

国立環境研究所  
研究発表会 予稿集

平成7年6月16日

於：国立環境研究所大山記念ホール

# 目 次

## 1. 研究発表講演 (於: 大山ホール)

10:10-10:45	科学者と政策決定者は理解し合えるか ~地球温暖化の総合評価モデリング~ . . . . . 1	森田 恒幸 (地球環境研究グループ)
10:45-11:20	マレーシアにおける熱帯林研究: 生物多様性とその保全 . . . . . 7	可知 直毅 (地球環境研究グループ)
11:20-11:55	人工衛星からオゾン層変動の実態を解明する ~ILASプロジェクト~ . . . . . 12	笹野 泰弘 (地球環境研究グループ)
13:45-14:20	地球環境を診断する . . . . . 18	藤沼 康実 (地球環境研究センター)
14:20-14:55	エコビークルの開発について . . . . . 24	清水 浩 (地域環境研究グループ)
14:55-15:30	東京湾における青潮発生 . . . . . 29	竹下 俊二 (地域環境研究グループ)
15:45-16:20	ディーゼル排気粒子 (DEP) による肺がん発生の新しいメカニズムについて . . . . . 36	嵯峨井 勝 (地域環境研究グループ)
16:20-16:55	中国の大気汚染の現状 . . . . . 42	安藤 満 (地域環境研究グループ)

## 2. ポスターセッション 12:30-13:45 (於: 中会議室)

北極圏のカラマツ林 ~木々の年齢から林の歴史を推しはかる~ . . . . . 49	竹中 明夫 (地球環境研究グループ)
スギ花粉数の計測と花粉症症状 . . . . . 50	松本 幸雄 (地域環境研究グループ)
都市中小河川の有機塩素化合物と有機塩素量 . . . . . 51	相馬 悠子 (地域環境研究グループ) ほか
地球温暖化対策が日本経済に及ぼす影響についてのシミュレーション分析 . . . . . 52	日引 聡 (社会環境システム部)
エネルギー節約と二酸化炭素排出抑制の観点からみたごみ発電の価値は? . . . . . 53	森 保文 (社会環境システム部) ほか
東アジア地域植生分布モニタリングのためのNOAA AVHRRデータ処理システムの構築 . . . . . 54	清水 明 (社会環境システム部) ほか
バイカル湖地域の古環境変動解析に挑む . . . . . 55	田中 敦 (化学環境部) ほか
トランスジェニックマウスを用いた環境有害物質の毒性評価の試み . . . . . 56	遠山 千春 (環境健康部)
温暖化は死亡率に影響を与えるか . . . . . 57	本田 靖 (環境健康部)

大気大循環モデルを用いた長距離輸送の研究	58
菅田 誠治 (大気圏環境部)	
つくばで観測されたピナツボ火山1991年噴火に由来する <sup>210</sup> Pb	59
土井 妙子 (水圏環境部)	
遺伝子操作による植物の環境ストレス耐生機構の解明	60
青野 光子 (生物圏環境部)	
環境情報センターの活動およびデータベースの紹介	61
波多野 実 (環境情報センター)	
地球環境研究センターにおける地球環境モニタリング事業	62
福島 健彦 (地球環境研究センター)	
図で見る地球環境 ~GRID—Tsukuba~	63
宮崎 忠国 (地球環境研究センター)	

研 究 発 表 講 演

# 科学者と政策決定者は理解し合えるか

## ～ 地球温暖化の総合評価モデリング ～

森田 恒幸（地球環境研究グループ温暖化影響・対策研究チーム）

### 1. 超複合的な地球温暖化問題

いま地球環境問題は、我々人類の生き方や社会経済の発展のあり方にかかわる基本的な問題として、世界的に政策対応が急がれている。その中でも特に大きな政策課題と認識されているのが、地球温暖化問題である。

