

## ウェブカメラを用いた放射線の観測

### —学部教育での活用例—

九州大学  
総合理工学研究院  
金 政浩

[kin.tadahiro.981@m.kyushu-u.ac.jp](mailto:kin.tadahiro.981@m.kyushu-u.ac.jp)

#### 1. 序

私が 2012 年に九州大学に助教として赴任して 9 年目・・・いよいよ 10 年目の節目が目前に迫ってきた。赴任当時、ほとんど着の身着のまま着任した私に与えられた最初のミッションは、渡辺（幸）教授からの次の一言で始まった。

「5 月から合計 4 回、スーパーサイエンスハイスクールの事業の一環で高校生が実習にやってくるから、何か面白いテーマを考えてください。例えばこれとかどうですか？」

渡された A4 で 2 ページの資料は、現宮崎大学の武田彩希先生の「Web カメラを粒子検出器として利用した教材について」と題する物理教育学会 (2010) の予稿集であった。福島第一原子力発電所の事故を受けて、様々な放射線検出器が注目されているなか、ウェブカメラで放射線を誰でも測定で



図 1 ロジクール製 C270。大変コストパフォーマンスの良いウェブカメラ(約 2,000 円)である。

きるというような情報を私も聞いたことがあった。

赴任してきてから個室を与えられ、JAEA では大部屋で仕事をしていたのとは対照的で、なんとなくぼつねんと数日過ごしたあたりだった。お金はないがヒマはある、ちょっとやってみるか、と取り組み始めた。久々の生協で1,500 円程度のウェブカメラ(図 1 参照。Logicool 社製 C270...現在の後継機種は C270n)を 1 つ購入してきて、このあとヘビーユーザーとなる OpenCV と出会い、使い慣れた C#でコーディングしてみた(図 2)。すると、研究室所蔵の弱い線源でも比較的すぐに放射線イベントが観測できた。面白い。これはいけると確信した。

ちょっと調べてみると、同じく武田先生のもう少し詳しい資料[1]が見つかった。まだ取り組まれているのかな、と Web で検索するとちょうど総研大で実施される研究会でご講演があるらしい。すぐに参加を決めて現地に向かった。これが九大に赴任して最初の出張だったと記憶している。

翌日行われた武田先生のご講演は人工衛星に積む X線検出器の開発についてであった。ご講演後静かに近づいて声をかけ、手に握ったウェブカメラの文献をつきつけたところ「うわっ、なつかしっ!」というリアクションであった。よく考えれば「講演と関係ない質問をしてくる会ったこともない人」なわけで、怒られても仕方ない状況だったのだが、熱心にそして気さくに応じてくれたことに感謝である。今でも交流を持っており、ウェブカメラがつないだ仲である。

結局、その後多様な形状やサイズの放射線の輝点を数える機能や、長時間露光のように積分画像を撮る機能を加えて無事に高校生の訪問を迎えた。そこで会った高校生は後々我々の研究室に学生として入ってきてくれた。まさにサイエンスコミュニケーションの成功事例だろう。

さて、本稿の本題はここからである。これはもう少し難易度を上げれば学部教育にも最適だと考えた。そこで、本学エネルギー科学科の実施する「課題集約演習」という必修科目でとりあげることにした。これは学部の 3 年生が 4 人程度のグループを組み、各研究

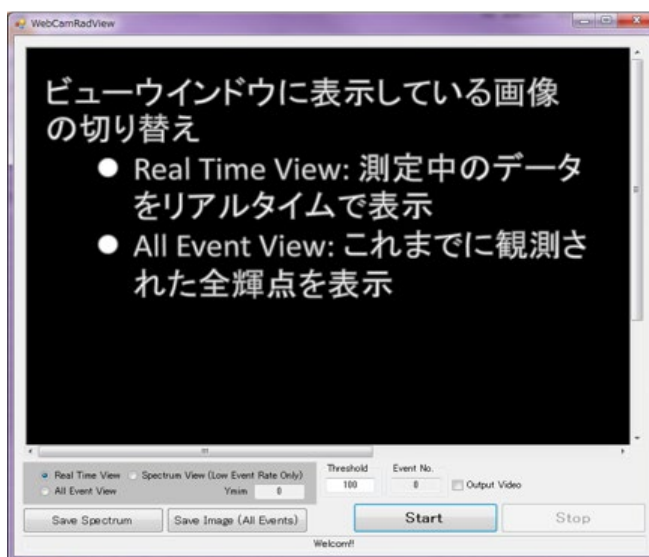


図 2 ウェブカメラ放射線計測ソフトの初期バージョン。RGB 値の和をとることで付与エネルギー分布を調べる機能や、リアルタイム表示、積算画像表示機能など、基本的なものは備わっている。

