

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

①基本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・高橋 潔

(委託先) 名古屋大学工学部 松岡 譲

(海外共同研究機関) 中国自然資源総合考察委員会・インドインデラガンジール研究所

平成6-8年度合計予算額 59,470千円

(平成8年度予算額 22,921千円)

[要旨]

アジア太平洋地域において温暖化により自然生態系や社会経済システムがどの程度の影響を受けるか明らかにし、防止策によってこれらの影響がどの程度軽減できるかを予測するため、この地域の研究機関と協力して総合的なシミュレーションモデルの開発を行った。初年度、二年度にわたり農業影響モデルを開発し、とくにアジア地域における二大農業生産国である中国・インドについてモデルの改良を行った。同時に、各国の研究者と協力して、各国の影響評価のための環境・社会・経済データを収集し、整理するとともに地理情報システム (GIS) を活用して、農業モデルの入力条件や、モデルの精度評価を行った。最終年度においては、この農業モデル等を用いたアジア地域の影響評価を行う方法として、大気大循環モデル (GCM) から得られる気候シナリオの不確実性を考慮した影響評価の方法を考案し、具体的にアジア地域の温暖化の総合影響を行った。その結果一部の地域では農業生産性の上昇が期待出来るが、総じて温暖化はこの地域に悪影響を与えることが予測される。とくに悪影響の程度は、現在人口の急上昇しているインドを中心とした地域で顕著であることが分かった。

[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. 研究の背景と目的

アジア太平洋地域において温暖化防止対策の効果を総合的に評価するためには、温暖化によってこの地域の自然生態系や社会経済システムがどの程度の影響を受け、その影響がどの程度かを評価する必要がある。さらに、これらの影響が防止対策によってどの程度軽減できるかを予測する必要がある。これらの予測及び評価のためには、総合的なシミュレーションモデルの開発が不可欠である。

本研究は、(1) 過去3か年かけて開発してきたアジア太平洋圏温暖化対策分析モデル (AIM) のうち、主要なコンポーネントの一つである影響モデル (AIM/impact) をさらに発展させるとともに、これらの地域の具体的な政策の分析に役立てるべく、発展途上国などの研究機関と協力して改良し、適用することを目的としている。とくに、アジア地域における人口、産業発展における重要性を考慮して、中国及びインドにおける国別モデルの開発を行った。

(2) 将来のアジア地域の環境について考える場合、自然現象に起因する不確実さに加えて、人口増加、

経済発展、技術進歩といった人間活動に起因する不確実な要素も考慮する必要がある。そこで政策決定にあたっては、様々な可能性を検討できるようにそれらの不確実性を考慮に入れたシナリオを用いた評価が重要となる。GCM（大循環モデル）、気候変動シナリオ、影響算定モデルなどの違いにより、直接影響の推定結果はかなり変化するので、各国比較を行えるような形で気候変動の影響の見通しを得るためには、地球規模かつ空間的に詳細な影響推定が複数のGCMシナリオを用いて行われる必要がある。いくつかの世界の平均気温上昇（気候感度）を仮定し、それに11のGCMから求めた空間的な気候変化パターンを重ね、AIM/impactモデルのサブモジュールを用いてそれらの気候変動が流出量、農作物生産性、森林適性に与える直接影響を算定し、温暖化のアジア地域における影響について総合的に検討した。

