

3 国際農産物需給モデルへの資源制約条件の導入

－資源制約パイロットモデルの開発と利用－

井上荘太郎*・上林篤幸*・明石光一郎*・鬼木俊次*

I はじめに

地球上の有限な資源の下で、世界の人口が増加し、人類の食料需要が拡大を続けていると、将来の食料不足が憂慮される。こうした陰鬱な未来観は、マルサス以来の長い歴史を持ち、今日でも形を変えながら、広く世界に流布している⁽¹⁾。数量的なモデルによる食料需給の予測は、このような将来の食料問題をめぐる懸念に対して、できる限り客観的な情報を提供することが求められるはずである。しかし実際には、現在にいたるまで、定量的なモデルを用いた長期の食料需給予測に、資源の利用可能性や環境問題を導入した例は少なく、試行的な研究が見られるにとどまっている。

こうした状況をふまえ、本章では、農業生産に必要な資源の中でも、最も重要なものと考えられる耕地と灌漑地を考慮した新しい国際穀物需給モデルを開発し、そのモデルを利用したシナリオ分析により、これら2つの資源の存在条件が長期の国際穀物需給に与える影響を検討する。

注(1) たとえば、わが国の農林水産省による食料・農業・農村白書は、平成9年度版以降、6年続けて「世界の食料需給は中長期的にひっ迫化する可能性がある」という旨の記述を行っている。

II 先行研究の検討と課題設定

現在までのところ、部分均衡モデルのフレームワークの中で、長期の食料需給予測を、資源利用可能性や環境問題をふまえて行なっている例は限られている⁽¹⁾。ここでは下記の3つの研究について検討した上で、本章の課題を説明する。

大賀(1998)は2020年までの食料需給予測を行なうにあたり、単収の成長率が2020年までに徐々に現在の半分に低下し、収穫面積の価格変化に対する反応も2020年までに2分の1に低下するとするシミュレーションを「生産制約」シナリオとして示している。

長澤ほか(1998)は、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第2回技術評価レポートで取りまとめられている研究レビューを利用し、地球温暖化が各地域の米および小麦、トウモ

*農林水産政策研究所

ロコシの単収に与える影響を穀物需給モデルに取り入れることで、地球温暖化が 2025 年時点で、米で+23%~-10%、小麦で+79%~-22%程度の価格変動をもたらす可能性のあることを指摘している。

最近では、Rosegrant et al. (2002) は、国際食糧政策研究所 (IFPRI) の農産物需給モデル (IMPACT) に、水の利用可能性を分析するために開発された WSM (Water Simulation Model) をリンクさせた分析を行なっている。そこでは、WSM によって計測された農業部門で利用可能な水量が、食料需給モデルにおける供給関数のシフト要因として導入されている。そして、家庭用および産業用として拡大する水需要との競合から農業部門が灌漑として利用することができる水の量は減少し、そのため世界の穀物価格が、2021 年~2025 年で 9~13%程度上昇する可能性のあることが示されている (Rosegrant et al. (2002), p152)。

これら 3 つの研究は、単純にパラメーターを変化させたシミュレーション (大賀(1998))、あるいは他の情報ソースによって収集された影響評価の数値の利用 (長澤ほか (1998))、独自の水需給モデルの利用 (Rosegrant et al. (2002)) と、それぞれ違いはあるが、需給モデルのフレームワークから見ると、いずれも、単収と収穫面積、供給価格弾性値、あるいはそれらのいずれかのシフターとして、資源環境問題を取り扱うにとどまっている。すなわち、需給モデルにおいて想定されている生産者の経済合理的行動の中には、資源制約条件や環境問題が理論的に位置づけられていない。また、耕地と灌漑地という具体的な資源の存在量そのものが、「制約」としてとらえられていない。

そこで以下では、各国の耕地および灌漑地の面積を各国の穀物生産における資源制約条件と想定し、この制約条件を供給側の経済行動に理論的に位置づけた需給モデルを開発する。

注 (1) : 近年公刊された世界の食料需給の定量的な分析に関する 2 つの展望論文からも、部分均衡分析モデルで資源環境問題を取り扱っている例はあまり多くないことがわかる。

定量モデルを用いた国際食料需給分析の網羅的な展望である McCalla and Revoredo (2001) は、多くの部分均衡モデルによる研究の概要を紹介している。しかし、そこでは、食料と資源制約の問題は、まったく触れられていない。この問題は、ローマクラブの「成長の限界」を嚆矢とする一連のグローバル・シミュレーション・モデルによる「定性的な予言」に含まれて整理されているのである。

一方、van Tongeren et al (2001) は、農産物市場のみを対象とした部分均衡モデルと、経済全体を対象とした応用一般均衡モデルとに分けて、農業や貿易政策に関連したモデル研究の展望を行なっている。この場合、応用一般均衡モデルでは自然資源、特に土地市場を通じた農業と他の産業部門との関連性は強調されている。しかし、個別農産物市場の分析に力点をおいた部分均衡モデルでは、資源環境条件については特段の記述も行なわれていない。

資源制約条件や環境問題の影響分析の多くは、経済全体を包含し、かつ環境との関連をもたせた「環境 - 経済統合型」のモデルで分析されるのが、むしろ一般的であるともいえる。我々

があえて食料需給予測に部分均衡型の品目モデルを採用する理由は、個別品目の均衡価格と各国の需給状態を、ある程度詳細に展望することに関心があるためである。

自然資源の有限性や、環境問題への意識の高まりを受けて、開発されるようになった統合型モデルでは、地球温暖化現象の分析のために開発された、国立環境研究所と京都大学の共同研究グループによる AIM (Asian and Pacific Integrated Model) や東京理科大学で開発された MARIA (Multiregional Approach for Resource and Industry Allocation) 等のモデルが知られている。しかし、統合型モデルの場合、モデルを構成する地域は、相当大まかに統合されてしまう場合が多い。例えば MARIA の場合には世界全体は 4 つの地域に分けられている (森 (1998)、233 ページ)。

統合型モデルではなく、狭い意味での経済学的な分析の範囲にとどめた場合でも、資源環境問題は経済の様々な部門に同時に影響を及ぼすものであるから、その影響評価は、部分均衡モデルよりも、一般均衡モデルで分析される場合が多い。ただし、産業連関分析や CGE モデルによる分析では、個別品目の、国ごとの需給予測結果が示されることは少なく、特定の国際農産物市場に対して分析結果が持つ含意は、具体性に乏しくなってしまう。

III 資源制約パイロットモデル

1. 理論モデル

ここでは、我々の開発する新たな国際穀物需給モデル (以下、資源制約パイロットモデル) について理論的な説明を行なう。

資源制約パイロットモデルでは、特に供給側の経済行動に、以下の新たな仮定をおく。まず、耕地と灌漑地という 2 つの資源の制約条件を導入するために、この 2 つの資源を、利用可能総量は固定的であるが、各生産物への配分量を変化させることは可能な投入要素 (配分可能固定投入要素: allocatable fixed input) と見なす。そして、この配分可能固定投入要素を利用して、複数の農産物を生産し、利潤を最大化しようとする多財生産者を、需給モデルにおける供給者と想定する⁽¹⁾。

ここで記法を、 $y \in R_+^m$ を生産物ベクトル、 $x \in R_+^n$ を可変投入要素ベクトル、 $\bar{z} \in R_+^k$ は配分可能な固定投入要素ベクトル、 $x_i (i = 1, \dots, m)$ は生産物 y_i の生産に用いられた可変投入要素ベクトル、 $z_i (i = 1, \dots, m)$ は生産物 y_i の生産に用いられた固定投入要素配分量ベクトル、 $p \in R_{++}^m$ は正の生産物価格ベクトル、 $w \in R_{++}^n$ は正の可変投入要素価格ベクトル、 $y_i(x_i, z_i)$ は生産物 i の

生産可能集合、とそれぞれ定める。

生産者の利潤最大化行動を仮定すると、生産物 i に対する固定投入要素の最適配分の下での利潤関数は以下の(3.1)式で表される。

$$(3.1) \quad \pi(p, w, \bar{z}) = \max_{z_1, \dots, z_m} \left\{ \pi(p, w, z_1, \dots, z_m) : \sum_{i=1}^m z_i = \bar{z} \right\}$$

上式において、 $\pi(p, w, \bar{z})$ は、可変投入要素価格と生産物価格に関して、正で線形に同次拡大的であり凸と仮定される。もしこの利潤関数が内点解をもてば、以下が成立する。

$$(3.2) \quad \frac{\partial \pi(p, w, \bar{z})}{\partial p_i} = y_i(p, w, \bar{z})$$

$$i = 1, \dots, m,$$

$$(3.3) \quad \frac{\partial \pi(p, w, \bar{z})}{\partial w_l} = -x_l(p, w, \bar{z})$$

$$l = 1, \dots, n,$$

分析を単純化するために、ここでは全ての生産技術は固定的であって、生産物1単位の生産に要する可変投入要素価格は短期的には固定的であると仮定し、(3.2)´が成立するものとする。

$$(3.2) \quad \frac{\partial \pi(p, w, \bar{z})}{\partial p_i} = y_i(p, w, \bar{z}) = y_i(p, \bar{z})$$

さらに、(3.2)´式が以下のコブ・ダグラス型で近似的に特定化できると仮定すると、以下の(3.4)式が成立する⁽²⁾。また、単収と収穫面積は分離可能であり、両者は独立に決定されると仮定すると、各生産物の収穫面積は、下記の(3.5)式によって表される関数で決定されることになる。次節以降、我々は(3.5)式を用いてモデル開発を行なった。

$$(3.4) \quad y_i(p, \bar{z}) = A_i \cdot \prod_{j=1}^m p_j^{a_{ij}} \cdot \prod_{s=1}^k \bar{z}_s^{-c_{is}}.$$

$$\begin{aligned} i, j &= 1, \dots, m \\ s &= 1, \dots, k, \end{aligned}$$

$$(3.5) \quad h_i(p, z) = \frac{A_i}{L_i} \cdot \prod_{j=1}^m p_j^{a_{ij}} \cdot \prod_{s=1}^k z_s^{-c_{is}}$$

$$\begin{aligned} i, j &= 1, \dots, m \\ s &= 1, \dots, k, \end{aligned}$$

ただし、 A_i および a_{ij} と c_{is} はパラメーター、 h_i と L_i はそれぞれ、生産物 y_i の収穫面積と単位面積当たり収量である。

注（１）：配分可能固定生産要素の下での多財生産の経済分析は、Shumway et al.(1984)や Chambers and Just(1989)等で、特定の地域を対象に行なわれている。しかし、国際需給分析の分野では、こうしたモデルを導入した例はない。

注（２）：ここでは、全ての生産技術は固定的であって、生産物 1 単位の生産に要する可変投入要素の価格は固定的であると仮定されている。また、関数形にコブ＝ダグラス型を採用した理由は、実際に収穫面積関数を推計した際の結果の解釈が簡明であること、および既往研究との比較が容易なためである。

なお、単収と収穫面積が独立に決定されるとの仮定は、多くの既往研究で行なわれている。後述するモデル開発において、それらの研究で用いられているパラメーターを利用する可能性を考慮して、本稿でも、単収と収穫面積が独立に決定されるものとした。

2. モデル構造

資源制約パイロットモデルは、米、小麦、トウモロコシの 3 品目を対象とし、その他世界を含む 11 ヶ国・地域のサブセクターから構成されるモデルである。国・地域の内訳では、穀物の大輸出国として、アメリカおよびカナダ、オーストラリア、アルゼンチン、ヨーロッパ連合が独立にとりあつかわれている。また需給動向が最も注目されるアジア地域では、中国およびインド、ASEAN、日本が独立にとりあつかわれる。また国際市場における影響の大きさから、旧ソ連地域も独立のサブセクターとしてとりあつかわれる（第 1 表）。

そして各国・地域の農業生産者は、配分可能固定生産要素である灌漑地および非灌漑地からなる耕地に、米および小麦、トウモロコシの「3 大穀物」と「3 大穀物以外の農産物（大麦、

第1表 資源制約パイロットモデルで特定化した国・地域

アルゼンチン
ASEAN
オーストラリア
カナダ
中国
ヨーロッパ連合
旧ソ連
インド
日本
アメリカ
その他世界

第2表 人口変化率 (年率、%)

国・地域	2000-05年	2005-10年	2010-15年	2015-20年	2020-25年	2025-30年
アルゼンチン	1.20	1.08	0.96	0.84	0.79	0.73
ASEAN	1.39	1.22	1.11	1.02	0.93	0.80
オーストラリア	1.00	0.90	0.82	0.75	0.67	0.59
カナダ	0.80	0.74	0.71	0.68	0.62	0.53
中国	0.71	0.67	0.64	0.50	0.34	0.19
ヨーロッパ連合	0.09	-0.01	-0.08	-0.12	-0.16	-0.22
旧ソ連	-0.33	-0.25	-0.18	-0.19	-0.26	-0.32
インド	1.53	1.35	1.12	0.97	0.92	0.83
日本	0.14	0.04	-0.11	-0.25	-0.35	-0.41
アメリカ	0.89	0.83	0.81	0.80	0.74	0.66
その他世界	1.70	1.61	1.53	1.45	1.35	1.23
世界合計	1.24	1.17	1.09	1.01	0.93	0.83

