

研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2007～2010
課題番号：19560828
研究課題名（和文）アルフェン波による帯状流モードの発生機構と非線形ダイナミクス
研究課題名（英文）Generation mechanism and nonlinear dynamics of zonal modes in Alfvénic wave fluctuations
研究代表者
李 継全（Li Jiquan）
京都大学・エネルギー科学研究科・准教授
研究者番号：00437253

研究代表者の専門分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：プラズマ閉込め；安定性と乱流；帯状流モード；乱流輸送；アルフェン波；ジャイロ流体モデル；簡約化MHDモデル；シミュレーション

1. 研究計画の概要

磁場方式による核融合プラズマの研究は JT60 や LHD などのトカマク型装置やヘリカル系装置において精力的に研究され、特にその閉じ込め・輸送特性においては帯状流や空間シアを有するプラズマ流が本質的な役割を果たすことが明らかになってきている。しかし、これまでの研究は、低ベータ値における電磁的ドリフトアルフェン波などの研究を除けば、ミクロスケールの静電的なドリフト波に限られていた。本研究は、低ベータ近似に基づく静電的ドリフト乱流のドリフトアルフェン波への単純な拡張とは異なった非線形アルフェン波の理論に基づいて、高ベータプラズマにおける帯状流や帯状圧力、および帯状磁場などの帯状モードとそれらが乱流や MHD 過程に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。特に、これまで行った微視的乱流における帯状流の挙動に関する知見に基づいて、電磁モードを含む様々なスケールの揺らぎの複雑な非線形相互作用とそれに伴う輸送を理解することを目的に、アルフェン波による帯状モード発生 の物理機構とそれがアルフェン波に与える影響を明らかにすることを目指す。

2. 研究の進捗状況

新しく開発したローカルおよびグローバルなジャイロ流体モデルに基づくシミュレーションコードを用いて、トカマクプラズマにおける GAM モードの半径方向構造とともに、その非線形励起や飽和の物理機構に関する研究を進めた。また、帯状流の無衝突減衰の効果を取り入れたイオン温度勾配 (ITG) モード乱流とそれに伴うイオン系の輸送解析を行うため、従来の 3 場方程式によるジャイロ流体モデルに対する半経験的なクロージャーに対する理論モデルを提案した。このモデルは理論的な予測値や他の運動論に基づく計算結果などともベンチマークを行い、比較されている。また、wave-let 法をジャイロ流体シミュレーションから得られたデータに適用することにより、トロイダル配位において、乱流輸送に重要な役割を果たす GAM は、ITG 揺動の Reynolds 応力に起因する非線形駆動と線形ランダウ減衰やイオン音波との結合の間の競合によって非線形的に励起されることが明らかになった。

5 場のジャイロ流体シミュレーションとモデル解析に基づいて、マクロスケールの抵抗性 MHD モードとイオンスケールの乱流との非線形相互作用を調べた。その結果、(1) ミクロな乱流との非線形相互作用による磁

気島の振動現象、および、(2) MHD モードと ITG モードが混在した磁気島駆動の ITG モード (MITG と命名) として位置づけられる短波長モードを見出し、これらの背後にある物理機構を明らかにした。(1) については、成長する ITG モードの効果をモデル的に導入した 2 場の簡約 MHD 方程式に基づいた解析を行い、ITG モードが作る分極電場に伴い、振動する電磁トルクが生成され、それによってシミュレーションで見出された磁気島の振動が再現されることが分かった。(2) については、H20 年度に基本的な物理機構 (磁気島に伴い複数有理面の出現) を明らかにしたが、さらに、磁気島内における磁場構造とイオン温度分布の凍り付きが破れ、その結果、磁気島内においてもイオン温度勾配が維持され、その結果 MITG モードが励起されることが分かった。

3. 現在までの達成度

本研究課題は、当初の研究計画に沿って順調に進展している。特に、本研究の前半は、主にジャイロ流体モデルと理論モデルによる解析によって、巨視的スケールの MHD モードと微視的スケールの乱流が共存した場合のマルチスケールの相互作用の素過程の解明を進展させた。これらの研究から得た知見に基づいて、今後は、これらの複雑過程をより高精度で再現することができるジャイロモデルに基づくブラソフシミュレーションを行うことにより、マルチスケール乱流の総合的な理解と全体像を明らかにする。

4. 今後の研究の推進方策

これまでのマクロな MHD とミクロな乱流の相互作用にマルチスケールの乱流現象の研究成果に基づいて、今後は、そのような乱流中の帯状流や帯状磁場、帯状圧力などの帯状モードのダイナミクスや構造の詳細についての研究を進展させる。これらの過程は、これまでのジャイロ流体モデルによる解析では不十分であり、このためジャイロ運動論モデルに基づくブラソフコードを開発し、これに基づくシミュレーションにより、本研究に取り組む。平成 20 年度までに、スラブ配位による静電ブラソフコードはすでに開発済みであり、今後、MHD モードに対応できるように電磁コードへと発展させる。また、スケールの異なる電子温度勾配 (ETG) モードとイオン温度勾配 (ITG) モードの双方を含むシミュ

レーション研究も行う予定である。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計 4 件)

1. Jiquan Li, Y. Kishimoto, Y. Kouduki, Z. X. Wang, M. Janvier, Finite frequency zonal flows in multi-scale plasma turbulence including resistive MHD and drift wave instabilities, Nucl Fusion 49, 095007(8pp) (2009) 査読有

2. Z. X. Wang, J. Q. Li, J. Q. Dong, Y. Kishimoto, Generic Mechanism of Microturbulence Suppression by Vortex Flows, Phys. Rev. Letts. 103, 015004(4pp) (2009) 査読有

3. Jiquan Li, Y. Kishimoto, Role of secondary long wavelength structures in the saturation of electron temperature gradient driven turbulence, Phys. Plasmas 15(11), 112504(10pp) (2008) 査読有

4. K. Miki, Y. Kishimoto, N. Miyato, J. Q. Li, Intermittent transport associated with geodesic acoustic mode near the critical gradient regime, Phys. Rev. Letts 99, 145003(4pp) (2007) 査読有

[学会発表] (計 1 件)

Jiquan Li, Y. Kishimoto, Y. Kouduki, Z. X. Wang, M. Janvier, New Characteristics of Zonal Flows in Multi-scale Plasma Turbulence, 22th IAEA Fusion Energy Conference, Geneva, Switzerland, 13-18 October, TH/P8-18 (2008) 査読有