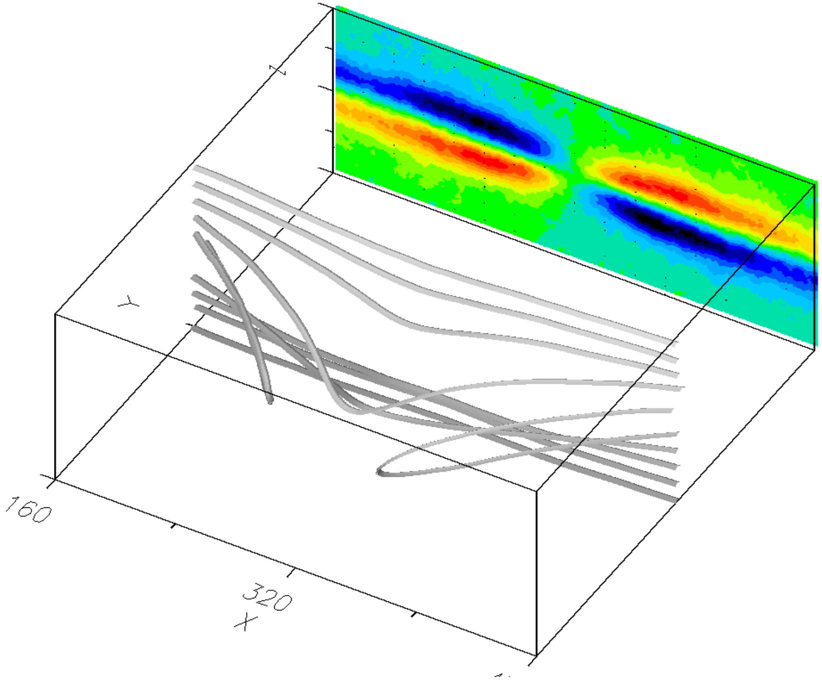
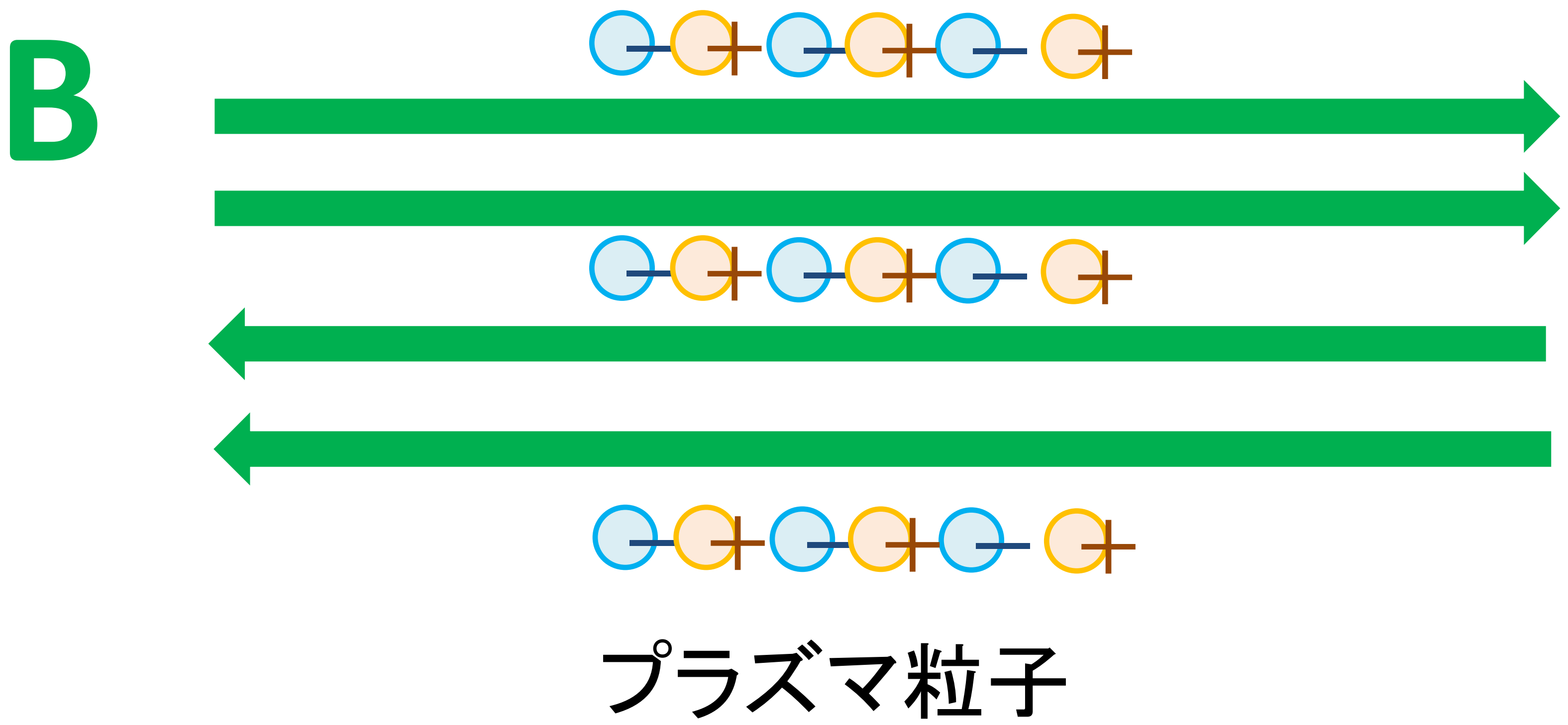
磁気リコネクションのPICシミュレーション



