

気候変動が日本の農業生産に与える影響に関する実証分析

Empirical Study on an Impact of Climate Change on the Agricultural Sector in Japan

制度設計理論(経済学)プログラム

11M43201 関根 光翼 指導教員 増井 利彦

Economics Program

Sekine Kosuke, Adviser Toshihiko Masui

ABSTRACT

The purpose of this study is to explore the economic impacts of climate change on the Japanese agriculture sector. Crop yields are particularly sensitive to climatic variations and each crop has the suitable climatic condition for growing. This means that climate change gives farmers an incentive to change selection of the types of crops that are more profitable in future climate. For this reason, we consider two impacts of climate change. The first one is productivity change of each crop and the second is an adjustment to changing environmental conditions by the farmer. In this study, we estimate (1) productivity function and (2) crop change function by City-level panel data. Finally we assess the economic impact of climate change by using the estimation results. The results of this study, most of the domestic crop productivity is reduced by rising temperatures and farmers select the crop relatively little loss of productivity. As shown in previous studies, crop choice of farmers increases their utility. However, when evaluated on the basis of the agricultural output value, it is rather decreased by choice.

1. はじめに

農業は気象環境への依存度が非常に高い産業である。南北に約 3000km にわたって広がる日本列島において、地域による気候条件は大きく異なり、古くより農業の基本である「適地適作」にならぬ、農家は各地の気候に適した作物を栽培してきた。温暖化が農業に与える影響は、個別作物の生産性の変化だけではなく、適地適作に基づいて農家が生産作物を選択・転換する土地利用の変化もたらす。すなわち、気候変化が農業部門に与える影響を分析するためには、(1) 個別作物の生産性の変化 (2) 農家の土地利用の変化の 2 つを考慮する必要がある。本研究では、気候変動が日本の農業部門に与える影響を明らかにするために、国内の主要な農作物 21 品目に関して、(1) 生産性関数 (2) 土地利用関数を、1996 年～2006 年にわたって市町村レベルのパネルデータを用いて推計する。また、(1) (2) の推計結果を利用して、将来の気候変動が日本の農業部門に与える影響の評価を行う。

2. 先行研究のレビュー

本研究の主な特徴は、市町村レベルのパネルデータを用いて実証分析を行い、農家の作物選択行動を考慮して気候変化の影響を評価する点である。気候変動が農業に及ぼす影響を経済的に評価した研究の多くは、作物の生産性の変化のみからその影響を評価している。農家が、より生産性の高い作物への転換をすることは、温暖化の影響を緩和する効果があるため、これを無視した結果は、気候変動のマイナス効果を過大に評価してしまう危険があり、作物選択が緩和する経済的な不利益を考慮した分析を行うことが重要である。これを考

慮した実証研究として主なものにヘドニックアプローチを利用した研究(Menderson et al., 1994)がある。農家が気候変化を適確に把握しているとき、農地価には、その土地における最も効率的な作物生産の収益が反映されるため、暗黙に作物選択行動を捉えた影響を分析することができるが、問題点として農家の選択がブラックボックスになってしまい、実際にどの程度の農家が生産作物を変えるのかを数量的に明示できないことが挙げられる。この問題点を回避できる手法として、農家の作物選択確率と、気候変数の相関を統計的に推計できる離散選択モデルが挙げられる。農家の作物選択確率が気候変化によってどう変化するのが分かれば、どの程度の農家と土地で生産作物が変化するのが数量的に明らかにすることができる点が特長である。農家の作物選択行動に、この手法を利用した先行研究には、アフリカと南アメリカを題材にした 2 例があり、特に Kurukulasuriya et al., (2008) はアフリカの農家へのアンケート調査結果を利用して、多項ロジットモデルで分析を行ない、同じ気候変動シナリオの下で、アフリカの農家の収益が受ける影響は、作物選択を考慮しなかった場合には、-68%の収益減少に対し、考慮した場合には-5%の収益減少にとどまることを示した。本研究では、離散選択モデルの手法を参考として、農家の作物選択を考慮した場合の日本のケースについて分析を行う。

3. 実証モデル

気候変化は、各作物の生産性の変化を通じて、農家の生産作物の選択にも影響を及ぼしている。このため、本研究では、1 段階目の生産性関数で気候が各作物の生産性に及ぼす影響

