

研究課題	大気電界法を用いた地域の局所的雷観測システムの開発および町おこし
副題	～ものづくりと観測を通して大気現象と IoT 技術を身近に、そして生き抜く力を～
キーワード	大気電磁界法、雷観測、局所的、対話型
学校/団体 名	公立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	http://www.shimonosekikoka-h.ysn21.jp

1. 研究の背景

地球温暖化加速傾向が危惧され、カーボンニュートラル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。¹⁾ 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。²⁾ 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。³⁾ 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、現在、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求められている。⁴⁾

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。

そこで、積乱雲由来の電磁界信号を事前検出することにより、局所地域における雷観測のみならず雷予測を行うと共に、地域固有の様々な情報をアプリやホームページで発信する。この一連の生徒との取り組みを通して生き抜く力を育成する。

2. 研究の目的

本研究では、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ため大気電磁界信号を用いた独自開発の雷観測装置による定点連続観測を行う。これにより、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を行うと共に、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への活用等の様々な情報をアプリやホームページ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等での発表ならびに地域の企業フェスタへの出展や町おこしおよび特許や商標等の出願を体験する。これらを通し

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育成を図り生き抜く力を培う。これらにより理科離れ対策や深い学びに通じる工業教育の実現を目的とする。

3. 研究の経過

雷観測装置の製作は2017年8月にスタートさせ、2021年8月の状況を図1と図2に示す。図1は屋上に設置した雷観測装置であり、図の左から電極が回転する汎用の回転電極型雷観測装置⁵⁾ (以下 EFM という)、2 極構造で電極は回転しない絶縁キャパシタ型雷観測装置⁶⁾ (以下 S1 という)、0.5~200MHz の広帯域受信アンテナ(以下 rf-ANT という)および3 極構造で電極は回転しない絶縁キャパシタ型雷観測装置⁶⁾ (以下 S3 という)の4種類である。EFMで直流電界、S1と

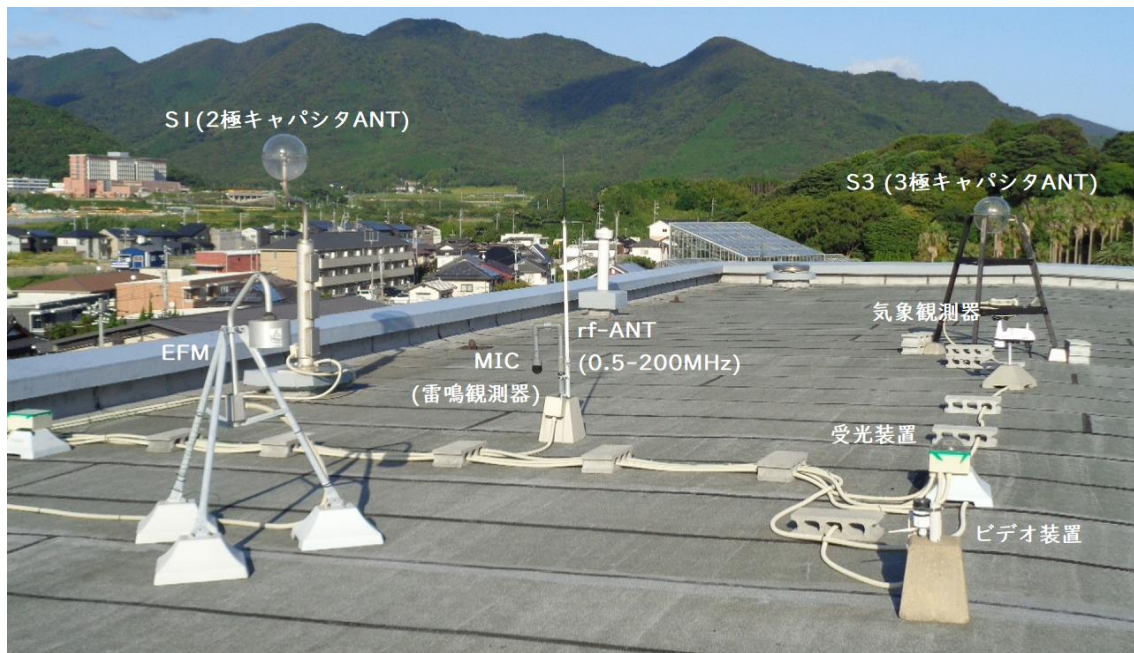


図1 屋上に設置した観測装置(2021年8月)

