



Radioisotope

ニュース

No.65 2021

京都大学 環境安全保健機構 放射性同位元素総合センター

2 / 巻頭言 **今後の教育訓練のあり方に想う**

放射性同位元素総合センター長
米田 稔

5 / 研究紹介 **40年間のフィットクロム研究と RI**

京都大学大学院理学研究科
長谷 あきら

8 / 福島レポート2021 **ICRP の新たな挑戦～福島が世界を変える～**

環境安全保健機構 放射線管理部門
角山 雄一

11 / コラム **“清水榮日記” と出会って**

京都大学 名誉教授
五十棲 泰人

14 / センターだより **ポールチップの断片－歴史的な遺品だった！－**

放射性同位元素総合センター
戸崎 充男

18 / センターだより **マルチワイヤースパークカウンターの作成
－新しい放射線教育教材の提供－**

放射性同位元素総合センター
戸崎 充男

22 / センターだより **主任者に選任されて**

放射性同位元素総合センター
堀江 正信

24 / **センターの活動**

28 / **記録・人事等**

今後の教育訓練のあり方に想う

放射性同位元素総合センター長
米田 稔

私は昨年4月から放射線管理部門長兼RIセンター長を拝命した。それまでは工学部・工学研究科のRI実験施設の放射線取扱主任者を10年以上務めている。主任者を10年も務めていれば、RI管理、被ばく管理の法令にもかなり詳しくなりそうだが、これがなかなか難しい。今は各事業所の主任者は3年間に一度、原子力規制委員会の登録を受けた機関が実施する定期講習を受けることになるが、定期講習の内容に、いつも目から鱗が落ちるような新鮮な情報を得ることも多い。私が昨年暮れに受講した教育訓練では特に事故事例のコンテンツが充実してきているように感じた。単なる講義の受講ではなく、明確な正解がない事故対応に対して、グループ討議でどのような順番で対応すべきだったかを考えさせる、といった工夫なども行われていた。ただし、グループ討議といっても新型コロナウイルス感染拡大防止のために、教育訓練自体はすべてZoomによるオンラインでの実施であった。受講状況を確認するため、常にビデオをオンにしてパソコンの前で真面目に講義を受けていることを示す必要があったが、ブレイクアウトルームに分かれての数人毎のグループ討議では、顔や表情を見ながら討議したことで、初対面のグループのメンバーに対して、親近感のようなものを感じることができた。短時間でのグループ討議ではあったが、今度何かの機会に会うことがあれば、挨拶くらいは交わせる関係になったように思う。



京都大学においては、登録前教育訓練と登録者教育訓練（以前は新規教育訓練と再教育訓練と呼んでいた）の内、登録者教育訓練のe-learning化の動きは、コロナ禍以前から進んでおり、工学研究科では全学での実施に先んじてe-learning化を行った。これは工学研究科だけで800名ほどの登録者教育訓練対象者を一ヶ所に集めるだけの会場の確保が困難であったこと、登録者の中にかかなりの数の日本語を解さない外国人留学生がおり、別途、英語による教育訓練の実施が不可欠であったことなどの事情に迫られてのことであった。おかげでコロナ禍での登録者教育訓練においても慌てずに対応が可能であったかと思う。主にRIセンターが担っていた登録前教育訓練についてもコロナ禍対応のため、オンライン化が加速することとなる。このような教育訓練や大学の講義などのオンライン化はコロナ禍の2年間ほどの間に急速に進んだと思われる。教育訓練のオンライン化やe-learning化は、会場の制約や受講時間の調整から主催者や受講者を解放したが、まだまだオンライン化の持つポテンシャルのほんの一部しか利用できていないのではないかと感じている。

オンライン化が持つポテンシャルの利用をもっと進められると感じる点の一つ目は、教育訓練における双方向性の確保である。例えばリアルタイムでの講義では、Zoomで全員が受講中にビデオをオンにしたとしても、数十人から数百人の表情などのレスポンスに気を配ることは不可能に近く、オンデマンド方式の場合

は、受講者が好きな時に受講することになるため、e-learning 教材やビデオ教材をどの程度、真剣に見ているかがわからない。このため、ビデオ教材の所々に散りばめたキーワードを答えさせたり、内容について的小テストを制限時間内に回答させるなどの受講態度や理解度に関する確認プロセスを教材の中に入れるといった工夫が取られているようであるが、受講者が積極的に講義に参加する双方向性の確保には至っていない。確かに RI の教育訓練において、双方向性の確保は必ずしも要求されてはならず、以前の対面で行っていた教育訓練での成果を考えると、受講者がある程度、しっかり理解できているかが分かれば十分なのかもしれないが、オンライン、あるいはオンデマンドの特徴を活かした双方向性の確保方法を開発することで、受講者らの反応や理解度の把握をもっと高いレベルで行う方法を目指しても良いのではないかと思う。まだ利用し切れていないと感じるポテンシャルの二つ目は、受講者の会場からの開放である。これは受講者がオンライン空間において自由に移動できることを意味している。講義の最中に講師が受講者に対し質問し、受講者がオンラインで規制庁や京大図書館などに別の資料を探しに行き、その正答を見つけれれば講義の続きを見ることができるといった、受講者に主体性を要求する講義方法も可能となる。また、主催者にとっては、物理的な会場を準備する必要がなくなり、会場用に確保していたスペースの有効活用といったことも可能となると考えられる。今後、さらに利用が進むポテンシャルの三つ目として、教育訓練としての管理区域内での実習を VR（仮想現実）として用意することが、近い将来、実現するのではないかと考えている。RI 取り扱いに限らず、危険な作業や、経費のかかる作業の訓練では VR の利用がどんどん進みつつあり、宇宙飛行士の訓練などにも利用されていると聞く。作業の失敗によって、実験室の汚染や実習者の被ばくを招く恐れのある RI 取扱訓練は、VR 化のメリットが大きい分野の一つであろう。現在、費用や危険性などのため、なかなか実習を組むことができない内容の訓練も可能になると思われる。教育訓練への VR 技術の応用のためには、高性能で安価な VR ゴーグルなどの普及と、VR コンテンツ作成の簡易化や自動化といったことが必要となると思われる。今後、利用が進むポテンシャルの四つ目は、自動翻訳機能の進化である。留学生用コンテンツでは、自動翻訳機能の性能向上によって、近い将来、日本語と各留学生の母国語をリアルタイムで直接翻訳することが可能となり、英語を介する必要性さえ無くなって、母国語の違いによる理解度の差が解消されることが大いに期待される。

京都大学の教育に関する基本理念として「対話を根幹とした自学自習」が掲げられていることは多くの方がご存じではないかと思う。なぜ、「自学自習」ではなく、「対話を根幹とした自学自習」なのか、これからのオンライン教育のコンテンツを開発していく上で、このことは意識しておいた方が良いと思われる。コロナ禍のために大学の講義の多くがオンラインで実施されたが、そのためか、学生らの学習意欲に低下が見られると聞く。単に動画を見て勉強するだけでは、よほどはっきりとした目標を持って学習している者以外は、学習意欲を失っていくようである。また、対話のないオンライン講義のみでは、学生らの人間関係の希薄化と精神の孤立化を招いてしまい、学習意欲の低下よりももっと悪い事態を招いてしまう可能性もあるようである。そもそもオンラインによる学習だけならば、京都大学の学生だとしても別に京都大学の教員から講義を受ける必要はなく、現在は世界中の講義スキルの高い教授らの授業を受けることも可能となっている。学生らが京都大学で講義を受けるメリットとは何か？それは単なる知識の習得ではなく、教員や講師らとの対話、同級生らとの対話、先輩後輩らとの対話など、多くの優秀な人々との触れあいの中で、自らを磨き、人

間として成長するための刺激を受ける場が提供されることと考えられる。講義時間以外にそのような場が提供されるのであれば良いが、そうでないなら、オンライン講義自体の中で、個々の学生が、そのような刺激を受ける必要がある。RIに関する教育訓練においても、このような対話、あるいは双方向性の確保は意識しておいた方が良いと思う。将来実現されるであろうVRを利用した訓練においても、メタバース（オンライン上の3D仮想空間）の利用などによって、講師との対話、あるいは他の受講者らとの対話の機会を確保しておくなどの工夫も検討しておくべきではないか。教育訓練のオンライン化が人間関係の希薄化を招いてしまうことがないように意識しておく必要がある。

上記では、京都大学における教育訓練や講義について述べてきたが、RIセンターとしては一般市民らへの発信も重要な使命ではないかと考えている。これは言わば、RIセンターが一般市民に提供するRI教育訓練である。福島における放射能汚染の風評被害がなくなることも、放射能や被ばくに関する正確な知識が十分に一般市民に伝わっていないことが最も大きな原因であると思われる。誰もがインターネット上での情報発信が可能となっている現代社会において、情報の質を保証した発信源の存在は非常に価値が高い。京都大学のRIセンターは、一般市民から信頼される情報源であるべきであり、人々の幸福のために寄与する情報源であるべきであって、また、そうなるべき能力を持っていると考えている。RIセンターとして、そのような能力を持ちながら、それを使わないことは、怠慢と言われてもしかたがない。ただし、いくら質が良いコンテンツでも、一般市民に見てもらえないなら、無用の長物となってしまう可能性もあるので、どのような内容・方法での情報発信が適当であるかは、十分に検討していく必要があると考えられる。