打田晴輝
神谷慶
矢田部彰宏

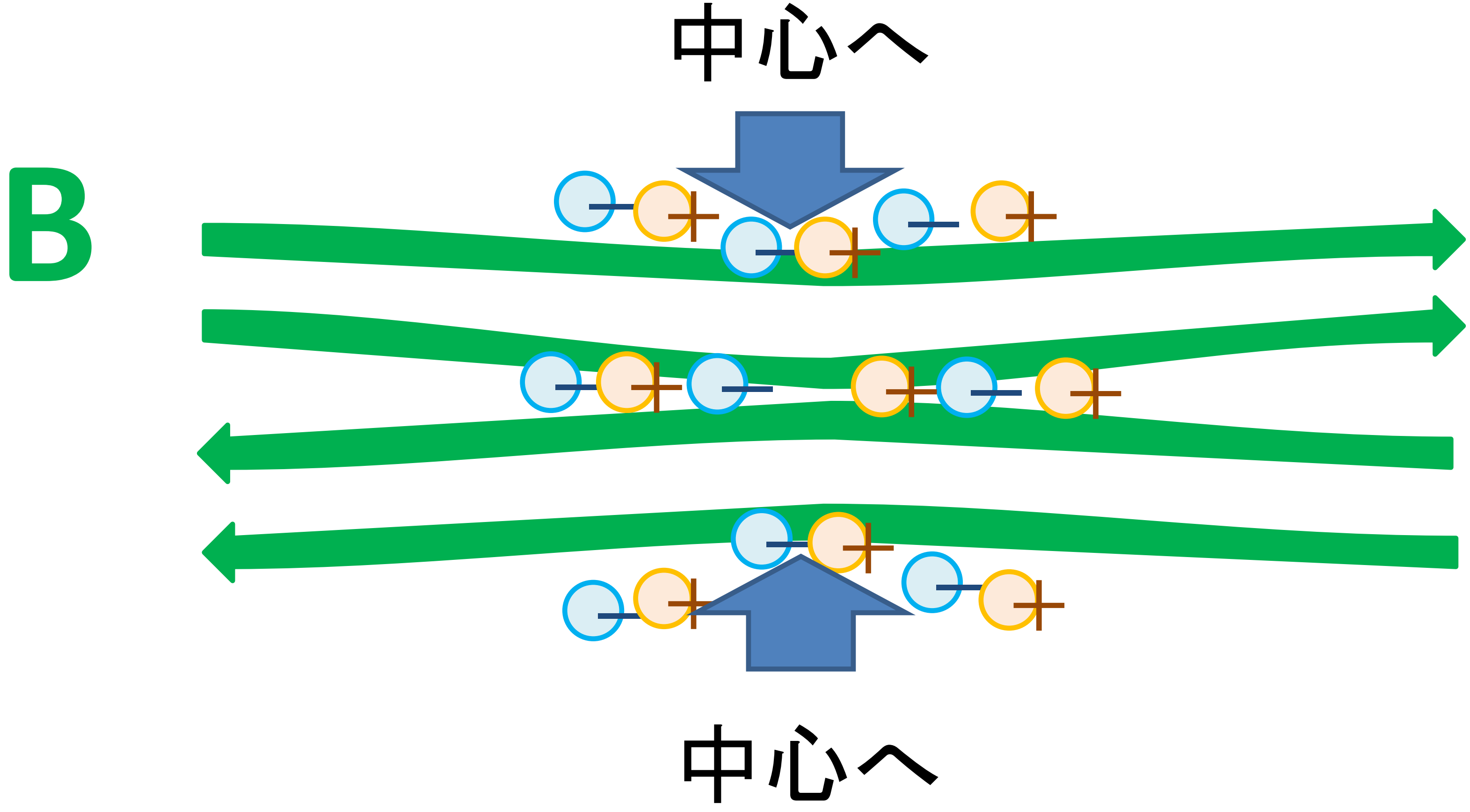
磁気リコネクションとは

磁気リコネクション… プラズマ中で磁力線が繋ぎ変わり、
磁気エネルギーをプラズマのエネルギーとして開放する素過程



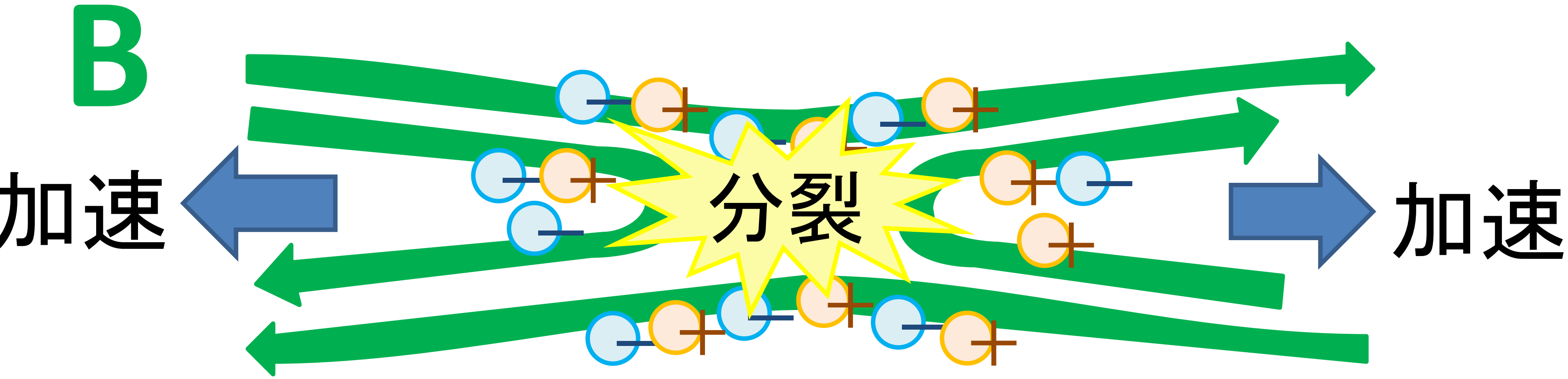
磁気リコネクションとは

磁気リコネクション… プラズマ中で磁力線が繋ぎ変わり、
磁気エネルギーをプラズマのエネルギーとして開放する素過程



磁気リコネクションとは

磁気リコネクション… プラズマ中で磁力線が繋ぎ変わり、
磁気エネルギーをプラズマのエネルギーとして開放する素過程



pCANSシミュレーション

反平行な磁場中に電子とイオンの2種類の荷電粒子を分布させ、それぞれの荷電粒子の運動による系の時間発展を解く。特に、粒子の速度分布と磁場に注目する。

