

11. 研究成果の概要

1. 総括

雲を直接表現できない解像度を用いる全球モデルおよび気候モデルでは、雲のプロセスに関する不確定性の低減が気候予測の高精度化に不可欠である。この研究課題では雲に関する要素モデルを開発し、気候モデルの高精度化に寄与することが目標である。また、雲の物理プロセスは台風や集中豪雨などの極端現象において中心的役割を担うもので、自然災害の量的評価に重要である。この課題はまたそのような気候変動の影響評価へも雲解像モデルを用いて貢献することを目指している。

その目的のために本研究課題では、雲の物理プロセスの解明とそのモデル化を行う。具体的には次の4つの項目を中心に研究・開発を行う。(1) 雲解像モデルの雲物理プロセスを詳細に検討しモデルの高度化を行う。これにより雲の形成をはじめとして、豪雨や暴風、降雹などの激しい現象などの高精度な計算をめざす。(2) 雲を直接解像する実験を多数行い、衛星観測と組み合わせて雲パラメータのデータを整備する。特に雲形成による大気加熱などについて、統計的データセットを構築する。(3) 全球モデルの計算において、特に非静力学効果の顕著な雲の計算が必要なところに雲解像モデルを組み込むような、全球静力学 - 雲解像非静力学非斉一モデル結合の開発を行う。これにより部分的に雲のプロセスを直接計算することで、全球モデルの計算の高精度化をめざす。(4) 社会に大きなインパクトを与える台風について、現在気候と温暖化気候の全球モデル出力を用いて雲解像実験を行い、台風に伴う豪雨や強風について量的精度を検証する。さらに全球モデルの再現する台風について雲解像モデルとの比較・検証を行う。

平成19年度はまず雲解像モデル CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator)の雲物理過程と力学過程の改良を行い、それらについてテストを実施した。新しい計算プロセスを導入したコードを CReSS Ver.3 とし、これを革新プログラムで開発されたバージョンとして、研究期間内に発展させる予定である。

全球モデルのパラメータを改良する研究項目では、過去3年にわたって行ってきた、雲解像モデルを用いた毎日の予報実験の結果をさらに継続・発展させ、それらから得られた膨大なデータを解析した。これにより全球モデルのパラメータを検討した。また、予報実験の結果を衛星観測と比較・検証した。

全球静力学 - 雲解像非静力学非斉一モデル結合は、雲解像モデルとして CReSS を、全球モデルとして CCSR/NIES/FRCGC AGCM と AFES を用いる。これらを一方向または双方向に結合するために、モデルの改良を行った。CReSS の改良としては、矩形の計算領域をさらにタイル張りするように拡張することで、任意形状の領域の並列計算を可能にする方法(重並列化によるタイリング)を開発し、CReSS Ver.3 に導入した。これによりたとえば台風の経路に沿うような矩形でない領域の並列計算が可能となった。

全球モデル CCSR/NIES/FRCGC AGCM との結合は、環境省地球環境研究推進費 RF-061 (代表渡部雅浩)の研究をベースにしたもので、1格子点の双方向結合が実現しつつある。また、領域での結合を目指す AFES については効率のよい内挿法を開発した。

台風についての研究項目について、今年度は実際に観測された台風について、いくつかの顕著な事例を選び、雲解像モデルを用いて 1km 程度の解像度で実験を行い、台風の経路、中心気圧、降水量や風の強度について、CReSS がどの程度精度よく台風を再現するのかを検証した。

今年度の地球シミュレータの利用は、その多くを台風の実験と CReSS の重並列化の開発に費やした。利用は計画通り、ほぼ全ノード時間積を使用した。

今年度の計画については、モデルの開発、モデル利用、非斉一モデル結合、および台風の実験について、概ね計画通り進めることができた。いくつかの問題点や運営委員会で指摘いただいた計画の見直しを来年度以降の研究に反映させることで、当初の目標を達成できると考えられる。

2. 各研究項目の概要

a) 雲解像モデルの物理過程と力学過程の改良

雲物理過程は雲解像モデルの物理過程の最も重要な部分であるが、雲物理過程のより精度の高い計算のためには、混合比の他に数濃度を従属変数とする 2 モーメントのバルク法を用いることが必要である。より精度の高い雲物理過程にするために、固体降水だけではなく、雨水と雲水についても数濃度を従属変数とする全 2 モーメントに雲物理過程を改良した。ここでは雲水と雨水についての数濃度の時間発展方程式とそれらのソース項の定式化を行い、この全 2 モーメント雲物理過程を CReSS Ver.3 に導入した。

力学過程の改良では、より精度が高くかつ計算速度の速い力学過程として、セミ・ラグランジュ法を導入した。ここで補間に Cubic Lagrange (CUL) 補間法を用いる方法は、3 次精度のできる計算効率の高い方法の 1 つであり、移流原点を含む領域を補関数でカバーできれば CFL 条件に拘束されないことから大きな時間間隔を取ることが可能になる。

