

センサによる計測を題材とした小学校高学年向け 教材の開発とその活用事例

福地 健太郎^{†1} 茂木 大佑^{†1}

本稿では、2011年8月に明治大学生田キャンパスで開催した、小学校高学年から中学生を対象とする「夏休み科学教室」において実施した情報科学体験教育の試みについて報告する。この教室向けに我々は科学的計測を題材とした教材を新たに開発した。マイクロコントローラを用いてセンサの値を読み出して記録するデバイスを用い、様々な計測を行わせ、記録されたデータをグラフ化し考察を行わせる内容となっている。今回の教室ではこのデバイスを13組の生徒に持たせ、各種センサによる計測をさせ、その過程や成果物から教材の有効性や問題点について検証を行った。

A teaching material for science education using electrical sensors for senior children at elementary school and its case study

KENTARO FUKUCHI^{†1} and DAISUKE MOTEGI^{†1}

In this paper we present our recent work of information science education for senior children at elementary school that we introduced at Summer Science Program for kids at Meiji University at August 2011. For this program we developed a teaching material including a measuring device using electrical sensors and a microcontroller. The device retrieves values from various sensors and records in the microcontroller's nonvolatile memory. We have students graph the result and give "show & tell" style presentations. We had 13 groups in the program and tested the measuring device and the material to study its efficiency and problems.

^{†1} 明治大学
Meiji University

1. はじめに

現代の社会において、科学教育の重要性は高い。加えて情報科学の発達に伴って生活の様々な場面でITが使われるようになるにつれ、情報科学教育もまた重要視されるようになってきており、様々な試みがなされてきている。こうした教育のための教材開発も盛んに行われている。

科学の基本は計測であり、科学教育もまた計測という概念をいかに伝え体験させるかが重要となる。しかし、正確な計測は、簡単なようでいて難しいということは一般教育課程を通じて国民に伝えきれていない。このことは、原発事故以降、放射線測定器が衆目を集めているにも関わらず正しい用法が理解されていないことから見てとることができる³⁾。そのためにも、計測という行為をもっと深く理解してもらうための教材開発が必要である。しかし、計測作業はどちらかといえば地味な行いであり、子供の興味を引き付ける教材を作るのは難しい。

また、情報科学教育について我々が従来から抱えていた課題がある。これまでに我々が情報科学科の大学生を対象とした実習授業では、コンピュータ端末を使ってのプログラミングに偏重した実習を行ってきっていたが、プログラムによる制御は早い段階で学ぶが、入出力についてはキーボードやマウス、またディスプレイからのキャラクタ情報がグラフィクスに限られており、実世界での現象との関係性が希薄であった。このためか、プログラミングの学習は「プログラマ/SEになるための訓練」と捉えられる傾向があり、実生活上の様々な問題へ情報科学を応用するための基礎的理解が足りていないというおそれを我々は抱いている。

そこで今回、科学教育および情報科学教育のための教材として、マイクロコントローラとセンサによる計測を題材としたものを開発し、それを明治大学で毎年開催している「夏休み科学教室」にて、小中学生を対象として実際に用い試験した。提案教材では生徒が各自で計測デバイスを組み立て、センサを組み替えながら様々な計測を行う。計測結果はマイクロコントローラにより自動的に記録される。記録結果はコンピュータ上でグラフ化し、その結果をもとにした考察を最後に発表する。実施した結果から、今回製作した計測デバイスが上述した目的の一部を達成することを確認した。また、いくつかの問題点を明らかにすることができた。

本稿では、教材の内容・計測デバイスの設計と実装・科学教室での事例報告を示す。

2. 背景

2.1 夏休み科学教室

明治大学理工学部では毎年夏期休暇期間中に、小学生～高校生を対象とした「夏休み科学教室」を開催している。2011年は、8月18日に開催した。理工学部の各学科で題材の異なる教室を担当し、1教室5～40名の生徒を募集する。題材には、小学生を対象とした「エンジンを作ろう」（機械情報工学科）・高校生対象の「レモンの香りをミントの香りにかえよう」（応用化学科）等を用意している。

我々が在籍する情報科学科では例年、「数理パズルを解くコンピュータプログラムを作ろう」という数理科学とプログラミングを題材とした教室と、「さわると反応するアニメーションを作ろう」という、インタラクティブなFLASHアニメーションの作成を題材とした教室の二つを実施してきたが、2011年度に後者を「コンピューターで測ってみよう、グラフにしよう」という題名で、情報科学の応用に焦点を当てた内容に変更した。

