最優秀賞

賞金 20 万円

桜島の降灰測定器（降灰君）の開発

鹿児島県立錦江湾高等学校
化学研究部

桜島の降灰測定器（降灰君）の開発

鹿児島県立錦江湾高等学校　化学研究部
１年　神田　直人
２年　荒川　和樹・中村　美希・迫田　ひまわり・森　亮人
連絡責任者　教諭　河野裕一郎：yuichi_chemistry@yahoo.co.jp
【住所】〒891-0133 鹿児島県鹿児島市平川町 4047 番地　Tel099-261-2121

１．動機及び目的

2010 年 4 月 14 日にアイスランド共和国エイヤフィヤトラヨークトル火山が爆発し，30 ヶ国の空港が閉鎖し，1 週間で航空機 10 万便が運休する事態になった[1)]。また，鹿児島の活火山である桜島では，100 年前に起こった大正噴火で噴煙が 8000m まで到達し大きな被害があった[2)]。Fig.1 のように現在も桜島は噴火を続け，平成 25 年度に観測点 62 ヶ所で約 302g/m^2 の降灰量[3)] があった。その観測点の一つである鹿児島気象台では,Fig.2のようにステンレス製のトレーに24時間のうちに積もった灰の質量を測り，それを 1m^2 当たりに換算し積もったものを降灰量としている。この方法では降灰量を測るには良い方法かもしれないが，空気中に浮遊している桜島の灰を測ることはできず，また，雨天時は火山灰を乾燥させてから質量を測るという原始的な方法である。そして，浮遊している火山灰量についての先行論文は少なく，実用化に至っていない[4)]。また，降灰君によって測定した火山灰の浮遊量を調べることにより，ヒトが吸う火山灰量についても考察する。

本研究は空気中に浮遊している桜島の灰をフィルター付きの吸引ポンプで集め，そのフィルターを自作の簡易反射型吸光度計で,降灰量測定機器（以降：降灰君）を目的とした。

Fig.1 錦江湾高校から見た桜島の噴火

Fig.2 降灰量の装置とステンレス製のトレー(鹿児島気象台)

２．測定原理および降灰君の作製

２－１　測定原理

測定原理には、ランベルト･ベールの法則を用いた。実験装置の模式図を Fig.3 に示した。外部の光を遮断するために暗所ですべての実験は行った。

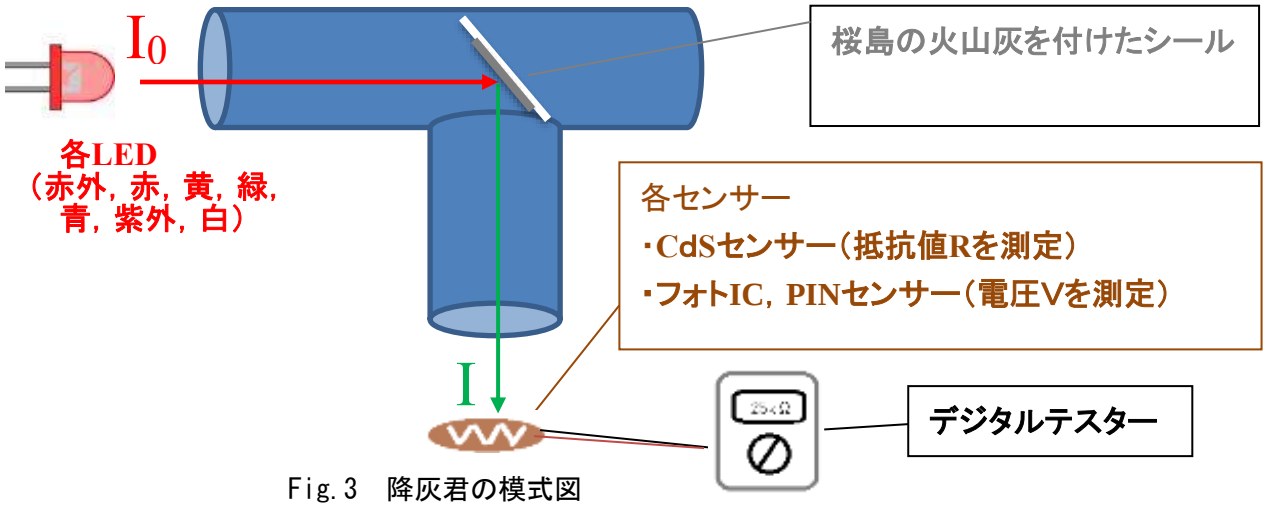


Fig.3　降灰君の模式図

光の強さI_0，Iとすると，

$I = Io \times 10^{-\varepsilon c l}$ ・・・・・・・・・・・・① ここでε：ﾓﾙ吸光係数、c:灰の質量、l：ｾﾙの長さ

CdSの抵抗値Rは、光の強さIのときにR、I_0のときにR_0とすると

$R = R_0 I^{-\gamma}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・② ただし、γ：CdSの係数（1～0.5）

②式より両辺対数を取り、整理すると

$\log R = \log R_0^{-\gamma}(\log I_0 - \varepsilon cx)$

さらに整理して logR=A+Bc←一次関数

以上より、CdSの抵抗値Rの対数は灰の質量ｃに比例する。logR∝ｃ と言う事がわかる。

２－２ 降灰君の作製

参考文献[5,6]をもとに，加工がしやすく，製品の寸法など正確な水道管φ30mmPVC製およびジョイント管で本体を作った。フィルムケースに光源 5mmLED（赤外，赤，黄，緑，青，紫外，白），入手可能な光センサー（硫化カドミウム（CdS）センサー，フォトICセンサー，PINセンサー）を試してみた。センサーからの各信号は，デジタルテスターMetex M-3860Mで測定した。Fig.4に示す降灰君の1号機は，安定性や検量線の直線性が悪かった。2号機では，センサーのはんだ付けを行い，センサーとLED部分にスリットを付け，調節したが良い結果が得られなかった。そこでFig.5にある3号機では光源部分とセンサー部分から光が入るため，キャップを付けたところ，安定性や検量線の直線性でよい結果が得られた。また，用いた電子部品は秋月電子より購入し，その型番・LEDについては最大波長，センサーについては最大感度波長をTable.1にまとめた。

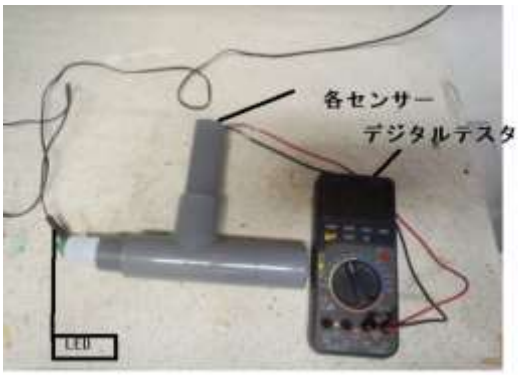


Fig.4 降灰君（1号機）

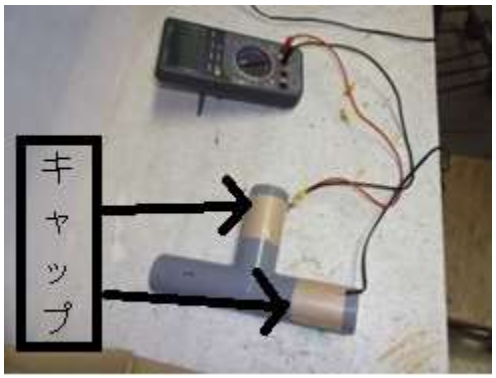


Fig.5 降灰君(3号機)

電子部品		製造会社	型番	最大波長λmax
5mmLED	赤外LED	OptoSupply	OSI3CA5111A	850nm(I_f=50mA)
	赤LED		OSHR5161A-QR	625nm(I_f=20mA)
	黄LED		OSYL5111A-TU	590nm(I_f=20mA)
	緑LED		OSPG5111A-34	525nm(I_f=20mA)
	青LED		OSUB5111A-ST	470nm(I_f=20mA)
	紫外LED		OSV5YL5111A	405nm(I_f=20mA)
	白LED		Ospw5111A-Z3	混合色
センサー	CdSセンサー	Macron International Group Ltd.	MI527	最大感度波長:540nm
	フォトICセンサー	浜松ホトニクス株式会社	S9648-100	最大感度波長:560nm
	PINセンサー		S2506-02	最大感度波長:960nm

Table.1 用いた各電子部品（秋月電子より購入）[7]

３．結果と考察

３－１　レーザープリンターを用いた降灰君の検証

方法

ワードを用いて，RGB が(75. 75. 75)から(255. 255. 255)の 9 種類の白黒の濃淡の異なる紙をレーザープリンターCanon LBP8610 で印刷し，反射型吸光度計の各 LED の色，各センサーを変え実験した。

結果

RGB 値に対し，各センサで測定した抵抗値の対数 logR をプロットした。Fig. 6 はそのうち最も直線性が良かった CdS の場合を示す。結果として CdS センサーを使ったグラフの直線性が良く，青色 LED との組み合わせが最も直線性が良かった（R^2＝0. 99）。

考察

レーザープリンターのトナー（スチレン－アクリル製エステル共重合体 45-45%に酸化鉄 Fe_3O_4 40-50%や固形パラフィンや非晶質シリカを添加したもの [8]）と火山灰は異なるが，LED と CdS センサーの有効性を確かめることができた。

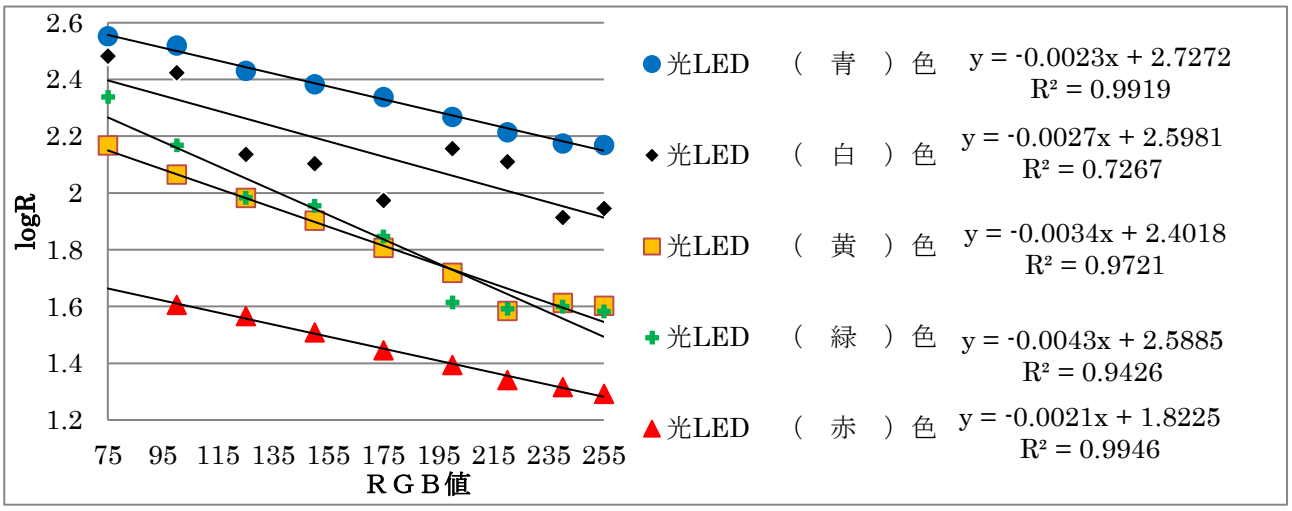


Fig. 6 各 LED における RGB 値と CdS の抵抗値の対数

３－２　降灰君を用いた火山灰量の測定

方法

火山灰の粒子径と CdS センサーの感度の関係を調べるために，ふるいにかけた火山灰をシールに付け，電子天秤 Shimadzu LIBROR AEL-200 で質量を測定し，降灰君の CdS センサーで抵抗値を測定する。その後，シールから火山灰を少しずつ取り除き，それを 7 回程度繰り返した。その結果を横軸に火山灰の質量（g），縦軸に抵抗値の対数 logR をプロットした。その一例を Fig. 7 に記した。

結果

各 LED における火山灰の質量と CdS センサーの抵抗値の対数の一次関数から求めた直線性を示す R^2の値を Table. 2 にまとめた。粒子径が最も大きい 125～250μm の火山灰では，赤色 LED（最大波長λmax=625nm）を用いた時が直線性が良く（R^2=0. 99），LED のλmax が短くなるにつれ，直線性が悪くなった。粒子径が最も小さい 63μm 以下の火山灰では，青色 LED の直線性が最もよかった(R^2=0. 71)。また，ふるいをかけなかった火山灰では白色 LED が最も直線性が良かった（R^2=0. 99）

