

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B) (特設分野研究)

研究期間：2014～2017

課題番号：26310305

研究課題名(和文) 異常気象による主要穀物の生産変動が世界の食料需給・貧栄養人口に及ぼす影響の解明

研究課題名(英文) Elucidating the impacts of variations in major cereal crop productions due to abnormal weather condition on world food supply, demand and population under malnutrition

研究代表者

横沢 正幸 (YOKOZAWA, Masayuki)

早稲田大学・人間科学学術院・教授

研究者番号：80354124

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,000,000円

研究成果の概要(和文)：広域スケールの作物生産性と流域水資源量を推計するモデルと作物市場価格の推計経済モデルを連携することによって、環境変動による農業生産および関連産業セクターへの影響を推計することが可能となった。東南アジア域のコメを対象として100通りの気候環境・土地利用シナリオについて、作物生産性、水資源量および市場価格の変動を計算した。その結果、生産性は気候変動によって水資源量とともに変動が見られたが、価格推移にはシナリオ間の差異は見られなかった。他セクターとの競合も発生したが、市場価格の変動は生産性の変動に比べて小さかった。これは輸出・輸入関係によって市場価格の変化によって調整・吸収されたためと考えられた。

研究成果の概要(英文)：Firstly, we coupled a model for crop growth and production under the regional water resources condition, which is estimated by a river discharge flow simulation model, with economic model. Next, we projected the climate and land use change impacts on crop production and the market price simultaneously. As a result, there were no significant differences in variations in market prices of crops under many climate and land use change scenarios (totally 100 cases). That is, climate and land use change induced the increase in market prices but did not affect the variations in market prices significantly. Specifically, in Vietnam and India, it was showed the high increase rate in price compared to the initial year, while the increase rate of Korea was the lowest. Detailed analyses implied that agricultural investment policy and world trade mechanisms absorbed such variations in market price due to climate and land use change, resulting in reduction in high market price volatility.

研究分野：生態系モデリング

キーワード：環境変動 生産性ショック 食料供給 経済影響

1. 研究開始当初の背景

環境変動と食料需給との関連はこれまで、主に長期的平均的な変化に対する応答に注目して研究が進められてきた。しかし、いうまでもなく気象環境は年々変動しており、とりわけ近年、気候変化に伴って気象変動の頻度、規模ともに大きくなる可能性が指摘されている。食料需給システムの安定性を考える際には、このような突発的な変化、すなわち異常気象による年々の生産変動に着目する必要がある。一方、貿易のグローバル化により世界における主要穀物の生産地域は偏在化している。異常気象がこれらの地域に同期して発生すれば、食料供給の世界的な不安定化が起きる危険性も否定できない。

以上の背景を踏まえて、広域水資源量および作物生産性の環境応答を推計するモデルと市場価格を推計する経済モデルとを結合して、気候変化に伴う異常気象による主要作物生産の変動(生産性ショック)が市場価格ならびに各産業部門へどのように伝搬するのかを調べる本研究を着想した。

2. 研究の目的

本研究は、過去の異常気象が世界の主要作物生産、市場価格および農業以外の産業部門や社会に引き起こした変動過程を解析するとともに、将来の気候変化がそれらに与える影響を調べることを目的とした。具体的には以下のとおりである。

1. 過去の生産性ショックが市場価格、各部門に及ぼした経済影響を定量的に推計する。
2. 生産性ショックの影響に対する貿易や地域内備蓄などの農業政策の効果を明らかにする。
3. 生産性ショックに伴い食料輸入国が緊急輸入した場合の経済・貧栄養人口影響を明らかにする。
4. 将来の気候変化に伴う異常気象による生産性ショックとその影響を推計する。

3. 研究の方法

本研究では、食料需給システムで最も重要であり基本的な作物として、コメ、トウモロコシ、

ダイズ、コムギを対象として、まず異常気象がそれらの生産性(収量)ならびに生産量に及ぼす影響を推計する。

そのために、環境変動(ここでは、気温、降水量変動による直接的環境変動と水資源量の変動を介した間接的環境変動を考える)に対する対象作物の生産性の応答を予測する広域スケールのモデル(広域水資源・作物生産性モデル)を利用する。

