

# 世界 CGE モデルにおける地域統合の影響

## － GTAP8inGAMS モデルを事例として－

国立研究開発法人 農研機構農村工学研究所 國光 洋二

### 要約

気候変動の影響や貿易政策の効果を分析するため、応用一般均衡 (CGE) モデルが活用されている。世界全体を対象とした CGE モデルには、GTAP モデル、GTAP データをもとに国立環境研究所が作成した AIM モデル、あるいは世界銀行の Doing Business のデータをもとに内閣府の経済社会総合研究所が作成したモデル等があり、政策分析に用いられている。

もとなるデータは、GTAP であれば世界 130 の国・地域から構成されるが、分析を行う場合は、地域統合が行われる。AIM モデルでは世界全体を 20 カ国・地域に統合して、また内閣府のモデルでは、52 カ国・地域に統合して分析が行われている。しかし、地域統合の段階で情報の損失があるので、地域統合の方法や程度により分析結果が異なる可能性がある。また、そもそも国ごとの経済格差の動向を分析する場合には、地域統合による分析結果の説得力は高くない。可能であれば、もとの国のデータを活かして分析を行うことが望ましいが、分析で用いるソフトウェアの能力やシミュレーションの複雑さの程度に依存して解が得られないこともある。

そこで、本研究では、このような地域統合に伴うトレードオフの関係を明らかにするため、GTAP データをもとに世界の 130 の国・地域を対象とし、Rutherford and Bohringer が開発した GTAP8inGAMS モデルを用いて地域統合の程度がシミュレーション分析の結果に及ぼす影響を定量的に分析した。

シミュレーション分析では、気候変動の影響を正規分布にしたがう確率変数で与えたモンテカルロシミュレーションを行って、経済変数の変動状況を求めた。

分析の結果、地域統合や産業集約は、各国を別々に見れば大きな差にならないものの、世界全体で見ると各国間のバラツキ (変動係数) を小さくする方向に働くことが明らかとなった。これらの地域統合や産業縮約に関する知見は、CGE モデルを用いた政策分析を行う上で有益な知見であると考えられる。

# Influences of regional integration in the world computable general equilibrium model

— Based on GTAP8inGAMS model —

Yoji Kunimitsu (National Agriculture and food Research Organization)

## Abstract

A computable general equilibrium (CGE) model is commonly used to analyze influences of climate change or trade liberalization policy. There are several world CGE models, such as GTAP model, AIM (National Institute for Environmental Studies) and the ESRI model (Economic and Social Research Institute). Original data used in these models contain more than 100 countries, but these models integrated countries into several super regions. For example, AIM model covers 20 regions out of 130 countries, and ESRI model covers 52 regions.

Since regional integration causes information loss, it brings about different results in simulation. If possible, original countries without regional integration would be better, but many countries require more computational power and may cause infeasible solution. To see such trade-off, present study aims to measure influences of regional integration by using GTAP8inGAMS model.

For simulation analysis, carbon tax policy, which assumes to be introduced in all countries with same tax rate, is considered. The results demonstrated that regional integration consumes more computational time than industrial integration in each country. Regional integration within 60 regions losses information more seriously and possibilities of getting different results from same simulation become high.

In the case of simulation analysis, the influence of a climate change was given to the CGE model by the random variable which followed normal distribution. Then, a Monte Carlo simulation was done by using the model CGE which included the influence of climate change in order to show variation of the economic variables.

The results of the analysis show the following points. If each country is treated separately, regional integration and industry agglomeration do not cause the big differences. However, when it is seen across the whole world, it works in the direction which makes dispersion (coefficient of variation) between each country small.

It can be said that this knowledge is useful knowledge for the policy analysis in which CGE models were used.

