

B-15 アジア太平洋地域における温暖化対策分析モデル (AIM)の開発に関する途上国等共同研究

(2)温暖化影響モデル (AIM/impact) の開発に関する共同研究

②農業影響モデルの開発に関する共同研究

研究代表者 国立環境研究所 原沢英夫

環境庁 国立環境研究所

地球環境研究グループ 温暖化影響・対策チーム 森田恒幸・甲斐啓子・甲斐沼美紀子

社会環境システム部 環境計画研究室 原沢英夫

(委託先) システム総合研究所

(海外共同研究機関) 国際応用システム研究所 (I I A S A)

平成7-8年度合計見積予算額 37,834千円

(平成8年度予算額 20,211千円)

〔要旨〕

アジア太平洋地域における地球温暖化の農業影響が大きな政治的関心を呼んでいることを背景として、このニーズに答えるために、国際応用システム研究所 (I I A S A) と農業生産-貿易を考慮した食糧需給の長期予測モデルの開発を開始した。モデルは、食糧需給の国際市場均衡をシュミレートするBLSモデル、各国の農業生産を扱うAEZモデル、さらに土地利用変化を扱う土地利用変化モデルから構成される。モデル全体の基本構造について検討をするとともに、一部試算を行った。

〔キーワード〕 温暖化影響、アジア太平洋地域、農業生産、地理情報システム

1. 序

アジア太平洋地域における温暖化対策分析モデル (A I M) の開発に関する途上国等共同研究の一環として、温暖化の影響を評価するためのモデルの開発に取り組んでいる。とくに、温暖化による農業生産や土地利用への影響は、発展途上国に大きな経済的被害を与えることから、アジア太平洋地域の発展途上国からの研究ニーズは高い。温暖化といった100年オーダーの長期予測に耐えうる農業-土地利用予測モデルとしては、現在のところ国際応用システム研究所 (I I A S A) が所有する一般均衡タイプのモデル (B L S) があり (Fischer, 1988)、このモデルを改良してアジア太平洋地域に適用することが、短時間で政策ニーズに答える最も効率的な方法である。

本研究は、国際応用システム研究所 (I I A S A) との共同研究により、地球温暖化がアジア太平洋地域の農業に与える影響を予測するシミュレーションモデルを開発することを目的としている。本モデルにより、A I Mにより予測された農業生産への一次影響が、国際的な食糧需給市場を通じて各国の農業生産をどのように変化させるか、またその結果、各国の農地を拡大或いは縮小させて自然環境にどの程度の影響を与えるか、について予測できるようになる。

2. 食糧需給の長期予測モデルの開発

2.1 長期予測モデルの構成

IIASAでは、決定分析チームと食糧・農業チーム（後に土地利用変化研究チーム）の共同プロジェクトにより、食糧需給の長期予測モデルの開発が進んでいる。本研究で開発するモデルは、地球温暖化による農業生産への影響のうち、二次的な影響を解明するためのものである。即ち、温暖化の農業生産の直接的な影響（一次的影響）はAIMモデルにより予測可能であるが、この直接的影響はマーケットにより世界的に調整される。例えば、温暖化によりある国の農業生産が減少すると、この国に食糧を輸出するために他の国の農業生産が増加する可能性がある。この経済的な調整メカニズムを通じた二次的な影響を予測するために、今回のモデル開発が必要である（図1）。長期予測モデルは、次の3つのサブモデルから構成される。

