

## 付録 1

### 原子炉等利用に関する共同研究報告書

(「平成 15 年度近畿大学原子炉等利用共同研究経過報告書、  
大阪大学大学院工学研究科編集・発行」より、一部転載)

近畿大学原子炉は、昭和 55 年度より大阪大学を窓口とし、国公立大学の共同研究施設として全国の大学研究者の利用に提供されており、これまで研究・教育に大きな成果を挙げてきましたが、これらの成果は大阪大学大学院工学研究科により「近畿大学原子炉等利用共同研究経過報告書」として毎年度発行されています。近大原研の Activity を更に広く知って頂くため、ここに付録として上記経過報告書の一部を転載します。

## 原子炉物理・原子炉応用に関する研究

研究総括責任者 竹田 敏一（大阪大学大学院工学研究科）

本年度における原子炉物理・原子炉応用に関する研究は 12 件となった。これらを分類すると、以下のように 6 つの分野になる。

- (1) 原子炉の基礎的な特性 (炉特性) . . . . 1-1、-4、-5、-6
- (2) 原子炉の動特性とくに炉雑音解析 . . . . . 1-3
- (3) 中性子ラジオグラフィー . . . . . 1-2、(1-1)
- (4) 炉周辺の中性子と  $\gamma$  線測定 . . . . . 1-8、(1-1)
- (5) 放射化実験 . . . . . 1-7、-9、-10
- (6) 検出器の開発 . . . . . 1-11
- (7) 照射実験 . . . . . 1-12

まず、(1) では、昨年度行われた 4 件の継続が実施され、補助測定者として本年度も多数の学生が参加し、教育面での成果を着実に上げている。1-1 (名大・工、井口ほか) では、1986 年以来測定されてきた各制御棒の制御棒反応度の測定値の推移が示され、考察が加えられている。次に、炉停止時と炉運転時のバックグラウンド  $\gamma$  線スペクトルを比較している。次に、蛍光コンバータと高感度フィルムを使った中性子ラジオグラフィー撮影を行い、金属部分と非金属部分の写り方を比較している。

次に、1-4 (神大・海事科学、北村ほか) では、金箔を用いて熱および熱外中性子束分布を測定している。今年度は、過去十数年間の余剰反応度の再現性と、垂直方向の反応率分布の場所依存性について検討が行われた。

次に、1-5 (阪大・工、竹田ほか) では、前半に制御棒反応度価値の測定と金箔を用いた中性子束分布の測定が、後半に臨界近接実験が行われた。

次に、1-6 (九大・工、的場ほか) では、原子炉内の中性子束の絶対値を、放射化法を用いて求めるもので、代表者らが長年にわたって確立してきた精密計測システムを用いた教育プログラムである。本年度は、参加学生が 13 名とここ数年間増加傾向にあり、原子力教育面で重要なプログラムとして定着したことが窺われる。

次に (2) のうち、1-3 (摂南大・工、山田ほか) は、原子炉から放出される即発  $\gamma$  線の時系列データを用いて、未臨界度などのパラメータを推定する試みである。今年度は、原子炉上蓋の内外で中性子相関の測定を行い、 $\gamma$  線測定の場合についてひとつの指標が得られた。

次に (3) の 1-2 (大阪府大・先端研、谷口ほか) は、冷却型 CCD カメラを用いた中性子ラジオグラフィー技術の検討であり、今年度はカラー冷却型 CCD の感度、低照射特性、白点ノイズの発生状況を評価し、モノクロの冷却型 CCD と比較を行った。特に、低照射量領域で、照射時間の変化が色バランスに大きな変動をもたらすことがわかった。

次に (4) の 1-8 (福山大・工、占部ほか) は、 $\gamma$  線遮蔽体付き NE213 シンチレー

タを使った低線量中性子スペクトル測定の研究である。今年度は、2次元マルチチャンネル分析器を使ったエネルギー弁別法の適用により、中性子スペクトル測定の改善などの成果が得られた。

次に(5)のうち1-7(広島大・工、遠藤ほか)は、長崎県の大村湾海底土壌のPb-210放射化分析から、土壌の堆積速度を推定する試みであり、環境研究として重要である。汚染が発生した年代や汚染経過が推測できる可能性があるということで、今後の展開が大いに期待される。1-9(九大・工、石橋ほか)は、「弱い相互作用」の場を有する物質(V場物質)を利用して、核分裂生成物の $\beta$ 崩壊を促進しようとする試みである。昨年度の研究では、V場物質としてシルク・ウォーターを併用した照射金箔の崩壊定数は、コントロール群の結果からランダム性がずれる傾向を示したという。今年度は、原子炉照射で生成したAu-198から発生する $\gamma$ 線を数日間連続測定し、その揺らぎを測定した結果、有意な差が観測された。1-10(金沢大、小村ほか)は、金箔照射実験における金の自己吸収効果の評価であり、金箔を重ねるパターンを変化させて原子炉生体遮蔽外壁に設置し、約6時間照射を行った。この結果、金箔の厚みが0.3mm以上では自己吸収効果の補正が必要になることがわかった。