室に配属されて研究室が設定した課題に半年間週 1 回 2 コマ合計 12 回で取り組むものである。第 13 回目には、21 研究室が一堂に集ってポスター発表を実施する。この発表は、教員の投票結果に基づいた審査が行われ、最優秀発表賞 1 件、優秀発表賞 2 件の表彰もある。その後、今年 2021 年度に至るまで、全 9 回のうち 8 回はウェブカメラを用いたテーマを設定した。その戦歴について紹介する。なお、前年度の先輩が開発したソフトウェアに少しずつ機能を追加していくという伝統を積み重ねるスタイルを取った。

## 2. ウェブカメラの放射線検出器化

ウェブカメラに代表される撮像素子には CMOS イメージングセンサーが広く使われている。CMOS イメージングセンサーは 2 次元フォトダイオードアレイとなっており、図 3 に示すように、光が入射しても放射線が入射しても内部に電子正孔対を内部に生成し、これが起電力となってイベントを検出する。すなわち、環境光を遮ってしまえば、内部で生成される電子正孔対はほぼ全て放射線によるイベントとなる。まとめてしまえばウェブカメラを遮光するだけで完成である。

ただしこのままでは CMOS イメージングセンサーの前面に配置されている光学レンズが遮へいとなり荷電粒子がほとんど計数出来

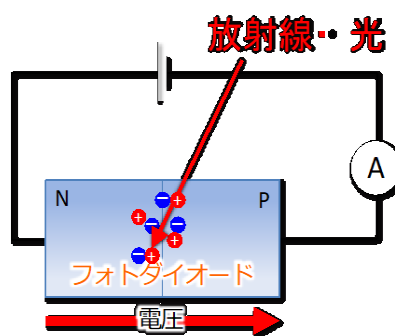


図 3 フォトダイオードは光子が入射しても放射線が入射しても内部光電効果で電子正孔対を生じ、両者を区別できない。

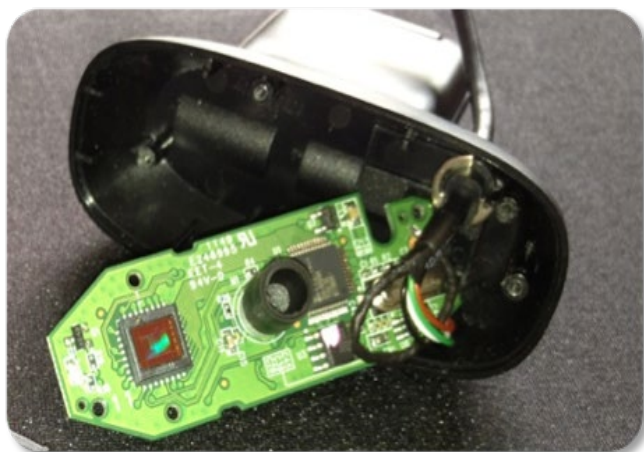


図 4 CMOS イメージングセンサーはウェブカメラ内部の基板上に配置されている。光学レンズを取り除くことで、ベータ線の検出効率を上げることが可能である。

来ない。元々安価なウェブカメラに使われるフォトダイオードは可視光さえ吸収できればよいため、厚みは  $1\ \mu\text{m}$  以下であり、その面積も  $10\ \text{mm}^2$  弱でガンマ線検出効率は低い。効果的にイベントを観測するためには、やはりベータ線に対する感度を上げる必要がある。そこで、お手元の精密ドライバーでバラバラに分解し、光学レンズを取り外す必要がある(図参照)。なお、多くの CMOS イメージングセンサーは光学レンズを取り除いてもカラーフィルターが残っている

