

## (2) アジア太平洋地域における地球温暖化の影響評価モデルの構築に関する研究

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・甲斐沼美紀子  
増田 啓子

地球環境研究センター 西岡 秀三・原沢 英夫

(委託先等)

京都大学工学部

松岡 譲

岐阜大学工学部

森杉 壽芳・大野 栄治

平成3-5年度合計予算額 21,536千円  
(平成5年度予算額 7,537千円)

### 〔要旨〕

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の経済的損害として評価されるかを明らかにする必要がある。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、AIMのもう一つの主要なコンポーネントであるAIM/impactモデルの開発、即ち、地球温暖化がアジア太平洋地域に及ぼす影響について、既存の研究成果や各種データによりそのメカニズムの概略を推定して、これらの影響を総合的に予測・評価するモデルを開発することを目的としている。3年間の研究によって、この地域の地理情報システムを整備するとともに、この情報を用いて水資源への影響、植物生態系の変化、及び健康への影響を推定するためのモデルを開発した。そして、これらのモデルをアジア太平洋地域に適用し、今までのGCMの結果を用いた気候変化のパターンを前提にすれば、アジア太平洋地域における洪水や渇水のリスクが増加するとともに、各地の植物の成育条件の大幅な変化やマラリア感染地域の拡大のリスクが増えることを明らかにした。今後、これらのモデルをさらに発展させるとともに、海面上昇や農業影響等のモデルについても開発を試み、アジア太平洋地域が受ける地球温暖化の被害を総合的に推定する予定にしている。

〔キーワード〕 温暖化影響、アジア太平洋地域、水資源変化、植生変化、マラリア被害、シミュレーション・モデル

### 1. AIM温暖化影響モデル(AIM/impact)の概要

AIMのもう一つの主要なコンポーネントであるAIM/impactモデルは、地球温暖化がアジア太平洋地域に及ぼす影響を予測・評価することを目的としている。このモデルは、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を推定するサブ・モデルとともに、これらが地域の社会経済に及ぼす影響を総合的に評価するモデルから構成されている。

AIM/emissionによって推定された温室効果ガスの排出総量は、温暖化現象モデル(AIM/climate)に入力され、地域の気候変化シナリオが設定される。この気候変化シナリオは大循環モデルの出力をベースにして設定される仕組みになっており、このシナリオがAIM/impactモデルの基本的な前提となる。そして、AIM/emissionモデルにおいてアジア太平洋地域の一次生産、水資源供給、自然災害、植生分布、人の健康等に及ぼす影響が推定され、これらは地域社会へのより高次の影響として総合化され、評価されることになる。

AIM/emissionモデルが完成すれば、アジア太平洋地域における温暖化影響が包括的に分析できることになるが、今回の3か年のプロジェクトにおいては、既存の研究成果や各種データによりその研究動向を把握するとともに、メカニズムの概略をを把握して、これらの知見を総合化する形で水収支変化モデル、植生変化モデル及び健康影響モデルの3つのモデルに焦点を置いて開発した。そしてこれらのモデルをアジア太平洋地域に適用して、河川流域の表流水の流量予測や植生の生育条件の変化、それにマラリアの再生産率の変化を予測した。以下にその概要をまとめる。

## 2. 既存の研究のレビューと基礎情報の整備

### (1) アジア太平洋地域の温暖化影響研究のレビュー

まず、地球温暖化がアジア太平洋地域に及ぼす影響について、関係14カ国に対する調査を行い、既存の研究成果や各種データを収集・整理した。この調査結果の概要を表1に示す。本調査によ

表1 予測される気候変動の影響(将来予測)

