最優秀賞

賞金 50 万円

放射熱を測定する -環境中の放射熱の測定と涼しいまちづくりのための提案-

千葉県立長生高校

放射熱を測定する

－　環境中の放射熱の測定と涼しい街づくりのための提案　－

千葉県立長生高等学校サイエンス部地学班
杉田憲亮（２年）、相内優臣（２年）
小原滉一（１年）、関谷徳優（１年）

１　はじめに

夏の日なたは暑いが日蔭は涼しい。ところが、一言で日陰といっても、公園の木陰のような涼しい日陰がある一方、コンクリートやアスファルトに囲まれたビル街のように暑さを感じる日陰もある。同じ気温や湿度であっても、周囲の環境の違いによって、体に感じる暑さには差があると感じていた。

一般に、体感温度は、気温、湿度、風速によって決まるといわれている。しかし、我々はもう１つ、重要な要素があると考えている。それが放射熱だ。

日なたが暑いのは、太陽からの放射によるものである。日陰に入れば、直射日光は遮られるが、放射が０になるわけではない。

（１）壁や地面によって反射してくる反射光
（２）大気によって散乱してくる散乱光
（３）高温になった物体が放つ２次放射（黒体放射）

たとえ日陰に入っても、我々はこうした放射を受けている。これらの放射が熱を運び、体感的な暑さにつながっているのではないかと考えた。

そこで、私たちは、次の２点を目標に研究に取り組んだ。

目標１　放射熱の量を定量的に測定する装置を開発する。
目標２　その装置を用い、環境による放射熱の違いを測定し、涼しい街づくりに必要な要素を導き出す。

私たちは、同じ気温や湿度であっても感じる暑さに違いがあるのは、農地や市街地、土、草地、コンクリートやアスファルトといった周囲の環境の違いによって、反射光や２次放射（黒体放射）の量に違いが生じるからだと考えている。この観測によって、この仮説を立証できるはずである。

2　観測機器の測定原理と構造

［測定の原理］

可視光線や赤外線は、色によって吸収率が異なることを利用する。断熱性の良い箱の中に、黒く塗った鉄板と白く塗った鉄板それぞれに温度計をつけたものを吊るす。箱は、6面のうち前面のみが解放となっていて、ここから入射してくる放射を鉄板が受ける。

黒く塗った鉄板は、放射を吸収しやすい性質を持つ。一方、白く塗った鉄板は放射を吸収しにくい（反射しやすい）性質を持つ。放射が少ない場合は、2枚の鉄板の温度に違いは出ないが、放射が多い場合には、黒く塗った鉄板の方が温度が高くなるはずである。このとき、鉄板の熱容量と受光面積はあらかじめわかっているので、鉄板の温度の変化量（グラフの傾き）から、放射の量を定量的に求めることができる。

反射光と2次放射（黒体放射）の分離については、反射光の波長域が直射日光と同じであると仮定することによって、

① 直射日光の放射を測定する。

② 直射日光と反射光の照度の比を測定する。‥‥照度計を使う

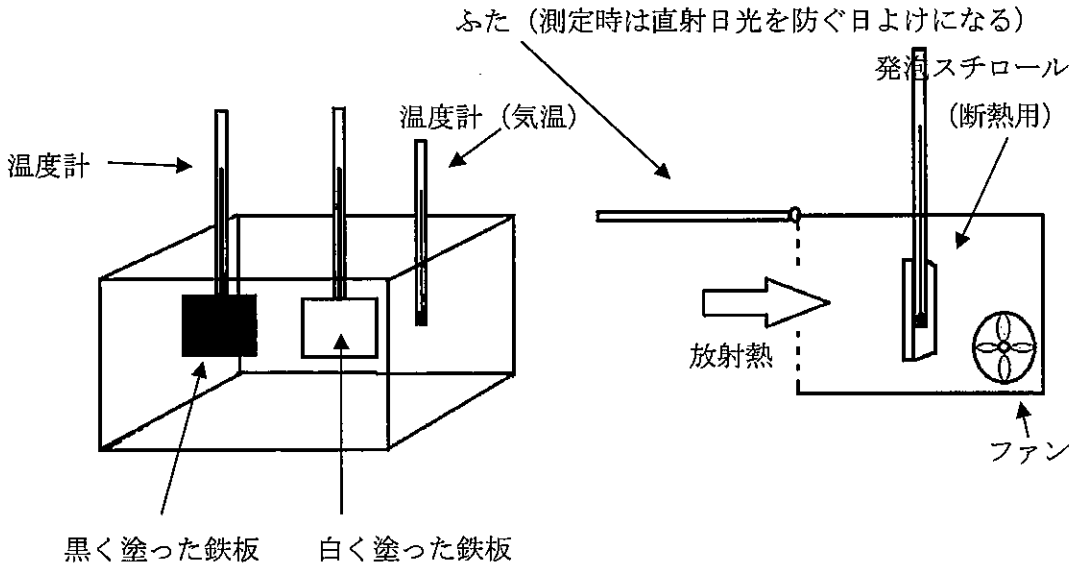
③ 直射日光の放射 × 直射日光と反射光の照度の比 ＝ 反射光の放射の量　とする。

