

## Phase-space structures of distribution function in the three-dimensional ion temperature gradient turbulence

渡邊智彦, 村上広暉, 前山伸也

Tomo-Hiko WATANABE, Hiroki MURAKAMI, and Shinya MAEYAMA

名大院・理

Dep. Phys., Nagoya Univ.

高温プラズマにおける運動論的乱流輸送は、核融合プラズマはもとより、宇宙空間や天体プラズマにおいても普遍的な問題の一つである。特に衝突が非常に小さな高温プラズマにおいて、密度や流れ場の揺らぎがいかんしてエントロピーの増大を伴う散逸に至るか、という問題は未だ十分に理解されているとは言えない。

プラズマ中の電磁場揺動は、分布関数の低次モーメント量である密度や平均流束に関連づけられるが、Coulomb 衝突による散逸は速度分布関数の微細揺動に選択的に作用するため、流量量のみに着目した乱流カスケードの描像では不十分である。すなわち、速度空間を含めた位相空間上の分布関数構造のレベルから、乱流揺動の小スケールへの伝達過程を議論する必要がある。こうした問題意識から、これまで、イオン温度勾配乱流における分布関数の速度空間構造を詳細に調べ、Hermite 多項式展開を速度空間に適用して、そのスペクトル構造を議論してきた[1,2]。しかしこれまでの研究では、2次元乱流を仮定し、磁場平行方向の波数は、反磁性ドリフト方向の波数成分に比例するというモデルが用いられていた。本研究では、3次元スラブ配位においてイオン温度勾配(ITG)乱流のジャイロ運動論的シミュレーションを行い、磁場平行方向の乱流揺動成分の生成過程を含めた分布関数構造の解析を行なった。

Fig. 1 は異なる衝突周波数に対するシミュレーションの結果得られた分布関数のパワースペクトルに相当するエントロピー揺動の Hermite 展開スペクトル( $\delta S_n$ )である。衝突周波数の低いケースでは、展開次数 $n$ の逆数にほぼ比例した冪乗スペクトルが得られている。また、Fig. 2 に見られるように、 $n$ 空間におけるエントロピー伝達関数 $J_{n-1/2}$ がほぼ一定となる「慣性小領域」が形成されていることがわかる。さらに実効的な磁場方向波数( $k_{\parallel}$ )を評価してみると、この「慣性小領域」において、2次元乱流の場合と同様に $\sqrt{n}$ の依存性を持つこと

が分かった。これは、磁場に平行な速度空間上の微細構造が、磁場平行方向の高い波数成分の揺らぎを介した ballistic な粒子運動で作られること、また、分布関数の微細構造形成過程が passive scalar の混合理論にもとづいたモデル [2] で説明できることを示している。さらに、この結果が、磁場に対する乱流の非等方性の詳細によらず普遍的な性質であることを示唆している。

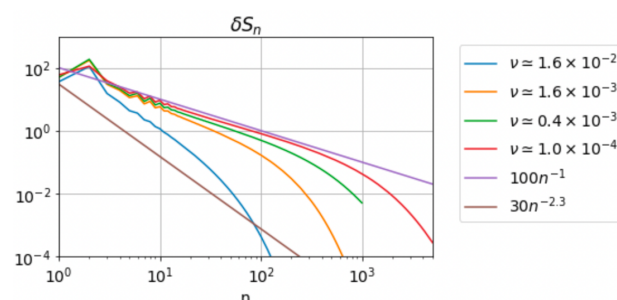


Fig. 1: Powder spectrum of the entropy variable ( $\delta S_n$ ) obtained by the gyrokinetic simulation of the 3-D slab ITG turbulence.

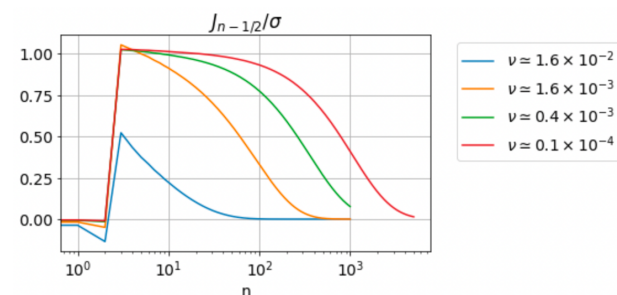


Fig. 2: Normalized entropy transfer function in the Hermite spectral space. See Ref. [2] for definition of  $J_{n-1/2}$ .

### 参考文献

- [1] T.-H. Watanabe and H. Sugama, Phys. Plasmas **9**, 3659-3662 (2002).
- [2] T.-H. Watanabe and H. Sugama, Phys. Plasmas, **11**, 1476-1483 (2004).