

課題名	S- 1 21世紀の炭素管理に向けたアジア陸域生態系の統合的炭素収支研究 テーマIII アジア陸域生態系の炭素収支変動予測と21世紀の炭素管理手法の検討		
課題代表者名	甲山隆司（北海道大学大学院地球環境科学研究院）		
研究期間	平成14-18年度	合計予算額	495,133千円（うち18年度 110,000千円） ※上記の予算額には間接経費114,160千円を含む
研究体制	<p>研究体制</p> <p>(1) 陸域生態系吸収・放出の近未来予測モデルの開発（筑波大学、国土交通省気象庁気象研究所、独立行政法人海洋研究開発機構）</p> <p>(2) 陸域炭素循環モデルの国際比較と高度化（独立行政法人国立環境研究所）</p> <p>(3) 二酸化炭素収支のモデルによる予測のための情報基盤整備（北海道大学、独立行政法人産業技術総合研究所、筑波大学）</p> <p>(4) 21世紀の陸域炭素管理オプションの総合評価と炭素収支の統合予測モデルの開発（独立行政法人国立環境研究所）</p>		
研究概要	<p>研究概要</p> <p>1. 序（研究背景等）</p> <p>人間活動による炭素循環への影響が顕著になり、気候変動のリスクが高まっている。しかしながら、今後100年間を見通して、陸域生態系における炭素収支の変動を中心とした、炭素循環変動リスクに対して人間社会がどのように対処してゆくのかについての研究は十分にはなされていない。特に人間活動と炭素循環の相互作用や炭素循環の管理に関する知見は著しく不足しているのが実情である。本研究では、アジア地域の統合的炭素収支変動予測に基づいて21世紀の炭素管理手法を検討することを目的として、(1) 陸域生態系変動予測モデル、(2) 陸域炭素循環モデルの国際比較と高度化、(3) 予測モデルのための情報基盤整備、(4) 炭素収支統合予測モデルと炭素管理オプションの総合評価に関する研究を実施するとともに、研究成果を政策的に反映させ、活用を図っていく方策や仕組みの検討についても先駆的に取組んだ。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本テーマでは、並行してテーマIで行われる、詳細な陸域生態系の炭素フラックス観測に基づいた炭素収支推定の広域化と長期予測を行うために、1)生態系予測モデルの相互比較、2)衛星観測による光合成有効放射量変化および新たな土地被覆図の生成、3)既存の森林生態系長期観測プロットデータによる生態系パラメータの解析、を個別に進め、テーマIおよびそれぞれの成果を統合して、当該地域の純一次生産量(NPP)と純生態系生産量の積算とマッピングを完成させることを第一目的として設定した。これに基づき、さらに、人間活動を組み込んだ炭素管理モデルの提示と、国際モデル比較を行い、今後の炭素管理オプションを評価するための統合モデルを開発して、政策に反映させることを第二目的とした。</p> <p>以下の4サブテーマ体制を組んで実施したが、サブテーマ(3)の衛星観測や既存データによる広域化の評価データをテーマIの観測とともにサブテーマ(1)のモデルによるマッピングに活用し、またサブテーマ1の生態系モデルをサブテーマ(4)の統合予測モデルのベースにして炭素管理評価を行い、本プロジェクトの研究成果をサブテーマ(2)のグローバル・カーボン・プロジェクトと連携した国際比較のなかで評価していくなど、それぞれのサブテーマを密接な共同作業として実施した。</p> <p>(1) 陸域生態系吸収・放出の近未来予測モデルの開発</p> <p>本サブテーマでは、陸域生態系の炭素循環モデルを開発し、東アジア地域の炭素収支をシミュレートすることを目的とした。ここでは大気-陸面相互作用に重点を置いたBAIM、生物地球化学的過程に重点を置いたSim-CYCLE、数理生態学に重点を置いたTsuBiMoの3モデルが参加し、東アジア地域を中心としたシミュレーションを実施した。各モデル間の結果を相互比較することにより、各モデルの特徴を明確化し、現在のモデル推定における共通の傾向や不確実性に関する検討を行った。</p> <p>(2) 陸域炭素循環モデルの国際比較と高度化</p> <p>人間活動を統合した炭素管理に関する国際モデル比較を実施することで、本プロジェクトにおける陸域炭素収支および管理に関する統合モデル開発にフィードバックすることに資することを目的とし、本サブテーマでは、以下の3課題について検討を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ グローバルな炭素循環を推定する陸域生態系モデルの国際比較</li> </ul>		

- ・ 自然-社会統合モデルの国際的モデル比較
- ・ グローバルな炭素循環に関する最新の統合的な知見の集約

### (3) 二酸化炭素収支のモデルによる予測のための情報基盤整備

陸域生態系の詳細な生理・微気象観測の成果を広域化して東アジア広域の炭素収支を評価するために、既存生態系観測データと、リモートセンシングによる植生パラメータ解析を目的として、以下の2サブサブテーマについて研究を進めた。

- 1) 地球観測衛星データによる植生解析、地上測定データベースの公開、および地上観測ネットワークを利用した土地被覆図の改訂
  - 2) 東アジアの森林生態系の既存固定調査区データに基づいたデータベース化とメタ解析
- ### (4) 21世紀の陸域炭素管理オプションの総合評価と炭素収支の統合予測モデルの開発
- 本サブテーマでは下記の3課題に関する研究を実施した。

