

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 30 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23740369

研究課題名(和文) 磁気嵐時におけるグローバル地磁気変動と電離圏擾乱ダイナモに関する研究

研究課題名(英文) Storm-time global geomagnetic field variation and ionospheric disturbance dynamo

研究代表者

新堀 淳樹 (SHINBORI, Atsuki)

京都大学・生存圏研究所・研究員

研究者番号：30555678

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、磁気嵐の発達、および衰退過程における地磁気の全球的な変動特性と下部熱圏風の変動がもたらす地磁気変動を明らかにするために、高緯度から赤道域の観測点から得られた地磁気と太陽風データを組み合わせた解析を行った。その結果、惑星間磁場の南転によって発生する磁気嵐主相時には領域1型のグローバルな電流系が発達し、その電流系に関連した電場が磁気赤道域に侵入することによって、昼間側磁気赤道で東向きジェット電流を強めていた。一方、惑星間磁場の北転に伴って磁気嵐回復相に入ると、中緯度において領域2型の電流系が卓越し、その電流系がつくる遮蔽電場が昼間側磁気赤道の西向きジェット電流を駆動していた。

研究成果の概要(英文)：In the present study, we analyzed geomagnetic field data obtained from geomagnetic observatories distributed from both the poles and equator together with solar wind data in order to investigate the characteristics of global geomagnetic field and thermospheric wind variations during geomagnetic storms. As a result, during the main phase of geomagnetic storm caused by southward turning of the interplanetary magnetic field (IMF), the region-1 type of ionospheric currents were developed from the polar to middle-latitude regions and the eastward equatorial electrojet (EEJ) current on the dayside was intensified due to penetration of the polar ionospheric electric field to the equator. On the other hand, during the recovery phase of geomagnetic field caused by northward turning of the IMF, the region-2 type of ionospheric currents appeared in the middle-latitude regions. Moreover, the westward EEJ current driven by the region-2 electric field was developed on the dayside during this period.

研究分野：超高層大気物理学、プラズマ物理学、宇宙空間物理学、地球電磁気学

 キーワード：磁気嵐 太陽風 電離圏電場 赤道エレクトロジェット電流 電離圏擾乱ダイナモ 熱圏風 遮蔽電場
 惑星間磁場

1. 研究開始当初の背景

これまでの衛星観測・地上観測から南向きの惑星空間磁場(IMF)と昼間側の地球磁場との再結合過程を通じて生成された大規模な対流電場は、領域1型沿磁力線電流によって極域電離圏に持ち込まれ、その電場が磁気赤道域に侵入することによってグローバルな電離圏電流を駆動することが知られている[e.g., Nishida, 1966, Kikuchi et al., 1996]。この電離圏電流は、DP 2 (disturbance of polar field 2)と呼ばれ、IMFの南北成分の極性に非常によく対応をもつことが知られている。

近年になって地上磁力計や電離圏レーダー観測網が整備され、磁気嵐に伴う全球的な地磁気や電場についての変動特性が明らかになってきた。Kikuchi et al. [2008]は、中緯度-高緯度と磁気赤道の地磁気データを比較することによって、磁気嵐主相の開始とほぼ同時に中緯度で西向きのオーロラエレクトロジェット電流が発達し、磁気赤道では東向きの赤道ジェット電流が増強されるということを示した。また、南向き IMF の弱まりによって磁気嵐の回復相に移行するにしたがって、中緯度で現れていた西向きのオーロラエレクトロジェット電流の強度の衰退とともにその中心が極方向への移動、赤道ジェット電流の反転を報告している。しかしながら、高緯度から赤道域に至る全球的な地磁気データの解析には至っておらず、赤道ジェット電流の反転を引き起こす電流系の正体を観測的に抑えきれていない状況にあった。

また、Zaka et al. [2009]による地磁気擾乱時の電離圏電場変動の統計解析に基づく報告では、複数の地磁気観測点で得られた地磁気データを、数例の磁気嵐イベントに対して解析を行った結果、昼間側赤道域では負の磁場変動が、中緯度域では正の磁場変動が見出され、通常の地磁気日変動とは逆向きの変動をしていることを示している。特に、電離圏擾乱ダイナモと磁気圏起源電場による地磁気変動の大きさはほぼ同程度であることを指摘している。しかし、Zaka らでは、地磁気解析において、単純にDst指数に各観測点の磁気緯度補正を加えたものを差し引いているため非対称環電流の成分を除去できず、サブストームや磁気嵐主相・回復相初期における解析ができないという問題点

