

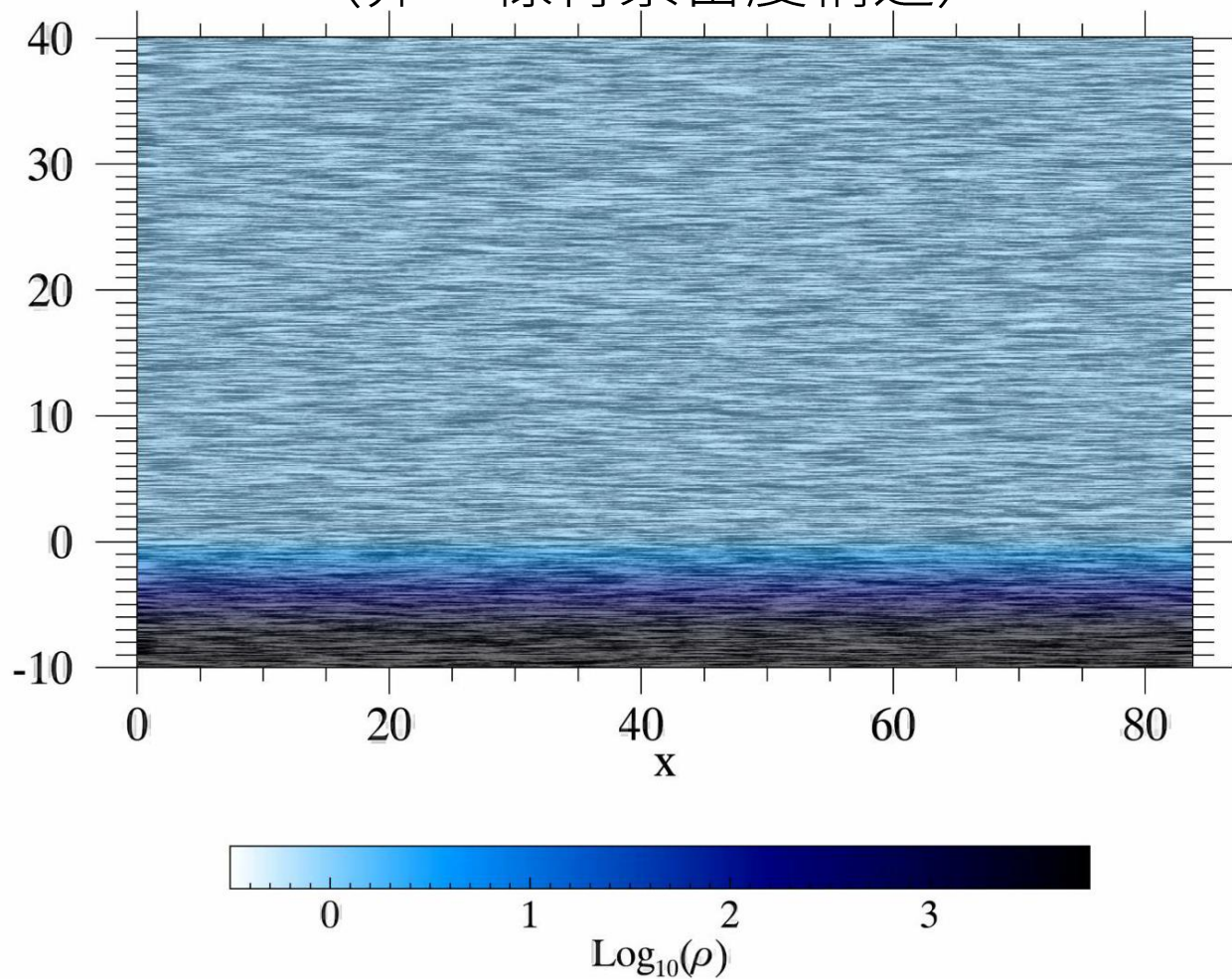
乱流プラズマ中の リコネクション領域同定と粒子加速

松本洋介

千葉大学理学研究院

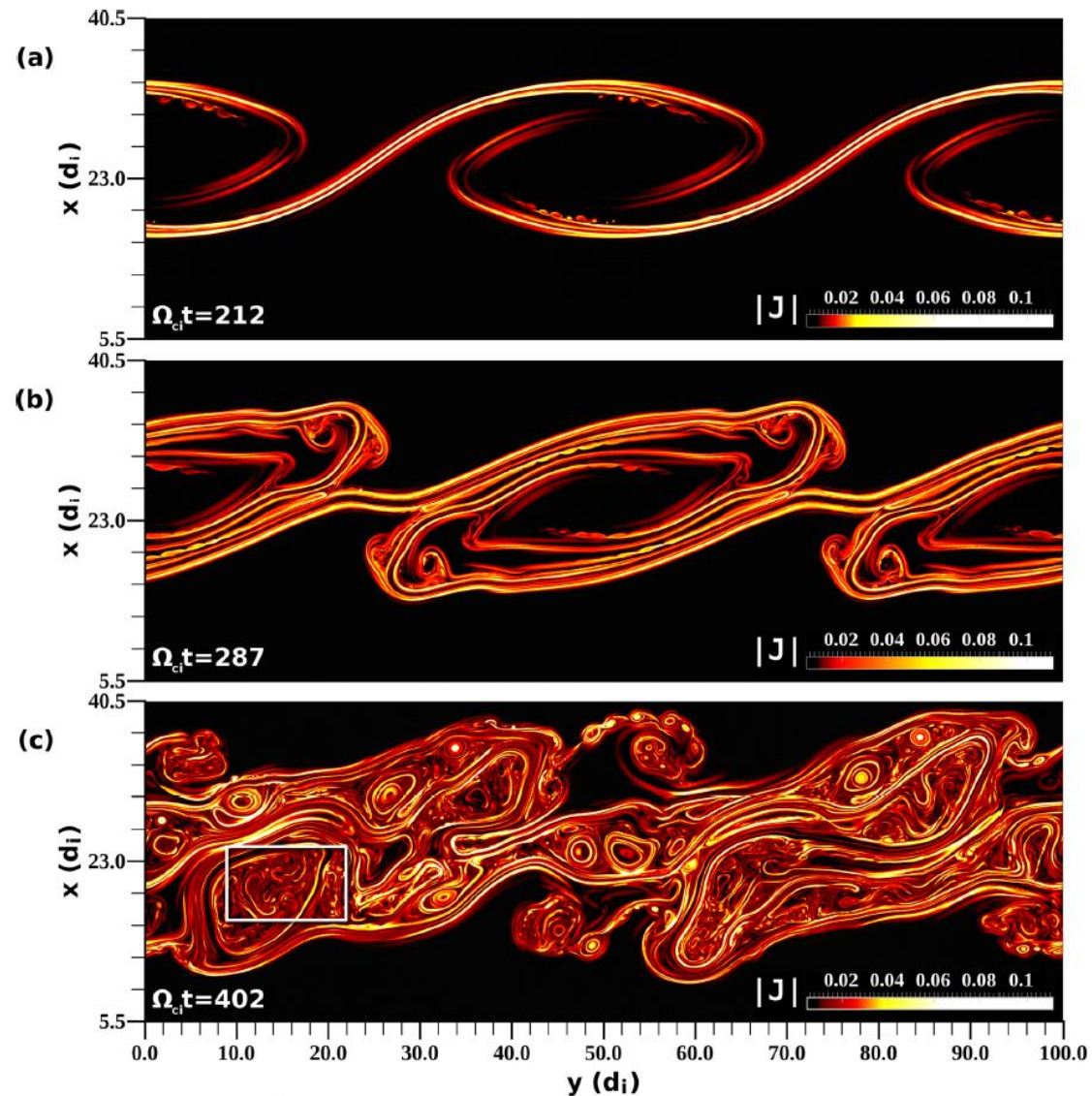
渦乱流 (KH不安定)

太陽風-火星電離圈相互作用
(非一様背景密度構造)



