

# 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

神戸大学大学院システム情報学研究科計算科学専攻白井研究室  
元田尚志\*1、白井英之1、三宅洋平1、松本正晴2  
1.神戸大学大学院システム情報学研究科  
2.東京大学大学院情報理工学系研究科

### 要旨

本研究の目的は固有磁場を持つ水星と太陽風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、水星のイオン粒子の運動を解析し、また太陽風速度による磁気圏構造の依存性を確認することである。水星は地球のように固有磁場を持つことが観測により知られているが、その固有磁場は地球よりも小規模であり、変動する太陽環境の影響を地球よりも近い距離で受けるため、地球と異なる磁気圏を持つことが考えられる。

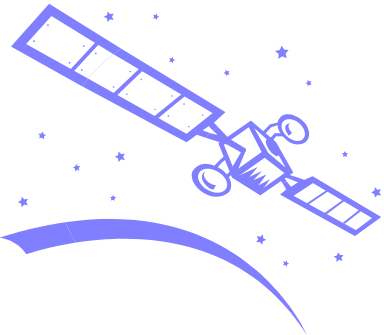
太陽風によりもたらされる磁場である IMF の方向により水星の磁気圏は違う特徴を持つことが明らかになった。IMF が-Z 方向時のシミュレーションから得られた電磁場データからテスト粒子シミュレーションを用いてイオン粒子の軌道を調べると水星昼側の磁気圏境界面付近で+Y 方向に移動するイオン粒子が確認され、水星磁気圏内部の粒子は  $E \times B$  ドリフト運動をしていることが判明した。また-Z 方向の IMF と水星昼側での+Z 方向ダイポール磁場の境界ではイオン粒子が異なる磁場の領域を蛇行するメアンダリング運動がみられることも明らかになった。太陽風速度に関して平常時の速度の 4.9 倍であった際のシミュレーションも行い、イオン数密度の変化を確認した。太陽速度を上昇させることで太陽風動圧が大きくなると、水星昼側の磁気圏境界面が水星表面と接触する Disappearing Dayside Magnetopause (DDM) が発生し、水星表面に直接太陽風が衝突し地表面の物質が放出されるスパッタリングが発生する可能性につながることを判明した。

# 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

神戸大学大学院システム情報学研究科 計算科学専攻  
臼井研究室

元田尚志<sup>\*1</sup>、臼井英之<sup>1</sup>、三宅洋平<sup>1</sup>、松本正晴<sup>2</sup>

- 1.神戸大学大学院システム情報学研究科
- 2.東京大学大学院情報理工学系研究科

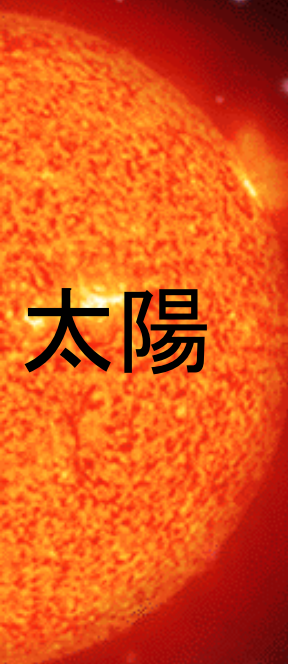


# 要旨

- 3次元ハイブリッド粒子シミュレーションを用いて、水星磁気圏を再現
- 昼側水星付近ではイオンのメアンダリング運動やExBドリフトが見られる
- 太陽風速度を大きくし、太陽風の動圧を大きくすることで水星表面に磁気圏境界面が接触する可能性がある

