

地球温暖化の影響評価と 対策効果プロジェクト

(中間報告)

Climate Change Research Project

平成 13~ 14年度

FY 2001~ 2002

地球温暖化の影響評価と対策効果プロジェクト

平成
13
~
14
年度

NIES



独立行政法人 国立環境研究所
NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES
<http://www.nies.go.jp/index-j.html>

国立
環境
研究
所

R100

国立環境研究所特別研究報告

Report of Special Research from the National Institute for Environmental Studies, Japan

SR - 54 - 2003

地球温暖化の影響評価と 対策効果プロジェクト

(中間報告)

Climate Change Research Project

平成13～14年度

FY 2001～2002

重点特別研究プロジェクト「地球温暖化の影響評価と対策効果」

(期間 平成13～14年度)

プロジェクト責任者：森田恒幸・井上 元

プロジェクト幹事：森田恒幸・井上 元

報告書編集担当：森田恒幸・井上 元

序

本報告書は、平成13～17年度の5カ年の予定で実施されている重点特別研究プロジェクト『地球温暖化の影響評価と対策効果』の平成13～14年度、前期2年間の研究成果を取りまとめたものです。研究半ばではありますが、中間報告としてこれまでの研究過程とその成果を公表することで、今後の研究を展開するための貴重なご意見を各方面よりいただけることを期待しています。

現在地球温暖化問題は、新しい局面を迎えています。2010年に向けた対策の方針を定めた京都議定書が国際的に合意され、その達成が緊急の課題になっています。そして、京都議定書以降や、さらに今後一世紀にわたる長期的な対策のあり方が、気候変動枠組条約の究極的な目的である温室効果ガスの安定化濃度の問題とも関連して問われています。そして、残されている現象面の色々な不確実さを解明し、新たな地球規模の環境変化を早期に検知していくことも必要です。

本重点特別研究プロジェクトは、こうした地球温暖化の現象解明・防止に資する科学的知見を提供するために、国立環境研究所において1990年から研究し蓄積してきた現象解明、影響評価および対策に関する研究成果を基礎にして、上記のような新しい研究ニーズに応えることを目的として開始しました。

現象解明では、温室効果ガスの陸域や海洋の吸収、森林の炭素ストックなど炭素循環のメカニズムと変動要因を大気・陸域・海洋の観測から解明するとともに、地球規模の温室効果ガスの変化を早期に検知する研究を進めています。こうした現象解明の研究成果も活用しつつ、気候変動およびそれらの影響を統合的に評価するモデルを開発・適用して、京都議定書およびそれ以降の温暖化対策が地球規模の気候変動およびその地域的影響を緩和する効果を推計し、中・長期的な対策のあり方を経済社会の発展の道筋との関係で明らかにし、これらの対策をアジア地域の持続可能な発展に融合させる総合戦略について検討しています。

本研究プロジェクトの進め方、中間成果について、忌憚のないご意見、ご指導を頂くようお願いいたします。

最後に、本研究プロジェクトのプロジェクトリーダーとして尽力した森田恒幸社会環境システム研究領域長が、さる9月4日急逝しました。心から冥福を祈るとともに、その遺志をついで本研究プロジェクトをより実りあるものとすべく、関係者一同努力する所存です。

平成 15 年 11 月

独立行政法人 国立環境研究所
理事長 合 志 陽 一

目 次

1 研究の目的と経緯	1
1.1 研究の目的	1
1.2 研究の全体フレーム	1
2 研究の成果	3
2.1 炭素循環と吸収源変動要因の解明	3
2.1.1 大気中の酸素濃度及び炭素同位体比を指標にしたグローバルな海洋・陸域CO ₂ 吸収量 変動解析	3
2.1.2 大気中二酸化炭素観測による陸域生態系の炭素収支推定（トップダウンアプローチ）	5
2.1.3 林内大気中二酸化炭素の炭素同位体比と土壤呼吸観測による森林内の炭素循環に 関する研究	9
2.1.4 リモートセンシングとモデルを統合した吸収源評価	12
2.1.5 京都議定書における吸収源の取扱と炭素管理オプションの統合的検討に関する研究	16
2.1.6 太平洋域の人為起源二酸化炭素の海洋吸収量解明とその制御に関する研究	19
2.2 統合評価モデルを用いた地球温暖化のシナリオ分析とアジアを中心とした総合的対策研究	25
2.2.1 気候モデル（CCSR / NIES）の開発・改良と適用	25
2.2.2 統合評価モデル（AIM）の開発・改良と適用	32
2.3 まとめと今後の課題	46
引用文献	48
[資 料]	
研究の組織と研究課題の構成	51
1 研究の組織	51
2 研究課題と担当者	52
研究成果発表一覧	53
1 誌上发表	53
2 口頭発表	62

1 研究の目的と経緯

1.1 研究の目的

地球温暖化問題は今、新しい局面を迎えている。2010年に向けた対策の方針を定めた京都議定書が国際的に合意され、その達成が緊急の課題になっている。また、京都議定書以降2020年から2030年を目指した対策のあり方について、国際的な議論が始まっている。さらに、今後一世紀にわたる長期的な対策のあり方が問われている。しかも、残されている現象面の色々な不確かさを解明し、新たな地球規模の環境変化を早期に検知していかなければならない。

本研究は、1990年から蓄積された地球温暖化の現象解明、影響評価、並びに対策に関する研究成果を基礎にして、これらの新しい研究ニーズに体系的に応えることを目的とする。このため、経済発展・気候変動およびそれらの影響を統合的に評価するモデルを開発・適用して、京都議定書およびそれ以降の温暖化対策が地球規模の気候変動およびその地域的影響を緩和する効果を推計し、中・長期的な対応方策のあり方を経済社会の発展の道筋との関係で明らかにするとともに、これらの対応方策をアジア地域の持続可能な発展に融合させる総合戦略について検討する。さらに、温室効果気体の陸域や海上での濃度観測から、温室効果気体の陸域と海洋の吸収比と吸収分布、森林の炭素ストック、二酸化炭素の海洋吸収と

その気候変動に対する応答など、炭素循環のメカニズムと変動要因を大気・陸域・海洋の観測から解明するとともに、地球規模の温室効果気体の変化を早期に検知する。

1.2 研究の全体フレーム

本研究は、大きく次の二つの分野に分けて、炭素循環、炭素吸収源評価、社会経済・排出モデル、気候モデル、影響・適応モデル、の5つの研究チームによって実施している。研究の全体概要を図1に示す。

(1) 炭素循環と吸収源変動要因の解明

京都議定書では人為的な森林吸収増加活動などを二酸化炭素削減対策として認めることになり、人為活動による炭素蓄積を十分な科学的根拠を持って評価することが求められている。さらに長期的には、人為的な森林吸収増加活動だけではなく、森林保全や炭素の隔離などを含むあらゆる炭素固定を評価する方向に向かう可能性もある。したがって、森林規模からグローバルな規模まで様々なスケールでの研究を精力的に遂行し、炭素循環を総合的に理解することが必要である。このため、森林や海洋による二酸化炭素吸収量の評価や変動要因の解析を目的として、以下の研究を行う。

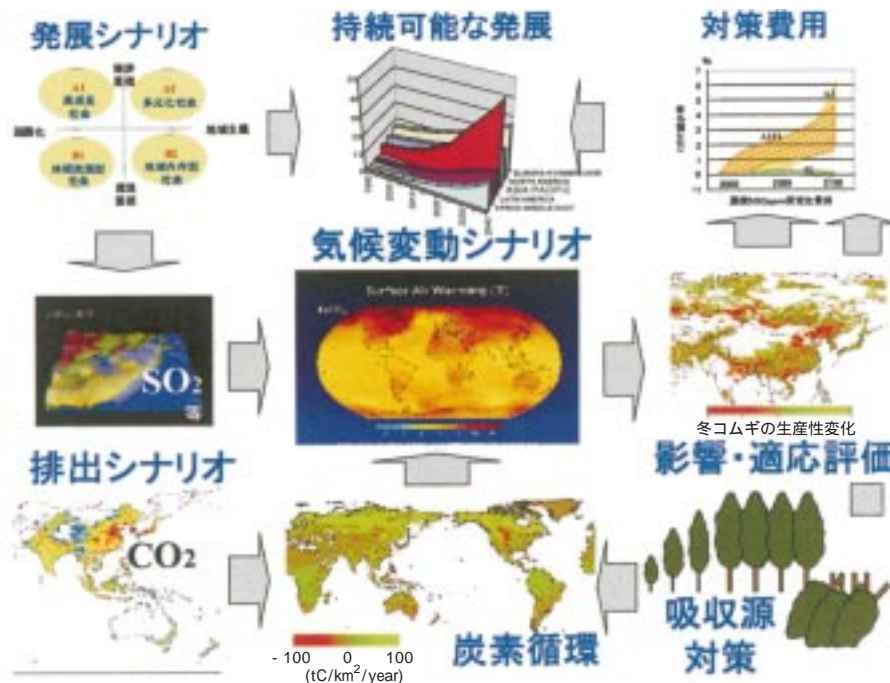


図1 地球温暖化プロジェクトの枠組み

陸域生態系を中心とした温室効果気体の吸収・排出を地域規模で評価することにより、科学的根拠に基づいた温室効果気体の濃度安定化策の策定に貢献する。そのために、航空機やタワーにより二酸化炭素濃度分布変動を測定し、二酸化炭素などの吸収や放出量を推定する。さらにその季節変動、長期変動を測定し、変動要因を解析する（炭素循環研究チーム、炭素吸収源評価研究チーム）。

貨物船を含む様々な観測手段を活用して、太平洋の二酸化炭素吸収フラックスの分布・季節変動を求める。その支配要因の解析とともに、グローバルな炭素収支における太平洋の寄与を明らかにする（炭素循環研究チーム）。

陸域と海洋の二酸化炭素吸収の評価を大陸・海洋・全球の規模で実施し、その変動要因を解明する。地上モニタリングステーションなどにおいて、同位体比や酸素濃度等の長期観測を行い、温室効果気体等のモニタリングデータを駆使して、グローバルな陸域/海洋吸収を評価する（炭素循環研究チーム）。

京都議定書で評価される植林等の活動による二酸化炭素吸収量のモニタリング・認証手法を確立し、我が国の二酸化炭素排出削減策に直接貢献する。そのために、二酸化炭素フラックス観測サイトにおいて、樹木の炭素吸収、土壌呼吸、樹冠上のフラックス測定、樹冠内の二酸化炭素貯留、森林上空の二酸化炭素濃度変動の観測、森林のバイオマス・光合成等を計測する高精度遠隔計測などを行う。その結果を用い、気象、土壌、管理条件を変数とする炭素ストック変化算定モデルを開発し、森林生態系の吸収を総合的に評価する（炭素吸収源評価研究チーム）。

これらの観測研究を行うに当たっては、地球環境研究センターの地球環境モニタリング・データベース事業との密接な協力下で、また、IGBP/IHDP/WCRP Global Carbon Project (GCP) などの国際的な取組と連携して推進している。

（２）統合評価モデルを用いた地球温暖化のシナリオ分析とアジアを中心とした総合的対策研究

京都議定書およびその後の世界規模の経済発展や環境対策が、地球規模の気候変動およびその社会的・環境的影響をどの程度軽減するか、さらにはアジア地域の経済発展と環境問題を踏まえてどのような総合的対策を図る

べきかを明らかにするため、以下の研究を行う。

我が国、アジア地域および世界を対象とする温室効果ガス・エアロゾル排出モデルを改良・開発し（社会経済・排出モデル研究チーム）、大気海洋結合気候モデルの高精度化、並びに地域気候モデルの開発・高精度化を図り（気候モデル研究チーム）、さらに、水資源や農業等への影響モデルの開発・改良に取り組む（影響・適応モデル研究チーム）。また、アジア全域および主要国に適用できる環境・経済統合モデルを開発する（社会経済・排出モデル研究チーム）。

地球温暖化に関する排出・気候変動・影響、さらにはアジア地域の経済発展と環境の関係を一貫して分析するため、個々のモデルをつなぐインターフェースを開発して、モデルの統合化を図る（気候モデル研究チーム、影響・適応モデル研究チーム、社会経済・排出モデル研究チーム）。

最新の社会経済的動向や技術評価をベースにして個々の対策技術や対策措置の効果を推計し、我が国、アジアおよび世界の温室効果気体がどの程度削減可能かを推計し（社会経済・排出モデル研究チーム）、この対策措置を前提とした排出シナリオを基にして、全球および地域的に気候変動がどの程度緩和されるかを推計するとともに、これらの推計における不確実性の度合いおよびその要因について評価する（気候モデル研究チーム）。さらに、気候変動の緩和を前提にして、このような緩和が社会的・環境的影響をどの程度軽減させるかについてアジア地域を中心に推計し、これらの影響に適応可能かどうかを検討するとともに、推計の不確実性の度合いおよびその要因について評価する（影響・適応モデル研究チーム）。

以上のシナリオ分析を基にアジア地域の総合的対策の在り方を明らかにするため、アジアの経済発展と温暖化対策、さらには温暖化対策と他の環境対策との関係を分析する。特に、温暖化対策を含む環境対策分野のイノベーションのポテンシャルおよびその実現のための投資の緊急性を評価する（社会経済・排出モデル研究チーム）。

分析結果を各種背景データと有機的に関連づけて戦略的データベースを構築し、研究の普及を図るとともに、アジア途上国への分析技術の移転を図る（社会経済・排出モデル研究チーム、影響・適応モデル研究チーム）。

2 研究の成果

2.1 炭素循環と吸収源変動要因の解明

2.1.1 大気中の酸素濃度及び炭素同位体比を指標にしたグローバルな海洋・陸域CO₂吸収量の変動解析 (1) はじめに

人為的に放出された二酸化炭素は地球規模での二酸化炭素の濃度上昇を引き起こしているが、地球上の生物や海洋は平均的にはその約半分を吸収し大気中の濃度増加を引きとめている。例えば、現在の大気二酸化炭素濃度の平均増加速度（約1.5ppm/年）は、実際に大気に供給された人為的二酸化炭素から考えられる速度の半分にしかっていない。しかし同時に海洋や陸域での吸収量は年々変化することが認められており、二酸化炭素濃度の増加速度もエルニーニョ現象が起こったときに急増現象が見られている。ここ最近のエルニーニョ現象のケースでは年増加率が3 ppm以上と過去数十年間の最高を記録し、平均的な増加速度の2倍以上の速度になった。このような現象は、過去にも見られており、地球の吸収量が気候や海洋自身の変化によってグローバルに変動していることを示している。今後の二酸化炭素濃度増加を予測するためには、海洋や陸域の二酸化炭素吸収量がどのようなメカニズムでまた量的にどのように変化しているのかを明らかにする必要がある。本研究では、大気中の酸素濃度や二酸化炭素の炭素同位体比を広域的に観測することによって、海洋や陸域生態系のグローバルな二酸化炭素吸収量を分離して測定・解析することを目的としている。特に大気中のO₂/N₂比（O₂濃度と等価）の変動は地球表層での炭素循環を解明する上で重要な情報をもたらすことが明らかにされてきた^{1-3), 4)}。

(2) 方法

1) 定点観測：1997年7月から沖縄県波照間ステーションにおいて大気試料を毎月採取し、独自に開発したO₂/N₂比測定法（GC/TCD法⁴⁾を用いて大気中のO₂/N₂比の観測を開始した。その後、大気試料自動採取装置を設置することで、北海道の落石岬では1998年12月より週2回の頻度で、波照間では1999年11月より4日ごとの頻度でサンプリングを開始した。このサンプルで、同位体比の測定を開始した。

2) 太平洋上観測：2001年11月より日本 - オーストラリア間および日本 - アメリカ間を定期航行する民間の貨

物船の協力を得て、太平洋上のサンプリングを開始した。なお、2002年6月から8月にかけて日豪間の貨物船の運行中止によりサンプリングが一時中断したが、その後は順調にサンプリングを継続している。二酸化炭素同位体比に関しては、1993年からサンプルを採取している。

(3) 結果

1) 酸素濃度観測

2002年12月までに波照間・落石で観測されたO₂/N₂比の結果を図2にプロットした。なお、図中のO₂/N₂比の単位per megは任意の標準空気からの偏差の百万分率を表し、4.8per megが酸素濃度1 ppmに相当する。O₂/N₂比は波照間・落石のいずれにおいても冬に低く夏に高くなる季節変動を示しながら徐々に減少していることが分かつ

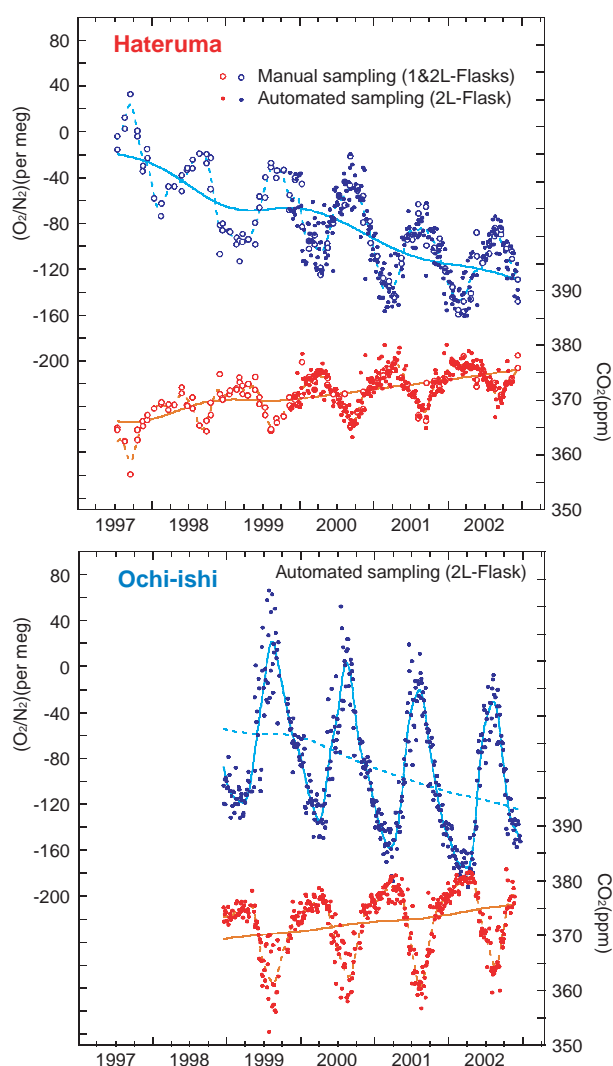


図2 波照間・落石ステーションで観測されたO₂/N₂比およびCO₂濃度の変動

た。観測開始から2002年末までの期間における O_2/N_2 比および CO_2 の平均経年変化率は波照間で -19.3 ± 0.4 per meg/yr および 1.65 ± 0.06 ppm/yr, 落石で -18.9 ± 0.8 per meg/yr および 1.56 ± 0.10 ppm/yr であった。1998年から2002年の平均放出量を計算すると 6.4 GtC/yr となる(なお, セメント製造にともなう CO_2 の放出量はおよそ 0.2 GtC/yr である)。波照間・落石の O_2/N_2 比および CO_2 の平均経年変化率の平均値 (-19.1 ± 1.0 per meg/yr および 1.61 ± 0.15 ppm/yr) から, Keeling& Shertzの方法¹⁾を用いて陸上生物圏および海洋のそれぞれの吸収量を計算すると, それぞれ $0.7 \pm 0.4 \text{ GtC/yr}$ および $2.5 \pm 0.7 \text{ GtC/yr}$ となった。この推定結果には依然として多くの誤差が含まれるが, 観測の継続や観測地点の展開などによって O_2/N_2 比の変動をより精密に観測することにより, CO_2 収支の精度も高まるものと考えられる。

O_2/N_2 比および CO_2 のトレンド曲線を微分して得られる増加率の変動を見ると(図3), 1998年に CO_2 の増加率が急激に上昇し, 1999年には急激に減少した。一方, O_2/N_2 比の減少率も1998年に急激に上昇し(O_2/N_2 比が大きく減少), 1999年に急激に減少(O_2/N_2 比の減少が少ない)したことが分かる。陸上植物圏が CO_2 を吸収または放出する場合は必ず酸素の放出または吸収を伴うが, 海洋は(第一近似として)酸素を放出も吸収もしないことを考えると, 1998~1999年の CO_2 の増加率の異常は主に陸上植物圏に原因があったものと推定される。

船舶を使ったサンプリングはまだ観測期間が短いため, そのトレンドについて議論することはできない。しかし, これまでの観測から O_2/N_2 比の季節変化の緯度による違いなどが分かってきた(図4)。例えば, CO_2 の季節変動は北半球高緯度ほど振幅が大きく南半球では振幅は非常に小さいが, O_2/N_2 比の場合は南半球にも北半球

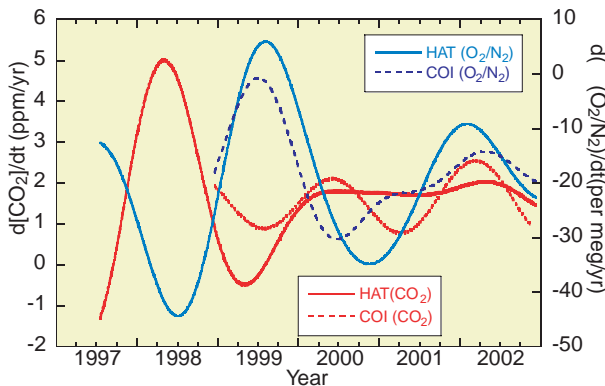


図3 波照間・落石ステーションで観測された O_2/N_2 比および CO_2 濃度の増加率の変動

の半分程度の振幅がある。これは海洋の生物活動や海洋表層の鉛直構造の年変化による酸素フラックスによって大気中の O_2/N_2 比が変動するためと考えられる。なお, 赤道域(南緯10度から北緯10度)における O_2/N_2 比は海洋からの酸素フラックスを考える上で非常に重要であると考えられているが, これまで定期的な観測はほとんどなされていない。したがって, 本研究の継続による成果は貴重なデータになるものと期待される。

2) 同位体比観測と測定の相互比較

二酸化炭素の炭素同位体比の変動は, 二酸化炭素の動態を表す良い指標の一つと考えられている。二酸化炭素濃度の増加と共に, 同位体比は減少しているが, 濃度変化に対する同位体比の減少率を計算することで, その時々二酸化炭素の収支に関しての情報が得られる。二酸化炭素の緯度別の同位体比の変化をみると, 季節変化は北半球で大きく南半球では小さい。季節変化の原因は同位体比の変化から明らかに陸上植物の光合成の影響であることが分かる。トレンドに関しては, 同位体比の自然との非平衡部分を考慮すると, 実際の正味の出入りの吸収量または放出量が算定できることになる。太平洋上の南緯25度付近から北緯50度付近までの同位体比の変動の平均を計算して, その変動量から二酸化炭素が海洋に

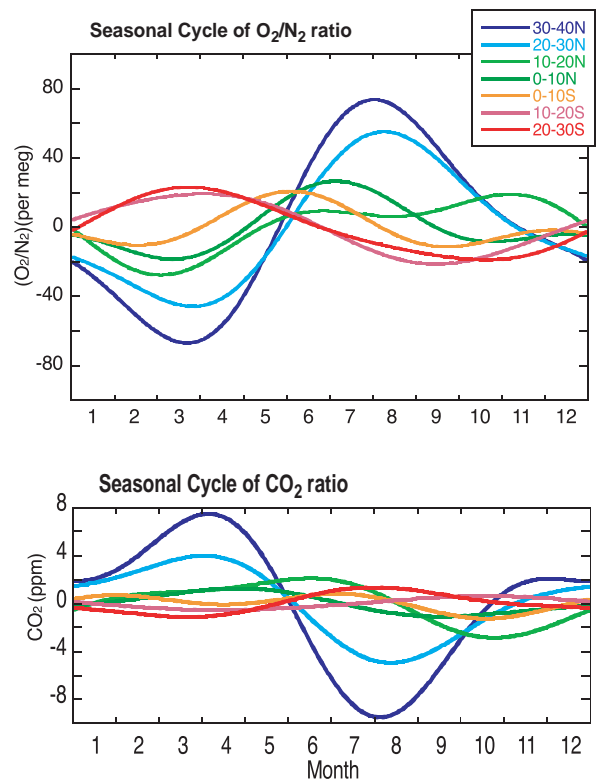


図4 太平洋上大気中 O_2/N_2 比および CO_2 濃度の季節変動成分の緯度による違い

吸収されているのか、陸上植物に吸収されているのかを分けてみると、図5に示したように、過去のエルニーニョの付近の二酸化炭素の増加は明らかに、陸上植物の吸収量の減少（正味の発生源）がその原因であることが分かった。平均すると、2 Gt前後の吸収が海洋によって行われているが、エルニーニョによってわずかな変動が見られる。この観測は、波照間、落石でも行われデータが集積されつつあり、今後、酸素濃度の変動との比較が行われる予定になっている。同時にCO₂中の放射性炭素¹⁴Cのデータも蓄積されてきており（図6）、合わせて今後解析をする予定である。

同位体比測定の標準化に関しては、同位体比の標準の問題と測定法の問題とがある。本課題では、これまで国立環境研究所独自の参照二酸化炭素NARCIS（NIES Atmospheric Reference CO₂ for Isotopic Study）を作成し、16研究室での分析などを依頼し、そのパラツキを検討してきた。さらに本年度は、オランダの同位体研究所（CIO）の作成した参照物質（GS - 19, 20）を入手しCIO

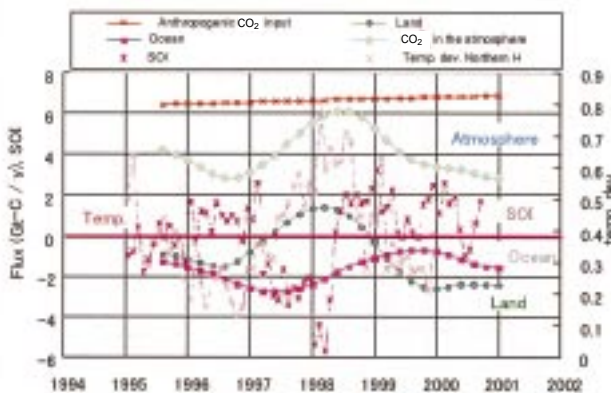


図5 同位体比を用いた海洋と陸上生態系の二酸化炭素吸収量の変化

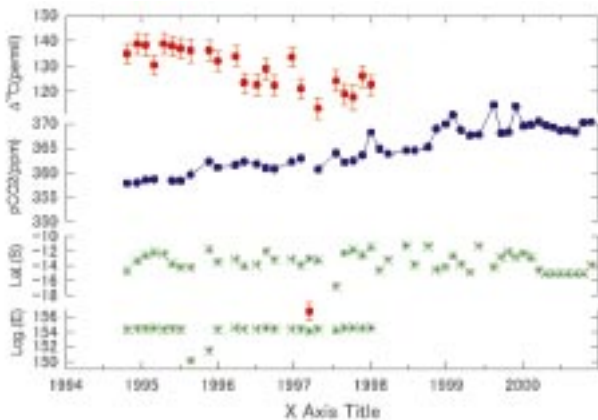


図6 南緯15度付近の大気中の二酸化炭素濃度増加と¹⁴C濃度の減少

とのスケールの差を詳細に検討した結果、サンプルにかかわらず0.02%程度の系統差があることが分かった。これにより、値の差を定常的に補正できる可能性が示された。

大気サンプルからの濃縮過程を含めたデータの差を検討するべく、CSIROやNOAAとの相互比較を進めている。図7に高圧のシリンダーに詰められた空気サンプル内の濃度変化と、それを低圧の35/ステンレスタンクに移した場合の各濃度、同位体比の経時変化を示した。本サンプルは、研究室ごとに相互比較をするための空気サンプルであるが、同位体比、二酸化炭素濃度、亜酸化窒素濃度など変動は小さく、シリンダー内および移した低圧ステンレス容器でも変化が少ないことが分かった。これをもとに、今後研究室ごとにサンプルとして比較のために低圧のステンレス容器を回すことを予定している。

2.1.2 大気中二酸化炭素観測による陸域生態系の炭素収支推定（トップダウンアプローチ）

（1）はじめに

地球表層の炭素循環を解明するために広く用いられている3次元大気輸送モデルの不確か性の要因の一つは大気境界層と自由対流圏の間の二酸化炭素（CO₂）輸送を十分に表現しきれていないことにある。

本研究では境界層付近の輸送過程に伴う境界層内と自由対流圏とにおけるCO₂濃度の違いを定量的に把握するためにタワーを利用した地上連続観測と航空機を利用した鉛直プロファイルの高頻度観測を2001年10月より実施している。本稿では観測の概要とこれまでに得られた初期的なデータを紹介する。

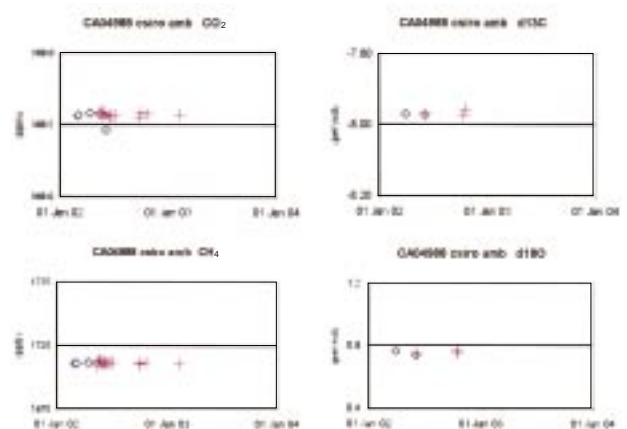


図7 相互比較用高圧シリンダーおよび移した低圧ステンレス容器内の同位体比及び濃度変化（+は低圧ステンレス容器に詰めた空気の変化）

(2) 観測方法

観測地点は地形が平坦であり比較的均一な植生を有する西シベリアのベレゾレチカ村(56° 10' N, 84° 20' E)周辺の森林地帯を選定し(図8), 村のはずれに位置するガスプロム社所有の高さ90mの通信中継タワーを地上観測に使用した。

地上観測はタワーの80m, 40m, 20m, 5mの4高度に約5mのアームを取り付け, アームの先端付近に空気採取口や気象測器を設置した。各高度における観測項目は表1の通りである。

本研究では物資の補給が困難な観測地点で長期観測を行うために, 測定精度を維持しながらも標準ガスの消費量を極めて少なくしたCO₂濃度観測システムを開発した。本研究で使用したNDIR(LI-COR, LI-7000)は出力のスパンドリフトがゼロ点ドリフトに比べて小さい。このことを利用して, 現地で大気を大容量シリンダーに低圧充填し, その空気をゼロ点ドリフト補正用の標準ガスとしてNDIRに高頻度で導入した。日本から持ち込んだ3本の濃度既知の高精度標準ガスは12時間に1回の使用にとどめた。ゼロ点ドリフト補正用標準ガスはタワーの最上部より空気を引き込み, 空気中の水分を除去した後に内容積47lのアルミシリンダーに0.5MPaの低圧で充填する。1回の充填で約2週間の利用が可能である。充填されるCO₂濃度はその季節の大気濃度そのものであるので, 試料空気と必然的に近い濃度になり, 精度の高い較正を行うにあたって好都合である。性能評価試験の結果, 開発した装置の測定精度は±0.3ppmで, 森林上空のCO₂濃度の日変動, 季節変動を観測するために十分な精度を有し



図8 観測地点

表1 各高度における観測項目

80m : CO ₂ 濃度, 気温, 湿度
40m : CO ₂ 濃度, Rn濃度, O ₃ 濃度, 風向, 風速, 気温, 湿度
20m : CO ₂ 濃度

ており, 1セットの高精度標準ガスで5年以上の観測が可能であることが確かめられた。

地上観測ではCO₂濃度と同時にRn濃度とO₃濃度を連続観測して境界層の日変動に伴う大気の混合・希釈過程の指標とした。

航空機観測は1年を通して実施し, 月に2~3回の頻度で現地時間の午後にベレゾレチカタワー上空の高度2kmから0.15kmの鉛直プロファイルを得る形で行われた。また, 夏季には同じような飛行を日の出から日没まで2時間間隔で実施し, タワー上空におけるCO₂濃度鉛直プロファイルの日変動観測を行った。

航空機用CO₂濃度観測装置は, シングルセル型のNDIR(LI-COR, LI-800)に小型の流量調整装置と圧力調整装置を組み込んだもので(図9), ポンプやデータロガーを合わせて約3kgと軽量で取扱いを容易にしている。電源投入後の動作は自動であり, 5分に1回の頻度で濃度340ppmと390ppmの2本の標準ガスがNDIRに導入される。測定システムの応答時間は約10秒, ノイズレベルは2秒平均値を利用した場合±0.3ppm, 10秒平均値を利用した場合±0.15ppmである。

観測に使用した航空機は小型の複翼機(An-2機)であり, 2枚の左翼間のステーに空気取入口と温度計, 湿度計を設置している。装置の小型化と自動化によって現地ではパイロットとメカニックのみで観測飛行を行うことが可能になり, 高頻度の観測が実現できた。

(3) 観測結果

1) 地上観測

ベレゾレチカタワーで観測されたCO₂濃度の変動を図10に示す。CO₂濃度はいずれの季節も日中に低く, 夜間から早朝にかけて増加し, 日の出とともに減少する日変動を示す。日変動の振幅は冬季に小さく, いずれの高度においても最大で約15ppmであるが, 夏季には高度80mで最大60ppm, 高度5mでは120ppmにも達する。高

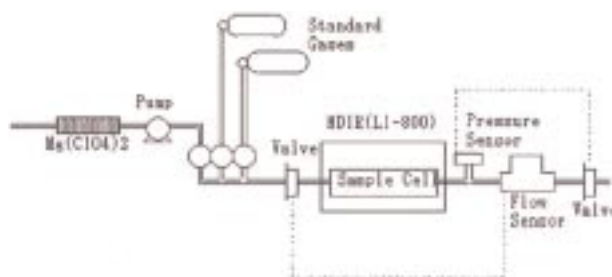


図9 航空機用CO₂濃度観測装置の概念図

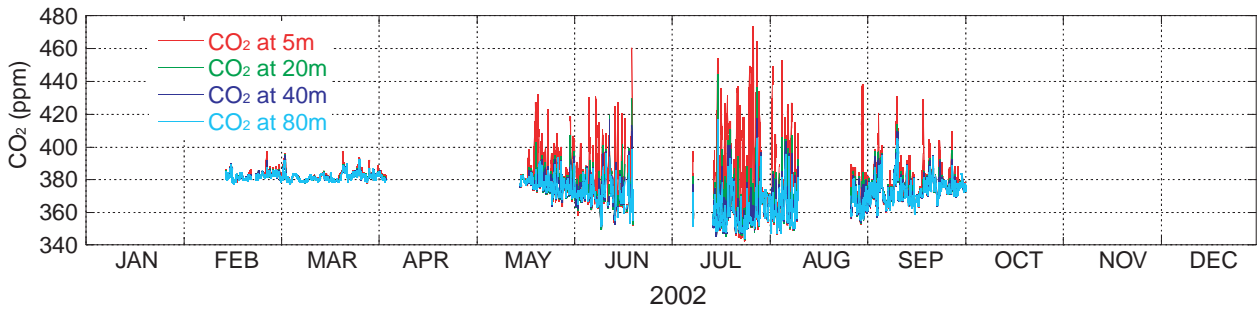


図10 ベレゾレチカタワーの高度80mと5mで観測されたCO₂濃度の変動

度によるCO₂の濃度差は逆転層の有無によって差がみられ、明瞭な逆転層が観測されない日には観測を行っている全ての高度において5 ppm以内の差の範囲内で変化しているのに対し、逆転層が観測された日の早朝には高度80mと5mにおける濃度差が冬季で最大約15ppmv、夏季には最大で約120 ppmにも及ぶ。

ベレゾレチカタワーで観測されたCO₂濃度の中から日中のほぼ最低値を示す現地時間14時から16時のデータを抽出してプロットしたものが図11である。日中の濃度は冬季に高く夏季に低い明瞭な季節変動を示しており、冬季の最高濃度と夏季の最低濃度との差は40ppmにも達する。近接した日々の濃度の違いは2月から5月にかけては比較的小さく、最大で約10ppmであるが7月には1日で30ppmもの変化を示すこともある。9月の濃度レベルは5月から6月初旬と同様であるが、日中濃度のばらつきは明らかに大きくなっている。

2) 航空機観測

図12に2001年10月から2002年12月までに得られたベレゾレチカ上空におけるCO₂濃度の鉛直プロファイルを示す。

CO₂濃度の鉛直勾配は冬季には非常に小さく、高度0.5km以上ではほぼ一定であるが、地表付近でやや高い濃度を示している。2月から5月中旬までは濃度の経時変化はほとんどなかった。

シベリアでは冬季になると日中になっても地表付近の気温の逆転層が消滅しないことがある。このような大気状態の際には図12の2002年2月2日や2002年11月14日のプロファイルに見られるように地表付近にCO₂が蓄積することによって非常に高い濃度が観測される。

5月下旬になるとCO₂濃度は全ての高度で減少を始め、6月に入ると濃度勾配が逆転して低高度で低い濃度を示しながら減少を続け、7月中旬にその年の最低濃度を示

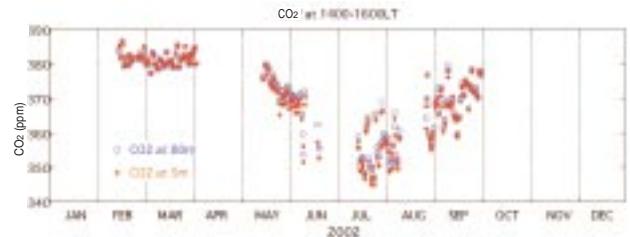


図11 ベレゾレチカタワーで現地時間の14:00から16:00に観測されたCO₂濃度の変動

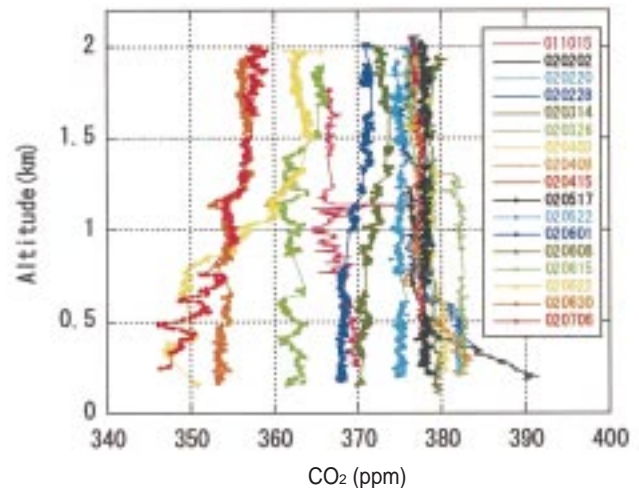
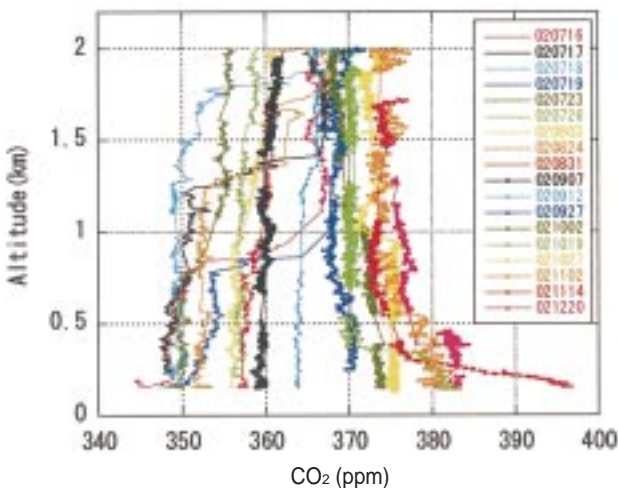


図12 2001年10月～2002年7月(左)と2002年7～12月(右)にかけてベレゾレチカ上空で観測されたCO₂濃度の鉛直分布

す。夏季は冬季に比べて鉛直方向の濃度勾配が大きく、高度2kmと0.15kmの差が最大で15ppmにも達した。また、夏季には大気境界層内の乱流によるCO₂の輸送状態に大きな空間分布があるために鉛直方向の濃度のばらつきが大きくなっている。鉛直方向のCO₂濃度を0.5kmごとに平均して時系列プロットしたものが図13である。ここでは高度1.75km以上と0.25km以下における時系列のみを示す。観測値のフィッティングカーブからのばらつきは全体的に小さいが、夏季における日々の濃度差が他の季節に比べて大きくなっている。これは図10で示した日中のタワー観測値と同様の傾向であるが、日々の変動の度合いは航空機観測の結果ははるかに小さい。

季節変動の振幅は0.25km以下の高度帯で最も大きく、約38ppmにも達している。振幅は上空に行くにしたがって小さくなり、0.25~0.75kmで31ppm、0.75~1.25kmで26ppm、1.25~1.75kmで21ppm、2km以上の高度帯では約17ppmである。季節変動の位相も低高度が上空に比べてわずかに先行している。

3) 地上観測と航空機観測の比較

図14はベレゾレチカタワーで現地時間の14時から16時に観測されたCO₂濃度(図11)とベレゾレチカ上空0.25km以下で航空機によって観測されたCO₂濃度(図13)を比較したものである。両者の値は冬季にはよく一致し

