

大学炉における炉物理実験研究と教育のあるべき方向とは？

近畿大学原子力研究所 橋本憲吾

1. 大学炉との幸運な出会い（はじめに）

筆者と大学炉との出会いは、京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)を訪れた1979年に遡る。当時はKUR2号炉の建設設計画が進められていたこともあり、名古屋大学の共同利用研究課題の中性子相関測定に加えて、2号炉の特性実験にも参加させて頂いた。共同研究者旅費が支給されない学部学生の身分であったので、雇い上げにより日当を頂戴し、様々な実験を経験することができ、原子炉を深く理解する上で大変勉強になった。その後、名大院生、近大教員等と身分は変遷したが、KUCA のヘビーユーザとして教育研究を推進できたことを幸せに想い自らの誇りとしてきた。この間、自らの学術論文や学位論文のみならず、指導院生の学位論文も KUCA の共同利用研究により生み出すことができた。また、30年間、近畿大学原子炉において施設管理者の立場でも大学炉と向き合い、共同利用研究者や実習学生と交流が持てたことは幸せの極みである。新規制基準適合審査による3年余の停止を経て運転再開を果たした大学炉の今後の行方を、今、長期的な視点から愛情をもって考えてみたい。

（写真は、KUCA 制御室に陣取る院生時代の筆者）



2. 「悪夢」と「幸運の女神」

「敗軍の将、兵を語らず」とは、「他人にとっては、過去を振り返っての自慢話や愚痴は聞き苦しいものである。」との戒めであり、若い頃から自らへの訓言としてきた。従って、運転停止に至る「悪夢」、3年余に亘る「苦闘」と「失敗の連続」の道のり、「幸運の女神」が微笑んだ運転再開については、私からお話すべきことは無い。ただ、以下の私文書により、安易でなかった行程をご察し願えれば幸である。むしろ、今後のことに想いを馳せたい。運転再開後に、どれだけの研究と教育の成果を出せるかが、我々管理者のみならずユーザが問われるべきことではないだろうか。運転再開のための許認可業務はあくまで手段であり、研究と教育の果実を得ることが目的であるのだから。

【2013年12月21日付け関係機関宛橋本発信メール】

昨日、12月20日、原子力規制庁より「新規制基準適合審査のため、フルスペックの原子炉設置変更許可申請を行うよう」命じられました。この結果、原子炉の運転と利用を少なくとも1年間は停止し、申請作業を行わねばなりません。科学技術を信奉する我々として、1Wの教育用原子炉に対しても、このような画一的な行政手続きを強制することは到底理解できないところではあります。膨大な作業と時間が予想されますが、何とか乗り越えなければならないと決意した今日であります。貴重な学生教育の機会を失うことは断腸の思いです。まずは、「終了年月日未定」の施設定期検査に入るための準備を始めなければなりません。取

り急ぎ、現在の近大炉の窮状のお知らせまで。

【2015年3月26日付け橋本私信（抜粋）】

安全審査、設置変更許可申請補正、設計及び工事の方法の認可、品質保証システム再構築、保安規定認可、工事、使用前検査、施設定期検査等に要する工数（時間数）を再評価したところ、運転再開まで更に5年を要する結果となった。2015年度の利用停止は関係各機関に伝達済みであるが、2016年度の利用再開が絶望的である現状を早い時期に伝える必要がある。いい加減な「どんぶり勘定」による運転再開見込みを決して公表してはいけない。どのような不利益を被ろうが、これは責任ある大学人としての義務である。近大側の許認可体制の強化は必須であるが、当面は、厳しい業務環境を強いられる。このような環境にあっても、守るべき優先順位は、下記の通りとしたい。

順位1：研究所員の生命と心身の健康を守ること。

順位2：研究所員の大学人としての誇りと社会的信頼を維持すること。

順位3：研究所の文化と組織を維持すること。

順位4：停止期間中に施設トラブルと法令違反を起こさないこと。

順位5：運転再開を1日でも早めること。

（後日談：実際に要した工数は当時の評価数より増大したが、教員の新規採用と外部専門家の支援により、工期を短縮することができた。）

【2017年3月20日付け橋本私信（抜粋）】

2017年3月14日から17日までの4日間の施設定期検査を終わって考えるに、今回の施設定期検査は大変なリスクと危うさを伴って行われたものであり、合格は「我々が勝ち取ったものではなく、幸運の女神によりもたらされたもの」であります。二度と、このような危険な法定検査を受検してはなりません。規制当局に対して、「起動を伴う事業者検査を事前に実施せずに、ぶっつけ本番で立会検査を受けることは出来ません！」と発言できなかつた我が身が情けない。3年間走らせていない自動車に燃料を入れて、いきなり走行検査をするが如きである。結果は自明である。いかなる場合でも、「ぶっつけ」本番は避けるべき！（後日談：京大炉のKUCA、KURについては、事業者の検査運転が可能であることが事前に通知され、実施された。）

