

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：32689

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24840040

研究課題名(和文) 放電現象によるグローバルな地球対流圏・電離圏間結合の観測的研究

研究課題名(英文) An experimental study on the global coupling between the Earth's troposphere and ionosphere through electrical discharges

研究代表者

足立 透 (Adachi, Toru)

早稲田大学・高等研究所・助教

研究者番号：10632391

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、雷放電と超高層放電による対流圏・電離圏間の電磁結合をグローバルに解明することを目的として、衛星光学データと地上電磁波データを用いた解析を行った。その結果、衛星光学観測によって雷放電の電気的性質を導出する新手法の開発に成功し、この技術を用いて地球スケールでの現象解明が可能となった。本研究で得られた結果は、陸域に比べて海域で雷放電のピーク電流値とエルブスの発生頻度が高いこと、また低緯度に比べて中緯度で、雷放電が連続電流を有しやすくスプライトの発生確率が高いことを示し、雷・超高層放電の結合関係に地域依存性があることを初めて示すものとなった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we analyzed satellite optical data and ground-based radio data to elucidate the electromagnetic coupling between the Earth's troposphere and ionosphere through lightning discharges and TLEs (Transient Luminous Events). It was shown that spaceborne optical instruments are useful to derive electrical properties of lightning. Based on the technique we developed here, it was found that the peak current intensity of lightning and the occurrence probability of elves are both higher over ocean than over land. It was also found that lightning discharges tend to have longer continuing current at higher latitudes, which is in good agreement with the result that the occurrence probability of sprites is higher at mid-latitudes than at low-latitudes.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：超高層物理学

キーワード：雷放電 超高層放電 人工衛星 リモートセンシング 大気電気

1. 研究開始当初の背景

1989年以降、雷放電によって誘起されるさまざまなタイプの超高層放電(スプライト、エルプスなど)が相次いで発見され、対流圏から電離圏に至る地球大気の電磁環境を一体的に理解する必要性が叫ばれてきた。一方で近年では、自然災害をもたらす顕著な大気現象を理解する上で、雷放電モニタリングの重要性が再認識されており、既に米国では次世代気象衛星への雷観測装置の搭載を決定し、気象防災研究に役立てようとする試みが現実のものとなっている。

このように、放電現象をめぐる学術研究の重要性が多方面から急速に高まる中で、2004年に雷・超高層放電を宇宙から一手に観測する初めての衛星観測器 ISUAL が打ち上げられた。これまでの観測により、当該機器は超高層放電のグローバルな発生分布を明らかにし、地球電磁環境の新しい側面を切り拓いている。しかしながら、これまでの研究は超高層放電の生成機構や発生分布の理解に焦点を合わせたものが多く、その原因である雷放電の性質を含めた総括的な議論は極めて乏しいままであった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、当該観測器のデータを他の観測機器で得られたデータと組み合わせることにより、雷放電と超高層放電を一手に取り扱い、両者の関係性をグローバルに理解することを目的とした。この目的を達成するため、<過程> 雷放電の発光から電気的性質を推定する新しい手法の開発と、<過程> 雷放電の電気特性と超高層放電の発生分布のグローバルな関係性の解明を目指して研究に取り組んだ。

3. 研究の方法

上述の目的を効率的に達成するため、本研究では研究期間の2年間を区分し、初年度と次年度にそれぞれ<過程>と<過程>を遂行した。

<過程>

本過程では、人工衛星観測によって得られた光学データと、同時刻に地上で取得された電磁波データを組み合わせた解析を行った。詳細事例解析と統計解析の2種類からなる研究過程を通して、人工衛星で観測される発光強度の時系列データおよびスペクトル情報と、地上観測によって得られる雷放電の電流特性との関係性を押さえ、衛星観測から雷の電気特性を導出する新しい手法の開発に取り組んだ。

