

磁気リコネクション

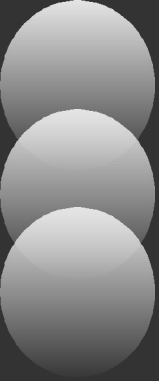
Craig-Henton 解の安定性解析

参加者

東北大学	中川広務
東京大学	川島壮史
九州大学	西村信哉

担当

京都大学（花山天文台）
田沼俊一



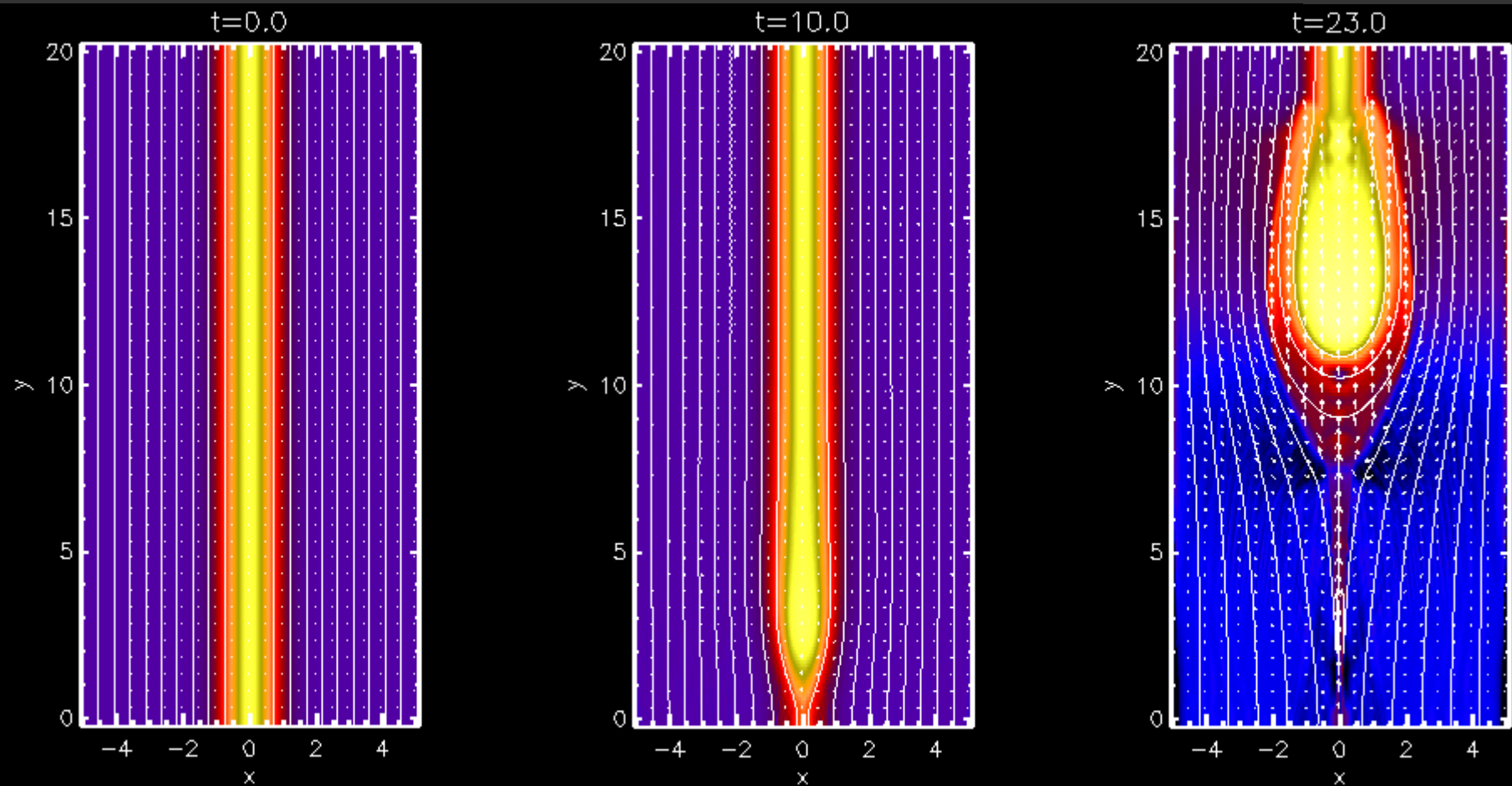
Introduction

磁気リコネクションは太陽フレアや磁気嵐を引き起こす要因となる現象である．その解析解が，定常・非圧縮のもとで，**Craig & Henton (1995)**によって得られた．

