

付録 2

平成15年度卒業研究発表会要旨 (原子力研究所配属学部学生および大学院学生)

近畿大学原子力研究所には、理工学部原子炉工学科より十数名の卒業研究生、および総合理工学研究科より数名の修士課程大学院生が例年配属されます。原子力研究所関係教員の指導の下に学部、大学院教育、研究が行われ、その成果を口頭発表し、卒業論文、修士論文としてまとめております。これらの内容は、近大原研の教育研究活動を知って頂く上で良い資料になると考え、ここに発表会要旨を付録として掲載します。

原子力研究所配属修論生・卒研生

平成15年度卒業研究予行発表会プログラム

日時：平成16年 2月 6日（金）10:30～16:10

場所：原子力研究所原子炉施設管理棟講義室

10:30～10:40 所長挨拶

10:40～12:10

		担当/座長	
1.	入江 優	ラドン発生装置の試作と特性	森嶋・古賀
2.	森重 裕	高自然放射線地域におけるラドン濃度変動	森嶋・古賀
3.	河口 拓也	温泉地域における土壌中 γ 放射性核種の挙動と分布	森嶋・古賀
4.	太田 吉則	UTR-KINKIを用いた鉄鋼試料の放射化分析	近 藤
	木村 紀昭		
5.	西岡 憲一	Cf-252の自発核分裂即発中性子スペクトルの解析	大 澤
6.	川岸 礼佳	モンテカルロ法による ^{209}Bi の核破砕反応生成核種収率の計算	大 澤
7.	岩井 洋平	^{233}Pa , ^{233}U , ^{234}U , ^{237}Np の遅発中性子収率の計算	大 澤
8.	山川 直樹	遅発中性子データの不確かさ影響解析	大 澤

<昼食休憩>

13:10～15:00

9.	長谷川泰弘	逆動特性法による制御棒反応度値測定における問題点の検討	橋 本
10.	郡 佳伸	共重合樹脂の飛跡生成感度に関する研究	鶴 田
	猪井 宏幸		
11.	奥村 敦	List Data 収集装置 (MPA-3) の基本性能調査	伊藤(眞)
12.	増田 裕樹	熱中性子用PSPCの性能調査	伊藤(眞)
13.	島田 幸治	太陽光の紫外線による殺菌作用とそのメカニズム	武 部
14.	河島 美幸	低線量率放射線に対する p53遺伝子欠損ヘテロマウス胎仔の	藤 川
	森田 毅	突然変異応答	
15.	嶋田 聖	胎児期マウスの生殖細胞で特異的に発現する遺伝子の転写動態 におよぼす放射線の影響	藤 川
16.	伊地 兼弥	中等教育におけるエネルギー教育の現状とあり方の考察	伊藤(哲)
17.	西長 浩貴	ヌマムラサキツユクサの染色体に及ぼす放射線の影響	伊藤(哲)

<休憩 15分>

15:15～16:05

修 1.	岸本 安史	モンテカルロ法による核破砕反応生成物核種収率の計算	大 澤
修 2.	鳥居 敬之	^{239}Pu の共鳴領域における遅発中性子収率の微細構造	大 澤

講 評

卒 業 論 文

発表時間

単 独 研 究 : 10 分 (6 分講演、4 分討論)
二人の共同研究 : 20 分 (12 分講演、8 分討論)

ラドン発生装置の試作と特性

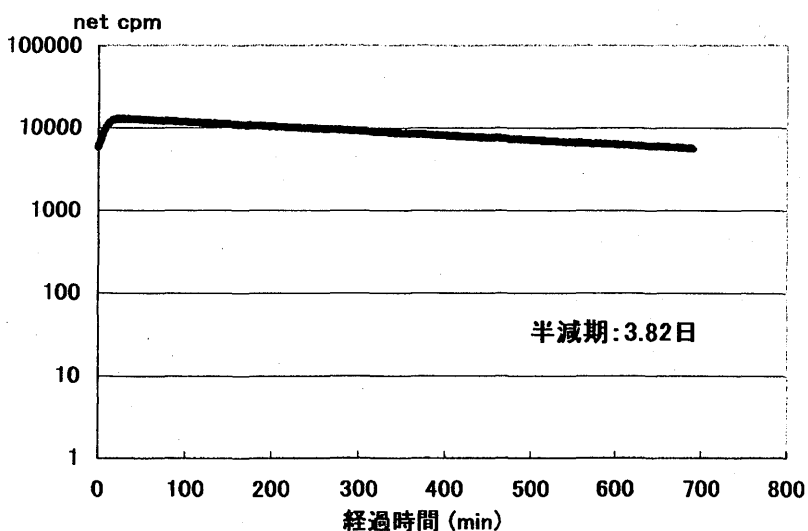
入江 優

【目的】 空気中の ^{222}Rn (ラドン)はウラン系列の崩壊生成核種の内、気体の自然放射性核種であり、土壌中の ^{226}Ra が α 崩壊して生じたものであり、ラドン及びその崩壊生成核種のエアロゾルとして空気中等に存在し、吸入等による内部被ばくの原因となる。その屋内外の空気中の平均ラドン濃度を測定するのに、積分型ラドンモニタを用いているが、これらのモニタの校正をすることが重要となる。このため、今回ラドン発生装置を試作し、その概要と基礎試験の結果を発表する。

【方法】 ラドン発生装置は、ガラス製大型デシケーター内にウラン及びラジウムを含む自然土壌 90g の試料を発生源に、密閉し空気採取コック 2 個を取り付けた。その中のラドン濃度の測定にシンチセル法及び平均濃度測定用にカップ式モニタを用いて行った。ラドン濃度の経時変動はシンチセル法で空気採取口よりその一部を吸引採取し、 α 放射能をラドン測定装置 AB-5 で測定した。カップ式モニタ計は、直径 50mm の半球状のステンレス製で、ラドン用、ラドン・トロン用カップをセットで設置し、検出用フィルムとして硝酸セルロース(コダック社製 LR-115 type2)を用いた。回収した LR-115 は 2.5N NaOH 溶液で、60°C、160 分間エッチング後、光学顕微鏡を用いて計測し、平均ラドン濃度を算出した。

【結果】 1) 装置内の気体を一部採取し、シンチセル法により α 放射能を経時的に測定した結果を図に示したが、吸引後 3 時間で α 放射能は最高に達し以降徐々に減少し、この傾斜より半減期は 3.82 日となり、装置内の気体はラドンの半減期に一致し、ラドンの発生が確認された。2) 装置のセット期間は 15 日、20 日、30 日間をそれぞれ 2 回ずつ計 6 回行った。その平均濃度は 15 日間では 14000 Bq/m³/日、20 日間 14000 Bq/m³/日、30 日間 11000

Bq/m³/日と、30 日間継続した場合、若干減少してきた。セット内の位置による濃度変動の相対標準偏差は 1.1%、6 回繰り返しの偏差は 2.2%であった。3) 核燃料サイクル開発機構人形峠事業所内の標準ラドンチェンバー内での校正では、標準ラドン濃度 1911 Bq/m³においてカップ式ラドンモニタのピット 1 個当たりのラドン濃度(換算係数) 4.36 Bq/m³/n 最小検出限界は 5.84 Bq/m³/日であった。



ラドン発生装置内の空気中放射能濃度経時変動

高自然放射線地域におけるラドン濃度変動

森重 裕

【目的】生活環境中には、さまざまな自然放射性物質が存在している。自然放射性気体であるラドンは、大気中のどこにでも存在し、避けることのできない放射線被ばくの源である。2000年の国連科学委員会によると人が1年間に被ばくする放射線量は世界平均で2.4mSvで、そのうち半分がラドンおよびその崩壊生成核種などの吸入による内部被ばくであると報告されている。そこで、自然環境中におけるラドン濃度のレベルおよび変動を知り、環境条件によるラドン濃度の影響を調べた。空気中と水中のラドン濃度を昨年を引き続き、鳥取県三朝温泉地域、川西市、東大阪市等において、ピコラド法により測定を行ったので、その結果を報告する。

【方法】空気中のラドンは活性炭に吸着するという性質を利用して、ピコラド検出器を24時間測定地点に設置してラドンの捕集を行った後、液体シンチレータ溶液(INSTA-FLUOR)を10ml添加し、15秒間振とうして24時間後に液体シンチレーションスペクトロメータにより測定した。水中のラドンは、20mlの容量のガラスバイアルに10mlの液体シンチレータ溶液(OPTI-FLUOR)を入れて10mlの試料水を添加し、15秒間振とうして24時間後に液体シンチレーションスペクトロメータにより測定した。

【結果】①2003年1年間の三朝温泉地域における空気中ラドン濃度は、対照地域である東大阪市と比較すると、屋内では約7倍、屋外では約4.5倍であった。屋外に比べ屋内が高く、また2階より1階、さらに浴室と、濃度が高くなっている。これは、地中からの影響もあるが、浴室が地下にあり温泉水中に含まれるラドンが、浴室および屋内のラドンに影響しているものと思われる。②三朝温泉地域の民家における過去9年間の濃度変動をみると、屋内については、12～3月の冬期にラドン濃度が平均値より高い値を示しており、逆に5～8月は低い値を示している。これは、空気中のラドンは夏、雨期に湿度および暑さにより戸や窓を開放するため、屋外の低い濃度の空気でラドンが希釈され濃度が低くなり、冬は寒く戸や窓を閉めるためラドンが溜まり高くなる傾向を示していると考えられる。屋外についても、三朝温泉地域、川西市、東大阪市ともに同様の結果が得られた。

③東大阪市の屋内について、人の出入りが少なく、扉の開閉による換気の影響が小さい条件下にある倉庫内におけるラドン濃度の気温による影響を調べた。右図の結果から、気温が上昇するにつれてラドン濃度が高くなり、約24℃付近を超えると、濃度は減少し、気温に影響され、変動する傾向を示したと思われるが、気温のほか、更に気象条件との関連を調べる必要がある。

