

可聴音による落雷位置の調査 及び

落雷位置とスプライト発生位置との関係を探る



実施担当者 香川県立三本松高等学校
教諭 三好 輝徳

1 はじめに

上空約 50km~80km の中間圏での発光現象の一つであるスプライトは、1989 年アメリカ・コロラド州の巨大な雷雲上で偶然発見され、研究が進められてきた。当初、日本での発生は難しいと考えられていたが、北陸地方の「鯰起し」と呼ばれる規模の大きい冬季雷に伴い発生していることが明らかになった。そのスプライトを観測する目的で、2006 年 12 月高知県立高知小津高等学校が中心となり、スーパーサイエンスハイスクール指定校 14 校による SSH コンソーシアム「スプライトの同時観測に関する研究会」が発足した。その後 12 年間にわたり日本海沿岸(若狭湾方面)に高感度白黒ビデオカメラを向け光学観測を行い、延べ約 6700 件のスプライトを中心とする中間圏の発光現象を観測した。この観測結果からスプライトの発生位置の分布、発生高度、立体構造などをこれまで明らかにしてきた。この高校生による共同研究を更に発展させるため、平成 30 年度(助成 1 年目)は金沢市の高校で、平成 31 年度(助成 2 年目)は福井市の高校の協力も得て可聴音による雷の観測を行った。

2 研究体制

共同光学観測高校は、本校の他、高知県立高知小津高等学校、兵庫県立神戸高等学校、奈良県立畝傍高等学校、京都府立桃山高等学校、愛知県立一宮高等学校、静岡県立磐田南高等学校、石川県立金沢泉丘高等学校の計 8 校である。可聴音による雷鳴観測は金沢市内 6 高校、福井市内 4 高校に観測機器を設置させていただいている。

各高校間の情報交換は、高知工科大学のメールサーバーを利用したメーリングリスト等で行っている。

また、高知工科大学 山本真行教授、東京学芸大学 鴨川仁准教授に指導助言を頂いている。

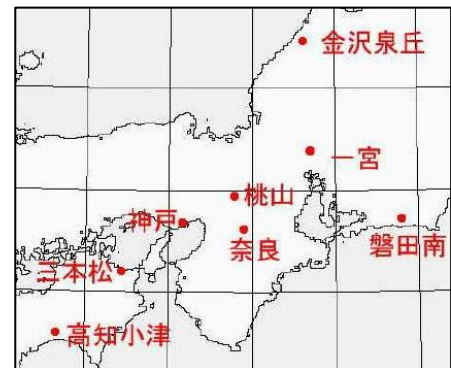


図 1 共同観測高校

3 観測状況

3-1 光学観測

夜間の一瞬の発光現象を動画で記録するために、高感度 CCD カメラ(ワテック社 WAT-100N 等)と明るいレンズ(CBC 社 8mm F0.8 等)を組み合わせ使用している。この機材は北斗七星をハッキリとビデオ撮影できる程の感度である。また、一晩中動画記録するのでは無く、発光現象が起こったときのみ PC に記録する動体監視ソフトウェア UFO Capture (SonotaCo 氏作成)を用い記録している。

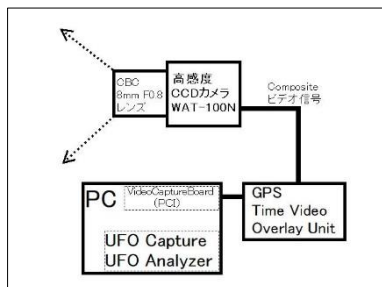


図 2 観測機器構成図



図 3 レンズ, CCD カメラ

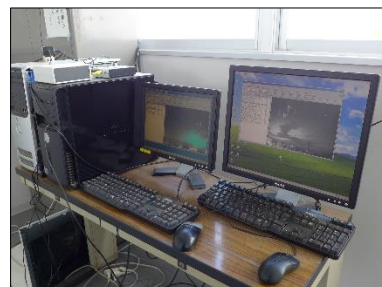


図 4 観測機器(三本松高校)

共同光学観測校は同様のシステムでの観測を行っている。本高校からの観測数は図 5 に示すように 2017 年度 153 件、2018 年度 203 件であった。しかし、そのほとんどは若狭湾周辺、日本海上であり金沢市付近で発生したと推定されるスプライトは 1 件、福井市上空付近で発生したと推定されるスプライトは 1 件であった。

