

JAERI-Research

98-072



青森県六ヶ所村沖における海洋放射能調査

1998年12月

山本忠利・郡司勝文・五十嵐延行*

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の間合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1998

編集兼発行 日本原子力研究所

青森県六ヶ所村沖における海洋放射能調査

日本原子力研究所むつ事業所施設部
山本 忠利・郡司 勝文⁺・五十嵐延行^{*}

(1998年10月27日受理)

青森県六ヶ所村沖の測点から海水試料を採取して、その中に含まれる放射性物質の濃度レベルを調査した。人工放射性核種として^{239,240}Pu, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs等が検出されたが、いずれも各測点の海水試料について放射能の違いは認められず、ほぼ均一に分布していた。六ヶ所村沖における他の機関による最近の観測データと比べて、同じくらいの放射能のデータが得られた。

本報告は、平成8年度及び9年度に実施した放射能濃度の測定結果についてまとめたものである。

Research on Radioactivity in Marine off Rokkasho Village
of Aomori Prefecture

Tadatoshi YAMAMOTO, Katsufumi GUNJI⁺ and Nobuyuki IGARASHI^{*}

Department of Facilities
Mutsu Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Minato-cho Mutsu-shi Aomori-ken

(Received October 27, 1998)

The seawater samples were collected at the fixed points off the Rokkasho village of Aomori prefecture. The concentration level of radioactive substance was researched for these samples. The radioactivity of $^{239, 240}\text{Pu}$, ^{90}Sr , ^{137}Cs and so on was detected as artificial radionuclides. Difference in radioactivity was not observed for the seawater samples in each measurement point. These radioactivities were made uniform distribution. Compared with the recent data by other research institutions observed in the off Rokkasho village, data of comparable radioactivity were obtained.

This report describes the measurement results of radioactive concentration undertaken in the 8th and 9th fiscal year of Heisei.

Keywords: Plutonium 239, 240, Strontium 90, Cesium 137, Artificial Radionuclides, Seawater, Radioactivity

⁺ Department of Materials Science, Tokai Research Establishment
^{*} Japan Marine Science Foundation

目 次

1. まえがき	1
2. 調査内容	2
3. 調査海域	3
4. 試料の採取方法	5
5. 試料の化学的前処理方法	6
5.1 α 線測定用試料	6
5.2 β 線測定用試料	6
5.3 γ 線測定用試料	6
6. 試料の測定方法	14
6.1 α 線測定方法	14
6.2 β 線測定方法	14
6.3 γ 線測定方法	14
7. 調査結果と考察	17
8. あとがき	21
参考文献	21

Contents

1. Introduction	1
2. Research Subject Matter	2
3. Research Sea Area	3
4. Collecting Method of Samples	5
5. Chemical Treatment Method of Samples	6
5.1 Measurement Sample for α -ray	6
5.2 Measurement Sample for β -ray	6
5.3 Measurement Sample for γ -ray	6
6. Measurement Method of Samples	14
6.1 Measurement Method for α -ray	14
6.2 Measurement Method for β -ray	14
6.3 Measurement Method for γ -ray	14
7. Research Results and Discussion	17
8. Remarks	21
References	21

This is a blank page.

1. ま え が き

核実験による放射性降下物、旧ソ連による日本海への放射性廃棄物の投棄等が海洋を汚染させるため、海洋における放射性物質の移行と挙動に係る素過程を解明することによって、海洋放射能の影響を評価することが重要な課題である。このため、海洋環境に存在する放射性核種の移行挙動を調べるとともに、海水中に含まれる ^{14}C の年代測定から、海水における物質の循環過程を解明して、それらの結果に基づき放射性核種の移行挙動モデルの開発を行うため、海洋調査研究室がむつ事業所大湊施設に平成7年10月設置され、約2年かけて放射能測定機器、分析機器等の整備が進められた。

当研究室では、放射性核種の移行挙動に関する研究として、核燃料サイクル施設から流出される恐れがあることが考えられる放射性物質について海洋中における挙動及び移行の状況を調査することを目的に太平洋側の青森県沿岸の海洋調査に取り組んだ。平成8年度には、海洋調査研究船「みづほ丸」を用いて、青森県六ヶ所村沖の6測点から海水試料を採取し、その中に含まれる ^{137}Cs 等の γ 線放出核種について化学的前処理を行い、その放射能を測定した。平成9年度には、前年度に引き続き六ヶ所村沖の3測点から海水試料を採取し、その中に含まれる $^{239,240}\text{Pu}$ 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 等についてそれぞれの α 、 β 、 γ 線の放射能を測定して、これら放射能の分布状況について検討を加えた。

さらに、青森県沿岸域から外洋域に範囲を広げ、海洋中に存在する懸濁物質に着目して、海洋調査研究を進展させることを考えている。この懸濁物質は、生物がつくった有機物、プランクトンのケイ酸と放散虫の殻であるオパール、有孔虫と円石藻などの殻である炭酸カルシウム及び陸上の岩石が風化した粘土粒子である。放射性物質は生物起源の粒子に取り込まれたり、表面に吸着したりすることが考えられるので、放射性物質が海水中を移行するときに、この懸濁物質との相互作用により下方に沈降し、この沈降した物質がさらに再浮遊により上部に移送される。したがって、このような吸着、脱着、沈降、再浮遊等の素過程における放射性核種の挙動を解明することが重要な研究テーマである。

本報告は、青森県六ヶ所村沖の測点から採取した海水試料に含まれる放射性物質の濃度レベルを把握するために、平成8年度及び9年度に実施した放射能濃度の測定結果についてまとめたものである。

2. 調査内容

核燃料再処理施設の排水及び放射性降下物等に含まれる放射性物質中に占める比率が高く、かつ半減期が比較的長い人工放射性核種としての $^{239,240}\text{Pu}$, ^{90}Sr , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs を選定し、採取した海水試料について放射能を定量した。また、海水中に存在する自然放射性核種としての ^{40}K , トリウム系列核種、ウラン系列核種等を選定し、その放射能を定量した。調査を実施した核種の一覧を表1に示す。

表1 調査核種一覧

放射能区分	対象核種 (人工)	対象核種 (天然)
α 線	$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	—
β 線	^{90}Sr	—
γ 線	^{54}Mn , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs	^{40}K , トリウム系列核種, ウラン系列核種

なお、平成8年度は実験施設の関係上 γ 線のみを測定し、平成9年度は α 線、 β 線及び γ 線のすべてを測定した。

3. 調査海域

本調査が実施された調査海域及びその周辺海域の海底地形を図1に示す。調査付近は青森県の太平洋側にあたり、津軽海峡東口から流出した津軽暖水が、下北半島から三陸沿岸へ南下するとされている。本調査では平成8年度に核燃料再処理施設の排水口予定地を含む海域から図1に示した6測点を設定した。平成9年度に平均的な海水の流れ方向に沿うように海岸に近い3測点に限定して、その排水口予定地より北側を1測点、南側を2測点を設定した。各調査測点の緯度、経度及び水深を表2に示す。