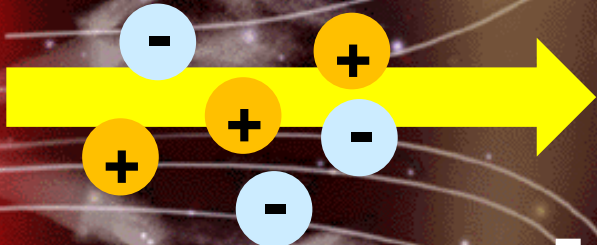
# 研究背景

水星磁気圏：固有磁場を持つ水星と太陽風との相互作用で生じる領域



太陽

太陽風プラズマ

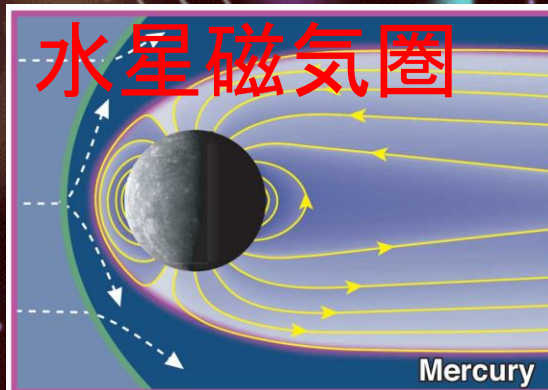


磁気圏

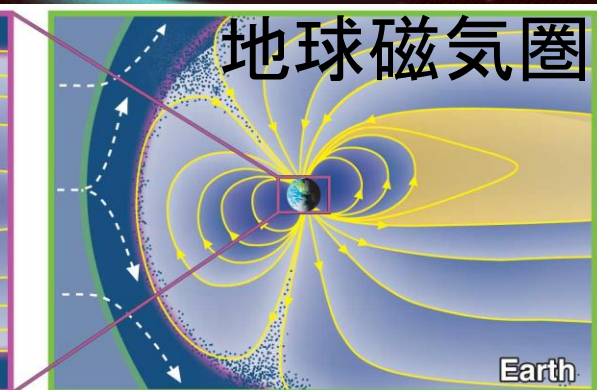
惑星

「様々なサイズの磁気圏」

水星磁気圏



地球磁気圏

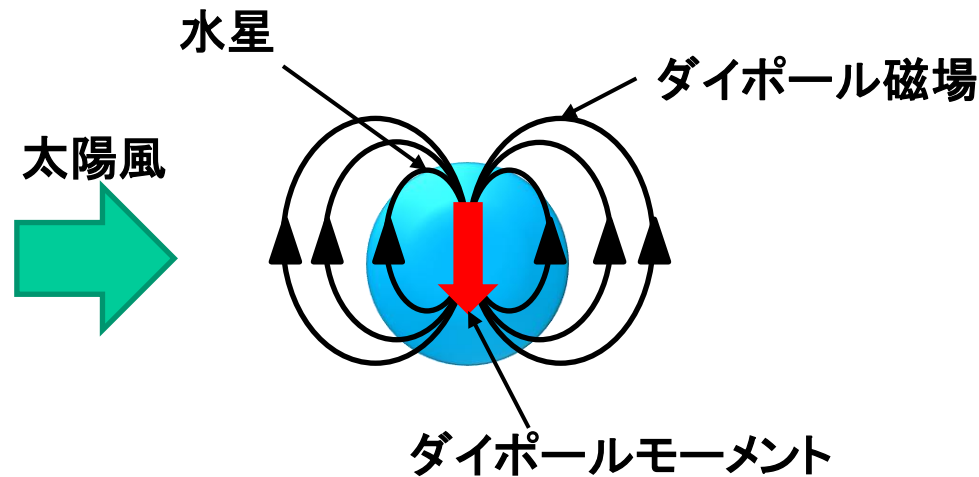


# シミュレーションについて

イオンを粒子、電子を流体として扱う  
ハイブリッド粒子シミュレーション



