

## ユニットテーマ提案書

### 1. ユニットテーマ

乱流物理研究（あるいは、位相空間乱流、低次・高次キュムラントの揺らぎ研究、等も検討）

### 2. 提案者（氏名・所属）

徳沢季彦、居田克巳、藤澤彰英(九大)

### 3. テーマと研究内容の概要

テーマの意味：

トロイダルプラズマにおける乱流・輸送を統合的に理解するため、これまでに研究が進んでいない速度空間の分布関数の歪の揺動すなわち、高次キュムラントの揺動の存在とその影響を高温プラズマにおいて調べる。また、いわゆる密度揺動や温度・流速と呼んでいる低次(1, 2 次)のキュムラントの揺動の 3 次元構造を、比較的温度の低いプラズマ実験装置において大域的にかつ局所的に詳細な計測を実施し、非平衡系であるプラズマの揺らぎの物理を探求する。

具体的な研究課題：大きく 2 つの課題を取り扱う。

- ・位相空間分布関数計測に基づく、高次キュムラントの揺動（揺らぎ）の研究

LHD プラズマで高エネルギー粒子により不安定性が突発的に発生した際に、イオンの速度分布関数がマックスウェル分布からズレていること(高次キュムラントがゼロではないこと)が発見された。これをより高速に観測することによって、一時的な歪だけでなく、「歪の揺らぎ」すなわち「高次キュムラントの揺らぎ」を発見することを目指す。また、電子の速度分布関数でも同様な事象が生じているのかどうかも新しい計測法を開発適用して調べ、合わせて高温プラズマ閉じ込め性能との関連を明らかにすることを目指す。

- ・3次元プローブ計測による、密度揺動と低次キュムラントの揺動（揺らぎ）の3次元構造の研究  
いわゆる従来の乱流「低次のキュムラントの揺らぎ」を、低温プラズマ装置に3次元に配置する各種プローブを用いて詳細に観測し、乱流が閉じ込め経験則に及ぼす影響を検証する。

いわゆる乱流輸送と呼ばれる現象は、これら低次と高次のキュムラントの揺らぎそれぞれ（あるいは両方）が影響を与えるので、両方研究することで、はじめてその物理機構の解明につながる。

10年間のプロジェクトで達成する目標：

- ・速度空間「歪の揺らぎ」すなわち高次キュムラントの揺らぎ成分の検出とその特性の解明。
- ・トロイダルプラズマにおける大域的かつ局所的な種々の低次キュムラントの揺らぎの詳細な構造やその特性の実験的検証。

予測される成果の学術的な意義：

速度空間の分布関数が精度よく観測できることはプラズマ研究の特長であり、一般的な乱流物理に研究に対して、「位相空間の揺らぎ」という新しい学術分野を開拓する。これは非平衡系におけ

2ページ以内で記述し、10.5pt・行間1行を使用してください。青字の注意書きは削除してください。

るエントロピー概念の検証を行うという革新的な研究となりうる。また、トロイダルプラズマにおける乱流物理の体系化を合わせて進めることで、新時代の高性能な装置設計に指針を与える学理の提供ともなる。

#### **4. 位置づけ** (2つのメイン研究の内、「高次キュムラントの揺らぎ」の研究について記述)

研究課題の背景：熱輸送研究において発見されたフィックの法則に従わないヒステリシス現象を理解するには速度空間揺らぎの観測が必須であるという理論が提唱され、また突発的な不安定性発現時に速度空間分布関数に歪が発生していることが発見された。そこで、この歪の揺らぎ、すなわち「高次キュムラントの揺らぎ」を実際に観測しようという機運が高まった。

独創性、優位性：位相空間の揺らぎを実験的に調べることができるのは、高温プラズマならではの研究であり、独往性が高い。なお将来の核燃焼プラズマは現在より高温・低衝突プラズマであり、非マックスウェル成分の割合が高くなると予想され、その特性を予測する上でも重要である。

#### **5. 研究の方法**

R3年度からの2年間は、LHDにおいて位相空間分布関数を計測する手法の開発と実証をすすめる(科研費：特別推進)。その後、JT-60SAに計測装置を移設し、様々な高温プラズマ実験における高次キュムラントの揺らぎの観測を実施し、研究を進める。

また九州大学のPLATO装置において、3次元的に各種プローブ(HIBP, 磁気、LangmuirやHaアレイ、SXカメラ、マイクロ波イメージング等)を配置し、低次キュムラントの揺らぎ(乱流)構造を大域的かつ局所的に観測し、トロイダルプラズマ中の乱流と輸送特性への影響について調べる。

#### **6. 自己評価**

##### **1) 未来志向であること**

新しい計測法の導入によって、非平衡システムにおける速度分布関数 $f(v)$ (位相空間)を観測し、エントロピー概念(非可逆性)の検証・再検討を促すという挑戦的な課題に取り組む。

##### **2) 目標を具体的に示していること**

高次キュムラントの揺らぎの検出は、まずLHDで原理実証し、JT-60SAへ展開するという事を予算も含め検討している。低次キュムラントの揺らぎの3次元構造を精緻に解明するという目標については、その計測方法をPLATO装置のポートのレイアウトも含め具体的に検討している。

##### **3) 10年後に学术界に輝くテーマに育つこと**

高次キュムラントの揺らぎは、これからの核燃焼プラズマの制御において重要な課題となっていくと予想される。一方、このような速度空間分布関数の計測は非定常・非平衡な系でのエントロピー原理検証につながり、同様な非マックスウェル分布を持つ他分野への波及も期待される。

##### **4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること**

揺らぎの検証は実験的観測がメインの課題となるが、理論・シミュレーション計算の裏付けも当然必要である。また追加熱など種々のプラズマ状態での検証を行うため、必然的に多くの研究テーマが含まれる。