# 世界 CGE モデルにおける地域統合の影響

## － GTAP8inGAMS モデルを事例として－

国立研究開発法人 農研機構農村工学研究所 國光 洋二

### 1. はじめに

将来の気候変動の影響と対応策の効果を分析したスターン報告では、熱帯地域の農業生産は、将来の気候変動により減少するものの、中・高緯度に位置する国では、穏やかな温暖化であれば利益を得る可能性が高いと指摘している。日本は、中緯度地域に位置し、コメをはじめとした農業生産にはプラスの影響が及ぶことも想定される。しかし、市場における価格の変化を考えれば、生産の増加が必ずしも利益につながるとは限らない。さらに、農業部門における変化は、消費パターンの変化や生産要素市場の変化を通じて他産業に影響し、国全体に波及する。したがって、農業のみでなく、他産業、他財を含めて分析し、地域経済や日本全体のマクロ経済への影響を評価することが重要と考えられる。

細江（2010）は、世界 CGE モデルを用いて、将来の気候変動による農産物の反収変動が世界経済に及ぼす影響を分析している。その結果、将来の気候変動により日本の食料市場における需給量及び価格の変動が生じるが、農産物貿易の自由化を進めることにより、世界全体の食糧需給の変動の影響を緩和することができ、日本の食料安全保障上、効果が高いとの結果を得ている。ただし、この分析では、シミュレーションにおける計算時間を節約するため、世界全体を 8 地域の大地域に統合して分析が行われている。もちろん、気候変動の国別の影響は、世界 100 カ国の単収変動と生産額をもとに地域毎の加重平均によって考慮されている。しかし、地域統合により、個別の国の農産物変動の情報が失われている可能性がある。また、貿易を通じた影響についても、大地域間の貿易に潇洒されて小地域間の貿易を通じた変動が十分に考慮されていない可能性もある。将来の農産物貿易と日本の食料安全保障に関する政策を考える上で、将来の気候変動の影響をより詳細に分析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考えられる。

そこで本稿では、世界経済データベースである GTAP（Global Trade Analysis Project, Purdue University）のデータベースをもとに、地域統合及び産業部門統合の程度が応用一般均衡（CGE）モデルを用いた農産物市場のシミュレーション分析の結果に対して及ぶ影響を明らかにし、今後の CGE 分析ないし貿易政策に関する経済分析におけるインプリケーションを示す。

### 2. 分析の方法

#### （1）CGE モデル

本稿の分析で用いる CGE モデルは、GTAP データをもとに、GAMS () の MPSGE ソルバーを用いて世界全体の経済状況を分析するために、Rutherford（2010）によって提供されているモデルをベースにしている。モデルの生産部門の構造を図 1 に示す。消費部門は、コップダグラス型の効用関数を仮定し、貿易部門は、アーミントン関数をベースに定式化している。

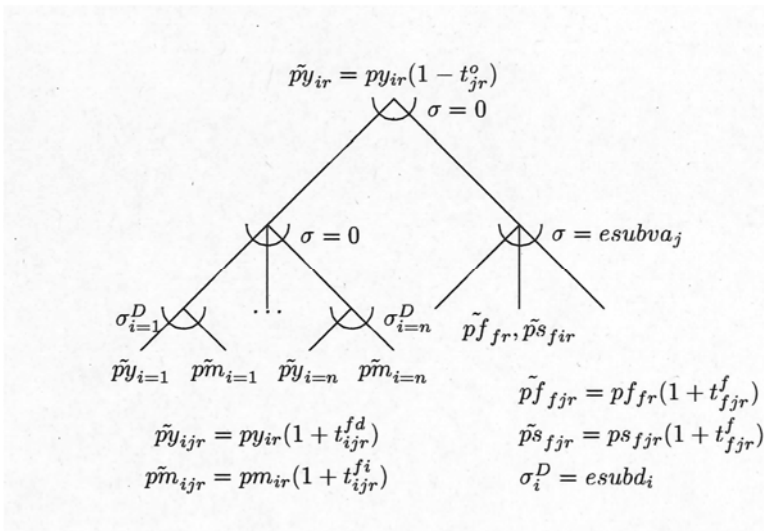


図1 CGEモデルにおける生産部門の構造  
(出所) Rutherford (2010)

