

# 将来の気候変動下の農産物貿易におけるシステミックリスク — 世界応用一般均衡モデルによるシミュレーション分析 —

國光洋二（農業・食品産業技術総合研究機構）

## 1. はじめに

将来の気候変動により、直接的に影響が大きいのが農業生産である。IPCC の特別報告では、将来の気候変動により、2050 年の世界平均の農産物価格は、農業生産の減少と世界人口の増加が相まって、現在よりも 23% 上昇するという結果が報告されている。このような農業部門を通じた市場攪乱は、世界経済にとってリスクであり、そのリスクが将来の気候変動によりどの程度変化するのか、また、その攪乱を緩和する手段として考えられる農産物貿易の自由化が、気候変動によるリスクをどの程度低下させうるのかを定量的に評価することは、学術的にも、また、政策的にも重要な研究課題であると言えよう。

先行研究として Tanaka and Hose (2011) では、世界 CGE モデルをもちいたモンテカルロシミュレーション分析により、コメ市場における気候変動による生産性ショックと貿易自由化の影響について検討されている。彼らの結果では、貿易自由化により、日本の米の輸入が増加するが、コメの価格低下により国民の厚生水準が上昇するとともに、日本における生産性の変動の影響が緩和されること、海外における生産性の変動の影響に対しても、貿易自由化で日本の市場の変動が拡大する傾向は見いだせないことが示され、農産物貿易の自由化が日本の食料の安全保障水準を低下させることはない結論づけられている。ただし、彼らの分析では、コメの生産性ショックのみが考慮されているとともに、各国で生じる生産性ショックが独立に生起すると仮定されており、他の主要穀物を含めた穀物生産において、気候変動のもとで主要穀物間で相関を持ったショックが生じた場合の影響や各国の生産性ショックが相関を持って生じる場合の影響については分析されていない。このような作物間に相関をもつショックの影響や各国間の相関をもつショックの影響は、金融市場において、システミックリスクと呼ばれている。つまり、独立に価格が変動する銘柄を組み合わせることによって、将来の価格変動を緩和するリスクヘッジが可能となるが、組み合わせた銘柄の変動に相関がある場合、バスケットの中の一つの銘柄の暴落がドミノ倒しのように他の銘柄の暴落を誘発するリスクがシステミックリスクである。気候変動により農産物の品目間ないし生産国間で相関を物変動が生じる場合は、農産物貿易の自由化は、気候変動のリスクヘッジ手段としては必ずしも有効ではない可能性が考えられる。

本稿では、将来の気候変動予測の結果をもとに予測した世界各国の主要穀物の単収をもとに、農産物市場におけるシステミックリスクがどの程度あるのか、また、システミックリスクが生じた場合に農産物貿易の自由化はどの程度、リスクヘッジ手段としての有効性を低下させうるのかについて定量的に検討する。分析においては、Tanaka and Hosoe (2011) と同様に、世界 CGE モデルを用い、作物間及び国間の収量変動に相関がない場合の影響をモンテカルロシミュレーション分析により定量化した上で、作物モデルの予測結果と比較する。

## 2. 分析の方法

### 2.1. 応用一般均衡モデルの構造

分析に用いる CGE モデルは、Lanz and Ruthreford (2016) で提示されたものである。分析に用いるデータは、GTAP 9 (Purdue University, Global Trade Analysis Project) をもとに、38 地域 (表 1)、12 の産業部門 (表 2) および 4 つの生産要素 (労働、資本、土地、自然資源) に統合したものをを用いる

また、生産、消費、政府消費、貿易に関する代替弾力性や消費におけるフリッシュパラメータは、GTAP 9 データベースの値をそのまま用いる。

表 1 分析対象地域

No	Identifier	Country of Region	No	Identifier	Country of Region
1	AUS	Australia	20	URY	Uruguay
2	CHN	China	21	XSM	Rest of South America
3	JPN	Japan	22	XCA	Rest of Central America
4	KOR	Korea Republic of	23	FRA	France
5	IDN	Indonesia	24	DEU	Germany
6	PHL	Philippines	25	GBR	United Kingdom
7	THA	Thailand	26	XEF	Rest of EFTA
8	VNM	Viet Nam	27	ROU	Romania
9	BGD	Bangladesh	28	RUS	Russian Federation
10	IND	India	29	UKR	Ukraine
11	PAK	Pakistan	30	XER	Rest of Europe
12	XAS	Rest of ASIA	31	IRN	Iran Islamic Republic of
13	CAN	Canada	32	TUR	Turkey
14	USA	United States of America	33	XWS	Rest of Western Asia
15	MEX	Mexico	34	EGY	Egypt
16	ARG	Argentina	35	XAC	South Central Africa
17	BOL	Bolivia	36	XEC	Rest of Eastern Africa
18	BRA	Brazil	37	ZAF	South Africa
19	PRY	Paraguay	38	XTW	Rest of the World

