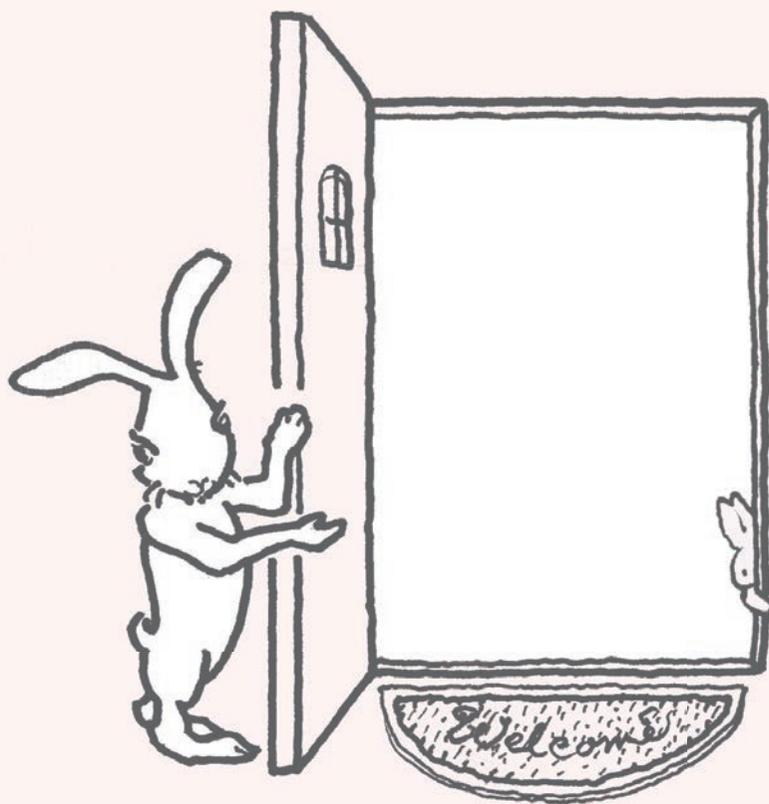


ようこそ

うさぎせんせいの部屋へ

もっとくわしく知りたいあなたへ



たらちね ストロンチウム 90 測定の巻 別冊 詳細版

この本の読み方

1



本誌で説明した「番号（順番）」「説明文」
「イラスト」をもう一度掲載しています。



「ストロンチウム 90 の測り方」について、
もう少し詳しく知りたいと思ってくれた
あなたに、うさぎ先生がやさしくていねい
に説明をします。

もくじ



どうしてストロンチウム 90 を測るの？



ストロンチウム 90 の測り方



試料の受け取り



試料の乾燥^{かんそう}と灰化



酸による試料の溶解^{ようかい}



水酸化物^{きょうちん}の共沈



イットリウム 90 とストロンチウム 90 の分離^{ぶんり}



シュウ酸イットリウム^{ちんでん}沈殿^{ぶんり}の生成と分離



イットリウムの抽出^{ちゅうしゅつ}



測定をする



測定値の算出



測定結果の報告



終わりに…



たらちねラボ (測定室) のママとおともだち

どうして ストロンチウム 90 を 測るの？

 2011年3月に東日本大しん災が発生し、大きな地しんと津波(つなみ)が起きました。そして、福島第一原子力発電所でメルトダウン・ばく発事故が起きました。そのとき、生命に危険な放射性物質(ほうしゃせいぶっしつ)が大量に原子力発電所から放出されました。

ひばくから子どもたちを守るために、福島県いわき市では、市民が放射能測定室「たらちね」を立ち上げ、放射能の測定をはじめました。現在ではセシウム 134、セシウム 137、トリチウム、ストロンチウム 90 の測定をしています。

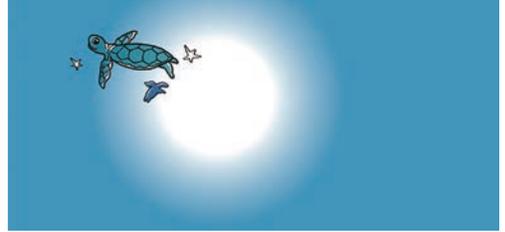
ストロンチウム 90 は、カルシウムと性質が似ていて、骨にたまりやすい特性があります。ストロンチウム 90 が発するベータ線という放射線は、からだの中の細ぼうや DNA をこわしてしまう危険があります。

ストロンチウム 90 の測定は、とても難しく大変です。一方、ストロンチウム 90 は少しずつイットリウム 90 に変化しますが、イットリウム 90 を測定することは、比かく的容易です。そのイットリウム 90 を測ることで、もともとのストロンチウム 90 の値を知ることができます。

「たらちね」のママたちは、一所けん命勉強して、土や水や食べ物にストロンチウム 90 に汚染(おせん)されていないかどうかを測っています。そして、その結果を人々に知らせて、命を守ってもらうために、日々、活動をしています。

この絵本では、「たらちね」のママたちがどのようにしてストロンチウム 90 を測っているかをしょうかいます。漁師さんがつけてきたメバル(魚)の中に、ストロンチウム 90 があるかどうか、「たらちね」のママたちは、熱や薬品や器材の力を借りて探します。いろいろな原子や器材もたくさん登場します。

小さくて大きな探検物語です。みなさんもいっしょに探してくださいね。



放射能は、事故後初期の段階では、半減期の短い放射性ヨウ素なども数多く検出されました。

*半減期：次のページの「ストロンチウム 90 の測り方」に説明があります。

放射性物質は、アルファ線、ベータ線、ガンマ線、中性子線などの放射線を出しながら、崩壊していきます。人間や動物がこれらの放射線を一定量以上浴びると、病気になったり命が危険になったりします。

ストロンチウム 90 もイットリウム 90 もベータ線しか放出しません。ベータ線の測定はとても難しいのですが、ストロンチウム 90 のベータ線より、イットリウム 90 のベータ線の測定の方が少しだけ容易です。セシウム 134 やセシウム 137 はベータ線とガンマ線を放出します。ガンマ線による測定は比較的簡単なため、セシウム 134 とセシウム 137 は多くの市民測定所で測定されています。



