

放射線と共に歩んだ研究と教育の道



宮越 順二
Miyakoshi Junji

1. はじめに

1960年代後半～1970年初めにかけての数期間は、学生運動が活発化し、講義や実験施設の使用もままならない状況が続いていた。そのころ、友人から、「放射線取扱主任者」の国家試験を一緒に受けてみないかとの誘いがあり、4回生の時に受験した。受験したことも忘れていたころ、1972年12月に、時の科学技術庁長官だった中曽根康弘の記名と長官印で、第1種、第2種、2通の放射線取扱主任者免状が送られてきた。運よく、合格した。振り返ると、この主任者の合格が、それからの人生の歩みに大いに関係していた。一時、京都薬科大学（加納永一教授）に就職したが、生命科学分野に興味を持っていたことから、大阪市立大学大学院医学系研究科（山形健三教授）で学んだ。学位を取得した研究内容は、当時、新しいがん治療法として注目されていた、ハイパーサーミアであった。その後、放射線の生体影響に興味を持っていたので、関連分野の就職先を探していた。ちょうど、京都大学医学部放射線遺伝学講座（武部啓教授）に助手の空席ができ、1985年4月に京都大学医学部助手として着任した。主任者免状取得も役立ったようである。紫外線や高圧X線照射での生体影響研究が主体であった。加えて、同講座の上野陽里助教授（当時）からの依頼で、人生初のラジオアイソトープ（RI）実験を経験した。研究内容としては、当時話題になっていた、核融合炉の生体影響関連で、トリチウム水の細胞影響研究であった。2年後の1987年からは、武部教授の推薦を得て、カナダ・アルバータ州立大学のがんセン

ター・分子遺伝学部門（Prof. Rufus Day）で、特別研究員として、1989年まで研究した。1980年代は遺伝子工学花盛りで、Day教授からの依頼は、脳腫瘍（神経膠腫）患者からの、がん細胞の樹立（培養細胞として利用）と化学療法による脳腫瘍がん細胞の遺伝子発現解析であった。当然のことだが、カナダ滞在中には、 ^{32}P 標識ヌクレオチドを利用して、ノーザンブロットが毎週の実験であった。悪性脳腫瘍がインターフェロン発現と関連のあることを示唆する新しい知見を発見し、がん専門誌、*Cancer Research*に論文が掲載された。Day教授には、貴重な研究経験に感謝し、帰国した。

2. 京都大学医学部での放射線教育・研究と放射線管理

カナダから帰国直後、医学部講師に昇任し、放射線基礎医学教育とRI実習を分担担当することになった。主任者免状を取得していたので、更に、追加業務として、医学部に所属しているRI施設の管理業務も主体的な立場で引き受けることになった。自身の研究に関しては、培養細胞を用いて、放射線影響の遺伝子解析並びに非電離放射線（特に低周波）の影響評価研究をスタートさせた。

本章では、主として、当時のRI関連業務として行っていた放射線管理の状況について述べる。京都大学吉田地区の医学部基礎構内には、放射性同位元素総合センター（RIセンター）本館（五十棲泰人教授）があった。しかしながら、特に、1980年代後半～1990年以降、医学分野の生命科学研究には

RIの利用が必要不可欠の状況になっており、RI施設の充実が急務であった。それまで、医学部には、D棟(X線装置含む)RI施設と小規模なRI学生実習室の2か所であったが、B棟RI施設と遺伝子実験施設(分子生物学実験研究棟)が新設された。特に、B棟RI施設は、RIに特化した大規模研究施設で、地下1階、地上3階、管理室と実験施設、廃棄物保管施設、4基の貯留槽、希釈槽等、1つの学部が所有するRI施設としては、非常に大きな施設であった。図1にB棟RI施設(当時)の外観を示す。これらの4か所で、医学部が所有するRI施設の総面積は、約5500m²となり、国内では最大級のRI施設を保有していた。なお、選任主任者は、医学部教員で主任者免状を保有している4~6名が務めた。