④ 日陰で受ける放射の量は、反射光と2次放射（黒体放射）の和であると仮定し、

⑤ 日陰で受ける放射の量 － 反射光の放射の量 ＝ 2次放射（黒体放射）

として、両者を分離できると考えている。

［装置の構造］



※ イラストでは棒温度計だが、実際の装置ではサーミスタ温度計を用いた。

諸元

鉄板の質量	262 g
鉄板の表面積	105 cm^2
鉄板の熱容量	0.114 J/K
温度計の分解能	0.1℃（器差は標準温度計との比較により校正している）

［装置の写真］

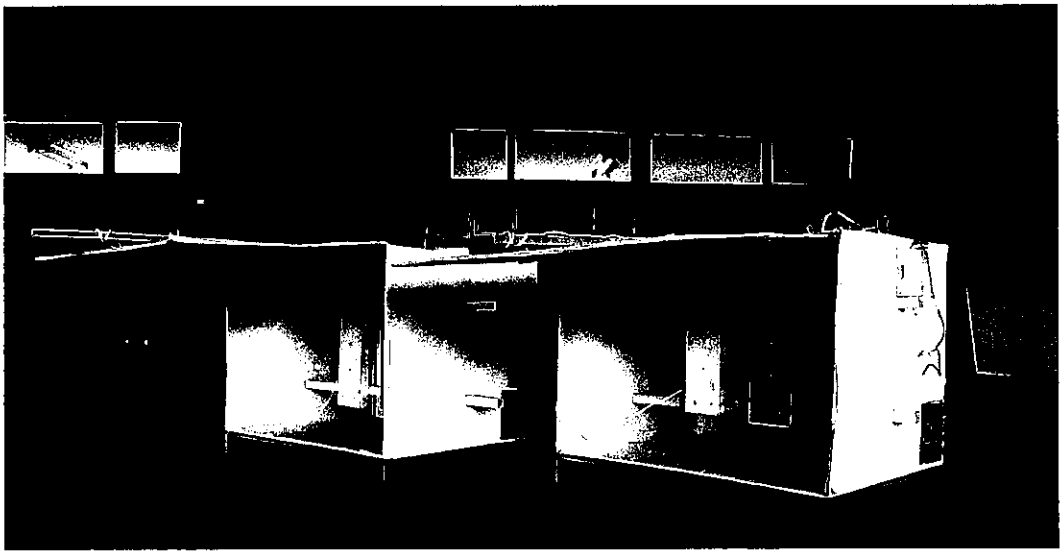


写真１　装置の全景
比較観測を行うために同じ装置を２台制作した。

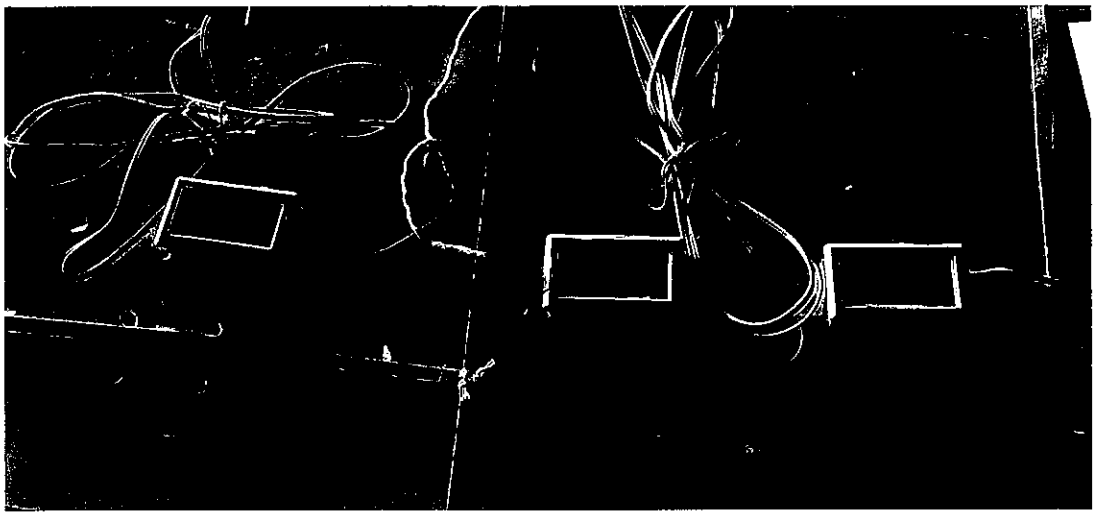


写真２　温度計の目盛り
サーミスタ温度計の表示誤差（器差）は、標準温度計との比較により校正する。

写真３　照度計
特定の方向からの光を測定できるように、フードを付けた。
フードを付けた関係で、測定値は相対値になる。

写真４　観測風景０１
装置を太陽に向け、太陽からの直達日射量を測定しているところ。

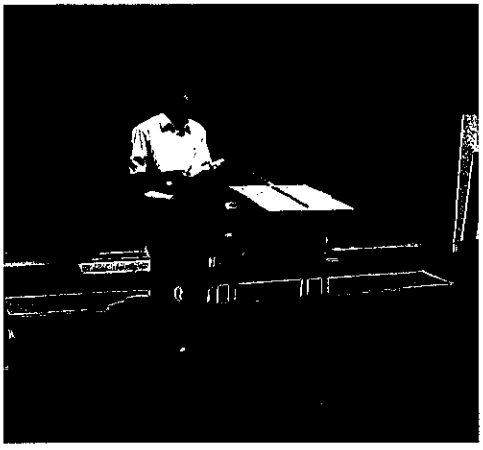


写真５　観測風景０２
装置を水平に置き、反射光と２次放射を測定しているところ。装置にはひさしがついているので、直射日光が鉄板に当たることはない。
この中央通路は、校内では特に暑いと評判の場所である。

3　観測結果

［直達日射量の測定］

観測日時　2013年8月28日11時16分～

観測場所　校舎3階の渡り通路

○ 観測の概要

装置を太陽に向け、0分（初期時刻）から10分後まで、1分間隔で、黒い鉄板の温度、白い鉄板の温度、気温（装置内の気温）の3つを測定する。同時に、直射日光の照度を測定した（写真4）。

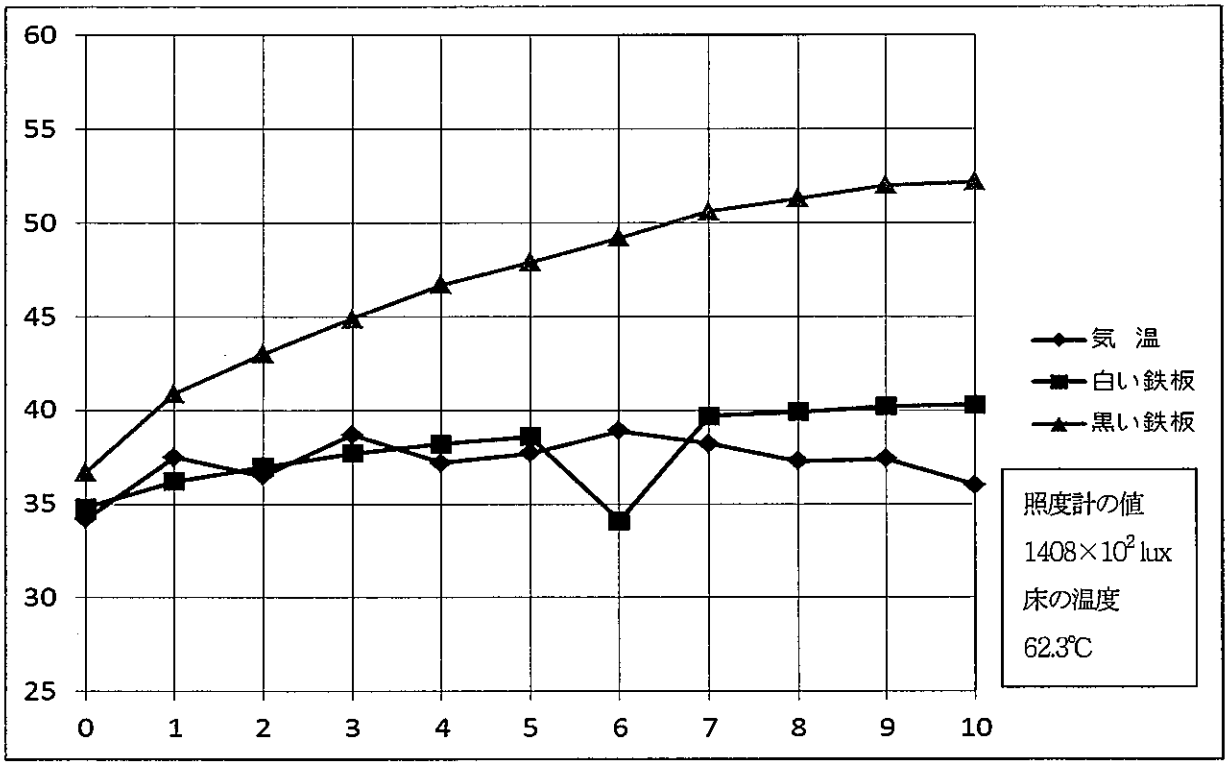


図2　直達日射量（直射日光）の測定結果

縦軸は温度（℃）、横軸は経過時間（分）である。
グラフ中の気温は、装置内に設置した温度計の示した値（装置内の気温）である。
グラフの直線部分から求めた黒い鉄板の温度の変化量は、2.4℃/分であった。

観測結果をみると、白い鉄板の温度と装置内の気温はそれほど変化していないが、黒い鉄板の温度は大きく変化している。このことから、私たちはこの装置が太陽放射のエネルギーを的確にとらえていると考えている。

計算によって太陽放射のエネルギーを求める。

鉄板の質量　m =262g

鉄の比熱　c = 0.435J/g･K

であることから、鉄板の熱容量 C は、

$$C = mc$$

$$C = 262\text{g} \times 0.435\text{J/g･K}$$

$$C = 114\ \text{J/K}$$

グラフから求めた黒い鉄板の温度の変化量　$\Delta t = 2.4$℃/分 ＝ 0.040K/s
鉄板の表面積　$S = 105\text{cm}^2 = 1.05\times10^{-2}\,\text{m}^2$
よって、太陽放射の単位時間あたりのエネルギー P_1 は、

$$P_1 = \frac{C\Delta t}{S}$$

$$P_1 = \frac{114J/K \cdot 0.040K/s}{1.05\times10^{-2}m^2}$$

$$\underline{P_1 = 440\ \text{W/m}^2} \qquad \cdots①$$

［反射光、２次放射の測定］

観測日時　2013 年 8 月 28 日 11 時 30 分～
観測場所　校舎３階の渡り通路
○ 観測の概要
装置を水平に設置し、0 分（初期時刻）から 10 分後まで、1 分間隔で、黒い鉄板の温度、白い鉄板の温度、気温（装置内の気温）の３つを測定する。同時に、水平向き（装置と平行）の照度を測定した。鉄板と装置内部に直射日光が当たらないようにした（写真５）。

