

令和元年6月6日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05567

研究課題名(和文)木星放射線帯の極短期変動現象の研究

研究課題名(英文) Study of extremely short term variations of Jupiter's radiation belt

研究代表者

三澤 浩昭 (Misawa, Hiroaki)

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号：90219618

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：木星放射線帯の高エネルギー電子から放射されるシンクロトロン電波(JSR)の観測から、その強度が1日で10%以上変化し、概して数日スケールで繰り返し起こる「極短期変動現象」が存在することが示されてきた。これは木星放射線帯に、その過程が未知の変動が生じている可能性を示している。本研究は、JSR観測による極短期現象の出現探査と、科学衛星・探査機の観測データの解析に基づく木星磁気圏状態の探査に基づき、極短期変動現象の起源の究明を目的に実施された。この結果、極短期変動現象は、木星の磁気圏尾部で発生する磁気再結合現象と高い相関があり、磁気圏の大規模な変動が最内部に及んでいる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球や木星等の固有磁場を持つ惑星には磁気圏が存在し、その最内部には人類の宇宙活動に危険なレベルの多量の高エネルギー粒子が存在する放射線帯があることが知られるが、この高エネルギー粒子の詳細な変動特性・起源は未解明である。木星の放射線帯粒子は太陽系惑星の中で最大のフラックスとエネルギーレベルにあり、地球と共に、観測に基づく探査が行いやすい対象であるとともに、その探査は、地球との相互比較により、惑星放射線帯の変動特性・起源の理解がより進展することが期待される。また、特に放射線帯粒子の変動特性の理解は、今後更に拡大する人類の安全・安定な宇宙活動の支援にも貢献が期待される。

研究成果の概要(英文)：It is known from ground based observations of their synchrotron radiations that there are quasi-periodic 'extremely short term variations (hereafter ESTV)' of high energy electrons in Jupiter's radiation, whose intensity change is up to several-ten percent within one day and periodicity is generally a few to several days. This study has been performed to reveal unknown processes of ESTV based on observations of Jupiter's synchrotron radiation and analyses of scientific satellite and spacecraft data. As the result, it is shown that ESTV well correlate with magnetic reconnection events occur in Jupiter's outer magnetosphere. This fact suggests that global reconfiguration of Jupiter's magnetosphere affect deep inner region and rapid increase of high energy electrons.

研究分野：惑星磁気圏物理学

キーワード：木星 放射線帯 短期変動 磁気圏 高エネルギー粒子

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

1. 研究開始当初の背景

太陽系で最大のサイズ、且つ、最強の磁場を持つ惑星、木星の内部磁気圏には、フラックスが地球に較べて 2,3 桁大きい MeV 帯の高エネルギー電子が多数存在する。これらの粒子は、木星から数木星半径(R_j)の強磁場域～地球の放射線帯内帯に相当～を主な源としてシンクロトロン電波(Jupiter's Synchrotron Radiation: JSR)を放射している。JSR は、1990 年頃までは年スケールの長期強度変動があるだけの安定した放射と見なされてきたが、90 年代末以降、申請者ら他の精密な観測により、数日～週スケールの短期変動も存在することが示された。この変動は、太陽紫外線照射量変化による木星超高層大気の温度変化が引き金となり、大気-電離圏相互作用の結果生じる誘導電場が粒子の動径拡散に影響し、その結果生じた高エネルギー電子の加速・移動が原因であると解釈されている。一方で、より速い 1 日程度の時間スケールで数 10%以上の強度増減を示す場合があること、この現象が数日スケールで準周期的に発生する場合があることが申請者らにより見出された。このような"極短期変動現象"は、従来、木星放射線帯の高エネルギー電子に対して想定されてきた供給・輸送・消失の時定数に較べて一桁以上速く、その起源の究明が新たな課題になっていた。

2. 研究の目的

“極短期変動現象”の特徴の一つである準周期的な出現特性から、木星磁気圏尾部で準周期的に発生することが知られている磁気再結合現象である“サブストーム状現象(Substorm-Like Event; SLE)”との関連が想起される。そこで本研究では、以下の 2 項目を目的として研究を行った。