登録従事者数としては、教員、大学院学生、研究員等を主体として、多い時には約800名に達していた。再教育も2日間に分けて、大講堂で行った(新規教育はRIセンターが実施)。大学院生でも平日の日中は診療があるという医学部特有の事情により、夜間か休日の利用が多かった。従事者の要望が強く、施設を閉じるのは、正月の三が日だけであった。そのため、緊急連絡網には休日、夜間の詳細な連絡先も含めて、不慮の事態に対応できる十分な情報を記載し、万全な体制で管理した。管理区域の出入管理、定期の汚染検査、RIの使用履歴チェック等、教員の主任者としては多大な業務があり、一部は外部の放射線管理専門企業に委託せざるを得なかった。更に、施設の維持経費(管理委託経費含む)、膨大な数のRI廃棄物費用等、すべてが利用者負担で賄われた。1講座当たりの年間負担額も、少ないところ

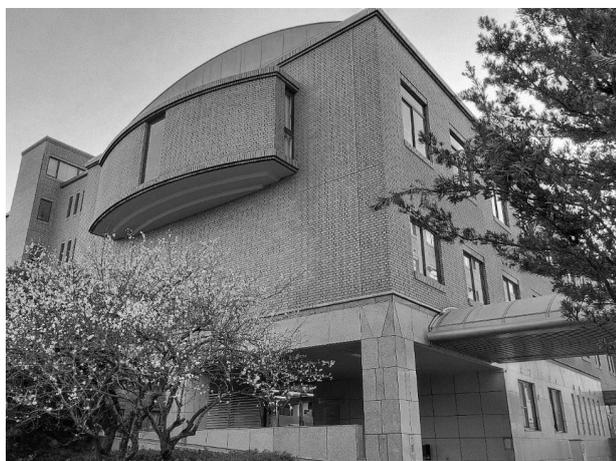


図1 京都大学医学部B棟RI実験施設(当時)

で数10万円程度、多いところは4~500万円になったが、先端生命科学研究に必要な不可欠の時代でもあり、特に大きな問題とはならなかった。

1996年4月に医学研究科助教授に昇任し、医学部・総括放射線取扱主任者に指名された。更に全学の放射線障害予防小委員会・副委員長も併任した。当時、京大には23か所のRI施設があり、大学としての自主的学内検査の同行や科学技術庁(2001年から旧文部省と統合し文部科学省となる)の立入検査対応等、全学の放射線管理関連の業務は更に増加した。本務である教育・研究に充てる時間は、かなり縮小せざるを得なくなっていた。そのような状況の中、2002年9月に、弘前大学医学部教授に異動となり、京大でのRI関連業務からは解放された。ただ、皮肉にも、ちょうど21世紀を迎え、非RI材料を用いた遺伝子発現解析方法等、新しい生命科学技術が医学分野の研究でも主流となり、全国的に生命科学研究でのRIの利用は急速に減少することになった。

3. 日本アイソトープ協会での社会的活動と放射線教育

長年、日本アイソトープ協会(以下、協会)の会員として、RI管理の情報共有や利用の向上等に努めてきた。特別会員も含めて、会員歴は50年間になる。会員歴が長くなるにつれて、主任者と関連する委員会の役職を2002年から務めた。放射線取扱主任者部会(現放射線安全取扱部会)の法令検討専門委員長(2002年6月~2008年5月)、企画専門委員長(2008年6月~2012年5月)、更に本部運営委員会の副部会長(2008年6月~2012年5月)、部会長(2012年6月~2016年3月)等である。ちょうど部会長に就任した2012年は、その4月から協会は公益社団法人へ移管し、放射線取扱主任者部会は、放射線安全取扱部会へ名称変更された。また、協会の運営に係わる理事も12年間(2006年5月~2018年6月)務めた。このように、長年にわたる大学での教育・研究が人生の歩みだが、協会における活動も、1つの大きな社会的活動であった。また、7年半の弘前大学勤務を終えて、2010年5月に、京都大学特定教授(生存圏研究所)に異動となった。

