

J35b



相対論磁気リコネクションにおける
Weibel 不安定の役割

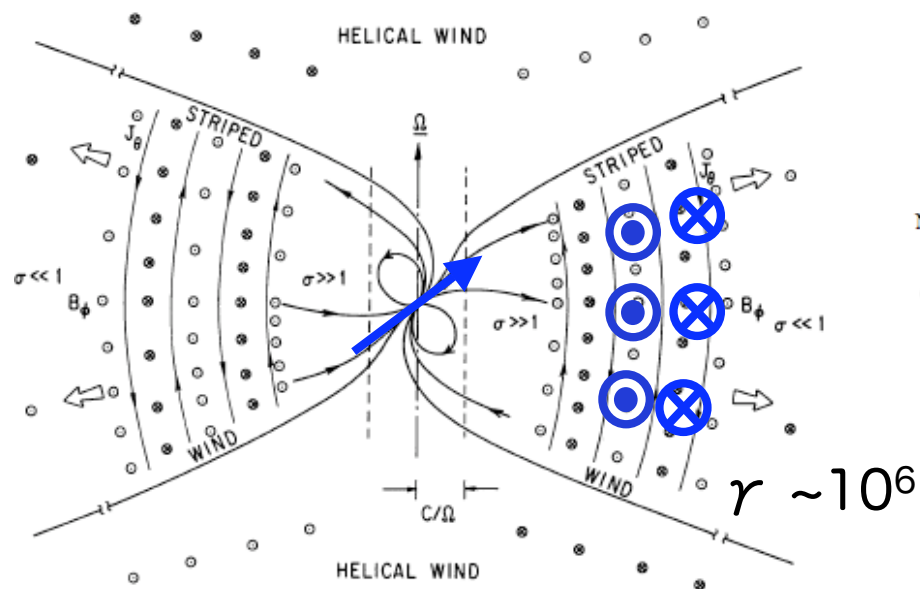
銭谷 誠司

Michael Hesse

NASA Goddard Space Flight Center

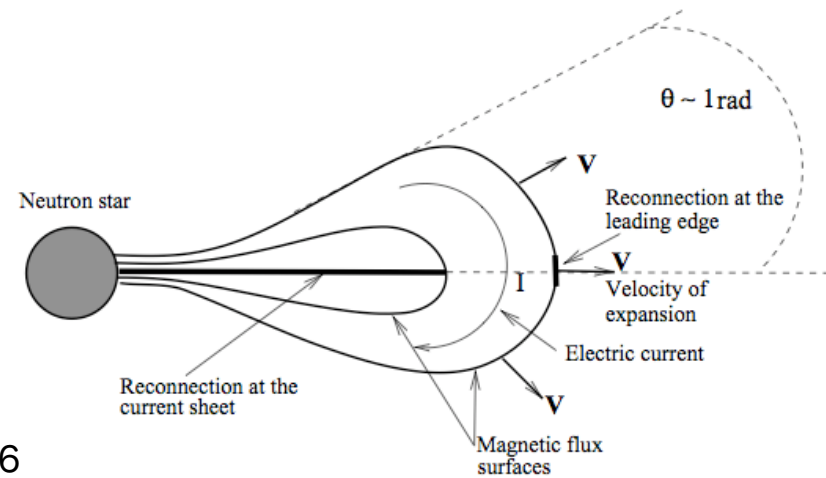
相対論的磁気リコネクション

- 高エネルギー天体領域での役割が注目されている
- リコネクションの基本メカニズムは未解明
- 2000年代以降、理論・シミュレーション研究が進展している



パルサー風中の磁気拡散

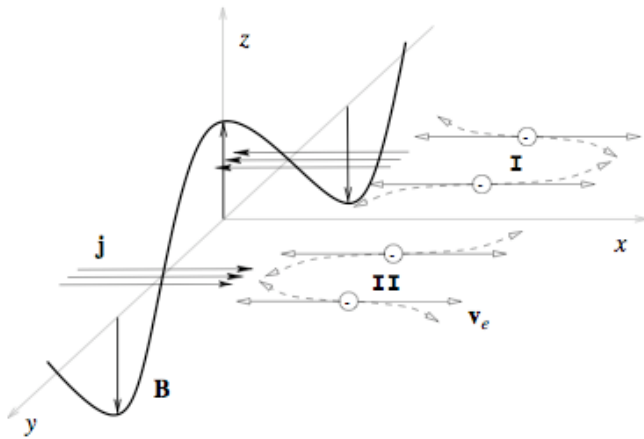
Coroniti 1990 ApJ



マグネターフレアの駆動源

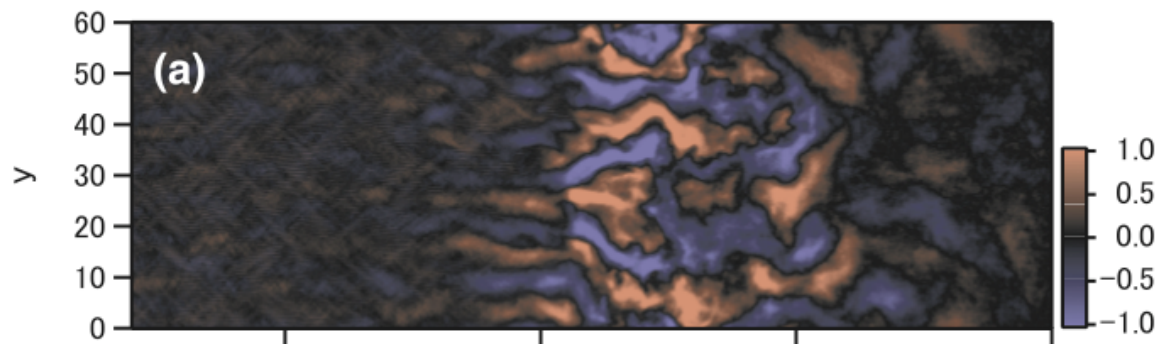
Lyutikov 2006 MNRAS

Weibel 不安定

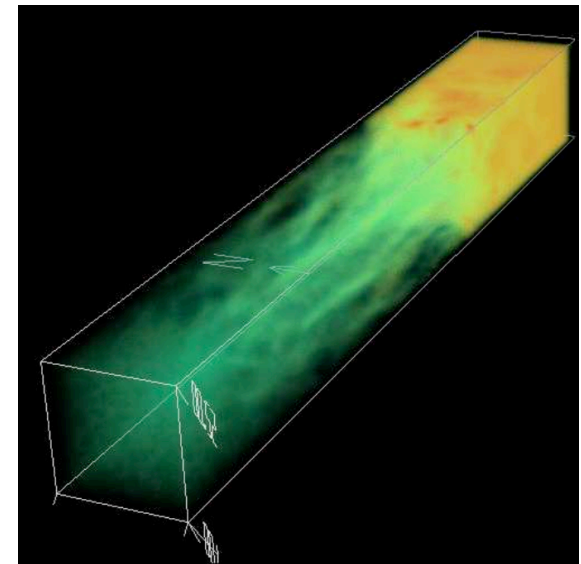


- プラズマの非等方分布（ジェット衝突も含む）エネルギーによって駆動
- 電子慣性長スケールのマイクロ不安定
- 磁場を生成するため、衝撃波加速の散乱体の最有力候補として注目されている

