

## 46-1 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 ポトムアップ（微気象・生態学的）アプローチによる陸域生態系の炭素収支解析に関する研究

独立行政法人産業技術総合研究所環境管理研究部門・山本 晋（yamamoto.emtech@aist.go.jp）

### 1. 研究の目的

ヨハネスブルクサミット、エビアンサミットなどの場で、地球環境に関する国際協力の強化が呼びかけられた。これらを受けて昨年ワシントン DC で、第1回地球環境地球観測サミットが開催され、国際協力による地球観測実施計画を策定することが合意された。東京閣僚会議（第2回地球観測サミット）で今後10年の実施計画の枠組み文書が採択され、さらに、来年2月の第3回地球観測サミットで今後10年の実施計画が決められる予定である。この計画の中で、地球温暖化と炭素循環の観測・監視が重要な項目として位置付けられ、陸域生態系での二酸化炭素、水蒸気、エネルギーのフラックス、炭素収支、森林・土壌のバイオマスの観測内容の具体化が作業部会で検討されている。本研究ではこのような国際観測計画との連携をも考慮しつつ、炭素循環の観測・解析手法の確立とアジアにおける炭素収支の定量的解明を進めていく。

### 2. 研究の方法

本研究ではシベリアから東南アジアに至るアジアの代表的な陸域生態系を亜寒帯、温帯、熱帯別に選定し、微気象学的方法による森林・草地生態系のフラックス、チャンパー法による土壌呼吸・植物呼吸、光合成など主要な炭素循環プロセスを統一的方法で、原則通年観測する。また、重点観測サイトでは植物現存量、枯死脱落量、年間成長量、炭素・酸素同位体比、分光測定によるフェノロジー変化などの調査をあわせて行う。また、土壌圏での炭素収支の定量的評価および時空間変動の機構解明を目的とした調査を本格的に実施し、解析手法の構築を進めている。

### 3. 研究の成果

#### 3.1 森林生態系における炭素収支の定量的評価に関する研究

##### （1）亜寒帯森林生態系における炭素収支

苫小牧サイトと老山サイトのカラマツ林生態系において、気象観測タワーを用いた微気象学的方法（渦相関法）による二酸化炭素収支の観測を行った。両サイトにおける初夏の二酸化炭素吸収量は  $168\text{--}183\text{ gC m}^{-2}\text{ month}^{-1}$  とほぼ同程度であったが、落葉直前（10月）では苫小牧では  $12\text{ gC m}^{-2}\text{ month}^{-1}$

の吸収、老山では  $32\text{ gC m}^{-2}\text{ month}^{-1}$  の放出となり、生物季節に伴う炭素収支の推移に差が認められた。

苫小牧と札幌、及び中央シベリアのカラマツ林で光合成、現存量、成長解析を行ったところ、長枝葉と短枝葉では光飽和の光合成速度に差が見られなかった。現存量推定値に大きく寄与する枝量の推定精度を向上させるとともに、地下部の現存量と成長量の推定を行った結果、根系の成長量は年変動が大きかった。永久凍土地帯のカラマツ林生態系では、年輪成長と最も高い相関を持つ要因は5月下旬から6月中旬の気温であった。センサス調査によると、森林火災後の更新から30年余りで現存量は頭打ちになっていた。中央シベリア・Turaサイトの平均的なカラマツ林現存量は約  $20\text{ t ha}^{-1}$  で、ほぼ50%が地下部現存量であった。

##### （2）温帯森林生態系における炭素収支

高山サイトで連続測定している森林上での  $\text{CO}_2$  フラックスの観測結果を解析し、1994年から2002年にわたる生態系純生産量 NEP の季節変化と年々変化を求めた結果、高山サイトの年間 NEP は  $237\text{ gC m}^{-2}\text{ y}^{-1}$  で、年々変動が大きいことがわかった。また、春先の気温が高く展葉が早かった1998年と2002年の NEP が特に高く、生育期間の前半に光合成総生産量 GPP が特に高かったことが関係していると示唆された。LAI、最大光合成速度、暗呼吸速度のいずれもが明瞭な季節変化を示した。光合成特性およびシュート構造、光環境のデータから各樹種の光合成生産力をモデル計算したところ、良好な光環境に葉を展開している林冠木が高い光合成生産力を有することに加えて、低木は林内の弱光を効果的に獲得し効率的に光合成生産に利用することによって炭素吸収に寄与することが示された。フラックス観測と地上部の呼吸速度は、LAIが増加する晩春から初夏の展葉期に増加し、LAIが一定値を示す頃より減少し、晩夏以降小さい値を示すことが分かった。高度別  $\text{CO}_2$  濃度観測結果を解析し、各高度の年平均値を調べた結果、各高度間の濃度差の年変動が、 $\text{CO}_2$  フラックスの変動を反映していることが示唆された。

