

研究課題	大気電界法による局所的地域の雷観測と予知および雷アプリ開発による情報発信
副題	～ ものづくりと観測を通して大気現象やIoTを身近に ～
キーワード	大気電界法、局所的地域、雷観測、雷アプリ
学校/団体名	山口県立下関工科高等学校
所在地	〒759-6613 山口県下関市富任町4-1-1
ホームページ	<a href="http://www.shimonosekikoka-h.ysn21.jp/">http:// www.shimonosekikoka-h.ysn21.jp/</a>

## 1. 研究の背景

地球温暖化加速傾向が危惧され、脱炭素社会に向けて進みつつあるものの、国内では積乱雲の急成長に伴う局所的で激しい雷雨や豪雨、竜巻(以下、特殊気象という)による被害が相次いでいる。積乱雲成長過程に同期する発雷は、今世紀末までに50%ほど増加する可能性が報告されている。<sup>1)</sup> 現在、雷の予報は、気象庁の「雷ナウキャスト」で全国30カ所の測定データ等をもとに短時間予測情報を発表している。<sup>2)</sup> しかし、最大100km以上の観測局間距離から推定される情報は、局所的で時系列の雷嵐予報には至っていない。

その一方で伝統的な工業社会から知識社会へ変貌を迎え、IoTやAI技術者の大幅な不足が懸念され、生涯学習の場の提供が国の義務になりつつある。こうした流れの中で理科離れは益々深刻な社会的課題になっている。<sup>3)</sup> これを防ごうという目的から自然現象の中でも比較的注意を引きやすい雷やオーロラなどのプラズマ現象が科学館等でよく扱われている。さらに、実際の社会で活用できる資質・能力を育成する「主体的・対話的で深い学び」ならびに「アクティブ・ラーニング」の実践が学校教育に現在求められている。

このような中で本校電気工学科の生徒は、停電の原因の最たるものが現在も雷であることからその対策技術を学ぶなど、電気の「電」の字が雨天の稲妻を表現していることから、雷にまつわる話題はつきなく興味関心は高い状況にある。

## 2. 研究の目的

本研究では、積乱雲由来の電磁界信号を事前検出することにより、発雷のみならず特殊気象の予測を通じて被害の回避を可能にする。そのため大気電界法を用いた3種類の雷観測装置を製作組立設置して定点連続観測を行う。それらは、雷成長過程を高分解能で捉える2極構造の絶縁キャパシタ型雷観測装置(以下S1という)および3極構造の絶縁キャパシタ型雷観測装置(以下S3という)<sup>4)</sup>ならびに雷雲の接近を捉える汎用の回転電極型雷観測装置(以下EFMという)により、直径10kmの範囲の局所地域における雷観測のみならず雷予測機能を持たせた雷嵐の短時間予測<sup>5)</sup>を行う。これらの情報のデータベース化による地域固有の経年様相の把握により建造物や社会基盤の整備計画等への活用等の様々な情報をアプリやホームページ等で地域等へ提供する。このような地域の雷観測システムの構築を目標とする。

一方、教育として、この一連のものづくりや観測および情報発信ならびに世界大会等へ繋がる高校生科学技術チャレンジJSECおよび日本気象学会ジュニアセッションや日本大気電気学会で発表する。さらに、地域の企業フェスタへの出展および特許や商標等の出願を通して総合的な実力を育成すると共に、一人でも多くの生徒にこれらの成功体験や地域の方々に喜ばれる体験を

して、未知のものにチャレンジする資質である「行動する力」を育成する。この取り組みにより、大気電気現象あるいは地球規模の気候や温暖化現象へと考えを巡らすと共にIoTやAIの活用に積極的に関われる生徒の育成を図り、未来を創造する技術者の素養を培うと共に理科離れ対策に貢献できる工業教育の試案提供を目的とする。