が残されている。

2. 研究の目的

ここでは、高緯度から赤道域を網羅している全球的な地磁気データを用いて、磁気嵐時におけるグローバルな地磁気変動の特徴(赤道ジェット電流の変動と領域1型、2型の電流系との対応関係)や中間圏・下部熱圏風の変動について調べる。特に、磁気嵐の主相と回復相時におけるグローバルな地磁気変動特性に着目し、その変動の起源を同定することによって、地磁気変動から推定される電離圏電場の変動メカニズムを解明する。さらに、中間圏・下部熱圏風を観測している大気レーダーなどの風速データの解析を行い、磁気嵐時における熱圏風変動がどの高度領域まで及んでいるかを調べる。

3. 研究の方法

高緯度から赤道域に至る全球的な地磁気変動を調べるために、京大地磁気センター、国立極地研究所、情報通信研究機構、および複数の海外の研究機関が維持・管理している地磁気ネットワーク観測網(IMAGe、

CARISMA、MACCS、GIMA および NSWm)から提供された地磁気1分値データを使用した。用いた地磁気観測点は170点にのぼり、それらを図1に示すようにヨーロッパ域と北米域に集中しているが両極域から赤道をカバーしていることがわかる。

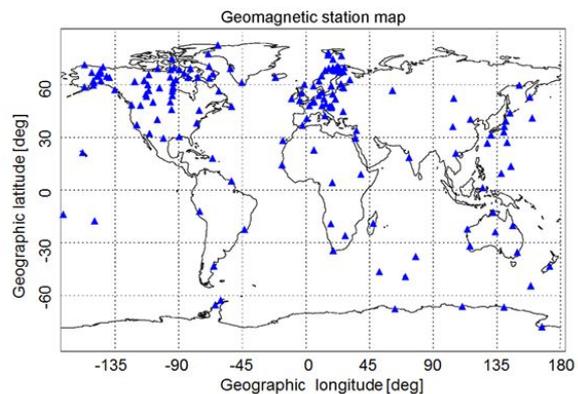


図1. 本研究で使用した地磁気観測点。

通常、各観測点で得られた地磁気のHとD成分には、主磁場や地磁気静穏日変化などの磁気嵐に伴う電離圏電流による磁場変動以外の成分が入っているため、この磁気嵐時に観測される電離圏電流成分を調べるために

は、まず、磁気嵐に関連しない地磁気変動成分を除去する必要がある。本解析ではまず、磁気嵐時におけるデータから各月の地磁気静穏日に当たる 10 日分のデータを平均したものを差し引いた。ここで用いた地磁気静穏日は、京都大学地磁気センターから提供された地磁気静穏日リストから同定した。

次に、磁気圏界面電流や環電流の作る磁場の影響を極力抑えるために、上で求めた各観測点の擾乱場から緯度補正を加えた低緯度の地磁気水平成分を差し引いた。これによって得られた地磁気変動成分の X と Y 成分を用いて電離層等価電流ベクトルの分布の変化を解析した。

4. 研究成果

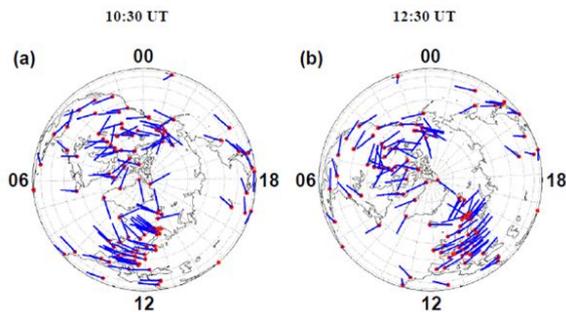
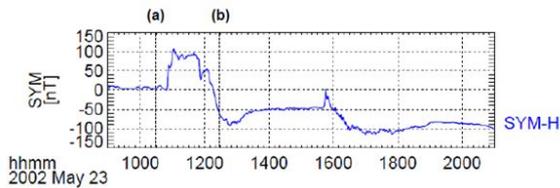