を分析したうえで、2段階目の土地利用関数で生産性が農家の作物選択に及ぼす影響を分析する。

3-1. 生産性関数のモデル

日本の作物の土地生産性(単位作付面積あたりの収穫量)と気候変数との相関を重回帰式で推定する。作物 j における生産性関数は以下の通りとする。

$$Y_{ij,t} = \alpha + \beta_1 \text{rain}_{ij,t} + \beta_2 \text{rain}_{ij,t}^2 + \beta_3 \text{temp}_{ij,t} + \beta_4 \text{temp}_{ij,t}^2 + \beta_5 \text{sun}_{ij,t} + \beta_6 \text{sun}_{ij,t}^2 + \beta_7 \text{acreage}_{ij,t} + \beta_8 \text{fulltime}_{i,t} + \beta_9 \text{senior}_{i,t} + \beta_{10} \text{year}_t + \nu_i + \epsilon_{ij,t} \quad (1)$$

添字 i は市町村(1729 市町村)、 j は作物(21 品目)、 t は年(1996～2006 年)である。 $Y_{ij,t}$ は作物ごとの土地生産性 (t/ha)、 $\text{rain}_{ij,t}$ は月間降水量 (mm)、 $\text{temp}_{ij,t}$ は月間平均気温 (°C)、 $\text{sun}_{ij,t}$ は月間日照時間 (時間) である。四季の影響をみるため、春 (4～6 月)、夏 (7～9 月)、秋 (10～12 月)、冬 (1～3 月) の 3 ヶ月平均値を、それぞれの気候変数において扱う。また、気候条件が単収量に与える影響は、非線形の可能性があるため、2乗項を導入する。このため、結果的に 24 種類の気候変数を利用する。ここで、気候変数は生産性のみに影響を与え、農家の作物選択確率には影響を与えないため、理論的には土地利用関数における内生変数・生産性(※詳細は次節で説明)に対する適切な操作変数と考えられる。 $\text{fulltime}_{i,t}$ は市町村 i に占める専業農家の割合であり、労働時間と経営ノウハウを持つ専業農家が多い市町村ほど作物の生産性が高まるという関係を考慮した。 $\text{senior}_{i,t}$ は、農業就業人口に占める高齢者 (65 歳以上) の割合であり、農家の高齢化が生産性に及ぼす負の影響を考慮できるようにした。 $\text{acreage}_{ij,t}$ は作物 j の作付面積であり、規模の経済性が働くため、面積が大きいほど生産性の上昇に寄与すると考えられる。また、 year_t は時系列データのもつ上昇トレンド、下降トレンドを除去するためのタイムトレンド変数である。 ν_i は標高や土壌条件などを考慮した個別効果、 α は定数項、 $\epsilon_{ij,t}$ は誤差項である。

3-2. 土地利用関数のモデル

本研究では条件付きロジットの手法を採用する。市町村 i における農家 f_i が単位面積 (1ha) を所持しているとし、作物選択する場合、 f_i が農作物 j を栽培するときの効用を $\pi_{f_{ij}}$ とすれば、式 (2) のように表される。

$$\pi_{f_{ij}} = V(X_{f_{ij}}, Z_{f_i}) + \epsilon_{f_{ij}}, \quad j = 1 \dots 21 \quad (2)$$

ここで、 $V(X_{f_{ij}}, Z_{f_i})$ は農家 f_i が農作物 j を選んだときの効用のうち説明可能な部分、 $X_{f_{ij}}$ は作物 j の特性を示す説明変数、 Z_{f_i} は農家 f_i の特性を示す説明変数である。誤差項 $\epsilon_{f_{ij}}$ がそれぞれ独立なガンベル分布に従うと仮定すると、農家 f_i が農作物 j を選ぶ選択確率 $P_{f_{ij}}$ を以下のように表わせる。

$$P_{f_{ij}} = \frac{\exp(X_{f_{ij}}\beta + Z_{f_i}\gamma_j)}{\sum_{k=1}^J \exp(X_{f_{ik}}\beta + Z_{f_i}\gamma_k)} \quad (3)$$

