

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25287128

研究課題名(和文) 下層大気の大規模擾乱に起因する超高層電磁場変動の解明とその応用研究

研究課題名(英文) Upper atmospheric electromagnetic variation caused by lower atmospheric disturbances and its application

研究代表者

家森 俊彦 (IYEMORI, Toshihiko)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40144315

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：低高度精密磁場観測衛星が、中低緯度電離圏でほぼ常時観測する微細な磁場変動(magnetic ripplesと命名)は、これまでその存在すら認識されていなかった微細な沿磁力線電流の空間構造であることを世界で初めて明らかにした。また、それらの振幅の季節・地方時・緯度依存性や変動の時間スケールなどを求めた。地理的依存性や地震・火山噴火時に地上で観測される磁場、微気圧およびGPS-TEC変動も考慮することにより、それらが、下層大気の擾乱を起源とし、電離圏まで伝搬した重力音波が、電離層でのダイナモ作用を介して電離層に電流を流し、それが磁力線に沿って発散し沿磁力線電流になっていることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：It was shown that the small-scale magnetic variations as observed by low altitude satellites almost always in middle or low latitudes are the manifestation of small (spatial) scale field-aligned currents. We named them as "magnetic ripples". From their seasonal, latitudinal and local-time dependence, geographical characteristics, and ground based magnetic and GPS-TEC observations, it was concluded that they are probably generated by the acoustic mode of atmospheric gravity waves generated by lower atmospheric disturbances.

研究分野：太陽地球系物理学

キーワード：acoustic gravity wave field-aligned current ionospheric dynamo magnetic ripples

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 太陽地球系物理学分野では、これまで殆どの場合、太陽輻射や太陽風をエネルギーの源とする現象を取り扱ってきた。当研究で取り扱った地磁気の短周期振動も、ほぼ全て、太陽風や磁気圏起源の地磁気脈動現象として研究されてきた。しかし、2004年のスマトラ沖地震以降、下層大気中の重力音波が電離層まで伝搬し、ダイナモ作用を介して電離層・磁気圏に電流を流して発生する、下層大気擾乱起源の地磁気脈動が、地震・火山噴火・台風等の際、頻繁に出現することが申請者達の研究により明らかになっていた(e.g., Iyemori et al., GRL, 2005)。

(2) 一方、地磁気データを0.1nT(ナノテスラ)の微細なスケールで見ると、恒常的に1~10分周期の振動が存在する。この地磁気の常時振動現象は、固体地球の自由振動や下層大気の擾乱により励起された、重力音波や内部重力波による電離層でのダイナモ作用に起因する電離層・磁気圏電流が原因である可能性が高いことに、研究代表者たちのグループは気がついた。

(3) 更に、低高度磁場精密観測衛星 Champ のデータから、昼間側電離層上部には、太陽風や地磁気の擾乱とは無関係に、振幅1nT前後の微細な磁場変動(空間的構造)が常に存在し、明瞭な地理的および季節・昼夜依存性を示すこと、すなわち、下層大気起源であることを強く示唆する予備的解析結果を得ていた。

## 2. 研究の目的

(1) 全体構想: 地上および昼間側電離層で常時観測される微小な磁場変動が、下層大気の擾乱を起源とし、電離層に伝搬した重力音波あるいは内部重力波が、電離層でのダイナモ作用を介して電離層と磁気圏に流す電流によることを、そのメカニズムと共に、明確に証明する。更に、人工衛星による精密磁場観測が、従来の方法では観測が困難な重力音波あるいは内部重力波など、短周期の下層大気波動のグローバルな分布をモニターする新たな手段となり得ることを示す。

上記研究の全体構想の中で、当研究計画では、以下の点に焦点を絞った。

(2) 太陽活動度が低く太陽風や磁気圏起源の地磁気脈動の影響が比較的少ない期間を選び、人工的ノイズも少ない離島などでの精密な地磁気変動観測と、電離層の HF-Doppler 観測を基に、下層大気擾乱起源と考えられる地磁気および電離層の常時振動現象の特性、すなわち、季節、地方時、地磁気活動度、気象学的条件依存性を統計的に明らかにする。

(3) 台風や、2012年5月6日に関東地方で発生した竜巻に伴うような荒天時には、重力音波および内部重力波起源の地磁気や電離層変動が頻繁に観測されるので、その観測データを収集・解析し、その振動特性と上記常時磁場振動現象の特性と比較する。

(4) Champ 衛星によって得られた 2000 年-2010 年の磁場観測データを解析し、中低緯度における微細な擾乱振幅のグローバル分布についての統計的解析を完成させ、海陸・山脈分布、気象データと比較する。