基礎方程式

Vlasov方程式

電磁場中の粒子の分布関数の時間発展の方程式

Maxwell方程式

電磁場の時間発展の方程式

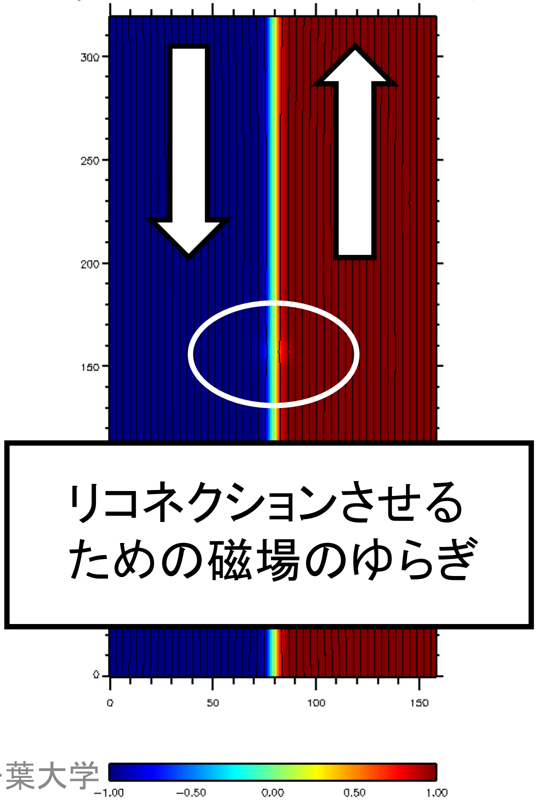
電子とイオンの違い

電子とイオンは電荷の符号のほか質量と温度が異なるとする。

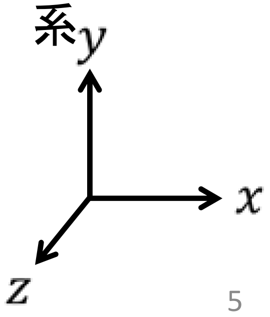
$$m_e \neq m_i \qquad T_e \neq T_i$$

初期磁場の設定

初期磁場にはy方向の反平行な磁場のほかにリコネクションの種となる磁場のゆらぎを入れる。

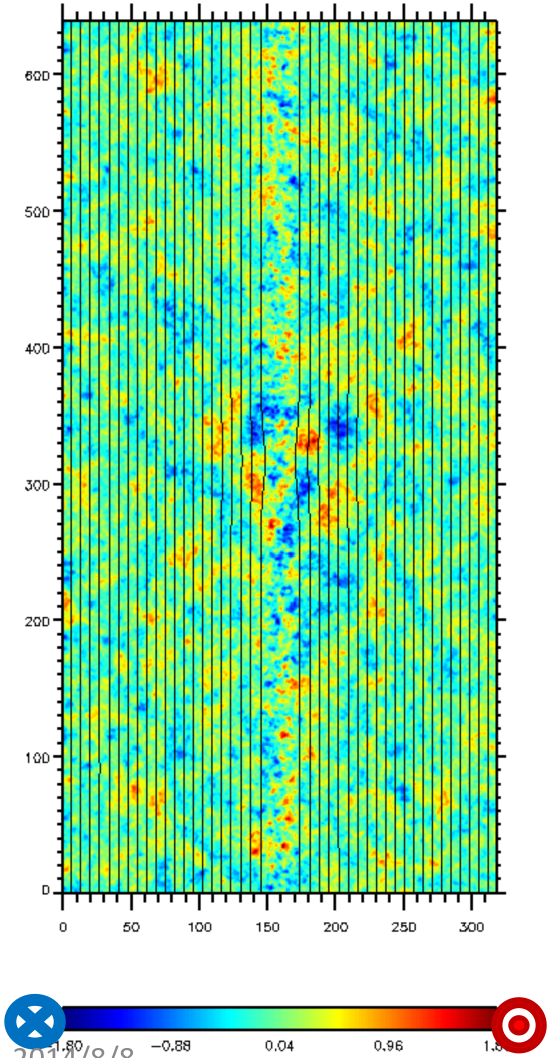


座標系

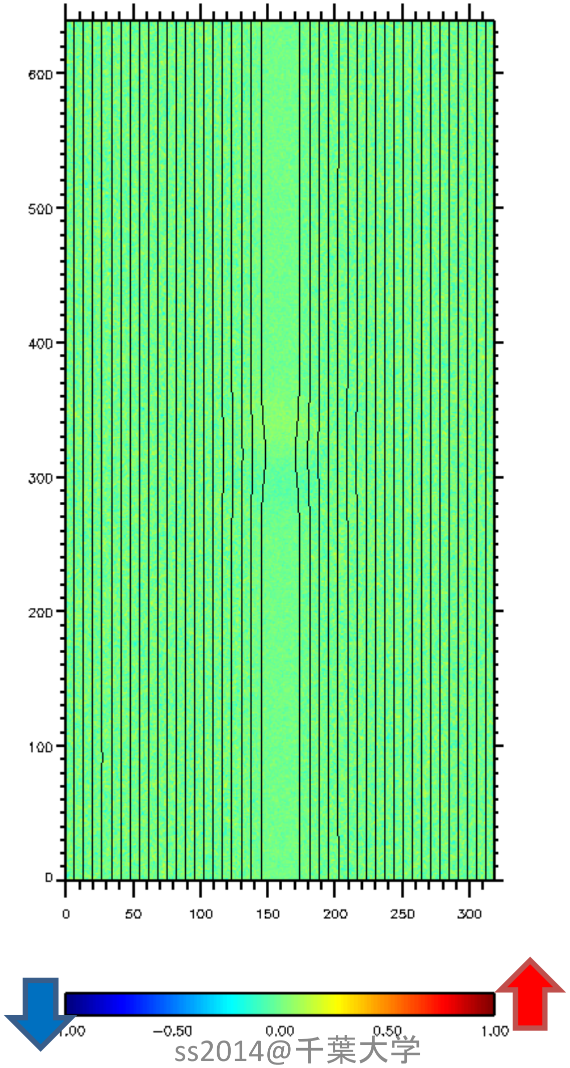


結果($m_i=16m_e, T_i>T_e$)