S3で変動電界を捉える。その高分解能観測結果の解析と予測を見出すためには発雷時刻等の同定を必要とするのでビデオ装置、受光装置および雷鳴観測器を設置した。その他に気象観測装置を設けている。2021年度は受光装置の新設を行った。それは、発雷時刻の同定はビデオ装置の動画を確認する方法で行っていたが、時間と手間がかかるのでその改善として受光装置を設けた。それ以外にも雷電界受信信号レベルが想定より大きく、S3の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回路等の装備を図った(2020~2021年)。図2はその階下の観測室と生徒による観測の様子を示す。



図2 雷観測室(2021年8月)

2022年1月に高分解能収録用のデータロガーの修理を終え、サンプリング時間 1 μ s(三菱電機

IU1)および $5\mu\text{s}$ (グラフテック GL7000) の高分解能観測と解析および予測を目指す観測体制が整った。図 3 はこれらの雷観測装置による実験条件と雷予測手順を示す。S1、S3 および rf-ANT おいて、GL7000 で抽出時間 $t_s=5\mu\text{s}$ の信号波形から落雷同定、IU1 で $t_s=1\mu\text{s}$ の信号波形から LF 帯雷電界成

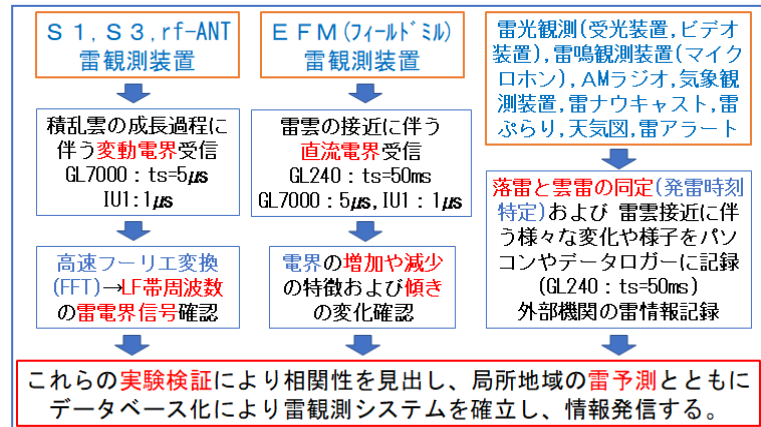


図 3 雷観測と雷予測の方法

分解による雲雷同定も検討可能となる。⁷⁾ この雷観測システム確立と情報発信の実現と並行してアプリ等による町おこしをも考慮したネーミング考案して商標登録を実施した。

2021 年度生徒全員にタブレットが貸与された。そこで、このタブレット活用による地域の対話型雷観測を電気研究部で実現した。これを次年度は 3 年生や 2 年生に広め下関市を網羅し、その返信情報を地図上に可視化することで生徒との対話型雷観測と雷観測結果の検証を図る。また、この取り組みを通してアプリ等の情報発信の有効な在り方を検討する。

2021 年度の実践例として雲雷サンプリング時間 $t_s=50\text{ms}$ 収録結果と検証、受光装置および生徒用タブレットによる地域の対話型雷観測について示す。

4. 代表的な実践

4-1. 雲雷の結果と検証

2021 年 5 月 16 日 (日) 雲雷発生時の結果を図 4 に示す。この図は EFM (緑色)、S1 (黄色)、S3 (橙色)、rf-ANT (青色) の 20:58~21:20 の観測結果であり、図の①~④において収録したビデオ装置による画像を図の下に示す。この画像により発雷時刻を特定できる。

