

2006年度 修士論文

国際交易モデルと土地利用選択モデルとの統合による
将来の食料需給予測

Projecting Future Food Demand and Supply: Integration of
International Trade Model and Land Use Choice Model

杉本 賢二
Sugimoto, Kenji

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境学研究系 社会文化環境専攻

目次

1. 問題意識と課題設定	… 1
1.1. 農業を取り巻く環境	
1.1.1. 作物需要の決定要因	
1.1.2. 作物生産の決定要因	
1.2. 本研究の目的と意義	
2. 先行研究と本研究の特徴	… 6
3. 統合モデルの構造	… 9
3.1. 国際交易モデル:IFPSIM	
3.2. EPIC	
3.3. 土地利用選択モデル	
4. シナリオ設定とモデルの整合性	… 21
4.1. シナリオの設定	
4.2. 予測結果と実測値との比較	
4.2.1. FAO 統計との比較	
4.2.2. MODIS データとの比較	
5. 予測結果の考察	… 34
5.1. 国際価格の変化	
5.2. 生産に与える単位収量の効果と耕地面積の効果	
5.3. 空間モデルとの統合しない場合との比較	
5.4. 予測結果のまとめと今後の課題	
付表	… 47
参考文献	… 60
謝辞	… 62

図一覧

- 図 1-1. 先進国と途上国における穀物需要の変化
- 図 1-2. 先進国と途上国における畜産物需要の変化
- 図 1-3. 気候変動による気温の上昇
- 図 3-1. 統合モデルの構造
- 図 3-2. Excel に展開した IFPSIM の概観
- 図 3-3. IFPSIM の構造
- 図 3-4. Global-EPIC の構造
- 図 3-5. 各地域における単位収量の変化
- 図 3-6. 統合モデルにおけるデータのフロー
- 図 4-1. SRES における各シナリオの概略
- 図 4-2. 各シナリオにおける GDP の変化
- 図 4-3. 各シナリオにおける人口の変化
- 図 4-4. 米の単位収量の比較
- 図 4-6. 小麦の単位収量の比較
- 図 4-5. とうもろこしの単位収量の比較
- 図 4-7. 大豆の単位収量の比較
- 図 4-8. 米の耕地面積の比較
- 図 4-9. とうもろこしの耕地面積の比較
- 図 4-10. 小麦の耕地面積の比較
- 図 4-11. 大豆の耕地面積の比較
- 図 4-12. 予測結果における 4 品目合計の耕地分布
- 図 4-13. MODIS による農耕地の空間分布
- 図 4-14. MODIS と予測結果の一致部分
- 図 4-15. 不一致部分 1 (予測結果のみ存在する部分)
- 図 4-16. 不一致部分 2 (MODIS のみ存在する部分)
- 図 5-1. 米の国際価格の推移
- 図 5-2. とうもろこしの国際価格の推移
- 図 5-3. 小麦の国際価格の推移
- 図 5-4. 大豆の国際価格の推移
- 図 5-5. 1995 年と 2020 年における 4 品目の耕地の分布
- 図 5-6. A1 シナリオにおいて 1995 年から 2020 年にかけて増加した耕地の分布

表一覧

表 3-1. IFPSIM の対象品目

表 3-2. IFPSIM の対象国・地域

表 4-1. 各地域における技術変化率

表 5-1. A1 シナリオにおける年平均成長率表

表 5-2. A2 シナリオにおける年平均成長率

表 5-3. B1 シナリオにおける年平均成長率

表 5-4. B2 シナリオにおける年平均成長率

表 5-5. 統合による価格上昇率の変化

付表 1. IFPSIM における地域区分

付表 2. 土地利用選択モデルにおける地域区分

付表 3-1. A1 シナリオにおける各地域の経済成長率と人口増加率

付表 3-2. A2 シナリオにおける各地域の経済成長率と人口増加率

付表 3-3. B1 シナリオにおける各地域の経済成長率と人口増加率

付表 3-4. B2 シナリオにおける各地域の経済成長率と人口増加率

付表 4-1-1. A1 シナリオにおける小麦の需給バランス

付表 4-1-2. A1 シナリオにおけるとうもろこしの需給バランス

付表 4-1-3. A1 シナリオにおける米の需給バランス

付表 4-1-4. A1 シナリオにおける大豆の需給バランス

付表 4-2-1. A2 シナリオにおける小麦の需給バランス

付表 4-2-2. A2 シナリオにおけるとうもろこしの需給バランス

付表 4-2-3. A2 シナリオにおける米の需給バランス

付表 4-2-4. A2 シナリオにおける大豆の需給バランス

付表 4-3-1. B1 シナリオにおける小麦の需給バランス

付表 4-3-2. B1 シナリオにおけるとうもろこしの需給バランス

付表 4-3-3. B1 シナリオにおける米の需給バランス

付表 4-3-4. B1 シナリオにおける大豆の需給バランス

付表 4-4-1. B2 シナリオにおける小麦の需給バランス

付表 4-4-2. B2 シナリオにおけるとうもろこしの需給バランス

付表 4-4-3. B2 シナリオにおける米の需給バランス

付表 4-4-4. B2 シナリオにおける大豆の需給バランス

概要

今後、人口増加に伴う食料需要量の増加と、所得の増加による畜産物需要が増えることにより、穀物需要量は増加すると考えられている。しかし、穀物生産は地理条件や気候によって影響を受けやすいため、将来の食料不足が危惧されている。本研究では米、とうもろこし、小麦、大豆の4品目について経済モデルと空間モデルとの統合をおこない、それによって経済モデルでは組み込むことのできない土地利用性と気候変動を考慮したモデルを構築した。また、そのモデルを用いて2020年までの予測を行ったところ、2000年時点での予測結果と、実際の国別統計と土地被覆について比較することによってモデルの整合性が確かめられた。2020年にはいずれの品目についても価格が上昇することが示された。

キーワード；食料需給モデル、土地利用変化、温暖化、将来予測

1. 問題意識と課題設定

1.1. 農業を取り巻く環境

本節では農業を取り巻く環境を、作物需要と生産に分けて、それぞれに影響を与えている要因を考える。これらの要因は食料需給予測を行う際に考慮しなければならないものであり、非常に重要である。

1.1.1. 作物需要の決定要因

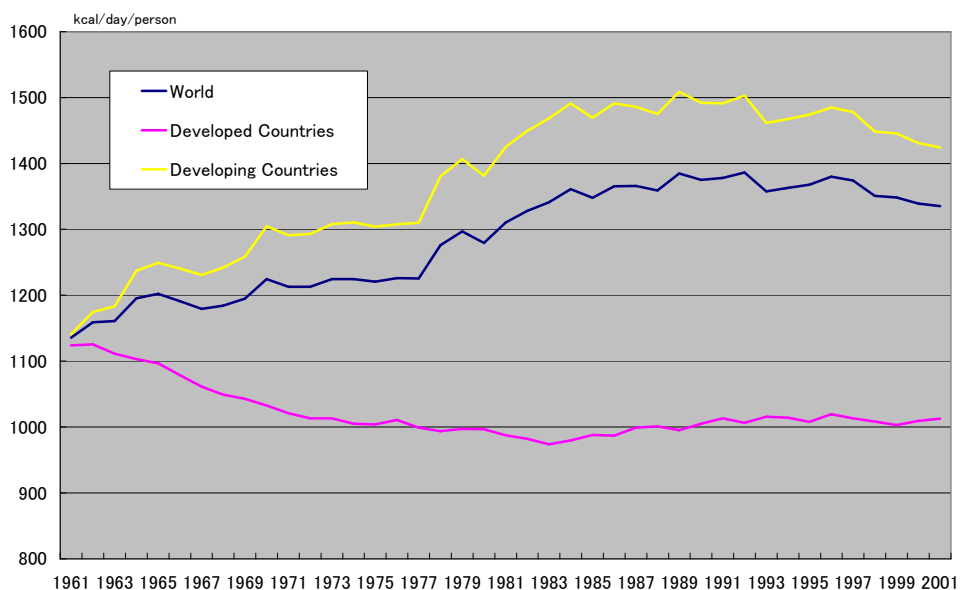
食料は生活するうえでの必需品であり、その需要は食用需要と飼料用需要、その他の需要に分けることができる。

食料需要を決定する大きな要因は人口と所得である。国連の人口予測によれば、世界の人口は2050年に90億人を突破すると見込まれている(UN,2006)。人口増加率は徐々に低下していくと考えられているが、相対的な需要量は増加すると考えられる。絶対的な需要は一人当たりの需要であるが、これは所得によって変化する。エンゲル係数に代表されるように、所得の増加に伴って所得に占める食費の割合は低下する。しかし、所得が増加するにしたがって畜産物品目へのシフトが進む。図 1-1 では穀物の一人当たりの需要量を、図 1-2 では畜産物の一人当たり需要量を、それぞれ先進国と途上国に区分して示している。穀物需要の場合は先進国で低下しているのに対して、途上国では増加している。畜産物需要では先進国の需要量はそれほど変化しないが、途上国では増加傾向にある。

畜産物の需要が伸びると、生産のために多くの飼料が必要となる。牛肉 1kg あたりに必要な穀物は 7kg であり、エネルギー効率はあまりよくない。さらに、開発途上国では今後経済発展が急速に進むと予測されている。それによって畜産物需要が増え、飼料用需要が増加すると考えられる。世界で生産される穀物のうち約 4 割程度は飼料とされる(FAO, 2006)。先進国ではこの割が高くなり、飼料用需要が多くを占めている。これは前述のように、畜産物の需要が高まったために畜産物に与える作物が多く必要となるためである。

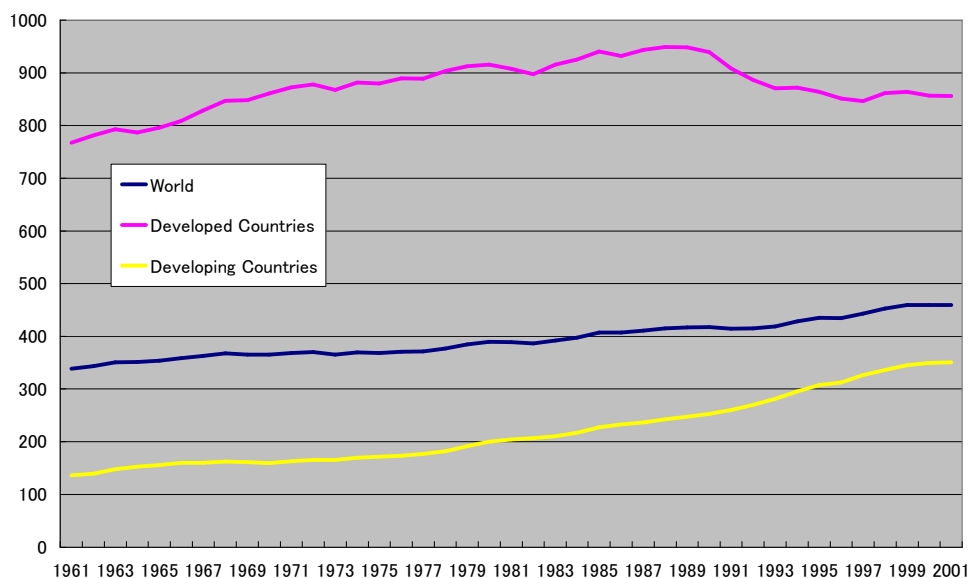
また、その他の需要としては加工品、種子用、バイオエタノール等のエネルギー用などがある。加工品については家電製品の普及に伴って、保存期間が延びたことで需要量が増加すると考えられる。また近年、石油価格の高騰によりバイオエタノールの需要が増加しており、その原料となるとうもろこしの価格が上昇している(USDA, 2007)。特にアメリカではエタノール精製所建設が加速しており、2008年には生産量の約半分が精製所向けとなるという予測もなされている(Earth

Policy Institute, 2007). エネルギーとしての穀物需要量が増加すると、その影響は他の穀物の価格に影響すると考えられる。



出所)FAO, 2006.より計算

図 1-1. 先進国と途上国における穀物需要の変化



出所)FAO, 2006.より計算

図 1-2. 先進国と途上国における畜産物需要の変化

1.1.2 作物生産の決定要因

19世紀のイギリスの経済学者、マルサスは、著書『人口論』において次のように述べている（荏開津、2003. 115 ページ）。

人口は等比数列的に増加するが、食料生産は等差数列的にしか増加しない。したがって人口増加はやがて必ず食料生産の増加を上回り、食料の欠乏から社会は絶望的な貧困と悪徳におちいる

マルサスの予測は現在においてあまり当てはまっていないが、アイデアとしては明確なものである。つまり、耕作地というものはある程度適地適作で存在しており、耕地を拡大することは生産性の低い土地に作付けすることになる。そのため、生産量には制限があるということである。

表 1-1 は 1960 年代から 2000 年にかけて穀物生産量の変化を、単位あたりの収量の変化と、耕地面積の変化に分けたものである（荏開津、2003）。1960 年代から生産量は増加しているが、80 年代からは耕地面積の増加率は負の値である。近年の生産量の増加は単位収量の増加によるものである、アジアでの緑の革命に代表されるように、品種改良や肥料の投入量の増加に伴う単位収量増が、生産量の増加を支えている。

しかし、この単位収量の増加率が今後も続くとは限らない。それは、作物の生産は地形や気候の変化による影響を受けやすいからである。IPCC（2001）によれば、将来の気温上昇は高緯度ほど上昇し、さらに同一地域においてもその影響は異なる（図 1-3）。気候変動によって異常気象が起りやすくなるのであれば土壌浸食による栄養分の低下、それによる単位収量の低下を招きかねない。さらに過剰に肥料を投入することや、同じ作物を毎年植え続けることは地力の低下につながる。

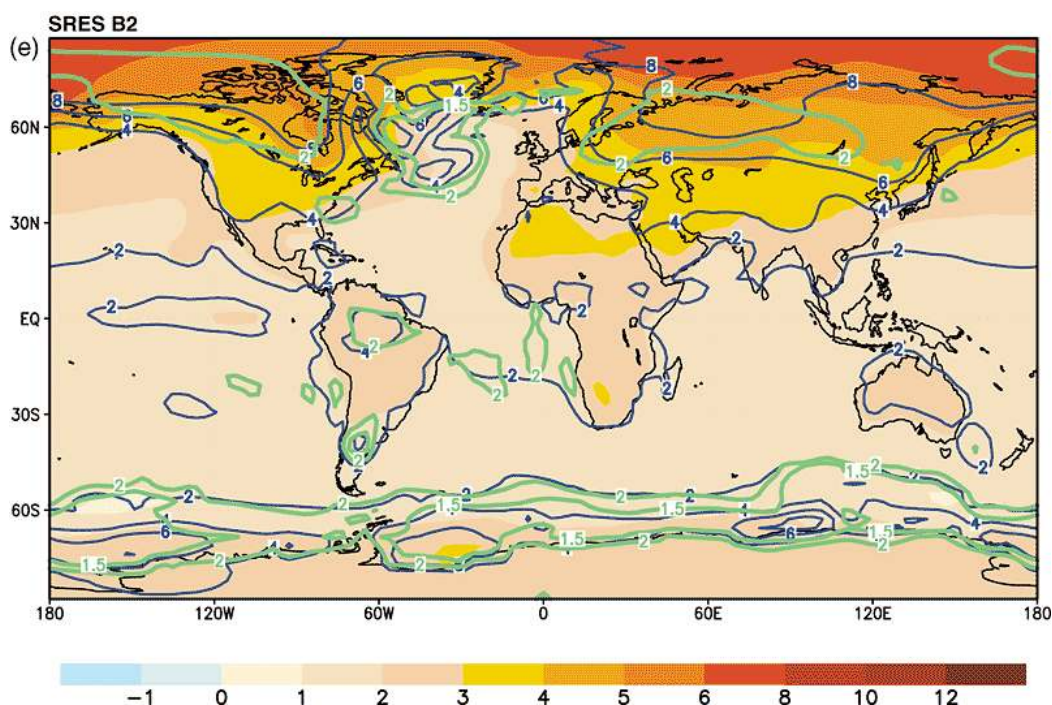
また、近年は水資源が制約要因となっている。アメリカ、インド、中国では穀物生産において地下水の過剰な汲み上げが広く行われており、これによって帯水層の水位が下がる、あるいは枯渇する可能性がある（ブラウン、1995. 9 ページ）。水資源というものは灌漑施設などで用いられる農業用水だけでなく、生活用水や工業用にも用いられるため、人口増加と経済成長によって農業用水の需要が少なくなってしまう、それによる生産量の減少も考えられる。

表 1-1. 世界穀物生産量の増加要因

(単位%)

年度	穀物生産 増加率	収量 増加率	耕地面積 増加率
1961-70	3.06	2.54	0.52
1970-80	2.68	2.03	0.65
1980-90	2.32	2.44	-0.12
1990-95	-0.52	0.00	-0.52
1995-2000	1.63	2.06	-0.43
全期間	2.16	2.07	0.09

出所) 荏開津典生 (2003) 表 8-4



出所) IPCC, 2001. Fig.9.10(e).

図 1-3. 気候変動による気温の上昇

(1961-2000 年までの平均値と 2071-2100 年までの平均値の比較)

1.2. 本研究の目的と意義

本研究の目的は、前節で示した需要と供給に影響を与える要因を含めたモデルの構築を行い、そのモデルを用いて将来の予測を行うことにある。前節でみたように、将来の食料需要は伸びることが推測されるが、生産に関しては増加要因が少なく、自然資源の制約によって減少する可能性もある。この生産側に制約があるということから、食糧不足に対する危惧は高まっており、その理由から現在までに様々な計量経済モデルを

用いた長期の食料需給予測が行われている。しかし、国別あるいは地域別の経済モデルでは、需要側の変化は捉えることはできるが、生産側では資源の違いや気候の変動といった要因を組み込むことは難しい。なぜなら、これらの要因は地域によっても異なる上、同じ国においてもその影響が異なるためである。

したがって、本研究の目的は経済モデルだけではなく、空間モデルを組み合わせることによって、将来の食料需給と土地利用を予測することである。空間モデルを用いることによって、経済モデルのみでは表現できない、資源の地域性による生産への制約要因や、気候変化の影響を加味することが可能である。

本論分の構成は以下のようになっている。

次章では、既存の研究のうち、環境による制約を盛り込んだ食料需給モデルについての検討を行い、本研究の特徴を明らかにする。

3章では統合モデルの構造について、経済モデルと空間モデルについてと、2つのモデルの統合部分についての説明を行う。

4章では統合モデルについてシナリオの設定を行ったうえで、将来予測を行う。また、モデルの整合性を確認するために、国別の統計とリモートセンシングによる土地利用被覆との比較を行い、モデルの整合性について検討する。

5章では統合モデルを用いた2020年までの予測結果を示し、生産量の変化を単位収量と耕地面積に分けることで、それぞれの効果についてみる。さらに統合を行わない場合との比較を行い、最後にまとめと課題について述べる。

付表では統合モデルでの詳細な地域区分、人口・経済成長率、シナリオごとの需要量、生産量、貿易量を示している。

2. 先行研究と本研究の特徴

本章では既存の食料需給予測の研究を検討し、本研究の特徴を明らかにする。

FAO (2003) は 146 カ国、36 品目を対象とする広域かつ詳細な経済モデルであり、2030 年という超長期的な予測に用いられている。国際機関であるために各国の研究者が集まっていることから、弾力性などは推計した後に検討する機会が設けられており非常に信頼性は高い。OECD では OECD 加盟国を中心としたモデルを構築しており、先進国の農業政策について詳しいという特徴を有している。特に、牛肉の貿易では口蹄疫洗浄国と非洗浄国との間では貿易を行わないといった現実の政策をモデルにうまく盛り込んでいる (上林、2005)。アメリカ農務省では毎年 2 月に 10 年先までの中期予測の結果を公表しており、その値は更新される度に修正がなされている (USDA, 2006)。Wolf (2005) は 2 国間貿易においてアーミントン係数を設定しており、貿易において相手国を想定した空間モデルによって食料需給を予測している。しかし、これらのモデルは環境資源の制約について明示的に導入したモデルではなく、単位収量の変化分については過去の趨勢を参考にしているに留まっている。

大賀 (1998) では、単位収量の増加率と、収穫面積の価格上昇に対する変化が 2020 年までに半減すると仮定した場合の予測を行っている。その場合には穀物の価格が現在の 4 倍になるという結果が示されているが、パラメータを変更しただけであり、その根拠は乏しい。また、井上ほか (2003) では穀物生産に重要な要素である灌漑農地を投入量として定式化し、灌漑施設を投入財であると仮定することにより、理論的に制約を考慮した穀物需給予測を行っている。この研究では、灌漑地利用に厳しいシナリオを用いた場合においても、将来の国際穀物価格は低下する傾向にあることが示されているが、対象となる品目は米、小麦、とうもろこしの 3 つのみであり、畜産物部門を含んでいないため飼料用需要を考慮してない。また、Furuya and Koyama (2005) は過去の気候データをもちいて、穀物の単位収量を気温と降雨量の変数とすることで、将来の穀物価格の減少率が鈍化することを示している。しかし、将来の気温変化は各国共通に設定されており、耕作地域の変化がないという仮定は現実的ではない。Rosegrant *et al.* (2002) は食料需給モデル (IMPACT) と水資源の需給モデル (WSM) とを統合させたモデル、IMPACT-WATER を構築した。穀物の生産関数に利用可能な農業用水量を導入することにより、水資源に制約を置いた食料モデルとなっている。特に水使用が限られたシナリオにおいては国際価格が高騰することが示されており、水という制約が生じた場合の食料不足を示唆している。

以上、計量経済モデルに環境の制約を盛り込んだモデルを検討したが、これらのモデルはパラメータの変更やシナリオの導入など資源制約を盛り込んではいないが、国・地域

別にモデルを構築しているために地域による資源の格差や、将来の気候変動については考慮されていない。それは経済モデルが持つ特性によるものであり、容易に導入できるものではない。

経済モデルと空間モデルを統合させた研究として Darwin et al.(1996)がある。このモデルでは一般均衡モデルと気候モデルの結果を用いて、気候の変化による土地利用の変化を考慮しているが、人口増加や経済成長を考えない静学モデルである。また、IPCC の将来の気候予測で用いられた、国立環境研究所の AIM(Matsuoka et al., 2001)や、オランダ RIVM による IMAGE(RIVM, 2006)では一般均衡モデルと気候モデルを統合させ、お互いのフィードバックによって温暖化の影響を加味したモデルとなっている。しかし、これらのモデルを構成する地域は非常に大まかであり、穀物の分類に関しては一品目として統合されている。それは温室効果ガスの排出を推測するために、全産業にわたるモデルを構築する必要がある、そのためには区分を細かくした場合にデータの収集が困難になるためである。したがって、個々の品目の結果や気候変動による効果については具体的に知ることはできない。

また、需要と供給を別々に扱うモデルも存在している。ブラウン(1996)では需要が人口と GDP によって決まるとし、生産量に関しては過去の外挿によって計算することで、目標年度における需給ギャップを推計するモデルである。また、Tsuji(1998)も同様の手法によって需給ギャップによって価格変化を推測するというモデルである。しかし、価格が需要に影響を与えることは明らかであり、価格上昇によって代替品の需要に転化することも考えられる。

以上の先行研究の検討より、以下では次の 2 点を含んだモデルの開発を行う必要があると考えられる。まず、価格メカニズムを盛り込んだ経済モデルにより、需要量と供給量を計算することである。需要量は人口や所得以外にも価格によって変化するため、その効果についても考慮する必要がある。この需要部分は経済モデルで計算することが可能である。

次に、地域ごとに異なる資源の有無および劣化と、気候変動に伴う気候変動について考慮しなければならない。これは、1 章で見たように、農業生産は気候の変化を受けやすいためである。しかし、国・地域単位で扱う経済モデルでは地域性や気候変動の変化などを直接盛り込むことはできない。したがって、空間モデルによって気候変動や地理条件を考慮しなければならない。

本研究では、農業部門だけを扱う部分均衡モデルにおける作物の生産関数を、空間モデルに置き換えることで、それらの課題を克服している。それにより、作物の生産は気候変動と地理条件を考慮することに加えて、農業部門に特化したモデルにおいては、その結果が品目別にわかりやすくなっている。

本研究と同様の手法で土地利用変化について考察しているのは Ronneberger et al.

