

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IV プロジェクトの統合的推進と情報の共有

筑波大学大学院生命環境科学研究科 及川武久
 独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター 山形与志樹・藤沼康実

<研究協力者>

独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター	町田敏暢・伊藤昭彦・平田竜一 岩男弘毅・木下嗣基
独立行政法人産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門大気環境評価研究グループ	三枝信子
独立行政法人森林総合研究所 立地環境研究領域土壌資源研究室	松浦陽次郎
独立行政法人農業環境技術研究所 フラックス変動評価チーム	小林義和・間野正美・莫文紅
岡山大学大学院環境学研究科	山本晋
北海道大学大学院地球環境科学研究院	甲山隆司
岐阜大学流域圏科学研究センター	小泉博
筑波大学大学院生命環境科学研究科	西田顕郎・清野達之・加藤悦史

平成14～18年度合計予算額 106,775千円

(うち、平成18年度予算額 52,427千円)

※上記予算額には、間接経費 24,641千円を含む

[要旨] 研究テーマIVの主要課題は、テーマIおよびIIで得られた観測データ、テーマIIIで得られた衛星観測およびモデルシミュレーションのデータを集積し、東アジア地域全体の炭素収支の定量化に向けた統合的な解析を行うことである。本プロジェクトの成果からポスト京都議定書などの温暖化政策に貢献を行うには、個別の研究成果を理解しやすく総括し明確な形で示すことが極めて重要である。最終年度に臨んで統合解析サブグループを結成し、各研究テーマの成果に基づく統合解析を実施した。そこでは「システムアプローチ」と呼ばれる、地点観測からのボトムアップ的推定と大気観測に基づくトップダウン的推定を併用し、さらに空間詳細な衛星観測データと陸域生態系モデルを最大限に活用する手法を開発した。フラックス観測や森林・土壌調査といった地点観測のデータは生態系モデルの高度化と検証に利用され、衛星観測からは信頼性の高い土地被覆などのモデル入力データが提供された。日本周辺を含む東アジア地域を対象にして、空間分解能1kmのモデルシステムを開発し、2000～2005年の炭素収支マッピングを実施した。その結果、東アジアの陸域生態系は平均して年間0.057 Gt Cの吸収源と推定されたが、これは対象領域内の化石燃料消費による放出の約11%を相殺する規模であった。このモデル推定は、テーマIのフラックス観測のデータや、独立して実施されたテーマIIのトップダウン的手法による推定

と比較することで検証が行われた。このような統合解析を通じて、異なる研究分野間での情報共有と学際的議論が行われ、プロジェクトの有機的な集成が達成された。その際、データを効率的に参加研究者が共有し、円滑な連携が促進されるよう、データベース管理と情報基盤整備を行うことが肝要であった。これはプロジェクト終了後もデータを有効活用できる体制整備にもつながることから、データベース（S1-DB）のハード・ソフト両面での整備を精力的に実施した。このようなテーマIVの活動は、平成18年10月に早稲田大学・国際会議場で開催されたプロジェクトの総括ワークショップで中心的な成果として公表された。ここで得られた東アジア陸域の炭素収支に関する科学的知見は、温暖化抑制のための炭素管理や政策立案に大きく寄与するものと期待される。

[キーワード] システムアプローチ、政策貢献、統合解析、データベース、東アジア陸域

1. はじめに

2008年から始まる京都議定書の第1約束期間では、2005年11月30日に開催された京都議定書第1回締約国会合（COP/MOP1）で決議された京都議定書の具体的な運用ルールに従って各国は温室効果ガスの排出・吸収量の評価を行うことが義務付けられているが、近年徐々に議論が本格化しつつある京都議定書の第2約束期間以降の議論については、吸収源の取り扱い自体の有無も含め、陸域生態系の炭素動態の把握が重要な課題となっている。2005年のCOP11以降、途上国における森林減少に伴う温室効果ガスの排出の削減に関して、具体的な交渉も行われており、陸域生態系の炭素吸収源機能の変動と、その管理に関する科学的な知見の集積は重要となっている。特に、今後のポスト京都議定書への参加が期待される重要な途上国がアジアには多く、これらの国における炭素動態の把握が重要な課題となってくることが予想される。

このため、広域の陸域生態系における炭素動態を把握し、その変動要因を解析することが急務であり、欧米でも数年前から関連する大規模な研究プロジェクトが実施されている。これまで、陸域生態系における炭素動態の研究としては、主に地上観測と陸域生態系モデルによるアプローチが進められているが、特にアジア域に着目すると、多様な生態系を有する地域であるにもかかわらず、十分な観測網が構築できていないという課題があげられる。また多様な生態系を再現するような陸域生態系モデルの構築やその妥当性の検証といった点においても、不確実性を多数残している。

そこで本プロジェクトでは、モニタリングとモデリング手法を統合したシステムアプローチを開発し、アジア域における多様な陸域生態系における炭素動態の解明にチャレンジすることとした。炭素動態を広域かつ高精度で把握するシステムアプローチの開発は、アジアで初めて、かつ世界的に見ても新しい試みと言える。

2. 研究目的

本プロジェクトでは、テーマIからテーマIIIまで、非常に多岐に渡る陸域炭素収支研究を行ってきた。本テーマでは、それらを再構築し、テーマ間の異なる研究分野をつなぎ合せ、組み合わせることにより、東アジアにおける炭素動態の高精度な定量的把握とそのメカニズムを解明しようとした。本テーマの目的は以下の通りである。

1. 地上観測サイトにおける陸域生態系内の炭素動態とそのメカニズムの解明
2. 陸域生態系の炭素収支の季節変化・年次変動とその要因の解明
3. システムアプローチによる東アジア陸域生態系の炭素収支動態の定量的評価

また、テーマIVの役割は、研究分野の大きく異なる各テーマの連携を図り、上記のような統合研究を推進することである。そのため、情報とデータの共有および流通を容易にするため、データベースの構築も行なった。

3. 研究方法

(1) システムアプローチの構築

本プロジェクトのテーマIからテーマIIIでは主に以下のような研究内容が行われてきた。

- ・ フラックス観測の各サイトにおける炭素動態（光合成、植生呼吸、土壌呼吸等）（テーマ I）
- ・ 森林生態・土壌圏調査による多様な生態系タイプごとの炭素動態のプロセス解明（テーマ I）
- ・ 衛星リモートセンシングによる土地被覆、気象・植生量の広域分布の把握（テーマ III）
- ・ 陸域生態系モデルによる 2000-2005 年の広域炭素収支マップの作成（テーマ III）
- ・ 大気観測から推定した炭素収支による広域炭素収支の検証（テーマ II）

これらをつなぎ合わせることにより、観測より得られた結果とモデルにより得られた結果を集約し、広域のCO₂フラックスの定量的把握とその変動の解明を行った。これを本テーマではシステムアプローチを名付けた。

ボトムアップアプローチとは、各種陸域生態系炭素動態の精密な地上観測を元に、プロセスモデルを用いて、地域規模でのCO₂フラックス推定へと広域化する方法である。トップダウンアプローチとは、世界各地で高精度に観測されたCO₂濃度をもとに、インバースモデルを用いて、地域規模でのCO₂フラックスを推定する方法である。以下に各研究のつながりとシステムアプローチの説明を行なう。

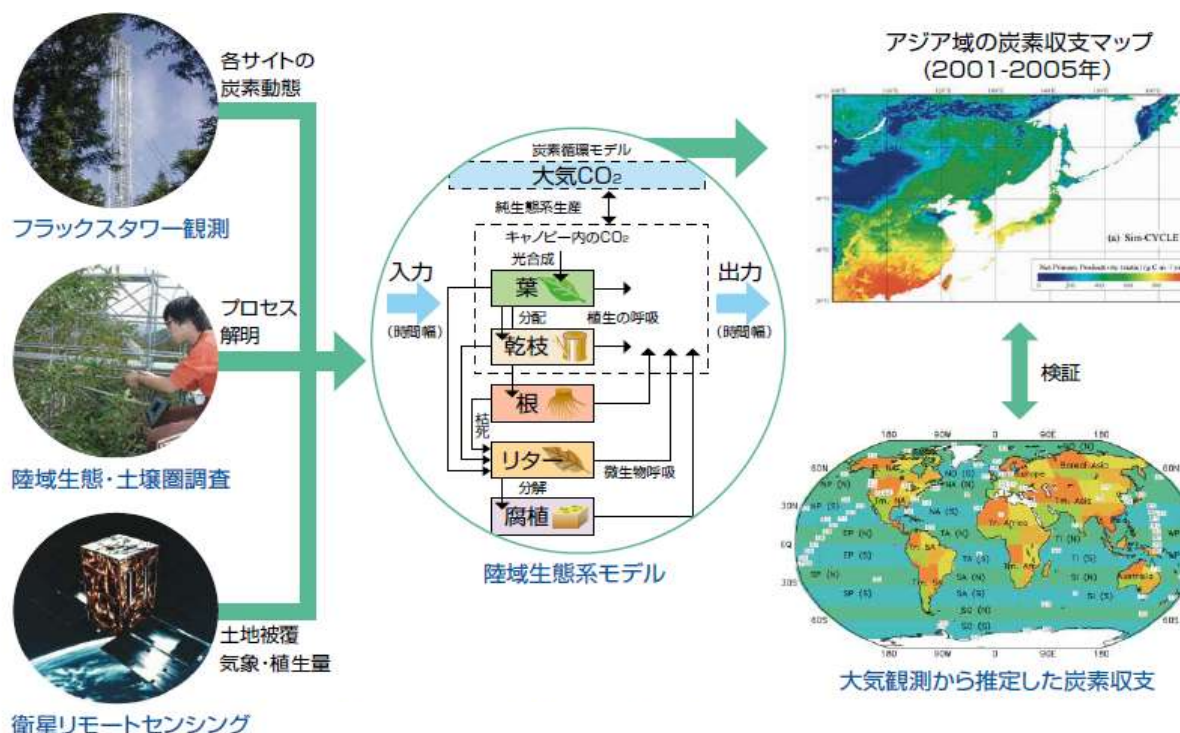


図1 炭素動態を把握するシステムアプローチ

(2) 地上観測による炭素動態時空間変動の解明

1) 各種陸域生態系で観測された炭素収支の時空間変動に関するサイト間比較

東アジアにおいて、熱帯から亜寒帯まで幅広く分布している代表的な16の陸域生態系において、フラックスタワー観測（渦相関法を用いたCO₂フラックス観測）を行なうことにより、季節変化・年次変動とそれを引き起こす要因を明らかにし、炭素収支量を定量的に評価した。