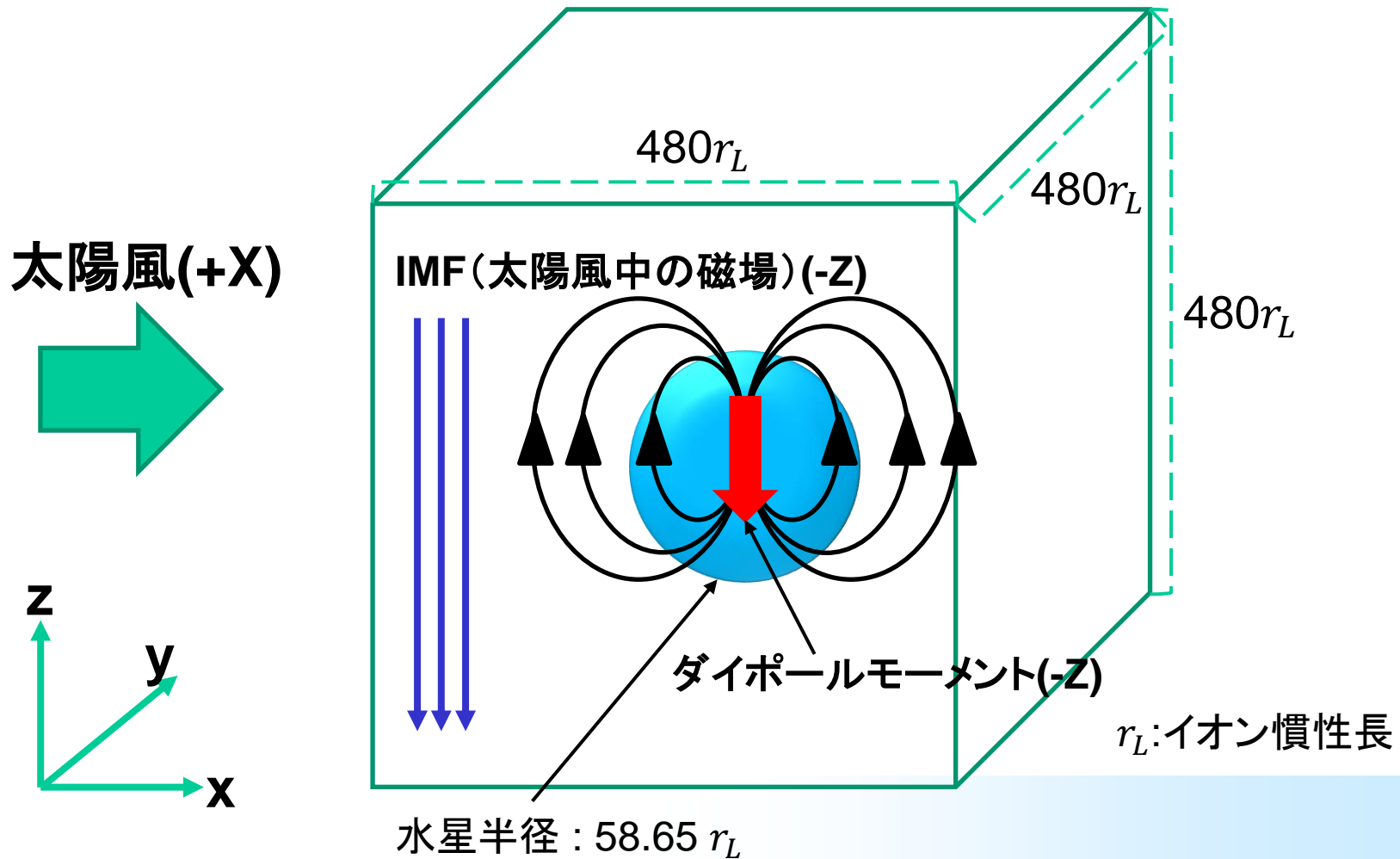
現実スケールの磁気圏  
シミュレーションが可能



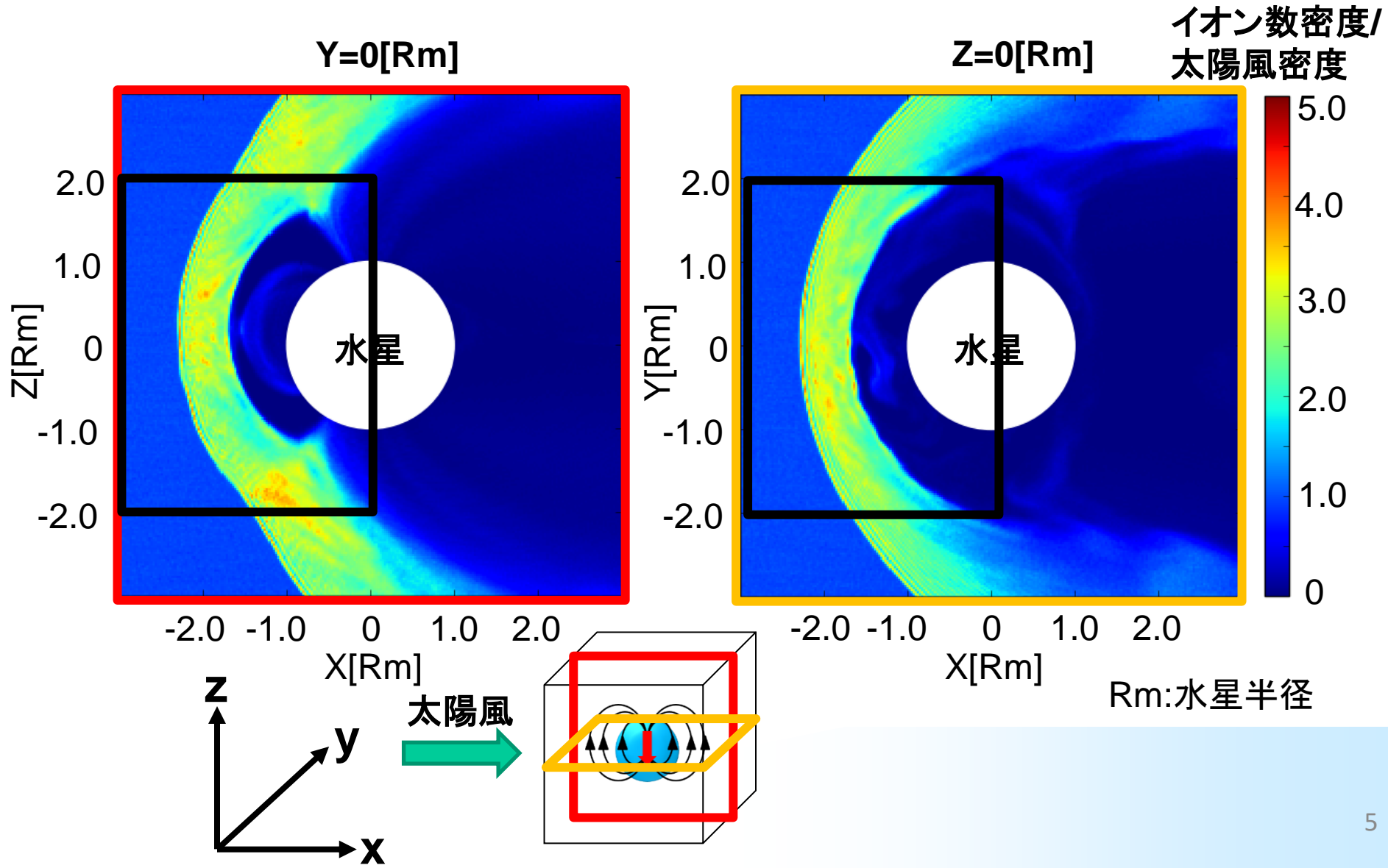
本研究の目標

イオンの運動論的効果を含んだハイブリッド粒子シミュレーションを用いて水星磁気圏における粒子の運動や太陽風による影響を解析

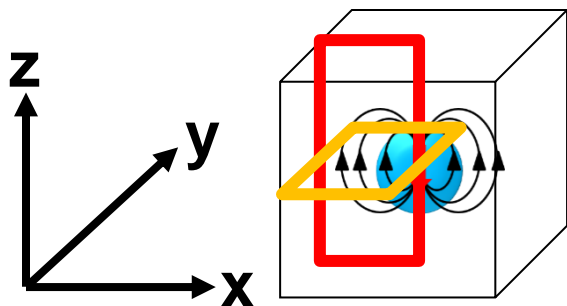
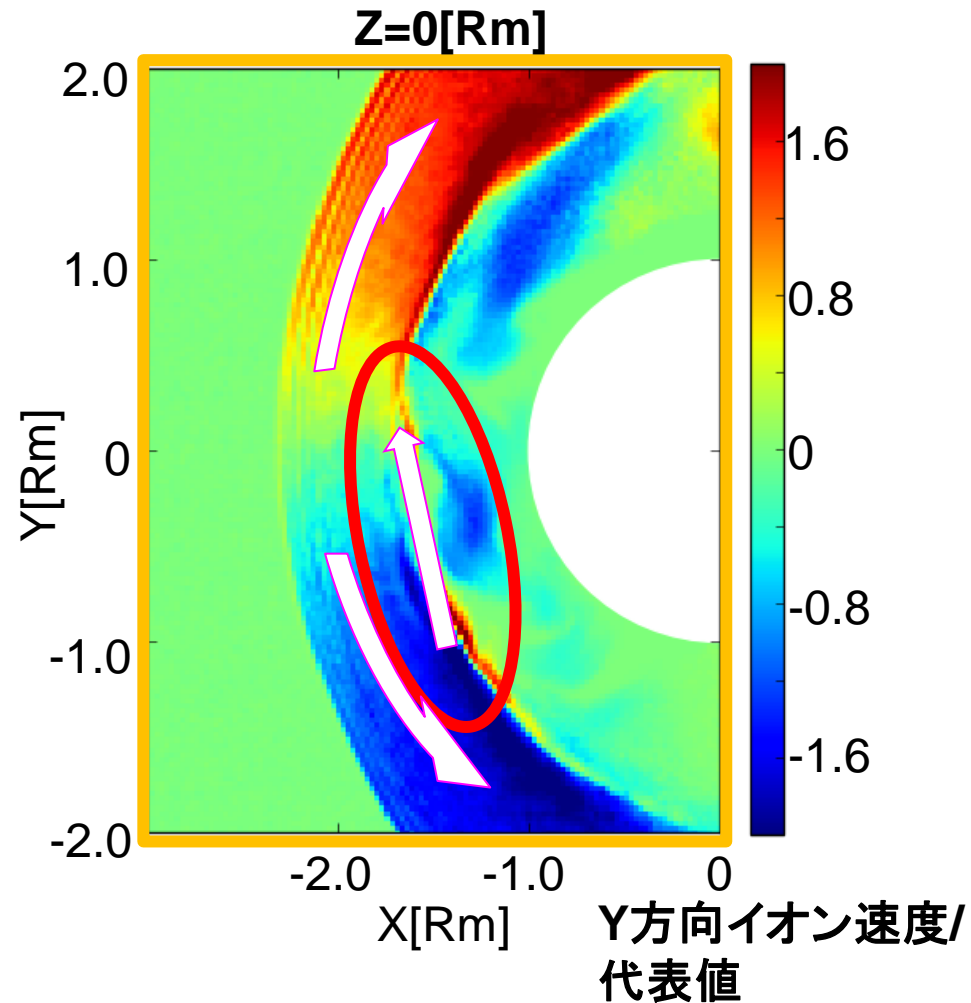
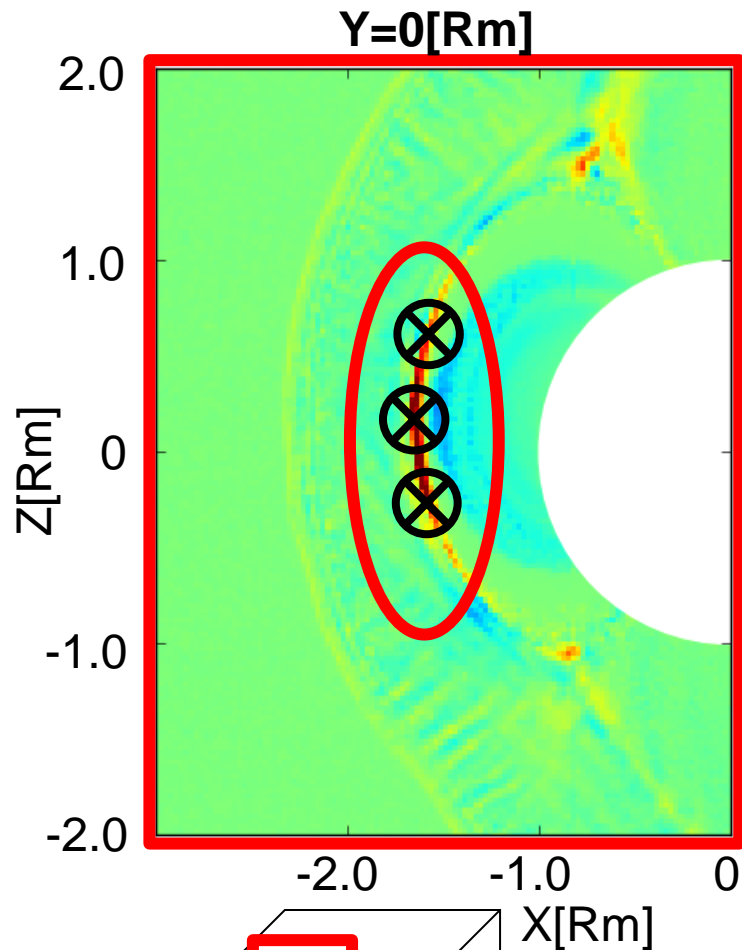
# シミュレーション設定