3. 炉物理実験研究と教育のあるべき方向とは？

かつて、我が国では5大学が6つの原子炉施設を有していたが、立教大学原子炉RUR（1961年12月初臨界、定格熱出力100kW）、武藏工業大学原子炉MITRR（1963年1月初臨界、定格熱出力100kW）、東京大学原子炉「弥生」（1971年4月初臨界、定格熱出力2kW）の3施設が運転を終了し廃止措置に入ったため、現在では、近畿大学原子炉UTR-KINKI（1961年11月初臨界、定格熱出力1W）、京都大学原子炉KUR（1964年6月初臨界、定格熱出力5MW）、京都大学臨界集合体実験装置KUCA（1974年8月初臨界、定格熱出力100W）の2大学3施設のみとなっている。このように大学原子炉が希少・貴重な存在となったことから、我が国の大学の教育と研究への有効活用のための役割分担を再考すべき時期に来ている。本稿では、原子炉実験教育と炉物理実験研究の観点から「あるべき姿」を提案し、今後の議論を待ちたい。

3.1. 原子炉実験教育の現状に問題はないか？

近畿大学原子炉（UTR-KINKI）では、設置当初から、本学理工学部原子炉工学科の全学生を対象に、原子力技術者の育成を目指して原子炉実験を必修授業として実施してきた。2004年の理工学部改組後は、時間数を大幅に縮小し、理工学部電気電子工学科エネルギー環境コースの学生実験の1テーマとして実施し、現在に至っている。近畿大学外の学生を対象にした原子炉実験は、1981年より開始された「近畿大学原子炉等利用共同研究」（大阪大学窓口）の一環として始まった。つまり、共同利用者である大学教員が研究利用を実施する傍ら、引率してきた学生を実習させるスタイルである。従って、学生実習のカリキュラムは、各大学の研究課題や教育ニーズに基づきカスタマイズされた内容となっていた。この伝統は、現在も踏襲されており、運転実習以外は、大学毎のニーズに合わせてバラエティーに富んだ内容となっている。つまり、学外の研究者は、共同研究を通して自らの研究成果を求めつつ、同時に、学生の原子炉実習という教育成果も得ようとしたのである。さて、現在の近大炉実習は、どうなっているか？実習参加大学と参加学生数は増加しているのは確かだが。実習内容は精選されているか？広く全国の原子力系学生が参加できる基盤的な原子炉実習の枠組みになっているか？共同利用研究は低調となっていないか？現状は、西日本地区の大学の希望する学生に限定されており、実習機会の地域間格差が依然として存在している。また、炉物理関係の共同利用研究も年々減少傾向にあり、来年度は1件のみ（学生実習利用除く）となる予定である。学生実習を始めた頃に立ち戻り、長期的な観点から再点検する必要がありそうである。

京都大学臨界集合体実験装置（KUCA）の院生実験についても、開始時期は異なるものの、近畿大学炉の学生実習と同じような経緯を経て開始されている。KUCAは、計画段階から、炉物理関係研究者の共同利用装置を前提として議論されていた。このため、初臨界の1974年から共同利用が開始され、初臨界、その後の特性試験等も京大炉と各大学とが共同して進められた。この共同研究作業は、共同利用者間および京大炉と共同利用者との間の相互理解を深め、絆を強くし、教員・院生を対象に訓練運転も日常的に実施され、その後の各大学の炉物理研究の進展に資した。この様なKUCAにおける炉物理研究者サークルから、大学院実験が生まれるのは必然であった。1975年から始まった大学院実験のために2週間のマシンタイムが割り当てられ、各週につき20余名の院生は月曜から土曜までの厳しいスケジュールを踏破し十分な満足感を得て大学へ帰っていった。当初の実験テーマは、臨界近接実験、制御棒校正、中性子束分布に加えて、Feynman- α 実験、パルス実験、Xe毒効果（KUR）などの専門的な内容を含むものであった。当時の大学院実験は、既に共同利用でKUCAを利用した院生又は今後KUCAを利用する予定の院生であり、炉物理、炉工学、計測制御等の研究室に属する院生で占められていた。炉物理研究者サークルの教員が、自らの研究課題について成果を出すと共に、このような原子炉について下地のある院生を対象に、各大学混成下で、高度で専門的な実験教育を実践したことは賞賛に値する。さて、現在の院生実験は、どうなっているか？マシンタイムは、2週から6週以上へと拡大され、参加院生数も飛躍的に増大した。これに反して、大学院実験の高度性と専門性は失われていないか？近大炉実習との棲み分けは維持しているか？院生実験の基盤となる共同利用研究は弱体化していないか？現状は、院生実験の高度性と専門性は開始当時から比べ低下し、基本的には近大炉で実施可能な初学者向けの内容になっているのではないかと危惧する。「KUCAは、炉物理・炉工学分野の専門的な