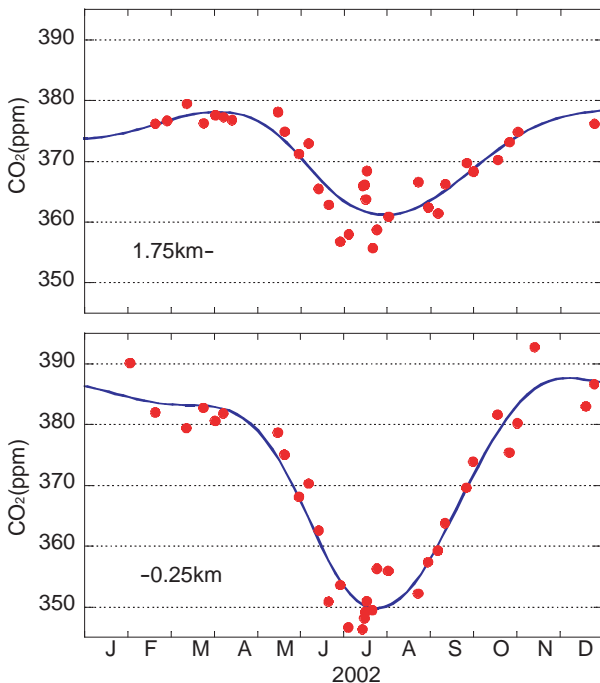


図13 ベレゾレチカ上空の高度1.75km以上と0.5km以下におけるCO₂濃度の季節変動
は各高度帯での平均値を実線はフィッティングカーブを表す。

ている。夏季はタワー観測値の日々変動の中で比較的低濃度のデータが航空機観測値と一致している。これは航空機観測が気象条件の整った日に実施されていることが原因の一つであると考えられる。春季から夏季にかけての濃度減少期には両者の差が小さいが、夏季から秋季にかけての濃度増加期ではタワーの観測値がその上空より高くなることが多い。光合成活動が卓越する濃度減少期と呼吸・分解活動が盛んになる濃度増加期とは大気の輸送メカニズムが大きく違っているのかもしれない。

4) メソスケールの陸域での炭素収支分布推定の方法
従来、ベースラインの二酸化炭素の大気濃度を測定するネットワークのデータを、インバースモデルにより解析し、亜大陸規模の二酸化炭素収支を推定してきた。これに二酸化炭素の吸収/放出により近い二酸化炭素濃度が測定できる大陸上の航空機による二酸化炭素観測のデータを加えることにより、陸域での二酸化炭素収支推定の誤差が著しく狭まった。ベレゾレチカでの航空機と地上観測の比較結果は、地上での連続観測データから大気の鉛直混合の強い時のデータを選択すれば、航空機による観測に匹敵するデータが得られることを示唆する。そこで1000~3000km規模の地域で二酸化炭素の地上観測ネットワークを作れば、その内部での二酸化炭素収支をより高い空間分解能で測定できる可能性が出てきた。しかしながら、地上での観測ネットワークは100m規模のタワーでしか実現できないので、混合層内部の濃度しか測定できない。混合層内の二酸化炭素濃度は、地表面との相互作用により変動するが、同時に前線通過、降雨など強い攪乱や、地形風による弱いが継続的である自由対流圏との混合もおこる。また、地上に大都市があり大きな点発生源になっている場合は、高い密度での観測を行

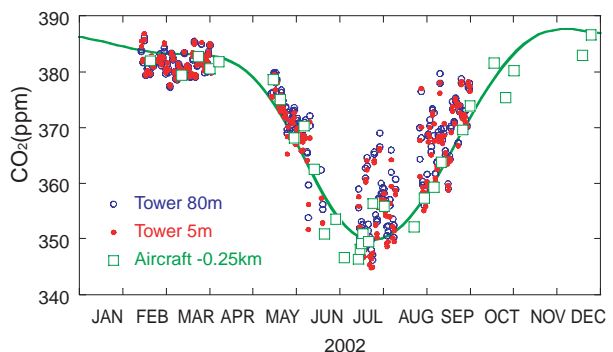


図14 ベレゾレチカタワーで現地時間の日中に観測されたCO₂濃度とベレゾレチカ上空0.25km以下で航空機によって観測されたCO₂濃度の比較
実線は航空機観測値に対するフィッティングカーブ。

わなくては、バックグラウンドにある植生による吸収と大きな点発生源を解析して分離することができない。そこで本研究の第二段階としては、ベレゾレチカを含む西シベリアに約10点の同様な観測ネットワークを構築することとした。

モデルによる解析では西シベリアの西部に南北に4ヵ所、東部に4ヵ所、中央南部に2ヵ所設置することが最も効率的であることが分かり、この地域のタワーを調査した。その結果、天然ガスや石油のパイプラインがあり、これを維持するための通信塔が多数分布していることが判明した。2002年1月にロシア政府機関やロシア側の研究組織であるCAO (Central Aerological Observatory) とGasprom社などの研究協力協定が締結され、タワーの予定地調査が可能になった。

これらは無線通信のためのタワーであり、電力供給余力は300W程度である。また、都市から離れた場所を選ぶので物資の補給やメンテナンスが困難である。そこで空調なし、標準ガスは5年使い続ける、自動観測という方針で次のような測定システムを開発した。装置は基本的にはコンテナ内に設置する。気温や日射により内部温度が大きく変化するので、断熱材と熱容量を大きくする工夫により、日変動は10以内、最高温度は40以下に抑える。現地で大気を容器に充填し、これを擬似標準ガスとして1時間ごとに測定し、標準ガスは1回/日の割合で使用し、擬似標準ガスの濃度を決める。全ての装置は自動運転で、部品や省エネ対策により使用電力を最低限に抑制する。こうした方針で完成した測定システムが図15である。室内の温度が変化しても擬似標準ガスの値と標準ガスとはよく一致する関係にあり、十分必要な性能を発揮することが分かった(図16)。



図15 開発した観測システムとコンテナ

2.1.3 林内大気中二酸化炭素の炭素同位体比と土壌呼吸観測による森林内の炭素循環に関する研究

(1) 林内大気中二酸化炭素の炭素同位体比測定

1) 研究の背景と目的

大気-陸域生態系間のCO₂交換における同位体分別効果の時間的・空間的な変動とその気候変動に対する応答から、陸域でのCO₂の吸収域・放出域の分布の推定や、その変動を支配するプロセスの推定に重要な知見が得られる。今回の研究では、北部ユーラシア大陸を代表する植生である落葉性針葉樹林(カラマツ林)において、生態系呼吸起源CO₂の¹³Cそして呼吸時の同位体分別効果の時間的な変動性を観察しその変動要因を明らかにすることを目的とする。これまで、同様の研究のほとんどは北米の高緯度域に分布する常緑針葉樹林で行われてきており、落葉性針葉樹林での観測データは極めて貴重なものであり、東アジア特有の気候の特徴からも他の地域の観測結果から類推できない知見が得られる可能性が高い。

2) 実験と結果

北海道苫小牧市郊外の苫小牧フラックスリサーチサイ

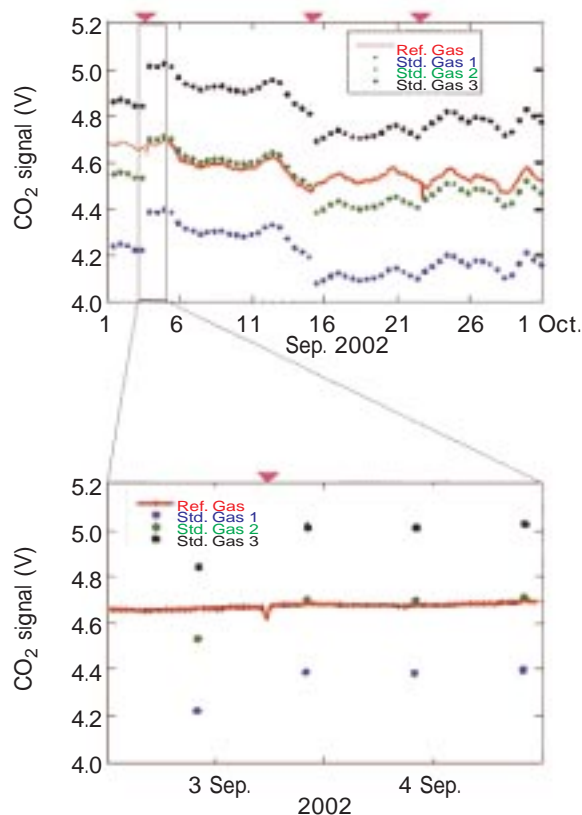


図16 標準ガスを流したときの出力電圧
赤の三角印が擬似標準ガスを切り替えた時刻。赤が擬似標準ガス、青が標準ガスの出力値。

トのカラマツ林内に大気試料自動採取装置を設置し、一定の時間間隔で大気試料を採取し、CO₂濃度とその¹³Cの日変動を観察した。この観測をおよそ1ヵ月ごとに行った。森林内で観測されたCO₂濃度と同位体比の夜間の時間変動から二成分系単純混合モデルを用いてこの生態系内で呼吸により放出されたCO₂の¹³Cおよび¹⁸Oを推定した。2000年7月から2002年10月までの観測データから、植物の活動が盛んな6月から9月に得られた19のデータから呼吸起源CO₂の¹³Cの時間的変動などを考察した。

観測された呼吸起源CO₂の¹³Cは2 permil以上の範囲で有意な時間的変動性を持っており、平均値は-28.0permilであった(図17)。この平均値は北米の北方林での観測で報告されている値に比べて有意に低い値であり、カラマツの持つ生理的な特徴や成長期に降水量が多い東アジア特有の気候が反映されていると考えられる。時間的変動の様子は不規則であり、季節的なトレンドは見られない。

呼吸起源CO₂の¹³Cの短いタイムスケールでの複雑な変動は林内の水分や光などの変化に関連した植物の光合成時の同位体分別効果の変化が、植物の呼吸に迅速に反映されたことによるものと考えられる。植物の活動期(6月から9月)のデータを用いて水分の指標である飽差(飽和水蒸気圧からの水蒸気圧の不足分, Vapor Pressure Deficit; VPD)を用いて、Bowling *et al.*⁵⁾によるラグ相関解析を行ったところ、呼吸起源CO₂の¹³Cは観測の5~6日目のVPDともっとも強く相関して

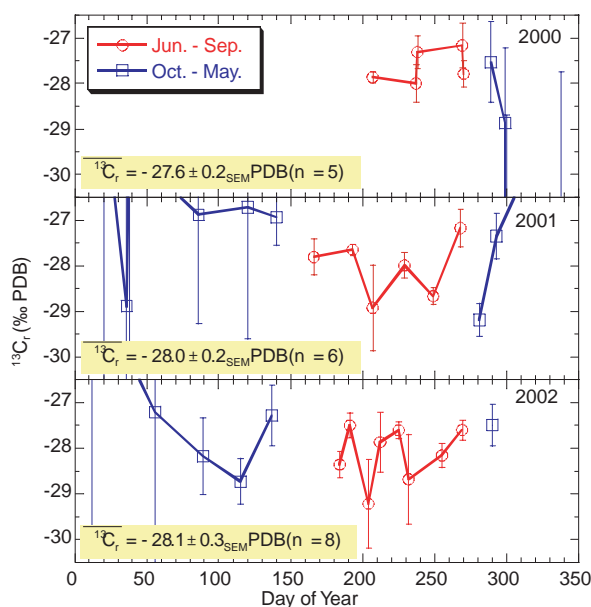


図17 呼吸起源CO₂の¹³Cの時間的変動

いることが明らかとなった(図18)。これは、北米の常緑針葉樹林などでの観測から報告された特徴と一致しており、大気-陸域生態系のCO₂交換において、光合成による取り込みと呼吸による放出が短いタイムスケールでリンクしていることを示唆している。

これまでの研究により、生態系から放出されるCO₂の同位体比が気候的な変化により変動することが、観測事実から確認された。

(2) 苦小牧カラマツ林における土壌呼吸

1) 目的

森林生態系におけるCO₂の動態を理解するうえで土壌呼吸は最も重要なものの一つである。森林生態系のCO₂収支の中で土壌呼吸の果たす役割が大きいたくだけではなく、土壌呼吸速度は時空間的に大きく変動しているが、一年以上に渡る土壌呼吸の連続測定は報告されていない。土壌呼吸には、微生物・土壌小動物による有機物分解(微生物呼吸)と植物根呼吸によるものがあり、森林の炭素収支や気候変化に対する応答を明らかにするためには、両者を分離して測定した上でモデル化する必要がある。本研究では、多地点において自動で土壌呼吸を連続測定することと、微生物呼吸と根呼吸の寄与割合を明らかにすることを目的とする。

2) 方法

大型自動開閉チャンバー(とマルチエアサンプリング自動切替装置)を開発し、16個のチャンバーをフラックスサイトの林床で半径15mの範囲で任意の場所に設置し、2002年の夏より現地調整を始めた。土壌呼吸の測定システムには、チャンバー中の空気をポンプによってCO₂分析計(LI-COR社製, LI-6262)に取り込み分析したのち、その空気を再びチャンバーに戻す閉循環式を採用し、その濃度上昇速度から土壌呼吸速度を求めるこ

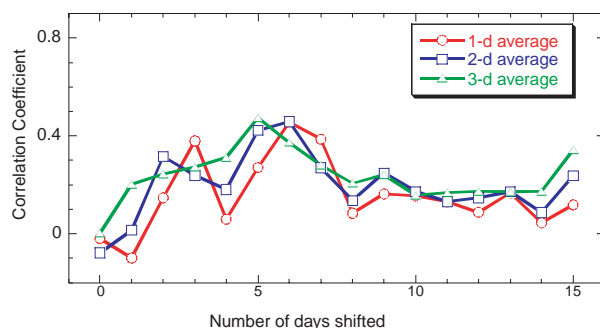


図18 ラグ相関解析の結果、呼吸起源CO₂の¹³Cは観測の5~6日目の水分条件ともっとも強い相関を持っている。

とした。この方法はチャンバー内の圧力が減圧/加圧になり土壌からの吸出/閉込の危険性がない。また、土壌呼吸速度と土壌環境条件との相関を明らかにするため、熱電対を用いて深さ5 cmの土壌温度、およびTDRセンサを用いて5～30 cmの土壌水分の測定も行った。

3) 結果と考察

従来、土壌呼吸の測定では、一台のCO₂分析計に対して一台の小型チャンバーしか接続されていないものが一般的である。同時に、測定期間が短期であったり、測定が年数回のもが多く、多地点を長期連続測定した例は少ない。今までの報告は、LI-COR社が世界的に販売している土壌呼吸測定システム(LI-6400-09)を用いて行った研究が最も多かった。このシステムは、携帯性と低消費電力等の長所があるが、測定面積が小さいことや、自動連続測定することができないという問題がある。森林生態系の炭素収支を解明するためには、統計的処理することや林分レベルにスケールアップするに十分な面積、あるいは多地点で自動連続観測できる土壌呼吸測定システムが世界的に期待されている。現在、地域的なフラックス観測ネットワークであるAmeriFluxとCarboEuropeでは、自動連続測定システムを製作して土壌呼吸の観測を行っている。それらのチャンバーの数はそれぞれ3個と6個となっており、総測定面積はそれぞれ0.48 m²と0.18 m²となっている。

CGERが開発した多点自動開閉チャンバー式土壌呼吸自動連続測定システムは厚さ1 mmの透明塩化ビニール板で作成した自動開閉チャンバー(90×90×50 cm)16個と、マルチエアサンプリング自動切替装置で構成されている。マルチエアサンプリング自動切替装置にはCO₂分析計、データロガー、エアサンプリングポンプ(5 l min⁻¹)、リレーボード、マニホールド電磁弁およびコンプレッサー等が装備されている。チャンバーの蓋の開閉はリレーボードの信号によってコンプレッサーの動力で行われる。本システムの総消費電力は平均12 Wであるため、商用電源がない場所でも75 Wのソーラーパネル2枚とバッテリー数個で連続動作が可能である。チャンバーは、その内部を周囲の自然条件と等しくするために常時開放しており、順番に蓋を閉じて測定を行う。チャンバーの蓋の開閉制御、CO₂分析計のデータ収録などはすべてデータロガー(Campbell社製、CR10X)によって制御している。各チャンバーの測定時間は225秒に設定し、16個のチャンバーの測定周期は1時間である。その

ため、一つのチャンバーの蓋は1時間のうち56分間以上が完全に開いているため、チャンバー中の土壌環境、すなわち温度と含水量などは外の環境とほぼ同じになっている。また、従来のチャンバーと比べてサイズが十分大きい(0.81 m²)ため、チャンバーの周辺効果(edge effect)は小さくなっている。また、本システムの総測定面積は約13 m²となっている。したがって、自動開閉チャンバーシステムは土壌呼吸の時空間分布を有効に測定できると考えられる(図19)。

苫小牧カラマツ林の土壌呼吸速度においては顕著な季節変化・日変化を示し、深さ5 cmでの土壌温度の変化とよく一致した(図20)。観測を始めた2001年6月中旬には土壌温度が低く(平均11℃)、土壌呼吸速度は平均1.8 μmol m⁻² s⁻¹であった。7月から9月中旬までの間は土壌温度は16℃前後を維持し、土壌呼吸速度も3.7 μmol m⁻² s⁻¹の高い値を示した。そして9月下旬から土壌温度が下がり、土壌呼吸速度も低下した。冬の間、積雪による土壌温度はほぼ0℃を維持し、土壌呼吸速度も0.2 μmol m⁻² s⁻¹の低い値を維持した。また、積もった雪が解けた春には、土壌温度の上昇による土壌呼吸速度は急

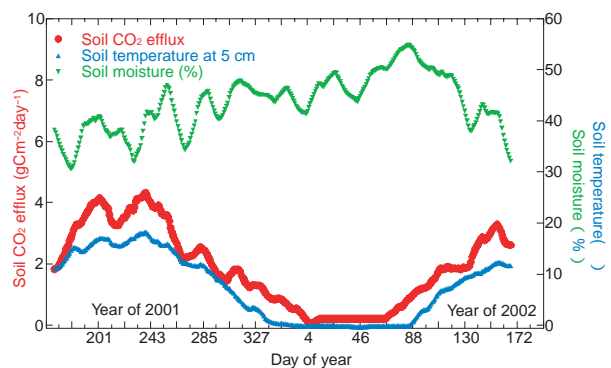


図19 苫小牧カラマツ林における土壌呼吸の季節変化

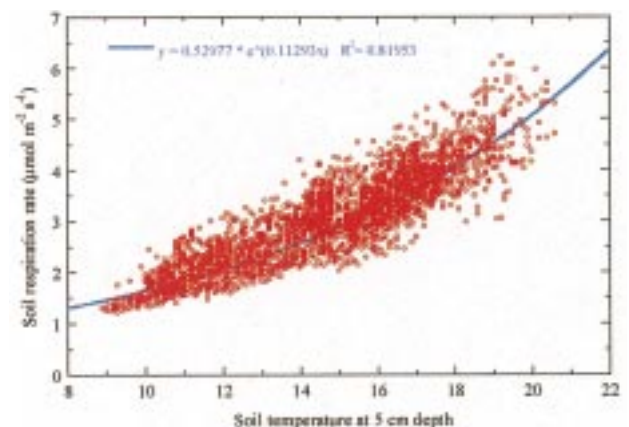


図20 土壌呼吸速度の温度依存曲線

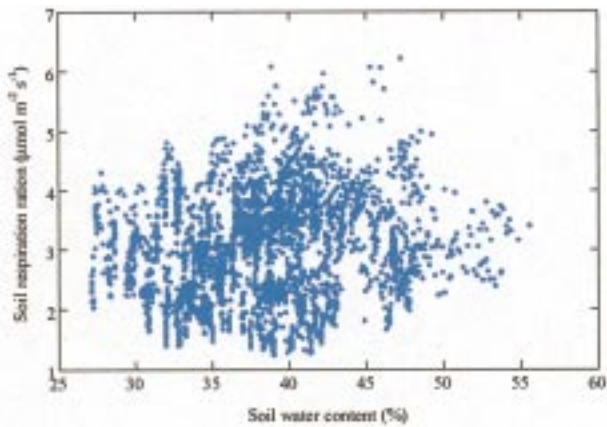


図21 土壌呼吸速度と土壌水分の関係

激に増加した。こうした結果を基に、苫小牧カラマツ林における土壌呼吸による炭素の放出量の積分値は $6.78 \text{ t} \cdot \text{C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ になった。一方、降水と土壌呼吸の関係をみると、降雨直後には土壌呼吸速度は一時的に著しく上昇した。しかし長期間には、土壌呼吸速度は土壌含水量と無相関であることが示唆された(図21)。降雨のある日とない日の土壌呼吸の温度係数 Q_{10} は、降雨のない日は大きくなる傾向があったが有意な差は認められなかった。

2.1.4 リモートセンシングとモデルを統合した吸収源評価

(1) はじめに

京都議定書の第一約束期間における3条3項、4項の活動に伴う吸収量を評価するカーボンアカウンティングシステムに関しては、1)炭素ストックのインベントリー情報(森林バイオマス等)の時間変化から推定するインベントリーアプローチ、2)計測可能なパラメータを変数とする炭素吸収モデルを用いて推定する生態モデルアプローチが考えられる。京都議定書の遵守判定に際しては、吸収量を国際ルールに従ってモニタリング(監視)し、また吸収量の評価結果については、レビューないし検証(Verification)を受ける必要がある。このため、吸収源活動の動態を正確に把握し、吸収量を評価し、さらには今後の吸収源活動を予測する手法の開発が急務となっており、リモートセンシングやGISをフルに活用した統合的な吸収源評価システムに関する研究が重要な課題となっている。

(2) 単葉レベルにおける、分光計測を用いたカラマツの光合成活性評価

単葉レベルにおける光合成活性は、森林全体の CO_2 の吸排出量を推定する際の基本要素である。そこで、単葉・葉群レベルでの光合成活性が、リモートセンシングで観測できる分光反射特性の変動としてどのように現われるか、逆に分光反射特性から単葉レベルでの光合成活性の評価が可能であるか、といった光合成活動と分光反射特性との関係の解明を行い、リモートセンシング観測の可能性について検討した。対象として、北方林の主要造林樹種であるニホンカラマツ(*Larix kaempferi*)を選び、比較するリモートセンシング手法として、葉内色素の光応答を反映したリモートセンシング指標として提案されているPRI(Photochemical Reflectance Index)の有効性を検討した。

観測実験は、2002年8月30日の6時から18時にかけて、国立環境研究所実験圃場内の4年生カラマツ林で分光反射率の測定と、光合成活性の連続測定(1時間ごと)を行った。樹冠上2.5mに設置した分光計で得られた531nmと570nmにおける葉面反射率(R)を用い、以下の式にしたがってPRIを算出した。

$$\text{PRI} = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570}) \quad (1)$$

分光反射と同時に、針葉の純光合成速度(P_n)、実効量子収率(F/F_m')および光合成有効放射束密度(PPFD)を測定し、 P_n とPPFDの除算値を CO_2 固定における光利用効率(LUE)として算出した。

PRIの日変動は、 F/F_m' とLUEと同様の傾向を示し、両者と有意な正の相関が得られ、PRIが葉の光化学系活性と光利用効率といった光合成機能をよく反映していることが示された(図22)。葉の純光合成速度はLUEとPPFDの積であることから、図22-bよりPRIを変数としたLUEの算出式を作成し、その値とPPFDとの積から、以下の式に示したような純光合成速度の推定値($P_{n\text{EST}}$)を試算した。

$$P_{n\text{EST}} = (\text{PRI} \times 0.4705 + 0.0414) \times \text{PPFD} \quad (2)$$

実測した針葉の純光合成速度(P_n)と、リモートセンシング情報(PRI, PPFD)から推定した $P_{n\text{EST}}$ の間には有意な正の関係が得られ(図23)、PRIを利用した純光合成速度推定の可能性が示された。より推定精度向上のために、PRIと高い相関関係が認められた光化学系活性の後の光合成反応系(酵素活性やガス拡散)を考慮したモデル化が今後の課題である。

(3) 群落レベルにおける、分光計測による光合成活性の評価

リモートセンシングによって森林全体のCO₂固定量を

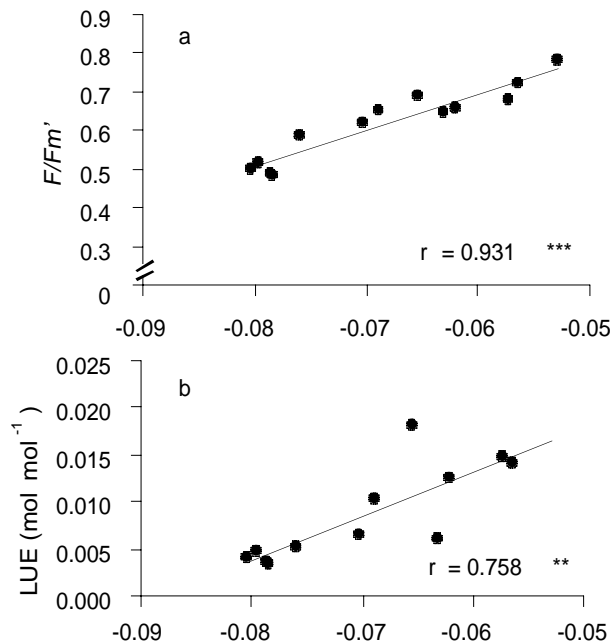


図22 PRIと (a) F/Fm' , (b) LUEの関係
Pearson's correlation test: **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$.

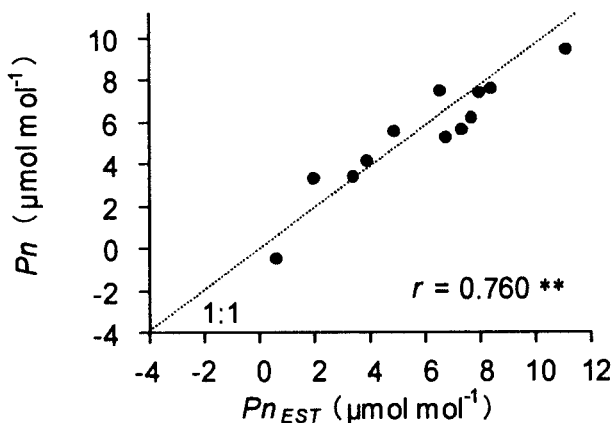


図23 リモートセンシング情報から推定した純光合成速度 (Pn_{EST}) と実測した純光合成速度 (Pn) の関係

評価するためには、前述した単葉レベルから群落レベルへの発展が必要である。PRIは光依存性の高い指標であり、群落レベルでPRIを評価するためには、PRIの日変動と、太陽の方位角・高度との関係を明らかにしておく必要がある。そこで、カラマツ林において、分光計を回転させて観測を行い、PRIに対する太陽方位角の影響について検討を行った。図24は12:30のカラマツ群落上のカラー合成画像であり、上側が北の方向である。図25に、9:30、12:30および15:30におけるPRIの強度画像を示した。太陽光線に照射されている樹冠面(葉群)ではPRIの低下(青色 赤色)が認められ、赤色部分は太陽の日周運動と共に群落内を移動する傾向にあった。前述した単葉レベルの測定結果より、このPRIの低下は、強光ストレスによる光化学系活性の低下を反映した結果と予想される。

このように、群落レベルの観測では、光合成ストレスによるPRIの日変動が検出でき、さらに、太陽方位に依存したその変動特性も明らかになった。今後は、単葉レベルで検証を進めているPRIと光合成活性の関係を群落レベルにスケールアップするため、葉、あるいは葉群の構造と方向性をモデル化し、光散乱プロセスを解明し、群落全体の光合成活性を評価する予定である。

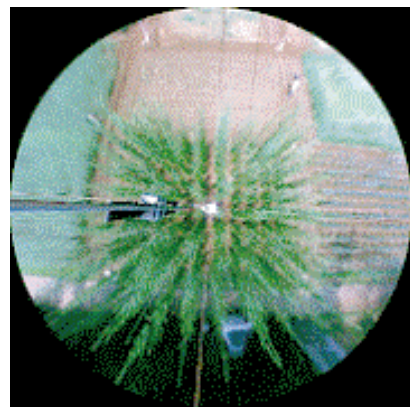


図24 分光カメラによる群落上からの合成写真

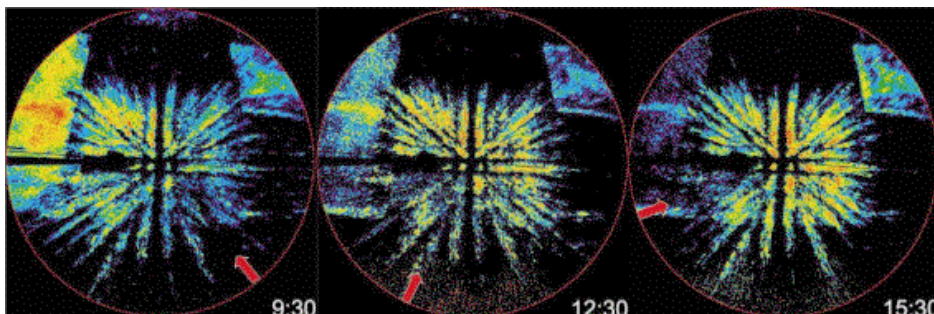


図25 PRIの強度画像
2002年10月4日の9:30、12:30、15:30に測定した分光データから計算した方向別のPRI。赤系の色はPRIが低く、青系の色はPRIが高いことを表している。赤色で示した矢印は太陽の方位を表しており、9:30、12:30、15:30の太陽高度はそれぞれ41°、47°、21°だった。

(4) 各種植生指標を用いた植生フェノロジーの抽出と問題点

森林の年間生産量は、日々の光合成活動の把握に加え、植生の活動時期・期間を把握することが重要である。特に生態系プロセスモデルによる年生産量のアプローチには、この活動期間（フェノロジー）の情報が不可欠である。これまで生態系モデルへの入力フェノロジーとしては、衛星リモートセンシングによるNDVI値の季節変動を主に用いていたが、NDVIは必ずしも生産活動を直接的に示すものではないことから適用限界を明確にしておく必要がある。そこで、苫小牧フラックスリサーチサイト（カラマツ人工林）のフラックスタワー最頂部（地上高40m）に装着された分光日射計データから、NDVIを始めとする4種類の植生指標と、CO₂フラックス値および葉面積指数の季節変化とを比較した（図26）。CO₂フラックスとの比較では、カラマツの萌芽後から展葉時期における植生指数GEMI（Global Environmental Monitoring Index）値の増加傾向が、CO₂フラックスの変化傾向とよく一致していた（図26-b）。これに対し、植生指標として一般的なNDVIは、CO₂フラックスの季節的な変化の傾向とは一致しなかった。NDVIは春先の融雪に伴う値のジャンプがあり（図26-a）、また6～10月の活葉期に値がほぼ一定となる。ただし、紅葉期における各種植生指数の低下傾向とCO₂フラックスの変化は一致しない。これは光合成活動が低下した葉が落葉せずに残るため植生指数の低下としては現われないためと考えられる。

次に、積雪期以外の葉面積指数（LAI）の季節変化と、植生指数の季節変化を比較した（図26-c）。GEMIは融雪に伴う値の上昇が無く、開葉時期において、他の植生指数に対して最も遅い時期に値の上昇が始まるが、開葉

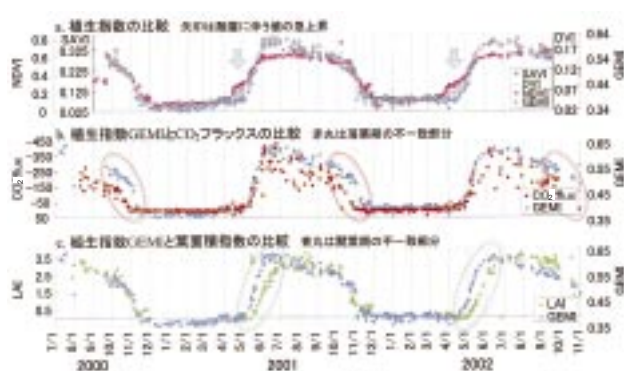


図26 植生指数とCO₂フラックス、LAIの比較

期のGEMI値の上昇はカラマツのLAIの増加とは1～2週間ほど早期に開始する傾向があった。これはカラマツ林床部の草本植生などの影響とも考えられる。一方で落葉期におけるLAIとGEMIの低下傾向は一致が認められた。

以上の結果から、可視と近赤外域の分光反射率による植生指数は大まかな植生の季節変動を示すものの、LAI、CO₂フラックス共に変動パターンには時期的なギャップが存在している。落葉性のカラマツ以外の、常緑樹の場合にはCO₂フラックスと植生指数の季節変動はさらに一致しないことが予想される。よって、生態系モデルへの貢献を始め、CO₂フラックスの日変動など短期的な植生の光合成活動を把握し、ポイント的に計測されるフラックスタワー値を広域化していくためにも、前出のPRIを始めとした光合成活動に伴う生化学的な変動を把握できるリモートセンシング手法の一層の改良が必要不可欠である。

(5) 生態学アプローチによる吸収量評価モデルの開発 1) モデル構築の方針

吸収量評価システムの構築に際しては、広域な推定において不確実性を抑制する必要がある、適度な複雑さを持つモデルの開発が重要となる。本研究では、モデルの複雑さとパラメータ設定に関しては以下の方針に従いモデル構築を進めることとした。

- ・吸収量算定に影響を与える入力パラメータをできる限り妥当な値に設定する（テストサイトのデータに対する過剰適合を避ける）。
- ・過度に複雑なモデルでは観測データが得られないのでモデルは複雑なものにせず、広域にわたり推定値を得ることができるようパラメータを限定する。
- ・森林・気象関係のデータ（樹種、樹齢、気温、日射量等）を地理情報化し、1 kmの分解能のメッシュデータで与える。
- ・この分解能で指定できないパラメータについては、過去の実験的モデル（オズナブルック生物圏モデル等）から得られた値に設定する。

広域の吸収量評価モデル構築のアプローチとしては、森林インベントリー情報から推計する方法と生態学プロセスを定量化する方法が考えられる。森林インベントリーに基づいたアプローチでは、樹木の材積量（幹部分の体積）の推定値から、森林の炭素ストック量を推定し、

その時間変化から炭素吸収量を推定する。このモデルでは、これまでに林業に関連して蓄積している情報を活用する利点があるものの、材積量から森林全体のバイオマス（体積）を推定する係数（Expansion Factor）や、土壌やバイオマス中の炭素含有量を推定する係数（Conversion Factor）の不確実性が問題となる。一方、生態学アプローチでは、森林生態系の炭素吸収に関与する各プロセス（光合成量、植物呼吸、落葉・残材、土壌呼吸、伐採等）を、各種計測データに基づいて直接モデル化することが可能であり、本研究では、生態学アプローチを採用した。

2) モデルの入出力パラメータ

本研究で開発するモデルにおける主要変数と入・出力パラメータを図27に示す。入力パラメータは、気温、降水量、光合成有効放射量（PAR）、FPA/E、土壌生産性、伐採期間の長さ等の気象・森林情報である。本モデルを用いたシミュレーションにおいて、気温・日射量等の気象情報は、アメダス等の気象観測データを基に、森林情報は市町村レベルの森林統計情報を、それぞれ1 kmメッシュに補間して整備されたものである。なお、土壌の生産性については、現在サブモデルを開発中である。人工林における伐採期間については、今後、様々なシナリオケースや実際の森林管理履歴に基づいて評価することが可能であるが、暫定的に70年の伐採期間を想定し、樹齢情報から伐採時期を計算している。一方、本モデルによって出力可能なパラメータは、光合成の総量に当たるGPP、植物による呼吸量を差引いたNPP、さらに土壌による呼吸を差引いたNEP、そしてさらに伐採等の影響を差引いたNBPであり、京都議定書では、森林伐採については伐採時点において排出とカウントされることになっているため、3条3項、4項活動として登録される森林におけるNBPが、吸収量としてカウントされることになる。

本モデルでは、森林生態系全体の炭素ストックの長期的な変動を評価することが可能である。森林が立地する地域の気象条件から、長期的な平衡状態において蓄積する土壌中の炭素ストック量（腐食速度の違いによって3層に分ける）を推定し、リッター供給量に従って土壌炭素の動態を予測することが可能となっている（図27）。

3) モデルによる分析結果

開発されたモデルを用いて、北海道における自然林を伐採した場合の森林生態系の炭素ストック変化をシミュ

レーションした例を図28に示す。この図から、伐採直後は、森林からのリッターの供給がストップし、林床に日射が当たって温度が上昇するため、森林が再生してリッターが再度供給されるまでの期間、地上部の炭素ストックは単調に増加しているものの、土壌中の炭素ストックは減少することが分かる。

次に、本モデルと上述のデータを用いて日本全国の森林生態系（人工林）に蓄積している炭素ストック量の推定を試みた結果を図29に示す。モデルによる吸収量を総計すると、現時点における日本の人工林における炭素

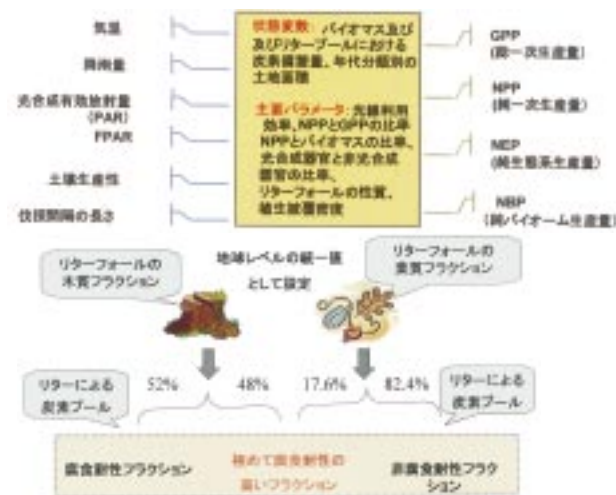


図27 モデルの主要変数と入力・出力パラメータ

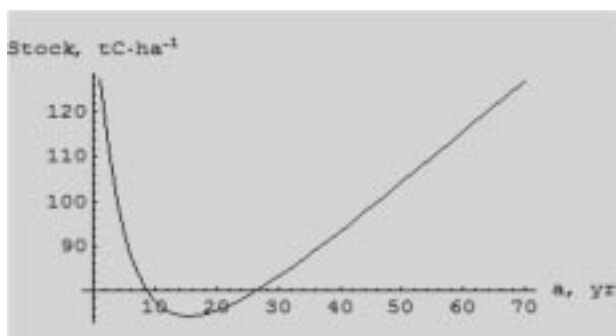


図28 モデルによる森林伐採後の炭素吸収量の時間変化予測

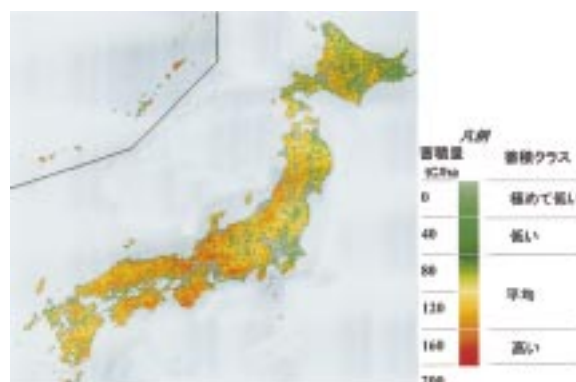


図29 モデルによる森林生態系炭素ストック量の推定

ストック総量は1.4 Gt Cと推定された。

また同様に、本モデルを用いて、日本全国の森林生態系（人工林）の年間炭素吸収量を推定した結果を図27に示す。推定結果から、森林バイオマスの成長量に相当する純一次生産量（NEP）は140 Mt C/yr，土壤呼吸や伐採等に伴う排出を差引いた森林生態系における正味の炭素吸収量に相当する純生態系生産量（NBP）は18 Mt C/yrとそれぞれ推定された。

4）フラックスデータを用いたモデルの較正と高度化

次に、実測データに基づく吸収量評価モデルの高精度化を目的として、フラックスタワー（高山）におけるCO₂フラックス観測データを用いて、モデルの較正・検証研究を実施した。観測されたフラックスデータを用いて、吸収量評価モデルの較正（キャリブレーション）を実施するため、一方でモデルを用いて、現地で観測された森林・気象データ（PAR, fPAR）から光合成量を算出（光合成モデルの式）し、他方でフラックスデータから、同様に現地で観測された土壤呼吸量に基づいて推定された全生態系（植生+土壤）呼吸量（全生態系呼吸量モデルの式）を差引いて推定された光合成量を比較によって、森林（ミズナラ，シラカンバ）植生と下層植生（クマイザザ）の光合成パラメータ（最大光合成量，最適気温）を逆推定した（図30）。

較正されたモデルを用いてフラックスサイトの森林における光合成量をシミュレートした結果を実測のフラックスデータから推定した結果と重ねて図31に示す。図が示すように、森林生態系における光合成量の時間変動を本モデルによって高精度に推定可能であることが示された。推定された光合成量の比較から、下草による光合成量が森林の2割近くもの値となっていることが分かる。常緑のササが、気温が低い段階から光合成を開始し、森林の葉が展開して日射量が減少して光合成が抑制され、また森林の落葉後に再度光合成が行われている。