# シミュレーション結果：イオン数密度



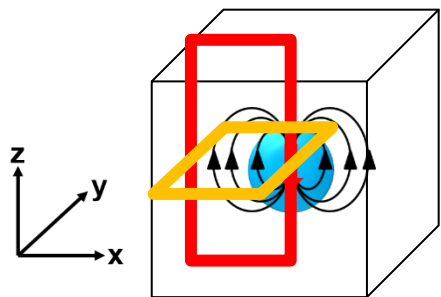
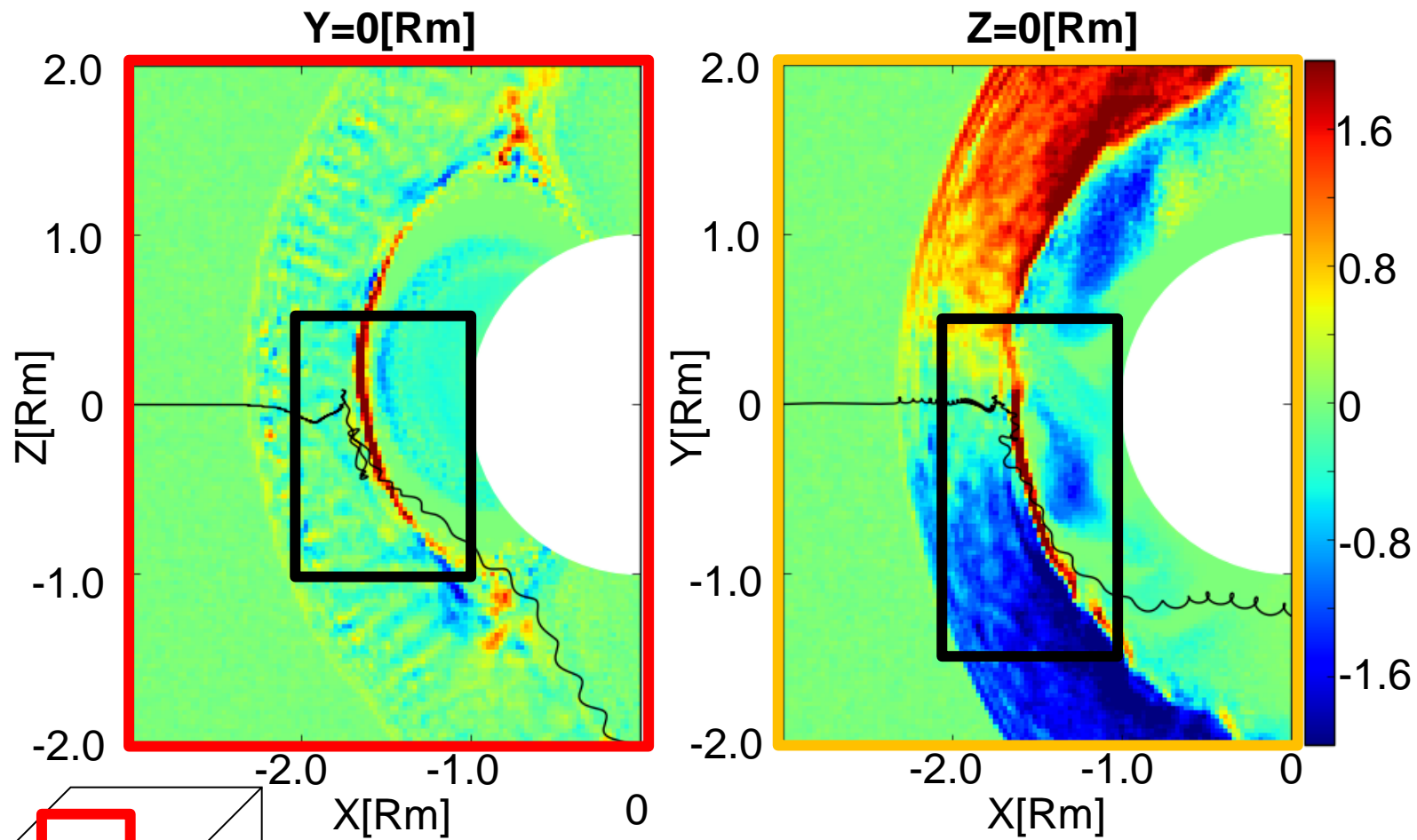
# シミュレーション結果: Y方向イオン速度