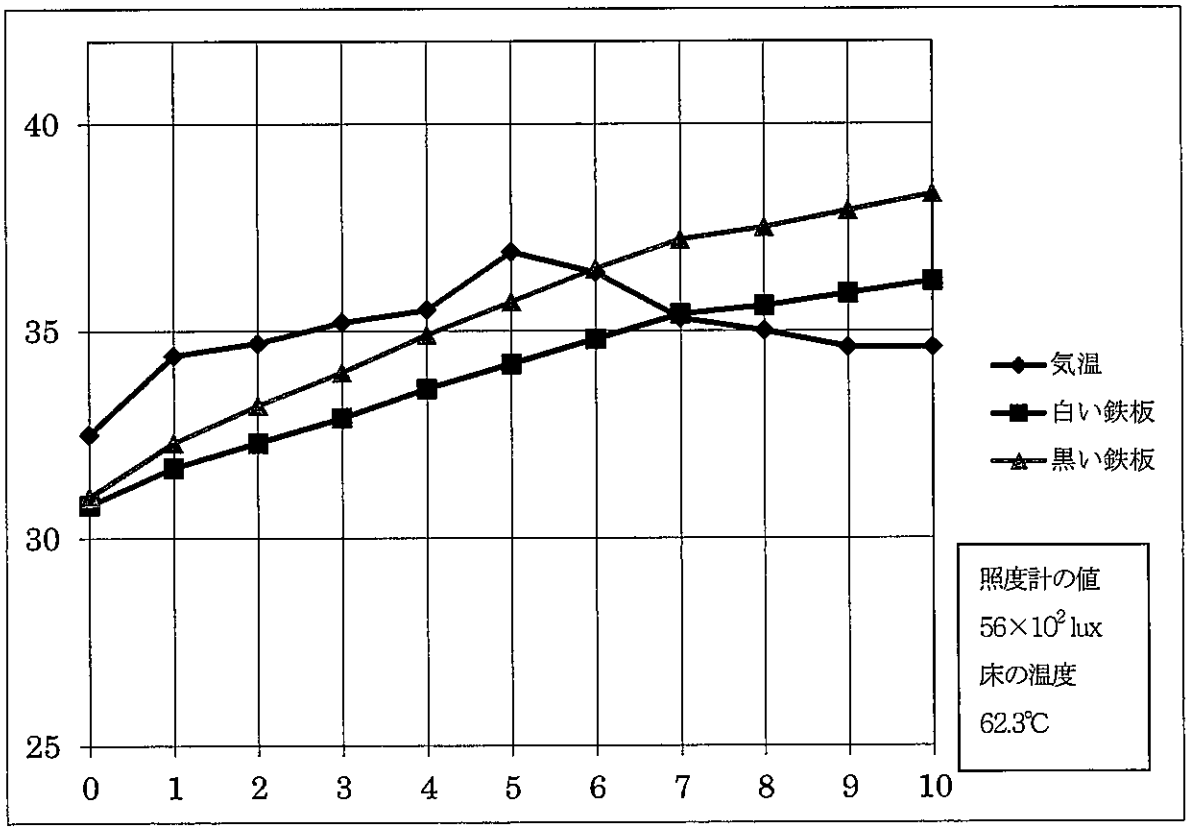


図３　装置を水平に向け、反射光＋２次放射を測定したグラフ
縦軸は温度（℃）、横軸は経過時間（分）である。
グラフ中の気温は、装置内に設置した温度計の示した値（装置内の気温）である。
グラフの直線部分から求めた黒い鉄板の温度の変化量は、1.0℃/分であった。

測定結果をみると、装置内の気温はそれほど変化していないが、黒い鉄板の温度は大きく変化している。このことから、この装置が反射光や２次放射のエネルギーを的確にとらえていると考えることができる。

この結果から、たとえ日陰であっても放射熱の影響が存在することを証明できた。

直達日射量に比べて、白い鉄板の温度上昇が目立つが、２次放射の波長が赤外線であることから、白い塗料の赤外線の反射率に問題があるのかもしれない。

グラフから求めた黒い鉄板の温度の変化量　$\Delta t = 1.0$℃/分 ＝ 0.017K/s

よって、反射光＋２次放射の単位時間当たりのエネルギー P_2 は、

$$P_2 = \frac{114J/K \cdot 0.017K/s}{1.05\times10^{-2}m^2}$$

$$\underline{P_2 = 180\ \mathrm{W/m^2}} \qquad \cdots②$$

［反射光と２次放射の分離］

測定の原理で示した方法に従って、反射光と２次放射の分離を試みる。

直達日射の照度計の値　$L_1 = 1408\times100\ lux$

水平向きの照度計の値　$L_3 = 56\times100\ lux$

水平向きの照度計の値は、反射光の照度を表していると考えられる。単位時間当たりの直達日射のエネルギーを P_1、単位時間当たりの水平向きの反射光のエネルギーを P_3 、直達日射と反射光の波長域が等しいと仮定すると、

$$P_1 : P_3 = L_1 : L_3$$

$$P_3 = \frac{440W/m^2\times1408\times10^2 lux}{56\times10^2 lux}$$

$$\underline{P_3 = 11\ \mathrm{W/m^2}} \qquad \cdots③$$

②で反射光＋２次放射の単位時間当たりのエネルギー P_2 が求められている。

反射光＋２次放射の値 P_2 から③で求めた反射光の値 P_3 を引き算すれば、２次放射の値 P_4 を求めることができる。

$$P_4 = P_2 - P_3$$

$$P_4 = 180\ \mathrm{W/m^2} - 11\ \mathrm{W/m^2}$$

$$\underline{P_4 = 169\ \mathrm{W/m^2}} \qquad \cdots④$$

これらを総合すると、校舎３階の渡り通路の単位時間当たりのエネルギーは、

直達日射量（直射日光）	$P_1 = 440\ \mathrm{W/m^2}$
水平向きの反射光＋２次放射	$P_2 = 180\ \mathrm{W/m^2}$
水平向きの反射光	$P_3 = 11\ \mathrm{W/m^2}$
水平向きの２次放射	$P_4 = 169\ \mathrm{W/m^2}$

という値を得ることができた。

4　考察

私たちは、目標としていた放射熱の量を定量的に測定する装置を開発し、実際に測定することに成功した。同時に、たとえ日陰であっても放射熱の影響が存在することを測定によって検証することができた。

この測定が正しいとすると、校舎３階の渡り通路では、直射日光の半分に近い量のエネルギーが、反射光＋２次放射によって伝わってきていることになる。これでは、日陰に入っても多くの放射熱にさらされることになり、暑いはずである。このときの渡り通路の床（素材は防水ゴム）の表面の温度は62.3℃もあり、熱くて触ることができなかった。

暑い夏の日には、直射日光を遮るだけでなく、こうした反射光や２次放射を少なくすることによって、より涼しい環境を作ることができると考えられる。

放射を遮る物体を置いても、その物体が高温になると、それ自身が２次放射源となるため効果は薄い。放射を遮っても温度の上がらないものがよい。こうした点で、ゴーヤや簾は理にかなっていると考えられる。

地面や床材についても、反射率が低く、温度の上がらないもの（２次放射が少ない）がよいと考えられるが、今回の研究では、時間不足のため検証できていない。

一方、装置内の気温に大きな変化はなかったことから、これらの放射熱は、気温を直接上昇させるのではなく、放射の当たった物体の温度を上昇させることがわかった。

5　研究のまとめ

（１）放射熱の量を定量的に測定する装置を開発し、実際に測定することに成功した。

（２）たとえ日陰であっても放射熱の影響が存在することを測定によって検証した。

（３）反射光＋２次放射の放射熱は思っていた以上に多い。これらの違いが、同じ日陰であっても、体に感じる暑さに違いが生じる原因になっていると考えられる。

（４）夏の暑い日には、直射日光を遮るだけでなく、反射光や２次放射を遮ったり、反射光や２次放射の発生を少なくすることによって、涼しい環境を作ることができると考えられる。

6　感想

観測装置については思っていたものができたが、当初の計画では、装置の制作だけでなく、その装置を使って、砂地や草原、林、市街地など異なる環境で放射熱の測定を行う予定だった。しかし、部品の入手に時間がかかり、装置の開発が遅れてしまったこと、装置が完成した後は、測定できる日で暑い日がほとんどなかったために、測定することはできなかった。残念である。

来年になって、また暑い夏が訪れら測定を再開したいと思う。

［追補］打ち水の効果

日本では、古くから夏を涼しく過ごす工夫として、打ち水をしたり、軒に簾を下げたりしてきた。これまで、打ち水については、撒いた水の蒸発熱によって気温が低下して涼しくなるのだと説明されてきた。しかし、私たちはこの説明に疑問を持っている。蒸発熱が空気の熱を奪ったとしても、空気は常に動き、次々と入れ替わっているので、打ち水程度の規模では、気温に与える影響はほとんどないのではないか。また、本校の近くには水田が沢山あるが、蒸発熱によって涼しくなるのなら、水を満たした水田の上を吹いてきた風は涼しく感じるはずである。しかし、実際には、蒸し暑いと感じることはあっても、涼しいと感じたことは１度もない。

これらのことから、私たちは、打ち水によって涼しさを感じる主な原因は、気温の変化ではなく、放射の変化であると考えている。打ち水をすることによって、

（１）土やコンクリートが濡れると黒くなるので、反射光が減少する。

（２）地表の温度が低下するので２次放射が減少する。

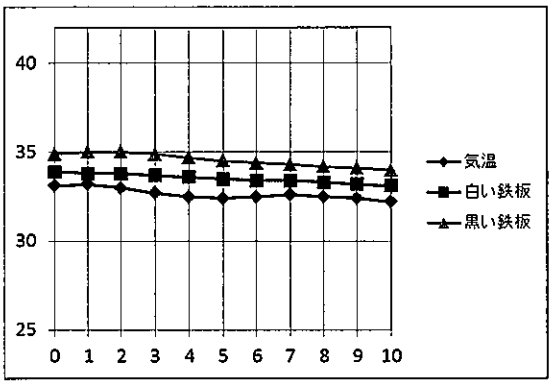
この２つの放射の変化を観測によって実証し、打ち水に関するこれまでの常識に修正を加えたいと考えている。

