報　告

近畿大学原子炉等利用共同研究における生物系共同研究の推移

Survey of Cooperative Researches on Biological Radiation Effect at Kindai University Reactor

近畿大学原子力研究所　伊藤哲夫
㈱ア・アトムテクノル近大　山本淳治
Tetsuo Itoh, Junji Yamamoto

１．はじめに

原子炉等を利用した共同研究は昭和55年度より開始された。昭和62年度の研究経過報告書から共同研究が「物理系」、「化学系」、「生物系」の３分野に分類され、原子炉の年間稼働状況も記される現在の報告書の様式となった。したがって、昭和62年度以降の記録が系統的に整理できる。ここでは、昭和62年度から平成27年度に至る次の資料を作成し、生物系の共同研究の推移を概観する。

・採択件数等の推移
・生物系の採択課題の変遷
・生物系共同研究の照射試料、線源等

なお、本稿では「物理系」、「化学系」、「生物系」と呼称するが、「近畿大学原子炉等利用共同研究経過報告書」では、各々「原子炉物理・原子炉応用に関する研究」、「原子炉化学・放射化学に関する研究」、「生物の放射線影響に関する研究」として実施された共同研究が分類されている。

２．採択件数および原子炉稼働の記録

図１に、分野別の採択件数、原子炉等の利用日数と利用者数、原子炉の運転時間と出力の推移を示す。共同研究として採択された年間総件数は、「試験研究用原子炉の新規制基準」への適合確認のため平成26年2月に原子炉が停止するまでは緩やかな増加傾向にあった。これは、物理系と生物系の採択件数が一時的な減少はあったものの昭和62年度以降徐々に増加していたためである。平成21年度を境に生物系と化学系は減少したが、物理系の増加があり採択総件数は原子炉の停止前年まで維持されていた。一方、利用総日数は横這いかやや減少、利用者数は減少となっている。これは、共同研究以外の原子炉利用計画との関係や共同研究の予算（特に、旅費）などが影響していると考えられる。

原子炉の稼働状況に関して、運転の総時間と総出力の年次ごとの変化の割合は、平成2年度ごろまでの共同研究の初期を除いて、ほぼ同じである。これは、原子炉を最大出力で一定時間運転して試料を照射する運転パターンが多くを占めているためである。

３．生物系の採択課題の変遷

昭和62年度から平成27年度までの期間に採択された生物系の研究計画名、代表者、継続期間を表１（ａ）、（ｂ）に示す。ただし、研究計画名と代表者の所属は初採択の年次の記載である。また、横棒グラフである継続期間の年次の目盛りは、この表１（ａ）の真上にある図１の横軸の目盛りにほぼ対応している。このため、表１（ｂ）の真上にも図１を再度示した。表１（ａ）、（ｂ）より、昭和62年度から平成27年度までに採択され継続実施された共同研究は24件であった。継続期間は最短2年間から最長22年間であり、1件の継続期間の平均はほぼ8年間となる。続いて、表２（ａ）、（ｂ）には、この24件の共同研究に関して、内容の方向、照射の試料と使用線源を研究経過報告書から抜粋して示した。なお、内容の方向については、平成10年度から同26年度までの経過報告書に分類されていた次の項目に従った。

