

水資源・土地利用を組み込んだ経済モデルの開発と農業分野を起源とする地球温暖化の経済影響評価

Economic impact assessment of agricultural productivity change due to global warming by using full-coupled integrated assessment model

05M43045 石橋亮太
Ryota Ishibashi

指導教員 増井利彦
Adviser Toshihiko Masui

ABSTRACT

In this study, an integrated assessment model is developed to assess the climate change impact on agricultural productivity and whole economic activities. The developed integrated assessment model consists of (1) a global computable general equilibrium model to estimate economic activities and anthropogenic greenhouse gas emissions, (2) a simple climate model to estimate the global mean temperature, and (3) an impact assessment model to assess the agricultural productivity change due to the climate change. In order to assess the agricultural impacts, agricultural land use and land use change, and water resource usage are formulated in the computable general equilibrium model. The simulation results show that the global mean temperature will increase by 1.8 degrees during the 21st century, and as a result, the global GDP loss in 2100 caused by the agricultural productivity change will be more than 1.2% compared with the case in which the productivity will not be changed. At regional scale, for example, CIS will lose more than 7% of GDP, whereas Japan or USA will lose less than 1%. When the adaptation policies changing crop variety and plant timing are implemented, the total GDP loss during 21st century will be mitigated by 7.8 trillion US dollars at 2001 price compared with the no adaptation case.

1. 研究の背景と目的

京都議定書は、地球温暖化に対する各国の協同的取り組みの基本的な姿勢を示した大きな一歩ではあったが、定められた温室効果ガスの削減目標と究極的な目標との乖離は大きく、世界各国にとって今後一層の努力が求められていることは言うべくもない。しかしながら、温暖化に関する最新の科学的知見を集約した IPCC 第四次報告書において、温暖化が加速しており、その影響は既に顕著に現れつつある、と結論されている。すなわち、温暖化はもはや完全に回避可能なものではなく、影響の程度や分布、脆弱な分野などを特定すると同時に、低炭素社会への迅速な舵取りと来る温暖化社会への適切な事前適応が求められているのである。

温暖化は一次的影響のみならず、波及効果を通じて様々な分野に影響を及ぼすと考えられているが、中でも農業分野は、一次的影響と波及的影響の両作用を受け、食糧供給などに悪影響をもたらす可能性があるため、とりわけ重要な分野の一つであると認識されている。しかしながら、農業分野を含めた多くの分野において、一次的影響と波及的影響、さらには適応策の効果すべてを取り扱った研究は未だ数少なく、今後の更なる取り組みが必要である。

本研究では、温室効果ガスの排出から、気温上昇、地球温暖化が農業分野を通じてもたらす影響について、物理的な一次影響だけでなく、波及効果としての経済影響までをカバーする統合評価モデルの開発と、それをを用いた温暖化対策の効果を定量的に評価することを目的とする。

農業分野を通じた温暖化の経済影響評価を行うにあたって、土地及び雨水を組み込んだ経済モデルを新たに開発し、土地や水資源の挙動を考慮した評価を行う。これは、従来では、土地や雨水は詳細に扱われることがなかったが、これらは農業生産にとって極めて重要な要素であり、将来の温暖化の影響を受けてこれらの需給がどのように変動しうるかを示すことは、脆弱性や適応容量の評価を行う上で重要な示唆を与えられようと考えられるためである。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

農業分野における温暖化影響の評価事例には、Rosegrant et al.(2003)による食糧生産・水供給モデルを用いた経済影響の評価や、Takahashi et al.(1997)による穀物の潜在生産性への一次的影響の評価などがあるが、更に経済的影響をより詳細に扱った統合評価の事例として、土田ら(2003)による途上国の温暖化対策参加時期に関する分析が挙げられる。

土田ら(2003)は、Takahashi et al.(1997)が開発した穀物潜在生産性評価モデルと、世界を複数の地域に分割した多地域応用一般均衡経済モデルを組み合わせ、温暖化が穀物生産性を通じて及ぼす経済的影響を評価し、途上国の温暖化対策参加の適切な時期を経済的影響の度合いによって評価している。

