

令和元年6月11日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K17812

研究課題名(和文) 宇宙望遠鏡と探査機の連携観測による回転磁気圏のエネルギー解放・輸送過程の解明

研究課題名(英文) Energy release and transfer processes of rotating magnetospheres uncovered by combinations of space telescope and explorer

研究代表者

木村 智樹 (Kimura, Tomoki)

東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教

研究者番号：50578804

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、数10MeVに至る高エネルギー粒子加速を駆動する、木星磁気圏の自励的な電磁エネルギーの解放と輸送過程の解明を最終目的とする。本研究は、惑星分光観測衛星「ひさき」、ハッブル宇宙望遠鏡、ジュノー探査機による緊密な連携観測を初めて実施し、木星の高速自転と衛星イオのプラズマ供給が自励的に駆動する、内部駆動型の突発的オーロラ増光の時空間変動を捉えることに成功した。この時空間変動から、高速で回転する木星磁気圏内に蓄積された木星の自転や磁場のエネルギーが、1自転以内に急速に開放され、木星方向に急速に輸送される過程を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で明らかになったエネルギー開放・輸送過程は、中性子星磁気圏など他の回転磁化天体が形成する磁気圏にも普遍的に存在する可能性がある。本研究で得られた知見を他天体に応用すれば、直接探査が不可能な天体における宇宙環境の理解などに寄与する。

研究成果の概要(英文)：Aim of our study is to reveal release and transport processes of electromagnetic energy in Jupiter's magnetosphere, which accelerates plasma particles up to 10s MeV energies. Based on the first-ever coordinated observations with the Hisaki satellite, Hubble Space Telescope, and Juno explorer, we successfully captured spatio-temporal variations in Jupiter's aurora that is 'internally-driven' by Jupiter's rotation and strong magnetic field. The observed variations in the aurora tells us that energies of the rotation and magnetic field stored in the magnetosphere are rapidly released within one rotation and transported toward Jupiter.

研究分野：惑星圏物理学

キーワード：木星 磁気圏 エネルギー開放 オーロラ ひさき ハッブル宇宙望遠鏡 ジュノー探査機

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

回転磁気圏における粒子加速の駆動源の理解は、自転速度と磁場強度で特徴づけられる惑星の高エネルギー宇宙環境を一般的に理解する上で解決すべき課題である。突発的な加速過程として、現在までに「外部駆動源」と「内部駆動源」の2つの説が提案されてきた(Vasyliunas, 1983他)。外部駆動源説は地球等弱磁場天体に普遍的で、太陽風の磁場や圧力の変動が、磁気圏尾部の磁気再結合等の突発的な電磁エネルギー解放をもたらす。このエネルギーが粒子注入や交換型不安定を介して木星近傍へ輸送され、オーロラ粒子加速とそれに伴う放射を駆動する。内部駆動源説は強磁化回転天体に普遍的で、イオのプラズマ質量供給と高速自転に伴う磁場伸展により、自励的に磁気再結合が発生し加速と放射を駆動する。

2つの駆動源の存在を実証するには、太陽風変動と比較しつつ磁気圏全体のプラズマのエネルギーや構造を定量し、エネルギー解放・輸送過程を解明することが鍵となる。2016年、木星探査機 JUNO(NASA)は、未探査領域だった極域を含めた全球その場観測を開始する。これは問題を解決する上で不可欠な全球的な定量ができる初の機会である。しかし、探査機は空間1点観測のため全球の巨視的な時空間変動の分離が困難である。

2. 研究の目的

そこで本研究は、宇宙望遠鏡の遠隔観測による全球的プラズマ測定に注目した。時間連続性や空間分解能に特化した宇宙望遠鏡を組み合わせ、連続的かつ全球的にプラズマ時空間変動を可視化する。これと探査機その場観測を相補的に用い、探査機1点を取り囲む巨視的な時空間構造を制約しつつ、その場観測でプラズマを定量し、全球的なエネルギー解放・輸送過程を解明する事を最終目的とする。

3. 研究の方法

研究代表者は、惑星分光観測衛星「ひさき」とハッブル宇宙望遠鏡による連携観測を初めて実施し、木星の高速自転と衛星イオのプラズマ供給が自励的に駆動する、内部駆動型の突発的オーロラ加速を発見した。本研究では、2016年に観測開始した木星極域探査機 Juno を新たに加え、世界初の遠隔-極域その場同時連携観測から、内部駆動型の粒子加速で鍵となる①自励的エネルギー解放と、木星近傍へのエネルギー輸送過程を解明し、内部駆動形粒子加速の存在を実証する。ひさき-ハッブル宇宙望遠鏡-Juno 探査機の三者連携観測のデータを統合し、オーロラの時空間発展と、木星磁気圏内のその場の磁場・プラズマを網羅的に観測することで、問題の解明に取り組んだ。