国名	分野	農業	林業	天然資源	水資源	エネルギーと人間居住	海洋	氷雪と永久凍土	その他
中国		<ul style="list-style-type: none"> <li>農業生産力を少なくとも5%減少</li> <li>作物収量の増加または減少</li> <li>早魃と乾燥地化</li> <li>降雨量線の移動</li> <li>塩水化</li> <li>夏季の乾熱風</li> <li>台風襲来の頻度と強度</li> <li>防疫費の1~5%増</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO2濃度と種子の生育研究</li> <li>重要材木種の生育研究</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>水河と湖の縮小</li> <li>表流水の減少</li> <li>地下水面の低下</li> <li>土壌水分の減少</li> <li>早魃の頻発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人間居住に対する海面上昇の影響研究(海洋の項参照)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>浸水域 92,000 ~ 125,000 km<sup>2</sup></li> <li>影響をうける人 6,700~7,000 万人</li> <li>堤防構築費 400万円/km</li> <li>塩田、養殖場の損害</li> <li>海面上昇が耕作地、人口、住宅、交通と水供給に与える影響の推定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>永久凍土は0.5~2℃の上昇で20年間に5~50%融解</li> </ul>	
インドネシア		<ul style="list-style-type: none"> <li>米、大豆、トウモロコシ、魚、エビの収量の減少</li> <li>土壌侵食による耕作適地の減少</li> <li>事例研究用の脆弱地域</li> <li>-Citarum, Brantas, Soddanji川流域</li> <li>-Krawang, Sbang地域</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>三河川流域の土壌侵食増大、肥沃度低下</li> <li>-Brantas流域の土壌侵食3~27%増加</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>土壌侵食増による水源涵養地のシルト沈積の加速-Brantas流域</li> <li>-海面上昇受容地の30%拡大-BrantasとCitarum下流域</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>食糧供給、エネルギー、生産、水資源に問題発生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海面上昇による影響-ジャワ北部、スマトラ東部、スラウェシ南部</li> </ul>		
日本		<ul style="list-style-type: none"> <li>米の収量増加、北日本の収量安定化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>北日本の森林破壊と損失</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水と早魃の増加</li> <li>モデルを利根川流域で適用</li> <li>-琵琶湖水源地冠雪量増加、富栄養化の進行</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>降水量の減少は水力発電を低下、電力供給量の変化</li> <li>-病気、ガン、生物へのオゾン暴露時間の影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海面上昇の一般的な影響、定量的アセスメントへの枠組研究</li> <li>-海岸防災費用の見積り</li> <li>-イワシとニシンの周期の研究</li> </ul>		
大韓民国		<ul style="list-style-type: none"> <li>気候帯の変動による作物収量、雑草、病虫害影響</li> <li>-GISSモデルは16%の穀物収量減</li> <li>-移植時期を遅らせるケースでは18%増</li> </ul>							<ul style="list-style-type: none"> <li>気温上昇3~4℃</li> <li>-降水量</li> <li>-春期15%増</li> <li>-夏期10%減</li> </ul>
マレーシア		<ul style="list-style-type: none"> <li>10%の太陽放射熱減でトウモロコシの収量2%減少</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水による損失 980万MS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>インフラの損失</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1mの海面上昇で農地 1,000km<sup>2</sup>と、マングローブ林 6,500km<sup>2</sup>の消滅</li> <li>-マングローブ林の消滅による漁業生産高の影響</li> </ul>		
タイ		<ul style="list-style-type: none"> <li>米から他の作物への転作でメタンの放出抑制</li> <li>-米の収量はBASOとGISSシナリオでは減少、BAVAシナリオでは増加</li> <li>-米の収量減は適切な処置で克服可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO2放出は森林伐採の抑制と森林再生の促進で減少可能</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>石炭、褐炭のシェアは1991年(13%)から2011年(26%)に増加</li> </ul>			
ベトナム		<ul style="list-style-type: none"> <li>米作に代替-メコンデルタRed River中央北部沿岸</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>飲料水の量と質</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄道、高速道路、橋、住宅、学校が損害</li> <li>-1mの海面上昇-移住(人口の10%)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>降雨パターンと乾期、雨期の变化</li> </ul>