広域水資源・作物生産性モデルによって算出される、異常気象によってもたらされる対象作物の生産性およびその変動量は、その他の農産品目の生産性ととも、市場価格を決定する過程を記述する経済モデルに入力され、食料需要量と均衡することにより各品目の市場価格が推計される。市場価格を推計する経済モデルは、農業以外の産業の経済状況を反映した一般均衡モデルを利用することにより他の産業への影響も推計する。さらに、対象作物の市場価格を指標として、世界の貧栄養状況にある人口への影響もあわせて推計する。

4. 研究成果

(1) 広域スケールにおける水資源量推計および作物生産性推計結合モデル

課題代表者らが開発した広域作物生産性推計モデル(PRYSBI-2)を全球水資源量推計モデル(H08)と結合させることにより、水資源量とその農業セクターにおける利用可能性を考慮して流域の作物生産性を推計可能とした。すなわち、作物側から要求される水量の推計とそれに対応する灌漑に利用可能な水量の推計が同時に行えるようになった。このモデルを以後、広域水資源・作物生産性モデルとよぶ。

初めに、広域水資源・作物生産性モデルを中国東北部に位置する遼寧省・吉林省・黒竜江省にまたがる松花江と嫩江に挟まれた地域に適用し、流域水資源量の変動と流域における作物生産量の関係を解析した。流域上流、中流および下流において土地利用が変化し河川における水資源量の利用が変化した場合について、流域全体での作物生産への影響に関するさまざまなシミュレーションを行った。

この地域では、降水量の減少傾向と農業生産性の低下が関係づけられていたが、その解析

に灌漑の効果を取り入れることにより、より現実性の高い解析を行うことが可能になった。成果は国際誌に掲載された (Okada et al. 2016)。

次に、広域水資源・作物生産性モデルに気候変化シナリオによる降水量変化予測結果を入力して、気候変化が生産量に対する影響評価を当該地域に対して行った。

(2) 作物生産性モデルの拡張

異常気象によって引き起こされる作物の生産性ショックを推計するモデルはこれまで、コムギ、ダイズ、トウモロコシ、コメといった主要作物を対象としてきたが、より広範な作物への影響をも推計可能とするために、東南アジアにおける換金作物として重要なサトウキビの生育・収量の環境応答サブモデルを新たに作成した。インドネシアにおけるサトウキビ生産をパイロットケースとして、省別に過去 15 年間の作付面積、生産量の時系列データを収集した。気象環境については課題代表者の研究グループが過去に作成したグリッドベースの気象グリッドデータを利用した。前者の生産量関連データを気象グリッドデータと同じ空間解像に割り付けて、過去の環境データと生産性データに基づいてモデルパラメータをグリッド別に推定した。

その結果、環境の年々推移にともなって生産性の年々推移がおおむねよく再現できた。また、推定パラメータの不確実性を考慮して最終収量の推定値の不確実性を評価する 95 % 信頼区間も合わせて評価した。一部の地域のグリッドでは、生産性の年々変動の信頼区間が大きく、推定値に大幅な誤差が推計されるグリッドが存在した。これは主に、生産性データの不整合性によるものと考えられた。また解析の結果、変動原因は社会経済的要因が主であると推測された。

一方、広域水資源・作物生産性モデルと連携して、生産性ショックに呼応した経済変動を評価する際のテストケースとして、サトウキビ生産性モデルの作成で対象としたインドネシアを対象として、自国の農作物の生産性と世界各国との輸出・輸入関係によって価格が決まる部分均衡モデルを作成した。これは農林水産政策研究所で開発・運用されている農業経済モデルをベースとしたものであり、同研究所の研究者との協力によって作成したものである。この地域におけるモデル間の連携化を、他の地域におい

ても生産性変動あるいは長期の生産性動向を入力することにより作物の市場価格変動の推計を可能にするプロトタイプとした。

(3) 広域水資源・作物生産性モデルと市場経済モデルとの連携

既存の農業食料に関連した経済モデルのサーベイを行った。その結果、生産性ショックの影響が農業以外の産業セクターに伝搬する過程を記述するには、静的な一般均衡モデルではなく、動的なモデルが必要であることが分かった。