資料: United Nations(2001), "World Population Prospects, The 2001 Revision"

ライ麦等のその他穀物を含む)」を作付けて利潤を最大化すると仮定する。このように仮定することで、各国・地域の各品目の収穫面積は、(3.5)式によって表されることができる。そして、実際のモデル中では、変化率をとって変形した以下の(3.7)式を用いる。

資源制約パイロットモデルの概念図は第1図に示した。また基本的な構造方程式は以下の通りである⁽¹⁾。

$$(3.6) \quad YLD_{ij} = YLD_{t-1ij} * YG_{ij}$$

(3.7)

$$HAR_{ij} = HAR_{t-1ij} * \prod_{k=1}^3 (WLDPRICE_{t-1kj} / WLDPRICE_{t-2kj})^{\wedge} ESP_{ikj} * (IRI_{tj} / IRI_{t-1j})^{\wedge} ESI_{ikj} \\ * (NIR_{tj} / NIR_{t-1j})^{\wedge} ESN_{ij}$$

$$(3.8) \quad QPR_{ij} = YLD_{ij} * HAR_{ij}$$

$$(3.9) \quad QPD_{ij} = QPD_{t-1ij} * \prod_{k=1}^3 (WLDPRICE_{tkj} / WLDPRICE_{t-1kj})^{\wedge} EDP_{ikj} * IG_{tj}^{\wedge} EDI_{ij}$$

$$(3.10) \quad QD_{ij} = QPD_{ij} * POP_{t-1j} * PG_{tj}$$

$$(3.11) \quad STK_{ij} = STK_{t-1ij} * (WLDPRICE_{ti} / WLDPRICE_{t-1i})^{\wedge} ESTK_{ij}$$

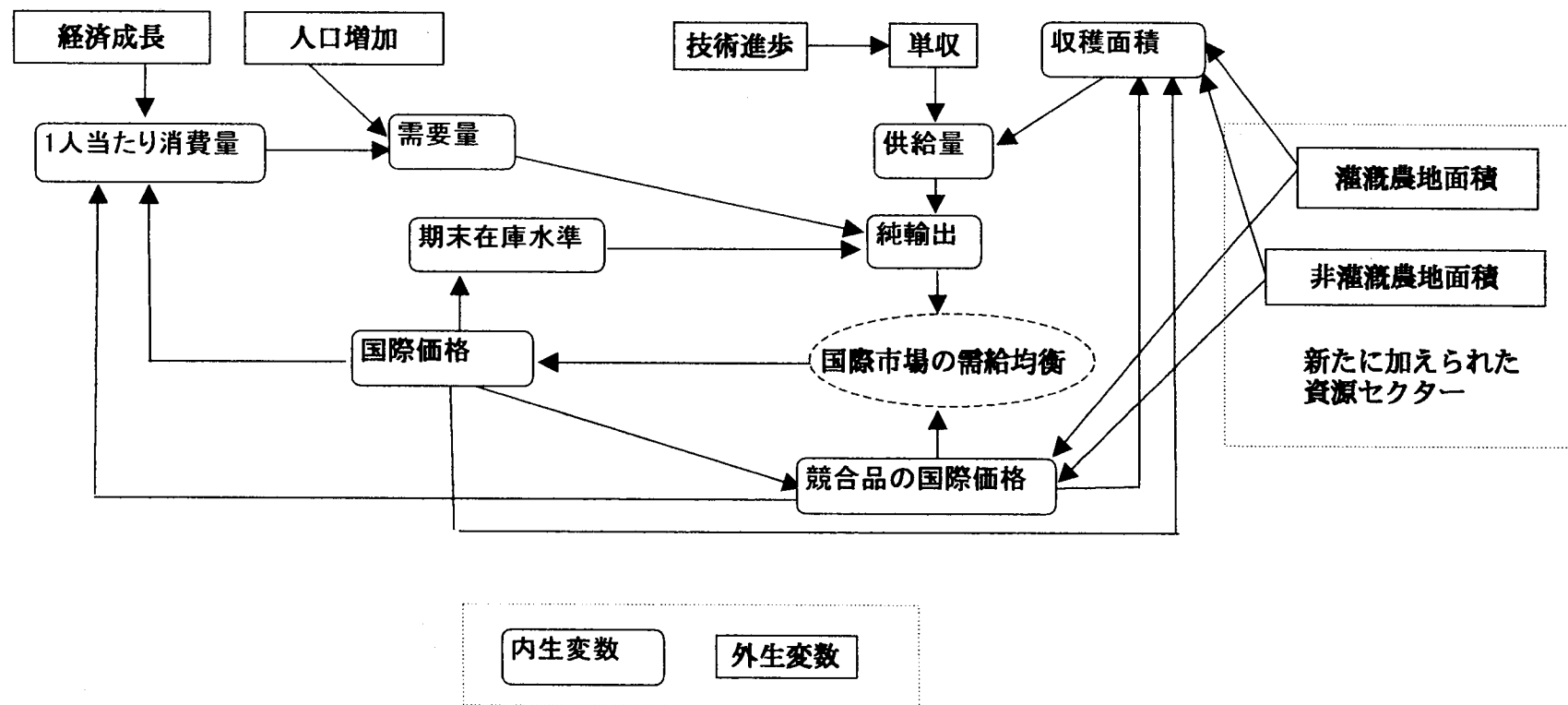
$$(3.12) \quad NEX_{ij} = QPR_{ij} - QD_{ij} - STK_{ij} + STK_{t-1ij}$$

$$(3.13) \quad \sum_{j=1}^{11} NEX_{ij} = 0$$

ただし、記号はそれぞれ、 YLD ：単収、 YG ：単収変化率、 HAR ：収穫面積、 $WLDPRICE$ ：国際価格、 ESP ：供給価格弾力性、 IRI ：灌漑地面積、 ESI ：灌漑地面積の変化の対する収穫面積の弾力性、 NIR ：非灌漑地面積、 ESN ：非灌漑地面積の変化に対する収穫面積の弾力性、 QPR ：生産量、 QPD ：1人当たり需要量、 EDP ：需要価格弾力性、 IG ：1人当たり実質GDP成長率、 EDI ：需要所得弾力性、 QD ：需要量、 POP ：人口、 PG ：人口増加率、 STK ：期末在庫量、 $ESTK$ ：在庫量の価格弾力性、 NEX ：純輸出量である。また、 i と k は品目、 j は地域、 t は期間を表す添字である。

ここで、(3.6)式～(3.12)式の7本の構造方程式は、各国の各品目の需給を表している。

(3.6)式は単収の決定式である。(3.7)式は収穫面積の決定式であり、このモデルの独自の性質



第1図 資源制約パイロットモデルの概念図

をあらわすものである。すなわち収穫面積は、1 期前の収穫面積および1 期前と2 期前の国際価格、供給の自己価格弾力性と交差価格弾力性に加え、灌漑地面積と非灌漑地面積の変化とそれぞれの弾力性で決定される。(3.8)式は生産量の決定式である。(3.9)式は、1 人当たり消費量が、1 期前の1 人当たり消費量および1 期前と当期の国際価格と所得、そして需要の価格弾力性と所得弾力性によって決定されることを表している。(3.10)式は消費量の決定式である。(3.11)式は、期末在庫量が1 期前の期末在庫量および1 期前と当期の国際価格および期末在庫量の価格弾力性によって決定されることを表している。(3.12)式は、純輸出量が各国の供給量から消費量と期末在庫量の変化を差引いたものであることを表している。また、(3.13)式は、各品目の国際市場における需給均衡を表している。

注(1)：資源制約パイロットモデルでは、関税等の国境障壁は考慮されておらず、各国・地域の生産者および消費者は、国際価格から直接に影響を受ける((3.7)式、(3.9)式、(3.11)式)。この点については、我々のモデルは、井上ほか(2000)のモデルよりも単純な構造になっている。

3. 使用データ

モデル予測における将来人口には国連による人口予測の中位値を利用した(第2表)。農産物の需給データはアメリカ農務省の Price Supply & Distribution Views を利用した。また耕地面積および灌漑地面積については FAOSTAT (第3表)、GDP の伸び率については FAO の World Food Model⁽¹⁾の予測で用いられている予測値を利用した(第4表)。

注(1)：World Food Model は FAO の経済社会局商品貿易部が10 年程度の中長期の需給展望を行うために利用している農産物需給モデルである。FAO に加盟している184 カ国を146 の国・地域として特定化して取り扱い、基礎的な食料品を網羅する16 品目を対象とする極めて大型のモデルである。また国際市場と各地域の価格が、関税の影響等を考慮した価格連結関数で連結されているなど、政策シミュレーションモデルという性格も有している。ただし、各国・地域間の輸送費は考慮されておらず、各国の貿易量(需給ギャップ)が、単一の国際市場で均衡するように国際価格が決定されるという、非空間的需給モデルの性格は、本稿の資源制約パイロットモデルと同様である。

4. パラメーター

モデルで使用する供給パラメーターは、(3.5)式の両辺を対数変換した式を推計することにより求めた。米および小麦、トウモロコシの3 品目の供給関数は、それぞれ独立に推計し、推定されたパラメーターが符号条件を満たさない場合や有意でない場合には、井上ほか(2000)で

第3表 総耕地面積と灌漑地面積、非灌漑地面積(千ha)

	1970年	1970-1980年 の平均変化	1980年	1980-1990年 の平均変化	1990年	1990-1999年 の平均変化	1999年
総耕地面積							
世界全体	1,302,073	0.22%	1,331,130	0.39%	1,383,456	-0.12%	1,369,110
アルゼンチン	23,851	0.47%	25,000	0.00%	25,000	0.00%	25,000
ASEAN	54,858	0.74%	59,041	0.86%	64,331	-0.79%	59,888
オーストラリア	41,614	0.57%	44,031	0.85%	47,900	0.02%	47,979
カナダ	43,610	0.44%	45,575	0.05%	45,820	-0.06%	45,560
中国	100,057	-0.32%	96,924	2.47%	123,678	0.04%	124,140
ヨーロッパ連合	82,688	-0.46%	78,973	-0.12%	77,998	-0.51%	74,470
旧ソ連	227,800	-0.06%	226,417	-0.09%	224,400	-0.51%	212,758
インド	160,560	0.15%	162,955	0.01%	163,138	-0.09%	161,750
日本	5,196	-0.64%	4,874	-0.22%	4,768	-0.63%	4,503
アメリカ	188,735	0.00%	188,755	-0.16%	185,742	-0.54%	176,950
その他世界	373,104	0.66%	398,585	0.54%	420,681	0.40%	436,112
灌漑地面積							
世界全体	167,803	2.25%	209,716	1.54%	244,305	1.29%	274,166
アルゼンチン	1,280	2.00%	1,560	0.00%	1,560	0.01%	1,561
ASEAN	9,093	2.63%	11,790	2.31%	14,814	1.38%	16,764
オーストラリア	1,476	0.16%	1,500	2.02%	1,832	2.31%	2,251
カナダ	421	3.54%	596	1.88%	718	0.03%	720
中国	38,121	1.78%	45,470	0.54%	47,967	1.27%	53,740
ヨーロッパ連合	7,705	2.12%	9,508	1.53%	11,070	1.23%	12,357
旧ソ連	11,100	4.48%	17,200	1.92%	20,800	-0.48%	19,921
インド	30,440	2.37%	38,478	1.61%	45,144	3.02%	59,000
日本	3,415	-1.11%	3,055	-0.71%	2,846	-0.75%	2,659
アメリカ	16,000	2.55%	20,582	0.15%	20,900	0.77%	22,400
その他世界	48,752	2.09%	59,977	2.48%	76,654	0.86%	82,793
非灌漑地面積							
世界全体	1,134,270	-0.11%	1,121,414	0.16%	1,139,151	-0.44%	1,094,944
アルゼンチン	22,571	0.38%	23,440	0.00%	23,440	0.00%	23,439
ASEAN	45,765	0.32%	47,251	0.47%	49,517	-1.52%	43,124
オーストラリア	40,138	0.58%	42,531	0.80%	46,068	-0.08%	45,728
カナダ	43,189	0.41%	44,979	0.03%	45,102	-0.06%	44,840
中国	61,936	-1.84%	51,454	3.94%	75,711	-0.80%	70,400
ヨーロッパ連合	74,983	-0.76%	69,465	-0.37%	66,928	-0.83%	62,113
旧ソ連	216,700	-0.35%	209,217	-0.27%	203,600	-0.60%	192,837
インド	130,120	-0.44%	124,477	-0.53%	117,994	-1.53%	102,750
日本	1,781	0.21%	1,819	0.55%	1,922	-0.46%	1,844
アメリカ	172,735	-0.27%	168,173	-0.20%	164,842	-0.71%	154,550
その他世界	324,352	0.43%	338,608	0.16%	344,027	0.30%	353,319