表2 調査測点の位置と水深

調査測点名	北緯	東経	水深
A-1	41° 00'	141° 30'	300 m
A-2	40° 54'	141° 30'	160 m
A-3	41° 45'	141° 30'	48 m
A-4	41° 05'	141° 40'	540 m
A-5	41° 00'	141° 40'	420 m
A-6	40° 54'	141° 40'	300 m

平成8年度は表2のA-1～6測点で調査を行ったが、平成9年度は海岸に近いA-1～3測点に限定して調査を行った。

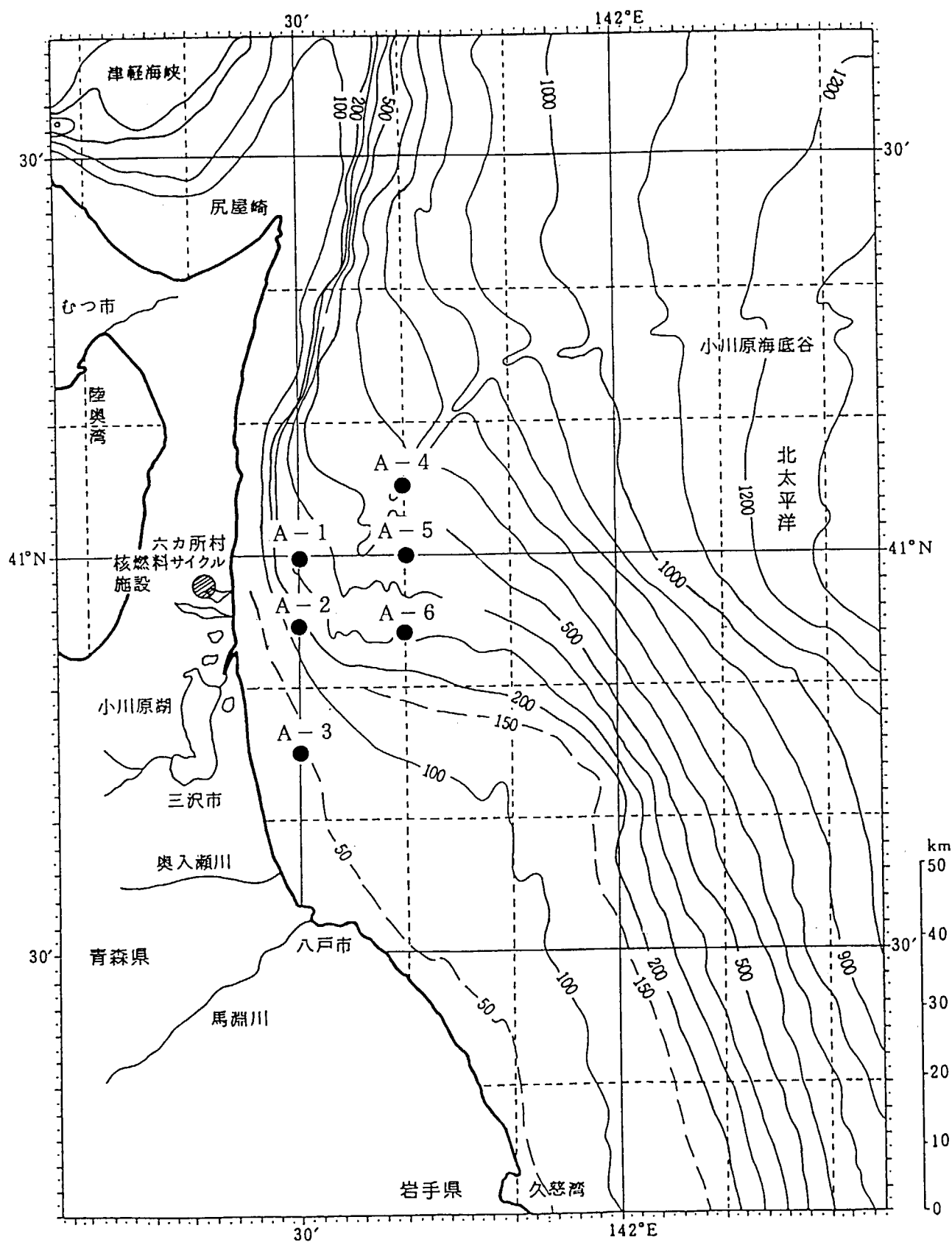


図1 六ヶ所村沖海洋放射能調査測点

4. 試料の採取方法

海水試料は、日本原子力研究所むつ事業所所有の海洋調査研究船「みづほ丸」(写真1)を使用して、平成8年度は、1996年10月22日から30日の間に海底地形等環境の異なる6測点(A-1~6)から表層水(<5m)と下層水(約100m)の計11試料を、平成9年度は、1997年12月15日に8年度の内海岸に近い3測点(A-1~3)から表層水(<5m)のみ3試料を水中ポンプを利用して、20ℓのポリタンクに採取した。なお、A-3測点は水深が浅いため表層水のみ採取となった。

ポリタンクに採取した海水は、後述の化学的前処理を行う都合上、船上で α 線測定用試料には硝酸を、 β 線及び γ 線測定用試料には塩酸を加えた。

実験室に運搬した海水試料は後述の手順に従い、それぞれ前処理を行った。



写真1 海洋調査研究船「みづほ丸」

5. 試料の化学的前処理方法

5.1 α 線測定用試料 (^{239}Pu , ^{240}Pu)

試料は科学技術庁放射能測定シリーズ12「プルトニウム分析法」(平成2年改訂)に基づき処理を行った⁽¹⁾。

ポリタンクの海水試料5本(100 ℓ)を塩ビ容器に移し、 ^{242}Pu 収率補正用のトレーサと鉄(III)担体を一定量添加し、アンモニア水でpH調整を行いプルトニウムを水酸化鉄(III)と共沈させた。沈殿が安定したらポンプで上澄み液を棄て、遠心分離して水分を除いた。その沈殿を硝酸で溶解し、蒸発濃縮して、硝酸、過酸化水素水を加えて原子価調整を行い、濾過をしてイオン交換試料とした。イオン交換カラムには陰イオン交換樹脂を充填し、試料を流して樹脂にプルトニウムを吸着させた。硝酸、塩酸で樹脂を洗った後、溶離液を流してプルトニウムを溶離し、蒸発乾固した。乾固物に硝酸と過塩素酸を加えて、再び原子価調整を行い蒸発乾固した。硫酸で溶解してpHを調整した後、プルトニウムをステンレス板に電着させて α 線測定用試料とした。前処理方法のフローを図2に示す。

5.2 β 線測定用試料 (^{90}Sr)

試料は科学技術庁放射能測定シリーズ2「放射性ストロンチウム分析法」(昭和58年3訂)に準じている⁽²⁾が、放射性ストロンチウムの検出をより確実に行うため、海水試料の処理量を増加して、カルシウムとストロンチウムの分離状態をより良くするため発煙硝酸法後にイオン交換法により行った。

