

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23403007

研究課題名(和文) 落雷の最終雷撃過程の完全解明とこれに基づいた帰還雷撃モデルの改善

研究課題名(英文) Investigation into lightning attachment processes and modification of return stroke modeling

研究代表者

王道洪(Wang, Daohong)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号：20273120

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,600,000円

研究成果の概要(和文)：落雷の最終雷撃過程の観測に特化した高時間分解能・広ダイナミックレンジ・高感度・超ワイドビューを有する超高速光学イメージングシステムを開発した。このシステムをフロリダロケット誘雷実験場に4年間設置し、100個を超える雷撃の最終雷撃過程の観測に成功した。これらの観測データを解析して、最終雷撃過程、とりわけ、帰還雷撃の開始過程を明らかにした。これらの結果に基づき、帰還雷撃のモデルの改良を行った。

研究成果の概要(英文)：We have developed a high speed optical imaging system specifically designed for studying the lightning attachment process. We have installed the system at the International Center for Lightning Research and Testing (ICLRT), located in north-central Florida for 4 years and have succeeded in observing the lightning attachment processes for more than 100 return strokes contained either in rocket-triggered lightning and natural lightning discharges. We have analyzed those observed data and obtained several new findings on the lightning attachment processes, particularly, the return stroke initiation processes. Based on those results, we have proposed a new return stroke model by taking into account the return stroke initiation processes.

研究分野：電気工学

キーワード：落雷 雷害 帰還雷撃 最終雷撃過程 放電

1. 研究開始当初の背景

雷雲からの下向きリーダ放電が大地に接近すると、大地から上向きお迎えリーダを誘発する。その後、両リーダが結合し、強い電流と発光を伴う帰還雷撃を引き起こす。この一連の、大地の近く、マイクロ秒以下の時間スケールで発生している雷放電現象は落雷の最終雷撃過程と呼ばれ、最適な避雷針システムの設計や多地点で記録された電磁界波形による落雷電流の算出に極めて重要であるため、以前から雷物理の最重要な研究課題の一つである。しかし、この雷撃過程の観測に適している高速光学装置がなく、実測データもほとんどないため、最終雷撃過程の詳細は全く分かっていなかった。

2. 研究の目的

- (1) 下向きリーダと上向きお迎えリーダがどのようなプロセスを経て接合し、どのように帰還雷撃を引き起こすかの詳細を完全に明らかにする。
- (2) 下向きリーダと上向きお迎えリーダの両リーダの接合点における帰還雷撃の速度とその時の電磁界波形、雷撃電流との関連性を明らかにする。
- (3) 多地点電磁界波形から落雷電流を推定するに用いられる帰還雷撃モデルを改善する。

3. 研究の方法

- (1) 落雷の最終雷撃過程の観測に特化した高時間分解能・広ダイナミックレンジ・高感度・超ワイドビューを有する超高速光学イメージングシステムを開発し、それを用いて、フロリダロケット誘雷実験場での自然落雷とロケット誘雷両方を観測する。
- (2) 観測した光学データから各放電プロセスの進展様相を解析する。
- (3) 上記(2)の解析結果と研究協力者により取得した雷撃電流、電磁界データと照合し、各関連性を検討する。(4) 本研究で初めて明らかになった最終雷撃過程を考慮した帰還雷撃モデルを構築する。

4. 研究成果

- (1) 落雷の最終雷撃過程の観測に特化した高時間分解能・広ダイナミックレンジ・高感

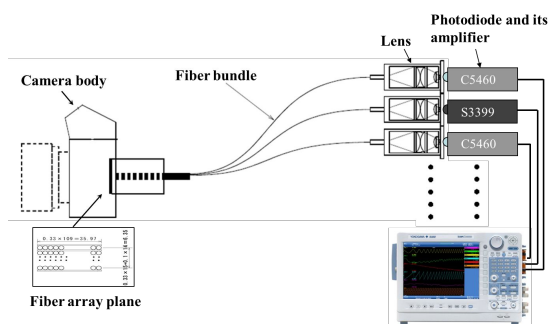


図1 開発した落雷最終雷撃過程観測専用光学システム(LAPOS)の概略図

度・超ワイドビューを有する超高速光学イメージングシステム(図1を参照)を開発した。(2) 本研究開発した落雷最終雷撃過程観測専用光学システム(LAPOS)をフロリダロケット誘雷実験場に4年間設置し、100個を超す雷撃の最終雷撃過程の観測に成功した。図2にデータの一例を示す。