もし、今回のコロナ禍が10年前に発生していたら、大学はどのような対応を取っただろうか。もっともPCR検査なども今ほど迅速かつ安価に実施することは困難であったろうから、新型コロナへの感染を検出すること自体が困難であったかもしれないが、学生が自宅で高速インターネットにアクセスできる環境になく、各自のパソコンでZoomのような会議ソフトを利用できなかった場合、どのような対応策を取っていたのか、想像することも困難である。同様に10年後の教育訓練のあり方を想像できるだろうか。RIセンターに要求される内容も大きく変わっているかもしれない。常に時代の要求を意識しながら、その時々をベストを尽くせるように努力し続けることが、大学人に課せられた使命であると考えている。

40年間のフィトクロム研究とRI

京都大学大学院理学研究科
長谷 あきら

1. はじめに

大学院修士課程入学が1979年、そして今年2022年の3月をもちまして定年退職を迎えることになりました。在職中は、放射性同位元素総合センター（以下センターと略）の皆様には、ひとかたならぬお世話になりました。この場を借りてお礼申し上げます。また、1998年に京都大学に赴任して以来、微力ながら部局および全学の放射線管理にも関わらせて頂きました。センターニュースとしては、放射線管理に絞った内容がふさわしいとは思いつつも、数年前すでに「センター長を退任して」（ニュースNo.62, 2018）という文章を寄稿しておりますので、今回は少し視点を変えて、これまでの研究に触れつつ、RIとの関わりについて書かせていただきます。

2. フィトクロムとの出会い

私の研究テーマを一言で言えば、「光受容体フィトクロムを中心とした植物の光応答の研究」、ということになるかと思います。フィトクロムとの出会いは大学院時代にさかのぼります。大学院の指導教官は、フィトクロム学の世界の権威の一人であった古谷雅樹先生（東京大学；当時）でした。当時の古谷研究室においては、高等植物のフィトクロムに関する生化学的な研究と、シダなどを材料とする光応答の細胞生物学的な研究が並行して行われていました。そこで修士論文のテーマに選んだのが、「シダ原系体細胞における光による細胞周期制御の研究」でした。この研究においては、タンパク質合成パターンの変動を、 ^{35}S 標識メチオニンを用いて調べ

ました。RI実験ということで、何かと気を使いながらの実験でした。

博士課程に進学後は、引き続き古谷先生の指導のもとで、「抗フィトクロム単クローン性抗体の作製」に従事し、学位を取得しました。現在では抗体作製を外注することも普通になりましたが、当時は、抗原タンパク質を植物組織から精製する処から始めました。この研究については、フィトクロム精製の道筋をつけた古谷研の諸先輩、浜松医科大学の福本哲夫先生をはじめとする山下研究室の皆様大変お世話になりました。

この研究は、古谷先生が兼任教授をされていた基礎生物学研究所（愛知県岡崎市）（以下基生研と略）で行われたものです。同時の基生研には最新の設備を備えたRI実験室があり、単クローン性抗体の研究とは別に、 ^{125}I で標識したフィトクロムを用いたトレーサー実験なども行いました。 ^{125}I が気化しやすく、非常に厄介であったことが思い起こされます。

3. 理化学研究所時代

1984年、東大を退官された古谷先生は、理化学研究所（埼玉県和光市）（以下、理研と略）で新しい研究室を立ち上げられました。そして私も引き続き、博士研究員として理研で研究を続けることになりました。今考えると、私のその後の研究の方向性はここで決まったように思います。新しい古谷研では、



国際協力が強力に推進され、多くの海外研究者との共同研究が行われました。

当時の私の主要な研究テーマは、光応答に異常が生じた変異体のフィトクロムの解析で、キュウリ、トマト、エンドウなど様々な植物種の変異体を次々に解析しました。そして、これらのうちの幾つかでは、実際にフィトクロムが欠損していることを示すことができました。まだモデル植物であるシロイヌナズナはそれほど普及しておらず、この種の研究には育種系の研究者との協力が不可欠でした。光応答に興味がある世界各国の研究者と共同研究できたことは非常に幸運でした。

当時は、植物生理学分野において分子生物学的研究が台頭してきた時代でもありました。こちらについても、フィトクロム遺伝子を導入した形質転換タバコの解析などを海外の研究グループと共同で行いました。そうこうするうちに、モデル植物であるシロイヌナズナが生理学系の研究室でも扱えるようになり、研究の中心はそちらに移っていきました。私もシロイヌナズナを研究に用いるようになり、今に至ります。学問的に言えば、誰もが変異体を作成し、その原因遺伝子を特定することが可能になり、また、自分が興味のある分子（タンパク質）を自由に改変し、生物に戻してその性質を調べることが可能になった時代でもあります。その後の生物学の興隆は皆様ご存知の通りです。

当時の生物学分野における RI の位置づけを考えると、RI から他の方法への置き換えが進んだ時代かと思います。例えば私は、フィトクロム蛋白質を検出するため、ウェスタンブロットという手法を多用していましたが、そこでフィトクロムの検出に用いていたのは、 ^{125}I などの RI ではなく酵素で標識した抗体でした。特定蛋白質の組織分布、細胞内分布を明らかにする手法も、オートラジオグラフィーが使われることはまれになり、遺伝子操作によって GFP などのタグを付加した蛋白質を遺伝子導入により発現させるという方法が普及しつつありました。

4. 東京大学遺伝子実験施設

1995年、私は理化学研究所から東京大学に助教授として異動することになりました。赴任先の遺伝子実験施設では、二代目の助教授ということになります。当時の遺伝子実験施設では、主要な実験室が全て RI 管理区域の中にあり、まだまだ RI が分子生物学的研究に欠かせない時代でした。このポジションには第 1 種放射線取扱主任者の資格が必要ということで、一生懸命勉強して何とか資格も取りました。実際、DNA の塩基配列の決定や、特定 DNA や RNA 配列の検出（いわゆるサザンブロット、ノーザンブロット）に ^{32}P が広く使われておりました。

一方、私自身の研究は、シロイヌナズナの形質転換や、変異体スクリーニングを進めるものが中心となりました。当時の主な研究成果としては、GFP を融合したフィトクロムをシロイヌナズナで発現させ、フィトクロムが核移行することを示したことです。生きた細胞で特定蛋白質の動態の観察を可能にする GFP は、まさに時代を変えるインパクトをもっていました。また、これと並行して、光刺激を受けた植物の遺伝子発現応答を調べていたのですが、遺伝子発現の検出方法が、RI を利用したノーザンブロット法から PCR を用いた方法に変わりつつある時代でした。塩基配列の決定も、蛍光による検出をベースとするシークエンサーが開発され、次第にそちらに比重が移っていきました。このような事情で、私自身が実験で RI を用いることはほとんどなくなりました。

5. 京大時代

1998年、京大に教授として赴任した私は、上記のような事情で第 1 種放射線取扱主任者の資格を持っていたため、理学研究科 2 号館の RI 実験室（現在は廃止）の主任を務めることになりました。この後、自分で RI を使用することは益々減っていくのですが、主任資格を持った教授が稀ということで、気づいて見ると、長年にわたり理学研究科の放射線管理

に関わることになってしまいました。このあたりについては、「センター長を退任して」（ニュース No.62, 2018）に少し詳しく書きましたので、そちらもご参照ください。

折角の機会ですので、研究について少し振り返らせていただきます。京大赴任以来、自分で実験することはほとんど無くなってしまいましたが、学生や研究員諸君と、フィトクロム分子の構造と機能の関連、避陰応答を中心とした光応答の空間構造、フォトトロピンの作用機構などの研究を進めました。RI を利用することも少なくなってしまうとはいえ、植物ホルモンであるオーキシンの取込実験、フォトトロピンという新しいタイプの光依存性キナーゼによる蛋白質リン酸化実験などでは、RI を用いた実験を行いました。私の研究室がある理学研究科 2 号館では RI 実験施設が廃止されましたが、北部構内にセンターの分室があることで非常に助かっております。

6. おわりに

最後に RI 管理について一言勝手な感想を付け加えさせて頂くと、ニュース No.62, 2020 で武田俊一先生が述べておられるように、私の在任中、政府主導で放射線管理を厳しくするような改革が様々行われてきました。最近の例を一つ上げると、特定 RI（特別に線量の高い線源）の管理の問題があります。これらにはそれ相応の理由があることは十分理解できるのですが、やはりそれがもたらす不利益についても考える必要があると思います。