- 1) 炭素管理に係わる統合予測モデルの開発と陸域炭素管理オプションの評価
- 2) 中長期的な陸域炭素収支変動を考慮した統合的炭素管理モデルの開発

## 3. 研究の方法及び結果

### (1) 陸域生態系吸収・放出の近未来予測モデルの開発

気象研究所で開発されているBAIMは気候モデルに組込んで使用することを想定しており、大気-陸面の相互作用、特に物理的過程に重点を置いている。このモデルは気候-炭素循環の相互作用をシミュレートすることができ、例えば大気CO<sub>2</sub>濃度の時空間分布を推定して観測と比較することが可能である。国立環境研究所・海洋研究開発機構・筑波大学で開発されたSim-CYCLE（その改良版）は生理生態および生物地球化学的過程に重点を置いたモデルであり、大気とのCO<sub>2</sub>交換だけでなく生態系内の炭素動態を詳細にシミュレートすることを目的としている。国立環境研究所で開発されたTsuBiMoは数理生態的な手法で地点レベルの観測データに基づいてパラメータを調節し、広域的な炭素収支の評価につなげている。それぞれのモデルを用いて、日本周辺を中心とする東アジア地域について2000~2005年（TsuBiMoは2002年まで）の陸域炭素収支をシミュレートした。一部のモデルはテーマIで実施されたフラックス観測サイトで検証が行われた。各モデルでは使用した入力データや空間分解能は異なっているが、純一次生産(GPP)の空間パターン（図1は改良版Sim-CYCLEのもの）はよく類似していた。正味炭素収支は、生産力だけでなく土壌有機物分解の環境応答にも影響されるが、多くの期間・地域においてモデル間で共通する変動傾向が見られた。このように異なるモデルで共通した傾向が見られたことは、モデルアプローチが不確実性の幅を超えた信頼性のある結果を与えていることを示唆すると考えられる。一方、モデル間の差違点についてはモデル間の応答感度などに関するより詳細な検討の必要性を示唆している。

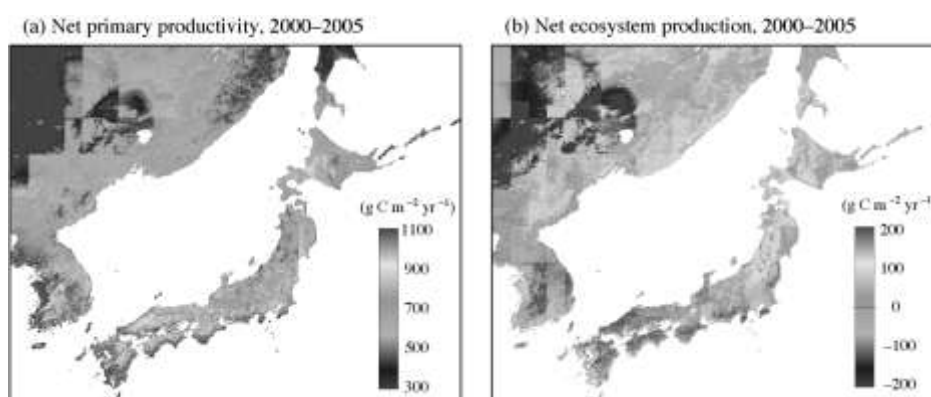


図1 生物地球化学的な陸域生態系モデル（Ito et al., 2005）による東アジア地域の (a) 純一次生産(GPP)および (b) 純生態系生産(NPP)。

### (2) 陸域炭素循環モデルの国際比較と高度化

#### 1) グローバルな炭素循環を推定する陸域生態系モデルの国際比較

「炭素-気候-人間システム統合モデル」を国際比較することにより、完成度が高いモデルを選出することを目的とし、統合モデルに関するデータを収集した。モデル利用（検証）、ないしモデル間での比較を行う際の基本情報として、モデルのロジック、入出力データの種類およびデータフォーマット、モデルから導き出された結果、関連文献などの情報を収集し整備した。収集したデータ

を利用して、炭素・気候・人間システムの3つのコンパートメントを含み、ローカルスケールからグローバルスケールを網羅する200以上のモデルを調査対象として、モデルの構成要素による分類と比較を実施した。

## 2) グローバルな炭素循環を推定する陸域生態系モデルの国際比較

陸域生態系モデルの情報を収集・整理を実施した。特に、入力データセットとして、どのような種類、時間・空間分解能が必要なのかを明らかにし、入力データセットの整備について検討した。また、時間・空間分解能など適用要件の異なるモデルに対し、入力データセットを共通利用できるのか、さらに、入力データの種類が異なる中で、出力された結果を比較すること自体にどれほどの妥当性があるのかなどの検討を行った。陸域生態系のモデル間比較を行った例は少数であるが収集し、それに加えてモデル比較を行った結果、入力データ、特に日射データの精度が炭素収支の推定結果を大きく左右することを示唆され、高精度データ整備の重要性が示された。

## 3) グローバルな炭素循環に関する最新の統合的な知見の集約

CO<sub>2</sub>の排出や吸収に関する情報を収集し、全球における炭素循環は下記の通りに整理された。

- 2000～2005年は、1990年代と比較すると、排出は1～3%増加し、大気中CO<sub>2</sub>濃度の増加率は1.5～3%になる。
- 大気中のCO<sub>2</sub>濃度の増加の内8%は陸域生態系の吸収機能の低下による。
- 土地利用変化による排出は、1959～2005年は平均1.5 Gt C yr<sup>-1</sup>であり、2000年以降はアジアと南米の熱帯林からの排出が大半を占め、アジア、南米共に0.6 Gt C yr<sup>-1</sup>の排出となっている。