これまでに作成した広域スケールにおける作物生産性の環境応答を推計するモデルに生産された作物の市場価格を推計する経済モデルと結合して、気候変化環境ならびに各地域における土地利用変化による生産性と市場価格の変動について推計、解析を行った。

対象作物はコメ、対象地域は東南アジアを中心とした 13 カ国 (韓国、中国、マレーシア、ミャンマー、フィリピン、ラオス、タイ、インドネシア、カンボジア、インド、ベトナム、米国、EU) とした。気候変化シナリオは 4 とおり、気候モデルは CMIP5 から 5 つ、土地利用変化シナリオは 5 とおりを利用した。以上の合計 100 とおりのシナリオについて、生産性と市場価格の変動を計算した。経済要因指標として、各国の農業投資額、農地開発費、期末在庫、消費量、輸出量および輸入量の時間変化を考慮した。2012 年～2014 年の平均値を初期値として、2035 年までの期間でさまざまなシミュレーションを行った。

その結果、気候変化シナリオおよび土地利用変化シナリオによる価格推移にはシナリオ間の際は見られなかった。生産性はそれぞれのシナリオに応じて国間および経年で差異はあり、収量の経年トレンドは年々変動しながら若干増加する傾向を示した。この理由は、1) 2035 年までの期間では温暖化がそれほど進んでおらず、かつ RCP シナリオによる気温などの気候条件の経年変化における差異が小さいため、2) 輸出・輸入関係によって気候環境および土地利用による市場価格の変化が吸収されたため、と考えられた。

各国の市場価格の推移の要因を経済指標と関連づけるために、両者の時間変化について市場価格を目的変数とし、経済指標を説明変数とす

る回帰分析を行った。ステップワイズ法によって説明変数を絞り、寄与度によって要因の重要性の順位を推計した。その結果、消費量指標が最も寄与率が高いことが推察された。

(4) まとめ

これまでに作成した広域スケールにおける作物生産性の環境応答を推計するモデルに流域水資源量を推計するモデルを結合することにより、環境変動に対する作物生産性変動を作物生産に利用可能な水資源量の変動を考慮して総合的に推計するようであった。流域水資源はその多くは農業生産活動に利用されるが、その他、生活用水や産業にも用いられることから、環境変動に伴う利用水資源量の変動は農業生産とその他の利用との競合をもたらす可能性があり、本研究で作成した流域水資源量と作物生産性推計統合モデルによって、そのような競合状態をシミュレートすることが可能となった。さらにこの統合モデルを作物市場価格を推計する経済モデルと結合・統合することによって、環境資源の変動を通じて農業生産と人間生活ならびにその他の産業セクターとの競合状態ならびにその結果引き起こされる市場価格の変動を推計することが可能となった。この統合モデルを用いて、気候変化環境ならびに各地域における土地利用変化による生産性と市場価格の変動について解析を行った。

解析対象作物はコメ、対象地域は東南アジアを中心とした。利用したシナリオは前項の解析に利用したものと同じである。すなわち、気候変化シナリオはRCPについて4通り、気候モデルはCMIP5から取得した5つのモデルによる出力、土地利用変化シナリオはSSPによる5通りのシナリオを利用した。合計100通りの気候環境・土地利用シナリオについて、作物生産性、流域水資源量および市場価格の変動を計算した。

シミュレーション結果、価格推移にはシナリオ間の差異は見られなかった。これは昨年度の結果と同じであった。生産性は気候変動によって水資源量が変動することにより変動が見られ、他セクターとの競合も発生したが、市場価格の変動は生産性の変動に比べて小さかった。輸出・輸入関係によって市場価格の変化が吸収されたためと考えられた。

以上まとめると、農業生産性ショックが水資源量ならびに農業投資や土地利用改変を通じて他産業セクターへ及ぼす影響については広域水資源・作物生産性モデルと市場経済モデルとの連携によってシミュレート可能になるとともに将来の気候変化に伴う影響評価も各種シナリオを援用することにより可能となった。しかし、本研究の目的の一つである、そのような生産性ショックによる各種変動が貧栄養人口に及ぼす影響については、現モデルにおいては変動が貿易過程によって吸収されてしまい、影響があらわに現れないという結果になった。この点については、経済状況だけでなく、政治的状況や各国の農業政策との関連からさらなる解析が必要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計12件)

① Iizumi, T., et al. Emerging research topics in agricultural meteorology and assessment of climate change adaptation. *Journal of Agricultural Meteorology*, 査読有, 74, 2018, pp.54-59, doi:10.2480/agrmet.D-17-00021.