次に(6)の1-11は、比例計数管の構造を改良することにより、中性子の位置をも検出できる装置を開発することを目的にした研究である。Cdスリット法と部分的ホウ素塗布法の2種類の構造を持つ検出器が試作され、実験の結果、二つの方法とも中性子位置検出器としての可能性が示された。

次に(7)の1-12は、宇宙放射線健康管理を目的に検討されているカルシウム化合物をベースとしたTLDの $\gamma$ 線感度を評価するために照射実験を行ったものである。実験の結果、プロトンに対して感度を持つCaF<sub>2</sub>:Tb,Sm焼結体は $\gamma$ 線に対しても十分な感度を持ち、TLDとして活用できることがわかった。

以上のように、多くの独創的な実験研究が進められ、研究成果が着実に上がりつつある。その大半は国内外の学術雑誌、国際会議、国内の学会で発表され、原子力工学の発展に役立っている。国内外を問わず、大学が主体となって利用できる原子炉研究施設がますます限定される反面、施設の新設の目途が立たない状態が続いている。教育面、研究面での原子炉施設の有効性について関係各署にアピールし、研究施設の環境整備に努めねばと強く感じる次第である。

## (1) 近畿大学原子炉の炉特性の測定と利用

代表者： 井口 哲夫(名古屋大学大学院工学研究科)

### [要約]

制御棒校正、空間線量率およびスペクトル測定、中性子ラジオグラフィ実験を4年生15名とともに7月3,4日に行った。調整棒およびシム安全棒については炉周期法を、またシム安全棒および安全棒(#1、#2)については落下法を使用し制御棒価値校正を行った。各制御棒の価値はここ数年安定していて、調整棒以外の3本の安全棒の価値はほぼ等しかった。

炉出力1W時における炉室内の $\gamma$ 線線量率を電離箱型サーベイメータで、中性子線量率を中性子レムカウンターで測定した。多少高い線量率を示す場所もあったが、安全上問題となる線量は認められなかった。また、炉停止時と炉運転時のバックグランド $\gamma$ 線スペクトルをHPGe検出器で測定し、運転時には炉の構造材の主成分であるFe, Al, Coの即発 $\gamma$ 線ピークが観察されたが、炉停止時には特別なピークは認められなかった。

1W運転時における中性子ラジオグラフィ撮影を蛍光コンバータと高感度フィルムとの組み合わせで行い、同じサンプルをX線でも撮影し、中性子とX線の性質の差を検討した。

## (2) 高感度中性子ラジオグラフィの実用化に関する研究 (VI)

代表者： 谷口 良一(大阪府立大学先端科学研究所)

### [要約]

冷却型カラーCCDカメラを用いて微弱中性子画像の撮像を行い、カラー冷却型CCDの感度および、低照度特性、特徴的な白点ノイズを評価した。その結果、感度に関してはモノクロの冷却型CCDと同様であり、ノイズ特性においても常の冷却型CCDと同じく特徴的な白色ノイズが観測された。しかし、低照射量領域では、照射時間の変化で色バランスが大きく変動することが示された。カラー情報を利用した測定においては大きな問題となることが予想される。

### (3) $\gamma$ 線による炉物理定数の推定 (V)

代表者: 山田 澄(摂南大学工学部)

#### [要約]

核燃料の加工及び再処理を行う施設など常時は中性子が少なくかつ体系外で測定する臨界監視の手段として、核分裂反応や中性子捕獲反応から放出される即発  $\gamma$  線の時系列データを分析してモニタリングする方法について調べている。 $\gamma$  線検出器を原子炉内あるいは上蓋上面(炉外)に設置して時系列信号を測定し Feynman- $\alpha$  法による分析を行って相関の有無を調べてきた。しかし、炉外では時系列データの統計精度が極めて不十分なこともあり分析結果の再現性が問題となった。そこで、今年度は原子炉上蓋の内外で中性子相関の測定を試みた。炉心外側の中性子場で相関がどの程度見込めるかを調べることによって、 $\gamma$  線測定の場合のひとつの指標を得た。

### (4) 原子炉の制御棒効果と中性子束分布の測定

代表者: 北村 晃(神戸大学海事科学部)

#### [要約]

神戸商船大学最後の動力システム工学課程学生に対する5日間の学生実験として、制御棒校正並びに金箔放射化法による中性子束垂直方向分布の測定を行った。

制御棒校正時、並びに箔照射時の臨界制御棒位置から、2003年度炉心の余剰反応度が過去10数年間の平均値と比較して小さいことが示唆された。特に CS1/2 挿入の場合は、過去10数年間中最小で、その平均値に比べて SSR8%の引き抜きに相当する  $-0.063\% \Delta k/k$  もの反応度低下を示しているが、理由は不明である。また、4本の MS 位置における金箔放射化反応率分布から、炉心内中性子束分布は東西方向には誤差  $\pm 1\%$  以内で対称的であるが、南北方向には約4%の非対称性があることが解った。