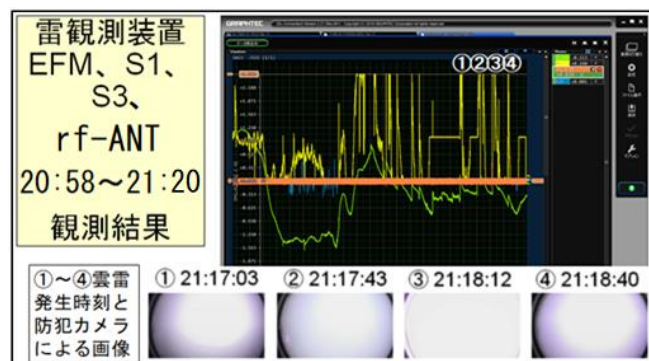


図 4 5 月 16 日 (日) の GL7000 による雷観測結果

図 4 の雲雷は、図 5 の気象庁「雷ナウキャスト」の画面において橙色の雷活動 2 を示す領域にあり、発雷結果を示す (株) フランクリンジャパン「雷 (らい) ぷらり」および気象庁「下関の 1 時間ごとの気象情報」示す範囲には含まれる。また、気象庁「天気図」においては前線が北に位置している。これらの情報から図 4 の発雷の詳細な時刻や位置は特定できない。図 5 の雷予報は、本校から東へ 60km 離れた宇部空港と西へ 140km の壱岐市に設置された雷観測アンテナと衛星による雲情報から短時間予測を示すもの

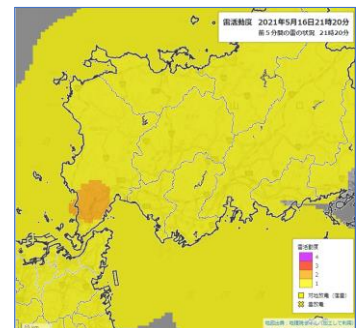


図 5 「雷ナウキャスト」

で、雷活動 2 の時は発雷が無いことが多い。このことから局所的地域の時系列で正確な観測結果に基づく予知情報は必要であることが分かる。

図4の雷観測結果について3か所の高速フーリエ変換を実施した例を図6に示す。サンプリング時間 $t_s=50\text{ms}$ の結果であるが、これが IU1 による $t_s=1\mu\text{s}$ の結果であれば発雷の前兆現象を捉えることができる可能性がある。

4-2. 受光装置

フォトダイオードモジュールを用いた受光装置の外観と内部を図7に示す。このモジュールは昼間は測定結果が飽和するためアーク溶接で用いる遮光ガラスで受光面を覆うための制御を行い昼夜の観測を実現した。すでに5カ月故障無く連続運転している。電気研究部と課題研究の生徒による作品である。

図8はGL240によるサンプリング時間 $t_s=50\text{ms}$ の観測結果とビデオ装置による2021年11月11日(木)

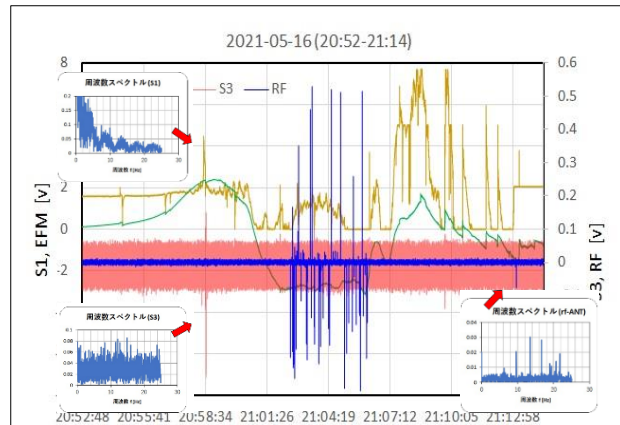


図6 高速フーリエ変換による解析

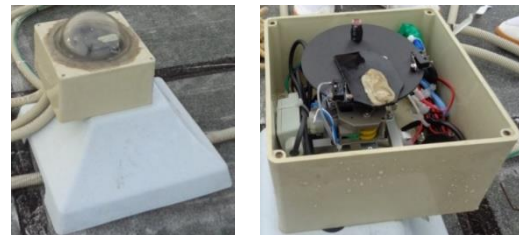


図7 受光装置の外観と内部

雲雷時の観測結果で、雷光を捉えた受光装置は緑色、EFM は赤色、S1 は青色、AM ラジオは橙色および雷鳴は紫色である。また、ビデオ装置による検証結果も示す。さらに、図8から分かることを表1に示した。夜間は目的とした雷光目印による時刻特定が容易にできることが分かった。