表 2 分析対象産業

No	Identifier	Industrial sectors	No	Identifier	Industrial sectors
1	PDR	Paddy rice	7	MIN	Minnig & forestry nec
2	WHT	Wheat	8	OFD	Food products nec
3	GRO	Cereal grains nec	9	VOL	Vegetable oils and fats
4	OCR	Crops nec	10	PCR	Processed rice
5	OSD	Oil seeds	11	MAN	Manufacturing
6	OAP	Animal products nec	12	SEV	Service

## 2.2. シミュレーションの方法

農産物貿易に関するシステミックリスクを定量化するため、以下のようなケースを想定する。

**Case 1 (気候変動下の BAU ケース):** 将来の気候変動下の主要作物の単収変動を考慮し、現状のままの貿易構造（輸入関税の変更無し）が維持されるケース

将来の単収変動の影響は、コメ、小麦、大豆、トウモロコシの 4 作物について、GCM (Global Climate Model) による RCP (Representative Carbon Pathway) 8.5 の条件での将来の気候変動予測結果 (MIROC Ver5) をもとに、作物モデル (櫻井、〇〇) を用いて各年次の単収を予測した結果から、これら 4 作物の生産における全要素生産性 (TFP) を以下の式から算定してシミュレーションに用いる。

$$TFP_{i,t} = \left( \text{Yield}_{i,t} / \text{Yield}_{i,2011} \right)^{0.4} \quad (1)$$

ここに、i は作物区分、t は年次、Yield は作物モデルによる予測単収であり、0.4 は、単収変動に対する全要素生産性の弾力性で、Kunimtsu(2019)のコメの TFP 関数の推定結果のうち、収量指数（気候変化に伴う収量変化）と品質指数（気候変化に伴う品質変化）に対する TFP の弾力性（0.3 および 0.1）を合計した値を用いる。想定した将来気候の RCP8.5 予測は、空気中の温室効果ガスの濃度が最も高くなって、世界の平均気温の上昇が最も高いケースである。

**Case 2 (気候変動下の農産物貿易自由化ケース):** 将来の気候変動下の主要作物の単収変動を考慮し、農産物に関する輸入関税が 0 となって貿易自由化が進むケース

将来の気候変動の影響については、Case 1 と同様に、RCP8.5 の気候予測結果をもとに作物モデルにより予測した主要 4 作物の単収変動を想定し、加えて各国の農業・食品産業 (PDR、WHT、GRO、OCR、OSD、OAP、OFD、VOL、PCR) の関税が 0 となって貿易が増加すると想定する。

**Case 3 (ランダム変動下の BAU):** 将来の農産物生産の変動がランダムに生じ、現状のままの貿易構造（輸入関税の変更無し）が維持されるケース

将来の気候変動の影響が農産物生産に影響するものの、その影響は予測不可能と考えて、ランダムなショックとして生産に影響すると想定する。ランダムなショックは、対数正規分布に従う乱数により生成するが、比較のため、乱数生成の時に与える標準偏差は、主要 4 作物の国別の作物モデルにおける 2007~2016 年の 10 年間に生じる変動の標準偏差を与える。

Case 4 (ランダム変動下の農産物貿易自由化ケース) : 将来の農産物生産の変動がランダムに生じ、農産物に関する輸入関税が 0 となって貿易自由化が進むケース

Case 3 と同様に、将来の気候変動の影響がランダムに農産物生産に影響するという前提のもと、各国の農業・食品産業の関税が 0 となって貿易が増加すると想定する。

### 3. 分析結果

#### 3.1. TFP の将来変動

図 5～図 8 は、各国の作物モデルをもとに計算した TFP について、作物ごとに毎年の TFP をサンプルとして 38 の国・地域間の相関係数を計算し、度数分布を描いたものである。