### 3. 研究の経過

本研究は2017年8月から開始し、雷観測装置の製作、組立、設置、配線工事および改善整備を繰り返し3年半の歳月が経ている。その経過を表1に時系列で示し、2021年3月現在の屋上に設置した観測装置を図1、生徒の観測の様子を図2および観測室を図3に示す。

表1 本研究の経緯と経過

年	月	図 1,3	経緯と内容
2017	8	S1	2極構造の絶縁キャパシタ型雷観測装置を屋上に設置、観測を開始。
2018	8	EFM	汎用の回転電極型雷観測装置(通称フィールドミル)設置、観測開始。
	12		S1のサンプリング時間が安定しないこととS1とEFMの時間軸を揃えるためデータロガーGL240をレンタルして収録試験、良好な結果が得られた。
2019	4	GL240	12月の試験結果が良好であったのでデータロガーGL240を導入し、サンプリング時間20msでS1とEFMを時間軸を揃えて同時収録開始。
	8	GL7000	LF帯の雷電界信号検出による落雷予測のためフーリエ変換する必要があり、サンプリング時間1 $\mu$ sまで設定できるデータロガーGL7000によるS1とEMFおよびAMラジオによる雷電波をサンプリング時間20msと1 $\mu$ sで観測を開始。8月29日の観測結果から観測値が飽和しており、解決すべき課題。
		カメラ1	天空の雷光を画像で収録するため防犯カメラを用いて15fpsで収録開始。しかし、15fpsでは少ないのでラズベリーパイによる天空カメラの製作開始。
		無停電電源	落雷による停電が発生し、すべての観測装置がダウンした。市販の装置は高価なので自作。
	9		データロガーのアラーム機能を活用して「落雷注意」メール配信実現。
2020	6	カメラ2	天空の雷光を画像で収録するためラズベリーパイによるカメラを用いて60fpsで収録開始。
	8	アンテナ	周波数帯域0.5~1500MHzの広帯域アンテナ設置、観測開始。
		マイク	周波数帯域20Hz~20kHzのマイクロホン設置、観測開始。
	9	S3	3極構造の絶縁キャパシタ型雷観測装置を屋上に設置。 将来の情報発信のための本校雷観測の名称を商標登録実施。
2021	1	減衰器	S1、EFMおよびS3の観測値を1/4にする減衰器を完成させ装着。観測地の飽和を改善。
	3	図1,3の状態	S3の正常な動作実現、S1、EFM、S3、アンテナおよびAMラジオは時間軸を揃えて収録ならびに時刻合わせをして雷光画像収録、マイク未収録、この状態での実験検証を開始。



図1 屋上に設置した観測装置



図2 生徒による観測

マイクによる雷鳴の収録はしていないが、2020年に整備改善を終え2021年3月から一年間の実験検証を開始した。



図3 観測室

#### 4. 代表的な実践

##### (1) 屋上へ設置した雷観測装置

図4はS1の構成を示す。中空円板電極間にアクリル誘電体を挟んだ2極キャパシタAに大気変動電界により誘導される電位差は、通信ケーブルBとフィルタCを経由してオペアンプDで差動増幅され、電界相当電圧信号が端子Eに出力される。<sup>4)</sup>

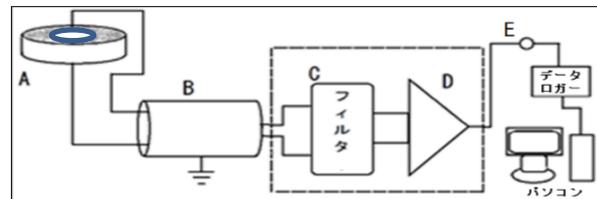


図4 S1の構成

図5はEFMの構成である。回転する接地電極により対向電極Aに大気直流電界が回転周期毎に変動電界として印加され、交流電位が誘導される。回路Bで増幅整流した信号を光変換し、光ケーブルCで観測室へ導き、変換器DとEを経てパソコン上で受信電界が表示される。<sup>6)</sup> また、Dからデータロガーに入力する。

