

R009-08

Zoom meeting D : 11/1 AM2 (10:45-12:30)

11:15-11:30

Euler potential を用いた木星磁気圏磁場モデル

#桃木 尚哉¹⁾, 藤 浩明²⁾

¹⁾京都大学・大学院・理学・地惑,²⁾京都大学・大学院・理学・地磁気センター

Magnetic field models of Jovian magnetosphere using Euler potentials

#Naoya Momoki¹⁾, Hiroaki Toh²⁾

¹⁾Earth and Planetary Sciences, Kyoto Univ.,²⁾DACGSM, Kyoto Univ.

Since the first observation by Pioneer 10 in 1973, observations around Jupiter have been carried out by several spacecrafts up to the currently operating Juno, and thus magnetic field data have also accumulated. One of the main researches on them is the magnetic field modeling in and around Jupiter, which is divided into the Jovian intrinsic and magnetospheric field models.

Many magnetospheric field models have followed a procedure in which current systems are placed within the magnetosphere or on the magnetopause. The current sheet is considered as a typical current system of the former. The model by Connerney et al. [1981] is a good example in the early stage, and the magnetospheric field was calculated assuming a current sheet in the azimuthal plane on the Jovigraphical equatorial plane. There are also many studies on the shape of the current sheet such as Goertz [1981] and Khurana and Schwarlz [2005], and it eventually became a consensus that the current sheet changes its shape due to the tilt of the magnetic dipole, the delay from Jovian co-rotation, and the solar wind.

In this study, we adopted the formulation by Khurana [1997] as a magnetic field modeling method, and redetermined the Jovian magnetospheric field model including the data by Galileo and Juno obtained after the publication of Khurana [1997].

The adopted modeling method consists of two steps: (1) approximation of the current sheet by a hinge model, and (2) construction of the magnetospheric model by the Euler potentials. (1) was adopted by Khurana [1992]. The current sheet was assumed perpendicular to the magnetic dipole in the vicinity of Jupiter, and perpendicular to Jupiter's rotation axis when it is away from Jupiter in the anti-sun direction. It also included the delay of the co-rotation of both plasma and current sheet caused by the radial movement of the plasma. When a spacecraft crosses the current sheet, the radial magnetic component is expected to be zero. So, we first estimated crossing points using the observed data. Then, 3 parameters of the hinge model were determined by a least square method to give the best fit to the observed crossing points. (2) is the modeling method adopted by Khurana [1997], in which the hinged current sheet model by Khurana [1992] is included. The magnetospheric field itself was formulated using two Euler potentials.

Since the magnetic field vector, \mathbf{B} , is solenoidal, it can be expressed by two scalar functions. \mathbf{B} can be expressed in the form of $\nabla f \times \nabla g$ by setting the magnetic vector potential, \mathbf{A} , as $f\nabla g$ where f and g are the Euler scalar potentials. The magnetic field lines satisfy $f=\text{const.}$ and $g=\text{const.}$ The first Jovian magnetic field model using the Euler potentials appeared in Goertz et al. [1976], which became a prototype of the Khurana's [1997] model. In their model, both intrinsic and magnetospheric magnetic fields were expressed by the Euler potentials. In Khurana [1997], however, only the magnetospheric field was expressed by the Euler potentials, and an existing model was adopted for the intrinsic field. In this study, we also adopted the latest model of Jupiter's intrinsic field by Connerney et al. [2018], i.e., JRM09.

Specifically, since the observed data can be considered as a sum of the intrinsic and magnetospheric fields, we subtracted JRM09 from the observed data in advance, and defined the residual as the observed magnetospheric field. Using the residuals, 14 model parameters of the two Euler potentials were determined by another least square method.

In the presentation, we will also argue comparison of averaged magnetospheric field models for each of the three legendary periods, viz., pre-Galileo, Galileo and Juno to confirm whether there are secular changes in the Jovian magnetospheric field in nearly half a century from Pioneer 10 to Juno. We will further discuss whether seasonal changes (w.r.t. orbital positions of Jupiter) and changes due to solar activities during each period exist or not.

