

# 変動惑星圏シミュレーション

<sup>1</sup>加藤雄人、<sup>1</sup>寺田直樹、<sup>2</sup>藤原均、<sup>1</sup>寺田香織、  
<sup>3</sup>梅田隆行、<sup>4</sup>永井享、<sup>1</sup>相澤紗絵、<sup>1</sup>西田有輝

1 東北大学大学院理学研究科、2 成蹊大学理工学部

3 名古屋大学太陽地球環境研究所、4 名古屋大学情報基盤センター

本研究は、惑星大気・プラズマ環境におけるマイクロ秒～数十億年スケールの時間変動、及びその蓄積によって生じる惑星圏システムの多様性を明らかにすべく、本研究グループが現有する(a) 惑星形成場、(b) 惑星圏長期変動（数千万年～数十億年）、(c) 惑星圏中期変動（数分～数十年）、(d) 惑星圏短期変動（マイクロ秒～秒）の数値シミュレーションコードを適用・拡充発展させ、惑星大気・プラズマの変動と進化に係る統合的知見を得ることを目的とする。

平成 29 年度は、(a)(b)(c)(d)の各課題において以下の成果を挙げた。

## (a) 惑星形成場シミュレーション

コンパクト差分法と局所人工粘性法とを組み合わせ本課題で開発した高次精度 MHD コードを用いて実施した、降着円盤中の磁気回転不安定性および磁気乱流の発展過程の計算機実験結果について学術論文として公表した。また、惑星の固有磁場の起源として考えられているダイナモ過程に関するシミュレーション研究を開始した。内核の大きさが現在よりも小さい初期地球環境を模擬した計算により、ダイナモが発生するために必要なレイリー数の閾値を検討した。その結果、内核が小さい環境ほどダイナモの発生には大きなレイリー数が必要になること、形成される磁場の構造が双極子成分が卓越するパラメータ範囲が狭まっていくことが明らかとなった。

## (b) 惑星圏長期変動シミュレーション

惑星大気の進化において大気の宇宙散逸が果たす役割を定量的に評価すべく、初期火星における固有磁場強度の影響を、多成分 MHD シミュレーションを用いて調査した。その結果、磁気圏尾部

における散逸イオンフラックスは、固有磁場が無い場合は南北の磁気極方向に伸びる構造を持つものに対して、固有磁場が有る場合は 4 つの流出チャンネルを有し、特に分子イオンの散逸率が上昇することを示した。また、惑星電磁圏境界で発達する K-H 不安定性の MHD シミュレーションにイオンの軌道追跡計算を組み込み、局所的な電場バーストによって惑星起源イオンの非断熱加速と軌道の散乱が生じることを明らかにした。

## (c) 惑星圏中期変動シミュレーション

火星中層・下層大気から伝搬する大気重力波を下側境界から与え、火星熱圏・外圏のフルパーティクル DSMC 計算を実行することにより、鉛直波長が 200km を越す大気重力波は、分子粘性や放射による減衰効果が顕著に働かず、外圏底高度まで大きな振幅を保ったまま伝搬可能であることを示した。一方で、磁気シースからの降込みイオンによって生成される大気波動は、大気組成ごとの擾乱振幅比が探査機直接観測と整合せず、かつ実際に観測される降込みフラックスよりも 2 桁以上強い降込みが必要となることを明らかにした。

## (d) 惑星圏短期変動シミュレーション

惑星電磁圏において生じる高周波のプラズマ波動による粒子加速・加熱過程の定量的理解を目的として、特にホイッスラーモード・コーラス放射と高エネルギー電子との相互作用に関する大規模計算機実験を行った。初期条件として与える高エネルギー電子の速度分布とコーラス放射の発生条件や波動特性との対応について、広範なパラメータ範囲でのサーベイ計算を実施して明らかとした。計算結果と線形ならびに非線形理論との比較により、コーラス放射発生に必要な波動強度の閾値を

定量的に明らかとして、学術論文に公表した。

成果発表：

- (1) Aizawa, S., D. Delcout, and N. Terada (2018), Sodium ion dynamics in the magnetospheric flanks of Mercury, *Geophys. Res. Lett.*, 45, 595-601, doi:10.1002/2017GL076586.
- (2) Hirai, K., Y. Katoh, N. Terada, and S. Kawai (2018), Study of the Transition from MRI to Magnetic Turbulence via Parasitic Instability by a High-Order MHD Simulation Code, *Astrophys. J.*, 853, 174, doi:10.3847/1538-4357/aaa5b2.
- (3) Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, and H. Nakashima (2018), Dependence of generation of whistler-mode chorus emissions on the temperature anisotropy and density of energetic electrons in the Earth's inner magnetosphere, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 123, 1165-1177, doi:10.1002/2017JA024801.
- (4) Seki, K., Y. Miyoshi, Y. Ebihara, Y. Katoh, T. Amano, S. Saito, M. Shoji, A. Nakamizo, K. Keika, T. Hori, S. Nakano, K. Kamiya, N. Takahashi, Y. Omura, M. Nose, M.-C. Fok, T. Tanaka, A. Ieda, and A. Yoshikawa (2018), Theory, Modeling, and Integrated studies in the Arase (ERG) project, *Earth Planets Space*, 70:17, doi:10.1186/s40623-018-0785-9.