

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：57701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800277

研究課題名(和文) 磁気圏-電離圏-地上3領域からの脈動伝搬解明

研究課題名(英文) Magnetosphere-ionosphere-Earth coupling based on magnetic pulsations

研究代表者

池田 昭大 (Ikeda, Akihiro)

鹿児島工業高等専門学校・一般教育科・講師

研究者番号：90582833

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、磁気圏-電離圏-地上の3領域において、どのように脈動現象が伝搬するかの解明を目的として調査した。Pc4脈動(周期45-150秒)は、磁気圏と高緯度の地上観測点で良い相関を持つものが数十例確認できたが、その位相差に目立った特性は見出せなかった。さらに、磁気圏-電離圏-地上という領域に加え、地球の大気(特に対流圏下部)までを含めた調査では、太陽活動と磁気圏擾乱の影響が、大気電場変動に現れていることが確認できた。大気電場はグローバルサーキットと呼ばれる電離圏-大気-地下を繋ぐ大規模な電流系の一部を担っている事から、磁気圏-電離圏-大気-地上までの結合を示唆する結果が得られた。

研究成果の概要(英文)：We focused on the magnetosphere-ionosphere-Earth (MIE) electromagnetically coupled system by using geomagnetic pulsations. We found scores of Pc 4 magnetic pulsations which show high correlation between the magnetosphere (geosynchronous orbit) and the ground. The phase relation of the high-correlation events was poorly characterized. We further expanded regions of study and the atmospheric electric field, which is a part of the global circuit between the ionosphere and the ground, was included in our analysis. By comparing the atmospheric electric field and solar activities, we found that the solar activity and geomagnetic phenomena affect the atmospheric electric field. It implies the coupling of the magnetosphere, ionosphere, atmosphere and ground.

研究分野：超高層大気

キーワード：磁気圏 電離圏 脈動 大気電場 太陽活動

1. 研究開始当初の背景

(1) 磁気圏内で発生する 10mHz 以下の電磁波動(脈動)を理解することは、脈動の構造理解はもちろん、脈動が発生する環境の理解にも繋がる。これまでの脈動伝搬の研究は、人工衛星による磁気圏での観測と地上磁場観測がほとんどであり、磁気圏と地上の間に位置する電離圏を含めた議論や、領域間結合という観点からの研究は少なかった。このため、地上磁場に脈動が現れる原因や、地上付近での脈動の伝搬方向等は不明であった。本研究では、磁気圏、地上の観測に加え、電離圏電場観測を含め、磁気圏-電離圏-地上の3領域での同時観測から脈動伝搬を理解する。この研究は様々な磁気圏現象にも応用でき、磁気圏現象の伝搬・構造理解の足掛かりとなる。

(2) また、これまでは太陽からの太陽風や、電磁波放射(特に紫外線以下の波長の物)等、太陽活動の電磁気的影響が顕著に現れるのは磁気圏・電離圏までというのが従来の考えであったが、地上付近(対流圏下部)の大気電場にまでその影響が出る可能性が報告された [Kleimenova et al., 2013]。つまり、太陽活動の電磁気的な影響が我々の生活圏である領域にまで現れていると言え、磁気圏、電離圏、地上のみではなく、大気も含めた議論も必要とされつつある。

2. 研究の目的

(1) 脈動の発生特性や励起機構は、数多くの報告があり、太陽風のどのようなパラメータが脈動を励起しているか等、よく知られるようになってきた[Yumoto, 1986 等]。しかし、伝搬機構については、調査すべき点が残っている。伝搬機構の研究は、磁気圏衛星と地上磁場による同時観測で発展を遂げてきたが、この方法では磁気圏と地上の間に位置する電離圏を無視しており、脈動の伝搬という観点からは、不完全な理解になってしまう。この問題を解決するためには、電離圏での脈動観測データを加え、脈動の磁気圏 - 電離圏 - 地上同時観測が必要であり、本研究では脈動現象のうち Pc4 (周期 45-150 秒) を扱う。

