

ケルビン・ヘルムホルツ不安定

宇宙磁気流体・プラズマシミュレーション

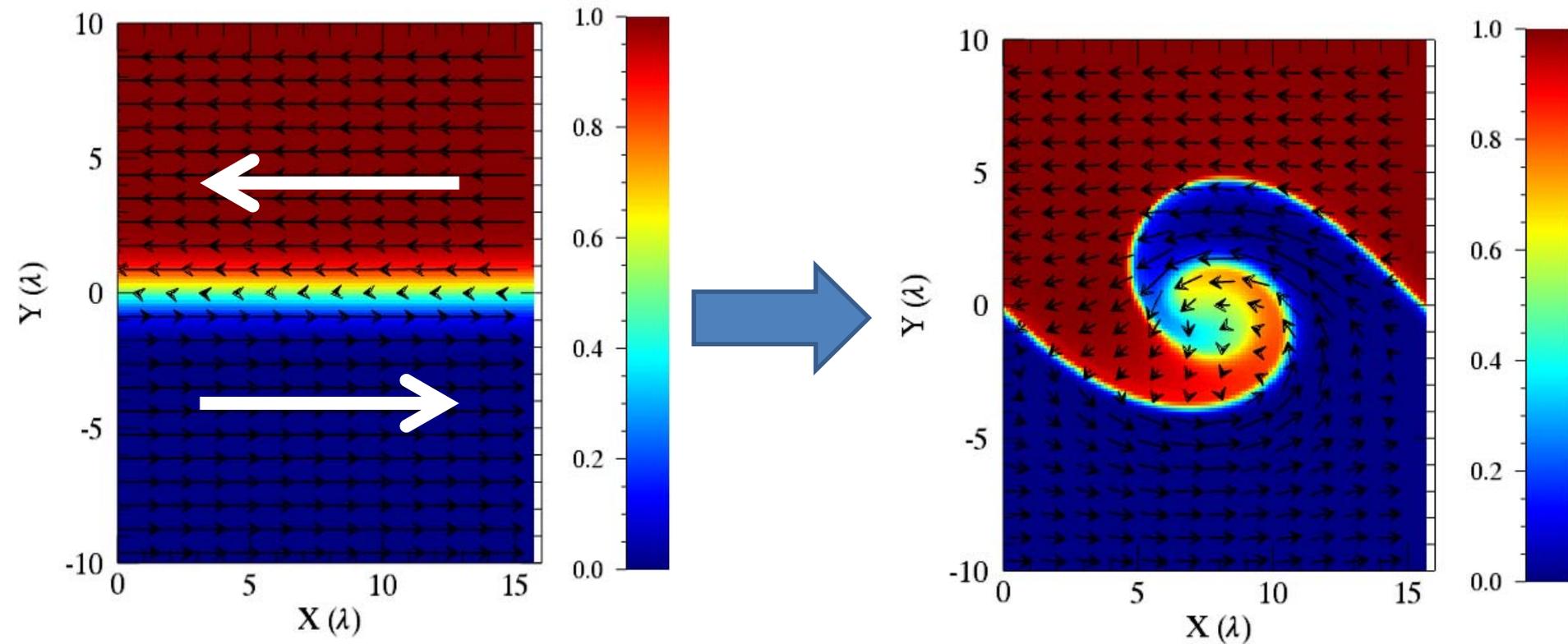
サマースクール@千葉大学 2014/08/04-08

相澤 紗絵[1]、松永 和成[2]、庄田 宗人[3]、杉浦 圭祐 [2]、
吉川 晃平 [4]