(2005)である。この論文では KLUM という土地利用モデルを構築し、一般均衡モデルである GTAP との統合を行っている。また、Sands and Leimbach(2003)ではモデル内において気候変動による影響をフィードバックさせる統合モデルとなっている。いずれのモデルも本研究と非常に似た研究であり、主体が利益を最大にするように土地利用を決定するというメカニズムは同じである。

3. 統合モデルの構造

本研究で用いたモデルは、2つのモデルを統合させたものである。すなわち、農産物の需給と国際交易を扱う IFPSIM (International Food Policy Simulation Model)と、0.1 度グリッド単位で全球をカバーする空間モデルである。この空間モデルはさらに穀物の生産性を推計する EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator)と、IFPSIM の穀物価格と生産性によって作付けを決定する土地利用選択モデルからなる(図 3-1)。米、とうもろこし、小麦、大豆の4品目については空間モデルに適応することで、地域性や資源の有無を考慮したモデルとなっている。

以下では、経済モデルと空間モデルの構造について説明する。次に経済モデルと空間モデルとの統合部分である土地利用選択モデルについて述べる。

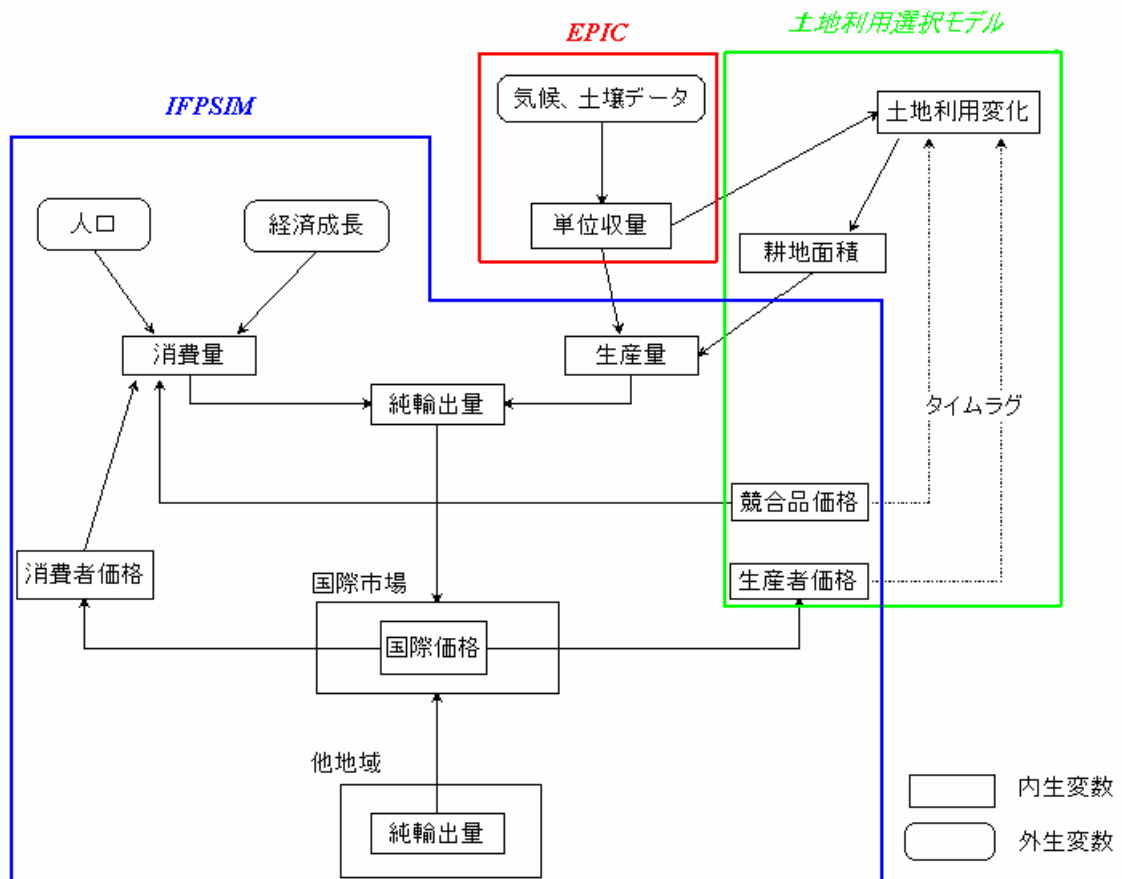


図 3-1. 統合モデルの構造

3.1. 国際交易モデル:IFPSIM

IFPSIM は農業政策の変化を評価するために開発された、農業部門に特化した部分均衡モデルである(Oga and Yanagishima, 1996.および大賀、1998). また、多地域・多品目市場均衡の世界モデルであり、14 品目と31 カ国・地域¹を対象としている(表 3-1、3-2). 図 3-1 は IFPSIM の構造を表したものである.

IFPSIM の特徴的な点として、タイムラグを持った変数の部分調整過程を組み込んだダイナミックモデルである(大賀、1998 66 ページ)点が挙げられる. 人口変化や経済成長を変数としており、前年の生産者価格によって耕地面積が決定される、動学の仕組みを備えている. さらに消費者保護や不足支払い制度等の農業政策を変数として価格に組み込んでおり、政策の変化による影響についてシミュレーションを行うことができ、農水省ではこのモデルを元に 2025 年までの、将来の食料需給見通しを行っている(農水省、2006).

大賀(1998)では FORTRUN によって書かれた IFPSIM を使用しているが、本研究では Oga and Yanagishima(1996)に掲載されている計算式、およびパラメータを Microsoft 社製の Excel に展開した(図 3-2). VB (Visual Basic)によるマクロを実行させることにより均衡価格が計算される仕組みになっている. Excel に展開した理由であるが、プログラミングの知識が不要な場合でも比較的変更が可能であり、視覚的にも結果の時系列変化がわかりやすいという利点があるためである.

¹ さらに詳しい地域区分については付表 1 にまとめている.

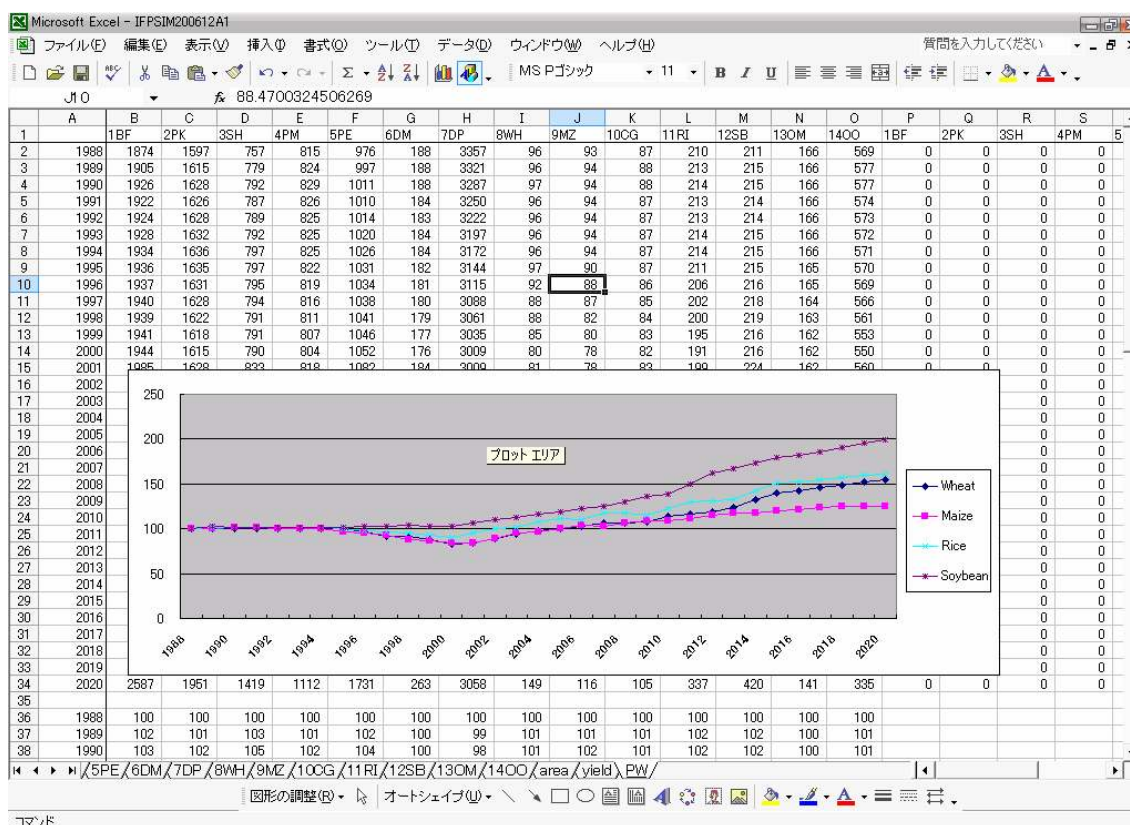


図 3-2. Excel に展開した IFPSIM の概観

IFPSIM の基本構造は価格により需要と供給が一致する仕組みとなっている。以下でモデルの基本構造を示す。ただし、 a_0 は各国・地域の変数項、添え字の i は当該品目、 j は競合品、 f は飼料用作物、 r は国・地域を表している。また、 -1 は前期の値を表している。

穀物生産量

穀物の生産量は耕地面積と単位収量の積として表される。耕地面積は前期の耕地面積と、当該品目および競合品目の生産者価格の変数である。単位収量は前期の値に成長率を加えたもので表され、この成長率は外生的に与えられる。

$$AH_{ir} = a_{0ir} \times AH_{-1ir}^{aAH} \times PP_{-1ir}^{ai} + \prod_j PP_{-1jr}^{aj} \quad (1)$$

$$YH_{ir} = YH_{-1ir} \times (1 + a1_{ir}) \quad (2)$$

$$QS_{ir} = AH_{ir} \times YH_{ir} \quad (3)$$

AH: 収穫面積、PP: 生産者価格、YH: 単位収量、QS: 穀物生産量、aAH: ラグ付変数にかかる係数、ai: 当該品目の生産者価格に係る弾力性、aj: 競合品目の

生産者価格に係る価格交差弾力性、a1: 単位収量の成長率

畜産物生産量

畜産物の生産量は家畜と蓄羽数と生産性の積として表される。家畜と蓄羽数は飼育頭羽数の一定割合となっており、飼育頭羽数は前期の頭羽数、当該品目および競合品目の生産者価格、飼料作物の卸売価格の変数となっている。生産性については穀物の場合と同様であり、前期の値に成長率を加えたもので表される。

$$AL_{ir} = a0_{ir} \times AL_{-1ij}^{aAL} \times PP_{-1ir}^{ai} \times \prod_j PP_{-1jr}^{aj} \times \prod_f PI_{-1jr}^{af} \quad (4)$$

$$SL_{ir} = AL_{ir} \times SL_{-1ir} / AL_{-1ir} \quad (5)$$

$$YL_{ir} = YL_{-1ir} \times (1 + \underline{a1}_{ir}) \quad (6)$$

$$QS_{ir} = SL_{ir} \times YL_{ir} \quad (7)$$

AL: 家畜頭羽数、PP: 生産者価格、PI: 飼料原料中間(卸売)価格、SL: 家畜と蓄頭羽数、YL: 畜産生産性、QS: 畜産物生産量、aAL: ラグ付変数にかかる係数、ai: 当該品目の生産者価格に係る弾力性、aj: 競合品目の生産者価格に係る交差弾力性、af: 飼料穀物の中間価格に係る弾力性、a1: 畜産生産性増加率

穀物需要量

穀物の需要量は食用需要、飼料用需要、その他需要に分けられる。食用需要は一人当たり GDP、当該品目および競合品目の消費者価格によって決定される一人当たりの需要量に、人口をかけたものである。飼料用需要は家畜飼育頭羽数、当該品目および競合品目の卸売価格によって決定される。その他需要は食料需要と飼料用需要の合計量の比率によって変化する。

$$QF_{ir} = a0_{ir} \times YY_r^{aYY} \times PC_{ir}^{ai} \times \prod_j PC_{ij}^{aj} \times NN_r \quad (8)$$

$$QL_{ir} = a0_{ir} \times \prod_l QS_{lr}^{al} \times PI_{ir}^{ai} \times \prod_f PI_{fr}^{af} \quad (9)$$

$$QO_{ir} = QO_{-1ir} \times (QF_{ir} + QL_{ir}) / (QF_{-1ir} + QL_{-1ir}) \quad (10)$$

$$QD = QF + QL + QO \quad (11)$$

QF: 食用需要、YY: 一人当たり GDP、VV: GDP、PC: 消費者価格、QL: 飼料用

需要、 a_{YY} : 所得弾力性、 a_i : 当該品目の価格にかかる弾力性、 a_j : 競合品目にかかる交差弾力性、家畜頭羽にかかる弾力性、 a_f : 飼料価格にかかる弾力性、 QO : その他需要、 QD : 総需要

畜産物需要量

畜産物の需要量は穀物の食用需要と同様に、一人当たり GDP 、当該品目および競合品目の消費者価格によって決定される一人当たりの需要量に、人口をかけたものとして計算される。

$$QD_{ir} = a0_{ir} \times YY_r^{a_{YY}} \times PC_{ir}^{a_i} \times \prod_j PC_{ij}^{a_j} \times NN_r \quad (12)$$

在庫変化量

在庫変化量は当期と前期の卸売価格の比率によって変化する。ただし、在庫変化量が正值の場合は前期の価格に対する当期の価格の比率であるが、在庫変化量が負値の場合はその逆の比率を用いる。

$$\Delta ST_{ir} = \Delta ST_{-1ir} \times (PI_{ir} / PI_{-1ir})^\delta \quad (13)$$

$$\text{ただし、} \delta = \begin{cases} 1 & \text{if } \Delta ST > 0 \\ -1 & \text{if } \Delta ST < 0 \end{cases}$$

ΔST : 在庫変化量、 PI : 中間卸売価格

純輸出量

純輸出量は生産量から需要量を差し引き、在庫の変化量を加えたものとして決定される。ここで、純輸出量の世界計がゼロとなるように価格を変化し、均衡させる。

$$QN_{ir} = QS_{ir} - QD_{ir} + \Delta ST_{ir} \quad (14)$$

$$\sum QN_{ir} = 0 \quad (15)$$

QN : 純輸出量

価格関係式

国際価格については世界において貿易量の占める割合が大きい国をリード国とし、各国・地域での国際価格はリード国と当該国・地域のドル建て為替レ-

トによってドルによる自国通貨に変換される。卸売価格は自国通貨建て国際価格に、輸送費と生産者保護を加えたものであり、消費者価格と生産者価格は卸売価格に補助金等の政策による保護を考慮したものとなっている。

$$PT_{ir} = PW_{ir} \times XR_{ir} / XRR_i \quad (16)$$

$$PI_{ir} = PT_{ir} + \underline{MI}_{ir} + \underline{PSM}_{ir} \quad (17)$$

$$PP_{ir} = PI_{ir} - \underline{CSO}_{ir} \quad (18)$$

$$PS_{ir} = PI_{ir} + \underline{PSO}_{ir} \quad (19)$$

PT: 自国通貨建て国際価格、PW: 市場リード国通貨建て国際価格、XR: 当該国対ドル為替レート、XRR: 市場リード国対ドル為替レート、MI: 輸送費用、PSM: 価格関連生産者保護、PS: 実効供給者価格、PSO: 補助金等生産者保護、CSO: 生産者保護

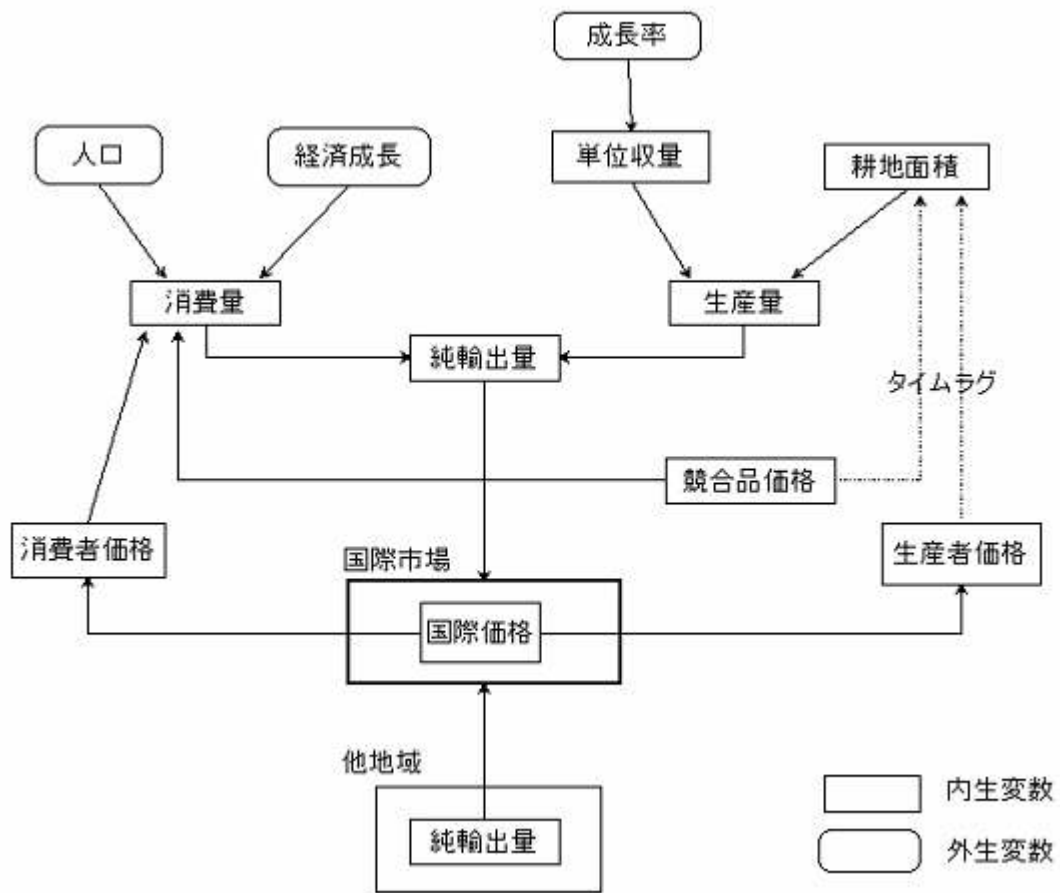


図 3-3. IFPSIM の構造

表 3-1. IFPSIM の対象品目

対象品目 (14 品目)	
畜産物 (6)	牛肉、豚肉、羊肉、鶏肉、卵、牛乳
穀物 (5)	小麦、トウモロコシ、米、大豆、その他雑穀
加工品 (3)	加工乳、オイルミール、油脂

表 3-2. IFPSIM の対象国・地域

対象国・地域 (30)	
国 (20)	アメリカ、日本、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、メキシコ、ブラジル、アルゼンチン、ナイジェリア、エジプト、インド、パキスタン、バングラデシュ、インドネシア、タイ、マレーシア、フィリピン、中国、韓国
地域 (10)	EC12, その他西欧、東欧、旧ソ連、その他先進国、その他ラテン・南米、その他アフリカ、中近東、その他極東、その他途上国、その他世界

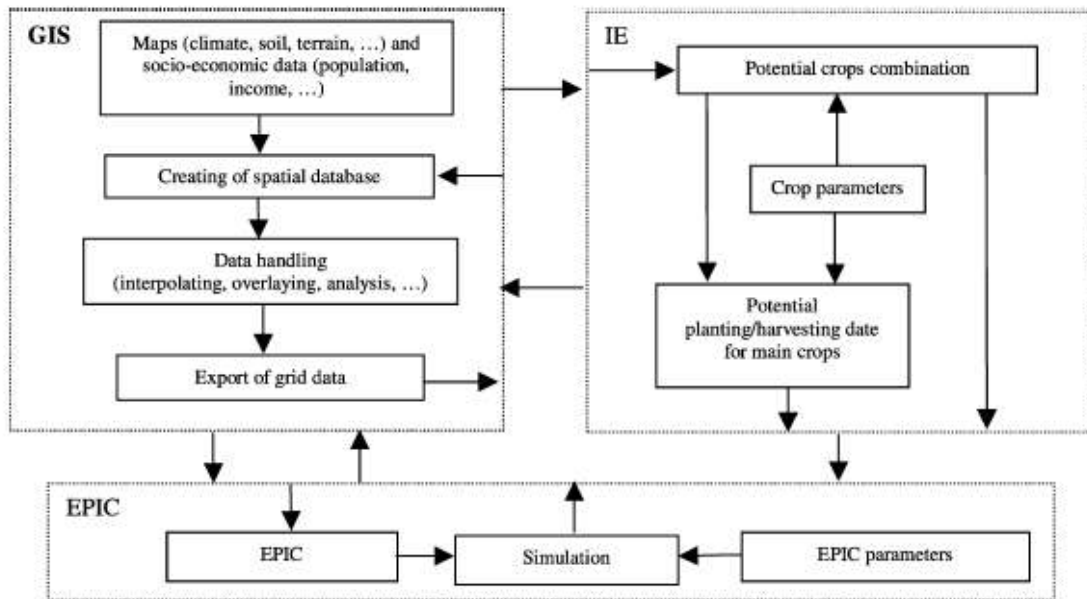
3.2. EPIC

EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator) は米農務省によって開発された気候、降雨量、土壌などを変数として、土壌浸食と植物の成長との関係を推計するモデルである (Williams, 1995)。本来はアメリカにおける土壌浸食を計算するものであったがその後の拡張により、農地管理における様々な変数を出力できるようになった。EPIC では 100ha 以上の面積を対象とし、天気・土壌・地質・管理システムが均質である地域を想定して、日単位で数百年にわたるシミュレートが可能である。

EPIC の基本構造は以下のとおりである。まず、日射量と葉あたりのエネルギー供給量が計算される。次にその土地における土壌状態や湿度、気温、窒素、リン、作物の固有パラメータなどの変数によって植物の生長が推計される。この結果によって土壌流出が計算され、次の期における窒素とリンが変化するという構造になっている (Williams, 1995)。

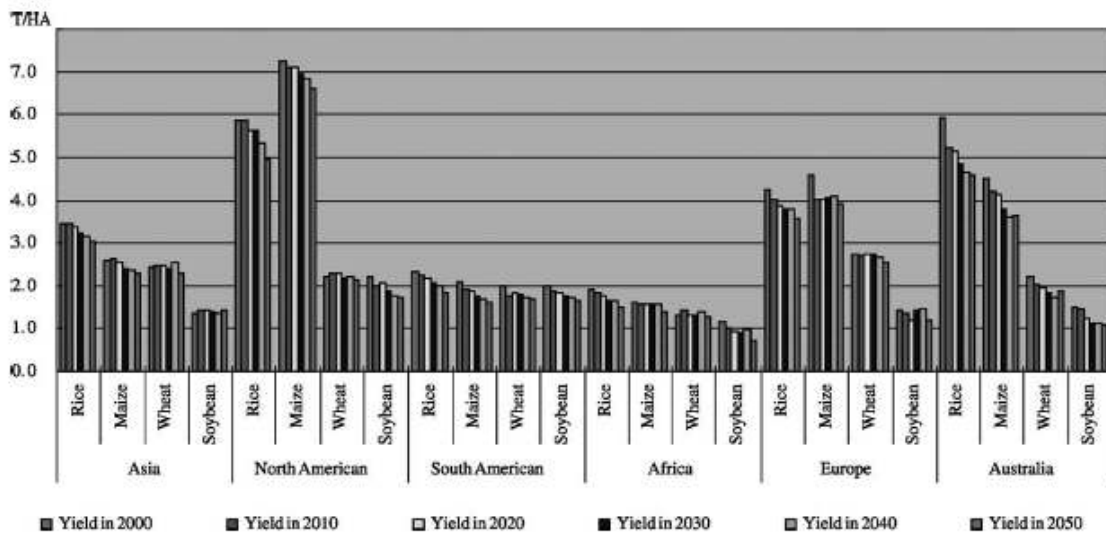
本研究では Tan and Shibasaki (2003) によって開発された Global-EPIC を用いた。この Global-EPIC は、GIS 上に EPIC を展開したものであり、米、とうもろこし、小麦、大豆の 4 品目について、地球レベルでの生産性を推計するモデルの構築を行ったものである。このモデルでは、南北 1405×東西 3600 (北緯 84 度～南緯 54.5 度、東経 180 度～西経 180 度) の地域がカバーされており、約 500 の格子点によって構成されており、空間的に社会経済データや気候データを展開することにより全球での生産性を推測したことが特徴である。

Tan and Shibasaki (2003) では GIS、IE (Inference Engine)、EPIC を統合させることによって、全球での穀物の潜在生産性について推計している (図 3-4)。まず、GIS において気候、土壌、地形、人口といった各種のデータが構築される。気候データについてはカナダ気候モデリング分析センター (Canadian Center for Climate Modeling and Analysis; CCCma) による CGCM1 の 10 年ごとの月平均の降雨量と、月別最大気温と同最小気温の結果を用いている。その各種データと IE による作付けの変更を行い、EPIC によって穀物の生産性について計算がなされる。各地域における生産性の変化については図 3-5 のようになっている。いずれの地域においても生産性は低下することが示されている (Tan and Shibasaki, 2003)



出所) Tan and Shibasaki (2003). Fig.1.

図 3-4. Global-EPIC の構造



出所) Tan and Shibasaki (2003). Fig.21.