(5) これまでの成果と当計画の Champ 衛星データから得られた結果を基にして、2013 年 11 月に ESA が打ち上げた低高度磁場精密編隊観測衛星計画 (SWARM) のデータ解析に参加し、SWARM 衛星の編隊軌道の特長を生かして、Champ 衛星では判定の難しい経度・高度方向の 3 次元的電流構造を明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 人工磁場ノイズが極めて少ないトカラ列島中之島で地磁気と微気圧および GPS-TEC の精密連続観測を行い、地磁気常時振動を抽出してその特性を調べる。それ以外の国内外で得られた地磁気や微気圧観測データも同様に解析し比較する。

(2) 沖縄に設置した HF ドップラー受信機のデータを用いて、反射点に近いトカラ中之島上空の電離層短周期変動を観測し、磁場・微気圧・GPS-TEC 振動と比較する。更に、広帯域地震計データとの比較も行う。

(3) Champ 衛星および SWARM 衛星による精密磁場観測データで多数の事例および統計的解析を行い、小規模磁場擾乱の 3 次元的構造およびグローバルな分布とその地理的あるいは気象学的依存性を明らかにする。

(4) 電離層を含めた大気波動の数値シミュレーションと定量的に比較する。

(5) 上記結果を総合して、地磁気常時振動および昼間側電離層小規模磁場擾乱の成因を解明するとともに、衛星磁場観測から推定できる大気波動のパラメーターとその精度を明らかにする。

## 4. 研究成果

(1) 打ち上げ初期約半年間の 3 機で編隊飛行を行う SWARM 衛星の軌道の特徴を用いて、中低緯度の電離層上部でほぼ常時、グローバルに観測される微細な磁場変動の緯度・経度方向の相関を調べた。その結果、CHAMP 衛星による磁場観測データから研究代表者たちが推測してきた、微細な沿磁力線電流の空間構造が磁場変動として観測されているということ立証するとともに、電離層 E 層での典型的なスケールとして、緯度方向に 80-120km、経度方向には 160km 程度であると推定された。これは、今まで知られていなかった中低緯度の微細沿磁力線電流の存在を、世界で初めて明らかにしたものと見える。この微細な磁場変動現象を、"magnetic ripples" と命名した。

(2) 上記沿磁力線電流を発生させる元となる下層大気からの波動の種類を明らかにするため、SWARM 衛星磁場観測データから、沿磁力線電流変動の時間スケールを求めた。その時間スケールは、緯度によって変化するも

の、おおよそは400秒よりも短いことから、音波モードの大気波動が主な原因であると推定した。

(3) 地上での磁場変動および微気圧変動の特性と比較するために、国内6ヶ所(峰山、信楽、四国・吾川、阿蘇、トカラ中之島、沖縄・恩納)、海外1ヶ所(タイ)での地磁気および(あるいは)微気圧変動観測を継続し、データを取得した。これらのデータは、研究代表者が管理するワークステーションに集められ、データベース化作業を開始した。

(4) 2015年4月22日に噴火した南米チリのCalbuco火山上空をSWARM衛星が飛翔した時に観測した磁場変化と、火山周辺のGPS-TEC観測データ、および、磁気赤道に位置するペルー・Huancayo観測所で観測された地磁気変動データを解析し、SWARM衛星が観測した磁場変動が、火山噴火に由来する可能性が高いことを示した。結果を国際学術誌に投稿した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

Nakanishi, K., T. Iyemori, K. Taira, and H. Lühr (2014), Global and frequent appearance of small spatial scale field aligned currents possibly driven by the lower atmospheric phenomena as observed by the CHAMP satellite in middle and low latitudes, *Earth Planets Space*, 66:40, doi:10.1186/1880-5981-66-40. (査読有り)

Iyemori, T., K. Nakanishi, T. Aoyama, Y. Yokoyama, Y. Koyama, and H. Lühr (2015), Confirmation of existence of the small scale field-aligned currents in middle and low latitudes and an estimate of time scale of their temporal variation, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL062555. (査読有り)

[学会発表](計13件)

Iyemori, T.(代表), K. Nakanishi, A. Hitchman, L. Wang, M. Nose, M. Takeda, M. Utsugi, S. Sugitani and M. Matsumura, Field-aligned Current Generated by the Acoustic Gravity Waves and Their Structure Inferred from Ground Observations, AGU Dec 9 - 14, 2013, サンフランシスコ(米国)

Iyemori, T. (代表), I. Tomizawa, Y. Odagi, S. Sugitani, Y. Sanoo, M. Iguchi, T. Kouta, Y. Yokoyama, Y. Hozumi, Y. Goi, Geomagnetic and ionospheric signatures of

the vertical resonance of acoustic gravity waves caused by meteorological phenomena, AOGS 2014, 札幌

