

# 世界米小麦需給モデルによる地球温暖化の影響予測

なかがわ みつひろ ながさわ じゅん いのうえそう たろう  
中川 光弘・長澤 淳\*・井上荘太郎

1. はじめに
2. 地球温暖化と国際食料需給
3. 米と小麦の国際需給の動向
  - (1) 米の需給動向
  - (2) 小麦の需給動向
4. 世界米小麦需給モデルの基本構造
  - (1) 対象地域
  - (2) 構造方程式
  - (3) 弾力性と成長率
5. 世界米小麦需給モデルによる地球温暖化の影響予測
  - (1) 地球温暖化シナリオ
  - (2) 影響予測結果
6. おわりに

## 1. はじめに

地球温暖化は、我々人類の経済活動の拡大に伴って、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、フロン等の温室効果ガスの排出量が増加し、大気中のこれら温室効果ガスが地表から放射される赤外線を吸収して、地表面の温度を上昇させる現象である。1995年に公表された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によると、温室効果ガスの排出が現在の趨勢で増加を続けた場合、地球の平均気温は中位推計で2100年までに約 $2 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 上昇することが予測されている<sup>(1)</sup>。

この地球温暖化に伴って、地球大気の循環構造も地域的に変化し、各地の降雨や日射量、土壌水分蒸発散量のパターン等が変化し、世界各地の農業生産にも影響が出ることが懸念されている。また、地球温暖化に伴って、地球平均で海水位が2100年までに約50cm上昇することが予測されており、インドネシア、フィリピン等の島嶼国、バングラデ

シュ、エジプト等の低位地帯を広く抱える国では、潜在耕地面積の減少が懸念されている。

このように地球温暖化は、世界各地の農業生産に影響を及ぼし、世界の食料需給を変化させることが予想されている。我が国のように食料供給の圧倒的部分を海外からの輸入に依存している国にとっては、長期的な食料供給のあり方を考える上からも、地球温暖化の世界の食料需給への影響を検討しておくことが必要である。

そこで本稿では、世界の食用穀物の中心である米と小麦について、その国際需給への地球温暖化の影響を検討してみることにする。具体的には、計量的な影響予測を行うために、世界の主要32地域をカバーした世界米小麦需給モデルを開発し、この世界米小麦需給モデルをIPCCの地球温暖化シナリオの下で動かすことによって、2020年までの地球温暖化の国際食料需給への影響予測を試みることにする。

地球温暖化の国際食料需給への影響に関しては、国際的に高い関心が持たれているもの

\*立正大学大学院

の、その計量的な影響評価を行った研究は少なく、その影響が世界全体としてどの程度のものなのか、あまり明らかになっていない。ここでは、世界米小麦需給モデルを使うことによって、米と小麦の国際価格への影響がどの程度のものなのか、また、主要地域の需給ギャップの変化はどの程度のものなのか、を明らかにすることにする。

## 2. 地球温暖化と国際食料需給

大気中の温室効果ガス濃度の上昇に伴う地球温暖化の問題が注目を集めるようになったのは、1970年代末にマチタやキーリング等によってハワイのマウナロア山頂と南極点における大気中の二酸化炭素濃度が、1958年から78年の20年間に約5%上昇したことが報告されてからである<sup>(2)</sup>。

その後、世界各地で温室効果ガス濃度の経年観測が進められ、大気中の温室効果ガス濃度の傾向的上昇とこれに起因する地球温暖化は否定することのできない事実として、国際的に認識されるようになった<sup>(3)</sup>。現在では、IPCCの活動に見られるように、温室効果ガスの排出抑制のための国際的な取り組みも本格化している。

地球温暖化の農業生産への影響については、IPCCの活動を中心に世界各地の主要作物について予測が行われてきた。地球温暖化の影響は、気温、降水量、雲量、日射量、土壌水分蒸発散量、二酸化炭素濃度等の変化を通じて、作物の生育期間や光合成効率等に影響を与え、作物の単収水準を変化させることが知られている。影響予測の研究では、各地域の作物ごとの成長モデルを地球温暖化の気象シナリオの下で動かすことによって、その影響予測が行われている。これらの予測結果については、IPCCの第2回技術評価レポートでそのレビューが行われており、本稿での国際米小麦需給モデルを使った影響予測

においてもこのレビューの成果を援用している<sup>(4)</sup>。

地球温暖化の作物生産への影響については、既にかんがりの研究成果の蓄積があるのに対して、その国際食料需給への影響についての研究は、まだほとんど行われていない。これは、国際食料需給への影響を計量的に予測するためには、世界農産物市場の計量モデルの利用を必要とするためである。

この分野の一つの先駆的研究としてローゼンツバイヒとパリーの共同研究があるが、これでは世界の主要地域の作物ごとに専門家へのアンケートをもとに地球温暖化の影響予測が行われ、この単収シナリオの下で世界食料貿易モデルを動かすことによって、貿易量や国際価格の変化の予測が行われている<sup>(5)</sup>。

この影響予測では、大気中の二酸化炭素濃度が2倍に上昇した場合でも、世界全体としての穀物生産はそれ程著しい減少は示さず、むしろ問題は局地的なものであり、熱帯および亜熱帯に位置する多くの途上国や、本来的に降水量が少なく、限界的な条件下で農業生産が続けられている乾燥・半乾燥地域での穀物生産への影響が著しいことが指摘されている。

本稿では、世界の主要地域ごとの穀物単収の影響についての予測は行わず、これについてはIPCC第2回技術評価レポートのレビューの成果を援用し、また品目も主要食用穀物の米と小麦に限定して、ローゼンツバイヒとパリーの共同論文ではほとんど説明がなされていない世界穀物市場への影響に重点を置いて、地球温暖化の影響予測を試みることにした。

