

火星大気循環の全球・高解像度・非静力学計算に向けたモデル開発

*櫻村 博基¹、八代 尚²、西澤 誠也²、富田 浩文²、中島 健介³、石渡 正樹⁴、高橋 芳幸¹、林 祥介¹

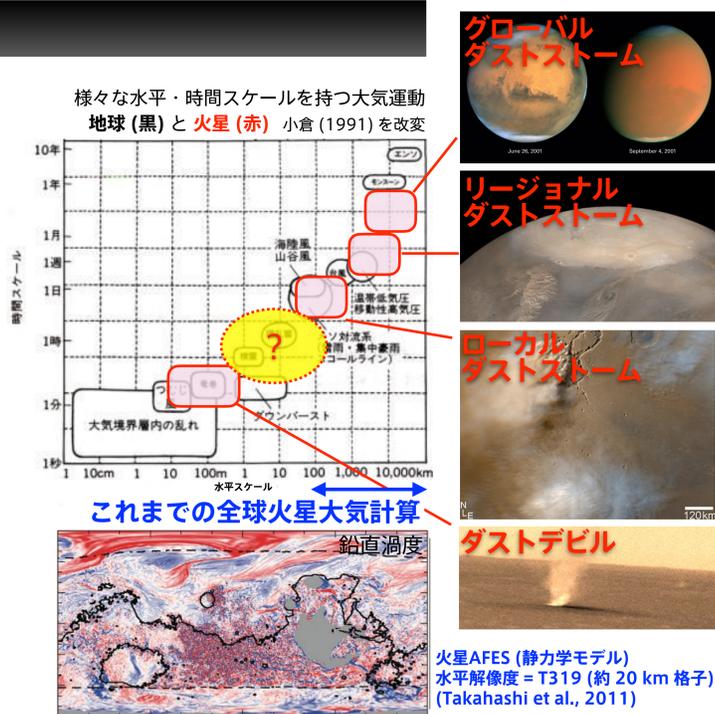
1. 神戸大学/惑星科学研究センター、2. 理化学研究所 計算科学研究センター、3. 九州大学、4. 北海道大学

要旨

- 本研究では、水平数キロメートル解像度の全球火星大気計算を、次期大型計算機ポスト「京」で実施すべく、非静力学全球火星大気モデルを開発している。
- 開発は、正二十面体準一様格子の大気大循環モデル SCALE-GM を力学コアとして、汎惑星大気大循環モデル DCPAM の諸物理過程のモジュールを移植する形で進めている。
- 放射・土壌熱伝導による、大気・土壌の温度変化を計算できるまで進捗した。運動ありの3次元計算はこれから。

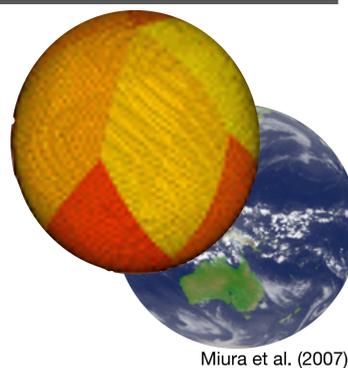
1. はじめに

- 火星では数十から数百メートル規模のダストデビルから、数十キロメートル規模のローカルダストストーム、全球を覆うグローバルダストストームまで、大小様々な規模の砂嵐が観測されているが、これらのスケール間の相互作用は未解明である。
- 大気が薄く海がない火星では、昼夜間の寒暖差が大きく、鉛直対流が卓越すると考えられるが、全球規模の大気大循環に対するその役割は解明されていない。
- 静力学平衡&スペクトル変換を利用した「伝統的」な全球大気モデルの高解像度計算には限界があり、非静力学の方程式系で計算する、大規模並列計算に適した全球火星大気モデルが必要である。



2. 火星版 SCALE-GM の開発

- SCALE-GM は、正二十面体準一様格子法 (Tomita et al. 2001, 2002) による地球大気の大規模非静力学シミュレーションで実績のある NICAM の力学コアを基に、より幅広い応用を目指して開発が進められている大気大循環モデルである。
- 我々は、SCALE-GM に、火星大気用のパラメータや放射・地表面過程などの物理モジュールを組み込んだ火星版 SCALE-GM を開発している。
- 火星大気用物理モジュールの組み込みは、既存の汎惑星大気大循環モデル DCPAM のそれらを移植する形で進めている。(DCPAM は「伝統的」なモデル)



- モデル参考文献**
- SCALE-GM : <https://scale.aics.riken.jp/>
 - NICAM : Tomita & Satoh (2005), Satoh et al. (2008), Satoh et al. (2014)
 - DCPAM : <https://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>
 - WRF : Skamarock et al. (2008), <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>