2. 1. 5 京都議定書における吸収源の取扱と炭素管理オプションの統合的検討に関する研究

（1）はじめに

森林等の炭素吸収源の取扱いは、京都議定書の重要な交渉論点のひとつである。幸い、COP7において合意（マラケシュ合意）が得られ、京都議定書は早ければ2003年中にも発効する予定である。また2005年には京都議定書の第二約束期間についての交渉が開始される予定

である。このような状況の中、京都議定書に関する科学技術的知見の整備が喫緊の課題となっており、吸収源に関しては、第一約束期間における吸収量の算定手法に関する検討と、第二約束期間以降の中長期的な吸収源の動向に関する検討が必要となっている。

（2）京都議定書における吸収源の取扱い

COP3（京都会議1997年12月）において、植林等の吸収源活動が、各国が約束した数値目標の達成に利用可能な対策として認められたことは、多くの政策担当者にとって予期せぬことであった。このため、その科学技術情報を含めた十分的な検討が事前に行われぬまま、吸収源が議定書に繰り入れられ、その解釈をめぐる交渉が、COP3以降も継続的になされてきた。そしてようやく2001年のCOP7において、下記の内容の吸収源に関する国際合意（マラケシュ合意の一部）が成立した。

1）3条3項の定義

京都議定書3条3項では、1990年以降の新規植林（Afforestation）、再植林（Reforestation）、森林減少（Deforestation）の3つの活動（ARD活動）が数値目標達成のための温暖化対策（ただし森林減少は排出活動）として認められた。新規植林は、森林状態になかった土地

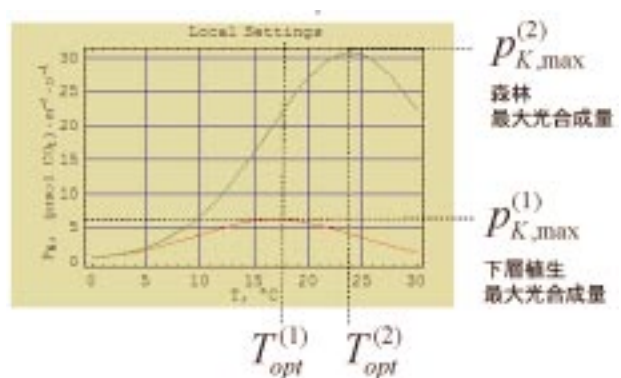
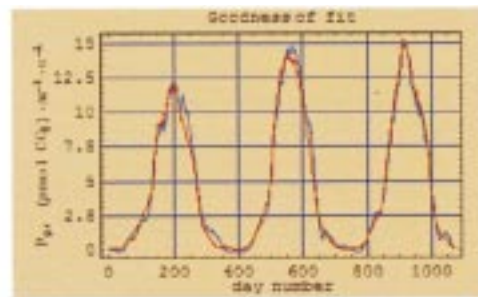


図30 フラックス計測値とモデル推定値の比較



赤 - シミュレーション結果 青 - フラックスデータ

図31 フラックスデータによる光合成パラメータの較正

を、直接人為的に森林に転換する活動。再植林は、一旦は森林であった土地を再度直接人為的に森林に転換する活動。森林減少は、森林を非森林に転換する直接人為的活動として定義された。

2) 3条4項の定義

3条4項では、1990年以降に実施された追加的人為的な活動による吸収源の拡大が、数値目標を達成するための温暖化対策として認められることとなった。3条4項活動としては、植生回復 (revegetation)、森林管理 (forest management)、農地管理 (cropland management)、牧草地管理 (grazing land management) の4つの活動を選択することが可能であり、交渉が最も難航した森林管理は、環境 (生物多様性を含む)、経済、社会的機能を発揮させることができるように森林を持続的に管理する取り組みとして定義された。

3) カウントされる炭素ストック変化

3条3項、3条4項の活動については、約束期間中の森林生態系全体における炭素ストック変化量が、吸収量としてカウントされることになる。地上部だけでなく、地下部 (土壌、地下部バイオマス等) の炭素ストック変化も含めた計測が必要である。地下部も含めることによって、吸収量が3割程度多くなることが一般的であるが、植林直後には、かえって地下部の炭素ストックが減少することもある。図32に、地上部と地下部の炭素ストックが、植林後にどのように変化するかを模式的に示す。京都議定書における吸収源活動の評価で、最も誤解が生じやすい点は、約束期間と伐採時期との関係である。図33に、1990年以降に、植林 (森林管理) が実施されたケースを示す。植林 (森林管理) された樹木が、約束期間において成長を続ける場合、約束期間 (2008~2012年の5年間) 中の炭素ストック変化のすべてが吸収としてカウントされる。一方、約束期間において伐採がなされた場合には、約束期間における炭素ストック変化がマイナスとなり、約束期間における変化は排出としてカウントされることになる。

(3) 炭素管理オプションの統合的検討に関する研究

1) 炭素管理に係わる統合予測モデルの開発

中長期的な陸域炭素管理オプションを評価し、人間活動と自然生態の相互作用を考慮した、炭素管理にかかわる統合予測モデルを開発するため、陸域炭素管理オプションの評価と統合的炭素管理分析モデルの開発を実施す

る。

・陸域炭素管理オプションの評価

陸域炭素収支の変動を予測し、陸域炭素収支と人間活動との相互作用をモデル化することによって、炭素吸収源活動を活用した中長期的な陸域炭素管理オプションのポテンシャルを定量的に評価する研究に着手した。

本年度は、モデルに入力するデータベースの整備を行うと共に、植林・森林管理活動の予測を、複数の土地利用変化モデルを用いて予備的に実施し、陸域炭素吸収源を最大限に活用した炭素管理オプションの総合的なポテンシャル量の評価を試みた。

・統合的炭素管理分析モデルの開発

各種の炭素管理オプション (吸収源活動等) を実施するための最適戦略 (動的なポートフォリオ) を、高い不確実性 (リスク) の下における適応的な国際レジーム形成の視点から検討するため、炭素管理の目標設定 (第二約束期間以降の吸収源活動の取扱い等) に関する分析を統合的 (科学技術と政治経済) に取扱うことが可能なモ

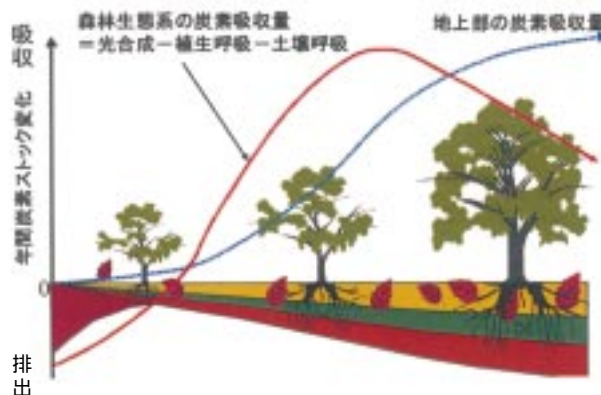


図32 森林の地上部と地下部への炭素蓄積量の変化

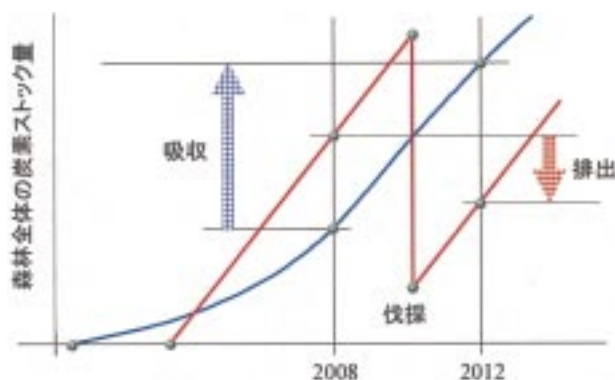


図33 伐採に伴う炭素ストックの変化

植林された樹木が、約束期間において成長を続ける場合、約束期間中の炭素ストック変化の全てが吸収としてカウントされる。約束期間において伐採がなされた場合には、約束期間における炭素ストック変化が排出としてカウントされる。

デルの開発を開始した。

本年度は、グローバルに最適な炭素管理オプションの中長期的な実施戦略が、国際的な目標として設定されるプロセスを明示的に分析するために、目標設定に関する継時的な国際交渉プロセスをシミュレートする研究に着手した。研究の結果、微分ゲーム理論を応用したモデルの開発に成功し、国際協調が得られる場合に実現可能な目標設定（協力解）と、動的なゲーム的情况において実際に国際合意可能な目標設定（マルコピアン・ナッシュ均衡）の違いを定量的に分析することが可能となった。

2) 炭素管理オプションの総合評価

中長期的な炭素管理を実現するためには、どのようなレジーム（制度）が望ましいのか、他の国際レジームとの関連も考慮し、レジームの有効性の要件に関する各種分析を実施する。

・非政府アクターの役割

環境NGOや企業に代表される非政府アクターは、各国内および政府間の意思決定に様々な影響を与える、国際気候レジーム形成上の主要な因子のひとつとして政治学や社会学の分野で認識されている。本研究は、有効な国際気候レジームの促進に非政府アクターが果たす役割を明らかにするために、特に国際環境NGOと環境NGOの国際ネットワークが、科学コミュニティー、企業、政府および政府間、それぞれの意思決定に与える影響の分析を行うことを目的とする。

平成14年度は、1) 日本の大手家電メーカーの製品開発に関する事例研究における、企業の意思決定に国際環境NGOが与えた影響の分析、2) 気候変動政策の国際化に伴う環境NGOの国際ネットワークの意義と潜在的可能性の分析、3) 環境NGOが科学コミュニティーに与えてきた影響、および科学的知見を通じて政府間意思決定に与えてきた影響の分析、を行った。1)に関しては、環境NGOが知見を媒介することによって、特定の技術の主流化を共通の目的とする自律的ネットワークが多様なアクターによって形成され、市場でのニッチ管理が行われたことが明らかになった。2)に関しては、ボトムアップ的な国際的共通認識の形成を必要とする衡平性の問題などの、国際的公論形成と学習プロセスの場としてのネットワークの意義が明らかになった。3)に関しては、欧米でのインタビュー調査と文献調査を行った。4月より調査のまとめ作業に入る予定である。

・科学アセスメントの影響

京都議定書を初めとする国際制度では、科学的知見が大きな影響力を発揮する。吸収源評価もその例外ではなく、そのため、どのような科学アセスメントがどのような影響を国際制度（人為的活動の枠組み）にもたらすのかを明らかにすることが重要となってくる。そして科学アセスメントは、国際レジームの一部を形成し、国際レジームのエージェントが持つ便益／費用勘定やその根本的な世界観まで変えてしまう影響力を持つため、科学アセスメントの分析はエージェントベースモデルにおけるアクターをどのように設定するか等を考える上で重要となってくる。

国際制度における交渉では、学術研究とは違う振り舞いをする科学アセスメントが各国の意思決定に大きな影響を与え得ることが分かってきている。本研究では、そうした科学アセスメントの実施過程とその方法論を、欧州酸性雨レジームの事例をもとに分析し、それをディプロマトリ・サイエンスとしてモデル化した。今後の課題として挙げられるのは、「ディプロマトリ・サイエンス」モデルを他のレジームのケーススタディに適用することによって一般化・詳細化し、このモデルをもとに、気候変動交渉の合意形成に資する科学アセスメントのあり方の検討することである。

・履行確保メカニズムの可能性

国際法上の義務の履行確保に関しては、具体的な条約義務の履行を各国の国内法に大幅に委ねつつも、19世紀以来、国際組織の設立等を通じて様々な分野で制度化されてきた。特に今日では国際法上の義務違反に関し、条約締約国の協力に基づく国際管理型の履行確保方式に関心が集まっており、とりわけ監視制度や報告制度の意義の検討がさかんに行われている。国境を越えた環境損害や地球規模の環境損害が主要な関心事項となった今日、国際環境問題に関わる条約の遵守は、そこにいかなる国際レジーム（制度）が必要な関係当事国を含んで形成・促進されるか、さらにそこで実効的な履行・遵守手段が設定され得るかどうかにかかっている。国際環境問題に関する法的規制はまさしく、一方でその実効性の確保が各国の国内法に委ねられてきた分野であり、他方で専門的かつ国際的な管理体制を整えようとしている分野である。

国家の国際義務違反に対しては、従来、国家責任を追究したり、紛争解決手続に付したりすることによって、平和的な解決を図ったり、貿易制限のような、他のレジ

ームとの連携を通して義務の履行を確保するように努めてきた。これらの既存の国際法の履行確保の諸形態を再検討し、その有効性と限界を明らかにすることは、今日の問題への課題を導き出すために不可欠である。したがって、本年度は、今後の研究の基盤として、まずこれらの諸形態の整理と再評価、既存のレジームの再検討を行った。その上で、地球環境問題をめぐる今日の問題の解決に必要となる、予防原則、国際社会の共通利益概念等、新しい概念の確立のために、これらの概念の出現の経緯を検討し、それらを一般国際法の中で確立するための要件の検討を開始した。

今後は、上記二点を踏まえて、国際法の履行確保の形態を対立的手段（国家責任の追及、紛争解決手続への付託等）と非対立的手段（履行促進、支援等）に分類し、気候変動における諸問題ごとにその可能性および限界を検討する。そして、国際環境法において発展させうる概念や原則を一般国際法の中に位置づけ、より実効的なレジームを確立させることを目指す。

2.1.6 太平洋域の人為起源二酸化炭素の海洋吸収量解明とその制御に関する研究

(1) はじめに

海洋は大気中に放出された人為起源二酸化炭素の吸収源として働いているが、その吸収が将来どう変動するか予測することは、二酸化炭素の排出規制を決める上できわめて重要である。現在の海洋の二酸化炭素吸収を定量化し、予測モデルを正確にするために、現在までに得られている国内外機関の海洋表層二酸化炭素データを活用して、特に北太平洋の二酸化炭素正味吸収量を解明することを目標とする。また、海洋表層二酸化炭素分圧と海水中の全炭酸・アルカリ度など炭酸系物質の化学分析の正確さを保証し、国内的、国際的なデータの統一利用を可能にするための、分析標準化を行うこととしている。

(2) 商船を利用した表層海洋二酸化炭素の観測

1) 経緯

地球環境研究センターでは、1999年11月から2001年5月にかけての商船三井株式会社所属コンテナ貨物船、アリゲータホープ号の東京・シアトル・バンクーバー航路で、北太平洋表層海洋二酸化炭素の観測を行った。船上観測で得た気象要素（気温・湿度・日射・風向・風速・気圧）、大気観測で得た大気二酸化炭素濃度、オゾン濃

度、表層海洋観測で得た水温、塩分、二酸化炭素分圧、栄養塩、植物色素などについて、データ確定を行った。風向、風速の相対観測値は、航海データ（船速・船位）によって補正し、絶対風向・風速とした。船上に搭載した非分散赤外分光光度計による大気・海洋二酸化炭素測定値は、国立環境研究所の標準ガススケールに基づく分率値に換算した。海洋の二酸化炭素分圧値は、二酸化炭素分率値と気圧、水蒸気圧、船内配管による水温上昇などの測定値による補正をかけて算出した。これらのデータセットは、1995～1999年のSkaugran号観測（図34）とともにインターネット上で閲覧・利用可能とした。

また、アリゲータホープの日豪航路への航路替えに伴い、北太平洋海域での海洋表層二酸化炭素測定継続のために、トヨフジ海運所属ピクシス号への設備移設行いつある。

2) 観測結果の特徴

観測済みデータ解析によると（図35）、2000年夏に、東部北太平洋亜寒帯域（アラスカ湾海域）で発生した例年にない植物プランクトンの急速な増加プロセスが明らかになった。アラスカ湾海域にはカナダの海洋観測定点点ステーションP（北緯50度、西経145度）があるが、その定点の北である北緯55～51度の海域で、2000年6～7月に植物プランクトンの例年にない増殖がみられた。この海域では、1995年からの国立環境研究所とカナダ海洋研究所の共同研究による表層二酸化炭素分圧観測データが継続的に得られており、二酸化炭素分圧の季節変化は小さく、海洋 - 大気に分圧差が $\pm 20 \mu \text{atm}$ に維持されることが分かっていた。これは、春から夏に起こる海域の生物生産により無機炭素が固定されて起こる表層海水の二酸化炭素分圧低下と、その季節の水温の上昇による分圧上昇がつりあっていることと、秋から冬にかけて起こ

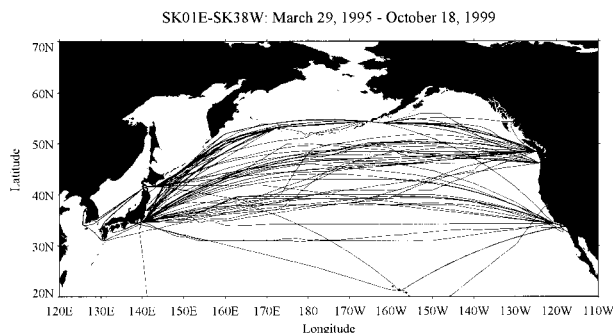


図34 Skaugranによる1995年3月から1999年10月までの観測航路図、38往復
このうち36往復半の航海で海洋CO₂観測がなされた。

る亜表層海水と表層海水の混合による分圧上昇と、水温低下による分圧低下が付きあっていることによる。

しかしながら、2000年6月の貨物船（アリゲータホープ号）観測、東西相方向航海データで、 -52 および $-67 \mu\text{atm}$ が記録されるという観測開始以来初めての現象が見られ、海域の二酸化炭素分圧が例年になく低下したことを示した。衛星観測によると、2000年には5月10日頃に、アラスカ湾にダストが及ぶ大きなイベントがあり、それ以降はイベントがない。二酸化炭素分圧の低下は、貨物船で観測している植物プランクトン蛍光光度の高まりと一致しており、植物プランクトン増大が原因であると推測された。その大きさは、東西に600kmほどの大きなスケールであった。植物プランクトン量の指標であるクロロフィル量は最大値が $3 \sim 4 \mu\text{g/l}$ まで高まった。この例年のない植物プランクトンの増殖に伴う栄養塩類の変化を、貨物船観測、カナダ海洋研究所観測船Tully（6月）、北海道大学おしよる丸（7月）の海洋観測データを総合して見ると、ステーションPより北の海域が応答した海域で、南北スケールもほぼ600kmであった。この応答した海域では、硝酸の濃度低下は例年の夏の生物生産とそれほど変わらないのに対して、ケイ酸が枯渇するような濃度低下であり、ケイ藻が増殖したことを示している。通常の年のアラスカ湾海域は、海水中の鉄濃度が低く、鉄を必要な栄養とするケイ藻の増殖がその制限によって高まらないと考えられている（図36）。二酸化炭素と栄養塩の観測値から推定される表層海水の無機炭素固定量は、 $1000\text{mgC/m}^2/\text{day}$ 程度かそれ以上と推定され外洋域ではまれな大きさであるといえる。見られた現象は5月のダストイベントが及ぼす効果であると考えられ、

鉄制限海域における大気経由の栄養供給が重要であることが示された。貨物船による観測は、一定の海域の繰り返し測定を続けるので、このようなイベントが生じた時の事後の解析に極めて有効である。

ステーションPでは1970年代に定点気象観測船が常に観測を続けていた時代に、10年間に3回のケイ酸枯渇現象が見られた。しかしながら、1981年以降、定点観測船が廃止され、年3回程度の定点観測となって以来、このようなイベント現象の把握が困難になっていたが、1995年からの貨物船観測により、現象把握が可能となった。1995年から2000年におけるアラスカ湾海域は、比較的年々変動が小さかったが、2001年にイベントが起こった。海域の二酸化炭素吸収・放出の年々変動の評価には、エルニーニョ・ラニーニャのような大規模な海洋循環変化現象との関係評価が求められているが、微量栄養塩制限がある亜寒帯海域には大気経由ダストのような別のコントロール要因がありうることを示唆した観測結果であった。

3) 貨物船観測による年々変動解析

ここでは、6年間のデータ解析から新たに発見された北太平洋高緯度海域の海洋表層 pCO_2 の年々変動についての解析結果を示す。

1995年から1999年のSkaugranデータから得た北太平洋中高緯度海域の pCO_2 分布は、1960年代から1995年までのデータに基づく気候値とほとんど差がなかった（Zeng *et al.*⁶⁾）。このデータ解析の過程でも、年々変動の抽出を試みが、明瞭な答えが見いだせなかった。そこで、1995～1999年のSkaugranと1999～2001年のAlligator Hopeデータを合わせて使って、新たな方法で年々変動の客観解析を

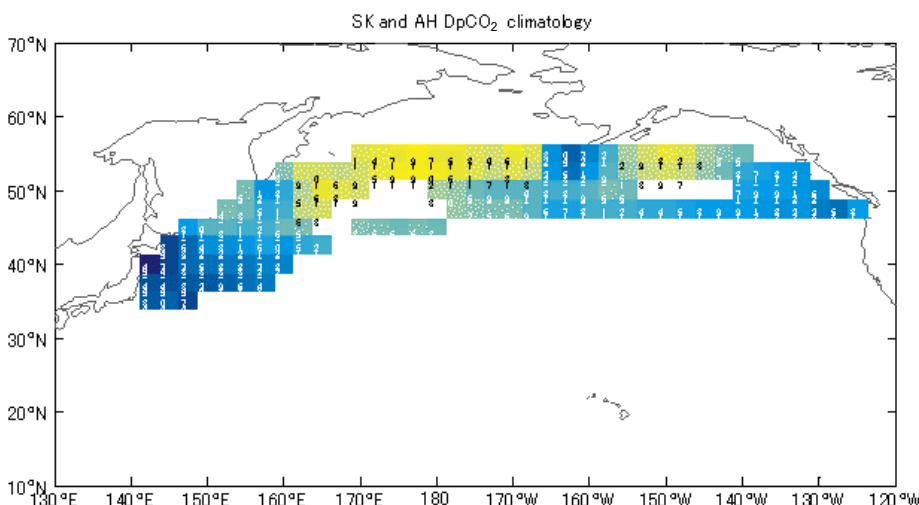


図35 Skaugran, Alligator Hopeの1995年3月から2001年5月までの観測データを用いた北太平洋の年平均海洋 pCO_2 分布図（海洋マイナス大気、単位 matm ）黄色が海洋の CO_2 分圧が高い（放出）海域で青が低い（吸収）海域である。

行った。その結果、新たな6年データによるこの海域の $p\text{CO}_2$ 気候値マップが得られた(図37)。この気候値マップは、データに季節の偏りが入ることをさけるため、次の操作を行った。4.5×4.5度のグリッド内について4つの季節をカバーする観測がある年を選び出し、それが3年以上あるという基準で有効グリッドを決めた。各年の季節平均から各年の年平均値を求め、その3年以上の平均が気候値であると定義した。このグリッド解析を

2.5×2.5度の地図上グリッドに対して行った。その結果、従来解析で(Zeng *et al.*⁶⁾)は示すことができたカリフォルニア沖海域などは季節カバーが不十分と判定され値が得られなくなった。反面、この解析では、季節を完全にカバーする年だけをデータ有効としたことによって、仮定や内挿を避け、不確実性を少なくした。このマップと、毎年毎年のマップの比較を行うと、年々変動が示される。各年のマップ作成においても、4.5×4.5度のグリッド内に4つの季節の観測値があるという条件でグリッドデータの有効無効を判断したので、海域カバーは悪くなった。そして、各年の年平均値が得られ、なおかつ、6年データによる気候値が得られたグリッドだけについて、各年のマップを作成した。マップでは各年の年平均 $p\text{CO}_2$ 値と $p\text{CO}_2$ 気候値の差を表現した。

その結果として、プラスマイナス20matmほどの振幅で、この海域では $p\text{CO}_2$ の年々変動があることが明らかになった。1998年のような全域でやや低めの年、2000年のようなやや高めの年がある。ただし、明瞭な高低は、局所的におこるのであって、西部亜寒帯太平洋、東部亜寒帯太平洋というような海盆全体で起こる現象ではないことが分かった。これに対して、水温の年々変動は、より広い範囲で起こっていた。

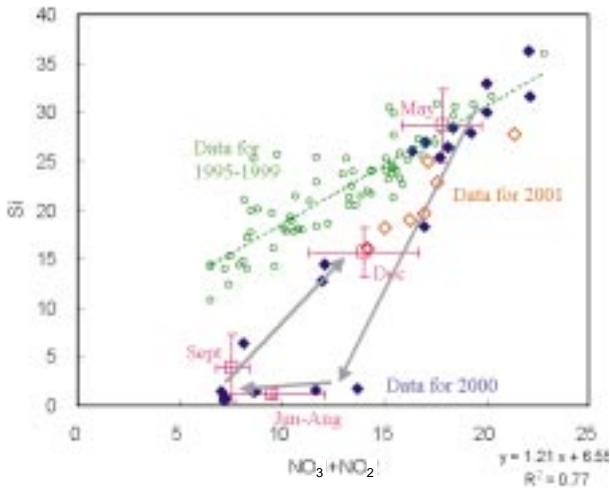


図36 平均値とずれた珪素濃度が観測された次期珪藻が増殖したことを示唆する。

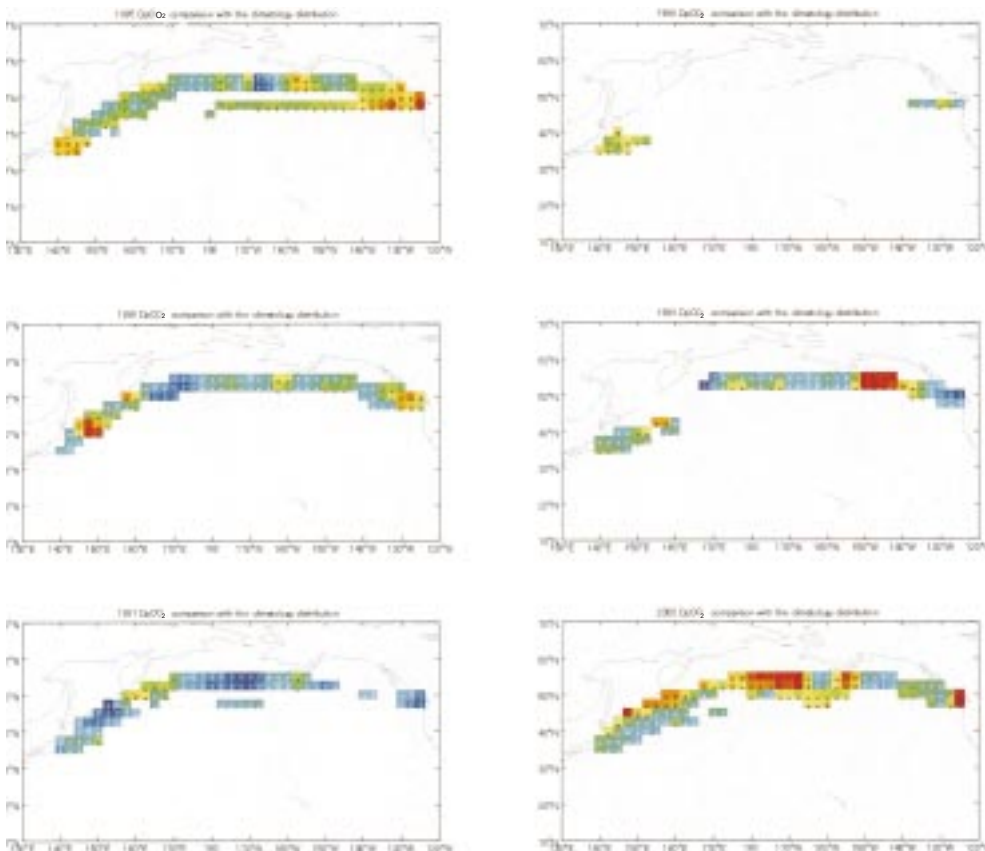


図37 Skaugran, Alligator Hopeで観測した北太平洋の海洋 $p\text{CO}_2$ の各年の気候値からのずれ。赤が平年値より高いことを示し、青が低いことを示す(単位matm)。

そこで、西部亜寒帯、ベーリング海、東部亜寒帯というスケールでの平均現象を見る目的で、それぞれ4つの範囲について6グリッドの平均値を求めた。これによると、海盆内で高い $p\text{CO}_2$ や低い $p\text{CO}_2$ が見られる場合、その海盆の他の場所でその反対方向の $p\text{CO}_2$ 変化があるように見える。そこで、その4グリッドの平均を西部亜寒帯海域（千島列島沖からカムチャッカ沖）、東部亜寒帯海域（アラスカ湾）で求め、その経年変化を見た（図38）。これによると、特に西部亜寒帯海域では、年々変動がなくなり、海盆全体では毎年の $p\text{CO}_2$ 変化が著しく小さいことが明らかになった（図38（a））。一方、ベーリング海のような小さめの海域には（図38（b））、より大きな $p\text{CO}_2$ 変動が見られ、これは水温の経年変化とより強い関係を持つということが分かった。

Skaugran, Alligator Hopeで観測した亜寒帯海域では、毎年の水温変動が認められており、この観測期間では、1997年の1～3月が高水温、2001年1～3月が低水温であった。ベーリング海では、低水温で冬季の鉛直循環が進み高い全炭酸の海水が表層にもたらされて $p\text{CO}_2$ 平均値が上がるとということが推定される。この効果は、西部亜寒帯、東部亜寒帯という大きな海盆スケールでは明らかにならないことが分かった。このような詳細な $p\text{CO}_2$ の年々変動は、これまで、東部赤道太平洋でしか知られていなかった。その海域はエルニーニョ、ラニーニャの周期で、海水の鉛直混合形態が激変するので、エルニーニョ年には低い $p\text{CO}_2$ 、ラニーニャ年には高い $p\text{CO}_2$ となり、 $\pm 50\text{matm}$ もの幅で変化する。これに比べて、東部・西部の亜寒帯北太平洋では ± 3 、あるいは、8という小さな年々変動しかないということは、極めて画期的な解析結果であり、 CO_2 吸収を表現する海洋モデルの研究に対して大きなインパクトを与える観測結果である。

4) ドイツとの協力および相互検定

国際的な海洋表層二酸化炭素観測のネットワーク化活動が、政府間海洋学委員会二酸化炭素諮問委員会で行われている。その一貫として、ヨーロッパの研究グループとの研究協力を行った。ドイツキール大学海洋研究所では、欧州～北米間の北大西洋の貨物船で観測を開始することになり、国立環境研究所と観測の技術交換を行った。2001年11月から観測装置の設置作業を開始し、2002年2月に観測を開始した。観測機器の一部に、国立環境研究所開発機器を採用し、今後のデータ解析の共同利用を行うこととした。これにより、次年度から、北大西洋の表

層二酸化炭素分圧データと太平洋データの比較解析が行える体制とした。

政府間海洋学委員会二酸化炭素諮問委員会（Intergovernmental Oceanographic Committee, CO_2 Advisory Panel）で、国際的な海洋表層二酸化炭素分圧測定精度を高める目的で、相互比較実験を計画し、その準備を行った。国内機関で提供する二酸化炭素測定装置として、国立環境研究所開発機器の整備を行った。

(3) 海水中微量元素である鉄濃度調節による海洋二酸化炭素吸収機能の強化と海洋生態系への影響に関する研究

1) はじめに

海洋は大気中に放出された人為起源二酸化炭素の吸収源として働いているが、海域によってはその吸収能が微量栄養塩の不足で規定されている。北太平洋高緯度海域もその一つであり、最も不足が起こりやすい鉄を散布することで二酸化炭素吸収能が増強されると考えられる。将来、温暖化対策として大規模な海洋鉄散布が行われる可能性があるため、その対策技術が海洋環境・海洋生態系へ与える影響を事前に明らかにすることが必要であ

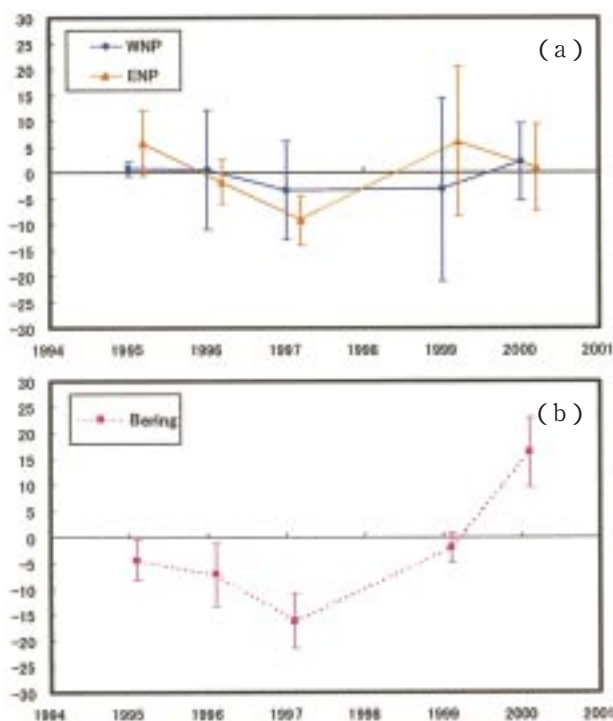


図38 図のデータを西部亜寒帯太平洋（(a) 青）、ベーリング海(b)、東部亜寒帯太平洋（(a) オレンジ）の3つの海域でさらに平均した年々変動単位matm、誤差棒は、各海域4つ、ないし、3つの7.5度×5度の大きさのグリッド平均値間の変動である。

る。そのため、中規模（メソスケール）の鉄濃度調節実験をこの海域で行う。メソスケール実験は、海洋をバックで仕切るエンクロージャー規模実験より大きく、10km四方程度の鉄添加海域を作る実海洋実験であり、周辺海域に長期的影響を及ぼさない規模の実験である。本研究所の研究グループは、鉄濃度調節実験で起こる海水炭酸系の変化・炭素固定と生物生産の関係の研究を分担する。

PICES（北太平洋の海洋科学に関する政府間機構）のもとで、国際共同研究として、海洋鉄肥沃化に関する共同実験計画が提案され、日本とカナダが中心となって、実行に移されることとなった。この課題では、平成13年度に、北西太平洋亜寒帯海域において、国内共同実験として海洋鉄散布実験を行い、平成14年度に、アラスカ湾海域で同様な国際共同実験を行うことを計画して、研究を進めた。

2) 実験地域と実験結果

北太平洋亜寒帯海域は、冬季の海洋の鉛直混合により主要な栄養塩である硝酸、リン酸、ケイ酸の濃度が非常に高くなる海域である。3～4月頃にその最大値を示すが、春から夏にかけては表層の昇温で密度成層化が進み、海洋表層で植物プランクトンが生育することによって海水中の無機炭素と栄養塩が固定され、表層水の栄養塩濃度が低下していく。条件のよい海洋では、これら栄養塩濃度はほとんどゼロに近くなるまで低下するのであるが、北太平洋亜寒帯海域の広い範囲では、9月頃の最低濃度の時期でも枯渇状態にならず、他の何らかの植物プランクトン生育条件が満たされていないことが知られていた（図39）。

このような海域は、HNLC（High Nutrient Low Chlorophyll：栄養塩が高いにもかかわらず植物量が少ない）海域と呼ばれ、そのような状況を呈する原因として、日射の不足、動物プランクトンによる捕食の大きさなど、いろいろな説が提唱され、従来から議論となっていた。最近のことであるが、HNLC海域の原因としての鉄不足仮説に対し、1990年代になってからは、実験的な証拠が与えられるようになってきた。そのため、このような海域に鉄を加えることが植物プランクトンの成長を促進し、海水中の溶存無機炭酸の固定を増強することで、ひいては大気中の二酸化炭素の吸収を起こすという操作が、現実になりうると考えられるようになった。これは、海洋に人為起源で放出された二酸化炭素を貯留する温暖

化対策技術の一つと考えられている。

広大なHNLC海域は、北太平洋亜寒帯の他に、東部赤道太平洋、南極海の3カ所である。1993年に、米国が中心となり、HNLC海域の一つである東部赤道太平洋海域で、海洋の鉄に対する応答を確認する中規模実験が始められ、その後、2001年までに東部赤道海域で2回、南極海で2回の実験が行われた。本研究課題による実験は、2001年7～8月に、水産庁研究船「開洋丸」の航海において、北緯48.5度、東経165度の北西太平洋亜寒帯海域で行われた。これは、未実験のHNLC海域である北太平洋亜寒帯海域における最初の実験となった。

中規模の海洋鉄散布実験においては、数km四方に鉄の溶液を散布し、周辺海域との植物プランクトン量の差、海水二酸化炭素濃度の差、粒子沈降量の差などを確認し、その比較から散布効果を解析するので、周辺海域が均一である場所で実験を行うことが必要である。そのため、事前調査として、物理化学測定で海域の均一性、HNLCとしての状況の確認を東経165度南北線で北緯51度から南下しつつ行った。その結果、北緯50度から北緯47.5度にかけてが、亜寒帯循環域といわれる表面温度塩分がほぼ均一な海域であり、そのうち49度以南で植物プランクトン量が比較的少なく、主要栄養塩が豊富に余っていることが分かり、48.5度という散布海域を決定した。また、海域の鉄濃度は、植物プランクトンに対する鉄制限を起こすと考えられる0.1 nMより低い濃度で、その濃度変動も小さいものであった。

本研究所研究グループでは、海洋表層二酸化炭素分圧測定、栄養塩測定、植物プランクトンの一次生産測定、漂流セディメントトラップによる粒子沈降量測定、沈降

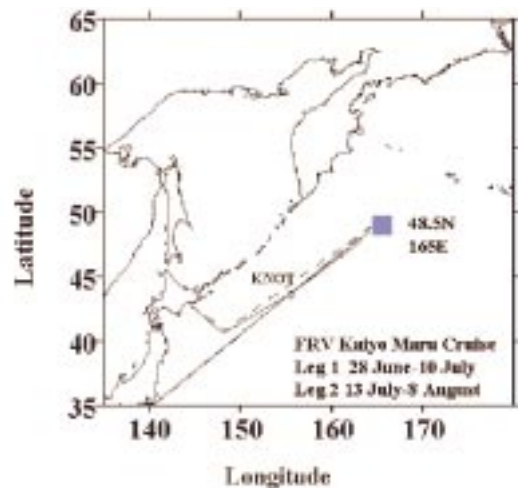


図39 鉄散布実験海域

粒子の化学成分測定を分担し、解析に必要な化学データを得た。実際の鉄の散布は、7月18～19日に開洋丸で行った。硫酸第一鉄の海水溶液と六フッ化硫黄(SF₆)飽和海水溶液を混合し、表層海水に注入して、8 km × 10kmの大きさの鉄濃度を高めた海域を作る作業を行った。散布された鉄の総量は370kgであった。海水に加えられた第一鉄の大部分は速やかに酸化されて粒子状となって沈殿するので、化学反応しないトレーサー物質であるSF₆を散布海水に加えることは、実験期間最後まで散布海水としての証拠を残すことになる。その結果、散布3日後の7月21日に蛍光センサで植物プランクトンの活性増加が初めて確認され、5日後の7月23日には、表層二酸化炭素分圧の測定値の低下から、植物プランクトン量の増加と無機炭素の固定が明らかになった(図40)。散布12日後には、植物プランクトン量は、沿岸海洋の値といえる20mg/lまでその濃度が増加し、二酸化炭素分圧も226matmという、この種の実験における最低値を示した。

鉄散布による海洋の二酸化炭素の貯留効果を議論するには、冬季の鉛直混合が及ばない深度にまで粒子状炭素が輸送されたかどうかが問題となる。そこで、漂流セディメントトラップ実験を担当し、結果を解析した。表層海水の全炭酸の減少量と大気からのガス交換による供給量から、海水中から除去された無機炭素量が推定され、実験期間中で1.3モル/m²であった。それに対し、観測期間末に海水中に存在する粒子状有機炭素量と溶存有機炭素量の和を求めたところ1.08モル/m²であった。一方、漂流セディメントトラップで測定された鉛直有機炭素輸

送量は水深60m面を基準として0.17モル/m²であった。このことから、観測期間末に表層水中に存在する有機炭素と鉛直輸送された有機炭素の和の量が、固定された無機炭素の量とつりあっていて、測定に矛盾がないことが分かった。したがって、鉄散布から約2週間の追跡観測期間に限って言えば、植物プランクトンに固定された炭素が、冬季の混合層より深い深度まで輸送されていないことを示す。

これは、以前の赤道や南極海域での鉄散布実験で得られた結果と近いものであり、鉄散布は顕著な植物プランクトン量増加をもたらすもの、冬季混合層以深への輸送量が速やかに高まるものではないことが明らかになった。このことは、鉄散布の二酸化炭素吸収増加対策としての効果に疑いをもたらすものであるが、固定された有機炭素が観測期間以降に表層海洋で分解され無機炭素に戻るのか、あるいは、観測期間以降に大きな鉛直輸送フラックスを示すのかが重要なポイントであり、より長い追跡観測が必要なことが明らかとなった。

結果的に、北西太平洋亜寒帯海域における今回の鉄散布実験は、海洋の二酸化炭素分圧低下量、植物プランクトン増加量として、従来からの鉄散布実験の中で最大の大きさを示し、この海域が鉄制限であり、植物プランクトン増加の大きな容量があることが明らかとなった。2002年に予定されている日加合同のアラスカ湾における実験では、より長期追跡が予定されていて、鉛直輸送量に関するより明瞭な実験結果を得ることを目標とした準備を行っている。