本章では、協会での活動として、放射線教育や、その資料作成に焦点を絞って述べる。長年、医学部

での放射線基礎医学（放射線生物学）の教鞭をとってきたが、中学・高等学校を含めて、我が国の放射線教育について、満足できる状態ではないと常に感じていた。そのきっかけとなったのは、2011年3月11日の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故である。この事故以来、多くの国民は放射線という言葉に釘付けとなっていた。また、テレビや新聞での放射線関連報道に触れるにあたり、特に放射線教育の不足と重要性を更に強く感じていた。もともと我が国での放射線教育が十分ではないと感じていたので、この機会に、放射線教育に関する貢献に焦点を当て、放射線安全取扱部会長として、部会内での議論を進めた。まず、ワーキンググループを組織し、教育対象を、中学・高等学校の理科担当教諭とし、放射線について、より正確な理解を深められるような資料を作成した。理科担当教諭の教鞭をとおして、より多くの生徒たちに放射線情報を広げていく目的であった。ワーキンググループメンバーリストと担当項目を表1に示す。特に、中学校・高等学校の教諭もメンバーに参加してもらった。

放射線教育資料は、1. 放射線利用、2. 身の廻りの放射線、3. 放射線の基礎知識、4. 放射線の測定、5. 放射線の生体への影響、並びに、6. 放射線関連の法令・規則、とした。パワーポイントと用語解説

表1 放射線教育資料作成ワーキンググループメンバー

氏名（所属・2014年当時）	担当項目
監修（主査）	
宮越 順二（京都大学）	生体影響・総括
委員	
上叢 義朋（理化学研究所）	基礎
大槻 勤（京都大学）	測定
佐藤 和則（東北大学）	法令・規則
篠田 元樹（東京都立浅草高等学校）	助言
須藤 幸雄（日本アイソトープ協会）	利用
角山 雄一（京都大学）	生体影響
中島 覚（広島大学）	身の廻り
中西 徹（就実大学）	生体影響
福德 康雄（鹿児島大学）	基礎
二ツ川章二（日本アイソトープ協会）	利用
松田 尚樹（長崎大学）	生体影響
山口 毅 （東京都立富士高等学校 東京都立富士高等学校附属中学校）	助言

を資料として、1時間半程度で研修会を実施した。2014～2016年にかけて、関東、関西地区を主として、北海道から九州まで、全国から要望のあった都市で14回の研修会を開催した。講演内容は、少々難しく感じる場所もあったが、ほとんどの開催会場で好評であった。集計したすべての研修会のアンケート調査結果から、5段階の分かりやすさ評価3以上で見ると、前述したすべての項目で90%を超え、作成した資料は理解を得るに十分なものと考えられた。研修会に参加した教諭の方々には、それぞれの中学・高等学校での授業の中で、可能な範囲ではあるが、資料の内容を生徒に教えていただけるとのことであった。なお、放射線教育資料は、現在の協会のホームページからでも入手可能である¹⁾。

また、放射線教育で、記憶に深く残っているのは、2012年に愛媛県松山市において、放射線安全取扱部会長として開催した「放射線安全取扱部会年次大会」である。以前から、協会の理事会等で有馬朗人会長（当時）と放射線教育について話していた。2012年は、福島第一原子力発電所事故から翌年のことでもあり、放射線教育の特別講演を依頼した。有馬先生からは、即答で快諾を得た。講演は、パワーポイント87枚の大作であった。当日、有馬先生から、「私の講演資料は今後の参考にしてください」と渡されて、現在も保管している。図2に、講演スライドの最初の2枚を示す。

以下に、当日の有馬先生の講演概要を紹介する。「人類にとっての大きな課題」では、人口の爆発的增加に伴い、エネルギー需要が急増する。化石燃料は有限であり、二酸化炭素放出による地球レベルの温暖化の急進、異常気象増加が予想される。再生可能エネルギーの開発が急務である。原子力発電に関しては、不慮の事故も不可避で、賛成反対にかかわらず、早期の最終処分地建設が必要である。「放射能・放射線と人間」では、人類による放射線の発見から、

