

ユニット準備会合 研究テーマ提案No.13

位相空間力学による非平衡系・非線形現象の研究

永岡賢一

非平衡系における非線形現象の理解・予測・制御への挑戦

分布関数：非平衡系を特徴づけ $f(x, v, t)$

非平衡系の統計力学=>幅広い分野（物理、生命、化学、社会、経済、..）で議論

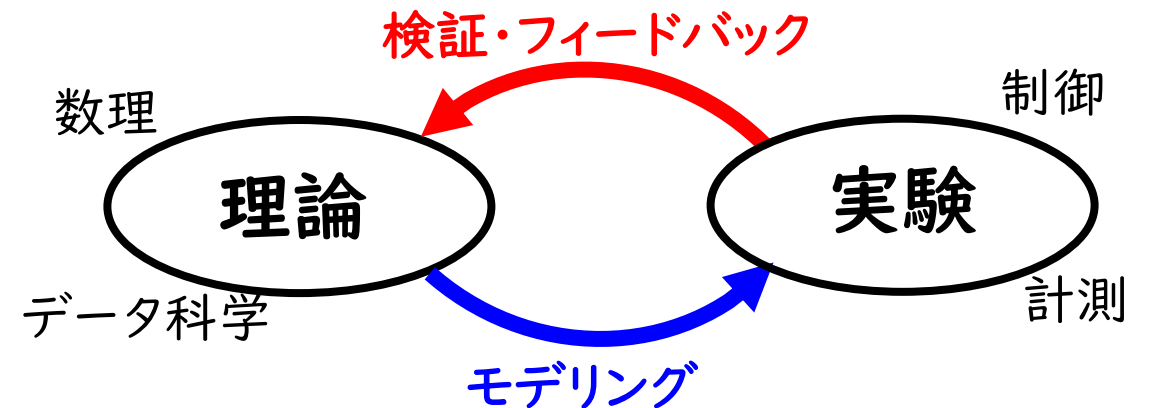
プラズマならではの特徴①