桐生サイトにおけるフラックス観測の結果、乱流フラックス積算値としての NEP は  $7.05\text{ tC ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$  ~  $7.42\text{ tC ha}^{-1}\text{ y}^{-1}$  となった。土壌呼吸・葉呼吸・幹呼吸等についてのチャンパー法による集中的な観測お

よびこれらの情報をもとにパラメライズした多層モデルを用いた解析から、上記の見積もりが夜間の放出量を過小評価しており、その結果年間 NEP をかなり過大評価している可能性が示唆された。

富士吉田サイトでは、乱流変動データの Quality control を進め、夜間の生態系呼吸量および日中の群落総生産量のパラメライゼーションを再検討した。得られた関係式よりデータ欠測値を補完し、2000年～2003年生態系純生産量(NEP)を求めた。4年間の NEP はそれぞれ、 $359 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ 、 $376 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ 、 $459 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ 、 $319 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  と計算された。また、個葉の光合成パラメータの樹冠内変化及び季節変化を継続測定した。幹温度と幹呼吸速度の関係を指数近似し、 $Q_{10}$  と  $R_0$  を計算した結果、 $Q_{10}$  の値はいずれも 2 以上の値を示し、 $R_0$  は成長の大きい樹幹上部で大きく成長呼吸との関連性が示唆された。

### (3) 熱帯森林生態系における炭素収支

Paosh では、土壤呼吸速度や個葉のガス交換速度をチャンバー法によって測定し、その結果を  $\text{CO}_2$  動態にかかわる素過程を詳細に記述できる多層モデルに入れてフラックスを計算したところ、樹冠上フラックス観測から推定される炭素固定量が、かなり過大評価であることが示唆された。1994-2004年の地上部現存量を推定したところ、2002年までは一貫して減少傾向にあったが2004年に始めて増加に転じたことがわかった。

これまでの研究で、地上バイオマスが長期にわたり減少傾向にあることと、フラックス観測での炭素固定傾向との間の不一致が大きな問題であることがわかった。これに対して、総合的な  $\text{CO}_2$  動態の測定によって夜間の  $\text{CO}_2$  放出を過小評価する等の問題を補正する手法が開発されてきていること、倒木発生、大型木質遺体の分解過程という時空間的に不均一な炭素動態の評価が進んでいることが、現時点での成果であると考えている。

### 3.2 草原・農耕地生態系における炭素収支の定量的評価に関する研究

青海・チベット高山草原における渦相関法による初の炭素フラックス観測システムを設立した。この観測システムから得たデータを解析し、 $\text{CO}_2$  フラックスの短期変動と季節変動の特徴が明らかになった。*Kobresia* 草原では5月から9月まで植物の生育期間中に生態系の  $\text{CO}_2$  吸収がもっとも多く、冬季は、生態系の呼吸は非常に低いか、あるいはまた若干炭素の吸収がある可能性も指摘した。さらに4月と10月ごろに炭素放出のピークが生じることを明らかにした。植物の生育期間中に昼夜の温度差が大きい場合、一日の純生産量も高いことが示唆された。これまで3年間の渦相関法の観測によって、*Kobresia*

草原は年間約  $145 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  の吸収が推定された。これは冷温帯針葉樹林と比べ同程度の炭素吸収能力であるが、草原生態系の純生産としては低い。

