

JAERI-M

5785

超プルトニウム元素と希土類元素の  
陽イオン交換分離

1974年7月

梅沢 弘一・市川 進一・夏目 晴夫

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

## 超プルトニウム元素と希土類元素の陽イオン交換分離

東海研究所原子炉化学部燃焼率測定開発室

梅沢弘一・市川進一・夏目晴夫

(1973年9月受理)

濃塩酸を溶離剤とする陽イオン交換カラムクロマトグラフィにおける、ゲル型、ポーラス型各種樹脂の性能を比較検討した。ゲル型樹脂では、きわめて細かい粒度のものを用いないかぎり良い分離ができない。また、低架橋度の樹脂を用いると、分配係数、および分離係数はともに減少するが、同一サイズのカラムで得られる理論段数はむしろ増加する。ポーラス型樹脂を用いると、分配係数、ならびに分離係数は、同架橋度のゲル型樹脂による場合と変わらないが、理論段数が約3倍に増し、かつテーリングが著しく減少した。ダイヤイオンCPK08、粒径 $35\mu$ 、 $4\text{mm}$ 径 $\times 20\text{cm}$ 長のイオン交換樹脂カラムにより、 $1.1.7\text{M}$ 塩酸溶液(市販特級試薬)を用いて、Am・Cm, Y, ならびにEu-Ceを相互に良く分離することができた。

Cation-Exchange Separation of the Transplutonium  
and Rare-Earth Elements

Hirokazu UMEZAWA, Shin-ichi ICHIKAWA and Haruo NATSUME

Division of Chemistry, Tokai, JAERI

( Received September, 1973 )

Various gel- and porous-type resins were tested for use in the cation-exchange chromatography with an eluent of 11.7 M hydrochloric acid. When gel-type resins were used, very fine resins, such as colloidal aggregate, were needed to perform good separation. The lower cross-linkage resins provide the larger number of theoretical plates of the column, but the distribution coefficients and separation factor become smaller. While those coefficients obtained with the porous-type resin were similar to those obtained with the gel type of the same cross-linkage, the number of theoretical plates for the porous type increased by a factor of about 3 and tailing in the elution curve decreased remarkably. Three groups of Am-Cm, Y, and Eu-Ce can be well separated by using a 4 mm diam. x 20 cm height column of a porous-type resin, DIAION CPK08, 35 $\mu$ , with 11.7 M hydrochloric acid.

# 目 次

1. 緒 論	1
2. 実 験	1
2.1 イオン交換樹脂	1
2.2 実験操作	2
2.3 分離係数と理論段数	2
3. 結果および考察	3
3.1 架橋度の効果	3
3.2 樹脂粒度と溶離液の流速	3
3.3 ポーラス型樹脂	3
3.3.1 分離特性	3
3.3.2 超プルトニウム元素と希土類元素の分離	4
3.4 Am・Cm, Y, Eu-Ceの分属	4
4. 結 論	5

## 1. 緒 論

核燃料の燃焼率測定にあたり、総核分裂数を測定する確実な方法として、ランタンからユーロビウムまでの全ランタノイド核分裂生成物の定量が注目されている。<sup>1)</sup> また、超プルトニウム元素各核種の生成量比と燃焼率の間にも良い相関々係が見出されている。<sup>2)</sup> このため、使用済核燃料試料中のこれら各元素の分離定量技術の確立が要望される。

超プルトニウム元素と希土類元素の化学的挙動はきわめて類似しており、これらの相互分離は難しいが、反面甚だ興味ある問題である。これまで報告されている方法は、いずれも塩素イオンもしくはチオシアン酸イオンとの錯形成度の差を利用するイオン交換クロマトグラフィである。<sup>3-11)</sup> すなわち、0.1 M 塩酸を含む 1.0 M 塩化リチウム溶液、<sup>9, 10)</sup>あるいは、2-5 M チオシアン酸アンモニウム溶液を溶離液とする陰イオン交換、<sup>7-9)</sup> また、1.2.5-1.3.3 M 塩酸溶液を用いる陽イオン交換が広く知られている。<sup>3-5)</sup>

しかし、高濃度の塩化リチウム溶液は流動性に乏しく扱いにくい。また大量の場合には  $Li(\alpha, n)$  反応による中性子発生に注意を要する。<sup>12)</sup> 一方、チオシアン酸塩は、放射線分解をおこし易い。<sup>11)</sup> 塩酸は、これらの問題に関しては、はるかに良好である。加えて、分離後溶液を蒸発させるのみで溶離剤を除去できるので、実験室規模での分離にとくに適している。しかし 1.2 M 以上の塩酸は特別に調製しなければならず、かつ、腐蝕性に富む塩化水素ガス発生が著しい。

アルコールを添加した塩化リチウムあるいは塩酸溶離液を用いると、超プルトニウムと希土類元素との分離係数がかなり改善される。<sup>6, 12, 13)</sup> 反面、この系ではイオン交換平衡に達するのが遅くなり、高温で溶離しないかぎり、溶離曲線が巾広くなる。

さらに、大きな理論段数を得られるイオン交換樹脂の選択が不可欠である。ここで、樹脂の架橋度、粒度、あるいは有孔性などが重要な因子になる。

本報では、市販特級試薬、濃塩酸 (1.1.7 M) を溶離液として、超プルトニウム元素と核分裂生成物に含まれる希土類元素との陽イオン交換分離に対する、各種樹脂の性能を比較し、業務分析に適した分属分離法を検討する。また、イオン交換クロマトグラフィにおけるポーラス型樹脂の効果を考察する。

