

博士（栄養学）学位論文要約

Exploring Food Choices toward Sustainable and Healthy Diets

持続可能で健康な食事の実現に向けた食品選択に関する研究

2026 年

指導教員 武見 ゆかり 教授

2302002

氏名 高野 真梨子
TAKANO, Mariko

女子栄養大学

Introduction: Achieving sustainable and healthy diets requires the development of food-based dietary guidelines that incorporate sustainability considerations, including nutritional health, lower environmental impacts, affordability, and cultural acceptability. In Japan, the Japanese Food Guide Spinning Top (JFGST) was developed in 2005 to promote adequate nutrient intake. However, the three dish categories of the JFGST (grain, vegetable, and fish and meat dishes) include a wide variety of foods differing in greenhouse gas emissions (GHGEs) and prices. While adherence to the JFGST has been associated with improved nutrient intake, its relationship with GHGE and monetary cost remains unclear.

Therefore, this study aimed to: (1) examine the associations between adherence to the JFGST and nutrient density, GHGE, and monetary cost, considering animal protein consumption patterns (Chapter 1); (2) classify foods on the basis of nutrient density, GHGEs, and prices, and examine changes in nutrient density, GHGE, and monetary cost through food substitution (Chapter 2.1); and (3) optimize dietary patterns that meet nutrient requirements while reducing GHGEs and costs and minimizing deviations in food consumption from observed diets (Chapter 2.2). Through these analyses, we sought to identify desirable food choices that not only improve nutritional quality but also reduce GHGE and dietary cost, thereby providing scientific evidence to support the development of a more sustainable version of the JFGST.

Chapter 1: This dissertation used data from the 2017 Saitama Prefecture Nutrition Survey throughout all analyses. A total of 479 participants (206 men and 273 women) aged 30–65 years from Saitama Prefecture, Japan, were included in the analysis. Participants were selected based on the completion of a self-administered questionnaire and two-day dietary records showing plausible energy intake; those with implausible intakes were excluded. Adherence to the JFGST (both the original score and a modified score incorporating the white-to-red meat ratio), the Nutrient-Rich Food Index (NRF) 9.3, GHGEs, and monetary costs were calculated from the dietary records. Multiple linear regression analyses were performed to examine the associations of JFGST scores with NRF9.3, GHGEs, and monetary costs.

Higher JFGST scores were associated with higher NRF9.3 in both sexes. No

significant associations were observed between JFGST scores and GHGEs or monetary costs in men. Among women, both scores were associated with higher GHGEs and monetary costs; however, the association with GHGE was weaker for the modified score. After adjusting for energy intake, these significant associations disappeared.

In conclusion, nutrient density increased with higher adherence to the JFGST in both sexes, whereas GHGE showed a positive association only in women. The impact of incorporating animal-protein consumption patterns into the JFGST was limited for GHGE and monetary cost. Further examination of specific food choices is needed to improve the Japanese food guide by integrating considerations of cost and climate impact.

Chapter 2.1: A total of 599 home-cooked foods within the three dish categories of the JFGST were classified into 3, 4, and 5 clusters using hierarchical cluster analysis according to the NRF9.3, GHGE, and price. Substitution analyses were conducted by replacing foods from other clusters with those from more desirable clusters at replacement levels of 25–100% within each dish category. Changes in dietary NRF9.3, GHGE, cost, and nutrient adequacy based on the Dietary Reference Intakes for Japanese (DRIs) were assessed.

Cluster A of grain dishes (mainly rice), vegetable dishes (including potatoes, pulses, carrots, and cabbage), and fish and meat dishes (soy products, eggs, sardines, and mackerel) showed higher NRF9.3 scores and lower GHGEs and prices across all categories. In vegetable dishes, Cluster C (including spinach, bell pepper, other green and yellow vegetables, and mushrooms) showed the highest NRF9.3 score but with higher GHGE and price. When foods were replaced with those from Cluster A for grain and fish and meat dishes and with those from Cluster A or C for vegetable dishes, overall nutrient density increased (+6–28%), while GHGE and dietary cost decreased (–2–23% and –2–21%). The risks of excessive saturated fat and salt intake and of insufficient intake of dietary fiber, potassium, calcium, magnesium, and several vitamins declined, whereas the risks of insufficient protein, thiamin, niacin, and iodine increased.