### 3.3 土壤圏における炭素収支の定量的評価に関する研究

高山試験地から北に約 2 km にある冷温帯落葉広葉樹林の伐採跡地を対象に、気温・地表面温度・地温、伐採直後の樹木の成長に伴う炭素固定量、根の呼吸量および土壌からの二酸化炭素放出量(土壌呼吸量)を測定した。その結果、土壌呼吸速度は雪解け後徐々に増加し、7月から8月にかけて極大値に達した。7月に  $647 \text{ mgCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  に、8月に  $561 \text{ mgCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  に達した。その後減少に転じ、10月に  $265 \text{ mgCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 、11月に  $184 \text{ mgCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$  にまで減少した。また、本調査地における炭素固定・吸収能を表す生態系純生産量(NEP)を推定したところ、萌芽による純生産量は  $95 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ 、土壌呼吸量は  $590 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ 、根の呼吸量は  $320 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  となり、NEP は  $-175 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  と推定され、伐採直後の森林は二酸化炭素のソースとして作用していることがわかった。さらに、既に得られたデータを基礎にして、各生態系の年間の NEP を比較すると、森林で  $+117 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ 、草原で  $+16 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ 、水田で  $-21 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ 、畑地で  $-200 \sim -280 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  の値を示し、生態系によって NEP が大きく異なることが明らかになった。

### 4. 今後の課題

気候条件や土壌等の条件の違いが炭素収支に及ぼす影響を定量的に示すことが重要である。また、SARS の影響などで、中国東北部と Tura サイトではフラックス観測ができなかったことから、これらの進捗の遅れを取り戻し、フラックス観測と生態学的調査の結果を統合していく必要がある。

### 5. 成果文献

Hirano, T., et al, 2003:  $\text{CO}_2$  and water vapor exchange of a cool-temperate larch forest in northern Japan. *Tellus* 55B, 244-257

Cao, G., et al, 2004: Grazing intensity alters soil respiration in an alpine meadow on the Tibetan plateau. *Soil Biol. Biochem.* 35, 237-243.

他、原著論文 47 報

## 46-1 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 トップダウン(大気観測)アプローチによるメソスケールの陸域炭素収支解析

独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター・井上 元 (inouegen@nies.go.jp)

### 1. 研究の目的

陸域生態系による炭素吸収の評価は、海洋に比べはるかに困難である。それは陸域生態系の多様性と複雑な分布のみならず、同一の樹種であっても置かれた環境により大きく異なった炭素吸収特性をしめすなど、数少ないパラメータで炭素収支を記述できないところに有る。そのため、ボトムアップアプローチは、炭素収支モデルの不確実性や、炭素収支モデルを利用してスケールアップする際に生じる大きな誤差を含んでいる。トップダウンアプローチには大気輸送モデルの誤差の問題はあるが、その精度は、気象関連の各種衛星データの充実を背景に、気象予報の精度向上の努力がなされ、信頼性ははるかに高まっている。しかしながら、現在のトップダウンアプローチの空間分解能は数千 km 規模であり、また、年々の CO<sub>2</sub> 吸収の大きな変動の原因を特定するほどの精度がない。これは、大気輸送モデルの不確実性よりも、大気観測ネットワークの密度が薄く、しかも先進国に偏在しているのが、主たる原因である。他方、観測の密度が上がり、精度が向上しても、インバースモデルによるメソスケールの解析が可能かどうかは実証されていない。

本研究では、比較的データが充実しており、地形的に平坦で植生の多様性も比較的小さい西シベリアを一つのモデルケースに選び、密度の高い大気中の CO<sub>2</sub> 濃度観測を行うこととした。これは将来の CO<sub>2</sub> 収支の観測戦略を立てる上で鍵となるステップであり、国際的にも注目を浴びている。

### 2. 研究の方法

研究課題は、(1)大気観測ネットワークによる CO<sub>2</sub> のメソスケールの分布とその変動の観測と、(2)メソスケールのインバースモデルの開発による CO<sub>2</sub> 収支分布の推定の二つからなり、(1)の観測と(2)のモデル解析が一体となって実施するようデザインした。即ち、研究の流れとしては、以下ようになる。

最終的アウトプットとして、この研究で得られる観測データと地理学的データベースから CO<sub>2</sub> の収支を明らかにすることをターゲットとし、そのために必要な観測地点のデザインを行う。