図 3-5. 各地域における単位収量の変化

3.3. 土地利用選択モデル

IFPSIM と EPIC の統合部分にあたる、土地利用選択モデルでは各グリッドにおいて、その主体である農業従事者が効用を最大化するように土地利用を決定するモデルとなっている。土地利用を選択するということは、耕地・森林・都市などの多数の選択肢のうち、可能な選択肢のうちからどれか一つを選択するということであるため、その決定は各主体によって異なると考えられる。こうした選択を推測、およびモデル化する方法として非集計モデルがある。

非集計モデルは、「個人が利用可能な選択肢の中からもっとも望ましい選択肢を選ぶという合理的な選択ルールに基づいて行動することを仮定してモデル化」したものである(交通工学研究会、1993. 4 ページ)。ここで、各個人の特定の選択肢における効用を

$$U_i = F_i(Y) + S_i(X) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

と表す。ただし U は効用、 F は気温や灌漑、降雨量といった環境要因、 S は人口や所得といった社会経済要因、添え字の i は選択肢である。このとき各個人が全選択肢 j の中から特定の選択肢 i を選ぶ関数式は、

$$P_i = \exp(U_i) / \sum_{j=1}^n \exp(U_j) \quad \forall i \quad (2)$$

として表される。このとき P_i は選択肢 i を選ぶ確率、 j は全選択肢(ただし、 $i \in j$)である。ここで選択肢は米、とうもろこし、小麦、大豆の各種耕地と、それ以外の土地利用の 5 つである。したがって、各グリッドにおいて Global-EPIC によって計算された生産性と、IFPSIM によって計算された前年の生産者価格によって最も収益のあがる作付けを行う仕組みになっている(図 3-6)。まず、 T 年において、IFPSIM で均衡価格が求められ、それによって各国ごとの生産者価格が計算される。翌年の $T+1$ 年において、EPIC によって T 年の生産性に変化分を加えた $T+1$ 年の生産性が求められる。ここで、前年の T 年における生産者価格と EPIC による $T+1$ 年の生産性によって $T+1$ 年の土地利用が決定され、それによって $T+1$ 年の均衡価格が求められる仕組みになっている。統合モデルでは、この受け渡しをくり繰り返して目標年度までの食料需給を計算する。なお、土地利用選択モデルは過去にインドと中国がテストサイトとしてパラメータの推計と、実際の土地利用との比較が行われている。

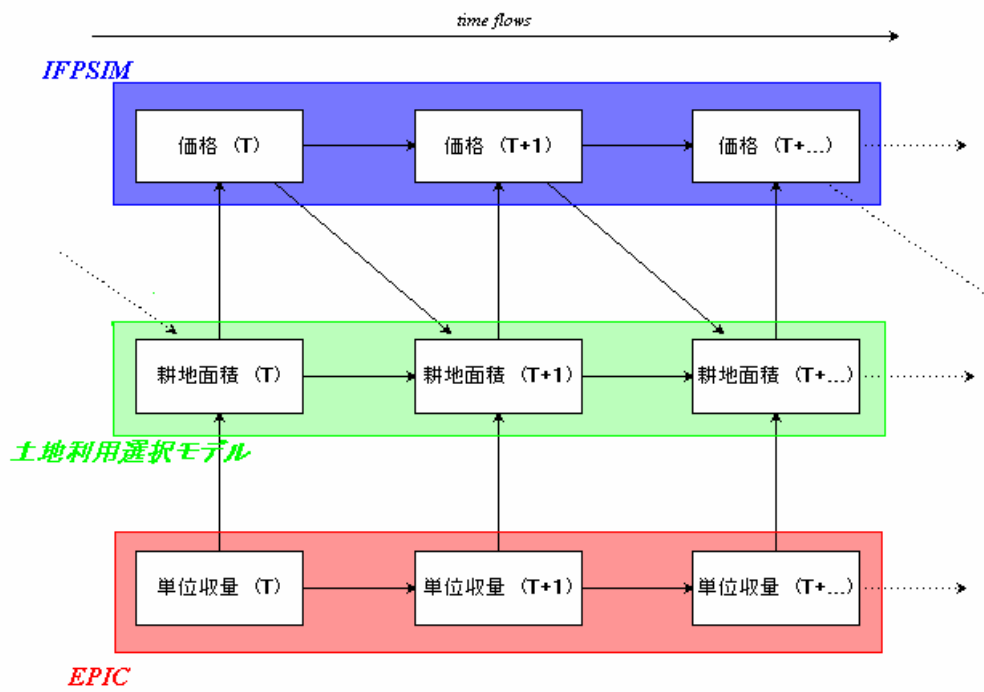


図 3-6. 統合モデルにおけるデータのフロー

4. シナリオの設定とモデルの整合性

4.1. シナリオの設定

IFPSIM では非農業部門である経済成長率や人口増加については一定比率で増えるものとしている。これらの変数については IPCC による SRES(Special Report on Emissions Scenarios)を用いた。SRES とは人間活動が温暖化に与える影響を評価するために用いられた、将来の社会経済の発展に関する叙事的シナリオである。これらのシナリオ内において一貫性を持った人口統計的・社会的・経済的・技術的・環境的・政治的将来が、量的でなく質的に記述されている（環境省、2001. 第2章.4 ページ）。

SRES は大きく分けて 4 つのシナリオに分類することができる。すなわち、A1、A2、B1、B2 の 4 つである。頭のアルファベット A は経済成長重視の社会、B は環境改善を中止する社会を想定している（図 4-1）。次に後ろの番号 1 はグローバル化社会、番号 2 は地域指向社会を意味している。それぞれのシナリオにおける GDP 成長率と人口増加率は図 4-2、4-3 に示している。本研究ではそれぞれのシナリオにおけるマーカー・シナリオの人口および経済成長率を適用している²（CIESIN, 2005）。

また、IFPSIM での将来の農業政策の変化、為替レートの変更はないものとした。これは政策変化による価格変化が、土地利用選択モデルに影響を与えるためである。また、図 3-5 のように、Global-EPIC では灌漑施設や肥料・労働投入については不変であると仮定しているため、経年ごとに単位収量が低下している。なお、村井ほか(2006)では気候変化に対して社会・経済システムを変化する適応策を投じた場合、生産性の減少率を緩和することができることを示している。以上のことから、単位収量に関して、技術向上率を設定した（表 4-1）。これによって穀物の生産性は気候変動による変化分に技術変化率を加えたものとして計算される。この技術変化率については IFPSIM における単位収量変化率の 1/4 に設定している。

以上のシナリオを設定した上で、統合モデルを用いた将来予測を行った。

² それぞれのマーカー・シナリオは以下のモデルチームの結果である。A1：国立環境研究所による AIM (Asian Pacific Integrated Model) モデル、A2：アメリカ ICF による ASF (Atmospheric Stabilization Framework) モデル、B1：オランダ RIVM による IMAGE (Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect) モデル、B2：IIASA による MESSAGE モデル。各地域における具体的な経済成長率と人口増加率の値については付表 3-1 から付表 3-4 に示している。

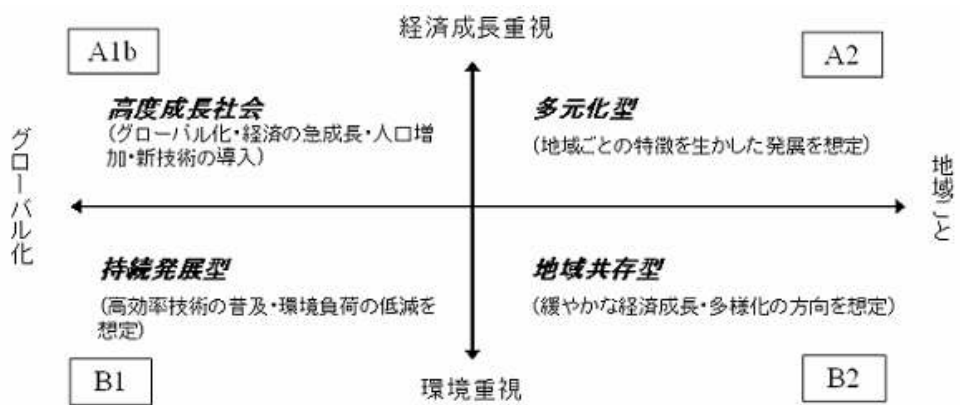


図 4-1. SRES における各シナリオの概略

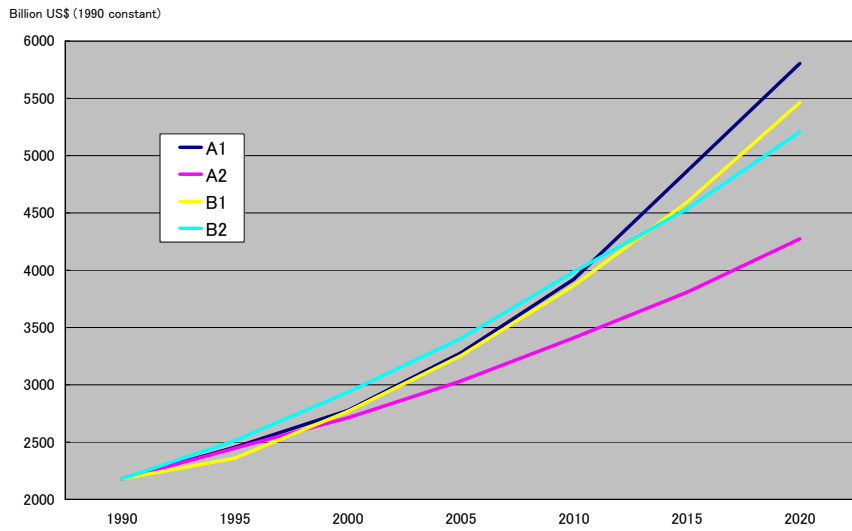


図 4-2. 各シナリオにおける GDP の変化

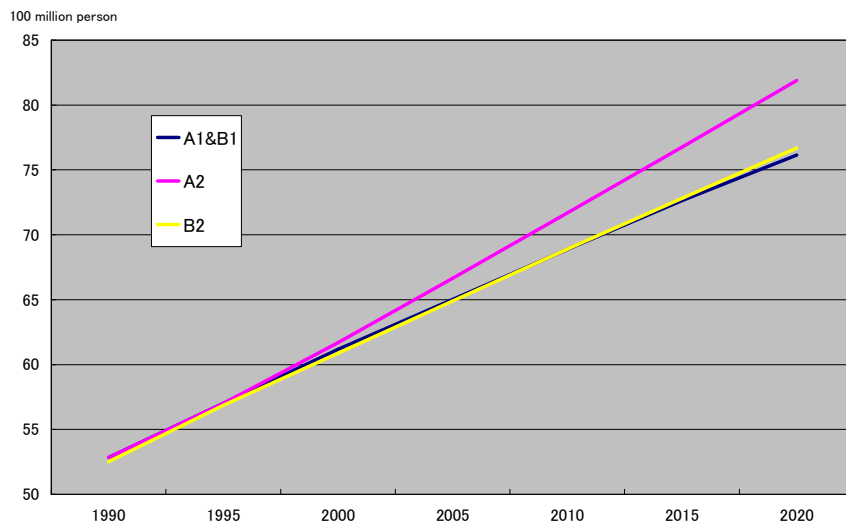


図 4-3. 各シナリオにおける人口の変化

表 4-1. 各地域における技術変化率
(年率)

地域	技術変化率
1USA	0.003
2EC12	0.006
3Japan	0.005
4WEuro	0.002
5Canada	0.003
6Australia	0.004
7NZ	0.004
8ODPed	0.005
9EEuro	0.002
10USSR	0.005
11Mexico	0.003
12Brazil	0.005
13Argentina	0.003
14OLAmer	0.005
15Nigeria	0.004
16OAfrica	0.004
17Egypt	0.005
18NEAsia	0.006
19India	0.007
20Pakistan	0.005
21Bangladesh	0.004
22Indonesia	0.008
23Thailand	0.007
24malaysia	0.005
25Philippine	0.005
26China	0.008
27Korea	0.006
28OFEast	0.006
29ODPing	0.005

4.2. 予測結果と実測値との比較

予測結果と現実の比較によって、整合性が認められればモデルおよび将来予測に意味があると考えられる。本節では FAO（国連食料農業機関）による国別の統計との比較と、リモートセンシングにより得られた MODIS データとの土地利用被覆の比較を行った。

4.2.1. FAO 統計との比較

FAO 統計はもっとも広域に及ぶ国別の農業に関する統計であり、ウェブ上あるいは CO-ROM によってデータにアクセスすることができる。その他の農業統計にはアメリカ農務省の P S&D(Production, Supply and Distribution)があるが、統計を取得している国は限られており、小国については範囲としていない。OECD の統計では OECD 加盟国については非常に詳細なデータであるが、非 OECD 加盟国についてはデータが存在しない。これらの理由から FAO の統計との比較を行った³。

この FAO 統計を使い、1998 年から 2000 年までの平均値について⁴予測結果と FAO の国別統計との比較を行った（図 4-4 から図 4-11）。これらの図ではピンクの線が 45 度線を表しており、横軸に予測結果、縦軸に統計値を取っている。したがって、ピンクの線に近いほど統計値に近い値をとっていると考えられ、この線より上側に点がある場合は統計と比べて過剰評価であり、下側にある場合は過小評価である。なお、耕地面積については各国により差が大きいため対数による軸を使用している。

どの品目においても単位収量については実際の値とそれほど乖離がないことがわかる。米ではモロッコとトルクメニスタンで過小評価となっている以外は整合性が取れている。小麦の場合はヴェネズエラ、エジプトで過小評価、イエメンでは過剰となり、米と比較するとやや 45 度線から離れた値も存在する。とうもろこしでは、マレーシア、インドネシア、ベトナム、フィリピンといった東南アジア諸国において過少であり、スワジランドは大幅に外れているものの、他の国においてはおよそ実測値に近い値である。大豆ではシリアで極端に過少となっている以外は、実測値との乖離は小さくなっている。

次に耕地面積の比較であるが、単位収量と同様に、実測値から乖離している国は存在しているものの、全体的に見れば多くの値が実際に近い値となっている。

³ ただし、大賀（1998）では FAO の精度について、「有効数字 6 桁であるが、換算率等を加味すれば、その精度は 3 桁程度であろう」と述べている（大賀、1998. 77 ページ）。また、統計が各国の担当者からの報告を積み上げたものであり、その報告が正確でない場合もあり、例えば同じ値が何年か続くことがある。

⁴単位収量は年によって数値にばらつきが生じるため、3 年間の平均を用いている。

以上のことから、2000年における予測結果はほぼ実際の値に近くなっており、モデルの整合性は認められる。しかし、国によっては誤差が生じていることから、そうした国に対してはパラメータの調整が必要であると考えられる。

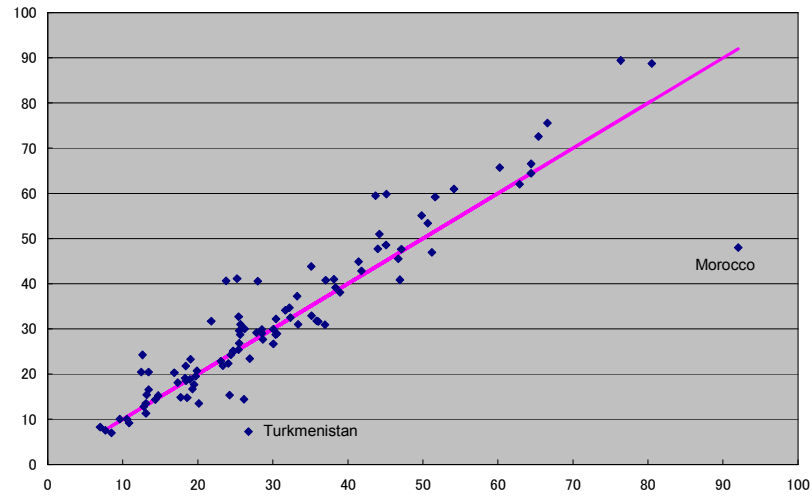


図 4-4. 米の単位収量の比較(単位:100kg/Ha)

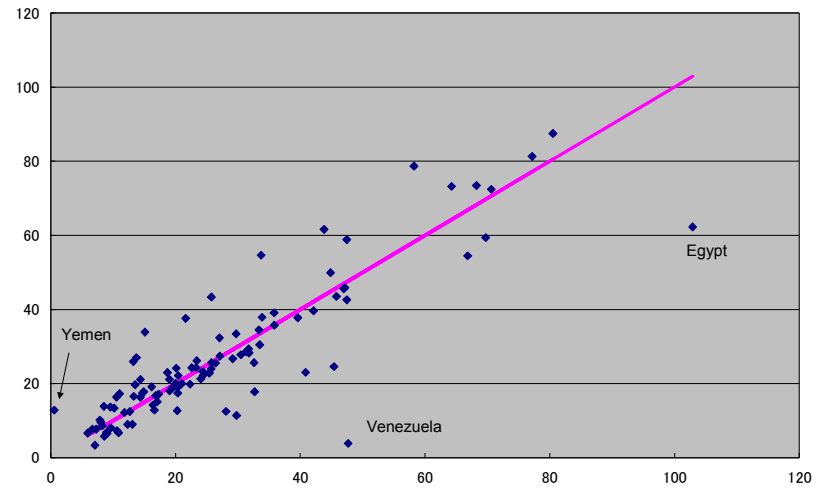


図 4-6. 小麦の単位収量の比較(単位:100kg/Ha)

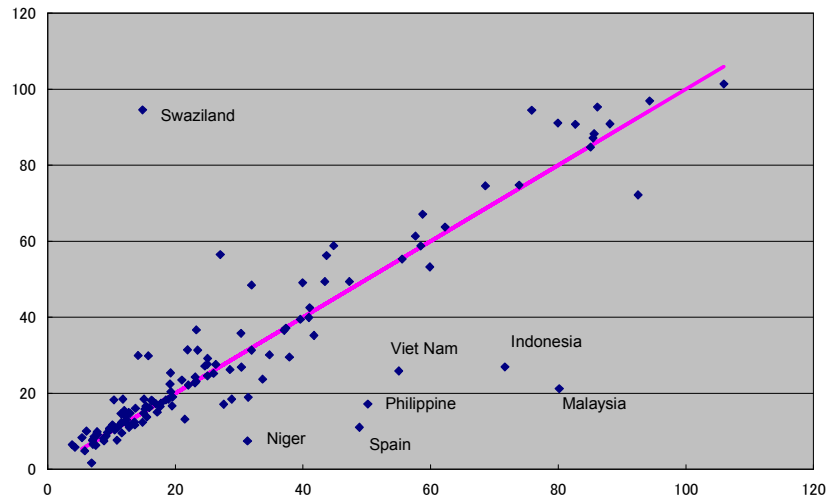


図 4-5. とうもろこしの単位収量の比較(単位:100kg/Ha)

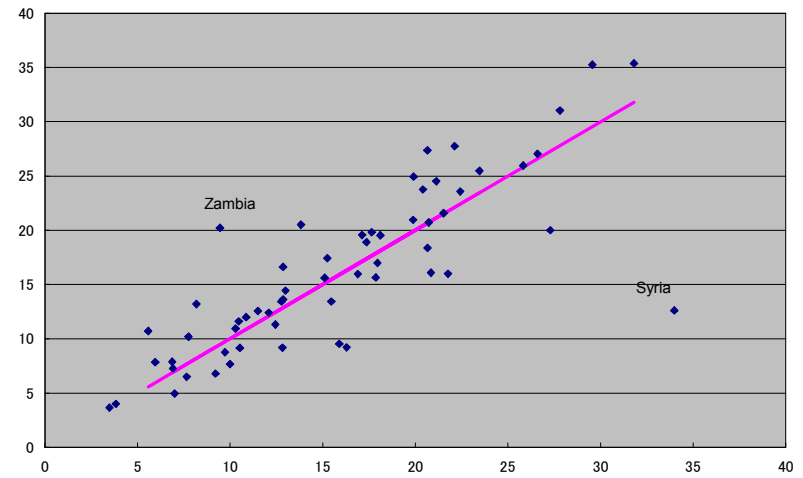


図 4-7. 大豆の単位収量の比較(単位:100kg/Ha)

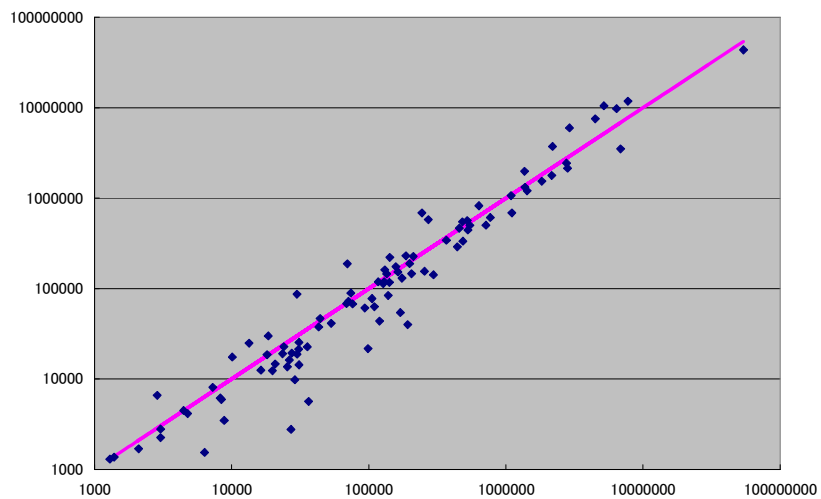


図 4-8. 米の耕地面積の比較(単位: Ha)

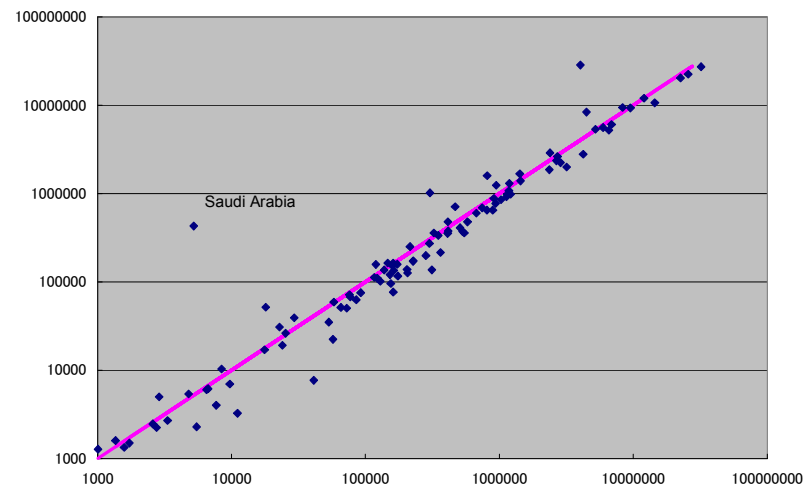


図 4-10. 小麦の耕地面積の比較(単位: Ha)

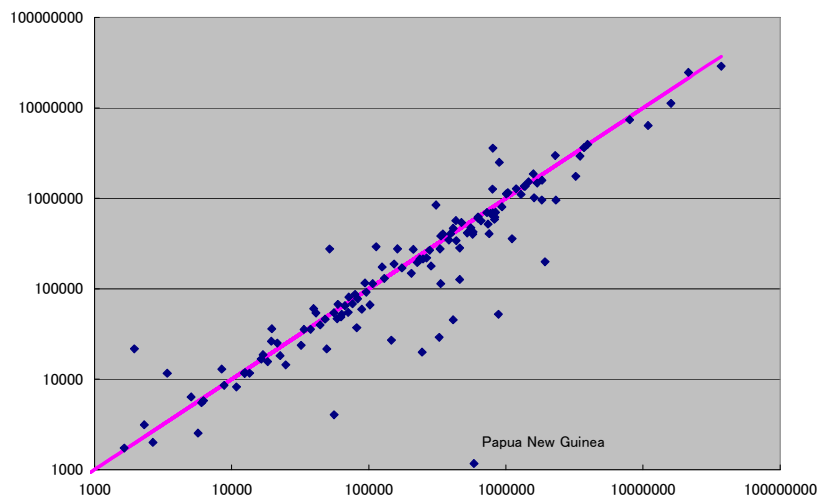


図 4-9. とうもろこしの耕地面積の比較(単位: Ha)

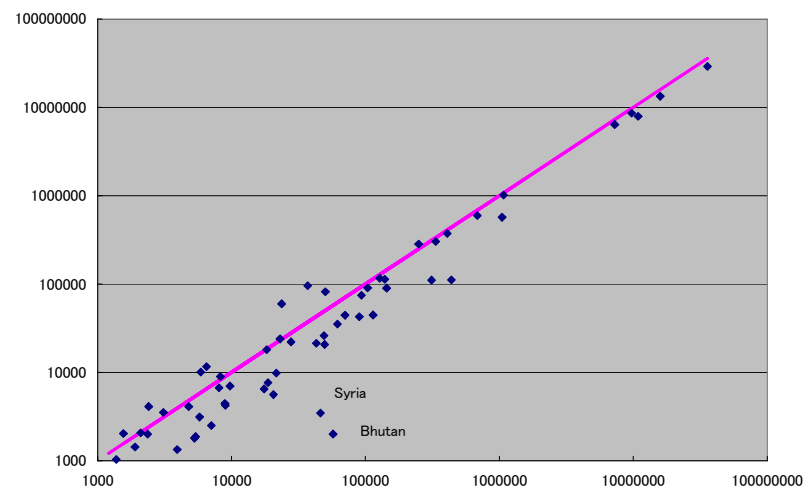


図 4-11. 大豆の耕地面積の比較(単位: Ha)

