

# A 会 場

研究発表要旨

1 A 1

)

3 A 34



# IAI 合成無機質イオン交換体に関する研究(第5報) —リン酸スズイオン交換体によるウランと核分裂生成物の分離

東北大金研

後藤秀弘

鈴木進

○井上泰

放射性廃液処理、核燃料再処理など炉化学に適用する目的で、熱及び放射線の作用に対して安定な無機質イオン交換体の一つとしてリン酸スズイオン交換体を合成し、その性質をいろいろ研究しているが前報ではイオン交換分離の実例の一つとして核分裂生成物中に含まれる個々の核種の分離を試み、その結果を報告した。溶離液として $\text{NH}_4\text{Cl}$ 及び $\text{HNO}_3$ を使用して、小さなカラムを用いて比較的簡便な操作でほぼ完全に分離することに成功した。しかしこの方法ではCsにいくらかR. E.が混入する。今回は先ずCsフラクションが完全に放射化学的に純粋に得られるように核分裂生成物の分離法を改良したのち、この方法を参考にして、核分裂生成物とウランの相互分離を試みたのでこれらの結果をとりまとめて報告する。

実験方法 リン酸スズイオン交換体は先に報告した最適条件で合成したもの(No.7)を使用した。分布係数の測定は水素型の200—350メッシュの交換体0.5gをウランの濃度 $10^{-3}\text{M}$ の溶液50ml中に投入し、一定温度で平衡に達する迄放置して(2—3日間)行つた。カラム操作は水素型の100—200メッシュの交換体2gをつめた直径7mmのカラムを用い、流速0.2—0.3ml/min.で行つた。ウランはロダン法又は炭酸ナトリウム—過酸化水素法で定量した。

## 結果

- (1) 核分裂生成物中の核種の相互分離法の改良：前報の方法では核分裂生成物を交換体に吸着させたのち0.2M— $\text{NH}_4\text{Cl}$ でSr、3.0M— $\text{NH}_4\text{Cl}$ でCs、3N— $\text{HNO}_3$ でR. E.を順次溶離したが、3.0M— $\text{NH}_4\text{Cl}$ の前にカラムを1.0M— $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ で洗滌するとCs中にR. E.は全く混入して来ない。同様にウランもCs中に溶離しない。
- (2) Srと $\text{UO}_2^{++}$ の分離：0.2M— $\text{NH}_4\text{Cl}$ でSrを、3—5N— $\text{HNO}_3$ で $\text{UO}_2^{++}$ を順次溶離する。
- (3) Csと $\text{UO}_2^{++}$ の分離：試料溶液をカラムに通した後、1M— $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ で洗滌し、3M— $\text{NH}_4\text{Cl}$ でCsを、3—5N— $\text{HNO}_3$ で $\text{UO}_2^{++}$ を順次溶離する。
- (4) Ceと $\text{UO}_2^{++}$ の分離：両者共に $\text{NH}_4\text{Cl}$ では溶離されず、 $\text{HNO}_3$ に対する挙動が非常に良く似ているためにこれらの溶離液では分離することが出来ないため、他の溶離液を使用する必要がある。種々濃度の $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{CH}_3\text{COONH}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_4$ 、

$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$  及び  $\text{H}_3\text{PO}_4$  などについて検討したが、これらのうちで  $\text{Ce}$  と  $\text{UO}_2^{++}$  の間で著しい分布係数の差を示すのは  $0.1 \text{ M} - (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + 3 \text{ M} - \text{NH}_4\text{Cl}$  及び  $0.5 - 1.0 \text{ M} - \text{H}_3\text{PO}_4$  である。前者では純粋にウランが得られるが回収が不完全であり、交換体がやや不安定である。それに反して後者では分離、回収率ともにほぼ完全であり、交換体も安定であり、最も適当な溶離液である。 $1.0 \text{ M} - \text{H}_3\text{PO}_4$  でウランを、 $3 - 5 \text{ N} - \text{HNO}_3$  で  $\text{Ce}$  を順次溶離する。

- (5)  $\text{Zr} - \text{Nb}$  の挙動： $\text{Zr} - \text{Nb}$  は  $1 \text{ M} - \text{H}_3\text{PO}_4$  でいくらか溶離されるのでウラン中にいくらか混入する。
- (6)  $\text{Ru}$  の挙動：以上検討したどの溶離液を使用しても不完全に溶離されるので、 $\text{Ru}$  を一つのフラクションに集めることが不可能である。従つてあらかじめ除去する必要がある。
- (7)  $\text{UO}_2^{++}$  と核分裂生成物の分離：以上の結果を総合して次のような操作を確立した。すなわち試料溶液に濃  $\text{HClO}_4$  を加え、ほぼ乾固する迄煮沸し  $\text{Ru}$  を完全に除去したのち残渣を水に溶解させる。カラムに通して核分裂生成物及び  $\text{UO}_2^{++}$  を吸着させたのちカラムを水、 $1 \text{ M} - \text{CH}_3\text{COONH}_4$  で洗浄する。しかるのち  $3 \text{ M} - \text{NH}_4\text{Cl}$  を通し  $\text{Sr}$  及び  $\text{Cs}$  を溶離する。次に  $5 \text{ N} - \text{HNO}_3$  で  $\text{R. E.}$  と  $\text{UO}_2^{++}$  を一緒に溶離する。溶離液を集め、蒸発乾固して  $\text{HNO}_3$  を除去したのち  $1 \text{ M} - \text{H}_3\text{PO}_4$  に溶解させる。これを新しいカラムに通し、 $\text{R. E.}$  を吸着させて  $\text{UO}_2^{++}$  と分離する。

## IA 2

# 含沸石ガラス質凝灰岩による放射性イオンの交換吸着

栗田工業(株)総合研究所

西土井 陸 ○ 横 関 善 三

天然に存在する粘土鉱物をイオン交換体として放射性廃液の処理に利用する研究および実施が検討されている。すでに我々はカオリンおよびモンモリロナイトによるセシウムおよびストロンチウムの交換吸着性についてカ焼および薬品処理による効果について検討してきた。含沸石ガラス質凝灰岩は天然品でも薬品処理したカオリンおよびモンモリロナイトに勝る交換性を有していることがわかったので、カ焼ならびに薬品処理による交換性の変化を検討した。凝灰岩は他の粘土鉱物に比較して水による膨潤崩解性が小さく、適当な粒径のものを作ることがた易いなどの物理的性質にすぐれているので充てん層による利用が経済的になしうる可能性がある。

セシウムおよびストロンチウムの交換性とカ焼、塩酸、硫酸およびカ性ソーダ処理の効果について検討した。

「実験」 塊状試料を砕いて30～50メッシュのものを濃度を変えた各処理液3倍容に浸して沸点において1時間加熱処理した。

カ焼処理は各温度に1時間保持してから室温で冷却した。

交換形の統一は各処理後3Nカ性ソーダ、3N塩酸10倍容中に24時間放置し、この操作を3回くりかえしてNa形およびH形とした。

「結果」 未処理試料(Natural)のNa形の全交換能はセシウムにたいして151meq/100g、ストロンチウムにたいして84meq/100gであつた。

① カ焼処理の効果： 900℃までカ焼した結果温度上昇につれてセシウム、ストロンチウムいずれの交換能も低下することがわかつた。

しかし温度上昇による減少率はイオンによつてことなり、セシウムに選択性をもつていたると考えられる。それを図1に示す。

② 酸処理の効果： 0.1～5規定の塩酸、硫酸で処理すると交換吸着能はわずかではあるが、濃度とともに直線的に減少してくることがわかつた。セシウムとストロンチウムの交換性の比と酸濃度とを図示してみると図2のようになる。酸処理の場合はある処理濃度でセシウムの選択性に極大値をもつことがわかつた。

③ カ性ソーダ処理の効果： 0.01～10規定カ性ソーダで処理した結果ストロンチウムとセシウムとでかなり処理濃度の効果に変化のあることがわかつた。それを図3にしめす。

一般的に濃度は異なるが、特定処理濃度で極大値のあることがわかる。セシウムとストロンチウムの交換能比とアルカリ濃度との間には図4のような関係がえられた。

カ焼処理、酸処理ではセシウムにたいする選択性が増加あるいは極大値をもつが、アルカリ処理ではセシウム選択性は処理濃度の増加につれて低下することがわかった。

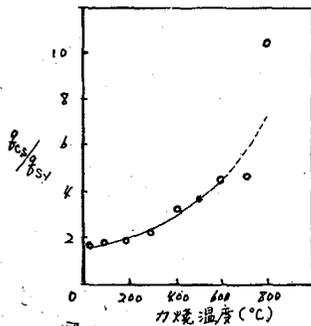


図-1. カ焼処理による選択性の効果

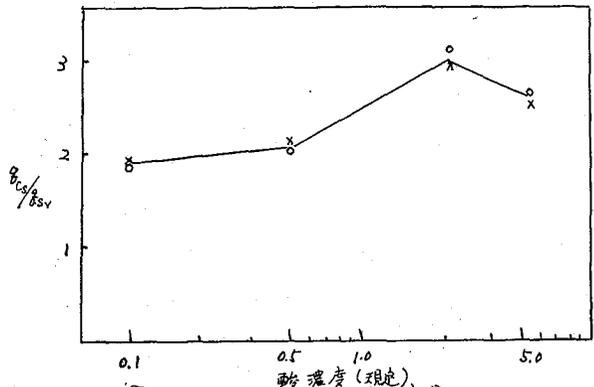


図-2. 酸処理による選択性の効果

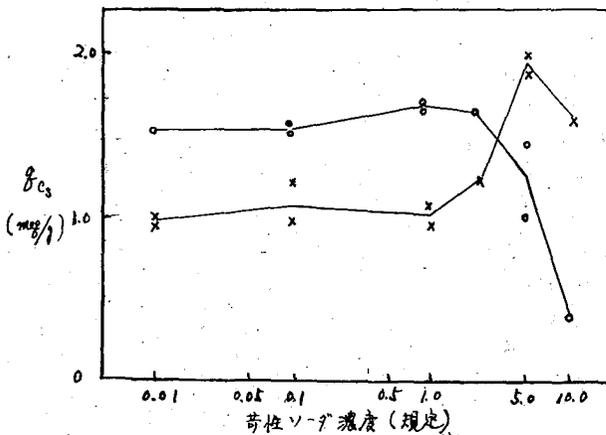


図-3. 苛性ソーダ処理の影響

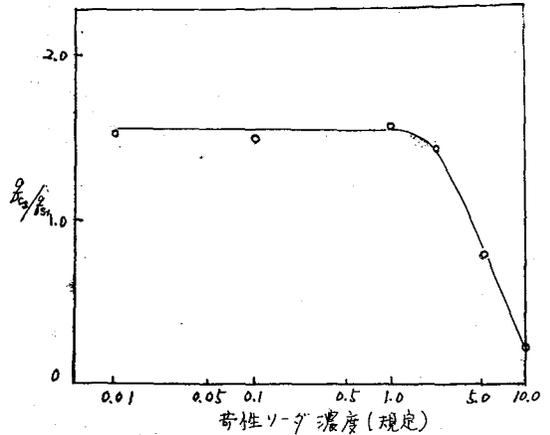


図-4. 苛性ソーダ処理による選択性の効果

放医研

渡利一夫, 小柳卓, 伊沢正実

核爆発実験の影響および放射性廃液の海洋投棄の問題から海水中の放射性物質の濃度を  
 知ることは重要である。しかし大容積の中から微量の放射性物質を効率よくとり出すこ  
 とはやはり面倒であり、この採集場合共沈、吸着の現象を利用するのが普通である。こ  
 れまでには、鉄、アルミニウム、ランタン等の水酸化物、銅、カドミウム、ビスマス、アン  
 チモン、スズ、水銀、白金、ルテニウム等の硫化物、その他炭酸バリウム、塩化ナトリ  
 ウム、二酸化マンガン、セレン、鉄等が、夫々対象とする元素の特性に応じて用いられてき  
 た。海水の場合には主として水酸化鉄共沈法が用いられているが、その形状が取扱いに  
 くいことと、海水中に含まれる放射性物質の濃度が低い時にはそれだけ多量の海水を処  
 理する必要があるので操作が煩雑になる難点がある。この難点をのぞくために、陽イオ  
 ン交換樹脂表面に鉄の加水分解生成物を生成せしめたものを作りこの樹脂(以後水酸化鉄形  
 イオン交換樹脂と呼ぶ)への吸着を利用して多量の海水中の微量核種を効率よく捕集しよ  
 うとするものである。この樹脂は水酸化鉄の沈殿と異なり粒状で取扱いやすく、カラムの  
 作製も容易である。カラム法を利用しての海水中の微量元素の捕集は、すでに鉄粉を用い  
 ての放射性ルテニウムの捕集および分離(木羽内藤, 文部省統合研究班報告集(1962)、水酸化鉄形イオン  
 交換樹脂を用いてのベリリウムの捕集および分離(Merrill, Lyden, Honda, Arnold: Geochim. Cosmochim. Acta 13, 102 (1960))  
 その他の例があり、いずれも水酸化鉄表面への吸着、共沈の現象を利用したものである。

我々は海水中の放射性ルテニウムの捕集に水酸化鉄形イオン交換樹脂を利用して既に報  
 告した(日本化学会ホールディング(1963))が、本実験では、 $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{149}\text{Ce}$  等の水酸化  
 鉄形イオン交換樹脂への各々の吸着率を求め、それら放射性核種の海水中よりの捕集につ  
 いて検討すると共に、 $\gamma$ 放射体については捕集後直ちに $\gamma$ 線スペクトロメトリーによつて  
 各々の核種を定量することの可能性について検討を加えた。同時に水酸化鉄共沈法でも  
 実験を行い比較検討した。海水以外に蒸溜水中でも同様の実験を行い水酸化鉄形イオン  
 交換樹脂に対する各核種の挙動の追求、および共沈法との比較も行った。

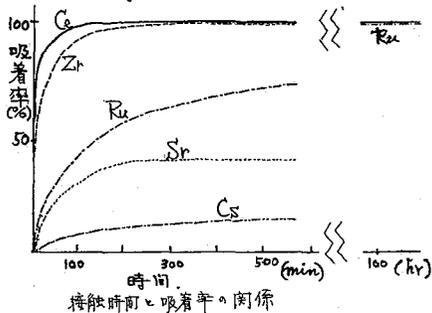
実験——水酸化鉄形イオン交換樹脂の作製——塩化ナトリウム鉄の濃厚溶液にH型に1% Dow  
 6X 50-100 X 8 (50~100, 100~200メッシュ) を加えて一昼夜放置する。水洗して中性にしたのち  
 1.5 M アンモニア水を加えて一昼夜放置しpH 7にそろって水洗する。

試料溶液の調製——海水(又は蒸溜水)にトレーサースケールの放射性核種を加え、炭酸  
 ナトリウムまたはアンモニア水で種々のpH に調整する。ルテニウムについては、その  
 化学的挙動が特に複雑であることから、塩化物、ニトロシル化合物、酸化物等を合成して  
 加えて挙動をしらべた。

操作——基礎データを求めるためメソバツチ法で実験を行った。100 ml容量の共栓三

角フラスコに50 ml の試料溶液を入れこ水に0.5 g の風乾した水酸化鉄形イオン交換樹脂を加え、静置、振盪、または加温する。一定時間後に水溶液中より1 ml ずつとりだし、ウェルタイプシンチレーションカウンターで放射能を測定し、はじめに加えた放射性核種の濃度より吸着率、時間変化を求めた。一方カラム法では、内径1 cm、高さ10 cm の水酸化鉄形イオン交換樹脂カラムに試料溶液と同じpHに調整した海水(又は蒸溜水)20 ml、次に試料溶液20 ml、更に同じpHの海水(又は蒸溜水)30 mlを通す。流出液の放射能を測定することにより樹脂相への吸着率を求めた。共沈法の実験は5 mg の鉄を加えてアンモニア水でpHを調整して行った。

結果および考察——海水(pH 8.2)についてバッチ法で実験を行った時の吸着率と時間の関係を右図に示す。 $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$  は定量的に吸着される。 $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{95}\text{Zr}$  が比較的早く平衡に達するのに比し $^{106}\text{Ru}$  は長時間を要する。 $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  は夫々40%, 10%以下の吸着率を示す。蒸溜水を用いての実験では $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  についても99%以上吸着する。カラム法での実験でもバッチ法で得た結果と同様の傾向であった。また、加温することにより平衡に達するまでの時間を早めることができた。水酸化鉄共沈法での結果と比較してみると、pH 7~9 の範囲において海水の場合、双方共よく一致した傾向が得られたが、蒸溜水の場合には水酸化鉄と共沈しない $^{137}\text{Cs}$  も99%以上が吸着された。



|                   | 海水  |      | 蒸溜水  |      |
|-------------------|-----|------|------|------|
|                   | 樹脂  | 共沈   | 樹脂   | 共沈   |
| $^{85}\text{Sr}$  | <50 | <50  | ≒100 | ≒85  |
| $^{95}\text{Zr}$  | >99 | ≒100 | ≒100 | ≒100 |
| $^{106}\text{Ru}$ | >99 | >80  | >99  | >99  |
| $^{137}\text{Cs}$ | <20 | <20  | ≒100 | ≒5   |
| $^{144}\text{Ce}$ | >99 | ≒100 | ≒100 | ≒100 |

pH 7~9 の最大吸着率(%) (バッチ法)

トレーサースケールの放射性同位体の吸着機構は極めて複雑であるので捕集率に影響をおよぼす各種条件、すなわち、pHの影響、接触時間の変化および共存電解質の効果等について実験を行い併せて溶液中における核種の存在状況の検討を行った。以上得られた結果にもとづき実際の海水を用いて実験を行った。すなわち、内径4 cm、高さ40 cm の水酸化鉄形イオン交換樹脂カラムに海水50 lを通し流出液は蒸発乾固する。同時に同量の原海水を蒸発乾固する。樹脂相及び双方の蒸発残渣について夫々γ線スペクトルを測定した結果、流出液の蒸発残渣には $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  は殆んど検出されず、樹脂相および双方の蒸発残渣には明らかに、検出された。この方法を利用して海水中より $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  等の長寿命核種を効率よく捕集、定量することが可能であると考へる。その最適の条件を求めた結果を報告する。

# IA 4

## 核分裂生成物の放射化学分析 (第1報)

### 陽イオン交換樹脂によるU(pixmf)反応生成物の分族

日本原子力研究所

○ 夏目 晴夫 森岡 清 竹内 敏

1. 目的 核分裂生成物について放射化学的研究とあわせておこなうべきにはなるべく多くの核種と同一の試料から分析することが望ましい。この目的でこれまでにかなり多くの系統分離法が提案されている。われわれはこのうちの幾つかを基礎としてさらに詳細に検討することを試みた。具体的には以下の様な各項を当面の目的としている。

- 放射化学定量分析 測定試料の調製とふくめて定量誤差に注意する。
  - 放射性同位元素の製造 無担体分離、遠隔操作と考慮する。
  - 核分裂生成物の測定技術 とくに絶対測定、正確な相対測定に適した測定試料の調製方法、測定技術の検討、果たせば定量に必要な崩壊因子も検討する。
  - $\gamma$ 線スペクトログラフの作製 分離の良否、試料の溶解と目的とする。
- これらの目的に適合させるための分離操作にはつぎの点を考慮した。
- できるだけ無担体の状態で定量的に分離できること
  - これが不可能ならば、測定に際して実用上吸収と十分無視できる程度の担体量(10~100 $\mu$ g)で化学収量の決定ができること
  - 再現性がよく、とくに微弱の放射能でも確実に分離できること
  - 操作上取扱いは不便な試薬としないこと

これらの条件と比較的満足するものとして陽イオン交換樹脂による分族を基礎として、これを補ってゆく方針で実験を初めた。いうまでもなくこの方法では核種の半減期、揮発性、樹脂からの溶解不完全などの理由で不適当な核種も少なくないが、陽イオン交換に親着することなく、陰イオン交換、溶媒抽出、沈澱法と併用してゆく方針である。またターゲットとして用いる初めは、とくに質量数115附近の核種と多く含む陽子による核分裂生成物を試料とした。