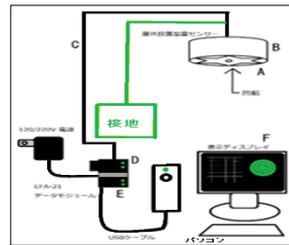


図5 EFMの構成



図6 製作・組立・設置

図6はS1とEFMの製作等の生徒の様子である。

図7はS3の構成を示す。電極A, B, Cに大気電界で誘

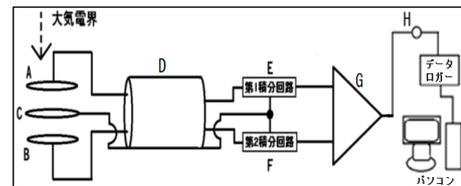


図7 S3の構成

導される電位差は、通信ケーブルDと積分回路E, Fを経由してオペアンプGで差動増幅され、電界相当電圧信号が出力端子Hに出力される。<sup>4)</sup>

##### (2) 実験方法

図8は雷観測装置による実験条件と雷予測手順を示す。電極が回転しない非回転型S1とS3において、抽出時間 $t_s=20\text{ms}$ の信号波形から落雷同定、 $t_s=1\mu\text{s}$ からLF帯雷電界成分解析によ



図8 雷観測と雷予測の方法

る雲雷同定も検討可能となる。<sup>5)</sup> 回転型 EFM で  $t_s=20\text{ms}$  で記録した信号波形を用いると、雷雲接近に伴う時間当り直流電界割合から落雷予測を与えるパラメータを検討できる。<sup>6)</sup> なお、雷雲や落雷の相互同定のため、雷電磁波、雷光及び雷鳴の各信号も同時収録保存可能な体制にある。

(3) 観測結果と検討

図9は2019年8月29日に得られた雷観測結果を示す。落雷時刻は08:02であった。S1信号は最大5Vで飽和を示し、EFM信号はその直前で最も鋭角な立ち上りを示した。黒色の長丸破線域に同期するS1の周波数分析により、LF帯雷信号を同定中である。一方、本装置雷受信時刻には下関気象台発表の落雷情報はなかった。そのため、局所域の雷観測には、定点観測による別途雷同定手段が必要となる。これまでに、雷電界受信信号レベルが想定より大きく、ノイズ混入も確認されたため、減衰器(1/4倍)や受信信号平衡化伝送線路を2020年度に製作装備し、一年間の実験検証を2021年3月から開始している。



図9 2019年8月29日の観測結果

(4) 減衰器の製作と装着

観測値が飽和する問題点を改善するため図10に示す回路図の4分の1にする減衰器を製作した。この回路を4つ取り入れた4系統4分の1減衰器装置を製作した。図11にその外観と内部を示す。また、観測室に装備した状況を図3に示す。S1、EFMおよびS3の出力をそれぞれ減衰器に入力し、その