実験実習を実施する。」、「近大炉は、広く原子力工学分野の学生にとって必須な基盤的な実験実習を実施する。」という棲み分けは、もはや存在しないようである。一方、共同利用研究についても、大学からの申請数は長期低落傾向にあり、研究成果は目も当てられない惨状である。大学の炉物理研究者は、院生実験のみにすり寄り、共同利用研究に無関心であつていいのか！今、大学院実験を始めた頃に立ち戻り、院生実験と共同利用研究のあり方を再考すべき時期に来ているのではないか。

近年、共同利用研究を申請せず、院生実験や学生実習にのみ参加を希望する大学が増えている。この現象は近大炉、KUCA に共通して見られる傾向である。このような共同利用研究と学生・院生実習との分離をどう考えるか？過度な教育プログラムの実施は、原子炉を保有する組織の人的・経済的資源を消耗させるのみならず、所員の志気と研究機会を奪ってしまう恐れがある。また、共同利用のマシンタイムを圧迫するようになれば、原子炉施設から生み出される研究成果を質・量共に劣化させ、研究を目的で運営されている組織自体の存在を危ういものにする。特に、国立大学の研究施設である KUCA の存続のためには、他分野の研究者が納得する一定以上の研究成果の生産は必須である。共同利用研究により研究成果を継続的に生み出し、同時に、自らの学生・院生を教育する従来の利用スタイルを再評価すべき時期に来ているのではないか？

3.2. 原子炉実験教育の向かうべき方向は？

大学原子炉の利用・運営方針は、ユーザのニーズや総意を反映しつつも、最終的には、所有する大学や研究所の意志や将来計画に委ねなければならないことは言うまでもない。一介の管理者でありユーザに過ぎない筆者が「とやかく」言えることではないかも知れないが、「議論の火付け小父さん」として、今後の原子炉実験教育の向かうべき方向性を思考してみたい。まずは、KUCA と UTR-KINKI の本来の設置目的と特徴的な設計思想に立ち戻り、現状を眺め将来に想いを馳せたい。

KUCA は、炉物理の基礎実験からベンチマーク実験、モックアップ実験まで広範囲な研究が可能な誇るべき炉物理研究施設である。また、軽水減速と固体減速炉心を組める 3 つの架台を有しており、定常中性子源・パルス中性子源・核破碎中性子源が使用可能であるため、多様性に富んだ研究を可能とする研究施設である。このように特筆すべき高い潜在能力を有する研究施設をアカデミアたる大学が所有・運営し、共同利用研究として大学研究者に広く開放することにより多様性に富んだ研究を生み出すこそが KUCA の目的であり使命である。大学研究者とは、大学教員のみならず将来を付託すべき大学院生も含むのは言うまでもない。設置当時、KUCA は、これらの使命を果たすのみならず、共同研究の現場で多くの大学院生の成長を促し一人前の研究者や技術者として輩出してきた功績は讃えられるべきである。（筆者もこの一員ではあるが、不肖の変わり種である！）

KUCA は、この与えられた使命と炉物理実験研究に特化した施設の設計・構造からすると、原子炉実験の初学者の実習に供すべきではないのかも知れない。むしろ、多人数を対象とするデモ的な実習よりは、未知の特性を探る共同利用研究を通して専門性の高い人材育成を目指すべきであると考える。ただ、共同利用では網羅的な実験が行われるとは限らないので、共同利用を「補完」し理解をより深化させる専門的な実験項目に限定した院生実験は意味深いものと考える。初学者向け又は原子力分野学生への基盤的実習は、教育訓練に特化した設計となっている近畿大学炉が担うべきであろう。ただし、共同利用研究を通して高度な