図 2. 磁気嵐発生前と主相時における電離層等価電流ベクトルマップ。それぞれのマップは、上側の SYM-H のパネルに示されている縦の点線の時刻に対応する。

図 2 に示されるように磁気嵐主相時における等価電流系は、昼間側の磁気赤道において東向きジェット電流の増大とともにこれまであまり顕著で無かった 2 セル型の電離圏電流の発達が認められた。特に、正午付近に位置するヨーロッパ域の中緯度帯において磁気嵐の発生前後で等価電流ベクトルの方向が反転していることが見て取れる。これらの渦電流の中心は、朝側と午後側でそれぞれ 70 度と 65 度に位置していた。また、その 2 セル型の電離圏電流は、磁気緯度 30 度以下の低緯度領域まで拡大していたことが判明した。また、中低緯度の夜側に位置した日本

付近に着目してみると、等価電流ベクトルの向きがほぼ北を向いていた。この領域における夜側の電離圏電気伝導度がかかなり低いことを考えると、これは、領域 1 型の沿磁力線電流の作る磁場効果を見ていると考えられる。

一方、IMF の北向きに伴って磁気嵐回復相が始まると同時に、領域 1 型の沿磁力線電流が作る 2 セル型の電離圏電流が急激に弱まり、極冠域と中緯度に新たな渦電流が出現していた。これらの渦電流の極性は、領域 1 型の沿磁力線電流の作る渦電流の極性とは逆であった。これらの渦電流の出現に呼応して昼間側の赤道域では、西向きのジェット電流の増大が認められた。極冠域に出来た渦電流は、北向き IMF と磁気圏ローブ磁場とのリコネクションによって発生した NBz 電流が作る渦で、中緯度の渦電流は、磁気嵐の主相時において内部磁気圏に形成された西向きの非対称環状電流に接続する領域 2 型沿磁力線電流が作る渦であると考えられる。これらの 2 つの沿磁力線電流が持ち込む夕-朝方向の遮蔽電場が昼間側の西向きのジェット電流の駆動に関与していると考えられる。

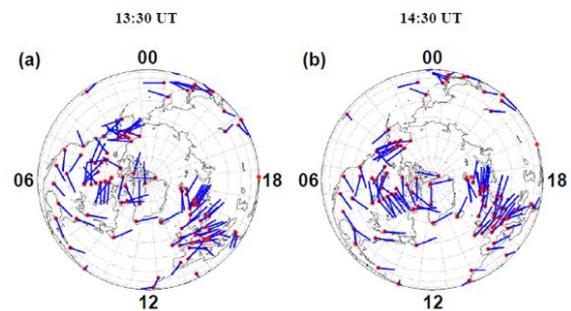
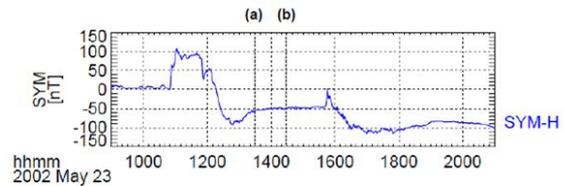


図 3. 磁気嵐回復相における電離層等価電流ベクトルマップ。図の形式は、図 2 と同じである。

その後、図 4 に示されるように昼間側中緯度で東向き、赤道域で西向きの電離圏等価電流ベクトルが北半球だけでなく、南半球にも出現していた。この電流パターンは、通常的地磁気静穏日変化(Sq)の電流系とは向きが

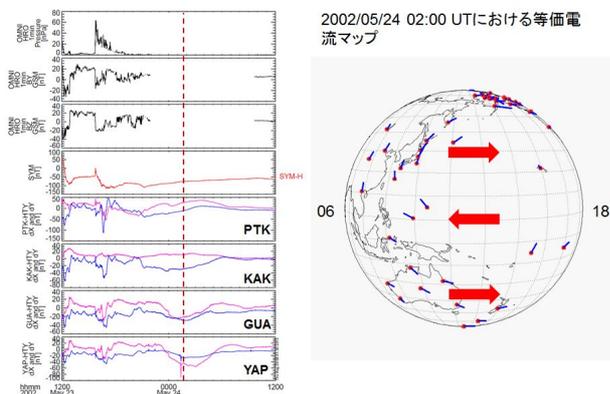


図 4. 磁気嵐回復相後期における赤道-中緯度域の電離圏等価電流ベクトル分布と地磁気変動の緯度分布。

逆であり、Huy and Mazodiea [2008]で報告されている結果とも一致する。Huy and Mazodiea [2008]は、解析した地磁気観測点が少なかったため、南北両半球でこのような電流系が同時に観測されることをはっきりと示すことができなかった。本研究では、約 170 点に及ぶ全球をカバーする地磁気観測点のデータを使用することによって、Huy and Mazodiea [2008]の知見を拡張することができた。今後は、このような Sq 電流系とは逆向きの電離圏電流が発達している期間に対応する中間圏・下部熱圏風データとの比較解析を行い、磁気嵐時における電離圏擾乱ダイナモの発達過程について調べる予定である。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 19 件)