4.2.2. MODIS データとの比較

空間的に実際の値との整合性をみるために、2000 年における予測結果と MODIS による土地被覆データとの比較を行った。予測結果については 4 品目の耕地を合計したのを用い、MODIS のデータについてはボストン大学、”MODIS Land Cover and Land Cover Dynamics Products”を用いた。MODIS 画像は、TERRA/AQUA 衛星に搭載された MODIS 画像をもとにし、全球レベルでの土地被覆分類を作成したものである (Boston University, 2001)。

比較結果については図 4.2.2 に示している。MODIS、予測結果の両者について一致する部分はアメリカ中部、南米、インド、中国、欧州などである。しかし、アフリカではほとんど一致しておらず、南部にある耕地を捉えていない。また、MODIS データのみ存在し、予測結果にはない部分はカナダ中部、ロシアおよび東欧、中国東北部、オーストラリア西南部などである。特にロシア西部から東欧にかけては広い範囲で一致していない部分がある。逆に予測結果のみ存在する部分はアメリカ東部と南部、アフリカ中部にあり、ヨーロッパ、インド、中国、東南アジア等ではまばらに分布している。

ただし、MODIS によるデータは一時点のデータであり、分類や調整が不十分であるという意見もある。Giri *et al.*(2005)では、他の衛星による画像と比較した場合に、シベリア南部、サヘル地域、ブラジル、南豪、チベット高原の 5 地域については整合性が乏しいことが指摘されている。その理由として、同種の衛星画像を用いた場合でも、分類アプローチにより差異が生じているということ、各分類の定義が異なっていることが指摘されている。さらに、予測結果については 4 品目の耕地でしかないが、MODIS の場合は 4 品目以外の作物、例えばライ麦などの粗粒穀物についても含めているため、その範囲は大きくなると考えられる。

4.2.1.で国別の統計との比較を、本節では空間的な土地被覆との比較を行い、2 つの異なる方法によって比較を行ったが、その結果は現実をよく反映していることが明らかになった。これは統合モデルにおける挙動が現実に近いかたちで推移していることであり、モデルが現実との整合性があるということである。

LUCM simulation results in 2000

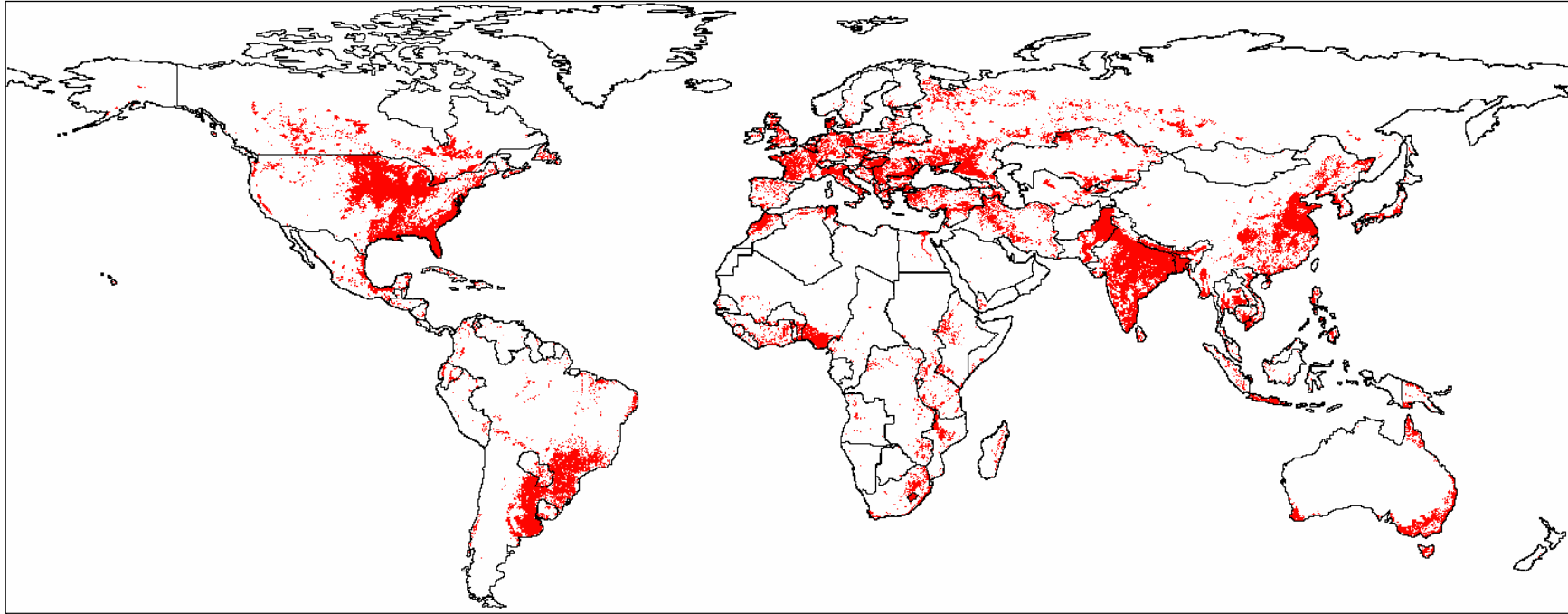
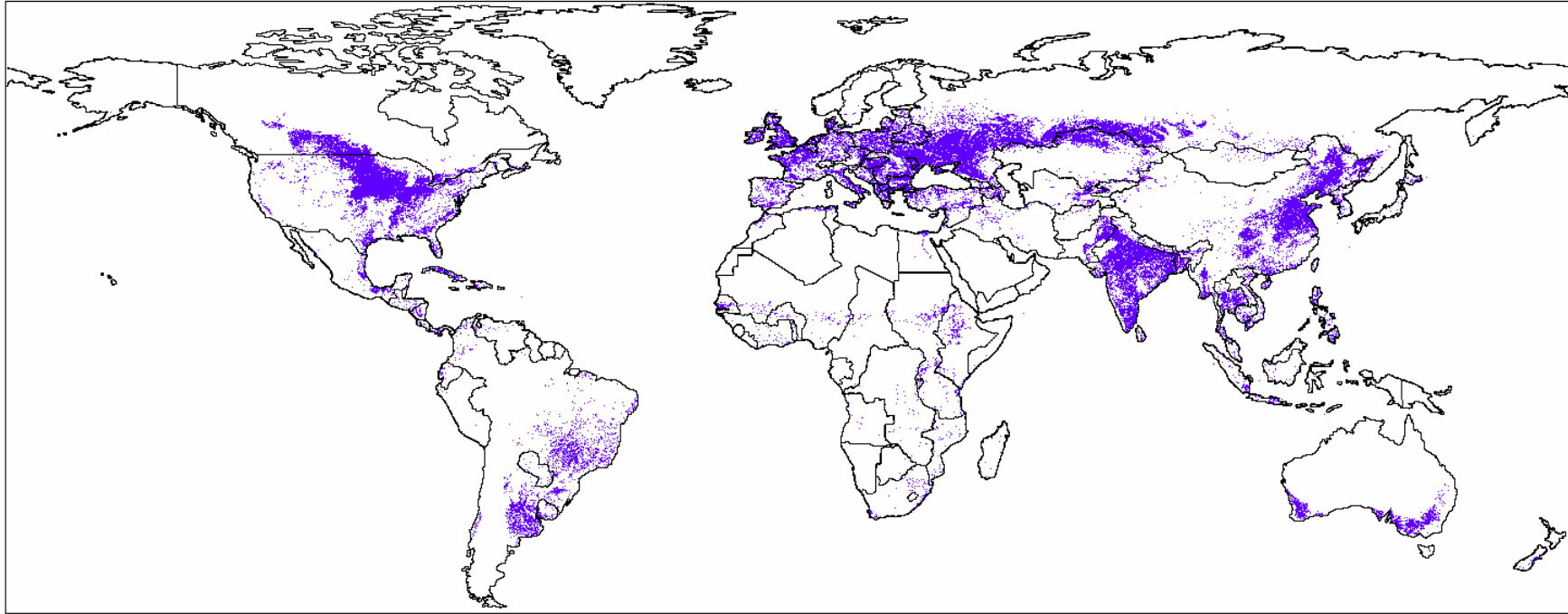


図 4-12. 予測結果における 4 品目合計の耕地分布 (2000 年)

MODIS Agricultural Land Use in 2000



出所) Boston University (2001)

図 4-13. MODIS による農耕地の空間分布



図 4-14. MODIS と予測結果の一致部分



図 4-15. 不一致部分 1 (予測結果のみ存在する部分)

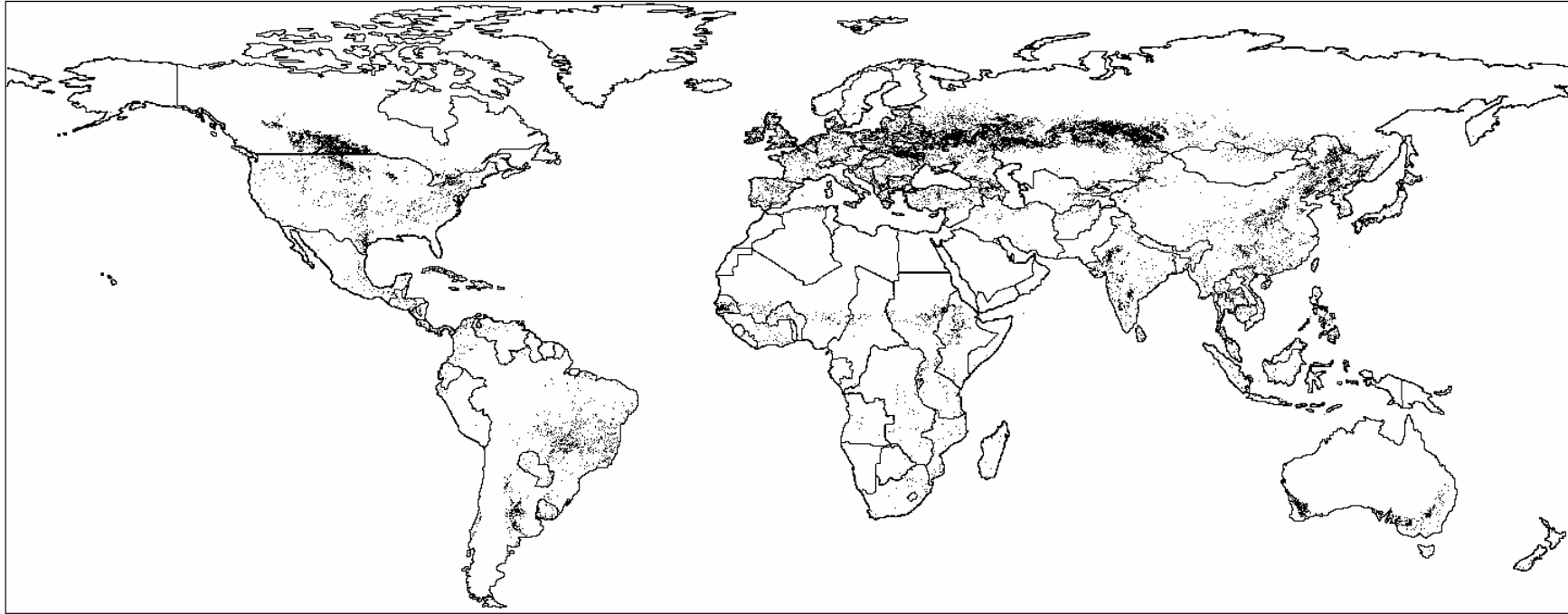


図 4-16. 不一致部分 2 (MODIS のみ存在する部分)

5. 予測結果の考察

5.1. 国際価格の変化

4.1.で設定したシナリオを用いて 2020 年までの予測を行った。まず、はじめに国際価格の変化について述べる。品目ごとの国際価格の推移について図 4-17 から図 4-20 に示している。

すべての品目において、かついずれのシナリオにおいても国際価格が上昇することが示された。米の国際価格は 2000 年まで低下するが、その後は上昇を続け、もっとも高くなる A1 シナリオでは 1995 年比の 180% 増となった。しかし、A2 シナリオの価格変化は著しく、経年するごとに変化幅が大きくなっており、2017 年から 2018 年にかけて 1995 年比の約 40% 上昇している。とうもろこしと小麦については米と同様に 2000 年までは低下するが、その後は上昇する。また、A2 シナリオは変化幅が大きくなっており、その変動は小麦の価格と連動している。これはとうもろこしと小麦の生産される地域が比較的同じようなところに存在するのではないかと考えられる。大豆については他の品目に比べて価格変化が安定している。特に 2010 年以降は変化率が、他の品目において安定していなかった A2 シナリオにおいてもそれほど大きくないが、2010 年以降はほぼ線形で上昇する。

価格が変動する理由であるが、米は東南アジアを中心に生産され、ほぼ同様の地域で消費される。そのため、貿易に出回る量が相対的に少なくなるために価格の調整幅が大きくなるのではないかと考えられる。

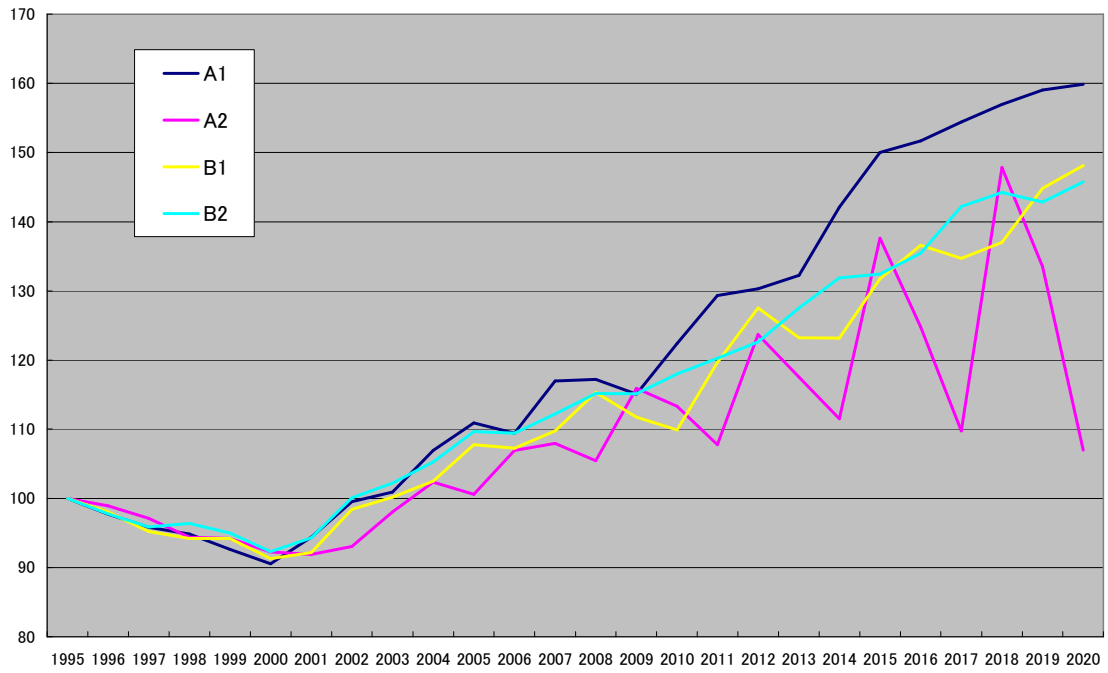


図 5-1. 米の国際価格の推移 (1995 年=100)

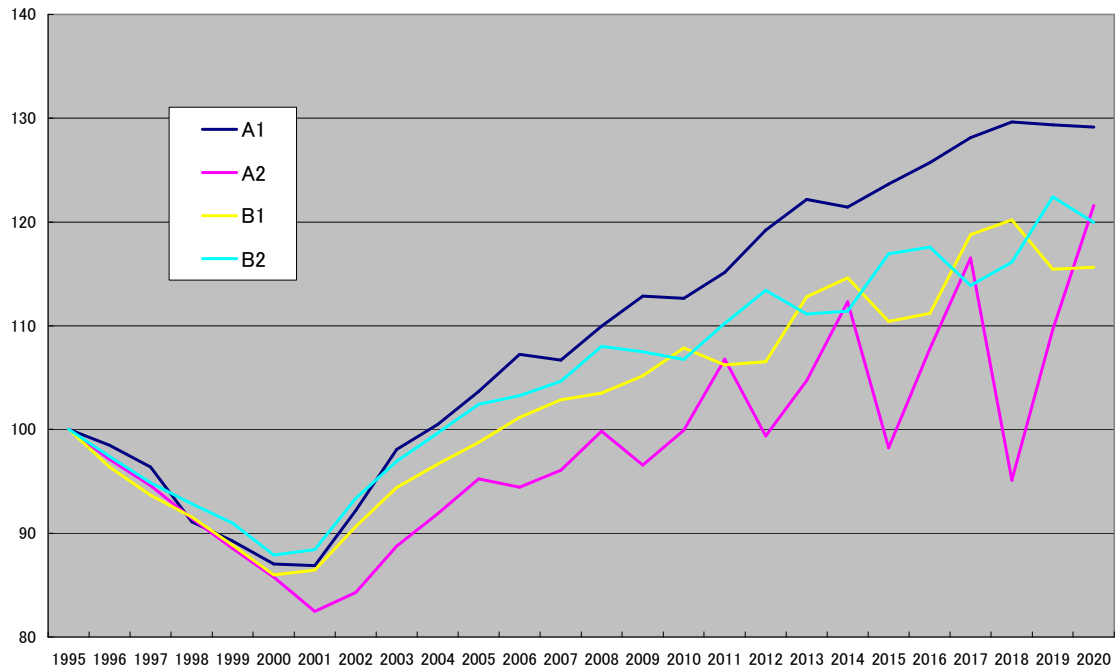


図 5-2. とうもろこしの国際価格の推移 (1995 年=100)

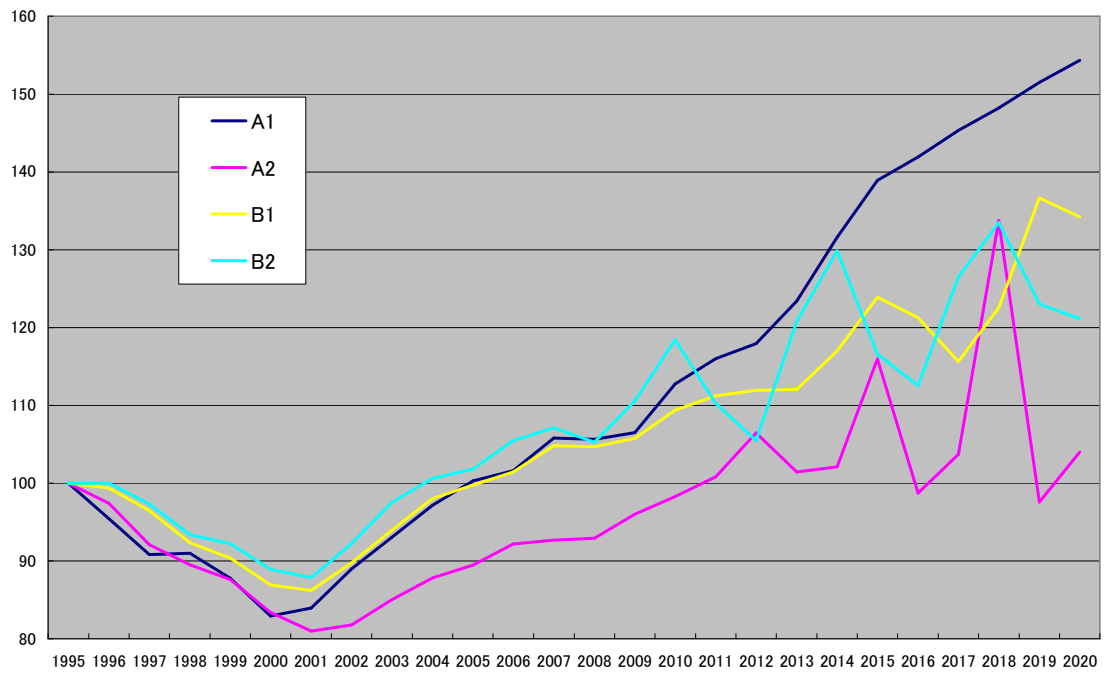


図 5-3. 小麦の国際価格の推移（1995 年=100）

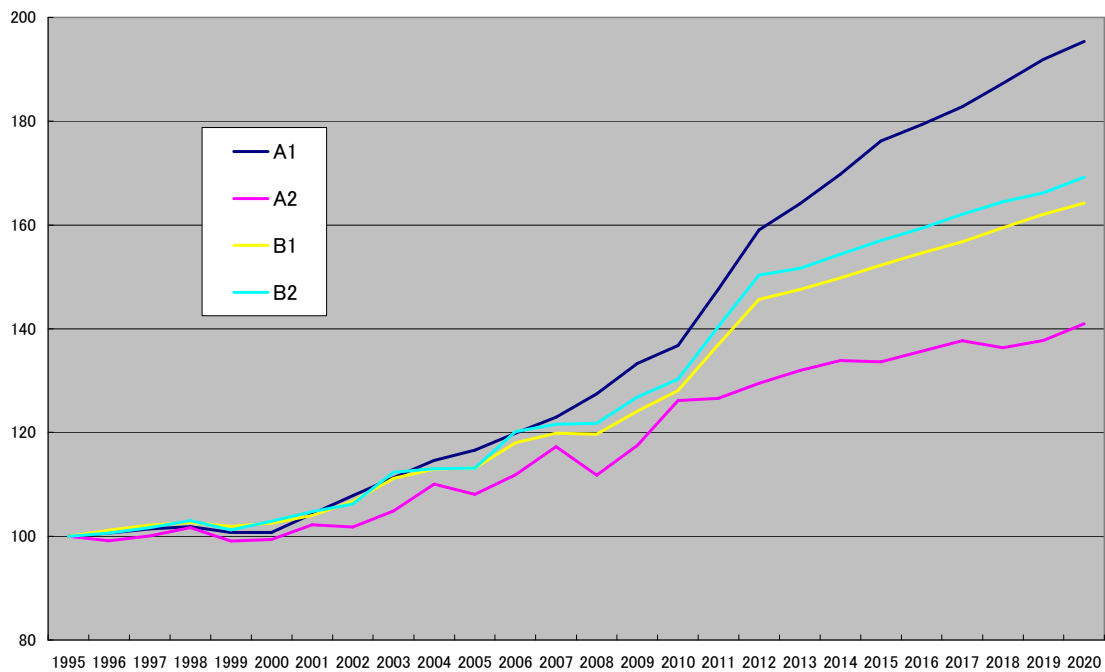


図 5-4. 大豆の国際価格の推移（1995 年=100）

5.2. 生産に与える単位収量の効果と耕地面積の効果

表 4-2 から表 4-5 は各シナリオにおいて生産量の変化を、単位収量、耕地面積の変化について分けて表したものである。いずれのシナリオ、および品目においても世界全体での生産量が増加しており、耕地拡大には制約があると考えている既存の研究の反論となっている。さらに大豆を除く品目においては耕地拡大が生産量増加の要因となっているが、大豆の場合は単位収量が増加要因である。シナリオごとに値の大小はあるものの、成長の方向はほぼ同じであり、モデルの整合性が取れている。なお、アメリカ、EC12 の小麦、EC12 のとうもろこし、アメリカ、EC12、日本の米の値が、シナリオを変化させてもあまり変わらないのは、各地域における不足支払い制度や、あるいは生産者価格保護によってある一定水準の価格が維持されているためである。

以下ではシナリオごとにその影響についてみる。

A1 シナリオにおいては、小麦の生産量はナイジェリアとパキスタンで減少する以外はすべての国において増加している。しかし、アメリカやブラジルでは耕地面積は減少し、単位収量の伸びによって生産が拡大している。とうもろこしでは小麦と比較して耕地面積の拡大による効果が、大きくなっている。東南アジアのバングラデシュやインドネシアは生産量が低下しており、単位収量の変化も負値か、低い値である。このことから、気候変動が東南アジアでの生産量を減少させる要因となると考えられる。米の場合、小麦と同様に耕地面積の増加が生産量増加の原因である。東欧や旧ソ連における増加率は年平均約 8% であり、これはもともとの生産量が少ないせいでもあるが、高緯度ほど生産が多くなるとみることができる。大豆ではアメリカの耕地面積減少分を単位収量の増加によりカバーしているように、単位収量の増加により生産量が伸びる。しかし、オーストラリアや東欧、パキスタンでは単位収量と耕地面積が減少している。

A2 シナリオでは世界合計で見ると A1 シナリオに比べて耕地面積の拡大による効果が小さくなっている。これは穀物の価格が A1 シナリオでは高価格で推移するのに比べると価格の上昇が低く、耕地拡大に及ぼす動機になりにくかったのではないかと考えられる。小麦においてはカナダ、旧ソ連、エジプト、韓国で大幅な生産増となっているが、エジプトと韓国は単位収量の増加が要因であり、カナダと旧ソ連は耕地面積の拡大が要因である。とうもろこしにおいては東南アジアにおいて生産量が減少しており、これはバングラデシュの場合は生産性の低下、それ以外の国では耕地の減少によるものである。A1 シナリオでは低下していたオーストラリアの単位収量による効果が負値から正值となったのは、耕地を拡大するより集約的に生産するようになったためではないかと考えられる。米でもっとも劇的な変化となっているのは東欧である。年率で 27% というやや非現実な伸びをしているが、それは耕地拡大によるものである。これは初期の耕地面積が小さいこともあるが拡大の速度が非常に劇的である。大豆における東欧の生産量は減少に転じているため、大豆から米への転作があったと考えられる。

