

研究課題名：湿潤惑星大気用数値モデル群の開発および基礎的実験

課題代表者：神戸大学大学院 理学研究科 林 祥介

共同研究者：北海道大学大学院 理学研究院 石渡正樹・小高正嗣・山下達也

九州大学大学院 理学研究院 中島健介

神戸大学大学院 理学研究科 高橋芳幸・納多哲史

情報通信研究機構 電磁波計測研究センター 森川靖大

実施年度：平成 21 年度～平成 21 年度

1. 研究目的

本研究の目的は、惑星大気も含めた湿潤大気の多様性の考察に適した数値モデル群の整備と、それを用いた基礎的数値実験の実行である。数値モデル群としては、全球大気モデルと対流モデルを中心に、さまざまな階層の気象学・地球流体力学モデルを一連のセットとして用意することを目指している。統一した入出力インターフェースと共通したコード書式を用いることによって、モデルの可読性を高め、モデル間の相互参照やモデルの変更が容易にできるようにする。モデルの改変を容易にすることを目的とした開発例としては、米国 GFDL の気候モデルの枠組である FMS があるが、ここでは、種々の階層の概念的モデルの延長上に全球モデルや対流モデルを位置づけ、地球流体力学的な考察に踏み込むための基盤としてのソフトウェアの構造を検討し、実装する。

基礎的数値実験としては、これらのソフトウェアを用いて、現在の地球的な設定を中心に火星や系外惑星的な設定をも含む湿潤惑星大気の循環構造のパラメータ依存性実験を行う。地球とは異なる条件も含めた多様な実験を行い、地球大気に関して得られてきた知見をテストし、あるいは、より広範なパラメータ空間への応用可能性を担保することを目指す。

2. 研究計画

数値モデル群の整備に関しては、これまでに我々が開発を行ってきた地球型惑星大気大循環モデル DCPAM および非静力学対流モデル deepconv においてモデルインターフェース、プログラム構造、ソースコードの書式の統一化を行う再構成を継続する。昨年度は DCPAM の再構成を実施したので、今年度は同じ設計方針で deepconv を再構成する。更に、同じ枠組みで軸対称 2 次元モデルの開発を行う。

DCPAM を用いた実装実験としては、地球と火星を覆うパラメータ（自転角速度・半径・重力定数・大気成分・太陽放射など）での数値計算実行能力の確保をめざす。地球的な条件で数値計算を行うために、地表

面プロセスのモジュールの整備を行い、それらを用いた予備的実験を実施する。また、昨年度に開始した同期回転惑星設定の数値実験を拡張し自転角速度に対する依存性を調査する。同期回転惑星とは公転周期と自転周期が等しい惑星であり、永続的な昼半球と夜半球を持つ。この調査により、海洋(液体の水)が存在する地球的な環境が実現される条件をパラメータの広範囲にわたって考察するための基礎的なデータを蓄積する。

deepconv を用いた実装実験としては、火星大気を想定した CO₂ を主成分とする大気中の対流に関する数値実験を行う。主成分が凝結する場合、湿潤対流が発生するためには高い過飽和度をもつ状態が生じる必要がある (Colaprete et al., 2003)。ここでは、過飽和状態も考慮した主成分凝結対流の数値実験を行い、湿潤対流の多様性に関する基礎知識を蓄積する。

3. 進捗状況

モデル整備に関しては、現在 deepconv の再構成作業を進めている段階にあり、今年度中に再構成作業を終了する予定である。DCPAM については、軸対称 2 次元モデルの開発に向けて、軸対称設定で使用する微分演算モジュールを開発した。また、地球条件および火星条件における数値実験を行うために必要となる地表面過程のモジュールの整備を行った。火星条件における数値実験の実行ならびに大気質量や大気組成を変更しての計算は今後実施する予定である。

DCPAM の実装実験として、同期回転惑星条件において自転角速度を地球の 2/3 倍にした計算を行った。昨年度は地球の自転角速度を与えた場合についての計算を行い、昼半球から夜半球への熱輸送は南北対称的に起こるという結果を得ていた。これに対して、自転角速度を 2/3 倍にした実験では、強い南北非対称性を示す結果が得られた(図 1)。今後も、南北非対称状態が得られる条件を特定するために自転角速度を変えたパラメータ実験を行うとともに、南北非対称性をもたらす力学過程を明らかにする解析を続行する予定である。

deepconv を用いた実装実験として、CO₂のみからなる大気中の対流に関する数値実験を行った。凝結が起り始める過飽和度を 1.35 とした場合とした場合について 40 日の積分を行った結果、ほぼ全領域に雲が広がる準平衡状態が得られた(図 2)。一方、過飽和を許容しないとした実験では、雲が全て消失した(図は示さない)。以上の結果は、主成分が凝結する大気では、許容される過飽和度に応じて雲分布および循環構造が大きく変わる可能性があることが示唆している。