ここで、市町村 i における耕地面積を L_i とすれば、作物 j が作付される面積 l_{ij} は $l_{ij} \approx L_i P_{f_{ij}}$ であり、 L_i に占める作物 j の割合を S_{ij} とすれば、 $P_{f_{ij}} \approx S_{ij}$ と表すことができる。以降は便宜上、農家 f_i を市町村単位の i として表記する。また、

係数 γ_j の曖昧さを取り除くために、 $j = 1$ のときをベースカテゴリーとして、 $\gamma_1 = 0$ とおき、 S_{ij} と S_{i1} の比の対数をとれば、式 (4) が成り立ち、線形の回帰分析ができる。

$$\log \frac{S_{ij}}{S_{i1}} = (X_{ij} - X_{i1})\beta + Z_i \gamma_j \quad (4)$$

ここで、作物 j の特性を示す説明変数 X_{ij} として、1ha あたりの粗収益 grossprof_{ij} 、生産や収穫に要する手間が作物の選択に及ぼす影響を考慮するために、1ha あたりの労働作業時間 worktime_j を利用する。また、市町村 i の特性を示す説明変数 Z_i として、式 (1) でも用いた fulltime_i 、 senior_i 、 year_t を利用する。式 (4) を改めて記述すると以下のようになる。

$$\log \frac{S_{ij,t}}{S_{i1,t}} = \alpha + \beta_1 (\text{grossprof}_{ij,t} - \text{grossprof}_{i1,t}) + \beta_2 (\text{worktime}_{j,t} - \text{worktime}_{1,t}) + \gamma_1^j \text{fulltime}_{i,t} + \gamma_2^j \text{senior}_{i,t} + \gamma_3^j \text{year}_t + \eta_{ij} + \mu_{ij,t} \quad (5)$$

添字 t は年を示し、 η_{ij} は大都市からの距離などを考慮した個別効果とする。 α は定数項、 $\mu_{ij,t}$ は誤差項である。また grossprof_{ij} は $\text{grossprof}_{ij} = p_j \times \widehat{Y}_{ij}$ として算出する。 p_j は作物 j の 1t あたりの粗収益 (千円) であり、ここでは内生性を考慮し、生産性関数の推計値 \widehat{Y}_{ij} を利用する。例えば、生産性変数に影響を与えるものとして、肥料の投入量があり、式 (1) の誤差項 ϵ_{ij} に含まれるが、これは農家の扱える肥料の種類や量を通じて、作物選択確率にも影響を与えると考えられるため、土地生産性 Y_{ij} は、粗収益 grossprof_{ij} を通じて、式 (5) の誤差項 $\mu_{ij,t}$ と相関しているおそれがある。このため、検定を行ったうえで気候変数を操作変数とした 2 段階推定を行う。

4. 使用データ

本研究では 1996～2006 年の 11 年分、1727 の市町村のパネルデータを利用する (市町村合併を考慮して各値の加算を行い、2010 年 3 月 31 日時点で統一)。気候変数は気象業務支援センター「アメダス年報」を参照し、各市町村代表点から最寄りのアメダスの値を気象データとして利用した。生産性に関するデータとして、農林水産省の「作物統計」から対象作物の収穫量 (t)、作付面積 (ha) の市町村別データを調査年分取得した。なお、分析対象とした 21 品目は、①分析期間中の国内品目別産出額において 10 位以内、②法律で指定野菜とされる 14 品目、のいずれかに属する日本の主要作物である。これらの品目は畜産を除いた農業産出額 5 兆 5712 億円 (2010 年) のうち、約 65% (3 兆 6039 億円) を占める。農業経営に関するデータは市町村レベルでは取得できなかったため、農水省「農業経営統計調査」から、10a あたりの労働時間、農業粗収益に関する長期累年データを作物別、年別に全国平均のものを取得した。最後に、1995～2010 年農業センサスの「専業別農家数」「年齢別農業就業人口」より、各市町村内の専業農家数割合と、65 歳以上の高齢農業者の割合を取得した。

