

機関番号：10101
 研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2008 ～ 2010
 課題番号：20340132
 研究課題名 (和文) 大気・プラズマ雲の同時可視化実験による熱圏電離圏結合過程の研究
 研究課題名 (英文) Study on thermosphere-ionosphere coupling by visualizations of neutral atmosphere and plasma
 研究代表者
 渡部 重十 (WATANABE SHIGETO)
 北海道大学・大学院理学研究院・教授
 研究者番号：90271577

研究成果の概要 (和文)：

熱圏電離圏を飛翔するサウンディングロケットにより、熱圏電離圏内に人工的に中性大気雲とプラズマ雲を同時に発生させ、可視化することによって、その運動をモニターし、大気・プラズマ結合過程の本質を世界に先駆けて解明する。地球の大気・プラズマ雲だけでなく、太陽風と金星・火星・彗星の大気・プラズマ、イオトーラス、タイタン大気・プラズマ、恒星風と系外惑星大気・プラズマ等に内在する素過程の理解にも繋がり、本研究が、惑星大気・プラズマ研究に与えるインパクトは極めて高い。NASA/ワロップスのロケット発射場と JAXA/内の浦宇宙空間観測所で実施するロケット実験にリチウムガス放出機器を搭載し人工雲を生成する。地上の3観測点から人工雲の運動を観測する。人工雲の運動から、高度 100km~300km の大気密度・温度・風速を求める。本研究により、リチウムガス放出機器と狭帯域フィルターを用いた高感度カメラを開発し観測研究を実施した。

研究成果の概要 (英文)：

We investigate the ionosphere-thermosphere coupling process by visualization of neutral atmosphere and plasma. The visualizations are carried out by Lithium gas releases from rockets, which are launched by NASA and JAXA/ISAS. The Lithium gas scatters sunlights with a wavelength of 670nm, and the bright gas is observed by CCD cameras with narrow band filters at 3 ground stations. From the diffusion and the movement of the Lithium gas, we estimate neutral wind velocity, density and temperature at altitudes from 100km to 300km.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・超高層物理学

キーワード：電離圏，熱圏，人工中性大気雲，ロケット実験，オーロラ

1. 研究開始当初の背景

熱圏大気の電離度は 10 万分の 1 程度であ

るために、プラズマの運動が熱圏大気に影響を与えることはないと考えられていた。しか

し、DE-2 衛星や CHAMP 衛星による中性大気密度と速度の観測は、熱圏大気の構造と運動が地球磁場の存在を、あたかも知っているように振舞うことを示していた。この現象は、大気とプラズマの相互作用に起因すると考えられているが、その詳細な物理・光化学プロセスを解明しようという実験や観測は存在しない。熱圏大気とプラズマの結合過程の本質を解明するために WINDs (Wind measurement for Ionized and Neutral atmospheric Dynamics Study) キャンペーンを研究代表により提案し、ロケット実験を用いて観測研究を実施した。2007 年 9 月の最初のロケット実験では、リチウムガスを高度 100km~300km に夕方放出した。リチウムガスの拡散と運動から、熱圏大気の運動、密度、温度を推定した。また、リチウムガスの一部がイオン化し、周囲の大気プラズマに影響を与えていることが発見された。

2007 年のロケット実験で確立した「リチウムガス放出による中性大気風・温度・密度測定技術」を用いて、昼間の熱圏大気とプラズマの運動を同時に可視化・測定する。この提案は NASA と JAXA/ISAS のロケット実験として採択され 2011 年 7 月と 8 月に実施される。また、新たな提案も JAXA/ISAS に採択され、2012 年 8 月にロケット実験を実施する。

2. 研究の目的

熱圏電離圏を飛翔するサウンディングロケットにより、熱圏電離圏内に人工的に中性大気雲とプラズマ雲を同時に発生させ、可視化することによって、その運動をモニターし、大気・プラズマ結合過程の本質を世界に先駆けて解明する。地球の大気・プラズマ雲だけでなく、太陽風と金星・火星・彗星の大気・プラズマ、イオトーラス、タイタン大気・プラズマ、恒星風と系外惑星大気・プラズマ等に内在する素過程の理解にも繋がり、本研究が、惑星大気・プラズマ研究に与えるインパクトは極めて高い。