極限的な非平衡系

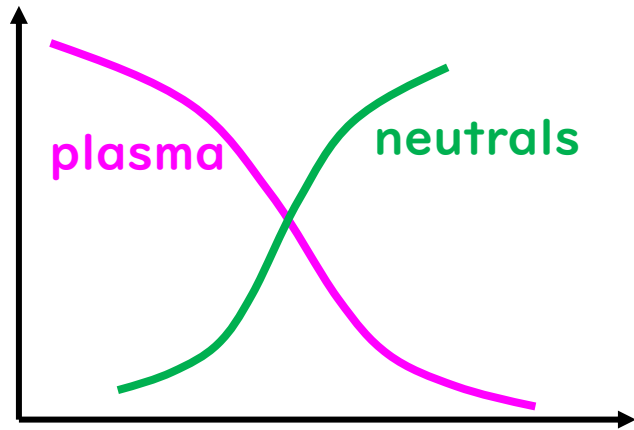


プラズマならではの特徴②

分布関数計測が可能



非平衡定常状態の速度分布/確率密度関数



$$f(x, v)$$

非Maxwell分布

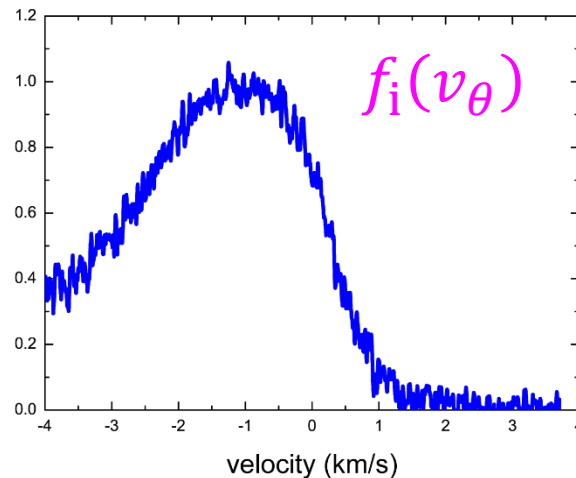
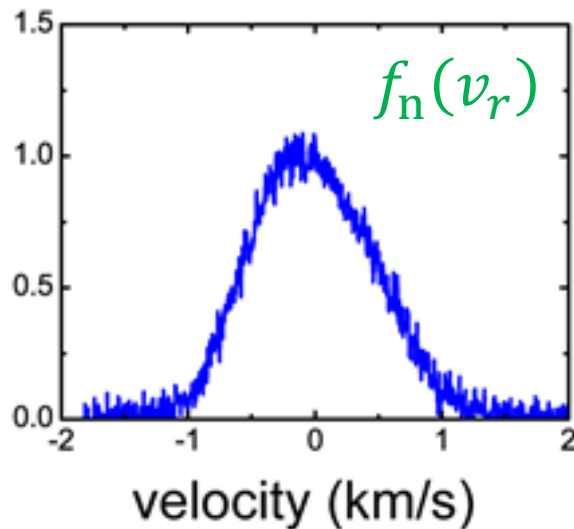