いずれの作物でも、相関係数が高い国・地域間の組合せがあり、気候変動の影響による単収の動向が類似の傾向で推移する国・地域が存在することが分かる。また、マイナスの相関よりもプラスの相関になる国・地域の組合せが多く、不作が世界的に連動する傾向が見られる。なお、実際の作物の単収について国ごとに相関を取って分析した結果(齋藤、2017)では、本稿の分析と異なり、相関係数はそれほど高くなっていない。これは、ここでの分析は、反収変動のうち、気候条件による変動のみを抜き出しているため相関が高くなっているが、実際の反収の変動は、そのほかの要因が影響して相関関係が弱められているためと考えられる。ちなみに、ここで用いた作物モデルの実際の単収に対する説明力は、4 割(実際の単収の変動に対するモデル推定結果の変動の割合)を下回る。

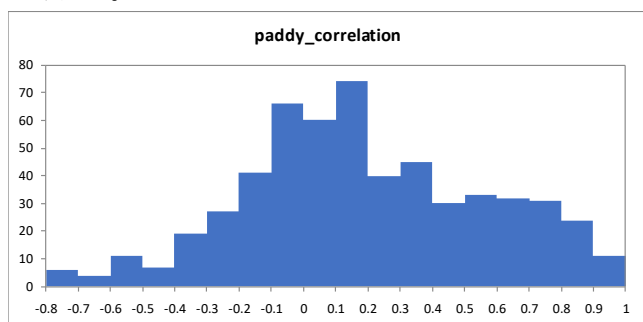


図 5 コメの国・地域間相関係数の度数分布

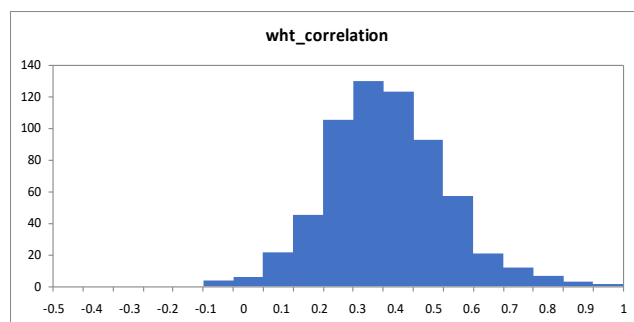


図 6 小麦の国・地域間相関係数の度数分布

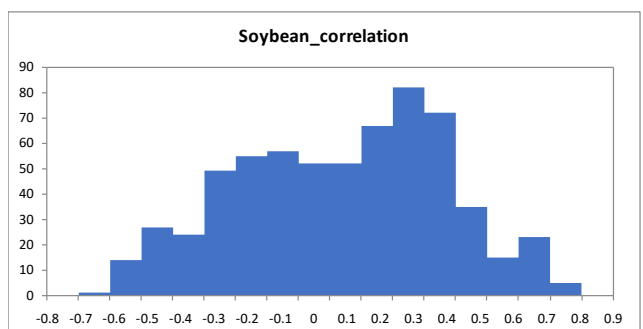


図 7 大豆の国・地域間相関係数の度数分布

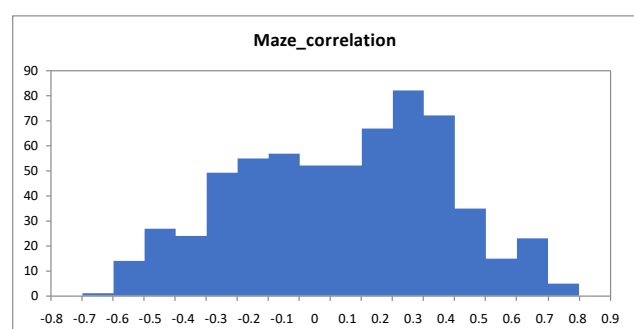


図 8 トウモロコシの国・地域間相関係数の度数分布

表 3 作物間の相関係数

	rice	wheat	Soybean	Maze
rice	1	0.205	0.680	0.180
wheat	**	1	0.229	0.226
Soybean	**	**	1	0.072
Maze	**	**	**	1

表3は、4つの作物間の相関係数を、38の国・地域と年次をプーリングしたデータをサンプルとして相関係数行列を計算した結果である。この結果から、同一の国の中で気候変動の影響が作物ごとに類似して影響する傾向が読み取れる。つまり、4作物のうちどれかの作物が不作となるときは、別の作物でも不作となる傾向があり、特に、コメと大豆でその傾向が強い。