近畿大学原子炉等利用共同研究における生物系共同研究の推移

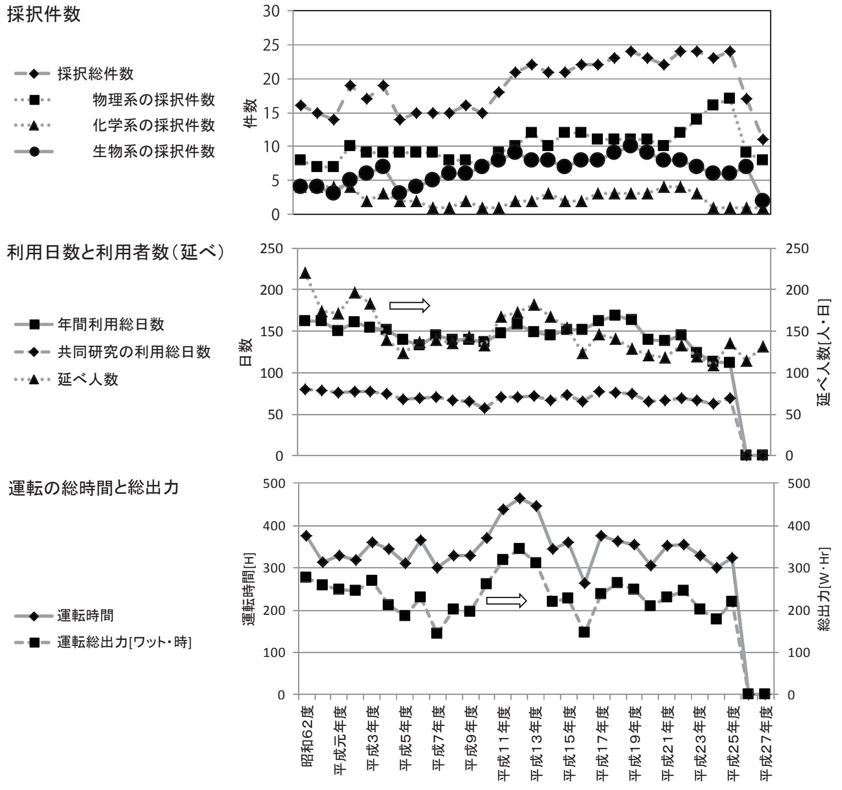

図１　採択件数等の推移

表１（ａ）　生物系の研究課題一覧（前半）

研究計画名と研究計画代表者（ただし，計画名と所属は初採択の年次）	昭和 63	平成 1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
極低線量域における中性子の植物に対する影響 田野茂光（東京大・農学部）															
近大炉における生物照射場のドジメトリーと突然変異 星政治（広島大・原爆放射能医学研究所）															
低出力原子炉（UTR-KINKI）放射線の生物学的影響に関する研究 橋本省三（慶応義塾大・医学部）															
分裂中性子に高感受性反応を示す生物系の検索 武部啓（京都大・医学部）															
近大炉における植物の突然変異の研究 米澤義彦（鳴門教育大・学校教育学部）															
核分裂中性子のエネルギー構造と生物学的効果に関する研究 佐々木正夫（京都大・放射線生物研究センター）															
植物の形態形成に対する放射線の影響 池田秀雄（広島大・教育学部）															
核分裂中性子による遺伝子損傷のメダカ特定座位法による研究 嶋昭紘（東京大・理学部）															
硼素中性子捕捉療法における生体組織中の硼素分布の測定 織田祥史（京都大・医学部）															
硼素中性子捕捉療法の基礎研究 高垣政雄（京都大・原子炉実験所）															
放射線による酸素ラジカルの生体内変異原活性に関する研究 古川秀之（名城大・薬学部）															
放射線被曝による生体過酸化物生成とその防御 古川秀之（名城大・総合研究所） 河井一明（名城大・薬学部 → 産業医科大・産業生態科学研究所）															