Medvedev 1999 ApJ

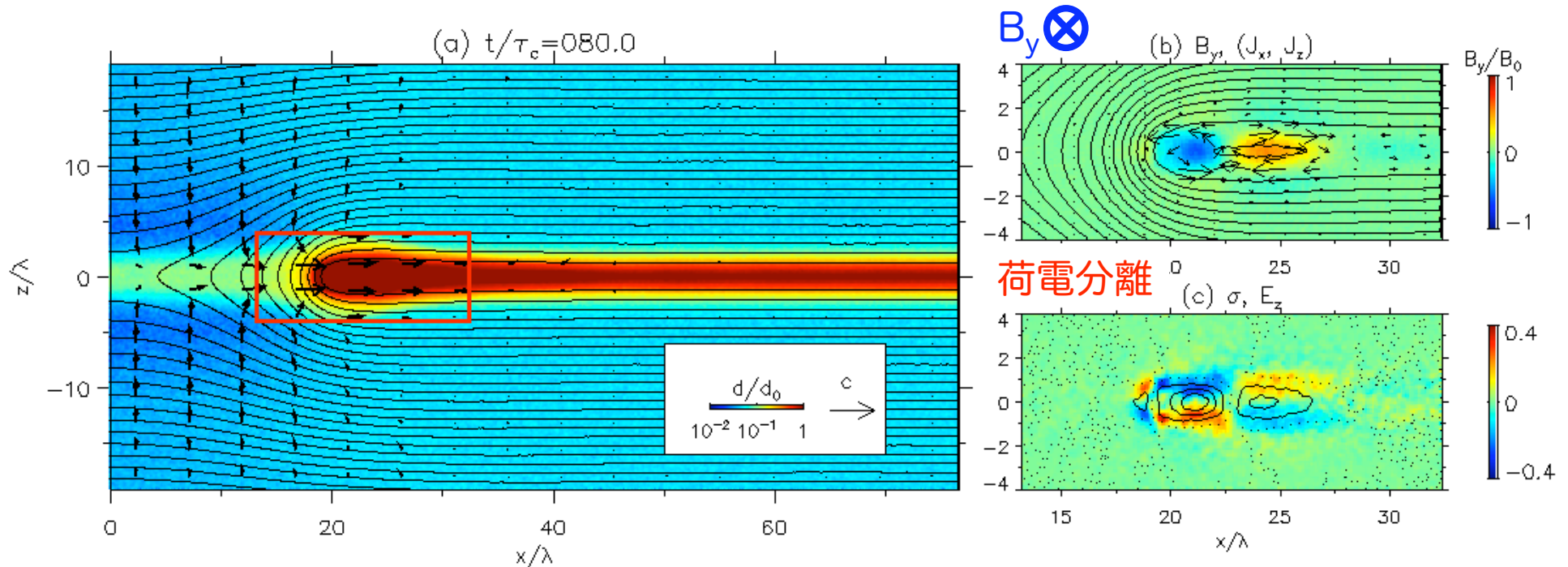


Kato 2007 ApJ



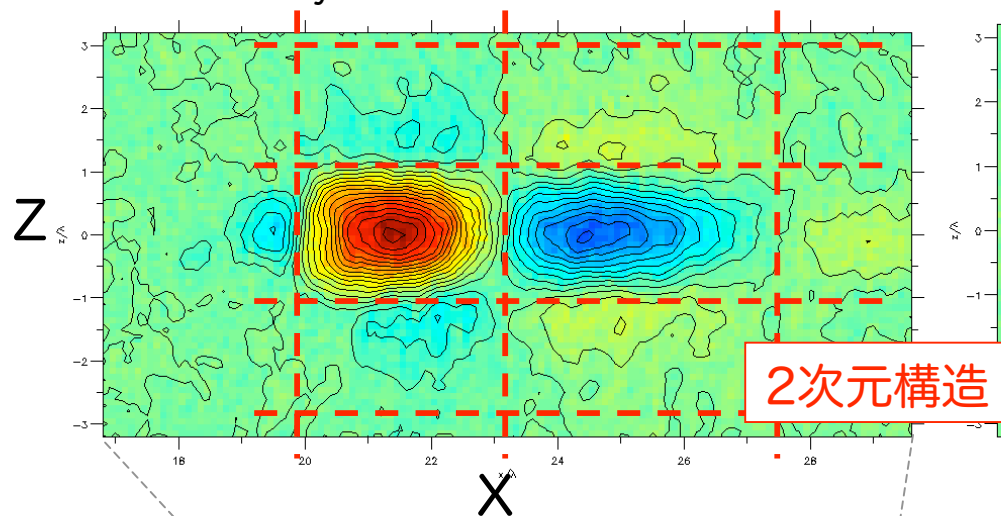
Spitkovsky 2005 AIPC

リコネクション：PIC シミュレーション

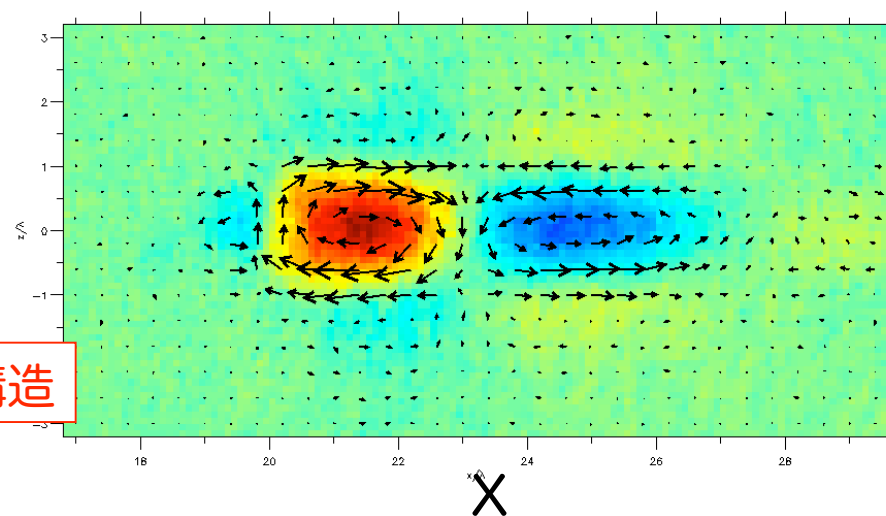