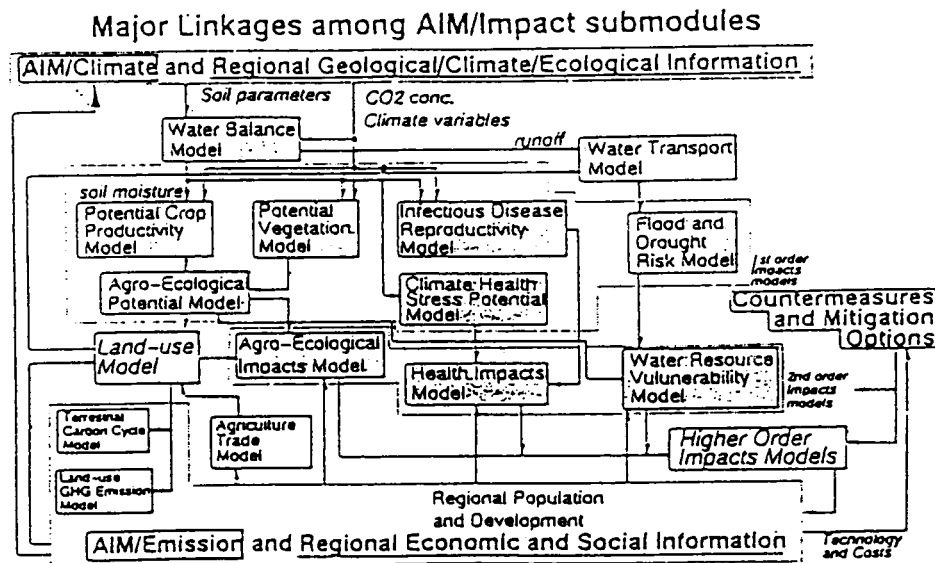


図1 温暖化影響モデルの概要

2. 温暖化影響モデル (AIM/impact) の基本構造

AIMの温暖化影響モデルの基本構造を、図1に示す。対象とする影響の主要なものは、農業、自然植生、健康、水資源である。これらの直接的影響を推定するモデルの他に、これらに共通する事象を扱うものとして、水関係の共通モデルである地表付近の水循環モデル、農業や自然植生と密接に関係を有する土地利用変化の現象を扱う土地利用モデル、それに、各種の物的な影響が結果としてどの程度の社会経済的な被害をもたらすかを推定するため、社会経済的影響モデルからなる。これらのモデルは、図に示すように相互に関係づけられ、さらに炭素循環モデルや温室効果ガス排出モデルにフィードバックされ、全体として総合的な評価が可能ないように設計されている。アジア太平洋地域の研究機関と共同でこれらのモデルを国別の影響評価モデルとして改良し、対象とする国々の政策分析に用いるとともに、農業影響モデル、他モデル（土地利用モデル、社会経済モデル等）とのリンクすることを念頭においている。

3. 国別農業影響モデルの開発と改良

3.1 中国における農業影響モデル

本研究で開発した農業影響モデルは、今後予想される気候変動によって潜在的な穀物生産性が長期的にどの程度変化するかを定量的かつ空間的に解析することができるものである。とくに、対応策を考慮する場合には、地理的な穀物生産性の分布が重要になるので、モデル構築、入力データ、計算結果の取扱いを簡便にするために、地理情報システム(GIS)を活用している。本モデルの開発にあたっては、中国科学院自然資源総合考察委員会との共同研究として実施している。

(1) 中国における農業生産性評価のためのデータベース

今回開発したモデルは、国連食糧農業機関(FAO)が開発して、適用を図っている農生態地域プロジェクト(AEZ)に基づき、独自に開発したものである。中国全域に適用し、モデルのパラメータの推定、結果の比較、さらに改良のためのデータ・情報を省・県レベルでデータベース化し、地理情報システムとリンクさせている。表1はこれまでに整備した中国関連のデータの概要である。

表1 中国影響評価のためのデータベース

データ領域	データ項目
行政境界	省・県境界, 自然境界(河川・湖沼), 道路・鉄道など
標高	1km メッシュ単位, 5単位メッシュ
土壌	FAO(土壌ユニット, 土壌相, など), 土壌劣化データ
農業生産	米・小麦・とうもろこしなど生産量, 耕地面積など
農業投入	施肥量, 使用電力量, 機械化, 灌漑率, 農業生産人口など
社会・経済	人口, 面積, 省・県名など

(注: 中国自然資源考察委員会, CIESINなどの提供による)

(2) 農業影響モデルの改良

本モデルは、気候因子(日気温、日降水量、土壌水分量、放射量など)、穀物の自然的及び人為的特性、土壌因子(土壌ユニット、土壌相など)、それに農業生産のための労働や資本の投入量等によって生産量が決定され、これに気候変化による制約条件が課せられる構造になっている。基本モデルは、灌漑、施肥、耕運、穀物種などの因子を除いた部分であり、気候変化によって受ける潜在的な影響を分析するものである。対象地域である中国に適用した際の問題点について、中国側研究者と検討した。例えば、米については一部地域については、推定値の乖離している事が指摘され、その原因を探った。その結果、成長特性に関するパラメータ(特に変種ごとの成長期間と収穫係数)、乾燥地域である中国北部など、灌漑実態の反映、肥料の多量投入の効果など人為的な入力により土壌条件や成長条件の制約が相当緩和されていること、また中国南部では多期作などの効果が重要であるなどの諸点が判明した。

上記の諸点のうち、基本モデルに成長期間の変更、収穫係数の変更、傾斜制約の緩和、灌漑率を用いた水分制約の緩和、肥料投入などの努力による土壌フェーズと土壌単位による制約の緩和を導入してモデルの改良を図った。図2はデータベースから県別のイネの収量(1987年)を示したものであり、図3は改良したモデルによる予測結果を示したものである。中国におけるイネ収量の地域的分布及びその収量の程度が比較的精度良く推定できていることがわかる。

3. 2 インドの農業影響モデル

中国と同様に基本モデルをインドの現状を考慮して、改良を行った。

(1) インドにおける農業生産の特徴

インドにおける農業生産はGDPの約33%を占めている。土地利用の傾向としては、国土面積328.7百万haのうち、156百万haが1960-61年には耕作地として利用可能であった。1991-92年は165.6百万haと僅かに増加している。そのうち141.4百万haが耕作地として利用されている。過去30年間に主要な穀物の生産は大幅に増大したが、表2はこの間の農業投入量の時系列的な変化を示したものである。また表3は、主要な穀物である米、小麦、とうもろこしの耕地面積と単位面積あたりの収量である。