Seki, Matsumoto et al., submitted

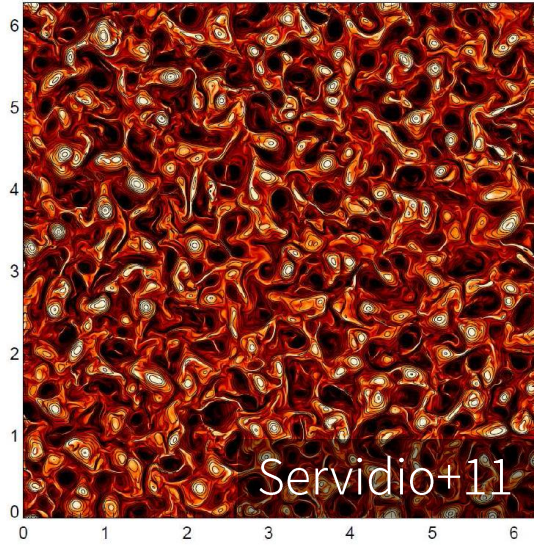
電子スケール渦散逸
(非一様磁場構造)



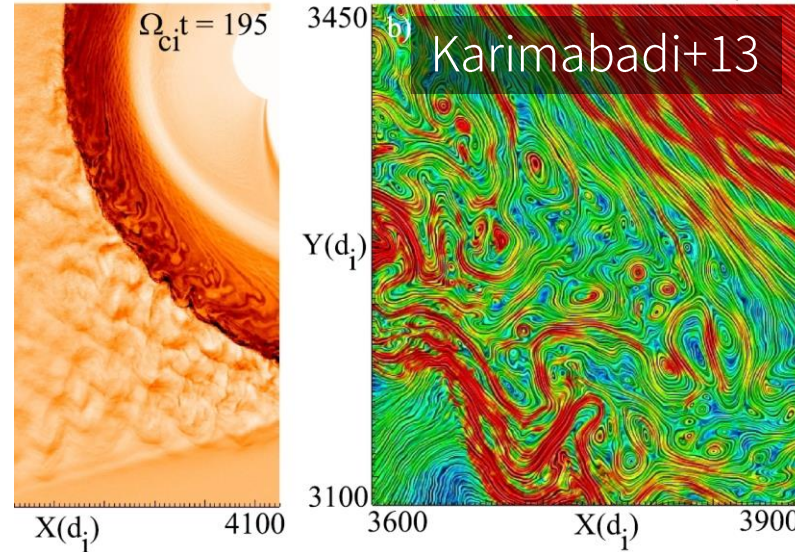
Karimabadi et al., PoP, 2013

磁気乱流と乱流リコネクション

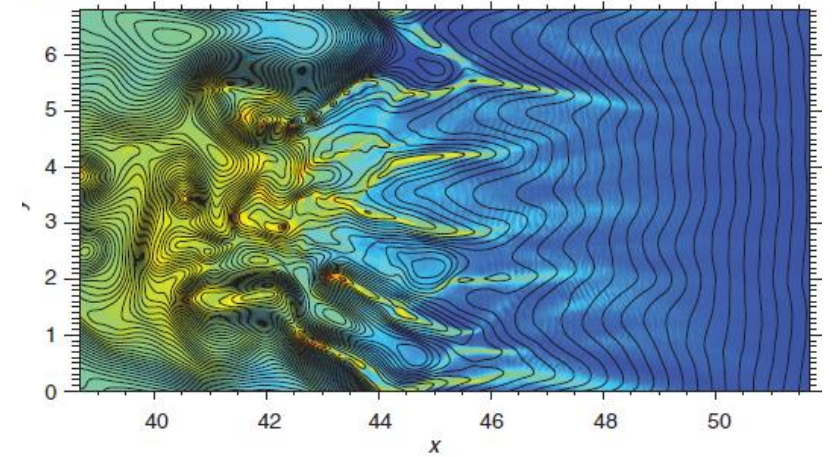
減衰MHD乱流



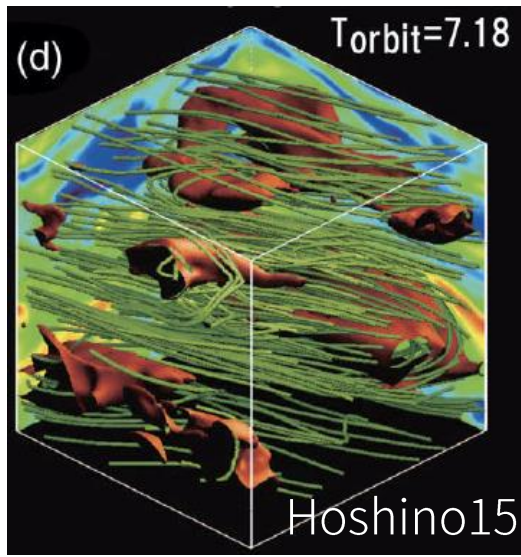
バウショック下流 (並行衝撃波)



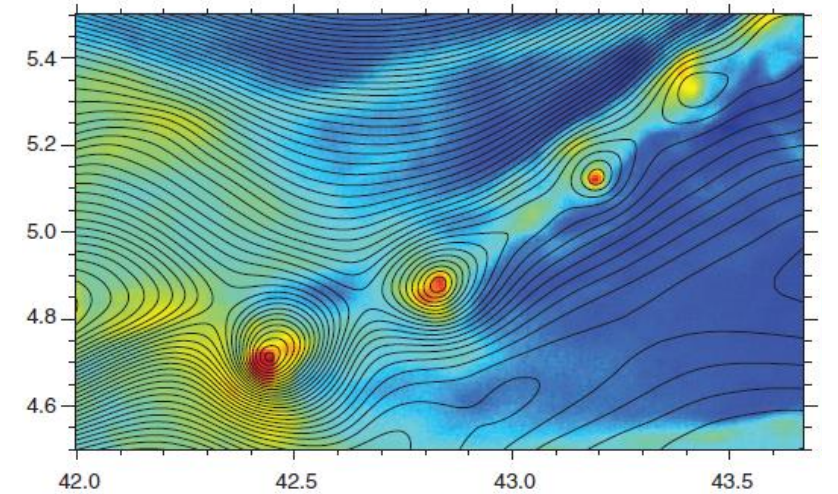
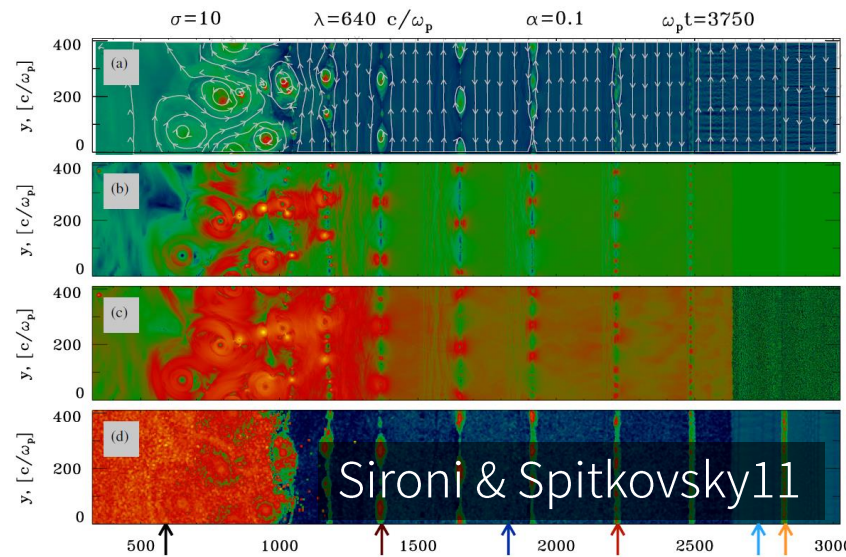
高マッハ数衝撃波



磁気回転不安定



パルサー風 (相対論衝撃波)

