選考委員特別賞

佐々木嘉和賞

賞金５万円･アメリカ研修旅行

南国、高知の

空の青さを測る！VI

高知工業高等専門学校

WNI 気象文化創造センター　第８回 高校・高専「気象観測機器コンテスト」

「南国、高知の空の青さを測る！Ⅵ」についての報告書

加藤樹、坂本知也　（高知工業高等専門学校）

１.はじめに

私たちが普段見上げる南国、高知の空の青さはその時々により異なり、同じ青さの空を見ることはない。では、なぜ同じ色の空を見ることはできないのだろうか。

空が青く見えるのは、太陽の光が空気中の物質にぶつかり散乱するからだ。レイリー散乱では、青色の光が最も散乱されやすく、その散乱された青い光が私たちの目に多く入るため、昼間の空は青く見える。

空の青さは、観測する条件により異なる。そこで、我々は気圧や温度、湿度などを観測することで、大気の状態と空の青さとの関係を調査することにした。光の散乱のされ方は、空気の密度と深く関係するが、気温と気圧を測り、分子構成を仮定することで空気の密度を推定することができる。

2018 年度は、気球の飛行情報を得るために、特定小電力無線である LoRa 送信機を気球に搭載することにした。920 MHz 帯の LoRa（Long Range）は、LPWA（Low Power Wide Area）の規格の一つであり、30 km 以上の通信も確認されている。この通信規格は、低消費電力で、使用するにあたっての無線従事者資格や無線局登録が不要であり、利用しやすい。

実施した地上での通信実験では、気球搭載が十分可能であることを確認できた。LoRa の少ないデータ送信量に合わせて送信する位置情報の様式を作成した。また、気球が雲の上に出たことを確認するために、天頂カメラの画像処理を用いて代表的な空の色を抽出する手法を開発した。

これを踏まえて、今年度は LoRa 送信機を搭載した気球実験を実施し、海上に降下した観測装置を船で回収することを目標とする。観測装置を回収することで、高画質な画像や 9 軸センサから得られたデータなどの、LoRa による送信データ以外のデータを取得でき、さらに観測装置の再利用が期待できる。

そのために、降下地点予測の妥当性を確認し、並行して気球と観測装置を任意の高度で切り放す機構の確立を目指す。この機構が実現すれば、装置の水平移動距離が小さくなり、回収できる可能性が上昇すると考えている。

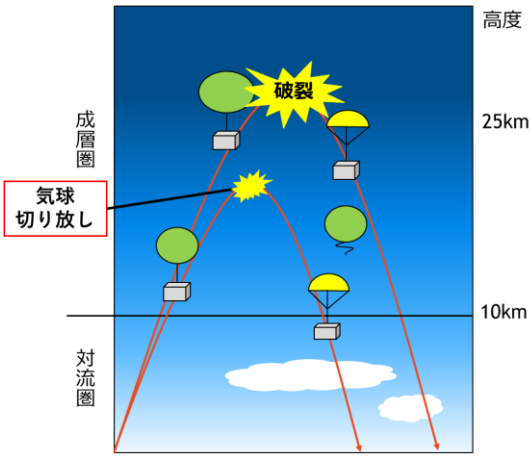


図１．自由気球のイメージ図

２　観測装置について

２．１　観測装置の外観と構成

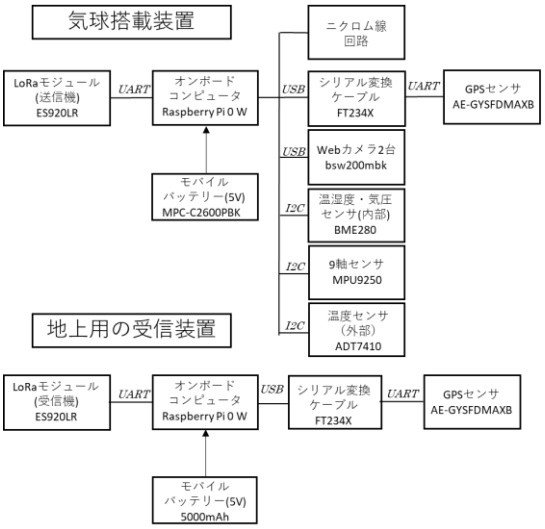


図２．観測装置の構成図

図２に開発した観測装置の構成図を示す。気球に搭載する送信用の観測装置と地上での受信用装置があり、それぞれ EASEL 社の LoRa モジュール(ES920LR)で通信を行

う。緯度、経度、高度および時刻取得用のGPSセンサは両装置に搭載しており、気球搭載装置には加えて温湿度・気圧センサ(BME280)、外気温取得用の温度センサ(ADT7410)、姿勢情報取得用の9軸センサ(MPU9250)を搭載し、天頂と水平方向撮像用のwebカメラを計2台配置した。ニクロム線回路は、切り放し機構を実現するための回路である。

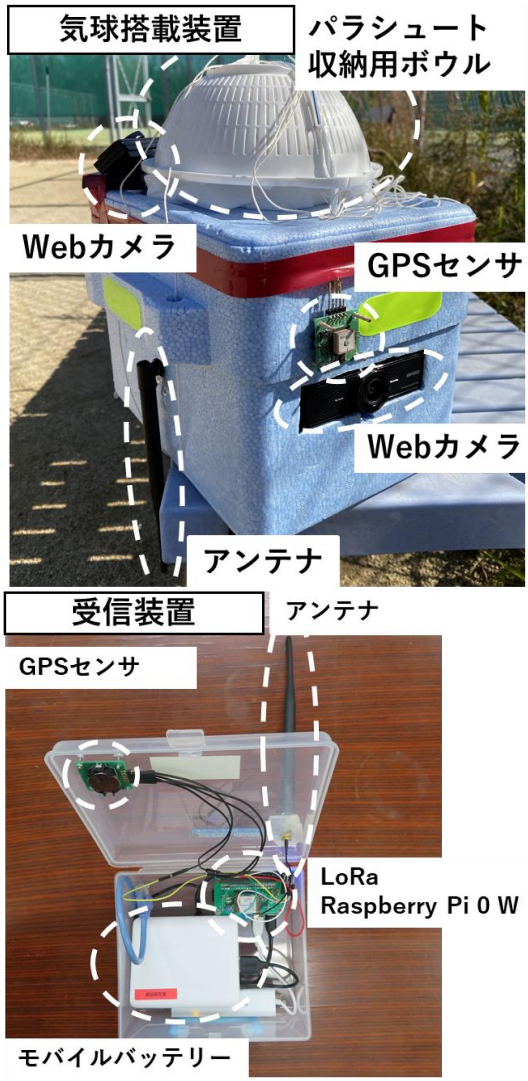


図３．装置の外観

図３は開発した気球搭載観測装置と地上用受信装置の外観図である。GPS センサ、温度センサ、web カメラ２台を外部に露出するように配置している。使用しているアンテナは LoRa 用のモノポールアンテナであり、送信機側は鉛直下向き、受信機側は鉛直上向きに配置した。

２．２　切り放し機構

通常，気象観測では、気球は内部に封入されたヘリウムにより成層圏上部にまで上昇する．そして気球内部と外部の気圧差によりゴムが破裂し、観測装置はパラシュートを展開して海上や地上に降下する．この方法では成層圏上部へ達することができるが、降下地点が遠くなり観測装置の回収が難しくなる。そこで今回は、任意の高さで観測装置と気球を切り放す機構を搭載し、放球地点から着水地点までの水平距離を短くする試みを行った。

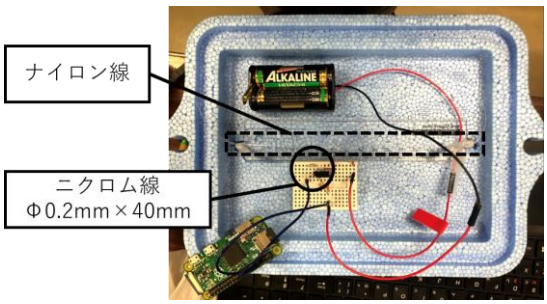


図４．切り放し機構の外観

図４に開発した切り離し機構の外観を示す。ナイロン線で観測装置に結ばれた気球とそれに付けられたパラシュート収納ボウルは，ニクロム線を加熱することでナイロン線が焼き切れ，観測装置と切り放される。ニクロム線の加熱は、Raspberry Pi から GPIO 制御で MOSFET を用いたスイッチング回路を通じて行われる。図５にニクロム線用のスイッチング回路を示す。

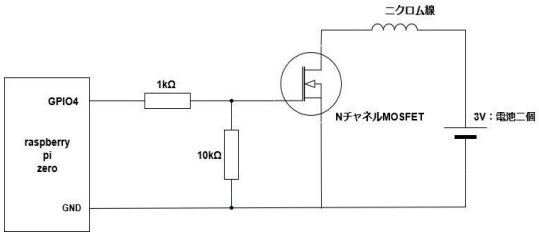


図５．ニクロム線回路

気球を切り放すタイミングは、まず気圧と温度からの推定高度を算出し、その値が切り放し高度を越えた場合に、コマンドを実行する。ただし、気圧値などの突発的なエラーで、切り放し高度を越えた値が瞬間的に出た場合に備えて、切り放し高度に達するまでの予測時間が 5 秒を切るまでコマンドの実行をしないことにした。予測時間の

算出は、時間と高度変化を最小二乗法で一次フィッティングして求めた上昇速度を、切り離し地点までの高度差で除算することで行う。

切り放しの実行判定のために、モード変数を定義した。算出した上昇速度を利用して、上昇速度が小さい状態(=地上)を 1、上昇中を 2、下降中を 3 とし、切り放しが実行済みの時、各値に 4 が足される仕組みとした。

２．３　空色判定アルゴリズム

空の青さは、高度変化によって連続的に変化していくように見える。取得した天頂画像から代表的な空の色を抽出する手法を昨年度開発した[2]。画像を H (Hue : 色相) 、S (Saturation : 彩度) 、V (Value : 明度) で表される色空間に変換し、それぞれの最頻値を取得することで、画像上の代表的な値を取得し、空色の値とした。LoRa モジュールで送受信する空色には、取得した HSV の最頻値を RGB に変換した後に 16 進数のカラーコードに変換したものを用いる。

今回、新たに雲やロープ、ゴム気球に見られる白系の色に対してマスク処理を行うことで、空色の代表値を取得する手法を改良した。図６、７に動作実験の様子と結果を示す。主に雲といった白系の色に対して概ねマスク処理が行われていることが確認でき、図中の黒円内に示される色を空色の代表値として取得することができた。

図６．空色抽出の様子

（黒円：抽出した空色
H：201, S：103, V：128）

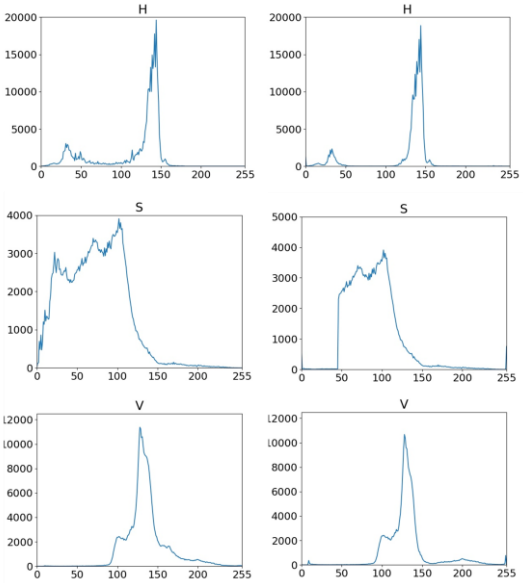


図７．HSV のヒストグラム
（右：マスク処理無　左：有）

２．４　LoRa で送受信するデータについて

今回使用した LoRa モジュールの実用可能な伝送容量は約 50 byte 程度である。伝送容量を抑え、最大限の情報を取得するために、図７に示すように、送受信するデータ形式を決定した。緯度経度は小数点以下 5 桁にすることで誤差 1 m 以内の情報を取得している。傾きは 9 軸センサから得られる三次元の加速度
から算出し、装置の水平に対する傾きを 0~90 度の範囲で決めた。GPS 時刻は分と秒のみとした。高知県内での放球実験を前提として、緯度・経度は、北緯 30°東経 130°からの差分とした。気圧は daPa とし、気圧から推定する高度の精度を 5m 程度となるようにした。

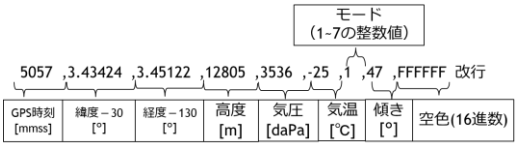


図８.送受信データ例（コンマは 1 byte,
改行は 2 byte　合計 49 byte）

使用した LoRa モジュールは、拡散率（SF: Spreading Factor）を 10、帯域幅（BW:

Band Width）を 125 kHz に設定し、データ送信間隔は 5 秒とした。データの送信時間は拡散率と帯域幅に依存するが、今回使用した設定値では、データ送信時間は概ね 2 秒以内に収まる。表 1 は、伝送容量が 50 byte 時の SF 値と BW 値に対応したデータ送信時間を示している[3]。

表 1 .伝送容量 50 byte 時のデータ送信時間

		拡散率(SF)		
		9	10	11
帯域幅（BW）［kHz］	62.5	903	1,642	2,957
	125	452	821	1,479
	250	226	411	739
	500	113	205	370

単位：ms

３　放球実験

３.１　実験内容

成層圏観測を目的とした放球実験を、2019 年 11 月 1 日に高知県沿岸部から行った。高岡郡中土佐町久礼の海岸から放球を行い、切り放し高度は 18,000m とした。図 9 に示すのは CUSF[4]で計算した気球観測装置の予測経路である。放球地点の座標、時刻、装置と気球の重量、上昇・降下速度を指定することで、気球の予測飛行経路と封入するヘリウムガス量を取得した。

受信機を放球地点、高知高専屋上、着水予測地点に手配した船上にそれぞれ一機ずつ配置することで、放球から着水までの飛行情報の取得を図った。

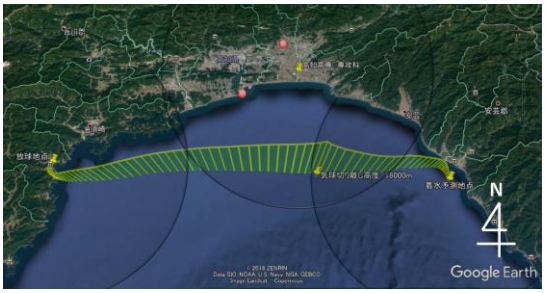


図 9 . 気球予測経路
（黒円:受信機の通信範囲　各半径 25 km）

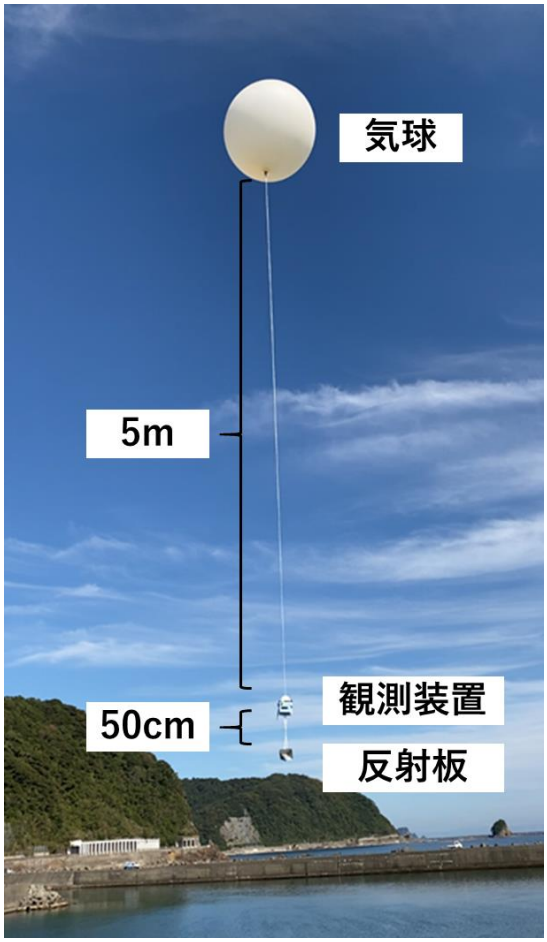


図１０. 実験の様子

上図１０は、実際に行った実験の様子である。回収用の船に搭載されている魚群探知用レーダーで探知可能にするため、装置の下部に反射板を取り付けた。レーダーは 6 km 程度の範囲を探知可能であり、LoRa モジュールによる送受信とは別のアプローチで装置の回収を図ることが可能となる。

３．２　実験結果

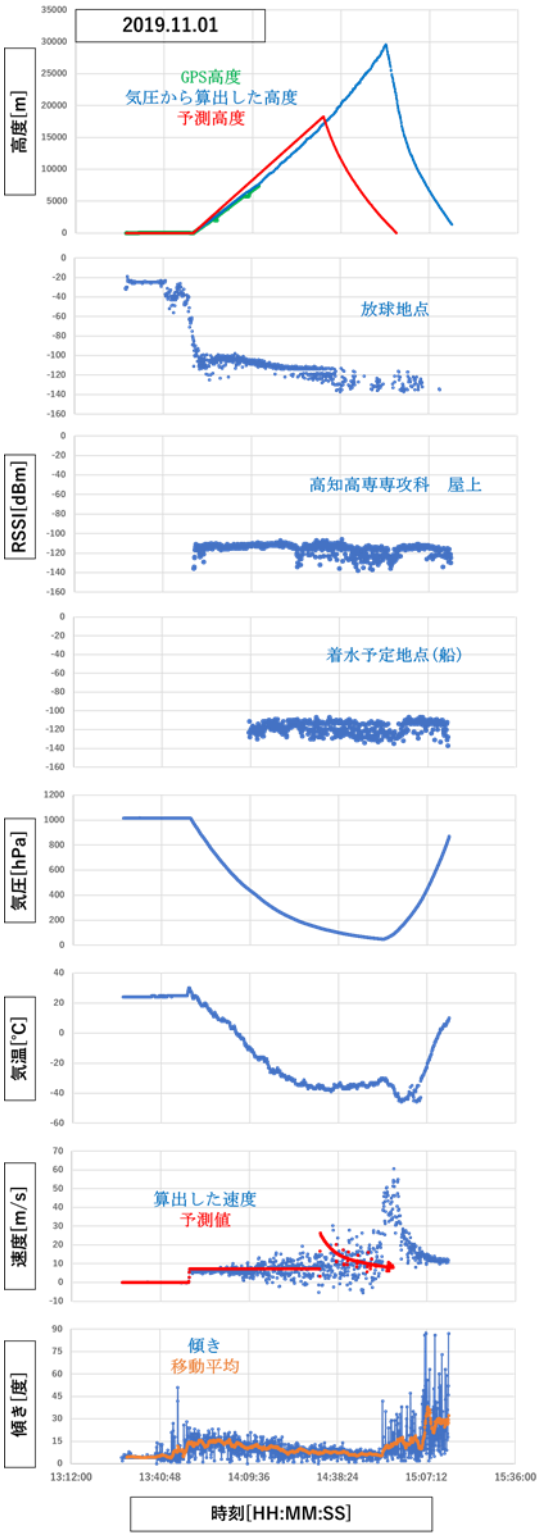


図１１.取得データ（装置の高度、RSSI、気圧、気温、鉛直速度、傾き）

図１１に取得データを示す。装置は想定の18,000 m で降下を開始せず、約 30,000 m まで上昇しており、切り放しが正常に動作しなかった。また、GPS データは高度約 8 km、放球から約 22 分後から取得できなくなったため、観測装置は回収できなかった。

LoRa の受信感度を示す RSSI (Received Signal Strength Indicator) は概ね良好な値を示し、120 前後を平均としていた。また、全ての受信機で降下直前 (約 30,000 m) までのデータを取れており、40 km 近い直達距離でデータの送受信ができた。放球地点でデータの受信を行った受信機は、装置が降下したことを確認してから車で高知高専まで移動したため、最高高度以後のデータは少なくなっている。

装置の高度および速度の変化に関しては、実測値と予測値の比較から、同程度の高度に対する傾向は概ね一致しており、パラシュートには予測値で想定された性能と同程度の性能を持たせることができた。また、図１２に示す予測経路と実際の経路の比較から、上昇時は概ね予測経路に従って移動していることが確認できる。

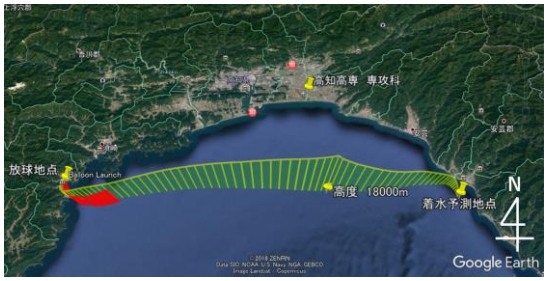


図１２．気球の飛行経路
（黄：予測経路、赤：実際の経路）

空色については、妥当なデータ取得できなかった。放球以降、送信データは同一の値を示し続けており、カメラ回りの接触不良等の理由によって新規の天頂画像の撮像が行われなくなったものと考えられる。

４　結果の検討

今回得られた結果から、切り放しは行われず、気球が外部との気圧差で自然に破裂し、降下したと考えられる。そこで、取得したデータから算出した高度および速度と、高度 18,000m で切り放しを行わなかった場合の予測値との比較を図１３で行った。

高度、鉛直速度ともに上昇時、降下時のどちらも予測値に概ね従っていることから、CUSF[4]の予測経路の精度は高い。

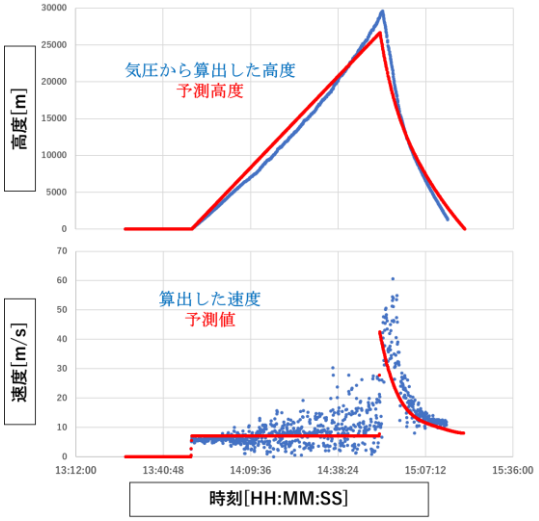


図１３．計算値と予測値（切り放しなし）

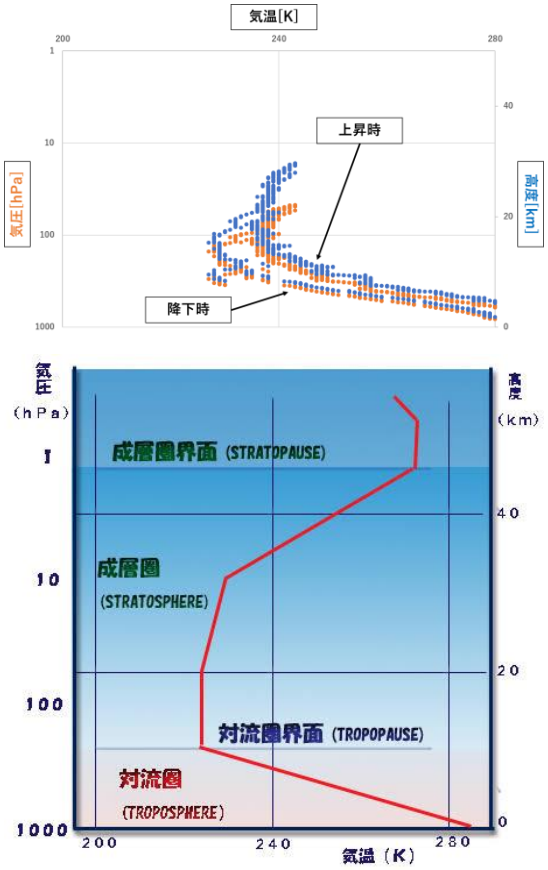


図１４．気温－気圧、高度[5]

図１４（上）に示すのは、取得した気温と高度、気圧の関係である。図１４（下）に示している、気温の高度分布と大気層の区分の模式図を概ね再現できていることが確認できる。ただし、放球直後と着水直前の１気圧時には、外気温が 7℃程度異なる。上昇時に比べ降下時は急激に高度が変化していることより、センサが平衡温度に達するのが遅れ、結果として図に見られる上昇時と降下時のズレが生じているものと考えられる。

５　追加・検討項目

今回観測装置が回収できなかった要因として、GPS 情報の更新が途絶えたこと、切り放し機構が正常に作動しなかったことが考えられる。今後、観測装置の確実な回収に向け、GPS の長時間動作試験および切り放し機構のアルゴリズムの見直しを検討している。また、空色の取得が正常に行われなかった点については、動作試験等を入念に行っていく予定である。

観測装置への追加機能として、成層圏で想定される低圧下で高精度にデータを取得できる気圧センサの追加や、パラシュートの形状を任意に変更することで降下速度を調整可能にするパラシュート巻取り機構の開発を検討している。降下速度を任意に変更できるようになれば、降下位置を大まかに指定できるため、観測装置の回収が容易になるものと考えている。

６　まとめ

今回、LoRa 通信機を用いた超小型気球搭載観測装置の開発を行い、成層圏までの空色と各種気象データの取得、観測装置の回収を目的とした気球放球実験を行った。3 機の受信機をそれぞれ配置することで、観測装置の放球から着水直前までのセンサデータを取得することができ、予測経路との妥当性が確認できた。また、妥当なセンサデータが得られたことから、開発した観測装置とパラシュートの構成には問題がないことを確認した。

今後、確実な観測装置の回収と空色の取得に向けて適切な動作試験を行い、追加機能の検討を行った後に、次なる放球実験の実施を 12 月中に検討している。

参考文献

[1]第 7 回 高校・高専「気象観測機器コンテスト」「南国、高知の空の青さを測る！」報告書、2018

[2] 笹岡由唯ら、大気圏観測のための気球搭載観測装置の開発：LoRa 通信実験と気球観測計画、高知工業高等専門学校学術紀要、64、19-27、2019

[3] 株式会社 EASEL、各種資料ダウンロードページ、http://easel5.com/download/（閲覧：2019 年 11 月 8 日）

[4] Cambridge University Spaceflight Landing Predictor, （閲覧：2019 年 11 月 1 日）

[5]気象庁、大気の構造と流れ、https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/whitep/1-1-1.html（閲覧：2019 年 11 月 8 日）

選考委員特別賞 衛星賞

賞金５万円、衛星オペレーション見学会

飛べないたこはただのタコ

～凧を用いた大気状況の観測と分析～

早稲田実業学校高等部科学部

飛べないたこはただのタコ

～凧を用いた大気状況の観測と分析～

早稲田実業学校高等部

大出和輝・髙松俊介・下山修平

・岩下　希・江利川透磨・丹戸　渉

Abstract

We made the kites for atmosphere observation. The kites mounted glass filters. They collected air pollution materials, such as NOx and organic compounds. As a result, the concentration of these matters became relatively high in the morning. We think that the reason of this tendency is weakening of convection.