ポリタンクの海水試料2本(40 ℓ)を内側をフッ素樹脂でコーティングしたステンレス容器に移し、炭酸ナトリウムを加えて、炭酸塩としてストロンチウムを共沈させた。ストロンチウムを含む炭酸塩の沈殿を遠心分離して水分を除いた後、硝酸で溶解した。加熱濃縮後に比重の異なる発煙硝酸に対する溶解度の違いを利用してカルシウムを取り除いた後、精製した炭酸ストロンチウムの沈殿を塩酸に溶解し、さらに残っているカルシウム等を取り除くため陽イオン交換樹脂カラムに通して樹脂に吸着させ、溶離液によってストロンチウムを溶離した。クロム酸塩によるバリウム及びラジウムの除去を行った後、水酸化鉄(III)による ^{90}Y の除去(スカベンジング)を行って二週間放置した。

^{90}Sr から新たに生成した娘核種である ^{90}Y を鉄(III)と共に共沈(ミルク)し、分離型フィルターを用いて濾紙上にマウントして β 線測定用試料とした。前処理方法のフローを図3に示す。

5.3 γ 線測定用試料

試料は科学技術庁放射能測定シリーズ13「ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理方法」(昭和57年)に基づき処理を行った⁽³⁾。

ポリタンクの海水試料1本(20ℓ)を内側をコーティングしたステンレス容器に移して、リンモリブデン酸アンモニウム粉末を約10g加えて攪拌し、セシウムをリンモリブデン酸塩として沈殿させた。沈殿が落ちついたら上澄み液を別の容器に静かに移し、沈殿を捕集した。捕集したリンモリブデン酸塩の沈殿は濾紙に捕集しスチロール製円筒型容器に濾紙ごと入れて乾燥器で乾燥させた。

別容器に移した上澄み液にアンモニア水を加えてpH調整を行い、二酸化マンガン粉末を約40g加えて攪拌した。静置した後、沈殿が落ちついたら上澄み液を棄て、沈殿を捕集した。沈殿は濾紙ごと乾燥したリンモリブデン酸塩の沈殿を重ねて、再び乾燥器に入れて乾燥させた。十分に乾燥した後、蓋をしてγ線測定用試料とした。前処理方法のフローを図4に示す。

$^{239+240}\text{Pu}$ 測定のための前処理手順フロー

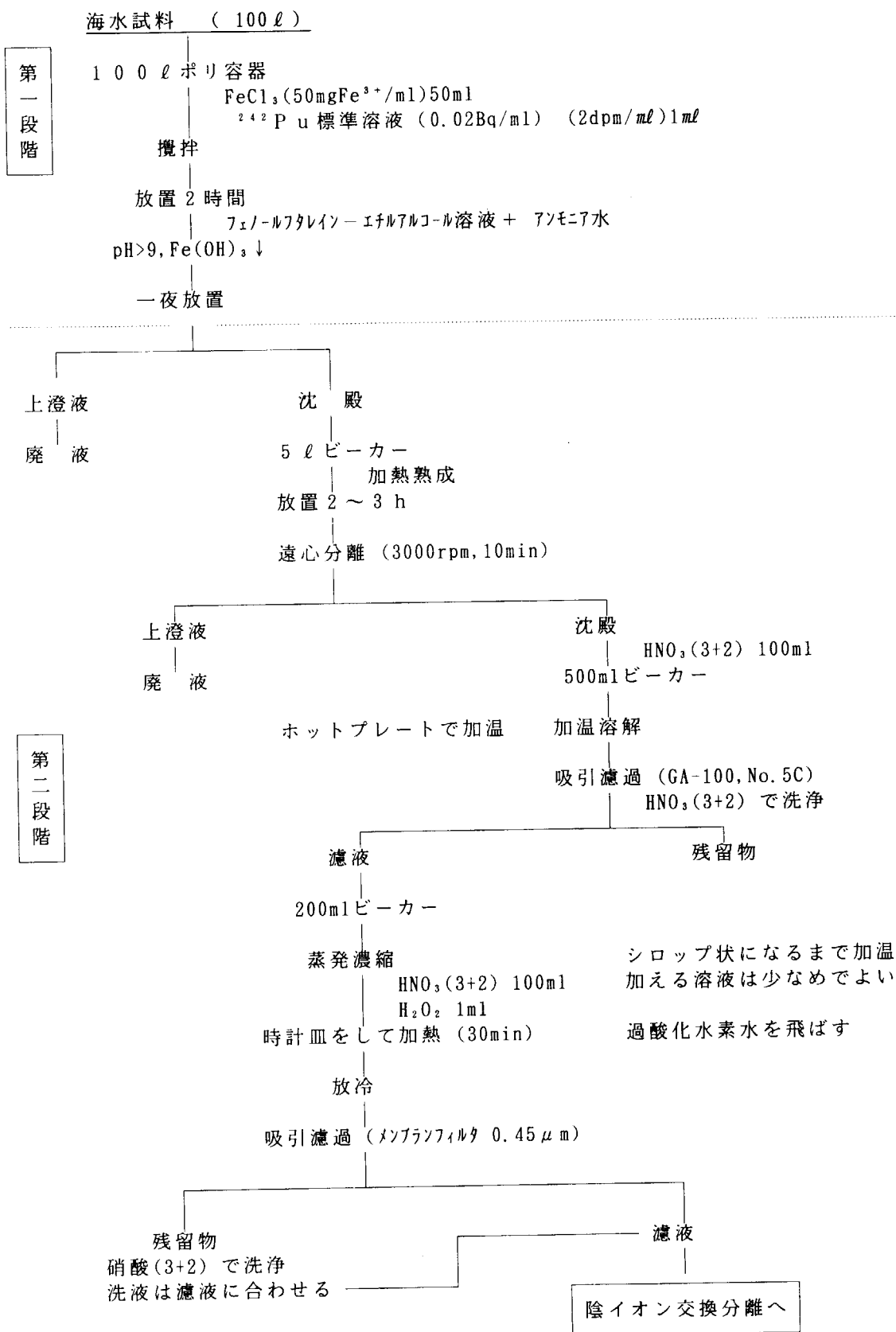


図2 $^{239,240}\text{Pu}$ 分析のための前処理方法 (1/3)