り、アジア太平洋地域での温暖化影響に関する研究のほとんどは、気候変動に対して脆弱な地域を定性的に記述しているものであり、農業及び海面上昇に関係する脆弱性の研究が大多数を占めていることがわかった。農業生産に対する影響については、中国、インドネシア、ベトナム、韓国で農業生産力が減少するという予測がみられる。海面上昇の影響については、中国の黄河、揚子江、珠江流域、ベトナムのメコンデルタ、Red River デルタ、中北部の沿岸海域などで農業生産や生活基盤に重大な影響をうける可能性が指摘されている。インドネシアのジャワ北部、スマトラ東部、スラウェシ南部では、マングローブ、珊瑚礁と海藻の生息域への影響が予想されている。さらに、中国では永久凍土の融解に伴う大規模な斜面崩壊が、また、日本では森林植生の変化や湖の富栄養化の促進の可能性が指摘されている。

アジア太平洋地域における温暖化影響の研究は、限られた地域を対象にした部分的な分析にとどまっている。温暖化によってアジア太平洋地域の国々がどの程度の経済的損害を被るかを明らかにするためには、これらの影響を包括的かつ定量的に分析できるモデルが必要である。このため、現在の科学的知見とデータの不足の制約下において、温暖化影響を概略的に推定するモデルの開発方針を検討し、モデル開発とデータ整備を進めた。

## （２）温暖化影響の経済的評価の検討

次に、温暖化の影響を経済的に評価する手法について、今までの事例をレビューするとともに、主要な手法の適用可能性を検討した。環境影響を経済的価値に関する研究は、従来から費用便益分析の分野で取り組まれてきた。これらの研究では、表2に示すように種々の手法が用いられており、大きく市場指向型の手法と調査指向型の手法に分けることができる。市場指向型の手法は、市場価格を用いた便益計測や費用計測、それに地価や交通費用等の代理市場における便益計測の手法であり、また、調査指向型の手法は、市場価格や代理市場の情報が得にくいときや特定の制約下で価値付けする場合に用いられるもので、環境に対する個々人の価値判断を貨幣単位あるいは物量単位で直接に質問する方法である。

これらの手法を温暖化影響の評価に適用した研究例については、今のところ市場指向型の三つのタイプの評価手法の活用がみられる。第一は対策費による評価で、海面上昇に伴う堤防の建設費の算定がオランダ、イギリスなどで試みられている。第二は市場ベースの生産や消費への影響による評価で、土地資産への影響や地域経済への影響がカナダ、アメリカ、オランダなどで進められている。第三は非市場的な影響を含めた評価であり、海面上昇に伴う環境変化や社会不安を含めて貨幣価値に換算しようという試みがオランダやアメリカなどで始まっている。これらの研究は主に海面上昇の影響を中心に検討したものであり、農業、自然植生、水資源などへの影響を経済的に評価する手法については、今後の検討が必要である。

なお、温暖化影響の経済的評価を広範囲の項目にわたって総合的に評価を試みた例は少ない。わずかに3つの研究が認められる程度である。これらの研究はいずれも金銭的な換算が容易な項目に限って評価を行っており、過少評価の可能性が大きい。今後の総合評価モデルの開発の出発点として有用な研究と考えられる。