## (3) 二酸化炭素収支のモデルによる予測のための情報基盤整備

### 1) アジア地域における地球観測衛星による植生パラメータ算出とアルゴリズム評価に関する研究衛星重視型モデルである、陸域生物圏モデル“BEAMS (Biosphere model integrating

Eco-physiological And Mechanistic approaches using Satellite data)”を用いて炭素収支の推定を試みた。BEAMSでは、植物が光合成を行うための光合成有効放射量(PAR)と、どこに植生があるか(土地被覆図)、さらに、植物の生産性のポテンシャルを規定する重要なパラメータである植生季節変動の3つが入力情報としての衛星プロダクトとして特に重要となる。植生季節変動は、衛星データから得られるLeaf Area Index (LAI)とa fraction of absorbed Photosynthetically Active Radiation (fPAR)によって規定される。これら主要3パラメータのうちPARと土地被覆図について、高精度の新たなプロダクトを作成し、S1テーマ1のグループとも連携を図りつつ、アジアの主要な土地被覆に現地観測網を整備し、検証を行った。fPAR、LAIについては既存のデータセットの検証を行った。これらを入力データとし、モデルで推定された炭素収支動態の季節変動について、テーマ1で得られた地上検証との比較から、検証およびその要因を検討した。さらに、地上観測から衛星観測、モデル推定結果までの膨大でかつ、多種多様なデータを効率的に処理するための研究支援環境(GEO Grid)の開発も試みた。

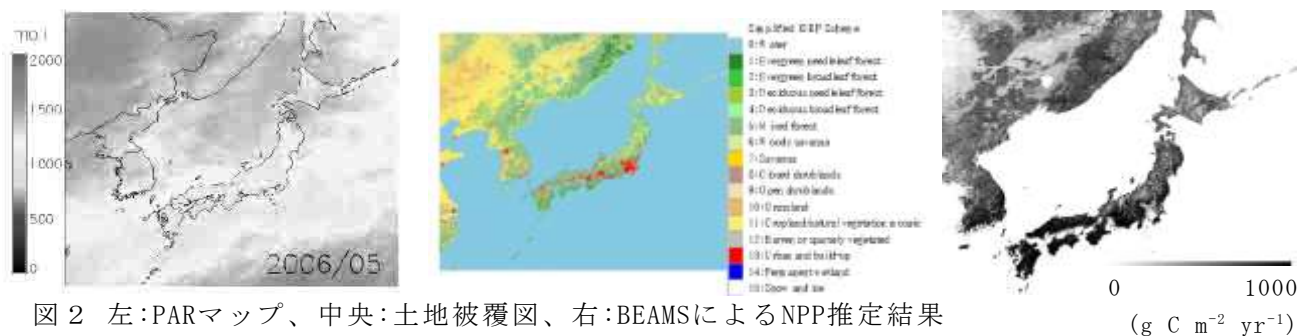


図2 左:PARマップ、中央:土地被覆図、右:BEAMSによるNPP推定結果

### 2) 東アジアの森林生態系の既存固定調査区データに基づいたデータベース化とメタ解析

テーマIで進めた陸域生態系のいくつかの観測サイトにおける詳細な生理・微気象フラックス観測を広域化し、生態プロセスの影響を評価して長期予測を可能にするために、東アジアの森林生態系の既存固定調査区データおよび伐採計測データに基づいたデータベース化を進めて、公開した。調査区間の比較解析から、現存量、純一次生産量、樹木種多様性の地理的な変異パターンを抽出し、気象データと結びつけた。温帯性の落葉樹林や亜寒帯性の常緑針葉樹林では、緯度・標高傾度に沿った積算温度の低下に対する生態系機能の低下が、熱帯・暖温帯の常緑広葉樹林のように著しくなく、季節環境下で生育好適期を活用する体制を獲得したシステムであることを指摘した。また、森林プロットデータの解析に基づいた長期の森林生態系変化予測のために、樹木サ

イズ分布・ギャップ動態・地理的な環境傾度を組み込んだ多樹種系のシミュレーションモデルSALを開発し、炭素収支の変化におよぼす個体群・群集過程の影響を解析した。特に、未知のパラメータである種子分散能力等の関数として、森林帯境界の移動が、温暖化に対して際立った遅れを生じて追従する可能性を指摘した。また、同じ攪乱頻度でも、攪乱を受ける林分の齢依存性によって、森林生態系の樹種多様性が変化することを見出し、林分の時間的な発達過程の重要性を指摘した。