## (5) 近大炉・中性子束分布詳細測定

代表者： 竹田 敏一(大阪大学大学院工学研究科)

### [要約]

本年度は、前半と後半の2回に分けて測定実験を行った。前半では、大阪大学原子力工学科4年生全員33名が3班に分かれ、教官の指導の下に、原子炉起動・運転実習、制御棒校正、中性子束分布測定、空間線量測定実験を行った。実験期間は7月9日～11日であり、各日ともに午前9時30分より午後5時までの計画で実験を実施した。後半では、同メンバーを2班に分け、臨界近接実験を行った。実験期間は7月8日および15日である。得られた実験データは、近大炉における炉物理定数の統計精度の測定と、その向上に資するためのものである。

## (6) 原子炉中性子の精密計測システムの開発研究 及び原子炉を用いた実験実習

代表者： 的場 優(九州大学大学院工学研究院)

### [要約]

九州大学と徳島大学の学生を対象に原子炉運転実習を行なった。10年目の本年度は、9月10～11日にかけて、原子炉の起動・運転の実習、放射化法による炉内中性子の絶対測定、制御棒価値の較正、漏洩 $\gamma$ 線の測定等の内容で実習を行なった。放射化法による炉内中性子絶対測定では、熱中性子によるNa-23の放射化反応を利用して原子炉内の中性子束分布を調べた。Na-23の試料には試薬炭酸ナトリウム( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )を用い、放射化して生成したNa-24の放射能の絶対測定にはガンマ線サムピーク法を用いた。その結果、中性子束分布の絶対測定に関しては、本年度も昨年度までと同様の結果が得られ、本実習で用いてきた測定法の信頼性を確認することができた。今後も本実習を通じて学生に原子炉物理や放射線計測に対する理解を深めてもらえるよう努めていくとともに、中性子束分布の測定法についても検討していきたいと考えている。

## (7) 湖底土壌試料の放射化分析

代表者： 遠藤 暁(広島大学大学院工学研究科)

### [要約]

長崎県中央部に位置する大村湾は、針尾瀬戸と早岐瀬戸の細い水路によって北西に位置する佐世保湾と通じ、さらに外海とつながる二重の閉鎖性を持つ海域であり、針尾瀬戸付近の湾口を除き全体に潮流が微弱なため、陸や大気中から流入した物質が湾内、特に海底堆積物に蓄積しやすい特性を持つ。海底堆積物は、湾内のみならず流域の環境の変遷を反映するものとして、環境研究で重要な試料である。

これまで長崎大学において大村湾海底土壌を採取し、環境調査が行われてきた。採取した土壌深度毎に Pb-210 放射能を測定することで堆積速度決定することができる。従って、土壌試料の元素分析を深度ごとに行うことで、含有元素の経年変化を見ることができる。環境等の特殊な汚染汚染があればその年代や汚染経過などが得られる可能性がある。

本研究では、長崎大学より提供された大村湾海底土壌試料中の Pb-210 放射能を低バックグラウンド井戸型 Ge 検出器を用いて測定し、堆積速度の導出を行った結果、堆積速度  $S$  は  $0.157 \pm 0.015 \text{ cm/y}$  と見積もられた。したがって、今回、放射化分析を行った試料は、表面から 11cm の深度試料サンプルは 1930 年から 2001 年に堆積した土壌と考えられる。成層年代の得られた海底堆積物を近畿大学原子力研究所教育研究用原子炉 UTR-KINKI で中性子放射化分析を行った。その結果、21 放射化核種が同定でき、各々の放射能より元素濃度を求めた。得られた元素濃度を、日本の土壌の平均元素濃度比較した結果、有害な重金属汚染等は検出されなかった。特徴的に、濃度に違いがあった元素として Cl、Br、I が上げられる。Br、I は、藻類中の濃度が高いことを示す傾向があり、採取した土壌中に藻類の堆積物が多く混入している可能性を示唆した。

## (8) 近大炉周辺作業環境の中性子スペクトル測定

代表者： 占部 逸正(福山大学工学部)

### [要約]

原子炉施設周辺の作業環境での被曝線量評価には中性子測定が不可欠である。中性子スペクトル測定法としてエネルギー分解能の優れた NE213 シンチレータは、環境ガンマ線や宇宙線荷電粒子など中性子以外の放射線にも感度を持つため、分離測定を行う必要がある。中性子とガンマ線の分離には、中性子の発光時間がガンマ線の発光時間よりも長いことを利用した  $n/\gamma$  波形弁別法が利用され、一般的にしきい値レベルは  $^{252}\text{Cf}$  などの線源を利用して決定される。高エネルギー宇宙線荷電粒子は、低エネルギーガンマ線よりも発光時間が長いため、うまく分離できない可能性がある。宇宙線荷電粒子など高エネルギー放射線に影響されない中性子測定のために 2次元 MCA を用いた測定を行った。その結果、(1) 2次元 MCA を使用して測定することにより、これまでより広い 40MeV までのエネルギー範囲で中性子のエネルギースペクトルを得ることが可能になった。(2) 原子炉から発生する中性子のエネルギースペクトルは 12MeV 以下のエネルギー範囲で観測され、運転出力が低いと観測されるエネルギー範囲もより低くなることが明らかになった。