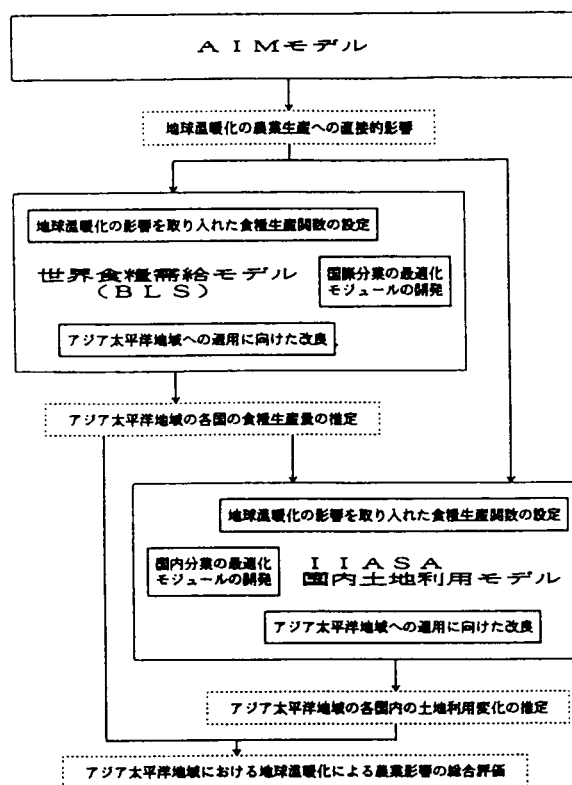


図1 温暖化の農業影響解明のフレーム

(a) 地球温暖化による農業生産への影響を
勘案した食糧生産関数 (AEZ)

(b) 国別の農業生産と耕地面積の推定 (BLS)

(c) 国内地域別の農業生産と耕地面積の推定 (土地利用変化モデル)

BLSはIIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) において食糧・農業チームにより開発された食糧需給の長期予測モデルであり、AEZ (FAO, 1978) はIIASAとFAO (Food and Agriculture Organization of United Nations) との共同で開発されている食糧生産性を推定するモデルである。土地利用変化モデル (Fischer, 1996a) は現在IIASA、アムステルダム自由大学世界食糧研究所の共同研究により開発の過程にある。以下、BLS、AEZ、及び現在開発過程にある土地利用変化モデルの基本構造について示す。

2.2 BLS

2.2.1 基本構造

IIASAにおける食糧農業プログラムの目的は、世界の食糧問題への対策案を提案することである。そのため、BLSが開発され、中期の政策分析に適用されてきた。BLSは食糧の生産と農業システムを検討する国内モデルで構成され、かなり詳細な農業部門とその他の非農業部門の生産量を予測する。

BLSは一般均衡モデルである。国内及び国際レベルで、全ての財について均衡が保たれる。あらゆる供給された財は、人間によって消費されるか、飼料として用いられるか、または中間的な入力として生産に用いられるか、貿易されるか、ストックとして保存されるかして、完全に需要と一致する。

各国モデルは、貿易、世界市場価格、貨幣の流入出を通して結びつけられる。システムは各シミュレート期間ごとに全ての国で同時に解かれる。供給活動は、新しい経済状態に即座には対応調整できないということが仮定されている。次の年に市場で処理される供給だけが経済環境の変化によって影響を受ける。国際市場価格の初期値に対して、各国の国内の均衡計算により輸出量が求められ、それぞれの商品について国際市場で需給が一致するかどうかを確認される。次に最適アルゴリズムを用いて国際市場価格は修正され、再び各国モデルに渡される。次にこれらの修正された国際価格に対して新しい国内の均衡が再び計算され、純輸出が調整される。全ての商品について国際市場での需給が一致するまでこのプロセスが繰り返される。繰り返しのそれぞれのステージにおいて、国内市場は均衡する。これらのステップがシミュレート期間ごとに行なわれるので、帰納的な動的シミュレーションとなる。

生産と消費を決定する経済主体の概念は、BLSがたつ基本的なところである。生産者は、生産活動において授けられる初期ファクターを用いて、収穫を最大化させる。消費者は予算制約の範囲内で効用を最大化させる消費を行うものと仮定される。また政府は、税や関税、国際的な資金移転などからえられる収入と支出とをバランスさせるという制約の中で、政策において規定された目的に沿った行動する。

BLSはいくつかの異なるタイプの各国モデルを含んでいるが、それらのモデルは共通な式を含んでいる。生産の部門は、大きくは農業セクタと非農業セクタの2つのセクタに分類される。農業セクタでは9つの集計された商品が生産され、全ての非農業セクタは一つに集計される(表1)。生産は、土地、労働力、資本といった基本的な生産ファクターの入手性に依存する。土地は農業セクタでのみ使用され、後の2つは農業・非農業両方の産出の決定因子である。