Shinbori, A., Y. Koyama, M. Nose, T. Hori, Y. Otsuka, and A. Yatagai, Long-term variation in the upper atmosphere as seen in the geomagnetic solar quiet daily variation, *Earth, Planets and Space*, 66, doi:10.1186/s40623-014-0155-1, 2014, 査読有.

Abe, S., N. Umemura, Y. Koyama, Y. Tanaka, M. Yagi, A. Yatagai, A. Shinbori, S. UeNo, Y. Sato, and N. Kaneda, Progress of the IUGONET system - metadata database for upper atmosphere ground-based observation data, *Earth, Planets and Space*, 66, doi:10.1186/1880-5981-66-133, 2014, 査読有.

Koyama, Y., A. Shinbori, Y. Tanaka, T. Hori, M. Nose, S. Oimatsu, An Interactive Data Language software package to calculate ionospheric conductivity by using numerical models, *Computer Physics Communications*,

185, 3398-3405, doi:10.1016/j.cpc.2014.08.011, 2014, 査読有.

Shinbori, A., T. Hori, Y. Tanaka, Y. Koyama, T. Kikuchi, and T. Nagatsuma, Global distribution of storm-time ionospheric currents as seen in geomagnetic field variations, *Adv. Polar Sci.*, 24, 296-314, doi:10.3724/SPJ.1085.2013.00296, 2013, 査読有.

Tanaka, Y.-M., A. Shinbori, T. Hori, Y. Koyama, S. Abe, N. Umemura, Y. Sato, M. Yagi, S. UeNo, A. Yatagai, Y. Ogawa, and Y. Miyoshi, Analysis software for upper atmospheric data developed by the IUGONET project and its application to polar science, *Adv. Polar Sci.*, 24, 231-240, doi:10.3724/SPJ.1085.2013.00231, 2013, 査読有.

Hayashi, H., Y. Koyama, T. Hori, Y. Tanaka, S. Abe, A. Shinbori, M. Kagitani, T. Kouno, D. Yoshida, S. UeNo, N. Kaneda, M. Yoneda, N. Umemura, H. Tadokoro, T. Motoba, and IUGONET project team, INTER-UNIVERSITY UPPER ATMOSPHERE GLOBAL OBSERVATION NETWORK (IUGONET), *Data Sci. J.*, 12, WDS179-WDS184, doi: http://dx.doi.org/10.2481/dsj.WDS-030, 2013, 査読有.

Shinbori, A., Y. Tsuji, T. Kikuchi, T. Araki, A. Ikeda, T. Uozumi, D. Baishev, B. M. Shevtsov, T. Nagatsuma, and K. Yumoto, Magnetic local time and latitude dependence of amplitude of the main impulse (MI) of geomagnetic sudden commencements and its seasonal variation, *J. Geophys. Res.*, 117, A08322, doi: 10.1029/2012JA018006, 2012, 査読有.

Tsuji, Y., A. Shinbori, T. Kikuchi, and T. Nagatsuma, Magnetic latitude and local time distributions of ionospheric currents during a geomagnetic storm, *J. Geophys. Res.*, 117, A07318, doi: 10.1029/2012JA017566, 2012, 査読有.

Hori, T., A. Shinbori, N. Nishitani, T. Kikuchi, S. Fujita, T. Nagatsuma, O. Troshichev, K. Yumoto, A. Moiseyev, and K. Seki, Evolution of negative SI-induced ionospheric flows observed by SuperDARN King Salmon HF radar, *J. Geophys. Res.*, 117, A12223, doi:10.1029/2012JA018093, 2012, 査読有.

[学会発表](計 66 件)

Shinbori, A., Temporal and spatial variations of storm-time ionospheric currents as seen in the geomagnetic field, The 12th International Conference on Substorms (ICS-12), Ise, Japan, November 10, 2014.

