

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：34419

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26870733

研究課題名(和文) 潜在的積乱雲エネルギーのリモートセンシング

研究課題名(英文) Remote sensing of potential thunderstorm energy

研究代表者

森本 健志 (MORIMOTO, Takeshi)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：60403169

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：研究期間を通じて、夏季および冬季の雷放電について雷放電路と電界変化観測を継続した。高分解能気象レーダによる雷雲の観測も並行し、種々の観測結果の総合的な解析から潜在的積乱雲エネルギーのリモートセンシングを行った。落雷で中和される電荷が点電荷とする電荷量推定ではなく、放電路を考慮した中和電荷量推定を行うことで、雲放電を含む水平方向に長く進展する雷放電で中和される凡その電荷量推定を実現した。一連の雷活動に関わる雷雲内電荷量と位置を把握することができ、レーダの観測範囲内を通過した雷雲では、雷活動のピーク直前に雷雲内の対流活動が活発になり、雷活動時には高高度域から衰退する様子が認められた。

研究成果の概要(英文)：Observations for lightning channels and related electric field changes were continued for in summer and winter thunderstorm seasons throughout the research period. Simultaneous observation of thunderclouds with high resolution weather radar also performed remote sensing of potential thunderstorm energy from comprehensive analysis of various observation results. An estimation method of neutralized electric charge amount considering lightning channels was proposed and applied instead of the way based on a point charge model. Approximate neutralized charge quantity estimation was realized for cloud-to-cloud lightning flashes including the ones with horizontal very long progression. In the thunderclouds which passed through the observation range of the radar, the convective activity became active immediately before the peak of the lightning activity, and declined from high altitude.

研究分野：大気電気学、自然災害科学、気象学

キーワード：雷放電 積乱雲 気象 レーダー

1. 研究開始当初の背景

高度に情報化された社会の脆弱性は、現代の我々の生活における懸念材料となっている。不測の事態の代表例として気象災害を挙げることができ、雷放電、局地的集中豪雨、突風（竜巻）、降雹などのシビア気象現象による被害は、直接的なものからこれによって引き起こされる洪水や土砂災害、社会インフラへの被害など二次的、三次的なものを含めて、年々その頻度と規模を増している。これらの社会生活に被害を齎すシビア気象現象発生時には、強い上昇気流が存在し、急成長する霰と雪片・氷晶間の接触や衝突により、激しい電荷分離が生じる。その結果、積乱雲内に電荷が蓄積され、これらが雷放電を引き起こす。竜巻などの生起と雷放電をはじめとする大気電気現象との間には直接および間接的な因果関係が存在し、米国等の観測結果では竜巻に先行する突発的な雷放電頻度の増加が報告されている。また、現在利用されている気象モデルは、大気力学に基づき構成されているが、電氣的な力も、その度合いは力学よりも小さいものの摂動的な寄与が無視できず、特にダウンバーストのような過渡的な現象発生には寄与が大きいと研究代表者は考えている。

このようなシビア気象現象に対して、雲内の降水量をリモートセンシングで計測することのできる気象レーダは、短時間での移り変わりを捉えることが可能な観測機と考えられ、機能向上を図りながら広く用いられている。しかしながら、各方面で広く実用されているものでは、局地的な集中豪雨の原因である組織化された積乱雲を気象レーダで観測した場合、たとえドップラー機能や二重偏波機能を有していたとしても、三次元構造の観測（ボリュームスキヤニング）に必要とされる時間が積乱雲の電荷分離や雷放電を含むライフサイクルに比して無視できない上、ビームの広がりに伴う空間分解能の低下等によって、その分解能が十分とは言えない。これらの課題を克服すべく、数キロメートルの空間分解能、数十秒でのボリュームスキヤンを実現する、気象用広帯域レーダやフェーズドアレイレーダのような超高時空間分解能型レーダの開発が進められている。

