

課題名	大気境界層の高頻度観測による大陸上CO ₂ の挙動と輸送に関する研究		
担当研究機関	独立行政法人国立環境研究所		
研究期間	平成16-18年度	合計予算額 (当初予算額 ベース)	51,750千円 (うち18年度 15,525千円)

研究体制

独立行政法人国立環境研究所

地球環境研究センター 大気・海洋モニタリング推進室

町田敏暢

地球環境研究センター 炭素循環研究室

高橋善幸・下山 宏

研究概要

1. 序 (研究背景等)

大陸上のCO₂収支を観測するにはそのスケールに応じて、森林上のCO₂フラックスを直接測定し、それを積算する方法と大気中CO₂濃度の観測と輸送モデルとから推定する方法がある。

大気中CO₂濃度の観測と全球大気輸送モデルを用いてCO₂収支の分布を推定する方法は亜大陸規模の平均像を知る有効な手段として現在広く使われているが、得られる結果には依然として多くの不確定さが存在している。これらの違いを生じさせている最も大きな原因の1つがモデル内の鉛直輸送の取扱い、とりわけ大気境界層と自由対流圏の間の輸送を表現しきれていないことにあると言われている。しかしながら、大気境界層上端を通じた物質の輸送を力学的に表現することは非常に困難な上に、輸送結果を検証するための大気境界層内外におけるCO₂濃度の観測結果はほとんど存在していないのが現状である。

2. 研究目的

本研究では比較的平坦で植生の均一なシベリアの森林地帯上空において小型航空機を用いてCO₂濃度の鉛直分布観測を高頻度かつ長期的に行い、大気境界層内とその直上の自由対流圏におけるCO₂濃度の詳細な季節変動を明らかにすることを目的としている。さらにCO₂濃度に加えてCO₂の安定同位体比も高頻度観測を行い、森林上空の光合成フラックスと呼吸フラックスを分離して通年観測する試みにも挑戦する。CO₂濃度の高頻度観測から大気輸送モデルの改善を通じて亜大陸規模での炭素収支評価方法を新たに確立する。CO₂同位体比観測から得られる光合成・呼吸フラックスの分離は将来のCO₂濃度変動予測の精度向上に貢献する。

3. 研究の内容・成果

シベリアを代表する2つの森林地帯上空におけるCO₂濃度の変動を定性的に明らかにするために、ロシア共和国西シベリアのベレゾレチカ村上空および東シベリアのヤクーツク上空において小型航空機を用いて下部対流圏のCO₂濃度の高頻度観測および日変動観測とCO₂の同位体比の試験観測を行った。本研究の観測地点を図1に示す。

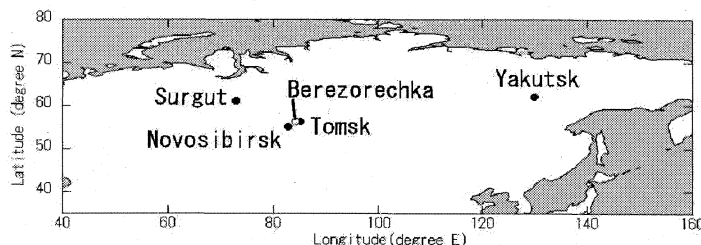


図1 本研究の観測地点

ベレゾレチカ上空での定期観測飛行は2004年4月から2007年4月までの間に145日分の飛行を行い、データの不具合等による7度の欠測を除くと138日分ものデータ取得に成功した。CO₂濃度鉛直分布の観測結果の一部を図2に示す。ベレゾレチカ上空のCO₂濃度は3年間を通して、陸上生態系の活動が盛んな夏季には鉛直構造や絶対濃度の日々の変動が非常に大きかった。これに対して冬季から春季にかけての濃度は鉛直勾配も含めて良く安定している。