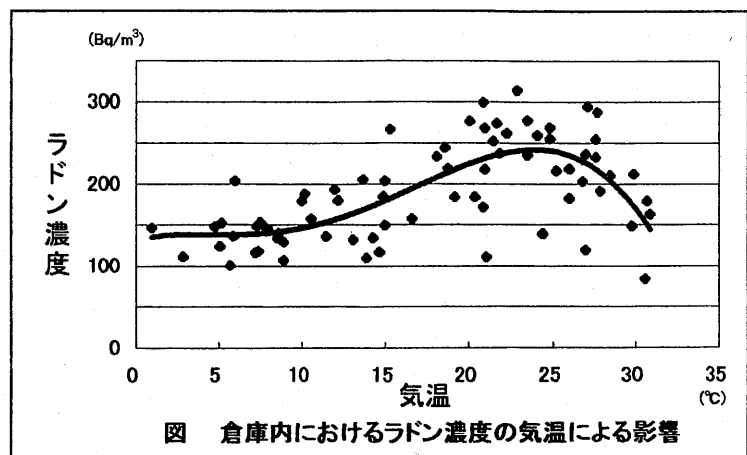


図 倉庫内におけるラドン濃度の気温による影響

温泉地域における土壤中 γ 放射性核種の挙動と分布

河口 拓也

【目的】日常生活における自然放射線による被ばくは、環境中の ^{40}K 、U 系列、Th 系列などの放射性核種に起因し、土壤中にはそれらの鉱物が地質などによって変動し、その分布は一様ではない。日本において、ラドン濃度を測定してきた山梨県増富温泉、ラジウム鉱泉として有名な島根県池田鉱泉、人形峠付近、三朝温泉および、秋田県玉川温泉において採取した土壌を Ge 半導体検出器を用いて γ 線核種分析を行い、U、Th 崩壊生成核種および ^{40}K の自然放射性核種の環境中における挙動と分布について検討を行った。

【方法】土壌中の γ 放射性核種濃度の測定は、採取した乾燥試料を U8 容器に入れ、Ge (INT) 半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメータで測定を行い、得られた γ 線エネルギースペクトルを NAIG 社製 NLAB-MCA2/Gamma および SEIKO EG&G 社製 7700 GAMMA Stadio でデータ処理し、 γ 線核種分析を行った。

【結果】採取した土壌を Ge 半導体検出器として γ 線スペクトルを測定し自然放射性核種濃度の測定を行い、 ^{238}U 、 ^{232}Th 崩壊生成核種である ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 、 ^{226}Ra (U 系列)、 ^{212}Pb 、 ^{208}Tl 、 ^{228}Ac (Th 系列)、 ^{40}K 、 ^7Be および人工放射性核種 ^{137}Cs 等が検出された。高自然放射線地域である秋田県玉川温泉、山梨県増富温泉、島根県池田鉱泉、岡山県人形峠鉱床で採取した土壌等の結果をまとめて表にした。また東大阪市はバックグラウンドレベルの地域で平均 Th/U 比は 2.08 であった。

(1)今年度秋田県玉川温泉で採取した湯華石は、 ^{214}Pb 濃度の最高値 30339Bq/kg、 ^{214}Pb 濃度の最高値 2662Bq/kg、Th/U 比 11.4 であった。(2)増富温泉について、 ^{214}Pb 濃度は最高値 1680Bq/kg、 ^{212}Pb 濃度は最高値 8780Bq/kg、Th 系列の値が高く、平均 Th/U 比は 4.1 であった。(3)池田鉱泉について、 ^{214}Pb 濃度は最高値 563Bq/kg、 ^{212}Pb 濃度は最高値 365Bq/kg と増富温泉に比べ放射性核種濃度は低く、さらに平均 Th/U 比は 0.56 であった。(4)人形峠の鉱床跡について、 ^{214}Pb は最高値 1450Bq/kg、 ^{212}Pb は最高値 76.9Bq/kg、平均 Th/U 比は 0.11 と U 系列の濃度が高い。Th/U 比について比較すると、人形峠、池田鉱泉は U 含有量の多い土壌で、玉川温泉および増富温泉の湯華石は Th 含有量が多く、同じ玉川温泉でも Th/U 比が高いものと、1 以下のものがあり、Th/U 比は土壌、地層によって変動している。

表. γ 線放射核種濃度及び Th/U 比

測定地域		n	Pb-212(Th)	Pb-214(U)	Th/U 比
玉川温泉	湯華石	1	30339	2662	11.4
	土	3	21.7~46.3 32.9±12.5	485~2717 1807±1171	0.018
人形峠		5	19.5~76.9 34.4±24.2	13.0~1450 305±639	0.11
増富温泉		26	15.3~8780 1744±2497	10.0~1680 425±555	4.10
池田鉱泉		34	23.7~365 54.6±55.9	10.7~563 98.0±169	0.56
東大阪市		4	26.0~74.5 42.8±21.4	15.0~30.7 20.6±8.80	2.08

UTR-KINKI を用いた鉄鋼試料の放射化分析

太田 吉則

木村 紀昭

【目的】鉄鋼試料には多くの種類があるが、高速度鋼を試料として用いた。この鋼材は、およそ 600℃付近の高温まで優れた硬さと耐摩耗性を持ち、高速切削が可能な工具鋼である。これらには主成分の鉄をはじめ、数多くの金属元素が含まれている。これらの元素種やその含有率などを調べるため、UTR-KINKI を用いた中性子放射化分析を試みた。

【方法】〈試料〉高速度鋼試料は日本鉄鋼協会より市販されており、6種類がある。この試料の定量には、MnO、W、Co、Cr、Fe の高純度粉末試薬を混合した標準試料を用いた。試料は約 1 g ずつ計量し、1.5cm 平方のポリ袋に封入して照射試料とした。

〈照射・測定〉UTR-KINKI を 1 W で運転し、各試料は中央ストリンガーの中央部で 2 時間照射した。生成放射能は、Ge 半導体検出器と 4096 チャンネル波高分析器により γ 線スペクトルを照射後 10 分経過時より 15 分間、3 時間後に 30 分間測定し、その後は必要に応じて 60 分間測定した。得られた γ 線スペクトルは、Laboratory Equipment 社の γ 線解析ソフトを用いて、 γ 線エネルギー値と半減期より生成核種を同定した。また、標準試料と高速度鋼試料より得られた放射能強度の相対的な関係より、試料中の含有元素量を求めた。

【結果】今回の実験では Mn、W、Co、Cr が定量できた。各元素に対する定量には標的核種の(n, γ)反応により生成した 847KeV の ^{56}Mn (半減期 2.58 h)、686KeV の ^{187}W (半減期 23.9 h)、1332KeV の ^{60}Co (半減期 5.272y)、320KeV の ^{51}Cr (半減期 27.8 d) の放射能強度を用いた。Mn、W に対する定量結果は下表に示すとおり、ほぼ認証値と一致した値が得られた。表には示していないが、Co と Cr についても認証値に近い値が得られた。

【結論】化学分析法と比べて中性子放射化分析は、試料を非破壊で、多種の元素を同時に定量できる。低出力の原子炉による中性子放射化分析でも比放射能の大きい Mn や、含有率が比較的高い W の定量には、有効な手段となることがわかった。

高速度鋼に含まれる Mn、W の含有率(%)

試料名	Mn		W	
	実験値	認証値 ^{※)}	実験値	認証値 ^{※)}
高速度鋼 2 種	0.32 ± 0.01	0.31 ± 0.007	17.3 ± 0.1	17.16 ± 0.08
高速度鋼 3 種	0.35 ± 0.01	0.35 ± 0.009	17.5 ± 0.1	17.48 ± 0.09
高速度鋼 4 種 A	0.33 ± 0.01	0.33 ± 0.005	17.0 ± 0.1	17.03 ± 0.06
高速度鋼 55 種	0.30 ± 0.01	0.30 ± 0.006	6.1 ± 0.1	6.11 ± 0.05
高速度鋼 57 種	0.32 ± 0.01	0.32 ± 0.005	8.9 ± 0.1	9.07 ± 0.04
高速度鋼 51 種	0.31 ± 0.01	0.31 ± 0.004	6.0 ± 0.1	6.21 ± 0.04

※) 日本鉄鋼協会認証値

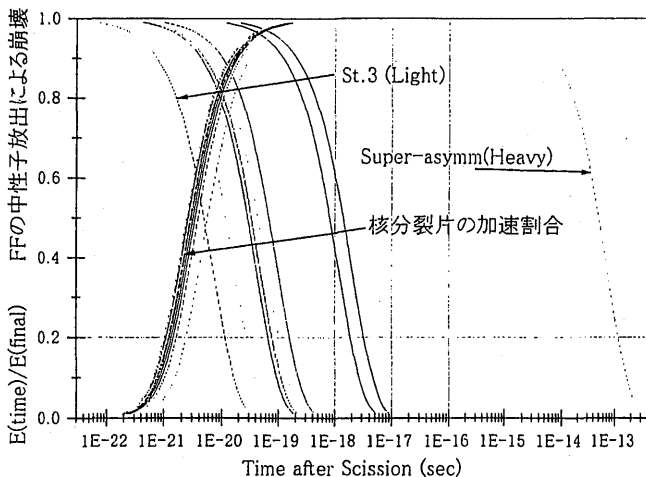
Cf-252 の自発核分裂即発中性子スペクトルの解析

西岡 憲一

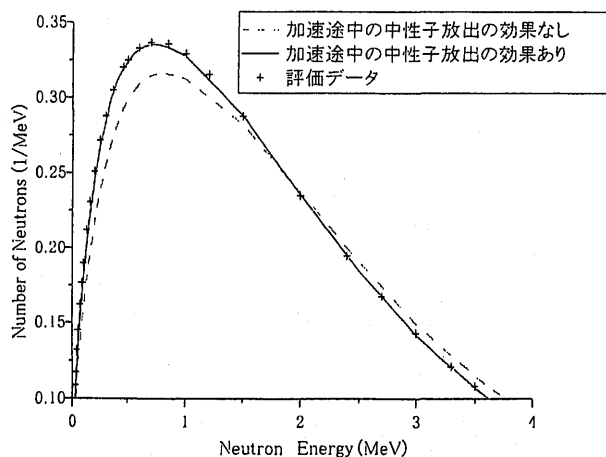
[目的] 本研究室では従来 即発中性子スペクトルの計算を、改良型 Madland-Nix モデルと BGM モデルの両理論を用いて理論計算を行ってきた。以前、本研究室でこのモデルに基づいて ^{252}Cf の即発中性子スペクトル計算を行い評価データと比較したが、理論計算スペクトルが低エネルギー領域で過小評価してしまうため一致しなかった。この低エネルギー領域での過小評価は、 ^{252}Cf だけでなく他のマイナーアクチニドにもみられた。そこでこれらの核種に対しては、従来のモデルでは考慮されていなかった「核分裂片の加速途中における即発中性子放出の効果」を加え改良したところ、マイナーアクチニドである Am, Cm 同位体でよい成果を収めた。本研究では、 ^{252}Cf に対する「加速途中の中性子放出の効果を加えたモデル」の妥当性を検討する。

[方法] 本研究では Standard I, II, III と Super-asymm, Super-long or short の 5 つのモードを考慮した。理論計算には、解放エネルギーを求める計算コード「ER1」、LDP と核温度を求める「IGNA3」、逆過程断面積を求める「ELIESR - III」、即発中性子スペクトルを計算する「FISPEC - O」の 4 つを用いた。「ELIESR - III」は JAERI で開発されたものだが、他の計算コードは本研究室で開発されたものである。「FISPEC - O」は、核分裂片の最終到達運動エネルギーの何%のエネルギーで中性子を放出したかを指定するパラメータを入力することができる。このパラメータを「TF」とし、TF と加速途中の中性子放出の割合を示すパラメータ「NEDA」を調整し、「ENDF/B-VI」の評価データと比較・検討を行なった。

