##### ① 試薬・試液

Acetamiprid 標準品、benthiavalicarb-

isopropyl 標準品、cymoxanil 標準品及び triflumizole 標準品、試験溶液の調製に用いた残留農薬試験用アセトニトリル、トルエン及びメタノール、及び LC-MS 用蒸留水及びメタノールは関東化学 (東京) より購入した。Amisulbrom 標準品、azoxystrobin 標準品、boscalid 標準品、chlorantraniliprole 標準品、clothianidin 標準品、cyazofamid 標準品、cypermethrin 標準品、diethofencarb 標準品、fenpyroximate 標準品、flubendiamide 標準品、flufenoxuron 標準品、imidacloprid 標準品、lufenuron 標準品、mandipropamid 標準品、metalaxyl-M 標準品、penthioopyrad 標準品、pyraclostrobin 標準品、thiacloprid 標準品、thiamethoxam 標準品、残留農薬試験用塩化ナトリウム及びケイソウ土 (No. 545) は富士フィルム和光純薬 (大阪) より購入した。その他の試薬については、市販のものを使用した。

各農薬 10 mg を精秤し、アセトニトリル 10 mL に溶解して 1 mg/mL 標準原液を調製した。アセトニトリルへの溶解性が低い場合には、メタノール又はアセトンに溶解して調製した。添加回収試験用の混合標準溶液は、各農薬の標準原液を混合し、濃縮又はアセトニトリルで適宜希釈して調製した。

##### ② 試料の調製

RAC は、包丁で果実を 2 等分した後、GM 300 の正回転モードを用いて 4,000 rpm で 30 秒間磨砕した。Wet pomace 及び dry pomace は、液体窒素で凍結させた後、マルチビーズショッカー (安井器械、大阪) を用いて 2,000 rpm で 30 秒間凍結粉砕した。

### ③ 試験溶液の調製

#### A. 抽出

RAC 及び juice においては、試料 20.0 g にアセトニトリル 50 mL を加え、1 分間ホモジナイズした後、ケイソウ土をろ過助剤として吸引ろ過した。残留物を採り、アセトニトリル 20 mL を加えて 1 分間ホモジナイズした後、吸引ろ過した。得られたろ液を合わせ、アセトニトリルを加えて正確に 100 mL とした。Wet pomace 及び dry pomace においては、試料 2.00 g に水 5 mL を加え、30 分間静置した。これにアセトニトリル 50 mL を加え、1 分間ホモジナイズした後、ケイソウ土をろ過助剤として吸引ろ過した。残留物を採り、アセトニトリル 20 mL を加えて 1 分間ホモジナイズした後、吸引ろ過した。得られたろ液を合わせ、アセトニトリルを加えて正確に 100 mL とした。

RAC においては抽出液 10 mL、juice 及び wet pomace においては抽出液 20 mL、及び dry pomace においては抽出液 5 mL を分取した。次いで、RAC 及び dry pomace のみ、10 及び 15 mL のアセトニトリルを加えた。これに塩化ナトリウム 10 g 及び 0.5 M リン酸緩衝液 (pH7.0) 20 mL を加えて 10 分間振とうした後、3,000 rpm で 5 分間遠心した。得られたアセトニトリル層を 40°C 以下で濃縮して溶媒を除去した後、残留物をアセトニトリル及びトルエン (3:1) 混液 2 mL に溶解した。

アセトニトリル及びトルエン (3:1) 混液 10 mL でコンディショニングしたグラフィイトカーボン/アミノプロピルシリル化シリカゲル積層ミニカラム (500 mg/500 mg、ジーエルサイエンス、東京) に

上記の溶解液を注入した後、アセトニトリル及びトルエン (3:1) 混液 20 mL を注入した。全溶出液を 40°C 以下で濃縮して溶媒を除去した後、残留物をメタノールで溶解し、RAC、juice 及び wet pomace においては正確に 10 mL としたものを、及び dry pomace においては正確に 5 mL としたものを試験溶液とした。各試験溶液は、定量範囲を考慮して適宜希釈した上で測定に供した。

#### ④ LC-MS/MS 分析

各農薬の分析は、LC-MS/MS により行った。LC-MS は、Nexera X3 / LC400D X3 送液ユニット (島津製作所)、SIL-40CX3 オートサンプラー (島津製作所) 及び LCMS-8060NX (島津製作所) を用いた。得られたデータは LabSolutions (島津製作所、ver. 5.113) 及び LabSolutions Insight LCMS (島津製作所、ver. 3.8.351.3) を用いて解析した。メタノールで調製した検量線用試料の各濃度に対するピーク面積値をプロットして検量線を作成し、絶対検量線法により濃度を求めた。

ガードカラム及び分析カラムは ACQUITY UPLC BEH C18 VanGuard Pre-Column (1.7 µm, 2.1 mm x 5 mm, Waters, Milford, USA) 及び ACQUITY UPLC BEH C18 Column (1.7 µm, 2.1 mm x 100 mm, Waters) を用い、注入量は 3 µL とした。カラムオープン温度は 40°C、流速は 0.3 mL/分とした。移動相は溶離液 A (5 mM 酢酸アンモニウム水溶液) 及び溶離液 B (5 mM 酢酸アンモニウムメタノール溶液) の混合溶媒を用いた。グラジエント条件は 0-0.5 分を 15-40% 溶離液 B の直線グラジエント、0.5-1.75 分を 40% 溶離液 B、

1.75–3 分を 40–50%溶離液 B の直線グラジエント、3–4 分を 50–55%溶離液 B の直線グラジエント、4–8.75 分を 55–95%溶離液 B の直線グラジエント、8.75–15 分を 95%溶離液 B とした。

イオン化モードはエレクトロスプレーイオン化 (electrospray ionization, ESI) positive 又は negative モードとし、selected reaction monitoring (SRM) モードで測定を行った。各農薬の検出及び定量は、定量イオン及び確認イオンをモニターすることにより行った。ESI positive モードにおけるキャピラリー電圧は、cypermethrin においては 1.5 kV、その他の農薬においては 1 kV とした。また、ESI negative モードにおけるキャピラリー電圧は、flubendiamide 及び lufenuron においてそれぞれ-1 及び -2kV とした。インターフェイス温度及び脱溶媒温度は 250°C、ヒートブロック温度は 350°C、ネブライザーガス流量は 3 L/分、ドライイングガス流量は 10 L/分、及びヒーティングガス流量は 15 L/分とした。

#### ⑤ PF の計算

Juice, wet pomace 及び dry pomace における各農薬の残留濃度を RAC における残留濃度で除すことにより、各加工食品における PF を算出した。

#### 農薬の物性値の収集

The Pesticide Manual Online 及び JMPR の評価書及び報告書より、各農薬の分子量 (molecular weight, Mw)、 $K_{ow}$ 、 $W_s$ (mg/L, 20–25°C)、比重 (specific gravity, Sg)、融点 (melting point, Mp, °C)、ヘンリー定数 [Henry's constant (Hc, Pa·m<sup>3</sup>/mol)] 及び蒸気圧 (vapor pressure, Vp, mPa) を収集した。

#### データ解析

データ解析は、R ソフトウェア及び JMP ソフトウェア (SAS Institute Japan, 東京) を用いて行った。JMPR の PF データ解析において、1 品目の農薬について複数の PF が得られている場合には、PF の中央値を解析に供した。また、各農薬の Mp はケルビン温度に変換した上で解析に供した。

データの正規性は Shapiro-Wilk test により確認した。PF 及び農薬の物性値の関連性は相関分析により検討した。相関分析においては Spearman の順位相関係数を算出し、多重比較は false discovery rate (FDR) 法により補正した。

PF 予測モデルの構築は、PF を目的変数、農薬の物性値を説明変数とした重回帰分析及び正則化回帰法 elastic net により行った。Elastic net 回帰においては、平均二乗誤差を最小にする最適な  $\alpha$  及び  $\lambda$  をクロスバリデーションにより決定した後に回帰式の推定を行った。得られた回帰式における多重共線性は、各説明変数の variance inflation factor (VIF) を求めることにより評価した。

確立した PF 予測モデルの性能は、PF の実測値及び予測値を比較することにより評価した。実測値に対する予測値の比が 0.50–2.00 を示した農薬の割合、すなわち予測値が実測値の 2 倍以内の値を示した農薬の割合を、%inside 2-fold として算出した。

いずれの検定においても、 $p < 0.05$  を有意差ありとした。各解析及び作図においては、R ソフトウェアの追加パッケージ psych, ggplot2, ggpubr, tidyr, tidyverse,

glmnet, useful 及び car を使用した。

### C. 研究結果及び考察

本分担研究では、JMPR ならびに JMPS から公開されている報告書や評価書を参照し、これまでに議論されてきた農薬（合計 407 種類）の PF 値のデータを文章と表中から収集し、データの解析を行った。PF 値に関しては、特に欧米の食品を中心に議論される傾向にあった。本研究では、海外への輸出が期待される日本産の果実（ブドウ、リンゴ、トマト）の加工食品に関するデータの解析を行った。ジュースならびに搾りかす中の PF については、農薬の水への溶解性を表すような溶解度や、生物への浸透率を示すような logKow（水/1-オクタノール分配係数）との比例関係が示唆され、各々の農薬の物性値と PF 値の関係性を明らかにすることができた。

残留農薬の PF 値に関しては、これまでに JMPR ならびに JMPS で議論された作物は約 140 種類であった。その中には、国内であまり食されないが、西洋で食されるような地中海北部原産のものや沿岸原産のもの（例えば、コールラビやリーキといった野菜）について多く議論がなされている一方で、日本国内で食されるような小豆、モチ米、白菜、水菜などの報告は少ない傾向であることが分かった。

加工形態に関しては、約 740 種類の加工形態が議論されていた。報告されていた加工形態としては、Tier2 に分類されるような簡単な熱などの急激な物理的加工や添加物を加えた状態の段階（例えばジュース、ジャム、ペーストなど）で、文化的な背景や調理法によって加工形態が複雑

になるような Tier3 に属する加工食品（例えば、ピザ、ラザニア、スパゲティなど）に関する PF の報告は圧倒的に少ないことが示唆された。Tier3 の加工食品は、PF 値が 1 以下になる傾向があるのに対して、加工・調理の過程が少ないような加工食品（Tier1,2）は、PF 値が 1 以上になる農薬が多く報告される傾向にあることが判った。

PF 値は、作物残留試験のために試験農場での決まった農薬の散布方法・濃度・散布回数等のあらかじめ決められた手順に従って栽培され、その後、収穫、調理加工され、残留農薬が定性・定量的に分析後算出される。特に、農薬申請企業からは、PF 値が 1 以上になるような作物と調理・加工が選択され、実験的に数値を算出することが求められる。ブドウ、リンゴ、トマトなどの果実については、「juice」、「wet pomace」、「dry pomace」の 3 種類の食品に分類して、それぞれの作物と加工形態に属する PF の数値を収集し、データを解析した。その結果、「Dried pomace」と「Wet pomace」に関しては、PF と logKow に正の比例関係、「Juice」に関しては PF と logKow に負の比例関係にあることが判り、PF と溶解度は、逆に「Dried pomace」と「Wet pomace」に関しては、PF と logKow に負の比例関係、「Juice」に関しては PF と logKow に正の比例関係にあることが示唆された。

以上の結果から、特に調理・加工時の工程が複雑でないような食品に関しては、各々の農薬について作物残留試験や残留濃度を分析・測定は必要なく、加工形態がシンプルであれば、各農薬の物性値から

PF 値を予測可能であることが示唆された。

次に、JMPR 及び本研究で実施したトマト加工試験の PF データを詳細に解析することにより、トマトの juice, wet pomace 及び dry pomace における PF と農薬の物性値の関連性を明らかにした。また、PF を目的変数、PF と相関が認められた農薬の物性値を説明変数として、正則化回帰法 elastic net を用いた PF 予想モデルを確立した。さらに、トマト加工試験のデータを基に確立した PF 予測モデルについて、モデルの予測性能を評価した。

PF との間に有意な相関が認められた物性値を説明変数として、重回帰分析による PF 予測モデルの確立を試みた。しかし、重回帰分析により得られた回帰式においては、多重共線性が認められることが明らかとなった。そこで、正則化回帰法 elastic net による PF 予測モデルの構築を試みたところ、各説明変数の VIF が 5.3 以下を示す回帰式が得られた。これらの結果から、elastic net を用いることにより、多重共線性を回避した上で PF 予測モデルを構築できることが示唆された。過去の報告において、りんごの juice における農薬の PF を Kow 及び土壌吸着定数 (organic carbon partition coefficient, Koc) により説明する回帰式が確立されているが、この研究において、多重共線性は考慮されていない。したがって、本研究で開発した PF 予測モデルは、多重共線性を克服した上で、農薬の物性値に基づいて PF を予測可能な初めてのモデルであると言える。

トマト加工試験の PF データから得られた PF 予測モデルについて、PF の実測値及び予測値を比較することにより、モ

デルの予測性能を評価した。juice, wet pomace 及び dry pomace のいずれにおいても、%inside 2-fold は訓練データ用の農薬 20 品目において 80–95%、テストデータ用の農薬 3 品目において 100%を示した。テストデータ用の農薬数が 3 品目と限られているため、予測性能の詳細については今後さらなる検証が必要ではあるものの、本研究で開発した PF 予測モデルは、一定の精度をもって PF を予測可能であると考えられた。本モデルを活用することにより、PF が未知の農薬についても、煩雑な加工試験を都度行うことなく、農薬の物性値に基づいて PF を予測できると期待される。

Elastic net により JMPR の PF データから得られた回帰式のうち、juice の回帰式における  $R^2$  は 0.085 と低値を示し、JMPR のデータセットにおいては、juice について PF 予測モデルを構築することは困難であると考えられた。この原因として、各農薬間で①農薬の最終散布から収穫までの期間 (pre-harvest interval, PHI) が異なる、②加工の詳細な条件が異なる等の要因が考えられる。特に①について、果皮から果実内部への農薬の浸透は農薬の性質及び時間に依存することが報告されていることから、各データ間で PHI が異なることにより、主に果肉に由来する juice の残留濃度にはばらつきが生じると考えられる。また、②についても、加工試験における食品の加工方法はできる限り「industrial or domestic practices」を模すこととされているが、その詳細は定められておらず、加工試験ごとに異なる方法及び機器を用いて RAC の加工を行っている。

JMPR の PF データにおいては、同一の農薬及び加工形態内でも PF 値にばらつきが認められる場合があり (data not shown)、この一因としても、試験間で PHI 及び加工方法が統一されていないことが挙げられる。実際に、PHI 及び加工方法が同一のトマト加工試験のデータにおける juice の回帰式の  $R^2$  は 0.604 を示し、wet pomace 及び dry pomace についても、回帰式の  $R^2$  は JMPR のデータに比較して高値を示した。さらに、過去の報告において、りんごに複数の農薬を散布し、juice における各農薬の PF を同一加工条件下で算出した結果、Kow 及び Koc を説明変数とした  $R^2 = 0.702$  の重回帰モデルが得られることが示されている。また、収穫後のぶどうに複数の農薬を添加し、ワインにおける各農薬の PF を同一加工条件下で算出した結果、pKow を説明変数とした  $R^2 = 0.8522$  の単回帰モデルが得られることも示されている。以上より、PF 予測モデルの構築においては、PHI や加工方法を統一、又は各条件の違いを考慮したデータを用いることが重要と考えられた。

本研究で行ったトマト加工試験の対象農薬は、我が国においてトマトに基準値が設定されており、かつ LC/MS による農薬等の一斉試験法 I (農産物) の対象化合物から選定された。すなわち、一般的に GC/MS により分析される農薬は解析に含まれていない。GC/MS で分析される農薬は揮発性が高いことから、加工過程に含まれる加熱操作において揮散し、揮発性の低い農薬と異なる挙動を示す可能性が高い。揮発性の高い農薬についても本モデルのコンセプトを適用可能か否かにつ

いては、さらなる検討が必要である。また、本研究においては、解析に投入した農薬の物性値は、いずれもその値が一意に示されているパラメーターのみとした。過去の報告において PF 予測の説明変数として用いられている Koc 及び PF との関連性が報告されている加水分解性及び熱分解性については、一意の値が示されていない、又は一部の農薬でデータが欠損していたことから、解析に投入することができなかった。今後、これらの物性値についても解析に含めることにより、PF 予測モデルの予測性能はさらに向上するものと期待される。また、加工操作の試行回数や訓練データ用の農薬の数を増やすことも、モデルの改良に有効かもしれない。

本研究では、トマトの juice, wet pomace 及び dry pomace を対象食品として解析を行った。他の作物及び加工食品についても同様の PF 予測モデルを確立することができれば、「農薬の物性値に基づいて PF を予測する」コンセプトの有用性はさらに高まるものと考えられる。我が国では、MRL の設定にあたって、加工試験は要求されていない。この背景から、海外で加工試験の実施が少なく、かつ日本では主要な加工食品、すなわち米、茶等由来の加工食品については、PF に関する情報が限られているのが現状である。これらの加工食品における PF 予測モデルの適用可能性を明らかにすることができれば、我が国における残留農薬のリスク管理及びリスク評価や、日本産の加工食品の輸出拡大の一助となると期待される。また、EU の PF データベース及び OECD ガイドラインにおいては、類似の作物及び加工方



法への PF の外挿可能性について議論がなされている。本研究により確立されたトマトの juice, wet pomace 及び dry pomace おける PF 予測モデルの他の作物及び加工食品への外挿可能性についても、今後さらなる検証を行いたい。

本研究でその一部を示したように、加工試験に求められるデータは膨大であり、試験の実施には多大な費用、時間及び手間を要する。国際的には、PF を用いてより詳細な暴露評価を行うことがトレンドとなっているが、我が国の農薬使用基準に従って全ての作物、加工食品及び農薬について PF を取得し、新たに PF データベースを構築することは現実的ではない。我が国では、EU のデータベース等を活用することを念頭に、諸外国で広く PF データが得られている作物及び農薬については、加工方法及び作物間の外挿可能性の解明に注力すべきと考える。一方で、海外で加工試験の実施が少なく、かつ日本では主要な加工食品のうち、特に喫食量の多い加工食品又は PF が高値を示す加工食品については、我が国において加工試験の実施を考慮する必要がある。加工試験を行うにあたっては、EU のデータベースにおいて *representative processed techniques* が示されているように、加工方法の詳細について情報を収集及び整理することも重要と考えられる。

#### D. 結論

果実の加工（ジュースとその搾りかす）を例に、これまで国際会議の場で議論されてきた残留農薬に関する PF 値のデータを分析した。その結果、農薬の物性値と

PF 値との相関性が明らかとなった。PF と相関が認められた農薬の物性値を説明変数として、正則化回帰法 *elastic net* を用いて開発した PF 予測モデルは、一定の精度をもって PF を予測可能であると考えられた。今後、本モデルの他の作物及び加工食品への適用可能性を検討することにより、残留農薬のリスク評価及びリスク管理に貢献できると期待される。

#### E. 研究発表

誌上発表

1. 中村公亮、穠山浩、食品中の残留農薬等の基準に係わる情報の包括的データベースの構築、食品衛生研究, 72, 1, 17-23, 2022
2. 阿波圭介、福澤学、渡邊敬浩、中村公亮、FAO/WHO 合同食品規格計画第 52 回残留農薬部会 (CCPR) 報告、食品衛生研究, 72, 3, 27-36, 2022
3. 中村公亮、吉池信男、穠山浩、FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議 (JECFA) が提唱した残留動物用医薬品等の *Global Estimate of Acute Dietary Exposure (GEADE)* について、食品衛生研究, 73, 2, 27-32, 2023
4. 富田耕太郎、渡邊敬浩、中村公亮、FAO/WHO 合同食品規格計画 第 53 回残留農薬部会 (CCPR53)、食品衛生研究, 73, 4, 29-39, 2023