本研究では、基本的に土田ら(2003)による複数のモデルを用いた影響評価の手法を踏襲しつつ、

- 水資源と土地利用の経済モデルへの組み込み
- 複数モデルの完全な内生化

といった改良を加え、より詳細かつ正確な評価・分析を試み

る。

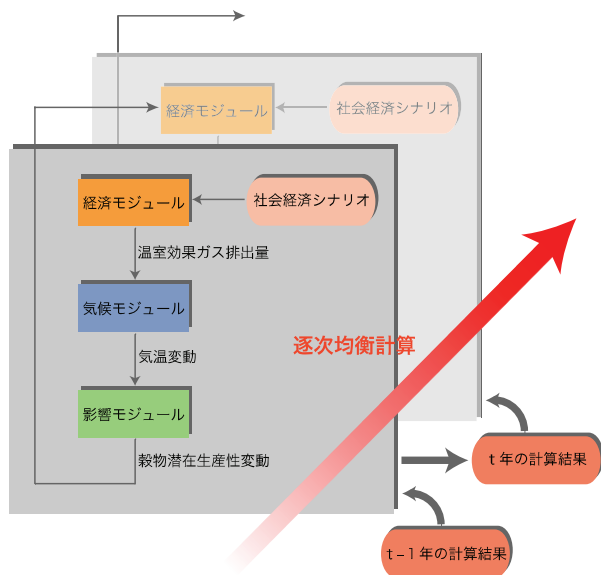
3. 研究の枠組み

本研究では、図1に示す流れでシミュレーションを行う。

本研究で用いる統合評価モデルは、経済活動と温室効果ガスの排出を評価する経済モジュール、気温変動を評価する気候モジュール、穀物生産性の変化を評価する影響モジュールの各モジュールから構成される。

これらのモジュールは、一つのモデルとしてリンクされている。時間解像度は1年であり、2001年から2100年までの100年が1年毎に逐次均衡計算される。

経済モジュールは、 $t-1$ 期の均衡解と t 期を表す社会経済シナリオ(人口、技術水準等)を入力として、 t 期の均衡解を求める。この時、経済モジュールによる求解は、 t 期までの経済活動を起源とする温室効果ガスの蓄積による気温変動が経済活動に影響を及ぼすという一連のメカニズムを所与の条件としている。この計算を逐次的に行い、1年毎の均衡解として、GDPや価格などの各種経済指標及び温室効果ガスの排出量が計算される。気候モジュールでは、経済モジュールで計算された温室効果ガス排出量をもとに全球平均気温変動が計算される。影響モジュールでは、全球平均気温を入力条件として、穀物(コメ、コムギ、トウモロコシ)の生産性変動が計算される。影響モジュールで計算された穀物の生産性変化が、次期の経済モジュールに入力される。



▲図1. シミュレーションの流れ

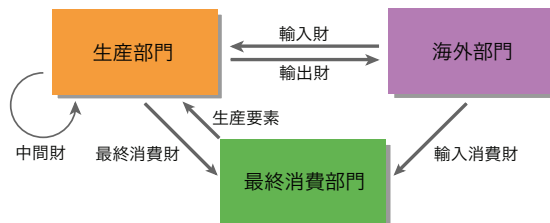
4. 経済モジュール

本研究では、経済活動を評価するための経済モジュールとして、米Purdue大学が開発したGTAPデータベースとモデルを採用し、改良や変更を加えた上で利用する。

GTAPデータベースは、世界を87の地域に分割し、57の部門による投入産出額や貿易額などの経済活動が金額ベースで整備されたものであり、2001年時点での世界経済が均衡状態で表されている。GTAPモデルはこの87地域57部門のデータに対応した静学多地域多部門応用一般均衡モデルである。応用一般均衡モデルは、既に均衡状態にある経済システムに何らかの変化を与え、その変化により新たに実現する均衡点

