

【基盤研究(S)】

理工系（数物系科学）



研究課題名 磁気圏プラズマの自己組織化 — 磁場によって歪むメトリックの非線形効果

よしだけんしょう
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授 吉田 善章

研究分野：プラズマ科学

キーワード：プラズマ物理学，自己組織化，渦，磁気圏

【研究の背景・目的】

天体磁気圏は宇宙に遍在する典型的な構造でありながら、そこに閉じ込められるプラズマには多様な構造や運動が現れ、未解明のものが多い。それらはしばしば通常の物理的常識に反する「奇妙な現象」として観測され、注目を集めている。私たちは、磁気圏をつくるダイポール型磁場の強い非一様性のために生じる「時空の歪み」によって、こうした現象を引き起こされると考えている（図1）強い勾配をもつ磁場が与えられると、荷電粒子が感じる時空のメトリックが歪む。このことで、一様な磁場中では縮退しているプラズマの性質が発現する。その物理的特性を理解し、様々な応用に繋げることが本研究の目的である。とくに磁気圏型配位の中で高ベータプラズマの閉じ込めが自己組織化されることが実験的に示され、そのメカニズムが解明されるならば、高性能の核融合プラズマ閉じ込め、とりわけ $D-^3He$ の燃焼を可能にする先進的核融合の研究に道が開かれる。

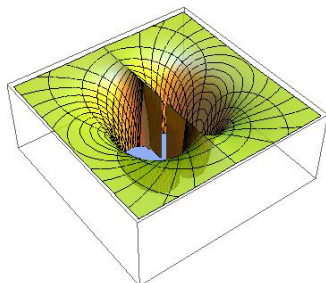


図1. ダイポール磁場の近傍で荷電粒子が感じる時空のメトリック。

【研究の方法】

東京大学において開発された RT-1 は「地上の磁気圏プラズマ」を作り出す実験装置であり（図2）、電子サイクロトロン加熱(ECH)によるプラズマでは超高ベータプラズマの高性能閉じ込め（電子温度 $\geq 10\text{keV}$ 、電子密度 $\leq 10^{17}\text{m}^{-3}$ 、電子ベータ ≥ 0.7 、エネルギー・粒子閉じ込め時間 $\geq 0.5\text{s}$ ；同時データ）を実証している。

本研究では、RT-1 実験装置を用い、高電子温度プラズマに対して①イオンサイクロトロン加熱(ICH)を行い、電子とイオンの双方が高い温度・ベータ値・閉じ込め時間をもつプラズマを実現する。ICHにおける非線形磁気ビーチ効果を検証するため、②プラズマ内部の高周波電場をポッケルスプローブで直接計測する。プラズマの特性を評価する無次元数は、宇宙・天体プラズマに匹敵する領域に達し、その実験室シミュレーションとなる。イオンの高ベータ化で反磁性効果が顕著とな

り、高速（Alfvén Mach 数 $\sim(\beta_{\text{ion}})^{1/2}$ ）で回転する渦構造を形成する。このとき磁化した粒子の内向き拡散（自発的閉じ込め）が生じることを③プラズマ内部の密度、イオン温度、イオン流速、電子温度、密度揺動の計測によって検証する。また高ベータ平衡の安定性を検証する。



図2. RT-1 プラズマ実験装置。超伝導マグネットを磁気浮上させ、磁気圏型配位を形成して1億度を超える超高温プラズマを閉じ込める。

【期待される成果と意義】

磁気圏型プラズマは、トカマクやヘリカルなど従来の核融合プラズマ装置とは全く異なる領域に位置づけられ、内向き拡散や悪い曲率磁場による安定閉じ込めなど常識に反する現象が起こる。いうまでもなく磁気圏型配位は宇宙の典型的構造であるから、この領域における物理現象を解明することの学術的な意義は大きい。本研究が明らかにしようとしている現象は、一様な磁場中では縮退しているプラズマの根本的な性質の発現であり、効率的なプラズマ生成・閉じ込めに応用でき、先進的核融合に道を開く先駆的な学術研究となる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

1. Z. Yoshida, H. Saitoh *et al.*; Magnetospheric vortex formation: self-organized confinement of charged particles, *Phys. Rev. Lett.* **104** (2010), 235004 1-4.
2. S.M. Mahajan and Z. Yoshida; Twisting space-time-Relativistic origin of seed magnetic field and vorticity, *Phys. Rev. Lett.* **105** (2010), 095005 1-4.

【研究期間と研究経費】

平成23年度－27年度
81,800千円

【ホームページ等】

<http://www.ppl.k.u-tokyo.ac.jp/>