一研究者の回想録

匠たちの

足跡

内部被ばく実験棟とプルトニウム内部被ばく研究

元 放射線医学総合研究所 小木曾 洋一

福島第一原発の事故以降、全国の前発は全て停止し、再稼働に向けた動きも始まっているが、容易ではない状況にある。また、我が国の原子エネルギー政策の基幹である核燃料サイクルは稼働できない状態が長きにわたって続いている。原子力産業が右肩上がりであった1980年代から90年代にかけて、核燃料サイクルの中心に位置づけられるプルトニウムの生物影響リスクを評価するために、我が国で初めての動物実験施設「内部被ばく実験棟」が放射線医学総合研究所に建設され、実験研究が行われた時期があった。その一翼を担った研究者の立場から、実験棟の設計、建設、運用に携わった経緯を織り交ぜながら、プルトニウムを実験動物に吸入曝露あるいは注射投与して発がんのリスクを評価する研究を進めていった体験を概説する。

I. はじめに

2011年3月に起きた福島第一原発の事故が核燃料サイクルを基幹とする我が国の原子力エネルギー政策に及ぼした影響には、はかりしれないものがある。1979年のスリーマイル島原発事故、1986年のチェルノブイリ原発事故、1995年の高速増殖炉(原型炉)「もんじゅ」のナトリウム漏洩火災事故、1999年の東海村JCO臨界事故等、国内外で起きた幾多の重大事故を経験しても停まることのなかった我が国の原発が全て稼働停止し、活断層の有無、耐震性、対津波対策、非常用電源確保、緊急時の住民避難計画等々、再稼働に向けて課せられるハードルは一層厳しくなっている。また、青森県六ヶ所村にある核燃料再処理施設はトラブル続きで、いまだに本格稼働ができない状態が続いており、使用済み核燃料は各原発で貯まり続け、高レベル廃棄物の最終処分の方法と場所は全く決まっていない。このように、核燃料(高速増殖プルトニウム・MOX燃料)の製造・供給—各原発での使用—使用済み核燃料の再処理・加工といった核燃料サイクルの各プロセスが機能せず、核燃料サイクル全体が稼働できない状態が続いている。

筆者は、この核燃料サイクルの中心をなすプルトニウム(Pu)の生物影響リスクを評価するために、我が国で初めての動物実験施設「内部被ばく実験棟」(内ばく棟)を放射線医学総合研究所(放医研)に建設し、実験研究を担っ

た一員である。内ばく棟は現在、本来の使命を終えているが、ここでの経験と教訓は、その目的と中身が何であれ、将来国家的プロジェクト研究を進める上でも参考になるかと思う。やや懐古調になるかもしれないが、一研究者の立場から、それらの一端を披露させていただくことにする。

II. 内ばく棟の建設に向けて

放医研では、1960年代からマウスやラット等の小動物を用いてPuの体内分布、代謝経路、線量評価等の研究(Pu特別研究)が障害基礎研究部第三研究室(当時)を中心として行われていた。これらの研究を先導し、さらに大型のプロジェクト研究へと展開、進展させたのが松岡理先生(故人)であった。先生は、Pu等の超ウラン元素(全てアルファ放射体)をマウスやラット等の小動物からイヌあるいはサルのような中型動物に、安全かつ確実に注射投与あるいは吸入曝露できる実験研究施設が必要不可欠であると考えられ、建家の設計・建設、動物飼育・管理施設、吸入実験設備等各種の実験施設、液体・固体・気体等廃棄物処理・保管施設等の完備までの各パーツを担当し、将来それらを運用して行くことができる若手の研究者、技術者を全国の大学、研究機関等から募集、選抜した。大学院を修了したばかりの筆者は1977年に採用され、将来行うPuの生物影響研究のうち、発がん等生物効果を担当する役割を求められた。このようにして、動物飼育・管理、吸入曝露実験、代謝・挙動、線量評価、生物効果、体内除染、廃棄物処理等専門の異なる研究者、技術者及びテクニシャンを併せてわずか8名の組織が「内部被ばく実験準備室」(準備室)として発足した

Experimental Research Facility for Biological Effects of Internal Exposures to Plutonium Compounds : Yoichi OGHISO.