考察

Table. 2 から火山灰の粒子が大きいほど長波長の光を散乱し，粒子が小さいほど短波長の光を散乱すると考えられる。。様々な粒子径の火山灰では様々な波長でピークをもつ白色 LED が有効という事

がわかった。よって，火山灰の質量測定には，白色 LED と CdS センサーの組み合わせを用いることにした。また，赤外 LED と紫外 LED に関しては，CdS センサーは硫化カドミウムを使用した光センサーで、光の強さに応じて電気抵抗が低下する抵抗器で人の目の特性に近い特性（緑色の光に対して高感度）を持っており[9]，赤外 LED（λmax=850nm）と紫外 LED（405nm）付近に対しては，感度が悪いため，良い結果が得られなかったと考えられる。

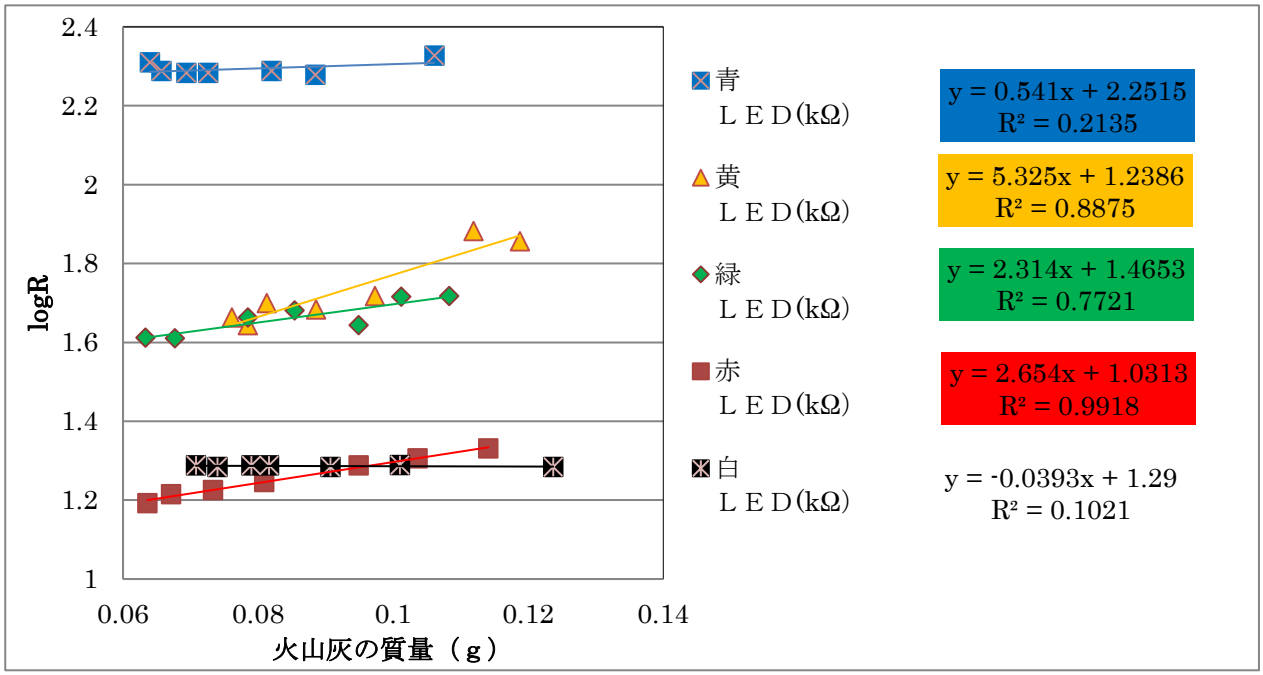


Fig.7　各 LED における火山灰(125～250μm)の質量と CdS の抵抗値の対数

光源（LED）		赤外	赤	黄	緑	青	紫外	白
LED の最大波長 λmax（カタログ値[7]）		850nm	625nm	590nm	520nm	470nm	405nm	混合色
火山灰の粒子径	125～250μm	0.21	0.99	0.89	0.77	0.21	0.95	0.10
	63～125μm	0.89	0.68	0.11	0.16	0.96	0.36	0.65
	～63μm	0.20	0.31	0.15	0.45	0.71	0.08	0.60
	ふるいせず	0.92	0.81	0.59	0.36	0.78	0.42	0.99

Table.2　R^2のまとめ

３－３　火山灰中の鉱物の観察と同定

方法

火山灰の鉱物成分の観察と同定をするために，参考文献[10]をもとに蒸発皿に入れ濁りが無くなるまで押し洗いした火山灰を超音波洗浄器 CS-55（ヴェルヴォクリア社製）にかけ，その後乾かし，実体顕微鏡 STZ-40TBITaN(shimadzu 社製)で観察した。その鉱物の写真及び組成について以下の Table.3 にまとめた。

結果

粒子径が大きくなるにつれて無色鉱石（石英と長石の和）の割合が大きくなっている。逆に大きさが小さくなるにつれて有色鉱石（輝石と磁鉄鉱と火山灰ガラス）の割合が大きくなっている。

考察

一般に，石英が含まれると低波長で反射率が高いと言われている[11]。３－２の考察で述べたとおり，

粒子径が小さくなることにより低波長の光を反射した。さらに石英の含有量が大きくなるによる反射率の増大によって，63μｍでは光源が青色 LED の方が直線性が良いという結果になったと考えられる。

粒子径			125～250μｍ	63～125μｍ	～63μｍ	ふるいせず
実体顕微鏡の写真						
組成（%）	無色鉱物	石英	21.6	38.6	39.2	33.3
		長石	3.6	0.3	0	0
		計	25.2	38.9	39.2	33.3
	有色鉱物	輝石	26.4	30.4	25.0	38.1
		磁鉄鉱	47.5	29.6	35.7	28.5
		火山ガラス	0.9	1	0.1	0.1
		計	74.8	61.0	60.8	66.7

Table.3　火山灰の写真と組成（%）

３－４　降灰君の再現性及び検証

３－４－１　降灰君の再現性

方法

上記の３－２で良い結果が得られた白色 LED と火山灰の粒子径ふるいせず（R^2=0.99）について実験を８回繰り返した。

結果

エクセル 2007 を用いて検量線の傾き及び R^2 の AVE:平均値，SD:標準偏差，CV:変動係数の結果を Table.4 にまとめた。

考察

傾きに関しては CV の値がやや高いが，再現性で注目するべき R^2 値については CV 値が低いため，降灰君の再現性が実証された。

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	平均 AVE	標準偏差 SD	変動係数 CV(%)
傾き	4.16	4.53	4.01	5.30	4.66	6.34	4.99	6.53	5.06	0.881	17.4
R^2	0.97	0.93	0.86	0.99	0.92	0.99	0.97	0.98	0.95	0.043	4.5

Table.4　降灰君の再現性

３－４－２　降灰君の検証

方法

火山灰を付けたシールを Canon MP710 のスキャナー機能で 300dpi・カラー・TIFF 方式で読み込み，ImageJ（アメリカ国立衛生研究所 NIH で開発されたオープンソースでパブリックドメインの画像処理ソフトウェア）の Edit/Invert コマンドを使い色を反転したのち，Analyze/Set Mesurements コマンドを使い，明度Ｖを求めた。

結果

ImageJ では明度Ｖは Ｖ＝（Ｒ＋Ｇ＋Ｂ）／３として計算している [12]。横軸にシールに付けた火山灰の質量，縦軸に明度Ｖ及び白色 LED における CdS センサーの抵抗値(kΩ)をとったグラフを Fig.8 に記した。また，横軸に白色 LED における CdS センサーの抵抗値(kΩ)，縦軸に明度Ｖをとったグラフを Fig.9 に記した。

考察

Fig.8 に関して，抵抗値 R 及び明度 V の両方とも直線性が良かった。Fig.9 の抵抗値 R と明度 V を比較した結果，直線性もよく，正の相関性が見られ，簡易反射型吸光度計である降灰君がフィルターで集めた火山灰の空気中の質量測定に有効と考えられる。

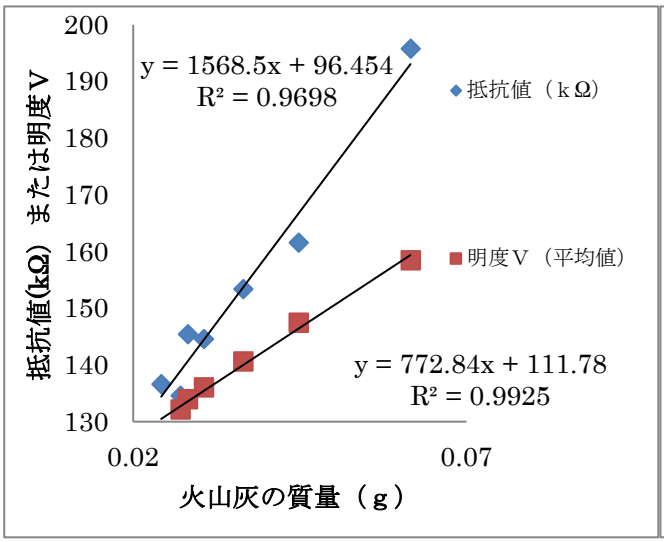


Fig.8 火山灰の質量（ｇ）と抵抗値(kΩ）または明度Ｖ

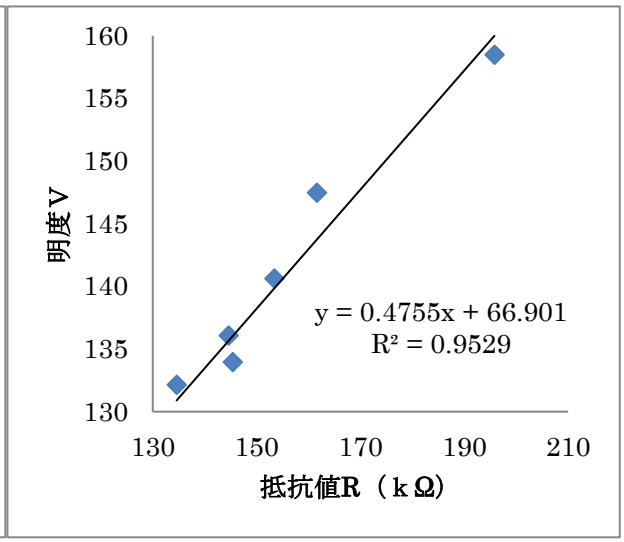


Fig.9 抵抗値 R(kΩ）と明度Ｖ

３－４－３　回折格子による検証

方法

Fig.10 のようにデジタルカメラ Canon IXY80 と格子定数 1.0×10^{-6}mの回折格子フィルムを取り付けた降灰君を木の板に固定し，スリットを加えて実験を行った。しかし，5mm 白色 LED では，2 ルーメンと光の強さが弱く，反射光を回折格子フィルムで分光することができなかったため，定電流方式の LED ドライバ(OptoSupply 社製　OSMRQ16-W1213)を接続した 200 ルーメンの 3W パワー白色 LED(OptoSupply 社製 OSW4XME3C1S)を用いた。当初パワーLED が発熱し，ポリ塩化ビニル製の降灰君の一部が溶けた。そのため，一円玉を 4 枚重ねた放熱板を作製しパワーLED の下に設置した結果，無事に測定できた。デジカメは，マニュアルモード（ISO400，フラッシュ禁止，マクロ，露出補正なし，620 万画素）で設定し撮影した。その撮影した画像を Fig.11 に示した。JPEG 方式で得られた画像は，ImageJ の Analyze/Plot Profile コマンドで数値化し，エクセルファイルとして処理をした結果を Fig.12 にまとめた。また，赤色レーザー(650nm)，緑色レーザー（532nm）で２点校正した。火山灰を取り付けていないシールをベースラインとして，用いた。

結果

Fig.11 にあるように，各粒子径で 450nm 付近にピークを持つ，似たような波形のグラフになった。

考察

青色 LED の最大波長である 470nm 付近では粒子径 63μm の火山灰の明度 V が高く，それに比べ粒子径 250nm では低い値になった。粒子径 63μm は波長が低い青色の光を反射すると考えれ，「３－

