

令和 4 年 5 月 19 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01282

研究課題名(和文) 降水雲内の帯電電荷を測定する400MHz帯ラジオゾンデ搭載用の新型センサーの開発

研究課題名(英文) Development of a new 400MHz radiosonde sensor to measure the electric charge of precipitation particles in clouds

研究代表者

鈴木 賢士 (SUZUKI, KENJI)

山口大学・大学院創成科学研究科 ・教授

研究者番号：30304497

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,450,000円

研究成果の概要(和文)：雷発生メカニズムの理解には雷雲内の降水粒子の帯電電荷の知見が必要不可欠であるが、低コストで簡易にそれを測定する気象観測装置はなかった。そのため本研究課題では、小型軽量・低コストでユーザフレンドリーな400MHzラジオゾンデ搭載の降水粒子電荷測定ゾンデを新たに開発した。この新しい電荷ゾンデは、気球に取りつけて雷雲内に放球すると、1秒間にセンサーが感知した正負の帯電量、粒子数をリアルタイムで地上でモニタリングすることができる。COVID-19の流行により試験飛揚の十分な実施はできなかったものの、プロトタイプ的设计から地上試験、さらにはデータ記録ソフトの開発を通じて新しい電荷ゾンデが完成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

雷予測は数値モデルによるところが大きく、近年の数値モデルの発展はすばらしいものがあるものの、その数値モデルの答え合わせ(検証)となるべく観測データがないことが雷予測を停滞させている一つの要因である。本研究で開発した新しい電荷ゾンデは雷雲内の降水粒子の帯電電荷を知ることができるため、この雷予測モデルの答え合わせに直接的に貢献し、それにより雷発生メカニズム解明だけでなく、予測精度の向上が期待される。豪雨メカニズムと雷は密接に関連していることから、近い将来この電荷ゾンデが豪雨観測に投入されることが望まれる。

研究成果の概要(英文)：Knowledge of the electric charge of precipitation particles in thunderclouds is essential for understanding the mechanism of lightning generation. However, there has been no low-cost, easy-to-use meteorological observation device to measure it. Therefore, in this study, we developed a new, compact, lightweight, low-cost, and user-friendly sensor (EC sensor) equipped on the 400 MHz radiosonde. This new EC sensor can be attached to a balloon and released into a thunderstorm cloud, and the amount of positive and negative charge and the number of particles detected by the sensor every second can be monitored on the ground in real time. Although the COVID-19 epidemic prevented sufficient test flights, the new charge sonde was completed through prototype design, ground testing, and the development of data recording software.

研究分野：気象学

キーワード：帯電電荷測定 降水粒子 400MHz帯ラジオゾンデ搭載

1. 研究開始当初の背景

雷はしばしば尊い人命を奪うだけでなく情報化社会のITインフラに甚大な被害をもたらす。近年ゲリラ豪雨などの極端気象の頻発が叫ばれる中で、雷予測の精度向上は早急に解決すべき喫緊の課題であるが、現在の予測手法は古典的な経験則、統計的なものに頼らざるを得ない。最新の雲解像モデルによる雷雲の再現実験でも現実の雷活動を再現するまでには至っていない。その理由の一つは雷雲内の帯電分布を正確に観測する術がないことである。雷発生には一般に雲内の降水粒子の帯電が重要な役割を果たしているが、雷研究のニーズである帯電分布を現場直接観測するための観測手法が存在していない。同時にそれはモデルの再現実験の答えあわせがないということであり、雷発生メカニズムに関する基礎研究と雷予測精度向上に関する応用研究のそれぞれの停滞をもたらしている一つの要因である。1980年代に開発されたビデオゾンデと呼ばれる、雲内の個々の降水粒子の画像を CCD カメラでとらえ、同時に誘導管によって粒子の帯電電荷を測定する特殊高層気象観測機器が開発されたが、高価な上、電荷データ解析にも膨大な時間がかかるためリアルタイムモニタリングは不可能で、現在は全く使われることはない。現在のニーズに応えるためには新たな観測機器(新型ゾンデセンサー)の開発が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、雷観測研究に必要不可欠な雲内の降水粒子の帯電電荷分布をリアルタイムで容易に測定できるユーザフレンドリーで小型軽量・低コストの新しいゾンデセンサー(新型ゾンデ)を開発することにより、1) 雷研究ニーズに応え、現場観測から新たな知見をもたらし、2) 雷予測モデル精度の飛躍的向上に必須な再現実験の「答えあわせ」のツールとして寄与すること、3) さらには、例えば、ロケット打上げ前の雲内帯電電荷のリアルタイムモニタリングなど、多岐にわたる科学技術の発展に貢献することを目指している。

