

AFESを用いた地球型惑星の大気大循環シミュレーション

林祥介（代表・神戸大学）高橋芳幸（神戸大学）杉本憲彦（慶應義塾大学）高木征弘（京都産業大学）榎村博基（海洋研究開発機構）
石渡正樹（北海道大学）小高正嗣（北海道大学）中島健介（九州大学）はしもとじょーじ（岡山大学）松田佳久（東京学芸大学）

課題の目的

地球型惑星の大気、すなわち惑星半径に比べて薄く大気層下端が地面によって明確に定義される大気の大循環の特徴を、統合的な枠組みの上に位置づけることを目指す。地球シミュレータ用に改良がなされてきた大気大循環モデル「AFES」を共通基盤とし、各惑星大気に適した物理過程モジュールを開発導入することでその大循環計算を実現し、その計算結果から大循環の力学構造の理解を進める。

金星大気大循環実験

金星は自転周期が243地球日と非常に遅いにも関わらず、100 m/s にも達する惑星規模の高速東西風が卓越しており、高度 65 km ほどの雲頂の大気は、およそ4地球日の周期で自転方向に回転している。この大循環はスーパーローテーションと呼ばれ、その機構は大きな謎である。

実験設定	先行研究	本課題（金星）			
水平解像度	≦ T21 (~5.6°×5.6°)	T42 (~2.8°×2.8°)	T63 (~1.9°×1.9°)	T159 (~0.75°×0.75°)	
鉛直層数	L32-50	L60	L120	L120	
加熱強制	非現実的な強い加熱	現実的な強さの加熱			
	強い静的安定度	低安定度層を導入			

高緯度地域では、極上空よりも低温な周極帯状低温域 (cold collar) が観測されており、その成因も未解明である。本実験は、AFESを用いた現実的な金星大気シミュレーションを行い、未だ謎の多い金星大気の力学を明らかにすることを目指す。

我々は、過去の先行研究では考慮されていなかった低安定度層（高度 55-60 km）を導入し、太陽加熱も現実的な強さで与え、高解像度で計算を行った。

傾圧不安定擾乱から生じる中立波の解析

昨年度までの実験から、雲層付近の低安定度層が傾圧不安定の発生に本質的に重要であり、傾圧不安定が金星大気中で熱や運動量の輸送に大きく寄与するという結果を得ている。今年度はそこから生じる中立波についての解析を行った。その結果、観測と整合的なロスビー波とケルビン波に相当する波がモデル中で得られた。これらは現実的な金星GCMで観測と整合的な中立波を再現した初めての例である。今後、詳細な解析や追加計算を進め、これらの波の励起機構を明らかにしていく。

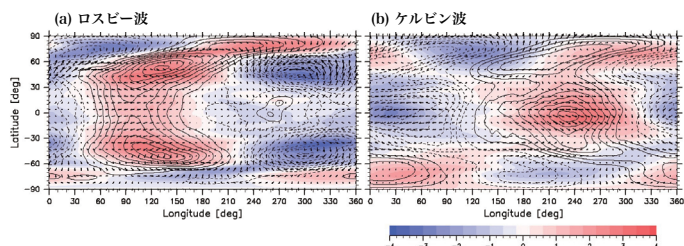


図1: (a/b) 高度 70/50 km のジオポテンシャル高度（等値線）と水平風（ベクトル）の短周期擾乱、高度 60/40 km の温度擾乱（色調）。ただし、積分開始後10地球年と47/48日後の分布。周期 2日から8日のバンドパスフィルタを施している。等値線間隔は 25/1 m、単位ベクトルの大きさは 50/5 m/s である。

周極帯状低温域の再現

本実験では、最近の観測と整合的な周極帯状低温域が世界で初めて再現された。また、太陽加熱の日変化成分を含む場合にのみ、周極帯状低温域が再現されたことから、その形成には熱潮汐波が重要であることが分かった。さらに、極の昇温の原因は、残差子午面循環の下降流による断熱加熱であることが示唆された。今後は、熱潮汐波と残差子午面循環の関係性を解明する必要がある。

図3: (a-h) 高度 68 km の温度の時間発展（1地球日毎）。外円が30°Nを表す。右側の図は、金星探査機 Venus Express から撮像された、南極周辺の紫外と赤外波長による輝度温度を表す。

火星大気大循環実験

火星では大気中をダストが常に浮遊しており、大気の加熱源として重要な役割を担っている。ダストは中小規模擾乱に伴う風によって大気中に供給されると考えられるが、この規模の風を直接観測することは困難である。本実験では、ダストの供給に寄与する物理過程を明らかにするため、高解像度 (T319L96) 設定で、中小規模擾乱を陽に表現する全球火星大気実験を実施してきた。昨年度までに、計算結果にはモデルが解像できる最小規模の渦が現れ、それは火星特有の振幅の大きな日変化に伴う鉛直対流運動の、モデル内表現によって生じることがわかってきた。今年度は、これまでの Mellor & Yamada (1982) スキームに加え、乾燥対流調節の物理過程を導入して、計算の過程で生じる不安定成層を瞬時に中立成層に戻す条件で実験を行った。結果、小規模渦は強さが若干弱くなっており、それらが対流運動によって生じるとの考察が支持された。しかし、依然として際立った小規模渦活動が生じたということは、既存の鉛直対流スキームでは対応できず、火星大気にふさわしいスキームの研究開発が必要であることを示している。

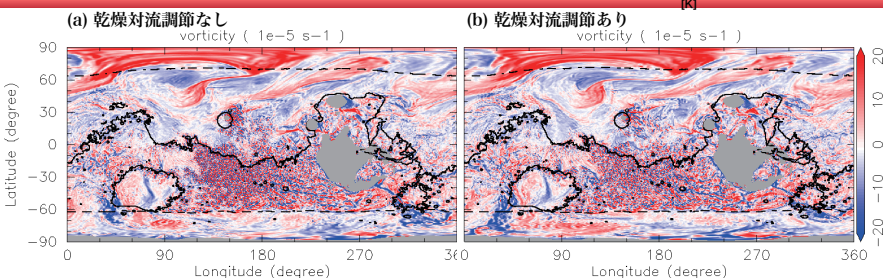


図4: 気圧高度 4 hPa の湿度分布。北半球の秋の1時刻の分布を示している。(a) 乾燥対流調節なし、(b) 乾燥対流調節ありの結果。

Publication M. Takagi, Y. Matsuda, Y. O. Takahashi, M. Ishiwatari, and Y.-Y. Hayashi (2013). Baroclinic Modes in the Atmosphere on Venus Simulated by AFES. *Theor. Appl. Mech. Jpn.*, **61**, 11–21.

Sugimoto, N., M. Takagi, and Y. Matsuda. (2014). Baroclinic instability in the Venus atmosphere simulated by GCM. *Journal of Geophysical Research-Planets*, **119**(8), 1950–1968.

Sugimoto, N., M. Takagi, and Y. Matsuda. (2014). Waves in a Venus general circulation model. *Geophysical Research Letters*, **41**(21), 7461–7467.

Kashimura H., N. Sugimoto, M. Takagi, W. Ohfuchi, T. Enomoto, Y. O. Takahashi, and Y.-Y. Hayashi. Energy spectrum of atmospheric motions of Venus simulated by a high-resolution general circulation model. (in preparation)

Ando, H., N. Sugimoto, M. Takagi, H. Kashimura, T. Imamura, and Y. Matsuda. A mysterious structure of Venusian upper polar atmosphere reproduced by a general circulation model. (in preparation)