- 2次元 PIC シミュレーション (XZ座標)
- 相対論電子・陽電子プラズマ
- 典型 Alfvén 速度： $V_A \sim c$
- 典型プラズマ温度： $T \sim mc^2$
- 枠内に擾乱磁場が見える

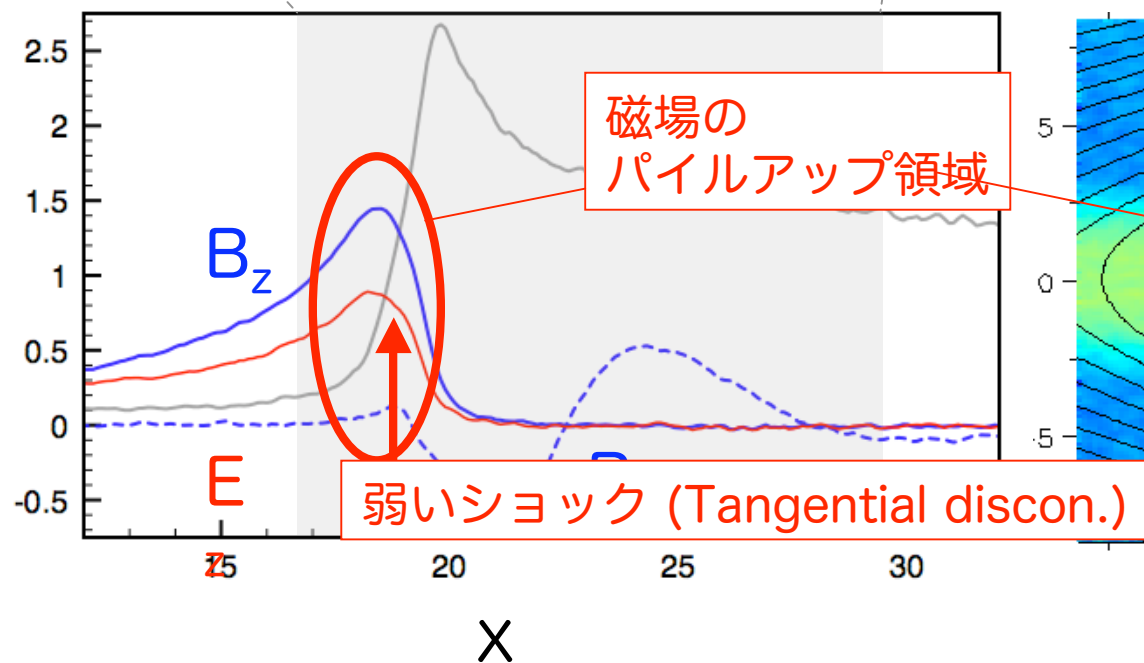
垂直磁場 B_y



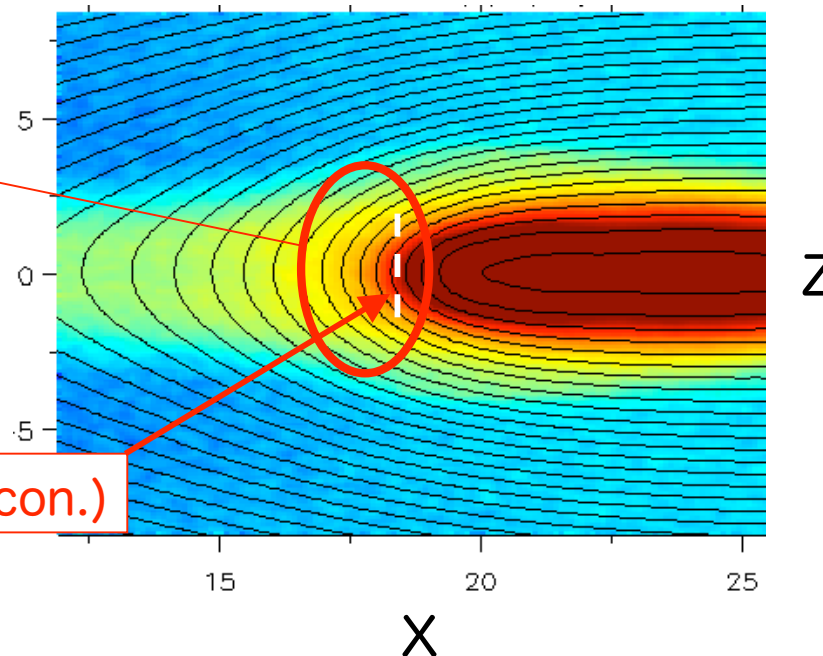
面内の電流系 (J_x, J_z)