ストロンチウム 90 の 測り方



ストロンチウム 90 は、原子力発電所の燃料であるウランやプルトニウムが、核分裂反応をして発生します。

核分裂とは、原子の中の原子核が分裂して、二つ以上の核種に分かれることです。原子力発電所では、燃料であるウラン 235 を核分裂させることによって発生するエネルギーを使って、発電を行っています。ウラン 235 が核分裂する際には、ヨウ素 131、セシウム 134、セシウム 137、ストロンチウム 90 などの放射性核種が発生します。

放射性核種の原子核は不安定なため、壊れながら放射線を出すことによって、安定しようとする。この状態を放射性壊変といいます。

最初の放射性核種を親核種といい、そこから放射性壊変をし、次に生まれた核種を娘核種といいます。

ストロンチウム 90 は、不安定な放射性核種なので、放射線を出しながら崩壊し、イットリウム 90 に変化します。ここでは、ストロンチウム 90 が親核種で、イットリウム 90 が娘核種となります。イットリウム 90 も放射性核種です。

それぞれの放射性核種が放射線を出しながら 1 秒間に崩壊していくその原子の個数をあらわす単位を、ベクレルといいます。ストロンチウム 90 の放射能測定値も、単位はベクレルであらわします。

放射性核種は一気に壊変するのではなく、少しずつ壊変するので、全部が壊変するまでに、ある一定の時間がかかります。もともとの放射性核種の半量が壊変する時間を、半減期とよびます。

ストロンチウム 90 の半減期は 28.79 年、イットリウム 90 の半減期は 64 時間です（※ 1）。

ストロンチウム 90 はイットリウム 90 となり、次にジルコニウム 90 に変化します。ジルコニウム 90 は放射線を出さない安定な物質のため、その後は変化しません。

ストロンチウム 90 が発生してから 3 週間ほど経つと、イットリウム 90 は親核種であるストロンチウム 90 と同じ放射能の値（壊変数）になります。このことを「ストロンチウム 90 とイットリウム 90 が放射平衡に達した」といいます。

放射平衡が成り立っているときの親核種と娘核種の壊変数・ベクレルは同じです。

このことが、ストロンチウム 90 の測定では、とても重要になります。

放射性核種が存在するかどうかは、その物質が壊変するときに出す放射線のエネルギーを測ることによって、知ることができます。イットリウム 90 が出すエネルギーはストロンチウム 90 とくらべて大きく、測りやすいです。「放射平衡」の理論を使うと、イットリウム 90 を測ることによって、ストロンチウム 90 がどのくらい含まれているかがわかります。

「たらちね」では、液体シンチレーション計測測定装置（液シン）という測定器を使って、放射能の測定をしています。

放射平衡に達したイットリウム 90 をストロンチウム 90 から分離して、液シンでイットリウム 90 を測定すれば、ストロンチウム 90 がどれだけ含まれていたかを計算することができます。

* 液シンでは、放射線のベータ線だけでなくアルファ線も測定することができます。

※ 1 核種の半減期：日本原子力研究開発機構／核データ研究グループ「核データの表」より
https://www.ndc.jaea.go.jp/index_J.html



試料の受け取り

1

 近くに住むヒロシさんが、海でつったメバルのストロンチウム 90 を測定するために、「たらちね」にやってきました。



カルシウムが骨に蓄積されることはよく知られています。ヒロシさんは、ストロンチウムの化学的性質がカルシウムと似ているので、放射性のストロンチウム 90 も骨に蓄積されやすいことを知っています。

医療の現場では、同じく放射性のストロンチウム 89 (半減期: 50.53 日) を骨のガン治療などに使っていました。

2

 「たらちね」では、あいちゃん、ひろみちゃん、ふみちゃんのママたち3人で、ストロンチウム 90 の測定をします。



試料の乾燥と灰化

3

 メバルは身を取りのぞき、骨だけにします。



4

 メバルの骨を乾燥器（かんそうき）で乾燥します。



5

 メバルの骨は、カラツカラにひからびました。



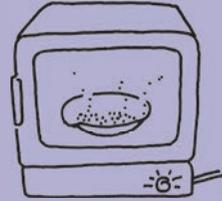
6

 ひからびたメバルの骨を、ミル（粉さい器）で細かく粉になるまでできます。



7

 粉にしたメバルの骨を、もう一度乾燥器に入れて乾燥し、残っている水分を飛ばします。



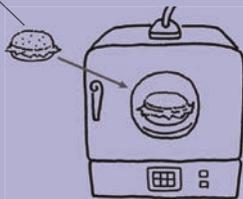
しっかりと乾燥することで、次の灰化の作業が円滑に進みます。

8

 乾燥したメバルの粉を分せきのための試料にします。試料とは、測定のために使う物質のことです。

乾燥した試料をさらに電気炉(ろ)で焼いて灰にします。

小穴をあけた
アルミはくをかぶせる



試料の中に有機物が入っていると、微量の放射性核種の化学分析が難しくなります。電気炉で焼くことにより、有機物を燃やして灰にします。これを灰化とよびます。

灰化は、小穴を開けたアルミはくを試料にかぶせ、電気炉の温度を 600°C にして行います。ストロンチウム 90 の沸点は 1382°C です。沸点近くの温度になると、ストロンチウム 90 は揮発しはじめるので、揮発しないように温度管理をしながら試料の灰化を行います。

9

 灰は、最初は黒いすすのような状態です。温度と時間を調整しながら何度も焼くことにより、白くてふわふわの灰になります。

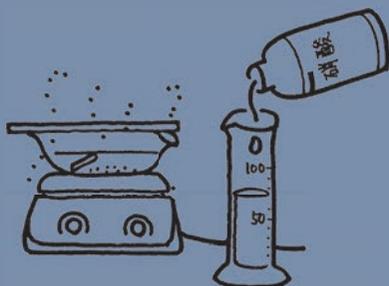


灰化が十分でないと、薬品で前処理する際に、溶けにくくなります。灰化作業をきちんと行うことは、とても重要です。よい状態の灰になるまで 8 時間以上かかることもあります。