磁場

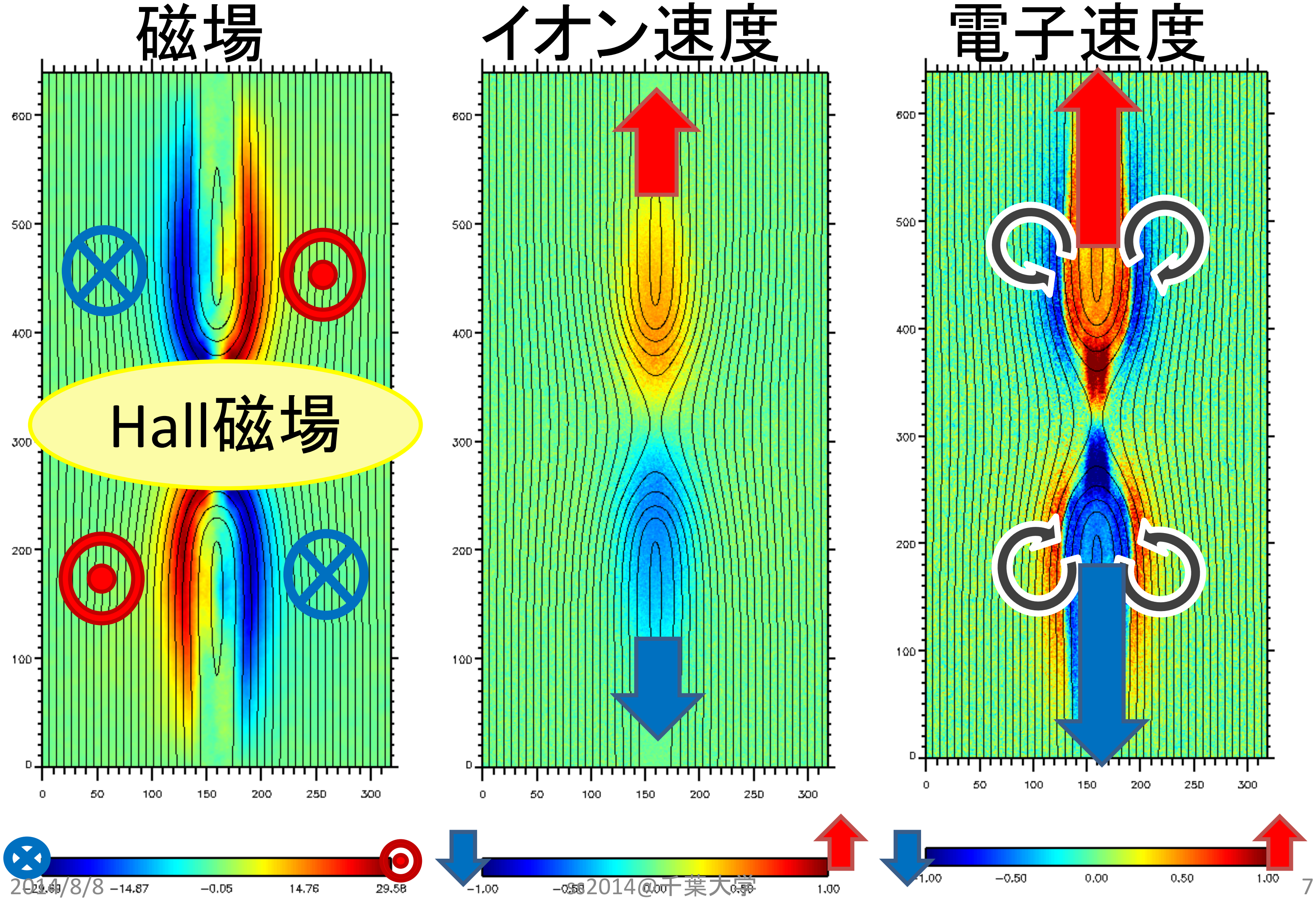


イオン速度

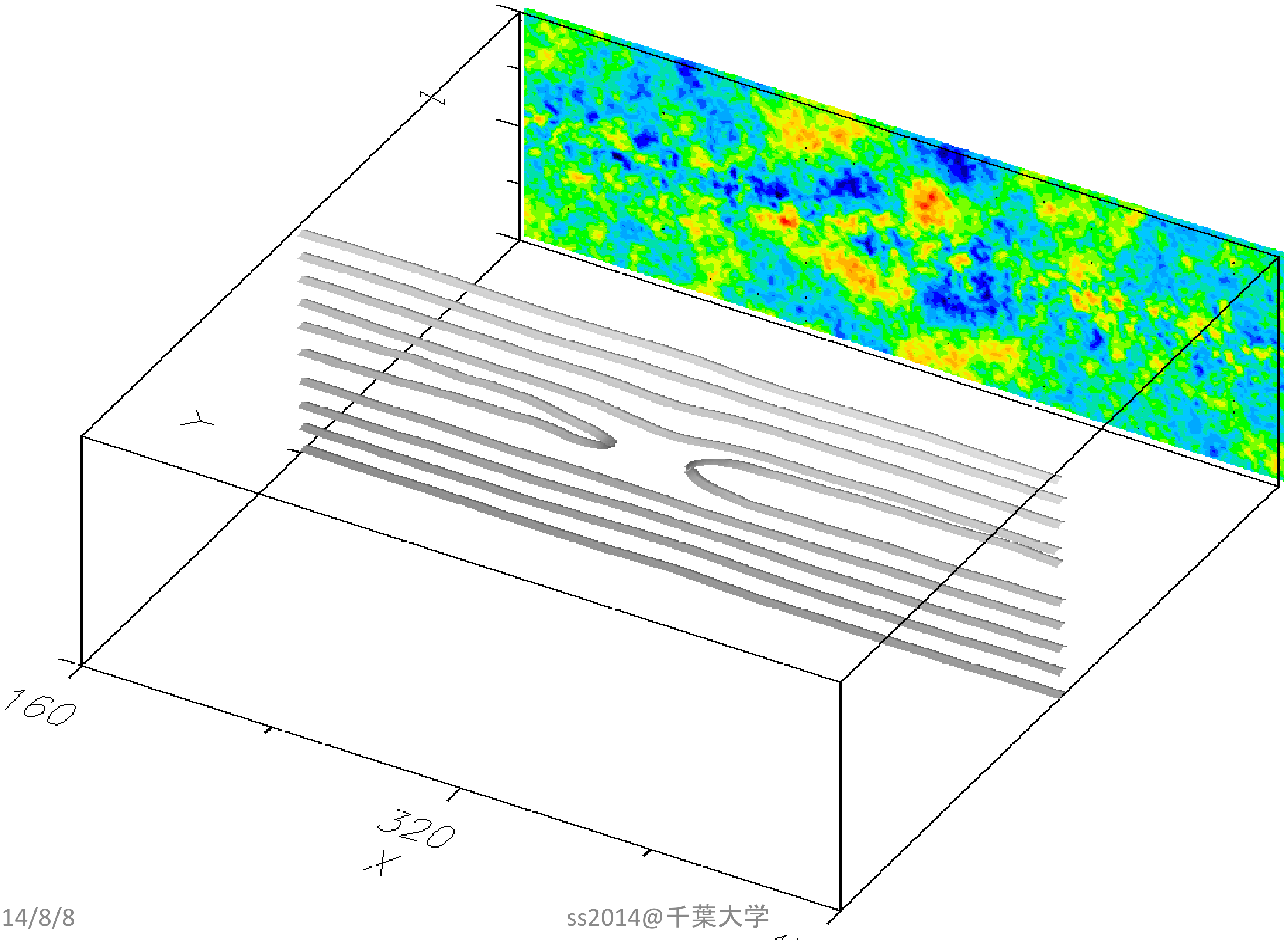


電子速度

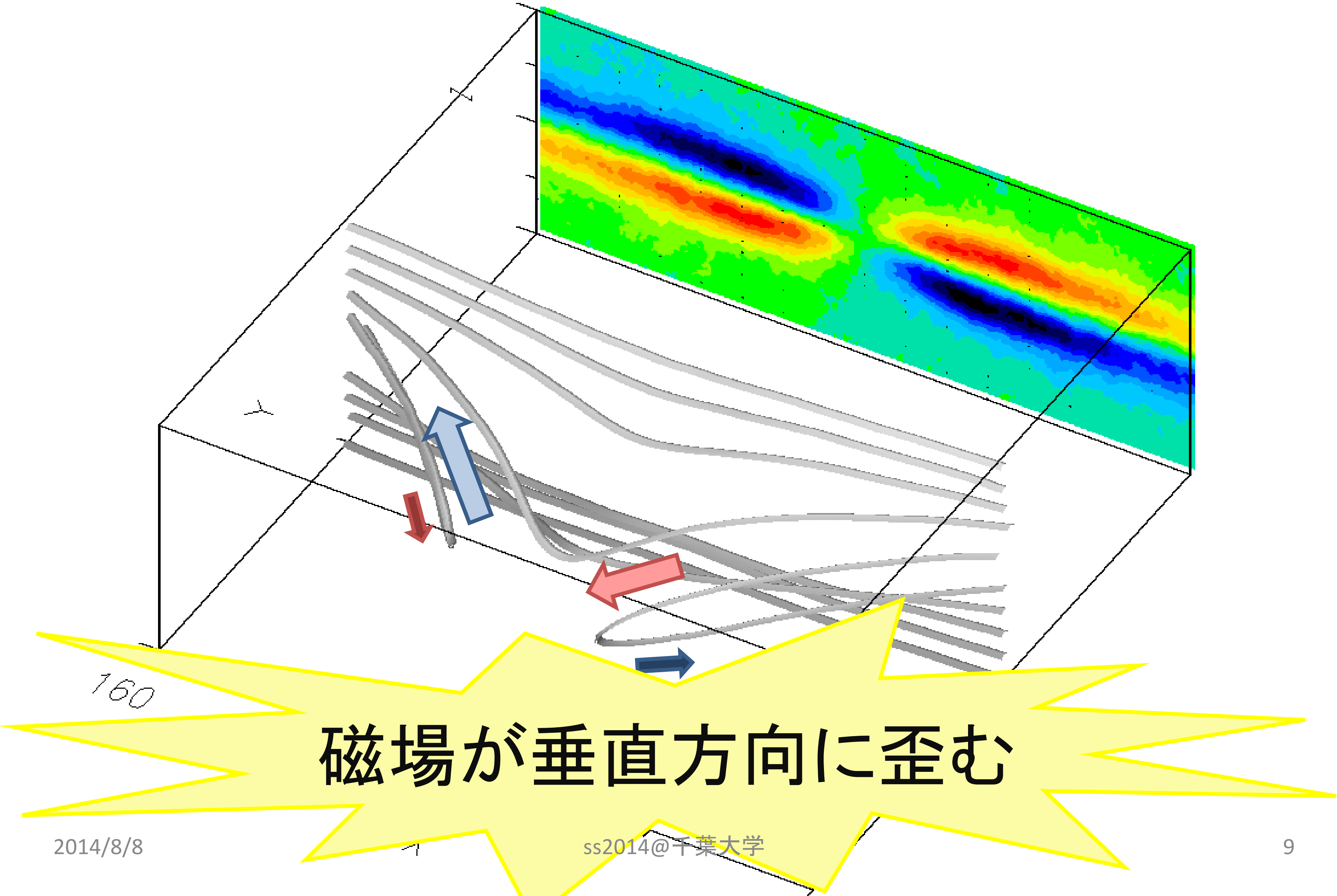
結果(m_i=16m_e,T_i>T_e)