(1) 放射線帯の“極短期変動現象”と SLE の関連性の査定。

関連性が確認された場合には、

(2) “極短期変動現象”と SLE とを結ぶ物理過程の究明。

3. 研究の方法

研究目的の達成に向け、以下の方法で研究を進めた。

(1) 地上の大型電波観測施設での JSR 観測と、その解析に基づく“極短期変動現象”の探査。

(2) 科学衛星・探査機の観測データの解析に基づく木星磁気圏状態～SLE 発生 の同定方法の検討と、(1)の実施時期に対する SLE 発生 の探査。

(3) 探査機の観測データの解析に基づく“極短期変動現象”と SLE とを結ぶ物理過程の考察(継続中)。

4. 研究成果

A. JSR の“極短期変動現象”の探査

以下の施設の大型電波観測装置を用いて、1 回あたり 1~5 週間の JSR 強度観測キャンペーンを複数回実施した。

情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター @2.3GHz (約 15MeV の放射線帯電子の情報を反映)

名古屋大学宇宙地球環境研究所 @327MHz (約 8MeV の放射線帯電子の情報を反映)

以上の他に、の観測期間のうち数日に対して、以下の施設で木星放射線帯電波源分布の探索観測を実施した。

インド国立電波天体物理学センター 大型電波干渉計(GMRT)

特に の観測から、日の時間スケールで電波強度が 10%以上変動し、且つ、短期変動の要因となる太陽紫外線変動とは相関性のない JSR 変動が検出され、“極短期変動現象”が観測期間中

に発生したことが示された。尚、 の観測では、観測周波数帯域内に混入する JSR 計測に有害な人工雑音を除去するために、スペクトル計測による新たな JSR 強度評価法の開発も行っている（設備備品費他による）。

B. SLE 発生時期同定方法の確立

A で検出された“極短期変動現象”と、SLE 発生との関係を明らかにするために、JSR 観測期間の、木星磁気圏での SLE 発生を同定する方法を検討し、以下次第でその方法を確立した。

SLE 発生時にその出現強度が増すことが知られている、波長 100 メートル内外の木星起源電波（Jupiter’s Hectometric radiation; HOM）について、24 時間連続で宇宙電波の計測を実施している NASA の WIND 衛星のデータを用い、HOM の同定を実施。

SLE 発生時以外にも出現する可能性がある HOM について、SLE 発生とその出現が一致する成分のみを弁別するために、1996～2003 年に木星磁気圏の周回探査を行った Galileo 探査機のデータを用いて“SLE 関連 HOM”の条件を探索・導出。

から、地球方法に正対する木星磁気経度（中央子午線経度）が或る範囲内であるときに出現する HOM が SLE 発生と高相関を示すことが判明した。このことから、 で同定された HOM に対し、 で導出された SLE 関連 HOM の条件を与えることで、 のデータ中で、太陽起源の強力なバースト性電波により HOM の同定が困難な時期を除いて、木星磁気圏での SLE 発生時期を同定することが可能となった。

C. JSR の“極短期変動現象”と SLE 出現の関連性

B で確立した方法を A の観測期間に適用し、JSR の“極短期変動現象”出現と、SLE 出現の関連性を照合した。この結果、両者の間には関連性が見られ、JSR の“極短期変動現象”は、木星磁気圏での SLE の発生、即ち、磁気圏尾部での磁気再結合発生にともない出現する、グローバルな磁気圏変動の一端である可能性が示唆された。

D. “極短期変動現象”と SLE とを結ぶ物理過程の考察（継続中）

A~C の研究成果により、放射線帯粒子変動と SLE 現象との相関関係が示されたが、両者を結ぶプロセスについて、観測的・理論的研究の先行する地球磁気圏・放射線帯とのアナロジーから考察を進めている。地球の放射線帯(外帯)の場合、サブストーム(インジェクション)時に whistler mode chorus(WMC)波が励起され、短時間で WMC 波が HE 電子の供給を行う可能性が示唆されている。Galileo 探査機のデータ解析から、木星でも 10R_J 付近で WMC 波の活動度が高いことが知られており、10R_J 付近は木星のインジェクション現象の出現域と重なることから、地球と類似のプロセスによる WMC 波発生～高エネルギー電子生成が示唆される。また、この領域では Z-mode 波の活動度が高いことも確認されており、この波動による高エネルギー電子生成の可能性もある。