学会発表

1. 千葉慎司、中村公亮、鍋師裕美、堤智昭、蜂須賀暁子、穠山浩：食品中の放射性セシウムに関する公開検査データに基づく日本産水産物の現状について、日本食

- 品化学学会 第 27 回 総会・学術大会、川崎市、2021 年 6 月 10 日 (木) ~6 月 11 日 (金)
2. 中村公亮、千葉慎司、佐々木敏、吉池信男、穠山浩：国際機関の公開評価データと農薬の物性値から予測される加工食品中の残留農薬量の変化、日本食品化学学会 第 27 回 総会・学術大会、川崎市、2021 年 6 月 10 日 (木) ~6 月 11 日 (金)
3. 中村公亮、千葉慎司、佐々木敏、吉池信男、穠山浩：国際機関の公開評価データと農薬の物性値から予測される加工食品中の残留農薬量の変化、日本食品化学学会 第 27 回 総会・学術大会、川崎市、2021 年 6 月 10 日 (木) ~6 月 11 日 (金)
4. Nakamura, K., Chiba, S., Kashiwabara, N., Sasaki, S., Yoshiike, N., Tsutsumi, T., Akiyama, H. Estimation of a pesticide residue concentration in processed food using a processing factor, The 2021 AOAC Annual Meeting & Exposition at Boston, Massachusetts, USA, Aug. 27-Sep. 2, 2021
5. 中村公亮、千葉慎司、鶴身和彦、加藤公子、堤智昭、穠山浩：日本の食品中農薬残留基準に関わる情報を統合させたデータベースのツール開発 (第一報)、第 55 回全国衛生化学技術協議会年会、2021 年 11 月 15 日 (月) ~26 日 (金)
6. 中村公亮、千葉慎司、木内隆、吉池信男、小川久美子、堤智昭、穠山浩：一日最大喫食量データを用いた動物用医薬品等の短期摂取量推計の精緻化、日本薬学会第 142 年会、2022 年 3 月 25 日 (金) ~28 日 (月)、名古屋
7. 山崎由貴、中村公亮、千葉慎司、柏原奈央、穠山浩、堤智昭：国際機関の公開評価データを用いた食品の加工係数の網羅的解析、日本薬学会第 142 年会、2022 年 3 月 25 日 (金) ~28 日 (月)、名古屋
8. 中村公亮、千葉慎司、木内隆、柏原奈央、山崎由貴、佐々木敏、吉池信男、穠山浩、堤智昭：加工食品を含む食品からの残留農薬等の摂取量を推定できる新たな手法の開発の試み、日本食品化学学会第 28 回総会・学術大会、2022 年 5 月 20 日、東京
9. 山崎由貴、中村公亮、千葉慎司、柏原奈央、穠山浩、堤智昭：国際機関の農薬評価データの網羅的解析に基づく食品の加工係数予測モデルの構築、第 8 回次世代を担う若手のためのレギュラトリーサイエンスフォーラム、2022 年 8 月 26 日、東京
10. Yamasaki, Y., Nakamura, K., Chiba, S., Kashiwabara, N., Akiyama, H., Tsutsumi, T., “Development of a prediction model for processing factor of pesticides based on comprehensive analysis of international organization’s reports”, The 2022 AOAC International Annual Meeting, August 31st 2022, Scottsdale, Arizona, USA
11. Nakamura, K., Kiuchi, T., Chiba, S., Yamasaki, Y., Sasaki, S., Yoshiike, N., Akiyama, H., Tsutsumi, T., “Development of a refined dietary exposure assessment method for pesticides using a nationwide dietary survey data”, The 2022 AOAC International Annual Meeting, August 31st 2022, Scottsdale, Arizona, USA
12. 中村公亮、千葉慎司、木内隆、柏原奈央、山崎由貴、佐々木敏、吉池信男、穠山浩、堤智昭：～最新の全国食品摂取量デー

タを用いた解析～日本人の残留農薬等のばく露量推計の精密化の試み、第 59 回全国衛生科学技術協議会年会、2022 年 10 月 31 日・11 月 1 日、神奈川

13. 山崎由貴、中村公亮、柏原奈央、千葉慎司、穂山浩、堤智昭：農薬の物理化学的性質に基づく食品の加工係数予測モデルの開発、日本食品衛生学会第 118 回学術講演会、2022 年 11 月 10 日、長崎

14. 小山達也、中村公亮、吉池信男：日本食品標準成分表に掲載されている加工食品の原材料配合比を推測する方法の検討、日本食品衛生学会第 118 回学術講演会、2022 年 11 月 10 日（木）～ 11 月 11 日（金）、長崎

#### F. 知的財産権の出願・登録状況

なし

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)  
加工食品の輸出拡大に向けた規格基準設定手法の確立のための研究  
総合分担研究報告書

## 調理加工係数のデータベースの構築

研究分担者 青森県立保健大学大学院健康科学研究科 吉池 信男 教授

### 研究要旨

残留農薬等、食品中の化学物質の曝露評価の精密化を図ることを目的として、加工食品に焦点を当て、個々の食品における調理・加工プロセスを類型化し、原材料的食品の配合割合等を算出するための調理加工係数を推定する方法を考案した。2020年12月に公表された日本食品標準成分表2020年版(八訂)に掲載されている食品のうち、「18群:調理済み流通食品群」(50食品)を除く2428食品について調理加工係数を推定した。

初年度(令和2年度)は、その時点の最新版であった日本食品標準成分表2015年版を対象として、調理加工係数の問題点を洗い出し、推定の基本となる手法を検討した。第2年度(令和3年度)は、さらに調理・加工プロセスによる食品の類型化と加工食品を製造するための原材料的食品の重量の推定方法を検討した。最終年度(令和4年度)は、日本食品標準成分表2020年版(八訂)を対象として、具体的な作業を進め、調理後食品487食品、加工食品908食品に関して調理加工係数を推定することができた。それらの調理加工係数をデータベース化して、算定根拠とともにGitHubにて公開し、随時更新を行う予定である。

研究協力者:

小山達也 (青森県立保健大学)

### A. 研究目的

食品には、栄養成分の他に残留農薬などの有害物質が含まれ、それらの食事からの曝露量を正確に推定することは、食の安全を確保していく上で重要である。近年の食生活の変化により、生鮮食品の消費量は減少し、加工食品の消費量は増加する傾向にある。そのため、生鮮食品だけでなく、複雑な加工を経て生産・流通される食品を含めて、残留農薬などの曝露量を推定することが重要となってくる。

しかし、製造・流通している加工食品の種類は極めて多く、すべての加工食品に含まれる有害物質等の量を分析することは不可能に近い。そこで、加工食品を製造するための原材料的食品の量がわかれば、加工食品中に含まれる有害物質の量も推定できる。加工食品の製造法の資料は多いが、原材料的食品の配合割合について記載された資料は限られ、それらを推定する方法についての報告もあまりなされていない。

また、日本から海外へ加工食品を輸出する際には、食品摂取量や加工係数、調理加工係数等の科学的根拠に基づいたデータの開示が求められている。そのため、日本人が日常的に摂取している加工食品の原材料配合割合についてのデータベースを構築が求められている。

そこで、本研究では、日本食品標準成分表 2020 年版(八訂)に掲載されている食品について、加工食品の原材料配合割合等を算出するための調理加工係数を推定する方法を考案し、それに基づき求めた調理加工係数に関するデータベースを作成し、その根拠資料とともに公開したので報告する。

## B. 研究方法

### 1) 初年度(令和 2 年度)

日本食品標準成分表 2015 年版に掲載されている食品を対象に、調理加工係数を推定する上での課題を検討した。成分表に掲載されている食品は、原材料的食品と加工食品に分けられる。原材料的食品の調理食品は、日本食品標準成分表 2015 年版で示された重量変化率を用いて、原材料的食品の「生」や「乾」などの未調理食品の重量を決定することができた。一方、加工食品は、2通りの方法で、原材料的食品の「生」や「乾」などの未調理食品の重量を推定することができた。

① 日本食品標準成分表の成分値が、計算値で示されている加工食品

原材料配合割合は、日本食品標準成分表の食品群別留意点に記載されていることから、そのまま用いることが可能である。

② 日本食品標準成分表の成分値が、計算値以外の加工食品

加工食品の原材料を、日本食品標準成分表の食品群別留意点や関連書籍から加工食品の原材料を把握した。次に、その原材料の成分値と加工食品の成分値から方程式などを用い、加工食品 100g を作るのに必要な原材料の重量を推定した。

### 2) 第 2 年度(令和 3 年度)

日本食品標準成分表 2015 年版に掲載されている食品を対象に、加工食品を製造するための原材料的食品の重量の推定方法を検討した。まず、今回の作業のために食品を以下のように類型化した。

調理後の食品、それ以外の方法(物理的、化学的、生物学的方法)で加工された食品を加工食品とし、調理後の食品、加工食品いずれでもない食品を原材料的食品(食材)とした。

日本食品標準成分表に掲載されている食品の成分値の決定根拠は、「分析値」、「文献値」、「計算値」、「類推値」、「借用値」、「推定値」のいずれかである。そのうち、計算値は日本食品標準成分表に掲載されている食品の成分値と、標準的な原材料配合割合に基づいて、計算によって求めた値であり、食品群別留意点または備考欄に原材料配合割合が記載されている。

原材料配合割合が掲載されていない食品の原材料は、食品群別留意点及び関連書籍から特定した。原材料配合割合の推定は、①乾燥品、②塩蔵品、③アルコール発酵、酢酸発酵によって製造する食品、④その他の加工食品に分け、検討した。

乾燥食品は、原材料的食品を乾燥させただけの加工食品である。そこで、原材料的食品の水分量と加工食品の水分量から、加

工食品を製造するために必要な原材料的食品の重量を算出した。

塩蔵食品は、主な原材料的食品 1 つと食塩から製造される食品とした。塩蔵の過程で水分とともに多くの成分が流出したり、発酵により化学変化が起こる。そこで食塩には水分がないことから、原材料的食品の水分量と加工食品の水分量から、加工食品を得るための原材料的食品の重量を算出した。塩蔵品に含まれる食塩の量から塩蔵品を製造するために必要な食塩の量を求めた。塩蔵品の推定法を応用できる加工食品としては、ぬかみそ漬、酢漬、粕漬、こうじ漬、甘酢漬、しょうゆ漬、みそ漬があった。

アルコール発酵、酢酸発酵によって製造する食品は、アルコール発酵、酢酸発酵の化学反応式と量的関係を用いて、加工食品中の利用可能炭水化物、アルコール、酢酸の量から原材料的食品の重量を推定した。

### 3) 最終年度(令和 4 年度)

#### 3) -1 対象食品

日本食品標準成分表 2020 年版(八訂)に掲載されている食品のうち、「18 群:調理済み流通食品群」(50 食品)を除く 2428 食品を対象とした。「調理済み流通食品群」を除外した理由は、この群に含まれる食品数は、日本食品標準成分表の改定ごとに充実されているが、市中に流通する多種多様な調理済み食品のごく一部のみがカバーされており、さらに成分表上で掲載されている栄養素が限られている。そのため、国民健康・栄養調査をはじめ日本国内で実施される栄養摂取状況調査においては、この群を除外した食品を組み合わせる対象者の食事を把握・評価することが多いためである。

その結果、対象とした食品を、①未調理・未加工の食品、②調理後食品 (cooked foods)、③加工食品 (raw primary commodity (RPC) derivatives) に分類した。なお、ここでの調理は、水煮、ゆで、炊き、蒸し、電子レンジ調理、焼き、油いため、ソテー、素揚げ、天ぷら、フライおよびグラッセの加熱調理と、水さらし、水戻しの非加熱調理である。

#### 3) -2 調理後食品における調理加工係数の推定方法

調理後食品の調理加工係数は、日本食品標準成分表に掲載されている調理による重量変化率、揚げ物における衣の割合及び脂質量の増減、いため物における脂質量の増減をもとに推定した。

#### 3) -3 加工食品における調理加工係数の推定方法

加工食品の成分変化から、①乾燥食品 (dried foods)、②塩蔵品 (salted foods)、③発酵食品 (fermented foods)、④原材料を組み合わせることができる食品 (mixed foods (other foods that multiple ingredients are mixed, excluding dried, salted and fermented ones)) に分けて、調理加工係数を推定した。

##### ① 乾燥食品(43 食品)

原材料が 1 つの食品で、乾燥する前と乾燥した後のいずれも日本食品標準成分表に掲載されている食品を「乾燥食品」に分類した。乾燥前後の水分の重量に着目し、乾燥により水分が減少すると考え、乾燥前の食品の水分量と乾燥後の食品 (= 乾燥食品) の水分量から、乾燥食品の原材料 (= 乾燥前の食品) の重量、すなわち調理加工係数を推定した。

## ② 塩蔵品(32 食品)

調理加工係数の算定方法に関して、以下の様に分類した。

- a) 原材料が1つと食塩からなる食品(22 食品)
- b) 原材料が 1 つで食塩と米ぬかから作られる「ぬかみそ漬」(6 食品)
- c) 原材料が 1 つで食塩とみそから作られる「みそ漬」、原材料が 1 つで食塩と酢から作られる「酢漬」(1 食品)
- d) 原材料が 1 つで食塩と酢、砂糖から作られる「甘酢漬」(4 食品)

上記の a)～e)について、以下のように調理加工係数を推定した。

- a) 塩蔵前後の水分の重量と食塩の重量をもとに推定した。すなわち、塩蔵の過程で脱水し、水分が減少し、食塩が添加されると考えた。
- b) ぬかみそ漬:原材料と食塩の重量は、原材料が 1 つで食塩からなる塩蔵品と同様に推定し、米ぬかの重量はぬかみそ漬のビタミン B<sub>1</sub>の重量から推定した。
- c) みそ漬:原材料と食塩の重量は、原材料が1つで食塩からなる塩蔵品と同様に推定し、みその重量はみそ漬のたんぱく質の重量から推定した。
- d) 酢漬:原材料と食塩の重量は、原材料が1つで食塩からなる塩蔵品と同様に推定し、酢の重量は酢漬の炭水化物の重量から推定した。

## ③ 発酵食品(30 食品)

ここでの発酵食品は、アルコール発酵や酢酸発酵により作られ、日本食品標準成分表にアルコールの重量や酢酸の重量が掲載されている食品である。これらの発酵により、

原材料中の炭水化物の一部は、アルコール(エタノール)や酢酸に変化するが、アルコールや酢酸を作るのに必要なブドウ糖の量は知られているため、その値と原材料および発酵食品の炭水化物の重量を用いて調理加工係数を推定した。

## ④ 原材料を組み合わせでできる食品(897 食品)

原材料を組み合わせでできる食品には、日本食品標準成分表に原材料配合比が掲載されている食品(258 食品)と掲載されていない食品(639 食品)とがある。日本食品標準成分表に原材料配合比が掲載されている食品は、その配合比を用いて調理加工係数を推定した。

原材料配合比が掲載されていない食品は、一部の栄養成分は加工により変化しないと仮定し、(連立)方程式により調理加工係数を推定した。(連立)方程式に用いる栄養素は、加工によって変化しないと考えられること、原材料の成分含有率が多い栄養成分を中心に選定した。

## C. 研究結果及び考察

### 1) 初年度(令和2年度)

#### ① 日本食品標準成分表の成分値が、計算値で示されている加工食品

「くし団子・みたらし」(食品番号 15019)を例として説明する。食品群別留意点に、「製品部分割合:団子 9、たれ 2、原材料配合割合:団子[上新粉 100]、たれ[砂糖(上白糖) 95、こいくちしょうゆ 54、じゃがいもでん粉 14]」と示されている。製品部分割合、原材料配合割合を用いれば、くし団子・みたらし 100g を作るのに必要な上新粉は

$$\frac{9}{9+2} \times 100 = 81.8\text{g},$$

砂糖(上白糖)は

$$\frac{2}{9+2} \times \frac{100}{100+54+14} \times 100 = 10.8\text{g},$$

こいくちしょうゆは

$$\frac{2}{9+2} \times \frac{54}{100+54+14} \times 100 = 5.8\text{g},$$

じゃがいもでん粉は

$$\frac{2}{9+2} \times \frac{14}{100+54+14} \times 100 = 1.5\text{g}$$

と求めることができる。

② 日本食品標準成分表の成分値が、計算値で示されていない加工食品

②-1 加工食品の主な原材料が1つであり、加工により成分値が大きく変化しないと仮定できる成分値がある場合

たとえば、「豆乳」(食品番号 04052)の主な原材料は、大豆である。豆乳類の日本農林規格は、大豆たんぱく質含有率により定められている。そこで、豆乳 100g のたんぱく質 3.6g であり、大豆 100g のたんぱく質 33.8g であるから、豆乳 100g を作るのに必要な大豆は  $3.6 \times 100 / 33.8 = 10.7\text{g}$  と推定できる。

②-2 加工食品の主な原材料が複数の食品であり、加工により成分値が大きく変化しないと仮定できる成分値がある場合

たとえば、ぶどう豆の主な原材料は、大豆、砂糖(上白糖)、こいくちしょうゆである。ぶどう豆 100g の原材料を大豆 x(g)、砂糖 y(g)、しょうゆ z(g) とすると、ぶどう豆 100g のたんぱく質 14.1g、炭水化物 37.0g、食塩相当量 1.6g であり、大豆 100g のたんぱく質 33.8g、炭水化物 29.5g、食塩相当量 0.0g であり、砂糖 100g のたんぱく質 0.0g、炭水化

物 99.3g、食塩相当量 0.0g であり、しょうゆ 100g のたんぱく質 7.7g、炭水化物 7.9g、食塩相当量 14.5g であるから

$$\frac{1}{100} \begin{bmatrix} 33.8 & 0.0 & 7.7 \\ 29.5 & 99.3 & 7.9 \\ 0.0 & 0.0 & 14.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 14.1 \\ 37.0 \\ 1.6 \end{bmatrix}$$

が成り立ち、 $x=27.1$ ,  $y=28.6$ ,  $z=8.3$  と求めることができる。

②-3 加工により成分が化学変化するが、その化学変化が化学反応式として表される場合

たとえば米酢の主な原材料は水稻穀粒・精白米・うるち米である。

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  (分子量 180)  $\rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$ ,  
 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$  (分子量 60)  $+ \text{H}_2\text{O}$   
 から、酢酸 60g を作るのに必要なブドウ糖は  $180 \div 2 = 90\text{g}$  であるから、米酢 100g 中の米に由来する炭水化物は

$$7.4 + 4.4 \times \frac{90}{60} = 14.0\text{g}$$

となる。米 100g の利用可能炭水化物は 83.1g であるので、米酢 100g を作るのに必要な米は

$$14.0 \times \frac{100}{83.1} = 16.8\text{g}$$

と推定できる。

2) 第2年度(令和3年度)

① 日本食品標準成分表に原材料配合割合が記載されている食品

日本食品標準成分表に原材料配合割合が記載されている食品は、穀類で 18 食品、卵類で 3 食品、菓子類で 114 食品、調味料及び香辛料類で 33 食品であった。

② 乾燥食品

日本食品標準成分表に、乾燥させる前の



食品、すなわち生の食品と乾燥させた後の食品の両方が掲載されている食品は、いも類で 1 食品、野菜類で 5 食品、果実類で 5 食品、きのこ類で 2 食品、藻類で 1 食品、魚介類で 13 食品であった。

干物では、製造過程でたんぱく質や脂質が変化することが知られている。そこで、乾燥食品と原材料的食品の水分に着目して、乾燥食品を製造するのに必要な原材料的食品の重量を推定した。水分  $a(\%)$  の原材料的食品が  $w(\text{g})$  脱水し、水分  $b(\%)$  の乾燥食品  $100 \text{ g}$  になったとすると

$$\frac{a}{100} = \frac{b + w}{100 + w}$$

から

$$w = \frac{100(a - b)}{100 - a}$$

となり、乾燥食品  $100 \text{ g}$  を製造するのに必要な原材料的食品は

$$100 + w = \frac{100(100 - b)}{100 - a} (\text{g})$$

と求めることができる。

### ③塩蔵食品

塩蔵食品の計算手順は以下のようになる。水分  $a(\%)$  の原材料的食品が、 $w(\text{g})$  脱水し、食塩  $s(\text{g})$  移行し、水分  $b(\%)$  の塩蔵食品  $100 \text{ g}$  になったとすると

$$\frac{a}{100} = \frac{b + w}{100 + w - s}$$

から

$$w = \frac{100(a - b) - as}{100 - a}$$

となり、塩蔵食品  $100 \text{ g}$  を製造するのに必要な原材料的食品は

$$100 + w - s = \frac{100(100 - s - b)}{100 - a} (\text{g})$$

と求めることができる。

日本食品標準成分表に掲載されている食品で、塩蔵食品に該当する食品は、野菜類で 16 食品、果実類で 3 食品、魚介類で 29 食品、肉類で 4 食品であった。

塩蔵食品における推定方法を応用できる、ぬかみそ漬は 7 食品、酢漬は 1 食品、粕漬は 2 食品、こうじ漬は 2 食品、甘酢漬は 4 食品、しょうゆ漬は 1 食品、みそ漬は 1 食品があり、いずれも野菜類であった。

ぬかみそ漬の主な原材料は野菜、食塩、米ぬかであり、酢漬は主な原材料は野菜、食塩、酢であり、粕漬の主な原材料は野菜、食塩、酒かすであり、こうじ漬は主な原材料は野菜、食塩、米こうじである。ぬかみそ漬の野菜と食塩の重量は塩蔵食品と同様に計算し、米ぬかの重量は増加したビタミン  $B_1$  の量、酢漬、粕漬、こうじ漬の野菜と食塩量は塩蔵食品と同様に計算し、酢、酒かす、米こうじの重量は増加した炭水化物の量から推定した。