中性面 ($Z=0$) 沿いの物理量

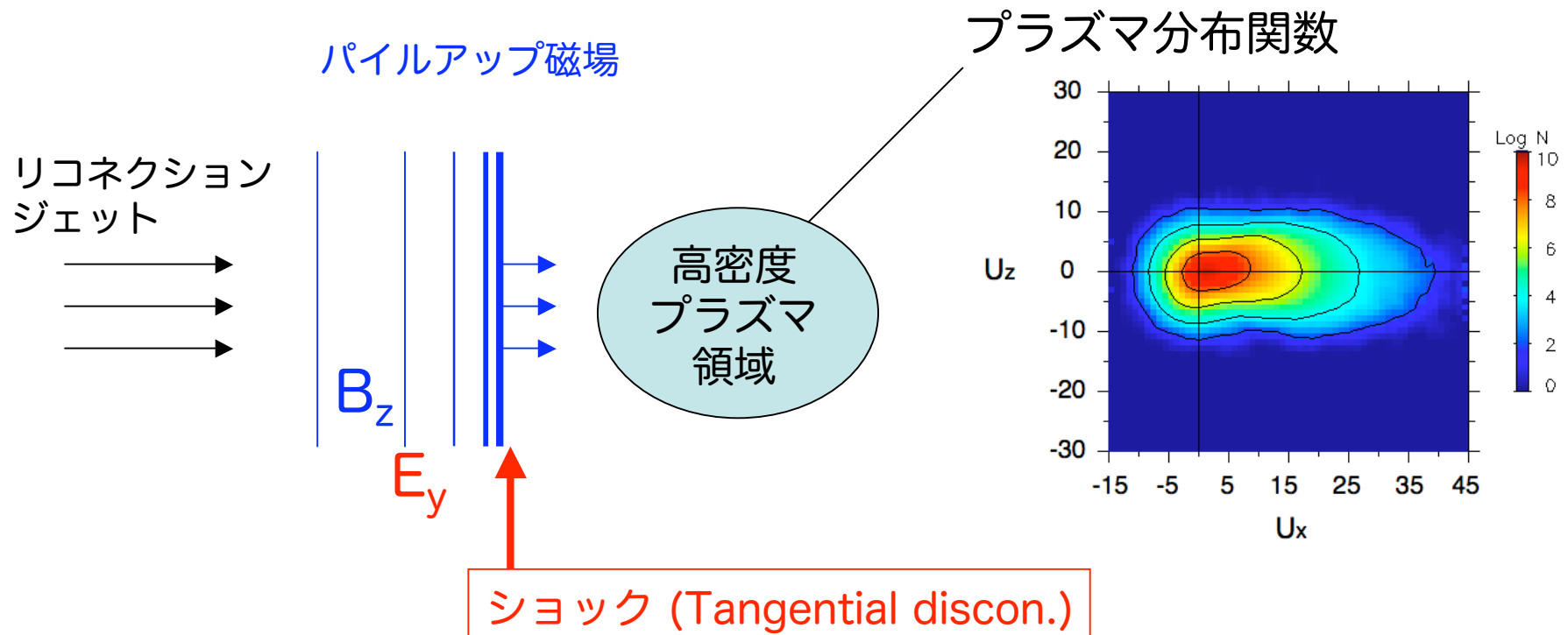


磁力線とプラズマ密度



Weibel 不安定 (1)

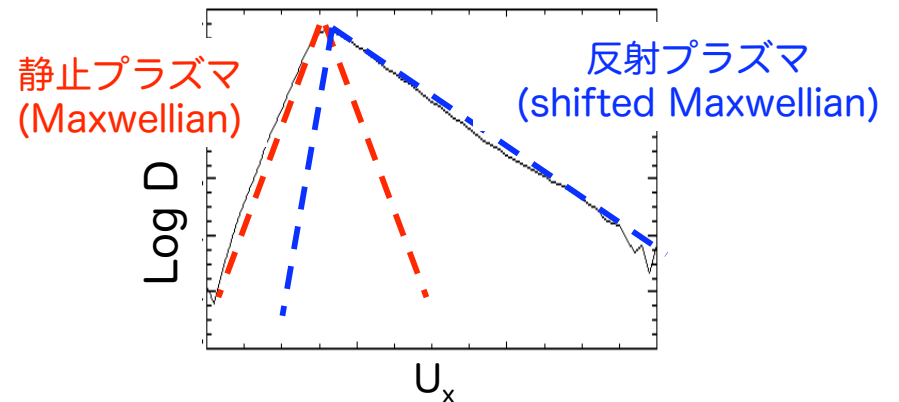
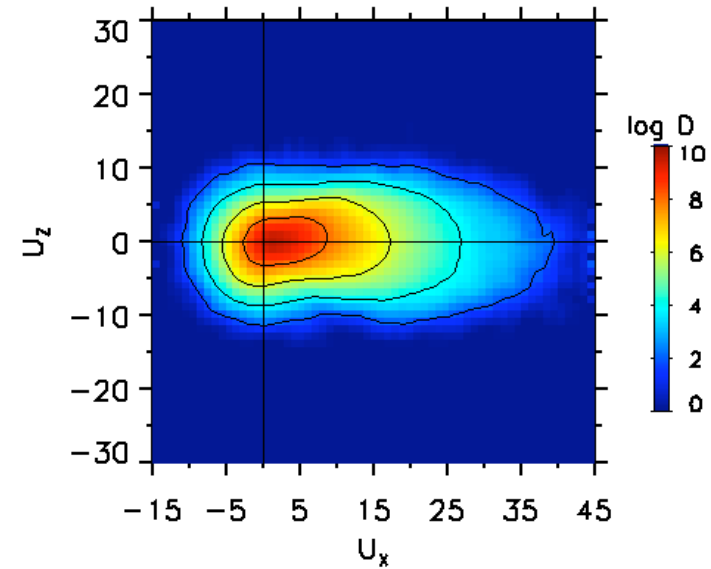
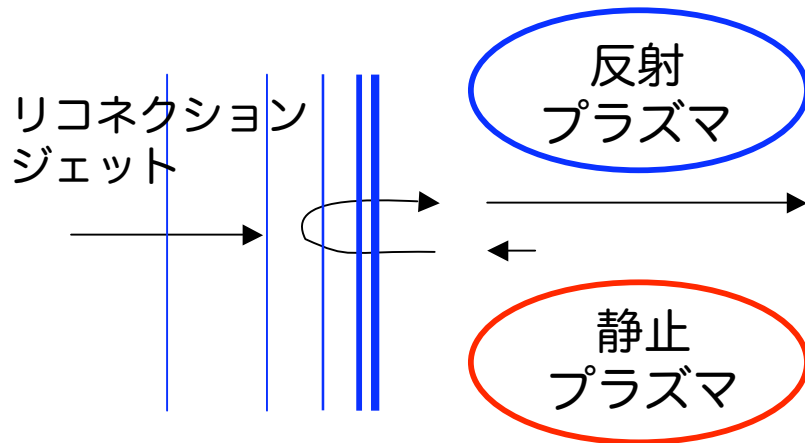
- 磁気パイルアップ領域下流の高密度プラズマ領域で非一様な分布関数 → Weibel 不安定を生じる
- 比較的大きな磁場を生成： B_y ($\sim 0.6B_0$)