② Sakurai, G., Yamaji, N., Mitani-Ueno, N., Yokozawa, M., Ono, K., and Ma, J.F. A model of silicon dynamics in rice: an analysis of the investment efficiency of Si transporters. *Frontiers in Plant Science*, 査読有, doi: 10.3389/fpls.2017.01187.

③ Müller, C., Elliott, J., Chryssanthacopoulos, J., Arneth, A., Balkovic, J., Ciais, P., Deryng, D., Folberth, C., Glotter, M., Hoek, S., Iizumi, T., Izaurralde, R.C., Jones, C., Khabarov, N., Lawrence, P., Liu, W., Olin, S., Pugh, T.A.M., Ray, D.K., Reddy, A., Rosenzweig, C., Ruane, A.C., Sakurai, G., Schmid, E., Skalsky, R., Song, C.X., Wang, X., de Wit, A., and Yang, H. Global gridded crop model evaluation: benchmarking, skills, deficiencies and implications. *Geoscientific Model Development*, 査読有, 10, 2017, 1403-1422.

④ 飯泉仁之直 全球気象外力データセット. 関東の農業気象, 査読なし, 43, 2017, 3-8, <https://www.agrmet-kanto.jp/journal/>

- ⑤ Porwollik, V., Müller, C., Elliott, J., Chryssanthacopoulos, J., Iizumi, T., Ray, D.K., Ruane, A.C., Arneth, A., Balkovič, J., Ciais, P., Deryng, D., Folberth, C., Izaurralde, R.C., Jones, C.D., Khabarov, N., Lawrence, P.J., Liu, W., Pugh, T.A.M., Reddy, A., Sakurai, G., Schmid, E., Wang, X., de Wit, A., and Wu, X. Spatial and temporal uncertainty of crop yield aggregations. *European Journal of Agronomy*, 査読有, 88, 2016, 10-21.
- ⑥ Iizumi, T., and N. Ramankutty, Changes in yield variability of major crops for 1981-2010 explained by climate change, *Environmental Research Letters*, 査読有, 11, 2016, 034003, doi:10.1088/1748-9326/11/3/034003.
- ⑦ Okada, M., Iizumi, T., Sakurai, G., Hanasaki, N., Sakai, T., Okamoto, K., and Yokozawa, M. (2015) Modeling irrigation-based climate change adaptation in agriculture: model development and evaluation in Northeast China *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* 7(3) 1409-1424.
- ⑧ Yamaji, N.*, Sakurai, G.* (* equally contributed), Mitani-Ueno, N., and Ma, J.F. Orchestration of three transporters and distinct vascular structures in node for intervacular transfer of silicon in rice. *PNAS*, 査読有, 112(36), 2015, 11401-11406.
- ⑨ Sakurai, G., Satake, A., Yamaji, N., Mitani-Ueno, N., Yokozawa, M., Feugier, F.G., and Ma, J.F. In silico simulation modeling reveals the importance of the Caspian strip for efficient silicon uptake in rice roots. *Plant & Cell Physiology*, 査読有, 56(4), 2015, 631-639.
- ⑩ Satake, A., Sakurai, G., and Kinoshita, T. Modeling strategies for plant survival, growth and reproduction. *Plant Cell Physiology*, 査読有, 56(4), 2015, 583-585.
- ⑪ Sakurai, G., Iizumi, T., Nishimori, M., and Yokozawa, M. How much has the increase in atmospheric CO₂ directly affected past soybean production? *Scientific Reports*, 査読有, 4: 4978, 2014, doi:10.1038/srep04978.
- ⑫ 飯泉仁之直 食料生産変動予測のための全球作物・気象データセット, インベントリー, 査読なし, 12, 2014, 11-14.
- [学会発表] (計 17 件)
- ① Sakurai, G., Doi, T., Okada, M., Nishimori, M., Yokozawa, M. Potential benefits of changing the planting date to account for seasonal weather forecasts. EGU General Assembly 2018 年 4 月
- ② Sakurai, G., Yamaji, N., Mitani-Ueno, N., Yokozawa, M., Ono, K., and Ma, J.F. Mathematical modeling of silicon absorption and transportation in rice. International Symposium on Agricultural Meteorology 2018 年 3 月
- ③ 飯泉仁之直 食料生産の広域でのモニタリングやモデリング, 予測は今後、どこに向かうか?, 日本農業気象学会 75 周年記念大会, 2018 年 3 月 13-17 日, 九州大学伊都キャンパス (福岡県福岡市).
- ④ Sakurai, G., Okada, M., Nishimori, M., Yokozawa, M. Benefits of seasonal forecasts. AGU Fall Meeting 2017. 2017 年 12 月 13 日
- ⑤ Sakurai, G., Yamaji, N., Mitani-Ueno, N., Yokozawa, M., Ono, K., and Ma, J.F. Analysis of the expression dynamics of Si transporter gene using mathematical model in rice. 7th International Conference on Silicon in Agriculture. 2017 年 10 月 14 日
- ⑥ 飯泉仁之直 主要穀物の栽培暦についての全球データセットの開発, 日本農業気象学会 2017 年全国大会, 2017 年 3 月 27-30 日, 北里大学十和田キャンパス (青森県十和田市)
- ⑦ Sakurai, G. Future possible crop yield scenarios under multiple SSP and RCP scenarios. American Geophysical Union Fall Meeting 2016 2016 年 12 月 12 日
- ⑧ Sakurai, G. Modeling mineral transportation and its control. International Workshop on Soil-Microbe-Plant Interaction 2016 年 12 月 2 日
- ⑨ Sakurai, G., Iizumi, T., Okada, M., Nishimori, M., Yokozawa, M. Future potential productivity: an analysis of global crop yield using process based model. Adaptation Futures 2016 2016 年 5 月 10 日
- ⑩ 飯泉仁之直 気候変動適応に向けた全球規

