

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 15 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540513

研究課題名(和文) 大気大循環モデルと超多点磁場観測データによる大気圏電離圏協調現象の解明

研究課題名(英文) Studies of atmosphere and ionosphere coupling using a general circulation model and global geomagnetic observation data

研究代表者

宮原 三郎 (Miyahara, Saburo)

九州大学・理学(系)研究科(研究院)・名誉教授

研究者番号：70037282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円、(間接経費) 1,110,000円

研究成果の概要(和文)：中性大気の変動と電離圏変動の関係を、九州大学中層大気大循環モデルで得られたデータと九州大学が展開している全球的な地磁気観測データや、中性大気再解析データを用いて研究を行った。成層圏突然昇温の後に顕著な電離圏電流の変動が起こることが、観測データとモデル計算によって明らかとなった。また、成層圏突然昇温の後に電離圏電流が流れる高度領域の温度が全球的に低下することがモデルにより明らかとなった。この原因は半日大気潮汐の急激な変動によることも解明された。中性大気変動にみられる超高速ケルビン波の変動による電離圏電流の変動は赤道から低緯度域に限定され、大気潮汐波変動による変動の25%以下であることが判った。

研究成果の概要(英文)：Relations between neutral atmosphere and ionosphere variations are investigated using Kyushu-GCM and global geomagnetic observation system developed by Kyushu University. It is found that ionospheric current system varies after Stratospheric Sudden Warming(SSW) due to the neutral atmospheric variations mainly caused by variations of semidiurnal tide after the SSW. It is also found that the neutral atmosphere temperature in the lower ionosphere suddenly falls down after the SSW. This phenomena is also caused by the variations of semidiurnal tide after the SSW. Effects of ultra fast Kelvin wave(UFK) variations on the ionospheric currents system is confined in the equatorial to low latitude regions, but the variations by UFK is less than 25% of the variations caused by other neutral atmospheric variations such as tidal variations.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：中性大気変動 電離圏電流変動 赤道エレクトロジェット Sq 大気潮汐波 成層圏突然昇温

1. 研究開始当初の背景

電離圏でおこる現象は、主な励起源毎に大別すれば、

- (1) 太陽活動に伴う磁気圏の変動により励起される現象
- (2) 電離圏内で自励的に起こる現象
- (3) 下層中性大気活動により励起される現象に大別できる。これらは相互に影響を及ぼしあっており、究極的にはすべての現象を統合的に把握する必要がある。しかしながら、統合的把握のためには諸現象の素過程の理解が前提であることは言を俟たない。この研究課題では、これまであまり注目されておらず世界的にみても研究が進んでいない、(3)に対応する現象に的を絞って研究を遂行する。

2. 研究の目的

下層の中性大気で励起され電離圏まで伝播した中性大気波動や中性大気大循環の変動が電離圏3次元電流系に及ぼす影響を、九州大学中層大気大循環モデル(Kyushu-GCM)、準3次元ダイナモモデル、リアルタイム地磁気全球観測データ、気象再解析データを組み合わせて解析する。

観測データ解析、気象再解析データ解析、数値シミュレーションが一体となった研究により、大気圏電離圏協調現象を中性大気研究者と電離圏大気研究者が協力して、解明する。

3. 研究の方法

(1) 地磁気観測データ解析グループ

Sq電流系、赤道エレクトロジェット全球的分布とその日々変動・季節変動データ解析

(2) 気象再解析データ解析グループ

気象再解析データによる中性大気変動データ解析

(3) Kyushu-GCM・準3次元ダイナモモデルグループ

中性大気風変動に伴う電離圏3次元電流シミュレーションとデータ解析

3グループのデータの相互比較検討により、中性大気変動が電離圏3次元電流系に及ぼす影響を定量的に解明する。

4. 研究成果

(1) 九州大学が展開する地磁気観測ネットワ

ーク(MAGDAS: 210°磁気子午線, 磁気赤道観測点, 96°磁気子午線)沿いの観測点で得られた地磁気変動データを解析し、グローバルな電離圏Sq電流の太陽活動度、季節、月齢、地方時依存性を定量的に解明した。特に成層圏突然昇温時の電離圏電流の変動について、2001-2002および2002-2003の北半球の冬期に起こった突然昇温について観測データを詳細に解析した(Yamazaki et al., 2011, 2012)。この解析により突然昇温に伴って、Sq電流系が半日潮汐振動の変動に伴う変動を起こすことが見いだされた。特にこの変動は、0.8時間/日の割合でローカルタイムの遅い側へと変動がずれて行くことがわかった。このローカルタイム変動の原因として、半日潮汐振動でも特に太陰半日潮汐振動が成層圏突然昇温に伴って大きくなることに原因があるのではないかと推論した。しかし、これは必ずしも確定的なものではなく、他の観測事例やモデルによる数値計算の結果との比較などにより、さらに検討を進める必要があり、今後の研究課題である。