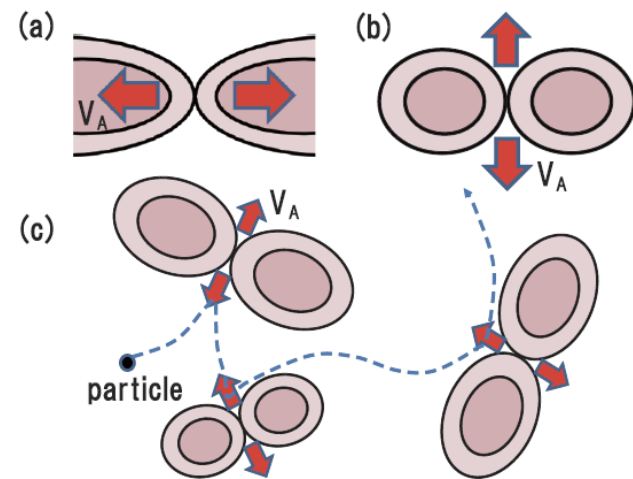
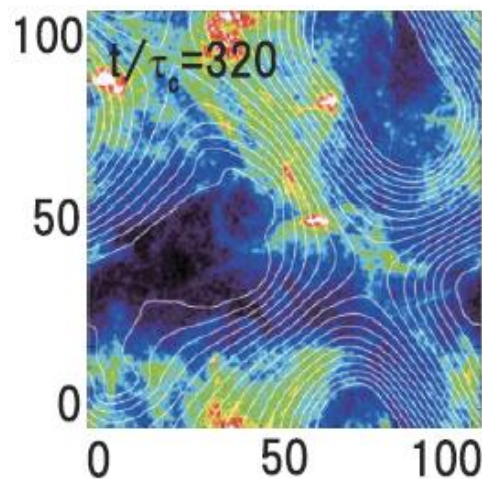
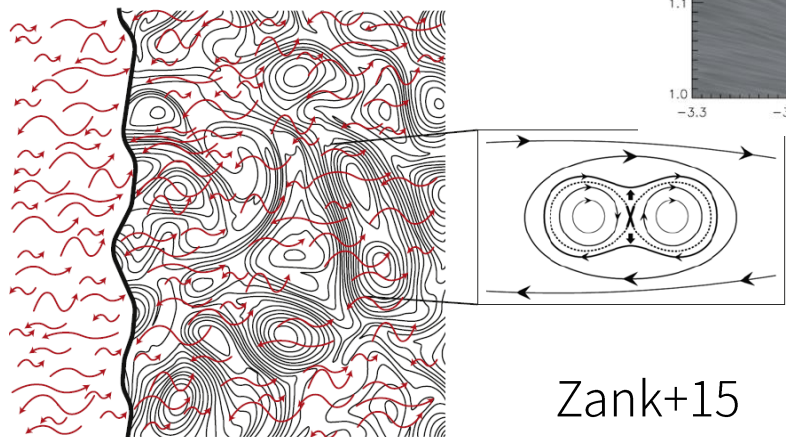
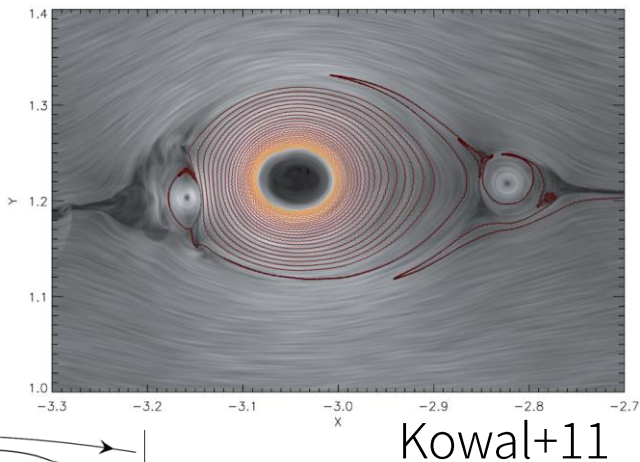
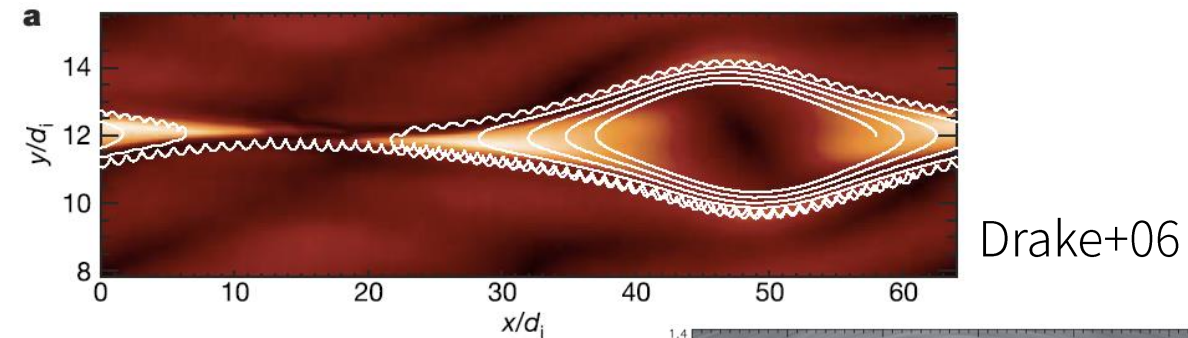