#### (4) 21世紀の陸域炭素管理オプションの総合評価と炭素収支の統合予測モデルの開発

##### 1) 炭素管理に係わる統合予測モデルの開発と陸域炭素管理オプションの評価

グローバルな陸域生態系において、主に森林減少を中心とした土地利用変化に伴う炭素排出量の変化が熱帯地域の途上国を中心に進行中である。そのため、今後のグローバルかつ中長期的な炭素収支の管理を検討する上で、土地利用変化の動態を把握し、それに伴う炭素の排出を評価し将来の予測と対策を検討することは、極めて重要となる。本課題では、土地利用変化活動に伴う炭素収支の変動を予測するため、陸域生態系モデルと土地利用モデルを組み合わせた統合予測モデルの開発を行い、炭素の排出抑制ポテンシャルについて分析を行った。統合予測モデルでは、SRES A2シナリオに基づいたGDPと人口を入力し、2000年から2030年の穀物価格と丸太価格の経済予測から、森林と農地・草地間の土地利用変化を予測した。その結果、積極的な森林保全策を採らない限り、熱帯地域では森林伐採が進行すると推測された(図3)。また、2030年までのグローバルな炭素排出抑制ポテンシャルは、約2.1 Gt C yr<sup>-1</sup>の規模であることが分かった。なお、本課題で構築したモデルは、穀物の収量や将来的な経済発展シナリオに大きく影響を受けるため、その違いにより約0.3 Gt C yr<sup>-1</sup>の吸収量の差が出ることがわかった。

なお、今回開発した統合予測モデルは、陸域生態系に対する人為的な影響を予測するもので、陸域生態系における炭素収支の変動要因や、将来予測を分析することが可能となり、今後の炭素管理に関する国際レジームの形成に際して、科学的なアセスメント手法の一つとしての役割を果たすことが期待される。

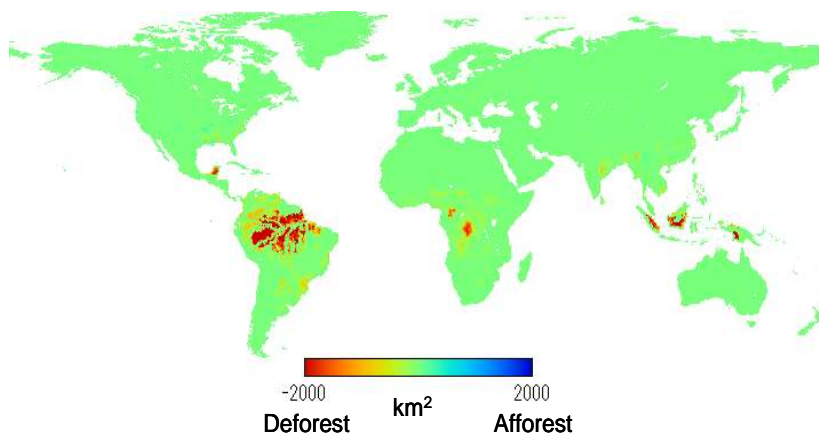


図3 A2シナリオに基づく2000～2030年の土地利用変化

##### 2) 中長期的な陸域炭素収支変動を考慮した統合的炭素管理モデルの開発

近年気候変動への影響が懸念されている陸域生態系の炭素吸収源機能の変動リスク、つまり陸域生態系の排出源への転換が、グローバルな温暖化対策に関する国際合意形成に与える影響について、シミュレーション分析を実施した。グローバルな温暖化対策に関する従来の統合評価モデルでは、陸域炭素吸収源の変動リスクの評価が考慮されていなかったが、本モデルでは、意思決定主体間における地球温暖化対策に関する国際合意形成を動的ゲームとして記述し、モデルシミュレーションによる分析を実施した。基本となる統合評価モデルにRICE (Regional Dynamic Integrated model of Climate and the Economy) モデルを用い、その上に炭素吸収源の変動リスクと国際合意形成の動的ゲームのモデルを組み込んだ。分析の結果、炭素吸収源の変動リスクを考慮することにより、温暖化影響の損害が大きく評価される場合には、温暖化のさらなる進行による不利益を減らすため、排出削減行動が見られた。また、確率的に炭素吸収源が排出源に変化するリスクがある場合には、将来の急変を回避するための排出削減行動が見られたが、急変後にはかえって温暖化による損害を回復しようとする排出増加行動が見られた。

#### 4. 考察

##### (1) 陸域生態系吸収・放出の近未来予測モデルの開発

東アジア陸域生態系に関する3種類のモデルによるシミュレーションが実施された。これらのモデルは立脚点が気象学、生物地球化学、数理生態学と異なっているが、炭素収支を光合成と生態系

呼吸の差として求める手法は共通している。また、空間的パターンとして緯度方向の温度・水分勾配にそって南から北へ生産力が低下し、内陸の乾燥域に低い生産力が見られる点は共通していた。時間的な経年変動は、概してモデル間の共通点が見られたが、例年より高温であった2002年の応答などはモデル間の差も見られた。地域スケールから全球スケールでは観測データに基づくモデル検証は非常に困難であるが、モデル間の相互比較を行うことで共通点と差違点を明確にし、今後のモデルの高度化において重点化すべき部分を特定することができた。

#### (2) 陸域炭素循環モデルの国際比較と高度化

陸域生態系モデルの国際比較により、モデルの結果は、入力データに大きく依存することが示された。近年では植生動態を組み入れた新しいタイプの生態系モデルが構築されており、それらを含めた相互比較は、新しい知見を提供しうる段階に入ってきた。また、最新の衛星リモートセンシングデータやフラックス観測データを参照データとするモデル間相互比較が近年行われるようになってきた。京都議定書における森林炭素吸収源の問題とも関連して、陸域生態系モデルは刻々と取得される観測結果を連続的に反映していく一種のデータ同化システムに発展していく可能性が高い。このようなシステムを構築する上で、既存モデルの特性を相互比較によって明らかにしておく意義は大きい。