Weibel 不安定 (2)

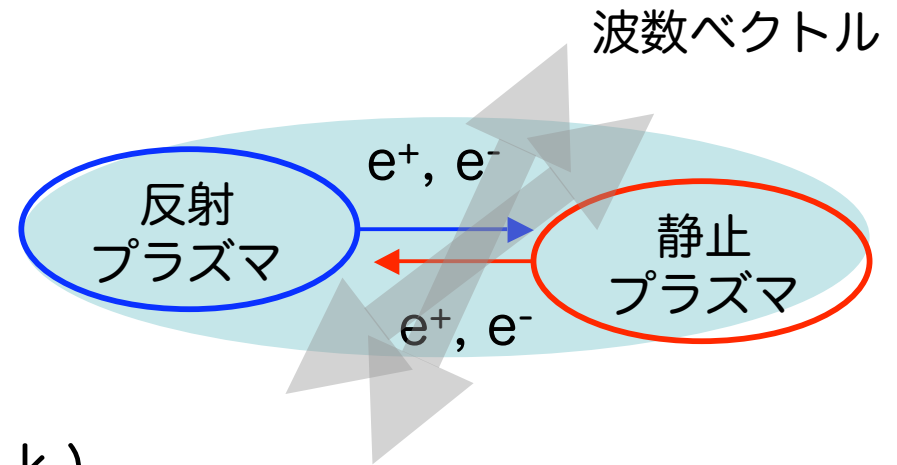
プラズマ分布関数の非一様の起源
= 電流層プラズマ
(静止成分・反射成分) の
counter streaming 相互作用

