

## ユニット研究テーマ 提案

2021年4月26日

核融合理論シミュレーション研究系

横山 雅之

## 核融合データ駆動（メソッド型）

（「核融合」と「データ駆動」、「核融合データ」が「駆動」）

- データを生成・取得し、それを用いる研究は皆さん当たり前に行ってきています。
- その「当たり前」をベースにしつつ、これまでとはちょっと違った視点で、NIFSが分野内外と繋がる  
**ユニット（共同研究体、超分野研究・交流の場、看板、窓口）**  
を構築したいと考えています。
- そのような場は、すでに形成してきており、NIFSが主導できる実感も得ています。

1. 研究テーマの紹介
2. 研究目的
3. 研究への取り組み方
  - 想定している装置・設備、研究環境について
  - 協力が欲しい専門領域

# 1. 研究テーマの紹介 「核融合データ駆動」

「問題」の視点転換、相補的再定義:

分野知識

⇒

データをそのまま見る

演繹、第一原理、要素還元、機構解明 ⇒ 特徴抽出、帰納、推定、逆問題、入力-応答(制御)

研究の「過程」を分野内外に語る

「研究対象」の言葉ではなく、「データ」「解析」の言葉で語る (ex., ディスラプション⇒時系列変化点)

統計数理やデータサイエンス(DS)分野との互惠的協働 ⇒ 新知見、新手法 「一般化」して超分野還元

研究「対象」は問わない

## 2. 研究の目的(やりたいこと、目指したいこと)

核融合研究の新機軸を創成、確立したい

国立天文台Webより転載

<https://www.nao.ac.jp/news/science/2019/20190410-eht.html>

核融合分野発のデータや解析手法が分野外でも活用される時代を創りたい

ITER(大量データ)⇒原型炉設計時代(制御的視点の強化)に向けた準備研究  
(原型炉で得られるデータで研究する)



核融合分野を「DS実践、挑戦、実証の場」として提供: 超分野研究の場、人材育成

「4機構+総研大連合体」(2022~)におけるDS取り組み: 「データ生産・保有側」の視点で分野横断的先導

### 3. 研究への取り組み方

#### 研究環境:

皆さんのデータ・解析手法が資産

**個別テーマの集合体**(共同研究体、ユニット内外情報交換): 多分野と繋がる強み

(個別) 手法やデータサイズに応じた計算機・ストレージ

個別科研費など ⇒ ユニットとしてまとまった形で大型資金申請(DSの社会還元、広範な研究対象とDS)

だが、**何より大切なのは「人知のネットワーク、交流の場」**

**超分野交流の場**(すでにいくつか形成済み): 共同研究萌芽(ex., NIFS、京大、九大一統数研)

**超分野交流環境、窓口(NIFSが人を惹きつける)⇒ 核融合データ・手法が超分野拡散**

**大学等からの参画**(DSに興味を持ってプラズマ・核融合の研究室に入る学生も増えている)

⇒ ユニット経由で超分野マッチング、人材育成⇒ 超分野の活躍の場

⇒ 大学内でも分野融合が促進

協力がほしい(**協力してあげられる**) 専門領域: **互惠的**

統計数理研究所などをハブとしたデータサイエンス分野(民間含む) (これもすでに場は形成済み)

数学、AI等の分野もターゲット: 形成済みの場への参加も実態としてある

# 「超分野交流の場」

2020～

統数研共同研究集会

「諸科学における大規模データと  
統計数理モデリング」

（DSコミュニティ）オンライン28回

ML: 16⇒108（多様な分野、民間含む）

2021～

自然科学研究機構分野融合事業ワークショップ

「諸科学における大規模・多様なデータを基盤とした  
データ駆動型研究の萌芽・推進」

（データ生産・保有コミュニティ）

データサイエンス  
統計数理  
数学  
AI

ネットワーク形成・拡大

人的交流  
データ共有

各分野

演繹と帰納の相補活用

新発見、創発

手法・アルゴリズムの実践・チャレンジの場

2021～

プラ・核専門委員会「データサイエンスとの連携に  
よるプラズマ・核融合データ利活用の推進」

（統数研からもアドバイザー参加）

⇒ユニットが「常設運営」する形態に移行させる

このユニットが超分野交流の場を主宰、NIFSの“One of Identities”

### （取り組み例:「対象」oriented）

- 熱輸送モデリング
- プラズマ性能向上
- 統合シミュレーション
- 放射崩壊、ディスラプション予知
- 画像解析に基づくプラズマ制御
- 高次空間(乱流)データの構造分析、挙動予測
- ダイバータ熱流束とプラズマ条件の相関
- 大規模シミュレーションデータ
- 原子・分子データベース
- 新材料開発、材料研究
- 試料解析
- ...