2. 操作 i) 試料の照射, 溶解 約300~500mgの $U_3O_8$ をAlターゲットホルダーにスライスをしよくは粉末のまじりつめたものと20 $\mu$ Al(8)で片おつて東大核研のビームサイクロトロンで5~10 MeV陽子で0.2~0.35 $\mu$ A, 8~20時間照射した。30分程度冷却後 $U_3O_8$ を8N程度の $HNO_3$ で溶解後、ホルダーを水洗し、バックのうら反応による放射能を認める部分と切りとり試料とともに溶解した。必ずにやりは10 $\mu$ g程度の担体を加え、6N HClを加えてほとんど蒸発乾固近くまで濃縮することとくりお之して塩化物に転換する。 $U_3O_8$ 量が500mg以上の場合には $UO_2^{2+}$ の大部分を $HNO_3$ 酸性でエーテルで抽出除去しておら塩化物に転換する。(本討論会1B13の項を参照)最後に6N HCl数滴(おし1mlと少量の蒸溜水を加え加温溶解しておら分液漏斗に移し全容20mlとする。このときの遊離HClの濃度は0.1~0.3Nとす。

ii) 交換吸着, 溶離 10mm $\phi$  x 35cmのラムにおくおのじり不純物と除去した $NH_4R$ を正確に25



名工試

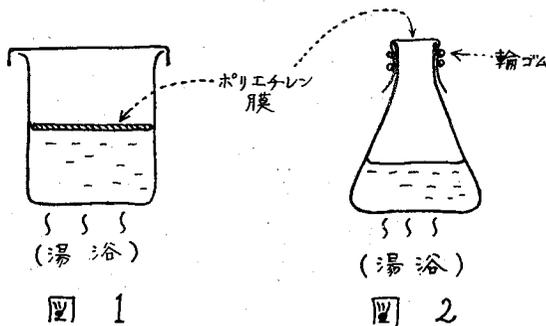
甲田善生

〔目的〕 放射性ルテニウムは核分裂でかなり高い生成率を示すので、核分裂生成物の中では重要な核種の一つであると共に、その化学的挙動が複雑で、化学処理の際に予想しない方面に分布したり、自然界では土壤に吸着されにくく、地中のかなり深部に達したり、海中中で或種の海草に濃縮されたりする。従つて、その検出、定量あるいはその他の利用を行うための簡単で正確な分離法が望まれる。

演者は日化才11年会(1958)において放射性ルテニウムのポリエチレンによる検出を報告し、放射性ルテニウムとテトラオキサイトまで酸化し、ポリエチレンと反応・付加させることにより、容易に高い選択性をもつて検出されることを明らかにした。しかし、当時の方法では試料液の量に制限があつたり、反応に時間を要したりする欠点があつた。また、ハロゲンの放射能が汚染を起す傾向があるので予め除去する必要が認められた。

今回は以上の欠点をすべて改め、任意の試料液で他の放射能の汚染なく迅速にポリエチレン膜に放射性ルテニウムを分離して集め、検出、定量その他の利用を行なえるようにすることを目的として実験を行った。

〔方法〕 新に次の2方法を試みた。1つは図1の通り、試料液と酸化剤をビーカーに入れ、この液面をかさぐ(大きさのポリエチレン膜(比重 $<1$ )を浮かせて加熱する。ルテニウムはテトラオキサイトとなりポリエチレンと反応し付着する。一定時間後、ポリエチレンを取出し、水洗し、酸化剤に過マンガン酸カリを用いた場合には付着するニ酸化マンガン除去するため、更に塩酸か過酸化水素+希硫酸で洗浄し、ポリエチレン膜を厚紙台紙に融着して放射能を計測する。



他の方法は図2の通り、三角フラスコに試料液と酸化剤を入れ、口をポリエチレン膜で覆つて輪ゴムで止め、湯浴で加熱する。ルテニウムテトラオキサイトは水と共沸混合物を作り、水より低温で揮発し、更に途中で精留作用をうけて濃縮され、殆んど全部が最上部

(最冷部)のポリエチレン膜の内側に集められて、同様に反応し付着する。これを同様に台紙に融着し、計測する。

酸化剤としては過マンガン酸カリの外、酸化銀( $Ag_2O$ )、硝酸銀+過硫酸アンモン等を用いた。放射性ルテニウムとしては $^{106}Ru$ を使用した。

〔結果〕 図1の方法ではポリエチレンと反応液が直接触れるので、僅に付着する汚染を除去するため洗浄を行う必要がある。洗浄剤によつてはルテニウムもある程度失なわれる。また、付着表面が広いので直径1吋程度の普通の試料を作りにくく、更にポリエチレン膜の両面に付着する欠点がある。

図2の方法ではこれらの欠点が改善され、揮発性のない核種の汚染は考えられず、ルテニウムは膜の片面に正確な円形(100 $^{\circ}C$  フラスコで直径1吋)に集められる。 $^{106}Ru$ の収率は前者では20~60%だが、後者では95%に達する。

両方法とも付着した放射能はポリエチレンと強く結合して居り、水や希薄な酸で洗浄した位では全く落ちない。反応の際の酸化剤としては過マンガン酸カリと酸化銀の両方を用いるが、後者の方が反応速度が早い。

他の核種の汚染は図1の方法について、 $^{90}Sr$ - $^{90}Y$ ,  $2 \times 10^{-5}$ ;  $^{204}Tl$ ,  $5 \times 10^{-5}$ ;  $^{95}Zr$ - $^{95}Nb$ ,  $2 \times 10^{-7}$  などの如く大部分の核種について汚染は實際上無いと云える。特にルテニウムとの分離が困難な $^{99}Tc$ についても $2 \times 10^{-5}$ の汚染で、分離性はきわめて良好である。過マンガン酸カリを酸化剤に用いるとハロゲンは一部がガス状に酸化されてポリエチレンに付加し(ハロゲン化ポリエチレン)で汚染を示す( $^{131}I$ ,  $2 \times 10^{-3}$ ;  $^{36}Cl$ ,  $3 \times 10^{-2}$ )が銀塩と酸化剤に用いるとハロゲン化銀の難溶性沈殿となり、他の元素と同様に汚染が起さなくなる。これらのことは図2の方法にもそのままあてはまる。

ポリエチレン膜を用いる放射性ルテニウムの分離法としては図2に基づく方法が最良と思われる。

100 $^{\circ}C$ 程度の三角フラスコに試料液を入れ、硫酸を加えて液を1規定程度の酸性にし、10~50%程度のルテニウムを含むルテニウム化合物と酸化剤として酸化銀あるいは硝酸銀と過硫酸アンモンを加え、口を0.06 $^{\mu}m$ 厚程度のポリエチレン膜で覆って輪ゴムで止め、液内容をよくふりませ、湯浴で30分程度充分に加温する。ルテニウムはテトラオキサイドになって揮発し、ポリエチレン膜の内側に集り、反応して黑色系統の化合物となり大体均一に付着する。放冷後、膜を水洗し、厚紙台紙にハンダゴテを用いて融着固定し、放射能を計測する。

放射性ルテニウムの他の分離法と比較する討論を希望する。

# IA 6 中性子照射したヨウ素より アンチモン、テルルの分離

理化学研究所

箱崎田 萬里子

ヨウ素に遠い中性子を照射して核反応を起す場合、 $^{127}\text{I}(n, p)$  反応によつて生成するものとして  $^{127}\text{Te}$ ,  $^{129\text{m}}\text{Te}$ ,  $^{127}\text{I}(n, \alpha)$  反応によつて生成するものとして  $^{134\text{m}}\text{Sb}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ , および  $^{127}\text{I}(n, 2n)$  反応による  $^{126}\text{I}$  の生成が考えられる。

中性子照射したヨウ素から放射性アンチモンおよびテルルを放射化学的に分離する方法を考え検討した。

先づ予備実験として、トレーサスケールのテルルをヨウ素から分離することをこゝろみた。mgの量のテルルとヨウ素の分離については既に検討し、報告したように、満足な結果を得ているが、トレーサスケールのテルルをヨウ素から分離することについてはまだ検討していかねたので、同様の操作でトレーサスケールの分離をこゝろみた。すなわち

0.2~0.3Nの塩酸溶液で過酸化水素水を加えてヨウ素イオンを  $\text{I}_2$  に酸化して TBP に抽出すれば、ヨウ素だけが TBP 相に抽出され、テルルは水相に残るという分離法を用いた。放射性テルルを用いてこの分離を検討した結果、トレーサスケールのテルルは 99% 以上が水相に残り、ヨウ素とほとんど完全に分離できることが示された。なお、このさいヨウ素の量が多い場合には比量の関係により TBP 相と水相の分離が困難となるので、50% TBP-ケロシンを用いて分離を検討したがその結果は良好であった。

つぎに、アンチモンとヨウ素の分離を検討した。放射性アンチモンラベルしたアンチモンとヨウ素の混合溶液を 0.3N の塩酸酸性度に調整し、過酸化水素水を加えてヨウ素イオンを  $\text{I}_2$  に酸化し、TBP を加えて 1 分周りませたのち分離した。抽出を 2 回くり返したのち TBP 相と水相を分離し、TBP 相は 0.3N の塩酸溶液で振りまぜて微量に附着したアンチモンを水相に洗浄して回収した。その結果、アンチモンの 98% 以上が水相に残ることが示された。

以上の実験から、TBP 抽出法によりヨウ素だけが TBP 相に抽出され、アンチモンとテルルは水相に残ることが示されたので、つぎにアンチモンとテルルの分離について検討した。抽出分離法を考えこゝろみたところ、アンチモンは 0.3N の塩酸溶液で、10% クペロン溶液を加えて TBP に抽出すれば、99% 以上が抽出され、同じ条件のもとではテルルは TBP に抽出されず水相に残るので、アンチモンとテルルはほとんど完全に分離できることがわかった。

本実験として、ヨウ化カリウムをターゲットとし、東大理学部の  $^3\text{H}(\alpha, n)^4\text{He}$  反応を利用する中性子発生装置を用いて遠い中性子を照射した。30分照射したのち 0.3N の塩酸酸性にして過酸化水素水を加え、前述の操作でヨウ素を TBP 相に抽出分離した。水相は 10% クペロン溶液を加えて TBP を加え、1 分周りませた抽出分離し、抽出を 2 回くり返してアン

子モンをテルルから抽出分離した。

その結果、アンチモンの生成量は少なく、半減期より $^{129m}\text{Sb}$ が生成されたことが示されたが、分離したブラクエオンには減衰のためはっきり確認できなかった。テルルは生成量は少ないが、半減期として93日および115日の減衰がみられ、 $^{122}\text{Te}$ ,  $^{120m}\text{Te}$ であることがみとめられた。

京大化研  
近大原研重松 恒信, 田伏 正之, 松井 正和  
合田 四郎

アセチルアセトン, トリフルオロアセチルアセトンおよびベンゾイルトリフルオロアセトンを試薬として<sup>95</sup>Zr, <sup>95</sup>Nbの溶媒抽出挙動を調べ, <sup>95</sup>Zr-<sup>95</sup>Nbの分離をおこなった。

アセチルアセトン, トリフルオロアセチルアセトンは水溶液として加え反応させたのち抽出し, ベンゾイルトリフルオロアセトンの場合は, 試薬を溶解した有機溶媒を用いて抽出をおこなった。溶媒にはベンゼン, クロロホルム, 酢酸ブチルを使用し, 抽出率は井戸型 NaI (T1) シンチレーションカウンターによる放射能測定によつて求めた。

アセチルアセトン: Zrは5%アセチルアセトン, PH5~7においてベンゼン, クロロホルムには定量的に抽出されるが, Nbは少くもPH<7では完全に水層に残る。試薬濃度を高くするとZrの抽出PH域がやゝ広がるが抽出率には殆んど差がない。抽出溶媒としてはベンゼンがよく, クロロホルムも利用できるが酢酸ブチルはZrの抽出率が低く好ましくない。抽出有機層中のZrは0.2N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>によつて簡単に逆抽出される。

トリフルオロアセチルアセトン: Zrは0.5Mトリフルオロアセチルアセトン, ~0.2N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)溶液から定量的にベンゼン, クロロホルムで抽出され, この条件ではNbは抽出されない。有機溶媒層のZrは4N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 2N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 2N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+5% シュウ酸によつて逆抽出できる。

アセチルアセトンの場合より酸性側で抽出されるが, PH>2ではZrの一部が, またH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>が存在しない時はNbの一部が溶液から失われる。酢酸ブチルはZrの抽出率が低く抽出溶媒として不適當である。

ベンゾイルトリフルオロアセトン: 0.1Mベンゾイルトリフルオロアセトン-ベンゼンで~0.3N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液からZrは定量的に抽出されるが, クロロホルム溶液では抽出率が低く90%以下である。酢酸ブチル溶液ではさらに抽出率が低い。Nbはこの場合も抽出されない。

日本原子力研究所

梅沢弘一

$^{238}\text{U}(p, \alpha n)\text{Np}$  反応の断面積を測定するために、陽子で陽射したウランターゲットからネプツウムの分離定量を検討した。50 Mevまでの陽子エネルギーで生成するNpの核種は、質量数238から232位までがあるが、このうち半減期と壊変型が適当で、測定が容易であるのは $^{238}\text{Np}$ 、 $^{236}\text{Np}$ 、および $^{234}\text{Np}$ である。

報告されているNpの分離法は、多く熱中性子による核分裂生成物との分離であつて、高エネルギー核分裂生成物には、通常はほとんど生成しないSb, Sn, Cd等の元素の収率が大きいので、この点に多少留意しなければならぬ。又、分離操作中のNpの化学収率を求めするためには、短時間照射では長寿命核種の $^{237}\text{Np}$ はほとんど生成しないので、ターゲットの溶解のときに $^{237}\text{Np}$ を加えて化学収率を求めた、分離操作は次のとおりである。

$\text{U}_3\text{O}_8$  と Al はくからなるターゲットは、Ce と  $^{239}\text{Np}$  をよくお  $\text{HNO}_3$  と  $\text{HCl}$  の混酸にとかす。NaOH で水酸化物沈殿にして Al を分離し、6N HCl にとかし Zr を加えてスルファミン酸第一鉄で Np を還元して、フッ化セリウムに共沈させ、沈殿をとかし 4~6 N HCl にして Sb を加えて硫化アンモニウムの沈殿をつくる。上澄液は蒸発乾固し 0.2N HCl にとかし、スルファミン酸第一鉄を加えて H 型陽イオン交換樹脂柱に吸着させ、2N HCl, 0.01N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  を流した後、0.1N  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  で Np を分離する。こゝには $^{236}\text{Np}$ の娘核種の $^{236}\text{Pu}$ が共に分離されるので、蒸発乾固しシュウ酸を昇華させした後、0.1N HCl にとかし、スルファミン酸第一鉄を加えてルエニで希釈した 0.5M TTA 溶液で抽出する。Np(IV) が抽出され Pu(III) と分離できる。Np を抽出した TTA 溶液を白金板に Plating して  $\alpha$  と  $\beta$  の測定する。

$^{234}\text{Np}$  の壊変図形は甚だ不完全にしか報告されていない。  $^{235}\text{U}$  93% の濃縮ウランを用いて  $^{235}\text{U}(p, 2n)\text{Np}$  反応でつくった  $^{234}\text{Np}$  で標準試料をつくり、 $\gamma$ 線スペクトルの 1.58 Mev のピークをかつて相対測定を行った。標準試料の絶対測定は、X線と $\gamma$ 線の同時計数による方法と、井戸型 NaI シンチレータを用いて全計数を測る方法とで測定した。

$^{236}\text{Np}$  は半減期 22 日で壊変し、半減期 2.85y の  $\alpha$  放射体  $^{236}\text{Pu}$  になる。従つて  $^{236}\text{Np}$  は Np として分離して  $^{236}\text{Pu}$  の生成を測る方法と、ほとんど全部が  $^{236}\text{Pu}$  になる、だから分離して測る方法とがある。  $\alpha$  の測定は ZnS シンチレータと、2 $\pi$  比例計数管を用いて行った。  $\alpha$  線スペクトルは半導体検出器を用いて測定した。

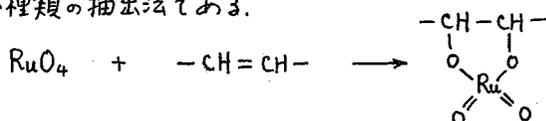
$^{238}\text{Np}$  は NaI シンチレータを用いて一定の位置で  $\gamma$ 線スペクトルを測り、1 Mev のピークによつて測定する。又、4 $\pi$  比例計数管で測定した  $^{238}\text{Np}$  の標準試料をつくり、これとの比較を行った。

名大理

田中元治・〇沢 楚璋・甲田善生

蒸留法、抽出法によってルテニウムを分離する方法は数多く報告されている。最近四酸化ルテニウムを四塩化炭素によって抽出する方法、過ルテニウム酸をピリジンで抽出する方法、チオシアン錯体を抽出する方法などについての報文が見られる。抽出法は蒸留法にくらべて簡単迅速であり、同程度あるいはそれ以上に正確であるという利点をもっている。

本論文では四酸化ルテニウムが有機化合物の二重結合に付加する反応を利用し、F.P.の混合物から放射性ルテニウムを分離定量することを試みた。反応はつぎの通りであって、本法は全く新しい種類の抽出法である。



抽出剤としては塩化ポリビニル(PVC)のニトロベンゼン溶液を用い、ルテニウムの酸化剤としては酸化銀(II)を用いてよい結果が得られた。

また天然水から放射性ルテニウムを分離するための前処理として水酸化銨(III)による共沈を検討した結果も述べる。

## 実験の部

### 試薬

- 1) Ru-106 溶液——Radiochemical Centre Amersham の塩化ルテニウム 106 (放射化学純度 > 99%)。硫酸を加えて蒸発乾固し、1N 硫酸で適当に希釈する。
- 2) 酸化銀(II)——硝酸銀とペルオキソニ硫酸アンモニウムから調製する。
- 3) 0.1% PVC ニトロベンゼン溶液——0.3g の PVC を 300 ml のニトロベンゼンに加熱しながら溶解する。

### 抽出操作

Ru-106 の溶液の 1N 硫酸酸性溶液 50 ml と 100 ml の分液漏斗にとり、酸化銀(II)を加えてルテニウムを四酸化ルテニウムに酸化し、10 ml の PVC ニトロベンゼン溶液で 2 回抽出する。一回の抽出時間はシェーカーで 5 分。有機相を合せて γ 線スペクトロメーターで計数する。

## 結果と考察

### 酸化銀(II)によるルテニウムの酸化

酸性における酸化剤としては酸化銀(II)が適当と思われる。すなわち常温で酸化が行な

われるから四酸化ルテニウムが失われる心配がなく、過剰の酸化剤が残らないからPVCが酸化されることがない。また酸化も迅速に行なわれ0.6gの酸化銀を用いれば酸化時間は10分でよい。

#### 四酸化ルテニウムの抽出

次表に各種ベンゼン誘導体およびヘキサンによる四酸化ルテニウムの抽出結果を示す。

|          | ニトロベンゼン | PVC=ニトロベンゼン | ベンゼン | トルエン | キシレン | シクロヘキサン | m-ヘキサン |
|----------|---------|-------------|------|------|------|---------|--------|
| 回収率%*    | 95.6    | >99.5       | 79.8 | 6.1  | 4.3  | ~99.5   | 34.9   |
| 分配比D     | 62.5    | 1000        | 9.0  | —    | —    | 21.8    | —      |
| ストリッピング% | —       | 62          | 30   | —    | —    | 77      | —      |

\* = 回の抽出相を合せたもの。

この表からわかるようにPVCのニトロベンゼン溶液は四酸化ルテニウムのすぐれた抽出剤である。分配比Dは1000で極めて大きいから、1N硫酸で数回抽出相を洗浄してもルテニウムの減少はほとんど見られない。この点分配比58.5の四塩化炭素よりも有利である。シクロヘキサンもよい抽出溶媒であるが、分配比が小さい。

ニトロベンゼンだけを抽出剤として用いた場合にも分配比は62.5で相当大きい。5分間ふりまぜて2回抽出した場合にも回収率は100%にならない。これは四酸化ルテニウムのベンゼン環の二重結合に付加する速度が脂肪酸の二重結合に付加する速度よりおそれたためであると考えられる。一方シクロヘキサンやm-ヘキサンによる抽出はほかの溶媒とは全く異なり、四塩化炭素による抽出と同様全く物理的な分配によるものと考えられる。

PVC=ニトロベンゼン相からルテニウムをストリッピングするのに有機相と同容の1N硫酸酸性過酸化水素を用いると、一回で60%以上が水相に移る。過酸化水素の代りに亜硫酸塩を用いても類似の結果が得られる。

#### ルテニウム-106の共沈

水酸化鉄(III)によって大量の試氷からも定量的にルテニウムが捕集されることがわかった。試氷中のルテニウムの状態がわからないので、試氷を酸性としてから $Fe^{2+}$ と $H_2O_2$ を加えてルテニウムの状態を一定(四價)にし、アンモニアでBCPの変色点まで中和する。

FP混合物から、共沈一抽出でRu-106を分離した場合、直接PVC=ニトロベンゼン溶液で抽出した場合、いずれも有機相の $\gamma$ 線スペクトルは純Ru-106—Rh-106のスペクトルを示し、その分配比も1000で純粋のRu-106を抽出した場合と同じである。

東工試

佐藤太一

## I. 目的

酸性有機リン化合物に中性有機リン化合物を添加した場合、その協同効果により酸性溶液からのウランの抽出能力はそれぞれを単独に用いた場合よりもはるかに大きくなるという現象が生ずる。<sup>1)</sup> この協同効果の機構については種々の意見<sup>1,2)</sup>が提出されているが、これらの間にはかなりの相違が認められいまだ定見がえられていない。よって本研究はこの協同効果の機構を明確にするため、既に発表したDi-(2-ethylhexyl)-phosphoric acid (DEHPA)による硫酸溶液中よりのウランの抽出系<sup>3)</sup>に対するTri-n-butyl phosphate (TBP)の協同効果につき検討した。