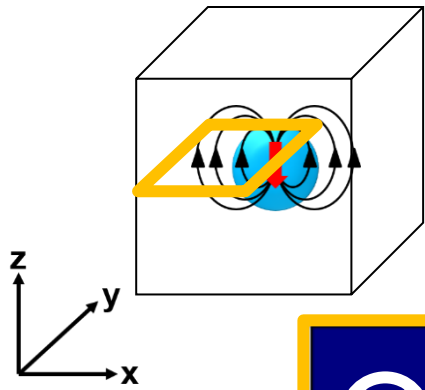
赤丸の+Y方向のイオンの動きについて詳しく知りたい



# イオンの運動

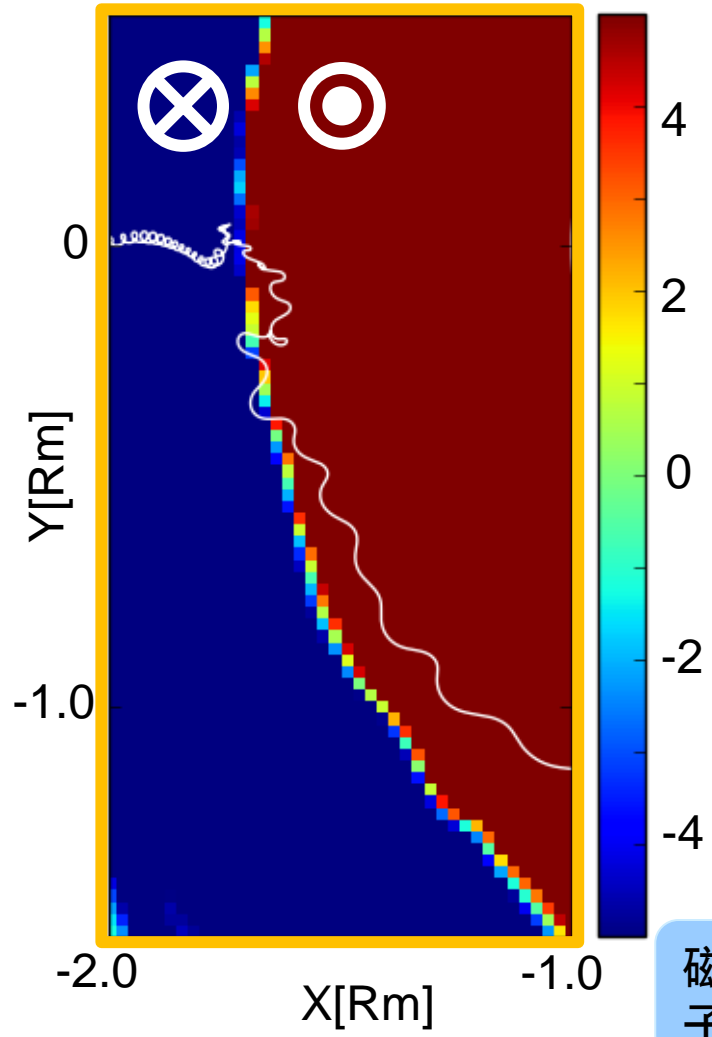


# イオンの運動

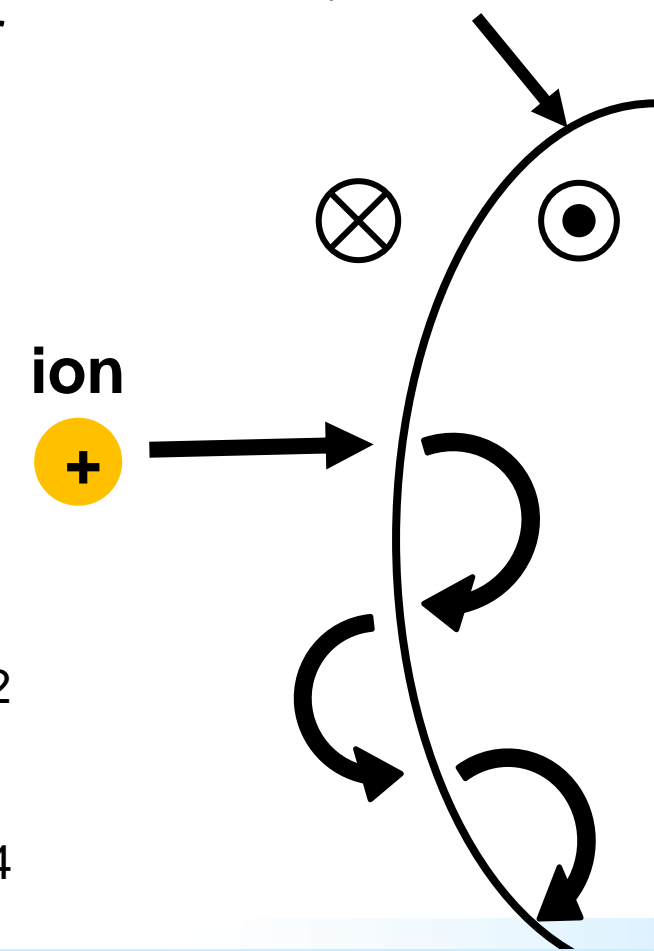


Z=0[Rm]