残念ながら時間不足で満足な測定はできていない。２回の測定を行っているが、いずれも測定の条件が悪く検証には使えない。参考として測定したデータを示す。２台の装置による比較同時観測である。

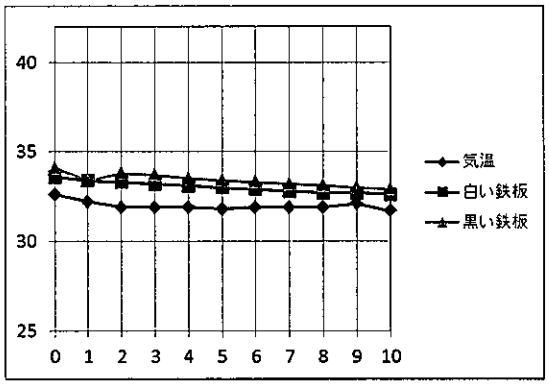
9月2日16時46分

太陽は西に傾き、気温が低下している状態での測定である。

打ち水なし　地表温度41.0℃



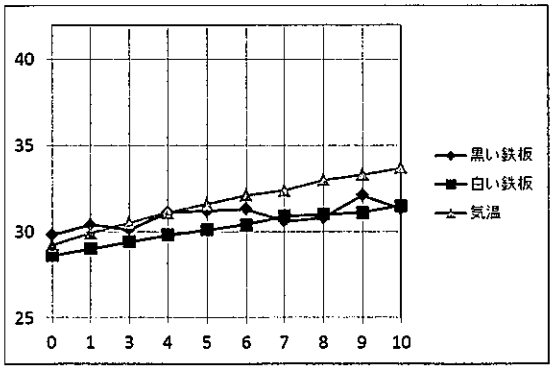
打ち水あり　地表温度38.1℃



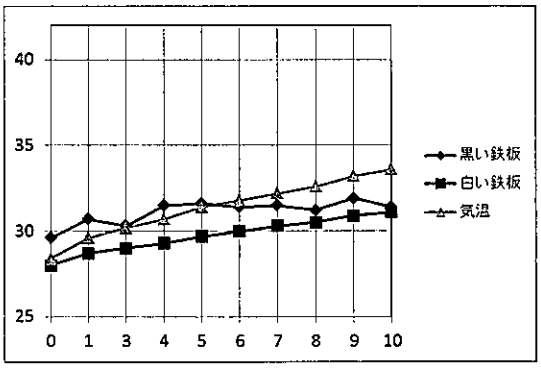
9月20日12時36分

雨上がりで曇っていた空から太陽が出たので測定してみた。昼休みの時間が短く、バケツ一杯分、1m^{2}程度しか水を撒くことができなかった。

打ち水なし　地表温度43.3℃



打ち水あり　地表温度42.3℃



優秀賞

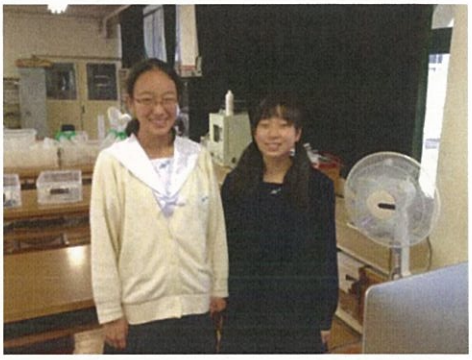
賞金 15 万円

紫外線観測装置

「紫式部」

長崎県立長崎西高等学校

紫外線観測装置「紫式部」



長崎県立長崎西高等学校　地学部
今村　春香　imamura@245skyshare.com
近藤　遥香　kondou@245skyshare.com

1．はじめに

近年，「紫外線」に対する人々の関心が高まっている．紫外線は多量に浴びると皮膚がんや白内障になる危険性を高める．しかし，最近では紫外線への過度の警戒により，こどもへの健康被害も出ているという．子どもが日光にあたる機会が少ないことも，“くる病”増加の背景として指摘されている．

「赤ちゃんには日光浴がよくない，紫外線がよくないという情報がたくさん出ている．守りすぎて，全くあたらないと，皮膚でビタミンDが作れず，どうしても少なくなってしまう．」

東京大学大学院　小児医学講座　北中幸子准教授
（出典）NHK特集まるごと　乳幼児の“くる病”にご注意！
NHKニュースおはよう日本　2013年10月17日（木）放送
http://www.nhk.or.jp/ohayou/marugoto/2013/10/1017.html

紫外線量を個人が手軽に観測できれば，観測値に基づき適切に紫外線を浴びることができ，このような病気の罹患率が減るのではないかと考える．

また，各個人が観測した紫外線量を，ネットワークを利用して一か所に集めることによって，リアルタイムの「全国紫外線マップ」を作成できるのではないかと考えた．

紫外線は，波長によりUV-A（315nm~400nm），UV-B (280nm~315nm)，UV-C (100nm~280nm)に分けられている．特にUV-Bはオゾン層破壊の影響を受け，オゾン層が1%減ると地上のUV-B量は約1.5%増えるといわれている．（出典）国立環境研究所 オゾン層の破壊-過去・現在・未来- オゾン層と紫外線　http://www.nies.go.jp/escience/ozone/ozone_01.html

紫外線観測のネットワークを全世界に広げることができれば，オゾン層の観測にも役立てることができるのではないか．紫外線に起因する病気の罹患率の低下を図り，地球環境の変化を捉え，そして何より私たち自身，大人になった時に肌のトラブルで悩まないように，この観測装置を開発した．

2．紫外線の観測方法

紫外線を観測するために以下の３つの方法を考案した．

①はく検電器の光電効果を利用する

はく検電器に紫外線を当てると，電子が飛び出すことにより，はく検電器のはくが閉じるという現象を利用する．

②iPhoneを利用する

iPhoneと紫外線観測モジュールを使用して，紫外線量を測定する．

③モンシロチョウを利用する

モンシロチョウの羽のオス・メスによる紫外線の反射の違いを利用する．

3．装置の開発

測定方法③の「モンシロチョウを利用する」については，モンシロチョウを捕獲することができなかったため，研究できなかった．

3－1　はく検電器の光電効果を利用した観測法の確立

3－1－1　身近な材料を利用して　はく検電器　を製作する．

10種類の作り方を試し，その中で独自のはく検電器の作り方を考案した．

図１．身近な材料を用いて試作した「はく検電器」

今回考案したはく検電器の材料は以下のとおりである．

材料：	500mlペットボトル	ペットボトルキャップ
	6.5cmの釘	プラスチック製の板
	板チョコレートの包み紙	ビニルテープ
	アルミホイル	紙

工夫点は，はく検電器のはくの開き具合が分かりやすいよう角度の目盛りを書いた紙をつけた点（図２），板チョコレートの包み紙をハンマーで叩きできるだけ薄く延ばした点，すべて身近に手に入る材料で製作した点（図３）である．

図２．はくの角度目盛り

図３．ペットボトルを利用して制作したもの

また，外の容器を高さ5cm，直径2cmのガラスの小瓶に変え，長さ5cmの釘を使用し，小型化したものを製作した（図４）．

図４．小型化したはく検電器

3－1－2　自作はく検電器の実用化への実験

はく検電器の上部の直径が，キャップの1倍，2倍，3倍，4倍と変化させたものを製作した（図５）．

１倍 ⟷ ４倍 ⟷ １倍

図５．天板の大きさを変えたはく検電器

ポリプロピレン製の筒と綿100%のタオルをある一定の回数こすり合わせた．帯電列よりこの2種類の物質をこすり合わせると，ポリプロピレンが負，綿が正に帯電することが知られている．この2種類の物質をある一定の回数こすり合わせた後，負に帯電したポリプロピレン製の筒をはく検電器の上部に近付けた．この時，はく検電器の上部の直径のキャップに対する倍率ごとに，はくが開いた角度を12日間計96回計測した．また，市販のはく検電器（図６）についても，同様にして，はくが開いた角度を12日間計１２回計測した．市販のはく検電器には，「ケニス株式会社製はく検電器　EA」を使用した．以下はこの実験で得られた１２日間総計108のデータを分析したものである．