２の降灰君を用いた火山灰量の測定」の結果を支持することになった。

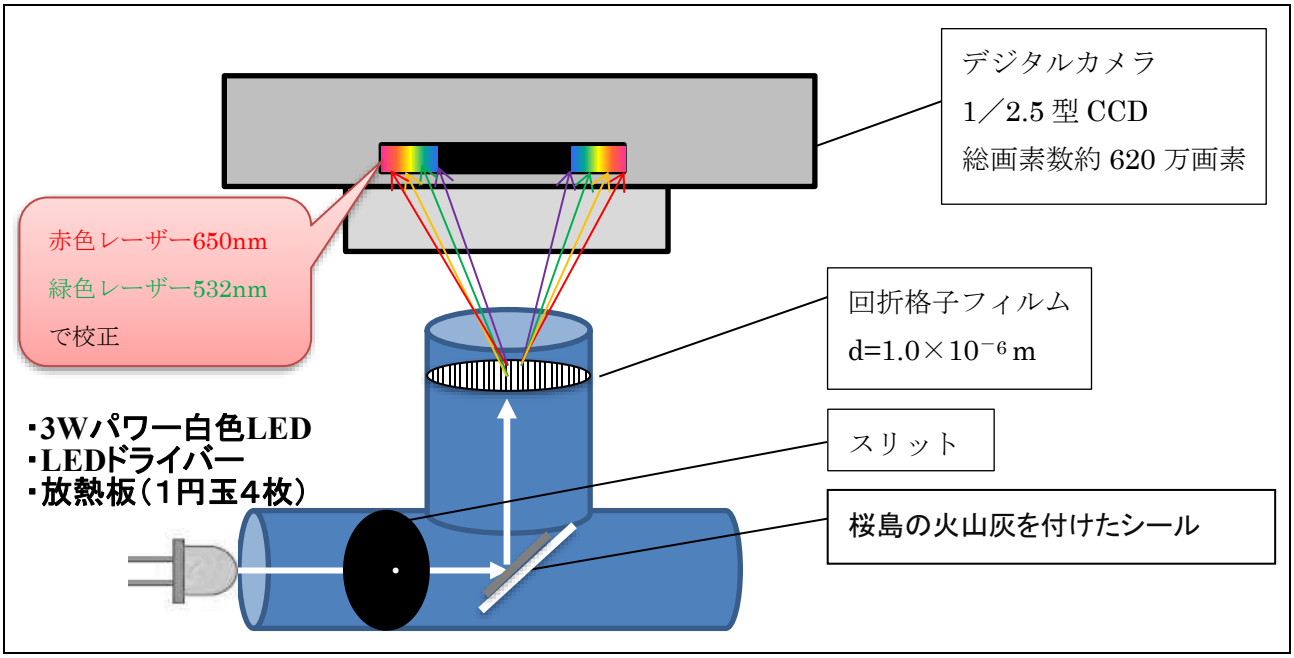


Fig. 10　回折格子フィルムによる自作分光装置図

Fig. 11　反射光の分光画像

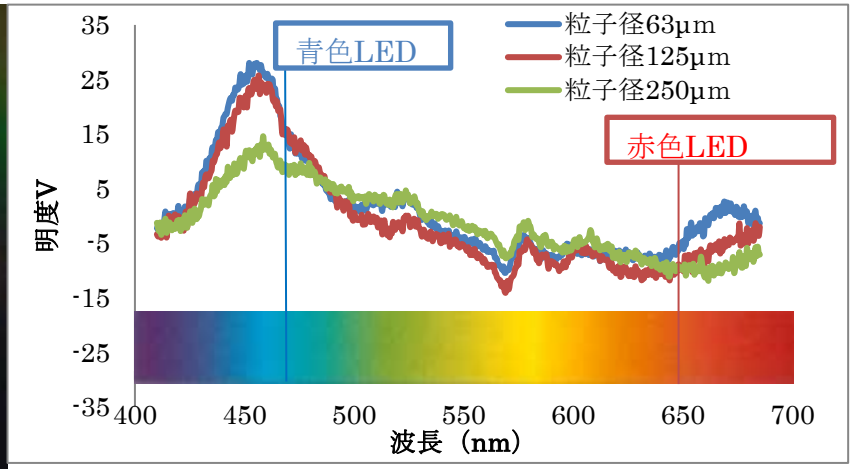


Fig. 12　火山灰の反射光のスペクトル

３－５　降灰量の測定

<u>方法</u>

吸引ポンプは水槽用のエアポンプ イーエアー2000SB（ジェックス株式会社製）を用いた。吸引ポンプは１分間に 1.5L の空気を吸引し，安価で長時間の吸引使用に耐えれるので都合が良いと考え，Fig. 13 のようにプラスチックケースの中に密閉して，排気用のポンプを改良して吸引用ポンプとして用いた。

今回の研究では，降灰君の精度を確かめるために鹿児島気象台に吸引ポンプの設置を訪問時に依頼した。しかし，鹿児島気象台は，自衛隊鹿児島地方協力本部や第十管海上保安本部などの鹿児島県庁の第 2 地方合同庁舎であり，他の測定機器に影響を与える可能性があるため，吸引ポンプの設置ができなかった。そこで気象台が用いているステンレス製のトレーとほぼ同等品である赤川器物製作所製のステンレス浅型角バット 640x420x75㎜（以降：降灰皿）を購入し，錦江湾高校の中庭で降灰量を測定し，降灰君での測定と比較を行った。その様子を Fig. 14 に示す。また，白色 LED と CdS センサーの組み合わせによる降灰君３号機によって得られた検量線により降灰量を測定した。

結果

10 月 1 日～10 月 7 日まで降灰皿及び降灰君の降灰量を測定した結果を Fig. 15 に示す。降灰皿および降灰君の降灰量の関係を Fig. 16 に示す。

考察

Fig. 15 及び Fig. 16 にあるように，降灰皿と降灰君は正の相関性がある。降灰君が降灰量を正確に測れることが実験的に証明された。単位面積当たりの火山灰の質量を計算すると，降灰君で 34.8g/m^2，降灰皿で 28.8g/m^2 であった。

ヒトの呼吸量は 10L／分（体重 50kg の平均）と言われている[13]ので，降灰君（1.5L／分）から換算すると，錦江湾高校の野外では，１週間に約 0.033ｇの火山灰を吸引していることになる。よって，野外での労働時間８時間だとすると，１週間に約 0.011ｇ，１年だと 2.84ｇの火山灰を吸引していることになる。比較的降灰量が少ない錦江湾高校の中庭で，これだけの火山灰を吸引していることを考えると，鹿児島県民の健康被害についての更なる研究が望まれる。

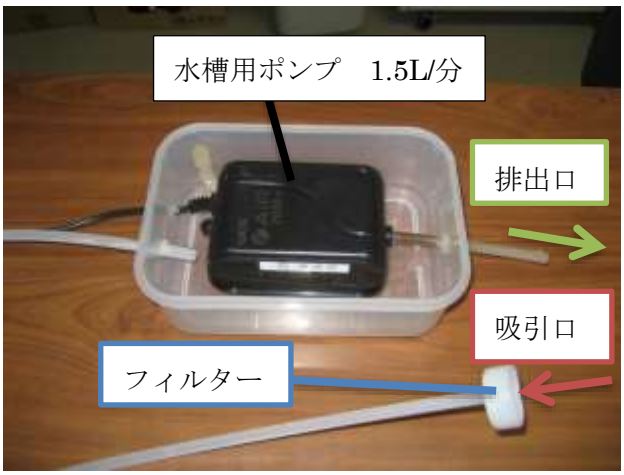


Fig. 13　自作吸引ポンプ

Fig. 14　降灰量測定の様子

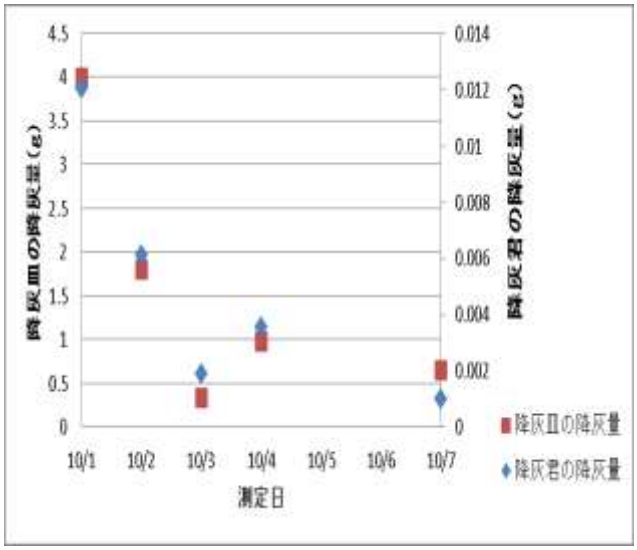


Fig. 15　降灰皿および降灰君の降灰量測定

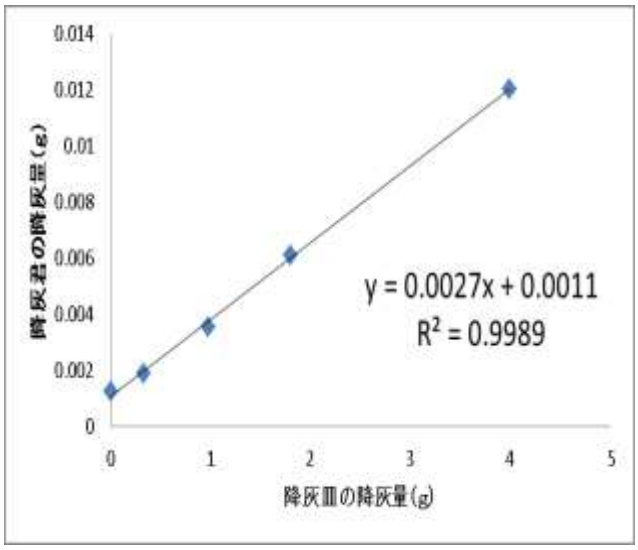


Fig. 16　降灰皿および降灰君の降灰量の関係

４．まとめ

降灰君で LED の色を変えて実験したところ，火山灰粒子が小さいほど短波長の光を散乱すると分かった。また，火山灰粒子が小さいほど，反射率が高い石英が多く含まれている事も短波長の光を散乱の一因になったと考えられる。降灰君はデータの再現性も良く，スキャナーと ImageJ によって求めた明度 V

と正の相関性が見られた。反射光を分光させたスペクトルにおいても，火山灰粒子が小さいほど短波長の光を反射することが分かった。そして，様々な粒子径の火山灰では様々な波長でピークをもつ白色 LED が有効だと分かった。

吸引装置を用いた降灰君で，桜島の降灰量をほぼ正確に測ることができた。鹿児島県民は比較的降灰量が少ない錦江湾高校の中庭でも，１年間に 2.84ｇの火山灰を吸引していることが分かった。

また，降灰君は降灰皿と比べて，観測スペースを必要としない。また，降灰皿では雨天時には，火山灰を乾燥させてから質量を測らないといけないが，降灰君の場合には乾燥の手間が少ない。鹿児島県内に簡単に観測点を増やすことができると考えている。

５．今後の研究について

①今回，計画書にあった二酸化硫黄の測定が上手くいかなかったため，現在二酸化硫黄の測定機器を開発中である。

②連続的なリアルタイム化を実現するために，ほこりセンサー（SHAPE 社製）を用いた降灰君を開発中である。

①・②については，開発中で測定結果がそろい次第，追って報告を行う。

６．参考文献

1. 安田成夫　「アイスランドにおける火山噴火と航空関係の大混乱」京都大学防災研究所年報 第 54 号
2. 桜島大正大噴火 100 周年事業実行員会「鹿児島の火山」　防災ガイド BOOK
3. 鹿児島県危機管理局危機管理防災課のホームページ
   https://www.pref.kagoshima.jp/aj01/bosai/sonae/sakurajima/documents/74_20140116132847-1.pdf
4. 安田成夫　「X バンド MP レーダーによる浮遊火山灰計測の試み」京都大学防災研究所年報 第 55 号Ｂ
5. 杉本良一・紺野昇　環境教育と情報活用　大学教育出版
6. 左巻健男・市川智史　環境調査マニュアル　東京書籍
7. 秋月電子　各製品データシート
8. キャノン　製品安全データシート（MSDS 番号：TC1334-0101）
9. MI5Series CdS Photoresistor Manual　Macron International Group Ltd
10. 鹿児島県総合教育センター「火山と火山噴出に関する指導の工夫」理科第 270 号　平成 20 年 10 月
11. 日本板硝子テクノリサーチ株式会社のホームページ
    http://www.nsg-ntr.com/tech/e01.html
12. ImageJ の解説ホームページ　「Drop of wisdom」
    http://www.hm6.aitai.ne.jp/~maxcat/imageJ/menus/analyze.html
13. ダイキン工業株式会社のホームページ　「空気の学校」
    http://www.daikin.co.jp/naze/html/d_1.html