磁場の変化（z成分）

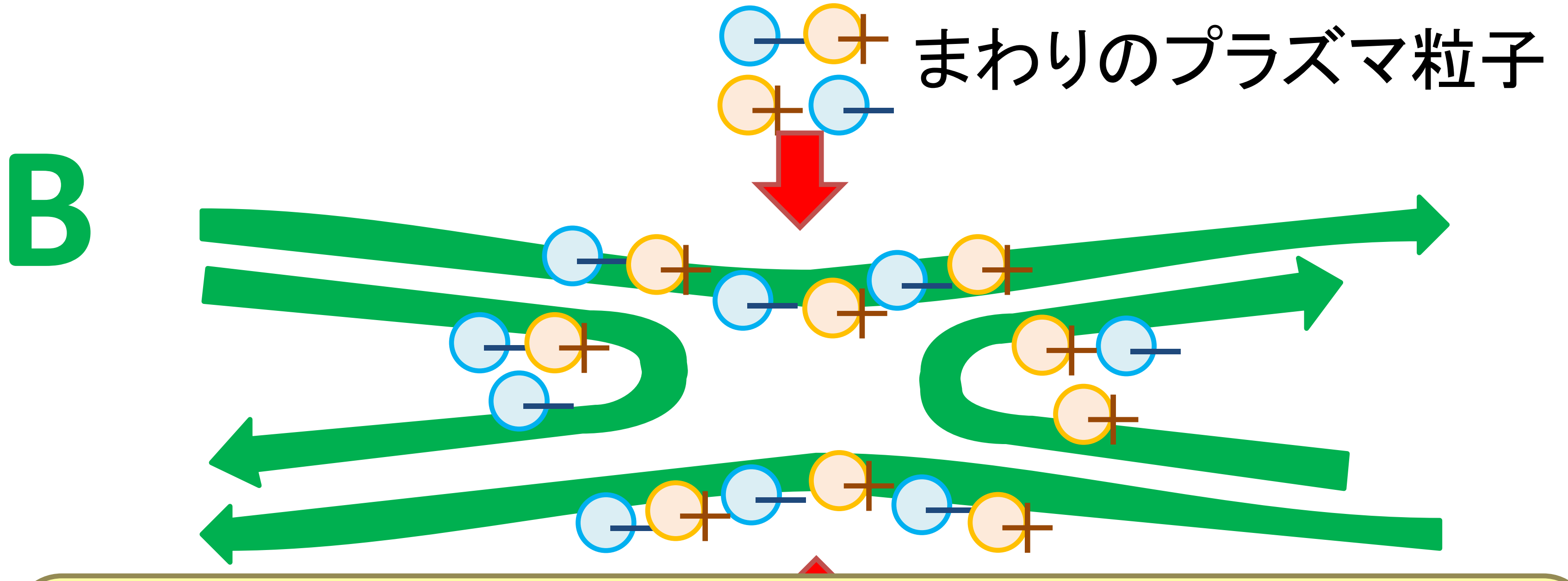


磁場の変化(z成分)