0th moment : density

1st moment: flow velocity

2nd moment: energy/temperature

3rd moment: => gradient (R/Ln)

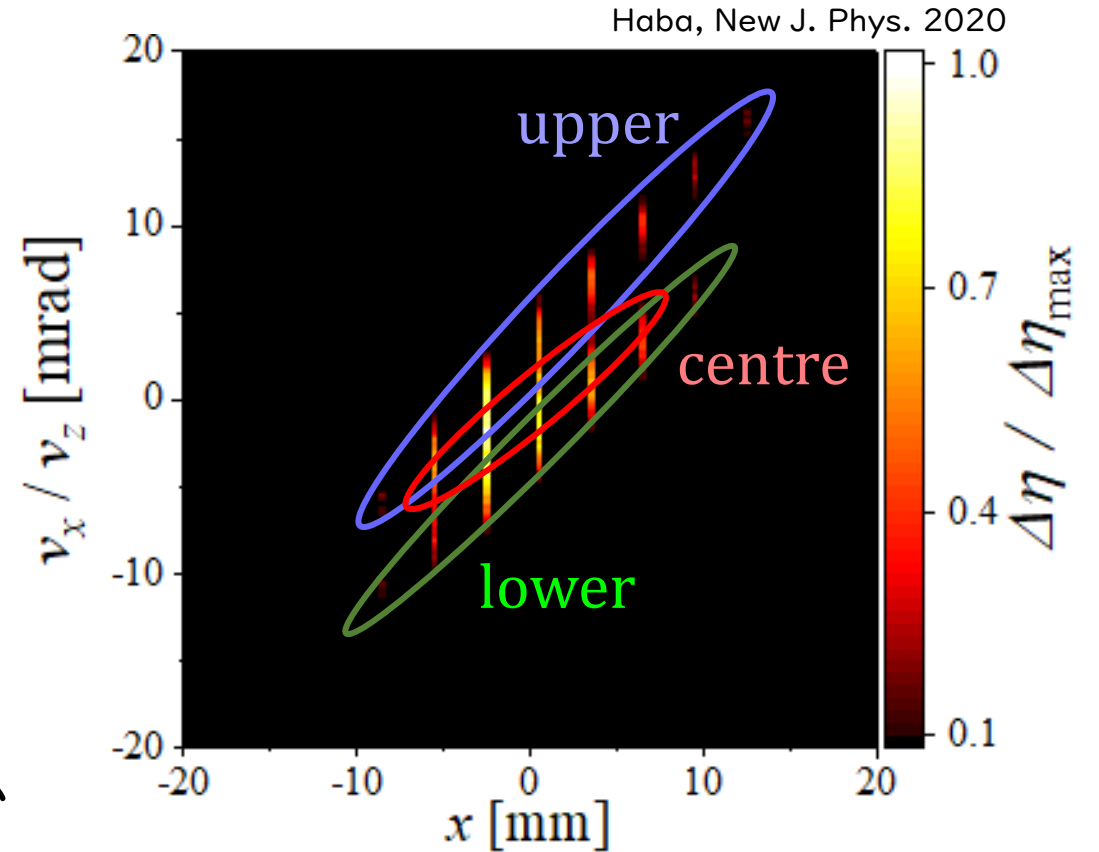
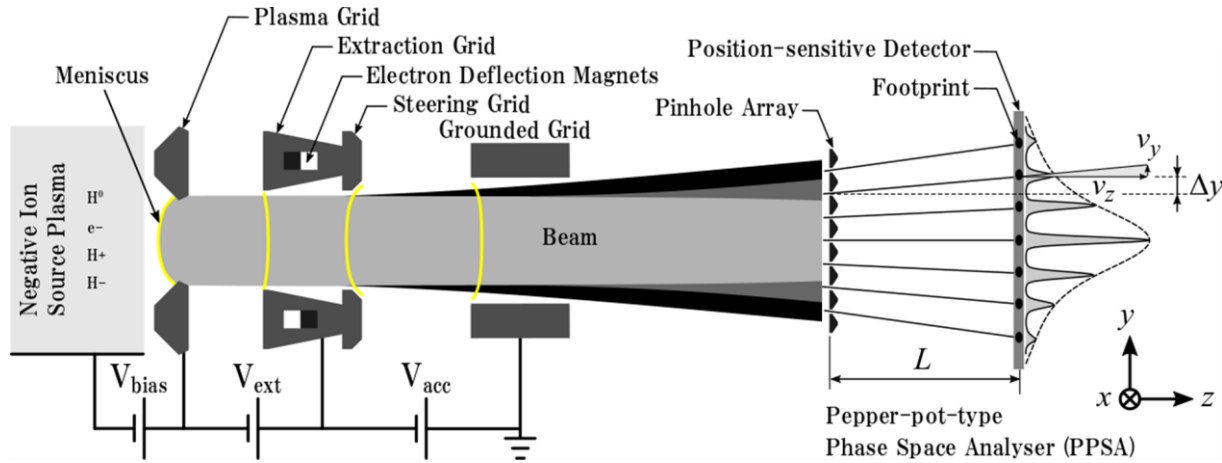
⋮
κ (分布)