<過程>

次に過程で新規開発した解析手法を応用して、雷放電の性質をグローバルに推定した。とりわけ、雷電流のピーク値や継続時間、放

電プロセスの種別といった性質に着目してそれらをパラメータ化することにより、緯度・経度依存性、海陸依存性、季節依存性、それらの時空間変化の観点から調査を行った。さらに、これらの中でとりわけ顕著な特徴を示すものについては、超高層放電の全球分布との比較を行い、両者の関係性をグローバルに調査した。

4. 研究成果

本研究によって得られた成果を研究過程毎に以下に示す。

(1) 過程 : 新しい解析手法の開発

本過程では、雷放電の特性を推定する新しい手法の確立を目的として、衛星光学データの解析を行った。その結果として得られた成果は次の通りである。

<成果 : 雲放電・対地放電の識別>

宇宙機によって取得される光学スペクトル情報の解析によって、雲内放電と対地放電を識別する技術の確立に取り組んだ。地球大気による光の散乱効果が波長毎に異なることを利用して、地表面の深い大気に進展する対地放電と大気の上層部で発生する雲放電が識別可能であることを示した。

<成果 : 放電素過程の抽出>

次に対地放電に着目して生波形データを用いたイベント解析を行い、雷発光の時間発展を数100マイクロ秒単位で詳しく調査した。その結果として、雷の一連のプロセスの中で最も電磁的・光学的エネルギーが高い帰還雷撃のみならず、それに時間的に先行する初期放電や、後続する連続電流あるいはMコンポーネントといった素過程を分離して検出可能であることが明らかになった。

<成果の意義とインパクト>

雷放電をターゲットとした過去の人工衛星は、単一波長かつ時間分解能の低いイメージング観測の手法を採用していたため、個々の事例の詳細な特徴を捕えることができなかった。本研究は、このような衛星光学観測を世界で初めて多波長に展開することで雷発光の色を識別し、雲内・対地放電の分別を可能としたばかりか、高速スキャンによって放電素過程も抽出可能であることを示したものである。本研究によって提案された放電特性の新しい導出手法は、地球電磁環境の理解や近年の社会問題である極端気象を解明する鍵となると考えられ、今後の研究につながる重要性の高い知見である。

(2) 過程 : グローバルな理解

本過程では、雷放電の性質をグローバルに理解し、超高層放電との結合関係を解明することを目的として統計解析を行った。得られた成果を以下に述べる。

<成果 : 雷放電の性質の地域依存性>

過程 で確立した技術を用いて雷放電の性質の地域依存性を調査したところ、次の明瞭な特徴が見出された。まず海陸依存性に着目したところ、海域ではピーク電流値の高い雷放電が発生しやすいことが明らかになった(図1上を参照)。このような傾向は雷放電の他のパラメータには見られないものであり、雷のピーク電流値が陸域と海域で異なることを示すものである。一方で緯度依存性に着目すると、低緯度域では継続時間の短いストロークを複数回伴う多重雷が多く、中緯度域では連続電流を伴うシングル・ストローク型の雷が多いという特徴が明らかになった。このように、海陸依存性と緯度依存性については明瞭な特徴がみられることから、この2つの観点について次に述べる超高層放電の発生分布との比較を行った。