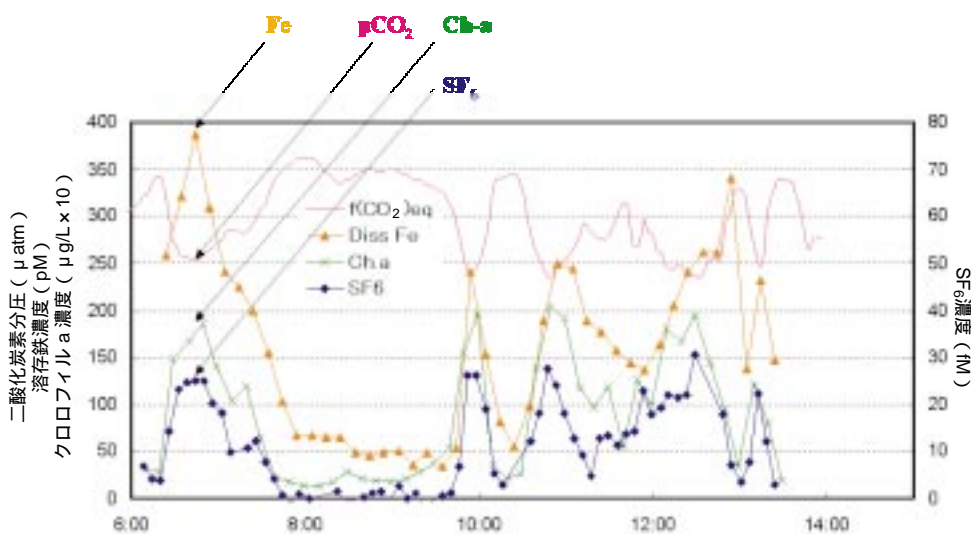


図40 鉄散布実験において、散布海域を何度も横切る方法で観測した、海域の二酸化炭素分圧(左軸 μatm)、溶存鉄濃度(左軸 pM)、クロロフィル a 濃度(左軸 μg/L × 10)、SF₆濃度(右軸 nM) SF₆濃度(黒)が高い水塊は、鉄散布の証拠が残る水塊であり、そこには微量の鉄(黄)が残っていた。そこでは、鉄の効果で植物プランクトン領が増大し、クロロフィル a (緑)が高くなった。植物が増えた結果、海水中のCO₂が固定され、pCO₂(赤)が低下した。

2.2 統合評価モデルを用いた地球温暖化のシナリオ分析とアジアを中心とした総合的対策研究

2.2.1 気候モデル (CCSR / NIES) の開発・改良と適用

本サブテーマでは、温室効果気体およびエアロゾル源等の排出の増減に対する気候変動を評価するため、東京大学気候システム研究センター (Center for Climate System Research: CCSR) と共同所有する大気海洋大循環気候モデル (CCSR/NIES AOGCM) の改良・高精度化およびその適用に関する研究を行っている。ここでは、下記4項目について順に述べる。

- ・排出シナリオと気候モデルとのインターフェイス開発に関する研究
- ・衛星リモートセンシングによるエアロゾル種別分類に関する研究
- ・全球および地域気候モデルの改良および高精度化に関する研究
- ・全球気候モデルによる過去100年程度の気候再現性に関する研究

(1) 排出シナリオと気候モデルとのインターフェイス開発に関する研究

二酸化炭素などの温室効果気体 (GHG) の増加に伴い、向こう100年程度の間、我々にとって深刻な気候変化が生じる可能性が指摘されている。近年では、大気浮遊微粒子 (エアロゾル) も無視できない大きさの気候影響を及ぼしうることが明らかになってきたため、将来起こり得る地球温暖化を定量的に予測するためには、GHGだけでなくエアロゾルに関する十分な知見が要求される。エアロゾルは大気中での寿命が比較的短く、その前駆物質の排出量分布に依存した空間分布をすることから、エアロゾル前駆物質の排出分布を的確に把握することが、特に地域的影響の観点から重要であると考えられる。我々のグループでも、GHGによる温室効果や、主要な4種類の対流圏エアロゾル (硫酸、炭素性、海塩、ダスト) による直接および間接的な気候影響を考慮したCCSR/NIES AOGCMを用い、SRES (Special Report on Emissions Scenarios) シナリオに基づく将来の気候変化を見通す実験を行っているが、排出シナリオからモデルに必要な格子点データを作成する作業は不確定要素が非常に多くて困難な作業であり、便宜的に処理した部分が大きかった。本研究では、過去については排出量推計デ

ータ、将来に関しては排出シナリオを基にして、気候モデルが必要とするエアロゾル前駆物質排出量の格子点データを、合理的かつ容易に提供可能なインターフェイスを構築した。学術雑誌等の文献やインターネットをベースに、過去における人為起源エアロゾル前駆物質の排出量推計に関する情報を収集し、各データの特徴や推計手法などを比較・検討した上で、ベースとなるデータを決定し、各種人為起源物質の排出量推計値データを各国ごとに作成した。同時に、格子点化の際に分配指標として必要となる人口データについても情報収集および比較・検討を行い、データの整備を行った。これらの情報をもとに、統一データフォーマットの策定、および格子点化手法の確立を図った。以下、過去における人為起源エアロゾル前駆物質の排出量推計データの構築とそれらの格子点化ツールの作成について詳しく述べる。

1) 過去における国レベルの人為起源二酸化硫黄 (SO₂) 排出量推計データの構築

硫酸塩は親水性エアロゾルであり、太陽放射を散乱することにより、直接的に温暖化を抑制する性質 (直接効果) を持つ。また、親水性エアロゾルであるがゆえに雲凝結核となり、雲粒の粒径が小さくなって雲の光学的厚さを変化させる (粒径効果)、雲粒から雨粒への変換に要する時間が長くなる (寿命効果) など、雲の微物理的特徴の変化を通して間接的に温暖化を抑制する性質 (間接効果) も持っている。この硫酸エアロゾルは、化石燃料燃焼や非鉄金属製錬等に伴い発生するSO₂を主な起源としている。文献等の調査を行った結果、人為起源SO₂排出量の推計データが1900年以前まで全球にわたって各国ごとにそろっているのは、ASL (A.S.L. & Associates) データのみであった。ASLデータにおける個々の国ごとのSO₂排出量データは、各国の公表値や詳細な情報に基づく推計データに比べて精度が低いと考えられるが、世界中のすべての国や地域に対して統一した方法論に基づいて推計されたデータが揃っていることから、本研究では、ASLデータをベースとして採用することとした。ASLデータが持つ欠点 (SO₂排出量の絶対値に対する精度が低い、1991年以降のデータが存在しない) を補うため、個々の国について精度の高いSO₂排出量データが存在する場合には、そのデータとASLデータとを融合して一連の時系列データを作成するという戦略を取った。より精度の高いデータとしては、例えば、ヨーロッパ諸国に対してはEMEP (European Monitoring and Evaluation

Programme), アジア地域に対してはACCESS (Ace-Asia and Trace-P Modeling and Emission Support System) などの排出量推計データが挙げられる。欠損値処理や異なるデータの結合に関しては複数の方法を用意し、データ構築の際に容易に選択できるようにした。

2) 過去における国レベルの人為起源黒色炭素排出量推計データの構築

黒色炭素 (Black Carbon: BC) は炭素系疎水性エアロゾルであり、硫酸エアロゾルとは逆に太陽放射を吸収して温暖化を促進する性質を持ち、その排出源としては化石燃料の燃焼に加え、農業廃棄物・生活用木材の燃焼、大規模森林火災に伴う寄与も考慮する必要がある。しかし、これらすべての排出源を考慮し、過去にさかのぼって推計された排出量データは世界的にも存在していなかった。本研究では、上述の各排出源に対してしかるべきデータを選定し、過去における各国ごとのBCエアロゾル排出量の推計データを構築した。農業起源のBCエアロゾルに関してはFAOが作成した統計データ (FAO-STAT) の各種農作物生産量データを、生活用木材燃料起源のBCエアロゾルについては同じくFAO-STATの木材燃料消費量データを基礎とした。両データの過去方向への外挿に際しては、主としてHYDE (History Database of the Global Environment) の人口データを利用した。各種農作物生産量から農業起源BCエアロゾル排出量への換算、木材燃料消費量から生活用木材燃料起源のBCエアロゾル排出量への換算法は Lioussé *et al.*⁷⁾ にしたがった。化石燃料起源のBCエアロゾルに関しては国連のエネルギー統計データを基礎とし、(1) で用いたASLデータの作成手法にしたがって、各国ごとの燃料消費量データを燃料種類別、燃料消費部門別に作成した。燃料消費量からBCエアロゾル排出量への換算は Cooke & Wilson⁸⁾ にしたがって、排出係数については Cooke *et al.*⁹⁾ を参照した。森林火災起源のBCエアロゾルについてはGEIA (Global Emissions Inventory Activity) の森林火災起源BC排出量データを基礎とした。自然起源森林火災の比率は全体の50%と仮定し、人為起源森林火災についてはHYDEの人口データに比例して長期変動すると仮定した。このような、過去100年以上もの長期にわたるBCエアロゾルの排出量推計を主要な排出源全てに対して構築したデータは世界初であるが、検証の対象となるデータがほとんど存在しないため、推計手法に関する検討が今後必要である。

3) 人為起源エアロゾル前駆物質排出量の格子点化手法の構築

対流圏エアロゾルによる気候影響を数値気候モデル内で考慮するためには、モデルの境界条件として取り込めるよう、それらの前駆物質の排出量データを格子点化しなければならない。ここでは、(1)、(2) で作成した各国ごとの人為起源エアロゾル前駆物質の排出量データを基に、緯度経度 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ の解像度を持つ格子点データを作成する手法を確立した。格子点データの解像度を緯度経度 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ とした理由は、(i) IPCC第3次報告書に我々のグループが報告した温暖化実験では、 5.6° の解像度のCCSR/NIES全球気候モデルを使用したが、現在、別途、 2.8° の解像度の全球気候モデルの開発がほぼ終了し、将来的には 1.1° の解像度の全球気候モデルの開発も視野に入れている；(ii) 我々のグループで別途開発している地域気候モデルの解像度は、 0.5° 程度である、の2点である。排出量データは基本的には国レベルのものを元にして格子点データを作成することから、中国やロシアなど複数格子が含まれる国に対しては、その国の中で排出量をどのように分配するかが大きな問題となる。対象が人為起源物質であることから、その分配指標としては人口分布が最適と考えられ、ここではCIESIN (Center for International Earth Science Information Network)、HYDEの2つの人口分布データを採用した。このようにして作成した格子点データの一例として、1900年および2000年における人為起源 SO_2 およびBC排出量推計の地理的分布を図41に示す。結果はおおむね良好であると考えられる。今後は、ここで確立した格子点化手法の検討および改良を進める。また、実際に排出量データを気候モデルに与えるためには、ここで作成した $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ の格子点データからモデルの解像度に合った排出量データを用意する必要があるため、そのための格子点変換ツールの作成も行った。

(2) 衛星リモートセンシングによるエアロゾル種別分類に関する研究

地球温暖化にともなう気候変化・気候変動の気候モデルによる将来の見通しが、影響評価・対策に十分に活かせるものとなるには、気候変動評価の不確定性の幅を明らかにする必要がある。多くの不確定性の中で重要なものとして、人為起源の対流圏エアロゾルによる気候影響があげられる。対流圏エアロゾルの気候影響評価は、気

候研究における重要な課題として認識されている。しかしながら、IPCC第3次報告書によると、温室効果気体の影響評価の不確定性が15%以下であるのに対し、エアロゾルの直接効果の推定には2～3倍もの不確定性が含まれている。エアロゾルの気候影響の見積もりが難しいのは、エアロゾルの時空間変動が大きく、その分布が

十分に把握されていない点にもあるが、種類が非常に多く、光学特性が様々であることにも起因している。主要なエアロゾルとして、砂塵性・炭素性・硫酸塩・海塩の4つのエアロゾルがあげられるが、これらのエアロゾルは粒径の大小と光吸収性により、ほぼ大別できる。これらエアロゾルの光吸収性の有無は、放射強制力の見積も

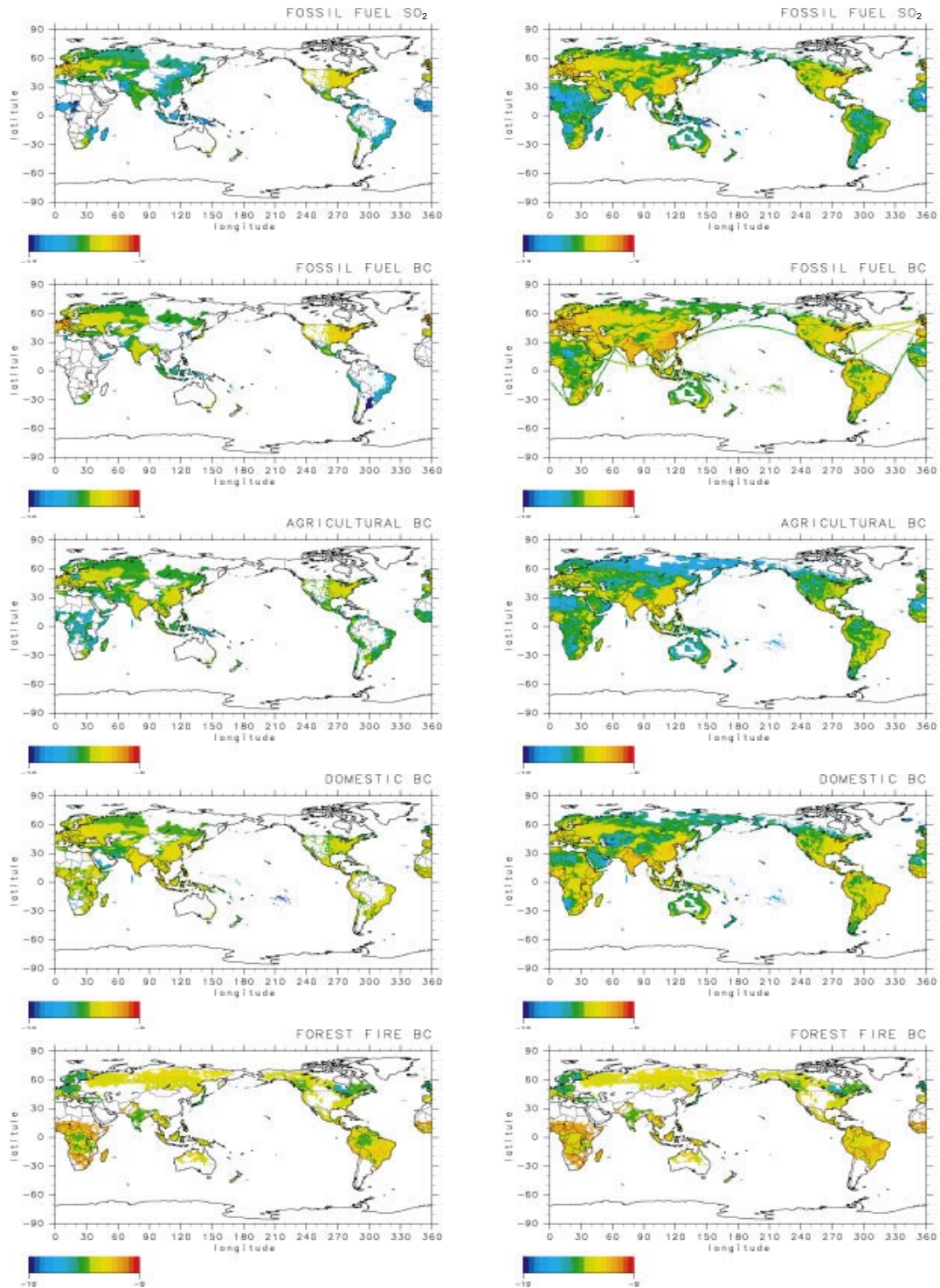


図41 人為起源エアロゾル前駆物質排出量の全球分布 [単位は $\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$]
 対数的に色付けしている。上から二酸化硫黄、化石燃料起源、農業活動起源、生活木材燃料起源、森林火災起源の黒色炭素の排出量を示す。左側が1900年の推計、右側が2000年の推計。

りに大きく影響するため、今後、地球温暖化等の気候変動予測の精度を向上していく上で重要な要因であると考えられる。そこで、吸収性の有無を考慮し、衛星データからエアロゾルを種別分類するアルゴリズムの開発を行う。

エアロゾルを種別分類するためには、粒径と光吸収性を同時推定することが必要である。粒径については、衛星センサ AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) の可視・近赤外の2波長データより、エアロゾルの光学的厚さと粒径指数を推定する2チャンネル法が我々のグループによって開発されている。そこで、粒径と光吸収性を同時推定することを目的として、1つの衛星センサで短波可視 ($0.4 \mu\text{m} \sim$) から近赤外までのチャンネルをもつ SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-View Sensor) のデータを用いて、エアロゾルの光学的厚さ・粒径指数・光吸収性を同時推定するアルゴリズムを開発した。アルゴリズムは、大きく2つの段階から構成されている。まず、吸収性の有無に対応した2つのエアロゾルモデルを用意し、それぞれについて2チャンネル法を適用し、エアロゾルの光学的厚さと粒径指数の推定を行う。次に、その推定された光学的厚さと粒径指数から短波可視チャンネルでの輝度を求め、それを観測値と比較することで、光吸収性の有無についての判別を行う。

このようにして開発したアルゴリズムを SeaWiFS の1998年1月、4月、7月、10月のデータに適用し、解析を行った。図42に1998年1月のエアロゾルの光学的厚さ、粒径パラメータ、光吸収性と各エアロゾルタイプの光学的厚さの分布を示す。光学的厚さの分布を見ると、アフリカ大陸の西岸から、大量のエアロゾルが大西洋に流れ出ているのが分かる。我々のグループによって別途開発された全球3次元エアロゾルモデルによれば、この区域には2種類の異なる起源のエアロゾルが分布している。北半分はサハラ砂漠からの砂塵性粒子、南半分は中部・南部アフリカの焼き畑から放出された炭素系粒子である。このことから、ここに分布するエアロゾルは光吸収性を示すと考えられるが、光吸収性の図では、アフリカ西部から大西洋に向かって吸収性のエアロゾルが分布していて、まさにその予想とよく一致している。しかし、モデルで炭素系粒子が分布している領域でも、粒子の大きさは土壌性粒子と大きく違ってない。このため、衛星解析では、土壌性・煙という1つのタイプとして分類されてい

る。このように、焼き畑から発生した煙の中には、粒子が大きいために土壌性粒子と区別できない粒子が含まれているようである。また、インドをはさんでベンガル湾からアラビア海までの広い範囲にも、光吸収性エアロゾルが分布している。この区域は、光学的厚さとしては大きくないが、モデルにより再現されたインドの焼き畑に起因する炭素系粒子の分布と一致している。他の季節についても理にかなった結果が得られている。

以上のように、衛星データから導かれた分布は、モデルの結果ともおおむね一致することが分かった。しかし、光学的厚さの見積もりについては、衛星データ解析結果の方がモデルの結果に比べて、0.1から0.2程度大きい。その原因として、キャリブレーションに不確実性が残されていることや、元の衛星データから雲ピクセルを完全に除去できていないこと、等が考えられるが、これについては今後さらに調査していく必要がある。

(3) 全球および地域気候モデルの改良および高精度化に関する研究

これまでの数値気候モデルは、計算機資源の制限から水平分解能が数百 km と粗く、意味ある影響の評価を行うための地域スケールでの地上気温、降雨量等の予測が不可能であった。そこで、大規模スケールの気候モデルと局地循環モデルとを結合した地域気候モデルを開発して影響評価に耐える気候変化シナリオ結果を出すこと、さらに、その結果に基づいて、影響を定量的に評価することが、現在大きな研究課題として残されており、IPCCにおいても重要視されている。アジア域における地球温暖化の影響評価を、できる限り高い精度で、かつその不確実性の幅についても検討を行うためには、アジア域における現在の気候の再現性が良い地域気候モデルを用いて、地球温暖化時の気候変化実験を行うことが望ましい。また、一般に、地域気候モデルを用いた気候変化実験においては、地域気候モデルに境界条件を提供する全球気候モデルが現在の気候をある程度良好に再現できている必要がある。我々のグループでも、地域気候モデルの原型がすでに開発されており (NIES/CCSR RAMS)、全球大気大循環気候モデルによる二酸化炭素濃度倍増時 ($2 \times \text{CO}_2$) の気候変化実験結果を境界条件として、東アジア域の $2 \times \text{CO}_2$ 時の気候変化実験を試行しているが、全球気候モデルによる東アジアの夏の気候再現性に問題があったため、地域気候についても夏に関しては議論が

できなかった。したがって、本研究では、アジアの夏の気候の再現性向上を目指した全球気候モデルと地域気候モデルの改良を行った。また、これらの改良を含む CCSR/NIES AGCM の物理過程パッケージを、地域気候モデル NIES/CCSR RAMS に導入することにより、全球モデルと地域モデルの物理過程の整合性を取るとともに、地域モデルの改良を図った。

改良前の全球気候モデルにおいて、アジア域の現在気候再現の上で顕著であった問題は以下のとおりである。

- ・ 夏のアジア域周辺の降水量分布が現実的でない
 - ・ 夏の北半球陸上で地表付近の大気が湿りすぎる
- 以下で、それぞれについての問題点の考察と改善について述べる。また、最後に、改善を施した物理過程モデルの地域気候モデルへの導入について述べる。

1) アジア域周辺の夏の降水量分布の改善

一般に、気候モデルの降水過程は、積雲対流による降水と大規模凝結（層状雲）による降水に分けて表現されている。CCSR/NIES AGCM では、熱帯域における降水は

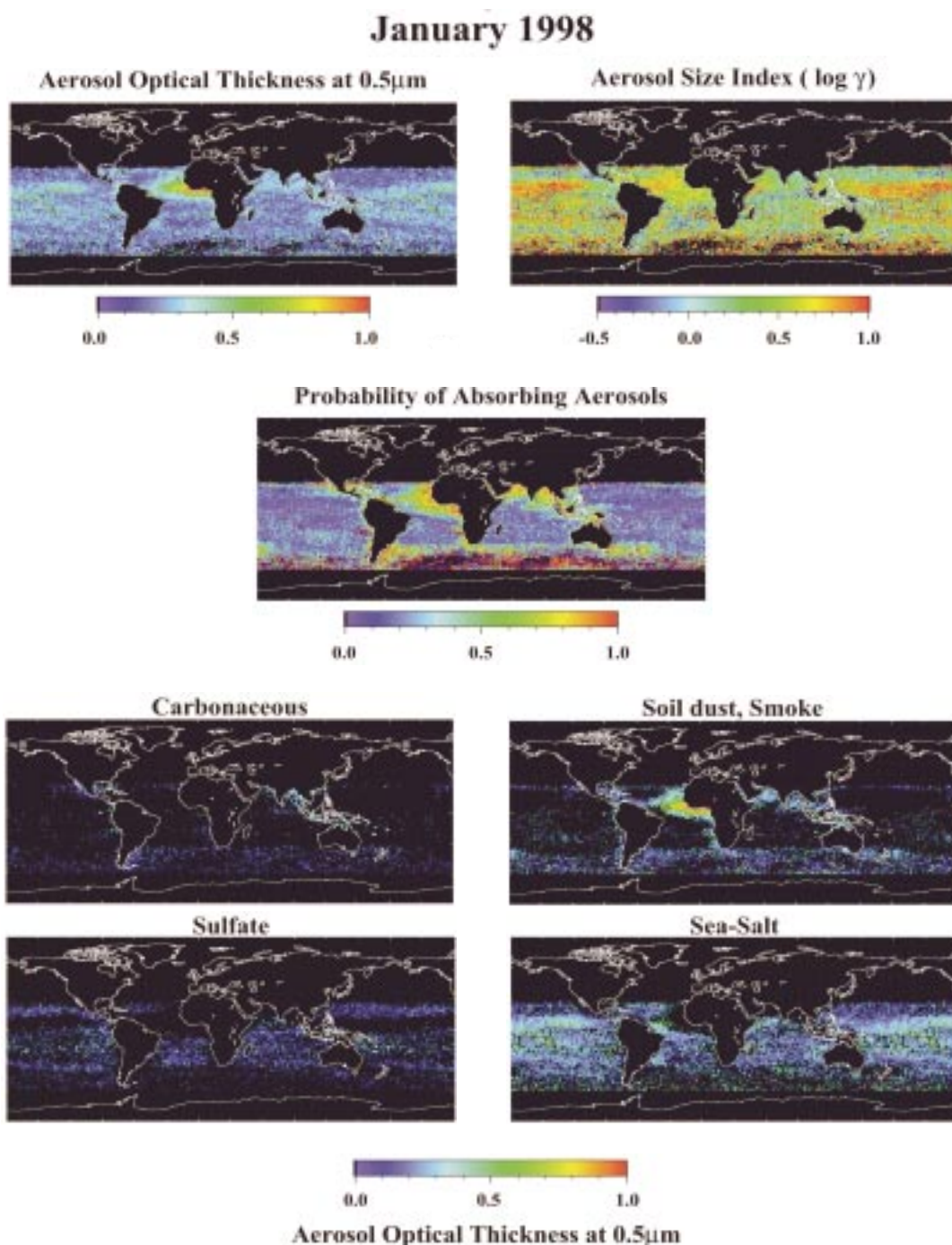


図42 (a) 1998年1月の光学的厚さ、粒径パラメータおよび光吸収性の分布
(b) 1998年1月のエアロゾルタイプごとの光学的厚さ

ほとんどが積雲対流によるものだが、人工衛星 TRMM の観測データを用いた推定によれば、積雲対流による降水は半分程度で、残りは層雲性のものであった。この点に注目して、積雲対流の雲頂に形成される「かなとこ雲」からの降水が促進されるように、モデル中の雲の取り扱いを変更した。かなとこ雲は層状雲ではあるが、全球気候モデルの水平格子（～250 km程度）の中では、積雲の分布に対応して部分的（sub-grid）に生じるべきであると考えられる。そこで、積雲の雲頂付近では水平格子中の水蒸気の空間的ばらつきが大きいことを表す過程を導入し、積雲の雲頂付近で sub-grid の過飽和を起りやすくすることで、かなとこ雲を表現した。結果として、熱帯域の降水量に占める対流性の降水の割合が TRMM による推定に近付いたと同時に、アジア域周辺の夏の降水分布が改善された（図43）。特にフィリピンの東沖から東に伸びる降水帯の分布、インド周辺の降水強度、および梅雨前線と熱帯収束帯の分離について、顕著な改善が見られた。かなとこ雲による層状性降水を促進したことにより東アジア付近の降水分布が改善した理由は明らかではないが、アジアモンスーン域の降水帯の形成に層状性降水が重要な役割を果たしていることが示唆された。

2) 夏の北半球陸上の湿潤バイアスの改善

夏の北半球陸上で地表面付近の大気が湿りすぎる問題は、地表面モデルの改良とエアロゾルの効果の導入により改善された。一般に、地表面のエネルギーバランスにおいては、地表面が吸収した放射エネルギーと、地表面から大気に与えられる潜熱と顕熱の和がおおまかにつきあっている。そして、地表面からの潜熱が現実よりも過大であると地表面付近は湿り過ぎ、顕熱が過大であると地表面付近は暖まり過ぎの系統誤差（バイアス）が生じやすいと考えられる。まず、地表面モデルとして植生の

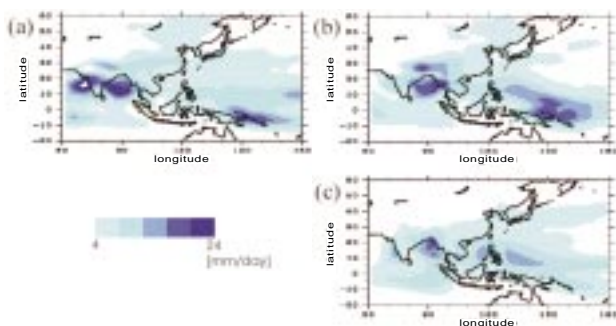


図43 アジア域周辺の夏の降水量分布
(a) 改良前の全球モデルによる計算値, (b) 改良後の全球モデルによる計算値, (c) 観測データに基づく推定値

効果を陽に表現したモデル（MATSIRO）を導入した。MATSIRO では、植物の生理機能により蒸散が抑制される効果が表現されている。これにより潜熱が抑制され、湿潤バイアスは軽減されたが、今度は高温バイアスが顕著になった。次に、エアロゾルの直接効果と間接効果を導入した。すなわち、エアロゾル自身が日射を反射する直接効果、およびエアロゾルが雲による日射の反射を促進する間接効果を考慮した。これにより、地表面が吸収する放射エネルギーが減少し、地表面からの潜熱、顕熱がともに抑制されたことにより、湿潤バイアスと高温バイアスがともに軽減された。このことは、地表面付近の温度・湿度の現実的な再現のためには、地表面過程の取り扱いと同等かそれ以上に、地表面が吸収する放射エネルギー量の現実的な再現が重要であることを示している。特に、陸上の雲の表現にはいまだ問題点が多く、今後も改良を続ける必要がある。

3) 改良物理過程パッケージの地域気候モデルへの導入

上述した改良を含む CCSR/NIES AGCM の物理過程パッケージを、地域気候モデル NIES/CCSR RAMS に導入した。すなわち、新しい地域気候モデルでは、かなとこ雲の表現および陸地表面のエネルギーバランスが、全球モデルと同様に改善されることが期待される。これらはアジアモンスーン域を対象とした地域気候モデルとして重要な点である。また、全球モデルによる実験結果を境界条件にして地域気候モデルの実験を行う場合、境界付近の非現実的な振舞いを避けるためにも、全球モデルと地域モデルの物理過程が整合的であることが望ましい。ただし、全球モデルと地域モデルとでは空間分解能が異なるため、全球モデルの物理過程が地域モデルでもうまく働くためには、地域モデルの分解能に合わせた各種パラメータ値の設定などを新たに行う必要がある。新しい地域気候モデルは、空間分解能 60 km、アジアほぼ全域を覆う領域で、1年間積分のテスト実験で動作が確認された。今後、この地域気候モデルの実用化を目指して、結果の検証と各種物理パラメータ値の調整を行う。

(4) 全球気候モデルによる過去100年程度の気候再現性に関する研究

温室効果気体などの人為起源物質の増加に伴って生じると予想される地球温暖化を将来にわたって見通すためには、大気海洋大循環気候モデルを用いるのが有効であ

る。しかし、IPCCの第3次報告書（TAR）で報告されている21世紀末の気温上昇予測には1.4～5.8 もの不確実性があり、気候モデルによる温暖化予測の信頼性が問われている。気候モデルによって見通された将来の気候変化の不確実性を定量的に議論するためには、モデル自身の信頼性を何らかの形で評価しておくことが重要であり、その信頼性評価の一方法が現在および過去の気候のモデルによる観測事実の再現性を調べることである。したがって、本研究では、全球気候モデルを用いて様々な気候影響を考慮した20世紀の気候再現実験を行い、CCSR/NIES AOGCM による気候変化実験結果の不確実性について評価を行う。外部強制力として働く気候影響については、温室効果気体や対流圏・成層圏オゾン、硫酸性・炭素性エアロゾルなどの人為起源物質の変動に加えて、太陽定数の変動、火山噴火に伴う成層圏エアロゾル、土壌性・海塩性エアロゾルなどの自然起源物質の変動も考慮する。本実験を行う予定の気候モデルは現在開発中であるため、既存の気候変化実験における過去100年程度の気候再現性に関する考察と、大気大循環モデルを用いた予備実験を行っている。以下では、それぞれについて述べる。

1) シナリオ実験における過去100年程度の気候再現性に関する考察

我々のグループでは、従来の気候モデルを用いて新しい排出シナリオ（SRESシナリオ）に基づいた将来の気候変化を見直す実験を行ってきており、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第3次報告書（IPCC, 2001）にも貢献している。主要な4種類の対流圏エアロゾル（硫酸、炭素性、海塩、ダスト）による放射に関する直接および間接効果を導入した大気海洋大循環気候モデル（大気の水平分解能T21スペクトル；約5.6°格子に相当、鉛直20層、海洋の水平分解能は約2.8°格子、鉛直17層）を用いて、SRESの全6排出シナリオに対して、1890年から2100年までの210年間分の積分を行った。本研究では、来年度以降に本格化する比較的高分解能の気候モデル（現在開発中）を用いた総合評価実験に資するために、既存のモデル実験データの過去再現部分を解析し、考察を加えた。

図44は過去（1890～2000年）における全球年平均した地表面気温の年平均値（1891～1920年）からの偏差を示す。3つの初期値を変えたアンサンブル数値モデル実験RUN 1, 2, 3はCCSR/NIES AOGCM気候モデルによる数値計

算結果を、OBSERVATIONはJones *et al.*¹⁰⁾による観測値を示す。モデルでは、20世紀半ば（1940～1960年にかけて）の緩やかな温度降下や近年の急激な温度上昇については観測と比較的よく一致しているが（ここでは絶対値ではなく相対的变化をみてよい）、一方、20世紀前半（1910～1940年にかけて）の温度上昇が全く表現されていないことが分かる。このことは、モデル実験のアンサンブルのどのメンバーについても当てはまっており、アンサンブルのメンバー数は足りないものの、当該期間の実験設定に問題が残されていることを示唆している。

図45は全球年平均した放射強制力の時間変化を示す。破線は温室効果気体（CO₂、CH₄、N₂O、Halocarbons、対流圏オゾン）の変化による放射強制力を、点線は硫酸および炭素性エアロゾルの変化による放射強制力（直接効果と間接効果の両方）を表している。なお、放射強制力は、与えた温室効果気体とエアロゾルの濃度によって定まるので、アンサンブルのメンバーには依存しない。2つの間接効果、粒径効果（一次間接効果）と寿命効果（二次間接効果）のうち、寿命効果については簡単に求めることができないため、ここでは寿命効果は粒径効果とほぼ等しいと仮定して見積もっている。モデルの全放射強制力（太実線）は20世紀前半で負、20世紀半ばに正となり、1960年頃にはほぼ0となって、そこから先は急激に増加しており、モデルの地表面気温の変化とほぼ一致した変動傾向を示している。20世紀前半に全放射強制力が負となるのは、エアロゾルによる冷却化が温室効果気

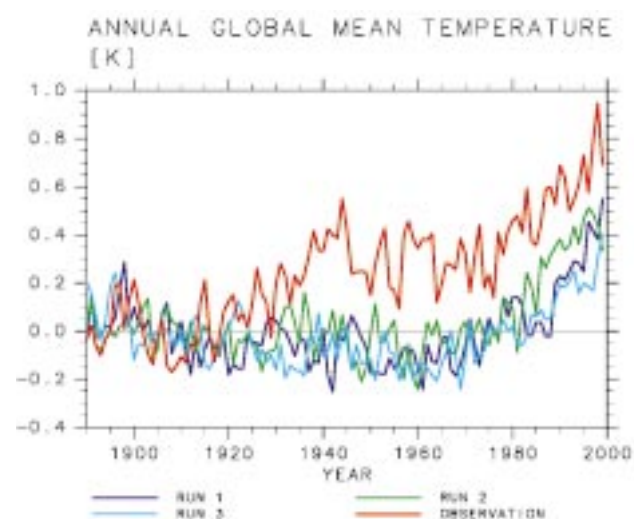


図44 全球年平均地表面気温の年平均値（1891～1920年）からの偏差[単位：K] 大気海洋大循環気候モデルによる計算値と観測値の時間変化。

体による温暖化に勝っているためである。モデル中のエアロゾルによる冷却効果の主要因は間接効果であり、20世紀前半における間接効果の見積もり、すなわち、エアロゾルの時間変動の与え方、あるいは、間接効果の定式化に再考の余地があることが示唆される。また、この温暖化実験の段階では考慮していなかった太陽定数の変動や火山性成層圏エアロゾルによる効果が影響を及ぼしている可能性も考えられる。今後は、これまで考慮していなかった気候影響をモデルで取り扱えるように整備するとともに、ここでの推察を検証する実験を行う。

2) 大気大循環モデルによる予備実験結果

過去100年程度の気候の再現性を検討する本実験を行う準備として、温室効果気体および成層圏オゾンの濃度分布、硫酸性・炭素性エアロゾルおよび対流圏オゾン前駆物質の排出量、太陽定数および火山性成層圏エアロゾルのデータの整備を進めている。同時に、上述の各種気候影響をモデルで取り扱えるように、気候モデルの調整

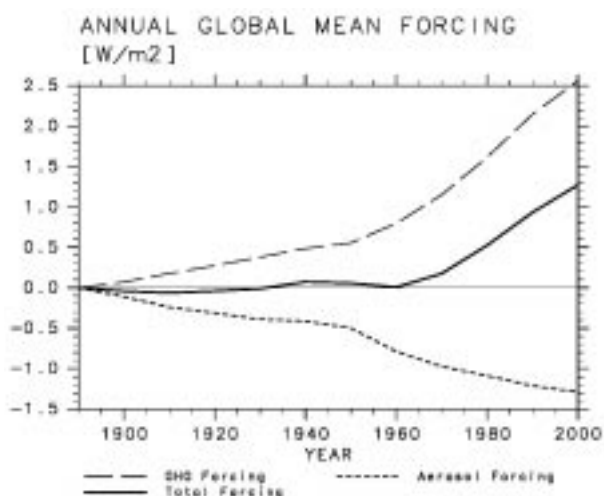


図45 モデルにより計算された全球年平均放射強制力の時間変化[単位: W/m^2]

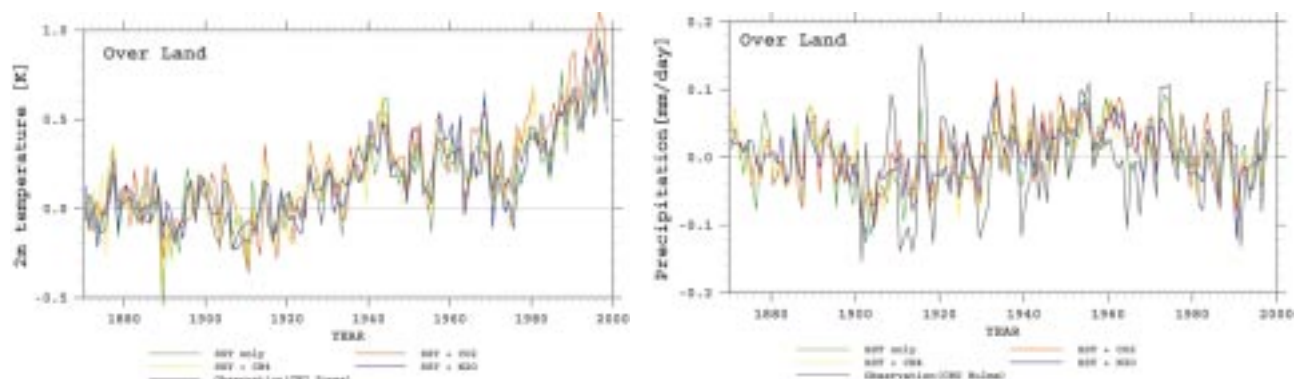


図46 観測された月平均 SST で駆動した大気モデル実験における陸上のみで平均した (a) 年平均地表面気温および (b) 年平均降水量の年間偏差 (年平均値は1901~1930年の平均)

を行っている。ここでは、各気候影響のインパクトを確認するために試験的に行っている大気モデル実験の結果を示す。図46は観測された月平均海面温度 (Sea Surface Temperature: SST) で大気モデルを駆動した実験における陸上のみで平均した (a) 年平均地表面気温および (b) 年平均降水量の年間偏差 (年平均値は1901~1930年の平均) を示す。緑線は外部強制として SST の観測値のみ与えた実験、赤線、黄線、青線はそれぞれ、SST に加えて、観測された CO_2 、 CH_4 、 N_2O 濃度を与えた実験の結果である。いずれの実験でも、地表面気温、降水量とも基本的には観測値 (黒線) とよい一致を示している。今後は、それぞれ10ケース程度のアンサンブル実験を行うことにより、統計的な有意性などについても検討を行う。また、降水量の1960年付近の再現性など、系統的なずれが顕著である期間もあるため、温室効果気体以外の外部強制についても同様に実験を行い、気候モデルの現在および過去の気候再現性について調査を進める必要がある。

2.2.2 統合評価モデル(AIM)の開発・改良と適用

本サブテーマは、社会経済の発展、温室効果気体の排出、気候の変動、その影響、さらには影響に伴う社会経済へのフィードバックの一連の過程を統合的に評価するモデルを開発し、各種の政策評価に適用することを目的としている。ここで開発・改良・適用するモデルは、国立環境研究所と京都大学が中国、インド等のアジアの研究者の参加により共同開発してきた「アジア太平洋統合モデル (AIM)」であり、約20種類のコンピュータ・シミュレーションモデルから構成される。以下では、AIMの概要とその開発体制、社会経済・排出モデル (AIM / Emission) の開発・改良と適用の成果、および、影響・適用モデル (AIM / Impact) の開発・改良と適用の成果、