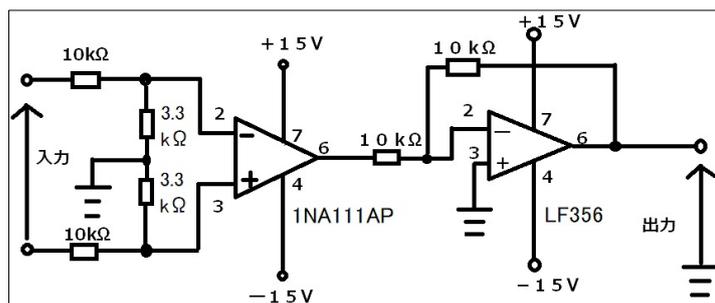


図10 自作減衰器(1/4倍)の回路図

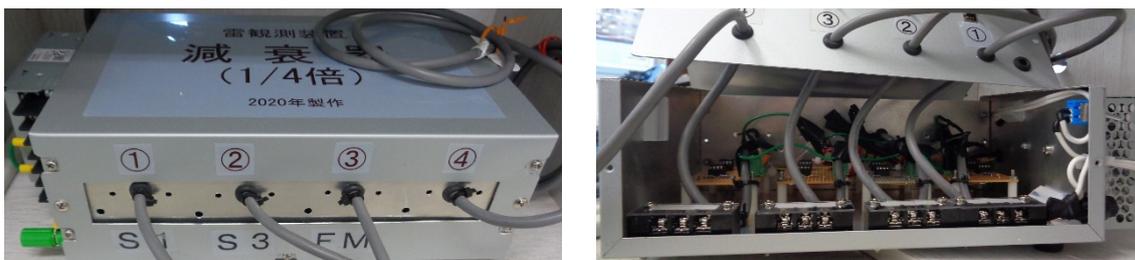


図11 4系統4分の1減衰器(左:外観、右:内部)

出力を図3に示すデータロガーGL7000で収録している。予備として1系統備えている。

### 5. 研究の成果

#### (1) 生徒の意識の変化

生徒の意識の変化について図12に示す。対象は電気工学科3年生で、雷対策技術を学んでいる電気コースの生徒80%と、学んでいない電子コースの生徒20%およびこの取り組みに携わった

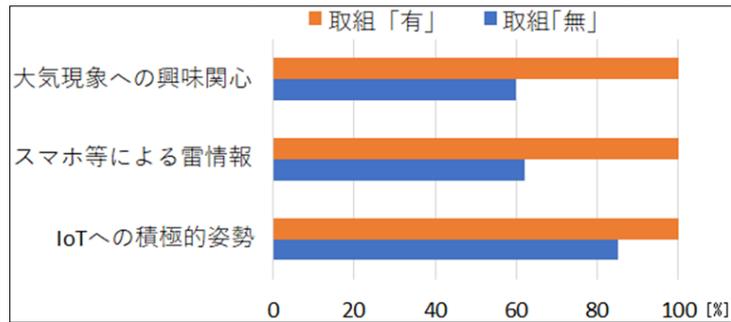


図12 生徒の意識の変化

電気研究部と課題研究の生徒の状況である。その図で取組「有」は電気研究部と課題研究の生徒およびそれ以外の生徒は取組「無」と示す。いずれも2020年4月と2021年1月の意識の変化についてアンケート調査を行った結果である。

雷やオーロラなどの大気現象への興味関心およびスマホ等による雷情報の確認状況について、取組「有」の生徒は100%、取組「無」の生徒は60%が意識の変化を示し、両者の相違は40%に達している。また、就職や進学してIoTへ積極的に関わると答えた生徒は取組「有」の生徒は100%、取組「無」の生徒は83%、両者の相違は17%である。この取り組みの体験者と顕著な相違がある。一連の本取り組みを通して大気現象や日常の気象に興味関心およびIoT等への積極的姿勢において向上が伺え、身近に感じられたようになっている。

#### (2) 卒業後に期待できる成果

本校電気工学科では、学年進行による知財財産学習体験を取り入れた新規性のあるものづくりを2000年から継続的に実施している。本取り組みはその流れをくむものである。これまでの卒業生の特許出願状況を図13に示す。横軸は特許出願件数、縦軸は最初の出願に要した年数を取り、赤色がこの取組「有」、青色が取組「無」を示す。青色の点は最初の特許出願までに10~13年かかっている。これが従来の状況で、それを取り囲むように赤色の点が点在する。<sup>7)</sup> 特許出願件数の多さや年数がかかっても諦めずに出願している。すなわち「行動する力」へ陶冶していると思われる。このことは本取り組みでも目指すところであり、このような顕著な活躍が期待できる。

