

論文の内容の要旨

論文題目 Diet-related greenhouse gas emissions in Japanese: nutritional epidemiological studies on methodological development and applied analysis

(日本人における食事由来の温室効果ガス排出量：推定手法の構築と利用に関する栄養疫学的研究)

氏名 杉本南

背景及び目的

食品の生産から消費までの全過程で排出される温室効果ガスは、地球全体で全産業から排出される温室効果ガスのおよそ 1/4 を占める。食品に係る温室効果ガス排出量 (greenhouse gas emissions: GHGE) の削減には、食品の供給側だけでなく、需要側の努力も必要とされる。需要側から削減する方策として、食品の摂取パターン (食品の種類と量の組み合わせ) を変え、食事を構成する食品に係る GHGE (食事由来の GHGE) を低減することが提案されている。このため、近年の欧米の栄養疫学研究では、食事の摂取量データをもとに、食事由来の GHGE が最小になり、かつ栄養学的にも適切な (摂取量の基準を遵守している) 食品の摂取パターンが探索されている。一方、日本は全産業からの GHGE が世界第 6 位にも関わらず、日本人における食事由来の GHGE も、目指すべき食品の摂取パターンも明らかでない。これは、日本において食事由来の GHGE を算出する手法がないためである。そこで本研究は、日本人における食事由来の GHGE を推定する手法を開発し、日本人の食事由来の GHGE を明らかにした上で、目指すべき食品の摂取パターンを探索することを目的とした。

食事由来の温室効果ガス排出量に関する栄養疫学研究：レビュー (第 1 章)

先行研究では、食品の GHGE データベース (食品の生産から消費までで生じる GHGE を食品の重量単位で表し、集約したもの) を用いて、食事由来の GHGE を推定している。研究間でデータベースの開発方法や特徴が異なることが示唆されているが、その違いを包括的に調べた研究はない。そこで、データベースの開発方法と特徴に焦点をあてて、食事由来の GHGE に関する栄養疫学研究のレビューを行った。

抽出された 78 報から 32 種類の食品の GHGE データベースが特定された。このうちの 12 種類では、食品の GHGE が統一された方法で包括的に計算されていたが、計算方法はデータベースにより異なった。残りの 20 種類では、独立した複数の出版物から食品の GHGE を集約していた。90 食品以上の GHGE が含まれる、国や地域固有のデータベースが 7 種類あり、これらは他のデータベースと比べて利用される頻度が多い傾向が見られた (データベースあたり 3~18 報)。

以上より、食品の GHGE データベースの開発方法は 2 つに大別され、国または地域固有かつ 90 以上の食品数をもつデータベースが有用であることが示唆された。

日本で摂取されている食品の温室効果ガス排出量データベースの開発（第2章）

本章では、利用可能な資料をもとに、異なる方法を用いて、食品の GHGE データベースを3種類開発した。具体的には、食品の GHGE を計算した既存の出版物（研究論文や学会抄録含む）を集めて値を統合する方法（以下、方法①）、生産者価格基準の環境負荷原単位を用いて食品の GHGE を包括的に計算する方法（以下、方法②）、購入者価格基準の環境負荷原単位を用いて食品の GHGE を包括的に計算する方法（以下、方法③）を用いて、食品の GHGE を求めた。その結果、方法①では 167 食品、方法②では 354 食品、方法③では 228 食品の GHGE が得られた。次に、方法①～③で得られた食品の GHGE 値をもとに、日本において習慣的に摂取されている 2231 食品それぞれに対して、単位重量あたりの食品の GHGE を方法別に推定した。以上の手順を経て、日本食品標準成分表に突合可能な3種類の食品の GHGE データベースが開発され、日本人における食事由来の GHGE を推定することが可能となった。

日本人成人における食事由来の温室効果ガス排出量とその主な寄与食品の同定：複数の方法間の比較（第3章）

日本人の食事由来の GHGE およびその主な寄与食品は明らかになっていない。また、使用する食品の GHGE データベースの違いが、食事由来の GHGE の推定結果に与える影響は十分に検証されていない。そこで、日本人の食事由来の GHGE およびその主な寄与食品を、異なる食品の GHGE データベースを用いて推定し、互いに比較した。

食事の摂取量データは、日本人の男女 396 人（20~69 歳）から得られた、非連続 4 日間の食事記録の 1 日平均を用いた。食事由来の GHGE は、各食品の摂取量に、第 2 章の方法①～③のデータベースの食品の GHGE を乗じて合計することで推定した。

食事由来の GHGE の平均値は、使用した食品の GHGE データベースにより有意に異なった（平均±標準偏差、方法①：4145±1425 g CO₂eq/日、方法②4031±1199 g CO₂eq/日、方法③7392±2568 g CO₂ eq/日）。一方で、食事由来の GHGE の主な寄与食品は、使用したデータベースによらず、肉類（肉類の摂取に由来する食事由来の GHGE の割合：19.7~28.8%）と魚介類（魚介類の摂取に由来する割合：13.8~18.3%）であった。