(2015年1月23日 受理)

のが1978年であり、以後これを母体として1982年には総勢10数名の「内部被ばく研究部」が発足する。分野の異なる専門家からなる組織体制を確立したことが内部被ばく研究プロジェクトの成功の鍵となったことは明白であり、後の重粒子線がん治療研究プロジェクトを立ち上げる上でも参考になったことは間違いないが、「準備室」発足当初、新規の人員要求が実質的にできない既存の研究組織からは、あたかもがん細胞が発生、増殖を始めて周囲の組織を侵して行くかのように揶揄されたものである。

これと並行して原子力委員会(当時)の加工部会で、内ばく棟の建設とPuの生物影響に関する実験研究の重要性和予算的措置を講じる必要性が議論され、国会と行政(総理府・科学技術庁；当時)に答申がなされたのが1977年から1978年にかけてであったと記憶する。大型プロジェクトの正当性が公に認知され、予算獲得のためのお墨付きが得られたことにより、発足したばかりの準備室の少数メンバーは、管理部企画課や技術部技術課・放射線安全課(当時)等の協力を得て、内ばく棟建設のための建家・設備の概念設計、基本設計、詳細設計及び実施設計、予算案の作成と科学技術庁技術振興課(当時)を窓口とした概算要求、建設場所の選定と、核燃料規制法や放射線障害防止法(障防法)等に係る法的整備等々、ほとんど未経験の領域に全員が24時間のめり込むことになった。早朝から夜間まで設計担当の業者を交えた各レベルでの検討と打ち合わせ、全体会議、予算要求等書類作りとコピー作成等の事務的作業が毎日続く。動物実験と病理組織標本の顕微鏡観察しか知らない筆者にとってこれは相当にきつく、研究者として最も必要な実験、データ収集と整理、論文作成という作業はほとんど不可能と諦めかけたが、松岡先生からは、次々と新しいテーマを投げかけられ、上記の「事務的」作業が続く5年間、学会発表、原著論文公表を途切れることなく全うすることができた。これはひとえに松岡先生の指導方針のおかげであるが、準備室員全員がそれぞれ全く異なるテーマをもって日々の研究や技術開発等に取り組んでおり、自分しかできないという自負と責任感を各自が自覚していたことが大きいと思う。また、毎週1回、輪番制でそれぞれの研究や技術開発の成果を簡潔にまとめて話す“15分レクチャー”というセミナーを行った。これは全員に数枚の要約文(レジュメ)の写しを配り、15分以内で説明した後、専門外の仲間からの遠慮のない、ときに無知な(と感じる)質問に対してもわかってくれるまできちんと答えるが、答えられない場合は次回までの宿題にするというものであり、内向きには刺激のかつ切磋琢磨の機会が提供された。外向けには、例えば予算案や研究内容等を、行政職の職員や本省庁の行政官、あるいは一般の人々にも如何にわかりやすく説明し、理解してもらうかという絶好の訓練の場となったと思う。

