

性善説と性悪説の間を 行ったり来たり



世良耕一郎
Sera Koichiro

1. はじめに

筆者は RI 使用の経験が浅いのですが、加速器を用いた仕事に携わってきたため放射線全般との関わりについて述べます。放射線履歴は、東北大学物理学科故森田右教授の研究室で静電加速器を用いた原子衝突の実験に参加した時から始まり、その間勉強して放射線取扱主任者免状を取得しました。その時点で森田先生を中心に計画が進められていた東北大学サイクロトロン RI センター（現東北大学先端量子ビーム科学研究センター、以下 CYRIC）勤務が内定していたのですが、開所が予定より 1 年以上遅れたため、その間 1976 年 6 月 1 日付で東北大学抗酸菌病研究所（現東北大学加齢医学研究所、以下抗研）放射線管理室に勤務しました。以下、勤務地毎に履歴を紹介させていただきます。

2. 抗研時代

主任者は放射線医学講座奥山信一助教授（当時）で筆者が管理業務の実務を担うことになりました。当然 RI は RI 実験室で使用する規則でしたが、実験室が狭く動物飼育設備もなく、筆者が赴任した当時は各講座の非管理区域で使用されていたのが実情でした。当時、複数の国立大学における違法な RI 使用が表面化し始めた時期でもあり、貯蔵や使用を法令どおり RI 実験室内で行うよう通知を回したところ、各講座から猛烈な反発があり状況は改善されませんでした。不十分な環境下で法令遵守を強いると実質的に研究が継続不能になり、またその時点で抗研の新築・移転計画が進んでいたこともあり、それまでは黙認せざるを得ませんでした。

その後、旧抗研の管理区域解除の目的で奥山先生

と実態調査を行い、先ず屋上にある保管廃棄設備の状況を確認したところ、電源が入りっぱなしの冷凍庫が目に入り、嫌な予感を感じながら恐る恐る蓋を開けてみると、氷漬けになった多数のウサギ達と目が合い愕然としました。何時誰が何の実験に用いたのか核種も含め記録が無く、処理が大変でした。また、附属病院の保管廃棄設備廃止の目的で調査に行ったところ、バラック小屋の中に見何も見えません。でも、念のため砂地を掘ってみると 20 年分の古いバイアル瓶が続々と出てきました。臨床用短寿命 RI とはいえ「放射性」のラベルが貼られたバイアルの処理にも苦勞しました。

ここで性善・性悪説の話です。当時放射線関連の会議の席上で、医学部基礎放射線医学講座の故栗冠正利教授が述べられた言葉が印象的でした。それは、放射線障害防止法制定時、監督官庁の考え方は、「研究者は放射線の知識を十分に持っているので、任せておいても危険なことはしないだろう」と性善説の立場だったのが、その後違法使用の事実が続々と明るみに出て、「研究者というものは、目を離したら何をするか分かったものじゃない」との性悪説の立場に転じたとお話でした。はたして自分はどうか、今は管理側なので「悪人」を取り締まる「善人」だけど、研究者側となり立場が逆転したら「悪人」にならない保証はないな、と感じたものです。

研究活動では、放射線医学講座の故松澤大樹研究室の一員に加えていただき、主な成果として奥山先生と ^{137}Cs 密封線源を用いた新撮像法、Compton Radiography¹⁾ を開発しました。もう 1 つ研究面で特筆すべきことは、陽電子核医学（以下 PET）に用いる PET カメラの初期の論文を抄読会で紹介したことです。奥山先生がその論文を見つけ、「従来の核医学との違いは何か、物理的見地から紹介してく

れ」と依頼されたためです。少し勉強し、今までの単一 γ 線検出法では不可能だった γ 線の吸収補正が「2本の消滅 γ 線の同時計測」の原理から完璧にでき、定量的に機能を評価できること、また陽電子放出核種は軌道電子捕獲確率が低い軽元素に多く、C, N, O等の生体構成元素が使えるため機能診断の自由度が大きく広がること、等をお伝えしたところ、松澤教授も大いに興味を持たれたご様子でした。その時松澤教室には、元核医学会会長の福田寛氏、福島県立医大名誉教授でわが国初のPET臨床医となった宍戸文男氏、元核医学会理事長、日本アイソトープ協会（以下RI協会）副会長の畑澤順氏等をはじめとする錚々たるメンバーが揃い、皆20代でした。彼らがPETを用いたがん診断学の先駆者として世界でも主導的な役割を果たしたことは皆様ご存じのとおりであり、筆者も今のPET診断の普及に少しは貢献できたのかなと1人で満足しています。