さて、生物学と RI の今後の関わりについて考えた場合、RI の検出のしやすさにはまだまだ捨てがたい魅力があります。分子を検出する手段としては蛍光が広く使われておりますが、光の透過性や励起光の問題があります。もし RI の利用に関する制限が緩和されれば、また RI が見直される時代がくるかもしれません。

福島レポート2021

ICRP の新たな挑戦

～福島が世界を変える～

環境安全保健機構 放射線管理部門
角山 雄一

2021年10月19・20日（日本時間午後9時～午前1時）、国際放射線防護委員会 ICRP によるリモートワークショップ「ICRP Digital Workshop “The Future of Radiological Protection”」が開催された。筆者はこのワークショップ初日に口頭で講演する機会を得たので、ここ数年研究に参与している新たな放射線影響の数理モデル「WAM モデル^{1,2)}」の理論や医療における開発状況^{3,4)}、宇宙産業にこのモデルを展開するための課題などを発表した。

さて、このワークショップ冒頭の基調講演のセッションでは、ICRP の代表（主委員会の Chair）Werner Rühm 博士（独・Helmholtz Zentrum München）より、ICRP が今後展開する挑戦的な取り組みについてその概要が披露された⁵⁾。今回の福島レポートでは、福島県被災地の現状の話から少し離れ、この基調講演の内容について紹介する。

1. 現行 ICRP 主勧告の課題

世界各国の放射線関係法令の根拠ともなる ICRP の主勧告（Publication of General Recommendations）の最新版は、2007年勧告（ICRP Publication 103）⁶⁾である。この勧告では、等価線量と実効線量における放射線加重係数と組織加重係数の更新や、放射線防護の3原則（正当化・最適化・線量限度の適用）を被ばくする個人にどのように適用するかについての明確化、状況（計画被ばく／緊急時被ばく／現存被ばく状況）に基づくアプローチの導入、環境の放射線防護を実証するための枠組みを策定するための

アプローチの組み込み、などが勧告されている。この勧告に基づく放射線防護の対策や規制の枠組みは、現在でも大筋では十分にその機能を果たしているように見える。しかし、一部の放射線利用の現場、特に医療や宇宙産業といった分野での職業被ばくにおいては、この従来型の枠組みではフォローしきれない被ばく状況が見られるようになった。

例えば、今日の医療分野では IVR（Interventional Radiology）による治療例が増加している。IVR 施術に関わる医師や看護師などの被ばく線量は決して少なくない。このため十分な安全マージンを取ることが当然だが、現行法令に忠実に従った結果、あまり現実的ではない安全対策を強いられるケースも発生している。安全対策にはある程度の経済負担（測定器や防護器材の購入など）を要するが、それがマネジメントや管理を行う者にとって過度の負担となれば、施術の普及や医療技術進展の妨げとなるばかりでなく、管理を逃れる方法が編み出されるなどして重大な事故を引き起こすことも考えられる。また、RI を用いた検査や治療などの現場においても同様の課題が発生する恐れがある。つまり、適切かつ現実的なりリスク評価に基づく規制（の緩和）が求められている。

2007年勧告（Pub.103）では、宇宙飛行士の被ばくについて、地上とは別の扱いをするよう勧告している。これを受けて、宇宙航空研究開発機構（JAXA）は、国際宇宙ステーション（ISS）に長期滞在する日本人宇宙飛行士の宇宙放射線被ばく管理

のために「国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士放射線被ばく管理規程」を独自に策定し、宇宙飛行士たちの放射線教育と被ばく管理を徹底している。その一方で、昨今では民間による有人ロケットの打ち上げや宇宙旅行なども始まっている。ますますの発展が期待される宇宙産業分野であるが、やはり過度な規制はこういった新興産業においても妨げとなり得る。まだまだ宇宙での被ばくについての科学データは乏しいが、これまで以上に知見に基づいた妥当なリスク管理が求められている。

このようにいくつかの分野の職業被ばくについて規制の見直しが迫られる中で、2011年3月、東京電力福島第一原子力発電所の事故が発生した。この事故後の対応、とくに一般公衆への対応についてさまざまな課題が噴出することとなった。例えば、緊急時被ばくの線量限度や防護の単位であるシーベルトなどについて市民に説明しようとする際、ICRPが当初意図したように伝えることは大変に困難であった。つまり防護の専門家たちと市民との間に大きな溝（gap）が存在することが鮮明となったのである。職業被ばくに加え、一般公衆の被ばくについても、一部見直しが迫られている。

2. The Next Decade

このような状況を受け、ICRPは現行のPub.103にさまざまな課題が蓄積していることを認識した上で、これから10年の歳月をかけて新たな主勧告の発行に取り組むことを宣言した（図1）。その趣旨とシステムティックなストラテジーについてはJournal of Radiological Protectionに掲載されているので、詳しくはそちらを参照のこと⁷⁾。また、Pub.103の見直しと改訂に際し、これを支援するための研究分野を短期・中期の研究と長期の（10年を超える）研究とに区別することにした⁸⁾（表1）。今後、これらの分野での研究成果は、積極的に関係学会（IRPA等）や国連の科学委員会（UNSCEAR）などを通じてICRPへと集積されていくこととなる。

放射線に関する科学の進展と放射線防護の10年後の未来に大いに期待したい。

参考

- 1) 角山雄一、福島レポート2015「情報格差が残した原発事故の傷跡」、RIニュース、No.59、p.9-16.
- 2) 角山雄一、福島レポート2019「長期低線量被ばく影響における未解決領域への挑戦」、RIニュース、No.63、p.8-15.
- 3) 角山雄一、福島レポート2020「事故から間もなく10年・富岡町、そしてLNTへの挑戦は続く」、RIニュース、No.64、p.13-19.
- 4) M. Bando, Y. Tsunoyama, K. Suzuki, H. Toki. "WAM to SeeSaw model for cancer therapy - overcoming LQM difficulties." International journal of radiation biology, 97(2), p.228-239 (2021)
- 5) 氏の講演については、動画が公開されている。The Archive of the Future of Radiological Protection Digital Workshop : <https://www.icrp.org/page.asp?id=510>
- 6) 国際放射線防護委員会の2007年勧告（日本語版） : https://www.icrp.org/docs/P103_Japanese.pdf
- 7) C. Clement *et al.*, "Keeping the ICRP recommendations fit for purpose", Journal of Radiological Protection, 41(4), p.1390-1409 (2021)
- 8) D. Laurier, W. Rühm, F. Paquet, K. Applegate, D. Cool, C. Clement on behalf of the International Commission on Radiological Protection (ICRP), "Areas of research to support the system of radiological protection", Radiation and Environmental Biophysics volume 60, p.519-530 (2021)

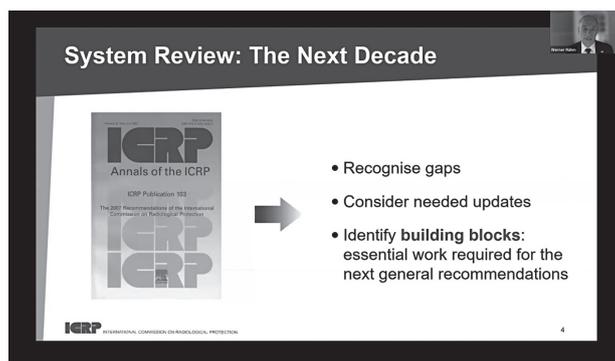


図1 ICRP デジタルワークショップ、Rühm 博士の講演スライドから

表1 放射線防護体系を支援するための研究分野⁸⁾

| | 短期・中期の研究 (次期勧告を支援するための研究) | 長期の研究 (10年を超える研究) |
|-------------------------|---|---|
| 放射線リスク評価を支援する研究 | <ul style="list-style-type: none"> 放射線健康影響の分類 組織反応のより良い特徴付け 確率的影響と放射線デトリメント <ul style="list-style-type: none"> がんリスクモデルと組織加重係数 線量率効果とがん デトリメント計算における放射線以外の因子の影響 循環器系疾患が放射線デトリメントに与える潜在的影響 胎内被ばくによる放射線の影響 子孫および次世代に対する放射線の遺伝的影響 不確実性の分析 放射線に対する人の個人反応 ヒト以外の生物相に対する放射線の影響 | <ul style="list-style-type: none"> 基礎研究 <ul style="list-style-type: none"> 分子・細胞・組織レベルでの低線量影響のメカニズムに関する研究、これらを考慮した線量反応モデルの開発 複合被ばくの影響 <ul style="list-style-type: none"> 他の汚染物質などの要因との潜在的な相互作用、影響評価 |
| 線量測定を支援する研究 | <ul style="list-style-type: none"> 生物学的効果比、線質係数、放射線加重係数 医療およびその他の用途のための適切な線量量 (dosimetric quantities) 緊急事態における線量評価 | <ul style="list-style-type: none"> 臓器・組織における線量標的の定義 環境防護のための線量測定の標的と方法論の強化 人体組織における放射線核種および放射性物質の胎内動態モデル |
| 放射線防護体系の適用・実施を支援するための研究 | <ul style="list-style-type: none"> 放射線技術の開発と利用 <ul style="list-style-type: none"> 治療と防護における医療利用の意味合い (implications) 治療と防護における獣医学的実践の意味合い 自然起源の放射性物質 (NORM) を含む、産業および学術用途 放射線被ばくの自然線源 生態系の防護 放射線防護体系の適用に必要な研究 <ul style="list-style-type: none"> 人工知能 (AI) の放射線防護実務 (radiological protection practice) への影響 放射線とその利用に関する認識や理解の社会科学的研究 ステークホルダーの参加とコミュニケーション科学のためのメカニズム 倫理 行動科学 | |