そのデザインに適合する観測地点をインフラや人的資源を考慮して選定する。

外的条件に適合し、モデル側が必要としている観測の方法・計測精度の実現。

観測の実施と観測データの評価・蓄積

データ解析のためのデータ収集とその加工、複数のデータベースのマッチング。

初期値を与える人為発生源データベースと、陸域炭素収支のモデル選定。

高分解能インバースモデルの開発。

観測データの解析。

H14年度は、の一部とを実施し、H15年度はを終了し、を実施中である。

### 3. 研究の成果

#### 3.1 観測網のデザイン

現在インバースモデルにより CO<sub>2</sub> 収支のグローバルな分布が推定されているが、これは現実にある観測ネットワークのデータを使用している。そのため、モデル解析に最適なネットワークの構成を改めて検討した結果、現在の観測地点の半数を除いても炭素収支分布推定の精度を落とさず、逆に、新たに適切な場所として 10~20ヶ所での観測を開始すれば推定誤差は大幅に低減することを示した。しかしながら、それは現在の低分解能での解析に限定した結果なので、分解能を 42ブロックとして、適正配置を再計算した。その結果、陸域についてはもっと分散した配置で、特に風下にあたる西部に多数配置することが適切であるという結論が得た。西シベリアに限定した観測ネットワークについて最適配置を検討したが、ここでは観測のインフラを考慮した拘束をかけた。仮に 10ヶ所を選ぶと、西部に 3点、東部に 6点、中央南部に 1点が適切であるという結論が得られた。同時にヨーロッパでのデータや東シベリアのデータの必要性も認識されたが、これらは EU の TCOS グループや既存の国立環境研究所のモニタリングデータを利用できると判断される。

#### 3.2 観測地点の選定

モデルで最適化した観測網を指針として、インフラと人的資源の確保の観点から、観測地点の候補選定、関係するロシア各方面との交渉を行った。その結果、地上観測を 40m 以上のタワーで実施するには、天然ガスや石油パイプラインの運転・保守に使用している通信タワーが適切であるとの結論を得た。そこでタワーから大気を採取し、地

上で自動分析を行うシステムを展開することを前提に、関係各方面との交渉を行い、ロシア科学アカデミーおよびタワーを所有している会社の協力を得ることに成功した。指針に従い具体的候補を選定し、現地調査および現地組織との交渉を行い10地点を選定した。しかしながら、2003年のロシア政府の新たな方針として、外国の調査研究に対して詳細な実施計画を記載した許可申請を提出し、審査を受けなくてはならなくなった。そのため研究の目的、使用する機器類の詳細、実施する場所などの詳細資料を作成し申請した。その間、装置の運搬も停止され、これまで実施していた観測も審査を受けることになった。その結果、2004年3月に許可が出され、現場との契約、観測機器の設置が開始された。

### 3.3 観測システムの開発と性能

新たな規則が施行される前から実施している地上と航空機観測の2年間のデータから、40mより高いタワーで採取した大気CO<sub>2</sub>濃度は、晴天で大気の鉛直混合が強い場合は、混合層を代表するものであると結論付けられた。そこで地上でのCO<sub>2</sub>濃度観測システムの開発目標は次の通りである。

CO<sub>2</sub>を0.2ppmの精度で自動連続測定できること

国際的にも比較できる絶対精度を持つこと  
消費電力を300W以下に抑制すること  
輸送が容易で消耗品の消費を抑えること  
データの記録・回収が確実にできること

特に開発で成功した点は、電力空調をせずコンテナ内の温度変化を小さくするため、断熱と庫内の熱容量を大きくすること、日射を遮ることなどの工夫を施したことである。その結果、シベリアの-30から30の気温変化に対して庫内を0以上、日変動を10以下に抑制することが出来た。気温変化が緩やかであるため、30分ごとの現地標準空気による校正で、必要な測定精度を維持することに成功した。2003年度は上記の仕様を満足する装置を開発し、ロシア側研究者のトレーニングを兼ねた協力も得て、5台製作したものを2004年春にロシアに輸送、さらに2005年度に輸送する予定の3台を製作した。しかし、ロシア政府の政策で装置の設置が停止したので、当初の予定に無かったメタン測定装置の開発を行った。それはデータ解析モデルの検証のためには、メタンも同時に測定することが望ましいと考えられていたが、予算と時間の制約で計画に入れられなかったものである。メタンセンサーはSnO<sub>2</sub>のガス漏洩検知器を大幅に改良した連続測定器であり、3ppb

の誤差範囲で、標準となるFID付ガスクロマトグラフと一致することを確認した。このセンサーは電力6W、重量4kgであり、CO<sub>2</sub>計の後段に接続して使用する。ガスクロに比べ電力消費量が1%、水素や窒素など消耗ガスが不要であるので、遠隔地・インフラの未整備の場所での観測に適している。

### 3.4 土壌・植生のデータベース整備

モデル計算を高分解能で実施するために新たに必要なデータベースの一つは土壌・植生の詳細なデータベースである。ロシアでは土壌・植生の詳細な調査が行われているが、その成果はデータベース化されておらず、分散した印刷物として蓄積されている。また、湿原などデータ自身が不足している部分もある。既存の土壌と植生のデータをモデルに利用するために必要な形式で整備した。