内ばく棟の建家・設備の設計は、どのような性格と規

模をもたせるかを検討し、デザインする概念設計から始まり、空調・機械設備、動物飼育・管理設備、吸入実験装置等実験研究設備、放射性廃棄物処理設備、放射線管理設備等多岐にわたる各設備の中身を具体化する基本設計及び詳細設計、さらには予算規模に併せて建設工程に直結させる実施設計までを、1978年から1980年までの3年をかけて実施した。それぞれ異なる設計業者と契約し、最低でも毎週1~2回、多いときには毎日の打ち合わせで何時間もかけて議論し、得られた結論を図面にまとめる作業を積み上げていったのであるが、こちら(研究者)もあちら(設計・建築家)もお互いに未知の領域であるから、まずはそれぞれの専門用語の解説と使い方を相互に理解する必要があった。最初の概念設計、基本設計あたりまでは、まだ予算規模も、従って建家全体の規模もさほど具体化していないため、イヌ(ビーグル犬)を1,000頭、マウスやラット等の小動物を数万匹飼える施設などと途方もないような提案や、当初は千葉ではなく東海村のような遠隔の地を建設サイトの候補地としていたために、実験が夜遅くまで続く場合に備えてシャワー室とベッドのある仮眠室、食堂のある宿泊施設を備えたものにしよう等々、いろんなアイデアが出た。お金のことも場所や規模との整合も考えずに、我々研究者も建築家も結構本気で取り組み、最後は同じ釜の飯を食ったような親しい関係となった。今思うと楽しく夢のような一時であった。しかし、建設サイトが千葉市の放医研敷地に決まり、詳細設計から、予算規模が決まった後の実施設計に入ると、夢は去り、現実と向き合うことを余儀なくされ、如何に決められた予算の範囲内で各施設・設備の規模を縮小、適合させるかに焦点が絞られた。具体例として、1回の吸入曝露実験で曝露できるラットの数が最大20匹と決まり、肺がんの発生率が有意に認められるような実験規模が1実験群あたり100匹とすると、最低5回の繰り返し吸入曝露を行う必要があり、吸入曝露量の異なる実験群を8群(計800匹)用意するとなると、これらを生涯(ラットの平均寿命は3~4年)飼育できる飼育室(グローブ・ボックスタイプの負圧管理された安全キャビネットが2基設置され、合計80匹を個別ケージに収容して飼育)は、合計10室必要といったような具合に実験規模を見積もり、それに必要な予算措置を積み上げて行く。各施設・設備ごとにこのような見積もり作業を積み重ねた設計図面と予算案とをもって、今度は建設省関東地方建設局(関東地建：当時)に説明に行き、実施設計と建設の監督をお願いした。これは放医研が所属する科学技術庁(当時)には自前の営繕部がないため、建設省に実施設計と建設を依頼せざるを得なかったからであるが、ここでも我々とは別の世界の技術者(建設技官)集団が居て、机の上に立てたイーゼルの図面と向き合って夜遅くまで仕事をしており、妙に親近感を覚えた。

詳細設計の前後から、科学技術庁原子力局が窓口と

なって原子力委員会の専門部会で、わずか数グラムのPuを使うとはいえ、核燃料使用施設である内ばく棟の安全審査が行われることになり、松岡先生以下準備室員全員と設計業者とでヒアリングに出向いた。今でこそ当たり前だが、耐震性や核ジャック対策、負圧管理、汚染防護あるいは計量管理の方策等々、原発や原子力関連施設で要求される諸基準を満たしているかが審議された。ここで原子力工学、保健物理、放射線医学等の分野で高名な先生方のお顔とお名前が初めて一致し、緊張して説明と質疑応答をしたのを憶えている。また、耐震設計の審査については、茨城県つくば市の防災科学技術センター(当時)の大谷明先生の研究室をお尋ねし、丹念に検討していただいた上で特段の問題なしと保証していただいた。その折、私事で恐縮だが、当時先生の研究室に所属する主任研究官であった石田瑞穂さん(後の科学研究官)にお会いした。石田さんは多分憶えておられないと思うが、私の母校、飯田高校(長野県)の大先輩であるのに、ろくな挨拶もせずに帰ってきてしまったのがとても残念である。

Ⅲ. 内ばく棟の建設から竣工まで

このようにして、建設に向けての準備が整えられる中、立地サイトの決定、自治体や周辺住民への説明等が並行して行われた。内ばく棟は当初、茨城県東海村の原子力研究所(原研)に隣接する敷地を候補として、松岡先生以下準備室員全員で現地調査を行ったこともあったが、最終的には放医研本所(千葉市)の敷地内に建設することが決まった。具体的には、地下に配管等の埋設物がどれだけあり、遺跡・史跡などが埋まっていないかどうか、また周囲にある既存建家との距離・動線や近隣の住宅などへの日照権、テレビ等電波妨害等の問題がないかどうかを逐一検討した結果、グラウンドに面し、既に竣工済みの「晩発障害実験棟」(晩発棟)の隣に建てることが決まった。松岡先生が先頭に立ち、所内及び周辺住民への説明会を何度か行ったが、Pu使用施設ということで、不安を隠さない人々が多かった。わかりやすい資料を作り、丁寧に説明を重ねることで、どこにでもいる一握りの煽動的な反対論者を除いて、最終的には理解していただけだと思っているが、原子力、放射線、環境影響、人体影響等々について正しい知識の普及と理解に向けた広報活動の重要性をあらためて認識した。