ため、完全にむき出しにすることは難しくアルファ線に対する感度は低い。この特徴は、裏を返すと中性子照射のように内部でアルファ線が生じる  $\text{Si}(n,\alpha)$  反応などにのみ感度を持つということである。著者はこれを利用した加速器中性子源のモニタリングにも成功しているのだが、今回はあまりに脇道なので省略する。

いずれにせよ、教材としては申し分なく、ともすれば研究目的にも活用できる大変有用なツールであることを認識して頂けると幸いである。

### 3. ウェブカメラ放射線計測ソフト

#### 2012 年度版

最初の年である。今でも忘れないが、ひとり C#によるダイアログベースプログラミングが面白くなってきたらしく、この学生がほぼひとりでソフトウェアの心臓部を書いてくれた。ウェブカメラは遮光されているため、デバイスドライバが自動で露光時間を最大にしようとする。この際一般的なカメラは概ね露光時間が 1/15 秒となり、毎秒 15 枚の画像が取得可能である。この学生は 1 枚の画像に複数のイベントが含まれるような条件でも比較的正確に数を数える機能も加えていた(2020 年度に手法にバグが見つかったが、かなりの高計数率までは正確に動くことも再確認できた)。

こうして、放射線計測の基礎ともいえる「計数」が可能となったわけである。

#### 2013 年度版

積分画像を表示する機能は最初から備えられていたが、無策では放射線は「白く」記録される。デジタルカメラなどの撮像素子は 1 ピクセルあたり 3 つ以上のフォトダイオードが備わっており、各々赤、緑、青のカラーフィルターを透過してくる光の強度を個別に記録できるようになっている。これをソフトウェア的に混合して原色を再現しているのだが、放射線はこのカラーフィルターを等しく透過するため、どのフォトダイオードも概ね同じ強度の信号となる。これをソフトウェア的に混合すれば、グレースケールになってしまうのである。ここで同一ピクセルにイベントが複数来た場合に人為的に着色する機能を追加することで、積分画像をイメージング画像として取得することが出来るようにした。これにどの程度のインパクトがあったかは言葉で説明するより図 5 をご覧頂いた方が早い。

両者は全く同一の結果を単に着色機能を ON/OFF しただけの結果である。ボールチェーンの金属球をひとつ消しゴムのなかに埋め込んで、それを CMOS イメージングセンサーに密着させてベータ線源で照射した結果であるが、「透視画像」感は十分に出すことができた。ほぼ密着状態から放出されるベータ線源の透過量は、エネルギースペクトルを持つことに強く依存しており、私が現在取り組んでいる宇宙線ミュウオグラフィと同様の原理である。この年は発表会で優秀発表賞に輝いた。

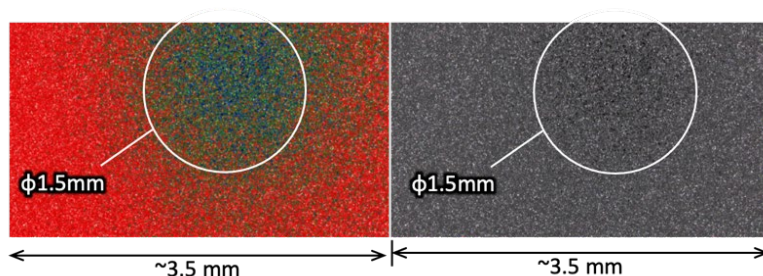


図5 ポリエチレンゴムに埋め込んだ金属球のイメージング結果。左が着色機能 ON、右が従来の積分画像表示である。

### 2014年度版

この年は単に計数するだけでなく、 $^{137}\text{Cs}$  線源と校正済みの NaI(Tl)検出器を用いた簡易校正曲線を作ることで、ガンマ線の正確な空間線量( $\mu\text{Sv/h}$ )を表示できるように改良した。これでベータ線だけでなくガンマ線も計測できるツールに進化した。電離箱と同様、そのガンマ線に対する感度の低さから逆に加速器施設などの高計数率での応用が可能であることを示した。さらにリアルタイムに空間線量がグラフ上に更新される機能を追加して、線源の距離を変えたり間に遮へいをおいたりすると空間線量が如実に変化することを自作のソフトで観測することができた(図6では240秒前に線源をウェブカメラに近づけている)。昨年度の応用技術の体験から放射線教育の実践に立ち返った実習となった。積極的な学生で構成されており最優秀賞を獲得したうえ、5人中4人が我々の研究室を第一希望で選んでくれて配属となった。私が赴任してから、初めて第一希望だけで卒業研究生が埋まった瞬間だった。