人材育成を実施するためには、原子力工学系の全大学から、研究成果を見据えた利用申請が必要である。また、院生に対する共同利用研究旅費の拡充も必須である。

教育訓練炉 University Training Reactor である UTR-KINKI については、名称の UTR が示すように、学生の教育に特化した設計となっている。つまり、制御室からガラス窓を通して原子炉室の状況が目と耳で常時観察でき（制御棒モータの回転音やスクランプ時の音も耳にすることができる）、運転中も原子炉室で授業、照射操作、放射能・放射線測定等が可能である。このような構造と特性は、効率的・効果的な学生実習を可能とし、見学・運転実習・制御棒校正・放射化実験等を一泊二日の行程で実施することができる。従って、広く原子力工学系学生に対する基盤的な原子炉実験実習に適する原子炉施設であり、参加大学・学生数の拡充と教育設備・カリキュラムの更なる充実が望まれるところである。ただし、この拡充と充実を図るために旅費等の予算と所員の負担の問題を避けて通ることはできない。本学外学生の実習のための旅費や所員人件費を、近畿大学学生の授業料収入に基づく大学予算から捻出することは困難である。学生派遣元の大学の実習予算措置、産業界からの寄付のみならず、文部科学省の予算措置も考えなければならない時期に来ている。KUCA 及び UTR-KINKI への公的資金の効率的及び効果的投入と配分が必要である。

近畿大学では、文部科学省・国際原子力人材育成イニシアティブ事業「日韓の教育用原子炉を有効活用した国際原子力実習の開催」の採択を受け、近大炉実習や KUCA 院生実験等の基盤的な原子炉実習を履修した学生を対象に、炉物理専門研修会（通称、マニアック炉物理研修会）を開催している。臨界近接実験、未臨界度測定、逆動特性解析、中性子相関解析、英語によるプレゼンテーションセミナー（本学国際学部の英語教育専門教員による）等の実践的な原子炉実験とデータ解析実習を含み、3泊4日の合宿形式で、使用言語は英語としている。原子炉実習を主催する側として、基盤的な実習項目のみならず特定の分野に関する高い専門性と国際的視野を有する実習を行う試みは、今後とも継続する必要がある。また、炉物理に限らず、中性子計測、放射線生物影響等の専門研修会の新設も検討する必要がある。この様な実験プログラムや教育機器の研究開発を伴う原子炉実習を通して、技術論文のみならず工学教育論文も出せるようになることが、教育訓練用原子炉施設の維持と発展の観点から望ましい将来像ではないか。

3.3. 原子炉実験研究のあるべき姿

最近、炉物理研究者からも、「炉物理は論文が出にくい分野である。」との言葉を聞くようになった。本当にそうなのか？ もはや炉物理は研究に値しない分野なのか？ 近年、大学における炉物理研究は、モデリングを含む炉物理（核）「計算」が中心となっており、物理として本質を探る「理論」と「実験」に取り組む大学研究者は稀有に近い状況になっている。このような炉物理分野の現状が、研究成果の生産性の低下を招いているのではないか。以前のように、「理論」、「実験」、「計算」の三拍子揃った炉物理研究は、もはや大学では不可能なのだろうか。確かに、「実験」には経費の問題とマシンタイムの制限が存在する。アナログアンプ1台の費用で、ハイスペックの WS が購入できる。「実験」のマシンタイムは長くて1週間が限度であるが、「計算」のマシンタイムは365日である。「理論」を第1線級の研究レベルまで高めるためには、研究者個人の高い潜在能力と研究室で蓄積された歴史が必要かも知れない。しかし、現在、炉物理研究の飛躍のためには、このように難題を抱える「理論」と「実験」が必要なのではないか？ 謹めることはない、我々炉物理研究サークルには、老いてはい