2.2 原子力発電所事故以降の状況

科学的計測の重要性とその周知の難しさについて、近年特に意識させられた出来事として原子力発電所の事故とそれに伴う放射性物質の飛散がある。2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に続いて起きた福島第一原子力発電所事故以降、放射線の脅威が身近に迫るようになるにつれ、放射線測定器（線量計）の需要は急速に高まった。線量計の取り扱い一般に非常に難しく、正確に線量を測定するには線量計の較正や計測手順の遵守など、注意しなければならない点が多い。しかしながら一般に出回っている、低精度で未較正の線量計によって、手順を守らずに測定した値がTwitterなどを通じて行き交い、混乱を招いている。

こうした状況に対し、メディアアーティストの八谷和彦が中心となり、線量計の正しい使い方の講習会やトークショーを含んだイベント「ガイガーカウンターミーティング」を6月11日に開催するなど、正しい計測の仕方を学ぶための場を提供する試みがなされている²⁾³⁾。

3. 教材の目的

今回開発した教材の目的についてまとめる。大きな目的としては、科学および情報科学について体験してもらうことを目的としている。特に「計測」に焦点をあて、コンピュータを使った計測機器を持たせ、身近な様々な現象について計測を体験させることとした。また今回開催した科学教室の日程にあわせ、4時間程度の授業時間で最後まで体験できる量にした。

コンピュータを使った計測の目的は、コンピュータの特性を理解してもらうことも目的と

した。すなわち、センサを使うことで計算機でも実世界の事象を対象とすることができること、また高速な情報処理と記録というコンピュータの主要機能に触れること、またそのデータをデスクトップコンピュータ上で加工させることで、情報処理におけるコンピュータの役割の一端に触れること、加えてコンピュータにも様々な大きさ・種類がありそれらの連携について体験すること、を目的ともしている。

さらには、教室の外に簡単に持ち運べるようにすることで、生活の様々な場面においてコンピュータやセンサを活用できることに気づかせることを狙った。

4. 授業内容

授業の手順を以下に示す。前述したように、今回は科学教室向けに4時間程度の授業として設計している。

- (1) 講義: 教室の趣旨説明と、計測についての簡単な講義
- (2) 計測デバイスの組立
- (3) 照度センサを使つての計測練習
- (4) 教室内で様々なセンサを試す
- (5) 何を計測するかを決め、計画を立てる
- (6) キャンパス内で計測
- (7) 教室に戻ってグラフの作成・プレゼンテーション準備
- (8) プレゼンテーション
- (9) まとめ

このうち、(1)～(3)については全体で、(4)～(8)についてはグループ別(または個別)で実施する。

計測デバイスについては次節で詳述するが、センサが取り替えられるようになっており、生徒が自分の判断で何を計測するかを決められるようになっている。センサはバッテリー駆動で、マイクロコントローラに接続されており、マイクロコントローラは計測した値を搭載した不揮発性メモリに蓄える。可搬型にすることで、教室内だけでなく屋外でも計測が可能としている。

計測した時系列データは教室においてデスクトップコンピュータに移動させ、表計算ソフトを用いて加工させる。最終的にはグラフに加工したものに説明や考察内容を書き加えさせ、それを発表させる。



図 1 左: 配布した配線前の計測デバイスと記録用紙など. 右: 用意した計測デバイスを配線したもの.

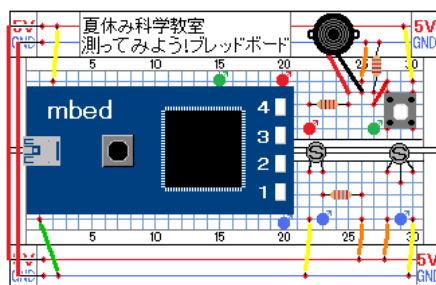


図 2 ブレッドボードに貼り付けた実体配線図

5. 計測デバイス

5.1 概要

教材で使用する計測デバイスについて説明する。

本体はブレッドボードにマイクロコントローラを搭載したものと外部バッテリーからなる(図 1)。ブレッドボードには、実物大の実体配線図(図 2)を貼ってあり、図に従って部品を挿すことで目的の配線ができるようになっている。なお、今回は時間制約と対象学年を考慮して、ほとんどの部品については実装済みの状態で手渡ししている。

