

R007-02

Zoom meeting A : 11/1 AM1 (9:00-10:30)

09:45-10:00

地球磁気シースにおける温度異方性によって作られる磁気ミラー構造の Grad-Shafranov リ コンストラクション手法

#島田 稜也¹⁾, 天野 孝伸²⁾, 北村 成寿³⁾, 長谷川 洋⁴⁾

¹⁾東大, ²⁾東大, ³⁾東大・理・地惑, ⁴⁾JAXA・宇宙研

Grad-Shafranov Reconstruction of Magnetic Mirror Structure generated by Temperature Anisotropy in the Earth's Magnetosheath

#Ryoya Shimada¹⁾, Takanobu Amano²⁾, Naritoshi Kitamura³⁾, Hiroshi Hasegawa⁴⁾

¹⁾University of Tokyo, ²⁾Univ. Tokyo, ³⁾University of Tokyo, ⁴⁾ISAS/JAXA

It is well known that perpendicular temperature anisotropy ($T_{\text{perp}} > T_{\text{para}}$) exists particularly for ions in the Earth's magnetosheath region behind the quasi-perpendicular bow shock. The anisotropy is believed to be the origin of magnetic mirror structures and "lion roars", which are electromagnetic whistler waves propagating nearly parallel to the ambient magnetic field. The minimum-B along the magnetic field line of the mirror structure is thought of as the source of lion roars. However, in general, it is a difficult task to identify the minimum-B and the distance from it from in-situ spacecraft observations alone. In this study, we introduce the Grad-Shafranov (GS) reconstruction technique with the effect of temperature anisotropy for obtaining assumed 2-D magnetic mirror structures to investigate the property of lion roars.

The GS reconstruction is a method to reconstruct a two-dimensional, time-stationary, and magnetohydrostatic structure under the assumption of isotropic plasma pressure from one-dimensional (time-series) data obtained by in-situ spacecraft measurement. The GS reconstruction technique has been extended to include the effect of temperature anisotropy (Sonnerup et al., 2006), which can be used to reconstruct the magnetic mirror structure in the magnetosheath. However, the validity of assumptions adopted in the extended models has not been confirmed yet and applications to actual spacecraft observation are very limited at present.

For application to actual observation data, the determination of an invariant axis is necessary. For the determination, we use the Minimum Direction Derivative (MDD, Shi et al., 2005) method which requires simultaneous multispacecraft measurements. We will use the four-spacecraft MMS observation data for this purpose and try to reconstruct the magnetic mirror structures in the magnetosheath.

地球磁気圏と惑星間空間の間には bow shock と呼ばれる衝撃波面が存在しており、その下流には磁気シースと呼ばれる領域が広がっている。シース内でも特に準垂直衝撃波の下流では選択的な粒子加熱によって、特にイオンにおいて磁場に垂直方向の温度が平行方向の温度よりも大きくなる温度異方性 ($T_{\perp} > T_{\parallel}$) が発達していることが知られている。この温度異方性のある領域では磁気ミラー構造が発達し、ミラーモードと呼ばれる波動が励起される。このような場の特徴的な現象には lion roars と呼ばれる高周波ホイッスラー波動がある。lion roars を解析する場合に重要になるのは、磁気ミラー構造の中心付近で磁力線に沿った磁場の大きさが最も小さくなる場所 (minimum-B) である。しかしながら観測衛星が必ずしもミラー構造の中心を通るとは限らないため、衛星観測で得られる 1 次元 (時系列) データから minimum-B の空間分布を特定することはできない。衛星の観測データから磁場構造を再現するためには Grad-Shafranov(GS) リコンストラクションという手法が必要になるが、温度異方性のある場における正しいモデルはまだ確立されていない。本研究では実際の磁気シースへの GS-リコンストラクションの適用とその妥当性を考える。

Grad-Shafranov(GS) リコンストラクションとは、2 次元・時間定常・圧力等方・磁気圧力平衡状態であるプラズマ構造を、その内部を通る衛星が観測した時系列データから再現するための解析的手段である。具体的には GS 方程式と呼ばれる微分方程式を観測データを初期値として積分していくことで実行でき、マグネトポーズの観測などに適用されている (Hau & Sonnerup, 1999)。

この GS リコンストラクションを修正しさらにいくつかの仮定を加えることで、磁気ミラー構造のような圧力異方性のある構造に対して拡張することができる。この修正は、プラズマの圧力が磁場に平行・垂直の二方向とも磁場の大きさにのみ依存するという仮定 (Teh, 2019) や、二重断熱近似 (Sonnerup et al., 2006) を用いて GS 方程式を書き直すことで実現できる。このようにして拡張した GS リコンストラクションを地球の磁気シースのように実際に異方性のある場へ適用することで、2 次元平面上で磁力線に沿った minimum-B (磁気ミラー場においてはボトル構造の中心) を特定することができる。これを利用して、観測位置と lion roars の発生源と考えられている minimum-B との距離を推定し、ホイッスラー波動の伝播に制約を与えることが可能になる。しかしながら、上記いずれの仮定についても磁気ミラー構造のリコンストラクションにおける妥当性は十分に議論されておらず、慎重な検討が必要である。

実際の観測データを用いた操作を考える場合、リコンストラクションを実行する前に対象となる構造が 2 次元であることを確認し、またその場合の不変軸を決定する必要がある。この確認のために Minimum Direction Derivative (MDD) という手法を用いる (Shi et al., 2005)。この手法は Minimum Variance Analysis (MVA) と同様にパラメータの変動が最も小さくなる方向を探すが、複数の衛星で同時に観測した磁場の値を使用することで磁場に対する不

変軸を各時間ごとに定めることができる。本研究では 4 機編隊から成る MMS 衛星の観測データを用いて磁気シースで観測された磁気ミラー構造の不変軸を決定し、そのリコンストラクションを試みる。