

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II 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		
課題代表者名	町田敏暢（独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター）		
研究期間	平成14-18年度	合計予算額	381,725千円（うち18年度 61,000千円） ※上記の予算額には間接経費88,090千円を含む
研究体制	<p>研究体制</p> <p>（1）大気観測ネットワークによる二酸化炭素のメソスケールの分布とその変動の観測（独立行政法人国立環境研究所）</p> <p>（2）メソスケールのインバースモデルの開発による二酸化炭素収支分布の推定（独立行政法人国立環境研究所、独立行政法人海洋研究開発機構）</p>		
研究概要	<p>研究概要</p> <p>1. 序（研究背景等）</p> <p>陸域でのCO₂収支は極めて複雑な空間分布をしている。化石燃料消費やセメント生産によるCO₂放出量は先進国に偏重しており、先進国では統計データも信頼性が高いことから、空間分布や年々変動は比較的精度良く把握できている。しかしながら、中国・インドなど経済成長の著しい国々の割合が増えており、その排出統計の信頼性は低い。更に農地化や都市化による森林減少、バイオマス燃焼、森林をはじめとする陸域生態系のCO₂吸収は複雑である。土地利用の形態と分布が複雑であり、その環境の違いにより炭素固定量や放出が大きく異なる。</p> <p>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ので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くところでは、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。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本研究は、微気象・生態学的観測研究から陸域生態系の炭素収支を推定する方法（ボトムアップアプローチ）とは逆に、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もの（トップダウンアプローチ）である。即ち、地表面におけるCO₂の吸収・放出により濃度の変化した大気が、移流拡散した結果として、ある大気濃度分布となるが、移流拡散が正しいならCO₂の分布観測から逆に地表面の収支を推定する。本研究で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する。</p> <p>3. 研究の方法及び結果・考察</p> <p>（1）CO₂濃度観測システムの開発とタワーネットワークの構築</p> <p>西シベリアにおいて詳細なCO₂濃度の変動を検出することを目的として、観測のインフラが不十分な場所で長期に安定的にしかも多地点でCO₂濃度を連続的に取得できる観測システムを新たに開発し、シベリアの気象条件下で必要な精度を発揮するシステムを作り上げた。CO₂濃度測定システムの条件として考慮したのは、(i)大気中CO₂濃度を0.2ppmの精度で連続測定、(ii)標準ガスによる校正、(iii)消費電力300W以下、(iv)消耗品の供給を抑制、(v)データの記録・データの回収のシステム化、である。性能評価試験の結果、0.1ppmの低いノイズレベルを実現し、標準ガスで測定の確度も保ちながら、1セットの標準ガスを5年以上使用できることが確認された。2006年までに西シベリアで5箇所、東シベリアで1箇所の観測が稼働している。</p>		



図1 観測サイトの分布図

(2) 西シベリアにおけるCO₂濃度の観測結果

1) 1時間観測値の変動

2002年以來、2007年3月までに観測が行われた6地点の全データ（1時間値）を図2に示す。低濃度の値の季節変化に着目すると、5月初旬から顕著な低下が開始し、夏季の7～8月に最も濃度が低くなり、その後濃度が増加に転じる。これらは、すべての観測サイトに共通に見られる。この結果から、陸域生態系による光合成活動の季節変化を、正確に捉えていることが確かめられる。日変動は冬季になると極めて小さくなるが、有意な幅での変動が認められた。これはシベリアのような極寒の地でも冬季にCO₂フラックスが存在していることを表している。

