

14. 異なる所得階層を考慮した 家計の食料需要モデルの開発

佐々木 克哉^{1*}・藤森 真一郎²・大城 賢²・長谷川 知子³・趙 詩雅⁴

¹学生会員 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスターC-1-367)

²正会員 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスターC-1-361)

³正会員 立命館大学理工学部環境都市工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東一丁目 1-1)

⁴非会員 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスターC-1-367)

* E-mail: sasaki.katsuya.33m@st.kyoto-u.ac.jp

気候変動・気候変動緩和策が各国の食料安全保障に影響を及ぼすことが懸念されている。従来の研究では、食料安全保障に関する指標として、FAOの飢餓リスク人口の計算法が広く用いられてきたが、社会的属性の違いによる飢餓リスクへの影響の違いを特定できないという欠点があった。そこで本研究では、所得・価格の変化による食料消費量の変化を推定するための新たなモデル開発を行った。モデルに導入するデータをFAOの食料消費量データ・生産者価格データ・GTAPデータから作成し、家計調査のデータと比較した。FAOデータから算出した食料支出額は家計調査から算出した食料支出額の約0.7倍であり、特にヨーロッパの国々で差が顕著であることが示された。価格データの欠測値補完方法、食料加工コストの計算方法などが誤差の原因であると考えられる。

Key Words: *climate change, mitigation measure, food security, hunger risk, food demand*

1. はじめに

近年、気候変動問題に対する関心が高まっている。気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) の第6次統合報告書¹⁾は、人間活動が地表面の気温上昇に寄与しているのは明白で、既に世界各地に異常気象をもたらしていると指摘している。こうした異常気象により、気候変動に脆弱な地域を中心に栄養失調人口が増加すると懸念されている。温室効果ガスの排出を削減し気候変動を抑制することが重要である。

しかし、排出削減策による経済システムの変化が、土地利用の競合による食料供給量の減少や食料価格の高騰を通じて、所得国を中心に飢餓の拡大をもたらすと指摘されている。土地利用に関する緩和策の影響を比較した研究では²⁾、パリ協定の2°C目標達成を想定した場合、主に植林による土地利用競合が原因で、2050年になりゆきシナリオよりも飢餓リスク人口が約1.2億人増加することが示されている。全世界一律の炭素価格による排出削減を想定した研究でも、基準シナリオの2050年の飢餓リスク人口(1.8~2.7億人)に対し、パリ協定の2°C目標

シナリオでは2.8~5億人、1.5°Cシナリオでは3.1~5.4億人飢餓リスク人口が増加すると示されており³⁾、気候変動による増分の約3倍であることや、特にサブサハラ・南アジア地域で多く増加することが示されている⁴⁾。

これらの研究で食料安全保障の指標として用いられている「飢餓リスク人口」は、国内の一人あたり平均カロリー摂取量・国内のカロリー摂取量の変動係数を用い、対数正規分布を仮定してカロリー摂取量の分布を求め、最小食事エネルギー必要量以下の人口として算出される。この方法は、具体的にどのような社会的属性を持った家計が飢餓リスクにさらされるのかを特定することができないという問題がある⁵⁾。実際には社会的属性によって影響が異なることが想定される。従来の手法では、こうした違いを抽出することができなかった。

そこで本研究では、社会的属性のうち特に所得を取り上げ、所得の変化がもたらす食料消費量の変化を推定するための新たなモデル開発に取り組んだ。このモデルにより、緩和策がもたらす所得・価格変化がもたらす、各家計への食料消費に与える影響の違いを定量的に評価できるようにする。物理量として食料消費量を計算し、カ

