

JAERI - M
93-142

教材としての天然カリウム

1993年7月

吾勝 永子

JAERI-M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。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute. 1993

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

教材としての天然カリウム

日本原子力研究所原子力総合研修センター

吾勝 永子

(1993年6月11日受理)

日本原子力研究所原子力総合研修センター原子炉研修部門で開催している原子力入門講座における、ある実習開発の報告である。実習の目的は、放射能 (λN) の理解である。天然カリウム含有試料の γ 線スペクトル測定を行い、計測中に既知試料の放射能や検出効率などを計算する。研修生のアンケートとレポートによると、本講座の研修生は、学歴、年齢に関して多種多様であって、大部分の研修生が予備知識をもっていなかったが、かなりの理解が得られ、かつ放射線管理区域を使う必要がなく、有益な実習と考えられる。

Natural Potassium as a Teaching Material

Eiko AKATSU

Nuclear Education Center
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 11, 1993)

An experience of an educational experiment is presented with results and discussion. It was performed in the introductory course of nuclear energy in the Nuclear Education Center of Japan Atomic Energy Research Institute. Purpose of the experiment is understanding disintegration rate (Bq, radioactivity or λN) through measurement of low radioactivity of natural potassium. It was accomplished through calculation of the radioactivity of a measuring known sample and counting efficiency during measurement.

The students in the training course had great variety and most students did not have preliminary knowledge. But they said in the questionnaire having almost understood the experiment; and some students enjoyed it.

Keywords: Teaching Material, Experimental Exercise, Natural Potassium, Questionnaire, Education

目 次

1. はじめに	1
2. 計画段階における考え方	1
3. 実 習	2
3.1 準備と実験	2
3.2 実験マニュアル	4
4. 結果と考察	4
4.1 実習について	4
4.2 アンケートについて	5
4.3 結 論	6
謝 辞	6
引用文献	6
Appendix	12

Contents

1. Preface	1
2. Intention	1
3. Practical Exercise	2
3.1 Preparation and Experiment	2
3.2 Manual of the Experiment	4
4. Results and Discussion	4
4.1 Practical Exercise	4
4.2 Questionnaire	5
4.3 Conclusion	6
Acknowledgment	6
References	6
Appendix	12

1. はじめに

日本原子力研究所原子力総合研修センターでは、原子力関連企業の職員、国家公務員、地方自治体職員を対象に、原子力に関する教育訓練を行う目的で、さまざまな研修コースを開いている。その中の原子力入門講座には、原子力に関する基礎知識は必要であっても当面放射線作業従事者である必要のない研修生も含まれる。そこで、放射線作業従事者としての登録をせずに、すなわち、放射線管理区域に立ち入らずに実施できる実習はないか、というのが、この実習研究開発の発端である。そこで、法令上では放射性物質ではない天然カリウムを測定試料に用い、実習としては長い計測時間を必要とするので、この間に放射能 (λN^*) に関する計算を行う授業方法を考え、4回の実施経験を得た。

原子力関連授業は、しばしば抽象的である。その上、目に見えない世界の話が多いため、決してやさしくない。難しいことを分かりやすくするのは、簡単ではない。ところが、教育訓練のため授業を分かりやすくする研究は、結果の“分かりやすさ”のために、たやすいこと、レベルの低い仕事と見なされる。このため、分かりやすくするための仕事が敬遠され“難しい”状況があたりまえとなってしまうのは問題ではないか。そこで、分かりやすくするための努力のひとつを、研修所内にとどまらず広く活用されるよう、報告することとした。その際、実習の成果については、原子力総合研修センターでの実習における研修生のレポートおよびアンケートに基づいて評価する方法をとった¹⁾。

2. 計画段階における考え方

天然カリウムは、放射性核種⁴⁰Kが含まれているが、法令で定義された放射性物質ではない。したがって天然カリウムを使った実験では、放射線管理区域を必要としない。そこで、カリウムの属性(表1)から、⁴⁰Kを教材とした場合にどのような特性があるかを考えて見るとつぎのようである。

① 天然カリウムには3種の同位体があり、その中の放射性核種⁴⁰Kの壊変方式が単純ではない。したがって、放射能とその測定に関連して、授業内容の目的の設定、さらに幅

* λ : 放射性壊変定数、 N : 放射性核種の原子個数

1. はじめに

日本原子力研究所原子力総合研修センターでは、原子力関連企業の職員、国家公務員、地方自治体職員を対象に、原子力に関する教育訓練を行う目的で、さまざまな研修コースを開いている。その中の原子力入門講座には、原子力に関する基礎知識は必要であっても当面放射線作業従事者である必要のない研修生も含まれる。そこで、放射線作業従事者としての登録をせずに、すなわち、放射線管理区域に立ち入らずに実施できる実習はないか、というのが、この実習研究開発の発端である。そこで、法令上では放射性物質ではない天然カリウムを測定試料に用い、実習としては長い計測時間を必要とするので、この間に放射能 (λN^*) に関する計算を行う授業方法を考え、4回の実施経験を得た。

原子力関連授業は、しばしば抽象的である。その上、目に見えない世界の話が多いため、決してやさしくない。難しいことを分かりやすくするのは、簡単ではない。ところが、教育訓練のため授業を分かりやすくする研究は、結果の“分かりやすさ”のために、たやすいこと、レベルの低い仕事と見なされる。このため、分かりやすくするための仕事が敬遠され“難しい”状況があたりまえとなってしまうのは問題ではないか。そこで、分かりやすくするための努力のひとつを、研修所内にとどまらず広く活用されるよう、報告することとした。その際、実習の成果については、原子力総合研修センターでの実習における研修生のレポートおよびアンケートに基づいて評価する方法をとった¹⁾。

2. 計画段階における考え方

天然カリウムは、放射性核種⁴⁰Kが含まれているが、法令で定義された放射性物質ではない。したがって天然カリウムを使った実験では、放射線管理区域を必要としない。そこで、カリウムの属性(表1)から、⁴⁰Kを教材とした場合にどのような特性があるかを考えて見るとつぎのようである。

① 天然カリウムには3種の同位体があり、その中の放射性核種⁴⁰Kの壊変方式が単純ではない。したがって、放射能とその測定に関連して、授業内容の目的の設定、さらに幅

* λ : 放射性壊変定数、 N : 放射性核種の原子個数

の広さと深さの両面で、初心者レベルから、専門的なレベルまで、多種多様な利用が考えられる。このとき、授業内容として取り上げることが出来るものを、表2に示す。

② カリウムは、比較的身近な物質中に存在する。食品標準成分表²⁾には、食品100グラムあたりの含有量が記載されている。また、放射線計測では、測定環境の放射線、すなわちバックグラウンドのなかにカリウムの放射線を見いだすことができる。さらに、線源としての天然カリウムの放射能が低いことから、かなりの量の測定試料を使わざるをえない。眼に見えない線源からの放射線ではなく、見える物質の属性としての放射線の測定を通じて、放射性壊変による元素の変換、すなわち眼前の白い結晶の一部が、いずれは別な物質に変化する、という事実を実感できるであろう。また、カリウムの定量には、放射能測定法³⁾も可能である。このような観点から、放射性核種や放射能を学ぶにあたってカリウムを使えば、放射線や放射能に対する距離感を縮めることができるのではないかと期待される。