## （３）地理情報システムの整備と地域気候変化シナリオの作成

A I M / e m i s s i o n モデルを開発し、アジア太平洋地域に適用するには、質の高い地理

表2 従来の温暖化影響の経済価値の計測法一覧

項目	計測法 <sup>a</sup>
堤防建設 (Coastal defence)	1 m 上昇を仮定し、建設費3,700億\$を用い (Tibus et al. (1991))、割引率0~3%により年費用に換算。
土地の喪失 (Dryland loss)	地価200万\$/km <sup>2</sup> (=2\$/m <sup>2</sup> )と仮定し、割引率10%を適用。1.1万km <sup>2</sup> の喪失
干潟の喪失 (Wetland loss)	500万\$/km <sup>2</sup> (5\$/m <sup>2</sup> )と仮定し、割引率10%を適用。1.1万km <sup>2</sup> の喪失。単価は、米国において実際に支出している干潟維持費。なお、沿岸漁業の損失を含む。
生態価値 (Species loss)	使用価値、オプション価値および存在価値の合計である。存在価値は、5~15\$/年人(平均10\$/年人)と考え、使用価値とオプション価値の合計は存在価値の半分として重力モデルのようにアクセスによって重みをつける。
農業 (Agriculture)	農業の生産性の低下およびその結果として農作物の価格の上昇による消費者余剰の減少分が主な被害であると考えている。
林業 (Forestry)	Binkley(1988)の研究により、緯度の高い地方の林業の生産性が向上し、その結果、木材の価格が下がる。全世界で純便益が年あたり10.8億\$/年である。内訳として、価格下落による消費者余剰20.8億\$/年、生産者余剰の損失が10億\$/年と考えている。
漁業 (Fishery)	Bigford(1991)の研究によると、50%の干潟喪失は15~20%の沿岸漁獲高減となる。海面上昇により全干潟の3分の1(33%)が喪失すると、10~13%の沿岸漁獲高減。沿岸漁獲高は全漁獲高の68%。さらに、漁獲高の8%が海面上昇による被害と考える。価格変化はなしと考える。
エネルギー (Energy)	NordhausとClineは、温度上昇が暖房費の節約と冷房費用の上昇という影響と与えるとして、表-1に示す値を計上している。これに対して、Fankhauser(1992)は、それらの空調費の上昇はコストでなく、家計(または企業)の支出構造の変化にすぎないので被害ではない。もし、空調により効用が変化しないならば、被害はゼロと考えるべきである。効用の変化は、快適性(Amenity)の項で計測するとしている。
水資源 (Water)	Clineの研究では全米で約10%の利用可能水量減であり、水の価値は8~20セント/m <sup>3</sup> としている。これに対して、Fankhauser全米で7%減、水の価値を42セント/m <sup>3</sup> としている。
レクリエーション (Leisure activity)	Clineは温暖化によるスキー場の閉鎖(15億円/年)を計測している。全米でスキー客が60%減とし、その半分の資源が他に流用可能であること、また、消費者余剰の減少分を考慮して、1990年全米スキー総生産額56億\$/年×0.30=17億\$/年としている。
その他の部門	Clineは降雨量の増大による建設費の増大、都市部の社会資本整備を計上している。
快適性 (Human amenity)	Fankhauserのみが計測している。その計測法は空調費の増大として3.2%電力需要が増大するとしている。結局、ClineとNordhausのエネルギー項目に相当する。
健康 (Morbidity and mortality)	Kalstein(1989)の温暖化による病気発生率が高まり、死亡率が45人/1万人高まるとの研究成果を用い、この数字を貨幣額に変換するためにFankhauserは統計的人命価値150万\$/人と仮定する。またClineは60万\$/人の数字を使用している。健康被害の推定はなされていない。
大気汚染 (Air pollution)	EPAの研究によると、温暖化によりオゾン濃度が5.5%高まり、SO <sub>2</sub> 濃度が2%高まる。オゾン濃度の上昇はそのままNO <sub>x</sub> 濃度上昇と考える。NO <sub>x</sub> の被害のうちで酸性雨の被害を除くと被害は5\$/kgであるとし、SO <sub>2</sub> の被害は2.5\$/kgとする。
移民 (Migration)	Clineは現況より17%移民量が増加すると考え、1人あたりの社会福祉や施設の増加-マイナス納税を4,500\$/移民として計測。Fankhauserも同じ。
自然災害 (Natural disaster)	Emanuel(1987)の研究により、温暖化は、ハリケーンが強大になりハリケーン被害を50%増大させる。これは7.5億\$/年の被害となる。また、死亡被害を50~100人/年増加させるとしている。人命の計算は、上記統計的人命価値を用いている。

<sup>a</sup>主に Fankhauser(1992)にもとづく。Cline との差異があるときにはその相違点を示している。

情報が不可欠である。このため、地球環境研究センターと共同で「アジア太平洋地域地理情報システム」を整備した。このシステムは、5分~1度メッシュの解像度の自然環境データファイルと、図1に示すように細かい地方行政区界を基本にした社会経済データファイルから構成される。これらのデータは、UNEP/GRIDや各国の情報システムを始めとして、多方面から収集・加工して収めている。特に社会経済データについては、各国のデータブックから行政区界ごとにデータを入力して、オリジナルなデータベースを作成しつつある。そして、これらのデータはA