農業の生産部門について、気候変動を考慮するために以下のような変更を加えた。一般に、気候状況（気温、日射量、降雨量等）によって毎年単収が変動する。また、収量面のみでなく、生産に投入されるコストも変動することが予想され、結局、農業生産の全要素生産性（TFP）が変化する。農業部門のTFPの変動が、国ごとに生じて、農産物の世界的な貿易を通じて、各国ごとの変動が緩和される場合もあれば、貿易量が少ない産物の場合は、大きな変動が生じる場合もある。このような気候変動がTFPを通じて農産物市場や日本経済に及ぶ影響を分析するため、各国の農業部門のTFPの変動は、相互独立的かつ確率的に生じると仮定し、シミュレーション分析により農産物市場への影響を定量化する。そのため、Kunimitsu (2015) の手法を参考に、以下のような関数を想定する。

$$TFP_{a,g,r}/TFP_{0,g,r} = 1.0 + \varepsilon r \quad (1)$$

ここに、TFPは、農業部門の全要素生産性を表し、基準年（2007年）に対する各年のTFPの比で計量化する。 $\varepsilon$ は、気候変動の影響を表し、正規分布（平均0、標準偏差0.1）にしたがう確率項で表しうると仮定する。 $a$ と $r$ は、農業部門及び国を表すサフィックスである。

(1)式を含み複数の地域統合や部門集約を行ったCGEモデルを用い、確率項( $\varepsilon$ )に対して100個の正規乱数(100回の気候変動によるショックに相当)を発生させて、経済変数を求めるモンテカルロシミュレーションを行う。その結果から、経済変数の推定値に関する分布や変動係数(100個のアウトプットの分布状況)をみれば、気候変動( $\varepsilon$ )と経済変数の変動の関係に対する地域統合や産業部門の縮約化の影響が分析できる。なお、ここで注目する変数は、気候変動が農業部門のみに影響すると仮定していることから、各国の農業生産額、農産物価格及び消費額(国全体)とする。

## (2) データ

モデルのパラメータをカリブレートするためのSAM(Social Accounting Matrix)データには、GTAP 8(Global Trade Analysis Project, Purdue University)を用いる。このデータは、2007年時点の57部門の社会勘定が128カ国・経済地域別に記載されている。特に、農林水産部門とエネルギー部門が詳細に記載されている点に特徴があり、農業を通じた気候変動の影響分析に適する。また、地域区分は、個別の国(108カ国)、大陸ごとに集計された経済地域(19地域)及びその他世界(ROW:1地域)として記載されており、概ね全世界をカバーする。

もとの GTAP データをもとに、複数の国・経済地域を集約して区分数を削減する地域集約の影響と複数の産業部門を統合する部門統合の影響を明らかにするため、以下の様な地域集約、部門統合を行った（表 1、表 2、表 3）。

ケース 1 (sbas) : 地域区分を 20 の国・経済地域 (ROW を含む) とし、産業区分を統合し 8 部門として分析する場合

ケース 2 (bas) : 地域区分を 20 の国・経済地域 (ROW を含む) に集約し、産業区分を 19 部門として分析する場合。

ケース 2' : 地域区分及び産業区分はケース 2 と同じだが、耕種農業部門 (4 部門) に対する気候変動の影響が部門毎に独立に生じるとして分析する場合。

ケース 3 : 地域区分をほぼオリジナルに近い 109 の国・経済地域 (Rest of the World; ROW を含む) とし、産業区分を統合し 8 部門として分析する場合

表 1 20 カ国・地域での集約状況

No.	Contents
1-2	Australia, New Zealand
3	China, Hong Kong
4	Japan
5-108	Other independent countries (105)
109	Rest of the World (20 countries)