の3つについてとりまとめる。

(1) 統合評価モデル (AIM) の概要とその開発体制

AIMモデルは、アジア太平洋地域の評価に焦点を当てた世界モデルである。このモデルは、図47に示すとおり、将来の社会経済の発展のシナリオをもとに温室効果ガス排出を推計し、その削減のための政策オプションを評価する社会経済・排出モデル (AIM/Emission)、大気中の温室効果ガス濃度を予測し、全球平均の気温上昇を簡略的に推計する気候変化モデル (AIM/Climate)、アジア太平洋地域の自然環境・社会経済に対して気候変化が与える影響及びその適応の効果を推計する影響モデル (AIM/Impact) の3つのモデルからなる。

AIMモデルの開発は、10年以上も前から始まり、このプロジェクトが開始されるまでに各種のモデルが開発されてきた。図47の中でこれらを示すと、社会経済・排出モデルでは、エネルギー関連技術の技術選択を再現し種別エネルギーの消費量を推計するAIM/Enduse、その簡略型のALICE、エネルギーや農林産物の需給均衡を分析するAIM/TopdownとAIM/CGE/Global、気候モデルでは、大気濃度推計モデル、海洋吸収モデル、放射強制力モデル、影響・適応モデルでは、地球規模の影響を推計する簡略構造のAIM/Impact global version、水の流出量を推計するAIM/Water、農業影響を推計するAIM/Agri、マラリアやデング熱の罹患地域の変化を推計するAIM/Healthである。

平成13年度から開始した本研究プロジェクトにおいては、それ以前に開発されたモデルをベースにして、以下

の新規のモデル開発・改良を進めている。

1) 社会経済・排出モデルの新規開発・改良

AIM/Enduseをサブカントリー・レベルにも適用可能なモジュール (AIM/Local) に改良するとともに、データベース (AIM/Database) とつないで汎用化し、マン・マシン・インターフェースを開発。リサイクルや環境産業の効果を評価するAIM/Materialの開発

詳細なモデルのシミュレーション結果をもとにした簡略型統合モデル (AIM/Trend) の開発

アジア地域をさらに詳細に表現した一般均衡タイプの世界モデル (AIM/CGE/Asia) の開発

2) 気候モデルの新規開発・改良

大循環モデルとAIMモデルのインターフェースを開発

3) 影響・適応モデルの新規開発・改良

流出モデル (AIM/Water) を水資源需給評価モデルに改良

影響モデルに適応評価モジュールを追加

環境影響の経済評価のための統合モデル (AIM/Ecosystem) を開発

4) 統合モデルの新規開発・改良

国レベルの統合モデル (AIM/Country) の開発

世界レベルの統合モデル (AIM/CGE/Ecosystem) の開発

以上のモデルに共通するデータを管理するデータベース (AIM/Database) を整備

これらのモデル開発に加えて、開発したモデルを適用

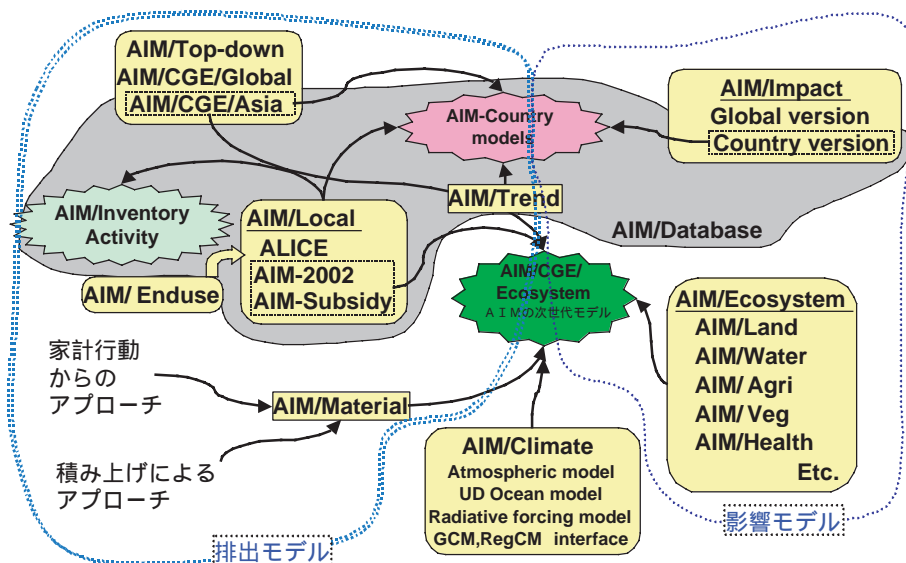


図47 アジア太平洋統合評価モデル (AIM) の構成

して各種の政策評価に活用することも、本プロジェクトの大きな目的である。現在までにAIMモデルの推計結果を提供してきた機関には次のものが含まれる。

- 1) IPCC (気候変動に関する政府間パネル), MA (千年紀生態系評価), UNEP (国連環境計画), OECD (経済開発協力機構), Eco Asia (アジア太平洋環境大臣会合), 中韓環境産業円卓会議などの国際機関
- 2) 日本, 中国, インド, 韓国, タイなどの政府, 東京都, 愛知県等の地方公共団体
- 3) 民間企業, WWFなどの非政府団体

AIMモデルの開発・改良及び適用はアジアの共同研究として進めており, 現在, 国立環境研究所を中心に以下の研究機関が参加している。

- ・ 京都大学大学院地球環境学堂 (日本);
- ・ Energy Research Institute, State Development Planning Commission (China);
- ・ Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS (China);
- ・ Indian Institute of Management, Ahmedabad (India);
- ・ Asian Institute of Technology (Thailand);
- ・ Korea Environment Institute (Korea);
- ・ Seoul National University (Korea);
- ・ Universiti Putra Malaysia (Malaysia)

(2) 社会経済・排出モデル (AIM/Emission) の開発・改良と適用

社会経済・排出モデルに関する研究成果としては, 以下の5つが上げられる。

- 1) エンドユースモデルをサブカントリーレベルに適用できるように汎用化し, 二酸化炭素以外の温室効果ガスの評価モジュールを開発するとともに, 対策の国間比較分析やCDMの効果分析に適用
- 2) 経済・マテリアル統合モデルを開発して, 日本, インドおよび中国に適用
- 3) 簡略型統合モデルを開発してアジア42カ国に適用し, さらに世界に拡張・汎用化
- 4) 多地域多部門一般均衡モデルの開発に着手し, 基本モジュールの完成と予備的シミュレーションの実施
- 5) 以上のモデルを用いてシナリオを定量化し, 日本政府, IPCC, UNEP, MA等に提供

以下に成果の詳細をとりまとめる。

1) 国別エンドユースモデルの改良および適用

エンドユースモデルは, エネルギー価格の変化により技術代替が生じる現象を中心にして, エネルギー消費の変化を積み上げ方式により推計するものである。これまでに, 日本, 中国, インド, 韓国, タイ, マレーシア, ベトナムなどを対象としてモデルの開発を行い, 化石燃料消費によるCO₂排出量の推計および排出規制や炭素税などの対策を導入した場合の排出削減効果や, 地球環境対策が地域環境に与える副次的効果について分析してきた。

本モデルを用いて予測した結果をもとに中国とインドのエネルギー強度の推移を比較した。図48は鉄鋼, セメント, 紙パルプ部門における生産量に対するエネルギー強度を2000年を基準として推計したものである。中国においては, 2000年において平炉などのエネルギー効率の悪い技術は淘汰されつつあり, インドに比べて効率の良い技術がすでに導入しているため, インドと比較して改善率は低い。

一方, 1997年の粗鋼生産に対する中国のエネルギー強度は中国を1とすると日本は0.53であり, 中国においても一層の改善が見込まれる。しかし, すでに中国において市場を通じて省エネ技術が導入されており, さらに高効率の技術を導入するためにはより高い費用がかかってしまう。このため, CDMの活用を検討しなければならない。本モデルを用いて, CDMによる中国のCO₂削減可能性を推計した。図49に示すとおり, 2030年における鉄鋼部門からのCO₂排出量はなりゆきケースでは約16.4%

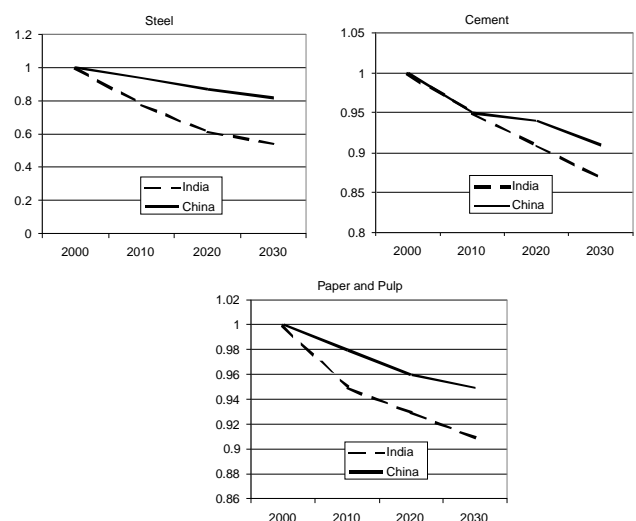


図48 中国とインドのエネルギー強度の予測値の比較

増と見込まれるが、廃熱回収を中心としてCO₂排出量が2000年の7%増に抑制される場合（CDM1）と、電気炉等が積極的に導入されて7%減となる場合（CDM2）について分析した。現在2030年において導入が見込まれる高効率の技術をすべて含めると約34%のCO₂削減が可能となる。

また、日本を除くアジア各国ではCO₂以外の温室効果ガス排出量のシェアが大きい。1995年におけるシェアは、中国においてはメタン（CH₄）20%、亜酸化窒素（N₂O）11%、インドにおいてはCH₄ 31%、N₂O 6%である。このためCH₄、N₂Oの排出量および対策効果を推計するモジュールを追加した。図50はインドにおけるCH₄の発生量のなりゆきシナリオの推計である。石油、ガス供給部門での増加率が非常に高く、次いで、石炭生産部門での増加率が高い。これら2部門と施肥管理、一般廃棄物部門の4部門について対策シナリオを検討した。図51はメタン税を導入した場合の検討結果である。CH₄ 1トン当たり50ドルのメタン税を導入することにより、2030年において約2.6Mt-CH₄の削減が可能であり、100ドルのメタン税によりさらに3.5 Mt-CH₄の削減の可能性があるこ

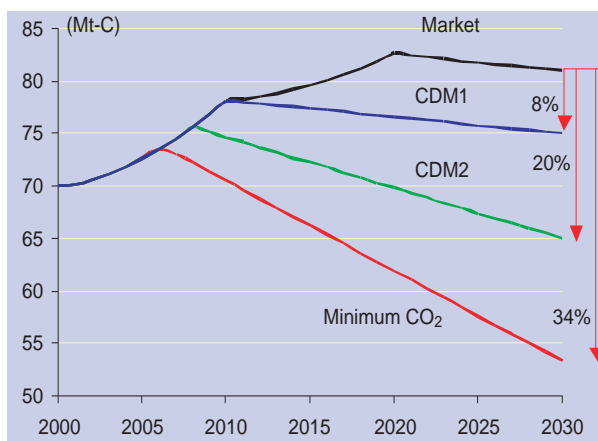


図49 中国とインドのエネルギー強度の予測値の比較

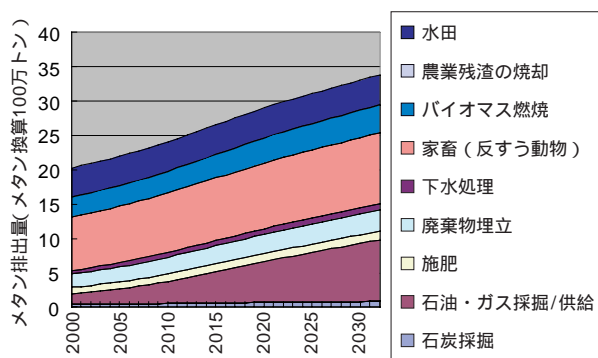


図50 インドのメタンガス排出の将来推計

とが示された。

図52にアジア各国のCO₂、CH₄、N₂Oの排出量の対策を行わない場合の推計値を示す。1998年と2032年のアジア太平洋地域40カ国についての値である。中国、インドにおけるCO₂発生量、CH₄発生量の大幅な増加が見込まれるため、各国における温暖化対策の副次効果を含めたインセンティブを明らかにしていく予定である。

これらの分析に使用したシステムは、図53に示すように、データベースの部分と最適化プログラムおよびGISで構成され、炭素税、排出規制、補助金などの導入やライフスタイルの変化による温室効果ガス削減効果が分析できるように整備した。

2) 経済・マテリアル統合モデルの開発

経済・マテリアル統合モデルは、CO₂の排出量の算出はもとより、リサイクルや環境産業の効果を考慮して、経済活動と様々な環境負荷の関係を定量的に表現し、環境保全に向けた活動が経済活動に及ぼす影響を評価することを目的として開発してきた経済モデルである。

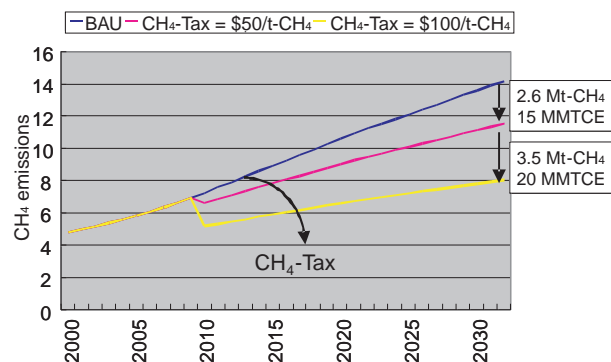


図51 メタン税導入の効果

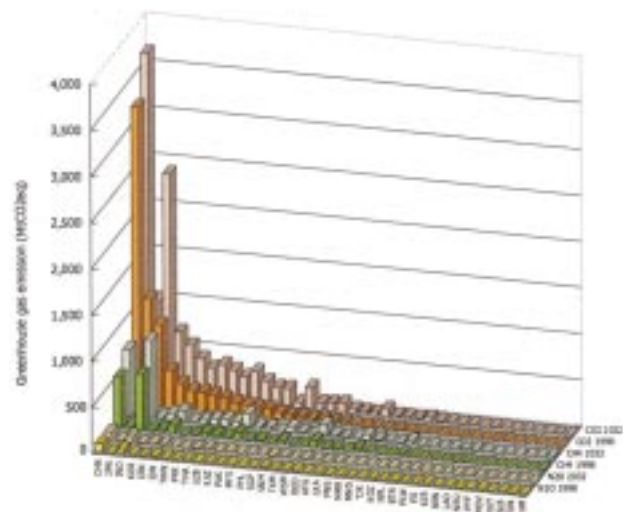


図52 アジア各国のCO₂、CH₄、N₂O排出量予測

図54にその構造を示す。これまでに、日本、インド、中国を対象としたモデルの開発と様々な政策シミュレーションを行ってきた。

日本モデルでは、エネルギーは各種石油製品を個別に取り扱うことが可能であり、2002年に期限を迎える道路特定財源の暫定税率の変更や2003年から予定されているエネルギー関係諸税の税率変更がCO₂排出量にどのような影響をもたらすのか定量的に評価した。道路特定財源の税率を暫定税率から本則に戻すシナリオ（ガソリン：53.8 28.7円/l、軽油：32.1 15円/l）では、2010年に現状推移シナリオと比較して6.5MtCのCO₂排出量が増加する（図55）。これは、ボン合意で定められた森林による吸収分の55%に相当する。

また、日本モデルには、廃棄物の発生とその処理の詳細なフローが再現されており、この特性を活かして、家庭の家電製品（耐久消費財）のリユースが廃棄物問題のみならず地球温暖化問題の解決にどのような影響をもたらすかについてシミュレーションを行った。その結果、家庭で小規模にリユースを拡張することは、一般廃棄物最終処分量の削減をもたらす一方、家電製品のエネルギー

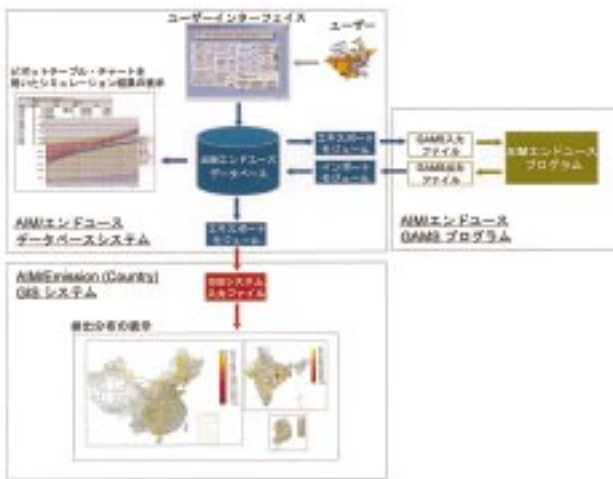


図53 AIM/Enduseのシステム構成

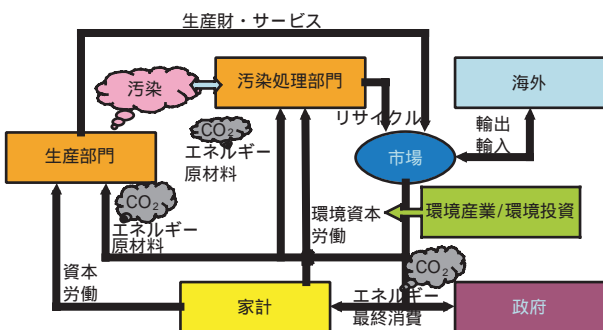


図54 AIM/Materialの構造

効率的改善を妨げ、CO₂排出量は2010年で現状推移シナリオと比較して2万tC増加させる。これに対して、政府や事業所等大規模にリユースを行うことは、生産構造そのものの変化をもたらし、廃棄物最終処分量の削減とともに、2010年におけるCO₂排出量は現状推移シナリオと比較して同5万tCの減少をもたらし、大規模なリユースの拡張は廃棄物問題、地球温暖化問題の両方に寄与しうることを示した。このほかにも、CO₂排出量や廃棄物最終処分量の削減がもたらす経済への影響と、環境投資の拡大や技術進歩、消費行動の変化による経済の回復についてシミュレーションを行った（図56）。

インドモデルでは、CO₂排出量のほかに、有害廃棄物の発生と処理・処分を取り扱うことができるモジュールを開発し、インドにおける有害廃棄物対策がもたらす影響を分析した。有害廃棄物の未処理処分量を2002年以降毎年10%削減させることで、2010年におけるインドのGDPは現状推移シナリオと比較して5%以上低下するのに対して、環境投資を導入することで2010年のGDPロスを2%に低減させることができることを示した。また、土地利用や水質汚濁といった自然資源への影響を評価するモジュールを開発し、バイオマスエネルギーの導入など様々な環境対策がもたらす経済および環境への影響を

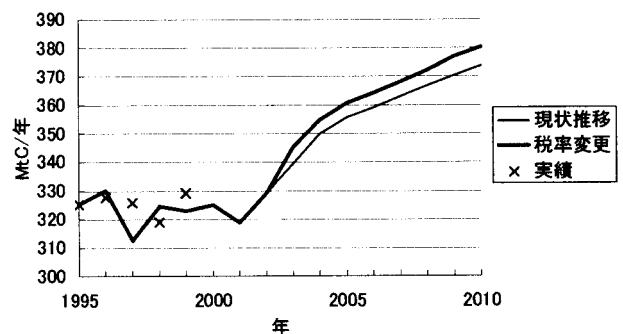


図55 道路特定財源の税率変更によるCO₂排出量の推移

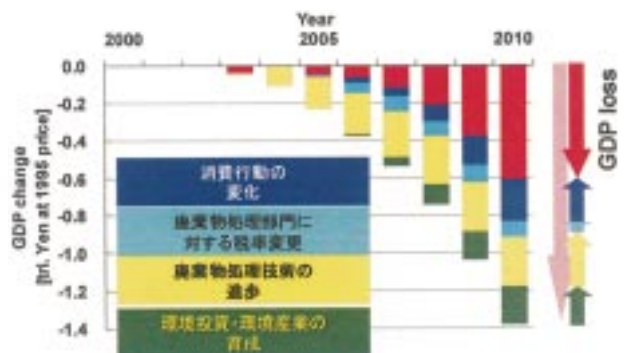


図56 CO₂排出量・廃棄物最終処分量の削減による経済ロスと環境対策による経済ロスの緩和

評価している。

一方、中国モデルを用いた分析では、CDMによるCO₂排出量の削減と経済影響を行った。ここでは、これまでに開発してきたAIM/Localモデルから得られた鉄鋼部門および発電部門に対するCDMの結果を、中国モデルに組み入れて評価した。CDM導入シナリオを現状推移シナリオと比較すると、2015年のこれらの部門のCO₂排出量はそれぞれ3.8%、2.7%削減されるとともに、中国全体のCO₂排出量も1.4%減少する。また、硫酸化物対策が中国经济に与える影響と、CDM導入による経済回復についても推計した。年1%の割合で硫酸化物排出量を削減する場合、2005年から2015年にかけて、3%から10%のGDP損失が推計されるが、CDMを導入することにより0.1から0.3%のGDPが回復する推計結果がでた。

今後は、各モデルをさらに改良するとともに、タイ等其他のアジア諸国にモデルを適用する予定である。また、CDMやバイオマスエネルギーの導入の可能性について各国間の比較分析を行う予定である。

3) 簡略型統合モデルの開発

将来の環境について推計しようとする場合、様々な要素が複雑に絡み合っており、また、不確実な事象が数多くあるために、推計を非常に困難なものにしている。そこで、複数の人の知見を取り入れながら、様々なシナリオを描いて対策を検討する必要がある。種々の将来シナリオを、対話を通して検討するための簡略型統合モデルを開発している。

急激な人口増加・経済発展を背景としてアジアは21世紀前半の世界経済を牽引するといわれているが、アジア

は様々な様式・文化を持つ国々で構成されており、発展の度合いは国ごとに異なると予想される。そこで、将来のアジアの各国レベルの経済活動量、エネルギー需給、環境汚染排出量等を過去のトレンド分析に主眼を置いて、まずアジア太平洋地域42カ国を対象としてモデルを開発した。

25カ国については、エネルギーバランス表をもとにモデル化を行い(モデルA)、エネルギーバランス表が利用できない17カ国については簡易モデル(モデルB)を作成した。モデルAではまずエネルギー需要を推計し、エネルギー転換部門から遡って一次エネルギー供給量を求めた。モデルBについては直接一時エネルギー供給量の推計を行い、その推計値からCO₂などの環境汚染物質の排出量を求めた。図57に市場経済シナリオのもとでのCO₂排出量の予測を示す。中国、インドの伸びが非常に大きいため、この地域については詳細なモデルを作成し、対策を検討している。

アジアの簡略型モデルの枠組みを世界14カ国に拡大し、世界におけるアジアの位置づけについてのシナリオ分析を行った簡略型世界モデルは世界の中のアジアの主要な指標を予測するとともに、AIM/CGEへの基礎情報を提供している。図58は簡略型世界モデルを用いてCO₂排出量を予想した結果である。世界に占めるアジアのシェアは2000年の32%から2050年には44%に増加すると予想される。

シナリオ分析を簡単にするため、インタフェースを改良した。図59は主画面である。各国の基礎データを読み込んで簡単な分析が行えるようになっている。情報を

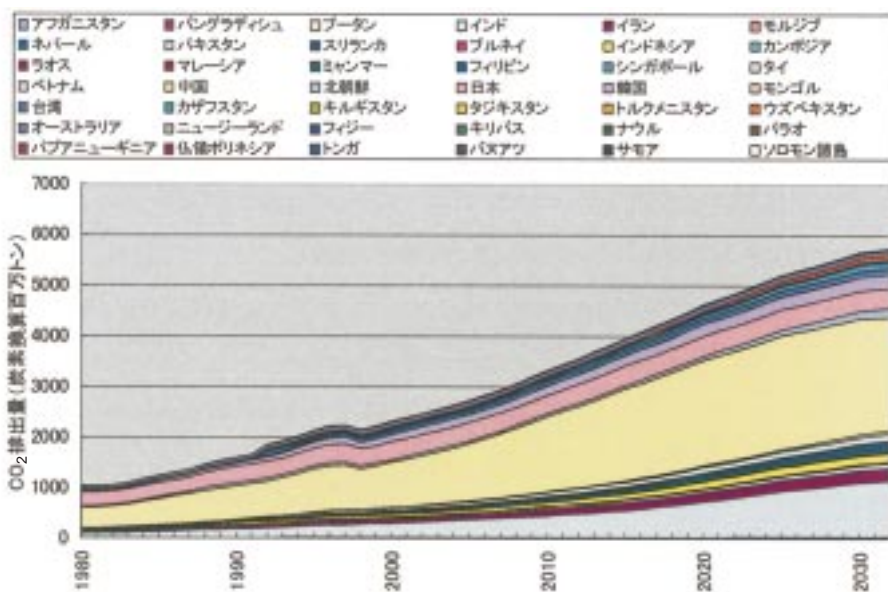


図57 アジア各国のCO₂排出量の予測

逐次追加し、データベースを更新することにより、各国独自の分析が容易に行えるようになっている。今後はインタフェースをさらに使い勝手のよいものに改良していく予定である。

4) 多地域多部門一般均衡モデルの開発

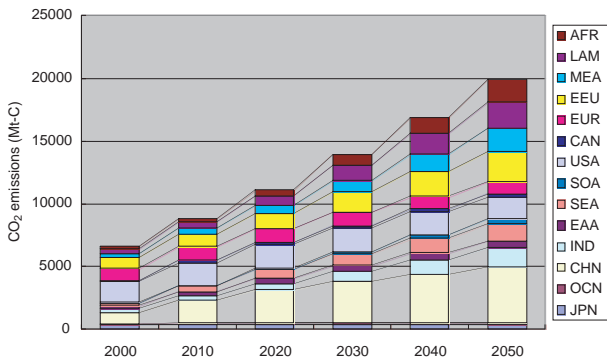


図58 世界のCO₂排出量の予測

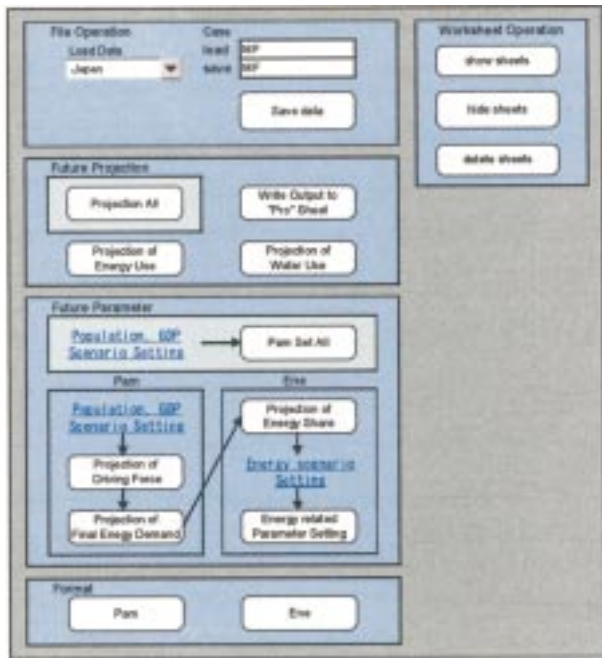


図59 AIM/Trendの主画面

これまで世界21地域（うちアジア10地域）モデルを開発し、京都議定書の経済影響などを検討してきた。本モデルを用いて、大気中CO₂濃度安定化シナリオについて、経済影響および気候変動による農業、健康影響などについて推計した。安定化シナリオとしては550ppmvシナリオを取り上げた。同じ安定化目標濃度についても排出経路によってその影響は異なってくる。ここでは、排出量を早めに削減するシナリオ（WGI550）、技術革新が見込まれる後半になって対策を集中的に行うシナリオ（WRE550）およびその中間経路（MID550）の3つのシナリオを検討した。

図60に2100年までの経済ロスを割引率5%として推計したものを示す。対策を遅めに行うシナリオの方が全ての地域で経済ロスは少ないと推計された。割引率が高いことと、気候変動の影響を勘案していないことがこの結果に大きく効いている。

それぞれのシナリオに対応する排出量をもとに、気候変動および農業影響、健康影響を推計した。図61はマラリア感染リスクにさらされる人口の1990年から2100年の変化率を推計したものである。マラリア感染リスクは、中国、ネパール等、現在マラリア感染率の低い国が影響を受けることが分かった。また、影響については早めに対策を行った方が被害が少ないと推計された。

世界モデルは中長期の世界的影響を把握することはできるが、アジアの個別地域についての対策を検討するためにはボトムアップ型の技術モデルと結合する必要がある。アジア地域に特化したモデルの開発を行っている。

アジア詳細版CGEモデルはGTAPver.5のデータベースを基に、アジア17地域+世界各地域（合計26地域）について、各地域間の貿易を考慮した一般均衡型・逐次動学

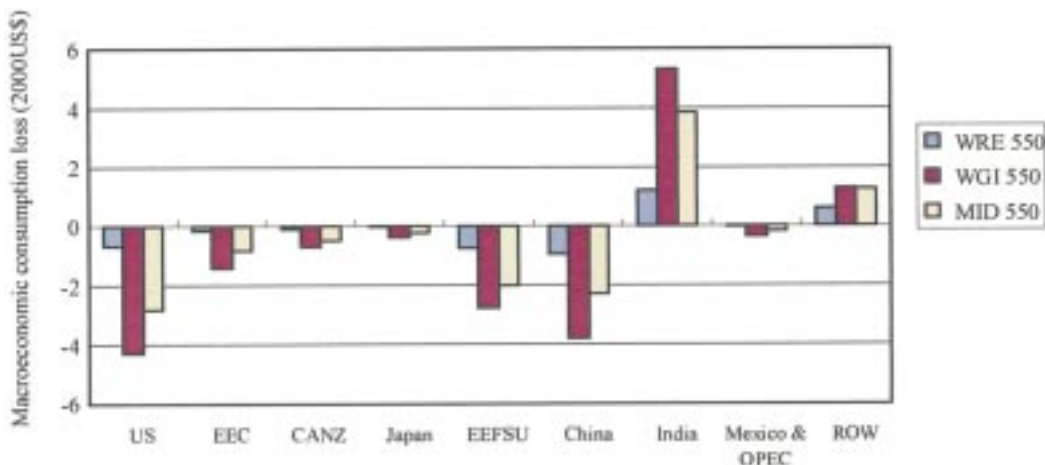


図60 いくつかの排出削減による経済ロス総計の比較

的モデルである。トップダウン型のCGEモデルに対して、より詳細な技術データを持つエネルギーエンドユースモデルと連携を図っている（図62参照）。両者の基本的な関係は、CGEモデルから計算される各種サービスの需要量に対して、それに必要な供給を行う技術をボトムアップモデルで計算し、その供給関数をCGEモデルに提供し、相互のモデルデータを更新し合うことである。このことにより、アジア各国の事情をより詳細に反映したシナリオを作成することができる。

基本モデルであるアジア詳細版CGEモデルに対して、各種セクタを組み合わせ、各部門に特化したモデルに発展させる。各セクタは詳細なボトムアップモデルを持ち、直接または間接的にCGEモデルに情報を渡す。エネルギーセクタについては、ハードリンク（モデル一体化）を図る予定であるが、他のセクタについては、各セクタのボトムアップモデルの構造から、CGEとのハードリンク、またはソフトリンク（モデルは別々で必要な情報だけお互いに交換し合い収束解を求める）を行う。

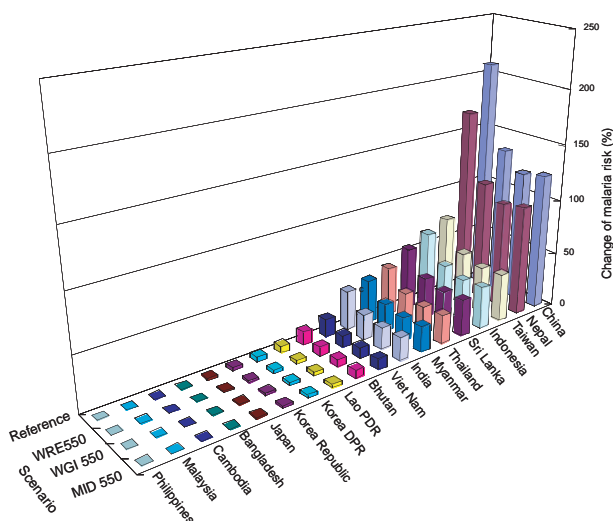


図61 排出削減経路の違いによるマラリアリスク地域に居住する人口の変化（1990～2100）

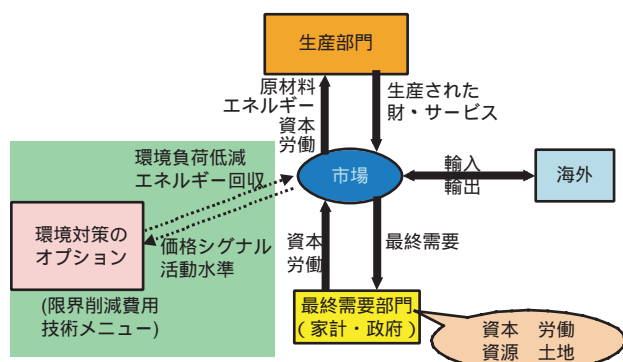


図62 AIM/CGEアジア詳細版モデルの構成

1997年を始点に、2030年の中長期、2050年および2100年の超長期までを各年ごとに予測する。GTAPの経済データに対して、エネルギーの物量データをIEA Energy Statistics を用いて作成中である。枯渇性資源量データ、水力、原子力、バイオエネルギー、太陽光、風力などの非化石エネルギー資源量データを収集し、地域別に整合性を図っている。

5) モデルを用いたシナリオの定量化

長期的な社会・経済シナリオをベースとして、気候安定化シナリオと経済発展シナリオの統合化を検討した。IPCCでは将来の社会像を想定して、温室効果ガス排出の将来シナリオを推計している。想定されている社会は、高成長社会、多元化社会、循環型社会、地域共存型社会の4つである。これらの排出シナリオをベースにして、大気中のCO₂濃度を450, 550, 650, 750ppmvに安定化させるCO₂排出シナリオを推計し、これと整合するように他の温室効果ガスの排出シナリオも推計した。さらに、気候モデルの実験用に2300年までの超長期排出シナリオを作成した。

本対策シナリオは、TGICIA (Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment) の要請で、気候モデルの標準入力のための排出シナリオを提供することを目的としたものである。AIM-SSG (安定化シナリオジェネレーター) を用いて、世界の9つのモデルがこれらのシナリオを作成し、AIMチームはそのコーディネート役をつとめた。これらのシナリオをまとめて図63に示す。

一方、アジア太平洋地域を対象として各種シナリオの定量化を行いUNEPの地球環境概況3 (GEO3) に提供した。GEO3では4つのシナリオを想定して定量化を行った。想定したシナリオは、市場経済シナリオ、対策シナリオ、破局シナリオ、革新シナリオである。アジア・太平洋地域42カ国を対象として、エネルギー消費量、CO₂排出量、SO₂排出量、一般廃棄物発生量、森林面積の変化、水消費量等についてアジアの将来シナリオを想定して分析した。市場経済シナリオでは、アジアの経済成長、人口増に対応してCO₂排出量は約2.6倍増加する。対策シナリオでは、省エネ技術の導入によりCO₂排出量の削減が進むと推定される。一方、破局シナリオでは、省エネ技術への転換が進まないまま、人口が増えると予想されるため、CO₂排出量が2002年から2032年の30年間で3倍以上増える。経済発展と環境保全の両立を目指した革新シナリオでは、CO₂排出量は対策シナリオよりは増加す

るが、ある程度抑制できると期待される。

さらに、AIMチームでは、エコシステム評価のための経済モデルを開発しており、本モデルを用いて Millennium Ecosystem Assessment (MA) に提供するシナリオを作成した。MAでは温暖化対策に加えて生態系の変化とそれによる人間の福祉への影響に関する評価を行った。シナリオとしては、Global Policy Focusシナリオ、Technology Focusシナリオ、Cross-scale Management Focusシナリオの3つをとりあげた。世界のCO₂排出量はGlobal Policy Focusシナリオでは2050年において160億トンと推計されるが、Technology Focusシナリオでは2015年以降、CO₂排出量の増加率が減り、2050年において110億トン程度となると推計される。今後はさらに種々のニーズに対応したシナリオを提供する予定である。

(3) 影響・適応モデル (AIM/Impact) の開発・改良と適用

影響・適応モデルに関する研究成果としては、以下の5つが上げられる。

1) IPCCのSRES排出シナリオに基づく気候シナリオの開発と影響評価への活用

- 2) 水資源影響モデルを改良してアジア地域の水需要推計に適用するとともに、モデルを汎用化
- 3) 適応政策分析のための経済モデルを開発し、中国河川インフラの適応対策投資の評価に適用
- 4) 排出 - 気候 - 影響 - フィードバックを完結させた統合モデルを開発し、農業影響の経済成長へのフィードバックを試算
- 5) 温暖化影響の経済評価のための新しい経済モデルの開発に着手

以下に成果の詳細をとりまとめる。

1) IPCCに基づく気候シナリオの開発と活用

将来の気候変化の程度の見積もりには、温室効果ガス排出量の見込みに関する不確実性と、ある排出経路下での炭素循環・気候変化の予測に関連した不確実性が含まれる。うち、前者の排出量に関する見込みについては、排出の推計手法に起因する不確実性に加え、人間が今後どのような社会・経済・科学技術等の発展の道筋を選択していくかに大きく依存するものであり、予測を行うことは本質的に不可能である。将来に起こりえそうな社会経済の典型的な様態を網羅的に取り扱い、それぞれについて排出量を見積もることが行われている。具体的には、

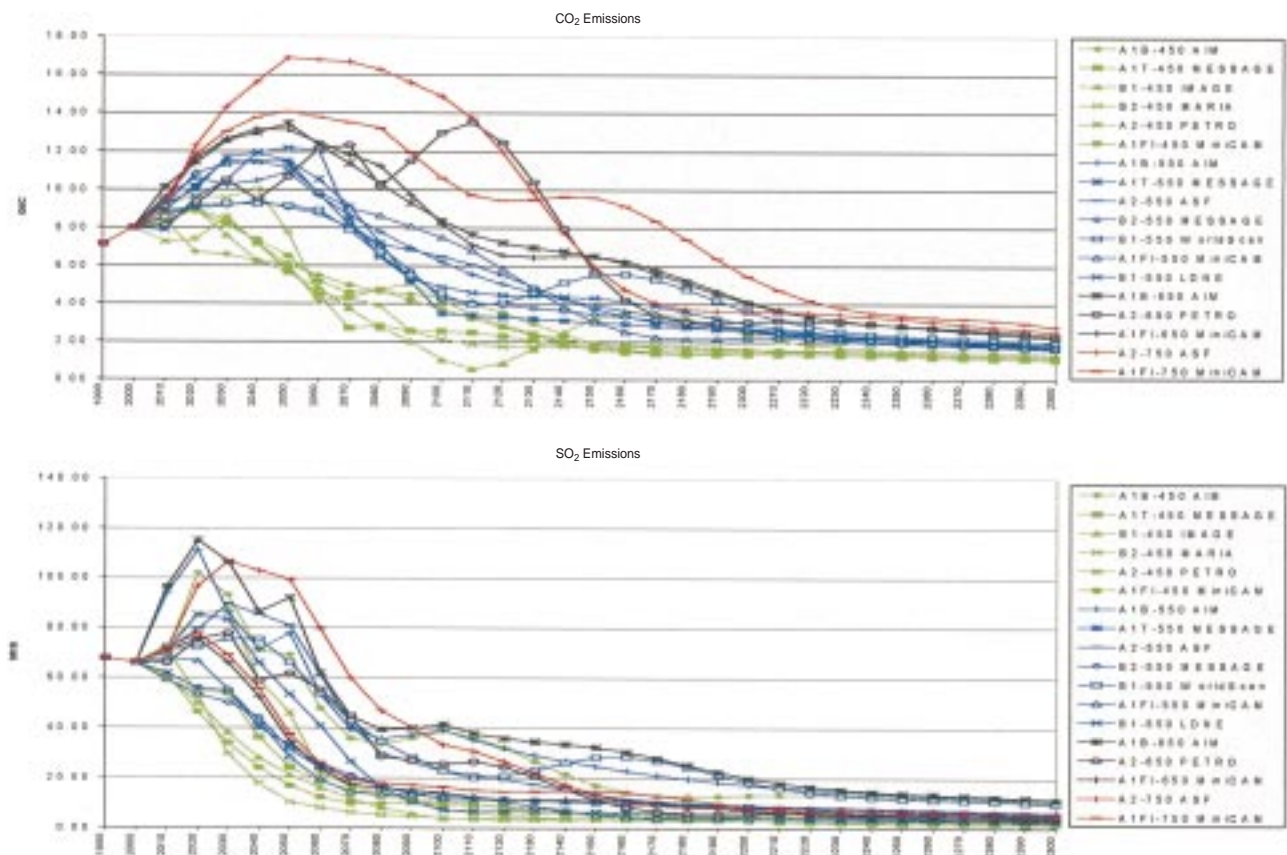


図63 IPCC TGICIA用の超長期排出シナリオの作成

IPCCのSRES排出シナリオでは、6つの典型的な社会・経済・技術の発展パターンを取り上げ、各々の状況下での排出量についてシナリオを提示しているが、その6つの典型的な発展パターンの生起確率については触れられていない。