3. 研究の方法

初年度には試作および試験放球を行い、2年目には改良を重ね、最終年度には小型軽量化やソフトウェアの改良によって「誰もが使える」ものにする。最終年度には新型ゾンデの完成によって派生するモデルへの貢献や社会実装などの検討もを行い、それらは本研究の次のステージで目的達成できるような設定を行う。また、効率よい開発研究の遂行のために、既に予定されている観測研究プロジェクトに参入し、そこでの試験放球から速やかに結果を検証し次の試作に取りかかる。加えて、単なる開発研究という枠組みにとどまらず基礎研究として雷研究のニーズに応えるように、リモートセンシング(偏波レーダやフェーズドアレイレーダなど)とゾンデ直接観測の同時観測から雷発生メカニズムの解明に寄与する。

4. 研究成果

(1) プロトタイプ製作：新型ゾンデセンサーは CPS ゾンデ (Fujiwara et al. 2016) のインターフェースを応用し、ビデオゾンデ (Takahashi 1990) の誘導管を用いている (図 1, 2)。帯電した降水粒子が誘導管を通過した際に発生する誘導電流を取り出し、インターフェースを通じてラジオゾンデ (RS-11G(R3)：明星電気) に入力し、1秒ごとに 400MHz の搬送波で地上に送信される。得られるデータは、1秒間に誘導管を通過した正負電荷量の積算値、帯電粒子数に加え、帯電粒子の最初の正負 3 個ずつが持つ電荷量・極性である。これらは地上の PC のモニター上で気温や高度とともにリアルタイムで表示される。

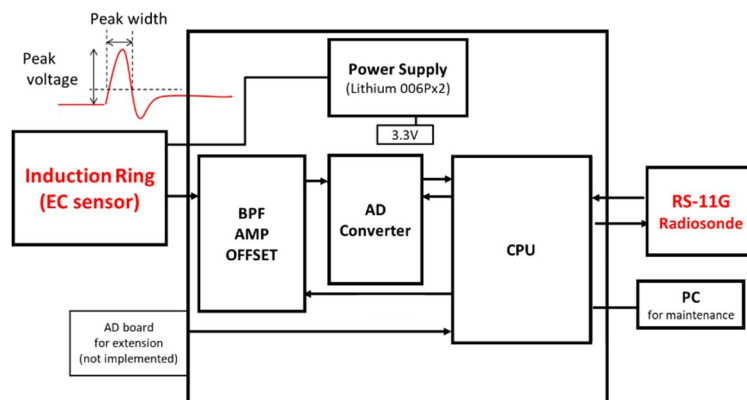


図 1 . センサー部のブロック図

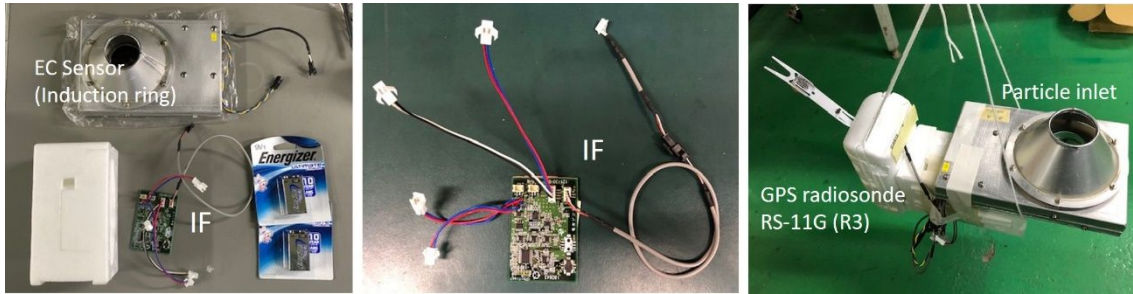


図2．製作されたプロトタイプの写真

(2) プロトタイプの試験放球：2019年6月2日、琉球大学千原キャンパスにおいて、発達した雷雲へのプロトタイプの試験放球を実施し、信号処理系および送信系の確認をすることができた。しかしながら、図3右の帯電電荷の鉛直ファイルにみられるように、過剰な粒子カウントがみられ、ノイズレベルの設定やセンサー筐体部の検討の必要性が示唆された。