B1 シナリオは A1 シナリオと同じ人口成長率で、経済成長率も似ているため、A1 シナリオとほぼ同じような結果が示されている。しかし、全体的に単位収量による増加分は小さくなっており、耕地面積による効果も同様である。B2 シナリオはほぼ A1 シナリオと A2 シナリオの中間程度の成長率となっている。

ここまで、各シナリオにおいて、地域ごとの変化分について考察してきたが、とうもろこしや米においては生産量の増加率が年率 10%を超える地域が存在しており、それは耕地面積の拡大によるものであることがわかった。こうした現象はもともとの値が小さいために変化分が大きくなってしまうこともあるが、過去の趨勢から考えるとやや非現実的なものである。したがってこのことはモデルにおけるパラメータを修正する必要を示唆していると考えられる。

図 4-22 は価格変化が比較的安定している A1 シナリオにおいて、1995 年と 2020 年の土地利用変化を表したものである。また、図 4-23 は各品目において耕地が拡大した部分のみを抽出したものである。この図によれば、米の耕地面積はアメリカ中部、ブラジル、インド西南部、東南アジア、中国東部で拡大していることがわかる。とうもろこしでは米と似た地域で増加しているほか、メキシコやアフリカのサヘル地域、インド東部などで拡大している。小麦はほかの品目と比べて異なる地域で拡大しており、その地域はオーストラリアやインドから中東にかけての地域、ロシアから欧州にかけての地域である。どちらかといえば高緯度の地域が該当するため、気候変化によって拡大可能になったと考えられる。大豆の場合はそれほど多くの点で増加はしておらず、拡大した地域としてはアメリカ東部、中国南部、ブラジルなどが該当する。この図では 4 品目すべてで耕地拡大の可能性を示唆している。

表 5-1. A1 シナリオにおける年平均成長率

(単位：%)

	小麦			とうもろこし			米			大豆		
	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積
1 USA	0.35	0.60	-0.23	1.99	0.84	0.98	4.02	1.08	2.41	0.08	0.11	-0.03
2 EC12	0.86	0.48	0.35	0.40	0.09	0.32	1.69	0.40	1.19	1.77	-0.62	2.73
3 Japan	0.82	0.43	0.36				0.42	0.50	-0.08	4.06	0.41	3.39
4 OWEuro	3.40	0.26	3.00	3.59	0.43	2.91				10.26	2.36	5.34
5 Canada	4.33	0.80	3.05	4.48	1.40	2.41				3.76	1.45	1.80
6 Australia	1.19	0.31	0.84	3.27	-0.19	3.59	8.84	0.21	8.32	-1.78	-0.56	-1.38
7 NZ	4.32	0.31	3.78	1.18	-0.77	2.31						
8 ODPed	2.31	1.06	1.03	3.07	1.60	1.12	8.24	1.61	5.01	1.09	0.64	0.40
9 EEuro	0.76	0.79	-0.03	4.82	1.05	3.12	5.57	1.45	3.17	-3.91	-0.45	-3.80
10 USSR	2.76	0.64	1.89	9.49	0.95	7.17	6.67	0.24	6.14	3.96	1.08	2.37
11 Mexico	5.14	2.56	1.71	3.58	1.36	1.75	8.31	1.03	6.03	-0.14	0.69	-0.73
12 Brazil	0.12	0.53	-0.38	1.18	0.23	0.91	5.53	0.15	5.24	0.40	0.08	0.31
13 Argentina	4.42	0.94	2.93	3.04	0.19	2.75	-2.58	-0.37	-2.39	0.72	0.48	0.23
14 OLAmer	5.61	0.95	3.92	3.87	0.46	3.12	4.25	0.19	3.92	1.64	0.12	1.49
15 Nigeria	-4.27	0.64	-4.35	4.75	1.71	2.27	-0.16	0.95	-0.93	-2.38	0.36	-2.55
16 OthAfrica	0.65	0.40	0.24	5.23	1.23	3.22	4.71	0.06	4.59	5.98	2.27	2.56
17 Egypt	5.95	4.74	0.62	1.04	1.09	-0.04	0.28	0.41	-0.12			
18 ONEast	2.17	1.30	0.69	3.65	0.95	2.26	1.13	1.11	0.01	1.14	0.64	0.46
19 India	2.37	1.25	0.90	1.56	0.72	0.74	2.30	0.46	1.69	0.68	3.73	-1.75
20 Pakistan	-0.53	0.49	-0.93	2.39	0.50	1.73	2.12	1.30	0.66	-2.51	-0.66	-2.13
21 Bangladesh				-2.18	-0.78	-1.65	0.53	0.41	0.12			
22 Indonesia				-1.31	0.38	-1.56	3.13	0.56	2.32			
23 Thailand				0.34	0.59	-0.22	2.05	0.46	1.46			
24 Malaysia				-1.72	-0.04	-1.70	3.07	0.17	2.81			
25 Philippine				-1.43	0.30	-1.63	1.96	0.10	1.82			
26 China	3.15	1.01	1.79	1.14	0.64	0.44	1.03	0.32	0.67	0.78	0.52	0.23
27 Korea	5.24	3.86	0.78	0.96	0.68	0.25	0.58	0.41	0.16	2.87	0.76	1.84
28 OFEast	2.22	0.30	1.82	-0.61	0.20	-0.78	2.06	0.24	1.75	0.81	0.83	-0.01
29 ODPing				-0.59	1.11	-1.39	2.11	0.29	1.73			
World	2.11	1.29	1.14	2.15	0.71	1.47	1.93	0.53	1.66	0.64	0.81	0.18

表 5-2. A2 シナリオにおける年平均成長率

(単位：%)

	小麦			とうもろこし			米			大豆		
	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積
1 USA	0.46	0.60	-0.13	1.79	0.88	0.77	4.20	1.09	2.54	0.17	0.13	0.04
2 EC12	0.86	0.48	0.36	0.41	0.09	0.32	1.69	0.40	1.19	1.58	-0.61	2.48
3 Japan	0.86	0.43	0.40				0.45	0.50	-0.04	3.04	0.46	2.37
4 OWEuro	1.73	0.36	1.28	2.98	0.48	2.29				5.66	2.28	2.32
5 Canada	3.25	0.85	2.05	3.38	1.50	1.45				4.04	1.43	2.03
6 Australia	0.93	0.37	0.52	1.49	0.19	1.30	8.31	0.23	7.75	-1.08	-0.49	-0.65
7 NZ	2.49	0.39	1.95	0.18	-0.82	1.18						
8 ODPed	2.02	1.08	0.78	2.90	1.66	0.94	7.70	3.19	2.69	1.79	0.70	0.96
9 EEuro	1.04	0.88	0.14	3.37	1.14	1.83	27.26	1.34	19.90	-3.32	-0.25	-3.23
10 USSR	2.24	0.73	1.31	5.41	0.93	3.79	5.89	0.29	5.28	4.00	1.04	2.45
11 Mexico	3.79	2.42	0.91	3.12	1.42	1.33	8.33	0.93	6.21	0.69	0.59	0.09
12 Brazil	0.29	0.63	-0.31	0.78	0.32	0.44	4.09	0.26	3.67	0.71	0.11	0.59
13 Argentina	3.65	1.01	2.18	2.32	0.37	1.85	-1.40	-0.30	-1.17	0.87	0.48	0.36
14 OLAmer	3.49	0.87	2.24	2.24	0.57	1.52	4.11	0.29	3.64	1.56	0.16	1.36
15 Nigeria	-2.97	0.61	-3.20	3.73	1.76	1.47	0.72	0.97	-0.24	-1.48	0.35	-1.71
16 OthAfrica	0.56	0.39	0.16	3.80	1.44	1.84	4.03	0.22	3.66	5.96	2.16	2.65
17 Egypt	5.97	4.74	0.63	0.31	0.75	-0.38	0.40	0.38	-0.09			
18 ONEast	2.01	1.37	0.50	2.51	0.89	1.37	1.18	1.05	0.11	1.92	0.76	1.03
19 India	1.92	1.24	0.55	0.75	0.71	0.04	2.24	0.50	1.59	1.41	3.80	-1.36
20 Pakistan	-0.06	0.65	-0.64	1.47	0.55	0.83	2.32	1.27	0.83	-1.43	0.05	-1.48
21 Bangladesh				-1.52	-0.71	-0.94	0.51	0.43	0.08			
22 Indonesia				-1.23	0.42	-1.52	2.52	0.61	1.71			
23 Thailand				0.21	0.61	-0.35	1.82	0.48	1.22			
24 Malaysia				-1.96	0.17	-2.06	2.16	0.26	1.81			
25 Philippine				-1.08	0.38	-1.36	1.53	0.16	1.33			
26 China	2.50	1.02	1.24	0.89	0.68	0.19	1.07	0.41	0.61	1.03	0.54	0.21
27 Korea	4.13	3.86	0.15	0.84	0.67	0.15	0.56	0.44	0.12	2.21	0.77	1.41
28 OFEast	1.58	0.46	1.03	-0.38	0.36	-0.69	1.85	0.29	1.47	1.19	0.82	-0.02
29 ODPing				-0.57	0.97	-1.29	1.59	0.31	1.21			
World	1.77	1.32	0.79	1.66	0.54	0.84	1.80	0.62	1.42	0.58	0.60	0.22

表 5-3. B1 シナリオにおける年平均成長率

(単位：%)

	小麦			とうもろこし			米			大豆		
	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積
1 USA	0.46	0.60	-0.13	1.79	0.88	0.78	4.20	1.09	2.54	0.15	0.13	0.01
2 EC12	0.86	0.48	0.36	0.41	0.09	0.32	1.68	0.40	1.19	1.52	-0.61	2.42
3 Japan	0.87	0.43	0.41				0.44	0.50	-0.05	3.58	0.42	2.92
4 OWEuro	1.90	0.36	1.44	3.56	0.44	2.87				7.53	2.35	3.52
5 Canada	3.90	0.82	2.66	4.02	1.43	2.02				3.77	1.46	1.79
6 Australia	1.19	0.32	0.82	1.57	0.03	1.55	7.02	0.24	6.52	-1.88	-0.60	-1.45
7 NZ	2.56	0.38	2.03	0.94	-0.77	2.01						
8 ODPed	1.90	1.08	0.68	2.97	1.63	1.01	14.50	1.85	9.23	2.09	0.63	1.29
9 EEuro	0.70	0.82	-0.11	4.44	1.06	2.79	3.81	1.52	1.77	-3.72	-0.44	-3.59
10 USSR	2.84	0.72	1.85	6.89	0.98	4.94	5.29	0.24	4.82	3.89	1.05	2.34
11 Mexico	4.50	2.51	1.32	3.38	1.39	1.56	7.84	1.04	5.63	-0.04	0.66	-0.61
12 Brazil	-0.11	0.59	-0.62	0.99	0.27	0.69	4.84	0.19	4.49	0.42	0.10	0.32
13 Argentina	4.41	0.94	2.92	2.93	0.22	2.61	-2.95	-0.32	-2.81	0.66	0.48	0.16
14 OLAmer	4.81	0.96	3.23	3.38	0.50	2.63	3.61	0.25	3.21	1.45	0.13	1.29
15 Nigeria	-4.12	0.78	-4.24	5.19	1.71	2.59	-1.10	0.93	-1.72	-2.27	0.37	-2.45
16 OthAfrica	0.57	0.39	0.17	4.80	1.28	2.81	4.10	0.15	3.84	5.71	2.27	2.37
17 Egypt	6.21	4.90	0.67	0.79	1.03	-0.20	0.31	0.40	-0.09			
18 ONEast	2.09	1.33	0.60	3.33	0.94	2.01	0.98	1.02	-0.03	1.11	0.62	0.45
19 India	2.01	1.25	0.61	1.51	0.73	0.69	2.21	0.49	1.57	1.15	3.78	-1.50
20 Pakistan	-0.39	0.55	-0.85	2.08	0.51	1.44	2.11	1.30	0.64	-1.64	0.09	-1.70
21 Bangladesh				-1.61	-0.58	-1.17	0.52	0.42	0.09			
22 Indonesia				-1.49	0.46	-1.78	2.86	0.58	2.05			
23 Thailand				0.03	0.60	-0.51	1.89	0.47	1.30			
24 Malaysia				-2.58	0.19	-2.67	2.59	0.22	2.28			
25 Philippine				-1.37	0.36	-1.61	1.73	0.13	1.56			
26 China	2.82	1.04	1.47	1.06	0.65	0.36	1.03	0.36	0.63	0.77	0.54	0.21
27 Korea	4.40	3.86	0.30	1.07	0.68	0.35	0.57	0.43	0.14	2.40	0.77	1.41
28 OFEast	1.90	0.40	1.39	-0.51	0.28	-0.74	1.92	0.27	1.58	0.80	0.82	-0.02
29 ODPing				-0.18	0.86	-0.89	1.75	0.31	1.36			
World	1.97	1.33	1.01	1.90	0.54	1.20	1.80	0.52	1.48	0.44	0.58	0.08

表 5-4. B2 シナリオにおける年平均成長率

(単位：%)

	小麦			とうもろこし			米			大豆		
	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積	生産量	単収	耕地面積
1 USA	0.45	0.60	-0.13	1.83	0.87	0.82	4.18	1.09	2.53	0.10	0.13	-0.03
2 EC12	0.86	0.48	0.36	0.41	0.09	0.32	1.70	0.40	1.21	1.39	-0.62	2.28
3 Japan	0.87	0.43	0.41				0.44	0.50	-0.05	3.58	0.42	2.92
4 OWEuro	2.00	0.34	1.55	3.36	0.46	2.67				8.33	2.39	4.01
5 Canada	3.89	0.82	2.65	3.92	1.43	1.94				3.79	1.45	1.81
6 Australia	1.15	0.32	0.78	1.44	0.05	1.38	6.59	0.24	6.11	-1.74	-0.59	-1.30
7 NZ	2.86	0.36	2.34	0.73	-0.76	1.75						
8 ODPed	2.02	1.08	0.78	2.94	1.63	0.99	14.50	1.85	9.23	1.88	0.67	1.07
9 EEuro	0.80	0.82	-0.01	4.29	1.07	2.66	3.25	1.42	1.41	-3.68	-0.42	-3.56
10 USSR	2.81	0.72	1.82	7.22	1.00	5.19	4.76	0.23	4.36	3.88	1.05	2.34
11 Mexico	4.82	2.51	1.53	3.37	1.39	1.55	7.00	1.06	4.89	-0.07	0.67	-0.65
12 Brazil	-0.05	0.59	-0.57	0.97	0.27	0.67	4.69	0.20	4.34	0.40	0.10	0.30
13 Argentina	4.21	0.96	2.73	2.95	0.22	2.62	-3.02	-0.32	-2.88	0.64	0.48	0.15
14 OLAmer	4.83	0.94	3.28	3.29	0.50	2.54	3.46	0.25	3.06	1.39	0.13	1.22
15 Nigeria	-4.21	0.72	-4.31	4.82	1.70	2.33	-0.65	0.95	-1.34	-2.43	0.37	-2.61
16 OthAfrica	0.60	0.40	0.19	4.76	1.29	2.76	4.03	0.15	3.76	5.70	2.29	2.34
17 Egypt	6.23	4.89	0.68	0.76	1.01	-0.21	0.30	0.40	-0.09			
18 ONEast	2.12	1.33	0.63	3.20	0.95	1.89	0.92	1.03	-0.09	1.03	0.69	0.31
19 India	2.15	1.24	0.73	1.40	0.73	0.60	2.16	0.50	1.52	1.10	3.79	-1.53
20 Pakistan	-0.29	0.59	-0.79	1.97	0.51	1.33	2.06	1.31	0.60	-1.86	-0.11	-1.81
21 Bangladesh				-1.60	-0.62	-1.12	0.52	0.42	0.09			
22 Indonesia				-1.59	0.42	-1.86	2.82	0.58	2.01			
23 Thailand				0.12	0.61	-0.44	1.83	0.48	1.23			
24 Malaysia				-2.40	0.13	-2.47	2.63	0.20	2.33			
25 Philippine				-1.34	0.36	-1.59	1.70	0.14	1.52			
26 China	2.89	1.04	1.54	1.05	0.66	0.35	1.02	0.37	0.61	0.76	0.53	0.20
27 Korea	4.48	3.86	0.35	1.06	0.66	0.36	0.58	0.42	0.15	2.40	0.75	1.44
28 OFEast	1.98	0.40	1.47	-0.52	0.28	-0.76	1.89	0.27	1.54	0.79	0.81	-0.02
29 ODPing				-0.25	0.92	-0.99	1.70	0.31	1.31			
World	2.01	1.32	1.03	1.91	0.54	1.19	1.77	0.52	1.43	0.42	0.59	0.06

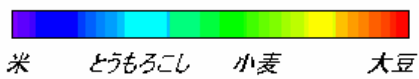
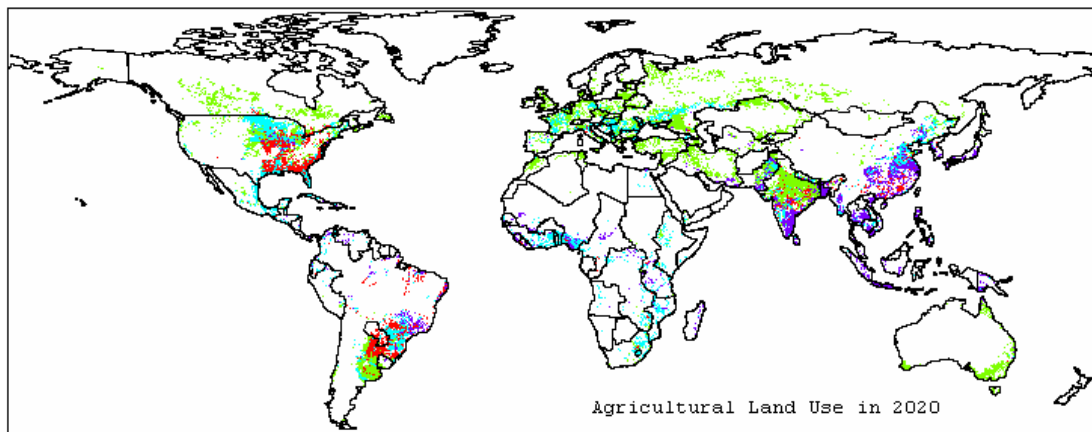
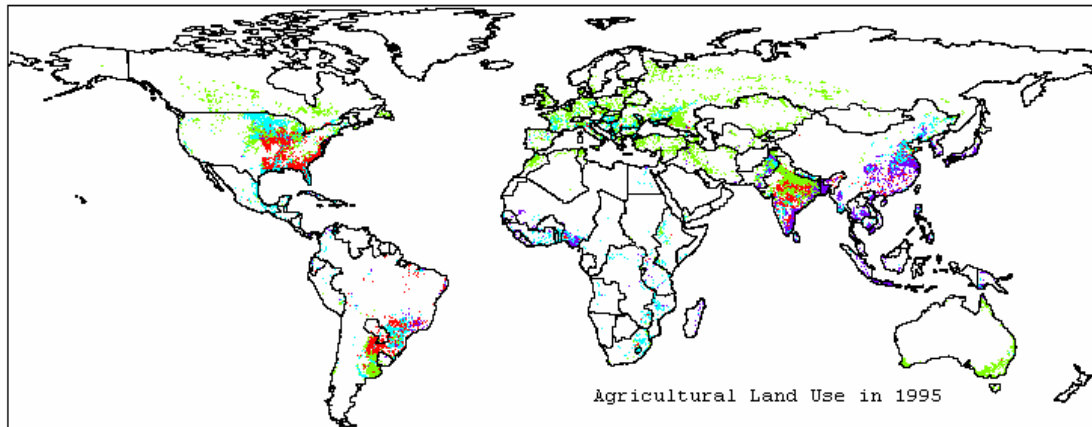


図 5-5. 1995 年（上）と 2020 年（下）における 4 品目の耕地の分布
[A1 シナリオ]

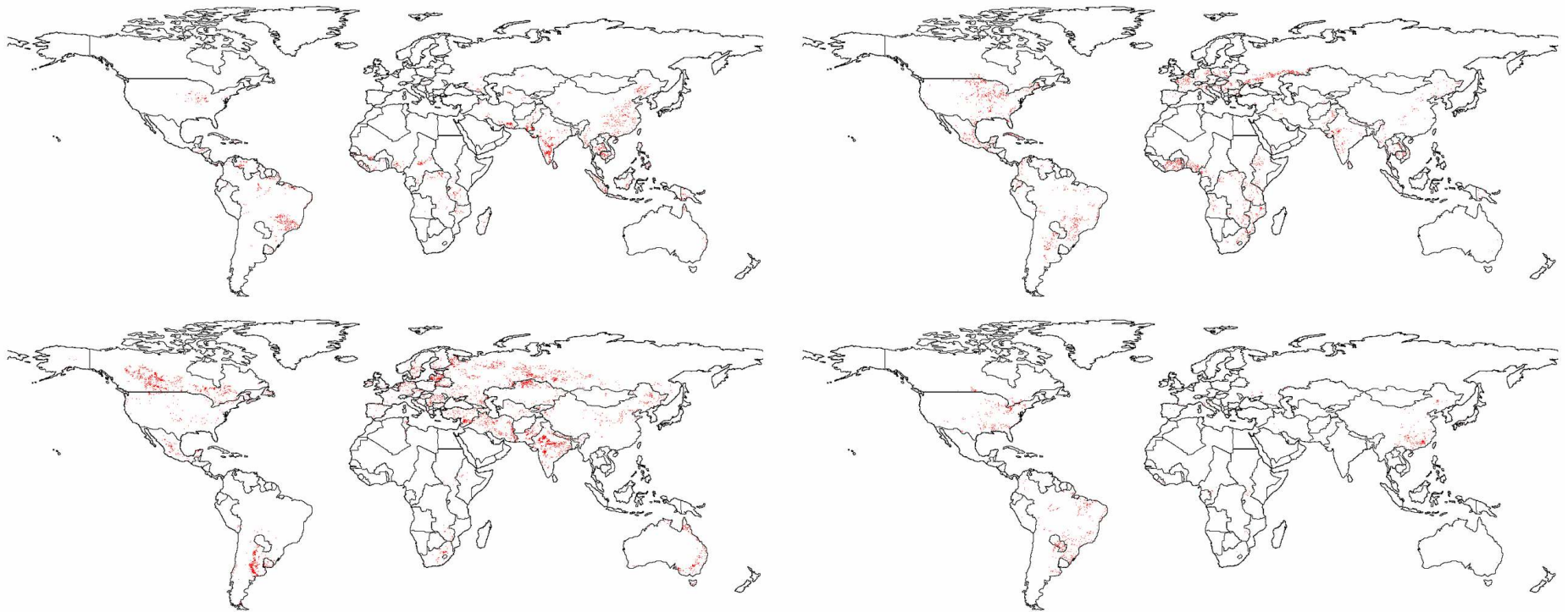


図 5-6. A1 シナリオにおいて 1995 年から 2020 年にかけて増加した耕地の分布
 (左上 : 米、右上 : とうもろこし、左下 : 小麦、右下 : 大豆)

5.3. 空間モデルとの統合しない場合との比較

空間モデルとの統合を行わずに、IFPSIMのみを用いて予測を行った結果と、統合した結果との比較を行った。表 4-6 は統合前と統合後における価格上昇率を表したものである。

IFPSIMのみで所領需給予測を行う場合、経済成長率が比較的高く設定されている A1 シナリオにおけるとうもろこしの 1988-1990 年の平均価格比 126 が、価格上昇としては最大であり、A2 シナリオでは小麦、米については 100 を下回っており、価格が低下すると考えられている。しかし、空間モデルとの統合を行った場合にはとうもろこしを除いて 10 から 80 程度上昇している。特に、米と大豆については 30 から 80 程度の上昇であり、このことは米と大豆については定率で単位収量成長率を与える場合に比べ、土地の利用可能性と気候変動を考慮すると、生産量が減少することであると考えられる。とうもろこしの場合には他の 3 品目と異なり、統合後の価格上昇はそれほど大きくなく、A2 を除く 3 シナリオでは統合前に比べ低下している。

以上のことから、とうもろこしの生産可能性について経済モデルは過少評価しており、資源の制約をそれほど受けないのではないかと考えられる。しかし、それ以外の米、小麦、大豆については環境の制約が大きく影響している。IFPSIM では単位収量の変化率を一定の数値に設定しているため、ある程度は単位収量の増加することで生産量が増加するようになっている⁵。したがって、3 品目については、資源制約によって生産量の減少が表れると考えられる。

⁵ IFPSIM では過去の単位収量の変化分を参考にして、単位収量の成長率を決定している。しかし、モデル製作者の大賀氏は、「過去の傾向値が同じ伸び率で今後、長期間にわたって続くとみることには疑問である」と述べている（大賀、1998. 105 ページ）。