(2) 大気電場と地磁気現象の関係は、高緯度観測点にて、数例報告されたのみであり、まだよく認識されていない。大気電場は、電離圏、地下と繋がり、グローバルサーキットと呼ばれる大規模電流系を形成しており [Williams, 2009 等]、太陽活動の電磁気的な大気電場への影響を実証する事ができれば、グローバルサーキットを拡大した、磁気圏-電離圏-大気電場(対流圏下部)-地上という巨大な領域間結合を提唱できる。このためには、太陽活動と大気電場の比較解析が必要である。

(3) 以上、本研究では脈動現象を通じた、磁気圏-電離圏-地上の結合過程の理解と、大気

電場への太陽活動、地磁気現象の影響調査から、磁気圏-電離圏-大気-地上の結合を理解する事を目指す。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、磁気圏-電離圏-地上3領域における脈動の伝搬を理解するため、静止軌道衛星「きく8号」の磁場データ、「FM-CW レーダー」の電離圏電場データ、「MAGDAS/CPMN 地上磁場観測網」の地上磁場データの3種のデータを比較解析し、周波数領域での相関、位相差等を確認する。静止軌道と地上の相関から、イベントのリストアップを最初の解析とし、電離圏電場データとの比較に移る。

(2) 磁気圏-電離圏-大気-地上の結合理解の要となる大気電場の調査では、太陽活動に起因する磁気圏・電離圏の環境変化が大気電場へ及ぼす影響と、地磁気現象が大気電場へ及ぼす影響の2点を調査する。太陽活動に起因する影響調査では、電離圏の環境を左右する F10.7 (NOAA/NGDC SPIDR より提供) と大気電場変動(茨城県柿岡の大気電場データ、気象庁地磁気観測所提供)の日変化のパターンの比較調査をする。F10.7 は、地上から観測される 2.8GHz の太陽電波強度であり、太陽活動の指標となる。F10.7 の強度は、電離圏の電子数とよい対応を示しており [Balan et al., 1994]、電離圏の環境の変化を表していると言える。地上付近で観測される大気電場はグローバルサーキットの一部であるが、電離圏の電位を反映していると考えられ [Hays and Robels, 1979]、F10.7 の強度と大気電場の強度を比較することは、太陽活動がもたらす磁気圏・電離圏の環境変化の大気電場への影響を調べる事となる。

(3) また、地磁気現象の大気電場への影響を調査するためには、Kp 指数 (GFZ German Research Centre for Geosciences より提供) と大気電場の比較を行う。Kp 指数は地上の磁場変動から作られる指数であり、磁気圏擾乱の程度を示す。つまり、地磁気現象の程度を表しているともいえる。

4. 研究成果

(1) 磁気圏での脈動の特定には静止軌道衛星「きく8号」の磁場観測データに対し、Takahashi et al. [2007] が提案した磁場データのパワースペクトルデンシティ (Power spectrum density) から客観的に特定する方法を用いる。この方法では、鋭いピークを持つ(周波数が一定の)脈動のみを抽出できる。磁気圏で観測される脈動はトロイダルモード(磁力線の方位角方向の振動、横波)とポロイダルモード(磁力線の圧縮振動、縦波)に分けられる。トロイダルモードでは磁力線に沿って伝わるアルフヴェン波が励起されていると考えられ、ポロイダルモードでは磁力線を横切る磁気圧縮波が励起されて

いると考える事ができる。これらの2つのモードでは、脈動の振動方向が異なるため、それぞれ個別に議論する。

(2) 静止軌道で観測される Pc4 と地上で観測される Pc4 では、peak 周波数が等しく、高相関のイベントが、2007 年 4 月から 2007 年 6 月の解析機関の 10,224 区分の内(1 区分は 30 分間のデータで 10 分ずつずらして区分分けしている)100 例以下と少なかった。さらに、静止軌道で観測されたトロイダルモード(及びポロイダルモード)の Pc4 と CHD (Chokurdakh; 磁気緯度 71 度、磁気経度 148 度)の地上磁場 H 成分(水平北向き成分)の位相差を調査した。トロイダルモード(図 1)、ポロイダルモード(図 2)ともに、特別な傾向を見出す事ができず、Pc4 による、磁気圏-電離圏-地上の伝搬過程及び伝搬特性の解明は困難であった。