3. 実 習

3.1 準備と実験

教育のための実習では、研修生のレベル、授業目的、授業時間、使用可能な機器などとともに安全性を考慮して、実習を構成しなければならない。今回対象とした原子力入門講座は、高等学校卒業実務経験2年のレベルで研修生募集がおこなわれており、講座の目的は、核エネルギーの平和利用における基礎を教えることであつた。期間は、約3週間で、カリウムの測定実験に使用できる時間は、午後の約4時間である。そこで、使用可能な機器類を考慮して、つぎのようなかたちで実施することにした。

原子力入門講座には、約50名から25名の研修生が参加する。これを8班にわけて実験班を組み、4班ずつ実験を行う。講座のカリキュラム上、 γ 線エネルギー測定の実習があり、ここで、 γ 線スペクトルから γ 線エネルギーを求めている。これに続く実習としては、 γ 線スペクトルによる定量が自然ではあるが、ここでは放射能(λN)の概念を教えることにした。すなわち、測定法は、あくまでも λN を得るための手段、との立場である。1990年の実施状況を表3にまとめた。以後1993年まで、人数に変動があつたが、その他の状況は同じである。

測定試料は、直方体とみなせるプラスチック製密閉容器(78×53×110mm)にすきま

の広さと深さの両面で、初心者レベルから、専門的なレベルまで、多種多様な利用が考えられる。このとき、授業内容として取り上げることが出来るものを、表2に示す。

② カリウムは、比較的身近な物質中に存在する。食品標準成分表²⁾には、食品100グラムあたりの含有量が記載されている。また、放射線計測では、測定環境の放射線、すなわちバックグラウンドのなかにカリウムの放射線を見いだすことができる。さらに、線源としての天然カリウムの放射能が低いことから、かなりの量の測定試料を使わざるをえない。眼に見えない線源からの放射線ではなく、見える物質の属性としての放射線の測定を通じて、放射性壊変による元素の変換、すなわち眼前の白い結晶の一部が、いずれは別な物質に変化する、という事実を実感できるであろう。また、カリウムの定量には、放射能測定法³⁾も可能である。このような観点から、放射性核種や放射能を学ぶにあたってカリウムを使えば、放射線や放射能に対する距離感を縮めることができるのではないかと期待される。

3. 実 習

3.1 準備と実験

教育のための実習では、研修生のレベル、授業目的、授業時間、使用可能な機器などとともに安全性を考慮して、実習を構成しなければならない。今回対象とした原子力入門講座は、高等学校卒業実務経験2年のレベルで研修生募集がおこなわれており、講座の目的は、核エネルギーの平和利用における基礎を教えることであつた。期間は、約3週間で、カリウムの測定実験に使用できる時間は、午後の約4時間である。そこで、使用可能な機器類を考慮して、つぎのようなかたちで実施することにした。

原子力入門講座には、約50名から25名の研修生が参加する。これを8班にわけて実験班を組み、4班ずつ実験を行う。講座のカリキュラム上、 γ 線エネルギー測定の実習があり、ここで、 γ 線スペクトルから γ 線エネルギーを求めている。これに続く実習としては、 γ 線スペクトルによる定量が自然ではあるが、ここでは放射能(λN)の概念を教えることにした。すなわち、測定法は、あくまでも λN を得るための手段、との立場である。1990年の実施状況を表3にまとめた。以後1993年まで、人数に変動があつたが、その他の状況は同じである。

測定試料は、直方体とみなせるプラスチック製密閉容器(78×53×110mm)にすきま

のないように詰め、これをプラスチック製袋に入れて、ふたが動かないように、シールした。測定に用いた試料は、塩化カリウム、炭酸カリウム、および食品試料である。食品試料は、カリウムの含有量²⁾と測定試料のつくり易さから、干物の「きざみ昆布」、「ひじき」、および「きなこ」の3種を選定した。測定試料を作成する時に注意すべき点は、

「ひじき」などは必要に応じてミキサーにかけて粉末状にしたものをつめること、塩化カリウムの詰め方には特に注意をはらい、傾けてもすきまがでないようにつめること、および化学系の実験者には当たり前ではあるが、必ず風袋¹⁾をはかること、である。とくに、標準試料とする塩化カリウムの場合、わずかなすきまが検出効率データのバラツキに結び付き、他のデータに影響する。なお、塩化カリウムの測定値から求めた検出効率は、当然「きざみ昆布」や「きなこ」など密度の小さい測定試料の検出効率としては問題があり、研修生への説明が必要である。

つぎに実習内容であるが、以下にあげる4点を考慮して実習を構成した。

①実習内容は、 γ 線スペクトロメトリによるカリウムの定量であるが、実習目的を放射能、 λN 、の理解とする。同位体比、原子量、モル質量、アボガドロ数、半減期を理解し、これを用いて測定試料のカリウムの λN に関する計算を行う。

②カリウムの放射能が弱いことを利用して、測定試料の量を約500gと多くする。このことによつて、前述のように、放射能が実在する物質の構成要素である原子(核)の性質であることを研修生に理解してもらうとともに、検出効率の概念およびcps²⁾からdps³⁾への道筋を理解する。

③計測時間が長いことを利用し、並行して、実習内容の理解に必要な前述の計算やデータ整理を行うようにシナリオを組む。

④ブランク測定で、環境の⁴⁰Kを同定し、環境にも放射線があること、および食品を測定試料に採用し、食物中の放射能が、即放射能汚染ではないことを γ 線スペクトル上で確認する。

*1 ふうたい。ここでは、空の容器。各々の試料を詰める前に、それぞれ秤量する。

*2 counts per second

*3 counts per minute

3. 2 実験マニュアル

研修生用実験のマニュアルは、4回の実施経験から、表4のような項目ごとにまとめ、研修の目的に合わせて、取捨選択するのが良いと思われる。

実験マニュアルの中で計算が必要な所では、すべて注釈に計算式を示し、可能な場合には2通りの計算法を示した。さまざまな職場から研修生が来ており、それぞれの職業の専門性から、習慣として演繹的な考え方をする研修生と、帰納的な考え方をする研修生とがいること¹⁾や、普段使いなれた式のほうが分かりやすい、との考え方によるものである。また、アボガドロ数等は、その値を記入してある。実習マニュアルの詳細を appendix に示す。

4. 結果と考察

4. 1 実習について

λN は、なれた人には当り前の式であるが、抽象的で、具体的にとらえにくいため、初心者には理解し難いものである。これをなんとかしたい、というのが当初の目的であった。しかし、4回実施した経験では、測定法のうちとくに検出効率の概念が研修生に伝わりにくく、 λN よりは検出効率の方に気をとられることがあった。実験室では、とくに、具体的なことが先に立つので、 λN の概念は、実験に伴うさまざまな計算の中で理解を求めてゆくことになる。実験マニュアルに即していえば、 λN について、細かい説明ができるのは、表4の④と⑦が中心になる。壊変定数が正であれば、預金の利率を説明に使えるのであるが、負であるため、具体例が難しい。しかし、複利計算でも、およその感じはつかめるようである。