### 3.2 農業生産額と農産物価格に対する気候変動の影響

表5と表6に、作物モデルの推定結果を用いた場合（Case 1）とランダムに変動した場合（Case 3）について、推計期間中の農業生産額と農産物価格の変動をまとめた。これらの表から以下の点を読み取れる。

まず第1に、作物モデルの結果とランダム変動を仮定した結果を比較すると、農業生産額と農産物価格いずれの場合も、前者の変動係数のほうが、大きくなっている。世界全体の平均で見ると、農業生産額では22%、農産物価格では84%、作物モデルによる変動の方が大きくなっている。つまり、気候変動の影響の作物間、国・地域間の相関を考慮することにより、農業生産と農産物価格の変動幅が大きくなる。先にも述べたように、実際の単収の変動では、作物間や国・地域間の相関は、他の要因の変動にかき消されて見えにくくなっているため、過去の変動のみから演繹されるリスクは、作物間、国・地域間の相関を考慮した場合のリスクよりも小さくなる。したがって、作物間や国・地域間の変動における相関関係を強める気候変動の影響は、世界経済におけるシステムリスクになる可能性がある。

第2に、各国のMaxとMinを比較すると、農業生産額については、両者とも概ね1から乖離する度合いは同程度であるが、農産物価格はMaxの方が1から乖離する度合いが大きく、将来的に気候変動により農産物価格が上昇する国が多いことが示唆される。

第3に、農業生産額では、アルゼンチン、エジプト、表には載せていないがパラグアイ、ウルグアイのような農産物輸出国における変動が大きくなっている。農産物価格については、エジプトの価格変動が大きく、最大の場合で2011年の2.26倍、最小の場合で0.89倍となっている。このほかの国では、トルコやルーマニアの農産

表5 農業生産額（付加価値）の推定期間中の変動

	Case 1			Case 3	Ratio (a)/(b)
	Max	Min	CV (a)	CV (Random) (b)	
Japan	1.010	0.992	0.004	0.003	1.23
China	1.006	0.974	0.007	0.005	1.33
Indonesia	1.014	0.938	0.018	0.013	1.39
Thailand	1.093	0.981	0.027	0.012	2.31
Viet Nam	1.038	1.000	0.009	0.015	0.58
India	1.008	0.988	0.004	0.006	0.73
U.S.A	1.014	0.952	0.011	0.010	1.12
Canada	1.071	0.938	0.028	0.031	0.91
Brazil	1.045	0.968	0.013	0.012	1.10
Argentina	1.165	0.888	0.054	0.063	0.87
France	1.016	0.945	0.015	0.014	1.06
Germany	1.019	0.984	0.006	0.008	0.81
Russian Federation	1.027	0.972	0.011	0.010	1.18
Egypt	1.062	0.890	0.037	0.030	1.24
South Africa	1.023	0.979	0.008	0.006	1.39

表 6 農産物価格の推定期間中の変動

	Case 1			Case 3	Ratio (a)/(b)
	Max	Min	CV (a)	CV (Random) (b)	
Japan	1.019	0.969	0.010	0.005	2.17
China	1.050	0.921	0.025	0.017	1.51
Indonesia	1.013	0.932	0.018	0.009	2.10
Thailand	1.009	0.927	0.022	0.008	2.65
Viet Nam	1.006	0.921	0.024	0.009	2.61
India	1.039	0.877	0.045	0.033	1.38
U.S.A	1.074	0.983	0.018	0.007	2.46
Canada	1.022	0.985	0.008	0.006	1.21
Brazil	1.028	0.950	0.019	0.013	1.50
Argentina	1.054	0.977	0.016	0.017	0.91
France	1.044	0.981	0.015	0.005	2.83
Germany	1.012	0.977	0.007	0.006	1.17
Russian Federation	1.004	0.982	0.005	0.004	1.11
Egypt	2.267	0.910	0.181	0.045	4.06
South Africa	1.076	0.960	0.021	0.011	1.91

物価格上昇が大きくなっている。なお、エジプトやトルコは、小麦の輸入量が大きい国である。一方、インドとバングラディッシュでは、気候変動により農産物価格の低下幅が他国より大きくなっている。また、日本では、農業生産、農産物価格ともに、他国よりも変動幅が小さい。これは、日本が農産物の多くを輸入しており、輸入先である米国やオーストラリアの気候変動に伴う変動が小さいことによると考えられる。