表1 BLSでの製品の分類

セクタ	部門
農業製品	コムギ
	イネ
	粗穀物
	牛肉・羊肉
	畜産品
	その他動物性製品
	蛋白性食品
	その他食品
	非食品農産物
非農業製品	非農産物

2.2.2 BLSを用いた試算

将来の気候変動下で農作物生産性が変化した場合の農業活動の変化を、貿易などの経済的な適応を考慮してBLSを用いて試算した。表2はその計算結果を集計して表にまとめたものである。GISS、GFDL、UKMOという3つのGCM(大循環モデル)によって算定された気候変動予測に基づいて農作物生産性の変化を計算し、それをBLSの入力として、気候変動が起らないと仮定した場合と比べた穀物生産量の変化、農作物生産量の変化、農業部門のGDPの変化を表に示した。集計単位としては、世界全体、先進国、途上国で集計した。(i)大気中二酸化炭素濃度の増加による肥沃化効果を考慮しない場合、(ii)大気中二酸化炭素濃度の増加による肥沃化効果を

考慮した場合、(iii)肥沃化効果を考慮した上でさらに農家単位で実行できるいくつかの適応策（栽培種の選択、植え付け日の調整、肥料の適用など）を講じることが出来るとした場合、(iv)さらに大規模な適応（灌漑など）も講じるとした場合についてそれぞれ算定した結果である。ただし、本計算での生産性の算定には空間的な算定が可能な拡張AEZを用いず、空間的には粗いが多くの適応を考慮に入れることが出来るIBSNATモデルが用いられている。

表2 2060年における経済的な調整（貿易など）が行われる場合の気候変動による農業影響（GISS、GFDL、UKMOによる気候変動予測をそれぞれ用いた場合と気候変動が起きないとする参照シナリオを用いた場合の比較）

	穀物生産量			農作物生産量			農業部門GDP		
	%変化			%変化			%変化		
	GISS	GFDL	UKMO	GISS	GFDL	UKMO	GISS	GFDL	UKMO
世界全体									
CO2肥沃化効果なし	-10.9	-12.1	-19.6	-11.5	-12.8	-18.0	-10.2	-11.7	-16.4
CO2肥沃化効果あり	-1.2	-2.8	-7.6	-0.5	-1.7	-6.4	-0.4	-1.8	-5.4
適応レベル1	0	-1.6	-5.2	0.2	-1.0	-5.0	0.2	-1.2	-4.4
適応レベル2	1.1	-0.1	-2.4	1.1	0.2	-2.3	1.0	0.0	-2.0
先進国									
CO2肥沃化効果なし	-3.9	-10.1	-23.9	3.8	-5.5	-12.7	1.1	-6.2	-12.5
CO2肥沃化効果あり	11.3	5.2	-3.6	15.6	7.6	-0.9	11.6	5.1	-1.9
適応レベル1	14.2	7.9	3.8	17.6	9.1	4.0	13.3	6.5	1.8
適応レベル2	11.0	3.0	1.8	15.1	8.6	2.2	11.8	6.5	1.3
途上国									
CO2肥沃化効果なし	-16.2	-13.7	-16.3	-16.6	-12.8	-19.8	-13.9	-13.5	-17.7
CO2肥沃化効果あり	-11.0	-9.2	-10.9	-5.8	-4.9	-8.2	-4.4	-4.0	-6.6
適応レベル1	-11.2	-9.2	-12.5	-5.6	-4.4	-8.1	-4.1	-3.7	-6.4
適応レベル2	-6.6	-5.6	-5.8	-3.6	-2.7	-3.9	-2.6	-2.2	-3.1

2.3 AEZ

2.3.1 AEZの基本構造

ここ10年の間、FAOとIIASAはFAOが行なっている農生態地域プロジェクト（AEZ）の拡張を行ってきた。AEZは土地資源利用の最適化のためのツールである。農業—土地利用モデル中では、将来において気候、土壌などの農作物生産を取り巻く環境が変化した場合の生産関数のパラメータを決定するために用いられる。従来FAOが独自に行っていたAEZプロジェクトでは、平均気温、平均昼間気温、降水量、光合成有効放射量、潜在可能蒸発散量、土壌の科学的・物理的性質、土壌の傾斜の、農作物生産を取り巻く資源環境データを入力として、現在の食糧生産・供給統計データから分析して最も重要と考えられる11の農作物（コムギ、イネ、トウモロコシ、トウジンビエ、キビ、ダイズ、ワタ、エンドウマメ、ジャガイモ、サツマイモ、キャッサバ）について、各作物種ごとに与えられる成長に関するパラメータにそって生物学的に成長をシミュレートすることにより、潜在的な生産性を算定する。