5. 分析結果

5-1. 生産性関数の分析結果

式 (1) の推計結果は表 1 の通りである。ここでは米のみの結果を代表して記載する。なお、検定の結果、今回は固定

効果モデルを使用した。タイムトレンド変数が正に有意なのは品種改良や生産技術の向上を裏付けるものであるといえる。また作付面積は正に有意な相関をもち、農地の集約が生産性の向上に寄与するものであることが確認できた。また、高齢農家の割合は負に有意な相関があり、生産農家の高齢化が生産性の低下に影響を及ぼすことを裏付ける結果となった。

気温に関しては、春と夏の気温が有意な相関をもっており、全国的な米の栽培暦と一致する結果となった。さらに、米は稲穂がでる「出穂期」前後の気候が特に品質・収量を大きく左右することが知られており、これが全国的には夏季にあたる。夏季の気温変数の係数は、1次項は正、2次項は負であり、米の生産性に対して24.8℃で最大値をとる上に凸の2次曲線を描くことがわかる。

表1：生産性関数の推計結果(固定効果)

被説明変数 説明変数	米の生産性(t/ha)	
	係数	標準誤差
タイムトレンド	-0.000971	0.00193
専業農家割合	0.44 ***	0.132
高齢者割合	-0.19051 ***	0.0493
作付面積	0.0000905 ***	0.0000227
冬降水量(1~3月)	-0.001023 ***	0.0002919
冬降水量(1~3月)の2乗	-2.08E-07	9.68E-07
春降水量(4~6月)	-0.000444 ***	0.0001534
春降水量(4~6月)の2乗	-3.59E-07	2.8E-07
夏降水量(7~9月)	-0.001294 ***	0.000096
夏降水量(7~9月)の2乗	9.67E-07 ***	1.49E-07
秋降水量(10~12月)	0.0006182 ***	0.000173
秋降水量(10~12月)の2乗	1.08E-07	4.71E-07
冬気温(1~3月)	-0.00364	0.00319
冬気温(1~3月)の2乗	0.0005538	0.000486
春気温(4~6月)	-0.454549 ***	0.0259
春気温(4~6月)の2乗	0.0131 ***	0.000793
夏気温(7~9月)	2.247 ***	0.0401
夏気温(7~9月)の2乗	-0.0453 ***	0.000888
秋気温(10~12月)	-0.0113	0.0120
秋気温(10~12月)の2乗	-0.000987 *	0.000562
冬日照時間(1~3月)	-0.000396	0.000853
冬日照時間(1~3月)の2乗	-3.62E-06	2.94E-06
春日照時間(4~6月)	-0.00456 ***	0.000985
春日照時間(4~6月)の2乗	0.0000189 ***	3.23E-06
夏日照時間(7~9月)	0.0122 ***	0.000699
夏日照時間(7~9月)の2乗	-2.73E-05 ***	2.34E-06
秋日照時間(10~12月)	-0.00164	0.00130
秋日照時間(10~12月)の2乗	-8.16E-06 *	4.48E-06
定数項	-16.909 ***	3.850
観測数	17139	
グループ数	1584	
R-Squared(within)	0.4284	

***:1%有意水準、**:5%有意水準、*:10%有意水準

降水量に関しても出穂期にあたる夏季降水量の係数から、生産性に対して下に凸の2次曲線を描くことができるが、その最小値となる669mmを上回るサンプルはほとんどないため、負の影響(下に凸の2次曲線の左半分)をみるのみの結果となった。これは出穂期前後の稲の冠水に伴う病害や、稲の不稔状態の増加を反映しているといえる。日照時間に関して、米は222時間を頂点とする上に凸の2次相関となったが、サン

ブルの分布から、正の影響があることは確認できるものの、過度の日照時間が与える負の影響については明言できない。

5-2. 土地利用関数の分析結果

表2に式(5)の土地利用関数の結果を示す。操作変数に関する検定について、過剰識別検定においては、いくつかの品目で操作変数を外生とする帰無仮説が棄却され、注意が必要である。しかし内生性検定からは操作変数法が支持される結果を得たため、総合的に判断し、ここでは操作変数法を用いた結果を記載する。また、パネルデータに関する検定から、ここでは固定効果モデルが採択されている。なお、作物の生産性は気候の変動によって大きく上下するため、1年のみのデータで、その土地に適した作物を判断することは難しい。このため、1haあたりの粗収益と労働時間に関しては、農家の長期的な視野に基づく意思決定を反映して、3年移動平均をとっている。