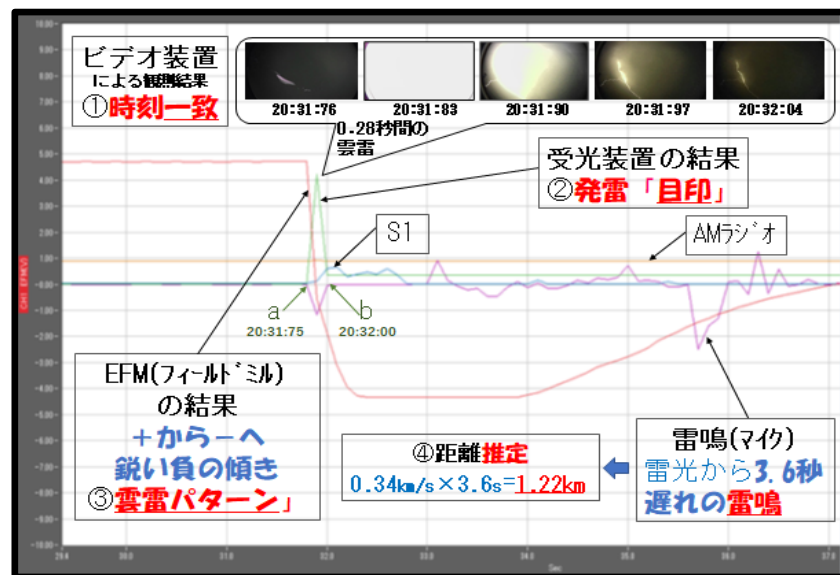


図8 2021年11月11日(木)雲雷時のGL240による観測結果

表1 図8から分かること

図8の①～④	要 点
①時刻一致	雲雷の時刻はビデオ装置と受光装置でほぼ一致し、ビデオ装置では0.28秒間の雲雷で受光装置では図のab間0.25秒とほぼ一致する。
②発雷「目印」	図の緑色の線で示す受光装置の出力はピークを示し、動画を確認することなく一目で発雷とその時刻を確認でき、発雷「目印」といえる。
③雲雷パターン	EMFが鋭い負の傾きを示すときに雲雷は発生している。この傾きを調べるにより予測を可能とする。落雷は正の傾きと推測される。
④距離推定	雷光と雷鳴に3.6秒の遅れがある。発雷地点と本校との距離は1.22kmと推定、気象庁の下関気象データからの検証結果断定はできなかった。

4-3. 生徒用タブレットを用いた Teams 活用による地域の対話型雷観測

図9のAは生徒との共有を図るための雷観測用のモニターを示す。その画面の右上はEFMの観測装置の結果であり、雷雲が接近すると緑色から黄色そして赤色へと変化し lightning 等の注意喚起を発する。その下の画面は屋上に設置した天空を観測するビデオ装置で雷光を捉える。図では晴天なので太陽が写っている。その左の画面には4種類の雷観測装置、受光装置、雷鳴観測器およびAMラジオによる観測結果を波形で示している。発雷時には大きな変化や雷光画像を表示する。図の

BとCは Teams 活用による生徒用タブレットへの観測画面共有設定の様子で、図Dはそのタブレットに表示された共有観測画面を示している。生徒は自宅で、この共有情報を得ると共に在宅地の雷情報を返信することで対話型雷観測が実現できる。さらに、その返信情報を下関の地図上に