Z方向磁場/  
IMF強度



磁場のZ成分がゼロ

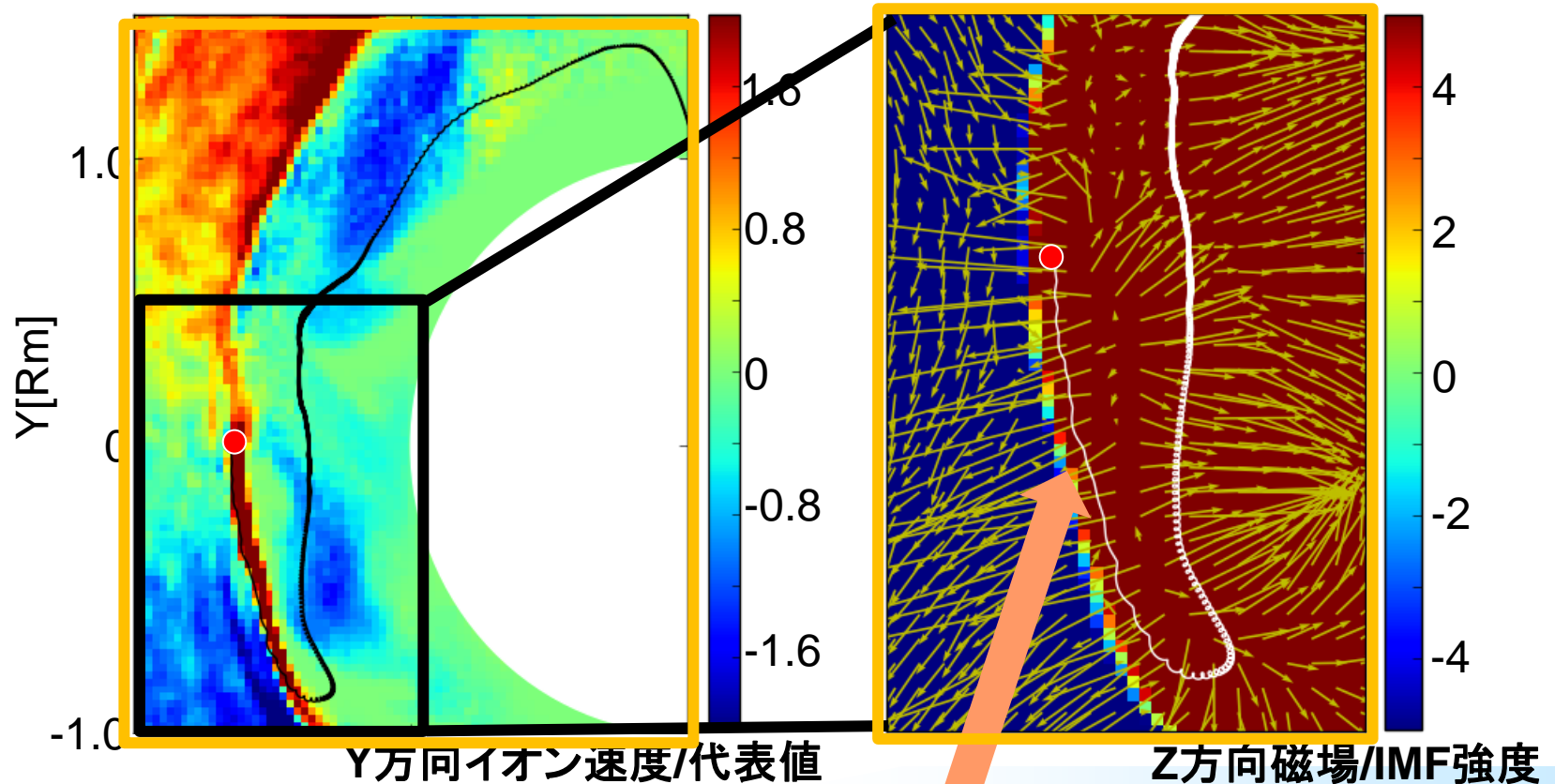


磁場のZ成分が入れ替わる場所では荷電粒子が蛇行するメアンダリング運動が見られる

# イオンの運動

+Y方向イオン速度が強い領域に行き着くイオンの軌道を可視化

黄色矢印: 電場



電場と磁場より $E \times B$ ドリフト運動をしている