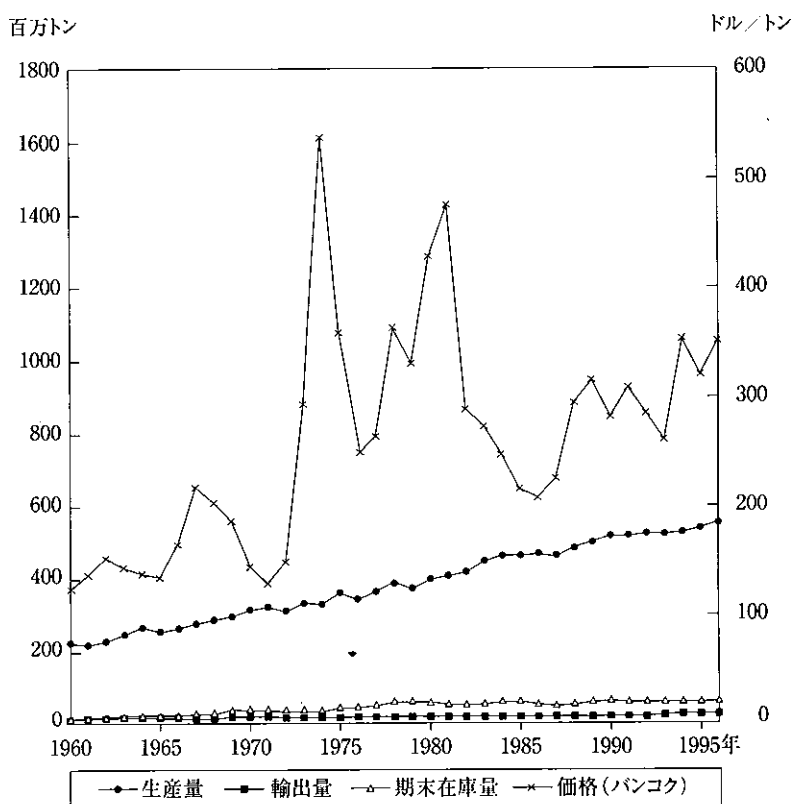
## 3. 米と小麦の国際需給の動向

### (1) 米の需給動向

米は湿潤アジアにおける最も重要な食料として、第2次大戦後多くのアジア諸国で農業開発の中心的作物とされてきた。特に、

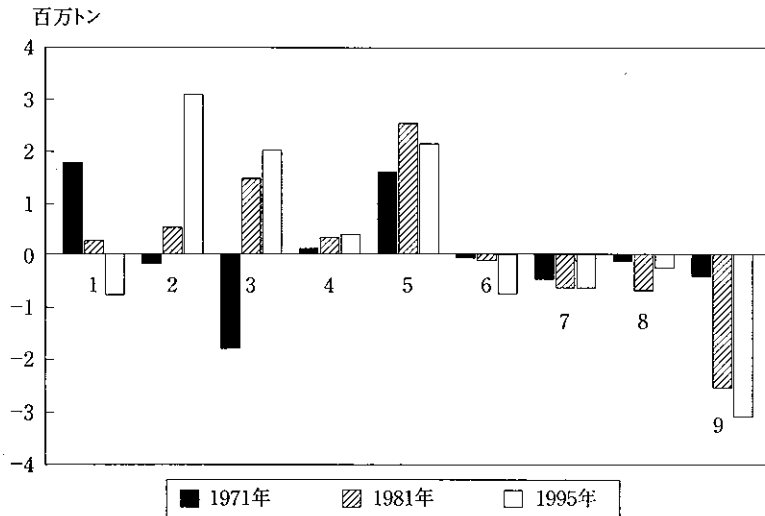
1960年代以降の高収量品種の導入と灌漑開発の効果は顕著であり、米の世界生産は1960年の2億2,100万トンから1996年の5億6,500万トンへと大きく拡大した(第1図参照)。ただし、1990年代に入ると緑の革命の効果も一巡し、米の単位面積当たり収量の増加率は低下してきている。米は主として灌漑地域で栽培されるため、気候変動の影響による作柄の変動は小麦に比べると小さい。しかし、生産量に比べて限られた量しか貿易されないという市場構造の特徴を反映して、1970年代から1980年代前半にかけて、米の国際価格は大きく変動した。

第2図は、地域別の米の純輸出量を1971年、1981年、1995年について3カ年移動平均値で示したものである。中国は1971年には180万トンの米を輸出していたが、1981年には輸出量は大きく減少し、近年では輸入国となっている。インドは自給政策を採用していたため米の国際貿易は80年代まで限られた量に過ぎなかった。しかし、90年代半ばには累増した国内在庫を国際市場に放出したこともあって、重要な米の輸出国となった。中国とインド以外のその他のアジア地域は、米生産が比較的順調に増大したために輸入地域から輸出地域へと変化した。ただし、



第1図 米の生産量、輸出量、期末在庫、価格の推移

資料：IMF, "International Financial Statistics Yearbook", various issues.  
USDA, "PSD View : July 1997".



第2図 主要地域別の米の国際貿易動向

資料: USDA, "PSD View: July 1997"

注(1) 3カ年移動平均値。

- (2) 1: 中国, 2: インド, 3: その他アジア, 4: オセアニア, 5: 北米,  
6: 中南米, 7: ヨーロッパ, 8: 旧ソ連, 9: アフリカ

この地域には、タイ、ベトナム、ミャンマー、パキスタンなどの米の生産と輸出が増加傾向にある諸国とインドネシア、フィリピン、マレーシアのように緑の革命の効果が減退し、輸入量が増加傾向にある諸国とに分かれてきている。一方、アフリカは米の消費量が顕著に伸びており、現在ではもっとも重要な米の輸入地域となっている。輸出地域では、北米が依然として重要な輸出地域であり、オセアニアも一貫して輸出を伸ばしてきている。中南米、ヨーロッパ、旧ソ連の米の純輸出量は一般に小さい。