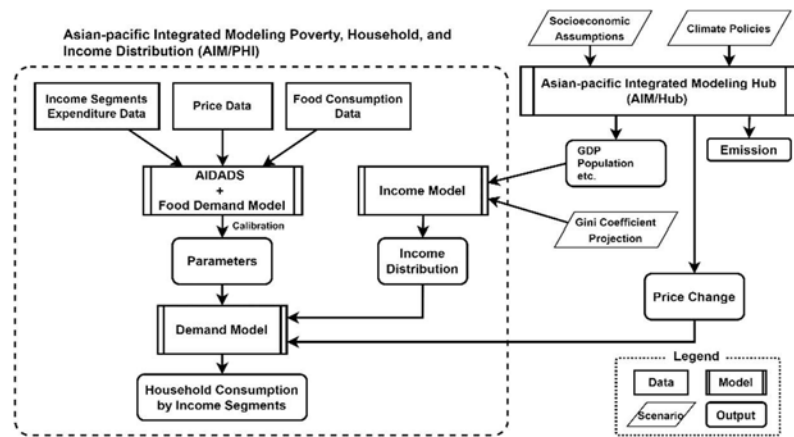


図-1 モデルシミュレーションの全体像

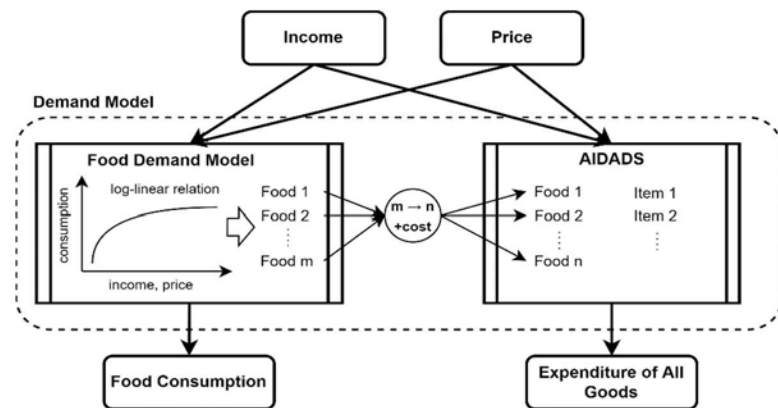


図-2 食料需要モデルの概要

ロリーやタンパク質・脂質といった栄養素の摂取量の変化を捉えることにより、緩和策が各個人の栄養状態にどのような影響を与えるか、総合的に分析できるようになると期待される。

2. 手法

(1) 全体像

全体像を図-1に示す。まず、気候緩和シナリオを入力として、逐次動学応用一般均衡モデルである AIM/Hub (Asian-pacific Integrated Modeling / Hub) モデル⁹⁾で、将来の価格変化・一人あたり GDP を計算する。これらの出力結果をもとに、AIM/PHI (AIM / Poverty, Household and Income distribution) モデル⁷⁾により家計消費の推定を行う。AIM/PHI では、所得分布として対数正規分布を想定し、需要モデルである AIDADS (An Implicitly Directly Additive Demand System) モデル⁸⁾により、財別の消費支出額を計算する。本研究では、AIM/PHI モデルとは別に、将来の食料需要を推定するための食料需要モデル(Food Demand Model ; FDM)を新たに導入する。

(2) 食料需要モデル

FDM の計算フローを図-2に示す。FDM では、所得・価格をインプットとして、食料消費量を推定する。一人あたり食料消費量 x が、一人あたり所得 I ・財別価格 p と式(1)のような対数線形の関係にあると想定する。

$$x_{i,r,t} = \alpha_{i,r} \cdot \ln I_{r,t} + \beta_{i,r} \cdot \ln p_{i,r,t} \quad (1)$$

ここで、 i は表-1に示す食料区分、 r は国、 t は年、 α, β, γ はモデルパラメータを表している。

FDM により推定された m 食料区分の消費量と、食料価格、食料加工コストをもとに、 n 食料区分の食料消費支出額に変換する。これらの値は AIDADS モデルの計算で用いられる。

(3) データ

本研究で用いるデータの一覧を表-2に示す。

食料消費量・価格に関するデータとして、Food Balance Sheets (FBS), Producer Price data (PP), Supply Utilization Accounts (SUA), Trade Crops and Livestock (TCL)のデータ⁹⁾を用いる。FBS は、国内の食料需給に関する包括的なデータベースであり、すべての食料品が、一次作物・畜産物・水産物（以下、まとめて一次食料）での量に変換されて集計されている。FBS の食料消費量は食料の「利用