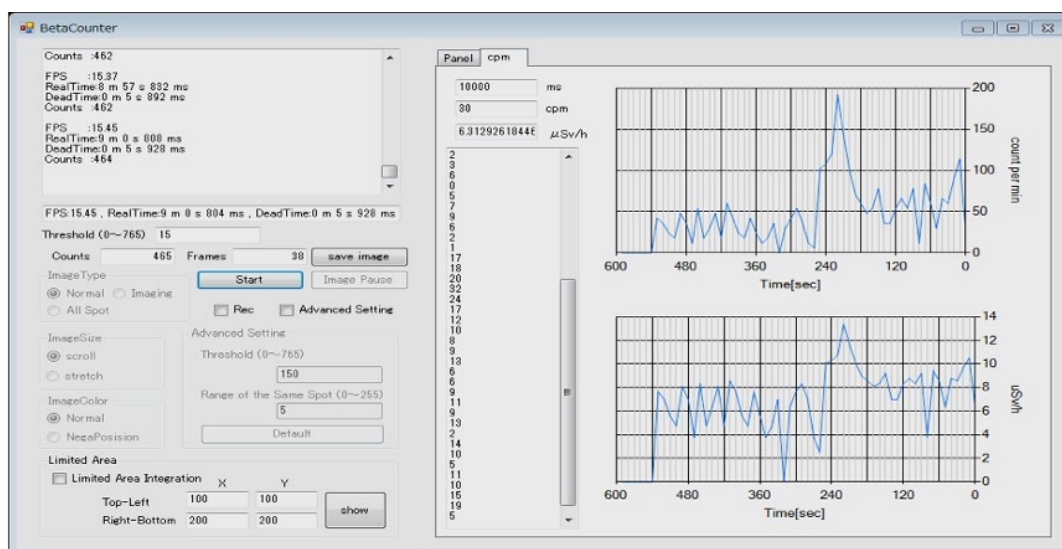


図6 リアルタイムに空間線量率をグラフ表示する機能を追加した。空間線量率は校正済み NaI(Tl)検出器を用いた簡易校正によって実施した。



## 2015年度版

この年度は 2016 年 1 月に閣議決定された第 5 期科学技術基本計画に記載されていた、いわゆる Society 5.0 とマッチした内容となった。課題集約演習自体は 10 月から始まっていたので時代を先取りした形になる。Society 5.0 ではサイバー空間とフィジカル空間の融合がとりあげられているが、この年度はウェブカメラをネットワーク上にぶら下げて定期的についッターに空間線量をポストする機能をつけた。また、線量にはアラートレベルを設定し、原子力事故などに対応できるようにした。さらに、伊都の加速器センターの他者のマシンタイム中に、サイクロトロン真横にぶら下げさせてもらい、加速器の運転状況に応じて空間線量に変化し、適切にアラートが発されることまで示した。当然ではあるが加速器室に備え付けられているエリアモニタのデータと突き合わせてみる(図 7)と、まず、空間線量率はエリアモニタより低めに出ていた。これはウェブカメラが地面に近い部位に設置されていることから、遮へいとなるものが多かったためと考えた。ただし、加速器にかなり近い位置に配置したため、統計誤差を有意に超えた構造がみられることもわかった。以後、私自身の当時のメイン実験である東北大学 CYRIC での加速器中性子源のモニタに使うことを決心した。

