

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25800274

研究課題名(和文)成層圏から超高層まで：成層圏突然昇温に対する熱圏降温現象の生成機構の解明

研究課題名(英文)From Troposphere to Upper Atmosphere: Thermosphere cooling in response to Stratosphere Sudden Warming

研究代表者

フィシン リュウ(Liu, Huixin)

九州大学・学内共同利用施設等・准教授

研究者番号：70589639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で以下の成果が得られた。1 成層圏突然昇温とき観測された熱圏変動は数値シミュレーションで再現できた。2 熱圏変動の時間と高度依存性を明らかになった。3 熱圏変動の電離圏変動への寄与を明らかにした。4 物理メカニズムを数値シミュレーションで解明した。成層圏突然昇温とき大気潮汐の半日周期成分が大きく増大し、その熱圏で減衰により、熱圏循環が変化し、熱圏変動を引き起こしたことがわかった。

研究成果の概要(英文)：The achievements of this project include the following aspects. 1. The observed cooling effect of the stratosphere warming (SSW) on the upper thermosphere is confirmed by model simulation. 2. The local time and height dependence of the thermosphere response is revealed, which provides a global context to synthesize ground and satellite observations. 3. The contribution of the thermosphere response to the ionosphere response is investigated. 4. The physical mechanism for the thermosphere cooling effect due to SSW is found to be the dynamical change in the zonal mean circulation at low and middle latitudes, with additional contributions from solar radiation and thermal heat conduction.

研究分野：超高層大気物理

キーワード：thermosphere dynamics vertical coupling ionosphere

1. 研究開始当初の背景

(1) 従来の地球大気圏の研究は、高度約 100km 付近の乱流層を境界として、上部と下部に隔てられ、超高層大気物理学と気象学で個別に研究が進められてきた。しかし、上下層大気結合が超高層大気の現象を説明する上で重要であることが認識されつつある。例えば、高度 300km 付近の電離圏と熱圏密度の東西分布が海陸分布と似た wave-4 構造は、下層大気と超高層大気の空間的な結合を示している(文献①)。更に、成層圏突然昇温と言う極域成層圏での突発気象現象に応答し、中低緯度で熱圏温度が 50K 近く下がった降温現象も発見された(文献②)。この結果は、日々変動の激しい下層大気の大気現象と超高層大気との時空間的な結合を強く示しており、国際的に大変注目を集めている。

(2) しかし、熱圏降温現象の発見は、大気上下結合研究に大きなインパクトを与えたものの、その発生機構は未解明である。大気結合モデルシミュレーションとの比較により熱圏降温現象を引き起こす成層圏から超高層までの結合過程を解明することが重要である。

2. 研究の目的

本研究は成層圏突然昇温(SSW)に由来する熱圏降温現象の生成機構を解析し、電離圏変動への寄与を調べる。これによって、激しい気象現象における超高層大気と下層大気の結合に物理過程的から迫る。

3. 研究の方法

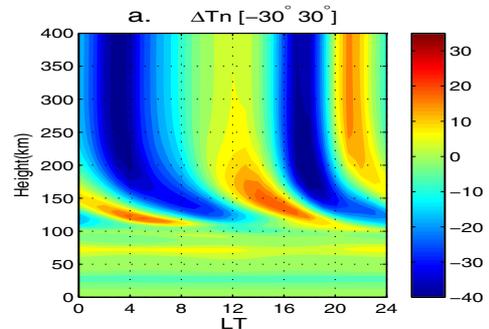
熱圏降温現象の生成メカニズムを解明するため、以下の具体的な解析を行う 1) 過去10年間のSSW事例を用い熱圏降温現象の発生及特徴を統計的に調べる。 2) 熱圏降温現象の電離圏プラズマへの影響を明らかにする。 3) 熱圏降温現象を引き起こす物理過程を観測と数値モデルとの比較で解明する。

4. 研究成果

まず、モデルシミュレーションの再現性を、衛星観測との比較により調べた。その結果、衛星観測された朝方と夕方の気温は、シミュレーションも観測も、ほぼ同じ 5 0 度下がった。これは、モデルが成層圏突然上昇の主な物

理過程を再現していると考えられる。

モデルの再現性を確認した上で、つぎに、シミュレーションシミュレーション結果を用い、衛星観測されなかった時間帯の影響も調べた。その結果、図2に示した全体像が現れた。成層圏突然上昇に対し、熱圏の気温は昼間と夜間で上昇し、朝方と夕方は降下することを見出した。



この変化は、半日周期擾乱と呼ばれている。

図1: 赤道域での成層圏突然昇温に伴う高度400kmまでの気温変化。横軸: 地方時; 縦軸: 高度(文献3)