酸による ようかい 試料の溶解

10

 灰になった試料に濃硝酸（のうしょうさん）と過酸化水素水を入れます。マグネチックスターラー（特しゅなホットプレート）にのせて、かき混ぜながら、温度を上げてあたためます。あたためると試料中の成分がとけやすくなり、かき混ぜるともっととけやすくなります。



 マグネチックスターラーは、上にのせたものをあたためるホットプレートのような装置で、回転する磁石が台の部分に内蔵されています。上に置く溶液の入れ物の中に、回転子（小さな磁石）を入れると、台に内蔵された磁石の回転にあわせて回転子も動くため、溶液を必要な速度で安全にかき混ぜることができます。ここでの回転数は350rpm（レボリューションズ・パー・ミニッツ）、1分間に350回転です。硝酸は劇性（肌に触れると危険）なので、溶液がこぼれない程度に適度に攪拌（かくはん）します。

試料はあたためると溶けやすくなりますが、使用する薬品の温度が沸点に達すると、沸騰して飛び散ったり、爆発したりする危険があるため、温度管理をしながら作業をします。

ここでは濃硝酸 100ml と過酸化水素水 20ml の入った試料溶液を、120°C に設定したマグネチックスターラーであたためています。マグネチックスターラーの設定を 120°C にすると、上に置いたガラスビーカーの中の溶液の実際の温度は、60 ~ 80°C ぐらいになります。

 濃硝酸でと化した試料の中に、放射性ではないストロンチウム担体溶液、イットリウム担体溶液、ランタン担体溶液、鉄担体溶液を入れます。イットリウム 90 を分離(ぶんり)して抽出(ちゅうしゅつ)しやすくするためです。

5 時間、一定の温度でかき混ぜながらあたためます。



ストロンチウム 5mg 相当の担体溶液、イットリウム 5mg 相当の担体溶液、ランタン 2mg 相当の担体溶液、鉄 5mg 相当の担体溶液を、試料溶液の中に入れます。

*鉄溶液は、鉄分が少ない試料のときに入れます。

原子は、原子核と電子で構成されています。その原子核は、さらに陽子と中性子で構成されています(中性子がないものもあります)。陽子の数が元素の性質を決めるため、原子番号は陽子の数によって決められています。陽子が一つの元素は水素で、原子番号は 1、陽子が二つの元素はヘリウムで、原子番号は 2 という具合です。ただ、陽子の数が同じ(原子番号が同じ)でも、中性子の数が違うことがあり、そのときに、同じ陽子の数の仲間を同位体とよびます。

同位体の中で、放射線を出して壊変する元素を不安定同位体、既に安定していて壊変しない元素を安定同位体とよびます。からだに危険なのは、放射線を出す不安定同位体です。「たらちね」では、ストロンチウム同位体の中でも不安定同位体であるストロンチウム 90 の有無を測定しています。

担体とは、微量の元素や化合物の化学操作、物理操作を効果的に行うために加える物質のことです。

この工程で使うストロンチウム担体やイットリウム担体は、ストロンチウム 90 やイットリウム 90 と中性子の数が違い、安定しているため壊変をせず、放射線を出しません。

ランタン担体は、イットリウム 90 と相性がよく、それを入れることによって、試料中の極微量のイットリウム 90 を抽出しやすくなります。

ここでも 120°C に設定したマグネチックスターラーで、試料溶液をあたためます。溶液の温度は 60 ~ 80°C ぐらいになります。

12

 試料溶液に塩酸を入れます。一定の温度でかき混ぜながら、5時間あたためます。5時間のあいだに、試料の中のいろいろな物質が、溶液の中にゆっくりとけ出してきます。



この工程は、測定に必要な物質と不必要な物質を分けやすくすること、そして酸性の溶液にすることが目的です。そのために6モル濃度の塩酸を100ml入れます。
*モル濃度 (mol/l) とは、物質の分子量をあらわすために化学で使う単位です。1lの溶液に、ある物質がどれだけ含まれているかを示します。

それぞれの物質は、ある環境で沈殿や分離をするので、その決まりを利用して測定を行います。
物質が、どのような環境に対応し、沈殿や分離につながるかということは、この測定法において、とても重要です。

13

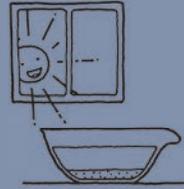
 測定1日目のお仕事はここまで。「たらちね」のママたちは、お家に帰ります。



14

2日目の朝です。

 試料溶液は、上ずみ液と沈殿物(ちんでんぶつ/溶液にとけなかったもの)に分かれています。測定には上ずみ液を使います。



15

 測定用の試料にする上ずみ液を沈殿管に入れます。この作業をデカンテーションといえます。
沈殿物も純水で洗い、ろ過し、ろ液を沈殿管に入れます。



上澄み液にはセシウム 134 やセシウム 137、ストロンチウム 90、イットリウム 90 などの放射性核種やカルシウムイオンなどが入っています。

沈殿物（不溶解物）は、測定には必要のない物質なので廃棄します。ただ必要な成分（イットリウム 90 など）の取り残しがないようにするため、念のため純水で沈殿物の表面を洗い流して、その液も沈殿管に入れます。
*純水とは、不純物をほとんど含まない純度の高い水のことです。

セシウム 137 などの高濃度の放射性的な試料はとても危険なので、取り扱いには注意が必要です。分析用試料として使わないものは産業廃棄物として分けておき、廃棄物処理の業者に委託し規則に則って処理してもらいます。この工程以降も、廃棄については同様です。