プルトニウムの分離

陰イオン交換法

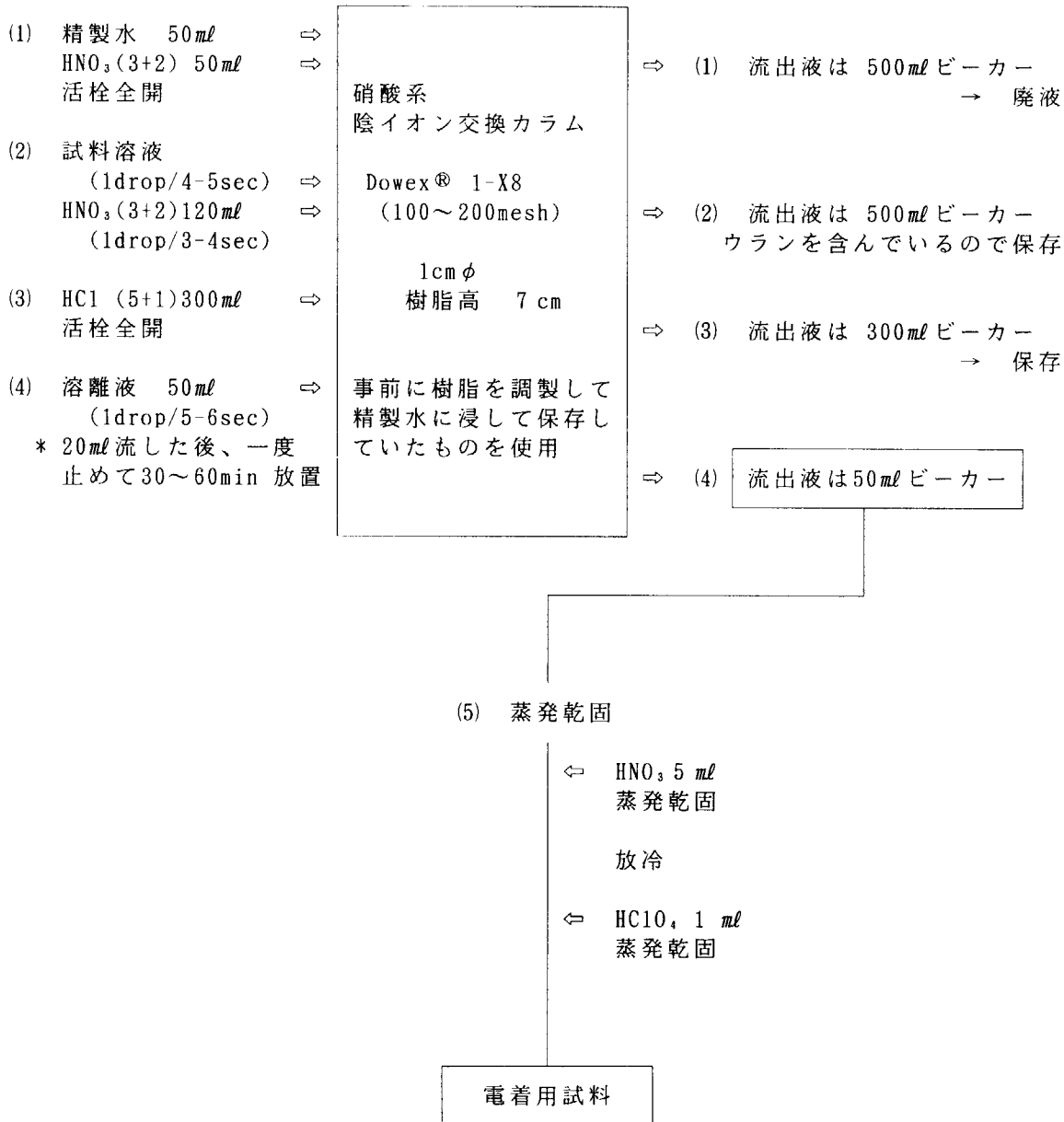


図2 239, 240 Pu分析のための前処理方法 (2 / 3)

電着方法

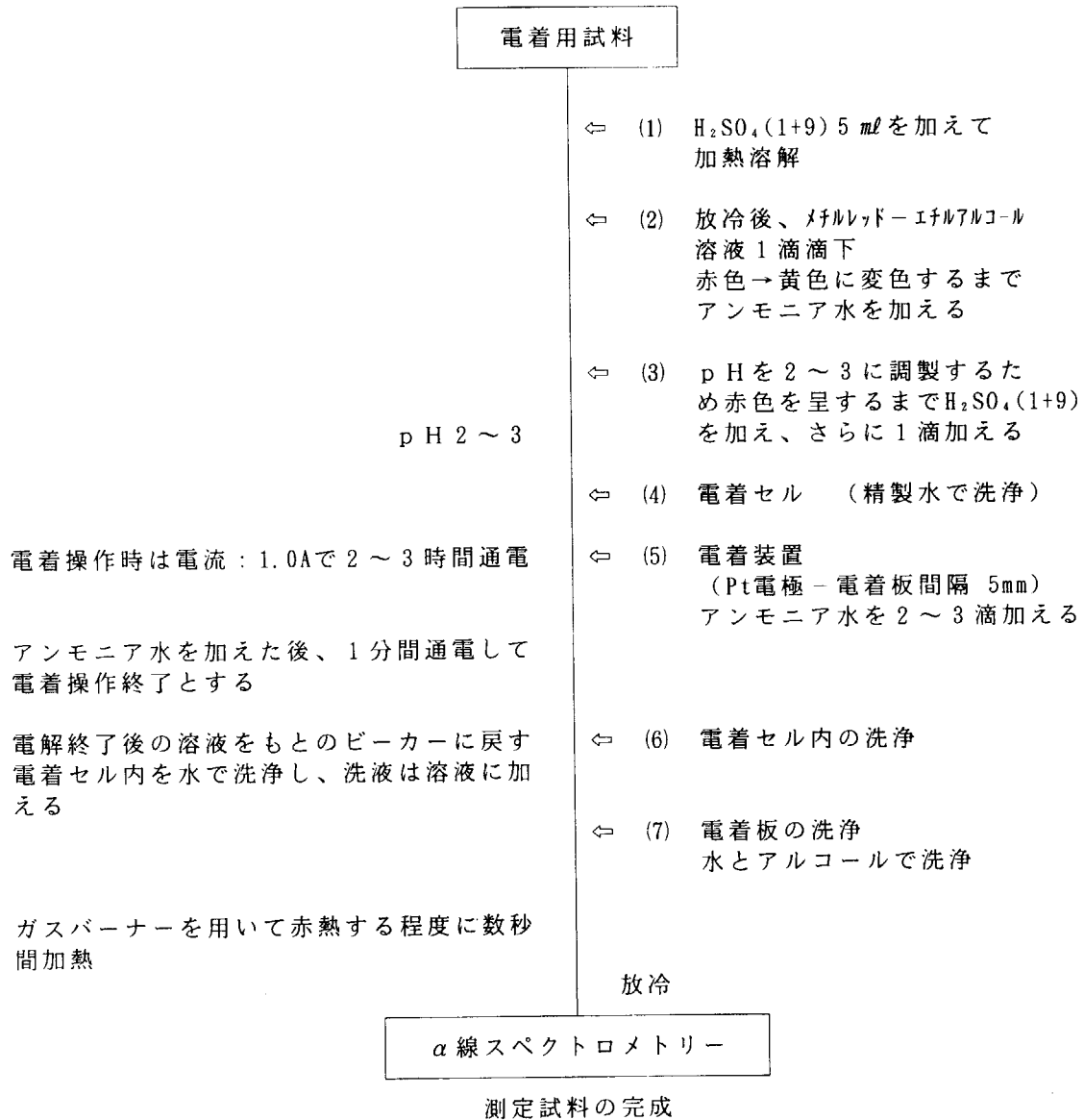


図2 239, 240 Pu分析のための前処理方法 (3 / 3)

