

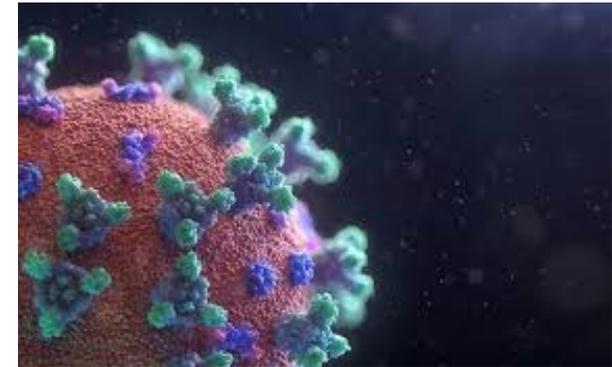
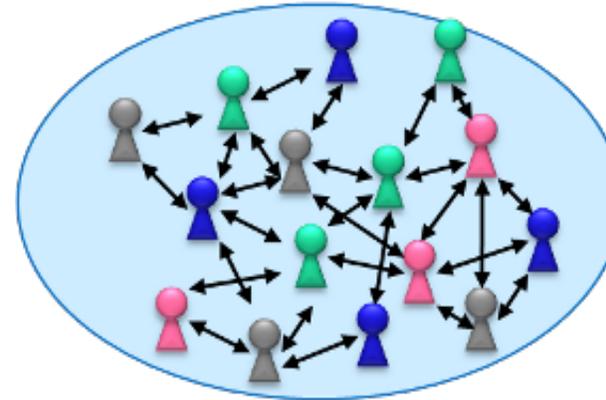
# 制御可能な複雑系に潜む普遍性・特異性の探究

沼波 政倫

# 複雑性、複雑系

“There’s no love in a carbon atom, no hurricane in a water molecule, no financial collapse in a dollar bill”, - Peter Dodds -

- **相互作用:**
  - 様々な関係性でつながる人間社会
- **創発:**
  - 空気や蒸気の分子群による竜巻形成
- **ダイナミクス:**
  - 株式相場などの金融市場
- **自己組織化:**
  - 集団行動を示す鳥の群れ
- **適応:**
  - 病原について学習し続ける免疫系



プラズマ: 複雑性の特徴を有する格好の対象

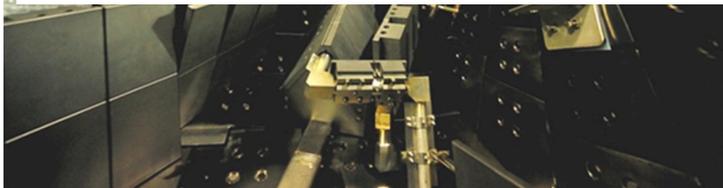
#ComplexityExplained,  
<https://complexityexplained.github.io/>

# 核融合プラズマ

- 実験:

- 様々な加熱手法、
- 多様な印加磁場、
- 炉壁材料、
- 詳細な観測手法

⇒ 様々な能動的 制御ノブが存在

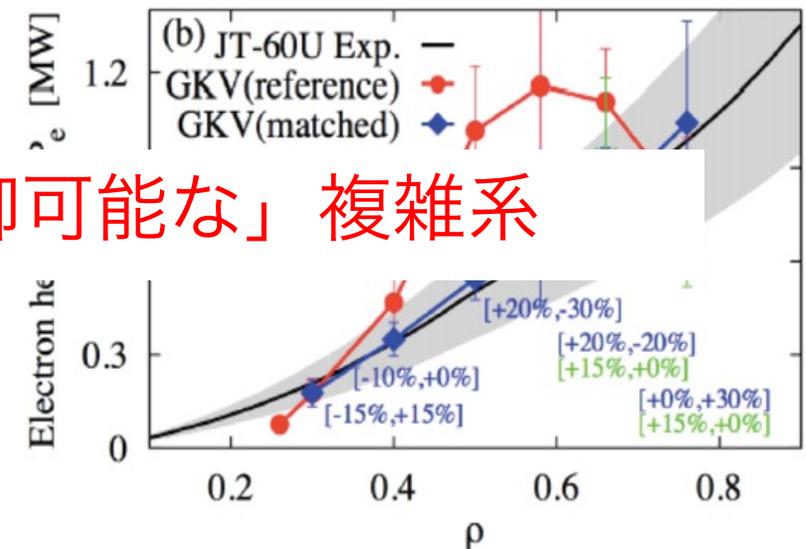


人類が手にした数少ない「制御可能な」複雑系

- 数値シミュレーション:

- 例えば、運動論に基づく第一原理計算
- 微視的描像から輸送やスペクトルを再現
- 占有的な計算で初めて、第一原理計算の正当性を実証

⇒ 第一原理から複雑性を説明



帰納的、演繹的の両側面から能動的に攻めらる格好の研究対象

# 複雑性研究としての核融合科学の可能性

## 人間社会

- 通常時の人流



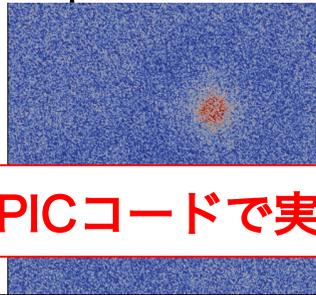
- 災害・パニック時の人流



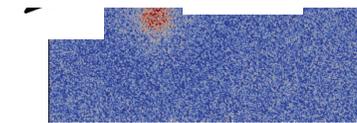
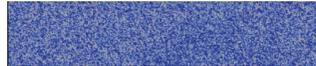
(株)Agroup

## 人工社会(マルチエージェント)

- Sugarscape model

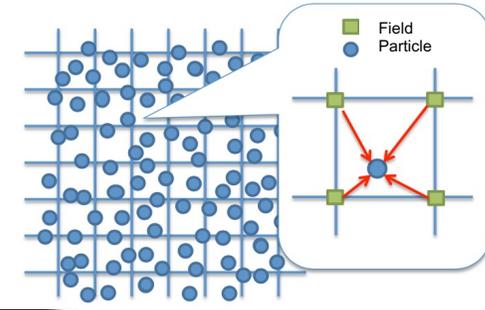


PICコードで実現

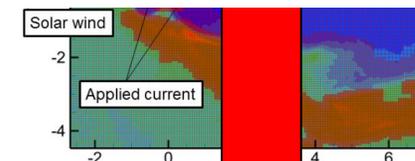


(Usui+, 2017)

## プラズマシミュレーション(PIC)



プラズマシミュレーション



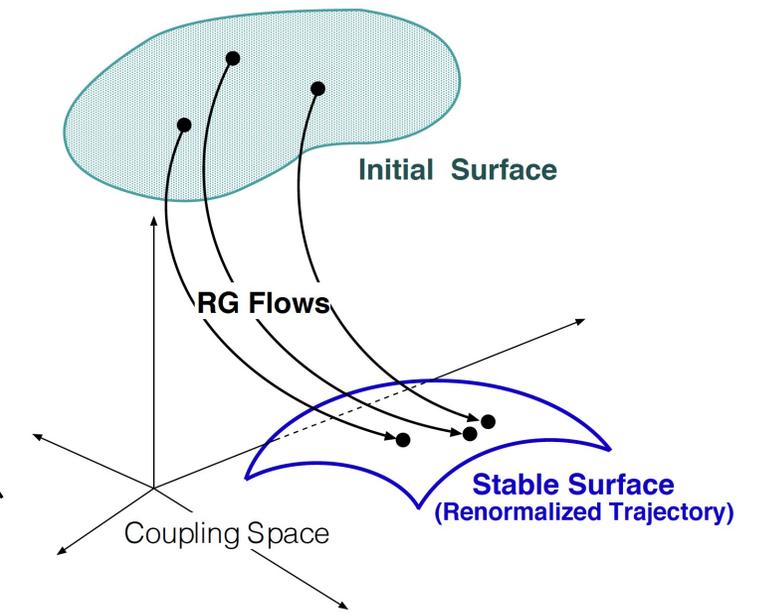
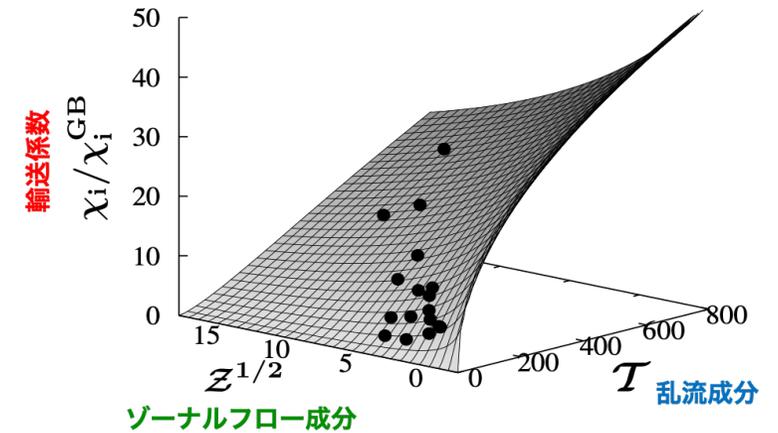
(Matsumoto+, 2012)