地球温暖化問題は、気象、海洋、生物、大気化学等の自然科学の分野のみならず、経済、エネルギー、技術、国際関係等の社会科学や工学分野にまたがる、大変複雑なメカニズムから生じる。このため、少数の領域の科学的知見を寄せ集めるだけでは、なんら有効な政策は見出せない。非常に広い範囲の領域の断片的な知見を、政策立案に向けて総合化しなければならない。しかし、知的ではあるが専門家ではない政策決定者にとって、このような総合化は至難の技であり、政策決定者の思考を助ける有効なツールの開発が不可欠となってきた。

このツールとは、広い範囲の研究者の英知を政策決定に向けて結集するコンピュータ・モデルのことであり、最近になって、この種の学際的なモデリングの研究が一気に盛んになってきた。このモデルは、総合評価モデル（integrated assessment model）と呼ばれ、経済、エネルギー、大気、海洋、生態系といった分野を包括的に解析する大変に大規模なもので、シミュレーション技術の集大成ともいえるものである。そして、世界の精鋭がこのモデルの開発競争に参加して、凌ぎを削っている。我々の研究チームもその一つである。

我々が開発中のモデルは「アジア太平洋圏温暖化対策分析総合モデル（Asian-Pacific Integrated Model）」、略して「AIM」と呼ばれ、基本部分が既に完成し、いくつかのシミュレーション分析を行っている。本稿では、このAIMの概要について紹介する。

### 2. アジア太平洋地域に焦点を当てた世界モデル

総合評価モデルと呼ばれる温暖化政策の分析モデルは、人間の活動によって温室効果ガスがどのくらい排出されるか、その温室効果ガスが大気中に蓄積され、気温や地域の気候がどのように変化するか、さらに、この気候変化が各地の自然環境や人間活動がどのような影響や

被害を与えるか、という一連のプロセスを統合して分析するところに特徴がある。これによって、対策の総合的な効果や間接的な効果の判断、政策評価における不確実な要因の判断、対策の費用と効果の比較など、いろいろな政策決定のニーズに体系的に答えることができる。現在のところ、世界には本格的な総合評価モデルが4つあるが、AIMはその1つである。

AIMの特徴はいくつもあるが、他との大きな違いは、世界モデルでありながらアジア太平洋地域に焦点を当てている点である。この地域の各国から排出される温室効果ガスを特に詳細に推定し、また温暖化に伴ってこの地域に生じる各種の影響や損害を特に詳しく分析できるように設計している。しかも、個々の国のモデルはそれぞれの国の研究者と共同で開発し、各国に政策分析ツールとして定着するようシミュレーション技術の移転を図っている。

アジア太平洋地域を特に詳しく扱うことには大きな理由がある。この地域は大きな経済発展のポテンシャルを有しており、温室効果ガスの排出が急激に伸びることが確実である。二酸化炭素の排出量でみると、来世紀末には世界の半分にまで増えると予想される。さらに、一旦気候が変化し始めると、この地域の社会経済は著しい被害を受けることになる。地球温暖化問題の解決には、まずアジア太平洋地域を征することが必要なのである。しかも、わが国は経済援助や技術移転などを通じてこの地域でのリーダーとしての役割が期待されており、政策分析ツールの開発や研究面のサポートにおいてもわが国への期待は大きい。

### 3. 研究者と政策決定者のインターフェイス

さて、AIMの全体構造を図1に示す。人為起源の温室効果ガスの排出量を予測する温室効果ガス排出（AIM/排出）モデル、排出された温室効果ガスの大気中濃度を予測して温度上昇を推定する温暖化現象（AIM/気候）モデル、それに、気候変化がアジア太平洋地域の自然環境や社会経済に及ぼす影響を推定する温暖化影響（AIM/影響）モデルの三つから構成されている。