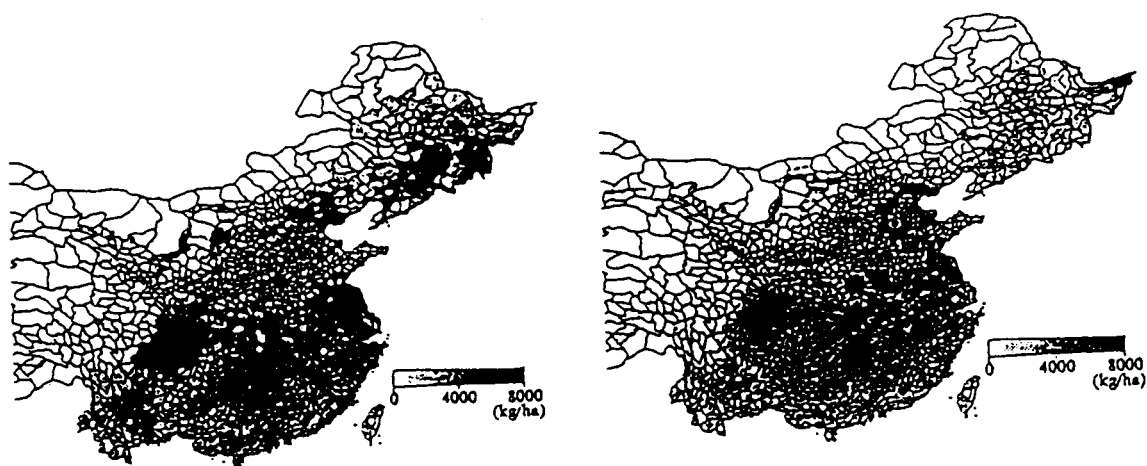


図2 統計資料による県別のイネの収量 (1987) 図3 修正後のイネの潜在生産性 (1987)

表2 インドにおける農業投入量 (%)

	1960-61	1970-71	1980-81	1990-91	1992-93
種子	18.1	17.0	11.0	11.0	10.5
化学肥料	2.6	8.4	15.1	16.4	16.6
有機肥料	10.5	7.1	4.5	5.5	5.4
殺虫・草剤	0.3	1.0	1.6	1.3	1.3
灌漑	1.3	1.3	0.8	0.8	0.6
電力	0.4	1.4	1.8	1.8	1.7
総費用 (百万ルピー)	18.5	40.8	152.5	389.7	496.4

表3 主要穀物の耕地面積 (百万ha) と収量 (kg/ha)

	1970-71		1980-81		1990-91		1993-94	
	面積	収量	面積	収量	面積	収量	面積	収量
米	37.9	1123	40.2	1336	42.7	1740	42.0	1879
小麦	18.2	1307	22.3	1630	24.2	2280	24.9	2373
トウモロコシ	5.9	1279	6.0	1159	5.9	1580	5.9	1583

(2) インドにおける農業生産のためのデータベース

インドにおいても、中国と同様に、州・ディストリクトレベルでの自然・社会条件データ及び農業に関連したデータを収集し、地理情報システムとリンクする形でデータベースを構築している。収集した項目としては、ほぼ中国と同様である。

(3) インドモデルの改良

インドを対象とした基本モデルの改良を一部実施した。実際の収穫量と基本モデルの結果との比較から、インドでは、機械化の程度と灌漑、とくに地下水利用が重要であることがわかった。

4. アジア地域における温暖化影響の総合評価

将来のアジア地域の環境について考える場合、自然現象に起因する不確実さに加えて、人口増加、経済発展、技術進歩といった人間活動に由来する不確実な要素も考慮する必要がある。その不確実性は、GCM

(大循環モデル)、気候変動シナリオ、影響算定モデルなどの違いによるものであり、直接影響の推定結果はかなり変化する。各国比較を行えるような形で気候変動の影響の見通しを得るためには、地球規模かつ空間的に詳細な影響推定が複数のGCMシナリオを用いて行うことが合理的であると考えられる。そこで、いくつかの世界平均気温上昇（気候感度）を仮定し、それに11のGCMからえた空間的な気候変化パターンを重ね、AIM/影響モデルのサブモジュールを用いてそれらの気候変動が流出量、農作物生産性、森林適性に与える直接影響を算定し、総合的に温暖化の影響を評価した。

4. 1 算定手法

図4はこれまでに開発したAIM/impactモデルのサブモジュールを用いた影響評価のフレームワークを示している。気候、水資源、農作物生産、生態システムの4つのモジュールを用いた。潜在的な影響予測は複数の世界平均気温変化シナリオ、複数のGCM出力による気候パターンを用いて行い、計算結果を各国単位で集計した。集計値は各GCMの変動特性を反映していると考えられるので、その集計値の中央値及び最高・最低値を分析に用いた。