甘酢漬の主な原材料は野菜、食塩、食酢、砂糖である。甘酢漬の野菜と食塩量は塩蔵食品と同様に計算し、砂糖の重量は増加したしよ糖の量<sup>4)</sup>から推定し、食酢の重量は増加した炭水化物が食酢と砂糖に由来すると仮定の下、推定した。

しょうゆ漬の主な原材料は野菜、食塩、しょうゆ、砂糖であり、みそ漬の主な原材料は野菜、食塩、みそ、砂糖である。しょうゆ漬、みそ漬の野菜の重量は塩蔵食品と同様に計算し、しょうゆ、みその重量は増加したたんぱく質の量から推定し、食塩の重量は増加した食塩相当量がしょうゆまたはみそと食

塩に由来するとして推定し、砂糖の重量は増加した炭水化物がしょうゆまたはみそと砂糖に由来するとして推定した。

#### ④アルコール発酵、酢酸発酵によって製造する食品

アルコール発酵、酢酸発酵によって製造する食品に該当する食品は、嗜好飲料類で 11 食品、調味料及び香辛料類で 6 食品であった。

アルコール発酵の主反応は  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$ 、酢酸発酵の主反応は  $C_2H_5OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$  であり、ブドウ糖、エタノール、酢酸の分子量はそれぞれ 180、46、60 であるので、加工食品 100g に含まれるエタノールが  $a(g)$  のとき、原材料的食品に由来するブドウ糖は  $a/46 \times 1/2 \times 180 = 45/23 a(g)$  となる。また、加工食品 100 g に含まれる酢酸が  $b(g)$  のとき、原材料的食品に由来するブドウ糖は  $b/60 \times 1/2 \times 180 = 3/2 b(g)$  となる。その後の計算は、5. その他の加工食品と同様である。

しかし実際には、アルコール発酵中に酵母菌が増殖するためにブドウ糖が約 20%消費され、ブドウ糖 1 kg から得られるエタノールは約 0.42 kg であるとされる。また、酢酸発酵でも、発酵中に酢酸菌が消費する他エタノールとして残存する分もあり、1 kg のエタノールから約 1 kg の酢酸が生成されるとされる。加工食品 100 g に含まれるエタノールが  $a(g)$  のとき、原材料的食品に含まれるブドウ糖は  $2.38a(g)$  となる。また、加工食品 100 g に含まれる酢酸が  $b(g)$  のとき、原材料的食品に含まれるブドウ糖は  $2.38b(g)$  となる。

#### ⑤その他の加工食品

たとえば、うどんの原材料は、中力粉と食塩である。うどん 100 g の中力粉、食塩の重量をそれぞれ  $x(g)$ 、 $y(g)$  とすると、うどん 100 g の炭水化物は 56.8 g、食塩相当量 2.5 g であり、中力粉 100 g の炭水化物 75.1g、食塩相当量 0.0g であり、食塩 100 g の炭水化物は 0.0 g、食塩相当量 99.5 g であるから、連立方程式として

$$\frac{1}{100} \begin{bmatrix} 75.1 & 0.0 \\ 0.0 & 99.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 56.8 \\ 2.5 \end{bmatrix}$$

が成り立つ。これを解くと  $x=75.6$  g、 $y=2.5$  g と求まる。この方法では、原材料の数と同じ数だけ栄養素等の成分値が必要となる。

#### 3) 最終年度(令和 4 年度)

日本食品標準成分表 2020 年版(八訂)に掲載されている 2478 食品のうち、調理済み流通食品群に該当する 50 食品を除外した 2428 食品について、調理加工係数の推定を試みた。928 食品(38%)が未調理・未加工の食品、487 食品(20%)が調理後食品、1013 食品が加工食品であった。

1013 の加工食品のうち、乾燥食品に該当する食品が 43 食品、塩蔵品に該当する食品が 35 食品、発酵食品に該当する食品が 40 食品であった。また、原材料を組み合わせることができる食品で日本食品標準成分表に原材料配合比が掲載されている食品が 258 食品、掲載されていない食品が 637 食品であった。

原材料を組み合わせることができる食品で日本食品標準成分表に原材料配合比が掲載されていない食品のうち、日本食品標準成分表に原材料が掲載されていない、原材料の食品が多すぎる、加工工程が複雑であることにより、105 食品は調理加工係数を推定する

ことができなかった。

本研究で推定した調理加工係数の限界として、2点考えられる。まず、日本食品標準成分表に掲載されている栄養成分値を用いて推定したことである。そのため、加工食品の原材料となる食品を日本食品標準成分表に掲載されている食品から選択したが、加工食品に用いられる品種とは異なっている可能性がある。品種が異なることで、栄養成分値が異なり、それに伴い調理加工係数の値が異なってくる可能性がある。また、組み合わせることができる食品で原材料配合比が掲載されていない食品は、加工により栄養成分値が変化しないと考えられる栄養成分を用いて計算していることである。計算に用いる栄養成分の選定についても検討する必要がある。

欧州食品安全機関(European Food Safety Authority; EFSA)は raw primary commodity model を提唱し、加工食品の調理加工係数を示している。今後は、我々が推定した調理加工係数と欧州食品安全機関が提唱している調理加工係数について、推定根拠も含め比較及び検証する必要がある。

#### D. 結論

日本食品標準成分表 2020 年版(八訂)に掲載されている食品のうち、調理済み流通食品群を除く 2428 食品について、調理加工係数の推定を行った。加工食品の調理加工係数の推定方法は、①乾燥食品、②塩蔵品、③発酵食品、④原材料を組み合わせることができる食品(①～③を除く食品)に分けて、それぞれの方法を検討した。

推定した調理加工係数は策定根拠とともに GitHub にアップロードしオンライン上で閲

覧できるようにした。日本食品標準成分表に原材料が記載されていない食品、原材料の食品数が多すぎる食品、加工工程が複雑な食品については調理加工係数を推定することができなかった。これらの食品の調理加工係数をどのように決定するかは今後の課題である。

#### 参考文献(主なもの)

1. 文部科学省. 日本食品標準成分表 2015 年版(七訂). 東京:全国官報販売協同組合:2015
2. 文部科学省 科学技術・学術審議会資源調査分科会編:日本食品標準成分表 2020 年版(八訂)(2021)全国官報販売表同組合, 東京

#### E. 研究発表

誌上発表

なし

学会発表

小山達也、中村公亮、吉池信男:日本食品標準成分表に掲載されている加工食品の原材料配合比を推定する方法、日本食品衛生学会、長崎、2022 年

#### F. 知的財産権の出願・登録状況

なし

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)  
加工食品の輸出拡大に向けた規格基準設定手法の確立のための研究  
総合分担研究報告書

加工食品の摂取状況を把握するための全国食事調査のデータ解析

研究分担者 佐々木 敏 東京大学大学院医学系研究科社会予防疫学分野 教授

研究要旨

本研究では、以下の一連の研究を行い、日本人の加工食品の摂取状況とそれに関連する要因を明らかにした。

- (1) **全国食事調査の実施とデータ集計**:平成 28 年度～令和 2 年度に食事記録調査を実施し、1～79 歳の 4692 人における食品および食品群の摂取量の分布を明らかにした。
- (2) **加工食品に関する先行研究の文献レビュー**:加工食品の分類システムとして NOVA が広く用いられているが、その分類には曖昧な点も多く、日本人を対象とした研究が乏しいことを明らかにした。
- (3) **日本人の加工食品の摂取状況の把握**:2013 年に日本人成人 392 人から得られた 4 日間の全国食事記録調査のデータを解析し、超加工食品が 1 日の総エネルギー量に占める割合は、加工食品の分類方法により 33%ないし 48%であることを明らかにした。
- (4) **各国の食事調査法のレビュー**:41 か国の全国食事調査の方法についてまとめ、諸外国では個人を対象とする複数日の 24 時間思い出し法が主流であることを明らかにした。
- (5) **超加工食品の摂取量と食事の質との関連の検討**:2013 年に日本人成人 388 人から得られた 4 日間の食事記録データを解析し、超加工食品の摂取量が多いほど、食事の質が低いことを示した。
- (6) **超加工食品の摂取量と尿中リン・カリウム・ナトリウム排泄量との関連の検討**:2013 年に日本人成人 322 人から得られた 4 日間の食事記録と 2 回の 24 時間蓄尿のデータを解析し、超加工食品の摂取量と尿中リン・カリウム・ナトリウム排泄量に関連がないことを示した。
- (7) **超加工食品の摂取量と、食品選択の価値観およびフードリテラシーとの関連の検討**:日本人成人 2232 人から得られた簡易型自記式食事歴法質問票 (BDHQ) とその他質問票の回答データを解析し、食の安全性を重視する価値観や栄養の知識などのいくつかの因子が超加工食品の摂取量と関連しており、関連する因子は男女で異なることを示した。
- (8) **超加工食品の摂取量と、年齢、性別、喫煙状況等の個人的特性との関連の検討**:日本人成人 2742 人の 8 日間の食事記録データを解析し、超加工食品は日本人の総エネルギー摂取量のおよそ 4 分の 1 から 3 分の 1 を占めていることや、若年者と喫煙者は、それぞれ高齢者や非喫煙者に比べて超加工食品の摂取量が多いことを明らかにした。
- (9) **残留農薬等の基準値が設定されている食品分類名への食品番号の付与**:食品に由来する残留農薬の摂取量を解析できるようにするため、残留農薬等の基準値が設定されている 313 種類の食品に、日本標準食品成分表の食品番号をあてはめた。

研究協力者

村上健太郎(東京大学大学院)

篠崎奈々(東京大学大学院)

## A. 研究目的

人が日々の食事から残留農薬等の化学物質をどれくらい摂取するかを把握することは、食の安全を確保していく上で極めて重要である。現在、加工食品から化学物質の摂取量を推定する際には、平成 22 年度に行われた国民健康・栄養調査のデータを考慮した手法が用いられている。しかしながら、食は時代によって複雑に変化するため、我が国の加工食品の喫食に関する実態に基づいて最新の情報を取り入れる必要がある。近年、日本産加工食品の輸出拡大も期待されているところであり、食の安全に対する関心は、国内のみならず海外でも高い。そのため、我が国の最新の加工食品の喫食実態に合わせて、化学物質の摂取量の推定を行い、綿密な評価を行うことが国際的にも求められている。

我々は日本人の加工食品の摂取状況を明らかにすることを目的として、2016 年から 2019 年度に全国的な食事記録調査である「食品摂取頻度・摂取量調査」を実施した。本研究班においては昨年度、このデータをもとにして 1~79 歳の 4692 人における食品および食品群の摂取量の分布を明らかにした。この食事データに調理加工係数(平均的な原材料の種類を重量比から細分化するための係数)を組み合わせることで、加工食品中の各原材料の含有量を把握することが可能であると考えられる。しかし、加工食品に含まれる原材料の組成は製品ひとつひとつにおいて異なるはずであり、正確な値を知

ることはできない。よって、調査加工係数の設定に関してどの程度の誤差を許容するかという点が実際的な問題となってくる。そこで考慮すべきは「加工食品が食事全体にどの程度寄与しているのか」ということである。食事全体に対する加工食品の寄与が小さければ、調理加工係数の誤差の影響は全体から見ると小さくなるため、ある程度大雑把に調理加工係数を設定しても大きな問題はないといえる。一方で、食事全体に対する加工食品の寄与が大きければ、調理加工係数の設定において誤差が全体に与える影響は大きくなる。しかし、日本では加工食品の摂取状況に関する研究はほとんどなく、加工食品の定義や分類方法が確立されていないために、加工食品の寄与割合も十分に明らかになっていない。

また近年、加工食品のなかでも加工レベルが最も高い超加工食品の摂取が健康状態 [1-3]や食事の質 [4-7]と負の関連があることが多くの研究で示唆されている。よって、日本人集団において加工食品の摂取量を明らかにすることは、公衆衛生上非常に重要である。

そこで本研究では、日本人における加工食品の摂取状況を明らかにすることを目的とし、全国食事調査の実施とデータ集計、および加工食品を定義するための先行研究のレビューを行った。次に、食事記録データや食事質問票をもとに食品を加工レベルに応じて分類するシステムを構築し、日本人における加工食品の摂取状況を記述した。また、国民の加工食品の摂取状況は、最終的には

国を代表するレベルの大規模な食事調査データに基づいて推定することが望ましいが、食事調査の方法は国によってそれぞれ異なると考えられる。そこで、各国の食事調査法の違いを明らかにするため、文献レビューを行った。さらに、健康影響が大きいと考えられる超加工食品の摂取と関連する因子を明らかにするために、超加工食品の摂取量と①食事の質、②尿中リン・カリウム・ナトリウム排泄量、③食品選択の価値観およびフードリテラシー、④年齢、性別、喫煙状況等の個人的特性との関連を検討した。さらに、加工食品等を含めた様々な食品からの残留農薬の摂取量を解析できるようにするために、残留農薬等の基準値が設定されている 313 種類の食品に、日本標準食品成分表の食品番号をあてはめた。

## B. 研究方法

### (研究 1) 全国食事調査の実施とデータ集計

平成 30 年度までの全国食事調査(食品摂取頻度・摂取量調査)では 1 歳以上 79 歳以下の日本人 4032 人の調査をすることとし、2016~17 年に参加者の約 6 割の食事記録調査を行い(第 1 ラウンド)、2017~18 年に残りの参加者の調査を行った(第 2 ラウンド)。さらに、幼小児の食事データを収集するため、2019 年 11 月から 2020 年 8 月にかけて 1~6 歳児を対象とした追加の食事調査を実施した(小児の追加調査)。参加者はほぼ健康と見なしうる 1 歳以上 6 歳以下の日本人 432 人とした。予定参加者数は、平成 28~30 年度に実施した調査(東京大学倫理委員会 No. 11397)における参加者数(約 400 人)に推定脱落率(8%)を考慮して設定した。

第 1・第 2 ラウンドと同様に、全国 32 都道

府県(北海道、岩手県、宮城県、山形県、茨城県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、新潟県、富山県、山梨県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、鳥取県、島根県、岡山県、広島県、山口県、徳島県、愛媛県、福岡県、熊本県、大分県、沖縄県)に在住する栄養士(以下、調査担当栄養士と呼ぶ:159 人)が実施可能性を考慮して選んだ者(同僚、その近隣住民など)を対象とした。なお、調査担当栄養士からは事前に文書による承諾を得た。参加者に対しては調査担当栄養士から本調査の目的を説明し、文書による調査参加への同意を得た。

2019 年 10~11 月に、属性ならびに通常の食事習慣を含む生活習慣ならびに健康状態等に関する基本質問票、簡易型自記式食事歴法質問票(BDHQ3y)による調査を実施した。また、身長と体重を測定した。

半秤量式食事記録は、2019 年 11 月(秋季)、2020 年 2 月(冬季)、6 月(春季)、8 月(夏季)に不連続の 2 日間ずつ、合計 8 日間にわたって実施した(以下、食事記録と呼ぶ)。砂糖および甘味類・油・調味料・副材料として用いる小麦粉(揚げ衣など)は、1 回の摂取量が少ない割に摂取頻度が高く、秤量に伴う負担が大きい。これらの食品の秤量を義務化すると、食事記録全体の丁寧さに悪影響を及ぼすと考えられるため、秤量せずに名称だけを記録すればよいこととした。参加者は記録が終了し次第、調査担当栄養士に食事記録用紙を提出し、その後、調査担当栄養士、または、調査事務局にて、記録内容の確認を行い、記録内容に不明な点などがあれば、調査担当栄養士を通じて、参加者に記録内容に関する質問を口頭・電

話・メールなどにより行い、参加者の可能な範囲で、不明確な記録内容についてはより具体的な回答をしていただくよう再調査を行った。砂糖および甘味類・油・調味料・小麦粉の摂取重量が記録されていない場合には、調査事務局にて一般的なレシピや各種資料をもとに摂取量を推定した。

この方法で収集した小児の追加調査のデータを第1・第2ラウンドのデータと統合し、摂取量の集計を行った。食事データ集計から電子データ化までの概要を図1に示す。集計の参加者は食事調査の第1ラウンド・第2ラウンド・小児の追加調査の各8日間の食事記録調査のうち、少なくとも1日に参加した者とした。年齢区分ごと(1~6歳、7~64歳、65歳以上、14~50歳の妊娠可能年齢の女性)と参加者全体(1歳以上)における全2228食品の摂取状況について、参加者全体の摂取量(g/人・日)の分布(平均値と標準偏差)、各食品の登場回数(人・日)、摂取者内における摂取量(g/人・日)の分布(平均値と標準偏差、および0・50・95・97.5・99・100パーセンタイル値)、摂取者の平均体重(kg/人・日)を集計し、表にまとめた。同様の集計を128食品群に対しても実施した。食品群摂取量の算出にあたっては、重量換算係数を用いて各食品を生重量に変換してから食品群の摂取量に合算した。

## (研究2)加工食品の定義と分類に関する先行研究のレビュー

食事調査のデータから加工食品の摂取量を算出するためには、何を加工食品とするか定義・分類する必要がある。そこで、諸外国における加工食品の分類システムについてPubMedとWeb of Scienceを用いた先

行研究の調査を行った。検索語にはprocessed food、classification、definition、およびそれらに関連する用語を組み合わせて使用した。その結果、分類システムとして最も広く用いられていることが明らかになったNOVAの食品分類を和訳した。また、先行研究で示されたNOVAの食品分類では、加工レベルごとに食品の例がまとめて羅列されていたため、各食品が加工レベルに応じてどのように分類されているのかわかりにくかった。そこで、NOVAで例示された各加工レベルに属する食品を日本標準食品成分表に記載されている食品群ごとに分けて分類し整理した。

また、近年、食品加工の程度が高いultra-processed foods(超加工食品)の摂取量と健康影響について注目が高まっているため、研究状況を把握することを目的とした先行研究のレビューを行った。2021年3月2日にPubMedを用いて以下の検索語で検索を行った:(ultra-process\*[TIAB] or ultra process\*[TIAB] or ultraprocess\*[TIAB] ) AND (food[TIAB] OR foods[TIAB]) AND NOVA。検索フィルターを用いて、対象論文の言語を英語と日本語に限定した。得られた論文について、タイトル、著者名、雑誌や発行年などの書誌情報に加え、研究が実施された国、研究デザイン、参加者(子供、大人など)、調査名、食事アセスメント方法、解析におけるultra-processed foodsの変数としての取り扱い(総エネルギー摂取量に対するエネルギー寄与率や総食品摂取重量に対する重量寄与率など)、加工食品との関連をみた因子などについて表にまとめ、考察した。

### (研究 3) 日本人の食事記録に基づく加工食品の摂取状況の把握

日本人の加工食品の摂取状況を把握するためには、食品を加工レベルに応じて分類するシステムを構築する必要がある。そのため、まずは過去に行われた比較的小規模かつ詳細な食事記録調査のデータを用いて、分類システムの構築を試みることにした。調査の詳細はすでに論文で発表されているため [8, 9]、ここでは手短かに説明する。調査は 2013 年 2~3 月にかけて 23 都道府県で実施された。参加者は 20~69 歳の健康な女性 196 人と男性 196 人である。参加者の中に管理栄養士や医療従事者、医師や管理栄養士による食事療法を受けたことがある人、糖尿病による教育入院歴がある人、妊娠中・授乳中の人には含まれなかった。参加者は非連続の 4 日間(夜勤の日とその前後の日を除く勤務日 3 日および非勤務日 1 日)に、摂取したすべての食品と飲料を食事記録用紙に記録した。各地域の調査担当管理栄養士が食事記録のつけ方とデジタルスケール(KD-812WH、タニタ)の使い方を説明した。食事記録用紙は 4 つの食事場面(朝食・昼食・夕食・間食)に分かれており、各場面で以下の項目を記録するよう求めた:①料理名、②食品名(飲み物や料理に含まれる食材を含む)、③料理が手作りか、既製品か、あるいはその他(新鮮な野菜や果物など生の状態で食べる食品)か、④食べた食品のおおよその量または測定重量、⑤食事をとった場所。また、市販の商品については商品名とメーカー名、外食についてはメニュー名と店舗名を記録してもらった。包装食品については、パッケージをとっておくようお願いした。

食事記録用紙とパッケージは、記録後すぐに各施設の調査担当栄養士に提出された。調査担当栄養士はできるだけ早く記録用紙を確認し、必要に応じて参加者に問い合わせを行った。各施設の管理栄養士は、日本食品標準成分表 [10]を用いて、統一された手順で各食品に食品番号を付与した。包装食品と惣菜に含まれる食材の摂取重量は、おおよその分量、レストランやメーカーのホームページ、料理本、原材料表示、栄養成分表示などから、できるだけ正確に推定した。

