

均一磁場中のプラズマにおける粒子の乱流ピンチ
Turbulent Pinch of Plasma in a homogeneous Magnetic Field

稲垣滋¹, 佐々木真¹, 小菅佑輔¹, 金史良¹, 山崎広太郎¹, 永島芳彦¹, 山田琢磨², Zhang Boyu¹,
 挾間田一誠¹, 糟谷直宏¹, 藤澤彰英¹

INAGAKI Shigeru¹, SASAKI Makoto¹, KOSUGA Yusuke¹, KIN Fumiyoshi¹, YAMASAKI
 Kotaro¹, NAGASHIMA Yoshihiko, YAMADA Takuma¹, Zhang Boyu¹, HASAMADA Kazunobu¹,
 KASUYA Naohiro¹, FUJISAWA Akihideo¹

¹九州大学応用力学研究所, ²九州大学基幹教育院

¹RIAM, Kyushu University, ²ARTCSI, Kyushu University

近年の磁化プラズマにおける”Turbulent Pinch”の理解の進展が報告されている[1]。 ”Turbulent Pinch”は実験室プラズマでも度々観測されており、我々はこの”Turbulent Pinch”がプラズマの自己組織化と密接に関連している事を示した[2]。これまで密度と磁場の不均一性の結合により励起された乱流による粒子の逆拡散あるいはピンチが議論されてきた[1]。このモデルは核融合プラズマや地球磁気圏プラズマにおける急峻化した密度分布形成の説明に用いられ[3,4]、ダイポール磁場を用いた実験室プラズマにて検証が進んでいる[5]。これらの場合の様に乱流が温度や密度といった熱力学的変数の不均一性ばかりでなく、磁場という外部変数の不均一性で励起される場合、”Turbulent Pinch”が乱流のエネルギー源である不均一性に与える影響は小さい(特に低ベータプラズマにおいて)。一方、乱流が熱力学的変数の不均一性のみで励起されている場合、”Turbulent Pinch”は密度勾配の急峻化を通じて乱流に対して強いフィードバックを生む。このため”Turbulent Pinch”と乱流はセルフコンシステントに決まらなければならない。乱流の中では様々な揺動構造が共存し競合している。この乱流の競合が”Turbulent Pinch”の形成に重要であり、”Turbulent Pinch”に自己組織化的な振る舞いをもたらす。

本講演で我々は”Turbulent Pinch”の自己組織化的な振る舞いについて報告する。九州大学の直線磁化プラズマ実験装置PANTA(ヘリコンソース(4 kW / 7 MHz)を用いてアルゴンプラズマを生成し、0.09Tの均一な直線磁場で閉じ込めている。プラズマ半径 60 mm、プラズマ長は 4 mである。)にて、供給粒子数を調整しプラズマ密度を制御する実験を行った。密度分布は供給粒子数に対して連続的には変化せず、供給粒子数が多い時に急峻化した密度分布が得られ、少ない時は比較的平坦な分布となった。急峻な密度分布

は”Turbulent Pinch”による内向き粒子フラックスによって形成されている。”Turbulent Pinch”は臨界勾配以上の密度勾配領域で観測されており、密度勾配に比例する。通常の電子とイオンの古典拡散を考えると、”Turbulent Pinch”は半径方向外向き拡散フラックスと釣り合っている。この時プラズマの損失は磁力線に平行方向が支配的となる。一方で”Turbulent Pinch”が形成されない場合、有限な外向きフラックスが存在し、損失に関わる表面積の違いから径方向プラズマ損失が支配的と考えられる。平坦なプラズマではドリフト波とその高調波が外向きフラックスを駆動している。臨界条件を超えると、揺動間の競合によりドリフト波が弱くなり、電位揺動が密度揺動よりも強い揺動が突然励起され、内向きフラックスを駆動する。このようにして密度分布と”Turbulent Pinch”に分岐がもたらされる。

今回の発見は磁化プラズマにおける”Turbulent Pinch”を”Self-Organized Turbulent Pinch”へ拡張するものである。また実験的にはこれまでのように”Turbulent Pinch”を密度分布の急峻化と粒子ソース分布から求めているのではなく、プローブにより乱流揺動が駆動する内向き粒子フラックスとして直接観測しているため、より厳密である。この”Self-Organized Turbulent Pinch”は宇宙天気予報、核融合プラズマ開発、産業応用高密度プラズマの生成、プラズマスラスタの開発等で重要である。

[1] J. Weiland, Nat. Phys. **6** (2010) 167.

[2] submitted to Nat. Phys.

[3] C. G. Fälthammar, J. Geophys. Res. **70** (1965) 2503.

[4] K. W. Gentle et. al., Plasma Phys. Controlled Fusion **29** (1987) 1077.

[5] A. C. Boxer, et. al., Nat. Phys. **6** (2010) 207