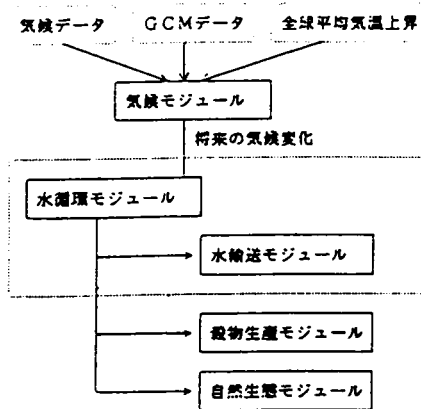


図4 影響評価のフロー

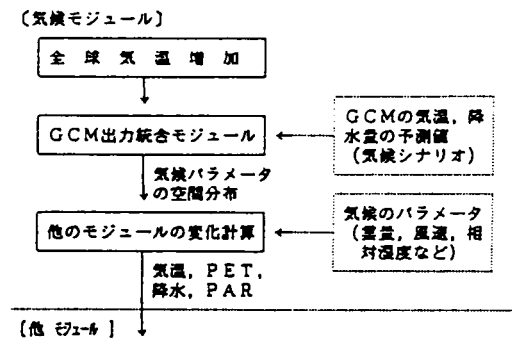


図5 気候モジュール

(1) 気候モジュール

気候モジュール（図5）では現在の気温・降水量分布とGCM出力を用いた気候変動パターンが組み合わせられ、図4下半分の影響算定で必要となる情報を生成する。世界の平均気温変化は0.5~4°Cと仮定した。気候データの空間的な分布については、表4に示す11のGCMの出力が用いた。図5中、GCM出力統合モジュール（GCM output organizer）では、GCM出力の空間解像度は影響算定用には粗いため補間処理が行われ、更に仮定された世界の平均気温変化と組み合わせることにより、将来気候データが生成される。気温についてはスプライン補間、降水量については1km²重み付け補間により0.5°メッシュに補間される。その後、次式に従い各月各グリッドの将来気候データが計算される。

$$\text{気温: } T(t) = T(\text{present}) + (T(\text{perturbed}) - T(\text{base})) \times \frac{T_{\text{mean}}(t) - T_{\text{mean}}(\text{base})}{\Delta T} \quad (1)$$

$$\text{降水量: } \log P(t) = \log P(\text{present}) + \frac{T_{\text{mean}}(t) - T_{\text{mean}}(\text{base})}{\Delta T} \times \log \left[\frac{P(\text{perturbed})}{P(\text{base})} \right] \quad (2)$$

ここで $T(t)$ [°C]、 $P(t)$ [mm/month]はそれぞれ t 年における気温と降水量、 $T(\text{perturbed}) - T(\text{base})$ [°C]、 $P(\text{perturbed}) / P(\text{base})$ [-]はそれぞれGCM計算によって得られた各グリッドの大気中二酸化炭素濃度一倍時 (base) と二倍時 (perturbed) の間の気温差、降水量変化率である。 ΔT [°C]はGCM計算による世界平均気温の変化である。 $T_{\text{mean}}(t) - T_{\text{mean}}(\text{base})$ [°C]は仮定される基準年と t 年の間の世界平均気温変化であり、0.5~4°Cの0.5°C刻みを仮定した（以降 ΔT_{mean} と表記）。つまり、8（気温上昇仮定）×11（GCM）=88の気候ケースについて、それぞれの影響予測を行った。

表4 本研究で用いたGCM出力

Climate model	Calculated date	lat. x long.(°)	ΔT (°C)	Reference
CCC	Nov-89	3.75x3.75	3.5	Boer et al., 1989
GISS	1982	7.83x10.0	4.2	Hansen et al., 1984
GFDL	1984-85	4.44x7.50	4.0	Wetherald & Manabe, 1986
GFDL R30	May-89	2.22x3.75	4.0	Wetherald & Manabe, 1989
GFDL Q-flux	Feb-88	4.44x7.50	4.0	Wetherald & Manabe, 1989
OSU	1984-85	4.00x5.00	2.8	Schlesinger & Zhao, 1989
UKmet	Jun-86	5.00x7.50	5.2	Wilson & Mitchell, 1987
UIUC	Sep-96	4.00x5.00	3.4	Schlesinger, 1996
GISS	1995	4.00x5.00	3.6	Miller and Russell, 1995
MRI	1994	4.00x5.00	2.5*	Tokioka et al., 1995
GFDL100	1991	4.50x7.50	3.2*	Manabe et al., 1992

ΔT = Equilibrium surface temperature change on doubling CO_2

ΔT^* = Warming surface temperature change at the getting out period for this study

(2) 水資源モジュール

水文事象の大きさ、頻度、継続時間の変化は、水資源の利用度、洪水強度、農業、生態システムなどに影響を与える。AIM/impactモデルの水資源モジュールは、土壌水分バランスと水輸送によって構成され、その他の影響の算定モジュールに水文情報を提供する。特に、地表面流出、土壌水分量、蒸発散量、河川流量の高解像グリッド情報を生成する。野外容水量（土壌の保水能）は現在の植生分類と土壌の粒度を用いて計算した。潜在可能蒸発散（PET）の計算には、FAO24またはThornthwaite法に基づいた2つのモジュールから選択できるようにした。データの入手性によりどちらかが選択される。

(3) 農作物生産モジュール

農地の生産性は気候変動に大きく左右される。この影響を評価するために、気候変動による潜在作物生産性の変化を推定した。作物の栽培に適した日数（成長期間）が気候データから数えられ、その成長期間中の作物の成長が各作物に与えられた成長特性パラメーターに従って生物学的にシミュレートされる。図6は作物生産性推定のフレームワークを示している。本モジュールは毎日平均気温、日中平均気温、降水量、PET、光合成有効放射量（PAR）、土壌特性を入力データとして必要とする。これらのデータの多くは気候モジュールと水資源モジュールから導かれる。大気中二酸化炭素濃度の作物への直接影響（肥沃化効果）は考慮してない。イネ、冬コムギ及びトウモロコシの潜在生産性が農作物生産の指標として選択された。土壌については1、土壌単位、土壌フェイズ、粒度、傾斜の4つの土壌特性データを用いて栽培適性が考慮された。土壌制約の空間的な多様性を反映させるために、高分解能（5分メッシュ）のグリッドデータが用いられた。

