

高速イオン駆動測地線音波による乱流の捕捉 Trapping of turbulence by fast ion driven geodesic acoustic modes

佐々木真^{1,2}, 伊藤公孝^{2,3}, 糟谷直宏^{1,2}, 小菅佑輔^{1,2},
Maxime Lesur⁴, 伊藤早苗^{1,2}
SASAKI Makoto^{1,2}, ITOH Kimitaka^{2,3}, KASUYA Naohiro^{1,2}, KOSUGA Yusuke^{1,2},
LESUR Maxime⁴, ITOH Sanae-I.^{1,2}

¹九大応力研, ²九大極限プラズマ研究連携セ, ³核融合研, ⁴ロレーヌ大学
¹RIAM Kyushu Univ., ²Research Center for Plasma Turbulence, Kyushu Univ.,
³NIFS, ⁴Lorraine Univ.

近年、ジャイロ運動論シミュレーションにおいて、高速イオン駆動測地線音波（EGAM）による乱流輸送の増加が報告された[1]。このシミュレーションでは、EGAMが駆動されると乱流の増加が起こり、輸送障壁が消失する様子が観測されている。従来、GAMは、流れシアによる乱流抑制効果を持つと考えられてきた[2]。EGAMと乱流との相互作用の理論的理解を拡張する必要がある。

本研究では、波動運動論を基礎に、EGAMの乱流捕捉効果に着目する。EGAMは乱流の非線形結合による駆動力を受けるが、高速イオンに由来する駆動が支配的な場合を考える。EGAMの振幅は高速イオンに由来する非線形効果で決まるとし、パラメタとして扱う。ドリフト波型の乱流を想定し解析を行った。以下で、空間的に一様な乱流の場合と平均流を伴う不均一な乱流の場合についてEGAMによる乱流塊の伝播特性について述べる。

空間的に一様な乱流の場合は、解析的な扱いが可能である。乱流はmarginally stableな場合を想定し、乱流のソースやシンクを無視する場合、EGAMによるドップラーシフトを含む乱流の周波数及び乱流のポロイダル波数が乱流塊の運動定数となる。乱流の径方向波数の値によっては、乱流塊がEGAMに捕捉される。捕捉された乱流塊はEGAMの位相速度で径方向へ輸送される。乱流塊の径方向フラックスは、EGAMの位相速度と捕捉される乱流強度の積で与えられる。

次に、EGAMによる乱流塊の輸送が乱流安定領域でも可能である事を示すため、乱流が空間的に不均一な場合を考える。輸送障壁を模擬するため、平均流を与え、図1のように乱流の不安定領域と安定領域を考える。不安定領域では乱流ソースを与える。乱流の非相関時間は空

間的に一定とする。この状況において波動運動論的方程式の数値シミュレーションを行った。乱流の不安定領域では、乱流塊の捕捉がおき、平均的にはEGAMによる乱流抑制効果が見られた。一方、乱流の安定領域では、不安定領域で捕捉された乱流塊がEGAMによって輸送されてくるため、乱流強度が増加する事が分かった[3]。乱流駆動GAMの場合、乱流の安定領域ではGAMは駆動力がないため遠くまで乱流を運ぶことはできないが、EGAMの場合は駆動源が別にあるため、安定領域へ乱流を運ぶことが可能である。安定領域における乱流塊は、分数関数的な減衰をしながらEGAMの位相速度で輸送され、非局所的な乱流増加効果をもたらす。EGAMの振幅が大きいほど、これらの傾向は顕著になる。

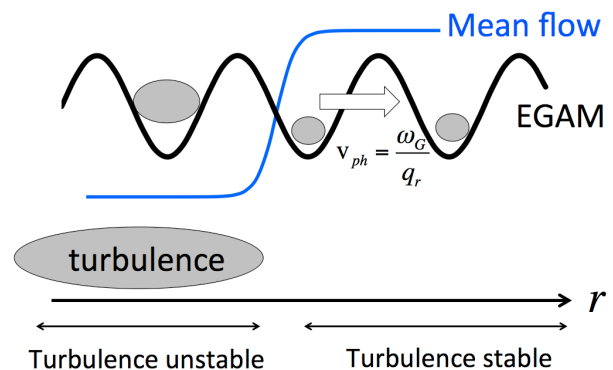


図 1: EGAM による乱流塊の輸送
(不均一乱流の場合)

謝辞: Hallatschek 教授との議論に感謝致します。

- [1] D. Zarzoso, et. al., PRL, **110**, 125002 (2013)
[2] P. H. Diamond, et. al., PPCF, **47**, R35 (2005)
[3] K. Itoh, et. al., J. Plasma Fusion Res. **8**, 119 (2009)