を求めることにより、各種の政策や経済ショックの経済影響を定量的に評価することを可能とする。以下、本研究における改良を加えた後のモデルについて、構造と前提条件を示す。

経済モジュールには、生産活動を行う生産部門、最終消費と投資、課税を行う最終消費部門(家計と政府を統合)が存在する。生産部門は中間財と最終消費部門から供給される生産要素を投入して財を生産し、生産された財は国内財と輸出財に分かれる。最終消費部門は生産要素収入と税収を所得として最終消費と投資を行う。海外との貿易には財の種類と相手国に応じた関税や補助金が発生する。



▲図2. 経済モジュールの構造概念図

本研究では、GTAPデータベースの地域及び部門を19地域15部門に統合して利用する(表1)。

▼表1. 地域及び部門の定義

地域名	地域コード	部門名	部門コード
オセアニア	ANZ	コメ	PDR
中国	CHN	コムギ	WHT
日本	JPN	その他穀物	GRO
東アジア	XEA	土地利用農業	AGR
東南アジア	XSE	その他農業	OAG
インド	IND	エネルギー非集約産業	ENI
南アジア	XSA	エネルギー集約産業	EIN
カナダ	CAN	石炭	COA
アメリカ合衆国	USA	原油	OIL
北米	XNA	ガス	GAS
中米	XCA	石油石炭製品	P.C
南米	XSM	電力	ELY
西欧	XEU	水道	WTR
東欧	XEE	輸送	TRN
CIS	CIS	サービス業	SVC
中東	XME		
北アフリカ	XNF		
中央アフリカ	XSS		
南アフリカ	XAF		

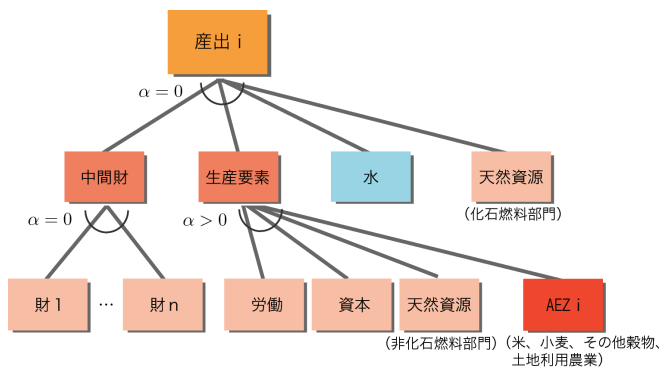
水資源については、AQUASTATが提供する農業部門全体及び産業部門全体の国別取水量データをもとに、日本の工業統計やOki et al.(2003)による農作物の水消費原単位の試算結果を利用し、部門ごとの取水量を計算した。ただし、データの制約から、その他農業、石炭、原油、ガス、石油石炭製品、輸送、サービス業の各部門に関しては、取水量はゼロであると仮定した。また、水供給を詳細に扱うことのできるモデルを内生化することは困難なため、将来にわたる潜在的な水需要の推計という側面に限定した分析を行うこととした。

土地利用については、気候帯とLGP(成長期間長)によってAEZという18の区分に分割された土地区分ごとの土地支払額の国別・部門別データが、GTAPの追加的なデータセットとしてLee et al.(2005)によって提供されている。本研究ではこれを、気候帯3区分、LGP2区分の計6つのAEZ区分に再編して経済モジュールに組み入れた。土地は米、小麦、その他穀物、土地利用農業の4部門でのみ投入されるが、AEZ毎にそれらの部門が独立して存在し、同一の財を生産するものと

した。

温室効果ガスは CO₂、CH₄、N₂O の排出量を内生的に計算する。GTAP データセットに準備されている各ガスの基準年における国別部門別排出量のデータを、CO₂ に関しては各部門における化石燃料の投入量を、CH₄、N₂O に関しては各部門の活動水準をそれぞれ駆動力とする排出原単位を求め、初期年以降は原単位に比例する形で排出量を計算する。