(4) 自然生態システムモジュール

気候変動による自然生態システムへの影響を評価するために、Holdridgeによる植生分類が用いられた。本法では、生物温度、降水量、及びPETと降水量の比という生態気象学的指標を用いて植生区分を行う。生物温度は、一年分の日平均気温について0°Cを超えるものの総和を取り、これを365で割ることによって得られる。気候は生物温度によって7段階に分類される。さらに降水量及びPETによって37段階に分類される。Holdridgeの方法による分類は、気候に基づいた潜在的な植生を示す。

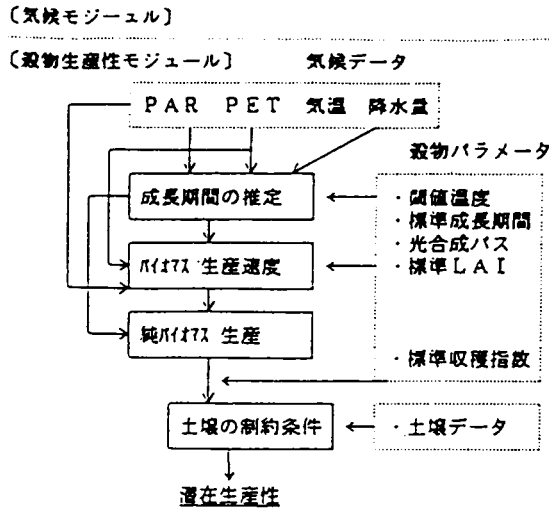


図6 農作物生産モジュール

4. 2 推定結果

図7、図8はそれぞれ気温と降水量の変化の各国平均を示している。この図で示されるのは $\Delta T_{\text{assmtc}} = 2^\circ\text{C}$ を仮定した場合であり、○は12月-2月の3ヶ月の平均、●は6月-8月の3ヶ月の平均である。これらの記号は11のGCMの中央値にプロットされている。11のGCMの最大・最小値は、横線の両端である。各国の気温変化の中央値は1.3~2.7 $^\circ\text{C}$ であるが、予測は0.1~3.6 $^\circ\text{C}$ の幅を持つ。同様に、降水量変化の中央値は+1~17%であるが、全てのGCMを見てみると-14%~+47%の幅を持つ。冬期の気温変化は夏期に比べ大きい。インド、ネパール、バングラデシュなどのインド亜大陸では、目立った降水量変化が見られる。

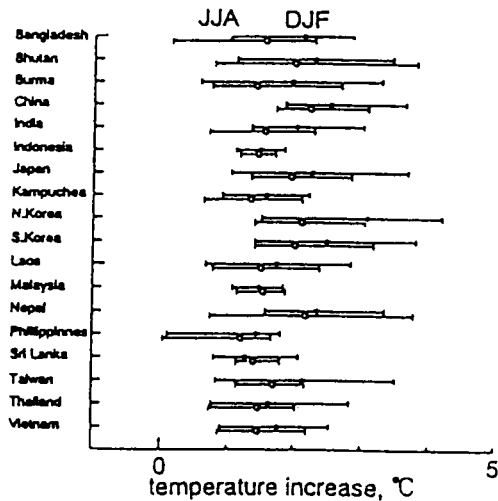


図7 各国の気温変化 ($\Delta T_{\text{assmtc}} = 2^\circ\text{C}$)

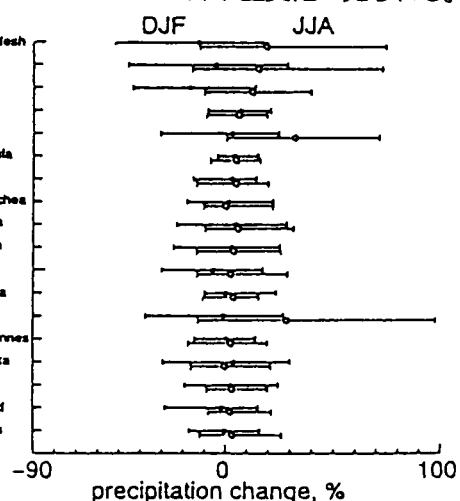


図8 各国の降水量変化 ($\Delta T_{\text{assmtc}} = 2^\circ\text{C}$)

図9は $\Delta T_{\text{assmtc}} = 2^\circ\text{C}$ での表面流出量変化の各国平均である。各国の中央値は8~67%である。インド、ネパール、バングラデシュでは30%以上の増加が見込まれる。ビルマでは20%の増加であり、その他の国では±5%である。図10は各国平均流出量の ΔT_{assmtc} による変化を示したものである。中央値は ΔT_{assmtc} に比例して単調に増加する傾向が見られるが、幅にはそのような傾向は見当たらない。

$\Delta T_{\text{assmtc}} = 2^\circ\text{C}$ での農作物の潜在生産性の変化が図11に示される。ブータンと台湾において大増加がみられるが、その他ほとんどの国でイネの潜在生産性は若干の減少である。冬コムギの潜在生産性はバングラデシュ、インド、その他の熱帯国において大きな減少が見られる。中国ではそれほど大きな影響を受けないかもしれない。トウモロコシ(熱帯性栽培種)については、バングラデシュにおいて生産性の増加が期待される。その他の国々での影響は±5%以内である。GCM間の生産性変化のばらつきは大きい。ただし、異なるGCM間でも生産性変化の方向については一貫性が見られる。