1980~1981年には、建家の建設が始まった。まずは「杭打ち」という作業に始まり、土台を造り、鉄骨・鉄筋の柱を組み立てていくのであるが、全ての作業工程に、準備室員が交代で立ち会った。そして建設担当者、実施設計担当者及び放医研の3者による進捗状況の把握、確認、問題点等に関する打ち合わせが頻繁に行われた。自分たちの新しい居場所、研究活動の場を造るのであるからやむを得ないこととはいえ、昼間はほとんどこ

れらの作業に時間を取られ、夜か休日に実験研究をこなすという日々であったが、後で考えると、手抜き工事を防止し、設計図面と施工結果との食い違いを逐一検出する上で非常に大切な作業であったと思う。当時の国の予算要求・実行予算の実施は単年度が原則であり、効率が悪い上に、一律何%などと減額させられることもしばしばであったが、管理部企画課を中心とした事務方のご尽力で曲がりなりにも何とか予算執行が継続でき、建家の建設事業は、延々1985年まで続くことになった。

ちょうどこれと前後して筆者に留学(ポスドク研究員)の話が舞い込み、唯でさえ人手不足で、建設現場での立ち会いや打ち合わせで連日大わらわの仲間には申し訳ないと思ったが、以前から海外留学の必要性を我々に説いておられた松岡先生は、快く送り出して下さった。こうして1981年6月に、準備室の仲間全員の暖かい見送りを受け、成田空港から留学先のワシントン、D.C.に向けて出発した。最初は1年の予定であったが、向こうで従事した研究テーマが長期の動物実験であったため、もう1年延長して1983年6月までとなった。この留学期間中、松岡先生と仲間達とは頻繁に手紙(エアメール)を交換して、内ばく棟建設の進捗状況や周辺の関連情報などを報せてもらい、ときには自分の担当する実験室等の仕様の変更等について意見を求められることもしばしばであった。PCやE-mailなどまだなく、英文タイプライターのみがあるだけの時代である。当然、長文の手書きの便箋を送るので分厚いエアメールとなった。また、留学中、準備室の仲間を始め、放医研その他大学、研究機関の皆様が訪米された折には、我が家にもお招きして、時差ぼけ解消になるからと、夜遅くまで語り明かしたことが楽しい思い出である。

1983年6月に帰国すると、内ばく棟の建家はほとんど出来上がっていたが、内装設備とくに動物飼育関係、吸入実験関係、廃棄物処理関係等内ばく棟の機能の根幹をなす諸設備は、まだほとんど手がつけられていない状態であった。筆者は生物効果が担当なので、専門の実験病理関係の諸設備だけを見ていればよいというわけではなく、動物実験とその後始末全てに関わることが求められたため、これらの全ての諸設備の仕様等を決め、発注、入札、契約、納入などの業務に携わり、個別打ち合わせ及び全体会議等をほぼ連日繰り返した。また、前年(1982年)に内部被ばく研究部(以下研究部)が発足し、準備室の狭い部屋から内ばく棟1階の居室等への引っ越しの準備が進められた。

次第に設備の仕様や使い勝手が明らかになってくると、実際にPuを安全かつ確実に動物に投与し、長期間の安全な飼育、実験室での汚染動物や試料の安全取扱等、核燃料物質への内部被ばく防護・管理上のハード・ソフト両面の整備が求められるようになった。例えば動物への吸入曝露については、イヌなら事前に麻酔してグ

