

## Grad-Shafranov 方程式による太陽風磁気ロープの再構築の新方式

#丸橋 克英<sup>1)</sup>, 塩田 大幸<sup>1)</sup>, 久保 勇樹<sup>1)</sup>, 長谷川 洋<sup>2)</sup>, 徳丸 宗利<sup>3)</sup>

(<sup>1)</sup> 情報通信研究機構, (<sup>2)</sup> 宇宙科学研究所, (<sup>3)</sup> 名古屋大学宇宙地球環境研究所)

## A New Method for Grad-Shafranov Reconstruction of Interplanetary Magnetic Flux Ropes

#Katsuhide Marubashi<sup>1)</sup>, Daikou Shiota<sup>1)</sup>, Yuki Kubo<sup>1)</sup>, Hiroshi Hasegawa<sup>2)</sup>, Munetoshi Tokumaru<sup>3)</sup>

(<sup>1)</sup>NICT, (<sup>2)</sup>ISAS/JAXA, (<sup>3)</sup>ISEE)

**INTRODUCTION:** The interplanetary magnetic flux ropes (IFRs) have long been studied from the viewpoints that they are main drivers of strong geomagnetic storms, and that they provide information on the generation mechanism of CMEs. It is a key in such studies to determine the 3-D geometries and the internal magnetic field structures of IFRs. In order to challenge the problem, the following two analysis methods are commonly used: (1) fitting of observed magnetic fields to force-free models (FF method), and (2) reconstruction of IFRs based on the Grad-Shafranov equation (GS method). These analysis methods were developed from different view-points, and thus have both merits and demerits of each. We present here a new method for significant improvement of the GS method, which have been developed with the aid of knowledge from the FF method.

**OUTLINE OF THE METHOD:** The GS method is attractive in that no assumption is needed for the shape of the IFR cross-section. However, it needs magnetic field distribution along a line which is used as a boundary condition for calculating the spatial structure of the IFR. This raises a difficulty in analyzing the observed IFRs, because the data obtained from spacecraft are generally combination of spatial and temporal variations. While a theory was published to resolve this difficulty by Hasegawa et al. (JGR, 2014), the method has not been applied to sufficient number of IFR events. On the other hand, the FF method is designed aiming to reproduce the observed spatial-temporal variations by using time-varying IFR model structure. Therefore, it is expected that the results from the FF method can provide the purely spatial variations of IFR magnetic fields at any fixed time. We developed a method to derive the spatial field change along the spacecraft orbit for IFRs expanding in a self-similar fashion.

**RESULT:** We applied the new method to a test data-set: the field variation to be observed when the spacecraft passes through the expanding axisymmetric IFR model. The result shows the axisymmetric structure is retrieved from the virtually asymmetric time-variation of the test data-set.

**CONCLUSIONS:** We need to test the applicability of the method to data from real observations. Judging from the fact that there are many IFR events which can be reproduced by the expanding cylindrical model, the applicability should be assured by such tests. (While such an attempt is not made as of now, some results will be shown in the presentation in the conference.)

(序) 太陽風磁気ロープ (IFR) は、強い磁気嵐の駆動源として、またコロナガス噴出機構の手がかりをあたえるものとして、広く関心をもたれている研究課題である。IFR の 3 次元形状と内部磁場構造を決めることが重要なカギである。太陽風磁場の観測からこの問題にとりくむ二つの代表的な解析法として (1) force-free 磁場モデルを使った model-fitting (FF モデル法) と (2) 二次元的な磁場に適用される Grad-Shafranov (GS) 方程式から磁場構造を再構築する解析 (GS 法) がある。この二つの解析法はそれぞれ少し異なる視点から考案されたものであり、それぞれ優れた部分と劣った部分がある。この講演では、FF モデル法の知見をとり入れて新方式の GS 法を開発する試行結果について発表する。

(新方式の概略) GS 法は IFR の断面形状を仮定しない魅力的な方法であるが、空間構造を求めるには、ある時刻における磁場の 1 次元空間変化が必要である。しかしながら、IFR の構造が時間的に変化している場合、衛星観測では時間的変化と空間的変化の合成である。この問題に対処する理論が考案されているが (Hasegawa et al., JGR, 2014) 十分な成果をあげていない。これに対して FF モデル法は、観測される時間的・空間的変化を再現するように、時間的に変化する IFR 構造を求めている。この結果が正しければ、その結果を利用して GS 法に必要なある瞬間における 1 次元空間変化のスナップショットを算定することができる。ここでは、適当な FF モデルを衛星が通過したときに観測する磁場変化を仮想観測データとして扱い、新方式の適用性を確認する。新方式は IFR が自己相似的に膨張しているとの想定で、その効果を差し引くことで時間的変化を除去するものである。

(結果) IFR の膨張は観測される磁場構造の時間的非対称性の説明として一般に受け入れられているが、非対称性の強い IFR の解析は GS 法では扱いにくいものである。新方式によって膨張の効果を除去した結果、軸対称な磁場構造が再現され、はじめに仮想データによく一致する結果になる。

(結言) force-free の IFR からつくった仮想的な IFR 磁場変化に対して新方式を採用した結果、はじめに与えたモデルがうまく再現された。実際に観測された IFR の事例についての解析にはまだ着手していないが、FF モデル法で観測結果がうまく再現できる IFR の事例が多い事実から考えて、新方式の有用性が確認されると期待している。