Matsumoto+15

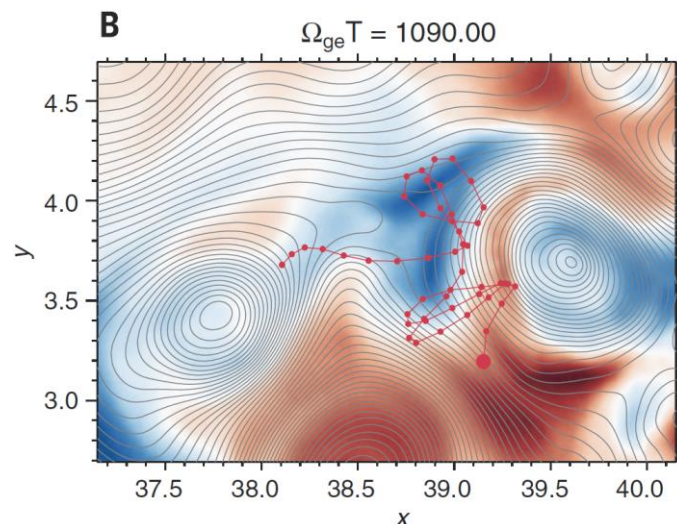
乱流リコネクションと粒子加速

磁気島合体による1次フェルミ加速

ジェットとの1次フェルミ加速

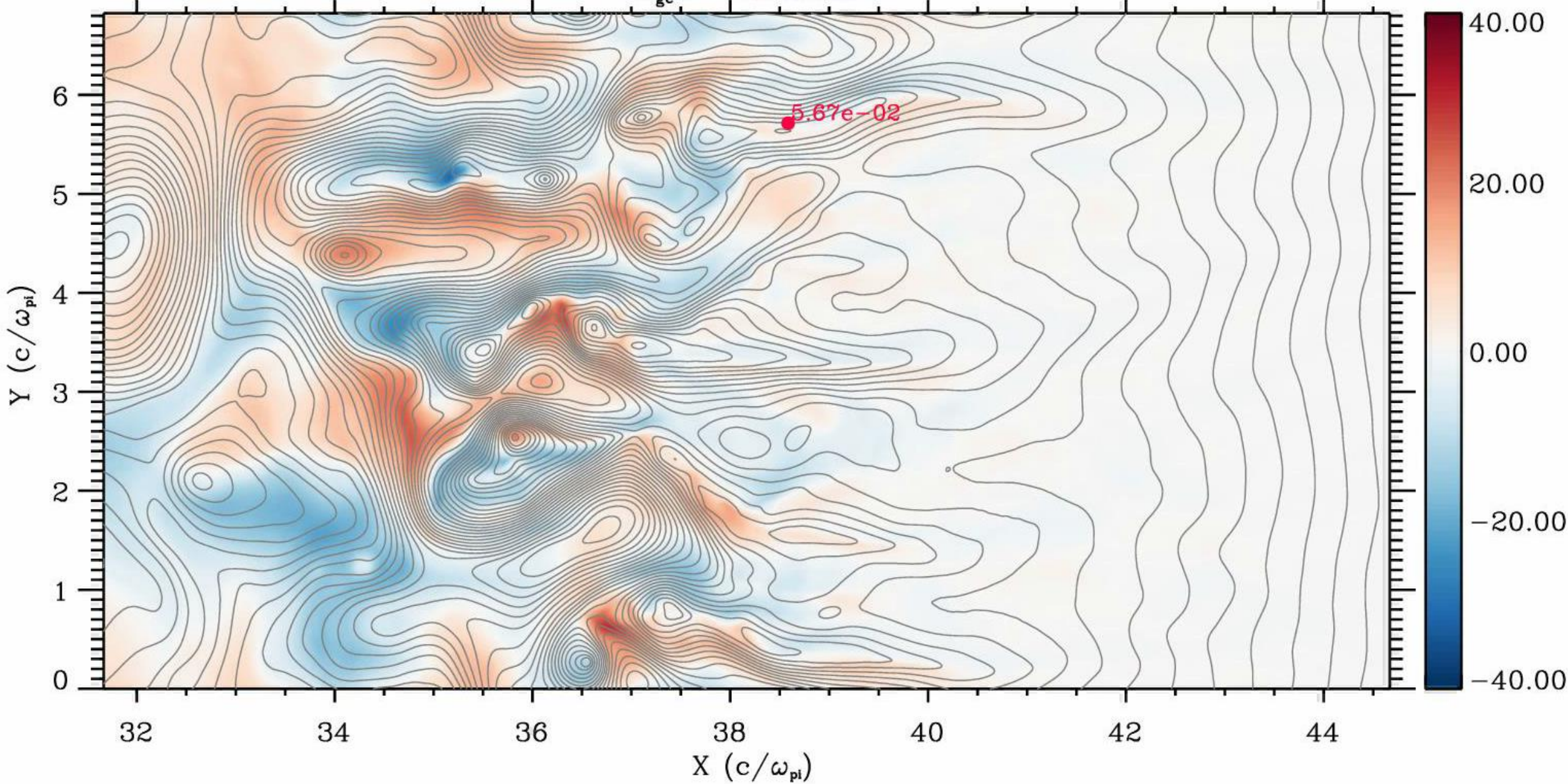


Hoshino 12



Matsumoto+15

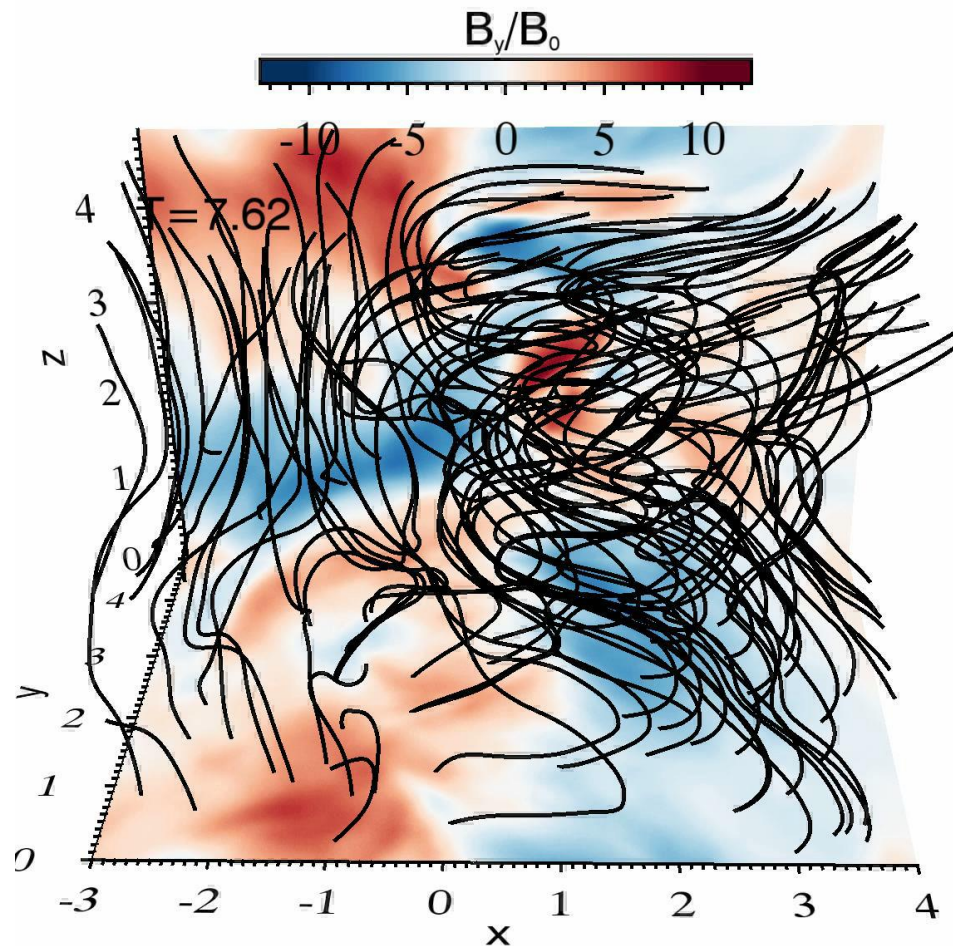
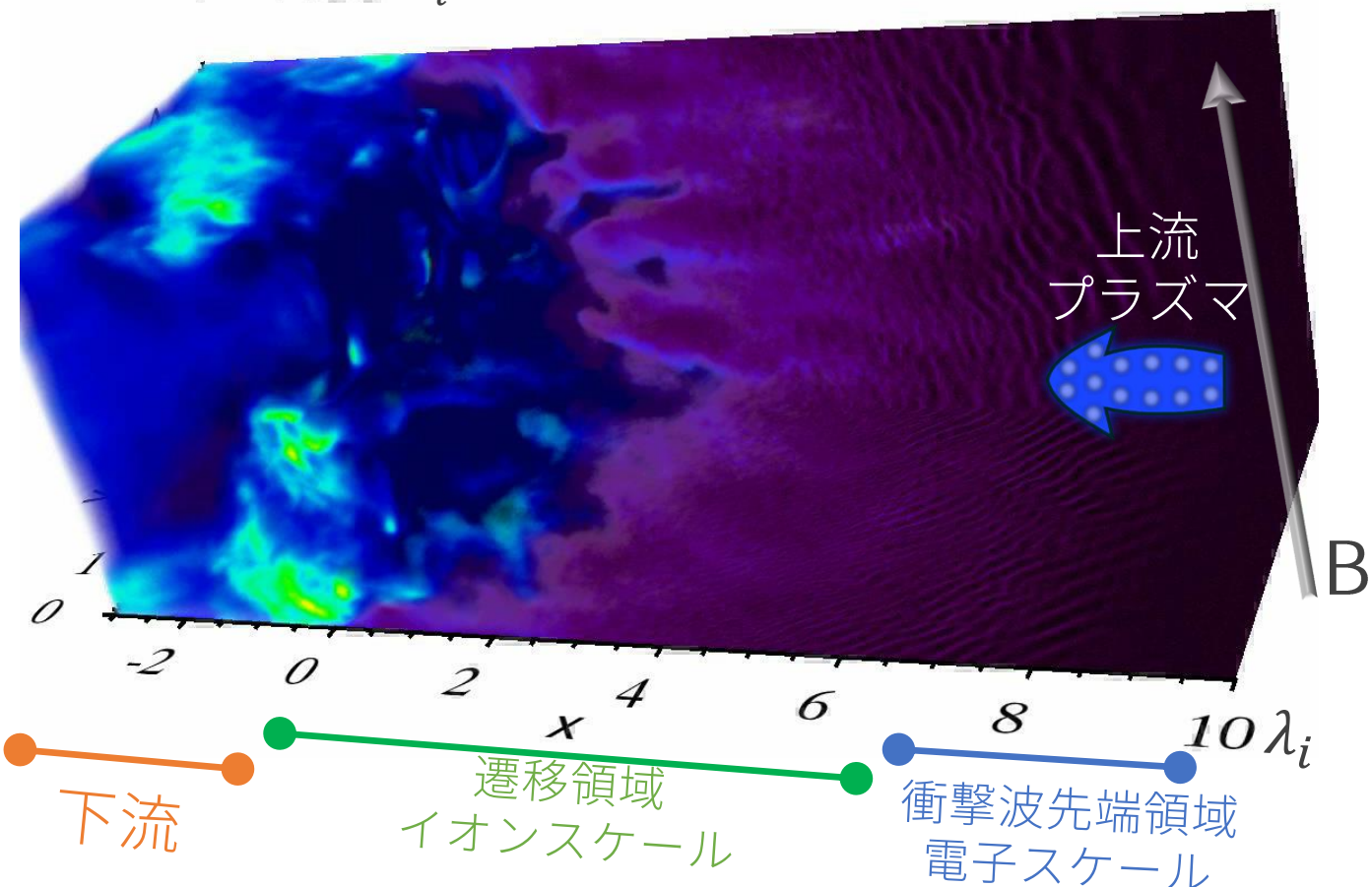
$\Omega_{ge}T = 1000.00$



