

課題No.38 研究テーマ提案

時系列データの統計的解析と数値シミュレーション解析 による構造形成及び崩壊現象の解明

～マクロな構造変化のメカニズムの解析～

市口勝治

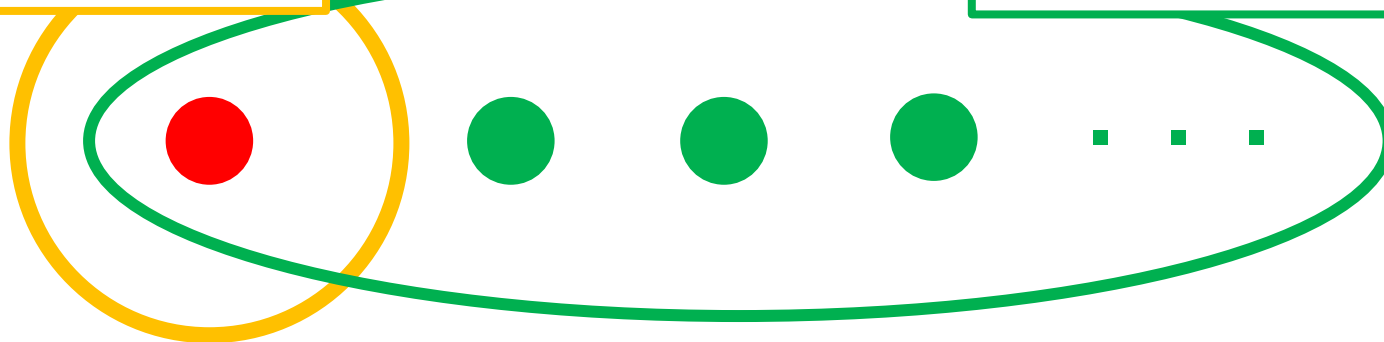
○ 核融合科学の学際化 : 他分野に興味を持ってもらえる研究

目標：マクロな構造の形成と崩壊における包括的概念の創出
(同時進行の複数の事象間に潜む未知の物理の解明)

- ・ 観点のシフト：LHDプラズマも解析対象の一つ

核融合エネルギーの実現

マクロな構造変化



○ 近年の研究方針：LHDプラズマでの崩壊現象のメカニズムの解明 及び安定限界の確定（解決途上）

- LHDプラズマでの崩壊現象の特徴
 - $(m,n)=(1,1)$ or $(2,1)$ の**構造形成**がtransientだがrobustに生じる。
 - モード回転が止まった時に揺動が突発的に成長して**崩壊**する。

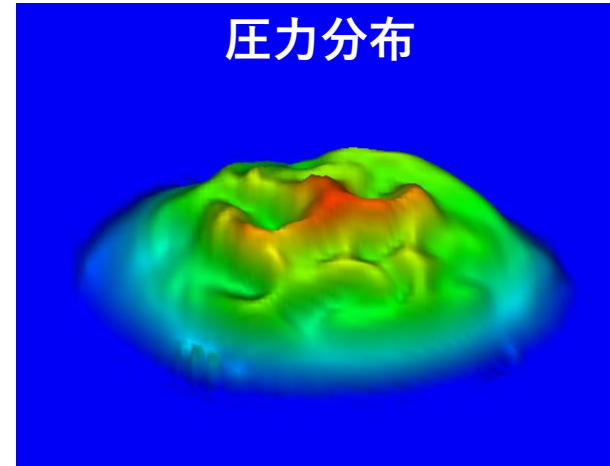


- ① モード回転（プラズマフロー）との摂動成長との相互作用？
- ② フローと揺動成長との因果関係？
- ③ $(m,n)=(1,1)$ or $(2,1)$ 構造形成とフローとの関係？
- ④ 残留誤差磁場の影響？

● LHD配位での交換型モードに対する安定性解析の計算例

① モード回転と交換型モードとの相互作用
(実際よりも不安定+強い流れ)