食事記録用紙の食品名の欄に記録されたすべての食品を、調査担当栄養士が以下の 3 つに分類した。(1)自家製食品:家庭で調理された食品(例:炊いた飯、家庭で焼いたパン)、(2)市販食品:惣菜に含まれる食材や、製造業者によって加工された食品(例:レトルトカレー、加工肉、チョコレート)、(3)その他の食品:家庭で調理する前の未加工の食材(新鮮な野菜、肉、魚、牛乳など)や、家庭での調理時や食卓で加える調味料(サンドイッチを作るときに使うマヨネーズなど)。これらの食品分類と食品番号、重量は、研究事務局の 2 人の管理栄養士が再確認した。

体重(0.1 kg 単位)と身長(0.1 cm 単位)は、軽装かつ裸足の状態で調査担当栄養士または医療従事者が標準的な手順で測定した。BMI (body mass index) は体重(kg)÷身長(m)の二乗として算出した。また、性、年齢、喫煙状況に関する情報を自記式質問票により収集した。

次に、食事記録用紙の料理名の欄に登場する、サプリメントを除く延べ 25,989 個の料理を、ノースカロライナ大学チャペルヒル校(UNC)の研究者が開発した分類システム



[11]に基づき、食品の工業的加工のレベルに応じて分類した。UNC の分類カテゴリーは、加工食品の分類に最も広く用いられている NOVA 分類(5)の分類カテゴリーと一致しているものの、全粒粉と精製穀物の分類は NOVA 分類よりも詳しく、各食品分類の定義も一層充実している [11, 12]。UNC の分類システムにおいては、食品は以下の 4 段階の加工レベルに分けられる：(1) 未加工／最小限の加工、(2) 基本的な加工、(3) 中程度の加工、(4) 高度な加工。各分類カテゴリーの定義と含まれる食品の例を表 1 に示す。

UNC の分類システムは米国のスーパーマーケットで販売されているバーコードが付与されている包装食品を分類するために開発されたが、生の人参などの生鮮野菜からコールスローなどの野菜を使った冷蔵調理済みミックス料理まで、食品カテゴリーごとに幅広くかつ詳細な食品例を示しているため、非包装食品の分類にも有用と考えられる。以前の研究では、このシステムを用いて米国で一般的に消費されている食品を未包装品も含めて分類したところ、UNC システムは NOVA システムよりも高い評価者間信頼性を持つことが示された [12]。

国際連合食糧農業機関では、食品を加工レベルに応じて分類する際に、レシピを可能な限り食材に分解することを推奨している [13]。これまでの研究では、家庭で作られた、あるいは職人が手作りした食品や料理については、一つ一つの食材まで分解したうえで各食材を分類し、工業的に製造された包装食品については食材まで分解しないケースが多い [14-18]。一方、惣菜やレストラン料理をどのように扱うか、すなわち、そのまま単一品目として分類すべきか、食材まで分解し

た上で分類すべきか、ということは、これまでに十分に記述されていない [19]。また、職人が作った食品と工業製品の区別も曖昧である [20]。そこで、惣菜などの既製の料理を異なる方法で分類したときに、結果がどの程度異なるかを調べることにした。このための分類の手順を以下に、フローチャートを図 2 に示す。

ステップ 1: 加工されていない食品や自家製の作られた料理は、各食材に対して分類を行う(例: 家庭で作る味噌汁の味噌、水、ほうれん草、卵など)。

ステップ 2: 単一の食材から構成される既製の料理(例: インスタントラーメン)については、食材に対して分類を行う。

ステップ 3: 複数の食材を使用し、パッケージ食品の商品名、ブランド名、メーカー名、ファーストフード店のチェーン名などがある既成の料理は、料理に対して分類を行う。(マクドナルドで買ったハンバーガーは、その食品成分に分解せず、1 つの商品として分類する)

ステップ 4: その他、ブランドやメーカーを特定する情報がない既製の料理(例: ブランド名のわからない調理済みのハンバーガー)については、以下の 2 つの方法で分類する。[方法 A] 全品目を工業的に製造された食品とみなす(すなわち、料理を食材に分解せず、料理ごと分類する)、または [方法 B] 全品目を職人によって手作りされた食品とみなす(よって、料理を食材まで分解し、食材ごとに分類を適用する)。

ステップ 1 と 2、およびステップ 4 の方法 B では、日本食品標準成分表 [10] の食品番号をもとに、各食品が市販食品か否かを考

慮して分類を行った。例えば、食品コード 16042「ウーロン茶／浸出液」の場合、自家製の食品は「未加工、最小限の加工」のカテゴリーに、市販の食品は「基本的な加工」のカテゴリーに分類した。既製品に「自家製」または「その他」の食品が含まれている場合（例：市販の中華餃子に家庭で調味料を加えて食べた場合）、「自家製」または「その他」の食品を市販品から分離し、食品番号に基づいて個別に分類した。ステップ 4 の方法 A では、すべての料理が、UNC の分類体系において、冷凍食品や保存食品ではなく、調理済み食品や加熱食品であると仮定して分類した。

参加者の特性を、性、10 歳ごとの年齢カテゴリー（20～29、30～39、40～49、50～59、60 歳以上）、WHO による BMI カテゴリー（18.5 未満、18.5 以上 25 未満、25 以上）、喫煙歴（喫煙歴なし、過去に喫煙していた、現在喫煙している）で分けて、各カテゴリーの人数と割合を表に示した。参加者一人一人の食品摂取量を 4 日間の平均として算出し、参加者の特性ごとに、UNC 分類に従って、(1)未加工／最小限の加工、(2)基本的な加工、(3)中程度の加工、(4)高度に加工された食品、の 4 つの加工レベルごとに摂取量を示した。摂取量は、食品の総摂取重量 (g/日)と総エネルギー摂取量 (kcal/日)に加え、総摂取重量に対する各カテゴリーの食品の重量寄与率(%)、総エネルギー摂取量に対する各カテゴリーの食品のエネルギー寄与率(%)として示した。参加者特性のカテゴリーによって「高度な加工」に分類される食品の重量寄与率とエネルギー寄与率が異なるかどうかを検討するため、対応のない t 検定または一元配置分散分析を行った。カテ

ゴリー間に有意差がみられた場合には Tukey の多重比較検定を行った。P<0.05 の場合に有意差ありとした。統計解析には SAS 9.4 を用いた。

#### (研究 4) 各国の食事調査法のレビュー

各国の食事調査法の違いを明らかにするため、2018 年 [21]と 2019 年 [22]に発表された、世界各国の国を代表する規模の食事調査に関する 2 つのレビュー論文から、各調査に関する情報を抽出した。各レビュー論文における食事調査の抽出方法は表 2 の通りである。2018 年の文献 [21]には WHO ヨーロッパ地域事務局に属する 34 カ国の食事調査法のデータが記述されており、2019 年の文献 [22]には国を代表する規模の食事調査が行われ、かつ情報が英語で公開されている 11 か国の情報が記述されていた。この二つの文献から、重複を除いた 41 か国における食事調査法について情報を抽出し、表にまとめた。抽出した情報は、各レビュー論文に重複する調査項目、すなわち国名、調査名、調査年、参加者数、調査参加者の年齢層、食事調査法とした。一つの国に対して複数の調査（異なる年に行われた同一の調査など）の情報がある場合、調査年が最新の情報のみを抽出した。ただし、異なる調査で調査参加者の年齢が全く異なる場合には、それぞれの調査を分けて表にまとめた。必要な情報に応じて食事調査に関する文献 [23-25]を参照し、情報を補足した。

#### (研究 5) 超加工食品の摂取量と食事の質との関連の検討

2013 年に日本の 20 地域 (23 道府県)に住む 20～69 歳の日本人成人 388 人から得ら

れた食事記録のデータを使用した。参加者は、4日間にわたって食べたり飲んだりしたものを全て計量して記録した。記録されたすべての食品を、UNCの研究者らが開発した食品分類の枠組み(表1)[11]を用いて、加工レベルが低い順に「未加工/最小限の加工」「基本的な加工」「中程度の加工」「高度な加工(超加工食品)」の4段階に分類した(図2)。食事の質は、Healthy Eating Index-2015(アメリカ人のための食事ガイドラインの順守の程度を測る指標)[26]とNutrient-Rich Food Index 9.3(食事全体を栄養素密度の観点から評価する指標)[27]の2つを使って評価した。また、外食や惣菜など家庭外で調理された料理を、①食材に分解せずに料理ごと加工レベル別に分類する場合(料理レベルでの分類)と、②料理に含まれる食材を個別に分類する場合(食品レベルでの分類)で、超加工食品の推定摂取量や、食事の質との関連が異なるかどうかを調べた。

#### (研究6) 超加工食品の摂取量と尿中リン・カリウム・ナトリウム排泄量との関連の検討

研究1と同じ食事記録データを用いた。ただし、参加者のうち正しい手順で2回の24時間蓄尿データが得られた322人のみを対象とした。尿中リン・ナトリウム・カリウム排泄量は2日間の24時間蓄尿の平均値として算出した。尿中リン・ナトリウム・カリウム排泄量と超加工食品の関連は重回帰分析で調べた。食事記録から推定した各尿中排泄量(mg/日)を従属変数とし、独立変数を超加工食品の摂取重量(g/日)、エネルギー摂取量(kcal/日)、食品の総摂取重量に対する重量寄与割合(%グラム)、総エネルギー摂取量に対するエネルギー寄与割合(%エネル

ギー)の4通りで検討した。調整変数は性(男性・女性)、BMI(kg/m<sup>2</sup>)、年齢(歳)、身体活動レベル(METs・時)、喫煙状況(非喫煙者、過去喫煙者、現在喫煙者)、教育歴(中学または高校、専門学校または短大、大学または大学院)、総エネルギー摂取量(kcal/日)とした。

#### (研究7) 超加工食品の摂取量と、食品選択の価値観およびフードリテラシーとの関連の検討

2018年に日本の32都道府県に住む18~80歳の日本人成人2232人を対象に実施した全国規模の質問紙調査のデータを用いた。8つの食品選択の価値観(入手しやすさ、便利さ、健康、伝統、感性的魅力、オーガニック、快適さ、安全性)[28]に加え、栄養知識[29]、料理技術[30]、食全般に関わる技能[30]、8つの食行動(空腹感、食物反応性、感情的な過食、食物の楽しみ、満腹感反応性、感情的な食欲不振、食べものの好き嫌い、食事の遅さ)[31]によって特徴づけられるフードリテラシーを評価した。超加工食品の摂取量は、簡易型食事歴法質問票(BDHQ)を使用して推定した。解析は男女別に行った。超加工食品の摂取量(g/1000kcal)と年齢(歳)、BMI(kg/m<sup>2</sup>)、総エネルギー摂取量(kJ/日)、食品選択の価値観およびフードリテラシーの各スコアとの関連を、重回帰分析により評価した。

#### (研究8) 超加工食品の摂取量と、年齢、性別、喫煙状況等の個人的特性との関連の検討

2016~2018年に日本の32都道府県に住む18~79歳の日本人成人2742人から得られた食事記録のデータを使用した。参加者

は、8日間にわたって食べたり飲んだりしたものを全て計量して記録した。そして、記録されたすべての食品を研究者が加工レベル別に分類した。分類には、UNCの研究者らが開発した食品分類の枠組みを用いた(表1) [11]。また、外食や惣菜などの家庭外で調理された料理を、①料理に含まれる個々の食材をそれぞれ加工レベル別に分類する場合(超加工食品をより少なく見積もるシナリオ)と、②すべて超加工食品に分類する場合(超加工食品をより多く見積もるシナリオ)の2通りで食品分類を行なった。各推定シナリオにおいて超加工食品の摂取量を推定し、個人的特性(年齢、性別、BMI、世帯収入、教育歴、雇用形態、喫煙状況、身体活動量)との間に関連があるかどうかを調べた。

#### (研究9) 残留農薬等の基準値が設定されている食品分類名への食品番号の付与

残留農薬等の基準値が設定されている食品リストに記載された313個の食品分類名のそれぞれに日本標準食品成分表(七訂)の食品番号を付与した。まず各食品分類名について、該当する食品名が食品成分表にあるかどうかを検討した。しかし、食品リストと成分表では食品の名称や分類の仕方が異なるため、リストに記載されたすべての食品を成分表の食品番号に一对一で紐づけることが困難であった。そのため、ある食品分類名に該当する食品が食品成分表に1つ以上ある場合には、それらの食品番号を以下のいずれかに分類した:(食品リストの食品分類名に)①完全に当てはまる、②部分的にあてはまる、③判断できない。たとえば食品リストの「あひるの筋肉(食品分類コード004002)」については、成分表の「かも・あひる・肉・皮

つき・生(食品番号11203)」と「かも・あひる・肉・皮なし・生(食品番号11247)」を紐付けた。「かも・あひる・肉・皮つき・生(食品番号11203)」の一部分(皮を除いた部分)は「あひるの筋肉」であるため「②部分的にあてはまる」とした。一方、「かも・あひる・肉・皮なし・生(食品番号11247)」はまさに「あひるの筋肉」であるとみなし、「①完全に当てはまる」とした。また、たとえば食品リストの「コーヒー豆(食品分類コード050000)」に抽出液を含めるべきかどうか(部分的にあてはまると考えてよいかも含めて)判断が困難であったため、食品成分表に記載されている6つの食品、すなわち豆乳・豆乳飲料・麦芽コーヒー(食品番号4054)、乳飲料・コーヒー(食品番号13007)、ゼリー・コーヒー(食品番号15088)、コーヒー・浸出液(食品番号16045)、コーヒー・インスタントコーヒー(食品番号16046)、コーヒー・コーヒー飲料・乳成分入り・加糖(食品番号16047)を、③判断できない、とした。

#### (各研究における倫理面への配慮)

研究2・4・9については人を対象としたデータを利用していないため倫理面での問題がない。それ以外の研究は、ヘルシンキ宣言のガイドラインに従って実施され、東京大学医学部倫理委員会の承認を得ている。承認番号は以下の通りである。研究3・5・6:10005番、研究7:12031番、研究1・8:11397番。これらの研究では参加者全員から(研究7においては参加者が20歳未満の場合のみさらに参加者の親から)、書面によるインフォームド・コンセントを得た。

### C. 研究結果

(研究 1) 計 8 日間の食事記録に 1 日以上参加し、食事記録記入状況が電子データ化された参加者の人数は 4692 人(1~6 歳 909 人(男児 453 人、女児 456 人)、7~64 歳 3090 人(男性 1537 人、女性 1553 人(うち 14~50 歳女性 960 人))、65 歳以上 693 人(男性 346 人、女性 347 人))であった。1~6 歳児 909 人において 1 人・日以上登場した食品は 1,631 食品であった。7~64 歳の男女 3090 人において 1 人・日以上登場した食品は 1965 食品であった。65 歳以上の男女 693 人において 1 人・日以上登場した食品は 1812 食品であった。集計表については量が膨大であるため本報告書末尾の別表 1~10 に示す。

(研究 2) 加工食品の主な分類システムとして、欧州では European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC)における分類 [32]、European Food Information Resource Network of Excellence (EuroFIR)による分類 [33]、米国では International Food Information Council (IFIC)による分類 [34]などが使用されていることがわかった。世界的にもっとも広く使われている分類システムは 2010 年にブラジルサンパウロ大学で提唱された NOVA [35]であり、これは食品を食品の特性、程度、目的に応じて ① unprocessed or minimally processed foods、② processed culinary ingredients、③ processed foods、④ ultra-processed foods の 4 つのグループに分類するものであった。この分類システムは国際連合食糧農業機関やブラジルの食事ガイドラインでも用いられていた [13, 36]。この分類を和訳した結果と、食品の例を食品群ごとに

整理した結果を表 3 下部に示す。例えば、生の果実は unprocessed or minimally processed foods に分類されるが、缶詰の果物は processed foods に分類されていた。

Ultra-processed foods に関する先行研究レビューの結果、165 編の論文が得られた。レビューを通して明らかになったことは以下のとおりである:①最初の論文は 2014 年に出版され、その後論文数が年々増加していた、②論文のシェアはブラジルで最も大きく(28%)、そのあとにオーストラリア(9%)、スペイン(8%)、フランス(7%)、カナダ(6%)、UK(5%)が続いている、③24 時間畜尿を生体指標として栄養素摂取量を調査した研究は一つだけであった、④ultra-processed foods の摂取量は重量(g)ではなく総エネルギー摂取量に占めるエネルギー割合(%energy)として表されることが多い、⑤ultra-processed foods と様々な健康関連指標(例:肥満、死亡率、糖尿病、高血圧、冠動脈疾患、うつ)、食事指標(例:食事の質、栄養素摂取量、添加糖類摂取量)、社会統計学的因子などとの関連が調べられていた。

日本で NOVA を用いた論文は 2 編あった。一つは埼玉県における食事調査データ(1 日または 2 日の食事記録)を用いて、ultra-processed foods のエネルギー寄与の三分位と、総エネルギー摂取量と 23 の栄養素の摂取量との関連を調べた横断研究であった [37]。この研究では超加工食品からの摂取エネルギーの多さが食事の質の低さ(不適切な栄養素摂取)と関連するという結果が示された。しかし、研究の限界点として、調査が 1 つの県でしか行われていないため一般化可能性が低いことや、食事記録の回答率が低いこと(51%)などが挙げられた。また、

いくつかの食品(バターなど)の分類が先述の Monteiro らによる論文における NOVA の食品分類と異なっていた。二つ目の論文は、神奈川県で市町村国保健康診断を受けている参加者の 1~3 日間の食事記録を使用して、Ultra-processed foods のエネルギー寄与の三分位数と総エネルギー摂取量、23 の栄養素の摂取量、および肥満との関連を調べた横断研究であった [38]。結果として、ultra-processed foods からの摂取エネルギーが多い群は body mass index が有意に高いということが明らかになった。一方で、一つ目の研究と同様に調査が 1 つの県でしか行われていないため一般化可能性が低いという限界点があった。

(研究 3) 参加者の特性を表 4 に示す。参加者の平均年齢は 44.5 (標準偏差 13.4) 歳、平均 BMI は 23.3 (標準偏差 3.6) kg/m<sup>2</sup> であった。

参加者全体の加工レベル別の食品摂取量を表 5 に示す。「高度な加工」に分類された食品の重量寄与率は、方法 A では 32%、方法 B では 21%であり、方法 A のほうが高かった。同様に、エネルギー寄与率も方法 A (48%) のほうが方法 B (33%) よりも高かった。この傾向は、表 6~9 に示す参加者特性別の解析でも一貫してみられた。参加者特性のカテゴリー別の傾向は方法 A と B で一貫していたため、以下からは方法 A の結果について述べる。

男女別の加工レベル別の食品摂取量を表 6 に示す。「高度な加工」食品の重量寄与率は男性で 36%、女性で 27%であり、男性のほうが有意に高かった。一方、エネルギー寄与率は男性で 49%、女性で 47%であり、男

女で有意差がみられなかった。

年齢カテゴリー別の加工レベル別の食品摂取量を表 7 に示す。「高度な加工」食品の重量寄与率は 60 歳未満の各年齢カテゴリーの平均値が 31~37%であったのに対し、60 歳以上では 24%であり、他のどの年齢層と比べても有意に低かった。同様にエネルギー寄与率も 60 歳未満の各年齢カテゴリーの平均値が 47~56%であったのに対し、60 歳以上では 40%であり、他の年齢層と比べて有意に低かった。

BMI カテゴリー別の加工レベル別の食品摂取量を表 8 に示す。「高度な加工」食品の重量寄与率とエネルギー寄与率には、BMI カテゴリーによる有意差はみられなかった。

喫煙歴別の加工レベル別の食品摂取量を表 9 に示す。「高度な加工」食品の重量寄与率は、喫煙歴のないグループで 28%、現在喫煙しているグループで 38%であり、喫煙歴のないグループのほうが有意に低かった。同様に、「高度な加工」食品のエネルギー寄与率は喫煙歴のないグループで 46%、現在喫煙しているグループで 52%であり、喫煙歴のないグループのほうが有意に低かった。

(研究 4) 日本を含む 41 か国における 56 件の全国レベルの食事調査の方法を表 10 に示す。世帯を対象とした調査が行われているのは日本・中国・オーストラリア・ブラジル・ロシアの 5 か国のみであり、他の多くの国では個人を対象とした食事調査が行われていた。調査参加者の年齢層は幅広く、日本の国民健康・栄養調査を含む 44 件の調査が 1 歳以上を調査対象とする一方で、11 件の調査では 0 歳児も調査対象に含めていた。

食事調査法に関しては、24 時間思い出し

法を用いた調査が 33 件と最も多く、それに続いて食事記録法が 25 件、食物摂取頻度調査法が 20 件の調査で用いられ、このほかに食事歴法や食物摂取傾向調査票も少数ながら使用されていた。各調査法の合計が全調査数の 56 を上回る理由は、複数の食事調査法を併用している調査が 21 件存在するためである。このうち 14 件は 2 つの方法を併用しており、7 件は 3 つの方法を使用していた。併用されることが最も多い組み合わせは、24 時間思い出し法と食物摂取頻度調査法であった。日本では食事記録法のみを用いていた。