分布関数の構造 (モーメントだけではなく『形』) を議論することで、より多くの情報が得られる

=> 非平衡系の統計物理学

位相空間の構造(形)からの情報抽出の例



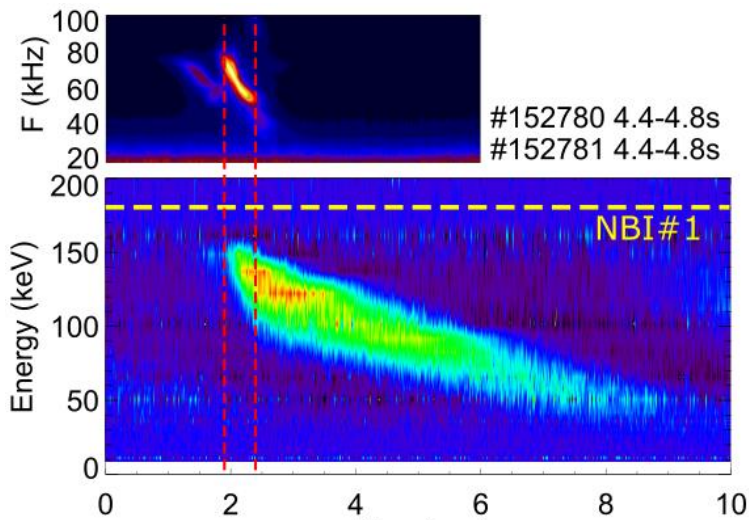
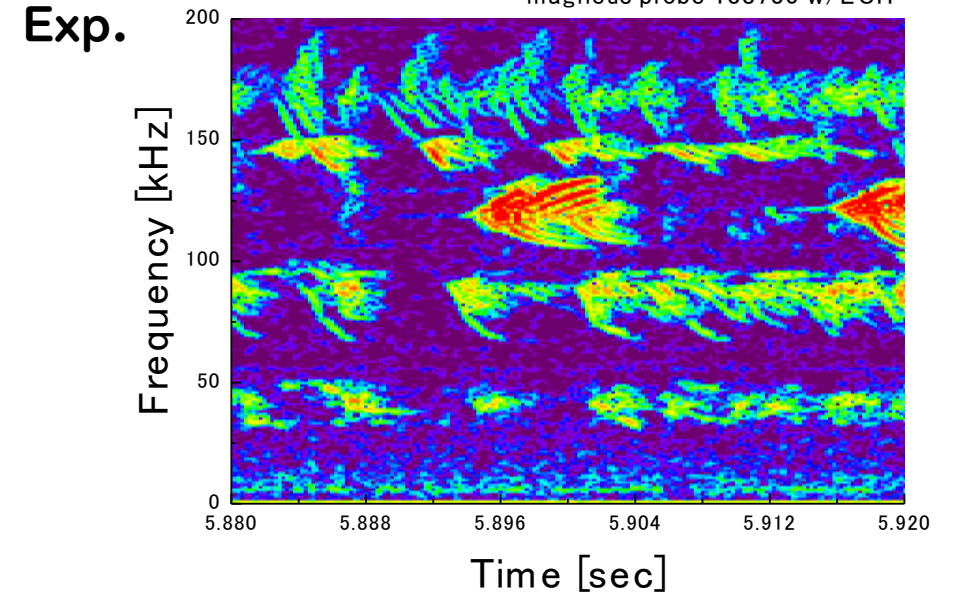
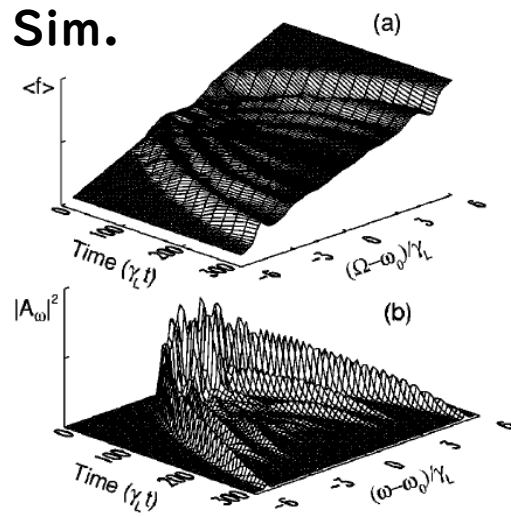
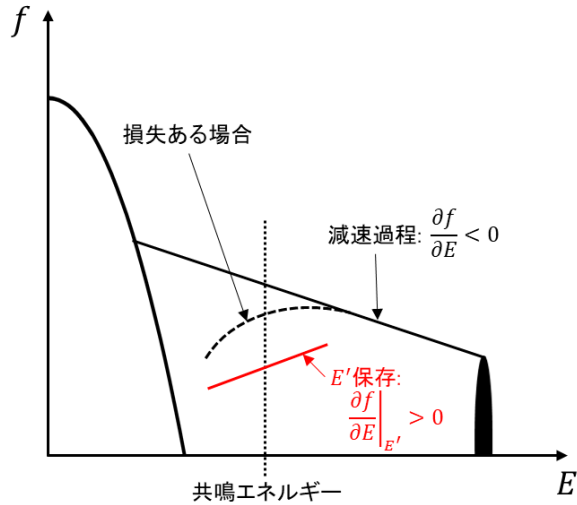
負イオンビームの位相空間構造の計測

=>3つの異なる焦点をもつガウスビーム

ビーム集束性の指標:発散角、エミッタンスだけでは、不十分

=>位相空間構造とその応答の解析が重要

相互作用のある系の位相空間ダイナミクス(波動励起)