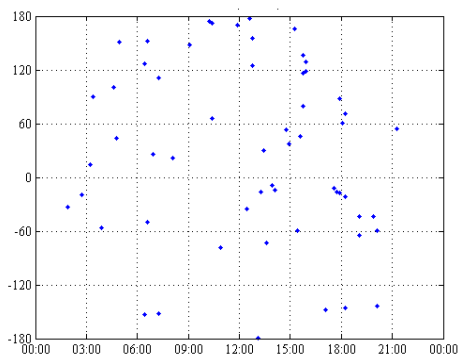


図 1: 静止軌道のポロイダル成分と地上 H の位相差。横軸は時間(UT)、縦軸は位相差 (degree)。

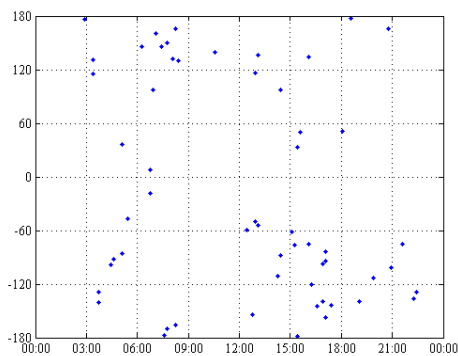


図 2: 静止軌道のトロイダル成分と地上 H の位相差。横軸は時間(UT)、縦軸は位相差 (degree)。

(3) 大気電場を用いた解析では、大気電場が降雨の影響を大きく受けるため、降雨が無く、データ異常が見られない日(好天日と呼ぶ)

を選別した(降雨データは気象庁提供)。次に、大気電場変動は様々な要因によって変化をするため、本研究の対象である、太陽活動以外の要因による変化を除去させるため、大気電場 1 日データの最大値、最小値、標準偏差のヒストグラムを作成し、中央値付近のデータのみを用いた。この方法により、平均的な日変化は季節毎の特性を表すパターンを示し、本研究で対象としていない降雨、雷などの影響を十分に取り除けていると思われる。

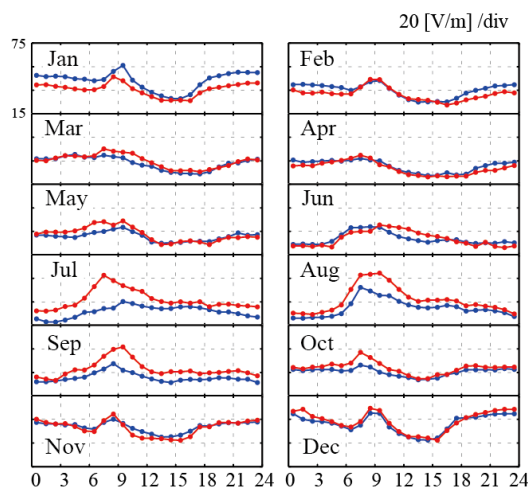


図 3: 大気電場の月毎の日変化パターン。横軸は地方時。赤は F10.7>100、青は F10.7 100 の場合。

(4) 上述のように、選定された大気電場データに対し、F10.7 の大小により、月毎の大気電場の日変化にどのような違いが現れるか調査した(図 3)。7~9 月は特に赤線(F10.7>100 の場合)と青線(F10.7 100 の場合)の差が顕著であり、7~9 月の昼間の大気電場強度と F10.7 の強度には正の比例関係があった。この事は、太陽活動に伴う磁気圏・電離圏の環境変化の影響が大気電場変動にも表れているといえる

(5) Kp 指数の大小により、同様に月毎の大気電場の日変化を描いた結果では(図 4)、F10.7 の場合ほど顕著ではないが、夏場に Kp>2 の場合(赤線)が Kp 2 (青線)より大きくなる時間帯があり、冬場では、Kp>2 の場合(赤線)の方が Kp 2 の場合(青線)よりも強度が小さくなる事が確認された。Kp 指数の大きさにより、大気電場の日変化に影響が出ている事がわかる。この要因は、電離圏の電位の変化及び、磁気圏から電離圏に侵入した電場による電離圏プラズマのドリフトが考えられる。