新堀淳樹, 全球地磁気データを用いた磁

気嵐時のグローバルな電離圏電流分布, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 136 回総会及び講演会, 松本市, 長野県, 2014 年 11 月 3 日.

Shinbori, A., Global Distributions of Storm-time Ionospheric Currents and Electric Fields as Seen in Geomagnetic Field Variations, Asia Oceania Geoscience Society 2014, Sapporo, Japan, July 30, 2014.

新堀淳樹, 磁気嵐時の地磁気変動に見られる電離圏電流分布について, 日本地球惑星科学連合 2014 大会, パシフィコ横浜, 神奈川, 2014 年 4 月 29 日.

新堀淳樹, 磁気嵐時の地磁気変動に見られる電離圏電流分布について, 電磁圏シンポジウム, 九州大学西新プラザ, 福岡, 2014 年 3 月 19 日.

新堀淳樹, 磁気嵐時における地磁気変動に見られるグローバルな電離圏電流分布について, 平成 25 年度名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会「太陽地球環境メタデータ・データベースによる時空間変動の学際研究」, 名古屋大学東山キャンパス 野依記念学術交流館 1F, 名古屋, 2014 年 3 月 14 日.

新堀淳樹, 磁気嵐時の地磁気変動に見られる電離圏電流分布について, 太陽研連シンポジウム「活動極大期を迎えた太陽研究の新たな展開、---彩層プラズマ診断、宇宙天気、Solar-C---」, 京都大学理学研究科セミナーハウス, 京都, 2014 年 2 月 18 日.

Shinbori, A., Global distributions of storm-time ionospheric currents as seen in geomagnetic field variations, AGU Fall Meeting 2013, San Francisco, California, USA, December 9, 2013.

新堀淳樹, 全球地磁気データから推察される磁気嵐時の電離圏電流分布の時間・空間変動, 第 4 回極域科学シンポジウム, 立川市, 東京都, 2013 年 11 月 15 日.

新堀淳樹, 地磁気変動に見られる磁気嵐時のグローバルな電離圏電流分布, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 134 回総会及び講演会, 高知市, 高知県, 2013 年 11 月 5 日.

新堀淳樹, 磁気赤道-低緯度域における磁気急始(SC)の磁場振幅の季節変化について, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 千葉市, 千葉県, 2013 年 5 月 23 日.

新堀淳樹, 磁気嵐時の地磁気変動に見られるグローバルな電離圏電場と電流分布について, 第 3 回極域科学シンポジウム / 第 36 回極域宙空圏シンポジウム, 立川市, 東京都, 2012 年 11 月 27 日.

Shinbori, A., Global distributions of storm-time ionospheric currents as seen in geomagnetic field variations, International CAWSES-II Symposium, Nagoya, Japan, November 19, 2013.

Shinbori, A., Temporal and spatial evolution of ionospheric currents and electric fields

during a geomagnetic storm, GEM Workshop 2012, Snowmass, USA, June 20, 2012.

Shinbori A., Anomalous enhancement of occurrence of the preliminary impulse of geomagnetic sudden commencement (SC) at low latitude in the South Atlantic Anomaly (SAA) region, Nagoya University global COE QFPU international workshop 2011 STEL workshop "GEMSIS international workshop: Current status and future perspectives in space weather researches", Nagoya, Japan, March 12, 2012.

新堀淳樹, IUGONET プロジェクトチーム, 磁気嵐時におけるグローバルな地磁気変動と電離圏擾乱ダイナモについて, 第 2 回極域科学シンポジウム・第 35 回極域宙空圏シンポジウム, 立川市, 東京都, 2011 年 11 月 15 日.

新堀淳樹, 磁気嵐時におけるグローバル地磁気変動と熱圏風変動について, 磁気圏-電離圏複合系における対流に関する研究会, 名古屋市, 愛知県, 2011 年 9 月 28 日.

Shinbori, A., Seasonal dependence of geomagnetic field variations on the ground associated with geomagnetic sudden commencements, XXV IUGG General Assembly, Melbourne, Australia July 6, 2011.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.iugonet.org/publist.html>

<https://kyouindb.iimc.kyoto-u.ac.jp/j/iU3nL>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

新堀 淳樹 (SHINBRI, Atsuki)

京都大学・生存圏研究所・研究員

研究者番号 : 30555678