1. 目的および先行研究

大気中には自動車などを発生源とする様々な汚染物質が存在する．本実験では，観測用の凧を揚げ，大気中の物質を回収し，大気の状態を観測することが目的である．

昨年，本校ではフィルターを搭載したモデルロケットを使用した上空の気象観測を試みた．そしてフィルターに微小な物質が付着していることが確認できたので第７回気象観測コンテストにおいて発表を行った．しかし，打ち上げ場所が限られること，および燃料である火薬の燃焼時に硝煙が発生し，フィルターに付着しかねないことから観測には不適合であると判断し，別の手段を用いることを検討した．また，付着した物質の詳細な解析を自分たちではできず大学の方へ委託してしまったので，自分たちで分析できる方法を検討した．

今回は，自作の凧にフィルターと気象条件を測れるセンサーを搭載し揚げた．その後回収したフィルターを化学的に分析しより効率的で正確な大気中の物質の回収を目指した．

2. 観測に使用した器具

2.1. 凧

今回使用した凧は，デルタカイトと呼ばれる凧である．今回観測に使用した凧を図 2.1，図 2.2 に示す．フィルターだけでなく，観測機器を載せて飛ばす必要があるため，凧の寸法は幅 232 cm，縦 135 cm と比較的大型である．

図 2.1. 観測に使用した凧（初代）

図 2.2. 観測に使用した凧(2 代目)

フィルターは風を当てるために下面に，観測機器は日光が当たるように上面に搭載する．凧の材料には大きく分けて皮と骨がある．皮は，ビニールまたはリップストップを使用した．ビニールは，市販のごみ袋として使われるビニール袋を切り開いたもので，厚さは 0.045 mm である．凧の皮に必要な面積が袋の面積に対して広いため，片翼を 2 枚ずつに分割し，両面テープで貼り合わせた．その他のあまり大きな負荷がかからない場所の接着については，菓子袋の溶着に使われるシーラーを使用し，軽量化を図った．この凧は 3 回目の観測で糸が切れ，失ってしまった．新しく作った凧はビニールが弱く破れやすいことから，リップストップで製作した．リップストップとは，ナイロンの布に縦横の縫い目を入れて補強したもので，それ自体が軽く破れにくい他，破れても縫い目の部分で止まるという特徴を持つ．また，骨にはダンポールとカーボンパイプを使用した．ダンポールとは，繊維強化プラスチック製の，農業用トンネルの支柱に使われるポールで，直径は 6 mm である．1 回目の観測では全ての骨をダンポール製にした．しかし，ダンポールは折れにくいもののしなやかに曲がる性質があるので，凧全体が大きく反ってしまいあまり効率的に風を受けていなかった．そこでこれ以降は横骨に曲がりにくいカーボンパイプを使用している．カーボンパイプは炭素繊維強化プラスチック製で，剛性は非常に高いが，高額である．そのため今回は，剛性の必要な横骨にのみ使用した．このパイプは外径 6 mm，内径 4 mm である．

飛んでいる凧は常に風圧を受けており，特に大型の凧は強い力を受ける．そのためこの凧にも強度を上げる工

夫をした．凧の片翼とキール（縦の翼）は一体で切り出しており，これによってキールの付け根部分で切れることを防いだ他，糸の引く力を受けるキールを二重にして補強した．また，糸目（糸を取り付ける部分）には凧糸を通し，キールの縁を沿わせて骨まで通すことで，糸の張力を骨に伝え，糸目が切れないようにした．糸目部分の写真を，図 2.3 に示す．

また，これは観測用の凧であるため，持ち運びや組み立てが簡単であることも重視した．例えば，骨は皮から完全に分離できるようにし，固定はダブルクリップで行うようにした．骨の接合部の写真を，図 2.4 に示す．これによって皮を折り畳むことができるようになった．他にも，糸と凧はカラビナで繋いであるため，フィルターを付け外しするときなど，糸が必要ないときには外しやすいようになっている．図 2.3 にもその様子が見られる．

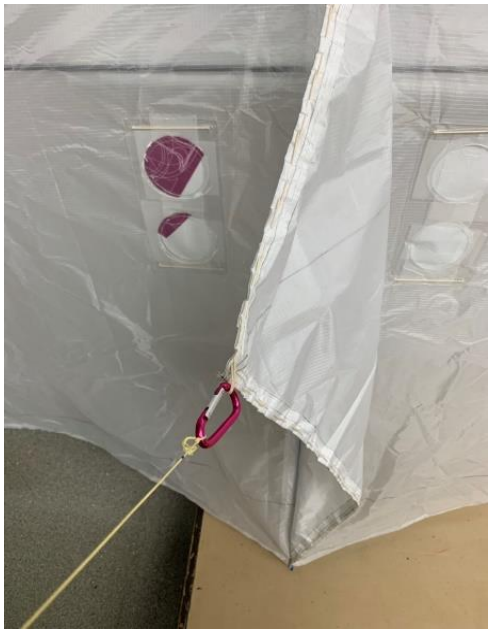


図 2.3. 糸目とキール

凧を揚げるための糸についてもいくつかの検討をした．2 回目の観測までは糸に凧糸を使用した．糸は全て出し切ることができたものの，凧の回収途中で糸が絡まってしまい，ほどけなくなってしまった．そのため専用の糸巻きを購入し，3 回目の観測で使用した．しかし 3 回目の観測では糸が切れてしまった．切れた糸の先端付近が毛羽立っていたため，糸巻きと糸が擦れて弱くなった可能性があるが，凧に対して糸がやや細かったと考えられる．そのためより強力なケブラー繊維製の糸を入手した．ケブラー繊維は高強度で耐衝撃性に優れた繊維である．

図 2.4. 骨の接合部

2.2. フィルターの設置方法

物質回収用のフィルターの配置方法についても検討した．最初はアクリルでフィルターを収納する箱を作り，それに搭載したモーターで糸を巻き取りビニールの覆いで開閉する機構を付けた装置を製作した．装置の様子を図 2.5 に示す．しかし，重量過多となり凧が揚がりにくかったため，開閉装置を省略し，アクリル板にガラスフィルターを直接貼り付ける方式に変更した．新しい装置の様子を図 2.6 に示す．また紙フィルターもビニール袋に円形の穴を開けたものに入れて搭載した．どちらも開口部以外は隙間を塞ぎ溶液の漏れを抑えた．

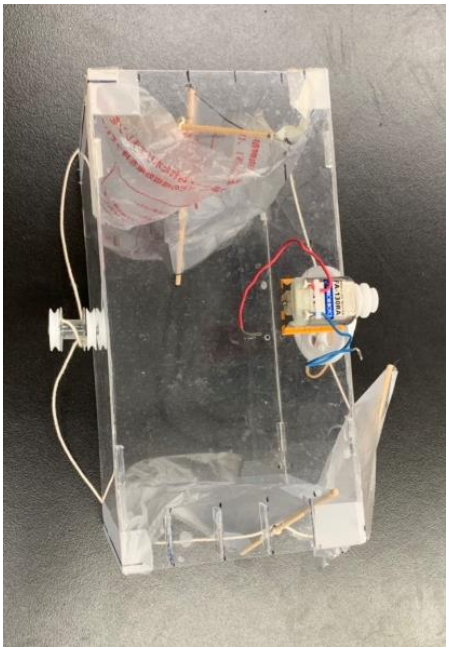


図 2.5. 開閉機構の付いた
フィルター受け

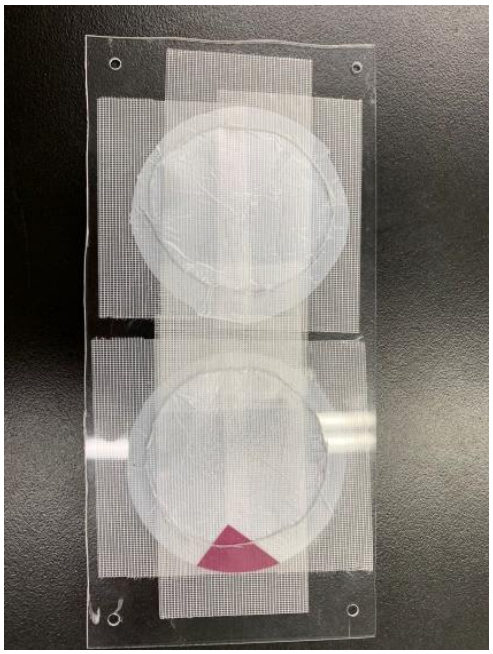


図 2.6. 軽量化した
フィルター受け

2.3. 観測装置

観測装置は，凧の到達高度を計測するために凧の上部に固定した．駒ヶ根で飛ばした時と戸田で飛ばした時では異なるものを利用した．表 2.1 にそれぞれの概要を，図 2.7 に RaspberryPi の写真を，図 2.8 に Arduino とセンサー基板の写真を，図 2.9 に凧に設置した観測装置の写真示す．

表 2.1. 高度計の概要

	駒ヶ根	戸田	多摩川
データロガー	RaspberryPi zero wh	Arduino	Arduino
カメラ	あり	なし	なし
気圧センサー	BME280	BME280	BME280
風速計との接続	I2C 接続	AnalogRead()	AnalogRead()
紫外線センサー	AD コンバータを介する	AnalogRead()	AnalogRead()
電池を除く重量[g]	32.9	25.6	25.6

また，戸田で飛ばしたものはデータを SD カードに記録した．カメラを外した理由は，不要だと判断したこと，カメラを外すことで簡略化できると判断したことである．風速計は駒ヶ根で壊れたので新しいものを製作した．RaspberryPi から Arduino に変えて，アナログの電圧値を読み取る analogRead()関数が使えるようになったので，風速計と，紫外線センサーの接続方法を変更した．どちらも電源には市販のモバイルバッテリー(重量 76.7g)を利用．

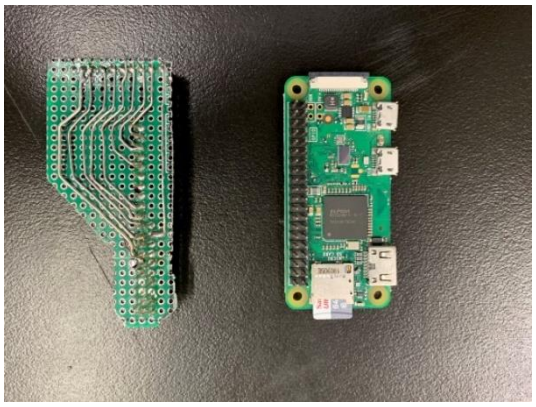


図 2.7. RaspberryPi zero wh（右）と変換基板（左）

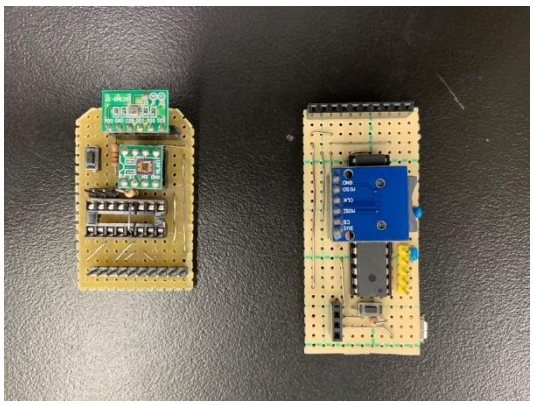


図 2.8. Arduino（右）とセンサー基板

図 2.9. 設置時の観測機

3. 化学的分析

3.1 分析原理

3.1.1 COD 測定

COD(化学的酸素要求量)とは，溶液中に含まれる有機物などの被酸化物(NO_2，SO_3^{2-}等を含む)を強力な酸化剤を用いて酸化する時に，必要な酸素の質量である．

$MnO_4^- + 5e^- + 8H^+ \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

$C_2O_4^{2-} \rightarrow 2CO_2 + 2e^-$

$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

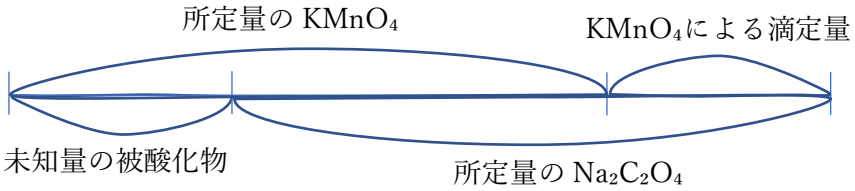


図 3.1. COD

3.1.2 パックテスト分析

パックテストでの分析は共立理化学研究所のデジタルパックテスト・マルチを使用した．表 3.1 に使用した試薬とレンジを示す．

表 3.1. パックテストの試薬

	亜硝酸	硝酸	全窒素	オゾン	硫酸	COD
試薬名	WAK-NO_2	WAK-NO_3	DPR-TN	WAK-O_3	DPR-SO_4	LR-COD-B-2
レンジ［mg/L］	0.02～1.0	1.0～25	0.5～7.0	0.25～6.0	10～100	2.0～10.0

3.2 予備実験

3.2.1 実験目的

実際に凧での観測を行う前に，COD 測定とパックテストの精度を調べ，適当な試料回収方法を決定する事を目的とする．今回は，空気を採取し純水に吹き込んで分析するという方法について検討した．

3.2.2 実験日時

予備実験①:7/31

予備実験②:8/3

3.2.3 試料

①:自動車から直接捕集した排気ガス 30 L

②_1: 本校前の道路で捕集した空気 60 L

②_2: 本校前の道路で捕集した空気 5 L

3.2.4 実験手順

1) 3 M H_2SO_4, 200 g/L $AgNO_3$, 5. 0×10^{-3} mol/L $KMnO_4$, 12. 5×10^{-3} mol/L $Na_2C_2O_4$aq を調製する.

2) 試料気体を純水に吹き込み溶かし出す.

3) デジタルパックテスト・マルチを用いて分析.

4) 残った試料水の体積を計り, 300 mL ビーカーに入れる.

5) H_2SO_4を 10 mL 加え, 混合する.

6) $AgNO_3$を 5 mL 加える.

7) 混合し, 数分間放置する.

8) $KMnO_4$aq をホールピペットで 10 mL 測りとり, 混合する.

9) ウォーターバス, 沸騰水浴中(100 ℃)で 30 分間加熱する.

10) $Na_2C_2O_4$aq をホールピペットで 10 mL 測りとり, 混合する.

11) $KMnO_4$aq で混合しながら滴定をする.

12) 純水で 4)～11)を同様にブランク実験する.

3.2.5 実験結果

表 3.2. COD 測定時の試料体積

試料番号	体積 V[mL]
①	90
②_1	165
②_2	92

表 3.3. 予備実験結果

	亜硝酸濃度 [mg/L]	硝酸濃度 [mg/L]	全窒素濃度 [mg/L]	オゾン濃度 [mg/L]	硫酸濃度 [mg/L]	COD(パックテスト) [mg/L]	COD(滴定) [mg/L]
①	Over	24.5	5.1	Under	Under	Under	7.4
②_1	0.024	Under	Under	Under	15	3.2	0.21
②_1	Under	—	—	—	Under	Under	0.065

表 3.2 に, COD 測定時にはかり取った試料の体積を示す. ②_1 では, より多くの空気を吹き込んだ②_1 で測定範囲外であった NO_3, TN, O_3については, 測定を行わなかった.

表 3.3 に示すデータから, 捕集した空気を純水に吹き込むという方法でパックテストを用いて分析する事は, 排気ガスなど汚染物質が高濃度含まれている気体ならば可能であるが, 汚染物質が低濃度しか含まれない空気を分析するためには 60 L 程度必要であることがわかり, 実用性に欠けると判断した. そのため, 空気を回収するのでは無く, フィルターに汚染物質を吸着させる事で回収すると決定した.

3.3. 本実験

3.3.1. 本実験目的

実際に凧を飛ばして回収してきた上空の汚染物質を分析し, 大気の汚染状況を確認する事を目的とする.

3.3.2. 観測日時・観測場所

観測①:8/27 長野県駒ヶ根市早実グラウンド

①_1：9 時 00 分～

①_2：11 時 30 分～

観測②:8/29 埼玉県戸田市荒川河川敷

②_上空：13 時 42 分～

②_地上：13 時 42 分～

観測③:10/14 東京都日野市多摩川河川敷

③_1：9 時 43 分～9 時 50 分

③_2：10 時 02 分～10 時 29 分

観測④:11/4 東京都日野市多摩川河川敷

④_1：8 時 43 分～8 時 50 分

④_2：9 時 02 分～9 時 22 分

④_3：9 時 29 分～9 時 55 分

④_4：10 時 02 分～10 時 37 分

④_5：11 時 27 分～11 時 40 分

④_6：12 時 31 分～12 時 55 分

④_7：13 時 36 分～13 時 51 分

④_8：14 時 32 分～14 時 56 分

観測①から④について，観測地点周辺の地図を図 3.2 から図 3.4 に，観測点を赤丸で示す.

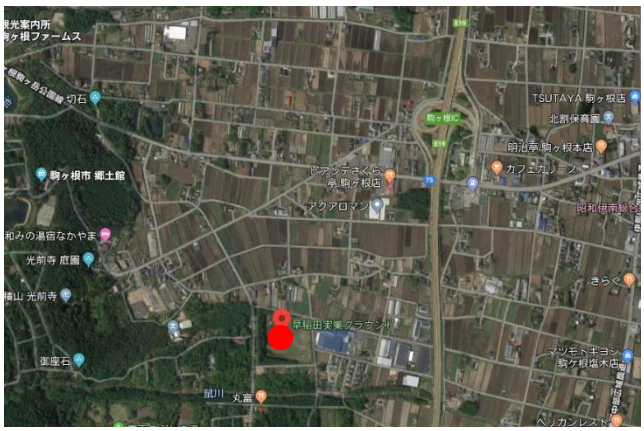


図 3.2. 駒ケ根での観測場所

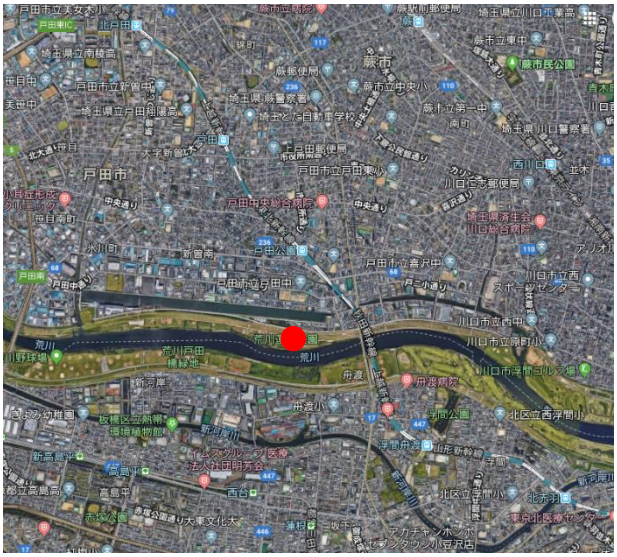


図 3.3. 戸田での観測場所

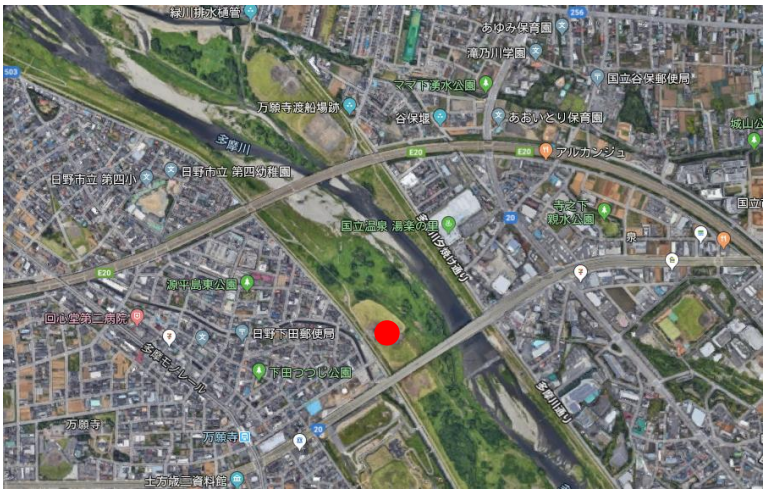


図 3.4. 日野での観測場所

3.3.3. 実験手順

1)5 M H_2SO_4, 200 g/L $AgNO_3$, 5.0×10^{-3} mol/L $KMnO_4$, 12.5×10^{-3} mol/L $Na_2C_2O_4$aq を調製する.

2) ホールピペットを用いて計りとった $Na_2C_2O_4$10 mL と十分な量の硫酸をコニカルビーカーに入れ，加熱しながら $KMnO_4$を滴下し，$KMnO_4$の力価を測定する.（観測③，④のみ）

3)フィルターを純水中で攪拌し溶かし出す.

4)その試料水をろ過し，一定体積に定容する.

5)デジタルパックテスト・マルチを用いて分析.

6)試料水 100 mL を計り取り，300 mL ビーカーに入れる.

7)H_2SO_4を 30 mL 加え，混合する.

8)$AgNO_3$を 5 mL 加える.

9)混合し，数分間放置する.

10)$KMnO_4$aq をホールピペットで 10 mL 測りとり，混合する.

11) ウォーターバス，沸騰水浴中(100 ℃)で 30 分間加熱する.

12) $Na_2C_2O_4$aq をホールピペットで 10 mL 測りとり，混合する.

13)ホットスターラーで加熱・混合しながら，$KMnO_4$aq で滴定をする.

14) 純水で 6)～13)を同様にブランク実験する.