## (9) $^{198}\text{Au}$ および $^{24}\text{Na}$ のベータ崩壊のゆらぎに関する研究

代表者： 石橋 健二(九州大学大学院工学研究院)

### [要約]

原子力発電で生じる高レベル放射性廃棄物のうち、約98%を占める核分裂生成物の大部分は弱い相互作用に伴う $\beta$ 崩壊を行なうが、現在のところ $\beta$ 崩壊を直接的に促進する有効な方法はない。電磁相互作用や強い相互作用の型がV型相互作用であるのに対し、弱い相互作用はV-A型相互作用であるとされている。本グループでは、V-A型ではない弱い相互作用の場を有する条件を探索している。本研究は、昨年度の研究に引き続き、弱い相互作用の場を変えて $\beta$ 崩壊の促進方法を見出す可能性を探ることを目的とした。原子炉で金箔を放射化して $\beta$ 崩壊核種である $^{198}\text{Au}$ を生成し、放射化金箔を当グループで開発中のニュートリノに有感な信号を発生している小型装置内に入れ、放出される $\gamma$ 線を高純度Ge検出器により数日間連続測定した。本来ランダムな事象である崩壊率の揺らぎに注目し、その周期成分を高速フーリエ変換により抽出した。その結果、高い起電力を発生している小型装置内に放射化金箔が置かれた場合の崩壊率の揺らぎの周期特性が、放射化試料のみで測定された場合と異なるという結果が得られた。



## (10) 金の放射化時における中性子自己吸収の実験的評価

代表者: 小村 和久(金沢大学自然計測応用研究センター)

### [要約]

金による中性子自己吸収を実験的に評価するために、環境中より3桁高い中性子束が得られる近畿大学原子炉周辺において、純金板を重ねて中性子放射化を行い、金の厚みと金1gあたりの $^{198}\text{Au}$ 放射能の関係を調べた。40×150×0.12 mmの純金板6枚と40×50×0.2 mm1枚と30×40×0.35 mm1枚とを重ねたものおよび30×40×0.7 mmの純金板を6枚重ねたものを原子炉生体遮蔽外壁に設置し、出力1Wで約6時間原子炉を運転させ、漏洩中性子による照射を行った。照射後、尾小屋地下測定室に設置した高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いて、極低バックグラウンド $\gamma$ 線スペクトロメトリーを行い、生成した $^{198}\text{Au}$ 放射能を測定した。近畿大学原子炉における金の自己吸収の実験値は、白山南竜小屋の実験を除いた他の環境中性子の実験(低レベル放射能実験施設)とほぼ同様の傾向を示した。0.3 mm厚以上の試料で有意な自己吸収の影響が見られ、金を中性子束検出器として利用する際に、0.2 mm厚以下では中性子の自己吸収が無視でき、0.3 mm厚以上では、補正が必要であることが示唆された。

## (11) 傾斜線式位置読み取り法による中性子用位置検出器の開発

代表者: 前多 信博(福井工業高等専門学校電気工学科)

### [要約]

陽極芯線に沿って2本の位置読取線を張った比例計数管の、中性子用位置検出器としての可能性を調べた。平成15年度は次の(A)、(B)2つの方法で予備実験をした。(A)比例計数管全体をCd板で遮蔽し、直径1mmのスリット孔を通過した熱中性子のみが $^{10}\text{B}$ に衝突する。その際、 $n + ^{10}\text{B} \rightarrow ^7\text{Li} + \alpha$  で生じる $^7\text{Li}$ や $\alpha$ を検出する方法。(B)計数管の遮蔽はしないで、熱中性子は計数管内に自由に入射し、計数管内面に部分的に塗布した天然ホウ素に衝突する。その際に、上記の核反応で生じる $^7\text{Li}$ や $\alpha$ を検出する方法。

陽極芯線と2本の位置読取線からの検出信号をそれぞれAD変換し、3チャンネルのAD変換データをパソコンに蓄積し、検出位置や検出粒子のエネルギーを求める演算処理した。(A)の方法ではスリット孔の位置に対応するデータ、(B)の方法ではホウ素の塗布位置に対応するデータを得、いずれの方法でも中性子位置検出器としての可能性が明らかになった。

今回の検出器は、極めて簡単な構造で動作も安定しており原子炉等の過酷な環境での使用も考えられる。今後も、計数ガスの高圧化、計数管の長尺化等の改善・研究を進めたい。

## (12) 宇宙線によるカルシウム化合物の熱蛍光特性の研究

代表者： 福田 和悟(大阪産業大学人間環境学部)