[結果] 評価データと比較・検討の結果、「加速途中の中性子放出の効果を加えたモデル」は妥当なものといえた。しかし、各モード・各核分裂片に対する TF と NEDA 値をパラメータサーチにより決定したため、TF と NEDA 値が一意的には決まらず、また即発中性子スペクトルに一致した TF 値というだけで、TF 値の物理的根拠に欠けていた。そのため本研究では、Eismont の「核分裂片の加速と時間の関係式の理論」と、T. Ericson の「核分裂片の崩壊時間の関係式」から平均的で物理的意味を持った「各モード-各核分裂片」ごとの TF 値を確定した。その結果、加速途中の放出の効果を検討すると適正なスペクトルが得られることが分かった。



(Fig.1 核分裂片の加速とその崩壊時間)



(Fig.2 加速途中の中性子放出の効果)

モンテカルロ法による ^{209}Bi の核破碎反応生成核種収率の計算

川岸 礼佳

【序論】

高レベル放射性廃棄物の中には数万年以上の長期間にわたって、放射線を出し続ける放射性物質も含まれている。これらを選択的に取り出し、安定な元素に変わるまでの時間を短くするための研究が進められている。この消滅処理が実現すれば、放射性廃棄物を最終的に処分するための負担を軽くすることができる。日本原子力研究所での研究課題の一つとして、加速器駆動未臨界炉(ADS)による消滅処理技術が挙げられる。今回の研究では、核廃棄物中の長寿命核種の核変換を行う為に設計予定の ADS を取り上げ、そのターゲットとして考えられている ^{209}Bi の核破碎反応生成核種収率の計算結果と実験値との比較検討を行った。

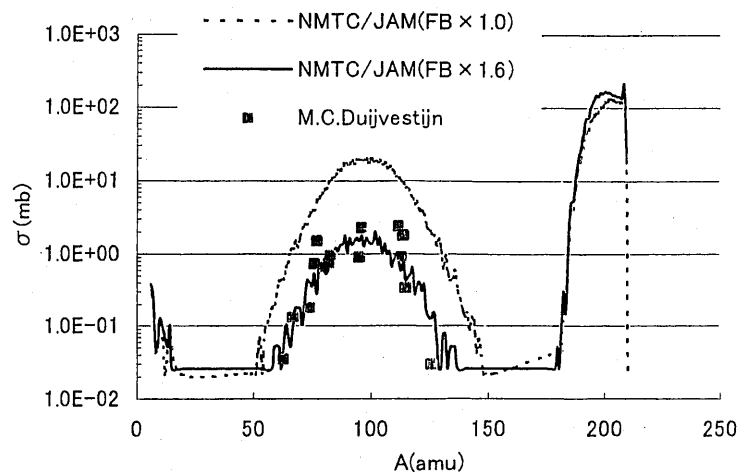
【理論】

加速器によって 1～2 GeV に加速された陽子をターゲットに当てると、核内の核子のカスケード放出を引き起こしスポレーション反応が起こる。スポレーション反応の特徴は、入射粒子による knock-on 反応に続く核内カスケード過程 (fast process) と、励起された残留核からの核子蒸発過程、あるいは励起核の核分裂過程の競争過程 (slow process) である。カスケード過程はモンテカルロ法で、残留核からの蒸発過程、あるいは核分裂は統計模型を使って計算される。これら核燃料生産用または放射性廃棄物消滅処理用のターゲット・ブランケット内での核反応は、入射陽子が高エネルギーであるため、通常の核分裂炉や核融合炉ブランケット内の核反応に比較してはるかに複雑であるが、ADS を始め様々な加速器施設の設計のためには、信頼できる核計算コードの整備は欠かせないものである。今回の研究で用いたモンテカルロシミュレーション計算コードは、高エネルギー粒子輸送コード NMTC/JAM である。

【結果・考察】

日本原子力研究所で開発された NMTC/JAM を用いて計算した結果、実験値との比較を Fig.1 に示した。Fig.1 は ^{209}Bi に 184MeV の陽子が入射した場合の生成核種の質量収率を表している。この計算コードに組み込まれている Myer らの核分裂障壁(FB)をそのまま用いた場合の計算値(破線)は収率を過大評価する傾向があったため、蒸発過程を計算する GEM モデル中の FB を調整して理論計算してみたところ、この場合には FB を 1.6 倍したとき良好に再現することが分かった。

以上の結果から、NMTC/JAM は核分裂片の収率がほぼ再現され、軽核の放出も考慮されているが、FB は系統式の精度に問題があり調整が必要だった。これは、核破碎と蒸発の結果、生成した中性子欠乏核の FB が系統式では十分正確に表せない為であると考えられる。

Fig.1 $^{209}\text{Bi}+p(184\text{MeV})$ の質量収率

^{233}Pa , ^{233}U , ^{234}U , ^{237}Np の遅発中性子収率の計算

岩井 洋平

【目的】遅発中性子は原子炉の制御において非常に重要な役割を担っている。 ^{233}U を除いて、 ^{234}U , ^{233}Pa , ^{237}Np などは入手及び取り扱いが困難なために、核データの測定例が少なく理論的評価が必要になる。そのため、本研究ではその核データの中で遅発中性子収率を理論的評価するため、当研究室で開発研究されている理論を使用して遅発中性子収率を計算し、既存の JENDL3.3 の核データと理論計算値を比較し、評価する。

【方法】まず、Wang-Hu's Five-Gaussian Model により中性子核分裂直後の質量収率を計算し、Seven-mass-point Model により計算される即発中性子収率 (^{233}U , ^{237}Np については即発中性子数を実験データに合わせて Seven-mass-point Model を計算) と Transformation Method を用いて中性子核分裂後の質量収率を補正して即発中性子放出後の質量収率を計算する。そして、Summation Method ($\nu_d = \sum Y_i \cdot P_{ni}$ で表され、 Y_i は先行核 i の質量収率、 P_{ni} は先行 i の遅発中性子放出確率を表す) を用いて遅発中性子収率を計算し JENDL3.3 のデータと比較し評価する。

【結果】遅発中性子収率の計算結果を JENDL3.3 の遅発中性子収率のデータと共に Table 1. に示した。 ^{237}Np の中性子の入射エネルギーは 0.8MeV、 ^{233}Pa , ^{233}U , ^{234}U の入射エネルギーは Thermal である。 ^{233}U の即発中性子数を K.Nishio 氏の実験データと、それから Seven-mass-point Model を補正した値と Wang-Hu's の計算値を Fig 1. に示した。Table 1. の ^{233}U の実験値に合わせ補正した全遅発中性子数の計算値と Wang-Hu's の計算値とを比較すると、明らかに前者の方が JENDL3.3 の評価値に近づいていることがわかる。また、Fig 1. から即発中性子数は実験値と Wang-Hu's の計算値とでは明らかに質量数が多い場合と小さい場合では違いある事が示されている。したがって、核種によって固有の Seven-mass-point Model のパラメータ変化させ即発中性子数を実験値に合わせる必要がある。Fig 1. に ^{237}Np の実験値に合わせた補正計算値が示してある。この値は、 ^{233}U においては JENDL3.3 の評価値に近いが、全即発中性子数が JENDL3.3 の評価値よりもかなり過剰になっており、 ^{233}U の補正計算値の方が物理的にフィットする値であると考えられる。また、UCD 値は今回、Pu のデータを使用したか、核種によって固有の値を使用するとさらに正確な値になると考えられる。

Table 1. : おのおの全遅発中性子数の計算値と評価値

核種	Wang-Hu's 計算値	U-233 補 正計算値	Np-237 補 正計算値	JENDL3.3 評価値
U-233	7.83	7.24	6.84	6.73
Pa-233	2.06	2.05	1.97	2.28
U-234	1.17	1.14	1.08	1.05
Np-237	1.97	1.08	1.02	1.14

(注) $^{233}\text{U} (\times 10^{-3})$ 、他 ($\times 10^{-2}$)

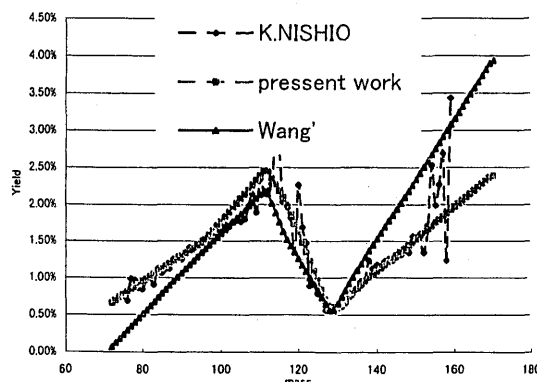


Fig 1. : ^{233}U のおのおの即発中性子数

遅発中性子データの不確かさ影響解析

山川 直樹

【目的】 遅発中性子の存在により、原子炉は即発中性子だけでは臨界にならないように制御することができ、この割合が大きいほど原子炉の反応度の投入に対して急激な出力の変化を防ぐための制御を行う時間的余裕が大きいことになり、原子炉の制御にとって重要である。本研究では、遅発中性子割合がどのように変化すると原子炉の反応度にどれほどの影響が出るのか、また、核種によってその影響の及ぼし方に違いがあるのかを調べるために感度解析を行った。

【方法】 JENDL-3.3 の核データを基に、 ^{235}U 、 ^{233}U 、 ^{239}Pu の核データから入射エネルギーがそれぞれ 0.025eV、1MeV の場合の遅発中性子 6 群データを資料として取り上げた。そのデータより、原子炉の逆時間方程式 $\rho = \frac{\Lambda}{T} + \sum_i \frac{\beta_i}{\lambda_i T + 1}$ を用いて、短いペリオドから長いペリオド (0.0001~1000sec) に対して $\{\beta_i, \lambda_i\}$ のデータセットを変えて計算し、ペリオドと反応度の関係を示すグラフを作成した。そのグラフを基に、1群から6群の遅発中性子割合を 1.5 倍し、感度解析を行った。

【結果】 ^{235}U 、 ^{233}U 、 ^{239}Pu において1群~6群の遅発中性子割合を 1.5 倍して感度解析を行った結果、ペリオド 1~1000sec の範囲内で変化が見られた。 ^{239}Pu では、2群の遅発中性子割合が増加し、4群で遅発中性子割合を調整するケースが反応度に対する感度が高かった。ペリオドが 10sec で 18%、100sec で 28%、1000sec で 29% 反応度が上昇した。そのときのグラフを Fig.1 として示す。また、4群の遅発中性子割合が増加し、2群で遅発中性子割合を調整するケースも反応度に対する感度が高かった。ペリオドが 10sec で 20%、100sec で 31%、1000sec で 32% 反応度が減少した。そのときのグラフを Fig.2 として示す。 ^{235}U では、4群の遅発中性子割合を増加し、2群で遅発中性子割合を調整するケースが反応度に対する感度が高かった。10sec で 25%、100sec で 41%、1000sec で 43% 反応度が減少した。 ^{233}U は、4群の遅発中性子割合が増加し、2群で遅発中性子割合を調整するケースも反応度に対する感度が高かった。10sec で 21%、100sec で 30%、1000sec で 29% 反応度が減少した。これらから、反応度は 2 群の遅発中性子割合に対して感度が高いことが分かった。

