

木星型惑星大気運動の解明を目指す回転球殻対流モデルの開発

佐々木 洋平*1, 竹広 真一*2, 石岡 圭一*3, 榎本 剛*4

*1 京都大学数学教室, *2 京都大学数理解析研究所, *3 京都大学地球惑星科学専攻, *4 京都大学防災研究所

- 木星型惑星大気の縞状構造の成因を調べるため、回転球殻熱対流の大規模高解像度数値実験を目指している
- 深さ方向の密度成層を考慮した非弾性系モデルを地球シミュレータに導入し、大規模並列化を図った
- 緯度方向に加えて動径方向にも MPI 並列を可能に改良した結果、並列処理の限界を伸ばすことに成功した

●木星と土星の表層の流れの特徴

- 赤道域：幅の広い西風（赤道加速）
- 中高緯度：幅狭の縞状構造

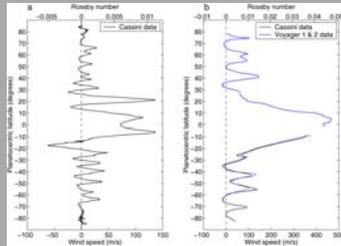
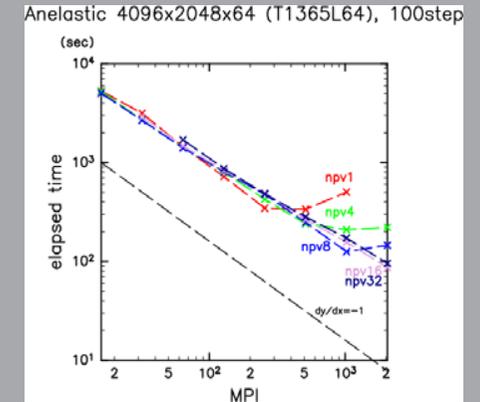


図 1. 木星と土星の帯状平均東西流分布 (Sukoriansky et al. 2002)

●非弾性回転球殻熱対流モデルの大規模並列化

- 地球シミュレータに導入
- 緯度方向+動径方向も並列化
- MPI並列数の制限を緩めた
- 緯度格子点数→緯度×動径格子点数へ
- 並列計算の効率：良好

図 3. MPI並列数と動径方向分割数 (npv) に対する計算時間。npvを増やすと計算速度の頭打ちが解消される。



●非弾性系回転球殻熱対流のベンチマーク

- Jones et al. (2011) の設定
- 解像度：経度×緯度×動径格子点=1024×512×64
- MPI並列：緯度方向32並列、動径8並列

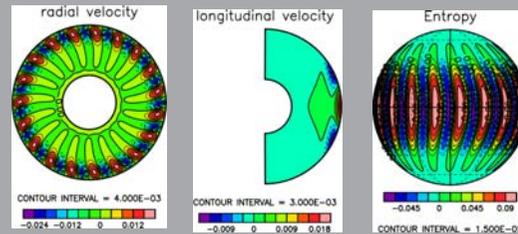


図 4. 左から速度動径成分(赤道断面)、速度経度成分(子午面断面)、エントロピー擾乱(外側境界付近)

●計算例

- $Ek=3 \times 10^{-5}$, $Ra=9 \times 10^{-4}$, $Pr=1$
- 解像度：経度×緯度×動径格子点=512×256×64
- MPI並列：緯度方向16並列、動径4並列

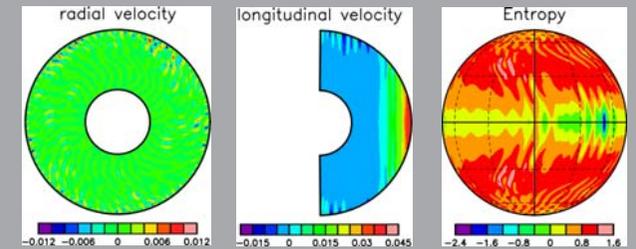


図 5. 左から速度動径成分(赤道断面)、速度経度成分(子午面断面)、エントロピー擾乱(外側境界付近)

●「深いモデル」~回転球殻対流モデルによる研究

- 薄い球殻領域内の熱対流運動
- 赤道順行流と中高緯度の縞状ジェットを再現
- 経度方向に対称性を仮定(セクター計算)

本研究の目的
全球計算では本当は
どうなるか?

大規模並列化が必要

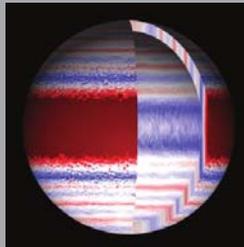


図 2. セクター計算による東西流分布の一例 (Heimpel et al. 2015)

●参考文献

- Heimpel, M., Gastine, T., Wicht, J., 2015: Simulation of deep-seated zonal jets and shallow vortices in gas giant atmospheres. *Nature GeoSci.*, 9, 19--23.
- Jones, C. A., Boronski, P., Brun, A. S., Glatzmaier, G. A., Gastine, T., Miesch, M. S., Wicht, J., 2011: Anelastic convection-driven dynamo benchmarks. *Icarus*, 216, 120--135.
- Sukoriansky, S., Galperin, B., Dikovskaya, N., 2002: Universal spectrum of two-dimensional turbulence on a rotating sphere and some basic features of atmospheric circulation on giant planets. *Phys. Rev. Lett.*, 89, 124501-1--4.