ローブボックス (GB) 内の吸入実験装置に搬入して暴れないように保定具で体躯をつり下げ、専用のマスクを通して吸入曝露を行う方法がとられた。一方、ラットのような小動物では、鼻先だけを露出させた専用の筒容器に収容するのであるが、麻酔して収容すると苦しがって容器の中で暴れて軀を折り曲げた状態のまま窒息死してしまう。そこで無麻酔でも確実に吸入曝露を行えるように、筒容器に無麻酔で収容し、1 時間だけ自発呼吸させる訓練を毎日繰り返す馴致を事前に行った。馴致 1 週間後には、全てのラットがおとなしく筒容器で鼻先を出して自発呼吸ができ、吸入実験装置に装着しても安全に吸入曝露することができるようになった。このような作業は「虐待」ではないかと毎年抗議に来る動物愛護団体に対しては、決してそうではなく、動物は全て安全かつ適切な処置を受け、病原体のいない清潔な環境で寿命を全うするまで飼育されていると答えることにした。

また、吸入実験装置を始め、Pu 溶液の調整と小分け等を行うためのチェンバー、Pu 注射投与のためのチェンバー等は全て密閉・負圧管理されたグローブボックス (GB) であり、この中で行う作業は核燃料使用施設での作業と同様に、全て密閉された状態で行うこととされた。従って、全ての汚染 (Pu 吸入曝露及び Pu 注射投与) 動物の各装置内への搬出入及び実験処置後の GB の付いた (GB 型) 動物飼育用チェンバーへの搬入等は、密閉度が保たれた二重蓋付きの桶状容器を用いて GB や GB 型チェンバーへの脱着作業により行った。このような作業には複数の作業者があたり、各作業工程ごとのスミア濾紙による拭き取りと汚染検査、グローブのピンホール検査、サーベイメータによる表面汚染検査等が義務づけられた。そのため、通常の非汚染あるいは一般のラジオ・アイソトープ (RI) を投与するような動物実験に比べて、おそろしく時間と労力のかかるものとなった。

さらに、廃棄物処理施設では、毎日大量に発生するイヌの尿 (し) 尿の処理のため、大型の回転円盤上に繁殖した微生物による有機物分解処理の方式が採られ、この排水処理タンクが 3 基並ぶ巨大な排水処理設備が内ばく棟地下に完成した。処理後の排水はイオン交換カラムや活性炭等で除染、6 トン容量の貯蔵タンクに一時貯蔵され、汚染検査後に法令の定める基準値の 1/10 以下で放流される。発生する放射性汚泥 (放射性物質を含む微生物の死骸と有機物分解産物) は回収され、凍結乾燥後に、専用の焼却炉で燃やし、灰化してドラム缶に保管される。イヌを含む汚染動物の死体も全てこの焼却炉で燃やして灰化処理した後ドラム缶に保管される。液体シンチレーターやアルコール等有機液体も全て可燃性廃棄物と混合して燃やされる。ガラスや難燃性プラスチック等不燃性廃棄物は、出来る限りの減容後にドラム缶に詰めて保存する。このようにして気体廃棄物 (高性能 HEPA フィルター 3 連で濾過、放出) を除く全ての放射性廃棄物は、

内ばく棟 (現被ばく医療共同研究施設) の概観写真
(2015 年 2 月現在、放医研ホームページより引用)

処理され、灰化・減容して貯蔵庫に保管されることとなった。当時はここまで考案し、ゼロ・リリース (一切の Pu 等放射性物質は漏洩しない) を担保する廃棄物処理施設が全て完成したのは、1985 年の建家竣工から約 3 年後の 1988 年であった。建家の延べ床面積は約 13,000 m²、空調設備、給排気・給排水の配管、HEPA フィルターとポンプ類が並ぶ機械室等を含むメカニカルフロアを実験室フロアの間にサンドイッチ状に挟んだ地上 7 階と、廃水処理施設、焼却炉及び廃棄物貯蔵庫を含む地下 2 階からなる直方体構造の大きな建家で、JR 稲毛駅付近を通過する総武線の車窓から山のようにそびえ立っているのが見えた。このような大規模な実験研究施設はおそらく世界的にも稀であり、国内外から多くの見学が相次いだ。国内の VIP では、その時々 of 科学技術庁長官の視察・見学が行われたが、印象的であったのは、江田五月元参議院議長で、上述した吸入実験装置へのラットの装着の苦労話をすると、「おお、それは可哀想に」と揶揄され、二人とも思わず笑ってしまったが、これで緊張がほぐれ、本音の説明ができ、実験の本質を理解してもらえたことであった。江田さんは今般の原子力、核燃料サイクルについてどうお考えだろうか聞いてみたい気がする。

