

# Ge 検出器と関わって

投稿



静間 清  
Shizuma Kiyoshi

## 1. はじめに

筆者は島根県邑智郡の片田舎で1949年に生まれた。父母は広島市内に住んでいたのだが父は軍隊に出征中であって市内から離れ、母は広島に原爆が投下される前に出身地である島根に帰省していた。祖父はもともと島根県瀬戸内郡静間町の出身であったが、広島市に移ったあと原爆で亡くなった。父は祖父を捜しに原爆の3日後に市内に入ったので、筆者は被爆2世ということになる。のちに研究テーマとして広島原爆の残留放射能の測定に関わることになるとは思いもしなかった。

## 2. 広島大学の頃

広島大学には1浪したのち1968年に理学部物理学学科に入学した。当時は学生運動の最盛期で大学の講義中にも学生たちがなだれ込んできてクラス討議が行われた。大学2年の頃には広島大の正門がバリケードで封鎖された。その頃は新しく学長になられた飯島学長と学生との団交が連日ように行われていた。夏を過ぎる頃、機動隊が本部キャンパスに突入し、学生の封鎖が解かれた。

4年生になって卒業研究は理論物理学の鳴海元教授の研究室に配属された。筆者は原子核実験の研究室に入りたいと思っていたが、広島大には当時まだそのような研究室はなく、むしろ物性研究が盛んであった。そんな中で、次年度に大阪大学から新しく原子核実験の吉沢康和先生が着任されることが分

かった。その年の秋に大学院の入学試験が行われ、吉沢研には3人が合格した。

## 3. 大学院時代

吉沢研は被爆建物である理学部I号館の2階にあった。筆者は当時吉沢先生と一緒に広島に赴任された野間空助手と同室になった。野間助手は東大核研にISOL (Isotope Separator On-Line) を建設中であり、装置を広島の小さな町工場で作られていた。筆者の指導教官は隣の部屋の井上光助教授であった。そちらの部屋には同じ大阪大学から星正治氏も大学院博士課程の院生として来られていた。同じく助手として採用された東北大学出身の堀口隆義助手も野間助手と共にISOLの研究に従事されていた。筆者の研究テーマは陽電子消滅で発生する $\gamma$ 線を当時最新の装置であったGe (Li) 検出器で測定するというものであった。このため、毎週1回、液体窒素を汲んできて補給することが仕事となった。そのころ頃、吉沢先生は $\gamma$ 線の精密測定という研究も進められていて、 $\gamma$ 線のエネルギー基準として電子質量 $m_e c^2$ を使うというアイデアをお持ちであった。このためにGe (Li) 検出器を研究室で持たれていた。当時の検出器はGe結晶に格子欠陥が多かったので、Liをドリフトさせて格子欠陥を埋めて真性半導体に近い形にして使われていた。このためGe結晶を液体窒素温度まで常時冷却する必要があった。その後、急速に半導体の製造技術が向上して高純度Ge結晶が登場したので使用時のみ冷却すればよくなった。

## 4. 原研夏季実習—阪井英次さんとの出会い

大学院修士2年の夏に吉沢先生に勧められて1か月間の原研夏季実習に参加した。実習先は阪井英次さんの研究室であった。阪井さんも阪大の出身で吉沢先生とは面識があった。阪井さんの研究室では各種のGe (Li) 検出器が所狭しと並んでいて、実際にGe 結晶にLi イオンをドリフトさせてGe (Li) を製作されていた。このときの筆者の研究テーマはGe (Li) 検出器の周りで線源位置を変えてスペクトル中の $\gamma$ 線ピーク位置の変化を調べるというものであった。夏季実習も終わりに近づいた頃、同期の仲間との飲み会があった。参加者の中に東大の小佐古敏荘氏がおられた。彼は広島市の修道高校出身だったので同郷ということで親しくしていただいた。このときの仲間とは今でも年賀状の付き合いが続いている。小佐古氏とはのちに広島・長崎の原爆線量再評価で同じ研究に関わることとなった。