最近の3次元PIC計算より

ワイベル不安定による乱流磁場生成

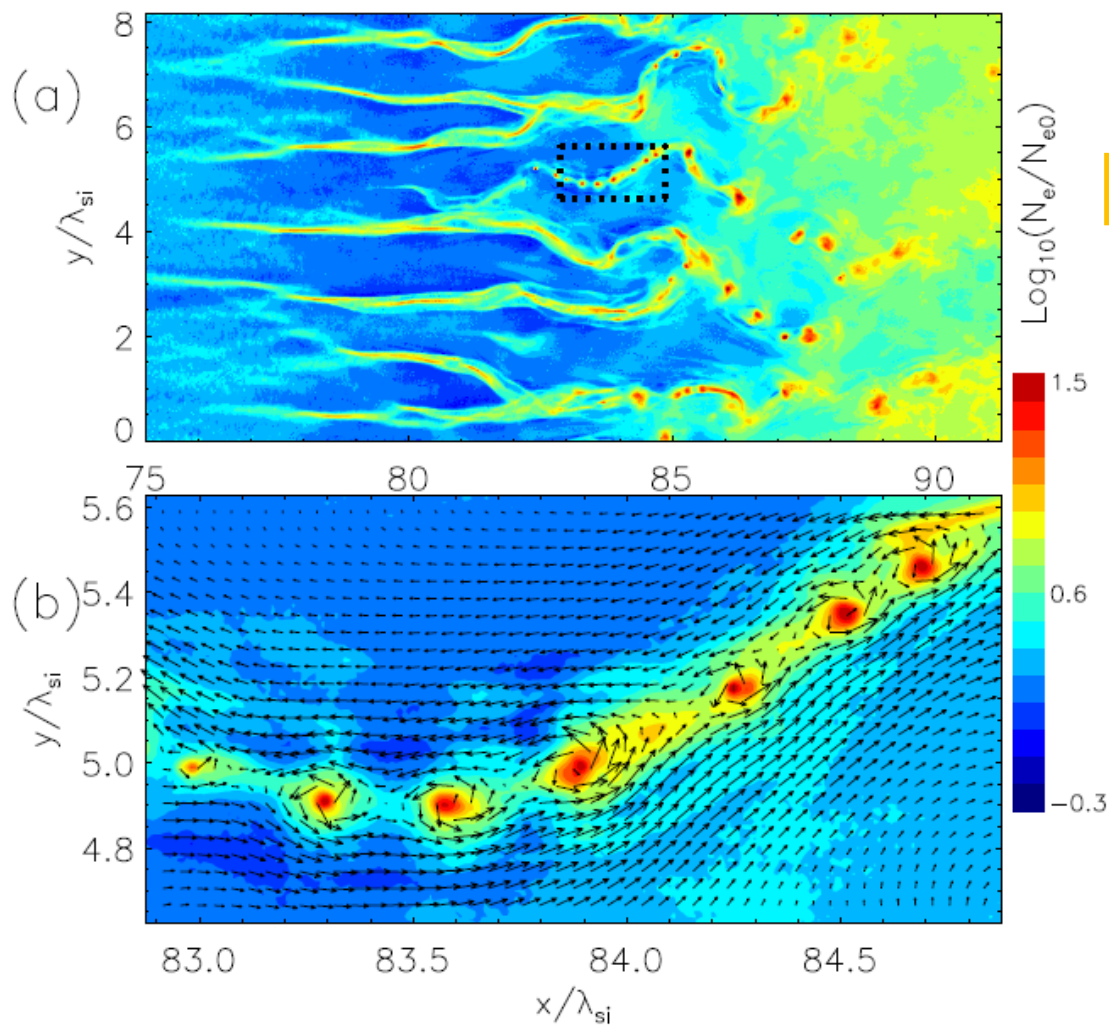
$$T = 7.05 \Omega_i^{-1}$$



リコネクションは起きているのか？
いつ？どこで？

Matsumoto+17 PRL

衝撃波構造中のリコネクション頻度

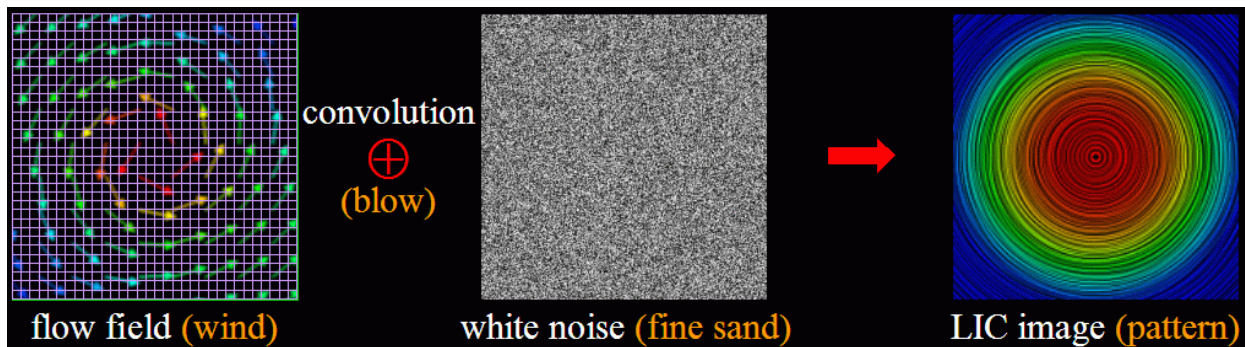


Run	ϕ	m_i/m_e	β_p	$L_y[\lambda_{si}]$	$T[\Omega_i^{-1}]$	M_A	M_s	VGR	AD	NTEF [%]
A1	0°	50	0.0005	6.3	8.3	22.6	1096	0.2	1.13	0.1 ± 0.1
A2	0°	50	0.5	6.3	8.3	22.6	35	0.2	1.01	0.5 ± 0.2
B1	0°	100	0.0005	24	8.1	31.8	1550	0.7	0.99	0.2 ± 0.1
B2	0°	100	0.5	24	8.1	31.8	49	0.9	1.01	0.7 ± 0.1
C1	0°	200	0.0005	11.9	6.3	44.9	2192	1.9	1.03	0.2 ± 0.1
C2	0°	200	0.5	11.9	6.3	44.9	69	2.3	1.04	0.5 ± 0.1
D1	0°	400	0.0005	8.2	4.9	68.7	3363	4.4	1.01	0.4 ± 0.1
D2	0°	400	0.5	8.2	4.9	68.7	106	5.8	1.04	0.5 ± 0.1