放射線管理関連の仕事についている研修生は、 γ 線スペクトロメトリに興味をもち、表4項目⑥を省略した方がよいように思われる。逆に、原子炉関連の職場からきた研修生は、 γ 線スペクトルには関心が薄い。項目⑥を省略した方が、 λN を取り扱うには好都合であり、時間もとれ、分かりやすいように思われる。したがって、項目⑥は、検出効率をとりあげるまでもない場合、単に食品中の ^{40}K の存在を示せばよいような場合に有効かと思われる。

研修生レポートの測定データをまとめたものを表5に示す。各年度毎によく一致したデータが得られている。また、表4、項目⑥の、cps値の比例計算による炭酸カリウム中カ

3. 2 実験マニュアル

研修生用実験のマニュアルは、4回の実施経験から、表4のような項目ごとにまとめ、研修の目的に合わせて、取捨選択するのが良いと思われる。

実験マニュアルの中で計算が必要な所では、すべて注釈に計算式を示し、可能な場合には2通りの計算法を示した。さまざまな職場から研修生が来ており、それぞれの職業の専門性から、習慣として演繹的な考え方をする研修生と、帰納的な考え方をする研修生とがいることや、普段使いなれた式のほうが分かりやすい、との考え方によるものである。また、アボガドロ数等は、その値を記入してある。実習マニュアルの詳細を appendix に示す。

4. 結果と考察

4. 1 実習について

λN は、なれた人には当り前の式であるが、抽象的で、具体的にとらえにくいいため、初心者には理解し難いものである。これをなんとかしたい、というのが当初の目的であった。しかし、4回実施した経験では、測定法のうちとくに検出効率の概念が研修生に伝わりにくく、 λN よりは検出効率の方に気をとられることがあった。実験室では、とくに、具体的なことが先に立つので、 λN の概念は、実験に伴うさまざまな計算の中で理解を求めてゆくことになる。実験マニュアルに即していえば、 λN について、細かい説明ができるのは、表4の④と⑦が中心になる。壊変定数が正であれば、預金の利率を説明に使えるのであるが、負であるため、具体例が難しい。しかし、複利計算でも、およその感じはつかめるようである。

放射線管理関連の仕事についている研修生は、 γ 線スペクトロメトリに興味をもち、表4項目⑥を省略した方がよいように思われる。逆に、原子炉関連の職場からきた研修生は、 γ 線スペクトルには関心が薄い。項目⑥を省略した方が、 λN を取り扱うには好都合であり、時間もとれ、分かりやすいように思われる。したがって、項目⑥は、検出効率をとりあげるまでもない場合、単に食品中の ^{40}K の存在を示せばよいような場合に有効かと思われる。

研修生レポートの測定データをまとめたものを表5に示す。各年度毎によく一致したデータが得られている。また、表4、項目⑥の、cps値の比例計算による炭酸カリウム中カ

リウム量と検出効率を用いた場合のそれとは、各実験班ごとによい一致を示した。また、塩化カリウムと炭酸カリウムの測定データ、塩化カリウムのデータから導かれた検出効率も、互いによい一致を示している。一方、バックグラウンド（空容器）、「こんぶ」、「きなこ」の3者については、やや大きなバラツキを示した。この3者は、いずれも計数値が小さい。一定年度内での各実験班の間のデータのバラツキは、おもにバックグラウンド（空容器）の測定値のバラツキによるものと思われる。これは、研修生の中にも気づいた者がいた。しかし、ある程度の放射能のある試料を使ってデータがきれいに出る実験では、研修生のレベルによっては、バックグラウンドの存在を知らずに終ることがある、という経験にもとづいて、本実験では、否応なくバックグラウンド（空容器）の計数値を差し引かないと、データが得られない点をプラス面とみなした。さらに、たった1回の計測結果を云々するのは、計数誤差の点で問題があることを伝えることもできる。また、炭酸カリウムの秤量値と、実習で得られた測定値のずれは、上記のバックグラウンドのほか、試料の詰め方と、直方体試料の置き方に問題があったと思われる。

4. 2 アンケートについて

理解度、予備知識、仕事との関連性の3項目でアンケートをとったので、結果を表6に示す。アンケート項目は、アンケート項目に関する報告⁴⁾によった。また、実習に参加した研修生の年齢と専攻科目を表7に示す。

表6によると、予備知識のなかった研修生が大半であるが、各年度とも“大体わかった”以上が大半を占める結果を得ていることから、表7のような研修生に対してある程度の教育効果があったと考えられる。なお、学歴は、大学卒以上が30ないし40%で、残りが高等学校卒である。また、前者が間接的に原子力と関係のある事業所から来ており、後者が原子力発電所など、直接かかわりのある職場から来ているのが通例である。

研修生レポートの感想記入欄に見られる感想や意見をまとめると、表8のようである。時間をもてあましたという苦情がある一方、計算が難しい、あるいは計算式が実験マニュアルに書いてあるので一応計算はできるが中身が分からない、といった苦情が約10%程度みられる。計算結果が出にくい研修生に対しては、特に注意して指導しながら実習をすすめたが、仕事とまったく関係がない、として、全く興味を示さない研修生もいた。一方、マニュアルや教え方が分かりやすく良かったとする研修生や、勉強になった、有意義であった、とする研修生も多かった。

4.3 結論

以上の結果から、本報にのべた実習は、かなり多種多様な研修生に対して一応効果があり、比較的初歩クラスの研修生に対して有意義なものと考えられる。大学のように、教える対象のレベルがだいたい揃っているならば、さらに効果的であろう。また、一部を深く掘り下げれば、環境試料の測定などの実習を組み立てることもできるであろう。ほかに、NaIシンチレーション検出器を使用するなど、いくつかの応用実習ができると考えられる。

謝 辞

この実習の開発に際して、研修生実習にご協力いただいた、日本原子力研究所原子力総合研修センター佐藤孝雄氏、および竹田忠義氏に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) Akatsu, E.: Nucl. Technol., 59, 532-539 (1982)
- 2) 科学技術庁資源調査会編：“四訂日本食品標準成分表”(1989)
- 3) Kallman, S.: "Treatise on Analytical Chemistry, Part II, Vol. I, The Alkali Metals", pp.411-412, Interscience Publishers, Inc., New York (1961)
- 4) 吾勝永子: JAERI-M 84-082 (1984)

4. 3 結論

以上の結果から、本報にのべた実習は、かなり多種多様な研修生に対して一応効果があり、比較的初歩クラスの研修生に対して有意義なものと考えられる。大学のように、教える対象のレベルがだいたい揃っているならば、さらに効果的であろう。また、一部を深く掘り下げれば、環境試料の測定などの実習を組み立てることもできるであろう。ほかにも、NaIシンチレーション検出器を使用するなど、いくつかの応用実習ができると考えられる。

謝 辞

この実習の開発に際して、研修生実習にご協力いただいた、日本原子力研究所原子力総合研修センター佐藤孝雄氏、および竹田忠義氏に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) Akatsu, E.: Nucl. Technol., 59, 532-539 (1982)
- 2) 科学技術庁資源調査会編：“四訂日本食品標準成分表”(1989)
- 3) Kallman, S.: "Treatise on Analytical Chemistry, Part II, Vol. I, The Alkali Metals", pp.411-412, Interscience Publishers, Inc., New York (1961)
- 4) 吾勝永子: JAERI-M 84-082 (1984)