るが「理論」屋も「実験」屋も僅かながらも未だ生き残っているではないか。研究者世代間での楽しくも厳しい議論を通して切磋琢磨すれば、大学に相応しい「理論」、「実験」、「計算」の三拍子揃った炉物理研究を復活することも可能であろう。原子炉の現場では、いたる所に研究の種が落ちている。筆者も含めて大半の研究者が気づかないだけである。高い「理論」の力と観察力を養っておけば、カルマンのように現場で捨て去られたデータの中から偉大な成果を拾うこともできる。また、原子炉を利用する実験研究は、デモ的実習よりも技術者・研究者としての人材育成に資するのではないか。志有る者は、「理論」と「計算」という強力な武器を携えて、炉物理「実験」の現場である原子炉へ集結しようではないか！ただし、マシンタイム1週につき、最低、論文1本書く覚悟がある若者だけが有資格者であることを忘れてはならない。原子炉の現場を死守するためにも、自らの成果を社会財とするためにも。

筆者は、今年度からKURの共同利用研究にも参戦し、UTR、KUCA、KURの3大学炉で炉物理実験を楽しむ予定である。UTR-KINKIは、ベンチマーク実験やモックアップ実験はできないが、小回りが利くことから1日単位の利用が可能であり、核分裂連鎖反応に関わる基礎実験や測定技術の開発に向いている。KUCAは、既に述べたように多様性に満ちた実験が可能である。KURは、占有利用はできないが、フィードバックを有する出力炉の炉物理実験研究を可能とする唯一の炉である。今後、KURの共同利用研究を通して、現在のゼロ出力炉物理を高出力炉物理へと進化させて行く必要がある。

以上のようなことを言うと、「計算をやったことが無いから、実験、理論と言うのだ！」と叱られるかも知れない。実は、筆者は「三度の飯より計算やモデリングが好きな若者」であった。他分野の大御所の先生から、「実験を中心に据えない限り、研究者として君はだめだ！」とよく叱責されたものであり、腹立たしい思いもした。この齢になって、当時の叱責を有り難く想え、三拍子揃った研究の大切さを痛感している。ただ、筆者が知る30年～40年前の大学の「計算」屋の姿は、現在と大きく異なっていた様に思える。炉物理系研究室の院生は、減速・熱化理論、共鳴理論、時間・空間・エネルギー離散化手法、炉定数作成法、格子計算手法、・・・等々について関連論文まで遡り深く学習し、主要な計算コードのプログラムを黙々と読破していたものである。従って、モデルの改良や新規のプログラム開発も朝飯前であった。現在の原子力コードは、大規模化・複雑化し、計算精度も飛躍的に向上した。これに反して、「計算に必要な膨大な理論モデルと解析手法をどれだけの院生が熟知しているか、計算コードのプログラムの1行1行をどれだけの院生が熟知しているか」を問うてみたい。昨年、研究室の古い資料を整理していくと、30年以上前のプログラミストのファイルが出てきた。ファイルの表紙には、CITATION、TWOTRAN、ANISN、KENO、THERMOS、・・・等々と懐かしいコード名が書かれている。ソースリストは、メモ書きで真っ赤になっている。黙々とソースリストを読んでいた若い頃の自分の姿が蘇ってきた。老人の感傷は、この辺りで打ち止めにしよう。要するに、大学で「計算」をやるのだったら、「背後にある理論からプログラミストまで理解しろ！」と言いたいだけである。それだけのことを達成しても、炉物理屋と呼ばれるためには、「実験」と「理論」も追求しなければならない。大変しんどい専門分野であるが、炉物理は実に楽しい。筆者の専門分野も、炉物理から始まり、炉設計、熱流動、計測制御と変遷してきたが、気がつけば、炉物理に帰ってきた。やはり、炉物理は楽しい！

4. 大学炉での楽しい出会いを期待して（おわりに）

KUCAでは、共同利用研究により多様な研究成果を生み続け、同時に、高い専門性を有する院生を育成することが使命である。UTR-KINKIは、広く原子力工学において基盤となる実験実習を全国規模に拡大し、専門性と国際性を有する専門別研修会も充実することが必要である。これらの使命を実現するためには、公的資金の効率的及び効果的投入と配分が必要である。KURでは、高出力炉物理の研究を推進する必要がある。以上が筆者の意見である。

筆者は、現在、原子炉運転・維持管理の「技術者」であり、大学教員として「教育者」であり、炉物理「研究者」でもある。今後も、「技術者」として技術資格を積み上げ継続的な自己研鑽に精進したい。「教育者」としても、情熱を失うことなく、なすべきことを後進に伝えなければならない。しかし、最後は、炉物理「研究者」として生涯を閉じたいと心から想っている。