

モンテカルロ 2 体衝突モデルによるトカマクプラズマ中での不純物 古典/新古典輸送のモデリング

Modeling of impurity classical/neoclassical transport by Monte-Carlo binary collision model

澤田悠, 本間裕貴, 井上春如, 矢本昌平, 畑山明聖, 他

Yu Sawada, Yuki Homma, Haruyuki Inoue, Shohei Yamoto, Akiyoshi Hatayama *et al.*

慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

## 1. 背景

核融合炉におけるコアプラズマへの不純物の蓄積は重大な問題を引き起こす。そのため、不純物輸送の解明は非常に重要である。不純物は第一壁やダイバータ板から発生し、境界層(SOL)及び、ダイバータ領域を輸送される。従って、SOL/ダイバータ領域の不純物輸送の解明は必須である。最近、SOL/ダイバータ領域における、古典/新古典輸送による不純物輸送が比較的大きくなり、無視できない事が指摘されている<sup>[1]</sup>。しかしながら、SOL/ダイバータ領域における、不純物の古典/新古典輸送についてはあまり検討されていない。従って本研究では、2 体衝突モデル<sup>[2]</sup>によるモンテカルロシミュレーションにより、トカマク境界層プラズマ中での古典/新古典輸送係数の評価し、その結果を報告する。

## 2. 磁場を横切る輸送

不純物の古典/新古典輸送は A)不純物の密度勾配による輸送と B)背景プラズマ密度勾配方向への輸送(inward pinch)がある。

$$\Gamma_1 = -D\nabla N_1 + N_1 V_1 \quad (1)$$

$$V_1 \approx -D(e_1/e_2)(\nabla N_2/N_2) \quad (2)$$

ここで、 $D, N, e$ はそれぞれ、拡散係数、密度、電荷である。拡散係数  $D$  は一般に、衝突周波数と特徴的なステップ長で表現できる。古典輸送の場合はステップ長がラーマー半径程度である。一方で新古典輸送ではドリフトによる粒子軌道の磁気面からの変位がステップ長となる。

## 3. 手法

電磁場中のテスト粒子軌道は Boris-Buneman 法<sup>[3]</sup>により追跡する。また、クーロン衝突によるテスト粒子の速度変化は 2 体衝突モデルによって求める。クーロン衝突による散乱角  $\Phi$  と  $\Theta$  は  $\Phi = 2\pi U$ ,  $\Theta = 2\arctan\delta$  で与える。ここで  $U$  は一様乱数である。また、 $\delta$  は以下のような平均と分散を持つ正規乱数からサンプルする。

$$\langle \delta \rangle = 0, \langle \delta^2 \rangle = N_2 (e_1 e_2)^2 \ln \Lambda \Delta t_c / 8\pi \epsilon_0^2 M^2 v^3 \quad (3)$$

ここで  $\ln \Lambda, M, \epsilon_0, v, \Delta t_c$  はそれぞれ、クーロン対数、換算質量、真空の誘電率、相対速度、衝突のタイムステップである。

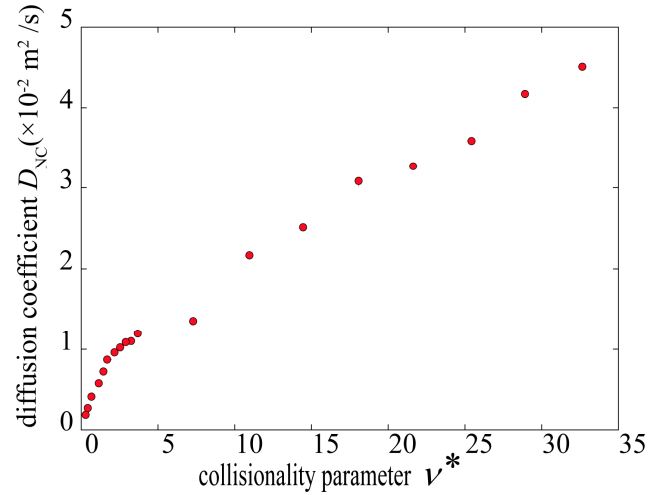


Fig. 1 Dependence of neoclassical diffusion on collisionality

古典輸送については背景粒子密度  $N_2$  を背景粒子の旋回中心で評価する事で、古典輸送による不純物輸送を正しく追跡できる事が確かめられている<sup>[4]</sup>。

## 4. 結果

磁気面が完全に円形であるトカマク磁場配位において不純物粒子の拡散現象をシミュレーションした。Fig. 1は縦軸が新古典拡散係数  $D_{NC}$ 、横軸が collisionality  $\nu^*$  である。ここで  $\nu^*$  は  $\nu^* = \nu / \epsilon^{3/2} / (v_T / qR)$  である。 $\nu, \epsilon, v_T, q, R$  はそれぞれ、衝突周波数、逆アスペクト比、熱速度、安全係数、大半径である。拡散係数  $D$  は  $D = \langle (\Delta r)^2 \rangle / 2\Delta t$  として求めた。ここで、 $r$  は小半径である。不純物粒子には 3 価のタンゲステン(W)、背景粒子は重水素(D)を用いた。また、不純物粒子と背景粒子は等温とし、 $T_W = T_D = 100\text{eV}$  とした。背景粒子密度を変えることで、collisionality  $\nu^*$  を変化させた。Fig. 1 に示すように、新古典拡散係数の衝突周波数依存性を確認できた。現在、背景粒子密度勾配による不純物輸送のモデル化と、磁力線が開いた領域における新古典輸送係数について検討している。

[1]Yuki Homma, *et al.*, J.Comp.Phys. **250** 206-223 (2013).

[2]T. Takizuka, *et al.*, J.Comp.Phys. **25**, 205 (1977).

[3]C.K. Birdsall and A.B. Langdon, *Plasma Physics via Computer Simulation*, McGraw-Hill, New York (1985).

[4]Y. Sawada, *et al.*, Fusion Sci. Tech. **63**, 352-354 (2013).