

# 日産科学振興財団 理科／環境教育助成 成果報告書

回次：第 **4** 回 助成期間：平成 **19** 年11月1日～平成 **20** 年10月31日（期間 **1** 年間）  
テーマ： 大気中の電場の測定とインターネットを利用したリアルタイム落雷予報システムの構築  
氏名： 藤原博伸 所属： 女子聖学院高等学校 登録番号： 07257

## 1. 課題の主旨

落雷、地磁気などの自然現象観察から学問が発展し始めた電磁気学は、いまや電化された現代社会で重要な役割を担っており、教育においても重要である。その電磁気学の学習において電場（電界）・磁場（磁界）のイメージ化は「場」が目に見えないことから教育現場には工夫が必要とされている。磁場については、方位磁針という手軽な機器と地球磁場の存在があるため、小学生から磁場のイメージを手軽に得やすい。しかし電場については、測定に手間がかかったり、装置が高価だったり、磁場に比べてやや捉えづらい。特に地磁気と同様に地球規模で生じる大気中電場については、手軽に測定できる安価な装置が普及しておらず、電場概念のイメージ化教材として開発する価値があるように思われる。本研究では、手軽に大気中の電場を測れる安価な機器を開発し、教育現場に活用してみた。

## 2. 準備

我々の身の回りの自然現象で大きな電場を生じさせる現象は雷雲活動であり本研究ではこれらを測定する。実施内容は下記のように3段階に分けた。

### ① 大気中電場の測定機器開発

コロナ放電電流観測により雷雲が作る大気電場の測定を行い、本研究ではその測定装置の開発・製作を行う。

### ② 屋外観測の実施

フィールドミルと呼ばれる大気電場を正確に測定できる機器を用いて装置の特性取得および較正を行う。

### ③ 落雷事前検知の可能性

実際に屋外に設置し、観測を行う。インターネットの落雷情報との比較を行い、落雷予報が行える装置であるかを確認する。

## 3. 指導方法

本研究によって開発された教材は、女子聖学院高等学校の高校生と教員志望の東京学芸大学の学部生を対象に授業内で使用された。コロナ電流測定を用いた大気電場観測を行うにあたって以下の事前学習を行った。

### ① 電場の基礎概念（高校生のみ）

### ② 地表と電離圏で形作る地球規模の電気回路（グローバルサーキット）について

### ③ コロナ電流測定の原理

### ④ 落雷発生のおもしろさ

## 4. 実践内容

本研究では以下の内容が実践された。

### ①事前学習

上記の「3. 指導方法」にて記載された内容を事前学習として行った。

### ②測定器製作

下記の「教材製作」で示されている方法で測定器を製作した。高校生および大学学部学生による製作の様子は図1に示した。

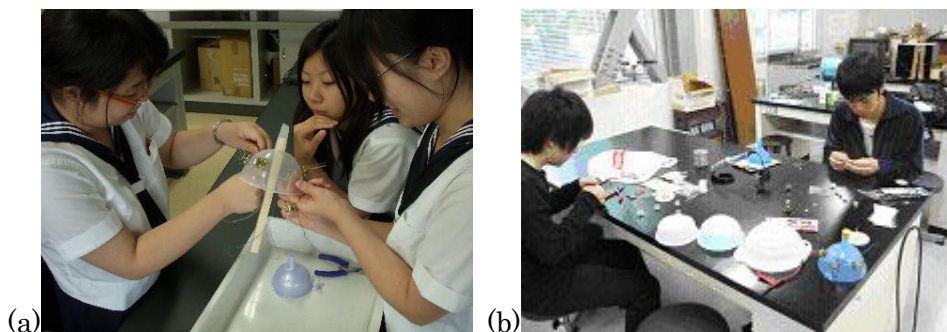


図1 教材（コロナ電流測定器）製作の様子。(a)女子聖学院高等学校における授業の様子。(b)東京学芸大学の学部学生での教材開発実験での様子。

### ③室内実験

実験装置の特性を得ることと、雷雲と同じ環境を得るために、導電性の板を使用し巨大な平行板コンデンサーを室内に作り実験を行った。

### ④屋外実験

屋外にて設置をし、フィールドミルにて較正を行った。

### ⑤落雷との比較

図2に測定の一例を示す。高感度であるフィールドミルは雷雲接近時の早い段階で変動が現れるが、ある程度電場強度が大きくなると、コロナ電流値も発生することが分かる。これらの変動は対地雷発生前であることが確認されている。