その解析解の安定性について調べられたところ，その一部は不安定なものであった． (**Hirose et al. ,2004**)

今回の実習では，**Hirose et al.** の結果を踏まえ，まだ調べられていない範囲での解の安定性を調べる．また，不安定性のパラメータ依存性も探っていく．

磁気リコネクション



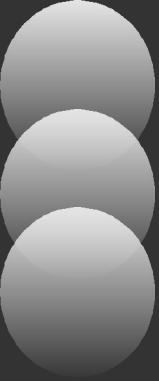
CANS での計算結果

Craig-Henton 解

$$\mathbf{B}(x, y) = (\beta x, -\beta y) + \left[0, -\frac{E}{\eta\mu} \text{daw}(\mu x) \right]$$
$$\mathbf{v}(x, y) = (\alpha x, -\alpha y) + \left[0, -\frac{\beta}{\alpha} \frac{E}{\eta\mu} \text{daw}(\mu x) \right]$$

$$\begin{aligned} \text{daw}(x) &= \int_0^x \exp(t^2 - x^2) dt \\ &= \frac{\text{sgn}(x)}{2} \int_0^{x^2} \exp(t - x^2) \frac{dt}{\sqrt{t}}. \end{aligned}$$

非壓縮
定常狀態



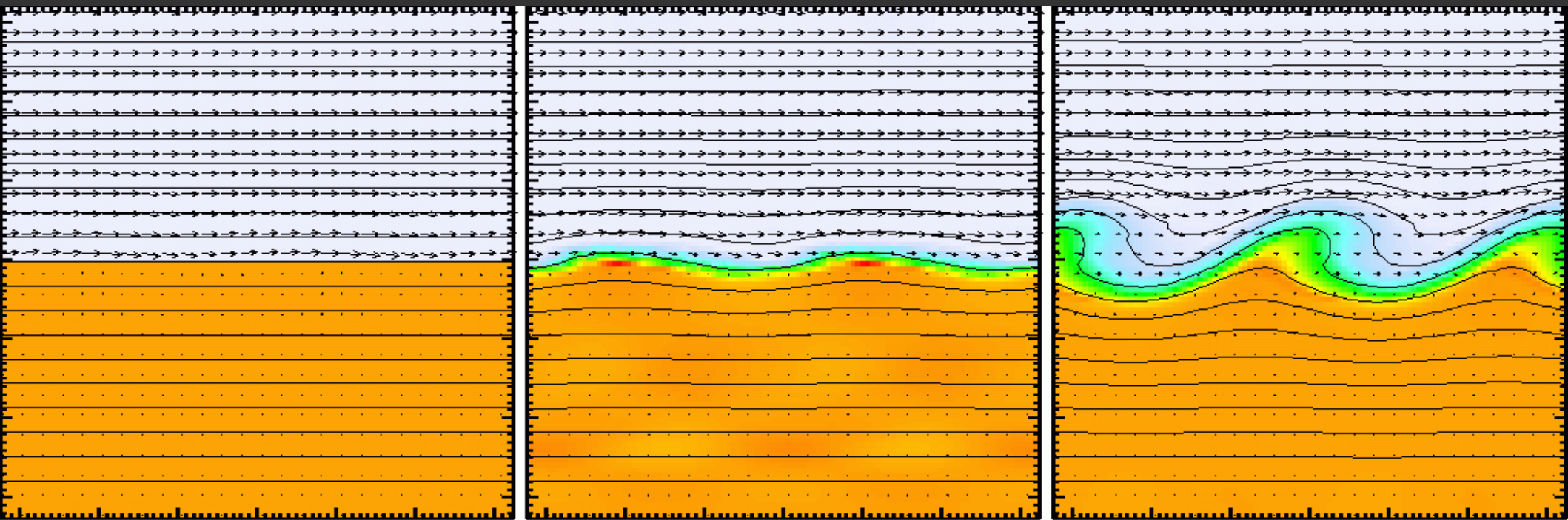
磁気流体力学不安定性

テアリング不安定性 (tearing instability)

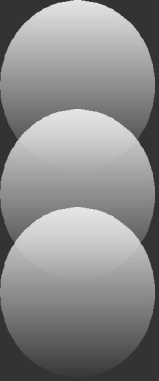
ケルビン - ヘルムホルツ不安定性
(Kelvin-Helmholtz instability: K-H instability)