フラックスタワー観測で捉えられるのは生態系全体の炭素収支量である。しかし、光合成や土壌呼吸、植物体への炭素蓄積など、陸域生態系の各プロセスの炭素動態は把握できない。そこで、生態学的方法（刈り取り法やチャンバー法）を用いた陸域生態系・土壌圏調査を行ない、陸域生態系の構成要素とそのメカニズムの解明を行なった。

2) 微気象学的方法と生態学的方法によるNEPの相互比較

高山、富士吉田、苫小牧、パソなどの観測サイトにおいて微気象学的方法と生態学的方法によるNEPの相互比較を実施した。

3) 土壌中炭素の時空間変動に関するサイト間比較

本プロジェクトでは、様々なフラックス観測サイトがあり、その主要なサイトでは、土壌圏グループによるプロセス調査とタワー観測が並行して行われている。ここでは、苫小牧、高山、富士吉田のサイトで得られたデータや文献データを総合し、炭素フラックスの年変動におけるプロセス間の相互関係の解析結果を行った。

(3) トップダウンアプローチによる広域炭素収支観測

トップダウンアプローチとは、大気中の二酸化炭素濃度 (CO₂) の観測からその地表面での吸収・放出量の分布を推定する方法のことを示す。米国NOAAの実施している大気中のCO₂濃度測定地点は約90ヶ所あり、相互にスケールが合っているためトップダウンアプローチのデータ解析（インバースモデル）に広く使われている。その測定は毎週ボトルに大気を採取してNOAAに輸送し分析する方法を取っている。海洋性大気など空間的均一性が高く、時間的にも変動が少ない場合には、毎週のデータが代表性を持っているが、陸域のように日変化や空間的変化が大きいところでは、地上での連続測定か、航空機による自由対流圏の観測が必要である。

本研究は地上での連続測定データを比較的高密度（1000kmスケール）で取得し、地域規模のインバースモデル解析を用いた新たなフラックス推定手法の開発にチャレンジしたものである。

（詳細はテーマII報告書参照）

西シベリアにおけるCO₂収支を推定するために時間依存インバースモデルによる解析を行った。ここでインバース解析に利用した全球輸送モデルは、NIES/FRSGCモデルで、全球を水平方向に2.5°x2.5°、鉛直方向に15 sigmaに区切った輸送モデルである。輸送モデルはNCEP再解析データの風場を利用し、2004年と2005年の月毎のパルス関数を導出した。本研究ではPatra et al. (2005) の64領域インバースモデルを基に、西シベリアをさらに2分割した領域を採用し（図2）、より詳細なCO₂収支を推定した。

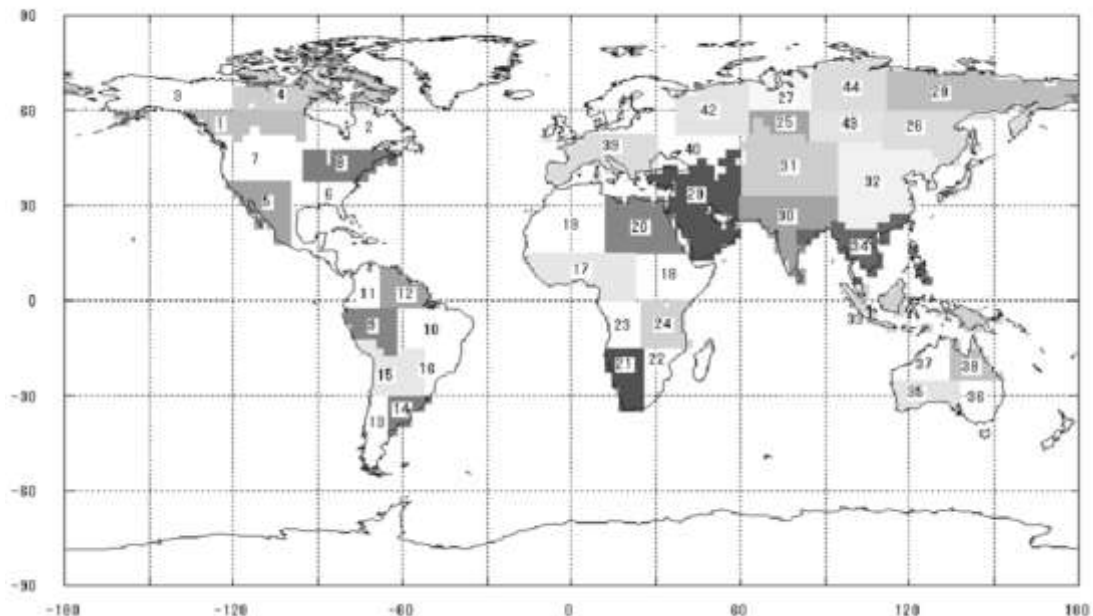


図2 全球を66分割したCO₂収支推定領域の分布。旧Land 25を新Land 25とLand 43に、旧Land 27を新Land 27とLand 44に分割した。

(4) 衛星リモートセンシングによるモデル入力の高精度化と、時空間データの作成

地上観測により、生態系規模での炭素収支を明らかにすることができた。しかし、東アジアの全ての陸域生態系の炭素収支をこれらの方法で調査することはできない。そこで、陸域生態系モデルを用いて東アジア規模や地球規模の広域のCO₂フラックスを推定するため、衛星リモートセンシングでは、陸域生態系モデルの重要な入力パラメータである、高頻度・高精度の光合成有効放射 (PAR) 分布と土地被覆図を作成・提供した。

(5) 陸域生態系モデルの高度化

テーマIによる現地観測データに基づいて陸域生態系モデルの高度化を実施した。森林構造や土壌不均質性を考慮するため、植生の高木層と下層植生への2層化を行った。キャノピー光合成のモデルとして、光合成有効放射の直達・散乱成分を考慮したモデルを導入した。このモデルは30分間隔の時間ステップで計算されるため、CO₂収支の日内変動が再現され、フラックス観測との比較による短時間変動の再現性の検証が可能になった。土壌については従来の2ボックスモデルを詳細化し、枯死物や腐植の分解性の差を考慮した6ボックスモデルを開発した。このモデルによる推定結果は、いくつかのサイトにおいて観測された土壌呼吸データと比較して検証が行われた。また、土壌グループで使用しているモデル (RothC) との比較検討によって各モデルの特性を明確にした。

(6) 相互検証

1) 陸域生態系モデルの生態学的炭素収支観測による検証

東アジアの広域では多様な植生の情報に加え、森林のバイオマスの経年観測を行なっているイ

ンベントリーデータが数多く蓄積されている。このデータはアジアの陸域生態系機能、特に森林の二酸化炭素固定能を示す重要な知見である。そこで、森林研究者が実際に測定を行なった既存のインベントリーデータを収集・整備することによって、システムアプローチによる森林の二酸化炭素固定能の検証を実施した。インベントリーデータは、森林研究者からの情報提供、研究ネットワーク (PlotNet) の利用、そして既存の論文や研究報告を用いた情報収集によって行った。今回対象としたのは赤道熱帯からシベリア亜寒帯林までのS-1の拠点サイトを含む東アジアの広域で、全部で200ヶ所の情報を収集した。バイオマス推定の方法は、森林タイプ毎に伐倒調査から得られたアロメトリー式を使い、地上部現存量を推定した。地上部純一次生産量は、地上部現存量の年間の増加分に枯死脱落量を加えたものを地上部純一次生産量として使用する積み上げ法から推定した。この結果と生態系モデルの結果の比較を行った。

2) トップダウンアプローチと生態系モデルの相互検証

陸域生態系プロセスモデルのSim-CYCLEでは、各種陸域生態系炭素動態の精密な地上観測を元にしたプロセスモデルをである。トップダウンアプローチは、世界各地で高精度に観測されたCO₂濃度をもとに、インバースモデルを用いて、地域規模でのCO₂フラックスを推定する方法である。この両者の比較を行った。

(7) 陸域生態系モデルによる東アジアの炭素動態把握

Sim-CYCLEでは、地上観測および衛星観測によって得られたデータを用いて検証・入力することにより、改善・高精度化を計り、広域化することによって、東アジアや地球全体の陸域炭素収支マップを作成した。また、テーマIII (1) で開発した生態系モデルの結果と、テーマIII (3) で開発した新土地被覆図を用い、テーマIII (4) で開発した土地利用予測モデルを結合することによって、人為的影響による今後30年の土地利用変化の予測を行い、それにより放出されるCO₂の大きさを予測した。

(8) システムアプローチによる統合研究推進のために構築されたデータベース

本プロジェクトでは様々な研究分野の研究者が多数参加した。本プロジェクトのような多岐に渡る研究を統合・推進していくためには、各テーマ間のデータの交換・流通が必要となる。そのためにデータベースの構築が行なわれた。これによって、貴重なデータが一箇所に集中し、データの利用が容易になるとともに、相互理解も深めることを可能にする。

4. 結果・考察

(1) 地上観測による炭素動態時空間変動の解明

1) 各種陸域生態系で観測された炭素収支の時空間変動に関するサイト間比較

図3に、当研究課題および他の研究課題で観測されたデータを収集して算出した、月別生態系純生産量NEPの季節変化を記す。ロシア・中央シベリアから北海道にかけてのカラマツ林生態系(a)~(d)を比較すると、年平均気温が高くなるにつれてNEPが正となる期間が長くなり、またNEPの最大値が高くなる結果が明らかになった。また、落葉樹林(a)~(e)と常緑樹林(f)~(h)との違いを比較すると、落葉樹林には明瞭な季節変化がありNEP>0となる生育期間とNEP<0となる非生育期間の区別がある一方で、常緑樹林のNEPの季節変化振幅は小さく、生育期間・非生育期間の

区別は不明瞭であることがわかった。以上のようなアジアにおける各種生態系の NEP の季節変化パターンを亜寒帯から熱帯に至る広い緯度帯をカバーし多点でとりまとめた結果は、本研究課題による報告が最初である。