(2) 2009年1月に起こった突然昇温時について観測データに基づき解析を実行し、赤道エレクトロジェット電流について、強い反対向き赤道電流(カウンターエレクトロジェット電流)が午後に起こることが発見された。また上部熱圏の大気密度が午後の低緯度で25%程度減少することが分かり、突然昇温に伴い午後に強い低温化が起こっていること発見した(Liu et al., 2011)。

この突然昇温についてGAIAモデルによる数値シミュレーションを実行し、観測と同様に熱圏赤道域で温度と大気密度が大きく変動することを示した。また、この変動が突然昇温に伴う太陽半日潮汐振動の極端な増大によって引き起こされていることが示された(Liu et al., 2013)。またこのデータの解析によれば下部熱圏で全球的な温度の低下が起こっていることも示唆されたが、この論文ではこの原因の解明までは行わなかった。この温度低下の原因については、後述する。

(3) 成層圏突然昇温時の成層圏と熱圏を結ぶ力学過程の解明の一環として、衛星データを用いた力学的解析を実行した。

中間圏界面(約94km)までの高度領域を力

パーする衛星測器 EOS/MLS の軌道上データに基づき全球的な緯度・経度格子点データを独自に作成し、2004 年から 2013 年に期間について、詳細な力学的解析を行った(Iida et al., 2014, Hirooka et al., 2013)。その結果、成層圏突然昇温生起前の中間圏域変動の特徴が各年ごとに大きく異なること、その違いには極夜ジェット構造の子午面内曲率変化が引き起こす順圧もしくは傾圧不安定によって生じる大規模波動が寄与していること、中間圏の大規模波動は成層圏界面(約 50km)以下のプラネタリー波としばしば独立に存在し、両者の相互作用が生じた時にエネルギーの間歇的な上方伝播が生じることなどの新しい成果を得た。さらに、赤道域半年周期振動の年々変動に関する力学的解析を行い、これまであまりよく知られていなかった、成層圏界面半年周期振動(高度約 50km)と中間圏半年周期振動(高度約 80km)の年々変動に関し、大規模突然昇温が生じた北半球冬季の振動が有意に増幅していること、その増幅には突然昇温に伴う残差平均子午面循環の駆動が寄与していることなどを示した(大羽田ほか, 2013)。

(4) Kyushu-GCM により得られた中性大気データを用いて、全球的な電離圏 E 領域 3 次元電流(Sq 電流や赤道エレクトロジェット電流)をシミュレーションすることを目的として、本研究を開始する以前に完成していた磁気赤道対称成分のみが記述できる準 3 次元ダイナモモデルを磁気赤道反対称成分も記述できる全球モデルに発展させた。完成したモデルを使用して Kyushu-GCM により得られた中性大気風データを用いて、全球的な電流系の計算を実行した(荒牧優衣 修士論, 2012)。その結果次のことが分かった。

季節変動については、赤道エレクトロジェットは春分秋分時に大きく夏至冬至時期に小さくなり、季節により 15%程度変動する。Sq 電流については、前者の時期ではほぼ南北半球で磁気赤道対称となるが、後者の時期では、夏半球側が大きくなることが示された。これらは観測事実と一致する。また、得られた電流の日々変動は、観測で得られている日々変動に比較して小さく、その大きさは 50%程度である。ここで用いたダイナモモデルでは、日々変動する成分は中性大気風のみ

であり、太陽活動の影響を大きく受ける電離圏電気伝導度などは月平均値を用いていることなどを考えれば、正当な結果であると考えられる。

成層圏突然昇温時には赤道エレクトロジェットや Sq 電流が変動することも確認されたが、必ずしも観測と整合的な変動パターンは得られなかった。しかしながら、成層圏突然昇温時には太陽半日潮汐成分が大きくなっていることが中性風データ解析の結果確認されており、これが電流系の変動に寄与していることは十分に考えられる。潮汐の変動に伴う電流系の変動についての詳細な解析を行うまでに研究を勧めることができず、これは今後の課題として残されている。

また、中性風の変動の中に顕著にみられる超高速ケルビン波変動に伴う電流系の変動の計算も実行した(合屋ほか, 2014)。この結果によると超高速ケルビン波変動に伴う電流系の変動は、赤道エレクトロジェット電流および磁気緯度 10° 以内の低緯度域 Sq 電流に限定され、その変動の大きさは潮汐による変動の大きさの 25%以内であることが示された。