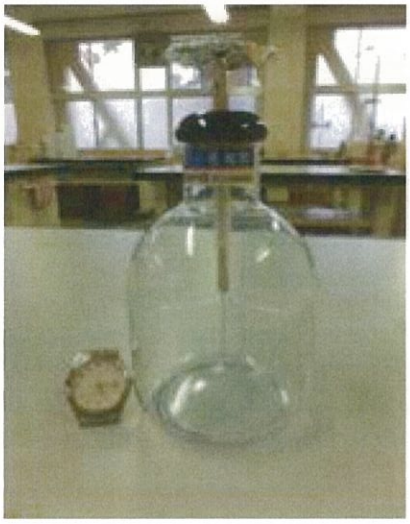


図６．市販のはく検電器

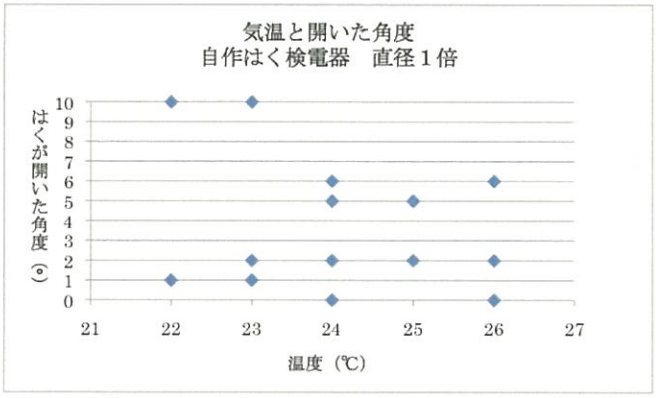
●はく検電器の天板直径のキャップに対する倍率と，はくが開いた角度の関係

倍率	はくが開いた角度 平均　[°]	はくが開いた角度 最大値　[°]	はくが開いた 角度 最小値[°]
自作はく検電器 直径1倍	3.54	10	0
同2倍	3.5	8	0
同3倍	3.92	10	0
同4倍	2.17	5	0
市販の はく検電器	69.33	90	0