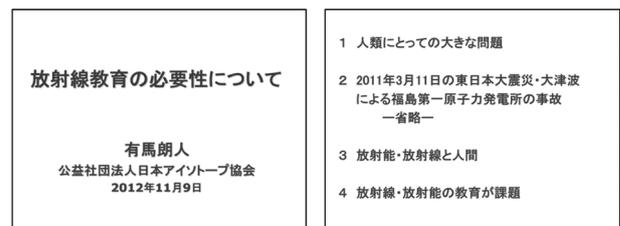


図2 有馬先生講演資料（1-2ページ）

広島・長崎における原爆投下等、放射線の歴史的な概要を述べ、放射線の単位、日常生活における被ばく放射線量、食品中の放射性物質、体内のセシウム濃度等、ICRPの活動も含めて、放射線の基礎的な知識が紹介された。「放射線・放射能の教育が課題」では、我が国では、長い間、放射線・放射能の教育がほとんど行われてこなかった。これまでの小・中・高等学校での学習指導要領についても説明があった。放射線教育は、教える方も、教えられる方も、大変難しい問題ではあるが、それを乗り越えて、放射線・放射能について、必要以上に怖がらなく、より正しい知識を持つことが重要である。以上、豊富な内容であり、筆者自身も含めて、放射線の専門家でもある多くの参加者に、有馬先生の熱い想いが伝わった講演であった。

このように、協会において、社会的活動の1つとして、放射線教育に関わったことは、筆者にとって大きな経験であり、これからも、中学校・高等学校における放射線教育が充実されていくことを願っている。

4. 電磁環境の健康影響研究と世界保健機関 (WHO) の評価メンバー

非電離放射線の電磁波による健康問題の経緯として、1990年代に入って以来、国際的に活発な議論が行われてきた。歴史的には、1979年に米国の疫学者が、高压送電線の近くに住む子供の白血病発生率が高いことを発表したことが始まりである。カナダからの帰国後、放射線基礎医学分野でのがん治療研究に並行して、1992年ころから、国内ではほとんど行われていなかった電磁環境と健康に関する研究を始めた。この分野では、疫学研究が主力となっていたが、筆者は、細胞・遺伝子生命科学を行ってきたので、細胞研究を主体として行った。対象電磁波としては、小児白血病と関連した商用周波レベルの極低周波 (ELF: extremely low frequency) (主に 50 Hz, 60 Hz)、及び、脳腫瘍と関連した携帯電話や基地局のアンテナから発生する高周波 (RF: radiofrequency) (1500 MHz~数 GHz) とした。この研究で困難な点は、市販の電磁波ばく露装置がなく、電磁気工学の専門家との協力、いわゆる医工融合形態で、共同研究を行った。

本章では、国際機関における電磁環境の健康影響評価に絞って述べる。1990年以降、国際的に電磁波の健康影響に関する議論が高まる中、世界保健機関 (WHO: World Health Organization) は、1996年に国際電磁波プロジェクト (International EMF Project) を立ち上げた。国際電磁波プロジェクトは、WHOの組織として、電離放射線の健康影響を担当する部署に所属している。また、このプロジェクトはシンポジウムやワークショップ等の開催をはじめとして、その時々における生体影響評価の現状報告や取り組むべき課題の提案等を行ってきた。国際がん研究機関 (IARC: International Agency for Research on Cancer) は、WHO内の1組織として、がんに特化した健康影響を評価している。図3にWHOとIARCの役割を簡単に示す。

1999年に、WHOから、電磁環境の健康評価メンバーとして、筆者への招請が、大学総長宛に依頼状として届き、受諾した。以降、WHO評価メンバーを2014年まで務めた。評価会としては、まず、2001年に、フランス、リヨンのIARCで、ELF電磁波の発がん性評価会議が開催された。世界各国から21名の評価メンバーが集合した。メンバーは米国が半数を占め、その他は欧州等、アジアからは筆者1名であった。疫学研究でのプール分析により、居住環境のELFレベルが0.4 μT以上 (子供の0.8%対象) で、相対リスクがほぼ2倍に増加し、有意性が確認されていた。会議では、この陽性結果を重視し、発がん性評価として、「グループ2B」 (Possibly carcinogenic to humans) と決定した。評価メンバーは各々50ページほどの執筆が課せられ、議論の末、最終版のモノグラフが発刊された。ちなみに、電離放射線や紫外線は、IARCの発がん性分類で、「グループ1」 (Carcinogenic to humans) である。