16

 沈殿管を遠心分離器に入れて、高速回転させます。沈殿管の溶液の中に混じっている測定に不要なものを分離して、取りのぞくためです。



17

 遠心分離器にかけると、溶液にとけなかったものが沈殿して、上ずみ液とはっきり分かります。



18

 上ずみ液が測定に必要な試料溶液です。これを、沈殿管からビーカーに移し入れて、残った沈殿物は廃棄（はいき）します。



きょうちん 水酸化物の共沈

19

 工程 18 番でできた分せき用の試料溶液に、塩化アンモニウムの粉を入れます。試料溶液をマグネチックスターラーにのせて、あたためます。



分析用の試料溶液に入れる塩化アンモニウムは、次からの化学反応を安定的に進行させます。
120°Cに設定したマグネチックスターラーで、試料溶液を 10 分間あたためて、添加した塩化アンモニウムを溶かします。
あたためることにより、試料溶液から炭酸ガスを追い出すこともできます。炭酸ガスは、炭酸カルシウムや炭酸ストロンチウム、炭酸イットリウムを生成して、分離操作を妨害します。

20

 試料溶液にアンモニア水を入れてアルカリ性にし、1 時間あたためます。
だんだんイットリウム90をふくんだ沈殿ができてきます。



ここでは分析用の試料溶液を、pH8 ~ 10 のアルカリ性に調整します。そうすると、水酸化物の沈殿ができ、試料溶液中の鉄とイットリウムがくっつきます。これを共沈といいます。水酸化物と相性のよい、測定に必要なものが共沈し、上澄み液と沈殿に分かれます。
ここで、放射性セシウム (セシウム 134 やセシウム 137) などの多くは、上澄み液に残ります。
*鉄は、工程 11 番で、鉄担体溶液として試料に加えています。
* pH (ペーハー) とは、水素イオンの濃度のことです。0 から 14 までの段階があり、目安として pH0 に近づくほど強い酸性、pH7 が中性、pH14 に近づくほど強いアルカリ性となります。

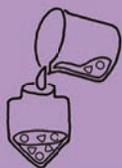
イットリウムをとらえる上で、pH の値を整えることはとても重要です。少しでも pH の調整が違ってしまうと、イットリウムを充分につかまえることができません。

pH の確認は pH 試験紙でもできますが、より正確にするために pH メーターを使います。

イットリウム 90 と ストロンチウム 90 の ぶんり 分離

21

 ピーカーの中の試料溶液（上ずみ液と沈殿物）を全部、沈殿管に移し入れます。



22

 沈殿管を遠心分離器に入れて、高速回転させます。それにより、試料溶液は上ずみ液と沈殿物の 2 層に、さらにはっきり分かります。



ここでは、遠心分離器を 3300rpm（毎分 3300 回転）で 15 分間回転させて、沈殿分離を行います。

23

 工程 22 番でできた沈殿物を試料として使います。測定に使わない上ずみ液を廃棄し、沈殿物だけを沈殿管に残します。



この段階では、イットリウム 90 とストロンチウム 90 はまだ完全に分離されていません。完全に分離するための作業を続けます。

シュウ酸イットリウム

ちんでん ぶんり
沈殿の生成と分離

24

 別のビーカーに、塩酸を純水でうすめた希塩酸をつくります。



塩酸と水の割合を 1 : 5 にした希塩酸を、100ml つくれます。希塩酸は、ほぼ 2 モル濃度になります。

25

 沈殿物（試料）に、鉄やランタン、イットリウムなどがふくまれています。沈殿管に、工程 24 番でつくった希塩酸を入れて、沈殿をときます。



希塩酸を入れると、沈殿物が溶けて、透明の薄い黄色の液体になります。この色は第 2 鉄イオンの色です。次の作業でシュウ酸を入れますが、その前に、まず水酸化物沈殿を溶かしておき、シュウ酸とイットリウムが結びつきやすいように準備しておく必要があります。希塩酸を入れるのは、そのための作業です。

26

 シュウ酸の粉末を水でとがして、試料溶液の入った沈殿管に入れます。沈殿管を、ビーカーの中の温水に入れて、かき混ぜながらあたためます。



シュウ酸の粉末 2～4g を少量の水で溶かします。

多くの場合、シュウ酸は元素と結合すると水に溶けやすくなりますが、イットリウムと結合するとシュウ酸イットリウムとなって沈殿します。ここでは、シュウ酸のこの性質を使って、イットリウムと他の元素を分離します。

シュウ酸の入った試料溶液を 120℃ の設定温度 (実際の試料溶液の温度は 80℃ 程度) で 30 分間あたためます。

試料溶液をあたためることで炭酸イオンを分解し、二酸化炭素にして取りのぞきますが、完全には取りのぞきません。試料溶液をアルカリ性に調整しても、どうしても炭酸ストロンチウムの沈殿もできてしまいます。

次の工程 27 番で、試料溶液の pH を 1～2 (強い酸性) に調整してシュウ酸イットリウムの沈殿を生成することにより、ストロンチウム (ストロンチウム 90 や炭酸ストロンチウム、ストロンチウムの担体など) をある程度、取りのぞくことができます。

27

 試料溶液はとても強い酸性なので、うすいアンモニア水を入れて、少しだけ酸性をよわめ、沈殿ができやすい pH (ペーハー) に調整します。乳白色の沈殿ができます。これがシュウ酸イットリウムです。



この工程は、シュウ酸イットリウムの沈殿をつくる作業です。シュウ酸イットリウムは pH 1～2 (強い酸性) でつくることができます。pH 1 以上になると、シュウ酸ストロンチウムの沈殿もできてしまいますが、pH 1 未満 (とても強い酸性) だと沈殿が完全にはできません。したがって、pH の調整はとても大切な作業です。シュウ酸イットリウムの沈殿の色は乳白色です。pH の調整に注意して、乳白色の色が出ているかどうか、色の変化を確認しながら作業を進めます。沈殿の量は少ないので、イットリウムを取りのがしてしまわないように、細心の注意が必要です。

ストロンチウム 90 からはイットリウム 90 が絶えず生まれるので、イットリウム 90 の量を正しく測るためには、ストロンチウム 90 とイットリウム 90 を完全に分離するための作業を手早く行う必要があります。