“清水榮日記”と出会って

京都大学 名誉教授
五十棲 泰人

私は、1965年4月に京都大学大学院の学生として化学研究所の清水榮の核放射線部門で研究活動を始めた。1949年の湯川秀樹のノーベル物理学賞の受賞もあって、当時の京都大学での理論物理の進展には目を見張るものがあった。物理の研究を志す者は理論をやるのが本流であるという気風が感じられた程である。湯川秀樹の業績は突然現れたものでなく、その理論研究の流れが戦前、戦中、戦後と連続と続いているその必然の結果であることは私でも理解できた。反面、実験研究（特に原子・原子核物理学）が進展していると思えないのは何故だろうか。京都大学には実験研究の伝統的な流れはないのだろうか。私が清水研究室で研究を始めた当初から疑問に思っていたことである。

わが師、清水榮（図1～4）は1939年物理学第4講座の荒勝文策の研究室（実験原子核物理）に学生として入門して以来、1975年に京都大学を退官するまで一貫して原子核物理の実験研究に携わってきた人である。戦前戦中にやっていた研究やその頃の様々な出来事について我々学生に話されることは無かった。私の疑問を解くきっかけになったのは、清水榮が書き残したB5ノート数十冊に及ぶ日記との出会いである。日記には荒勝研究室での研究の状況、当時の世の中の状況、家庭での日々の風景が克明に記されている。この日記は新聞で終戦記念日の特集記事や広島県史の原子爆弾被災関連の資料として一部が紹介されたのみで一般に知られることがなかった。私が“清水榮日記”と出会って分かったことは、荒勝文策の当時最先端の原子核物理の偉業ともいべき実験研究の数々である。終戦直前まで現代物理

学に繋がる実験物理の研究が京都大学で続けられていたのを知って心高まる思いをした。また、この“清水榮日記”で日本も終戦間際まで軍の要請を受けて原子爆弾の開発を目指していたのを知った。これは、私にとって大きな驚きであった。

最近、“太陽の子”という映画が公開された（p.13）。監督の黒崎博が、広島の図書館で県史の資料編に引用されている“清水榮日記”をみたことが、映画製作の動機ということである。映画は、物語構成の上でフィクションも多分に込められているが、戦時下原子爆弾の開発研究に従事せざるを得なかった科学者の複雑な活動状況が描かれている。この映画を見て、ある思いがまた込み上げてきた。“自然科学の研究は人間に役に立つものだけを生み出すものではない。人は悪い結果が明らかまたは予想できても突き進むことがあるのは何故だろうか”

答えはいつも浮かんでこない。この拙文を書いている間、ある文筆家の文が目映った。“誤解を恐れずにいうと研究開発そのものに罪はない。ことの良し悪しは技術ではなくそれを使う人間次第で決まる。自分を含めた人類の存亡でありながら、その技術の完成を夢見ざるを得ない。どうしても矛盾した欲望はしかし、そこに人間の本质があるからこそ、人々を魅了する所以であろう”。私も完成を夢見ざるを得ない存在である。ことの良し悪しは人間としての良心をかけて判断するしかないと思う。

付記：荒勝文策を中心とした戦前戦中の原子核物理研究の状況を詳細に掘り起こした本が刊行されている（政池 明：“荒勝文策と原子核物理学の黎明”，京都大学学術出版会，2018）。また、2020年8月16日に終戦75年の特別企画として制作されたNHK

BS1 ドキュメンター“原子の力を開放せよ～戦争に翻弄された核物理学者たち～”が放映された。拙文では恩師、先生の敬称なしで統一させていただきました。

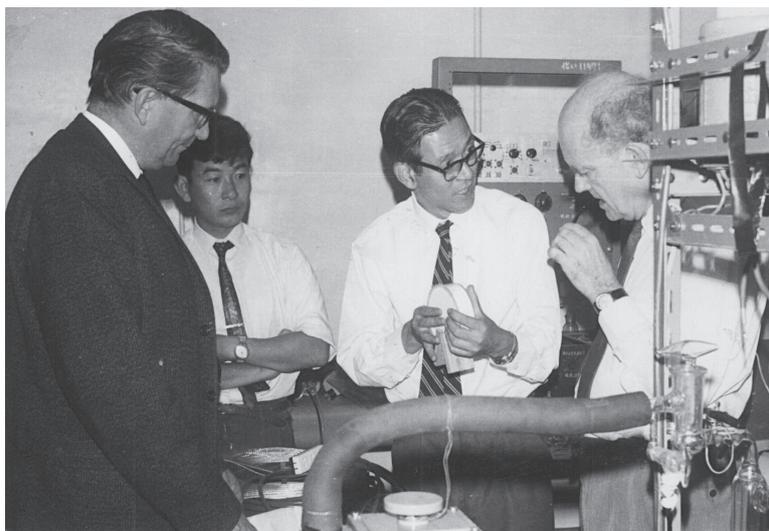
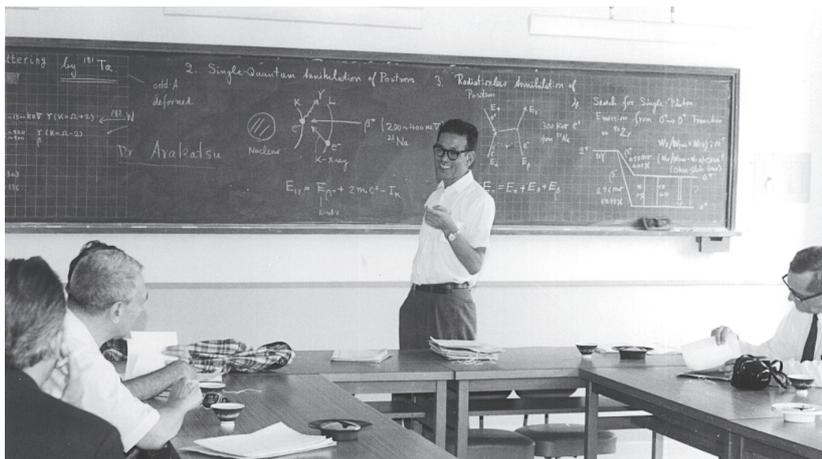


図1（左上）：放射性同位元素総合センター初代センター長 清水榮
 図2（左下）：左から R.J.Walen 博士（仏）、筆者、清水榮
 図3（右上）、図4（右下）：来日した海外研究者らにレクチャーする清水榮（1967年10月、当時のセンター、現在のセンター分館にて撮影）

映画
太陽の子

“日本の原爆開発”を背景に、
3人の若者の決意と
揺れる想いを描いた
300日の青春グラフィティ

柳楽優弥
有村架純
三浦春馬
イツセー尾形
山本晋也
ピーター・ストローメア
三浦誠己
宇野祥平
尾上寛之
渡辺大知
葉山奨之
奥野瑛太
土居志央梨
國村隼
田中裕子

僕らは、未来を作っていると思ってた

事実を基に描く——
8.6 FRI ROADSHOW
TAIYOUNOKO-MOVIE.JP

「ひよっこ」「青天を衝け」
監督・脚本：黒崎博 音楽：ニコ・ミュージーリー 主題歌：「彼方で」福山雅治 (アミューズ/ユニバーサル)

プロデューサー：コウ・モリ 土屋勝裕 浜野高宏 エグゼクティブプロデューサー：井上義久 山口晋 佐野昇平 森田真 松井智 有高一昭 東原邦明 共同プロデューサー：山岸秀樹 松平保久 遠見朋子 ラインプロデューサー：小泉朋
撮影：相馬和典 照明：鈴木店 録音：弦巻裕 美術：小川富美夫 衣装：宮本茉莉 ヘアメイク：永江三千子 スクリプター：天泡芳美 助監督：柿田裕左 制作担当：鎌宮隆浩 キャスティング：おおすさわか 編集：大庭弘之
サウンドデザイン：マツ・ヴォレス カラリスト：アロン・ピーク VFXスーパーバイザー：オダイッセイ 制作：KOMODO PRODUCTIONS 宣伝：KICCORIT 配給：イオンエンターテイメント 製作：「太陽の子」フィルムパートナーズ
Presented by ELEVEN ARTS STUDIOS / NHK 助成：文化庁文化芸術振興費補助金（映画創造活動助成事業）| 独立行政法人日本芸術文化振興会 ©2021 ELEVEN ARTS STUDIOS / 「太陽の子」フィルムパートナーズ