これに対し雷放電進展路を可視化するリモートセンシング装置としては、観測点から30 km程度を対象とするVHF帯広帯域デジタル干渉計、および大阪平野や富山湾沿岸程度の地域を対象とするLF帯雷観測ネットワークを、研究代表者らのグループで開発し雷観測を行っている。

2. 研究の目的

人間生活の脅威となる、雷放電、竜巻、局所的集中豪雨などに代表されるシビア気象現象による被害は、近年枚挙に暇がない。これらはいずれも積乱雲に起因する現象であり、本研究では積乱雲内に蓄積される「潜在的積乱雲エネルギー」をより早くより正確に

リモートセンシングすることを目的とする。すなわち、超高時空間分解能型気象レーダ観測と、雲放電を含む雷活動全体（Total lightning）について雷放電進展路の再現を並行して行い、夏季の雷雲および夏季のそれとは異なる性状を示す冬季積乱雲が多発する北陸日本海沿岸地域の冬季の雷雲を対象として、降水粒子と雷放電に寄与する電荷分布のリモートセンシングを実現する。

3. 研究の方法

研究代表者を含む研究グループで開発した超高分解能型気象レーダおよび雷放電進展路観測装置による同時観測を行い、積乱雲の高精度高時空間分解能観測を実現する。本研究は、これらの観測データを用いて「潜在的積乱雲エネルギー」である、可降水粒子と雲内電荷分布および電荷量のリモートセンシング手法を確立するものである。レーダで観測されるのはレーダ反射因子、広帯域干渉計やLF帯雷観測ネットワークで観測されるのは雷放電に伴い放射される電磁波に他ならない。これらの因果関係を調査し、潜在的積乱雲エネルギーに変換することが、本研究で明らかにしようとすることである。

これまでの雷放電による中和電荷量の推定は、複数地点で電界変化を計測し、その取得波形から放射源と中和電荷量を求めるものであった。長年、広く用いられてきた電磁気学に則った手法であり、この結果推定される中和電荷量の統計的解析も行われてきた。しかしながら、この手法で推定可能であるのは対地雷撃（落雷）による中和電荷量に限定されることや、雷雲の一点に集中していた電荷（点電荷）が大地と垂直な直線状放電路を通じて大地へ至るとの仮定のもとになされているなど、特に冬季の雷放電による中和電荷量を推定する場合において考慮すべき点は多い。また、複数地点離れた場所での記録波形から同一の雷放電によるものを特定し、帰還雷撃による電界変化量を抽出するという、自動化やリアルタイム処理に適さない工程が必須であった。本研究で取扱う雷放電観測データは、数にして対地雷撃の10倍程度に及び、多くの場合対地雷撃に先行して発生するとされている雲放電によるものを含め、放電進展路を逐一再現することができる。すなわち、雷雲内のどこから放電が始まり、どのような経路を辿ってどこにたどり着いたかという情報を得ることができる。三次元的に得られる雷放電の開始点や到達点には高密度な電荷領域が存在し、電荷は降水粒子に蓄えられる。従って、放電進展経路と降水粒子分布を詳細に解析すれば、雷放電に寄与した電荷がどのように分布していたかを推定することができる。電荷量の推定には、電磁界の数値解析を用い、受信電磁波強度と放射源（＝雷放電路）から電荷の移動量を求める。

4. 研究成果

(1) 超高分解能型気象レーダおよび雷放電進展路観測装置による積乱雲の観測

研究期間を通じて、岐阜県東濃地方および新潟県上越地方に広帯域デジタル干渉計と電界変化測定装置、および光学観測系を展開して、継続的に雷観測を行った。観測装置の感度調整やノイズ対策を施し、高品質の雷放電観測データを蓄積することができた。

平成 27 年度 10 月より、研究開始当初は予定していなかった Ku 帯高分解能広帯域レーダによる観測を開始することができ、研究期間終了まで継続した。

高分解能レーダの観測範囲内で発生した短時間で局所的に発達する積乱雲と雷活動の観測結果から、雷雲構造の変化と雷活動の比較を行い、雷放電と雲内の融解層やローカルな対流活動の関係を得た。