## II. 実験

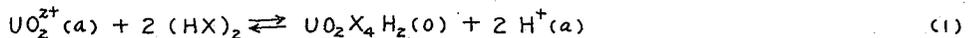
ケロシンを希釈剤としたDEHPAとTBPの混合溶液により、硫酸ウラニルの酸性水溶液の抽出を行なった。そして硫酸濃度、DEHPA濃度、ウラン濃度、抽出温度などの分配平衡値に及ぼす影響を調べた。またウランの抽出に伴う有機相の酸度の変化を測定した。さらに赤外線吸収スペクトルにより有機相中のウランの抽出状態を検討した。

## III. 結果

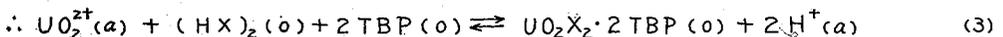
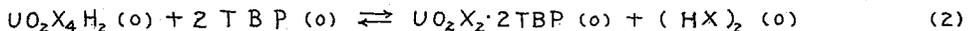
## a) TBP濃度、ウラン濃度およびDEHPA濃度の影響

協同効果はTBPの存在量がDEHPAに対し等量である場合にもつとも著しい。そしてTBPの存在による協同効果は水溶液相のウラン濃度が低い場合に大きく現われ、ウラン濃度が高い場合には硫酸濃度が低くなること逆に抽出を抑制する傾向を生ずる。

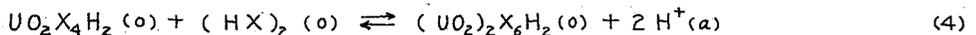
さらに分配係数のDEHPA濃度に対する依存性の検討を行なった結果、DEHPA-TBP系における協同効果は次の反応により行われるものであると思われた。すなわちDEHPAによるウランの抽出が



のようなイオン交換反応<sup>3)</sup>(ただし(a)および(o)はそれぞれ水溶液相および有機相を示し、X = (C<sub>8</sub>H<sub>17</sub>O)<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>である。)により行われる場合には、TBPの存在は



の反応を生じ抽出効果を増大させると推定された。しかしウラン濃度が高い場合、TBPの存在は



の反応におけるpolymeric U(VI)-DEHPA complexの生成を抑制するため、DEHPAの抽出効果を低下させる。

#### 6) 有機相中の酸度の変化

DEHPAとTBPの混合溶液でウランの抽出を行なった場合、有機相中のウランの濃度に対し有機相の酸度の減少量を図示すると  $\text{slope} = 2$  の直線関係が存在することがわかった。これは明らかに(3)式の平衡関係の成立を支持するものである。

#### 7) 赤外線吸収スペクトルによる検討

赤外線吸収スペクトルの測定結果からは、有機相中ではDEHPAとTBPは $(HX)_2$ ・TBPのような結合をしており、抽出されたウランはDEHPAの $P \rightarrow O$ と結合することが明らかとなった。すなわちウランの抽出によつてTBPの $1270\text{ cm}^{-1}$ における $P \rightarrow O$ の伸縮振動は影響を受けず、DEHPAの $1230\text{ cm}^{-1}$ の $P \rightarrow O$ の伸縮振動だけが長波長側に移動する。

#### 8) 抽出温度の影響

分配係数の抽出温度に対する依存性を調べた結果、抽出温度が上昇するに従つて分配係数は低下するが、DEHPA-TBP系の方がDEHPAの単一系よりも温度の依存性は著しく大きいことがわかった。そしてこれらの結果より、(3)および(1)式の反応熱を求めると、(3)式の場合は約 $50\text{ Kcal/mol}$ 、(1)式の方は数 $\text{Kcal/mol}$ <sup>3)</sup>であった。よつてウランの抽出により生成する錯化合物の安定度は $UO_2X_2 \cdot 2TBP > UO_2X_4H_2$ であると思われる。

#### 文 献

- 1) E. g., C. A. Blake, Jr., C. F. Baes, Jr., K. B. Brown, C. F. Coleman and J. C. White, *Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1958*, Vol. 28, p. 289, United Nations (1958).
- 2) E. g., A. M. Deane, J. Kennedy and P. G. Sammes, *Chem. & Ind.* 443 (1960); J. Kennedy and A. M. Deane, *J. Inorg. Nucl. Chem.* 19, 142 (1961); D. Dyrssen and L. Kuča, *Acta Chem. Scand.* 14, 1945 (1960).
- 3) T. Sato, *J. Inorg. Nucl. Chem.* 24, 699 (1962).

東工試

○佐藤太一・菊池昭二・西崎 誠

## I. 目的

既に Cyclohexyl-alkylamine は硫酸溶液からのウランの抽出剤として良好な性質を示すことを発表した。本研究ではさらにこの抽出系に対し、アミンの化学構造および有機溶媒の相違による抽出効果に及ぼす影響を調べ、またその抽出機構につき検討した結果を報告する。

## II. 実験

使用したアミンは表1のようなもので、種々の有機溶媒により希釈し、硫酸ウラニルの酸性水溶液の抽出を行なった。そして分配平衡値を調べ、また赤外線吸収スペクトルにより有機相中のウランの抽出状態を検討した。

## III. 結果

## (A) 各アミンの抽出能力の比較

希釈剤を変え各アミンによるウランの抽出能力を比較した結果を例示すると表2のようである。これらの結果から2級アミンの抽出能力は3級アミンのそれより大であり、側鎖の存在は抽出能力を低下させることがわかった。また希釈剤の種類により抽出能力は大きく左右されるが、有機溶媒の性状と抽出能力との間の関係は必ずしも簡單ではないと思われる。

表 1

| アミン               | 略号    | 構造  |
|-------------------|-------|---|
| n-dodecyl         | CDA   | $\langle \text{H} \rangle \text{NH}(\text{CH}_2)_{11}\text{CH}_3$                   |
| 2-ethylhexyl      | CEHA  | $\langle \text{H} \rangle \text{NHCH}_2\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$           |
| di-(n-dodecyl)    | CDDA  | $\langle \text{H} \rangle \text{N}[(\text{CH}_2)_{11}\text{CH}_3]_2$                |
| di-(2-ethylhexyl) | CDEHA | $\langle \text{H} \rangle \text{N}[\text{CH}_2\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)_2]_2$ |

表 2

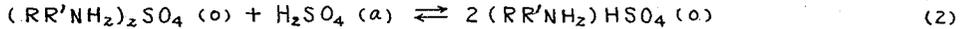
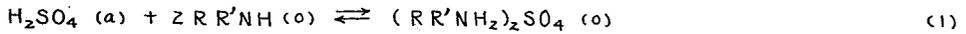
| 希釈剤     | CDA  | CEHA | CDDA | CDEHA |
|---------|------|------|------|-------|
| ベンゼン    | 99.0 | 12.5 | 97.1 | 34.2  |
| 四塩化炭素   | 98.4 | 5.75 | 97.7 | 74.1  |
| トルエン    | 98.5 | 3.84 | 98.2 | 3.00  |
| クロロホルム  | 99.4 | 93.0 | 73.5 | 34.2  |
| クロロベンゼン | ~100 | 96.2 | ~100 | 31.8  |
| ニトロベンゼン | 99.1 | 13.8 | 99.0 | 72.3  |

## (B) CDAによるウランの抽出

Cyclohexyl-alkylamineによるウランの抽出機構を検討するため、表2の結果からCDAのクロロホルムおよびベンゼン溶液を選び、より詳細に抽出実験を行なった。

## a) 硫酸の抽出

ウランの存在しない場合、硫酸はCDAと次の反応により有機相中へ抽出され、硫酸塩および重硫酸塩を形成する。



ただし (a) および (o) はそれぞれ水溶液相および有機相を示し、R は  $\text{C}_{12}\text{H}_{25}$ 、R' は *cyclohexyl* 基である。

b) 硫酸濃度、アミン濃度およびウラン濃度の影響

分配平衡値は水溶液の硫酸濃度の増加により大となり、硫酸濃度が 0.1 M 付近で最大値を示し、さらに高い硫酸濃度では逆に低下する。そしてこの傾向はアミン濃度の低下により不明瞭になることが認められた。

次に一定濃度の硫酸溶液中のウラン濃度を種々変化して、有機相中に抽出されるウラン量とアミン濃度との関係を調べた。その結果ウランと CDA は 1 : 4 の割合で結合することがわかった。なお同様な関係は硫酸濃度の高低に関係なく成立するものであることが、分配平衡値のアミン濃度に対する依存性の検討からも明らかである。

c) 赤外線吸収スペクトルによる検討およびウランの抽出機構

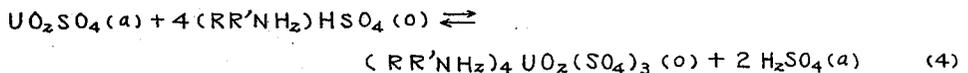
赤外線吸収スペクトルの測定結果から、有機相中における硫酸塩および重硫酸塩の存在がウランの抽出効果に大きな影響を及ぼすが、これら硫酸塩および重硫酸塩の形成は (1) および (2) 式で示されるように、水溶液相の硫酸濃度により左右されるということが確認された。またウランが抽出される場合は  $(\text{RR}'\text{NH}_2)_4 \text{UO}_2(\text{SO}_4)_3 (\text{OH}_2)_3$  のような化学量論的な組成をもつ錯化合物が生成されることが明らかになった。

よって以上の結果から次の抽出平衡が推定される。

(i) 硫酸濃度が低い場合



(ii) 硫酸濃度が高い場合



なお分配平衡値の温度変化の測定結果より、抽出平衡の反応熱を求めた結果それらの値はいずれも数 kcal/mol 程度であることがわかった。ゆえにこの抽出反応により生成される錯化合物の安定度は水素結合のそれと同程度であると考えられる。

文 献

- 1) T. Sato, J. Appl. Chem. 12, 130 (1962).

日本原子力研

市川富士夫

〔目的〕 水酸化鉄による放射性物質の共沈捕集については、広く研究されており、その機構についてもいくつかの型が示されている。本研究では、アンモニウム性水酸化鉄沈殿のカドミウムの共沈におよぼす種々の因子について検討し、特に、カドミウムの濃度による共沈率の変化、共沈におよぼす hold back carrier の効果について若干の知見を得たので報告する。

〔方法〕 (1) 無担体カドミウム—115の製造、無担体の $^{115}\text{Cd}$  ( $T_{1/2} = 5.3\text{h}$ ) は、ウランターゲットをサイクロトロンにより30～55 MeVの陽子照射を行い $^{238}\text{U}(p, xn f)$ 反応により出来た核分裂生成物からつぎの方法で分離した。すなわち、照射後のターゲット( $\text{U}_3\text{O}_8$ )を $\text{HNO}_3$ に溶解し30% TBP(ケロシン)でウランその他を除いた残液、又は、陽イオン交換樹脂で分族操作を行い0.75Nの $\text{HCl}$ で溶離したフラクション(本討論会1A4で夏目氏が報告する)のいづれかを原液とし、これにhold back carrierとして約20mgの $\text{Zn}^{2+}$ を加えて水酸化鉄沈殿をつくりその沈液から硫化水素で $\text{ZnS}$ を沈殿させて $^{115}\text{Cd}$ を共沈捕集した。さらに $\text{ZnS}$ を $\text{HCl}$ に溶解し3N  $\text{HCl}$ 溶液として $\text{Cl}^-$ 型陰イオン交換樹脂カラムに通し、3N  $\text{HCl}$ 、0.1N  $\text{HCl}$ で不純物放射能と担体の $\text{Zn}$ を洗い出し、最後に無担体のカドミウム—115を蒸留水で溶離した。この方法で得た $^{115}\text{Cd}$ は、 $\gamma$ 線スペクトルならびに $\beta$ 線による減衰を検討した結果、他の放射性不純物は検出されなかった。

(2) 水酸化鉄によるカドミウムの共沈率測定法; 10～15 ccの共沈付遠沈管に、 $\text{Fe}^{3+}$  (主として1 mg)、 $^{115}\text{Cd}$ 溶液、carrierとしての $\text{Cd}^{2+}$ 、hold back carrierとしての $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ などを加え、苛らしく調製した飽和アンモニア水の大過剰(又は $\text{NaOH}$ 溶液)で水酸化鉄沈殿をつくり、遠心分離後上澄液の放射能を( $^{115}\text{In}$ と平衡に達した後)シンチレーションカウンターで測定して添加した放射能と比べて共沈率を測定した。殆んどの実験は室温で行われたが、温度効果と時間変化の測定は恒温水槽中で行った。

〔結果〕カドミウムの共沈率におよぼす因子として、つぎの8項目について検討を行った。

① 溶液中の $\text{Cd}^{2+}$ 濃度、②  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ の量、③ pH、④  $\text{NH}_4^+$ 濃度、⑤ 共存イオンの種類と濃度、⑥ 温度、⑦ 共沈前の $\text{Fe}(\text{OH})_3$ の放置時間、⑧ 共沈後の $\text{Fe}(\text{OH})_3$ の放置時間  
得られた結果を列記すると、

① カドミウム濃度が無担体(約 $10^{-12}\text{M}$ )から $10^{-7}\text{M}$ までは共沈率はほとんど変化しないが、 $10^{-5}\text{M}$ から急激に共沈率が減少する。

② 無担体カドミウムの共沈率は $\text{Fe}(\text{OH})_3$ の量と対数比例の関係にあり、その比例定数は0.65である。

- ③ NaOH による沈殿では共沈率は pH に無関係に 100% 近いが、 $\text{NH}_4\text{OH}$  による沈殿では pH 10 までは 100% 共沈するが、それ以上では共沈率が急激に減少する。これは  $[\text{OH}^-]$  濃度によるよりもむしろ  $[\text{NH}_4^+]$  濃度の変化によるものと考えられる。
- ④  $[\text{NH}_4^+]$  濃度が 1 M 以下では共沈率は 100% であるが、1 M を越すと次第に低下し 9 M で約 5% になる。この事は Cd のアンミン錯塩の生成が共沈率の低下に影響するものと考えられる。
- ⑤ 共存イオンとして、やはりアンミン錯塩をつくる Co, Zn, Cu, Ni および Ba について、その濃度をいろいろと変えて無担体  $^{115}\text{Cd}$  の共沈率を調べた。Co, Zn とともに  $10^{-5}\text{M}$  以上では共沈率を次第に低下させ  $^{115}\text{Cd}$  に対する hold back carrier として有効である。Cu, Ni は同様な効果を示すが、Co, Zn とくらべてその程度は若干弱い。Ba の添加もまた Cd の共沈率を可成り低下させた。
- ⑥  $5^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$  の範囲で無担体カドミウムの共沈率を測定したところ、 $50^\circ\text{C}$  以下と  $60^\circ\text{C}$  以上とで共沈率の変化に断層が認められた。これが水酸化鉄の組成変化と関連があるか否かは検討中である。
- ⑦ 共沈前の水酸化鉄沈殿の放置時間は Cd の共沈率には無関係である。
- ⑧  $5^\circ\text{C}$ ,  $27^\circ\text{C}$ ,  $50^\circ\text{C}$  における Cd 共沈後の放置時間の影響を無担体  $^{115}\text{Cd}$  の場合 ( $10^{-12}\text{M}$ ) と  $10^{-2}\text{M}$  の場合について調べたところ、 $10^{-2}\text{M}$  では全温度にわたり共沈率の時間変化はなかった。しかし、 $10^{-12}\text{M}$  の場合には  $27^\circ\text{C}$  と  $50^\circ\text{C}$  では時間と共に共沈率が増加し、それぞれ 20 時間、100 時間で平衡値に達した。しかし、 $5^\circ\text{C}$  ではむしろ共沈率の減少傾向がみられた。

名工試, 愛工指

甲田 善生

○伊藤 正幸

〔目的〕放射性物質の鉄共沈法による分離において、従来、沈殿剤としては主としてアンモニアが用いられていた。

しかし $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ - $^{140}\text{La}$ の分離において、沈殿剤としてアンモニアを用いたときより、ピリジンをを用いたときの方がはるかにより分離率を示すことが見出された。<sup>1)2)</sup> 著者等は鉄共沈法による $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ の分離<sup>3)</sup>において沈殿剤として従来用いられていたアンモニアの代りにピリジンをを用いて行ってみた。

その結果は沈殿剤としてピリジンをを用いた場合、 $^{32}\text{P}$ と共に多量の $^{35}\text{S}$ が水酸化鉄と共沈し、アンモニアを用いた場合より、悪い分離率が得られた。

そこでその原因を種々検討してみた。まず $^{32}\text{P}$ および $^{35}\text{S}$ の水酸化鉄への共沈が溶液の水素イオン濃度によって、どのように変化するかを調べた。

〔方法〕実験は、(1)  $\text{H}_2^{35}\text{S O}_4$ が無担体に存在する場合、(2) 担体として $\text{SO}_4^{2-}$ イオンが存在する場合、(3)  $\text{H}_2^{32}\text{P O}_4$ が無担体に存在する場合、の各々について水素イオン濃度を $\text{pH}4 \sim 13$ に変化させて、吸着の傾向を調べた。一定の水素イオン濃度で沈殿させるために、 $\text{pH}4 \sim 5$ にはピリジン、 $\text{pH}5 \sim 6$ には $\alpha$ -ピコリン、 $\text{pH}7 \sim 8$ にはアンモニア、 $\text{pH}8 \sim 9$ にはベンジルアミン、 $\text{pH}10 \sim 11$ にはエチルアミン、 $\text{pH}12 \sim 13$ にはカセイソーダを用いた。実験方法としては、濃度既知の $^{35}\text{S}$ あるいは $^{32}\text{P}$ 試料液(約 $10,000 \text{ c.p.m./ml}$ の放射能を含むもの)、 $2 \text{ ml}$ を $10 \text{ ml}$ の遠心分離管にとり、これに塩化鉄溶液を $\text{Fe}^{3+}$ として $1 \text{ mg}$ 相当量加え、湯浴中で $70 \sim 80^\circ\text{C}$ に加熱したのち規定のピリジン、 $\alpha$ -ピコリン、アンモニア、ベンジルアミン、エチルアミン、カセイソーダ等の沈殿剤を加える。沈殿生成後、 $10$ 分以上加熱を続けた後、沈殿を遠心分離する。上澄液の水素イオン濃度を測る。

また上澄液の一定量をとり蒸発乾固して放射能を測る。沈殿は1回水洗後、口遊塔を用いて口紙上に集め洗浄する。沈殿は口紙と共に試皿に貼り付け、乾燥後、放射能を測定した。

〔結果〕口液の放射能は口液中に存在する沈殿剤が乾燥後、残留物を生じ、それによる吸収によって正確な値を示さず、それ故口液の放射能は参考値に止めた。

(1)  $\text{H}_2^{35}\text{S O}_4$ が無担体に存在する場合の水酸化鉄への共沈の割合は表-1の如くであり、 $\text{pH}6$ 以下では多量の $^{35}\text{S}$ が共沈する。

(2) 担体として $\text{SO}_4^{2-}$ イオンが存在する場合、 $\text{pH}8$ 以上では $^{35}\text{S}$ の共沈は認められず $\text{pH}5$ 程度では $\text{SO}_4^{2-}/\text{Fe}^{3+}$ のモル比に大体比例して $^{35}\text{S}$ が共沈するが、その大部分は口液に残る。

(3)  $\text{H}_2^{32}\text{P O}_4$ が無担体に存在する場合の水酸化鉄への共沈の割合は表-2の如くで

あり、 $pH$  11以下では $^{32}P$ は水酸化ホスフェートに共沈するが $pH$ がそれ以上に存在すると口液の方に $^{32}P$ が認められるようになる。

表-1  $H_2^{35}SO_4$ の場合

|                     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 水素イオン濃度 $pH$        | 4.6 | 5.4 | 5.8 | 6.2 | 7.4 | 8.4 | 8.8 | 9.2 | 10.4 | 11.0 | 12.0 | 13.0 |
| $Fe(OH)_3$ に共沈する割合% | 50  | 39  | 27  | 19  | 0.2 | 0.1 | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    |

表-2  $H_2^{32}PO_4$ の場合

|                     |     |     |      |      |
|---------------------|-----|-----|------|------|
| 水素イオン濃度 $pH$        | 4.6 | 8.0 | 11.0 | 13.0 |
| $Fe(OH)_3$ に共沈する割合% | 100 | 100 | 100  | 82   |

以上の結果から、分離に適する水素イオン濃度は $pH$  9~11の範囲であることがわかる。また、水酸化ホスフェートの $SO_4^{2-}$ 、 $PO_4^{3-}$ イオンの共沈は $OH^-$ イオンと拮抗していることがわかる。これは $Sr^{2+}$ 、 $Ba^{2+}$ イオンの共沈が水素イオンと拮抗するのと全く逆の現象であり、そのこと自体は当然のことと考えられるが、何故水酸化ホスフェートがこのような両面性を示すかについては討議を要すると思われた。

- 1) 甲田 第6回放射化学討論会(1962, 全沢)
- 2) 甲田, 高木 日本化学会第16年会(1963, 東京)
- 3) 池田長生他. アイソトープ実験技術 II 153

