

二流体拡張効果を伴う電磁流体モデルによる乱流数値シミュレーション研究

核融合科学研究所 ヘリカル研究部 三浦英昭

電磁流体力学 (MagnetoHydro Dynamics, MHD) 乱流のシミュレーション研究では、往々にしてコルモゴロフ長近辺での短波長成分における散逸が重要な役割を果たす。他方、MHD 方程式は短波長効果 (たとえばイオン表皮長効果、有限ラーマー半径効果など) を無視した近似的な方程式であるため、低衝突プラズマ (たとえば太陽風、核融合など) の乱流では、MHD 方程式は短波長成分を適切に近似することができない。このため、特に太陽風などを念頭においた乱流シミュレーションでは、Hall 項など二流体効果を導入することで MHD 方程式を拡張したモデルがしばしば用いられる。本課題では、Hall MHD 乱流による渦構造の変化をテーマに研究を進めている。

一様等方 MHD 乱流と Hall MHD 乱流の直接数値シミュレーションを実施し、その空間構造を比較した。格子点数は 1024^3 、粘性係数、抵抗係数を無次元化して得られる参照レイノルズ数、ルンドクィスと数はともに 2000 である。時間刻みは両者とも同一とし、外力は加えない減衰性の一様等方乱流シミュレーションを実施した。このため、MHD 乱流と Hall MHD 乱流の相違は最終的に Hall 項の有無にすべて帰着される。

直接数値計算の結果、以下のことが分かった。

- ・ Hall 項によって磁気エネルギースペクトルの高波数部分が励起される一方、運動エネルギースペクトルの特に高波数部分はほとんど影響を受けない。

- ・ 渦度の 2 乗 (エンストロフィー密度)、電流密度の 2 乗の等値面の可視化から、渦構造が MHD 乱流によく見られる層状構造 (渦層, 右図) から、Hall 項の影響により、中性流体乱流によく見られる管状渦構造へと構造遷移が発生する。他方で電流層構造は、Hall 項の導入によって微細化するが、構造遷移と呼ぶほどの変化は発生しない。

- ・ Hall 項は波数空間において強い順方向エネルギー伝達をもたらすが、その影響範囲は比較的狭い (波数空間でローカルである)。

これらの成果は、第 13 回ヨーロッパ乱流会議(2013 年 8 月、リヨン)及び第 55 回アメリカ物理学会プラズマ分科会 (2013 年 11 月、デンバー) で報告した。現在、投稿論文を準備中である。

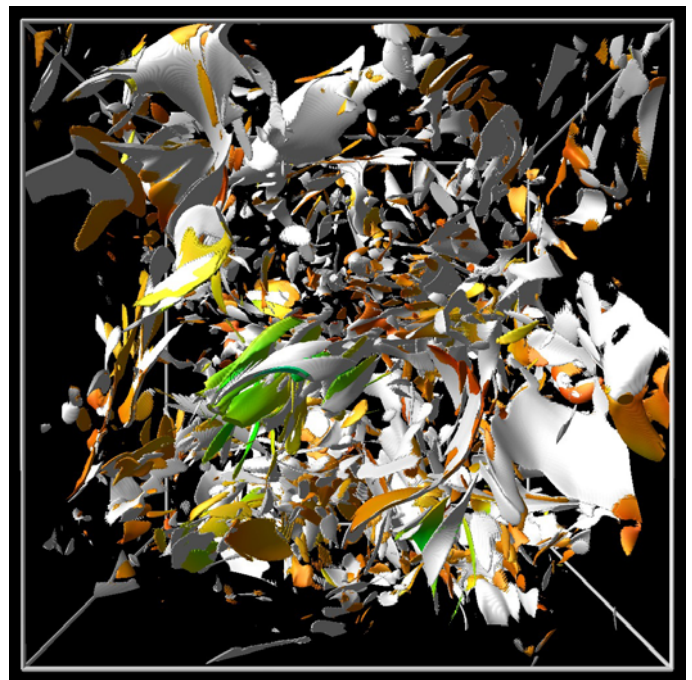


図:MHD 乱流の渦層構造 (色つきの等値面) と電流層構造 (灰色の等値面)。全計算領域の中から 512^3 格子点の領域を表示した。