IM/impactモデルの開発に役立つようにデータ・ベース化している。

一方、AIM/emissionモデルに入力する地域気候変化シナリオは、大循環モデルを介して作成される。大循環モデルの出力は、二酸化炭素濃度の一倍時と二倍時のそれぞれの全球平均気温の差によって標準化し、異なる大循環モデルの間の均衡時の気候感度を標準化するとともに、AIM/emissionモデルによって計算される全球平均気温の漸増シナリオを地域のシナリオに読み替え易くしている。このようにして作成された標準化気候変化パターンは、大循環モデルの空間的解像度と同程度に荒いものであるが、それぞれの温暖化影響モデルのより細かい解像度に合わせるように、より細かいメッシュに書き直すことになる。このように大循環モデルの出力をより細かいメッシュに読み替えて用いることは、データ解析上大きな限界があると考えられるので、広域スケールの気象データと局地気象データとの関係を統計的に明らかにする手法についても、検討を進めている。

なお、AIM/climateモデルでは、AIM/emissionモデルによって推定された世界の温室効果ガス排出量の予測値をもとにしてGCMのトランジェント実験を行い、この出力からアジア太平洋地域の気候変化のシナリオを設定して、各種影響予測の前提にする計画である。しかし現時点ではこの種のトランジェント実験ができないので、米国GFDL、カナダ気候センター等のGCMの実験結果（二酸化炭素濃度倍増時の均衡値）を用いて、アジア太平洋地域の気候変化シナリオを作成している。

### 3. 水資源への影響の分析

陸域の水収支への影響は、地球温暖化の影響のなかでも最も重要な視点の一つである。雨量や蒸発量、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、それに農業や陸域生態系に大きな影響を与える。このため、まずこの水資源影響モデルの開発を試みた。

水資源影響モデルは、陸域の各流域で雨水の流出過程を再現するモデルである。このモデルは水収支モジュールと水移送モジュールより構成されており、ここで得られた水関連の将来推定値は他の影響モデルでも使えるように配慮されている。特に、このモデルによって、表流水、土壌