3.3.4. 実験結果

表 3.4. $KMnO_4$の力価

試料番号	滴定量[mL]	力価[mol/L]
③	8.46	5.91×10^{-3}
④	10.00	5.00×10^{-3}

表 3.5. 定容体積とフィルター枚数

試料番号	体積 V[mL]	フィルター枚数
①_1_ガラス	100.0	1
①_1_紙	100.0	1
①_2_紙	250.0	1
②_上空_ガラス	150.0	2
②_地上_ガラス	176.5	1
②_地上_紙	150.0	1
③_1	200.0	2
③_2	200.0	2
④_1	400.0	4
④_2	400.0	4
④_3	400.0	4
④_4	400.0	4
④_5	400.0	4
④_6	400.0	4
④_7	400.0	4
④_8	400.0	4

表 3.6. COD 滴定量（①～③）

試料番号	滴定量[mL]
①_1_ガラス	2.65
①_1_紙	4.00
①_2_紙	1.95
①_ブランク	0.50
②_上空_ガラス	2.33
②_地上_ガラス	2.17
②_地上_紙	-
②_ブランク	0.47
③_1	1.06
③_2	1.20
③_ブランク	0.00

表 3.7. COD 滴定量（④）

	④_1	④_2	④_3	④_4	ブランク 1	④_5	④_6	ブランク 2	④_7	④_8	ブランク 3
1 回目[mL]	3.41	3.05	2.70	2.03	0.60	1.77	2.40	0.82	2.50	2.35	0.61
2 回目[mL]	3.40	3.11	2.89	1.85	-	1.74	2.51	-	2.59	2.42	-
3 回目[mL]	3.43	3.01	2.75	1.86	-	1.75	2.50	-	2.50	2.43	-
平均滴定量[mL]	3.41	3.06	2.78	1.91	0.60	1.75	2.47	0.82	2.53	2.40	0.61

表 3.8. 実験結果

試料番号	亜硝酸濃度[mg/L]	硝酸濃度[mg/L]	全窒素濃度[mg/L]	オゾン濃度[mg/L]	硫酸濃度[mg/L]	COD(パックテスト)[mg/L]	COD(滴定)[mg/L]
①_1_ガラス	0.875	under	under	under	under	under	7.16
①_1_紙	0.22	under	under	under	under	under	13.3
①_2_紙	under	under	under	under	under	under	2.90
②_上空_ガラス	0.392	under	-	under	under	7.4	3.72
②_地上_ガラス	0.143	under	-	under	under	4.3	3.40
②_地上_紙	0.064	under	-	under	under	over	-
③_1	0.237	under	-	under	under	5.3	6.15
③_2	0.318	under	-	under	under	5.2	6.48
④_1	0.546	under	2.3	under	under	2.5	5.63
④_2	0.31	under	1.5	under	under	over	4.91
④_3	0.287	under	0.9	under	under	under	4.36
④_4	0.02	under	under	under	under	under	2.63
④_5	0.039	under	under	under	under	under	2.31
④_6	under	under	1.7	under	29	3.1	3.74
④_7	0.032	under	under	under	11	-	3.86
④_8	under	under	under	under	under	-	3.60

$KMnO_4$の力価測定の結果を表 3.4 に示す．観測①と②では力価測定は行わなかったが，$KMnO_4$は光に対して不安定で容易に分解してしまうので，正確な濃度の調製は難しい．そこで，データの正確性を上げるために，観測③と④では$KMnO_4$の力価を測定した．

また分析の途中で，光によって$KMnO_4$が分解してしまうのを防ぐため，観測④の分析の際には，試薬は褐色ビンで保存し，滴定も褐色ビュレットで行った．

3.3.3 実験手順に示す操作 3)で攪拌したフィルター枚数と操作 4)における定容体積を，表 3.5 に示す．表中の「紙」は紙フィルターを用いて，「ガラス」はガラスフィルターを用いての観測である．観測③・④に関しては，ガラスフィルターのみで観測を行った．また，①_1_ガラス，①_1_紙に関しては，60 mL で COD 測定を行った．

表 3.6，表 3.7 に COD 測定の滴定量を示す．観測④については，出来る限り誤差を補正しデータの信頼性を高めるために，各試料について 3 回ずつ測定を行った．また，溶媒の汚染，滴定操作に起因する誤差を補正するために，毎回ブランクテストを行った．観測④に関しては，④_1，④_2，④_3，④_4 の分析を同時に行い，その時のブランクテストの値が，ブランク 1 の値である．同様に，④_5，④_6 のブランクテストの値をブランク 2 に，④_7，④_8 のブランクテストの値をブランク 3 に示す．表 3.6，表 3.7 に示す各試料の滴定量から，それぞれのブランクテストの値を引いた値を計算の上で滴定量として採用し，表 3.4 に示す$KMnO_4$の力価，表 3.5 に示す定容体積と共に，COD の値を計算する．計算過程の 1 例として，試料③_1 の COD 算出過程を示す．

$KMnO_4$を$Na_2C_2O_4$と被酸化物が消費したので，被酸化物が放出した電子の物質量を X と置いて，電子の数について等式を立てる．

$591\times10^{-3}\times(10+1.06)\div1000\times5=12.5\times10^{-3}\times10\div1000\times2+X$

$X=0.07682\times10^{-3}$

これを酸素の質量に置き換えると，

$0.07682\times10^{-3}\div4\times32\times10^{3}\div100\times1000=6.146\fallingdotseq6.15$ [mg/L]

他の試料についても，同様に計算した．

算出した COD の値とパックテストによる分析のデータを，表 3.8 に示す．

表 3.8 に示すデータから，大気中に含まれる硝酸(NO_3)，オゾン，硫酸の割合は低いことが分かった．それに対し，亜硫酸(NO_2)と COD は比較的多く検出され，亜硫酸(NO_2)や有機物が大気汚染の主要な原因であることが確認出来た．

今回，COD をデジタルパックテストと手分析の 2 通りで測定したが，パックテストと比べて手分析の方がデータが安定し，パックテストで測定範囲外のデータも取ることが出来た．データの信頼性について言えば，手分析の方が高いと言えるだろう．一方で，手分析は専門器具や危険な $KMnO_4$や $Na_2C_2O_4$などの薬品を使用し，時間や手間がかかる．分析の簡便性について言えば，デジタルパックテストは高く評価できる．

観測①と②では，紙フィルターとガラスフィルターを併用したが，②_地上_紙の COD 測定の際に，$KMnO_4$を 30 mL 以上加えても全て消費してしまい，データが取れなかった．これは，紙のフィルターを純水に入れて攪拌した際，フィルターの繊維も一緒に溶け出してしまい，$KMnO_4$を加えた時に，その繊維が酸化されたのだと考えられる．つまり，強力な酸化剤である $KMnO_4$を使う今回の分析では，酸化剤に対して強いガラスフィルターの方が適していると言える．よって，これ以降の観測③，④では，ガラスフィルターのみで観測を行った．

4. 考察

4.1. 化学的分析からの考察

本章では，大気汚染状況について，3.3.4 に示す実験結果を基に考察する．特にデータ数が多い観測④の亜硝酸(NO_2)と COD について注目したい．

表 d.1 に示す 11/4 の府中の風速データより，11/4 の各観測の間の風速を平均し，各回の飛翔時間と共にまとめたのが，表 4.1 である．

表 4.1 観測④の観測時間と平均風速

試料番号	観測時間[s]	平均風速[m/s]
④_1	420	1.10
④_2	1200	1.97
④_3	1560	1.85
④_4	2100	2.08
④_5	780	2.00
④_6	1440	1.90
④_7	900	1.43
④_8	1440	1.50

さらに表 3.5 より，観測④ではフィルター4 枚で試料を回収し，400 mL の純水に溶かし出している．この事を用いて表 3.8 に示す観測④の亜硝酸(NO_2)と COD の濃度を，フィルター1 枚当たりの質量に計算することが出来る．1 例として，④_1 の亜硝酸(NO_2)の計算過程を示す．

$0.546\times(400/1000)\div4=0.0546$ [mg]

他の試料も同様に計算することが出来る．

また，観測④の時間ごとのデータを比較するに当たり，観測時間やその時点での風速が異なると都合が悪い．そこで，フィルターの面積(3.5 cm×3.5 cm×π)と観測時間，平均風速からフィルターを通過した空気の体積を

算出し，単位体積当たりの質量に補正した．1 例として，④_1 の亜硝酸(NO_2)の計算過程を示す．

$0.0546/\{1.1\times420\times3.5\times3.5\times\pi\times(1/10000)\}=0.03070\fallingdotseq0.0307$ [mg/m³]

他の試料も同様に計算することが出来る．

上記のように計算した値を，表 4.2 と表 4.3 に示す．

表 4.2. NO_2 の補正値

試料番号	NO_2 [mg/L]	フィルター1 枚当たりの NO_2 [mg]	単位体積当たりの NO_2 [mg/m³]
④_1	0.546	0.0546	0.0307
④_2	0.31	0.031	0.0034
④_3	0.287	0.0287	0.00258
④_4	0.02	0.002	0.00012
④_5	0.039	0.0039	0.00065
④_6	under	-	-
④_7	0.032	0.0032	0.00065
④_8	under	-	-

表 4.3. COD の補正値

試料番号	COD[mg/L]	フィルター1 枚当たりの COD[mg]	単位体積当たりの COD[mg/m³]
④_1	5.63	0.563	0.316
④_2	4.91	0.491	0.0540
④_3	4.36	0.436	0.0393
④_4	2.63	0.263	0.0156
④_5	2.31	0.231	0.0384
④_6	3.74	0.374	0.0355
④_7	3.86	0.386	0.0779
④_8	3.60	0.360	0.0433

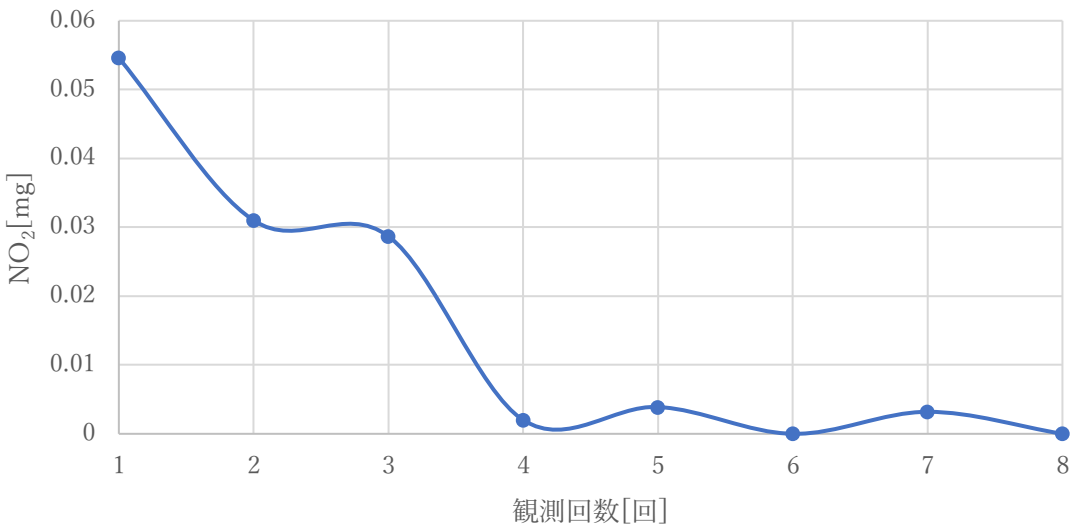


図4.1. フィルター1枚当たりのNO_2の質量

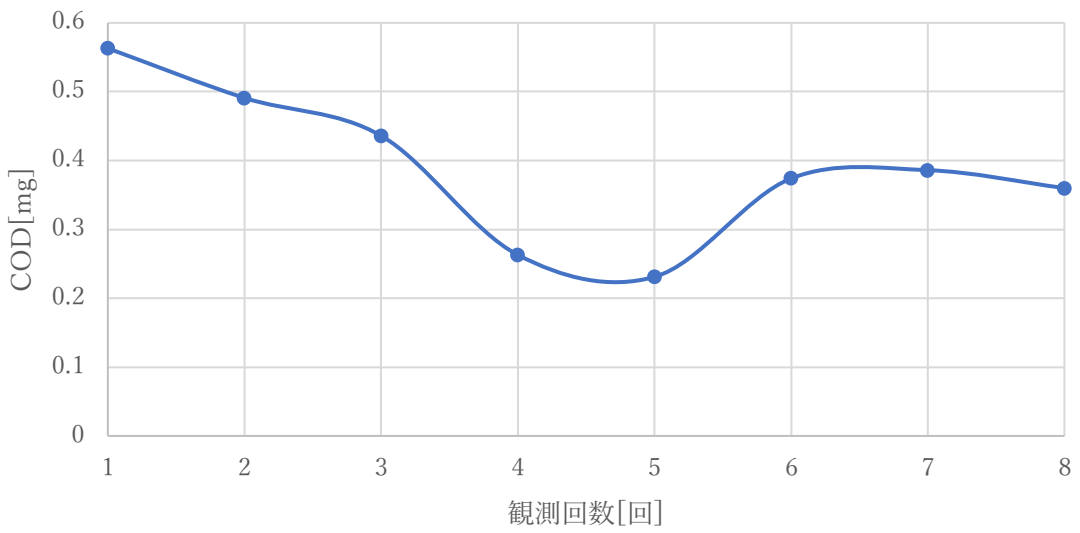


図4.2. フィルター1枚当たりのCOD

図 4.1 にフィルター1 枚当たりの NO_2，図 4.2 にフィルター1 枚当たりの COD のデータを示す．

図 4.1 のグラフも，図 4.2 のグラフも，大きく見れば減少傾向にあるが，2 つのグラフに明確な相関関係は見られない．

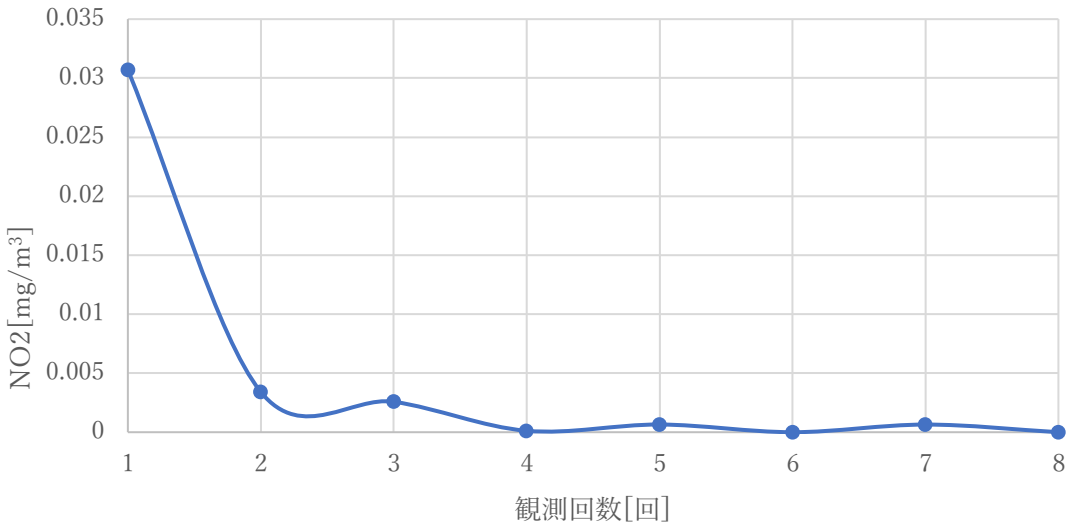


図4.3. 単位体積当たりのNO_2の質量

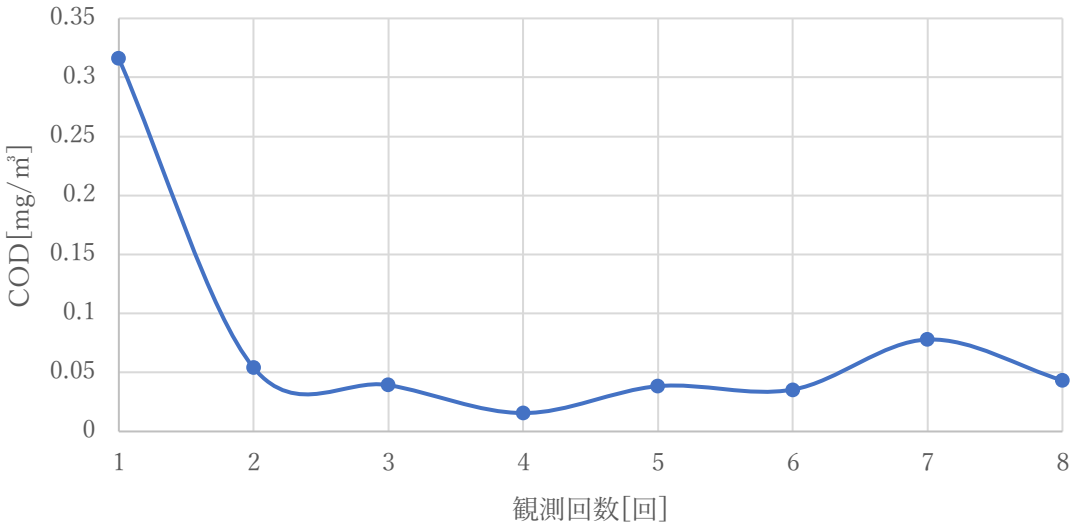


図4.4. 単位体積当たりのCOD

図 4.3 に単位体積当たりの NO_2 のデータ，図 4.4 に単位体積当たりの COD のデータを示す．

図 4.3 のグラフと図 4.4 のグラフの間には，明白な相関関係が見られる．これはつまり，図 4.1 のグラフと図 4.2 のグラフからのデータの補正が意味のあるものであったということである．したがって汚染物質の回収量は，凧の飛翔時間と風の強さに影響を受けるということが分かる．

図 4.3 と図 4.4 のグラフから，朝 1 番早い時間が最も値が高く，それ以降，急激に減少して低い値を取っていることが分かる．それは空気の対流が関係していると考えられる．空気の対流は，気温が変化することによる空気の密度変化によって起こる．表 d.1 に示す 11/4 の府中のアメダスのデータよると，11/4 は 7 時頃から気温の上昇が始まり，14 時半頃最高気温に達する．つまり，1 回目の観測の 8:40 頃はまだ気温の上がり始めで，活発な空気の対流が起こっていなかったのでは無いかと考えられる．その為，夜間の間に付近の中央自動車道や甲州街道を走行していた車両から発生した汚染物質が観測地点上空に留まり，高い数値が観測されたのだと思われる．その後，気温が上昇するにつれて，空気の対流が活発に起こるようになり，汚染物質が広汎に拡散，低い値しか観測されなくなったのだと考えられる．

本研究から，空気の対流が止まる朝方にかけてが，低空大気中での亜硝酸(NO_2)や有機物の濃度が最も高くなるということが分かった．

4.2. 凧の飛び方

凧に観測装置を搭載した場合，戸田の実験では飛んだが，多摩川の実験では安定して飛翔しなかった．これら二つの時の風速は，はぼ同じであったので，飛ばなかった原因は凧及び観測装置の重量である．これら二つの時の凧は，布の重量と，糸の重量が異なっている．凧，および糸をそのまま利用するために，観測装置の軽量化が必須である．

フィルターだけを搭載した場合は風が弱くても十分揚がった．

4.3. 気圧センサー

気圧から高度への変換式は

$$\mathrm{h} = \frac{\left\{\left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{1}{5.257}} - 1\right\} \times (T + 273.15)}{0.0065}$$

を利用し，p_0には地上での気圧を代入した．

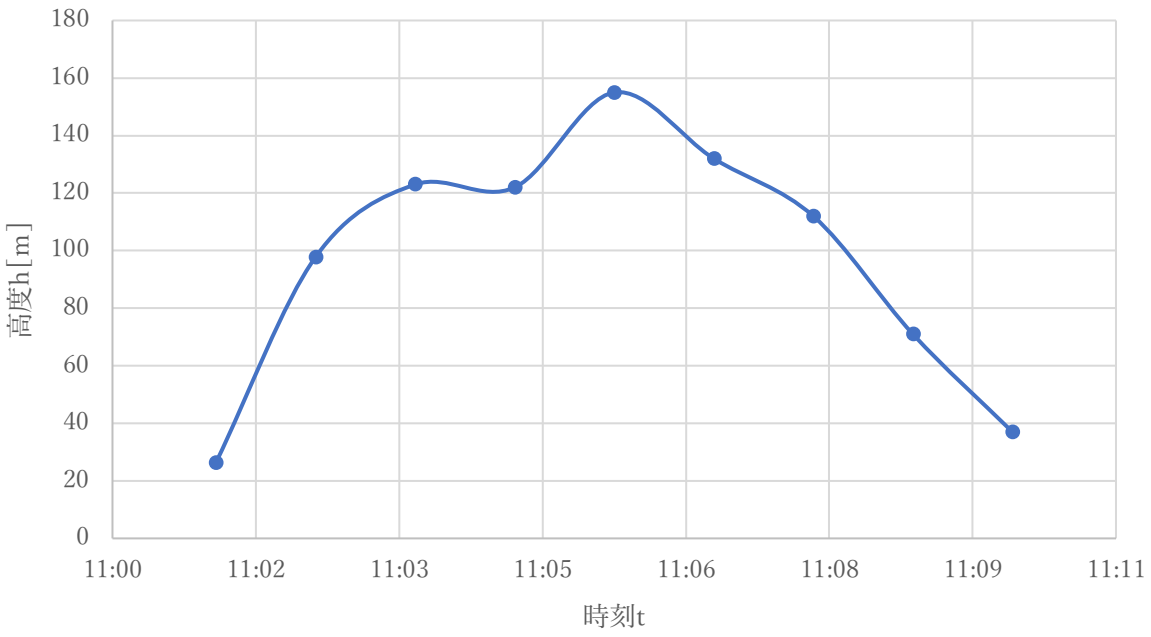


図4.5. 地上から測った高度

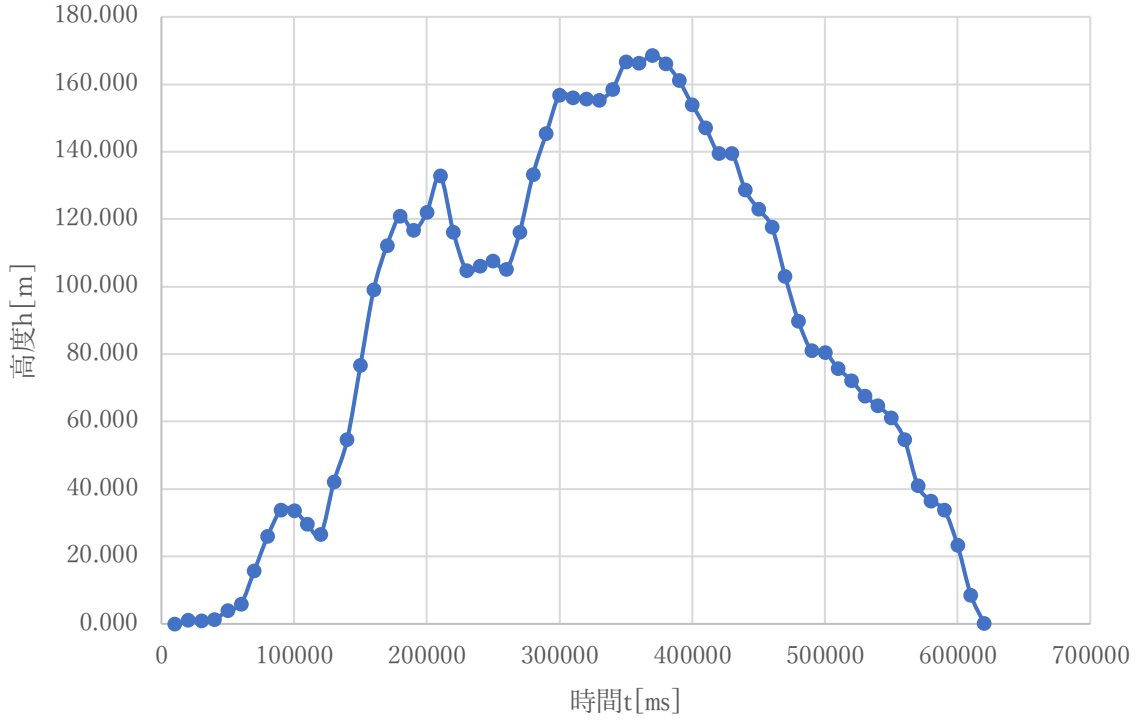


図4.6. 気圧計から算出した高度

地上から測った高度の時間変化と、気圧計から計算した高度を図 4.5 及び図 4.6 に示す. 図 4.5 と図 4.6 の概形は一致している．また，気圧センサーの方が観測回数が多いので、より正確な飛行記録である．さらに，観測の周波数を上げればより多くのデータを収集できる．観測装置の問題点は重量と時刻の同期ができないことである．

5. 今後の課題

5.1. 研究テーマの発展

本研究で窒素化合物や有機化合物は朝方にかけて最も濃度が高くなることが分かった．しかし，これら VOC を含む有機化合物と窒素化合物の混合系に紫外線が照射されることで生成するオゾンを始めとした光化学オキシダントは，材料となる窒素化合物や有機化合物とは，濃度が高くなるピークがずれることが予想される．今後は大気汚染物質としてよく知られている光化学オキシダントについて，今年の成果を踏まえながら研究を進めていくことが望まれる．

5.2　観測装置の改善点

観測装置の重量の大半は電源部分が占めているので，電源の軽量化が必須である．具体的にはモバイルバッテリーから，小容量のリチウムイオンバッテリーに変更する．

また，時刻と同期するために Arduino から RaspberryPi のもどすことを考えたが，その場合電源はモバイルバッテリーでないと動作しない．なので，観測装置にリアルタイムクロックを搭載する．

6. 謝辞

今回のコンテストにあたり，主に化学的分析方法に関して指導をしてくださった黒田崇仁先生，全体を通して指導，付き添いをしてくださった田島丈年先生に感謝いたします.