謝辞

鹿児島大学理工学研究科　神長暁子助教　及び　錦江湾高等学校　樋之口仁教諭には，器具の借用とご指導いただきありがとうございました。鹿児島気象台につきましては，見学ありがとうございました

優秀賞

賞金 10 万円

Cloud Examine

香川高専高等学校

Cloud Examine

1 動機と目的

新谷　悠真　　前川　雄壱

1-1 動機

僕たちが、普段生活している地上の気温をはじめとする気象データは簡単に測ることができますが、空の気象は簡単には測ることができません。そこに注目して空の気象を測ることにしました。

1-2 目的

バルーンを使って空中の温度・湿度・気圧・照度・紫外線を測定し、それぞれが高度が変わるとどのように変化するのかも測定することを目的としさらに映像も撮ることにしました。

2 機器の概要

2-1 使用する機器

・Weather duino

この機器で温度、湿度、気圧、照度をこの 1 台で測定することができます。

図 1

・Arduino

この機器で Weather duino に命令を送ります。

図 2

・XBee

この機器で観測したをデータを Raspberry Pi に送ります。

図 3

図 4

・Raspberry Pi　（3G 回線機能付き）
Weather duino が測定したデータを 3G 回線を通じて WEB サイトにアップします。

図 5

・3G トラッカー（GPS）　図 6
これは、バルーンを回収する時にバルーンの位置を確認するためのものです。

図 7

・紫外線ロガー
この機械で紫外線量を測ることができます。

図 8

・すべての機器を搭載すると、右図のようになります。

図 9

2-2 測定結果閲覧までの手順

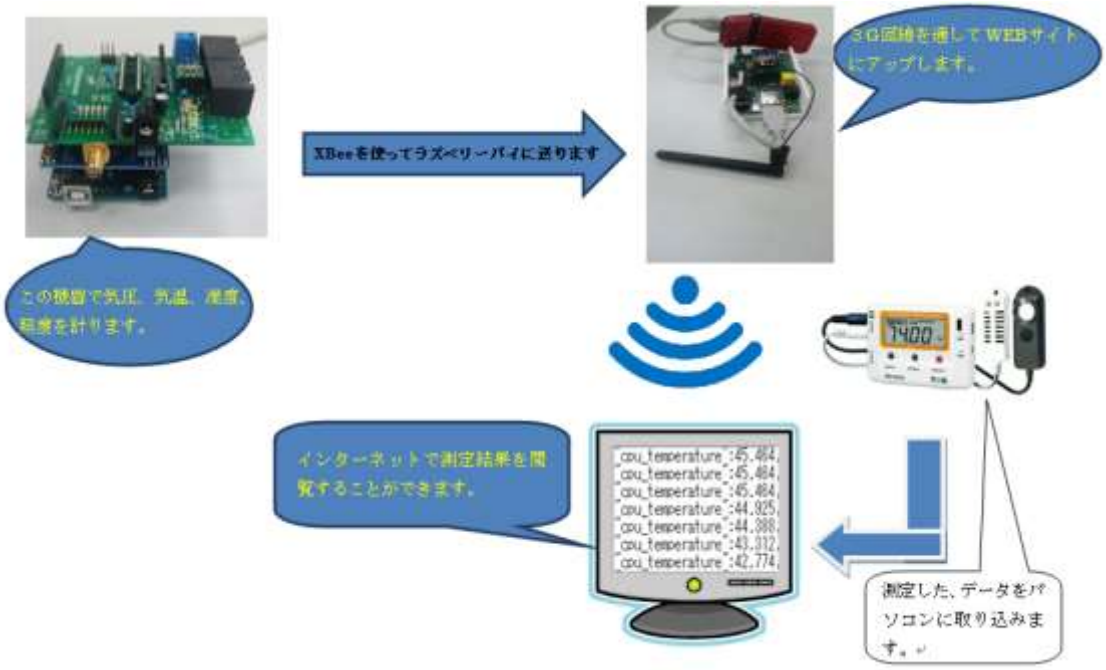


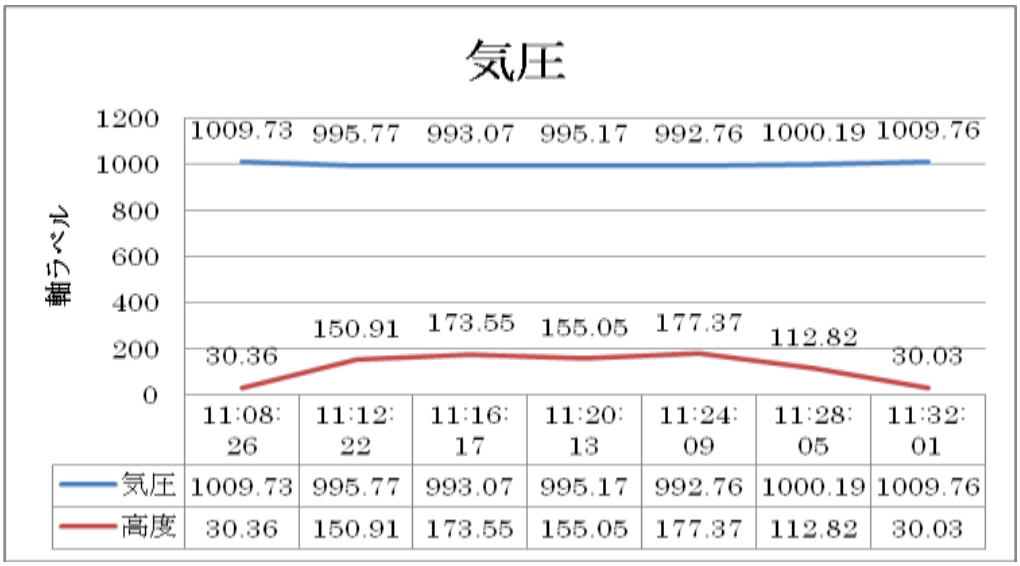
図 10

3 測定結果

測定日は 11 月 1 日の午前 11 時 08 分から　天気：曇り時々雨

下記が測定結果です。

3-1 気圧



	11:08:26	11:12:22	11:16:17	11:20:13	11:24:09	11:28:05	11:32:01
気圧	1009.73	995.77	993.07	995.17	992.76	1000.19	1009.76
高度	30.36	150.91	173.55	155.05	177.37	112.82	30.03