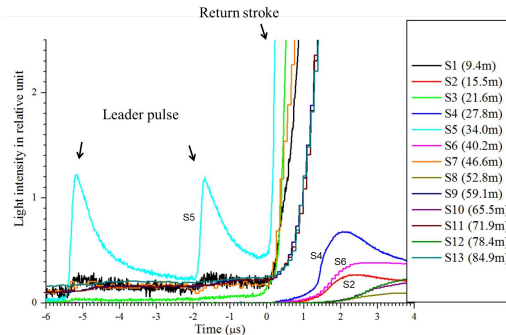


図2 観測した落雷の最終雷撃過程のデータ例

(3) 図2のような観測データより落雷の雷撃がある高度で開始され、その後、その開始高度から双方向に進展することを明らかにした。帰還雷撃開始高度付近におけるリーダ速度と帰還雷撃速度、とりわけ、帰還雷撃の下向きの速度の測定に成功した。これらの結果例を図3、図4、図5、図6に示す。大多

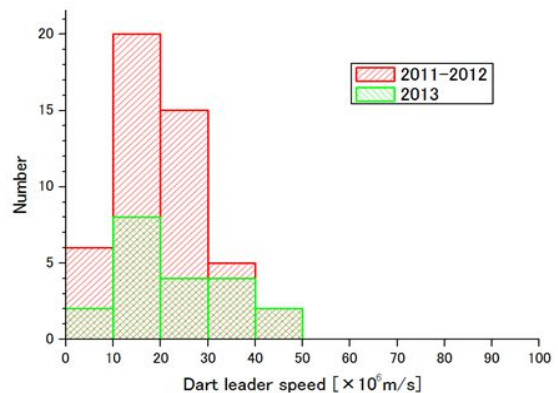


図3 帰還雷撃開始高度付近におけるダートリーダの速度測定結果例

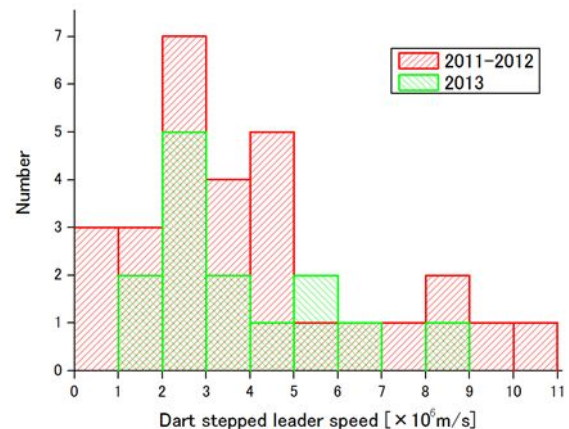


図4 帰還雷撃開始高度付近におけるダートステップリーダの速度測定結果例

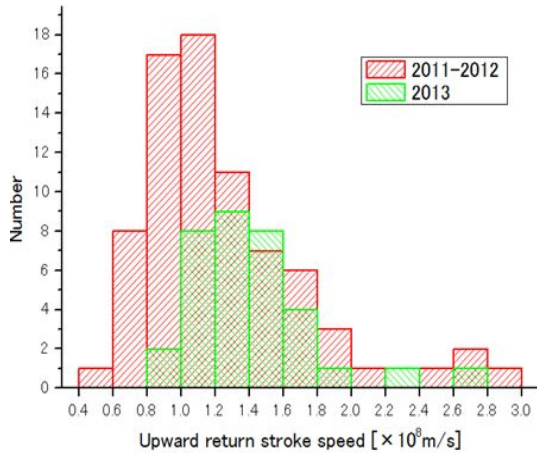


図5 帰還雷撃開始高度付近における帰還雷撃の上向き速度の測定結果例

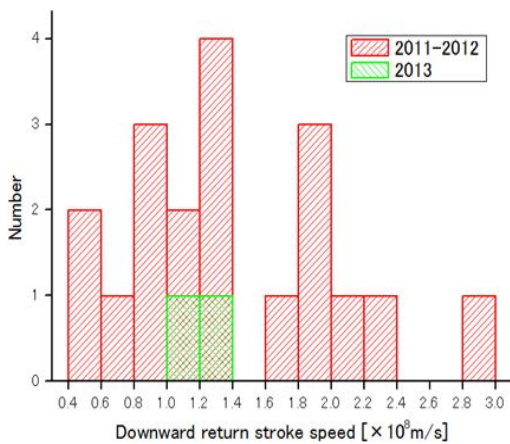


図6 帰還雷撃開始高度付近における帰還雷撃の下向き速度の測定結果例

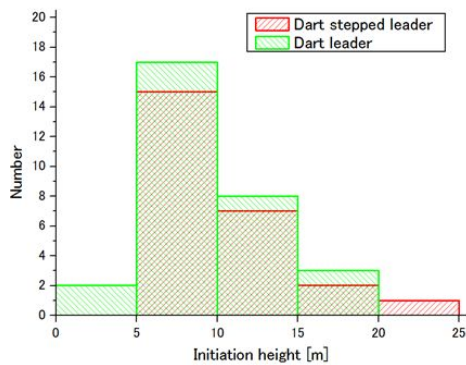


図7 帰還雷撃開始高度の測定結果例