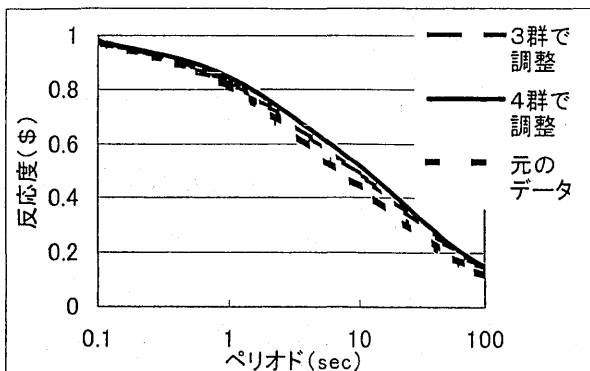


Fig.1 2群を 1.5 倍したときの他群との比較

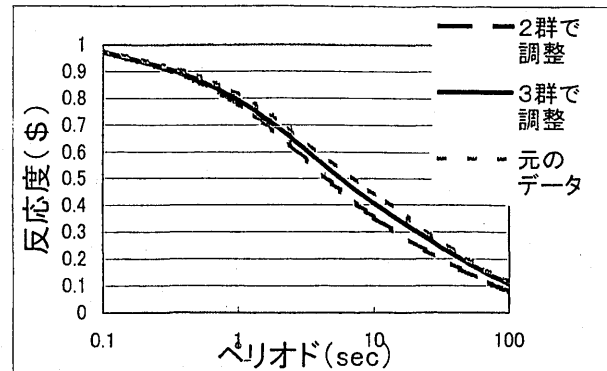


Fig.2 4群を 1.5 倍したときの他群との比較

逆動特性法による

制御棒反応度価値測定における問題点の検討

長谷川 泰弘

【目的】昨年度、逆動特性法(Inverse kinetics)により近畿大学原子炉(UTR-KINKI)のシム安全棒、調整棒の反応度価値が測定された。この結果において三つの問題点が指摘された。これはシム安全棒落下後反応度が上昇する傾向が見られる点、計数値が極めて小さい時に反応度変化の値に統計的なばらつきが大きくなる点、そして逆動特性法における即発跳躍近似の影響の三点である。本研究では昨年度の研究において見られた問題点の検討を行い、信頼できる制御棒反応度価値を決定する。

【方法】シム安全棒及び調整棒を臨界状態から全ストロークにわたって挿入及び引抜きを行い、線形出力計信号の時系列データを得る。本研究では昨年度に得られた実験データを用いる。この実験データを一点炉近似動特性方程式の中性子密度として入力し、反応度を計算する。

【結果】まず、昨年度の解析結果においてシム安全棒落下後に反応度が上昇する傾向が Fig.1 のように見られた。計算時における六群の遅発先行核崩壊定数を Keepin の値に変更すると Fig.2 のように改善した。次に、計数値が極めて小さい時に反応度変化の値に統計的なばらつきが大きくなる点であるが、これはバンチングによる平均化処理で改善した。また、即発跳躍近似の影響であるが近似を仮定する場合と仮定しない場合における値の差を見ると手で制御棒を動作させる程度の小さな反応度変化では有意な違いは見られなかったが、シム安全棒の落下の時にはその値に有意な違いが見られた。これは即発跳躍近似というものは急激な中性子密度の変化のない場合において仮定される近似式であるためである。シム安全棒の落下など急激な中性子密度の変化が大きければ大きいほど即発跳躍近似の影響も大きくなるため、そのような事象における制御棒反応度価値の測定は昨年度の研究より信頼できる結果である。

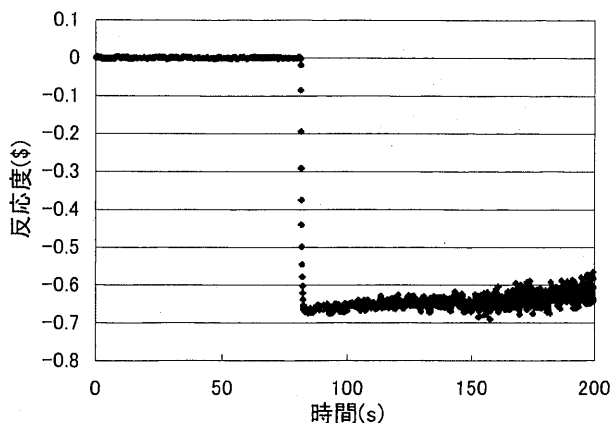


Fig.1 崩壊定数変更前の解析結果

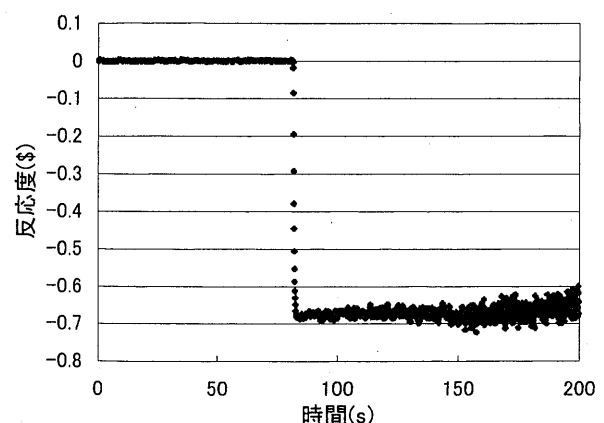


Fig.2 崩壊定数変更後の解析結果

共重合樹脂の飛跡生成感度に関する研究

郡 佳 伸
猪 井 宏 幸

[目的]

高感度の固体飛跡検出器として広く利用されている CR-39 と、比較的低感度の DAP を、さまざまな混合比率で共重合させることによって、その中間的な性質を持つ検出器を作成できる可能性がある。放射線計測学研究室では、過去の研究によって、共重合樹脂の重粒子線に対する飛跡生成の閾値をほぼ明らかにしてきた。本研究では、共重合樹脂の重合比の違いに対する飛跡生成感度の変化を求めめることを目的とする。

[方法]

検出器として、CR-39 モノマーと DAP モノマーの混合比率が違う 7 種類の樹脂を、山本光学株式会社に依頼し作成した。これらの樹脂を放射線医学総合研究所、HIMAC からの重粒子線(炭素及び酸素イオン)で照射した。照射後の試料について、90℃の 30% KOH 水溶液を用いてエッチング処理を行った。エッチング前後の試料の厚さをマイクロメータを用いて計測した。エッチピットの深さを顕微鏡のピント調節によって、また、直径を顕微鏡写真の画像処理によって取得した。取得データから、バルクエッチング速度(V_B)、トラックエッチング速度(V_T)及び $S = V_T/V_B - 1$ であらわされる感度 S を求めた。

[結果・考察]

実験に用いた試料の重合比と、それぞれに対し 4.80MeV 炭素イオンを照射した際のエッチピット検出の有無を Table 1 に示す。また、DAP 濃度と感度の関係を Fig.1 に示す。Table 1 から分かるように、DAP 濃度の変化にともないエッチピット検出までの時間も変化するため、一意の時間をもって各樹脂における感度を求めることはできない。よって、各樹脂の最適エッチング時間における感度をそれぞれの樹脂の感度として決定した。次に Fig.1 から DAP 濃度が増加するにつれて、感度は低くなることが分かる。このことから、樹脂の重合比を変化させることによって、さまざまな感度を持つ検出器を作成できることが分かった。

Table 1 共重合樹脂検出器に4.80MeVの炭素イオンを照射した時のエッチピット検出の有無

試料番号	重合比 CR-39/DAP	エッチング時間							
		4分	8分	15分	30分	60分	2時間	4時間	8時間
A	100/ 0	○	○	○	○	△	-	-	-
B	90/ 10	○	○	○	○	△	-	-	-
C	75/ 25	-	○	○	○	○	△	-	-
D	50/ 50	-	△	○	○	○	○	-	-
E	25/ 75	-	-	-	△	○	○	○	-
F	10/ 90	-	-	-	-	△	○	○	○
G	0/100	-	-	-	-	×	×	×	△

エッチング条件: 90℃・30%KOH水溶液

○: エッチピット確認可能・測定可能 ×: エッチピット確認不可
△: エッチピット確認可能・測定不可 -: 未検証

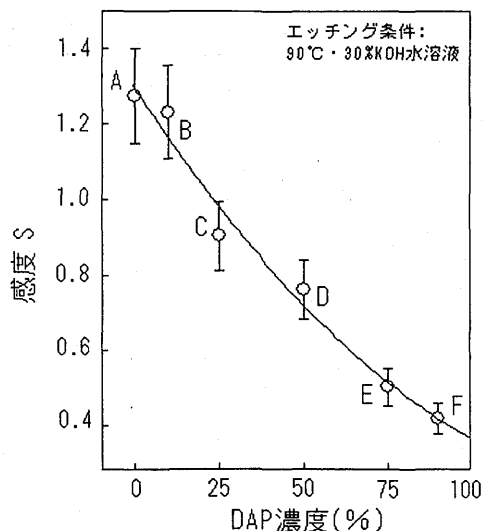


Fig.1 4.80MeVの炭素イオンを照射した時のDAP濃度の違いによる感度変化

試料Gに関しては感度測定不可

ListData 収集装置 (MPA-3) の基本性能調査

奥村 敦

【はじめに】 List モードデータ収集装置(MPA-3)に関して、(1) 下限ディスクリレベルの ListData 収集モード依存性調査、(2) 3 入力の場合の ListData 解析プログラムの開発、(3) 位置(P) vs エネルギー(E)平面に発生する特異構造を理解するための数値シミュレーションを行った。

【方法】 (1) MPA-3 の「グループ設定モード」(G モード)、及び「Coinc. with any モード」(C モード)におけるデータ取り込みに関するディスクリレベルを、Pulser 信号をオシロスコープでモニターして測定した。(2) 昨年度作成された 2 入力用解析プログラムを、位置感応型比例計数管(PSPC)の位置読み出し電極から得られる 2 つの信号(A,B とする)にアノード信号を加えた 3 入力用に拡張した。(3) 一般的に縦軸 E ($E=A+B$)、横軸 P ($P=A/(A+B)$)からなる P-E 2 次元スペクトルの中央に奇妙な裂け目が発生するが、A-B 平面上の整数値から構成される格子点が、P-E 平面でどのような挙動を示すかをプログラムを用いて数値的に調査した。