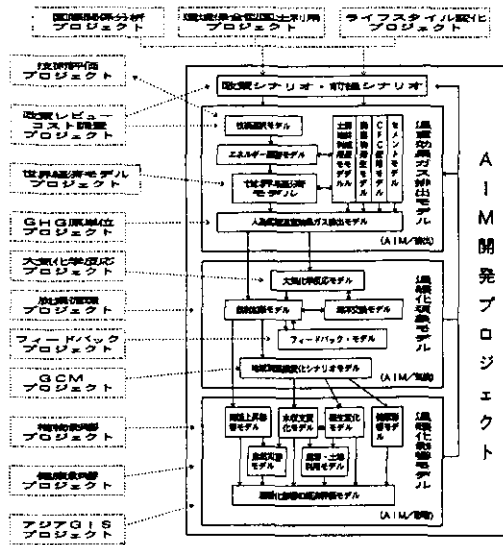


図1 AIMモデルの全体構成と他のプロジェクトとの関係

各々のモデルはさらに細かいサブモデルに分かれ、それぞれのサブモデルには関連する研究プロジェクトの成果を集約する体系となっている。即ち、個々の分野の研究者の知見を総合化して政策決定者に手渡し、また政策決定者の問題意識を個々の研究者に伝えるという、いわばコミュニケーション・インターフェースを構築することが、AIMの基本的な設計方針となっている。

「AIM/排出モデル」の主要部分は、エネルギーモデルと土地利用モデルであるが、特にエネルギーモデルに大きな特徴がある。詳細な技術評価に基づいてエネルギー消費量を部門別に積み上げて推定する技術モデルと、市場均衡を基本にして長期的な経済活動の推移を予測する経済モデルとが統合された構造になっている。これにより、長期的な社会経済の趨勢と各国の個別的な対策の効果との関係を体系的に分析できるようになった。

「AIM/気候モデル」の特徴は、今まで開発されている大気化学反応、海洋交換、放射加熱、等のモデルと、炭素循環等の独自に開発したモデルを一定のフレームに基づいて組み合わせたことにある。こうして完成したAIM/気候モデルによって、温室効果ガスの排出が地球規模の気候を変化させるプロセスと、この地球規模の変化が地域の環境や社会に影響を及ぼすプロセスが、統合して分析できるようになった。

「AIM/影響モデル」については、水資源への影響、植物生態系の変化、健康への影響、海面上昇による影響、農業生産の変化、自然災害のパターンの変化等、

個々の影響を推定するサブ・モデルから構成されている。また、これらの個々の影響が地域の社会経済にどのような影響を及ぼすかについて、総合的に評価するモデルの開発も予定している。これらのモデルの特徴は、独自の地理情報システムの整備によって、10~100キロメートル四方を単位地域とした高解像度の分析が可能な点である。これによって、アジア太平洋地域の温暖化に伴う影響を詳細に分析できるようになった。

#### 4. 省エネ技術の普及に有効な炭素税

AIM/排出モデルでは、人口増加、経済成長、技術革新、各種政策展開等のシナリオを前提として、エネルギー消費量や土地利用変化などを予測し、将来の温室効果ガスの排出量を推定する。

この中で中心となるサブモデルは、先にも述べたとおり、エネルギー・モデルである。このモデルは世界モデルとアジア太平洋地域の国別モデルから構成されている。世界モデルは、エネルギーの国際市場を再現するモデルであり、一方、国別モデルは、部門別に詳細にエネルギー需要量を積み上げて推計するエネルギー需要モデルである。この基本構造を図2に示す。

エネルギー需要モデルでは、まず、将来に必要となるエネルギーのサービス量を推計し、エネルギー効率をこのサービス量にかけ合わせることにより、国別のエネルギー需要量を予測する。この際、エネルギー効率の改善はどの範囲の省エネ技術が選択されるかにより決定される。例えば、日本モデルでは100種以上、中国モデルでは300種以上の省エネ技術が市場に導入されるかどうか評価されている。