IV. Pu 線源の入手と研究体制の構築

動物飼育、実験研究、廃棄物処理及び放射線管理等に関係した諸設備が整えられる中、Pu の線源 (²³⁹Pu 酸化物粉末) が、旧原研東海支所から譲渡されることになり、その搬入のための準備が行われた。わずか 5 グラムの Pu 線源とはいえ、核燃料物質であることから、密封容器を耐圧性、耐衝撃性、耐熱性のコンテナに収容し、大型のクレーン車付きトラックに搭載して、正確な日時は憶えていないが、1988 年夏の某日、夜間に茨城県東海村から、茨城及び千葉の両県警の厳重な監視のもと、予め設定された極秘ルートに沿って放医研に向けて出発した。迎える放医研では、所長以下、線源受け入れチームが泊まり込みでこれに備えた。筆者も内ばく棟 1 階の居室で

寝袋にくるまってまんじりともせず、夜明けを迎えたことを憶えている。翌日早朝にトラックが到着すると、早速コンテナが降ろされ、厳重な監視下で放射線モニタリングを行った後、4階にあるPu溶液調整室の貯蔵庫に収納された。およそ1昼夜にわたるPu線源の運搬・収納作業が終わったときはさすがにどっと疲れが出た。原研側、県警、自治体等との事前の調整を担った放射線安全課と内ばく棟管理室(当時)の尽力がなければ、なしえなかった一大事業であり、Puを用いた実験研究がいよいよ始まるというターニングポイントとなった。

搬入されたPu線源は、硝酸溶液に溶解され、試験管に小分けされて貯蔵庫内の冷蔵庫に保管された。この貯蔵庫は鉄室で、実験に使用する溶液調整用のGBとともに、Pu溶液調整室(核ジャック等保安管理のため実際には表示札はかかっていない)にあるが、出入りがVIPゲートで厳重に管理されており、実際に使用する場合には、使用申請手続きを行った上で、線源管理責任者(核燃料取扱主任者)に開錠してもらって入室する。また、定期的にIAEAからの査察が入り、厳重な計量管理が行われることになったが、そのために実験計画書を提出する際に、使用するPuの量は○ml(^{239}Pu : × gm, △ Bq)というように正確な記載が求められた。これだけでも普通のRIを用いた実験とは大いに異なっていることに最初はかなり戸惑ったものである。

こうして本格的に実験動物にPuを吸入曝露させ、生物影響等に関する実験研究が可能になったので、公衆被ばく特別研究(特研:1988~1992)及びデトリメント¹⁾特研(1993~1997)の中課題のひとつとして以下の4つの研究小課題を実施することになった。

- ・吸入Puエアロゾルの呼吸気道内挙動・代謝に関する研究(挙動・代謝研究)
- ・体外計測法による吸入Puの線量算定と評価に関する研究(線量評価研究)
- ・Puの内部被ばくによる生物効果(発がん)に関する研究(生物効果研究)
- ・Puの体内除染とリスク低減化に関する研究(体内除染研究)

これらの小課題を担当するリーダーは、準備室発足当時から内ばく棟の設計、建設に携わる傍ら、本格的なPuを使った実験研究に備えるため、基礎的な実験・技術開発研究を進めてきた研究者、技術者であり、意欲と使命感に燃えていた。しかし、実際に実験を実施してみると、予想外に人手が必要であり、核燃料物質の取扱、GB作業、半面マスクとカバー・オール式作業衣の着用、二重のゴム手袋着用、作業前後の汚染検査等に多くの時間が費やされることがわかった。例えば20匹のラットに1時間の吸入曝露を行う場合、朝8時に吸入実験室に