自作したはく検電器は市販のはく検電器に比べ，非常にはくの開きが悪い．

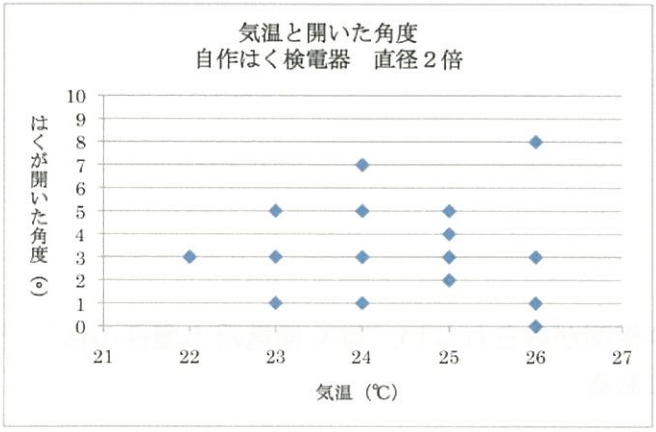
●気温とはく検電器のはくが開いた角度の関係

自作はく検電器直径1倍



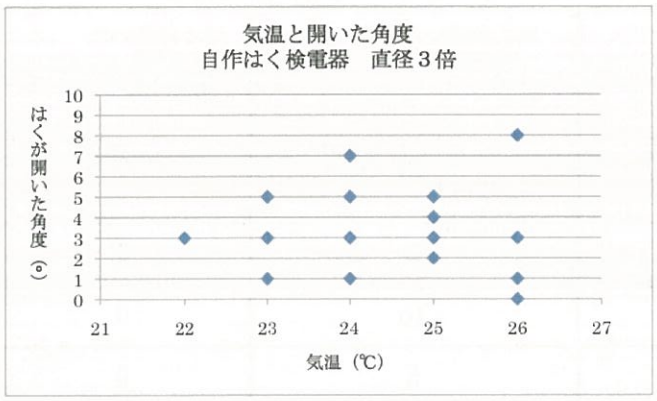
相関係数　-0.28991

自作はく検電器直径2倍



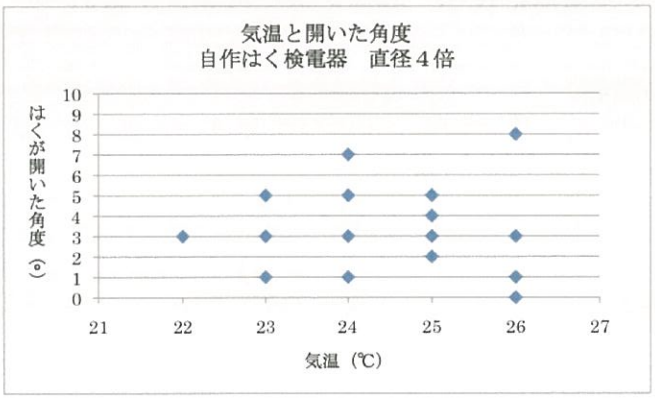
相関係数　-0.07027

自作はく検電器直径3倍



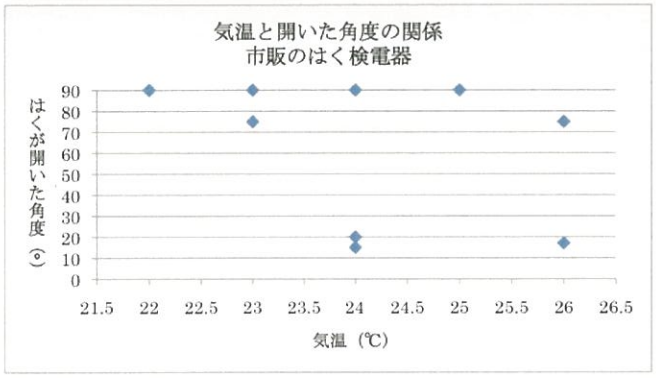
相関係数　-0.39302

自作はく検電器直径4倍



相関係数　-0.39254

市販のはく検電器

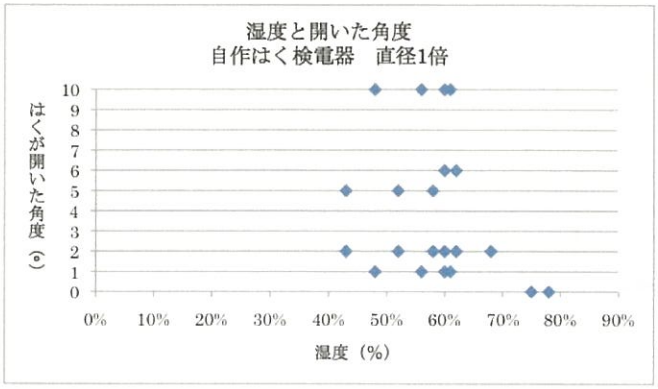


相関係数　　-0.35892

気温とはくが開いた角度の間にはあまり相関がみられない．はく検電器の直径の倍率が大きくなると，気温の影響を受ける傾向にある．

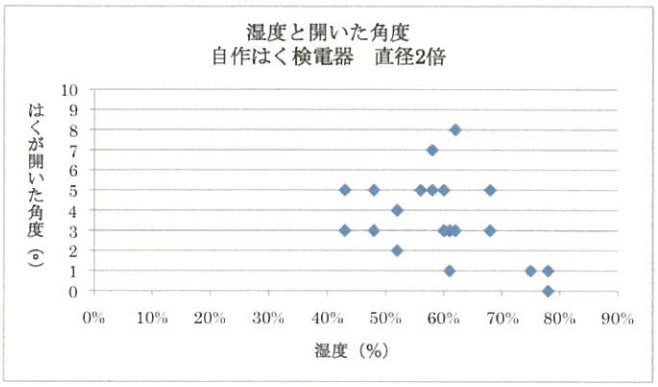
●湿度とはく検電器のはくが開いた角度の関係

自作はく検電器直径1倍



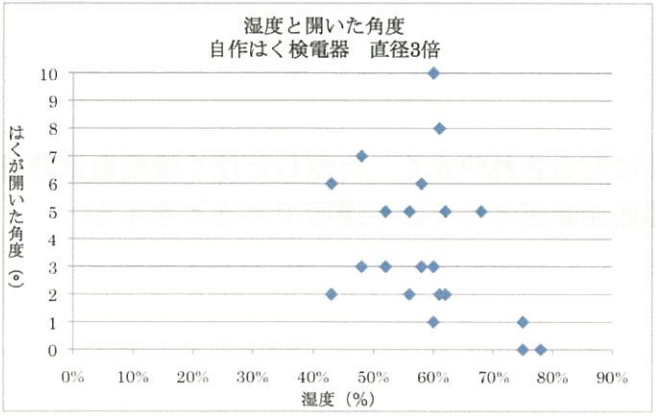
相関係数　-0.39416

自作はく検電器直径2倍



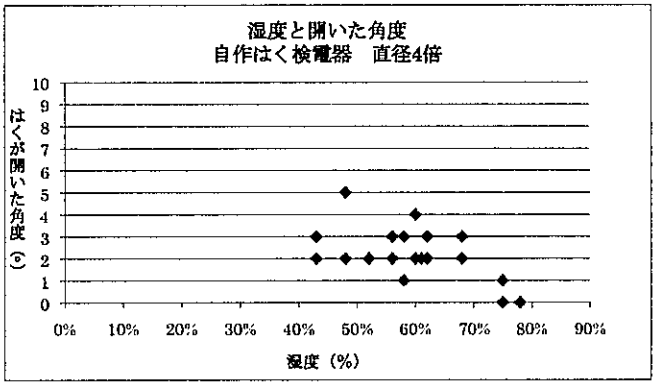
相関係数　-0.47126

自作はく検電器直径3倍



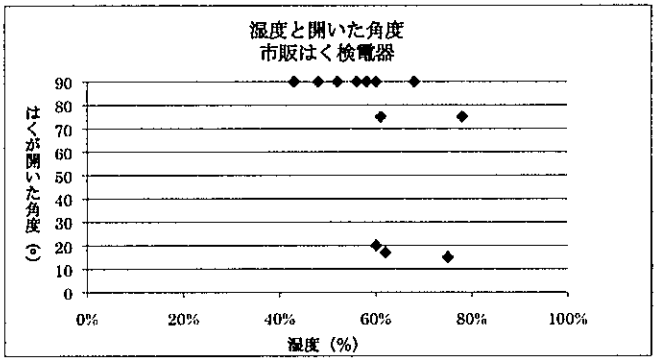
相関係数　-0.38222

自作はく検電器　直径4倍



相関係数　-0.58028

市販はく検電器



相関係数　-0.43105

湿度とはくが開いた角度の間には弱い負の相関がみられる．はく検電器の直径の倍率が大きくなると，湿度の影響を受ける傾向にある．

3－1－3　考察

はく検電器は気温・湿度に左右されやすく，自作したはく検電器は非常に反応が悪いため，紫外線観測装置としては不適切であると考える．

3－2　iPhone を利用した紫外線測定器の開発

iPhoneのカメラの記録素子は可視光線だけではなく赤外線，紫外線にも感がある．通常，私たちがカメラで写真をとるときには，光学フィルターをかけることにより，可視光線のみを通過させている．そこで当初は，iPhoneのカメラで紫外線のみを捉えることができるように光学フィルタを設定し，紫外線の強さを計測できるようにしたいと考えていた．しかし，iPhoneを分解すると保障の対象外になり，なにより，光学系を改造しては，多くの人々が手元にあるスマートフォンをそのまま利用して観測に参加し，情報を共有するという意義が薄れてしまうと考えた．そこで，iPhoneとは別に，紫外線センサ（GaAsP素子）を利用して紫外線強度を測定し，データをiPhone本体に送る観測子機を制作することにした．この子機を配付すれば，多くの方々に観測に参加していただけることと考える．

図７．iPhoneを用いた測定

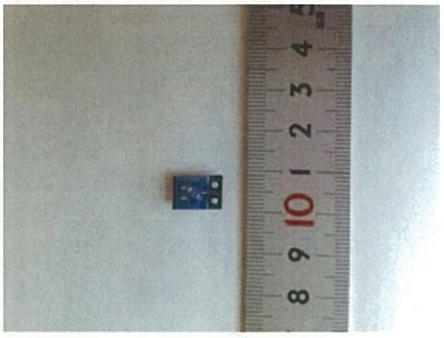


図８．GaAsPフォトダイオード

図８は，子機に使用した紫外線センサである．子機の基幹システムにはArduinoを採用した．ArduinoはAVRマイコンとI/Oポートを備えており，さまざまなセンサを利用することができる．また，電源には，ソーラーパネルを準備した．紫外線量を測定する場面では，自然，日射が得られる環境となるためである．また，得られたデータは，無線LAN規格wifiに準拠したXBeeチップを用いてiPhoneに送る．子機は帽子や服，鞄のひもなどにつけて紫外線を測定するため，親機と子機の間の通信距離は，きわめて短い．そこで，消費電力の低い（送信時260mA，受信時140mA）XBeeチップを採用した．

また，iPhoneに内蔵されいてるカメラ，GPSセンサ，傾斜計，コンパスを利用して，測定時の位置，方位，姿勢を確定させた画像を撮影し，その画像と子機で得られた紫外線量データを携帯電話通信網を利用してサーバに送り，全世界の人々で共有する．撮影・測定からデータ送信，共有データの参照まで，iPhoneのアプリケーションとして設計し，iOS上でobjective-Cを用いたアプリケーション開発を行った．

紫外線強度の目安として，世界保健機関が制定しているUVインデックスを採用した．本指標は，紫外線（特に波長領域290nm～400nm）の人体への影響に着目したもので，０～13まであり，数値が大きいほど紫外線の影響が大きいことを示す．紅斑紫外線量（ＣＩＥ紫外線量）315および400を推定し，指標を算出した．計算には，観測地点の緯度，経度，観測時間から大気の厚さを推定する必要があるが，データには，スマートフォンのGPSデータを利用した．

アプリケーションの動作を表したフローチャートは，図９のとおりである．

図９．アプリケーションストーリーボード

４．まとめ

今いる場所の紫外線量を測定したい．この思いから「紫式部」を作成したが，光電効果は理論としては分かっていても，実際の測定に利用するのは，大変難しいことが今回の研究で体感できた．また，多くの方が所持しているiPhoneなどのスマートフォンと紫外線測定に特化した子機をあわせて利用することにより，紫外線量のその場観測が可能となり，ネットを介してのデータの共有手段を開発することができた．

本研究を進めるにあたり，WNI気象文化創造センターには，気象観測機器コンテストの機会と研究助成を賜りました．感謝申し上げます．

優秀賞

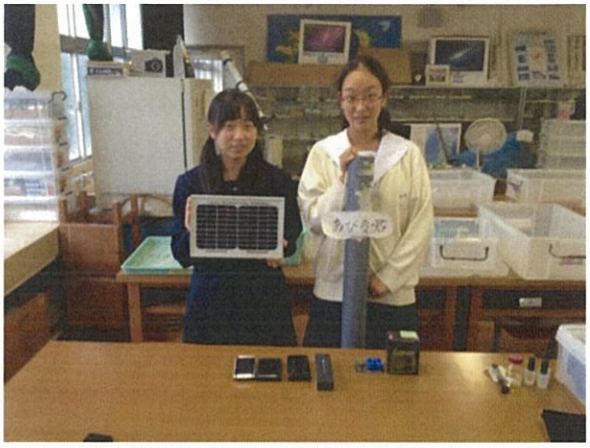
賞金 15 万円

遠隔地自動水位観測装置

「あびき君 R」

長崎県立長崎西高等学校

遠隔地自動水位観測装置「あびき君Ｒ」



長崎県立長崎西高等学校　地学部
今村　春香　imamura@245skyshare.com
近藤　遥香　kondou@245skyshare.com
宮田　魁斗　miyata@245skyshare.com

１．はじめに

「あびき」とは九州西方において，30～40分周期で海面が上下振動する現象で，春と秋に卓越する．過去には，３m近い変動が観測され，係留されていた船や漁網などに大きな被害を与えたことが知られている．あびきの語源は網引きに由来すると言われている（長崎海洋気象台HPより）．あびきは，長方形の容器に水を入れ，一方の端を持ち上げて少し傾けてから元に戻すと，しばらく水全体が左右に振動する現象と同様のものだとの説明がなされている．

このような「あびき現象」を観測し解明したい．遠隔地の水面変動をリアルタイムに測定したい．そんな思いから，昨年度，本校地学部は遠隔地自動水位観測装置「あびき君」を開発した　結果，本校から浦上川の水位変化を知ることができるようになったが，長期間，安定して水位変化を記録し続けるためには，電源の確保や通信手段の確立など，様々な課題が明らかとなった．

図１．1988年３月のあびき現象
長崎海洋気象台ＨＰより引用

本研究の目的は，「あびき君」を，長期間，独立して安定に水位変化等の観測ができるように改良した「あびき君Ｒ」を制作することである．さらに，「あびき君Ｒ」を雛型に観測機を複数作成し，長崎港に設置，観測アレイ（図２）を形成する．これにより長崎港の海面変動を詳しく観測し，あびき現象を考察することを目指す．「あびき君Ｒ」のＲはリファレンス（標準型）のＲである．