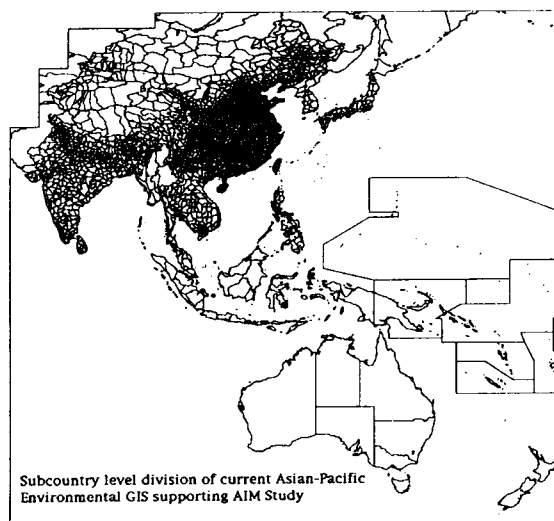


図1 AIM開発のためのアジア太平洋地域地理情報システムの地域分割

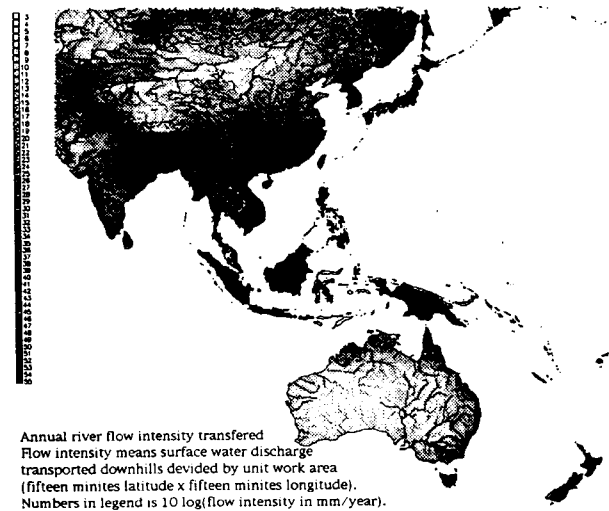


図2 モデル化されたアジア太平洋地域集水域ユニットと現状の流出量推定

水分量、蒸発散量及び河川流量の高解像度のデータベースが整備できるため、種々の影響モデルに活用できる。

水資源影響モデルに入力するデータは、降水量、気温、潜在的蒸発散量とともに、標高、土壌及び植生の各データである。標高のデータを除いて、基本的な入力条件は内生変数としてA I Mモデルの中で決定される。ただし、今のところA I Mモデルの全体が完成していないため、土壌及び植生については標高と同様に現状の値で固定するものとした。

水収支モジュールは、ThornthwaiteとMather(1955)とその後継者によって開発されたモデルを基本とした。降雨量、融雪、蒸発散量及び河川流量の収支は、シミュレーションの対象とする地域の個々のメッシュごとに計算される。このため、多くの気象データや地理データをいろいろな機関を通じて集めて、用意した。降雨量及び気温のデータはG F D Lの大循環モデルの出力をもとにして作成した。また土壌水分量のキャパシティは、現状の植生分類及び土壌性 (Vorosmarty et al.,1989 ; Webb et al.,1993)のデータから推定した。

水移送モジュールは、地形データから決定された河川流の位相幾何学的特性をベースにして、それぞれの地域の河川地図によって修正を施した河川流域モデルであり、それぞれのメッシュの表流水保水時間は Vorosmarty のモデル (1989) に基づいて決定している。

図2には、これらの2つのモジュールから計算された現状の年平均累積流出量が示してある。この計算は4分の1度のメッシュ毎に計算されており、気候データは2分の1メッシュの解像度で Legatesと Wilmott (1989) の月平均データから得た。この図の濃淡は、各メッシュから下流のメッシュに流れる表流水の量 (流出密度) を示しており、黒い地域の方が流出量は大きい。このようにして構築した雨水の流出過程のモデルを用いて、温暖化により気候が変化したときの表流水の変化を掲載した。用いた大循環モデルの出力は、G F D LのQ - f l u xによるシミュレーション結果である。このシミュレーションは、二酸化炭素濃度が産業革命以前の2倍になった

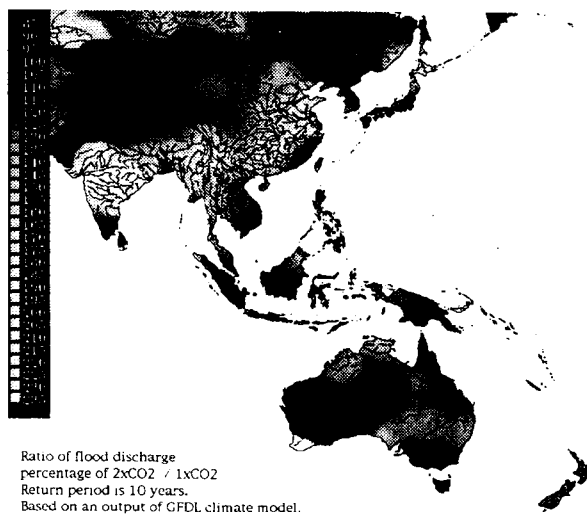


図3 十年確率の洪水時における  
月間流出量変化



図4 十年確率の渇水時における  
月間流出量変化

時の気候変化を推定したもので、解像度は Legatesらのデータに比べて悪いために、この解像度に合わせるべくシミュレーション出力の日々データや月間データを修正した。

図3は、このシミュレーション結果の一つで、各地域の洪水時の流出量の変化を示している。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、中国及び日本のそれぞれの一部が含まれる。一方、図4には、十年確率で生じる渇水時の流量の変化を示す。黒い部分は、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分かる。この様な水資源への影響の空間的パターンは、洪水や渇水を何年に一度の確率で生じるレベルのものを選ぶかといった、洪水あるいは渇水の程度を表す期間の長さの取り方によって大きくは変化しない。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。