このモデルの優れた点は、これらの省エネ技術の導入がその時々々のエネルギー価格により決まるという現象を、忠実に再現していることにある。即ち、エネルギー価格が高くなれば、多少の初期コストが高い省エネ技術であっても、燃費節約の便益の方が大きくなって、省エネ技術のシェアが増える。このような現象を体系的にシミュレーションできるのである。これにより、炭素税を導入してエネルギー価格が上昇した場合、どの範囲の省エネ技術が導入され、エネルギー需要量がどの程度減少し、その結果として二酸化炭素排出量がどこまで減らせるかが、体系的に分析できるようになった。

図3は、我が国におけるシミュレーションの結果を示している。炭素1トン当たり3万円程度の炭素税を導入

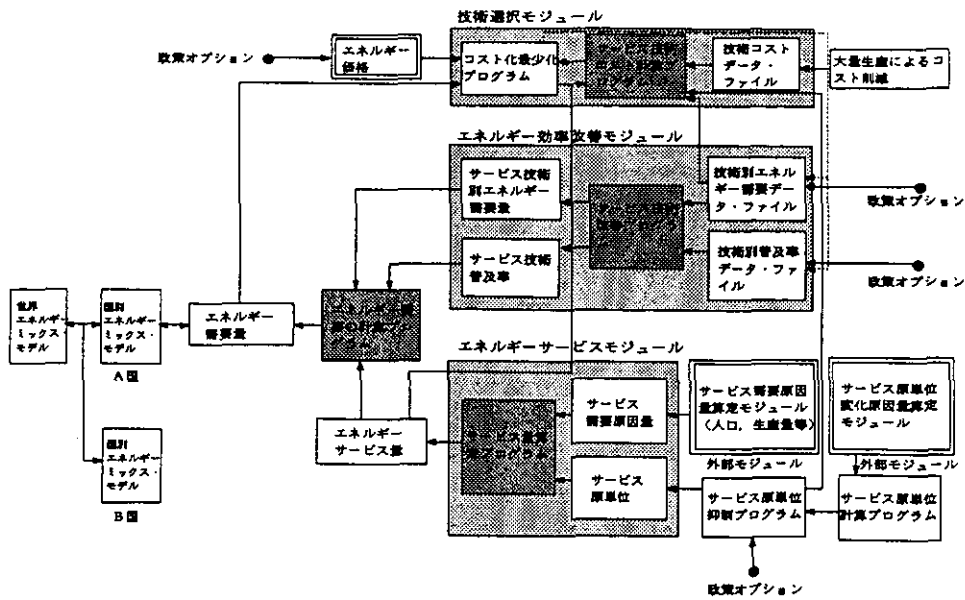


図2 AIMエネルギー需要モデルの基本構造

すれば、家庭、業務および運輸部門の省エネ技術の導入が大幅に進み、2000年で二酸化炭素排出量を1990年レベルに抑制する可能性があることがわかる。また、炭素税の税収を省エネ初期投資への補助金として積極的に活用すると、炭素1トン当たり3千円程度の薄い税率を課した場合でも、一定の条件の下ではトン2～3万円の炭素税に匹敵する効果が得られることがわかる。このようなシミュレーション結果は、それぞれの国の政策決定過程に実際に反映されている。

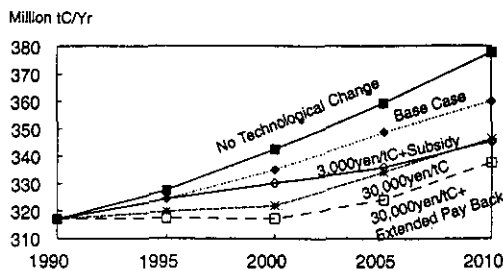


図3 わが国の二酸化炭素排出量の将来予測

### 5. 世界の二酸化炭素の半分がアジアから

このように国別に見積もられたエネルギー需要量は、世界モデルにより国際市場を通じて調整され、各国の最終のエネルギー消費量が種類別に決定される。そして、この種類別のエネルギーに基づいて将来の二酸化炭素の排出量が推計される。