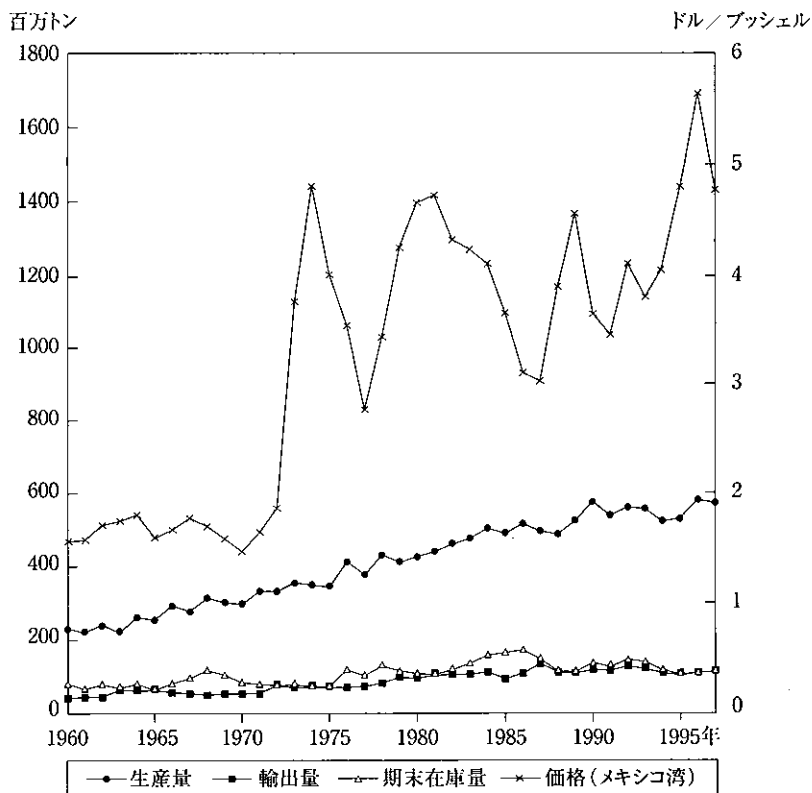
## (2) 小麦の需給動向

小麦も1960年代以降生産を大きく拡大している。1960年に2億3,300万トンであった世界の小麦生産は、1996年には5億8,300万トンへと約2.5倍に増加した(第3図参照)。ただし、小麦は比較的乾燥した地域で栽培されているため、米に比べると気候変動による作柄の変化が大きい。需要面では戦後の世界経済の拡大とともに小麦の需要は増大し、特に日本のように伝統的には米を主食としてきた国でもパンや麺類、菓子類等の消費

の増加に伴って小麦の消費量が著増している。

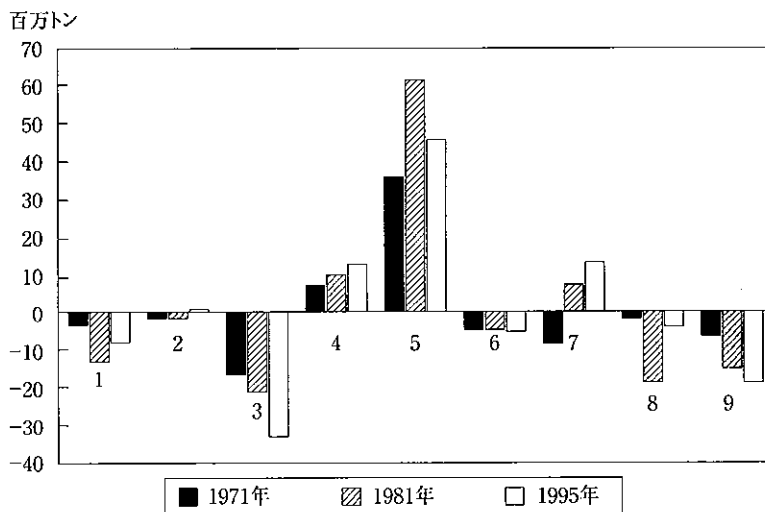
小麦の国際市場の長期的動向は、1970年代の逼迫基調、1980年代の過剰基調、そして近年の逼迫基調への移行とまとめられよう。1970年代初頭にはソ連・東欧の穀物輸入が急増したため、小麦の国際価格は急激に上昇した。その後1970年代はソ連・東欧と途上国の輸入増加によって小麦の需給は逼迫基調で推移した。しかし、1980年代に入ると、経済の不調からソ連・東欧や途上国の穀物輸入は縮小し、小麦の国際需給は過剰基調に移行した。その結果、GATT交渉などを通じて国際協調による農業保護の削減が模索され、在庫の縮小が図られた。近年では、先進輸出国での農業保護の削減により在庫が縮小し、一方では経済成長の著しいアジアの開発途上国を中心に輸入が拡大しているため、小麦の国際需給は再び逼迫基調に転じてきている。

第4図は、小麦の純輸出量を主要地域別に、1971年、1981年、1995年について3カ年移動平均値で示したものである。中国とインドは基本的に自給政策をとっているため、



第3図 小麦の生産量,輸出量,期末在庫,価格の推移

資料：IMF, "International Financial Statistics Yearbook", various issues.  
 USDA, "PSD View : July 1997".



第4図 主要地域別の小麦の国際貿易動向

資料：USDA, "PSD View : July 1997"

注(1) 3カ年移動平均値。

(2) 1: 中国, 2: インド, 3: その他アジア, 4: オセアニア, 5: 北米,  
 6: 中南米, 7: ヨーロッパ, 8: 旧ソ連, 9: アフリカ

人口大国であるにもかかわらず、小麦の貿易量はそれ程大きくはない。一方で、その他アジア地域は一貫して小麦の輸入が拡大基調にある。北米とオセアニアは常に輸出地域であり、オセアニアからの輸出は一貫して増加している。ヨーロッパは1971年には輸入地域であったが、その後手厚い国内保護政策の下で生産が順調に拡大し、80年以降、輸出地域となっている。旧ソ連は80年代初頭には大量の小麦を輸入したが、近年では外貨不足のため輸入は激減している。3%を上回る高い人口増加が続いているアフリカでは、米と同様に小麦の輸入も一貫して増加している。

#### 4. 世界米小麦需給モデルの基本構造

以上のような米と小麦の国際需給のこれまでの動向を踏まえて、将来の地球温暖化の国際需給への影響を予測するために、国際米小麦需給モデルを開発した。このモデルの基本構造は次の通りである。

##### (1) 対象地域

世界米小麦需給モデルの対象地域として、北朝鮮、韓国、日本、中国、ベトナム、フィリピン、マレーシア、インドネシア、タイ、ラオス、ミャンマー、バングラデシュ、インド、パキスタン、その他アジア、オーストラリア、ニュージーランド、その他オセアニア、カナダ、アメリカ合衆国、メキシコ、ブラジル、アルゼンチン、ペルー、チリ、その他中南米、ヨーロッパ、旧ソ連、エジプト、ナイジェリア、南アフリカ、その他アフリカの計32地域を特定化した。この32地域の中には、世界の米と小麦の主要生産国と主要消費国がほぼ含まれており、特に我が国との関係が深いアジア太平洋地域の主要国が多く含まれている。