数の雷撃の下向き速度が通常に雷撃速度と同程度であるが、落雷の第一雷撃の中に下向き速度が通用の雷撃速度よりひとケタも小さいものも複数例を発見した。

(4) 図2のような観測データと(3)の結果より雷撃の開始高度を求める方法を提案し、観測できた各雷撃の開始高度を求めることに成功した。図7にその結果の一例を示す。

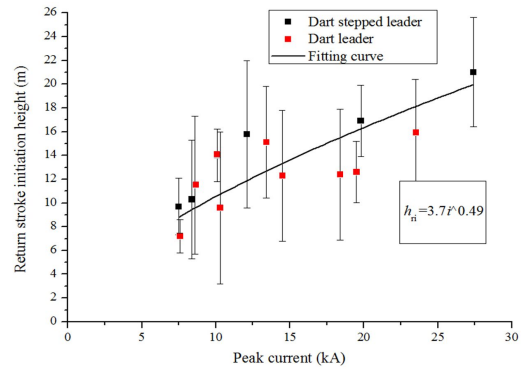


図8 雷撃の開始高度と電流ピーク値の相関結果例

(5) 上記(4)で求めた雷撃の開始高度と雷撃電流のピーク値との相関を取り、雷撃の電流が大きいほど、その開始高度も高いことを実測データより明らかにした。図8にその結果の一例を示す。

(6) 図8の結果より図9に示す雷撃距離を求め、IEC規格値と比較したところ、IEC規格値が高い傾向にあることが分かった。

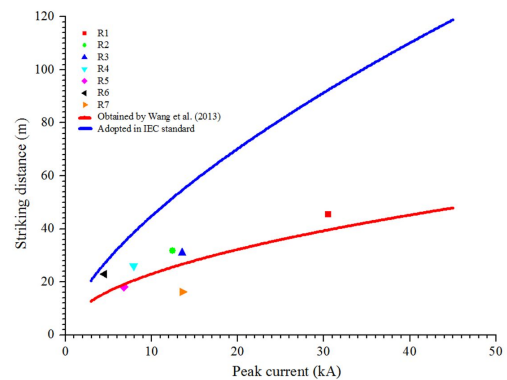


図9 本研究で求めた雷撃距離と従来規格値との比較

(7) 最終雷撃過程と雷撃による電磁放射を比較したところ(図10)、従来あまり理解できていなかったスローフロントとファストトランジエンの発生原因を特定できた。

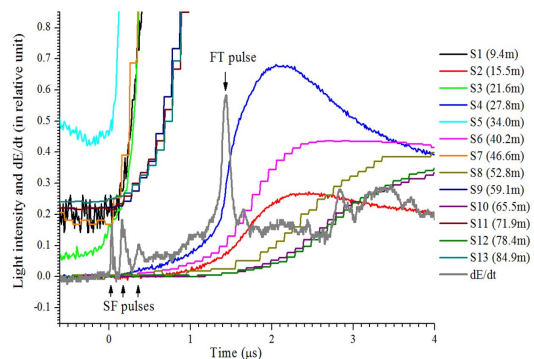
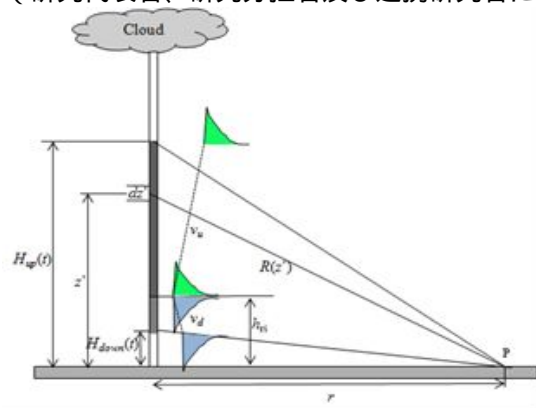