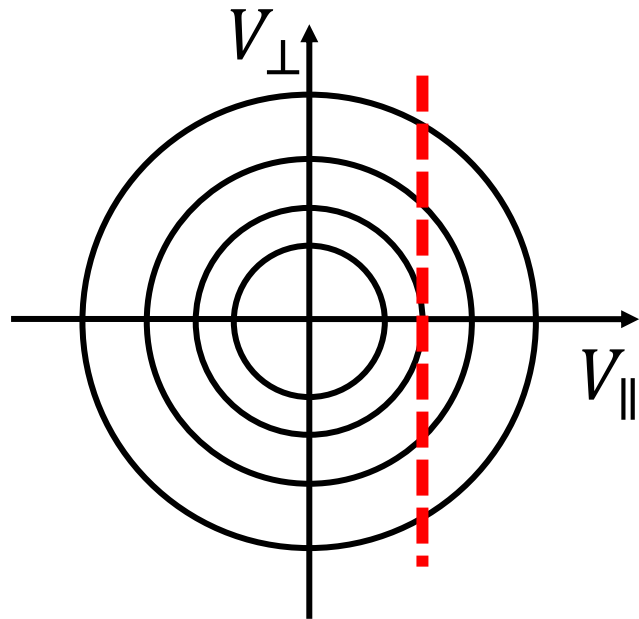


共鳴=>波動励起=>位相空間内粒子輸送

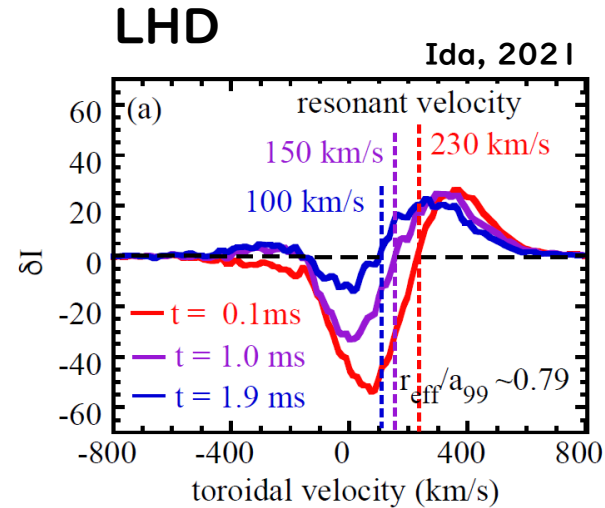
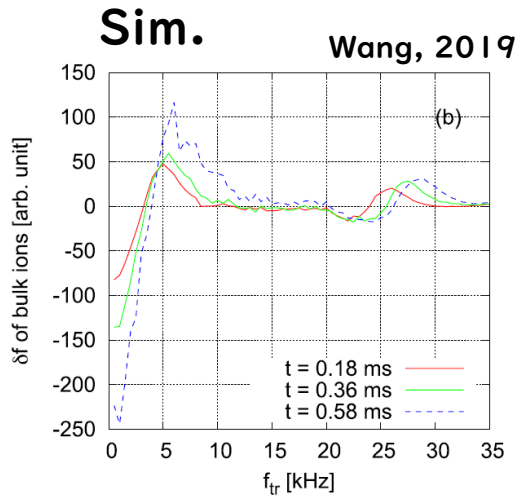
熱緩和より速い時間スケールの位相空間構造計測が可能に!

=>非線形過程の理解と予測モデル

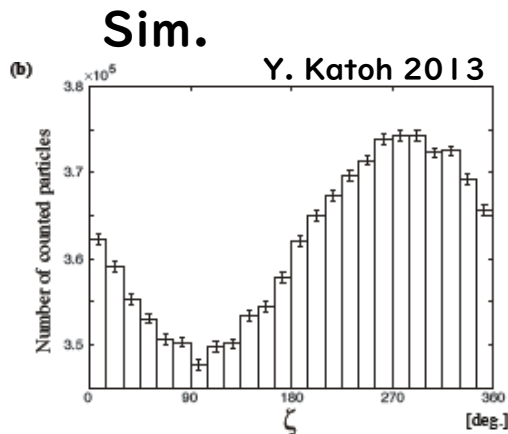
相互作用のある系の位相空間 (波動励起/粒子加速)