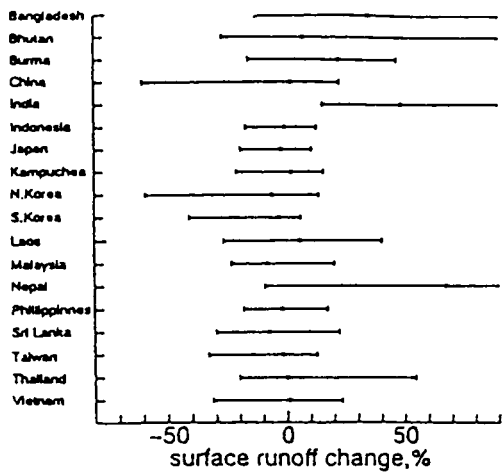


図9 各国の流出量変化 ($\Delta T_{\text{assume}}=2^{\circ}\text{C}$)

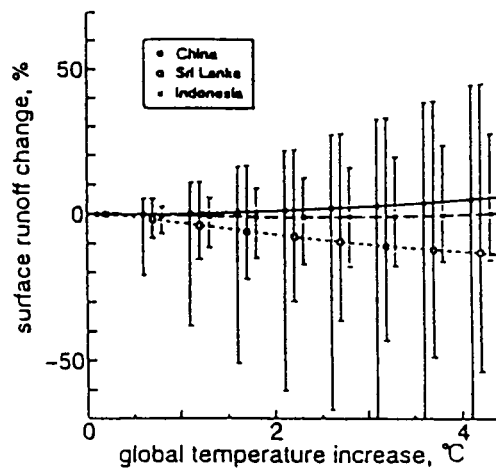


図10 各国の流出量変化 ($\Delta T_{\text{assume}}=0.5-4^{\circ}\text{C}$)

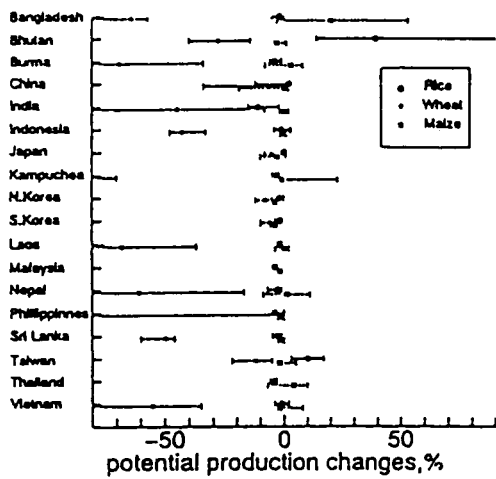


図11 農作物潜在生産性の変化 ($\Delta T_{\text{assume}}=2^{\circ}\text{C}$)

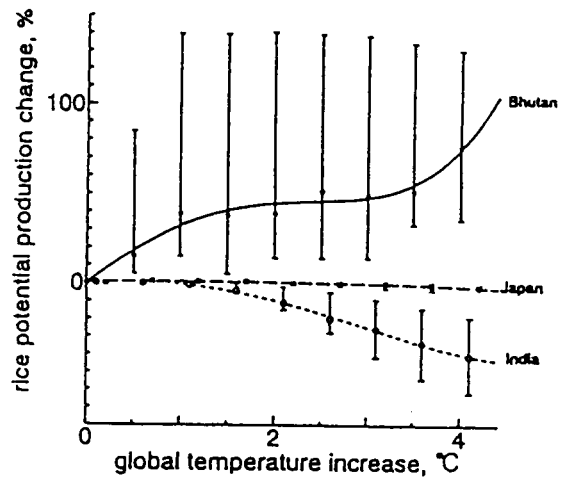


図12 イネの潜在生産性の変化 ($\Delta T_{\text{assume}}=0.5-4^{\circ}\text{C}$)

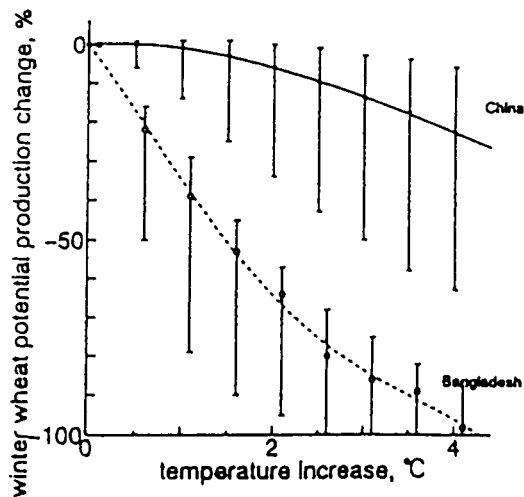


図13 冬小麦の潜在生産性の変化 ($\Delta T_{\text{assume}}=2^{\circ}\text{C}$)

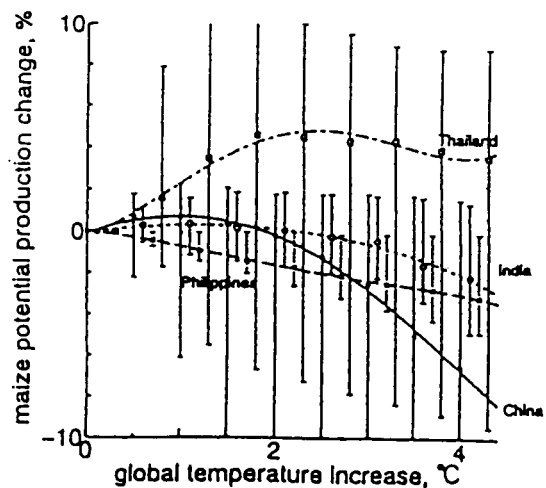


図14 トロコシの潜在生産性の変化 ($\Delta T_{\text{assume}}=0.5-4^{\circ}\text{C}$)