⁹⁰Sr 分析のための前処理手順フロー

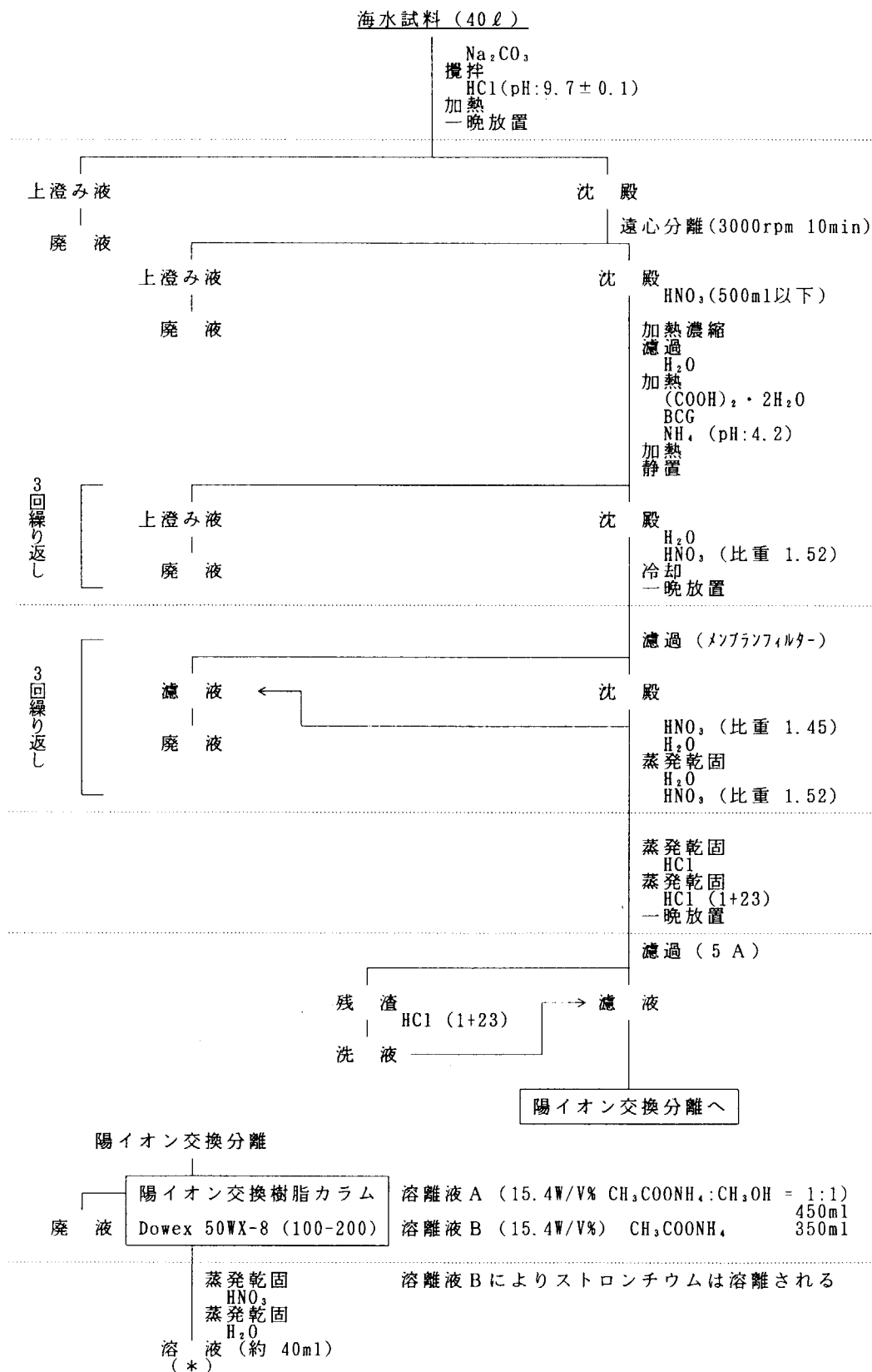


図3 ⁹⁰Sr 分析のための前処理方法 (1 / 2)