## 2. 実 験

### 2.1 イオン交換樹脂

使用した樹脂の種類、ならびにそれぞれの仕様を Table 1 に示す。いずれも、スチレン・ジビニルベンゼン共重合体の基材にスルホン酸基を交換基にもつ強酸性陽イオン交換樹脂であ

## 1. 緒 論

核燃料の燃焼率測定にあたり、総核分裂数を測定する確実な方法として、ランタンからユーロビウムまでの全ランタノイド核分裂生成物の定量が注目されている。<sup>1)</sup> また、超プルトニウム元素各核種の生成量比と燃焼率の間にも良い相関々係が見出されている。<sup>2)</sup> このため、使用済核燃料試料中のこれら各元素の分離定量技術の確立が要望される。

超プルトニウム元素と希土類元素の化学的挙動はきわめて類似しており、これらの相互分離は難しいが、反面甚だ興味ある問題である。これまで報告されている方法は、いずれも塩素イオンもしくはチオシアン酸イオンとの錯形成度の差を利用するイオン交換クロマトグラフィである。<sup>3-11)</sup> すなわち、0.1 M 塩酸を含む 1.0 M 塩化リチウム溶液、<sup>9, 10)</sup>あるいは、2-5 M チオシアン酸アンモニウム溶液を溶離液とする陰イオン交換、<sup>7-9)</sup> また、1.2.5-1.3.3 M 塩酸溶液を用いる陽イオン交換が広く知られている。<sup>3-5)</sup>

しかし、高濃度の塩化リチウム溶液は流動性に乏しく扱いにくい。また大量の場合には  $Li(\alpha, n)$  反応による中性子発生に注意を要する。<sup>12)</sup> 一方、チオシアン酸塩は、放射線分解をおこし易い。<sup>11)</sup> 塩酸は、これらの問題に関しては、はるかに良好である。加えて、分離後溶液を蒸発させるのみで溶離剤を除去できるので、実験室規模での分離にとくに適している。しかし 1.2 M 以上の塩酸は特別に調製しなければならず、かつ、腐蝕性に富む塩化水素ガス発生が著しい。

アルコールを添加した塩化リチウムあるいは塩酸溶離液を用いると、超プルトニウムと希土類元素との分離係数がかなり改善される。<sup>6, 12, 13)</sup> 反面、この系ではイオン交換平衡に達するのが遅くなり、高温で溶離しないかぎり、溶離曲線が巾広くなる。

さらに、大きな理論段数を得られるイオン交換樹脂の選択が不可欠である。ここで、樹脂の架橋度、粒度、あるいは有孔性などが重要な因子になる。

本報では、市販特級試薬、濃塩酸 (1.1.7 M) を溶離液として、超プルトニウム元素と核分裂生成物に含まれる希土類元素との陽イオン交換分離に対する、各種樹脂の性能を比較し、業務分析に適した分属分離法を検討する。また、イオン交換クロマトグラフィにおけるポーラス型樹脂の効果を考察する。

## 2. 実 験

### 2.1 イオン交換樹脂

使用した樹脂の種類、ならびにそれぞれの仕様を Table 1 に示す。いずれも、スチレン・ジビニルベンゼン共重合体の基材にスルホン酸基を交換基にもつ強酸性陽イオン交換樹脂であ

る。ゲル型樹脂は従来一般に用いられているものであるが、ポーラス型およびハイポーラス型は、基材中に多くの細孔がある構造の樹脂である。

樹脂をあらかじめ蒸留塩酸で十分洗った後、濃塩酸に浸した状態のまま、ガラス管中に、径4 mm×高さ240 mmに充填し、イオン交換カラムとした。

## 2.2 実験操作

試料：前報に述べた方法で、<sup>14</sup>) J P D R - I 使用済燃料試料から分離した希土類元素フラクションを用いた。これには、つぎのような放射性核種が含有されていた。

超プラトニウム元素：<sup>241</sup>Am, <sup>242</sup>Cm, <sup>244</sup>Cm

希土類元素：<sup>90</sup>Y, <sup>154</sup>Eu, <sup>156</sup>Eu, <sup>147</sup>Pm, <sup>144</sup>Ce-<sup>144</sup>Pr

イオン交換カラムへの吸着：この混合物の濃塩酸溶液0.1 mlを樹脂カラム上端に加え、さらにその上を厚さ数ミリメートルの同様に処理した樹脂で覆った。

溶離液：市販の特級試薬、濃塩酸(11.76 M)をそのまま用いた。溶離はすべて室温(20-24℃)でおこなった。流出液を適当な間隔で一滴ずつタンタル円板上にとり、乾燥してαおよびβ放射能を測定した。

## 2.3 分離係数と理論段数

α放射能の溶離曲線からアメリシウムの溶離位置を定めた。β放射性核種のうち、<sup>90</sup>Y(64 hr)のみは他に比べて格段に短寿命であるので、溶離直後に測定したβ放射能から、その減衰後再度測定した値を差引き、イットリウムの溶離曲線を描いた。