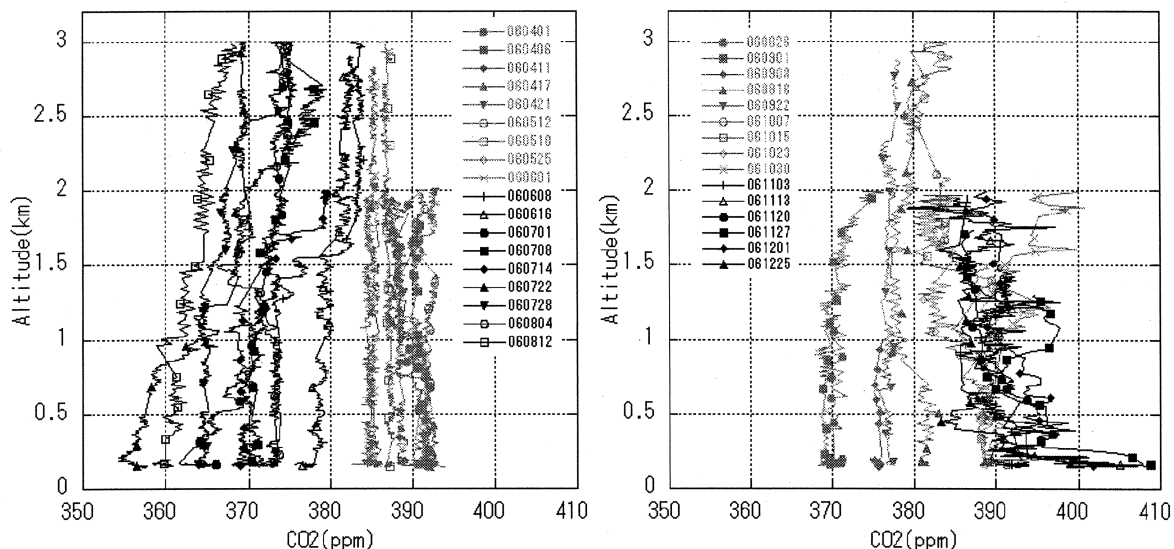


図2. ベレゾレチカ上空で2006年4月から2006年12月までに観測されたCO₂濃度の鉛直分布

4. 考察

ベレゾレチカ上空におけるCO₂濃度の時系列を図3に示す。平均的なCO₂濃度の振幅は高度0.25km以下では36.4ppmと、同じ緯度帯の沿岸域で観測される季節振幅である15ppmの2倍以上になっている。夏季の最低濃度の出現日は上空に行くほど位相の遅れが認められており、高度0.25km以下と2.0kmとで約10日の違いがある。高度0.25km以下では11月-12月の極大が非常に大きくなっており、これが季節振幅を大きく見せている一つの要因となっている。西シベリアはこの時季にしばしば安定した高気圧が停滞することがある。このような気象条件下では日中になっても大気鉛直混合が著しく妨げられ、わずかに放出されたCO₂が地表付近に蓄積することがあり、高いCO₂濃度が観測されると考えられている。