この世界米小麦需給モデルでは、これら32地域ごとの地域需給モデルが構築され、

これらの地域需給モデルが世界市場でリンクされ、輸出量と輸入量の世界合計が均衡するように国際価格が決定されている。

このようなモデル構造を構築することによって、32地域ごとのそれぞれの米と小麦の生産量、需要量、貿易量等を予測することができ、地球温暖化のそれぞれの地域需給への影響が予測できるようになっている。この世界米小麦需給モデルの構造方程式の基本構造は、以下の通りである。

##### (2) 構造方程式

各地域ごとの地域需給モデルと貿易市場の均衡は、以下の(1)式から(7)式までの構造方程式によって構成されている。

1) 単収:

$$YLD_{ijt} = YLD_{ijt-1} * (1 + YG_{ij}) \quad (1)$$

2) 収穫面積:

$$HAR_{ijt} = HAR_{ijt-1} * \prod_{k=1}^2 (WP_{kt-1} / WP_{kt-2})^{\widehat{ESP}_{ikj}} \quad (2)$$

3) 生産量:

$$QPR_{ijt} = YLD_{ijt} * HAR_{ijt} \quad (3)$$

4) 1人当たり需要量:

$$QPD_{ijt} = QPD_{ijt-1} * \prod_{k=1}^2 (WP_{kt} / WP_{kt-1})^{\widehat{EDP}_{ikj} * (1 + IG_j)} \widehat{EDI}_{ij} \quad (4)$$

5) 需要量:

$$QD_{ijt} = QPD_{ijt} * POP_{jt-1} * (1 + PG_j) \quad (5)$$

6) 純輸出量:

$$NEX_{ijt} = QPR_{ijt} - QPD_{ijt} \quad (6)$$

7) 市場均衡:

$$\Sigma NEX_{ijt} = 0 \quad (7)$$

ただし、

$YLD_{ijt}$ :  $i$ 品目  $j$ 地域  $t$ 期の単収

$YG_{ij}$ :  $i$ 品目  $j$ 地域の単収上昇率

$HAR_{ijt}$ :  $i$ 品目  $j$ 地域  $t$ 期の収穫面積

$WP_{kt}$ :  $k$ 品目  $t$ 期の国際価格

$ESP_{ikj}$ :  $k=i$ の場合は  $i$ 品目  $j$ 地域の供給自己価格弾力性、 $k \neq i$ の場合は  $i$ 品目  $j$ 地域の供給交差価格弾力性

$QPR_{ijt}$  :  $i$  品目  $j$  地域  $t$  期の生産量  
 $QPD_{ijt}$  :  $i$  品目  $j$  地域  $t$  期の 1 人当たり需要量  
 $EDP_{ikj}$  :  $k = i$  の場合は  $i$  品目  $j$  地域の需要自己価格弾力性,  $k \neq i$  の場合は  $i$  品目  $j$  地域の需要交差価格弾力性  
 $IG_j$  :  $j$  地域の 1 人当たり実質 GDP 成長率  
 $EDI_{ij}$  :  $i$  品目  $j$  地域の需要所得弾力性  
 $QD_{ijt}$  :  $i$  品目  $j$  地域  $t$  期の需要量  
 $POP_{jt}$  :  $j$  地域  $t$  期の人口  
 $PG_j$  :  $j$  地域の人口増加率  
 $NEX_{ijt}$  :  $i$  品目  $j$  地域  $t$  期の純輸出力

ここで、(1) 式は  $i$  品目  $j$  地域  $t$  期の単収で、単収が  $i$  品目  $j$  地域の単収上昇率  $Y G_{ij}$  で上昇することを示している。ここでは、 $i = 1$  の場合は米を、 $i = 2$  の場合は小麦を仮定している。(2) 式は  $i$  品目  $j$  地域  $t$  期の収穫面積で、収穫面積が 1 期前の収穫面積、1 期前と 2 期前の国際価格比、供給自己価格弾力性、米と小麦の供給交差価格弾力性で決まることを示している。(3) 式は  $i$  品目  $j$  地域  $t$  期の供給量を求める定義式で、供給量が単収に収穫面積を掛けて求まることを示している。(4) 式は  $i$  品目  $j$  地域  $t$  期の 1 人当たり需要量で、1 人当たり需要量が 1 期前の 1 人当たり需要量、当期と 1 期前の国際価格比、需要自己価格弾力性、米と小麦の需要交差価格弾力性、1 人当たり実質 GDP 成長率、需要所得弾力性で決まることを示している。(5) 式は  $i$  品目  $j$  地域  $t$  期の需要量を求める定義式で、1 人当たり需要量に人口を掛けて求まることを示している。(6) 式は  $i$  品目  $j$  地域  $t$  期の純輸出力を求める定義式で、生産量から需要量を引いた残りが純輸出力となることを示している。(7) 式は  $i$  品目  $t$  期の貿易均衡式で、世界全体で輸出力の合計と輸入量の合計が一致することを示している。モデル内では、この均衡条件を満たすように各年の国際価格が決定される。

### (3) 弾力性と成長率

米と小麦の各地域ごとの供給と需要の弾力性、単収上昇率は、第 1 表のように仮定した。弾力性については、概ね FAO の世界食料モデルの弾力性を援用し、小麦については一部アイオア大学農業農村開発センターの世界小麦貿易モデルの弾力性と独自推計した弾力性を利用した<sup>(6)</sup>。

米と小麦の単収上昇率については、まず 80 年代半ば以降の各地域の実際の単収上昇率を計測し、この計測結果を参考に今後農業技術の平準化に伴い若干伸びが鈍化することを想定して単収上昇率を仮定した。第 1 表には示されていないが、各地域の人口増加率と 1 人当たり実質 GDP 成長率については、国連の中位推定値と世界銀行の予測値をそのまま援用した<sup>(7)</sup>。

## 5. 世界米小麦需給モデルによる地球温暖化の影響予測

### (1) 地球温暖化シナリオ

地球温暖化が各地域の米と小麦生産に及ぼす影響については、IPCC の第 2 回技術評価レポートで取りまとめられているこれまでのこの分野の研究成果のレビューをシナリオとして援用した。これまでの多くの研究は、ほとんどが大気中の二酸化炭素濃度が 2 倍になった場合の 2100 年を想定しての影響予測なので、ここではこれらの影響を年率に換算して利用した。