### （超分野的視点:「学術・産業界の言葉」oriented） こちらの視点(例)がユニットでの活動基盤

- 回帰によるモデリング
- 回帰の外挿性:実証の場(うらやましい)
- 「制御活用・実証」へ(データ同化業界初でしょう)
- 時系列データ変化点予測
- 「自動運転」手法の「実証」の場
- 時系列データからの因果推論
- 入力-出力の応答関係把握(制御活用)
- 特徴抽出、主成分分析、次元縮約
- Missing Elementsの推定、転移学習
- マテリアルズインフォマティクス、適応型実験計画法
- 画像特徴抽出、パターン認識
- ...

以下、Up資料用

# 核融合研究から芽吹く新たなインフォマティクス

## フュージョン-ドリブン インフォマティクス

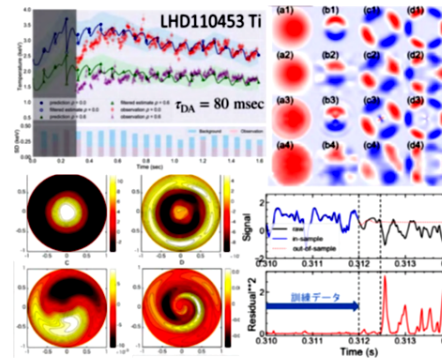
カテゴリー : A1, A2, A3, B13

目指すもの(output) :

- データサイエンスとの協働による核融合  
研究の加速

波及(outcome) :

- 多階層複雑系研究の新展開  
- データサイエンス分野への実データ実践の  
多様な機会の提供



データサイエンス手法の適用による核融合プラズマ研究の  
例【図の提供：(各段左から右へ) 森下侑哉 (京大)、  
大舘暁 (核融合研)、佐々木真 (九大)、稲垣滋 (九大)】

核融合プラズマは、多階層複雑系の象徴的な研究対象である。それ故に、「要素還元、演繹」的なアプローチが取られることが多く、それら各要素での理解や知見に基づく統合が行われている。一方、近年、「〇〇インフォマティクス」とも称される「帰納的な推定・記述」のデータ駆動的アプローチが、社会構造変革、さらには研究手法の革新をもたらしている。核融合研究は、世の中に見られる多様なデータが凝縮しており、データサイエンス分野の研究者にとっても「実データ実践の場」として新たなインフォマティクスを芽吹かせる魅力的な舞台である。

核融合プラズマは多様な時空間スケールを有する物理過程が複雑に連関する媒質である。これまで、「階層化された演繹的な」研究が大きく進展し、それらの階層統合へと進展している。一方、社会に目を向ければ、データサイエンスの進展や波及による様々な変革には目をみはるものがある。そのデータサイエンス分野との協働によって、多種・多様・大規模なデータを基盤とした「帰納的」視座を導入することで、核融合プラズマ研究を加速できる可能性がある。例えば、階層化を伴わない全体挙動のモデリング (データ同化)、直接測ることができないプラズマ内部構造の推定 (トモグラフィ)、ディスラプション回避や乱流構造抽出 (高次相関時系列データの変化点検出や予測)、磁場の幾何構造探索 (数理計画や高次元データ可視化など)、衝突輻射モデル構築 (マルコフ連鎖モンテカルロ法の活用) など、様々な取り組みがなされ始めている[1,2]。演繹と帰納の協奏を図ることで、多階層複雑系研究の新展開を学界に提示できる可能性を秘めている。また、入力と応答の関係の帰納的記述を通じて、物理研究から制御工学研究への展開をもたらさう。一方、核融合研究は、データサイエンス分野の研究者にとっても、「実データ実践の場」として魅力ある舞台である。例えば、機械学習の解釈可能性研究は物理機構解明研究と相補的に取り組む格好の研究題材である。このように、データサイエンス分野との協働は、核融合研究、及び、データサイエンス分野双方の新展開と研究加速をもたらさう。

[1] 浜口智志ほか、小特集「プラズマ・インフォマティクス —データ駆動科学のプラズマへの応用」、プラズマ・核融合学会誌 95 (2019) 535-561.

[2] 今寺賢志ほか、小特集「磁場閉じ込め核融合プラズマにおけるデータ駆動的アプローチによる物理モデリング」、プラズマ・核融合学会誌 97 (2021) 64-95.