（次ページにつづく）

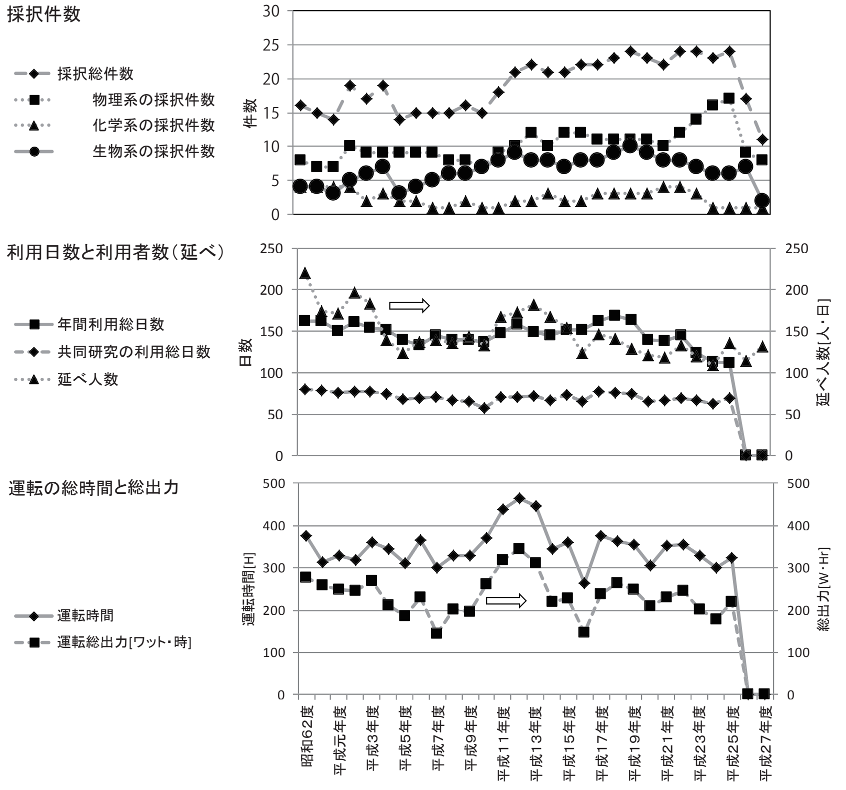

表１（b） 生物系の研究課題一覧（後半）

研究計画名と研究計画代表者（ただし，計画名と所属は初採択の年次）	昭和 平成 63 1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27
動物胚の体軸形成と奇形発生の分子構造に関する放射線生物学的研究 木下勉（関西学院大・理学部）	
速中性子による植物培養細胞の突然変異研究 谷口研至（広島大・理学部）	
放射線照射細胞におけるAlu転写物の発現と代謝 濱田勝友（広島大・原爆放射能医学研究所）	
低レベル放射線の植物系に及ぼす生物学的刺激効果に関する基礎研究 吉田茂生（大阪大・工学部 → 東海大・工学部）	
中性子源による魚類細胞における小核誘発に関する研究 高井明徳（大阪信愛女学院短期大）	
ショウジョウバエ体細胞の放射線誘発アポトーシスに関する研究 根岸友恵（岡山大・薬学部）	
核分裂放射能によるヒト臓器・組織障害の発生機構 野村大成（大阪大・大学院医学系研究科）	
中性子線によるDNA損傷とその修復の分子機構 松本義久（東京大・大学院医学系研究科 → 東京工業大・原子炉工学研究所）	
中性子捕捉療法のためのホウ素化合物ドラッグデリバリーシステムの開発 金田安史（大阪大・大学院医学系研究科）	
p53欠損メダカに対する中性子照射の次世代への影響 谷口善仁（京都大・大学院医学研究科）	
心筋細胞の分化に放射線が与える影響 小堂直彦（近畿大・医学部）	
色素性乾皮症iPS細胞の神経分化に与える放射線照射影響の評価 弓場俊輔（産業技術総合研究所）	