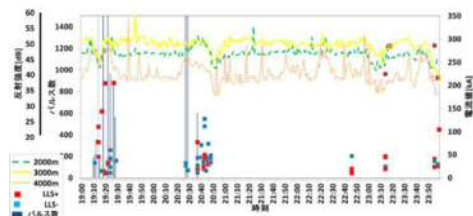


図 1. 降雨と雷活動の時間変動

(2) LF 帯広域雷観測ネットワークの雷放電標定特性の把握

研究初年度に、当時近畿圏全体を対象に展開していた雷観測ネットワークによる、1 年を通じた雷放電に伴う LF 帯電磁波の受信記録データとその放射源推定結果を用いて、LF 帯電磁波による雲内放電を含む広域雷活動監視の可能性を検討した。特に、観測センサから離れた日本海沿岸で発生する冬季の雷放電の標定特性を注視し、雷活動や検知率および標定結果の季節依存性を調査した。また、放射パルスを雷放電毎にクラスタリングする方法や、エリア毎に放電頻度を算出するデータ処理法を提案し、冬季の雷活動では、日本海と共に太平洋の海上で多くの雷活動が発生していることが分かった。LF 帯雷観測ネットワークが冬季においても広域の雷活動監視に有効であることから、他の研究課題と連携し、平成 28 年度冬季から同ネットワークを富山湾沿岸地域に展開した。

(3) 雷雲内電荷のリモートセンシング

雷放電路を可視化する広帯域デジタル干渉計と電界変化測定アンテナ、および LLS を併用した、落雷による中和電荷量推定^①と VHF パルス放射特性の比較を行った。これらの観測は関連研究機関の協力も得て、夏季および冬季の雷放電を対象として実施している。

夏季の雷活動において、中和電荷量が増加するにつれて VHF パルス密度は減少し雷撃電流値が増加する傾向や、パルス密度が減少するにつれて雷撃電流が増加する傾向などが

認められた。これらは、VHF 帯電磁波観測を行うことで、雷撃電流や中和電荷量大きい、言い換えれば潜在的積乱雲エネルギーが大きい雷放電や雷雲をリモートセンシングにより特定できることを示唆している。電力設備等への雷撃被害が大きい正極性落雷や、多地点・多重落雷に注目した解析により、正極性落雷では稀である多重落雷の進展や、双方向性リーダの負リーダだけではなく正リーダの進展様相を知ることができた。多地点落雷の後続雷撃が、直前の雷撃の放電路ではなくもう一つ前の雷撃と同じ放電路を通る落雷があることや、先行する雷撃のリーダと途中まで同じ放電路を通った後続のリーダが、最終的に別の放電路を進展し大地の異なる雷撃点に至る多地点落雷が認められた。雲放電を含む一連の雷活動全体としての中和電荷量推定からは、雷雲内の電荷が多く存在する領域や放電が開始しやすい高度、これらと中和電荷量の関係を考察した。

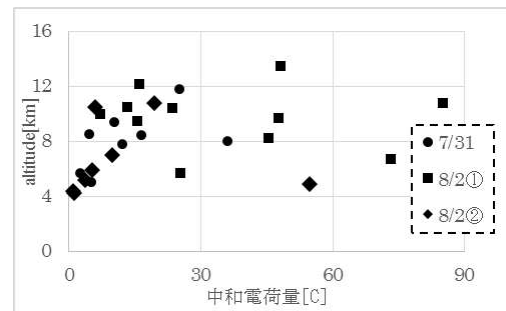


図 2. 一連の雷放電による中和電荷量と電荷高度の関係

冬季の落雷については、送電鉄塔などの高構造物から上向き放電で開始する正極性落雷と、雲内から下向き放電で開始する負極性落雷の干渉計観測結果と高速ビデオによる光学観測結果を比較し、雲内の放電進展様相と電荷分布を考察した。一度の帰還雷撃で雲内の電荷は完全に中和されず、一旦絶縁破壊された放電路を辿って、雲内のより広い範囲に電荷を求めて次々と進展するリーダ進展様相が明らかになった。雷雲内の正電荷と大地との間で何度も中和が起こる放電様相がみられたことから、複数の正電荷群が寄与していることが分かる。雷雲の水平距離と正電荷が分布する高度を求めることができるとことに加え、冬季の雷放電においてそのエネルギーが大きくなるメカニズムのヒントが示