リコネクション率

リコネクション率**R**…磁束が中心で繋ぎ変わる効率を表す

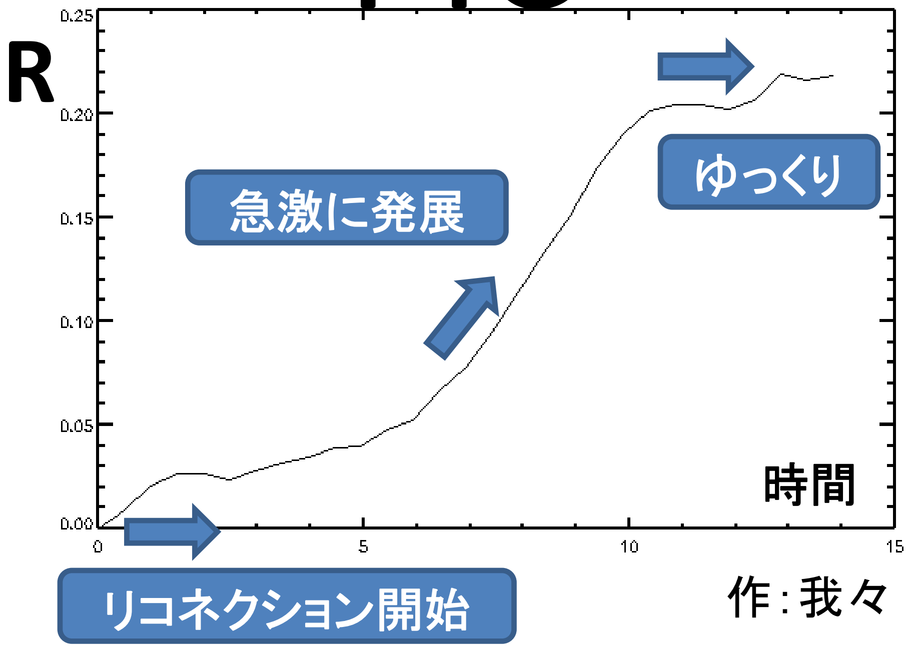


まわりのプラズマの流入速度
≒リコネクション率R

リコネクション率

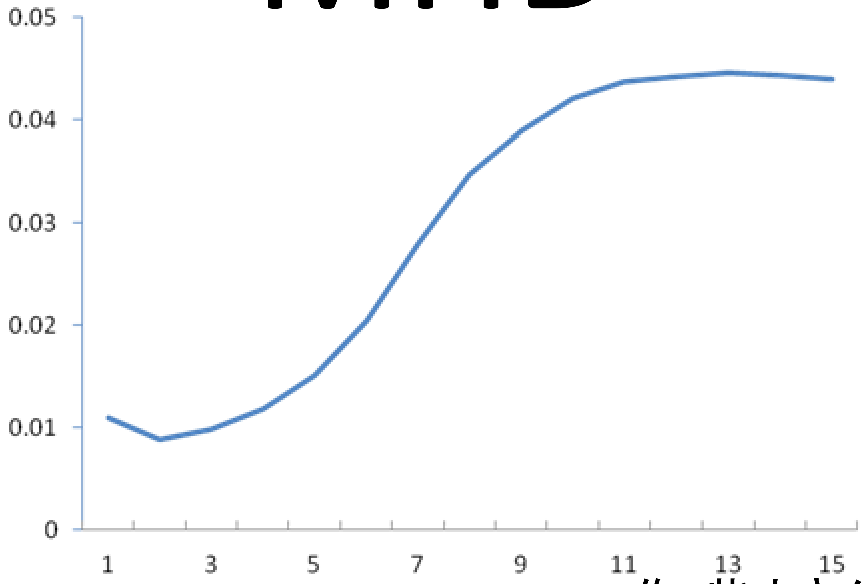
リコネクション率**R**…磁束が中心で繋ぎ変わる効率を表す

PIC pCANS



作：我々

MHD CANS+



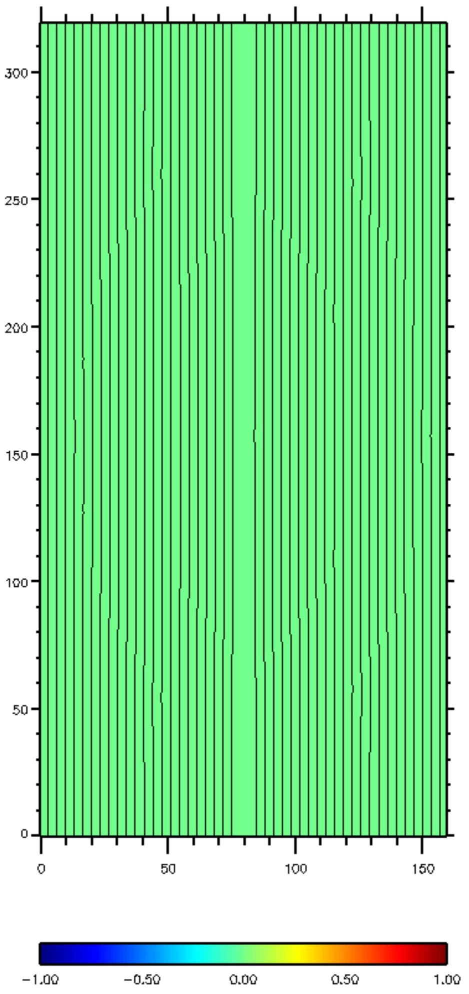
作：柴山さん

MHDシミュレーションとほぼ同じ傾向

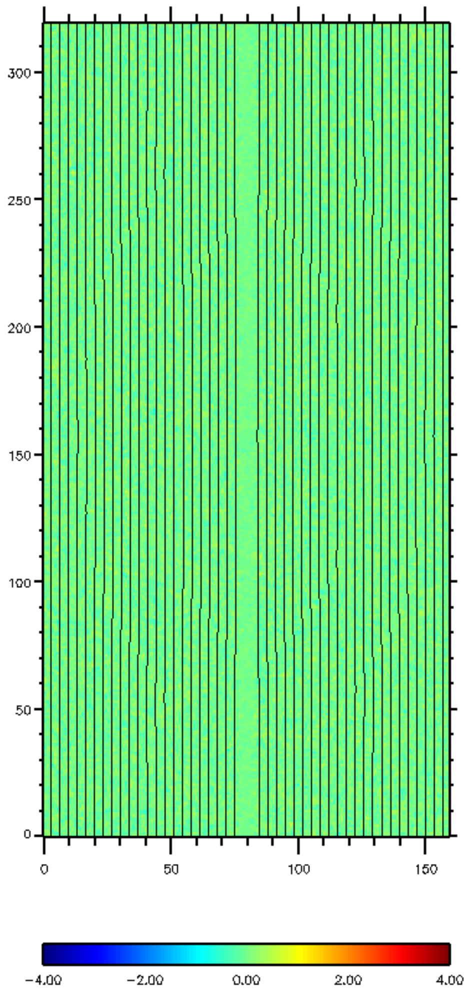
