

AFES を用いた火星・金星大気の高解像度大循環シミュレーション

林 祥介 (神戸大学 大学院理学研究科)

1. はじめに

火星や金星の大気大循環は探査や数値計算によって様々に調べられてきたが、火星大気中に常に浮遊するダストの存在や惑星規模ダストストームの発生、金星大気のスーパーローテーションといった、地球では見られない現象の発生機構の理解は十分ではない。このことは、その背景にある大気擾乱の記載と構造の理解の不十分さを反映しているだろう。そこで本課題では地球型惑星大気大循環モデルとして拡張してきた AFES を用い、地球と同じ力学的枠組みで火星と金星の大気循環・擾乱を調査・記述することを目指す。

2. モデル

本課題で用いるモデルは、地球シミュレータ上で高速に実行できるように最適化されてきた大気大循環モデル AFES (AGCM (Atmospheric General Circulation Model) for the Earth Simulator) (Ohfuchi et al., 2004) を基に、金星大気と火星大気を計算するために、それらの条件に適切な放射過程、乱流過程、地面過程を導入したものである。このモデルは、ES において、現状では、120 ノードで実行可能 (ベクトル化率と並列化効率のしきい値を上回る) であることを確認しており、金星、火星において惑星規模循環から、O(10 km) の水平スケールを持つ小規模擾乱までを同時に表現しながら、大気循環構造を調べることが可能である。

3. 結果

3.1. 金星大気実験

これまでに、金星大気大循環の大きな謎であるスーパーローテーションの解明を目指して数値実験と解析を行ってきた。過去の研究では、スーパーローテーションの駆動のために下層に強い加熱強制を与え、低解像度モデルを用いて長時間積分する方法が主流であった。しかし我々はこれまで、現実的な太陽加熱強制を用いて、雲層付近 (高度約 45-70 km) の大気安定度の低い層に注目した実験を実行し、傾圧波が運動量や熱の輸送に重要

であることを指摘してきた (Sugimoto et al., 2013, 2014a)。また、現実的な太陽加熱によって雲層高度のスーパーローテーションが維持され、同時に、雲層高度で各緯度帯に特徴的な波が存在することを示した。中緯度域、極域に見られた大気波動は、それぞれ傾圧不安定、極渦の順圧不安定によって励起される (Sugimoto et al., 2014b; Ando et al. 2016)。赤道域の大気波動の励起メカニズムは検討中であるが、観測されている惑星規模波 (いわゆる赤道ケルビン波) との関係が示唆される。さらに、水平格子間隔約 79 km、鉛直 120 層 (T159L120) の高い解像度の数値実験にも取り組み、小規模大気擾乱の特性を調べてきた。

今年度は、金星大気実験のさらなる高精度化として、精密な放射過程の開発と導入を試みる一方、T159L120 の解像度の数値実験を継続し、得られた雲層上部における大気波動の構造やエネルギースペクトルの成因、高緯度域における極渦やそれを取り巻く周極帯状低温域 (cold collar) の形成メカニズムの解明を目指した。同時に、これまでに用いてきた T159L120 の解像度から、それぞれ倍の水平解像度 (T319L120) および倍の鉛直層数 (T159L240) にした実験を行った。以下に主要な成果を示す。

① 大気波動の構造

計算で得られた熱潮汐波の構造を解析した結果、これまでの観測で知られていた、雲頂高度で硫酸雲の Y 字構造や弓状構造の形成に、熱潮汐波が寄与する可能性が示唆された。またケルビン波的な空間構造をもつ大気波動や、惑星の大きさに比べてはるかに小規模の重力波も表現された (図 1, Takagi et al., in preparation)。

② 大気中のエネルギースペクトルの成因

計算で得られた流れ場を球面調和関数展開し、回転成分と発散成分に分けて波数間のエネルギーの収支を診断する新しい解析方法を考案し、これまでにない視点での解析を進めた

(Kashimura et al., in preparation).

③ 周極帯状低温域の成因

大気波動が駆動する子午面循環による熱輸送により、極域の昇温が恒常的に起きることを明らかにした。熱潮汐波が存在しない条件での感度実験も行うことで、熱潮汐波が周極帯状低温域の再現に必須であることを示した(図 2、Ando et al., 2016)。

④ 極渦の鉛直構造

これまでの電波掩蔽観測結果と整合的な温度の鉛直構造の表現に成功し、その構造が極渦の順圧不安定によって発現することを明らかにした (Ando et al., in preparation)。