地域の炭素収支の合計が、グローバルな炭素循環につながるため、自然や社会だけでなく、双方を統合化した信頼性の高い統合モデルは、炭素管理に一層役立つこととなる。トップダウン、ボトムアップによる炭素収支計測の精度向上は進んでおり、地域単位での高精度な炭素収支モデルの構築が実現しやすい状況になってきた。

グローバルな炭素循環に関する最新の統合的な知見の集約により、大気中のCO<sub>2</sub>濃度の増加の17%の内、経済活動における炭素強度の悪化が9%、自然の吸収源の減少が8%に及び、その他の83%が世界経済の発展によるものであることが整理された。また、土地利用変化にともなうCO<sub>2</sub>排出は、1990年では南米の熱帯林からの排出が大半を占めていたが、2000年には三分の二に減少し、ほぼ横ばい状態の東南アジア地域からの排出量と同程度となった。このトレンドが続く限り、今後はアジア地域の排出抑制が重要になると考えられる。

#### (3) 二酸化炭素収支のモデルによる予測のための情報基盤整備

東アジア地域において、衛星観測に基づくBEAMSを用いた5年間平均の年間積算NPP値を空間分布として推定した。東アジア地域のNPP平均値は595.6 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>であった。そのNPP空間分布パターンを見ると、全体的に北から南に向かって高くなる傾向を示した。地域別に見ると、平野部や高山地帯では低いNPP値を示し、植生で被われた森林・草地地帯では高い値を示した。これらの傾向は、都市化や森林限界等の影響によって植生密度が増減することを考慮すれば、妥当だと考えられる。

次に、地上観測と衛星観測、モデルを組み合わせ、2003年冷夏の解析を行った。地上観測グループの結果では、複数の地上観測サイトで、2003年7月に日射量とGPPの減少傾向が観測された。この結果を衛星観測データやBEAMSのモデル推定結果と比較するため、例年7月と2003年7月との偏差を空間分布で推定した(図2)。まず、衛星観測データMODISから得られた日射量データでは、日本の東北地方から九州や韓国南部にかかる梅雨前線に沿った日射量の減少分布を示した。また、日射量に呼応するように、BEAMSから推定されたGPPも減少分布のパターンが確認できた。つまり、地上観測結果を裏付けるような衛星観測・モデル結果が得られたことから、2003年冷夏時には梅雨前線の停滞によって日射量が減少し、植生活動が例年と比べて著しく抑制されたことで、結果として植生の炭素吸収量が減少したことがわかった。

詳細な炭素フラックス観測のデータを広域化、また予測化するためには、観測サイトの代表性の検討や植生動態をもたらす個体群過程(加入・成長・死亡)のモデル化が必要である。そのために、既存の長期観測プロットデータを集積・整理できたことは意義深い。我々が初めて予測した、温暖化にともなう森林植生帯境界移動の遅れは、今後、改訂されたDGVMによって反映・確認されていくことになる。

#### (4) 21世紀の陸域炭素管理オプションの総合評価と炭素収支の統合予測モデルの開発

統合予測モデルによる分析によると、今後30年間にわたって現在と同程度の森林減少の抑制対策がなされた場合、人為的な土地利用変化に伴う炭素の排出抑制ポテンシャルが、グローバルで約2.1 Gt C yr<sup>-1</sup>と見込まれた。特に南米と東南アジア地域における熱帯林からのCO<sub>2</sub>排出が顕著であることが分かった。また、炭素管理を目的とした炭素クレジットの導入は、必ずしも森林減少の防止に繋がるものではなく、木質バイオマス利用の促進と併せて用いることが有効であることが示された。本モデルを用いた熱帯地域のバイオマス推定や土壌中炭素蓄積量の変動予測は、今後の温暖

化影響予測に利用可能な大きな成果となる。今後、さらに長期的な陸域生態系における炭素動態を予測するためには、温暖化の進行に伴う森林・農業生態系の生産性の変動を評価した上での、土地利用変化を推定するモデルへの高度化が必要と考えられる。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

#### (サブテーマ1)

東アジア地域は、北アメリカやヨーロッパに比べるとモデル研究例が少なく、地域スケールの炭素収支に関する統合的な知見が不足していたが、本研究では3モデルによる推定結果を示すことができた。これにより、炭素収支の広域的な分布や経年変動に関するモデル間で共通するパターンについて検討が可能になっただけでなく、モデル推定の不確実性に関する認識を深化させることができた。また、モデルの開発と検証では多くの観測データが活用され、炭素収支研究の統合化に向けて大きな貢献を行うことができた。

#### (サブテーマ2)

陸域生態系モデル及び自然－社会統合モデルの国際間比較により、これまで実施例が少ないこれらモデルの比較を行うことの意義を示し、今後のモデル比較の基礎を築いた。また、炭素循環に関する最新の統合的な知見の集約により、自然生態系のCO<sub>2</sub>吸収の減少の大きさを示し、観測結果との比較を行う基礎を築いた。