図4は、こうして推計された各国の二酸化炭素排出量

で、特別な政策を導入しない場合の2100年の値を示している。来世紀末には中国は二酸化炭素の排出量において世界でトップに躍り出るほか、インドも世界4位まで順位を上げる。さらに、日本が4位を維持し、インドネシアと韓国が世界の十大排出国の仲間入りをするなど、アジア太平洋地域からの排出量の急激な増加が予想される。

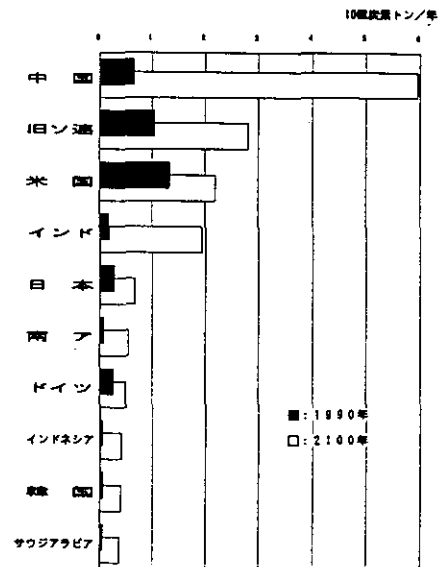


図4 来世紀末のCO<sub>2</sub>排出国ベスト10

その結果、この地域の二酸化炭素排出量は、現在のところ世界の4分の1程度のシェアにとどまっているものが、来世紀末には世界全体の半分近くを排出する可能性

がある。

また、エネルギー消費に伴う二酸化炭素排出量のほか、森林減少やセメント生産による二酸化炭素の排出、また土地利用変化によるメタンの排出モデルも用意している。特に、森林減少のモデルについては、過去100年間の森林破壊と人口増加の歴史的データをもとにその関係を分析して、熱帯林の減少の統計的予測モデルを完成させ、今後100年間の森林減少による二酸化炭素フラックスを国別に推定している。

## 6. 不確実が故に必要な温暖化防止政策

温室効果ガスの排出量が地球規模で推計されると、次に、A I M / 気候モデルを用いて、大気中の温室効果ガスの濃度が決定され、全球的な気温の上昇のシナリオ、さらに地域の気候変化のシナリオが決定される。

まず、炭素循環モデルにより二酸化炭素濃度が決定され、大気化学反応モデルを通じてメタンガスや亜酸化窒素の濃度が決定される。そして、放射加熱モデルを通じて全球的な気温上昇のシナリオが決定されることになる。この際、大気中の化学反応、炭素循環、気温上昇に伴う温室効果ガスの排出量への二次的影響（フィードバック）、海洋との交換の影響などが考慮される。大気化学反応については米国のA M A Cモデル、海洋交換については標準的なボックス拡散海洋吸収モデル、放射加熱についてはI P C C（気候変動政府間パネル）等を用いているが、炭素循環については陸域生態系の肥沃化モデルを開発中である。また、地域的な気候変化については5種類の大循環モデルの出力をもとに推定モデルを作成している。

図5は、特別の温暖化対策が取られなかった場合の全球の平均気温の上昇を予測したもので、1985年以降に予測されたあらゆる温室効果ガス排出の推定値を入力して、その不確実性の幅を示している。気候感度を2.5℃とした場合、今後百年間に2℃から3℃の温度上昇が見込まれる。

このようなシミュレーション分析によって、次のような点が明らかになった。

- (1) 今までに得られた科学的知見と今までの将来の発展に対する認識を前提にすれば、地球の温暖化を否定することは困難であり、温暖化の可能性が非常に高い。
- (2) 社会経済的な不確定要因と自然の不確定要因のいずれもが、温暖化の推定に大きな影響を及ぼす。この両方の