図10 最終帰還雷撃過程と電磁界波形 dE/dt との比較

(8) 本研究で明らかにした最終雷撃過程に基づき、図11に示す帰還雷撃の開始高度可変、上下帰還雷撃速度可変の帰還雷撃モデルを構築した。

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3件)

M. Zhou, D. Wang, J. Wang, N. Takagi, W. R. Gamerota, M. A. Uman, D. M. Jordan, J. T. Pilkey, and T. Ngini, Correlation between the channel-bottom light intensity and channel-base current of a rocket-triggered lightning flash, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, doi:10.1002/2014JD022367, 2014. 査読有.

D. Wang, W. R. Gamerota, M. A. Uman, N. Takagi, J. D. Hill, J. Pilkey, T. Ngini, D. M. Jordan, S. Mallick, and V. A. Rakov, Lightning attachment processes of an "anomalous" triggered lightning discharge, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, doi:10.1002/2013JD020787, pp. 1-10, 2014. 査読有.

D. Wang, N. Takagi, W. R. Gamerota, M. A. Uman, J. D. Hill, D. M. Jordan, Initiation processes of return strokes in rocket-triggered lightning, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(17), doi/10.1002/jgrd.50766, 9880-9888, 2013. 査読有.

[学会発表](計12件)

M. Zhou, 他、Modeling of return strokes with taking into account their initiation processes, 大気電気学会研究会、2015年1月9日、千葉大学、千葉県千葉市。

D. Wang, 他、Height-dependent attenuation characteristics of lightning return strokes, Proceedings of 32nd International Conference on Lightning Protection, Paper number 29, October 13-17, Shanghai, China, 2014.

前田洋平、他、アメリカの落雷位置標定装

置の誤差と最終雷撃過程の関連性について、平成26年度電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会、2014年9月8日、中京大学名古屋キャンパス。

黒田進太郎 他、フロリダ自然落雷の最終雷撃過程の解明、平成26年度電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会、2014年9月8日、中京大学名古屋キャンパス。

D. Wang, 他、High speed optical observation on the attachment processes of natural downward lightning discharges, Proceedings of 15th International Conference on Atmospheric Electricity, June 15-20, Norman, USA, 2014.

D. Wang, Lightning Attachment Process, 22nd International Lightning Detection Conference, March 18-21, Arizona, USA, 2014.

石川裕規 他、フロリダにおけるロケット誘雷の最終雷撃過程の統計的な特性、大気電気学会研究会、2013年7月4日、東海大学不知火センター松前会館、熊本県宇城市。

石川裕規 他、フロリダにおける落雷の最終雷撃過程についての超高速光学観測-2012-、大気電気学会研究会、2013年1月9日、東京理科大学、東京都新宿区。

石川裕規 他、落雷の地上付近における進展様相、大気電気学会研究会、2012年9月15日、大阪大学、大阪府吹田市。

D. Wang, 他、Optical Observation on Initiation Process of Lightning Return Strokes, Proceedings of 31st International Conference on Lightning Protection, Paper number 126, August 31-September 4, Vienna, Austria, 2012.

王道洪 他、帰還雷撃開始点付近における放電過程、大気電気学会研究会、2012年1月5日、電気通信大学、東京都調布市。

D. Wang, 他、A high speed optical imaging system for studying lightning attachment process, Proceedings of 7th Asia Pacific International Conference on Lightning, 1-4 November, Chengdu, China, 2011.

[図書](計0件)

[産業財産権]
出願状況(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

王道洪 (Wang, Daohong)
岐阜大学・工学部・准教授
研究者番号: 20273120

(2) 研究分担者

高木 伸之 (Takagi, Nobuyuki)
岐阜大学・工学部・教授
研究者番号: 80179415