阪大工 ○品川睦明 大吉昭 大吉優美子 杉立載雄

負極液として有機酸を用い、正極液としてはイオン半径の異なる種々の陽イオンを含む溶液を用いて焦臭クロマトグラフ法を行った時の $^{137}\text{Cs}$ の挙動を調べ、 $^{137}\text{Cs}$ の定量について検討を行った。試料は $^{137}\text{CsCl}$ の0.1 M塩酸溶液で、比放射能が $10^5 \text{dpm/ml}$ 、ろ紙に塗着する量として0.04 mlを用いた。東洋ろ紙NO.50 (2×26 cm)の正極側から8 cmのところを中心として2 cmの中に試料を塗着し、この試料帯と接するように正極液および負極液を塗り、ろ紙の両端を正極室、負極室にかけ、中間部を四塩化炭素に浸し、冷却して通電した。通電後ろ紙を赤外線ランプ下で乾燥し、ALOKA製のクロマトグラムスキャナーで $^{137}\text{Cs}$ の放射線にもとづくクロマトグラムを得、さらにFuji X線フィルムにろ紙を密着させてオートラジオグラフを得た。次にオートラジオグラフと比較してろ紙を切断し、次の5部分について $^{137}\text{Cs}$ の $\gamma$ 線を計数した。これによりろ紙上に分布した $^{137}\text{Cs}$ の放射能の百分率を求めた。1. 正極側から試料帯まで (7 cm), 2. 試料帯 (2 cm) 3. 試料帯から $^{137}\text{Cs}$ の焦臭帯まで, 4. 焦臭帯 5. 焦臭帯から負極側。焦臭帯の移動距離は試料帯の中心から焦臭帯の中心までをもって示し、焦臭帯はクロマトグラムの $^{137}\text{Cs}$ のピークの半値中をもって示した。

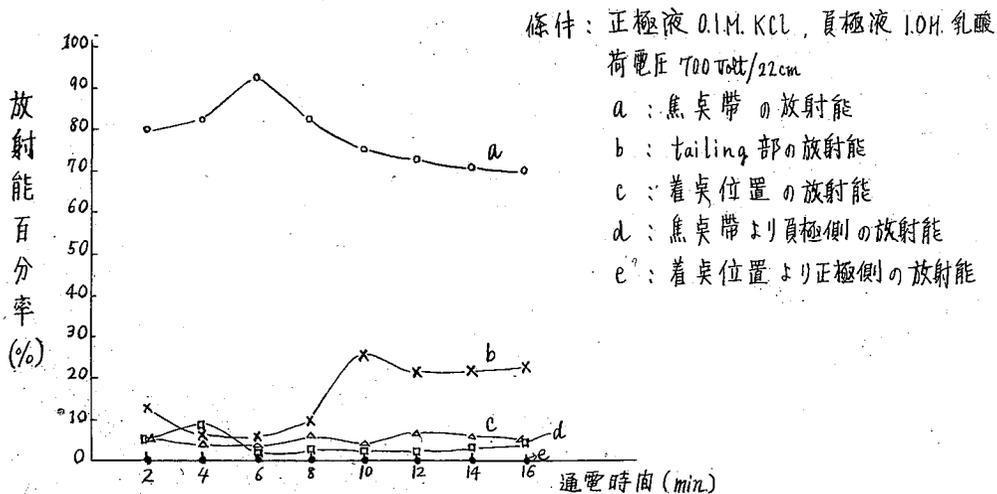
結果と考察：1 焦臭帯と移動距離 負極液として乳酸の1 M溶液 (pH 1.55) を用い、正極液を変化させて得た例を次表に示す。

| 組成                 | 正極液            |      | 通電時間<br>(分) | 移動距離<br>(cm) | 焦臭帯<br>(mm) | 焦臭帯の放射能<br>百分率 (%) |
|--------------------|----------------|------|-------------|--------------|-------------|--------------------|
|                    | 濃度(M/L)        | pH   |             |              |             |                    |
| HCl                | 0.1            | 1.0  | 10          | 11.1         | 28          | —                  |
|                    |                |      | 15          | 11.8         | 40          | —                  |
| HCl<br>NaCl        | 0.001<br>0.099 | 3.0  | 10          | 8.0          | 6           | 77                 |
|                    |                |      | 15          | 10.3         | 8           | 72                 |
| NaCl               | 0.1            | 5.3  | 10          | 8.4          | 4           | 67                 |
|                    |                |      | 16          | 12.6         | 4           | 73                 |
| NaOH               | 0.1            | 12.8 | 10          | 8.3          | 7           | 78                 |
|                    |                |      | 15          | 12.2         | 8           | 73                 |
| LiCl               | 0.1            | 3.9  | 10          | 8.2          | 6           | 53                 |
|                    |                |      | 16          | 12.3         | 5           | 66                 |
| KCl                | 0.1            | 4.8  | 10          | 8.5          | 5           | 74                 |
|                    |                |      | 16          | 13.7         | 4           | 71                 |
| NH <sub>4</sub> Cl | 0.1            | 5.1  | 10          | 10.9         | 10          | 73                 |
|                    |                |      | 16          | 14.6         | 7           | 72                 |

従来電気泳動法によれば、試料帯は一般に泳動により拡散する。焦臭クロマトグラフ法による場合でも試料帯の拡散(少くとも試料を塗った中2cmよりひろがる)が起る場合がある。上表の最初の例がそれを示す。他の例では焦臭帯が試料帯の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{5}$ の中に濃縮されている。我々は典型的な錯形成による焦臭化、すなわち錯焦臭化とこれに対する泳動焦臭化の二種の焦臭化現象を考える。 $^{137}\text{Cs}$ の場合は後者が優勢であり、焦臭化の度合は正極液の陽イオンの種類および溶液のpHに依存することが上表よりうかがえる。 $\text{Cs}^+$ より水和イオン半径の大きい $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ などのイオンの易動度は $\text{Cs}^+$ より小さく、 $\text{Cs}^+$ に近い支持イオンの場合ほど $\text{Cs}^+$ の焦臭化は良好であり、 $\text{Cs}^+$ よりも半径が極度に小さく、易動度が極度に大きい水素イオン支持の場合は $\text{Cs}^+$ の焦臭帯が拡散する傾向にある。このほかpHが焦臭化に及ぼす影響も見のがせない。上表のHCl, NaCl, NaOH系の一連のデータを見ると、焦臭化度の増加には至適pHがあると考えられる。また焦臭帯の中は正極液が塩の溶液である場合、通電時間とともに拡大せず細くなる傾向が見られた。

2 焦臭帯の位置  $^{137}\text{Cs}$ の焦臭帯の位置は上表によると一定値を示さず、正極液中の陽イオンの易動度が関与しているものと思われる。

3 通電後の放射能分布 ろ紙上で $^{137}\text{Cs}$ の放射能分布は大部分が焦臭帯にあり50~80%を示す。その他の部分は試料の着床位置と焦臭帯の中間部に多く分布し、全着床放射能の40%に達する例があった。そのほか試料着床部と焦臭帯より負極側にも数%分布し、正極側へはほとんど移行していない。その一例を次図に示す。



放 医 研 ○河村正一, 伊沢正実

薄層クロマトグラフ法はE. Stahlによつて創始され, ひろく有機物の分離法として, 最近, 急速に普及されつつある。しかし, この反面, 無機物に対する分離法としての応用は, 現在のところ少ない。Seilerはシリカゲルを吸着体として, 重金属, ハロゲン, アルカリ金属などの分離をおこない, 滝谷は陽イオンの一斉分析をおこなっている。この方法は一見, ペーパークロマトグラフ法と操作, 応用など類似している。しかしながら迅速に分離でき, 分離が良好で任意に吸着剤の成分を変えることができるなどの特長を有する。演者らは $^{90}\text{Zr}$ - $^{95}\text{Nb}$ ,  $\text{IO}_4^-$ - $\text{IO}_3^-$ - $\text{I}^-$ の分離にこの方法を適用し分離の可能性をしらべた。

#### プレート の 作 り 方

シリカゲル G; 三角フラスコにメルク製シリカゲル G の 2 倍量の水を加え, シリカゲル G をはげしくかきまぜながら, 少量づつ加えてペースト状とする。Desaga 社の Applicator で厚さ 0.25 mm に調節しガラス板上に塗布した。

シリカゲル - でんぷん; メルク製シリカゲルまたは和光ゲル (no binder) を (1:1) 塩酸で処理して水洗, ベンゼンで洗つて  $120^\circ\text{C}$ , 2 時間で乾燥する。200~300 ヶッシュをふるいわけ。シリカゲルの重量の 5% の可溶性でんぷんを, シリカゲルの 1~2 倍の水に加える。この中に精製したシリカゲルを少量づつ加えてペースト状とする。これを前述の方法で厚さ 0.25 mm にガラス板上に塗布した。

Dowex 50 x 8; あらかじめ conditioning したのち 3 N 塩酸で処理し, 水洗, 0.2 N 塩酸で処理し水洗, 乾燥した。この 5 g に可溶性でんぷん 5 g, 水 8 g を加えて前述の方法でガラス板上に塗布した。

Amberlite IRA-400; あらかじめ conditioning したのち必要に応じて処理し水洗, 乾燥した。これを Dowex 50 x 8 に準じてプレートを作った。

リン酸ジルコニウム; リン酸 64 g を含む 4 N 塩酸 500 ml の中にオキシ塩化ジルコニウム 30 g を含む 4 N 塩酸 200 ml を少量づつ加える。水洗, 乾燥後,  $50^\circ\text{C}$ , 24 時間, 乾燥する。粉碎して, ふるいこぶつて 200~300 ヶッシュを集める。この 15 g に可溶性でんぷん 15 g, 水 20 cc を加えて前述の方法でガラス板上に塗布した。

試 料  $^{90}\text{Zr}$ - $^{95}\text{Nb}$  は日本放射性同位元素協会を通じて輸入配分されたものを持ちいた。 $\text{KIO}_4$ ,  $\text{KIO}_3$ ,  $\text{KI}$  は市販の特級品で 0.05 M 溶液とした。試料は吸着剤を塗布したプレートの下端より 2.5 cm のところにつけて展開槽中で上昇法により展開した。

検 出 法 RI の検出はスリットをつけた G. M カウンターでおこなった。 $\text{KIO}_4$ ,  $\text{KIO}_3$  は濃塩酸およびヨードカリ溶液を噴霧して発色させた。 $\text{KI}$  は過酸化水素水で発色させた。

## 結 果

$IO_4^-$ ,  $IO_3^-$ ,  $I^-$  の分離 (1) シリカゲル—でんぷん, およびシリカゲルGを吸着剤として 1M NaOH, 1M NaHCO<sub>3</sub> を展開剤にすると分離できなかった (2) 2N HCl で飽和した Buthanol を展開剤とすると, シリカゲルGでは  $IO_4^-$ ,  $IO_3^-$ ,  $I^-$  は相互分離できない。しかしシリカゲル—でんぷんでは  $IO_4^-$ ,  $IO_3^-$  は原点にとどまり  $I^-$  は移動するので,  $I^-$  と  $IO_4^-$  および  $IO_3^-$  の分離は可能である。(3) アセトン—水 (9:1) を展開剤とすると  $IO_4^-$  と  $IO_3^-$  とは完全に分離できる。しかしシリカゲル—でんぷんは分離できない。

| 展開剤 \ 吸着剤   | シリカゲル—でんぷん                             | シリカゲルG                                 |
|---|--|--|
| 1 M NaOH  | —                                      | —                                      |
| 1 M NaHCO <sub>3</sub>  | —                                      | —                                      |
| Buthanol-2N HCl   | $I^- \leftrightarrow (IO_3^-, IO_4^-)$ | —                                      |
| Acetone-Water (9:1)   | —                                      | $IO_4^- \leftrightarrow IO_3^-$        |
| Buthanol-1.5N NH <sub>4</sub> OH                                      | $I^- \leftrightarrow (IO_3^-, IO_4^-)$ | $I^- \leftrightarrow (IO_3^-, IO_4^-)$ |
| Buthanol-C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH-water (2:2:1)               | —                                      | $IO_4^- \leftrightarrow I^-$           |
| C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH-water-15N NH <sub>4</sub> OH (6:2:7) | —                                      | —                                      |
| Buthanol-20% CH <sub>3</sub> COOH                                     | $I^- \leftrightarrow (IO_4^-, IO_3^-)$ | $I^- \leftrightarrow (IO_4^-, IO_3^-)$ |

(4) Buthanol-1.5N NH<sub>4</sub>OH を展開剤とすると, シリカゲルG, シリカゲル—でんぷんともに, 原点に  $IO_4^-$ ,  $IO_3^-$  がとどまり,  $I^-$  が移動する。したがって  $I^-$  と  $IO_4^-$  あるいは  $I^-$  と  $IO_3^-$  は分離できる。(5) Buthanol-C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH-Water (2:2:1) はシリカゲルGで  $IO_4^-$  と  $I^-$  の分離ができる。(6) 20% 酢酸で飽和した Buthanol を展開剤とすると  $I^-$  と  $IO_4^-$ ,  $I^-$  と  $IO_3^-$  の分離ができる。以上の結果をまとめると右の表のようになる。

## <sup>95</sup>Zr と <sup>95</sup>Nb の分離

(1) シリカゲルG, シリカゲル—でんぷんを吸着剤として分離の検討をおこなったが, 分離できなかった。

(2) Dowex 50 × 8 のプレートを用い, 0.2N 塩酸を展開剤とすると, 分離するが不完全であった。イオン交換樹脂のメッシュの大きさ, でんぷんの添加量, 結合剤, 溶離剤などの検討をおこなう必要がある。

(3) シュウ酸型の陰イオン交換樹脂による分離を試みた。カラム法に比べて溶離液の濃度を大きくすると, 分離はよくなる。しかしシュウ酸の濃度を増すと樹脂が吸湿性を帯びるので取扱い難くなる。

日本原子力研究所 矢島 聖使, 柴 是行, ○半田 宗男

演者らは、ここ二年間セラミック燃料から拡散する核分裂ヨウ素の化学形について、サーモクロマトグラフを用いて研究して、次の実験結果を得た。1)核分裂ヨウ素の化学形は従来考えられていたヨウ素元素ではなく、ヨウ化物である。2)その化学種は核分裂物質(ウランまたはトリウム)のヨウ化物である。3)核分裂ヨウ素とヨウ素-131でラベルしたヨウ化ウランの酸素との反応を対比して研究した結果は全く一致する。4)ヨウ化ウランがヨウ素元素まで酸化される過程に400°C, 300°C, 200°Cに近い融点をもつ酸化中間体が存在する。

ウラン、ヨウ素、および酸素の三元素間の化合物に関する文献を調査した結果、溶液中においてUranyl iodide ( $UO_2I_2$ )およびその附加化合物( $UO_2I_2 \cdot 2NH_3$ ,  $UO_2I_2 \cdot BiI_3$ )などの存在することがわかったが、上記三元素間の化合物を固体状態で分離した報告はみられなかった。本研究ではサーモクロマトグラフ法によりウラン、ヨウ素および酸素の三元素間化合物を得たので、その化学形の決定について報告する。

まず400°Cに近い融点をもつ酸化中間体の化学組成についてのべる。実験は400°Cに加熱された石英粉末表面に沈着した化合物を室温まで冷却した後、石英管を切断して取り出し、すみやかにアルカリ溶液の中に入れる。この操作でヨウ素はすべて安定なヨウ化カリウムになる。この溶液を分液ロートに移し、硝酸を加えて酸性溶液とした後、ヨウ素を四塩化炭素で抽出した。ヨウ素を含んで、赤紫色に着色した四塩化炭素を直接575m $\mu$ の波長で比色分析を行ないヨウ素を定量した。次にヨウ素を抽出した残液に硫酸を加えて加熱し、硝酸を完全に追い出した後、炭酸根を含まないアンモニア水でpH調整を行ない、オキシゲンを加えてウランをクロロホルムで抽出した。黄色に着色したクロロホルム層を380m $\mu$ の波長を用いて比色分析を行ない、ウランを定量した。

酸素は実験前後における担体ガス中の酸素濃度をガスクロマトグラフで分析し定量した実験結果をTable 1に示す。

Table 1. 400°Cに近い融点をもつ酸化中間体の化学組成

|   | 実験 (1)                         | 実験 (2)                         |
|---|--------------------------------|--------------------------------|
| U | $1.02 \times 10^{-4}$ $\mu$ 原子 | $1.16 \times 10^{-4}$ $\mu$ 原子 |
| O | $2.05 \times 10^{-4}$ "        | $2.16 \times 10^{-4}$ "        |
| I | $3.51 \times 10^{-4}$ "        | $4.17 \times 10^{-4}$ "        |

Tableに示したように、400°Cに近い融点をもつ中間体の化学組成は $UO_2I_4$ である。この化合物の水溶液はU(IV)に特有な緑色を示した。

原 研

矢島聖使・柴是行・半田宗男

原子炉燃料より拡散する核分裂生成物の化学形を知ること、燃料要素を測定することは重要なことである。従ってここでは核分裂生成物を捕獲した黒鉛より拡散するヨウ素-131はヨウ化物であることを明らかにし、この化合物はヨウ化ウランであると推定した。今回はウラン金属およびその酸化物より拡散するヨウ素-131の化学形について研究した。

試料のウラン金属および酸化物粉末は空气中で容易に酸化されるので、試料は他の調整から照射、拡散実験に至る全過程を真空または不活性ガス雰囲気で行われた。ウラン金属粉末は坩堝の酸素化 $\rightleftharpoons$ 加熱分解(2回)サイクルによって作った。UO<sub>2</sub> ~ U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>の各種酸化物は水素還元によって得たUO<sub>2</sub>を酸化することにより調整した。試料粉末はすべて石英製グレーカブルに入れ真空封入し、JRR-1またはJRR-2において中性子照射した。

%比は、試料量が少ないこと(100~400 mg)および重量が測定できないことを考慮して同一試料におけるUO<sub>2</sub>  $\xrightarrow{O_2}$  U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 反応の酸素消費量およびUO<sub>2</sub>  $\xrightarrow{O_2}$  U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 反応の酸素消費量をそれぞれ測定し、計算により求めた。

拡散実験には1000°Cから室温に至るまで一定の温度勾配(15°C/cm)を持ったサーモフロマトグラフを用いた。石英管(φ6mm)に脱ガスした黒鉛粉末を充填し、その上部に照射試料を置き、精製アルゴンガスを通じつつ1000°Cに2時間加熱した。拡散した核分裂ヨウ素は担体ガスに運ばれて、その化学形に対応した温度において黒鉛表面に沈着する。加熱終了後石英管を一定のスリットを付けた線検出器をスキャンさせることにより沈着位置を測定した。

次の実験結果があらわにされた。

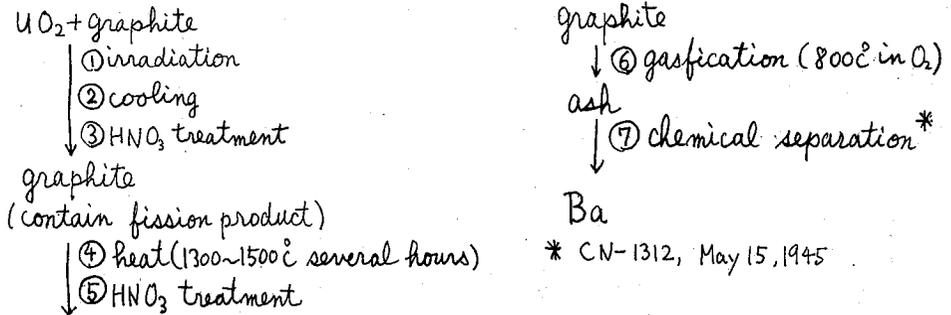
- 1). 金属ウランよりヨウ素-131は拡散しない(拡散率は $10^{-4}$ 以下)しかし微量の酸素が共存するとU<sub>13</sub>あるいはU<sub>14</sub>およびこれらの酸化生成物の形でヨウ素-131は放出される。
- 2). 各種ウラン酸化物より拡散するヨウ素-131はU<sub>13</sub>あるいはU<sub>14</sub>およびこれらの酸化生成物の形で拡散し%比の増大とともにその拡散量は増加する。

原研

○大道敏彦, 柴是行, 上田隆三

黒鉛分散型原子炉燃料において、核分裂の際、黒鉛に反跳捕獲された  $Ba^{140}$  の挙動を検討するために行なった実験である。

酸化ウランと黒鉛粉末（粒子径、約 5~10  $\mu$ ）混合物を原子炉で照射してから、 $Ba^{140}$  を分離するまでの過程は下図のようである。



このようにして分離した  $Ba$  を、 $\gamma$ 線スペクトロメーターにかけ、別に拡散させない標準試料のそれと比較して、 $Ba^{140}$  の母の  $La^{140}$  を測定することによって定量し、黒鉛中の  $Ba^{140}$  の残存量を求め、温度をパラメーターとして、 $Ba^{140}$  の残存量を加熱時間の函数として得た。

