

# 数理共創非線形プラズマ研究

ユニットとして発展させたい学際的共同研究の紹介

↑自発的な共同研究(バンド活動のようなもの)

仲田 資季

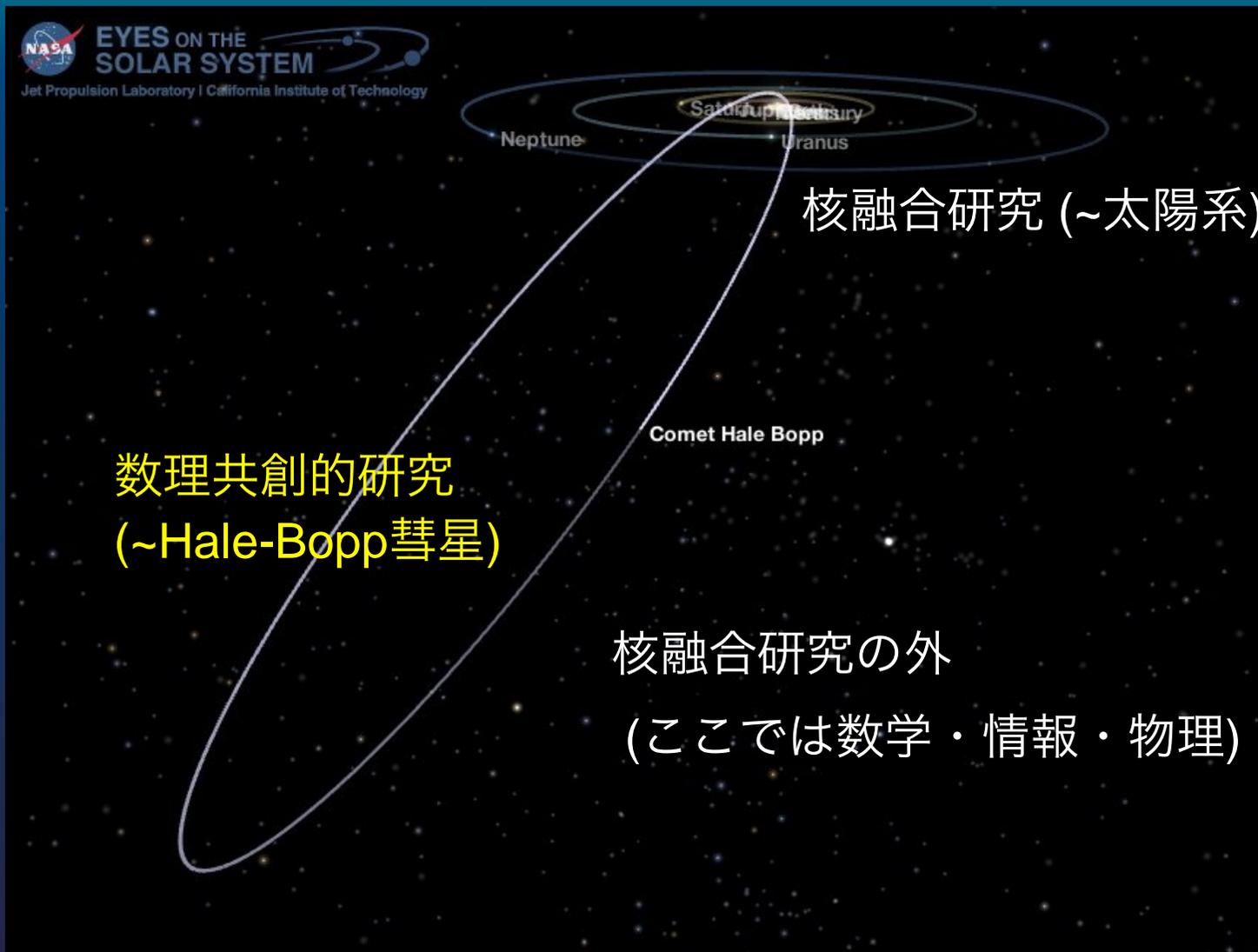
自然科学研究機構 核融合科学研究所

総合研究大学院大学

*Trefoil knot*

# 1. テーマ概要 “数理共創非線形プラズマ研究”

- 共創的な学際研究で核融合プラズマ研究の軌道をどこまで引き伸ばせるか？



# 1. テーマ概要 “数理共創非線形プラズマ研究”

間欠性・突発性    ダイナモ・黒点形成    乱流抑制・制御    近可積分系としての磁場構造

**プラズマ物理(Nonlinear Physics)**  
第一原理計算・実験・モデリング  
(乱流場やデータの生成源)

「磁場の構造」  
「乱流場の構造」  
「高次元データの構造」  
それらの幾何学で紡ぐ  
Trefoil-knot(三葉結び目)

