

電離圏ポテンシャルソルバーによる木星内部磁気圏電場の太陽風応答の研究

寺田 綱一郎 [1]; 埜 千尋 [2]; 寺田 直樹 [3]; 笠羽 康正 [4]; 北 元 [5]; 中溝 葵 [6]; 吉川 顕正 [7]; Ohtani Shinichi[8]; 土屋 史紀 [9]; 鍵谷 将人 [10]; 坂野 井 健 [11]; 村上 豪 [12]; 吉岡 和夫 [13]; 木村 智樹 [14]; 山崎 敦 [15]; 吉川 一朗 [16]
 [1] 東北大・理・地物; [2] 情報通信研究機構; [3] 東北大・理・地物; [4] 東北大・理; [5] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [6] NICT; [7] なし; [8] なし; [9] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [10] 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター; [11] 東北大・理; [12] ISAS/JAXA; [13] 東大・理; [14] RIKEN; [15] JAXA・宇宙研; [16] 東大・理・地惑

Study of the solar wind influence on the Jovian inner magnetosphere using an ionospheric potential solver

Koichiro Terada[1]; Chihiro Tao[2]; Naoki Terada[3]; Yasumasa Kasaba[4]; Hajime Kita[5]; Aoi Nakamizo[6]; Akimasa Yoshikawa[7]; Shinichi Ohtani[8]; Fuminori Tsuchiya[9]; Masato Kagitani[10]; Takeshi Sakanoi[11]; Go Murakami[12]; Kazuo Yoshioka[13]; Tomoki Kimura[14]; Atsushi Yamazaki[15]; Ichiro Yoshikawa[16]
 [1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] NICT; [3] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [4] Tohoku Univ.; [5] Tohoku Univ.; [6] NICT; [7] ICSWSE/Kyushu Univ.; [8] The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory; [9] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [10] PPARC, Tohoku Univ; [11] Grad. School of Science, Tohoku Univ.; [12] ISAS/JAXA; [13] The Univ. of Tokyo; [14] RIKEN; [15] ISAS/JAXA; [16] EPS, Univ. of Tokyo

The solar wind hardly influences the plasma convection in the Jovian inner magnetosphere ($<30R_J$), because the corotation of magnetospheric plasma dominates the convection there. However, Hisaki satellite observed that the brightness intensity and distribution of the Io plasma torus (IPT) located in the vicinity of Io's orbit ($\sim 6R_J$) changed asymmetrically between the dawn and the dusk sides. Furthermore, it was confirmed that this asymmetric change coincided with a rapid increase in the solar wind dynamic pressure. This asymmetric change can be explained by the existence of a dawn-to-dusk electric field of $\sim 4\text{-}9$ mV/m around Io's orbit [Murakami et al., 2016]. The dawn-to-dusk electric field shifts the position of IPT toward dawn side by $\sim 0.1\text{-}0.3R_J$. The plasma in the IPT is heated adiabatically at dusk and cooled at dawn, which makes the dawn-dusk brightness asymmetry. The following processes have been suggested as a possible cause of the dawn-to-dusk electric field. First, the Jovian magnetosphere is compressed by the increase of solar wind dynamic pressure. Then, the magnetosphere-ionosphere coupling current system is modified, and the field-aligned current (FAC) at the high-latitude ionosphere increases. As a result, the ionospheric electric field increases and penetrates to low-latitude regions. It is mapped to the equatorial plane of the inner magnetosphere along the magnetic field line, and the dawn-to-dusk electric field is created around Io's orbit.

We have constructed a 2-D ionospheric potential solver in order to demonstrate this scenario quantitatively. We use a time-averaged intensity of the total FAC obtained from Galileo observations [Khurana, 2001] and adopt a Gaussian function for its horizontal distribution in a similar way to the Earth's ionospheric model. Also, we model the ionospheric conductivities from collision frequencies, cyclotron frequencies and density distribution in the upper atmosphere. We deduce the collision frequencies from ion- H_2 and electron- H_2 collisions [Tao, 2009]. The intensity of the dawn-to-dusk electric field at Io's orbit depends on the global distribution of the ionospheric conductivities, because Io's orbit connects to the ionosphere at a lower latitude region than the FAC and aurora regions. The limited area of the ionosphere was observed by Galileo and Voyager, therefore we use a Jovian thermosphere-ionosphere-magnetosphere coupling model [Tao et al., 2014] to obtain the global distributions of the ionospheric density. The model considers ionization caused by the solar extreme ultraviolet and aurora electrons precipitation at the downward FAC region to estimate the global conductivity distribution. We use the magnetic field model of Ray et al. [2014] when we map the ionospheric potential to the magnetospheric equatorial plane. This model considers the local time variation of the footprint. This variation is of importance in connecting IPT and ionospheric potential distribution, because the ionospheric potential distributes asymmetrically between the dawn and the dusk sides.

