

研究課題名：系外惑星大気シミュレーションモデルの開発： ダスト過程の実装と火星大気実験

課題代表者：北海道大学大学院理学研究院 石渡正樹
共同研究者：神戸大学大学院理学研究科 林 祥介
九州大学大学院理学研究院 中島健介

実施年度：平成 24 年度～平成 24 年度

1. 研究目的

ここ数年の系外惑星観測で複数の地球型惑星が発見され、系外惑星の気候推定が盛んにおこなわれるようになった。我々の研究グループも、科学研究費・新学術研究領域の計画研究「系外惑星大気の数値モデリングと形成進化理論」に参加し、数値モデルを用いた系外惑星気候の多様性の探索をおこなう計画を進めている。これまで、我々は、ごく単純化された物理過程を持つモデルを用いた外部パラメータ変更実験を行い、多様な仮想惑星との比較を通じて地球気候を記述することをめざす活動をおこなってきた(林他, 2011 など、これまでの申請課題)。これに対して、系外惑星の観測からは様々な情報が得られつつあり、惑星の気候に関してより高精度な結果が求められる状況になってきた。これに対応するべく、我々がこれまでに開発・使用してきた数値モデル群の物理過程を強化し、より現実的な惑星を想定した数値計算の実行をめざすことにした。惑星大気モデルの物理過程の開発では、観測可能な太陽系内の惑星を参照点とした物理過程のスキーム改良やパラメータチューニングも必要となる。このため、系外惑星を想定した数値計算だけではなく、太陽系内の各惑星に固有な物理過程が実装されたシミュレーションモデルを用いた観測結果との比較計算もおこなっていかねばならない。特に、火星に関しては、日本による探査計画 (MELOS) が進められており、火星シミュレーションモデルの整備は喫緊の課題となっている。

本申請課題では、火星大気の状態および気象現象を再現できる火星モデルの構築をめざし、火星大気に固有な物理過程の強化およびそれらの実装実験を行うものとする。これまでも、我々は火星大気大循環モデルの開発、CO₂ 大気の大気対流計算をおこなってきた。しかし、ダスト過程など火星に固有な物理過程が未実装あるいは不十分な状態であり、現実の火星大気で得られた観測結果と比較しうる数値実験をおこなえる段階には到達していなかった。ここでは、ダスト過程を実装し、火星気象現象の代表例であるダストストームに関する数値実験を実施することを目的とする。

2. 研究計画

火星のダスト過程を大気大循環モデル dcnam (高橋ら, 2012) に実装する。ダスト過程として考えるものは、地上からのダストの巻き上げ (モデルで表現される風場による巻き上げとサブグリッドスケールのローカルダストストームによる巻き上げの 2 種)、大気中におけるダストの輸送、ダストの沈降である。実装するダスト過程を用いた実装実験結果と現実の火星における背景ダスト分布などの観測結果との比較を通じて、ダスト過程の改良を進める予定である。

3. 進捗状況

これまでに、モデルで表現される風場によるダスト巻き上げを表現する 1 つのパラメタリゼーションスキームである KMH スキーム (Kahre et al., 2006) の実装を行った。現在は、火星探査機マーズグローバルサーベイヤーによって得られたダスト鉛直分布を放射スキームに与えた低分解能 (T21L22) 計算を行っている。まだ、ダストの輸送(移流)は考慮しておらず、火星の平均的な大気構造が得られる状況において巻き上げられるダスト量を診断している段階である。5 年程度の積分を行った予備的な結果として、夏から秋にかけて北緯 60 度付近の領域でダストフラックスが増加するというものが得られているが、観測結果を用いた比較検討はこれからの課題である。

4. 今後の計画

まずは、実装した KMH スキームの振舞いを把握することを優先する。放射計算に与えるダスト分布や地形分布を変更した場合について、上記と同様のダストフラックス診断計算を行い、ダストフラックスの値がどのように変化するかを調べる。その後、ローカルダストストームによる巻き上げや大気中のダスト輸送など他の過程の実装に進む予定である。

5. 計算機資源の利用状況 (2012 年 4 月～9 月)

実行ユーザ数: 3 CPU 時間 1 ノード未満: 411 hours,
1 ノード: 0 hour, 2 ノード: 0 hour, 計: 411 hours

6. 昨年度研究課題のまとめ

6.1. 昨年度研究課題名

非静力対流モデルを用いた湿潤大気構造の太陽定数依存性に関するパラメータ実験(代表: 神戸大学大学院理学研究科 林祥介)