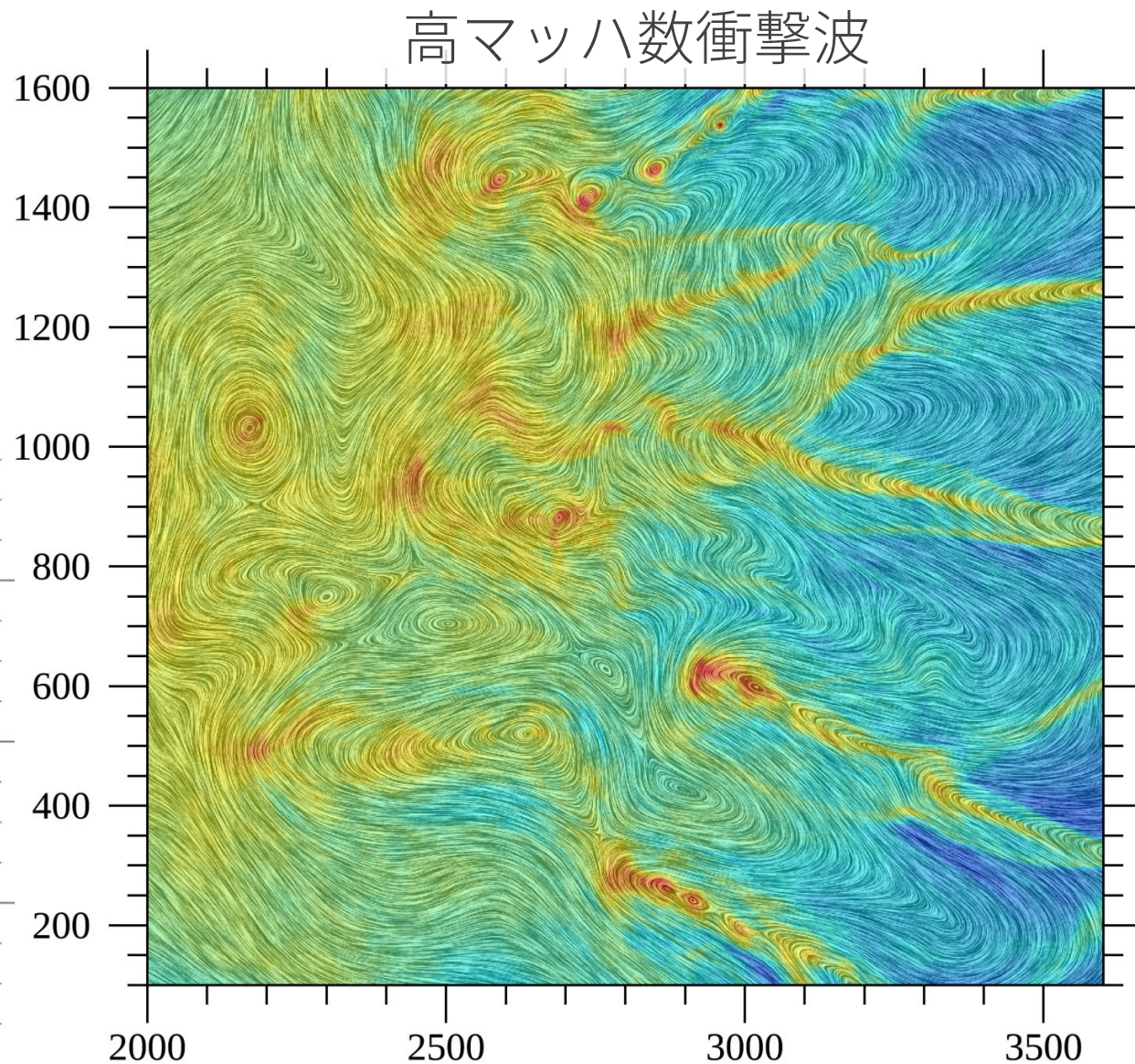
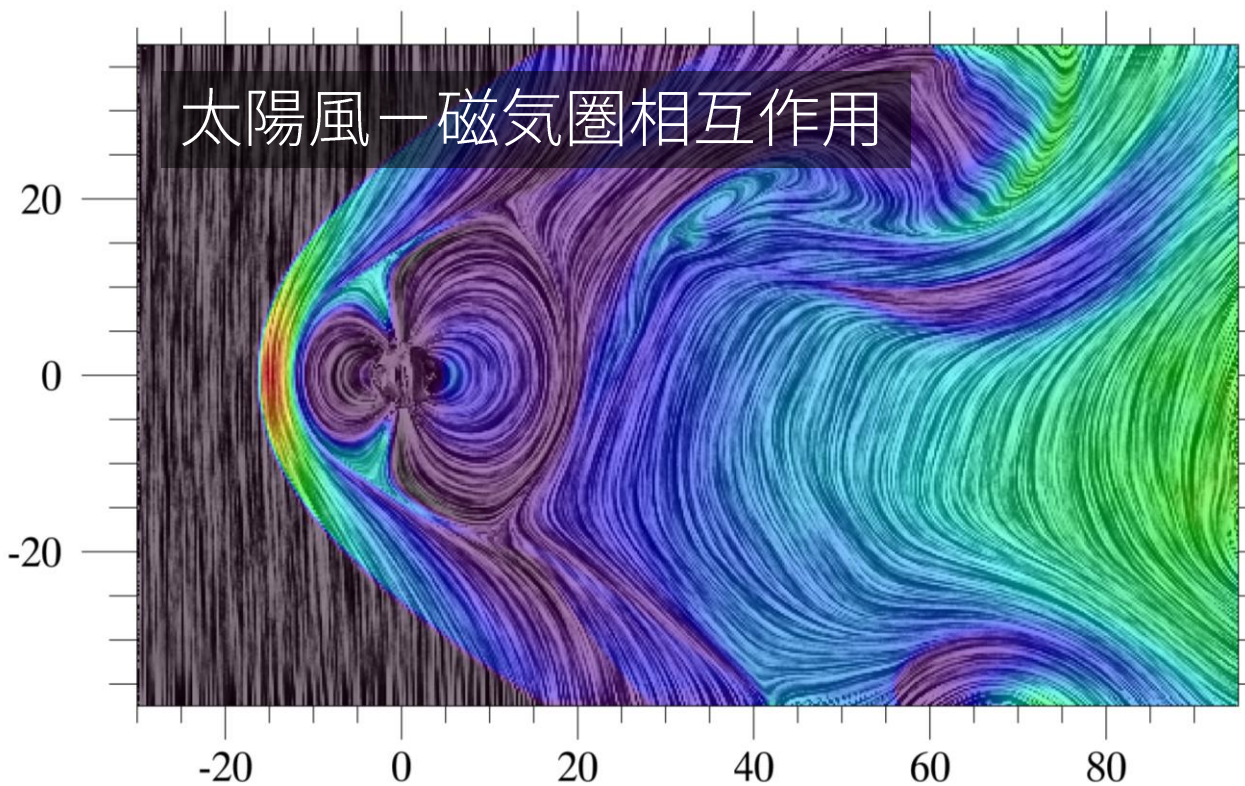
- 2次元PICシミュレーションから磁気島の発生頻度を定量化（磁場の形状）
- $M/m \uparrow$ 、 $M_A \uparrow$ で磁気島発生頻度が大きくなる
- 3Dではどうなっている？