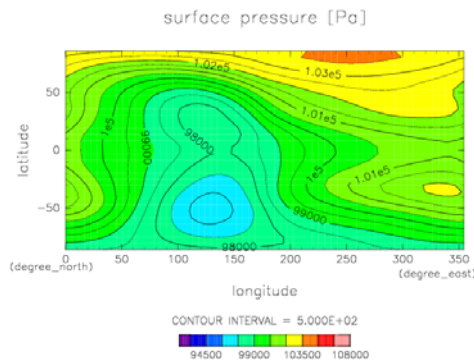


図 1 同期回転惑星設定で得られた表面気圧分布 [hPa]。丸自転角速度として地球の 2/3 倍の値を与えた場合。1000 日から 2000 日の時間平均を示す。

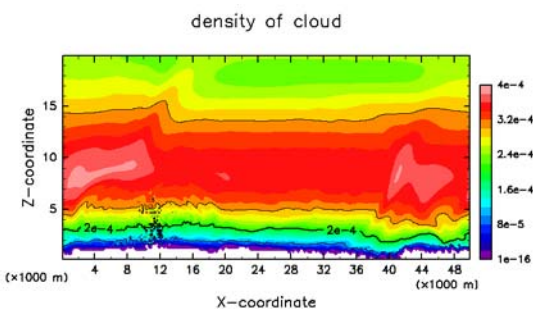


図 2 主成分凝結する大気における対流の計算結果。40 日積分における最後の氷雲密度分布を示す。

4. 今後の計画

湿潤惑星大気の循環構造に関する広汎なパラメータ依存性の調査を行うために、自転角速度、惑星半径、太陽定数などを変化させたパラメータ変化実験の実施を予定している。地球的な条件、火星的な条件、同期回転惑星条件をカバーするパラメータ空間における湿潤大気の熱構造と循環構造の多様性を掌握するべく、その計算可能性を探索する。加えて、DCPAM と deepconv の両モデルを用いて数値計算を実行し、全球スケールから雲対流スケールに至る比較考察を試みる。その対象としては、主成分凝結大気あるいは暴走温室状態 (Ishiwatari et al., 2002) などの、凝結性成分が多量に存在する湿潤大気を予定している。

5. 計算機資源の利用状況 (2009 年 4 月～9 月)

実行ユーザー数: 8 CPU 時間 1 ノード未満: 600 hours, 1 ノード: 0 hour, 2 ノード: 0 hour, 計: 600 hours

6. 昨年度研究課題のまとめ

6.1. 昨年度研究課題名

湿潤惑星大気用数値モデル群の開発および基礎的実験

6.2. 昨年度研究課題の目的

「1. 研究目的」で述べた、多様な湿潤大気の考察に適した数値モデル群の整備・基礎的数値実験の実行を目指して、これまでの林および中島の 2 課題においてそれぞれ開発されてきた全球モデルと対流モデルをモデル群の中心に据えたモデル群の整備を開始する。モデル整備としては、両モデルのモデルインターフェース、プログラム構造、ソースコードの書式の統一化を行うための再設計および再構成を行う。

数値モデル群の実装実験としては、現在の地球的な設定、火星や系外惑星的な設定をも含む湿潤惑星大気の循環構造のパラメータ依存性実験に進むための実験を開始する。地球とは異なる火星あるいは系外惑星的な状況における数値計算から開始し、湿潤対流の多様性に関する知識を蓄積する。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

DCPAM と deepconv においてプログラム構造の統一化を進めるために、入出力インターフェースの改良とメインプログラム構造の設計を見直した。入出力インターフェースに関しては、簡素な入出力インターフェースを持つ階層的数値モデル群のための Fortran 90/95 ライブラリ gtool5 を開発し、公開した (<http://dennou-k.gfd-dennou.org/library/gtool/gtool5.htm>)。DCPAM と deepconv のプログラム構造に関しては、gtool5 を活用した形で構造と書式をそろえるべく両モデルの再設計をおこなった。その設計方針に基づき、DCPAM の再構成を行った。

DCPAM の実装実験としては、同期回転惑星の数値計算を開始した。地球と同じ自転角速度をもつ同期回転惑星では、赤道域においては赤道波に、中緯度域においては傾圧不安定擾乱に伴う東西熱輸送が起こることが示された。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザー数: 6 CPU 時間 1 ノード未満: 346 hours, 1 ノード: 0 hour, 2 ノード: 0 hour, 計: 346 hours