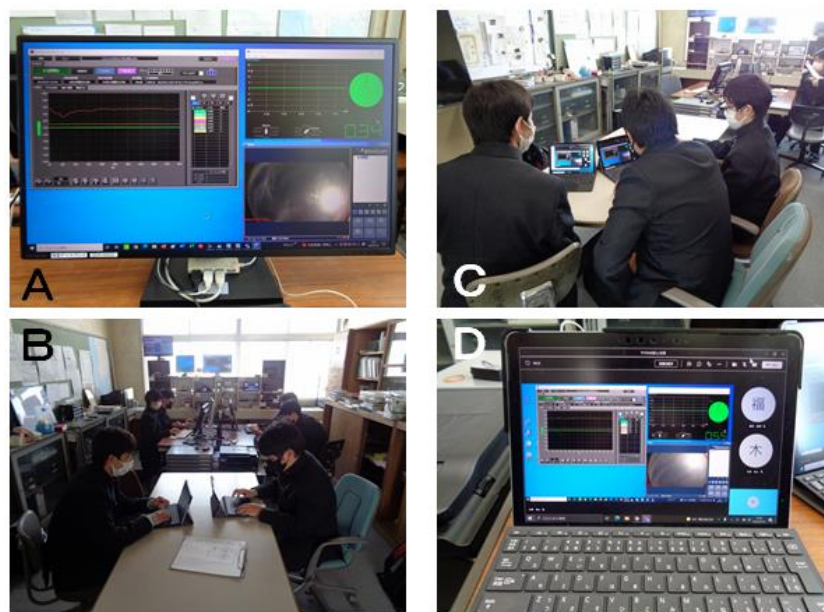


図9 Teams による観測画面の共有

可視化することで観測結果との検証を図る。

5. 研究の成果

対象生徒は、電気工学科3年生において、受光装置の製作と雷観測に取り組んだ課題研究の取組「有」の生徒とそれ以外の取組「無」の生徒について、4月と1月の意識の変化についてアンケート調査を行った。その結果、雷やオーロラなどの大気現象への興味関心について、両者の相違は40%に達している。また、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変化が伺え、身近に感じられるようになってしていると推察できる。

電気研究部の活動目標として表2に示す大会等への応募と受賞を設定し、講演予稿および発表資料等

表2 大会等への応募結果

期限に追	年度	大会名等	結果
われながら	2020	日本気象学会ジュニアセッション(5月)	発表認定証5人取得
		高校生科学技術チャレンジ(9月)	入選
		山口大学リサーチジュニアセッション(3月)	理学部応援企業賞受賞
は取り組み、総合	2021	日本気象学会ジュニアセッション(5月)	発表認定証3人取得
		高校生科学技術チャレンジ(9月)	入選
		高校生技術アイデアコンテスト全国大会(1月)	佳作
		山口大学リサーチジュニアセッション(3月)	2件応募

的な実力と行動する力を育んでいる。

6. 今後の課題・展望

地域の雷嵐情報だけでなく社会基盤情報をも提供できる雷観測システムの構築を目標としている。図 10 はその構想を示すもので、スマホや生徒へ配布されたタブレットを用いて対話型の雷観測と実験検証を実施する。次年度は電気研究部部員と電気工学科 3 年生において実現させる。また、情報発信のための雷アプリ開発として、町おこしを視野に入れたロゴマークの商標登録を実現する。

本州の最西端に位置する工業高校である本校は、西海に沈む夕陽の美しい眺望がある一方で、災いをもたらす雷様も西海からやって来る。これを図 11 に示す蓋井島(ふたおいじま)と歴史的に有名な六連島(むつれじま)灯台に試作中の小型雷観測装置を配置し、本校との 3 点で監視する。その 3 点を結ぶ三角形内には人工島の長州出島がある。長州と下関と聞けば高杉晋作に異論はあるまい。そこで、伊藤博文の高杉評から浮かんだのが「雷電晋作」である。

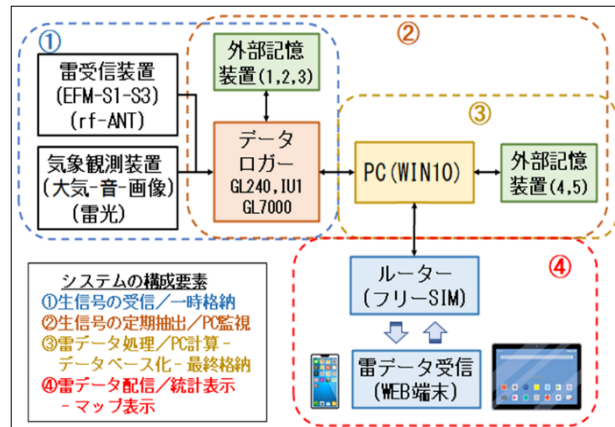


図 10 本校の雷観測システム



図 11 雷監視と対話型観測情報発信

7. おわりに

生徒がタブレットをもつようになって対話型の情報交換が可能なることに気付かされた。それは地域の情報が新たな価値を創造することにつながる。雷観測等を通してグローバルな地域創成に挑む卒業生が現れることを期待する。災いをもたらす怖いものとして嫌われがちな雷様であるが、意外にも恵みをもたらす福(河豚)かもしれない。楽しい寅年である。

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・竜巻発生確度ナウキャスト、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) 田村学：深い学び、(株)東洋館出版社(2019)
- 5) BOLTEK：EFM-100 User Manual、BOLTEK CORPORATION(2018)
- 6) 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)
- 7) Martin A. Uman: Lightning, p. 253-286、DOVER SCIENCE BOOKS(1984)