

惑星大気大循環モデルの構築 – 鉛直一次元設定での数値実験

* 高橋芳幸 (神戸大院理), 荻原弘堯 (北大院理), 西澤誠也 (理研 AICS),
原旅人 (気象庁), 石渡正樹 (北大院理), 林祥介 (神戸大院理)

はじめに

太陽系内外の惑星の多様な循環構造および表層環境の維持機構を理解することを目指して、地球を含めて様々な惑星大気の数値実験を行うことができる惑星大気大循環モデル, DCPAM (<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>), の構築に取り組んでいる。このモデルを用いてこれまでに、地球、火星のシミュレーション, Yamamoto and Takahashi (2003) と同様の簡単な強制を与えた金星の計算, Schneider and Liu (2009) や Lian and Showman (2010) に倣った木星の計算を実施してきた。また、太陽系外惑星を想定して、惑星の公転と自転が同期した惑星の計算にも用いてきた (納多, 2014; 石渡 他, 本講演会)。

本発表では、このような惑星大気の計算の一部として用いて実施してきた、鉛直一次元実験 (SCM (Single Column Model) 実験) でのいくつかの実験について報告する。このような実験は、構築したモデルの各種パラメタリゼーションが適切に実装されていることの確認や、その実装されたパラメタリゼーションの性質の確認に有用である。また、主に地球の条件を想定して定式化されたパラメタリゼーションが地球と異なる惑星条件下でどのように振る舞うのかを調べるためにも有用であり、結果として、三次元モデルで表現される様々な現象の物理機構の理解のためにも有益である。

なお、本研究は、理研 AICS のグループを中心に気象庁のグループとも協力して進めている共通物理過程ライブラリの構築の試みの一環として進めている。

モデル

DCPAM は、地球流体電脳倶楽部有志で構築を進めている惑星大気大循環モデルである。このモデルは、プリミティブ方程式をスペクトル変換法で解く力学過程と、放射過程、乱流混合過程、凝結過程、簡単な雲モデル、そして土壌熱伝導モデルとバケツモデルによる陸面モデルといった物理過程を組み合わせたものである。

また、本モデルの構築では、コードをほとんど変更することなく、軸対称二次元計算および鉛直一次元計算が可能となることを目指している。実際に、コードのコンパイル時のオプションによって軸対称二次元計算が可能であり、また、実行時の設定ファイルにおいてモデルの水平格子点数を 1 にすることで、三次元モデルのあるカラムが取り出されたような鉛直一次元実験が可能である。(ただし、鉛直一次元設定のため、水平移

流の効果は表現されず、鉛直移流の効果の表現のためには適切な鉛直風を設定する必要がある。また、もちろん、強制はそれぞれの実験に合わせて与える必要がある。)

鉛直一次元実験

本研究では、DCPAM に実装したパラメタリゼーションの確認を目的として、次の 4 つの鉛直一次元実験を行った: (1) ICRCCM 長波放射実験 (InterComparison of Radiation Codes in Climate Models; Ellingson et al., 1991), (2) GABLS2 (GEWEX Atmospheric Boundary Layer Study 2; Svensson et al., 2011) 実験, (3) TWP-ICE (Tropical Warm Pool International Cloud Experiment) SCM 実験 (Davies et al., 2013), (4) 火星境界層実験。ここでは、3, 4 の実験結果について簡単に述べる。

TWP-ICE SCM 実験では、観測に基づく強制の下での放射過程、乱流過程、凝結過程の応答を調べる。今回の実験では、積雲過程、非対流性凝結過程、乱流過程にそれぞれ Relaxed Arakawa-Schubert スキーム (Moorthi and Suarez, 1992), Le Treut and Li (1991) の方法, Mellor and Yamada (1982) level 2.5 を用いた。実験の初期結果は、降水量の時間変化が大まかには他の SCM の結果 (Davies et al., 2013) と整合的であることを示していた。しかしながら、DCPAM で得られた相対湿度は、対流圏上層において他のモデルよりも大きい傾向も見られた。今後この差が有意かどうか、および原因について調べていく予定である。

火星実験は、大規模圧力傾度力の強制の下でモデルの放射過程、乱流過程によって形成される火星の大気境界層の構造を調べる。今回の実験では、乱流過程には、TWP-ICE 実験と同じく、Mellor and Yamada (1982) level 2.5 を用いた。実験の結果得られた境界層の高さや温度の日変化は、二次元、三次元の対流解像モデル (e.g., Odaka, 2001) によって表現されてきたものとおおよそ整合的である。例えば、境界層の高さは、例えば火星において典型的なダストの量の場合に、地球よりも高く 5 km 程度となる。これまでにこの火星の鉛直一次元実験は、火星におけるダスト循環を計算する目的で実装中のダストデビルによるダスト巻き上げパラメタリゼーションの振る舞いを理解するためにも用いており、今後、他の惑星の計算に向けた基礎実験などにもこのような鉛直一次元実験を利用していく予定である。