パイルアップ磁場

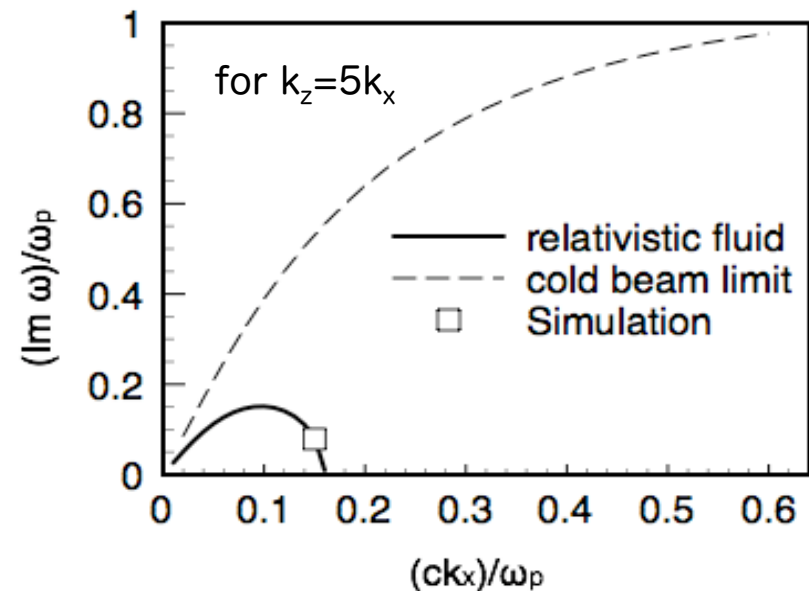


Weibel 不安定 (3): 線形解析

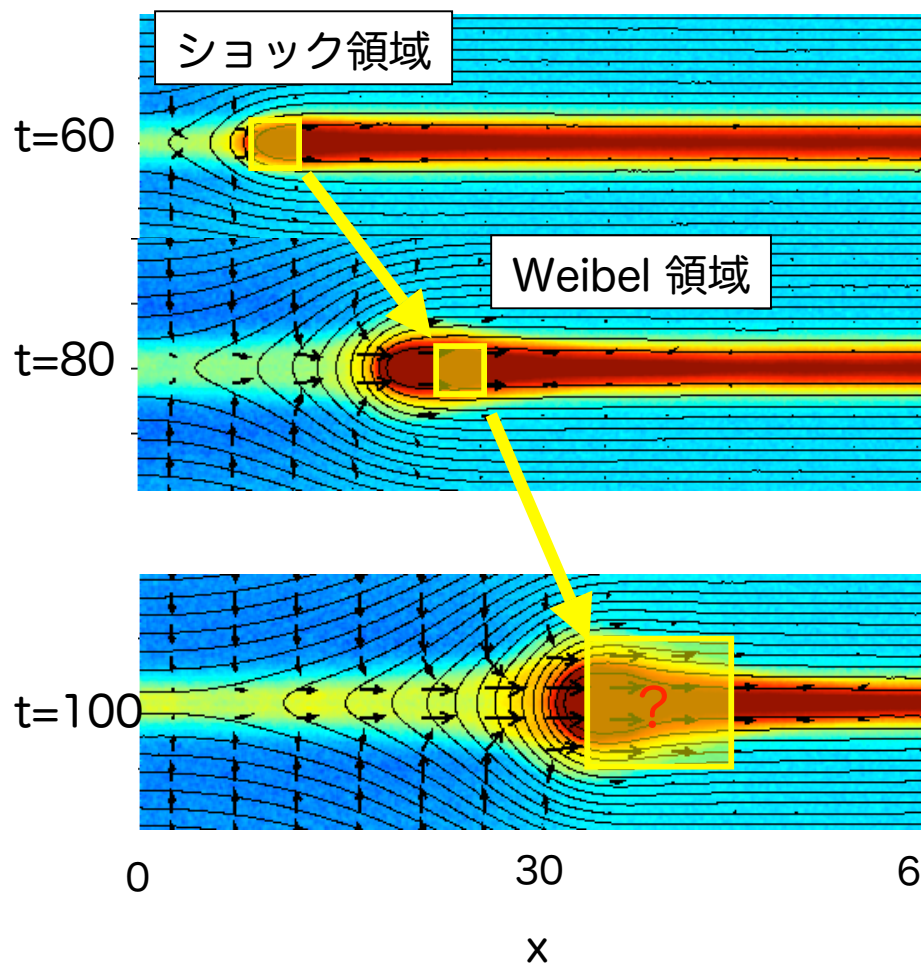
- 相対論 4 流体近似
 - 相対論流体方程式 $\times 4$
 - (陽電子・電子)
 - (静止成分・反射成分)
 - Maxwell 方程式
 - 任意の 2 次元波数ベクトル (k_x, k_z)



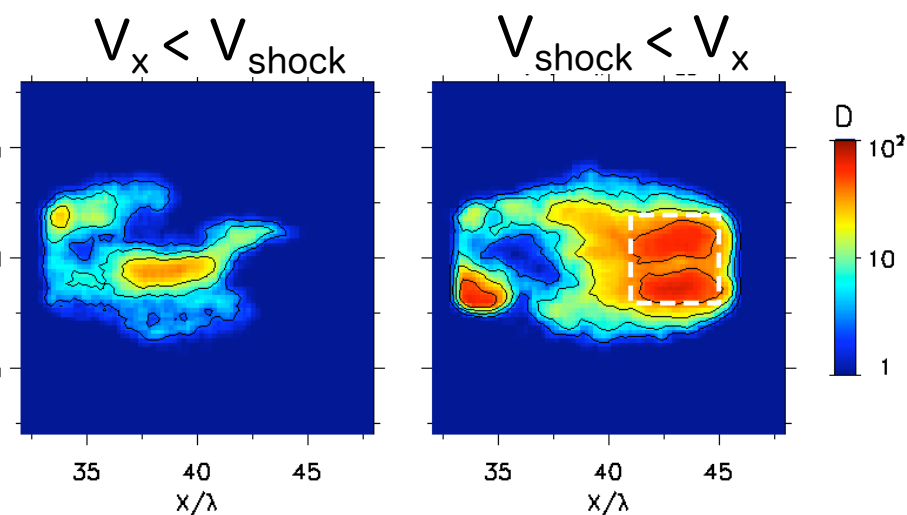
- 線形成長率はシミュレーションと一致



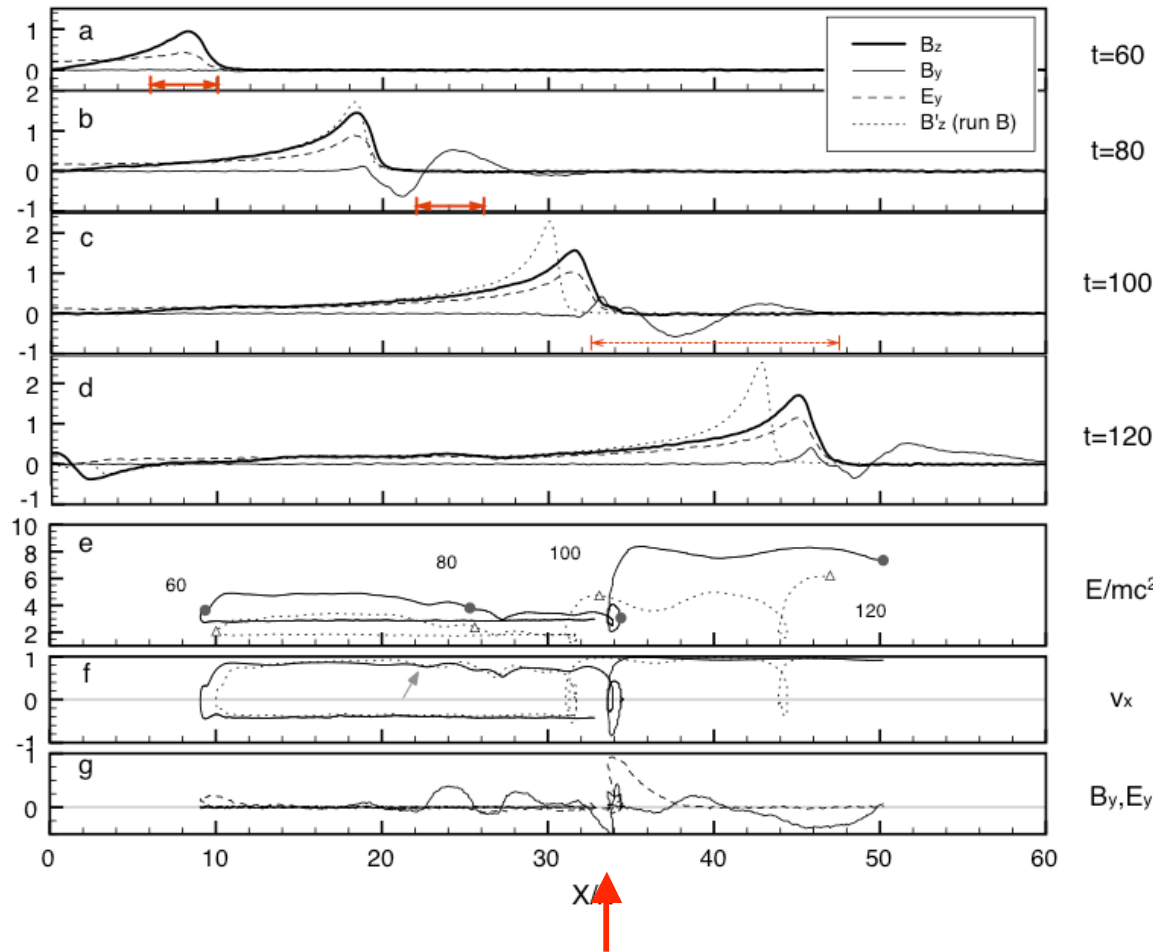
プラズマの粒子運動への影響 (1)