速度の異なる 2 層の流体の境界層で起こる
不安定性

K-H 不安定性



CANS での計算結果



計算方法

- ・ 解の形は **4** つのパラメータ (α, β, E, η) で決まる． この解に対して微小な揺らぎ（摂動）を与えてその時間変化を見る．今回は，このうち **2** つ ($E=2.0, \eta=0.005$) を固定して， α と β に対する安定性を調べてみた．

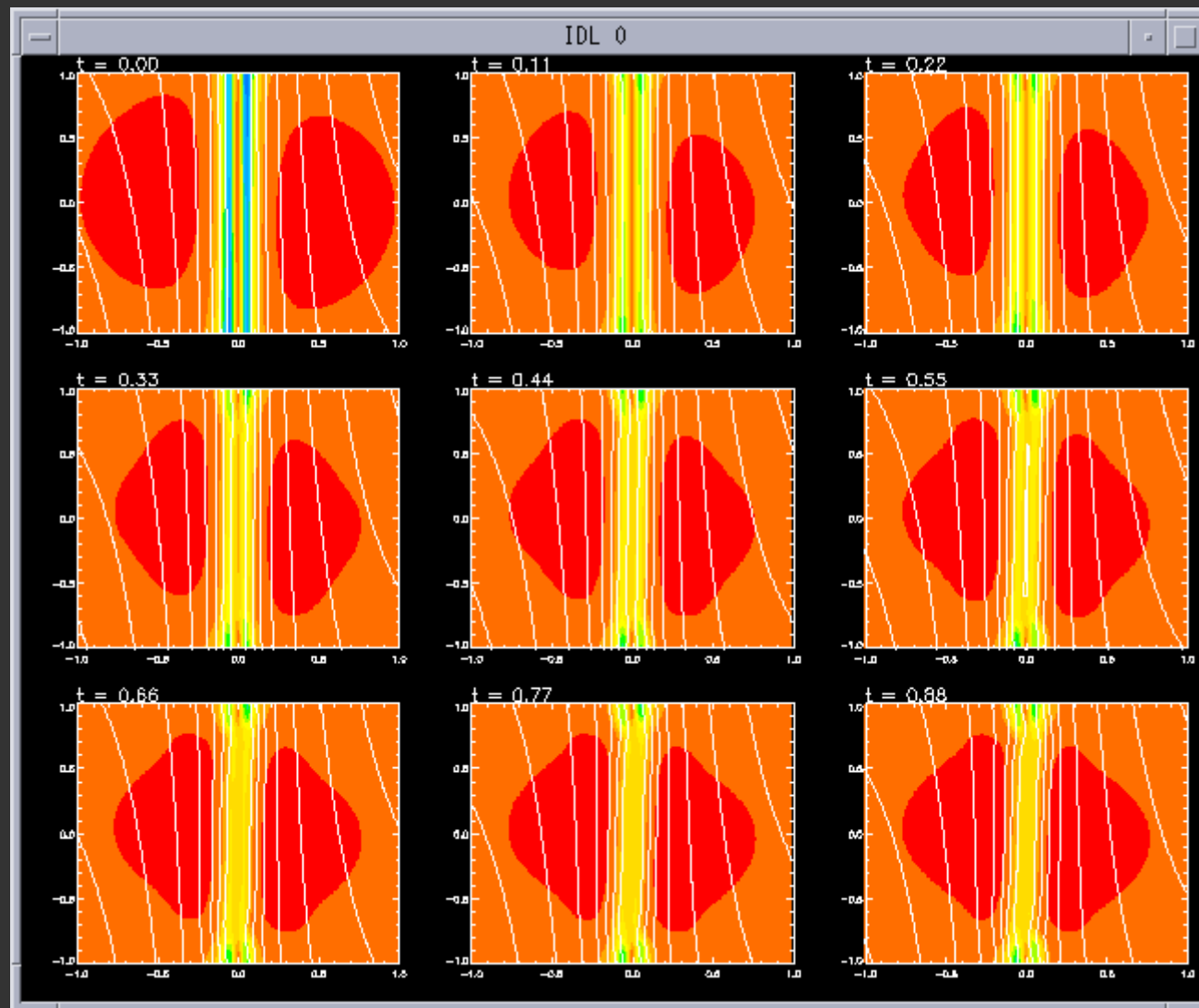
(参考 : Hirose et al. , Apj, 610,2004)

- ・ 計算は **CANS 2D** を用いて実行した．
スキーム : **Modified Lax-Wendroff**
メッシュ数 : **200×200**