センサについては、給電が必要なものとそうでないものの二種類を用意し、それぞれで挿す場所が変えてある(図 2 参照)。センサの種類はマイクロコントローラからは区別されな

いため、後でのデータ加工時に注意する必要がある。

外部バッテリーは単三乾電池を使用するもの(サンワサプライ BTN-DC2BK)で、今回の計測デバイスを接続した状態で連続で 4 時間以上給電することができた。

ブレッドボードは W85mm・D55mm・H10mm の大きさのものを使用した。外部バッテリーの大きさは W36mm・D35mm・H80mm であった。

5.2 コントローラ

マイクロコントローラには、mbed NXP LPC1768 (以下 mbed)¹⁾を使用した。mbed はファイルシステムを内蔵しており、PC に USB 接続すると USB メモリとして認識され、ファイルシステムに PC からアクセスすることができる。PC 側に特殊なデバイスドライバを必要としないため、多くのコンピュータ教室で事前準備なしに使用することができる点が便利である。また、今回の教材では扱っていないが、プログラミングが容易なもの mbed の特徴の一つである。プログラミングは Web ブラウザ用の開発用アプリケーションで行い、コンパイルはサーバー上で行われる。mbed へのプログラムの書き込みは、コンパイル済みバイナリをサーバーからダウンロードし、mbed 上のファイルシステムへコピーすることで行えるため、特殊なアプリケーションをインストールしておく必要がない。ただし、PC はインターネットにアクセスできることが求められる。

今回開発した教材においては、プログラムは事前に我々が作成したものをあらかじめ mbed にアップロードしておく。生徒はプログラムコードに触れたりプログラムをする事は求められない。

他の選択肢として Arduino の使用も検討したが、データの記録と PC へのアップロードにおいて、デバイスドライバや読み出しプログラムの追加が必要となる点が問題になった。

5.3 センサ

以下に挙げるセンサをこれまでに使用した。

- CdS セル (照度センサ)
- 温度センサ LM61BIZ
- 焦電型モーションセンサ NaPiOn (標準検出タイプ)
- 測距モジュール GP2Y0A21YK
- 圧力センサ FSR402
- 曲げセンサ (spectrasymbol 製)
- 振動スイッチ AT-407
- SoftPot 接触位置センサ

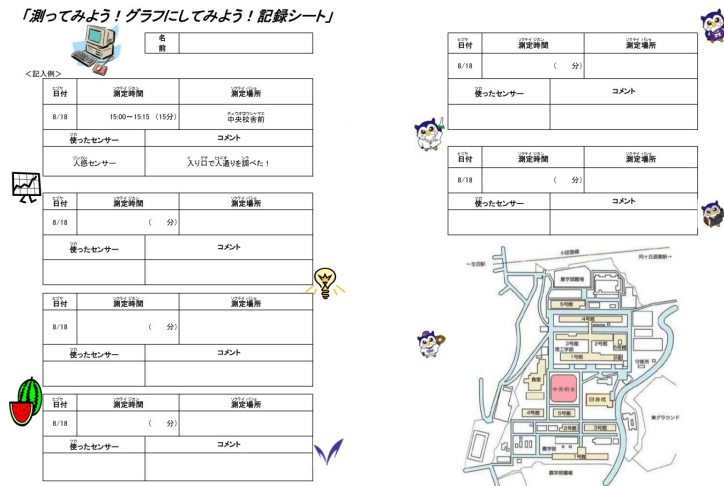


図 3 計測内容の記録用紙

センサの校正や補償などについては今回のデバイスでは考慮していない。

5.4 データ記録

計測デバイスにはボタンを実装しており、ボタンを押すと計測とデータの記録を開始する。もう一度ボタンを押すと一時的に計測を停止する。計測中は mbed 上の LED が点灯する。

記録データの内訳は、内蔵タイマーにより計測した経過時間と、センサからの電圧値をそのまま CSV ファイルとしたものである。一時停止した際には区切りとして “111111” という値を計測値として書き込む。

ボタンを 5 秒間長押しすると計測を終了し、CSV ファイルを閉じる。CSV ファイルのファイル名には連番が付加されるため、何度も続けて計測するとその回数分ファイルが作成される。また、新しい計測を開始するとタイマーがリセットされる。