6.2. 昨年度研究課題の目的

昨年度課題では、地球設定から暴走温室状態までに至る広い範囲での湿潤対流大気構造の多様性の探索を目的として、雲と放射の相互作用の効果も考慮した雲対流モデルによるパラメータ実験の実施をめざした。昨年度以前までに我々が行ってきたパラメータ実験では放射過程は簡略化したもののみを用いており、昨年度課題は、この制限を取り払うための最初の試みとして実施したものであった。しかし、以下に述べるように、モデルにおける質量保存性が大幅に損なわれているという問題点が顕在化したため、後半においては、モデルチェック作業および長時間積分を可能とするための方策の検討が主たる研究内容となった。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

雲対流モデル deepconv/arare (杉山ら, 2009)に Chou and Lee (1996) と Chou et al. (2001) に基づく地球用放射スキームを導入し、水蒸気、CO₂、O₃、雲による吸収を考慮するようにした。短波放射計算では地球赤道域を想定した短波フラックスを与えた。下部境界では一様一定の海面温度 (302K) を与えた。計算領域は水平 512 km、鉛直 30 km の 2 次元矩形領域である。格子間隔は水平方向には 1km、鉛直方向には 300m とした。Kessler (1969)のパラメタリゼーションにおいて、

雲水から雨水へ変換が起こる雲水質量密度の閾値として、標準値である 10⁻³ g/m³を用いた場合 (閾値あり実験)と 0 とした場合(閾値無し実験)の計算を行った。

80 日の積分の結果、両実験で地表面気圧の領域平均値が時間とともに減少し続け、質量保存性が破れていることがわかった。閾値無し実験の場合、計算開始からの気圧の減少は 8%以上(相対値)に達した。本モデルで用いている準圧縮方程式系の導出過程に立ち返り検討したところ、圧力方程式を簡略化する際に、落したいくつかの項が、実際には無視できない大きさになっている可能性があることがわかった。今後は、圧力方程式で無視した項の大きさを求め、それが気圧減少を説明するか否かを確認し、この問題の解決策を探ることとした。これは平成 23 年度中に終了しておらず現在も検討を継続している。

上記実験で現れたたもう一つの課題は、雲粒から雨粒へ変換が起こる雲水混合比の閾値の重要性である。閾値有り実験では対流圏上部が継続的に雲に覆われたのに対して、閾値無し実験では対流雲は短い時間限って存在した (図)。変換閾値の設定によっては全域が曇るということは Held et al.(1993) でも指摘されている。この問題の掌握のためのパラメータ実験の実施、及び、より進んだ微物理パラメタリゼーションの実装には、質量保存性の問題の解決後に進む予定である。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 8 CPU 時間 1 ノード未満: 2,360 hours, 1 ノード: 0 hour, 2 ノード: 0 hour, 計: 2,360 hours

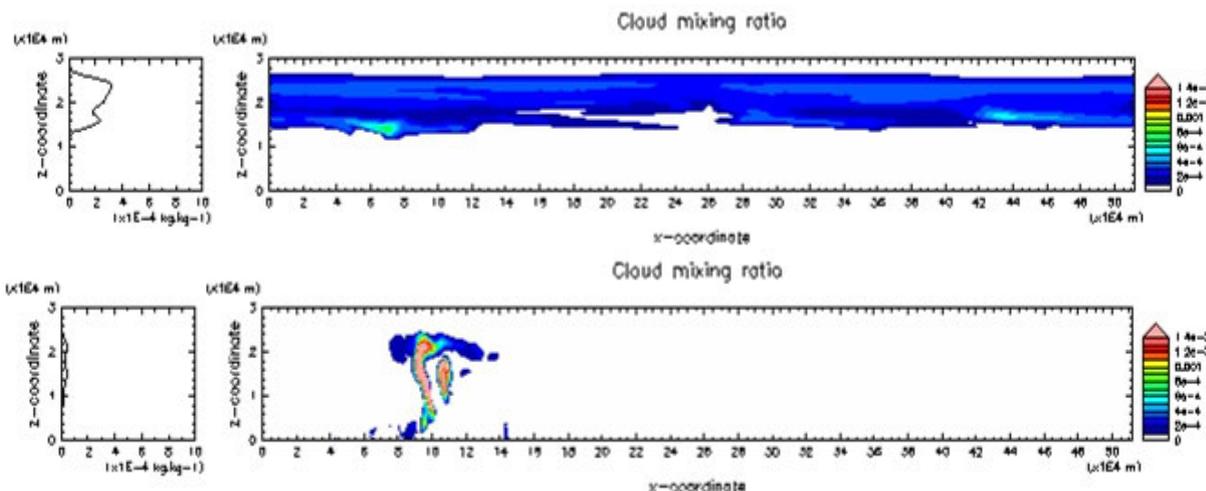


図 雲水混合比 [Kg/Kg] のスナップショット。右側の図は雲水混合比の水平分布、左側の図は雲水混合比の水平平均の鉛直分布を示す。43 日目の結果を示す。(上図) 閾値あり実験の結果、(下図) 閾値なし実験の結果。