

変動惑星圏シミュレーション

¹加藤雄人、¹寺田直樹、²藤原均、¹寺田香織、
³梅田隆行、⁴永井享、¹平井研一郎、¹相澤紗絵

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 28 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

H27 年度に開発したコンパクト差分法と局所人工粘性法とを組み合わせた高次精度 MHD コードを用いて、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についての計算機実験を実施した。開発したコードを用いた計算機実験の結果、磁気回転不安定性の成長に伴って乱流応力が卓越すること、乱流応力の飽和には局所的に形成される速度シアに起因した小スケールの渦構造の形成が重要な役割を果たしている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 2 つもしくは 4 つのピーク構造を有し、大気散逸率も上昇するこ

とを示した。また、昨年度までに開発した K-H 不安定性の MHD シミュレーションにおいてイオンの軌道追跡計算を組み込み、断熱普遍量の破れが生じる条件の詳細解析を開始した。

(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。また、この長波長の大気重力波による熱的効果は、太陽紫外放射加熱とその熱伝導による効果と同程度の寄与を成すことを示し、水素などの軽い元素の大気散逸率に大きな影響を及ぼすことを示した。

(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。実際の惑星磁気圏における背景磁場構造の空間スケールを初期条件として用いた計算機実験を、地球・木星・水星磁気圏を対象として実施して、探査機により観測されたコーラス放射の波動特性を説明し得ることを示した。

成果発表:

- (1) Terada, K., N. Terada, H. Shinagawa, H. Fujiwara, Y. Kasaba, K. Seki, F. Leblanc, J.-Y. Chaufray, and R. Modolo, A full-particle Martian upper thermosphere-exosphere model using the DSMC

- method, *J. Geophys. Res.*, 121, doi:10.1002/2015JE004961, 2016.
- (2) Kitahara, M. and Y. Katoh, Method for direct detection of pitch angle scattering of energetic electrons caused by whistler-mode chorus emissions, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 121, doi:10.1002/2015JA021902, 2016.
- (3) Kalae, M. J. and Y. Katoh, Study of a condition for the mode conversion from purely perpendicular electrostatic waves to electromagnetic waves, *Phys. Plasmas*, 23, 072119, doi:10.1063/1.4958945, 2016.
- (4) Katoh, Y. and Y. Omura, Electron hybrid code simulation of whistler-mode chorus generation with real parameters in the Earth's inner magnetosphere, *Earth Planets Space*, 68:192, doi:10.1186/s40623-016-0568-0, 2016.
- (5) Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, H. Nakashima, and K. Fukazawa, Electron hybrid code simulations with OhHelp load balancer for the study of relativistic electron acceleration in planetary magnetospheres, *Proceedings of JSST 2016*.