- ショック → Weibel 両領域を通過したプラズマのその後の空間分布を追跡
- 20% が Weibel 磁場に散乱されて、ショックと再び衝突



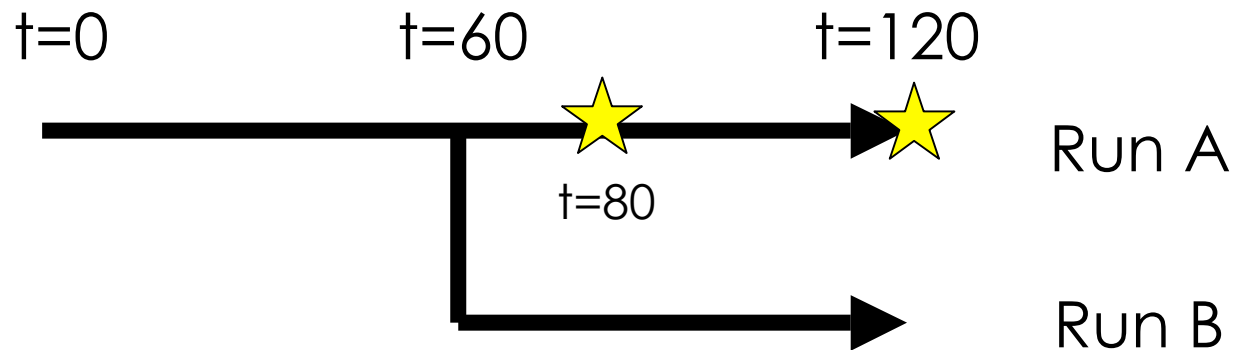
プラズマの粒子運動への影響 (2)



- 中性面 ($Z=0$) 沿いの電磁場構造と典型的な粒子軌道
- Weibel 領域に散乱された粒子が、ショックと繰り返し衝突
- Weibel 不安定はショック下流の散乱体として働く

電磁場のマクロ構造への影響 (1)

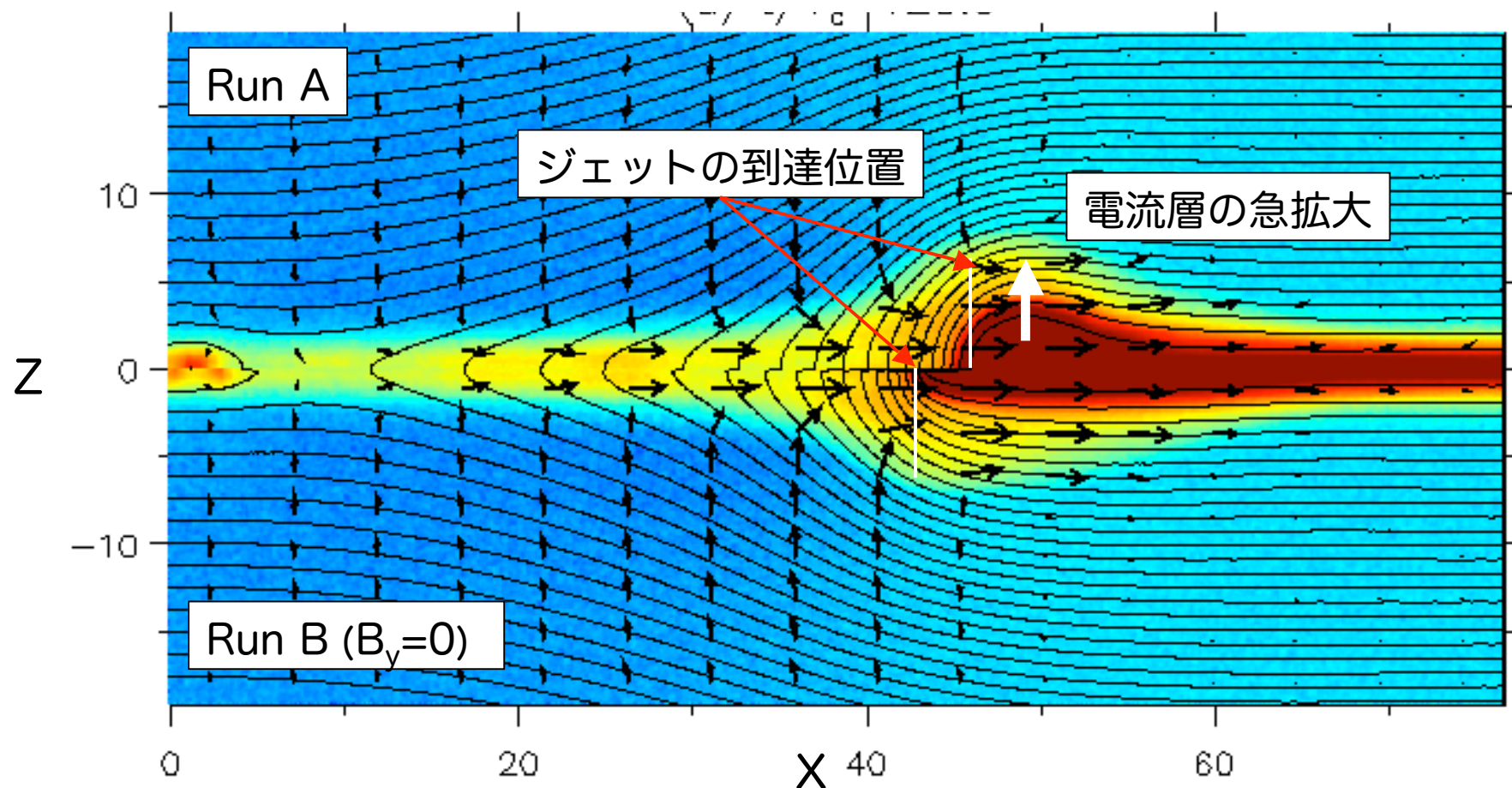
- 時間ステップ毎に B_y を除去する Run B を実行
 - Weibel が現れる直前の snapshot から分岐
 - 非物理的なエネルギーロスを伴うが、この時間スケール内で大まかな Weibel 効果を見るには有効