計測デバイスでは計測時刻や場所、センサの種別は記録されない。それを補うため、記録用紙を配布する (図 3)。またこれに加え、計測時間中に起きた出来事や気付いた事について記録するために、紙と筆記具を持たせる。

5.5 補助出力

センサの計測値の変動が PC に接続しなくても即座にわかるような補助出力が必要と考



図 4 教室全体風景

え、今回は圧電スピーカを mbed の PWM Out 端子に接続した。これにより、センサの値に応じて周波数を変化させることで、少なくとも何かしらの変化が感じられるようにした。

センサ値の出力については、液晶ディスプレイを取り付けて直接数値情報を示したりメータをつける等の選択肢もあったが、今回はブレッドボードの実装面積の制約があり、また準備期間の制約もあったためスピーカのみとした。

6. 実施結果

我々は今回用意した教材を、2011 年 8 月 18 日に明治大学生田キャンパスで実施した夏休み科学教室にて実際に運用した (図 4 に教室全体の風景)。本節でその結果について報告する。

参加者は一般からの応募があった小学 5 年生～中学 1 年生の 26 名に加え、その保護者および家族と一緒に来た弟妹 4 名 (未就学児童～小学低学年) からなった。弟妹は正規の参加者ではないが特別に教室に加えられた。

今回はグループ学習の形を取らせ、2 名づつの全 13 組とした。弟妹らは、姉妹らのいる組に編入させた。各組には明治大学情報科学科のアルバイト学生がティーチングアシスタント (以下 TA) として一名づつ付いた。

教室は生田キャンパスにあるコンピュータ教室で行った。Windows 7 および Microsoft Office 2010 がインストールされた PC を各組に一台使わせ、また発表にはカラープリンタ



図5 左: 教室内の各組の様子。生徒2名につきTA1名がつき、指導する。右: 生徒による計測結果の発表の形態。

と書画カメラを用いた。

6.1 講義・手順説明

教室開始後、趣旨説明と事前講義をした後、詳細な手順説明と配布物確認を行った。その後、番号順に組み分けをした。

6.2 組立・動作確認

計測デバイスの組立については、教室担当が全体に向けて説明しながら、各組でTAの支援を受けつつ生徒が組立をした。今回組立が必要な部品は、ボタン・センサ・スピーカ・ジャンプワイヤー一本・バッテリーであった。

その後、実際に通電させデバイスのテストを行わせた。センサには照度センサを用い、明るさを変化させるとスピーカからの音の音程が変化することを確認させた。この段階で、ジャンプワイヤの配線忘れて音が鳴らないなどの報告があったが、最終的に全員の動作確認をとった。

次に、ボタン操作による計測について教え、実際に計測させた上でmbedをPCに接続させ、データを取り出してグラフ化するまでの手順を一通り行わせた。

6.3 計測

実際の計測は各組に分かれて、TAが適宜助言しながら生徒に行わせた(図5左)。

まず、様々なセンサを試させ、それぞれのセンサでどんな計測ができるかについて体験させた。時間が限られており、またいくつかのセンサは十分な数を用意していなかったため、すべてのセンサは試すことができなかった組がほとんどであったが、2~3種類は少なくとも試していた。

その後、各組でどのセンサを使って何を計測するかをTAを交えて相談させてから、実際

の計測をキャンパス内で始めた。場所は生田キャンパス内に限定させ、30分程度の時間が与えられた。当日は天気がよく外気温は35度程度であり、キャンパス内は夏期休暇中ではあったがキャンパス内での工事の影響やサークル活動に加え科学教室の他の参加者もあり、人通りは多かった。

多くの組が建物内外の様々な場所を試していた。また、教室には温度センサの簡易校正用に氷水と湯沸しポットを用意していたが、それらをずっと計測している組もあった。

6.4 グラフ作成・発表

教室に帰ってきた組から、PCでデータの取り出しと確認、および加工を行わせた。確認の時点で、意図通りに計測できていなかった組が一組あったことが判明した。ボタンの操作忘れて、ファイルの書き出しができていなかったと思われる。また、mbedの不具合によりファイルシステムが壊れ、ファイルの取り出しに支障があった組があった。

グラフの作成についてはExcelの操作が必要であるが、細かい点について指導することはせずにTAに積極的に行わせた。グラフの加工については、折れ線グラフを作成した後は線種の変更程度にとどめ、説明書きなどは印刷したものに手書きさせることとした。一部の組ではExcel上でイラストを貼りつけたり文字を加えるなどしたところがあった他、付箋紙を使ったり、色ペンを多用するなど工夫したところもあった。