表2：土地利用関数の推計結果(固定効果)

条件付きロジットモデル		
説明変数	係数	標準誤差
1haあたりの粗収益	3.51E-06 ***	7.4E-07
1haあたり労働時間	8.39E-06 *	4.8E-06
米(タイムトレンド)	0.00396	0.00354
小麦(タイムトレンド)	0.071 ***	0.00471
トマト(タイムトレンド)	0.0256 ***	0.00389
米(専業農家割合)	-0.182	0.172
小麦(専業農家割合)	-1.317 ***	0.289
トマト(専業農家割合)	0.338 *	0.186
米(高齢農家割合)	0.398 ***	0.069
小麦(高齢農家割合)	0.218 **	0.0905
トマト(高齢農家割合)	-0.404 ***	0.0747
定数項	-17.6 ***	1.907
サンプルサイズ	183647	
グループ数	25241	
R-Squared(within)	0.023	

ベースカテゴリー：ばれいしよ

***:1%有意水準、**:5%有意水準、*:10%有意水準

まず、1haあたりの粗収益は1%水準で正に有意な結果となり、作物の生産性が向上することは、農家はその作物を生産する確率を向上させることが有意に確かめられた。専業農家の割合に関しては、小麦など、比較的簡単に生産できる作物には負の相関がみられた。反対に生産コストが高く、経営感覚が重要な品目であるトマトなどに正の相関がみられた。また、高齢農家割合について、特に米や小麦に正の相関がみられ、水田における大型農業機械により労働の負担が少ない作物の生産に高齢農家が積極的であることが確かめられた。反対に、トマトなど、重労働の多いとされる施設野菜を高齢農家が避ける傾向がみられた。

6. 考察

6-1. 気温変化が作物の生産性に与える影響の予測

まず、生産性関数における結果をもとに、2006年時点における3年移動平均の気温と生産性(t/ha)を基準とし、気温上昇が各作物の生産性に与える影響を考察した。表3が全国の市町村の平均値をとったときの算出結果である。ほぼ全ての作物において、気温が上昇した場合に生産性が低下することが確認できる。特に冷涼な気候を好むとされる、りんごな

どでその傾向は著しい。国内平均的には、温暖化が作物の生産性に及ぼす影響はほぼ負であるということが確認され、国内の作物収量は大きく低下することが懸念される。

表3：全国平均・生産性の増減（%）

気温変化(°C)	+1	+2	+3	+4	+5
米	0.7	-0.0	-2.1	-5.5	-10.3
きゅうり	-0.5	-1.1	-1.7	-2.4	-3.2
ピーマン	-3.7	-8.1	-13.1	-18.8	-25.1
みかん	0.7	-1.5	-6.7	-15.0	-26.2
りんご	-8.9	-18.3	-28.2	-38.7	-49.6

※気候と生産性は、共に2006年時点からの3年移動平均を基準

6-2. 気温変化が作物選択に与える影響の予測

土地利用関数の結果から、前節で算出した各作物の生産性の変化より、2006年時点の作付面積割合を基準として、それらがどのように増減するかを(%)で算出した。国内平均的に15品目で作付面積が減少し、6品目で作付面積が増加した。一部を表4に記載する。基本的には生産性の減少度合いが比較的緩やかな米、きゅうりなどが作付面積を拡大する予測となり、冷涼な気候を好むりんごなどの果物を生産する農家の減少が確かめられた。一方、暑さには強いピーマンの作付面積が大きく減少しているのは、生産コストが比較的大きく、粗利潤の大きい作物であるために、生産性低下によるダメージが他の作物よりも大きいと推測される。

表4：全国平均・作付面積割合の増減（%）

気温変化(°C)	+1	+2	+3	+4	+5
米	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15
きゅうり	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06
ピーマン	-0.30	-0.65	-1.05	-1.50	-2.00
みかん	-0.02	-0.05	-0.10	-0.17	-0.26
りんご	-0.07	-0.15	-0.22	-0.30	-0.38