制御可能な複雑系である核融合科学から複雑性現象を捉える

制御されたプラズマ実験

# 複雑系の普遍性の探究 (例)

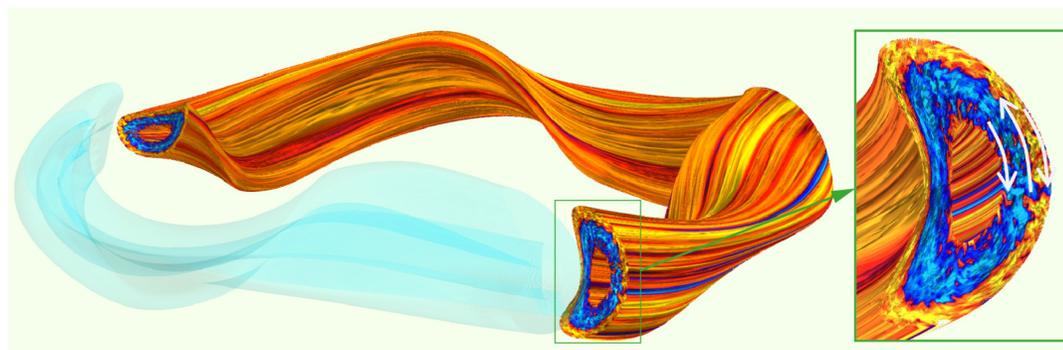
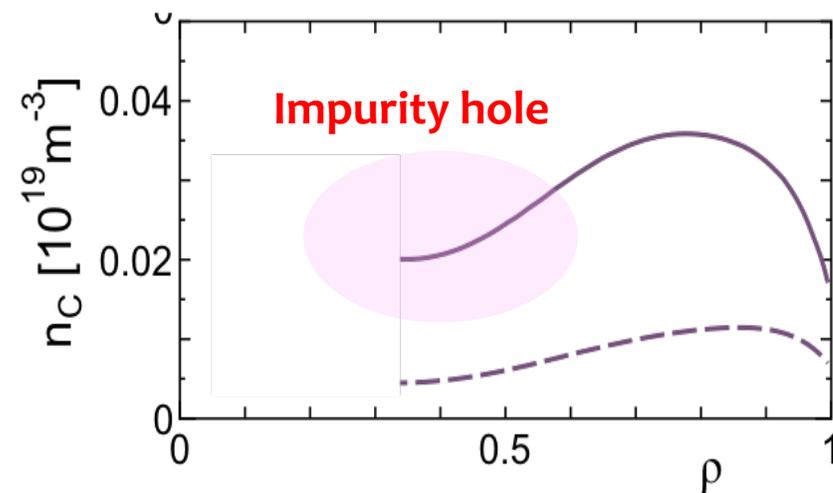
- プラズマ乱流とゾーナルフローの関係
  - ゾーナルフローと乱流、輸送との関係式
  - **磁場配位によらず普遍的に存在(?)**
- 繰り込み群による乱流の縮約表現
  - 繰り込み変換が、パラメータ空間上の流れを形成
    - 変換の極限で、系が有限の自由度に限定されたりする
  - **系が「必然的に」持つ普遍性を明確に表現**
  - 乱流理論への応用
    - NS方程式に対して、Kolmogorov定数を決定
    - Burgers方程式において、固定点を導出し、スケーリング則を決定



**プラズマ乱流において必然的に存在する普遍性を探す**

# 複雑系の特異性の探究 (例)

- LHDでの不純物ホール
  - 不純物イオン密度が炉心で急激に減少
  - LHDでのみ発見
  - なぜLHDだけなのか？
- 制御ノブとしての磁場配位を用いて探究



高次元パラメータ空間上の普遍的構造から特異性を捉える (仲田さんの提案)

# 10年後を見据えて

- 核融合科学は「制御可能な複雑性科学」
- 他の複雑系にはない、大きなアドバンテージ
  
- 現象の複雑さ、多様性で終わってはいけない
- プラズマ実験と第一原理シミュレーションが肝
- データ科学の有用性とその先
  - データ科学×実験×シミュレーション = 帰納的な帰結(モデル・理論化、解明)
  - “鶏が鳴くから夜が明けるわけではない”  
(重要なのは鶏と夜明けとの相互作用)
- 演繹的手法と帰納的手法の両面から、普遍性・特異性を探究

「制御可能な複雑性科学」である核融合科学を土台にして  
10年後に複雑性研究の新しい流れがスタートしていることを目指す