### 3.5 高分解能インバースモデルの開発

未だシベリアでのデータが得られていないので、インバースモデルの国際相互比較に使用されているGlobalviewのデータで計算を行った。従来のインバースモデルが陸域を10、海洋を12に分割していたものを、陸域を40、海洋を24に、また、年平均値から月平均値へと、空間・時間共に高分解能化した。グローバルなデータセットを使い各地域での炭素収支の短期変動を明らかにし、例えば98年のエルニーニョ時期に熱帯の陸域が大きな二酸化炭素発生源であったことがわかった。これは同位体などの解析結果と一致する。

### 4. 今後の課題

資材の搬入および機器の設置に時間を要したことによる計画の遅れを取り戻し、シベリアでのデータ収集を速やかに行う。また、そのデータに基づき、インバースモデルの開発を進める。

### 5. 成果文献

Tohjima, Y., et al., 2003:

Gas-chromatographic measurements of the atmospheric oxygen/ nitrogen ratio at Hateruma Island and Cape Ochi-ishi, Japan, Geophys. Res. Lett., 30, 55-1-55-4.

Maksyutov, S., et al., 2003: Effect of recent observations on Asian CO<sub>2</sub> flux estimates with transport model inversions, Tellus, 2003;55B:522-529

他、原著論文10報

## 46-1 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 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

北海道大学大学院地球環境科学研究科・甲山隆司 (kohyama@ees.hokudai.ac.jp)

### 1. 研究の目的

環境省S-1課題ではフラックス観測・衛星データ解析・モデル研究を統合した陸域炭素循環研究を実施している。対象は東アジア陸域に限定されるが、内容はGCPにほぼ対応している。当課題にはアジア地域のフラックス観測網であるAsiaFluxの多くのサイトが含まれ、熱帯多雨林から亜寒帯林まで多様な生態系における大気-陸域間のCO<sub>2</sub>交換の観測データがほぼ統一された手法で取得されている。また当課題には少なくとも3種類のモデルが参加して、独立した計算出力を与えている。そこで、これらのモデルについて予備的な相互比較を行い、現時点でモデルがどの程度まで実測された現象を再現可能か検討し、各モデルの相対的な特性を明確化することを目的とした。また、モデル間の整合性を確認するための基盤を整備することを目的に、テーマ4のデータ統合課題と連携し、モデル研究を促進するための基盤となる陸域生態系モデルの比較検討を実施する。さらに、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ため、予測モデルに入力するためのリモートセンシングデータを整備する。さらに、炭素循環に係わる自然科学、社会科学、観測研究にまたがる分野横断的な研究推進を目的とした、ICSU(国際科学会議)における国際研究計画グローバル・カーボン・プロジェクト(GCP)のテーマ3「炭素循環の将来動態と炭素管理」に対応し、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を行う。

### 2. 研究の方法

本プロジェクトに参加している3モデル、BAIM, TsuBiMo, Sim-CYCLEについて予備的な相互比較を行った。ここでは既存のシミュレーション結果の共通部分を比較したため、事前に設定条件や入力データの共通化は行っていない。また、モデルの比較検討への予備的準備として、モデル情報、入力データ、およびモデルの実行の3つ視点からデータベース構築の方針に関する検討を実施するとともに、国内外のモデルの比較に着手した。

リモートセンシングに関しては、衛星データによる植生パラメータ算出の基本アルゴリズムの構築に着手し、それに必要となる地上測定データベース(PEN)の構築を開始した。また、1980年

から現在に至る衛星データから算出されたLAI・fAPARパラメータを整備し、これをモデル開発者に提供する。

陸域炭素収支モデルによる吸収量評価結果を用いて、温暖化対策や土地利用変化等の人為的な活動による中長期的な陸域炭素収支管理ポテンシャルを評価するモデルの開発を実施するとともに、炭素管理が今後どのように実現(対策の規模と実施時期)して行くかを検討するため、国際炭素管理レジーム形成モデルを開発した。