### [要約]

近年、人類の宇宙への進出に伴う宇宙放射線健康管理の研究が進められ、熱蛍光線量計 (Thermoluminescence dosimeter, 略して TLD) についても検討されている。今回の共同利用実験は、紫外線に感度を有する、骨や歯の組成に近い  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F:Tb}$  焼結体、プロトン照射にも感度を有する  $\text{CaF}_2\text{:Tb,Sm}$  焼結体など活性体を添加したカルシウム化合物の  $\gamma$  線に対する熱蛍光特性を調べ、 $\gamma$  線に対する感度を改善するための目的で行われた。照射試料への放射線照射は、原子炉内放射線 (中性子 +  $\gamma$  線混合場) と  $^{60}\text{Co}$  の  $\gamma$  線によって行った。放射線照射後、熱蛍光 (略して TL) を測定した結果、 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F:Tb}$  焼結体、 $\text{CaB}_4\text{O}_7\text{:Tb}$  焼結体は  $\gamma$  線に対して殆ど感度を有しないことが分かった。一方、 $\text{CaF}_2\text{:Tb,Sm}$  焼結体において観測される 378K の TL ピークは、 $\gamma$  線に対しても十分感度を有し、TLD として活用できることが分かった。

## 原子炉化学・放射化学に関する研究

研究総括責任者 山中 伸介 (大阪大学大学院工学研究科)

原子炉化学・放射化学に関する研究では、平成 15 年度は下記の 2 件の研究が採択、実施された。

- (1) 食品中のナトリウムと塩素の放射化分析
- (2) 原子炉施設周辺環境トリチウムの測定

研究 (1) は過去数年間実施されている一連の研究であり、極低出力原子炉を用いて献立および食品中の Na と塩素 (Cl) の同時測定を行い、Na から換算した食塩量と Cl から換算した食塩量を求め、各種食品中の値について比較検討している。本年度は、特に子供達の嗜好品であるスナック菓子類に含まれる食塩量について検討した。各種スナック菓子類より Na と Cl が検出された。また、前年度までに得られた結果と同様、使用原料の一つに調味料 (アミノ酸) との表示があり、Na 量から算定した食塩量の方が Cl 量から算定した食塩量よりも高い値を得る傾向が認められた。スナック菓子での一食分を 30g としたときに摂取する食塩量は、製品によってばらつきはあるものの、ほぼ 0.5g 程度であった。

研究 (2) は、大阪薬科大学、京都大学、新潟大学および近畿大学の共同研究であり、過去 2 年間より引き続き実施されたテーマで、研究目的は「環境中および原子炉施設周辺大気中の  $^3\text{H}$  の迅速分別捕集と形態別測定評価」である。本年度得られた、大気中 HTO および総トリチウム濃度の観測・測定データは、ほぼ昨年度と同じ結果となりデータの再現性が有ることを確認できた。このうち大気中 HTO 濃度は岡井らの観測値と同様であるが、総トリチウム濃度は  $100\sim 300\text{mBq/m}^3$  の範囲内にあり、これは報告されている HT、HTO および  $\text{CH}_3\text{T}$  濃度の合計値に比べ 2 ~ 3 倍に相当する。本年度においてもその理由を解析するための実験的再検討を試みたが、現在明瞭な確認は得られなかった。今後、大気中微量成分の連続捕集法の開発を含めて、総トリチウム濃度の値の違いについての検討を継続していく。

以上のように、原子炉化学・放射化学に関する研究は二件あるが、研究 (1) は放射化分析法の食品科学への応用と正確なデータの蓄積という観点から重要な研究である。研究 (2) は  $^3\text{H}$  による環境影響を正確に評価するために自然界での動態を把握しようとする重要な研究である。これら二件の今後のさらなる発展を期待する。

## (1) 食品中のナトリウムおよび塩素の放射化分析

代表者： 山本 忠志(兵庫教育大学学校教育学部)

### [要約]

健康に及ぼす食事の影響については量と質の両面から重要視され、過剰のナトリウム (Na) 摂取は血圧を上昇させる因子の一つとして健康管理上注意が払われている。そこで、我々は極低出力原子炉を用いて献立および食品中の Na と塩素 (Cl) の同時測定を行い、Na から換算した食塩量と Cl から換算した食塩量を求め、各種食品中の値について比較検討している。今回、子ども達の嗜好品としてよく食されているスナック菓子類に含まれる食塩量について検討し、以下の結果を得た。

- 1) 各種スナック菓子ともに Na と Cl が検出された。
- 2) 前回までの報告と同様に使用原料の一つに調味料 (アミノ酸等) との表示があり、Na 量から算定した食塩量の方が Cl 量から算定した食塩量よりも高い値を得る傾向が認められた。
- 3) スナック菓子に含まれる一食分 (約 30 g) として摂取する食塩量は製品によって差がみられるものの、約 0.5 g であった。

## (2) 大気環境トリチウムの挙動に関する研究

代表者： 木村 捷二郎(大阪薬科大学薬学部)