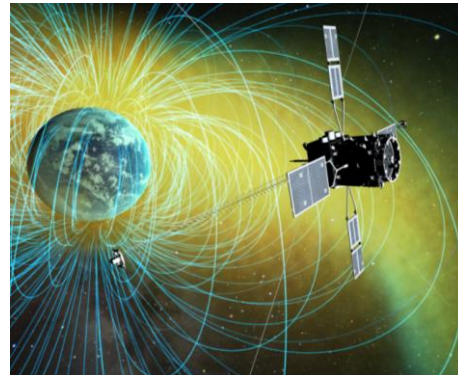
Landau damping



Cyclotron resonance

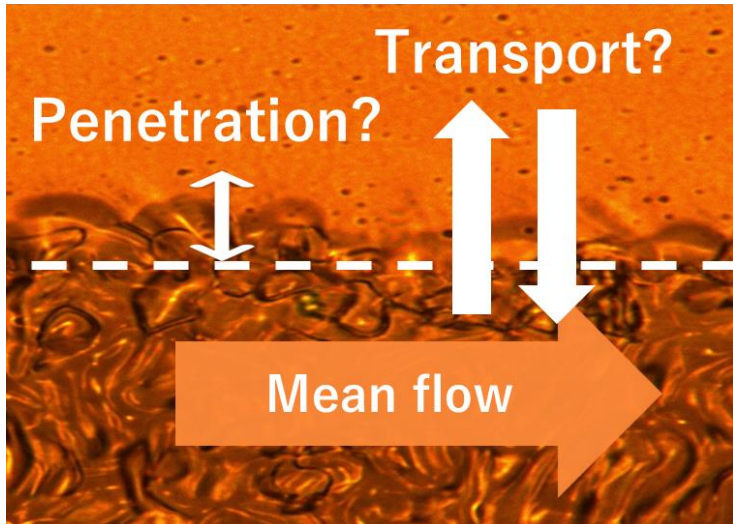


あらせ/ERGプロジェクト

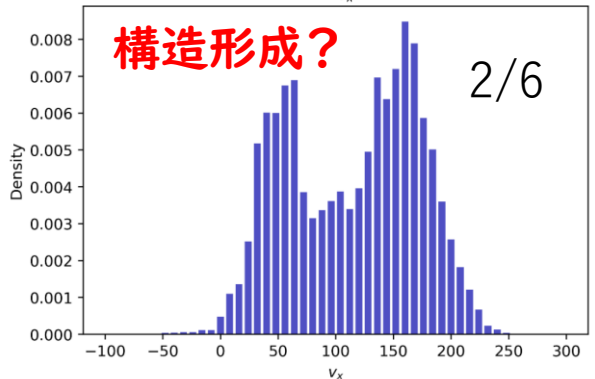
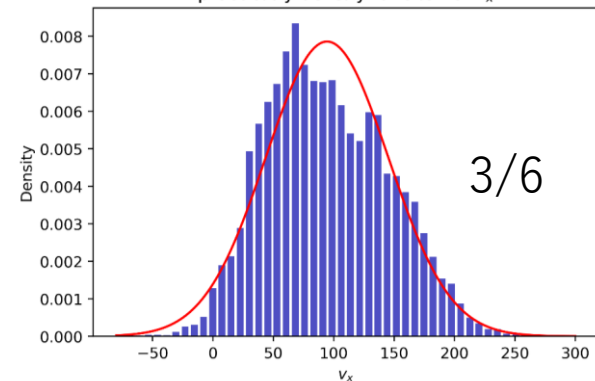
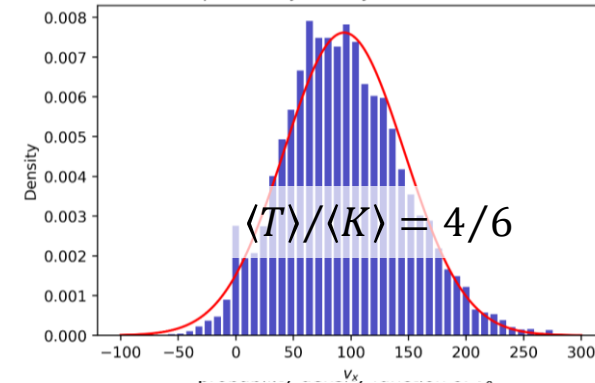


- 分布関数の直接計測
- =>相互作用の同定
- =>位相空間内粒子輸送
- =>エネルギー輸送
- =>飽和機構/定常構造?