3. 研究の方法

2011 年 7 月と 8 月に、NASA/ワロップスのロケット発射場と JAXA/ISAS 内の浦宇宙空間観測所でロケット実験を実施しリチウムガス放出による人工雲を生成する。ロケットにはリチウムガス放出機器を搭載する。このリチウム放出機器を開発する。さらに、CCD カメラと狭帯域フィルターを組み合わせた、人工雲測定装置（高感度カメラ）を制作する。高感度カメラは、お互いに~200km 離れた 3 地上観測点に設置し、可視化された人工雲を~1 時間追尾する。人工雲の運動と拡散を観測することにより、高度 100km~300km の大気密度・温度・風速を求める。これらのデータとロケットに搭載した大気プラズマ測定

機器と電磁場測定機器によるプラズマと電磁場の直接観測データから、大気プラズマ相互作用の物理・光化学過程の本質を解明する。

4. 研究成果

ロケットに搭載するリチウムガス放出機器と狭帯域フィルターを備えた高感度カメラの開発、サウンディングロケット実験の実施から得られた成果を以下にまとめる。

- (1) 2011 年 7 月と 8 月に、NASA/ワロップスのロケット発射場と JAXA/ISAS 内の浦宇宙空間観測所からロケットを打ち上げる。大気プラズマを可視化するために、リチウムガスを放出するキャニスターを搭載する。リチウムガス放出機器の製作が終了した。
- (2) 日照時に、高度 100km~300km に放出したリチウムガスは太陽光を 670nm の波長で共鳴散乱する。この共鳴散乱光を地上から観測するために、狭帯域フィルターを備えた高感度カメラを開発した。光学試験を行い、性能を確認した。米国と日本で実施するロケット実験のために、3 観測地点の現地調査を実施した。
- (3) リチウムガスによる人工雲の詳細な変動を捉えるために、狭帯域フィルターを備えた高感度ビデオ機器を製作した。光学性能と動作試験を行った。2011 年に米国と日本で実施するロケット実験では、高感度カメラと同様に地上観測機器として使用する。
- (4) 日本カーリット(株)で、リチウムキャニスターの動作試験を実施した。確実に点火しリチウムガスを放出していることを確認した。
- (5) 2007 年に実施したサウンディングロケット実験の解析から、リチウムイオンが生成されていることを発見した。大気プラズマ同時観測が確実に実施できることを確認した。
- (6) 2012 年 8 月に JAXA/ISAS 内の浦宇宙空間観測所で大気プラズマ結合・プラズマ不安定についてロケット実験を実施することが決定された。リチウムガス放出機器を搭載する。
- (7) 2012 年 NASA が計画している赤道域でのロケット実験にリチウム放出機器の搭載が決定された。

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 13 件)

- ① T. Kondo, A. D. Richmond, H. Liu, J. Lei, S. Watanabe, On the formation of a fast