表２（ａ） 生物系研究課題の分類（前半）

研究計画名と研究計画代表者（ただし，計画名と所属は初採択の年次）	年度（昭和63，平成1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27）	研究の方向※ 放射線による生物作用の解明	研究の方向※ 放射線の生物モニター系の開発	研究の方向※ 放射線医療システムの開発	研究の方向※ キーワード	試料 生体（動物植物）	試料 細胞等組織	線源 近畿大学炉	線源 併設X線装置	線源 キーワード	備考
極低線量域における中性子の植物に対する影響 田野茂光（東京大・農学部）		○			線量－効果関係		種子（ダイズ）	○		極低線量	
近大炉における生物照射場のドジメトリーと突然変異 星政治（広島大・原爆放射能医学研究所）			○		照射場のドジメトリー	ハエ	種子（ダイズ）	○			
低出力原子炉（UTR-KINKI）放射線の生物学的影響に関する研究 橋本省三（慶応義塾大・医学部）		○			ガンの発生率	マウス（胎児期）		○		低線量域	
分裂中性子に高感受性反応を示す生物系の検索 武部啓（京都大・医学部）			○		染色体異常		血液（ヒト）	○		中性子とγ線の混合線	
近大炉における植物の突然変異の研究（至平成14年） 米澤義彦（鳴門教育大・学校教育学部）		○				キク		○	○		
（平成15年度以降）			○		生物検量計	ムラサキツユクサ		○	○		
核分裂中性子のエネルギー構造と生物学的効果に関する研究 佐々木正夫（京都大・放射線生物研究センター）		○			染色体異常		血液（ヒト）	○		低エネルギー中性子	KUR，YAYOI等も利用
植物の形態形成に対する放射線の影響 池田秀雄（広島大・教育学部）			○			ウキグサ	種子	○	△		
核分裂中性子による遺伝子損傷のメダカ特定座位法による研究 嶋昭紘（東京大・理学部）		○			突然変異率	メダカ		○			低線量中性子
硼素中性子捕捉療法における生体組織中の硼素分布の測定 織田祥史（京都大・医学部）			○			ラット		○		α線のトラック	顕微鏡観察
硼素中性子捕捉療法の基礎研究 高垣政雄（京都大・原子炉実験所）		○			硼素化合物の集積率	ラット		○			
放射線による酸素ラジカルの生体内変異原活性に関する研究 古川秀之（名城大・薬学部）		○			放射線の間接作用	ハエ（幼虫）			○		分子レベルの放射線影響
放射線被曝による生体過酸化物生成とその防御 古川秀之（名城大・総合研究所）→ 河井一明（名城大・薬学部 → 産業医科大・産業生態科学研究所）		○			活性酸素	マウス			○		

（次ページにつづく）

表２（b）　生物系研究課題の分類（後半）

研究計画名と研究計画代表者（ただし，計画名と所属は初採択の年次）	年度（昭和63～平成27）	研究の方向※：放射線による生物作用の解明	研究の方向※：放射線の生物モニター系の開発	研究の方向※：放射線医療システムの開発	研究の方向※：キーワード	試料：生体（動物植物）	試料：細胞等組織	線源：近畿大学炉	線源：併設X線装置	線源：キーワード	備考
動物胚の体軸形成と奇形発生の分子構造に関する放射線生物学的研究 木下勉（関西学院大・理学部）	H6–H14	○			アポトーシス	カエル		○	○		
速中性子による植物培養細胞の突然変異研究 谷口研至（広島大・理学部）	H7–H26	○					種子	○	○	原子炉にて24時間照射	
放射線照射細胞におけるAlu転写物の発現と代謝 濱田勝友（広島大・原爆放射能医学研究所）	H8–H12	○					細胞等				
低レベル放射線の植物系に及ぼす生物学的刺激効果に関する基礎研究 吉田茂生（大阪大・工学部 → 東海大・工学部）	H9–H23	○			ホルミシス	カイワレ ダイコン	酵母菌	○			γ線照射（他機関）
中性子源による魚類細胞における小核誘発に関する研究 高井明徳（大阪信愛女学院短期大）	H10–H26		○			メダカ 金魚		△	○		
ショウジョウバエ体細胞の放射線誘発アポトーシスに関する研究 根岸友恵（岡山大・薬学部）	H11–H27	○				ハエ マウス			○		紫外線照射
核分裂放射能によるヒト臓器・組織障害の発生機構 野村大成（大阪大・大学院医学系研究科）	H16–H25	○	△（H.23）		ヒト臓器 宇宙基地	マウス		○		くり返し照射	γ線照射（他機関）
中性子線によるDNA損傷とその修復の分子機構 松本義久（東京大・大学院医学系研究科 → 東京工業大・原子炉工学研究所）	H17–H27	○			DNA損傷		細胞	○	△		γ線（^{137}Cs）照射
中性子捕捉療法のためのホウ素化合物ドラッグデリバリーシステムの開発 金田安史（大阪大・大学院医学系研究科）	H18–H19			○	BNCT		細胞	○			
p53欠損メダカに対する中性子照射の次世代への影響 谷口善仁（京都大・大学院医学研究科）	H19–H20	○				メダカ		○			
心筋細胞の分化に放射線が与える影響 小堂直彦（近畿大・医学部）	H26	○			iPS細胞		細胞	○			照射（予定）
色素性乾皮症iPS細胞の神経分化に与える放射線照射影響の評価 弓場俊輔（産業技術総合研究所）		○			iPS細胞，色素性乾皮症		細胞	○			照射（予定）