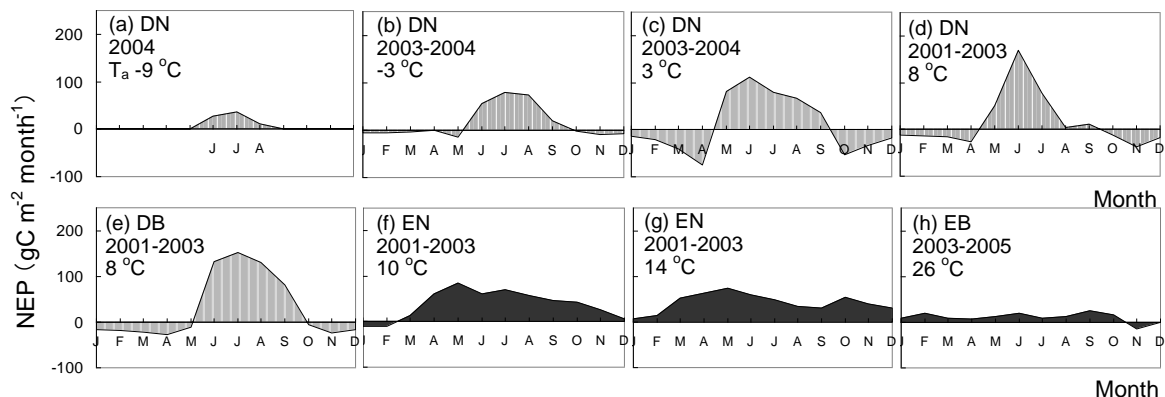


図3 各種生態系で観測された月別 NEP。(a) 亜寒帯カラマツ林 (シベリア) ; (b) 亜寒帯カラマツ林 (モンゴル) ; (c) 冷温帯カラマツ林 (中国) ; (d) 冷温帯カラマツ林 (日本) ; (e) 冷温帯カンバ・ミズナラ林 (日本) ; (f) 温帯アカマツ林 (日本) ; (g) 温帯ヒノキ林 (日本) ; (h) 熱帯多雨林 (マレーシア)。記号 DN, DB, EN, EB は、それぞれ落葉針葉 (DN)、落葉広葉 (DB)、常緑針葉 (EN)、常緑広葉 (EB) を表す。図中の年は、各サイトで NEP の観測された年を表す。

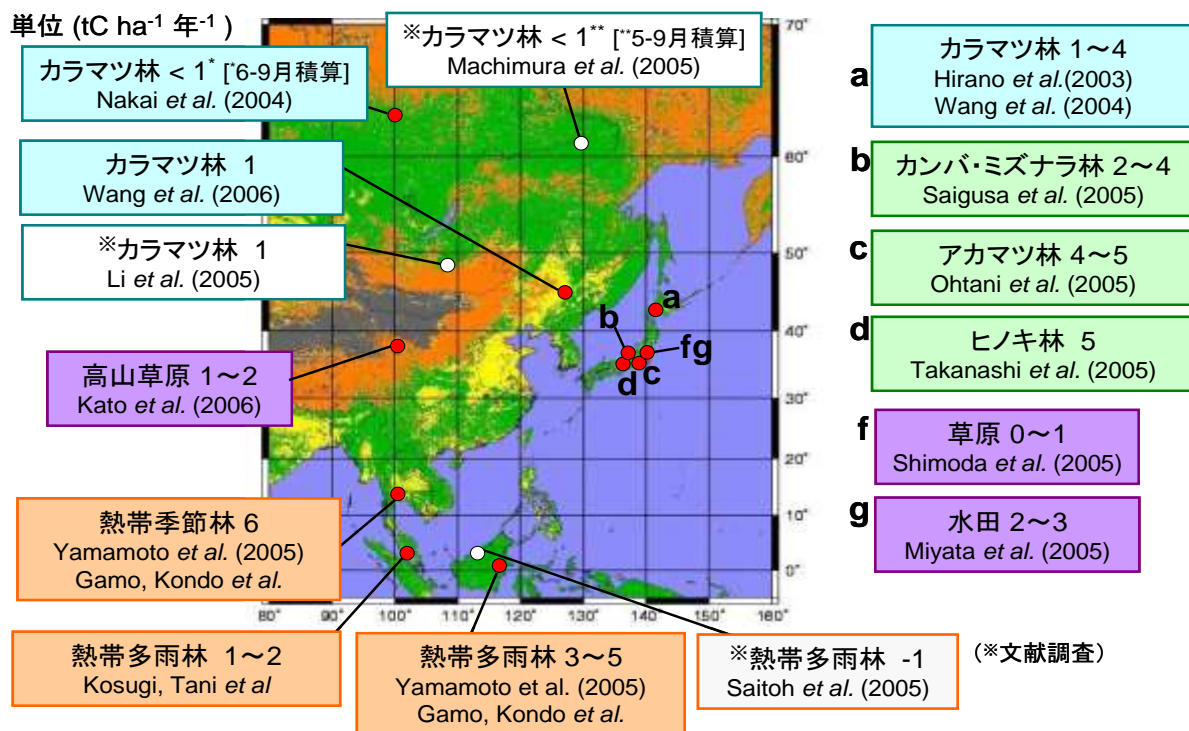


図4 アジア各種生態系における年間炭素収支量の比較

図4に、本研究課題および他の研究課題によってアジア各地で観測されたNEPの年間値を収集し

てまとめた結果を示す。亜寒帯で年間 $1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 未滿、温帯から熱帯で最大 $5 \sim 6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ の炭素吸収が観測されていることが分かった。また、温帯の生態系で比較すると、生育期間の長い常緑林の方が落葉林に比べて年間吸収量が多いことがわかった。

2) 微気象学的方法と生態学的方法による NEP の相互比較

永久凍土地帯のロシア・トゥラ(カラマツ林)、中国東北部の老山(カラマツ林)、本州中部地方の高山(カンバ・ミズナラ林)、マレーシア・パソ(熱帯多雨林)について、二酸化炭素フラックス観測の結果と、生態学的手法で推定した炭素蓄積量と炭素フローから推定したNEPの比較を行った結果、フラックス観測から推定されたNEPの熱帯林地域と永久凍土地帯の差は、1オーダー程度であることが明らかとなった。(図5)

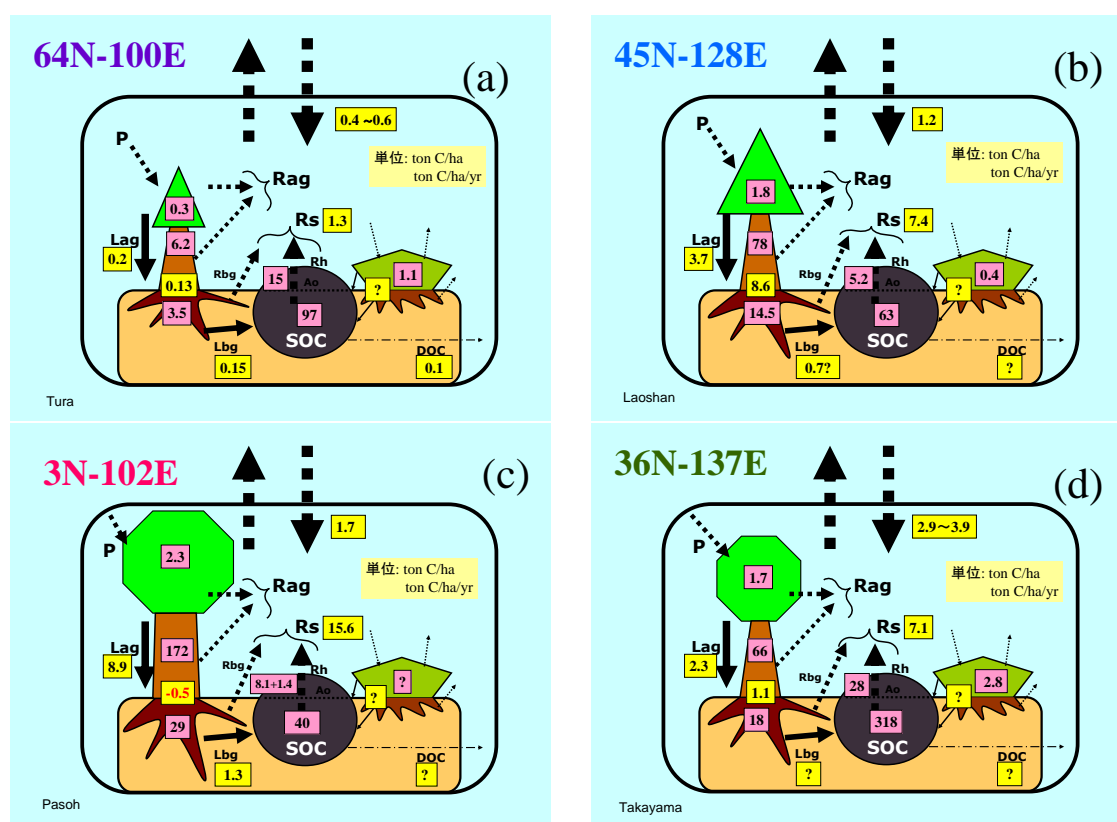


図5 各種森林生態系における炭素の集積量とフローの推定結果：(a)ロシア・トゥラ(カラマツ林)、(b)中国・老山(カラマツ林)、(c)マレーシア・パソ(熱帯雨林)、(d)日本・高山(落葉広葉樹林)

表1は、微気象学的方法(渦相関法)による森林生態系の正味の炭素吸収量(NEP_M)と生態学的方法(バイオマス調査)による吸収量(NEP_B)の比較結果である。表1では、本研究で行われている観測サイトの予備的解析結果を、北米大陸上の観測サイトでの研究結果とあわせて示している。一般的に NEP_M が NEP_B よりも大きく、両者が一致しないという結果が数多くのサイトから報告されている。それぞれの手法に含まれる未解決の問題としては、 NEP_M における夜間の測定誤差の問題、 NEP_B における地下根系の炭素収支の見積もり方法の問題などが重要であると指摘されており、これらの誤差要因の解明を進める必要がある。

表1 フラックス観測サイトにおける微気象学的方法と生態学的方法によるNEPの比較

サイト名	トゥラ	苫小牧	高山	富士吉田	サケラート	パソ
国名	ロシア	日本	日本	日本	タイ	マレーシア
緯度 (°N)	64	43	36	35	14	3
年平均気温 (°C)	-9	6	7	10	24	26
NEP _M (tC ha ⁻¹ yr ⁻¹)	0.8	1.6~1.9	3.0~3.8	3.5~6.3	2.4~5.2	-0.3~1.6
NEP _B (tC ha ⁻¹ yr ⁻¹)	-0.5	2.1	2.1	4.2	-3.0~1.3	-0.5

3) 土壌中炭素の時空間変動に関するサイト間比較

図6は年間のGPP（総生産）、Rs（土壌呼吸）、Ra（植物地上部呼吸＝生態系呼吸－土壌呼吸）、NEPの年変動をサイトごとに示したものである。GPPは苫小牧と富士吉田で大きい値を示し、高山で小さい値を示した。Rsは苫小牧と高山で大きい、富士吉田はそれらの二分の一以下であった。Raは富士吉田で最も大きく、次いで苫小牧、高山の順で小さかった。とくに高山のRaは小さかった。これらの結果を反映して、NEPは富士吉田、高山、苫小牧で大きかった。

