



年次大会ポスター発表紹介 優秀ポスター賞 ストロンチウム収着剤を用いた水中の放射性 ストロンチウムの迅速分析法



緒方 良至^{*1} (右上写真), 小島 貞男^{*1}, 有信 哲哉^{*1}
箕輪 はるか^{*2}, 杉原 真司^{*3}, 加藤 結花^{*4}, 末木 啓介^{*5}

1. 緒言

放射性ストロンチウムは、骨に蓄積し固形癌や白血病のリスクがあり、環境中のモニタリングで感度の高い核種である。中でも核分裂生成核種である⁹⁰Sr・⁸⁹Srは純β核種であるため、放射能測定前に他の核種から分離する必要がある。従来分析法は、多量の劇物、熟練した技術を要し、結果を得るまでに2~3週間要する¹⁾。安全で迅速な分析法の開発が切望されている。筆者らは、ケイ酸バリウムを主成分とするSr収着剤(ピュアセラムMAq[®], 日本化学工業, 以下P-MAq)を用いた水中の放射性Srの迅速定量法を開発した。

2. 方法

2.1 P-MAqの必要量

標準的な海水濃度に調製した模擬海水¹ 100 mL (HCl 0.1 M 相当に調製, 以下, 試料はすべて同様に調製) に⁸⁵Srを加えた後, Sr収着剤を50, 100, 120, 130, 150 mg加え, 攪拌しながら0.5~4時間まで経時的に試料を採取し, γカウンタで測定した。

2.2 海水中の主成分元素及びCsの挙動

市販の人工海水² 100 mLにSr収着剤を100 mg加え, 攪拌しながら5~120分まで経時的に試料を採取し, 海水中の主要4元素Na, K, Mg, Caの濃度をICP-AES (IRIS/AP, Thermo Jarrell Ash Co.) で測定した。また, 人工海水100 mLに¹³⁴Csを約1 kBq添加した後, Sr収着剤を100 mg加え, 攪拌しながら2~26時間まで経時的に試料を採取し, HPGe半導体検出器 (GEM-35190S, ORTEC Co. Ltd.) で測定した。

2.3 放射性Srを収着したP-MAqの測定方法

測定方法として, 以下の4方法を試行した。

(1) PSB法: 吸引ろ過でSr収着剤を収集したろ紙試料をポリエチレンフィルムで覆い, 一對のプラスチックシンチレータで挟み, ポリバイアルに入れ (Plastic Scintillation Bottle), 低バックグラウンド (BG) 液体シンチレーションカウンタで測定する方法³⁾, (2) LBC法: ろ紙試料を低BGガスフローカウンタ (Low Background Gas Flow Counter) で測定する方法, (3) ES法: 遠心分離したSr収着剤を液シンバイアルに移し, エマルジョンシンチレータ (Emulsion Scintillator) を加えて測定する方法及び(4) GS法: 同Sr収着剤を液シンバイアルに移し, ゲルシンチレータ (Gel Scintillator) を加えて測定する方法。ES法とGS法は, 標準バイアル (20 mL) を用い, 汎用の液体シンチレーションカウンタで測定する方法と大容量 (145 mL) のバイアルを用い, 低BG液体シンチレーションカウンタで測定する方法を行った。

2.4 MDCの計算

検出下限濃度 (Minimum Detectable Concentration, MDC) は, 以下の式で計算した。

$$n_{DL} = \frac{2}{t} + \sqrt{\frac{4}{t^2} + 8 \frac{n_b}{t}} \quad (1)$$

$$A_{DL} = \frac{n_{DL}}{60 \cdot \epsilon \cdot Y} \quad (2)$$

$$MDC = \frac{A_{DL}}{V} \quad (3)$$

ここで, t は計数時間 (min), n_b はバックグラウンド (BG) 計数率 (min^{-1}), Y はSrの化学収率, ϵ は計数効率, V は試料容量 (L), n_{DL} は検出下限計数率 (min^{-1}), A_{DL} は検出下限放射能 (Bq) である。

3. 結果及び考察

表1に4時間攪拌後の試料水中の⁸⁵Srの残存率を示した。Sr収着剤を130 mg加え4時間攪拌するこ

1 野崎²⁾の文献値に調製した海水

2 ダイゴ人工海水SP, 日本製薬

表1 ⁸⁵Srの試料水中の残存率

収着剤 (mg)	50	100	120	130	150
残存率 (%)	58.2	21.5	19.8	12.6	12.2

表2 各測定法のMDC

測定法	測定器	P-MAq (mg)	海水試料 (mL)	MDC (Bq L ⁻¹)	MDC WHOのガイドライン
(1) PSB	低BG LSC	150	100	0.5	1/20
(2) LBC	低BG ガスフロー	75	50	0.6	1/16
(3) ES	汎用 LSC (20mL バイアル)	1500	1000	0.3	1/33
(4) GS	低BG LSC (145mL バイアル)	7500	5000	0.02	1/500