$Ba^{140}$  の拡散は、上記のような方法で、1300°C においても充分測定出来る程の大きさであり、1400°C、3時間の加熱でほとんどの  $Ba^{140}$  が黒鉛の外に拡散するのが認められた。

$Ba^{140}$  の黒鉛中の拡散定数  $D$  は、黒鉛粉末を球体と仮定すれば

$$f = 6 \left( \frac{Dt}{\pi a^2} \right)^{\frac{1}{2}} - 3 \frac{Dt}{a^2} \quad \begin{array}{l} f: \text{fraction of initial concentration released} \\ a: \text{radius of particle} \end{array}$$

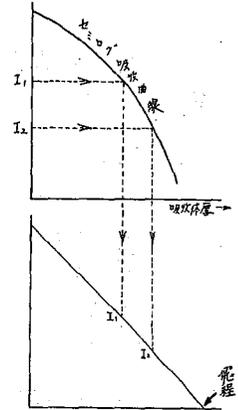
より求められ、1400°C では、 $\sim 2.5 \times 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{sec}$  の値をとり、1300°C では  $\sim 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{sec}$  と変わった。この温度範囲における拡散の活性化エネルギーは、70~80  $\text{Kcal/mole}$  であった。

口頭発表の際には、黒鉛中に  $Ba$  がどのように拡散するか、および 1300°C ~ 1500°C 付近における  $Ba^{140}$  以外の核分裂生成物の挙動の定性的な考察を行おう予定である。

阪大理\* 大阪府立公経研\*\*

音在清輝\* 〇林 智\*\*

ベータ線の最大エネルギーを決定するために、アルミニウム吸収体による計数率の減少を測定する方法は、簡便であつてしげれば用いられる。したがつてそのような吸収データの解析の手段も、古くから種々提案されているが、一般に簡便さと誤差の小ささの結果のえられることとが両立しない。ここに提案する方法は、特別な解析紙を製作し、それに吸収データをプロットすることによつて、上の矛盾を解決しようとしたものである。その場合、2種以上のベータ線が混在する複合スペクトルを解析できることをも、一つの重要な目標にした。

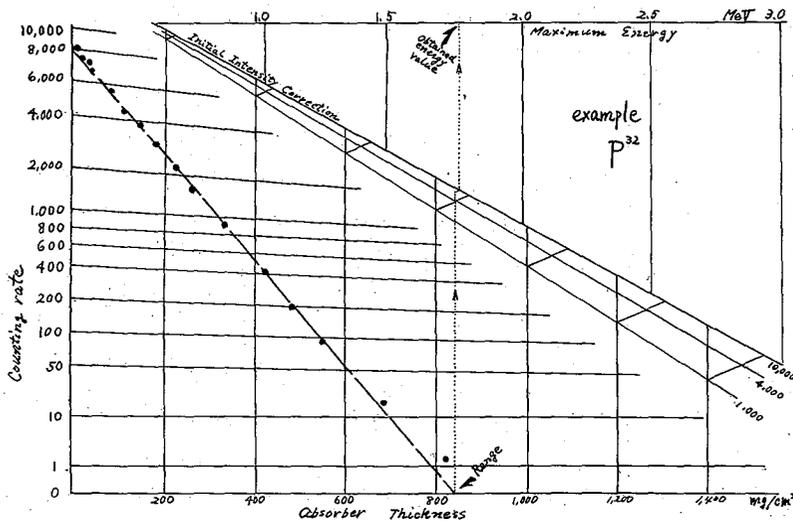


1. 解析紙の製作

Bleuler-Zürcher<sup>†</sup>における標準曲線から、半理論的な標準吸収曲線を再現する。この片対数プロットは、電流において縦軸に平行な直線に漸次的に弯曲するが、これを完全に直線化するために方眼紙の目盛の方を変形することとし、右上図の操作を用いた。複合スペクトルの解析という点に留意して種々の検討をした結果、2 MeV および 3 MeV の標準吸収曲線を直線化することにし、対応する強度の点を結んで左右に延長することにより、下図のような解析紙を製作した。通常GMで測定が行われることを考慮し、初期強度が10,000であるとしてつくつてある。

2. 再現標準吸収曲線による解析紙の検定

Bleuler-Zürcher<sup>†</sup>の標準曲線の性質から、



解析紙によつて、 $\beta$ 放射、Z(残留核原子番号)=20、許容遷移の場合の、最大エネルギー 2 MeV 及び 3 MeV の吸収データが、初期強度が10,000としてプロットされるときにのみ理想的に直線化される筈である。それでは種々の再現標準吸収曲線を用い、(a) エネル

ギーが 0.5 MeV, 1 MeV, 1.5 MeV, 2.5 MeV である場合の直線性の低下が、必要な程度に小さいことを確かめ、このときの飛程から横軸にエネルギースケールを目盛つた。

(b) 初期強度が 10,000 より小さいときの直線性の低下が必要なだけ小さいことを確かめその場合の飛程のずれについては、これと補正する曲線群を付属せしめた。(c) ~~又~~20 のとき、又  $\beta^+$  放出のときの直線性の低下が必要な程度に小さいことを確かめ、又その場合の飛程のずれについても同様であることを確かめた。

3. 実験と解析  $P^{32}$ ,  $Sr^{90}-Y^{90}$ ,  $RaE$ ,  $Au^{198}$ ,  $Na^{24}$ ,  $K^{42}$ ,  $Cs^{137}$ ,  $W^{187}$ ,  $W^{185}$  のなるべく比較射能の高い試料を、Mylar 膜上につけ ( $\phi \approx 3 \text{ mm}$ ) 倒立した GM 管ローブから 5 cm の距離に固定し、吸収体は GM の窓上に直接のせることにして、あらゆる散乱と自己吸収とを極力避けるようにした。また別にスタンド中での測定も行った。えられたデータは製作した解析紙によって解析を行うと同時に、既存の数種の方法†によっても解析し、それらの方法の性能を比較した。

4. 結果、議論、結論 えられたエネルギーの値(複合スペクトルのものにおいては最大エネルギー成分の)を表に示す。この結果から精度、正確度ともに、Feather 法†あるいは Bleuler-Zunti 法†の程度に達していることがわかる。また簡便さの点では目測法とほとんど変わらない。複合スペクトルの解析に関しては非常にすぐれており、指数関数分解の要領を用い、 $Sr^{90}-Y^{90}$ ,  $W^{187}$  の場合など極めて満足すべき結果がえられた。又あきらかに吸収法の限界をこえている  $Cs^{137}$  の場合にも、その状況の説明が可能であった。

本法は実験条件の影響が大きいことの特徴がある。スタンド内測定、ステンレスバッキングにおける測定において一般的にそのえられるエネルギー値の低下は 2~3% の程度であった。しかし散乱による見かけの軟成分の増加は当然プロットにあらわれるから、成分解析の場合など殊にガンマ線の共存があつたりするときは、強度の点については注意が必要である。以上ベータ放出核種の放射比学的分析の一手段としてリアルミニウム吸収データ解析法として、ここに提案した方法は、簡便さ、結果の信頼性、複合成分解析の3点について、ほぼ所期の目的を達したものである。

| Nuclide | Literature value | Visual method | Half-thickness method † | Feather's method † | Bleuler-Zunti's method † | Barreira-Laranjeira's method † | Harley-Hallden's method † | The presented method |
|---------|------------------|---------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------|
| P-32    | 1.71             | ~2.0          | 1.8 (+5)                | standard           | 1.76 (+3)                | 1.78 (+4)                      | standard                  | 1.76 (+3)            |
| Y-90    | 2.26             | ~2.3          | 2.8 (+22)               | 2.27 (0)           | 2.35 (+4)                | 2.33 (+3)                      | 2.3 (+2)                  | 2.43 (+8)            |
| Ra E    | 1.16             | ~1.1          | 0.88 (-24)              | 1.06 (-9)          | 1.10 (-5)                | 1.21 (+4)                      | 1.1 (-5)                  | 1.09 (-5)            |
| Au-198  | 0.96             | ~1.1          | 0.95 (-1)               | 1.04 (+8)          | 1.00 (+4)                | 1.08 (+13)                     | 1.1 (+4)                  | 0.98 (+2)            |
| Na-24   | 1.39             | ~1.3          | 1.3 (-10)               | 1.37 (-1)          | 1.39 (0)                 | 1.49 (+7)                      | 1.3 (-7)                  | 1.40 (+1)            |
| K-42    | 3.55             | ~3.2          | 3.4 (-4)                | 3.56 (0)           | 3.57 (+1)                | 3.62 (+2)                      | 3.7 (+4)                  | 3.60 (+2)            |
| W-187   | 1.33             | ~1.1          | meaningless             | impossible         | impossible               | meaningless                    | 1.4 (+5)                  | 1.33 (0)             |
| W-185   | 0.43             | ~0.5          | 0.39 (-9)               | 0.40 (-8)          | impossible               | 0.46 (+7)                      | 0.45 (+5)                 | 0.37 (-14)           |

Presented energy values are in MeV and the values in parentheses are the differences from the literature values in per cent.

† 既存の解析法については 林-音在, 同位体と放射線, 83 (1960) 参照

公衆衛生院

○山根 登, 岩島 清

Table 2. Pickup efficiency of  $^{132}\text{Cs}$  by solid ammonium molybdophosphate in acid media

| Sample          | Volume of solution (l) | Weight of A.M.P. (g) | Pickup efficiency (%) |
|-----------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| Milk ash(1)     | 0.1                    | 0.1                  | 88.9                  |
| " (2)           | 0.1                    | 0.1                  | 82.6                  |
| Total diet(1)   | 0.1                    | 0.1                  | 82.8                  |
| " (2)           | 0.1                    | 0.1                  | 79.8                  |
| Soil extract(1) | 1.0                    | 1.0                  | 76.7                  |
| " (2)           | 1.0                    | 1.0                  | 77.1                  |
| Urine           | 1.0                    | 1.0                  | 71.5                  |
| Fallout extract | 0.2                    | 1.0                  | 100                   |

Table 3. Contamination of  $^{137}\text{Cs}$ -ammonium molybdophosphate with other radionuclides in acid media(0.1g A.M.P./100ml sea-water)

| Tracer                                | Contamination % of applied radioactivity | Specific activity of the tracer c/g |
|---------------------------------------|--|-------------------------------------|
| $^{51}\text{Cr}$                      | 1.6                                      | 51.6                                |
| $^{54}\text{Mn}$                      | <0.14                                    | 1.0                                 |
| $^{60}\text{Co}$                      | <0.40                                    | 5.0                                 |
| $^{65}\text{Zn}$                      | <0.10                                    | 1.2                                 |
| $^{89}\text{Sr}$                      | <0.50                                    | C.F.                                |
| $^{91}\text{Y}$                       | 2.3                                      | C.F.                                |
| $^{95}\text{Zr}$ - $^{95}\text{Nb}$   | 11.8                                     | C.F.                                |
| $^{106}\text{Ru}$ - $^{106}\text{Rh}$ | <0.17                                    | C.F.                                |
| $^{144}\text{Ce}$                     | 0.38                                     | C.F.                                |

ことと利用せざるを得ない。

(1) GM-counter による場合 3 cm鉛シールド付の大口径( $\phi 5$  cm)GM管を使用して(B.G. 27.cpm)  $^{137}\text{Cs}$  の測定をおこなう場合を考え、土壌の塩酸抽出液、人尿、フォールアウトの塩酸抽出液につき、 $^{132}\text{Cs}$  の既知量を加え、(存在する  $^{137}\text{Cs}$  の10倍程度)1gのリンモリブデン酸アンモニウムに吸着させて濾過し試料皿( $\phi 5$  cm)に移し、直ちに測定して  $^{132}\text{Cs}$  の収率を求め、約2ヶ月放置後  $^{137}\text{Cs}$  を測定する。(測定効率  $14.6 \pm 0.6\%$ )

(2) ガンマススペクトロメトリによる海水中の  $^{137}\text{Cs}$  の定量 海水100Lに  $^{132}\text{Cs}$  数百 $\mu\text{pc}$  を加え、濃 HCl 500gを加えに後リンモリブデン酸アンモニウム 90gを加えてかきまぜ一夜放置後濾過する。3×3" NaI 上におき測定、収率を求める。2ヶ月後に再び測定し、既知量の  $^{137}\text{Cs}$  の場合と比較する。5月14日江の島沖  $35^{\circ}16'N$ ,  $139^{\circ}28'E$  の海水で 0.2 $\mu\text{pc}/l$  の値が得られた(Chlorinity 18.2%)。

リンモリブデン酸アンモニウムのセシウムに対する選択的なイオン交換吸着作用を放射性セシウムの捕集に利用することは、既に発表したが、苛酷な条件下で収率が減る場合に、非放射性セシウムを担体として加えることは吸着の能率を妨害するので好ましくない。そこで  $^{132}\text{Cs}$  をスパイクとして利用することを考えた。これは原子力研究所RI製造研究室で試作された(No.302,T3011)もので使用時の Specific activityは  $1\text{-lmc/g Cs}$ 、放射化学的純度は満足すべきもので、半減期 6.8日と測定された。 $^{137}\text{Cs}$  の定量には GM-counter によるものとガンマススペクトロメトリによるものと二通りが考えられるが( $^{137}\text{Cs}$ :  $\gamma$  0.66,  $\beta$  0.51Mev)  $^{132}\text{Cs}$  は  $\text{no } \beta^-$  はあるが EC であるため、GM-counter に感ずる。また  $^{132}\text{Cs}$  の  $\gamma$  は 0.67 Mev で  $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$  と一致する。従って  $^{132}\text{Cs}$  の短半減期である

1) N.Yamagata et al., J.Atomic Energy Soc.Japan 4, 534-9 (1962)

東芝中研

藤井 勲, 井上多門, 武藤 治夫

## 1. まえがき

$\gamma$ 線スペクトロメトリは(1) $\gamma$ 線スペクトルの構造が単純である, (2)マルチチャンネル波高分析器を用いれば簡単にスペクトルを観測することができる, (3)測定試料の調製が簡単であるなど多くの利点をもっている。放射化学における測定手段として広く用いられている。しかし、この方法の欠点は現在の検出方式を用いる限り、分解能を $\sim 7\%$ 以上とするのが困難なことで、分解能以内に近接したエネルギーの $\gamma$ 線を放出する二つ以上の核種を同定するには全く別の手段、すなわち半減期の測定、化学分離などによらなければならない。特に  $E_{\gamma}, T_{1/2}$  がそれぞれ接近し、しかも  $T_{1/2}$  が小で化学分離が困難な二つ以上の核種が共存するときは、従来の $\gamma$ 線スペクトロメトリは、各成分の同定に無力であるといえよう。

ここでは、Fourier変換によつて $\gamma$ 線スペクトルの解析をおこない、事実上 $\gamma$ 線スペクトロメータの分解能を5倍にし、従来の方法では不可能であつた混合物の成分核種の同定に成功した。その典型的な例として、 $^{141m}\text{Nd}$  ( $T_{1/2}$ : 64秒,  $E_{\gamma}$ : 760KeV)と $^{139m}\text{Ce}$  ( $T_{1/2}$ : 59秒,  $E_{\gamma}$ : 740KeV)の混合物の $\gamma$ 線スペクトルの解析をとりあげて報告する。

## 2. 原理

全測定系を Black-Box と考え、入力、及び出力の関係のみに着目する。入力として $\gamma$ 線のスペクトル分布、出力としてパルス波高分析器の波高分布を考える。入力、出力間に線型性が成立するならば(実際に成立する)任意の波型  $f(E)$  の入力に対する出力波高分布  $g(E)$  は  $\delta(E)$  (単位衝撃波)の入力に対する出力  $h(E)$  を用いて次の如く表す事が出来る。すなわち、 $g(E) = \int_{-\infty}^{\infty} f(E') h(E-E') dE'$ 。この関係は  $f(E), g(E), h(E)$  の Fourier 変換  $F(\omega), G(\omega), H(\omega)$  を用いて簡単に表す事が出来る。すなわち、 $F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-i\omega E) f(E) dE, \dots$  とすれば  $G(\omega) = F(\omega) \cdot H(\omega)$  となる。 $\gamma$ 線スペクトロメトリで得られる情報は、上で述べた  $g(E)$  であり、我々はこれをもとにして  $f(E)$  を知ろうとするのである。上の式から明らかのように  $h(E)$  あるいはこの Fourier 変換  $H(\omega)$  が知れば  $G(\omega) / H(\omega)$  より  $F(\omega)$  が知れ、これの Fourier 逆変換により  $f(E)$  が知れる事となる。 $h(E)$  は単色 $\gamma$ 線に対する出力であり、これは容易に求まるものである。以上の操作を行う事により入力分布  $f(E)$  が求められる。すなわち、近接ピークの本数、そのエネルギー間隔、放射能の強さの比がわかる。 $F(\omega)$  に於ても近接ピークの存在、そのエネルギー間隔を知る事が出来る。すなわち、二本の近接ピーク(エネルギー  $E_1$  及び  $E_2$ ) の入力は  $f(E) = \delta(E-E_1) + \delta(E-E_2)$  の形に表されこの Fourier 変換は  $F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(E) \exp(-i\omega E) dE = \exp(-iE_1\omega) + \exp(-iE_2\omega)$ 、但し  $E_1 \approx E_2$  となり、これは周波数の微かに異なる振動の和であり  $2\pi / (E_1 - E_2) = \omega$  に於て  $F(\omega)$  はピークを持つ。したがつて  $|F(\omega)| = |G(\omega) / H(\omega)|$  をプロットする事により近接ピークの本数及びそのエネルギー間隔また適当な数学的考察により放射能の強さの比もわかる。

### 3. 実験

#### (1) セリウムとネオジムの同位体とその核的性質

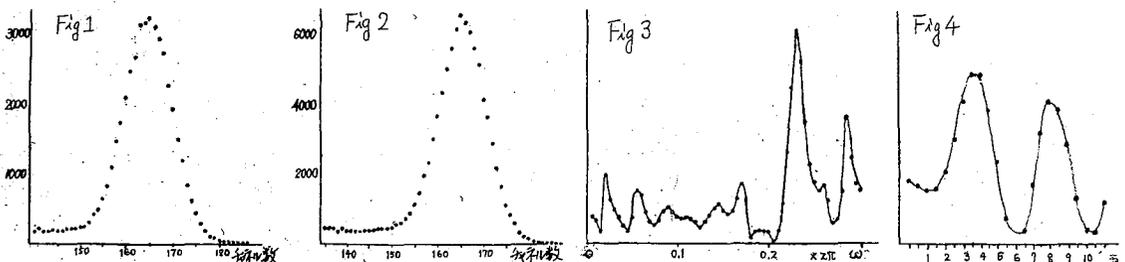
$^{139m}\text{Ce}$  および  $^{141m}\text{Nd}$  は天然の核種から 14 MeV 中性子を利用して製造した。反応は  $(n, 2n)$  反応である。酸化ネオジウム, 酸化セリウムに 14 MeV 中性子を衝撃させたとき(約1分間), 生成される放射性核種は  $^{139m}\text{Ce}$  と  $^{141m}\text{Nd}$  である。他の核種の生成は通常の方法では観測できなかった。

#### (2) $^{139m}\text{Ce}$ および $^{141m}\text{Nd}$ の製造と $r$ 線スペクトルの測定

酸化セリウム (American Potash 製) 約 2 g をポリエチレン製容器に入れ,  $10^{10}$  n/s の出力 (東芝製 14 MeV 中性子発生装置 NT-20 型) で 60 秒間中性子衝撃をおこなった。衝撃終了後, 容器を気送管で測定位置に戻し 30 秒放置した後\* 256 チャンネル波高分析器 (東芝製 多重波高分析器 B D S - 34201 型,  $13\frac{3}{4} \times 2$ " 沃化ナトリウム結晶, 東芝光電子増倍管 7309) を用い 60 秒間  $r$  線スペクトルを観測した。このデータをプリンタで記録した。次に酸化ネオジウム (American Potash 製) についても同様に放射化し, 先に得られた  $^{139m}\text{Ce}$  のスペクトル上にそれと同程度の量の  $^{141m}\text{Nd}$  のスペクトルを重畳させた。このデータもプリンタに記録した。 $r$  線スペクトルの測定に当って試料とシンチレータの関係位置は分解能を良くするためコリメータと組合せたかたちにした。