[1] 東北大学大学院 [2] 名古屋大学大学院 [3] 東京大学大学院

[4] 千葉大学大学院

イントロダクション

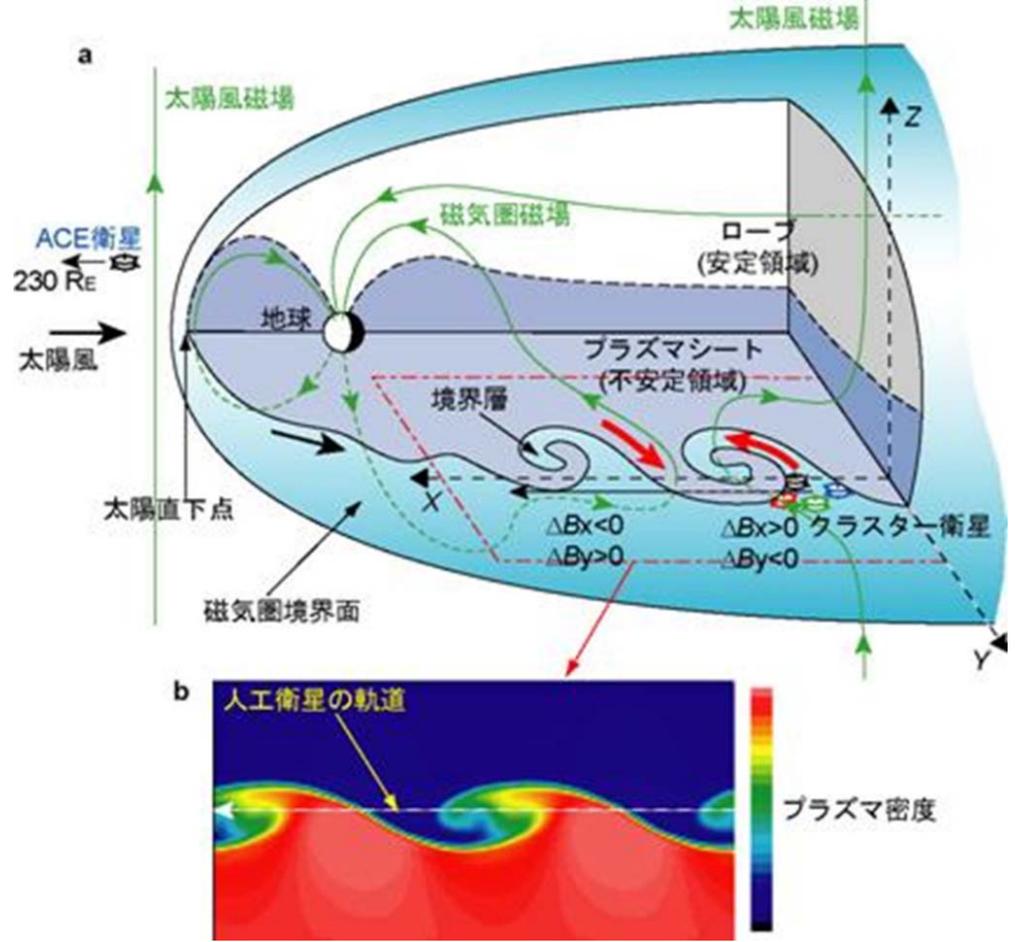


ケルビンヘルムホルツ(KH)不安定：
密度・速度の異なる流体の境界面に発生する
流体的な不安定→MHDシミュレーションによる
研究

ケルビンヘルムホルツ不安定の例

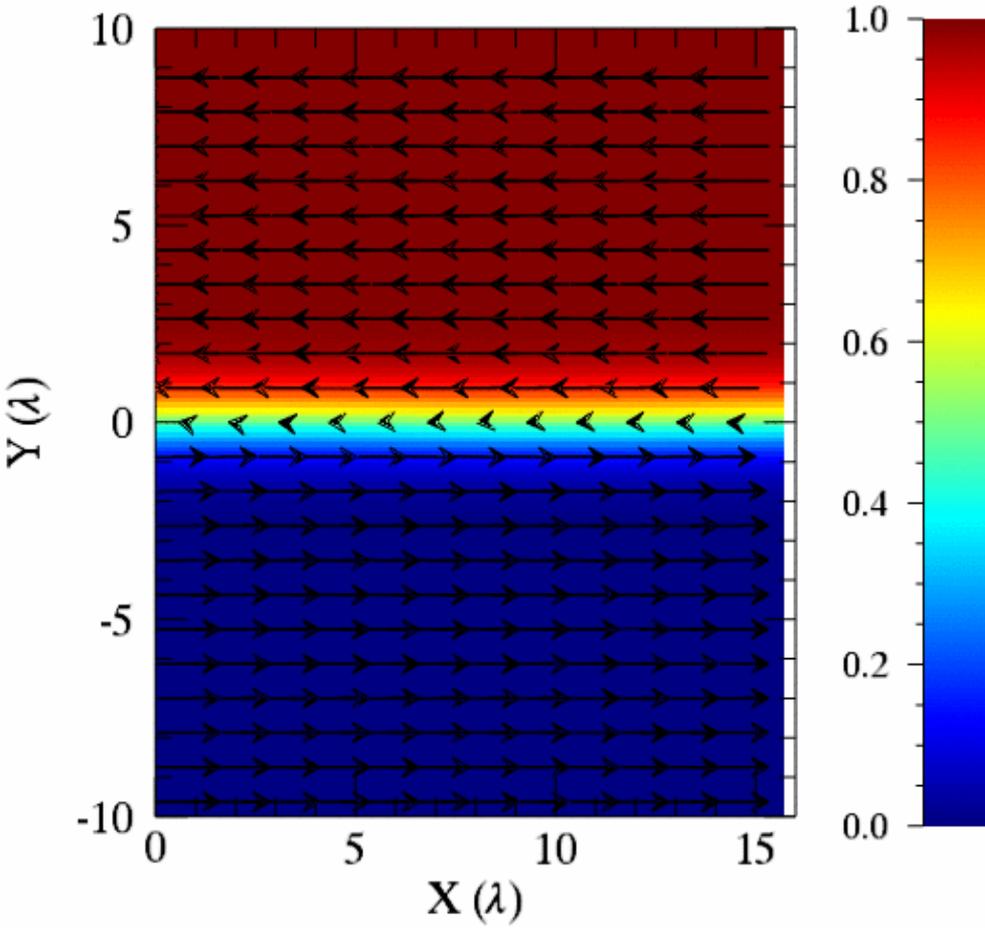


ケルビン・ヘルムホルツ不安定による雲

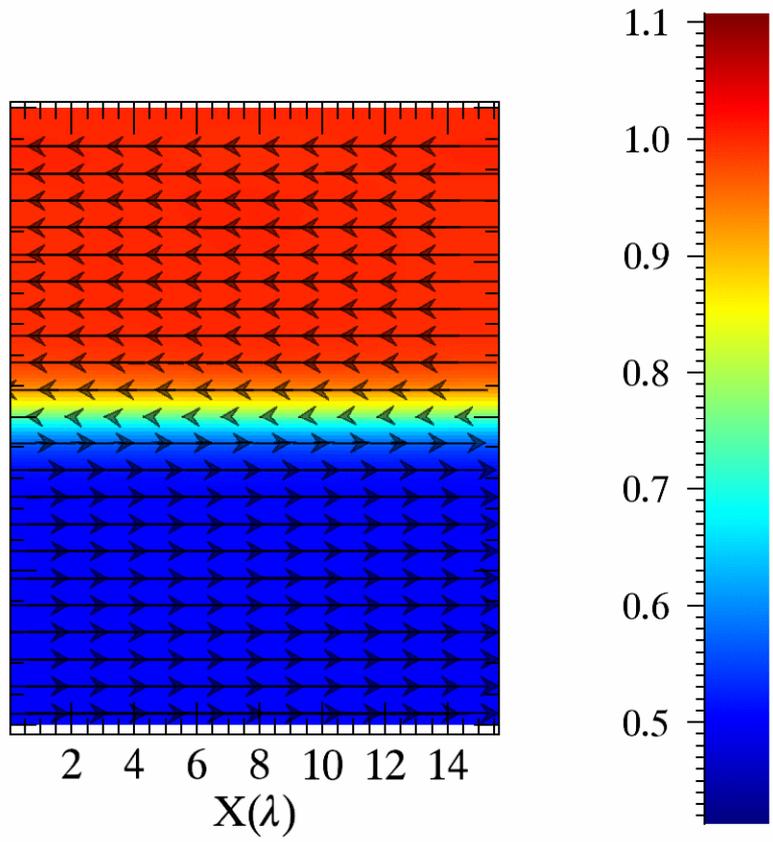


地球磁気圏でのケルビンヘルムホルツ不安定

密度比変動による変化

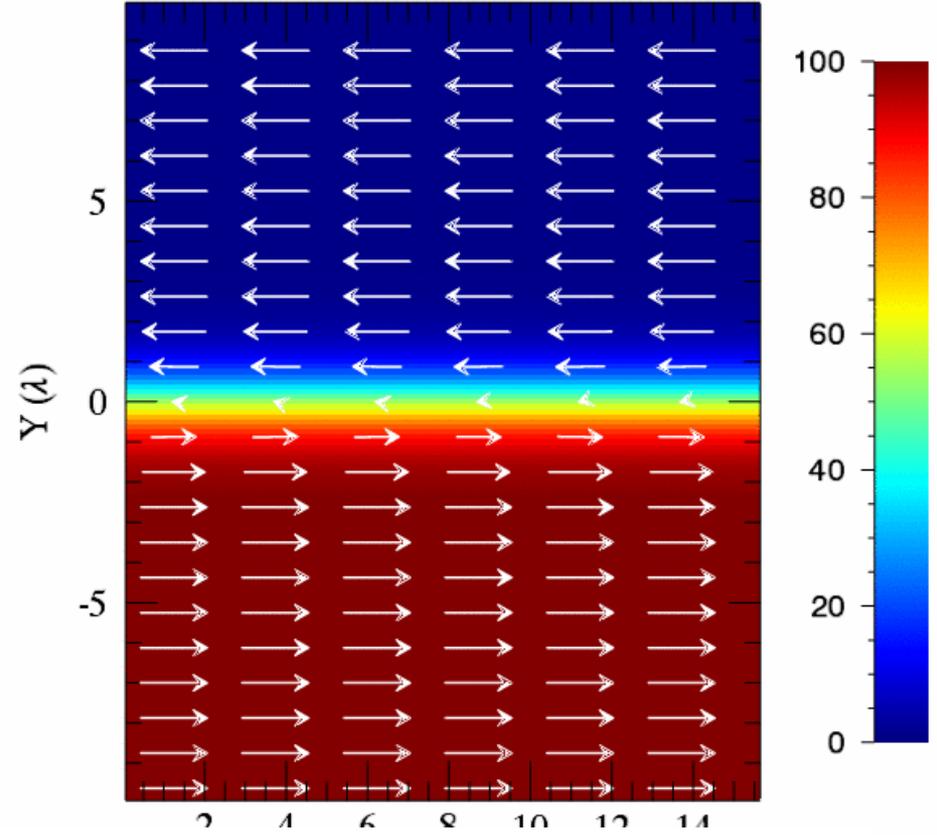


密度比 $rr=0.05$

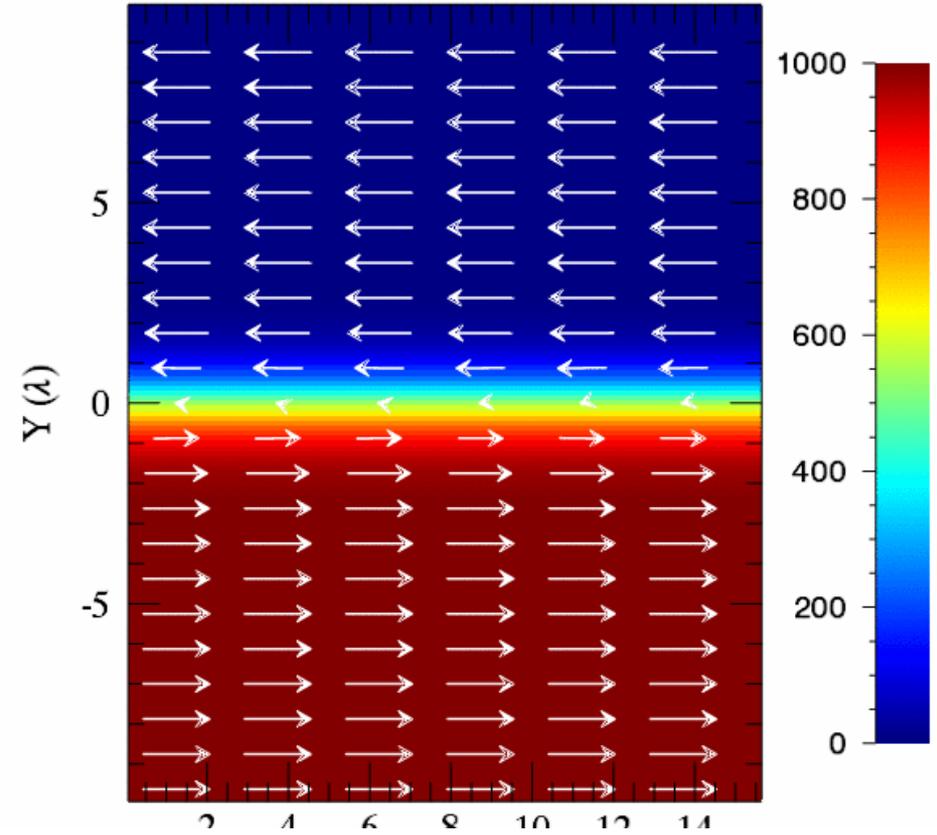


密度比 $rr=0.5$

密度比変動による変化



密度比 $rr=100$



密度比 $rr=1000$

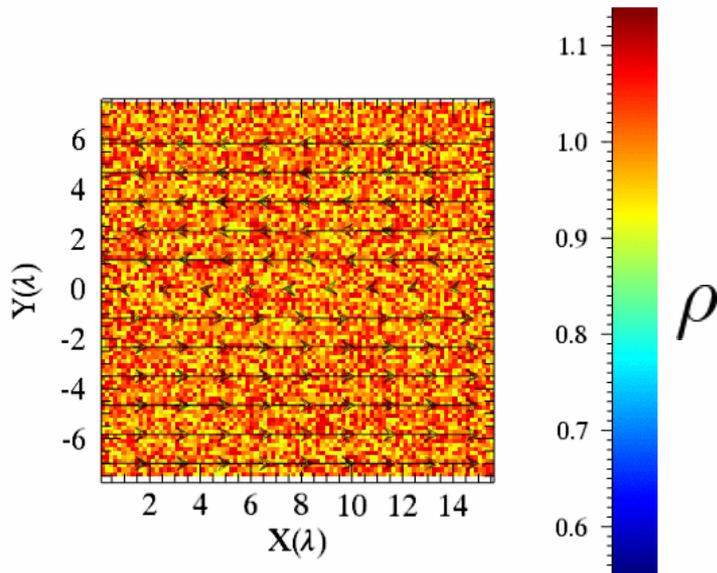
三次元でのKH不安定の計算 (密度差なしと密度差あり $rr=0.5$)

杉浦 圭祐

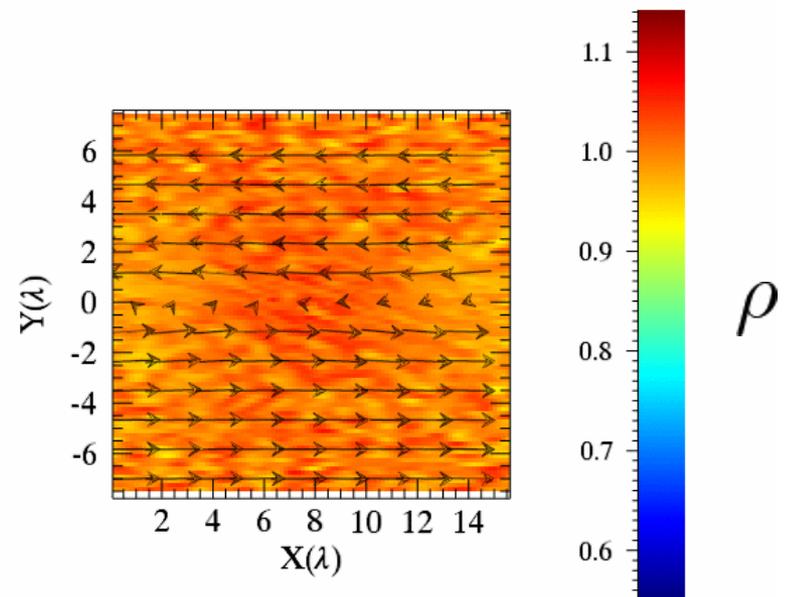
吉川 晃平

三次元計算

ただしプラズマ $\beta = 100.0$ 、密度比 = 1.0、初期の密度擾乱 = 10%

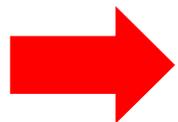


二次元計算



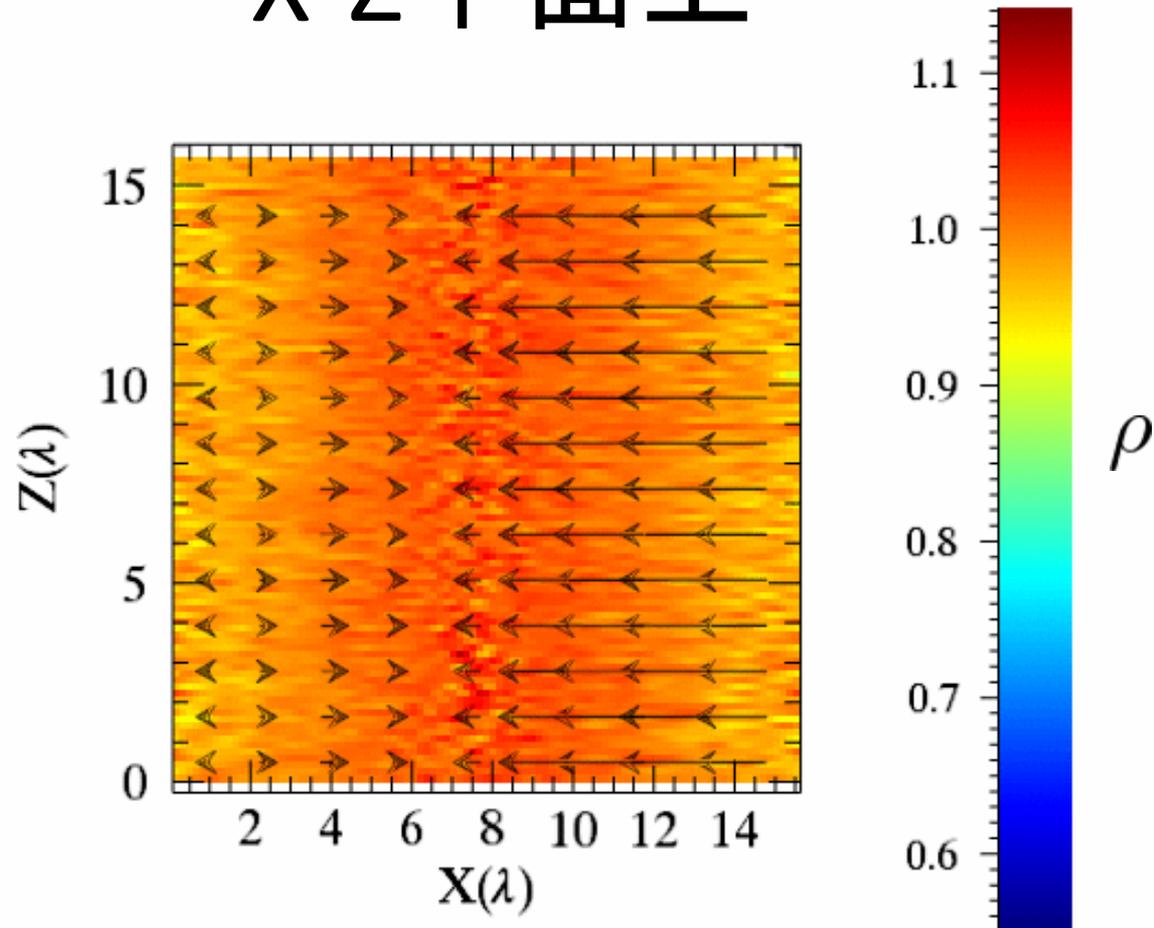
三次元計算

三次元計算では渦を保つことができない！



z方向に乱流が発生するため

X-Z平面上

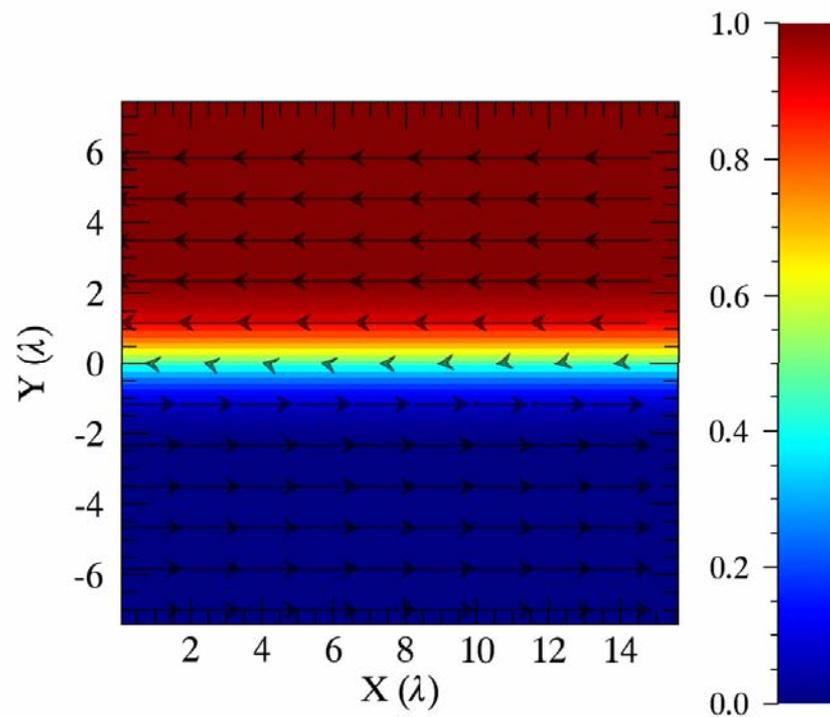
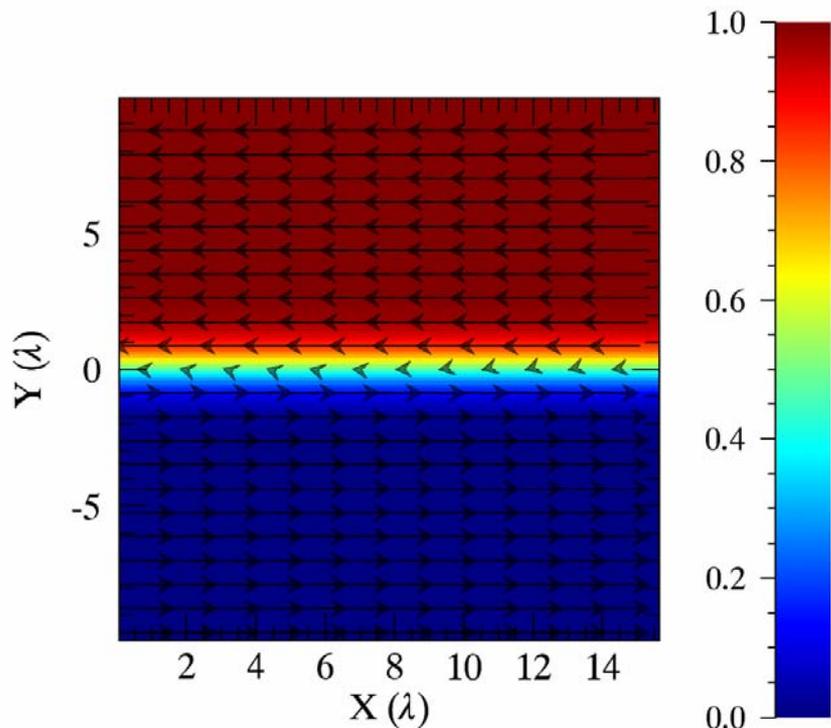


