

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

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：九州大学大学院理学研究院 中島健介
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
北海道大学低温科学研究所 杉山耕一朗
神戸大学大学院理学研究科 高橋芳幸・西澤誠也・納多哲史
実施年度：平成 23 年度～平成 23 年度

1. 研究目的

本課題の研究目標は、惑星大気を含む様々な状況における数値計算を通じて大気循環の多様性を探索し地球を含む湿潤大気構造に関する地球流体力学的考察を行うことである。このような研究目標のもとに、我々は大気大循環モデル (GCM) と非静力学対流モデルを中心としたモデル群の開発およびそれらを用いた基礎的実験を実施してきた。基礎的実験の主たるものは、水惑星設定における大気構造の太陽定数・日射分布依存性実験 (Ishiwatari et al., 2007; 納多他, 2011)、火星大気を念頭に置いた主成分凝結対流実験であった (林他, 2010, スーパーコンピュータ利用年報)。しかし、これまでの基礎的実験では、放射過程として灰色放射あるいは一様冷却層など簡略化したもののみを用いており、雲と放射の相互作用は全く考慮していなかった。

本年度は、雲と放射の相互作用の効果も考慮したもとの湿潤大気放射対流平衡状態の多様性探索に向けた実験を行う。雲による放射吸収を考慮して放射対流平衡状態を求める試みは、既に Held and Hemler (1993) や Tompkins and Craig (1998) などにより行われてはいる。これらはいずれも地球的な状況を想定した数値計算を行ったものである。これに対して、我々は、地球条件に留まらず、暴走温室状態など仮想的な設定におけるパラメータ実験を通じて放射対流平衡状態の多様性を探索することを目指している。

本課題では、複数の吸収気体と雲粒による吸収散乱を考慮した、現実の地球の放射過程に近づけた放射スキームを非静力学対流モデルに導入する。現在の地球の太陽定数の値を用いた実装実験をおこなった後に、様々な太陽定数を与えた実験をおこない大気構造の太陽定数依存性を調査する。

2. 研究計画

昨年度課題で整備・実装実験を行った非静力学対流モデル `deepconv` に Chou et al. (1998) 及び Chou et al. (2001) に基づく放射スキームを導入する。`deepconv` の基礎方程式は Klemp and Wilhelmson (1978) に基づく

準圧縮系方程式である。導入する放射スキームは、我々の大気大循環モデル `dcpam5` に実装されているものであり、短波 11 バンド、長波 10 バンドを用いて、水蒸気、 CO_2 、 O_3 、雲による吸収を考慮する。

上記モデルの実装実験として、2 次元領域において現在の地球の太陽定数を与えた場合について以下の 2 種の比較実験をおこなう。1 つは、放射スキームを用いて陽に冷却率を計算する場合と、冷却率鉛直分布を固定した場合 (Nakajima and Matsuno, 1988 など) との比較実験である。もう 1 つは、雲による放射吸収の効果がある場合と、雲の光学的厚さを強制的にゼロとして雲による放射吸収の効果無くした場合との比較実験である。計算領域の大きさは、鉛直方向に 30km、水平方向には 500km から 4,000km とする。これらの実装実験によりモデルの振舞いを掌握した後に、様々な太陽定数の値を与えた場合についての数値実験に進む。

3. 進捗状況

これまでに、2 節で述べた放射スキームの `deepconv` への実装までをおこない、同一放射スキームを用いた GCM と非静力学対流モデルの比較実験に向けてのモデル整備を進めることはできた。しかし、放射スキームの実装作業において `deepconv` の力学コアに新たに発見された不具合に対処する必要があったことなどにより、本格的な数値実験を開始するには至っていない。

4. 今後の計画

2 節で記述した実装実験を実施し、雲と放射の相互作用を考慮した場合に Nakajima and Matsuno (1988) と同様の結果が得られるかどうかを確認する。水平方向 500km の小領域実験から開始し、順次領域を広げた実験をおこなっていく。

5. 計算機資源の利用状況

実行ユーザ数：9, CPU 時間 1 ノード未満: 1,577 hours, 1 ノード: 0 hour, 2 ノード: 0 hour, 計: 1,577 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

惑星気候の多様性を探索する調査として、同期回転惑星の全球循環と凝結性成分を主成分とする大気中の雲対流に関する数値実験を行った。同期回転惑星とは自転周期と公転周期が等しい惑星であり、系外惑星の 1 つの姿であると考えられている。ここでは、昼半球と夜半球が恒常的に存在する水惑星 GCM を用いた数値実験を行った。一方、凝結性成分を主成分とする大気中の雲対流は、火星における雲対流を念頭においたものである。非静力対流モデルを用いた数値実験により、二酸化炭素のみから成る大気における循環構造および雲分布を求めた。