#### (サブテーマ3)

アジアでFlux観測と連携を図った衛星リモートセンシングのための地上検証システムを構築し、過去数年に及ぶこれまでにない、貴重な長期現地検証データが整備されている。衛星プロダクトとして新たにPARと土地被覆図を作成した。これらは、陸域の植生についての基盤情報であり、今後炭素収支研究だけでなく、地球温暖化、エネルギー研究、防災といった多彩な分野で利用が期待される。衛星重視型モデルBEAMSの開発により、対象地域においてより高精度な炭素収支の胴体についてのマッピングが可能となった。この成果は、予報型モデルSim-CYCLEなどとの比較にも用いられることで、予報型モデルの将来予測に対する信頼性評価にも活用される。

既存の長期森林観測プロットデータをデータベースとして集積・公開することにより、東アジアの広域にわたる森林生態系パラメータ、樹木種個体群動態パラメータ、および樹木群集組成とその動態情報の比較解析が可能になり、森林利用と保全に関する政策決定に寄与することになった。また、林分の発達段階に沿った生態系機能の変化のモデル化、バイオームによる温度応答の違いの解明、長期的な温暖化に対する森林帯移動遅れの指摘など、重要な知見を公表できた。

#### (サブテーマ4)

陸域炭素管理オプションの評価として土地利用モデルの開発を行い、ポスト京都における炭素吸収源の評価が可能となった。このモデルは、国際的に受容されうる科学アセスメントの手法の一つとしてIPCC等でも成果を引用されており、人為的活動による陸域生態系への影響に関しての予測を行う科学的な手法として大きな成果を挙げたものと考えられる。

また、テーマIVで実施した「システムアプローチ」に、土地利用モデルを結合した統合予測モデルは、自然科学と社会科学を統合したアプローチであり、世界に先駆けた成果である。さらに、本テーマで開発された「統合的炭素管理モデル」は、長期的な陸域生態系変動リスクが、中長期の地球温暖化レジームの形成に大きな影響を与えることを示した世界で初めての分析である。この結果は、地球温暖化問題の解決を考える上で、生態系攪乱を正確に評価することの重要性を示したものであり、今後さらにこの問題に関する世界的な研究の必要性を示す成果となった。

### (2) 地球環境政策への貢献

#### (サブテーマ1、2)

ポスト京都議定書の温暖化対策では、陸域の吸収源（森林・農地・牧草地）に関するより厳密な温室効果ガス収支評価が求められると考えられる。本研究では、植生から土壌までのフルカーボンアカウンティングに対応可能な生態系モデルを開発し、地域スケールのシミュレーションを通じて陸域炭素収支の時空間的パターンを明らかにした。これにより、現在の陸域生態系の機能に関する理解を進展させただけでなく、今後のポスト京都議定書に関する吸収源評価に向けた有効な手法を提示することができた。

#### (サブテーマ3)

本研究で得られた炭素収支モデルBEAMSの推定結果は、京都議定書で課題となっている植生炭素

吸収量の算定に関わる重要な資料、として、温暖化防止政策に関する議論の場へ提供することが期待できる。また、本研究で提案したGEO Grid研究支援システムは、現在世界規模で進められている地球観測サミットで決定されたGEOSSの「10年実施計画」や総合科学技術会議の「地球観測の推進戦略」に対し、あらたな研究支援システムとして寄与することが期待される。植生帯境界移動予測のフレームワークの提出と、際立った時間遅れの指摘は、陸域生態系の機能や生物多様性の変容を予測するDGVM（全球植生動態モデル）の精度向上に寄与し、生態系応答の将来予測に基づいた政策策定に反映されることが期待される。

（サブテーマ4）

- ・ IPCCの第4次評価報告書WG3に2つの論文が引用された。
- ・ 本研究の成果に基づいてIPCC報告書「土地利用、土地利用変化および林業に関するグッドプラクティスガイダンス」モデルによる検証の章の執筆者として参加した。
- ・ 環境省地球環境局「森林等の吸収源に関するワーキンググループ」検討会において、京都議定書第2約束期間以降における吸収源の取り扱いに関する国際交渉の進展に合わせて提案する吸収源オプションの検討において、モデル分析に基づいて検討に貢献した。
- ・ 林野庁「地球益・森林環境研究会～シンク戦略部会」検討会において、京都議定書第2約束期間以降における吸収源の取り扱いに関する総合的な検討に際して、現時点で検討されている吸収源オプションの検討において、モデル分析に基づいて検討に貢献した。

## 6. 研究者略歴

課題代表者：甲山隆司

1954年生まれ、東京都立大学理学部卒業、理学博士、京都大学・生態学研究センター・助教授、現在、北海道大学・大学院地球環境科学研究院・教授

主要参画研究者

(1) 1) : 及川武久

1942年生まれ、東京大学大学院修了、博士（理学）、現在、筑波大学大学院生命環境科学研究科教授

2) : 伊藤昭彦

1972年生まれ、名古屋大学理学部卒業、博士（理学）、現在、国立環境研究所・地球環境研究センター・研究員、海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター・サブリーダー

3) : 馬淵和雄

1952年生まれ、気象大学校大学部卒業、理学博士、現在、気象庁気象研究所・環境応用気象研究部・主任研究官

(2) : ソバカル ダカール

1970年生まれ、東京大学工学部修了、博士（工学）、現在、国立環境研究所・地球環境研究センター・NIESフェロー

(3) 1) : 土田聡

1962年生まれ、早稲田大学教育学部卒業、工学博士 現在、産業技術総合研究所・グリッド研究センター・地球観測グリッドチーム長

2) : 西田顕郎

1969年生まれ、東京大学工学部卒業、博士（農学）、現在、筑波大学・大学院生命環境科学研究科・講師

3) : 甲山隆司（同上）

(4) : 山形与志樹

1961年生まれ、東京大学教養学部卒業、博士（学術）、現在、国立環境研究所・地球環境研究センター・主席研究員

## 7. 成果発表状況

(1) 陸域生態系吸収・放出の近未来予測モデルの開発

- 1) Mabuchi, K., Y. Sato and H. Kida: Journal of the Meteorological Society of Japan, 80, 621-644 (2002)