4. 研究成果

研究に取り組んだ結果、内部駆動形エネルギー解放に対応する、突発オーロラ発生時刻前後において、木星中間磁気圏の赤道面付近に磁場のエネルギーが蓄積された後、開放されていることを示唆する磁場変動が発見された。また、開放のタイミングと同時に、地球で見られるような惑星方向の磁化プラズマの流れを示唆する磁場・プラズマの変動が見られた。これらは、突発オーロラ発生時に、磁気再結合が木星磁気圏で起こり、磁場のエネルギーが開放され、木星方向に輸送されている可能性を示している。これにより、本研究の目的である、内部駆動形の突発オーロラ時における木星近傍へのエネルギー輸送の実証過程が大きく進んだ。

5. 主な発表論文等

- 1) Tomoki Kimura et al. (2019), Development of ground pipeline system for high-level scientific data products of the Hisaki satellite mission and its application to planetary space weather, Topical Issue "Planetary Space Weather" of Journal of Space Weather and Space Climate, 9, A8, 10.1051/swsc/2019005. (査読あり)
- 2) Tomoki Kimura et al. (2018), Response of Jupiter's Aurora to Plasma Mass Loading Rate Monitored by the Hisaki Satellite During Volcanic Eruptions at Io, Journal of Geophysical Research Space Physics, 123, 1885–1899, doi: 10.1002/2017JA025029. (査読あり)
- 3) Tomoki Kimura et al. (2017), Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft, Special Issue 'Early Results: Juno at Jupiter', Geophysical Research Letters, 44, 4523–4531, doi:10.1002/2017GL072912. (査読あり)

[雑誌論文](計19件)

- 1) Tomoki Kimura et al. (2019), Development of ground pipeline system for high-level scientific data products of the Hisaki satellite mission and its application to planetary space weather, Topical Issue "Planetary Space Weather" of Journal of Space Weather and Space Climate, 9, A8, 10.1051/swsc/2019005. (査読あり)
- 2) F. Tsuchiya et al. (2019), Azimuthal variation in the Io plasma torus observed by the Hisaki

- satellite from 2013 to 2016, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, doi: 10.1029/2018JA026038, in press. (査読あり)
- 3) Kita, H. et al. (2019), Short-term Variation in the Dawn-dusk Asymmetry of the Jovian Radiation Belt Obtained from GMRT and Hisaki EXCEED Observations, *Astrophys. J. Lett.*, 872, L24, 10.3847/2041-8213/ab0427. (査読あり)
 - 4) **Tomoki Kimura** et al. (2018), Response of Jupiter's Aurora to Plasma Mass Loading Rate Monitored by the Hisaki Satellite During Volcanic Eruptions at Io, *Journal of Geophysical Research Space Physics*, 123, 1885–1899, doi: 10.1002/2017JA025029. (査読あり)
 - 5) Suzuki, F. et al. (2018). Corotation of bright features in the Io plasma torus. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 9420–9429. di: 10.1029/2018JA025363. (査読あり)
 - 6) Yoshioka, K. et al. (2018), The influence of Io's 2015 volcanic activity on Jupiter's magnetospheric dynamics, *Geophysical Research Letters*, 45, 19, 10,193-10,199, doi:10.1029/2018GL079264. (査読あり)
 - 7) Clark, G. et al. (2018), Precipitating electron energy flux and characteristic energies in Jupiter's main auroral region as measured by Juno/JEDI, *Journal of Geophysical Research*, 123, 7554-7567, doi:10.1029/2018JA025639. (査読あり)
 - 8) F. Tsuchiya et al. (2018), Enhancement of the Jovian Magnetospheric Plasma Circulation Caused by the Change in Plasma Supply from the Satellite Io, *Journal of Geophysical Research*, 123, 6514–6532, doi: 10.1029/2018JA025316. (査読あり)
 - 9) Hikida, Reina et al. (2018), Identification of Extreme Ultraviolet Emission Lines of the Io Plasma Torus Observed by Hisaki/EXCEED, *Journal of Geophysical Research*, 123, 1723-1731, doi:10.1029/2018JE005629 (査読あり)
 - 10) R. Koga et al. (2018), Spatial distribution of Io's neutral oxygen cloud observed by Hisaki, *Journal of Geophysical Research- Space Physics*, 123, 3764–3776, doi.org/10.1029/2018JA025328. (査読あり)
 - 11) Grodent, D. et al. (2018). Jupiter's aurora observed with HST during Juno orbits 3 to 7. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123, 5, 3299-3319, doi:10.1002/2017JA025046. (査読あり)
 - 12) Tao, Chihiro et al. (2018), Variation of Jupiter's Aurora Observed by Hisaki/EXCEED: 3. Volcanic Control of Jupiter's Aurora, *Geophysical Research Letters*, 45, 71–79, doi:10.1002/2017GL075814. (査読あり)
 - 13) Koga, R. et al. (2018), The time variation of atomic oxygen emission around Io during a volcanic event observed with Hisaki/EXCEED, *Icarus*, 299, 300-307. (査読あり)
 - 14) **Tomoki Kimura** et al. (2017), Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft, Special Issue 'Early Results: Juno at Jupiter', *Geophysical Research Letters*, 44, 4523–4531, doi:10.1002/2017GL072912. (査読あり)
 - 15) Yoshikawa, I. et al. (2017), Volcanic activity on Io and its influence on the dynamics of the Jovian magnetosphere observed by EXCEED/Hisaki in 2015, *Earth, Planets and Space*, **69**, 110, doi: 10.1186/s40623-017-0700-9. (査読あり)
 - 16) Nichols, J. D. et al. (2017), Response of Jupiter's auroras to conditions in the