表 2 109 カ国・地域での集約状況

No.	Contents	
1	Australia and New Zealand (2)	
2	China and Hong Kong (2)	
3	Other Europe (27)	Austria, Belgium, Denmark, Finland, Greece, Ireland, Luxembourg, Netherlands, Portugal, Spain, Sweden, Czech Republic, Hungary, Malta, Poland, Romania, Slovakia, Slovenia, Estonia, Latvia, Lithuania, Bulgaria, Cyprus, Switzerland, Norway, Rest of EFTA, Rest of Europe
4	Low Income Countries (19)	Cambodia, Laos, Bangladesh, Rest of South Asia, Kyrgyzstan, Rest of Western Africa, Rest of Central Africa, Rest of South Central Africa, Kenya, Ethiopia, Madagascar, Malawi, Mozambique, Tanzania, Uganda, Zambia, Zimbabwe, Rest of Eastern Africa
5	Middle Income Countries (47)	Malaysia, Rest of Oceania, Taiwan, Rest of East Asia, Philippines, Singapore, Thailand, Vietnam, Rest of Southeast Asia, Pakistan, Sri Lanka, Rest of North America, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Peru, Uruguay, Venezuela, Rest of South America, Costa Rica, Guatemala, Nicaragua, Panama, Rest of Central America, Caribbean, Albania, Belarus, Croatia, Ukraine, Rest of Eastern Europe, Kazakhstan, Rest of Former Soviet Union, Armenia, Azerbaijan, Georgia, Iran, Egypt, Morocco, Tunisia, Rest of North Africa, Nigeria, Senegal, Mauritius, Botswana, Rest of South African Customs Union
6-20	Other independent countries (15)	

表3 産業部門統合の状況

No.	Original GTAP8 sectors	8部門統合	19部門統合	No.	Original GTAP8 sectors	8部門統合	19部門統合
1	Paddy rice,	☆	○	18	Minerals nec,	☆	☆
2	Wheat,		○	27	Textiles,		
3	Cereal grains nec,		○	28	Wearing apparel,		
4	Vegetables, fruit, nuts,		○	29	Leather products,		
5	Oil seeds,		○	30	Wood products,		
6	Sugar cane, sugar beet,		○	31	Paper products, publishing,		
7	Plant-based fibers,		☆	33	Chemical, rubber, plastic products,		
8	Crops nec,		☆	34	Mineral products nec,		
9	Bovine cattle, sheep and goats, horses,		☆	35	Ferrous metals,		
10	Animal products nec,		☆	36	Metals nec,		
11	Raw milk,		☆	37	Metal products,		
12	Wool, silk-worm cocoons,		☆	38	Motor vehicles and parts,		
13	Forestry,		☆	39	Transport equipment nec,		
14	Fishing,		☆	40	Electronic equipment,		
15	Coal,	☆	41	Machinery and equipment nec,	○	○	
16	Crude Oil,		☆	42			Manufactures nec,
17	Gas,		☆	46			Construction,
32	Petroleum, coal products,		☆	45			Water,
43	Electricity,	☆	47	Trade,	☆	☆	
44	Gas manufacture, distribution,		☆	51			Communication,
19	Bovine meat products,		☆	52			Financial services nec,
20	Meat products nec,		☆	53			Insurance,
22	Dairy products,		☆	54			Business services nec,
23	Processed rice,		○	55			Recreational and other services,
21	Vegetable oils and fats,	☆	56	Public Administration, Defense, Education, Health,	☆	☆	
24	Sugar,		☆	48			Transport nec,
25	Food products nec,		☆	49			Water transport,
26	Beverages and tobacco products,		○	50			Air transport,
			57	Dwellings	○	○	

3. 分析結果

(1) 日本の消費，農業生産及び農産物価格の変動

図5にケース3（109地域\*8産業）において100回のモンテカルロシミュレーションを行った推定値について各変数のバラツキを度数分布で示す。紙数の都合で，他のケースや他の変数については，省略する。

農業生産におけるTFPは正規分布にしたがう乱数を発生させているが，各変数の分布状況は正規分布を示していない（農産物価格の正規分布に対する適合度検定の $\chi^2$ 値の有意性がやや高くなっているが，他の変数では有意でない）。つまり，経済システムは，非線形性の方程式によって構成されているので，インプットの値が単純に数倍になってアウトプットになるわけではない。