(6) 以上、本研究では脈動を通した磁気圏-電離圏-地上の結合理解、及び大気電場への太陽活動、地磁気現象の影響から、磁気圏-

電離圏-大気-地上の結合の調査を目的として解析をした。脈動現象からの領域間結合では顕著な特性を見出せなかったが、大気電場への太陽活動と、地磁気現象の影響は、その特性を見出すことができ、磁気圏-電離圏-大気-地上という領域間結合の一部を実証する事ができた。

(7) 脈動現象では、さらに Pc5(周期 150-600 秒)等、振幅が大きい現象を用いて領域間の結合を調査する必要がある。大気電場では、さらに様々な領域のデータを併せて解析し、その影響を及ぼす過程の調査を進める。

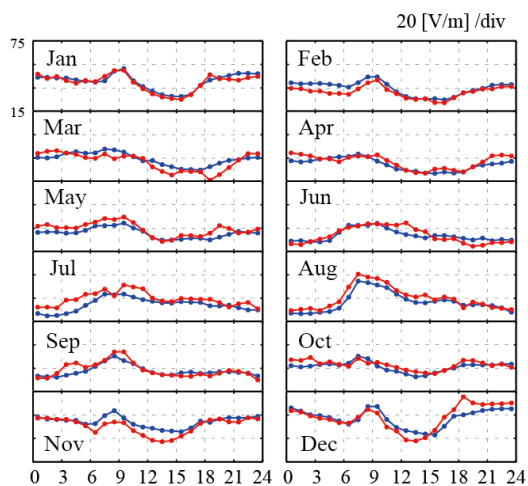


図 4: 大気電場の月毎の日変化パターン。横軸は地方時。赤は $K_p > 2$ 、青は $K_p < 2$ の場合。

< 引用文献 >

Yumoto K., GENERATION MECHANISM OF Pc3 MAGNETIC PULSATIONS AT VERY LOW LATITUDE, Planet. Space Sci., Vol. 34, No. 12, 1986, 1329-1334

Kleimenova N., O. Kozyreva, S. Michnowski and M. Kubicki, Influence of geomagnetic disturbances on atmospheric electric field (Ez) variations at high and middle latitudes, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 99, 2013, 117-122

Williams E. R, The global electrical circuit: A review, Atmospheric Research 91, 2009, 140-152

Balan N., G. J. Bailey and R. J. Moffett., Modeling studies of ionospheric variations during an intense solar cycle, J. Geophys. Res., 1994, DOI: 10.1029/94JA01262

Hays, P. B., and R. G. Roble, A quasi-static model of global atmospheric electricity, 1. The lower atmosphere, J. Geophys. Res., 1979, 84, A7, 3291-3305,

DOI: 10.1029/JA084iA07p03291.

Takahashi, K., and A. Y. Ukhorskiy, Solar wind control of Pc5 pulsation power at geosynchronous orbit, J. Geophys. Res., 112, A11205, 2007, doi:10.1029/2007JA012483.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

Imajo S., K. Yumoto, T. Uozumi, H. Kawano, S. Abe, A. Ikeda, K. Koga, H. Matsumoto, T. Obara, R. Marshall, V. A. Akulichev, A. Mahrous, A. Liedloff and A. Yoshikawa, 2014, Analysis of propagation delays of compressional Pi2 waves between geosynchronous altitude and low latitudes, Earth, Planets and Space, 66, 1-8, doi:10.1186/1880-5981-66-20 (査読有)

Abe, S., K. Yumoto, A. Ikeda, T. Uozumi, G. Maeda, 2013, Data and Information Activities of ICSWSE, Kyushu University, Japan, Data Science Journal, Vol. 12, p. WDS92-WDS96, doi:10.2481/dsj.WDS-014 (査読有)

Shinohara M., Ikeda A., Yoshikawa A., Bychkov V.V., Shevtsov B.M., Yumoto K., MAGDAS/CPMN Group, 2013, DP2 type electric field fluctuations observed by FM-CW HF radar network, SOLAR-TERRESTRIAL RELATIONS AND PRECURSORS OF EARTHQUAKES Collection of the reports of VI International Conference 9-13 August 2013, v. Paratunka, Kamchatka region 286-292pp (査読無し)