※パラメータによっては，今回の計算の解像度・精度では不十分だと思われる場合もある．

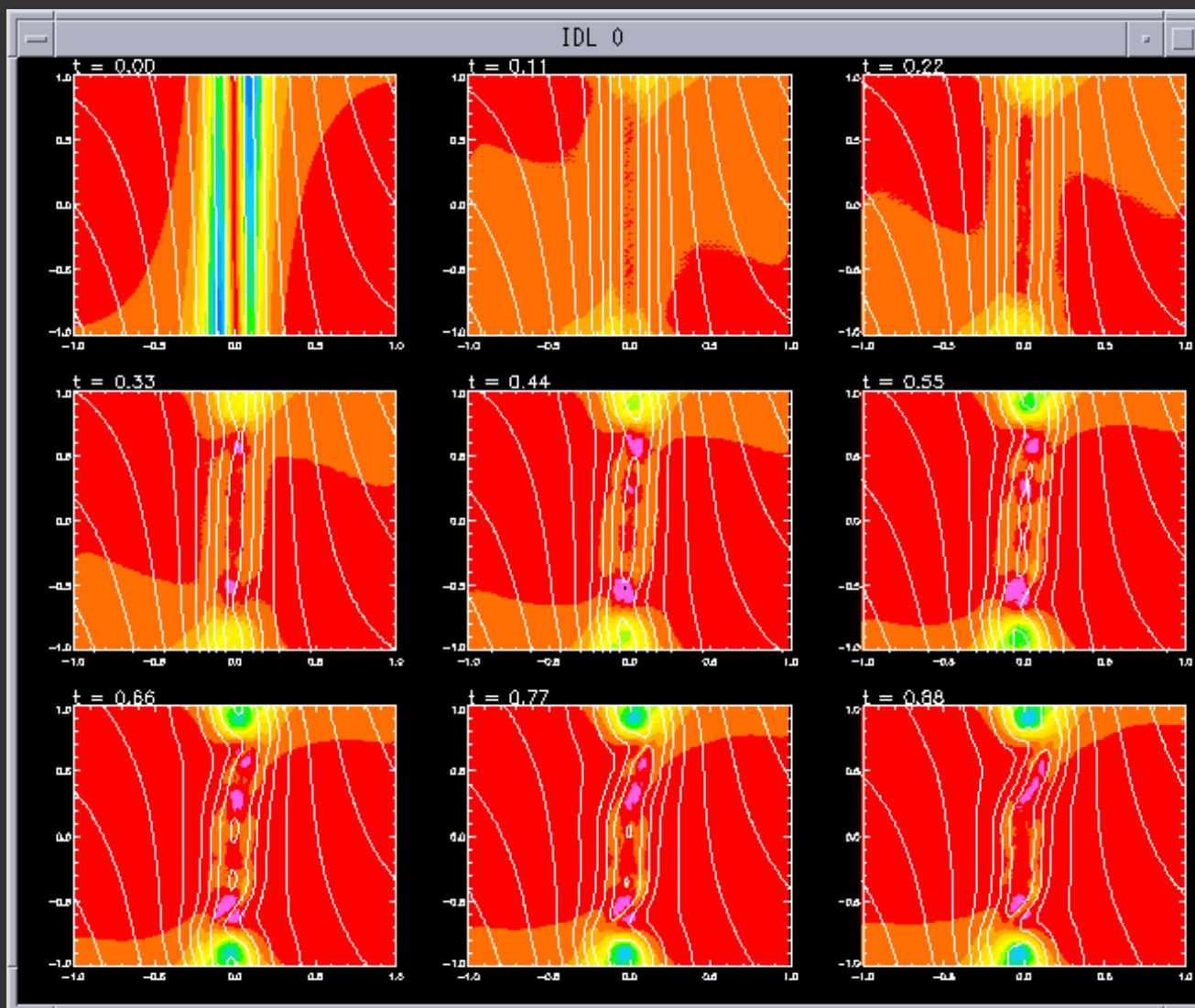
圧力 (カラーマップ) ・ 磁力線

$\alpha = -3.0, \beta = 0.5$



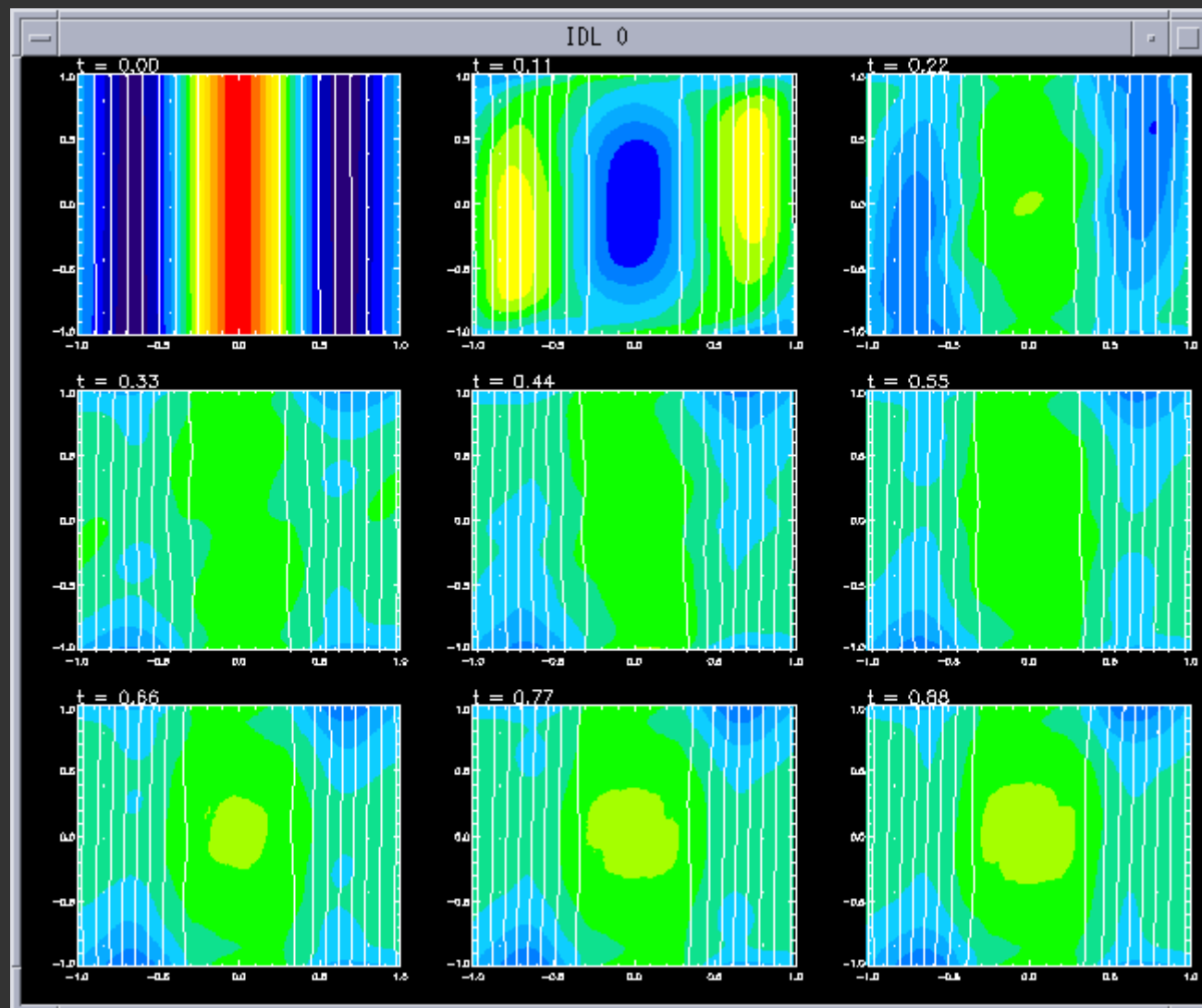
圧力（カラーマップ）・磁力線

$\alpha = -3.0, \beta = 2.5$



圧力 (カラーマップ) ・ 磁力線

$\alpha = -0.5, \beta = 0.49$

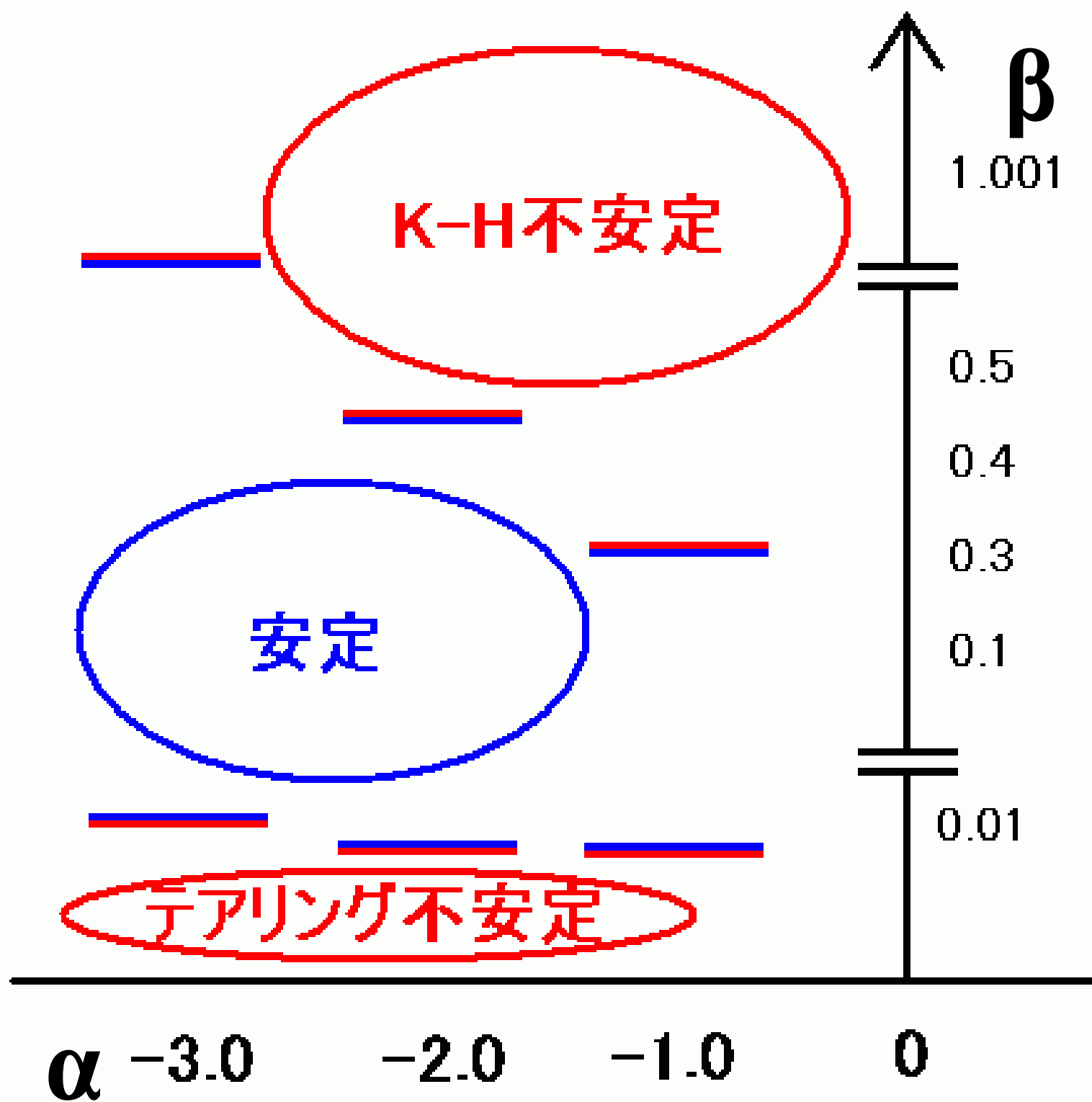