⁹⁰Sr 分析のための前処理手順フロー

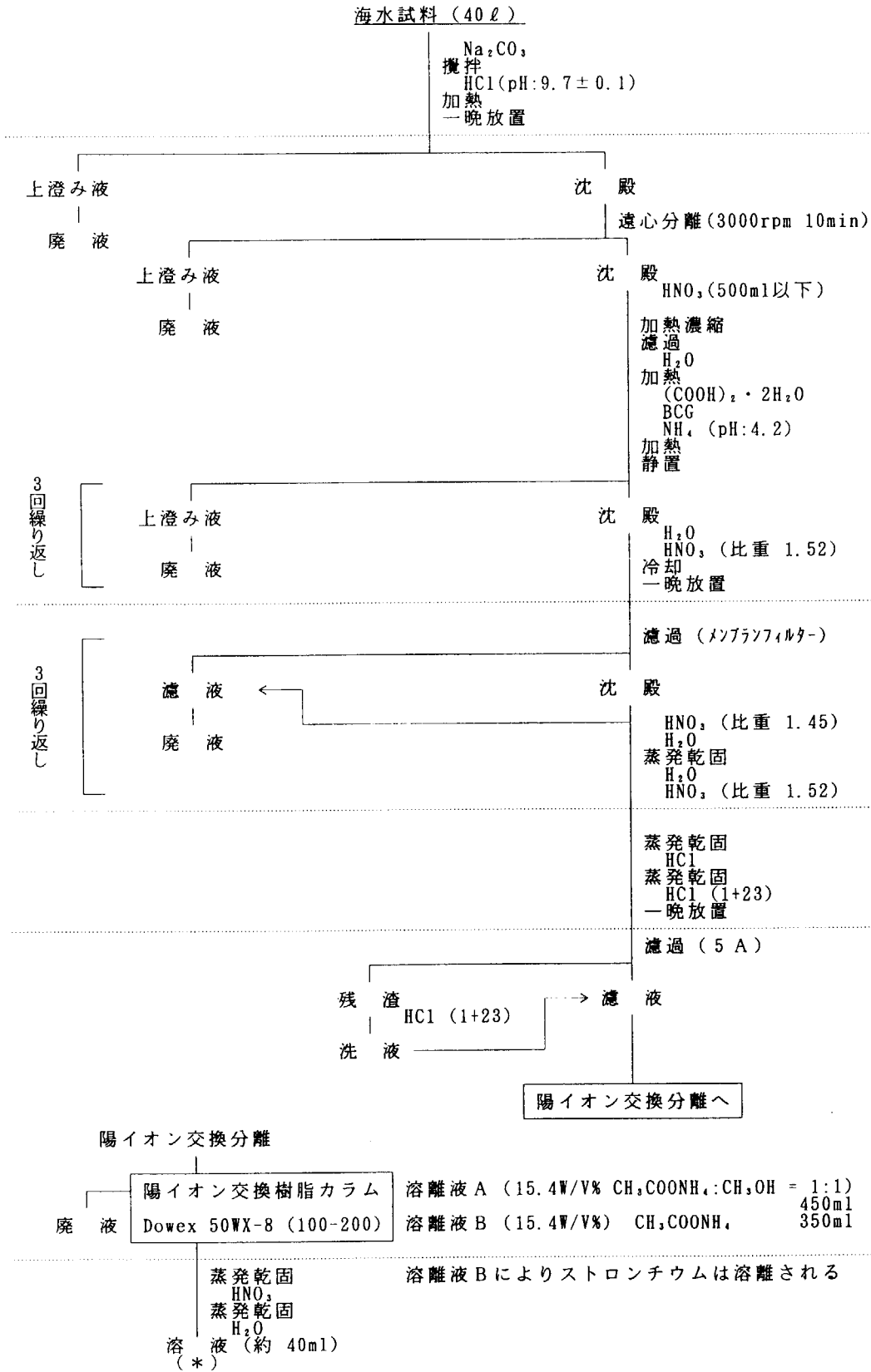


図3 ⁹⁰Sr 分析のための前処理方法 (2/2)

γ線分析のための前処理手順フロー

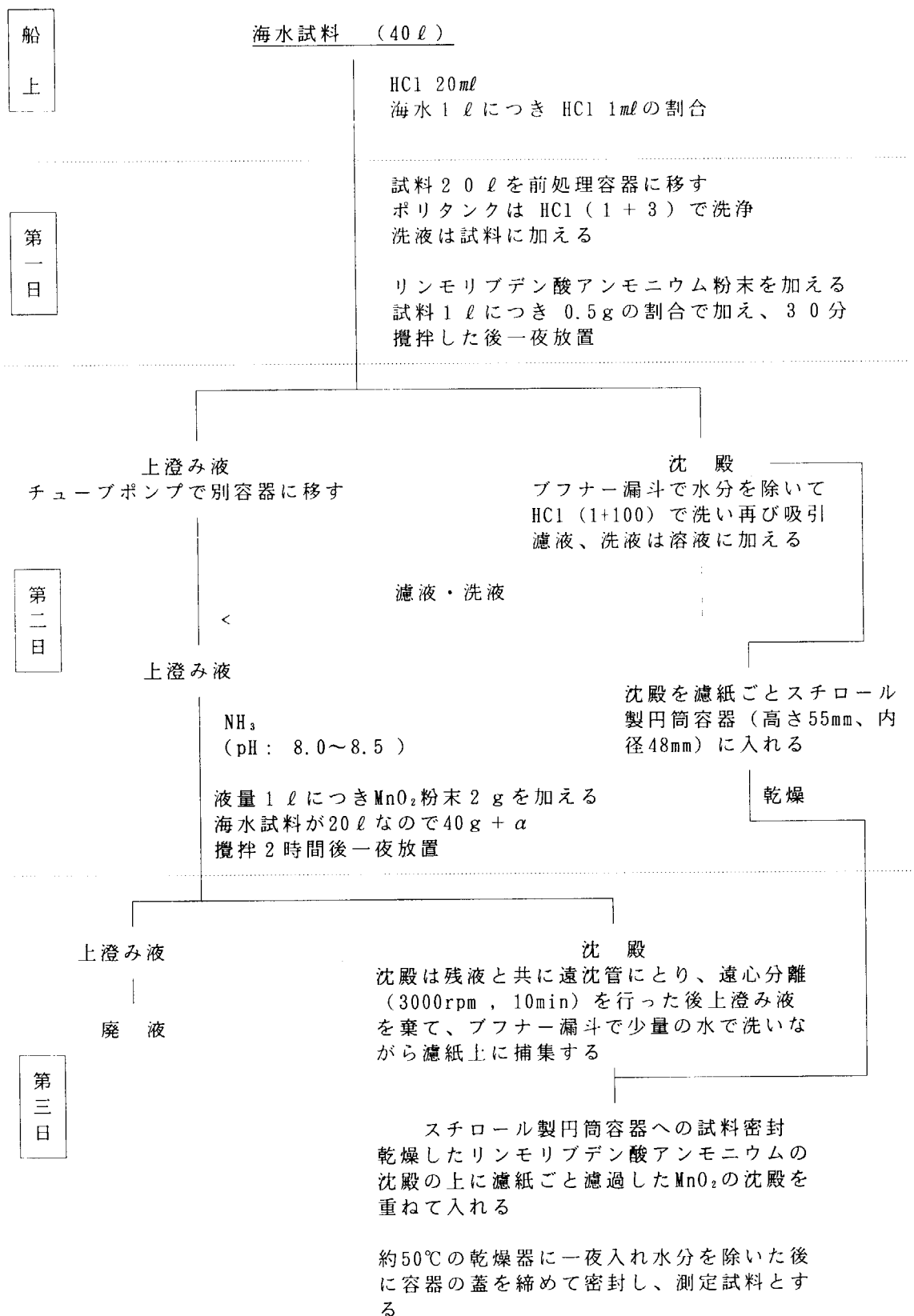


図 4 γ線核種分析のための前処理方法

6. 試料の測定方法

6.1 α 線測定方法

シリコン半導体検出器（写真2）を用い、測定試料の α 線を100,000秒測定した。 ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu の正味計数率を求め、収率補正用トレーサーとの計数率と前処理を行った海水試料量等から海水中に含まれるプルトニウムの放射能を算出した。

また、検出器はあらかじめ ^{241}Am 標準線源を用いて検出効率を算出した。測定時の検出器と試料の位置関係は、検出器から試料の距離が最も近くなるように、試料ボックスの上から二段目を定位置として試料をセットした。

6.2 β 線測定方法

α ・ β 低バックグラウンド多サンプル自動測定装置（写真3）を用い、測定試料の β 線を3,600秒測定した。測定試料の正味計数率を求め、事前に標準線源の測定によって求めた計数効率、ICP-AES高周波誘導結合プラズマ発光分光装置によって求めた試料中の安定ストロンチウム濃度による化学回収率の補正值等から海水中に含まれる ^{90}Sr の試料採取時の放射能を算出した。また、試料測定の前後にバックグラウンドの測定も行い、放射能算出の際に補正を行った。

6.3 γ 線測定方法

科学技術庁放射能測定法シリーズ7「ゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトロメトリー」（平成4年改訂）に準じて行った⁽³⁾。ゲルマニウム半導体検出器（写真4）を用い、測定試料を検出器ホルダーにセットして γ 線を150,000秒測定した。分析目的核種のピーク面積と、事前に標準線源の測定によって求めた効率校正データ、エネルギー校正データ及び250,000秒測定したバックグラウンド補正データ等から海水中に含まれる γ 線放出核種の試料採取時の放射能を算出した。