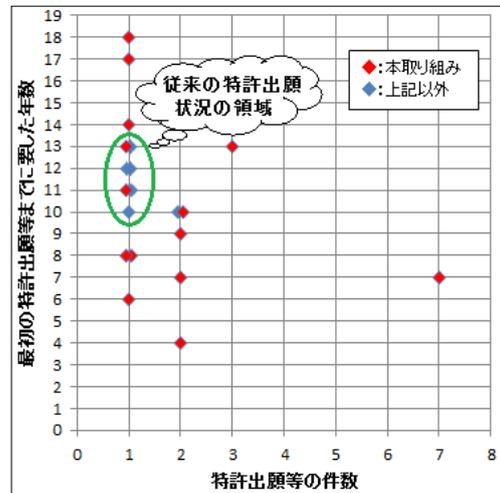


図13 卒業生の特許出願状況

### 6. 今後の課題・展望

#### (1) 雷観測と予知

10km 範囲の局所域雷雲観測および発雷同定のための観測装置を2020年度は点検整備改善した。今後は雷観測信号を用いて、発雷の直感的把握のためのパラメータを定義し、年間の実験検証を通じて地域の雷嵐情報提供を目指したい。また、今年度実現できなかった雷アプリ開発を実

現したい。

### (2) 雷観測装置の小型化

図 14 は電気研究部で試作中のラズベリーパイと雷センサーモジュールを組み合わせた小型雷観測装置で、携帯可能な手のひらサイズであるが、WiFi が必要である。その他に WiFi を必要とせず無線で可能なアルディーノと雷センサーモジュールを組み合わせた小型雷観測装置



図 14 小型雷観測装置の試作

を開発中である。図 14 はナチュラル研究所等から試作がネット上に公開されており、商品化は難しいが、営利を目的としない「一家に 1 台雷観測」のような製作講座等は可能である。さらに、S3 を小型化した接地不要の装置の移動用にも活用できる応用装置を開発展開する。

### (3) 学校間等の連携および町おこし

WiFi が不要で無線が可能な小型観測装置を完成させ図 15 に示す本校沖合の蓋井島や白島あるいは六連島に設置し、本校と 3 カ所で観測することで雷雲の位置を特定できる。これを発雷予測に活かす。蓋井島には小学校、六連島には有名な灯台、白島には石油備蓄基地、その沖合では波力発電の実験を行っている。人工島である長州出島には最近アンローダーが設置された。このあたりとの連携が可能である。一方、商標登録を済ませた名称は「雷電晋作」である。これは伊藤博文の高杉晋作評に「動けば雷電のごとく発すれば風雨のごとし」とある。長州出島と維新の志士そして雷と下関、さらに西海に沈む美しい夕陽とくれば様々な町おこしができそうである。



図 15 本校と沖合の島 3 カ所で観測

## 7. おわりに

雷観測結果において、雷雲が接近したときに観測値が飽和する問題点が生じ、この解決に手間取り、予定した観測ができるようになったのは 2021 年 2 月からになった。また、表 1 の 2019 年に示すようにデータロガーのアラーム設定による「落雷注意」のメール配信を実現し、今年度は改善を加える予定であったが、進まなかったのが紙面では割愛した。

最後に、2017 年から雷観測につきまして継続的御指導をいただいております東海大学岡野大祐名誉教授に謝意を表します。また、御支援を賜りましたパナソニック教育財団(2020)、武田科学振興財団(2019)および音羽電機工業(株)に感謝申し上げます。

## 8. 参考文献

- 1) [https://www.sankei.com/photo/daily/news\(2014.11.16\)](https://www.sankei.com/photo/daily/news(2014.11.16))
- 2) 滝下洋一：降水・雷・竜巻発生確度ナカキャスト、第 45 回日本気象学会、夏期大学講義資料(2011)
- 3) 高木浩一 他：講座 身近なプラズマ ～雷～、J. Plasma Fusion Res. Vol. 80, No. 8, p669-677 (2004)
- 4) 岡野大祐、廣岡征紀、今井健太郎、駒井知央：大気電界検出装置、特許第 6364584 号(2018. 7)
- 5) Martin A. Uman: The Lightning Discharge, DOVER (1984)
- 6) BOLTEK : EFM-100 User Manual、BOLTEK CORPORATION (2018)