2.3.2 AEZの拡張

しかしながら、BLSを用いた農業生産の変化による経済活動・貿易・食糧需給への影響算定、ま

たは土地利用変化モデルを用いた気候変動下での食料生産性変化による土地利用への影響の算定に生産関数のパラメータ算定ツールとして用いるためには、以下のような拡張が必要であると考えられる。

(a) より多くの作物を区別して取り扱えるようにすることで、より現実的な農業経済シミュレーションを可能にすること。つまり、モデル中で用いられる成長のパラメーターをより多くの作物種について準備すること。

(b) 二酸化炭素による直接効果（二酸化炭素肥沃化効果）を分析できるように改良すること。

本研究では、上記2点を改良した拡張A E Zモデルを開発した。

2.3.2.1 対象作物の追加

従来のA E Zで取り扱われてきた作物種に加えて、表3に示す作物種について成長を表現する定量的なモデルパラメーターを収集している。モデル計算に必要なパラメーターは、作物タイプ（光合成経路）、標準成長期間、標準収量形成期間、最大葉面積指数、各成長ステージで要求される水分制約係数、収穫係数である。

2.3.2.2 二酸化炭素肥沃化効果の導入について

二酸化炭素の肥沃化効果は、大気中の二酸化炭素濃度の増加にしたがって引き起こされる二つのプロセスの複合作用と考えられている。一つは光呼吸作用の低下による光合成効率の上昇、もう一つは気孔の収縮による蒸発散量の減少に伴う水利用効率の上昇である(Fischer *et al.*, 1996b)。

光呼吸は光が照射された場合に光合成によって固定された炭水化物の一部が再び大気中に放出される植物反応であり、その結果、純炭素固定量が減少する。二酸化炭素濃度の上昇に伴い光呼吸が抑制され、純炭素固定量が増加することが分かっている。イネ、コムギなどのC3植物では二酸化炭素濃度の増加に対して光呼吸の抑制が顕著に現れるが、トウモロコシなどのC4植物ではC3植物に比べると現れにくい。これはC4植物が、二酸化炭素をいちど葉の内部に蓄え、その後光合成反応を行う細胞中で濃縮を行うという光合成プロセスを持つためである。このようなC4植物の光合成プロセスは、現在の大気中二酸化炭素濃度ではC3植物のプロセスに比べて光合成の効率が良いが、二酸化炭素肥沃化の効果を受けにくい。

また、気孔は葉表面の小さな穴であり、ここを通して二酸化炭素が吸収され水蒸気が放出される。二酸化炭素濃度の増加により気孔開度が小さくなることが分かっており、それにより水分の蒸発散量が減少し、水利用効率（単位蒸散量あたりのバイオマス生成量）が上昇する。降水量が少ないなど水資源に恵まれない地域においては、これにより生産性が上昇する可能性がある。

Cure *et al.* (1986)は二酸化炭素濃度が340ppmから680ppmに変化した時の単位面積収量の変化率(%)について作物毎にサーベイを行った。我々の研究では、Cure *et al.*により報告された変化率の平均値を、二酸化炭素の肥沃化効果による潜在生産性の変化率として用いて、潜在生産性算定モデルの計算結果を補正する。二酸化炭素濃度340ppm-680ppm付近では肥沃化効果が二酸化炭素濃度に対して一次関数的に変化すると仮定し、二酸化炭素肥沃化効果を考慮に入れた推定年 t での潜在生産性 y_t (kg/ha)を以下の式(1)を用いて計算する。

$$y_t(x, Y_t) = Y_t \times \left\{ 1 + \frac{f_{680}}{100} \left(\frac{x}{340} - 1 \right) \right\} \quad (1)$$