(5) Kyushu-GCM によるシミュレーションデータの解析を実行した結果、成層圏突然昇温に伴って高度 120 km-140 km の下部熱圏領域で、赤道域を中心して温度が低下し、下部熱圏全域で温度低下が起こることが示された(宮原・陳, 2014)。全球平均での温度低下は数 10 K にも及ぶ。これまでの大気力学理論で知られている突然昇温に伴う温度低下は、大気の帯状平均子午面循環に伴う、断熱温度変動であり全球平均すれば打ち消し合うものであった。上に述べた事実は明らかにこれまでの理論では説明できず、新たな理論的説明を試みた。GCM データを解析した結果、全球的な温度変化は、下部熱圏で散逸する太陽半日潮汐振動に伴う力学的な冷却効果であることが示された。この効果の存在自身はこれまでの力学理論でも知られていたが、大気中で重要な役割を果たしているとは考えられていなかった、この効果が下部熱圏で顕著に現れることは、本研究で始めて明らかとなったものである。成層圏突然昇温が起こっていない時期でもこの効果は常に働いているが、突然昇温時には先に述べたように、太陽半日潮汐振動が急激に増加することに伴って、とくに

その効果が顕著となり，急激な全球的温度低下をもたらしていることが示された。

突然昇温に伴う急激な気温低下は電気伝導度の分布にも大きな影響を及ぼすと考えられ，電離圏での電磁気現象にも影響を及ぼすと考えられる。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計23件)

Iida, C., T. Hirooka and N. Eguchi:

Circulation changes in the stratosphere and mesosphere during the stratospheric sudden warming event in January 2009. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/2013JD021252, in press, 2014, Refereed.

Liu, H., H. Jin, Y. Miyoshi, H. Fujiwara, and H. Shinagawa: Upper atmosphere response to stratosphere sudden warming: Local time and height dependence simulated by GAIA model, *GRL*, 40, 1-6, doi:10.1002/grl.50146, 2013., Refereed.

Yamazaki, Y., A. D. Richmond, and K. Yumoto: Stratospheric warmings and the geomagnetic lunar tide: 1958–2007, *J. Geophys. Res.* 117, A04301, doi:10.1029/2012JA017514, 2012, Refereed.

Yamazaki, Y., K. Yumoto, D. McNamara, T. Hirooka, T. Uozumi, K. Kitamura, S. Abe and A. Ikeda: Ionospheric current system during sudden stratospheric warming events, *J. Geophys. Res.* 117, 1978-2012, DOI: 10.1029/2011JA017453, 2012, Refereed.

Liu, H., E. Doornbos, M. Yamamoto, and S. Tulasi Ram: Strong thermospheric cooling during the 2009 major stratosphere sudden warming. *GRL*, 38, L12102, doi:10.1029/2011GRL047898., 2011, Refereed.

Liu, H., M. Yamamoto, S. Tulasi Ram, T. Tsugawa, Y. Otsuka, C. Stolle, E. Doornbos, K. Yumoto, and T. Nagatsuma:

Equatorial electrodynamics and neutral background in the Asian sector during the 2009 stratospheric sudden warming. *J. Geophys. Res.*, 116, A08308, doi:10.1029/2011JA016607, 2011, Refereed.

〔学会発表〕(計30件)

宮原三郎, 陳穎雯: 成層圏突然昇温に伴う下部熱圏全球平均温度変動, 2014年5月21日, 日本気象学会春季大会, 横浜.

合屋研之, 宮原三郎, 陳穎雯: Kyushu-GCM及び準3次元ダイナモモデルを用いた Ultra Fast Kelvin 波による Equatorial Electro Jet 変動の評価, SGPSS 第6回電磁圏物理学シンポジウム, 2014年3月19日, 福岡.

Hirooka, T., T. Ohata, C. Iida, N. Eguchi:

Observed circulation changes up to the mesopause during sudden warming events. A23F-0380, A34E, Oral, 2013 AGU Fall Meeting, 11 Dec. 2013, San Francisco, USA.

大羽田剛史, 飯田千尋, 廣岡俊彦, 江口菜穂: EOS/MLS データに基づく成層圏・中間圏における半年周期振動の解析. 口頭, 第7回 MU レーダー・赤道レーダーシンポジウム, 京都大学生存圏研究所, 宇治, 2013年9月13日.

〔その他〕

ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

宮原 三郎 (Miyahara, Saburo)
九州大学・理学(系)研究科(研究院)・
名誉教授
研究者番号: 70037282

(2)研究分担者

湯元 清文 (Yumoto, Kiyofumi)
九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター・教授
研究者番号: 20125686

廣岡 俊彦 (Hirooka, Toshihiko)
九州大学・理学(系)研究科(研究院)・
教授
研究者番号: 90253393

河野 英昭 (Kawano, Hideaki)
九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター・准教授
研究者番号: 60304721

フィシン リュウ (Xuixin, Liu)
九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター・准教授
研究者番号： 70589639

渡辺 正和 (Watanabe, Masakazu)
九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター・准教授
研究者番号： 70446607

吉川 顕正 (Yoshikawa, Akimasa)
九州大学・国際宇宙天気科学・教育センター・講師
研究者番号： 70284479