4. 3 結論

以上の結果から、本報にのべた実習は、かなり多種多様な研修生に対して一応効果があり、比較的初歩クラスの研修生に対して有意義なものと考えられる。大学のように、教える対象のレベルがだいたい揃っているならば、さらに効果的であろう。また、一部を深く掘り下げれば、環境試料の測定などの実習を組み立てることもできるであろう。ほかにも、NaIシンチレーション検出器を使用するなど、いくつかの応用実習ができると考えられる。

謝 辞

この実習の開発に際して、研修生実習にご協力いただいた、日本原子力研究所原子力総合研修センター佐藤孝雄氏、および竹田忠義氏に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) Akatsu, E.: Nucl. Technol., 59, 532-539 (1982)
- 2) 科学技術庁資源調査会編: “四訂日本食品標準成分表” (1989)
- 3) Kallman, S.: “Treatise on Analytical Chemistry, Part II, Vol. I, The Alkali Metals”, pp. 411-412, Interscience Publishers, Inc., New York (1961)
- 4) 吾勝永子: JAERI-M 84-082 (1984)

表1 カリウムの属性

カリウム-----天然に広く存在する。

ナトリウムの同族，岩石，粘土，植物，海草などに含まれる。

原子量 39.0983

同位体比 ^{39}K 93.26%，

^{40}K 0.0117%，

^{41}K 6.73%

^{40}K -----放射性核種，半減期 $T_{1/2} = 1.277 \times 10^9$ y

壊変様式 β^- 89.33%，EC 10.67%， β^+ 0.001%

γ 線 1461 keV

安定な化合物 KCl, K_2CO_3 , KNO_3 など

表2 ^{40}K をとおして、授業内容として

とりあげることができる項目

- ① λ ，半減期の理解と測定法
- ② 原子個数 N に関する計算
- ③ 放射能の概念， λN ，の理解
- ④ γ 線と物質との相互作用
- ⑤ γ 線スペクトル（エネルギー）の測定
- ⑥ 壊変方式と γ 線放出率
- ⑦ 検出効率
- ⑧ 放射線測定とそのデータ処理
- ⑨ 放射線測定における誤差
- ⑩ 低レベル放射能の測定とその特殊性
- ⑪ 自然、生活環境の放射線

表3 実施例 (1990年)

人数：46名。8班に分け、4班ずつ実習をおこなった

レベル：原研原子力総合研修センターの原子力入門講座研修生

講座の設定レベル：高等学校卒実務経験2年

実習の位置： γ 線エネルギー測定実習のあと

内容： γ 線スペクトロメトリによるKの定量

目的：計測時間を活用した計算の多用による λN の理解

時間：約4時間

使用機器：Ge半導体検出器、波高分析器、アンプ、遮蔽など

測定器は、あらかじめ ^{40}K の1461keV γ 線を測るように設定

実験室：放射線管理区域ではない。

測定試料：KCl、 K_2CO_3 、きざみ昆布、きなこ、オプション：芽ひじき

表5 研修生実習における測定結果

実施 時期	データ 種類	ブランク (cps)	KCl (cps)	検出効率	K_2CO_3 (cps)	K(g)* K_2CO_3	K(g)# K_2CO_3	K(g) 昆布	K(g) きなこ
Jan. 1990	平均	0.047	2.10	0.00234	1.97	254	254	12.3	3.0
	最大	0.055	2.14	0.00238	2.10	268	268	15.4	3.2
	最小	0.041	2.07	0.00231	1.83	239	239	9.0	2.9
Jan. 1991	平均	0.048	2.10	0.00233	1.93	250	250	10.7	2.0
	最大	0.051	2.12	0.00236	2.04	266	266	11.4	2.5
	最小	0.042	2.08	0.00231	1.82	235	235	10.2	1.6
Jan. 1992	平均	0.056	1.97	0.00219	2.06	283	283	6.7	1.7
	最大	0.061	2.00	0.00223	2.09	291	292	8.6	2.2
	最小	0.049	1.93	0.00215	2.03	275	275	5.8	1.0
Jan. 1993	平均	0.053	2.06	0.00229	2.10	277	277	9.8	2.0
	最大	0.063	2.13	0.00237	2.16	281	281	11.3	2.4
	最小	0.041	2.03	0.00226	2.04	269	269	9.0	1.5
総平均		0.051	2.06	0.00229	-	-	-	-	-
最大		0.063	2.14	0.00238	-	-	-	-	-
最小		0.041	1.93	0.00215	-	-	-	-	-

註：平均値は、8班のデータから計算。K(g)* 比例計算、K(g)# 検出効率による。
KCl量すべて516.91(g), K_2CO_3 中K量 1990,1991年 237.5(g), 1992,1993年 284.9(g)
食品試料は、年度毎に更新、水分の除去は行わない(文献2)。

表4 カリウムの測定実習マニュアルの項目とその内容

- ① はじめに γ 線スペクトルの全エネルギー吸収ピークの面積を用い、放射性核種の放射能、さらに原子个数、重量をはかることができることの説明。これをカリウムでやってみるのが今日の実験である。
- ② バックグラウンドまたは空容器の測定 (2000秒測定) 計測に時間がかかるので、まずこれを測る。環境放射線の簡単な資料。なお、 γ 線スペクトルのいわゆるバックグラウンドと異なる点に注意する。
- ③ カリウムの属性 表1に同じ。測定をしながら、原子量、同位体比の解説をする
- ④ ^{40}K の放射能の計算 (測定中に説明と計算) カリウム1g、ついで塩化カリウム1g中 ^{40}K のdps (λN)の計算。アボガドロ数、 λN がなぜdpsか?などの説明を加える。
- ⑤ 放射性核種の量をはかる-1 (ピーク面積とcpsの求め方) 約500グラムの塩化カリウムと炭酸カリウムをそれぞれ500秒測定。計数値からcpsを求める。
- ⑥ 放射性核種の量をはかる-2 (標準試料のcpsと未知試料のcps) 測定条件を一定にして、カリウムを含む2種の試料の測定結果から、cpsの比例計算でカリウムの量、未知試料 (K_2CO_3) 量を求める。標準試料 (KCl) の秤量値を示す。
- ⑦ 放射性核種の量をはかる-3 (検出効率を使う方法; 測定中に説明と計算)
 - a 検出効率、 γ 線放出率の説明。
 - b 標準試料 (KCl) のデータから検出効率を求める。
 - c 未知試料のdps、さらにカリウム量、 K_2CO_3 量を求める。
- ⑧ カリウム含有量の大きい食品中カリウムの測定 (各2000秒測定) きざみ昆布、きなこ。時間があれば、ひじきを追加。食品成分表からカリウム量を表にして示す。
- ⑨ まとめ 1ページに記入項目をかいてある。おもなデータ、感想およびアンケートを含む。