#### 4. データの処理

図(1)に単色  $r$  線 ( $^{141m}\text{Nd}$ ) に対する出力波高分布  $h(\omega)$  を示す。このピークの半値巾は約 12 チャンネル (60 KeV) であり  $^{139m}\text{Ce}$  及び  $^{141m}\text{Nd}$  のピークの差は 4 チャンネル (20 KeV) でありこの混合スペクトルは従来の方法では分解できない。 $^{139m}\text{Ce}$  及び  $^{141m}\text{Nd}$  の混合したものの入力  $f(\omega)$  に対する出力波高分布  $g(\omega)$  を図(2)に示す。これで見られる様に二本のピーグの分離は一見不可能の如く思われる。 $h(\omega)$  及び  $g(\omega)$  の Fourier 変換は IBM-7090 を用いて行つた。図(3)にそれぞれの Fourier 変換の比  $G(\omega)/H(\omega) = F(\omega)$  の絶対値を示す。ここで明らかの様  $\omega \approx 1.45$  に於てピークが見られ, これに対するエネルギー間隔は  $^{139m}\text{Ce}$  及び  $^{141m}\text{Nd}$  の  $r$  線のエネルギー (文献値) の差 20 KeV に一致する。 $\omega$  が 2.5 程度を超えると振動が激しくなり, これよりも高周波の部分に対しては誤差が大きくなる。この限界の値をエネルギー間隔に直せば  $\Delta E \approx 2.5$  チャンネルであり, この方法を用いて分解能が従来のものの  $12/2.5 \approx 5$  倍に迄上つた事を意味する。 $F(\omega)$  を Fourier 逆変換したものを図(4)に示す。これより入射  $r$  線の本数, エネルギー間隔, 放射能の割合までも容易に知れる。



\* 160 から同時に生成される  $^{16}\text{N}$  (7.35 秒) の放射能を減衰させるために行つた。

井上, 吉岡, シンチレーションカウンタの分解能のレスポンス函数表示 第5回日本アイソトープ会議報文集 3-133  $\frac{1}{4}$  -23

原子力事業

○ 高木 仁三郎 後藤 征一郎

演者等は、これまで表面障壁 (Surface barrier) 型半導体放射線検出器の製作を試みており、すでに 38 年 4 月の原子力学会年会において報告<sup>(1)</sup>を行つたが、今回はその後の改良、測定の結果について報告する。

1. エッチングを施した比抵抗約  $2\ \Omega$ , 厚さ  $200 - 250\ \mu$  の N 型シリコンウエファーに、 $40\ \mu\text{g}/\text{cm}^2$  の金を真空蒸着し、裏面はシリコンにニッケルを無電メッキして、こゝからはんだづけで電極をとり、表面は金の部分から銀ペーストによりリードをとつた。製作法について新たに改良を加えた点は、裏面のニッケルの Contact の部分で、この Contact の不完全さにより生じていた大きな雑音を減少せしめることを工夫した結果、シリコンにニッケルメッキを施してから  $600 - 700^\circ\text{C}$  で 10 分間ニッケルを焼きつけることにより良好な結果を得ることが出来た。検出器の有効面積が  $0.2 - 1\ \text{cm}^2$  のものでは、逆電圧 40V 程度で電流は  $1\ \mu\text{A}$  以下である。この検出器では、Po - 210 の 5.3 MeV のアルファに対して S/N は 200 - 300/1 となり、半値巾は 50 KeV 以下に抑えられ、良い条件のもとでは 37 KeV (0.7%) に達する。(測定系を含めて)。

2. イオンヴァンデグラフにより加速した 1 ~ 4 MeV のプロトンをもちいて測定した結果と、アルファ粒子をもちいた測定の結果により 1 ~ 9 MeV 迄のエネルギー範囲における直線性が確かめられた。又、検出器の印加電圧を変化させて入射粒子が検出器をつきぬけて波高値の減少する点を求めることにより、印加電圧に対する空乏層 (depletion layer) の長さが確かめられた。こゝに得られた検出器は耐圧 50 - 60 V であるがこの逆電圧印加のもとでは、空乏層ののびは、 $150 - 200\ \mu$  となるが、これは約 20 MeV 迄のアルファ粒子を測定出来ることを意味している。更に厚いウエファーをもちいることにより、より高エネルギーの粒子を測定することも可能である。

3.  $\alpha$  粒子、陽子、中性子 (原子炉熱中性子) を用いた測定により、検出器の表面に存在すると思われる不感部分 (表面層) の厚さ、検出器の経時変化、放射線による劣化等についても検討したので、あわせて報告する。

(1) 後藤, 高木 昭和 38 年度日本原子力学会講演 C.30

都立大理  
日本無線

○ 村松三男・徳永昇・佐々木恒孝

トリチウムの放射能測定法としては、従来、<sup>1)</sup> gas-phase counting, <sup>2)</sup> liquid scintillation, <sup>3)</sup> solid counting 等があり、それぞれの特長を利用して、各種の研究分野に用いられている。これらの研究室では、トリチウムの極軟β線を利用して、界面に存在するトリチウム標識物質の性質や挙動を追跡し<sup>1)</sup>をり、このための手段として、solid countingの研究開発を進めてきた。この法は、試料を薄膜に採取することにより、一般的にトリチウム放射能測定法として応用できる。また、トリチウム水、その他の標識液体の放射能測定にも広い用途をもつことが予想され、簡易な操作と試料の一般性、さらには、他法のより高価な設備を必要としない点に特長がある。<sup>2)</sup>

従来のこれらの法では、薄膜試料を windowless flow counter に入れ、適当に水分を含有させたプロパンを通じながら、トリチウム放射能を計数したが、<sup>3)</sup>このため、flow gas と接する界面における薄膜の挙動を測ることができなくなり、界面現象としては、やや一般性に乏しい。また、検出器内に試料を入れるため、広い面についての放射能測定には利用できない欠点をもち、<sup>4)</sup>

これらの欠点を除去し、いかなる大きさの、いかなる界面にも利用できるトリチウム計数法として、scintillation phosphor film を光電子増倍管の窓に貼りつけ、β線と光電子に換えて測定する方法の可能性を検討した。その原理は通常の scintillation counting と変らないが、極軟β線であるから、なるべく薄い、なるべく光収率のよい、均一な scintillation film を使うのが望ましい。また、scintilla のパルスが低いから、計数装置の discrimination level を低くせねばならず、このため、なるべく thermal noise の少ない光電子増倍管を使用した必要がある。

### 実 験 方 法

検出器は、厚さ 0.03 - 0.04 mm の plastic scintillator film と RMI 9536a (全直径 51 mm 陰極直径 44 mm、陰極 Cs-Sb) 光電子増倍管の窓にはりつけたものを用いた。この検出器の外側は窓と平行して、(間隔 1 mm) tritiated stearic acid (比放射能 9.5 c/mole)<sup>4)</sup> を均一に塗らせた試料を置き、全装置を完全密閉した恒温箱に入れて測定を行った。計数には日本無線理工学研、LA-10 linear amplifier と PA-22 pulse height analyzer, two channels を用いた。

### 実 験 結 果

<sup>1)</sup> 計数特性 特性曲線 (back ground と差込み) は窓と scintillator との間をシリコン油<sup>2)</sup>で密着 (optical coupling) させない場合、計数最大の至適電圧は約 1025 V 付近にあるもの。

2) optical coupling の効果. optical couplingすることにより, 上記の至適電圧は約 85 V 低くなり, 同時に計数効率も約 45% 増大する。約 900 V の印加電圧から thermal noise が急激に増加することを考慮すると, この 85 V のずれは, かなり大きい効果をもつ。

3) 温度の影響 温度をあげると, 前記の至適電圧の値は変化するが, 予想されたように, 雑音 (ほとんど光電子増倍管による) は急激に増大し, 計数効率は若干下りた。したがって温度は低いほど良いが, 実用上の利便からいうと, 成可く室温に近いことが望ましい。

4) 試料の量との関係. 計数率は印加電圧の値に無関係に試料の量に正比例し, 本法がトリチウム計数法として有望なことを示している。

5) liquid scintillation との比較  $10^{\circ}\text{C}$  において, 同じ光電子増倍管, 同じ計数装置を用いて比較した結果, 本法による特性曲線は liquid scintillation によるそれにくらべ, 全般に 85 V ほど, 低電圧側にずれていることが知られた。したがって, 至適電圧における雑音は本法の方がかなり少ない。最大の検知係数 (detection coefficient, cpm/dpm) は liquid scintillation で約 15%, 本法で約 13% であった。放射線源から scintillator までの間における  $\beta$  線の吸収 (約 50%) と, scintillator の半分の光電面と向いていることを考えると, この値は, 本法がかなり有効であることを示すものがある。

Film scintillation による放射能計数は, 硬  $\beta$  線の低バックグラウンド測定用として, 近年開発されつつあるが<sup>5)</sup> 適当な光電子増倍管と scintillation film との組合せにより, トリチウム測定用として有望であることを, 本実験で示された。

### 3) 用 文 献

- 1) 田島和夫, 佐々木恒寿, 村松三男, オ4回日本アイソトープ会議, 1961, p. 631; コロイド化学討論会講演, 昭和37年10月, 岡山大学 Bull. Chem. Soc. Japan, 36, 700 (1963)
- 2) M. Muramatsu and T. Sasaki, Science, 131, 302 (1960)
- 3) 村松三男, 佐々木恒寿, オ3回日本アイソトープ会議, 1959, p. 453
- 4) 村松三男, 藤井 敏, 佐々木恒寿, Radioisotopes, 10, 100 (1961)
- 5) J. H. Harley, N. A. Hallden, and I. M. Fisenne, Nucleonics, 20, No. 1, 59 (1962)

武蔵工大原研

○ 北 小 芳 明 大 繩 知 英

原子炉実験孔には核分裂による中性子と、核分裂と同時に放出されるγ線とが、核分裂生成物からのγ線とが、(n, γ)反応による捕獲γ線等が同時に存在する。よって原子炉で放射線源として化学、物理学、生物学等の実験をする場合、実験結果を正しく判断するには、実験孔の中性子束とγ線線量率がわかっていなければならない。そこでTRIGA II型原子炉の二つの実験孔、回転試料棚と気送管において中性子束とγ線線量率の測定を行った。

1. 中性子束の測定

中性子はそのエネルギーから熱中性子、共鳴中性子、速中性子の三つに分けられる。熱中性子とはカドミウムにより遮蔽される0.4 eV以下のエネルギーを指すものであり、共鳴中性子とは0.4 eVから1 MeVまでのものであり、速中性子束とは1 MeV以上のエネルギーを意味する。中性子束の測定方法にはBF<sub>3</sub>計数管、核分裂計数管等の装置によるものが、実験孔の細部にわたる測定は困難である。又化学的測定方法は水溶液等を用いるのであまり小さな容積にすぎることができず、容器の破損等の場合には実験孔の腐食などの危険性がある。そこでこの実験においては最も簡単に取扱える放射線物質の誘導放射能より求める方法を採用した。熱中性子束の測定には金箔と炭酸コバルトを照射し、(n, γ)反応によって生成する<sup>198</sup>Auと<sup>60</sup>Coの放射能より、速中性子束は<sup>59</sup>Fe検出体として硫酸と硝酸エッチャルを照射し、<sup>32</sup>S(n, p)<sup>32</sup>P, <sup>58</sup>Ni(n, p)<sup>58</sup>Co反応より生成する<sup>32</sup>Pと<sup>58</sup>Coの放射能より求めた。又速中性子束の放射化断面はC. E. Mellishの測定値を用いた。次の二つの結果を示す。

Table 1. 気送管の中性子束

|       | 出力(kW) | 照射物質 | 量(mg) | 半減期(d) | レシオ値    | 照射時間(h) | 放射化断面  | 中性子束 $\mu/cm^2\text{-sec}$ |
|-------|--------|------|-------|--------|---------|---------|--------|----------------------------|
| 熱中性子束 | 100    | 金箔   | 56.9  | 2.677  |         | 10      | 96 b   | $8.9 \times 10^{11}$       |
| 速中性子束 | 100    | 硫黄   | 51.5  | 14.22  | > 1 MeV | 10      | 60 mb  | $6.3 \times 10^{11}$       |
|       |        |      |       |        |         |         | カドミウム比 | 2.6                        |

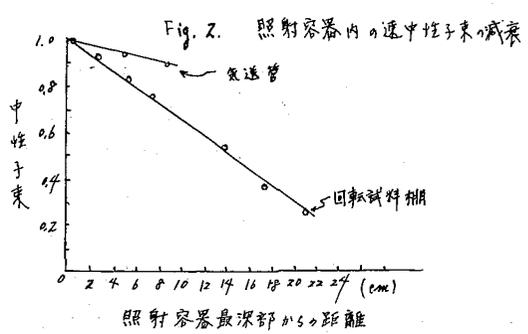
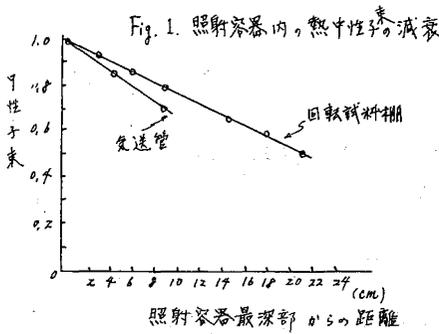
Table 2. 回転試料棚の中性子束

|       | 出力(kW) | 照射物質 | 量(mg) | 照射時間(h) | 中性子束 ( $\mu/cm^2\text{-sec}$ ) |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
|-------|--------|------|-------|---------|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|       |        |      |       |         | カドミウム比                         | 1上                   | 1下                   | 9                    | 17                   | 25                   | 33                   |
| 熱中性子束 | 100    | 金箔   | 約40   | 1       |                                | $3.0 \times 10^{11}$ | $4.2 \times 10^{11}$ | $5.0 \times 10^{11}$ | $4.9 \times 10^{11}$ | $4.9 \times 10^{11}$ | $4.8 \times 10^{11}$ |
| 速中性子束 | 100    | 硫黄   | 約50   | 1       |                                | $2.0 \times 10^{10}$ | $4.0 \times 10^{10}$ | $3.9 \times 10^{10}$ | $4.4 \times 10^{10}$ | $5.2 \times 10^{10}$ | $6.5 \times 10^{10}$ |
|       |        |      |       |         | カドミウム比                         | 9.5                  | 9.3                  | 9.3                  | 7.0                  | 6.4                  | 6.0                  |

2. 照射容器内の熱中性子束、速中性子束の減衰

回転試料棚には内径2.2 cm、長さ13.5 cmの容器が上下二個はあり、気送管には内径1.4 cm、長さ10.5 cmのものが一個はいる。そこで実際放射化分析等を行うに当たっては同じ照射容器内の中性子束の減衰の程度を知っておく必要がある。そこで熱中性子束は金箔を、速中性子束は硫酸を照射することによりその減衰の程度を調べた。

図1. 2から明らかのように速中性子束は回転試料棚の方が減衰の割合が大きく、熱中性子の場合には逆に気送管の減衰が大きい。



3.  $\gamma$ 線線量率の測定

線量測定方法としての物理的なものとして電離槽を用いるもの、放射線エネルギーの吸収による媒質の温度上昇を測定するカロリメトリックによる方法等がある。これ等は特殊な装置を必要とし、特に電離槽の場合には高線量率の測定には適しないので、実験孔内の線量測定には不適当である。一方化学的線量測定方法とは線量計の放射線による化学変化量を測定することによって吸収線量を求めるものであるが、最も広く用いられておるものとして鉄線量計とセリウム線量計がある。これ等は化学線量計は高線量率の測定に適しており、鉄線量計の場合総線量が  $4 \times 10^4 \sim 5 \times 10^7$  の範囲で、セリウム線量計は  $5 \times 10^4 \sim 10^8$  までを測定でき、特別の装置等を必要とせず実験孔内の線量測定を容易に行うことができる。Table 3 に鉄線量計とセリウム線量計により求めた回転試料棚の線量率の測定結果を示す。

Table 3 回転試料棚の $\gamma$ 線線量率

| 出力 (kW) | 測定方法    | G 値  | 照 射 時 間 (min) | 線量率 $r/hr$        |
|---------|---------|------|---------------|-------------------|
| 1       | 鉄線量計    | 15.5 | 30            | $1.5 \times 10^7$ |
| 5       | 鉄線量計    | 15.5 | 10            | $7.5 \times 10^7$ |
| 10      | 鉄線量計    | 15.5 | 5             | $1.5 \times 10^8$ |
| 100     | セリウム線量計 | 2.5  | 15            | $2.0 \times 10^6$ |

Table 3 から明らかであるように

$\gamma$ 線線量率は炉出力に比例して増加しており、100 kW においては約  $10^6 r/hr$  に達して

いる。ここで実験孔内には $\gamma$ 線のほか中性子も存在しており、特に遅中性子は水と作用して反跳陽子を生ずる。これは $\gamma$ 線と同様に線量計に作用する。したがって算出された $\gamma$ 線線量率の中には自然中性子による影響が含まれることになる。炉運転停止時における $\gamma$ 線線量率の測定を行ったが、総運転量 4461 kWh における回転試料棚の線量率は  $200 r/hr$  である。

参考文献

1) J. C. Roy, J. J. Hawton, CRC-1003, 1960.

TRIGA II型原子炉：米國ゼネラルダイナミクス社製、濃縮ウラン固体均質、水冷却型  
熱出力 100 kW

原子力研究所

○ 亀本雄一郎, 山岸 滋

1. 中性子放射化分析においては試料と標準試料とを並べて照射し、照射後試料中の目的元素の放射能を標準試料のそれと比較する比較法により定量する場合がほとんどである。この比較法においては試料と標準試料とに均一な中性子照射が行われなければならない。試料に中性子しゃへいの影響がみられれば誤差を生ずることになる。この誤差をさげるためには標準試料として試料自体に既知量の目的元素を加えたものを使用するか、“mock”試料を使用するか、或は内部標準法により補正する等の手段がとられている。しかし操作の簡便さのために目的元素の一定量を標準試料として用いる場合も多く、試料として中性子しゃへいの起らない程度の量を用いさえすれば、実際上分析に充分な精度で定量することが出来る。演者らは試料ごとに中性子しゃへいの起らない量の範囲を実験的に求める繁雑さを避け、照射する試料の最適量を簡単に見出す手段を見つける目的で研究をはじめ、すでに銀、金、アンチモン、クロム、水銀については次式がなりたつことを報告した。

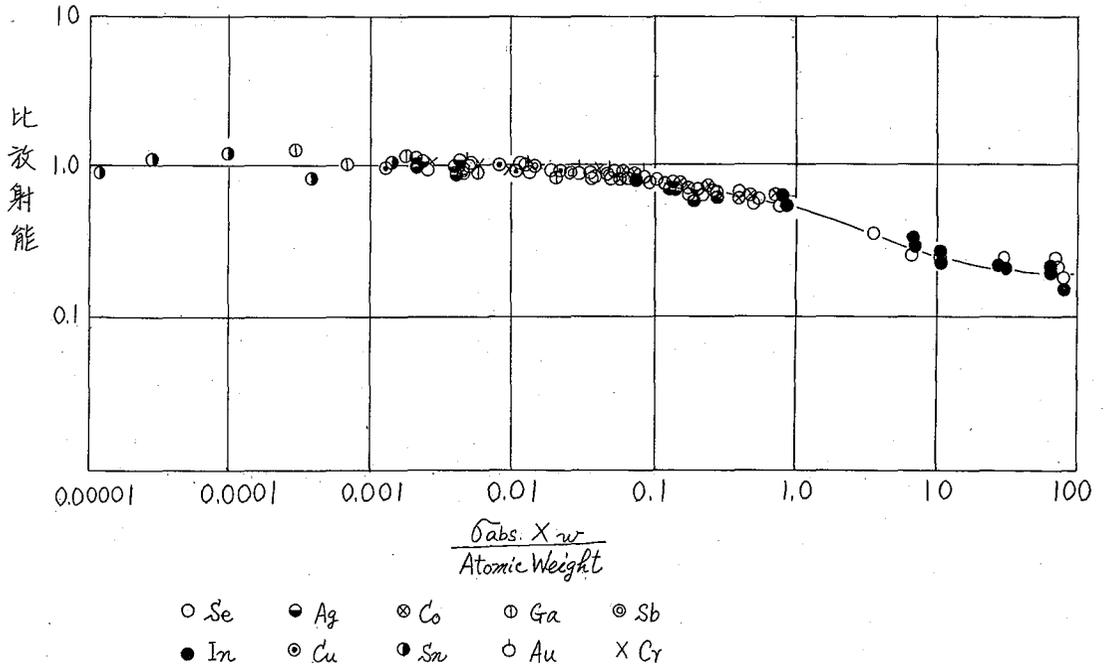
$$\frac{\text{中性子しゃへいの起る量}(g) \times \text{中性子吸収断面積}(barn)}{\text{試料の原子量}} = 0.02 \sim 0.04$$

しかし試料が球形でないこと、実験例が少なかったことなどの理由で概略の関係式を示すにとどまった。今回はそれ以後の実験結果について報告する。

2. 試料としてセレン、銀、コバルト、カリウム、アンチモン、インジウム、銅、スズ、金、クロムの金属塊を用い、融解、研磨などの方法によりなるべく球形に近い種々な量の試料を作成した。各試料は表面を充分洗浄したのち、それぞれポリエチレン製の袋に封入した。同種の試料は同一の照射用カプセルに入れ、JRR-1原子炉中で中性子束約  $3 \times 10^{14} n/cm^2/sec$  で中性子照射を行なった。照射時間は試料によって異なるが20分間～2時間程度である。照射後試料をとりだし、それぞれ水酸に溶解し、正確にラすめ、一部をとり出しポリエチレン製棒状ビンに移し、 $1\frac{3}{4} \times 2$  インチまたは  $3 \times 3$  インチ NaI シンチレータにマウントし、RCL-256 チャンネル線波高分析器によりγ線スペクトルを測定した。光電ピークの高さを求め各試料の比放射能を計算した。この比放射能と中性子吸収断面積  $\times$  試料の質量 / 試料の原子量 (以後この比をEとあらわす) とをプロットする。Eの小さい所では比放射能は一定値を示すので、この比放射能の値をもとにして、すべての実験データをノーマライズし、同一グラフ上にプロットし直すことができる。このようにして得た曲線を図に示す。