ほとんどの影響予測は、一定のレンジ予測であり、予測結果に幅がある。そこで本稿では、世界各地域の温暖化の影響下での単収の予測値の最小値を集めたケース 1 (悲観的ケース) と、最大値を集めたケース 2 (楽観的ケース) に分けてシミュレーションを行うことにした。このようなケース分けを行うことによって、世界各地域のすべての影響予測の

第1表 米・小麦の需給弾力性と単収上昇率

|          | 米     |        |       |       |      |       | 小麦     |       |       |      |       |       |
|----------|-------|--------|-------|-------|------|-------|--------|-------|-------|------|-------|-------|
|          | 供給弾力性 |        | 需要弾力性 |       |      | 単収    | 供給弾力性  |       | 需要弾力性 |      |       | 単収    |
|          |       |        |       |       |      |       |        |       |       |      |       |       |
|          | 価格    |        | 所得    | 価格    |      |       | 価格     |       | 所得    | 価格   |       |       |
|          | 米     | 小麦     |       | 米     | 小麦   |       | 米      | 小麦    |       | 米    | 小麦    |       |
|          | 米     | 小麦     |       | 米     | 小麦   | %     | 米      | 小麦    |       | 米    | 小麦    | %     |
| 北朝鮮      | 0.155 | -0.005 | 0.30  | -0.25 | 0.04 | -1.20 | -0.060 | 0.230 | 0.30  | 0.18 | -0.40 | -1.07 |
| 韓国       | 0.150 | 0.000  | 0.20  | -0.20 | 0.05 | -1.16 | -0.090 | 0.225 | 0.30  | 0.20 | -0.40 | -1.20 |
| 日本       | 0.193 | 0.000  | -0.20 | -0.10 | 0.04 | -1.01 | -0.075 | 0.265 | 0.00  | 0.12 | -0.25 | -0.14 |
| 中国       | 0.070 | -0.050 | 0.22  | -0.12 | 0.01 | 1.64  | -0.030 | 0.110 | 0.28  | 0.02 | -0.10 | 2.82  |
| ベトナム     | 0.090 | 0.000  | 0.40  | -0.20 | 0.00 | 2.56  | 0.000  | 0.000 | 1.20  | 0.20 | -0.60 | 0.00  |
| フィリピン    | 0.120 | 0.000  | 0.20  | -0.25 | 0.00 | 0.78  | 0.000  | 0.000 | 0.50  | 0.10 | -0.30 | 0.00  |
| マレーシア    | 0.180 | 0.000  | 0.20  | -0.30 | 0.02 | 1.74  | 0.000  | 0.000 | 0.31  | 0.10 | -0.28 | 0.00  |
| インドネシア   | 0.125 | 0.000  | 0.50  | -0.38 | 0.02 | 0.78  | 0.000  | 0.000 | 1.00  | 0.40 | -1.00 | 0.00  |
| タイ       | 0.120 | 0.000  | 0.10  | -0.10 | 0.00 | 1.97  | 0.000  | 0.000 | 0.50  | 0.30 | -0.55 | 0.00  |
| ラオス      | 0.070 | 0.000  | 0.40  | -0.20 | 0.00 | 2.40  | 0.000  | 0.000 | 1.20  | 0.20 | -0.60 | 0.00  |
| ミャンマー    | 0.143 | -0.006 | 0.20  | -0.20 | 0.00 | 1.16  | -0.055 | 0.193 | 0.50  | 0.20 | -0.40 | -1.10 |
| バングラデシュ  | 0.109 | 0.000  | 0.28  | -0.40 | 0.10 | 1.97  | -0.061 | 0.124 | 0.40  | 0.40 | -0.50 | 2.19  |
| インド      | 0.104 | -0.026 | 0.32  | -0.40 | 0.06 | 1.58  | -0.056 | 0.160 | 0.33  | 0.15 | -0.20 | 2.75  |
| パキスタン    | 0.135 | -0.045 | 0.30  | -0.42 | 0.24 | 2.01  | -0.020 | 0.120 | 0.20  | 0.08 | -0.25 | 1.80  |
| その他アジア   | 0.400 | -0.150 | 0.30  | -0.25 | 0.10 | -0.09 | -0.060 | 0.085 | 0.30  | 0.05 | -0.20 | 1.39  |
| オーストラリア  | 0.384 | -0.132 | 0.20  | -0.35 | 0.18 | 2.20  | 0.000  | 0.123 | -0.20 | 0.08 | -0.20 | 0.45  |
| ニュージーランド | 0.000 | 0.000  | 0.10  | -0.20 | 0.10 | 0.00  | 0.000  | 0.462 | -0.20 | 0.02 | -0.08 | 2.40  |
| その他オセアニア | 0.156 | 0.000  | 0.50  | -0.25 | 0.03 | -0.98 | 0.000  | 0.150 | 1.00  | 0.20 | -0.60 | 0.00  |
| カナダ      | 0.000 | 0.000  | 0.20  | -0.25 | 0.10 | 0.00  | 0.000  | 0.185 | -0.20 | 0.02 | -0.19 | 2.20  |
| アメリカ合衆国  | 0.183 | 0.000  | 0.20  | -0.28 | 0.12 | 0.67  | 0.000  | 0.259 | -0.30 | 0.02 | -0.09 | 1.85  |
| メキシコ     | 0.445 | 0.000  | 0.30  | -0.38 | 0.06 | 2.10  | 0.000  | 0.380 | 0.40  | 0.01 | -0.35 | 0.68  |
| ブラジル     | 0.250 | -0.110 | 0.20  | -0.30 | 0.06 | 1.50  | -0.193 | 0.208 | 0.40  | 0.10 | -0.46 | -0.79 |
| アルゼンチン   | 0.490 | -0.175 | 0.10  | -0.40 | 0.20 | 2.87  | 0.000  | 0.370 | -0.05 | 0.02 | -0.32 | 2.60  |
| ペルー      | 0.315 | -0.040 | 0.30  | -0.25 | 0.04 | 1.52  | -0.150 | 0.515 | 0.30  | 0.06 | -0.30 | -2.08 |
| チリ       | 0.275 | -0.144 | 0.30  | -0.40 | 0.20 | 0.96  | -0.008 | 0.268 | 0.20  | 0.06 | -0.30 | 2.66  |
| その他中南米   | 0.400 | -0.100 | 0.40  | -0.40 | 0.10 | 0.40  | -0.050 | 0.450 | 0.30  | 0.05 | -0.30 | -0.06 |
| ヨーロッパ    | 0.250 | -0.270 | 0.20  | -0.30 | 0.10 | 2.17  | 0.000  | 0.050 | 0.10  | 0.02 | -0.20 | 0.05  |
| 旧ソ連      | 0.378 | -0.180 | 0.30  | -0.23 | 0.10 | -1.80 | 0.000  | 0.320 | -0.30 | 0.02 | -0.12 | -1.96 |
| エジプト     | 0.265 | -0.070 | 0.20  | -0.30 | 0.05 | 2.10  | -0.125 | 0.310 | 0.10  | 0.02 | -0.20 | 0.97  |
| ナイジェリア   | 0.195 | 0.000  | 1.00  | -0.55 | 0.01 | -1.10 | -0.100 | 0.305 | 1.20  | 0.04 | -0.80 | 2.80  |
| 南アフリカ    | 0.225 | 0.000  | 0.50  | -0.30 | 0.00 | 0.00  | 0.000  | 0.338 | 0.10  | 0.00 | -0.20 | 2.90  |
| その他アフリカ  | 0.500 | 0.000  | 0.90  | -0.25 | 0.05 | 1.40  | -0.015 | 0.600 | 0.40  | 0.05 | -0.50 | -0.40 |