24 時間思い出し法と食事記録法の調査日数は最短で 1 日であった。1 日のみの調査を行っていたのはロシア、韓国(いずれも 24 時間思い出し法)に加え、日本、イスラエル、オーストリア(いずれも食事記録法)の 5 か国のみであった。最長の調査日数は 24 時間思い出し法では 3 日間(中国・フランス)、食事記録法では 8 日間(ドイツ、ただし一部の調査参加者のみ)であった。24 時間思い出し法の 79%、食事記録では全調査の 76% で複数日にわたる調査を実施していた。

(研究 5) 1 日の総エネルギー摂取量に対して超加工食品が占める割合は、家庭外で調理された料理を料理レベルで分類した場合は 48%、食品レベルで分類した場合は 33% であり、料理レベルで分類した場合のほうが超加工食品の割合を大きく見積もることが分かった。また、食品または料理レベルの分類方法にかかわらず、超加工食品からの総エネルギー摂取量のうち、最も寄与割合が大きい食品群は、穀類およびでんぷん質の食品(パンや麺など)であった(図 3)。同様に、

食品の分類方法にかかわらず、超加工食品からのエネルギー寄与割合が大きい集団ほど、Healthy Eating Index-2015 および Nutrient-Rich Food Index 9.3 の合計得点が低い、すなわち食事の質が低いことがわかった(図 4)。

(研究 6) 超加工食品の摂取重量、エネルギー摂取量、重量およびエネルギーの寄与割合のいずれも、リン・カリウム・ナトリウムの尿中排泄量との間に、有意な関連が見られなかった。

(研究 7) 男性では、調理技術と満腹感反応性のスコアがそれぞれ 1 標準偏差増加すると、超加工食品の摂取量がそれぞれ 22.1g/1000kcal (95%信頼区間: 6.6–37.5)、15.4g/1000kcal (95%信頼区間: 6.0–24.7) 増加することがわかった。女性では、年齢と食の安全性を重視する価値観および栄養知識のスコアが 1 標準偏差増加すると、超加工食品の摂取量が 16.4g/1000kcal (95%信頼区間: -23.4–9.3)、9.9g/1000kcal (95%信頼区間: -19.1–0.7)、11.1g/1000kcal (95%信頼区間: -17.0–5.3) だけ減少し、一方、満腹反応性スコアが 1 標準偏差増加すると、超加工食品の摂取量が 13.1g/1000kcal (95%CI: 6.8–19.4) だけ増加することがわかった。

(研究 8) 1 日の総エネルギー摂取量に対して超加工食品が占める割合の平均値は、超加工食品をより多く見積もるシナリオでは 42%、超加工食品をより少なく見積もるシナリオでは 28% であった。また、シナリオにかかわらず、超加工食品からの総エネルギー摂取量に占める割合が最も大きい食品群は、

穀類およびでんぷん質の食品（パンや麺など）であった（図 5）。さらに、超加工食品の摂取量と個人特性との関連に関しては、各シナリオで共通する結果が見出された。すなわち、総エネルギー摂取量のうち超加工食品が占める割合は、60～79 歳の群に比べて 18～39 歳の群で統計的に有意に高く、過去に喫煙していた群および一度も喫煙したことのない群と比べて喫煙者群で統計的に有意に高いことが明らかになった（図 6）。

（研究 9）食品リストに記載された 313 個の食品分類名のうち、食品成分表に該当する食品番号がない食品は 49 個あった。1 つの食品番号と紐付けられる食品分類名は 47 個あり、残りの 217 個は 2 つ以上の食品番号と紐付けられた。付与された食品番号が最も多い例として、食品分類コード 230000 の「魚介類」は 443 個の食品番号と結び付けられた。

#### D. 考察

研究 1 では、全国食事調査の結果をもとに、食品と食品群摂取量の分布を明らかにした。食事記録調査の結果に関しては、砂糖および甘味類・油・調味料・小麦粉を摂取した場合、参加者は原則として秤量をせずに名称のみを記入し、調査事務局にて摂取量の推定を行った。そのため、これらの食材に関しては秤量が行われた他の食材と比べて推定精度が低い可能性がある。

研究 2 の結果より、加工食品の分類方法に関しては、NOVA 分類は栄養政策の決定や疫学研究に広く用いられている一方で、食品の定義や分類に一貫性がないという問題点があることを認識した [20, 39, 40]。

また、日本人の ultra-processed foods の摂取状況に関する研究は 2 つしかなく、その調査集団の人数と居住地域が限定的であることから、より代表性の高い集団における大規模な食事調査の結果に基づいて日本人における加工食品の摂取量を明らかにすること、またそれらと健康関連指標との関連を検討することは喫緊の課題であると考えられた。また、NOVA の分類では日本でよく食べられるような食品の分類は例示されておらず、日本における先行研究はいずれも同じ研究グループによるものである。したがって、日本人の食事に登場する食品を加工の程度に応じてどのように分類するか、何を加工食品として分類するかという点は今後の研究課題であると考えられた。

研究 3 では、本研究では食品を加工レベルに応じて分類するためのシステムを構築し、その方法について記述するとともに、日本人集団における加工食品の重量・エネルギー寄与率を調べた。加工食品の分類方法による違いをみると「高度な加工」食品のエネルギー寄与率は方法 A で 48%、方法 B で 33%であり、方法 A において高かった。方法 A では商品情報がない既製の料理を分解せずそのまま「高度な加工」に分類する一方、方法 B では食品レベルまで分解して分類するため、この結果は当然といえる。どちらの方法がよいかどうかは現時点では不明だが、方法により「高度な加工」食品の摂取量の見積りに 15%の差が出る点は、加工食品の摂取量を推定したり、異なる調査間でデータを比較したりする際に考慮する必要がある。

本研究と同じ UNC の分類システムを使用した先行研究（2012 年に米国で行われた世



帯を対象とした食品購入状況調査(4)では、高度な加工食品のエネルギー寄与率は61%であった。よって、方法によらず、日本人における「高度な加工」食品のエネルギー寄与率はかなり米国に比べて低いレベルであることが明らかになった。

性別間で比較すると、「高度な加工」食品の重量寄与率は男性のほうが高い一方で、エネルギー寄与率は女性のほうが高かった。これは、女性のほうがエネルギー密度の高い「高度な加工」食品をより多く摂取しているためと考えられる。

また、60歳以上の高齢なグループは、より年齢の若いグループと比べて「高度な加工」食品の重量・エネルギー寄与率が低かった。さらに、喫煙歴のないグループは現在喫煙しているグループに比べて「高度な加工」食品の重量・エネルギー寄与率が低かった。我々の知る限り、日本人集団において、こうした参加者の特性による加工食品の摂取量の違いはこれまで報告されていない。加工食品による健康影響や、添加物や農薬の摂取量は属性によって異なると考えられるため、今後検討が必要であると考えられた。

研究4では、文献[21]は世帯を対象とした調査を除外していることもあるが、欧米のほとんどの国では個人を対象とする調査を行っていた。食事調査法については詳細な食事データを得られる方法である24時間思い出し法と食事記録法が広く用いられていた。

複数の食事調査法を組み合わせで使用している調査が全体の4割程度存在した。これらの調査ではそれぞれの調査法からの推定摂取量を比較することで、精度向上につなげていた[22]。先行研究[22]でも指摘さ

れているように、日本では食事記録法のみを使用し、一日のみの調査のため、食事の日間変動や調査方法による推定摂取量の差異が考慮されていない。日本の国民健康・栄養調査が世帯対象で1日のみの調査であることは、データを各国の食事調査との直接的な比較を困難にするだけでなく、科学的に不十分とみなされ国際学術誌に論文を掲載するにあたってのハードルになる可能性があり、今後の検討課題であると考えられた。

ところで、本研究で2016年から2019年にかけて実施した食品摂取頻度・摂取量調査は、詳細な食事記録調査を4692人に対して各季節2日間、合計8日間行った大規模な全国食事調査である。この食品摂取頻度・摂取量調査と、今回レビューに含めた食事調査のなかで24時間思い出し法と食事記録法を行っていた47の調査(国民健康・栄養調査を含む)について、参加者数と調査日数をプロットしたものが図7である。食品摂取頻度・摂取量調査の参加者数・調査実施期間は、各国の調査の中でも参加者数と調査日数ともに上位にある。また、全国から参加者を募っているために代表性が高く、全国の管理栄養士の協力の下、標準的かつ丁寧な手法で食事記録とデータ整理を行ったという方法的利点がある。これらのことから、食品摂取頻度・摂取量調査から得られたデータは、基礎データとして世界の食事調査に比肩するものであり、食事中の化学物質に関する政策決定にとどまらず、様々な目的の健康・栄養行政に広く資するものであると考えられる。

研究5と研究9では、日本人成人において1日の総摂取エネルギー量のうち超加工

食品から摂取するエネルギーの割合は、少なく見積もると28%、多く見積もると48%であることが明らかになった。諸外国における超加工食品からのエネルギー寄与割合は、食生活の違いだけでなく超加工食品の分類方法や食事調査方法の違いによりばらつきがあるが、本研究で得られた値はイタリアより高く(17%) [41]、英国(53%) [42]やカナダ(54%) [43]、米国(59%) [21]より低い一方で、日本の小規模な先行研究(38% [37])や、ブラジル(24%) [44]、韓国(26%) [45]、チリ(29%) [46]、メキシコ(30%) [47]、フランス(36%) [16]、オーストラリア(39%) [48]などで行われた研究と同程度であった。

また、研究1において観察された、超加工食品の摂取量と食事の質との負の関連は、他の多くの国でも一貫して観察されている[4-7]。さらに超加工食品の摂取過多は、過体重や肥満、心血管疾患や脳血管疾患、メタボリックシンドローム、うつ病、死亡率などの健康上の不利益につながる可能性があるため [1-3]、注意を要する。

研究7および8では、超加工食品の摂取に関わる個々人の内的・外的要因を明らかにした。研究7では、食品選択の価値観や食品リテラシーに関するいくつかの因子が超加工食品の摂取と関連するとともに、関連する因子は男女で異なることが示唆された。これらの知見は、超加工食品の摂取に関する栄養政策を検討する際に重要であると考えられる。また、研究8の結果より、超加工食品の摂取量を減らすための介入戦略において、若年層と現在喫煙している人々をターゲットにすることが有効であるかもしれない。

研究5では、残留農薬等の基準値が設定されている食品リストに記載された食品分類

名のうちおよそ6分の1が、食品成分表に記載された食品番号のいずれに当てはまらなかった。また、約7割の食品が2つ以上の食品番号と紐付けられた。1対1対応にならないのは、残留農薬等の基準値が設定されている食品リストと成分表で、食品の分類や名称が大きく異なるためと考えられる。ある食品番号を付与すべきか判断の難しい食品分類名も多かったため、食事データから残留農薬の摂取量を解析できるようにするためには今後さらなる検討が必要であると考えられる。

## E. 結論

本研究では、全国食事調査の実施とデータ集計を行い、日本人の食事摂取状況を明らかにした。また、日本における加工食品に関する研究は少なく、加工食品の分類方法の日本人の食事への適用方法については検討の必要があることが示された。そこで、食事記録や食事歴法質問票を用いて、食品を加工レベルに応じて分類するシステムを構築し、日本人における加工食品の摂取量を記述にした。また、各国の食事調査法の違いを調べたところ、個人に対する複数日の食事調査が広く行われていることが明らかになった。よって、本課題で使用されている2016年から2019年にかけて実施した食品摂取頻度・摂取量調査は、世界各国の食事調査に比肩する価値を有するものであり、化学物質の推定のみならず各種栄養・行政に大きく貢献しうると考えられる。

さらに、一連の研究の結果は、超加工食品は日本人の総エネルギー摂取量のうち4分の1から半分程度を占めており、日本人の食生活に一定程度寄与していることを示

した。超加工食品が健康状態を悪化させる可能性があることを考えると、とくに若年者や喫煙者といった超加工食品の摂取割合が比較的大きい層を対象にした栄養教育が必要であるかもしれない。また、年齢や喫煙状況だけでなく、たとえば女性では栄養の知識などが超加工食品の摂取量と有意な関連がみられることから、栄養の知識をつけるなどの個人々の食品選択の価値観やフードリテラシーに応じた対策も有用だと考えられる。また、食事データから残留農薬の摂取量を解析できるようにするためには、現行の各食品分類名に食品成分表からどの食品番号を付与すべきかについて今後さらなる検討が必要であると考えられる。

#### 参考文献

1. Pagliai G, Dinu M, Madarena MP, Bonaccio M, Iacoviello L, Sofi F. Consumption of ultra-processed foods and health status: a systematic review and meta-analysis. *Br J Nutr.* 2021;125(3):308-18. doi: 10.1017/S0007114520002688.
2. Lane MM, Davis JA, Beattie S, Gomez-Donoso C, Loughman A, O'Neil A, et al. Ultraprocessed food and chronic noncommunicable diseases: a systematic review and meta-analysis of 43 observational studies. *Obes Rev.* 2021;22(3):e13146. doi: 10.1111/obr.13146.
3. Taneri PE, Wehrli F, Roa-Diaz ZM, Itodo OA, Salvador D, Raeesi-Dehkordi H, et al. Association between ultra-processed food intake and all-cause mortality: a systematic review and meta-analysis. *Am J Epidemiol.* 2022;191(7):1323-35. doi: 10.1093/aje/kwac039.
4. Salome M, Arrazat L, Wang J, Dufour A, Dubuisson C, Volatier JL, et al. Contrary to ultra-processed foods, the consumption of unprocessed or minimally processed foods is associated with favorable patterns of protein intake, diet quality and lower cardiometabolic risk in French adults (INCA3). *Eur J Nutr.* 2021;60(7):4055-67. doi: 10.1007/s00394-021-02576-2.
5. Vandevijvere S, De Ridder K, Fiolet T, Bel S, Tafforeau J. Consumption of ultra-processed food products and diet quality among children, adolescents and adults in Belgium. *Eur J Nutr.* 2019;58(8):3267-78. doi: 10.1007/s00394-018-1870-3.
6. Liu J, Steele EM, Li Y, Karageorgou D, Michal R, Monteiro CA, et al. Consumption of ultraprocessed foods and diet quality among U.S. Children and adults. *Am J Prev Med.* 2022;62(2):252-64. doi: 10.1016/j.amepre.2021.08.014.
7. Calixto Andrade G, Julia C, Deschamps V, Srour B, Hercberg S, Kesse-Guyot E, et al. Consumption of Ultra-Processed Food and Its Association with Sociodemographic Characteristics and Diet Quality in a Representative Sample of French Adults. *Nutrients.* 2021;13(2):682. doi: 10.3390/nu13020682.
8. Asakura K, Uechi K, Sasaki Y, Masayasu S, Sasaki S. Estimation of sodium and potassium intakes assessed by two 24 h urine collections in healthy Japanese adults: a nationwide study. *Br J Nutr.* 2014;112(7):1195-205. doi: 10.1017/S0007114514001779.
9. Asakura K, Uechi K, Masayasu S, Sasaki S.

- Sodium sources in the Japanese diet: difference between generations and sexes. *Public Health Nutr.* 2016;19(11):2011-23. doi: 10.1017/S1368980015003249.
10. Council for Science and Technology; Ministry of Education & Culture S, Science and Technology, Japan. Standard Tables of Food Composition in Japan, 2010. Official Gazette Co-Operation of Japan; 2010.
  11. Poti JM, Mendez MA, Ng SW, Popkin BM. Is the degree of food processing and convenience linked with the nutritional quality of foods purchased by US households? *Am J Clin Nutr.* 2015;101(6):1251-62. doi: 10.3945/ajcn.114.100925.
  12. Bleiweiss-Sande R, Chui K, Evans EW, Goldberg J, Amin S, Satchek J. Robustness of food processing classification systems. *Nutrients.* 2019;11(6):1344. doi: 10.3390/nu11061344.
  13. Nations FaAOotU: Guidelines on the collection of information on food processing through food consumption surveys. (2015). Accessed 2/26 2021.
  14. Martinez Steele E, Baraldi LG, Louzada ML, Moubarac JC, Mozaffarian D, Monteiro CA. Ultra-processed foods and added sugars in the US diet: evidence from a nationally representative cross-sectional study. *BMJ Open.* 2016;6(3):e009892. doi: 10.1136/bmjopen-2015-009892.
  15. Monteiro C, Levy R, Claro R, Castro I, Cannon G. A new classification of foods based on the extent and purpose of their processing. *Cad Saude Publica.* 2010;26(11):2039-49. doi: 10.1590/s0102-311x2010001100005.
  16. Julia C, Martinez L, Alles B, Touvier M, Hercberg S, Mejean C, et al. Contribution of ultra-processed foods in the diet of adults from the French NutriNet-Sante study. *Public Health Nutr.* 2018;21(1):27-37. doi: 10.1017/S1368980017001367.
  17. Fiolet T, Srour B, Sellem L, Kesse-Guyot E, Alles B, Mejean C, et al. Consumption of ultra-processed foods and cancer risk: results from NutriNet-Sante prospective cohort. *BMJ.* 2018;360:k322. doi: 10.1136/bmj.k322.
  18. Juul F, Martinez-Steele E, Parekh N, Monteiro CA, Chang VW. Ultra-processed food consumption and excess weight among US adults. *Br J Nutr.* 2018;120(1):90-100. doi: 10.1017/S0007114518001046.
  19. Monteiro CA, Levy RB, Claro RM, de Castro IR, Cannon G. Increasing consumption of ultra-processed foods and likely impact on human health: evidence from Brazil. *Public Health Nutr.* 2011;14(1):5-13. doi: 10.1017/S1368980010003241.
  20. Gibney MJ. Ultra-Processed Foods: Definitions and Policy Issues. *Curr Dev Nutr.* 2019;3(2):nzy077. doi: 10.1093/cdn/nzy077.
  21. Rippin HL, Hutchinson J, Evans CEL, Jewell J, Breda JJ, Cade JE. National nutrition surveys in Europe: a review on the current status in the 53 countries of the WHO European region. *Food Nutr Res.* 2018;62. doi: 10.29219/fnr.v62.1362.
  22. 越田 詠美子, 岡田 知佳, 岡田 恵美子, 松本 麻衣, 村井 詩子, 瀧本 秀美. 日本と諸外国における国を代表する栄養調査の比較. *栄養学雑誌.* 2019;77(6):183-92.
  23. Swiss Federal Food Safety and Veterinary Office (FSVO). National Nutrition Survey

- menuCH 2014-2015. [https://menuch.unisante.ch/index.php/catalog/4#metadata-data\\_collection](https://menuch.unisante.ch/index.php/catalog/4#metadata-data_collection) (Accessed April 8 2022)
24. 国立健康・栄養研究所. 栄養調査.: <https://www.nibiohn.go.jp/eiken/kenkounippon21/foreign/eiyouchousa.html> (Accessed 8 April 2022)
25. 厚生労働省. 平成 29 年 国民健康・栄養調査結果の概要. <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000351576.pdf> (Accessed April 8 2022)
26. Krebs-Smith SM, Pannucci TE, Subar AF, Kirkpatrick SI, Lerman JL, Tooze JA, et al. Update of the Healthy Eating Index: HEI-2015. *J Acad Nutr Diet.* 2018;118(9):1591-602. doi: 10.1016/j.jand.2018.05.021.
27. Fulgoni VL, 3rd, Keast DR, Drewnowski A. Development and validation of the nutrient-rich foods index: a tool to measure nutritional quality of foods. *J Nutr.* 2009;139(8):1549-54. doi: 10.3945/jn.108.101360.
28. Lyerly JE, Reeve CL. Development and validation of a measure of food choice values. *Appetite.* 2015;89:47-55. doi: 10.1016/j.appet.2015.01.019.
29. Matsumoto M, Tanaka R, Ikemoto S. Validity and reliability of a general nutrition knowledge questionnaire for Japanese adults. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo).* 2017;63(5):298-305. doi: 10.3177/jnsv.63.298.
30. Lavelle F, McGowan L, Hollywood L, Surgenor D, McCloat A, Mooney E, et al. The development and validation of measures to assess cooking skills and food skills. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2017;14(1):118. doi: 10.1186/s12966-017-0575-y.
31. Hunot C, Fildes A, Croker H, Llewellyn CH, Wardle J, Beeken RJ. Appetitive traits and relationships with BMI in adults: Development of the Adult Eating Behaviour Questionnaire. *Appetite.* 2016;105:356-63. doi: 10.1016/j.appet.2016.05.024.
32. Slimani N, Deharveng G, Southgate DA, Biessy C, Chajes V, van Bakel MM, et al. Contribution of highly industrially processed foods to the nutrient intakes and patterns of middle-aged populations in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition study. *Eur J Clin Nutr.* 2009;63 Suppl 4:S206-25. doi: 10.1038/ejcn.2009.82.
33. Ireland JD, Moller A. Language food description: a learning process. *Eur J Clin Nutr.* 2010;64 Suppl 3:S44-8. doi: 10.1038/ejcn.2010.209.
34. Weaver CM, Dwyer J, Fulgoni VL, 3rd, King JC, Leveille GA, MacDonald RS, et al. Processed foods: contributions to nutrition. *Am J Clin Nutr.* 2014;99(6):1525-42. doi: 10.3945/ajcn.114.089284.
35. Monteiro CA, Cannon G, Levy RB, Moubarac JC, Louzada ML, Rauber F, et al. Ultra-processed foods: what they are and how to identify them. *Public Health Nutr.* 2019;22(5):936-41. doi: 10.1017/S1368980018003762.
36. Ministry of Health of Brazil. Dietary guidelines for the Brazilian population.: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/dietary\\_guidelines\\_brazilian\\_population.pdf](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/dietary_guidelines_brazilian_population.pdf) (2015). Accessed 05/08 2022.
37. Koiwai K, Takemi Y, Hayashi F, Ogata H,