Z方向に攪乱している様子がわかる！

2次元 vs 3次元

2次元

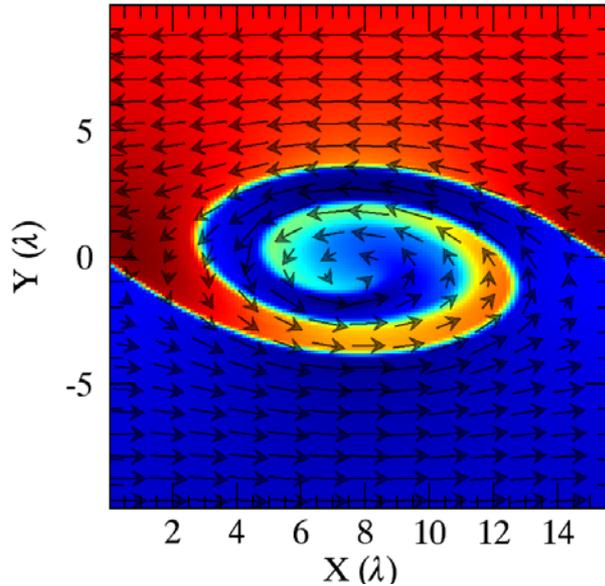
3次元



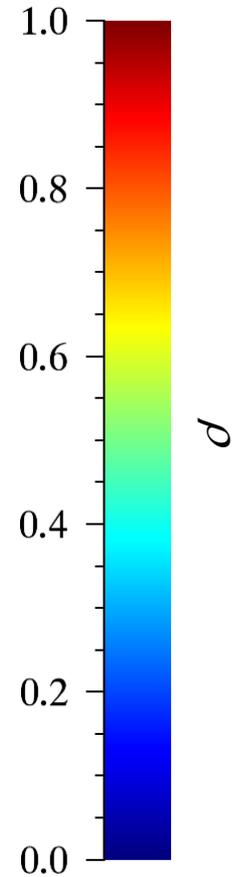
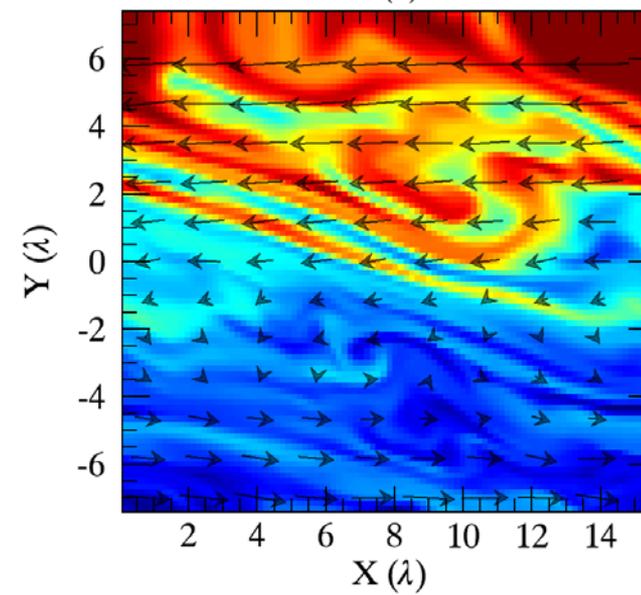
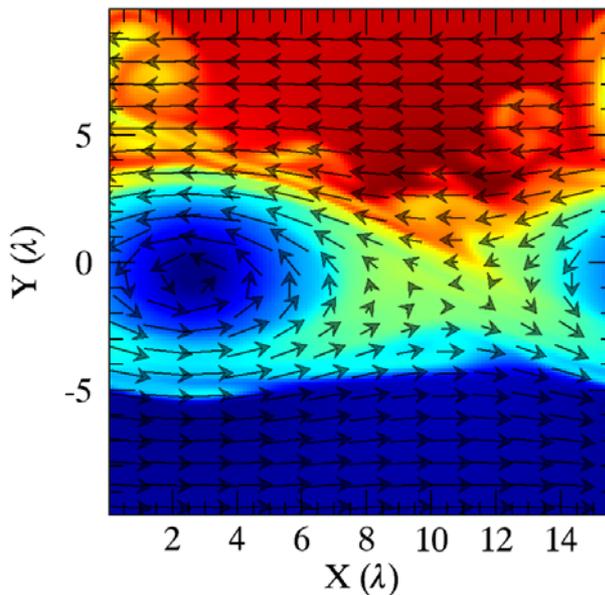
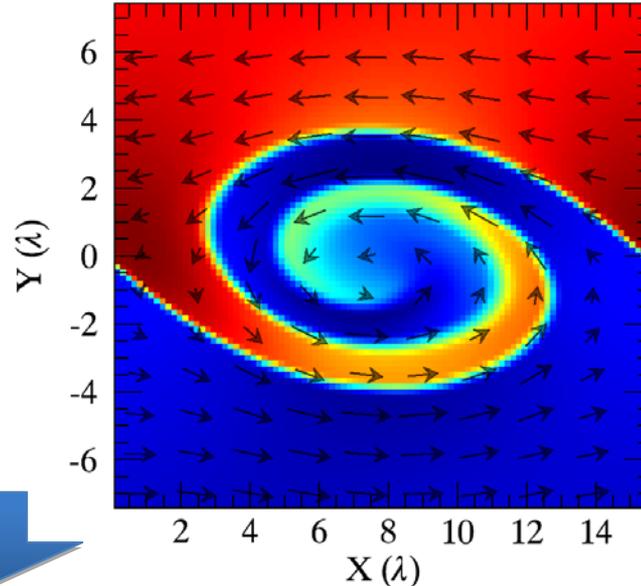
密度比 $\rho_r=0.5$ $\beta=100$

2次元 vs 3次元

2次元: 渦が維持される



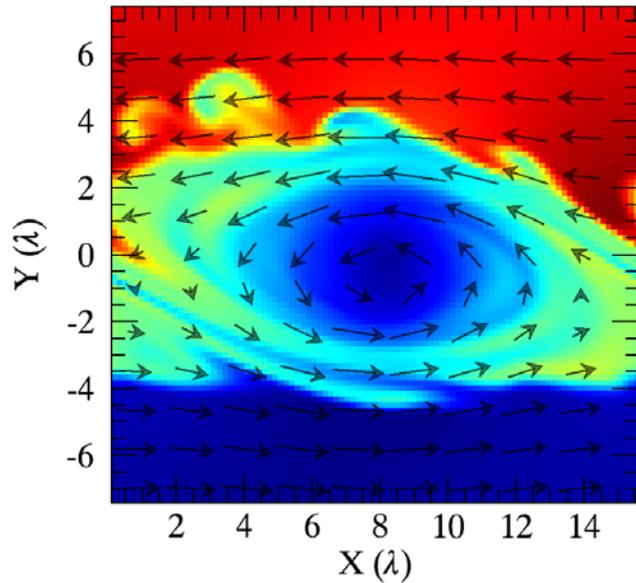
3次元: 渦が崩れる



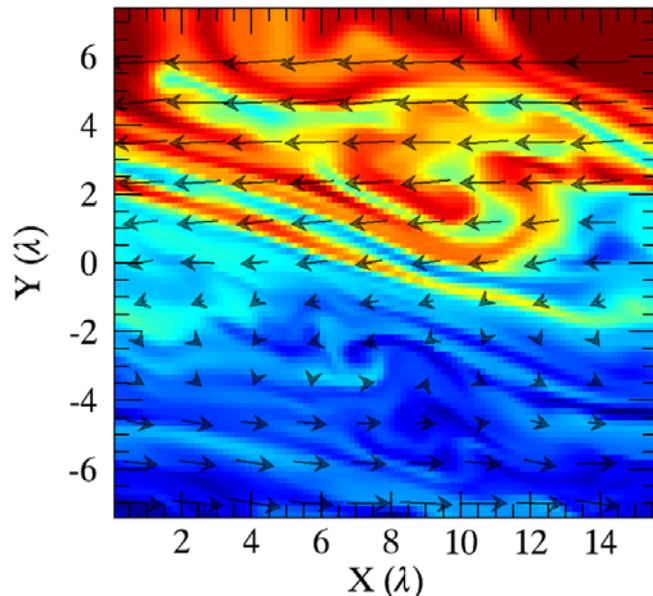
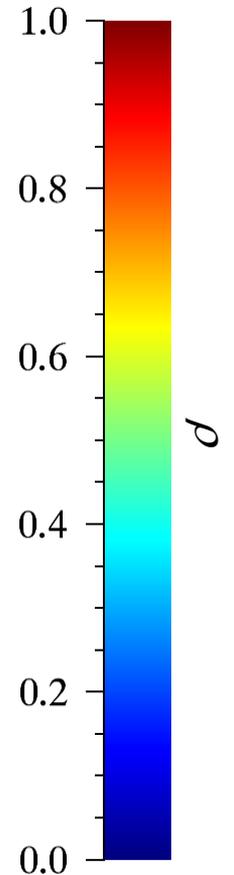
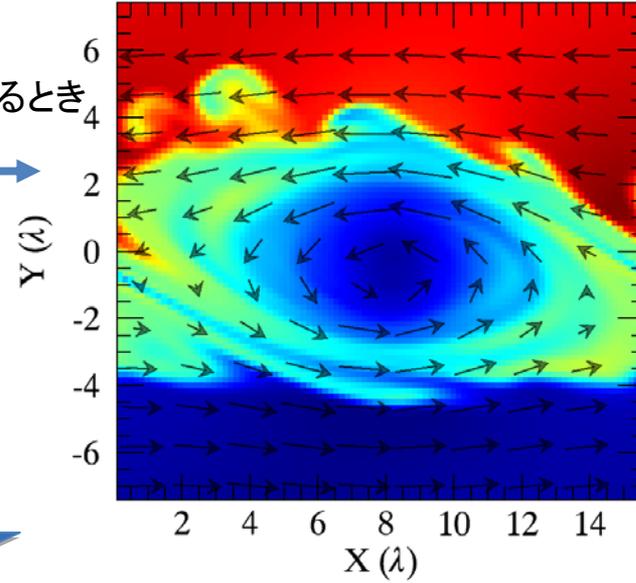
xy平面の比較(3次元)

$z=0$

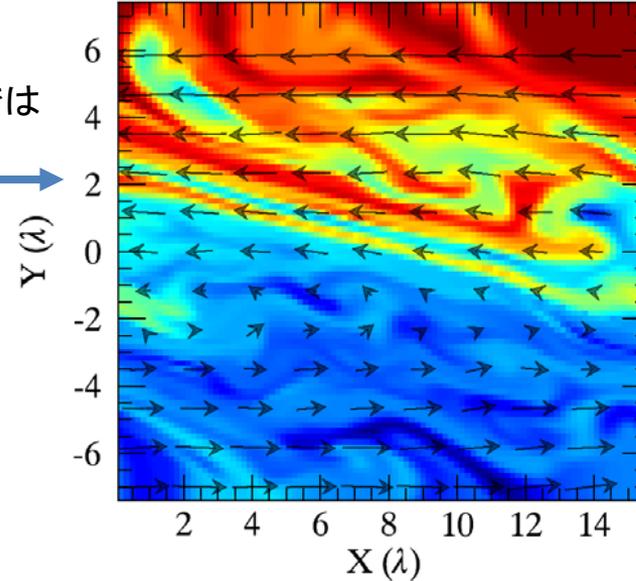
$z=6\pi$



渦が維持されているとき
 z 方向に一様



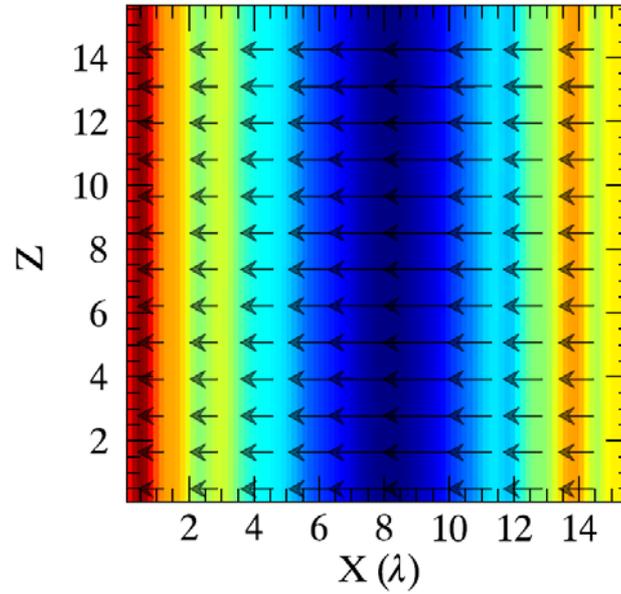
渦が崩れると
 z 方向に一様では
なくなる



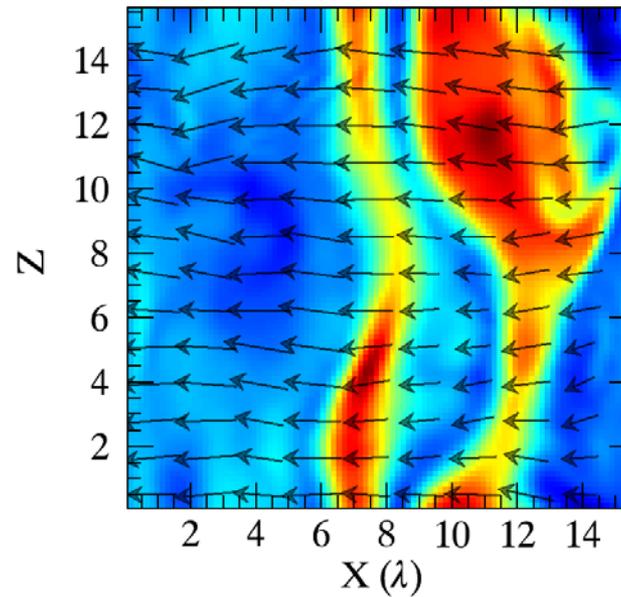


xz平面 ($y=0$)