作物種や国毎に、 ΔT_{assunc} に対して一定の関数形を示すということにはなかった。図 1 2～1 4 はそれぞれイネ、コムギ、トウモロコシの潜在生産性の ΔT_{assunc} による変化を示している。 ΔT_{assunc} の増加に対して、単調に反応するもの、閾値を持った反応を示すもの、さらには一度増加した後減少するものも存在する。

自然生態システムについては、森林地域の分析を行った。図 1 5 は現在の温帯/冷帯林が、気候変動によってその他の分類に変化する割合を示したものである。日本・中国では、 $\Delta T_{\text{assunc}}=2^{\circ}\text{C}$ で 35%、 $\Delta T_{\text{assunc}}=4^{\circ}\text{C}$ で 50% 以上の温帯/冷帯森林地帯がその他の分類に変化する。その変化のほとんどは熱帯林への移行である。

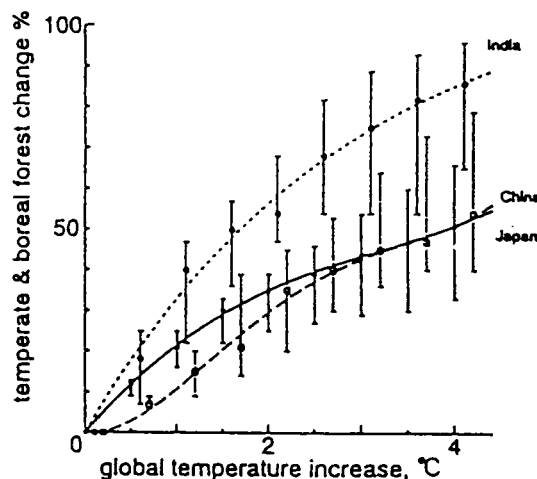


図 1 5 温帯林・冷帯林の減少 ($\Delta T_{\text{assunc}}=0.5-4^{\circ}\text{C}$)

4. 3 潜在的影響の総合評価

表 5 に結果をまとめた。マラリア影響の評価は、Matusoka and Kai (1995) より得た。本表では、各影響が $\Delta T_{\text{assunc}}=2^{\circ}\text{C}$ の仮定の下で評価され、重要度がランク分けされている。表 5 から、インド亜大陸が様々な直接影響を受ける可能性が高いことがわかる。小麦生産に適した土地の減少、温帯林の減少、マラリア発生の可能性を持った地域の増加などである。東アジアなどその他地域では、インド亜大陸と比較すると受ける影響は小さい。地域的にはコムギの生産性が低下するが、国別に平均をとると生産性が高くなる地域と相殺されあまり大きな影響が出ない。温帯/冷帯林に適した土地は東アジアにおいて大幅に減少し、 $\Delta T_{\text{assunc}}=2^{\circ}\text{C}$ で 40% も減少する。更に大きい気温上昇においては、各種影響は複雑な反応を示しながら増加する。そのような変化は図 1 2～1 4 で見うけられる。

本研究では、11 の GCM 出力を空間的な気候変動のパターンとして用いて、それに基づき計算された影響の中央値を代表値として評価に用いた。世界平均気温変化を同じ値に設定して計算を行った場合でも、用いられた GCM 出力によって推定される影響は大きなばらつきを示す。また、これら GCM 出力はモンスーン、ENSO といった気象現象を表現する能力に乏しい。その種の現象は推定結果に大きく作用するかもしれない。

近年アジア太平洋地域の温暖化の直接影響については多くの研究が行われている (例えば ADB 1994, Erda et al., 1996)。これらの分析結果には、対象を直接影響に限定しても大きなばらつきがある。この種の推定をより現実的なものにするために、地理的な解像度は重要なファクターの一つである。物理学的反応、生物学的反応に関する基礎的な知見の統合も重要である。よって、統合評価モデル (IAM) をより現実的で予測性の高いものとするためには、十分な地理的精度を持ったプロセスベースのモデルを統合モデルのサブモジュールとして組み込んでいくことが必要となる。そのようなモデルにより、複数の排出シナリオ下での影響算定を行い、空間的な比較を行うことが可能となると考えられる。

表5 アジア太平洋地域における気候変動の影響 (-/0/+の見方については下段に説明)