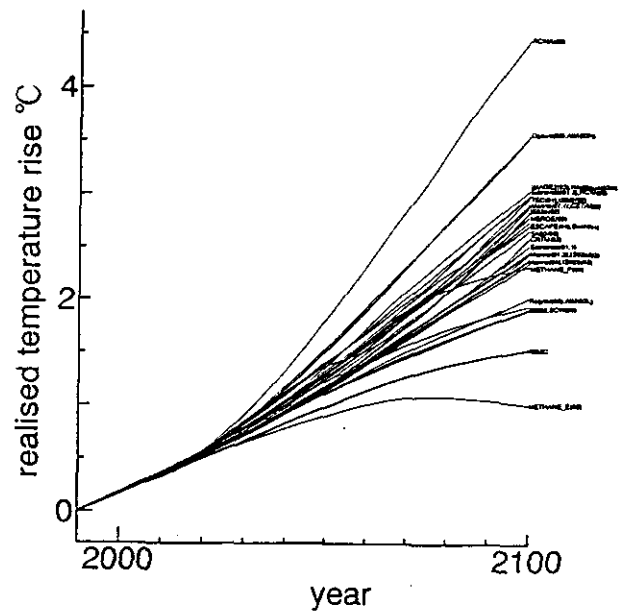


図5 様々な排出シナリオに基づく温度上昇の可能性

要因を勘案すると温暖化の不確実さの幅は非常に大きくなる。

(3) このような不確実さは、現段階での政策オプションの確定が困難であることを示している。不確実さに対応した幅広い政策オプションの検討が必要である。

(4) 自然や社会経済の不確定要因については、今後ある程度不確実さを減らせる可能性があるが、そのためにはかなりの長期間を要する。

(5) 以上のことから、温暖化問題解決のための政策の基本方向は、可能な限り早いタイミングで可能なものから対策を実施し、後世の世代が取り得るオプションの幅を広げ、不確実の程度と範囲を見極めるための時間を稼ぎ、併せて最悪の温暖化シナリオに備えて社会経済システムの適応策を検討しておくことにある。

## 7. 増加する渇水と洪水のリスク

では、温暖化対策に向けて世界が対応しなかった場合にどうなるのか。

A I M / 影響モデルを用いていくつかの分析結果を紹介しよう。現在までに、水収支変化モデル、植生変化モデル、健康影響モデルの3つが完成し、現在農業影響モデルを開発中である。

まず、陸域の水収支への影響は、地球温暖化の影響の中でも最も重要な視点の一つである。降水量や蒸発量、その頻度及び期間の変化は、水資源の利用、洪水等の自然災害、農業や陸域生態系に大きな影響を与える。こ