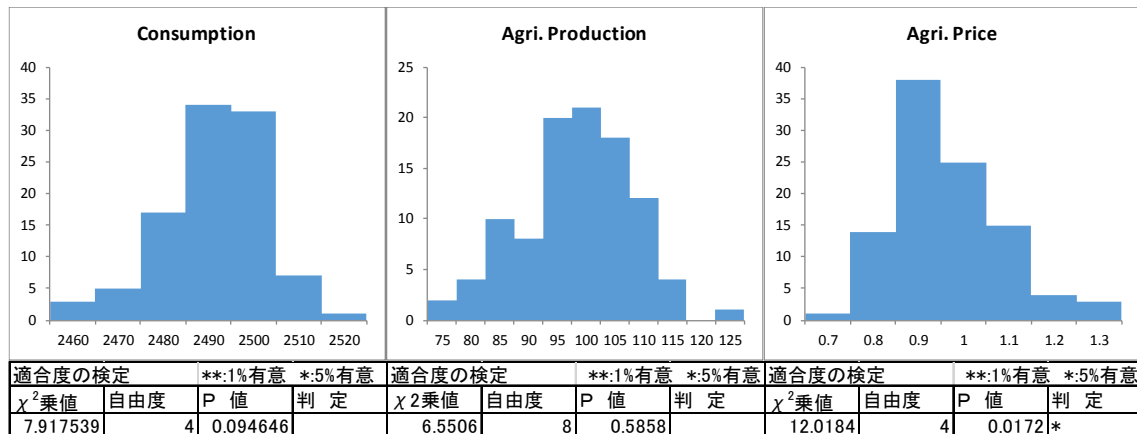


図5 日本の各変数の推定値の度数分布（ケース3）

表4, 5は, 日本の各変数における変動係数を各ケースごとに比較した結果である. これを見ると, 第1に, ケースごとの変動係数には, ほとんど差がない. つまり, 地域統合や産業集約は, 変数のバラツキにほとんど影響しない. このことは, 貿易を通じて各国に波及する気候変動の影響度は, 国内の農業生産に対する気候変動の影響度に比べると小さいためと考えられる.

第2に, 変数ごとの変動係数は, 農業生産よりも農産物価格の方が, 大きな変動となっている. このことは, 本研究で仮定しているような経済構造のもとで, 特に, 気候変動の影響が需要の価格弾力性が小さい農業部門であることから, 価格の影響が出やすくなっているためである.

表4 日本の農業生産における変動係数

	(million US\$)			
	CASE1	CASE2	CASE2'	CASE3
n	100	100	100	100
平均	103	42	43	101
不偏分散	93	6	13	89
標準偏差	10	2	4	9
最小値	78	37	34	76
最大値	124	50	51	127
変動係数	0.094	0.058	0.083	0.094

(注)ケース1及び3の農業には, 林業, 水産が含まれる.

表5 日本の農産物価格における変動係数

	(ratio)			
	CASE1	CASE2	CASE2'	CASE3
n	100	100	100	100
平均	0.996	1.003	0.997	1.016
不偏分散	0.015	0.006	0.013	0.015
標準偏差	0.124	0.076	0.112	0.122
最小値	0.744	0.802	0.771	0.738
最大値	1.361	1.192	1.332	1.388
変動係数	0.124	0.076	0.113	0.120

(注)ケース1及び3の農業には, 林業, 水産が含まれる.

## (2) 世界の中の各国間の格差

図7, 8は, 注目する変数について, 各ケースごとのクロスセクション方向の変動係数(バラツキ)を計算したものである. つまり, 地域統合や産業集約が各国間の経済変数の変化をどの程度拡大ないし縮小させるかを見たものである.