表 5-5. 統合による価格上昇率の変化

シナリオ	品目	統合前			統合後			統合による 増加比率
		1988-1990年 平均(A)	2018-2020年 平均(B)	価格比 (B)/(A)	1988-1990年 平均(C)	2018-2020年 平均(D)	価格比 (C)/(D)	
A1	小麦	97	119	122	97	146	150	28
	とうもろこし	95	120	126	95	116	123	-4
	米	213	222	104	213	334	157	53
	大豆	214	247	115	214	411	192	77
A2	小麦	97	90	93	97	106	109	16
	とうもろこし	95	96	101	95	97	103	2
	米	213	201	95	213	267	126	31
	大豆	214	222	104	214	300	140	36
B1	小麦	97	107	110	97	123	126	16
	とうもろこし	95	111	117	95	107	113	-4
	米	213	216	102	213	310	146	44
	大豆	214	233	109	214	348	162	54
B2	小麦	97	110	113	97	119	122	9
	とうもろこし	95	116	123	95	111	117	-5
	米	213	215	101	213	313	147	46
	大豆	214	242	113	214	366	171	58

5.4. 予測結果のまとめと今後の課題

統合モデルを用いて将来の食料需給予測を行った結果、4品目すべてについて将来的には価格が上昇することが示された。また、大豆の価格変化は比較的安定しているものの、シナリオによっては2010年以降に価格の変動幅が大きくなった。このことから、モデルの修正が必要であると考えられる。

また、生産量の変化が単位収量と耕地面積のどちらの効果によるものかを比較したところ、単位収量の伸びだけでなく、耕地拡大による生産量の増加が示された。これは耕地拡大の資源制約があまりないということであるが、地域によって減少するところもあり、土地の利用可能性が示された。

次に、IFPSIMのみを統合を行わない場合との比較を行った。その場合、とうもろこしに関しては統合することによって価格が低下しており、その生産可能性が経済モデルよりも反映された結果となった。しかし、他の品目では価格は高くなり、資源制約が生産量の増加をそぐ結果となった。

以上から、経済モデルと空間モデルを統合させることによって資源制約を導入した食料需給予測を行うことができた。しかし、シナリオによってはモデルの挙動が不安定となる場合があり、修正を行う必要がある。

今後の課題として、まず、経済モデルにおいても土地利用選択モデルにおいても、価格に対する弾力性や需要の所得弾力性などのパラメータを時系列方向への拡張することが必要である。例えば、Ito *et al.*(1989)ではアジアにおける米はすでに劣等財であることを示しており、エンゲル係数に代表されるように所得が上昇するほどに食料需要は増加しない。したがって、需要関数における弾力性値も所得の増加によって逡減させる必要がある。また、土地利用選択モデルは一時点による推計であるために、選好の変化は考慮していない。

また、本研究では土地利用を決定する際に穀物の生産性と価格を用いているが、耕作地の土地利用決定は農業部門だけではなく、その他都市や森林といった用途と競合するため、農業以外の他の部門を含んだモデルとの統合を行わなければならない。特に、農地と土地利用の面において競合する森林は、京都議定書採択以降、二酸化炭素の吸収源であるために重要性が増している。したがって、林業モデルとの統合により、森林伐採と炭素税とのトレードオフに加えて、土地利用における森林と農地との選択について考えることができるのではないか。McCarl (2004)は農業と林業を扱う経済モデルがFASOM (Forest and Agricultural Sector Optimization Model)として構築されており、同様に森林部門を扱うモデルとの統合をする必要がある。

さらに、近年、バイオエタノールの需要が増加しており、エネルギーとしての穀物需要量が増加している。その影響は他の穀物の価格に波及することが考えられ、需要部分にエネルギー向けを導入することは十分に意義のあることである。今回のモデルにおいては灌

漑施設や肥料投入については技術進歩として一定の比率を考えていたが、穀物の価格が上昇すればそれは投機であるために投資が増えることは十分に考えられる。今後は価格の変化によって、資本投入が増加し、それによって生産性の伸びが変化するというロジックを新たに加えていく必要がある。

以上を今後の課題とし、詳細なモデルの構築を行いたいと考えている。

付表1. IFPSIMにおける地域区分

1	USA	United States of America
2	EC12	Belgium, Belgium-Luxembourg, Denmark, France, Germany, Germany, Federal Rep, Germany, New Lander, Greece, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Portugal, Spain, United Kingdom
3	Japan	Japan
4	OWEuro	Andorra, Austria, Channel Islands, Faeroe Islands, Finland, Gibraltar, Holy See, Iceland, Isle of Man, Liechtenstein, Malta, Monaco, Norway, San Marino, Svalbard and Jan Mayen, Sweden, Switzerland
5	Canada	Canada
6	Australia	Australia
7	NZ	New Zealand
8	ODPed	Israel, South Africa
9	EEuro	Albania, Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Czech Rep, Czechoslovakia, Hungary, Macedonia The Fmr Yug Rp, Poland, Romania, Serbia and Montenegro, Slovakia, Slovenia, Yugoslavia SFR
10	USSR	Armenia, Azerbaijan, Rep of, Belarus, Estonia, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, Moldova Rep of, Russian Federation, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan
11	Mexico	Mexico
12	Brazil	Brazil
13	Argentina	Argentina
14	OthLatin	Anguilla, Antigua and Barbuda, Aruba, Bahamas, Barbados, Belize, Bolivia, British Virgin Islands, Cayman Islands, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominica, Dominican Rep, Ecuador, El Salvador, Falkland Is (Malvinas), French Guiana, Grenada, Guadeloupe, Guatemala, Guyana, Haiti, Honduras, Jamaica, Martinique, Montserrat, Netherlands Antilles, Nicaragua, Panama, Paraguay, Peru, Puerto Rico, Saint Kitts and Nevis, Saint Lucia, Saint Vincent/Grenadines, SouthGeorgia/Sandwich Is, Suriname, Trinidad and Tobago, Turks and Caicos Is, Uruguay, US Virgin Islands, Venezuela Bolivar Rep of
15	Nigeria	Nigeria
16	OAfrica	Algeria, Angola, Benin, Botswana, British Indian Ocean Ter, Burkina Faso, Burundi, Cameroon, Cape Verde, Central African Rep, Chad, Comoros, Congo Dem Rep of, Congo Rep of, Côte d'Ivoire, Djibouti, Equatorial Guinea, Eritrea, Ethiopia, Ethiopia PDR, Gabon, Gambia, Ghana, Guinea, Guinea-Bissau, Kenya, Lesotho, Liberia, Libyan Arab, Madagascar, Malawi, Mali, Mauritania, Mauritius, Mayotte, Morocco, Mozambique, Namibia, Niger, Réunion, Rwanda, Saint Helena, Sao Tome and Principe, Senegal, Seychelles, Sierra Leone, Somalia, Sudan, Swaziland, Tanzania United Rep of, Togo, Tunisia, Uganda, Western Sahara, Zambia, Zimbabwe
17	Egypt	Egypt
18	ONEAST	Afghanistan, Bahrain, Cyprus, Gaza Strip (Palestine), Iran Islamic Rep of, Iraq, Jordan, Kuwait, Lebanon, Neutral Zone, Oman, Palestine Occupied Tr., Qatar, Saudi Arabia, Syrian Arab Rep, Turkey, United Arab Emirates, West Bank, Yemen
19	India	India
20	Pakistan	Pakistan
21	Bangladesh	Bangladesh
22	Indonesia	Indonesia
23	Thailand	Thailand
24	Malaysia	Malaysia
25	Philippines	Philippines
26	China	China
27	Korea	Korea, Rep of
28	OFEast	Bhutan, Brunei Darussalam, Cambodia, Korea Dem People's Rep, Laos, Maldives, Mongolia, Myanmar, Nepal, Singapore, Sri Lanka, Timor-Leste, Viet Nam
29	ODPing	American Samoa, Antarctica others, Bermuda, Bouvet Island, Canton and Enderbury Is, Christmas Island, Cocos (Keeling) Islands, Cook Islands, Fiji Islands, French Southern Ter, Greenland, Guam, Heard and McDonald Is, Johnston Island, Kiribati, Marshall Islands, Micronesia Fed States of, Midway Islands, Nauru, New Caledonia, Niue, Norfolk Island, Northern Mariana Is, Pacific Islands Trust Tr, Palau, Papua New Guinea, Pitcairn Islands, Saint Pierre & Miquelon, Samoa, Solomon Islands, Tokelau, Tonga, Tuvalu, US Minor Outlying Is, Vanuatu, Wake Island, Wallis and Futuna Is

付表 2. 土地利用選択モデルにおける地域区分

地域番号	地域	国名
1	<i>North America</i>	Canada, Greenland, Mexico, USA
2	<i>Central-South America</i>	Argentina, Belize, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominican Rep, Ecuador, El Salvador, French Guiana, Guatemala, Guyana, Haiti, Honduras, Jamaica, Nicaragua, Panama, Paraguay, Peru, Puerto Rico, Suriname, Trinidad and Tobago, Uruguay, Venezuela
3	<i>Europe and Central Asia</i>	Albania, Armenia, Austria, Azerbaijan, Belgium, Bosnia Herzegovina, Bulgaria, Belarus, Croatia, Czech Rep, Denmark, Estonia, Finland, France, Georgia, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Macedonia, Moldova Rep, Montenegro, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Russian Federation, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, United Kingdom, Uzbekistan
4	<i>Oceania</i>	Australia, New Zealand
5	<i>East Asia</i>	China, Japan, Korea DPR, Korea Rep, Mongolia, Taiwan
6	<i>South-East Asia</i>	Bangladesh, Brunei Darussalam, Myanmar, Cambodia, Indonesia, Laos, Malaysia, Papua New Guinea, Philippines, Sri Lanka, Thailand, Viet Nam
7	<i>South Asia</i>	Bhutan, India, Nepal
8	<i>West Asia</i>	Afghanistan, Cyprus, Egypt, Iran, Iraq, Israel, Jordan, Kuwait, Lebanon, Libya, Oman, Pakistan, Qatar, Saudi Arabia, Syria, Turkey, United Arab Emirates, Yemen
9	<i>Africa</i>	Algeria, Angola, Benin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Cameroon, Central Africa Rep, Chad, Congo Rep, Djibouti, Equatorial Guinea, Eritrea, Ethiopia, Gabon, Gambia, Ghana, Guinea, Guinea-Bissau, Côte d'Ivoire, Kenya, Lesotho, Liberia, Madagascar, Malawi, Mali, Mauritania, Morocco, Mozambique, Namibia, Niger, Nigeria, Rwanda, Senegal, Sierra Leone, Somalia, South Africa, Sudan, Swaziland, Tanzania, Togo, Tunisia, Uganda, Zambia, Congo Dem Rep, Zimbabwe

付表 3-1. A1 シナリオにおける各地域の経済成長率と人口増加率

(単位：%)

	経済成長率						人口増加					
	1990-1995	1995-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	1990-1995	1995-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020
1USA	2.655	2.582	2.368	2.362	2.434	2.169	0.743	0.950	0.820	0.787	0.787	0.776
2EC12	2.266	2.233	2.040	2.069	2.148	1.939	0.363	0.285	0.177	0.118	0.089	0.072
3Japan	1.853	1.811	1.700	1.750	1.794	1.647	0.261	0.382	0.296	0.173	0.046	-0.047
4OWEuro	2.266	2.233	2.040	2.069	2.148	1.939	0.654	0.249	0.077	0.011	0.026	0.060
5Canada	2.266	2.233	2.040	2.069	2.148	1.939	0.869	0.830	0.721	0.703	0.708	0.680
6Australia	1.853	1.811	1.700	1.750	1.794	1.647	1.354	1.280	1.168	1.035	0.966	0.915
7NZ	1.853	1.811	1.700	1.750	1.794	1.647	1.411	1.078	0.911	0.747	0.628	0.555
8ODPed	3.581	3.167	7.122	6.835	7.487	5.437	2.087	2.037	1.220	0.502	0.092	-0.106
9EEuro	-2.578	-2.601	6.355	6.388	7.370	5.374	-0.021	0.187	0.166	0.123	0.043	-0.043
10USSR	-2.578	-2.601	6.355	6.388	7.370	5.374	0.206	0.197	0.194	0.253	0.241	0.167
11Mexico	3.363	3.187	7.156	7.137	8.224	5.813	1.969	1.739	1.356	1.198	1.049	0.905
12Brazil	3.363	3.187	7.156	7.137	8.224	5.813	1.685	1.404	1.160	1.084	0.983	0.850
13Argentina	3.363	3.187	7.156	7.137	8.224	5.813	1.561	1.353	1.123	1.037	0.919	0.793
14OLAmer	3.289	3.126	6.714	6.779	7.879	5.639	2.093	1.875	1.556	1.458	1.320	1.161
15Nigeria	3.612	3.190	6.918	6.626	7.183	5.275	2.950	3.096	2.824	2.610	2.331	1.985
16OAfrica	3.565	3.154	7.232	6.946	7.646	5.519	2.650	2.864	2.708	2.557	2.337	2.090
17Egypt	3.517	3.116	7.557	7.266	8.095	5.748	1.927	2.260	2.030	1.758	1.533	1.414
18NEAsia	3.215	2.940	6.206	6.233	7.156	5.260	2.703	2.621	2.510	2.445	2.262	2.061
19India	4.674	4.498	7.291	7.253	8.360	5.879	1.668	1.661	1.422	1.253	1.064	0.891
20Pakistan	4.674	4.498	7.291	7.253	8.360	5.879	2.175	2.646	2.439	2.399	2.373	2.113
21Bangladesh	4.674	4.498	7.291	7.253	8.360	5.879	2.155	2.067	1.969	1.826	1.697	1.442
22Indonesia	4.674	4.498	7.291	7.253	8.360	5.879	0.612	1.368	1.113	1.076	1.052	0.926
23Thailand	4.674	4.498	7.291	7.253	8.360	5.879	0.414	1.313	1.060	0.949	0.841	0.740
24malaysia	4.674	4.498	7.291	7.253	8.360	5.879	1.317	2.048	1.610	1.544	1.347	1.188
25Philippine	4.674	4.498	7.291	7.253	8.360	5.879	1.300	1.972	1.719	1.588	1.318	1.115
26China	8.086	8.036	8.530	8.579	10.335	6.784	1.772	0.834	0.497	0.415	0.358	0.242
27Korea	4.674	4.498	7.291	7.253	8.360	5.879	-0.064	0.776	0.617	0.580	0.482	0.389
28OFEast	6.051	6.066	7.878	7.901	9.360	6.354	2.044	1.479	1.206	1.098	1.065	1.000
29ODPing	4.674	4.498	7.291	7.253	8.360	5.879	1.322	2.015	1.878	1.930	1.874	1.693

付表 3-2. A2 シナリオにおける各地域の経済成長率と人口増加率

(単位：%)

	経済成長率						人口増加					
	1990-1995	1995-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	1990-1995	1995-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020
1USA	2.618	1.897	1.956	1.975	1.846	1.842	0.743	1.053	0.988	0.918	0.900	0.883
2EC12	2.163	1.639	1.675	1.678	1.576	1.564	0.363	0.360	0.248	0.138	0.078	0.044
3Japan	2.229	1.605	1.680	1.716	0.799	0.843	0.261	0.456	0.415	0.227	0.037	-0.098
4OWEuro	2.163	1.639	1.675	1.678	1.576	1.564	0.654	0.326	0.134	0.018	0.008	0.027
5Canada	2.163	1.639	1.675	1.678	1.576	1.564	0.869	0.910	0.857	0.737	0.695	0.673
6Australia	2.229	1.605	1.680	1.716	0.799	0.843	1.354	1.397	1.339	1.177	1.072	1.008
7NZ	2.229	1.605	1.680	1.716	0.799	0.843	1.411	1.211	1.137	0.951	0.830	0.774
8ODPed	3.432	3.264	3.798	4.312	5.344	5.477	2.087	2.095	1.403	0.636	0.242	0.126
9EEuro	-3.904	1.072	1.999	2.896	2.776	3.668	-0.021	0.282	0.329	0.240	0.116	0.016
10USSR	-3.904	1.072	1.999	2.896	2.776	3.668	0.206	0.339	0.470	0.511	0.480	0.424
11Mexico	3.613	3.584	3.793	3.952	3.475	3.516	1.969	1.982	1.815	1.649	1.531	1.438
12Brazil	3.613	3.584	3.793	3.952	3.475	3.516	1.685	1.603	1.671	1.624	1.482	1.384
13Argentina	3.613	3.584	3.793	3.952	3.475	3.516	1.561	1.547	1.478	1.400	1.354	1.322
14OLAmer	3.509	3.418	3.625	3.786	3.348	3.396	2.093	2.123	1.974	1.859	1.774	1.699
15Nigeria	3.017	2.993	3.716	4.405	5.466	5.831	2.950	3.202	3.040	2.723	2.405	2.107
16OAfrica	3.017	2.993	3.716	4.405	5.466	5.831	2.650	2.978	2.908	2.724	2.520	2.319
17Egypt	3.017	2.993	3.716	4.405	5.466	5.831	1.927	2.375	2.355	2.233	2.001	1.946
18NEAsia	3.716	3.255	3.427	3.609	4.382	4.198	2.703	2.776	2.833	2.771	2.651	2.529
19India	4.489	3.972	4.118	4.235	4.127	4.115	1.668	1.747	1.574	1.438	1.289	1.157
20Pakistan	4.489	3.972	4.118	4.235	4.127	4.115	2.175	2.778	2.679	2.576	2.504	2.311
21Bangladesh	4.489	3.972	4.118	4.235	4.127	4.115	2.155	2.177	2.350	2.160	1.998	1.813
22Indonesia	4.489	3.972	4.118	4.235	4.127	4.115	0.612	1.604	1.592	1.553	1.473	1.354
23Thailand	4.489	3.972	4.118	4.235	4.127	4.115	0.414	1.520	1.420	1.249	1.117	1.004
24malaysia	4.489	3.972	4.118	4.235	4.127	4.115	1.317	2.327	1.963	1.849	1.705	1.606
25Philippine	4.489	3.972	4.118	4.235	4.127	4.115	1.300	2.284	2.358	2.063	1.760	1.580
26China	6.395	5.372	5.123	4.842	4.461	4.103	1.772	1.146	1.067	0.955	0.926	0.879
27Korea	4.489	3.972	4.118	4.235	4.127	4.115	-0.064	0.911	0.772	0.632	0.475	0.377
28OFEast	5.088	4.436	4.465	4.450	4.247	4.111	2.044	1.810	1.780	1.767	1.698	1.629
29ODPing	4.489	3.972	4.118	4.235	4.127	4.115	1.322	2.353	2.413	2.317	2.248	2.136

付表 3-3. B1 シナリオにおける各地域の経済成長率と人口増加率

(単位：%)

	経済成長率						人口増加					
	1990-1995	1995-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	1990-1995	1995-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020
1USA	1.998	2.620	2.433	2.599	2.636	2.284	0.743	0.950	0.820	0.787	0.787	0.776
2EC12	1.141	2.453	2.437	2.434	2.409	2.111	0.363	0.285	0.177	0.118	0.089	0.072
3Japan	1.622	2.843	2.715	2.611	1.883	1.700	0.261	0.382	0.296	0.173	0.046	-0.047
4OWEuro	1.141	2.453	2.437	2.434	2.409	2.111	0.654	0.249	0.077	0.011	0.026	0.060
5Canada	1.124	2.620	2.433	2.599	2.636	2.284	0.869	0.830	0.721	0.703	0.708	0.680
6Australia	1.301	3.348	2.691	2.269	1.739	1.449	1.354	1.280	1.168	1.035	0.966	0.915
7NZ	1.301	3.348	2.691	2.269	1.739	1.449	1.411	1.078	0.911	0.747	0.628	0.555
8ODPed	0.295	6.021	6.225	6.727	6.638	7.387	2.087	2.037	1.220	0.502	0.092	-0.106
9EEuro	-0.367	2.069	3.488	4.308	4.561	4.576	-0.021	0.187	0.166	0.123	0.043	-0.043
10USSR	-9.914	0.879	2.362	4.360	5.508	6.038	0.206	0.197	0.194	0.253	0.241	0.167
11Mexico	2.440	6.441	5.989	5.827	5.454	5.325	1.969	1.739	1.356	1.198	1.049	0.905
12Brazil	2.440	6.441	5.989	5.827	5.454	5.325	1.685	1.404	1.160	1.084	0.983	0.850
13Argentina	2.440	6.441	5.989	5.827	5.454	5.325	1.561	1.353	1.123	1.037	0.919	0.793
14OLAmer	2.440	6.441	5.989	5.827	5.454	5.325	2.093	1.875	1.556	1.458	1.320	1.161
15Nigeria	-0.250	6.174	6.384	7.161	7.169	8.043	2.950	3.096	2.824	2.610	2.331	1.985
16OAfrica	-0.250	6.174	6.384	7.161	7.169	8.043	2.650	2.864	2.708	2.557	2.337	2.090
17Egypt	-0.250	6.174	6.384	7.161	7.169	8.043	1.927	2.260	2.030	1.758	1.533	1.414
18NEAsia	1.549	5.754	5.934	5.893	5.543	5.873	2.703	2.621	2.510	2.445	2.262	2.061
19India	4.472	6.458	6.533	7.403	7.369	7.607	1.668	1.661	1.422	1.253	1.064	0.891
20Pakistan	4.472	6.458	6.533	7.403	7.369	7.607	2.175	2.646	2.439	2.399	2.373	2.113
21Bangladesh	4.472	6.458	6.533	7.403	7.369	7.607	2.155	2.067	1.969	1.826	1.697	1.442
22Indonesia	7.659	5.718	5.855	5.645	5.449	5.484	0.612	1.368	1.113	1.076	1.052	0.926
23Thailand	7.659	5.718	5.855	5.645	5.449	5.484	0.414	1.313	1.060	0.949	0.841	0.740
24Malaysia	7.659	5.718	5.855	5.645	5.449	5.484	1.317	2.048	1.610	1.544	1.347	1.188
25Philippine	7.659	5.718	5.855	5.645	5.449	5.484	1.300	1.972	1.719	1.588	1.318	1.115
26China	11.290	4.383	5.265	5.321	5.339	5.571	-1.772	0.834	0.497	0.415	0.358	0.242
27Korea	7.659	5.718	5.855	5.645	5.449	5.484	-0.064	0.776	0.617	0.580	0.482	0.389
28OFEast	8.476	5.328	5.734	5.760	5.677	5.829	2.044	1.479	1.206	1.098	1.065	1.000
29ODPing	1.301	3.348	2.691	2.269	1.739	1.449	1.322	2.015	1.878	1.930	1.874	1.693

付表 3-4. B2 シナリオにおける各地域の経済成長率と人口増加率

(単位：%)

	経済成長率						人口増加					
	1990-1995	1995-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	1990-1995	1995-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020
1USA	3.220	3.220	2.593	2.593	1.552	1.552	0.950	0.789	0.712	0.754	0.787	0.726
2EC12	2.241	2.241	2.307	2.307	1.309	1.309	0.341	0.183	0.037	-0.049	-0.100	-0.139
3Japan	2.117	2.117	1.608	1.608	1.004	1.004	0.247	0.217	0.121	-0.024	-0.193	-0.322
4OWEuro	2.241	2.241	2.307	2.307	1.309	1.309	0.664	0.450	0.284	0.182	0.117	0.098
5Canada	3.220	3.220	2.593	2.593	1.552	1.552	1.199	0.854	0.756	0.714	0.701	0.667
6Australia	2.117	2.117	1.608	1.608	1.004	1.004	1.132	1.065	1.048	0.995	0.971	0.941
7NZ	2.117	2.117	1.608	1.608	1.004	1.004	1.166	1.093	1.108	1.060	1.048	1.043
8ODPed	3.207	3.208	3.442	3.445	4.317	4.339	2.820	2.178	2.054	1.883	1.690	1.513
9EEuro	0.788	0.788	3.073	3.073	3.341	3.341	-0.127	0.097	-0.050	-0.022	-0.016	-0.082
10USSR	-1.955	-1.955	2.154	2.154	3.855	3.855	0.257	0.013	0.048	0.097	0.100	0.005
11Mexico	3.764	3.764	2.983	2.983	4.093	4.093	1.835	1.643	1.428	1.240	1.090	0.955
12Brazil	3.764	3.764	2.983	2.983	4.093	4.093	1.452	1.250	1.183	1.126	1.015	0.880
13Argentina	3.764	3.764	2.983	2.983	4.093	4.093	1.341	1.270	1.197	1.082	0.958	0.836
14OLAmer	3.707	3.708	2.943	2.944	3.855	3.880	1.651	1.800	1.649	1.514	1.392	1.259
15Nigeria	3.139	3.139	3.634	3.634	4.767	4.767	5.384	2.884	2.766	2.667	2.546	2.361
16OAfrica	3.243	3.244	3.339	3.343	4.066	4.092	2.719	2.725	2.655	2.577	2.461	2.303
17Egypt	3.351	3.351	3.036	3.036	3.290	3.290	2.007	1.869	1.745	1.563	1.244	1.196
18NEAsia	3.023	3.035	2.894	2.902	2.943	3.000	3.253	2.672	2.472	2.266	2.075	1.855
19India	2.921	2.921	4.210	4.210	6.036	6.036	1.916	1.621	1.455	1.263	1.010	0.970
20Pakistan	2.921	2.921	4.210	4.210	6.036	6.036	4.410	2.744	2.625	2.469	2.275	1.994
21Bangladesh	2.921	2.921	4.210	4.210	6.036	6.036	1.449	1.650	1.746	1.657	1.382	1.052
22Indonesia	9.138	9.138	6.424	6.424	5.523	5.523	1.591	1.485	1.317	1.073	1.017	0.936
23Thailand	9.138	9.138	6.424	6.424	5.523	5.523	1.249	0.762	0.690	0.617	0.536	0.443
24Malaysia	9.138	9.138	6.424	6.424	5.523	5.523	2.449	2.058	1.758	1.523	1.286	1.267
25Philippine	9.138	9.138	6.424	6.424	5.523	5.523	2.135	2.037	1.816	1.584	1.330	1.047
26China	11.454	11.456	9.610	9.613	6.848	6.849	1.102	0.903	0.697	0.646	0.636	0.555
27Korea	9.138	9.138	6.424	6.424	5.523	5.523	0.934	0.864	0.719	0.585	0.426	0.305
28OFEast	9.160	9.436	7.562	7.710	6.180	6.199	2.148	1.844	1.637	1.431	1.353	1.245
29ODPing	9.138	9.138	6.424	6.424	5.523	5.523	2.484	2.175	2.105	1.980	1.797	1.590