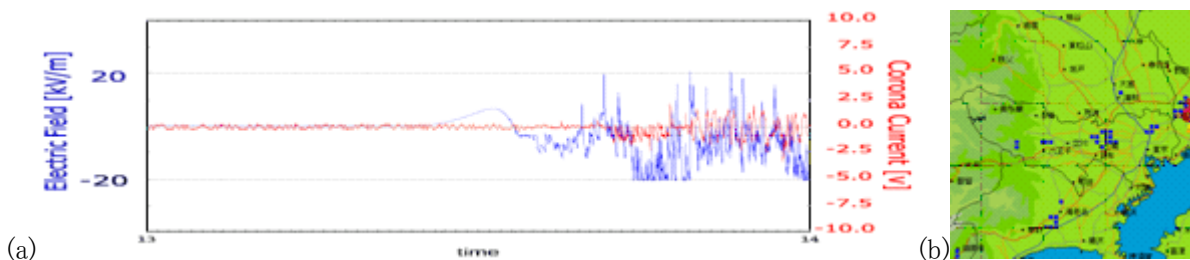


図2 測定例。(a) コロナ電流(赤)とフィールドミルによる電場(青)。(b) 雷雲の状況(東京電力によって取得されホームページにて公開されているもの)。

## 5. 成果・効果

本研究を通して、以下の成果を得た。

- ① センサーの部品に関してはほとんどが100円均一ショップ等で入手可能であることを確認し、これらで装置の開発ができることを示した。同等品でも十分製作が行えることを確認した。
- ② 生徒でも工作が行えるかどうかを確認するため、東京学芸大学学部3年生2名に大学院生指導の元、試作を行ってもらい、工作における安全性なども確認し、装置も観測に耐えるものであることを確認した。

- ③ この工作や背景の物理についての説明はすべて教員志望の大学院生に行ってもらい、この教材の汎用性についても確認した。
  - ④ フィールドミル(回転集電器と呼ばれる電場の精密測定が可能な機器)にて屋内検定を行い、電場の値を求めることのできるシステムであることを確認した。さらに屋外計測についても開始した。
  - ⑤ 安全対策には配慮し、万が一の避雷のために、アレスター(避雷器)を構築し装置に取り込んだ。
  - ⑥ 雷雲が接近するとはっきりとした変動が見られることを確認した。対地雷の前に変動が確認できることから落雷予報の機器として将来使える可能性があることを示した。
- 以上の成果より、電場や地学を学習する教材として使えることを確認した。

## 6. 所感

高校の教科書では、地球の大気中に存在する電場についてほとんど触れていない。これほど身近に現象が存在しても、ほとんど認識されておらず、知られている身の回りの電場は冬場の静電気程度である。その理由は、電場は直接目で見ることが出来ず、温度計、湿度計、及び気圧計のような指示計器が身近にないためだと思われる。この装置を用い、大気電場を常時観測することで、近隣を取り巻く大気環境の変化も知ることができ、手軽でとても有効な装置だと思われる。

## 7. 今後の課題や発展性について

### ① 教育実践と結果のフィードバック

本実験装置を用いた授業は教育的に効果があるかどうか、また安全であるかを教育実践することにより確認し、教材の改良を行う。教育実践を行う高校として、女子聖学院高校を中心に神奈川県立金沢総合高校、桐光学園、鷗友学園、東京学芸大学附属高校を予定している。生徒の電場のイメージ化に役に立ったかどうかを確認するためにアンケートならびに知識の確認を毎回行い改良へのフィードバックを行いたい。本実践においては、装置の安全性について特に配慮する予定である。