乱流状態の位相空間構造



電気対流乱流の実験:
 背景流れ場と乱流強度の制御
 乱流場の空間構造+速度場計測
 => 多様な速度分布関数の構造
 => 乱流中に形成される構造を反映?
 => 統計的性質(輸送係数など)との
 関係などを調べたい

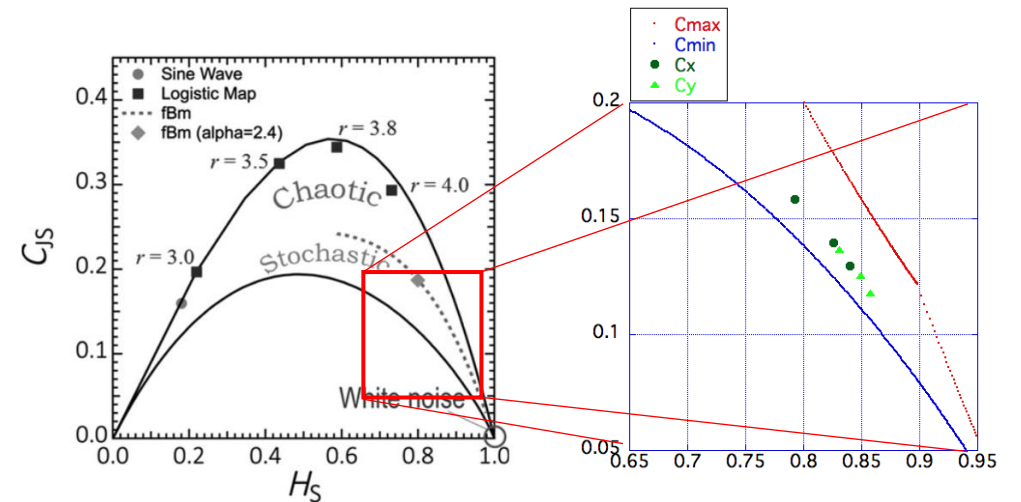


順列エントロピー H_S : 順列の無秩序さ
 (周期的 $H_S \sim 0$, ランダム $H_S \sim 1$)

