

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相澤紗絵、¹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 名古屋大学宇宙地球環境研究所、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 30 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

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、数値ダイナモ MHD コードを用いて実施した。特に、熱対流が駆動するダイナモにより形成される磁場の構造について、ダイポール成分と非ダイポール成分との強度比に着目して解析を行った。その結果、初期条件として与えるレイリー数をダイナモ発生の閾値付近とした場合にはダイポール成分が卓越すること、また、レイリー数を大きくして計算を実施した場合には非ダイポール成分が卓越していくことを明らかとした。この傾向は、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おいて特に顕著であることが示された。

(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、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、固有磁場が有る場

合は 4 つの流出チャンネルを有し、固有磁場がない場合と比べて O_2^+ や CO_2^+ の散逸率が上昇することを示した。また、水星磁気圏界面で発達する 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 Na^+ 等の重イオンの非断熱加速と軌道散乱が生じることを明らかにし、水星探査機 MESSENGER のイオン観測と比較を行った。

(c) 惑星圏中期変動シミュレーション

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その伝搬速度が速いために、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音波モードが卓越しており、 N_2 と CO_2 の擾乱振幅比が探査機直接観測と逆センスになることから、火星熱圏・外圏で観測される大振幅の大気擾乱は、下層・中層大気から伝搬する大気重力波が原因である可能性が高い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、電子ハイブリッドコードを用いた大規模計算機実験を実施した。特に、初期条件として用いる背景磁場について、磁気圏構造の時間・空間変化を解く MHD コードの計算結果を参照して決定する連成計算を実施した。MPI を用いたコード間通信により、電子ハイブリッドコードと MHD コード双方の計算結果を動的に共有することで、より緊密な連成計算の実施を可能にするフレーム

ワークが構築された。

成果発表:

- (1) Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, and H. Nakashima, Electron hybrid simulations of the nonlinear processes of whistler-mode chorus generation in the Earth's inner magnetosphere, ISSS-13, Los Angeles, USA, 10-14 September, 2018. [招待講演]
- (2) Katoh, Y., Y. Omura, Y. Miyake, H. Usui, and H. Nakashima, Nonlinear processes of whistler-mode chorus generation in the Earth's inner magnetosphere American Geophysical Union Fall Meeting, Washington D. C., USA, 10-14 December, 2018. [招待講演]
- (3) Katoh, Y. and L. Chen, Study of the modulation of whistler-mode chorus generation by ULF waves, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 15th Annual Meeting, Honolulu, USA, 3-8 June, 2018.
- (4) 加藤雄人, 深沢圭一郎, 南里豪志, Cross-reference simulations by scalable communication library for the study of wave-particle interactions in magnetospheres, 第 144 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 名古屋, 11 月 23-27 日, 2018 年.
- (5) Katoh, Y. and Y. Omura, Simulation study of the whistler-mode chorus generation in the Earth's inner magnetosphere, URSI AP-RASC 2019, New Delhi, India, 9-15 March 2019.