以上の研究背景に鑑み、極短期変動の発生プロセスに関する一つの仮説、「SLE 発生が引き金となって励起された WMC 波や Z-mode 波等のプラズマ波動が高エネルギー電子加速に寄与し、この電子が、より内側の磁気圏赤道域への急激な移動や、磁力線を介して極域へ移送されることにより JSR が放射、が想定される。本研究では、この仮説の査定を目指し、A~C で見出された SLE 関連の JSR “極短期変動現象”出現時の木星磁気圏のプラズマ波動の活動度とエネルギー粒子フラックスの特性解析を、現在、木星磁気圏を周回探査している JUNO 探査機のデータから探索中である。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌等論文〕(計 4 件)

Misawa, H., F. Tsuchiya and T. Mizuguchi, Expected Source Region of Jupiter’s Hectometric Radiation Relating to Magnetotail Reconnection, Proc. 20th Symposium on

Planetary Science, SPS2019_078, 2019.(査読無)

http://pparc.gp.tohoku.ac.jp/collegium/proc/sps2019/sps2019_078_misawa.pdf

Kita, H., H. Misawa, A. Bhardwaj, F. Tsuchiya, G. Murakami, C. Tao, T. Kimura, K. Yoshioka, A. Yamazaki, Y. Kasaba, I. Yoshikawa, M. Fujimoto, *Astrophys. J. Lett.*, Vol.872, L24(1)-(5), doi:10.3847/2041-8213/ab0427, 2019.(査読有)

Han, S., G. Murakami, H. Kita, F. Tsuchiya, C. Tao, H. Misawa, A. Yamazaki, M. Nakamura, Investigating solar wind-driven electric field influence on long term dynamics of Jovian synchrotron radiation, *J. Geophys. Res.: Space Phys.*, Vol. 123, 9508-9516, doi:10.1029/2018JA025849, 2018.(査読有)

三澤浩昭, 土屋史紀, 水口岳宏, 木星の磁気圏尾部再結合現象に関連するヘクトメートル電波の同定, 第 19 回惑星圏研究会集録, SPS2018_81, 2018.(査読無)

http://pparc.gp.tohoku.ac.jp/collegium/proc/sps2018/sps2018_81_misawa.pdf

[学会発表](計 10 件)

三澤浩昭 他 3 名, Examination of the relation between Jupiter's inner magnetosphere and magnetic reconfiguration events, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019.

三澤浩昭 他 2 名, Expected Source Region of Jupiter's Hectometric Radiation Relating to Magnetotail Reconnection, 第 20 回 惑星圏研究会, 2019.

三澤浩昭 他 2 名, Expected source region of Jupiter's hectometric radio component relating to magnetotail reconnection, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 144 回講演会, 2018.

三澤浩昭 他 2 名, Identification of Jupiter's hectometric radiation associated with reconnection in the magnetosphere, Magnetospheres of Outer Planets 2018 Conference, Boulder(USA), 2018.

三澤浩昭 他 2 名, Identification of Jupiter's hectometric radiation associated with reconnection in the magnetotail, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 2018.

三澤浩昭 他 2 名, Reconsideration of source characteristics of Jupiter's hectometric auroral radio emission, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 142 回講演会, 2017.

三澤浩昭 他 2 名, 木星の磁気圏尾部再結合現象に関連するヘクトメートル電波の同定, 第 19 回 惑星圏研究会, 2018.

三澤浩昭 他 1 名, Variations of Jupiter's auroral radio emission in relation to magnetospheric plasma enhancement event, Magnetospheres of Outer Planets 2017 Conference, Uppsala(SWE), 2017.

三澤浩昭 他 7 名, NICT 鹿島 34m アンテナによる木星シンクロトロン電波の観測, 第 15 回 IVS 技術開発センターシンポジウム, 2016.

三澤浩昭 他 8 名, 木星磁気圏プラズマ変動期における放射線帯電波の観測, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 2016.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：土屋 史紀

ローマ字氏名：(TSUCHIYA, Fuminori)

所属研究機関名：東北大学

部局名：大学院理学研究科
職名：助教
研究者番号(8桁)：10302077

研究分担者氏名：加藤 雄人
ローマ字氏名：(KATOH, Yuto)
所属研究機関名：東北大学
部局名：大学院理学研究科
職名：教授
研究者番号(8桁)：60378982

(2)研究協力者

研究協力者氏名：水口 岳宏
ローマ字氏名：(MIZUGUCHI, Takahiro)

研究協力者氏名：関戸 衛
ローマ字氏名：(SEKIDO, Mamoru)

研究協力者氏名：川合 栄治
ローマ字氏名：(KAWAI, Eiji)

研究協力者氏名：北 元
ローマ字氏名：(KITA, Hajime)

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。