

## 小天体表層と宇宙プラズマの電磁氣的相互作用に関する粒子シミュレーション

代表者 臼井 英之 神戸大学 大学院システム情報学研究科

共同研究者 (学外)

三宅 洋平 神戸大学 大学院システム情報学研究科

上本 祥貴 神戸大学 大学院システム情報学研究科

共同研究者 (東北大学)

寺田 直樹 東北大学 大学院理学研究科

加藤 雄人 東北大学 大学院理学研究科

### 1. 研究目的

本研究の目的は、固有磁場を持つ水星と太陽風プラズマの相互作用によって生じる水星磁気圏に関する 3 次元ハイブリッド粒子シミュレーションを行い、磁気圏の空間構造およびそこでの太陽風イオンの振る舞いを明らかにすることである。

### 2. 研究方法

本研究では、電子を質量 0 の流体、イオンをマクロ粒子群として扱うハイブリッド粒子シミュレーションを実行した。3 次元シミュレーション空間に水星と水星磁場を模擬した磁気ダイポールモーメントをおき、シミュレーション境界から太陽風プラズマを流入させ、太陽風プラズマと水星固有磁場との電磁的な相互作用により形成される水星磁気圏を数値的に再現した。特に昼間側の磁気圏プラズマ現象に着目した。

### 3. 研究結果

水星の固有磁場は地球よりも小規模であり太陽環境の影響を地球よりも近い距離で受けるため、形成される水星磁気圏は太陽風イオンの磁場周りの旋回運動の影響をより顕著に受ける。シミュレーション結果より、太陽風磁場が北向きの場合、水星磁気圏内部に侵入する太陽風イオンが多くなり、それらは  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  ドリフト運動により水星周りを朝側から夕方側の方向に磁場に垂直に流れることが分かった。図 1 に、太陽風磁場が北向きの場合、磁気圏夜側で生じる磁気リコネクションにより太陽風イオンが磁気圏尾部朝側 (図の左) から磁気圏内に流入し、それが水星周りを昼間側に向けて南北でバウンス運動しながらドリフトする様子を示す。また、図 2 に示すように、磁気圏を取り巻くシース領域では、磁場強度およびイオン密度の規則的な層状の擾乱が確認された。この層構造内でのイオン圧力と磁気圧の比である  $\beta$  値やイオン温度異方性に関するシミュレーション値から、規則的な層状擾乱はプラズマ不安定性の一つであるミラー不安定性によるものであることを示唆できた。磁気圏シース内でのイオン粒子の速度分布関数や磁場に垂直面での速度位相空間図について詳細を調べ

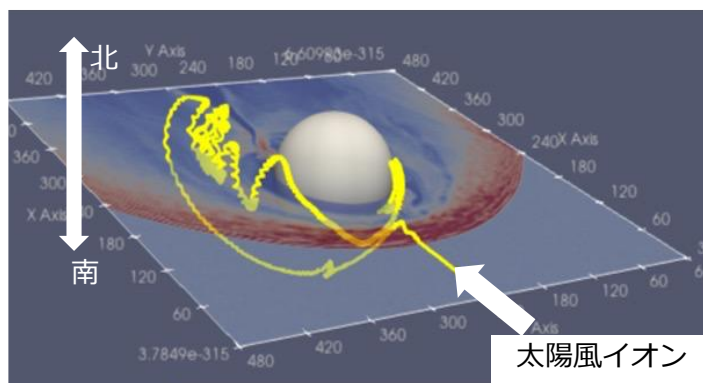


図 1 : IMF 北向き時の太陽風イオンの水星磁気圏エントリーの一例

た結果、磁気シースでの磁場圧縮により磁場強度が上がるためそこでの $E \times B$ ドリフト速度が急激に下がり、結果として磁気シース内では磁場中心のイオン旋回運動が顕著となり、磁場に垂直方向でのイオン速度分布関数が太陽風領域の場合に比べて広がることがわかった。

#### 4. 考察

昼間側磁気シース内の強磁場により太陽風イオンがピックアップされることによりイオンの磁場に垂直方向の速度分布関数が広がりを持つことがわかったが、温度の観点から見ると、磁場に垂直方向のイオン温度が上昇したことになり、温度異方性が磁気シースに常に作り出されていると考えられる。今回のシミュレーション結果では、この磁気シース内でのイオン温度異方性はミラー不安定を常に誘発するには十分な値であることを確認した。

ハイブリッド粒子シミュレーションで得られる知見は、2026年からのBepiColombo/Mio衛星による水星磁気圏観測の理解の一助となると期待する。

#### 5. 成果

S.Aizawa, L.S.Griton, S.Fatemi, W.Exner, J.Deca, F.Pantellini, M.Yagi, D.Heyner, V.Génot, N.André, J.Amaya, G.Murakami, L.Beigbeder, M.Gangloff, M.Bouchemit, E.Budnik, H.Usui, Cross-comparison of global simulation models applied to Mercury's dayside magnetosphere, Planetary and Space Science, online 1 February 2021, 105176, <https://doi.org/10.1016/j.pss.2021.105176>

臼井英之, 三宅 洋平, 元田 尚志, 松本 正晴, 水星磁気圏昼間側マグネトポーズに関するハイブリッド粒子シミュレーション, 日本地球惑星科学連合 2021年大会 2021年6月3日

元田尚志, 臼井英之, 三宅洋平, 松本正晴, 水星磁気圏境界面の太陽風依存性に関するハイブリッド粒子シミュレーション, 第22回惑星圏研究会 2021年2月17日

上本 祥貴, 臼井 英之, 三宅 洋平, 松本 正晴, 水星磁気圏昼間側擾乱に関する粒子シミュレーション

地球電磁気・地球惑星圏学会 152回総会 2022年11月5日

上本祥貴, 臼井英之, 三宅洋平, 松本正晴, 粒子シミュレーションによる水星磁気圏イオンダイナミクス解析, 第24回惑星圏研究会(SPS2023) 2023年2月20日

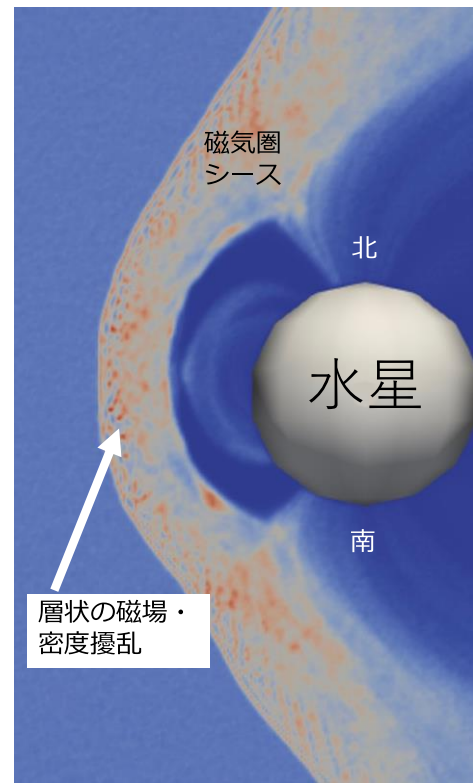


図.2: 水星磁気圏シースで見られる磁場やイオン密度の層状の擾乱