# イオンの運動

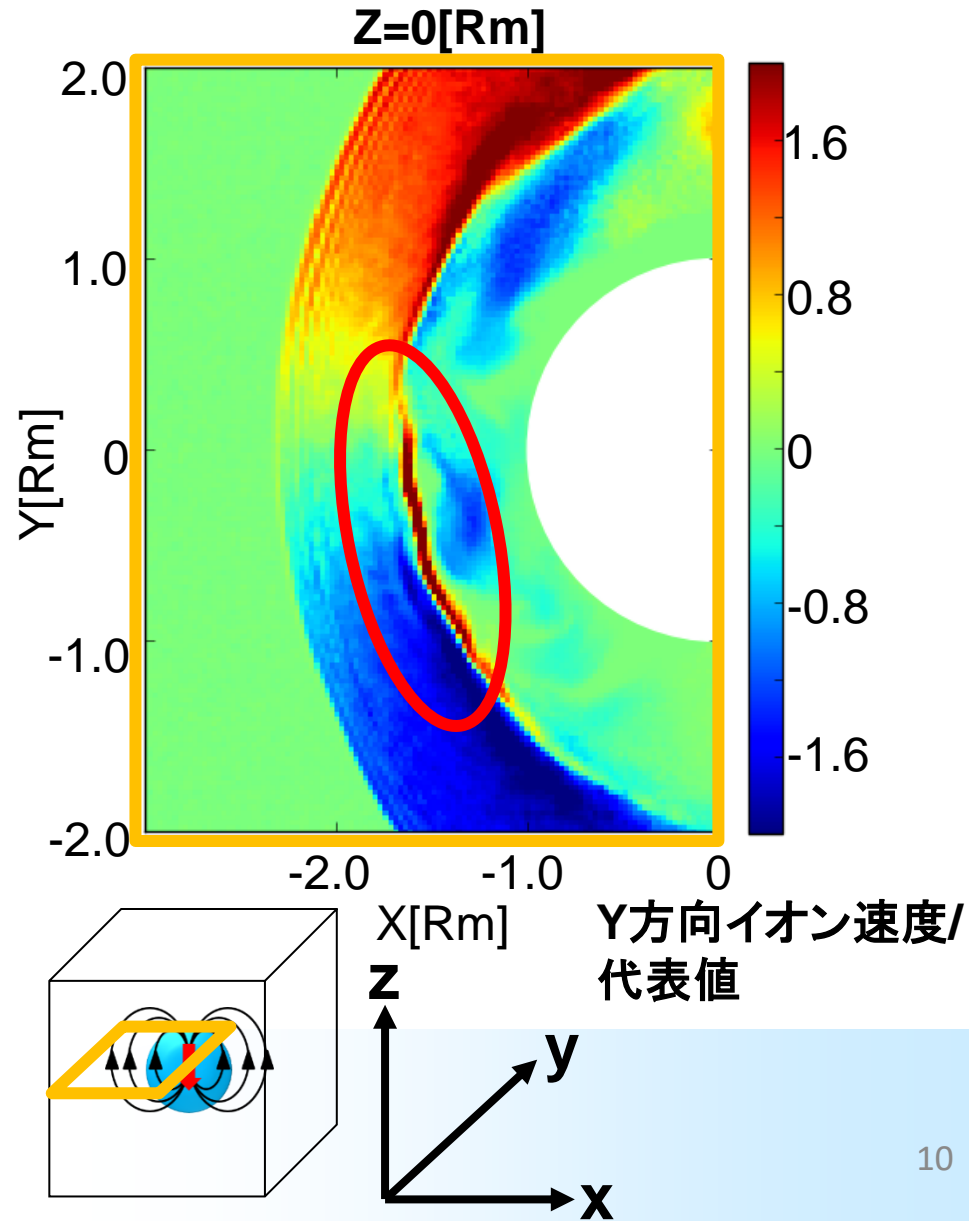
磁気圏の外から来たイオンのメアンダリング運動は+Y方向イオン速度の原因ではない



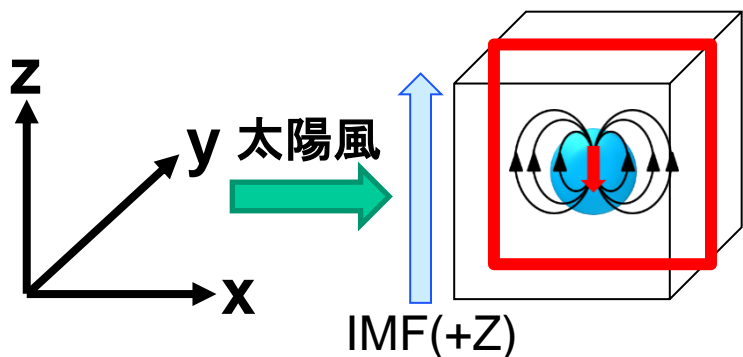
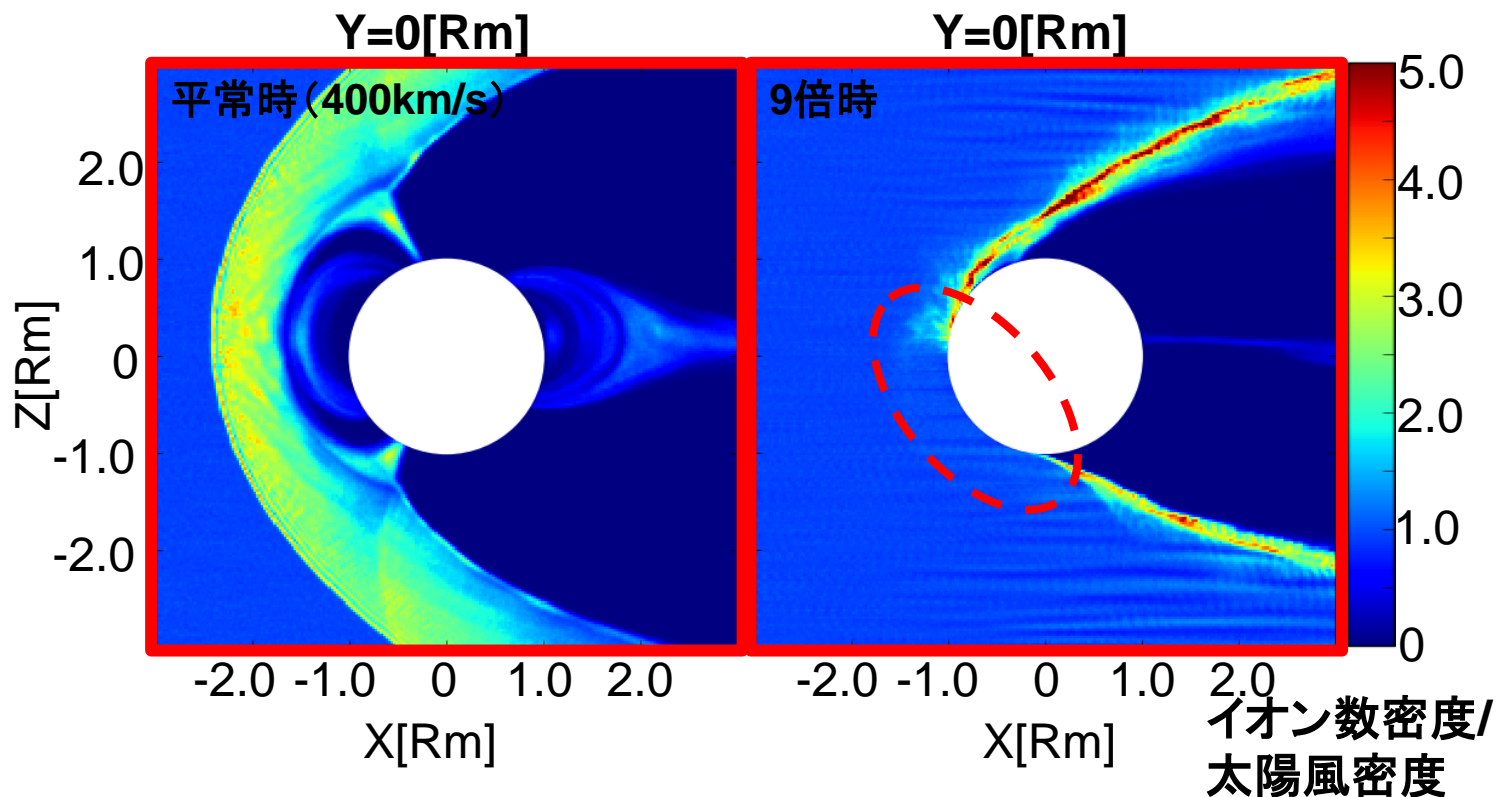
磁気圏内のイオン粒子は赤で囲まれた部分のように+Y方向に移動する