年間GPPとRp（植物呼吸）およびRh（従属栄養呼吸）との関係をみたのが図7である。この結果から、GPPの年変動に対して、年間Rpとは正の相関があり、Rhとは相関が見られないことである。また、これらの相関関係にはサイト間に差異が見られないことも明らかとなった。以上より、植物呼吸は総一次生産に依存するが、従属栄養生物呼吸は総一次生産に依存しないことが明らかとなった。この理由として、気象の年変動に対して、GPPとRpはセンシティブであり、Rhはインセンシティブである可能性を指摘できるが、今後の確認研究が必要である。

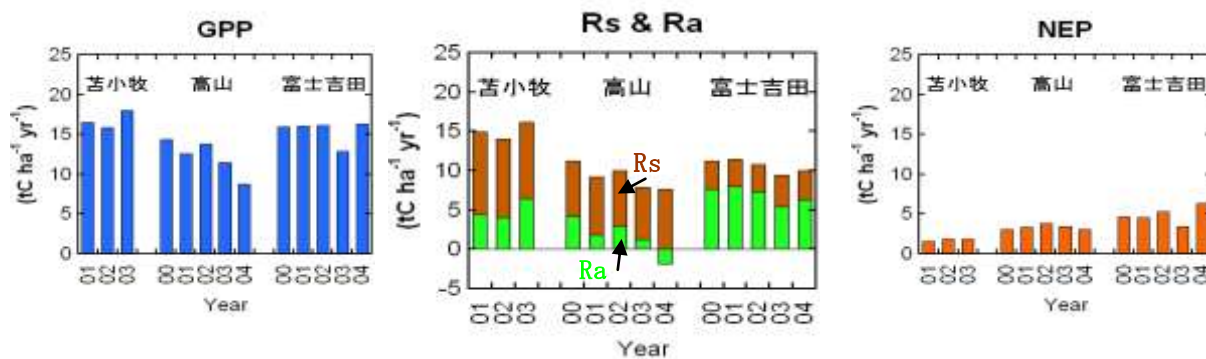


図6 苫小牧、高山、富士吉田における年間フラックス

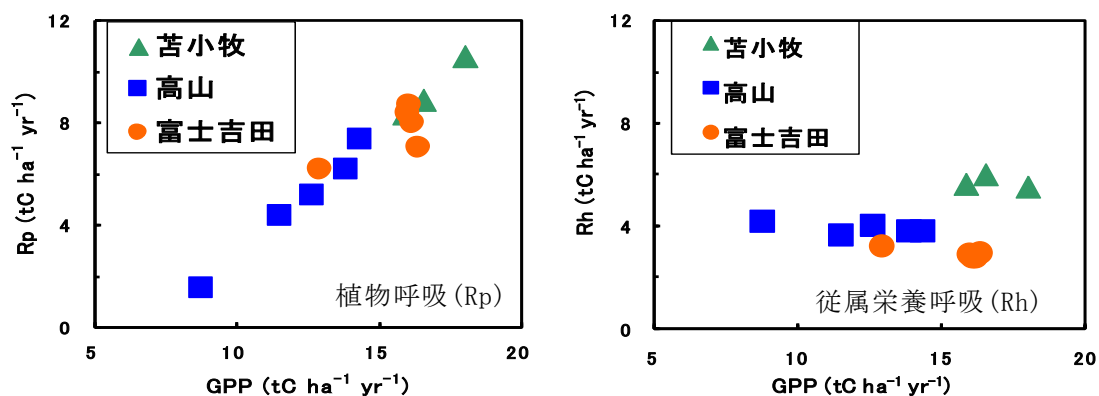


図7 苫小牧、高山、富士吉田における年間フラックス間の関係

(2) 衛星リモートセンシングによるモデルへの入力の高精度化

「光合成有効放射」は、植物が光合成に利用する波長帯の光量であり、陸域植生による炭素吸収を強くコントロールするものである。本研究では、2つの人工衛星に搭載されたセンサー（Terra/MODIS, Aqua/MODIS）の観測データを用いて、地上に到達する光合成有効放射（PAR）を、これまで以上の高頻度（毎日）・高分解能（500m）で定量的に推定することが可能となった。図8上は、この推定結果を地上による実測と比較したものである。

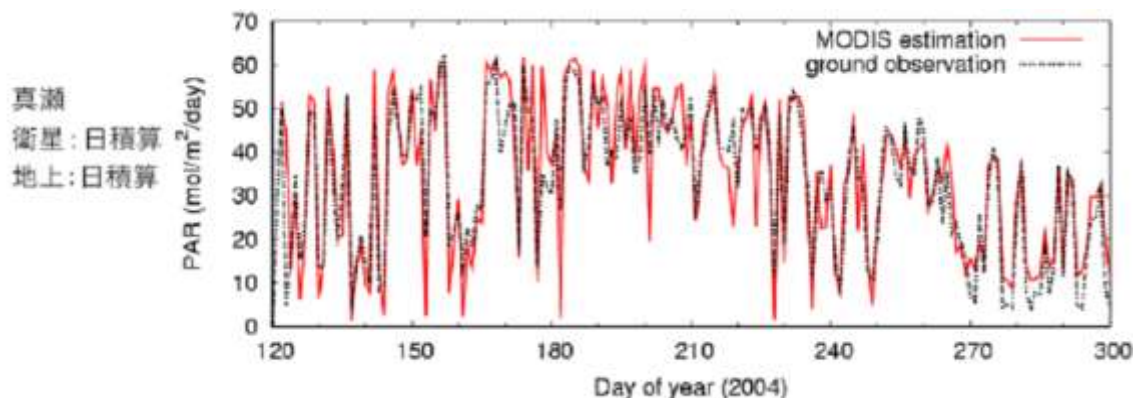


図8 MODISによって推定された地上入射PARの地上検証結果

植生による炭素の吸収・放出は、その食性のタイプによって大きく異なる。例えば、森林では草原に比べて、太い幹や根に、大量の炭素を蓄積する。従って、炭素循環の推定には、どの場所にどのような植生があるかを示す土地被覆分類図が重要となる。

現在、広域生態研究によく使われる土地被覆図としては、Global Land Cover 2000（以下GLC2000）、MODIS Land Cover（以下MOD12）、メリーランド大学（以下UMD）、USGS-Global Land Cover Characteristics Version 2（以下IGBP）などがある。しかし、それらの精度検証は十分には進んでいない。実際、全球のNPPのモデル推定から、入力する土地被覆図の種類、空間分解能の違いが、その空間分布に大きな違いを及ぼすことが指摘されている(DeFries et al., 1999²⁾; Ahl et al., 2005³⁾)。そこで、本課題では既存の土地被覆図のうち、上位3プロダクトを統合する手法を新たに提案し、図9に示す制度の高い新たな土地被覆図を作成し、陸域生態モデルに提供した。

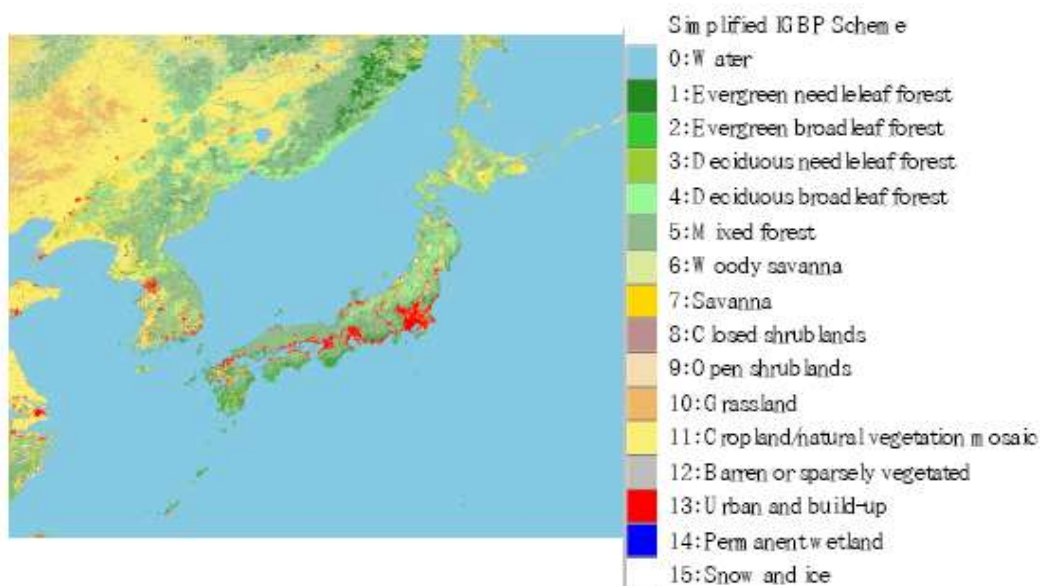


図9 新土地被覆図

(3) 陸域生態系モデルの高度化

観測データに基づいてモデルの構造や炭素フロー推定式を高度化することで、炭素収支の推定精度が向上した。例えば、岐阜高山サイトでは、従来の日ステップの光合成モデルを使用した時に比べて、新たに導入した30分ステップの2層モデルを使用した時の方が、観測されたフラックス観測を良く再現することができた（テーマIII（1）詳細参照）。また、温帯落葉広葉樹林における個葉光合成の観測データに基づくパラメータの改良により、季節変化の特徴が上手く表現できるようになった。土壌モデルの高度化により、アジア地域に特徴的な火山灰土壌などへの適用が可能になり、観測された土壌呼吸の季節変化も妥当に推定された。このように、地点での炭素循環を再現して各種の生態学的解析に使用することができ、地域スケールでも精度をできるだけ落とさないよう高空間分解能で実行可能なモデルを開発することができた。

(4) 相互検証

1) 陸域生態系モデルの生態学的炭素収支観測との検証

図10に生態系モデルによるNPP推計値と生態調査による計測結果との関係を示す。0.5度（約50km分解能）のモデルによる結果では、非常にばらついた傾向を示している。しかし、1km分解能の生態系モデルではNPP全体的な傾向がかなりの精度で観測地に一致していることがわかる。さらに一致度を高めるためには標高や降雨量などの環境条件、攪乱の影響を考慮する必要性が示唆された。

2) トップダウンアプローチと陸域生態モデルの相互検証

インバース解析の初期値として用いたCASAモデルは、植生による平均的なフラックスの気候値を推定する生態系モデルであり、CO₂フラックスの年々変動はなく、1年を積算したフラックスはゼロになるよう調整されている。インバース解析における年間を通じたネットフラックスやフラックスの年々変動を考慮に入れた比較を行うために、Sim-CYCLEモデルから求められた同じ領域に