表3 拡張A E Zで取り扱う作物種とそれらの現在の栽培面積、生産量

作物	収穫面積 1992 000 'ha	生産量 1992 000' t	気候区分
穀物	699,588	1,952,225	
コムギ (冬播)	220,007	563,649	温帯・亜熱帯
コムギ (春播)			温帯・亜熱帯・熱帯
イネ (ジャポニカ種・水稻)	147,168	525,475	温帯・亜熱帯・熱帯
イネ (インディカ種・水稻)			亜熱帯・熱帯
イネ (陸稲)	no data	no data	亜熱帯・熱帯
トウモロコシ(穀物)	132,266	526,410	温帯・亜熱帯・熱帯
トウモロコシ (牧草)			温帯・亜熱帯・熱帯
オオムギ(冬播)	73,449	160,134	温帯・亜熱帯
オオムギ(春播)			温帯・亜熱帯・熱帯
キビ	45,695	70,448	温帯・亜熱帯・熱帯
トウジンビエ	37,850	28,550	亜熱帯・熱帯
アワ			温帯・亜熱帯
ライムギ	13,435	29,212	温帯・亜熱帯・熱帯
根菜類	47,849	585,124	
ジャガイモ	18,031	268,492	温帯・亜熱帯・熱帯
キャッサバ	15,757	152,218	熱帯
サツマイモ	9,262	128,016	亜熱帯・熱帯
豆類	67,464	57,455	
エンドウマメ	24,576	16,133	温帯・亜熱帯・熱帯
ヒヨコマメ	9,660	6,887	温帯・亜熱帯
ササゲ	8,693	15,918	亜熱帯・熱帯
油類	no data	78,162	
ダイズ	54,591	114,011	温帯・亜熱帯・熱帯
アブラナ(冬播)	20,736	26,661	温帯・亜熱帯
アブラナ(春播)			温帯・亜熱帯・熱帯
ナンキンマメ	20,609	23,506	温帯・亜熱帯・熱帯
ヒマワリ	17,614	21,645	温帯・亜熱帯
アブラヤシ	no data	12,821	熱帯
オリーブ	no data	1,835	温帯・亜熱帯・熱帯
繊維作物	no data	23,893	
ワタ (2)	33,640	18,430 / 53,910	温帯・亜熱帯
砂糖	26,227	1,348,571	
サトウキビ	17,934	1,104,580	亜熱帯・熱帯
サトウダイコン	8,293	279,991	温帯・亜熱帯
果物	no data	369,518	
バナナ	no data	49,630 / 26,797	亜熱帯・熱帯
飼料			
アルファルファ	no data	no data	温帯・亜熱帯
牧草	no data	no data	温帯・亜熱帯・熱帯

(1) 生産量は油脂当量で表記

(2) リントと種子の生産量をそれぞれ表記

ただし、 x (ppm)は推定年 t の大気中二酸化炭素濃度、 Y_t (kg/ha)は推定年 t の気候条件に基づいて計算された肥沃化効果を考慮しない場合の潜在生産性、 f_{680} (%)は二酸化炭素肥沃化効果による潜在生産性の変化率である。

2.4 土地利用変化モデルの基本構造の開発

BLS, AEZに基づく長期予測モデルでは、土地利用変化の推定が必要であり、このための土地利用変化モデルの基本構造の開発を行った。開発した土地利用モデルは、人間が経済活動を通して土地利用に変化を与える過程をシミュレートするものであり、土地利用変化を引き起こす様々な社会経済ファクター及び生物学的ファクターの空間的、時間的な関係の分析を目的としている。中長期についてそのような複雑なシステムに関する分析を正確に行うことは不可能である。そのかわりに、人口、経済、政治のファクターが土地利用変化に及ぼす影響の比較研究が重要である。そこで、政策と経済主体の意思決定について明示的に記述できるモデルの定式化を心がけた。経済活動は一般均衡モデルを用いて表現し、土地利用は土地資源の最適配分問題（社会的な厚生を最大化）の結果として推定される。また最適な資源配分を決定するにあたって、世代間の平等、地域的な平等をはっきりと考慮に入れることも重要である。それにより社会的に見て理想的で、経済的には効率的な資源利用の経路を検討するのに用いることが出来る。そうでないと、一部地域の人々が十分な資源を利用できなかったり、将来世代の人が不利益をこうむるような配分を最適と判断する可能性がある。

図2に開発した土地利用モデルの概念図を示す。本研究で開発する土地利用モデル中で内生的には取り扱われないが消費者や土地管理者の意思決定に重要な影響を与える変数については、シナリオとして準備する。政策や技術の進歩などがこれに該当する。また、人口や経済発展については、既存の研究の成果（世界銀行予測等）を与えて取り扱う。気候変化については、将来気候の空間分布の予測については既存のGCM研究の成果を参照し、排出量により変化する気温上昇については気温上昇モデルを設定して計算する。