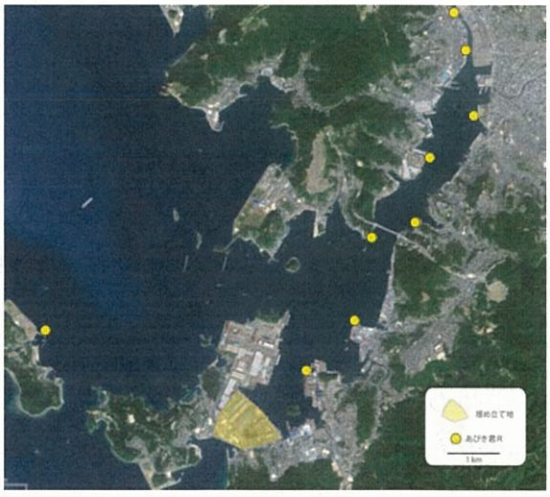


図２．長崎港と観測予定地

2．コンセプト

あびき君Ｒの特徴は，塩化ビニルのパイプと発砲スチロールの球を利用した安価な水位測定器であり，遠隔地の水位変化をネットワークを介して観測することができるところである．また，太陽発電パネルとバッテリを備えているので，観測用の電源を別途準備する必要はない．さらに，通信にはDigi社のXBee proを利用しているため，見通し1500mの通信が可能であり，観測器を数珠つなぎにしたアドホック通信も可能である．

3．設計

「あびき君Ｒ」の構造は，図３のように，塩化ビニルの本体に，発砲スチロールのうきを入れており，上部のセンサ部には，Arduinoを基礎とするセンサ類およびバッテリが内蔵されている．センサには，測距・GPS以外に，気温，気圧，湿度など，水塊の挙動に影響を与えそうな物理諸量に関するセンサも備える．また，頂部には，太陽電池パネルを備え，太陽光発電により，観測・通信に必要な電力を得ることができる．

観測の際は，クレモナのロープで本体を川岸や海岸に固定し，距離センサで「うき」までの距離を測ることで，水位変化を測定する．

本体を鉛直方向に設置できない場合を考慮し，発砲スチロールのうきの形状を球とした．これにより，斜めに設置しても距離センサとうきの距離を正確に測定することができる．

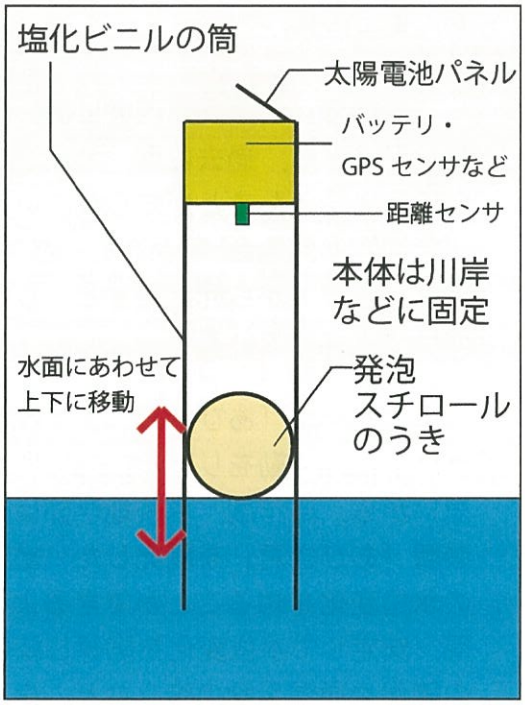


図３．あびき君Ｒの構造

4．水位測定方法

「あびき君Ｒ」の水位測定は，塩化ビニルのパイプ中を，水位にあわせて上下する発泡スチロールまでの距離を測定することにより行われる．距離測定には，超音波距離センサモジュール（図４）を使用する．指向性のよい超音波を利用し，測定レンジは2cm～3mである．動作電源電圧は5V，消費電流は30mAである．2500円である．パイプ内で

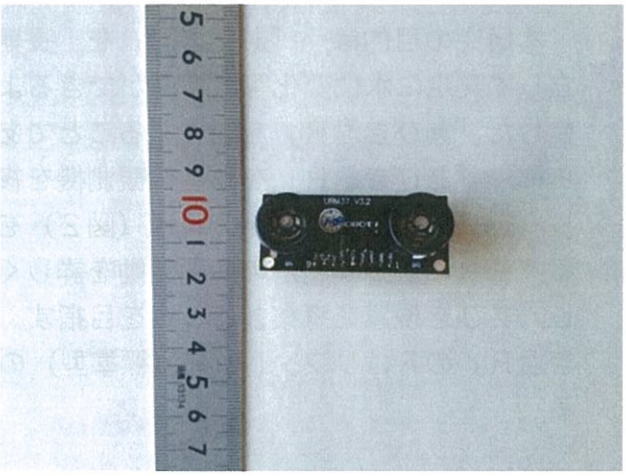


図４．超音波距離センサ

の測定であるため，様々な反射波の観測が予想されるが，指向性がよいため，最短距離を通過するパルスについて観測することで，質の良いデータが得られると考える．

５．制作

あびき君Rの基幹システムには，Arduino uno（図５）を採用した．ArduinoとはAVRマイコンを中心とした回路で，１６本のデジタルI/Oピンと６本のアナログ入力ピンを備えている．あびき君の主な目的である水位観測以外にも，さまざまな観測を行うことができる．動作電圧は5V，大変小さく，3200円と安価である．ここに各種センサを接続していく．

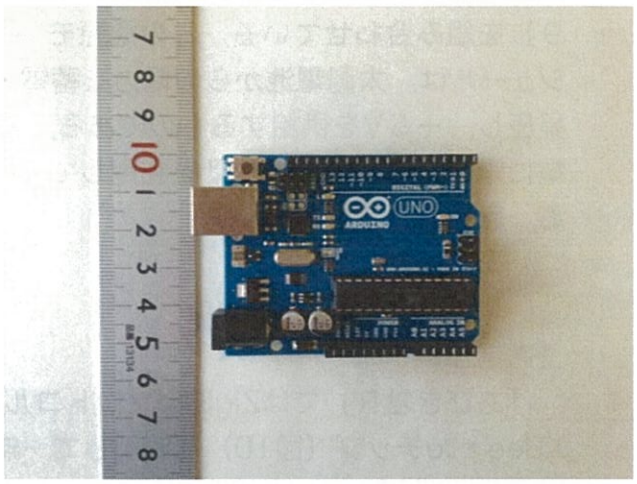


図５．Aruduino uno

【測定部】

水位測定以外に，以下のような項目についても測定する．

・温度，湿度測定

温度と湿度は１つのセンサで測定する（図６）．電源電圧は3.5V～5.5V，消費電流は0.3mAである．300円，測定時間は，湿度については６秒程度，温度については１０秒程度である．

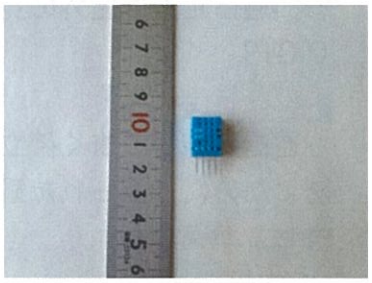


図６．温度湿度センサ

・気圧測定

大気圧は気圧センサ（図７）を用いて測定する．電源電圧は3.3V，消費電流は2mA，測定範囲は260hPa～1260hPaである．650円である．

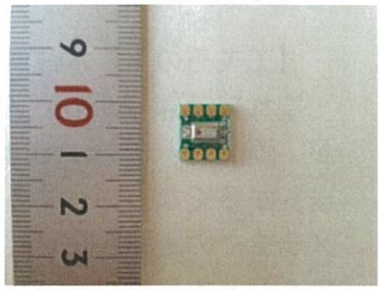


図７．大気圧センサ

・緯度経度測位

GPSモジュール（図８）を用いて観測点の緯度経度情報を得る．その際，GPSの特徴として，大変正確な時間情報も得ることができる．電源電圧は3.3V~6.0V，消費電流は最大50 mAである．価格は2800円である．

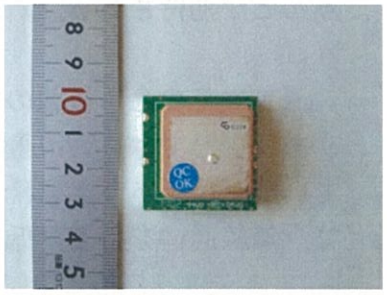


図８．GPSモジュール

【電源部】

太陽電池パネルを準備し，発電によって観測・通信に必要な電力の確保を目標とした．電源の準備を必要とせず，あらゆる場所で観測できるようにするため，電力面でのスタンド

アローンを目指した．

あびき君Rには，５Wソーラーパネルに太陽電池５V安定化電源モジュール（図９）を組み合わせている．この電源モジュールは，太陽電池からの電力を蓄電・昇圧し，＋５Vを供給するものである．蓄電に電器二重層コンデンサを利用している．価格６０００円である．