渦同定法1：Line Integral Convolution

Cabral & Leedom 93



<http://www.zhanpingliu.org/research/flowvis/LIC/LIC.htm>



渦同定法2：速度勾配テンソルの固有値による場の分類

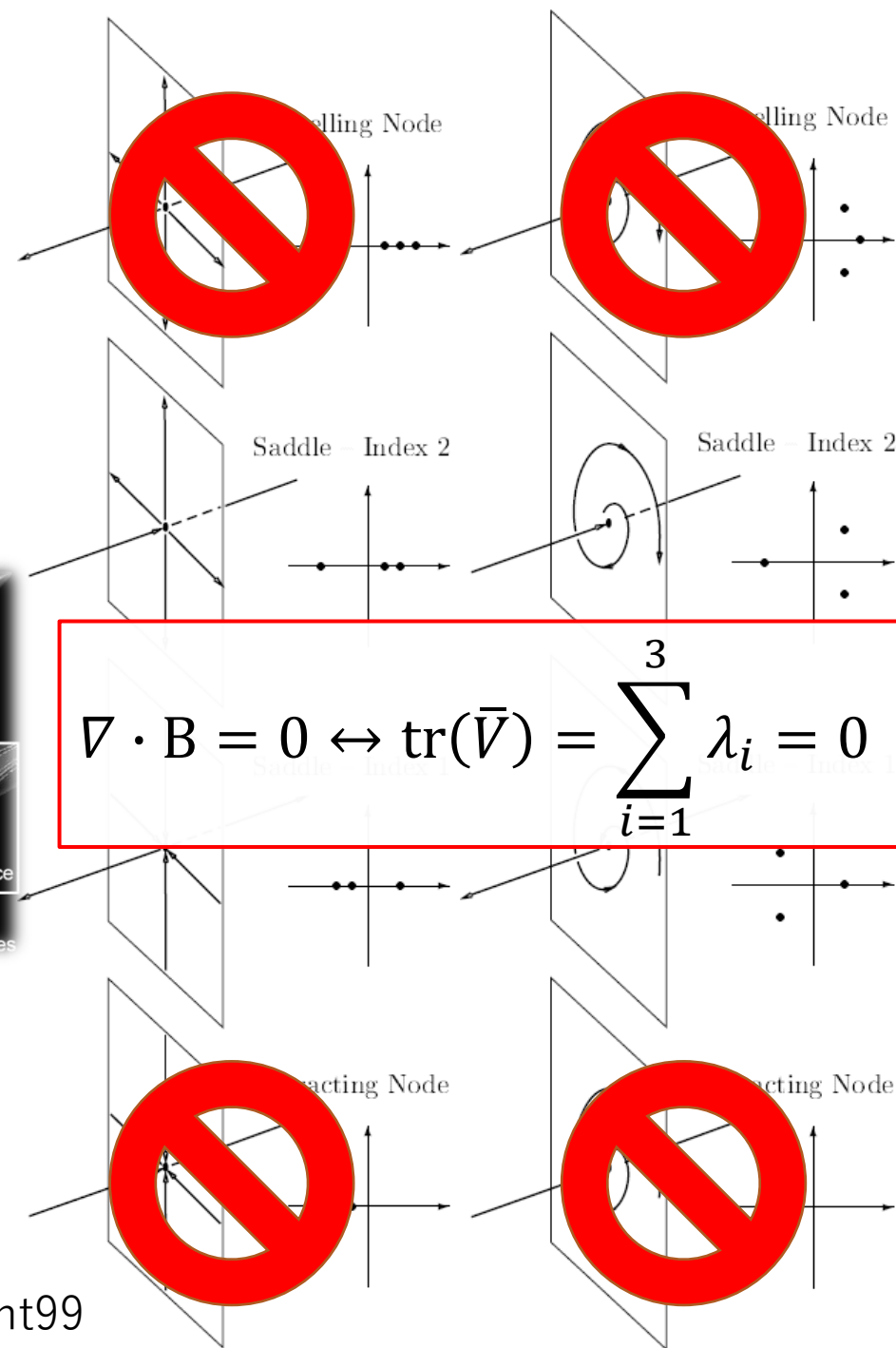
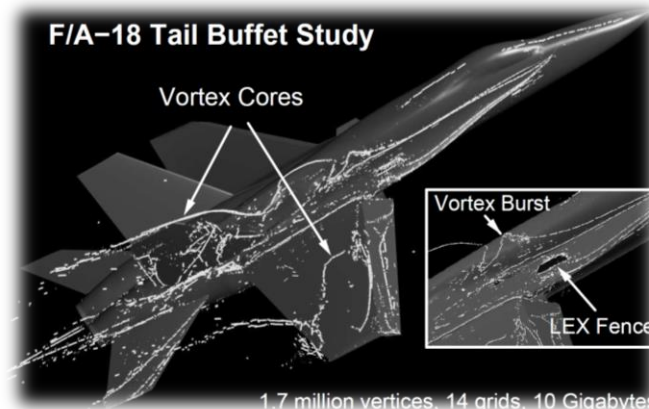
- 速度勾配テンソルの固有値から速度場のプロファイルを分別

- Jeong & Hussain 95
- Haines & Kenwright 99
- Moll+ 11
- Kato & Wedemeyer 17

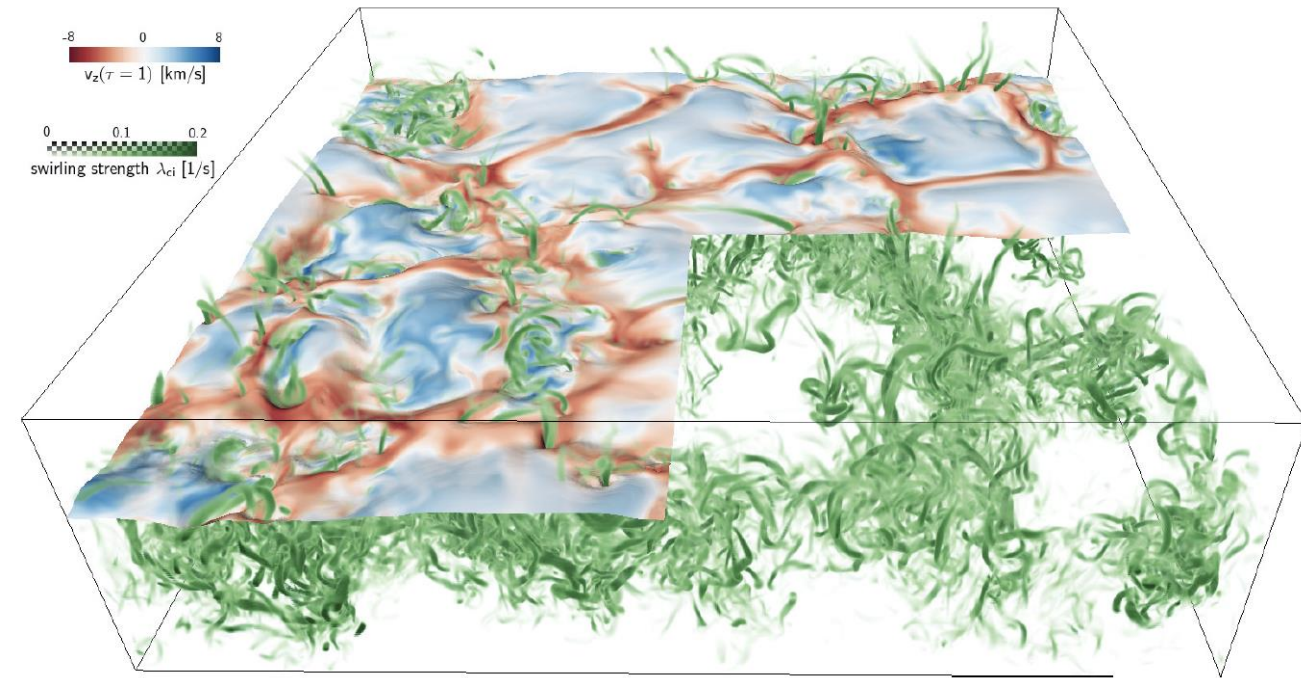
- ここで速度勾配テンソル

$$\bar{V} = \{\bar{V}_{ij}\} = \left\{ \frac{\partial v_i}{\partial x_j} \right\} = \begin{pmatrix} \partial_x V_x & \partial_y V_x & \partial_z V_x \\ \partial_x V_y & \partial_y V_y & \partial_z V_y \\ \partial_x V_z & \partial_y V_z & \partial_z V_z \end{pmatrix}$$