- Matsumoto S, Ozawa K, et al. Consumption of ultra-processed foods decreases the quality of the overall diet of middle-aged Japanese adults. *Public Health Nutr.* 2019;22(16):2999-3008. doi: 10.1017/S1368980019001514.
38. Koiwai K, Takemi Y, Hayashi F, Ogata H, Sakaguchi K, Akaiwa Y, et al. Consumption of ultra-processed foods and relationship between nutrient intake and obesity among participants undergoing specific health checkups provided by National Health Insurance. *Nijon Kosho Eisei Zasshi.* 2021;68(2):105-17. doi: 10.11236/jph.20/044.
39. Gibney MJ, Forde CG, Mullally D, Gibney ER. Ultra-processed foods in human health: a critical appraisal. *Am J Clin Nutr.* 2017;106(3):717-24. doi: 10.3945/ajcn.117.160440.
40. Jones JM. Food processing: criteria for dietary guidance and public health? *Proc Nutr Soc.* 2019;78(1):4-18. doi: 10.1017/S0029665118002513.
41. Ruggiero E, Esposito S, Costanzo S, Di Castelnuovo A, Cerletti C, Donati MB, et al. Ultra-processed food consumption and its correlates among Italian children, adolescents and adults from the Italian Nutrition & Health Survey (INHES) cohort study. *Public Health Nutr.* 2021;24(18):6258-71. doi: 10.1017/S1368980021002767.
42. Adams J, White M. Characterisation of UK diets according to degree of food processing and associations with socio-demographics and obesity: cross-sectional analysis of UK National Diet and Nutrition Survey (2008-12). *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2015;12:160. doi: 10.1186/s12966-015-0317-y.
43. Batal M, Johnson-Down L, Moubarac JC, Ing A, Fediuk K, Sadik T, et al. Sociodemographic associations of the dietary proportion of ultra-processed foods in First Nations peoples in the Canadian provinces of British Columbia, Manitoba, Alberta and Ontario. *Int J Food Sci Nutr.* 2018;69(6):753-61. doi: 10.1080/09637486.2017.1412405.
44. da Silva DCG, Fiates GMR, Botelho AM, Vieira FGK, Medeiros KJ, Willecke RG, et al. Food consumption according to degree of food processing, behavioral variables, and sociodemographic factors: Findings from a population-based study in Brazil. *Nutrition.* 2022;93:111505. doi: 10.1016/j.nut.2021.111505.
45. Shim JS, Shim SY, Cha HJ, Kim J, Kim HC. Socioeconomic Characteristics and Trends in the Consumption of Ultra-Processed Foods in Korea from 2010 to 2018. *Nutrients.* 2021;13(4). doi: 10.3390/nu13041120.
46. Cediel G, Reyes M, da Costa Louzada ML, Martinez Steele E, Monteiro CA, Corvalan C, et al. Ultra-processed foods and added sugars in the Chilean diet (2010). *Public Health Nutr.* 2018;21(1):125-33. doi: 10.1017/S1368980017001161.
47. Marron-Ponce JA, Sanchez-Pimienta TG, Louzada M, Batis C. Energy contribution of NOVA food groups and sociodemographic determinants of ultra-processed food consumption in the Mexican population. *Public Health Nutr.* 2018;21(1):87-93. doi: 10.1017/S1368980017002129.
48. Marchese L, Livingstone KM, Woods JL,

Wingrove K, Machado P. Ultra-processed food consumption, socio-demographics and diet quality in Australian adults. *Public Health Nutr.* 2022;25(1):94-104. doi: 10.1017/S1368980021003967.

#### G. 研究発表

誌上発表

Shinozaki N, Murakami K, Masayasu S, Sasaki S. Highly Processed Food Consumption and Its Association with Anthropometric, Sociodemographic, and Behavioral Characteristics in a Nationwide Sample of 2742 Japanese Adults: An Analysis Based on 8-Day Weighed Dietary Records. *Nutrients.* 2023;15(5):1295.

学会発表

なし

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

なし



図1. 食事記録調査のデータ収集から集計まで



表 1. ノースカロライナ大学チャペルヒル校の研究者が開発した分類システム

カテゴリー	サブカテゴリー	定義	食品の例
未加工／最小限の加工	なし	自然界に存在する食品固有の特性を変化させない、全くまたは極めて僅かな加工を加えた単一の材料からなる食品	牛乳、コーヒー豆、果物、野菜、卵、玄米、生クリーム、はちみつ、ハーブ、スパイス、こしょう
基本的な加工	加工された基本食材	物理的または化学的プロセスを用いて抽出または精製され、食品固有の特性を変化させることによって得られた単一の分離された食品成分	甘味料を加えていない、濃縮還元ではない果物ジュース、卵の白身、全粒粉、全粒粉パスタ、油、無塩バター、佐藤、メープルシロップ、塩
	基本的な保存または予備調理をするための加工	保存または予備調理を目的として物理的または化学的処理により加工されてはいるものの、単一の食品として存続する最小限に加工された食品	甘味料を加えていない、濃縮還元以外の果物ジュース、粉ミルク、インスタントコーヒー、甘味料が加えられていない缶詰めの果物や野菜や豆、味付けされていない缶詰の肉、精製小麦粉からできたパスタ、精製小麦粉、白米、サワークリーム、プレーンヨーグルト
中程度の加工	風味づけのための中程度の加工	風味を向上させる目的で風味添加物を添加した最小または中程度の加工を施した単一食品で、元の植物・動物素材と直接認識することができるもの	甘味料が加えられた／風味付けされた果物や野菜のジュース・お茶・豆乳・缶詰の果物、ジャム、ポテトチップス、ベーコン、ハム、甘

			いコーンフレーク、チーズ、甘いヨーグルト、有塩バター
	中程度に加工された穀物製品	全粒粉に水、塩、イーストを加えて作られた穀物製品	全粒粉のパンやトルティーヤ、クラッカー
高度な加工	高度に加工された食材	工業的に製造された複数の食材の混合物で、元の植物・動物素材が分からなくなる程度まで加工し、添加物として摂取されるもの（調味料、ディップ、ソース、トッピング、または混合料理の具材）	トマトソース、サルサ、パン粉、マーガリン、ショートニング、ホットケーキシロップ、人工甘味料、ケチャップ、ソース
	高度に加工された独立アイテム	工業的に製造された複数の食材の混合物で、もはや元の植物・動物源として認識できない程度に加工され、通常、添加物として摂取されないもの	炭酸飲料、酒、スポーツドリンク、エナジードリンク、調味済みのポテトサラダ、ソーセージ、ホットドッグ、スパム、精製小麦粉で作られたパンやトルティーヤ、アイスクリーム、飴、チョコレート

参考文献 [11]の表 1 から作成。

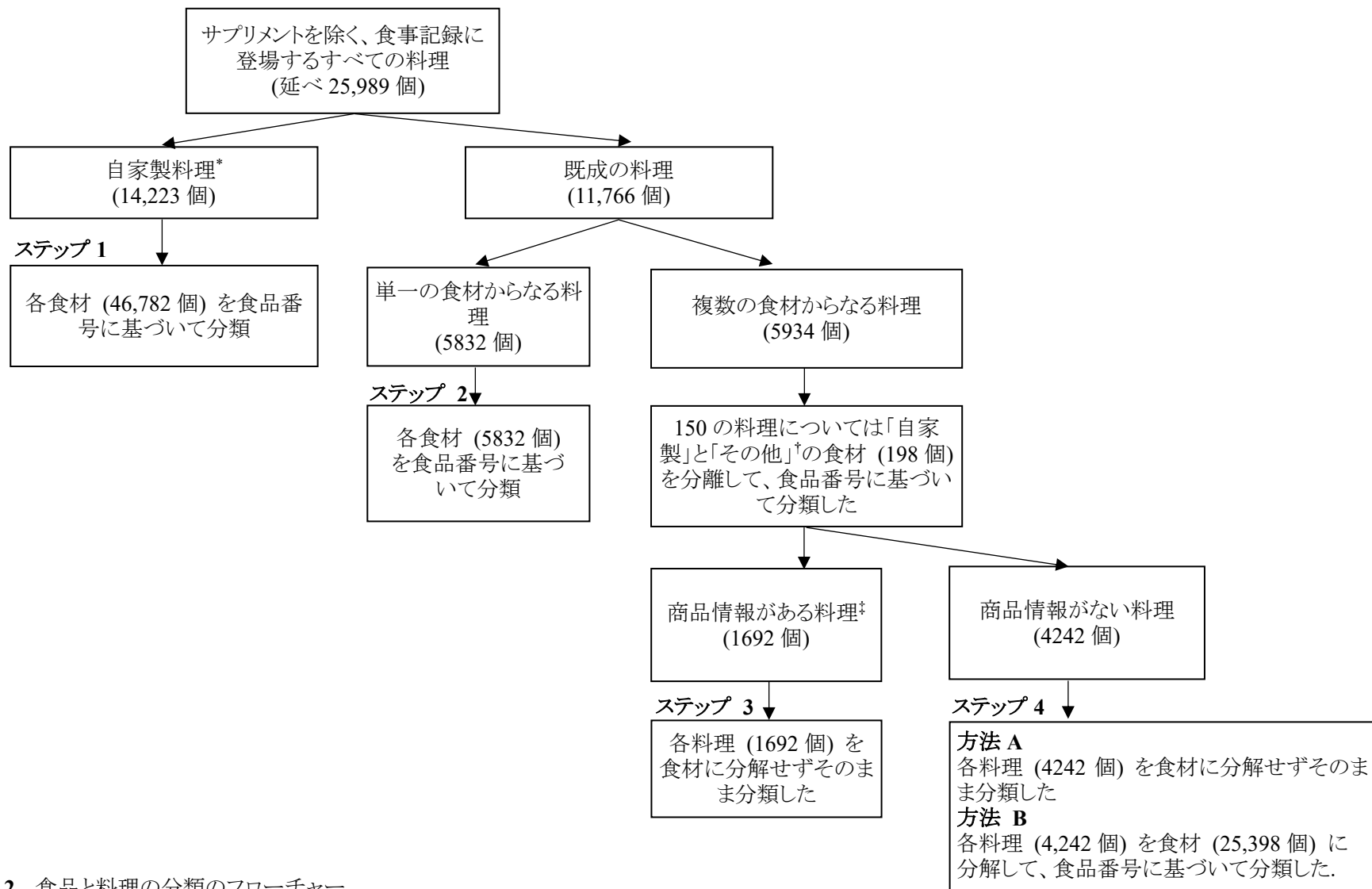


図 2. 食品と料理の分類のフローチャー

\*新鮮な果物や野菜など、生の状態で食べる食品を含む。

†「その他」の食品には、家庭で調理する前の未加工の食材（新鮮な野菜、肉、魚、牛乳など。但し水は除く）と、家庭で調理する際や家庭の食卓で使う調味料（サンドイッチを作る際に使うマヨネーズなど）を含む。

‡包装食品の商品名、ブランド名、製造会社名、ファーストフード店のチェーン名などが記載された調理済み料理。

表 2. 食事調査方法のレビュー論文における食事調査の抽出方法

参考文献番号	[21]	[22]
調査方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・調査著者や関係者へのメールの問い合わせ</li> <li>・文献データベース(Web of Science、Medline、Google Scholar、Scopus)のシステマティックレビュー</li> <li>検索式:(survey* OR research* [TS]) AND (nutrition* OR diet* OR food* [TS]) AND (list of countries)</li> <li>・ウェブ検索</li> </ul>	各国の調査実施期間のウェブページ・調査結果報告書・論文などのウェブ検索
調査対象期間	1990～2016	～2019
対象国	WHO ヨーロッパ地域事務局の 53 カ国のうち、34 か国における 109 の調査	11 か国
参加者	子供および大人	子供および大人
調査の組み入れ基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・個人レベルで実施される調査集団</li> <li>・国を代表する規模の調査</li> <li>・公表済みおよび未公表の報告書、学術雑誌、ウェブサイトから報告された調査結果</li> <li>・2 歳以上の個人を含む調査</li> <li>・特定の食品群ではなく食事全体を対象とした調査(言語の縛りなし)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国を代表する規模の調査</li> <li>・英語で書かれた資料・文献</li> </ul>
調査の除外基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・集団(世帯)レベルで収集される調査</li> <li>・調査全国規模ではない、地域限定の調査</li> <li>・1990 年以前にデータを収集した調査</li> <li>・2 歳未満のみをサンプルとする調査</li> <li>・食品群の網羅性が不完全な調査</li> <li>・参加者数が少ない(200 人未満)の調査</li> </ul>	なし

表 3. NOVA における加工食品の定義と食品の例

		<b>1) Unprocessed or minimally processed foods</b>	<b>2) Processed culinary ingredients</b>	<b>3) Processed foods</b>	<b>4) Ultra-processed foods</b>
	<b>Definition</b>	<p>Unprocessed: edible parts of plants (fruits, seeds, leaves, stems, roots, tubers) or of animals (muscle, offals, eggs, milk), and also fungi, algae and water, after separation from nature. Minimally processed: unprocessed foods altered by industrial processes such as removal of inedible or unwanted parts, drying, crushing, grinding, fractioning, roasting, boiling, pasteurisation, refrigeration, freezing, placing in containers, vacuum packaging, non-alcoholic fermentation, and other methods that do not add salt, sugar, oils or fats or other food substances to the original food. The main aim of these processes is to extend the life of unprocessed foods, enabling their storage for longer use, and, often, to make their preparation easier or more diverse. Infrequently, minimally processed foods contain additives that prolong product duration, protect original properties or</p>	<p>Substances obtained directly from group 1 foods or from nature by industrial processes such as pressing, centrifuging, refining, extracting or mining. Their use is in the preparation, seasoning and cooking of group 1 foods. These products may contain additives that prolong product duration, protect original properties or prevent proliferation of microorganisms.</p>	<p>Products made by adding salt, oil, sugar or other group 2 ingredients to group 1 foods, using preservation methods such as canning and bottling, and, in the case of breads and cheeses, using non-alcoholic fermentation. Processes and ingredients here aim to increase the durability of group 1 foods and make them more enjoyable by modifying or enhancing their sensory qualities. These products may contain additives that prolong product duration, protect original properties or prevent proliferation of microorganisms.</p>	<p>Formulations of ingredients, mostly of exclusive industrial use, that result from a series of industrial processes (hence ‘ultra- processed’), many requiring sophisticated equipment and technology. Processes enabling the manufacture of ultra-processed foods include the fractioning of whole foods into substances, chemical modifications of these substances, assembly of unmodified and modified food substances using industrial techniques such as extrusion, moulding and pre-frying, frequent application of additives whose function is to make the final product palatable or hyper- palatable (‘cosmetic additives’), and sophisticated packaging, usually with synthetic materials. Ingredients often include sugar, oils and fats, and salt, generally in combination; substances that are sources of energy and nutrients but of no or rare culinary use such as high fructose corn syrup, hydrogenated or interesterified oils, and</p>

		prevent proliferation of microorganisms.			protein isolates; cosmetic additives such as flavours, flavour enhancers, colours, emulsifiers, sweeteners, thickeners, and anti-foaming, bulking, carbonating, foaming, gelling, and glazing agents; and additives that prolong product duration, protect original properties or prevent proliferation of microorganisms. Processes and ingredients used to manufacture ultra-processed foods are designed to create highly profitable products (low cost ingredients, long shelf-life, emphatic branding), convenient (ready-to-consume) hyper-palatable snacked products liable to displace all other NOVA food groups, notably group 1 foods.
--	--	--	--	--	---

	<p>日本語訳</p>	<p><b>Unprocessed foods:</b> 自然から分離した後の食用部分の植物(果物、種子、葉、茎、根、塊茎)または動物(筋肉、内臓、卵、牛乳)、きのこ、藻類、水</p> <p><b>Minimally processed foods:</b> Unprocessed foods を工業プロセスによって加工したもの。(加工: 食べられない部分や不要な部分の除去、乾燥、粉碎、研磨、分別、焙煎、煮沸、低温殺菌、冷蔵、冷凍、容器への保管、真空包装、非アルコール発酵。このほか、元の食品に塩、砂糖、油、脂肪、その他の食品を加えない方法も含む) これらのプロセスの主な目的は、unprocessed foods の寿命を延ばすこと、長期間使用できるように貯蔵すること、また、調理をより簡単に、より多様にするることである。まれに、minimally processed foods には、製品の持ちを良くしたり、元の特性を保護したり、微生物の増殖を防止したりする添加剤が含まれる。</p>	<p>グループ1の食品あるいは自然から直接、または圧搾、遠心分離、精製、抽出、採掘などの工業プロセスによって得られた物質。それらの用途は、グループ1の食品の調製、調味、調理にある。これらの製品には、製品の持ちを良くしたり、元の特性を保護したり、微生物の増殖を防止したりする添加剤が含まれていることがある。</p>	<p>グループ1の食品に塩、油、砂糖、またはその他のグループ2の食材を加えたうえで、缶詰や瓶詰めなどの保存方法、パンやチーズの場合は非アルコール発酵を使用して製造された製品。ここでのプロセスと成分は、グループ1の食品の保存性を高め、官能的な品質を変更または強化することで、より楽しめるようにすることを目的とする。これらの製品には、製品の持ちを良くしたり、元の特性を保護したり、微生物の増殖を防止したりする添加剤が含まれていることがある。</p>	<p>一連の工業プロセスから生じる、もっぱら工業用途の成分の配合・形成であり(したがって「超加工」とよばれる)、その多くは高度な機器と技術を必要とする。超加工食品の製造を可能にするプロセスには、Whole foods の物質への分別、これらの物質の化学修飾、押し出し、成形、予備揚げなどの工業技術を使用した未修飾および修飾食品物質の組み立て、製品を palatable、または hyper-palatable (cosmetic additives) にする機能を持つ添加物の頻繁な使用、洗練されたパッケージにする通常は合成材料を使用して洗練されたパッケージにすることなどを含む。成分には、砂糖、油脂類、塩が組み合わされて含まれることが多い。また、エネルギー源および栄養素であるが、料理には全くまたはめったに使用されない以下のような物質も含む: 高フルクトースコーンシロップ、硬化油またはエステル交換油、タンパク質分離物/フレーバー、フレーバーエンハンサー、着色料、乳化剤、甘味料、増粘剤、消泡剤、増量剤、炭酸化剤、発泡剤、ゲル化剤、光沢剤などの化粧品添加物/製品の保存期間を延長し、元の特性を保護し、微生物の増殖を防ぐ添加剤。</p>
--	-------------	---	--	--	--

					<p>超加工食品の製造におけるプロセスと使用される材料は、収益性の高い製品（低コストの材料、長い貯蔵寿命、強調されたブランディング）や、便利な（すぐに食べられる）非常に口当たりの良いスナックで他のすべての NOVA グループ（特にグループ 1 の食品）に取って代わる製品を作るために製造される。</p>
--	--	--	--	--	---