### [要約]

昨年に引き続き、大気中のトリチウムの挙動解析および時系列解析への利用を目的として、家庭用の除湿器および小型のガソリンエンジン発電機を併用した迅速試料捕集法の開発と 2, 3 の代表的場所における測定を試みた。大気中のトリチウム成分の内、HTO 形は市販の大型除湿器 HITACHI-RD1024L を用いて 2 時間間隔で大気中の水分とともに捕集する。一方、HT および  $\text{CH}_3\text{T}$  など可燃性の成分は、自家発電機 YAMAHA-EF2300S を用いてガソリンとともに燃焼し、排ガス中の水分とともに HTO として捕集する。いずれの試料も前処理の後、電解濃縮法により約 5 倍に濃縮し、液体シンチレーション計数法により放射能強度を測定し、大気中のトリチウム濃度として算出する。この方法で測定を試みた結果、大気中の HTO 濃度は気温および湿度の低下とともに低くなり、その値ならびに減少傾向は岡井らの報告内容とほぼ一致した。一方、ガソリン燃焼排ガス中の HTO 濃度から求めた大気中の総トリチウム濃度もまた気温および湿度の低下とともに低くなるが、総濃度の絶対値としては、岡井らの 3 成分 (HT、HTO および  $\text{CH}_3\text{T}$ ) に関する合計値の 2~3 倍の値である。また、この方法で原子炉施設周辺の測定を試みた結果、風向などの気象観測データと合わせて検討することによって、微量放出されているトリチウムを事業所境界で検出可能であり、迅速試料採取を必要とする場合のモニタリング法として利用できることが示唆された。

## 生物の放射線影響に関する研究

研究総括責任者 米澤 義彦 (鳴門教育大学学校教育学部)

平成15年度の生物の放射線影響に関する研究は、昨年度より1課題減少し、次の7課題で実施された。

- 3-1 米澤義彦ほか5名 速中性子による植物の染色体突然変異の研究
- 3-2 池田秀雄ほか4名 植物の形態形成に対する放射線の影響
- 3-3 谷口研至ほか5名 速中性子による植物培養細胞の突然変異研究
- 3-4 吉田茂生ほか4名 低線量放射線による細胞損傷・修復機構と刺激効果に関する基礎的研究
- 3-5 高井明德ほか2名 中性子線による魚類細胞における小核誘発に関する研究
- 3-6 根岸友恵ほか3名 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
- 3-7 河井一明ほか5名 放射線被曝による生体過酸化生成とその防衛

生物系の研究課題は、(1)放射線を利用した種々の生物作用の解明と(2)放射線の生物モニター系の開発に大別される。

### (1) 放射線を利用した種々の生物作用の解明

谷口ら(研究計画3-3)は、これまでに放射線照射によって、クレピス培養細胞の細胞周期に関する多くの温度感受性突然変異系統を分離しているが、今回は昨年度に引き続きクレピス属植物の雑種起源の懸濁培養細胞から単細胞由来の温度感受性突然変異系統を分離するための方法を検討している。この方法は放射線(原子炉中性子線又はX線)照射後にBrdU処理を行い、さらに光照射を行って変異体を選抜するもので、選抜方法としてほぼ確立された。また、選抜の過程で、増殖の様子をデジタルカメラで撮影した画像を処理することによって、効率よく変異体を確認する方法を試みている。この方法はまだ確立されていないが、大量の試料を扱う場合には有効と考えられ、今後の展開が期待される。

吉田ら(3-4)は、低線量の放射線の生物影響を検討するために、2種類の酵母菌(野生株と放射線感受性株)を用い、その倍加時間を指標として研究を行っている。1 Gyを越えた高線量域では、対照群(未照射群)に比べて、細胞の倍加時間(分裂時間)の短縮が観察された。特に、野生株に比べて放射線感受性株の方がその効果が強く現れた。一方、同線量域のX線では、原子炉中性子のような著しい効果は見られず、線質の違いが細胞の損傷・修復機構に影響を及ぼしていると推定している。

根岸ら（3-6）は、ショウジョウバエの複数の DNA 障害修復欠損株を用いて、X 線照射後のアポトーシス誘導と突然変異の誘導について研究を行っている。本年度は変異株のうち、*mei-41* 株（複製後修復欠損株）におけるアポトーシスの再現性とアポトーシス誘導時におけるカスパーゼ活性について研究を行っている。*mei-41* 株は、X 線照射によって野生株より高頻度にアポトーシスを誘導し、野生株や除去修復欠損株においてアポトーシスが減少する線量でもアポトーシスが継続した。この時のカスパーゼ活性は、野生株では照射後 15 分、*mei-41* 株では 30 分に一過的に未照射群に対して有意な上昇が認められた。しかし、これらの活性はアポトーシス誘導能の低い野生株の方が高く、今後さらに検討が必要であるとしている。