3. いま比放射能が10%減少した時の試料の質量を  $W_{10}$  とあらわし、中性子しゃへいがあらわれはじめた量とするときよりわかるように次の関係がなりたつ。

$$\sigma_{abs} \times W_{10} / \text{試料の原子量} = 0.03 \quad (\sigma_{abs}: \text{中性子吸収断面積}(barn))$$



したがってこの式により中性子しゃへいの起りはじめる量をあらかじめ計算で求めることができる。演者らはJRR-3原子炉のインパイルループのステンレス鋼による中性子束の減少のデータと本式による計算値と比較したところ、かなりよい一致を示した。このことは本式が比較的広く種々な試料に対して使用できることを暗示するものではないかと考える。

従来、非破壊迅速放射化分析を行うときは、半減期および $\gamma$ 線スペクトルの顕著な相異を利用するか、特殊な測定法に頼られてきた。しかしながら、これらの方法は試料中に多種の元素を含む場合、屢々迅速化学分離を併用しなければならなくなり、その非破壊性が失われるか、非破壊性を重視すれば、かなりの時間と労力を必要とした。

この困難を解決するため、Crouthamelらや、Andersらの単一核種のガンマ線スペクトルの表示とFiteらやKuylerdallらのデジタル計算機によるガンマ線スペクトルの解析が行われ始めた。

我々は、非破壊迅速放射化分析法の一環として、デジタル計算機によるガンマ線スペクトルの解析を試みた。

ガンマ線スペクトルは、原理的に含まれる個々の元素のもつガンマ線スペクトルを重ね合せて合成できる。従つて個々の元素のガンマ線スペクトルを作成しておけば、未知の成分を含むガンマ線スペクトルは多元連立方程式を作ることによつて含有成分元素を分析することが出来る。

先づ我々は Al, Fe, Mg,  $V_2O_5$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $NH_4Cl$ , 等の既知量を、モニタ用  $Cu$  箔と共に原子炉中で5分間中性子照射し、1分間冷却後3分間東芝製256チャンネル波高分析器によつてガンマ線スペクトルを求めた。このスペクトルは、デジタル計算機を用い、次の積分によつて各チャンネル毎の数え落しの補正が加えられた。

$$N_1(T_1, T_2) = \int_{T_1}^{T_2} \frac{R_1 e^{-\lambda t}}{1 - \sum_i R_i e^{-\lambda_i t} Z_i} dt$$

$$\text{但し } R_1 = N_1 / (1 - e^{-\lambda(T_2 - T_1)})$$

$$Z_i = (20 + 0.5i) \times 10^{-6} \text{ sec}$$

|     |                 |                                |
|-----|-----------------|--------------------------------|
| こゝで | $N_1(T_1, T_2)$ | 時刻 $T_1, T_2$ 間の1番目チャンネルの真の計数値 |
|     | $R_1$           | 時刻0に於ける1番目チャンネルの計数率            |
|     | $N_i$           | 時刻 $T_1, T_2$ 間の1番目チャンネルの計数値   |
|     | $\lambda$       | 衰変定数                           |
|     | $Z_i$           | i番目チャンネルの分解時間                  |

こうして得られた各スペクトルを、モニタ用  $Cu$  箔の放射能と、それぞれの重量とで規準化しこれを、我々はライブラリ・スペクトルと呼ぶことにした。このライブラリ・スペクトルは、チャンネル数(i), ガンマ線エネルギー( $E(i)$ ), 1 MeVを規準とした時の各エネルギーでのスペクトル強度( $F_{1j}$ )真の計数値( $\bar{N}_i$ )の順に各元素毎にまとめられ、ライブラリデータとして整理された。

次いで、2~10種の既知量の元素を含む合成試料を作成し、ライブラリスペクトルの場合と同様にモ

モニタ用 Cu 箔と共に原子炉中で 5 分間中性子照射し、1 分間冷却後、3 分間ガンマ線スペクトルを測定した。このスペクトルは、デジタル計算機を用い、以下の手順で解析された。

1) 各チャンネル毎の観測値  $N_i$  と先にライブラリデータとして整理されている  $F_{ij}$  とによつて、含有元素数  $m$  個の未知数をもつたチャンネル数  $n$  個の連立方程式が立てられる。

$$N_i = \sum_{j=1}^n F_{ij} \cdot N_{rj} \quad (i = 1 \sim n \text{迄})$$

但し、 $N_{rj}$  は元素  $j$  による 1 MeV に相当する  $r$  チャンネルの計数值、この  $n$  個の連立方程式は、計数值  $N_i$  に応じた重みをつけて、最小二乗法によつて  $m$  個の  $m$  元連立方程式に書きかえられ、計算機によつて  $N_{rj}$  が求められた。

2) 次にこの  $N_{rj}$  に数え落しのオ一近似補正係数  $\alpha$  を乗じオ一近似の計数值  $\bar{N}_{ij}^{(1)}$  が求められた。

$$\bar{N}_{ij}^{(1)} = \alpha \cdot N_{rj}$$

但し  $\alpha = (T_2 - T_1) / [(T_2 - T_1) - \sum_i \sum_j N_{ij}]$

こゝで  $N_{ij} = F_{ij} \cdot N_{rj}$  が成立つものと仮定した。

3)  $\bar{N}_{ij}^{(1)}$  からオ一近似計数率  $\bar{R}_{ij}^{(1)}$  を求め、この値を用いて更によい数え落しの補正係数  $\Delta_{ij}$  をつくり、オ二次近似の計数率  $\bar{R}_{rj}$  を最小二乗法によつて求めた。

$$N_i = \sum_{j=1}^m \Delta_{ij} \cdot \bar{R}_{rj}$$

但し

$$\Delta_{ij} = F_{ij} \left\{ \frac{1}{\lambda_j} (1 - e^{-\lambda_j(T_2 - T_1)}) - \sum_k \frac{1}{\lambda_k} \left\{ \frac{\bar{R}_{ij}^{(1)} (1 - e^{-(\lambda_j + \lambda_k)(T_2 - T_1)})}{\lambda_j + \lambda_k} \right\} \right\}$$

4)  $\bar{R}_{rj}$  から元素  $j$  による 1 MeV に相当するチャンネルの補正をほどこした計数值を求め、モニタ用 Cu 箔の重量  $W_{Cu}$  と、その計数值  $N_{Cu}$  とで規準化して、元素  $j$  の重量  $W_j$  を求めた。

$$W_j = \frac{\bar{N}_{rj} \times N_{Cu}^{L(j)} \times W_{Cu}}{\bar{N}_{rj}^L \times N_{Cu} \times W_{Cu}^{L(j)}} \times W^{L(j)}$$

但し

肩につけた  $L$  または  $L(j)$  は、ライブラリ・スペクトルに関するものを表わす。

この手順はデジタル計算機のコードとして組まれ、ライブラリ・スペクトル・データと共に、我々の手許に整理された。更にライブラリ・スペクトル・データが各元素についてそなえられ、照射時間、冷却時間、測定時間の項を含めたコードに改められれば、非破壊放射化分析法の一端として有力なものとなる。現在合成試料の解析は計算機にかけられている。

原子力研究所

亀本雄一郎, 山岸滋

1. 短寿命核種を利用する放射化分析において、化学分離を必要とする場合には迅速な分離法の必要なことは勿論であるが、化学収率を求める操作も短時間でこなえることが望ましい。従来かゝる短寿命核種を利用し、かつ化学分離を必要とする放射化分析では、生成放射能の減少をなるべく少なくするため、①放射能測定後に重量法、容量法、比色法、ポーラログラフ法などを適用して化学収率を求めるが、②あらかじめ同一の分離操作を行ないアイソトープなどを使って定めた収率を常に一定のものとして用いることが多かった。①の方法は比較的時間がかゝることや測定試料に測定後手を加えねばならないので誤差の生じる恐れがあることなどの欠点がある。②の方法は化学収率が毎回の分離操作で一定とは限らず誤差の生じる恐れがあるなどの欠点がある。若し化学収率を求める方法として、測定試料を再び放射化し、非破壊的に求める方法を採用すれば迅速に比較的精度よく収率を決めることができると考えられる。

一方比較的長寿命の核種を利用する放射化分析においても定量操作の面倒な元素の化学収率を求めるのも再放射化法によれば簡易である。

演者らは短寿命核種の放射化分析にかゝる再放射化により収率を求める方法を通用し、再放射化分析法と名づけて速報し、また幾つかの応用例を日本化学会第16年会にて報告した。今回はマグネシウム、水銀の定量について報告する。

2. 本法は次のような操作により定量を行なう。すなわち①試料の才1回照射、②担体の添加(担体の量を $W_c$ とする)及び溶媒抽出による放射化学的分離、③才1回測定(放射能を $A_{samp}$ とする)、④冷却、⑤測定試料の才2回照射、⑥才2回測定(放射能を $A'_{samp}$ とする)、⑦才1回、才2回の照射、測定条件と全く同一の条件でそれぞれ標準試料の生成放射能を求める。(放射能をそれぞれ $A_{st}$ ,  $A'_{st}$ とする。また標準試料中の目的元素の量を $W_{st}$ ,  $W'_{st}$ とする)

分離法として溶媒抽出法を採用したので担体の量が比較的少量に限定される。したがって収率の計算において試料中の目的元素の量を担体の量に対して無視することができない。よって次式により化学収率を補正して定量値を計算する。

$$W = \frac{A_{samp} \times W_c \times W_{st}}{\frac{A_{st} \times A'_{samp} \times W'_{st}}{A_{st}} - A_{samp} \times W_{st}}$$

3. 中性子源としてはJRR-1原子炉No.16実験孔を用いた。中性子束は約 $3 \times 10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>/secであった。

マグネシウムの定量: 試料を6分間照射し、マグネシウムの担体溶液(60.0 μg Mg)を

加え、さらに0.05Nアンモニア5ml, ブチルアミン2mlを加える。50mlに希釈後マグネシウムを1%オキシベンゼン溶液5mlで抽出する。このベンゼンを1.75×2インチNaIクリスタルにマウントし、照射終了7分後に200秒間RCL-256チャンネル波高分析器でγ線スペクトルを測定する。測定試料を冷却し<sup>27</sup>Hgの放射能が壊変しつくすのを待ち、再び3分間照射し、1分間冷却後、2分間γ線スペクトルを測定する。オ1回、オ2回のγ線スペクトルの光電ピーク(0.834MeV)の高さよりマグネシウムの量を計算する。

水銀の定量: 試料を4分間照射し、水銀の担体溶液(96.8μg Hg)を加え、さらに15%ロタンカリ溶液10ml, 酢酸-酢酸ナトリウム緩衝溶液5ml(pH 5.0)を加え、全体を25mlに希釈する。酢酸エチル-イソブチルアルコール(3:1)溶液5mlで水銀を抽出する。この有機層をポリエチレン棒状ビンに移し、1.75×2インチNaIクリスタルにマウントし、照射終了4分後に2分間RCL-256チャンネル波高分析器でγ線スペクトルを測定する。測定試料を冷却し、水銀の放射能が壊変しつくすのを待つ。再び20分間照射し、2~3日冷却後再びγ線スペクトルを測定する。オ1回、オ2回のγ線スペクトルの光電ピークの高さより水銀の量を計算する。

4. 本法によるマグネシウム、水銀の定量結果の一部をまとめて表に示す。

| 試料番号 | 試料       |          | Hgの定量値(μg) |
|------|----------|----------|------------|
|      | Hgの量(μg) | 他の元素の量   |            |
| M-1  | 5.0      | 0        | 8.2        |
| M-3  | 20.0     | 0        | 19.2       |
| M-4  | 20.0     | 0        | 20.0       |
| M-7  | 40.0     | Na 1mg   | 41.0       |
| M-9  | 40.0     | Mn 0.1mg | n.d.       |
| M-10 | 40.0     | Rb 2.5mg | 40.9       |
|      | Hgの量(μg) | 他の元素の量   | Hgの定量値(μg) |
| H-1  | 19.4     | 0        | 19.2       |
| H-2  | 48.4     | 0        | 44.2       |
| H-8  | 145.2    | 0        | 211        |
| H-16 | 96.8     | Cu 1mg   | n.d.       |
| H-17 | 96.8     | Pb 1mg   | 96.2       |
| H-18 | 96.8     | Cd 1mg   | 81.2       |

東京教大理

浜口博・黒田六郎・小沼直樹・渡辺俊

スカンジウム<sup>46</sup>の長寿命核種<sup>46</sup>Scを用いる放射化学分析法としては、従来 Kemp and Smales, Bata, Huizemaya and Portratz, Schmidt et al, 浜口ら等による報告があり、これらも地球化学的対象についての適用例がみられる。これらの方法はこれらも破かい分析法であるが、多段階の化学操作を含む複雑な汚染除去化学を採用しており、全操作に多大の労力と時間とを要する。ここでは、さきに報告した硫酸アンモニア系におけるスカンジウム<sup>46</sup>の陰イオン交換分離を中心とするスカンジウム<sup>46</sup>の放射化学分離法を用い、地球化学的試料の放射化学分析法について新たに検討した。

定量に用いたスカンジウム<sup>46</sup>のターゲット核種は<sup>45</sup>Sc；存在比100%、中性子放射化断面積23 barn、生成核種<sup>46</sup>Sc；半減期85日、壊変型およびエネルギー $\beta^-$  0.36 Mev,  $\alpha$  0.809, 1.12 Mev である。この核種を供用する場合、妨害核反応として考えられるのは、<sup>46</sup>Ti( $n, p$ )<sup>46</sup>Sc, <sup>51</sup>V( $n, \alpha$ )<sup>48</sup>Sc などであるが、ここではこれらの妨害核反応の寄与の程度も検討した。

試料はさしおたつてケイ酸塩およびイン鉄を対象とした。ケイ酸塩は、立教大学 Trigal II 型炉により1日6時間5日間断続照射、中性子束 $\sim 5 \cdot 10^{11} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$ 、イン鉄は、JRR-2により、中性子束 $\sim 4 \cdot 10^{13} n \cdot cm^{-2} \cdot sec^{-1}$  で72時間の連続照射を行い、約1月間冷却したのち以下の<sup>46</sup>Sc放射化学分離に供した。なお試料と同時に、一定量のスカンジウム<sup>46</sup>を照射し、比較法による定量を行った。

測定装置は理医学研究所製ウエル型シンチレーションカウンターおよびTMC型400チャンネルアナライザーである。

以下ケイ酸塩試料についての放射化学分離法をのべる。照射した試料は冷却したのち、約4mgのスカンジウム担体を加え、過酸化ソーダ<sup>46</sup>Scを溶融を行う。冷却後水を加えておいて沈殿を遠心分離、塩酸に溶解、水で希釈し、4オグリコール酸2~3mlを加え、アンモニア水により水酸化物を沈殿させる。0.2%のアンモニア水で十分に沈殿を洗滌したのち、少量の硫酸にとかし白金皿に移してフッ化水素酸を加え蒸発乾固する。残渣は20mlの0.07M硫酸アンモニアに溶解させ、Dowex-1 X8のカラム(504型, 100~200 mesh, 内径1 cm, 10 gr)の上端にゆっくりと吸着させる。次いで0.07M硫酸アンモニア溶液140mlを流し込ませ、溶離液を2M硫酸アンモニアに切り替え、スカンジウムを溶離する。スカンジウムの完全溶離には、約160mlを要する。溶離液にアンモニア水を加え、スカンジウムの水酸化物を沈殿させ、これを塩酸に溶解して5mlとし、ウエル型シンチレーションカウンターにより全放射能を計数する。計数後、XDを指示薬としてEDDAにより滴定し、上述の化学操作における収率を求める。

比較試料についても、上と同様にして陰イオン交換分離法により精製を行なう。このようにしてえられたスカンジウムフラクションのX線スペクトルは、文献記載のそれと完全に一致し、放射化学的に純粋であることが認められる。化学収率は平均80%程度であり、操作は簡単であって熟練を要しない。

上述の方法を標準試料 G-1 に適用した結果は次の通りである。

|                         |                     |      |           |
|-------------------------|---------------------|------|-----------|
| Kemp and Smaleo (1960)  | Activation analysis | 2.80 | Sc p.p.m. |
| Hamaguchi et al. (1961) | Activation analysis | 2.7  | "         |
| This work               | Activation analysis | 2.78 | "         |

金沢大・理

○大澤 真澄 徳永興公 阪上 正信

従前は先に照射トリウム中のプロトアクチニウム-233の分離定量を行ったが(日化16年会発表), 今回はその分離定量法をトリウムの放射化合物に適用し, 温泉水\*などのトリウム含量の定量法を検討した.\*[ウラン含量68μg/lの島根県浅原鉱泉.]

温泉水中のトリウムはアンモニア水を加えて生ずる鉄などの水酸化物に共沈捕集した。水酸化物沈殿の量が多いときは, 8N-HCl 溶液よりエーテルにより鉄を抽出分離し, 新たに鉄10mgを加え水酸化物を作つてトリウムを捕集し, 口瓶上に乾燥後照射試料とした。トリウムの捕集率はUX<sub>1</sub>を用いて検討, 補正を行った。(UX<sub>1</sub>は硝酸ウラニルを8N-HClに溶解, Dowex 1-X8に通し, 流出液を2N-HClとしてDowex 50W-X8につけ, 0.5Mシュウ酸にてUX<sub>1</sub>を溶解, 硝酸・過塩素酸を加え蒸発をくり返した後, 塩酸溶液としたものをを用いた。) 比較標準としてのトリウムを純水中より鉄の水酸化物により捕集し, 乾燥後照射試料とした。なおアルミニウム箔上にトリウム溶液を蒸発する方法も検討した。

照射はJRR-1(3相間断続), JRR-2(1サイクル)および立大原子炉(2日間断続)によつた。

γスペクトルの解析より温泉水試料(浅原鉱泉)にはかなりの<sup>26</sup>Asが見出される。

温泉水試料および比較標準は塩酸-フッ化水素酸に溶解後, プロトアクチニウムの分離操作を行う。その際分離操作段階における収率をみきためプロトアクチニウム-231の定量を加える。(岩石試料は過酸化ナトリウム融解後, 分離操作を行う。) 8N-HCl-0.1N-HF 溶液にジイソブチルケトン(DIBK)を加え鉄などを抽出, 水層を洗浄後AlCl<sub>3</sub>を加えてDIBK抽出を行う。8N-HCl洗浄後8N-HCl-0.1N-HF溶液にてストリップ。水層をDIBK洗浄後AlCl<sub>3</sub>を加え, 更にDIBK抽出を行う。抽出層を洗浄後8N-HCl-0.1N-HF溶液5mlにてストリップす。その水より1mlを全張銅板(直径3cm)上に蒸発し, α線計測(ZnSシンチレーションカウンター)により化学収率を決定し, またβ線計測によりプロトアクチニウム-233よりトリウムの定量を行う。その際プロトアクチニウム-231の内転換電子などよりの寄与を補正する。β線計測には真空GM管などをを用い, 試料の測定条件を検討した。残部4mlはγ線計測を行う(ウエル型シンチレーションカウンター; NaI 1/4"φ×2"), β線の場合と同様にトリウムの定量に用いる。

DIBKによる分離操作の際の他元素の行動は, <sup>95</sup>Zr-<sup>95</sup>Nb, <sup>59</sup>Fe, <sup>137</sup>Ce, <sup>99</sup>Moなどをを用いて追跡し, プロトアクチニウムの分離に支障のポイントを把握した。

比較標準ではプロトアクチニウム-233の放射能強度とトリウム濃度との間, 同一照射試料内では直線性が成り立ち(〜20μg), 比較標準法が通用できる。浅原鉱泉水のトリウム含量として4μg/lが得られ, 標準岩石試料Q-1およびW-1についてと検討中である。

貝殻中に含まれるウランとイオニウム<sup>232</sup>の放射平衡によつて年代測定を行う目的で、貝殻中のウランとトリウム<sup>232</sup>の放射能分析を行つているが、ここではトリウム<sup>232</sup>の放射能分析についてその方法と結果の一部について報告する。