これらの結果から、アメリシウムとイットリウムの分離係数、ならびに各樹脂カラムの理論段数をGlueckaufの式にもとづいて算出した。<sup>15)</sup>

分離係数は次式で定義される。

$$\alpha_{Am}^Y = \frac{\bar{v}_Y}{\bar{v}_{Am}} \quad (1)$$

ここで、 $\bar{v}$ は流出液中の溶質濃度が最大になるまでに要した溶離液量である。この $\bar{v}$ の値には、樹脂カラム内空容積の分もふくまれる。

理論段数は、イットリウムの溶離曲線から、(2)式により算出される。

$$N' = 8 \left( \frac{\bar{v}}{\beta} \right)^2 \quad (2)$$

ここで、 $\beta$ は溶離ピークの1/e巾である。 $\bar{v}$ ならびに $\beta$ の値は、イットリウムの溶離曲線の主要部分がガウス分布関数で表わせると仮定して、各実測データから最少自乗法で定めた。



### 3. 結果および考察

各種ゲル型ならびにハイポラス型樹脂を用いて得られた溶離曲線を Fig. 1 に、ポラス型樹脂のそれらを Fig. 2 に示す。また、これらの曲線から求めたアメリカウムとイットリウム分離係数、ならびにカラムの理論段数を Table 2 に示す。

#### 3.1 架橋度の効果

Fig. 1 において、Run 1 と 2 はジビニルベンゼン添加量の異なる DOWEX 50 X-4 と X-12 を用い、他の条件を全く同一にして得られた溶離曲線である。架橋度の高い樹脂ほどイオン選択性が良いという一般的傾向に合致して、分離係数は X-12 の方が大きい (Table 2)。しかし、溶離曲線を比べると、X-4 による方が明らかに良く分離されている。X-4 樹脂カラムで得られた理論段数は、X-12 カラムのその約 7.5 倍に達している。

これは、低架橋度の場合には樹脂相におけるイオンの拡散が速やかで、早く平衡状態に達しうるためであろうと考えられる。

#### 3.2 樹脂粒度と溶離液の流速

Run 3 と 4, 5 と 7, および 10 と 12 の結果をそれぞれ比較すると、同じ架橋度 (DVB 8%) の樹脂の分離性能に対する粒度の効果がわかる。より細かい樹脂を用いると、溶離曲線はより鋭くなり、理論段数が増加する。

また同一粒度の同種樹脂における溶離液流速の影響をみるには、Run 4 と 5, 6 と 7, 9 と 10, および 11 と 12 の対における結果をそれぞれ比較すればよい。いずれも、流速が増加すると、溶離曲線が広がる。比流速  $1 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$  以下でも流速による影響が大きく、 $0.1 \text{ ml/cm}^2 \cdot \text{min}$ ,  $4 \text{ mm}$  径カラムに対して  $0.75 \text{ ml/hr}$ , 程度以下で溶離するのが望ましい。

より細かい粒度の樹脂を用いるか、あるいは高温下で溶離すれば、カラム性能を良好に保ちつつ早く分離することができる。

#### 3.3 ポーラス型樹脂

##### 3.3.1 分離特性

Fig. 1 の Run 6 に示した粒径  $22.5 \mu$  のゲル型樹脂についての結果をみると、溶離曲線の主ピークは細く、大きな理論段数が得られている。しかし、この主ピークの後に、段丘状のテーリングがある。 $\alpha$ 線スペクトロメトリによれば、この部分の成分は主ピークのそれと全く同じであった。ポーラス型樹脂によれば、主ピークはさらに鋭くなり、理論段数も増大するが、とくにテーリングの減少が顕著である。すなわち、Fig. 1 の Run 6 にくらべ、Fig. 2 に示す Run 9 の結果では、peak-tail 比は約 100 倍増加している。

ポーラス型樹脂を用いた場合 (Fig. 2) は、同等な条件でゲル型樹脂を用いた場合にくらべて、格段に良く分離された。同架橋度 (DVB 8%) のゲル型およびポーラス型樹脂カラムに

ついて得られた理論段数と溶離液流速ならびに樹脂粒度との関係を Fig. 3 に示す。同等の条件では、ポーラス型樹脂を用いると、ゲル型にくらべて約3倍の理論段数が得られる。

ハイポーラス型樹脂では、Fig. 1 の Run 8 の結果にみられるように、溶離ピークはきわめて鋭く、ポーラス型によるよりも大きい理論段数が得られた。しかし、Peak-tail 比は10倍程度しか増加しなかった。また、架橋度が高い(DVB 10%)にもかかわらず分離係数が小さく、総合的分離性能においてはポーラス型樹脂に及ばない。

ポーラス型あるいはハイポーラス型イオン交換樹脂は高分子基材に物理的細孔を有するため、樹脂相におけるイオンの拡散がゲル型樹脂にくらべてはるかに速やかである。したがって、溶離に際し十分に平衡に達しつゝ吸着帯が展開されると考えられる。このように、ポーラス型樹脂では、分離係数はとくに増加しないが、溶離ピークが尖鋭になって、理論段数が増し、かつテーリングが著しく減少する。その結果、イオン交換カラムクロマトグラフィにおける分離性能を格段に向上させる。この効果は、ここで検討した系のみならず、種々のイオン交換分離系についても同様であろう。