### 3. 研究の成果

#### 3.1 陸域生態系・放出の近未来予測モデルの開発

高山サイトにおけるTsuBiMoとSim-CYCLEの比較では、両者とも渦相関法によるNEEの季節変化を妥当に表現することが可能なことが示された。この2モデルは門司-佐伯モデルによる群落光合成速度の推定を行っているが、TsuBiMoは衛星観測によるAPARを入力データとするため、LAIと吸光係数からパラメタライズするSim-CYCLEよりも良い適合性が見られた。東アジア地域におけるBAIMとSim-CYCLEの比較は参照する観測データが無い純粋なモデル間比較であり、入力気象データが共通していないなどの問題点を残していた。それでも、生産力の地理分布や1997年と1998年の経年変動の傾向には共通性が見られた。これらモデル間相互比較は、観測データが断片的な現在の段階で、各モデル特性の相対的評価を可能にすることが示された。今後観測データが充実し、モデル開発が進展するに従い、このようなモデル相互比較の重要性は益々高まるものと考えられ、本研究において予備的試行を実施した意義は大きいと思われる。

#### 3.2 陸域炭素循環モデルの国際比較と高度化

モデルの比較検討への準備としてデータベース構築の方針に関する検討を実施するとともに、国内モデルの比較検討に基づいた国際的モデル比較に関する検討を開始した。

#### 3.3 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アルゴリズム評価に関する研究

本研究では、センサ精度に始まり大気補正・植

生パラメータ算出に終わる一連の既存アルゴリズムについて、アジア地域環境の特殊性に対する適応性について検討し、より良いデータおよび計算手法についての要素研究・開発を進める。平成15年度は、衛星データによる植生パラメータ算出の基本アルゴリズムの構築に着手し、それに必要となる地上測定データベース(PEN)の構築を開始した。

(2) 固定調査区の観測データに基づくアジアの森林生態系観測網の構築と解析

巨大な有機炭素貯留庫であり、また多様な樹木種によって構成される森林生態系の経年変化は、長い滞留時間を持つ森林の特性のために、短期的な観測では把握しがたく、長期的な連続観測が必要になってくる。日本周辺の東アジア地域には、個別の研究目的で連続観測が行われている森林の永久調査区が多く存在している。こうした既存データを散逸させずに、相互比較検討できるような共通の基盤を提供するためのワーキンググループの活動を実施した。当該年度には、自由度の高いデータベースの構築と公開を開始した。データベースは、ウェブ上で、国際的にアクセスできるように英文でスタートさせた。

3.4 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

京都議定書の第2約束期間以降における吸収源の取扱い等、中長期的な科学的炭素管理手法に関する統合的な検討を実施した。陸域炭素収支に対する人為的な影響ポテンシャル、人為的な炭素収支管理活動オプション、炭素管理国際レジームの有効性に関する検討した結果、下記の結果を得た。

1) 中長期的な人為活動に伴う炭素収支変動を予測するモデルを構築し、陸域炭素収支を活用した炭素管理ポテンシャルの暫定的な評価を試みた結果、今後100年間における炭素収支管理ポテンシャルは、数Pg C/yrの規模であり、20年間にわたって炭素価格が\$50/tCの場合のグローバルな炭素吸収量の供給は約7Pg Cと予測された。

2) 炭素管理レジーム形成モデルを構築して、国家間のリスク回避度の差異と安定化炭素蓄積レベルの関係を分析した結果、継続的に目標設定を実施するレジームにおける均衡解は、協調解と、競争均衡解の中間の累積排出量となり、レジーム効率性係数(E)は、リスク回避度の上昇に伴って増大すること、また、異質的なエージェントの場合、特にリスク回避度が大きくなるとリスク回避度の小さいエージェントの分以上にリスク回避度の高いエージェントが追加的な排出削減を実施することが示された。

3) 国際気候レジームの有効性への環境NGOの影響について分析を行った結果、環境NGOの活動とそれによって変化した企業の行動という二つの要素に、主要な政府の政策、あるいは、政策の方向性の明確化と政治的イニシアティブ、という要素が加わったことが、NGOの活動がレジームの有効性に影響を及ぼすことをより可能にしたことが分かった。また、科学とNGOに関しては、気候変動問題においては、予防言説が意思決定の規範的基盤として、環境NGOだけでなく、政府アクターによっても共有されていることが分かった。

4) 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と国際捕鯨規制の事例をもとに分析し、それをディプロマトリ・サイエンスとして概念モデル化した。外交の文脈に則した政策的有用性のある科学的知見を生み出すためには、政治的中立性や、認識共同体の役割を果たしている科学者コミュニティの同意を得るといった判断基準を満たさなければならない。