- thermospheric zonal wind at the magnetic dip equator, *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, in print, 2011
- ② Y. Kakinami, C. H. Lin, J. Y. Liu, M. Kamogawa, S. Watanabe and M. Parrot, Daytime longitudinal structures of electron density and temperature in the topside ionosphere observed by the Hinotori and DEMETER satellites, *J. Geophys. Res.*, 査読有, in print, 2011
- ③ Shigeto Watanabe, Tutomu Kondo, Ionosphere-thermosphere coupling in the low latitude region, in *Aeronomy of the Earth's atmosphere and ionosphere*, Springer, 査読有, 375-380, 2010.
- ④ Shigeto Watanabe, Dynamical Coupling of the Low Latitude Ionosphere-Thermosphere, Second International Symposium on Radio Systems and Space Plasma, 査読有, pp101-104, 25-27 August, Sofia, Bulgaria, 2010 (<http://www.isrssp.org/>)
- ⑤ Jyunpei Uemoto, Takayuki Ono, Tomohisa Yamada, Tomonori Suzuki, Masa-Yuki Yamamoto, Shigeto Watanabe, Atsushi Kumamoto, and Masahide Iizima, Impact of lithium releases on ionospheric electron density observed by impedance probe during WIND campaign, *Earth Planets Space*, 査読有, 62, 589-597, 2010
- ⑥ N. Kitamura, Y. Nishimura, T. Ono, Y. Ebihara, N. Terada, A. Shinbori, A. Kumamoto, T. Abe, M. Yamada, S. Watanabe, A. Matsuoka, and A. W. Yau, Observations of very-low-energy (<10 eV) ion outflows dominated by O⁺ ions in the region of enhanced electron density in the polar cap magnetosphere during geomagnetic storms, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 査読有, VOL. 115, doi:10.1029/2010JA015601, 2010
- ⑦ Huixin Liu, Hermann Luhr, Shigeto Watanabe, A solar terminator wave in thermospheric wind and density simultaneously observed by CHAMP, *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, VOL. 36, L10109, doi:10.1029/2009GL038165, 2009
- ⑧ Huixin Liu, Shigeto Watanabe, Tsutomu Kondo, Fast thermospheric wind jet at the Earth's dip equator, *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, VOL. 36, L08103, doi:10.1029/2009GL037377, 2009
- ⑨ N. Balan, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Watanabe, and G. J. Bailey, Super plasma fountain and equatorial ionization anomaly during penetration electric field, *J. Geophys. Res.*, 査読有, Vol. 114, A03310, doi:10.1029/2008JA013768, 2009
- ⑩ Nanan Balan, Katya Georgiva, Charles Lin, Shigeto Watanabe and Takuji Nakamura, Coupling of solar wind, magnetosphere, ionosphere and upper atmosphere, 査読有, doi:10.1016/j.jastp.2008.09.015, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2008
- ⑪ N. Balan, S. V. Thampi, K. Lynn, Y. Otsuka, H. Alleyne, S. Watanabe, M. A. Abdu and B. G. Fejer, F3 layer during penetration electric field, *J. Geophys. Res.*, 査読有, VOL. 113, A00A07, doi:10.1029/2008JA013206, 2008
- ⑫ Huixin Liu and Shigeto Watanabe, Seasonal variation of the longitudinal structure of the equatorial ionosphere: Does it reflect tidal influences from below? *J. Geophys. Res.*, 査読有, VOL. 113, A08315, doi:10.1029/2008JA013027, 2008
- ⑬ Kakinami, Y., Watanabe, S., and Oyama, K.-I., An empirical model of electron density in low latitude at 600 km obtained by Hinotori satellite, *Adv. Space Res.*, 査読有, 41, 1494-1498, 2008
- [学会発表] (計 88 件)
- 1 S. Watanabe, Ion-Neutral Coupling in the Thermosphere, Earth-Sun System Exploration: Variability in Space Plasma Phenomena, January 16-21, 2011, Kona, Hawaii (invited talk)
- 2 S. Watanabe, T. Abe, H. Habu, M. Yamamoto, Lithium Release Experiment in the Thermosphere, AGU, December 15-17, 2010 San Francisco, USA (invited talk)
- 3 Shigeto Watanabe, Earth Science with JEM-EUSO, The Eighth International JEM-EUSO meeting, December 3, 2010, JAXA (invited talk)
- 4 Y. Kakinami, J.-Y. Liu, S. Watanabe, Correlation between electron density and temperature observed by the HINOTORI satellite, The Ninth Cross-Strait Space Sciences Workshop (CSSSW9), October 16-22, 2010, Tainan, Taiwan
- 5 Yamamoto, M.-Y., Morinaga, T., Watanabe, S., Abe, T., Habu, H., Larsen, M.F., Yamamoto, M., Neutral wind measurements by chemical release experiments and ground-based observations in Japanese sounding rocket campaigns, 2010 Taiwan-Japan Space Instrument Workshop, September 8-10, 2010, Tainan, Taiwan, (invited talk)
- 6 Shigeto Watanabe, Atsushi Yamazaki, Manabu Yamada, Akatsuki team, Ultraviolet Imager on Akatsuki, Space