### 3.3.2 超プラトニウム元素と希土類元素の分離

これまで提案されているどの方法によっても、きわめて細かい粒度のイオン交換樹脂の使用を要する。実用上  $20\mu$  以下の“コロイド状”樹脂の使用には、かなり厄介な問題が多く、加圧イオン交換などの技術が必要になる。<sup>16)</sup>

ポーラス型樹脂を用いれば、はるかに扱い易い粒度 ( $\geq 35\mu$ ) でコロイド状ゲル型樹脂と同等以上の性能が得られる。さらに、コロイド状樹脂に対して開発された諸技術を、きわめて細かいポーラス型樹脂に適用すれば、分離性能が飛躍的に向上するであろう。分離係数はあまり大きくなくとも、安全性あるいは経済性などの点で有利な溶離剤を選択し得ることが期待される。

### 3.4 Am・Cm, Y, Eu-Ceの分離

多数試料の分析方式としては、高温溶離、強制流下方式ならびに特殊試薬等を必要としないことが望ましい。これらの条件には、数十ミクロン程度の粒径のポーラス型樹脂が適当である。

ダイヤイオンCPK08,  $35\mu$ の樹脂カラムによる分離例を Fig. 4 に示す。カラムは、直径4mm, 最下部に75-100 $\mu$ のCPK08樹脂を3mm, その上に35 $\mu$ の樹脂を詰め、H型で水に浸した状態で全高20cmに合わせた。その上にさらに陰イオン交換樹脂SA#10075-100 $\mu$ , Cl型のを約5mm詰めた。

このカラムに希塩酸酸性試料溶液を流すと、目的元素はすべて陽イオン交換樹脂層の最上部に吸着される。つぎに濃塩酸溶液を流して溶離した。上端の陰イオン交換樹脂には目的元素は吸着されず、この層は陽イオン交換樹脂上面の乱れと、吸着イオンの上部溶液層への逆溶出を防ぐ役を果す。

1.7M塩酸溶液が通ると、陽イオン交換樹脂層の高さは14.5cmまで収縮したが、分離結果は良好であった。Fig. 4 にみられるように、アメリカウムとキュリウムはほとんど重複して溶離された。バークリウムおよびカリホルニウムなどさらに高位の原子番号のアクチノイドも、恐らくこの部分と一緒に溶離されるであろう。核分裂生成物には、イットリウムならびに

ランタンからテルビウムまでのランタノイドが含まれる。テルビウムとガドリニウムはイットリウムと重なる位置に溶離されると考えられるが、ランタンは4 M塩酸の部分に溶離される。

#### 4. 結 論

既報のイオン交換法による系統分離過程<sup>14)</sup>と本報の分離過程(3.4)を組合せると、すでに検討したウラン、プルトニウム、ネプツニウム、セシウム、ジルコニウム、モリブデンなど諸元素に加えて、アメリシウム、キュリウムなどの超プルトニウム元素、ならびに重要な核分裂数モニタであるランタノイドも含めて、すべて同一試料から系統的に分離定量することができる。

これで、核燃料の燃焼率測定のために定量すべき諸元素のイオン交換系統分離法が一応完成した。この方法の有効性は、ウラン燃料に対してはJPDR-I使用済燃料試料によりすでに確認したが、<sup>2,17)</sup>多量のプルトニウムを含有する試料に関しては今後検討したい。

#### 謝 辞

本研究に用いたダイヤイオン樹脂は、三菱化成工業株式会社の好意により提供された。また、同社の関口米蔵氏ならびに淵脇 氏からは、イオン交換樹脂の特性ならびに使用上の諸問題について、多くの有益な御教示を給わった。ここに深く感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- 1) 夏目晴夫, 岡下 宏, 梅沢弘一: 日本原子力学会誌, 15, 239(1973)
- 2) Umezawa, H., Ichikawa, S., Suzuki, T., Okashita, H., Natsume, H.: J. Nucl. Sci. Technol., 10, 489(1973)
- 3) Street, K. Jr., Seaborg, G.T.: J. Amer. Chem. Soc., 72, 2790(1950)
- 4) Diamond, R.M., Street, K. Jr., Seaborg, G.T.: *ibid.*, 76, 1461(1954)
- 5) Choppin, G.R., Chatham-Strode, A.: J. Inorg. Nucl. Chem., 15, 377(1960)
- 6) Thompson, S.G., Harvey, B.G., Choppin, G.R., Seaborg, G.T.: J. Amer. Chem. Soc., 76, 6229(1954)
- 7) Coleman, J.S., Penneman, R.A., Keenan, T.K., LaMar, L.E., Armstrong, D.E.,

ランタンからテルビウムまでのランタノイドが含まれる。テルビウムとガドリニウムはイットリウムと重なる位置に溶離されると考えられるが、ランタンは4 M塩酸の部分に溶離される。

#### 4. 結 論

既報のイオン交換法による系統分離過程<sup>14)</sup>と本報の分離過程(3.4)を組合せると、すでに検討したウラン、プルトニウム、ネプツニウム、セシウム、ジルコニウム、モリブデンなど諸元素に加えて、アメリシウム、キュリウムなどの超プルトニウム元素、ならびに重要な核分裂数モニタであるランタノイドも含めて、すべて同一試料から系統的に分離定量することができる。

これで、核燃料の燃焼率測定のために定量すべき諸元素のイオン交換系統分離法が一応完成した。この方法の有効性は、ウラン燃料に対してはJPDR-I使用済燃料試料によりすでに確認したが、<sup>2,17)</sup>多量のプルトニウムを含有する試料に関しては今後検討したい。