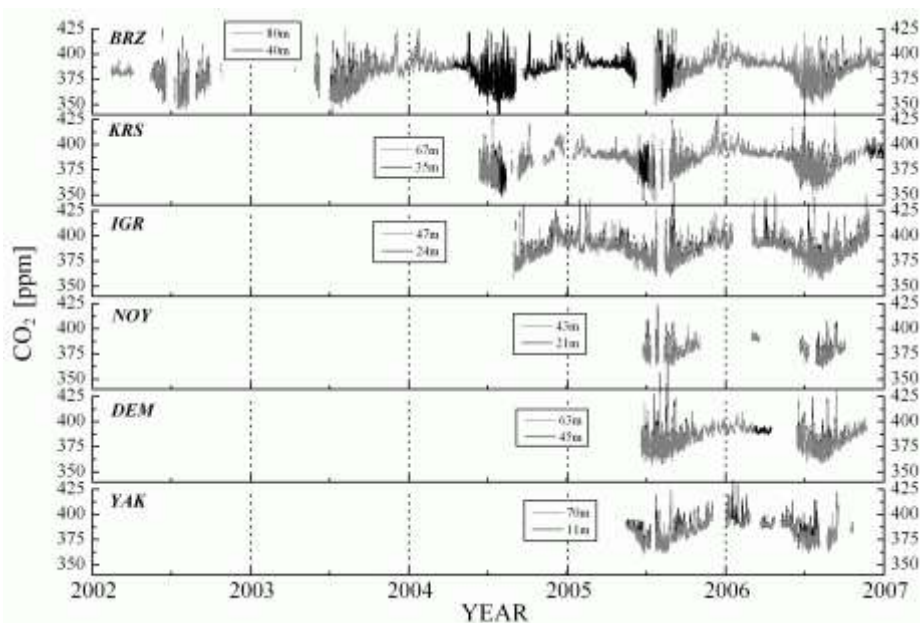


図2 CO₂濃度変動の時系列。上から順に、Berezorechka (BRZ)、Karasevoe (KRS)、Igrim (IGR)、Noyabrsk (NOY)、Demyanskoe (DEM)、Yakutsk (YAK) の1時間観測値を示す。

2) 日中データの変動

日変化の傾向を解析した結果、現地時刻13時から17時のデータが大気境界層を代表する値として取り扱うことが可能であると判断した。

図3は日中濃度に7日間の移動平均処理を施し、サイト間のCO₂濃度の季節変動を比較したものである。冬季の変動に着目すると、隣接するBerezorechkaとKarasevoeでは、両者が非常に良く一致していた。一方、Igrimはこの2地点とは異なる変動を示すが、詳しく見ると、その濃度変動が先行して生じていることがわかる。これはIgrimで観測された大気塊が、時間を経て輸送され、Berezorechka、Karasevoeで同様に観測されたものである。この結果は、本観測が、数100kmスケールの空間を代表する濃度データとその変動を、正確に捉えているという事実を示唆するものである。一方、夏季のIgrimにおけるCO₂濃度は全体的にBerezorechkaやKarasevoeよりも高かった。これは、Igrimが西シベリア地域の高緯度側に存在するため、西シベリア南部のBerezorechkaやKarasevoeよりも、植物の光合成活動によるCO₂吸収量が低いことを示している。

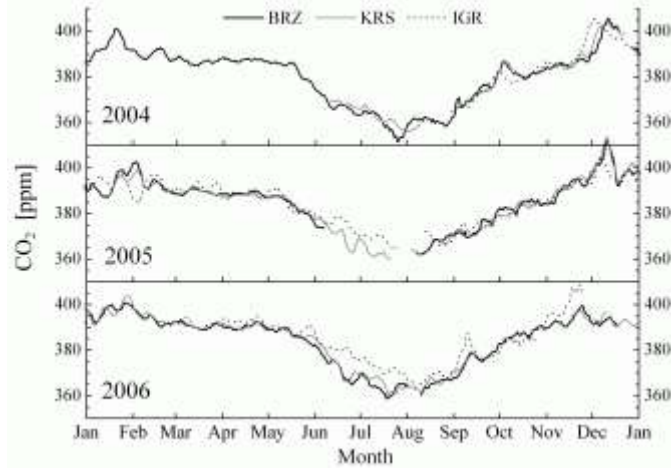


図3 7日間の移動平均処理を施した日中平均値の変動。観測期間の長いBerezorechka (BRZ)、Karasevoe (KRS)、Igrim (IGR) の3地点について示す。