© ELEVEN ARTS Studios / 2021 「太陽の子」フィルムパートナーズ

映画「太陽の子」監督・脚本：黒崎博、主演：柳楽優弥、有村架純、三浦春馬
かつて京都大学で行われた原爆開発研究を背景に、三人の若者の決意と揺れる想いを描いた青春グラフィティ
(本作品は、2021年夏に全国劇場公開され、現在は、DVD、ブルーレイが発売中。)

ポールチップの断片—歴史的な遺品だった！—

放射性同位元素総合センター
戸崎 充男

1. はじめに

「低バックグラウンド用の遮蔽材として有益な純鉄、ポールチップの一部、があるがいないか？」との依頼を受けた。ポールチップとは、サイクロトロン（円形加速器）の部品で、磁場を供給する対の純鉄のブロック板のことである。またサイクロトロンとは、イオンをポールチップで作る磁場中に閉じ込めて交流電場で円形加速する装置である。放射線計測に関わる者にとって、低バックグラウンド用の遮蔽材は貴重品である。単に外からの自然放射線を遮蔽するだけでなく、遮蔽材に含まれる放射性物質が少ない遮蔽材は垂涎の素材である。この手の逸話として、戦後の溶鉱炉は摩耗度合いを調べる Co-60 が炉内に練り込まれていたため、戦後の鉄には微量のコバルトが含まれ、放射線の遮蔽材には適さない。そこで、引き揚げた戦艦陸奥の船体の戦前の鉄材が貴重な遮蔽材として有効に活用されている事実がある¹⁾。したがって、もしこのポールチップが入手できるならば、個人的な実験目的だけではなく、放射性同位元素総合センターとしても有用な遮蔽材を手に入れることが出来る、と思っていた。

ところが、そのポールチップは、ある歴史的な意味を持つ遺品の一部であることが、入手後に明らかになった。そして最終的に、放射性同位元素総合センターの教育訓練棟3階のロビーの一角に、このポールチップを陳列することにした。その顛末を話そうと思う。

2. 経緯

ポールチップの話は、その持ち主である故萩野晃

也（元京都大学工学部講師、2020年6月逝去）氏から周り回って私の所に話が舞い込んできた。萩野氏は、蹴上にあった原子核科学研究施設のサイクロトロンで実験をされていて、1988年にこのサイクロトロンが閉鎖となると共に研究施設は宇治キャンパスに移転された。てっきりこのポールチップは、蹴上のサイクロトロンの一部と勝手に思い込んでいた。実際に、譲り受けたのは2020年の春のことだった。現物の写真を写真1に示す。

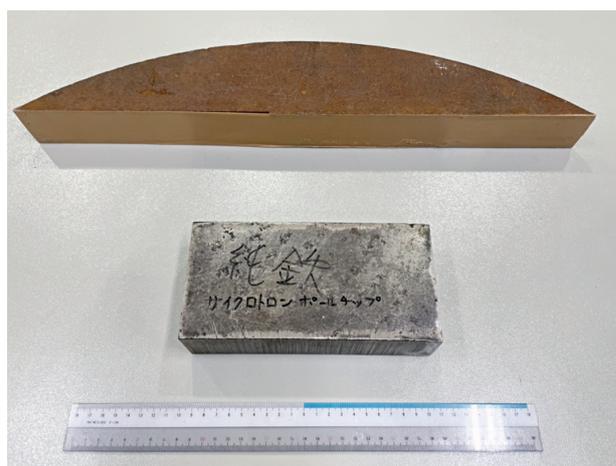


写真1 ポールチップ（純鉄の円盤：直径90cm, 250kg）の断片

その数ヶ月後、映画ドラマ「太陽の子」の制作およびそのドキュメント取材等²⁾の絡みで、ポールチップについての問い合わせを受けることになった。関係する色々な人々から改めて問い合わせを受けて、初めてこのポールチップが、歴史的な遺品の一部であることを知らされることになった。巡り合わせが悪く、萩野氏が亡くなられた時期と重なり、改めて詳しい経緯を本人から直接聞く機会を逃してしまった。

このポールチップは、大戦前、京大理学部物理教

室の荒勝文策教授が建設しようとしていた加速器サイクロトロン部品であった。このサイクロトロンは、戦後米軍進駐軍が没収し琵琶湖に投棄したことになっている。この話は、学生時代にまことしやかに周りから聞かされていた。空梅雨の時など、琵琶湖の底から顔を出すから探しに行こう（探しに行け）、とか言われていたのだ。

3. ポールチップの運命

手元のポールチップの辿った運命が少しずつ明らかになるにつれて、遅ればせながらこのポールチップのことを詳しく知りたくなってきた。このポールチップに関わる資料は意外に多くて、色々な意味で関心を引く物であることが分かった。今はネット検索で色々な資料が簡単に閲覧できる。参考になった資料の一部を、参考文献³⁻⁷⁾として挙げておく。参考文献「初期のサイクロトロンの覚え書き」³⁾の中で、井上信氏はGHQのサイクロトロン投棄の琵琶湖説は清水榮（京大名誉教授）による伝聞であり、誰も確認をしていない。理研のサイクロトロンの場合には海洋投棄の新聞報道の写真が残っているが、当時の琵琶湖で80トン程度の投棄作業のできる船の調達は難しく、琵琶湖説は信じ難い。阪大のサイクロトロンと同様にどこかに運んで爆砕したのではないかと述べておられる。どうやら琵琶湖には投棄されていなかったらしい。以下に、このポールチップの辿った運命を参考文献に基づいて簡潔にまとめる。

実は、荻野氏から入手したポールチップは、米軍によるサイクロトロンの解体・撤去から免れていたのである。米軍によるサイクロトロンの解体等の様子の写真を井上信氏の資料より引用する（写真2）。解体されたサイクロトロンは建設の途中でまだ完成はしていなかったらしい。当時のサイクロトロンの設計では、ポールチップは加速用に交流電場が掛けられる電極（D電極）の上下の蓋の役目を担っていて、磁石本体とは切り離された構造であった。つまり、加速器サイクロトロンは完成していなかった



写真2 京大サイクロトロン解体作業1945年11月20-24日
出典：「初期のサイクロトロン覚え書き」井上信

ので、米軍はポールチップが未装着のサイクロトロン本体の解体・廃棄をしたということらしい。写真2（上段）でもポールチップ（D電極）がなく磁石本体だけが見える。その後投棄を免れた上下対のポールチップ（純鉄の円盤：直径90cm, 250kg）2枚は、未使用のまま保管されることになる。

荻野氏は、採取したサンプルの微量な放射能を測定するために、低バックグラウンドの実験測定（良質の遮蔽材）が必要となった。そこで、師の柳父琢治教授に相談し、保管されていたポールチップ2枚のうち1枚を加工して遮蔽材として使用する許可を得た。だが、もう1枚は必ず保管する約束をさせられた。荻野氏は、加工して残った一部と無傷のポールチップ1枚を保管したまま定年を迎えることになった。最終的に無傷のポールチップは京大の総合博物館に歴史資料として預けることになった。このポールチップの存在が公開され、科学史の観点から色々世間の注目を浴びることになる⁴⁾。「よみがえる京大サイクロトロン」と題するドキュメンタリー映像（制作者：中尾麻伊香）が制作・上映され⁶⁾、大戦前後の日本の原子核研究の歴史、科学者の動き（大義、責任）などが話題となった⁵⁾。これらの内容について興味のある方は、掲げた参考文献を起点に調べてください。

4. 初代センター長：清水榮名誉教授

荒勝文策研究室の活動内容とか、このサイクロトロン加速器の建設、破壊・投棄の話が語られるとき、清水榮教授の名前が随所にてでくる。米軍によるサイクロトロン解体撤去の際に、荒勝氏の強い抗議にもかかわらず研究ノートも接収されている。そのノートの一部は「清水ノート」あるいは「清水榮日記」と呼ばれ、最近（2007）米国で見つかり話題となった⁷⁾。ノートの持ち主である清水榮先生は、荒勝研究室の助教授であり、その後当センターの創設者にして、かつ初代センター長として尽力された。「清水榮先生追悼会写真集（平成16年）」の中で見つけた当時の理学部物理教室の集合写真（1942年）を掲げておく（写真3）。最前列左端に清水榮、同列の左から5人目に荒勝文策、そして、改めて時代・歴史を感じるが、後にノーベル物理学賞受賞の当時35歳の若き湯川秀樹博士が写真のほぼ中央に写っている。当時、これらの面々が、原子核物理学の黎明