セミ・ラグランジュ法の 1 つである CUL 法を CReSS 力学過程の移流項へ導入することにより、高精度の計算が可能になるだけでなく、これまでよりも大きな時間間隔を取ることが可能になる。また、時間積分の際に過去の値を持つ必要がなくなり、これまでの 3 ステップの時間積分から 2 ステップへと変えることができる。さらに、フィルタリングの必要も無くなるため、CUL 法を導入した場合には全体で 3 次精度を保つことができる。この CUL 法を CReSS Ver.3 に導入し、そのテストを行った。

b) 雲解像モデルを用いた GCM の大規模凝結過程におけるパラメータの検討

雲解像モデル CReSS を用いたシミュレーション実験から得られるデータを利用して、全

球モデルの雲と大気境界層についてのパラメータを改良することが、この研究項目の目的である。雲解像モデル CReSS を用いた 4~5 km という粗い水平解像度のシミュレーション実験の結果と、1 km という細かい水平解像度の結果を用いて GCM の大規模凝結過程や雲物理過程におけるパラメータの検討を実施した。その前段階として、静止衛星の赤外輝度温度を用いて雲解像モデルを用いたシミュレーション実験で出力される雲頂高度の精度を検証する手法を検討した。シミュレーション実験の結果における雲頂高度は観測結果よりも全般的に高い傾向が見られるため、更なる解析と検討を行う必要があることが示された。

c) 全球静力学 - 雲解像非静力学非斉一モデル結合

地球大気は大域的にみるとほとんど水平の運動が卓越し、静力学近似がよく成り立っている。その中で、熱帯の対流域、台風や梅雨など活発な積乱雲が発達するところに非静力学的運動が起こっている。そこで全球の大域的な運動は静力学モデルで、一方、非静力学的運動が卓越する領域については雲解像モデルで計算するようなモデルを開発する。これは全球静力学モデルと非静力学雲解像モデルの結合という、異質の（非斉一の）モデル間結合である。これは利用の仕方によっては全球モデルの各格子点に存在する雲の効果のみを雲解像モデルで表現するような結合も行うことができる。

今年度はそのためのモデルの改良を重点的に行った。雲解像モデル CReSS については「重並列化」という新しい並列計算法を導入し、任意形状の領域の計算を行えるようにした。また、これを全球モデル CCSR/NIES/FRCGC AGCM と結合させる方法を開発した。また地球シミュレータ用の全球モデル AFES との結合のための内挿法を開発した。

d) 台風に関する全球モデル - 雲解像モデル比較検証実験

台風が温暖化に伴いどのように変化するのは、防災の面からも水資源の面からも社会的に大きなインパクトを与える問題である。解像度の高くなった全球モデルでは、台風そのものがシミュレーションされるようになってきたが、それに伴う降水や風速の強度を定量的に評価するためには雲解像モデルを用いたシミュレーションが不可欠である。この研究課題では、全球モデルのシミュレーションする台風の降水や風速について、それらの強度を、雲解像モデルを用いて検証することが目的である。本年度はその前段階として、雲解像モデル CReSS がどの程度実際の台風を精度よくシミュレーションできるのかを、観測データを用いて検証した。日本付近に接近した台風について、高解像度でシミュレーションを行い、台風の構造の再現性、台風の急発達再現性、台風に伴う降水と強風の再現性に着目して、観測データと比較した。特に、沖縄県南西諸島で実施された台風の特別観測で観測された台風 0712 号と 0715 号についてドップラーレーダーの結果と比較した。また、全球モデル AFES を用いた実験により、2004 年 10 月に観測された台風 T0423 (TOKAGE) の発生を含む初期の環境場について調べた。このシミュレーションでは、観測では詳細を知るのが困難な台風初期の発生・発達過程をその環境場も含め調べた。

3. 波及効果・発展方向・改善点等

本研究課題は雲の詳細なモデルを開発し、それによって全球モデルの高精度化へ貢献することが目標である。詳細な雲物理過程を開発し、それをさまざまな雲・降水システムについてテストすることで、モデルの雲物理過程の発展に寄与できる。また、雲のシミュレーションを行うことで、全球モデルのパラメータを改善していく。

本研究課題で中心となる雲解像モデル CReSS は、開発の早い段階から台風を主要な対象とし、これまでいくつもの台風のシミュレーションを行ってきた。このモデルを利用したさまざまな台風の研究は、全球モデルにおける台風についての不確定性軽減への寄与や、台風に伴う豪雨や強風の量的評価、さらに台風の発達やそれに伴う豪雨の形成メカニズムの解明など、さまざまな台風の研究が今後主要な項目となると考えている。

改善点としては他のチームとの研究協力をさらに進め、全球モデルの高精度化にどのような寄与ができるかを具体的にさらに検討する必要がある。

4. 研究成果の発表状況

a) 発表件数

論文発表	10件
口頭発表	12件

b) 広報活動

研究チームホームページ

http://www.rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/kakushin/index_kakushin_jpn.html

5. 共同研究の実施状況

a) 民間との共同研究

名古屋大学地球水循環研究センターでは、本研究課題と深い関係を持つ共同研究として、東京海上日動火災保険株式会社と台風を研究課題とした共同研究を実施している。また、雲解像モデルの開発およびレーダーデータ同化を研究課題として、東芝と中電シーティーアイとの共同研究を実施している。

b) 名古屋大学地球水循環研究センター大気圏水循環研究推進チーム(VL 推進室)

本研究課題の一部は地球水循環研究センター大気圏水循環研究推進チーム(VL 推進室)の研究者との共同研究として研究協力を受けている。