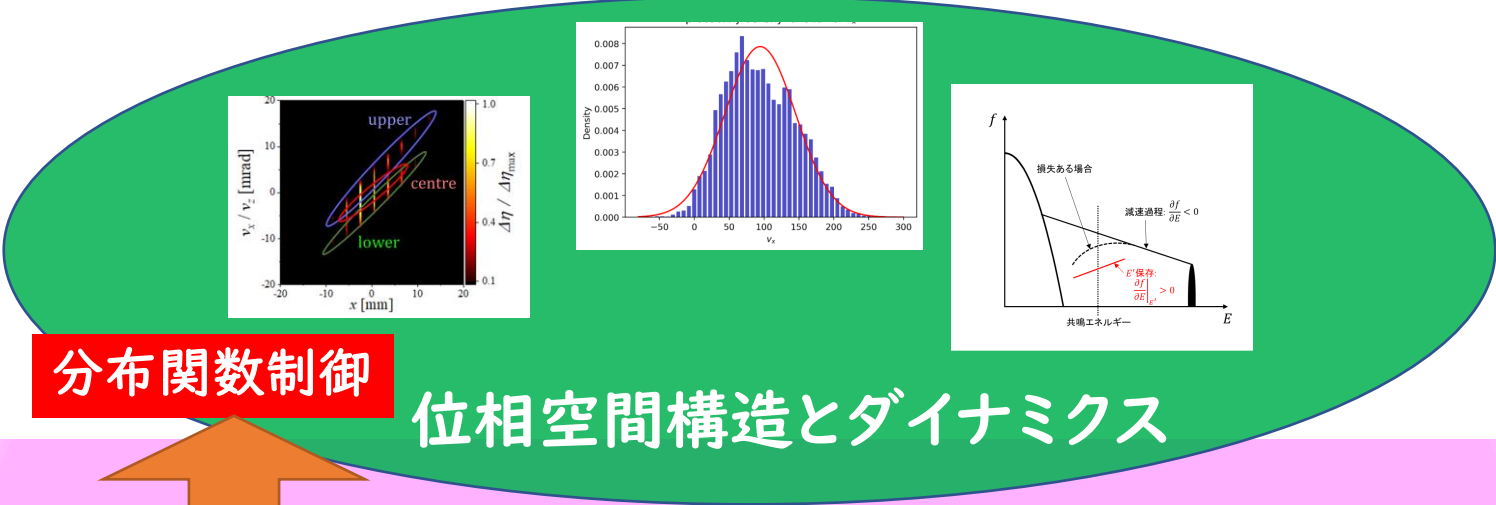
$$H_S = \frac{S[P]}{S_{\max}} = \frac{S[P]}{\ln K} \quad \text{where } S[P] = -\sum_j p_j \ln p_j$$

統計的複雑性 C_{JS} : 確率分布の偏り
 (確率過程 C_{JS} 小, カオス C_{JS} 大)

$$C_{JS} = \frac{Q_J}{Q_{\max}} \times H_S[P] \quad Q_J = Q_{\max} \left\{ S\left[\frac{P+P_e}{2}\right] - \frac{S[P]}{2} - \frac{S[P_e]}{2} \right\}$$



非平衡系における非線形現象の理解・予測・制御への挑戦



分布関数制御

位相空間構造とダイナミクス

波動粒子相互作用
粒子加速、波動加熱、輸送、
波動励起、...

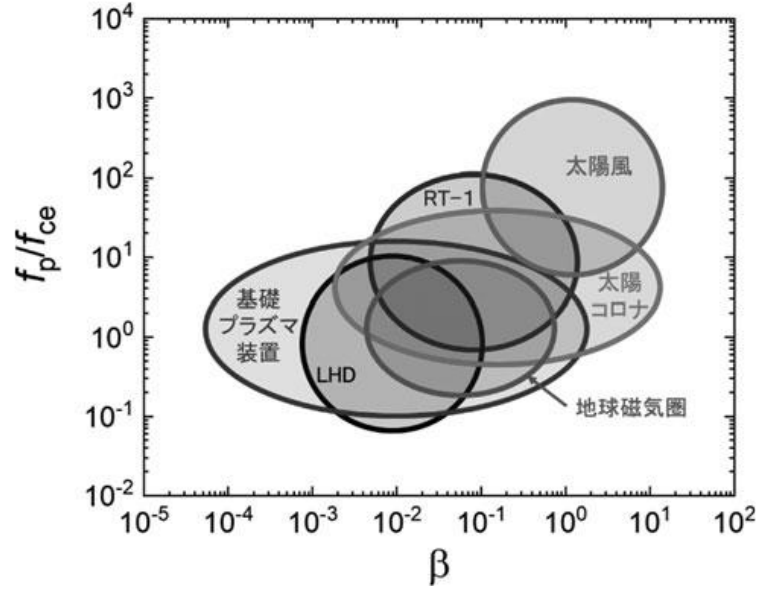
原子分子過程
生成、消滅、...

プラズマ物理

実験室プラズマ、太陽風プラズマ、太陽コロナ、高エネルギー粒子、ビーム、...

乱流現象
非線形飽和、非線形結合、構造形成、輸送、スケーリング、...

必要なプラズマ



- 低衝突 ≦ 高加熱パワー
- 高い制御性
- 先進計測