【結果】 (1) MPA-3 には 2 つのディスクリレベル(LLD、TH とする)があり、信号電圧 $V < TH$ の場合データを取り込まないこと、 $TH \leq V \leq LLD$ の場合 $V=0$ (ch)として、また $V > LLD$ の場合 $V \neq 0$ として取り込むことが判った。更に、2 入力 G モードの場合高い方の TH が両入力に対して採用されるが、2 入力 C モードの場合には異なる TH が 2 つの入力に対して採用されること、また LLD に関しては両モードで差がないこと等が判明した。(2) 熱中性子用傾斜 Sense-Wire PSPC の実験データを 3 入力用プログラムを用いて解析し、実効性を確認した。更に高速化も行った。(3) $0 \leq A \leq 128$ (ch)、 $0 \leq B \leq 128$ (ch)の 1 様な正方形平面(1count)を P-E 平面に写像した。その結果を図 1 に示す。A=一定として AB 平面上をスキャンすれば、 $E=A/P$ 、B=一定とすれば $E=B/(1-P)$ という単純な関係にあるが、全体として図 1 に見られるような複雑な紋様が形成されることを発見した。外辺部の包絡曲線は上記の単純な式で説明できる。 $0 \leq E \leq 50$ の領域では、中央に大きな裂け目が形成されることが判る。これにより実験データの特異構造が明確に理解できる。さらに左右に少なくとも 4 つの裂け目が形成されることが判明した。 $50 < E$ の領域の複雑な紋様の発生機構に関しては現在調査中である。

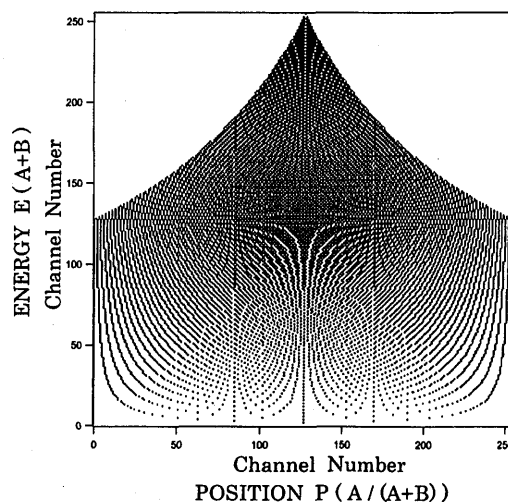


図 1. (A,B)→(P,E)への変換結果
(AB2PE_F2_AN4.pxp)

熱中性子用 PSPC の性能調査

増田 裕樹

【はじめに】 我々は熱中性子用位置感応型比例計数管 (PSPC) を開発している。本年度は、(1) 傾斜 Sense Wire 法に基づく TSW (Tilted-Sense Wire) PSPC の位置分解能特性、及び (2) バックガモン法に基づく N-PSPC1 (PSPC1 号機) のエネルギー応答特性を調査した。TSW-PSPC は福井工業高等専門学校の前多信博先生が考案された新しい検出器であり、近大炉共同利用実験を通して性能調査が行われた。また、 ^{241}Am からの Np-LX 線等を N-PSPC1 を用いて測定した。

【方法】 (1) TSW-PSPC の Al 製窓内部に、厚さ 0.5mm、1mm ϕ 穴が 10mm 間隔で 5 つ開けられている Cd 製スリットを装着した。そのスリット内側に 1mm 厚 Al 板上に形成された数 μm 厚の酸化ボロン層を配した。計数ガスは Ar+10%CH₄、圧力は約 1.0~3.0 気圧、芯線には約 1.4~2.1kV の電圧をかけた。実験は近大原子炉炉頂部で得られる熱中性子束 ($\sim 10^4\text{n/cm}^2\text{sec}$) を利用し、傾斜 Sense Wire2 本と芯線からの信号からなる 3 パラメターの List モード測定を MPA-3 を用いて行った。(2) N-PSPC1 の Al 製窓を、低エネルギー X 線が測定できるように 0.5mm 厚 Be 窓に変えた。計数ガスには Ar+10%CH₄ を用い、圧力は 1.03 気圧とした。芯線には 1.9kV の電圧をかけ、バックガモンからの信号は使用せず、芯線からの信号のみを用いてエネルギー分析した。

【結果】 (1) TSW-PSPC に関しては、図 1 よりわかるように 5 つスリットを通過した熱中性子のイベントが観測できた。このようなデータを使って、TSW-PSPC の位置分解能力を調査した。(2) N-PSPC1 に関しては、図 2 に示すように複雑なスペクトル構造を解析ソフト Origin Pro7.0J を用いて明らかにした。

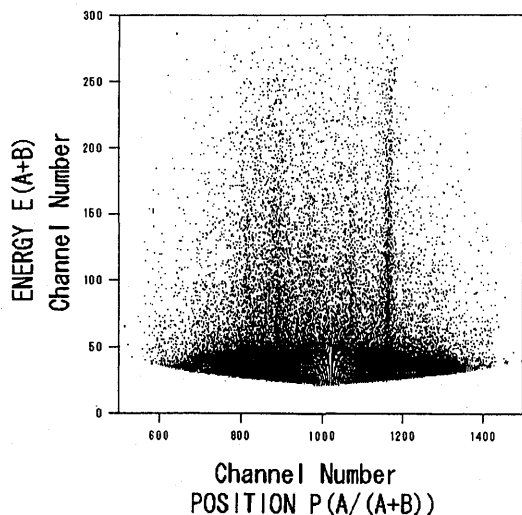


図 1. TSW-PSPC による二次元スペクトル (MA4.lst、1.3 気圧、HV=1.44kV)

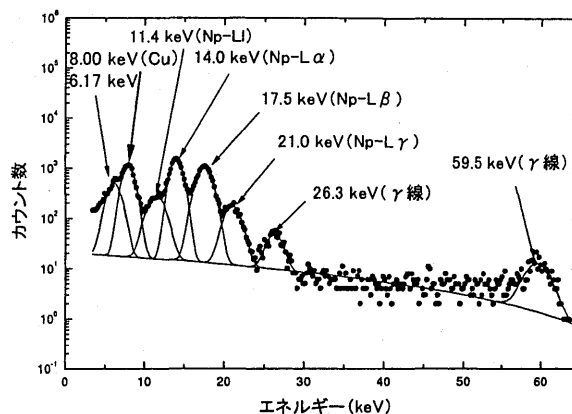


図 2. N-PSPC1 による ^{241}Am からの X 線、 γ 線エネルギースペクトル

太陽光の紫外線による殺菌作用とそのメカニズム

島田 幸治

[緒言]太陽光には大腸菌に対する殺菌作用とそれを回復させる光回復作用がある。本研究では、大腸菌の正常な修復能を有する野生型株、各種 DNA 修復能欠損株およびそれぞれの光回復能欠損株を用いて、太陽光が大腸菌の生存にどのような影響を及ぼすかを調べた。[実験]実験では、次の大腸菌株を用いた。正常な修復能を有する野生型株 AB1157; 光回復能欠損株 KY1220 (AB1157+*phr-36*); 除去修復能欠損株 KY1836 (AB1157+*uvrA6*); 除去修復・光回復二重欠損株 KY1226 (KY1836+*phr-36*); 組換え修復能欠損株 KY1056 (AB1157+*recA56*); 組換え修復・光回復二重欠損株 KY1225 (KY1056+*phr-36*); 除去・組換え修復二重欠損株 KY1837 (KY1836+*recA56*); 除去・組換え修復・光回復三重欠損株 KY1227 (KY1837+*phr-36*)。これらの菌を LB 培養液で一晩培養した後、生理食塩水で 10^{-2} に希釈して太陽光あるいは殺菌灯紫外線に暴露した。暴露後、大腸菌を LB 寒天培地に蒔いた。これらの培地を一晩インキュベータ (37°C) で培養した後、コロニー数を測定した。生存率は、非照射群の平均コロニー数 (／培地) に対する照射群の平均コロニー数 (／培地) の相対値として求めた。

[結果と考察]除去修復能の欠損の有無を同じにして、光回復能の有無で異なる 3 組の株の組み合わせ (A 組: AB1157 vs. KY1220; B 組: KY1836 vs. KY1226; C 組: KY1837 vs. KY1227) で調べたところ、いずれのペアでも光回復能の有無による紫外線感受性の顕著な差は認められなかった。一方、組換え修復能欠損で揃えて光回復能の有無で異なる組み合わせで調べたところ、正常な光回復能を有する KY1056 株は光回復能欠損の KY1225 株よりも約 3 倍高い紫外線抵抗性を示した (図 1)。太陽光に対しても KY1056 株は比較的高い抵抗性を示した (図 2)。C 組は太陽光に対しては、光回復能を有する KY1837 株が比較的高い抵抗性を示した。これらは、明らかに太陽光の殺菌作用に加えて光回復作用も働いた結果と考えられる。A 組と B 組では、太陽光に対しても光回復能の有無による差は認められなかった。今後は実験室内でこれらの株の光回復能について詳細な研究が必要である。

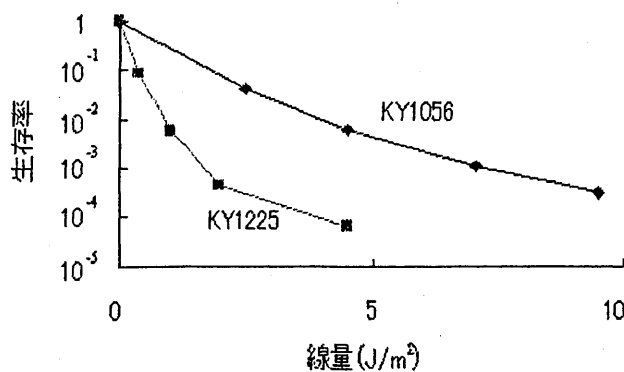


図1. KY1056, KY1225の紫外線照射による生存曲線

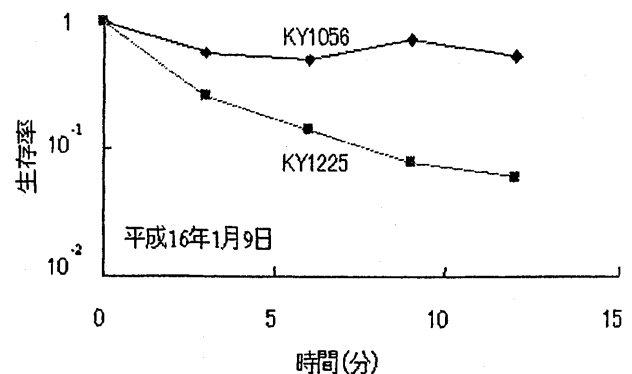


図2. KY1056, KY1225の太陽光曝露による生存曲線

低線量率放射線に対する *p53* 遺伝子欠損ヘテロマウス胎仔の突然変異応答

河島 美幸

森田 毅

【緒言】 成体マウス体組織における放射線による突然変異の誘発頻度は線量率を下げると低下するがゼロにはならない。これは幹細胞が不死であるからだと思われる。細胞の自爆死 (アポトーシス) が活発に起きている胎仔初期の組織では事情が異なるかもしれない。この可能性を検証するため本研究を行った。