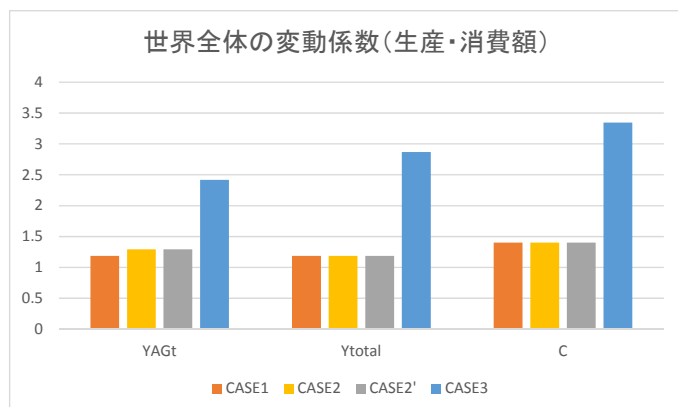


図7 世界全体のクロスセクション方向の変動係数(生産・消費額)

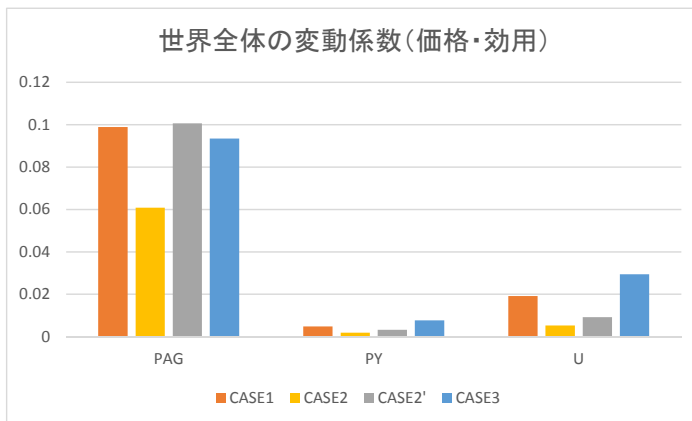


図8 世界全体のクロスセクション方向の変動係数 (価格・効用水準)

この結果から、生産額の変動よりも価格の変動の方が小さくなっている。この傾向は、日本や中国の結果と逆である。つまり、生産水準よりも価格の方が国ごとの影響が相殺される傾向が強いことが分かる。次に、ケース2 (耕種農業の作物ごとに別々のショックを与えた場合)の方が、価格の変動係数が小さくなっている。しかし、生産額ではほとんど違いが見られない。価格における各国間の相殺効果は、耕種農業における作物間においても生じていると考えられる。また、ケース3 (地域統合をあまり行わない場合)のほうが、生産額における変動係数が大きくなっている。価格では、ケースごとにそれ程大きな差が見られない。つまり、地域統合は、生産額における各国間の変動そのものを小さくする方向に働く、しかし、CASE1と2では違いが小さいことから、産業縮約の影響はそれ程大きくないとみなせる。

#### 4. まとめ

本稿では、世界全体を対象としたCGEモデルであるGTAPinGAMSモデルを用いて、仮想的に気候変動が生起確率分布にしたがうショックを各国の農業部門に与えると考えて、そ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。その結果は、以下の通りにまとめられる。すなわち、地域統合や産業縮約の影響は、気候変動が及ぼす国内の経済変数の変動に対しては、ほとんど無視できるほど小さい。しかし、地域統合や産業縮約は、クロスセクション方向の格差を縮小する方向に働く。実際の経済では、国ごとに生産状況や政策が異なることから、本来は地域統合や産業縮約は行わずに分析した方が望ましい。したがって、先行研究で行われているような地域統合や産業縮約は、各国間の経済変数の格差を過小に評価している可能性がある。

ただし、本研究ではいくつかの問題がある。第1に、気候変動が各国の農業に及ぼす影響は、独立な生起確率分布にしたがう乱数によって考慮した。しかし、現実のデータでは、各国間の農業生産における変動は、独立ではなく相互に相関している国が多い。これを考慮して分析する必要がある。第2に、用いたデータは、GTAPのバージョン8に依拠するが、現在、新しいバージョンが公表されている。これを用いるとともに、過去のデータをもとにシミュレーションの確からしさを検証することも重要である。さらに、本稿のCGEモデルは、静学的なモデルであるが、長期の動向を分析する上では、モデルの動学化が必要である。これらの課題は、今後解決すべき重要な研究テーマであると考えられる。