渦が維持されているとき



渦が崩れたとき

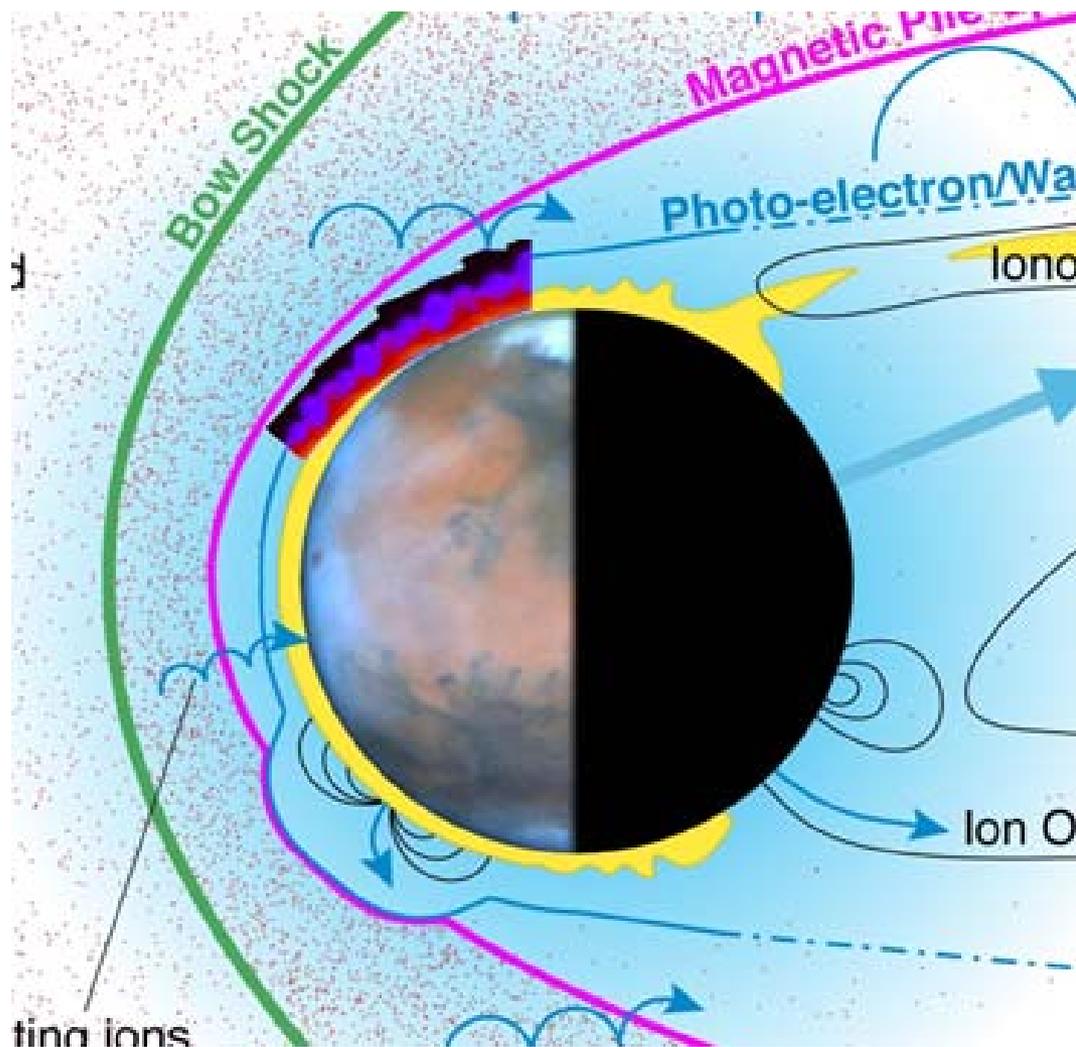


火星電離層境界における ケルビンヘルムホルツ不安定

相澤 紗絵

松永 和成

火星におけるプラズマ環境



- 固有磁場なし
- 太陽風と火星上層大気が直接相互作用

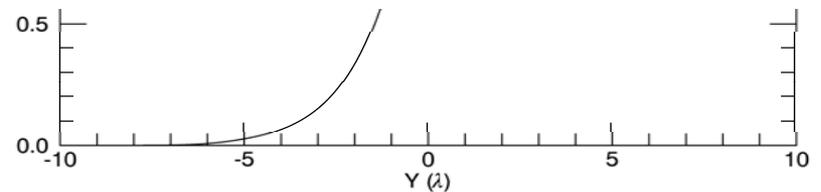
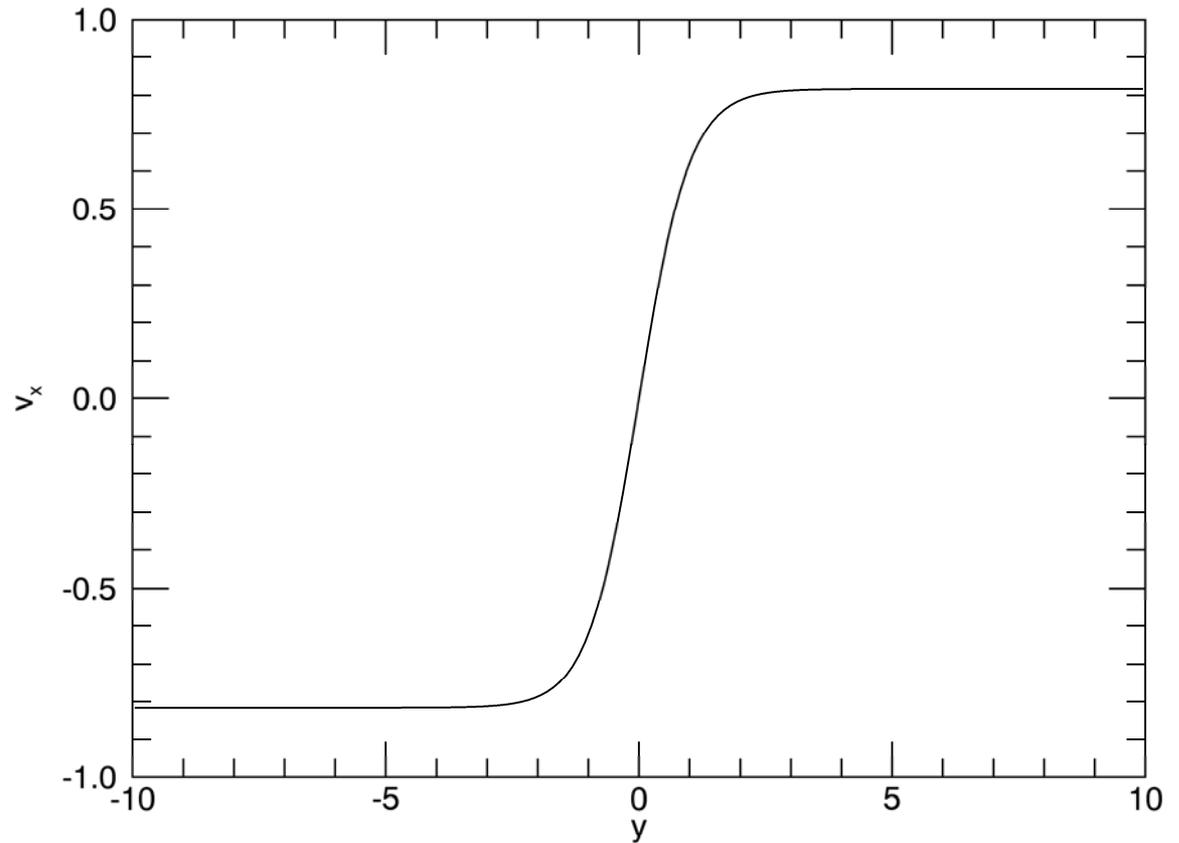
シミュレーションの問題点

最初

- $\rho \propto \tanh\left(\frac{y}{\lambda}\right)$
- $v_x \propto \tanh\left(\frac{y}{\lambda}\right)$
- $v_x \rho$

工夫

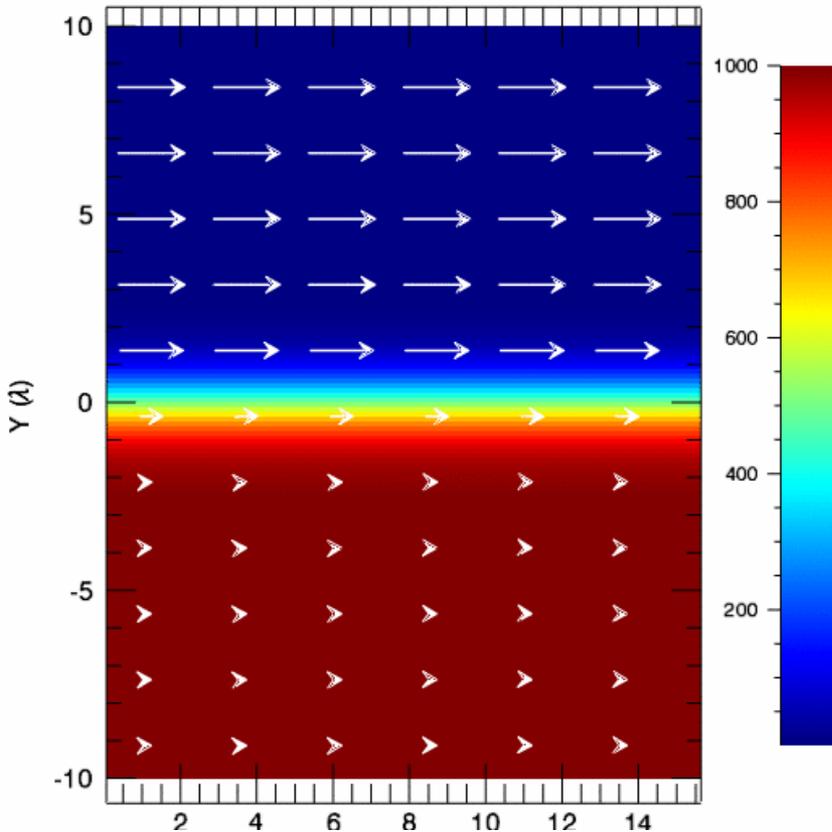
- $\frac{p}{\rho \gamma} \propto \tanh\left(\frac{y}{\lambda}\right)$
- $v_x \propto \tanh\left(\frac{y}{\lambda}\right)$
- $v_x \rho$