### ② 長期にわたる観測

地学においては長期観測が特に重要である。開発された装置が長期観測できるものか、また地学教材としてどの程度活用できるかどうかの調査を行いたい。この長期の観測においては季節変動がみられると予想され、得られた結果を用いて気象などの授業に用いることができると考えられる。

### ③ 落雷予報の実践

落雷に関連するデータの収集を多く行うことにより、落雷に先行する電場変動が時間的・空間的にどのようなか統計的に結果を得たい。装置がインターネットにつながれていることを利用して、リアルタイムの多点落雷予報も段階的に目指したい。

## 8. 発表論文、投稿記事、メディアなどの掲載記事

本研究の成果は、近日中に物理教育学会誌に論文する予定である。タイトル等は下記を予定している。  
鴨川仁、藤原博伸、劉正彦、加藤儀一郎、木村嘉尚、大気中の電場測定～雷雲が作る電場を測定してみる～、物理教育学会誌（投稿準備中）

### 【教材制作方法】

- ・実施内容が教材開発の場合、ここから1～2ページ使って、教材の制作方法を記載願います
- ・実施内容が教材開発でない場合、このページ以降を削除願います

本研究ではコロナ放電現象を用いて大気電場観測を行う。電荷を持つ導体平面における表面上の電場は垂直方向に存在し、等電位面は導体面と平行になる。しかしこの導体平面に針のような突起状の導体を置くと、突起物の先端周辺では電場の強度が大きくなる。この電場が絶縁破壊強度を越えると先端部にて放電が起こり、プラズマが現れる。この放電時に、外部の電場へ電荷が流出（または流入）し、それらの電荷を補うため、突起物内では電流が流れる。この電流をコロナ電流という。またこの現象は、雷雲活動中に船のマストの先端や教会などの建築物の先端に生じる発光現象（セント・エルモの火）として古くから知られている。周囲の大気電場  $E$  [V/m] と、導体内を流れるコロナ電流  $I$  [A] には次のような関係がある。

$$I = a(E^2 - M^2) \quad (1)$$

ここで  $M$  は放電閾値、 $a$  は定数で観測周辺環境によって決まるパラメーターである。

本研究でのプローブ部であるが、図3のようなものを開発した。金属突起物として36本の裁縫針を用いる。ある程度、針の数を多くすることにより、測定電流値を大きくかつ安定させることができる。針は、ボビンで6本ずつ束にし、半球のプラスチック・ボールに均等に配置ししっかり固定する。ただし、針の先端同士が近づきすぎると、感度が悪くなるため、できるかぎり、針の先端同士が離れるように配慮する。プラスチック・ボールは、長さ数メートルのポール（物干し竿など）に固定する。これらの材料の多くは手軽かつ安価にて入手できる。



図3 コロナ・プローブ (a) 概略図 (b) 写真

観測では、プローブ地上高が高いほど感度がよくなるので建物の屋上等に設置し（図4）、プローブからのケーブルは接地する。この間に抵抗（数百k～数MΩ程度）をはさみ、電圧を測定することによりコロナ電流の測定を行う（図5）。よってコロナ電流が負の時は電場が上空方向、正の時は電場が大地方向となる。

安全面であるが、プローブを取り扱うときは、針を用いるため設置時に注意する。また、針等も風で飛ばされないようにしっかり固定する。一方、防雷対策として、市販のアレスター（本研究では、中央防雷社製信号回路用マイクロマルチアレスター）を回路入れる。



図2 屋上設置例(小金井市・東京学芸大学自然科学研究棟屋上)

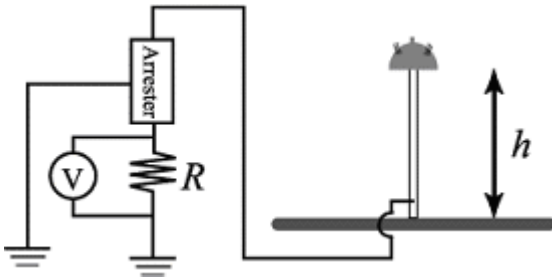


図3 観測回路図。 $R$ は数百k~数M $\Omega$ 程度、 $h$ は数m程度で本研究では800k $\Omega$ 、3.3mである。