磁気圏内のイオン粒子の運動が原因の可能性

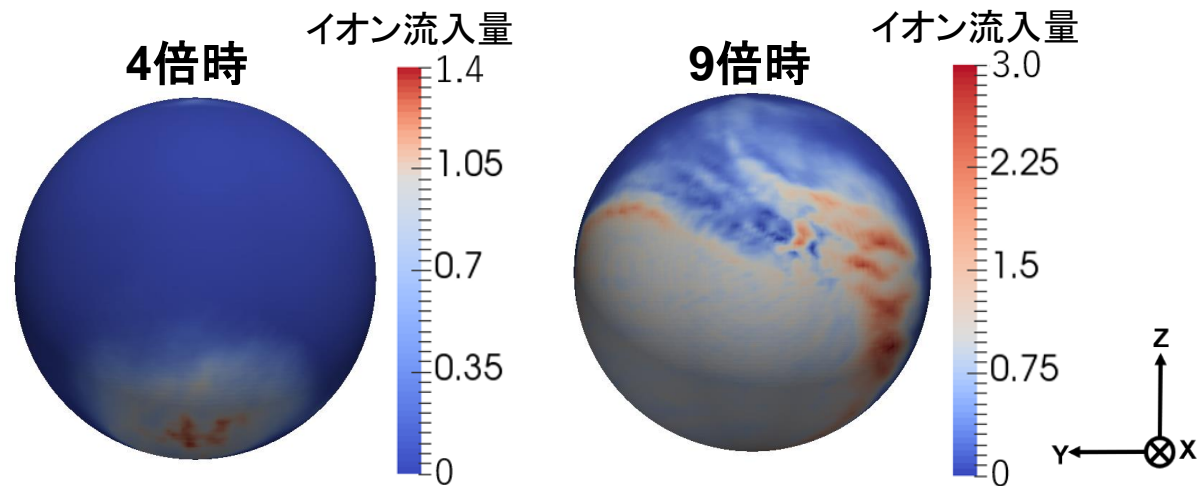


# 太陽風速度が極端に速い場合

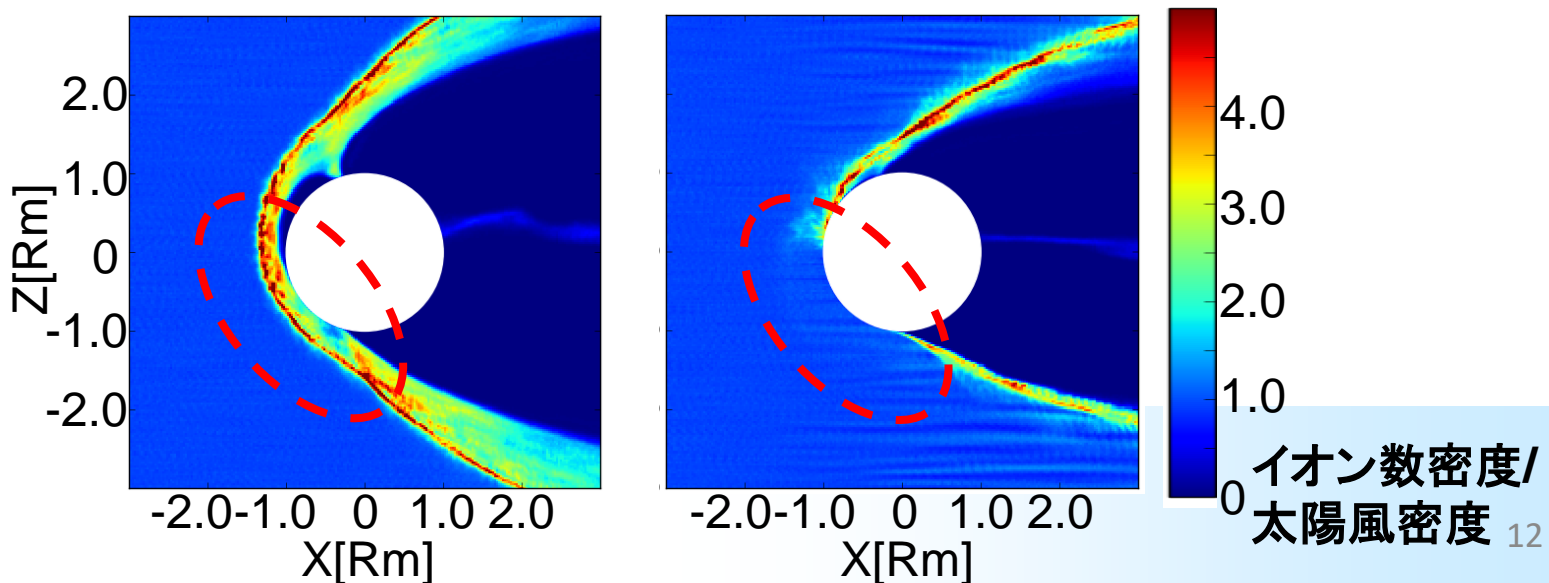


太陽風が極端に速い場合磁気圏境界面が水星表面に接触  
Disappearing Dayside Magnetopause (DDM)

# イオンの水星表面への流入



イオン流入量は太陽風上流における流入量で規格化



# まとめ

- ハイブリッド粒子シミュレーションを用いて水星磁気圏を再現した
- Z方向の磁場によりイオンのメアンダリング運動が観測され、水星付近では $E \times B$ ドリフト運動も観測された
- 太陽風速度が極端に速い場合は磁気圏境界面が水星表面に接触する

## [今後の課題]

- DDM時におけるイオン粒子の運動
- 電子の運動を考慮した粒子シミュレーション