

氏 名 (本 籍)	陳 明 理 (中華人民共和国)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 号 番 号	甲第 124 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 12 年 3 月 24 日
専 攻	電子情報システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	Study on Leader Initiation and Propagation Properties of Natural and Triggered Lightning (自然雷及びトリガード雷におけるリーダの進展様相に関する研究)
学位論文審査委員	(主査) 教授 渡 邊 貞 司 (副査) 教授 阪 上 幸 男 教授 野々村 修 一 助教授 高 木 伸 之 助教授 王 道 洪

論文内容の要旨

本研究では、落雷に先行する前駆放電いわゆるリーダ及びファイナルジャンプに関する新たな知見を得ることを目的として、超高速デジタルカメラ(ALPS)による自然雷の観測及びトリガード雷に対しての電界、電流、高速カメラ等の同期観測を行った結果についてまとめている。

第一章においては、本研究で対象とする雷放電についての一般的な説明を行い、そして、リーダ及びファイナルジャンプに関する今までの国内外研究状況を述べている。

第二章では、ALPSによる自然雷の観測を行い、2例の負極性ステップトリード (AとB) の発光強度の時間的及び空間的な変化の計測結果を述べている。リーダAの解析結果から次のことが明らかになった。リーダ全体がステップ長7.9~19.8m, ステップ間隔5~50 μ s, 速度4.5~11.2 $\times 10^6$ m/sで、下向きに進展するのに対し、各ステップに対応する光パルスがリーダの先端部分で生まれ、放電路に沿って上向きに伝わるように見える。そのパルスはリーダ先端から数十メートル上向きに進んだ後に滑らかなサージになり、このサージは10⁸ m/s程度の速度で引き続き上向きに進む。また、リーダBの解析結果より、その平均ステップ長、ステップ間隔、下向き進展速度が、それぞれ8.5m, 18~21 μ s, 4.9~5.8 $\times 10^5$ m/sであり、各ステップによる光パルスの上向き速度は0.14~1.7 $\times 10^8$ m/sと推定される。さらに、リーダAの波形に基づいて、新しいステップトリードの電流モデルを提案している。

第三章では正極性落雷におけるリーダの進展様相を解明することを目的として中国内陸高原部の平涼市において実施したロケット誘雷実験の結果について述べている。その実験

で2回の正極性誘雷（番号: 9703と9704）に成功した。そのうち、9703番はaltitude誘雷（地上に繋がれた長さ50mのワイヤとロケットに繋がれたワイヤの間に長さ80mのナイロン線を挟んで行うもの）で、9704番は普通のclassical誘雷（地上とロケットの間がワイヤだけで繋がれるもの）であった。それらの実験で得られた電界や電流及び光学映像等のデータを分析した結果、9703番はロケットが地上から500mの高度に達してから、まずロケット先端から延びる上向き進展の負極性リーダが進展を開始し、数 μ s後ロケットに繋がれたワイヤの下端より下向き進展の正極性リーダも進展を始めた。その214 μ s後、地上に繋がれたワイヤの先端から上向きに進展するコネクティング・リーダが始まり、下向き正極性リーダと上向きコネクティング・リーダが結合するファイナルジャンプ・プロセスは開始した。約10 μ s後、地上から上向きに進展する輝度の高いミニ帰還雷撃は発生した。9704番はロケット先端から上向きに進展する負極性ステップトリーダにより始まる帰還雷撃を伴わない正極性雷放電であった。

第四章では負極性落雷におけるリーダの進展様相を解明することを目的として、中国南部の広州市において実施したロケット誘雷実験の結果について述べている。その実験でaltitude方式(地上にある長さ4mの避雷針とロケットに繋がれたワイヤの間に長さ100mのナイロン線を挟んで行うもの)で、5回の負極性誘雷に成功した。実験で観測された二地点電界変化及びALPS映像等のデータを分析した結果、それらの負極性トリガード雷はロケットが地上から200～400mの高度に達すると、まずロケット先端から上向き進展する正リーダが開始し、そしてわずか数十 μ s後にロケットに繋がれたワイヤの下端より下向き進展の負極性ステップトリーダが進展を始めた。こうした上下同時に伸びるリーダは双方向リーダと呼ばれている。その上向き進展の正リーダが連続的に伸びるのに対し、その下向きに進展する負リーダは止まったり進んだりしていたようであった。その数百 μ s後、いわゆるミニ帰還雷撃が地上から上向きに進展を始めた。ミニ帰還雷撃はロケットに繋がれたワイヤの下端に達した後電流サージに転じ、この電流サージはワイヤに沿って伝わって行って、ロケットの先端を出てから、改めて明るい放電に転換した。その明るい放電は前に起きた上向き正極性リーダの放電路に沿って数百メートルに進んだあと急に消えた。その明るい放電が消えた途端、ロケットに繋がれたワイヤの下端からはもう一つ新しい双方向に進展するリーダが開始した。その双方向リーダは上向き速度が $3\sim 10\times 10^5$ m/sで、下向き速度が $2\sim 2.6\times 10^5$ m/sと推定される。また、こうした放電様相の物理過程について考察を行っている。

第五章では自然雷に対する電界変化の観測結果及びaltitudeトリガード雷に対するALPS、電界変化及び電流などの同期観測結果に基づいて、電界波形のスローフロントとファイナルジャンプの間の関係を検討するとともに、ファイナルジャンプの物理過程について考察を行っている。