7. 参考文献

- 気圧から標高を計算，カシオ計算機，https://keisan.casio.jp/exec/system/1257609530，2019 年 8 月 29 日.
- 各種データ・資料，気象庁，https://www.jma.go.jp/menu/menureport.html，2019 年 11 月 5 日.
- デジタルパックテストマルチ使用法[第 6 版],共立理化学研究所,kyoritsu-lab.co.jp，2019 年 11 月 11 日.
- Google マップ，https://www.google.co.jp/maps/，2019 年 11 月 10 日

付録

a.8 月 27 日の観測

表a.1. 観測時の気象状況　飯田　2019/8/27

年月日時	気温(℃)	降水量(mm)	日照時間(分)	平均風速(m/s)	風向	現地気圧(hPa)
2019/8/27 8:30	21.0	--	10	0.8	南南西	956.0
2019/8/27 8:40	21.3	--	5	0.8	南東	956.0
2019/8/27 8:50	21.3	--	0	0.7	南東	956.1
2019/8/27 9:00	22.9	--	7	0.9	南南東	956.2
2019/8/27 9:10	22.2	--	7	2.1	南東	956.3
2019/8/27 9:20	22.8	--	1	1.3	南南東	956.1
2019/8/27 9:30	22.7	--	5	2.2	南東	955.9
2019/8/27 9:40	22.7	--	0	0.9	東北東	955.8
2019/8/27 9:50	22.4	--	0	0.9	北北西	955.8
2019/8/27 10:00	22.8	--	0	1.6	北北西	955.7
2019/8/27 10:10	23.0	--	0	1.9	北北西	955.3
2019/8/27 10:20	23.9	--	1	1.2	西	954.9
2019/8/27 10:30	24.6	--	7	1.3	南西	954.8
2019/8/27 10:40	24.8	--	10	2.2	南西	954.7
2019/8/27 10:50	25.6	--	9	3.4	西南西	954.9
2019/8/27 11:00	25.9	--	9	3.4	西南西	954.8
2019/8/27 11:10	25.3	--	7	2.6	南西	954.7
2019/8/27 11:20	25.4	--	3	1.9	西南西	954.8
2019/8/27 11:30	26.2	--	3	1.4	西南西	954.6
2019/8/27 11:40	25.6	--	2	3.1	南南西	954.4
2019/8/27 11:50	25.6	--	0	2.6	南南西	954.2
2019/8/27 12:00	27.0	--	10	2.0	南西	954.3
2019/8/27 12:10	26.4	--	1	3.7	西南西	954.3
2019/8/27 12:20	26.5	--	1	2.6	南南西	954.3
2019/8/27 12:30	26.5	--	0	3.6	南南西	954.4

表a.2. デジタルパックテストの結果とフィルター一枚当たりの付着量　駒ヶ根

	試料	亜硝酸	硝酸	全窒素	オゾン	硫酸	COD	フィルター数[枚]	定容量[mL]
濃度[mg/L]	①_2_紙	under	under	under	under	under	under	1	250.0
	①_1_紙	0.22	under	under	under	under	under	1	100.0
	①_1_ガラス	0.875	under	under	under	under	under	1	100.0
一枚当たり[mg]	①_2_紙	---	---	---	---	---	---		
	①_1_紙	0.022	---	---	---	---	---		
	①_1ガラス	0.875	---	---	---	---	---		

b.8 月 29 日の観測

表b. 1.　観測時の気象状況　さいたま　2019/8/29

年月日時	気温(℃)	降水量(mm)	日照時間(分)	平均風速(m/s)	風向
2019/8/29 13:10	31.70	0.0	5	1.9	北西
2019/8/29 13:20	31.70	0.0	0	2.3	北西
2019/8/29 13:30	31.90	0.0	0	2.0	北西
2019/8/29 13:40	31.90	0.0	0	1.9	北北西
2019/8/29 13:50	32.10	0.0	0	1.5	北北西
2019/8/29 14:00	33.10	0.0	6	1.1	西北西
2019/8/29 14:10	33.00	0.0	10	1.4	北北西
2019/8/29 14:20	33.40	0.0	10	1.5	北西
2019/8/29 14:30	32.90	0.0	10	1.4	西南西
2019/8/29 14:40	32.80	0.0	7	2.0	南西
2019/8/29 14:50	32.70	0.0	0	1.8	南南西
2019/8/29 15:00	32.90	0.0	2	1.8	南
2019/8/29 15:10	32.80	0.0	2	1.4	南南東
2019/8/29 15:20	32.90	0.0	0	1.2	南南東

表b.2. デジタルパックテストの結果とフィルター一枚当たりの付着量　戸田

	試料	亜硝酸	硝酸	全窒素	オゾン	硫酸	COD	フィルター数[枚]	定容量[mL]
濃度[mg/L]	②_上空_ガラス	0.392	under	---	under	under	7.4	2	150.0
	②_地上_紙	0.064	under	---	under	under	over	1	150.0
	②_地上_ガラス	0.143	under	---	under	under	4.3	1	176.5
一枚当たり[mg]	②_上空_ガラス	0.0294	---	---	---	---	0.55		
	②_地上_紙	0.0096	---	---	---	---	---		
	②_地上_ガラス	0.0252	---	---	---	---	0.75		

表b.3.センサーの数値　戸田

時間[ms]	UV(V)	Wind(V)	気温[°C]	気圧[hPa]	湿度[%]	高度[m]	時間[ms]	UV(V)	Wind(V)	気温[°C]	気圧[hPa]	湿度[%]	高度[m]
10004	1.59	0	44.52	1005.67	69	0.0000	940002	1.59	0.00	46.00	1005.63	70	0.3715
20002	1.60	0	44.18	1005.72	69	-0.4617	950002	1.62	0.81	45.94	1005.47	70	1.857
30002	1.55	0	44.23	1005.68	69	-0.09236	960002	1.66	0.75	46.01	1003.73	70	18.04
40002	1.56	0	44.39	1005.68	69	-0.09240	970002	1.65	0.71	46.12	1003.72	70	18.14
50002	1.56	0	44.25	1005.67	69	0.0000	980002	1.70	0.32	46.21	1002.69	70	27.74
60002	1.55	0	44.18	1005.68	69	-0.09234	990002	1.67	0.53	46.25	1002.16	70	32.69
70002	1.54	0	44.27	1005.68	69	-0.09237	1000002	1.67	0.40	46.27	1002.32	70	31.20
80002	1.53	0	44.34	1005.68	69	-0.09239	1010002	1.65	0.63	46.26	1002.32	70	31.20
90002	1.55	0	44.43	1005.68	69	-0.09242	1020002	1.67	0.31	46.25	1002.34	70	31.01
100002	1.55	0	44.36	1005.69	69	-0.1848	1030002	1.66	0.53	46.23	1002.20	70	32.32
110002	1.61	0	44.52	1005.71	69	-0.3698	1040002	1.66	0.52	46.19	1000.99	70	43.61
120002	1.61	0	44.77	1005.73	69	-0.5551	1050002	1.67	0.60	46.15	1001.04	70	43.14
130002	1.62	0	44.94	1005.71	69	-0.3702	1060002	1.66	0.49	46.14	1001.49	70	38.93
140002	1.53	0	44.91	1005.65	69	0.1851	1070002	1.67	0.33	46.14	1001.83	70	35.76
150002	1.55	0	44.74	1005.68	69	-0.09251	1080002	1.66	0.48	46.11	1001.31	70	40.61
160002	1.57	0	44.89	1005.66	69	0.09255	1090002	1.66	0.46	46.07	1000.99	70	43.59
170002	1.59	0	44.88	1005.63	69	0.3702	1100002	1.65	0.70	46.02	1000.58	70	47.42
180002	1.66	0	44.97	1005.18	69	4.537	1110002	1.65	0.73	45.90	1000.68	70	46.47
190002	1.66	0.18	44.97	1004.95	69	6.668	1120002	1.66	0.58	45.85	1000.92	70	44.22
200002	1.63	0	45.09	1005.42	69	2.316	1130002	1.67	0.49	45.81	1000.85	70	44.87
210002	1.55	0	45.19	1005.66	69	0.09264	1140002	1.67	0.47	45.74	999.91	70	53.63
220002	1.57	0	45.14	1005.70	69	-0.2779	1150002	1.66	0.58	45.70	998.63	70	65.59
230002	1.57	0	45.13	1005.73	69	-0.5557	1160002	1.66	0.86	45.58	996.60	70	84.58
240002	1.58	0	45.08	1005.73	69	-0.5556	1170002	1.66	0.50	45.49	996.76	69	83.06
250002	1.58	0	45.15	1005.73	69	-0.5557	1180002	1.66	0.69	45.40	997.40	69	77.04
260002	1.59	0	45.12	1005.73	69	-0.5557	1190002	1.66	0.55	45.35	997.46	69	76.47
270002	1.56	0	45.11	1005.79	69	-1.111	1200002	1.67	0.60	45.26	997.20	69	78.88
280002	1.57	0	45.08	1005.71	69	-0.3704	1210002	1.67	0.62	45.22	997.36	69	77.37
290002	1.55	0	45.10	1005.69	69	-0.1852	1220002	1.66	0.59	45.19	997.38	69	77.18
300002	1.58	0	45.17	1005.71	69	-0.3705	1230002	1.67	0.75	45.11	996.87	69	81.93
310002	1.60	0	45.25	1005.70	69	-0.2780	1240002	1.65	0.98	45.04	997.09	69	79.85
320002	1.56	0	45.32	1005.66	69	0.09268	1250002	1.66	0.75	45.00	997.48	69	76.19
330002	1.58	0	45.38	1005.68	69	-0.09269	1260002	1.67	0.94	44.92	996.99	69	80.76
340002	1.60	0	45.46	1005.70	69	-0.2781	1270002	1.66	0.70	44.89	997.15	69	79.25
350002	1.63	0	45.62	1005.73	70	-0.5566	1280002	1.67	1.80	44.77	997.15	69	79.22
360002	1.64	0	45.75	1005.72	70	-0.4640	1290002	1.65	0.81	44.69	996.47	69	85.56
370002	1.65	0	45.83	1005.73	70	-0.5569	1300002	1.66	0.96	44.64	996.95	69	81.06
380002	1.60	0	45.90	1005.72	70	-0.4642	1310002	1.67	1.05	44.61	997.35	69	77.31
390002	1.59	0	45.91	1005.72	70	-0.4642	1320002	1.66	1.05	44.55	997.49	69	75.99
400002	1.60	0	45.93	1005.74	70	-0.6499	1330002	1.66	0.95	44.52	997.55	69	75.43
410002	1.62	0	45.92	1005.20	70	4.365	1340002	1.67	0.72	44.48	996.87	69	81.77
420002	1.66	0	45.86	1004.96	70	6.594	1350002	1.66	0.84	44.47	996.97	69	80.83
430002	1.65	0	45.85	1004.85	70	7.616	1360002	1.67	0.74	44.48	996.68	69	83.54
440002	1.67	0	45.90	1005.32	70	3.250	1370002	1.67	0.71	44.50	996.00	69	89.90
450002	1.67	0	45.90	1005.57	70	0.9285	1380002	1.67	0.83	44.52	996.14	69	88.60
460002	1.59	0	45.71	1005.72	70	-0.4639	1390002	1.70	0.44	44.60	996.89	69	81.61
470002	1.58	0	45.64	1005.68	70	-0.09277	1400002	1.66	0.71	44.64	996.83	69	82.18
480002	1.52	0	45.50	1005.68	69	-0.09273	1410002	1.68	0.43	44.71	997.57	69	75.28
490002	1.55	0	45.41	1005.70	69	-0.2781	1420002	1.68	0.46	44.80	997.95	69	71.76
500002	1.57	0	45.40	1005.71	69	-0.3708	1430002	1.69	0.50	44.82	997.44	69	76.52
510002	1.60	0	45.44	1005.71	69	-0.3708	1440002	1.72	0.66	44.88	998.39	69	67.67
520002	1.59	0	45.45	1005.71	69	-0.3708	1450002	1.70	1.38	44.95	997.99	69	71.42
530002	1.58	0	45.44	1005.72	69	-0.4635	1460002	1.69	1.22	45.02	997.48	69	76.20
540002	1.57	0	45.39	1005.74	69	-0.6488	1470002	1.70	0.68	45.05	997.60	69	75.08
550002	1.61	0	45.42	1005.73	69	-0.5562	1480002	1.68	0.90	45.14	996.98	69	80.91
560002	1.59	0	45.40	1005.73	69	-0.5562	1490002	1.82	0.79	45.33	996.73	69	83.30
570002	1.60	0	45.37	1005.72	69	-0.4634	1500002	1.76	0.64	45.67	996.97	70	81.13
580002	1.59	0	45.34	1005.75	69	-0.7414	1510002	1.72	1.01	46.43	996.70	70	83.86
590002	1.56	0	45.26	1005.74	69	-0.6486	1520002	1.79	0.56	47.16	996.16	70	89.15
600002	1.56	0	45.27	1005.76	69	-0.8339	1530002	1.78	0.69	47.73	997.02	70	81.19
610002	1.57	0	45.23	1005.74	69	-0.6485	1540002	1.71	0.71	48.48	996.38	70	87.43
620002	1.57	0	45.20	1005.75	69	-0.7411	1550002	1.76	0.31	49.00	996.14	70	89.85
630002	1.56	0	45.14	1005.72	69	-0.4631	1560002	1.71	0.74	49.22	996.15	70	89.81
640002	1.56	0	45.05	1005.73	69	-0.5556	1570002	1.72	0.76	49.13	996.59	70	85.62
650002	1.56	0.08	44.92	1005.74	69	-0.6479	1580002	1.73	0.96	48.91	995.75	70	93.52
660002	1.56	0	44.75	1005.75	69	-0.7400	1590002	1.70	0.49	48.72	995.01	70	100.5
670002	1.58	0	44.80	1005.77	69	-0.9252	1600002	1.71	0.68	48.60	994.45	70	105.8
680002	1.58	0	44.89	1005.73	69	-0.5553	1610002	1.73	0.95	48.47	993.89	70	111.0
690002	1.58	0	44.98	1005.68	69	-0.09258	1620002	1.78	0.53	48.53	993.52	70	114.6
700002	1.55	0	45.04	1005.67	69	0.0000	1630002	1.73	1.01	48.66	993.15	70	118.1
710002	1.67	1.51	45.01	1004.20	69	13.62	1640002	1.84	0.79	48.70	992.70	70	122.4
720002	1.67	0.7	45.15	1004.25	69	13.16	1650002	1.75	0.52	48.96	992.77	70	121.8
730002	1.66	0.65	45.30	1004.67	69	9.272	1660002	1.83	0.66	48.84	993.07	70	118.9
740002	1.66	0.36	45.49	1005.23	69	4.081	1670002	1.73	0.43	48.84	993.59	70	114.0
750002	1.69	0.23	45.57	1005.66	70	0.09275	1680002	1.71	0.49	48.69	993.77	70	112.2
760002	1.60	0.02	45.43	1005.66	69	0.09271	1690002	1.73	0.58	48.59	993.60	70	113.8
770002	1.63	0.04	45.48	1005.64	69	0.2782	1700002	1.77	0.81	48.47	993.45	70	115.2
780002	1.66	0	45.54	1005.67	69	0.0000	1710002	1.82	0.51	48.56	993.76	70	112.3
790002	1.65	0	45.77	1005.68	70	-0.09281	1720002	1.82	0.93	48.93	994.58	70	104.6
800002	1.65	0	45.96	1005.67	70	0.0000	1730002	1.72	1.02	48.76	996.00	70	91.11
810002	1.66	0	45.99	1005.67	70	0.0000	1740002	1.70	0.82	48.63	997.45	70	77.35
820002	1.63	0.04	46.11	1005.63	70	0.3716	1750002	1.67	0.80	48.52	998.85	70	64.10
830002	1.55	0	46.05	1005.65	70	0.1858	1760002	1.67	0.85	48.31	998.63	70	66.13
840002	1.58	0	46.03	1005.64	70	0.2786	1770002	1.67	0.61	48.08	999.09	70	61.75
850002	1.64	0.08	46.12	1005.67	70	0.0000	1780002	1.67	0.52	47.92	1000.30	70	50.33
860002	1.62	0.11	46.22	1005.61	70	0.5576	1790002	1.69	0.68	47.77	1001.38	70	40.17
870002	1.63	0	46.26	1005.72	70	-0.4647	1800002	1.68	0.83	47.71	1002.69	70	27.87
880002	1.61	0	46.36	1005.66	70	0.09298	1810002	1.68	0.80	47.62	1002.55	70	29.18
890002	1.58	0	46.35	1005.61	70	0.5579	1820002	1.71	1.14	47.46	1003.15	70	23.55
900002	1.59	0	46.32	1005.60	70	0.6508	1830002	1.72	0.45	47.41	1004.23	70	13.44
910002	1.57	0	46.27	1005.61	70	0.5577	1840002	1.59	0.66	47.23	1005.60	70	0.6526
920002	1.60	0	46.29	1005.60	70	0.6507	1850002	1.56	2.52	46.93	1005.61	70	0.5589
930002	1.53	0	46.17	1005.60	70	0.6505	1860002	1.57	2.30	46.34	1005.60	70	0.6508

c.10 月 14 日の観測

表c. 1. 観測時の気象状況　府中　2019/10/14

年月日時	気温(℃)	降水量(mm)	日照時間(分)	平均風速(m/s)	風向
2019/10/14 9:10	14.5	0.5	0	1.2	北西
2019/10/14 9:20	14.5	0.5	0	1.5	北西
2019/10/14 9:30	14.6	0.0	0	1.4	北西
2019/10/14 9:40	14.7	0.0	0	1.5	北西
2019/10/14 9:50	14.6	0.0	0	1.4	北北西
2019/10/14 10:00	14.6	0.0	0	1.9	北西
2019/10/14 10:10	14.8	0.0	0	1.7	北西
2019/10/14 10:20	15.0	0.0	0	1.8	北西
2019/10/14 10:30	15.0	0.0	0	2.0	北西
2019/10/14 10:40	15.2	0.0	0	1.9	北西
2019/10/14 10:50	15.4	0.0	0	1.7	北西
2019/10/14 11:00	15.3	0.0	0	2.0	北西
2019/10/14 11:10	15.2	0.0	0	1.4	北北西
2019/10/14 11:20	15.3	0.0	0	1.6	北西
2019/10/14 11:30	15.2	0.0	0	2.0	北西

表c.2. デジタルパックテストの結果とフィルター一枚当たりの付着量　多摩川1

	試料	亜硝酸	硝酸	全窒素	オゾン	硫酸	COD	フィルター数[枚]	定容量[mL]
濃度[mg/L]	③_1	0.237	under	---	under	under	5.3	2	200.0
	③_2	0.318	under	---	under	under	5.2	2	200.0
一枚当たり[mg]	③_1	0.0237	---	---	---	---	0.53		
	③_2	0.0318	---	---	---	---	0.52		

d.11 月 4 日の観測

表d.1. 観測時の気象状況　府中　2019/11/4

年月日時	気温(℃)	降水量(mm)	日照時間(分)	平均風速(m/s)	風向
2019/11/4 6:30	11.1	0.0	3	0.5	北西
2019/11/4 6:40	11.0	0.0	8	0.4	西北西
2019/11/4 6:50	11.0	0.0	10	0.2	静穏
2019/11/4 7:00	11.6	0.0	9	0.1	静穏
2019/11/4 7:10	12.1	0.0	10	0.8	西北西
2019/11/4 7:20	12.4	0.0	10	0.7	西北西
2019/11/4 7:30	12.8	0.0	10	0.7	西北西
2019/11/4 7:40	13.2	0.0	10	0.7	西北西
2019/11/4 7:50	13.2	0.0	10	1.3	西北西
2019/11/4 8:00	13.6	0.0	10	1.2	北西
2019/11/4 8:10	13.9	0.0	10	1.3	北西
2019/11/4 8:20	14.4	0.0	10	1.5	北西
2019/11/4 8:30	14.7	0.0	10	1.0	北北西
2019/11/4 8:40	14.8	0.0	10	1.0	北北東
2019/11/4 8:50	15.3	0.0	10	1.2	北東
2019/11/4 9:00	15.8	0.0	10	1.7	北東
2019/11/4 9:10	15.8	0.0	10	2.2	北北東
2019/11/4 9:20	16.4	0.0	10	2.0	北東
2019/11/4 9:30	16.6	0.0	10	1.5	北東
2019/11/4 9:40	16.6	0.0	10	2.0	北東
2019/11/4 9:50	16.8	0.0	10	2.2	北東
2019/11/4 10:00	17.1	0.0	10	1.7	北東
2019/11/4 10:10	17.0	0.0	10	2.3	北東
2019/11/4 10:20	17.4	0.0	10	2.4	東北東
2019/11/4 10:30	17.6	0.0	10	1.9	北東
2019/11/4 10:40	17.9	0.0	10	2.1	北東
2019/11/4 10:50	18.1	0.0	10	1.8	北東
2019/11/4 11:00	18.4	0.0	10	1.8	北東
2019/11/4 11:10	18.5	0.0	10	2.0	北東
2019/11/4 11:20	18.1	0.0	10	2.2	北東
2019/11/4 11:30	18.4	0.0	10	2.4	北東
2019/11/4 11:40	18.7	0.0	10	1.6	北北東
2019/11/4 11:50	18.7	0.0	10	1.4	北北東
2019/11/4 12:00	18.0	0.0	10	1.7	北東
2019/11/4 12:10	18.6	0.0	10	1.6	東北東
2019/11/4 12:20	18.5	0.0	10	1.8	北東
2019/11/4 12:30	18.9	0.0	9	1.7	北北東
2019/11/4 12:40	18.6	0.0	9	1.5	北
2019/11/4 12:50	19.0	0.0	8	2.2	北東
2019/11/4 13:00	18.9	0.0	10	2.2	北北東
2019/11/4 13:10	18.5	0.0	8	1.8	北東
2019/11/4 13:20	19.0	0.0	10	1.7	北北東
2019/11/4 13:30	19.0	0.0	10	2.0	北
2019/11/4 13:40	18.7	0.0	10	1.3	北北西
2019/11/4 13:50	19.4	0.0	10	1.0	北西
2019/11/4 14:00	19.5	0.0	8	2.1	北東
2019/11/4 14:10	18.9	0.0	6	1.7	北北東
2019/11/4 14:20	19.1	0.0	9	1.2	北西
2019/11/4 14:30	19.4	0.0	10	0.6	西
2019/11/4 14:40	19.3	0.0	10	2.1	北
2019/11/4 14:50	19.1	0.0	10	1.4	北北東
2019/11/4 15:00	19.1	0.0	10	1.9	北北東

表d.2. デジタルパックテストの結果とフィルター一枚当たりの付着量 多摩川2

	試料	亜硝酸	硝酸	全窒素	オゾン	硫酸	COD	フィルター数[枚]	定容量[mL]
濃度[mg/L]	④_1	0.546	under	2.3	under	under	2.5	4	400.0
	④_2	0.31	under	1.5	under	under	over	4	400.0
	④_3	0.287	under	0.9	under	under	under	4	400.0
	④_4	0.02	under	under	under	under	under	4	400.0
	④_5	0.039	under	under	under	under	under	4	400.0
	④_6	under	under	1.7	under	29	3.1	4	400.0
	④_7	0.032	under	under	under	11	---	4	400.0
	④_8	under	under	under	under	under	---	4	400.0
一枚当たり[mg]	④_1	0.0546	---	0.23	---	---	0.25		
	④_2	0.031	---	0.15	---	---	---		
	④_3	0.0287	---	0.09	---	---	---		
	④_4	0.002	---	---	---	---	---		
	④_5	0.0039	---	---	---	---	---		
	④_6	---	---	0.17	---	2.9	0.31		
	④_7	0.0032	---	---	---	1.1	---		
	④_8	---	---	---	---	---	---		