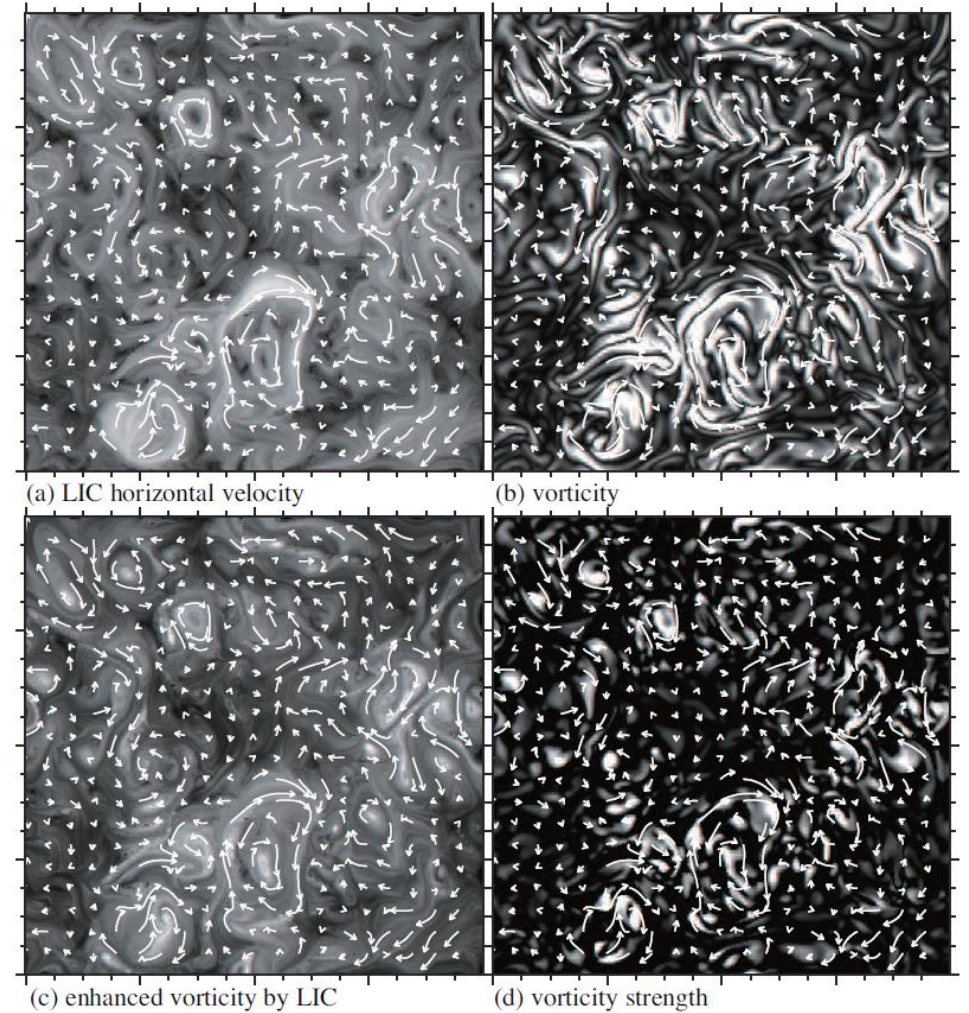
Haines & Kenwright99



太陽対流シミュレーション・観測への応用



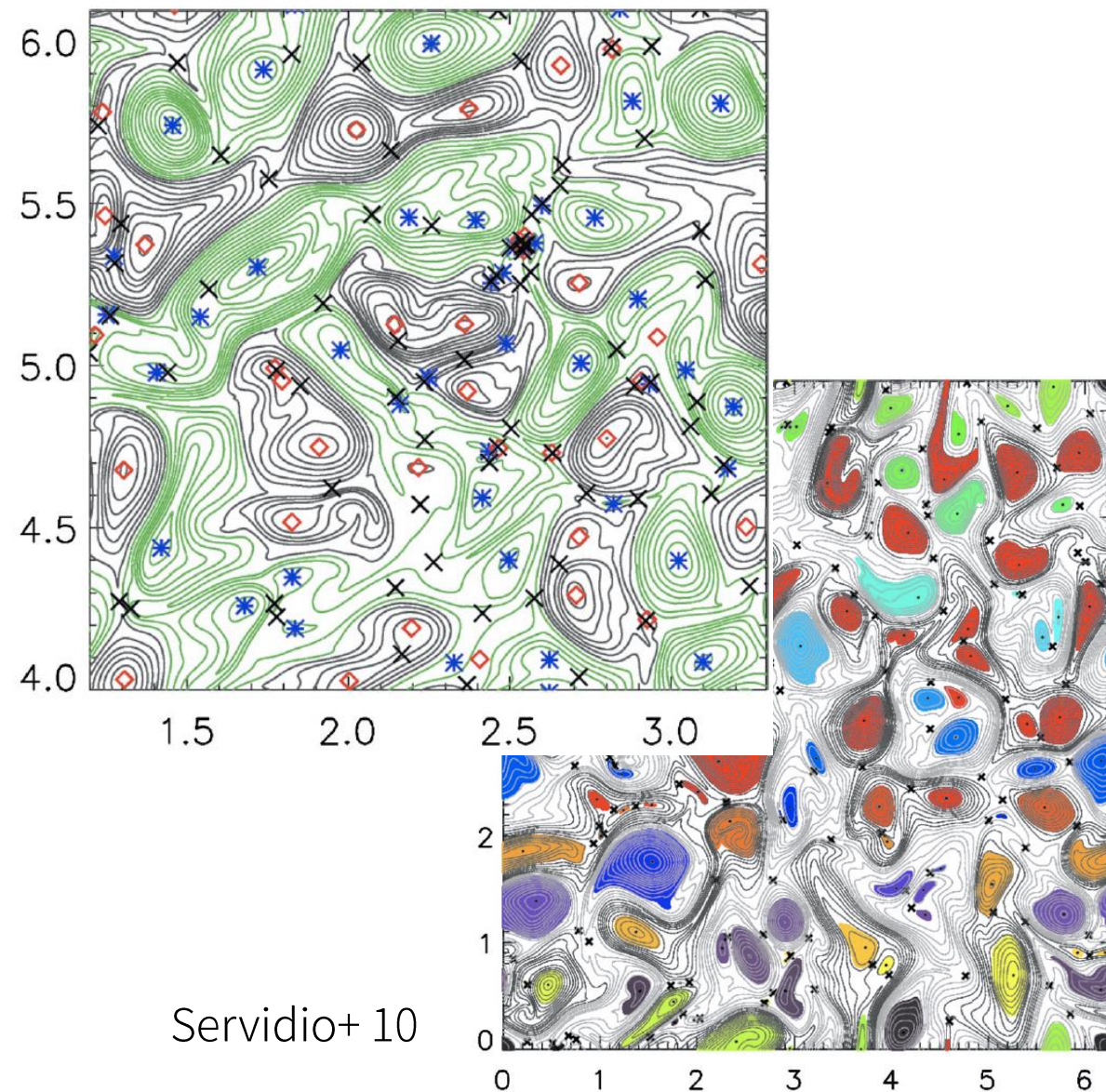
Moll+ 11



Kato & Wedmeyer 17

リコネクション領域への応用の現状

- 非圧縮MHDの減衰乱流計算
- クリティカル点 (ベクトルポテンシャルの極値 $\equiv |B|=0$) まわりでの空間勾配テンソルの固有値による分類
- 固有値比によってリコネクション領域のアスペクト比=リコネクション率を計算
- 2Dのみ



まとめ

- 空間勾配テンソルの固有値解析による磁気リコネクション領域の研究はまだ少ない（0ではない）
 - 可視化の観点から Cai+06PPCF
- やってみたいと想像していたことはほとんど非圧縮MHD乱流解析でやられていた（Servidio+09PRL, 10PoP, 11NPG）
- 通常のリコネクションの問題でどこまで面白いかな（柴山さんの計算結果に適用）
- 3Dデータの解析は新しそう
- 衛星観測データ（その場、リモート）で解析して、物理的に新しい点を見いだせればさらに面白い