NIFS・統数研・東大・京大・日大・阪大・  
愛教大

**数理学(Mathematics)**  
幾何学、非線形数理計画  
(微分・位相幾何学、数理最適化)

強多項式時間アルゴリズムの存在

保存則抽出    多パラメータ  
Persistent Homology

**情報科学(Informatics)**  
高次元データ可視化、情報幾何  
(次元圧縮、特徴量選択・抽出)

敵対的サンプル    二重降下問題  
説明能なAI

## 学際共同研究“TREFOIL”の指針

超不均一系としての核融合プラズマをサイエンスの媒体とした、数理学・情報科学・物理学の**共創研究**の展開。「乱流と磁場の幾何学」の視座から非線形現象や構造形成、創発のダイナミクスを探究する。【(1)問題の定式化と(2)解決】

→ 手法の輸出入を超えて「異なる視点で同じ問題 & 共通の視点で異なる問題に取り組む」  
「互いの分野の共進化」「諸科学への展開・一般化」に重点を置く。

# 2. テーマ例(研究課題の具体化が進展中)

- 全員でそれぞれの課題に取り組む必要はなく、共通部分や相互関連性が定義できる幾つかの研究テーマでTREFOIL全体を被覆的に構成する。

cf. 多様体における局所座標近傍(Chart)と(極大)座標近傍系(Atlas)のイメージ

- 指針の下に相互関連し合う個別テーマ(Chart)で全体を被覆

U<sub>1</sub>: プラズマ構造形成の非線形最適化とランドスケープ解析

U<sub>2</sub>: 乱流場の位相構造と相互作用解析への応用

U<sub>3</sub>: 近可積分ハミルトン系の幾何構造解析と未知保存量推定

U<sub>4</sub>: 大域・突発現象の逆問題的モデル推定と少数自由度モデル

U<sub>5</sub>: 幾何構造を持つ空間の乱流場と乱流輸送

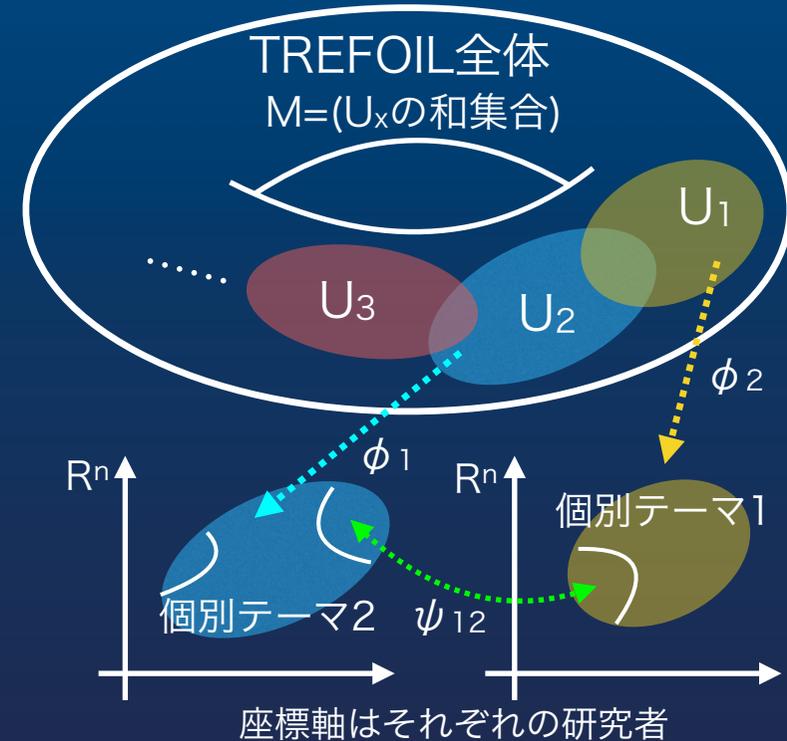
U<sub>6</sub>: 深層学習と物理シミュレーションの融合手法

U<sub>7</sub>: 乱流モデルのハミルトニアン探索

.....