トリウム<sup>232</sup>の放射能分析はTh-232 (α, γ) Th-233 からβ崩壊で生成するPa-233のβ放射能によつて行つた。Pa-233の化学収量はPa-231の放射能によつて決定した。行つた分析の方法は次の通りである。貝殻試料0.5~2gをJRR-1 (および2) で、15 (および72) 時間それぞれ照射し、標準試料は知られた量 (約100μg) のThをつけたアルミはく、あるいは貝殻を用いて同時に照射した。照射したものは約一週間冷却した後、Pa-231を約200 dpm 加えて塩酸に溶解、不溶分をNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>で処理し、再び塩酸に溶解して溶液を前の溶液と合わせてFe<sup>+++</sup>をキャリアーとしてPaを沈澱として集め、塩酸に不溶の部分と合して、Paを多量の炭酸カルシウムから分離する。Paを含む部分をHF+HClO<sub>4</sub>で処理し、均一溶液とし、HFをおいだして後、Al<sup>+++</sup>を加え硝酸酸性溶液 (1N) からMnO<sub>2</sub>とPaを共沈させて分離する。再びMnO<sub>2</sub>との共沈による精製、塩酸性溶液からのチリブチルケトンによる抽出、HFの存在の下での水への逆抽出、AlCl<sub>3</sub> およびHClの存在の下でのチリブチルケトンへの抽出、0.3N HCl 溶液による水層への抽出で精製を行う。おしまいにPaをFe(OH)<sub>3</sub>と共沈で集めたものを、6NHNO<sub>3</sub> 3ml に溶解し、10mlの水を用いて電解槽にうつし、Pb<sup>++</sup> 0.2~0.5 mgを加えて電解を行い、白金板の陽極上にPbO<sub>2</sub>と共にPaを析出させて放射能測定用の試料を得る。電解は30~50 mA/cm<sup>2</sup>で2~3時間行い、Paの収量は50~60%である。全操作を通じての化学収量は約30%で、上述の1回の精製で放射化学的に純粋なPaを得ることができた。

放射能の測定はマイラー窓 (0.8 mg/cm<sup>2</sup>) のプロパノフローカウンターで測定を行つた。α線は直接測定し、β線はセロハンで表面をカバーして測定した。はじめに加えるPa-231は、上述と同様の操作で白金板上につけて放射能を測定したものをを用いたので、化学収量は白金板上にPbO<sub>2</sub>と共に析出したPaの放射能のはじめに加えたものに対する比で求められる。Pa-233によるβ放射能は吸収および半減期により確認し、一部については上述の精製をくりかえしてα、β放射能の比が一定に保たれることも極めて放射化学的に精製が完全であることを確かめた。

貝殻試料中のThは上述の方法で2~10 μg/gで、JRR-1の照射では最後の放射能測定のための精製をおわつた所で、40~200 cpmのβ放射能を与える。貝殻が生長したときに含まれていたTh/I<sub>0</sub>比を求めるのがこの実験の目的であるが、まだその値を明確に示すだけの数の測定が行われていない。

東芝中研

○ 藤井 敷, 武蔵治夫

## 1. まえがき

こゝ数年来, 小型中性子発生装置(14 MeV)を利用した放射化分析法の研究が盛んであるが, (1)~(8)この方法の最大の特長は酸素の非破壊迅速定量が可能なことであろう。筆者らは先記の上記の特長を生かした工業用放射化分析装置の試作と若干の応用例について報告したが(6)(8)こゝでは各種の金属中の微量酸素の非破壊迅速法の検討をおこない満足な結果をえたので報告する。

## 2. 実験

## (1) 装置

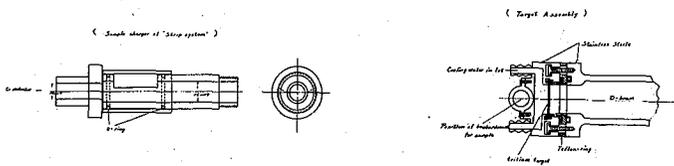
中性子源および放射化分析のための装置はすでに報告した(6)(8)ものに若干の改良を加えて用いた。用いた中性子源(東芝製中性子発生装置 NT-20型)は Cockcroft-Walton型 のイオン加速装置からえられる重陽子ビーム( $\sim 500 \mu\text{A}$ , 200 kV)をトリチウム・ターゲット(10 Curie)に衝突させ  $10^{10}$  neutron/Sec の 14 MeV 中性子を発生させるものである。気送系については, 先に報告した(6)(8)ものに改良を加え, 衝撃終了後, 送りかえされた試料が試料挿入口付近でポリエチレン製外皮を脱ぎ試料の金属インゴットだけが検出器に入るよう改めた。これにより従来のポリエチレン製ラビット中の酸素に起因する分析結果の不確かさを除くことができた。図に試料挿入口付近の構造をしめした。こゝではこの方式をストリップ方式となづけた。また気送系末端のターゲット・アセンブリに改良を加え, 中性子衝撃時の幾何学的効率を増大させ, 従来より感度を増大させた。現在までのところ感度は  $\sim 120$  Counts/mg Oxygen である。ターゲット・アセンブリの構造を図にしめす。測定系においては, 従来のシングル・チャネル・スペクトロメータをやめ, 簡易型スケアラ(東芝製汎用スケアラ UDS-24202型)を用い装置の簡易化につとめた。

## (2) 実験条件

Discriminator Level : 4.0 Mev

C-R neutron Monitoring system使用

(上限設定値90目盛, 下限設定値7

中性子出力:  $10^{10}$  neutron/sec(イオン電流 $\sim 500 \mu\text{A}$ , 高圧: 200 kV)

検量線: 標準に JIS 試薬特級サツカローズ使用, National Carbon 製 Special Spectroscopic Graphite Powder を用い, ベレットに成型ポリエチレン製ラビットに封入して検量線用試料とした。検量線の範囲は 0~100mg Oxygen  
ストリップ方式のときはえられた検量線を平行移動して原点を通らせたものを使用。

測定時間: 30秒。衝撃方法: 金属インゴット試料はストリップ方式。粉末試料はラビット方式。

試料調製法：金属インゴット試料は旋盤で12.0mmφ×35.0mmに削り、ソックスレー抽出器(クロホルム)で洗浄、粉末試料はペレットリング・マシンで12.0mmφ×35.0mmに成型。

(3) データ処理

ストリップ方式：観測された計数値から測定器のB・Gを差引いたのち実効吸収係数で除し、その値をストリップ方式の検量線にのせて酸素量を計算する。

ラビット方式：ラビット方式の検量線を用いる。

3. 結果

| 試料       | 試料重量<br>(g) | 分析結果(%) |       | 他の方法による結果(%) | 試料      | 試料重量<br>(g) | 分析結果(%) |       | 他の方法による結果(%) |
|----------|-------------|---------|-------|--------------|---------|-------------|---------|-------|--------------|
|          |             | ストリップ   | ラビット  |              |         |             | ストリップ   | ラビット  |              |
| NBS 1040 | 3297        | 0.034   | 0.034 | 0.018        | タンタル 1  | 40.32       | —       | 0.14  | —            |
| " 1041   | 3288        | 0.038   | 0.033 | 0.017        | " 2     | 46.54       | —       | 0.11  | —            |
| " 1042   | 3302        | 0.006   | 0.009 | 0.017        | " 3     | 47.47       | —       | 0.075 | —            |
| " 1044   | 3307        | 0.012   | 0.015 | 0.009        | モリブデン 1 | 28.01       | —       | 0.38  | —            |
| " 1045   | 3159        | 0.012   | 0.015 | 0.007        | " 2     | 29.96       | —       | 0.52  | —            |
| " 1047   | 3259        | 0.037   | 0.036 | 0.017        | " 3     | 28.18       | —       | 0.50  | —            |
| Ni 1aE   | 3909        | —       | 0.14  | 0.137        | " 4     | 29.91       | —       | 0.33  | —            |
| " 4D     | 3915        | —       | 0.020 | 0.021        | " 5     | 31.28       | —       | 0.29  | —            |
| " 5E     | 3953        | —       | 0.004 | 0.0054       | タングステン  | 52.11       | —       | 0.12  | —            |

4. 考察

(1) 酸素の14MeV中性子による放射化分析は<sup>16</sup>Nの放出するγ線のエネルギーが大きいので共存元素の妨害をほとんど完全に除くことができる。したがってその適用範囲は甚だ大きい。(2) 中性子衝撃時の試料による中性子の吸収と測定時の試料自身によるβ、γ線の吸収については、これらの総合的效果を求めて補正した。(3) 妨害元素の効果をのぞくため各種の金属について最適のDiscriminator levelを求めた。(4) ストリップ方式は微量酸素の定量を行うとき特に有効であつた。

- (1) R. F. Coleman, J. L. Perkin: Analyst 84 233 (1959), (7) 藤井 勲他: 日本原子力学会誌 5 32 (1963)  
 (2) E. L. Steele, W. M. Meinke: Analchem 34 185 (1962), (8) 藤井 勲他: 才5回日本アイソトープ会議報文集 3-170 (1963)  
 (3) D. J. Veal, C. F. Cook: ibid 34 178 (1962),  
 (4) R. F. Coleman: Analyst 87 590 (1962),  
 (5) 多田 格三他: 才4回日本アイソトープ会議報文集 538 P&S-12 (1961),  
 (6) I. Fujii et al: J. Atom. Energ. Soc. Japan 5 455 (1963),

中性子源としての原子炉の利用は、今日までいろいろの方面に使用されてきた。特に中性子束の高い点では、他の中性子発生装置に比べ、大きな利点となつている。

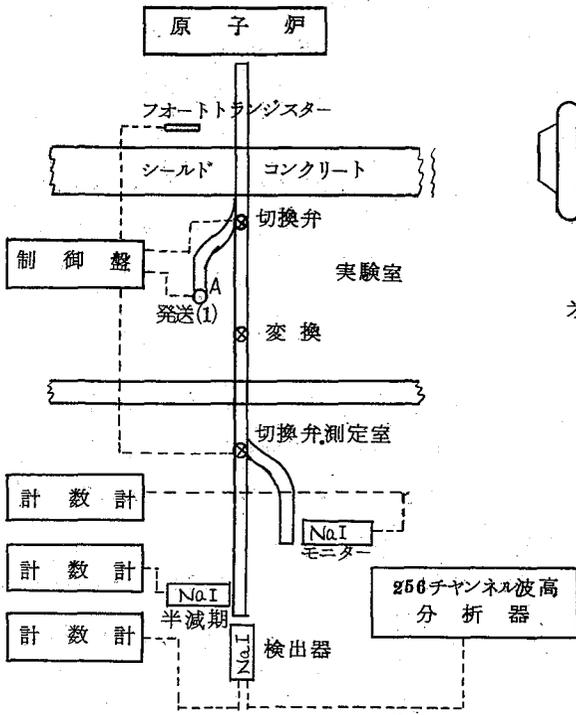
従来、原子炉での放射化分析法は迅速さの点すなわち、試料の取出し時間が迅速性を著しく低下させていた。従つて短い寿命の核種についての放射化分析は困難であつた。

我々は秒程度の半減期をもつ核種の生成を伴う核反応を利用した迅速放射化分析法を確立する一端として迅速放射化分析装置の試作を行つた。この装置により秒程度の半減期をもつ核種の放射化分析が容易となり、応用として $^{19}\text{F}(n, \gamma)^{20}\text{F}$  反応によるフッ素の分析を行つた。

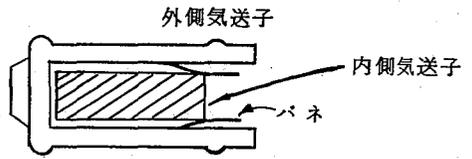
1. 装置 この装置は従来、TTR-1に附属している気送管システムに改良を加え、実験室に於ける気送子の開封および、実験室-測定室間の<sup>時間の</sup>短縮に努力が払われた。才1図にその気送管システムの概要を示す。才2図に示す二重構造をもつ気送子はAより原子炉々心に送られ、ある設定時間後に返送されて来るが、実験室に於いて、衝面力を利用して外側気送子より、内側の測定試料となる気送子を放出し、その内側気送子は新に設けられた気送管によつて短時間に測定位置に移送され、直ちに測定が開始されるように設計されている。

2. 実験 我々はこの装置によつて、フッ素の分析と他の短寿命核種について実験を行つた。フッ素は熱中性子によつて $^{19}\text{F}(n, \gamma)^{20}\text{F}$  反応を起し、半減期 10.7 秒の放射性のフッ素が生成される。また同時に、速中性子によつて $^{19}\text{F}(n, \text{pn})^{18}\text{F}$  反応を起す。 $^{18}\text{F}$  は半減期 11.2 分の同位元素であつてフッ素の分析には従来はこの $^{19}\text{F}(n, \text{pn})^{18}\text{F}$  反応を利用する方法がとられている。短い半減期をもつ核種が生成される反応を用いる方が検出感度、迅速性さらに原子炉の場合、熱中性子束密度が速中性子束密度より高い等の点からフッ素の分析は $^{20}\text{F}$  を利用することは、非常に有利である。

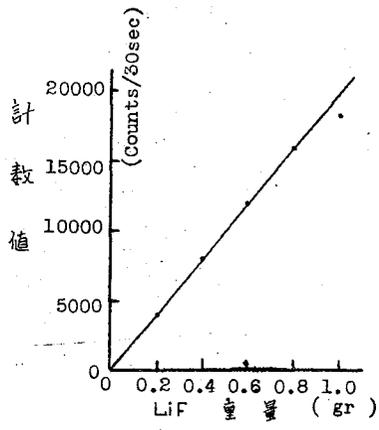
我々はフッ化リチウム(LiF)を検量線として用い、また中性子束モニターとして同じく、フッ化リチウム試料を用い、テフロン及びその他のフッ素化合物についての分析を行つた。フッ化リチウムを用いた検量線及び中性子モニターの実験値を才3図及び才4図に示す。



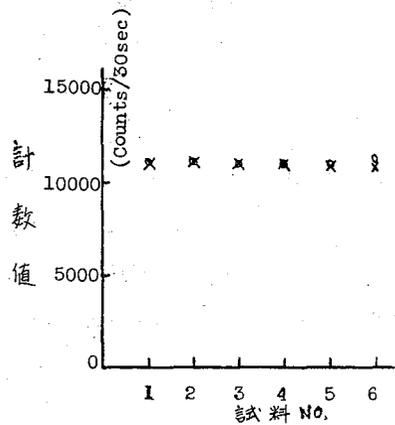
オ 1 図 気送管システム



オ 2 図 気送子



オ 3 図 検量線



オ 4 図 モニター

東北大・理

岡 好良 加藤 豊明 ◦佐々木 三千夫

光核反応の特異性を放射化分析に利用する研究として、先に、ジルコニウムとハフニウムの混合物にベータートロンで発生した制動輻射を照射してジルコニウムを定量する方法について報告したが、本報では、原子力研究所の LINAC によってガリウム、インジウムおよびタリウムを  $\gamma$  線照射してそれぞれの放射性残留核を検討し、インジウム中のガリウムおよびタリウム中のガリウムの放射化分析に必要な基礎的検討を行った。

試料はそれぞれの金属またはこれらを硝酸溶液としたものを単独に、あるいは所定の比に混合して用いたが混合試料硝酸溶液は一定量を金箔または白金の箔の上で乾燥させた後に照射した。照射は LINAC によって発生した最大エネルギーが 20 MeV、 $\sim 10^6$  r/min の制動輻射によって3時間行った。照射後の試料は一定量に溶出してポリエチレン試験管に移し、TMC-256チャンネルシンチレーションスペクトロメーターおよび井戸型シンチレーションスペクトロメーター（単チャンネル）によって  $\gamma$  線スペクトルおよびその経時変化を求め、光電ピークの高さより定量した。

ガリウムについては  $^{69}\text{Ga}(\gamma, n)^{68}\text{Ga}$  68分、 $^{71}\text{Ga}(\gamma, n)^{70}\text{Ga}$  21分が生じるが前者の  $\beta^+$  の消滅放射 0.511 MeV のピークを測定して定量するのが効果的である。 $^{68,70}\text{Ga}$  が減衰し去ると 0.092, 0.182, 0.296 および 0.388 MeV にピークを有する  $\gamma$  線スペクトルが得られ  $^{69}\text{Ga}(\gamma, 2n)^{67}\text{Ga}$  78時間が認められた。インジウムについては  $(\gamma, n)$  反応によって20.7分の  $^{112m}\text{In}$ 、15分の  $^{112m}\text{In}$  および50日の  $^{114m}\text{In}$  が生成するが、比較的短寿命核種が減衰した後、 $^{114m}\text{In}$  の 0.19, 0.552, 0.722 MeV のピークを測定するのが適当である。また、タリウムの残留核は  $^{205}\text{Tl}(\gamma, n)^{202}\text{Tl}$  のみで 0.439 MeV にピークを示し、12日で減衰した。

本条件で照射を行う場合、 $\gamma$  線束の巾がせまいためにビームと試料の位置を常に同一にして照射することは困難であって標準試料との比較法は行い得ない。そこで、それぞれ混合比の異なるインジウムとガリウムあるいはタリウムとガリウムの混合試料においてインジウムあるいはタリウムを内部標準として  $^{114m}\text{In}$  あるいは  $^{202}\text{Tl}$  と  $^{68}\text{Ga}$  との計数率比を求め、これと重量比との関係より定量する方法を行った。即ち、照射終了時に換算した  $^{68}\text{Ga}$  の計数率と  $^{114m}\text{In}$  または  $^{202}\text{Tl}$  の計数率の比、 $R_A$  と混合重量比  $R_W$  とをプロットして直線関係が得られた。

インジウムとタリウムの混合物系では  $^{68}\text{Ga}$  の 0.511 MeV のピークと  $^{114m}\text{In}$  の 0.19 MeV のピークの照射終了時の計数率比、 $R_A$  と  $R_W$  との関係は  $R_W$  が 0.00598  $\sim$  0.0598 の範囲で  $R_W = 0.0017 R_A$  が得られまた、タリウム-ガリウム系では  $^{202}\text{Tl}$  の 0.439 MeV のピークと  $^{68}\text{Ga}$  の 0.511 MeV のピークを測定して、 $R_W = 4.00 \times 10^{-4} \sim 0.16$  の範囲で  $R_W = 0.0058 R_A$  の関係が得られた。

実試料の分析には、照射および測定器を同一にして上法で定量することができる。

# 3A34

光核反応によるガリウムあるいはインジウムの中の  
タリウムの放射化分析

東北大・理

岡 好良    ◦加藤 豊明    佐々木 三千夫

3A33 において得られた結果からガリウムあるいはインジウムの中のタリウムの定量法について基礎検討を行った。

タリウムを最大エネルギーが 2.0 MeV の制動輻射で照射すると残留核は  $^{205}\text{Tl}(\gamma, n)^{202}\text{Tl}$  で得られる半減期が 12 日の  $^{202}\text{Tl}$  のみであり、したがって、ガリウムとタリウムあるいはインジウムとタリウムの混合物系においては同一条件の照射で生成する  $^{68,70}\text{Ga}$  あるいは  $^{112m,112}\text{In}$  が減衰し去った後は、それぞれ、 $^{67}\text{Ga}$  と  $^{202}\text{Tl}$  まるいは  $^{114m}\text{In}$  と  $^{202}\text{Tl}$  のみとなり照射後数日を経た一定時にそれぞれの  $\gamma$  線の光電ピークの高さまたは面積を求めて定量できる。この場合、3A33 と同じくガリウムあるいはインジウムを内部標準としてタリウムを定量すればよい。

試料はそれぞれの金属の一定量を硝酸溶液として所定の比に混合し、その一定量を金箔または白金の箔の上で乾燥し、別に、単独のガリウム、インジウムおよびタリウムの試料と並べて照射した。照射および測定については 3A33 と同じである。

$\gamma$  線照射したガリウム-タリウム系試料については比較的短寿命核種が減衰し去った後は  $^{69}\text{Ga}(\gamma, 2n)^{67}\text{Ga}$  で生成した 7.8 時間の  $^{67}\text{Ga}$  の 0.093, 0.182, 0.296 および 0.388 MeV のピークおよび  $^{202}\text{Tl}$  の 0.439 MeV のピークを有する  $\gamma$  線スペクトルが得られた。混合重量比、 $R_w$  を 0.0125 ~ 0.125 の間で変化させた試料を 3 時間照射し、7 日間冷却した後  $^{202}\text{Tl}$  の 0.439 MeV のピークと  $^{67}\text{Ga}$  の 0.182 および 0.296 MeV のピークの占める面積とを測定してその比、 $R_A$  を求め、 $R_w = 0.062 R_A$  という関係を得た。

同様に、インジウムの中のタリウムについては、50 日の  $^{114m}\text{In}$  と 12 日の  $^{202}\text{Tl}$  の  $\gamma$  線スペクトルが得られ、 $R_w = 0.00791 \sim 0.175$  の範囲で行ったところ  $R_w = 0.15 R_A$  が得られた。この場合には、タリウムは 8.3 KeV の X 線のピークの高さを、インジウムは  $^{114m}\text{In}$  の 0.19 MeV のピークをそれぞれ測定して  $R_A$  を求めたものである。

また、これらの結果よりタリウムの中のインジウムの定量についても検討した。 $^{114m}\text{In}$  および  $^{202}\text{Tl}$  に伴う低エネルギー部の X 線 (2.7 KeV および 8.3 KeV) を測定して  $R_A$  を求め  $R_w = 0.0636 \sim 0.00319$  の範囲で  $R_w = 0.53 R_A$  (照射後 4.3 日) を得た。

実試料の分析にあたっては同一照射時間および測定器を用いて上記の方法によって混合比を知ることができ