図 1

3-2 気温

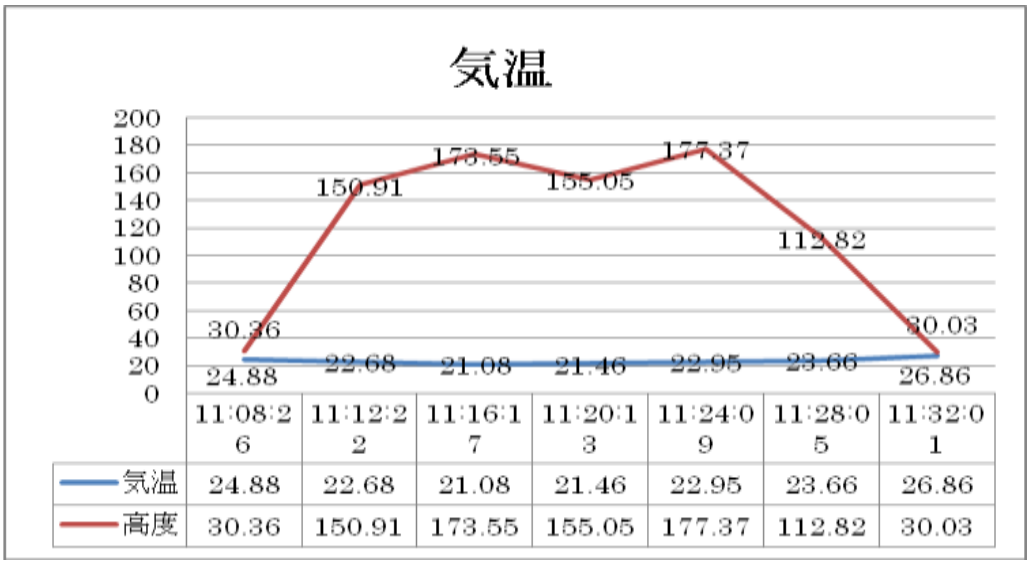


図 2

3-3 湿度

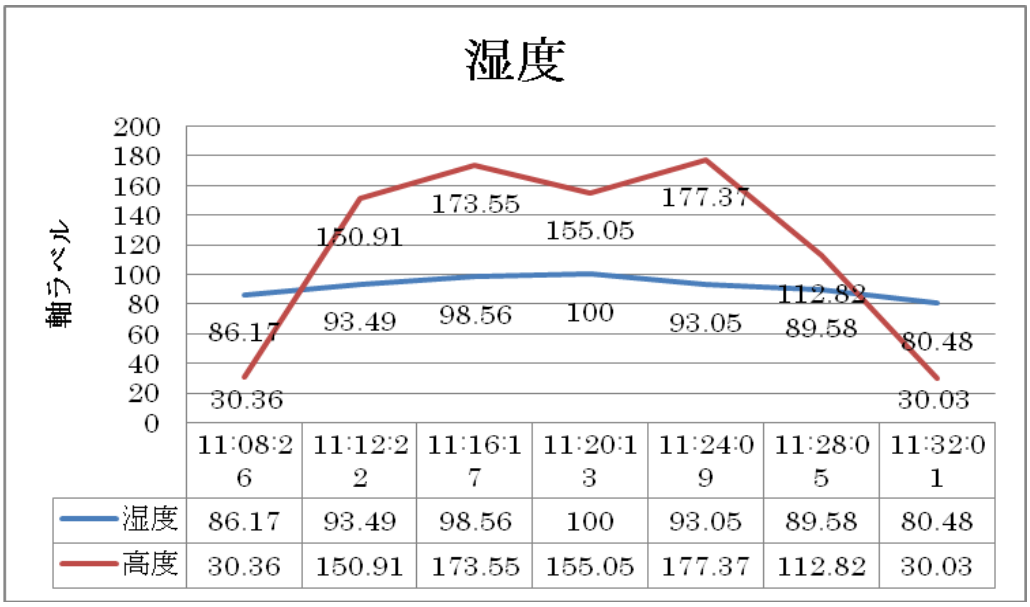


図 3

3-4 紫外線・照度

抹茶色のグラフが紫外線、水色のグラフは照度を表しています。

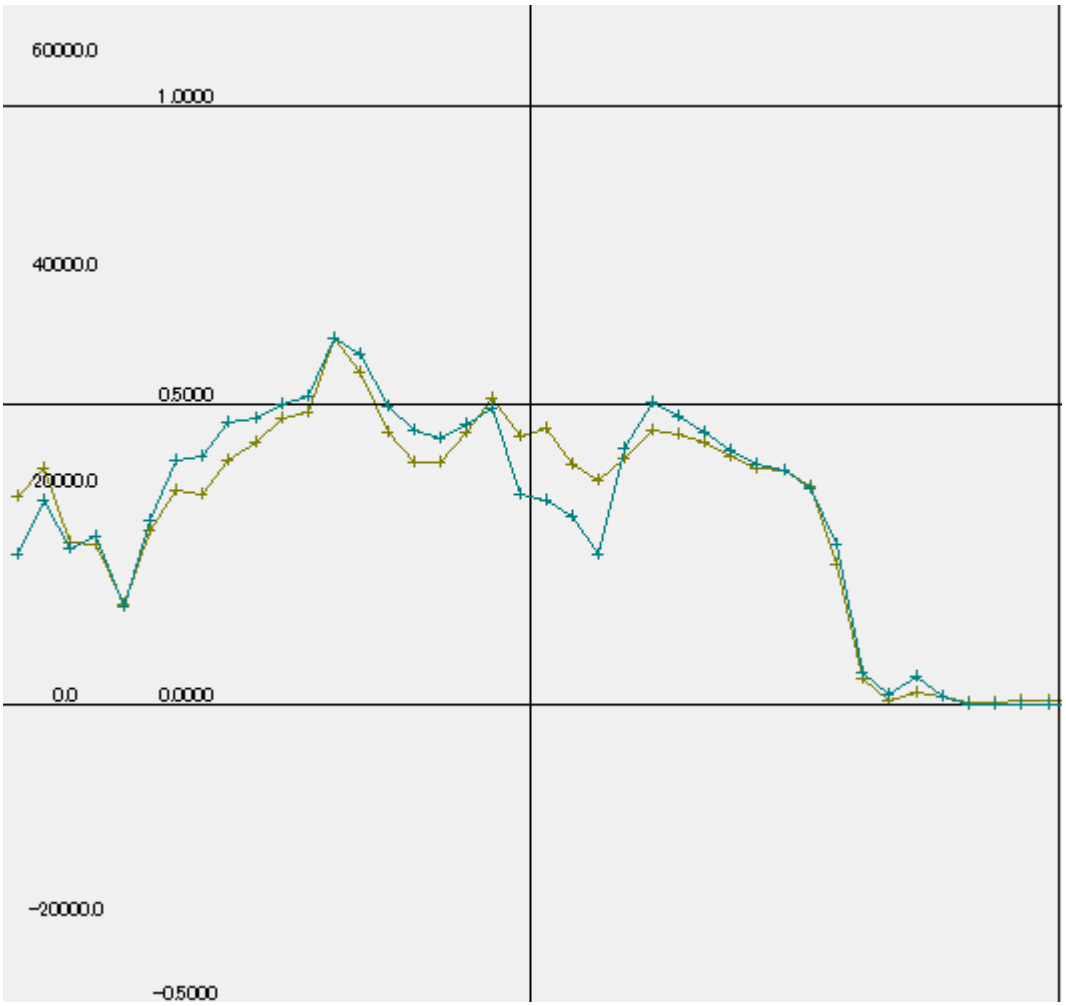


図 4

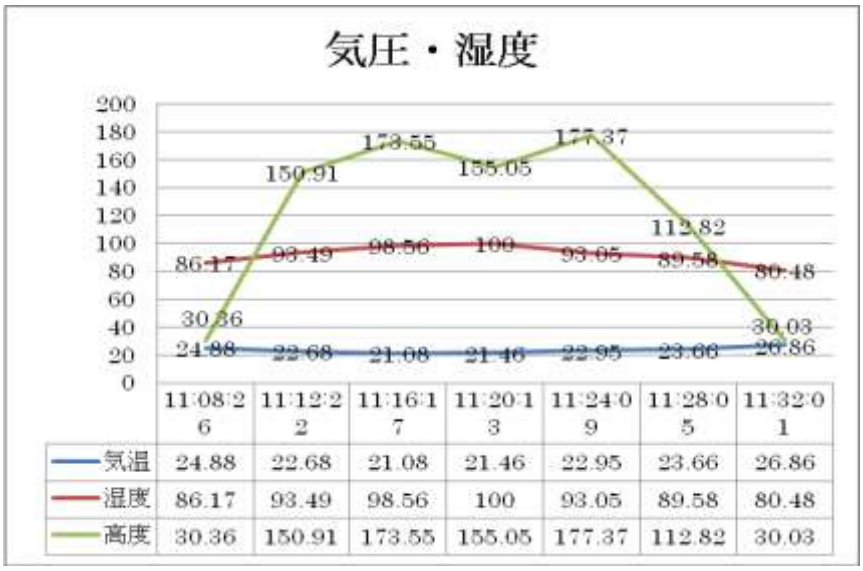
3-5 バルーンから見た風景

3-6 バルーン

4 考察と感想

4-1 考察

3-1の図1を見ると高度が上がるにつれて気圧が下がっているのが分かります。また、3-2の図2と3-3の図3を見ると高度が上がるにつれて湿度が上昇し、気温が下がっているのがわかります。



	11:08:26	11:12:22	11:16:17	11:20:13	11:24:09	11:28:05	11:32:01
気温	24.88	22.68	21.08	21.46	22.95	23.66	26.86
湿度	86.17	93.49	98.56	100	93.05	89.58	80.48
高度	30.36	150.91	173.55	155.05	177.37	112.82	30.03

上記のグラフは気温と湿度を一つにまとめたものです。これをみると気温と湿度のグラフは上下が対称になっていることが、分かります。

3-4 のグラフを見てみると高度が上昇していくにつれて紫外線と照度量が上昇してくのが分かります。また、急上昇しているのもわかります。さらに、2本のグラフがともに同じように変化していることが分かります。この結果より日光が強くなるにつれて紫外線量も上がることが分かりました。

4-2 感想

今回のプロジェクトを開始するときに、バルーンサットはデータの回収が難しいということを聞かされました。そこで、僕たちはもし回収できなかったことを考えて、測定データをラズベリーパイを用いてＷＥＢサイトにアップすることを考えました。

そして、僕たちはプログラミングについては未経験だったのでいろいろな先輩や先生に教えてもらいながらセンサーの開発に取り組みました。

そうしてできたセンサーをバルーンを使って飛ばしたときはとても感動しました。

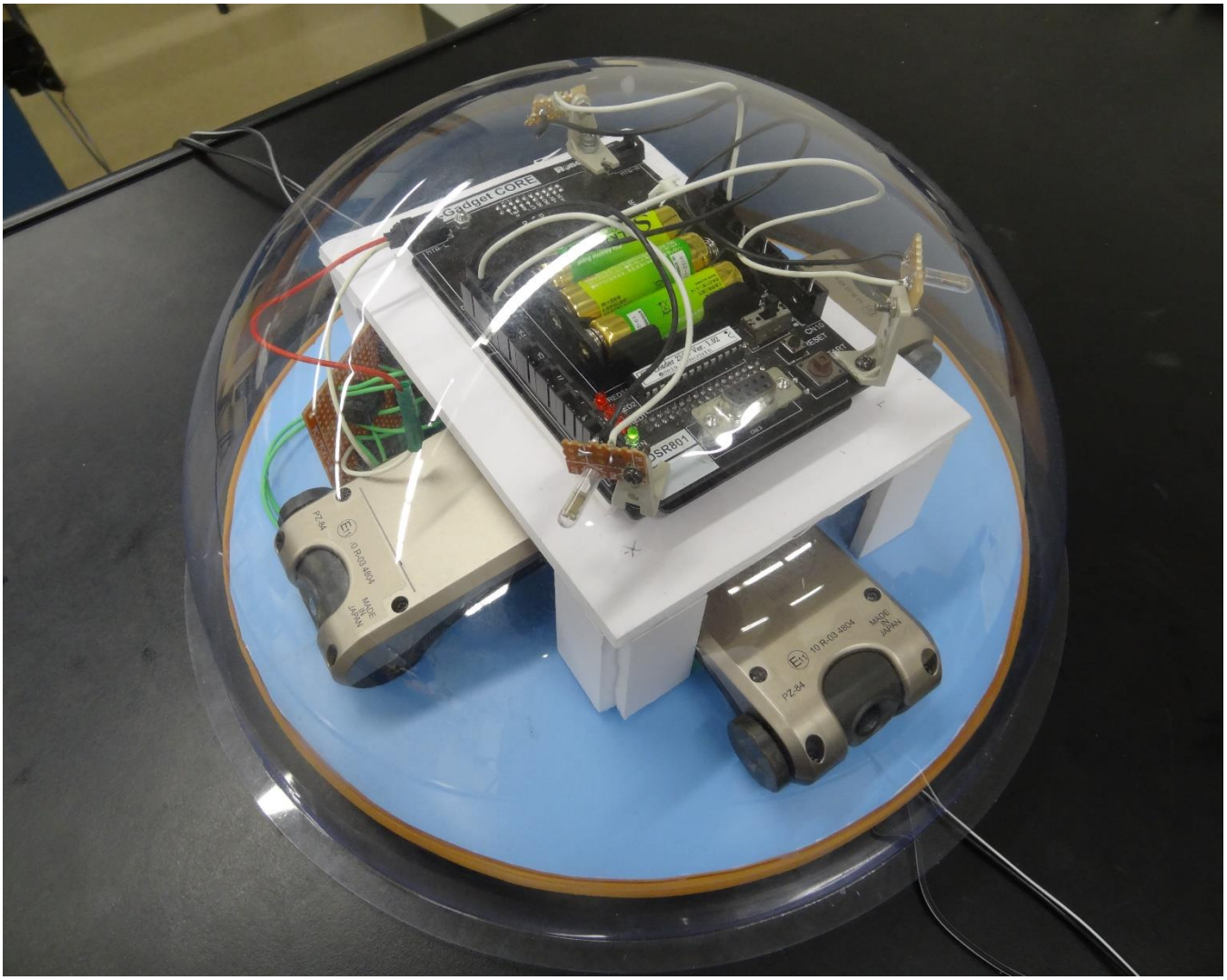
測定した情報をまとめていると高度の変化によりさまざまな共通点や相違点も見つけ出すことができました。

優秀賞

賞金 10 万円

雷映像記録システム

清風南海高等学校



気象観測機器·雷映像記録装置

清風南海高等学校

科学研究部　気象観測班

チームリーダー：山本　騎道

共同研究者：奥出　陽太

大和田　宗

目次

1.　はじめに..... 2

2.　観測機器の概要や構造 3

Ⅰ・＜ドライブレコーダーと小型の電子回路＞ 3

Ⅱ・＜カメラとパソコンを用いる＞.....7

Ⅲ・＜２つのシステムの比較検討＞.....11

3.　運用結果..... 13

4.　今後の展望..... 15

5.　まとめ..... 16

6.　参考文献..... 16

7.　添付ファイル一覧 16

8.　謝辞..... 16

9.　最後に..... 17

1.はじめに

現代社会において特に近年、地震や火山の噴火など様々な自然災害が発生し、人々の生活や経済活動に多大な影響を与えている。そのため、自然災害に対する危機感とともに自然災害に対する備えの必要性を感じており、人々が安全・安心できる生活を実現する為に、自然災害の対策は欠かすことができないといえるだろう。このような状況の中、自然災害について研究することの必要性が増している。

昔から、人間は雷を神様と関連づけ、ある神秘な力を持った存在として拝められてきた。今現在は、落雷による人身や家財などの直接被害のみならず、落雷による電力網の異常が工場などの操業に多大な影響を及ぼしている。その為、観測機関が様々な観測装置を用いて雷予報や警報を出している。

そこで、我々はもっと身近に、雷の発生時その瞬間の映像のみならず、その前後にわたる気象状態を自動で撮影し、雷の発生するメカニズムをより詳しく記録する機器を開発できないかと考案し、このテーマに取り組むことにした。雷発生前後の映像データを蓄積し、雷に関する様々な研究に役立つ映像データをより簡単に提供したいと思う。また、その記録方法をスイッチ誘導式にすることで、映像データの収集を自動で行い、使いやすい装置になるように心掛けたい。

構想段階において、自動車用ドライブレコーダーに小型の電子回路を組み合わせた装置の基本構想を練ったが、カメラとパソコンを組み合わせた装置の意見がチーム内から出たので、より万全を期すため、我々はドライブレコーダーを使う方法と、カメラとパソコンを用いる方法の２方向からの機器製作を試みることにした。