【材料と方法】 放射線アポトーシスに必須な遺伝子 *p53* の欠損ヘテロマウス *p53*(+/-) と正常マウス *p53*(+/+) を用いた。いずれも小腸絨毛の上皮細胞においてある種の糖鎖の発現を支配している遺伝子のヘテロ接合体 (*Dlb-1b*/*Dlb-1a*) である。これらのマウスの胎齢 10.5 日 (胎仔初期)、あるいは 13.5 日 (胎仔中期) に Cs-137 γ 線を線量率 3mGy/min で 2Gy 照射した。同じ線量の高線量率照射群には X 線を 50cGy/min で照射した。すべての被ばくマウスから、出生後 10 週齢時に、小腸空腸部のホルマリン固定・展開標本を得た。この標本に特殊染色を施し、絨毛を茶色に染めた。この標本を検鏡し、絨毛の基部から頂まで続く白模様を絨毛幹細胞の *Dlb-1b* 遺伝子の突然変異による変異クローンとして検出した。検出された変異クローン数と観察した絨毛数に対する相対比として変異クローン頻度 F を求めた。変異クローン幅の絨毛周囲長に対する相対値 (クローンサイズ) の平均値 $\langle S \rangle$ と F との積として突然変異頻度 (/細胞) f を求めた。

【結果と考察】 胎齢 13.5 日の *p53*(+/+) マウスに対する照射では、線量率を下げると高線量率照射の場合と比べて顕著に低い f 値が得られたが、それは対照群の f 値よりは高値であった。しかし、胎齢 10.5 日の低線量率照射では、 f 値は対照レベルにとどまり、突然変異は有意に誘発されなかった (図 1 左)。一方、胎齢 10.5 日の *p53*(+/-) マウスに対する低線量率照射では、対照頻度の 2.6 倍高い頻度で突然変異が誘発された (図 1 右)。これらの結果は次のことを示唆する：胎仔初期の組織では、DNA 修復と協同してアポトーシスが変異損傷を効率よく組織から消去するが、胎仔中期の組織ではアポトーシスがおきにくくなっており、線量率を下げてても突然変異の誘発頻度はゼロにならなかった。ところが、胎齢 13.5 日の *p53*(+/-) マウスに対する低線量率照射は突然変異を有意に誘発しなかった (図 1 右)。高線量率照射群の f 値も *p53*(+/+) 照射の場合よりも顕著に低かったため、これは突然変異防御とは無縁の現象であろう。

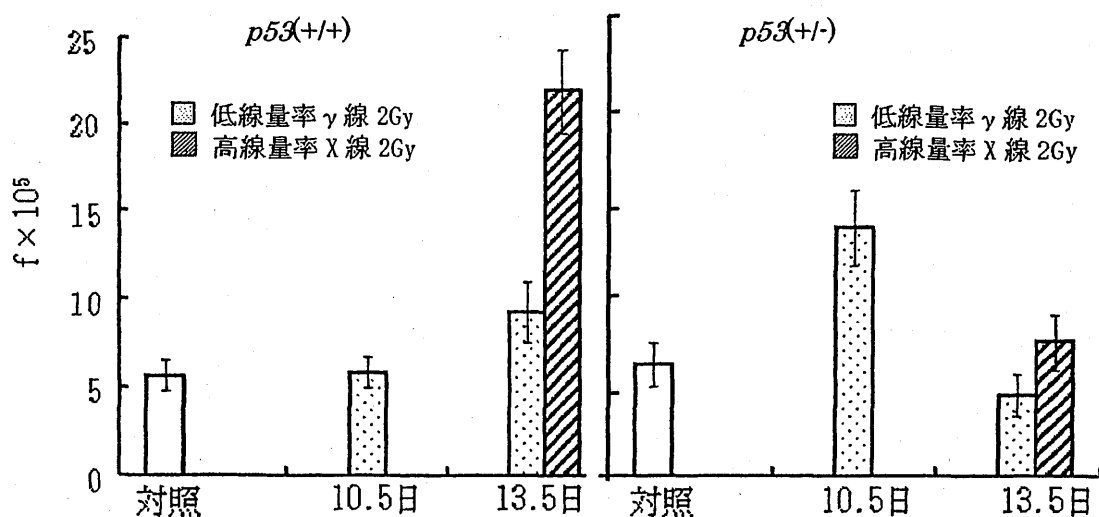


図 1. 胎仔初期(10.5 日)と中期(13.5 日)の放射線照射による突然変異頻度 f (/細胞)

胎児期マウスの生殖細胞で特異的に発現する遺伝子の転写動態におよぼす放射線の影響

嶋田 聖

<目的>

若い生殖細胞は放射線に弱いことが知られているが、マウスが胎仔中期以降に少々の放射線を浴びても妊性は顕著に低下しない。この矛盾を解くために、若い生殖細胞に特異的な増殖因子 MVH の遺伝子の mRNA への転写量を指標にして、胎仔中期と新生仔最初期の生殖細胞におよぼす X 線照射の影響を調べた。

<材料と方法>

胎齢 13.5 日あるいは出生後 1 日の ICR マウスに線量率 50cGy/min で X 線を 0.5~2Gy 照射した。照射後適時に各被曝群と非照射対照群から、胎仔あるいは新生仔を採取した。それらの下半身 2~3 個体分を 1 サンプルとし、各サンプルから全 RNA を抽出した。その RNA 中に含まれている MVH の mRNA と細胞非特異的に常時発現している β アクチンの mRNA の相補的 DNA (cDNA) を増幅合成した。得られた cDNA をアガロース電気泳動に供し、それぞれの cDNA に相当するバンドの濃さ (OD 値) を測定した。この値は、抽出した全 RNA 中の mRNA の存在量と相関する。各サンプル中の MVH の mRNA 量は β アクチン cDNA の OD 値に対する MVH cDNA の OD 値の比として求めた。

<結果と考察>

非照射対照群における MVH mRNA 発現量は胎齢 13.5 日から 3 日後まで増加し、胎齢 16.5 日から出生後 6 日まで増加したレベルを保った (図 1、2)。胎仔中期照射では、照射 3~5 日後に全ての被曝群で、MVH mRNA 発現量が検出限界内ではほぼ完全に抑制された。この抑制状態は出生 1 日後 (照射 6 日後) まで確認できたが、出生 6 日後 (照射 11 日後) の測定では、いずれの被曝群でも対照レベルの転写量が記録された (図 1)。新生仔・最初期照射では、照射 1 日後に 1Gy と 2Gy の被曝群で転写が完全抑制されていたが、5 日後の測定では対照レベルあるいは対照レベル以上の転写量が記録された (図 2)。これらの結果は、若い生殖細胞が放射線に弱いことを確認すると同時に、その細胞集団が放射線障害からの高い回復能を有していることを示す。本実験で測定した転写量は健全な生殖細胞数を反映すると仮定すると、冒頭に述べた矛盾は解ける。得られた結果には、MVH mRNA 発現の抑制に関して、胎仔期と新生仔期の間で生殖細胞の放射線応答に違いがあることを示す情報も含まれている。上記の仮定の正当性とこのような情報の意味するところは、今後の課題として残った。

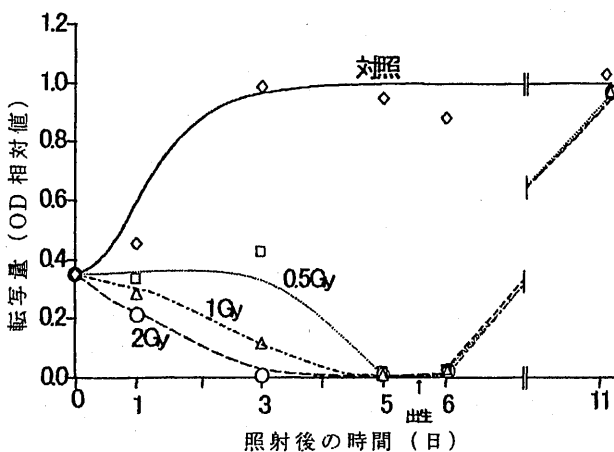


図 1. 胎仔中期 (胎齢 13.5 日) 照射の影響

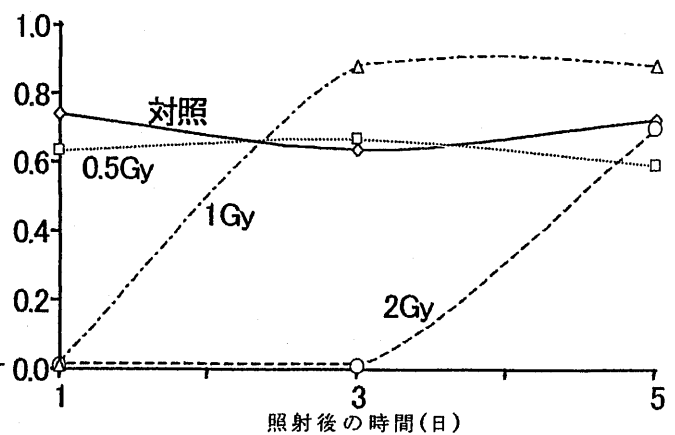


図 2. 新生仔最初期 (出生後 1 日) 照射の影響

中等教育におけるエネルギー教育の現状とあり方の考察

伊地 兼弥

〔はじめに〕我々は、豊かで健康な生活を今後も維持することを望むなら、エネルギーと環境問題からは永遠に逃れることはできない。この問題の解決策として、「新エネルギーの開発」、「省エネルギーの奨励」、「原子力の推進」が国策として進められている。

しかし、国民のエネルギー・環境問題への意識はまだ低く、原子力に至ってはなかなか理解されていない。近年、文部科学省は中等・高等教育におけるエネルギー・環境教育の重要性を指摘し、教科書の充実や総合的学習の時間などでの取り組みを指導しているが、その実体は満足できるものでなく、さらなる教育の充実や教材の開発が望まれている。

原子力を学び、教員を希望する私にとって、エネルギー・環境教育のあり方を検討することは極めて意義深いと考える。昨年、本研究室で初等・中等教育におけるエネルギー教育の現状について教科書を中心に調査された。引き続き本年度は、中学校の理科の教科書を中心に調査し、エネルギー・環境教育の現状と今後のエネルギー教育の充実を考察し、有効的教育方法の提案を行うことを目的とした。