におけるCO₂フラックスとの比較を行った(図11)。

Land 25におけるSim-CYCLEから推定されたCO₂フラックスはインバース解析の結果と季節性が非常に良く似ているが、夏季における吸収量の絶対値はやや小さくなっている。これはSim-CYCLEモデルが、この領域の生態系のフェノロジーを正しく表現できていることを示していると考えられる。唯一10月におけるフラックスはSim-CYCLEが0.8 t C ha⁻¹ month⁻¹の放出を示しているのに対して、インバース解析の結果はほぼゼロであり、明らかに違っている。2005年1年間のLand 25におけるCO₂の総吸収量は、インバース解析の推定結果が1.17 t C ha⁻¹であるのに対してSim-CYCLEは0.32 t C ha⁻¹である。この領域がネットでCO₂を吸収しているということはお互いに合っているが、その積算値は3倍以上の差が存在している。

一方北部のLand 27においては夏から秋にかけてのCO₂吸収の変動がその相対的な違いだけではなく、各月の絶対量も極めて良く一致している。前章で述べたようにCASAモデルはこの領域で明らかに違ったフラックスの季節変動を示していた。Sim-CYCLEモデルのCO₂フラックスはインバース解析の初期値とは一切関係なく、全く独立したアプローチから推定された結果である。この事実は植生の活動が活発な時期におけるSim-CYCLEモデルとインバース解析によるCO₂フラックス推定の妥当性を示すものである。しかしながら、冬季の1~2月は両者のフラックスに不一致が見ら

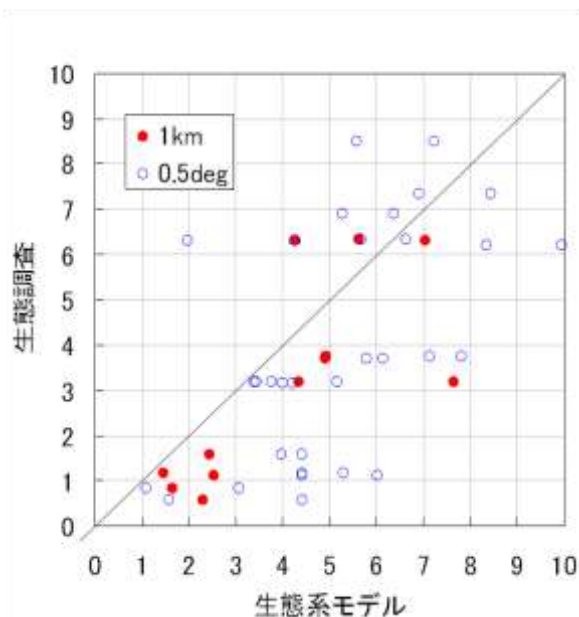


図10 生態系モデルと生態調査との比較

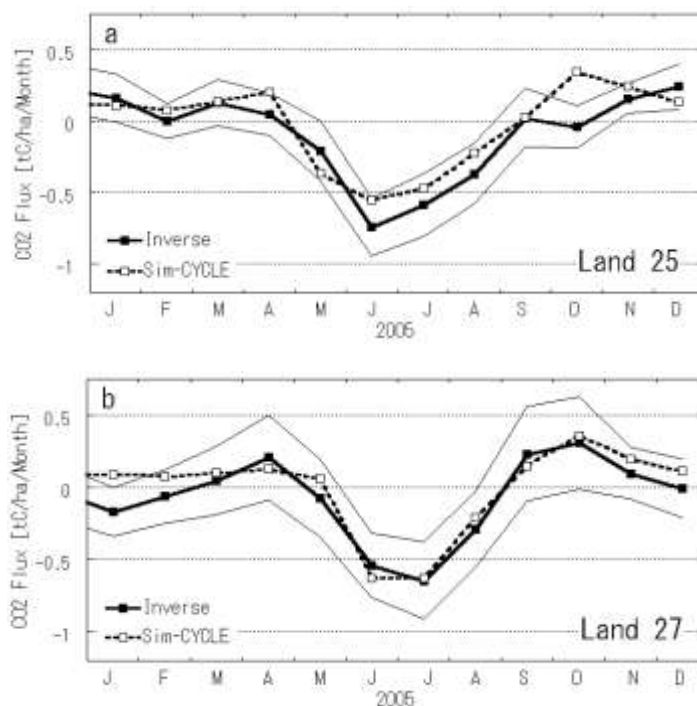


図11 インバースモデルによって推定されたLand 25とLand 27における2005年のCO₂フラックスの季節変動とSim-CYCLEによる推定値との比較。細線はインバース解析の推定誤差を表す。

れ、インバース解析の結果が「吸収」を示唆している。寒さの厳しいシベリア北部においてこの時期に有意なCO₂吸収があるとは考えにくいので、この不一致はインバース解析の結果に不具合があるものと考えられる。冬季のシベリア域は大気鉛直混合が抑制されることによって時として広い空間を代表しないCO₂濃度が観測される可能性がある。このような事象が起こった際に大気輸送モデルが極めて薄い境界層の状態を正しく表現できていない場合には、現実とは違うフラックスを推定する可能性がある。冬季のフラックス推定をより正確にしていくことが今後のインバースモデルの改良に当たって1つの重要な課題であると言える。2005年1年間のLand 27におけるCO₂の総吸収量は、インバース解析の推定結果が0.88 t C ha⁻¹であるのに対してSim-CYCLEは0.17 t C ha⁻¹であった。冬季のフラックスの違いが1年間の総吸収量の違いに大きく反映された結果となった。

(5) 陸域生態系モデルによる東アジアの炭素動態把握

現地観測が行われたテーマIサイトのデータに基づいて高度化された陸域生態系モデル (Ito et al., 2005, 2006, 2007) を東アジア地域に適用し、1 kmメッシュという高空間分解能で炭素収支のマッピングを行った (詳細はテーマIII (1) 参照)。このような高分解能化は以前から試みられていたが (Ito, 2003)、本研究によって市町村スケールあるいは小河川流域スケールまで解像できるモデルが開発された。そこでは本プロジェクトのテーマIII (3) によって作成された衛星観測ベースの土地被覆データが使用され、複数のテーマIサイトにおけるフラックス観測との比較検証が実施された (Ito, submitted)。

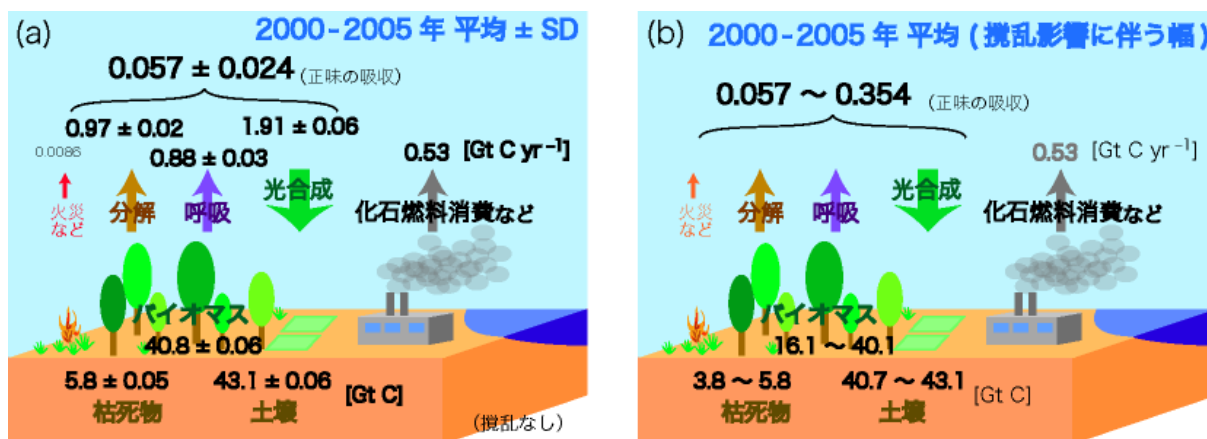


図1-2 陸域生態系モデルによって推定された2000～2005年の東アジア陸域の炭素収支。(a)攪乱の影響を含まない平均値。(b)攪乱の影響を最大限に考慮した場合に生じる不確定性の幅を加えたもの。

NCEP/NCAR再解析データを用いて2000～2005年のシミュレーションを実施したところ、東アジア陸域の平均的な光合成(純一次生産)は年間1.91 Gt Cであり、正味で年間0.057 Gt Cの吸収が生じていることが示唆された。解析期間6年間で炭素収支には顕著な経年変動が見られた。例えば、日本周辺で平年より高温で日照が多かった2002年には多くの地域で平均値以上の炭素吸収が生じており、これは実測による傾向と適合していた。しかし、この数値は生態系炭素収支が均衡に近

い成熟林を仮定した計算に基づくものであり、火災や伐採・植林後の再生過程にある生態系ではより多くの炭素吸収が生じている可能性が高い。そのため、テーマIサイトにおいて伐採影響を評価するため、1970年に皆伐に相当する地上部バイオマス除去を与える数値実験を行った。そこ結果として得られた再生途中の植生への炭素蓄積効果を指標化し、東アジア全域に適用することで攪乱影響の上限を推定した。より精密に炭素収支を評価するには、地点ごとの攪乱履歴を考慮しなければならないが、それは地域的な攪乱マップの作成を伴う今後の課題として残された。計算対象とした東アジア地域（30-50° N, 125-150° E）からの人為的なCO₂排出量は、EDGARデータセットによると2000年には年間0.53 Gt Cであった。よって、上記の陸域生態系への吸収量は人為放出の約11%に相当する（この地域のバイオマス燃焼に伴う放出は小さい）。この結果を他地域の推定結果と比較した（表2）。

表2 地域スケールの炭素収支評価に関する研究の比較

	領域	面積 [10 ⁶ ha]	正味収支		人為放出 [Gt C / yr]	陸域吸収/人為放出 (%)
			[Gt C / yr]	[定義]		
本研究（モデル推定）	東アジア	159	+0.057	NEP	0.53	11
Houghton et al. (1999)	北アメリカ	[766]	+0.15~0.35	NBP	[1.6]	9~22
Pacala et al. (2001)	北アメリカ	766	+0.3~0.58	NBP	[1.6]	19~36
Potter et al. (2006)	北アメリカ	789	- 0.116	NEP	1.6	-7
Martin et al. (1998)	ヨーロッパ	-	+0.17~0.35	NBP	[0.85]	20~40
Janssens et al. (2003)	ヨーロッパ	921	+0.135~0.205	NBP	1.87	7~12
Williams et al. (2007)	アフリカ	3020	- 1	NEP	0.2	- 500