資料: FAOSTAT

第4表 1人当たりGDP変化率（年率、％）

国・地域名	1999年	2000年	2001年	2002-2030年
アルゼンチン	-4.61	-1.75	-3.56	2.00
ASEAN	1.90	4.18	-0.05	3.00
オーストラリア	3.51	2.12	1.49	2.50
カナダ	4.12	3.43	0.16	2.00
中国	6.15	7.04	6.24	4.70
ヨーロッパ連合	2.41	3.27	1.52	2.70
旧ソ連	2.21	7.51	5.81	3.80
インド	4.62	4.22	3.66	3.40
日本	0.54	1.94	-1.58	1.80
アメリカ	3.01	3.01	1.00	1.70
その他世界	0.69	3.00	-0.43	2.10

資料：FAOのWorld Food Modelで利用されている予測値を利用。

用いられている弾力性パラメーターをあてはめ、残った係数をあらためて計測することとした⁽¹⁾。このパラメーターの決定方法は、モデル開発をタイプ分けした際の estimation 型と calibration 型の折衷的な手法とも考えられる方法であり、OECD の AGLINK でのパラメーターの決定に用いられている⁽²⁾（第 5 表、第 6 表、第 7 表）。

単収上昇率については、Rosegrant et al.(2001)における単収の将来予測結果を参考にして、モデルで使用する単収上昇率を決定し（第 8 表）、灌漑面積の変化とは独立に、この毎年の単収上昇率のみで単収水準が決定されると仮定した⁽³⁾。

需要側では、(3.6)式で表される個別品目の需要関数を対数変換した式を、各品目ごとに独立に推計した。そして良好なパラメーターが得られない場合には、供給関数の場合と同様に、井上ほか（2000）で利用されているパラメーターをあてはめ、残ったパラメーターをあらためて推定した。

また経済成長や食料消費パターンの変化により、穀物需要の所得弾性値は長期においてしばしば低下することが知られている。本稿では、この変化が長期の需給予測に与える影響を考慮するために、Rosegrant et al. (2001)を利用して、予測期間中における資源制約パイロットモデルの所得弾性値を変化させた⁽⁴⁾（第 9 表、第 10 表、第 11 表）。

注（１）：長期予測におけるモデルの収束を考慮し、灌漑面積と非灌漑面積の弾力性の計測結果が 1 を超えた場合および、零を下回った場合には、それぞれ 0.8 と 0.2 を用いることとした。これは、各品目の灌漑地面積および非灌漑地面積に対する弾力性値には、参考となる既往研究がないため、ア・プリオリな数値をあてはめたものである。

注（２）：パラメーターの決定方法でモデルを分類する場合、計量経済学的な係数推定を実際に行なう estimation 型と、先行研究で計測されたパラメーターを利用してモデルを組み立てる synthetic 型に分けることができる。synthetic 型は、他の研究のパラメーターをそのまま用いる場合もあれば、regularity condition を満たすよう calibration を行なって、使用するパラメーターを求める場合もあるので、calibration 型とも呼ばれる。OECD の AGLINK は部分的に推定を行なうので、準 estimation 型とするのが適切とも考えられるが、van Tongeren et al. (2001)は、AGLINK を calibration 型としている。一方、calibration を行なっている例としては、von Lampe(1999)がある。

国際需給モデルの分析においては、実際にはパラメーターの推定を行なわない場合が多くなっている。このことは国際農産物需給モデルの研究が、実用主義と理論的な優雅さの間で、実用主義のほうに傾いていることを意味している（van Tongeren et al. (2001)）。そして実用主義への過度の傾斜は、モデルの実証的基盤を危うくし、モデル分析の客観性に対する疑念に結びつくことになるだろう。しかし、現実において、多品目の国際需給モデルの場合、理論的要請をみたまパラメーターを計量経済学的な推計によって得ることの実行可能性は低い。

第5表 米の供給弾性値

国・地域名	価格弾力性			灌漑農地面積	非灌漑農地面積
	米	小麦	トウモロコシ		
アルゼンチン	0.490	-0.175	-0.185	0.800	0.200
ASEAN	0.125	-0.015	0.000	0.713	0.200
オーストラリア	0.072	0.000	0.000	0.982	0.324
カナダ					
中国	0.300	-0.100	-0.100	0.200	0.200
ヨーロッパ連合	0.300	0.000	0.000	0.800	0.200
旧ソ連	0.378	-0.180	-0.060	0.806	0.200
インド	0.120	-0.111	0.000	0.418	0.370
日本	0.193	0.000	0.000	0.800	0.440
アメリカ	0.200	0.000	0.000	0.800	0.200
その他世界	0.460	-0.110	-0.125	0.780	0.200

資料: 井上ほか(2000)を参考に筆者推計。

第6表 小麦の供給弾性値

国・地域名	価格弾力性			灌漑農地面積	非灌漑農地面積
	米	小麦	トウモロコシ		
アルゼンチン	0.000	0.370	-0.125	0.800	0.200
ASEAN	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
オーストラリア	0.000	0.123	0.000	0.659	0.200
カナダ	0.000	0.126	-0.060	0.824	0.800
中国	-0.030	0.110	-0.010	0.462	0.166
ヨーロッパ連合	0.000	0.500	-0.300	0.397	0.444
旧ソ連	0.000	0.320	-0.072	0.200	0.200
インド	-0.056	0.133	-0.007	0.800	0.800
日本	-0.075	0.265	0.000	0.800	0.800
アメリカ	0.000	0.410	-0.186	0.732	0.505
その他世界	-0.193	0.208	-0.175	0.200	0.200

資料: 井上ほか(2000)を参考に筆者推計。

第7表 トウモロコシの供給弾性値

国・地域名	価格弾力性			灌漑農地面積	非灌漑農地面積
	米	小麦	トウモロコシ		
アルゼンチン	0.000	-0.115	0.465	0.800	0.200
ASEAN	-0.060	0.000	0.203	0.594	0.800
オーストラリア	0.000	-0.350	0.545	0.221	0.369
カナダ	0.000	-0.360	0.360	0.916	0.800
中国	-0.035	-0.020	0.095	0.800	0.200
ヨーロッパ連合	-0.100	-0.300	0.430	0.302	0.364
旧ソ連	-0.024	-0.330	0.396	0.200	0.800
インド	-0.072	-0.042	0.210	0.200	0.200
日本	0.000	0.000	0.145	0.800	0.200
アメリカ	0.000	-0.100	0.225	0.951	0.212
その他世界	-0.100	-0.100	0.400	0.791	0.800

資料: 井上ほか(2000)を参考に筆者推計。

第8表 2002年以降の単収変化率(年率、%)

国・地域名	米	小麦	トウモロコシ
アルゼンチン	1.84	1.46	1.77
ASEAN	1.01	0.88	1.70
オーストラリア	1.12	0.91	1.11
カナダ	..	0.91	1.11
中国	1.01	0.88	1.70
ヨーロッパ連合	0.66	0.26	0.43
旧ソ連	0.85	0.67	1.44
インド	1.47	1.36	1.15
日本	1.01	0.91	0.20
アメリカ	1.07	1.02	0.80
その他世界	1.80	0.30	1.10

資料: Rosegrant et al. (2001)を参考に筆者推計。

第9表 米の需要弾性値

国・地域名	価格弾力性			所得弾力性	
	米	小麦	トウモロコシ	2000年	2030年
アルゼンチン	-0.400	0.200	0.000	0.203	0.177
ASEAN	-0.380	0.020	0.000	0.067	-0.047
オーストラリア	-0.350	0.180	0.000	0.268	0.172
カナダ	-0.250	0.100	0.000	0.268	0.172
中国	-0.120	0.010	0.000	-0.091	-0.309
ヨーロッパ連合	-0.300	0.100	0.050	0.268	0.172
旧ソ連	-0.230	0.100	0.000	0.268	0.172
インド	-0.400	0.060	0.010	0.101	-0.021
日本	-0.100	0.040	0.000	0.000	0.000
アメリカ	-0.280	0.120	0.020	0.268	0.172
その他世界	-0.450	0.060	0.000	0.203	0.177

資料: 井上ほか(2000)およびRosegrant et al. (2001)を参考に筆者推計。

第10表 小麦の需要弾性値

国・地域名	価格弾力性			所得弾力性	
	米	小麦	トウモロコシ	2000年	2030年
アルゼンチン	0.020	-0.320	0.090	0.082	0.004
ASEAN	0.400	-1.000	0.350	0.315	0.263
オーストラリア	0.080	-0.200	0.040	0.162	0.084
カナダ	0.020	-0.190	0.020	0.162	0.084
中国	0.020	-0.100	0.010	0.243	0.074
ヨーロッパ連合	0.020	-0.200	0.040	0.162	0.084
旧ソ連	0.020	-0.120	0.000	0.162	0.084
インド	0.150	-0.250	0.020	0.174	0.108
日本	0.120	-0.250	0.100	0.000	0.000
アメリカ	0.020	-0.090	0.010	0.162	0.084
その他世界	0.100	-0.460	0.200	0.082	0.004

資料: 井上ほか(2000)およびRosegrant et al. (2001)を参考に筆者推計。

第11表 トウモロコシの需要弾性値

国・地域名	価格弾力性			所得弾力性	
	米	小麦	トウモロコシ	2000年	2030年
アルゼンチン	0.000	0.140	-0.450	0.000	-0.150
ASEAN	0.100	0.160	-0.560	0.420	0.270
オーストラリア	0.000	0.400	-0.500	-0.200	-0.350
カナダ	0.000	0.120	-0.200	0.000	-0.150
中国	0.000	0.020	-0.130	0.300	0.150
ヨーロッパ連合	0.050	0.200	-0.300	0.250	0.100
旧ソ連	0.000	0.000	0.000	0.300	0.150
インド	0.150	0.160	-0.600	0.100	-0.050
日本	0.000	0.200	-0.200	0.260	0.110
アメリカ	0.030	0.100	-0.220	0.090	-0.060
その他世界	0.000	0.250	-0.500	0.400	0.250

資料: 井上ほか(2000)およびRosegrant et al. (2001)を参考に筆者推計。

なお我々は、本研究でのモデル開発にあたり、(3.4)式の両辺を対数変換し、誤差項を加えた以下の式を各国ごとに連立させ、凸性 ($a_{ij} \geq 0$) と対称性 ($a_{ij} = a_{ji}$) の条件を課した体系推定を行なった (記号は前節参照)。

$$\ln y_i = \ln A_i + \sum_{j=1}^m a_{ij} \ln p_j + \sum_{s=1}^k c_{is} \ln \bar{z}_s + e_i$$

対象としたのは、資源制約パイロットモデルと同じ 10 の主要な穀物貿易国 (地域) であり、米および小麦、トウモロコシの供給関数の体系推定を行なったが、推定結果はあまり良好なものではなかった (章末補表 1 参照)。

注 (3) : 単収は需給予測の結果を左右する重要な要素である。我々は、本研究で対象とした各国における、各品目の単収を灌漑面積の水準とタイムトレンドに回帰させる分析を行なってみたが、多くの場合において、両方の説明変数について正の有意な係数を推定することはできなかった。単収水準の予測には、生産物価格および生産要素価格、あるいは公的部門による関連した投資の動向など、多岐にわたる要素を考慮する必要があると考えられる。なお Rosegrant et al. (2001) では、近年における単収上昇率の長期的な低下傾向を指摘した上で、公共投資、農産物価格、資本利子率、労賃などの要因も考慮した単収予測が行なわれている。

注 (4) : Rosegrant et al. (2001) は 54 ページにおいて、需要の所得弾力性の長期的な変化について、「需要の所得弾力性は、特に開発途上国において需要構造に徐々に生じる主食から肉やその他の畜産物の高価値生産物へのシフトというモデルの基礎となっている仮説を、はっきりと表している。経済成長による 1 人当たり消費量の増加、急速な都市化、農業生産の継続的な商業化といったいくつかの要素がこの仮説を生じさせる」と述べている。

IV 穀物需給の長期予測

1. 3つのシナリオ

1990 年代以降、世界全体の総耕地面積は減少傾向にあり、灌漑地面積はいまだ増加傾向にあるものの、その増加率は低下してきている⁽¹⁾。この節では、こうした各国・地域における耕地と灌漑地の面積の将来動向について、相異なる仮定をおいた 3 つのシナリオにもとづきながら、穀物需給の長期予測を行ない、結果を比較・検討する。

シナリオ分析では、予測の初期時点を 2000 年とし、2030 年を目標年とした需給予測を行なう。この予測期間中においては、世界人口の増加率は停滞してくると予測されており、そのため穀物需要においても相当の変化が生じると考えられる。したがって、この 30 年という予測期間は人類の長期的な食料問題を考えるために、十分な意味のある長さといえる⁽²⁾。

3つのシナリオ（第 12 表参照）で与えられる将来の灌漑地面積と非灌漑地面積（耕地面積から灌漑地面積を差引いたもの）の値は第 13 表に一覧として示した。

scenario1 では、2000 年から 2030 年までの間、総耕地面積と灌漑地面積は、一切変化しないと仮定する。これは、農業で利用される耕地と灌漑値の面積の変化を考慮していない既往の需給モデルによる予測と、同じ考え方にたっている。将来の利用可能な耕地と灌漑地の面積が拡大も縮小もしないという意味において、中立的なシナリオといえる。

次に scenario2 では、総耕地面積と灌漑地面積は、どちらも 1990 年代のトレンドに基づいて変化すると仮定する⁽³⁾。特に灌漑地面積が拡大を続けると想定することから、3つのシナリオのうちで最も緩やかな資源制約を想定したシナリオと解釈できる。