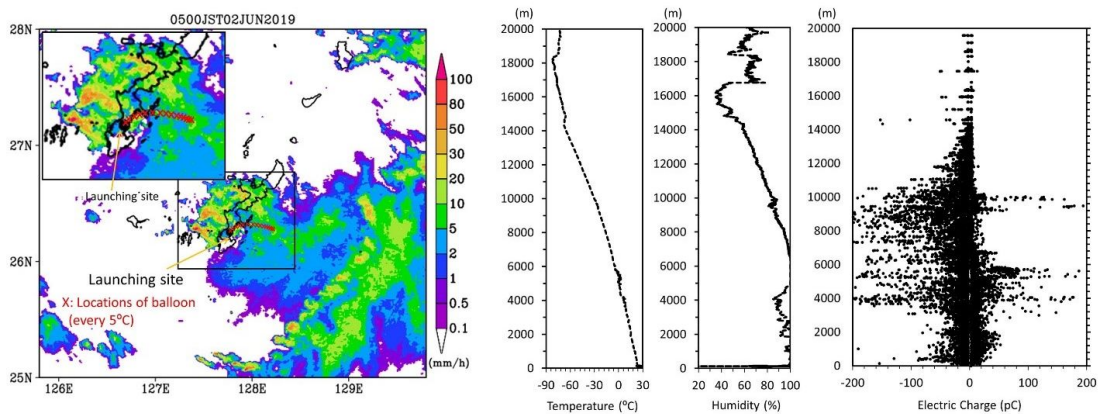


図3．沖縄での試験飛揚の結果

(3) 人工降雪装置による地上試験：防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター（新庄）にある人工降雪装置を利用し、低温室内において現行型ビデオゾンデと新型電荷センサーの同時測定試験を実施した。人工降雪であるため帯電量は大きくないが、沖縄での試験放球でみられた大きなノイズは見られなかった。このことから、試験放球時は二重金属球の原理が働かなかったものと推測され、電荷センサーの形状が検討された。

(4) 電界下での動作試験：晴天時の大気電界はおよそ 100V/m であるが、雷雲近くでは 30kV/m 以上にも達する。電荷ゾンデは誘電リングを通過した粒子の帯電量を測定するゾンデであり、誘電リングは GND に接続されたシールドに囲まれているが、微小な電荷量を検出するため非常に高感度となっている。このため、周囲の電界変化に対して影響を受けないかどうかを実際に電界下に電荷ゾンデをおいて動作確認を行った（図4）。電界 ±9.5kV/m を印加時の動作試験、電界 5kV/m 印加 + センサーの振り子運動時の動作試験において良好の結果を得ることができた。また、シールドの強化、ケーブルの取り回しなどの改良点についても洗い出された。



図4．電界下での動作試験の様子

(5) 新しい電荷ゾンデ：さまざまな試験を通して新しい電荷ゾンデのスペックが決定された。

外寸：90mm(W) × 145mm(D) × 170mm(H)，重量：240g，電源：乾電池 006P 型 × 2 本，4 時間動作，パルス電圧：-1.65 ~ 1.65V，分解能：6.5mV (電荷量 0.8pC に相当)，パルス幅：0.2ms-30ms，カウント数：0 ~ 255 カウント/s(正負毎にカウント)。コロナ渦によって最終的な試験飛揚は実施することができなかったが、地上試験を通して実際の観測に投入できる性能を持つことが確認された。



図5．開発された新型電荷ゾンデ．左はGPSラジオゾンデを取りつけた状態，右は誘電リングを内蔵したセンサー部と制御基板および電池

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takahashi T., Sugimoto S., Kawano T., Suzuki K.	4. 巻 124
2. 論文標題 Microphysical Structure and Lightning Initiation in Hokuriku Winter Clouds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 13156 ~ 13181
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2018JD030227	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Suzuki, K., T. Sugidachi, K. Shimizu, K. Nakagawa, S. Oishi, Y. Saito, T. Shinoda, M. Katsumata, S. Mori
2. 発表標題 Development of a New Balloon-borne Sensor for Precipitation Particle Electric Charge Measurement
3. 学会等名 IUGG2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木賢士, 杉立卓治, 清水健作, 森 修一, 勝俣昌己, 中川勝広, 大石 哲, 川野哲也, 橋本明弘, 大東忠保, 齊藤靖博, 篠田太郎, 山田広幸
2. 発表標題 降水粒子帯電電荷測定のための400MHz帯ラジオゾンデ搭載新型センサー開発
3. 学会等名 2019年度日本気象学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 泉孔貴, 鈴木賢士, 杉立卓治, 清水健作
2. 発表標題 降水粒子の電荷測定のための新型センサー開発に向けた性能評価
3. 学会等名 2019年度日本農業気象学会中国・四国支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki, K., T. Sugidachi, K. Shimizu, K. Nakagawa, S. Oishi, Y. Saito, T. Shinoda, M. Katsumata, S. Mori
2. 発表標題 Development of a new balloon-borne sensor for the precipitation particle electric charge measurement
3. 学会等名 ICMCS-XIII (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	森 修一 (MORI SHUICHI) (00344309)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(大気海洋相互作用研究プログラム)・プログラム長代理 (82706)	
研究分担者	大石 哲 (OISHI SATORU) (30252521)	神戸大学・都市安全研究センター・教授 (14501)	
研究分担者	勝俣 昌己 (KATSUMATA MASAKI) (50359147)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(海洋観測研究センター)・グループリーダー代理 (82706)	
研究分担者	山田 広幸 (YAMADA HIROYUKI) (30421879)	琉球大学・理学部・准教授 (18001)	
研究分担者	川野 哲也 (KAWANO TETSUYA) (30291511)	九州大学・理学研究院・助教 (17102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	中川 勝広 (NAKAGAWA KATSUHIRO) (80359009)	国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所リモートセンシング研究室・室長 (82636)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関