北アメリカではPacala et al. (2001)がインベントリ的手法で0.3~0.58 Gt Cの吸収、Potter et al. (2007)が衛星ベースモデルCASAによって0.116 Gt Cの放出を推定している。同地域ではインベントリ的手法によって1 Gt Cを超える吸収を与えている研究もあり、研究間の乖離が大きい。インベントリ的手法はいずれも人為放出の20%程度に相当する吸収を示唆している。ヨーロッパでは比較的早期からEuroFluxおよびCarboEuropeによって統合的な炭素収支研究が進められており、Janssens et al. (2003)は0.135~0.205 Gt Cの吸収と結論付けている。これは人為的放出の7~12%に相当し、東アジアの結果に近い。両地域は同じ緯度帯に属し、人為影響が強い点も共通している（ただし東アジアの結果は攪乱影響を考慮するとより吸収側に傾く可能性がある）。アフリカでは、Williams et al. (2007)が衛星ベースモデルCASAによるシミュレーションや文献情報から炭素収支の統合を試みており、そこではNEPで1 Gt C程度の放出となっていた。なお、彼らの推定では火災などのバイオマス燃焼でさらに1.5 Gt Cが放出されており、合計(NBP)で年間2.5 Gt Cが放出されると結論付けられている。アフリカの人間活動起源の排出は0.2 Gt Cに過ぎないため、陸域生態系がほぼ地域の炭素収支を決定している。このように、地域炭素収支は環境条件や人間影響によって顕著な差違が生じるため、本研究で高分解能モデルによるシミュレーション解析が行われたことは、東アジア地域の炭素収支を理解する上で重要な進歩であり、温暖化政策に大きく貢献をするものと期待される。

本プロジェクトで得られた生態系モデルの結果と、テーマIII（4）で開発された土地利用モデ

ルを用いて、2000～2030年の人為的な影響による土地利用変化にともなう、地上部バイオマス、土壌中有機炭素等から大気へのCO₂排出の予測を行った（図13）。その結果、東アジア域では、熱帯林からのCO₂排出が非常に大きいことが分かった。この結果は、本プロジェクトの生態系モデルの結果と、新土地被覆図を用いて初めて可能となったものであり、世界的にもほとんど例がないものである。

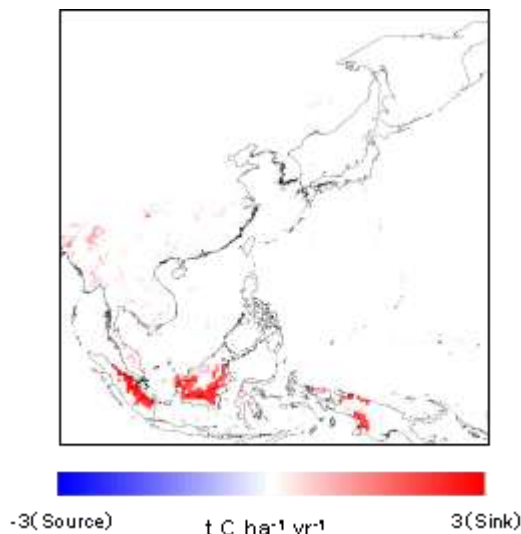


図13 土地利用変化による炭素動態の将来予測
(2000～2030年の平均値)

(6) システムアプローチによる統合研究推進のために構築されたデータベース

最後に、多岐の研究分野に渡る本プロジェクトを統合・推進し、上記のシステムアプローチを開発するために構築されたデータベースについて述べる。

1) データベースの意義

S1プロジェクトデータベース（以下、S1-DB）は、最初、主として大量な地上観測データが蓄積されるテーマ1の研究過程で得られた観測及び調査データを収集し、データ共有化を図ること、及びテーマ間あるいは観測サイト間でなされる比較・統合的解析を促進する目的で、観測データベースが構築された。プロジェクト開始期、「データはないよりあったほうが良い」という観点からデータの収集を始めたS1-DBは、その後、欧米の炭素収支関連DBとの互換性も考慮したデータフォーマットの作成とそれに準じたデータセットの整備をすすめてきた。またS1の研究が進むに連れ、土壌研究グループ、生態研究グループ、モデル研究グループ、衛星観測グループからのデータ提供を受けて、DBとしての内容を高めてきた。アジア域の陸域炭素循環に関する多種多様なデータがある一定のフォーマットで収集されているのが、既存のデータベースにない、S1-DBの大きな特徴であり、成果である。以下で、S1-DBの概要を簡単に紹介する。

2) データおよびデータベースの利用および運営の流れ

データベースに関わる、データ提供者、データ利用者、そしてデータベース管理者（テーマIVの研究者）の関係とデータの流について述べる（図14）。

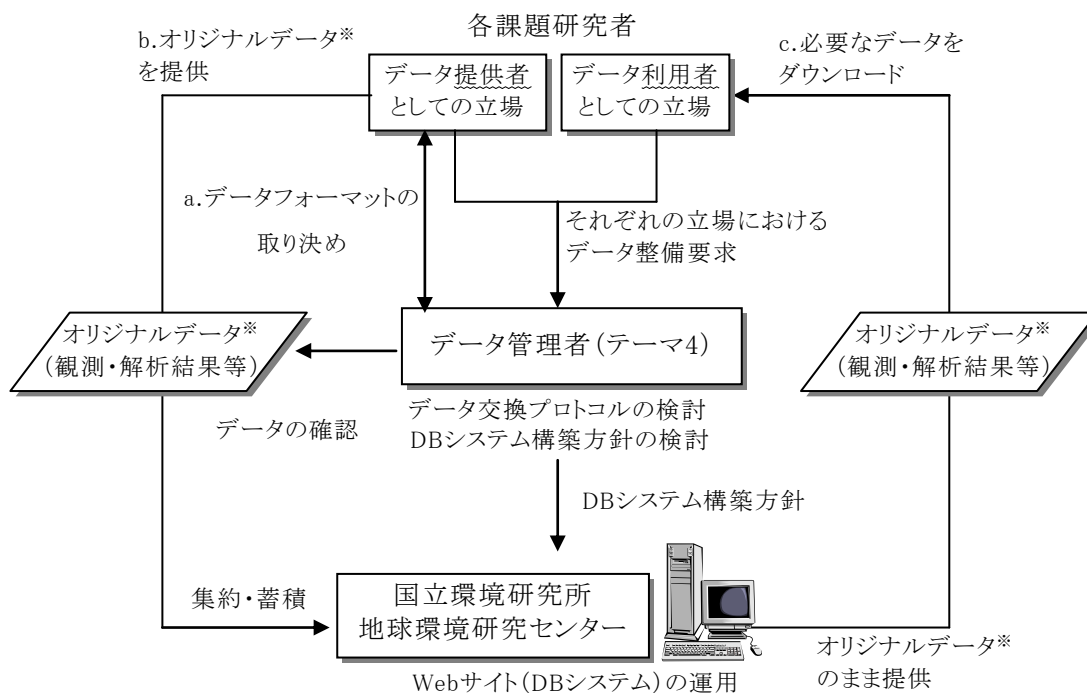


図 1 4 データ・データベース・データ提供者・データ利用者の関連図

a. データ項目およびデータフォーマットの取り決め

まず、分野横断的統合解析に必要なデータとその項目を、データ利用者やデータ提供者と話し合い、データベース管理者がそのデータの項目やフォーマットを作成した。

そして、そのデータ項目とフォーマットをデータ提供者に伝え、データ提供のお願いをした。

b. データ提供

データ提供者は指定のフォーマットで整えたデータをデータ管理者に送る。データ管理者はデータを確認し、データおよび記載内容が妥当かチェックを行なう。もし、データの誤りや記載内容の不備があった場合、データ提供者にその点を指摘して戻す。基本的に、データ管理者はデータおよびファイルを操作しない。大きな問題がなければそのままデータベースにアップロードする。

c. データダウンロードおよびデータ利用

データ利用者は、データ利用規約を読み、それに同意してからデータのダウンロードを行なう。

d. その後のフィードバック

データ利用者が、データに疑問や質問がある際は、データ提供者に連絡を取る。それにより、データや現象の理解を相互に深めることができる。この際、提供されたデータに問題が見つかった場合はデータや観測の見直しを行なうことができる。データ利用者がデータを利用し、成果を出した場合、共著や謝辞に加えることを義務付けており、また、各サイトの文献も引用されることとなる。その結果、サイトの業績が飛躍的に増えることとなる。また、データを利用して得られた結果をデータベースに提供することにより、同じ成果の循環が生まれることが予想される。その際は、再び a に戻り、データの登録の仕方について話し合い、b～d を繰り返すこととなる。

3) データの利用規約について

データベースを利用したデータの相互交換において、最も重要なものはデータ利用規約 (Data

policy) である。データ利用規約とは、データベースに登録されているデータを、データ利用者が利用する際、守らなければいけないルールのことである。データ利用規約は、データ提供者のデータの著作権を保護するものである。相互利用手順がなければ、データを勝手に使用されたり、データ提供者の研究内容と被ってしまったりするなど、データ提供者のプライオリティが犯されてしまう可能性がある。また、統合解析やモデル、リモートセンシングでデータを利用する際においても、データ提供者のデータの解釈と異なったりする可能性があるため、データ利用者がデータ提供者に情報を提供することは重要である。データ提供者とデータ利用者が緊密な連絡をとることは、研究を推進していく上でも重要である。利用手順作成においては、AmeriFlux、EuroFlux、CarboEurope、Fluxnet-Canadaなどの既存のフラックスネットワークグループが公開しているデータベースの利用規約を参考にした。ただし、本データベースは、一般公開型ではなく、プロジェクトの推進という一つの目的があるため、一般公開型に比べて緩やかなルールとなっている。

- ・公表された測定結果を他の研究者が利用する場合には、事前に担当者に連絡して、了解を得るものとする。
- ・他の研究者が論文として発表する場合には、担当者に論文内容を連絡して、連名で発表するものとする。
- ・本プロジェクトの成果を何らかの形式で利用した論文・報告書等(講演発表を含む)は、別刷・コピー等をプロジェクトリーダー・本プロジェクト事務局に一部提出する。
- ・本プロジェクトで得た研究成果を公表、投稿する際には謝辞に本プロジェクトによる成果であることを明記する。

4) S1-DBのシステム

WebアプリケーションはJSP/サーブレットを用いて作成した。また、汎用性・応用性・高速性・安定性などを考慮し、JSP/サーブレットコンテナとして“Tomcat”、Webサーバには“Apache”、データベースサーバとして“MySQL”をそれぞれ採用してDBシステムを構築した。データベース管理者により発行されたIDおよびpasswordを入力し、ログインする仕組みとなっている。

5) S1-DBの枠組み

S1-DBは「地上観測データベース」、「リモートセンシングデータベース」、「モデルデータベース」の3つのデータベースからなり、陸域炭素循環に関わる幅広い分野のデータを収集してきた。図15にS1-DBを構成するデータベース群とその内容について記した。「地上観測データベース」はさらに「フラックス・微気象データベース」、「土壌呼吸データベース」、「生態情報データベース」、「フラックスGapFillingデータベース」の4つとこれらを合わせた「サイト情報データベース」の5つのデータベースからなる。15の観測サイトで得られた観測データセットと、観測サイトの状況、観測手法、観測状況が記された文書情報ファイルと共にダウンロードできる仕組みとなっている。文書情報ファイルによりQC/QAおよびデータのトレーサビリティを確認できる。