吉沢研に所属した同期の3人のうち、筆者を除く2名は早々と就職が決まった。筆者も在京企業を受験したが不合格であった。このため、動機が不純ではあったが博士課程に進学することになった。博士課程に進んで最初の年に、再度、原研の夏季実習に応募した。このときは阪井さんのもとで前回の実験の続きを行うというはっきりとした目的があった。阪井さんや研究室の皆さんと一緒に日立の海岸でバーベキューをしたときの写真(1974年)を示す。左から5人目が阪井さん、6人目が筆者、右端が奥様、そして左から3人目の赤ん坊が息子さんである。

広島大に戻ってからは陽電子消滅 $\gamma$ 線スペクトルのアンフォールディングに取り組んだ。この解析法



日立の海岸でバーベキューを行った時の写真

をまとめて学位論文とした。そして、1979年の7月から工学部共通講座の助手に採用された。共通講座の応用原子核物理学研究室は教授の笠先生が亡くなられたあと、葉佐井先生が講師、岩谷先生が助教授であった。

## 5. 西ドイツ留学

1980年に吉沢先生から西ドイツユーリッヒのKFA (Kernforschungsanlage, Julich) への留学を勧められた。当時ドイツはまだ西と東に分かれていた。筆者の前任には名古屋大学の河出清先生が留学されていた。KFAは原研と同様に幅広い研究部門から構成されていた。核物理部門はシュルツ教授が部門長であり、原子炉部門とサイクロトロン部門があった。そして、原子炉部門の代表はジステミツヒ教授であった。当時、筆者は次男の出生が真近であったので最初の年は1人で赴任した。ユーリッヒの町にはゲストハウスがあって原研関係の人が多く滞在されていた。また、阪大核物理センターの片山一郎先生も滞在されていた。

KFAの研究用原子炉にはJOSEFと名付けられたオンラインマスセパレーターが設置されていた。この装置はウランターゲットで核分裂を起こした核分裂片を300度回転させたのち、テープに付着させた。テープは垂直方向に移動するようになっていてビームの付着位置から数cm離れた場所にGe (Li) 検出器を対向して置き同時計数ができるようになっていた。質量の分離も、Ge (Li) 検出器の分解能もあまりよくなかったが筆者はこの装置を使って質量数100付近の安定核から当時、1番離れた原子核として $^{102}\text{Y} \rightarrow ^{102}\text{Zr}$ ,  $^{103}\text{Mo} \rightarrow ^{103}\text{Nb}$ ,  $^{105}\text{Mo} \rightarrow ^{105}\text{Nb}$ 等の研究を行った。そして西ドイツ滞在中と帰国後に研究成果を論文として発表することができた。筆者のあとには京大原子炉実験所の瀬尾健先生が行かれた。

日本に帰ってすぐの頃、大阪大学で日本物理学会があった。そのとき、偶然にも阪井英次さんとお会いした。筆者としてはゆっくり話したかったのだが、阪井さんは忙しそうであった。あとで知ったのだが、このころ阪井さんはツルファニデスのMeasurement and Detection of Radiation (1986)を和訳されていた(放射線計測の理論と演習, 上下巻, 現代工学社)。この和訳は原著を超えた名訳と言われた。引用され

た回路等の写真はすべて最新のものに置き換えられていて、演習問題には模範解答が付けられていた。のちに筆者も院生の放射線計測演習を担当したときにこの本を使わせてもらった。

## 6. Rnの測定

1986年4月26日にチェルノブイリ原子炉事故が起こった。筆者が環境放射能測定にかかわる最初の出来事であった。大破した原子炉から放出された放射性物質は、風に運ばれてヨーロッパ各地に被害をもたらした。風向きからして日本には届かないだろうと言われていたが、偏西風に乗って1週間後には日本に達した。ダストサンプラーで大気中の放射能を捕集し、そのフィルターからの $\gamma$ 線をGe検出器で測定した。すると5月4日から核分裂片のピークが見え始め、日を追うごとに大きくなった。その後はゆっくりと減少し5月末には見えなくなった。大気中から原子炉事故の影響がなくなると $\gamma$ 線スペクトル中で見えるものはRnの子孫核種である $^{214}\text{Pb}$ 、 $^{214}\text{Bi}$ 及び宇宙線生成核種 $^7\text{Be}$ のみであった。そこでRnの空气中濃度を求めるために放射平衡に基づく解析法を求めた。