・放射線の生物作用の解明／放射線ホルミシスの研究
・放射線の生物モニター系の開発
・放射線医療システムの開発

今回整理した昭和62年度から平成27年度のほぼ30年間を10年間ずつの前期・中期・後期に分けて、生物系の共同研究の傾向をみる。前期に初採択された研究を表２の「研究の方向」の分類でみると、「放射線による生物作用の解明」の件数と「放射線の生物モニター系の開発」の件数がほぼ同数である。生物モニター系の開発は中性子用であるため、もちろん、原子炉の利用がほとんどであった。原子炉を利用した共同研究の当初はモニターの開発が急がれた。そして、前期の10年間の内にこの課題を終了した研究が多い。

入れ替わって、中期に初採択となった研究では「放射線の生物モニター系の開発」は1件のみであった。中期に初採択された研究のほとんどが「放射線による生物作用の解明」で、しかもX線照射装置の利用が主である研究が多く、大半は後期に入っても共同研究を継続している。中性子とγ線の混在場である原子炉の利用に際し、X線照射装置の併用が望まれた。一方、後期にあたる最近の10年間に初採択された研究は、ほとんどが原子炉の利用である。そして、中性子とγ線の混在場の利用に対して、γ線のみの照射を他機関等で別途行っている研究も見受けられる。また、マイクロからナノへと展開するドジメトリの発展によってか、試料は細胞等組織の一部であることが多い。

図１の上段のグラフより、生物系の共同研究は平成12年度までは増加傾向にあった。それ以降は毎年度の利用が7、8件前後で推移しており、平成26年の炉の停止までは極端な増減はなく安定していた。表２に示したように、平成12年度以降から10年間超続いた8件の共同研究がその中心になっていた。この8件の共同研究では、X線発生装置の利用も多く、2件は元々X線発生装置のみであった。そして、平成26年の炉の停止時には6件が継続していたが、炉の停止翌年の平成27年度も引き続き共同研究を行ったのは2件となり減少した。

４．おわりに

近畿大学炉は今年度から運転を再開した。生物系の共同研究は、今後どのような研究課題で展開していくのか。また、どのような照射場が求められるのか。表２より最近の10年間に初採択された研究からキーワードをピックアップしてみた。研究課題については、「iPS細胞」、「宇宙基地」、「BNCT」等があげられる。BNCTについては、照射場を工夫すれば基礎的な研究が可能になるかも知れない。照射場のキーワードとしては、前述の「γ線照射」と「くり返し照射」があげられる。γ線照射は、近畿大学炉の中性子低線量照射に見合う程度のγ線線量であれば、必ずしも高強度の線源を新たに保有する必要はない。くり返し照射は、同一試料の照射と観察をくり返す方法である。近畿大学炉は起動と停止が非常に迅速に行えるため、短時間のくり返しが可能である。

本稿では新規制基準への適合確認のため近畿大学炉が停止中であった平成27年までの生物系共同研究を概観した。炉の利用が再開した平成29年度を起点に新たな展開を期待している。

参考文献

近畿大学原子炉共同利用研究経過報告書、昭和55年度～昭和61年度、大阪大学工学部

近畿大学原子炉等利用共同研究経過報告書、昭和62年度～平成9年度、大阪大学工学部

近畿大学原子炉等利用共同研究経過報告書、平成10年度～平成27年度、大阪大学大学院工学研究科