最後に scenario3 では、総耕地面積の緩やかな減少傾向と同様の趨勢で、灌漑地面積も減少すると仮定する。これはアジア地域で都市周辺の優良灌漑農地の多くが転用されていることなどを念頭に、灌漑地の減少傾向が、将来継続していくと考えたケースであり、資源制約が最も厳しいシナリオである。

以上の 3 つのシナリオにしたがって、2030 年までの需給シミュレーションを試みることにする。

注（1）1970 年における世界の総耕地面積は 13 億 200 万 ha であった。これは 1999 年には 13 億 6 千 900 万 ha に増加した（前出第 3 表）。この間の成長率を年代別に見ると、1970 年代においては年率 0.22% の増加であり、1980 年代には同 0.39% の増加を示した。しかし 1990 年代には同マイナス 0.12% と減少に転じた。

国・地域別に見ると ASEAN でマイナス 0.79%、カナダでマイナス 0.06%、EU、旧ソ連でマイナス 0.51%、アメリカでマイナス 0.54%、日本でマイナス 0.63% と減少しており、中国やインドでもわずかに減少している。一方、アルゼンチンを除いた中南米やアフリカを含むその他世界では 0.40% の増加を示している。

一方、1970 年に 1 億 6 千 800 万 ha であった世界全体の灌漑地面積は、1999 年には 2 億 7 千 400 万 ha にまで増加した。ただし、その増加率は、1970 年代には年率 2.25% であったが、1980 年代には 1.54% と低下し、さらに 1990 年代に入ると 1.29% にまで減少している。

この農地の縮小と灌漑地面積の増加率低下に対しては、様々な背景が指摘できる。第一には、農産物の国際価格の低迷により、土地や水資源を農業部門で利用することの収益性が低下していることがあげられる。また、こうした収益性の低下は、投資の減少をもたらし、特に開発途上国における灌漑投資の縮小が指摘されている。さらに、住宅地や工業用地との利用競合によ

第12表 シミュレーションのシナリオ

	2000年～2030年 の総農地面積(A)	2000年～2030年の灌 漑農地面積(B)	2000年～2030年の 非灌漑農地面積
scenario1	変化なし	変化なし	変化なし
scenario2	1990年代のトレ ンドで変化	1990年代のトレンド で変化	(A)－(B)
scenario3	1990年代のトレ ンドで変化	総耕地面積の1990年 代のトレンドで変化	(A)－(B)

第13表 耕地面積予測結果(千ha)

国・地域	年	総耕地面積				灌漑地面積				非灌漑地面積			
		2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030
世界全体	scenario1	1,369,110	1,369,110	1,369,110	1,369,110	274,166	274,166	274,166	274,166	1,094,944	1,094,944	1,094,944	1,094,944
	scenario2	1,367,646	1,354,398	1,343,632	1,335,276	276,970	307,138	341,552	380,810	1,090,676	1,047,260	1,002,080	954,466
	scenario3	1,367,646	1,354,398	1,343,632	1,335,276	274,013	272,717	271,830	271,342	1,093,632	1,081,681	1,071,802	1,063,934
アルゼンチン	scenario1	25,000	25,000	25,000	25,000	1,561	1,561	1,561	1,561	23,439	23,439	23,439	23,439
	scenario2	25,000	25,000	25,000	25,000	1,561	1,562	1,563	1,564	23,439	23,438	23,437	23,436
	scenario3	25,000	25,000	25,000	25,000	1,561	1,561	1,561	1,561	23,439	23,439	23,439	23,439
ASEAN	scenario1	59,888	59,888	59,888	59,888	16,764	16,764	16,764	16,764	43,124	43,124	43,124	43,124
	scenario2	59,414	54,872	50,678	46,804	16,996	19,499	22,371	25,666	42,418	35,373	28,307	21,138
	scenario3	59,414	54,872	50,678	46,804	16,631	15,360	14,186	13,102	42,782	39,512	36,492	33,703
オーストラリア	scenario1	47,979	47,979	47,979	47,979	2,251	2,251	2,251	2,251	45,728	45,728	45,728	45,728
	scenario2	47,988	48,076	48,164	48,252	2,303	2,895	3,640	4,576	45,685	45,180	44,524	43,676
	scenario3	47,988	48,076	48,164	48,252	2,251	2,256	2,260	2,264	45,736	45,820	45,904	45,988
カナダ	scenario1	45,560	45,560	45,560	45,560	720	720	720	720	44,840	44,840	44,840	44,840
	scenario2	45,531	45,244	44,959	44,676	720	722	725	727	44,811	44,522	44,234	43,949
	scenario3	45,531	45,244	44,959	44,676	720	715	711	706	44,812	44,529	44,249	43,970
中国	scenario1	124,140	124,140	124,140	124,140	53,740	53,740	53,740	53,740	70,400	70,400	70,400	70,400
	scenario2	124,191	124,707	125,225	125,745	54,423	61,748	70,058	79,487	69,769	62,959	55,166	46,257
	scenario3	124,191	124,707	125,225	125,745	53,762	53,985	54,210	54,435	70,429	70,722	71,015	71,310
ヨーロッパ連合	scenario1	74,470	74,470	74,470	74,470	12,357	12,357	12,357	12,357	62,113	62,113	62,113	62,113
	scenario2	74,088	70,374	66,846	63,495	12,509	14,135	15,972	18,048	61,579	56,239	50,874	45,447
	scenario3	74,088	70,374	66,846	63,495	12,294	11,677	11,092	10,536	61,794	58,697	55,754	52,959
旧ソ連	scenario1	212,758	212,758	212,758	212,758	19,921	19,921	19,921	19,921	192,837	192,837	192,837	192,837
	scenario2	211,502	199,346	187,888	177,089	19,826	18,897	18,012	17,168	191,677	180,449	169,877	159,921
	scenario3	211,502	199,346	187,888	177,089	19,803	18,665	17,592	16,581	191,699	180,681	170,296	160,508
インド	scenario1	161,750	161,750	161,750	161,750	59,000	59,000	59,000	59,000	102,750	102,750	102,750	102,750
	scenario2	161,597	160,070	158,557	157,059	59,915	69,884	81,512	95,074	101,681	90,186	77,045	61,985
	scenario3	161,597	160,070	158,557	157,059	58,944	58,387	57,835	57,289	102,652	101,683	100,722	99,770
日本	scenario1	4,503	4,503	4,503	4,503	2,659	2,659	2,659	2,659	1,844	1,844	1,844	1,844
	scenario2	4,474	4,199	3,941	3,698	2,639	2,447	2,269	2,104	1,835	1,752	1,671	1,594
	scenario3	4,474	4,199	3,941	3,698	2,642	2,480	2,327	2,184	1,832	1,720	1,614	1,514
アメリカ	scenario1	176,950	176,950	176,950	176,950	22,400	22,400	22,400	22,400	154,550	154,550	154,550	154,550
	scenario2	175,999	166,767	158,020	149,731	22,573	24,380	26,332	28,440	153,426	142,387	131,688	121,291
	scenario3	175,999	166,767	158,020	149,731	22,280	21,111	20,004	18,954	153,720	145,656	138,016	130,777
その他世界	scenario1	436,112	436,112	436,112	436,112	82,793	82,793	82,793	82,793	353,319	353,319	353,319	353,319
	scenario2	437,861	455,743	474,355	493,727	83,505	90,968	99,098	107,954	354,356	364,775	375,257	385,773
	scenario3	437,861	455,743	474,355	493,727	83,125	86,520	90,053	93,731	354,736	369,223	384,302	399,996

資料:シミュレーション結果。

り、優良農地が転用されている例が、経済発展の進む東南アジア諸国の大都市周辺などで多く見られる。あるいは 1990 年代には、旧ソ連地域において、計画経済体制の崩壊が国営農場や集団農場の生産縮小と耕作放棄地の拡大をもたらしている。

注（２）一般に、資源環境条件が経済活動に与える影響を分析するためには、ある程度、長期的な観察を行なうことが望ましい。例えば、MARIA を用いた地球温暖化の影響分析では、110 年という超長期のシミュレーション期間が採用されている。

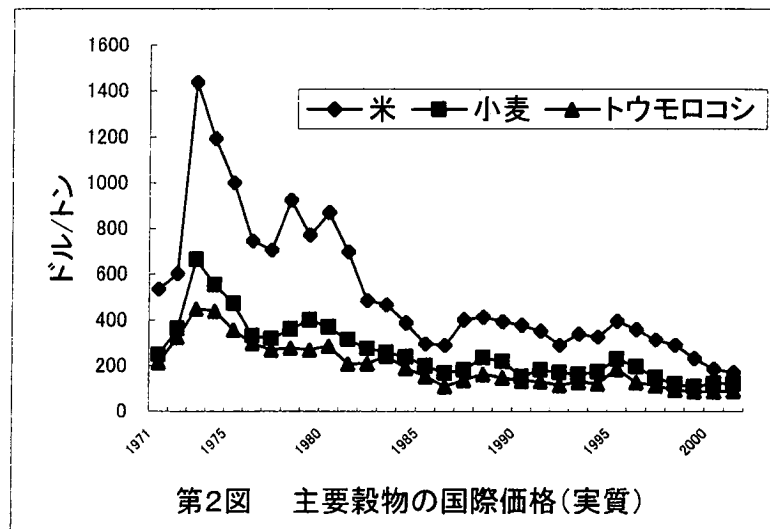
注（３）scenario2 では、地域によっては総耕地面積が減少する一方で、灌漑地の面積は増加することとなる。これは長期においては、あまりに非現実的な想定となってしまうことに注意が必要である。例えばインドでは 1990 年代の総耕地面積は年率マイナス 0.09% で減少していたが、灌漑地の面積は 3.02% の高い増加率で増加していた（前出第 3 表）。この傾向を延長すると 2010 年にはインドの総耕地面積は 1 億 6 千万 ha であるのに対し、灌漑地面積が 7 千 900 万 ha にまで増加し、さらに 2030 年まで同じ変化率で増加すると仮定すると、完全に非現実的な想定となってしまう。そのためインドに関してはインド政府水資源省による灌漑面積予測値（宇佐美（2002）の表 12、なお元データは Government of India, Ministry of Water Resources, “Integrated Water Resource Development A Plan for Action”, 1999）を利用することとした。

2. 計測結果と含意

1) 国際価格

米および小麦、トウモロコシの国際価格の歴史的推移をみると、いずれも 1970 年代に最高値を記録した後、長期的に低下傾向にあることがわかる（第 2 図）。そして年毎の豊凶変動の影響から短期的変動を繰り返しながらも、現在では 1970 年代以降、最も低位の水準にある。

資源制約パイロットモデルによるシナリオ分析は、この現在の低迷する穀物の国際価格に対して、ほぼ横ばいの予測を提示している。いずれのシナリオも、価格に関しては、このような過去の低下基調の継続ではなく、現状の水準をほぼ維持する予測結果となっている（第 14 表）。すなわち、現在の価格水準は、すでに過去最低の水準に達しており、もし 1990 年代における土地生産性上昇率の頭打ち傾向が継続するならば、国際価格は現在の水準程度で長期的に維持されるだろうという予測である。加えて、予測期間中において、人口増加率の低下が世界各地で相当進展すると予想されることや（前出第 2 表参照）、穀物に対する所得弾力性が低下してくることから（前出第 9 表、第 10 表、第 11 表）、scenario3 の小麦のケースを除くと、いずれの場合にも、予測期間中のいずれかの時点以降には、国際価格は低下トレンドに転じると予測されている。



資料: IMF, International Financial Statistics

各品目の価格予測結果は以下のようにまとめられる。

米についてみると、2000 年で 242.7 ドルであったトン当たり価格は、中立的なシナリオである scenario1 では 2014 年および 2015 年で 269.8 ドルにまで上昇するが、その後 2030 年には 2000 年水準を下回る約 240.5 ドルまで低下する。また灌漑面積の拡大が継続すると想定する scenario2 では、米の国際価格は 2004 年以降には早くも低下傾向に転じ、2030 年には 187.8 ドルにまで低下すると予想される。逆に灌漑面積が緩やかに減少していくと仮定する scenario3 では国際価格は 2016 年および 2017 年で 287.0 ドルまで上昇し、2030 年段階でも 2000 年を上回る 265.7 ドルと予測される。

次に小麦についてみると、いずれのシナリオでも価格がピークを迎える時点が米の場合よりも、遅くなっていることがわかる。たとえば、scenario1 では小麦の国際価格は 2025 年まで上昇し、トン当たり約 173.4 ドルを記録するが、米の国際価格は 2014 年以降、低下トレンドに転じている。これに対して灌漑面積が増加を続けると想定する scenario2 では 2015 年および 2016 年においてトン当たり 134.2 ドルにまで上昇するが、2030 年には 125.3 ドルにまで低下すると予測される。これは scenario1 の予測値を 46.8 ドル下回る。

次に世界全体でみると総耕地面積と灌漑地面積がともに減少すると想定する scenario3 では小麦価格は予測期間を通じて上昇し、2030 年ではトン当たり 200.7 ドルの水準にまで上昇すると予測される。この米と小麦の価格予測の間に見られる違いは、アジアを中心とする開発途上国の食生活においてパンやめん類の消費が拡大する傾向を反映していると考えてよいだろう。