次に井戸水や湧水に含まれているRnにも興味を持った。地下水中のRn濃度を定量するために、Raの標準溶液を用いて検出効率を決定した。地下水中のRnの測定は古くから行なわれていてIM泉効法と液体シンチレーション法が鉱泉分析法に決められた公定法であった。Ge検出器を使う方法は測定器そのものが高価であり、公的分析機関や民間の分析機関では装置を揃えることが困難であった。そのような折、2011年に福島第一原発の事故が起こり、食品の放射能検査が全国的に必要なになった。食品検査はNaI(Tl)シンチレーションカウンターでも可能であったが、エネルギー分解能のよいGe検出器を使う方法が主流となった。このため低バックグラウンド遮蔽体付きのGe検出器が全国の公的分析機関に数多く納入された。その後、福島事故から数年を経て食品検査が一段落するとGe検出器を使って温泉水のRnの測定を行いたいという分析機関が多く出てきた。折しもIM泉効法の機器のメーカーが保守サービスを終了するという通知が2014年に利用者に配布された。このため、中央温泉研究所では

筆者らが行ってきた地下水の $\gamma$ 線スペクトロメトリによるRnの測定法について着目すると共に、実証試験を行った。そして、2015年に環境省自然保護局長からGe検出器を使う $\gamma$ 線スペクトロメトリが鉱泉分析法指針に追加されたことが都道府県知事に通達された。

## 7. 原爆残留放射能の測定

少し遡って1982年頃、葉佐井先生は海外出張でロシアラモス研究所に10か月滞在された。出張先には広島大学原爆放射線医学研究所の星正治助手が滞在しておられた。そこで、原爆線量の研究について大きな変化が起こっていることを聞かれた。帰国後、葉佐井先生を中心に星先生を含めて原爆残留放射能の測定グループを結成することとなった。最初の研究テーマは厚さ約1mの大きな岩石中の $^{152}\text{Eu}$ の深度分布を測定して新しい中性子線量による計算値との比較を行うことであった。 $^{152}\text{Eu}$ は当時岩石中から新たに見出された残留放射能であった。筆者らは広島市から許可を得て、爆心地付近にあった元安橋の橋柱から1984年11月9日に長さ82cmの水平コアを採取した。原爆中性子はこのコアの中心部まで達し、 $^{152}\text{Eu}$ を生成していた。1987年に放射線影響研究所から広島・長崎の原爆線量再評価システムDS86が公表された。DS86は原爆から放出された中性子線量及び $\gamma$ 線量について膨大な輸送計算から導かれたものであった。しかもそれ以前の原爆線量T65Dと比べると広島市の原爆は当時発見されたりトルボーイのモデルを使ったので中性子線量が大きく変更されていた。このためそれ以上の大きな変更はなく、あるとしても微小な変更のみであろうと考えられていた。爆心からの距離と $^{60}\text{Co}$ の当時の実測データをDS86の計算値と比較すると系統的ずれが見られることが分かった。このため、DS86を評価するには実際の残留放射能の実測値とDS86に基づく計算値を比較することが必要であった。筆者らはこの頃からその後、2004年頃まで約20年間、広島・長崎の原爆残留放射能の測定を続けることとなった。

残留放射能を測定するために高性能の $\gamma$ 線測定装置が必要であった。そのために、科研費で井戸型Ge検出器を購入し、その周りをプラスチック検出

器で覆い逆同時計数を行う低バックグラウンド計数装置を製作した。この装置は通常の低バックグラウンド Ge 検出器より計数率が1桁低くなった。のちに金沢大学の尾小屋銅鉱山跡の中に作られた実験室では更に1桁低かったが、山の中腹まで登らなくても大学内の通常の実験室で測定ができるという便利さがあった。