筆者が抗研に在籍したのはわずか19か月でしたが、その間奥山先生と新研究所の承認申請書の作成を行い、前例の無い講座毎の分離管理区域構想を科学技術庁に認めていただくために結構苦勞しました。また移転前後2回にわたり同庁の立入検査があり、書類整理のため数日徹夜したりもしました。そんな中、昼休みには先輩に強引に入部させられたサッカー部で学内職場リーグの試合をやり、仕事後には町に繰り出して未明まで飲み続ける等、若いからこそできる多くの経験を公私共に積んだ期間でした。特に医学研究に参加し、多くの医学研究者との人脈を作れたことは、筆者の大きな財産になりました。

3. CYRIC 時代

CYRICが1977年中に開設したため、翌年1月1日付で転属しました。当時の役職で藤岡学教授、織原彦之丞助教授、石井慶造助手、篠塚勉助手と筆者の5人が加速器・測定器研究部として加速器・ビーム輸送系のメンテと運転に当たり、学内共同利用を提供する体制が組まれました。陽子：3~40 MeV、重陽子5~25 MeV、 ^3He ：7~65 MeV、 α 粒子：10~50 MeVに加え重イオンも加速可能。自動運転ではなく、加速には高周波の多段の同調回路、等時性磁場、引出電極、イオン源等、ビーム輸送を含めると100近くのパラメータ調整が必要になります。

学内共同利用開始前、希望者にビームを提供する試行期間があり、森田・石井先生を中心とするX線研究グループに何回か一晩中のマシンタイムが配分されました。通常数人で行う実験を筆者1人で行うことも数回あり、エネルギーを次々と変え測定を行う実験時には、加速したビームを何十mも離れた真空散乱槽に輸送し、複数のターゲットから発生するX線を測定するという作業を朝まで何度も繰り返しました。ビーム加速・輸送、測定も含め1点につき30分ほどの速さでデータを取得する慌たしさでしたが、1人で加速器を操る魅力も感じたものです。また医学利用としてLaのK-X線を用いた「単色X線撮像」の開発も行い、頭部人体ファントムを2体使用しました。広いCYRICの中に筆者1人、深夜に人骨を用いたファントムが待っているターゲット室に出入りするのはやや怖かったです。若くして亡くなった頭骨提供者（男女1人ずつ）の生前の姿に思いを馳せるとある種の親近感も感じる等、不思議な感覚になったものです。

RIの研究利用はありませんでしたが、サイクロトロン本体のメンテナンスの際に悩まされたのが残留放射能です。高エネルギービーム加速時には引出電極や高周波増幅系に大きな負担がかかりトラブルが多発しました。引出電極がビームによる損傷で導通すると、通常は数時間冷まして電極を引き出し手当します。でも次にPET診断が予定されている時等、迅速な対応に迫られる状況もありました。ある時、照射終了後30分で導通箇所の手当を行ったことがあり、不用意にのぞき込んだ瞬間、 β 線を大量に浴びてしまいました。数時間経過後に目視する時には β 線放出核種のほとんどが減衰しているため心に油断があり、指数関数の世界の恐ろしさを思い知らされました。ふと周りを見ると一緒に目視した2人は近視眼鏡をかけており、水晶体の被ばくは筆者だけでした。また加速器本体の中心領域に不具合が生じると、決死隊として交代で本体内に潜り込み手当てを行うのですが、一度に学内管理基準を超える被ばくになることもありました。

学内共同利用で多様な利用者が出入り中、放射線管理は厳格に行われていました。でも40年経過した今となっては白状しますが、管理の目を盗み、ずるいことはしていました。例えば夜中にビームを変える時等、トリムコイルの極性を変えるために管理

区域内の電源室に行く必要があります。正規の出入口経由だと時間がかかるため、荷物搬入用の出入口から出入する等の違法行為もっており、確実に「悪人」に転じた期間だったと思います。でも「極悪人」ではなく、「小悪人」と言ったところでしょうか。