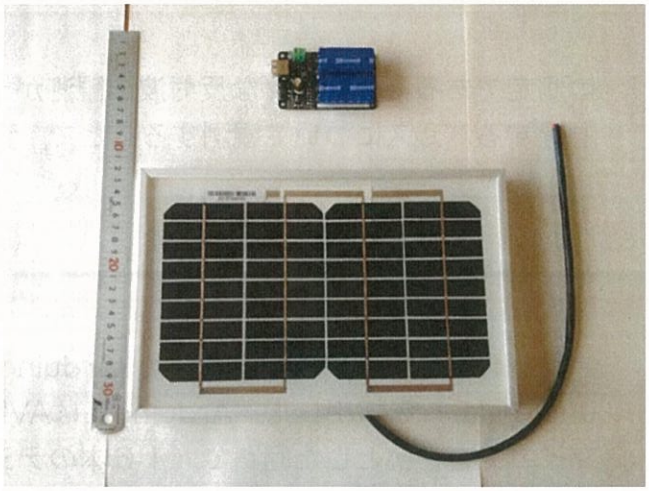


図９．電源モジュール

【通信部】

「あびき君Ｒ」ではZigBeeプロトコルに準拠したXBee proチップ（図10）を利用して，無線通信を行う．送信出力は10mW，電源電圧は3.6V，送信時電流205mA，受信時電流47mA，パワーダウン時電流3.5μAである．通信距離は屋外の見通しで1500mである．価格２８００円．

通信回線がうまく確立できなかった際のデータ消失を防ぐために，得られた観測値のSDカードへの記録装置も併せて準備した．

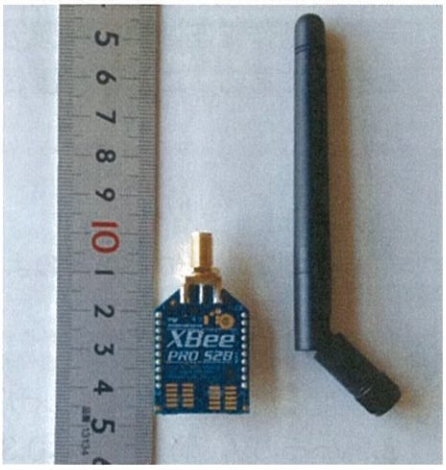


図10．XBeeチップとアンテナ

あびき君Rを実際に作成する際，いくつか工夫をほどこした．

【工夫その１】水位測定の誤差の低減

これまでは，webカメラでうきを撮影し，その面積変化から水位変化を測定していたが，画像データをweb上のサーバへ転送し，サーバで画像処理をしていたため，データ転送量が多くなってしまう問題があった．また，面積変化をもとめるため，水位が高い（カメラまでの距離が短い）ときは，高精度で測定できるが，水位が低いときの測定誤差が大きくなってしまっていた．そこで，超音波測距のセンサを用いることで，水位が低いときの測定誤差を少なくし，また，数値データを送信するため，データ送信量が大幅に減少することが期待される．

【工夫その２】複数の通信手段の準備

あびき君では，Wifi通信機能付きwebカメラを利用して，画像を無線LAN経由で転送していたが，「あびき君Ｒ」ではZigBeeプロトコルに準拠したXBee proチップを利用して，無線通信を行う．低い消費電力で，1500mの無線通信ができる．XBeeはアドホッ

ク通信が可能であるので，約1km以上の間隔で観測器を配列することで，測線をはることができる．

また，将来の目標として，東京大学大学院工学系研究科 航空宇宙工学専攻 教授 中須賀真一先生にご指導いただき，あびき君Ｒの上部に衛星通信ユニットを設置させていただくことで，中須賀真一先生の衛星HODOYOSHIを経由して，サーバへ観測データを直接アップロードすることを目指したい(図11)．これにより，より広い範囲の水位変化を，準リアルタイムに観測することができると期待される．

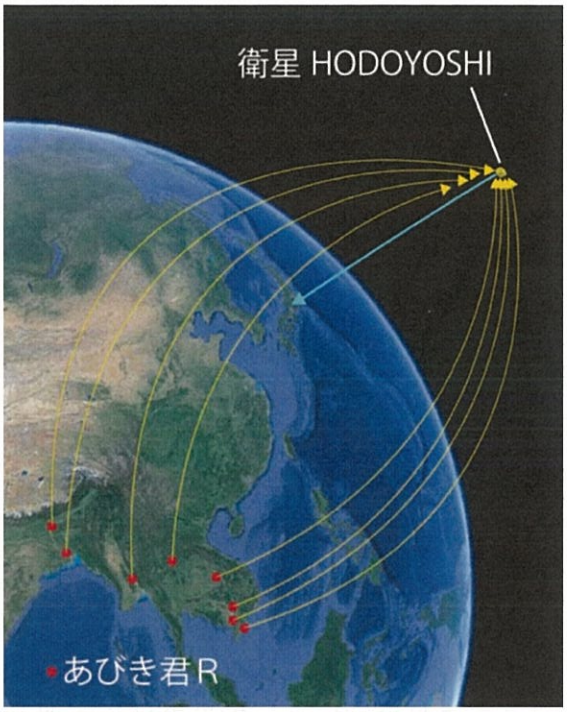


図11．衛星通信によるデータ集約

【工夫その３】データの一意性の確保

観測点の測位および観測日時の決定に，GPS素子を利用する．GPS衛星を４つ以上同時に観測することで，緯度経度だけでなく，正確な時刻も得られる．今回，あびき君Rは複数の観測器からのデータを統合する．その際，観測器のIDとして，緯度経度情報および観測時刻情報をキーにすることで，観測時点・地点の管理がうまくいくものと考えられる．

【工夫その４】電源管理

GPSモジュール，超音波センサモジュール，そして，XBeeとあびき君Rのシステム中には，消費電流が大きいものもある．少ない電力でこれらを運用するために，タイマー制を採用した．つまり，連続運用ではなく，あるインターバルの後，必要な精度が得られるよう測定するよう設定した．

７．測定

距離測定については，昨年同様，5cmずつ発砲スチロールの球をセンサに近づけていき（図１２），そのたびに測距を行った．結果，大変高精度（誤差1mm程度）で測定できた．

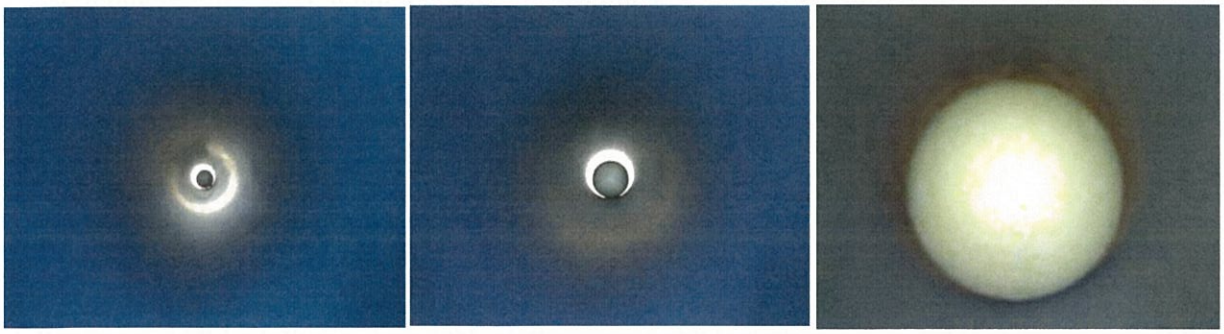


図12．フロートの移動の様子

また，通信距離についても，浦上川および長崎港において，見通し何mの通信が可能か実測した．その結果，もっともよくとどいて1550m，1200m程度の距離までならばほぼ確実に通信できた．

8．まとめ

今回の研究開発により，18000円程度で，電源の面でスタンドアローンとなるアドホック通信可能な水位観測器の制作が可能であることがわかり，あびき君Rとしての標準型ができた．昨年度よりやや高価になってしまったが，精度や位置決定，さらに電源の面で安定性が強化され，長期間の運用に耐えることができそうである．
今後は，観測器を増産し，長崎港に観測アレイをはり，長崎港の水塊の動きを観察してみたい．

昨年度の観測器に比べ，電源の面でもデータ送信の面でも独立性・安定性が高くなったので，より自由に，手軽な気象観測器として自宅付近に設置することができるようになった．個人が身近な地域の気象情報を，自ら得る手段として活用していただけるよう，あびき君Rの改良を続けていきたい．

さらに，将来は，メコン川流域など，携帯電話通信網の未発達な地域における水位変化の観測について，衛星通信あるいは，一端に基地局をおいたアドホック通信を利用して，あびき君Rで観測が可能になるよう，さらなる改良を加えていきたい．

本研究を進めるにあたり，東京大学航空宇宙工学　中須賀真一先生をはじめとして研究室の皆様には，大変有益なご助言を賜りました．ありがとうございました．また，WNI気象文化創造センターには，気象観測機器コンテストの機会と研究助成を賜りました．感謝申し上げます．