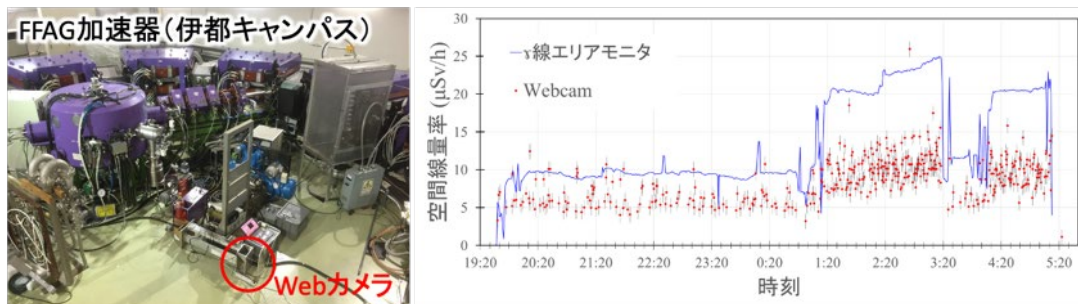


図 7 前段加速器であるベビーサイクロトロン脇にウェブカメラ検出器を設置した。この計測結果は加速器室のエリアモニタの結果と一致していた。

## 2016年度版

この年はついにラジコンに載せて、遠隔から操作して空間線量を測定できるようにした。渡辺研で実施した伊都加速器センターのタンデム実験にのっかり、徹夜で計測を行ったのも良い経験である。

ラジコンのコントロールに使用したのは、2012 年頃に発売され、口コミで徐々に流行始めていたラズベリーパイである。これはカードサイズの PC であり、現在は IoT 社会に欠かせないツールであるとともに、物理実験でも大変広く用いられている。ラズベリーパイには GPIO ピンとよばれる 3.3 V のデジタル信号をそこそこの電流で出力出来るピンがそなわっており、LVCMOS33 の規格のセンサーの制御、モーターなどの駆動が可能な優

れものである。新しいものは誰よりも先に使いたい、そう学生も思ってくれたようだ。さて、成果物の写真は図8の通りである。できあがりもなかなかかっこよく、ポスター発表なのに実機を会場に持って行って実演をするという若干反則技を使って発表をしていた。結果は見事最優秀賞である。

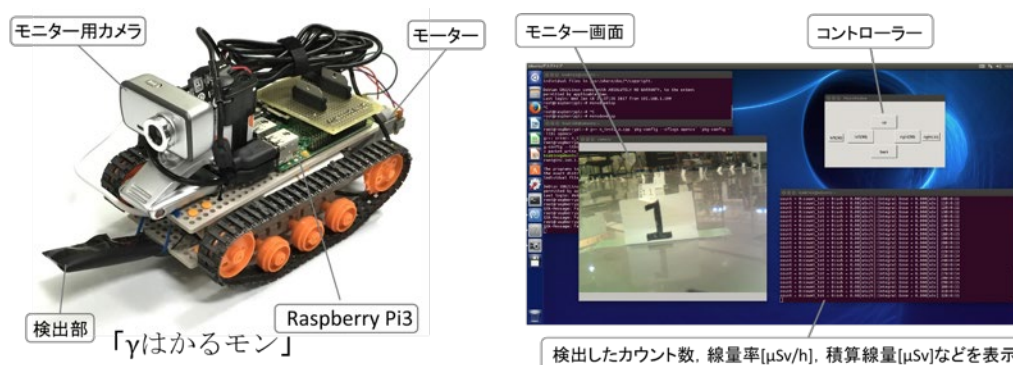


図8 リモートで操作可能な自走式放射線検出器「ガンマはかるモン」。Wi-Fi 経由で操作を行い、一般的なモバイルバッテリーで約10時間の稼働が可能である。

その後、2017年度は一旦ウェブカメラをやめて、CsI(Tl)シンチレータとフォトダイオードで空間線量を測定する装置をつくった。ウェブカメラとは関係ないため、詳細は省略する。

### 2018年度版

再度ウェブカメラに戻ってきた、対象は放射線計測ではなく、ウェブカメラの発する熱ノイズを利用して真の乱数生成器を作成するというものであった。また、その生成した乱数でモンテカルロ的に円周率を求めたり、ランダムウォークのプログラム(図9)を走らせたりした。次世代放射線シンポジウム2020/第32回放射線夏の学校で報告させて頂いたが、乱数の検定を行った上で、2台のウェブカメラ(2,000円×2台=4,000円)を駆動させるだけで、4 Mbit/secの速度で真の乱数を生成できる見通しをたてた。この速度は、ハーフミラーを用いた市販の生成器(約20万円)とほぼ性能が同じである。ソフトウェアは公開してい