また、化石燃料(石炭、原油、ガス)については、Rogner(1997)による埋蔵量データやコストを勘案し、標準的な GTAP モデルで採用されているアーミントン仮定を退け、単一の国際市場を通じて多国間で同質の化石燃料財が貿易される構造へと変更した。これは、ある地域における化石燃料資源の枯渇により、解が得られなくなるという問題を回避するためである。



▲図3. 経済モジュールにおける生産構造

5. 気候モジュール

温室効果ガスの排出量から気温上昇を計算する気候モジュールには、米 Stanford 大学で開発された MERGE モデルの気候サブモデルを採用し、時間解像度を修正して利用する。

t 期において経済モジュールから温室効果ガスの排出量を受け取り、t+1 期における全球平均気温上昇を求める。なお、CO₂、CH₄、N₂O に加え短命 F ガス(HFC-134a)、長命 F ガス(SF₆)を扱うことができるため、経済モジュールで内生しなかった F ガスについては、IPCC 第三次評価報告書の SRES/B1 シナリオにおける排出量の推移を外生的に与える。

6. 影響モジュール

影響モジュールは、気候モジュールが計算した全球平均気温上昇をもとに、穀物の生産性変化を国別に求める。本研究では Takahashi らによる穀物潜在生産性影響のモデルを利用する。このモデルは、GCM の詳細な結果をもとに、全球平均気温上昇からパターンスケリングによって国別の気温上昇と降水量変動を求め、米、小麦、トウモロコシの 3 穀物種について、国別に生産性の変化を計算する。具体的には、気温では基準年からの気温上昇を 0℃～10℃まで 1℃区切り、降水量では基準年を 100%として 0%～250%まで 25%区切りの計 121 ケースについての国別穀物種別生産性変化の計算結果をあらかじめデータベースとして用意し、パターンスケリングで得られた気温上昇と降水量変動の値を用いて線形補間することにより生産性変化を求めている。国別で得られた生産性変化は、表 1 に示した地域区分に従い、基準年における生産量の比で加重平均して地域レベルに集計する。

7. シミュレーション分析

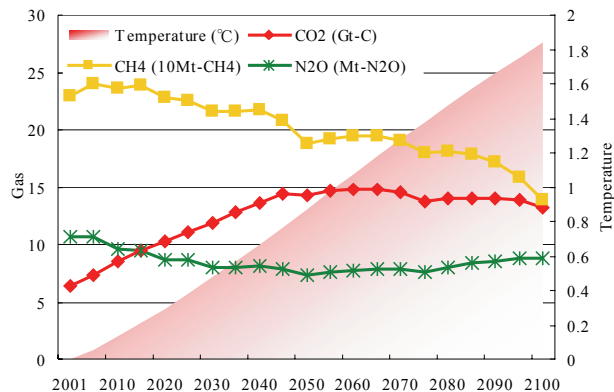
評価するシナリオとして、表 2 に示す 4 つのシナリオを作成した。

▼表2. シミュレーションシナリオ

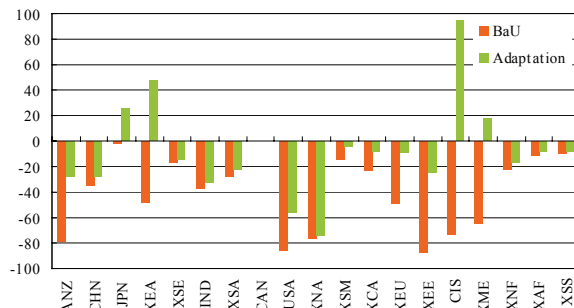
シナリオ名	温暖化影響	農地利用形態	適応策
Reference	なし	固定的	なし
BaU	あり	固定的	なし
Land Adjust	あり	柔軟	なし
Adaptation	あり	固定的	あり