interplanetary medium as measured by the Hubble Space Telescope and Juno, Geophysical Research Letters, 44, 7643–7652, doi:10.1002/2017GL073029. (査読あり)

- 17) Yoshioka, K. et al. (2017), Radial variation of sulfur and oxygen ions in the Io plasma torus as deduced from remote observations by Hisaki, Journal Geophysical Research Space Physics, 122, 2999–3012, doi:10.1002/2016JA023691. (査読あり)
- 18) Murakami, Go et al. (2016), Response of Jupiter's inner magnetosphere to the solar wind derived from extreme ultraviolet monitoring of the Io plasma torus, Geophysical Research Letters, 43, 12,308–12,316, doi:10.1002/2016GL071675. (査読あり)
- 19) Yoshikawa, Ichiro et al.(2016), Properties of Hot Electrons in the Jovian Inner-Magnetosphere Deduced from Extended Observations of the Io Plasma Torus, Geophysical Research Letters, 43, 11,552–11,557, doi:10.1002/2016GL070706. (査読あり)

[学会発表] (計 2 9 件)

(国際学会、招待講演)

- 1) Tomoki Kimura et al., Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft, P24A-10, American Geophysical Union Fall meeting 2017, New Orleans, US, 11-15 Dec, 2017.
- 2) Tomoki Kimura, Multi-wavelength observations of Jupiter's aurora during Juno's cruise phase, Planetary Space Weather Meeting, Toulouse, France, 9-12, Oct, 2017.
- 3) Tomoki Kimura, Development of Virtual Observatory Database for Hisaki, Planetary Space Weather Meeting, Toulouse, France, 9-12, Oct, 2017.
- 4) Tomoki Kimura, Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft , National Astronomical Observatory of Japan Solar Seminar, 6 Oct, 2017.
- 5) T. Kimura, Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft, Magnetospheres of Outer Planets 2017, Swedish Institute of Space Physics, Uppsala, Sweden, 12-16 June, 2017.

(国際学会、口頭発表)

- 6) Tomoki Kimura, Environment of Jupiter's middle magnetosphere surrounding the icy moons, Symposium on Planetary Science 2019, Tohoku University, Feb 18, 2019.
- 7) Tomoki KIMURA et al., Response of Jupiter's Aurora to Plasma Mass Loading Rate Monitored by the Hisaki Satellite During Volcanic Eruptions at Io, PPS01-15, Japan Geoscience Union 2018, Makuhari, May 20-24, 2018.
- 8) Tomoki Kimura, Status report of Hisaki meta-database development, JSPS Sakura project meeting, Paris Observatory, Sep 5, 2017
- 9) Tomoki Kimura et al., Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft, International Space Science Institute, Sep 11-15, Bern, 2017
- 10) Tomoki Kimura et al., Transient brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approach phase of the Juno spacecraft,