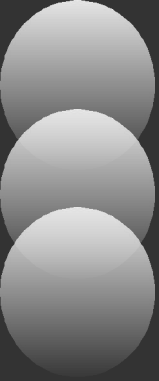
計算結果

($\alpha < 0, E=2.0, \eta=0.005$)

α	β	Stability
-3.0	2.9	INS. *
-3.0	2.5	INS. *
-3.0	2.0	INS. *
-3.0	1.5	STA.
-3.0	1.0	STA.
-3.0	0.5	STA.
-3.0	0.1	STA.
-3.0	0.01	INS. *
-2.0	1.0	INS. *
-2.0	0.5	INS. *
-2.0	0.3	STA.
-2.0	0.2	STA.
-2.0	0.1	STA.

α	β	Stability
-1.0	0.8	INS. *
-1.0	0.5	INS. *
-1.0	0.3	STA.
-1.0	0.1	STA.
-1.0	0.08	STA.
-0.5	0.49	INS. *
-0.5	0.3	INS. *
-0.5	0.1	INS. *





まとめ

α が負の領域について， β の値によって不安定性が生じることが分かった．

- β が小 $\rightarrow$ tearing 成長率が大きくなる
 $\Rightarrow$ tearing 不安定性
- β が大 $\rightarrow$ シアが大きくなる
 $\Rightarrow$ K-H 不安定性

α が正の領域では，今回の計算の範囲では大部分が不安定であった．（今後の課題）