木星圏では、1973年にPioneer10による初観測以来、現在運用中のJunoに至るまで幾つかの探査機による観測が行われ、磁場データが蓄積されてきた。これらの磁場データを用いた主な研究成果の一つに木星圏の磁場モデリングがあり、それらは木星固有磁場モデルと磁気圏磁場モデルの二つに大別される。

磁気圏磁場モデルは、磁気圏内または圏界面上に電流系を置いて磁気圏磁場を計算するという手順のものが多く、カレントシートが代表的な電流系として議論される。Connerney et al. [1981]によるモデルが初期における典型例であり、木星の地理的赤道面上を方位角方向に流れるカレントシートを仮定し、磁気圏磁場の計算を行っている。また、Goertz [1981]やKhurana and Schwarlz [2005]などカレントシートの形状に関する研究も多く存在し、カレントシートは磁気双極子の傾き、木星共回転からの遅れ、太陽風などによる影響により時間変化するものとして捉えられるようになった。

そこで本研究では、磁場のモデリング手法として、Khurana [1992]によるカレントシートモデルに Euler potential を組み合わせた Khurana [1997]の定式化を採用し、この論文の発表後に取得された Galileo と Juno のデータを含めて木星磁気圏磁場モデルを再決定した。

採用したモデリング手法は、(1)カレントシートの蝶番モデルによる近似、(2)Euler potential による磁気圏モデルの構築、の二段階からなる。(1)は Khurana [1992]で採用されたものであり、カレントシートは木星の近傍で磁気双極子に垂直に、木星から反太陽方向へ離れると木星の自転軸に垂直(おおよそ太陽風に平行)になると仮定している。また、プラズマが動径方向へ移動することによって起こるプラズマ及びカレントシートの木星共回転からの遅れも含んでいる。探査機がカレントシートを通過する際には、磁場の動径方向成分が零となることが予想され、観測データから得られた動径方向成分の零点(シート通過点)と、モデルから計算されるシート通過点が最も良く合う3個のモデルパラメータを最小二乗法により決定した。(2)は Khurana [1997]において採用された磁場モデル法で、モデル中に Khurana [1992]によるカレントシートモデルを既知のものとして含め、二つの Euler potential を用いて磁気圏磁場を計算した。

磁場ベクトル \mathbf{B} は、非発散であることから二つのスカラー関数を用いて表現することができる。磁場ベクトル $\mathbf{B}=\nabla\times\mathbf{A}$ を与えるベクトルポテンシャル \mathbf{A} を二つのスカラー関数 f, g を用いて $\mathbf{A}=f\nabla g$ と置くことにより、磁場ベクトルは $\mathbf{B}=\nabla f\times\nabla g$ という形に表現できる。この f, g を Euler potential と呼び、磁力線は $f=\text{const.}$ かつ $g=\text{const.}$ を満たす。Euler potential を用いた他の木星磁場モデルとしては、Khurana [1997]モデルの原型である Goertz et al. [1976]が挙げられる。Goertz 他のモデルでは、固有磁場と磁気圏磁場はどちらも Euler potential を用いて表現されたが、Khurana [1997]では磁気圏磁場モデルのみを Euler potential で表現し、固有磁場については既存のモデルが採用された。特に本研究では、Connerney et al. [2018]による最新の木星固有磁場モデルを採用することとした。

具体的には、元データは、固有磁場と磁気圏磁場の和であると考えられるので、元データから Connerney et al. [2018]による木星固有磁場モデルをあらかじめ差し引き、残差を外部電流系による磁場、すなわち磁気圏磁場モデルに対応する観測磁場であると定義した。この残差を用いて Euler potential を表す14個のモデルパラメータを最小二乗法により決定した。

本講演ではさらに、pre-Galileo, Galileo, Juno の3期間それぞれにおいて平均的な磁気圏磁場モデルパラメータを求め、それらの比較から Pioneer10 から Juno に至る半世紀近いデータの蓄積により得られた木星磁気圏磁場に、経年変化が存在するかどうかを併せて議論する。加えて、各期間中に季節変化(木星の公転軌道位置)や太陽活動度による変化があるかどうかについても議論する。