### 3.3 気候変動化の貿易自由化の影響

表 8 と表 9 は、農業・食品産業の生産額と農産物価格における変動係数が貿易自由化によりどのように変化しているのかをまとめたものである。これらの表の(d)列は、作物モデルを用いた結果のうち、Case 2 の値を表 5、表 6 の Case 1 の値と比較しており、(f)列は、ランダム変動の結果のうち、Case 4 の値を表 5、表 6 の Case 3 と比較している。

生産額、価格ともに、貿易自由化により変動係数が増加している国が多い。ただし、返って変動係数が減少して、リスクが小さくなっている国もある。日本は、貿易自由化により変動係数が小さくなってメリットを受ける結果となっているが、インドでは、生産額で見ると変動係数が 2 倍に高くなって、リスクが大きくなる結果である。ただし、インドの農産物価格の変動係数は、貿易自由化によりそれほど大きくなっていない。このような国ごと、また生産額と価格における影響の違いは、どの程度輸入農産物に依存しているのか、また、主食をどの作物に依拠しているのかの違いにより、生じていると推察できるが、その理由を一概に特定することが困難である。

## 4. 結論と政策含意

コメ、小麦、大豆、トウモロコシの単収変動には、気候要因以外の変動の影響で、相関が見られなくなっているが、気候変動のみの影響を抽出すると、国・地域間の相関があるとともに、作物間の相関がある。したがって、将来の気候変動は、世界の農産物生産と価格に対してシステムリスクを高める可能性がある。

CGE モデルのシミュレーションから、システムリスクを考慮した農業生産と農産物価格の変動は、それぞれ 22% と 84% 大きくなっている。

貿易自由化により、多くの国・地域において農業生産と農産物価格の変動幅が縮小し、気候変動による農産物市場の脆弱性が緩和できる。しかし、中には貿易自由化により変動幅が拡大する国も生じ、一律ではない。また、緩和の程度は、システミックリスクを考慮した場合も考慮しない場合も概ね同程度である。

表 8 貿易自由化による農業・食品産業の生産額の変化

	Crop model		Randum deviation		Ratio (d)/(f)
	Case 2 (c)	Case 2/1 (d)=(c)/(a)	Case 4 (e)	Case 4/3 (f)=(e)/(b)	
Japan	0.002	0.532	0.002	0.570	0.93
China	0.008	1.031	0.006	1.069	0.96
Indonesia	0.019	1.080	0.014	1.141	0.95
Thailand	0.031	1.143	0.015	1.244	0.92
Viet Nam	0.011	1.225	0.025	1.646	0.74
India	0.009	2.116	0.007	1.135	1.86
U.S.A	0.012	1.085	0.011	1.063	1.02
Canada	0.033	1.175	0.034	1.122	1.05
Brazil	0.013	0.960	0.012	0.963	1.00
Argentina	0.050	0.916	0.053	0.837	1.09
France	0.015	0.993	0.013	0.882	1.13
Germany	0.008	1.232	0.009	1.170	1.05
Russian Federation	0.015	1.332	0.013	1.314	1.01
Egypt	0.039	1.050	0.032	1.049	1.00
South Africa	0.015	1.820	0.011	1.867	0.97

表 9 貿易自由化による農産物価格の変化

	Crop model		Randum deviation		Ratio (d)/(f)
	Case 2 (c)	Case 2/1 (d)=(c)/(a)	Case 4 (e)	Case 4/3 (f)=(e)/(b)	
Japan	0.009	0.850	0.004	0.794	1.07
China	0.023	0.900	0.016	0.939	0.96
Indonesia	0.021	1.175	0.012	1.364	0.86
Thailand	0.016	0.724	0.008	0.962	0.75
Viet Nam	0.022	0.927	0.008	0.884	1.05
India	0.048	1.066	0.025	0.743	1.43
U.S.A	0.019	1.007	0.008	1.089	0.92
Canada	0.007	0.945	0.006	0.952	0.99
Brazil	0.019	0.980	0.011	0.865	1.13
Argentina	0.015	0.944	0.015	0.887	1.06
France	0.015	1.001	0.005	0.940	1.07
Germany	0.007	0.969	0.007	1.115	0.87
Russian Federation	0.004	0.911	0.004	0.880	1.04
Egypt	0.137	0.756	0.031	0.684	1.10
South Africa	0.018	0.857	0.010	0.909	0.94