最後にトウモロコシの価格をみると、scenario1 では 2030 年でトン当たり 134.4 ドルにまで上昇するが、灌漑地の拡大を見込む scenario2 では 2010 年で 99.2 ドルまで上昇した価格が 2030 年には 85.0 ドルにまで低下する。逆に scenario3 では 2028 年まで価格上昇が続くと考えられる。

ここで長期予測の先行研究である Rosegrant et al.(2002)および von Lampe(1999)、大賀(1998)の価格予測の結果と資源制約パイロットモデルによる予測結果を比較検討し、我々の予測の相対的な位置づけを行なっておきたい⁽¹⁾。

第 15 表に各研究の価格予測の結果をまとめた。ここで挙げた既往の 3 研究はいずれも我々の研究に比べてより多くの農産物を対象にしたモデルを用いたものであるが、ここでは、米、小麦、トウモロコシの 3 品目だけを対象とする。

まず我々の研究における 2025 年の価格予測値を Rosegrant et al. (2002)のそれと比較してみよう。両者のベースラインに相当する scenario1 と business-as-usual の予測値について検討すると、米では 255 ドル/トンと 307 ドル/トン、小麦では 173 ドル/トンと 205 ドル/トン、トウモロコシでは 136 ドル/トンと 187 ドル/トンとなっており、3 品目いずれの場合にも、我々の価格予測値のほうが低いことがわかる。

さらに我々のシミュレーションでは最も厳しい資源制約を課したシナリオとなっている scenario3 の場合（2025 年の予測価格は、米で 278 ドル/トン、小麦で 198 ドル/トン、トウモ

第14表 実質国際価格予測値 (USD/トン)

年	Scenario1			Scenario2			Scenario3		
	米	小麦	トウモロコシ	米	小麦	トウモロコシ	米	小麦	トウモロコシ
2000	242.7	116.3	93.8	241.6	115.7	92.9	243.1	116.6	94.0
2001	249.7	117.8	94.7	246.7	116.1	92.5	251.0	118.7	95.4
2002	251.4	124.4	99.0	246.1	121.0	95.1	253.7	126.1	100.3
2003	254.8	128.8	102.4	246.9	123.6	96.5	258.2	131.4	104.2
2004	258.0	132.6	105.2	247.2	125.5	97.5	262.6	136.1	107.7
2005	260.7	136.1	107.8	247.2	127.1	98.1	266.6	140.6	111.0
2006	262.8	139.3	110.1	246.5	128.4	98.6	269.9	144.8	114.0
2007	264.5	142.3	112.3	245.5	129.4	98.8	272.8	148.8	116.8
2008	265.9	145.2	114.5	244.3	130.4	99.0	275.4	152.7	119.6
2009	267.2	148.0	116.5	243.0	131.3	99.2	277.9	156.5	122.4
2010	268.4	150.8	118.6	241.7	132.1	99.2	280.1	160.4	125.1
2011	269.1	153.3	120.4	240.0	132.7	99.2	281.9	163.9	127.6
2012	269.4	155.6	122.2	238.1	133.1	99.0	283.3	167.3	130.0
2013	269.7	157.9	123.9	236.1	133.5	98.8	284.6	170.7	132.3
2014	269.8	160.1	125.5	234.0	133.9	98.6	285.7	174.0	134.6
2015	269.8	162.3	127.1	232.0	134.2	98.3	286.6	177.3	136.8
2016	269.2	164.0	128.4	229.6	134.2	97.8	287.0	180.1	138.7
2017	268.4	165.6	129.7	227.0	134.1	97.3	287.0	182.7	140.5
2018	267.4	167.2	130.8	224.4	134.0	96.7	286.8	185.3	142.2
2019	266.3	168.6	131.9	221.7	133.8	96.1	286.5	187.8	143.8
2020	265.2	170.0	132.9	219.1	133.6	95.5	286.1	190.2	145.4
2021	263.5	170.9	133.6	216.2	133.1	94.7	285.1	192.1	146.5
2022	261.6	171.6	134.2	213.2	132.5	93.8	283.7	193.7	147.5
2023	259.5	172.3	134.6	210.1	131.9	92.8	282.2	195.3	148.4
2024	257.4	172.9	135.1	207.1	131.2	91.9	280.6	196.8	149.3
2025	255.2	173.4	135.5	204.1	130.5	91.0	278.9	198.3	150.1
2026	252.6	173.3	135.4	200.9	129.6	89.8	276.6	199.0	150.3
2027	249.7	173.1	135.2	197.5	128.5	88.6	274.0	199.5	150.4
2028	246.6	172.8	135.0	194.2	127.4	87.4	271.3	200.0	150.5
2029	243.6	172.5	134.8	191.0	126.4	86.2	268.5	200.4	150.5
2030	240.5	172.1	134.4	187.8	125.3	85.0	265.7	200.7	150.4

資料: シミュレーション結果。

注: 四角形で囲まれた数値は各シナリオ中の品目別最高予想価格。

第15表 需給モデルを用いた長期の国際価格予測の比較(実質、USD/トン)

		基準年	基準年の価格水準	予測価格		
				2020年	2025年	2030年
米						
資源制約パイロットモデル	scenario1	1999年	231	265	255	241
資源制約パイロットモデル	scenario2	1999年	231	219	204	188
資源制約パイロットモデル	scenario3	1999年	231	286	278	266
Rosegrant et al. (2002)	business-as-usual	1995年	396	—	307	—
Rosegrant et al. (2002)	water crisis	1995年	396	—	552	—
Rosegrant et al. (2002)	sustainable water use	1995年	396	—	299	—
von Lampe (1999)	baseline	1994年	326	248	—	—
大賀(1998)	基準となるシナリオ	1992年	290	319	—	—
小麦						
資源制約パイロットモデル	scenario1	1999年	108	170	173	172
資源制約パイロットモデル	scenario2	1999年	108	134	131	125
資源制約パイロットモデル	scenario3	1999年	108	190	198	201
Rosegrant et al. (2002)	business-as-usual	1995年	229	—	205	—
Rosegrant et al. (2002)	water crisis	1995年	229	—	415	—
Rosegrant et al. (2002)	sustainable water use	1995年	229	—	191	—
von Lampe (1999)	baseline	1994年	173	116	—	—
大賀(1998)	基準となるシナリオ	1992年	170	184	—	—
トウモロコシ						
資源制約パイロットモデル	scenario1	1999年	88	133	136	134
資源制約パイロットモデル	scenario2	1999年	88	96	91	85
資源制約パイロットモデル	scenario3	1999年	88	145	150	150
Rosegrant et al. (2002)	business-as-usual	1995年	185	—	187	—
Rosegrant et al. (2002)	water crisis	1995年	185	—	402	—
Rosegrant et al. (2002)	sustainable water use	1995年	185	—	176	—
von Lampe (1999)	baseline	1994年	123	95	—	—
大賀(1998)	基準となるシナリオ	1992年	115	137	—	—

資料: 前出第14表、第2図、大賀(1998)表4.5、Rosegrant et al. (2002) Table5.14、von Lampe (1999) Figure4-1。

注: ここでは基準年の価格水準が異なる各予測を比較するため、指数による予測値は、すべて実質価格に換算して表に示した。Rosegrant et al. (2002)では各品目の価格水準が示されているが、ここでは比較のため、基準年の価格には第2図で示されている実質価格の数値を適用した(元データはIMFのInternational Financial Statistics (IFS)の価格データを米国の消費者物価指数で実質化したもの)。そして予測結果から目標年における変化率を計算し、基準年における価格に乘じて目標年の価格を計算した。von Lampe(1999)では1994～2005年および2006年～2020年の期間の変化率(年率)が、図で示されているのみなので、米については、それぞれ期間で-1.1%および-1.0%、小麦については-1.1%および-1.8%、トウモロコシについてはいずれも-1.0%で変化するものとし、1994年の基準価格には同様にIFSの価格データを適用して計算した。また、大賀(1998)では、予測価格は指数で示されているのみであるため、同様にIFSの価格データを、予測された指数に乘じて、各価格を計算した。

ロコシで 150 ドル/トン) ですら、Rosegrant et al. (2002)の business-as-usual の予測値を下回っている。つまり我々の予測は、Rosegrant et al.(2002) に比べて、国際穀物市場における需給緩和を予測するものであり、わが国にとっての海外からの穀物の入手可能性という意味では、楽観的な展望を示すものである。

次に 2020 年の国際価格の予測値について、我々の scenario 1 の予測値を von Lampe(1999)の予測値と比較すると、scenario1 は、いずれの場合も高くなっていることがわかる(米では 265 ドル/トンと 248 ドル/トンであり、小麦では 170 ドル/トンと 116 ドル/トン、トウモロコシでは 133 ドル/トンと 95 ドル/トン)。また資源制約に関して楽観的な想定をおいた scenario2 の予測値と von Lampe(1999)の予測値を比較しても、小麦とトウモロコシの場合には von Lampe (1999)の予測値を上回っている(小麦で 134 ドル/トンと 116 ドル/トン、トウモロコシで 96 ドル/トンと 95 ドル/トン)。つまり我々の予測は von Lampe(1999)の予測に比べると、国際穀物需給のひっ迫化を予測するものになっている。

最後に大賀(1998)の 2020 年の予測値と我々の scenario1 の予測値を比較すると、両者は比較的近いこと示されている。米の国際価格の予測値については我々のものがトン当たり 54 ドル低いものの(265 ドル/トンと 319 ドル/トン)、小麦(170 ドル/トンと 184 ドル/トン)とトウモロコシ(133 ドル/トンと 137 ドル/トン)の場合には、かなり近い水準にある。

ここで見たように、我々の中立的シナリオである scenario 1 で示される国際穀物需給の展望は、価格水準に関する限り、ここで挙げた 3 つの既往研究による長期予測と比較して、ほぼ中間的な見方をもつものと理解される⁽²⁾。

なお、既往の研究では、かなり「大胆」なシミュレーションも行なわれている。たとえば、大賀(1998)は、基準となるシナリオに比べて穀物価格が約 4 倍に上昇するという生産制約シナリオを提示している(大賀(1998)、表 4.7)。また Rosegrant et al.(2002)も彼らの water crisis シナリオで、基準となる business-as-usual シナリオに比べて 2 倍以上の価格上昇(小麦とトウモロコシのケース)を予測している。それらに比較すると、本稿で示した悲観シナリオである scenario3 は、価格への影響の比較的小さい、「おとなしい」シミュレーションである。これは、我々のシナリオ分析が、総耕地面積や灌漑地面積といった極端な変動の想定しがたい生産要素を操作対象にしているためである。

2) 生産量

各国の生産量の予測結果を、各シナリオ別に 2000 年、2010 年、2020 年、2030 年の 4 時点について示した第 16 表によると、ASEAN、カナダ、EU、旧ソ連、インド、日本、アメリカでは scenario1 に比べて scenario3 の生産量は、3 品目とも少なくなっている。これらの国では、耕地、灌漑地という生産資源の減少傾向が今後の穀物供給を抑制していくと考えられる。

たとえば、ASEAN の米についてみると scenario1 では 2030 年において 1 億 2200 万トンの生産量が scenario2 では 1 億 4000 万トンへとさらに増加している。一方、scenario3 では 9900

第16表 生産量予測結果(千トン)