Picは大変・・・

結果(2)（mi=me,Ti=Te）

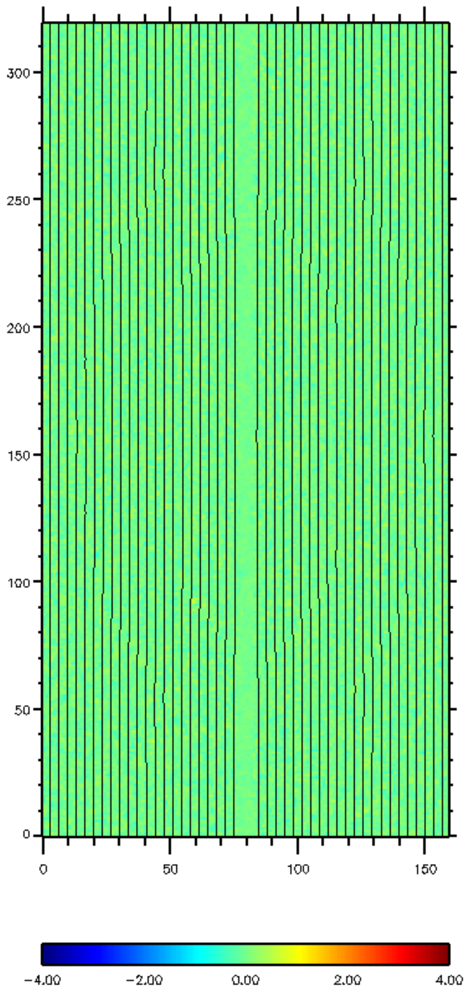
磁場分布



陽電子の速度分布



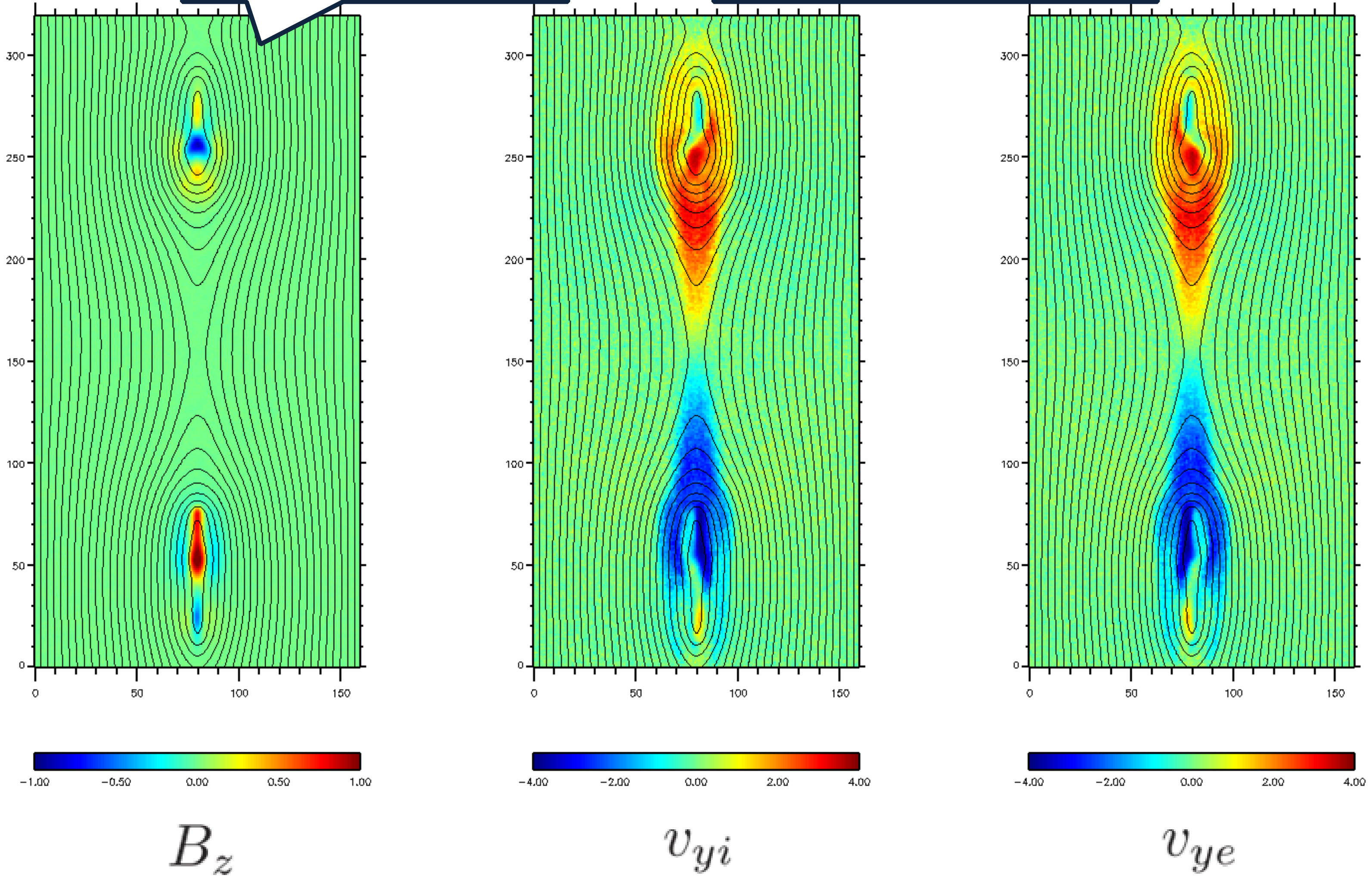
電子の速度分布



結果(2) （mi=me,Ti=Te）

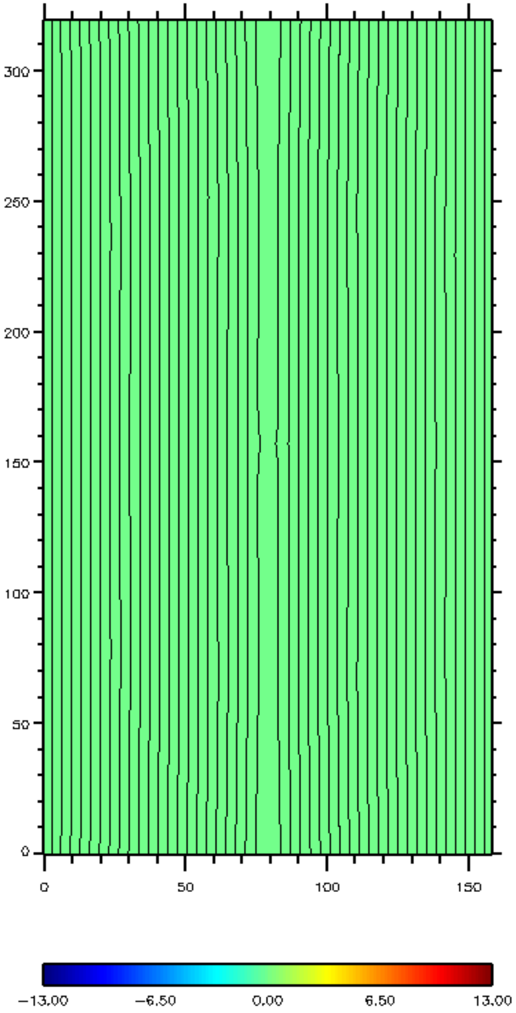
Hall磁場は見られない
（不安定な磁場）

電子・陽電子の速度差は
ほとんどなく、左右対称

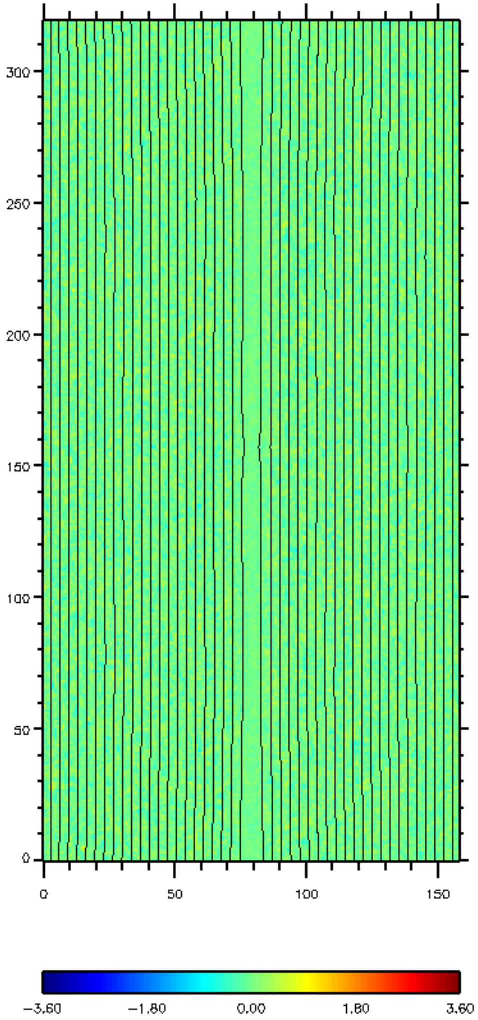


結果(3)（$m_i=m_e, T_i>T_e$)