表d.3. センサーの数値　多摩川

時間[ms]	UV(V)	Wind(V)	気温[°C]	気圧[hPa]	湿度[%]	高度[m]	時間[ms]	UV(V)	Wind(V)	気温[°C]	気圧[hPa]	湿度[%]	高度[m]
940002	1.59	0.00	46.00	1005.63	70	0.3715	1390002	1.70	0.44	44.60	996.89	69	81.61
950002	1.62	0.81	45.94	1005.47	70	1.857	1400002	1.66	0.71	44.64	996.83	69	82.18
960002	1.66	0.75	46.01	1003.73	70	18.04	1410002	1.68	0.43	44.71	997.57	69	75.28
970002	1.65	0.71	46.12	1003.72	70	18.14	1420002	1.68	0.46	44.80	997.95	69	71.76
980002	1.70	0.32	46.21	1002.69	70	27.74	1430002	1.69	0.50	44.82	997.44	69	76.52
990002	1.67	0.53	46.25	1002.16	70	32.69	1440002	1.72	0.66	44.88	998.39	69	67.67
1000002	1.67	0.40	46.27	1002.32	70	31.20	1450002	1.70	1.38	44.95	997.99	69	71.42
1010002	1.65	0.63	46.26	1002.32	70	31.20	1460002	1.69	1.22	45.02	997.48	69	76.20
1020002	1.67	0.31	46.25	1002.34	70	31.01	1470002	1.70	0.68	45.05	997.60	69	75.08
1030002	1.66	0.53	46.23	1002.20	70	32.32	1480002	1.68	0.90	45.14	996.98	69	80.91
1040002	1.66	0.52	46.19	1000.99	70	43.61	1490002	1.82	0.79	45.33	996.73	69	83.30
1050002	1.67	0.60	46.15	1001.04	70	43.14	1500002	1.76	0.64	45.67	996.97	70	81.13
1060002	1.66	0.49	46.14	1001.49	70	38.93	1510002	1.72	1.01	46.43	996.70	70	83.86
1070002	1.67	0.33	46.14	1001.83	70	35.76	1520002	1.79	0.56	47.16	996.16	70	89.15
1080002	1.66	0.48	46.11	1001.31	70	40.61	1530002	1.78	0.69	47.73	997.02	70	81.19
1090002	1.66	0.46	46.07	1000.99	70	43.59	1540002	1.71	0.71	48.48	996.38	70	87.43
1100002	1.65	0.70	46.02	1000.58	70	47.42	1550002	1.76	0.31	49.00	996.14	70	89.85
1110002	1.65	0.73	45.90	1000.68	70	46.47	1560002	1.71	0.74	49.22	996.15	70	89.81
1120002	1.66	0.58	45.85	1000.92	70	44.22	1570002	1.72	0.76	49.13	996.59	70	85.62
1130002	1.67	0.49	45.81	1000.85	70	44.87	1580002	1.73	0.96	48.91	995.75	70	93.52
1140002	1.67	0.47	45.74	999.91	70	53.63	1590002	1.70	0.49	48.72	995.01	70	100.5
1150002	1.66	0.58	45.70	998.63	70	65.59	1600002	1.71	0.68	48.60	994.45	70	105.8
1160002	1.66	0.86	45.58	996.60	70	84.58	1610002	1.73	0.95	48.47	993.89	70	111.0
1170002	1.66	0.50	45.49	996.76	69	83.06	1620002	1.78	0.53	48.53	993.52	70	114.6
1180002	1.66	0.69	45.40	997.40	69	77.04	1630002	1.73	1.01	48.66	993.15	70	118.1
1190002	1.66	0.55	45.35	997.46	69	76.47	1640002	1.84	0.79	48.70	992.70	70	122.4
1200002	1.67	0.60	45.26	997.20	69	78.88	1650002	1.75	0.52	48.96	992.77	70	121.8
1210002	1.67	0.62	45.22	997.36	69	77.37	1660002	1.83	0.66	48.84	993.07	70	118.9
1220002	1.66	0.59	45.19	997.38	69	77.18	1670002	1.73	0.43	48.84	993.59	70	114.0
1230002	1.67	0.75	45.11	996.87	69	81.93	1680002	1.71	0.49	48.69	993.77	70	112.2
1240002	1.65	0.98	45.04	997.09	69	79.85	1690002	1.73	0.58	48.59	993.60	70	113.8
1250002	1.66	0.75	45.00	997.48	69	76.19	1700002	1.77	0.81	48.47	993.45	70	115.2
1260002	1.67	0.94	44.92	996.99	69	80.76	1710002	1.82	0.51	48.56	993.76	70	112.3
1270002	1.66	0.70	44.89	997.15	69	79.25	1720002	1.82	0.93	48.93	994.58	70	104.6
1280002	1.67	1.80	44.77	997.15	69	79.22	1730002	1.72	1.02	48.76	996.00	70	91.11
1290002	1.65	0.81	44.69	996.47	69	85.56	1740002	1.70	0.82	48.63	997.45	70	77.35
1300002	1.66	0.96	44.64	996.95	69	81.06	1750002	1.67	0.80	48.52	998.85	70	64.10
1310002	1.67	1.05	44.61	997.35	69	77.31	1760002	1.67	0.85	48.31	998.63	70	66.13
1320002	1.66	1.05	44.55	997.49	69	75.99	1770002	1.67	0.61	48.08	999.09	70	61.75
1330002	1.66	0.95	44.52	997.55	69	75.43	1780002	1.67	0.52	47.92	1000.30	70	50.33
1340002	1.67	0.72	44.48	996.87	69	81.77	1790002	1.69	0.68	47.77	1001.38	70	40.17
1350002	1.66	0.84	44.47	996.97	69	80.83	1800002	1.68	0.83	47.71	1002.69	70	27.87
1360002	1.67	0.74	44.48	996.68	69	83.54	1810002	1.68	0.80	47.62	1002.55	70	29.18
1370002	1.67	0.71	44.50	996.00	69	89.90	1820002	1.71	1.14	47.46	1003.15	70	23.55
1380002	1.67	0.83	44.52	996.14	69	88.60	1830002	1.72	0.45	47.41	1004.23	70	13.44

代表理事特別賞

賞金 5 万円

視程観測機"Clear Sky"

東京都立立川高等学校

視程観測の自動化

東京都立立川高等学校　天文気象部　2 年　田中 陽登・馬場 光希・浜島 悠哉・3 年　田口小桃
指導教員　天文気象部顧問　可長 清美

要旨：都立立川高校天文気象部では、約 70 年前より気象観測(気温・気圧・湿度・風速・雨量・視程観測等)を続けてきた。本研究では、その中のひとつとして 1990 年代まで続いていた視程観測に着目し、観測の継続を目指してデジタルカメラを活用することによる観測の自動化を試みた。今後は試作した機器による観測と、目視による同時比較観測を行い、実用化を目指したい。

1. 背景

視程（Visibility）とは、観測場所から識別することのできる距離の程度を表す気象用語で、どの程度見通しがきくかという情報である。立川高校天文気象部では、約 70 年前より気象観測（百葉箱により 1 日 2 回、気温・気圧・風速・湿度・雨量・視程観測等）を続けてきた。1990 年代に欠測が増えた後、2007 年には自動観測装置に切り替え、2013 年より先輩方が観測記録の整理分析を開始した（図 1 ）。先輩の先行研究では、最高・最低気温や冬日・夏日の変化を分析し（図 2,3）し、気温が上昇傾向にあることが明らかになった。

昨年からは本部の田口が観測記録中の視程に着目し、約 50 年分の視程データ（約 16000 件）について整理・分析を行ったところ、1950 年代から 60 年代にかけて見通しが 1 ～2 km未満となる日が増加する顕著な悪視程が明らかになった。視程は大気汚染の規制が始まる 1970 年前後より改善されているため、田口は気象条件や大気汚染との関連、他機関のデータとの比較を行い、当時の大気汚染に関連する要因を調査した。その結果、立川周辺の環境の変化、特に気温・湿度の変化、燃料の変遷や自動車の増加、道路の舗装化、市街地化や米軍立川基地との関連で、大変興味深い結果が得られ、『立川高校における 50 年間の視程の変化と戦後の大気汚染について』というタイトルで、気象学会や全国 SSH 研究発表会などで発表した。

視程観測は 1990 年代まで継続し、その後途絶えていたため、部員の目視による観測の再開を試みた。本研究では、目視だけはなかなか日々の観測が継続できない課題を解決するため、デジタルカメラを活用することによる観測の自動化を目指す。

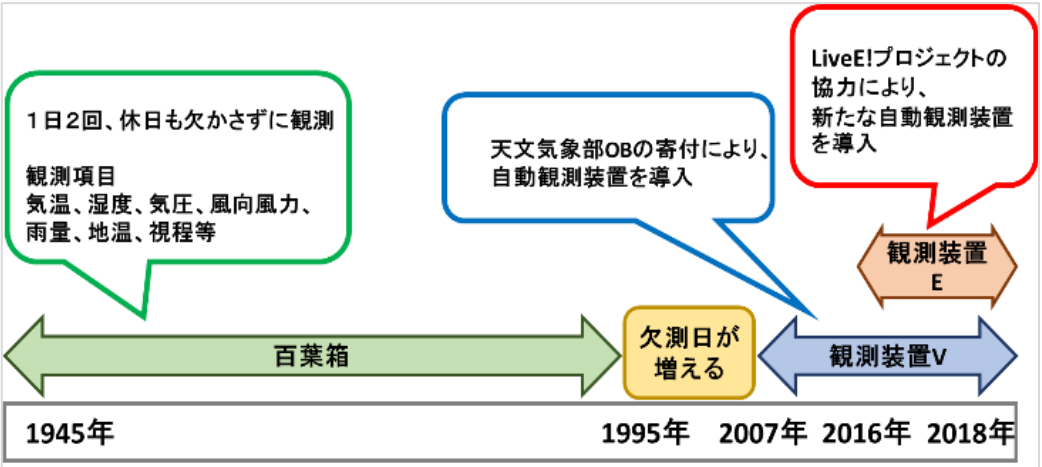


図 1　本校の気象観測方法の変化（立川高校天文気象部 2018）

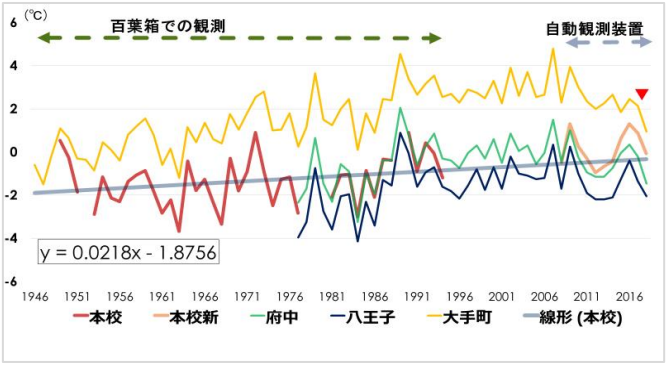


図 2　本校と府中・八王子・大手町の１・２月の日最低気温の平均の推移（立川高校天文気象部 2018）

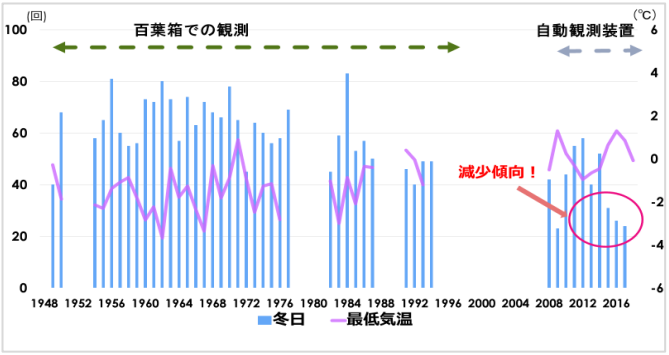


図３　本校の冬日、１,２月の平均最低気温（本部 2018）

２．先行研究「本校の 50 年間の視程の変化と戦後の大気汚染」(3 年　田口小桃)

1)本校の視程

視程は天気や大気の状態に影響を受け、大気汚染をはじめとした環境変化を知るのに有用である。昼間の視程は、その方向の空を背景とした黒ずんだ目標を肉眼で識別できる最大距離である。方位によって視程が異なる場合はこれを方向別に記録してもよいが，全方位の測定値の中で最も小さい値をその観測時の視程とする。

本校は東京の郊外にあり、校舎は 5 階建てで立川段丘のへりの少し高いところに建つため、屋上は図 4・5 のように見晴らしがよく、36 km 先の東京スカイツリーや 26km 先の新宿や六本木のビル群、72km 先の富士山等の西方の山々などがよく見え、視程観測に適している。

天文気象部部員による気象観測は、1948 年より朝 8 時と 14 時（後半は 15 時）に行う方法で開始され、視程については富士山やビルの見え方などの記録から始まっている。ただし、富士山は高い位置にあるため、水平方向の視程観測の記録とは分けて考えている。1951～72 年は卓越視程（全方向の平均的な視程)、1950 年、1973～77 年は 4 方位ごとのそれぞれ視程を記録している。視程目標の見え方は日変化が大きく、毎日同時刻で観測を行うと、季節によって日出や日没時間や、太陽の高度、方向は異なり、背景の明るさや目標への光の当たり方が変化する。また、肉眼で行う観測であるため、観測者の視力や経験量により、ある程度の誤差が出ることを考量する必要がある。

野本（1976）によると、毎日の視程の日変化は、じょう乱による変化、季節的な変化、地域的な変化に影響される。じょう乱による変化とは、低気圧や前線による、降水・風速・相対湿度等の気象要素による変化であり、季節的な変化とは、太陽の位置の変化のようなもの、地域的変化とは、海陸風による日変化や、大気汚染物質の影響の程度など地理的条件による変化をいう。視程はこれらの条件を反映し得られるデータである。

図４　本校屋上からのながめ（東側・都心方面　天文気象部員撮影）

図５　本校屋上からのながめ（西側・山方面　天文気象部員撮影）

図６　立川高校の位置図

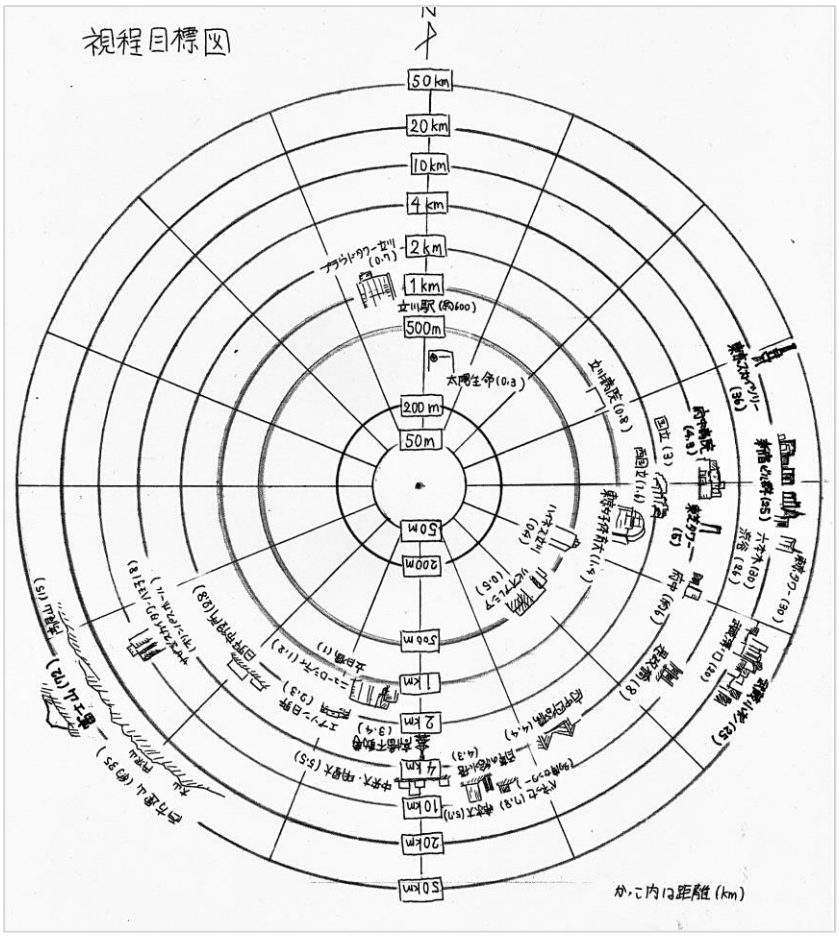


図７　立川高校からの視程目標図図

2)過去の視程観測データの分析と方法：

・当時の日毎の観測記録と、月毎の観測記録（図８）をもとに 50 年分のデータ（約 16000 件）を調査した。

・観測方法や記録方法により、4 つの時期(A～D)に分けて分析し、気象庁の視程階級表階級（図９）に照らし合わせて．グラフを作成した。図 10 は毎のデータを加算して年ごとに視程階級事の割合を出し、図 11 は観測時間の午後 8 時と午後２時（３時）に分けて、月毎の視程の平均を約 50 年間分のグラフにした。

・記録内容や観測方法等の不明な点について、本部 OB に聞き取り調査した。また周辺環境の変化や大気汚染について、地元の 70～80 代の方にも調査を行った。

・文献調査では論文の他に、気象庁や都環境研究所などの古い記録を調べ、東京管区気象台の視程記録(手書きデータ約 9000 件)の日毎のデータから同時刻の値を抜き出し、同様にグラフ化して比較した（図 10）

・ロンドンとの比較も行った

図８　立川高校の視程記録（日毎、月毎の観測野帳より）

視程階級	目標物を認めることができる最大距離
0	50m未満
1	50m以上　200m未満
2	200m以上 500m未満
3	500m以上　1 km未満
4	1 km以上　2 km未満
5	2 km以上　4 km未満
6	4 km以上　10km未満
7	10km以上　20km未満
8	20km以上　50km未満
9	50km以上

図９　気象庁視程階級表

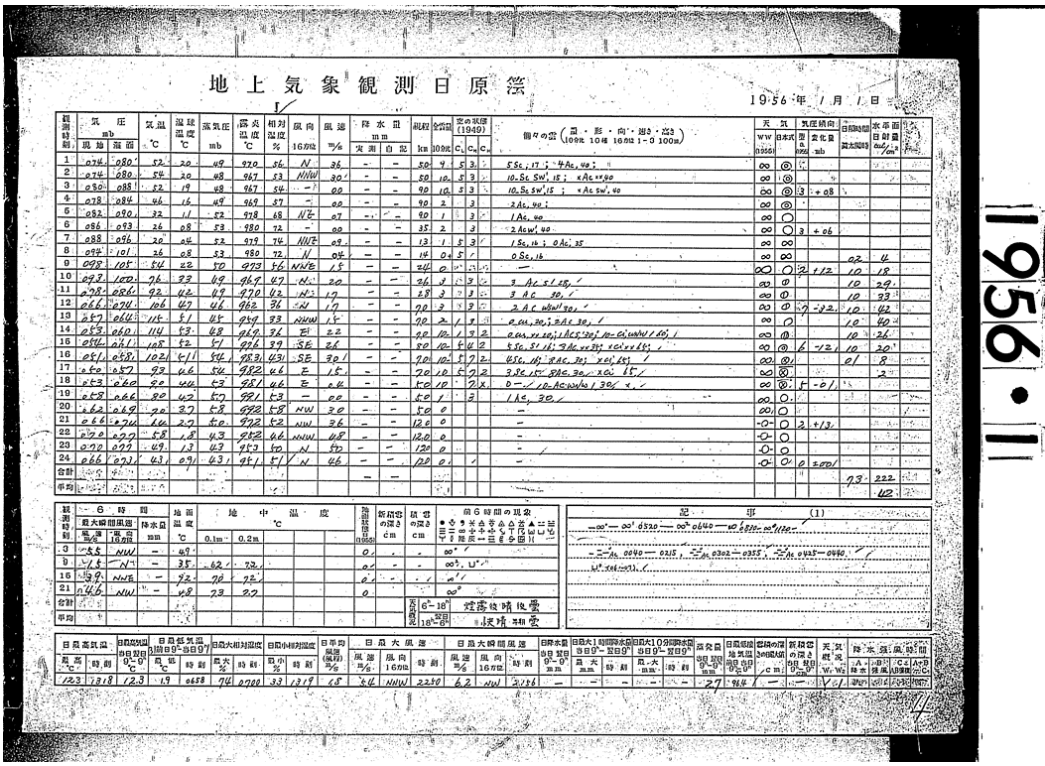


図１０　気象庁　東京管区気象台　観測原簿（1956 年１月１日）

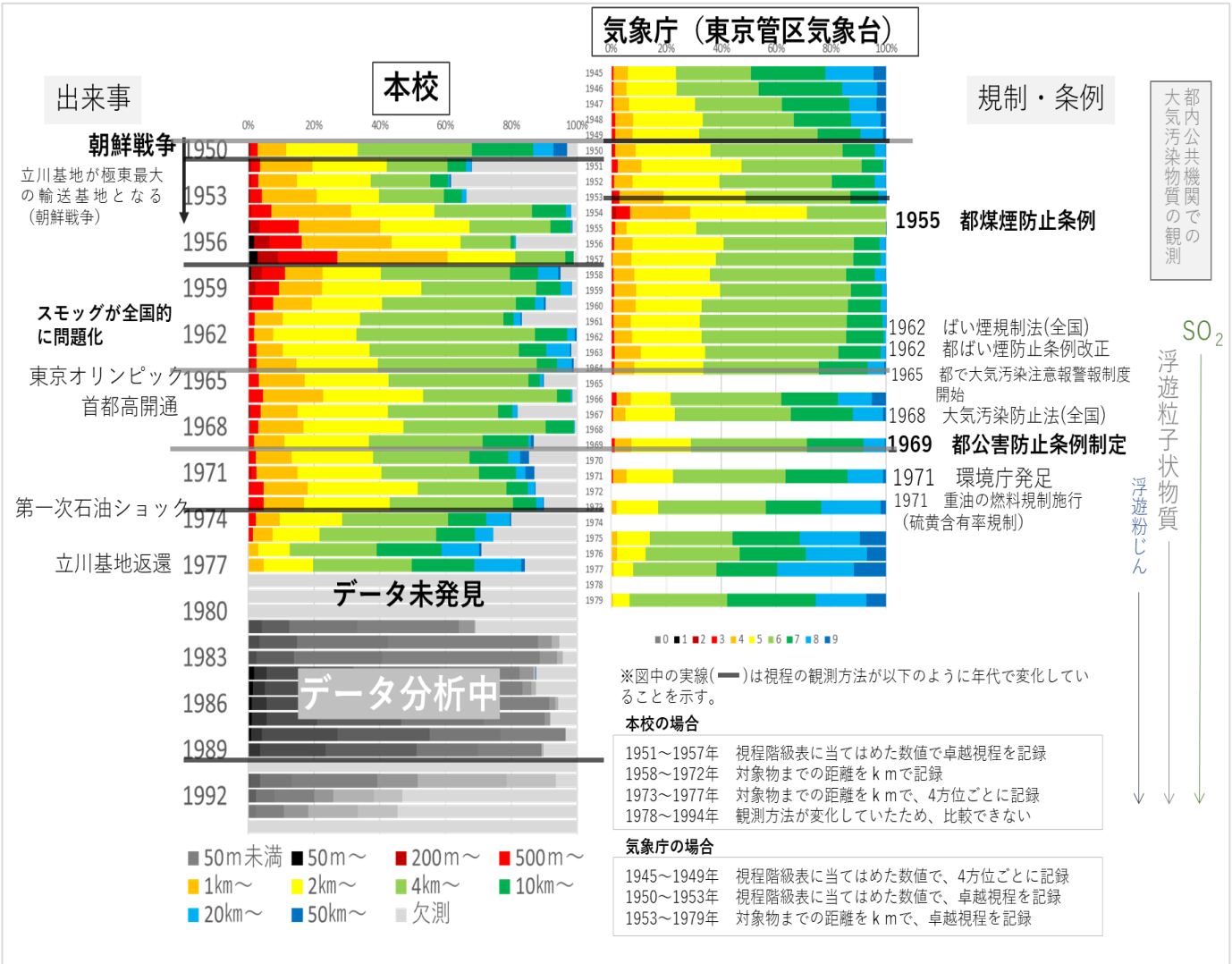


図 11　本校と気象庁（東京管区気象台）の視程距離の経年変化
（日毎の記録のうち８時と 15 時の記録を加算し年ごとに表した）

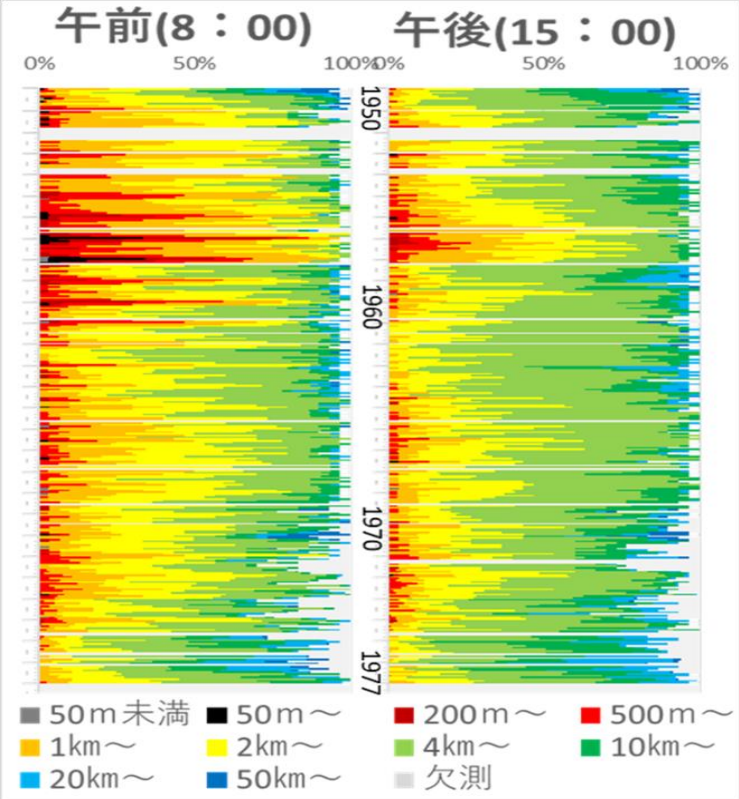


図 12　本校の視程距離（月ごと，午前と午後）

（日毎の 8 時と 15 時の記録を月毎に加算しグラフ化した）

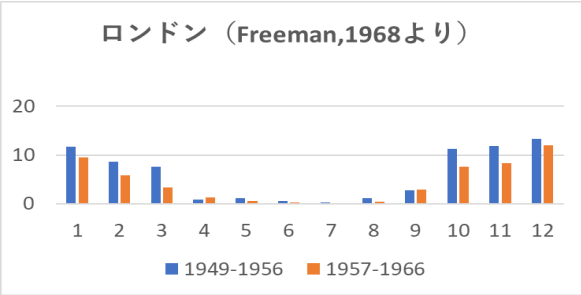


図 13　ロンドンにおける視程 1km 以下の相対出現度数の季節変化（Freeman，1968 より作成）

※観測時間は不明

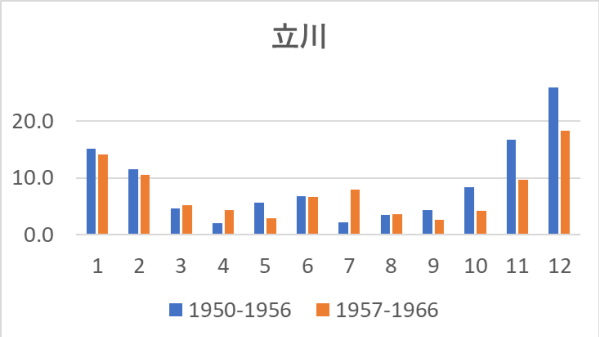


図 14　本校における視程 1km 以下の相対出現度数の季節変化　※午前と午後の記録を平均

図 15　図：1960 年頃の本校屋上からの景色（天文気象部）

スモッグで 2 km先の指標がみえないようすがわかる。右側は朝もやも見られる。

〈文献調査や公共機関の観測記録から〉

大気中の粒子状物質は図 10 のように分類される。文献調査や都環境研究所などのデータをまとめる中で明らかになったことを以下に記す。

・1950 年代は SO2 や浮遊粒子状物質などの大気汚染物質を測定する方法がなく、粒子が大きく降下しやすいばいじんを地表の装置で 1 ヶ月毎に集めて分析する降下ばいじんのデータのみ得られた。