家森俊彦(代表)、中西邦仁、Adrian Hitchman, Liejun Wang, 能勢正仁、竹田雅彦、宇津木充、杉谷茂夫、重力音波によって生成される沿磁力線電流の構造と反対半球への伝搬 - 地上磁場観測データによる推定 -, SGEPS 2013, 高知大学(高知)

Iyemori, T. (代表), Y. Tanaka, Y. Odagi, Y. Sano, M. Takeda, M. Nose, M. Utsugi, D. Rosales, E. Choque, J. Ishitsuka, S. Yamanaka, K. Nakanishi1, M. Matsumura, H. Shinagawa, A. Hitchman and L. Wang, Barometric and Magnetic Observations of Vertical Acoustic Resonance and Resultant Generation of Field-Aligned Current, IAGA2013 Aug.30, Merida(メキシコ)

家森俊彦(代表)、服部浩二、重力音波共鳴起源のPc5型脈動と内部磁気圏起源のPc5型脈動の比較, JpGU2013, May 24, 2013, 幕張(千葉)

家森俊彦(代表)、小田木洋子、能勢正仁、竹田雅彦、佐納康治、松村充、杉谷茂夫、大野敏光、隕石落下地点から伝搬した大気Lamb波の検出, JpGU2013, 2013.05.24, 幕張(千葉)

Iyemori, T. (代表), K. Nakanishi, T. Aoyama, Y. Odagi, and H. Lühr, Ground and CHAMP observations of field-aligned current circuits and their geomagnetic effects caused by lower atmospheric disturbances and expectations to the SWARM to clarify their three dimensional structure EGU 2014.05.01, Vienna(オーストリア).

Iyemori, T. (代表), K. Nakanishi, T. Aoyama, H. Luehr, M. Nose, Y. Koyama and Y. Yokoyama, Confirmation of the field-aligned currents in middle and low latitudes by the SWARM satellites SWARM Science Meeting, Copenhagen (デンマーク) 2014.06.17.

Iyemori, T. (代表), K. Nakanishi, T. Aoyama, H. Luehr, M. Nose, Y. Koyama and Y. Yokoyama, Confirmation of small scale field-aligned currents in middle and low latitudes and an estimation of their typical period of temporal variation, AGU Fall Meeting, 2014.12.18, サンフランシスコ, (米国).

Iyemori, T. (代表), K. Nakanishi, T.

Aoyama, H. Luehr, Y. Yokoyama, Y. Odagi and M. Iguchi, SWARM observation of small scale field-aligned currents generated by acoustic waves and their signature on the ground. 2015/05/26, JpGU, 幕張(千葉)

Iyemori, T. (代表), K. Nakanishi, T. Aoyama and H. Luehr, Small Scale Field-Aligned Currents Generated by Acoustic Gravity Waves Commonly Observed by SWARM, 2015/06/25, IUGG, プラハ (チェコ).

家森俊彦(代表), 小田木洋子, 青山忠司, 中西邦仁, 横山佳弘, 佐納康治, 杉谷茂夫, 大野敏光, 井口正人, 衛星磁場観測から推定した下層大気起源沿磁力線電流の時間変動スケールと地上磁場および微気圧変動スペクトルとの比較, 2015/10/31, SGEPPS, 東京大学(東京)

Iyemori, T. (代表), K. Nakanishi, T. Aoyama, H. Luehr, Y. Odagi, Y. Yokoyama, M. Iguchi, S. Sugitani, H. Hashiguchi, M. Utsugi, T. Ono and Y. Sano, Time scale of FAC variations estimated by SWARM and a comparison with ground based geomagnetic and micro-barometric observations, 2015/12/16, AGU, サンフランシスコ(米国)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

家森 俊彦 (IYEMORI, Toshihiko)

京都大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号：40144315

### (2) 研究分担者

能勢 正仁 (NOSE, Masahito)  
京都大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号：90333559

富澤 一郎 (TOMIZAWA, Ichiro)  
電気通信大学・電気通信学部・准教授  
研究者番号：50111696

竹田 雅彦 (TAKEDA, Masahiko)  
京都大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号：30236484

佐納 康治 (SANO, Yasuharu)  
朝日大学・経営学部・准教授  
研究者番号：50257531

井口 正人 (IGUCHI, Masato)  
京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号：60144391

小山 幸伸 (KOYAMA, Yukinobu)  
京都大学・大学院理学研究科・特定研究員  
研究者番号：50598513

### (3) 連携研究者

品川 裕之 (SHINAGAWA, Hiroyuki)  
(独)情報通信研究機構・電磁波計測研究所・主任研究員  
研究者番号：00262915