表-1 本研究の食料区分一覧

Food Category
Wheat
Rice
Other Cereals
Sugar and Products
Oil Crops
Other Crops
Vegetable and Fruit
Animal
Milk and Products
Fish and Seafood

表-2 本研究で用いるデータ一覧

Data Name	Abbreviation	Use
Food Balance Sheets	FBS	Consumption
Supply Utilization Accounts	SUA	Production, Import
Producer Price	PP	Domestic Producer Price
Trade Crops and Livestock	TCL	Import Value
GTAP 10 Data Base	GTAP	Import Tax Input-Output Table

可能量」を表しているため、市場での流通途中で生じる廃棄や、食料加工で生じる廃棄も含まれている。また、家計調査と異なり家計外で消費される分も利用可能量に含まれていることに注意する。SUAはFBS集計の前身となる詳細なデータベースであり、一次食料以外にも一部の加工品に関するデータが存在する。PPは各食料の国内生産者価格に関するデータ、TCLは食料の輸出入量・金額に関するデータである。TCLの輸入金額はCIF (Cost Insurance Freight) で表現されており、輸入税を除く全輸入コストが含まれている。

本研究では、FBSのうち食料消費量、SUAのうち国内生産量・輸入量、PPのうち年平均国内生産者価格、TCLのうち輸入金額を用いる。SUA、PP、TCLは同じ食料区分で集計されており、互いに対応している。一方、SUAとFBSは別にFAOが作成している食料区分対応表で結びつけることが可能である。

GTAP 10 Data Baseは、2004、2009、2011、2014年について、121カ国・65部門の財・サービス金銭フローのデータを網羅したデータである¹⁰⁾。本研究では、一次食料の加工コストを求めるために、GTAPのデータを用いる。また、輸入財に課される輸入税率のデータも用いる。

(3) データの整形

FDMで用いるためのデータ準備を行った。PPの国内一次食料価格を $PPD_{k,r,t}$ 、TCLの一次食料輸入金額を $VIMP_{k,r,t}$ 、SUAの国内生産量を $PRO_{k,r,t}$ 、輸入量を $IMP_{k,r,t}$ 、輸入一次食料価格を $PPI_{k,r,t}$ 、輸入税率を τ_r とする。ここで、添え字 k はSUAの食料区分を表す。

$PPI_{k,r,t}$ は次のように計算できる。

$$PPI_{k,r,t} = \frac{VIMP_{k,r,t}}{IMP_{k,r,t}} \quad (2)$$

まず、食料区分 k 、年 t の次元を固定し、中央値の10倍以上である価格データを異常値とみなしたうえで、欠測値の補完処理を行った。固定する次元を変えながら、全ての欠測値が補完されるまで、分布の中央値で価格の補完を行った。

次に、国内財と輸入財の価格の合成価格 $PPC_{k,r,t}$ を式(3)、(4)で求めた。

$$\alpha_{k,r,t} = \frac{PRO_{k,r,t}}{PRO_{k,r,t} + IMP_{k,r,t}} \quad (3)$$

$$PPC_{k,r,t} = \alpha_{k,r,t} \cdot PPD_{k,r,t} + (1 - \alpha_{k,r,t}) \cdot \tau_r \cdot PPI_{k,r,t} \quad (4)$$

最後に、国内生産量と輸入量の合計 $SUP_{k,r,t}$ を重みとして、合成価格を9の大分類に集約した。

$$SUP_{k,r,t} = PRO_{k,r,t} + IMP_{k,r,t} \quad (5)$$

一次水産物の価格についてはPP・TCLにデータが含まれていないため、別途推定する必要があった。GTAPの漁業部門における合計生産額 $VSALE_{fish,r,t}$ 、FBSの一次水産物総供給量 $SUP_{fish,r,t}$ を用いて、式(6)で推定した。

$$PPC_{fish,r,t} = \frac{VSALE_{fish,r,t}}{SUP_{fish,r,t}} \quad (6)$$

(4) 食料廃棄を除く食料消費量の算出

FAO(2011)¹¹⁾の食料廃棄率データのうち、市場流通での廃棄率(Distribution: Supermarket Retail)、食料加工で生じる廃棄率(Processing and packaging)を用いて、家計が消費可能な消費量を算出した。