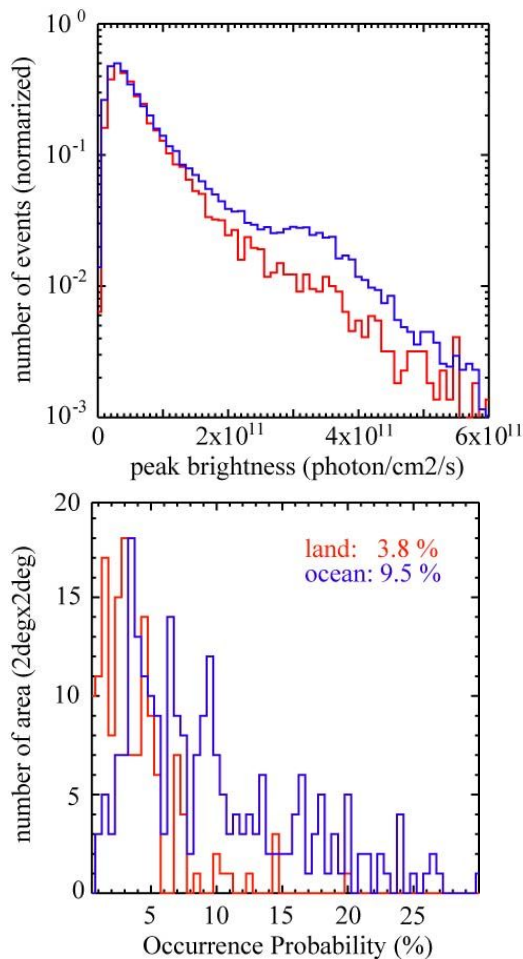


図1.(上)雷放電の帰還雷撃に伴う発光強度ピーク値のヒストグラム。赤が陸域、青が海域のイベントを表し、発光強度の強いイベントが海域に多いことを示す。(下)エルプスの発生頻度のヒストグラム。色の意味は上図と同じであり、海域における発生頻度が陸域における発生頻度に比べて顕著に高いことを示す。

<成果 : 超高層放電の地域依存性>

雷放電の性質と超高層放電の発生における結合関係の調査を目的として、スプライトとエルプスの発生頻度に関する地域依存性を調査した。まず海陸依存性に着目したところ、スプライトの発生頻度は海域・陸域の間に差異は見られないものの、エルプスの発生頻度については、陸域に対して海域で約2.5倍高いという事実が明らかになった(図1下を参照)。これは、雷のピーク電流値とエルプスの強い結びつきを示すものであり、海域と陸域での表面電気伝導度の違いが両域間のコントラストを生み出す原因であることが想像される。その一方で、緯度依存性に着目したところ、エルプスの発生頻度に明瞭な傾向は見られないものの、スプライトの発生に関しては、南緯および北緯約25度を境に高緯度側で著しく発生頻度が高まることが明らかになった。この結果はこれまでに報告のない新しいものであり、さらなる詳細調査の必要性を示唆する。

<成果 : 雷・超高層放電の新しい観測>

上述の結果の妥当性を確かめるため、国際宇宙ステーション搭載のJEM-GLIMSによって観測されたデータの解析を行った。過程 で述べた新規開発の解析技術はFORMOSAT-2衛星ISUALのリム観測データに基づいていたため、現象の奥行方向の位置決定精度が低く、それに伴い、得られた推定結果に無視できない誤差が含まれる可能性が考えられる。そこで、この点における誤差の少ないGLIMSの観測データを解析したところ、本研究で得られた知見と整合する結果が得られ、当該技術の妥当性が支持された。またこの過程で、宇宙からの多波長観測が雷・超高層放電の識別にも有用であるという事実が明らかになり、今後の衛星観測に新しい可能性を示唆するものとなった。

<成果の意義とインパクト>

本研究は、過去の研究で示唆されてきた雷放電パラメータとスプライト・エルプスの結合関係を支持すると同時に、これまで未解明であった海陸依存性や緯度依存性といった地球スケールでの描像を明らかにした点に学術的意義を有するものである。さらに、この種の課題に対して、これまで実現が困難であった地球を真下に見下ろすナディア観測においても同様の研究手法を適用可能であることを示唆し、今後の宇宙機観測に新しい可能性を提案するに至った。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3件)

- A. Marshall, T. Adachi, R.-R. Hsu, and A. B. Chen, Rare examples of Early VLF events Observed in Association with ISUAL-Detected Gigantic Jets,

Radio Science, 査読有、49, 2014, 36-43, DOI:10.1002/2013RS005288.