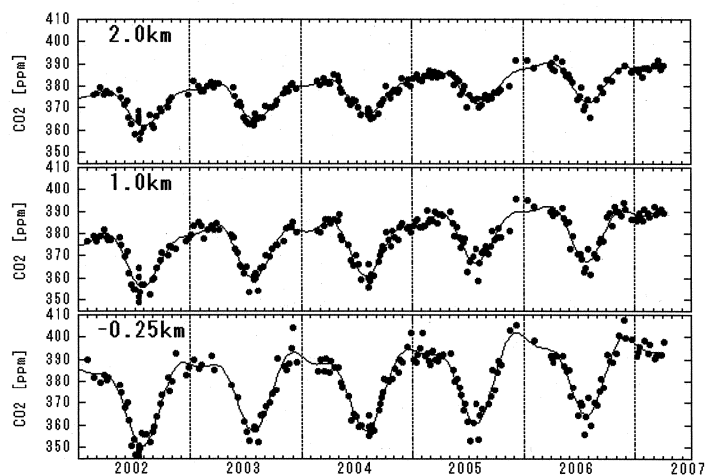


図3. ベレゾレチカ上空におけるCO₂濃度の高度別時系列

ベレゾレチカ上空の大気境界層内と自由対流圏で観測されたCO₂濃度の季節変動を全球3次元輸送モデルでシミュレートされたCO₂濃度の変動と比較した。モデルは、大気境界層内においても自由対流圏においても季節変動の形を非常に良く再現しているとともに、総観規模の大気入れ替わりに伴うCO₂濃度の変動も観測と一致していた。NIESモデルによる計算では季節変動の振幅に1.9倍の違いがあったが、NICAMモデルの計算では振幅も含めて非常に良い一致を示した(図4)。以上のように本研究の目的の一つである炭素循環モデルの大気境界層輸送過程を、CO₂濃度の高頻度観測データを使って評価することが出来た。

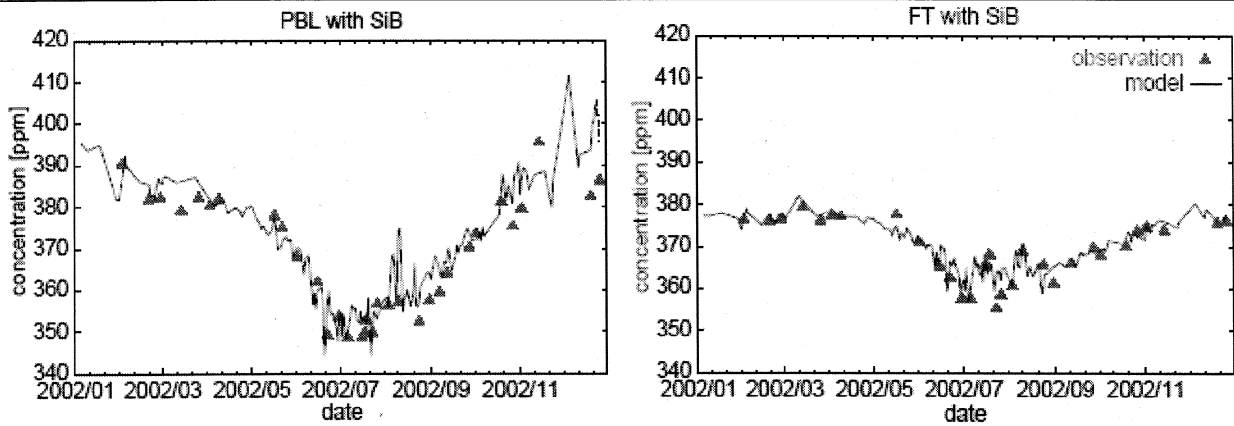


図4. NICAMモデルでシミュレートされた大気境界層内(PBL)と自由対流圏(FT)におけるCO₂濃度季節変動の観測との比較

大気境界層の構造および発達過程に伴うCO₂濃度変動の実態を詳細に調べるため、CO₂濃度鉛直プロファイル日変動のキャンペーン観測を行い、計17日間の日変動データの取得に成功した。大気境界層の構造およびCO₂濃度変化は、夏季晴天日であっても多様であり、主に4つのパターンに分類できることがわかった。その1例として大気境界層の発達と大気境界層内CO₂濃度の低下が見られたデータを図5に示す。大気境界層の濃度は日中低下するが、自由対流圏の濃度はバックグラウンドの大気を反映し一定である。そして、自由対流圏のCO₂濃度は大気境界層よりも高い。従ってこの場合は、自由対流圏から大気境界層内に取り込まれるCO₂よりも、地表面で吸収されるCO₂が多い。つまり、観測地域が大気CO₂のシンクとなっている。この例の他にも、日中の積雲発達と対流性降雨がある場合、降雨を伴わない積雲発達がある場合、高気圧性沈降流の影響がある場合といったパターンが観測された。