15~20数名が全員フル装備(カバーオール作業衣と二重手袋、半面マスク着用)で集合し、動物室から予め馴致済みのラットを1匹ずつ密閉容器に収納して吸入実験室に運搬し、フード内で吸入曝露用ホルダーに1匹ずつ装填した後、再び密閉容器に収納し、GB内に搬入して吸入曝露装置にセットする。この作業が終わるのが10時過ぎとなり、吸入曝露が始まって1時間後、今度は逆のコースで曝露済みの動物を1匹ずつ曝露用ホルダーから取り出して鼻先を濡れたガーゼで拭いて除染した後、密閉容器に入れて動物室のGB型飼育装置内に搬入するのである。全ての作業が終わるのはいつも午後2時を回っていた。このようなほとんど半日がかりの実験作業を、繰り返して何十人も的人员で安全・確実に進めるためにはそれを手当する予算が必要である。当時の放医研では、特研全体の予算枠は限られており、統計学的に意味のあるデータを得るために、実験を繰り返して一定規模の吸入曝露動物数を達成するのは容易ではなかった。しかし、運営経費から動物飼育、放射線管理・内部被ばく管理等に必要な人員と諸費用を支援していただきながら、乏しい研究費の中から動物購入費、実験器具等の消耗品をやりくりして、吸入曝露動物数を増やしていった。これはPu注射投与動物でも同様で、マウスやラットのような小動物を密閉容器に収容して注射投与室のGB内に1匹ずつ搬入し、ネオプレン製の分厚い手袋に二重のチオックス(手袋)をはめた両手を差し込んで、ほとんど無感覚に近い手触りで0.1 ml 宛注射するのは至難の業であったが、この実験作業には総勢8名ほどの人員が動員された。今から思うとよくやったものだと思えるが、2つの特研の行われた10年間で、筆者が担当した生物効果(発がん)に限っても、吸入曝露ラット800匹、注射投与マウス500匹という生涯実験の規模を一応達成できた。エックス線やガンマ線などを外部照射する実験に比べればはるかに小規模ではあるが、吸入曝露ラットの初期沈着量は線量評価グループと共同で体外計測により推定、最大500日までの肺への滞留率の測定も1匹ずつ行っており、発生する肺腫瘍の病理組織検索結果と併せて正確な線量効果関係のデータが得られたと確信している。このデータに対する信頼性は、その後、論文として発表された後、既にPuの動物実験を完了していたアメリカのITRI(Drs. McClellan, Boecker, Muggenburg, Brooks & Hahn), 同PNL(Drs. Sanders & Watson), イギリスのNRPB(Dr. Stather), 同AEA(Drs. Collier, Strong, Humphrey & Kellington), 同MRC(Dr. Patrick), オランダのTNO(Dr. Bartstra), フランスのCEA(Drs. Monchaux, Morlier, Fritsch & Poncy), 同IRSN(Drs. Nenot, Mechiville & Tirmarche)などから高い評価を受け、1995年以降、一部の人々とはラドンを含めたアルファ放射体の吸入毒性に関する共同研究をも発足させることができた。既に故人となられた方々も

¹⁾デトリメント：放射線被ばくによって被る損害

含めてここに深謝したい。

その後、1998年から2000年にかけては、研究部として取り組む研究テーマにラドン子孫核種が加わり、多様化した。Puの生物影響に関しては、以下の3つの研究小課題が継続的に実施された。

- ・アルファ放射体の体内線量評価法の開発とバイオシメトリーに関する研究
- ・プルトニウム曝露動物の生涯発がんとその機構に関する研究
- ・キレート剤によるプルトニウム内部被ばくリスク低減化に関する研究

このうち、2番目の発がん機構に関する研究は、筆者と山田 裕主任研究官(現発達期被ばく影響研究グループチームリーダー)が担い、放医研が独法化して、研究部は内部被ばく影響研究グループとして2人だけの小所帯に再編されたのに伴い、2000年から2006年にかけて基盤研究「プルトニウム化合物の内部被ばく発がんに関する研究」として、以下の2つの研究小課題を実施することで研究が継続された。

