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：神戸大学大学院理学研究科　高橋芳幸・森川靖大
北海道大学大学院理学研究院　石渡正樹・小高正嗣
九州大学大学院理学研究院　中島健介
実施年度：平成 20 年度～平成 20 年度

1. 研究目的

本研究の目的は、惑星大気も含めた多様な湿潤大気の考察に適した数値モデル群の整備と、それらを用いた基礎的数値実験の実行である。多様な湿潤過程を想定したパラメータスタディを実行することにより湿潤大気構造に内在する普遍的な力学的構造を明らかにし、その上に地球の大気の構造を位置付、あるいはその特殊性を明らかにすることを目指す。整備されるべき数値モデルの姿は、このような目的にふさわしい、パラメータの変更や物理過程の交換を容易に実現できるソフトウェア的構造を持ったモデル群である。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、更に軸対称 2 次元モデルや鉛直 1 次元放射対流モデルなどの縮小モデルを加えた様々な階層のモデル群を同じソフトウェアの枠組みで開発・整備する。統合的なモデルフレームワークを指向した海外のモデル開発の例としては GFDLの気候モデルの枠組であるFMSがある(http://fms.gfdl.noaa.gov/)が、これは複雑なサブシステムの集積によって構成される気候モデルの開発を効率よく行うためのソフトウェア構造であった。これに対する我々の試みの独自性は、気候システムの構造的理解により便利なソフトウェア構造の検討に取り組むことであり、それにより種々の階層の簡単概念モデルの結果と上位のモデルで得られる循環構造との比較を実現し、計算結果に対する力学的因果律の記述を明解に示すことを目指すところにある。

2. 研究計画

モデル整備として、これまでに開発を行ってきた球面 3 次元プリミティブモデルDCPAMと非静力学対流モデルdeepconvにおいてデータ入出力インターフェース、プログラム構造、ソースコードの書式の統一化を進める。これを通じて、物理過程（乱流拡散過程、放射過程、湿潤物質の凝結過程など）の数値スキームの交換・脱着が容易であり、かつ全球モデルでも雲解像モデルでも同一の数値スキームが利用可能となるプログラム構造を模索する。

実装実験としては、現在の地球的な設定を中心に、過去を含む地球型惑星の設定や、系外惑星として想定される設定を含む湿潤惑星大気のパラメータ依存実験を行う。太陽放射分布などの外的条件や大気成分を変化させた数値計算を行い、広いパラメータ空間における湿潤大気の振る舞いを調査することを目指す。

3. 進捗状況

DCPAMとdeepconvにおいてデータ入出力インターフェースとプログラムの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の構造の設計の見直しを行った。入出力インターフェースに関しては、我々が開発したデータ入出力ライブラリgt4f90ioを更に改良し、より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）。プログラム構造に関しては、DCPAMとdeepconvのメインプログラムを、gtool5 を活用した形で構造と書式をそろえるべく再設計をおこなった。この設計に基づき、DCPAMとdeepconvのメインプログラムの再構成を行っている段階である。

DCPAMの実装実験としては、これまで行ってきた地球状況での水惑星実験によるモデルの検証を行うとともに、系外惑星的な状況を想定した同期回転惑星の計算を開始した。同期回転惑星とは恒星のごく近傍に存在し公転周期と自転周期が等しい惑星である。そのような惑星は永続的な昼半球と夜半球を持つ。我々が行って来た予備的な実験によれば、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（図 1）。今後は、DCPAMを用いた自転角速度変化実験を行い、熱輸送形態の依存性を調査する予定である。

4. 今後の計画

実装実験として、湿潤惑星大気の循環構造に関するより広汎なパラメータ依存性実験を予定している。地球条件においては、懸案となっているAPE（国際水惑星比較実験）の最終報告に貢献するべく実験結果の確

認のための検証実験を行う。より広範なパラメータ実験としては、自転角速度、惑星半径、太陽定数などの外部パラメータを変化させ、湿潤大気の振る舞いを調査することを目指す。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考察を試みる。地球的な設定と外惑星的な設定のいわば両極端ともいえる状況を考えることにより、モデル設定や物理過程の変更のしやすさのテストを行なうと同時に、地球から惑星大気に至るパラメータ空間における湿潤大気の振る舞いを調べる予定である。