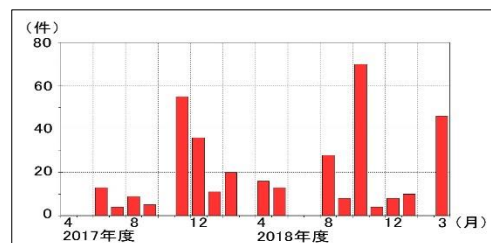


図 5 29, 30 年度月別観測数(計 356 件)

3-2 音声観測

可聴音による雷鳴観測は、IC レコーダー(可聴音記録)、音声機能付き電波時計(基準時間用)、AM ラジオ(電磁波ノイズ観測)を 1 セットとして観測を行っている。



図 6 雷鳴観測装置



図 7 観測協力10校(福井市, 金沢市)

4 活動状況

4-1 「高高度発光現象の同時観測」に関する第 1 回研究会 及び 「日本地球惑星科学連合(JpGU)2018 年大会高校生セッション参加」

5月19日(土)高知工科大学東京サテライト教室(港区芝浦)に共同観測校5校が集まり研究会を開催した。各校の観測・研究の情報交換、観測・分析ソフトウェアに関する講習、翌日のJpGUで発表のポスターに関するディスカッションを行った。各校でスプライトの研究していた先輩(現・大学生)の参加もあり、活発な議論ができた。また、大学の先生方から大気電磁気学等に関する講義もあり研究に関連する知識を身につけることができた。



図 8 研究会でのポスター発表

翌5月20日(日)日本地球惑星科学連合(JpGU)2018年大会「高校生によるポスター発表」(千葉市幕張メッセ)に参加し1年間の研究を発表した。このセッションでは78の地学系テーマのポスター発表があり、内外の研究者の方々にもポスターを見ていただく機会であった。スプライト研究の第一人者の北海道大学教授高橋幸弘先生からもアドバイスを頂くことが出来た。

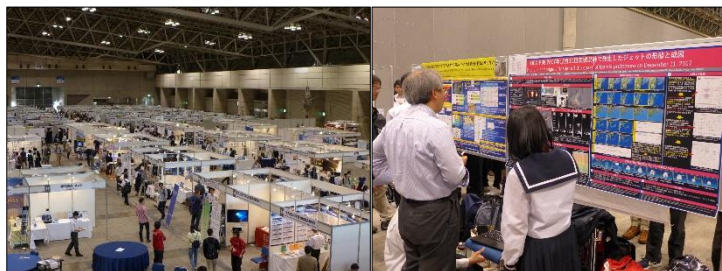


図9 JpGU「高校生によるポスター発表」

4-2 「高高度発光現象の同時観測」に関する第2回研究会

今年度2回目の研究会を2月2日(土),3日(日)兵庫県立神戸高等学校にて開催した。共同観測5校が参加し、各校の観測・研究の情報交換の後、2018年12月17日22時25分56秒(JST)福井市上空で発生したスプライトの光学観測、それに伴う雷鳴の音声観測データの分析を行った。

(1) 光学観測によるスプライト発生地点の特定

対象スプライトは本校と神戸高校の2校のみが光学観測出来ていた。両校の交差角は小さいため精度は落ちるが、三角測量の手法を用い発生地点の特定を行った。



図10 三本松高校観測



図11 神戸高校観測

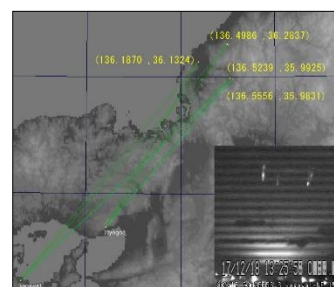


図12 発生場所

(2) 音声観測による雷鳴発生地点の特定

このスプライト発生時刻、福井県立高志高等学校、福井県立福井農林高等学校で雷鳴が観測出来た。しかし、福井県立藤島高等学校では他の雷鳴は記録出来ていたが、この時刻の雷鳴は記録されていなかった。福井市に置いたICレコーダーは、MP3 8kbps モード録音としている。一度の操作で長時間録音が可能であるが3kHz以上の周波数はカットされるため、波形(図13)では雷鳴の到達時間の判断は難しい。そこで、周波数スペクトル(図14)を用い100Hz付近の強度分布から雷鳴の有無を判断した。AMラジオの電磁波ノイズによって雷の発生時刻が記録されているため、2観測地点から雷鳴発生地点までの距離を計算することが出来た。