We calculate the ionospheric electric potential distribution and the magnetospheric dawn-to-dusk electric field with the aforementioned FAC and conductivity distributions, assuming that the plasma in the IPT drifts along the equipotential lines. The calculated dawn-to-dusk electric field was an order of magnitude larger than that expected from the Hisaki observations. We consider that this difference would be caused by the uncertainties in the ionospheric conductivities and electron density (cf. Majeed et al. [1999]). Then, we investigated the distribution of the ionospheric electron density that accounts for the dawn-to-dusk electric field intensity expected from Hisaki. We will discuss the influence of these uncertainties on the conductivities and the dawn-to-dusk electric field.

木星内部磁気圏は約 $30R_J$ に至るまでプラズマ共回転が対流を支配する領域で、この領域のプラズマ対流には太陽風の影響が及びにくいとする考え方が一般的である。しかし最近、ひさき衛星搭載の極端紫外線分光器 EXCEED によって、イオ軌道 (約 $6R_J$) の近傍に位置するイオプラズマトーラス発光の強度と分布が朝側・夕側で非対称に変動し、この変動が太陽風の動圧の急激な増加に伴っていることが確認された。この非対称な変動はイオ軌道近傍に $\sim 4\text{-}9$ [mV/m] の朝夕電場がかかることで生じると見積もられている [Murakami et al., 2016]。朝夕電場があることでイオプラズマトーラスが朝側に $\sim 0.1\text{-}0.3R_J$ シフトし、トーラス内プラズマが夕側で断熱加熱を、朝側で断熱冷却を受ける。その結果、イオプラズマトーラスの発光分布の朝夕非対称変動が生じるとされる。ここで、朝夕電場の起源として以下の太陽風影響プロセ

スが生じている。まず太陽風の動圧増大によって木星磁気圏が圧縮される。これにより磁気圏-電離圏結合電流系が変調され、高緯度電離圏へ流入する沿磁力線電流が増大する。その結果、沿磁力線電流によって形成される電離圏電場が増大し、低緯度領域へと拡大侵入する。これが磁力線を介して内部磁気圏赤道面に投影されることで、その深部に位置するイオ軌道近傍にまで朝夕電場が生成される、というものである。

我々は、このシナリオを数値モデルによって定量評価するため、薄層近似を行なった2次元の木星電離圏ポテンシャルソルバーを開発した。沿磁力線電流量には Galileo 探査機などによる時間平均された観測結果 [Khurana, 2001] を用い、その水平方向分布には地球の電離圏モデルで採用されているガウス関数を用いた。また、電離圏の電気伝導度分布は木星超高層領域における荷電粒子の衝突周波数とサイクロトロン周波数および密度の分布から計算した。衝突周波数はイオン-H₂ 衝突と電子-H₂ 衝突を考慮した [Tao, 2009]。イオ軌道は、沿磁力線電流の流入領域やオーロラ発光域よりも低緯度の電離圏と結合するので、その軌道にかかる朝夕電場の強度は電離圏電気伝導度の全球的な空間分布に大きく依存する。Galileo 探査機や Voyager 探査機による電離圏観測は観測領域が限定されていたため、本研究では Tao et al. [2014] の木星熱圏-電離圏-磁気圏結合モデルを用いて熱圏・電離圏の全球的な密度・温度分布を与えた。このモデルは、オーロラ電子の降込みに伴う加熱等を考慮しており、沿磁力線電流の流出入領域である極域の電気伝導度分布をより定量的に求めることが可能である。また、電離圏ポテンシャルの磁気圏赤道面投影には Ray et al. [2014] の磁気圏磁場モデルを用いて、 $6R_J$ に位置するイオプラズマトーラスのフットプリントを求めた。このモデルは磁場フットプリントのローカルタイム変動を加味している。電離圏ポテンシャルは朝夕で非対称に分布するため、ローカルタイム変動を加味することは、イオプラズマトーラスと電離圏ポテンシャル分布の紐付けに有効である。

上記に基づく沿磁力線電流量・電気伝導度の空間分布を用いて、朝夕電場強度の分布とイオプラズマトーラスのシフト量を導出した。ただし、イオプラズマトーラス内のプラズマは等ポテンシャル線に沿ってドリフトするとした。求められた朝夕電場強度は、ひさき衛星から期待される値に比べオーダー 1 桁程度大きくなった。この差は、電離圏電気伝導度や電子密度の推定誤差によるものと考えられる (cf. Majeed et al. [1999])。そこで、今学会では、ポテンシャルソルバーを用いて、ひさき衛星観測が観測した朝夕電場強度を説明しうる電離圏の電子密度分布を導出するとともに、これらの仮定が電気伝導度や朝夕電場に与える影響を評価した結果について報告する。