国・地域	年	米				小麦				トウモロコシ			
		2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030
世界全体	scenario1	390,728	453,780	488,353	539,248	573,406	691,099	718,985	782,027	593,967	719,144	794,469	895,869
	scenario2	392,093	468,179	516,413	580,620	574,825	703,086	737,733	807,107	597,517	748,525	853,529	994,313
	scenario3	390,169	448,306	478,151	524,208	572,511	683,668	706,100	761,899	592,989	711,947	785,535	884,658
アルゼンチン	scenario1	640	748	781	890	15,066	17,638	20,016	23,271	16,590	21,714	27,670	33,220
	scenario2	640	751	789	908	15,066	17,230	19,139	21,968	16,591	20,477	24,555	28,022
	scenario3	640	748	782	891	15,066	17,898	20,605	24,259	16,590	22,105	28,449	34,372
ASEAN	scenario1	90,731	104,986	111,869	122,281	100	109	118	129	16,980	21,338	25,404	30,361
	scenario2	91,322	111,248	123,892	140,003	100	108	115	122	16,895	19,409	20,415	20,486
	scenario3	90,075	97,323	96,774	98,611	100	106	110	117	16,793	19,046	20,395	21,892
オーストラリア	scenario1	886	873	948	1,053	21,925	30,188	28,898	31,727	289	394	411	460
	scenario2	905	1,107	1,489	2,049	22,254	35,037	38,348	48,290	290	396	413	463
	scenario3	886	878	958	1,068	21,929	30,454	29,380	32,474	289	397	416	466
カナダ	scenario1	0	0	0	0	25,091	27,003	24,363	26,716	7,679	8,238	9,394	10,486
	scenario2	0	0	0	0	25,084	26,779	23,985	26,171	7,677	8,103	9,065	9,915
	scenario3	0	0	0	0	25,065	26,809	24,044	26,198	7,671	8,127	9,113	9,996
中国	scenario1	130,719	152,411	154,317	165,390	107,072	130,872	132,592	145,520	119,489	146,989	171,773	204,272
	scenario2	130,814	153,046	154,941	164,903	107,538	135,499	140,881	158,024	120,485	159,169	198,446	249,867
	scenario3	130,741	152,815	155,241	166,774	107,100	132,003	134,785	148,980	119,539	148,026	173,882	207,758
ヨーロッパ連合	scenario1	1,459	1,585	1,831	1,903	96,380	114,021	105,521	108,835	37,071	42,516	40,294	42,539
	scenario2	1,470	1,682	2,044	2,251	96,478	113,712	104,746	107,756	37,091	41,759	38,576	39,520
	scenario3	1,451	1,516	1,679	1,671	95,964	110,130	99,086	99,235	36,944	41,005	37,406	37,979
旧ソ連	scenario1	931	946	1,029	1,077	61,193	85,547	104,643	112,514	5,936	5,162	7,173	8,302
	scenario2	926	890	917	911	61,061	81,352	94,999	98,342	5,902	4,743	6,075	6,480
	scenario3	926	887	910	898	61,048	84,569	102,418	108,813	5,901	4,841	6,315	6,855
インド	scenario1	85,160	96,265	112,986	129,019	75,963	91,488	101,755	117,393	11,892	13,364	15,271	17,293
	scenario2	85,379	98,613	116,688	131,332	76,264	93,512	102,775	111,973	11,904	13,187	14,724	16,142
	scenario3	85,096	95,320	110,870	125,440	75,848	90,427	99,513	113,536	11,887	13,385	15,277	17,260
日本	scenario1	9,080	9,514	9,599	9,625	627	693	783	869	1	1	1	1
	scenario2	9,013	8,550	7,821	7,147	621	608	608	601	1	1	1	1
	scenario3	9,014	8,796	8,256	7,687	620	628	648	655	1	1	1	1
アメリカ	scenario1	6,557	7,177	8,378	9,155	59,490	76,012	76,895	85,565	243,828	297,792	300,140	325,862
	scenario2	6,588	7,412	8,903	10,055	59,606	76,119	77,021	86,238	245,241	309,865	322,471	362,414
	scenario3	6,522	6,818	7,592	7,899	59,095	71,613	68,755	72,495	242,305	279,662	265,424	270,989
その他世界	scenario1	64,564	79,275	86,616	98,854	110,499	117,527	123,401	129,490	134,211	161,637	196,937	223,073
	scenario2	65,035	84,880	98,930	121,061	110,753	123,131	135,116	147,621	135,441	171,416	218,789	261,004
	scenario3	64,818	83,205	95,087	113,269	110,676	119,031	126,755	135,137	135,069	175,351	228,858	277,091

資料:シミュレーション結果。

第17表 単収予測結果(トン/ha)

国・地域	年	米				小麦				トウモロコシ			
		2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030
世界全体	scenario1	2.6	3.0	3.3	3.8	2.7	3.2	3.2	3.4	4.3	5.1	5.3	5.9
	scenario2	2.6	3.0	3.3	3.7	2.7	3.2	3.1	3.4	4.3	5.1	5.3	5.9
	scenario3	2.6	3.0	3.4	3.8	2.7	3.1	3.1	3.4	4.2	5.0	5.1	5.5
アルゼンチン	scenario1	3.6	4.1	4.8	5.8	2.5	2.8	3.0	3.5	5.5	6.9	7.9	9.5
	scenario2	3.6	4.1	4.8	5.8	2.5	2.8	3.0	3.5	5.5	6.9	7.9	9.5
	scenario3	3.6	4.1	4.8	5.8	2.5	2.8	3.0	3.5	5.5	6.9	7.9	9.5
ASEAN	scenario1	2.2	2.5	2.7	2.9	1.1	1.2	1.3	1.4	2.2	2.7	3.1	3.6
	scenario2	2.2	2.5	2.7	2.9	1.1	1.2	1.3	1.4	2.2	2.7	3.1	3.6
	scenario3	2.2	2.5	2.7	2.9	1.1	1.2	1.3	1.4	2.2	2.7	3.1	3.6
オーストラリア	scenario1	6.8	6.6	7.2	8.0	1.8	2.5	2.3	2.5	4.7	6.4	6.3	7.0
	scenario2	6.8	6.6	7.2	8.0	1.8	2.5	2.3	2.5	4.7	6.4	6.3	7.0
	scenario3	6.8	6.6	7.2	8.0	1.8	2.5	2.3	2.5	4.7	6.4	6.3	7.0
カナダ	scenario1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.6	2.3	2.5	6.6	7.2	8.2	9.2
	scenario2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.6	2.3	2.5	6.6	7.2	8.2	9.2
	scenario3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.6	2.3	2.5	6.6	7.2	8.2	9.2
中国	scenario1	4.4	5.0	5.4	6.0	3.7	4.5	4.4	4.8	4.6	5.6	6.4	7.6
	scenario2	4.4	5.0	5.4	6.0	3.7	4.5	4.4	4.8	4.6	5.6	6.4	7.6
	scenario3	4.4	5.0	5.4	6.0	3.7	4.5	4.4	4.8	4.6	5.6	6.4	7.6
ヨーロッパ連合	scenario1	3.9	4.0	4.7	5.1	5.9	6.6	5.8	6.0	8.9	10.4	9.4	9.9
	scenario2	3.9	4.0	4.7	5.1	5.9	6.6	5.8	6.0	8.9	10.4	9.4	9.9
	scenario3	3.9	4.0	4.7	5.1	5.9	6.6	5.8	6.0	8.9	10.4	9.4	9.9
旧ソ連	scenario1	2.1	2.1	2.5	2.7	1.5	2.0	2.3	2.4	2.6	2.3	3.1	3.6
	scenario2	2.1	2.1	2.5	2.7	1.5	2.0	2.3	2.4	2.6	2.3	3.1	3.6
	scenario3	2.1	2.1	2.5	2.7	1.5	2.0	2.3	2.4	2.6	2.3	3.1	3.6
インド	scenario1	1.9	2.2	2.6	3.0	2.8	3.3	3.5	4.1	1.8	2.1	2.2	2.5
	scenario2	1.9	2.2	2.6	3.0	2.8	3.3	3.5	4.1	1.8	2.1	2.2	2.5
	scenario3	1.9	2.2	2.6	3.0	2.8	3.3	3.5	4.1	1.8	2.1	2.2	2.5
日本	scenario1	4.9	4.9	5.0	5.1	3.8	4.0	4.2	4.6	1.0	0.7	1.2	1.4
	scenario2	4.9	4.9	5.0	5.1	3.8	4.0	4.2	4.6	1.0	0.7	1.2	1.4
	scenario3	4.9	4.9	5.0	5.1	3.8	4.0	4.2	4.6	1.0	0.7	1.2	1.4
アメリカ	scenario1	4.8	5.1	6.0	6.7	2.8	3.4	3.3	3.6	8.6	10.4	10.1	10.9
	scenario2	4.8	5.1	6.0	6.7	2.8	3.4	3.3	3.6	8.6	10.4	10.1	10.9
	scenario3	4.8	5.1	6.0	6.7	2.8	3.4	3.3	3.6	8.6	10.4	10.1	10.9
その他世界	scenario1	2.2	2.6	3.1	3.7	2.1	2.3	2.4	2.5	2.2	2.6	2.9	3.3
	scenario2	2.2	2.6	3.1	3.7	2.1	2.3	2.4	2.5	2.2	2.6	2.9	3.3
	scenario3	2.2	2.6	3.1	3.7	2.1	2.3	2.4	2.5	2.2	2.6	2.9	3.3

資料:シミュレーション結果。

第18表 収穫面積予測結果(千ha)

国・地域	年	米				小麦				トウモロコシ			
		2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030
世界全体	scenario1	149,028	152,831	145,924	142,647	214,753	218,878	228,045	229,956	139,552	141,108	149,726	151,184
	scenario2	149,642	158,623	155,742	155,116	215,250	222,523	234,424	238,739	140,443	146,898	160,675	167,474
	scenario3	148,788	150,629	141,881	136,881	214,484	217,205	224,982	225,618	139,655	143,678	155,328	159,954
アルゼンチン	scenario1	176	183	162	154	5,948	6,251	6,667	6,706	3,035	3,165	3,485	3,510
	scenario2	176	184	163	157	5,949	6,106	6,375	6,330	3,036	2,985	3,092	2,961
	scenario3	176	183	162	154	5,948	6,343	6,864	6,990	3,035	3,223	3,583	3,632
ASEAN	scenario1	41,497	42,432	41,960	41,481	90	90	90	90	7,654	7,772	8,242	8,323
	scenario2	41,767	44,963	46,470	47,492	90	89	88	85	7,615	7,069	6,624	5,616
	scenario3	41,197	39,335	36,298	33,451	90	87	84	82	7,569	6,937	6,617	6,001
オーストラリア	scenario1	131	133	132	131	11,995	12,263	12,671	12,707	61	62	65	65
	scenario2	134	168	208	256	12,175	14,233	16,815	19,340	61	62	65	66
	scenario3	131	133	134	133	11,997	12,371	12,883	13,006	61	62	66	66
カナダ	scenario1	0	0	0	0	10,261	10,412	10,593	10,609	1,159	1,140	1,142	1,142
	scenario2	0	0	0	0	10,259	10,325	10,428	10,393	1,158	1,121	1,102	1,080
	scenario3	0	0	0	0	10,251	10,337	10,454	10,404	1,157	1,125	1,108	1,089
中国	scenario1	29,776	30,639	28,534	27,658	28,638	29,100	30,095	30,258	25,989	26,046	26,641	26,767
	scenario2	29,797	30,766	28,650	27,577	28,762	30,128	31,976	32,859	26,206	28,205	30,778	32,741
	scenario3	29,781	30,720	28,705	27,889	28,645	29,351	30,593	30,978	26,000	26,230	26,968	27,223
ヨーロッパ連合	scenario1	371	394	387	377	16,352	17,180	18,087	18,177	4,154	4,088	4,268	4,317
	scenario2	374	418	432	445	16,369	17,134	17,954	17,997	4,157	4,016	4,086	4,010
	scenario3	369	376	355	331	16,282	16,594	16,984	16,574	4,140	3,943	3,962	3,854
旧ソ連	scenario1	438	454	417	401	41,023	43,031	45,949	46,213	2,290	2,266	2,315	2,322
	scenario2	436	427	371	339	40,935	40,920	41,714	40,393	2,277	2,082	1,960	1,812
	scenario3	436	426	369	334	40,926	42,539	44,972	44,693	2,277	2,125	2,038	1,917
インド	scenario1	44,512	44,693	43,092	42,526	27,340	27,663	28,698	28,925	6,464	6,505	6,840	6,909
	scenario2	44,626	45,783	44,504	43,288	27,448	28,275	28,986	27,590	6,471	6,419	6,595	6,449
	scenario3	44,479	44,254	42,285	41,346	27,298	27,342	28,066	27,975	6,462	6,516	6,843	6,895
日本	scenario1	1,861	1,934	1,913	1,880	167	172	186	188	1	1	1	1
	scenario2	1,847	1,738	1,559	1,396	165	151	144	130	1	1	1	1
	scenario3	1,848	1,788	1,645	1,502	165	156	153	142	1	1	1	1
アメリカ	scenario1	1,358	1,413	1,397	1,372	21,053	22,102	23,433	23,559	28,382	28,734	29,748	29,824
	scenario2	1,364	1,459	1,484	1,507	21,094	22,133	23,472	23,744	28,547	29,899	31,962	33,169
	scenario3	1,350	1,342	1,266	1,184	20,913	20,823	20,953	19,960	28,205	26,985	26,307	24,802
その他世界	scenario1	28,909	30,556	27,930	26,668	51,885	50,615	51,576	52,524	60,362	61,328	66,978	68,005
	scenario2	29,120	32,716	31,901	32,659	52,004	53,028	56,472	59,878	60,915	65,038	74,410	79,569
	scenario3	29,023	32,071	30,662	30,557	51,968	51,263	52,978	54,814	60,747	66,531	77,835	84,473

資料: シミュレーション結果。

万トンと 2000 年の 9000 万トンから 30 年で約 1 割しか増加しないと見込まれる。ASEAN では総耕地の減少傾向と灌漑地の増加傾向が顕著であり、この傾向をどのように見込むかで、将来の穀物生産の予測が大きな影響を受けることを示している。

一方、中国、アルゼンチン、オーストラリアおよびその他世界では、3 品目とも、scenario3 の生産量が scenario1 の生産量を上回っている。これらの地域では、耕地や灌漑地拡大の停滞、あるいは縮小という農業生産に対する制約よりも、国際価格の高値によって生産が刺激される効果の大きいことが予想されているのである。

なお、第 17 表に外生的に与えた単収のトレンド予測値を、また第 18 表に収穫面積の予測結果をそれぞれ示した。

3) 消費量

各シナリオにおける各国・地域の消費量は、各シナリオでの予測価格に影響を受けて、それぞれ異なった数値を示す（第 19 表）。基本的に、高めの国際価格を予想する scenario3 で消費量は最も少なく、もっとも低い国際価格を予測する scenario2 で消費量は最も大きくなる。