#### 謝 辞

本研究に用いたダイヤイオン樹脂は、三菱化成工業株式会社の好意により提供された。また、同社の関口米蔵氏ならびに淵脇 氏からは、イオン交換樹脂の特性ならびに使用上の諸問題について、多くの有益な御教示を給わった。ここに深く感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- 1) 夏目晴夫, 岡下 宏, 梅沢弘一: 日本原子力学会誌, 15, 239(1973)
- 2) Umezawa, H., Ichikawa, S., Suzuki, T., Okashita, H., Natsume, H.: J. Nucl. Sci. Technol., 10, 489(1973)
- 3) Street, K. Jr., Seaborg, G.T.: J. Amer. Chem. Soc., 72, 2790(1950)
- 4) Diamond, R.M., Street, K. Jr., Seaborg, G.T.: *ibid.*, 76, 1461(1954)
- 5) Choppin, G.R., Chatham-Strode, A.: J. Inorg. Nucl. Chem., 15, 377(1960)
- 6) Thompson, S.G., Harvey, B.G., Choppin, G.R., Seaborg, G.T.: J. Amer. Chem. Soc., 76, 6229(1954)
- 7) Coleman, J.S., Penneman, R.A., Keenan, T.K., LaMar, L.E., Armstrong, D.E.,

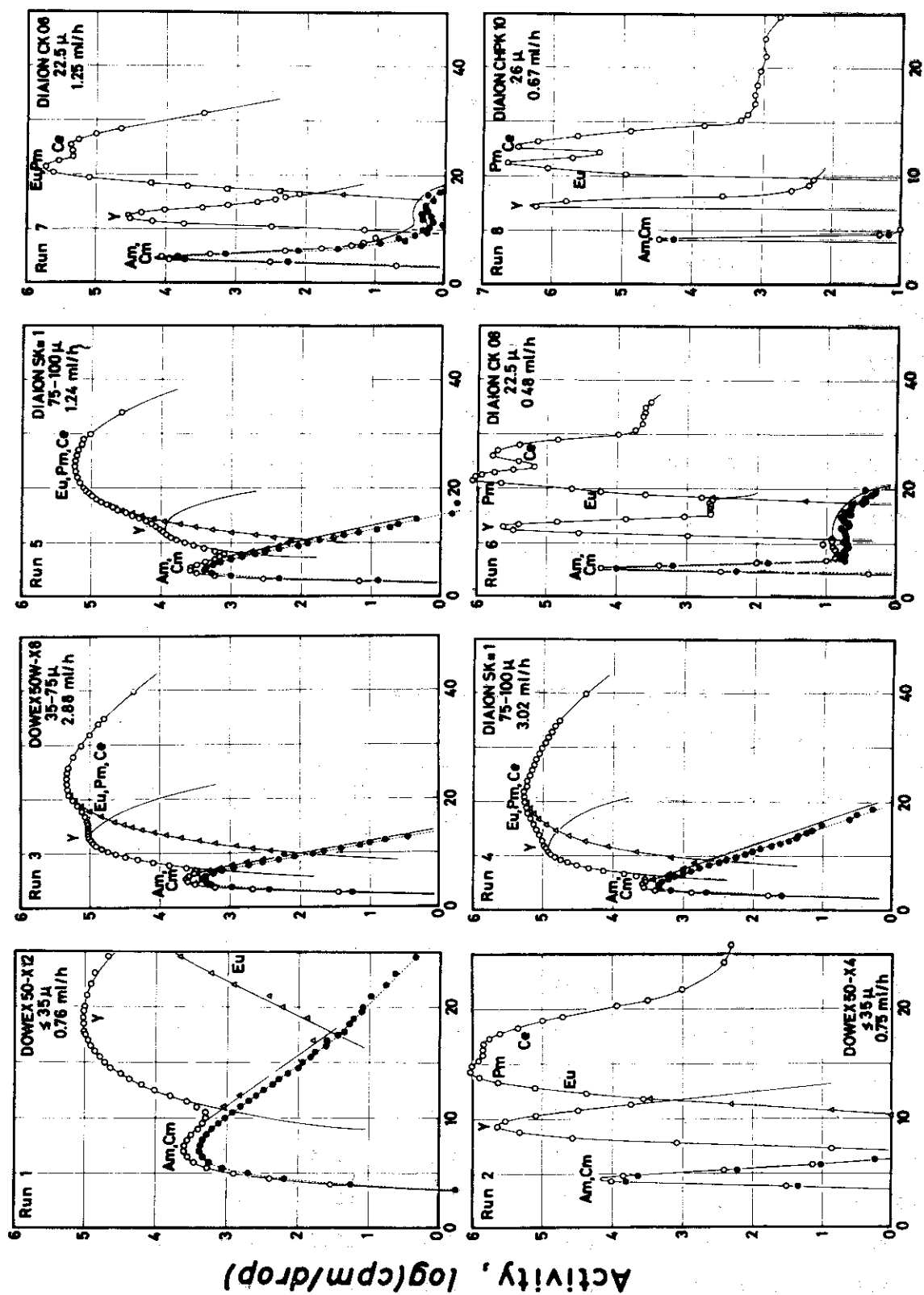
- Asprey, L.B.: J. Inorg. Nucl. Chem., 3, 327 (1956)
- 8) Surls, J.P.Jr., Choppin, G.R.: *ibid.*, 4, 62 (1957)
- 9) Hulet, E.K., Gutmacher, R.G., Coops, M.S.: *ibid.*, 17, 350 (1961)
- 10) Higgins, G.H., Crane, W.W.T.: Proc. Second Intern. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 17, pp. 245-251, U.N., Geneva 1958
- 11) Keenan, T.K.: J. Inorg. Nucl. Chem., 20, 185 (1961)
- 12) Guseva, L.I., Tikhomirova, G.S.: Soviet Radiochem., 12, 738 (1970)
- 13) Guseva, L.I., Tikhomirova, G.S.: *ibid.*, 14, 197 (1972)
- 14) Natsume, H., Umezawa, H., Okazaki, S., Suzuki, T., Sonobe, T., Usuda, S.: J. Nucl. Sci. Technol., 9, 737 (1972)
- 15) Glueckauf, E.: Trans. Faraday Soc., 51, 34 (1955)
- 16) Harbour, R.M., Hale, W.H., Burney, G.A., Lowe, J.T.: Atomic Energy Rev., 10, 379 (1972)
- 17) 夏目晴夫他: 日本原子力学会 昭和47年化学・化学工学分科会, B20, 1972年10月, 熊取