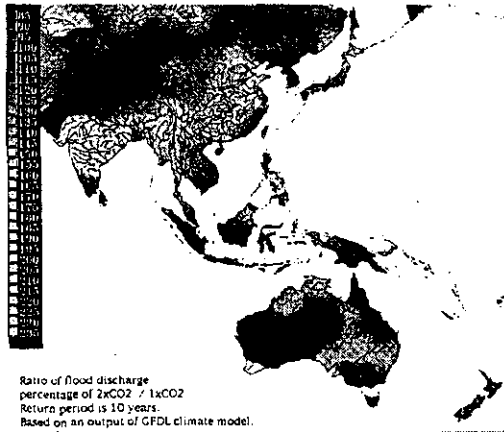


図6 十年確率の洪水時における月間流出量変化

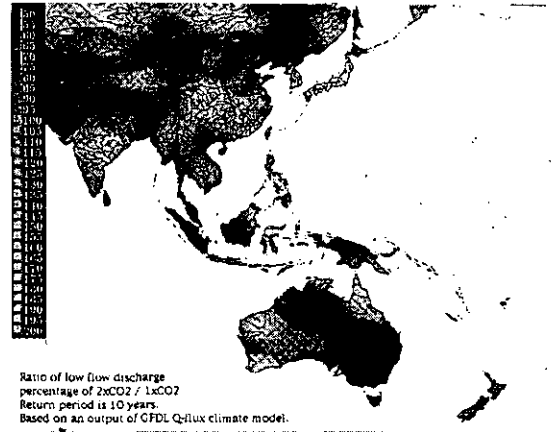


図7 十年確率の渇水時における月間流出量変化

のため、各流域で雨水の流出過程を再現する水資源影響モデルの開発を試みた。このモデルでは降水量、蒸発量、融雪、河川流量により各地域の水収支を決定する部分とともに、地形データに基づいて河川の流出ルートを決める部分で構成されている。

図6、図7は、このモデルを用いて、温暖化により気候が変化したときの表流水の変化で、二酸化炭素濃度が2倍になった時の洪水および渇水のリスクの増減を示す。図6の明るい部分は、十年確率で生じる洪水時の流量が2倍以上に増加する地域で、洪水のリスクの増加が予想される地域である。これらの地域には、インド、中国および日本のそれぞれの一部が含まれる。一方、図6の黒い部分は、10年確率の渇水時の流出量が40~50パーセント程度減少する地域であり、アジア太平洋地域の大変広い地域で温暖化によって渇水被害のリスクが増加することが明らかとなった。洪水時の流出量が増加する地域は必ずしも渇水被害が緩和されるとは限らず、いくつかの地域では洪水のリスクと渇水のリスクが同時に高まることが予想されている。

### 8. 植物への影響は食糧生産にも

また、自然植生の変化を予測するためのモデルを開発した。このモデルは、現在の植生の分布と、その分布する地域の自然条件との関係をあらかじめ明らかにしておき、気候の変化によってこれらの自然条件がどのように変わり、どの地域の植生の生育条件が損なわれるか予測するものである。詳しくは、それぞれの植生の生育地域の自然条件について、現在観測できる上限値および下限

値をもってこの植生の生育可能範囲とみなし、地球温暖化によってこの範囲を超えてしまう場合に、この地域の植生は変化するとみなしている。

図8はいくつかの気候変動のシナリオの下での自然植生のシミュレーション結果を示している。中国北部からモンゴルにかけての北方針葉樹やカラマツ針葉樹林帯、

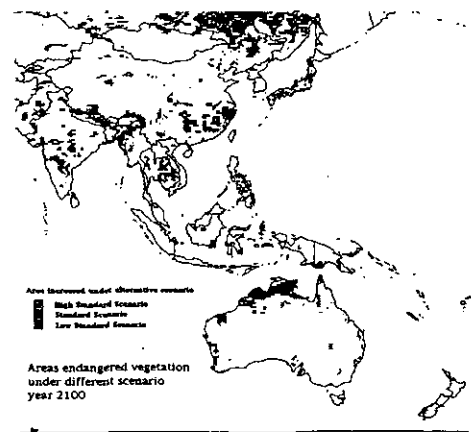


図8 いくつかの温暖化シナリオの下での植生変化の予測

それにチベットやヒマラヤの山岳部凍土地帯が大きな影響を受ける可能性があることがわかる。また、中国南東部の常緑-落葉樹林帯、インドの乾燥落葉樹林帯、インドシナ半島および北オーストラリアなどでも、温暖化により大幅な植生変化が生じる可能性が示されている。