期に胸をときめかせ、そしてこのサイクロトロン建設の完成に夢を重ねていたのか、と思うと感無量である。まさにその時代、清水榮先生も原子核物理の研究推進にサイクロトロンの建設を切望した研究者の一人であり、残されたポールチップの近くに居続けていた人なのである。当センターでこのポールチップの一部を預かることになったのも何かの縁なのかも知れない。米軍に壊されなかったコッククロフト・ウォルトン型加速器の上に、若き清水榮（27歳）が希望に胸を膨らませて腰掛けている写真があったので載せておく（写真4）。

5. おわりに

我々が手にしているポールチップは、荻野氏が秀逸の遮蔽材として加工した残りであり、円弧の一部



写真3 京大理学部物理教室の集合写真1942年
清水榮（前列左端）、荒勝文策（前列左5人目）、湯川秀樹（前列右5人目）
出典「清水榮先生追悼会写真集」より

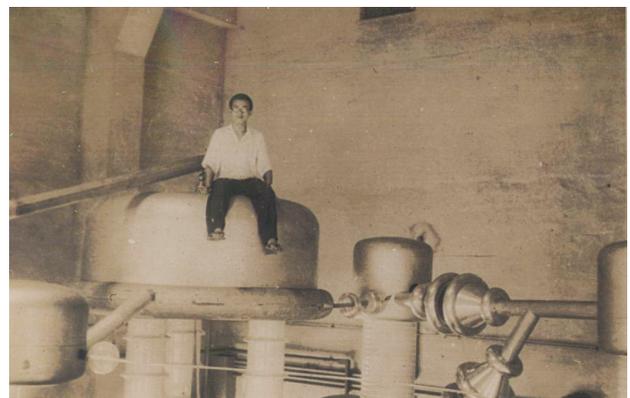


写真4 京大理学部物理コッククロフト・ウォルトン型加速器と若き頃の清水榮教授
1942年 出典：「清水榮先生追悼会写真集」より

と四角のブロックに成形された断片である。さらに断片の一部（これがポールチップの一部と言われても判断に困る断片：写真5）が、理学部物理の旧タンデム加速器棟に残されている。これら全て合わせても直径90cmのポールチップの復元にはほど遠い。そのうち、この断片のポールチップの歴史を知る者もいなくなり、ただの鉄屑と化するだろう。

無傷のポールチップの1枚は、その歴史を丸々背負って、京大総合博物館に納められ、当時の原子核研究の証として語り継がれていくだろう。一方、荻野氏の手に残り行き場のなかったポールチップの断片は、最終的に良質の遮蔽材としての運命で、我々のところにやって来たのである。放射性同位元素総合センター教育訓練棟3階のロビーに、初代センター長清水榮の業績「第五福竜丸：ビキニの灰の分析」展示と並べて、このポールチップの断片を展示することにした。もし、純粹に研究推進のために、



写真5 旧京大タンデム実験棟に残るポールチップ断片

このポールチップの断片が必要になった時は、陳列から持ち出して、この純鉄を加工することを許可したい。

6. 参考文献

- 1) 金沢大学附属の低レベル放射能実験施設（石川県能美市）では、引き揚げられた戦艦陸奥船体の鉄ブロック（陸奥鉄）が低バックグラウンド用の遮蔽材として使用されている
- 2) 「太陽の子」は、柳楽優弥、有村架純、三浦春馬の共演で、日本の原爆開発を背景に時代に翻弄された若者たちの姿を描く作品で、ドラマ版（2020年8月にNHKで放送）と劇場版（2021年映画日本・アメリカ合作）がある。脚本・監督は黒崎博。
- 3) 初期サイクロトロンの覚え書き 2008.10.24（井上信）
- 4) 黄檗 No.29（2008）碧水会便り：特集「化学研究所と京大サイクロトロン～原子核科学の魁～」
- 5) 塩瀬隆之ほか、“科学技術史の棚卸し：京大サイクロトロンをいまに伝える”「加速器」vol.5, No.1, 2008（70-74）
- 6) 中尾麻伊香ほか、“京大サイクロトロンの歴史を語り合う：ドキュメンタリー上映試写会から”「加速器」vol.5, No.2, 2008（160-163）
- 7) 政池明“荒勝文策と原子核物理学の黎明”2018 京都大学学術出版会

マルチワイヤースパークカウンターの作成 —新しい放射線教育教材の提供—

放射性同位元素総合センター

戸崎 充男

1. はじめに

これまで放射線教育教材・デモンストレーション用として、空き缶霧箱¹⁾、1 mサイズのドーム型の霧箱²⁾、放射線で光るGMカウンター³⁾などの放射線測定器の作成を伴う実習プログラムを提案してきた。今回紹介するのは、スパークカウンター（放電カウンター）⁴⁾である。このカウンターは、教材としてあまり普及していないが、初心者向きの放射線教育教材に向いていると思う。教材として紹介をしたい。

2. 放射線教育用の検出器

自然に存在している放射線は五感に感じない。放射線（放射能）を日常的に感じる事が出来ないの、初学者にとって知識だけの説明では、その存在を理解しがたい。この理解できないことが恐怖につながる原因であり、また引き合いに出される放射線の人への影響は悲惨なイメージを与えるものが多く、間違った認識や判断を導くことになる。従って、人の感覚に代わる放射線測定器は重要な意味を持ち、また放射線測定の原理を理解することで放射線の本質（放射線と物質の相互作用）を学ぶことが出来る。検出器を自作して放射線を測定することで、放射線への理解が深まる放射線教育となる。

放射線の入門、基礎教育では、出来るだけ感覚的に放射能・放射線の存在を身近に感じてもらうことがとても重要になる。一般に、GMカウンター等の放射線モニターで「音」を聞かせ、霧箱でアルファ

線の飛跡を「目」で見せて、その存在を理解させることができる。さらに、大気中に存在する放射性エアロゾル（ダストに付着したラドンとその娘核種）を線源として測定するならば、身近に放射線が存在することを実感できる放射線教育となる。

今回紹介するスパークカウンターは、GMカウンターや霧箱による効果を合わせた「音と光（コロナ放電）」の両方で放射線（荷電粒子）の存在を感じ知ることができる検出器である。類似の装置としてスパークチェンバー（放電箱）という宇宙線（ミュー粒子）の飛跡を観測できる装置があるが、これは高級な装置（予算が必要、仕組みも複雑）である。一方、大気で作動させるスパークカウンターは、芯線に電圧印加するだけの簡単で自作が容易な放射線検出装置である。日本ではあまり見かけない（私の勉強不足かもしれない）が、海外ではデモ教材として知られている（YouTubeで関連映像⁵⁾）を見ることができる。興味のある方は検索してご覧あれ。今年度のILASセミナー「放射線入門」で、受講生に作成してもらう予定でいたが、教材として完成できなくて（改良の余地ありで断念）、とりあえず、私が作成した荒削りのスパークカウンターでデモ実習をした。周りの同僚及び受講生に好評だったので、放射線教材として有望であると確信している。

3. 放電カウンター

「スパークチェンバー」⁶⁾という放電カウンターは、1960年～1970年に原子核物理の実験に用いられ

た。現在は、原子核物理の実験には用いられていないが、宇宙線を目で見る装置として製作され科学博物館などの展示デモ装置として見る事ができる。図1にスパークチェンバーで宇宙線（ミュー粒子）を捕らえた写真と作動概念図を示す。これは独立した放電箱を多層に重ねた構成で、立体的（3次元）に宇宙線の飛跡を放電の光の飛跡として観測ができ、とても印象的な放射線測定器である。放電箱に高電圧を印加したままだと放電が止まらなくなるので、放射線の通過直後にパルス印加して放電を起こさせる仕組みになっている。つまり、放射線が来たことを検知し、カウンターに高電圧をかける（トリガー）制御信号が必要である。従って、トリガー信号を得るためのカウンターと積層構造の放電カウンター、さらにパルス高圧印加を制御する回路系が必要となり、検出器の作動の仕組みも複雑になる。霧箱やGMカウンターのよう簡単に作らせる教材ではない。スパークチェンバーは確かに有効な装置であるので、理系の大学生や高校の理科クラブのレベルで作成指導すれば、教育効果が見込める教材にはなると思う。

当センターにオートラジオグラフィ⁷⁾に用いた古い（50年前？）壊れた「ベータ線カメラ」⁸⁾がある。図2に外観写真とその回路図を示す。多芯線のアノード線とカソード線間に電圧をかけ、ベータ線が2次元平面の有感領域に入射して放電する光を写真に撮る2次元放射線分布測定装置である。放射

線が放電により発光することで、見えない放射線の入射位置（発光の分布）が観測できることに興味を持っていた。そしていつの日か教材として改造できないか、と考えていた。

スパークチェンバーおよびベータ線カメラを手がかりにいろいろと調べていたら、希望に沿う装置（教材）がこの世にある（あった）ことが分かった。この装置は発案者にちなんで「Rosenblum type spark counter」と呼ばれた検出器である。簡単に説明するならば、単層で構成されるスパークチェン