表6 アンケート結果

アンケート項目		実施時期		
		1990年	1992年	1993年
理解度	よく分かった	18% (7)	11% (4)	7% (2)
	かなり分かった	29% (11)	18% (7)	21% (6)
	大体分かった	47% (18)	45% (17)	32% (9)
	少しわかった	3% (1)	18% (7)	36% (10)
	わからなかった	3% (1)	8% (3)	4% (1)
仕事との関連	あり	19% (7)	16% (6)	7% (2)
	どちらともいえない	46% (17)	18% (7)	50% (14)
	なし	35% (13)	66% (25)	43% (12)
予備知識	あり	16% (6)	11% (4)	18% (5)
	どちらともいえない	26% (10)	21% (8)	29% (8)
	なし	58% (22)	68% (26)	54% (15)

註 カッコ内の数字は人数

表7 研修生の年齢と専攻科目の状況

実施時期		1991	1992	1993
年齢	≤ 20歳	14% (5)	18% (7)	17% (5)
	21~25歳	39% (14)	21% (8)	24% (7)
	26~30歳	25% (9)	32% (12)	17% (5)
	31~40歳	22% (8)	21% (8)	28% (8)
	> 40歳	0% (0)	8% (3)	14% (4)
専攻科目	電気系	16% (6)	26% (10)	21% (6)
	機械系	50% (18)	42% (16)	41% (12)
	化・農・水産	11% (4)	8% (3)	14% (4)
	その他	22% (8)	24% (9)	24% (7)

註1：その他は、物理、数学、航空、保安、理工系でない学科、および高等学校普通科を含む。

註2：カッコ内の数字は、人数を表す。

表8 研修生レポートの感想
(1991~1993年)

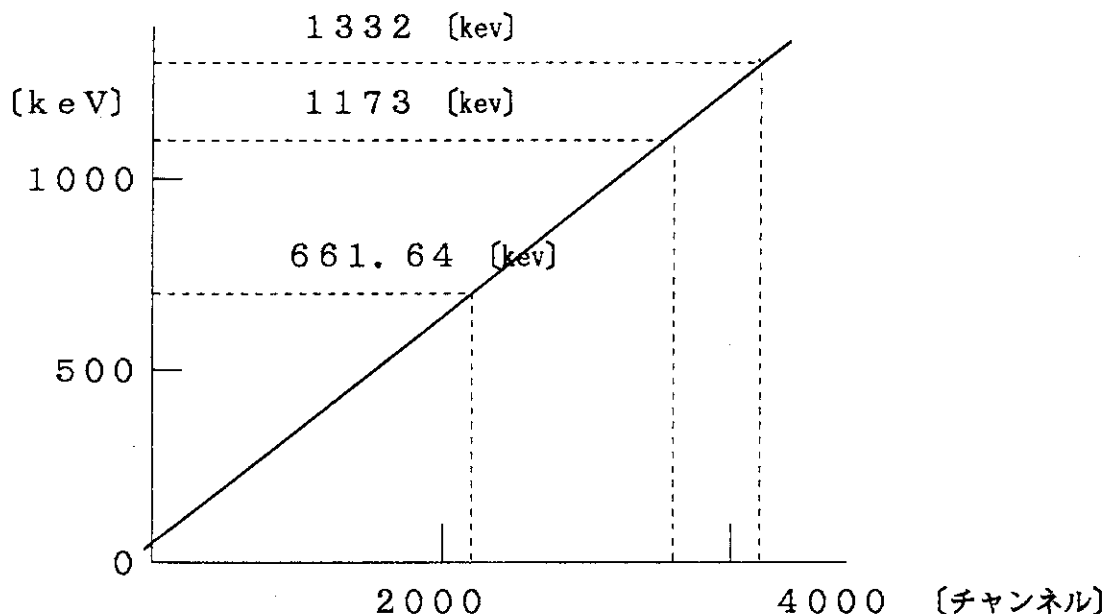
感想の種類	件数
難しい	5件
計算が難しい	9件
忙しい	2件
いま一つのみこめず	4件
分かったが速い	2件
次第に分かった	2件
なんとなく分かった	2件
面白かった、楽しかった	8件
勉強、ためになる	29件
有意義、良かった	13件
よく分かった	17件
ありがとう	1件
なし	56件
合計	150件

Appendix (カリウム測定実習マニュアル)

ここでは、単位となる章に、K1 からK20までの番号をつけてある。
実際に使うマニュアルを作るときには、必要に応じて、その中から取捨選択する。

K1. はじめに この実習は、 γ 線のスペクトルの測定、そして測定した γ 線のエネルギーを求める実習のあとをうけて、行うものである。前の実習では、 γ 線のスペクトルから、その全エネルギー吸収ピークをしらべて、 γ 線のエネルギーを知ることができた。さらに、全エネルギー吸収ピークの面積 という情報にもとづいて、測定試料から出ている γ 線の強さ、すなわち、測定試料の放射能の強さを知ることができる。この実習で、そのプロセスを調べてみよう。

ガンマ線のいろいろ――核種を決める (復習)



何であるかがわかっている放射性核種の密封線源 (標準線源) の測定

――全エネルギー吸収ピークのピークチャンネルを見る。

放射性核種のだすガンマ線のデータ集をみる

――標準線源核種のガンマ線のエネルギーを調べる

上の二つのデータから

――エネルギーとチャンネル数の関係を示す校正曲線を得る (上)。

未知試料のガンマ線スペクトル測定

――全エネルギー吸収ピークのピークチャンネルを見る。

校正曲線にあてはめる (チャンネルから、エネルギーをよみとる)

――ガンマ線のエネルギーがわかる。

放射性核種のだすガンマ線のデータ集をみる

――ガンマ線のエネルギーから、核種を同定する。

K2. バックグラウンド (空容器、またはブランク) の測定

今日は、カリウムを含む試料を測定する。

しかし 測定試料がない時でも、測定器は、いくらかの計数値をしめす。これは、まわり (環境) にカリウムそのほかの放射性物質があつたり、宇宙線があるためである。ただし、計数率が低いので、長時間測定が必要となる。バックグラウンドという。バックグラウンドに関するデータをつぎに示す。

① 地上1mにおける環境放射線 (γ線)

線源	エネルギー [MeV]	吸収線量率 (空気) [$\times 10^{-2} \mu\text{Gy}$]
大気中ラドン	≤ 2.4	0.2
土壌中K	≤ 1.5	2.0
土壌中U	≤ 2.4	1.0
土壌中Th	≤ 2.6	2.4
フォールアウト	≤ 0.8	0.3
{宇宙線 (β線)}	2~200	0.7 }

② わが国の土壌中典型的濃度 [mBq/g]

^{40}K	111~518
^{238}U	4~22
^{232}Th	4~26

以上、山根登 監修、環境放射線ハンドブック、情報センター出版会、東京 (1985) より。

今日の空容器測定は、分析におけるブランク値に相当する、バックグラウンドの測定である。

K3. カリウムの属性

カリウムは、天然に広く存在する元素である。ナトリウムの同類で、岩石、粘土、植物 (木材、野菜など) に含まれ、人体にも含まれている。カリウムに関するデータを、つぎに示す。

原子量 39.0983 (註1) 原子番号 19

同位体 ^{39}K , ^{40}K , ^{41}K の3種

同位体比 (註2)

^{39}K 93.26%, ^{40}K 0.0117%, ^{41}K 6.73%

^{40}K ----- 放射性核種

半減期 $T_{1/2} = 1.277 \times 10^9$ y

β^- 89.33%, EC 10.67%, β^+ 0.001%

γ 1461 keV

^{40}K のガンマ線をはかることによって、カリウムの量をはかることができる。

参考文献: S. Kallman, "Treatise on Analytical Chemistry, Part II, Section A, Vol.1, The Alkali Metals", Interscience Publishers, Inc., (1961), New York.