(3) インバースモデルを用いたCO₂収支の推定

1) NIESモデルを利用したインバースモデル

本研究ではこれまでの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、より詳細なCO₂収支を推定した。

インバースモデルから推定されたCO₂フラックス(図4)は9月から4月にかけてほぼゼロかわずかに放出の傾向であるが、5月より吸収に転じ、6月に最大の吸収量である0.75[tC/ha/month]を示した。このフラックスをインバース解析の初期値に使ったCASAモデルのCO₂フラックスと比較すると、季節変動の傾向は似ているものの、インバース解析の結果は全体的に夏季の吸収量が大きくなっており、上記の観測結果がこの領域のCO₂フラックスを吸収方向に導いたことがわかる。西シベリア南部における2005年を通したCO₂の総吸収量は1.17[tC/ha]であった。

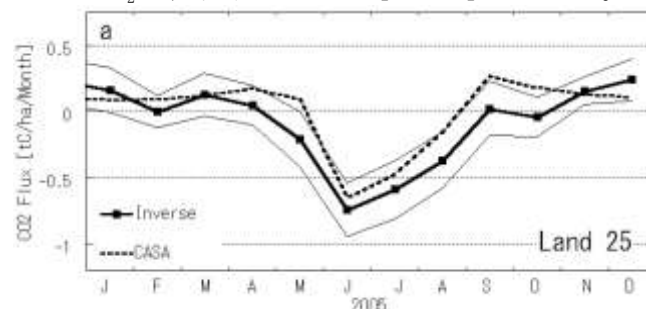


図4 インバースモデルによって推定された西シベリア南部におけるCO₂フラックスの季節変動。細線は推定誤差を表す。太実線は初期値であるCASAモデルによるフラックスを表す。

西シベリア南部における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。2005年1年間の西シベリア南部におけるCO₂の総吸収量は、インバース解析の推定結果が1.17[tC/ha]であるのに対してSim-CYCLEは0.32[tC/ha]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。

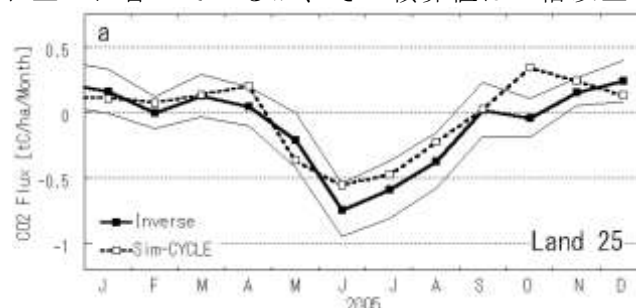


図5 インバースモデルによって推定された西シベリア南部における2005年のCO₂フラックスの季節変動とSim-CYCLEによる推定値との比較。

2) LMDZモデルを利用したインバースモデル

フランス気象力学研究所（LMDZ）が開発したGCMを利用したインバース解析によって西シベリアにおけるCO₂フラックスの日単位での変動を明らかにした。LMDZモデルを用いたインバースモデルで推定されたCO₂フラックスをSim-CYCLEモデルで計算されたフラックスと比較すると（図6）。フラックスの変動パターンは非常に良く一致しているが、5月から7月にかけてのCO₂吸収量は明らかにインバース解析の結果が大きくなっている。これはNIESモデルを使ったインバース解析の西シベリア南部における結果と定性的に一致している。また、4月と10月のSim-CYCLEの放出フラックスがインバース解析の結果よりもやや高めである点もNIESインバージョンの結果と整合的である。