Reference は温暖化が起こらないと仮定した場合の結果を表し、その他のケースとの比較基準として用いる。BaU は温暖化の生産性への影響は考慮するが、その他の条件は Reference と同じケースである。Land Adjust は家計が保有する土地の部門への配分において、農地利用変更がより柔軟に行える環境を想定した結果を表す。Adaptation は温暖化に対する適応策が行われた場合の生産性改善を想定した場合の結果を表す。Adaptation の効果としては、村井らによる作物品種・植付け時期の変更による適応結果のデータを用いる。

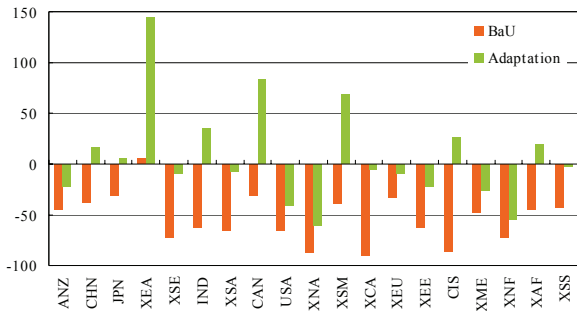
Reference における CO₂、CH₄、N₂O の排出量と、全球平均気温上昇の推移は、図 4 のようになった。2100 年の気温上昇は 1990 年比 1.8℃強と計算された。図 5 及び図 6 に、それぞれ 2100 年の温暖化に伴うコメ及びコムギの生産性変化を示した。どちらも BaU では全ての地域で生産性が下落するが、適応によって生産性は回復する。とりわけ日本や東アジア、CIS などの地域では、適応によってコメの生産性は基準年よりも向上する。またコムギも適応によって生産性が基準年を上回る地域が多い。



▲図4. 排出量と気温上昇の推移(Reference)



▲図5. 2100年の基準年に対するコメ潜在生産性変化(単位: %)



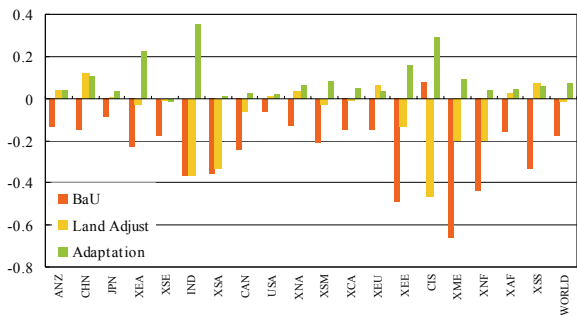
▲ 図 6. 2100 年の基準年に対するコムギ潜在生産性変化(単位: %)

このような生産性の変化によって、GDP は図 7~9 のよう
に変化する。図 7 及び図 8 は、それぞれ 2050 年、2100 年
における各地域の GDP の Reference に対する変化の割合を示す。

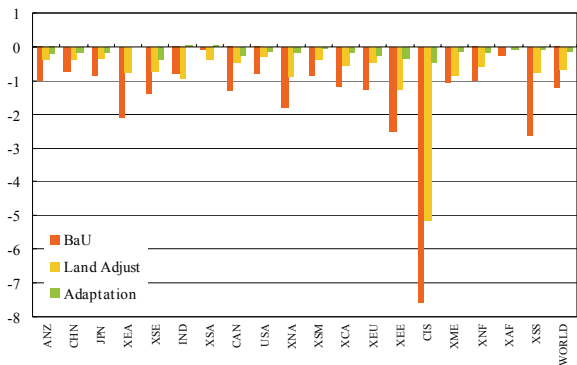
BaU では 2050 年の時点で CIS を除く全ての地域で GDP が
減少し、2100 年では更に大きく GDP が減少する。