Ikeda, A., Kiyohumi Yumoto, Teiji Uozumi, Manabu Shinohara, Akimasa Yoshikawa, Kenro Nozaki, Bychkov V.V., Shevtsov B.M., 2013, Pi 2-associated Ionospheric Doppler Velocity and Magnetic Pulsation at Mid-latitude MAGDAS Station, SOLAR-TERRESTRIAL RELATIONS AND PRECURSORS OF EARTHQUAKES Collection of the reports of VI International Conference, 223-228pp (査読無し)

池田昭大、湯元清文、篠原学、野崎憲朗, 2013, FM-CW レーダーによる Pc5 型地磁気脈動の観測、鹿児島工業高等専門学校研究報告、48、77-80pp (査読無し)

[学会発表](計 12 件)

池田昭大、野澤宏大、篠原 学、巻田和男、鹿児島高専での磁場観測と大気電場観測について、電磁圏物理学シンポジウム・地域ネットワークによる宇宙天気観測・教育活動に関する研究集会、2016年3月(口頭)

久富あすか、池田昭大、野澤宏大、武田和夫、篠原学、巻田和男、鹿児島高専における大気電場データの解析、電磁圏物理学シンポジウム・地域ネットワークによる宇宙天気観測・教育活動に関する研究集会、2016年3月(口頭)

Response of atmospheric electric field to geomagnetic activity, 池田昭大, 日本大気電気学会第94回研究発表会, 東京都調布市, 2016年1月, (口頭)

Similarity between the atmospheric electric field variation and Sq variation, 池田昭大, Cardinal Maria Gracita, 地球電磁気・地球惑星圏学会 第138回総会, 東京都文京区, 2015年10月, (ポスター)

The relationship between the electric field in the lower atmosphere and Sq variations, Ikeda A. and M. G. Cardinal, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 2015年5月, 千葉県千葉市 (ポスター)

池田昭大、篠原学、野澤宏大、吉川顕正、阿部修司、湯元清文、鹿児島高専における地上磁場観測、第20回高専シンポジウム in 函館, 2015年1月, 北海道函館市 (口頭)

松下 拓輝、吉川 顕正、魚住 禎司、池田昭大、大谷 晋一、磁気赤道における DP2 侵入電場の午前・午後非対称性について、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、2014年4月、千葉県千葉市 (口頭)

川路啓太、野澤宏大、池田昭大、篠原学、巻田和男、屋外観測機の自力運用試験プロトン磁力計の場合、電磁圏物理学シンポジウム・地域ネットワークによる宇宙天気観測・教育活動に関する研究集会、2014年3月(口頭)

池田昭大、篠原学、野澤宏大、鹿児島高専における地上磁場観測計画、電磁圏物理学シンポジウム・地域ネットワークによる宇宙天気観測・教育活動に関する研究集会、2014年3月(口頭)

Ikeda A., K. Yumoto, T. Uozumi, M. Shinohara, A. Yoshikawa, K. Nozaki, B. M. Shevtsov, V. V. Bychkov, Pi2-associated electric and magnetic field variations, VI International

Conference Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors, Paratunka, Kamchatskii krai, Russia, September 9-13, 2013 (口頭)

Shinohara M., A. Ikeda, A. Yoshikawa, V. V. Bychkov, B. M. Shevtsov, K. Yumoto, MAGDAS/CPMN Group, DP2 type electric field fluctuations observed by FM-CW HF radar network VI International Conference Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors, Paratunka, Kamchatskii krai, Russia, September 9-13, 2013 (口頭)

Matsuhita H., A. Yoshikawa, T. Uozumi, A. Ikeda, K. Yumoto, Ionospheric Current Identified by Propagation Characteristics of DP2 and Pc5, AOGS Annual meeting, Brisbane, Australia, 24-28 June, 2013 (ポスター)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 昭大 (IKEDA AKIHIRO)

鹿児島工業高等専門学校・一般教育科・講師

研究者番号：90582833