European Planetary Science Congress, EPSC2017-123, Latvia, Sep 17-22, 2017

- 11) **Tomoki Kimura** et al., Auroral explosion at Jupiter observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during approaching phase of the Juno spacecraft, Japan Geoscience Union Meeting 2017, PPS01-03, Makuhari, Japan, May 20-25, 2017.
- 12) **Tomoki Kimura** et al., Response of tail reconnection and energetic event to plasma mass loading monitored by Hisaki, NASA Participating Scientist Program meeting for Hisaki/EXCEED, Boulder, Colorado, US, Jan 25, 2017.
- 13) **Tomoki Kimura** et al., Response of Jupiter's Aurora to Plasma Mass Loading Rate Monitored by the Hisaki Satellite During Io's Volcanic Event, P21E-03, AGU Fall meeting 2016, San Francisco, US, 12 Dec, 2016.
- 14) **Tomoki Kimura** et al., Continuous Monitoring of Jupiter's Aurora and Io Plasma Torus with the Hisaki Satellite: Recent Results and Future Coordination with JUNO, 8th International Workshop on Planetary, Solar and Heliospheric Radio Emissions (PRE VIII), Graz, Austria, Oct 25-27, 2016
- 15) **Tomoki KIMURA**, Substorm like events seen as auroras and their responses to the plasma mass loading from Io, The influence of Io on Jupiter's Magnetosphere, International Space Science Institute Meeting, Sep 26-30, 2016
- 16) **Tomoki Kimura** et al., Synergetic Multi-Wavelength Observation of Jupiter's Magnetosphere Driven by Hisaki: Recent Results and Plans for JUNO Mission, Japan Geoscience Union Meeting 2016, PPS01-13, Makuhari, Japan, May 22, 2016.

(国際学会、ポスター)

- 17) **T. Kimura** et al., Response of Jupiter's Aurora to Plasma Mass Loading Rate Monitored by the Hisaki Satellite During Volcanic Eruptions at Io, B-10, Magnetospheres of Outer Planets 2018, Boulder, Colorado, US, Jul 12, 2018.
- 18) **Tomoki Kimura** et al. Continuous Monitoring of Jupiter's Aurora and Io Plasma Torus with the Hisaki Satellite during Joint Observing Campaign with Juno, P33C-2143, AGU Fall meeting 2016, San Francisco, US, 14 Dec, 2016.

(国内学会、招待講演)

- 19) **木村智樹**、木星のオーロラ爆発、粒子加速勉強会、名古屋大学、4月23 - 24日、2018年
- 20) (基調講演) **木村智樹**、巨大惑星磁気圏研究の現状と将来展望、第19回惑星圏研究会、東北大学、2月27日-3月1日、2018年
- 21) **木村智樹**、リモートセンシングと探査機その場観測の連携で取り組む回轉惑星磁気圏のリコネクションと粒子加速、磁気リコネクション・粒子加速勉強会、東京大学、6月26 - 27日、2017年
- 22) **木村智樹**、Dynamics of Jupiter's aurora unveiled by the Hisaki-JUNO-Hubble collaboration: initial results、Symposium on Planetary Science 2017、東北大学、2月20-22日、2017年

(国内学会、口頭発表)

- 23) **Tomoki KIMURA** et al., Response of Jupiter's Aurora to Plasma Mass Loading Rate Monitored by the Hisaki Satellite During Volcanic Eruptions at Io, R009-05、地球電磁気・地球惑星圏学会 第143回総会・講演会、名古屋大学、11月26日、2018年

- 24) **木村智樹** 他、Brightening of Jupiter's aurora observed by the Hisaki satellite and Hubble Space Telescope during Juno's approach phase、R009-08、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 142 回総会・講演会、京都大学、10月18日、2017年
- 25) **木村智樹** 他、ひさき衛星によるオーロラとプラズマ供給率の連続監視で明らかにする木星サブストームライクイベントの動力学、R009-10、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 138 回総会・講演会、九州大学、博多、11月21日、2016年
(国内学会、ポスター)
- 26) **Tomoki KIMURA** et al., Icy Moon's Interior Uncovered by Modeling of Space Weather with Laboratory Experiment、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 143 回総会・講演会、名古屋大学、R009-P14、11月25日、2018年
- 27) **Tomoki KIMURA** et al., Icy Moon's Interior Uncovered by Modeling of Space Weather with Laboratory Experiment, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会、PPS01-P02、幕張、5月20-24日、2018年.
- 28) **木村智樹** 他、ひさき衛星による木星磁気圏観測とグローバル MHD シミュレーションの連携解析の概要、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 142 回総会・講演会、京都大学、R009-P16、10月16日、2017年
- 29) **木村智樹** 他、ひさき衛星による木星観測と磁気圏グローバル MHD シミュレーションの連携解析、地球電磁気・地球惑星圏学会 第 140 回総会・講演会、九州大学、R009-P23、11月20日、2016年

〔図書〕

なし

〔産業財産権〕

なし

〔その他〕

ホームページ等

- ・ 2017年5月23日理化学研究所プレスリリース 木星オーロラの爆発的増光観測に成功 - 「ひさき」「ハッブル」「ジュノー」の国際連携による成果 -
http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170523_1/

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：埜 千尋 (NICT)、Sarah Badman(Lancaster University)、吉岡 和夫 (東京大学)、村上 豪、山崎 敦 (JAXA)

ローマ字氏名：Tao Chihiro (NICT)、Sarah Badman(Lancaster University)、Yoshioka Kazuo (University of Tokyo)、Murakami Go、Yamazaki Astushi (JAXA)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。