

Flux tube train モデルを使った乱流輸送シミュレーション Turbulent transport simulation with flux tube train model

渡邊智彦¹⁾, 前山伸也¹⁾, 洲鎌英雄²⁾, 石澤明宏³⁾, 沼波政倫²⁾, 仲田資季²⁾, 朝比祐一⁴⁾
T.-H. Watanabe¹⁾, S. Maeyama¹⁾, H. Sugama²⁾, A. Ishizawa³⁾, M. Nunami²⁾, M. Nakata²⁾,
and Y. Asahi⁴⁾

¹⁾名大院理, ²⁾核融合研, ³⁾京大院エネ科, ⁴⁾原子力機構
¹⁾Nagoya Univ., ²⁾NIFS, ³⁾Kyoto Univ., ⁴⁾JAEA

磁場閉じ込めプラズマにおける乱流輸送過程を解析する有用な手法として、ジャイロ運動論的シミュレーションが行われてきた。プラズマサイズに比べ十分小さなジャイロ半径で特徴付けられる乱流揺動のシミュレーションには、磁力線に沿った微小領域を扱うフラックス・チューブ・モデル[1]が有効であり、これを用いてジャイロ運動論的シミュレーション・コードGKVが開発された[2]。一方、磁力線方向に長い相関長をもつ乱流揺らぎが発生する場合、従来のモデルでは、磁場方向にシミュレーション領域を長くとる必要がある。この時、磁気シアにより揺らぎの垂直方向波数が増大するために時間ステップ幅への制約が厳しくなること、およびバレーニング表示に関連した対称性が破れやすいこと、などの問題がある。こうした数値計算上の難点を克服するため、我々は、従来のフラックス・チューブ・モデルを拡張した新しいモデル、フラックス・チューブ連結(flux tube train)モデル、を開発してきた[3]。新しいモデルは、磁力線方向に長い相関長をもつ乱流揺動を扱う場合に有効であり、上述の数値的な困難を克服することができた。

この新しいモデルを低磁気シア($s=0.2$)の円形トカマク配位に適用し、トロイダルITG乱流のシミュレーションを行った結果を図1および2に示す。この例では、統計的な対称性の良い乱流が実現され(図1)、8から16本のフラックス・チューブを磁力線方向に連結することで輸送係数も一定値に飽和する(図2)。

上記の例では断熱的な電子応答を仮定していたが、さらにflux tube trainモデルを、運動論的電子を含む系に適用することを試みている。図3にその結果の一例を示す。イオン熱輸送には10%程度の増加が確認されているが、図2の例程顕著な依存性は現れていない。今後、この乱流の飽和機構と合わせ、電子温度勾配乱流への

適用等、より広範な解析を進める予定である。

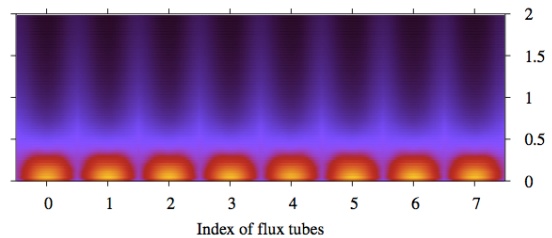


図1: ポテンシャル揺動の θ - k_x 面における分布。イメージモードに対応した各フラックス・チューブにおいて統計的に等価な乱流揺動が発達している [3]。

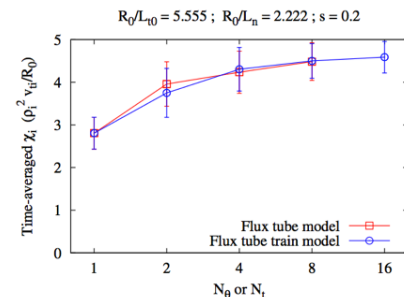


図2: 乱流輸送係数のフラックス・チューブ数依存性 [3]。新しいモデルで輸送係数の収束性が確認された。

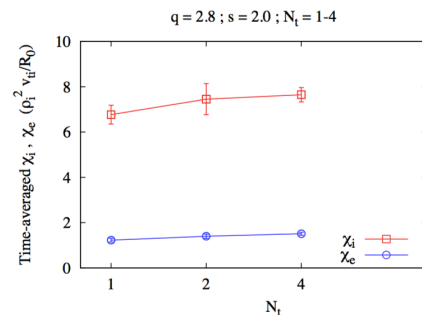


図3: 乱流輸送係数のフラックス・チューブ数依存性。

- [1] M. A. Beer, S. C. Cowley, and G. W. Hammett, Phys. Plasmas **2**, 2687 (1995).
- [2] T.-H. Watanabe and H. Sugama, Nucl. Fusion **46**, 24 (2006).
- [3] T.-H. Watanabe, H. Sugama, A. Ishizawa, and M. Nunami, Phys. Plasmas **22**, 022507 (2015).