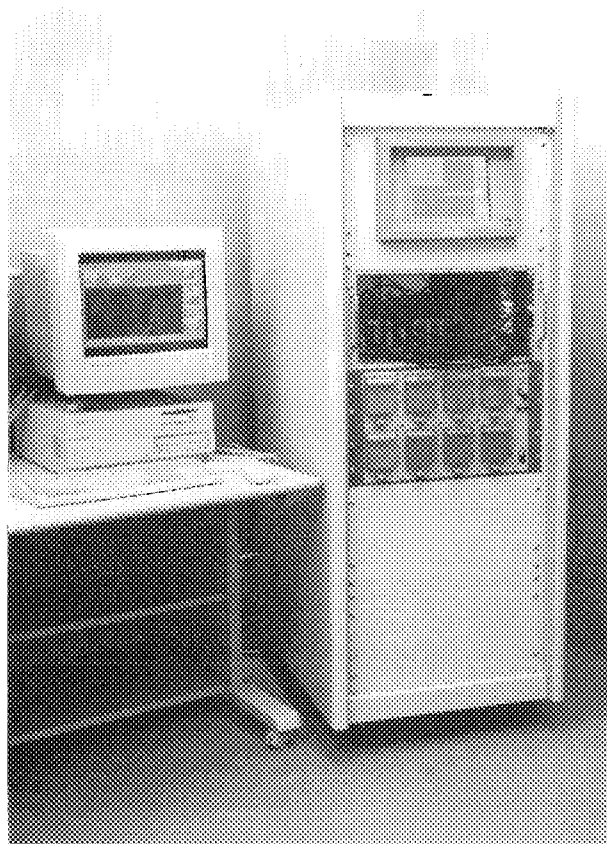


写真2 シリコン半導体検出器を用いた α 線スペクトロメータ



写真3 α ・ β 低バックグラウンド多サンプル自動測定装置



写真4 ゲルマニウム半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメータ

7. 調査結果と考察

平成8年度及び9年度に六カ所村沖における海水中の放射能を測定した結果を表3及び表4にそれぞれ示す。

プルトニウムについては、海岸に近いA-1～3測点の表層水の放射能を測定した。A-1及びA-2測点では $^{239, 240}\text{Pu}$ の検出限界値以下であったが、A-3測点のみ $^{239, 240}\text{Pu}$ が検出された。放射能レベルがND近傍であることが分かった。このように測定地点における放射能に多少の違いが認められたのは、A-1測点の海水試料に $^{239, 240}\text{Pu}$ があまり含まれていなかったこと並びにA-2測点の海水試料を前処理するときの $^{239, 240}\text{Pu}$ の化学収率が低かったことにより、A-1及びA-2測点の海水試料の中に $^{239, 240}\text{Pu}$ が検出されなかったことが考えられる。

一般に、 $^{239, 240}\text{Pu}$ は大気圏内核実験のフォールアウトにより広範囲にわたって放射能汚染しており、半減期がきわめて長いことから海洋環境中に残留する核種である。測定した試料が表層水であったことから、 $^{239, 240}\text{Pu}$ の表面海水での滞留時間が ^{90}Sr 及び ^{137}Cs に比べて短いことからある程度放射能レベルが低いことが予想できる。 $^{239, 240}\text{Pu}$ は ^{90}Sr 及び ^{137}Cs よりも効率的に表層から除かれる。表層からの $^{239, 240}\text{Pu}$ の除去については、 ^{137}Cs よりも効果的に懸濁粒子と結びついて沈降したことが考えられる。

ストロンチウムについては、プルトニウムと同様に、海岸に近いA-1～3測点の表層水の放射能を測定した。いずれの試料の測定カウント数もバックグラウンドの測定カウント数にほとんど差がなく、放射能レベルはNDに非常に近かった。A-3測点では ^{90}Sr が有意な濃度として検出されたが、A-1及びA-2測点では検出限界値に近く、計測誤差の約2倍であった。このように測定地点における放射能に多少の違いが認められたのは、プルトニウムの場合と同様に、海水試料を前処理するときの ^{90}Sr の化学収率が異なるためも一因となっているものと考えられる。

一般に、 ^{90}Sr は大気圏内核実験の停止以降、海洋環境中の放射能レベルは漸減状態であり、現在放射能に違いはほとんど認められなくなっている。これを反映して、A-1～3測点の放射能は ^{90}Sr のバックグラウンドレベルの低い濃度範囲に含まれるものである。

γ 線放出核種については、平成8年度はA-1～6測点で表層水と下層水の放射能、平成9年度は海岸に近いA-1～3測点で表層水のみ放射能を測定した。人工放射性核種としては、 ^{137}Cs が検出されたが、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 等は検出されなかった。 ^{137}Cs については両年度ともほとんどの測定地点で深さにはっきりとした関係が見出されなく、2.6～4.4 mBq/lの放射能が検出され、 ^{90}Sr と同様に大気圏内核実験の停止後、海洋環境中の放射能レベルは漸減状態である。

天然放射性核種としては、 ^{40}K がすべての測定地点で検出された。 ^{40}K については、測定地点及び深さに対してははっきりとした関係は認められなく、380～473 mBq/lの放射能が検出された。 ^{40}K は地球初生期の天然放射性核種として海水中の全放射能の90%以上を占め、半減期がきわめて長いことから、1千万年を経過している現在の海洋にほぼ均一に分布している。また、 ^{232}Th 、 ^{238}U を親核種としたトリウム系列、ウラン系列に属する核種が平成9年度の海水

に検出されている。 ^{214}Pb と ^{214}Bi については同じウラン系列であり半減期が短いことから ^{214}Pb が壊変して ^{214}Bi になったものと考えられる。 ^{226}Ra も海水中に検出されることがあり、天然に存在するウラン系列の核種で、半減期も1600年と長いことが海水中に残存しているものと考えられる。

さらに、六ヶ所村沖における海水試料中の $^{239, 240}\text{Pu}$ 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs の放射能について、これまで報告されてきた人工放射性核種の海洋調査結果との比較を行った。

$^{239, 240}\text{Pu}$ については、金沢大により北太平洋西部表面海水を測定したデータ⁽⁴⁾及び東京大白鳳丸により太平洋東部表面海水を測定したデータ⁽⁵⁾があり、それら過去のデータと比較すると、フォールアウトがここ数年来海洋環境における放射能汚染の要因となっていないために、六ヶ所村沖のデータは1桁以上低くなっている。他の機関による最近の六ヶ所村沖の測定結果^{(6)、(7)}と比較すると、同じくらいの放射能濃度(ND~0.02 mBq/l)が六ヶ所村沖の海水試料から検出されている。