28

📖 試料溶液をかき混ぜながらあたためます。



120°Cの設定温度で、試料溶液をかき混ぜながら10分間あたためます。

工程32番までの作業が終わったら、工程26番から32番の作業を、もう一度同じように繰り返します。ただし、この工程28番の2巡目は、1巡目と同じ作業を行ったあと、試料溶液を静置した状態で20分間あたためるといった作業が加わります。これは、シュウ酸イットリウムの沈殿を十分に生成させるためです。

29

📖 沈殿管を遠心分離器に入れて高速で回転させ、試料溶液を上ずみ液と沈殿物に分けます。



遠心分離機を3300rpmで15分間、回転させます。それにより、試料溶液は上ずみ液と沈殿物にはっきりと分かります。

30

📖 沈殿管にできた上ずみ液には、ごく微量(びりょう)のプルトニウムやウランなど測定をじゃまする物質が入っているので、廃液(はいえき)として処理します。



ちゅうしゅつ イットリウムの抽出

31

 別の容器にうすい硝酸をつくり
ます。試料の沈殿物をとくすための
準備です。



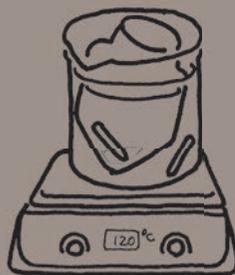
シュウ酸イットリウムの沈殿には微量の不純物が含まれ、イットリウム90の測定の妨害をします。なので、イットリウム90だけを抽出して取り出す必要があります。

シュウ酸イットリウムに硝酸を加えて、レジンの吸着樹脂で抽出するための準備をします。
使用する硝酸を3モル濃度に調整します。

32

 試料の中に、工程31番でつくったうすい硝酸を入れてかき混ぜながらあたため、沈殿物をとくします。

工程26番から32番までをもう一度くり返します。



3モル濃度の硝酸を入れます。
120°Cの設定温度で10分間あたためます。

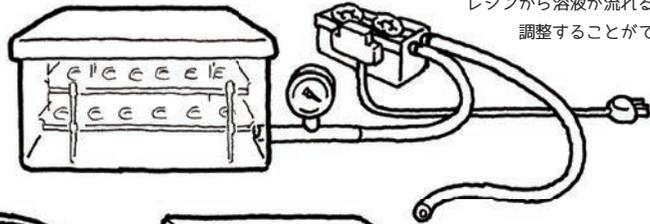
シュウ酸イットリウムの沈殿生成（工程26番から32番までの作業）を2回くり返すのは、不純物を少なくし、イットリウムを確実に捕集するためです。



真空吸引システム

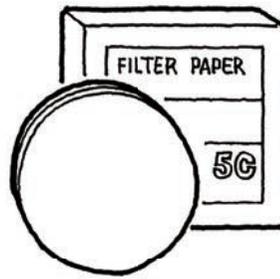
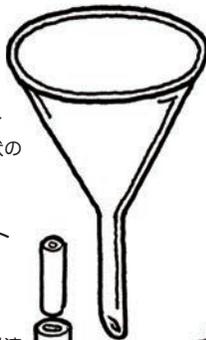
容器内を真空に近い状態にできるシステム

容器内にセットしたバイアルに最終の測定用試料溶液を入れるときに使います。
レジンから溶液が流れる量と速度を調整することができます。



漏斗(ろうと)

試料をろ過する際に使う円形ろ紙をセットするためのじょうご状の道具



円形ろ紙

試料をろ過して不溶解物を取りのぞくときに使用する紙
漏斗(ろうと)にセットして使います。

インナーサポートチューブ+アウターチップ

レジンから流れる試料溶液を真空吸引システムの中の容器に落とすときに通路として使う道具

上の短いストローのようなものがインナーサポートチューブ、下の細長いものがアウターチップです。



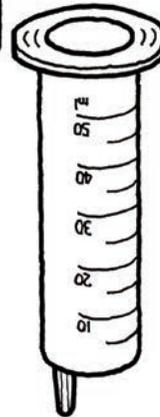
UTEVA2レジン (ゆーてばつーれじん)

ウランやプルトニウムなど測定の際に放射性物質を吸着する樹脂フィルター



DGAレジン (でいーじーえーれじん)

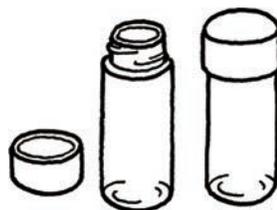
イットリウムを吸着する樹脂フィルター



シリンジ

つつの部分に目盛りのついた注射器

試料溶液をバイアルに流しこむときに、シリンジの目盛りで量を確認します。



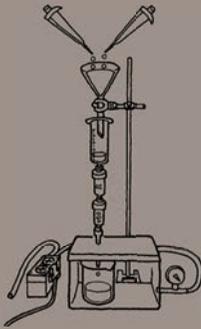
バイアル

最終の測定用試料溶液を入れる容器
測定器で放射能を測定するときに使います。

34

📖 円形ろ紙・漏斗→シリンジ
→UTEVA2 レジン→DGA レジン→イ
ンナーサポートチューブ→アウター
チップ→ピーカーの順に、道具をセッ
トします。

上から硝酸を流し、レジんに試料溶
液が通りやすいようになじませます。
この作業をコンディショニングとい
います。



🐰 試料溶液を流す前に、まず 8 モ
ル濃度の硝酸 10ml、次に 3 モル濃度
の硝酸 10ml を、それぞれ 1 分間に
1ml の速さで流します。流れる量と速
度は、真空吸引システムで調整します。

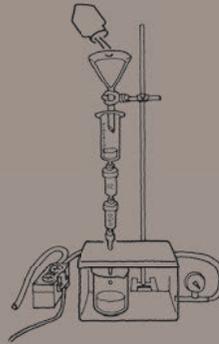
3 モル濃度の硝酸は、工程 32 番で使
用した、シュウ酸イットリウムなどの
沈殿を溶かした硝酸と同じです。ここ
までの工程では、試料溶液を 3 モル濃
度の硝酸で調整しています。

