

平行速度勾配駆動乱流と不純物輸送
Parallel Velocity Gradient Driven Turbulence and Impurity Transport

小菅佑輔¹、J. Bourgeois²、M. Lesur³、小山一輝⁴
 Y. Kosuga¹、J. Bourgeois²、M. Lesur³、I. Oyama⁴

1.九州大学応用力学研究所、2. Ecole Polytechnique, 3. University of Lorraine, 4. 九州大学総合理工学府

1. RIAM, Kyushu University, 2. Ecole Polytechnique, 3. University of Lorraine, 4. IGSES, Kyushu University

【背景と目的】

粒子制御の問題は核融合の実現において重要な問題である。核融合反応によるヘリウム灰の除去、不純物蓄積に伴う燃料希釈や放射損失の増大、など解決が待たれる問題が多数存在する。近年の実験では、ITERを念頭に置いたタンクスステン壁の実験が進められ、不純物問題への注目度はより高まっている。

不純物制御を試みる際に問題となるのは、良質な閉じ込めと不純物の排出を如何に両立させるか、という点にある。通常の乱流輸送を念頭におけば、熱や燃料粒子の閉じ込めを改善するためには乱流の抑制が重要となると考えられている。その一方で、近年の研究から乱流の種類により輸送特性が異なり、乱流のタイプによっては輸送が干渉を起こし、外向きの排出や内向きの輸送が生じることが報告されている。例えば、イオン温度勾配駆動の乱流では粒子輸送の内向き輸送が報告されている。他にも、平行流を持つ勾配(Parallel Velocity Gradient, PVG)が乱流を駆動する際に、粒子輸送と干渉を起こすことがわかっている。

本講演では、この粒子輸送と運動量輸送が干渉を起こすという性質に着目し、PVG乱流の不純物輸送への影響を調査することを目的としている。その一歩目として、簡略された流体モデルに基づき、不純物のPVG乱流への影響について進めた研究について報告する。

【モデル】

不純物の効果を取り入れるために、まずは主イオンのみを含む流体モデルの拡張を進めた。イオンと不純物、電子からなるプラズマを念頭に置けば、最終的に静電ポテンシャルと平行速度の揺動からなる簡略流体モデルを導く

$$\begin{aligned}
 \bar{\rho}^2 &= \left(\frac{n_{i0}}{n_0} + \frac{m_Z}{m_i} \frac{n_{Z0}}{n_0} \right) \rho_i^2 \\
 \bar{c}_s^2 &= \left(\frac{n_{i0}}{n_0} + Z^2 \frac{m_i}{m_Z} \frac{n_{Z0}}{n_0} \right) c_i^2 \\
 \bar{\omega}_c &= \left(\frac{n_{i0}}{n_0} + Z^2 \frac{m_i}{m_Z} \frac{n_{Z0}}{n_0} \right) \omega_{ci} \\
 \langle \bar{\nabla} v_{\parallel} \rangle &= \frac{n_{i0}}{n_0} \langle \nabla v_{\parallel} \rangle_i + Z \frac{n_{Z0}}{n_0} \langle \nabla v_{\parallel} \rangle_Z
 \end{aligned}$$

表 1 : 実効的な次空間スケールや速度場

ことができる。

$$\begin{cases}
 \partial_t (1 - \bar{\rho}^2 \nabla_{\perp}^2) \frac{e\bar{\phi}}{T_e} + v_* \partial_y \frac{e\bar{\phi}}{T_e} + \nabla_{\parallel} \bar{v}_{\parallel} = 0 \\
 \partial_t \bar{v}_{\parallel} - \langle \bar{\nabla} v_{\parallel} \rangle \rho_i^2 \partial_y \frac{e\bar{\phi}}{T_e} = -\bar{c}_s^2 \nabla_{\parallel} \frac{e\bar{\phi}}{T_e}
 \end{cases}$$

ここで、平行速度場、時空間スケールを決めるラーマー半径やサイクロトロン周波数は、主イオンと不純物双方を含む実行的な値を取る(表1)。不安定性を駆動する平行速度場勾配に着目すると、主イオンの速度場に加え、不純物の濃度や不純物そのものの平行方向速度場が不安定性を駆動し得ることがわかる。主イオンと不純物の流れが独立なパラメータとして働くため、SMBI等を用い不純物イオンを方向性を持って入射するなど、一種類のイオンの流れのみを考慮していた場合よりも柔軟な制御が可能となる。講演では、実際の核融合プラズマへの応用や、球状トカマクへの適用について議論する。

謝辞：本研究は科学研究費(21H001066)、応用力学研究所共同研究の支援を受けました。