米の場合 2030 年における世界全体の消費量は、scenario1 で 5 億 3 千 700 万トンであるのに対し、scenario 2 では 5 億 7 千 600 万トンと、scenario1 に比べて約 7% 拡大すると予測される。一方、scenario3 では 5 億 2 千 200 万トンと、消費量は約 3% 減少する。

小麦では 2030 年における世界全体の消費量は、scenario1 で 7 億 8 千 200 万トンであるのに対し、scenario 2 では 8 億 600 万トンと scenario1 に比べて約 3% 拡大し、scenario3 では逆に 7 億 6 千万トンと約 3% 縮小する。

同様に 2030 年におけるトウモロコシの世界全体の消費量を見ると、scenario1 で 8 億 9 千 600 万トンとなる一方で、scenario 2 では、scenario1 に比べて 9 億 9 千万トンと約 11% 拡大する。一方、scenario3 では 8 億 8 千 500 万トンと約 1% 制限されると予測される。

次に scenario2 での消費拡大と scenario3 での消費縮小という傾向を各国別に検討する。どちらの場合にも、世界全体での変化を上回る比率で、消費量に変動するのは、米では ASEAN およびインド、その他世界である。また小麦ではアルゼンチンおよび ASEAN、その他世界である。そしてトウモロコシではアルゼンチンおよび ASEAN、インド、その他世界である。以上、需要の価格弾力性値の大きい国・地域でシナリオ間での消費量の違いが顕著となっていることがわかる。

1 人当たり消費量については、極端な変化は予測されていない。scenario1 の世界全体の 1 人当たり米消費量は、2000 年の 66kg から 2030 年には 65kg とわずかに減少している。同じく、小麦も 98kg から 95kg と微減している。一方トウモロコシは 101kg から 108kg とやや増加すると予測されている（第 20 表）。

各国別に見て注目されるのは、まず中国の 1 人当たり米消費量が、2000 年の 106kg から、2030 年には 82kg へと大幅に減少すると予測されている点である。中国の場合、小麦やトウモ

第19表 消費量予測結果(千トン)

国・地域	年	米				小麦				トウモロコシ			
		2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030
世界全体	scenario1	400,696	455,233	487,559	536,615	596,481	691,391	719,954	781,769	612,229	719,114	795,500	895,578
	scenario2	401,160	467,932	513,553	575,565	596,682	700,789	737,482	805,585	613,535	744,395	852,144	990,832
	scenario3	400,512	450,295	477,909	522,298	596,243	684,934	707,387	762,040	611,940	712,954	786,781	884,608
アルゼンチン	scenario1	231	252	314	366	4,908	5,328	5,543	5,956	5,483	6,037	5,922	6,205
	scenario2	231	256	323	379	4,912	5,457	5,790	6,295	5,502	6,407	6,645	7,294
	scenario3	231	251	312	363	4,905	5,252	5,399	5,739	5,478	5,933	5,778	6,028
ASEAN	scenario1	85,345	96,889	106,464	119,383	9,190	12,351	10,814	12,176	21,696	27,399	29,542	34,576
	scenario2	85,483	100,605	113,924	130,330	9,191	12,696	11,354	12,902	21,784	29,247	33,566	41,437
	scenario3	85,288	95,424	103,671	115,314	9,179	12,037	10,280	11,302	21,675	26,906	28,828	33,611
オーストラリア	scenario1	348	388	482	557	5,222	5,440	6,301	6,801	352	371	363	356
	scenario2	348	393	493	574	5,224	5,498	6,426	6,975	353	384	389	395
	scenario3	348	386	479	553	5,221	5,402	6,221	6,678	352	370	363	358
カナダ	scenario1	252	275	325	366	7,549	7,744	8,716	9,362	8,872	9,567	9,812	10,122
	scenario2	253	279	333	377	7,554	7,894	9,029	9,805	8,884	9,750	10,184	10,679
	scenario3	252	274	322	363	7,545	7,666	8,560	9,132	8,870	9,529	9,768	10,082
中国	scenario1	134,694	145,953	131,558	121,341	117,571	137,562	151,056	161,059	119,872	140,213	164,581	182,198
	scenario2	134,760	147,627	134,282	124,605	117,611	138,832	153,641	164,673	120,008	143,023	170,991	192,155
	scenario3	134,667	145,287	130,512	120,088	117,545	136,890	149,730	159,099	119,833	139,330	163,046	180,113
ヨーロッパ連合	scenario1	2,114	2,109	2,457	2,611	86,275	87,511	86,593	86,742	38,371	41,360	40,905	41,144
	scenario2	2,115	2,131	2,498	2,663	86,326	89,016	89,330	90,298	38,432	42,215	42,641	43,758
	scenario3	2,114	2,101	2,440	2,588	86,239	86,684	85,101	84,666	38,363	41,252	40,883	41,227
旧ソ連	scenario1	1,317	1,404	1,525	1,624	67,100	67,172	68,035	68,172	6,506	6,322	7,617	7,873
	scenario2	1,317	1,420	1,555	1,666	67,136	68,087	69,764	70,467	6,506	6,322	7,617	7,873
	scenario3	1,316	1,399	1,515	1,612	67,079	66,720	67,226	67,061	6,506	6,322	7,617	7,873
インド	scenario1	83,419	100,914	109,450	124,164	70,478	92,849	91,535	102,030	11,389	13,553	13,110	13,901
	scenario2	83,536	104,280	116,055	133,890	70,510	94,088	93,850	105,455	11,436	14,490	14,951	16,759
	scenario3	83,373	99,612	106,991	120,566	70,451	92,091	90,181	99,887	11,377	13,307	12,796	13,520
日本	scenario1	9,411	9,391	9,393	9,137	5,890	5,936	5,554	5,276	16,482	17,384	17,456	17,193
	scenario2	9,413	9,441	9,482	9,248	5,889	5,952	5,578	5,296	16,495	17,532	17,773	17,684
	scenario3	9,410	9,374	9,364	9,103	5,889	5,907	5,499	5,196	16,481	17,402	17,536	17,335
アメリカ	scenario1	3,888	4,252	5,109	5,819	35,283	36,411	42,794	46,491	194,125	214,488	223,417	237,151
	scenario2	3,890	4,297	5,201	5,949	35,294	36,699	43,421	47,383	194,403	219,213	233,231	252,227
	scenario3	3,888	4,238	5,078	5,777	35,276	36,256	42,465	45,996	194,066	213,381	222,047	235,651
その他世界	scenario1	79,677	93,406	120,483	151,246	187,017	233,088	243,012	277,705	189,082	242,419	282,776	344,861
	scenario2	79,815	97,202	129,406	165,883	187,034	236,570	249,299	286,036	189,733	255,812	314,158	400,571
	scenario3	79,624	91,948	117,225	145,972	186,914	230,028	236,726	267,285	188,939	239,221	278,120	338,811

資料:シミュレーション結果。

第20表 1人当たり消費量予測結果(kg/年)

国・地域	年	米				小麦				トウモロコシ			
		2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030
世界全体	scenario1	66	67	64	65	98	101	95	95	101	105	105	108
	scenario2	66	69	68	70	99	103	97	97	101	109	112	120
	scenario3	66	66	63	63	98	100	93	92	101	104	104	107
アルゼンチン	scenario1	6	6	7	7	133	128	122	122	148	146	131	127
	scenario2	6	6	7	8	133	132	128	129	149	154	147	149
	scenario3	6	6	7	7	132	127	119	117	148	143	127	123
ASEAN	scenario1	164	163	161	166	18	21	16	17	42	46	45	48
	scenario2	164	170	173	181	18	21	17	18	42	49	51	58
	scenario3	164	161	157	160	18	20	16	16	42	45	44	47
オーストラリア	scenario1	18	18	21	23	273	259	277	281	18	18	16	15
	scenario2	18	19	22	24	273	261	283	288	18	18	17	16
	scenario3	18	18	21	23	273	257	273	276	18	18	16	15
カナダ	scenario1	8	8	9	10	245	233	245	248	288	288	276	269
	scenario2	8	8	9	10	246	238	254	260	289	294	286	283
	scenario3	8	8	9	10	245	231	240	242	288	287	274	267
中国	scenario1	106	107	91	82	92	101	104	108	94	103	114	123
	scenario2	106	108	93	84	92	102	106	111	94	105	118	129
	scenario3	106	106	90	81	92	100	104	107	94	102	113	121
ヨーロッパ連合	scenario1	6	6	7	7	229	232	231	236	102	109	109	112
	scenario2	6	6	7	7	229	236	239	246	102	112	114	119
	scenario3	6	6	7	7	229	229	227	231	102	109	109	112
旧ソ連	scenario1	5	5	5	6	231	238	245	253	22	22	27	29
	scenario2	5	5	6	6	231	241	251	261	22	22	27	29
	scenario3	5	5	5	6	231	236	242	249	22	22	27	29
インド	scenario1	83	87	85	88	70	80	71	72	11	12	10	10
	scenario2	83	90	90	95	70	81	73	75	11	12	12	12
	scenario3	83	86	83	86	70	79	70	71	11	11	10	10
日本	scenario1	74	73	75	75	46	46	44	43	130	136	139	142
	scenario2	74	74	75	76	46	46	44	44	130	137	141	146
	scenario3	74	73	74	75	46	46	44	43	130	136	139	143
アメリカ	scenario1	14	14	15	16	125	118	128	130	685	695	669	662
	scenario2	14	14	16	17	125	119	130	132	686	710	698	704
	scenario3	14	14	15	16	125	118	127	128	685	692	664	657
その他世界	scenario1	38	37	41	44	90	93	82	81	91	97	95	101
	scenario2	38	39	44	48	90	94	84	83	91	102	106	117
	scenario3	38	37	40	43	90	92	80	78	91	95	94	99

資料:シミュレーション結果。

ロコシの1人当たり消費量は、逆に増加すると見込まれている。

また、比較的变化の大きい、その他世界の1人当たり消費量について見ると、米は2000年の38kgから2030年の44kgへ、トウモロコシは同じく91kgから101kgへと、それぞれ増加すると予測されている。しかし、小麦の1人当たり消費量は、90kgから81kgに減少すると見込まれている。これは、モンスーンアジア以外の地域においても、米食の人気の高まっていることを反映しているものと考えられる。

4) 貿易量

次に生産量と消費量（在庫変動を含む）とのギャップで表される純輸出量により各国・地域の貿易量の予測値について検討する（第21表）。

米の場合では、特に灌漑地の減少の影響から、scenario3においてASEANが米の純輸入地域になると予想されていることが注目される。一方、中国ではいずれのシナリオでも供給が需要を上回って拡大し、大幅な供給過剰が見込まれているが、scenario2では低価格が生産を抑制し、純輸出量が小さくなっている。またインドは2030年においてscenario2では輸入地域になっているが、scenario3では高価格に対応して供給が顕著に増加し、輸出地域に転じていることが注目される。その他世界では価格の上昇が需要を抑制し、輸入量がscenario3において、最も少なくなっている。

小麦では、3つのシナリオの間で貿易量の変化が大きいのは、オーストラリア、旧ソ連、インドなどである。オーストラリアは灌漑面積の増加が見込まれるscenario2で純輸出量が大きく拡大する。一方、旧ソ連やインドでは、低価格による消費量の拡大と生産量の減少が影響して、scenario2の純輸出量の減少が顕著である。

最後にトウモロコシでは、scenario3で貿易量の拡大が世界全体で大きく制限されていることが注目される。この動向を規定しているのはアメリカと中国での純輸出量がscenario3で大幅に制限されていることである。これはscenario3ではこの両国の灌漑面積の減少が想定されており、加えて、トウモロコシの収穫面積に対する灌漑面積の弾力性値として、高い値（それぞれ0.951と0.800、前出第7表参照）を与えているためである。

注（1）ここでは、比較対象とした各予測の基準年の価格水準が異なっていることに注意する必要がある（第15表の注を参照されたい）。既に指摘したように穀物の国際価格は1990年代の前半から半ばにかけて上昇した後、長期に低迷している。ここで対象とした3研究はいずれも、本稿に比べて、比較的穀物価格の高かった時期に基準年を置いている。

注（2）本稿では価格変化の傾向に関する比較は行なわないが、予測結果が一般に与える悲観的あるいは楽観的といった印象は、この「傾向」に多分に左右されていることを指摘しておきたい。予測価格の推移の傾向に注目すると、Rosegrant et al.(2002)は米と小麦の価格で将来の

第21表 純輸出量予測結果(千トン)