In conclusion, foods with higher nutrient density, lower climate impact, and lower costs were identified within each JFGST dish category. Substituting foods with these options improved overall diet quality while simultaneously reducing GHGE and

cost, though certain nutrient inadequacies emerged.

Chapter 2.2: After excluding three 65-year-old participants, dietary data for 476 men and women aged 30–49 and 50–64 years were analyzed. Food-group profiles for energy, nutrients, GHGEs, and costs were developed on the basis of the classifications in Chapter 2.1, as weighted averages based on consumption amounts. Linear programming models were applied to identify diets that met the DRIs while reducing GHGEs and cost with minimal deviation from observed diets. Energy intake was fixed at observed levels, and GHGE and cost reduction targets were tightened stepwise by 10% until no feasible solution was obtained.

Optimized diets achieved at least 20% reductions in GHGEs and costs across all sex and age groups, and up to 40% among women aged 50–64 years. In these diets, intakes of foods within the grain, vegetable, and fish and meat dish categories increased, particularly those in Cluster A (low GHGE and price), while oils, confectioneries, seasonings, prepared meals, and eating-out foods decreased. Consumption of a cluster including beef declined to zero in most groups.

In conclusion, linear programming identified dietary patterns that met nutrient requirements while reducing GHGEs and costs by 20–40% with minimal deviation from observed Japanese diets. The optimized patterns emphasized greater intake of lower-GHGE, lower-cost foods while reducing high-GHGE items such as ruminant meats.

Conclusion: This study is the first to classify foods using cluster analysis based on nutrient density, GHGE, and price, and to apply the resulting clusters to both food-substitution and diet-optimization modeling. Adherence to the current Japanese food guide was not associated with lower climate impact or dietary cost, highlighting the need for food choices that consider sustainability. Replacing foods from less favorable clusters with those from desirable ones improved nutrient density and reduced GHGE and cost, and the optimized diets achieved 20–40% reductions in both while meeting nutrient requirements. These findings provide empirical evidence to support the development of an updated Japanese dietary guidelines that integrates sustainability considerations.

【背景・目的】持続可能で健康的な食事の実現に向けて、栄養素等摂取の望ましさ、環境負荷の低減、経済的な手頃さ、文化的受容性といった持続可能性の観点を組み込んだ食事ガイドラインの策定が求められている。日本では 2005 年に、望ましい栄養素等摂取を目的に、「食事バランスガイド（以下、ガイド）」が策定された。ガイドを構成する料理区分である主食・副菜・主菜には、温室効果ガス排出量（Greenhouse gas emissions: GHGE）や価格が異なる多様な食品が含まれており、ガイドへの遵守と GHGE の削減や食費の低減との関連は明らかでない。そこで本研究では、（1）ガイドへの遵守度と栄養素密度、GHGE、食費との関連を、主菜における動物性食品摂取パターン（赤肉白肉比）も考慮しながら検討すること、（2）栄養素密度、GHGE、価格に基づき食品を分類し、より望ましい食品への置き換えによる栄養素密度、GHGE、食費の変化を評価すること、（3）栄養素の基準を満たしつつ GHGE と食費を低減し、かつ、実際の食品摂取量からの乖離を最小化する最適化食事パターンを明らかにすることを目的とした。以上の研究により、栄養の質を改善しつつ GHGE と食費を低減できる食品選択を明らかにし、持続可能なガイド改訂への科学的根拠を提供することを目指した。

【第 1 章】本研究全体を通し、平成 29 年度埼玉県民栄養調査のデータを用いた。解析対象者は、2 日間の食事記録及び自記式質問紙調査に回答し、申告誤差の懸念が高い者を除いた 30-65 歳の男女計 479 人である。食事記録より、ガイド遵守スコア 2 種（基本スコア及び赤肉白肉比を考慮した修正スコア）、栄養素密度の指標である NRF（Nutrient-rich food index）9.3、GHGE、食費を算出し、ガイド遵守スコアと NRF9.3、GHGE、食費の関連を重回帰分析で検討した。その結果、男女ともにスコアが高いほど NRF9.3 は高かった。男性では 2 種のスコア