後者の炭素循環・気候変化の予測に関連した不確実性は、予測に用いられる気候モデル毎のプロセスの記述やパラメーターの設定に起因したものである。モデル間の優劣に関する評価が困難であるため、どのモデルの予測が確からしいという重み付けは行うことが現状においてはできない。

温暖化影響の見積もり、およびその見積もりに基づく政策・対策の検討は、これらの不確実性を踏まえた上で行われなければならない。しかし、従来の研究では影響の見積もりのための手法開発・改良に研究者の関心が集中し、実際には6つのシナリオすべてについて評価が行われることはまれであり、また気候モデルも単一のモデルを用いた気候シナリオの開発が行われる場合が多かった。

以上を背景として、本研究では、これらの不確実性を積極的に評価作業に取り入れた気候シナリオの開発と影響評価を行った。図64は、6つの排出シナリオ（A1FI, A1B, A1T, A2, B1, B2）に関して、7つの気候モデル（GFDL R15a, CSIRO Mk2, HadCM3, HadCM2, ECHAM4/OPYC, CSM 1.0, DOE PCM）による全球平均気温上昇推計（1990～2100年）の発生頻度分布をシナリオ別ならびに全シナリオについて示したものである。全球

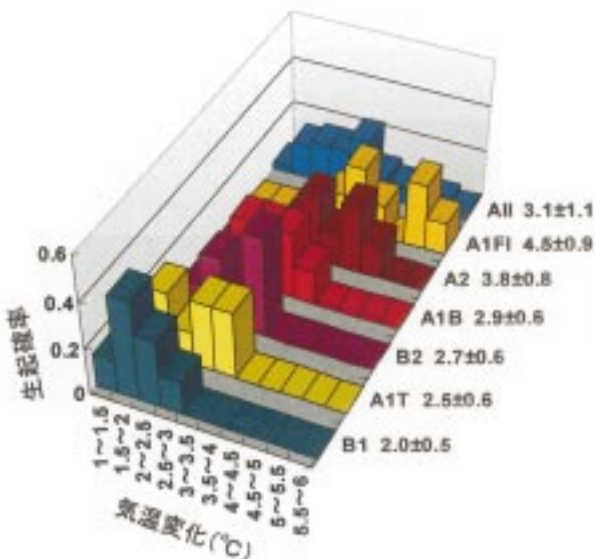


図64 全球平均気温上昇推計（1990～2100年）の発生頻度分布

平均気温の推計にあたっては、各GCMの応答特性にパラメーターを調整した簡易の気温上昇推計モデルを用いている。この図から分かるように、同一の排出シナリオを前提とした場合においても、気候モデルの違いにより1～3程度の推計の幅が生じる。また、図65は、全排出シナリオ・全気候モデルによる全球平均気温上昇推計を行い、どのシナリオ・気候モデルの組み合わせも同様の確率で生起すると仮定し、累積頻度分布、5%値、50%値、95%値を示したものである。このように、排出シナリオ・気候モデルの組み合わせについて同様の確率で生起すると仮定した場合には、最も生起の確率が高い全球平均気温上昇は3.0～3.5であることが示された。

同様にして、気候変化のみならず、影響被害の程度についても確率的な取り扱いを試みた。図66は、現在の気候と比べた2100年におけるインドの冬小麦の生産性変化の生起確率を示している。SRESの6排出シナリオ×7つの気候モデルの総当りの下での影響評価に加え、IPCCの第3次評価報告書で報告された温室効果ガス濃度安定化シナリオ（450ppm, 550ppm, 650ppm, 750ppm）を前提とした影響評価の確率分布についても示している。SRES6シナリオに基づくインドの冬小麦生産性への影響の不確実性幅は、450～750ppmの安定化シナリオに基づく不確実性幅よりも大きいことが分かる。A1FIやA2シナリオでは、750ppm安定化シナリオでの排出を大きく上回るため、SRESシナリオに基づく影響の平均値 - 34%は、750ppm安定化シナリオでの影響の平均値

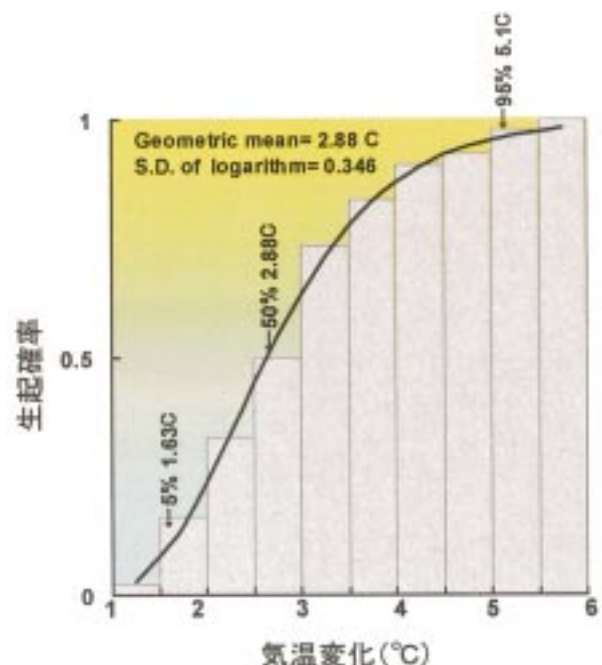


図65 全球平均気温上昇推計の累積頻度分布

値 - 29%に比べて深刻なものと見込まれる。450ppmまで安定化することができた場合には影響の平均値は - 14%まで軽減する。

温室効果ガス排出の削減に関する政策決定に際しては、この種の情報の蓄積を総合的に勘案する必要が今後重要になっていくと考えられる。影響評価研究では、単一の排出シナリオならびに気候モデルの組み合わせにより開発された気候シナリオに基づく影響評価から、より政策決定のために有用な情報として多様な将来発展像を念頭に置いた影響の見積もりを提供していく役割を強く望まれている。また、排出シナリオや気候モデルの不確実性は今後の研究により狭められていくことが期待されるため、影響評価研究では最新の知見に基づき、評価を更新していく必要がある。

2) 水資源影響モデルの改良

温暖化の水資源影響評価研究の一環として、特に水需要の将来変化の見積もりに関して推計手法の改良を行った。その手法を用いて、アジア地域に注目した水需要変化の推計を行った。多様な社会経済の発展パターンをシナリオとして取り扱い、各々のシナリオについて、人口、経済発展、技術進歩速度、技術普及速度等の違いを反映した水需要の推計をアジア全域について国別に行うために、「現状傾向発展型」、「政策改革型」、「地域孤立型」、「大変革型」の4つの異なる社会経済の発展パターンについて、2030年までを対象期間とした水需要の推計を行った。主たる改良点は以下の通りである。

- ・ アジア地域について収集した、従来に比べ詳細な水需要関連データを利用し、水需要推計モデルの改良を行った。また、評価基準年を従来の1990年から1995

年に更新した。

- ・ 取水量 (withdrawal) に加え、還流を考慮した水消費量 (consumption) も推計した。
- ・ 複数の将来の社会経済発展パターンについて、水需要評価を行った。

本研究で取り扱った社会経済の発展パターンは、国連環境計画による「第3回地球環境見通し」で採用されたものであり、それぞれのシナリオで仮定される人口・経済発展・(水利用に関連した)技術進歩のシナリオ間の相対的な高低は表2の通りである。

農業、工業、家庭の、3つの水需要部門別に、2032年までの将来水需要を国別に推計し、地域集計(アジア太平洋地域全体を、南アジア、東南アジア、東アジア、中央アジア、オセアニアに地域分類)したところ、3部門計の水消費量は、どの地域においても、地域孤立型>現状傾向発展型>大変革型>政策改革型の順となった(図67)。現状傾向発展型シナリオでは、急速な経済発展と高い人口増加率を反映して、水消費量は特に工業部門で増加する。家庭部門においても人口増加を反映して若干増加する。地域孤立型シナリオでは、低い経済成長率のため、非常に遅い水利用効率改善速度を考慮してもなお、工業部門の水消費量は現状傾向発展型シナリオに比べて小さい。しかしながら、消費量の大部分を占める農業部門において、高位の人口増加シナリオに起因する灌漑面積増加と水利用効率改善の遅さを反映して消費量が高くなるため、消費量の3部門計で比較した場合に、どの地域においても最も消費量が大きくなると予測されている。政策改革型シナリオでは、制度的改革やその他の方策が取られるため、対象期間の早期よりすべての部門において水がより効率的に利用される。水の消費量は全てのシナリオの中で最も低いレベルにコントロールされる。このシナリオでも、途上国においてはやはり若干の水消費量増加が見られるが、先進国における水消費量減少の傾向により打ち消される。大変革型シナリオでは、効率の良い水利用技術が対象期間の後半に導入される。水消費の増加は緩やかであり、先進国においては水消費の減少が起こる。

図68に消費量推計の例として、現状、2032年(地域孤立型)、2032年(政策改革型)での農業部門の水消費量密度(単位面積あたり水消費量)の空間分布を示している。前述のように、地域孤立型シナリオでは、高い人口増加率と非常に遅い水利用効率の改善速度を反映して農

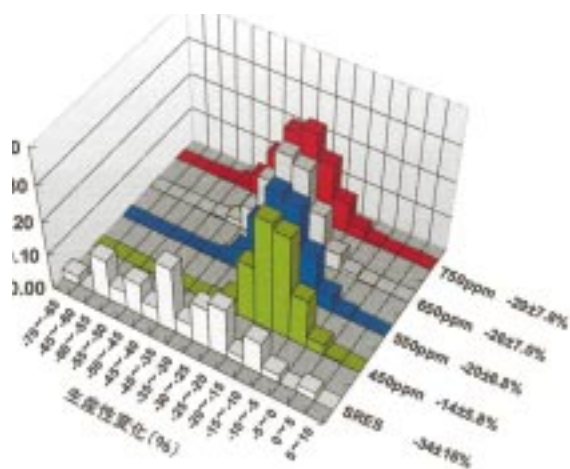


図66 現在気候と比べた2100年におけるインドの冬小麦の生産性変化の生起確率

業部門の水消費量は大きく増加することが分かる。制度的な改革や効率的な水利用技術が仮定される政策改革型シナリオでは、状況は改善し、国によっては水消費量密度が現状に比べ減少することが分かる。

水需要推計に関する今後の課題として、対策の提言という観点からは、効率改善のための具体的な技術オプションに関する詳細な費用・効果データベースを整備し、導入していくべき節水技術のオプションについて示していく必要がある。合理的に導入が可能な技術オプションは各国の独自の事情を反映したものであるため、本研究でこれまでに行ってきた対象地域全体を一律の方法で取り扱うことは困難である。そのため、各国の政策決定者や専門家が、詳細な技術に関するデータを独自に収集し、そのデータに基づいた国別の分析を行うことを可能にするためのプラットフォームとしての評価ツールのパッケージの開発を危急の課題であると考えている。

3) 適応政策分析用経済モデルの開発

気候変化影響に対する適応は重要かつ効率的な政策となりうるが、適応政策の効率については詳細な行動計画を提示できる程度までには分析されてきておらず、分野別に選択可能な適応策がリストアップされるにとどまっている。これは主として気候変化影響と適応研究の次の

表2 水需要の推計に用いられた4つの社会経済発展パターンシナリオの概要

	現状傾向発展型	政策改革型	地域孤立型	大変革型
人口	中高位	中高位	高位	低位
経済発展	高位	中高位	中位	中高位
水利用効率	中位	高位	低位	中高位

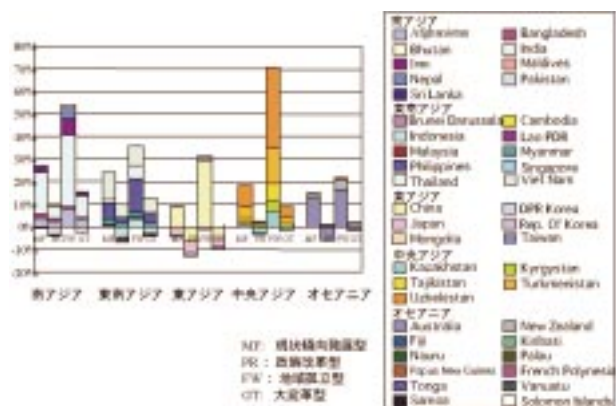


図67 2032年における対1995年比水消費量変化。アジア太平洋を、南アジア、東南アジア、東アジア、中央アジア、オセアニアの5地域に分割して集計。同時に、各地域の変化に占める各国の寄与率も示している。

ような性質によるものである。(a) 気候変化の生起・程度はいまだ不確かであり、もしそれが起きたとしても当面はさほど深刻な影響が発現しないと考えられているため、(b) 適応のメカニズムは複雑で評価が困難であるため。これらの難点にもかかわらず、各国は気候変化の悪影響を軽減するために21世紀前半に何ができ、何をすべきかを積極的に模索しなければならない。なぜなら、資本蓄積や新技術導入には時間がかかるためである。

本研究では、洪水災害に対する治水投資を通じた適応策を取り上げ、早期からの治水投資への増資が現状における洪水災害を軽減するとともに将来の気候変動により追加的に起こりうる洪水災害への予防的役割も担うという点に着目し、早期の適応策導入の効果について検討するための手法を開発した。具体的には、気候変化による洪水災害増加を勘案し治水投資の最適化を行う経済モデルを開発し、中国を対象地域として1995年から2100年までの105年間を対象期間としたシミュレーションを行った。その結果、以下の知見を得た。

- ・ 気候変化は起きないと想定した治水投資を行い実際に想定どおりに気候変化が起きないケース (CnAn) と、気候変化を想定した治水投資を行うにもかかわらず実際には気候変化が起きないケース (CnAy) を比較した場合、CnAyでは治水社会資本への投資をCnAnよりも多く行うため、洪水による耕地被害・資本ストック被害はともにCnAnに比べて小さい(図69, 図70)。生産資本への投資も大きくなるため、CnAyの総生産はCnAnに比べて大きくなる(図71)。しかしながら、治水社会資本への投資増加・および生産投資の増加と同時に最終消費が抑制されるため、

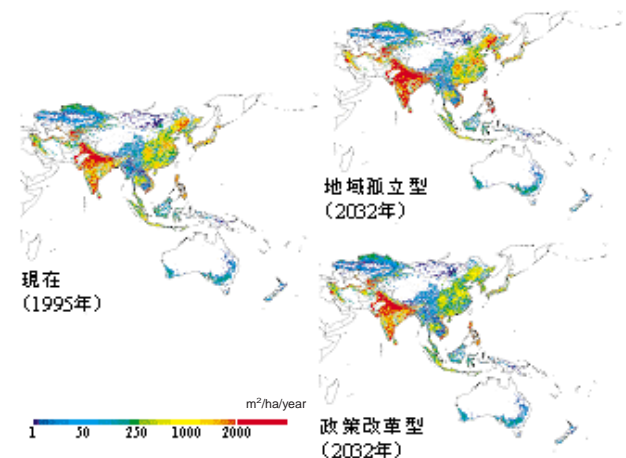


図68 農業部門の水消費量密度。左：1995年，右上：地域孤立型2032年，右下：政策改革型2032年

CnAyの消費・社会的厚生はCnAnに比べて小さい（図72）。

- ・ 気候変化は起きないと想定した治水投資を行うのだが実際には想定と違い気候変化が起きてしまうケース（CyAn）では、気候変化による追加的な洪水被害が2020年以降に現れ、耕地被害・資本ストック被害共に著しく増加し、2100年にはそれぞれ全耕地面積・資本ストック量の3~4%が被害を受ける（図69，図70）。洪水被害増加にともない、生産・消費・社会的厚生も減少する（図71）。
- ・ 気候変化を想定した治水投資を行い実際に想定どおりの気候変化が起きるケース（CyAy）では、CyAnに比べて消費低下の度合いが小さい（図72）。気候変化を見込み、早い時期から治水社会資本への投資を増やすことにより、気候変化による洪水被害をかなり軽減できる。
- ・ 長期的に見た場合、気候変化の生起に関わらず、懸念される気候変化に適応するための投資をしておく

ことが最適な選択肢であることを，maximin原則（生起不確実な事象のそれぞれについて複数の政策選択肢の中から最も便益が小さくなるものを選び，さらにその中で最も便益が大きいものを採用する。最悪の致命的な結果を回避することを重視する意思決定原則）に基づく意思決定分析により示した。気候変化が持つ不確実性は気候変化に対する適応政策を必ずしも妨げないことを，中国の洪水影響に関して示した。

本研究では評価の対象として温暖化による洪水影響と治水投資による適応の関係について取り上げたが，採用した適応策評価の手法は，他の影響（例えば渇水や農業影響）についても応用が可能であると考えられる。今後の課題としては，評価の対象とする影響分野を広げるとともに，被害軽減のための社会資本等への投資の効果に関するより精度の高いデータの収集を推し進めていくことが挙げられる。また，温暖化の生起およびその影響による被害の程度の不確実性に関して，最新の知見に

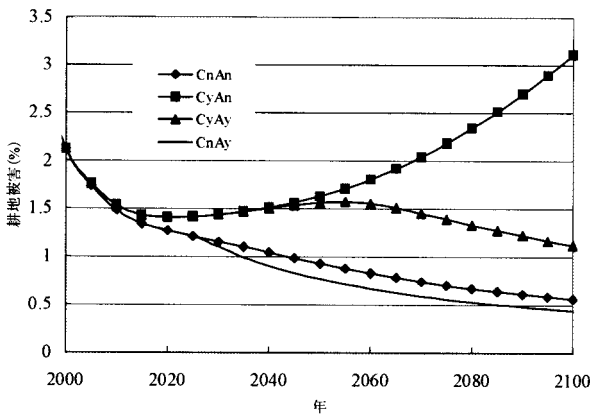


図69 洪水による耕地被害

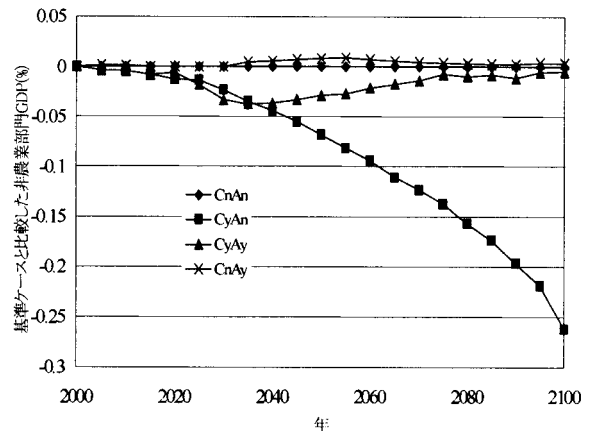


図71 非農業部門GDP
(基準ケースCnAnとの比較)

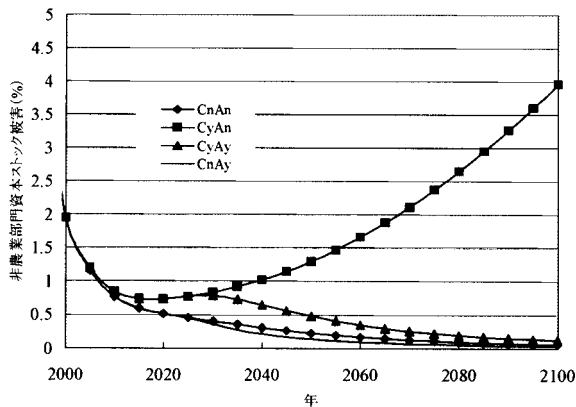


図70 非農業部門資本ストック被害
(基準ケースCnAnとの比較)

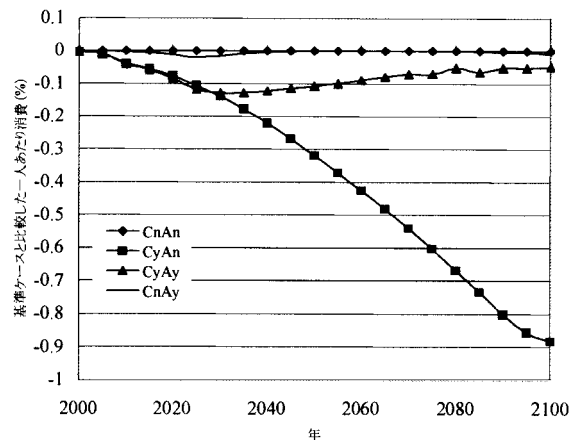


図72 一人あたり消費
(基準ケースCnAnとの比較)

に基づいた生起確率を考慮することで、より現実的な分析が可能となる。

4) 温暖化影響の経済へのフィードバックとモデル統合の試み

気候変動の防止に向けた取り組みの効果を、気候変動からのフィードバックを考慮に入れたうえで定量的に評価するために、これまでに開発してきた排出モデル、気候モデル、影響モデルを図73のように統合することを試みた。

排出モデルは、GTAPデータベースをもとにした応用一般均衡モデルであり、投資の蓄積過程を取り込んだ逐次動学モデルである。対象となる温室効果ガスは、CO₂、CH₄、N₂O、SO₂であり、これらのガスの排出量を網羅的に推計するために、排出モデルには、化石燃料の燃焼、工業プロセス、土地利用を明示的に表現している。また、排出モデルでは、気候変動に伴う生産性の変化を表現することができるように生産関数を修正している。

気候モデルは、2つのモジュールからなる。1つ目は、排出モデルで計算された温室効果ガスとフロン等の他の温室効果ガス排出量のシナリオをもとに全球平均気温を計算するモジュール（AIM/Climate）である。2つ目は、GCM（大循環モデル）の結果をもとに、計算された全球平均気温からグリッドごとの気候変化（気温変化と降水量変化）を計算し、さらに世界各国に集計するモジュールである。

影響モデルは、各国の気候変化により生じる影響を評価するためのモジュールである。今回の統合では、米・小麦・トウモロコシの生産性変化を気候変動の影響として取り上げる。あらかじめ各国ごとに気温変化および降水量変化に対するこれらの農産物の生産性の変化を計算しておき、気候モデルから計算された気温変化および降水量変化での生産性の変化を計算する。これらの農産物の農業部門全体に占めるシェアをもとに農業部門全体への影響が計算され、排出モデルにフィードバックされる。

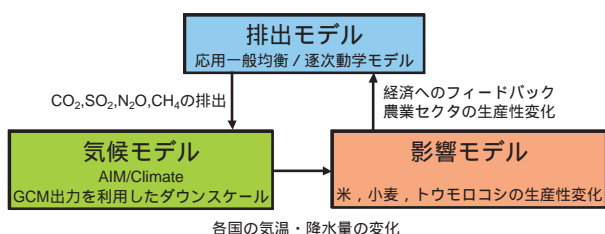


図73 3モデル統合の枠組み

本統合モデルを用いて、気候変動による農業影響のフィードバックを考慮した排出削減政策の効果を分析した。IPCCで公表されているSRESの4つのシナリオの中からB2を基準シナリオとし、B2で描かれている経済活動、温室効果ガス排出量が再現できるように技術進歩率等のキャリブレーションを行った。想定したシナリオは、基準シナリオのほかに、先進国のみが二酸化炭素排出量を削減するシナリオ（2010年は京都議定書、それ以降は5%/10年で削減）、世界全体が二酸化炭素排出量を削減するシナリオ（550ppm安定化）の3つである。図74は各シナリオにおける気温上昇の推移を示している。

図75は、GCMとしてGFDLの結果を使用した場合における地域別の農産物（米・小麦・トウモロコシ）の生産性の変化を示している。最も気温上昇の高い基準シナリオでは、インド、ラテンアメリカ、アフリカ、オセアニアの各地域で生産性が減少し、世界全体が温暖化対策をとることで、これらの地域の生産性が40%程度回復している。また、こうした農業生産の変化は、各地域の経済活動にも大きな影響を及ぼす（図76）。基準シナリオの場合、世界全体の経済的な損失は1%であるが、農産物の生産性と同様に大きな格差が地域間で見られる。なお、今回の計算では影響を緩和させる取り組みの導入は想定しておらず、かなり極端な影響が出ている。影響の緩和策も含めた評価は今後の課題である。

5) 影響評価のための新しい経済モデルの開発

地球温暖化による影響を経済的に評価する場合、農業影響などの直接的な経済影響のみを評価すると過少に評価する危険性が常につきまとう。地球温暖化が広く自然生態系に著しい影響を与えることを勘案すれば、これらの自然生態系への影響を通じて間接的に生じる経済影響が膨大になることが予想され、定量的な評価方法の確立

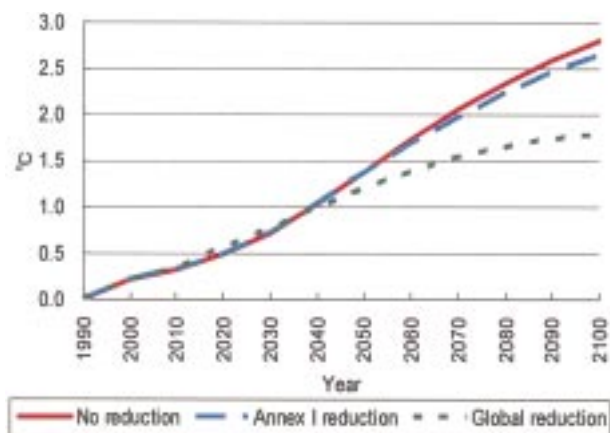


図74 各シナリオにおける気温上昇の推移

が求められている。IPCC Technical Paper “Climate Change and Biodiversity” では、気候変動による生態系への影響とその損失が言及され、また、MA (Millennium Ecosystem Assessment) においても、自然生態系の劣化により自然生態系のもたらす財やサービスが減少していくことに強い懸念を抱いている。

このため本プロジェクトにおいては、自然生態系への温暖化影響を経済的に評価する新しい統合モデル、AIM/Ecosystemの開発に着手した。

このモデルは、長期的な世界規模での環境変化という視点から、世界経済、生態系サービスの変化、および環境政策を包括的に取り扱うことをめざし、これまで開発してきたAIMモデル (AIM/Impact, Aim/Material, AIM/Land-use, AIM/CGE-Linkage) の統合を試みる。その構造を図77に示す。大きな特徴は、自然資本維持セクターを設けて、自然生態系維持のための投資の概念を組み込み、環境サービス生産部門に自然資本を供給することにより、自然生態系と経済との相互作用を再現することを試みた点にある。

このモデルは、逐次的一般均衡型の世界経済モデルを基本とし、人工・自然資本の連続的蓄積と減価償却を表すプロセスモデルを連結する。そして、温室効果ガスや

汚濁物の排出およびそれらの削減行動を明示的にモデルに組み込み、炭素・窒素サイクル、水文、浸食・風化等の自然プロセスについての簡略モデルも組み込む。そして、世界規模の人口・GDP・土地利用変化・気候変動を整合性をもって予測するとともに、自然管理活動とマクロ経済の相互作用を再現する。さらに、経済的生産と人間生活に必要な不可欠な自然・環境サービスをモデル化し、自然サービス・環境保全活動・それらの経済的相互作用 (大気汚染コントロール、水：水質基準・給水・処理、農業、土壌組成、土地浸食、栄養分 (N) の循環、伝統的な燃料生産) を概括的に再現する予定である。

このモデルは、平成15年度におおむね完成させる予定であり、温暖化影響の経済的評価の方法論に大きな革新をもたらせればと考えている。

2.3 まとめと今後の課題

平成13年度および14年度の主要な研究成果としては、炭素循環分野においては、モニタリングのための施設や体制を整えることができ、今までの観測をもとにしていくつかの分析結果を出せたこと、総合モデル分野においては、気候モデルについて再現実験が終了してモデルの高分解能化・高精度化への準備が整ったこと、統合評価モデルについて主要なモデル開発が進み、各種のシミュレーション結果を国際機関や政府などに提供することができたこと、があげられる。以下にその概要をまとめる。

(1) 炭素循環と吸収源変動要因の解明

地球環境研究センターのモニタリングステーションや商船観測と連携して、大気中のO₂濃度やCO₂の炭素同位体比を継続的・広域的に観測し、海洋と陸域の吸収を分離して、エルニーニョなどに伴うCO₂吸収量の変動の分析を始めた。

地上連続観測と航空機を利用して、大気中CO₂観測による陸域生態系の炭素収支の推定のフィジビリティを検討した。

林内大気中CO₂の炭素同位体比測定を行い、光合成と呼吸に5日程度の早い循環があることを明らかにした。また、土壌呼吸の通年観測により、アジアモンスーン地帯では従来強調されていた土壌水分依存は小さいことが分かった。

森林の炭素吸収量を推定するモデルを改良して我が

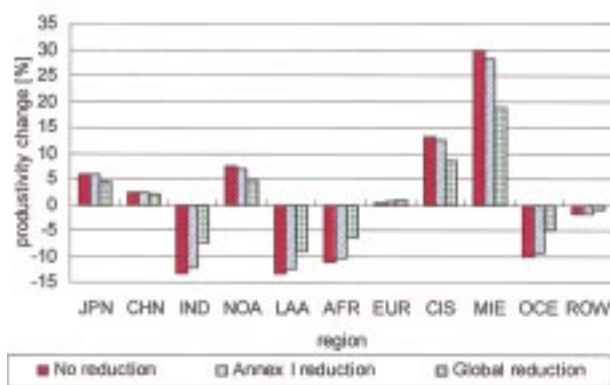


図75 2100年における農産物の生産性の変化 (現状との比較)

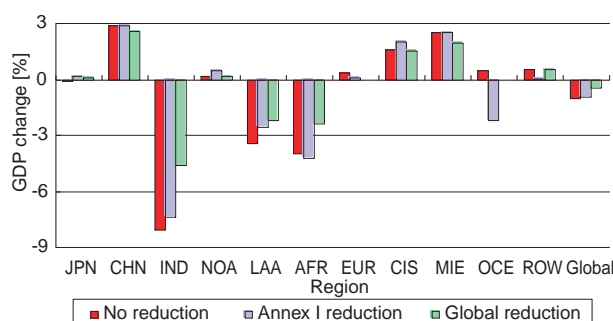


図76 2100年におけるGDPの変化 (影響がない場合との比較)

国の吸収量推定に適用した。また、炭素吸収量のモニタリング・認証手法や炭素管理オプションについての基礎的な検討を行った。

現在までに得られている国内外機関の海洋表層CO₂データを活用して、太平洋域の人為起源CO₂の海洋吸収量が変動する要因を解析した。また、これらのデータの統一利用を可能にするための、分析標準化を行った。

(2) 統合評価モデルを用いた地球温暖化のシナリオ分析とアジアを中心とした総合的対策研究

大循環モデルの今までのシミュレーション結果を精査してモデルの改良方針を明確化するとともに、大循環モデルの高分解能化・高精度化に着手した。また、各種の気候および地球環境のモニタリングデータを収集し、エアロゾル等の排出データベースを作成することにより、過去の歴史の再現実験を行った。

エネルギー関連排出モデルを改良して非CO₂ガスの排出に適用するとともに、汎用化に着手した。また、経済・マテリアル統合モデルを開発してインド・中国に適用するとともに、簡略型統合モデルを改良して世界に拡張した。さらに、多地域多部門一般均衡モデルの開発に着手するとともに、モデルを用いたシナリオの定量化の作業を進めた。これら

の成果は、政府、UNEP、MA、エコアジア等で活用された。

IPCCに基づく気候シナリオデータを作成し影響評価へ適用した。また、水資源影響モデルの改良によりアジア地域の水需要推計に適用するとともに、適応政策分析用経済モデルを開発して、中国の河川投資評価に適用した。さらに、温暖化影響の経済へのフィードバックを推計するために、農業影響の経済成長への影響を評価するとともに、影響評価のための新しい経済モデルの開発に着手した。

(3) 今後の課題、展望

今後の大きな課題は、炭素循環モニタリング、気候モデル、統合評価モデルの3つをどのようにつないでいくかという点に集約される。個々の炭素循環に関するモニタリングは地球全域をカバーするものではないため、このモニタリング結果と予測モデルをつなぐためには、スポット的なデータによっても随時精度を改良できるような炭素循環モデルの開発が必要となっている。また、気候モデルをインハウス・モデルとして用いる強みは、炭素循環に深く関係する陸域生態系と大気圏の相互作用を詳細に再現したり、気候変動に伴う影響が気候にフィードバックを起こす過程を再現するシミュレーションを可能にする点であり、このためのモデル開発が必要である。このようなモデルとしては、地球規模の動学的植生モデ

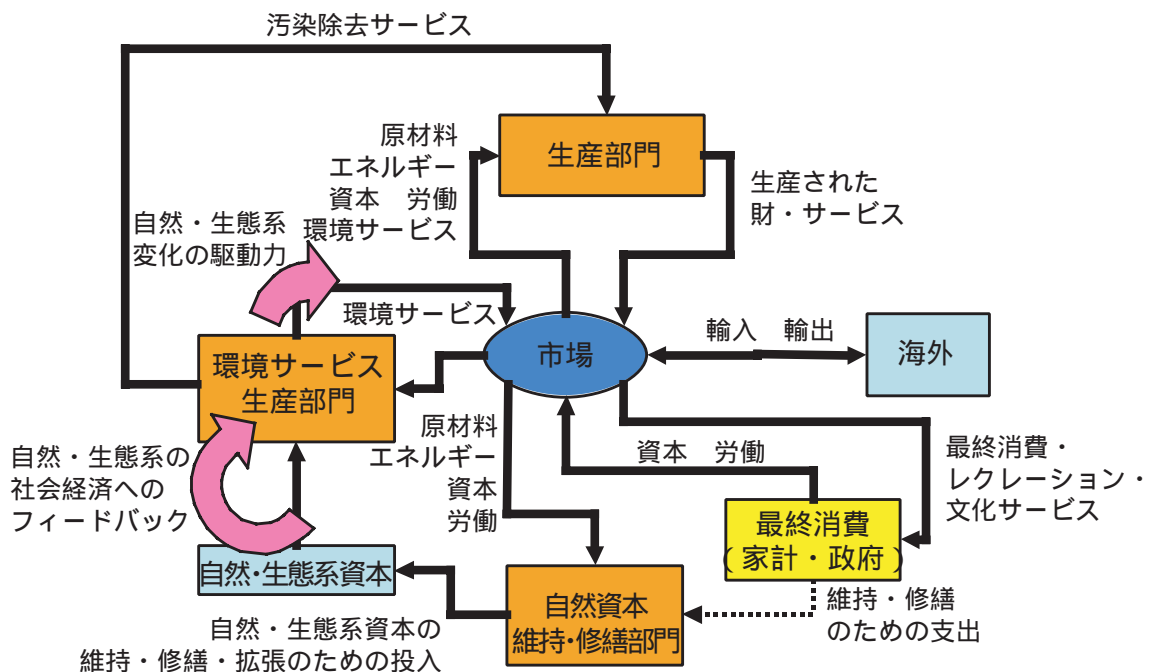


図77 AIM/Ecosystemのモデル構造

ル (Global Dynamic Vegetation Model : GDVM) が最も適当であり, このモデルの導入によって図78に示すように, 3つの研究活動をつなぐことができる。

このため, プロジェクト開始当初から, GDVMの導入を検討してきたが, 現状の研究スタッフではGDVMの世界のフロンティアに追いついていくことは難しく, 現在, 海外のGDVMの研究機関との提携を模索しているところである。今後は, この提携が成功すれば炭素循環モニタリング分野と総合モデル分野がこのまま一つのプロジェクトとして推進されることに意味があるが, この提携がうまくいかない場合は, プロジェクトの分割を含めた検討が必要である。

一方, 炭素循環分野においては, 今まで「予測」に力点を置いた研究計画を構成していたが, モニタリング研究の本来の重要な役割である「地球環境変動の早期警戒システムへの貢献」にも力点を置いた計画づくりが必要となっている。幸い, 地球規模, 地域規模, 森林内部の3つのスケールで大気観測から推定する研究と, 樹木の土壌・根・幹・葉の要素ごとの炭素収支観測と遠隔計測からモデルを介してスケールアップする研究とを組み合わせる構想で進んでいる。また, 機器開発や手法開発では独創的なものが生まれており, その展開により精度の高い観測データや大きな成果が得られると期待されることから, 「早期警戒システム」での高い貢献が可能である。

なお, 東大の気候システムセンターや地球フロンティア・システムとの協力によって, 気候モデルチームの研究は予定通り推進されてきたが, 国立環境研究所における気候モデルの開発・分析要員が手薄であり, 今後の人的な拡充が急務となっている。

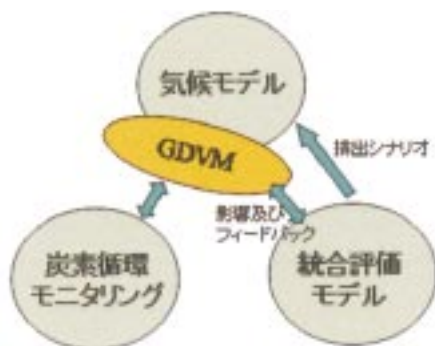


図78 3つの研究活動とDVM

引用文献

- 1) Keeling, R. F., and S. R. Shertz (1992): Seasonal and interannual variations in atmospheric oxygen and implications for the global carbon cycle, *Nature*, **358**, 723-727.
- 2) Bender, M., T. Ellis, P. Tans, R. Francey, and D. Lowe (1996): Variability in the O₂/N₂ ratio of southern hemisphere air, 1991-1994: Implications for the carbon cycle, *Global Biogeochem. Cycles*, **10**, 9-21.
- 3) Keeling, R. F., S. C. Piper, and M. Heimann (1996): Global and hemispheric CO₂ sinks deduced from changes in atmospheric O₂ concentration, *Nature*, **381**, 218-221.
- 4) Tohjima, Y. (2000): Method for measuring changes in the atmospheric O₂/N₂ ratio by a gas chromatograph equipped with a thermal conductivity detector, *J. Geophys. Res.*, **105**, 14, 575-14, 584.
- 5) Bowling, D. R., N. G. McDowell, B. J. Bond, B. E. Law, and J. R. Ehleringer (2002): 13C content of ecosystem respiration is linked to precipitation and vapor pressure deficit, *Oecologia*, **131**, 113-124.
- 6) Zeng, J., Y. Nojiri, P. P. Murphy, C. S. Wong, and Y. Fujinuma (2002): A comparison of pCO₂ distributions in the northern North Pacific using results from a commercial vessel in 1995-1999, *Deep Sea Res. II*, **49**, 5303-5315.
- 7) Liousse, C., J. E. Penner, C. Chuang, J. J. Walton, H. Eddleman and H. Cachier (1996): A global three-dimensional model study of carbonaceous aerosols, *J. Geophys. Res.* **101**, 19,411-19,432.
- 8) Cooke, W. F. and J. J. N. Wilson (1996): A global black carbon aerosol model, *J. Geophys. Res.*, **101**, 19,395-19,409.
- 9) Cooke, W. F., C. Liousse, H. Cachier and J. Feichter (1999): Construction of a 1°×1° fossil fuel emission data set for carbonaceous aerosol and implementation and radiative impact in the ECHAM4 model, *J. Geophys. Res.*, **104**, 22,137-22,162.
- 10) Jones, P. D., T. J. Osborn, K. R. Briffa, C. K. Folland, E. B. Horton, L. V. Alexander, D. E. Parker, and N. A. Rayner (2001): Adjusting for sampling density in grid box land and ocean surface temperature time series, *J. Geophys. Res.*, **106**, 3371-3380.