土地利用を取り巻く自然資源については、地理情報システムに基づいて開発されているAIM/影響モデルを用いることにより、自然植生、農業生産性、土地劣化、水文等に関連した様々な自然科学的な分析を行っている。これらの分析の結果は適当な地域レベルに集計されて、メインの土地資源－経済－土地利用モデルの入力データやパラメーターとして利用することになる。

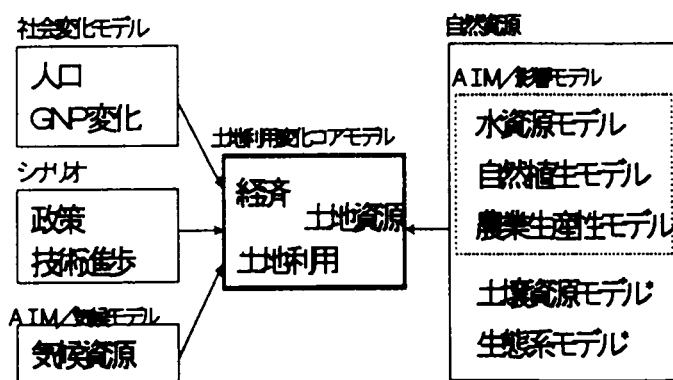


図2 土地利用モデルの概念図
(ただし*印は今後開発予定)

また、コアとなる土地資源－経済－土地利用モデルはMSDOSまたはUNIX上で動作する非線型問題解析ツールであるGAMSのプログラムとして開発されている。現実の世界をより実際に記述出来るモデルとするために、貿易障壁、不完全競争や世代の問題、シミュレーション期間（いつの時点までの最適化を取るのか）の問題など

を検討できるようにモデルは設計されているが、解法上の問題やパラメータ推定用のデータの入手性などから、現段階では外生的にシナリオとして値を与えることで解決したり、プログラム中で明示的に取り扱かえない因子も存在する。このような制約から、コアの土地資源—経済—土地利用モデルとそれを囲む生産資源その他の環境とのリンクが表現出来ていない点も存在する。今後のデータの拡充を待つとともに、より実際の世界を反映したリンクの手法を開発していく必要がある。シミュレーション期間と世代の問題については、再帰的均衡モデルとして取り扱うことで計算を簡単にしている。つまり、対象とするシミュレーション期間T全体での厚生が最大となるようにT期間全体に渡って最適化を行い価格を決定し、その価格での市場の均衡を計算し需給量を求めるのではなく、各タイムステップにおいて次のタイムステップの価格がその時点までの過去の価格の軌跡とその他の変数に従って各経済主体によって期待され、その期待される価格シグナルに従って各時点での厚生の最大化をはかり、需給の均衡を計算するという、ことを目標年まで繰り返す。

土地利用モデルの構築にあたって、土地利用変化の推進力となる人間活動にはどのようなものがあるか、検討を行った。大きく分類すると、人口変化、技術変化、経済成長、政治経済の構造の変化、価値観の変化などがあげられる。

多くの途上国において土地利用を変化させる支配的な推進力となるのは、人口増加と収入の増加に伴う一人当たり消費量の増加による農作物、林産物への需要の増加を満たすための農地の拡大である。ここ数十年地球全体の着実な傾向である都市化は収入の変化やライフスタイルの変化と深い結びつきを持つため土地利用の変化に大きく寄与するファクターといえるであろう。

生産者及び消費者の経済活動は、政府や国際機関によって決定される法や制度によって影響を受ける。補助金や税は経済的なインセンティブを発生させ資源分配に影響を与えるし、規制によってある種の生産活動や土地利用は制約を受けるかもしれない。本モデルの開発にあたって重要視した政策は、適切な土地資源の評価、食糧保障、持続可能な農業の開発、環境保護である。

技術の進歩が土地利用に与える影響も大きい。近年農作物生産の増加は、農地の拡大よりも単位面積当たりの収量の増加によるところが大きかった。FAO (1995) の試算によると今後10～20年間の途上国における農作物の増産の約80%は単位面積あたり収量の増加によるものであると推定される。先進国においては、あまり大きな食糧需要の増大が起きないと予測されるため、生産性の増加によって農地が減少することもありうる。現在のところ技術の進歩は外生的な変数として与えられているが、経済的なシミュレーションシステム中で内生的に取り扱うことも今後検討していく必要があるであろう。