当センターには12年ほど在籍し、その間石井先生にイオン-原子衝突学、篠塚先生に加速器学を教えていただき、それらはその後の仕事に不可欠な知識となりました。一方共同利用開始後は、「運転責任者」として5人で順番に泊り込む制度がありました。ただ寝ていれば良いという訳ではなく、故障は常に生じ、運転責任者が判断し深刻な故障であれば実験責任者に実験中止を通告、手当可能であればオペレータと共に深夜に修理に当たる等、結構ハードな仕事でしたが、全くの無報酬でした。10年経ってやっと手当が出るようになりましたが、筆者に支給されたのは退職前の1回のみでした。

自分達の実験も含めると徹夜勤務の頻度は高く、身体的疲労もたまり転職も考え始めたその時に、RI協会が岩手県滝沢村（現滝沢市）にPET施設として計画し、岩手医科大学（以下医大）との協力体制が確立されていた「仁科記念サイクロトロンセンター（以下NMCC）」からお声がかかりました。医大側で準備室長を務めていた故角田文男教授が、放射線医学総合研究所で粒子励起X線分析法（以下PIXE）を用いた研究をされていたため「医療用サイクロトロンでPIXEができないか？」と提案され、RI協会滝沢研究所所長（当時）の故鈴木進先生が織原先生に相談されたのが発端となり、PIXEに加え加速器の経験を持つ筆者に白羽の矢が立った次第です。

4. NMCC・岩手医大サイクロトロンセンター（以下CRC）時代

医療用小型サイクロトロンのPIXEへの応用は世界初の試みでしたが、織原先生の発案によりdの加速条件で H_2^+ イオンを加速することにより2.9 MeV陽子ビームの引出に成功、RI製造以外の時間にPIXEを行うことが可能となりました。残るはPET専用の施設として設計されていたところにPIXEが追加されたため、RI製造時に貫通孔（図1参照）を通りPIXE室へ速中性子線が漏洩する問題です。そこで中性子線遮蔽の権威であるCYRICの中村尚

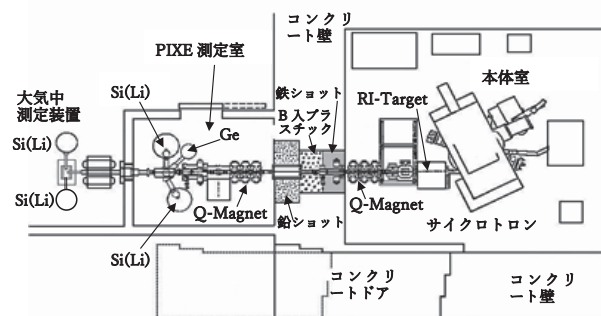


図1 サイクロトロン本体室とPIXE測定室

司教授に相談し、鉄の非弾性散乱で速中性子のエネルギーを分散、ホウ素入プラスチック内で減速、 $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ 反応により熱中性子線を捕獲するという方針で、RI製造中のPIXE室内の線量を基準値以下に抑えることができました。スタッフ総動員で鉄粉にまみれながら遮蔽材を積んだことが思い出されます。

筆者が1990年2月に着任した時点でCRCが発足、本学とは20 kmの距離があり、実質的に筆者がCRCの責任者を任せられました。初出勤の日、眼前にそびえる真っ白に冠雪した岩手山に力をもらい、希望に胸を膨らませたことが思い出されます。山好きな筆者にとっては、職場から仰ぐ岩手山の勇姿には常に勇気づけられました（図2）。春にはクレソン、コゴミ等の野草、秋には10種類のキノコが採り放題、春から秋にかけてはまさに天国でしたが、長い冬には状況は一変、通勤や本学に会議に行く時等、何度となく事故や立ち往生に出会いました。

同年8月にPETサマーセミナー、翌年7月にはBio-PIXE国際シンポジウムを開催するなど、施設は順調に歩み始めました。「田舎の研究所」というハンディは、当初論文投稿や査読等海外との文書郵送時に強く感じましたが、間もなく世はインターネット時代になりハンディはほぼ解消、快適に仕事ことができました。地元の農家の方々との交流も、楽しい行事でした。

当初はRI施設、加速器、合成装置等にトラブルが続出、軌道に乗るまで試行錯誤の連続でしたが、その中で1つ放射線管理上の不可解な出来事を紹介します。PETのホットテストが開始されると、合成装置・診断室等から放射性ガスが漏洩し、排気口濃度が上昇する事態が数回発生しました。その際不可思議なことに、漏洩が生じた使用室以外の管理区域