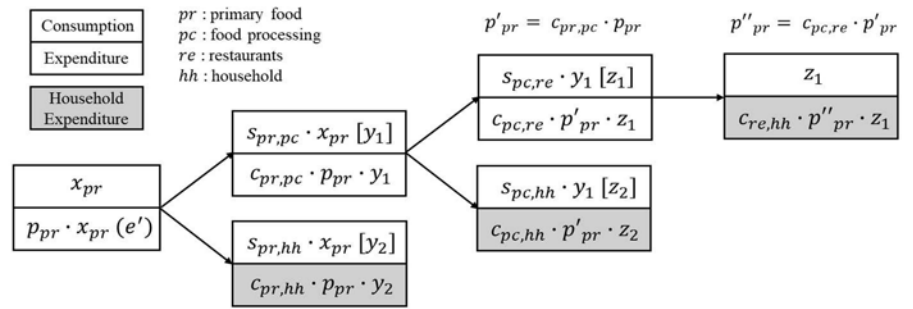
(5) AIDADSで用いる食料支出額への変換

上記で準備した消費量・生産者価格を、AIDADSで用いている食料消費支出として扱えるよう、支出額への変換処理を行った。以後、記法の簡便さのため、数式中の国(r)・年(t)の次元を省略する。

一次食料の価格ベクトルを p 、消費量ベクトルを x とすると、一次食料の支出ベクトル e' は、各ベクトルの要素同士の積となる。一次食料部門の集約行列を A 、集約後の各財に対するコスト上乘せベクトルを b 、AIDADSの各食料品への変換ベクトルを d とすると、一次食料の支出ベクトル e' からAIDADSの支出ベクトル e への変換は式(7)で表せる。

$$e = db^T Ae' \quad (7)$$

本研究では、ある国について、一次食料部門・食料加工部門・外食部門・家計部門の4つがあると想定した。



$$\begin{aligned}
 \text{Total Expenditure} &= c_{pr,hh} \cdot p_{pr} \cdot y_2 + c_{pc,hh} \cdot p'_{pr} \cdot z_2 + c_{re,hh} \cdot p''_{pr} \cdot z_1 \\
 &= \frac{(S_{pr,hh} \cdot C_{pr,hh} + S_{pr,pc} \cdot C_{pr,pc} \cdot S_{pc,hh} \cdot C_{pc,hh} + S_{pr,pc} \cdot C_{pr,pc} \cdot S_{pc,re} \cdot C_{pc,re} \cdot C_{re,hh}) \cdot e'}{b}
 \end{aligned}$$

図-3 一次食料に対する食料加工コストの計算方法概要

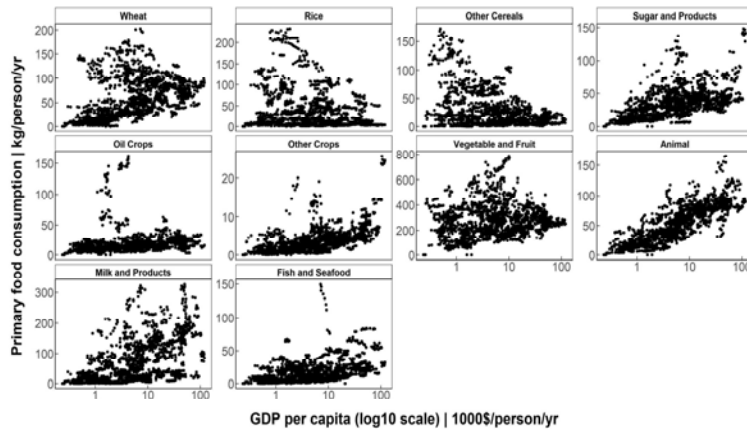


図-4 一人あたり GDP と消費量の関係、一次食料別

よって、全ての一次食料部門は1つの部門に集約されるため、 \mathbf{A} は行数1のベクトルとなる。

$$\mathbf{A} = (1 \quad 1 \quad \dots \quad 1) \quad (8)$$

これにより、 $\mathbf{A}e'$ は、加工コスト導入前の総食料支出額となる。AIDADS モデルへの計算結果の導入は行っていないため、 d は特に設定しなかった。