Country	Climate			Water resource			Crop production			Vegetation		Health
	Temp.	Precip.	Runoff	Rice	Wheat	Maize	Temp.	Forest	Mararia			
Bangladesh	0	++	++	0	—	++					0	
Bhutan	0	0	0	+++	—	0	—				0	
Burma	0	0	+	0	—	0					—	
China	+	0	0	0	-	0	-				—	
India	0	+++	+++	—	—	0	—				—	
Indonesia	0	0	0	0		0					—	
Japan	0	0	0	0	0	0	-					
Kampuchea	0	0	0	0	0	0						
N. Korea	++	0	0	0	-	0	0					
S. Korea	+	0	0	0	-	0	0					
Lao_PDR	0	0	0	0		0					0	
Malaysia	0	0	0	0		0					0	
Nepal	0	+++	+++	0	—	0	—				—	
Philippines	0	0	0	0		0					0	
Sri_Lanka	0	0	0	0		0					-	
Taiwan	0	0	0	+	—	0						
Thailand	0	0	0	0		0					0	
Vietnam	0	0	0	0		0					-	

notation	—	-	0	+	++	+++	note
Temperature			-0.5~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	>1.5	Additional increase, °C
Precipitation	<-45	-45~-30	-30~-15	-15~15	15~30	30~45	>45 percent change
Runoff	<-45	-45~-30	-30~-15	-15~15	15~30	30~45	>45 percent change
Crop production	<-20	-20~-10	-10~-5	-5~5	5~10	10~20	>20 percent change
Forest change	<-60	-60~-40	-40~-20	-20~0			percent change
Malarial area	>20	+20~10	+10~+5	+5~0			percent change

5. まとめ

温暖化はアジア・太平洋地域において様々な影響をもたらす。特に、この地域においてキーファクターは農業・食糧生産、水資源、マラリアなどの健康影響である。温暖化影響のうちとくにアジア地域で影響が深刻な穀物生産をとりあげ、共同研究としてモデルの開発、改良を行った。中国とインドを対象としたが、国によって降水量や土壌などの自然条件が異なるとともに、肥料、機械化、農薬の使用にも差が見られた。各国との共同研究により穀物生産への影響モデルは実用上問題ない程度に改良することができた。この穀物生産性モデルと従来開発した影響モデル（水資源、植生、マラリア）を用いた総合的な影響評価を行ったところ、農業生産で一部の地域は増産などの便益を受けると予想されたが、総じて悪影響であること、またインドを中心としたインド亜大陸の国々は大幅な穀物減産が予測された。

今後の研究課題をまとめると以下のとおりである。

- (1) 国別の詳細な農業影響の予測と評価：本研究では、農業モデルを中国、インドといったアジア地域で持続的開発を推進する上でキーとなる国に提供し改良した。両国も含めて各国に農業影響を地域レベルでより詳細に検討するモデルの構築が必要であろう。
- (2) 水資源、植生変化、健康影響の予測と評価：水資源の賦存量は各国の農業発展や産業、都市の発展に欠くことのできない資源である。とくに清浄な淡水資源の確保と合理的な利用、需要と供給面を考慮したモデル構築が、具体的な適応策、対応策を検討するために不可欠である。植生、マラリアなどの健康影響の予測モデルの開発も欠かせない。
- (3) 総合評価の方法論の検討：本研究は総合モデル（AIM）の一端を担う影響モデルであるが、影響の深刻さを考慮すると、影響モデルを中心として一次影響、社会・経済などの二次影響を総合的に評価できる標準的モデルの開発等、影響評価の実用化に向けての研究が必要であろう。
- (4) 適応策、緩和策の検討：影響評価のモデルを用いた諸対策、適応策や緩和策の検討を行うために各種対策事例の収集に基づくデータベースの整備とその応用が必要であろう。

6. 引用文献

- Asian Development Bank (1994): Climate change in Asia, Manila, Philippines.
- Lin Erda, W.C. Bolhofer, S. Huq, S. Lenhart, S.K. Mukherjee, J.B. Smith and J. Wisniewski (1996): Climate change vulnerability and adaptation in Asia and Pacific, Kluwer.
- Matsuoka, Y. and K. Kai (1995): An Estimation of Climatic Change Effects on Malaria, J. Global Environment Engineering, 1, 43-57.
- Matsuoka, Y., T. Kainuma and T. Morita (1995): Scenario Analysis of Global Warming Using the Asian-Pacific Integrated Model (A I M).

7. 成果発表

- ・ Harasawa, H., et al., (1996) Technical Structure of AIM/Impact Model, AIM Interim Paper.
- ・ Harasawa, H., et al., (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., et al., (1996) Spatial Projection of Global Environmental Change based on AIM model. Int'l Symposium on Integrated Environmental and Economic Accounting in Theory and Practice, Tokyo.
- ・ Jiulin, S., et al., (1996) Database for AIM/China, AIM Interim Paper.
- ・ Matsuoka, Y., et al., (1995) Environmental Changes and their Impacts in the Asia-Pacific Region, UNU Conference on the Sustainable Future of the Global System.
- ・ 松岡譲・高橋潔(1995)地球温暖化が穀物生産能に及ぼす影響について, 環境システム研究, 23, 255-260.
- ・ 高橋潔・松岡譲(1995)気候変動による食糧供給への影響, 環境衛生工学研究, 7(3), 1-6.
- ・ 高橋潔・原沢英夫・松岡譲 (1996) アジア・太平洋地域の穀物生産性モデルの開発. 第4回地球環境シンポジウム講演集, 235-240.
- ・ 高橋潔・原沢英夫・松岡譲 (1996) 地球環境変化の影響評価のための穀物生産性モデルの開発—インドへの適用—. 京都大学環境衛生工学研究第18回講演論文集, 88-93.
- ・ Sharma, V.K. (1996) Database for Estimating Global Warming Impacts in India, AIM Interim Paper, 8pp.