

## 論文審査の結果の要旨

氏名 丹羽 洋介

本研究の目的は、地球温暖化の原因とされる二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の大気中動態を明らかにするため、物質輸送モデルを開発し、新たな観測データを取り込んだ亜大陸規模での収支計算や誤差評価を行うことである。特に、既存モデルよりも輸送再現性の良いモデルを開発し、それをを用いて今後利用拡大が見込まれる航空機や衛星からの観測データや、空白地域で新たに得られるデータを導入した場合のインパクトを評価することを目指したものである。

本論文は全8章からなる。第1章は序章であり、研究の背景と本研究の位置づけが述べられている。第2章にはモデル開発の概要が記述され、第3章でそのモデルの基本性能の評価が行われている。第4章では開発されたモデルを用いてCO<sub>2</sub>の発生量、吸収量の解析結果が示されている。第5章では空白地域の一つであるシベリアでの航空機観測データがCO<sub>2</sub>収支解析に及ぼす影響について述べられ、また、第6章では領域ごとの地表面CO<sub>2</sub>フラックスが上空濃度に及ぼす影響が議論されている。第7章では航空機観測データを用いた国内のモデル比較実験の結果が示されている。第8章はまとめである。

まず、モデル開発であるが、本研究では20面体格子大気大循環モデルNICAMをもとに、新たに物質輸送モデルを開発した（NICAM-CO<sub>2</sub>と呼ぶ）。NICAM-CO<sub>2</sub>は空気密度との整合性、容易な解像度可変性があるという利点を持ち、そこに高精度3次元移流スキームを新たに組み込むことにより、移流過程を高度化した。開発されたモデルについて、ラドン、六フッ化硫黄をトレーサとした輸送実験を行った結果、既存モデルよりも輸送過程が良いことを確認した。

インバージョン解析法は、CO<sub>2</sub>の大気中観測値とモデル計算値を用いて、地表面CO<sub>2</sub>フラックスを推定する手法であり、地域別フラックスの時空間変動が得られるという利点を持つ。NICAM-CO<sub>2</sub>を用いたインバージョン法でCO<sub>2</sub>観測の長期データを解析したところ、1991年～2006年の16年間の地域別の発生量、吸収量の時間変動を捕らえることができた。この結果は、国際的な研究コミュニティであるTransComの他のメンバーの中で中間的な値を示す結果であるものの、熱帯での発生量が多い一方、南半球海域で吸収が多いという新たな傾向を示すものとして注目されている。また、CO<sub>2</sub>の全球収支量としては、これまでインバージョン推定値で求められる値とIPCC-AR4などに報告されたボトムアップ推定値との間にギャップがあることが問題とされてきたが、NICAM-CO<sub>2</sub>の結果はIPCC-AR4の結果に近く、計算スキームの改善等でこの問題に決着を付けられる可能性を示すものとして注目されている。

NICAM-CO<sub>2</sub>とシベリア航空機データを用いた長期インバージョン解析を行ったところ、シベリア領域フラックスの季節変動、経年変動に対して、インバー

オンフラックスと植生モデルや衛星観測による見積もりとの間に類似性が見られるようになった。このことから、航空機観測データはインバージョンフラックス推定において有効な拘束条件を与えるものであることが示されたと言える。

さらに、得られたインバージョンフラックスを用いて”タグ付き”CO<sub>2</sub>輸送計算を行い、西太平洋対流圏上部のCO<sub>2</sub>濃度変動要因について解析を行った結果、今まで未解明であった南半球側の2周期の季節変動のメカニズムを明らかにすることができた。また、ENSOと関係した経年変動のアノマリーに対するフラックスの寄与を領域毎の起源に分けて評価し、さらに、それらが、ほぼ輸送過程の変動に影響されないことも明らかにした。このことは、対流圏上部のデータであってもフラックス推定に有効な情報をもたらす得ることを示したといえる。

論文提出者が国内の主要なモデルグループを統括して行ったCO<sub>2</sub>輸送比較実験においては、これまで航空機観測プロジェクトCONTRAILで得られた3次元CO<sub>2</sub>濃度分布との比較を行ってきた。その結果、モデル輸送だけではなく、設定されるフラックス値もCO<sub>2</sub>濃度の鉛直・水平勾配に対して影響を持つことが明らかになってきた。さらにNICAM-CO<sub>2</sub>を含む複数のモデルが地表面から対流圏下部/成層圏上部までのCO<sub>2</sub>濃度変動について、優れた再現性を持つものであることも示され、今後のモデルアンサンブル計算に向けてのモデル選択基準の確定に知見を与える重要な研究と位置づけられている。

上記のとおり、新スキームによるCO<sub>2</sub>輸送モデルの開発と、それを用いたインバージョン解析から得られた結果は、新スキームの有効性を示すと同時に、航空機や衛星観測など、今後大量に持ち込まれる3次元的なデータの有効性や空白域におけるデータの重要性を示すものである。また、各種CO<sub>2</sub>収支に関する知見は、同分野における今後の方向性を示す重要なものであり、その意義は大きく、博士論文に値するものであると考えられる。なお、本論文第3章から第10章に示された結果の一部は、今須良一氏他との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実施を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。よって、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できるものと認める。