資料：(1) FAO, "A Documentation of FAO World Food Model", 1996.

(2) S. Devadoss, Michael Helmar, and William H. Meyers, "The World Wheat Trade Model: Specification, Estimation, and Validation" Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University, Technical Report 90-TR 14, March 1990.

(3) 一部は、筆者らの独自推計による。

組み合わせをこの二つのケースの間に含むことができるからである。

ケース1とケース2の世界各地域の地球温暖化による米と小麦の単収上昇率への影響は、第2表の通りである。国際需給への影響予測では、ベースライン（標準ケース）の単収上昇率を第2表の影響率で変化させてシミュレーションを行うことによって、地球温暖化の影響予測を行った。これまで地球温暖化の作物生産への影響予測の研究が行われていない地域については、ベースラインの単収上昇率をそのまま使用した。

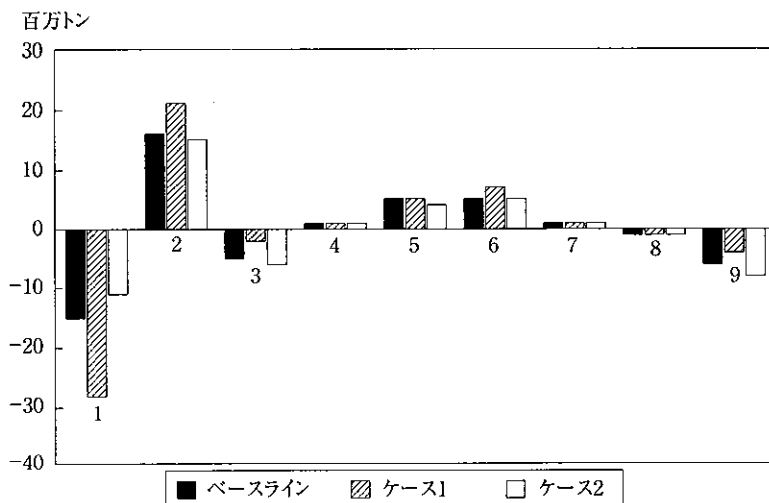
## (2) 影響予測結果

第5図には、地球温暖化の影響を考慮した場合の2020年時点での世界の主要地域別の米の純輸出力の予測結果が示されている。ここでは、地球温暖化の影響を考慮しない場合（ベースライン）と単収上昇率の伸びを地球温

暖化の影響を考慮して最も低く変化させた場合（ケース1）、単収上昇の伸びを最も高く変化させた場合（ケース2）のそれぞれについて、予測結果が示されている。

これによると、ベースラインに比べてケース1(悲観的ケース)では、特に中国で地球温暖化の影響で国内生産が減少するために米の純輸入量が1,500万トンから、2,800万トンへ増加することがわかる。もう一つの人口大国のインドでは、地球温暖化の影響で単収上昇率は若干低下するが、国際需給が逼迫化して国際価格が上昇するため、収穫面積が拡大し、国内需要も抑制されるため、純輸出力は1,600万トンから2,100万トンに増加することが予測されている。

北米、中南米でも国際価格の上昇を反映して純輸出力が若干増加することが予測されている。アフリカについては、国際価格の上昇によって域内需要が抑制されるため、ベース



第5図 2020年の米純輸出力の予測

- 注(1) 1: 中国, 2: インド, 3: その他アジア, 4: オセアニア,  
5: 北米, 6: 中南米, 7: ヨーロッパ, 8: 旧ソ連, 9: アフリカ  
(2) ケース1: 各地域の予測された単収の最高値を集めた場合,  
ケース2: 各地域の予測された単収の最低値を集めた場合。