とにより、Srは87%以上収着されることが分かった。

Na, K, Mg, Caの残存率は攪拌時間5分~2時間の範囲でほぼ一定で、溶液中に98%以上残留していた。また、¹³⁴Csは、26時間後の溶液中の残存率は99%以上であった。Sr収着剤は、Na, K, Mg, Ca, Csをほとんど吸着しないことが分かった。

図1に攪拌からP-MAq分離までの化学操作を示す。海水にSr収着剤を加え、4時間攪拌した後、Sr収着剤を吸引ろ過又は遠心分離で分離する。分離した収着剤を液体シンチレーションカウンタあるいはガスフロー検出器で測定する。測定方法により測定できるP-MAqの量が異なり、それにより適用できる海水試料の上限が決まる。MDCは、海水試料の容量に大きく依存する。測定できるSr収着剤の量は、PSB法が150 mg、LBC法が、75 mg、ES法とGS法で標準バイアルの場合が、1500 mg、大容量バイアルの場合が7500 mgで、それぞれ、海水100 mL、50 mL、1000 mL、5000 mLに適用できる。表2に60分測定の場合の各測定法のMDCを示した。最も高かったのは、LBC法で、0.6 Bq L⁻¹であった。この場合でも、WHOの定める⁹⁰Srの飲料水中のガイダンスレベル (10 Bq L⁻¹) の16分の1まで測定できる。

陸水に応用する場合、海水に比べ溶解している元素量が少ないため、より少量のSr収着剤でSrを収着することが可能である。したがって、より多くの試料に適用することができ、より低いMDCとなる。

どの測定法を選ぶかについては、必要とするMDC、現有の機器、ランニングコスト³等、施設の

3 P-MAqは、試作品で販売されていないため、コストに含めなかった。

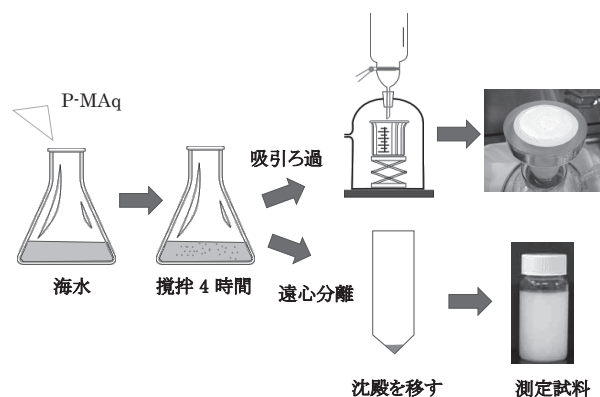


図1 Sr収着からP-MAq分離までの化学操作

状況に依存する。LBC法は、MDCは高いが、試料50 mLのできるため、操作も容易で、ランニングコストもほぼPRガスのみで1検体当たり数十円である。一方、ES法・GS法は、MDCは低い、シンチレータが必要で、したがって有機廃液が発生する。特に、大容量バイアルの場合、発生量が多くなり、その分も含めてランニングコストは高い。PSB法では、プラスチックシンチレータは再利用可能である。PSB法、ES法、GS法では、スペクトル情報の取得が可能であり、⁸⁹Sr、⁹⁰Sr、⁹⁰Yの弁別が可能である。

4. まとめ

Sr収着剤を用いた海水・陸水中の放射性Srの分析法を開発した。試料分析開始から結果を得るまで6時間で検出下限濃度は0.6 Bq L⁻¹以下であった。本法では劇物を使用しないため安全であり、また、複雑な化学操作を要しない。本法は放射性Srの迅速で安全な分析法である。

参考文献

- 1) 文部科学省, 放射能測定法シリーズ2 放射性ストロンチウム分析法 (2003) 文部科学省
- 2) 野崎義行, 最新の海水の元素組成表 (1996年版) とその解説, 日本海水学会誌, **51**, 302-308 (1997)
- 3) 緒方良至, 他, プラスチックシンチレータボトルを用いた海水中の放射性ストロンチウム測定法, Proceedings of the 33rd Workshop on Radiation Detectors and Their Uses, KEK Proceedings 2019-4, 33-41 (2019)

(*¹ 愛知医大・医, *² 慈恵医大・アイソトープ,

*³ 大分大, *⁴ アロカ(株), *⁵ 都立大)