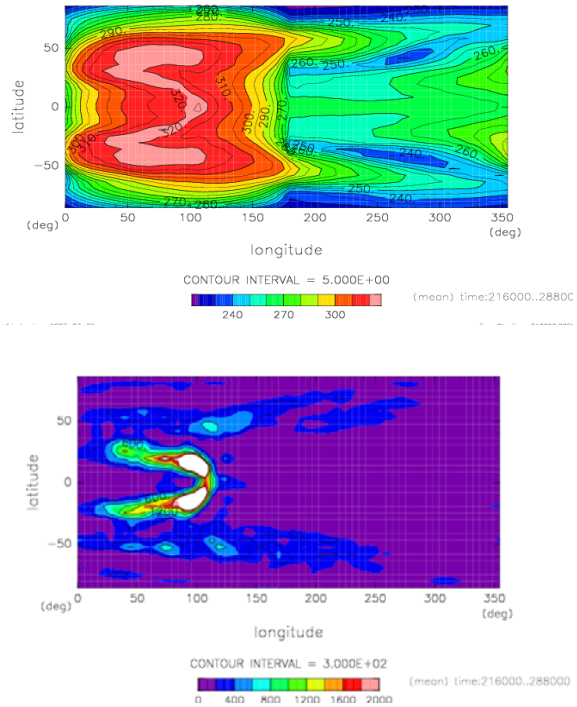

図 1　西半球を永続的な昼とした同期回転惑星の表面温度（上図）と凝結加熱率（下図）。横軸は経度、縦軸は緯度である。上図の単位は [K], 等値線間隔は 5K である。下図の単位は [W/m^2], 等値線間隔は 200 W/m^2 である。下図では 2000 W/m^2 以上の等値線は示していない。これまでに我々が使用して来た 3 次元プリミティブモデル（地球流体電脳倶楽部 AGCM5）を用いて得られた計算結果の 150 日から 200 日までの時間平均を示す。

5.　計算機資源の利用状況（2008 年 4 月から 10 月まで）

実行ユーザ数：6　CPU時間 1 ノード未満：8 hours, 1 ノード：0 hour, 2 ノード：0 hour, 計 8 hours

6.　昨年度研究課題のまとめ

6.1. 昨年度研究課題名

大気大循環モデルに見られる赤道域降水活動の表現の多様性に関する研究

6.2. 昨年度研究課題の目的

昨年度研究課題の目的は、物理過程を簡略化した大気大循環モデル（GCM）を用いた水惑星実験を通して、GCMで表現される熱帯降水構造の振舞の多様性を掌握し、GCMに組み込まれるべき物理過程の表現方法に関する知見を得ることにある。また、そのような研究に供されるGCMとして、パラメータの変更や物理過程の交換が容易に実現可能な大気大循環モデルの設計と実装を進めることにある。昨年度は、地球の熱帯降水構造の多様性を考察する観点から、GCMの物理過程変更実験とモデルの設計を行ったものである。本年度の研究目的は、更に惑星大気にまで広げた視点のもとで、階層モデルの姿を模索するものである。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

簡単な放射過程と水文過程を持つ球面 3 次元プリミティブ方程式系に基づく地球流体電脳倶楽部版 AGCM5（Hayashi et al., 2005）を用いて、水蒸気の鉛直拡散係数の大きさを変化させた実験を行った。その結果、西進構造の発現は水蒸気の拡散係数の大きさを増加させると弱くなること、東進構造は水蒸気拡散係数の大きさには大きな依存性を持たないことが示された。残念ながら、東進構造の発生数を規定する過程を特定するには至らなかった。東進降水構造の数および広がりを掌握するためには、放射冷却率、鉛直拡散係数、地表面フラックスを制御した更に多数の数値実験を行う必要があると思われる。このような数値実験を行う際にパラメータの変更や物理過程の交換が容易となるように、今年度以降もDCPAMの設計と実装作業にも反映させていく予定である。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数：5　CPU時間 1 ノード未満：1,819 hours, 1 ノード：596 hours, 2 ノード：0 hour, 計 2,415 hours