K3-1. 註1 原子量

炭素の同位体のひとつ、炭素12の質量を12で割る(単位 g)。

これを 基本的単位とする。

原子量とは、その他の元素の 原子1個あたりの平均の質量(単位 g)を基本的単位の質量(単位 g)で割ったものである。なぜ平均かというと、一般に元素が複数の核種(同位体)を含むからである。式で表した定義は、つぎのとおり。

$$\text{原子量} = \frac{\text{〔ある元素の天然組成の同位体比にもとづいた原子質量の平均〕}}{u}$$

$$u = \frac{\text{〔C-12の質量〕}}{12} \quad [\text{g}]$$

$$\text{原子質量} = \frac{\text{〔ある核種の質量〕}}{\text{〔C-12の質量〕}} \times 12 u \quad [\text{g}]$$

つまり、質量平均 [g] を u [g] でわった数値が 原子量なので、単位がないのである。

なお、核種とは、原子核を構成している陽子、中性子の数とエネルギー状態で きまる、原子または原子核の種類をいう。

註2 同位体比 ----- 天然の元素は、一般に、安定同位体の混合物である。

この安定同位体相互の割合は、一般に、地球上どこでも一定であつて、同位体比または同位体存在比 という。

カリウムでは、 ^{39}K 、 ^{40}K および ^{41}K の3種類の同位体がある。

なかには、ナトリウムや、コバルトのように、安定同位体が 1種しか存在しないものもあるかとおもえば、亜鉛の場合のように、 ^{64}Zn 、 ^{66}Zn 、 ^{67}Zn 、 ^{68}Zn 、 ^{70}Zn と 数種類の同位体が存在するものも多い。1種類しか存在しない元素は、むしろ例外である。

亜鉛の場合の同位体比は、

$$\begin{array}{l} ^{64}\text{Zn} \quad 48.9\%, \quad ^{66}\text{Zn} \quad 27.8\%, \quad ^{67}\text{Zn} \quad 4.1\%, \\ ^{68}\text{Zn} \quad 18.6\%, \quad ^{70}\text{Zn} \quad 0.62\% \end{array}$$

である。

この同位体比の % は、原子個数の%であつて、重さの%ではない。

ただし、原子炉燃料の場合は、重量%である。

K4-1. ^{40}K の放射能に関する計算 (空容器の測定をしながら)

カリウムは、極めて活性の大きい金属で、空気中では、不安定であり危険でもあるので、金属を測定試料にすることはできない。そこで、安定なカリウム化合物を測定試料として使う。カリウム化合物の測定のまえに、空容器 (ブランク) の測定をしながら、カリウム、さらに、カリウム化合物の放射能を計算で求めてみよう。

放射能は、1種類の放射性核種について、 λN であらわされる。

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad [\text{dps}] \quad \text{dps: disintegration per second}$$

N は、問題の放射性核種の数、

λ は、比例定数である。

(註3)

カリウムの放射能 まず カリウムの λN を計算してみよう。カリウムのなかでは ^{40}K だけが放射性であるから まず、カリウム-40の N を求める。

カリウム 1 [g] 中の ^{40}K の原子数 N は、

カリウムの原子量 39.0983、

アボガドロ数 6.022×10^{23} [mol $^{-1}$] (註4)

同位体比 0.0117% より、

$$N = \text{カリウム 1 [g] のモル数} \times \text{アボガドロ数} \times \text{同位体比}$$

$$= \underline{\hspace{2cm}} \text{個} \quad (\text{註5})$$

つぎに、カリウム-40の λ は

$$^{40}\text{K} \text{の 半減期 } T_{1/2} = 1.277 \times 10^9 \text{ [y]}$$

および $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ より、

$$\lambda = \frac{0.693}{1.277 \times 10^9 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

したがって、カリウム 1 [g] に含まれる ^{40}K の放射能は、

$$\lambda N = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [dps, Bq]} = A \text{ [dps]} \text{ ----- K 1 [g] あたり}$$

K4-2. 註3 Nと λ (比例定数)

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \text{ [dps]} \quad \text{dps : disintegration per second}$$

この式は、放射性核種の個数が多ければ、多いほど、放射能が大きくなる（強くなる）ということを表している。

たとえば、ある放射性核種が 10^{10} 個 あって、 dt 、つまり 1秒あたり 200個 放射性壊変して、べつの核種になるとする。

もし、おなじ放射性核種が5倍 5×10^{10} 個があるならば、1秒あたりの 壊変数も5倍の 1000 個になる。これを、放射性核種の個数 N に比例する という。

比例定数とは、5とか、0.2とか、180とか0.0097とか ある一定の数であつて、比例の状況を 表すために、必要な数値である。

たとえば、1個 250円の缶ビール を 10個 買うとすると、2500円 20個 買えば、5000円 のお金が 必要になる。支払い金額は、缶ビールの個数 N に比例し、そして、比例定数は、250 である。

$$\text{支払い金額} = \text{比例定数 (250円)} \times N \text{ (個数)}$$

つまり、 λ がおなじ（一定）ならば、 N が大きいほど 放射能 λN が大きくなる。放射性壊変では、 N それ自身が、壊変によって、だんだん 小さくなるところが、缶ビールの個数とは、違う点であつて、一筋縄ではいかないところである。

放射性壊変では、壊変によって 異なる核種に変化してしまうから、元の放射性核種の立場からいうと、数が減る、減少することになる。そのために、上の式では、マイナスの符号がついている。

註4 アボガドロ数

アボガドロ数とは、つぎのような数値である。

12グラムの炭素-12があつたとする。

その中に いくつの炭素-12原子が 含まれているかを 数えたとする。

その数を アボガドロ数 という。

いろいろな方法で測定がおこなわれ、もっとも近いと考えられる数値が推奨されていて、それをつかうのが キマリ になっている。

モル という化学的単位 があるが、1 モルの 物質は、この アボガドロ数とおなじ数の 化学的単位を含んでいる。

化学的単位というのは、原子とか、分子とか、イオン、電子、などの粒子とみなせる、かぞえられるものをいう。

たとえば、カリウムは、原子量が39.0983であるから、

1モルのカリウムは、39.0983 グラムあつて、39.0983グラムのカリウムには、 6.022×10^{23} 個のカリウム原子が含まれている。

K4-3. カリウム化合物 (KCl) の放射能

カリウムの 1 グラムあたり 放射能が分かった。
では、カリウム化合物の放射能は、どうだろうか。安定な化合物として、塩化カリウムや硝酸カリウム、炭酸カリウムなどがある。ここでは、塩化カリウムを例にとって、計算してみよう。これは、今日の測定対象でもある。

カリウムの場合と同様 塩化カリウム KCl 1 g 中の⁴⁰Kの原子数、つづいてその放射能を計算してみよう。

カリウムの原子量 39.0983 塩素の原子量 35.453
したがって 塩化カリウムの式量 74.55 より
モル質量 74.55 [g·mol⁻¹] であるから