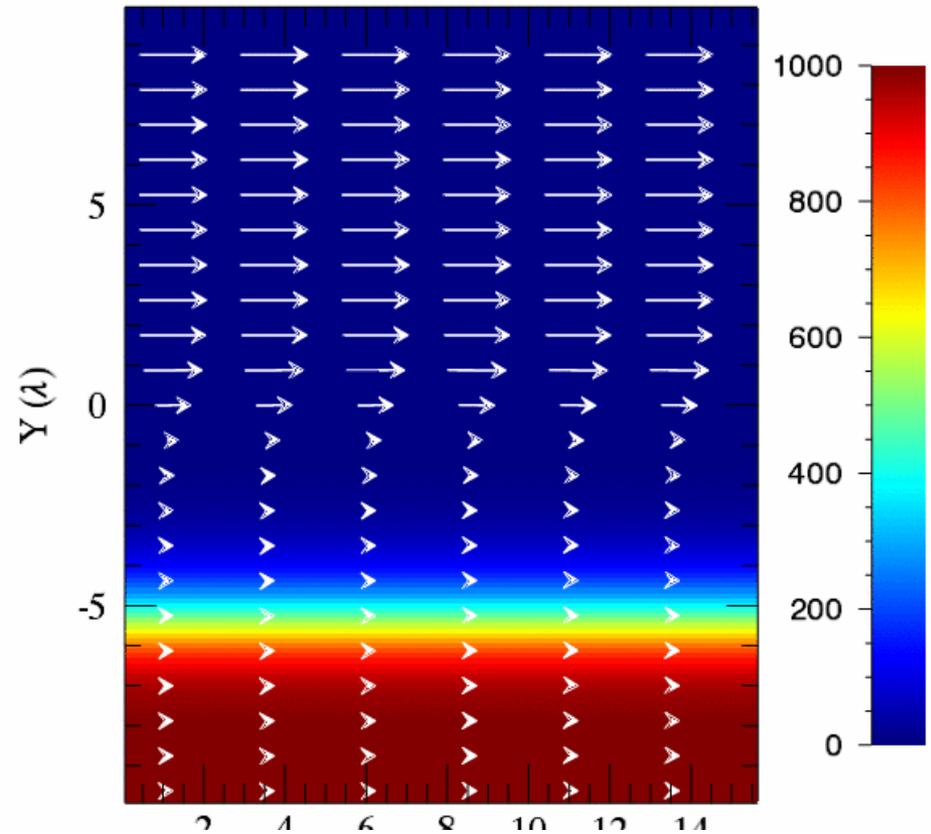
シミュレーション比較

密度比 $r_r=1000$, 電離層の速度 0 , 磁場 $B=0$

最初



工夫



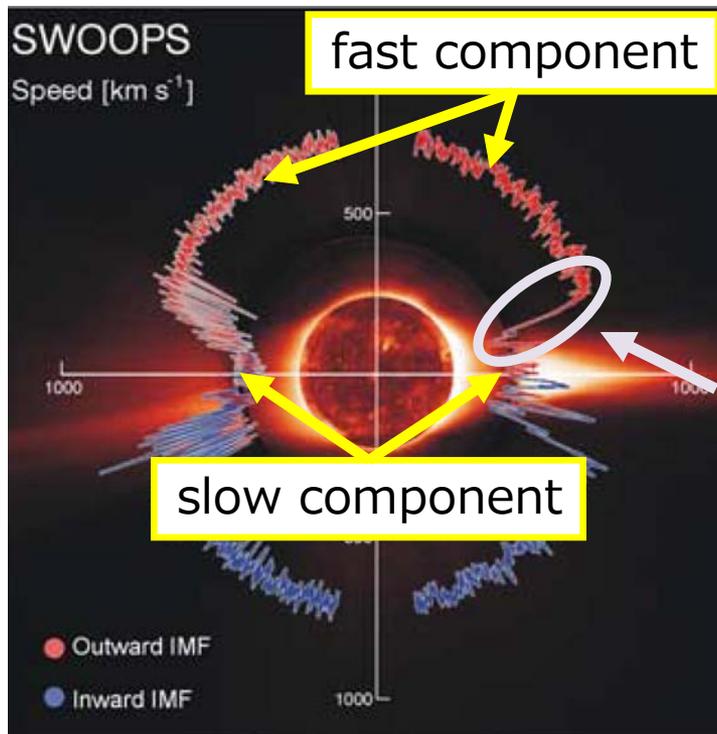
KH Instability in Magnetized Wake

庄田 宗人

Introduction

太陽風には二つの成分が存在する

⇒fast component & slow component

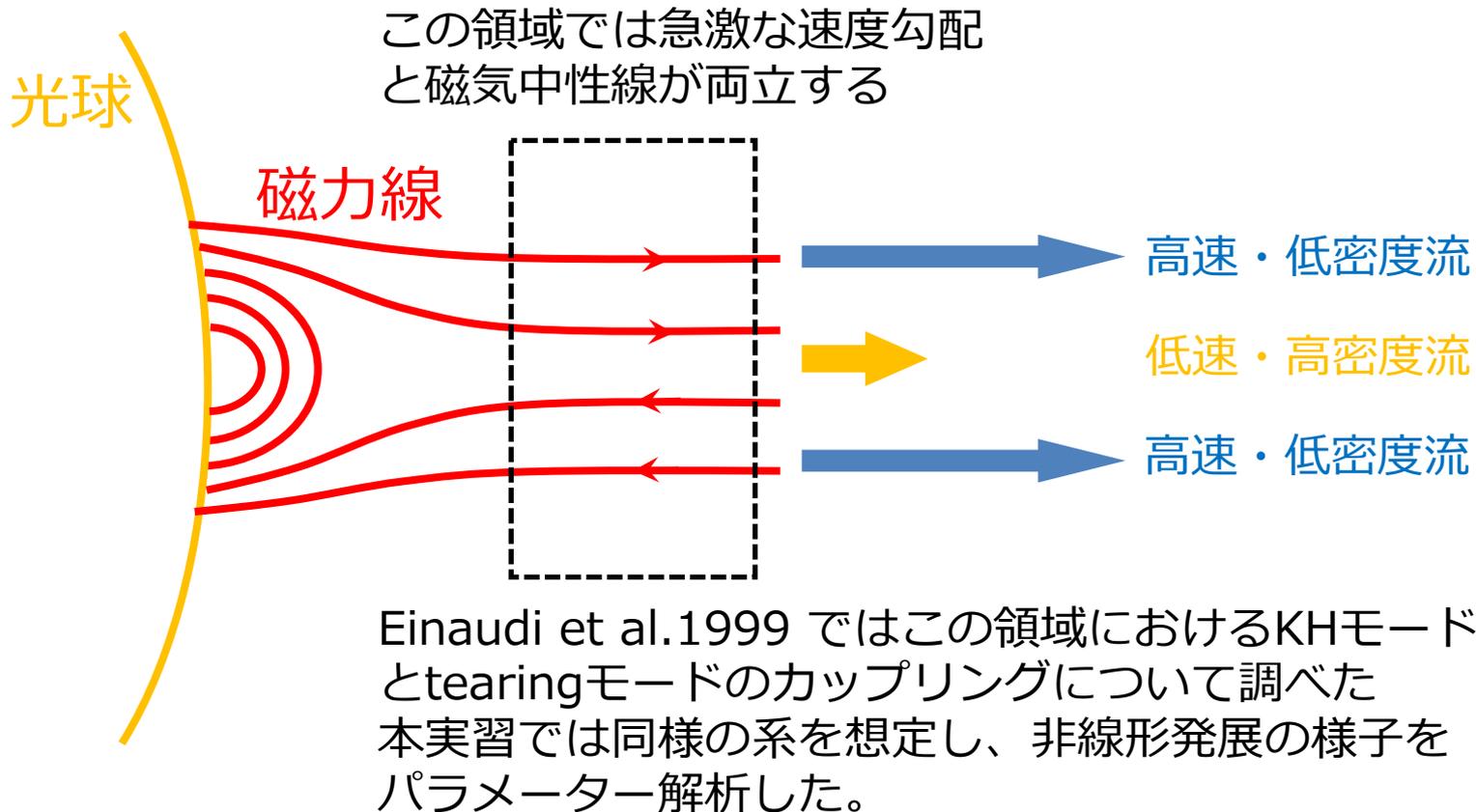


Ulyssesによる、太陽活動静穏期における太陽風観測データ
図中の線を中心からの距離が太陽風速度に対応する

両者の境界は狭い（速度勾配が急）ため、ここでKH不安定が生じると期待される。

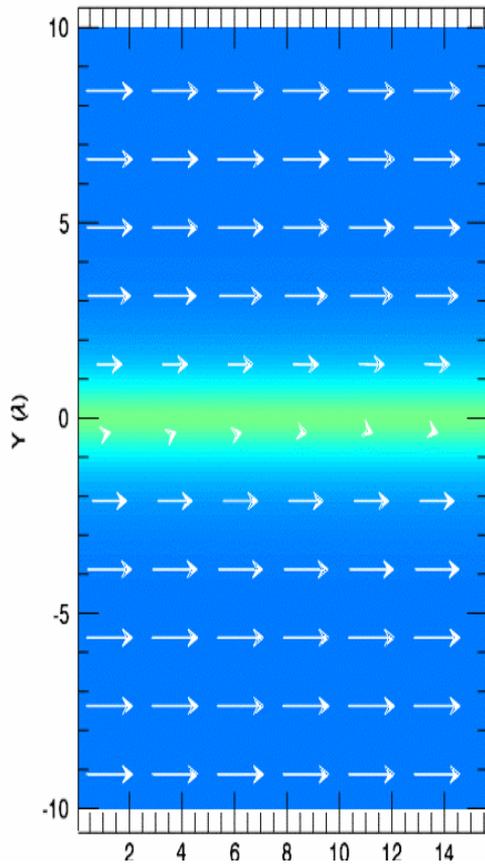
Previous Study

Einaudi et al. 1999



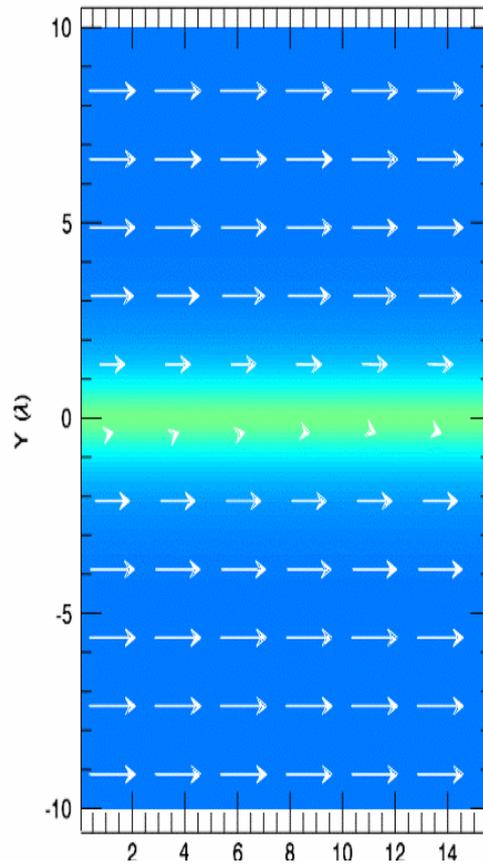
Result

$$\beta = 10$$



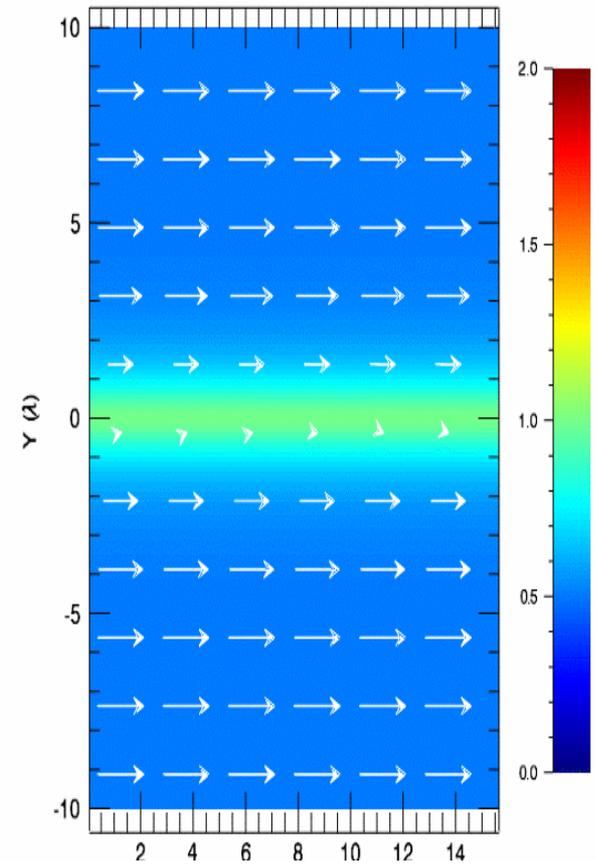
$$U < c_s$$

$$\beta = 1$$