[資 料]

研究の組織と研究課題の構成

1 研究の組織

[A 研究担当者]

地球温暖化研究プロジェクトグループ	
プロジェクトグループリーダー	森田恒幸
プロジェクトグループサブリーダー	井上 元
NIESポスドクフェロー	保原 達
	李 美善
	梁 乃申
	鳥山 敦
	須藤洋志
	中路達郎
NIESアシスタントフェロー	下山 宏
炭素循環研究チーム	野尻幸宏
	向井人史
	高橋善幸
	遠嶋康德
	町田敏暢
CREST研究員	今井圭理
CREST技術員	江頭 毅
JPRSフェロー	周 凌晞
EFフェロー	Melissa Chierici
JPRSフェロー	Agneta Fransson
科学技術特別研究員	藤井賢彦
炭素吸収源評価研究チーム	山形与志樹
	藤沼康実
	小熊宏之
NIESフェロー	Georgii Alexandrov
NIESフェロー	松本泰子
NIESポスドクフェロー	岡松暁子
NIESポスドクフェロー	武田知己
NIESアシスタントフェロー	石井 敦
NIESアシスタントフェロー	田中博春
社会経済・排出モデル研究チーム	甲斐沼美紀子
	増井利彦
	藤野純一
	日引 聡
	亀山康子
NIESアシスタントフェロー	久保田泉
EFフェロー	Hongway Yan
JSPSフェロー	Rahul Pandey
NIESポスドクフェロー	Ashish Rana

気候モデル研究チーム

神沢 博

江守正多

野沢 徹

日暮明子

NIESポスドクフェロー

永島達也

影響・適応モデル研究チーム

原沢英夫

高橋 潔

肱岡靖明

2 研究課題と担当者

(1) 炭素循環と吸収源変動要因の解明

井上 元・保原 達・李 美善・梁 乃申・鳥山 敦・須藤洋志・中路達郎・下山 宏・野尻幸宏・

向井人史・高橋善幸・遠嶋康徳・町田敏暢・今井圭理・江頭毅・周 凌晞・Melissa Chierici・

Agneta Fransson・藤井賢彦・山形与志樹・藤沼康実・小熊宏之・Georgii Alexandrov・松本泰子・岡松暎子・

武田知己・石井 敦・田中博春

(2) 統合評価モデルを用いた地球温暖化のシナリオ分析とアジアを中心とした総合的対策研究

森田恒幸・甲斐沼美紀子・増井利彦・藤野純一・日引 聡・亀山康子・久保田泉・Hongway Yan・

Rahul Pandey・Ashish Rana・神沢 博・江守正多・野沢 徹・日暮明子・永島達也・原沢英夫・高橋 潔・

肱岡靖明

(海外研究機関参加者)

中 国：Xiulian Hu, Kejun Jiang (Energy Research Institute)

Jiulin Sun, Zehui Li, Songcai You (Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research)

イ ン ド：P. R. Shukla (Indian Institute of Management)

韓 国：Tae-Yong Jung (Institute for Global Environmental Strategies)

Dong-Kun Lee (Sangmyung University)

Seong-Woo Jeon (Korea Environment Institute)

タ イ：Ram M. Shrestha (Asian Institute of Technology)

マレーシア：Azman Zainal Abidin (Universiti Putra Malaysia)

研究成果発表一覧

1 誌上発表

(1) 炭素循環と吸収源変動要因の解明

発表者・題目・掲載誌・巻(号)・頁・刊年

石井 敦：複数汚染物質議定書：「外交科学」による「交渉の理性化」, studies, 1-88, 2001

Ishii A. : Merging the EU Acidification Strategy: Evaluating the 1999 Gothenburg Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone, RECIEL, 10(2) : 210-226, 2001

Ishii A. : Diplomacy science: Modeling the hybrid character of policy-advisory science for diplomacy, submitted to Proc. 2002 Berlin Conf. Human Dimensions Global Environ. Change, Dec. 6-7, 2002

Ishii A.: Improving the Carbon Sink assessment, submitted to Clim. Policy

井上 元：地球温暖化の要因と将来予測，日本エネルギー学会誌，80(893)：794-800, 2001

井上 元：温室効果ガス削減に向けて，化学，56(10)：11, 2001

井上 元：地球温暖化-不確実性減少へのチャレンジ，JISTEC Report, 143 : 3-7, 2002

町田敏暢，矢澤健司，田頭 剛，井上 元，田丸 卓：相模湾上空における大気中二酸化炭素濃度の航空機観測，航空宇宙技術研究所報告，TR-1422，2001

Machida T., Kita K., Kondo Y., Blake D., Kawakami S., Inoue G., Ogawa T. : Vertical and meridional distributions of atmospheric CO₂ mixing ratio between northern mid latitudes and southern subtropics, J. Geophys. Res., 108(D3) : 8401, 2002

Kita K., Kawakami S., Miyazaki Y., Higashi Y., Kondo Y., Nishi N., Koike M., Blake D. R., Machida T., Sano T., Hu W., Ko M., Ogawa T. : Photochemical production of ozone in the upper troposphere in association with cumulus convection over Indonesia, 108(D3) : 2002

Liley J. B., Baumgardner D., Kondo Y., Kita K., Blake D. R., Koike M., Machida T., Takegawa N., Kawakami S., Shirai T., Ogawa T. : Black carbon in aerosol during BIBLE B, 108(D3) : 2002

Shirai T., Blake D. R., Meinardi S., Rowland F. S., Russell-Smith J., Edwards A., Kondo Y., Koike M., Kita K., Machida T., Takegawa N., Nishi N., Kawakami S., Ogawa T. : Emission estimates of selected volatile organic compounds from tropical savanna burning in northern Australia, J. Geophys. Res., 108(D3) : 8406, 2003

松本泰子：環境政策とNGOの役割 - 気候変動問題を中心に，環境保全と公共政策（岩波書店），179-205，2002

松本泰子：環境法辞典（有斐閣），分担執筆，2002

松本泰子：化学物質規制・関連法事典（丸善），分担執筆，328-331, 2003

松本泰子：気候変動問題の政府間交渉における科学とNGO - 知見の仲介者としての環境NGOの役割，環境と公害，33(1) : 45-51, 2003

松本泰子：代替フロン問題が提起する地球環境問題間の「政策的相互連関」の重要性，環境ホルモン（藤原書店），4, 2003（12月刊行予定）

Matsumoto Y. : Japanese society and the Greenpeace campaign to protect the ozone layer, PROTECTING THE OZONE LAYER The United Nations History (Earthscan Publications Ltd.), 328-329, 2002

Mukai H., Machida T., Tanaka A., Yelapatievskiy P. Vera, Uematsu M. : Lead isotope ratios in the urban air of eastern and central Russia, Atmos. Environ., 2783-2793, 2001

Mukai H., Tanaka A., Fujii T., Tang J., Guo S., Xue H., Sun Z., Zhou J., Xue D., Zhao J., Zhai G., Zhai P. : Regional characteristics of sulfur and lead isotope ratios in the atmosphere at several Chinese urban sites, Environ. Sci. Technol., 35 : 1064-1071, 2001

Hatakeyama S., Murano K., Sakamaki F., Mukai H., Bandow H., Komazaki Y. : Transport of atmospheric pollutants from East Asia, Water Air Soil Pollut., 130 : 373-378, 2001

Simohara T., Oishi O., Utsunomiya A., Mukai H., Hatakeyama S., Jang Eun-Suk, Uno I., Murano K. : Characterization of atmospheric air pollutions at two sites in northern Kyushu, Japan - chemical form, and chemical reaction: Atmos. Environ., 35 : 667-681,

2001

Uchida M., Shibata Y., Kawamura K., Kumamoto Y., Yoneda M., Ohkushi K., Harada N., Hirota M., Mukai H., Tanaka A., Kusakabe M., Uehiro T., Morita M. : Compound specific radiocarbon ages of fatty acids in marine sediments from the Western North Pacific, *Radiocarbon*, **43**(2B) : 949-956, 2001

Obayashi Y., Tanoue E., Suzuki K., Handa N., Nojiri Y., Wong C. S. : Spatial and temporal variabilities of phytoplankton community structure in the northern North Pacific as determined by phytoplankton pigments, *Deep-Sea Res. Part I*, **48** : 439-469, 2001

Murphy P., Nojiri Y., Harrison D. E., Larkin N. K. : Scales of spatial variability for surface ocean pCO₂ in the Gulf of Alaska and Bering Sea : toward a sampling strategy, *Geophys. Res. Lett.*, **28** : 1047-1050, 2001

Murphy P., Nojiri Y., Fujinuma Y., Wong C. S., Zeng J., Kimoto T., Kimoto H. : Measurements of surface seawater fCO₂ from volunteer commercial ships: Techniques and experiences from Skaugran, *J. Atmos. Ocean. Technol.*, **18** : 1719-1734, 2001

Yokouchi Y., Nojiri Y., Barrie Y. A., Toom-Sauntry D., Fujinuma Y. : Atmospheric methyl iodide: High correlation with surface seawater temperature and its implications on the sea-to-air flux, *J. Geophys. Res.*, **106** : 12661-12668, 2001

Wong C. S., Waser N. A. D., Nojiri Y., Whitney F. A., Page J. S., Zeng J. : Seasonal cycles of nutrients and dissolved inorganic carbon at high and mid latitudes in the North Pacific Ocean: determination of new production and nutrient uptake ratios, *J. Oceanogr.*, **58** : 227-243, 2002

Takahashi T., Sutherland C., Sweeney C., Poisson A., Metzl N., Tilbrook B., Bates N., Wanninkhof R., Feely R.A., Sabine C., Olafsson J., Nojiri Y. : Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects, *Deep-Sea Res. II*, **49** : 1601-1622, 2002

Toyoda S., Yoshida N., Miwa T., Matsui Y., Yamagishi H., Tsunogai U., Nojiri Y., Tsurushima N. : Production mechanism and global budget of N₂O inferred from its isotopomers in the western North Pacific, *Geophys. Res. Lett.*, **29** : 2002

Zeng J., Nojiri Y., Murphy P. P., Wong C. S., Fujinuma Y. : A comparison of pCO₂ distributions in the northern North Pacific using results from a commercial vessel in 1995-1999, *Deep Sea Res. II*, **49** : 5303-5315, 2002

Wong C. S., Waser N. A. D., Nojiri Y., Whitney F. A., Page J. S., Zeng J. : Seasonal cycles of nutrients and dissolved inorganic carbon at high and mid latitudes in the North Pacific Ocean during the Skaugran cruises: determination of new production and nutrient uptake ratios, *Deep Sea Res. II*, **49** : 5317-5338, 2002

Tsurushima N., Nojiri Y., Imai K., Watanabe S. : Seasonal variations of carbon dioxide species in the sub-arctic western North Pacific, *Deep Sea Res. II*, **49** : 5377-5398, 2002

Fujii M., Nojiri Y., Yamanaka Y., Kishi M. J. : A one-dimensional ecosystem model of time-series Station KNOT, *Deep Sea Res. II*, **49** : 5441-5461, 2002

Imai K., Nojiri Y., Tsurushima N., Saino T. : Time series of seasonal variation of primary productivity at station KNOT (44 ° N, 155 ° E) in the sub-arctic western North Pacific, *Deep Sea Res. II*, **49** : 5395-5408, 2002

Liu H., Imai K., Suzuki K., Nojiri K., Tsurushima N., Saino T. : Seasonal variability of picophytoplankton and bacteria in the western subarctic Pacific Ocean at Station KNOT, *Deep Sea Res. II*, **49** : 5409-5420, 2002

Mochizuki M., Shiga N., Saito M., Imai K., Nojiri Y. : Seasonal change of phytoplankton assemblage at an oceanic station in the western subarctic Pacific Ocean, *Deep Sea Res. II*, **49** : 5421-5439, 2002

Honda M. C., Imai K., Nojiri Y., Hoshi F., Sugawara T., Kusakabe M. : The biological pump in the northwestern North Pacific, *Deep Sea Res. II*, **49** : 5595-5625, 2002

Sasaoka K., Saitoh S., Asanuma I., Imai K., Honda M., Nojiri Y., Saino T. : Temporal and spatial variability of chlorophyll a in the western subarctic Pacific determined from satellite and ship observations during 1997-1999, *Deep Sea Res. II*, **49** : 5557-5576, 2002

Nakagawa F., Yoshida N., Nojiri Y., Makariv V. N. : Production of methane from allasses in eastern Siberia: Implications from its ¹⁴C and stable isotopic compositions, *Global Biogeochem. Cycles*, **16** : 2002

林 真智, 沼田洋一, 小熊宏之, 山形与志樹 : リモートセンシングデータを利用した林分構造の計測, 写真測量とリモートセンシング, **40**(3) : 41-46, 2001

小熊宏之, 島崎彦人, 山形与志樹 : 森林樹冠率の推定におけるミクセル分類手法の有効性に関する研究, 写真測量とリモートセンシング, **41**(2) : 4-14, 2002

- 小熊宏之, 土田 聡, 藤沼康実: 森林モニタリング用ハイパースペクトラルカメラシステムの開発, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5): 588-597, 2002
- 沖 一雄, 小熊宏之: リモートセンシングデータを用いた特定森林樹冠率の推定 - 釧路湿原におけるハンノキの推定 -, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5): 510-516, 2002
- 大政謙次, 浦野 豊, 小熊宏之, 藤沼康実: 可搬型Scanning Lidarデータを用いたカラマツ林の樹林マッピングと胸高直径及びバイオマスの推定, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5): 550-557, 2002
- 米 康充, 小熊宏之, 山形与志樹: 京都議定書に関わる吸収源計測システムの開発 - 航空機Lidarによるカラマツ林の樹冠計測と材積・炭素重量計測精度の検証, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5): 531-543, 2002
- 土田 聡, 小熊宏之: 植生反射係数Hot Spot観測のためのプロトタイプ魚眼カメラ, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5): 598-611, 2002
- Tohjima Y., Machida T., Utiyama M., Katsumoto M., Fujinuma Y., Maksyutov S.: Analysis and presentation of *in situ* atmospheric methane measurements from Cape Ochi-ishi and Hateruma Island, J. Geophys. Res., 107 : 2002
- Zeng J., Tohjima Y., Fujinuma Y., Mukai H., Katsumoto M.: A study of trajectory quality using methane measurements from Hateruma Island, Atmos. Environ. 37 : 1911-1919, 2003
- 山形与志樹, 小熊宏之, 土田 聡, 関根秀真, 六川修一: 京都議定書で評価される吸収源活動のモニタリングと認証に関わるリモートセンシング計測手法の役割, 日本リモートセンシング学会誌, 21(1): 43-57, 2001
- 山形与志樹: 京都議定書における吸収源の取り扱い - C O P 6 での交渉と科学的知見 -, 紙パ技協誌, 55(10): 18-26, 2001
- 山形与志樹, 水田秀行: 京都議定書・国際排出量取引のエージェントベースシミュレーション, オペレーションズ・リサーチ, 10 : 2001
- 山形与志樹, 小熊宏之: 時系列センサフュージョン画像を用いた最新分類手法制度比較, 日本リモートセンシング学会誌別刷, 21(4): 322-329, 2001
- 山形与志樹, 小熊宏之: 時系列センサフュージョン画像を用いた最新分類手法精度比較, 日本リモートセンシング学会誌, 21(4): 322-329, 2001
- 山形与志樹, 石井 敦: 吸収源に関する主要論点と交渉経緯, 京都議定書の国際制度: 地球温暖化交渉の到達点, 2002
- 山形与志樹: 京都議定書と吸収源: C O P 7 間での合意と今後の改題, RPレビュー, 8(2): 20-28, 2002
- 山形与志樹: リモートセンシングに基づいた広域植生区分, 地球環境調査計測事典 第一巻 陸域編, 730-732, 2002
- 山形与志樹: 植物群落の吸収源機能評価, 地球環境調査計測事典 第一巻 陸域編, 733-738, 2002
- 山形与志樹, 小熊宏之, 関根秀真, 土田 聡: 吸収源を用いた地球温暖化対策とリモートセンシングの役割, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5): 494-509, 2002
- 関根秀真, 山形与志樹, 小熊宏之: 吸収源プロジェクト実施地域を対象とした衛星データによるA R D活動のモニタリング, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5): 517-530, 2002
- 小林史歩, 六川修一, 山形与志樹, 小熊宏之: カラマツ葉の生化学物質含有量推定に関する研究 - LIBERTYモデルに基づく検討 -, 日本リモートセンシング学会誌, 22(5): 571-587, 2002
- Yamagata Y., Alexandrov G. A. : Global Potential of Carbon Sinks under the Kyoto Protocol, Present & Future Modeling Global Environ. Change : Toward Integrated Modeling, 421-426, 2001
- Schlamadinger B., Obersteiner M., Michaelowa A., Grubb M., Azar C., Yamagata Y., Goldberg D., Read P., Kirschbaum M. U. F., Fearnside P. M., Sugiyama T., Rametsteiner E., Böswald K. : Capping the Cost of Compliance with the Kyoto Protocol and Recycling Revenues into Land-Use Projects, Sci. World, 1 : 271-280, 2001
- Obersteiner M., Azar C. H., Kauppi P., Möllersten K., Moreira J., Nilsson S., Read P., Riahi K., Shlamadinger B., Yamagata Y., Yan J., Van Ypersele J. P. : Managing Climate Risk, Science, 294 : 786-787, 2001

Mizuta H., Yamagata Y. : Agent-based Simulation and Gaming System for International Emissions Trading, Agent-Based Approaches Econ. Soc. Complex Syst., 69-78, 2002

Alexandrov G. A., Yamagata Y., Oikawa T. : The scheme for globalization of a process-based model explaining gradations in terrestrial NPP and its application, Ecol. Modeling, 148 : 293-306, 2002

Alexsandrov G. A., Yamagata Y. : Net biome production of managed forests in Japan, Sci. China(Series C), 45(7) : 1-6, 2002

Sedjo R. A., Amano M., Yamagata Y. : The Operationalization of the Kyoto Protocol with a Focus on Sinks: A Perspective for Japan, 森林総合研究所研究報告, 1(2) : 151-161, 2002

Golubyatnikov L. L., Yamagata Y., Alexandrov G. A. : Stochastic Generator of Monthly Precipitation and Monthly Average Temperature, Izvestiya, Atmos. Oceanic Phys., 38(1) : 40-47, 2002

山形与志樹 : 京都議定書における吸収源対策 : マラケシュ合意と中長期的課題 , エネルギー・資源 , 24(4) : 35-38, 2003

山形与志樹 : グローバル炭素循環の急激な変動リスクと中長期的な吸収源対策の可能性 , RPレビュー , 11(2) : 28-38, 2003

Oki K., Oguma H., Sugita M. : Subpixel Classification of Alder Trees Using Multitemporal Landsat Thematic Mapper Imagery, Photogramm. Eng. & Remote Sensing, 68(1) : 77-82, 2002

土田 聡, 小熊宏之, 岡田周平, 香西克俊, 根岸正浩, 山本泰志 : 野外放射計校正のための放射輝度実用標準 , 日本リモートセンシング学会誌 , 22(4) : 456-477, 2002

中路達郎, 武田知己, 向井 譲, 小池孝良, 小熊宏之, 藤沼康実 : カラマツ針葉の色素濃度および光合成活性と分光反射指標の関係 , 日本林学会誌 , 85(3) : 205-213, 2002

岡松暁子 : 地球温暖化をめぐる法的紛争の現状と課題 , 人間環境論集 , 2004.3 (掲載予定) .

江守正多：地域気候モデル，月刊海洋，34(2)：136-140, 2002

江守正多：大陸規模・地域規模の気候変化，地球環境ハンドブック第2版，不破敬一郎・森田昌敏（編著），朝倉出版，2002

Emori S., Nozawa T., Numaguti A., Uno I. : Importance of cumulus parameterization for precipitation simulation over East Asia in June, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 79(4) : 939-947, 2001.

Uno I., Emori S., Baldi M. : Chemical transport model on-line coupled with RAMS for regional chemical climate, in *Air Pollution Modeling and Its Application XIV*, Gryning and Schiermeier (*eds.*), Kluwer Publ., 75-85, 2001

Uno I., Amano H., Emori S., Kinoshita K., Matsui I., Sugimoto N. : Trans-Pacific yellow sand transport observed in April 1998: a numerical simulation, *J. Geophys. Res.*, 106 : 18331-18344, 2001

Yoshikane T., Kimura F., Emori S. : Numerical study on the Baiu front genesis by heating contrast between land and ocean, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 79(2) : 671-686, 2001

Kubota H., Numaguti A., Emori S. : Numerical experiments for the mechanism of diurnal variation of tropical nocturnal convection, *J. Meteor. Soc. Jpn.*, submitted, 2002

Takata K., Emori S., Watanabe T. : Development of the minimal advanced treatments of surface interaction and runoff (MAT-SIRO), *Global & Planet. Change*, 38 : 209-222, 2003

Watanabe, T., Yokozawa M., Emori S., Takata K., Sumida A., Hara T. : Development of multilayered integrated numerical model of surface physics-growing plants interaction, *MINoSGI, Global Change Biol.*, 2004, (in press).

藤野純一：世界におけるバイオエネルギーの資源量評価 エネルギーモデルによる供給力解析，環境技術，30(7)：503-509，2001

山本博巳，藤野純一，山地憲治：最適化型世界土地利用エネルギーモデルによるバイオエネルギー評価，電力中央研究所報告，2001

藤野純一：バイオエネルギーの経済性評価，横山伸也[編]，バイオマスハンドブック，オーム社，334-344，2002

藤野純一：バイオガスを回収したときに残された汚水処理の問題点，畜産排泄物バイオガス化普及の鍵を握る汚水処理，クリーンエネルギー，11(2)：19-25, 2002

藤野純一，森田明宏，松岡泰成，澤山茂樹：畜産排せつ物のバイオエネルギー利用ビジョン，日本エネルギー学会誌，81(5)：304-310, 2002

藤野純一，山本博巳，山地憲治：食料バイオマス・フロー見直しによる畜産排せつ物エネルギーポテンシャル見積もりの改訂，エネルギー・資源，24(1)：61-64, 2003

Yamamoto H., Fujino J., Yamaji K. : Evaluation of Bioenergy Potential with a Multi-Regional Global Land Use and Energy Model, *Biomass and Bioenergy*, 21 : 185-203, 2001

Fujino J., Matsui S., Matsuoka Y., Kainuma M. : AIM/Trend: Policy Interface, In Kainuma M., Matsuoka Y., Morita T. *eds.*, *Clim. Policy Assess.*, Springer, 217-232, 2002

Gielen D. J., Fujino J., Hashimoto S., Moriguchi Y. : Biomass strategies for climate policies ?, *Clim. Policy*, 2(4) : 319-333, 2002

Tokimatsu K., Fujino J., Konishi S., Ogawa Y., Yamaji K.: Role of nuclear fusion in future energy systems and the environment under future uncertainties, *Energy Policy*, 31(8) : 775-797, 2003

Gielen D. J., Fujino J., Hashimoto S., Moriguchi Y. : Modeling of global biomass policies, *Biomass and Bioenergy* (in press) 25(2) : 177-195, 2003

Tokimatsu K., Asaoka Y., Konishi S., Fujino J., Ogawa Y., Okano K., Nishino S., Yoshida T., Hiwatari R., Yamaji K. : Studies of breakeven prices and electricity supply potentials of nuclear fusion by a long-term world energy and environment model, *Nucl. Fusion*, 42(11) : 1289-1298, 2002

藤森裕介・尾崎則篤・福島武彦・原沢英夫：気温・降水量変化がレジャー産業に及ぼす影響 - スキー場への影響予測

事例 - , 第29回環境システム研究論文発表会講演論文集, 323-330, 2001

松岡 謙・原沢英夫・高橋 潔 : 研究展望地球環境問題へのシナリオアプローチ, 土木学会論文集, 678(VII-19) : 1-11, 2001

原沢英夫 : 温暖化の日本への影響の全体像, 気候影響・利用研究会報, 21 : 5-10, 2002

原沢英夫 : IPCC 第3次評価報告書(影響, 適応, 脆弱性)の概要~顕在化した温暖化の影響~, 気候影響・利用研究会報, 20 : 17-22, 2002

原沢英夫 : 世界, 日本の温暖化研究の最前線, 平成14年度水産工学関係試験研究推進会議水産基盤部会報告書, 3-9, 2003

原沢英夫 : 地球規模の影響, 総合科学技術会議環境担当議員・内閣府政策統括官(化学技術政策担当)共編, 総合科学技術会議・地球温暖化研究イニシヤティブ・気候変動分野報告書, 地球温暖化研究の最前線 - 環境の世紀の知と技術 2002 - , 71-81, 2003

Lal M., Harasawa H. : Future Climate Change Scenarios for Asia as Inferred from Selected Coupled Atmosphere-ocean Global Climate Models, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 79(1) : 219-227, 2001

Lal M., Harasawa H., Murdiyarso D. : Chapter 11 Asia, *Climate Change 2001 Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Contrib. Working Group II 3rd Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Change*, 533-590, Cambridge Univ. Press, 2001

Lal M., Harasawa H., Murdiyarso D., Adger W. N., Adhikary S., Ando M., Anokhin Y., Cruz R.V., Ilyas M., Kopaliani Z., Lansigan F., Li C., Patwardhan A., Safriel U., Suharyono H., Zhang X., Badarch M., Chen X., Emori S., Fang J., Gao Q., Hall K., Jarupongsakul T., Khanna-Chopra R., Khosa R., Kirpes M. P., Lelakin A., Mimura N., Mirza M. Q., Mizina S., Nakagawa M., Nakayama M., Ni J., Nishat A., Novoplansky A., Nozawa T., Piver W. T., Ramakrishnan P. S., Rankova E., Root T. L., Saltz D., Sharma K. P., Shrestha M. L., Srinivasan G., Teh T. S., Xin X., Yoshino M., Zangvil A., Zhou G. : Asia. Chapter 11 of IPCC Climate Change 2001, Impacts, Adaptation, and Vulnerability, In McCarthy, J. J., O.F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken and K. S. White (*eds.*), Cambridge Univ. Press, 2001

Fu C., Harasawa H., Kasyanov, Kim J-W., Ojima D., Wan Z., Zhao S. : Chapter 4 Regional-Global Interactions in East Asia. In *Global-Regional Linkages in the Earth System*, In Tyson, P., R. Fuchs, C. Fu, L. Lebel, A.P. Mitra, E. Odada, J. Perry, W. Steffen, and H. Virji (*eds.*), The IGBP Series, Springer, 109-149, 2002

Harasawa H., Matsuoka Y., Takahashi K., Hijioka Y., Shimada Y., Munesue Y., Lal M. : Potential impacts of global climate change, *Climate Policy Assessment: Asia-Pacific Integrated Modeling*, Kainuma, M., Y. Matsuoka, and T. Morita, *eds.*, Springer, 37-54, 2002

Lal M., Harasawa H., Takahashi K. : Future Climate Change and Its Impacts Over Small Island States, *Clim. Res.*, 19 : 179-192, 2002

Nakajima T., Higurashi A., Kawamoto K., Penner J. : A possible correlation between satellite-derived cloud and aerosol microphysical parameters. *Geophys. Res. Lett.*, 28 : 1171-1174, 2001

Higurashi A., Nakajima T. : Detection of aerosol types over the East China Sea near Japan from four-channel satellite data. *Geophys. Res. Lett.*, 29(17) : 1836, 2002

Chin M., Ginoux P., Kinne S., Torres O., Holben B. N., Duncan B. N., Martin R. V., Logan J. A., Higurashi A., Nakajima T. : Tropospheric aerosol optical thickness from the GOCART model and comparisons with satellite and sun photometer measurements, *J. Atmos. Sci.*, 59 : 461-483, 2002

Penner J. E., Zhang S., Chin M., Chuang C. C., Feichter J., Feng Y., Geogdzhayev I. V., Ginoux P., Herzog M., Higurashi A., Koch D., Land C., Lohmann U., Mishchenko M., Nakajima T., Pitari G., Soden B., Tegen I., Stowe L. : A comparison of model- and satellite-derived aerosol optical depth and reflectivity, *J. Atmos. Sci.* 59 : 441-460, 2002

Takemura T., Uno I., Nakajima T., Higurashi A., Sano I. : Modeling study of long-range transport of Asian dust and anthropogenic aerosols from East Asia, *Geophys. Res. Lett.*, 29 : 2158, 2002

Takemura T., Nakajima T., Higurashi A., Ohta S., Sugimoto N. : Aerosol distributions and radiative forcing over the Asian-Pacific region simulated by SPRINTARS, *J. Geophys. Res.*, 2003, (in press).

Nakajima T., Sekiguchi M., Takemura T., Uno I., Higurashi A., Kim D., Sohn B. J., Oh S. N., Nakajima T. Y., Ohta S., Okada I., Takamura T., Kawamoto K. : Significance of direct and indirect radiative forcings of aerosols in the East China Sea region, *J.*

Geophys. Res., 108(D22) : 8658, 2003

Sekiguchi M., Nakajima T., Suzuki K., Kawamoto K., Higurashi A., Rosenfeld D., Sano I., Mukai S. : A study of the direct and indirect effects of aerosols using global satellite datasets of aerosol and cloud parameters, *J. Geophys. Res.*, 108(D22) : 4699, 2003

Suzuki K., Nakajima T., Numaguti A., Takemura T., Kawamoto K., Higurashi A. : A study of the aerosol effect on a cloud field with simultaneous use of GCM modeling and satellite observation, *J. Atmos. Sci.*, accepted

Myhre G., Stordal F., Johnstrud M., Ignatov A., Mishchenko M. I., Geogdzhayev I. V., Tanre D., Deuze J. L., Goloub P., Nakajima T., Higurashi A., Torres O., Holben B. N. : Intercomparison of satellite retrieved aerosol optical depth over ocean. *J. Atmos. Sci.*, (in press).

脇岡靖明, 高橋 潔, 松岡 謙, 原沢英夫 : 地球温暖化による水系感染症への影響, *水環境学会誌*, 25(11) : 647-652, 2002

Kainuma M., Morita T., Matsuoka Y., Masui Y., Fujino J., Takahashi K., You S. : Future perspectives, Towards a Sustainable Asia and the Pacific, Rep. ECO Asia Long-term Perspect. Proj., Phase II, IGES, 2002

Kainuma M., Matsuoka Y., Morita T. : AIM Modeling : Overview and Major Findings, Kainuma M., Matsuoka Y., Morita T. eds., *Climate Policy Assessment*, Springer, 3-13, 2002

Kainuma M., Matsuoka Y., Morita T., Masui T., Takahashi K. : Cost Analysis of Mitigation Policies, M. Kainuma, Y. Matsuoka and T. Morita eds., *Climate Policy Assessment*, Springer, 56-72, 2002

Kainuma M., Matsuoka Y., Hibino G., Shimada K., Ishii H., Matsui S., Morita T. : Application of AIM/Enduse Model to Japan, Kainuma M., Matsuoka Y., Morita T. eds., *Climate Policy Assessment*, Springer, 156-176, 2002

Hibino G., Matsuoka Y., Kainuma M.: AIM/Common Database : A Tool for AIM Family Linkage, M. Kainuma, Y. Matsuoka and T. Morita eds., *Climate Policy Assessment*, Springer, 234-244, 2002

Hibino G., Pandey R., Matsuoka Y., Kainuma M. : A Guide to AIM/Enduse Model, M. Kainuma, Y. Matsuoka and T. Morita eds., *Climate Policy Assessment*, Springer, 247-298, 2002

神沢 博 : 成層圏水蒸気の分布と長期変動, 平成13年度研究集会講演集 (第12回大気化学シンポジウム), 名古屋大学太陽地球環境研究所, 3-5, 2002

神沢 博 : 地球スケールモデル, 「地球環境調査計測事典」, 第1巻陸域編, 竹内均監修, フジ・テクノシステム, 472-478, 2002

神沢 博 : 地球の気候システム, 「環境工学公式・モデル・数値集」, 土木学会環境工学委員会編, 2003.(印刷中).

Zhang J. H., Fu C. B., Kanzawa H. : Simulating canopy stomatal conductance of winter wheat and its distribution using remote sensing information, *J. Environ. Sci.-China*, 13(4) : 439-443, 2001

Kanzawa H. : Comments: Climate oriented. Proc. Indonesian Forest Fire and its Environmental Impacts (15th Global Environment Tsukuba) (Tokyo, Japan, 7 March 2000), Shimizu H. ed., CGER-I049-2002, 38-39, 2002

Kanzawa H., Schiller C., Ovarlez J., Camy-Peyret C., Payan S., Jeseck P., Oelhaf H., Stowasser M., Traub W. A., Jucks K. W., Johnson D. G., Toon G. C., Sen B., Blavier J.-F., Park J. H., Bodeker G. E., Pan L. L., Sugita T., Nakajima H., Yokota T., Suzuki M., Shiotani M., Sasano T. : Validation and data characteristics of water vapor profiles observed by the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) and processed with the version 5.20 algorithm, *J. Geophys. Res.*, 107(D24) : 8217, 2002

Pan L. L., Randel W. J., Massie S. T., Kanzawa H., Sasano Y., Nakajima H., Yokota T., Sugita T. : Variability of polar stratospheric water vapor observed by ILAS, *J. Geophys. Res.*, 107(D24) : 8214, 2002

Kanzawa H., et al. : Correction to "Validation and data characteristics of water vapor profiles observed by the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) and processed with the version 5.20 algorithm" by H. Kanzawa et al., *J. Geophys. Res.*, 108(D4) : 8218, 2003

Kanzawa H., Sugita T., Nakajima H., Bodeker G. E., Oelhaf H., Stowasser M., Wetzel G., Engel A., Schmidt U., Levin I., Toon G. C., Sen B., Blavier J.-F., Aoki S., Nakazawa T., Jucks K. W., Johnson D. G., Traub W. A., Camy-Peyret C., Payan S., Jeseck P., Murata I., Fukunishi H., Von Koenig M., Bremer H., Kuellmann H., Park J. H., Pan L. L., Yokota T., Suzuki M., Shiotani M., Sasano Y. : Validation and data characteristics of nitrous oxide and methane profiles observed by the Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) and processed with the version 5.20 algorithm, *J. Geophys. Res.*, 108(D16) : 8003, 2003

- 増井利彦：シナリオ先導型システム分析，環境情報科学，30(4)，36-37，2001
- 増井利彦，松岡 譲，森田恒幸：応用一般均衡モデルを用いた地球温暖化・廃棄物対策の経済影響，環境経済・政策学会年報第6号，経済発展と環境保全，東洋経済新報社，69-82，2001
- 増井利彦：環境保全と経済発展の両立に向けて，廃棄物研究財団財団だより，(50)：12-17，2002
- Masui T., Matsuoka Y., Morita T., Kainuma M., Takahashi K. : Development of land use model for IPCC New Emission Scenarios (SRES), Present and Future of Modeling Global Environmental Change, Toward Integrated Modeling, Terra Sci. Pub. Co., 441-448, 2001
- Masui T., Rana A., Matsuoka Y. : AIM/Material Model, M.Kainuma, Y.Matsuoka and T.Morita eds., Climate Policy Assessment, Springer, 177-196, 2002
- Rana A., Masui T.: Modeling for Environmental Policy in India, In C.A. Brebbia and P. Zannetti eds., Dev. & Appli. Comput. Tech. Environ. Stud. IX, 217-226, 2002
- 入江康子，小林由典，森田恒幸：環境クズネツ曲線を用いた低公害型経済発展の政策分析-SO₂の長期時系列データによる実証とモデルによるシミュレーション分析，環境経済・政策学会年報，6：114-130，2001
- 森田恒幸：二酸化炭素固定場としての熱帯林の経済評価，TROPICS 熱帯研究，11(4)：213-219，2002
- 森田恒幸：人口増加と持続可能な発展，人口大事典，日本人口学会編，778-782，2002
- 森田恒幸，松岡譲：地球温暖化予測シミュレーション，オペレーションズ・リサーチ，47(6)：353-359，2002
- Morita T., Robinson J. : Greenhouse Gas Emission Mitigation Scenarios and Implications, Clim. Change 2001 Mitigation, 115-166, 2001
- Matsuoka Y., Morita T., Kainuma M. : Integrated Assessment Model of Climate Change: The AIM Approach, Present and Future of Modeling Global Environmental Change, Terra Sci. Pub. Co., 339-361, 2001
- Sumi A., Morita T. : Discussion on strategy toward modeling of integrated system. Present and Future of Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling, Terra Sci. Pub. Co., 363-372, 2001
- Morita T., Jiang K., Masui T., Matsuoka T., Rana A. : Long-term Scenarios based on AIM Model, M. Kainuma, Y. Matsuoka and T. Morita eds., Climate Policy Assessment, Springer, 18-36, 2002
- Morita T., Matsuoka Y. : Global Climate Change and Food Problems, Origins Pottery & Agric., 321-326, 2002
- Swart R., Mitchell J., Morita T., Raper S. : Stabilization scenarios for climate impact assessment, Global Environ. Change, 12(3) : 155-165, 2002
- 野沢 徹：Geo-Cosmos - 世界初の映像地球儀 - ，ながれ，21：389-390，2003
- Nozawa T., Emori S., Numaguti A., Tsushima Y., Takemura T., Nakajima T., Abe-Ouchi A., Kimoto M. : Projections of future climate change in the 21st century simulated by the CCSR/NIES CGCM under the IPCC SRES scenarios, Present and Future of Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modelin, Matsuno T., Kida H. eds., Terra Sci. Pub. Co., 15-28, 2001
- Nozawa T., Kanzawa H., Sugata S., Emori S., Higurashi A., Takata K., Numaguti A., Kimoto M. : Coupled ocean-atmosphere model experiments of future climate change based on the IPCC SRES scenarios, CGER's Supercomputer Activity Rep., 8, 20-26, 2001
- Lal M., Nozawa T., Emori S., Harasawa H., Takahashi K., Kimoto M., Abe-Ouchi A., Nakajima T., Takemura T., Numaguti A. : Future climate change: Implications for Indian summer monsoon and its variability, Curr. Sci., 81(9) : 1196 - 1207, 2001
- Takemura T., Nakajima T., Nozawa T. Aoki K. : Simulation of future aerosol distribution, radiative forcing, and long-range transport in East Asia, J. Meteor. Soc. Jpn., 79 : 1139-1155, 2001
- Cubasch U., Meehl G. A., Boer G. J., Stouffer R. J., Dix M., Noda A., Senior C. A., Raper S., Yap K. S., Abe-Ouchi A., Brinkop S., Claussen M., Collins M., Evans J., Fischer-Bruns I., Flato G., Fyfe J. C., Ganopolski A., Gregory J. M., Hu Z-Z., Joos F., Knutson T., Knutti R., Landsea C., Mearns L., Milly C., Mitchell J. F. B., Nozawa T., Paeth H., Raisanen J., Sausen R., Smith S., Stocker T., Timmermann A., Ulbrich U., Weaver A., Wegner J., Whetton P., Wigley T., Winton M., Zwiers F. : Projections of future climate change. Chapter 9 of IPCC Climate Change 2001, The Scientific Basis, In Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., Noguer M., Van der Linden P. J., Dai X., Maskell K., Johnson C. A. (eds.), Cambridge Univ. Press, 2001

Nozawa T., Kanzawa H., Takayabu Y. N., Sugata S., Emori S., Higurashi A., Numaguti A., Takata K., Takayabu Y. N., Abe-Ouchi A., Kimoto M., Nakajima T., Oki T., Yokozawa M. : On the climate sensitivity of the CCSR/NIES CGCM, CGER's Supercomputer Activity Rep., 9 : 19-22, 2002

Nozawa T., Emori S., Numaguti A., Takemura T., Nakajima T., Abe-Ouchi A., Kimoto M. : Projections of future climate change simulated by a coupled ocean-atmosphere model under the IPCC SRES scenarios, In "Indonesian Forest Fire and its Environmental Impacts - The 15th Global Environment Tsukuba -", Shimizu, H. *ed.*, CGER-Rep., 30-37, 2002

Nozawa T., Emori S., Numaguti A., Tsushima T., Takemura T., Nakajima T., Abe-Ouchi A., Kimoto M. : Transient climate change simulations in the 21st century with the CCSR/NIES CGCM under a new set of IPCC scenarios, CGER'S Supercomputer Monograph Rep., 8 : 2003

Takahashi, K., Matsuoka Y., Shimada Y., Harasawa H. : Assessment of water resource problems under climate change - considering inter-annual variability of climate derived from GCM calculations-, J. Global Environ. Eng., 7 : 17-30, 2001

Takahashi K., Matsuoka Y., Okamura T., Harasawa H. : Development of climate change scenarios for impact assessment using results of General Circulation Model simulations, J. Global Environ. Eng., 7 : 31-45, 2001

You S., Takahashi K., Matsuoka Y. : Investment as an adaptation strategy to climate change: Case study of flood damage in China, Environ. Econ. Policy Stud., 4 : 45-65, 2001

You S., Takahashi K., Matsuoka Y. : Aiming at an effective adaptation strategy for climate change impact - Case study on flood damage in China -, Global Environ. Res., 5(1) : 45-53, 2001

Matsuoka Y., Takahashi K. : Global environment research in the field of Human Dimensions - Needs of integrated assessment models -, Global Environ. Res., 5(1) : 25-32, 2001

Takahashi K., You S., Sun J., Li Z., Masui T., Morita T., Matsuoka Y., Harasawa H. : Impact and adaptation assessment on a national scale: Case studies on water in China, Climate Policy Assessment: Asia-Pacific Integrated Modeling (*eds.* Kainuma M., Matsuoka Y., Morita T.), Springer, 197-216, 2002

Yang H., Matsuoka Y., Matsuo T. : Sulphur dioxide emissions and country-level distribution in China, J. Global Environ. Eng., 7 : 47-61, 2001

2 口頭発表

(1) 炭素循環と吸収源変動要因の解明

発表者・題目・学会等名称・開催都市名・年月

石井 敦, 明日香壽川, 田邊朋行: ODAによる地球温暖化対策のオプション: 債務カーボンスワップ・イニシアチブ, 環境法政策学会2001年度学術大会, 神戸, 2001.6

石井 敦, 明日香壽川, 田邊朋行: ODAによる地球温暖化対策のオプション: 債務カーボンスワップ・イニシアチブ, 環境経済・政策学会2001年大会, 京都, 2001.9

石井 敦: ディプロマトリ・サイエンスの構築: 欧州酸性雨問題の科学アセスメントを題材として, 環境経済・政策学会2003年大会, 東京, 2003.9

大久保彩子, 石井 敦: 国際環境レジームにおける科学アセスメントの学習プロセス: 国際捕鯨委員会を事例として, 環境経済・政策学会2003年大会, 東京, 2003.9

Ishii A.: Diplomacy science: Modeling the hybrid character of policy-advisory science for diplomacy, 2002 Berlin Conf. Human Dimensions Global Environ. Change, Berlin, 2002.12

Ishii A.: Improving the Scientific Assessmen of Carbon Sinks, Open Meet. Global Environ. Change Res. Community, Montreal, 2003.10

Ishii A., Okubo A., Yonemoto S.: Diplomacy Science: A Model for Accounting Effective Policy-Advisory Science in Diplomacy, 27th Annu. Meet. Soc. Soc. Studies Sci., Atlanta, 2003.10

