

熱源駆動型ITG乱流輸送に対する速度空間二次元衝突効果の評価
**Velocity space 2-dimensional collisional effect
 on flux-driven ITG turbulence**

吉田練太郎, 今寺賢志, 岸本泰明
 Rentaro Yoshida, Kenji Imadera and Yasuaki Kishimoto

京都大学大学院 エネルギー科学研究科
 Graduate School of Energy Science, Kyoto University

外部からの熱源が温度分布を急峻化させることによって駆動される熱源駆動型乱流は、分布硬直性や緩和の自己相似性、間欠的な乱流輸送など、核融合プラズマで現出する重要な物理過程と密接に関係している[1]。そのような過程を準定常状態まで追跡するためには、背景分布、乱流、熱源効果に加え、新古典輸送や粒子軌道に影響を与える衝突効果を正確に解く必要がある。我々が開発してきた full- f ジャイロ運動論コード GKNET では、これまで速度空間 1 次元(v_{\parallel})方向の衝突効果のみを扱ってきたが、衝突過程を正確に評価するためには、ピッチ角散乱等を考慮した速度空間 2 次元(v_{\parallel} , v_{\perp})での衝突効果を扱うことが重要である。

そこで本研究では、そのような効果を実装するために、文献[2]で提唱されている速度空間 2 次元 Fokker-Planck 衝突演算子

$$C_T(f) = C(1)f + \left(v_s v^2 + \frac{4sv_0}{x} \psi \right) \frac{\partial f}{\partial s} + \frac{1}{2} v_{\perp 2} v^4 \frac{\partial^2 f}{\partial s^2} + \frac{1}{2} v_{\parallel 2} v^2 \frac{\partial^2 f}{\partial u^2} + v_{\parallel \perp} v^3 \frac{\partial^2 f}{\partial s \partial u} \quad (1)$$

を Test particle operator として GKNET に導入した ($u = v_{\parallel}$, $s = v_{\perp}^2$)。本研究では、さらに、長時間の full- f シミュレーションの数値安定性を確保する上で重要な粒子数、運動量、エネルギーの保存性を向上させるために、Field particle operator

$$C_F = -\frac{1}{n} [aF(x) + bG(x)\xi + cH(x)] f_M \quad (2)$$

を導入し ($x = v^2/v_i^2$) [3]、それらの計算精度について検証を行った。

表 1 は、差分法として 6 次精度中心差分、積分法として v_{\parallel} 方向には矩形積分、 v_{\perp} 方向には 17 点ごとに 16 次関数で補間を行って計算した際の衝突項の 0 次、1 次、2 次速度モーメントの値を示しており、それぞれ衝突項による粒子数、運動量、エネルギーの時間変化に対応している。衝突項の計算を行う際に分母が 0 となる問題を避けるため

に、両速度方向とも 0 にはメッシュを割当てていないが、 v_{\perp} 方向の積分に関しては $v_{\perp} = 0$ まで補間関数を外挿することで積分精度を確保している。この結果から、 f_M が衝突項の Kernel として十分な精度で計算されていること、さらに C_F を導入することで保存性が向上していることがわかる。

| | C_T | $C_T + C_F$ |
|---|-------------|-------------|
| $\frac{1}{n_0} \int C d^3 v$ | 0.2427E-06 | -0.2211E-12 |
| $\frac{1}{n_0 v_{ti}} \int v_{\parallel} C d^3 v$ | 0.9963E-22 | -0.2139E-20 |
| $\frac{2}{3n_0 T_i} \int \frac{1}{2} v^2 C d^3 v$ | -0.4411E-07 | -0.1278E-11 |

表 1 : ($N_{v_{\parallel}}, N_{v_{\perp}}$) = (64, 32), $f = f_M$ とした場合の衝突項 ($C_T, C_T + C_F$) の各速度モーメントの値

また図 1 は、衝突演算子の変更に伴い、MPI 並列の領域分割法と、積分を行う際の独立変数を変更したコードで得られた線形 ITG モードのポロイダル断面の固有関数を示しており、従来と同様の結果が得られることを確認した。

本講演では、この衝突効果が線形 ITG モードや GAM 減衰、熱源駆動型 ITG 乱流輸送に与える影響について、従来の結果と比較することで報告する。

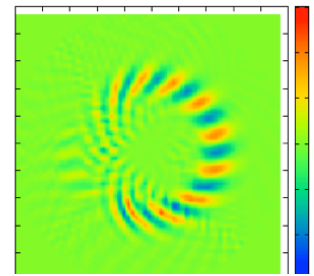


図 1 : 線形 ITG モードのポロイダル断面の固有関数 ($\rho_*^{-1} = 100, n = 10$)

参考文献

- [1] Y. Kishimoto *et al.*, 26th FEC, TH/P3-2 (2016).
 [2] X. Q. Xu and M. N. Rosenbluth, Phys. Fluids B **3**, 627 (1991).
 [3] S. Satake *et al.*, Comput. Phys. Comm. **181**, 1069 (2010).