5) 地球温暖化をめぐる法的紛争に関し、分析枠組として、地球環境損害の内容上の変化や国際法上の保護法益の変化に焦点を当て、従来の国際法による対応の限界を分析した。そして、今後の国際環境紛争の解決における原告適格の拡大、国家の義務の厳格化と明確化、温暖化の損害と違法行為との因果関係の立証責任の容易化または転換の必要性とその可能性を検討した。

4. 今後の課題

統合予測モデルの開発を踏まえ、国際的モデル比較に関する検討を進めるとともに、衛星データ、地上観測データに関して、さらなるデータベースの整備を行う。21世紀の炭素管理に向けた統合予測モデルを開発する。

5. 成果文献

Alexandrov, G., et al 2003: Climate dependence of the CO<sub>2</sub> fertilization effect on terre-strial net primary production. *Tellus B*, 55, 2, 669-675

伊藤昭彦ら 2004: 地球システムモデルで用いられる陸域モデル. 研究の現状と課題. *天気*, 51, 227-239

他, 原著論文 29 報

## 46-1 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 プロジェクトの統合的推進と情報共有

筑波大学生命環境科学研究科・及川武久 (toecolog@sakura.cc.tsukuba.ac.jp)

#### 1. 研究の目的

環境省 S-1 プロジェクトは野外実験・衛星リモートセンシング・生態系モデルと研究手法が異なり、かつ研究分野の異なる研究者の協力の下に推進されている。標記研究を有機的かつ総合的に遂行するためには、プロジェクト全体で得られたデータを集積するとともに、それを参加研究者が共有し、効率の良い密接な連携を図ることが不可欠であり、データベース管理やプロジェクト進行管理のための情報基盤の整備が極めて重要である。このため、本プロジェクトでは「プロジェクトの統合的推進と情報共有」と題して、研究テーマを設けた。研究テーマではプロジェクト全体で得られたデータを集積し、それを参加研究者が共有し、効率の良い密接な連携をとるため、プロジェクトリーダーの下でデータベースの管理を行う。また、テーマ間の成果を相互比較し、プロジェクト進行管理のための情報基盤を整備する。

#### 2. 研究の方法

目的を具体化するために、テーマの基に統合データベース構築ワーキンググループ(WG)を2002年9月に設置して、プロジェクト全体で得られたデータを集積・共有し、研究を統合的に推進するためのデータベースを作成する手順、体制、内容について検討し、作業を進めてきた。

平成14年度においては、5回に渡ってWG会合を開き、S1プロジェクトとしてのデータの共有化・統合化の目指すべき姿が検討され、プロジェクト全体で得られたデータの集積、及びプロジェクトに参加する研究者全体でデータを共有し、効率的な研究を推進するための基盤として、Web上で稼動するデータベースシステム(以下、DBシステム)の構築がS1プロジェクト・テーマ4の達成課題の一つとして明確に位置付けられた。また、その成果については「統合データワーキンググループ平成14年度報告書」として取りまとめられた。これを受けて、DBシステム構築の第一期にあたる平成15年度は、Webサイト(DBシステム)の立ち上げ・試験運用の開始、データ交換プロトコル(共通の中間フォーマット、データ精度、使用単位などに関するルール)の検討に重点を置いて、「統合データベース構築ワーキンググループ(WG)」を中心に具体的作業を進めた。

なお、平成15年6月12日に第1回統合データWG会議を開き、H15年度の活動方針、DBシステム構築体制、作業等の打ち合わせを行った。また、9月5日の第2回統合データWG会議ではリモートセンシンググループ、モデルグループのデータ収集・活用状況とDBシステムへの要望、データベース受付Webの整備状況と課題が検討された。さらに、平成16年3月9・10日のS1プロジェクト研究テーマ1の研究会において、データベース共有化において問題となるデータ交換プロトコル・データ品質管理・測定手法・データ処理法についての検討課題を整理し、作業方針を決めた。

#### 3. 研究の成果

##### 3.1 データ共有化の基本方針とデータ使用の手続き

本プロジェクト研究によって得られた成果は、一定の留保期間を経た後、本プロジェクトリーダーに連絡して、統合データWGの各グループ責任者を通して提出し、データベースとしてまとめ共有化する。データベース化は本統合データWGの指示・協力のもとに、「データ整備担当グループ(仮称)」が行い、構築されたデータベースは本プロジェクトの研究者に公表する。データベースのデータを使用する際は、以下の手続きを行う。