塩化カリウムの 1 モルに着目すれば、註5と同じ考え方で、計算できる。

$$N = \frac{1 \text{ [gKCl]}}{74.55 \text{ [g·mol}^{-1}\text{]}} \times (6.022 \times 10^{23} \text{ [mol}^{-1}\text{]}) \times 0.000117$$

λ は、まえに計算した数値をつかえばよいから

$$\lambda N = \text{_____} \text{ [dps, Bq]} = B \text{ [dps]}$$

したがって KCl 1 [g] あたりの放射能は、

$$B/1 \text{ [gKCl]} = B \text{ [dps/gKCl]} = \text{_____} \text{ [dps/gKCl]} \text{ --- (註6)}$$

今回の測定における標準試料の KCl の場合は、_____ [g] であるから、
その放射能 λN は

$$\text{_____} \text{ [g]} \times \text{_____} \text{ [dps/gKCl]} = \text{_____} \text{ [dps, Bq]}$$

K4-4. 註5 Nの計算式

$$N = \frac{1 \text{ [g]}}{39.1 \text{ [g. mol}^{-1}\text{]}} \times (6.022 \times 10^{23} \text{ [mol}^{-1}\text{]}) \times 0.000117$$

上の式の 39.1 [g. mol⁻¹] は、なんでしょう？ 原子量では ありません。
モル質量といいます。 1モル の物質の質量をあらわします。

1モル の物質の質量は、原子量や分子量、式量の数値をグラム単位で表した値に相当する質量ですが、原子量や分子量、式量は 数値だけですから、これに [g. mol⁻¹] をつけます。カリウムのモル質量ならば、原子量39.0983に [g. mol⁻¹] を つける。

註6 KCl 1g あたり dps計算の別法

KCl 1[g] 中のカリウムの割合は、

$$\frac{39.10}{74.55} = \text{-----} = C$$

カリウム 1[g] の λN (dps) ---A は、すでに計算したから、
塩化カリウム KClの 1[g] の λN は、

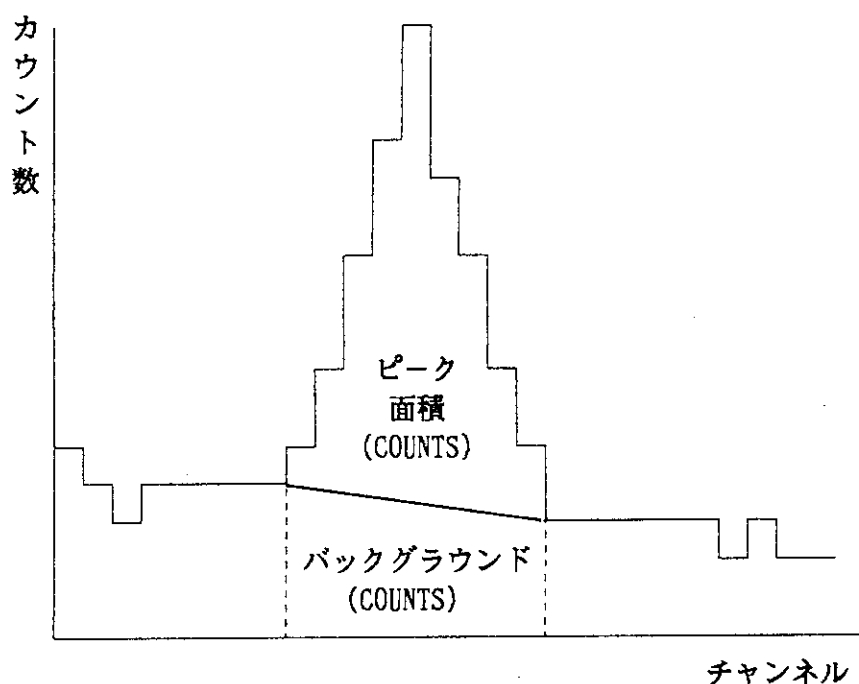
$$\lambda N = A \text{ [dps/gK]} \times C = A \text{ [dps/gK]} \times \text{-----}$$

$$= \text{-----} \text{ [dps, Bq/gKCl]} = B \text{ [Bq/gKCl]}$$

したがって、KCl 1[g] あたりの λN は、 B [dps/gKCl]

K5. 放射性核種の量をはかる-1 (ピーク面積、cpsの求め方)

γ線スペクトルからは、全エネルギー吸収ピークのチャンネル数がわかり、そこからγ線のエネルギーを知ることができたが、もうひとつの情報を得ることができる。それは、ピーク面積から得られる情報で、放射能の強さに関するものである。すなわち、ピーク面積のカウント数が、放射能の強さに比例する。



ピーク面積のカウント数 放射能の強さに比例する。

$$\text{peak area [counts]} / \text{計測時間 [sec]} = \text{cps}$$

ピークエリアは、一般の放射線計測では 計数値に相当する。
では、標準試料塩化カリウムの ^{40}K の 1461keV 全エネルギー吸収ピーク
の cps 実測値 D を求めてみよう。

$$\text{空容器} \text{ _____ [counts]} / \text{ _____ [sec]} = \text{_____}$$

$$\text{KCl (_____ [g])} \text{ _____ [counts]} / \text{ _____ [sec]}$$

$$= \text{_____ [cps]} \quad \text{空容器をさしひいて} \text{ _____ [cps]} = D \text{ [cps]}$$

この値が、放射能の強さ、すなわちカリウムでは、 ^{40}K の量に関係する。

K6. 放射性核種の量をはかる-2 (標準試料のcpsと未知試料のcps)

KCl標準試料の場合は、カリウムの量が分かっているが、未知試料中のカリウムによるcpsから、カリウムの放射能、さらに、カリウムの量をどうやって、求めるか?

今日の実習では、未知試料(カリウムの量が未知)として、K₂CO₃を測定するが、まず、カリウムだけに着目し、標準試料と未知試料のcpsについて比例計算で求めてみよう。すなわち、

$$\begin{aligned} \{ \text{K}_2\text{CO}_3 \text{ 中 カリウム量 [g]} \} &: \{ \text{KCl 中 カリウム量 [g]} \} \\ &= \{ \text{K}_2\text{CO}_3 \text{ [cps]} \} : \{ \text{KCl [cps]} \} \end{aligned}$$

測定条件が同じならば、こうなるはずである。

K₂CO₃ 試料中のカリウムのcpsは

測定値 _____ [counts] / _____ [sec]

= _____ [cps] 空容器をさしひいて _____ [cps]

KCl 標準試料中のカリウムは 標準試料が () [g] であるから
39.10

$$E = () [g] \times \frac{\quad}{74.55} = \text{~~~~~} [g]$$

その放射能の測定値は D [cps] であるから

K₂CO₃ 中 カリウム量 [g] を x [g] とあらわすと

$$x [g] : E [g] = \text{~~~~~} [cps] : D [cps]$$

したがって K₂CO₃ 中 カリウム量 (グラム数) ①は

$$x = \frac{E [g] \times \text{~~~~~} [cps]}{D [cps]} = \text{~~~~~} [g]$$

またK₂CO₃ の式量は、

K	39.1	×	2	=
C	12.0	×	1	=
O	16.0	×	3	=
	合計			=

したがって K₂CO₃ 中K (カリウム) の割合は _____

ゆえに 測定した炭酸カリウム試料 は _____ g

K7-1. 放射性核種の量をはかる-3 (検出効率による方法①)