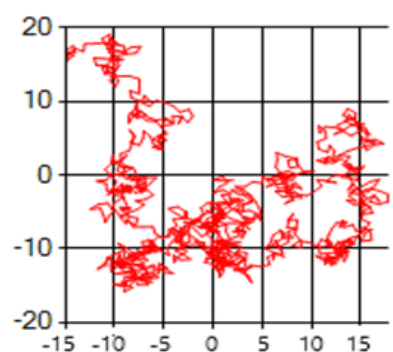


図9 CMOS イメージングセンサの発する熱ノイズを利用した乱数生成器の乱数を用いて、2次元ランダムウォークの計算を行った結果。

ないが希望者には配布することも検討している。なお、課題集約演習発表会では優秀賞に輝いている。

2019年度は私自身が機械学習を用いた研究を始めて3年経過したので、演習に取り込みウェブカメラに写った顔画像からリアルタイムに年齢を予測させたり、ネットに転がっていたデータから電力需要を予測したりするモデルを作ったが、あまりウェブカメラ自体には関係ないので省略する。

## 2020年度版

新型コロナ対策で、対面で実習できたり、在宅を命じられたり目標に到達するのに大変苦労した年であった。取り組んだ内容は、ようやくウェブカメラによる放射線計測への復帰である。取り組んだ課題は2つ。ひとつは日本科学技術振興財団さまよりお借りしたクルックス管から発せられるX線を用いたウェブカメラによるレントゲン写真(図10)の撮影と、ウェブカメラで取得した自然放射線の輝点データを教師なし機械学習モデルでガンマ線、ベータ線、アルファ線などの線種に識別するモデルの構築である。前者は穴の空いた板の撮影には成功したが、後者は単に明るさだけで分類されるモデルとなってしまった。これはk-meansという手法を用いたことが原因で、得られた輝点を持つブラッグピーク的な構造や、輝点が線状なのか点状なのかという情報を適用できなかったからである。しかし制限されたなかでは十二分な結果であり、ひさびさの最優秀発表賞の獲得となった。またここに参加した全員が研究室に第一希望でやってきてくれて、現在卒業研究にいそしんでいる。

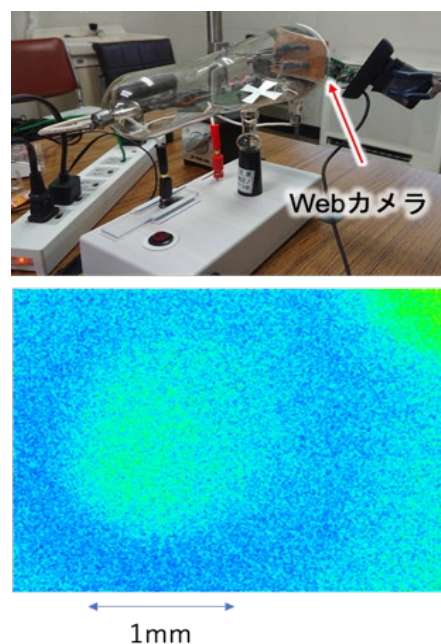


図10 クルックス管から放出されるX線を用いて、万能基板状の穴をイメージングした結果。

## 3. まとめ

集大成として、これまで課題集約演習でウェブカメラ放射線検出器を体験し、我々の研究室で博士課程まで進学してくれた3人(佐藤光流さん、中野敬太くん、青木勝海くん)が科学技術振興財団の主催する放射線教材コンテストに2019年に応募してくれた。結果は最優秀賞であり、電気新聞などで広く報じられ、本学大学院のウェブサイトのトップ



ページも飾ることができた。私が最初にこのテーマに出会ったときに直感的に感じた「これはいける」はいまだ有効であることを確信した。

九州大学工学部エネルギー科学科はすでにその歴史の終焉に近くなっており、現在の学部 2 年生が最後の学年となる。課題集約演習も今年を含めてあと 2 回で幕を下ろすことになるが、私は当学科の教育プログラムで最も優れているもののひとつと固く信じている。走り始めた新学科のカリキュラムにもその精神を残すように尽力しているため、今後とも皆さんに面白いものをご提供していく、と宣言して結びとしたい。

### 参考文献

- [1] Takeda A. Web カメラを粒子検出器として利用した教材について. 学内定期刊行物 フォーラム理科教育. 2010;11.