発表は、印刷し説明を書き加えた紙を書画カメラを用いてスクリーンに投影して行った。図5右図に発表の様子を示す。ほとんどの発表では、グラフの特徴的な部分(時系列での大きな変化や、グラフの形状)について、その時刻に何が起きていたかについての説明を書き加えており、全体を通じての発見や考察は口頭で発表していた。

以下に発表された内容の一部を抜粋して紹介する。

6.4.1 圧力センサで車重を量ろうとしたもの

図6は、圧力センサを使って、キャンパス内で発見した様々なものの重さを量り比べ、一番重いものを見付けようとしたもの。最終的に、たまたまキャンパス内に駐車していた車の運転手に頼み、圧力センサの上を走行してもらったのだが、圧力センサの感圧範囲が10kg程度であり遥かに範囲を超えていたため計測値がすぐに飽和してしまったことを報告していた。感想として、より感圧範囲の広いセンサを利用してみたいと述べていた。グラフへのイラストの付加と吹き出しの記入はTAが指導して行った。

図7は、温度センサを使用し、計測をしながらキャンパス内を歩き回った結果を報告したものである。付箋紙を使って状況説明を加えている。途中、キャンパス内にあるコンビニエンスストアで、冷凍庫に計測デバイスごと入れたり、ポットのお湯を使って熱湯の温度を

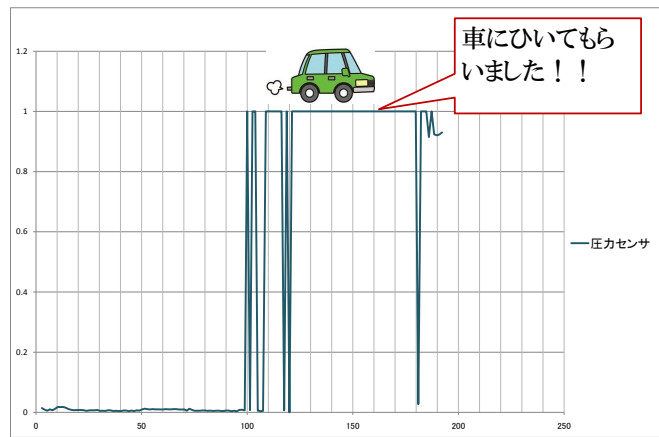


図 6 計測例: 圧力センサを使用し、重さを量ろうとしたもの。PowerPointer の機能を使って説明を加えている。

測ったりするなど、気温以外にも様々な対象物の計測を試みていた。

発表においては、エレベータに乗ったり階を移動したり、また屋外に出るなどして気温が変化している様子がグラフに表われていることを指摘していた。屋内外の気温差だけでなく、建物内の微小な温度差が計測できていたことにグラフを見て気付いたという。

図 8 は振動（傾斜）スイッチを使用して、歩きながら計測した結果について報告したものである。万歩計を振動スイッチを使って作り、人によって歩行の様子がどう異なるかを計測することを狙ったものであるとのことであった。生徒 2 名と TA1 名の計 3 名分のデータが示されており、階段を上下した際の振動の様子が示されている。

発表では、年齢の差が運動の様子に表われているとして会場の笑いを誘っていた。実際には条件が揃っていなかったり歩き方で振動センサの反応に違いが生じるため、身体能力の差が本当にグラフに表われているかどうかは定かではないが、万歩計という工学的応用のみならず身体能力の差の計測の可能性に触れている点はよい着眼であると言える。

図 9 は、測距センサを用いて交通の様子を測定することを狙った結果を示している。センサを屋外の歩道上に水平に向けて設置して計測した。時系列上で表われているスパイク部分について、実際に誰がどのように通ったかの観察結果を書き加えている。

