

# 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>石井克哉、<sup>4</sup>永井享

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 27 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：降着円盤中の磁気回転不安定性および磁気乱流の発展を高精度に解き進めるために、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 コードを開発し、MPI 並列化にも成功した。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、二次的に発生するパラサイト不安定性により成長が妨げられて乱流応力の大きさが飽和すること、その後の非線形発展では磁気回転不安定性の成長と飽和が円盤回転周期の数倍のスケールで周期的に生じる様相が明らかとなった。また、以上の研究成果をまとめた大学院生が、地球電磁気・地球惑星圏学会講演会で学生発表賞を受賞した。(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、昨年度までに開発した高次精度セミディスクリート中心スキームに基づいた MHD シミュレーションコードを、火星電離圏界面の K-H 不安定性および金星電離圏における磁気リコネクション過程の数値実験に適用した。その結果、非周期系の高解像度計算によって前縁

側 K-H 渦が急速に発達することおよび電離圏内で速い Sweet-Parker リコネクション (プラズモイド不安定性) が発達することを示した。また、これらの過程により生じる電離圏イオンの散逸率は、他の散逸過程と同程度以上になることを示した。(c) 惑星圏中期変動シミュレーション：火星磁気シース領域で加速されたイオンの降り込みを上側境界から与えて、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、降り込みフラックスが大きくなるときは上部熱圏が数分程度の時間スケールで局所的に加熱膨張することを示した。この局所的な加熱膨張は、大気背景場を変化させて大気散逸率に影響を及ぼすと考えられる。(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。初期条件を地球磁気圏での衛星観測結果に基づいて与えた実環境計算を実施して、コーラス放射の発生過程を再現し、スペクトル特性が観測されたコーラス放射の波動特性と整合するパラメータを同定することに成功した。

成果発表：

- (1) Kalae, M. J. and Y. Katoh, The role of deviation of magnetic field direction on the beaming angle: Extending of beaming angle theory, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 142, 35-42, 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*, in press.