付表4. 各シナリオにおける品目別の需給バランス

以下の付表4-1-1から付表4-4-4までの表は地域ごとに、10年ごとの品目による需給バランスを示したものである。これらの表には下記の注意点がある。

1. 値の単位は1000トンで四捨五入している。そのため世界計における純輸出量は必ずしもゼロにはならない場合がある。
2. 空欄は値がゼロ、あるいはゼロ以下を意味している。
3. QFは食用需要、QLは飼料用需要、QSは生産量、QNは純輸出量である。QNが正值の場合は輸出超過、負値の場合は輸入超過である。
4. 1998/2000は1998年から2000年までの平均値を意味している。2008/2010、2018/2020についても同様である。

付表 4-1-1. A1 シナリオにおける小麦の需給バランス

<i>Wheat</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	20227	20303	19246	9362	11081	12903	61050	66007	65308	35710	40393	42304
2EC12	31859	30606	29113	27751	33892	42201	108766	120469	127451	42378	48702	48174
3Japan	5223	5285	5176	510	516	521	1178	1329	1370	-4985	-4903	-4745
4OWEuro	2274	2152	1974	1256	1416	1585	5271	6486	8856	1380	2576	5004
5Canada	2255	2270	2217	3881	4626	5550	34318	46803	64054	28335	40284	57300
6Australia	1422	1471	1447	798	924	1049	18577	20088	22994	17683	19675	24060
7NZ	260	272	270	58	75	98	357	444	665	-72	-17	183
8ODPED	3588	4090	4182	107	141	187	4637	5600	6773	-287	209	1392
9EEuro	18048	16735	14605	20669	26089	31046	40100	41894	46172	-5338	-8145	-6964
10USSR	48369	36997	27028	61997	55008	46599	85055	112252	131931	-47367	2114	44257
11Mexico	4403	5922	7567	1382	1916	2658	3364	4512	6821	-3139	-4305	-4673
12Brazil	8489	12096	16520				4957	4696	5071	-4927	-9052	-13423
13Argentina	4374	4563	4367	113	131	135	11274	15257	21230	5539	9296	15543
14OLatin	10489	13234	15858	777	974	1219	4583	6898	9723	-7500	-8289	-8488
15Nigeria	831	1432	2233	14	15	13	155	118	23	-727	-1393	-2323
16OAfrica	23690	38671	59348	491	526	545	7892	8244	8917	-18597	-34730	-56761
17Egypt	9956	12030	13665	1104	1383	1696	3783	5992	8284	-8311	-8675	-8483
18ONEast	40063	51910	65005	2554	3603	5056	38948	45064	55794	-17435	-27808	-35673
19India	61979	94440	139526	761	1087	1509	73173	83507	107833	5310	-20645	-46224
20Pakistan	15589	21222	28295	358	468	603	16672	16127	14898	-2338	-8835	-17562
21Bangladesh	3658	5099	6802							-3042	-4487	-5560
22Indonesia	1820	2006	1920							-1910	-2106	-2016
23Thailand	288	429	582							-288	-429	-582
24Malaysia	779	1044	1351	5	5	5				-865	-1152	-1483
25Philippine	1372	2074	3011							-1372	-2074	-3011
26China	128541	168160	216243	2151	2812	3629	148289	187987	241557	2374	-2958	-3882
27Korea	2629	3203	3754	2667	3897	5659	5	6	10	-5407	-7261	-9616
28OFEast	3835	5093	5918	360	506	729	2580	3120	3725	-2178	-3231	-3809
29ODPING	220	336	503							-253	-383	-572

付表 4-1-2. A1 シナリオにおけるとうもろこしの需給バランス

<i>Maize</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	3397	3459	3587	142080	154884	176862	207497	237979	289847	36482	53534	79874
2EC12	2022	2056	2073	26356	31974	39998	48875	50811	52789	14975	10196	2512
3Japan	1163	1046	931	15713	18403	23087				-19783	-22786	-28125
4OWEuro	55	49	45	2003	2379	2936	2591	3717	4453	320	1042	1171
5Canada	104	109	116	6272	7035	8252	6172	8068	11702	-1841	-893	1203
6Australia	60	63	66	172	225	315	282	309	467	42	11	70
7NZ	16	16	16	144	200	302	193	212	239	35	-5	-88
8ODPED	4321	3904	3164	4294	5263	6866	11055	14895	17836	2035	5380	7459
9EEuro	1591	1380	1191	32854	40894	52779	25391	36783	49878	-12510	-9711	-9602
10USSR	96	97	103	22373	26883	33045	16143	20363	46776	-12887	-14402	3909
11Mexico	13605	11487	9858	4044	5395	7829	17400	24105	29833	-2123	5961	11069
12Brazil	4021	4108	4281	23886	31063	42591	36928	41403	45591	4971	1300	-7717
13Argentina	202	199	211	4326	4971	6199	14317	19479	23025	8021	12625	14816
14OLatin	6961	8002	9444	5094	5860	7208	9665	12963	17131	-3314	-1942	-783
15Nigeria	3768	5125	6896	1050	1108	1133	4096	5549	7982	-2165	-2552	-2452
16OAfrica	20543	29886	43279	2600	2579	2471	21325	30245	43613	-5260	-6756	-8322
17Egypt	3702	3793	3885	3261	4225	5731	7131	5020	8615	-628	-3905	-2094
18ONEast	1762	2065	2447	5201	6470	8423	3350	4558	5791	-4360	-4866	-6191
19India	7481	8663	10790	195	266	380	14749	18960	19352	5222	7877	5488
20Pakistan	966	1179	1473	323	425	572	1483	1884	2192	-151	-149	-400
21Bangladesh	3	5	7				2	1	1	-2	-4	-7
22Indonesia	5890	6381	7365	404	395	369	8345	7068	6169	878	-970	-3007
23Thailand	374	413	462	1471	1436	1405	5503	4894	5879	3745	3189	4199
24Malaysia	94	114	139	1347	1313	1225	36	21	23	-1487	-1486	-1419
25Philippine	1662	2072	2563	2817	3159	3661	6181	5278	4417	974	-803	-2818
26China	30365	31267	32072	58950	79633	110984	98118	107121	120504	-3590	-18759	-41563
27Korea	647	707	792	4754	6460	9224	114	120	136	-6774	-9020	-12637
28OFEast	2962	2875	2927	3192	4127	5609	6627	6383	5816	-884	-2163	-4601
29ODPING	6	7	9	18	19	19	4	4	4	-21	-24	-25

付表 4-1-3. A1 シナリオにおける米の需給バランス

<i>Rice</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	1611	1656	1679				4964	4435	8952	2389	1862	6462
2EC12	1482	1565	1641	169	178	187	1170	1319	1563	-559	-491	-308
3Japan	7533	7090	6428	24	22	20	8621	8999	9340	279	1169	2254
4OWEuro	135	141	146	59	62	64				-213	-223	-231
5Canada	145	151	155							-151	-157	-162
6Australia	102	103	100				1129	2871	3126	1065	2825	3115
7NZ	12	13	13							-12	-13	-13
8ODPED	362	488	616				10	13	26	-386	-517	-641
9EEuro	381	413	449	3	3	3	447	440	945	36	-5	463
10USSR	2395	1952	2093				2466	3564	5756	-106	1471	3515
11Mexico	423	528	635				390	668	1039	-93	68	328
12Brazil	7527	8324	8969				14369	20755	30246	4562	10159	19030
13Argentina	206	247	295				326	295	158	84	3	-190
14OLatin	5560	7145	9084	264	339	431	5674	8198	10498	-814	-139	-100
15Nigeria	1875	2501	3125				1620	1522	1570	-477	-1274	-1924
16OAfrica	7753	10219	12847	247	325	409	4810	6908	9339	-4279	-5040	-5657
17Egypt	1849	2249	2639	35	43	50	1989	2180	2100	-31	-273	-764
18ONEast	4676	6384	8582	65	89	120	1726	1966	2116	-3207	-4776	-6948
19India	79650	96714	112994	344	418	488	84072	103582	122749	-1876	-733	912
20Pakistan	2568	3661	5177	189	269	381	4205	5292	5986	1222	1024	-59
21Bangladesh	21286	29808	40857				22515	24335	24912	165	-7025	-18090
22Indonesia	32084	42191	54655	891	1171	1517	32306	40825	52493	-3865	-6741	-9124
23Thailand	8029	8587	8835	776	830	854	19459	23875	27432	9578	13417	16882
24Malaysia	1689	2025	2325	42	51	58	1432	1773	2310	-298	-297	-51
25Philippine	7151	9268	11544	485	629	783	7891	9567	10980	-21	-689	-1783
26China	131234	144605	156152	3255	3586	3873	145634	160841	175682	-795	-445	1638
27Korea	5669	6827	8178				6000	6271	6692	-126	-1073	-2076
28OFEast	31305	38664	47684	1253	1547	1909	35429	43961	50033	-610	-539	-4816
29ODPING	265	358	479				23	27	32	-263	-350	-466

付表 4-1-4. A1 シナリオにおける大豆の需給バランス

<i>Soybean</i>	QF			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	36822	35382	30845	54882	57270	55745	22886	28215	34046
2EC12	15149	14379	12411	1419	1918	1922	-14129	-12765	-10699
3Japan	5254	5240	4812	316	404	573	-5016	-4896	-4280
4OWEuro	599	579	511	4	5	12	-595	-574	-500
5Canada	1212	1171	1034	1183	1473	2073	-27	303	1042
6Australia	105	108	100	105	88	67	0	-19	-32
7NZ							0	0	0
8ODPED	591	674	669	55	89	66	-536	-584	-600
9EEuro	1309	1438	1495	1516	816	331	220	-605	-1139
10USSR	2177	2583	3045	1196	1534	2142	-980	-1049	-902
11Mexico	2346	2799	3041	466	499	453	-1620	-1959	-2094
12Brazil	18145	21810	24061	19653	22693	21210	1789	1251	-2319
13Argentina	6707	7261	7261	9714	9812	11110	2675	2298	3674
14OLatin	1627	2229	3021	2213	2594	2938	697	512	130
15Nigeria	163	256	387	186	232	97	23	-25	-289
16OAfrica	247	362	492	199	366	437	-52	0	-57
17Egypt	265	345	398				-100	-147	-110
18ONEast	419	565	718	532	525	652	112	-41	-66
19India	1652	2277	2868	1446	1560	1641	-142	-631	-1104
20Pakistan	4	6	7	4	3	2	0	-2	-5
21Bangladesh									
22Indonesia	2090	2698	3342				-480	-410	599
23Thailand	528	746	1046				61	423	2687
24Malaysia	409	571	697				-409	-571	-697
25Philippine	26	36	49				-19	-28	-37
26China	18690	25391	33408	16325	18973	18857	-2959	-6871	-14864
27Korea	1482	1761	1972	243	292	382	-1239	-1469	-1590
28OFEast	880	1227	1631	725	874	841	-153	-351	-786
29ODPING									

付表 4-2-1. A2 シナリオにおける小麦の需給バランス

<i>Wheat</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	20633	21712	22305	9357	10595	11608	61039	66666	66620	35085	38879	38333
2EC12	32256	31560	30386	27132	29900	32976	108817	120855	127525	42668	52430	57017
3Japan	5226	5304	5244	510	512	515	1170	1346	1369	-4997	-4906	-4817
4OWEuro	2302	2229	2118	1240	1303	1355	5234	6124	7038	1328	2239	3236
5Canada	2288	2392	2442	3803	4259	4630	33982	44227	56040	28011	37725	49322
6Australia	1438	1570	1675	792	867	930	18289	18920	21685	17289	17861	20910
7NZ	262	285	303	57	62	69	354	387	531	-78	-78	38
8ODPED	3605	4114	4342	106	128	153	4642	5538	6513	-319	44	817
9EEuro	18070	17901	16976	20606	25273	29972	40141	40747	48471	-5268	-9786	-6333
10USSR	48541	44818	40012	64322	62488	59647	84719	96430	122568	-50731	-32257	3211
11Mexico	4508	5703	6907	1369	1748	2219	3346	4195	5883	-3262	-4192	-4394
12Brazil	8638	11304	14194				4953	4464	5235	-5108	-8481	-10826
13Argentina	4438	4972	5402	113	118	120	11161	13642	19293	5342	7168	12302
14OLatin	10668	13388	16177	774	899	1037	4529	6020	7691	-7744	-9266	-10693
15Nigeria	809	1131	1863	14	15	15	158	126	64	-701	-1071	-1898
16OAfrica	23323	32380	49465	494	525	526	7838	7989	8716	-18253	-28084	-46123
17Egypt	10035	12522	15272	1109	1361	1629	3777	6002	8283	-8413	-9196	-10225
18ONEast	40522	53300	69160	2547	3380	4414	38884	44227	54514	-18113	-30302	-41776
19India	61282	82312	107225	761	1012	1332	72848	83309	100809	5698	-7563	-18011
20Pakistan	15597	20667	26807	361	466	589	16731	16389	16533	-2330	-8166	-14666
21Bangladesh	3658	4840	6162							-3068	-4429	-5529
22Indonesia	1863	2224	2479							-1955	-2335	-2603
23Thailand	288	387	492							-288	-387	-492
24Malaysia	781	1004	1252	5	5	5				-868	-1109	-1378
25Philippine	1365	1871	2465							-1365	-1871	-2465
26China	123090	152721	183386	2149	2660	3254	147392	193449	221086	7577	19870	12556
27Korea	2632	3071	3462	2627	3601	4793				-5372	-6833	-8462
28OFEast	3774	4949	6017	358	481	646	2543	2973	3343	-2143	-3189	-4219
29ODPING	219	302	407							-252	-345	-464

付表 4-2-2. A2 シナリオにおけるとうもろこしの需給バランス

<i>Maize</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	3436	3645	3864	142302	156706	168576	207922	243954	282121	36463	55453	79701
2EC12	2028	2072	2087	25868	28638	31870	49046	54197	53003	15725	17524	12450
3Japan	1164	1093	1017	15440	16952	18631				-19465	-21147	-23018
4OWEuro	56	52	48	1973	2152	2359	2568	3849	4098	329	1418	1446
5Canada	104	111	118	6150	6658	7017	6172	7888	10343	-1687	-614	1388
6Australia	60	66	72	169	196	233	277	302	360	40	30	43
7NZ	16	17	18	142	163	195	192	183	199	36	4	-15
8ODPED	4347	4408	3830	4278	4926	5735	10826	14545	17090	1791	4781	7120
9EEuro	1576	1515	1409	32636	39455	47439	25286	33891	42305	-12363	-11262	-11613
10USSR	95	100	106	22158	25534	29282	15873	19224	33028	-12880	-13960	-5103
11Mexico	13778	14331	14894	4007	4961	6274	17322	24526	28137	-2387	3202	4748
12Brazil	4071	4581	5112	23692	27974	33097	36751	41336	42447	4952	4152	-1108
13Argentina	204	219	241	4319	4761	5310	14089	17667	20630	7787	10930	13293
14OLatin	7050	8429	10010	5085	5660	6371	9582	11813	13877	-3487	-3368	-3787
15Nigeria	3751	4981	6680	1060	1137	1144	4072	4753	7107	-2181	-3198	-3062
16OAfrica	20375	27560	38849	2625	2659	2524	21188	28259	37267	-5243	-6263	-9799
17Egypt	3756	4377	4925	3266	4192	5382	7131	5256	7566	-696	-4304	-3944
18ONEast	1780	2236	2785	5209	6411	7858	3302	3964	4958	-4437	-5588	-6783
19India	7481	8821	10403	195	253	332	14639	18283	16836	5112	7021	3513
20Pakistan	971	1224	1526	324	418	533	1465	1792	1894	-177	-289	-714
21Bangladesh	3	5	6	0	0	0	2	1	1	-2	-4	-6
22Indonesia	5942	6846	7932	409	410	385	8183	6569	6176	649	-2041	-3691
23Thailand	377	430	482	1472	1454	1435	5460	4542	5691	3694	2765	3903
24Malaysia	94	116	140	1361	1366	1279	36	19	22	-1502	-1548	-1478
25Philippine	1673	2115	2579	2777	2947	3125	6187	5373	4848	1015	-512	-1782
26China	30724	33706	36650	58194	75413	96757	97815	102001	115208	-3457	-21971	-36102
27Korea	649	713	771	4668	6030	7663	115	101	134	-6667	-8497	-10622
28OFEast	3044	3389	3819	3179	4091	5281	6575	6357	6075	-1022	-2772	-5031
29ODPING	6	8	10	18	19	18	4	3	4	-21	-25	-26

付表 4-2-3. A2 シナリオにおける米の需給バランス

<i>Rice</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	1613	1702	1813				4983	4397	9166	2403	1714	6340
2EC12	1477	1554	1612	168	177	184	1171	1156	1565	-553	-647	-295
3Japan	7520	7189	6814	24	23	21	8628	8901	9407	299	956	1883
4OWEuro	134	139	144	59	61	63				-213	-221	-227
5Canada	145	153	162							-151	-160	-169
6Australia	104	109	113				1073	2709	2857	1007	2649	2805
7NZ	12	13	14							-12	-13	-14
8ODPED	363	443	558				10	13	25	-387	-469	-580
9EEuro	389	405	425	3	3	3	432	841	2785	13	404	2328
10USSR	2575	1978	2078				2435	3765	5303	-332	1643	3074
11Mexico	430	511	606				382	552	1019	-110	-33	324
12Brazil	7651	8593	9697				14233	20681	25863	4270	9712	13650
13Argentina	208	241	283				329	346	237	84	61	-97
14OLatin	5653	6821	8254	268	323	391	5662	7663	10315	-934	-296	683
15Nigeria	1871	2443	3157				1619	1820	1850	-473	-912	-1679
16OAfrica	7747	9968	12995	246	317	413	4779	6226	8632	-4303	-5434	-6547
17Egypt	1850	2231	2780	35	43	53	1981	2148	2137	-42	-292	-910
18ONEast	4754	6244	8316	66	87	116	1719	1871	2125	-3298	-4729	-6685
19India	79409	92241	107192	343	398	463	83842	102989	121395	-1849	3488	5793
20Pakistan	2556	3425	4533	188	252	334	4191	5342	6130	1222	1348	825
21Bangladesh	21084	27206	34948				22472	24239	24768	334	-4376	-12063
22Indonesia	31961	39442	48699	887	1095	1352	32147	37081	48348	-3885	-7386	-6555
23Thailand	8095	8904	9696	782	860	937	19283	23473	26273	9311	12552	14426
24Malaysia	1702	2057	2438	43	52	61	1427	1707	2044	-317	-403	-459
25Philippine	7167	9048	11112	486	614	754	7859	9296	10260	-72	-725	-2055
26China	130507	147197	163923	3237	3650	4065	145468	158753	176559	-152	-5467	-6301
27Korea	5655	6488	7303				5992	6113	6663	-120	-875	-1186
28OFEast	30934	37679	46062	1238	1508	1844	35333	42830	48376	-277	-552	-4675
29ODPING	266	345	444				22	25	30	-263	-339	-435

付表 4-2-4. A2 シナリオにおける大豆の需給バランス

<i>Soybean</i>	QF			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	36805	36894	36210	54404	55084	56202	22418	23900	26660
2EC12	15060	14567	13681	1350	1715	1775	-14108	-13189	-12194
3Japan	5265	5327	5098	312	346	502	-5031	-5048	-4652
4OWEuro	596	580	549	4	4	8	-592	-576	-541
5Canada	1206	1204	1173	1177	1519	2128	-27	317	956
6Australia	105	111	112	104	95	82	0	-16	-30
7NZ							0	0	0
8ODPED	591	658	698	63	105	85	-527	-552	-611
9EEuro	1349	1369	1401	1509	1254	508	173	-100	-874
10USSR	2266	2410	2658	1204	1756	2167	-1062	-654	-491
11Mexico	2380	2725	3013	455	476	517	-1665	-1941	-2136
12Brazil	18401	21054	23353	19624	21827	22388	1504	1104	-577
13Argentina	6786	7318	7770	9656	9978	11336	2538	2379	3325
14OLatin	1651	2105	2627	2215	2575	2904	676	603	432
15Nigeria	160	220	327	189	262	133	29	41	-194
16OAfrica	243	319	441	198	345	435	-49	23	-10
17Egypt	261	315	392				-97	-127	-162
18ONEast	427	543	698	526	636	729	99	93	30
19India	1626	2009	2413	1452	1572	1860	-109	-359	-464
20Pakistan	4	5	6	4	4	3	0	-1	-3
21Bangladesh									
22Indonesia	2076	2547	3102				-468	-355	128
23Thailand	524	671	846				64	361	1368
24Malaysia	407	520	612				-407	-520	-612
25Philippine	26	34	42				-19	-26	-32
26China	17449	21805	26348	16051	18478	19346	-1993	-3830	-7432
27Korea	1475	1661	1805	243	282	351	-1232	-1379	-1454
28OFEast	841	1068	1327	730	925	904	-109	-142	-421
29ODPING									

付表 4-3-1. B1 シナリオにおける小麦の需給バランス

<i>Wheat</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	20478	20544	20069	9397	10865	12509	61040	66016	66627	35388	39988	41226
2EC12	32309	30706	29007	27950	31945	36797	108769	120497	127478	41660	50770	54290
3Japan	5198	5143	5005	510	515	518	1169	1342	1372	-4968	-4737	-4559
4OWEuro	2297	2165	2019	1263	1360	1464	5323	6374	7339	1398	2509	3547
5Canada	2276	2285	2268	3905	4389	4946	34678	45635	61742	28639	39299	55201
6Australia	1412	1456	1485	803	891	992	19059	20377	23576	18172	19869	23743
7NZ	259	267	271	58	71	88	376	432	568	-52	-18	95
8ODPED	3571	4081	4268	107	137	175	4703	5620	6490	-203	217	945
9EEuro	17533	16646	15249	20766	25582	30652	41722	43457	47528	-3233	-5919	-5976
10USSR	52110	43804	34454	62056	56304	51979	87550	106566	137188	-49455	-13374	33904
11Mexico	4558	5993	7446	1392	1844	2456	3506	4474	6658	-3183	-4345	-4487
12Brazil	8822	12127	15847				4939	4768	4837	-5311	-9034	-12975
13Argentina	4375	4603	4625	115	126	133	11713	15122	22050	5976	9110	16028
14OLatin	10720	13448	16144	780	948	1154	4553	6402	8927	-7778	-8989	-9532
15Nigeria	761	1387	2721	14	15	14	155	125	27	-654	-1340	-2830
16OAfrica	22392	37079	63832	489	524	551	8000	8283	8910	-17059	-32944	-61732
17Egypt	9896	12045	14149	1104	1373	1695	3699	6001	8293	-8330	-8676	-9032
18ONEast	40169	52275	65920	2564	3525	4867	39408	45265	55831	-17124	-28023	-36702
19India	64405	97051	147053	763	1062	1471	74493	85189	104434	3890	-22044	-58886
20Pakistan	15792	21540	29201	358	468	616	16988	16937	15661	-2242	-8433	-17979
21Bangladesh	3770	5282	7402							-3157	-4738	-6641
22Indonesia	1852	2040	2132							-1944	-2141	-2238
23Thailand	321	448	593							-321	-449	-593
24Malaysia	827	1075	1352	5	5	5				-917	-1186	-1486
25Philippine	1512	2158	2949							-1512	-2158	-2949
26China	128943	154092	182494	2157	2757	3520	149272	184984	233246	2898	9852	25595
27Korea	2784	3309	3827	2686	3729	5167				-5589	-7203	-9210
28OFEast	4029	5040	6047	361	495	687	2589	3068	3572	-2391	-3211	-4068
29ODPING	199	246	288							-229	-282	-328