Land Adjust では、土地をより経済効率的な部門へ配分する
ため、温暖化の影響がそれほど大きく出ない 2050 年の時点で
は、Reference に比べて GDP が増加する地域も現れ、世界全
体の GDP ロスを大きく回復することができる。しかしながら、
土地利用の最適化が進み、かつ温暖化影響が深刻化する 2100
年では、全ての地域で GDP が低下し、世界全体の GDP 回復
幅も縮小する。

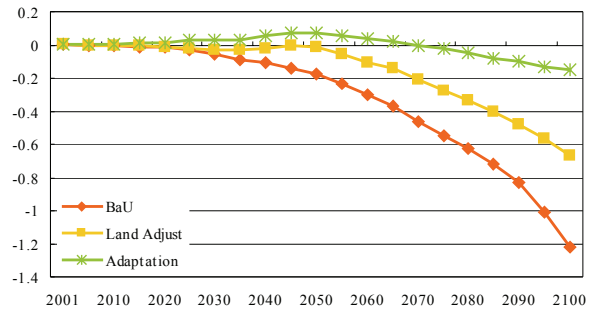
Adaptation では、適応による生産性の回復が 2070 年前後ま
では Reference に対し GDP を増加させ、温暖化影響が顕著に
なる 2100 年でも GDP の低下を BaU に比べて概ね 6 分の 1 程
度に抑えることができている。また、地域間でのばらつきも
縮まっている。



▲ 図 7. Reference に対する GDP 変化の割合(2050 年、単位: %)



▲ 図 8. Reference に対する GDP 変化の割合(2100 年、単位: %)



▲ 図 9. Reference に対する世界全体の GDP 変化の割合(単位: %)

Reference を含めた各シナリオ間では経済活動の水準が互
いに異なるため、温室効果ガスの排出量や経路、気温上昇の
水準にも差が生じる。2100 年における Reference に対する気
温上昇の差分は、BaU、Land Adjust がともに約-0.003℃、
Adaptation が約+0.001℃となった。

Adaptation による GDP の回復は、BaU に対して 100 年間の
合計でおよそ 7.8 兆 US\$ (2001 年価格、割引率 3% で計算) と見
積もられた。品種変更や植付時期の変更という比較的容易に
行えるレベルの適応策が、長期的には極めて大きな経済効果
をもたらすことが示されたが、同時にこの結果は適応策の実
施にかかるコストが下回るべき水準も示唆していると言える。

水需要については、利用効率が 2001 年の水準のままという
仮定のもと、2100 年では Reference で 2001 年比 24 倍に増加
すると見積もられた。その他のケースでは経済水準の低下に
合わせて水需要も 2001 年比 20 倍~22 倍にとどまる。

8. 結論

以下の主な結論が導かれた。

- 何も対策をとらない場合、2100 年で全球平均気温が
約 1.8℃(1990 年比)上昇し、GDP は世界全体で温暖
化がない場合に比べて約 1.2% 下落する。
- 温暖化の経済影響は空間的にばらつきがあるが、農
地用途の柔軟な変更や適応策の実施により、2100 年
の GDP ロスは半分から 6 分の 1 に抑えられる。
- 水の利用効率が十分に改善しない場合、将来的に水
需給の逼迫により経済活動が停滞する可能性が高い。

参考文献

Rosegrant et al., WORLD WATER AND FOOD TO 2025, International Food Policy Research
Institute and Water Management Institute, 2003.

Takahashi et al., Climate change impact on global crop production, Journal of Global Environmental
Engineering, 1997.

土田ら, 温暖化影響を考慮した発展途上国の温暖化対策参加に関する分析, 東京工業大学大
学院社会理工学研究科社会工学専攻修士論文, 2003.

Oki et al., Virtual water trade to Japan and in the world, Value of Water Research Report Series No.12,
2003.

Lee et al., Towards An Integrated Land Use Data Base for Assessing the Potential for Greenhouse
Gas Mitigation, GTAP Technical Paper No.25, 2005.

H-H. Rogner, AN ASSESSMENT OF WORLD HYDROCARBON RESOURCES, Annual Review
of Energy and the Environment, 1997.