8 モル濃度の硝酸は、これから使う塩
酸の濃度と同程度です。

35

📖 試料溶液を流します。

UTEVA2 レジンでは、これまでに取りのぞけなかつ
た、測定に不要なウランやプルトニウムなどをつ
かまえます。次の DGA レジンでは、測定に必要な
イットリウムだけをつかまえます。この段階で、
イットリウム 90 はストロンチウム 90 から完全に
分離されます。



🐰 まず、工程 32 番でつくった、3 モル濃度の硝
酸で調整された試料溶液を、連結した 2 種類のレ
ジンに注入していきます。

工程 30 番までの作業で取りのぞけなかった、測定
に不要なウランやプルトニウムなどの放射性核種
は、一段目の UTEVA2 レジンでつかまえて取りの
ぞきます。

ストロンチウム 90 やウランなどの放射性物質が極
微量でも残っていると、イットリウム 90 の放射能
の測定値に誤差を生じるので、完全に取りのぞく必
要があります。

次に、イットリウムを二段目の DGA レジンでつか
まえます。DGA レジンにイットリウムを吸着させ
る際の硝酸の濃度は、3 モル濃度が最適です。

ここでは、UTEVA2 レジンと DGA レジンを連結し、
そこに試料溶液を注入するので、それぞれの核種が
目的のレジんに吸着しやすいよう、硝酸を 2～4 モ
ル濃度の間の 3 モル濃度に調整し、注入しています。

この工程でストロンチウム 90 から生成したイット
リウム 90 のミルクキングが終了し、イットリウム 90
はストロンチウム 90 から完全に分離されます。



【ミルクングのお話】

放射性物質のストロンチウム 90 は、一定の規則でイットリウム 90 に壊変します。ストロンチウム 90 は測定が難しいのですが、イットリウム 90 は比較的測定しやすいので、ストロンチウム 90 があるかどうかは、イットリウム 90 を測って確認します。

イットリウム 90 の半減期は 64 時間なので、イットリウム 90 の放射能は、ストロンチウム 90 からイットリウム 90 が完全に分離された時点を起点に、64 時間で半減します。この法則を利用して、もともとイットリウム 90 がどれだけあったかを測ります。

そのためには、ストロンチウム 90 とイットリウム 90 を完全に分離することが必要です。

なぜなら、ある時点のイットリウム 90 を測ろうとして

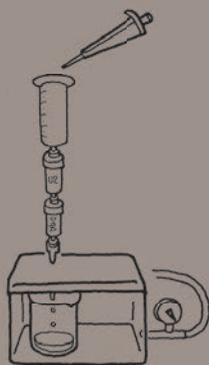
も、そこに少しでも、ストロンチウム 90 が残っていたら、残っているストロンチウム 90 から新たなイットリウム 90 が絶えず生まれてきて、正確な数値を測ることができないからです。

ストロンチウム 90 からイットリウム 90 を分離することを、ミルクングとよびます。ちょうど乳牛のおっぱいからミルクを絞り出すようなイメージだからです。

ストロンチウム 90 (イットリウム 90) を測る行程は、常にミルクングのための作業といえます。最終的にストロンチウム 90 とイットリウム 90 が完全に分離できたときに、「ミルクングが終了した」として、イットリウム 90 の量の測定をはじめます。

36

 ろ紙と漏斗をはずし、もう一度、純水でうすめた硝酸を流します。UTEVA2 レジンに残っているイットリウムを DGA レジンに落とす作業です。



UTEVA2 レジンについたイットリウムを完全にはがして、下にセットしてある DGA レジンに確実に流し落とすために、3 モル濃度の硝酸を流します。

流す量は 15ml で、1 分間に 1 ml の速さでゆっくり流します。

37

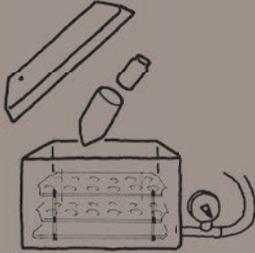
 UTEVA2 レジンをはずし、DGA レジンにシリンジをセットします。純水でうすめた塩酸を流し、DGA レジンにくっついている硝酸を流し取ります。



DGA レジンに 8 モル濃度の塩酸を 15ml 流し、測定に不要な物質を、レジンの下に設置したビーカーに流し出します。工程 35 番で DGA レジンに吸着したイットリウムは、8 モル濃度の塩酸には流されたり、溶け出したりしません。

38

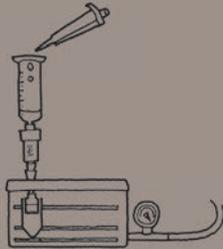
 真空吸引システムの中のピーカーをはずして、バイアルをセットします。ピーカーの中にたまった溶液は、測定に使用しないものなので廃棄します。



39

 シリンジ→DGA レジン→バイアルの順にセットします。イットリウムをレジンはがすために、希塩酸を注いで、バイアルに流しこみます。イットリウムは工程 37 番で使った程度のうすい塩酸では流し出すことはできませんが、ここで使う、希塩酸（とてもうすい塩酸）では、流し出すことができます。これが最終の測定用試料になります。この絵本では、これを「最終試料」とよびます。

もう一度同じ作業をして、最終試料を 2 本つくります。



 0.25 モル濃度のごく薄い塩酸（希塩酸）20ml を流します。この濃度の塩酸は、イットリウムを DGA レジンからはがして流します。

バイアルに 20ml の最終試料がたまったら、いったんバイアルを取り出し、別のバイアルをセットし、さらに 0.25 モル濃度の塩酸を 20ml 流し、2 本目の最終試料をつくります。

測定は 2 本のバイアルで行います。測定には最初の 1 本のバイアルで充分ですが、レジンからの溶離作業が不完全だと DGA レジンにまだイットリウムが残っていることがあるので、取り残しのないように 2 本目のバイアルにも最終試料の捕集をします。