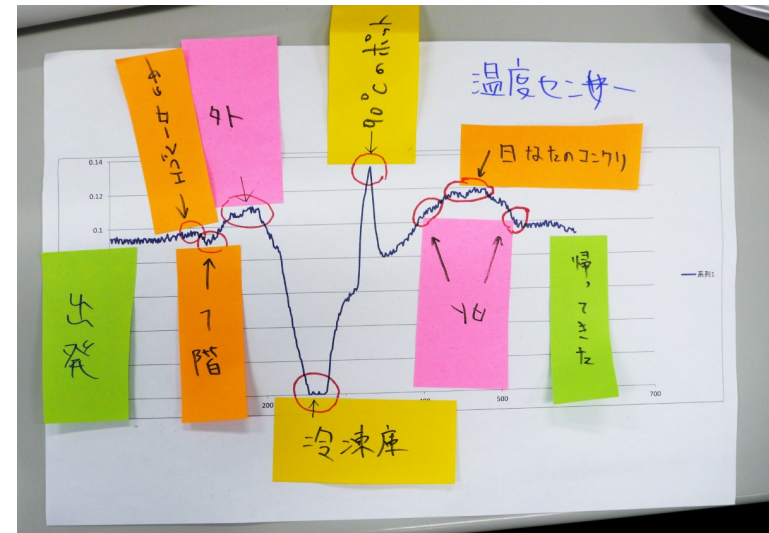


図 7 計測例: 温度センサを使用し、計測しながらキャンパス内を歩き回り、その時系列での変化について報告したもの。計測場所の説明に付箋を用いている。

当初は人数の計測ができることを期待していたが、グラフを見たらそれが難しそうということがわかったと述べており、報告はどのような人が通過したかの観察結果を述べることに重点が置かれていた。また、計測を止めようとセンサに近付いた時の様子がグラフに表れていることが面白かったと述べていた。

その他の組では、曲げセンサを使った計測において、計測デバイス自体を揺らしても反応があることからこれを地震計に使えるのではないかと考察した組があったり、センサの出力値を 0 にすることを目指してとにかく様々な計測に挑戦した組があった。

7. 議 論

教材全体での最大の問題点は、センサからの出力電圧を実際の物理量に変換する手順を含まなかったことである。元々の目的が物理量の計測にあることから考えると大きな欠点である。物理量への変換にあたってはいくつかの問題がある。一つはセンサの個体差で、これについてはセンサの校正作業が必要になる。教材の趣旨から言えば校正作業も含めるべきであり、4 時間という時間制約下で実装するためには、センサの種類を絞るなどの工夫が必要に

デバイスを持ち歩いての計測により、周辺環境の変化や運動の結果を測定した例が多かった。これまでにコンピュータに接続可能なセンサを用いた教材としてはパソリカ⁴⁾などがあるが、可搬型にしたことにより計測対象の多様化を導くことができたと言える。こうした測定においては、複数センサにより様々な物理量を同時に計測することでさらなる発見を導くことができるだろう。

教材の目的によっては、センサの組立工程を外し、校正済みセンサをあらかじめ実装したものを持たせ、どのセンサからの値に着目するかの部分に生徒の独自性を持たせるようにすることで、上記のような問題を解決することができるかもしれない。その場合、接続されているセンサの種類も既知となるため電圧の物理量への変換も簡単になる。一方で、センサを取り替える組立作業の体験はできなくなる。それが学習効果にどのような影響を与えるかについては、今後の調査が必要である。

8. ま と め

科学的計測を題材とした、科学・情報科学教育のための教材を開発し、夏休み科学教室で実地に行った。計測の様子の観察や発表された計測結果から、可搬型センサの効果や時系列データの測定という題材の効果を確認できた。しかし計測値の解釈を省いたことや、プログラミングをさせなかったことで、目的のすべてを達成するまでには至らなかった。また、計測デバイスのインターフェイス上の問題点がいくつか発見された。

今回の教材設計では、4時間程度ですべてを終了させることを目的としているが、今後はこれを半期分の教材として拡張し、また対象学年を絞った上でより高学年向けの教材開発をすることで、さらに内容を充実させることを試みたい。

本教材開発では、明治大学理工学部情報科学科の荒川薫教授・宮下芳明准教授にご協力をいただいた。また科学教室の準備や当日の運営において、同デジタルコンテンツ研究室およびインタラクティブメディア研究室の学生に協力をいただいた。この場を借りて感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) : mbed, <http://mbed.org/>.
- 2) 3331 Arts Chiyoda: 6月11日(土)開催:「ガイガーカウンターミーティング」, <http://http://action.3331.jp/000032.html/>.
- 3) 鈴木みそ:放射線の正しい測り方, パプー (2011).
- 4) サン・マイテック:理科実験支援ツールパソリカ, <http://www.sun-mitec.co.jp/>

[paso-top.html](#).