河井ら（3-7）は、マウスに放射線を照射することによって体内に生ずる過酸化物質が放射線障害の初期段階に関わっている可能性を指摘し、この酸化ストレスを緑茶カテキンによって制御し、放射線障害の軽減を試みている。今年度は、放射線による造血組織の障害とその回復に及ぼす緑茶カテキンの後処理効果を調べている。その結果、照射後単回の緑茶カテキン投与は、放射線障害の軽減をもたらすにはいたらなかったが、放射線誘発末梢血小核の出現頻度を抑制することを見いだしている。

## （2）放射線の生物モニター系の開発

米澤ら（3-1）は、ヌマムラサキツユクサ（ツユクサ科）の減数分裂期の細胞に 10cGy～40cGy の X 線を照射し、20 時間後の四分子期における小核頻度を調べたところ、10cGy でも対照群に比べて 5 倍以上の小核が誘発され、本種の減数分裂期の細胞が低線量域における生物検量計として有効である可能性を指摘している。

池田ら（3-2）は、タマネギやアオウキクサを材料として、植物の増殖に対する放射線及び化学物質の影響について実験を行っている。今年度は、クロム（Cr）とカドミウム（Cd）について、タマネギ発芽種子の成長に及ぼす影響を調べている。その結果、クロム（二クロム酸カリウム）もカドミウム（塩化カドミウム）も低濃度で細胞毒性認められたが、顕著な染色体異常誘発能はクロムのみ認められた。

高井ら（3-5）は、メダカを用いたモニター系の開発を試みているが、本年度は小核の誘発頻度の性による違い及び体重との関係を明らかにすることを試みている。X 線 4 Gy を全身に照射した 24 時間後に、えら細胞における小核頻度を測定したところ、雄が 7.8%、雌が 6.5% で有意な性差は認められなかった。また、誘発された小核頻度は体重に依存せず、ポアソン分布から期待される分布とほぼ一致をした。これらの結果から、メダカのえら細胞を用いる小核試験系は、変異原性の検出系として十分実用に耐えるものであると指摘している。

## (1) 速中性子による植物の染色体突然変異の研究

代表者： 米澤 義彦(鳴門教育大学学校教育学部)

### [要約]

平成15年度は、ツユクサ科 *Zebrina*, *Tradescantia*, カヤツリグサ科 *Carex* などを用いて、新しい染色体突然変異を作出する実験や放射線の生物検量計として有効な実験植物の探索などの研究が行われた。

単子葉植物のツユクサ科ヌママムラサキツユクサ *Tradescantia paludosa* の減数分裂期の細胞に、10cGy ~ 40cGyのX線を照射し、20時間後の四分子期における小核頻度を調べたところ、10cGyでも対照群に比べて5倍以上の小核が誘発され、低線量域における生物検量計としての可能性が示唆された。今後は、さらに低線量のX線及び原子炉中性子線による実験を行い、ヌママムラサキツユクサの減数分裂期の細胞の生物検量計としての有効性について検討を行いたい。

## (2) 植物の形態形成に対する放射線の影響

代表者： 池田 秀雄(広島大学大学院教育学研究科)

### [要約]

平成15年度は、クロム ( $K_2Cr_2O_7$ ) 及びカドミウム ( $CdCl_2$ ) を用いて、タマネギ (*Allium cepa* L.) の発芽種子に与える影響を調べた。

タマネギの乾燥種子を上記の重金属水溶液中で発芽させ、根端分裂組織の細胞分裂指数と小核出現頻度を測定した。根の伸長については、両物質処理ともに濃度依存的にコントロールと比較して根の伸長が阻害された。また、細胞分裂指数は両物質とも処理直後は強い影響を受けて低下するが、低濃度では時間の経過に従い回復した。また濃度によって回復にかかる時間に差が現れた。小核は、 $K_2Cr_2O_7$  暴露により、48時間目に10mM処理で1.67%と高い値を示し、染色体異常誘発能が認められた。 $CdCl_2$  暴露では、10mM処理においても0.36%と出現頻度は低く、顕著な染色体異常誘発能は認められなかった。

### (3) 速中性子による植物培養細胞の突然変異研究

代表者： 谷口 研至(広島大学大学院理学研究科)

#### [要約]

植物の温度感受性突然変異細胞培養系を用いた細胞周期に関する研究について、我々は独自の研究を進めてきた。平成 15 年度までの本共同研究によって、1) 植物組織培養苗条原基における突然変異誘導技術の確立を行い、2) 細胞周期に関する温度感受性突然変異系統の確立とそれらの特性解析を行ってきた。

本年度はクレピスの遠縁雑種 (2n=7) の懸濁培養細胞を用いた単細胞由来の温度感受性突然変異体を作成するための技術開発を目指した。突然変異処理後に BrdU 処理とその後の光照射は苗条原基法で開発した技術を適用し、大量系統の増殖測定技術の確立を目指した。また、今回、新たに遺伝子の解読が完了しているアラビドプシスの培養細胞を作成し、これから温度感受性突然変異体の誘導をする研究を開始した。現在までに、クレピス遠縁雑種懸濁細胞から温度感受性突然変異体を単離する技術がほぼ確立された。さらに、アラビドプシスにおいて、温度感受性突然変異を誘導するための培養体として、懸濁培養細胞系と苗条原基培養系の 2 培養体が作成された。