 別のバイアルに、希塩酸とイットリウム担体溶液、ランタン担体溶液をいっしょに入れて、測定する最終試料と同じ量のバックグラウンド試料をつくります。



バックグラウンドとは、測定しようとする最終試料をセットする以前の測定環境のことです。

測定器やその周辺環境が放射能で汚染されていると、最終試料の放射能を正確に測定することはできません。測定する最終試料ではないところに放射能があるかないか、測定器はきちんと動いているかどうかなどを、測定の前に確認することが必要です。

そして、バックグラウンドに放射能が存在していた場合、目的とする最終試料の中の放射能の値から、その分を差し引く必要があります。

その確認のために、測定する最終試料と同じ組成のキャリア溶液でバックグラウンド溶液をつくり、それをバックグラウンド試料としてバックグラウンドの確認測定に使用します。バックグラウンド試料中に放射能は入っていませんが、宇宙線や他の核種などが測定に影響を及ぼした場合、バックグラウンド中の放射能として測定されます。

*ここでのキャリア溶液は、最終試料とは別のバイアルに入れた、5mg 相当のイットリウム担体溶液を 1ml と、1mg 相当のランタン担体溶液を 0.5ml と、0.25 モル濃度の塩酸溶液 18.5ml の混合溶液 20ml のことです。

バックグラウンドには 2 種類あります。

- ① 測定環境にあるバックグラウンド：測定器そのものが持つ計数や宇宙線などに起因する計数
- ② 最終試料そのものが持つバックグラウンド：最終試料の中のイットリウム 90 以外の放射性物質による計数

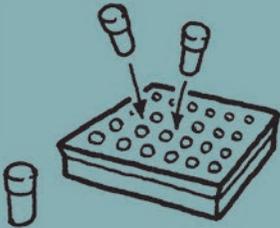
バックグラウンド試料を測定した結果は、正味の測定値を計算するために使います。最終試料の測定値（見かけの計数＝測定環境由来の計数を含む測定値）から、①②で出てきた計数を差し引きます。

*計数とは…放射能の測定は基本的に、測定する最終試料が発する放射線を測定器が受け取り、それを信号として変換して数えることです。この数値のことを「計数」とよびます。

これらの作業は、例えば、雑音の混じった音に耳を澄ませて、「放射線」のこぼれを聞き分けるようなものです。生活環境中の微弱な放射線を測定しようとするのは、こういう「聞き澄まし」をするということなのです。

41

 メバルの骨の最終試料のバイアル 2 本と、バックグラウンド試料のバイアル 1 本を、液体シンチレーション計数測定装置（液シン）のラックに入れます。



液体シンチレーション計数測定装置（液シン）は、「たらちね」の測定で使用しているベータ線の測定器です。液体シンチレーション計数測定装置（液シン）とは、放射性物質が崩壊して放出する放射線が、測定の際に試料に添加する液性の蛍光物質に作用して発する蛍光を電気信号に変えて数を検出し、放射性物質がどれだけ放射線を発生したかを測定する装置です。

ここでは、蛍光物質を使わずに、イットリウム 90 が発するチェレンコフ発光という現象を用いて測定します。チェレンコフ発光は、例えば、強いエネルギーの荷電粒子（電気を帯びた粒子）が水の中で光速より速い速度で進むときに、青白い光を発する現象です。イットリウム 90 が存在するところは、ベータ線のエネルギーが強くなるので、この測定に適しているのです。

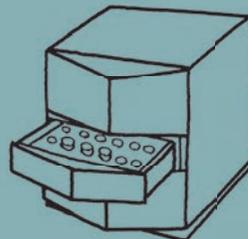
*これと同じチェレンコフ発光の現象を利用して、岐阜県にある世界最大の水チェレンコフ宇宙素粒子観測装置「スーパーカミオカンデ」では、ニュートリノという素粒子を測定しています。ニュートリノの測定は大変むずかしいのですが、この素粒子がごくまれに他の物質と衝突した際にできた電子から発せられるチェレンコフ発光を捉えて測定できるようになり、研究が大きく進むきっかけになりました。

測定をする

42

 液シンを操作して、バイアルを 1 本ずつ測定します。

- ① バックグラウンド試料の測定（2 時間）
 - ② メバルの骨の最終試料 1 本目の測定（2 時間）
 - ③ メバルの骨の最終試料 2 本目の測定（2 時間）
- *①②③を 1 セットとして、合計 6 時間の測定を 7 ~ 10 回行います。



これまで様々な処理をしてきた試料を測定するという重要な場面です。

液シンを使って約 60 時間をかけて、何度も最終試料の測定を繰り返すことにより、「だいたいこのあたり」という数値と標準偏差を求めることができます。何度も繰り返し測定することは工程 40 番にある「聞き澄まし」をし、測定の信頼性を確認するために必要なことです。また、長時間の測定を続けることで、イットリウム 90 の減衰（半減期は 64 時間）が正しくあらわれているかの確認も行います。

43

 液シンには、データ処理用のパソコンをつないでいます。



44

 データ処理プログラムで処理された測定値を確認します。



45

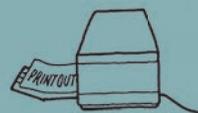
 測定が終わったら、最終試料を冷蔵庫に入れて保管します。



異常な測定値が出るなどの不審な点があった場合、再測定を行うことがあります。また、イットリウム 90 の化学回収率を求めするために、再度試料を使用します。測定後の最終試料は、変色や蒸発を防ぎ、コンディションを整えておくために、冷蔵庫に入れておきます。

46

 測定データをプリントアウトします。



 メバルの骨からイットリウム 90 が正しく回収されているかどうかを確認するために、ICP 発光分光分析装置がある施設(しせつ)に、最終試料の入ったバイアルを持っていきます。



ICP 発光分光分析装置



これまでの作業の中で、メバルの骨の中のイットリウム 90 がどのぐらい回収できているかを確認します。

このような化学操作において、必要なものを 100% 完全に回収することは不可能で、どうしてもロス(損失)が出てしまいます。そこで、ICP 発光分光分析装置を使って、回収率の確認とロスの割合を調べます。