なお、このような流出量の変化が人間社会にどのような影響を及ぼすかについての評価モデルは現在検討中であるが、第一ステップとして、渇水および洪水のリスクに人口分布の重みをかけ合わせた指標を作って、分析を進めている。この様な指標は人間社会への影響を包括的に表すには不十分なものであるため、他の要因、特に表流水の流量変化に脆弱な各種の地域特性を取り入れた分析を予定している。

#### 4. 自然植生への影響モデル

自然植生の空間的分布は気候に大きく依存しているため、地球温暖化はアジア太平洋地域の植生分布を大きく変化させることが予想されている。このような自然植生への影響の概略を把握するため、A I M / i m p a c t モデルの一つとして比較的簡略な自然植生変化モデルを開発した。このモデルは「生態学的マッピングモデル」とも呼ばれ、それぞれの植生が成育する条件をいくつかの生態気候パラメーターによって記述し、これらのパラメーターのレベルを変えたときの成育条件の変化を推定するものである。ここでは、それぞれの植生が現在成育している場所の生態気候パラメーター値を地球全域にわたりチェックし、これらの最大値と最小値の間をもって当該植生の成育条件とみなした。そして、地球温暖化によって特定の植生の生息域の生態気候パラメーターがこれらの最大値あるいは最小値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た。なお、ここで用いた生態気候パラメーターは、年間平均降水量、年間平均気温、最も寒い月の月間平均気温、最も暑い月の月間平均気温、及び5℃以上の年間デグリー・デイである。

図5は、B-15(3)で検討したいくつかの地球温暖化シナリオの下でのシミュレーション結果である。このシミュレーションにはGFDL-R30の大循環モデルの出力を用いた。植生変化の可能性を、温暖化が大きく進む場合と少ししか進まない場合、それにその中間の3つのケースに分けて示している。温暖化が少ししか進まない場合に植生が変化するということは、その地域の植生が気候変化に対して特に脆弱であることを示しており、この地域は図中に黒く表している。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、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うける可能性があることが分かる。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、インドシナ半島及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。

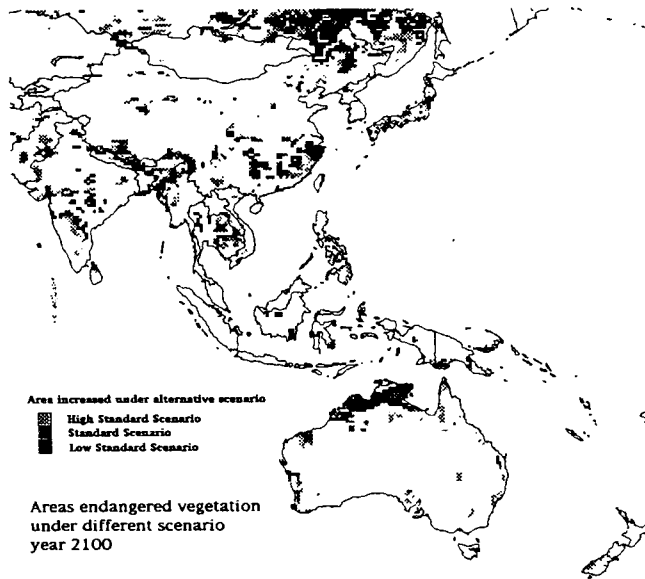


図5 いくつかの温暖化シナリオの下での植生変化の予測

ただし、これらの変化はあくまでも生態気候パラメーターによるマッチング分析の結果である。実際の植生遷移のメカニズムはもっと複雑かつダイナミックであり、生態学的マッチングモデルを用いたことは、あくまでも最初の概括的分析のためである。現在、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。

#### 5. マラリア分布の変化予測モデル

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原虫の胞子形勢期間の短縮効果をもたらし、世界のマラリア疾病負担を増加させると予想されている。このような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。