この気温の半日周期擾乱を引き起こすメカニズムを明らかにするため、シミュレーション結果の潮汐分析を行った。主な潮汐成分のなかで、一日と8時間潮汐はほとんど変化せず、12時間潮汐の振幅が大幅に増大したことが分かった。12時間潮汐は、成層圏でのオゾン層によって作られた大気波なので、熱圏の半日周期擾乱は、成層圏突然上昇における大気の上下結合により作られたことが明らかになった(文献③④)。

<引用文献>

- ① Liu H, +, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L12102, doi:10.1029/2011GL047898, 2011.
- ② Liu H, +, *J. Geophys. Res.*, 116, A08308, doi:10.1029/2011JA016607, 2011.
- ③ Liu H.,+, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 635-640, doi:10.1002/grl.50146, 2013.
- ④ Liu H., +, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/2014JA020222,6784-6791, 2014.

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 15 件)

1. Chang, L., Huixin Liu, Y. Miyoshi, C. Chen, F. Chang, C. Lin, J. Liu, Y. Sun,

- Structure and origins of the Weddell Sea Anomaly from tidal and planetary wave signatures in FORMOSAT-3/COSMIC observations and GAIA GCM simulations, *J. Geophys. Res.*, 120, doi:10.1002/2014JA020752, 1325–1340, 2015.
2. Huixin Liu, Y. Miyoshi, S. Miyahara, H. Jin, H. Fujiwara, H. Shinagawa, Thermal and dynamical changes of the zonal mean state of the thermosphere during SSW: GAIA model simulations, *J. Geophys. Res.*, 119, doi:10.1002/2014JA020222, 6784-6791, 2014.
 3. Oyama, K.-I., J. T. Jhou, J. T. Lin, C. Lin, Huixin Liu, K. Yumoto, Ionospheric response to 2009 Sudden Stratospheric Warming in the northern hemisphere, *J. Geophys. Res.*, 119, doi:10.1002/2014JA020014, 1-16, 2014.
 4. Cardinal, M. G., A. Yoshikawa, H. Kawano, Huixin Liu, M. Watanabe, S. Abe, T. Uozumi, G. Maeda, T. Hada, K. Yumoto, Capacity building: A tool for advancing space weather science, *Space Weather*, 12, doi:10.1002/2014SW001110, 2014.
 5. Lin, C. H., J. T. Lin, C. H. Chen, J. Y. Liu, Y. Y. Sun, Y. Kakinami, M. Matsumura, W. H. Chen, Huixin Liu, R. J. Rau, Ionospheric shock waves triggered by Rockets, *Ann. Geophys.*, doi:10.5194/angeo-32-1145-2014, 2014.
 6. Guo, J., Huixin Liu, X. Feng, W. Wan, Y. Deng, and C. Liu, Constructive interference of large-scale gravity waves excited by interplanetary shock on 29 October 2003: CHAMP observations, *J. Geophys. Res.*, 119, doi:10.1002/2014JA020255, 6846-6851, 2014.
 7. Hamid, N. S. A., Huixin Liu, T. Uozumi, et al., Relationship between equatorial electrojet and global Sq currents at dip equator region, *Earth Planets and Space*, 66:146, <http://www.earth-planets-space.com/content/66/1/146>, 2014.
 8. Chen, H., Huixin Liu, T. Hanada, Storm-time atmospheric density modeling using neural networks and its application in orbit propagation, *Adv. in Space. Res.*, 53, 558-567, doi:10.1016/j.asr.2013.11.052, 2014.
 9. Guo, J., Huixin Liu, X. Feng, T. I. Pulkkinen, E. I. Tanskanen, C. Liu, D. Zhong, and Y. Wang, MLT and seasonal dependence of auroral electrojets: IMAGE magnetometer network observations, *J. Geophys. Res.*, 119, doi:10.1002/2014JA019843, 1-10, 2014.
 10. Guo, J., T. I. Pulkkinen, E. I. Tanskanen, X. Feng, B. A. Emery, Huixin Liu, C. Liu, and D. Zhong, Annual variations in westward auroral electrojet and sub-storm occurrence rate during solar cycle 23, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, doi:10.1002/2013JA019742, 1-8, 2014.
 11. Huixin Liu, H. Jin, Miyoshi, Y., H. Fujiwara, H. Shinagawa, Upper atmosphere response to stratosphere sudden warming: Local time and height dependence simulated by GAIA model, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 635-640, doi:10.1002/grl.50146, 2013a.
 12. Huixin Liu, T. Hirano, S. Watanabe, Empirical model of the thermospheric mass density based on CHAMP satellite observations, *J. Geophys. Res.*, 118, 843-848, doi:10.1002/jgra.50144, 2013b.
 13. Shi, R. Huixin Liu, A. Yoshikawa, B. Zhang, B. Ni, Coupling of electrons and inertial Alfvén waves in the topside ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 118, 1-8, doi:10.1002/jgra.50355, 2013.
 14. Hamid, N. S. A., Huixin Liu, T. Uozumi, K. Yumoto, Equatorial electrojet dependence on solar activity in Southeast Asia sector, *Antarctic Record*, Vol.57, No.3, 329-337, 2013.
 15. Hamid, N. S. A., Huixin Liu, T. Uozumi, K. Yumoto, Brief study of equatorial

electrojet and global Sq currents at Southeast Asia region, *Proceeding of the IEEE International Conference on Space Science and Communication*, 194-197, 2013.