「リモートセンシングデータベース」にはリモートセンシングをベースにした陸域モデルBEAMSによるNEP・GPP・NPPマップと地上入射PARマップが登録されている。「モデルデータ」には生態系モデルによる炭素収支マップとテーマIIの成果であるインバースモデルによる結果が登録されている。

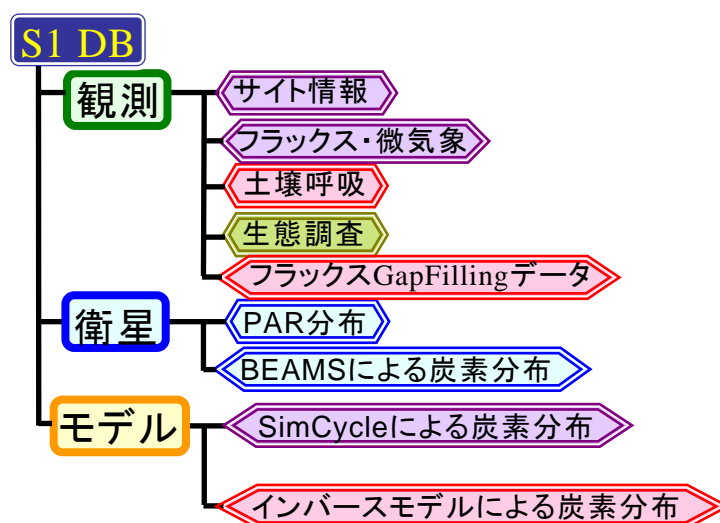


図 1 5 S1-DBの枠組み

6) データ内容

登録されているデータベースの説明を以下で行なう。

a. 観測データベース

各地上で観測されたデータを統一されたフォーマットで収集されたものが観測データベースである。観測データベースのうち、「フラックス・微気象データベース」、「土壌呼吸データベース」、「生態情報データベース」は各サイトの研究者によって取得されたデータである。「フラックスGapfillingデータベース」では、「フラックス・微気象データベース」より得られたデータを加工（統一の方法でGapfilling）したデータが収められ、統合解析に利用された。

i. フラックス・微気象データベース

一つのファイルは統一フォーマットによりまとめられたデータをcsvファイルに、その説明ファイルを文書ファイルにまとめられている。文書情報ファイルの目的はデータのみが一人歩きしないように、QC/QAおよびデータのトレーサビリティを確認できるようにするためである。データファイルと文書ファイルをパッケージングし、データを配布している。統一フォーマットにより、データを取り扱いしやすくなる。

文書ファイルにはデータファイルの説明が記述されている。主な内容は以下の通りである。

- ・連絡先、位置、植生、土壌、気候等
- ・観測項目リスト・使用測器・手法
- ・データの処理法（計算手法、QC、補完）

データ改変が合った場合のデータの変更点なども記述するため、データのトレーサビリティを確認することができる。データファイルの主な内容は、放射、温湿度、風速などの微気象データ、潜熱・顕熱・CO₂フラックス（渦相関法）などである。

ii. 土壌呼吸データベース

土壌呼吸データもまた、csv形式のデータファイルと、その説明を記述している文書ファイルからなる。土壌呼吸の測定は、測定方法が多様である。そのため、文書ファイルの記述がより重要となる。

文書ファイルの記述内容は以下の通りである。

- ・連絡先・位置・植生・土壌・気候
- ・バイオマス、NPP、NEPなどの概略値
- ・チャンバー法に関する詳細な記載（種類、サイズ、個数、計算法など）

データファイルには土壌呼吸量、雪面CO₂フラックス、気温、地温、CO₂濃度、土壌水分量、土壌深さなどが記述される。

iii. 生態情報データベース

生態調査は多岐に渡るため、統合解析に必要な主要項目の値を文書ファイルにまとめられる。そのもととなるデータはその補足的に提供される。表4に文書ファイルの内容を示す。

表4 生態情報の文書ファイルの記述内容

1	サイト概要	連絡先, 位置, 植生 着葉期/農耕期, 土壌タイプ
2	群落構造	群落高・(立木/植栽)密度・幹径・LAI
3	炭素貯留 現存量	部位別/全バイオマス, Detritus (概略値)
4	炭素収支	年間GPP, NPPの概略値など
5	ファイル情報	提供頂くデータ, 図・表リスト 関連する文献・Webページなどの情報

b. 衛星データベース

テーマIIIのリモートセンシンググループより提供された地上入射PARマップ、陸域生物圏モデルBEAMSによるシミュレーションによるGPP・NPPマップがアップロードされている。

c. モデルデータベース

テーマIIIの生態系モデル研究から得られた東アジア地域の純一次生産力推定マップとテーマIIの成果であるインバースモデルによる2000～2004年のCO₂フラックスマップが登録されている。

7) S1-DBの利用状況

平成19年3月末の時点で、DBの利用登録を行っている者は37名である。延べ1000のデータファイルがダウンロードされ、特に平成17年度、18年度と、プロジェクトの統合解析が進む段階において、飛躍的にダウンロード数が増加しており、プロジェクト内の比較・統合化解析に利用されている（図16）。これまで、利用者をS1プロジェクト関係者に限定していることを考慮すれば、S1-DBの利用頻度は高く、当初の役割を十分に果たしているものと考えられる。

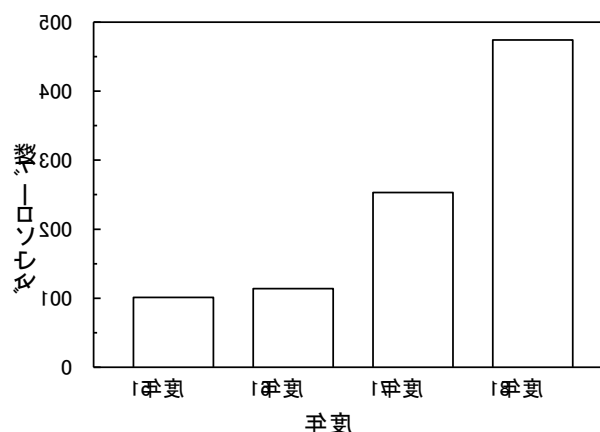


図16 各年度のデータダウンロード数

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

1) 解明された炭素動態の総括と今後の課題の検討

日本周辺を含む東アジア地域を対象にして、空間分解能 1 km のモデルシステムを開発し、2000～2005年の炭素収支マッピングを実施した。その結果、東アジアの陸域生態系は平均して年間 0.057 Gt C の吸収源と推定されたが、これは対象領域内の化石燃料消費による放出の約11%を相殺する規模であった。このモデル推定は、テーマIのフラックス観測地点や、独立して実施されたテーマIIのトップダウン的手法による推定と比較することで検証が行われた。このような統合解析を通じて、異なる研究分野間での情報共有と学際的議論が行われ、プロジェクトの有機的な集積が達成された。その際、データを効率的に参加研究者が共有し、円滑な連携が促進されるよう、データベース管理と情報基盤整備を行うことが肝要であった。これはプロジェクト終了後もデータを有効活用できる体制整備にもつながることから、データベース (S1-DB) のハード・ソフト両面での整備を精力的に実施した。このようなテーマIVの活動は、平成18年10月に早稲田大学・国際会議場で開催されたプロジェクトの総括ワークショップで中心的な成果として公表された。ここで得られた東アジア陸域の炭素収支に関する科学的知見は、温暖化抑制のための炭素管理や政策立案に大きく寄与するものと期待される。

(2) 地球環境政策への貢献

システムアプローチで解明された知見や開発されたシステムが、今後のポスト京都における中長期的な炭素吸収源機能の評価に関する国際交渉において、どのような貢献ができるかについての検討を実施した結果、下記の項目が示された。

1) IPCC への貢献

2006年改訂ガイドラインに示されたデフォルト値を改善することが可能である。例えば、北方林における生体バイオマス地上部・地下部の比率、バイオマス拡大係数、樹木の枯死に伴う排出などのデータが提供可能となった。また、現状では不確実性が大きいアジアの多様な生態系タイプごとの炭素ストック量や炭素吸収量の精度を向上することができた。

2) 2012年以降の京都議定書に関する検討への貢献

本プロジェクトで開発されたシステムアプローチを活用して、アジア地域における炭素動態予測を高精度化し、アジア共通の炭素収支算定システムへと発展させていくことが可能である。特に、陸域生態系における炭素動態や変動が解明されることで、吸収源を活用した炭素管理の可能性と問題点の検討が可能となった。また、今後の国際交渉では、植林や森林管理に加えて、森林減少の防止が数値目標設定に関連する活動オプションとして議論されつつあり、天然林等の陸域生態系における炭素動態の定量的評価が重要となることが予想される。本システムを発展的に応用することで、広域に保護された森林における炭素吸収量を定量的に評価することが可能となる。

6. 引用文献

- 1) Patra, P.K., M. Ishizawa, S. Maksyutov, T. Nakazawa, and G. Inoue, Role of biomass burning and climate anomalies on land-atmosphere carbon fluxes based on inverse modelling of atmospheric CO₂, *Global Biogeochem. Cycles*, 19, GB3005,

doi:10.1029/2004GB002258, 2005

- 2) Janssens, I.A., Freibauer, A., Ciais, P., Smith, P., Nabuurs, G.-J., Folberth, G., Schlamadinger, B., Hutjes, R.W.A., Ceulemans, R., Schulze, E.-D., Valentini, R. and Dolman, A.J., : Science 300, 1538-1542 (2003)
 “Europe’s terrestrial biosphere absorbs 7 to 12 % of European anthropogenic CO₂ emissions”
- 3) Pacala, S.W., Hurtt, G.C., Baker, D., Peylin, P., Houghton, R.A., Birdsey, R.A., Heath, L., Sundquist, E.T., Stallard, R.F., Ciais, P., Moorcroft, P., Caspersen, J.P., Shevliakova, E., Moore, B., Kohlmaier, G., Holland, E., Gloor, M., Harmon, M.E., Fan, S.-M., Sarmiento, J.L., Goodale, C.L., Schimel, D. and Field, C.B. : Science 292, 2316-2320 (2001)
 “Consistent land- and atmosphere-based U.S. carbon sink estimates”
- 4) Potter, C., Klooster, S., Nemani, R., Genovese, V., Hiatt, S., Fladeland, M. and Gross, P., ecosystems: EOS 87, 85,90 (2006)
 “Estimating carbon budgets for U.S.”
- 5) Williams, C.A., Hanan, N.P., Neff, J.C., Scholes, R.J., Berry, J.A., Denning, A.S. and Baker, D.F. : Carbon Balance and Management 2, 10.1186/1750-0680-2-3(2007)
 “Africa and the global carbon cycle”