〔調査〕中学校のエネルギー・環境教育は、国語、社会、理科で取り扱われているが、今回理科について、採用頻度の高い教科書5社を選び次の調査を行った。①エネルギー・環境全般の現状記載内容②様々なエネルギーをどのように説明しているか③原子力・放射線の記載内容④エネルギー・環境問題について将来の展望や提言の解説記載内容

〔中等教育におけるエネルギー教育の現状〕調査①は、エネルギーの需要、供給、資源、人口問題など各社濃淡はあるが1分野で、環境については酸性雨や大気汚染などが2分野で取り扱われていた。②は、エネルギーの本質を理解できるよう、実験教材を用い記載されていた。③は、各社原子力の取り扱われ方は様々であった。一方、新エネルギーについては綺麗事の解説が多かった。④は、日本の政策を支持するような具体的な提言は少なく、抽象的な表現で教諭の授業に委ねられた表現が目立った。

〔エネルギー・環境教育への提案〕子供たちが現実を正しく理解し、総合的にエネルギー・環境問題を考察し、将来正しい判断ができる教育を目指し、実験・実習を主体とした教育が必要である。「エネルギー」、「環境」、「生活」の3つの分野のかかわりを教育するには理科教育だけではしきれない。そこで滞在体験型総合学習ができる施設教材を提案したい。

「総合的な学習の時間」を活用し、各自テーマを持たせ、滞在体験生活を通し、電気や熱エネルギーの発生機構を取得し、作られたエネルギーの利用を体験してその有効性、効率性、環境への影響等やエネルギーの大切さを学ぶ。また、生活廃棄物を環境に考慮し処理する。この学習を各自発表し合うことで原子力エネルギーの必要性も理解でき、さらに社会・政治・経済問題や歴史、倫理へと幅広い総合学習教育へと波及するものと考えられる。

ヌマムラサキツユクサの染色体に及ぼす放射線の影響

西長 浩貴

[目的]大型の染色体をもつ植物は放射線の染色体損傷作用に対して高い感受性を示す。その代表例が、染色体数が $2n=12$ と少なく、分裂中期染色体の大きさが $10\mu\text{m}$ を超えるヌマムラサキツユクサである。本研究では、この植物の減数分裂期の細胞(花粉母細胞)における X 線の染色体損傷効果を小核の誘発頻度を指標にして調査し、この系が本学原子炉で得られる速中性子の生物影響研究に適しているかどうかを検討した。

[材料・方法]ヌマムラサキツユクサの未開花の花序(蕾)に、X 線 4Gy を線量率 95cGy/min で照射した後、適時長さ 3~3.5mm の蕾から葯を取り出し、酢酸ダーリア染色-押しつぶし法によってプレパラートを作成した。このプレパラートを $\times 400$ の顕微鏡下で観察して、減数分裂完了期(四分子期)の細胞における小核頻度を測定した。ついで、同じ方法を用いて、低線量域の X 線量と小核頻度の関係を調べた。

[結果・考察] 図 1 に示しているように、X 線によって誘発された小核頻度は、照射 19 h 後で最高値を示した。この結果に基づいて、線量効果関係を調べる実験は、照射後のサンプリング時間を 20 h に固定して行った。その結果、図 2 に示しているように、小核頻度は 10~40cGy の範囲内で線量にほぼ直線的に比例して増加することが明らかになった。この線量効果関係から X 線による小核誘発率 (/1000 細胞/10cGy) は 61.2 ± 16.6 と推定された。ほぼ同じ誘発率 60.2 が 4 Gy 照射後 19h の頻度(図 1) から得られた。この一致は、この系における小核誘発頻度と X 線量の関係は 0.1~4 Gy の広範な線量域で直線的になることを意味する。

原子炉速中性子の線量率は 20cGy/h にすぎないので、たとえ高い RBE 値が期待されても、その照射実験には 10cGy 程度の X 線で顕著な効果が検出でき、その効果が高線量域まで直線比例するような系が望ましい。本研究で用いたヌマムラサキツユクサの小核検出系はこれらの条件を満たし、この系を用いると数分程度の原子炉照射で解析に耐えうるデータが得られると思われる。

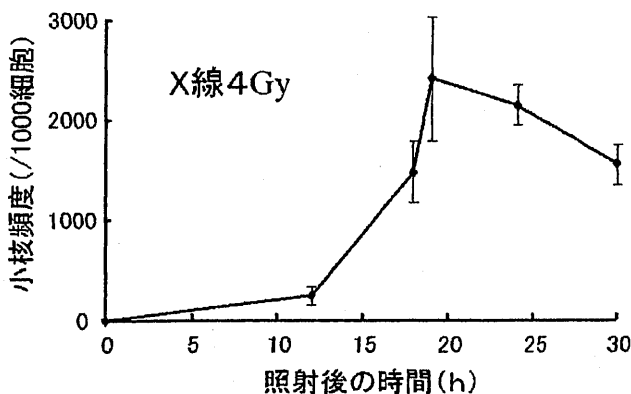


図1、小核頻度の経時変化

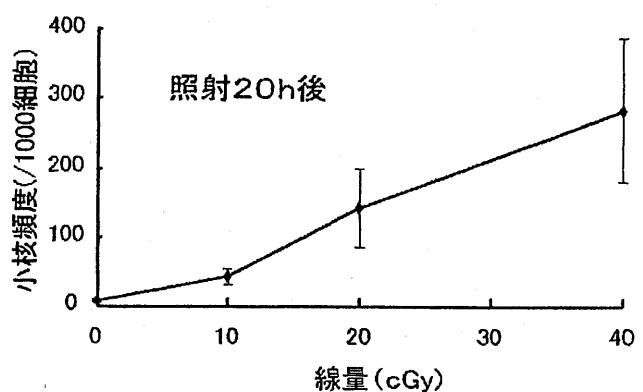


図2、X線量と小核頻度の関係

修 士 論 文

発表時間 : 一人 20 分 (講演 15 分、討論 10 分)

モンテカルロ法による核破碎反応生成物核種収率の計算

原子核工学

岸本安史

[序論]

原子炉の高度化に伴いマイナーアクチニドや、長寿命核分裂片の処理などに、ADS（加速器駆動未臨界炉）の研究が行なわれているが、そのための高エネルギー核データが不足している。現在さまざまな計算モデルを用い計算が行なわれている。本研究では核内カスケード過程をモンテカルロ法で扱う計算コード NMTC/JAM を用い、核破碎反応生成物核種収率の計算を行い、このモデルの再現性を実験データと比較検討することにより、このモデルの検証を行なった。

[理論]

NMTC/JAERI97 コードの改良版として、高エネルギー粒子輸送コード NMTC/JAM が日本原子力研究所で開発された。NMTC/JAM は核内外のカスケードモデルとして高エネルギー核反応コード JAM を導入することにより、その適用エネルギー範囲を原理的には、核子、中間子に対して最大 200GeV まで計算できる。また、蒸発、核分裂過程に対して GEM モデルを導入することにより、励起した残留核からの軽い核分裂生成収率の計算ができる。

[結果]

Fig.1 には ^{197}Au に 190MeV の陽子が入射した場合の生成核種の質量収率を示す。このコードに組み込まれている Myer らの核分裂障壁(FB)をそのまま用いた場合の計算値(破線)は収率を過小評価する傾向があることが分かる。このため蒸発過程を計算する GEM モデル中の FB を調整して理論計算してみたところ、この場合には FB を 0.9 倍したとき良好に再現することが分かった。Fig.2 には入射エネルギーを変化させたときの ^{238}U の質量収率が描かれている。この場合には、対称分裂領域でやや過小評価の傾向が見られるも

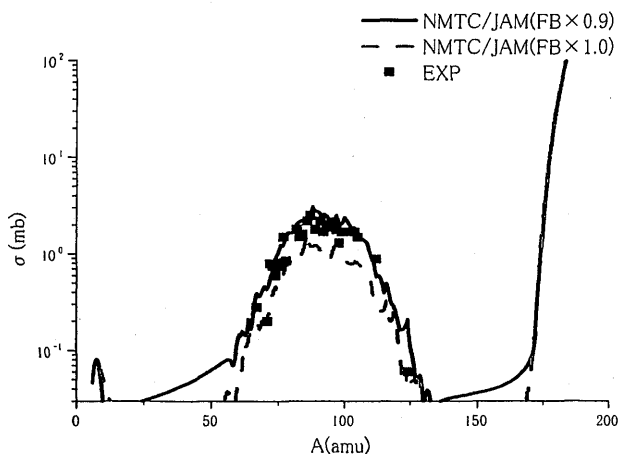


Fig 1 $^{197}\text{Au}+p(190\text{MeV})$ の質量収率分布

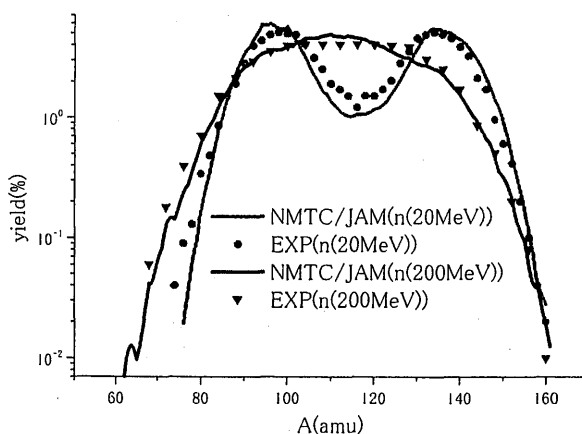


Fig 2 $^{238}\text{U}+n$ の入射エネルギーごとの質量収率

の、Myer らの FB で入射エネルギーの依存性が良好に再現できることが分かった。

次に Fig.3 に ^{206}Pb の中性子スペクトルを示す。高エネルギーの中性子スペクトルが実験データと比較して過小評価していることがわかった。

[考察]

入射エネルギーが高いときの反応は、核分裂の反応が起こる前に中性子や陽子が数個放出され、それから核分裂がおこる。計算の結果、実際に核分裂した主な物質は $Z=79$ 、 $A=190$ 、 $\text{FB}=18.028\text{MeV}$ の ^{190}Au となり、このときの fissility parameter は $\text{FP}=34.7$ となっている。すなわち、核分裂前に陽子 1 個と中性子 7 個放出した核種が核分裂を起したと考えられる。fission barrier のグラフを Fig.4 に示す。実際に核分裂を起している物質は数個の粒子を放出した天然には存在しない非常に不安定な物質で、このときの fission barrier の値は不確かさが大きい。また ^{190}Au は魔法数 ($Z=82$ 、 $N=126$) の近傍に存在し、shell 効果が効くことも考慮しなければならない。したがって、Myer らの値の 0.9 倍になる $\text{FB}=16.2\text{MeV}$ という低い FB 採用することは物理的に不自然ではない。