・1950 年代、都心では工場や暖房の石炭燃焼により降下ばいじん量が増加し、濃煙霧の発生日数も増加した。

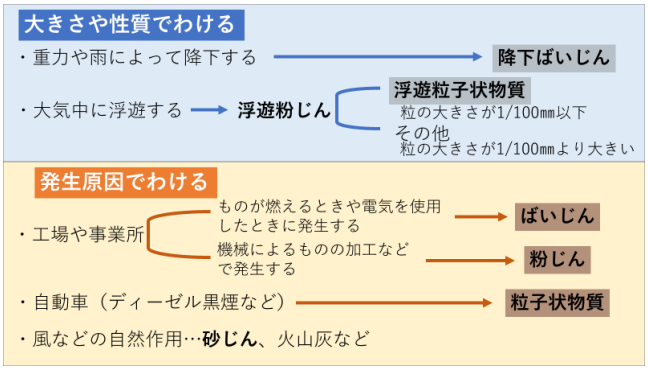


図 16　大気中の粒子状物質のわけ方

（参考：「大気の汚染」1987）図 27　本校における 2018/9～2019/8 の視程距離（午前）

・降下ばいじんの値は 1961 年頃が最も高く、集塵機が整備されていない暖房用石炭ボイラーから高濃度のばいじんが排出されていたと推測される。ばいじんの主たる対策である集塵機の設置は 1964 年頃から始まり、その効果により、煙霧が減少した。
・東京の降下ばいじんの量は石炭が主要燃料として使われていた 1955 年頃から 1960 年過ぎまで増加した。
・1960 年代に煙霧の内容となる黒煙が減少した原因に、東京の消費燃料が石炭から石油系のものに切り替えられつつあることがある。1960 から 1975 年にかけて重油の販売量が増加している。
・ガソリンの無鉛化により粉じん中の鉛は 1971 年頃から顕著な減少傾向にある。
・1970 年前後に、公害防止条例などにより規制が強化され、粉じんの濃度は減少したが、光化学スモッグの問題が浮上した。

結果と考察：

戦後の本校周辺は今では考えられないほど視程が悪かった。1951～73 年にかけて、1 年のうち悪視程(4 km未満)の日が約 40%の年が続き、1950 年代後半に最も悪くなるピークがあり、1974 年以降に改善する。湿度や朝もやなどの影響もあり、午前の視程の方が悪い。都心にある気象庁東京管区気象台の視程も、1950 年代に悪化し、1955 年の都煤煙防止条例制定年に改善して、その後 1962 年頃まで横ばい、それ以降さらに改善する。

視程がよくなる時期と、大気汚染に関する規制が始まり、SO2 やばいじんが減少する時期が重なるため、視程を悪くしていた大きな要因は大気汚染であると考えられる。特に視程が悪い 1950 代後半～1960 年代は、文献により当時の燃料であった石炭やコークスの燃焼によって排出されるばいじんが、大気汚染に大きく影響していたと推測される。工場や暖房など、煙突の集塵装置もないため、そのまま排出されていた時期である。

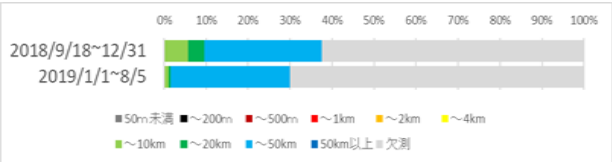
1950 年代後半の本校の視程は、気象庁の視程より悪く、気象庁の悪視程のピークは 1954 年、本校では 1957 年である。気象庁は都心の大きな工場の煙を規制した煤煙防止条例の影響を受けて視程が改善したが、郊外の立川には影響がなかったと考えられる。このことから、都心とは異なる悪視程の原因が考えられる。

その原因の一つとして、朝鮮戦争中とその後数年間、極東最大の輸送基地であった立川基地が本校近くにあったことが影響の一つとして考えられる。荷物を運ぶトラックや石炭自動車等の交通量も考えられるが、地域の方の聞き取り調査からは、黒い煙をはいて離発着する飛行機の煙や、多くの人が住む基地での石炭暖房の煤塵が影響した可能性があがった。米軍の資料からは、飛行機の離発着回数や多量の物資と人員がトラックや飛行機によって運ばれていたこと、1960 年代にはその機能を横田基地に移管し、影響が薄れたことが推測された。また、周囲がほぼ畑であったことから、強風で巻き上がる砂塵や，未舗装の道路で巻き上がる粉じんの影響があったこともわかった。これらは市街地化により、現在ではほとんど見られない。

1950 年代まで浮遊粒子状物質等の多くの大気汚染物質の観測方法が確立されていなかったため、科学的な測定によるデータが無いことも判明した。客観的に視程と環境の変化の関連を裏付けるには更に調査が必要である。

視程観測の再開：

2018 年 9 月より本校での視程観測を再開した。1 日 2 回（8 時と 15 時）に、富士山の観測と卓越視程（距離）の観測をしている。2018 年、2019 年の視程距離のデータをグラフにした。(図 17）様々な要因で欠測が多く、観測日数は 5 割を切っているが、その中でも、視程が 20 km以上の日が期間中の 8 割以上を占め、2000 年以前と比べ、更に視程がよくなっていた。また、現在は朝もやの見られる日はほとんど無く、午前と午後の視程の差も小さくなっている。1950 年代のような 1 km先まで見通しのきかない視程は観測されず、36 km先のスカイツリーまで見通せる日もかなりある。



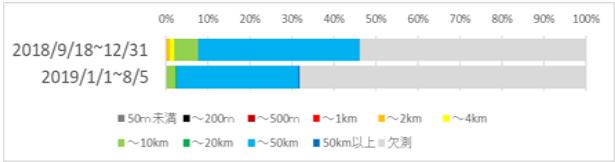


図 17　本校における 2018/9～2019/8 の視程距離（左：午前　　右：午後）

3. 製作の目的

先行研究は元々、1990 年代まで続けられていた視程観測を再開させたいとの思いから始まった。研究を進めると同時に、2018 年の 9 月から目視による観測を再開したが、観測を自動気象観測装置に頼っている現在では、毎日朝 8 時と授業後の 15 時に屋上に出て観測することがなかなか続かず、欠測が非常に多くなってしまった。また、現在はかつてのような悪視程の日は少なく、20 km以上を見通せる日がほとんどであるため、遠くの指標を細かく見分けているが、観測者の視力が大きく影響するということ問題があった。

このため、視程観測も自動化できないかと考えて、まずタイムラプスカメラを使用してみたが、広角レンズであるため、遠くの目標物を認識することできなかった。そこで、コンピュータ制御したカメラに望遠レンズをつけ、視程観測を自動化することを考えた。これにより欠測を無くし、観測者による結果の誤差や、観測時間のずれについても改善することが可能となる。

完成したら、露出や ISO などの値が適切になるよう試行し、目視によるものとの同時比較観測を行って、連続したデータになるようにしていきたい。また、定時だけでなく、一日の変化や季節変化などについても研究が可能となるため、新たな研究も可能となるだろう。

4．観測装置の製作

屋上に常時設置するには、カメラを頑丈なケースに入れて固定し、外部用電源につなげる必要がある。また、カメラの制御については Python を用いて、Raspberry Pi にプログラミングを行った。gPhoto2 というアプリケーションソフトウェアを用いて、撮影に関する制御ができるようにする。

・使用するもの

①Nikon 一眼レフカメラ D3400

②Raspberry Pi 3 model B+

③密閉ケース

・設置場所の検討

観測を行うための設置場所を検討した。図 18 のように校舎の屋上を設置場所の候補とし、視程観測に使っている目標物が見えるか、電源の確保ができるかなどの条件を考慮して検討し、①に決めた。

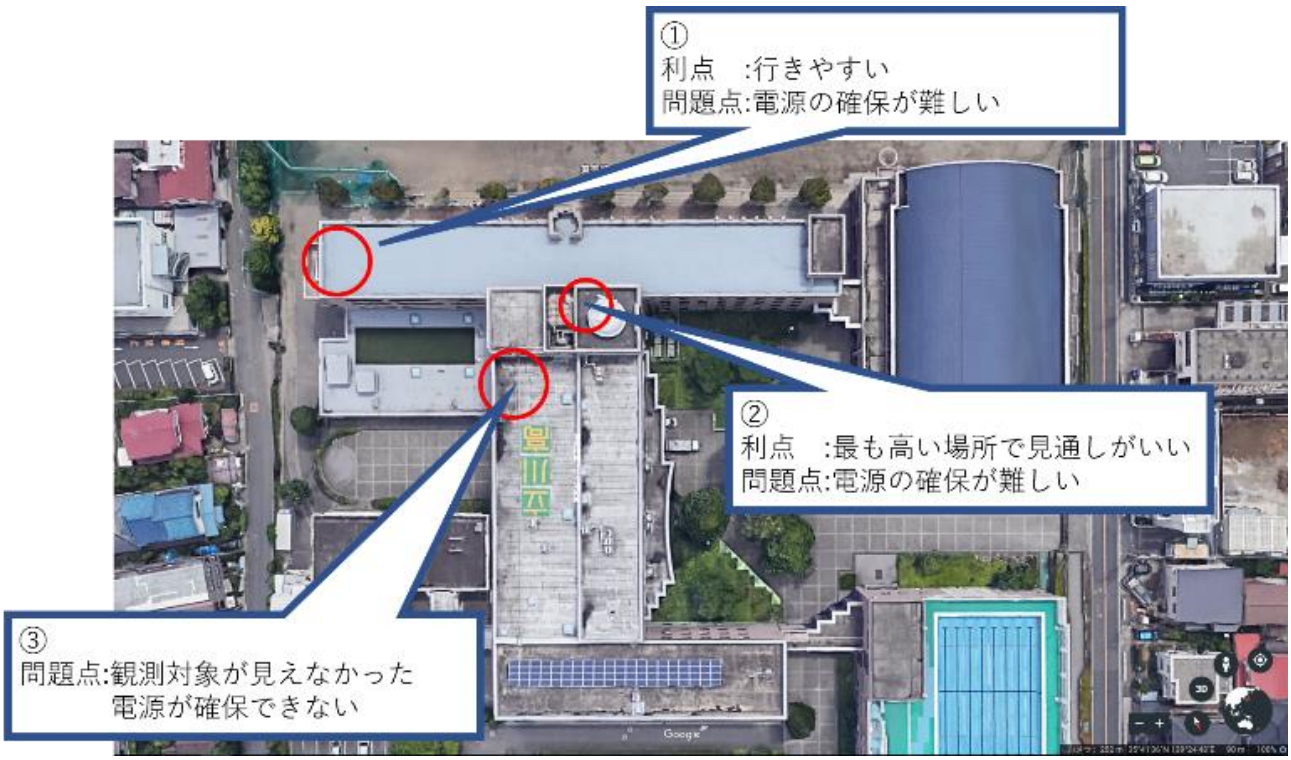


図 18　設置場所の検討について(画像は Google から)

①に設置する利点は、いつも部員が視程観測を行っている場所のため設置やメンテナンスがしやすいということである。問題点である電源の確保については、室内から電源コードを敷設することで解決した。

図 19　観測装置を設置する屋上

・観測装置を入れる土台の製作

土台：外部の使用に耐えられるアルポリ版を使い、外壁管財固定用の金具を用いて屋上欄干に固定した。金属加工については OB の浪波翔太氏に協力いただき、製作を行った。

・観測装置を入れるケースの製作

塵・風雨から観測装置(カメラ)を保護するために密封型の容器を考えた。
カメラのレンズが向く面は、穴を開けてアクリル板をはり、撮影ができるようにした。

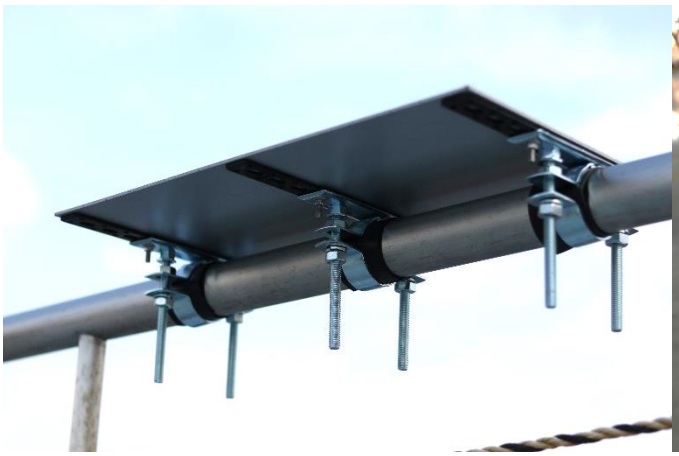


図 20　金具で欄干に固定された基礎

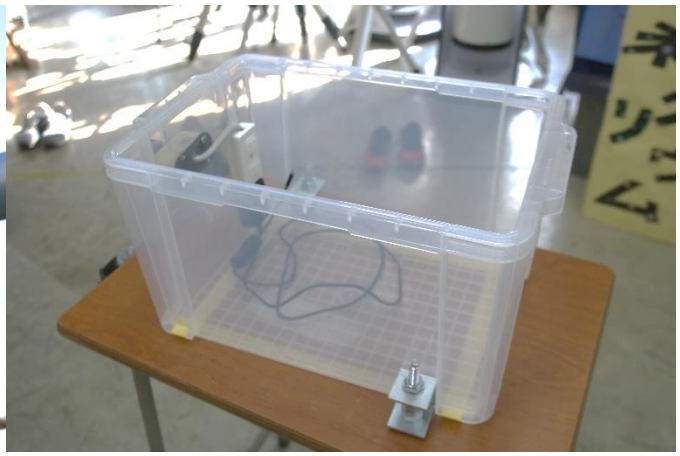


図 21　密封型ポリ容器

・観測装置の電源を容器内に敷設

容器内のバッテリーを外部電源につなげるために、OB の浪波翔太氏にご指導いただき、製作を行った。特にバッテリーを電源コードにつなげる部分については、製作・加工で協力していただいた。

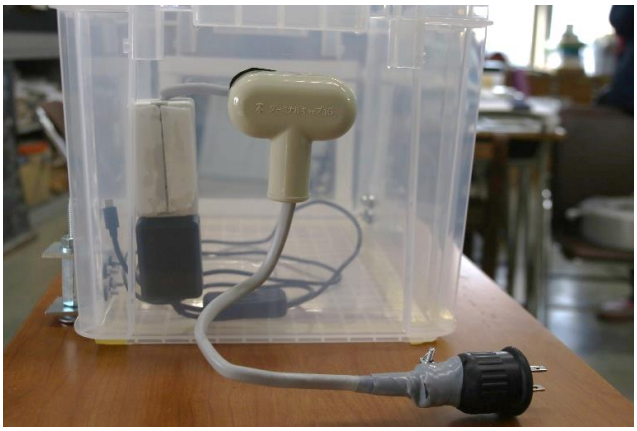


図 22　100V 電源の引き込み線

図 23　屋外敷設線

図 24　漏電ブレーカー

・ポリ容器と板の間に回転機構を設置

ポリ容器の向きを変えられるようにするため、ベアリング回転台を製作し、容器を取り付けた。OB の浪波翔太氏にご指導いただき、製作を行った。

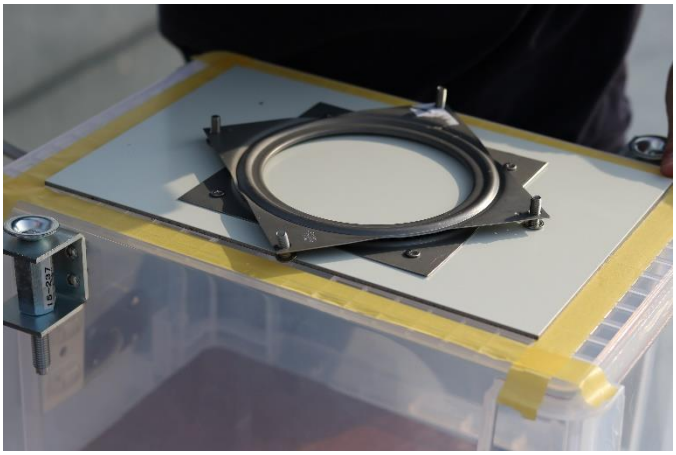


図 25　ベアリング回転台

図 26　観測容器全景

・観測用機材について

容器内に設置した電源を用いてカメラを外部電源に接続した。また・Raspberry Pi を用いて Python によって、カメラの遠隔制御プログラムを構築

図 27　使用カメラ Nikon D3400

4　観測機器を作動させるプログラムの製作

カメラを制御する Raspberry Pi のプログラミングについては、本部 OB の樋口陽光氏にご指導いただき、gPhoto2 というアプリケーションソフトウェアを用いた。撮影に関する制御に加えて、プログラムの制御をオンラインで行う予定であったが、学校に WiFi 環境を設置することが難しいため、まずはスタンドアローンで定時撮影を行えるような形でプログラムを作成した。

その後、試験的に有線接続を用いて、装置の稼働実験を行った。

```
import schedule
import time
from datetime import datetime
import subprocess

iso = str(input("ISO="))
subprocess.call("sudo gphoto2 --set-config iso=" + iso, shell=True)
print("初期のISO感度を" + iso + "に設定しました。")
print("指定した時間にジョブを実行します。")

def job():
    #ここにメインの処理を書く
    img_name = datetime.now().strftime("%Y%m%d-%H%M%S")
    file_path = "/home/pi/Photo/timer/" + img_name + ".jpg"
    subprocess.call("sudo gphoto2 --set-config shutterspeed=1/2000", shell=True)
    subprocess.call("sudo gphoto2 --capture-image-and-download --filename " + file_path, shell=True)
    time.sleep(1)

    img_name = datetime.now().strftime("%Y%m%d-%H%M%S")
    file_path = "/home/pi/Photo/timer/" + img_name + ".jpg"
    subprocess.call("sudo gphoto2 --set-config shutterspeed=1/1000", shell=True)
    subprocess.call("sudo gphoto2 --capture-image-and-download --filename " + file_path, shell=True)
    time.sleep(1)

    img_name = datetime.now().strftime("%Y%m%d-%H%M%S")
    file_path = "/home/pi/Photo/timer/" + img_name + ".jpg"
    subprocess.call("sudo gphoto2 --set-config shutterspeed=1/500", shell=True)
    subprocess.call("sudo gphoto2 --capture-image-and-download --filename " + file_path, shell=True)
    time.sleep(1)

    print(datetime.now().strftime("%Y/%m/%d-%H:%M") + " 実行しました。")

schedule.every().day.at("08:00").do(job)
schedule.every().day.at("15:00").do(job)
#schedule.every().wednesday.at("13:15").do(job)
#schedule.every(30).seconds.do(job)

while True:
    schedule.run_pending()
    time.sleep(1)
```

図 28　定時撮影をするためのプログラム(Python で記述)

5　製作機器による観測

カメラの適正な露出や感度など、撮影設定をあらかじめ決める必要がある。そのために、一回の観測で撮影設定の異なる数枚の写真を撮り、露出が適正である写真を選ぶ作業を繰り返した。視程目標の写り具合は、観測時の天候や、太陽の高度と方向などの条件により、大きく変化するため、目視の状況と比較し、選択する必要がある。

望遠レンズについては、70mm、120mm、150mm、200mm、300mm で撮影し、スカイツリーや新宿方面を撮影するために適切な焦点距離を 150mm に決定した。

図 29　テスト撮影写真

次に、露出時間、絞り値、ISO を決定するために、以下の表のように値を変えながら、撮影した。

	撮影日	露出時間	絞り値	ISO
①	10/10	1/500	5.3	100
②	10/10	1/500	7.1	100
③	10/18	1/500	8	100
④	10/30	1/250	5	200
⑤	10/31	1/500	6.3	200
⑥	10/31	1/200	5	200
⑦	10/31	1/160	5	400

様々な露出で撮影した結果、以下の露出で撮影することに決めた。

1/1000 秒　f/5　150mm　ISO 感度 100

6　目視との比較観測と結果

観測にはいくつかの目標物を指標としている。

そのうちのいくつかの指標を用いて、目視での視程観測と比較することにした。まず、立川高校から 36km 地点にあるスカイツリーの階級分けを行った。自動観測の結果に基づき、次のような階級を独自に決定した。

指標①
2019/9/29

指標②
2019/10/30

指標③
2019/10/10

指標④
2019/10/29

図 30　東京スカイツリー（36 km）の視程

図の①は、観測した期間の中でも特によく見えたもの。②は十分に認識できるもの。③は、拡大してうっすらと見えるもの。④は全く見えないものである。このデータと目視の観測データを比較した結果、①，②，③ともに目視によっても観測できていた。自動観測では写らなかった④は、目視でも観測できていなかった。

今回の観測期間だけでは自動観測で観測できて、目視観測で観測できない状態という階級の設定ができなかったため、今後の観測の中で設定を考えたい。

次に、立川高校から 26km 地点にある新宿ビル群、4km 地点にある府中病院を上のスカイツリーと合わせて階級分けした。

図 31　新宿ビル群（25 ㎞）

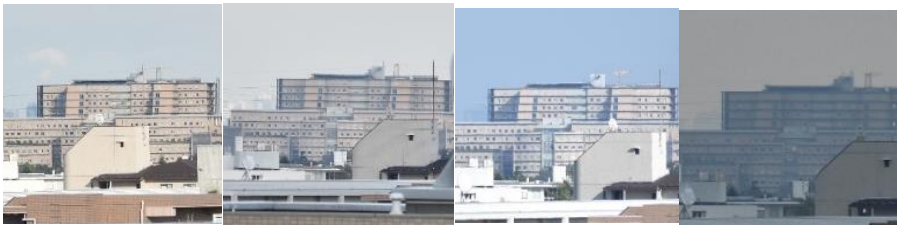


図 32　多摩総合医療センター（4 ㎞）

これらはどの観測日でも目視で十分にみることができたため、データの比較が困難だった。しかし画像は天候等の要因により写り方に違いがあり，更に多くの撮影データを比較する必要がある。対象が目視でみえなくなる時の撮影データを入手することも含め、階級分けを考えるために更に撮影を重ねたい。