\*\*それぞれのU<sub>x</sub>からさらに細分化して分担するものも。

**\*\*全員で皆のテーマを議論し、それぞれが(なるべく simpleに)問題を定式化する。**



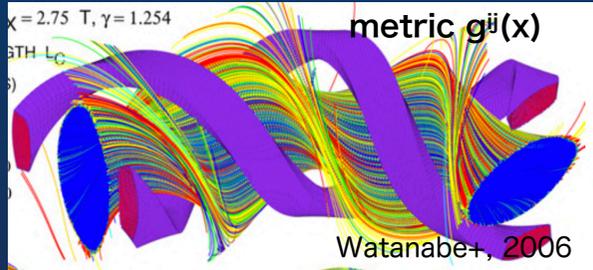
\*\*すべて同時並列的に取り掛かるわけではないし、適度に生成消滅しながら複数の課題が絡み合う構造が望ましい

# 3. 核融合プラズマの強み

■ 核燃焼プラズマへの挑戦（より熱く）と、そこに根付く学術的な魅力は何か？

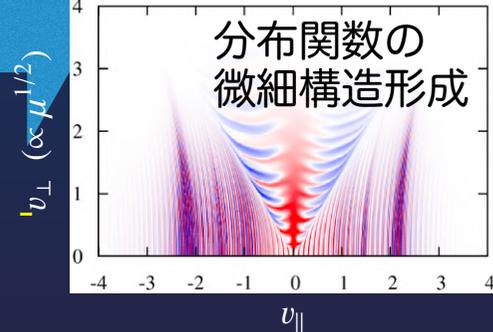
1. 場で閉じ込めることによって実現される超不均一系 e.g., 温度勾配は太陽の2万倍超  
→ 極限的な不均一性を支えるエントロピー生成・散逸を観測&シミュレート可能

2. 非線形・非平衡・非ガウス・カオス・分岐・乱流・自己組織化などの”創発現象”の坩堝  
→ 連鎖・複合・相互関連を調べられる cf. 基礎プラズマ・応用プラズマとも一定の共通性



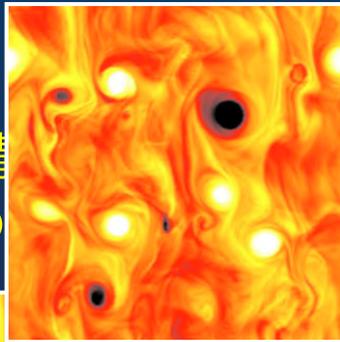
場の構造 (空間)の

曲がった磁場構造の幾何学



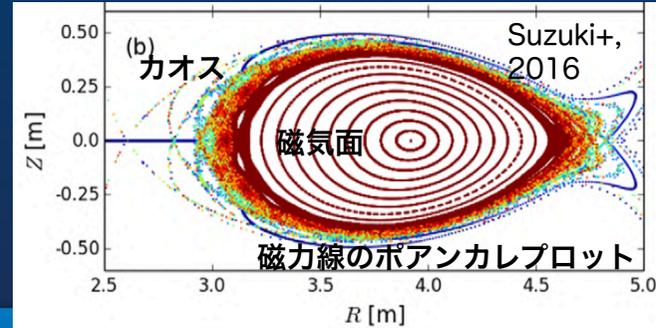
造形

重



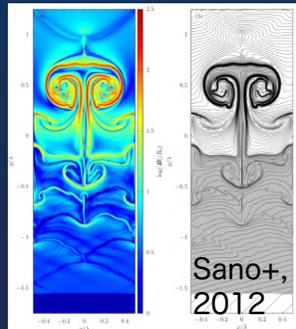
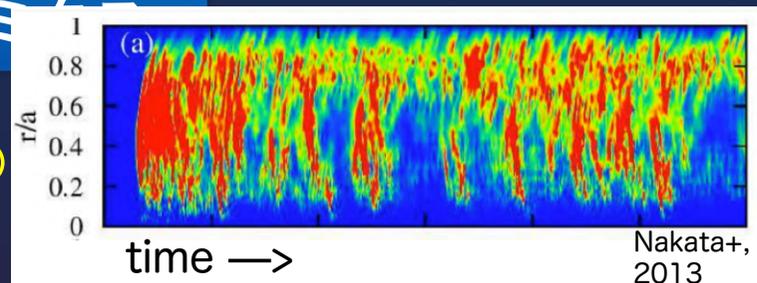
Nakata+, 2011