第六章では、以上で得られた知見を総括し、本論文の結論としている。

論文審査結果の要旨

本論文では、落雷に先行する前駆放電いわゆるリーダ及びファイナルジャンプに関する新たな知見を得ることを目的として、超高速デジタルカメラ(ALPS)による自然雷の観測及びトリガード雷に対しての電界、電流、高速カメラ等の同期観測を行った結果をまとめたもので、全6章により構成される。

第一章においては、本研究で対象とする雷放電についての一般的な説明を行い、そして、リーダ及びファイナルジャンプに関する今までの国内外研究状況を述べている。

第二章では、ALPSによる自然雷の観測を行い、2例の負極性ステップトリード(AとB)の発光強度の時間的及び空間的な変化の計測結果を述べている。リーダAの解析結果から次のことが明らかになった。リーダ全体がステップ長7.9~19.8m, ステップ間隔5~50 μ s, 速度4.5~11.2 $\times 10^5$ m/sで、下向きに進展するのに対し、各ステップに対応する光パルスがリーダの先端部分で生まれ、放電路に沿って上向きに伝わるように見える。そのパルスはリーダ先端から数十メートル上向きに進んだ後に滑らかなサージになり、このサージは10⁸m/s程度の速度で引き続き上向きに進む。また、リーダBの解析結果より、その平均ステップ長、ステップ間隔、下向き進展速度が、それぞれ8.5m, 18~21 μ s, 4.9~5.8 $\times 10^5$ m/sであり、各ステップによる光パルスの上向き速度は0.14~1.7 $\times 10^8$ m/sと推定される。さらに、リーダAの波形に基づいて、新しいステップトリードの電流モデルを提案している。

第三章では正極性落雷におけるリーダの進展様相を解明することを目的として中国内陸高原部の平涼市において実施したロケット誘雷実験の結果について述べている。その実験で2回の正極性誘雷(番号: 9703と9704)に成功した。そのうち、9703番はaltitude誘雷(地上に繋がれた長さ50mのワイヤとロケットに繋がれたワイヤの間に長さ80mのナイロン線を挟んで行うもの)で、9704番は普通のclassical誘雷(地上とロケットの間がワイヤだけで繋がれるもの)であった。それらの実験で得られた電界や電流及び光学映像等のデータを分析した結果、9703番はロケットが地上から500mの高度に達してから、まずロケット先端から延びる上向き進展の負極性リーダが進展を開始し、数 μ s後ロケットに繋がれたワイヤの下端より下向き進展の正極性リーダも進展を始めた。その214 μ s後、地上に繋がれたワイヤの先端から上向きに進展するコネクティング・リーダが始まり、下向き正極性リーダと上向きコネクティング・リーダが結合するファイナルジャンプ・プロセスが開始した。約10 μ s後、地上から上向きに進展するミニ帰還雷撃が発生した。9704番はロケット先端から上向きに進展する負極性ステップトリードにより始まる帰還雷撃を伴わない正極性雷放電であった。

第四章では負極性落雷におけるリーダの進展様相を解明することを目的として、中国南部の広州市において実施したロケット誘雷実験の結果について述べている。その実験でaltitude方式(地上にある長さ4mの避雷針とロケットに繋がれたワイヤの間に長さ100mのナイロン線を挟んで行うもの)で、5回の負極性誘雷に成功した。実験で観測された二地点電界変化及びALPS映像等のデータを分析した結果、それらの負極性トリガード雷はロケットが地上から200~400mの高度に達すると、まずロケット先端から上向き進展する正リーダが開始し、そしてわずか数十 μ s後にロケットに繋がれたワイヤの下端より下向き進展の負極性ステップトリードが進展を始めた。こうした上下同時に伸びるリーダは双方向リーダと呼ばれている。その上向き進展の正リーダが連続的に伸びるのに対し、その下向きに進展する負リーダは止まったり進んだりしていたようであった。その数百 μ s後、いわゆるミニ帰還雷撃が地上から

上向きに進展を始めた。ミニ帰還雷撃はロケットに繋がれたワイヤの下端に達した後電流サージに転じ、この電流サージはワイヤに沿って伝わって行って、ロケットの先端を出てから、改めて明るい放電に転換した。その明るい放電は前に起きた上向き正極性リーダの放電路に沿って数百メートルを進んだあと急に消えた。その明るい放電が消えた途端、ロケットに繋がれたワイヤの下端からはもう一つ新しい双方向に進展するリーダが開始した。

第五章では自然雷に対する電界変化の観測結果及びaltitudeトリガード雷に対するALPS、電界変化及び電流などの同期観測結果に基づいて、電界波形のスローフロントとファイナルジャンプの間の関係を検討するとともに、ファイナルジャンプの物理過程について考察を行った。

以上の成果は、すでにアメリカ地球物理学会論文誌(Journal of Geophysical Research)に1報、日本大気電気学会論文誌(Journal of Atmospheric Electricity)に2報及び査読あり国際会議論文集(11th International Conference on Atmospheric Electricity)に1報掲載されている。従って、申請者の博士研究成果として十分評価できるものと判定する。

最終試験結果の要旨

公聴会後に、学位論文に関連する口頭試問を行い、これを最終試験に代え、合格と判定した。