- ・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。

##### 3.2 データセットの種類、データセット作成要領

データ共有のためのデータベース化作業は、3段階に分けて行う。構築すべきデータベースの種



類は以下のとおりである。

タワーサイト微気象・フラックス観測データセット

タワーサイト光合成・植物呼吸・土壌呼吸・土壌特性データセット

タワーサイトバイオマス量・植生特性データセット

タワーサイト周辺衛星データセット

東アジアマッピング衛星データセット

東アジア植生・土壌・気象マッピングデータセット

陸域生態系モデル入力・出力データセット

ここで、～、のサイト関連データセットはなるべく早い時期に必要となる。

### 3.3 モデル利用データ・出力データの種類と内容

#### (1) 陸域生態系モデル研究におけるデータ利用/提供(陸域生態系モデルグループ)

現時点では、本研究プロジェクトには BAIM, Sim-CYCLE, TsuBiMo の3モデルが参加している。これらのモデルはいずれも既に全球展開されており、本プロジェクトでは空間的拡張よりはむしろ推定精度の検証に重点が置かれる。観測情報の統合や予測などの目的でモデル研究が行われるが、どのような種類のデータがモデルから得られるか、モデルの成果の本プロジェクトでの活用方針を明確化しておく必要がある。さらにモデル研究グループからの生態系調査、フラックス観測、リモートセンシンググループへの要請データについても検討された。

#### (2) インバージョンモデル(インバースモデルグループ)

本モデルでは地表面における二酸化炭素濃度分布に基づき、CO<sub>2</sub>の吸収・放出源分布と収支を推定する。この推定値をボトムアップアプローチによって得られた結果と比較検討することにより、二酸化炭素収支のより客観的な推定を行うと共に、森林による二酸化炭素収支モデルやスケールアップの方法の妥当性を検証する。モデル計算に必要なデータベースの内容・留意事項についても検討した。

### 3.4 Web サイト(DBシステム)の立ち上げと試験運用

平成15年度末時点で、10の観測サイトからデータ提供を受けた。また、Sim-Cycleによるモデル計算結果の提供を受けた。提供されたデータは、国立環境研究所・地球環境研究センター内に設置

されたデータベースに順次登録され、平成15年8月下旬より、下記のS1プロジェクトホームページにおいて試験的な公開を開始した。

本DBシステムの利用は、予めユーザー登録のあったS1プロジェクトメンバーに限定している。S1プロジェクト・テーマ4のホームページにアクセスし、データ整備担当者より付与されたID及びパスワードを入力すると、本DBシステムにデータが登録されている、または登録の予定がある地上観測サイトのリストが表示される。ユーザーは個々の要望に応じて地上観測サイトを選択し、観測サイトごとのWebページに移動する。各観測サイトのページでは、観測体制、地理・植生情報、観測項目などの情報と共に、ダウンロード可能なデータファイルリストが表示される。ユーザーはこのページから必要に応じて数値データファイル、文書ファイルをダウンロードすることになる。

外部研究者ならび一般に向けた幅広い情報公開と、参画研究者間の情報交換とを目的として、S-1プロジェクトホームページを作成した

(<http://s1p-4.nies.go.jp/>)。これまでの作業内容として、1.プロジェクトの紹介、2.関連研究情報の紹介、3.データ公開を行った。

### 4. 今後の課題

これまで不十分だったサイト間の連携・情報交換が深まりつつあり、各サイトが独自に使用しているデータ処理方法の相互比較が実現に向けて動き出すなど、新たな研究テーマも生まれた。同時に、課題も明らかになり、特に、「S1プロジェクトのDBシステム」として、登録データに対する品質管理、欠測値補完をどのように捉え、統一的な枠組みを作り上げていくのかは今後の重要課題の一つである。

### 5. 成果文献

Alexandrov, G., and Oikawa, T. 2002: TsuBiMo: a biosphere model of the CO<sub>2</sub>-fertilization effect. *Climate Research* 19, 265-270.

Ito, A., et al. 2003: Model analyses of atmosphere-biosphere exchange at various spatial scales: Contribution from "The Integrated Study for Terrestrial Carbon Management of Asia in the 21st Century Based on Scientific Advancements". *Report Series in Aerosol Science* 62A-1: 175-180.

他、原著論文9報