電磁場のマクロ構造への影響 (2)

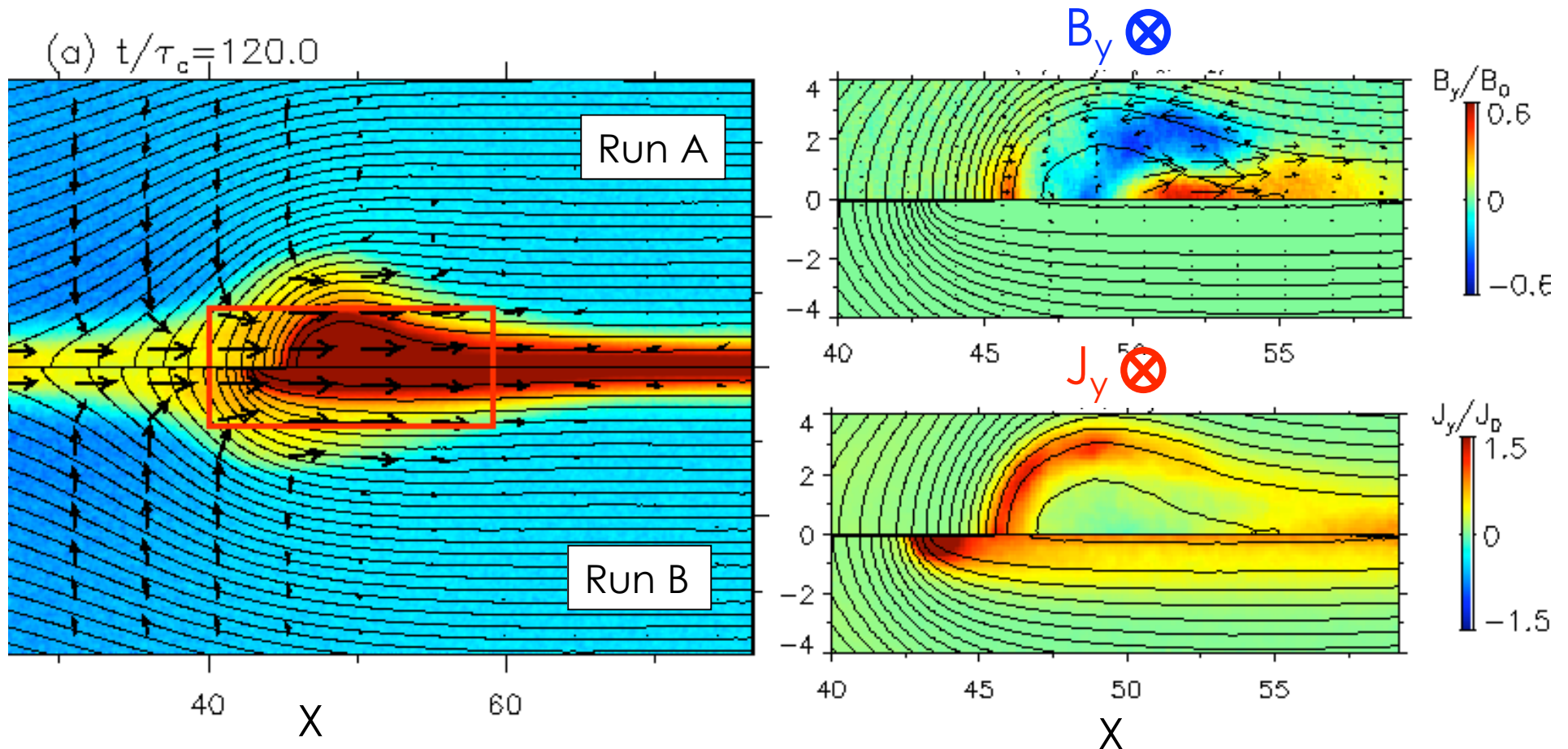
- ショック上流側の構造は同じ
- ショック下流側の構造は、Weibel 不安定によるモーメント散乱 ($P_{xx} \rightarrow P_{zz}$) の有無で説明できる

t=120



電磁場のマクロ構造への影響 (3)

- B_y と電流系は引き延ばされたフィラメント状構造に
- 下流電流層の構造が異なる → 長期発展のエネルギー変換効率に影響する可能性



まとめ

- 大規模リコネクション系で初めて Weibel 不安定 を発見・議論した
- 不安定の解析
 - 相対論 counter-streaming 型 Weibel 不安定
 - 周辺プラズマ vs 反射プラズマの相互作用
- リコネクション系での役割
 - ミクロな効果
 - ショック下流での散乱体 → プラズマの加速・加熱
 - マクロな効果
 - モーメント散乱 → 電流シートの急激な拡大
 - フィラメント電流構造？、他

References

- Zenitani & Hesse,
“The role of the Weibel instability at the reconnection jet front in relativistic pair-plasma reconnection,”
Phys. Plasmas, 15, 022101 (2008)
- Zenitani & Hesse,
“Erratum”, *Phys. Plasmas*, 15, 089901 (2008)