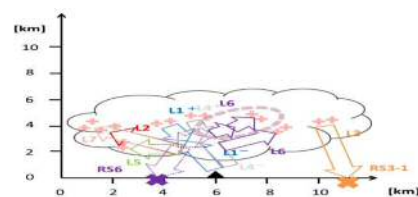


図 3. 冬季の正極性落雷放電進展様相



図 4. ロケット誘雷成功事例

されたと言える。

以上の成果に加えて、平成 27 および 29 年度には、石川県で冬季のロケット誘雷実験を実施した。ロケット誘雷とは、雷雲が上空に来た時、導電性ワイヤを取り付けた小型ロケットを打ち上げ、雷放電を誘発する技術である。予め設定した地点に落雷を誘導できるというロケット誘雷最大の特徴から、雷道を通る電流の時間波形を測定し、そのエネルギーを直接測定することが可能である。平成 29 年度の実験では、わずか 1 事例であるが、複数の測定対象周波数帯域による雷電流の時間波形と、放電路近傍に集中的に配置した VHF 帯および LF 帯の電磁波形、地上電界や針端コロナ電流の取得に成功し、本研究の主題である潜在的積乱雲エネルギーをリモートセンシングするための参照データを得ることができた。

<引用文献>

- ① M. Akita, Z. Kawasaki, S. Yoshida, T. Morimoto, and T. Ushio, "Estimation for charge distributions related with individual lightning discharges using VHF broadband digital interferometer", Journal of Atmospheric Electricity, vol. 32, no. 2, pp. 55-63 (July 2012)

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 18 件)

- ① T. Morimoto et al., "Active and passive remote sensing on lightning and precipitation activities around Toyama Bay, Japan," The 40th Progress in Electromagnetics Research Symposium, 2018
- ② T. Morimoto et al., "High-resolution study on lightning and precipitation activity by EM observations in Toyama,

Japan," 16th International Conference on Atmospheric Electricity, 2018

- ③ 森本健志他, "2017 年度冬季ロケット誘雷の成果 (速報)," 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 2018
- ④ 東條誠人、森本健志他, "Ku 帯広帯域レーダで観測された局所的な大雨の発達と渦度の関係," 日本大気電気学会第 96 回研究発表会, 2018
- ⑤ 森本健志他, "Ku 帯広帯域気象レーダで観測された降水エコーの時間変動と雷活動," 平成 29 年電気関係学会関西連合大会, 2017
- ⑥ 宮本裕紀、森本健志他, "広帯域レーダ、広帯域干渉計および LLS で観測された雷雲と雷活動の時間変化," 日本地球惑星科学連合米国地球物理学連合 (JpGU-AGU) 共同大会 2017, 2017
- ⑦ 大谷拓、宮本裕紀、森本健志他, "VHF 帯広帯域干渉計による雲の盛衰と中和電荷に関する考察," 日本大気電気学会第 95 回研究発表会, 2017
- ⑧ 宮本裕紀、森本健志他, "広帯域レーダ、広帯域干渉計および LLS で観測された降雨と雷活動の時間変動," 日本大気電気学会第 95 回研究発表会, 2017
- ⑨ T. Morimoto et al., "Cloud-to-ground flashes with multiple strokes observed by Broadband Digital Interferometer and Lightning Location System," 9th Asia-Pacific International Conference on Lightning, 2015
- ⑩ 岩間、白木、森本他, "落雷に伴う電磁パルスと推定電荷量に関する検討," 日本大気電気学会第 92 回研究発表会, 2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森本 健志 (MORIMOTO, Takeshi)
近畿大学・理工学部・准教授
研究者番号：60403169