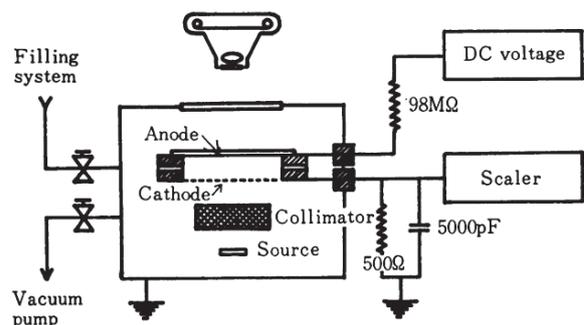


図2 ベータ線カメラ（自己クエンチング型スパークチェンバー）とその回路図⁷⁾

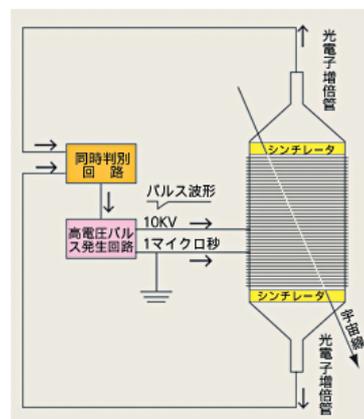
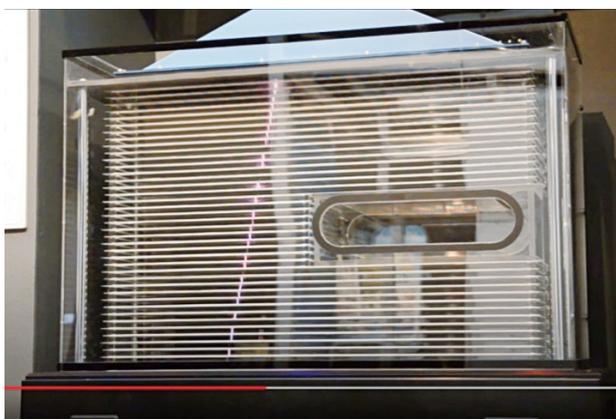


図1 KEK スパークチェンバー（放電箱）ミュー粒子による放電とその回路図
出典：<https://www2.kek.jp/ja/newskek/2003/sepect/sparkchamber.html>

バー（放電箱）で、空気で作動する光る GM カウンターのような装置である。このスパークカウンターを教材用に検討することにした。

4. スパークカウンター

4. 1 スパーク（放電）発生の機構

放電カウンターのスパーク発生の機構を説明する。放射線（荷電粒子：アルファ線やベータ線）がカウンターの検出ガスに入射すると、周りの分子や原子に含まれる電子をはじき飛ばしてイオン化する現象（電離作用）が起こる。はじき飛ばされた電子は、電圧がかかった電極に引き寄せられながら加速される。さらにこの加速された電子が他の原子の電子をはじき飛ばして、イオン化の連鎖（電子なだれ）が起きる。これが放電（スパーク）であり、同期して音と光を発生する。特に、このスパークカウンターは、イオン化の相手が He や Ar などの検出ガスでなくて、空気で作動を発生させる。この点が簡易な検出器の根拠でもある。だがカウンターを作動（放電を発生）させるためには、少し高い印加電圧が必要となる。この空気で作動するスパークカウンターは、Chang と Rosenblum が1945年にその作動原理を報告⁴⁾し、50-60年代に荷電粒子の計測用に改良が進められた検出器である。

4. 2 マルチワイヤースパークカウンター作成のレシピ

作成したマルチワイヤースパークカウンターの写真とその概念断面図を図3に示す。この図を参照しながら、具体的に作成手順を説明する。作成に使用した主な材料は、電極用にステンレスワイヤー（直径0.05mm）とステンレス板 5×10 cm、電極を支える絶縁材である。あと 5 kV 程度印加するための高圧電源が必要である。教材としてはこの電源の調達が一番難関かもしれない。

電極は、ワイヤーを約5mm 間隔で10本ほど同一面に並行に張る（図3を参照）。絶縁のブロック枠

に5mm 間隔で5mm 径のボルトを立て、ボルトに沿ってワイヤーを張る（ひと筆描きで張る）と、均等な間隔で綺麗に貼れる。このワイヤーを張ったブロック枠を陰極プレートに重ね、ワイヤー面と陰極プレート面の間隔を2-4mm にセットする。意外と放電する電極間隔は狭いので、ワイヤーを張る絶縁ブロックの厚み、電極プレートの厚みや重ね方に注意して設計（寸法調整）すること。高さ（間隔）調整のために、ワイヤーを張ったブロック枠の四端にボルトが組み込んである（図3参照）。別のワイヤーを張る方法としては、プリント回路基板を利用して、基板の貫通穴を利用して等間隔にワイヤーを張る（初めの試作はこの方法を試した）。極細のワイヤーを等間隔にピンと張るのは結構面倒な作業である。この作業は、指導者（製作者）のアイデア・技量で乗り越えていただきたい。作るのはこの面倒な電極だけである。

空气中で作動させるので、高電圧が必要になる。電極はむき出しなので電圧端子に十分注意が必要と

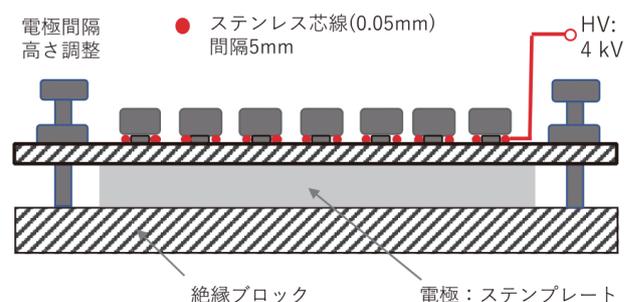
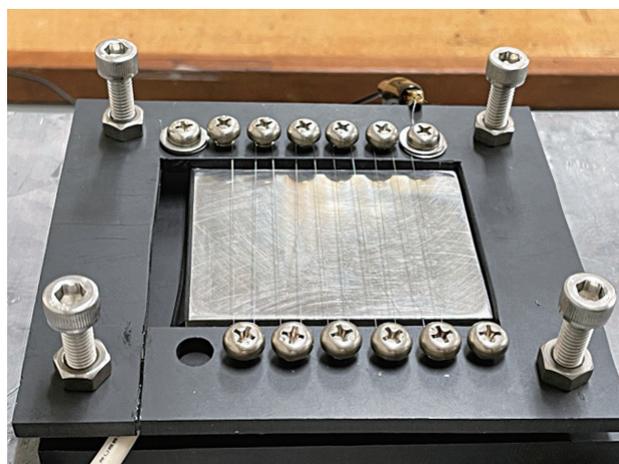


図3 マルチワイヤースパークカウンターとその概念断面図

なる。今回設計したカウンターを放電させるのには、約4kVの電圧が必要だった。線源は、アルファ線源として煙感知器のAm-241を利用した。大気中のエアロゾルを捕集したダストやマントルのアルファ線は強度不足で放電しなかった。設定電圧は、ワイヤーの径や電極の間隔で変化する。電圧を上げながら、線源をワイヤーに近づけて放電が起こる電圧値に設定してください。作動しているスパークカウンターの放電の様子を図4に示す。作動中は4kVの電圧で電流が約0.4 mA 流れることに注意してください。

教材の発展版（応用）としては、ワイヤーの径、長さや間隔、さらに電極の間隔を色々変えて、スパークカウンターの作動（放電特性）を調べる。また上級の教材を目指すなら、高圧電源を作成させても良いだろう。さらに物足りなければ、スパークチェンバー（放電箱）の作成にトライするもあり。

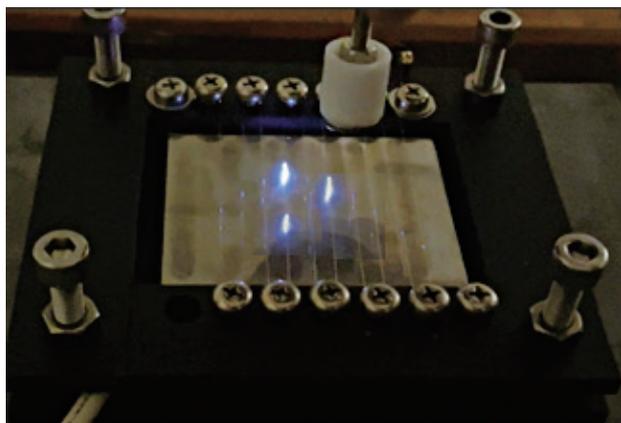


図4 アルファ線（煙感知器 Am-241）による放電の様子

5. おわりに

ここで紹介したスパークカウンターは、放射線教育プログラムとして十分成果の見込める教材になると思う。このカウンターでは、音（聴覚）と光（視覚）および放電位置の情報の連携として放射線の存在を認識できる。また、放射線が電離作用を引き起こしていることが実感でき、検出器の作動原理に繋がる（学習できる）教材である。想定する学習レベルに合わせて、教育プログラム（教材）のアレンジ