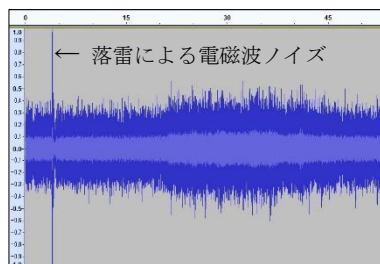


図13 音声波形(高志高校)

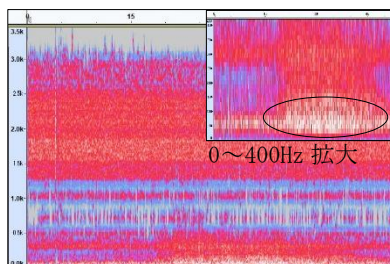


図14 0~3.5kHz スペクトル



図15 音声解析の実習

音速を333m/sと仮定すると、高志高校では、雷鳴が聞こえるまでの時間16.7秒、雷鳴発生地点までの距離5.56km 福井農林高校では、雷鳴が聞こえるまでの時間10.7秒、雷鳴発生地点までの

距離 3.56km となった。雷鳴発生地点は、福井農林高校を中心とする半径 3.56km の黄色円、高志高校を中心とする半径 5.56km の赤色円の交点と考えられる。藤島高校では音声記録出来なかったことを考慮すると東側が雷鳴発生地点と考えられる。(図 16 中の * 点)

(3) 光学観測、可聴音観測等から考えられること

スプライト発生地点、雷鳴発生地点、また、電磁波観測による落雷情報を提供している(株)フランクリンジャパンの落雷地点を地図上にプロットした。(図 16)

表1フランクリンジャパン落雷位置等データ

地点	発生秒	電流値 (kA)	放電種別
A	56.7637	-175	対地放電以外
	56.7882	+8	対地放電以外
	56.7913	+8	対地放電以外
	56.8011	+9	対地放電
B	56.8056	-10	対地放電以外
C	57.0185	-4	対地放電以外



図 16 スプライト、雷鳴、落雷の位置関係

フランクリンジャパンの落雷情報から A 点での -175kA の放電は他の放電と比較し 17 倍以上大きい規模の放電であり、この放電がスプライトを発生させた親雷であると考えられる。また、可聴音観測時に記録された AM ラジオの強い電磁波ノイズ源と考えられる。0.25 秒の短時間の間に A, B, C 点の広範囲で放電が起こっていること、図 17 のレーダー頂高度等の画像から、福井市東側の山間部には季節風により A, B, C 点を覆う南北に約 30km 伸びる雷雲があり 3 地点でほぼ同時に放電があったと推定でき、その落雷地点を取り囲むように 4 本のスプライトが発生したと考えられる。しかし可聴音観測による雷鳴発生位置と放電位置が一致しない。

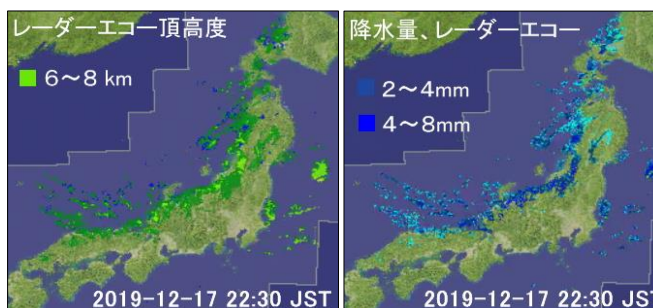


図 17 頂高度、降水量(国立情報学研究所北本研究室より引用)

人工的な点音源(陸上競技のスターター音、花火大会の花火音)の可聴音観測では高い精度で音源位置特定することが出来たが、雷の場合は点音源ではなく放電経路から発生する線音源であり、かつ反射波によって「ゴロゴロ」と聞こえる雷鳴では位置特定は困難であると考えられる。もしくは、電磁波観測では放電と判別出来ない放電による雷鳴である可能性も否定出来ない。

4 まとめ

本研究はスプライトの発生源である雷観測を自分(高校生)たちで行いたいと考えたことから始まった。北陸地方の多くの学校の協力を得て、観測や分析ノウハウを蓄積することが出来た。また、このような研究は次期学習指導要領で求められる「高等学校の数学・理科にわたる探究的科目の学習過程」のモデル、高大接続のモデルとなることができると考えている。

謝 辞

本研究は広域コンソーシアムであるため、研究会を開催する場合でも多額の交通費等が必要になる。公益財団法人中谷医工計測技術振興財団 科学教育振興助成の多大なご支援をいただき、充実した研究、また研究会が開催できた。心より感謝したい。