- “Verification of the Climatic Features of a Regional Climate Model with BAIM”
- 2) Ito, A.: *Phyton*, 45, 55-59 (2005)  
“Developing a new model to simulate net CO<sub>2</sub> exchange at AsiaFlux sites”
  - 3) Ito, A., Saigusa, N., Murayama, S. and Yamamoto, S.: *Agricultural and Forest Meteorology*, 134, 122-134 (2005)  
“Modeling of gross and net carbon dioxide exchange over a cool-temperate deciduous broad-leaved forest in Japan: Analysis of seasonal and interannual change”
  - 4) Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida: *Journal of Climate*, 18, 410-428 (2005a)  
“Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part I: Case of the Northern Hemisphere summer”
  - 5) Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida: *Journal of Climate*, 18, 429-446 (2005b)  
“Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part II: Case of the Northern Hemisphere winter and impact on the extratropical circulation”
  - 6) Ito, A. and Sasai, T.: *Tellus Series B*, 58, 513-522 (2006)  
“A comparison of simulation results from two terrestrial carbon cycle models using three climate datasets”
  - 7) Ito, A., Muraoka, H., Koizumi, H., Saigusa, N., Murayama, S. and Yamamoto, S.: *Ecological Research* 21, 137-149 (2006)  
“Seasonal variation in leaf properties and ecosystem carbon budget in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest: simulation analysis at Takayama site, Japan”
  - 8) Alexandrov GA, Yamagata Y: *Ecological Modelling*, 200, 189-192 (2007)  
“A peaked function for modeling temperature dependence of plant productivity”
  - 9) Ito, A., Inatomi, M., Mo, W., Lee, M., Koizumi, H., Saigusa, N., Murayama, S. and Yamamoto, S.: *Tellus Series B* (2007 in press)  
“Examination of model-estimated ecosystem respiration by use of flux measurement data from a cool-temperate deciduous broad-leaved forest in central Japan”
  - 10) Mabuchi, K., H. Kida: In: *Proceedings of the iEMSs Third Biennial Meeting “Summit on Environmental Modelling and Software”* (Ed. Voinov, A., Jakeman, A., Rizzoli, A.). International Environmental Modelling and Software Society, Burlington, USA, July 2006. CD-ROM (2006)  
“On-line climate model simulation of the global carbon cycle and verification using the in situ observation data”
- (2) 陸域炭素循環モデルの国際比較と高度化
- 1) Canadell J, Ciais P, Cox P, Heimann P: *Climatic Change*, 67, 145-146 (2004)  
“Quantifying Terrestrial Carbon Sinks”
  - 2) Canadell J: *Science in China* 45 Supp, 1-9 (2002)  
“Land use effects on terrestrial carbon sources and sinks”
  - 3) Canadell J, Steffen W, White PS: *IGBP/GCTE Terrestrial Transects, Journal Vegetation Science* 13, 297-448 (2002)  
“Dynamics of terrestrial ecosystems under environmental change”
  - 4) Canadell JG, Kirschbaum MUE, Kurz WA, Schlamadinger B, Yamagata Y: *Environmental Science and Policy* (In press) (2007)  
“Factoring out natural, indirect and direct human effects on terrestrial greenhouse gas sources and sinks”
  - 5) Canadell JG, Pataki D, Gifford RM, Houghton R, Luo YQ, Raupach MR, Smith P, Steffen W: Canadell JG, Pataki D, Pitelka L (eds) *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. The IGBP Series, Springer-Verlag, Berlin, 59-78 (2007)  
“Saturation of the terrestrial carbon sink”
  - 6) Raupach MR, Marland G, Ciais P, Le Quere C, Canadell JG, Klepper G, Field CB: *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* (In Press) (2007)  
“Global and regional drivers of accelerating CO<sub>2</sub> emissions”