	<p>各加工レベルにおける食品の例</p>	<p>Fresh, squeezed, chilled, frozen, or dried fruits and leafy and root vegetables; grains such as brown, parboiled or white rice, corn cob or kernel, wheat berry or grain; legumes such as beans, lentils, and chickpeas; starchy roots and tubers such as potatoes, sweet potatoes and cassava; fungi such as fresh or dried mushrooms; meat, poultry, fish and seafood, whole or in the form of steaks, fillets and other cuts, fresh or chilled or frozen; eggs; fresh or pasteurized milk; fresh or pasteurised fruit or vegetable juices (with no added sugar, sweeteners or flavours); grits, flakes or flour made from corn, wheat, oats, or cassava; tree and ground nuts and other oily seeds (with no added salt or sugar); herbs and spices used in culinary preparations, such as thyme, oregano, mint, pepper, cloves and cinnamon, whole or powdered, fresh or dried; fresh or pasteurized plain yoghurt; tea, coffee, and drinking water. Also includes foods made up from two or more items in this group, such as dried mixed fruits, granola made from cereals, nuts and</p>	<p>Vegetable oils crushed from seeds, nuts or fruits (notably olives); butter and lard obtained from milk and pork; sugar and molasses obtained from cane or beet; honey extracted from combs and syrup from maple trees; starches extracted from corn and other plants, and salt mined or from seawater, vegetable oils with added anti-oxidants, and table salt with added drying agents. Includes products consisting of two group 2 items, such as salted butter, and group 2 items with added vitamins or minerals, such as iodised salt.</p>	<p>Canned or bottled vegetables and legumes in brine; salted or sugared nuts and seeds; salted, dried, cured, or smoked meats and fish; canned fish (with or without added preservatives); fruits in syrup (with or without added anti-oxidants); freshly made unpackaged breads and cheeses.</p>	<p>Carbonated soft drinks; sweet or savoury packaged snacks; chocolate, candies (confectionery); ice-cream; mass-produced packaged breads and buns; margarines and other spreads; cookies (biscuits), pastries, cakes, and cake mixes; breakfast ‘cereals’, ‘cereal’ and ‘energy’ bars; ‘energy’ drinks; milk drinks, ‘fruit’ yoghurts and ‘fruit’ drinks; ‘cocoa’ drinks; ‘instant’ sauces; infant formulas, follow-on milks, other baby products; ‘health’ and ‘slimming’ products such as meal replacement shakes and powders. Many ready to heat products including pre-prepared pies and pasta and pizza dishes; poultry and fish ‘nuggets’ and ‘sticks’, sausages, burgers, hot dogs, and other reconstituted meat products, and powdered and packaged ‘instant’ soups, noodles and desserts.</p>
--	-----------------------	--	--	---	---

		dried fruits with no added sugar, honey or oil; pasta, couscous and polenta made with flours, flakes or grits and water; and foods with vitamins and minerals added generally to replace nutrients lost during processing, such as wheat or corn flour fortified with iron and folic acid.			
<b>1</b>	<b>Cereals</b>	Brown, parboiled or white rice; flakes or flour made from wheat or oats; Wheat fortified with iron and folic acid; Pasta made with flours, flakes or grits and water; Corn cob or kernel; wheat berry or grain; grits, flakes made from corn or cassava; granola made from cereals; couscous and polenta made with flours, flakes or grits and water; corn flour fortified with iron and folic acid	Starches extracted from corn and other plants	Freshly made unpackaged breads; <b>udon (boiled or dried udon wheat noodles), steamed or dried wheat noodles</b>	Mass-produced packaged breads and buns; breakfast 'cereals', 'cereal' and 'energy' bars; ready to heat products including pre-prepared pies and pasta and pizza dishes and packaged 'instant' noodles
<b>2</b>	<b>Potatoes</b>	Starchy roots and tubers such as potatoes, sweet potatoes and cassava	Starches extracted from corn and other plants	<b>Processed potato such as konnyaku (devil's tongue jelly)</b>	
<b>3</b>	<b>Sugars</b>		Sugar and molasses obtained from cane or beet; honey extracted from combs and syrup from maple trees;		

4	<b>Pulses (including nuts)</b>	Legumes such as beans, lentils, and chickpeas		Canned or bottled legumes in brine; <b>processed soybeans such as tofu (bean curd), ganmogoki (fried tofu dumpling)</b>	
5	<b>Nuts and seeds</b>	Tree and ground nuts and other oily seeds (with no added salt or sugar); nuts and dried fruits with no added sugar, honey or oil		Salted or sugared nuts and seeds	
6	<b>Vegetables</b>	Fresh, squeezed, chilled, frozen, or dried leafy and root vegetables; fresh or pasteurised fruit or vegetable juices (with no added sugar, sweeteners or flavours)		Canned or bottled vegetables in brine; <b>preserved vegetables like takuan(pickles)</b>	
7	<b>Fruits</b>	Fresh, squeezed, chilled, frozen, or dried fruits; dried mixed fruits; fresh or pasteurised fruit juices (with no added sugar, sweeteners or flavours)		Fruits in syrup (with or without added anti-oxidants); <b>sliced fruits preserved in syrup like umeboshi (salted plum)</b>	'Fruit' drinks
8	<b>Mushrooms</b>	Fungi such as fresh or dried mushrooms;			
9	<b>Algae</b>			<b>Salted seaweed such as ajitukenori (dried and salted seaweed)</b>	
10	<b>Fish and shellfish</b>	Fish and seafood, whole or in the form of steaks, fillets and other cuts, fresh or chilled or frozen		Salted, dried, cured, or smoked fish; canned fish (with or without added preservatives); <b>chikuwa (cake of fish paste)*;</b>	
11	<b>Meats</b>	Meat, poultry, whole or in the form of steaks, fillets and other cuts, fresh or chilled or frozen		Salted, dried, cured, or smoked meats	Ready to heat products including poultry and fish 'nuggets' and 'sticks', sausages, burgers, hot dogs, and other reconstituted meat products
12	<b>Eggs</b>	Eggs			

13	<b>Dairy products</b>	Fresh or pasteurized milk; fresh or pasteurized plain yoghurt		Freshly made unpackaged cheese	Ice-cream; milk drinks; 'fruit' yoghurts
14	<b>Fats and oils</b>		Vegetable oils crushed from seeds, nuts or fruits (notably olives); butter and lard obtained from milk and pork; vegetable oils with added anti-oxidants; salted butter		Margarines and other spreads;
15	<b>Confectioneries</b>				Sweet or savoury packaged snacks; chocolate, candies (confectionery); cookies (biscuits), pastries, cakes, and cake mixes; powdered and packaged 'instant' desserts; <b>many types of sweet and fatty or salty snack products (e.g. anpan (sweet red bean ban), osenbei (rice cracker))</b>
16	<b>Beverages</b>	Tea, coffee, and drinking water			Carbonated soft drinks; 'energy' drinks; 'cocoa' drinks
17	<b>Seasonings and spices</b>	Herbs and spices used in culinary preparations, such as thyme, oregano, mint, pepper, cloves and cinnamon, whole or powdered, fresh or dried	Salt mined or from seawater; table salt with added drying agents; iodised salt; <b>vinegar; soy sause; miso (fermented soybean paste); mirin (sweet sake used as seasoning)</b>		'Instant' sauces; <b>margarin, instant basic stock</b>

18	<b>Prepared foods</b>				<p>Ready to heat products including poultry and fish ‘nuggets’ and ‘sticks’, sausages, burgers, hot dogs, and other reconstituted meat products, and powdered and packaged ‘instant’ soups and desserts.</p> <p><b>Pre-prepared dishes such as bento (e.g. one plate meal), grain dishes (e.g. onigiri (rice ball), sushi, soba noodles), meat, fish, egg, and soy bean dishes (e.g. yakitori (grilled chicken skewers), ajihurai (deep-fried horse mackerel), chawanmushi (steamed savory cup custard)), vegetable dishes (e.g. hourensouogomaae (spinach with sesame dressing), hijikinomono (simmered hijiki seaweed), potato croquette), soup (e.g. instant miso soup, corn soup)</b></p>
19	<b>Other</b>				<p>Infant formulas; follow-on milks, other baby products; ‘health’ and ‘slimming’ products such as meal replacement shakes and powders</p>

参考文献 [35]を参照にした。食品の例の太字で表れているものは、参考文献 [37]に記載されている食品を追記したものである。

表 4.4 日間の食事記録調査の参加者の特性

特性	人数	%
性別		
男性	196	50.0
女性	196	50.0
年齢(歳)		
20—29	75	19.1
30—39	81	20.7
40—49	79	20.2
50—59	77	19.6
60 以上	80	20.4
BMI (kg/m <sup>2</sup> )		
18.5 未満	23	5.9
18.5 以上 25 未満	272	69.4
25 以上	97	24.7
喫煙歴 (%)		
喫煙歴なし	220	56.1
過去に喫煙していた	71	18.1
現在喫煙している	101	25.8

表 5. 日本人成人 392 人の 4 日間食事記録における加工レベル別の食品の摂取量と摂取割合

変数	重量 (g/日)				重量寄与率 (% grams)				エネルギー (kcal/日)				エネルギー寄与率 (% energy)			
	方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†	
	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
未加工／最小限の加工	1202	574	1377	560	44	16	51	14	352	192	483	186	17	8	23	7
基本的な加工	550	268	622	280	21	9	24	10	628	281	772	281	30	11	37	10
中程度の加工	83	66	108	74	3	3	4	3	105	80	145	93	5	4	7	4
高度な加工	833	448	561	365	32	15	21	12	1007	417	692	302	48	16	33	12

SD, 標準偏差

\*既成品かつ商品情報がない料理を、食材に分解せず料理ごと各カテゴリーに分類した。

†既成品かつ商品情報がない料理を、食材レベルまでに分解して食品番号に基づいて各カテゴリーに分類した。

表 6. 日本人成人 392 人の 4 日間食事記録における加工レベル別の食品の摂取量と摂取割合【男女別】

性	人数	変数	重量 (g/日)				重量寄与率 (% grams)				エネルギー (kcal/日)				エネルギー寄与率 (% energy)			
			方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†	
			平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
男性	192	未加工／最小限の加工	1149	603	1346	588	39	16	46	14	369	219	518	206	16	8	22	8
		基本的な加工	622	297	707	308	22	10	25	10	713	319	884	303	31	12	38	11
		中程度の加工	80	69	111	78	3	2	4	3	108	87	155	99	5	3	7	4
		高度な加工	1002	499	689	427	36	16	24	13	1141	447	773	338	49	17	33	12
女性	192	未加工／最小限の加工	1254	539	1408	531	49	14	56	12	335	160	447	156	18	8	24	7
		基本的な加工	477	211	537	219	20	8	22	8	543	206	660	203	29	10	36	9
		中程度の加工	87	64	104	69	4	3	4	3	103	73	135	86	6	4	7	4
		高度な加工	665	310	434	228	27	12	18	9	872	335	611	235	47	14	33	11

SD, 標準偏差

\*既成品かつ商品情報がない料理を、食材に分解せず料理ごと各カテゴリーに分類した。

†既成品かつ商品情報がない料理を、食材レベルまでに分解して食品番号に基づいて各カテゴリーに分類した。



表 7. 日本人成人 392 人の 4 日間食事記録における加工レベル別の食品の摂取量と摂取割合【年齢カテゴリー別】

年齢(歳)	人数	変数	重量 (g/日)				重量寄与率 (% grams)				エネルギー (kcal/日)				エネルギー寄与率 (% energy)			
			方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†	
			平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
20—29	75	未加工/最小限の加工	901	461	1083	451	38	17	45	15	277	191	432	183	14	9	22	8
		基本的な加工	510	233	603	262	22	9	26	11	517	326	702	338	26	13	35	11
		中程度の加工	69	67	104	79	3	3	4	3	78	73	132	101	4	4	7	5
		高度な加工	877	462	567	357	37	17	24	13	1106	512	712	335	56	19	36	14
30—39	81	未加工/最小限の加工	1076	561	1265	542	42	15	49	12	328	166	467	180	16	6	22	6
		基本的な加工	558	262	632	278	22	9	25	9	640	262	789	280	31	10	38	10
		中程度の加工	75	58	98	64	3	2	4	3	94	71	130	80	5	3	6	4
		高度な加工	828	416	541	321	33	14	22	10	1025	401	701	266	49	14	34	11
40—49	79	未加工/最小限の加工	1176	526	1339	531	42	16	49	15	313	148	440	148	15	7	21	7
		基本的な加工	595	319	655	322	22	10	24	10	657	250	777	242	31	10	37	9
		中程度の加工	76	68	101	75	3	3	4	3	102	82	141	92	5	4	7	4
		高度な加工	913	487	664	456	33	15	23	13	1024	378	737	321	48	14	35	11
50—59	77	未加工/最小限の加工	1314	560	1503	530	46	15	53	12	392	211	522	208	18	8	24	7
		基本的な加工	543	227	616	245	19	8	22	8	627	248	764	235	29	10	35	8
		中程度の加工	98	60	125	72	4	2	4	3	132	83	175	100	6	3	8	4
		高度な加工	898	496	609	379	31	14	21	10	1051	431	741	308	47	15	33	10
60 以上	80	未加工/最小限の加工	1529	559	1683	557	54	14	59	12	445	195	551	183	22	9	27	8
		基本的な加工	541	283	602	291	19	8	21	9	690	293	822	294	33	11	39	10
		中程度の加工	98	74	110	76	3	3	4	3	121	83	147	86	6	4	7	4
		高度な加工	658	322	429	247	24	12	16	9	837	301	573	249	40	12	27	10

SD, 標準偏差

\*既成品かつ商品情報がない料理を、食材に分解せず料理ごと各カテゴリーに分類した。

†既成品かつ商品情報がない料理を、食材レベルまでに分解して食品番号に基づいて各カテゴリーに分類した。

表 8. 日本人成人 392 人の 4 日間食事記録における加工レベル別の食品の摂取量と摂取割合【BMI カテゴリー別】

BMI (kg/m <sup>2</sup> )	人数	変数	重量 (g/日)				重量寄与率 (% grams)				エネルギー (kcal/日)				エネルギー寄与率 (% energy)			
			方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†	
			平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
18.5 未満	23	未加工／最小限の加工	1275	521	1433	521	48	13	55	10	322	131	464	161	16	6	23	6
		基本的な加工	514	248	575	244	20	7	22	7	600	214	718	193	30	10	36	9
		中程度の加工	91	71	110	70	4	3	4	3	95	65	129	72	5	4	7	4
		高度な加工	731	371	494	338	28	11	18	9	1009	477	715	363	49	14	34	11
18.5 以上 25 未満	272	未加工／最小限の加工	1214	571	1388	558	45	16	52	14	350	184	478	177	17	8	23	7
		基本的な加工	539	265	609	274	20	9	23	9	628	293	772	294	30	11	37	10
		中程度の加工	80	59	105	67	3	2	4	3	101	75	142	89	5	3	7	4
		高度な加工	826	446	557	361	31	16	21	12	995	407	682	285	48	16	33	12
25 以上	97	未加工／最小限の加工	1149	594	1334	579	42	17	49	15	364	224	501	214	17	9	23	8
		基本的な加工	588	278	669	304	22	10	26	11	634	262	784	263	30	10	37	9
		中程度の加工	91	83	115	90	3	3	4	3	120	96	157	107	5	4	7	5
		高度な加工	878	469	590	383	33	14	22	11	1041	431	716	332	48	15	33	11

SD, 標準偏差

\*既成品かつ商品情報がない料理を、食材に分解せず料理ごと各カテゴリーに分類した。

†既成品かつ商品情報がない料理を、食材レベルまでに分解して食品番号に基づいて各カテゴリーに分類した。

表 9. 日本人成人 392 人の 4 日間食事記録における加工レベル別の食品の摂取量と摂取割合【喫煙カテゴリー別】

喫煙歴	人数	変数	重量 (g/日)				重量寄与率 (% grams)				エネルギー (kcal/日)				エネルギー寄与率 (% energy)			
			方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†		方法 A*		方法 B†	
			平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
喫煙歴なし	220	未加工／最小限の加工	1290	584	1449	575	49	15	55	13	366	192	484	186	19	9	25	8
		基本的な加工	512	235	579	244	20	8	23	8	601	271	733	277	30	11	37	9
		中程度の加工	91	68	110	73	4	3	4	3	107	79	142	89	5	4	7	4
		高度な加工	696	357	451	272	28	13	18	10	899	349	615	249	46	15	31	11
過去に喫煙 していた	71	未加工／最小限の加工	1211	570	1433	534	41	15	49	12	364	194	534	178	16	7	23	7
		基本的な加工	619	256	697	278	22	9	25	10	704	301	865	284	30	11	38	10
		中程度の加工	87	72	119	80	3	2	4	2	117	83	166	96	5	3	7	4
		高度な加工	998	471	666	369	34	14	23	11	1130	421	750	311	49	15	32	10
現在喫煙 している	101	未加工／最小限の加工	1002	504	1181	501	37	16	44	14	311	186	445	186	14	7	20	7
		基本的な加工	584	323	663	336	22	10	25	11	632	282	790	274	29	12	36	10
		中程度の加工	65	55	94	69	3	3	4	3	93	80	137	98	4	4	6	4
		高度な加工	1016	505	729	448	38	16	27	14	1156	478	820	346	52	16	37	12

SD, 標準偏差

\*既成品かつ商品情報がない料理を、食材に分解せず料理ごと各カテゴリーに分類した。

†既成品かつ商品情報がない料理を、食材レベルまでに分解して食品番号に基づいて各カテゴリーに分類した。

表 10.41 か国における 56 件の全国レベルの食事調査の方法

地域	国	調査名	調査年	参加者		食事調査法					参考文献
				参加者数	年齢層	24 時間思い出 し法	食事記録法	食物摂取頻度 調査法	食事歴法	その他	
アジア	日本	国民健康・栄養調査	2017	3,076 世帯 (6,962 人)	1 歳以上	-	○(1 日)	-	-	-	[22, 25]
	韓国	Korea National Health and Nutrition Examination Survey	2016-18	約 1 万人	1 歳以上	○(1 日)	-	○	-	-	[22]
	中国	China Health and Nutrition Survey	2015	7,319 世帯 20,914 人	0 歳以上	○(連続 3 日間)	-	○	-	○(世帯食品消費量調査、連続 3 日間)	[22]
オセアニア	オーストラリア	Australian Health Survey	2011-13	9,500 世帯 12,000 人	2 歳以上	○(非連続 2 日間)	-	-	-	-	[22]
北米	アメリカ合衆国	National Health and Nutrition Examination Survey	2015-16	約 5,000 人/年	0 歳以上	○(非連続 2 日間)	-	○	-	-	[22]
	カナダ	Canadian Community Health Survey - Nutrition	2015	約 24,000 人	1 歳以上	○(1 日または非連続の 2 日間)	-	-	-	-	[22]
中南米	ブラジル	Pesquisa Nacional de Saúde	2013	62,986 世帯	18 歳以上	-	-	○	-	-	[22]
中東	イスラエル	Mabat national health and nutrition survey of the Elderly (Zahav)	2005-06	1,782 人	65~100 歳	-	○(1 日)	-	-	-	[21]
		Mabat first Israeli national health and nutrition survey	1999-2001	3,240 人	25~64 歳	-	○(1 日)	-	-	-	[21]

地域	国	調査名	調査年	参加者		食事調査法					参考文献
				参加者数	年齢層	24時間思い出 し法	食事記録法	食物摂取頻度 調査法	食事歴法	その他	
ヨーロッパ	フィンランド	FinDiet	2017	3,090 人	18～74 歳	○(非連続2 日間)	-	○	-	-	[22]
	ドイツ	Nationale Verzehrsstudie II	2005-07	19,329 人	14～80 歳	○(非連続2 日間)	○(連続4日 間×2回。一部 参加者のみ)	-	○	-	[21, 22]
		Der Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS)	2003-06	17,641 人	0～17 歳	-	-	-	-	○(質問票、詳 細不明)	[21]
	ロシア	Russia Longitudinal Monitoring Survey (RLMS)	2011-12	4,000 世帯	不明	○(1日)	-	-	-	-	[22]
	イギリス	National Diet and Nutrition Survey Rolling Programme	2018-19	約1,000 人/年	生後18 ヶ月以上	-	○(連続4日 間)	-	-	-	[22]
	アンドラ	Evaluation of the nutritional status of the Andorran population	2004-05	900 人	12～75 歳	○(1日。うち 35%のみ2日 間*)	-	○	-	-	[21]
	オーストリア	Austrian nutrition report	2010-12	1,002 人	7～14 歳, 18～ 80 歳	○(2日間*。成 人対象)	○(連続3日 間。小児対象)	-	-	-	[21]
		Austrian study on nutritionalstatus (ASNS)	2007	2,472 人	7～100 歳	-	○(1日)	-	-	-	[21]
	ベルギー	Belgium national food consumption survey (BNFCS)	2014-15	3,146 人	3～64 歳	○(2日間*)	-	-	-	-	[21]

地域	国	調査名	調査年	参加者		食事調査法					参考文献
				参加者数	年齢層	24時間思い出 し法	食事記録法	食物摂取頻度 調査法	食事歴法	その他	
ヨーロッパ	ブルガリア	National survey on nutrition of infants and children under 5 and family child rearing	2007	1,723 人	0～5 歳	○(非連続 2 日間)	-	-	-	-	[21]
	キプロス	A study of the dietary intake of Cypriot children and adolescents aged 6–18 years	2009–10	1,414 人	6～18 歳	-	○(連続 3 日間)	-	-	-	[21]
	チェコ共和国	Individual food consumption study (SISP04)	2003–04	2,590 人	4～90 歳	○(2 日間*)	-	-	-	-	[21]
ヨーロッパ	デンマーク	Danish national survey of diet and physical activity (DANSDA)	2011–13	3,946 人	4～75 歳	-	○(連続 7 日間)	-	-	-	[21]
	エストニア	National dietary survey	2014–15	4,906 人	4 ヶ月～74 歳	○(2 日間*。10 歳以上対象)	○(2 日間*。10 歳未満対象)	○(2 歳以上対象)	-	-	[21]
	フランス	ESTEBAN	2015–16	3,617 人	6～74 歳	○(3 日間*)	-	-	-	-	[21]
		Enquête Nutri-Bébé	2013	1,184 人	15 日～35 ヶ月	-	○(非連続 3 日間)	-	-	-	[21]
ギリシャ	HYDRIA – Greek national diet and health survey	2013–14	4,011 人	18 歳以上	○(2 日間*)	-	-	-	○(食品傾向質問票)	[21]	