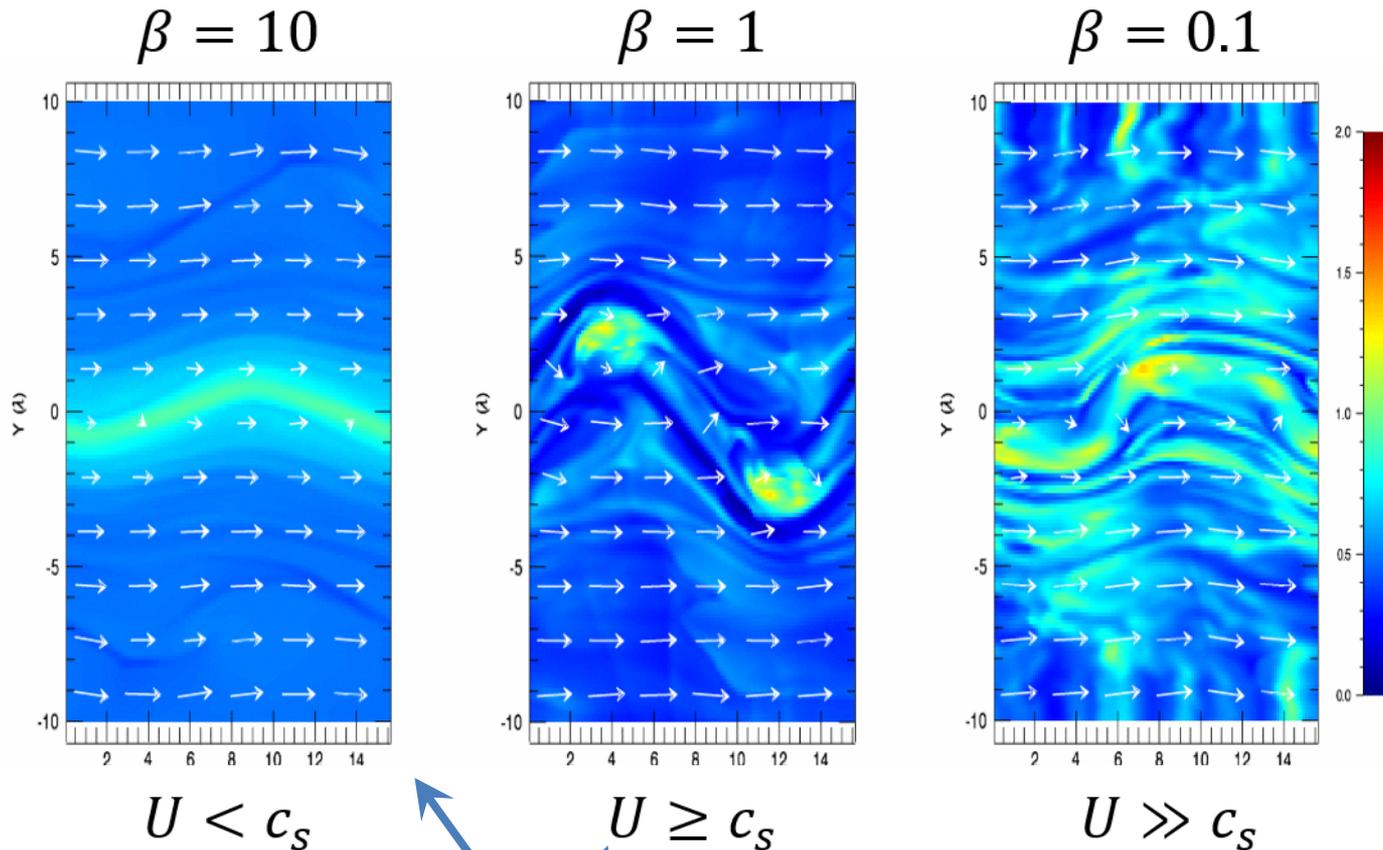
$$U \geq c_s$$

$$\beta = 0.1$$



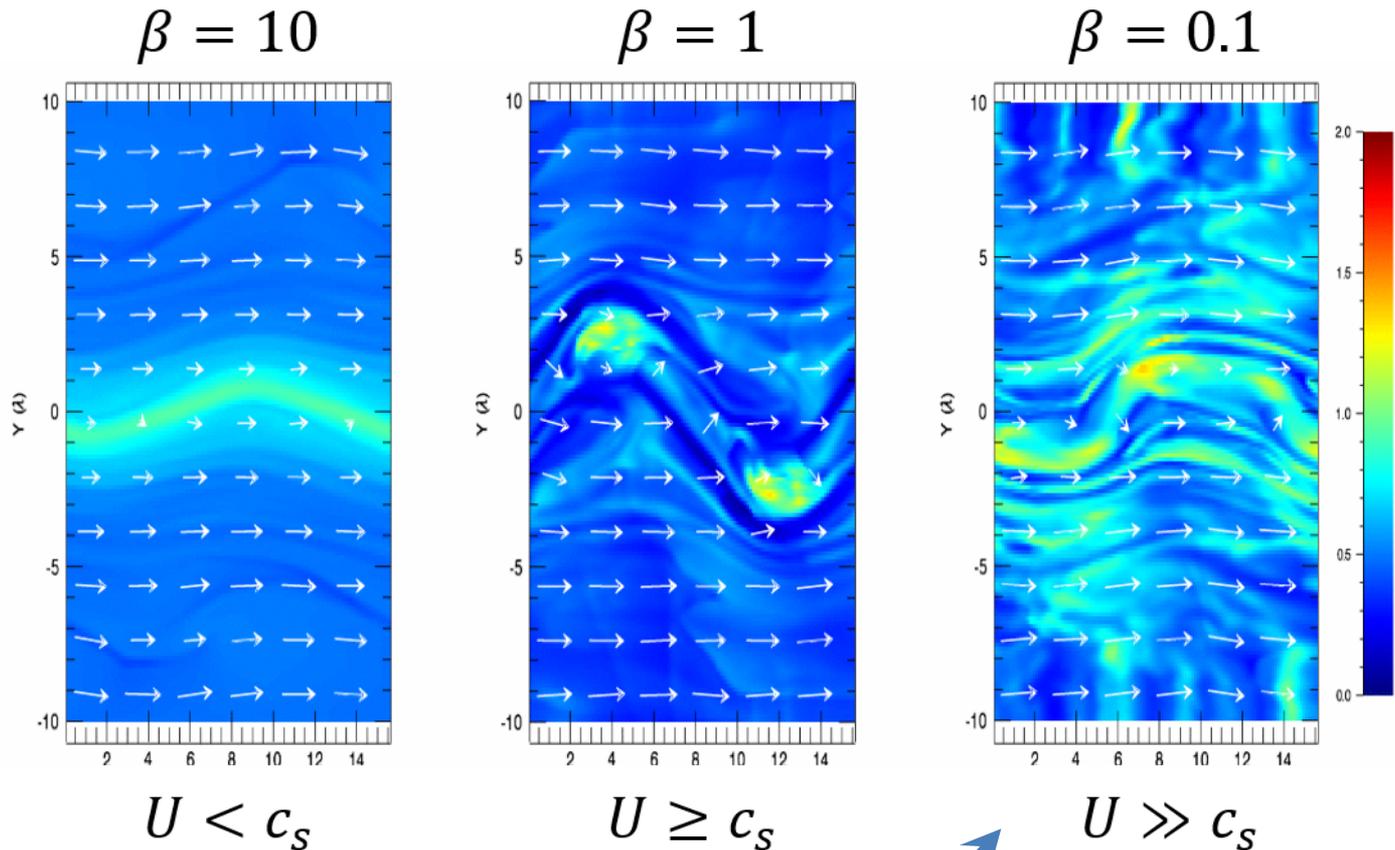
$$U \gg c_s$$

Discussion



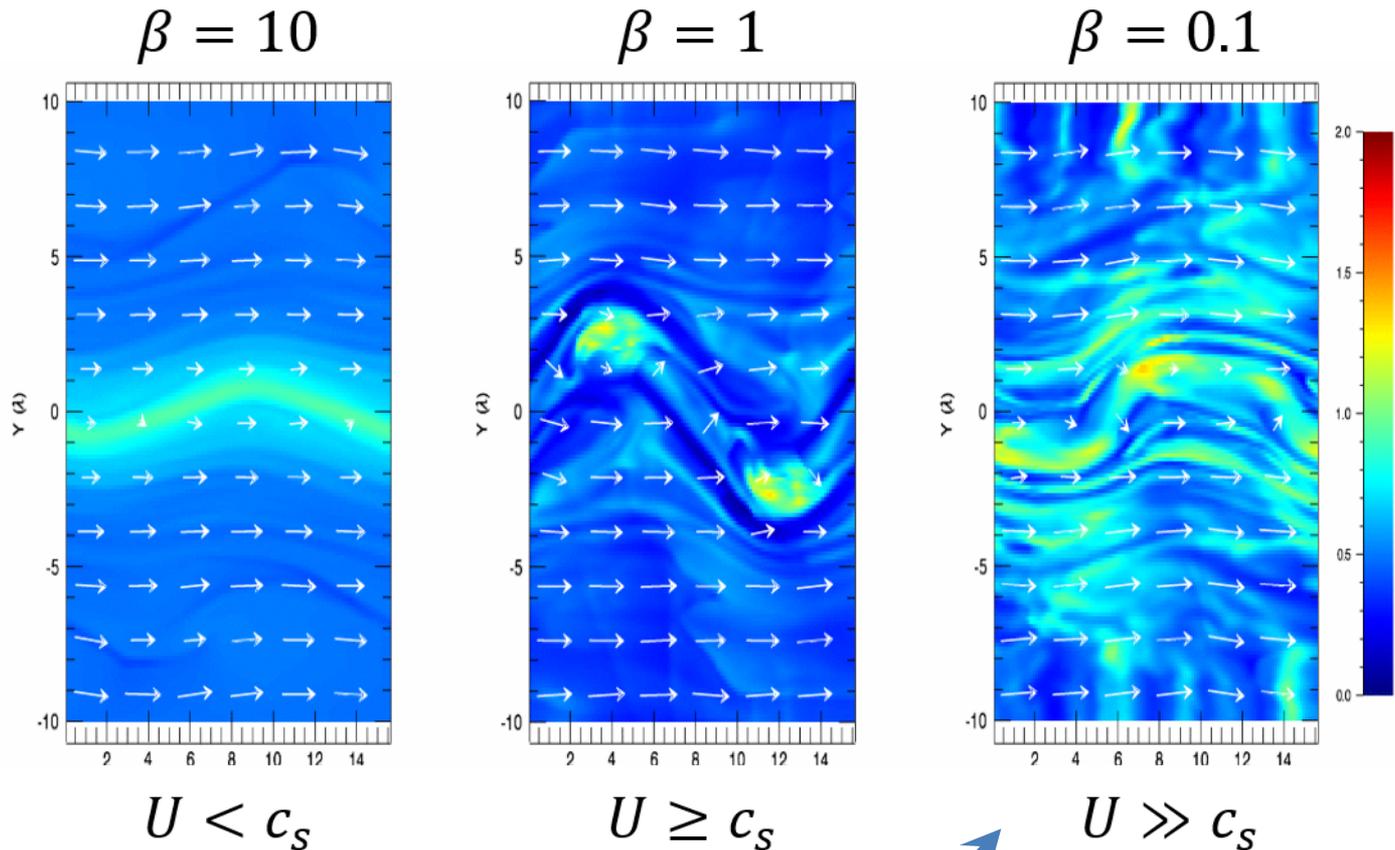
磁場のエネルギーが強く、不安定が抑えられる。
緩やかに密度が上下方向へ拡散し、中心速度も上昇している。

Discussion



密度の集積が見られる
流れが超音速であることから、**衝撃波**による密度上昇と考えられる

Discussion



流れのマッハ数が大きく、高波数のモードが成長する？

Conclusion

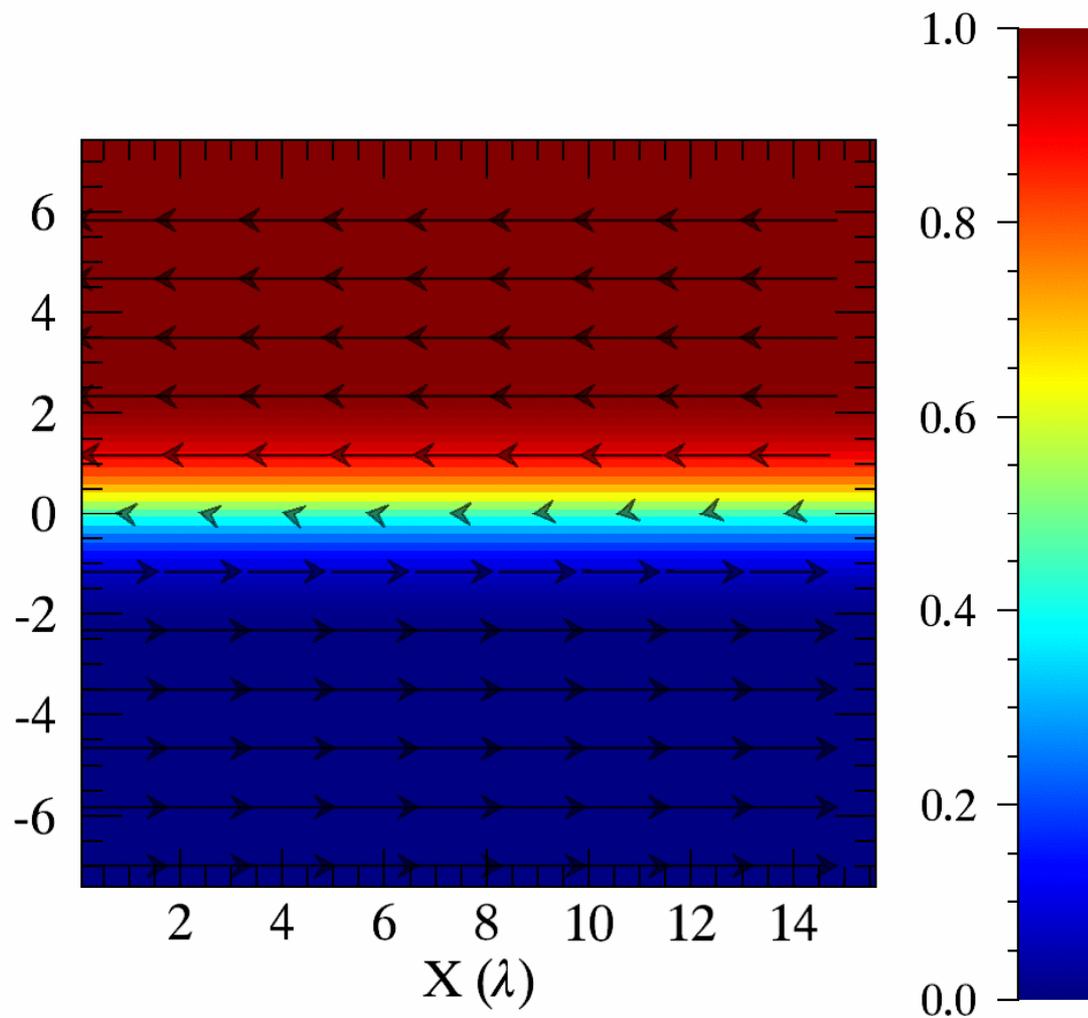
惑星に飛来する「遅い太陽風」の観測的性質

「速い太陽風」よりも乱流の性質が強い
太陽近傍で高密度領域の形成が観測されている。

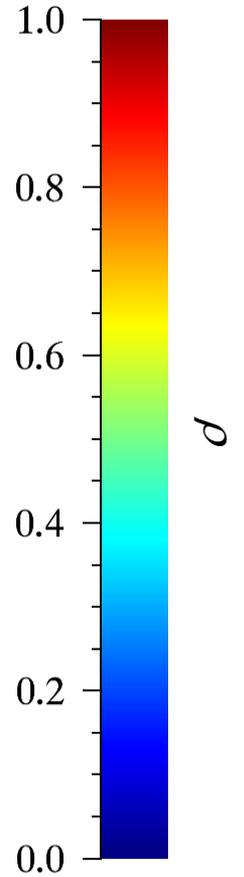
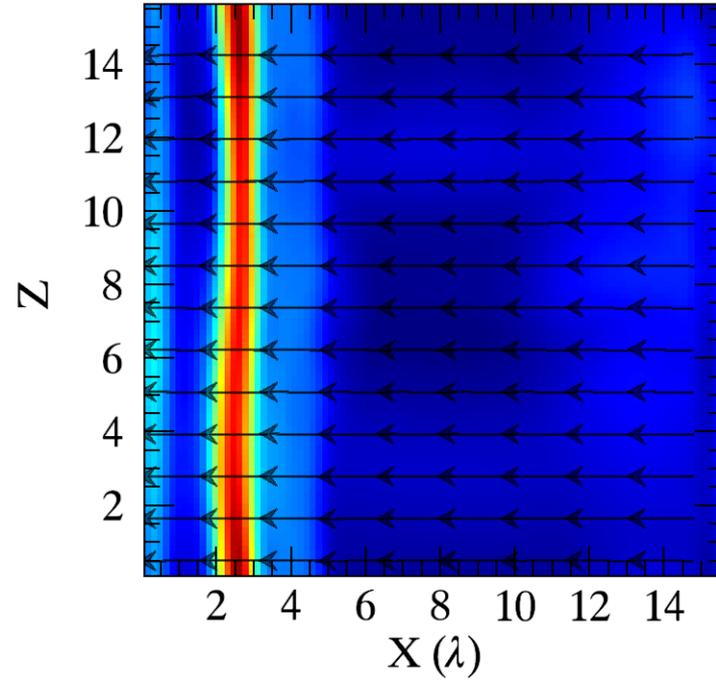
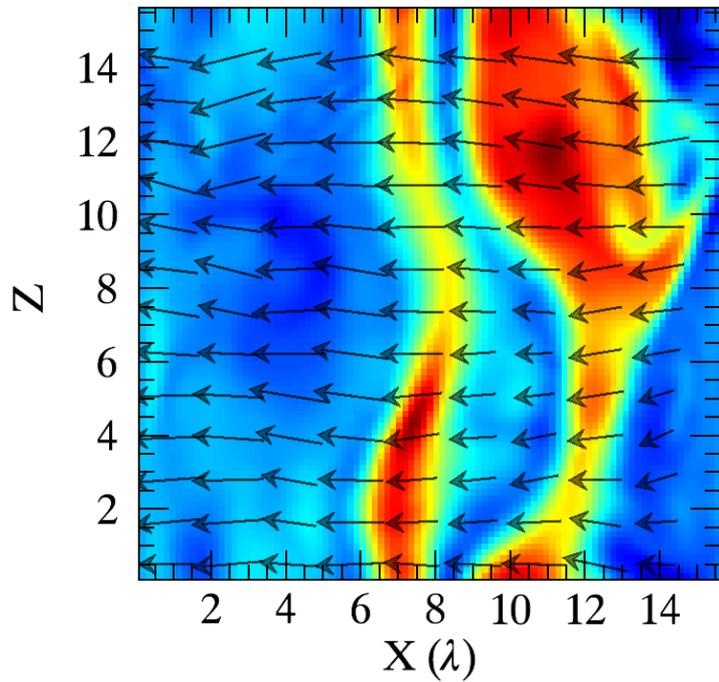
$\beta = 1$ の結果はこれらの性質をよく説明する。