次に、図-3のような食料加工プロセスを想定し、加工上乗せコスト b を求めた。ここで、 $s_{i,j}$ は、部門 i から部門 j への投入割合、 $c_{i,j}$ は部門 i から部門 j への加工コスト比率を表している。これらの値は GTAP の産業連関表・税率のデータを用いて計算した。コスト比率は、加工コスト $c'_{i,j}$ と税率 $\tau_{i,j}$ の積で表される。 $c'_{i,j}$ は、部門 j の総生産額を V_j 、食料関連の産業連関表について部門 i から j への投入金額を $M_{i,j}$ としたとき、

$$c'_{i,j} = \frac{V_j}{\sum_i M_{i,j}} \quad (9)$$

と表される。式(9)は、全ての投入元 i について、部門 j への加工コストが等しいことを仮定している。

図-3 において、家計の食料総支出額に対する、外食部門を経由した支出額(右上の灰色矩形)の割合を求め、家計調査における外食割合と比較する。

3. 結果

(1) 消費量の集約結果

FBSから集約した食料消費量と一人あたり GDP の関係を図-4 に示す。x 軸は常用対数スケールで、全ての国・年のデータをプロットしている。図-4 から、Rice, Other Cereals 以外の食料では、一人あたり GDP の増加に対して消費量が増加傾向にあると読み取れるが、傾向が顕著である食料とそうでない食料がある。

(2) 価格の集約結果

PP と TCL から集約した一次食料の生産者価格に対する一次食料の消費量の関係を図-5 に示す。x は常用対数スケールで表示している。Rice や Vegetable and Fruit は、価格の増加とともに消費量が減少する傾向が読み取れるが、他の食料ではこうした傾向が表れていないことが分かる。

(3) 総食料支出額の比較

家計調査から求めた総食料支出額(アルコール類を除く)との比較結果を図-6 に示す。比較用の家計調査データとしては、Global Consumption Database (GCD)¹²⁾、

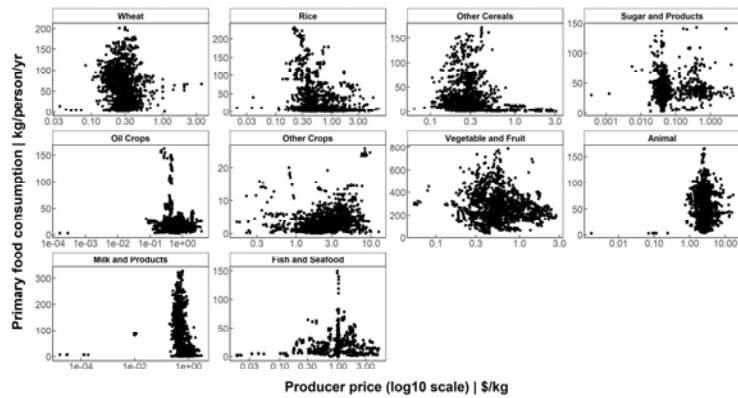


図-5 一次食料ごとの生産者価格と消費量の関係

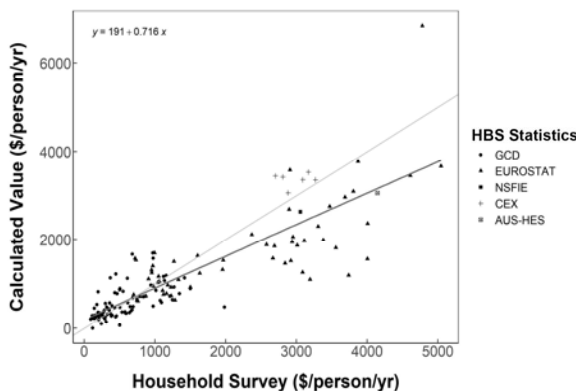


図-6 食料総支出額の比較 (灰色線は計算値と家計調査の値の一致線, 黒線は回帰直線, 左上式は回帰式)