図3 電磁環境と健康に関する世界保健機関 (WHO) の役割

次に、WHOは同じ環境因子について、がん以外の健康影響評価も含めて、生体影響評価を行うタスク会議を開催することになっている。この会議は、環境保健クライテリア（EHC：Environmental Health Criteria）を作成するためのものである。ELFに関しては、2005年に、スイス、ジュネーブのWHO本部で開催された。筆者は、このEHC作成会議のタスクグループメンバーとして参加した。2001年のIARCでの評価を踏まえて、研究実績の不十分な領域の推進が提唱され、EHCの最終稿までに約2年の時間を要した。筆者も執筆し、2008年2月にWHOの刊行本として出版された。

携帯電話を主たる対象としたRF電磁波については、2011年5月に、IARCで発がん性評価会議が開催された。評価会議には筆者を含め、15か国30名の評価メンバーが参加した。大がかりな疫学研究として、IARCがとりまとめる形で、13か国が参加して「The INTERPHONE Study」として行われた。種々の脳腫瘍を疾患対象として、症例-対照研究で実施された。結果として、1640時間以上の累積長時間通話者で、神経膠腫のオッズ比（OR）が1.40（95%信頼区間：1.03~1.89）とわずかであるが増加を示した。また、スウェーデンでの疫学プール分析では、2000時間を超える通話者は、神経膠腫が3倍になるという報告や、我が国の疫学研究で、1日20分以上の通話を超える場合に、聴神経腫瘍の増加を指摘する報告があった。また、実験動物研究の評価でも、一部の複合的発がん研究の“陽性結果”は発がんの証拠として認められた。最終的に、評価メンバーのRF高周波発がん性総合評価は、「グループ2B」と決定した。ELFと同様に、評価メンバーが執筆して、RFのIARCモノグラフが2013年に出版された。

1992年ころから20数年間、電磁環境の健康影響研究を長年継続して行い、数多くの論文も執筆した。更に、WHOやIARCをはじめ、国際機関の評価メンバーとして活動できたことは、筆者にとって、貴重な経験であった。今後も新規情報を入手して、継続して社会へ発信することが重要であると考えている。

5. おわりに

RIに関しては、21世紀を迎え、残念ながら、生命科学分野でのRI利用は急速に減少し、今日に至っている。RIの鋭敏な検出能力は、最盛期に頻繁に利用していた筆者にとって、数えきれない驚きと研究成果をもたらしてくれた。可能なら、RIを利用した新しい技術の発明と将来の復活を願っている。

現在でも、放射線という言葉がマスコミから頻繁に聞こえてきている。筆者らが活動してきた放射線教育については、より正確な科学的情報として、中高の生徒たちを含めて、多くの人々に広がってほしいものである。

携帯電話をはじめとして、近未来の無線電力伝送（無線充電）利用等、社会生活の中の電磁波利用に関する工学的技術の進歩は目を見張るものがある。その一方、このような電磁波は、目に見えない新しい環境因子として、人の健康と関連して、社会的に注目されていることも考えておかなければならない。生活の中に増加の一途をたどる将来の多種多様な電磁環境を考えると、電磁波の安全性を科学的なデータから判断・評価することは更に重要である。未解明な部分については、生命科学の先端技術を駆使した研究の推進が望まれる。

最後に、40数年間を振り返ると、電離放射線はもちろんのこと、定常磁場から低周波、中間周波、高周波、ミリ波、テラヘルツ波、紫外線に至る非電離電磁波も含めて、いわゆる電磁波のかなりの周波数領域を対象として研究をしてきた。筆者の研究・教育の人生において、電磁波は、目に見えない道しるべであった。

参考文献

<https://researchmap.jp/jm70121572>

1) 「放射線教育テキスト」

<https://www.jrias.or.jp/seminar/cat8/803.htm/>

((公財) 体質研究会評議員・元京都大学特定教授)