Appendix

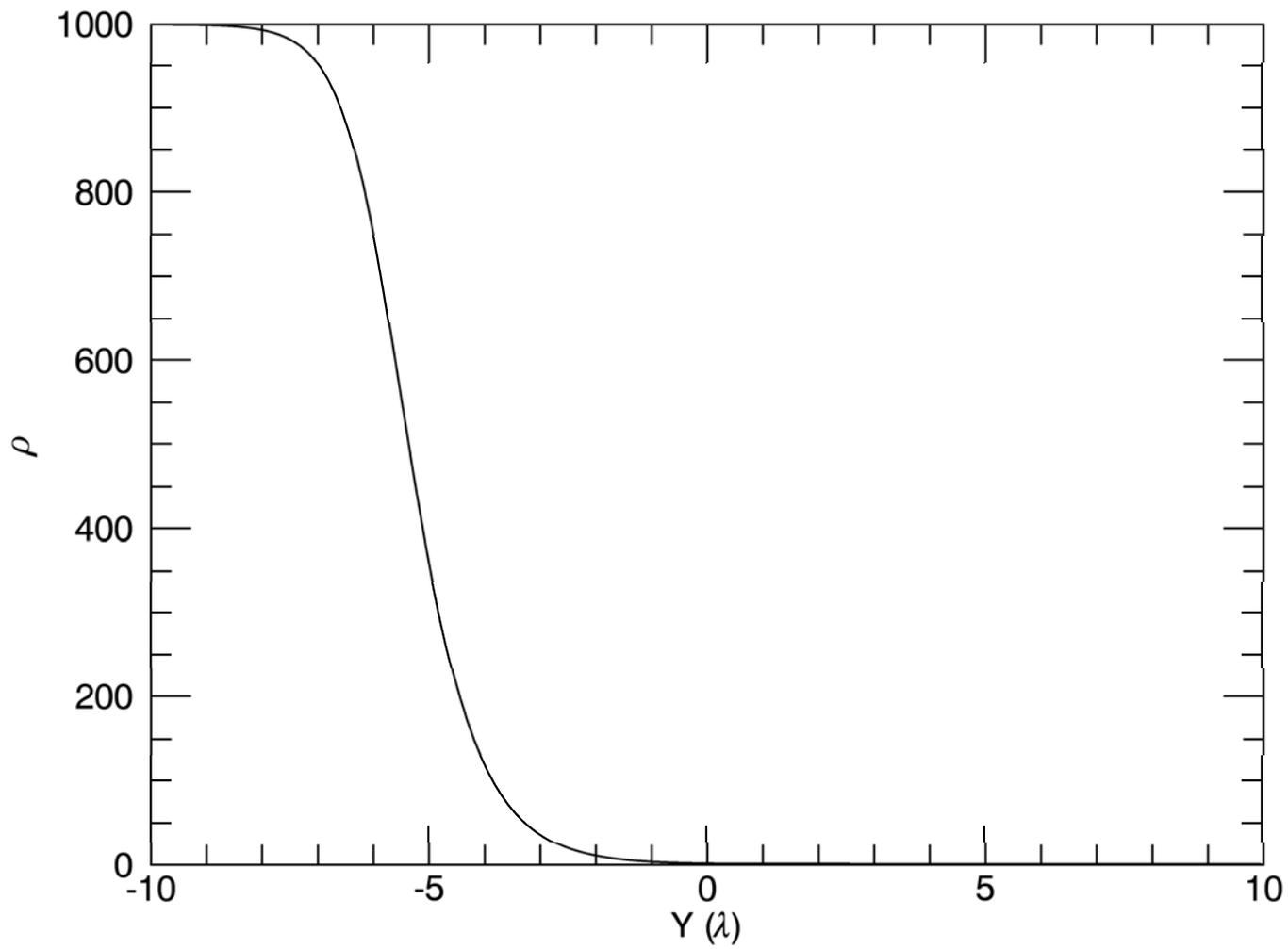
密度比 $\rho_r=0.1$ 、 $\beta=100$

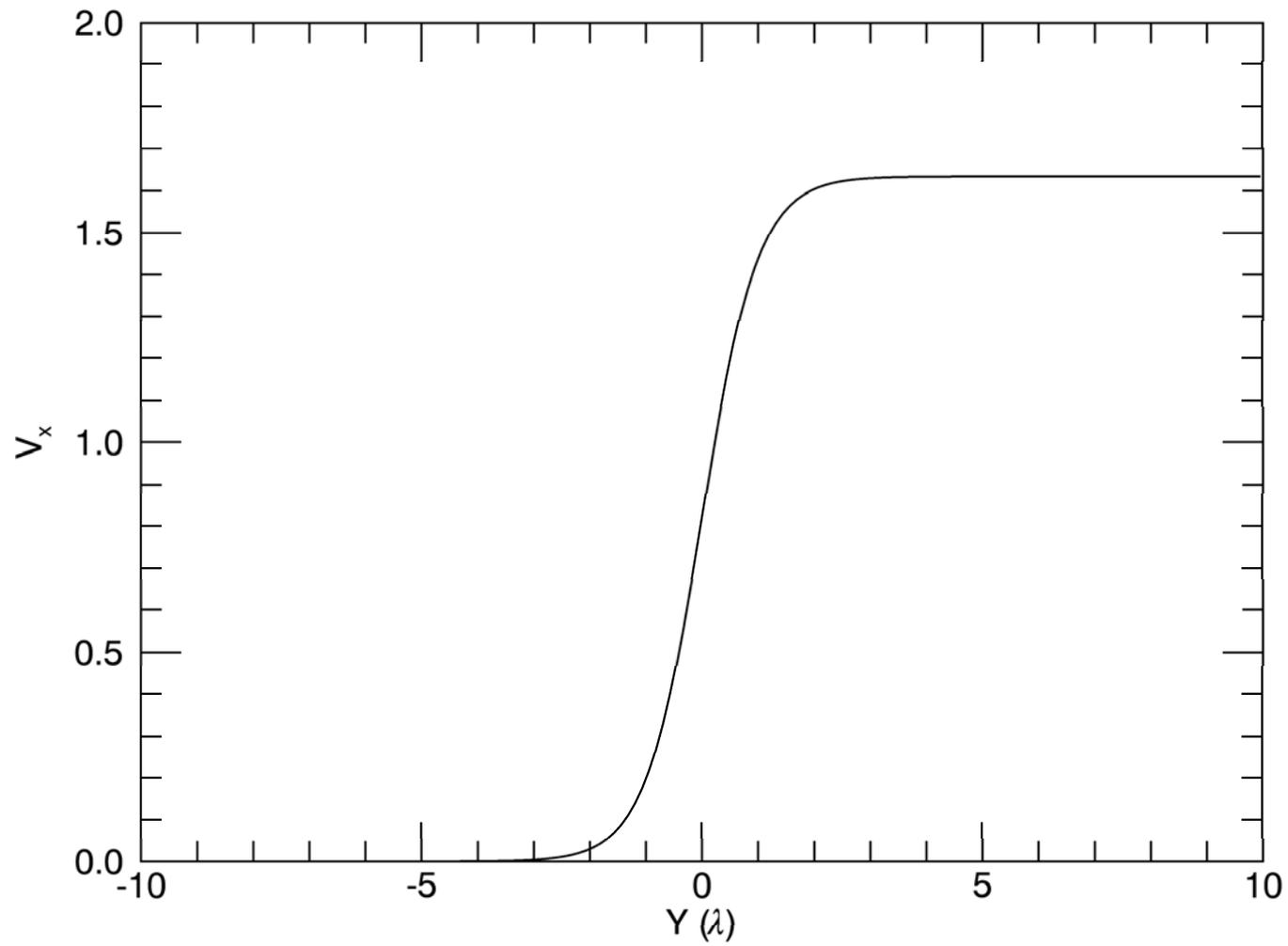


rr=0.5 vs rr=0.1



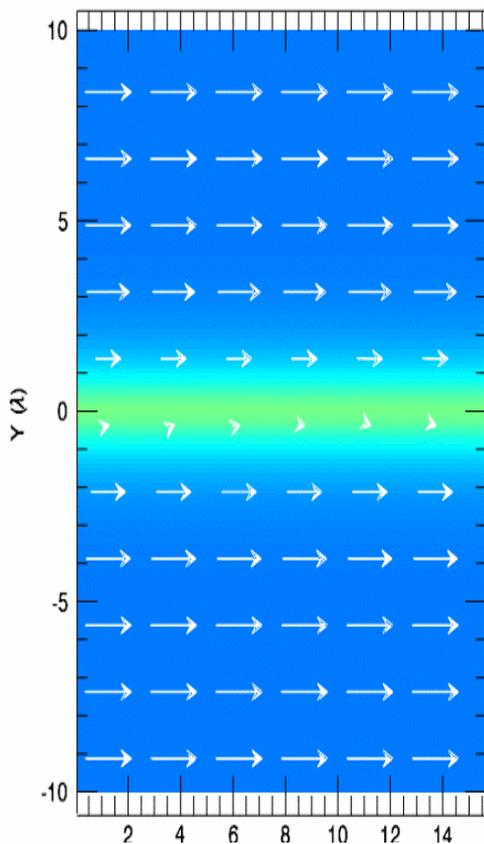
2次元性が強まる





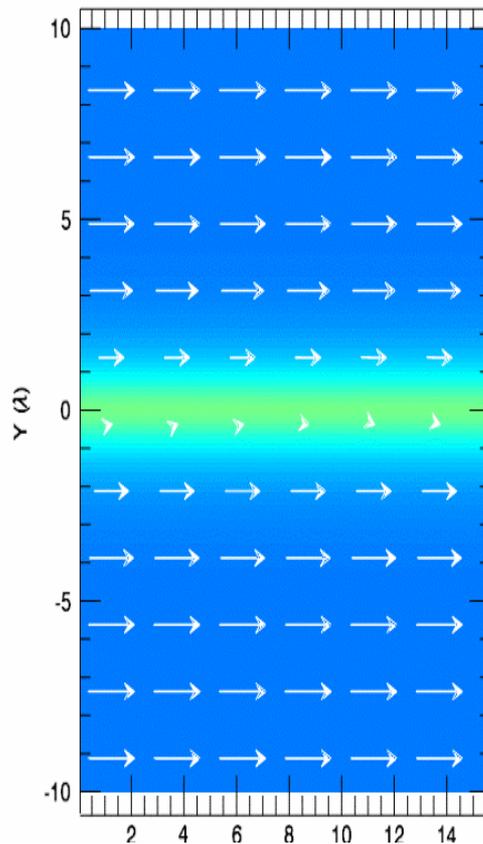
Result (縦磁場)