※気候は2006年時点からの3年移動平均を基準

6-3. 将来の気温上昇が農業部門に与える影響の評価

これまでの結果から、将来の気温上昇による影響を評価する。産出額の変化のみから温暖化の評価をした場合、生産転換によって作業時間が減少するなど、金銭以外の要因による農家の効用増加分が加味できないため、本研究では(1)産出額ベースの評価(2)効用ベースの評価の2つを実施する。また、作物選択を考慮した場合と、しなかった場合の結果を算出し、比較することで、作物選択行動が温暖化による損失をどの程度緩和するのかを考察する。なお、本研究では、気象研究所で開発された地域気候モデル(MRI-RCM20)を用いた予測結果を参考として、2~4°Cでの気温上昇があった場合を想定した。表5にその結果をまとめる。なお、作物選択を考慮しなかった場合における効用ベースでの評価式は、産出額ベースでの評価式に一致するため、同じ数値をとる。

表5：気温上昇が国内農業に及ぼす影響(2081~2100年)

気温上昇	産出額ベース		効用ベース		単位：(億円)	
	(1)作物選択あり	(2)作物選択なし	(3)作物選択あり	(1)-(2)差額	(3)-(2)差額	
+2°C	-3929	-3773	-1551	-156	2221	
+3°C	-6603	-6380	-2649	-223	3731	
+4°C	-9748	-9467	-3961	-281	5506	

表5の結果から、気温上昇に伴う国内主要作物の生産性は、

ほぼ低下し、その損失の影響は、例えば気温が3°C上昇したときの産出額ベースの評価では、農家の作物選択行動を考慮した場合-6603億円であり、しなかった場合は-6380億円であった。作物選択行動を考慮した場合のほうが、損失額が大きい結果となったことは、一見これまでの仮説に反するようと思われる。しかしこれは、生産、収穫、出荷の間やその他の労働条件などが、農家の効用に対して、産出額の低下を相殺する大きな影響を持つためであり、多数を占める高齢農家や、兼業農家がそれぞれに適した労働条件を満たす作物を選択することを示している。なお、効用を金銭換算して評価を行った場合は、作物選択があった場合の-2649億円が、作物選択がなかった場合の損失額を大きく下回り、このとき農家の生産転換が緩和する効用の減少額は3731億円であった。以上の傾向は2°C、4°Cの場合も同様であり、また、その緩和効果は気温上昇に比例して大きくなることが示唆された。

7. 結論と今後の課題

本研究の結果、気候変数は全ての作物の生産性について重要な影響を持ち、特に気温上昇は、国内作物の生産性に、平均的にはほぼ負の影響を与えることが確認された。次に、気温上昇による生産性の低下に伴い、冷涼な気候を好むりんごなどの生産農家が、比較的温暖な気候に強いきゅうり、みかんなどの品目に生産転換する可能性が示唆された。一方で、生産性の低下度合いが小さいものの、生産コストの大きいナス科野菜(トマトなど)の作付面積は減少することが示された。また、将来の+2~4°Cの気温上昇を想定した予測評価において、産出額のみの変化をみた場合には、農家が現時点での作物を生産し続けた場合の損失額を、農家の生産転換を考慮した場合の損失額がむしろ上回るという結果を得た。この結果は、作物により異なる労働条件と、深刻な高齢化や、兼業農家比率の高い日本の農業の特性を反映し、農家が産出額以外の要因も重視して生産作物を決定することを示唆している。このため本研究では産出額以外の要因から得られる農家の効用も金銭換算して評価計算を行ったところ、気温上昇に合わせた農家の生産転換が緩和する効果は、+3°Cのケースでは3731億円であることが示された。これらの結果は、温暖化の影響を評価するにあたって、金銭的な要因以外の面からも農家の効用を捉えることの重要性を示している。また、その緩和効果は気温上昇が大きくなるにつれて高まることから、温暖化の損失評価において、気温上昇が大きいほど、作物選択を考慮することが重要になってくるといえる。最後に、今回の分析において作物の生産転換に伴うコストを考慮できていない点は注意が必要であり、今後の課題である。

8. 主要参考文献

- Robert Mendelsohn, William D. Nordhaus, Daigee Shaw, (1994), "The Impact of Global Warming on Agriculture:A Ricardian Analysis" American Economic Review, 84(4):753-71.
- Kurukulasuriya, P., Mendelsohn, R., (2008)., "Crop selection: adapting to climate change in Africa", AfJARE Vol 2 No 1 March 2008