Table 1 Cation-exchange resins tested

Brand	Grain size ( $\mu$ )	DVB content (%)	Type
DOWEX 50 X-12	$\lesssim 35$	12	gel
DOWEX 50 X-4	$\lesssim 35$	4	gel
DOWEX 50W X-8	35-75	8	gel
DIAION SK 1	75-100	8	gel
DIAION CK08	22.5	8	gel
DIAION CPK08	35	8	porous
DIAION CPK08	75-100	8	porous
DIAION CHPK10	26	10	high-porous

Table 2 Separation factor and number of theoretical plate obtained from a 4mm diam. x 240mm column

Run	Ion-exchange resin	Grain size ( $\mu$ )	Flow rate (ml/hr)	$\bar{v}(Am)$ (ml)	$\bar{v}(Y)$ (ml)	$\alpha_{Am}^Y$	N'
1	DOWEX 50 X-12	$\lesssim 35$	0.76	7.0	19.3	2.7	36
2	DOWEX 50 X-4	$\lesssim 35$	0.75	4.4	9.6	2.2	270
3	DOWEX 50W X-8	35-75	2.88	5.2	13.3	2.5	33
4	DIAION SK #1	75-100	3.02	4.5	12.4	2.7	24
5	DIAION SK #1	75-100	1.24	4.9	13.3	2.7	32
6	DIAION CK08	22.5	0.48	5.2	13.1	2.5	690
7	DIAION CK08	22.5	1.25	4.5	12.4	2.7	310
8	DIAION CHPK10	26	0.67	4.2	7.4	1.8	ca.1200
9	DIAION CPK08	35	0.76	5.3	12.5	2.4	890
10	DIAION CPK08	35	2.60	5.0	12.6	2.5	290
11	DIAION CPK08	75-100	1.26	5.1	12.8	2.5	110
12	DIAION CPK08	75-100	2.94	5.1	12.9	2.5	60



Volume of effluent, ml

Fig. 1 Ion-exchange chromatograms obtained by using various gel-type resins and high-porous-type resin with 11.7M hydrochloric acid solution (●:  $\alpha$  activity, ○:  $\alpha + \beta$  activity,  $\Delta$ :  $\alpha + \beta$  activity after decay of  $^{90}\text{Y}$ )

Activity, log(cpm/drop)