6,考察・課題

同時比較観測を行っている日が浅く、データがまだまだ不十分であるため、自動観測では観測できて目視では観測できていないという境目の指標の設定を行うことができていない。そのため、より多くのデータ収集に努め、自動観測装置の実用化を急ぎたい。

また、気象庁の視程階級は遠くであるほど範囲が大きく精度が低くなる。そのため、自動観測で得られる画像データによって、見えた見えない以外にどれぐらいはっきり見えるなどの指標を加えることでより細かいデータが収集できるようにしていきたい。

観測装置については、容器が透明で直射日光を受けているため、アルミ板や、アルミシートを使って遮光する方法を検討している。また夏の暑さを考えると容器に熱がこもらない方法を考える必要がある。更に強風時を考え、固定部を強化することも今後の課題である。

制御プログラムについては、オンラインでプログラムを制御し、観測データをインターネットに送信する方式で行いたいと考えており、本部 OB 樋口陽光氏の指導により Python による作成を進めた。このプログラムは、Slack というチャットツール上でテキストを打ち込むことにより、指定した時間に観測を自動的に行い、画像データを本体に保存するだけでなく、チャット上に撮影した写真を送信することが可能になる（図 33･34）。

この方法により、指定した時間に写真を撮るだけでなく、任意の時間に観測を行うほか、情報をより早く取得することできることが期待される。今後、無線環境を整えるか LAN ケーブルを敷設するか、どちらかの方法により、利用できるようにしていきたいと考えている。

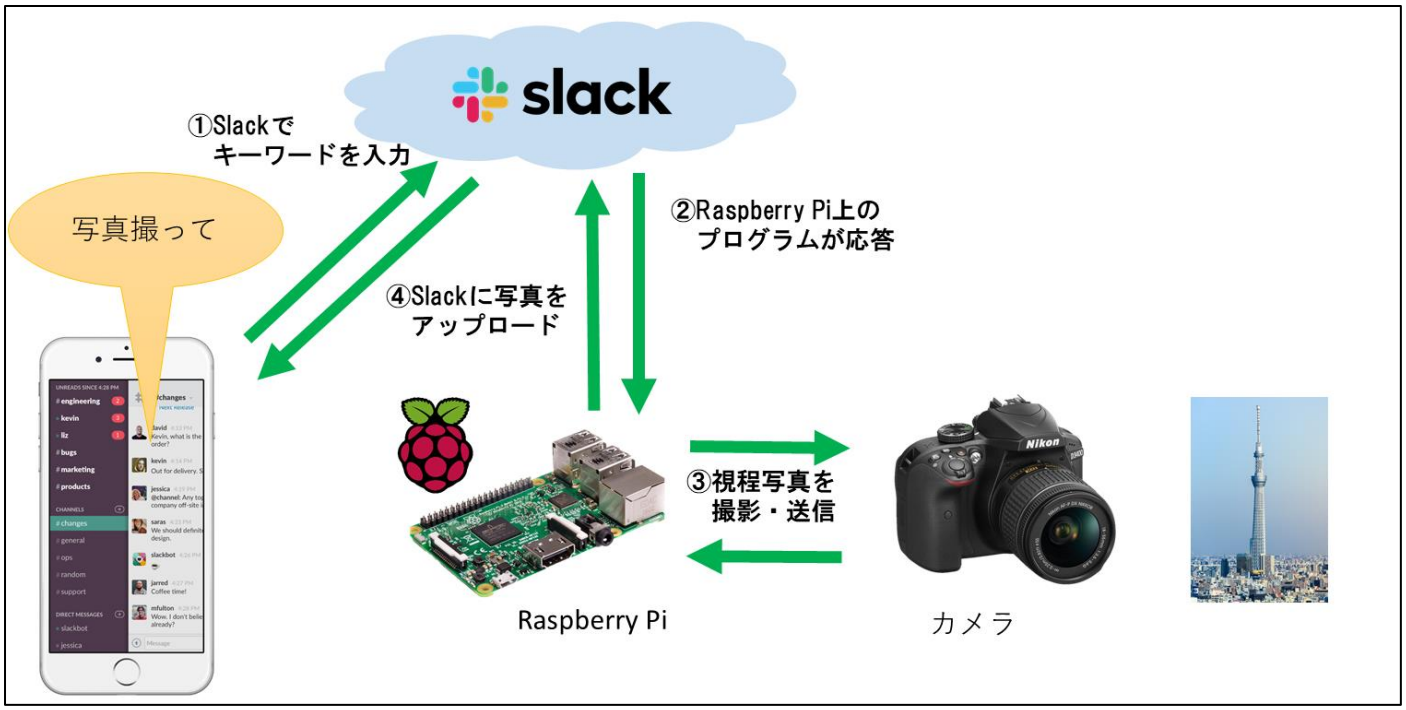
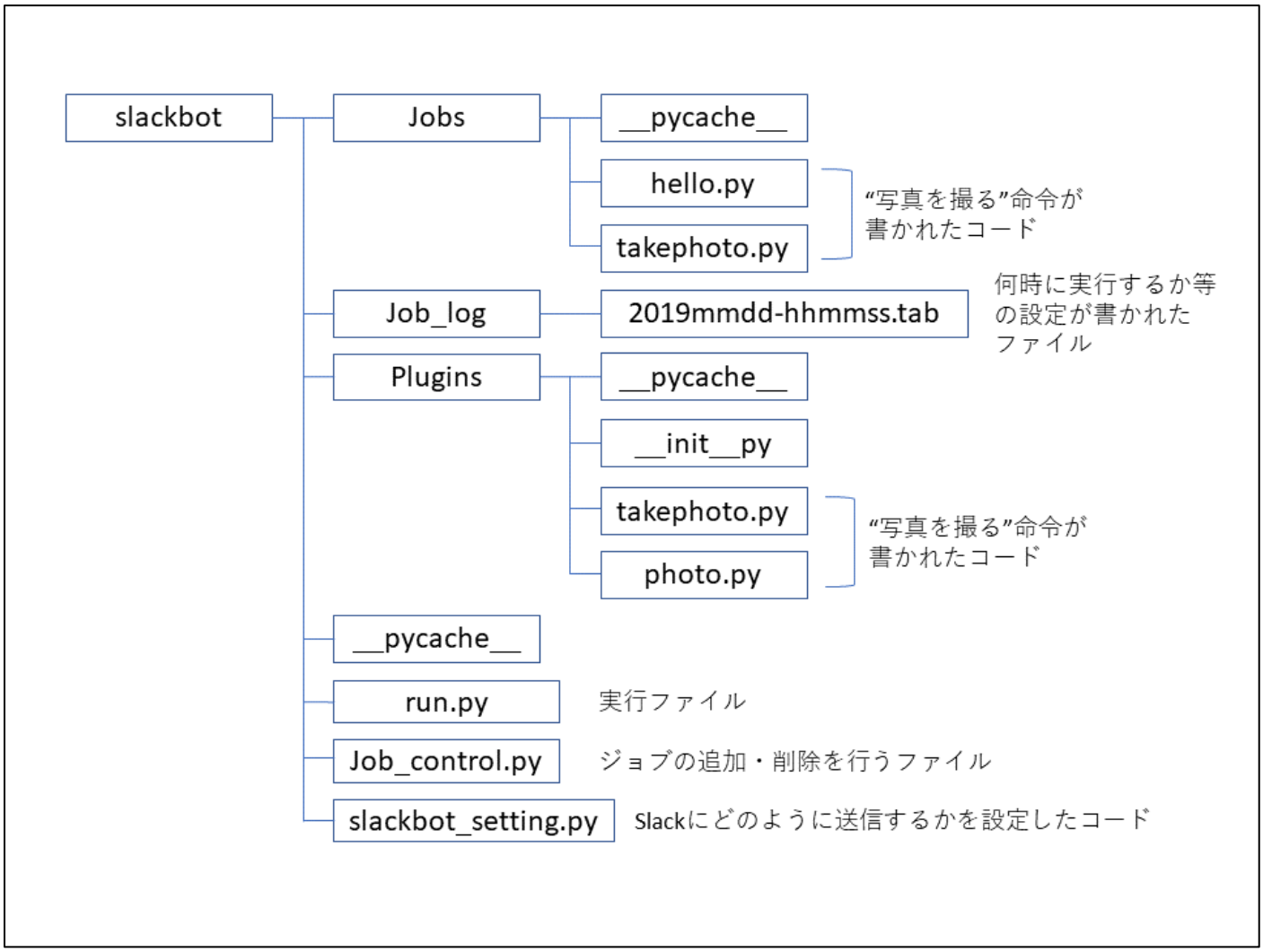


図 33　任意の時間に写真を行うシステムの仕組み



図：34　Slack を用いて自動観測をコントロールできるようにしたプログラムの構成

7,謝辞

本校天文気象部 OB の浪波翔太氏（大学 3 年）には観測装置の作成についてアイデアをいただき、材料の準備や加工の製作過程でご協力いただいた。本部 OB の樋口陽光氏（大学 2 年）には自動制御のためのプログラム作成についてご指導いただいた。また、視程の先行研究については、本校天文気象部 3 年の田口小桃氏にご指導いただいた。ここに厚く感謝申し上げます。

8,参考文献

2019 気象学会　田口小桃『立川高校における 50 年間の視程の変化と戦後の大気汚染について』

Python の slackbot ライブラリで Slack ボットを作る - Qiita
https://qiita.com/sukesuke/items/1ac92251def87357fdf6

一眼レフカメラを RaspberryPi からリモート制御する話 | もやし工房
https://www.moyashi-koubou.com/blog/dslr_camera_raspberrypi/

【Python】schedule ライブラリで定期実行を実装してみよう - HACK SCORE
https://dev-aoyagi.hatenablog.com/entry/20190312/1552325273

観客賞 賞金５万円

海流観測・海底探索システム「魚ローン」

長崎県立宇久高等学校

海流観測・海底探索システム
「魚(ギョ)ローン」

長崎県立宇久高等学校
１年　平　田　愛　夏
上　村　盛　将

１．はじめに

長崎県の西海上、五島列島最北端にある宇久島は、人口は 1,974 人（2019 年 5 月）です（**図 1**）。畜産が盛んで、母牛 1,377 頭、子牛 1,100 頭、合計 2,477 頭、人口より牛の数が多い島です。島の北東部には、無料開放されたゴルフ場があり、そこでは、牛が草を食べていますので、島民や観光客は牛にゴルフボールをぶつけないようにプレーします（**図 2**）。

小中高はそれぞれ一校ずつあり、児童生徒の数は 82 人で、子供の数は年々減り、過疎化が進んでいます。

島の真ん中には標高 258mの城ヶ岳があります。宇久島は、この城ヶ岳の噴火によってできたものです。そして、別名「五島富士」と言われるくらい形がきれいです。また、「城ヶ岳」や「家盛」という名前の芋焼酎もあります。畜産・海産・建設に加えて、観光産業も盛んです。島内には、きれいな海水浴場もあり夏にはたくさんの人が泳ぎに来ます。しかし、島内でも遊泳中に離岸流で流される事故が発生しました。島外でも離岸流によって死亡事故が発生しています。離岸流は水泳のオリンピック選手でも逆らって泳ぐことができないといわれています。毎年夏になると、必ずと言ってよいほど、海難事故の報を耳にします。そのような事故を減らし、多くの人の命を守るために、私たちは離岸流の研究を行いたいと思いました。

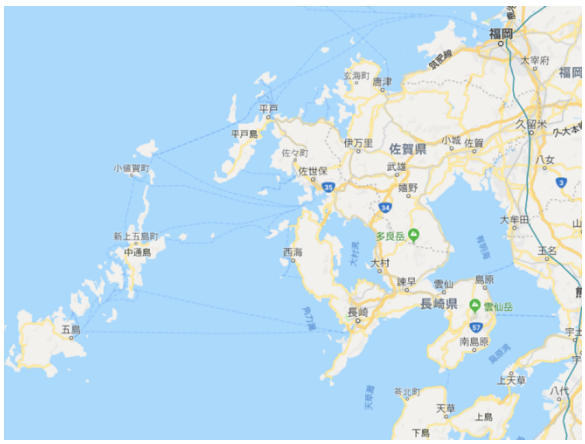


図１．宇久島の位置

図２．宇久島の牛

２．実験方法

本観測機「魚ローン」は、三角柱の形をしており、海中に浮かぶ浮体式観測機です（**図 3**）。

３方にスクリューを備えており、それらの推進力を調整することで４方に水平移動します。観測機の下面に 360 度カメラを配し、海底の様子を撮影することができます。上面にはソーラーパネルがあり、電源としています。

洋上の風の抵抗を受けないよう、観測機の海上に出ている部分を少なくしています。

この観測機は、定点に居続けるようプログラムすることで、位置調整のために動いたスクリューの稼働量から離岸流を検出します。位置情報の検出には、みちびき対応ＧＰＳチップを利用します。

三角柱の中には、マイコン arduino を中心とした観測用機器が収められています。

電源には、バッテリーコントローラを介してソーラーパネルと鉛蓄電池を使用します。

移動用にモーターコントローラを介してモーターおよびスクリューを３組準備しています。

位置測定用にみちびき対応ＧＰＳチップを、データ記録用にＳＤシールドを介してマイクロＳＤカード装備します。複数観測器を結んでの観測アレイを形成するために、LoRa チップも通信用に準備します。さらに、海底の様子を調べるために、観測機底面に 360 度カメラを下向きに配しています。

本観測器は、定点にあることが重要です。これまでの GPS では、横方向誤差が大きく、本器のように、移動量を海流とみなすことはむずかしかったですが、みちびき対応チップを用いることで、より高精度に水平位置を決定することができ、海水流量の検出ができるのではないかと考えます。

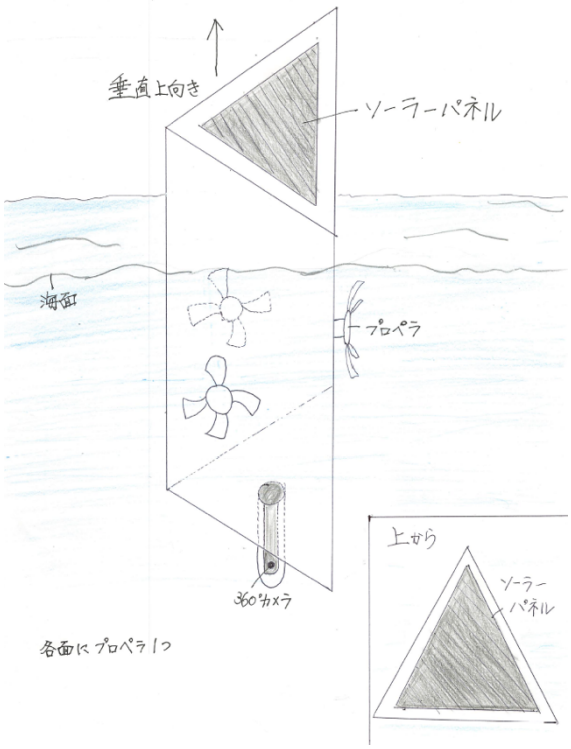


図３．魚ローン計画スケッチ

３．技術モデルの構築

海流の中、定点に観測機をとどめることで、使用した動力の方向と大きさをもとに海流の流向と速さを測定する。このことが可能かどうかを調べるために、観測機を製作する準備として技術モデルの製作に取りかかりました。

技術モデルで実現することとして、以下の目標を定めました。

①GPS チップと９軸加速度センサを利用して観測機の位置および向きを検出する。
②モータ３機を制御することで、平面上を自由に移動させる。
③①および②を１機の arduino で制御する。

３−１．観測機の位置および向きの検出

太陽誘電製ＧＰＳモジュール(みちびき対応)を arduino で制御して緯度経度を得ることを試みました。ノートパソコンに arduino をつなぎ（**図 4**）、GPS モジュールからの出力をシリアルモニタしながら、駐車場で止まったり・歩いたり・野外に PC を放置したりして、測位試験を行いました。

結果は、GPS モジュールに通電した当初はコールドスタートということもあり、なかなか測位が安定しませんでしたが、１時間野外に放置した後、毎秒出力される緯度経度データを見ると、とっても安定しており、ノートパソコンごと観測機をもって移動すると、１m以上の継続した動きはきちんと検出できることがわかりました。

魚ローンでは、この GPS モジュールと９軸センサを用いて、緯度経度および磁北を０度としたヘディングを測定し、位置および向きを検出しました。

３−２．３相モータで２次元内移動を実現

３相のモータを制御することで２次元内を移動させる仕組みを開発することが最も難しかったです。

２次元内の移動キャンセルに、駆動系は３相あればいいのではと考察し、３軸、互いに１２０度回転した位置に、駆動系を３相準備しました。

３相の内訳は、北向き（ヘディング 0）のモータをＡ相、南東向き（ヘディング 120）のモータをＢ相、南西向き（ヘディング 240）のモータをＣ相としました。それぞれのモータ出力を調整して２次元内の移動を行います。

アルディーノのデジタルピンを用いてモータを制御します。出力 100%か 0%のデジタル制御ではなく、中間出力を実現するためにＰWM出力を利用しました。

ただし、今回準備したアルディーノウノでは、ＰWM出力に利用できるピンが足りなかったため、３ピンで３相をＰWMコントロールする工夫を行いました。

Ｘ軸方向、Ｙ軸方向の速さとＡＢＣ各相のモータ速度の関係を以下のようにプログラム上で表現しました（図５）。

図４．測位実験の様子
ノートパソコンと観測機をもって歩き回ります

```
void loop(){
  float vx, vy; //x軸とy軸の速さ
  float va, vb, vc; //A相、B相、C相のモーター速度
  float theta, phi,alpha; //GPS方位角, 自方位、磁北と真北とがなす角
  float dir, vmag; //GPSが出力する方位および速さ

  alpha=deg2rad(7.167);
  phi=atan2(yMag,xMag);
  theta=deg2rad(90-dir);
  vx=vmag*cos(theta+phi+alpha);
  vy=vmag*sin(theta+phi+alpha);

  va=-2.0/3.0*vx;
  vb=1.0/3.0*vx-sqrt(3.0)/3.0*vy;
  vc=1.0/3.0*vx+sqrt(3.0)/3.0*vy;
  pwmA((int)va);
  pwmB((int)vb);
  pwmC((int)vc);
}

void pwmA(int speed){
  if(speed < 0){
    digitalWrite(A1,LOW);
    analogWrite(3,abs(speed));
  } else {
    digitalWrite(A1,HIGH);
    analogWrite(3,speed);
  }
}
void pwmB(int speed){
  if(speed < 0){
    digitalWrite(A2,LOW);
    analogWrite(5,abs(speed));
  } else {
    digitalWrite(A2,HIGH);
    analogWrite(5,speed);
  }
}
void pwmC(int speed){
  if(speed < 0){
    digitalWrite(A3,LOW);
    analogWrite(6,abs(speed));
  } else {
    digitalWrite(A3,HIGH);
    analogWrite(6,speed);
  }
```

図５．プログラム中の３相制御の部分

２次元の移動を３相駆動系で打ち消すため、得られたＧＰＳ移動量から、３相駆動系をそれぞれどのくらい作動させればいいかを計算し、命令を出しています。また、観測機自体も回転するため９軸センサから得られたヘッディングを用いて、３相駆動の方向もローテーションさせました。これらの計算および立式も大変むずかしかったですが、８月のはじめに**図６**のような技術モデルとプログラムが完成しました。

４．観測機の製造

測位系および駆動系ができあがりましたので、いよいよ浮体式観測機の製作に取りかかりました。

まず、三角柱の観測機を製作しようとしましたが、イレクターパイプなどで製作するのが大変むずかしく、また、観測機自体が大きくなってしまうので、別の形状のより小さな観測機を製作することにしました。

小さくすることで、より小さな駆動力で観測機を移動させることができるようになり、より長期間の観測を可能にするのではないかと考察しました。

新たに採用した機体は、円筒形の食品タッパーです。同じシリーズでサイズの違う円筒形タッパーを入れ子のように配置することで、外側に 120 度の回転角をもって動力源を配し、内側には防水加工をして arduino や電源を確保できました。

また、動力については、モータを介してスクリューを回転させて得ることを予定しましたが、空転などの影響を見積もるのが難しかったので、ポンプから水を放出することの反作用で移動させることを計画し、金魚鉢用の小さなポンプを 3 つ準備しました。

これらを組んで観測機を製作しました。**図 7** は観測機の下部にあるポンプとケーブルタイです。**図 8** は arduino などの容器を収納したところです。次ページの**図 9** はモバイルバッテリを乗せた蓋を閉めて完成したところです。

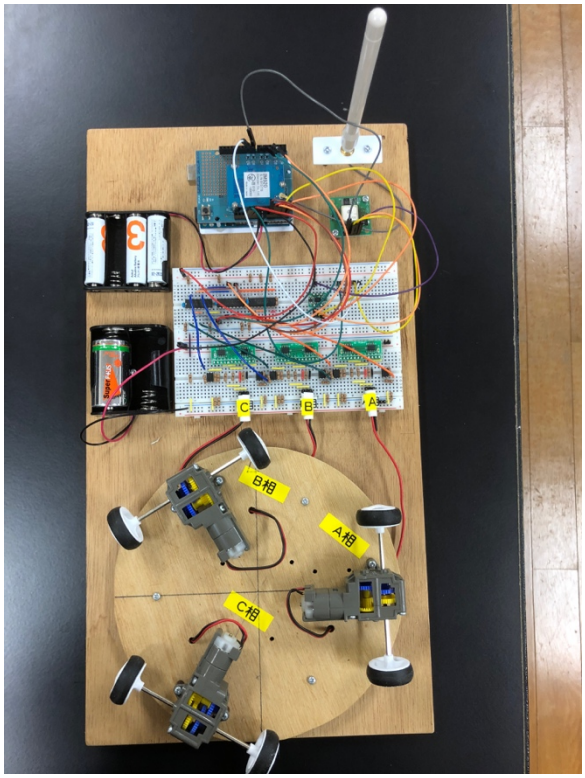


図６．魚ローン技術モデル

図７．観測機魚ローン１

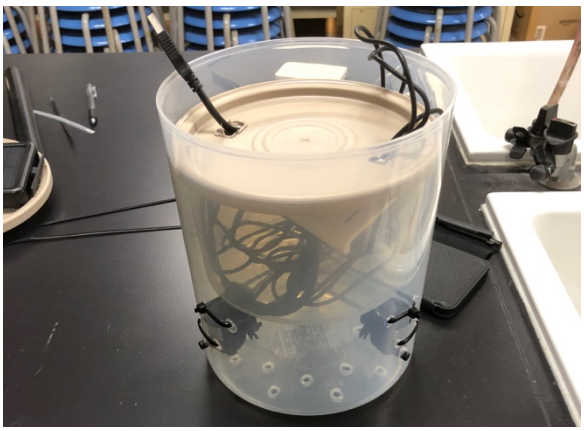


図８．観測機魚ローン２

５．まとめと今後の予定

技術モデルの構築および実機が完成に辿り着きました。

今後は、宇久小学校のプールをお借りして、実機の運動試験を行い、11 月中に大浜海岸で実際に離岸流を捉えたいと思います。

この先、本研究を、観光客が多く来島する宇久島において、離岸流の発生警報を高校生の手で観光協会に伝えることで、来島者および島民を離岸流から守り、また、離岸流への注意を喚起し、人命を守る活動に繋げることができればと考えています。

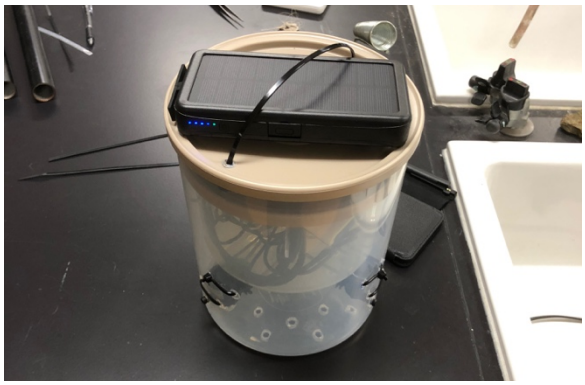


図９．観測機魚ローン３

６．謝辞

本研究は、一般財団法人　気象文化創造センターからの助成を受けて行いました。ここに記して感謝いたします。

観客賞 賞金５万円

流星出現通知システム

中央大学付属中学校・高等学校

流星出現通知システムの開発

―流星発生の予測と
発生情報配信の確立を目指して―

中央大学附属中学校・高等学校　地学研究部
米村優輝・佐藤弘一・村上敦紀・椿恵・鈴木涼太・小池正祥・米原万葉

概要

流星の発生予測と発生情報の配信を行う流星出現通知システムの開発の目的として、流星の自動観測システムを開発した。本実験では、昼夜や天候に左右されない電波による観測の可能性検証を行い、本実験で得られた観測方法が流星自動観測システムに最も適することが証明された。