が可能で、色々な視点、工夫を盛り込んで、教材として完成（展開）して頂けたら幸いである。この記事（解説）がその手がかりになることを期待したい。

参考文献

- 1) 戸崎充男他、Isotope News 2001年12月号「手づくり装置『空き缶霧箱』による自然放射線観測—放射線教育プログラム「放射線可視化の実習」の提案—」；放射線教育テキスト実習シリーズ、No.2（2011.12），放射性同位元素総合センター
- 2) 戸崎充男，“1 m ドーム 霧箱”，RI ニュース No.61, 2017.
- 3) 戸崎充男，“放射線で光る GM カウンター”，RI ニュース No.64, 2020.
- 4) W.Y. Chang and S. Rosenblum, "A Simple Counting System for Alpha-Ray Spectra and the Energy Distribution of Po Alpha-Particles" *Phys. Rev.* **67**, 222 (1945) .
- 5) <https://www.youtube.com/watch?v=-8GlzUjYazs>, "Spark detector for alpha particles" ; <https://www.youtube.com/watch?v=ljvRzbqR29Y>, "Alpha Particle Spark Detector"
- 6) スパークチェンバー：大阪大学の福井崇時氏と宮本重徳氏により発明された荷電粒子の飛跡を放電で見る飛跡検出器である。
詳しい解説は、福井崇時、「粒子物理計測学入門」1992, 共立出版株式会社
- 7) オートラジオグラフィー（英：autoradiography）：分布している放射性物質から放出されるベータ線やガンマ線の画像（オートラジオグラフ）を作成する手法。
- 8) ベータ線カメラ：青山隆彦他、RADIOISOTOPES、1978年27巻1号 p. 7-13 “複合スパークチェンバβ線カメラの性能”

主任者に選任されて

放射性同位元素総合センター
堀江 正信

2021年10月1日付で、京都大学環境安全保健機構 附属・放射性同位元素総合センター本館総括主任者に就任いたしました。思えば2013年10月16日付で当センターに着任して早7年余りの年月が経ちました。着任までの経歴や研究内容につきましては先に発行させていただいておりますセンターだより (No.57, 2013) に譲ることとして、ここでは本館主任者としての抱負や活動をご紹介します。

まず本センターは前身である京都大学放射性同位元素研究委員会発足から数えると、ゆうに70年を超える歴史を誇り、初代センター長の清水榮先生から現センター長の米田稔先生に至るまで、多くの研究者に放射性同位元素 (以下 RI) による実験を行うための施設として受け継がれてきました。今回そのような施設の主任者に選任していただいたということで、これまでの所属教員としての立ち位置から、多くの先生が繋いで来られた歴史の一部を担うのだという重責を感じております。近年は蛍光色素や検出機器の発展によって、RI の独壇場であったトレーサー系の実験が手軽に行えるようになったこともあり、研究における RI (特に非密封) 利用は減少しております。そのような情勢の中、京都大学でも各部署が維持管理していた事業所を次々に廃止し、その利用者の多くが当センターにて実験を行うようになりました。そのため、当センターは京都大学における RI 利用の最後の砦として、よりその重要性を増すと考えており、模範となる管理体制と所属教員による知識や手技といったサポート体制の強化が求められると考えております。

上記の事を成すためには、ハード及びソフトの

充実が急務であります。ハードにおいて本館は竣工から約半世紀経っており、各所の老朽化などによって修繕や補修などを必要とする箇所が多く散見されております。それらのほとんど

は比較的大きな予算措置が必要となってくるものが多く、所属する環境安全保健機構とも協調しながら対応を行っていく所存です。また各種解析機器類においては、全学経費などのご支援を賜りながら少しずつ更新を進めており、充実しつつある状況であります。また、古いが故に過去に使用した機器など多くの廃棄物も存在するため、それらの処分を淡々と進め、管理が行き届いたハードへと転換させて参ります。一方、ソフト面では経験豊かな教員が退官を迎えており、私のような若輩者が粉骨砕身して早急に知識や経験を蓄える必要に迫られていると感じております。

以上のような主任者としての管理に関する責務と同時に、研究者としてこれまで多くの諸先生が確立されてきた RI を用いた実験手法の多くが存亡の危機にあると感じております。当センターにおいても、多くの研究者にご利用いただいておりますが、多くは RI 標識済化合物を用いたトレーサー実験や動物実験などであり、古来から確立されてきたパルスチェイス解析や免疫沈降法、ゲルシフトアッセイなどを行なっている方はほとんどいないのが現実であります。上記に述べた手法以外にも、RI を用いた実験手法は多岐にわたるものの、その多くは継承さ



れることなく消えていったものもあると考えています。これは先に述べたようにRIを用いた実験の多くが、蛍光標識などを用いた実験手法に置き換わったことに起因しますが、近年のシングルセル解析の流れなどを鑑みると、極微量サンプルを取り扱う機会も増加しており、よりシグナル強度の強いRIの出番はまだまだありうるのではないかと考えています。そこで近年、RIを用いた実験を行なっている先生を訪ね、プロトコルや手技などを動画などのデジタルアーカイブとして保存するという活動も行

なっています。これらの実験手法は一度途切れてしまえば、再度構築することは非常に困難であり、我々のようなRIに携わる若手研究者が後世に残していく必要があると考えています。

まだまだ未熟者ではございますが、諸先生のご指導やご鞭撻を賜りながら、主任者業務に貢献させていただきたいと思っております。また教員としても、良き人材を育てられるように邁進していきたいと思っております。何卒よろしくお願い申し上げます。



2020年度講習会等の実施状況

〔学 内〕

2020年

・利用のためのオリエンテーション（本館）

| | | |
|-----------|-----------|-------|
| 6月1日（月） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《67名》 |
| 9月9日（水） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《2名》 |
| 9月15日（火） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《2名》 |
| 9月24日（木） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《1名》 |
| 10月26日（月） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《3名》 |
| 11月19日（木） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《1名》 |
| 11月27日（金） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《7名》 |
| 11月30日（月） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《9名》 |
| 12月8日（火） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《5名》 |
| 12月9日（水） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《11名》 |
| 12月10日（木） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《3名》 |
| 12月25日（金） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《1名》 |

・利用のためのオリエンテーション（分館）

| | | |
|-----------|--------|-------|
| 6月1日（月） | 〈於：分館〉 | 《42名》 |
| 6月23日（火） | 〈於：分館〉 | 《1名》 |
| 7月13日（月） | 〈於：分館〉 | 《1名》 |
| 7月20日（月） | 〈於：分館〉 | 《1名》 |
| 9月11日（金） | 〈於：分館〉 | 《1名》 |
| 10月16日（金） | 〈於：分館〉 | 《5名》 |
| 10月29日（木） | 〈於：分館〉 | 《2名》 |

2021年

・工学部学生実習

| | | |
|----------|-----------|------|
| 1月12日（火） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《9名》 |
| 1月19日（火） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《7名》 |

・利用のためのオリエンテーション（本館）

| | | |
|----------|-----------|------|
| 3月15日（月） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《2名》 |
|----------|-----------|------|

・利用のためのオリエンテーション（分館）

| | | |
|---------|--------|------|
| 3月1日（月） | 〈於：分館〉 | 《1名》 |
|---------|--------|------|

〔学 外〕

2021年

・京都市消防学校特別教育（特殊災害対策課程）

| | | |
|----------|-----------|-------|
| 1月15日（金） | 〈於：教育訓練棟〉 | 《25名》 |
|----------|-----------|-------|

放射性同位元素総合センター 共同利用検討委員会委員名簿

令和3年10月1日現在

| 所 属 | 氏 名 |
|---------------|-------|
| 放射性同位元素総合センター | 米田 稔 |
| | 川本 卓男 |
| | 戸崎 充男 |
| 理学研究科 | 長谷あきら |
| 医学部附属病院 | 溝脇 尚志 |
| 医学研究科 | 竹内 理 |
| 薬学研究科 | 小野 正博 |
| 工学研究科 | 米田 稔 |
| 農学研究科 | 村井 正俊 |
| 人間・環境学研究科 | 林 達也 |
| 化学研究所 | 栗原 達夫 |
| ウイルス・再生医科学研究所 | 秋山 芳展 |
| 生命科学研究科 | 永尾 雅哉 |



京都大学 環境安全保健機構
放射性同位元素総合センター

E-mail address: ri-center@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp
RI Center Homepage: <http://www.rirc.kyoto-u.ac.jp/>

本館・教育訓練棟

〒606-8501 京都市左京区吉田近衛町
Tel/075-753-7500 (事務室)
Fax/075-753-7504

分館

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町
Tel/075-753-7530
Fax/075-753-7540

印刷：(株)北斗プリント社 〒606-8540 京都市左京区下鴨高木町38-2 Tel/075-791-6125