

ジャイロ運動論的シミュレーション・コードGKVの現況と今後の拡張 Status of the gyrokinetic simulation code GKV and its future extensions

渡邊智彦¹⁾, 前山伸也¹⁾, 西岡賢二¹⁾, 仲田資季²⁾, 沼波政倫²⁾, 洲鎌英雄²⁾, 石澤明宏³⁾
T.-H. Watanabe¹⁾, S. Maeyama¹⁾, K. Nishioka¹⁾, M. Nakata²⁾, M. Nunami²⁾, H. Sugama²⁾,
and A. Ishizawa³⁾

¹⁾名大院理, ²⁾核融合研, ³⁾京大院エネ科
¹⁾Nagoya Univ., ²⁾NIFS, ³⁾Kyoto Univ.

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手法として、ジャイロ運動論的シミュレーションは、理論研究のみならず、実験解析においても今や不可欠のツールとなっている。我々が開発してきたGKVコード[1]は、局所乱流近似にもとづいて、摂動ジャイロ運動論的方程式を位相空間上の非線形移流拡散方程式として数値的に解くものであり、トカマク配位はもとより、非軸対称性をもつヘリカル型配位にも適用され、プラズマ乱流輸送やゾーナルフロー研究に広く用いられてきた。本発表では、GKVコードの現況のサーベイと、今後の拡張について、物理モデルと数値手法の両面から議論する。

GKVコードの開発当初は、軸対称性をもつトカマク型配位において、静電的なイオン温度勾配(ITG)乱流または電子温度勾配(ETG)乱流やゾーナルフローへの応用がなされてきた。その後、非軸対称磁場配位への拡張、実験に適合した磁場形状の導入、電磁揺動効果を含む拡張が順次なされてきた。さらに近年、運動論的電子や不純物を含む多種粒子成分の導入、より精密な衝突項の採用、などが逐次進められている。こうした一連の拡張により、ITG乱流とETG乱流を同時に含むマルチスケール乱流輸送問題へのアプローチや、軽水素から重水素、三重水素やヘリウム灰を含めた多イオン種プラズマの輸送解析、などが可能となってきた。これらは、従来のコードの適用範囲を拡張し、燃焼プラズマを視野に入れた乱流輸送解析を実現する重要なステップである。

上記の物理研究を実行するためには、数値手法の改良・開発を、物理モデルの拡張と並行して進める必要がある。膨大な計算機資源を必要とするマルチスケール乱流研究には、京をはじめとしたペタスケール計算機への最適化が不

可欠であった。また、局所乱流近似のもとで、得られた数値結果の収束性を確認するために、従来のflux tubeモデルを拡張したflux tube trainモデルが考案され、ITG乱流においてその有効性が確認された。一方、運動論的電子を取り入れた非軸対称配位の計算では、高速な電子運動を分解するために、従来の陽解法では、イオン・電子質量比の平方根倍程度こまかな時間刻み幅が要求される。この数値的な制限を克服するため、分布関数の低次モーメント量を分離した新たな数値積分法を考案し、単純な磁場形状のもとでその原理実証が進められている(下図参照)。今後、これらの新解法をGKVコードに順次取り入れながら、ポスト京計算機に向けた最適化を進める予定である。

- [1] T.-H. Watanabe and H. Sugama, Nucl. Fusion **46**, 24 (2006).

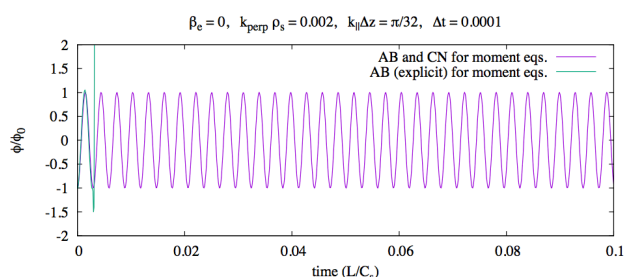


図 1: Inertia Alfvén wave (shear mode)の数値解の例。
陽解法では数値発散する時間ステップ幅においても、
モーメント分離解法を適用した場合に安定に計算が
実行できる。