なお、実際の植生遷移のメカニズムは、複雑かつダイナミックであり、本格的に植生変化を分析するため、植生遷移の確率モデルの開発を進めている。

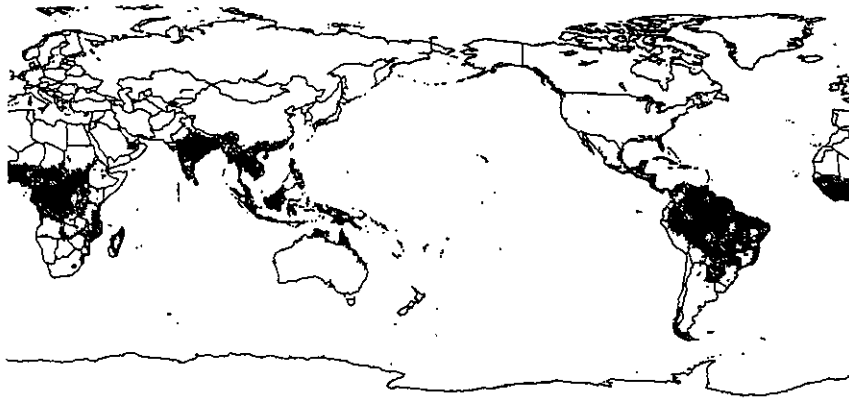


図9 マラリアの安定常在域の拡大予測

一方、植物に影響が生じるということは、食糧生産にも地球温暖化は大きな影響を与えることを示唆している。最近開発した農業影響モデルを使ってこのことを確かめている。今までの予測結果によれば、世界の米の生産量は全体として大きく変化しないが、小麦やジャガイモ等の他の食糧が大幅に減産となる可能性があることがわかった。これらの推定はあくまでも潜在的な影響であり、このような影響に対して人類はどのように適応していけるかについて、さらに検討を進めている。

### 9. 気候変化の影響は人の健康にも

ところで、地球温暖化の影響のうち、今のところ最も大きな経済的損失が見込まれているものは、人の健康への影響である。地球温暖化は地表付近の気温を上昇させて降水量を増加させるため、マラリアの媒介動物であるハマダラカの繁殖とともに原虫の形成期間の短縮効果をもたらし、世界のマラリア患者を増加させると予想されている。このようリスクを定量的に推定するために、世界規模のマラリア分布の変化予測モデルを開発した。このモデルでは、1)ハマダラカの生息条件（気温変化、土壌水分量等）を明らかにし、2)温暖化により生息条件がどのように変化するか推定する。3)そして、この結果からハマダラカの生息域、繁殖、原虫の形成期間を推定して、4)それぞれの地域におけるマラリア患者の増加の可能性を評価した。

図9は二酸化炭素濃度が2倍になった時点でマラリアのリスクの高い地域がどの程度拡大するかを示す。斜線部分が地球温暖化により新たにマラリアの高いリスクが予想される地域に新たに加わる地域で、アフリカ南部、オーストラリア北部、中国南部、東南アジア、インド、

南アメリカ南部の一部がこれに当たる。これは、マラリアのリスクに曝されている人口が、今よりも10~30パーセント増加することに相当する。

### 10. いま求められる政策と科学の国際的連帯

以上、A I Mモデルの全体像を簡単に紹介した。このモデルを使って今までにわかったことは、地球温暖化問題を解決するには、今後100年をかけて、我々の社会のあり方や経済発展のあり方、それに我々の生活の仕方を基本的に変えていかなければならないということである。短期的な環境規制や自然保護政策では効果がほとんど期待できない。これからの環境政策には、経済政策やエネルギー・資源政策などを包含し、今後100年以上にわたって通用する「本流としての政策論」が不可欠となっている。

もとより、このモデルを完成させるには、今後多くの作業と国際的連携が必要不可欠である。このため、国内の一研究機関のプロジェクトから、世界の共同プロジェクトへと発展を図っているところである。既に、アジア地域の途上国との共同研究により、国別モデルの開発や改良を進めており、この地域の温暖化対策の評価や国際協調政策の検討に用いられるようになってきている。さらに、米国、オランダ、オーストリア等の研究機関とも、世界モデルの改良のために共同研究を始めており、国際的な政策分析ツールとして活用が図られることを願っている。