国・地域	年	米				小麦				トウモロコシ			
		2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030	2000	2010	2020	2030
世界全体	scenario1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	scenario2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	scenario3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
アルゼンチン	scenario1	422	498	466	521	10,224	12,312	14,476	17,314	11,149	15,677	21,751	27,014
	scenario2	421	494	463	523	10,217	11,764	13,348	15,668	11,124	14,058	17,907	20,718
	scenario3	423	499	470	526	10,230	12,651	15,212	18,521	11,156	16,175	22,675	28,343
ASEAN	scenario1	6,394	8,217	5,339	2,682	-8,922	-12,239	-10,686	-12,050	-4,568	-6,061	-4,128	-4,217
	scenario2	6,770	10,623	9,732	9,256	-8,934	-12,611	-11,242	-12,795	-4,763	-9,880	-13,165	-20,986
	scenario3	5,826	2,062	-6,917	-16,859	-8,906	-11,919	-10,156	-11,184	-4,727	-7,849	-8,421	-11,720
オーストラリア	scenario1	544	486	466	494	17,094	24,755	22,620	24,920	-63	22	48	104
	scenario2	563	713	994	1,472	17,396	29,485	31,916	41,279	-62	12	24	68
	scenario3	545	493	479	514	17,113	25,081	23,190	25,800	-62	28	53	107
カナダ	scenario1	-252	-275	-325	-366	18,381	19,274	15,696	17,341	-1,051	-1,330	-407	361
	scenario2	-253	-279	-333	-377	18,313	18,770	14,943	16,291	-1,085	-1,686	-1,132	-798
	scenario3	-252	-274	-322	-363	18,388	19,206	15,549	17,073	-1,051	-1,392	-644	-86
中国	scenario1	2,266	7,468	22,208	42,220	1,186	-6,597	-18,157	-15,621	11,539	6,759	7,781	21,908
	scenario2	1,677	5,247	18,671	36,786	1,144	-4,065	-12,839	-7,134	11,059	13,783	26,662	55,720
	scenario3	2,570	8,911	24,562	45,359	1,491	-4,486	-14,538	-10,074	12,038	9,271	11,547	27,617
ヨーロッパ連合	scenario1	-582	-515	-631	-724	11,669	26,537	19,019	22,068	-933	1,155	-585	1,388
	scenario2	-577	-451	-471	-443	11,613	24,481	15,392	17,316	-1,026	-558	-4,099	-4,325
	scenario3	-587	-574	-762	-929	11,345	23,565	14,106	14,583	-1,036	-222	-3,446	-3,249
旧ソ連	scenario1	-357	-455	-498	-554	-5,300	18,386	36,643	44,333	-460	-1,161	-436	427
	scenario2	-364	-531	-645	-766	-5,509	13,181	25,226	27,820	-510	-1,609	-1,552	-1,419
	scenario3	-361	-507	-606	-719	-5,402	17,895	35,239	41,758	-490	-1,474	-1,292	-1,018
インド	scenario1	3,214	-4,473	3,440	4,537	6,903	-1,336	10,302	15,341	565	-189	2,165	3,390
	scenario2	3,204	-5,696	288	-3,168	7,077	-771	8,904	6,389	520	-1,320	-233	-631
	scenario3	3,243	-4,053	3,850	4,644	6,865	-1,556	9,442	13,661	575	83	2,487	3,740
日本	scenario1	-181	141	196	456	-5,119	-5,240	-4,763	-4,409	-16,375	-17,383	-17,447	-17,193
	scenario2	-262	-894	-1,696	-2,164	-5,134	-5,363	-4,972	-4,708	-16,404	-17,561	-17,782	-17,708
	scenario3	-241	-553	-1,111	-1,439	-5,119	-5,269	-4,840	-4,540	-16,370	-17,394	-17,526	-17,334
アメリカ	scenario1	2,740	2,933	3,265	3,320	27,008	39,650	34,264	39,031	53,704	83,296	77,002	88,633
	scenario2	2,764	3,113	3,685	4,077	26,929	39,035	33,558	38,600	54,268	89,538	88,867	109,247
	scenario3	2,708	2,591	2,512	2,110	26,719	35,570	26,506	26,523	52,415	66,553	43,715	35,324
その他世界	scenario1	-14,209	-14,024	-33,926	-52,586	-73,125	-115,501	-119,414	-148,267	-53,506	-80,785	-85,744	-121,815
	scenario2	-13,945	-12,340	-30,688	-45,196	-73,112	-113,906	-114,234	-138,724	-53,123	-84,776	-95,497	-139,887
	scenario3	-13,873	-8,596	-22,156	-32,845	-72,725	-110,739	-109,709	-132,120	-52,447	-63,778	-49,147	-61,724

資料:シミュレーション結果。

低下傾向、トウモロコシで微増傾向を予測している。一方、von Lampe (1999)は、3品目いずれの場合にも低下傾向を予測している。この両者に比べて基準年の国際価格が比較的低かった大賀(1998)の場合には、いずれの品目でも増加傾向で推移すると予測している。

V 結論と今後の課題

本稿では、耕地および灌漑地という2つの資源の制約条件をモデルの中に明示した資源制約パイロットモデルを開発・利用して、国際穀物需給の長期予測を行なった。

このモデルを利用したシナリオ分析によると、2030年までの国際穀物価格は、現状からみて、ほぼ横ばいで推移すると予測された。また、21世紀前半に世界の各地で生じると予測される人口増加率の低下や人口減少の影響をうけて、2000年から2030年までの予測期間中の一定時点以降は、国際穀物価格は低下トレンドに転じると展望された。耕地および灌漑地の利用可能性について、より厳しい想定をおいたシナリオにおいても、この国際価格の横ばい傾向と将来における低下トレンドという予測結果に変わりはない。こうした知見は、将来における極端な食料不足を訴える議論に対する反論となっている。さらには、穀物輸入の拡大を求める海外からの圧力が、国際穀物需給の緩和基調の下で、今後一層強まることを前提として、わが国の食料政策を考えるべきであるという含意を導いている。

また我々のシナリオ分析は、耕地と灌漑地の利用可能性の仮定を変えることで、国際穀物市場での輸出入国の構成が変化する姿を、具体的に描いている。たとえば、2030年においてASEANは、2つの資源の制約条件について中立的なシナリオであるscenario1では米の純輸出地域であるが、より厳しい仮定をおいたscenario3では米の純輸入地域に変化することが示された。そして、こうして新たに生じた輸入需要が世界の他の国や地域に与える影響も、それぞれ定量的に示された。このように資源制約パイロットモデルは、各国・地域の穀物需給の将来展望を、耕地および灌漑地の利用可能性と価格変化の影響とを組み合わせた、より多元的な視点から議論することを助けるものである。

なお、本稿で示したモデルは、あくまでパイロットモデルであり、今後、食料需給のモデル分析において、資源制約問題のとりあつかいをより精緻なものにしていくためには、単収水準と灌漑面積の水準とを関係に関係づけることなど、多くの課題が残されている。

また、対象とする品目や独立にとりあつかう国の数を拡大し、より広い関心に答えることのできるモデルとすることも望ましい改良ではある。しかし、モデルの大規模化は、その開発・維持に要する労力を指数的に増大させることになる。そのため、既存の大規模モデルをベースに開発するなどの対応方策が必要となる。他日を期したい。

引用文献

Chambers, Robert G. and Just, Richard E. (1989) "Estimating Multioutput Technologies",

American Journal of Agricultural Economics, vol. 71, pp980-995.

井上荘太郎・長澤淳・中川光弘 (2000)、「アジア開発途上国の米需給と国際米市場 ―世界穀物需給モデルによる分析―」、『農業総合研究』、第 54 巻第 3 号、1～53 ページ。

McCalla, Alex F. and Revoredo, Cesar L. (2001), “Prospects for Global Food Security – A Critical Appraisal of Past Projections and Predictions –”, Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper 35, International Food Policy Institute.

森俊介 (1998)、「統合モデル MARIA による持続可能性の評価」、『2050 年のサステナビリティ研究委員会 WG-1 研究報告書 「サステナビリティの長期定量的評価」』第 9 章、233～302 ページ、財団法人地球産業文化研究所。

長澤淳・井上荘太郎・中川光弘(1998)、「地球温暖化の世界穀物需給への影響 ―IPCC シナリオを用いた予測―」、1998 年度日本農業経済学会論文集、203～209 ページ。

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―』、農林水産省国際農林水産業研究センター。

Rosegrant, Mark W., Cai, Ximing and Cline, Sarah A (2002), “World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity”, International Food Policy Research Institute.

Rosegrant, Mark W., Paisner, Michaels S., Meijer, Siet and Witcover, Julie (2001), “Global Food Projections to 2020: Emerging Trend and Alternative Futures”, International Food Policy Research Institute.

Shumway, C. Richard, Pope, Rulon D. and Nash, Elizabeth K.(1984), “Allocatable Fixed Inputs and Jointness in Agricultural Production: Implications for Economic Modeling”, American Journal of Agricultural Economics, vol. 66, pp748-760.

宇佐美好文(2002)、「インド農業の現状と課題」、農林水産政策研究所 2002 年 11 月 18 日定例研究会報告資料。

van Tongeren, Frank, van Meijl, Hans and Surry, Yves (2001), “Global Models Applied to Agricultural and Trade Policies: A Review and Assessment”, Agricultural Economics 26,

pp149-172.

von Lampe, Martin(1999), "A Modeling Concept for the Long-Term Projection and Simulation of Agricultural World Market Developments: World Agricultural Trade Simulation Model WATSIM", Shaker Verlag.

(後記 本章は、拙稿「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－資源制約パイロットモデルの開発と利用－」(『農林水産政策研究』第4号、1～25ページ、2003年)に一部加筆・修正したものであり、『農林水産政策研究』への掲載にあたり、削除された箇所をいくつか含んでいる。)

補表1 供給関数のパラメーター推計結果

	ASEAN		オーストラリア		カナダ		中国		ヨーロッパ連合		インド		日本		アメリカ	
		t値		t値		t値		t値		t値		t値		t値		t値
C(1)	-1.11	-0.22	0.46	0.04	7.08	0.11	-26.65	-7.65	-1.56	-0.05	9.71	0.17	-78.27	-3.73	-35.60	-0.82
C(2)	-0.20	-1.76	0.22	0.93	0.01	0.06	-0.02	-0.22	-0.11	-0.95	0.04	0.35	0.31	0.94	-0.56	-3.52
C(3)	0.08	1.12	-0.16	-0.95	0.24	0.73	0.08	1.86	-0.13	-1.80	0.05	0.72	0.06	0.37	-0.26	-2.39
C(4)	0.17	1.36	-0.06	-0.23	-0.40	-1.72	0.06	0.68	0.22	2.26	0.01	0.17	-0.06	-0.22	0.51	4.22
C(5)	0.87	3.05	1.33	2.80	0.34	0.32	2.96	9.51	1.52	1.32	0.66	0.42	5.20	2.52	2.72	1.75
C(6)	0.15	0.38	-0.46	-0.40	0.02	0.00	0.47	4.14	-0.19	-0.09	-0.73	-0.22	4.58	1.68	1.87	0.75
C(7)	3.45	0.76	-1.47	-0.18	-	-	-3.36	-1.37	-67.52	-2.07	-106.28	-2.98	-2.04	-0.19	-11.66	-0.43
C(8)	0.09	0.99	0.47	2.19	-	-	-0.02	-0.57	0.22	2.82	0.12	1.69	-0.32	-1.95	0.20	1.46
C(9)	-0.20	-1.72	-0.21	-0.94	-0.40	-1.01	-0.09	-2.16	-0.13	-1.91	-0.15	-2.90	0.18	1.04	0.05	0.54
C(10)	1.32	5.03	1.56	4.57	-	-	0.98	4.40	3.32	2.92	4.04	4.13	1.56	1.35	2.25	2.29
C(11)	-0.43	-1.18	-0.45	-0.53	-	-	0.43	5.38	3.95	1.98	6.33	2.92	-0.03	-0.02	-0.20	-0.13
C(12)	-5.09	-0.51	22.38	1.51	-11.43	-0.15	-22.20	-6.93	-66.98	-2.42	-104.95	-4.73	-108.35	-6.42	-43.69	-1.68
C(13)	-0.56	-2.53	-0.13	-0.31	0.15	0.47	-0.01	-0.16	-0.05	-0.43	0.08	1.06	-0.44	-1.24	-0.54	-3.68
C(14)	1.43	2.45	0.73	1.11	-1.55	-1.25	2.15	7.44	3.42	3.55	4.42	7.24	7.16	4.06	2.16	2.31
C(15)	0.37	0.46	-1.48	-0.93	3.31	0.46	0.98	9.23	4.18	2.46	5.90	4.38	8.10	3.69	2.77	1.86

注：供給関数の計測は以下の3本の方程式を連立させ、SUR法により体系推定した。計測期間は1980年から1999年である。

- (1) $\text{LOG(トウモロコシ生産量)} = C(1) + C(2) * \text{LOG(トウモロコシ国際価格*為替レート)} + C(3) * \text{LOG(米国際価格*為替レート)} + C(4) * \text{LOG(小麦国際価格*為替レート)} + C(5) * \text{LOG(灌漑地面積)} + C(6) * \text{LOG(非灌漑地面積)}$
- (2) $\text{LOG(米生産量)} = C(7) + C(3) * \text{LOG(トウモロコシ国際価格*為替レート)} + C(8) * \text{LOG(米国際価格*為替レート)} + C(9) * \text{LOG(小麦国際価格*為替レート)} + C(10) * \text{LOG(灌漑地面積)} + C(11) * \text{LOG(非灌漑地面積)}$
- (3) $\text{LOG(小麦生産量)} = C(12) + C(4) * \text{LOG(トウモロコシ国際価格*為替レート)} + C(9) * \text{LOG(米国際価格*為替レート)} + C(13) * \text{LOG(小麦国際価格*為替レート)} + C(14) * \text{LOG(灌漑地面積)} + C(15) * \text{LOG(非灌漑地面積)}$