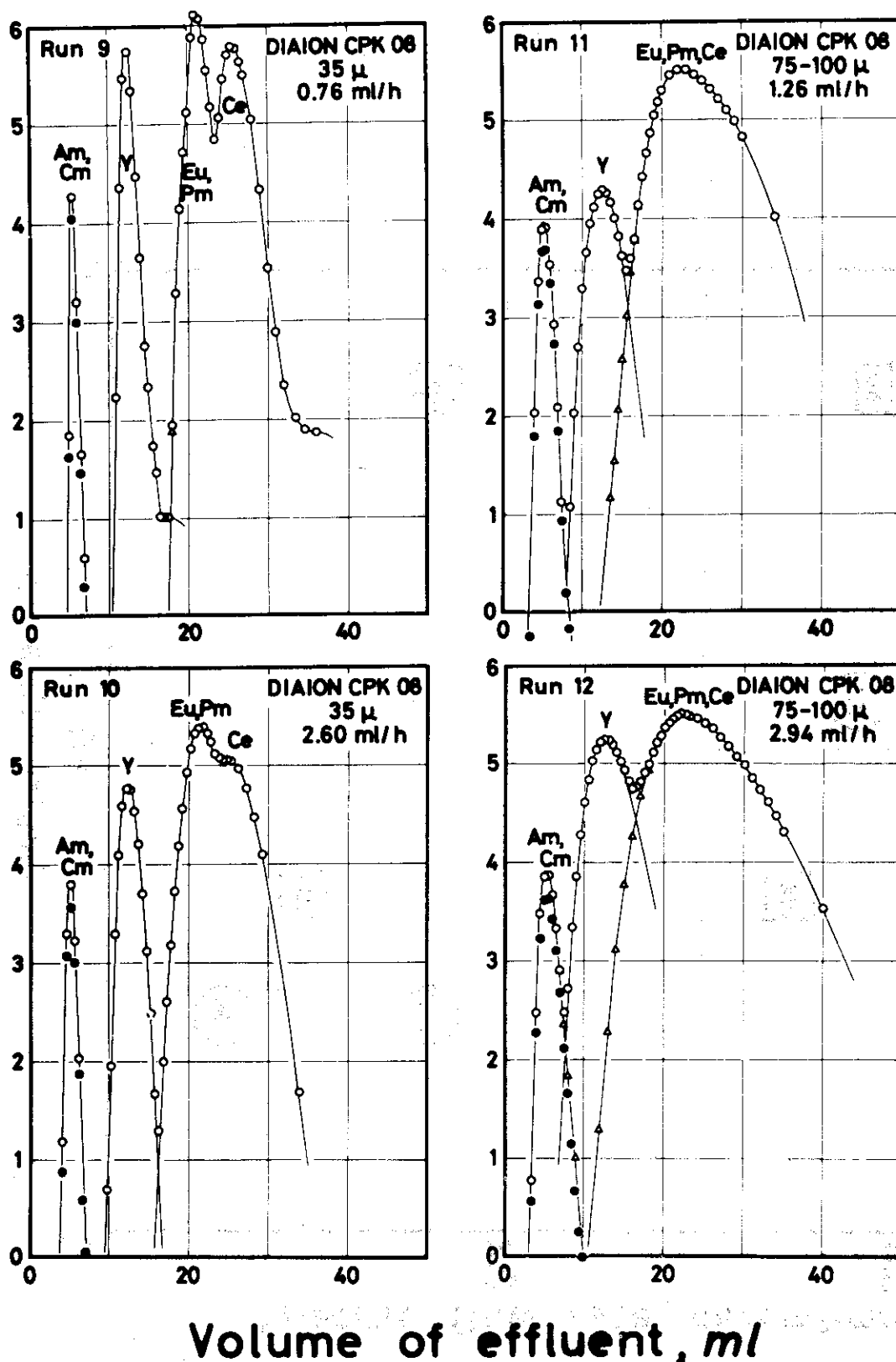


Fig. 2 Ion-exchange chromatograms obtained by using porous-type resins with 11.7M hydrochloric acid solution

( ● ; α activity, ○ ; α + β activity, Δ ; α + β activity after decay of <sup>90</sup>Y )