[学会発表] (計 16 件)

1. Huixin Liu, Upper atmosphere response to stratosphere sudden warming events, SCOSTEP's 13th quadrennial solar-terrestrial physics symposium, Xian, China, October 12-18, 2014. 国際シンポジウム (招待講演)
2. Huixin Liu, Thermosphere response to lower atmosphere forcing: decadal observations from the CHAMP mission, CAWSESII workshop: whole atmosphere coupling during solar cycle 24, Taipei, July, 2013. 国際シンポジウム (招待講演)
3. Huixin Liu, Empirical model of the thermospheric mass density based on CHAMP satellite observations, AOGS, Brisbane, Australia, June, 2013. 国際シンポジウム (招待講演)
4. Huixin Liu, 2013年11月21日, Global mean cooling of the thermosphere during the 2009 major SSW, 国際シンポジウム, Scientific committee on Solar-Terrestrial Physics: Internatioal CAWSES-II symposium, 一般講演, Nagoya, Japan
5. Huixin Liu, Deguchi Ryo, 2013年11月21日, Ionospheric current system derived from CHAMP using DECS method at low and middle latitudes, 国際シンポジウム, Scientific committee on Solar-Terrestrial Physics: Internatioal CAWSES-II symposium, 一般講演, Nagoya, Japan
6. Huixin Liu, N. S. A. Hamid, 2013年11月21日, The equatorial electrojet and global Sq current components at dip equator, 国際シンポジウム, Scientific committee on Solar-Terrestrial Physics: Internatioal CAWSES-II symposium, 一般講演, Nagoya, Japan
7. Huixin Liu, Deguchi Ryo, 2013年11月05日, CAHMP 衛星の磁場データを用いた

中低緯度電離層電流の再構築, 国内, 学会, 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS), 一般講演, 高知

8. Huixin Liu, Tsubosaki H., 2013年11月03日, 熱圏の密度の季節変化, 国内, 学会, 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS), 一般講演, 高知
9. Huixin Liu, 2013年08月27日, vertical coupling processes in the Earth's system, 国際, NASA review panel, 招待, パネルディスカッション, NASA 本部
10. N. S. A. Hamid, Huixin Liu, 2013年07月02日, Brief Study of Equatorial Electrojet and Global Sq Currents At Southeast Asia Region, 国際学会, IEEE International Conference on Space Science and Communication (IconSpace), 一般講演, Melaka
11. N. S. A. Hamid, Huixin Liu, 2013年06月26日, Relation Between the Local Equatorial Electrojet and Global Sq Current Calculated from Different Longitude Sectors, 国際学会, Asia Oceania Geosciences Society, 一般講演, Brisbane
12. Huixin Liu, 2013年05月22日, Upper atmosphere response to stratosphere sudden warming: local time and height dependence simulated by GAIA model, 国際学会, JpGU meeting 2013, international session, 一般講演, Makuhari
13. Huixin Liu, M. H. Bin Jusoh, 2013年05月21日, Possible relationship between Solar Wind Input Energy and Seismicity, 国際学会, JpGU meeting 2013, international session, 一般講演, Makuhari
14. N. S. A. Hamid, Huixin Liu, 2013年05月21日, Relation between the local equatorial electrojet and global Sq current calculated from different longitude sectors, 国際学会, JpGU meeting 2013, international session, 一般講演, Makuhari
16. Deguchi Ryo, Huixin Liu, 2013年05月21日, Modification of one-dimensional spherical elementary current systems for applying at low/mid latitude, 国際学会, JpGU meeting 2013, international session, 一般講演, Makuhari

[図書] (計 1 件)

1. Stolle, C., Huixin Liu, Chapter 21: Low-latitude ionosphere and thermosphere: decadal observations from the CHAMP mission, in *Geophysical*

*Monograph Series 201: Modeling the
Ionosphere-Thermosphere System,*
edited by J. D. Huba, R. W. Schunk,
and G. V. Khazanov,
doi:10.1002/9781118704417.ch21,
2014.

〔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：
出願年月日：
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
(フィシン リュウ)

研究者番号：70589639

(2)研究分担者
(なし)

研究者番号：

(3)連携研究者
(なし)

研究者番号：