3. 本研究の成果のまとめ

本研究では、気候変動が農業に与える影響を包括的に評価するために、生産性の推定モデルの改良、国際貿易を考慮に入れた農業一般均衡モデルの開発とそれを用いた経済的影響の算定、農業影響を含む様々な人間活動により土地利用が変化する過程をシミュレートする土地利用モデルの開発を行った。以下に本研究による成果をまとめる。

- ・農作物の生産性算定モデルを改良し、従来のものより多くの作物種を取り扱えるようにしたことで、経済効果を考慮した農業影響算定の生産関数のパラメータを決定するツールとしての機能が向上した。また、より詳細な作物種の選択が可能になるので、気候変動に対する適応を検討する際にもより現実を反映した評価が可能になると考えられる。(現在も収集を継続。)

- ・農作物の生産性算定において、大気中二酸化炭素の肥沃化効果を考慮に入れることが可能になった。肥沃化効果が実験室レベルでなく実際の農場でどの程度効果をもつのかについては様々な議論があるが、肥沃化効果があるとした場合とあまり効果を持たないとした場合の、農業への影響の幅を見ることが可能になった。
- ・BLSを用いることにより、気候変動が農業に及ぼす経済的な影響を算定した。気候変動が起きないとした場合と比べた農作物生産の変化、農業生産のGDP変化というマクロな指標を算定することにより、気候変動が農業活動全体に与える経済的な影響を見ることが出来た。途上国においても先進国においても、二酸化炭素濃度の肥沃化効果により気候変動によるマイナスの影響がかなり緩和されることが分かった。しかしながら、生産量の変化、経済影響ともに先進国よりも途上国の方がマイナス影響が大きい。
- ・土地利用変化モデルの定式化を行った。非線型モデル解析プログラムを用いることにより、プロトタイプモデルのプログラムを作成した。

また、いくつかの問題点も指摘された。

- ・大気中二酸化炭素濃度の作物生産への肥沃化効果に関するデータは、実験室レベルのものが多い。実際の耕作地での効果は大気中二酸化炭素濃度以外の多くの環境条件により大きく左右されあまり肥沃化効果が得られない場合もあるとの報告がある。
- ・土地利用変化を引き起こす原因の一つとして技術進歩があげられるが、本研究で定式化したモデルではこれを外生的に与えることで処理している。新技術開発への投資を明示的に取り扱い内生化する必要がある。

引用文献

- Cure, J.D. and B. Acock (1986): Crop responses to carbon dioxide doubling: A literature survey, *Agricultural and Forest Meteorology*, 38, pp.127-145.
- Fischer, G., L. Frohberg, M.A. Keyzer and K.S. Parikh (1988): *Linked National Models: A tool for international policy analysis*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Fischer, G., Y. Ermoliev, M.A. Keyzer and C. Rosenzweig (1996a): *Simulating the Socio-Economic and Biogeophysical Driving Forces of Land-Use and Land-Cover Change: The IIASA Land-Use*
- Fischer, G. and C. Rosenzweig (1996b): *The impacts of climate change, CO₂ and SO₂ on agricultural supply and trade*, WP96-05, IIASA, Laxenburg, Austria.
- Change Model
- FAO (1978): *Report on the Agro-Ecological Zones Project, Vol.1, World soil resource report 48*, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome.
- FAO (1995): *World Agriculture: Towards 2010, An FAO Study*. Edited by N.Alexandratos, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, pp.251

4. 成果発表

Harasawa, H., K. Takahashi, K. Kai, Y. Matsuoka, and T. Morita (1996) AIM Climate Impact

Model and Land Use, the Fourth Japan-US Workshop and Global Change, Land Use/Land Cover Change and Global Environmental Conservation, Tsukuba.

Harasawa, H., K. Takahashi, K. Kai, Y. Matsuoka, and T. Morita (1996) Spatial Projection of Global Environmental Change based on AIM Model, International Symposium on Integrated Environmental and Economic Accounting in Theory and Practice, Tokyo.

Takahashi, K., H. Harasawa and Y. Matsuoka (1997): Climate Change Impact on Global Crop Production, Journal of Global Environment Engineering, 3 (In print).

高橋 深・原沢英夫・松岡 譲 (1997): 二酸化炭素肥沃化効果を考慮した気候変動による穀物影響評価, 環境システム研究, 25 (投稿中)