筆者らは被爆建造物を取り壊されるたびに鉄材や瓦等の被爆資料を集め、 $^{60}\text{Co}$  と  $^{152}\text{Eu}$  の測定データを加えた。被爆資料を集めるといっても1980年代の広島爆心の近くにそれほど被爆資料が残っているはずはなかった。そんな中で、筆者らは理学部の地学教室に保管されていた木箱17箱分のレンガ、タイル、花崗岩、瓦等(秀資料)を見出した。これらの資料は1945年の初期調査で秀敬(ヒデケイ)先生が10~12月に岩石表面の観察のために集められたものであった。筆者らはこれらの資料を測定して爆心近くで20サンプルのデータを得ることができた。

その頃、筆者は核研の放射線管理室で柴田徳思先生と話す機会があった。柴田先生は当時核研にあったサイクロトロンを廃棄するにあたってサイクロトロンの構造材に生成されているであろう残留放射能を調べておられた。その1つとして銅材と速中性子の(n,p)反応により $^{63}\text{Ni}$ (半減期100.2年)が生成されていることに気づかれた。そこで広島市の被爆銅材についても $^{63}\text{Ni}$ を測定すれば原爆で放出された速中性子の評価ができるので、まずはアイデアだけでも論文にしておこうということになって日本物理学会誌に論文を出した。その後、残留放射能データとして $^{63}\text{Ni}$ のデータも加えることができた。

残留放射能の実測データから爆心近くではDS86に基づく計算は約44%過剰であることが分かった。このため米国側は爆発高度を580mから600mとし、爆発威力は15ktから16ktに変更した。その結果、残留放射能データと計算値は爆心から約1.0kmまでよく一致した。それ以上遠方については実測データの誤差が大きくなるので計算値を使うことが日米間で合意された。2005年に公表された原爆線量評価システムDS02はDS86から約20年かかって残留放射能の実測値に裏付けされたものであることを示すことができた。

## 8. 原爆フォールアウトと仁科土壤資料

原爆のあと仁科芳雄氏は大本営から同行を求められて原爆であることを実際に確認するために8月8日の夕刻に広島に入られた。翌日、8月9日に陸軍の関係者と共に広島市内及び周辺から土、銅線、ゴム等を採取して使用済みの封筒に入れ、その日のうちに東京に空輸された。これらの資料は陸軍参謀本部を経由して理研に届けられた。理研では8月14日から山崎文男氏によりローリッツエン検電器で放射能の測定が行われ、銅線から放射能が検出された(仁科記念財団編集、「原子爆弾」, 光風社書店より)。

その後、土壤資料は山崎先生、浜田達二先生、岡野眞治先生により保管されていた。筆者らはこれらの土壤資料が現存していることを知り、岡野先生に借用を申し入れたが、なかなか貸出してもらうことができなかった。そこで岡野先生に初期調査の貴重な資料として広島市に寄贈してもらうように提案した。先生はこの提案を了解されて1992年11月24日に広島平和記念資料館に寄贈された。筆者らは資料館からこの土壤資料を借り出して、Ge検出器を用いて $\gamma$ 線測定を行った。仁科資料は核実験フォールアウトの影響を受けていない貴重な資料であった。また $^{137}\text{Cs}$ の降下密度を算出し、広島市内における $^{137}\text{Cs}$ 降下量の分布を明らかにした。

## 9. 放射線取扱主任者として

広島大工学部は1982年に広島市から東広島市に移転した。移転前の工学部放射線実験室にはコッククロフト型加速器とコバルト60 $\gamma$ 線照射装置があった。これらの装置が移転に伴い新しく2.5MVバンデグラフ型加速器と370TBqコバルト60 $\gamma$ 線照射装置に更新された。そして非密封RI実験室も新しくなった。最初に移転したのが工学部であったが、その後の移転は遅れて、結局、医歯薬系学部を広島に残して東広島市への移転が完了したのは1995年であった。

筆者は2004年から工学部の放射線取扱主任者を担当した。毎年の教育訓練講習会の他に3年ごとの定期検査のたびに加速器、密封線源、非密封施設についての必要書類を揃えるのは事務担当者がいなくて教員だけで行うのは大変な作業であった。また