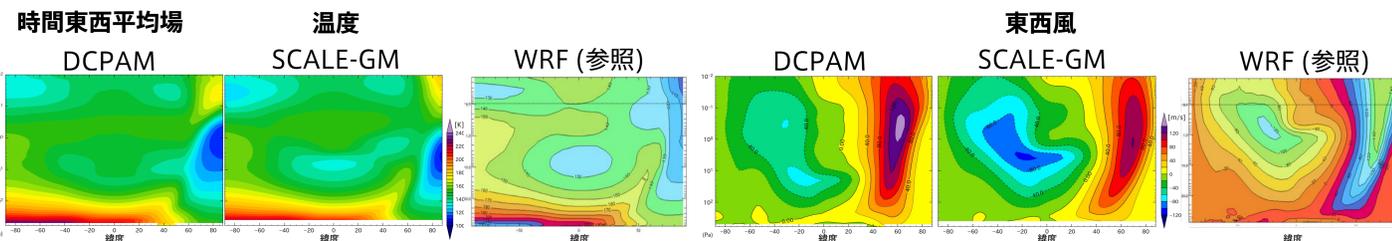
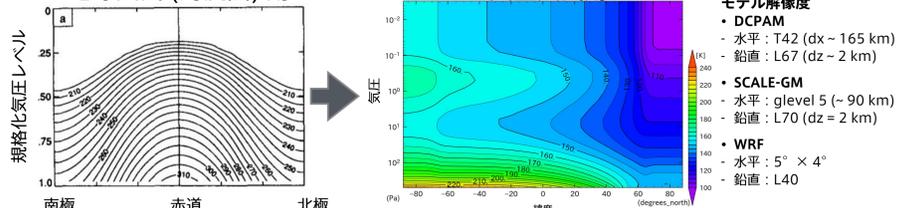
謝辞：本研究は、文部科学省ポスト「京」萌芽的課題3「太陽系外惑星（第二の地球）の誕生と太陽系内惑星環境変動の解明」の一環として実施したものです。

2.1 理想化火星大気力学計算：火星パラメータによる計算の確認

- まず、SCALE-GM が火星大気のパラメータのもとで問題なく稼働するかを確認するために、理想化した地球大気の大気力学標準実験として知られる Held & Suarez (1994) の火星版 (Mischna & Wilson 2008) を実施した。
- DCPAM でも同様の計算を行い、両者の結果が概ね一致することを確認した。

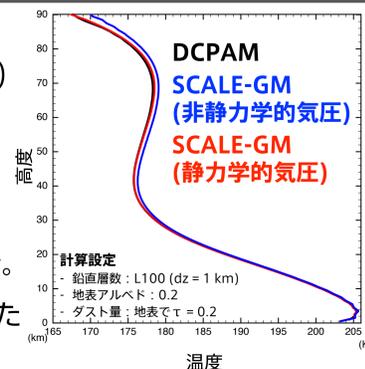
パラメータ変更	惑星半径 [km]	自転角速度 [1/s]	重力加速度 [m/s ²]	気体定数 [J/(kg K)]	定圧比熱 [J/(kg K)]	標準地表面気圧 [Pa]
地球	6371	7.29×10 ⁻⁵	9.81	287.0	1004	1.0×10 ⁵
火星	3389	7.09×10 ⁻⁵	3.72	191.2	764.8	6.1×10 ²

「放射強制」(ニュートン加熱冷却)の基準温度場の変更
地球大気(対流圏)用 → 火星大気用



2.2 火星放射モジュールの移植

- SCALE-GM の本格的な火星化に向け、DCPAM の火星放射モジュールを移植した。これは短波および長波 3 バンド (0-500, 500-850, 850-2000 cm⁻¹) の放射伝達と、近赤外による加熱 (Forget et al. 1999) を計算している。
- 鉛直 1 次元で放射のみのテスト計算を実施した。
 - 200 K 等温大気を初期状態として、地表面温度 200 K 固定、日周期なし、運動なし、ダスト固定分布、赤道上の太陽直下点の設定で、50 地球日 積分。
 - SCALE-GM の非静力学的な気圧を用いると、DCPAM の結果と差異が生じたが、静力学的気圧を計算して用いることで、差は解消した。



2.3 土壌・地表面フラックス・鉛直拡散フラックス モジュールの移植

- 次に、土壌/地下熱伝導、地表面フラックス (Louis et al. 1982; Beljaars & Holtslag 1991; Beljaars 1994)、鉛直拡散フラックス (Mellor & Yamada 1974, 1982) の各モジュールを移植し、大気と土壌の温度の時間変化を鉛直 1 次元計算で確認した。
 - 200 K 等温大気・土壌を初期状態とし、日周期あり、運動なし、ダスト固定分布、赤道上で時間積分。