井上 元, 梁 乃申, 山形与志樹: 森林土壌呼吸の多点連続測定, 第48回日本生態学会, 熊本, 2001.3

Inoue G., Liang N.: A sultichannel automated chamber system for continuous measurement of soil CO₂ efflux, 6th Int. carbon dioxide conf., 仙台, 2001.10

町田敏暢, 井上 元, 中澤高清, Maksyutov S., Vinnichenko N., Panchenko M., Fedoseev N.: シベリア上空における大気中メタン濃度の時間的・空間的変動, 日本気象学会2001年春季大会, 東京, 2001.5

町田敏暢, 井上 元, 中澤高清, 石戸谷重之, Maksyutov S., Vinnichenko N., Panchenko M., Fedoseev N.: シベリア上空における大気中メタン濃度の時間的・空間的変動, 第7回大気化学討論会, 雄琴, 2001.5

町田敏暢, 渡井智則, 下山 宏, 山本昌則, 井上 元, Krasnov O.: タワーと航空機を利用した大気境界層とその上部での二酸化炭素濃度の高頻度観測, 第13回大気化学シンポジウム, 豊川, 2003.1

Machida T., Inoue G., Nakazawa T., Maksyutov S., Vinnichenko N., Panchenko M., Arshinov M., Fedoseev N.: Temporal and spatial variations of atmospheric methane over Siberia, 9th symp. jt. Siberian permafrost stud. between Jpn. and Russ. 2000, 2001.1

Machida T., Inoue G.: Continuous CO₂ measurements onboard the aircraft, 1st Gen. Meet. AEROCARB, Autran, 2001.3

Machida T., Kita K., Kondo Y., Inoue G., Ogawa T.: Spatial variations of atmospheric carbon dioxide observed by BIBLE-C campaign, BIBLE Workshop, Tokyo, 2001.7

Machida T., Nakazawa T., Maksyutov S., Tohjima Y., Vinnichenko N., Panchenko M., Fedoseev N., Inoue G.: Measurements of atmospheric CO₂ over Siberia, EUROSIBERIAN CARBONFLUX final proj. meet., Autran, 2001.3

Machida T., Nakazawa T., Ishidoya S., Maksyutov S., Tohjima Y., Vinnichenko N., Panchenko M., Arshinov M., Fedoseev N., Inoue G.: Temporal and Spatial Variations of atmospheric CO₂ mixing ratio over Siberia, 6th Int. CO₂ Conf., Sendai, 2001.10

Matsumoto Y.: International Non-governmental Organization as Knowledge Mediators: A Case Study on Decision-Making on Hydrocarbon Refrigerators by a Japanese Appliance Maker, 2002 Berlin Conf. Human Dimensions of Global Environ. Change, Berlin, 2002.12

松本泰子: 代替技術の導入における日本企業の意思決定要因と国際環境NGOの役割, 環境経済・政策学会2003年大会, 東京, 2003.9

Matsumoto Y.: Importance of the Policy Inter-linkage Posed by the CFC Substitutes Issue: Verifying the Effectiveness of the Global Environmental Regime, Open Meet. Global Environ. Change Res. Community, Montreal, 2003.10

永淵 修, 向井人史, 阿久根卓, 吉村和久: 樹氷中鉛同位体比を用いた大気汚染物質の移流解析: 日本地球化学会第48回年会: 同講演要旨集37p, 2001.10

内田昌男, 柴田康行, 河村公隆, 熊本雄一郎, 米田 穰, 大串健一, 向井人史, 原田尚美, 森田昌敏: 北西部北太平洋表層堆積物中有機分子(アルケノン, 脂肪酸, 炭化水素)の分子レベル放射性炭素年代決定: 日本地球化学会第48回年会: 同講演要旨集161p, 2001.10

向井人史, 町田敏暢, 井手玲子, 勝本正之, 藤沼康実, 織田伸和, 渡井智則: 波照間, 落石モニタリングステーションでのCO₂濃度変動の特徴について, 第43回大気環境学会年会, 講演要旨集416p, 2002.9

藍川昌秀, 平木隆年, 玉置元則, 向井人史, 村野健太郎: 兵庫県北部地域における冬季の大気汚染物質観測-ガス状, 粒子状成分の平成12, 13年度観測結果-, 第43回大気環境学会年会, 講演要旨集297p, 2002.9

勝本正之, 古橋規尊, 井手玲子, 稲垣美知子, 向井人史, 藤沼康実: モニタリングデータベース・データ提供システム, 第43回大気環境学会年会, 講演要旨集417p, 2002.9

織田伸和, 勝本正之, 井手玲子, 稲垣美知子, 藤沼康実, 向井人史: モニタリングステーションのデータ取得状況について, 第43回大気環境学会年会, 講演要旨集418p, 2002.9

坂井哲男, 田口圭介, 久嶋鉄郎, 落井 勅, 青山善幸, 向井人史, 村野健太郎: 越前岬における冬季の大気汚染物質観測-ガス状, 粒子状成分の2000年度及び2001年度観測結果-, 第43回大気環境学会年会, 講演要旨集296p, 2002.9

Mukai H., Iwami H.: CO₂ reference gas prepared in NIES for intercomparison of isotope analysis, Clim. Monit. & Diagn. Lab. Annu. meet., Boulder, Colorado, 2001.5

Mukai H., Nojiri Y., Machida T., Fujinuma Y., Nojiri T.: Estimation of recent CO₂ sink variation based on carbon and oxygen isotope ratios of CO₂ collected over the Pacific, 6th Int. carbon dioxide conf., Sendai, 2001.10

Mukai, H., Katsumoto M., Ide R., Machida T., Fujinuma Y., Nojiri Y., Inagaki M., Oda N., Watai T.: Characterization of atmospheric O₂ observed two-background air monitoring stations (Hateruma and Ochi-ishi) in Japan, Sendai, 2001.10

Mukai H., Nakao M., Furuta N., Miyazako T., Fujihara M., Sagawa T., Tatano C.: Long-term observation of aerosol ionic contents at Oki Island in the Sea of Japan: 8th Int. conf. Atmos. Sci. & Appl. to air qual.: abstract 129p, 2003.3

遠嶋康徳, Maksyutov S., 町田敏暢, 勝本正之, 藤沼康実: 落石・波照間ステーションで観測される大気中メタンの変動と大気の輸送との関係, 第7回大気化学討論会, 雄琴, 2001.5

遠嶋康徳: 大気中酸素濃度の再評価, 日本地球化学会第49回年会, 鹿児島, 2002.9

遠嶋康徳, 高橋善幸, 町田敏暢, 藤沼康実: 苫小牧フラックスリサーチサイトにおいて観測された大気と森林生態系間における酸素と二酸化炭素の交換比率, 日本地球化学会第48回年会, 東京, 2001.10

遠嶋康徳, 高橋善幸, 町田敏暢, 藤沼康実: 森林生態系間における酸素と二酸化炭素の交換比率について, 第8回大気化学討論会, 洞爺湖, 2002.6

Tohjima Y., Machida T., Mukai H., Nojiri Y., Fujinuma Y.: Measurements of the atmospheric O₂/N₂ ratio at Hateruma Island and Cape Ochi-ishi, Japan, 6th Int. Carbon Dioxide Conf., Sendai, 2001.10

Tohjima Y., Maksyutov S., Machida T., Katsumoto M., Fujinuma Y.: In situ measurements of the atmospheric CH₄ mixing ratio at Cape Ochi-ishi and Hateruma Island, Jpn., NOAA/CMDL Annu. Meet., Boulder, 2001.5

水田秀行, 山形与志樹: 国際排出権取引におけるシミュレーションとゲーミング, 第127回知能と複雑系研究会, 修善寺, 2002.1

水田秀行, 山形与志樹: エージェントフレームワークとウェブゲーミングシステムを用いた国際排出権取引実験, 第25回システム工学部会研究会, 東京, 2002.3

水田秀行, 山形与志樹: 京都議定書・国際排出権取引のエージェントシミュレーション, 第48回シンポジウムマルチエージェントシステムとOR, 函館, 2002.9

水田秀行, 山形与志樹: エージェントベース・アプローチと京都議定書・国際排出量取引, 日本シミュレーション&ゲーミング学会2002年度秋季全国大会, 京都, 2002.9

小林史歩, 六川修一, 山形与志樹, 小熊宏之: 放射伝達モデルに基づく生化学物質含有量逆推定, 日本リモートセンシング学会第33回学術講演会, 佐賀, 2002.11

- Yamagata Y., Mizuta H. : An International Regime Design Regarding the Kyoto Protocol: The Role of Multi-Agent Simulation, 2nd Int. Workshop Agent-Based Approaches Econ. & Soc. Complex Syst. (AESCS '02), 東京, 2002.8
- Yamagata Y., Mizuta H. : Agent-based simulation of the International CO₂ Emission Trading: Emergent behavior of countries, 6th Int. Conf. COMPLEX SYST. 2002 Complexity Agent-based Modeling , 東京, 2002.9
- Alexandrov G. A., Yamagata Y. : Toward verification guidelines for carbon sink assessments at regional, continental and global scale, WENGEN-2002 Int. Workshop Quantifying Terr. Carbon Sinks; Sci., Technol., & Policy, Wengen, 2002.9
- Mizuta H., Yamagata Y. : International Emissions Trading Agent-Based Simulation and Web-based Gaming, INT. CONGR. MATH. Game Theory & Appl. Satell. Conf., Qindao, 2002.8
- Mizuta H., Yamagata Y. : Transaction Cycle of Agents and Web-Based Gaming Simulation for International-Emissions Trading, WSC'02 EXPLOR. NEW FRONT. WINTER SIMULATION CONF., San Diego, 2002.12
- Nakadai T., Yamagata Y., Fujinuma Y., Hiroki M., Uragawa K. : Spatial Variation of Soil CO₂ Flux and Soil Microbial Biomass in Larch Forest, 2nd Int. Workshop Adv. Flux Network & Flux Eval., Korea, 2002.1
- Stepanov A. L., Alexandrov G. A., Yamagata Y. : Microbial Transformation of Organic Matter in Soil Aggregates as Carbon Stock or Source in Biosphere, 16th Int. Symp. Environ. Biogeochem., 青森, 2003.9
- 山形与志樹：国際レジーム形成過程の微分ゲームモデルによる分析 - 中長期的な陸域炭素管理，環境経済・制作学会 2003年大会，東京，2003.9
- 大政謙次，浦野 豊，小熊宏之，藤沼康実：可搬型Scanning Lidarデータを用いたカラマツ林の樹林マッピングと胸高直径及びバイオマスの推定，農業環境工学関連 4 学会2002年合同大会，東京，2002.8
- 小熊宏之，中路達郎，藤沼康実：リモートセンシングによるカラマツ林の観測，第114回日本林学会，盛岡，2003.3
- 武田知己，米 康充，小熊宏之，藤田 玲，山形与志樹：レーザースキャナーを使用したカラマツ林の葉面積密度の測定，第114回日本林学会，盛岡，2003.3
- 田中博春，小熊宏之：フラックスタワーデータを用いた各種植生指標の季節変化の検討，第114回日本林学会，盛岡，2003.3
- 田中博春，小熊宏之：全天分光日射計を用いた各種植生指標とCO₂フラックス・葉面積指数の季節変化 - 苫小牧フラックスリサーチサイトタワーデータでの検証 - ，日本地理学会2003年度春季学術大会，東京，2003.3
- 中路達郎，武田知己，藤沼康実，小熊宏之：カラマツ針葉の光合成活性評価へのPRIの利用，日本生態学会，つくば，2003.3
- 中路達郎，武田知己，藤沼康実，小熊宏之：カラマツ針葉の光合成活性評価へのPRIの利用，第114回日本林学会，盛岡，2003.3
- 小熊宏之，中路達郎，田中博春：リモートセンシングによるカラマツ林の計測，第114回日本林学会，盛岡，2003.3
- 中路達郎，武田知己，小熊宏之：ハイパースペクトル観測によるカラマツ群落の生理情報の抽出，日本リモートセンシング学会，東京，2003.5
- 武田知己，米 康充，小熊宏之，藤田 玲，藤沼康実：レーザースキャナを使用したポイントクラウド法によるカラマツ林の群落構造の測定，日本写真測量学会平成15年度年次学術講演会，東京，2003.6
- 田中博春，小熊宏之，鳥山 敦，藤沼康実，三枝信子，王 輝民：植生指標とCO₂フラックス・LAIの季節変化，日本写真測量学会平成15年度年次学術講演会，東京，2003.6
- 米 康充，小熊宏之，守田英明，金子 潔：空中写真を用いた天然林特徴抽出手法の研究，日本写真測量学会平成15年度年次学術講演会，東京，2003.6
- 武田知己，米 康充，小熊宏之，藤田 玲，藤沼康実：レーザー距離センサーを使用した森林三次元構造の測定と放射伝達量の推定，農業環境工学関連 5 学会2003年合同大会，盛岡，2003.9
- 中路達郎，武田知己，小熊宏之，藤沼康実：分光計測による樹木の光合成活性の推定 - 光利用効率推定への気温の影響 - ，農業環境工学関連 5 学会2003年合同大会，盛岡，2003.9
- 米 康充，小熊宏之：地上レーザースキャナーを用いた森林計測手法の検討 (II)，日本写真測量学会，京都，2003.10

発表者・題目・学会等名称・開催都市名・年月

武田知己，小熊宏之，藤沼康実，米 康充：サイドルッキングライダによる森林のLAD計測技術の開発，日本リモートセンシング学会，長岡，2003.11

武田知己，平野高司，浦野慎一：ヒマワリの形状モデルを用いた群落のPPFD分布の推定，農業環境工学関連4学会2002年度合同大会，東京，2002.8

田中博春，徳永杉太，中野智子，福田正巳：森林からアラスにかけての土壌CO₂・CH₄フラックスの変遷，日本気象学会2003年度春季大会，つくば，2003.5

岡松暁子：地球温暖化をめぐる法的紛争の現状と課題，環境法政策学会第7回学術大会，鳥取，2003.6

岡松暁子：環境損害概念の多元化と地球環境保護，環境経済・政策学会2003年度大会，東京，2003.9

(2) 統合評価モデルを用いた地球温暖化のシナリオ分析とアジアを中心とした総合的対策研究

発表者・題目・学会等名称・開催都市名・年月

江守正多, 沼口 敦: スペクトル大気モデルへの水蒸気格子移流スキームの導入に伴う地表気温バイアスの変化とその改善, 日本気象学会2001年度秋季大会, 岐阜, 2001.10

江守正多, 永島達也, 野沢 徹, 神沢 博, 菅田誠治, 日暮明子, 高田久美子, 高藪 縁, 阿部彩子, 木本昌秀, 中島映至, 沖 大幹, 横沢正幸, 沼口 敦: 新バージョンCCSR/NIES大気大循環モデルおよび大気海洋結合気候モデルの開発, スーパーコンピュータによる地球環境研究発表会(第10回), つくば, 2002.9

江守正多, 西村照幸, 鈴木立郎, 羽角博康, 齋藤冬樹, 木本昌秀, 井上孝洋, CCSR/NIES/Frontier共生プロジェクトチーム: 地球温暖化実験のための高解像度大気海洋結合モデルの開発, 日本気象学会 2002 年度秋季大会, 北海道大学, 札幌, 2002.10

江守正多, 高橋 潔, 野沢 徹, 神沢 博: 地球温暖化の影響対策研究から見た気候モデル研究, 日本気象学会2002年度春季大会, さいたま, 2002.5

Emori S., Nishimura T., Suzuki T., Inoue T., Hasumi H., Saito F., Abe-Ouchi A., Kimoto M., Kanzawa H., Sumi A.: Development of a high-resolution climate model for future climate change projection on the Earth Simulator, AGU 2000 Fall Meet. San Francisco, 2002.12

藤野純一, 甲斐沼美紀子, 松岡 譲, 松井重和: アジア諸国のエネルギー・環境を予測するAIM-Trendモデルの開発, エネルギー・資源学会, 東京, 2001.6

藤野純一, 森田明宏, 松岡泰成: 日本における畜産排泄物の有効利用について, 第10回日本エネルギー学会大会, 北九州, 2001.7

藤野純一, 甲斐沼美紀子, 松岡 譲, 松井重和: アジア諸国のエネルギー需要予測を目的としたAIM-Trendモデルの構築, 第10回日本エネルギー学会大会, 北九州, 2001.7

藤野純一, 甲斐沼美紀子, 松岡 譲, 松井重和: アジア諸国のエネルギー・環境を予測するAIM-Trendモデルを用いたシナリオ解析, 環境経済・政策学会2001年大会, 京都, 2001.9

森田明宏, 藤野純一, 松岡泰成: 畜産排泄物のエネルギー利用技術の動向について, 第10回日本エネルギー学会大会, 北九州, 2001.7

松岡泰成, 藤野純一, 森田明宏: 我が国のバイオガス都市ガス利用に関する考察, 第10回日本エネルギー学会大会, 北九州, 2001.7

藤野純一: AIM-Trendモデルを用いた各国別バイオエネルギーポテンシャル見積もり バイオマス需要に関する考察, 第21回エネルギー・資源学会研究発表会, 大阪, 2002.6

藤野純一, 甲斐沼美紀子, 松岡 譲, 松井重和: AIM-Trendモデルを用いたアジア各国別エネルギー需給予測シナリオの開発, 第18回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 東京, 2002.1

藤野純一, 山本博巳, 山地憲治: 日本におけるバイオエネルギー供給可能量見積もりの比較検討 畜産排せつ物の供給可能量見積もりについて, 第18回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 東京, 2002.1

山本博巳, 藤野純一, 山地憲治: バイオエネルギー利用技術の経済性評価, 第18回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 東京, 2002.1

Fujino J.: Development of AIM-Trend model for assessing the future environmental performance indicators, The Workshop on Environ. Indic. & Performance Rev., Manila, 2001.7

Fujino J.: Development of AIM-Trend model as a communication tool to enhance discussions about prospect of energy and environment in each Asia-Pacific Country, IFAC Workshop Modeling & Control Environ. Issues, Yokohama, 2001.8

Fujino J., Masui T., Takahashi K., Kainuma M., Hijioka Y., Harasawa H., Masuoka Y., Morita T.: Environmental Assessments using Environment-Economy Integrated Models for the Asia-Pacific Innovation Strategy Project, Jt. Workshop Asia-Pacific Environ. Innovation Strategy Proj. (APIS) & Millennium Ecosyst. Assess. (MA), Tokyo, 2001.9

Yamamoto H., Fujino J., Yamaji K.: Bioenergy supply potential and bioenergy utilization costs, Proc. 1st Int. Conf. Greenhouse Gas & Anim. Agric. GGAA2001, Hokkaido, 2001.11

Fujino J.: How can we Prospect Renewable Energy Scenario in the Asia-Pacific region with Computer Simulation Model (AIM-

- Asia Pacific Integrated Model), Asia-Pacific Forum Environ. and Dev., Bangkok, 2002.1
- Fujino J., Yamamoto H., Yamaji K. : Estimation of Bioenergy Supply Potential with a Long-term Global Energy System Model, 7th Biennial Conf. Int. Soc. Ecol. Econ., Sousse, 2002.3
- Fujino J. : Introduction of AIM/CGE Model, 7th AIM Int. Workshop, Tsukuba, 2002.3
- Fujino J. : AIM/Trend Model, 7th AIM Int. Workshop, Tsukuba, 2002.3
- Fujino J. : ASIAP/AIM scenarios, Workshop Long-Term Energy Scenarios: Implications Nucl. Energy, Moscow, 2002.4
- Fujino J. : AIM Framework for Multi-gas Analysis, EMF Workshop Clim. Change Impacts & Integrated Assess. VIII, Snowmass, 2002.8
- Fujino J. : AIM/Trend Model, AIM Training Workshop 2002, Tsukuba, 2002.9
- Fujino J. : AIM/Trend Model, APEIS Capacity Build. Workshop Integrated Environ. Assess. Asia Pac. Reg., New Delhi, 2002.10
- Fujino J., Pandey R., Hibino G., Kainuma M. : Prelim. AIM team Study Multi-gas Anal., Energy Modeling Forum 21 Multi-Gas Mitigation & Clim. Change, Washington, D.C, 2002.12
- Yamamoto H., Fujino J., Yamaji K. : Sustainable biomass utilization -energy, food, and material-, 7th Bienn. Conf. Int. Soc. Ecol. Econ., Sousse, Tunisia, 2002.3
- Fujino J. : Present situation of bioenergy utilization in Japan, meet. res. team Bio-Energy Promo. Strategy framework APEIS/RISPO, Tokyo, 2003.1
- Fujino J. : Non-CO₂ gas emissions modelling, 8th AIM Int. Workshop, Tsukuba, 2003.3
- Fujino J. : AIM/Trend and AIM/CGE, 8th AIM Int. Workshop, Tsukuba, 2003.3
- Fujino J. and Pandey R., Hibino G., Kainuma M. : Non-CO₂ emissions and mitigation options - AIM approach -, TG CIA expert meet. scenario appl. res. clim. change, impacts/adaptation and mitigation, Amsterdam, 2003.1
- 原沢英夫 : 地球温暖化の日本への影響 全体像, 気候影響利用研究会ワークショップ, つくば, 2001.11
- 日暮明子, 中島映至 : SeaWiFS を用いた APEX 観測域におけるエアロゾル型分類, 日本気象学会 2001年秋季大会, 岐阜, 2001.10
- 中島 孝, Y. Liu, 日暮明子, 増永浩彦, 中島映至, 高村民雄, 内山明博 : ACE-Asia期間中の衛星による雲・エアロゾル観測, 日本気象学会 2001年秋季大会, 岐阜, 2001.10
- 中島 孝, Y. Liu, 日暮明子, 中島映至, 内山明博 : MODISが観測した APEX-E1期間中の雲・エアロゾル, 日本気象学会 2001年春季大会, 東京, 2001.5
- 関口美保, 中島映至, 鈴木健太郎, 河本和明, 日暮明子, 竹村俊彦 : 地球放射収支におけるエアロゾルの影響に関する研究, 日本気象学会 2001年春季大会, 東京, 2001.5
- 日暮明子 : 気候変動とエアロゾル研究, 日本気象学会, 2002年春季大会, 大宮, 2002.5
- Higurashi A., Nakajima T. : Aerosol type classification with SeaWiFS during APEX-E2 / ACE-Asia, 1st ACE-Asia Data Workshop, California Inst. Technol., California, 2001.10 ~ 11
- Higurashi A., Nakajima T. : Aerosol optical properties in the East Asia during the APEX-E1 and -E2 derived from SeaWiFS four-channel data, 4th APEX Int. Workshop, Kyoto, 2001.9
- Higurashi A., Nakajima T. : Statistics of aerosol optical properties derived from satellite remote sensings. IAMAS 2001, Congr. Innsbruck, 2001.7
- Liu Y., Higurashi A., Nakajima T., Nakajima T.Y. : Retrieval of aerosol properties from MODIS data during APEX-E1 period. IAMAS 2001, Congr. Innsbruck, 2001.7
- Nakajima T. Y., Masunaga H., Liu Y., Higurashi A., Takamura T., Nakajima T. : Interim Results from APEX Satellite Remote Sensing Group, 1st ACE-Asia Data Workshop, California Inst. Technol., California, 2001.10 ~ 11
-

- Nakajima T. Y., Masunaga H., Liu Y., Higurashi A., Takamura T., Nakajima T. : Interim Results from APEX Satellite Remote Sensing Group, 4th APEX Int. Workshop, Kyoto, 2001.9
- Sekiguchi M., Nakajima T., Suzuki K., Kawamoto K., Higurashi A. : A study of atmospheric radiation budget in Asia. 5th Int. Study Conf. GEWEX Asia & GAME, Aichi Trade Center, Nagoya, 2001.10
- Suzuki K., Nakajima T., Numaguti A., Takemura T., Sekiguchi M., Higurashi A., Kawamoto K. : GCM-simulated and satellite-retrieved aerosol-cloud interaction. IAMAS 2001, Congr. Innsbruck, 2001.7
- Higurashi A., Nakajima T. : Aerosol type classification with SeaWiFS four channel radiance data in the APEX E2 / ACE-Asia. World convention center summit, Phoenix SEAGAIA Resort, Miyazaki, 2002.7
- Higurashi A., Nakajima T. : Aerosol type classification with SeaWiFS four-channel radiance data, AMS 11th conf. atmos. radiation, Ogden, Utah, 2002.6
- Nakajima T., Higurashi A., Liu Y., Nakajima T., Masunaga H. : Aerosol Characterization with Satellite Remote Sensing over Ocean, AGU 2002 spring meet., Washington, D. C, 2002.5
- Sekiguchi M., Nakajima T., Kawamoto K., Higurashi A. : Global and regional correlations between aerosol and cloud parameters, AMS 11th conf. atmos. radiation, Ogden, Utah, 2002.6
- Suzuki K., Nakajima T., Numaguti A., Takemura T., Kawamoto K., Higurashi, A. : GCM-simulated and satellite-retrieved cloud-aerosol interaction. AMS 11th conf. cloud phy., Ogden, Utah, 2002.6
- Wang H., Nakajima T. Y., Higurashi A., Nakajima T., Pinker R.T., Laszlo I.: Multi-Satellite Approach to Estimate Radiative Fluxes over the Oceans, AGU 2002 spring meet., Washington, D. C, 2002.5
- Sekiguchi M., Nakajima T., Kawamoto K., Higurashi A., Sano I., Mukai S. : A study of the direct and indirect effects of aerosols using global satellite datasets of aerosol and cloud parameters, 8th Int. Conf. Atmos. Sci. & Appl. Air Qual. Program & Abstracts. Tsukuba, 2003.3
- Kainuma M.: Emission Projection in East Asia, 6th Workshop Comp. Trans-boundary Air Pollut. Models & Harmonization Methodol. Emiss. Inventories Air Pollutants East Asia, Tsukuba, 2001.1
- Kainuma M.: Overview of the AIM Project Progress, 6th AIM Int. Workshop, Tsukuba, 2001.3
- Kainuma M., Matsuoka Y., Morita T. : Future Climate Changes and their Impacts in the Asia-Pacific Region -From the AIM Results-, IGES Int. Workshop Clim. Policy Asia, Tokyo, 2001.12
- Kainuma M., Matsuoka Y., Yang H. : Analysis of co-benefit of CO₂ mitigation, Jt. Meet. Energy Forum, Int. Energy Agency & Int. Energy Workshop, Laxenburg, 2001.6
- Kainuma M., Matsuoka Y., Morita T. : Development of Asia-Pacific Integrated Model for Analyzing Policy Options to Cope with Global Warming, IFAC Workshop Modeling & Control Environ. Issues, Yokohama, 2001.8
- Kainuma M. : Climate change impacts in the Asia-Pacific Region - outcomes from the AIM model -, 12th Asia-Pac. Semin. Clim. Changes, Bangkok, 2002.7
- Kainuma M. : Environment outlook in the Asia-Pacific region, 5th Asia-Pacific Forum Sci Technol. (APF2002) - Sustainable Dev. Asia-Pacific Reg. -, Kanazawa, 2002.9
- Kainuma M. : AIM/Emission Model, APEIS Capacity Build. Workshop Integrated Environ. Assess. Asia-Pac. Reg., New Delhi, 2002.10
- Kainuma M. : Future Emissions and Mitigation Modeling, Asia-Pac. Forum Collab. Modeling Clim. Policy Assess., New Delhi, 2002.10
- Kainuma M., Matsuoka Y., Morita T. : Economic impacts of greenhouse gas emission mitigation policies - analysis by AIM model -, 5th Conf. Global Econ. Anal., Taipei, 2002.6
- Kainuma M., Matsuoka Y., Morita T. : A cost analysis of Kyoto based on the Asia-Pacific Integrated Model (AIM), Annu. Meet. Int. Energy Workshop jointly organ. EMF/IEA/IIASA, Stanford, 2002.6
- Kainuma M., Matsuoka Y., Morita T. : AIM Results for EMF 19, EMF 19 Working Group Meet., Stanford, 2002.2
-

Kainuma M. : Asia-Pacific Integrated Model (AIM), Int. Workshop Clim. Change Energy Modeling, Yokohama, 2002.12

Kainuma M. : Recent development of AIM models, 8th AIM Int. Workshop, Tsukuba, 2003.3

甲斐沼美紀子：アジア太平洋地域温暖化対策統合評価モデル（AIM）の開発と今後の方向，土木学会環境工学委員会，東京，2003.1

神沢 博：地球温暖化による気候変化と社会変化の総合的解明に向けて，国立環境研究所公開シンポジウム「環境の世紀の幕開け」，東京国際フォーラム，東京，2001.7

神沢 博：成層圏水蒸気の分布と長期変動，第12回大気化学シンポジウム，ホテル日航豊橋，豊橋，2001.12

神沢 博：大気海洋大循環気候モデルの開発とモデルによる温暖化予測実験，平成13年度地球環境研究総合推進費公開シンポジウム：地球温暖化の研究最前線，環境省主催，東京国際フォーラム，東京，2001.12

神沢 博：陸域生態系による二酸化炭素の吸収量排出量の評価，「大気組成モニタリングへの衛星観測の貢献」シンポジウム，GCOM-A1利用者フォーラム，芝パークホテル，東京，2002.3

Kanzawa H. : Development of an advanced regional climate change prediction model as part of emission-climate-impact integrated models. In Session 1: Improvement of climate models making use of "Earth Simulator" and research on earth processes for modeling, 2nd Jpn.-U.S. Working Level Consult. Clim. Change Res. Coop., Tokyo, 2002.2

Kanzawa H. : Research Activities at NIES, Jpn.-UK Jt. Workshop Clim. Modeling, Tokyo (CCSR) & Yokohama (ESC), 2002.9

大谷 洋，増井利彦，森田恒幸：二酸化炭素排出削減における省エネルギー投資と排出権取引の相互効果，環境経済・政策学会2001年大会，京都，2001.9

諏訪幸子，増井利彦，森田恒幸：国際市場を考慮した二酸化炭素削減による粗鋼生産プロセスの変化に関するモデル分析，環境経済・政策学会2001年大会，京都，2001.9

増井利彦：現代文明最大のジレンマ 環境と経済の両立 ，国立環境研究所公開シンポジウム2002，東京，2002.6

増井利彦：環境投資及び技術革新の効果と環境産業 経済モデルによる分析，第2回日中韓環境産業円卓会議，兵庫県津名郡東浦町，2002.7

増井利彦：応用一般均衡モデルによる環境政策の効果分析，環境経済・政策学会2002年大会，札幌，2002.9

増井利彦：循環型社会実現に向けたシナリオのシミュレーションについて，インバース・マニファクチャリングフォーラム・ビジョン構築委員会，東京，2002.12

葦津紗恵，増井利彦，森田恒幸：環境及び年金の世代間不公平性の同時是正の解決に向けた政策の展望とその効果，環境経済・政策学会2002年大会，札幌，2002.9

入江康子，増井利彦，森田恒幸：情報技術活用の高度化による環境負荷削減可能性に関する基礎的研究，環境経済・政策学会2002年大会，札幌，2002.9

奥山淳平，増井利彦，森田恒幸：わが国における廃棄物処理構造の変化に関する推定，環境経済・政策学会2002年大会，札幌，2002.9

大川正人，増井利彦，森田恒幸：燃料電池による二酸化炭素削減および経済活動への影響評価に関する研究 応用一般均衡モデルによる定量的分析 ，環境経済・政策学会2002年大会，札幌，2002.9

Masui T. : Recent AIM (Asian-Pacific Integrated Model) Results to Support Environmental Policies, Int. Workshop Clim. Policy Dialogue, Seoul, 2001.5

Masui T. : Evaluation of Environmental Conservation and Economic Benefits from Environmental Industry -Case Study of Japan and Tentative Application to China, Int. Conf. Cleaner Prod., Beijing, 2001.9

Masui T. : Quantitative Analysis on Economic Effects of Environmental Policies under Environmental Constraints Using Computable General Equilibrium Model, IFAC Workshop Modeling & Control Environ. Issues, Yokohama, 2001.8

Masui T. : Technologies and Economy -Evidence from Model Analysis, G8 Environ. Futures Forum, Spoleto, 2001.10

Masui T., Morita T. : Cost Assessment for Kyoto Based on AIM Model, Int. Workshop Clim. Policy Dialogue, Seoul, 2001.5

- Masui T., Yang H. : Results from AIM, 4th Sino-Korea-US Econ. & Environ. Modeling Workshop, Beijing, 2001.5
- Yamaryo Y., Masui T., Morita T. : A Study Avoiding Cream-Skimming Effect in Clean Development Mechanism, IFAC Workshop Modeling & Control Environ. Issues, Yokohama, 2001.8
- Masui T. : AIM (Asian-Pacific Integrated Model) to Support Environmental Policies, Int. Workshop Clim. Policy Dialogue Vietnam/Cambodia, Ho Chi Min City, 2002.5
- Masui T. : AIM Material Model, AIM Training Workshop 2002, Tsukuba, 2002.9
- Masui T. : Compatibility between environmental protection and economic dev., 36th Dev. Financ. Course 2002, Tokyo, 2002.12
- Masui T., Morita T., Matsuoka Y., Tsuchida K. : Future Climate Change Estimated by AIM Model, The Kyoto Protocol: What do models say about its long-term climate impacts ?, Workshop Clim. Change, Kassel, 2002.5
- Masui T., Rana A. : AIM/Material Model, APEIS Capacity Build. Workshop Integrated Environ. Assess. Asia-Pac. Reg., New Delhi, 2002.10
- Rana A., Masui T. : CO₂ Emissions and Waste Management in AIM/Material Model, IGES Int. Workshop Clim. Change Energy Modeling, Yokohama, 2002.12
- Masui T., Morita T. : Review of scenario use and issues for mitigation analysis, TGCIA expert meet. scenario appli. res. clim. change, impacts/adaptation & mitigation, Amsterdam, 2003.1
- Masui T., Rana A., Suwa S. : AIM/Material India with natural resources, 8th AIM Int. Workshop, Tsukuba, Japan, 2003.3
- Masui T., Miyashita M. : AIM Material Japan, 8th AIM Int. Workshop, Tsukuba, 2003.3
- Masui T., Takahashi K., Tsuchida K. : Integration of emission, climate change and impacts, 8th AIM Int. Workshop, Tsukuba, 2003.3
- 森田恒幸 : エネルギー・環境・社会・経済と核融合, 核融合フォーラム設立記念シンポジウム, 東京, 2002.5
- 森田恒幸 : 地球温暖化研究の最前線とわが国の戦略, 地球環境外交担当者会議, 東京, 2002.4
- 森田恒幸 : グリーン市場の実現は可能か - 問題提起 -, 第二回トヨタステークホルダーダイアログ, 神奈川, 2002.10
- 森田恒幸 : 地球温暖化防止と経済発展, エコデザイン2002ジャパンシンポジウム, 東京, 2002.12
- 森田恒幸 : 地球環境とリスク, 社会理工学研究科棟第 I 期竣工記念シンポジウム, 東京, 2003.3
- 森田恒幸 : 温暖化シナリオ研究の新展開, 慶應環境会議, 東京, 2003.3
- 森田恒幸 : 地球環境研究からの期待, FRONTIER2003, 東京, 2003.3
- Morita T. : Regional cooperation for environmental industry development in the Northeast Asia, 1st tripartite Roundtable Environ. Ind., Seoul, 2001.6
- Morita T. : IPCC Third Assessment Report Outline of WG3, 11th Asia-Pac. Semin. Clim. Change, Kitakyushu, 2001.8
- Morita T. : Overview of post-SRES scenarios -new mitigation scenarios for IPCC-CREST/SEEPS/NIES International Symposium, Global Environ. Issues & Global Res. Network, Kyoto, 2001.9
- Morita T. : Future Community Activities -SRES, post-SRES and the beyond-, Clim. Change Impact/Integrated Assess. Workshop, Snowmass, 2001.8
- Morita T. : An Asian Perspective on Integrated Assessment Modeling, Forum Globally-Integrated Environ. Assess. Modeling, Macao, 2001.12
- Morita T. : An Integrated Assessment Modeling Project in Japan -Asia-Pacific Integrated Model (AIM)-, UK-Jpn. Expert Meet. Clim. Change, Tokyo, 2001.12
- Swart R., Morita T. : Recommendations for Stabilization Experiments, Task Group Clim. Impact Assess. Meet., Bridgetown, 2001.11
- Morita T. : Global Participation and Innovation are the Keys to Climate Change Mitigation, WSSD SIDE EVENT, Johannesburg,
-

2002.8

Morita T. : Economic Modeling Japanese Experience of Sustainable Development, WSSD SIDE EVENT, Johannesburg, 2002.8

Morita T. : Interactions and Collaborations between Scientists and Policy Makers, WSSD SIDE EVENT, Johannesburg, 2002.8

Morita T. : Emission and Stabilization Scenarios - SRES and post-SRES -, Int. Workshop Clim. Change Mitigation & Challenges Chin. Econ. Dev., Beijing, 2002.9

Morita, T. : Overview of Environmental Industry in the Asia-Pacific Region, 5th Asia-Pac. Forum Sci. Technol. (APF2002), Kanazawa, 2002.9

Morita T. : An economic analysis of Japanese and global participation in Kyoto Protocol, Clim. Policy & Sustainable Dev. -Meas. Global Participation-, Seoul, 2002.3

Morita T. : Feasibility of International Co-operation, Final Workshop Tyndall Blueprint Proj., Southampton, 2002.2

Morita T. : Asian Climate Change Mitigation - Current Status and Future Prospects - , Int. Symp. Clim. Change Action, Tokyo, 2003.1

Morita T. : A Comparison of GHG Emission Scenarios between India and China, Int. ESRI Forum, Tokyo, 2003.2

野沢 徹, 阿部彩子, 對馬洋子, 江守正多, 沼口 敦, 竹村俊彦, 中島映至, 木本昌秀 : 温暖化実験にみられる CCSR/NIES CGCM の気候感度について, 日本気象学会2001年度春季大会, 東京, 2001.5

竹村俊彦, 中島映至, 野沢 徹, 青木一真 : エアロゾル輸送モデルを用いた東アジアにおける将来のエアロゾル分布予測実験, 日本気象学会2001年度春季大会, 東京, 2001.5

Nozawa T., Emori S., Numaguti A., Tsushima Y., Takemura T., Nakajima T., Abe-Ouchi A., Kimoto M. : Projections of future climate change Simulated by a coupled ocean-atmosphere model including direct and indirect radiative impacts of various aerosols, 8th Sci. Assem. IAMAS, Innsbruck, 2001.7

Kimoto M., Abe-Ouchi A., Takemura T., Nakajima T., Tsushima Y., Numaguti A., Nozawa A., Emori S. : On the climate sensitivity of the CCSR/NIES coupled ocean atmosphere model, 8th Sci. Assem. IAMAS, Innsbruck, 2001.7

Nozawa T., Emori S., Numaguti A., Tsushima Y., Takemura T., Nakajima T., Abe-Ouchi A., Kimoto M. : Projections of future climate change considering radiative impacts of various aerosols, 27th Gen. Assem. EGS, Nice, 2002.4

Sudo K., Takahashi M., Nozawa T., Kanzawa H., Akimoto H. : Simulation of future ozone pollution and acid deposition: a global model study, 8th Int. Conf. Atmo. Sci. & Appl. Air Qual., Tsukuba, 2003.3

Takahashi K., Shimada Y., Matsuoka Y., Harasawa H. : Assessment of water resource problems under climate change in a global scale, IFAC (Int. Fed. Autom. Control) workshop modeling & control environ. issues preprints, 85-90, Yokohama, 2001.8

Takahashi K., Hijioka Y., You S., Harasawa H., Matsuoka Y. : Climate change impact on water at global scale: recent studies in NIES, 8th Workshop Clim. Change Impact Integrated Assess., Snowmass, Colorado, 2002.8

You S., Takahashi K. : Adaptation to climate change impact in China, IFAC (Int. Fed. Autom. Control) workshop modeling & control environ. issues preprints, Yokohama, 2001.8

Yang H., Kainuma M., Matsuoka Y. : Analysis of co-benefits of CO₂ mitigation, Conf. Soc. Environ. Econ. Policy Stud., Kyoto, 2001.9

Yang H., Hu X., Jiang K., Matsuoka Y., Kainuma M. : SO₂ emission inventory and projection in China, 7th Int. Jt. Semin. Reg. Deposition Process. Atmos., Tsukuba, 2001.11

Yang H., Kainuma M., Matsuoka Y. : Modeling the clean development mechanism: direct benefits, co-benefits and priorities, IFAC Workshop Modeling & Control in Environ. Issues, Yokohama, 2001.8

Yang H., Matsuoka Y., Kainuma M. : Development of AIM/China to analyze CO₂ reduction policies, Soc. Environ. Econ. Policy Stud. 2002, Sapporo, 2002.9

REPORT OF SPECIAL RESEARCH FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN

国立環境研究所特別研究報告
SR - 54 - 2003

平成15年11月28日発行

編 集 国立環境研究所 編集委員会

発 行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16番2

電話 029-850-2343 (ダイヤルイン)

印 刷 朝日印刷株式会社

〒309-1117 茨城県真壁郡協和町向川澄82-1

Published by the National Institute for Environmental Studies

16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan

November 2003

無断転載を禁じます