このモデルにおいては、マラリアの疾病負担の増加は次のような手順で推定される。

- 1) ハマダラカの生息のために必要な条件を、生態気候パラメーター（気温変化、土壌水分量等）との関係で明らかにする。
- 2) 大循環モデルによる気温変化の予測値及び上で述べた水資源影響モデルによる土壌水分量の予測値等を用いて、将来の生態気候パラメーターの変化量を推定する。
- 3) この推定値からハマダラカの生息域の変化を推定する。
- 4) ハマダラカの繁殖と原虫の胞子形勢期間を考慮して、マラリアの罹患率を推定し、それぞれの地域におけるマラリア患者の再生産率を求める。
- 5) この再生産率から、マラリアのリスクの増大を評価する。

なお、いくつかの異なった大循環モデルによって以上の推定値がどの程度変化するかについても感度分析をおこなった。

図6は、このモデルによるシミュレーション結果で、二酸化炭素濃度が二倍になった時点でマ



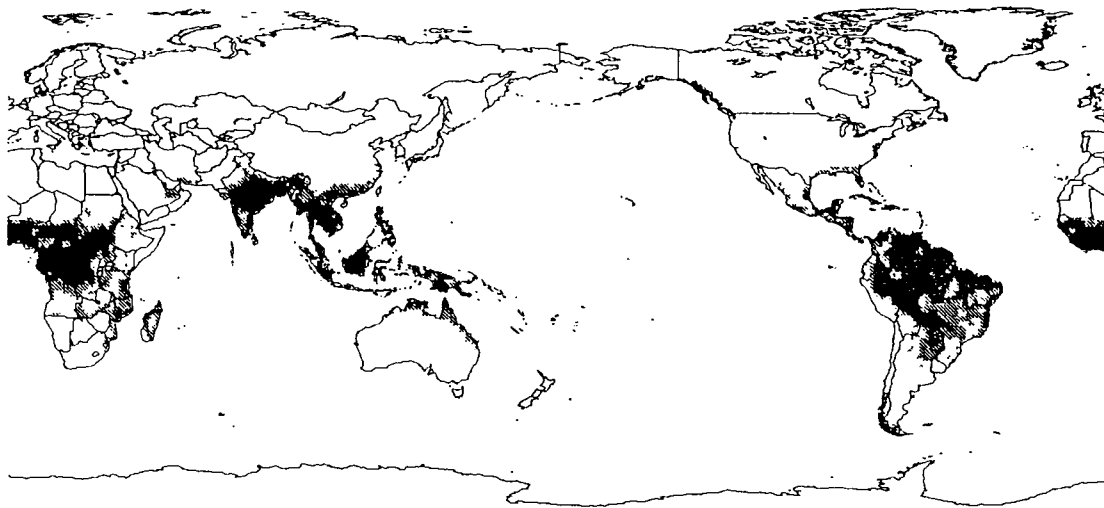


図6 マラリアの安定常在地域の拡大の予測

ラリアの安定常在地域がどの程度拡大するかを示している。斜線部分が地球温暖化によりマラリア安定常在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、南アメリカ南部でマラリアのリスクが急速に高まる可能性があることが明らかになった。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6～20パーセント増加することに相当する。

#### 4. まとめ

三年間の研究によって、AIM/impactモデルについては水資源への影響モデル、植生変化モデル及びマラリア分布の変化予測モデルを開発した。そして、これらのモデルを用いてアジア太平洋地域の温暖化影響を推定した。これらのモデルやモデル開発のために整備したデータベースはさらに改良していく必要があり、また、海面上昇の被害モデルや農業影響モデルなど未開発のモデルにも取り組んでいく必要がある。そして、このような一次的な温暖化影響の結果、地域の社会経済にどのようなより高次の影響が生じるかについても、定量的に評価する手法を開発する必要もある。これらの研究は、平成6年度から発展途上国との共同研究としてより充実した体制のもとで進める予定にしている。

#### 5. 成果発表

- ・ Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, H. Harasawa and K. Kai (1993) AIM - Asian Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce GHG Emissions and Global Warming Impacts. Proceedings of the Workshop on Global Warming Issues in Asia, Bangkok, 8-10 September, 26 pages (to be published as a book from AIT).
- ・ Matsuoka, Y., K. Kai and T. Morita (1994) An Estimation of Climate Change Effects on Malaria. mimeo. 21 pages.