以上より、異なる食品の GHGE データベースを用いると、食事由来の GHGE への主な寄与食品として同定される食品はほぼ同じであるが、食事由来の GHGE の推定値は大きく異なることが示された。

日本人成人における食事由来の温室効果ガス排出量と栄養素摂取量の適切さとの関連（第4章）

欧米の先行研究では、食事由来の GHGE が小さいほど、食事が栄養学的により適切であるという負の関連がほぼ一貫して示されている。しかし、GHGE への寄与が大きい肉類の摂取量が欧米諸国に比べて少ない日本では、関連が異なる可能性がある。そこで、第 2 章と同じ成人 396 人の摂取量データを用いて、食事由来の GHGE と、栄養素摂取量の適切さとの関連を検証した。

個人ごとに、各種栄養素の摂取量を「日本人の食事摂取基準 2020 年版」の基準値と比較

し、摂取量が目標量から逸脱している者、あるいは推定平均必要量未満の者を「不適切摂取者」とした。食事由来の GHGE は、食品の GHGE を得られた食品数が最も多いことから、第 2 章の方法②を用いて推定した。そして、食事由来の GHGE と「不適切摂取者」の割合との関連を調べた。

検討した 17 種類の栄養素のうち、12 種類の栄養素において、食事由来の GHGE が多いほど、「不適切摂取者」の割合が有意に低かった（傾向 P 値<0.03）。一方、総脂質、飽和脂肪酸、炭水化物、遊離糖類では有意な関連は観察されず、ナトリウムでのみ「不適切摂取者」の割合が有意に高かった。

従って、欧米の先行研究とは逆に、日本人では食事由来の GHGE が多いほど、食事が栄養学的により適切な傾向が示された。

日本人における、文化的に受容可能かつ栄養学的に適切で、金銭的成本と食事由来の温室効果ガス排出量が小さい食事の探索：包絡分析食事モデルを利用した研究（第 5 章）

複数の先行研究が、数理最適化法を用いて、文化的に受容可能かつ栄養学的に適切で、食事の金銭的成本と食事由来の GHGE が最小となる食品の摂取パターンを探索している。しかし、数理最適化法では非現実的な食品の組み合わせが生じ得る。そこで、近年提案された包絡分析食事モデルを用いて、現在日本人で摂取されている食品の組み合わせに基づく、代替的な食品の摂取パターンを求めた。

対象者の食事の食品構成を、エネルギー摂取量を標準化した上で比較するため、第 3 章で用いたデータのうち、摂取量データの信頼度が極端に低いと判定された 23 人を除外し、369 人のデータを用いた。まず、包絡分析食事モデルを用いて対象者の摂取パターンを多次元的に比較し、摂取量の多いことが好ましい食品（野菜、果物、全粒穀類、豆類、種実類、魚介類、乳製品）の摂取量に対して、摂取量の少ないことが好ましい食品（赤肉類、精製された穀類、清涼飲料類、アルコール飲料類）の摂取量が少ない摂取パターンの男性 74 人、女性 71 人を抽出した。次に、残りの男性 110 人、女性 114 人の摂取パターンが、摂取量の多い／少ないことが好ましい食品の摂取量について改善されるよう、前述の男性 74 人、女性 71 人の摂取パターンを組み合わせ、代替の摂取パターンを算出した（例、対象者 A と B の摂取パターンを 4:6 の比で足し合わせ、対象者 C の摂取パターンの代替とする）。組み合わせの算出に際して、次の 4 要素全てが達成されるモデルを設定した：①文化的受容可能性が最大（現在の食事と算出された食事の摂取量の変化の差が最小）、②食事の栄養学的な適切さ（18 種類の栄養素を用いて判定）が最大、③食事の金銭的成本（各種食品の小売価格データベースと食品摂取量をもとに算出）が最小、④食事由来の GHGE（第 4 章と同様に算出）が最小。そして、モデルに従って計算された摂取パターンと、現在の食事の摂取パターンを比較した。ただし、前述の男性 74 人、女性 71 人の摂取パターンは、現在の食事と変わらないものとした。

その結果、代替の摂取パターンは、現在の食事と比べて食事の栄養学的な適切さが高い（男性で 8%、女性で 10%）一方、金銭的成本と食事由来の GHGE は低かった（それぞれ、男性で 6%と 13%、女性で 2%と 10%）。以上から、摂取パターンを変えることで、複数の条件と両立して、食事由来の GHGE を 10%程度削減し得ることが示された。

結論

本研究を通じ、日本人において食事由来の GHGE を推定する手法を開発した。この手法を用いて、日本人における食事由来 GHGE の主な寄与食品が肉類と魚介類であり、食事由来 GHGE が多い人ほど栄養素摂取量は適切な傾向にあるという、欧米とは異なる知見を得た。その一方で、食事の栄養学的な適切さを改善しつつ、食事由来の GHGE を削減し得るような食品の摂取パターンが提案可能であることも示した。