乱流の自己組織化



磁場の層構造とカオス

おかれたイナジナ 突発的/間欠的輸送 (非ガウスPDF)



磁場の生成と増幅

# 3. 核融合プラズマの強み

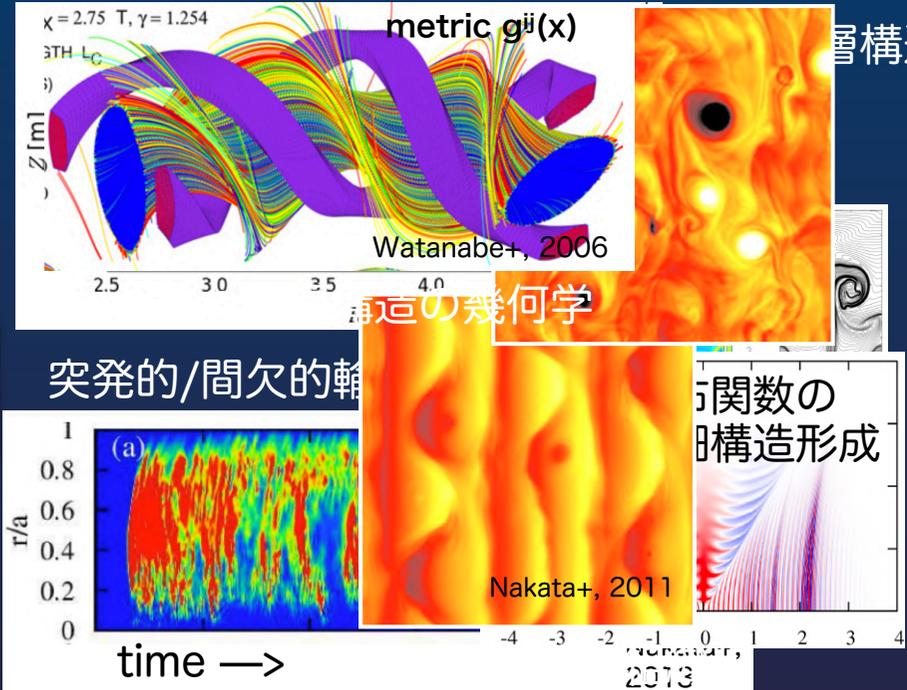
- 核燃焼プラズマへの挑戦（より熱く）と、そこに根付く学術的な魅力は何か？
  1. 場で閉じ込めることによって実現される超不均一系 e.g., 温度勾配は太陽の2万倍超  
 → 極限的な不均一性を支えるエントロピー生成・散逸を観測&シミュレート可能
  2. 非線形・非平衡・非ガウス・カオス・分岐・乱流・自己組織化などの”創発現象”の坩堝  
 → 連鎖・複合・相互関連を調べられる cf. 基礎プラズマ・応用プラズマとも一定の共通性

様々な”幾何学”が内在する

→ 乱流場の構造、磁場の構造、高次元データ(解空間)の構造

「高い自由度を持つ幾何的な場におかれた揺らぎの中の構造形成と創発のダイナミクス」

- cf. 回転場 / 磁場 / 重力場 におかれた〇〇





# 5. 新しい研究のためのユニット像や期待

- 「共創し、共進化する」という本当の意味での学際研究を進めるユニットが1つはほしい。
  - 様々な視点・概念に触れられてそもそも嬉しい。
  - 嬉しいだけでなく、実利もしっかりある。(新たな方法・成果+認知度の拡大・研究者の成長)
  - それぞれの分野の未解決問題を照らし合わせながら共通性を見出す。
  - 嬉しいが決して楽ではない。(勉強、勧誘、結合保持のケア etc)
- 例えば”乱流”の新しい研究するにしても、あえて乱流以外の研究者が加わるのも一興
- ユニットテーマというフィロソフィーを共有しながらも個人が埋もれないグループ単位
  - まさにプラズマのようなもの (個別運動 → 集団現象)
- 5~10年で具体的な問題を解き進めながら、数理共創でcriticalな名問題を残せるか！？
  - cf. 「ゆらぎの定理」(統計物理 Evans 1993年 熱浴粒子シミュレーションが発端)
  - cf. 「最適輸送問題」(数学 Monge 1781年 砂山をどう移すかという最適化問題
    - Wasserstein幾何学 → 2018年フィールズ賞)