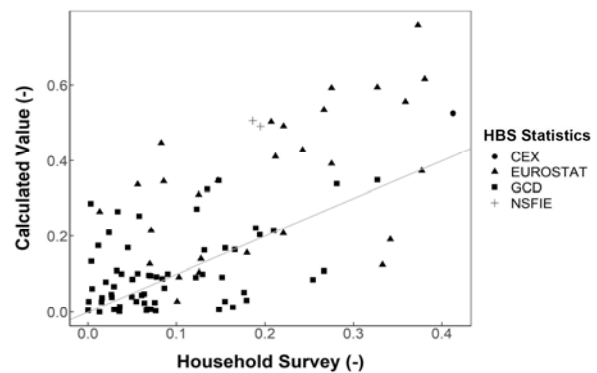


図-7 全食料消費支出に占める外食比率の比較

EUROSTAT¹³⁾, 日本の全国家計構造調査 (National Survey of Family Income and Expenditure; NSFIE)¹⁴⁾, アメリカの消費支出データ (Consumption EXpenditure survey; CEX)¹⁵⁾, オーストラリアの家計支出調査データ (AUS-HES)¹⁶⁾を用いた。

図-6より, 家計調査の支出額に対し, FAOデータの集約で得られた支出額は約7割で, 過小に推定されていることが分かる。また, この傾向は, 特に EUROSTAT の国で強いことが読み取れる。

(4) 家計調査の外食比率との比較

家計調査をもとに計算した全消費支出額に占める外食支出比率と, 今回の計算で得られる外食比率を比較した (図-7)。全体的に計算値の外食比率の方が家計調査の外食比率より高くなっており, 特に EUROSTAT で示される欧州の国々でこの傾向が顕著に表れていることが分かる。

4. 考察

食料消費量について, 一人あたり GDP に対してはある程度の対数線形関係が見られるが, 価格に対しては関

係が弱いほとんど見られなかった。これは, 集約した価格データに異常値が存在しているためだと考えられる。SUA レベルでの異常値補完に加え, 集約後もデータの異常値補完が必要であると考えられる。また, データのばらつきが大きくはっきりとした傾向が捉えられなかった食料区分は, 地域差が大きいことも想定される。

FAOの食料消費量データ・生産者価格データ・GTAPのデータを用いて算出した食料支出額が, 家計調査で集計される食料支出額よりも小さく, 特に欧州で誤差が大きいことが示された。この要因として, 価格データの補完方法が挙げられる。価格の観測データが途上国に偏っている場合, 欧州では実際よりも低い価格で補完された可能性がある。特に欧州の国々について, どの段階の補完が最終的な結果に大きく影響しているのかを追跡し, 場合によっては補完方法を再検討する必要がある。

外食比率については, 欧州の国々や米国を中心に, 家計調査の外食比率よりも本研究で求めた外食比率の方が大きくなっている。本研究では, 簡略化された食料加工システムを想定しているため, 高所得でもともと外食比率が高い先進国では外食コストが過剰に見積もられた可能性がある。そこで, 一次食料→加工→家計支出の流れが明確である一次食料・加工部門(例えば米・乳製品など)については, 部門を独立させることが考えられる。これにより, 外食に投入される量が少ない部門について,

外食コストを過剰に見積もることを防ぎ、先進国を中心に誤差が小さくなると期待される。

今回、FAOのデータ・GTAPのデータ・家計調査データを用いて、食料支出額の比較を試みた。このうち、FBSの消費量データ・GTAPデータは、各国から集計した各種統計を矛盾なく組み合わせる処理を行っており、信頼性は非常に高いと考えられる。また、先進国の家計調査データも、集計手法・サンプル数などから信頼性が高いと考えられる。一方で、FAOのPPデータ・TCLデータは欠測が多く、信頼性は低いと考えられる。また、途上国の家計調査データも欠測や異常値が多いため信頼性は低いと考えられる。これらをふまえてFDMでは、消費量推定時には価格に誤差を含め、家計調査との比較では途上国データに誤差が大きいことをふまえたパラメータ推定方式を採用する必要があると考えられる。