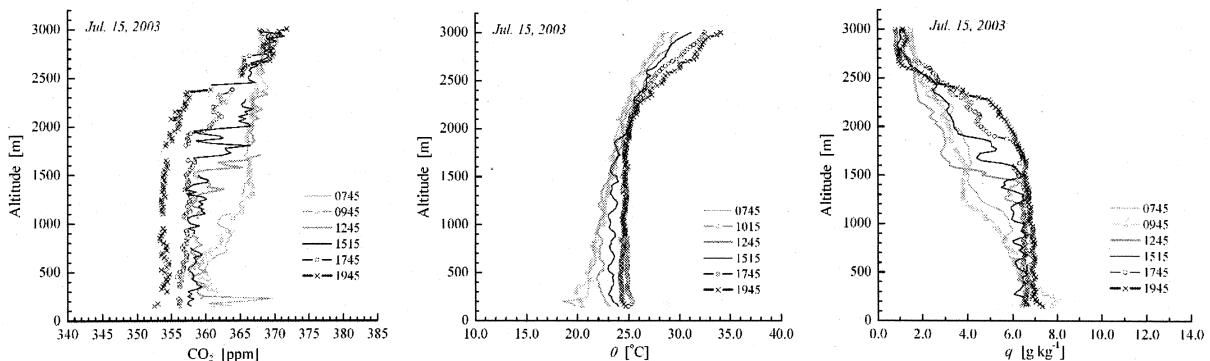


図5. CO₂、温位、比湿の鉛直分布日変動の結果

左図からCO₂、温位、比湿を示す。2003年7月15日の事例。

大気境界層の発達と大気境界層内でのCO₂濃度の低下が明確に見られる。

CO₂濃度鉛直プロファイル変化から地表面CO₂フラックスを算出した結果、大気境界層から雲層までを含めた大気柱の濃度変化を考慮することで、地表面フラックスの良い推定値が得られた。また、自由対流圏からの輸送量を大気境界層の発達によって取り込まれた量のみとして推定した値の評価から、雲層による大気境界層と自由対流圏の大気の混合を促進するプロセスの存在が明らかになった。

ヤクーツク上空で航空機により観測されたCO₂濃度とその炭素安定同位体比の関係から大気と陸域生態系のCO₂交換によって生じた正味の同位体効果(δ_{net})を2成分系単純混合モデルを用いて計算した。得られた δ_{net} の季節変動を図6に示す。 δ_{net} の変動には明らかな季節性があり、秋から春にかけての低温期には低い値をとり、夏季に高い値が出現することがわかる。高い δ_{net} が観察される期間は6月下旬から9月上旬となっており、この期間は、この地域の代表的植生である落葉性針葉樹林(カラマツ林)の着葉している期間に対応する。また、冬季の値が比較的小さなレンジに収まるのに比較して、夏季の値は大きな幅を持っている。これは、降水量の変動などによる水分条件の違いやフェノロジーに由来する陸域生態系の同位体分別係数の変動と、呼吸・光合成比の変動の両者が影響しているものと推定している。また、落葉後の10月以降は、 δ_{net} が連続的に低下していく傾向が観察された。この時期には、光合成の活性はないため、生態系からは呼吸による放出のみが起こ

っている。冬季に見られる値は生態系起源の炭素の同位体比に比べ明らかに低く、人為起源 CO_2 の影響があると推測される。

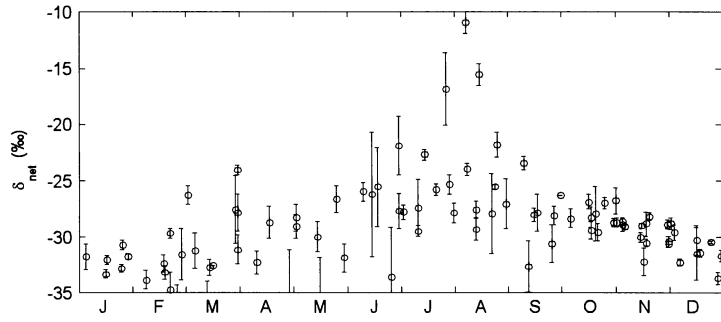


図6. ヤクーツク上空で観測された δ_{net} の季節変動

このような δ_{net} の時間的変動を長期間にわたって直接観測した例は極めてまれであり、この δ_{net} の値は将来的に大気輸送モデルに炭素安定同位体比の情報を利用する場合には、非常に重要な検証データになると期待できる。