### (4) 低線量放射線による細胞損傷・修復機構と刺激効果に関する基礎研究

代表者： 吉田 茂生(東海大学工学部)

#### [要約]

低線量における生物影響を検討するために、代表的な酵母菌株である S288c (野生株) と rad3・rad18 (放射線感受株) の 3 種類の酵母菌を用いた照射実験を行い、変化の影響として「倍加時間」の変化を指標とした分析・評価を行った。

原子炉内照射による酵母菌では 1Gy を超えた高い線量域で、非照射の酵母菌と比較して、細胞の分裂時間 (倍加時間) に変化を生じ、倍加時間の短縮 (分裂速度の促進) 傾向が見られた。特に S288c 野生株よりも rad3, rad18 放射線感受株の方がその効果が強く現れた。また、同線量域にて他の線質 (X線) による照射結果と比較すると、X線照射の場合には中性子照射のような倍加時間の著しい変化は見られず、非照射の酵母菌の倍加時間と大きな違いは見られなかった。この点からも、高 LET 放射線である中性子と低 LET 放射線である X線といった線質の違いが細胞の損傷・修復機構に影響を及ぼし、差異を呈していることが推定できる。さらに、中性子での高線量域での照射実験、各種放射線での線量率を変化させての照射実験等を引き続き行いながら、それらのメカニズムについて分析を継続中である。



## (5) 中性子線による魚類細胞における小核誘発に関する研究

代表者： 高井 明德(大阪信愛女学院短期大学)

### [要約]

メダカ小核試験系開発に当たり、小核頻度の性差や体重との相関を明らかにするために、ヒメダカ当年魚の成熟個体を用い、無処理と4 GyのX線を全身照射後24時間の個体群の鰓細胞における小核について検討を行った。個体数は各実験群30個体を用い、各個体より採取した鰓はPBS中で破碎、遊離し、空気乾燥標本にした。標本はacridine orangeで染色し、蛍光顕微鏡下で細胞質が赤く染色された細胞について、細胞質中に現れる黄色の小球を小核として検出した。小核を有する細胞の数の総観察細胞数に対する相対比を小核頻度とした。

無処理個体の鰓細胞における小核頻度は雄・雌共に0.8%で雌雄間に有意な差は示されなかった。X線を全身照射後24時間の個体の小核頻度は、雄が7.8%(=124/16000)、雌が6.5%(=91/14000)で有意な性差は認められなかった。また、無処理群、X線処理群のいずれでも小核頻度の変動は、体重に依存せず、ポアソン分布から期待される分布とほぼ一致した。これらの結果は、メダカの鰓細胞を用いる小核試験系は変異原性の検出系として信頼できるものであることを示す。

## (6) 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

代表者： 根岸 友恵(岡山大学薬学部)

### [要約]

アポトーシスと突然変異の誘導にDNA傷害の修復がどのように関係するかを明らかにしようとしている。これまで複数のDNA傷害修復欠損株を用いてX線照射後のアポトーシス誘導と変異の発現を調べ、野生株との比較を行ってきたが、本年度は修復変異株のうちATMホモログと言われるmei-41株に見られたアポトーシス誘導の再現性を見ると同時に、アポトーシス誘導時に起こるカスパーゼ活性の変動について調べた。

X線照射に対して複製後修復欠損株(me-41株)の方が、野生株より高頻度にアポトーシスを誘導し、除去修復欠損株と野生株ともにアポトーシスが減少する線量でもアポトーシスの継続が見られることが明らかになった。その時のカスパーゼ活性の変化を調べたところ、カスパーゼ2, 3, 8, 9とも野生株では照射後15分、mei-41株では30分に一過的に未照射群に対して有意な上昇が見られた。また、カスパーゼ3では3時間後にも有意な上昇が観察された。しかしながら、これらの活性はアポトーシス誘導能の低い野生株の方が高く、アポトーシス誘導との関連性についてはさらに検討の必要がある。

## (7) 放射線被曝による生体過酸化物生成とその防御

代表者： 河井 一明(産業医科大学産業生態科学研究所)

### [要約]

昨年までの近畿大学原子炉等利用共同研究で、X線による放射線障害の初期段階に、酸化ストレスによる傷害が関わっている可能性を示し、緑茶カテキン（ポリフェノン）で生体内酸化ストレスを制御することで、X線による放射線障害を軽減することを試みた。さらに昨年は、照射後の緑茶カテキン投与が末梢血中の白血球数の回復を早める傾向を報告した。今年度は、放射線障害に深く関わる造血組織の傷害とその回復に及ぼす緑茶カテキンの後処理効果をさらに調べ、放射線障害に対する作用機構の手掛かりを得る目的で本研究を行った。今回の条件では、X線照射直後単回の緑茶カテキン投与は、放射線傷害軽減をもたらすには至らなかった。一方で、緑茶カテキンが放射線誘発末梢血小核の出現頻度を抑制することを示した。