$\beta = 10$



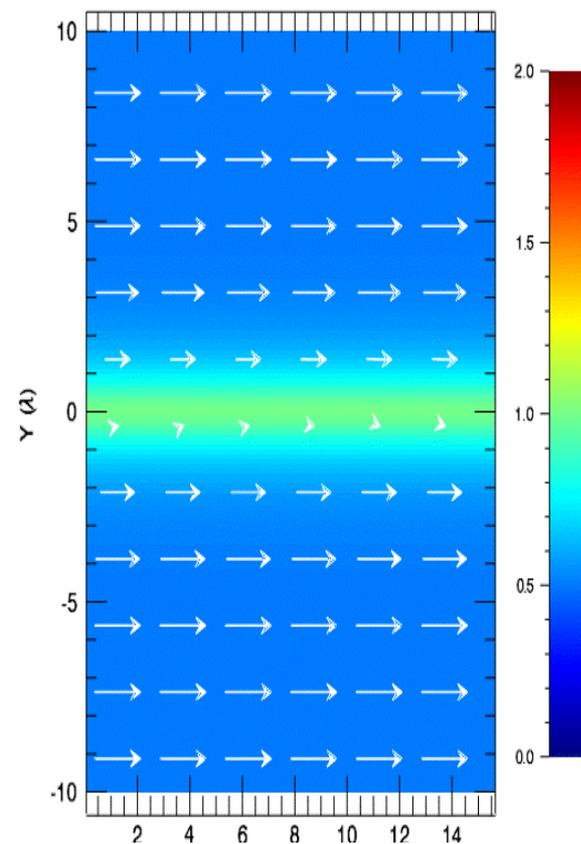
$U < c_s$

$\beta = 1$



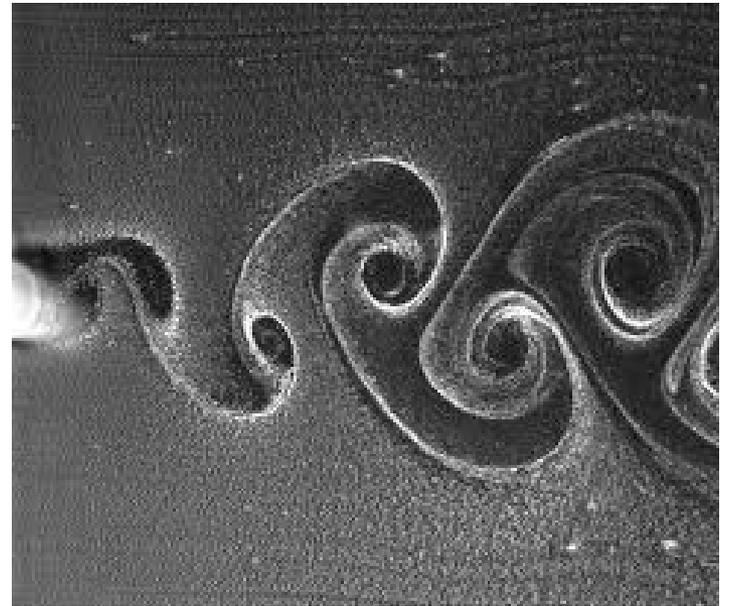
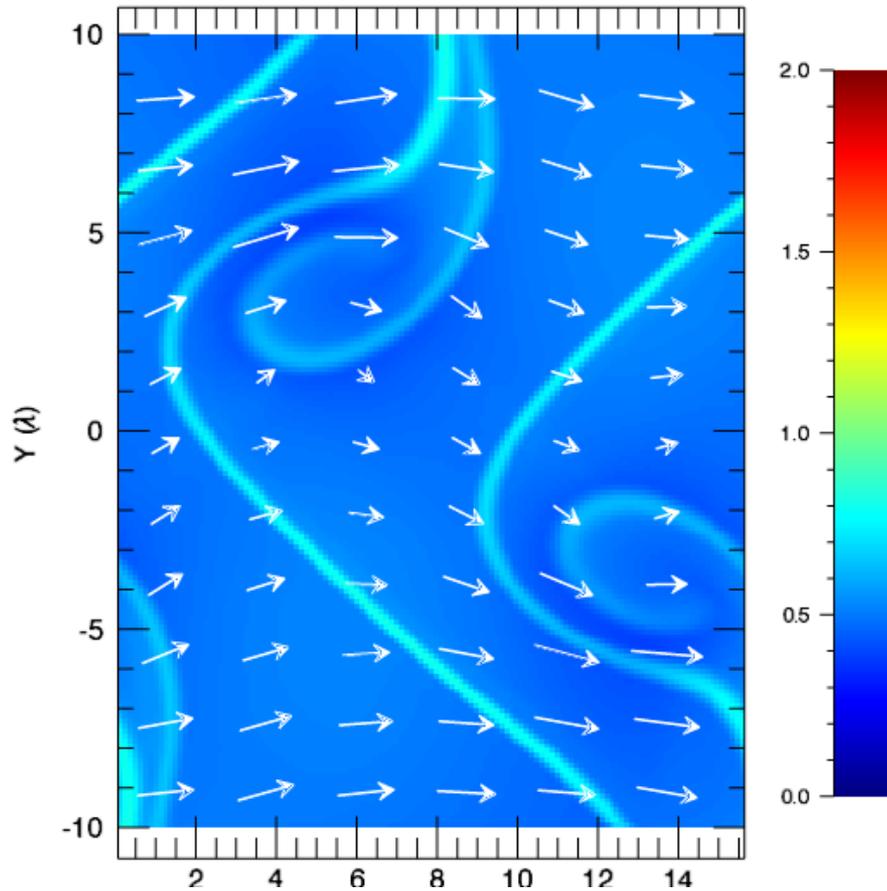
$U \geq c_s$

$\beta = 0.1$

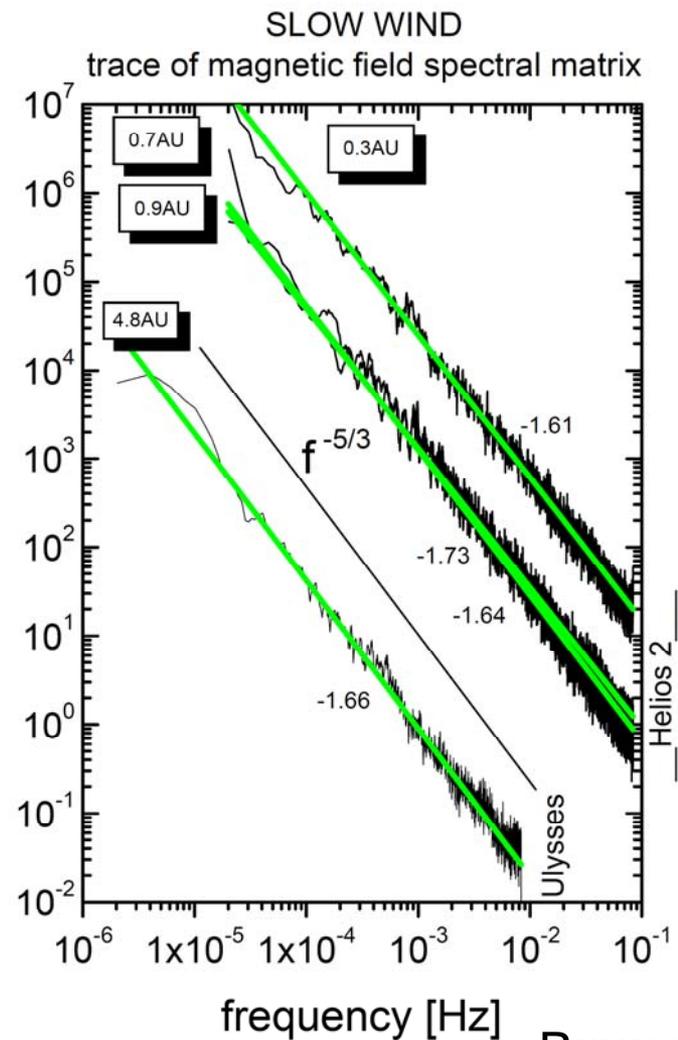
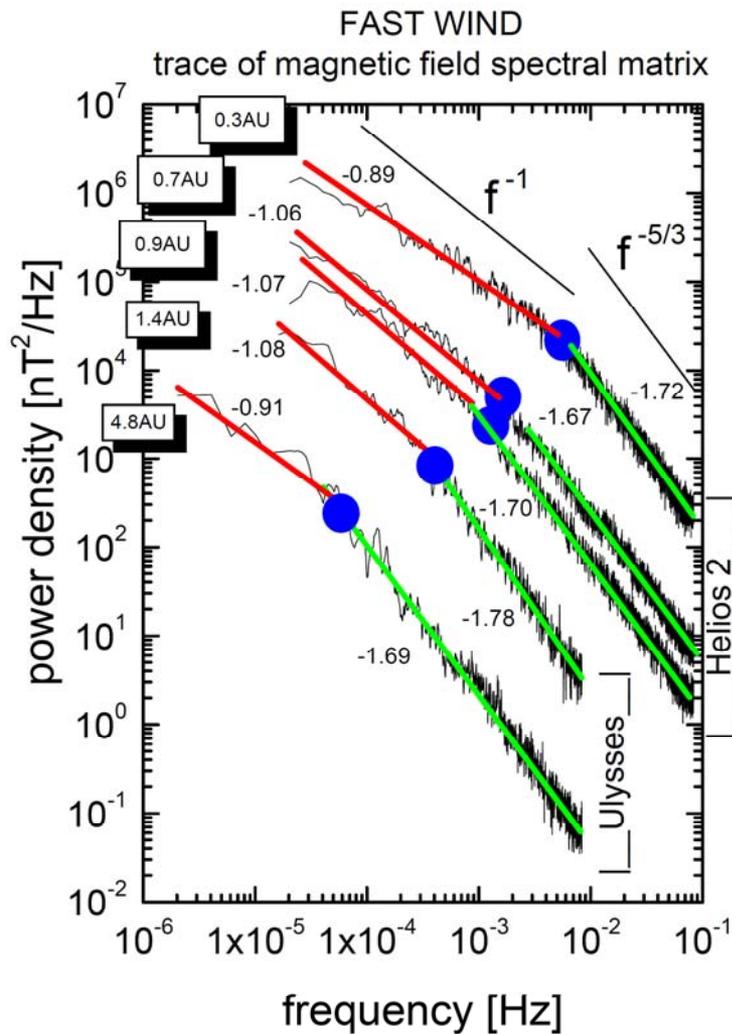


$U \gg c_s$

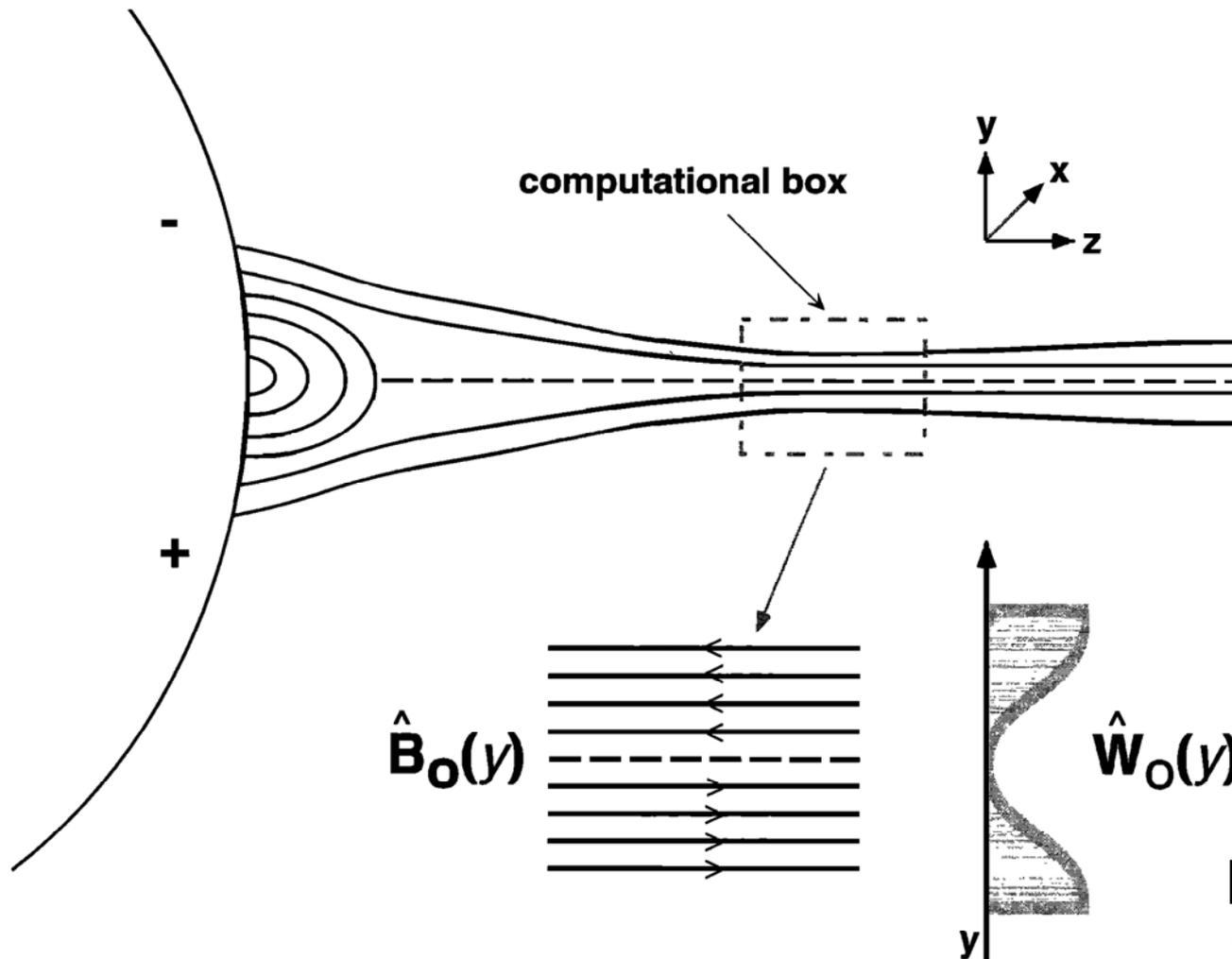
カルマン渦の生成



乱流スペクトルの観測的性質



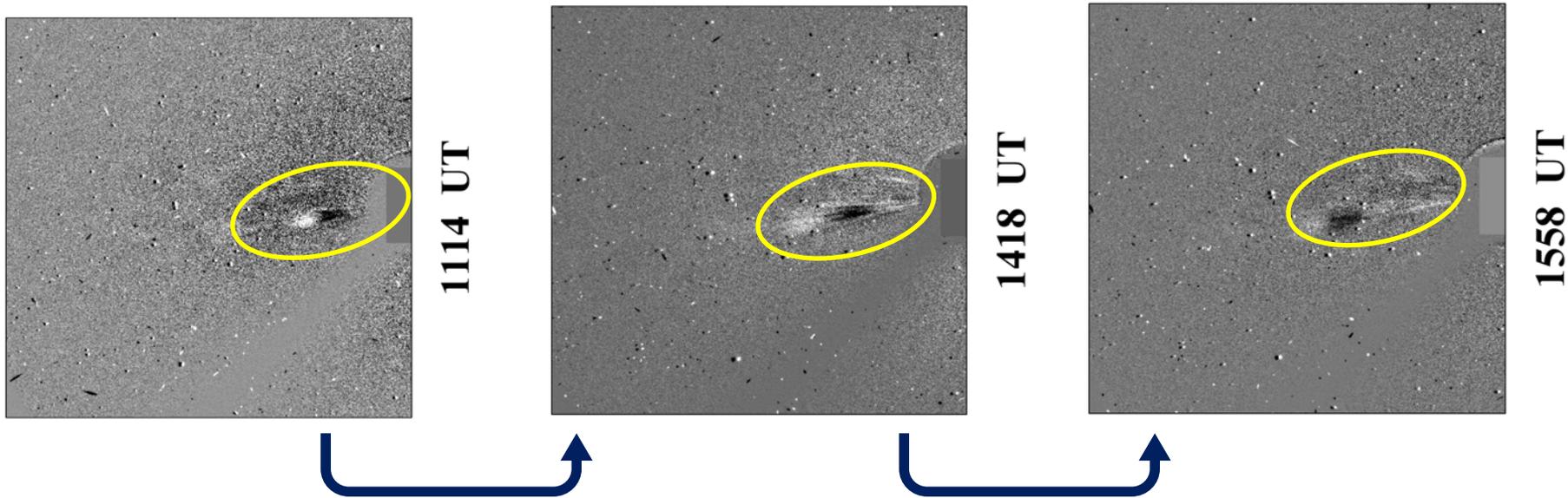
Einaudi et al. 1999 のモデル



Einaudi et al.
1999

Figure 1. Model of the coronal streamer belt, and definition sketch of the wake-neutral sheet in the computational domain.

ストリーマー付近での高密度プラズマ放出の観測



Sheeley et al. 1997