中性子スペクトルを核分裂性中性子スペクトルと核分裂以外の中性子スペクトルにわけて見てみると、高エネルギー成分がかなり、過小評価されていることが分かる。これは NMTC/JAM には核内カスケード過程と蒸発過程の間に存在する前平衡過程を考慮に入れていないためであろうと推定される。

一方、アクチニド領域の物質は Fig.4 に見られるように、FB の値の変動幅が小さいため、質量収率の入射エネルギー依存性に対しては良好に再現できたと考えられる。

以上の結果から、アクチニドよりも軽い核種の核破砕反応を扱う場合には蒸発モデルである、GEM モデルの中で使用する FB 値の不確かさに留意することが必要であることがわかった。

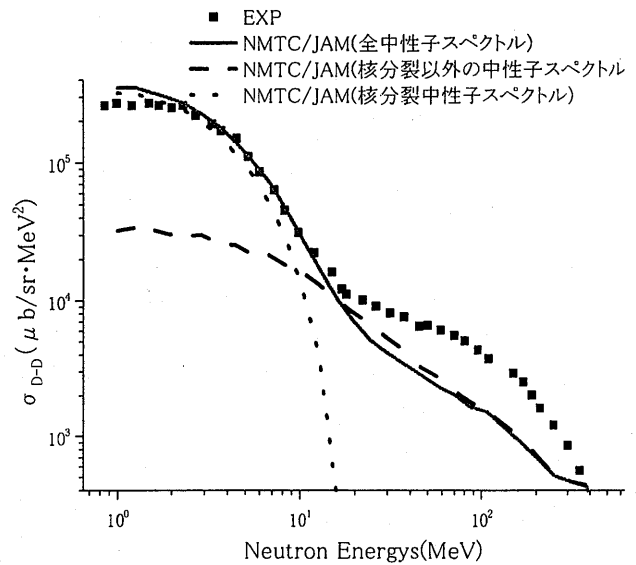


Fig.3 $^{206}\text{Pb}+p(590\text{MeV})$ の中性子スペクトル

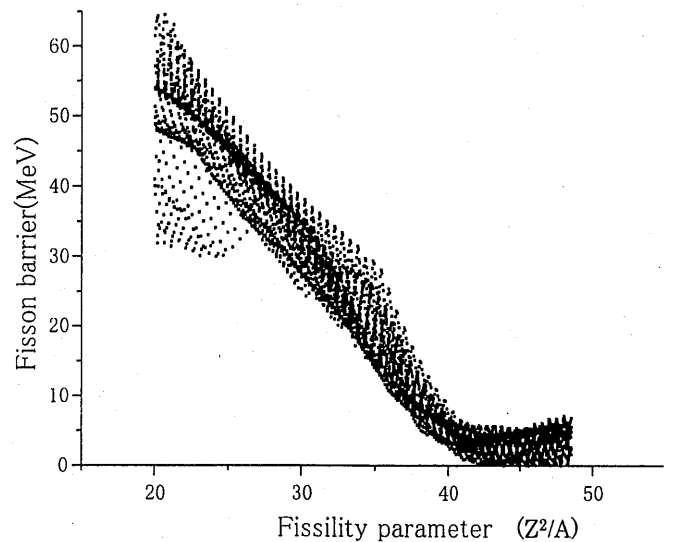


Fig.4 Fission barrier

^{239}Pu の共鳴領域における遅発中性子収率の微細構造

原子核工学 鳥居 敬之

【序論】

遅発中性子は増倍率変化で起こる原子炉炉心内中性子数の時間挙動に大きく関与するものであり、遅発中性子収率の評価データの正確性はそれらの原子炉動特性において重要な役割を担っている。しかし、 ^{239}Pu の遅発中性子収率の評価データには未だ不確かさが存在する。また、遅発中性子収率は入射エネルギーに依存していることが知られている。これは入射エネルギーの変化に伴い、核分裂生成物の質量収率が変化することが実験データにより明らかにされているからである。しかし、物理的根拠は未だ解明されていない。

前年度までの研究により ^{235}U では、熱中性子の場合と入射エネルギーにおける遅発中性子収率の比率は負の共鳴（逆共鳴構造）となることが明らかにされている。本研究では、 ^{239}Pu でマルチモード核分裂モデルの理論を用いて F. J. Hamsch が提示した実験データを基に解析を行い、共鳴領域における遅発中性子収率の入射エネルギー依存性を解析した。

【解析方法】

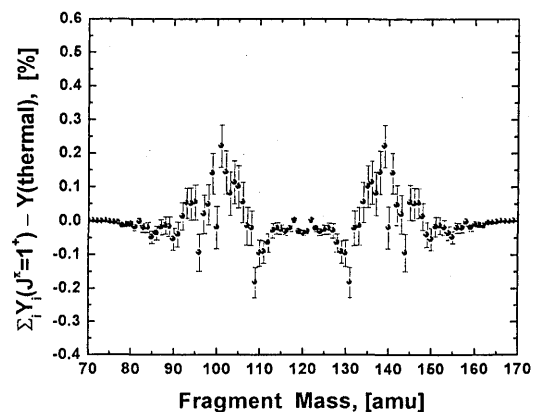
全遅発中性子収率の評価は総和法を用いて行った。総和法とは、核分裂によって生成されるそれぞれの先行核から放出される遅発中性子数を積算することにより、全遅発中性子収率を求める方法である。全遅発中性子収率： ν_d は

$$\nu_d = \sum_i Y_i \cdot P_{ni}$$

で表される。 Y_i および P_{ni} は、それぞれ核分裂によって生成された先行核 i の核分裂収率と遅発中性子放出確率である。

質量収率 Y_i の計算はマルチモード核分裂モデルを、各モードの分岐比を F. J. Hamsch のデータを用いて計算し、Wang-Fucheng の計算法を基に即発中性子放出後の質量分布を求め、電荷収率分布と奇偶効果因子、各異性体効果因子を掛け合わせて求めた。

F. J. Hamsch は、 $\text{Pu}-239$ の 1^+ 共鳴における核分裂の質量収率が熱中性子核分裂に比べて変化することを見出した [Fig.1]。本研究では、この実験データに基づき 1^+ 共鳴における解析を行い、Fig.1 における高さを再現するように fit した場合 (caseA) と、重要な先行核 ($A=85\sim 100, 137$) 付近の再現に重点をおいた場合 (caseB) での計算を行った。

Fig.1 $J=1^+$ 共鳴における核分裂収率の変化

遅発中性子放出確率である P_{ni} 値は、従来の Wahl らによる評価データに加え、Kratz-Herrmann による評価データ (KHF) を用いて、 P_{ni} 値の違いによる遅発中性子収率の変化を調べた。

【結果】

• Fig.2 は Wahl と KHF の評価データについて、熱中性子核分裂における先行核ごとの ν_d 収率を示した図である。 P_{ni} 値の違いによって、特に重要な先行核ごとの ν_d 収率が大きく変動し、総遅発中性子収率も異なってくる。KHF は系統式による評価データであるが、Wahl は実験結果と理論式による評価データであり、信頼性は高いといえる。

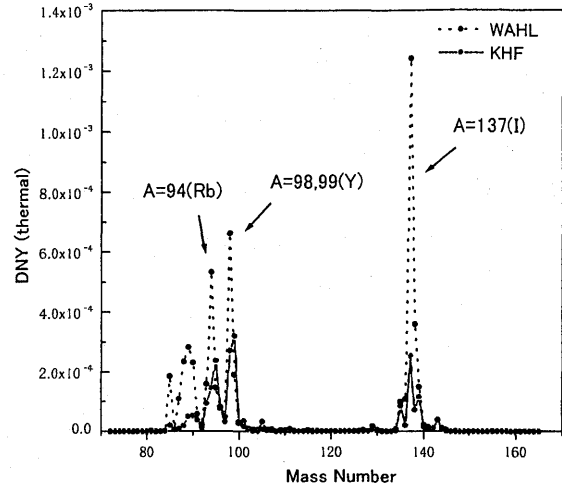


Fig.2 熱中性子核分裂における遅発中性子収率

• F.-J.Hambsch の実験結果から、各モードの分岐比は入射エネルギーに依存しており、Pu-239 では多くの共鳴において

Standard-1 成分が減少、Standard-2 成分が増加している。Standard-2 のウエイトの高い入射エネルギーで大きな ν_d 値を示しているから、 ν_d 収率には Standard-2 成分 (特に A=94(Rb), 98,99(Y), 137(I) 成分) が大きく寄与している。

• Fig.3, 4 は共鳴領域で、caseA および caseB でのそれぞれの入射エネルギーにおける ν_d 値を、 $J = 1^+$ の場合と熱中性子の場合の比率で示した図である。CaseA では正の共鳴構造を示し、その増加率は約 0.5~2.0% である。CaseB では全体では正の共鳴構造を示すが、Standard-2 成分が熱中性子と比べて減少している共鳴で逆共鳴構造をとる。

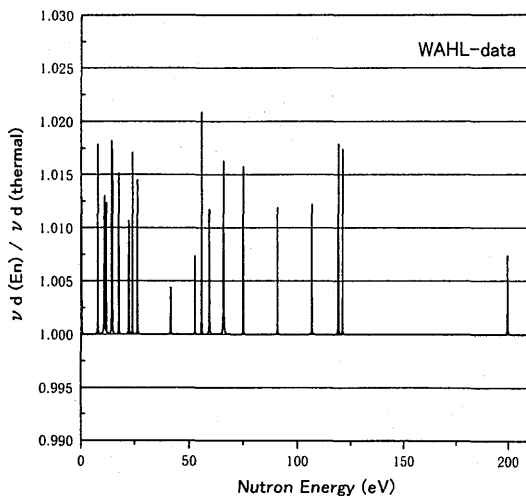


Fig.3 CaseA における遅発中性子収率の共鳴構造

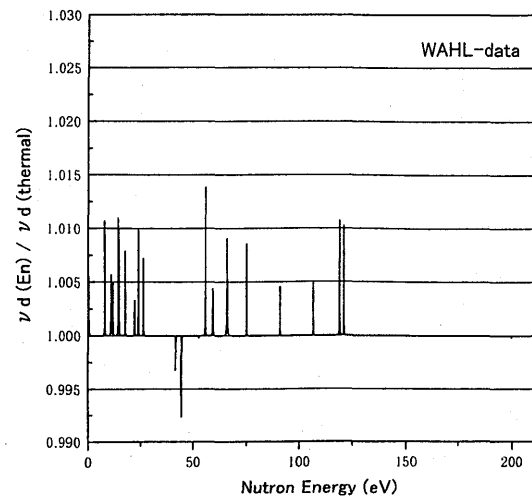


Fig.4 CaseB における遅発中性子収率の共鳴構造

付録 2