7. 国際共同研究等の状況

本サブテーマにおける炭素管理モデル研究は、ICSU(国際科学会議)のグローバル・カーボン・プロジェクト(GCP)と連携して、同プログラムの1つのフォーカスである「将来の炭素循環の予測と管理」(GCP国際研究計画テーマIII)に関する日本における研究として実施されたものである。尚、土地利用モデルの開発に際しては、特にプロジェクトの第I期においては、IIASA(国際応用システム研究所)との共同研究として実施された。

また、現在、世界規模のフラックス観測ネットワーク(FLUXNET)において、欧米およびアジアの各種生態系炭素収支に関する比較研究が多角的に進められている。本研究の成果である炭素収支量および各種パラメータの観測データはFLUXNETデータベースにも登録されており、当研究課題および国内研究者のみならず海外の研究者にも利用されている。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表(学術誌・書籍)

<学術誌(査読あり)>

- 1) 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”
- 2) S. Yamamoto, H. Koizumi: Agricultural and Forest Meteorology, vol.134, pp.1-3 (2005)
 “Long-term carbon exchange at Takayama site, a cool-temperate deciduous forest in Japan

(Foreword of Special Issue)”

- 3) S. Yamamoto, N. Saigusa, M. Gamo, Y. Fujinuma, G. Inoue and T. Hirano, Journal of Geographical Sciences vol.15, pp.142-148 (2005)
 “Findings through AsiaFlux network and view toward the future”
- 4) D. Baldocchi, T. Black, P. Curtis, E. Falge, J. Fuentes, A. Granier, L. Gu, A. Knohl, K. Pilegaard, H. Schmid, R. Valentini, K. Wilson, S. Wofsy, L. Xu and S. Yamamoto: International Journal of Biometeorology, vol.49, pp.377-387 (2005)
 “Predicting the onset of net carbon uptake by deciduous forests with soil temperature and climate data: a synthesis of FLUXNET data”
- 5) 山本 晋: 環境管理, vol.41, pp.594-601(2005)
 “森林生態系の炭素固定の仕組みと炭素固定量の評価”
- 6) N. Saigusa, S. Yamamoto, T. Ohtsuka, S. Murayama, H. Kondo, and H. Koizumi: Phytion, Vol.45, No.4, pp.81-88 (2005)
 “Inter-annual variability of carbon budget components in a cool-temperate deciduous forest in Japan (Takayama, AsiaFlux)”
- 7) Ito, A., Muraoka, H., Koizumi, H., Saigusa, N., Murayama, S. and Yamamoto, S.: simulation analysis at Takayama site, Japan. Ecological Research 21, 137-149(2006)
 “Seasonal variation in leaf properties and ecosystem carbon budget in a cool-temperate deciduous broad-leaved forest”
- 8) Ito, A., Inatomi, M., Mo, W., Lee, M., Koizumi, H., Saigusa, N., Murayama, S. and Yamamoto, S.: Tellus (2007)
 “ Examination of model-estimated ecosystem respiration by use of flux measurement data from a cool-temperate deciduous broad-leaved forest in central Japan”

<書籍>

- 1) 三枝信子: 地球温暖化はどこまで解明されたか - 日本の科学者の貢献と今後の展望 - (小池勲夫 編), 丸善, pp.21-27 (2006)
 “陸上生態系の吸収と放出”

(2) 口頭発表 (学会)

- 1) 山本 晋・三枝信子・村山昌平, 日本気象学会 2005 年春季大会, 東京 (2005)
 「プロットスケールの炭素収支観測を如何にして、衛星リモセンデータ面的解析、陸域モデルによる炭素収支マッピングに結びつけるか？」
- 2) 三枝信子・山本晋・大塚俊之・村山昌平・近藤裕昭・小泉博, 日本気象学会 2005 年春季大会, 東京 (2005)
 「冷温帯落葉広葉樹林における炭素吸収速度の長期観測とその検証」
- 3) 三枝信子, 炭素循環および温室効果ガス観測ワークショップ, 池袋 (2005)
 「タワー観測サイトにおける森林炭素収支統合研究」
- 4) 三枝信子, シンポジウム「システムアプローチで見えてきた東アジア陸域生態系の炭素動態」, 早稲田大学, (2006)

- 「フラックスタワー観測から見た炭素動態」,
- 5) S. Yamamoto, N. Saigusa, R. Hirata, R. Ide, Y. Ohtani, M. Tani, Y. Kosugi, M. Gamo, H. Wang, H. Koizumi and Y. Fujinuma: AsiaFlux Workshop 2006, International Workshop on Flux Estimation over Diverse Terrestrial Ecosystems in Asia, (Thailand) (2006)
 - 6) “SYNTHETIC ANALYSIS OF THE LONG-TERM CARBON BUDGETS ESTIMATED FROM TOWER-FLUX MEASUREMENTS AT VARIOUS FORESTS IN EAST ASIA” ,
 - 7) N. Saigusa, S. Yamamoto, R. Hirata, R. Ide, M. Gamo, T. Hirano, Y. Kosugi, S. -G. Li, Y. Nakai, Y. Ohtani, T. Oikawa, M. Tani, and H. Wang: AsiaFlux Workshop 2006, International Workshop on Flux Estimation over Diverse Terrestrial Ecosystems in Asia, (Thailand), (2006)
 - 8) “Temporal and spatial variations in the seasonal patterns of CO₂ flux in boreal, temperate, and tropical forests in Asia” ,
 - 9) 平田竜一、小林義和、莫文紅、藤沼康実：環境省地球環境総合研究推進費戦略プロジェクトワークショップ『システムアプローチで見えてきた東アジア陸域生態系の炭素動態』、2006
「S1プロジェクトデータベースの構築」
 - 10) R. Hirata, N. Saigusa, S. Yamamoto, R. Ide, M. Gamo, T. Hirano, Y. Kosugi, Y. Ohtani, M. Tani, H. Wang and Y. Fujinuma: AsiaFlux Workshop 2006, Chinagmai (2006)
“Effect of environmental factors on carbon dioxide exchange of forest ecosystems in East Asia”
 - 11) S. Yamamoto, N. Saigusa, R. Hirata, R. Ide, Y. Ohtani, M. Tani, Y. Kosugi, M. Gamo, H. Wang, H. Koizumi and Y. Fujinuma: AsiaFlux Workshop 2006, Chinagmai (2006)
 - 12) “Synthetic analysis os the long-term carbon budgets estimated from tower-flux measurements at various forests in East Asia”
 - 13) N. Saigusa, S. Yamamoto, R. Hirata, R. Ide, M. Gamo, T. Hirano, Y. Kosugi, S. -G. Li, Y. Nakai, Y. Ohtani, M. Tani, and H. Wang: AsiaFlux Workshop 2006, Chinagmai (2006)
“Temporal and spatial variations in the seasonal patterns of CO₂ flux in boreal, temperate, and forests in Asia”
 - 14) 馬淵和雄：環境省地球環境研究総合推進費 S-1 プロジェクトワークショップ講演要旨集，62 (2006)
「陸域植生モデル BAIM2 を導入した地域気候モデルによる東アジア域炭素収支数値実験」
 - 15) 伊藤：環境省地球環境総合研究推進費戦略プロジェクトワークショップ：システムアプローチで見えてきた東アジア陸域生態系の炭素動態，東京（2006）
「陸域生態系モデルによる東アジアにおける炭素動態」
 - 16) 西田顕郎、岩男弘毅、土田聡：環境省地球環境研究総合推進費戦略プロジェクトワークショップ「システムアプローチで見えてきた東アジア陸域生態系の炭素動態」，東京（2006）
「衛星リモートセンシングによる炭素動態解析」
 - 17) 村岡裕由、西田顕郎、村山昌平、三枝信子、小泉博：環境省地球環境研究総合推進費戦略プロジェクトワークショップ「システムアプローチで見えてきた東アジア陸域生態系の炭素動態」，東京（2006）

「冷温帯落葉広葉樹林(高山サイト)の炭素吸収過程」

- 18) 西田顕郎、土田聡、本岡毅、岩男弘毅、小熊宏之、小杉緑子、関川清広：環境省地球環境研究総合推進費戦略プロジェクトワークショップ「システムアプローチで見えてきた東アジア陸域生態系の炭素動態」，東京（2006）
「PENによる衛星データ検証」
- 19) 岩男弘毅、西田顕郎、木下嗣基、山形与志樹：環境省地球環境研究総合推進費戦略プロジェクトワークショップ「システムアプローチで見えてきた東アジア陸域生態系の炭素動態」，東京（2006）
「DCP データによる土地被覆分類図の検証と高精度化」
- 20) 西田顕郎、村岡裕由：環境省地球環境研究総合推進費戦略プロジェクトワークショップ「システムアプローチで見えてきた東アジア陸域生態系の炭素動態」，東京（2006）
「放射伝達モデル逆計算による炭素吸収モデル」
- 21) 池田崇史、亀井秋秀、本岡毅、土田聡：環境省地球環境研究総合推進費戦略プロジェクトワークショップ，東京（2006）
「システムアプローチで見えてきた東アジア陸域生態系の炭素動態」
- 22) 山形与志樹：S1 ワークショップ「システムアプローチで見えてきた東アジア陸域生態系の炭素動態」，7-8（2006）
「炭素動態把握のためのシステムアプローチ」
- 23) 山形与志樹：S1 ワークショップ「システムアプローチで見えてきた東アジア陸域生態系の炭素動態」，39-40（2006）
「東アジアの炭素動態：今後の課題と政策的含意」
- 24) Y. YAMAGATA, A. Ito, T. Kinoshita, K. Iwao : ESSP 2006 OSC, 419 (2006)
"Integrated System Approach for the Terrestrial Carbon Budget in Asia: Flux Measurement, Remote Sensing, Ecosystem and Land Models"
- 25) 三枝信子，TX テクノロジー・ショーケース・イン・ツクバ，つくば(2007)
「アジア陸域生態系における二酸化炭素フラックスの観測」
- 26) 清野達之，松浦陽次郎，梶本卓也，新山馨，山形与志樹：第 54 回日本生態学会(2007)
「イベントリーデータに基づく東アジア森林の現存量と生産量の把握」

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

本研究の成果である各種生態系の生態系純生産量評価および観測誤差評価の結果については、2006 年度実施予定のテーマ IV 統合解析課題に関する成果発表を通じ、成果の広報・普及に努めた。