## (3) 二酸化炭素収支のモデルによる予測のための情報基盤整備

- 1) 土田聡・西田顕郎・岩男弘毅・川戸渉・小熊宏之・岩崎晃：日本リモートセンシング学会誌，25 (2005)  
“Phenological Eyes Network－衛星による地球環境観測のための地上検証ネットワーク－”
- 2) K. Iwao, K. Nihida: Proceedings of The second VEGETATION International Users Conference, (CD-ROM), (2005)  
“Gap filling in 10-day composite datasets for terrestrial CO<sub>2</sub> Flux monitoring in SE Asia”
- 3) 石原光則・松永恒雄・土田聡・西田顕郎・小熊宏之・田村正行：日本リモートセンシング学会誌，26 (2)，125-137 (2006)  
“MODIS波長特性を考慮したPhotochemical Reflectance Indexの代替指標に関する研究-地上観測分光反射率データを用いた検証-”
- 4) 中西理絵・小杉緑子・大久保晋治郎・西田顕郎・小熊宏之・高梨聡・谷誠：水文・水資源学会誌，19 (6)，475-482 (2006)  
“温帯ヒノキ林における分光反射指標PRI (photochemical reflectance index) の季節変動”
- 5) 岩男弘毅・西田顕郎・山形与志樹：写真測量とリモートセンシング，45 (4)，35-46 (2006)  
“緯度経度整数地点の土地被覆情報を用いた土地被覆図の検証手法”
- 6) 三上寛了・西田顕郎・村岡裕由：写真測量とリモートセンシング，45 (5)，13-22 (2006)  
“魚眼デジタルカメラ画像による、林冠の開空域の自動識別と葉面席指数の推定”
- 7) Iwao, K., K. Nishida, T. Kinoshita, and Y. Yamagata: Geophys. Res. Lett., 33, L23404, doi:10.1029/2006GL027768 (2006)  
“Validating land cover maps with Degree Confluence Project information”
- 8) Yoshioka, H., Miura, T., and Yamamoto, H.: In: Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability III. (Eds. Gao, Wei Ustin, Susan L.) Proceedings of the SPIE, Volume 6298, pp. 629813-21, Aug. 14-16, San Diego, CA (2006)  
“Investigation on functional form in cross-calibration of spectral vegetation index”
- 9) Kohyama, T., Suzuki, E., Partomihardjo, T., Yamada, T., Kubo, T.: J. Ecol., 91, 797-806 (2003)  
“Tree species differentiation in growth, recruitment and allometry in relation to maximum height in a Bornean mixed dipterocarp forest”
- 10) Kohyama, T., Kubo, T., Macklin, E.: Ecol. Res., 20, 11-15 (2005)  
“Effect of temporal autocorrelation on apparent growth rate variation in forest tree census data and an alternative distribution function of tree growth rate”
- 11) Kohyama, T.: Ecol. Res. 21, 346-355 (2006)  
“The effect of patch demography on the community structure of forest trees”
- 12) Kohyama, T., Urabe, J., Hikosaka, K., Shibata, H., Yoshioka, T., Konohira, E., Murase, J., Wada, E.: In: Canadell J, Pataki D, Pitelka L (eds), Terrestrial Ecosystems in a Changing World, pp. 285-296. The IGBP Series, Springer, Berlin (2007)  
“Terrestrial ecosystems in monsoon Asia: scaling up from shoot module to watershed”
- 13) Takyu M, Kubota Y, Aiba S, Seino T, Nishimura T.: Ecol. Res., 20, 287-296 (2005)  
“Pattern of species diversity, structure and dynamics of forest ecosystems along latitudinal gradients in East Asia”

## (4) 21世紀の陸域炭素管理オプションの総合評価と炭素収支の統合予測モデルの開発

- 1) Clark S. Binkley, David Brand, Zoe Harkin, Gary Bull, N.H. Ravindranath, Michael Obersteiner, Sten Nilsson, Yoshiki Yamagata, Max Krott: Forest Policy and Economics, 4, 65-77 (2002)  
“Carbon sink by the forest sector - options and needs for implementation”
- 2) Obersteiner M. (with contributing authors: Ch. Azar, S. Kossmeier, R. Mechler, K. Möllersten, S. Nilsson, P. Read, Y. Yamagata, J. Yan): Interim Report, IR-01-051, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria (2002)  
“Managing Climate Risk”

- 3) Y. Yamagata, G. A. Alexandrov, K. Nishida, N. Saigusa, T. Oikawa : International Arcives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34 (Part.7/W14), E8.1-5 (2003)  
“Integration of Remote Sensing with CO2 Flux measurement for modelling forest NEP”
- 4) Benitez-Ponce, P. C., I. Mc Callum, M. Obersteiner and Y. Yamagata: IIASA Interim Report IR-04-022, Laxenburg, Austria (2004)  
“Global Supply for Carbon Sequestration: Identifying Least-Cost Afforestation Sites under Country Risk Considerations”
- 5) 山形与志樹、中村仁也 : シミュレーション, 24 (4), 66-74 (2005)  
“地球温暖化対策の国際合意形成に関する動的ゲームシミュレーション (Analysis of global carbon management regime using Differential Game model)”
- 6) Y. Yamagata, M. Ceronsky, C. Hepburn., M. Obersteiner: Climate Policy, 4, 347-357 (2005)  
“Clashing Strategic Cultures and Climate Policy”
- 7) H. Mizuta, Y. Yamagata: Agent-Based Simulation, 72-81 (2005)  
“Gaming Simulation of the International CO2 Emission Trading under the Kyoto Protocol”
- 8) H. Mizuta, Y. Yamagata: ICM Millennium Lectures on Games, 319-333 (2005)  
“International Emissions Trading with Agent-Based Simulation and Web-Based Gaming”
- 9) Obersteiner, M., Alexandrov, G., Benitez,, Yamagata, Y.: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 1003- 1021 (2006)  
“Global Supply of Biomass for Energy and Carbon Sequestration from Afforestation and Reforestation”
- 10) 山形与志樹, 中村仁也: 日本環境科学会論文誌, 20, 107-117 (2007)  
“炭素吸収源変動リスクを考慮したグローバルな温暖化対策に関する動的ゲーム分析”
- 11) Benítez, I. McCallum, M. Obersteiner, Y. Yamagata: Ecological Economics, 60, 572-583 (2007)  
“Global potential for carbon sequestration: Geographical distribution, country risk and policy implications”