- MHD数値シミュレーション
HINTコード
+ MIPSコード
+ フロー計算モジュール



揺動の成長



構造形成



崩壊

② フローと揺動成長との因果関係

○ 時系列データの統計的解析

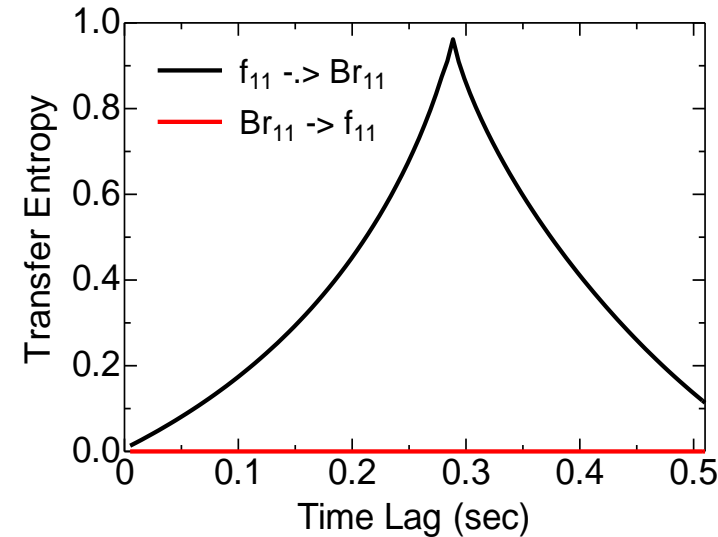
• Transfer entropy

$$T_{X \rightarrow Y} = \sum p(x_{n+1}, x_{n-k}, y_{n-k}) \log_2 \frac{p(x_{n+1} | x_{n-k}, y_{n-k})}{p(x_{n+1} | x_{n-k})}$$

(T.Schreiber, PRL2000)

• NIFS共同研究

Reduced Auto-Regressive model
Surrogate model



Preliminary

フロー停止



揺動成長

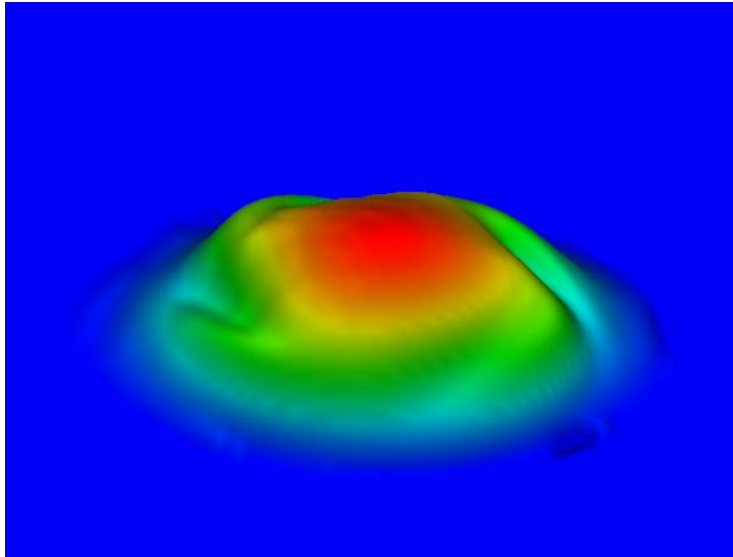
○ 上層のカテゴリーでの位置づけの一例

カテゴリーの例：構造形成と崩壊を伴う交換型モード

・ LHD配位

・ 台風形成（or前線）

・ 太陽磁束ループ浮上



[http://agora.ex.nii.ac.jp/
digital-
typhoon/region/japan/1/](http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/region/japan/1/)

S. Toriumi and T. Yokoyama,
A&A 539, A22 (2012)

● 構造変化の観点からの類似点と相違点

	LHD配位	台風 or 前線	太陽磁束浮上	etc.
構造	変形 + 渦	渦	フラックスループ [°]	
媒質	プラズマ	空気 + 水蒸気	プラズマ	
磁場	有り	無し	有り	
駆動力	磁力線曲率 + 圧力勾配	重力 + 密度勾配	重力・磁気圧 + 密度勾配	
背景フロー	ExB, diamag, beam-driven	コリオリ力、貿易風、季節風		

- ◆ カテゴリー全体の包括的な概念の新たな創出
- ◆ 物理量の変化 + 情報量の流れ（因果律）の観点から考察

○ マクロな構造変化の解析に対する対象と手法の拡張

実験室プラズマ
・ LHDプラズマ
・ 他の実験結果
・ …

物理現象
・ 気象現象
・ 太陽磁束浮上
・ …

生物現象
・ IPS細胞
・ 発生
・ …

社会現象
・ 金融工学
・ 行動経済学
・ …

- 数値手法の高精度化
- 因果律解析のための統計的手法の検討 (Transfer Entropy(?), Granger 因果、…)
- 拡張すべき分野の情報収集

多様な物理現象でのマクロな構造変化を記述する新しい概念の創出

動的平衡の概念を他の自然現象に応用

○ 人的・物的プラットフォーム

数値シミュレーション

スーパーコンピューター、ワークステーション、画像処理システム
共同研究：数値シミュレーション研究者

統計的解析

因果律解析手法
共同研究：データ駆動、
機械学習の研究者

解析対象

実験装置・観測装置
LHD実験データのアーカイブ
他のプラズマ実験データ
他の自然現象のデータ
社会現象のデータ
共同研究：各分野の実験観測研究者