1. はじめに

人類は古代から流星という現象に着眼し、多くの国や地域に様々な伝承や文化が伝えられてきた。流星とは宇宙空間に存在する小天体が地球の大気圏に突入して発光する現象で、一般に流れ星とも呼ばれる。また、太陽の周りを公転する彗星の軌道に残された大量の星間塵の中を地球が通ると、大量の流星が天の一点から放射状に出現するように観測される流星群と呼ばれる現象が起こる。これは年に数回決まった時期に出現することが知られている。

一般の方々でも流星を容易に観測できる機会を飛躍的に高められるように、この「流星出現通知システム」を発案した。データやコンテンツが利用者の端末に自動的に配信されるプッシュ型情報配信の技術を応用し、スマートフォンなどのモバイル端末で閲覧可能なソーシャルメディアにリアルタイムで配信する「流星出現通知システム」を開発する。また、それに必要な流星の発生データは、電波による観測で収集する。流星は大気圏に突入し、発光する際に周囲の大気を一時的な電離状態にさせる。その時、周囲の大気は瞬間的に電子の濃度が濃い状態になる。電離状態となった大気中の電子が持っている性質によって、大気中で電波が散乱し、流星が反射した電波を専用の受信機とアンテナを用いて観測することができる。この手法は雨天時や日中でも観測が可能であるため、より正確なデータを得ることができる。

本稿ではシステム構築を目途として、流星の電波観測によって収集されたデータと、それをもとに開発した流星自動観測システムについて報告する。

2. 研究資材

流星電波の受信観測装置

・2 素子アンテナ（Comet CA-52HB-52HB）　1 本
・ポール　1 本
・受信機（YAESU FT-450DS　小型 HF ベースステーション）　1 台
・直流安定化電源（CUSTOM　DP-3003S）　1 台
・同軸ケーブル（shengocase 5D-FB 同軸ケーブルセット 20m MP-MP コネクタ）1 本

受信した流星電波の解析システム

・コンピューター（LIFEBOOK A573/G FMVA03008）　1 台
・音声ケーブル（JVC　CN-2033A）　1 本
・Arduino（UnoR3）　1 セット
・ワニロクリップ　4 本
・ジャンパーコード　11 本
・解析用フリーソフトウェア（高速スペクトラムアナライザーWaveSpectra）

3. 観測装置の作成及び設置方法

① 2 素子アンテナを組み立て、同軸ケーブルにつないだ。

② アンテナをポールに固定し、観測場所に設置した（図 1)。
③ アンテナを送信局のある方角（福井県永平寺町方向）へ向けた。
④ 同軸ケーブルの一端を受信機に接続した。
⑤ 受信機の受信周波数を CW（USB）モードで 53.75510 MHz に設定した。

なお、本研究で使用する電波は JH9YYA 福井県立大学アマチュア流星電波観測研究会より福井県永平寺町から 53.755 MHz で送信されたものを使用した。本観測方法では、送信周波数と受信周波数との差を利用して音を発生させる仕組みであるため､受信周波数は送信時のものとずらしてある。

図 1. 中央大学附属高等学校 1 号館屋上に設置されたアンテナ

4. データの解析方法

① 音声データを Arduino に出力した（図 2)。
② 高速フーリエ変換をした。なお、フーリエ変換とは、重なり合った音などの波形を周波数成分に分解することである。
③ 出力された音声データのうち、495 Hz 周辺にあたる部分を抜き出した。
④ 抜き出したデータについてシリアルモニタに出力した。

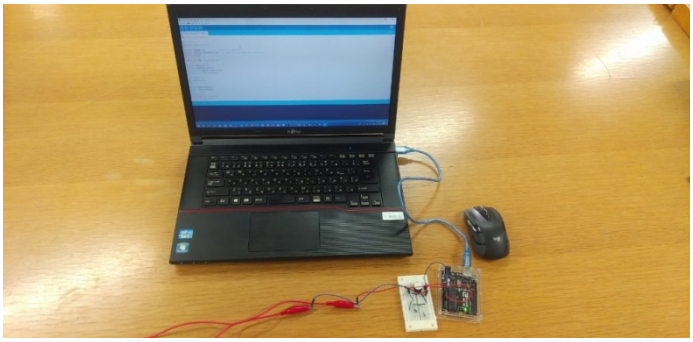


図 2. Arduino を用いて解析する様子

5. 実験Ⅰ　流星電波の受信実験

5-1. 実験目的

本研究では流星の発生データを電波観測によって得る必要がある｡基礎実験として長野県松本市安曇乗鞍高原一の瀬園地と本校が位置する東京都小金井市での流星電波観測の可能

性を検証した。

5-2.　実験方法

長野県松本市安曇乗鞍高原一の瀬園地と中央大学附属高等学校 1 号館屋上にて観測した（図 3）。

① 設置した観測システムの受信機に音声ケーブルの一端を接続した。

② 音声ケーブルのもう一端をコンピューターの入力部に接続した。

③ 受信される音声を解析した。音声解析には「高速スペクトラムアナライザー WaveSpectra」（フリーソフトウェア）を使用した（図 4）。

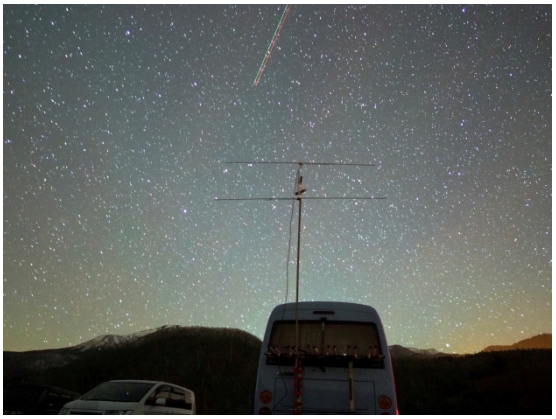


図 3. 乗鞍高原での流星電波観測の様子（2019 年 7 月 30 日）

図 4. 受信機からの信号をパソコンで解析する様子（2019 年 7 月 30 日）

5-3.　結果

長野県松本市安曇乗鞍高原と中央大学附属高等学校 1 号館屋上いずれの場所においても、流星によって反射された電波を受信することができた。

受信した電波の音声を解析し、音声のスペクトルをグラフ化した。通常時と流星受信時を対比させた結果を示す（図 5, 6）。流星受信時に 495 Hz の位置に顕著なピークが確認で

きた（図 6）。

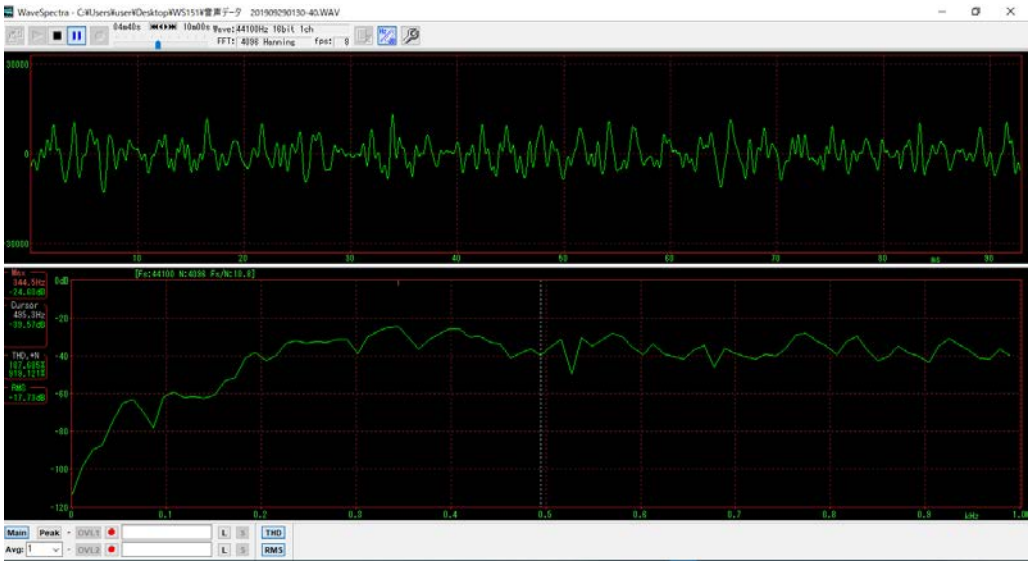


図 5. 通常時の音声スペクトルグラフ

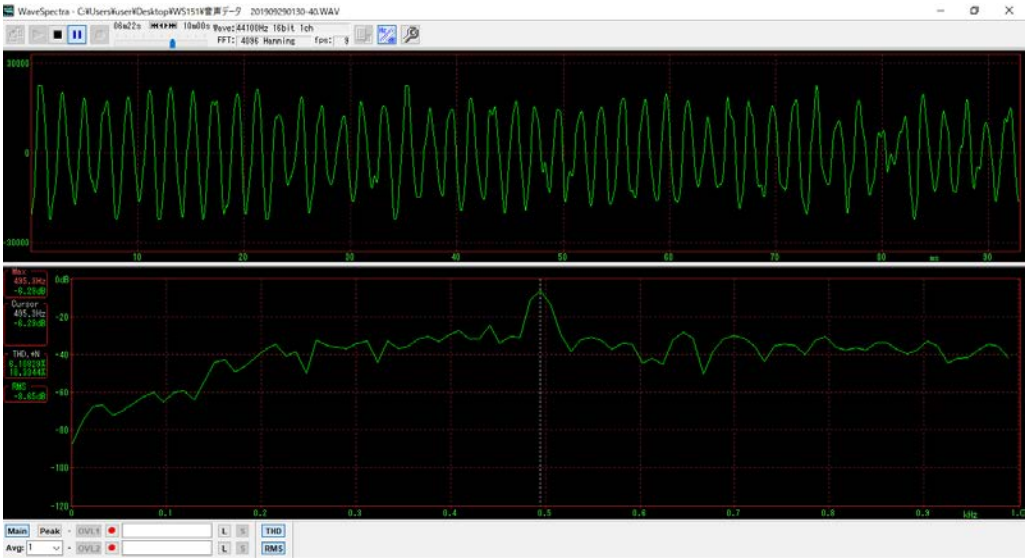


図 6. 流星電波受信時の音声スペクトルグラフ

図 5 および図 6 には 2 種類のデータが表示されている。上部のグラフは音の波形、下部のグラフは音のスペクトル（縦軸：音量（dB）、横軸：音の波長（Hz））を示す。本研究におけるデータ解析に用いたのは下部のグラフである。

5-4. 考察

実験 I の結果から、長野県松本市安曇乗鞍高原と本校における流星の電波観測が可能であることが確認された。

今回の観測装置の設定では流星の音の波長が 495.3 Hz である時に音量のピークであるこ

とが確認された。これは流星の自動観測のシステムにおいて 495 Hz 周辺の波長を検出基準にする必要があることを示すものである。

6. 実験Ⅱ　受信信号の強度測定実験

6-1. 実験目的

自動観測システムを開発する際、流星電波の受信の検出を行う必要がある。実験 I では流星受信時の音量のピークが 495Hz 周辺であることが確認できた。本実験では、495 Hz 周辺の音量を調べ、受信された電波の音声データから流星を判断する基準となる値を調べた。

6-2. 実験方法

2019 年 11 月 10 日、中央大学附属高等学校 1 号館屋上にて行った。

① 屋上に設置した観測システムの受信機に音声ケーブルの一端を接続した。

② 開発した解析装置に音声ケーブルのもう一端を接続した。

③ 495 Hz の音量を解析した。0.24 秒に 1 回の割合でデータを収集し、10 分間計測した。解析には Arduino で作成したプログラムを用いた。プログラムの原理は以下のとおりである（図 7）。

④ 検出された音量を市販の表計算ソフト（Microsoft 社 Excel）を用いてグラフ化した。

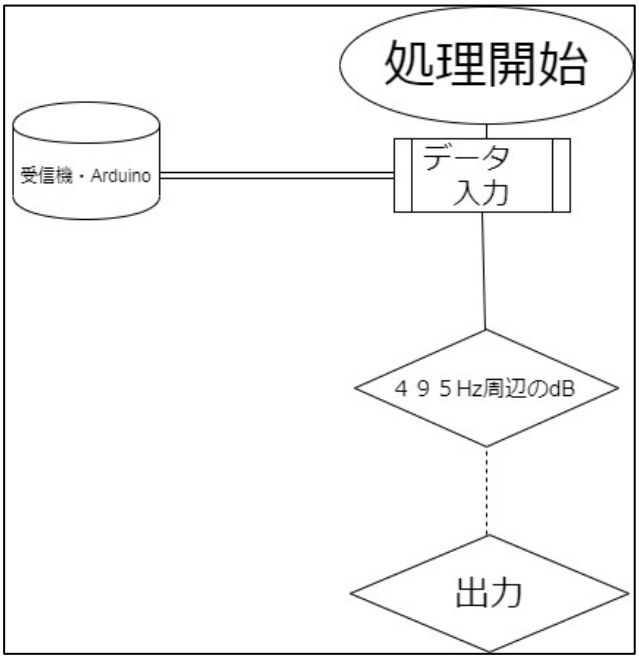


図 7. 音量検出機のフローチャート

6-3. 結果

本実験によって得られたデータを以下に示す（図 8）。計測開始から 30 秒、5 分から 6 分にかけて 4 回、7 分において強い信号を受信し、いずれも音量が増大したことが分かる。

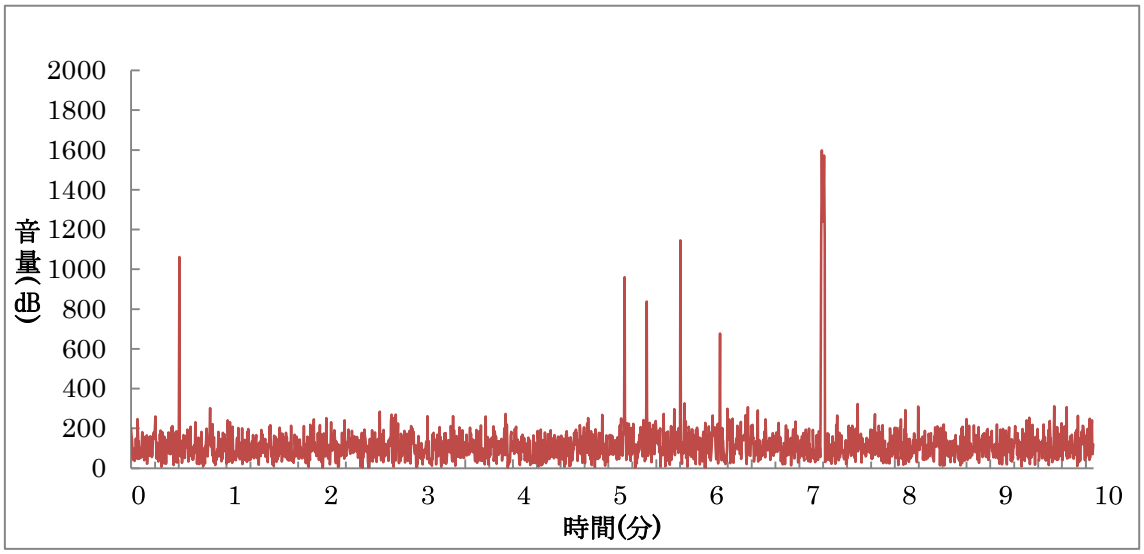


図 8.　495 Hz 周辺 475 Hz~500 Hz の音量変化
（2019 年 11 月 10 日 1 時 50 分～2 時 00 分）

6-4.　考察

本実験で得られた受信時と通常時の音量の平均値は、受信時で 1225.7310dB、通常時で 111.7711 dB であった。流星受信時は通常時の約 11 倍であり、流星受信時に明らかな変動があると確認された。また、流星電波の画像による情報は一般に公開されている。東京都八王子市で取得されたデータ（図 9）と東京都あきる野市で取得されたデータ（図 10）にも同じ時間に流星の信号が来ていることから、この信号は周辺の機器や飛行機などによる電波ノイズではなく、明らかに流星によって反射された電波であることが分かる。これは実験 I で示された 495 Hz の音量のピークが自動観測における流星電波の受信判断基準として適していることを明確に証明するものである。

また、この結果から流星出現の基準となる音量は 500 dB 前後が適していると推測される。基準値以上の値が計測された場合、流星からの電波だと判断できる。

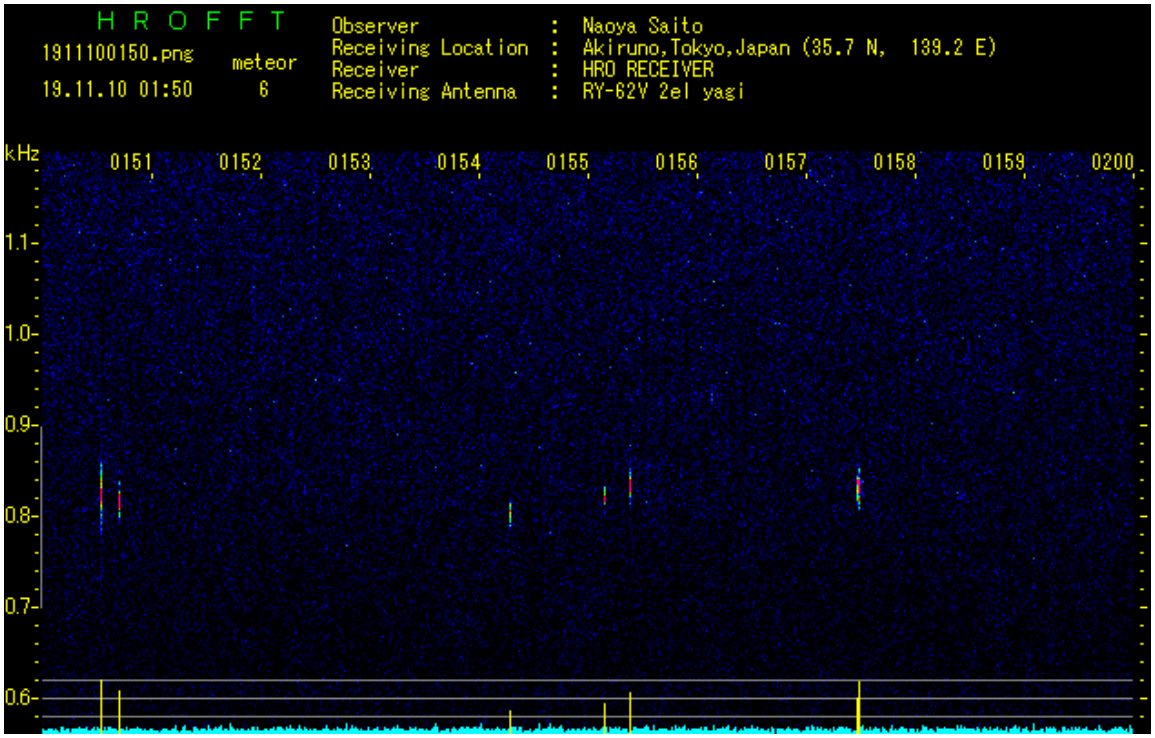


図 9. 東京都八王子市で取得された流星の信号

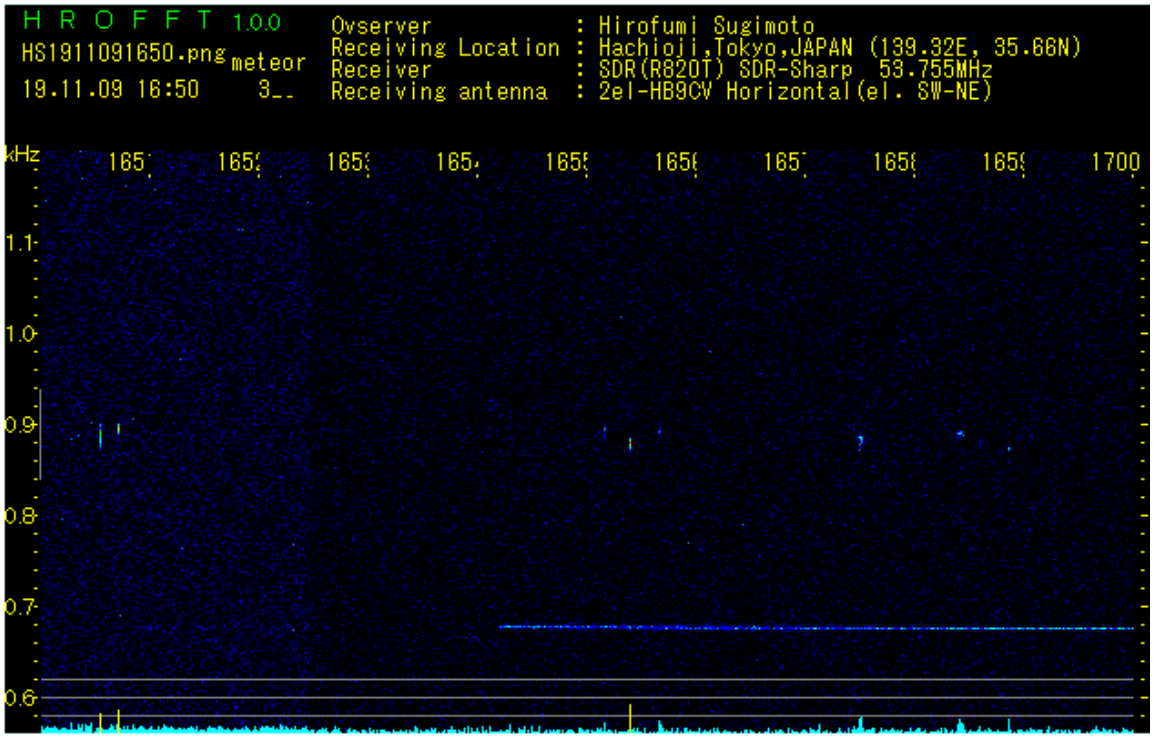


図 10. 東京都あきる野市で取得された流星の信号

図 9 および図 10 のデータは流星の電波信号を画像化したものである。図中の

0.84~0.94kHz、及び 0.7~0.9kHz における縦線が流星の信号を表している。（縦軸：周波数（kHz）、横軸：時間（時、分））

7. 結論

本研究は流星の発生予測と発生情報の配信を行う流星出現通知システムの開発を目標として電波を用いた流星自動観測システムの構築を行った。実験Ⅰの結果からは流星の電波による観測とその音量のピークを確認することができた。実験Ⅱの結果からは流星受信時を判断する基準となる値を 500 dBに定めることができた。これらの実験によって流星自動観測システムを開発するために必要となる情報が整った。

8. 今後の展望

本研究では流星電波観測と自動観測システムの開発に成功した。今後は当初の目的であるプッシュ型情報配信を利用し、スマートフォンなどのモバイル端末で閲覧可能なソーシャルメディアにリアルタイムで配信する「流星出現通知システム」を開発することが課題の一つである。流星出現通知システムを用いることで、一般の方々でも流星を容易に観測できる機会を増やし、宇宙や天文に興味を持ってもらえる。また、大気及び天文現象における研究に貢献していきたい。

謝辞

本研究では、中央大学附属中学校・高等学校の、平野誠先生（司書教諭／顧問）、窪田史先生（英語科教諭／顧問）、田島丈年先生（理科講師／委嘱指導者）、伊藤早織先生（理科講師／委嘱指導者）にご指導を頂くと共に、宇宙航空研究開発機構の、大川拓也先生には貴重な資料をご提供頂いた。ここに深謝の意を表する。また、本研究に協力してくださった地学研究部員に感謝の意を表する。

参考・引用文献

1. 中村卓司 監修／RMG 編集委員会 編著（2002）『CQ ham radio 増刊　流星電波　観測ガイドブック』CQ 出版社
2. 「流星電波観測国際プロジェクト-Radio Meteor Observation」
＜http://www.amro-net.jp/hro_index.htm＞（2019 年 11 月 9 日閲覧）
3. 流星電波観測集計センターHRO（流星電波観測）ライブ-BIGLOBE
＜http://www5f.biglobe.ne.jp/~hro/Live/index.htm＞（2019 年 11 月 9 日閲覧）
4. 国立天文台（NAOJ）「主な流星群」
＜https://www.nao.ac.jp/astro/basic/major-meteor-shower.html＞(2019 年 11 月 8 日閲覧)
5. Martin Beech（2009）『天体観測の教科書　流星観測編 Meteors and Meteorites』誠文堂新光社