6.3. 昨年度研究課題の成果概要

GCM を用いた同期回転設定における数値実験に関しては、一昨年末までは、T21 の低解像度モデルを用いた自転角速度依存性の調査に留まっていた。昨年度は T85 から T319 までの高解像度実験を行い、分解能依存性の調査を行った。その結果、表面温度分布も降水分布もともに解像度によらず同じパターンを示した(図 1 には表面温度分布のみを示す)。モデルにおける小スケールの混合過程の詳細は、同期回転水惑星設定における気候学的状態に対して大きな影響をもっていないという結果となった。雲の存在しない簡単な設定での探索的計算は昨年度でおおむね完了したものととして、本年度より雲の放射吸収の効果を考慮した数値実験へと移行している。

非静力学対流モデルを用いた主成分凝対流実験に関しては、一昨年末までは統計的平衡状態を得ることができないでいた。昨年度はその原因となっていたモデルコードの不具合を修正した上で再計算をおこなった。水平 50 km、鉛直 20km の 2 次元矩形領域において飽和に達すると凝結が起こると仮定した場合について統計的平衡状態を得ることができた。得られた平衡状態では、高度 7km 以下の下層に乾燥領域、7km 以上の領域ではほぼ水平一様な雲層が形成された(図 2a)。しかし、乾燥領域と雲層で循環は分割されずに 1 セルの循環構造が得られた(図 2b)。

6.4. 昨年度計算機資源の利用状況

実行ユーザ数:7, CPU 時間 1 ノード未満: 945 hours, 1 ノード: 2,167 hours, 2 ノード: 153 hours, 計: 3,265 hours

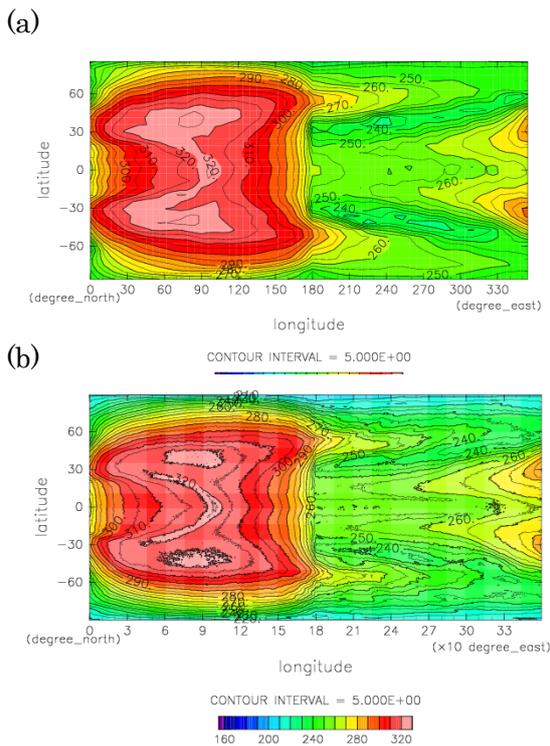


図 1 同期回転惑星設定における GCM 計算で得られた表面温度分布。(a) T21 の場合。(b) T319 の場合。等値線間隔は 5 [K]。

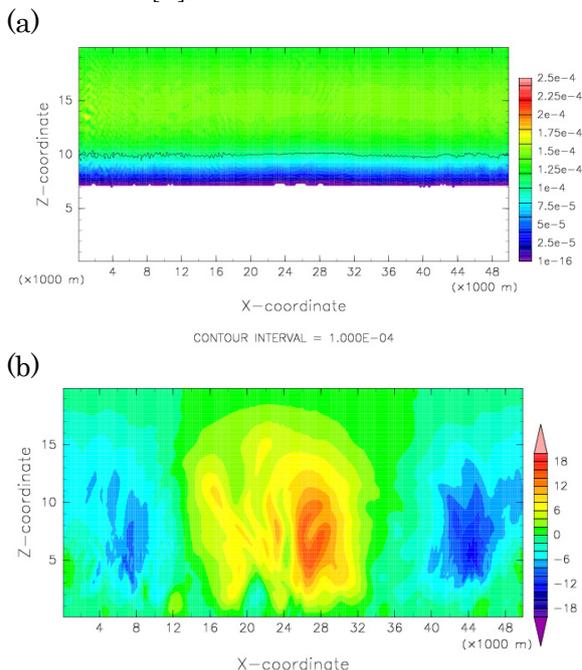


図 2 主成分凝結対流計算の結果。(a) 雲密度。単位は $[Kg\ m^{-3}]$ 。(b) 鉛直速度。単位は $[m\ sec^{-1}]$ 。いずれも 4 日目のスナップショットを示す。