とも GHGE や食費との関連はみられず、女性では 2 種のスコアとも高いほど GHGE と食費が高かった。一方、修正スコアでは GHGE との関連は弱まった。エネルギー摂取量で調整すると有意な関連は消失した。以上より、ガイドの遵守は栄養素密度の改善と関連するが、GHGE や食費の低減にはつながらず、赤肉白肉比を考慮した影響も限定的であった。価格や環境面を考慮した食品選択を明らかにする必要性が示唆された。

【第 2 章 - 1】主食・副菜・主菜に含まれる家庭で調理された 599 の食品を NRF9.3, GHGE, 価格に基づくクラスター分析により、各 3, 4, 5 クラスターへと分類した。そして、摂取サービング数が変わらないよう、望ましいクラスターへ、その他のクラスターから段階的な置き換え(25–100%)を行い、食事の NRF9.3, GHGE, 食費, 及び日本人の食事摂取基準(DRIs) 2025 年版に基づく不足及び過剰のリスクを評価した。結果、主食・副菜・主菜のいずれにおいても、クラスター A (主食: 米, 副菜: じゃがいも, さつまいも, キャベツ, にんじん等, 主菜: 大豆製品, 卵, あじ・いわし類等) は, NRF9.3 が高く, GHGE と価格は低かった。副菜では, クラスター C (ほうれん草, ピーマン, その他の緑黄色野菜, 野菜ジュース, きのこと) の NRF9.3 が最も高かったが, GHGE と価格は高かった。これらに置き換えた結果, NRF9.3 は 6–28% 上昇し, GHGE と食費はそれぞれ 2–23%, 2–21% 低下した。食塩と飽和脂肪酸の過剰及び食物繊維, 多くのミネラル, ビタミンの不足リスクは低下したが, たんぱく質やビタミン B₁, ナイアシン, ヨウ素の不足リスクが増加した。以上より, 栄養素密度が高く, GHGE 及び価格の低い食品が特定された。これらの食品への置き換えにより, 栄養の質が向上し GHGE と食費が低減したが, 一部の栄養素に不足が生じる可能性も示された。

【第 2 章 - 2】前述の解析対象者から 65 歳の 3 名を除き, 男女別 30–

49 歳・50–64 歳の 4 群に分け、各群において、第 2 章-1 で作成した分類に基づく食品群の栄養素、GHGE、費用の加重平均値を算出した。線形計画法による最適化を実施し、DRIs に基づく栄養素基準を満たし、GHGE 及び食費を削減しつつ、実際の食品摂取量から大きく乖離しない食事パターンを特定した。エネルギー摂取量は実際の摂取量に固定し、GHGE と食費の削減目標を 10%刻みで設定した。その結果、最適化された食事では、全ての群で GHGE と食費を少なくとも 20%削減し、50–64 歳女性では最大 40%の削減が達成された。これらの食事では、主食・副菜・主菜の食品摂取量が増加し、特に GHGE と価格が低いクラスター A の食品が多くなった一方で、油脂類、菓子類、調味料類、調理済み食品、外食の摂取は減少した。牛肉を含むクラスターの摂取量は、多くの群で 0g となった。以上より、線形計画法を用いて、実際の食事パターンからの乖離を最小限に抑えつつ、栄養素摂取基準を満たしながら GHGE と食費を 20–40%削減できる食事パターンが特定された。最適化された食事パターンでは、GHGE と価格の低い食品の摂取量が増加し、牛肉など GHGE の高い食品を減らす傾向が示された。

【結論】本研究は、栄養素密度、GHGE、価格に基づくクラスター分析を用い、得られた分類を食品置き換えおよび食事最適化モデルに応用した初めての研究である。ガイドの単純な遵守は GHGE や食費の低下と関連せず、持続可能性を考慮した食品選択の必要性が明らかとなった。望ましいクラスターの食品への置き換えや食事最適化により、栄養素基準を満たしつつ、GHGE と食費を 20–40%削減できる可能性が示された。本研究結果は、日本の食事ガイドラインに持続可能性の要素を統合していくための科学的根拠を提供するものである。