この研究は、雷の発生前後の映像を簡単かつ正確に記録し、雷の発生メカニズムや予想の研究に役立つような映像データを蓄積出来る装置の製作を目指している。

2.観測機器の概要や構造

今回は２つのシステムを構築することから、まず、原案であるドライブレコーダーを用いたシステムから記述する。

Ⅰ．＜ドライブレコーダーと小型の電子回路＞（以下、システムⅠとする。）

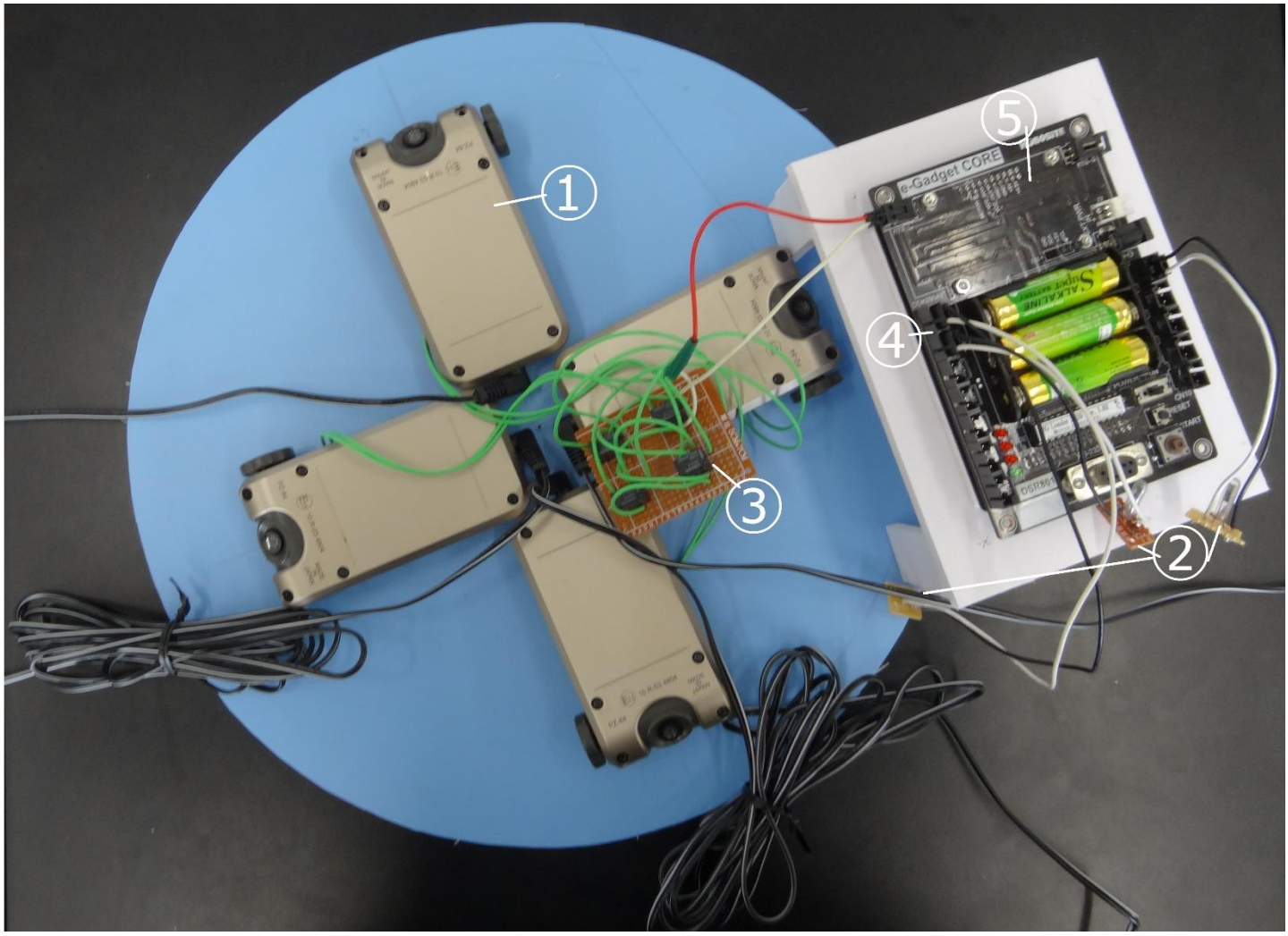


写真１：ドライブレコーダーと小型の電子回路を用いたシステム構築

このシステム（写真 1）は光に反応し、反応時の前後を自動で撮影できる。光センサーは、誤動作を防ぐため、急激に光量が上がった時だけに反応するようにした。

また、電子回路の部分を簡素化する事が出来たので、非常にシンプルな構成となった。

以下に各部位の詳しい働きを記述する。

① ドライブレコーダー

撮影と録画機能を主に担う装置。保存機能もＳＤカードを用いて本体で行われる。なお、装置のスイッチはリレーによって制御している。

② 光センサー

このセンサーを使用して光の発生を察知し、その情報信号はマイコンによってリレーに伝達される。

③ リレー

マイコンから出力された光の情報信号を検知し、ドライブレコーダー側のスイッチを起動する。

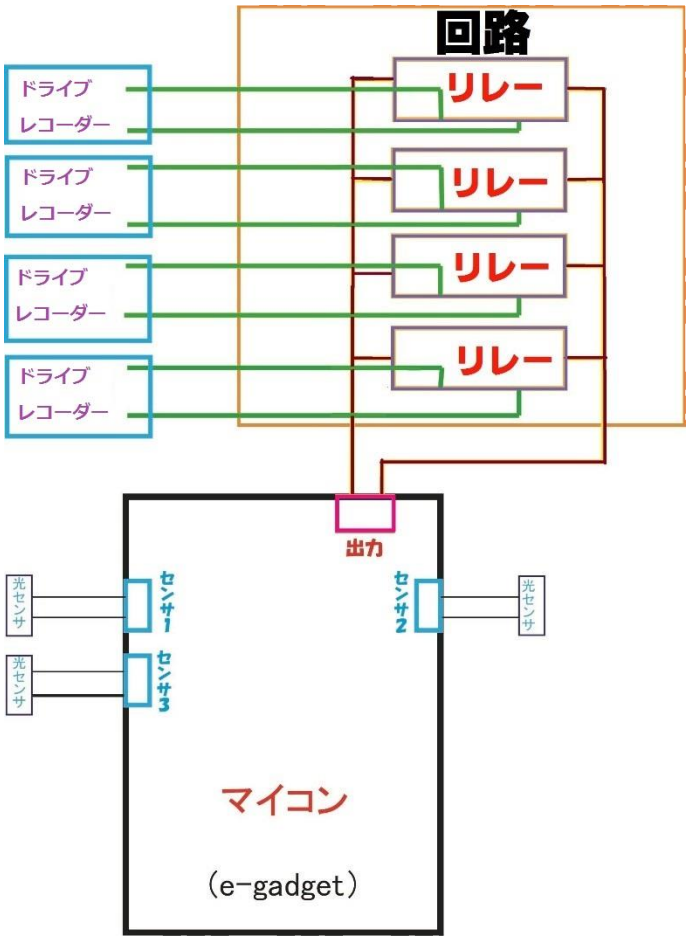
④ センサー接続端子

この端子に光情報を入力するセンサーを接続し、多チャンネル制御にも対応出来る。

⑤ e-gadget（マイコン）

ロボット制御用のマイコン基板です。普段はクラブ活動でロボット製作に使用しています。今回は制御の便宜性に目を付け使用しました。

・以下にモデル略図を添付する。



左図の示す通り、この回路には４台のドライブレコーダーとそれと組むリレーが４台設置されている。その基幹としてマイコンが使われた。

そして、マイコンである e-gadget による制御で、光センサーの出力電圧の値を前回値と比較し、一定値以上になれば５V 出力する。それをリレー回路に入力し、出力側にドライブレコーダーのスイッチを繋いだ。

図１：ドライブレコーダーと小型の電子回路を用いたシステム模式図

また、このシステムをより効率的・確実に運用するため、以下点を工夫した。

① 昼夜どちらでも正しく反応するように、マイコンを用いて、少し前の時間の光量と今の光量を比較して、光量が突然増大した時のみ反応させるようにした。
② できるだけ全天の撮影を行うために、約１０５度視野のカメラを４つ搭載した。
③ しっかりと雷の光をとらえるために、光のセンサーを３つ使用した。
④ コストをできるだけ抑えた。
⑤ 実際の運用を考え、防水の対策を施した。
⑥ 各装置の複雑な連結回路をできるだけシンプルにした。
⑦ マイコンを用いることで、センサーや回路の点検も手軽にできるようにした。

このシステムの記録原理を下図に示す。

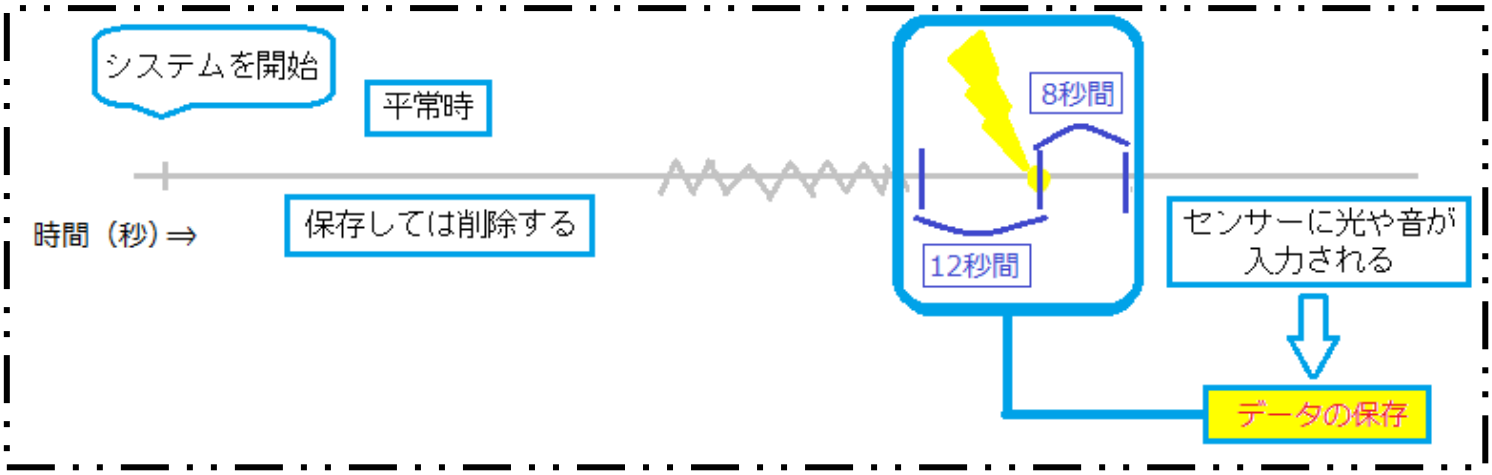


図２：システムＩの記録原理

- このシステムでは急激な光の変化がセンサーに入力されていないときを『平常時』と定義する。（これ以降も同様）
- 平常時では、データを録画してはすぐに削除する。
- 光の変化がセンサーに入力され、認識されたとき、その瞬間より前の１２秒間、後の８秒間（合計２０秒間）を本体の記憶メモリに記録する。
- このシステムにより、必要な部分の映像だけを保存でき、後に選別する手間を省くことができる。

このシステムを実現するプログラムについて簡潔に記述する。

別ファイルに開発段階のものと最終形態のプログラムについて添付しますが、ここで簡単にプログラムについて記述しておきます。

このプログラムは『e-gadget』の制御を行う為に作成したものである。

主な流れとして、

① 光センサーの値を取得する。
② 0.01 秒後に再び光センサーの値を取得する。
③ 取得した値と１つ前の値との差を計算する。
④ 差が一定の値以上となった場合（光量の増加）は、雷が発生したと見なす。（本仕様は光センサーを３つ繋げ、全てのセンサーの値を取得し、１つでも反応すれば、反応したと見なす。）
⑤ ④の条件を満たした時のみ、リレーに電流を流して、リレーの先に接続しているドライブレコーダーの記録処理を実施させる。
⑥ 再び、②へ戻る。

が設計されている。

また最初、１つの光センサーと１台のドライブレコーダーを使ったテスト運用を経て、現在の光センサーを３つとドライブレコーダーを４台使用する形態に至った。一応、テスト運用時のプログラムも添付する。

テスト運用時と比較すると、１台以上を連動して使用する場合では

『センサーを幾つか使用するための制御部分のプログラムのみを加える。』

ことで対応できる。

よって、非常に簡潔で操作しやすいプログラムであると言える。

また、メンテナンス時の事を考え、各作業の実行がわかりやすいように、出力時にＬＥＤを光らせるよう工夫した。

Ⅱ．＜カメラとパソコンを用いる＞（以下、システムⅡとする。）

次に、ドライブレコーダーを用いたシステムと、同時に進めたカメラとパソコンを用いたシステム構築について、以下に示す。

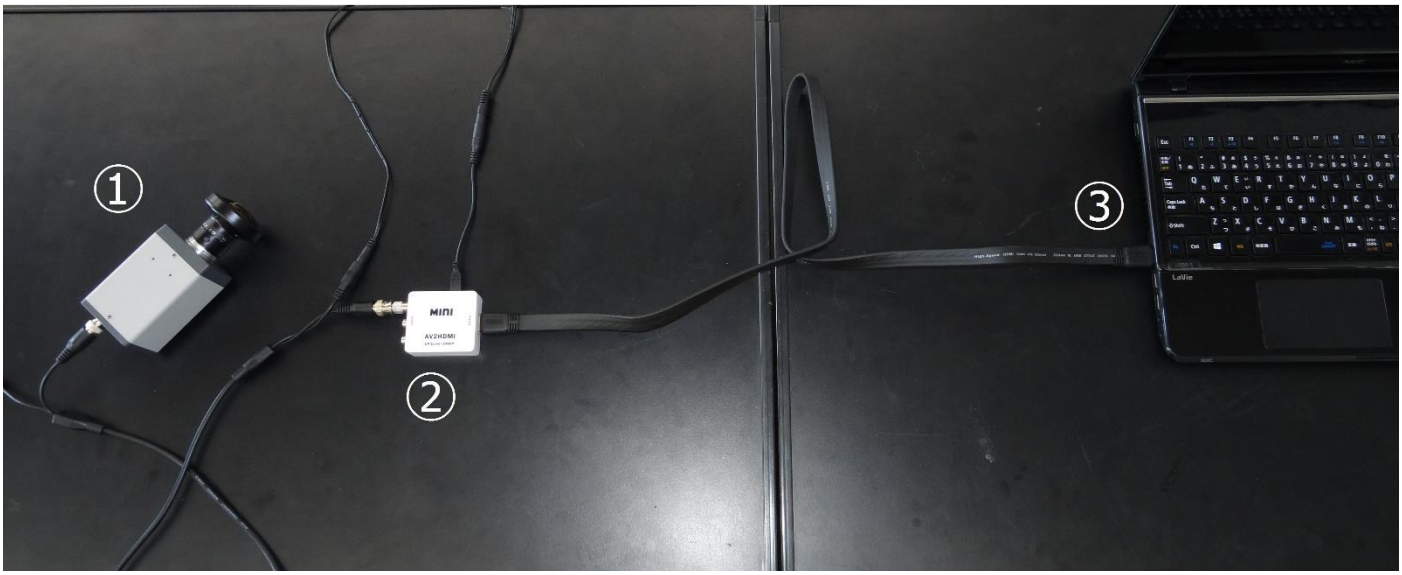


写真 2：カメラとパソコンを用いるシステム構築

パソコンに撮影用のカメラとレンズを付け（写真 2)、パソコン側でプログラムを用いて制御することによって、光量の変動検知時前後の自動撮影を可能にしている。映像管理はパソコンで行っているのでより直観的に制御できるようになった。