地域	国	調査名	調査年	参加者		食事調査法					参考文献
				参加者数	年齢層	24時間思い出 し法	食事記録法	食物摂取頻度 調査法	食事歴法	その他	
ヨーロッパ		Nutrient intakes of toddlers and pre-schoolers in Greece: The GENESIS study	2003-04	2,374 人	1~5 歳	-	○(3日間*)	-	-	-	[21]
	ハンガリー	Hungarian diet and nutritional status survey	2014	857 人	18 歳以上	-	○(非連続 3 日間)	-	-	-	[21]
	アイスランド	The diet of Icelanders – a national dietary survey	2010-11	1,312 人	18~80 歳	○(2日間*)	-	○	-	-	[21]
	アイルランド	National pre-school nutrition survey	2010-11	500 人	1~4 歳	-	○(連続 4 日間)	-	-	-	[21]
		National children's food survey	2003-04	594 人	5~12 歳	-	○(連続 7 日間)	-	-	-	[21]
		National teens' food survey	2005-06	441 人	13~17 歳	-	○(連続 7 日間)	-	-	-	[21]
		National adult nutrition survey (NANS)	2008-10	1,500 人	18~90 歳	-	○(連続 4 日間)	-	-	-	[21]
	イタリア	Italian national food consumption survey INRAN-SCAI	2005-06	3,323 人	0~98 歳	-	○(連続 3 日間)	-	-	-	[21]
	カザフスタン	Nutritional and health status survey of the population in Kazakhstan	2008	3,526 人	15~59 歳	○(2日間*)	-	-	-	-	[21]
	ラトビア	National diet survey	2012-14	3,418 人	0~74 歳	○(非連続 2 日間)	○†	○	-	-	[21]

地域	国	調査名	調査年	参加者		食事調査法					参考文献
				参加者数	年齢層	24時間思い出 し法	食事記録法	食物摂取頻度 調査法	食事歴法	その他	
ヨーロッパ	リトアニア	Study of actual nutrition and nutrition habits of Lithuanian adult population	2013-14	2,513 人	19~75 歳	○†	-	-	-	○(質問票、詳細不明)	[21]
	オランダ	Dutch national food consumption survey	2012-16	4,340 人	1~79 歳	○(2日間*)	○(1日)	○	-	-	[21]
	ノルウェー	UNGKOST 3	2010-11	1,787 人	18~70 歳	○(2日間*)	-	○	-	-	[21]
		Norwegian national diet survey NORKOST3	2002	2,000 人	46~75 歳	-	-	○	-	-	[21]
		UNGKOST-2000	2000	2,218 人	1歳, 9歳, 13歳	-	○(4日間*)	-	-	-	[21]
	ポーランド	WOBASZ II study	2013-14	6,174 人	20歳以上	○†	-	○	-	-	[21]
	ポルトガル	National food and physical activity survey (IAN-AF)	2015-16	4,221 人	3ヶ月~84歳	○(非連続2日間)	○(2日間*。10歳未満対象)	-	-	○(食物摂取傾向調査票)	[21]
	ルーマニア	National synthesis	2006	1,036 人	19~100 歳	-	-	○	-	-	[21]
	スロバキア	Nutrient intake in children and adolescents in Slovakia	1991-99	7,893 人	11~18 歳	○†	-	○	-	-	[21]
Nutrient intake in the adult population of the Slovak Republic		1991-94, 1995-99	4,018 人	19~80 歳	○†	-	-	-	-	[21]	



地域	国	調査名	調査年	参加者		食事調査法					参考文献
				参加者数	年齢層	24時間思い出 し法	食事記録法	食物摂取頻度 調査法	食事歴法	その他	
ヨーロッパ	スロベニア	Dietary intake of macro – and micronutrients in Slovenian adolescents	2012	2,224 人	15～16 歳	-	-	○	-	-	[21]
		Dietary habits of the adult population Slovenia in health protection	2007-08	1,193 人	18～65 歳	○(非連続 2 日間)	-	○	-	-	[21]
	スペイン	ENALIA study	2012-14	1,780 人	6ヶ月～17 歳	○(2 日間*。11 歳以上)	○(2 日間*。11 歳未満)	○	-	-	[21]
		ENALIA 2 study	2014-15	1,090 人	18～74 歳	○(2 日間*)	-	○	-	-	[21]
	スウェーデン	Riksmaten adolescents	2016-17	3,099 人	11～12 歳, 14～15 歳, 17～19 歳	○(2 日間*)	-	-	-	-	[21, 24]
		Riksmaten adults	2010-11	1,797 人	18～80 歳	-	○(連続 4 日間)	-	-	-	[21]
		Riksmaten children	2003	2,495 人	4 歳, 8～9 歳, 11～12 歳	-	○(連続 4 日間)	-	-	-	[21]
	スイス	MENU-CH	2014-15	2,086 人	18～75 歳	○(非連続 2 日間)	-	-	-	-	[21, 23]
	北マケドニア	First Macedonian food consumption survey	2015	504 人	16 歳以上	○(2 日間*)	-	-	-	-	[21]

地域	国	調査名	調査年	参加者		食事調査法					参考文献
				参加者数	年齢層	24時間思い出 し法	食事記録法	食物摂取頻度 調査法	食事歴法	その他	
ヨーロッパ	トルコ	Turkey nutrition and health survey (TNHS)	2010	14,248 人	0～100 歳	○†	-	○	-	-	[21]

一つの国に対して複数の調査の情報がある場合、基本的に調査年が最新の情報のみを抽出した。ただし、異なる調査で参加者の年齢が全く異なる場合には、それぞれ分けて表にまとめた。

\*連続かどうかの情報なし

†調査日数不明

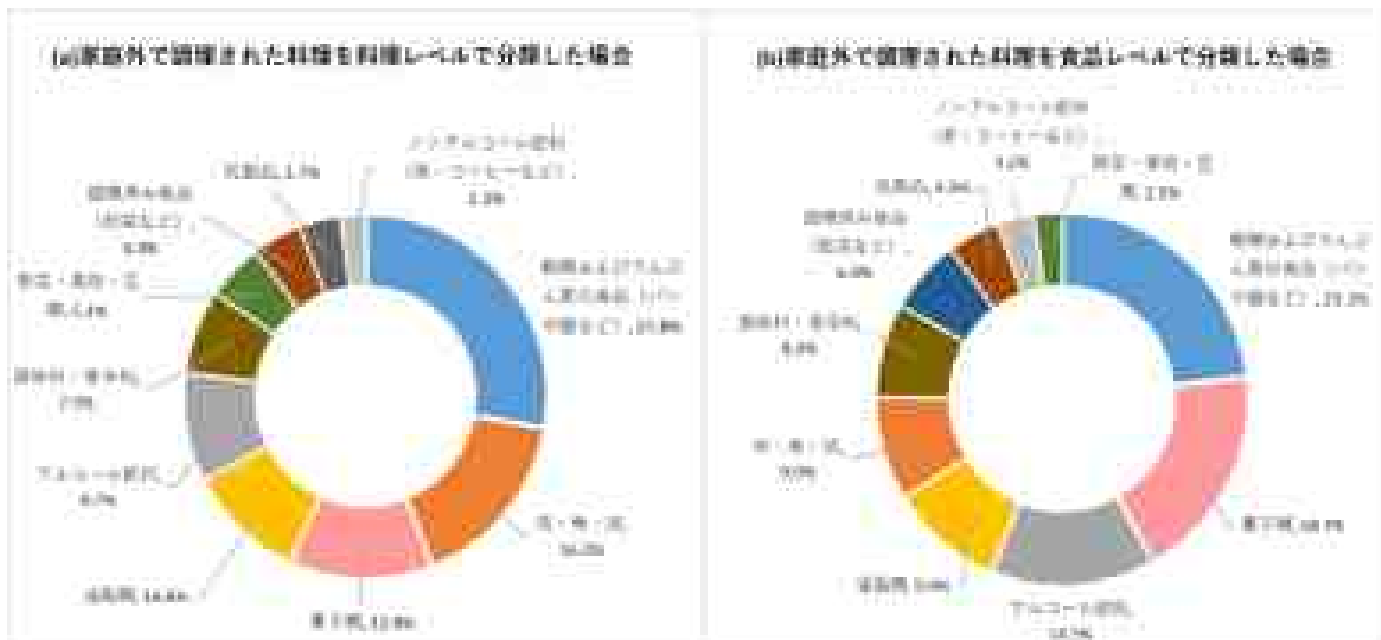


図 3 日本人成人 388 人における、超加工食品からの総エネルギー摂取量に対する各食品群の寄与割合。(a) 料理レベルの分類では、家庭外で調理された料理(外食や惣菜など)は食材まで分解せずに料理そのものを加工レベル別に分類した。(b) 食品レベルの分類では、料理を食材に分解して分類した。

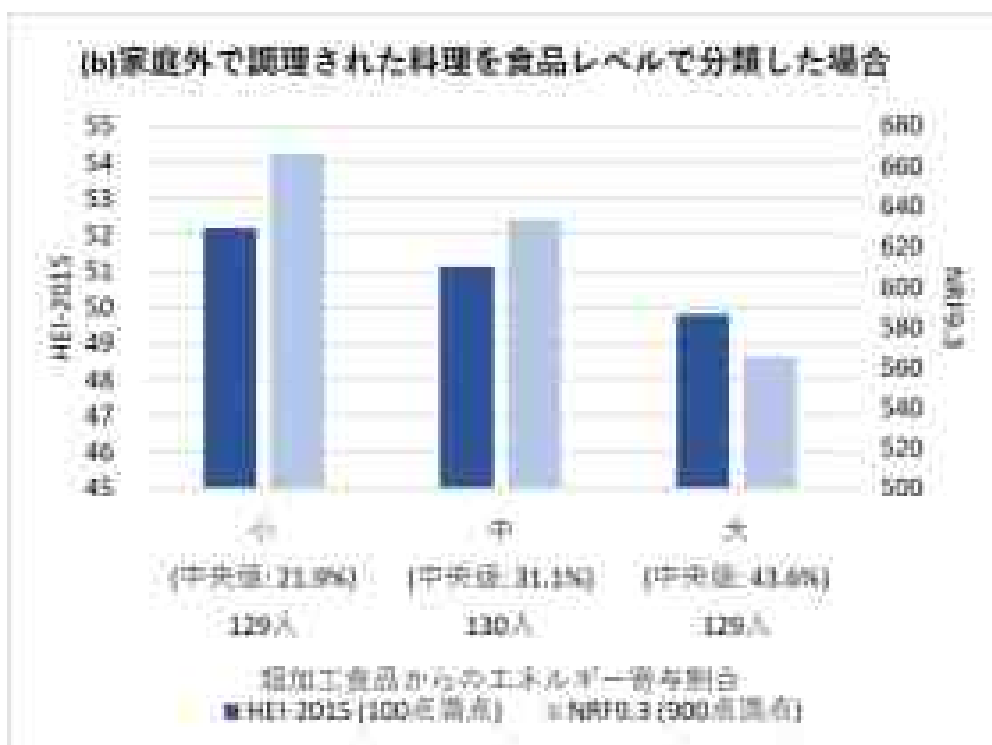
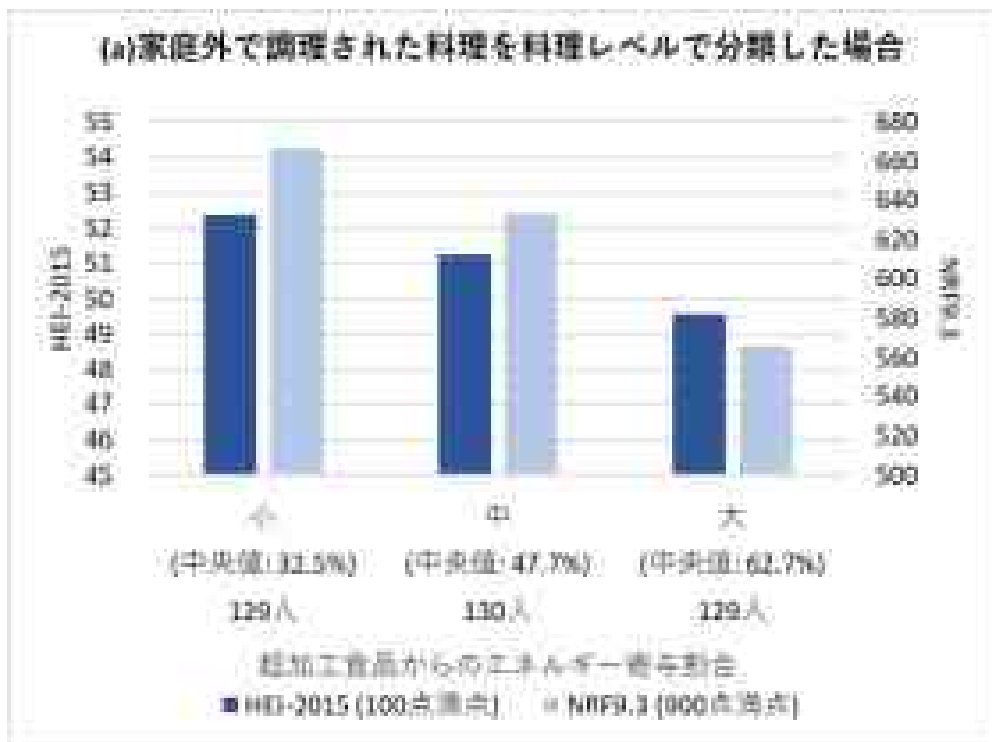


図 4. 超加工食品のエネルギー寄与割合によって研究参加者を 3 群に分けたときの、各群の食事の質のスコア  
各群の括弧内の数値は超加工食品からのエネルギー寄与割合の中央値を示す。



図 5. 日本人成人 2742 人における、超加工食品からの総エネルギー摂取量に対する各食品群の寄与割合  
 (a) 超加工食品をより少なく見積もるシナリオでは、家庭外で調理された料理(外食や惣菜など)に含まれる個々の食材をそれぞれ加工レベル別に分類した。(b) 超加工食品をより少なく見積もるシナリオでは、家庭外で調理された料理をすべて超加工食品に分類した。

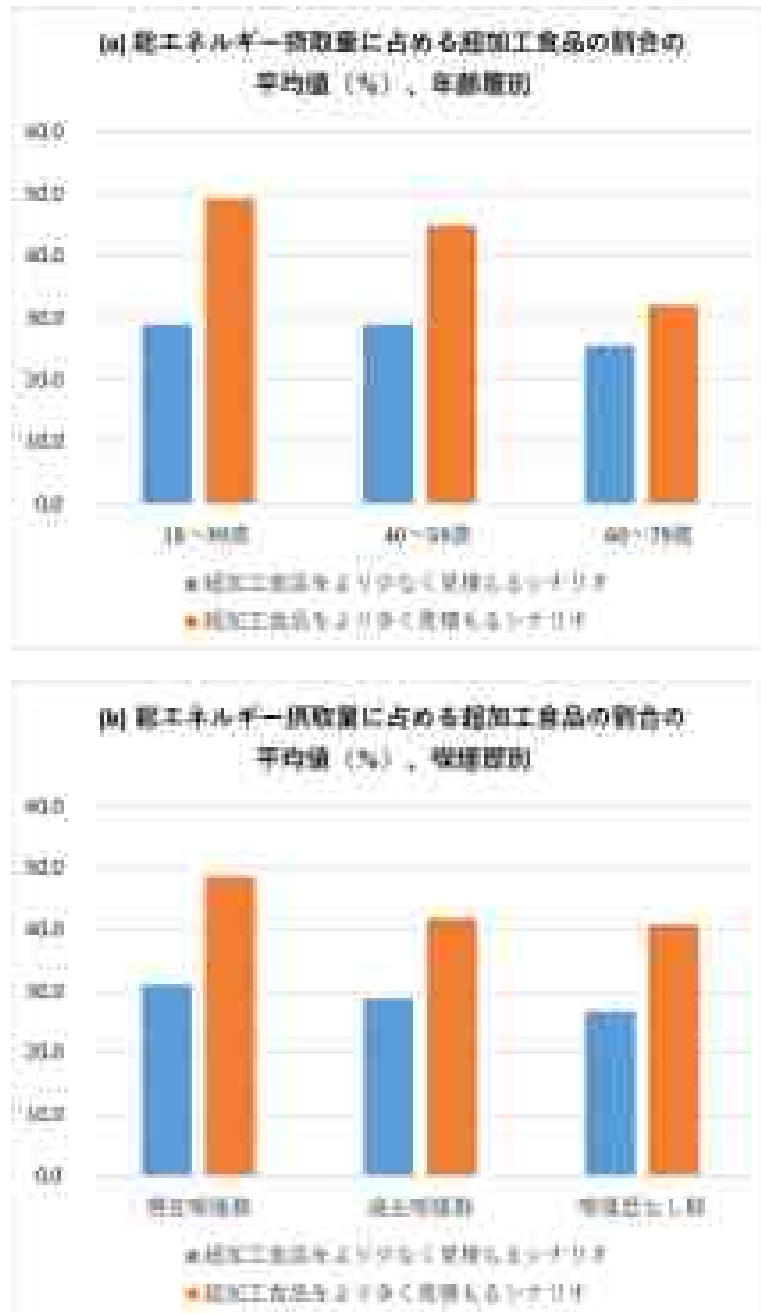


図 6. 総エネルギー摂取量に占める超加工食品の割合の平均値

(a) 年齢層別の結果。60～79 歳に比べて、18～39 歳では、総エネルギー摂取量のうち超加工食品が占める割合が統計的に有意に高かった。(b) 喫煙状況別の結果。過去に喫煙していた群および一度も喫煙したことのない群と比べて、喫煙者群では、総エネルギー摂取量のうち超加工食品が占める割合が統計的に有意に高かった。これらの結果は、個人特性を調整後も一貫して観察された。



### III. 研究成果の刊行に関する一覧表



令和2～4年度 研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	書籍タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
なし							

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻名	ページ	出版年
Shinozaki N, Yuan X, Murakami K, Sasaki S.	Development, validation and utilisation of dish-based dietary assessment tools: a scoping review.	Public Health Nutr.	24	223-242	2020
Murakami K, Shinozaki N, McCaffrey TA, Livingstone MBE, Sasaki S.	Data-driven development of the Meal-based Diet History Questionnaire for Japanese adults.	Br J Nutr.		1-25	2020
Murakami K, Shinozaki N, Livingstone MBE, Fujiwara A, Asakura K, Masayasu S, Sasaki S.	Meal and snack frequency in relation to diet quality in Japanese adults: a cross-sectional study using different definitions of meals and snacks.	Br J Nutr.	124	1219-1228	2020
Shinozaki N, Murakami K, Masayasu S, Sasaki S.	Validity of a dish composition database for estimating protein, sodium and potassium intakes against 24 h urinary excretion: comparison with a standard food composition database.	Public Health Nutr.	23	1297-1306	2020
Sugimoto M, Murakami K, Asakura K, Masayasu S, Sasaki S.	Diet-related greenhouse gas emissions and major food contributors among Japanese adults: comparison of different calculation methods.	Public Health Nutr.	24	973-983	2021
中村公亮、穂山浩	食品中の残留農薬等の基準に係わる情報の包括的データベースの構築	食品衛生研究	72	17-23	2022
阿波圭介、福澤学、渡邊敬浩、中村公亮	FAO/WHO合同食品規格計画第52回残留農薬部会（CCPR）報告	食品衛生研究	72	27-36	2022
Shinozaki N, Murakami K, Masayasu S, Sasaki S.	Highly Processed Food Consumption and Its Association with Anthropometric, Sociodemographic, and Behavioral Characteristics in a Nationwide Sample of 2742 Japanese Adults: An Analysis Based on 8-Day Weighed Dietary Records	Nutrients	15	1295	2023
中村公亮、吉池信男、穂山浩	FAO/WHO合同食品添加物専門家会議（JECFA）が提唱した残留動物用医薬品等のGlobal Estimate of Acute Dietary Exposure (GEADE)について	食品衛生研究	73	27-32	2023
富田耕太郎、渡邊敬浩、中村公亮	FAO/WHO合同食品規格計画 第53回残留農薬部会（CCPR53）	食品衛生研究	73	29-39	2023