上記の成果は、本課題で実施している金星シミュレーションが、雲層付近の大気擾乱の特徴の解明に非常に有益であることを示している。

3.2. 火星大気実験

これまでに、火星大気中の惑星規模から中小規模まで様々な時間・空間スケールを持つ大気循環・擾乱の構造と、それらがダストの巻き上げにおいて果たす役割を明らかにすることを目指して数値実験と解析を行ってきた。昨年度までに、水平格子点間隔約 11 km の短期間のシミュレーションを実施し、そこに見られる大気擾乱とそれによるダスト巻き上げ過程について調べてきた。その中で、低緯度に見られる多数の小規模渦がダストの巻き上げにおいて重要な役割を果たしていることが示されていた。今年度は、これら小規模渦の構造を明らかにすることを目指し、その解析を進めた。

高解像度シミュレーションにおいて低緯度に見られる小規模渦は、モデルで表現される対流活動に起因していると考えてきたが、その特徴を明らかにするために、これまでの渦度の調査に加えて流れの発散の分布を調べた(図 3, 4)。その結果、小規模渦の分布は、同じ空間スケールの流れの発散を伴っており、渦度と発散の値はほぼ同じオーダーであることが示された。このことは、小規模渦がモデルで表現される対流運動の結果として生じていることを支持するものである。

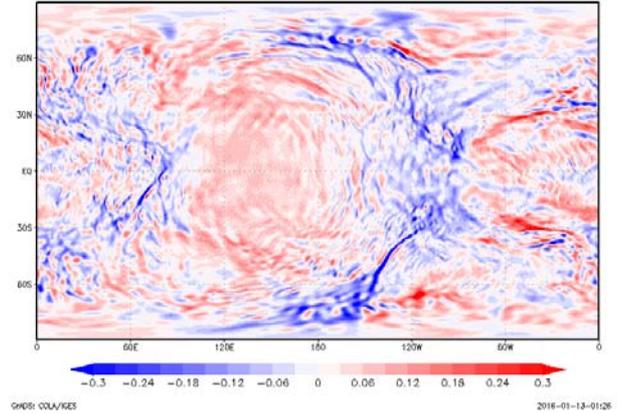


図 1. T159L240 の解像度の金星大気実験で得られた高度 75 km の鉛直流。

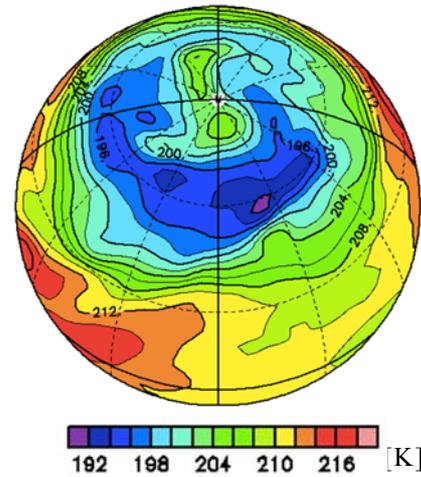


図 2. T42L60 の解像度の金星大気実験で得られた高度 68 km 付近の温度。

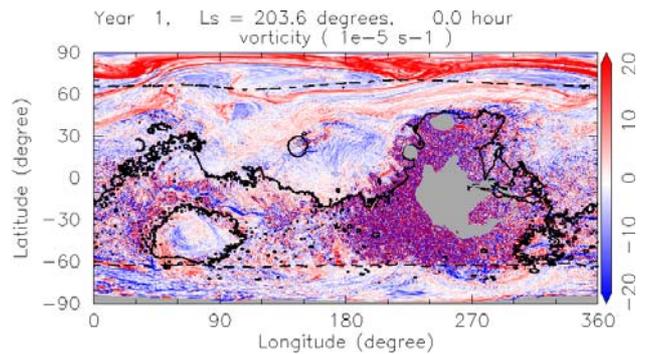
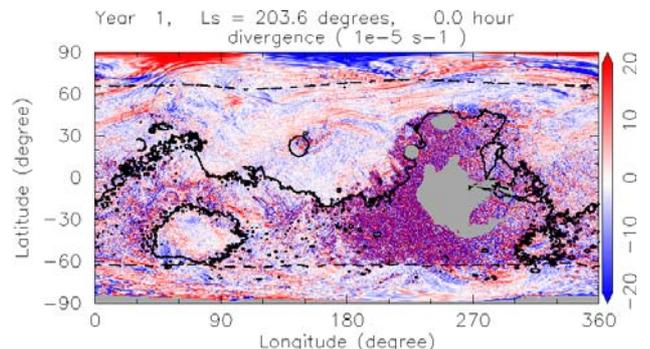


図 3. T639L96 の解像度の火星大気実験で得られた高度 3 km 付近の流れの渦度。



平成27年度地球シミュレータ利用報告会
図 4. T639L96 の解像度の火星大気実験で得られた高度 3 km 付近の流れの発散。