2001～2006年には放射線取扱主任者部会の中国・四国支部委員会委員を務め、支部主催の安全管理講習会の講師も務めた。その間、2005年には支部長として主任者部会年次大会（平成17年度）を広島市で開催した。

コバルト60 $\gamma$ 線照射装置は管理サービスをするだけで使うことはないであろうと思っていたが、原子核の光共鳴励起に使えることが分かった。原子核が共鳴励起を起こしたあと、核異性体順位を經由して崩壊すれば数秒から数日の半減期をもつ。コバルト60 $\gamma$ 線を使って核異性体励起を行う方法は昭和30年代に、吉原賢二先生（原研、東北大）が一連の実験を行われていて多くの文献があった。筆者らが行った実験はNaIシンチレータからGe検出器に代えたもので、核異性体からの $\gamma$ 線のみが観測されて他のバックグラウンドはほとんど観測されなかった。半減期の長いものでは $^{195\text{m}}\text{Pt}$ (4.0 d),  $^{115\text{m}}\text{In}$ (4.4 h),  $^{176\text{m}}\text{Lu}$ (3.8 h),  $^{85\text{m}}\text{Sr}$ (2.7 h),  $^{113\text{m}}\text{In}$ (1.6 h),  $^{103\text{m}}\text{Rh}$ (54.8 min)等が観測できた。また短寿命核の測定のためにコバルト60 $\gamma$ 線照射室の迷路内にGe検出器を持ちこむことにより、半減期が1分以下の核異性体 $^{107\text{m}}\text{Ag}$ (44.5 s),  $^{109\text{m}}\text{Ag}$ (38.0 s),  $^{77\text{m}}\text{Se}$ (17.4 s),  $^{79\text{m}}\text{Br}$ (5.0 s)等の核異性体励起が可能で、半減期と放射化断面積を決定することができた。

## 10. 東京電力福島第一原発事故

東京電力福島第一原発の事故が2011年3月に起こった。広島大では6月に副学長のもとに「福島原発事故関連放射能環境調査チーム」が結成された。筆者は9月28日に南相馬市に入った。まず、大気中にまだ放射性物質が浮遊しているかについて調べるために大気中のちりを補集した。次に野菜等の放射能の含有量を調べた。大気中には微量の $^{137}\text{Cs}$ が長期にわたって存在していた。また、土壌には一定量の放射能が含まれているものの、野菜への移行率

は低く、野菜からはほとんど検出されなかった。次に、南相馬市を流れる5河川について、上流から下流まで河川水と堆積物の放射能を、年1回、5年間にわたり調査し、その変化を調べた。また、水道水（南相馬市では上水に地下水が使われている）から $^{137}\text{Cs}$ が検出されたので、市内の5地点において水道水と民家が保有している井戸水を3か月ごとに採取し、3年間にわたり調査した。これらの結果についても論文として発表した。また、毎年、現地で報告会を開催し、少しでも住民の方々の不安の解消に役立つよう努力した。

2013年から広島大学ではリーディング大学院が発足し、筆者は組織メンバーの1人となった。おかげで研究資金は潤沢であったので研究用備品として新しく遮蔽体付きのGe検出器を購入した。このGe検出器はハイブリッド型でパルス管冷凍機により、液体窒素の温度が蒸発温度より少し低く保たれているので通常は蒸発しない。このため1度液体窒素を補給すると4～5年は補給する必要が無いという大変優れたものであった。

## 11. おわりに

筆者は大学院に入ったところからGe(Li)検出器を使用してきた。当時 $\gamma$ 線スペクトルは1チャンネルごとに1枚のカードに穿孔して、1,000枚のカードを重ねてカードリーダーに読み込ませて1つのスペクトルを作成していた。その後、高純度Geが登場し、パソコンと周辺技術は急速に発達して今では1つのUSBメモリに多くの $\gamma$ 線スペクトルを保存できるようになったが、スペクトルそのものはそれほど変わっていないし、これからも大きく変わることはないであろう。最後にこれまで筆者にGe半導体検出器を実験手段の1つとして与えてくださった多くの方々に御礼申し上げる。

(広島大学名誉教授)