図2 NMCCと岩手山

全域で空気中濃度が上昇してしまうのです。皆で頭をひねってもなかなか原因が分かりません。その時、排気口の図面を眺めていてある考えが閃きました。排気口の煙突は2階建て構造で上段が排気、下段が吸気側になっています。そのような構造の場合、建築設計者の発想では必ず雨水を抜くためのドレインを設けるはず、それが下段の吸気側につながっているのでは、と直感しました。現場を確認すると案の定そうになっており、汚染排気が陰圧の吸気側に吸われ管理区域全体に回ったものと判明、ドレインを塞ぐことで問題は解決しました。同様な不可解な現象には何度となく悩まされましたが、それらの謎解きもむしろ楽しく感じる日々でした。

1993年4月にPETとPIXEの全国共同利用を開始、翌年から「NMCC研究成果発表会」を開催、同時に「報文集」も発行され24巻まで計750編以上の報告がなされ、国内外雑誌掲載論文は1000編以上に達しました。

PETにおいてはCYRICの岩田錬名誉教授のご協力もあり、種々の ^{11}C 、 ^{18}F 等標識化合物の合成法を確立し臨床に応用し、 ^{15}O ガススタディを用いた脳機能の臨床研究では世界的に成果が認められました。また、全国のPET施設間の定量値の校正を率先して行い、PET定量値の学術的な信頼性向上にも貢献できました。

PIXEにおいては、過去の医学研究者との共同研究の経験から、スペクトル解析や定量値導出の負担を利用者に強いることのないようソフトを整え²⁾、「朝試料をお持ちになれば夕刻には結果をお渡します」を謳い文句に共同利用のしきいを低くした結果、利用は考古学を含む自然科学の全分野に広がりました。発足当初PIXEの知名度は低く、研究成果の多くはPIXE関連学会へ報告されていました。筆

者らはまず各分野の学会で市民権を得ることを第一目標とし、一步一步応用分野を開拓していった結果、多分野で成果を上げることができました。中でも東・東南アジアにおける有害元素による広域的環境汚染の調査研究に関しては数万試料の分析が行われ、UNIDO（国際連合工業開発機関）、CCOP（東・東南アジア地球科学計画調整委員会）等の国際機関との協力のもと、各地域の問題解決に協力しました。通常環境問題に取り組むには、大気、水、土、鉱物、植物等の環境試料に加え、人体への影響評価の目的で毛髪、尿、血液等多種類の試料分析が求められるため複数施設への分析依頼が必要です。筆者らの2つ目の謳い文句は「全ての試料の定量分析を行います」であり、唯一の「One stop center」としての役割を担ってきました。特に無調製毛髪分析法³⁾は、アジア各国の人体曝露実態調査のため4万人の住民の毛髪分析に応用されました。

更に $1\mu\text{g}$ ほどの超微量生体試料に対しても無標準法の応用により定量分析が可能となり⁴⁾、臨床・基礎医学に応用されました。また同法は生きた植物の定量分析にも応用され、アポトシス誘導までの代謝の経時変化も観察可能になりました⁵⁾。鉱物学試料に対しても、種々の「特殊吸収体」⁶⁾の開発により微量元素の分析感度を何桁も向上させました。図3 a), b) に1990~2018年度までの利用分野別分析試料数推移を示します。共同利用期間中計10万以上の試料分析が行われました。

ここで筆者の善悪の自己採点をしましょう。RI協会の施設のため放射線管理は厳格で悪事を働く余地がなく、また全国共同利用主催者の立場もあり、法令遵守の観点からはほぼ善人で通せた気がしますが、管理区域内でヴァイオリンを弾く等、管理者から見れば問題児だったことは間違いありません。

5. おわりに

NMCCのサイクロトロンは2019年2月28日に停止しました。通常加速器施設は25年も経つと活力が徐々に低下するものですが、最後まで論文・学会発表数等は増加を続け、最盛期を迎えたまま終了したことを誇らしく思います。

