

## 2P02

# プラズモイド不安定性について磁気流体線形理論から言えること Plasmoid Instability viewing from MHD linear theories.

清水 徹  
Tohru Shimizu

愛媛大学 宇宙進化研究センター  
RCSCE, Ehime University, Japan

### Plasmoid Instability (PI):

磁気再結合問題は宇宙プラズマや核融合プラズマにおける大規模かつ高速で急激なエネルギー変換機構を説明するために重要と考えられている。過去60年以上に渡り、磁気流体力学(MHD)における磁気再結合研究は理論と数値シミュレーションの両輪により発展してきた。そして近年、プラズモイド不安定性(PI)と呼ばれる乱流タイプの磁気再結合過程の研究が盛んにおこなわれている。

PIのいくつかのMHD数値シミュレーションによれば、高速で急激なエネルギー変換機構がテアリング不安定の多発による乱流化により起こると考えられている。その一方で、1963年に提唱されたFKR理論(Fruth, Phys.Fluids, 1963)を発展させたLoureiro理論(Loureiro, PoP,2007)により、ランキスト数Sが極端に大きいとき、テアリング不安定の線形成長率がSuperAlfvenicレベルまで大きくなることが指摘されている。それら2つのアプローチから、乱流的なPIモデルは、高速磁気再結合の最有力候補として、従来からあるPetschekモデルを凌駕するほど近年の研究トレンドになっている。

著者はPIのMHD数値シミュレーションを二つのポピュラーな差分スキーム(2stepLW, HLLD)により高精度でおこない、数値散逸がPIにおける磁気再結合過程を人工的に速くしうることを指摘した(Shimizu, PoP2017)。それはつまり、高SにおけるPIの磁気再結合の高速化はPetschekモデルを越えるものではないことを示唆する。さらに、本研究では、Loureiro理論の摂動方程式を磁気中性面側から初期値問題として正しく解くと、FKR理論は無効となり、しかもLoureiroらの示唆に反して、線形成長率がSuperAlfvenicレベルまで大きくなるとは言い切れないことを示す。

### Loureiro Theory :

Loureiroの導出した摂動方程式を以下に示す。

$$\phi'' - \kappa^2 \epsilon^2 \phi = -\kappa f(\xi) \psi + \kappa f^2(\xi) \phi / \lambda + f''(\xi) \psi / \lambda, \quad (3)$$

$$\psi'' - \kappa^2 \epsilon^2 \psi = \kappa \lambda \psi - \kappa f(\xi) \phi. \quad (4)$$

Loureiroらはこれを磁気中性面( $\xi=0$ )と上流側( $\xi=+\infty$ )の境界値問題として解析的に解いた。そこで、FKR理論で提唱された伝統的な仮定をおいた。その仮定は、摂動解が磁気中性面に限りなく局在化する。ただし、FKR理論との違いは、平衡解が厳密に抵抗性MHD平衡になっている。これに対し、著者はその仮定をおかず、式(3)(4)を初期値問題として数値的に解く。その計算例をFig.1に示す。

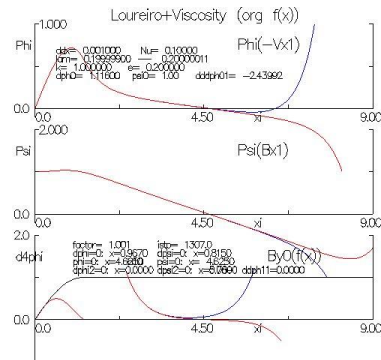


Fig.1:ZeroCross摂動解 $\phi(\xi)$ と $\psi(\xi)$ と平衡解 $f(\xi)$ . 現在は、式(3)(4)に粘性効果を考慮した摂動方程式を解いているが、粘性効果の有無に依らず、線形成長率はSubAlfvenicになる。これはLoureiroの主張に反するが、従来のMHD研究の一般的な予想と矛盾しない。それは少なくとも線形理論ではPIがSubAlfvenicで起こることを意味する。

参考文献 :

T.Shimizu,K,Kondoh,S.Zenitani,PoP,112117,2017.  
T.Shimizu, Asia-Pacific Conf. on Plasma Phys. SGP04, 2018,