^{90}Sr 及び ^{137}Cs については、日本近海の海水中の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs の放射能濃度の経年変化のデータ⁽⁸⁾及び北太平洋西部表面海水中の ^{90}Sr 及び ^{137}Cs の分布の観測データ⁽⁹⁾がある。それら過去のデータと比較すると、 $^{239, 240}\text{Pu}$ と同様に、六ヶ所村沖のデータは1桁以上低くなっている。また、同じくらいの ^{90}Sr (1~3 mBq/l)及び ^{137}Cs (ND~4 mBq/l)の放射能濃度が他の機関による最近の六ヶ所村沖の測定結果^{(6)、(7)}として報告されている。

このように、過去20年前の観測データと比べると、これら人工放射性核種の放射能濃度は海水においてほぼ均一に分布し、現在のところ減少傾向が見られる。当研究室で得られた六ヶ所村沖におけるデータは他の機関による最近の観測データと同じようなデータであった。

表3 六ヶ所村沖における海水中の放射能測定結果 (平成8年度)

単位 : mBq/l

測定核種 採水地点		γ線												
		⁵⁴ Mn	⁶⁰ Co	¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	²¹⁰ Pb	²¹² Pb	²¹⁴ Pb	²¹² Bi	²¹⁴ Bi	²²⁶ Ra		
A-1	表層水	ND	ND	ND	3.4 ± 0.8	445 ± 13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	下層水	ND	ND	ND	3.5 ± 0.8	434 ± 13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	57 ± 16
A-2	表層水	ND	ND	ND	3.6 ± 0.7	443 ± 14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	下層水	ND	ND	ND	2.6 ± 0.7	427 ± 14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A-3	表層水	ND	ND	ND	ND	422 ± 13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	下層水	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A-4	表層水	ND	ND	ND	3.1 ± 0.7	441 ± 14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	下層水	ND	ND	ND	3.8 ± 0.7	434 ± 14	ND	7.6 ± 2.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A-5	表層水	ND	ND	ND	3.9 ± 0.8	421 ± 13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5.0 ± 1.5	54 ± 16
	下層水	ND	ND	ND	3.5 ± 0.8	454 ± 15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A-6	表層水	ND	ND	ND	3.2 ± 0.5	437 ± 14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	下層水	ND	ND	ND	ND	380 ± 13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	59 ± 16

* : 水深が浅いため試料の採取を行わなかった。

表 4 六ヶ所村沖における海水中の放射能測定結果（平成 9 年度）

単位：mBq/l

測定核種 採水地点	α線		β線		γ線									
	$^{239+240}\text{Pu}$	^{90}Sr	^{54}Mn	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{40}K	^{210}Pb	^{212}Pb	^{214}Pb	^{212}Bi	^{214}Bi	^{214}Bi	^{226}Ra
A-1 表層水	ND	(1.8±0.9)	ND	ND	ND	ND	448±15	ND	ND	34±1.8	ND	32±1.7	ND	ND
A-2 表層水	ND	(2.2±0.9)	ND	ND	ND	4.4±0.6	462±19	ND	ND	46±1.9	ND	43±1.9	ND	ND
A-3 表層水	0.024±0.007	3.1±0.7	ND	ND	ND	4.1±0.9	473±15	ND	ND	15±1.7	ND	14±1.6	ND	ND

β線については、検出感度があまり良くなかったため、通常計数誤差の3倍以下はNDとすべきであるが、今回は計数誤差を上回る測定値を()内に記載した。

8. あとがき

青森県六ヶ所村沖における海水試料の放射能調査を平成8年度及び9年度にわたって実施した結果について述べた。本調査は、平成8年10月及び9年12月の秋と冬にしか試料採取ができなかったため、季節の違いによる海流の影響について観察できなかった。また、平成8年度に下層水として水深約100mから海水試料を採取し、測定を行ったが、表面からあまり深さの差がないため、水深の違いによる放射能の違いについても観察できなかった。今後、六ヶ所村沖における放射能調査を継続して実施し、核燃料再処理施設等の稼働前のバックグラウンド調査の一つとして役立つことを期待する。

最後に、海水試料の採取にあたり御協力を頂いた伊藤集通研究員、荒巻能史研究員、久慈智幸氏（日本海洋科学振興財団）及び施設部海務課みづほ丸乗組員の方々に深く感謝の意を表します。また、 ^{90}Sr の測定に関して御協力を頂いた管理部保安課の方々に深く感謝の意を表します。

本報をまとめるにあたり貴重な御助言を頂いた清水徳氏、御理解と御鞭撻を頂いた施設部部長の酒井陽之氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 科学技術庁編：放射能測定法シリーズ12，“プルトニウム分析法”（平成2年改訂），（1990），日本分析センター。
- (2) 科学技術庁編：放射能測定法シリーズ2，“放射性ストロンチウム分析法”（昭和58年3訂），（1983），日本分析センター。
- (3) 科学技術庁編：放射能測定法シリーズ13，“ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理方法”（昭和57年），（1982），日本分析センター。
- (4) T. Nakanishi, M. Yazima, M. Senaga et al : 'Determination of Pu-239, 240 in sea water', Nucl. Instrum. Methods, 223, 39-242 (1984).
- (5) Y. Miyake and Y. Sugimura : 'The plutonium content in the Pacific ocean waters', In Proc. Symp. on Transuranium Nuclides in Environment, San Francisco, 17-21 Nov., 1975 USERDA and IAEA, IAEA-SM-199/22, 91-105 (1976).
- (6) 科学技術庁原子力安全局防災環境対策室：“平成8年度海洋環境放射能総合評価事業”，（1997）。
- (7) 青森県環境生活部原子力環境対策室：“原子燃料サイクル施設環境放射線等調査報告書”（平成8年度報），（1997）。
- (8) 宮本哲司 他：“日本近海の海水及び海底土の放射能調査”，第26回環境放射能調査研究成果論文抄録集，112-115（1984）。
- (9) Y. Nagaya and K. Nakamura : 'Artificial Radionuclides in the Western Northwest Pacific, I, ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Deep Waters', J. Oceanogr. Soc. Japan, 37, 135-144 (1981).

This is a blank page.

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつ SI組立単位

量	名称	記号	他の SI 単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光度	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10⁻¹⁹ J

1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バ	b
バール	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラ	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10⁻¹⁰ m

1 b = 100 fm = 10⁻²⁸ m²

1 bar = 0.1 MPa = 10⁵ Pa

1 Gal = 1 cm/s² = 10⁻² m/s²

1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq

1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg

1 rad = 1 cGy = 10⁻² Gy

1 rem = 1 cSv = 10⁻² Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値は CODATA の1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- bar は, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC 閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」mmHg を表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (N·s/m²) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St (ストークス) (cm²/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1

1 cal = 4.18605 J (計量法)
 = 4.184 J (熱化学)
 = 4.1855 J (15 °C)
 = 4.1868 J (国際蒸気表)
 仕事率 1 PS (仏馬力)
 = 75 kgf·m/s
 = 735.499 W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

青森県八ヶ所村沖における海洋放射能調査