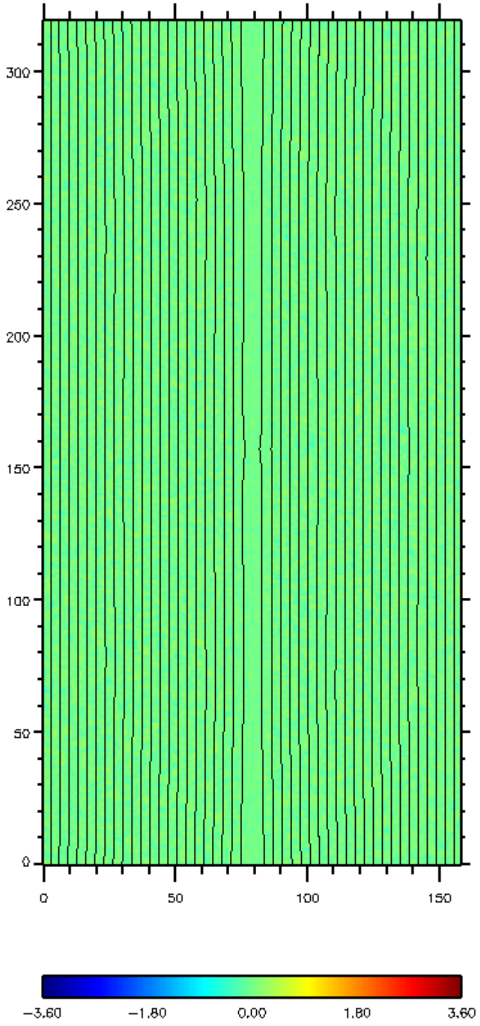
磁場分布



陽電子の速度分布

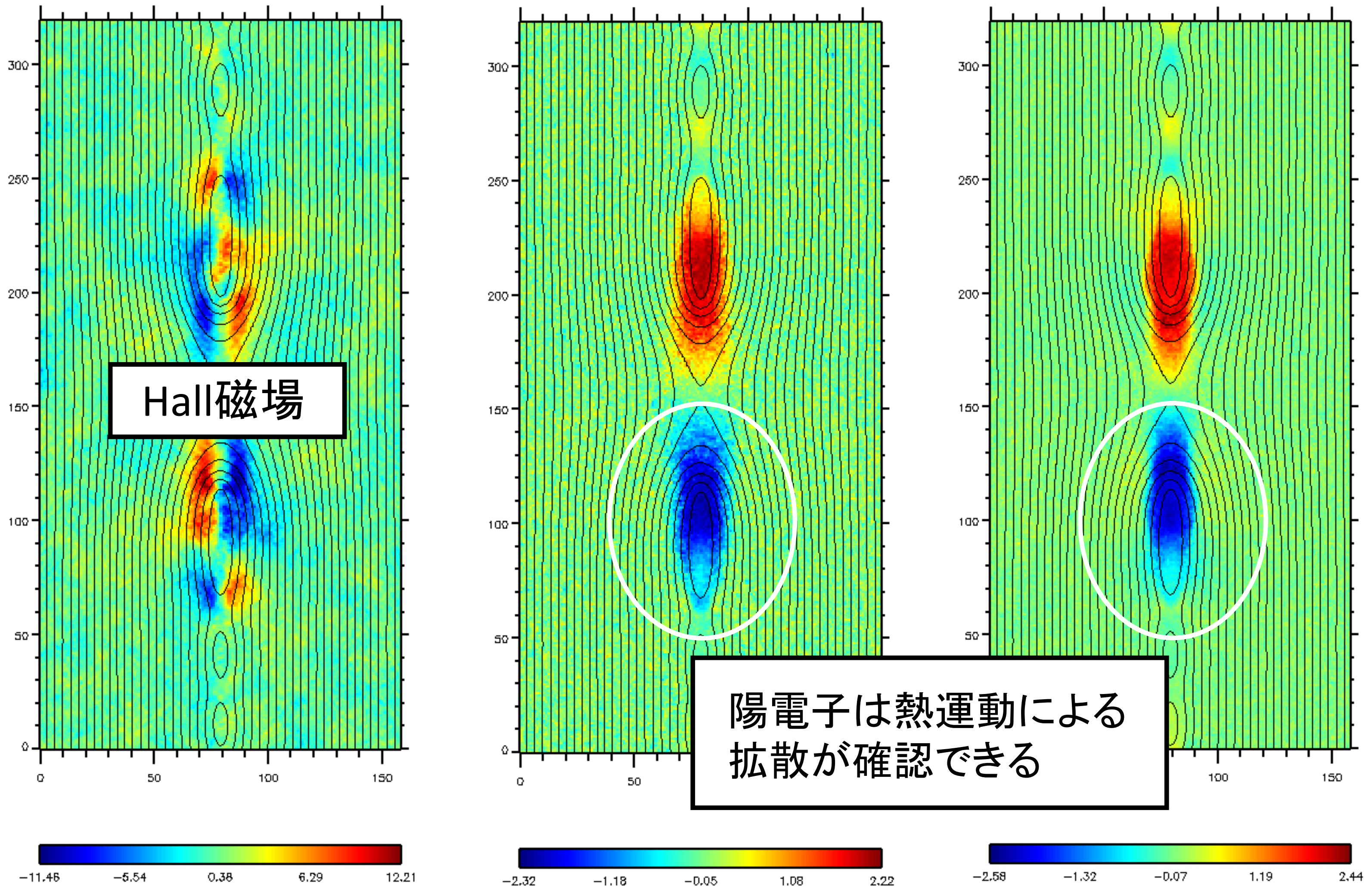


電子の速度分布



結果(3) （$m_i=m_e, T_i>T_e$)

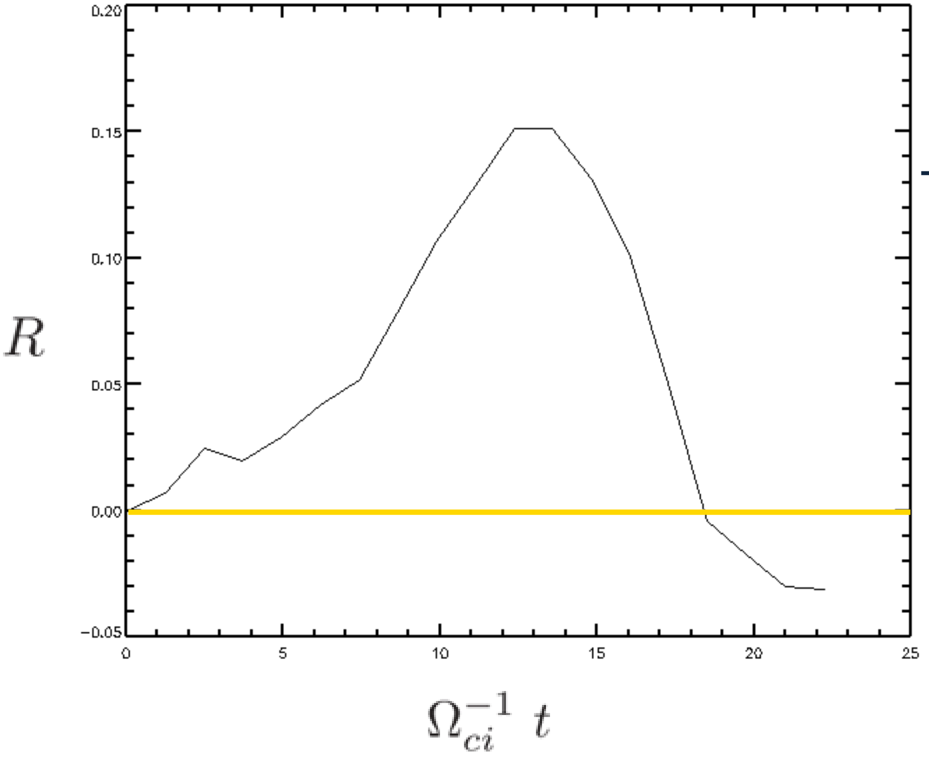
磁場分布　　陽電子の速度分布　　電子の速度分布

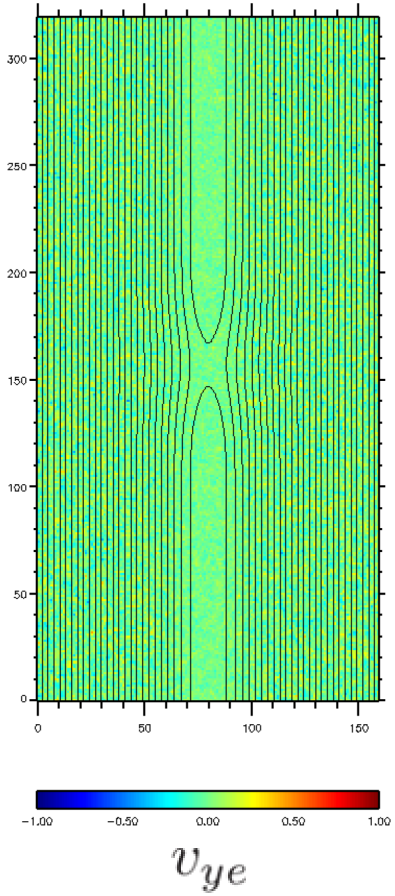


余談…

空間的に小さいスケール（～イオン慣性長）でリコネクションレートを計算すると、準定常状態にならない。

→境界から戻ってくる磁力線が繋ぎ戻るため





まとめ

pCANSを用いて、磁気リコネクションの粒子シミュレーションを行い、以下のような物理現象の運動論的効果を調べた.

<u>Hall効果</u>

- 電子の方がイオンより軽くジェット速度が速いため、面内に電流が生じ磁場を生成する(Hall磁場).
- 一般的に2粒子には流れの差があるためHall磁場を生成するが、それぞれ全く同じ条件にした場合、Hall磁場は見られなかった.
- 2粒子それぞれの温度が異なれば陽電子と電子の速度スケールに差が生じ、Hall磁場が見られた.

<u>リコネクションレート</u>

- リコネクションの進む速さ(リコネクションレート)の時間発展を求めMHDから求められたものと比較した.