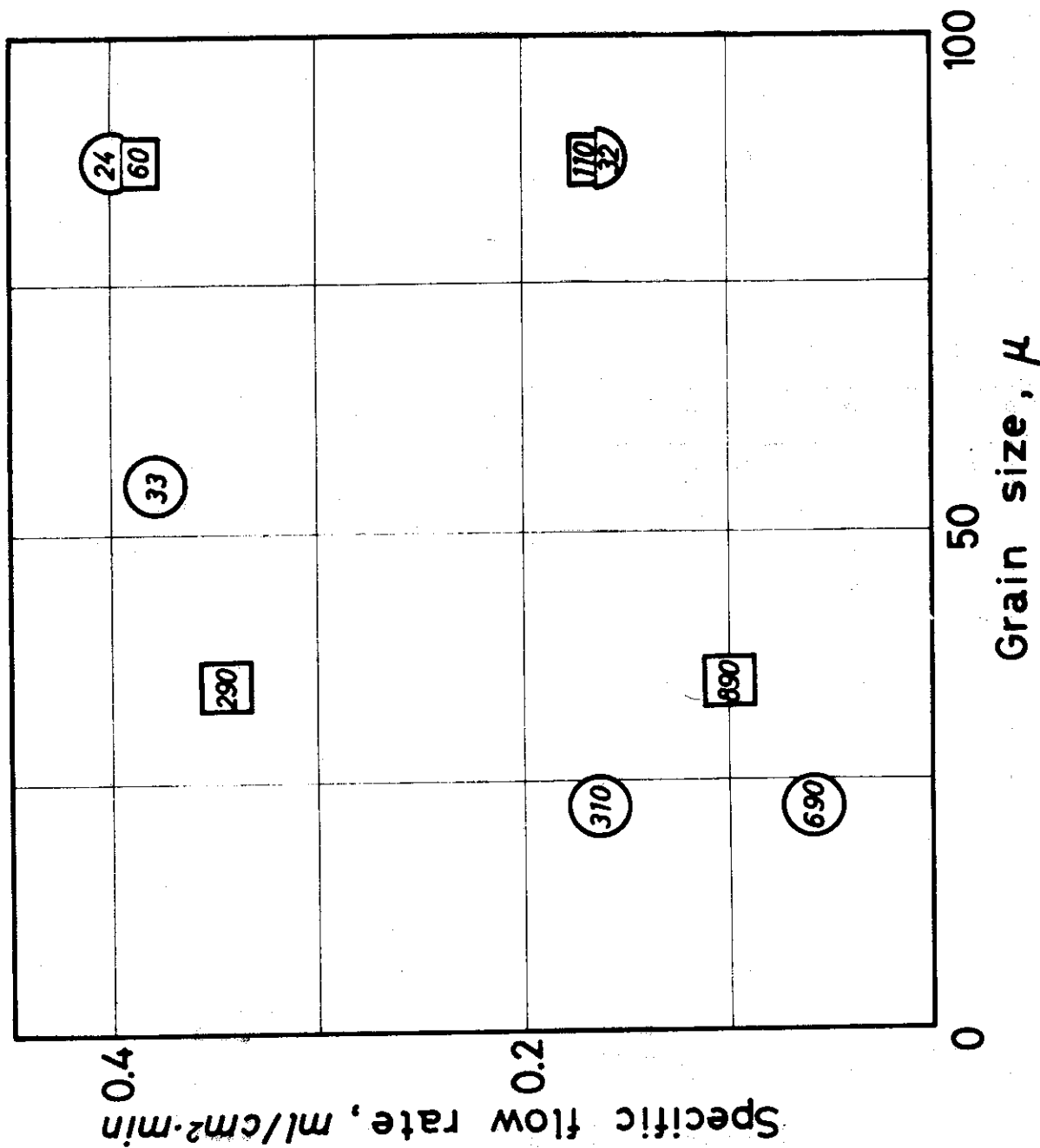


Fig. 3 Number of theoretical plate obtained from the 240-mm columns of porous-type ( shown in squares ) and gel-type ( shown in circles ) resins under various conditions

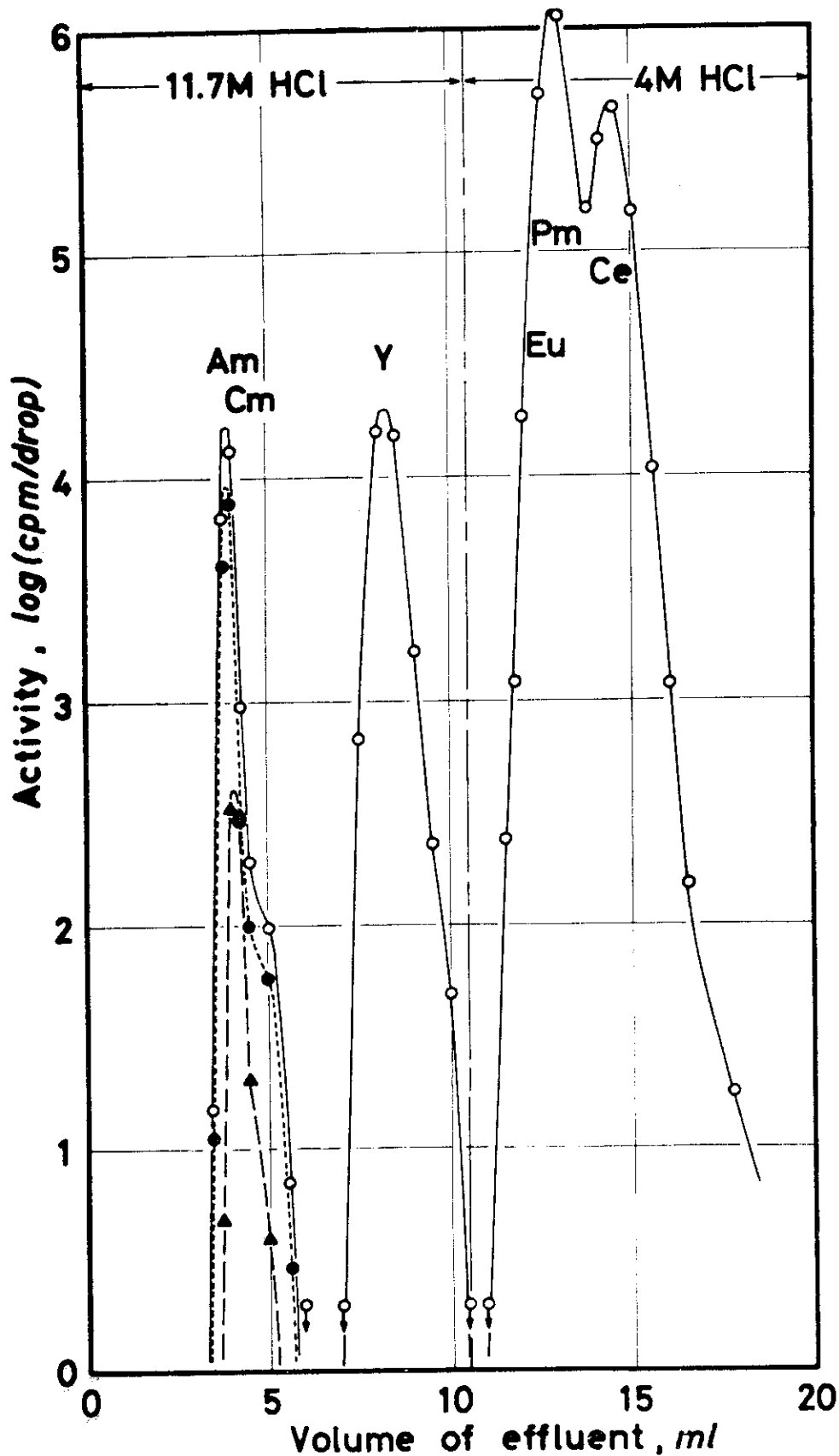


Fig. 4 Elution curve of the chromatographic separation of the Am-Cm, Y, and Eu-Ce groups  
 ( ● ;  $\alpha$  activity of Am, ▲ ;  $\alpha$  activity of Cm, ○ ;  $\alpha + \beta$  activity )