* ICP 発光分光分析装置(ICP-AES)とは、誘導結合プラズマ発光分光分析装置のことです。発光分光分析は、元素がエネルギーを吸収すると元素特有の波長の光を発生すること(炎色反応)を利用して、元素の有無や含有量を測定することです。発光の身近な例では、花火があります。ナトリウム、カルシウム、鉄、ストロンチウム、バリウム、カリウムなどが、火薬の爆発的な燃焼エネルギーを得て、それぞれ固有の光を発生して夜空を彩ります。また、塩化ビニリデンのラップを巻いた銅線を、ガスコンロにかざして炙る(あぶる)と、緑青の銅原子の発する光が見えます。炎色反応は、高校で習います。

ICP-AESはこの発光エネルギーを、高温のプラズマから得ることのできる発光分光分析装置です。10000°Cもの高温で、それぞれの元素の固有の光を発生させ、その光を識別して測定します。高感度の分析能力があるため、現在では環境分析や工業材料の分析などに幅広く使われています。プラズマはプラス電荷の原子核群とマイナス電荷の電子群の集まりで、電気的には中性になります。

放射性的イットリウム 90 は極微量ですが、工程 11 番で加えたイットリウムの担体量を含めて回収量を測ることで、全体の回収率を確認することができます。

担体のイットリウムは、放射線を出さない安定同位体で、試料に加えるときにその分量を正しく測り取ります。イットリウム担体は、前処理の工程でイットリウム 90 と同じ動きをします。「イットリウム 90 + イットリウム担体」のグループが、他のグループに混じって廃棄されたり、取り損ねたりすることも考えられるので、最終試料の中のイットリウム量を測定し、どれだけ回収されたかを計算します。

確認した回収率をもとに、「100%回収されていたらどうだったか」を計算しなおします。正確な測定値を求める上で、回収率の確認は大切な作業です。

48

 回収率のデータをもとに、測定結果の算出をします。



工程 35 番でストロンチウム 90 とイットリウム 90 がミルキングにより完全に分離されたときから、イットリウム 90 だけの放射性壊変 (減衰) がはじまります。

ICP-AES で求めた回収率で、測定値を補正します。100%回収された場合の放射能値に換算します。

測定値を求める計算の手順は次の通りです。

- ① 液シンのイットリウム 90 の計数効率を求めて、測定時点での測定値を補正します。
測定装置の計数効率は、測定の原理、装置の特性、測定試料の状態などにより変化するので、信頼できる測定値を得るためには、正しい計数効率を求めることが、とても重要です。
- ② ミルキングから測定終了までの時間を考慮し、放射能の減衰を計算でさかのぼって、ミルキング時点のイットリウム 90 の測定値を出します。これを壊変補正といいます。
これはミルキング時点のストロンチウム 90 の放射能値と同じですので、この計算により、ストロンチウム 90 の放射能値が得られたことになります。
- ③ ②で得られたストロンチウム 90 の測定値を試料採取日までさかのぼり、補正します。これも壊変補正です。

これらの作業により、今回の試料となったメバルの採取時のストロンチウム 90 の放射能の値を知ることができます。

測定値の算出

49

 報告書を作成します。



測定結果の報告

50

 メバルを持ってきたヒロシさんに測定結果をわたします。
測定結果は「たらちね」のホームページで公開しますので、だれでも見ることができます。



終わりに…

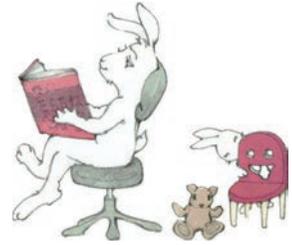
今回は、メバルの測定を例として、ストロンチウム 90 の測定法を紹介しました。

「たらちね」には、野菜や米、水や土などいろいろなものが、測定のために持ち込まれます。その中に含まれる物質は、成分も割合も様々で、ものの種類により前処理の方法も変わってきます。また、測定器にセットするまでの前処理に、大変な手間がかかります。

「たらちね」では、様々な性質を持つものを手早く正確に測定し、地域の放射能の状態と危険を人々が知ることができるよう、毎日、努力しています。

生活環境の中の放射能の状態をよく知ることが、子どもたちを被ばくから遠ざけることにつながるからです。

たらちねラボ (測定室) の ママとおともだち



うさぎ先生とチビうさぎ



あい

誕生日 5月5日 おうし座
血液型 B型

好きな食べもの チョコレート

休みの日 おうちでゴロゴロ



ひろみ

誕生日 2月6日 みずがめ座

血液型 A型

趣味 猫と遊ぶ

休みの日 遊びにいった猫を探す



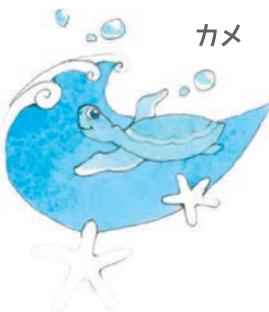
ふみ

誕生日 12月21日 いて座

血液型 A型

趣味 いろんな料理をつくる

休みの日 子どものサッカー応援



カメ

たらちねクリニックの ふじた先生

誕生日 11月14日 さそり座

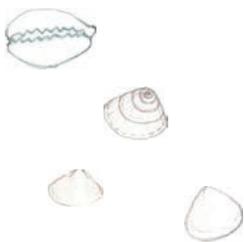
血液型 O型

趣味 沖縄三線を奏でる

休みの日 畑・草むしり



たことメバル



たらちね

ストロンチウム 90 測定 の巻 別冊 詳細版

別冊デザイン	安保 美保
絵・本誌デザイン	松本 令子
監修	天野 光
企画・編集	鈴木 薫 原田 裕子
発行	認定NPO法人 いわき放射能市民測定室 たらちね 福島県いわき市小名浜花畑町 11 番地の 3 電話 0246-92-2526 ホームページ https://tarachineiwaki.org/
協力	一般社団法人 アクト・ビヨンド・トラスト
印刷・製本	長瀬印刷株式会社
発行日	2019 年 3 月 11 日

© 2019 Mothers' Radiation Lab Fukushima この作品を許可なく転記することを禁じます