以下に各部位の詳しい働きを記述する。

① カメラとレンズ

カメラと全天をカバー出来る魚眼レンズで映像を撮影し、アナログ信号で出力する。また、将来的に外付けレンズを取り換えることによって、映像に様々な調整を施すことができる。

② デジタルアナログコンバーター

アナログ信号をデジタル信号に変換する。

③ パソコン

デジタル信号を受信し、映像の保存機能を担う。また、パソコンで映像を編集したり、送信したりすることも可能である。プログラミングや制御もパソコン内で行う。

・以下にモデル略図を添付する。

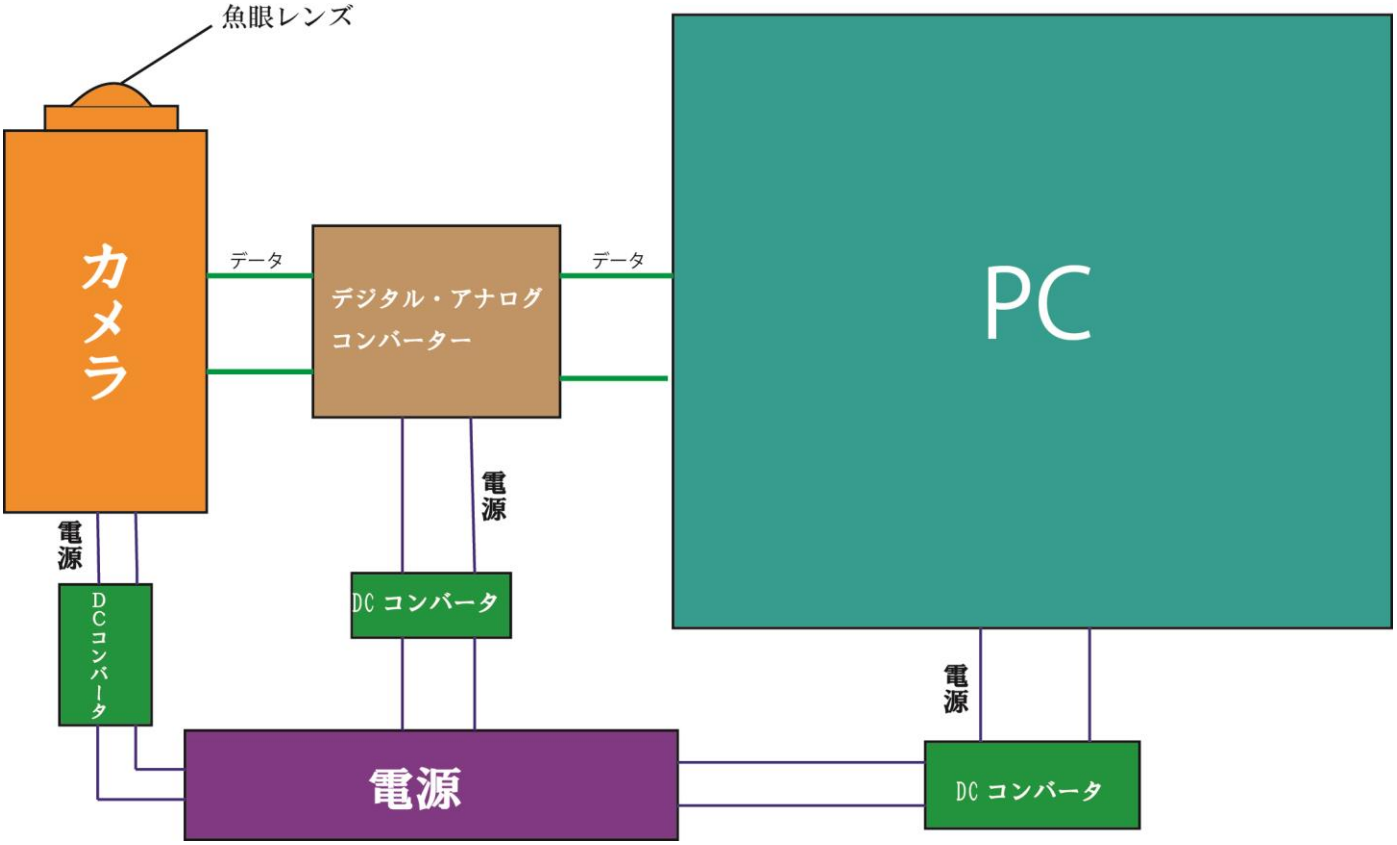


図 3：カメラとパソコンを用いたシステム模式図

このシステムの記録原理を下図に示す。

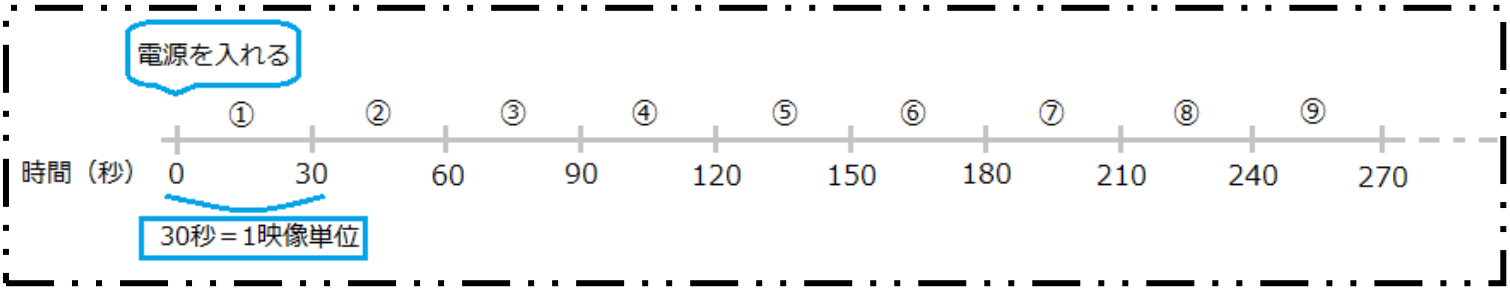


図 4：システムⅡの記録原理（1）

- このシステムでは、30 秒を 1 つの映像単位として処理し、新たな映像単位が記憶される度に、２つ前の古い映像単位を自動消去する(60 秒後→①を、90 秒後→②を消去する)。