5. まとめ

本研究では、各家計の所得と食料消費量を結び付ける新たなモデルの開発を行い、データの整形結果と実測データの比較を行なった。その結果、集約データによる食料支出額は実測データに対して過小傾向があり、主にヨーロッパの国々で顕著であることが分かった。誤差の要因としては、価格の補完方法や簡易な加工コスト計算方法が考えられた。これらの問題を修正しつつ、食料需要モデルでの食料消費量の推定、AIM/PHIモデルとの結合を通じて、緩和策が個人の食事にどのような影響を及ぼすのかを分析できるようモデルの改良を続けていく所存である。

謝辞：本研究の実施に当たり、科研費19H02273の支援、藤森、長谷川は(独)環境再生保全機構環境研究総合推進費のJPMEERF20211001、大城はJPMEERF20202002の支援を受けた。また、住友財団環境研究助成の支援を受けた。趙はJST次世代研究者挑戦的研究プログラムJPMJSP2110の支援を受けた。

参考文献

- 1) Intergovernmental Panel on Climate Change: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)], Cambridge University Press, 2021.
- 2) Fujimori, S., Wu, W., Doelman, J., Frank, S., Hristov, J., Kyle, P., Sands, R., van Zeist, W.-J., Havlik, P., Domínguez, I. P., Sahoo, A., Stehfest, E., Tabeau, A., Valin, H., van Meijl, H., Hasegawa, T., & Takahashi, K.: Land-based climate change mitigation measures can affect agricultural markets and food security, *Nature Food*, Vol.3(2), pp.110–121, 2022.
- 3) Fujimori, S., Hasegawa, T., Krey, V., Riahi, K., Bertram, C., Bodirsky, B. L., Bosetti, V., Callen, J., Després, J., Doelman, J., Drouet, L., Emmerling, J., Frank, S., Fricko, O., Havlik, P., Humpenöder, F., Koopman, J. F. L., van Meijl, H., Ochi, Y., ... van Vuuren, D.: A multi-model assessment of food security implications of climate change mitigation, *Nature Sustainability*, Vol.2(5), pp.386–396, 2019.
- 4) Hasegawa, T., Fujimori, S., Havlik, P., Valin, H., Bodirsky, B. L., Doelman, J. C., Fellmann, T., Kyle, P., Koopman, J. F. L., Lotze-Campen, H., Mason-D’Cruz, D., Ochi, Y., Pérez Domínguez, I., Stehfest, E., Sulser, T. B., Tabeau, A., Takahashi, K., Takakura, J., van Meijl, H., ... Witzke, P.: Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy, *Nature Climate Change*, Vol.8(8), pp.699–703, 2018.
- 5) FAO, IFAD, UNICEF, WFP, W.: *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021, The State of Food Security and Nutrition in the World 2021*, 2021.
- 6) Fujimori, S., Masui, T., & Matsuoka, Y.: AIM/CGE V2.0 model formula, In *Post-2020 Climate Action: Global and Asian Perspectives* (pp. 201–303), Springer Singapore, 2017. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-3869-3_12
- 7) Fujimori, S., Hasegawa, T., & Oshiro, K.: An assessment of the potential of using carbon tax revenue to tackle poverty, *Environmental Research Letters*, Vol.15(11), pp.114063, 2020.
- 8) Rimmer, M. T., & Powell, A. A.: An implicitly additive demand system, *Applied Economics*, Vol.28(12), pp.1613–1622, 1996.
- 9) FAOSTAT: Data, 2022.
- 10) Global Trade Analysis Project: GTAP 10 Data Base, 2022.
- 11) FAO: *Global food losses and food waste*, 2011.
- 12) World Bank: *Global Consumption Database 2010*, 2010.
- 13) European Commission: *EUROSTAT- household-budget-surveys*, 2015.
- 14) Statistical Bureau of Japan: *National Survey of Family Income and Expenditure*, 2014.
- 15) U.S. Bureau of Labor Statistics: *Consumption Expenditure Surveys*, 2019.
- 16) Australian Bureau of Statistics: *Household Expenditure Survey*, Australia, 2015.