付表 4-3-2. B1 シナリオにおけるとうもろこしの需給バランス

<i>Maize</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	3408	3486	3608	141110	154560	173740	207168	238291	281399	37512	53733	74151
2EC12	2022	2056	2073	26521	30406	35400	48876	50892	52816	14785	12155	8064
3Japan	1142	992	883	15752	17581	20520				-19802	-21761	-25068
4OWEuro	56	50	45	2009	2274	2629	2544	3585	4356	266	1024	1411
5Canada	104	109	116	6269	6707	7355	6188	7942	11156	-1818	-607	1788
6Australia	59	62	65	173	212	272	267	260	350	27	-23	0
7NZ	16	16	16	144	189	266	195	203	232	38	-2	-57
8ODPED	4376	4014	3244	4286	5148	6458	10984	14658	17493	1920	5127	7428
9EEuro	1492	1354	1217	32797	40044	50105	24976	34724	47122	-12736	-10823	-9473
10USSR	95	97	101	22356	26235	31293	14576	18970	34660	-14401	-14990	-6000
11Mexico	13132	11724	10758	4039	5216	7120	17302	23778	28974	-1615	5479	9780
12Brazil	3994	4172	4407	23865	29940	38779	36935	40828	44218	5038	1911	-4939
13Argentina	199	202	214	4295	4870	5855	14037	18507	22264	7797	11738	14402
14OLatin	6983	8110	9448	5070	5776	6893	9712	12345	16279	-3261	-2595	-1318
15Nigeria	3666	5104	7181	1041	1114	1176	4123	5273	8401	-1994	-2809	-2460
16OAfrica	19911	29212	43918	2577	2595	2580	21316	29347	41789	-4523	-6928	-11017
17Egypt	3696	3906	4064	3248	4207	5621	7213	5075	8346	-522	-3962	-2451
18ONEast	1751	2090	2508	5177	6438	8311	3257	4392	5424	-4414	-5026	-6505
19India	7500	8775	10722	194	262	367	14584	18049	18988	5035	6833	5225
20Pakistan	966	1200	1522	322	423	569	1467	1786	2078	-166	-271	-571
21Bangladesh	4	5	7	0	0	0	2	1	1	-3	-4	-7
22Indonesia	5959	6520	7420	400	398	389	8462	7200	5952	917	-1008	-3312
23Thailand	379	420	466	1469	1441	1419	5554	4641	5581	3796	2913	3858
24Malaysia	96	116	139	1333	1324	1293	36	21	17	-1475	-1502	-1497
25Philippine	1719	2119	2554	2819	3044	3361	6107	5310	4443	831	-692	-2434
26China	30300	31315	32133	59021	76993	101859	98009	105787	118683	-3692	-17196	-33209
27Korea	667	728	804	4762	6169	8295	113	123	138	-6811	-8673	-11467
28OFEast	2912	2942	3057	3182	4081	5430	6651	6472	5981	-787	-2099	-4376
29ODPING	6	7	9	18	19	19	5	4	4	-21	-23	-25

付表 4-3-3. B1 シナリオにおける米の需給バランス

<i>Rice</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	1583	1664	1718				4962	4438	9124	2448	1840	6528
2EC12	1468	1561	1645	167	178	187	1171	1329	1564	-539	-479	-321
3Japan	7404	6584	5913	23	21	19	8617	9025	9370	422	1748	2847
4OWEuro	133	140	146	59	62	64				-211	-222	-231
5Canada	143	152	159							-149	-158	-166
6Australia	101	107	106				1208	2722	2903	1147	2669	2876
7NZ	12	13	13							-12	-13	-13
8ODPED	350	475	619				2	4	10	-379	-512	-660
9EEuro	402	426	449	3	3	3	502	519	885	69	61	403
10USSR	1931	1715	1816				2224	3443	4574	152	1605	2630
11Mexico	428	530	612				391	655	1004	-95	50	315
12Brazil	7518	8433	8981				14649	20605	28825	4877	9863	17559
13Argentina	207	247	282				341	319	140	98	28	-193
14OLatin	5670	7327	8904	269	347	422	5726	8064	9858	-890	-486	-531
15Nigeria	1834	2488	3218				1606	1626	1252	-445	-1156	-2345
16OAfrica	7574	10125	13074	241	322	416	4879	6792	8882	-3999	-5048	-6382
17Egypt	1797	2223	2658	34	43	51	2006	2193	2128	46	-233	-767
18ONEast	4694	6460	8597	66	90	120	1734	1976	2075	-3214	-4850	-7017
19India	80015	99200	118656	346	428	513	84468	103186	121804	-1870	-3809	-6140
20Pakistan	2612	3727	5321	192	274	392	4198	5287	5967	1166	937	-263
21Bangladesh	21635	30528	42293				22610	24419	24957	-98	-7730	-19649
22Indonesia	34283	43684	53655	952	1213	1489	32647	40485	51299	-6003	-8763	-9191
23Thailand	8080	8732	9013	781	844	871	19748	24003	27195	9818	13339	16349
24Malaysia	1712	2044	2325	43	51	58	1443	1763	2191	-310	-330	-178
25Philippine	7506	9529	11450	509	646	777	7983	9516	10749	-323	-1037	-1922
26China	130834	140744	148276	3245	3490	3677	146644	162122	176864	674	5144	11585
27Korea	5878	6915	7974				6014	6281	6699	-333	-1158	-1855
28OFEast	31589	37887	44541	1264	1516	1783	35757	43795	49496	-603	188	-1740
29ODPING	248	297	341				23	27	31	-244	-289	-327

付表 4-3-4. B1 シナリオにおける大豆の需給バランス

<i>Soybean</i>	QF			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	36563	36180	33282	55093	56962	56713	23423	26708	31172
2EC12	14950	14609	13259	1431	1832	1866	-13911	-13102	-11642
3Japan	5273	5397	5114	320	384	549	-5030	-5078	-4614
4OWEuro	593	584	539	4	5	10	-589	-579	-530
5Canada	1196	1200	1123	1183	1477	2074	-12	279	953
6Australia	105	111	108	102	86	64	-3	-25	-44
7NZ							0	0	0
8ODPED	582	675	702	56	96	79	-525	-578	-622
9EEuro	1460	1544	1571	1564	993	403	117	-535	-1147
10USSR	1918	2079	2440	1195	1556	2123	-723	-523	-317
11Mexico	2404	2890	3119	477	506	474	-1663	-2063	-2228
12Brazil	18644	22538	24577	19721	22710	21370	1361	517	-2757
13Argentina	6800	7540	7623	9773	9897	11048	2645	2086	3218
14OLatin	1682	2284	2962	2236	2627	2885	667	481	103
15Nigeria	155	250	410	190	242	104	35	-8	-306
16OAfrica	237	354	517	201	375	429	-41	18	-90
17Egypt	255	339	419				-90	-146	-164
18ONEast	423	581	746	538	558	656	114	-23	-90
19India	1703	2384	3187	1430	1570	1758	-207	-734	-1325
20Pakistan	4	6	8	4	4	3	0	-2	-5
21Bangladesh									
22Indonesia	2250	2845	3423				-636	-597	117
23Thailand	574	773	1012				21	339	1818
24Malaysia	442	593	702				-442	-593	-702
25Philippine	28	38	48				-21	-30	-37
26China	18688	22699	26913	16269	19175	18764	-3005	-4008	-8520
27Korea	1548	1796	1974	243	290	359	-1305	-1506	-1615
28OFEast	913	1187	1476	734	895	850	-177	-290	-623
29ODPING									

付表 4-4-1. B2 シナリオにおける小麦の需給バランス

<i>Wheat</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	20052	19658	20179	9628	11046	12822	61064	66040	66579	35807	41221	40384
2EC12	31655	29634	28009	29384	35857	42074	108663	120370	127358	40696	47502	49416
3Japan	5170	1396	1441	511	516	520	1169	1329	1372	-4938	-4711	-4450
4OWEuro	240	265	285	1312	1467	1622	5345	6420	7478	1369	2387	3360
5Canada	3256	4099	4880	4096	5002	5949	34723	45942	61725	28512	38981	53779
6Australia	16938	1413	1497	834	956	1104	18942	20248	23300	18163	19911	23063
7NZ	255	274	300	61	70	82	375	444	589	-51	-14	87
8ODPED	3711	4481	5326	111	139	174	4678	5609	6566	-371	-222	-197
9EEuro	17290	16133	15156	21219	26464	32733	40626	42177	47107	-4554	-7596	-8711
10USSR	46315	39315	33468	61054	55642	57132	86826	108658	135503	-41968	-5034	27165
11Mexico	4445	5198	6297	1444	1944	2617	3486	4548	6843	-3133	-3480	-3184
12Brazil	8624	10570	13313				4918	4686	4866	-5100	-7382	-10169
13Argentina	4310	4573	4803	120	129	142	11701	14859	21558	6041	8889	15300
14OLatin	10399	12322	14735	802	961	1156	4636	6578	9110	-7374	-7626	-7855
15Nigeria	778	978	1476	14	14	14	141	109	22	-686	-927	-1534
16OAfrica	23243	29507	40492	490	504	514	7990	8276	8950	-18003	-24597	-35995
17Egypt	9797	11198	12617	1111	1342	1650	3708	5983	8327	-8217	-7720	-7264
18ONEast	40990	51325	62470	2625	3552	4809	39185	45001	55801	-18461	-27044	-32212
19India	58340	76925	109357	778	1043	1412	74528	84317	106564	10829	3	-14289
20Pakistan	16522	21540	28361	360	453	590	16711	16424	15747	-3275	-8864	-16985
21Bangladesh	3334	4119	5497							-2673	-3434	-4559
22Indonesia	1948	2134	2389							-2045	-2240	-2508
23Thailand	358	506	696							-358	-507	-697
24Malaysia	910	1216	1559	5	5	5				-1007	-1339	-1710
25Philippine	1702	2534	3541							-1702	-2534	-3541
26China	136732	187971	239825	2194	2748	3485	149052	184524	235221	-6089	-28591	-36817
27Korea	3046	3709	4387	2805	4107	5931				-5984	-8007	-10595
28OFEast	4334	5878	7965	369	514	712	2591	3071	3618	-2744	-4183	-6235
29ODPING	276	417	594							-316	-475	-676

付表 4-4-2. B2 シナリオにおけるとうもろこしの需給バランス

<i>Maize</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	3351	3390	3538	141150	153732	169918	206168	237492	281382	36913	54515	79492
2EC12	2012	2015	1993	27690	33426	39416	48815	50816	52795	13338	8480	3284
3Japan	1123	59	63	16399	19434	22999				-20536	-23935	-27974
4OWEuro	14	16	17	2083	2438	2807	2599	3674	4345	240	933	1202
5Canada	4020	4851	5364	6535	7628	8701	6272	8193	11185	-2071	-1528	103
6Australia	1425	60	65	181	232	293	311	321	401	64	18	29
7NZ	15	16	18	150	181	225	202	213	231	39	18	-12
8ODPED	4541	5147	5506	4369	5167	6243	11144	14984	17691	1825	4208	5402
9EEuro	1462	1323	1203	33337	41437	51451	26309	37630	48889	-11946	-9414	-9161
10USSR	95	96	96	22820	27187	32027	15357	21245	37539	-14191	-13944	-4032
11Mexico	12781	12536	12042	4147	5420	7178	17517	24206	29313	-1041	4756	8588
12Brazil	3865	4050	4272	24767	30857	38700	37322	41789	44580	4563	1983	-4324
13Argentina	192	198	206	4350	4904	5727	14606	20247	23209	8342	13471	15532
14OLatin	6728	7670	8763	5126	5802	6767	9940	13103	16484	-2810	-1376	-216
15Nigeria	3970	5058	6669	1033	1050	1067	4264	5713	8375	-2237	-2226	-1679
16OAfrica	20219	26095	34598	2552	2446	2336	21745	30681	42422	-4397	-1896	416
17Egypt	3554	3788	3990	3252	4148	5435	7188	5130	8270	-389	-3704	-2229
18ONEast	1777	2103	2457	5204	6377	8015	3448	4866	5649	-4279	-4497	-5897
19India	7311	8450	9870	196	255	340	15160	19272	19406	5843	8468	6734
20Pakistan	1033	1266	1563	323	410	533	1508	1874	2102	-211	-251	-556
21Bangladesh	3	4	5				2	2	1	-2	-3	-5
22Indonesia	6267	7032	7881	396	375	352	8592	7110	5859	687	-1677	-3908
23Thailand	389	422	453	1464	1438	1414	5554	4855	5687	3798	3138	3994
24Malaysia	103	127	153	1318	1247	1168	36	21	19	-1466	-1431	-1378
25Philippine	1837	2316	2785	2912	3278	3621	6161	5294	4511	641	-1209	-2936
26China	29347	31087	32810	60585	82719	111091	99308	108060	120205	-3051	-21102	-42844
27Korea	713	797	876	4968	6931	9578	114	122	138	-7132	-9734	-13194
28OFEast	2877	2988	3132	3210	4199	5564	6836	6655	6125	-594	-2117	-4487
29ODPING	7	8	9	18	18	18	5	4	4	-21	-23	-24

付表 4-4-3. B2 シナリオにおける米の需給バランス

<i>Rice</i>	QF			QL			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	1605	1670	1710				4947	4435	9082	2397	1839	6505
2EC12	1476	1547	1576	168	176	180	1166	1323	1563	-551	-464	-238
3Japan	7338	99	100	23	21	19	8614	9009	9370	493	1572	2646
4OWEuro	11	13	13	59	63	65				-215	-228	-235
5Canada	311	400	495							-154	-164	-170
6Australia	392	100	100				1250	2835	2896	1194	2793	2878
7NZ	12	13	14							-12	-13	-13
8ODPED	362	444	556				2	4	10	-392	-479	-592
9EEuro	399	409	421	3	3	3	406	347	670	-24	-92	219
10USSR	2041	1748	1766				2297	3289	4484	106	1416	2593
11Mexico	420	476	532				407	651	976	-68	118	390
12Brazil	7302	7685	8072				14806	20634	28686	5304	10811	18516
13Argentina	203	230	254				349	315	138	109	43	-160
14OLatin	5471	6295	7242	259	298	343	5748	8018	9721	-635	675	1275
15Nigeria	2015	2559	3219				1547	1460	1348	-706	-1401	-2251
16OAfrica	7629	9490	11685	243	302	372	4886	6841	8819	-4055	-4258	-4827
17Egypt	1796	2019	2197	34	39	42	2005	2188	2125	47	-5	-247
18ONEast	4733	5926	7218	66	83	101	1721	1947	2037	-3268	-4302	-5571
19India	75263	85561	98738	325	370	426	84467	103197	120959	3252	10903	14481
20Pakistan	2649	3518	4780	195	259	352	4209	5237	5945	1134	1142	366
21Bangladesh	19268	24044	30695				22583	24389	24922	2424	-777	-7227
22Indonesia	38145	50391	62531	1059	1399	1736	32774	40773	51221	-10230	-16037	-19276
23Thailand	8337	8726	8865	805	843	856	19874	24040	27119	9619	13407	16471
24Malaysia	1835	2215	2532	46	56	64	1460	1775	2227	-422	-496	-361
25Philippine	8177	10639	12901	555	722	875	8011	9578	10730	-1047	-2215	-3567
26China	130563	148870	164026	3238	3692	4068	146285	161186	175979	624	-4867	-6913
27Korea	6383	7684	8807				6003	6287	6694	-882	-1970	-2747
28OFEast	33285	42742	51674	1332	1711	2068	35783	43884	49285	-2538	-5339	-10215
29ODPING	309	420	539				23	27	31	-306	-413	-530

付表 4-4-4. B2 シナリオにおける大豆の需給バランス

<i>Soybean</i>	QF			QS			QN		
	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020	1998/ 2000	2008/ 2010	2018/ 2020
1USA	36697	35530	32435	56320	58021	57438	24626	28662	33146
2EC12	14979	14230	12498	1485	1915	1895	-13879	-12626	-10839
3Japan	5238	105	100	322	402	553	-4991	-4803	-4199
4OWEuro	0	0	0	4	5	10	-598	-589	-532
5Canada	540	655	714	1183	1473	2078	-50	249	952
6Australia	1451	105	101	100	89	66	-3	-17	-35
7NZ							0	0	0
8ODPED	603	697	767	57	91	78	-545	-604	-688
9EEuro	1450	1452	1405	1265	721	335	-171	-715	-1049
10USSR	2213	2220	2363	1184	1538	2102	-1029	-682	-260
11Mexico	2335	2486	2549	474	503	468	-1591	-1650	-1641
12Brazil	18016	19032	19585	20037	22908	21645	2312	4235	2535
13Argentina	6584	6656	6480	9987	10005	11254	3083	3089	4577
14OLatin	1627	1976	2414	2274	2625	2904	764	792	680
15Nigeria	166	223	311	192	234	99	26	11	-212
16OAfrica	244	304	375	201	363	431	-46	56	54
17Egypt	260	287	295				-93	-89	-27
18ONEast	422	507	576	525	527	633	102	20	56
19India	1527	1848	2268	1424	1560	1737	-36	-205	-421
20Pakistan	4	5	6	4	3	2	0	-1	-3
21Bangladesh									
22Indonesia	2502	3280	3944				-870	-976	-249
23Thailand	633	869	1123				-17	325	2042
24Malaysia	495	686	809				-495	-686	-809
25Philippine	31	43	55				-24	-35	-44
26China	20500	30018	38603	16311	19004	18772	-4763	-11479	-20183
27Korea	1690	1999	2193	247	289	365	-1444	-1710	-1828
28OFEast	1003	1449	1873	739	879	855	-262	-568	-1015
29ODPING									

参考文献

- 井上荘太郎、上林篤幸、明石光一郎、鬼木俊次（2003）「国際穀物需給の長期予測と耕地および灌漑地の利用可能性」『農林水産政策研究』第4号、1-25.
- 上林篤幸（2005）「牛肉の国際貿易の構造変化とその影響 —AGLINKモデルを利用したシナリオ分析—」『農林水産政策研究』第9号、53-84.
- 荏開津典生（2003）『農業経済学 第2版』岩波書店.
- 大賀圭治（1998）『2020年世界食料需給予測 —国際食料政策シミュレーションモデルの開発と利用』農山漁村文化協会.
- 環境省（2001）『温室効果ガス排出量削減シナリオ策定調査報告書』.
(<http://www.env.go.jp/earth/report/h13-01/index.html>)
- 交通工学研究会編（1993）『やさしい非集計分析』丸善.
- 談国新、柴崎亮介（2001）「GISを利用した統合EPICモデルに関する研究：その方法論および応用」『写真測量とリモートセンシング』第40巻3号、4-13.
- 農林水産省（1998）「2025年における世界の食料需給の見通しについて —世界食糧需給モデルによる予測—」食料・農業・農村基本問題調査会食料部会、第9回（1998年6月8日）資料4-1、399-411.
- L. ブラウン、小島慶三訳（1995）『飢餓の世紀』ダイヤモンド社.
- 村井啓朗、高橋潔、増井利彦、原沢英夫、松岡譲（2005）「適応策を考慮した上での温暖化が農作物潜在生産性に及ぼす影響の評価」『環境システム研究論文集』第33号、97-104.
- Boston University, 2001. Global Land Cover data.
- CIESIN, Columbia University, 2005. Country-level GDP and Downscaled Projections.
(<http://beta.ciesin.columbia.edu/datasets/downscaled/>.)
- Roy Darwin, Marinos Tsigas, Jan Lewandrowski, Anton Raneses, 1996. “Land use and cover in ecological economics” *Ecological Economics*, **17**, 157-181.
- Earth Policy Institute, 2007. “Distillery Demand for Grain to Fuel Cars Vastly Understated.” **January, 4.** (<http://www.earth-policy.org/Updates/2007/Update63.htm>)
- FAO, 2003. World agriculture: towards 2015/2030 - An FAO Perspective.
- FAO, 2006. FAOSTAT. (<http://faostat.fao.org/>.)
- Furuya, Jun and Osamu Koyama. 2005. Impacts of Climate Change on World Agricultural Products Markets: Estimation of Macro Yield Functions. *JARQ*, **39**, 121-134.
- Giri, Chandra, Zhikiang Zhu and Bradley Reed. 2005. A Comparative Analysis of the Global Land Cover2000 and MODIS Land Cover Data Sets. *Remote Sensing of Environment*, **94**, 123-132.
- Ito, Shoichi, E. Wesley F. Peterson, and Warren R. Grant. 1989. Rice in Asia: Is It Becoming an Inferior Good?. *American Journal of Agricultural Economics*, **71**, pp.32-42.

- McCarl, B.A. 2004. Forest and Agricultural Sector Optimization Model: Model Description. Tech. report. (<http://agecon2.tamu.edu/people/faculty/mccarl-bruce/papers/503.pdf>)
- Matsuoka, Yuzuru, Tsuneyuki Morita and Mikiko Kainuma, 2001. Integrated Assessment Model of Climate Change: The AIM Approach. In Matsuno T. and H. Kida (Eds), Present and Future of Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling, pp.339-361.
- Meijl, H. van, T. van Rheenen, A. Tabeau, B. Eickhout, 2006. The impact of different policy environments on agricultural land use in Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114, 21–38.
- OECD and FAO, (2006) OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2006-2015. OECD/FAO.
- Oga, Keiji and Koji Yanagishima, 1996. International Food and Agricultural Policy Simulation Model (User's Guide). *JIRCAS Working Paper*, No.1.
- RIVM, 2006. IMAGE HP; <http://www.rivm.nl/image/>
- Ronneberger Kerstin, Richard S.J. Tol, Uwe A. Schneider, (2005) KLUM: A Simple Model of Global Agricultural Land Use as a Coupling Tool of Economy and Vegetation. *Working Paper FNU-65*, Research Unit Sustainability and Global Change Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science.
- Rosegrant, Mark W., Cai, Ximing and Cline, Sarah A., 2002. *World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity*. International Food Policy Research Institute, Washington D. C.
- Sands, D. R. and M. Leimbach, 2003, "Modeling Agriculture Land Use in an Integrated Assessment Framework", *Climatic Change*, **56**, 185–210.
- Tan Guoxin and Ryosuke Shibasaki, 2003. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration. *Ecological Modelling*, **168**, 357-370.
- Tsujii Hiroshi, 1997. The World Food Shortage in 2020 and the Needed Agricultural Transformation in Japan. *Natural Resource Economic Review*, 3, Kyoto Univ.pp.1-27.
- van Tongeren Frank, Hans van Meijl and Yves Surry, 2001. Global models applied to agricultural and trade policies: a review and assessment. *Agricultural Economics*, **26**, 149-172.
- United Nations, 2006. World Population Prospects: The 2004 Revision. (<http://esa.un.org/unpp/>)
- USDA, 2006. USDA Agricultural Baseline Projection to 2015. Baseline Report OCE-2006-1.
- USDA, 2007. World Supply and Demand Estimates, 2007 January. WASDE-442. (<http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/wasde/wasde-01-12-2007.txt>)
- Williams, J.R., 1995. The EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator. United State Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Technological Bulletin No.1768. Springfield, VA, USA.
- Wolfgang Britz (ed), 2005. CAPRI Modelling System Documentation. (<http://www.agp.uni-bonn.de/agpo/rsrch/capri/capri-documentation.pdf>)

謝辞

本論文を執筆するにあたり、たくさんの人のお世話になった。

指導教官である柴崎先生には大変感謝している。入学時より、時にはやさしく説明を聞いていただいたり、時には厳しいコメントをいただいたりしたことが、今回の論文に反映されていると思う。

また、関西学院大学の松村寛一朗助教授には共同研究者としてだけでなく、公私共にお世話になった。こうして食料需給モデルの研究を始めるきっかけを与えていただいたのは氏のお陰である。また、他分野の研究者との会合に誘っていただいたことが、モチベーションにつながった。

日本大学の賀賀圭治教授にはIFPSIMの構造について詳しく説明していただいたことが成果になって表れている。生産研の沖大幹教授と、CRESTのメンバーには会合の際に有益なコメントをいただいた。水循環系のモデリングという未知の世界であったが、その成果が素晴らしいものであり研究することの意義を教えてくれた。感謝したい。

柴崎研の方々には大変にお世話になった。同期の秋山君、斉藤君、Tan君には研究室だけでなく海外での学会においても支えとなってくれた。WuさんとYangさんは同じ分野の研究をしている関係から、多くの意見をいただいた。研究室の先輩には厳しい指摘をしていただいた。説明力のなさを痛感したが、学会でプレゼンを成功させられたのは彼らのお陰である。特に、帷子さんと中村さんが深夜遅くまで研究している姿を見て、ここまでがんばれたのだと思う。今回の研究は、華中師範大学の談国新教授が柴崎研に在籍していた際に開発したEPICがあつてのものであり、大変感謝している。秘書の本間さん、木田さん、切通さん、高野さんには航空券の手配や成果のとりまとめなど事務的な点において大変お世話になった。

最後に、学部を卒業してもまだ学生でいさせてくれた両親に感謝して、本論分を締めくくりたいと思う。