# 交流の場づくり

自然科学研究機構 データサイエンス勉強会 2021.1.21 発表資料より

【個々よりも組織的取り組み、最初から分野を跨ぐ方がよさそう】

2019.12「時系列データ」自発会合 (@統数研:時系列データを持ち寄って議論:分野横断)

九大の核融合研究者「こういう会合を待ってたんですよ！」【大学の研究力強化】

2020.3に「機械学習」自発会合(コロナで中止)

⇒2020年度統数研共同研究集会「諸科学における大規模データと統計数理モデリング」

諸科学のデータ保有者と統計数理研究者の「出会い」の場

完全オンライン

7月18日～8月7日 平日12～13時(全18回)

12月7日～12月18日 平日12～13時(全10回) (お昼1時間+議論)

- プラズマ・核融合、宇宙/天文、地球、大気、地震、海洋、物質計測、医学、健康、神経系などの分野から話題提供
- どのようなデータをどのように活用して、どのような知見を獲得しているか
- 統計数理の専門家から、手法やアルゴリズムの紹介、論文情報交換



「打てば響く」実感（「出会い」の場を設けると、分野を超えた「共同研究」の芽が出る）

【大学共同利用機関の重要な機能】

「ドメイン」と「データサイエンス」が混ざり合っている実感

核融合分野と統数研の共同研究リスト（データサイエンス手法で結びついている）

機関	課題名
核融合研	核融合プラズマの熱輸送モデリング(~2019) 回帰
核融合研	L1正則化を使ったトモグラフィ再構成の試み
九大	プラズマ乱流の多点時系列データ解析手法の開発
京大	データ同化手法による核融合プラズマの統合輸送シミュレーション

科研費申請につながったものもあります。

# 統数研 共同研究集会「諸科学における大規模データと統計数理モデリング」

## 2020.7.13~8.7 (全18回)

- 今泉 允聡 (東大)      **深層学習**の原理を明らかにする理論の試み
- 本多 充 (QST\*)      **多層パーセプトロン**を用いた核融合プラズマ輸送モデルの代理モデル構築
- 劔持 尚輝 (核融合研)      **敵対的生成ネットワーク**を用いた核融合プラズマにおける計測・加熱制御手法の開発
- 鈴木 航介 (京大)      **ベイズ統計**とプラズマトモグラフィ
- 石川 遼太郎 (総研大/天文台)      **深層学習**による太陽表面乱対流の物理量診断手法の開発
- 野村 俊一 (統数研)      繰り返し地震に基づくプレート間滑り速度の時空間変動の**逆推定**
- 佐々木 真 (九大)      プラズマ乱流の**構造抽出**と**構造間因果関係**
- 森下 侑哉 (京大)      **データ同化**手法を用いた核融合プラズマのシミュレーションとモデリング
- 藤井 恵介 (京大)      大規模プラズマ乱流シミュレーションデータにおける**乱雑さの定量化**と**突発現象**との関連
- 本武 陽一 (統数研)      **ベイズ推論**に基づく物理モデル構築過程の効率化
- 菊地 和平 (統数研)      褶曲の**自己アフィン性**モデル
- 松井 鉄平 (東大)      神経活動イメージングの最近の進展と**統計数理モデリング**との関わり
- 立森 久照 (国立精神・神経医療研究センター)      eHealth: **データ駆動型ヘルスケア**と**データ・サイエンス**
- 前山 伸也 (名大)      **射影演算子法**による時系列データ統計解析とその一般化Langevin描像
- 竹内 努 (名大)      **多様体学習**による銀河進化の新しい定量化
- 井上 智裕 (京大)      海底圧力計記録を用いたゆっくり滑りによる海底地殻**変動の検出**
- 成田 絵美 (QST)      **ニューラルネットワーク**を用いた核融合プラズマの第一原理乱流輸送計算の高速化
- 長友 英夫 (阪大)      **データ同化**によるレーザープラズマのリアルタイム解析

# 統数研 共同研究集会「諸科学における大規模データと統計数理モデリング」 (冬の会合)2020.12.7~12.18 (全10回)

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| 岩澤 英明(QST)                      | 顕微・角度分解光電子分光データの <b>クラスタリング</b>                                  |
| 竹内 努(名大)                        | 銀河分布の <b>位相的データ解析</b> : 初期宇宙の音波検出                                |
| 坂上 貴之(京大)                       | <b>諸分野と数理連携の試み</b>   |
| 近添 淳一(生理研)                      | 感覚刺激の価値評価の神経基盤: <b>深層学習</b> とfMRIの融合研究                           |
| 大舘 暁(核融合研)                      | <b>ベイズ統計ベースのトモグラフィー</b> と従来手法の比較                                 |
| 上野 哲朗(QST)                      | <b>適応型実験デザイン</b> による物質計測の高効率化                                    |
| 玉田 嘉紀(弘前大)                      | 多項目データの因果関係を説明可能な <b>人工知能データ解析技術</b>                             |
| 西村 耕司(極域環境データサイエンスセンター、国立極地研究所) | 大気レーダーの観測 <b>データからの大気乱流の正確な導出</b>                                |
| 矢野 恵佑(統数研)                      | 複数観測点を用いた地震 <b>イベント検知</b> ～ゆっくり滑りから通常の地震まで～                      |
| 横山 雅之(核融合研)/菊地和平(統数研)           | 共同研究枠組みの紹介とお誘い<br><b>NINS分野融合事業、統数研共同研究集会、統計思考院共同研究スタートアップなど</b> |