

低域混成帯ドリフト波不安定性における磁場湾曲の効果

Effects of magnetic curvature on the lower-hybrid-drift instability

上野 玄太[1]

Genta Ueno[1]

[1] 京大・理・地球物理

[1] Department of Geophysics, Kyoto Univ.

中村の軌道積分法 (Nakamura [1997]) を用いて、背景磁場が湾曲を正確に考慮した低域混成帯ドリフト波不安定性 (LHDI) の垂直伝搬電磁モードの線型分散関係を求めた。その結果、以下のことがわかった。

(1) 湾曲が強くなると LHDI の線型成長率は増加するが、さらに湾曲を強くすると成長率は減少する [重力ドリフト近似では湾曲に対して成長率は単調増加]。

(2) 湾曲が強くなると、最大成長を与える波数は単調減少 [重力ドリフトでは単調増加]。

(3) 湾曲ドリフトが成長率を増加させるのは、磁場勾配ドリフトも存在しているときである。

(4) 湾曲の効果はプラズマベータが高い場合に現れやすい。

1970年代から80年代にかけて精力的に研究された低域混成帯ドリフト波不安定性 (LHDI) が、近年の Geotail 衛星などによる高分解能の電磁波の観測や磁力線再結合の3次元粒子シミュレーションによって再び脚光を浴び始めている。LHDIとは、背景磁場の強度に空間勾配があるような場所で電子の磁場勾配ドリフトと波の共鳴により成長する不安定性である。これは主にプラズマ閉じ込め装置を対象としていたが、地球物理学の対象として同様な条件設定を持つプラズマシート境界層での励起の可能性も示唆されてきた。高分解能の観測結果はLHDIの理論との詳細な比較を可能にしたが、理論の側を観測状況を踏まえてより現実的なものにすることが必要となってきた。その現実化の一つが背景磁場の湾曲を考慮することである。例えば磁気圏近尾部では、空間勾配を持つ反転磁場に加えて北向きの縦磁場が存在し、無摂動磁場としては勾配と湾曲が同時に存在するものを考えなくてはならない。

磁場が湾曲していると電子は湾曲ドリフトを行うが、過去の研究ではこれを重力ドリフト (つまり粒子速度に依存しないドリフト) と近似して線型ブラソフ方程式を解き、そこから線型分散関係が求められていた。一方で、この近似の仕方では湾曲ドリフトと波の共鳴を正しく再現しないとの定性的予測の研究もあり、湾曲ドリフトは湾曲ドリフトそのものとして扱わなくてはならないことも指摘されてきた。ところが、無摂動軌道に湾曲ドリフトが登場すると、従来知られている「無摂動軌道に沿って積分」する方法で線型ブラソフ方程式を解くことは実質上不可能であった (だからこそ重力ドリフト近似で押されてきたとも考えられる)。

しかし最近、中村 [1997] により、線型ブラソフ方程式の別解法が発表され、この解法によれば湾曲ドリフトが正しく扱った上で摂動分布関数が求められることが示された。そこで本研究では、中村の軌道積分法を用いて、背景磁場が湾曲を正確に考慮した LHDI の垂直伝搬電磁モードの線型分散関係を求めた。その結果、以下のことがわかった。

(1) 湾曲が強くなると LHDI の線型成長率は増加するが、さらに湾曲を強くすると成長率は減少する [重力ドリフト近似では湾曲に対して成長率は単調増加]。

(2) 湾曲が強くなると、最大成長を与える波数は単調減少 [重力ドリフトでは単調増加]。

(3) 湾曲ドリフトが成長率を増加させるのは、磁場勾配ドリフトも存在しているときである。

(4) 湾曲の効果はプラズマベータが高い場合に現れやすい。

参考文献: T. K. Nakamura, Phys. Plasmas 4, 3765 (1997).