模での作物のモデルとデータの利用, 日本学術会議公開シンポジウム 気候変動下の気象災害の動向と農業災害リスクマネジメント, 2016年11月15日, 日本学術会議講堂 (東京都港区)

⑪ 飯泉仁之直 過去30年間の気候変化が世界の主要穀物の収量変動に与えた影響, 日本農業気象学会2016年全国大会, 2016年3月14-17日, 岡山大学 (岡山県岡山市)

⑫ Sakurai, G. How much has the past climate change affected the past yields of the major crops all over the world? International Symposium on Agricultural Meteorology 2015年3月19日

⑬ Sakurai, G. The past and future impact of climate change on the major crops: the analysis of the global yield. International Seminar and Workshop on "Rice Research Collaboration: Past and Future" 2015年3月2日

⑭ Sakurai, G., Iizumi, T., Nishimori, M., Okada, M., Yokozawa, M. The past impact of climate change on the yield of major crops. American Geophysical Union Fall Meeting 2014年12月16日

⑮ Sakurai, G., Iizumi, T., Nishimori, M., Okada, M., Yokozawa, M. The past impact of climate change on the global yield of major crops. The 6th ASIAHORCs Joint Symposium 2014年11月27日

⑯ Sakurai, G. The role of Casparian strips and Si transporter distribution in efficient Si transport in rice. 6th International Conference on Silicon in Agriculture 2014年8月

⑰ Iizumi, T., Sakurai, G. and Ramankutty, N. Climate-induced changes in year-to-year variations in yields of major crops. AGU Fall Meeting 2014, Dec. 15-19, 2014, Moscone Convention Center (San Francisco, USA).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横沢正幸 (YOKOZAWA, Masayuki)
早稲田大学・人間科学学術院・教授
研究者番号: 80354124

(2) 研究分担者

飯泉仁之直 (IIZUMI, Toshichika)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター・主任研究員
研究者番号: 60616613

(3) 研究分担者

櫻井 玄 (SAKURAI, Gen)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター・主任研究員
研究者番号: 70452737

(4) 研究協力者

小泉達治 (KOIZUMI, Tatsuji)
農林水産政策研究所・主任研究官