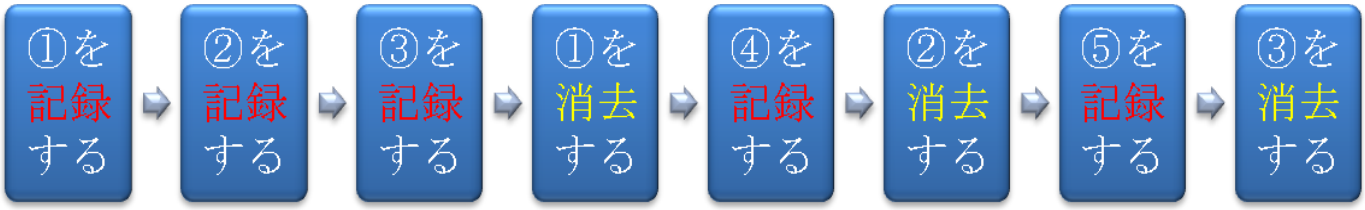
- 映像データは常に 30 秒以上保持することになる。

- 光量の変動が感知されたとき、その瞬間が含まれる映像単位及びその前後の単位が消去されることなく保存される。

- このように簡単なデータ処理を繰り返すことにより、目的とする映像のみ残すことが出来るようになる。

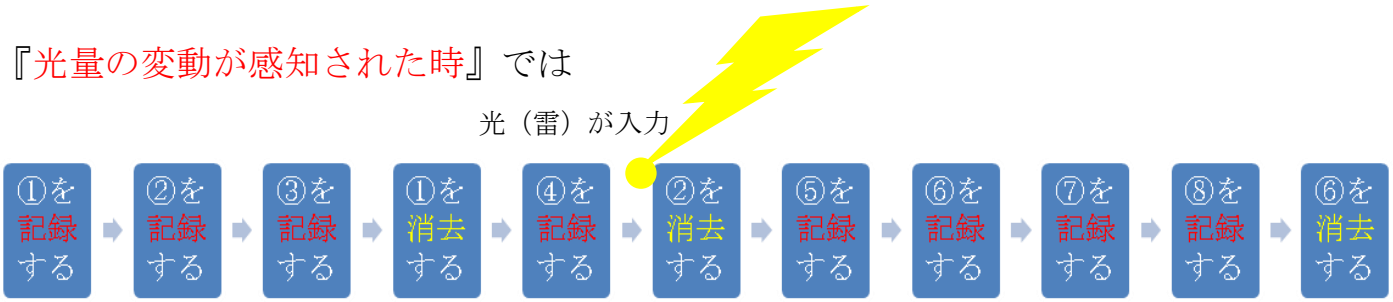
● アルゴリズムとして

『平常時』では



のサイクルを繰り返す。

『光量の変動が感知された時』では



のように作動し、光量の変動が感知（雷の発生）した映像単位④だけでなく、その前後の映像単位③・⑤も記録する。その後は『平常時』と同様なサイクルに入る。

● 詳しい記録・保存の仕組みを図式化すると

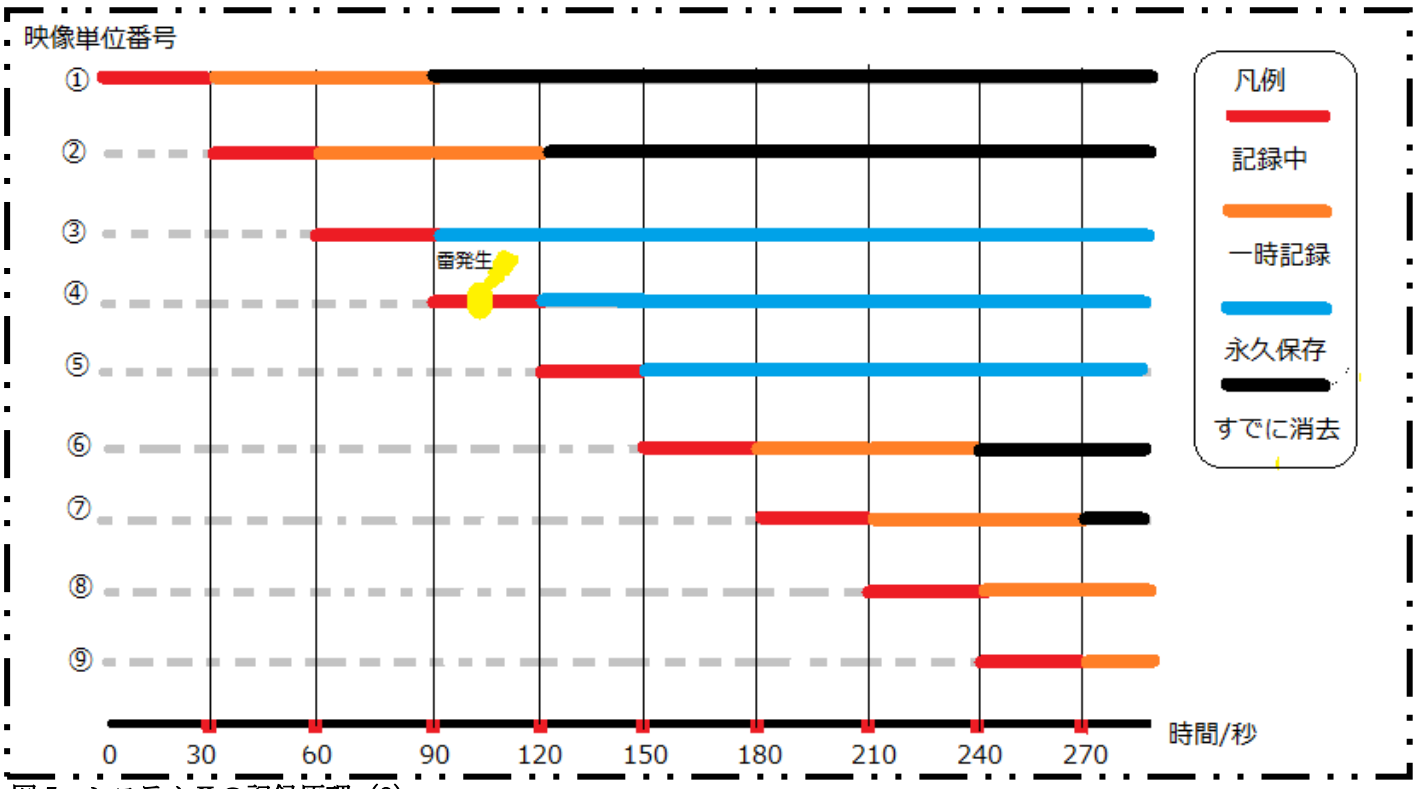


図５：システムⅡの記録原理（2）

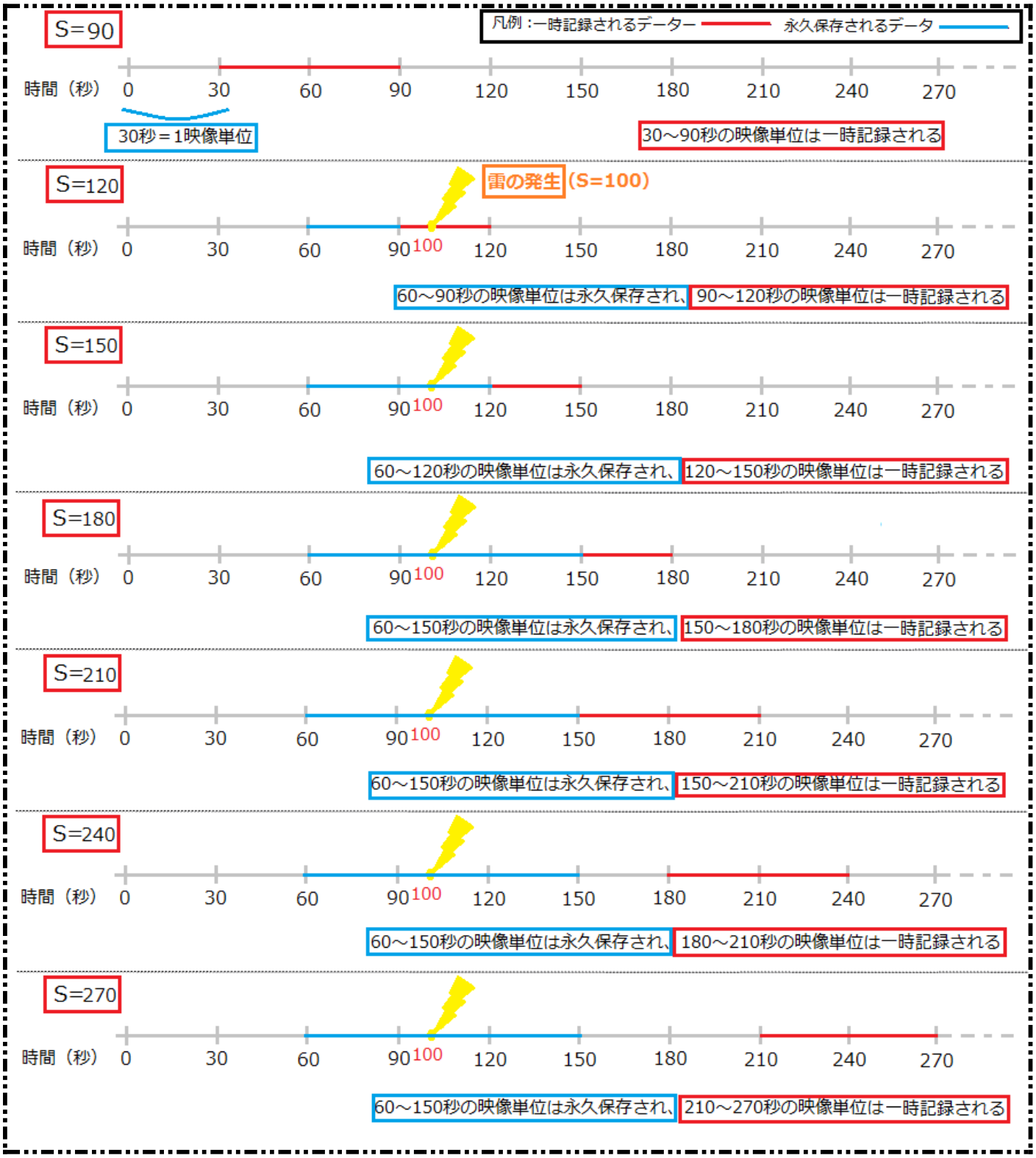


図６：システムⅡの記録原理（3）

平常時は、ｎ番目を一時記録した後、（ｎ－２）番目の映像単位を消去する。（ｎ≧３）

センサーがｎ番目で反応した場合、ｎ番目を一時記録した後、（ｎ－２）番目の映像単位を消去するが、次の（ｎ－１）、ｎ、（ｎ＋１）番目の映像単位は永久保存され消去をせずに残したままにする。（ｎ≧３）

注：（0≦ｎ＜3）の時、映像はそれまでの分がすべて一時記録される。

このシステムを実現するプログラムについて簡潔に記述する。

JAVA または javascript でプログラムを作成する。

雷の発生を検知する機能として、現段階で２つの案を構想した。

A) プログラムインターフェース上で、カメラ側から送られてくる画像を１フレームごとに処理し、いくつかのドットを打ってそのドットの明るさが急に変化したときに動画撮影を開始することにする。

B) カメラ側の動画をパソコン側で表示し、パソコンの画面上にドットを打ち、そのドットの明るさの変化を読み、そのドットの明るさが急に変化したときに動画撮影を開始することにする。

現段階では B) の方向で作成する。

プログラミングは大方完了しているが、不注意により、デジタルアナログコンバーターが故障してしまったため、カメラ側との接続ができなくなってしまい、プログラムの調整ができない状況にある。

Ⅲ. ＜２つのシステムの比較検討＞

この２つのシステムにはそれぞれ長所と短所があり、ここで簡潔にまとめる。

	ドライブレコーダーと小型の電子回路 （システムⅠ）	カメラとパソコンを用いる （システムⅡ）
長所	● 低コストで実現可能 ● 機材がコンパクト ● 電源があれば設置場所を選ばない	● 映像の質・時間を柔軟に調整できる ● 映像データのネットワーク化が容易 ● 電子回路の設計・設定が不要
短所	● 電子回路の設計・設定が煩雑 ● ドライブレコーダーの数が必要 ● 本体内部のＳＤカードに記録	● 機材コストが高い ● 機材の規模が大きい ● 長期に渡り、パソコンを占有する

以上のように、この２つの観測機器には互いに長所があり、二者の優性を取り入れたより良い機材を将来に実現できればなお良いと考えている。

3.運用結果

注・観測装置完成後、実際の雷の発生に立ち会うことが願い叶わず、残念ながら実際の雷を観測することが出来なかった。その為、クラブで疑似的に現象（光量を急激に変化させ）を起こし、それを記録することとした。以下にその結果を記述する。

- **2014 年 11 月 4 日**

時間：18 時ごろ

①運用状況

ドライブレコーダーと小型の電子回路（システムⅠ）：成功

カメラとパソコンを用いる（システムⅡ）：未試験

②運用結果（写真）

以下に実際のレコーダーが記録映像を写真で掲載する。

0 秒の画像

5 秒の画像

10 秒の画像

11 秒の画像

12 秒の画像

13 秒の画像

15 秒の画像

20 秒の画像

写真 3：ドライブレコーダーシステムを用いた撮影結果

暗い中で（暗い部屋で）突然光が発生したとき（蛍光灯で代用・１１～１２秒）に、その前後の映像を保存することができた。実際の雷の瞬間も同じように永久保存することが可能だと思われる。

詳しい映像（動画）は、添付ファイルとして添付する。

③考察

このシステムでは実際運用時に電源さえ確保できれば、人の手を煩わすことはなく、実際に簡単に記録することができた。

注：カメラとパソコンを用いるシステムの方については、製作中、操作の誤りによってデジタルアナログコンバーターに過大電流が流れ、故障させてしまったため、残念ながら運用することができなかった。今後早急に故障箇所を修復し、実際の運用に投入できるようにしたい。

4.今後の展望

このシステムは雷発生時だけでなく、前後の様子も確実に映像として記録することができ、さらに小型で設置しやすい点から以下のような活用法が考えられる。

① このような機器を一定地域内に集中的に複数設置し、雷発生場所の周囲に少なくとも３つの雷観測機器があれば、３Ｄデータの作成が可能になると考えられる。また、このような機器を広域的・分散的に多数設置し、雷の観測データを地図上に反映させ、雨雲、気圧、降水など、現在行われている観測データと組み合わせ、より総合的な気象観測を行うことが可能になり、地域別のより詳細な雷情報を提供することも可能になる。

② この機器は発生時間などを詳細に映像記録とともに残すことが可能である。このことを利用し、ほかの気象データとの相関関係を分析し、長年データを蓄積（雷映像データベースを形成）することにより、雷の発生を予想することや、今にも変動し続ける世界気象に合わせて柔軟な予想を実現させることも可能になるのではないだろうか。

③ この機器はセンサーとして、光に対するシステムを作り上げたが、例えば、風や振動を察知するセンサーを搭載させることによって、竜巻の発生前後の気象状態や地震、火山活動の直前・直後の状況を映像で記録する用途にも十分運用可能である。雷のみならず、様々な気象現象の詳しい映像データベースを作り上げ、様々な現象の本質的基礎研究の映像材料収集に一役買うことができると考えている。

④ パソコンを使用するシステムを利用し、観測した映像データをネットワークに通じて遠方に転送することができ、遠距離管理・観測が可能になり、観測の電子化に対応することもできる。

5.まとめ

今回は２つの違うシステムで雷を観測する構想を立て、残念ながらドライブレコーダーシステムしかある程度の成果をあげることが出来なかったが、これから改良や整備を施し、所定の機能を達成できるように引き続き努力していきたい。実用に向けては課題も残るが、機材の構成ができるだけ簡潔でコストを可能な限り抑えたドライブレコーダーシステムと、実用的で明瞭なインターフェースを求めたカメラ・パソコンシステムに十分な可能性を感じている。これから、さらに改造を重ね、運用できるようにする上でより簡単・低コストの実用性の高い物へ近付くように磨きをかけたいと考えている。

6.参考文献

小泉治彦　著：「理科課題研究ガイドブック」

7.添付ファイル一覧

①　ドライブレコーダーシステムプログラムファイル・・・２つ
ドライブレコーダーシステムの『最終』プログラム
《ドライブレコーダーシステム（センサー3 台）.txt》
ドライブレコーダーシステム開発途中のプログラム
《ドライブレコーダーシステム（センサー1 台）.txt》

②　観測結果映像・・・４つ
ドライブレコーダーによる記録映像（記録映像１～４.AVI）

以上

8.謝辞

今回の研究に際し、研究環境である科学研究部に多大な協力をいただきながら、この結果に至りました。ここで改めて感謝の意を込めて、御礼申し上げます。
特に開発に関して助言をいただいた科学研究部顧問森下先生と科学研究部の後輩で電気回路に詳しい中山君に感謝申し上げます。

9.最後に

雷映像記録装置の開発、製作を通じて、自然災害の観測体系について改めて認識し、観測の重要性やその課題、将来性について考え、この機械を運用、改良することで、将来の気象研究に役立てることを非常に期待している。

日本の観測体系は非常に充実し、技術も世界トップレベルに達しているが、より良く、より広く、より詳細かつ確実に観測することが実現されれば、世界の気象についての研究にさらに尽力することができ、人類全体の安全・安心できる生活の確保により近づくことができるのではないだろうか。