施設閉鎖後CRCのPETのスタッフは青森県量子科学センターにおいて地域の皆様にPET診断を提

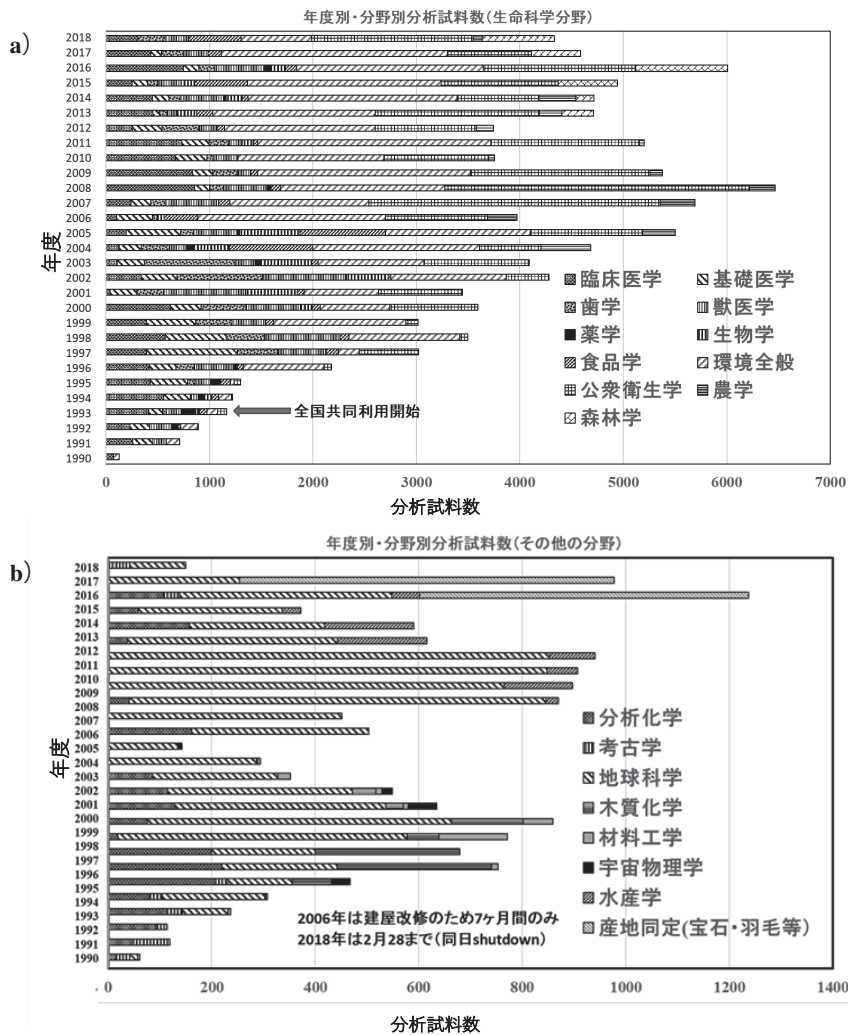


図3 a) 生命科学系分野別分析試料数推移, b) その他の分野分析試料数推移

供するために尽力しており、NMCCのPETは今も青森で生き続けています。一方PIXEでは、筆者が特に力を入れていた有害元素による広域的環境汚染問題に関し、NMCCの後継者として期待していたのが、ハノイ大学物理学研究所 Hông Khiêm 教授のグループです。良い加速器と優秀な若いスタッフ達に恵まれ、アジアの環境問題に対処するための中心的な施設になるものと期待し、スタッフの方々への6時間の集中講義、更に環境試料分析の協力等も行い協力体制を築きました。その後2021年のベトナムでの国際会議を契機に具体的に計画を進めていく予定でしたが、その直前にコロナ禍が発生、ベトナム-日本間の行き来が閉ざされてしまい、計画は中座しています。一方国内ではNMCCの役割を引き継ぐ施設として、石井先生が進めている函館の民間施設を利用する共同利用計画に期待していたのです

が、それもコロナその他の影響で進展が遅れています。結果として共同利用で優れた成果を上げられていた利用者の方々の研究が継続不能になってしまったことには、筆者自身の力不足を痛感し忸怩たる思いがございませう。

最後に今まで筆者や施設を支えて下さった多くの方々から感謝の念を捧げます。

参考文献

- 1) Okuyama, S., *et al.*, *Radiology* **131** (1) 215-220 (1979)
- 2) Sera, K., *et al.*, *NIM B.*, **109/110**, 99-104 (1996)
- 3) Sera, K., *et al.*, *NIM B.*, **150**, 226-233 (1999)
Sera, K., *et al.*, *NIM B.*, **189**, 174-179 (2002)
- 4) Sera, K., *et al.*, *Int'l J PIXE.*, **7** (3,4) 157-169 (1997)
- 5) Sera, K., *et al.*, *Int'l J PIXE.*, **21** (1,2) 13-23 (2011)
- 6) Sera, K., *et al.*, *Int'l J PIXE.*, **5** (2,3) 181-193 (1995)

(岩手医科大学 客員教授)