第2表 地球温暖化の単収への影響シナリオ

|          | 単収への影響 |       |        |        |       |       |        |        |
|----------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
|          | 米      |       |        |        | 小麦    |       |        |        |
|          | %      |       | 成長率    |        | %     |       | 成長率    |        |
|          | ケース 1  | ケース 2 | ケース 1  | ケース 2  | ケース 1 | ケース 2 | ケース 1  | ケース 2  |
| 北朝鮮      | -22    | 27    | -0.226 | 0.218  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| 韓国       | -18    | 4     | -0.180 | 0.036  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| 日本       | -22    | 23    | -0.226 | 0.188  | - 41  | 8     | -0.479 | 0.070  |
| 中国       | -28    | 12    | -0.298 | 0.103  | - 8   | - 8   | -0.076 | -0.076 |
| ベトナム     | -21    | 14    | -0.214 | 0.119  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| フィリピン    | -22    | 27    | -0.226 | 0.218  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| マレーシア    | - 4    | 23    | -0.037 | 0.188  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| インドネシア   | -17    | 9     | -0.169 | 0.078  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| タイ       | -17    | 9     | -0.169 | 0.078  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| ラオス      | -14    | 22    | -0.137 | 0.181  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| ミャンマー    | - 3    | 28    | -0.028 | 0.225  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| バングラデシュ  | -16    | 18    | -0.161 | 0.151  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| インド      | - 9    | 14    | -0.086 | 0.119  | - 50  | 30    | -0.628 | 0.239  |
| パキスタン    | - 3    | 28    | -0.028 | 0.225  | - 61  | 67    | -0.852 | 0.467  |
| その他アジア   | -10    | -20   | -0.096 | -0.203 | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| オーストラリア  | -10    | -20   | -0.096 | -0.203 | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| ニュージーランド | -10    | -20   | -0.096 | -0.203 | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| その他オセアニア | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| カナダ      | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | - 28  | 2     | -0.298 | 0.018  |
| アメリカ合衆国  | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | -100  | 180   | 0.000  | 0.940  |
| メキシコ     | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| ブラジル     | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | - 50  | - 15  | -0.628 | -0.148 |
| アルゼンチン   | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | - 10  | - 5   | -0.096 | -0.047 |
| ペルー      | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| チリ       | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| その他中南米   | 10     | 30    | 0.087  | 0.239  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| ヨーロッパ    | -14    | 13    | -0.137 | 0.111  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| 旧ソ連      | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | - 19  | 41    | -0.191 | 0.313  |
| エジプト     | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | - 75  | - 18  | -1.252 | -0.180 |
| ナイジェリア   | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| 南アフリカ    | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |
| その他アフリカ  | NA     | NA    | 0.000  | 0.000  | NA    | NA    | 0.000  | 0.000  |

資料：IPCC, *IPCC Second Assessment : Climate Change 1995*, Cambridge University Press, 1996, pp.438-448.

ラインに比べてケース1では純輸入量が600万トンから400万トンに減少することが予測されている。

ケース2(楽観的ケース)においては、オーストラリア、ニュージーランド、その他アジア以外では総て地球温暖化によって単収上昇率が加速されることが想定されているが、国際価格が低下するのを反映して、ケース1に比べてアフリカとその他アジアの純輸入量は増加し、インド、北米、中南米の純輸出量は減少することが予測されている。

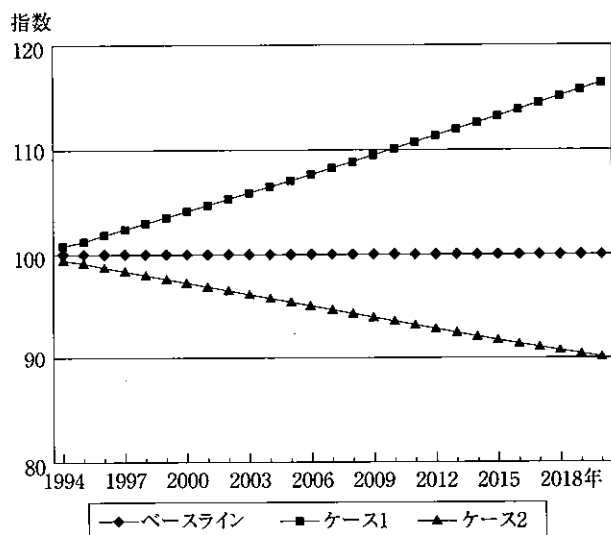
第6図には、2020年までの米の国際価格の予測結果が示されている。これによると、ベースラインに比べて、米の国際価格は2020年時点でケース1では16.4%の上昇、ケース2では9.9%の低下が予測されていることがわかる。地球温暖化の米生産への影響については、地球全体としてプラスとマイナスの両方向への影響が予測されているため、国際価格への影響もこのように価格引き上げと引き下げの両方向への変化として予測されるわけである。ただし2020年時点での国際価格への影響が+16.4～-9.9%の幅に収

まるという予測結果は、地球温暖化の国際米需給への影響が比較的穏やかなものであることを示唆しているように思われる。

第7図には、小麦についての主要地域別の純輸出量の予測結果が示されている。これによると、ベースラインに比べてケース1(悲観的ケース)では、地球温暖化によって単収の伸びの低下が大きく想定されているインドの純輸入量が200万トンから1,800万トンに増加することが予測されていることがわかる。

中国の純輸入量は、地球温暖化による減産と国際価格の上昇による収穫面積の拡大、国内需要の抑制が相互に相殺し合ってほとんど変化しないことが予測されている。国際価格の上昇を反映して、ヨーロッパでは純輸出量が若干増加し、アフリカでは純輸入量が若干減少することが予測されている。

ケース2(楽観的ケース)では、地球温暖化による増産を想定した北米で、純輸出量がベースラインに比べて1億3,100万トンから1億5,700万トンに増加することが予測されている。その他アジアとアフリカでは、国際価格の低下を反映して純輸入量が若干増加す