佐藤光輝、牛尾知雄、森本健志、足立透、鈴木睦、山崎敦、菊池雅行、高橋幸弘、Umran Inan, Ivan Linscott, 芳原容英、国際宇宙ステーションからの雷放電と高度度発行現象の観測計画、初期観測結果、第27回大気圏シンポジウム講演集、査読無、3-4, 2013. http://www.isas.ac.jp/j/researchers/symp/2013/image/0228_proc/3-4.pdf

足立透、宇宙機による超高層放電研究の新展開、早稲田大学高等研究所紀要、査読有、第5号、2013、5-26

http://www.waseda.jp/wias/achievement/bulletin/data/t_adachi_2012.pdf

〔学会発表〕(計 9件)

Adachi, T., M. Sato, T. Ushio, A. Yamazaki, M. Suzuki, M. Kikuchi, Y. Takahashi, U. Inan, I. Linscott, Y. Hobara, Detection method of lightning and TLEs by JEM-GLIMS Nadir Observation, American Geophysical Union 2013 Fall Meeting, 2013年12月11日、サンフランシスコ

足立透、佐藤光輝、牛尾知雄、山崎敦、鈴木睦、菊池雅行、高橋幸弘、U. Inan, I. Linscott, 芳原容英、JEM-GLIMSによる宇宙からの雷・超高層放電の他波長観測、日本気象学会 2013年度秋季大会、2013年11月19日、仙台

足立透、佐藤光輝、牛尾知雄、山崎敦、鈴木睦、菊池雅行、高橋幸弘、U. Inan, I. Linscott, 芳原容英、JEM-GLIMSによる雷・TLEの天底観測：検出手法の確立、地球電磁気・地球惑星圏学会第134回講演会、2013年11月03日、高知

Adachi, T., M. Sato, T. Ushio, T. Morimoto, A. Yamazaki, M. Suzuki, M. Kikuchi, Y. Takahashi, U. Inan, I. Linscott, Y. Hobara, Nadir observation of lightning and TLEs by JEM-GLIMS: Comparison with ISUAL Limb observation, 日本地球惑星科学連合2013年大会、2013年05月23日、千葉

足立透、雷・超高層放電の科学、名古屋大学太陽地球環境研究所研究集会「雷・超高層放電の科学」、2013年03月15日、名古屋

Adachi, T., M. Cohen, G. Lu, S. Cummer, R. Blakeslee, T. Marshall, M. Stolzenburg, S. Karunarathne, R.-R. Hsu, H.-T. Su, A. B. Chen, Y. Takahashi, S. B. Mende, and H. U. Frey, Coincident observation of lightning using spaceborne spectrophotometer and ground-level electromagnetic sensors, American Geophysical Union 2012 Fall Meeting, 2012年12月04日、サンフラ

ンシスコ

足立透、M. Cohen, G. Lu, S. Cummer, R. Blakeslee, R.-R. Hsu, H.-T. Su, A. B. Chen, Y. Takahashi, S. B. Mende, and H. U. Frey, FORMOSAT-2/ISUALによる雷放電の他波長フォトメータ観測、地球電磁気・地球惑星圏学会第132回講演会、2012年10月21日、札幌

足立透、M. Cohen, G. Lu, S. Cummer, R. Blakeslee, R.-R. Hsu, H.-T. Su, A. B. Chen, Y. Takahashi, S. B. Mende, and H. U. Frey, FORMOSAT-2/ISUALによる雷放電の衛星光学スペクトル観測、日本気象学会2012年秋季大会、2012年10月05日、札幌

Adachi, T., M. Cohen, G. Lu, S. Cummer, R. Blakeslee, R.-R. Hsu, H.-T. Su, A. B. Chen, Y. Takahashi, S. B. Mende, and H. U. Frey, Multi-color photometric observation of cloud-to-ground and intra-cloud lightning from space, 日本地球惑星科学連合2012年大会、2012年05月21日、千葉

6. 研究組織

(1) 研究代表者

足立透 (ADACHI, Toru)

早稲田大学・高等研究所・助教

研究者番号：10632391