- Instrument Workshop, September 9, 2010, Tainan, Taiwan (invited talk)
- 7 Shigeto Watanabe, Dynamical Coupling of the Low Latitude Ionosphere-Thermosphere, Second International Symposium on Radio Systems and Space Plasma, August 25-27, 2010, Sofia, Bulgaria(invited talk)
- 8 Shigeto Watanabe, Huixin Liu, Tsutomu Kondo, IONOSPHERE-THERMOSPHERE COUPLING IN LOW LATITUDE REGION, COSPAR, July 19-23, 2010, Bremen, Germany(invited talk)
- 9 Naritoshi Kitamura, Yukitoshi Nishimura, Takayuki Ono, Yusuke Ebihara, Naoki Terada, Atsuki Shinbori, Atsushi Kumamoto, Takumi Abe, Manabu Yamada, Shigeto Watanabe, Ayako Matsuoka, Andrew W. Yau, VERY LOW-ENERGY ION OUTFLOWS DOMINATED BY OXYGEN IONS IN THE POLAR CAP MAGNETOSPHERE DURING GEOMAGNETIC STORMS, COSPAR, July 19-23, 2010, Bremen, Germany
- 10 Huixin Liu, Mamoru Yamamoto, Hermann Luehr, Shigeto Watanabe, WAVE-4 PATTERN OF THE EQUATORIAL MASS DENSITY ANOMALY -EVIDENCE FOR DIRECT WAVE PENETRATION TO THE UPPER THERMOSPHERE, COSPAR, July 19-23, 2010, Bremen, Germany
- 11 S. Watanabe, T. Abe, H. Habu, M-Y. Yamamoto, WINDs Team, WINDs Campaign - Lithium Release Experiment in the Thermosphere -, AOGS, July 5-8, 2010, Hyderabad, India(invited talk)
- 12 Y. KAKINAMI, C. H. LIN, J. Y. LIU, S. WATANABE, M. KAMOGAWA, and M. PARROT, Wave-4 Structure of Electron Density and Temperature in the Topside Ionosphere, AOGS, July 5-8, 2010, Hyderabad, India
- 13 Tsutomu Kondo and Shigeto Watanabe, Distribution of thermospheric zonal wind and zonal drift formed by F-region dynamo, IRI2009 workshop, URSI/COSPAR INTERNATIONAL REFERENCE IONOSPHERE WORKSHOP, November 2-7, 2009, Kagoshima
- 14 SHIGETO WATANABE, Huixin Liu, Tsutomu Kondo, FAST THERMOSPHERIC WIND JET AT THE EARTH' S DIP EQUATOR, IAGA, August 23-30, 2009, Sopron, Hungary
- 15 HUIXIN LIU, HERMANN LUEHR, SHIGETO WATANABE, A SOLAR TERMINATOR WAVE IN THERMOSPHERIC WIND AND DENSITY SIMULTANEOUSLY OBSERVED BY CHAMP, IAGA, August 23-30, 2009, Sopron, Hungary
- 16 Shigeto Watanabe, Huixin Liu, Hermann Luehr, Longitudinal distribution of electron density and temperature in ionospheric F-region, COSPAR, July 13-19 2008, Montreal, Canada(invited talk)
- 17 Shigeto Watanabe, Takumi Abe, Hiroto Habu, Masato Nakamura, Takayuki Ono, Yuichi Otsuka, Akinori Saito, Mamoru Yamamoto, Masa-yuki Yamamoto, Lithium Release Experiment in the Thermosphere, COSPAR, July 13-19, 2008, Montreal, Canada (invited talk)
- 18 M.-Y. Yamamoto, S. Watanabe, Y. Yokoyama, H. Habu, T. Abe, M. Yamamoto, Y. Otsuka, A. Saito, T. Ono, M. Nakamura, Thermospheric neutral wind measurement by three rocket-released Lithium clouds: WIND campaign, COSPAR, July 13-19, 2008, Montreal, Canada
- 19 S. WATANABE, S. NANBU, T. ABE, H. HABU, T. ONO, Y. OTSUKA A. SAITO, M. YAMAMOTO, M-Y. YAMAMOTO, WIND Campaign -Rocket Experiment for Lithium Release-, AOGS, June 16-20, 2008, Busan, Korea (invited talk)
- 20 M.-Y. Yamamoto, Y. Yokoyama, H. Habu, T. Abe, S. Watanabe, M. Yamamoto, Y. Otsuka, A. Saito, T. Ono, M. Nakamura, WIND rocket campaign: Lithium release experiment in evening midlatitude thermosphere, ISEA-12, May 19-24, 2008, Crete, Greece
- 21 S. Watanabe, Thermal ion escape as a source of magnetospheric plasma, The First Korean Winter School on Space Physics in Korea, February 21-22, 2008 Gyeongju, Korea (invited talk)
- [図書] (計3件)
- ① 渡部重十, 総説 宇宙天気: 電離圏, 京都大学出版会, 印刷中, 2011,
- ② Shigeto Watanabe, Tsutomu Kondo, Ionosphere-thermosphere coupling in the low latitude region, in Aeronomy of the Earth' s atmosphere and ionosphere, Springer, 2010, 375-380.
- ③ 在田一則, 竹下徹, 見延庄二郎, 渡部重十編著, 地球惑星科学入門, 北海道大学出版会, 2010, 427P
- [その他]
ホームページ等
<http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~shw/>
<http://www.ele.kochi-tech.ac.jp/rocket/>
6. 研究組織
(1) 研究代表者
渡部 重十 (WATANABE SHIGETO)
北海道大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号: 90271577
- (2) 研究分担者

なし

(3)連携研究者
なし