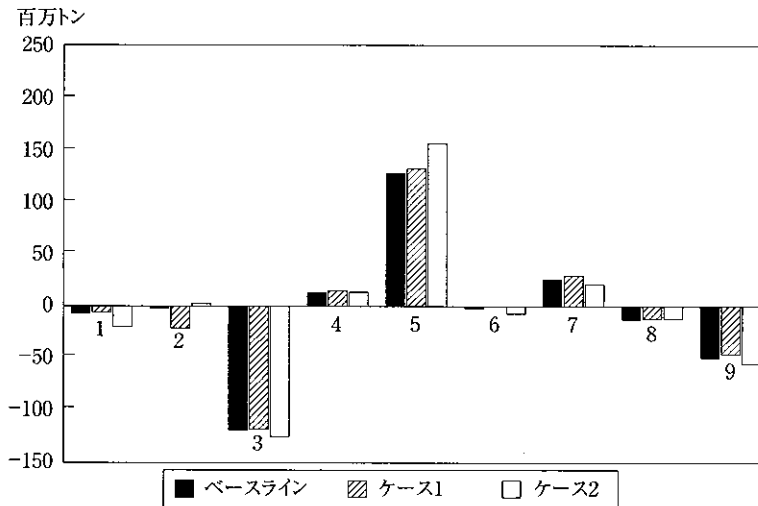


第6図 米の国際価格の予測結果

ることが予測されている。

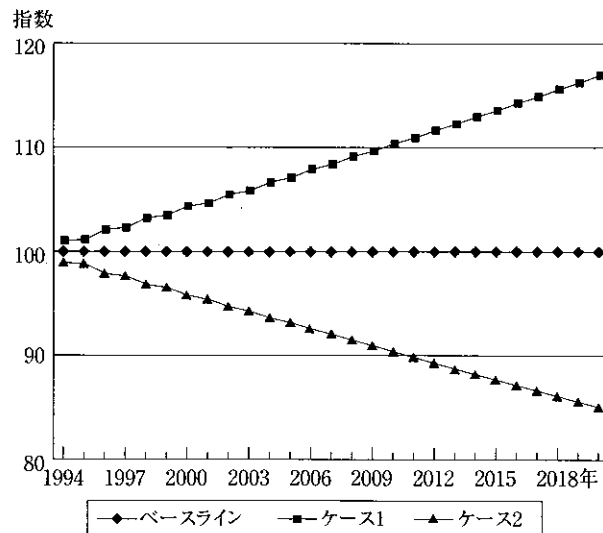
第8図には、2020年までの小麦の国際価格の予測結果が示されている。これによると、ベースラインに比べて、ケース1では2020年時点で国際価格が17.0%上昇し、

ケース2では国際価格が15.0%低下することが予測されていることがわかる。米と同様に、地球温暖化による単収の変化は、国際価格の変化を介して、収穫面積の変化、需要量の変化を誘発し、これらの市場の需給調整作



第7図 2020年小麦純輸出量の予測結果

注. 1: 中国, 2: インド, 3: その他アジア, 4: オセアニア, 5: 北米, 6: 中南米, 7: ヨーロッパ, 8: 旧ソ連, 9: アフリカ



第8図 小麦の国際価格の予測結果

用によって、その影響がかなり緩和されることがわかる。

## 6. おわりに

以上、世界米小麦需給モデルを開発し、これをIPCC第2回技術評価レポートの地球温暖化シナリオの下で動かすことによって、地球温暖化の国際需給への影響を予測した。

地球温暖化の国際食料需給への影響については、農業生産が気象条件に大きく依存しているため、これまで国際的に高い関心が持たれてきた。しかし、その影響発現の過程が複雑で世界市場による需給調整も働くため、これまでその影響の計量的評価の研究は極めて限られたものであり、その影響が非常に深刻なものであるのか、あるいは比較的軽微なものであるのか、についての知見すらも限られていた。

本稿では、この分野への最初の試みとして世界の食用穀物の中心である米と小麦を取り上げ、地球温暖化の各地域への作物生産への影響についてはIPCCが取りまとめたこれまでの既存の研究成果のレビューを援用し、国際需給への影響を中心に評価を試みた。

予測結果としては、2020年時点で米についてはベースラインに比べて地球温暖化の影響で国際価格が+16.4～-9.9%の幅で変化する可能性があること、また、小麦についてはベースラインに比べて国際価格が+17.0～-15.0%の幅で変化する可能性があることを確認した。

地球温暖化による国際価格の変化が米と小麦について上下最大17%の幅に収まるだろうという本稿の予測結果は、地球温暖化の国際食料需給への影響が、人類が管理不可能な程の深刻なものではないことを示唆しているように思われる。ただし、地域によっては、例えば中国の米、インドの小麦のようにその純輸入量がかなり増加する地域もあり、また

アフリカのように既に多くの飢餓人口を抱えている地域では、食糧安全保障を脅かす一つの重要な要因となる可能性もあるといえよう。

本稿で援用したIPCCの地球温暖化の作物生産への影響シナリオには、アフリカ地域のようにその影響予測の研究がほとんど行われていない地域が存在する。また、海水位上昇による耕地消失の影響は、今回の予測では考慮されていない。これらの点は、本稿で使った国際米小麦需給モデルの開発上の制約とともに、本研究の主要な限界性であり、予測結果の解釈において慎重であらねばならない点である。これらの点については、IPCCやIGBPのような国際的ネットワークの下で地球温暖化研究がさらに進展し、この分野の研究蓄積がさらに進むことを期待しつつ、今後の研究課題としたい。

注(1) この地球平均気温の上昇見通しに関しては、1990年の第1回のIPCC技術評価レポートでは中位推計で3℃の上昇が予測されていた。その後の大気大循環モデル(GCM)の予測精度の向上、特に大気中エアゾールの影響予測精度の向上によって、第2回IPCC技術評価レポートでは2℃に下方修正された。IPCC編、西岡秀三監訳『地球温暖化の影響予測：IPCC第2作業部会報告書』中央法規出版社、1992年、1ページ。IPCC編、環境庁地球環境部監訳『IPCC地球温暖化第2次レポート』中央法規出版社、1996年、2ページ。

(2) 綿抜邦彦『地球——この限界——』オーム社、1995年、92～93ページ。

(3) 地球温暖化の農業生産への影響とその対策については、我が国でも次のような著書が出版されているので参照されたい。福岡克也『地球環境保全戦略——エコロジー経済学の挑戦——』有斐閣、1993年、M. パリー著、内嶋善兵衛訳『気候変化と食糧生産』農林統計協会、1991年、森島賢・金井道夫・大賀圭治・小山修・中川光弘『世界は飢える

か——食料需給長期展望の検証——』農山漁村文化協会, 1995 年, 陽捷行編著『地球環境変動と農林業』朝倉書店, 1995 年, 内嶋善兵衛『地球温暖化とその影響——生態系・農業・人間社会——』裳華房, 1996 年。

- (4) IPCC, “*IPCC Second Assessment : Climate Change 1995*”, Cambridge University Press, 1996, pp. 438–448.
- (5) C・ローゼンツバイヒ, M・パリー共著, 中川光弘解題翻訳「世界食料供給への気候変化の潜在的影響」(『のびゆく農業』No. 837, 農政調査委員会, 1994 年)。
- (6) FAO, “*A Documentation of FAO World Food Model*”, 1996. Devadoss S., Helmar

M., Mayers W., “*The World Wheat Trade Model : Specification, Estimation, and Validation*”, Center for Agricultural and Rural Development, Iowa State University, TR 90-14, 1990.

- (7) United Nations, “World Population Prospect: 1995”. World Bank, “STARS: 1996”.

〔付記〕

本研究は、環境庁地球環境研究総合推進費プロジェクト「温暖化対策評価のための食料需給モデルの開発に関する研究」の研究成果の一部である。