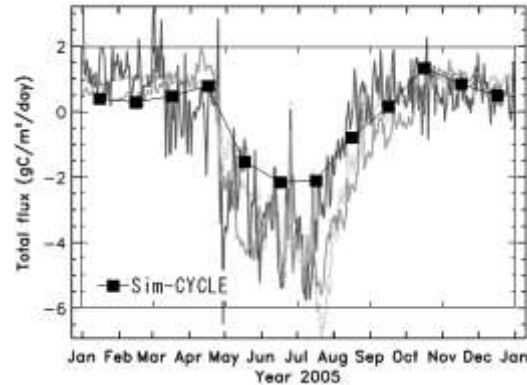


図6 LMDZモデルを使ったインバース解析で推定された西シベリア域におけるCO₂フラックスとSim-CYCLEモデルによるフラックスとの比較。

以上のように、テーマ2の当初からの目標であった、タワー観測ネットワークとインバースモデルを組み合わせたフラックス推定手法の確立を最終的に達成することができた。今後はCO₂フラックスの年々変動に科学的な関心を向けることができる。

4. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 1) 小型で長期に安定的にCO₂濃度を観測するシステムを開発した。
- 2) シベリアにおいて多地点の高精度観測網を構築した。内陸における重要な観測データとして世界から注目されている。
- 3) 地上におけるタワー観測でも境界層内を代表するデータが取得できることを明らかにした。
- 4) タワー観測ネットワークとインバースモデルを組み合わせることで亜大陸規模のCO₂フラックスを推定できることを実証した。

(2) 地球環境政策への貢献

- 1) 気候変動に関する国際連合枠組条約における「京都議定書」への貢献
 - a. 本研究は温室効果ガスの将来の変動予測に貢献する組織的観測の手法開発である。
 - b. 本研究で開発したCO₂収支推定手法はインベントリーを検証する方法として適用できる。
- 2) わが国の地球環境研究の推進
 - a. 温暖化研究イニシアティブの「温室効果ガスの収支推定誤差を半減」という目標に貢献。
 - b. 総合科学技術会議の「衛星等のプラットフォームを用いた観測システム構築」の検証、収支推定手法の開発に貢献。

5. 研究者略歴

課題代表者：町田敏暢

1965年生まれ、東北大学大学院理学研究科修了、博士（理学）
独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター室長

主要参画研究者

(1) : 町田敏暢 (同上)

(2) 1) : 町田敏暢 (同上)

2) : マクシュトフ シャミル

1957年生まれ、モスクワ工科大学卒業、PhD

独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター主席研究員

6. 成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況。）

(1) 査読付き論文

- 1) Gurney K. R., A. Scott Denning, P. Rayner, B. Pak, D. Baker, P. Bousquet, L. Bruhwiler, Y.-H. Chen, P. Ciais, I.Y. Fung, M. Heimann, K. Higuchi, J. John, T. Maki, S. Maksyutov, P. Peylin, M. Prather, S. Taguchi, Transcom 3 inversion intercomparison: Global Biogeochem. Cycles, 18, GB1010, doi:10.1029/2003GB002111 (2004)
“Model mean results for the estimation of seasonal carbon sources and sinks”
- 2) Peregon A., S. Maksyutov, N. Kosykh, N. Mironycheva-Tokareva, M. Tamura and G. Inoue, Phyton, Special issue: “APGC 2004”, 45, Fasc. 4, 543-550 (2005)
“Application of the Multi-Scale Remote Sensing and GIS to Mapping Net Primary Production in West Siberian Wetlands”
- 3) Patra, P. K., S. Maksyutov, and T. Nakazawa, Tellus, 57B, 357-365 (2005)
“Analysis of atmospheric CO₂ growth rates at Mauna Loa using inverse model derived CO₂ fluxes”
- 4) Patra, P.K., M. Ishizawa, S. Maksyutov, T. Nakazawa, and G. Inoue, Global Biogeochem. Cycles, 19, GB3005, doi:10.1029/2004GB002258 (2005)
“Role of biomass burning and climate anomalies on land-atmosphere carbon fluxes based on inverse modelling of atmospheric CO₂”