- ・酸化プルトニウム吸入曝露ラットにおける肺がんの線量効果に関する研究
- ・クエン酸プルトニウム注射投与マウスにおける発がんの特異性に関する研究

これらの研究成果は逐一、論文にまとめて公表したが、それらのデータは全てアーカイブ(Pathology Archives of Life-Span Animal Studies on Carcinogenesis Following Internal Exposures to Plutonium Compounds)として発刊し、発生した肺がんや骨肉腫等の標本(病理組織標本、抽出DNA試料等)は、全て内ばく棟内に保存・保管され、所内外の研究者が利用できるようにした。また、2006年には、Puの代謝・体内挙動及び生物影響に関する研究成果を中心に、「プルトニウム内部被ばく研究最終報告書」を発刊することができた。これら出版事業の取りまとめには、共同研究者の山田 裕博士の大いなる尽力があったことを、この場を借りて深謝したい。

V. 終わりに

我が国で初めて行われたPuの内部被ばく影響研究プロジェクトは、2006年に終了した。アメリカを始め、イギリス、ドイツ、フランス等、欧米諸国でもPuを含む超ウラン元素等アルファ放射体の内部被ばく影響に関する動物実験研究は終了している。携わった研究者のリタイア、この領域での研究予算の打ち切りなどで終結あるいは撤退を余儀なくされたためである。時代の趨勢でもあるが、多種類・多数の実験動物を使って生涯飼育する大規模実験研究は、やりにくくなっている。しかし、Puの内部被ばく影響に関しては、全てやり尽くされたわけで

はなく、標的細胞レベルでの微細線量分布とそれがどのような生物反応を引き起こして発がんに至るのか、低線量域での内部被ばく発がんの線量反応にしきい値は存在するのか、あるとすればその根拠あるいは理由は何か、内部被ばくと外部被ばくの発がんリスクは同じ実効線量レベルで考えられるのか等々、未解明の問題や疑問が多く残されている。最近、アメリカでデータの見直しと補完を行った再解析結果を掲載した論文が次々と発刊され、懐かしい著者名が散見されるのは、彼らも同じことを考えているのだろうと思う。Puだけではなく、チェルノブイリ事故や福島事故でも話題になった核分裂生成物のセシウム(^{137}Cs)、ストロンチウム(^{90}Sr)、ヨウ素(^{131}I)等 β - γ 放出核種による内部被ばくの影響(発がん)についても、それぞれに特有の取扱の困難性等もあって、動物実験によるデータは希少であり、どのような発がんがどれほどの摂取量・被ばく線量でどの程度発生するのかという基本的な線量反応についてすら明白な結論は出ていない。

今後、若い研究者、技術者がこれらの困難な研究課題に取り組む上で大切なことは、どんな研究プロジェクトでもそれに参画する個々人の研究に対するひたむきなパッション、合理的な方法論を確立するためのあくなき追求心、くじけず最後までやり遂げるという姿勢であり、これは時代と世代を超えて変わらないと思う。ここで述べたことは、原子力産業が右肩上がりであった時代のかかなり特殊な世界の体験記であるかもしれないが、現在あるいは近未来にも通じる一種の精神論として、他の研究や技術開発の分野でも共有できるものを感じ取っていただけたら、望外の喜びである。

最後に、内ばく棟建設とPu内部被ばく影響研究プロジェクトに関わった全ての人々に、この場を借りて感謝を申し上げ、稿を終えることとしたい。

— 参考資料 —

- 1) 放射線医学総合研究所：プルトニウム内部被ばく研究報告書(NIRS-R-53/ISBN 4-938987-32-5) (2006年3月)。
- 2) Internal Radiation Effects Research Group/NIRS: Pathological Archives of Life-Span Animal Studies on Carcinogenesis Following Internal Exposures to Plutonium Compounds. (NIRS-M-186/ISBN4-938987-31-7) (Feb 2006)。

著者紹介

小木曾洋一 (おぎそ・よういち)

元 放射線医学総合研究所

(専門/関心分野)放射線生物学、獣医病理学、実験病理学、腫瘍病理学、免疫病理学、神経・内分泌・免疫・代謝疾患の発病機構と放射線を含む環境ストレス要因との関係