K6 の方法でカリウムの量が分かった。しかし、カリウム40の放射能は得られなかった！
 ということは、その他の γ 線を放出する放射性核種についても、放射能を知ることができない、ということである。

放射能 λN を測るには、どうするか？
 cps と放射能 (λN) の関係はどうなっているのか！

そこで、つぎに、cps と dps (λN) の関係をしらべてみよう。

cps (counts per second) dps (disintegration per second)

比例計算による方法は、適用範囲が限られている、すなわち、カリウムの量しか測れない。。
 なぜかという、測定によって得られるデータ cps は、測定試料の放射能 dps とは等しくない。放射能 dps が一定であっても、その測定条件によって、cps は、さまざまに変化するし、測定条件の中には、何という放射性核種の、何 keV の γ 線をはかるのか、ということも入っているからである。

では dps と cps の関係をみてみよう。

$$\text{cps} = \text{dps} \times \left[\frac{\text{ある}\gamma\text{線の放出数}}{1 \text{ disintegrationあたり}} \right] \times \left[\frac{\text{問題の}\gamma\text{線の検出効率}}{\text{註7}} \right]$$

これは、大切な式である！

註7 [ある γ 線の放出数/1 disintegrationあたり]とは、
 測定対象とする放射性核種とその放出 γ 線によって決まる値で、放出率という。

^{40}K の 1461 keVの γ 線の場合：10.7%
 すなわち 0.107/ ^{40}K の 1 [disintegration] あたり

その他の例 ^{137}Cs の 661.64 [keV] の γ 線 0.851/1 disintegration
 ^{60}Co の 1173.2 [keV] の γ 線 0.999/1 disintegration
 ^{60}Co の 1332.5 [keV] の γ 線 1.00/1 disintegration

このような数値は、それぞれの放射性核種が放出する、いろいろなエネルギーの γ 線にたいしてそれぞれ一定の数値であって、すでに精密に測定され、評価された数値が表のカタチで、報告されているので、それをつかえばよい。
 つまり、 γ 線の放出率とは 放射性核種と γ 線のエネルギーとが決めれば、決ってしまう値であって、測定条件によって変化するものではない。

K7-2. 放射性核種の量をはかる-3 (検出効率による方法②)

今回の実験の K 1 [g] の場合 A [dps] = A [disintegration/sec]
であるから

$$F = A \times 0.107$$

$$= \text{_____} [\text{disintegration/sec}] \times 0.107 [\gamma \text{線/disintegration}]$$

$$= \text{_____} [\gamma \text{線/sec}]$$

すなわち、1秒あたり放出される ^{40}K 1461keV γ 線の数計算で求められる。

註8 [問題の γ 線の検出効率]とは、測定試料の形、大きさ、みかけの密度、検出器と試料との距離、ガンマ線のエネルギー、等で変化する値で、計数効率 または検出効率という。測定試料から出ている γ 線を計数する割合である。

この数値は、測定条件によって、大きく左右されるものである。

たとえば、測定試料の形や大きさが違えば、 γ 線が放出される場所が違うのであるから、試料から出た γ 線が、検出器に入る割合がちがう。

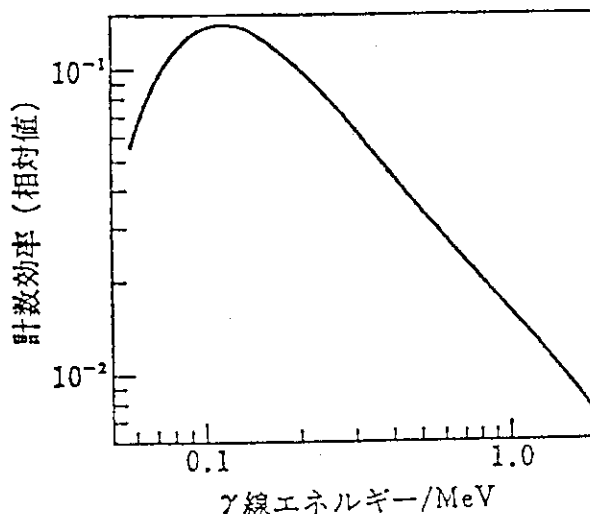
大きな試料では、検出器にはいらずに、どこかへいつてしまう γ 線が結構多くなるだろう。たとえ小さい試料でも、検出器から遠い位置にあれば、やはり、検出器にはいらずに、どこかへいつてしまう γ 線が、多くなるだろう。

γ 線は、物質を通り抜けるとき、物質と相互作用をして、散乱されたり吸収されたりするから、測定試料の構成物質が γ 線を吸収しやすいものであれば、また、検出器に到達する γ 線の量は、少なくなるだろう。つまり、試料の組成や密度も関連がある。

したがって、測定条件が一定でなければ、同じ検出効率ではない！ということになる。

Ge(Li) 検出器の検出効率のガンマ線エネルギーによる変化の測定例を右に示す。

(新実験化学講座7、基礎技術6、核・放射線I (1975) 丸善、東京より)



Ge(Li) 検出器の計数効率曲線の例

検出効率は、測定試料と同じ条件で、まえもって実測しなければわからない。つまり、前回の方法では、放出率、検出効率、のいずれもおなじ(誤差範囲内で一致する)という条件のもとでしか使えない。それでは、まったく、同じような試料しか測れないことになる。それでは、あまり意味がない。測定の適用範囲を広くするにはどうするか?

K7-3. 放射性核種の量をはかる-3 (検出効率による方法③)

前もって、たとえば、いろいろなエネルギーの γ 線を放出する標準線源をもちいて検出効率を測定しておけば、いろいろな γ 線を放出する試料を測定することができる。

もし、検出効率が、既知であるならば、cps, γ 線の放出率、検出効率が既知、となるから、前出のcpsとdpsの式

$$\text{cps} = \text{dps} \times [\text{ある}\gamma\text{線の放出数}/1\text{disintegrationあたり}] \times [\text{問題の}\gamma\text{線の検出効率}]$$

で、未知数は dps だけとなり、dpsを計算で求めることができる。

もし、おなじ形、大きさ、密度の標準線源で、ガンマ線エネルギーの異なる試料がいくつかあれば、ガンマ線エネルギーに対する、検出効率の曲線がえられるから、それを使えば、形、大きさ、密度の等しい線源ならば、さまざまな放射性核種に対応できることになる(例 土壌)。

ここでは、いろいろな放射性核種の線源を使うことができないが、模擬的に、 ^{40}K の 1461 keV γ 線について、検出効率を計算してみよう。

$$\text{検出効率} = \frac{\text{標準線源のcps}}{\text{標準線源の}\gamma\text{線/sec}}$$

ここでは、 ^{40}K の 1461 keV γ 線を測定するのであるから、サンプルとおなじ体積のKCl (塩化カリウム) 試料を標準線源として使うことにする。
すなわち、まえに測った塩化カリウムのデータをつかえばよい。

1グラムのカリウムから1秒間に出ている γ 線の全量は、計算によってF [γ 線/sec] であり、一方測定によって、標準試料塩化カリウム中、1グラムのカリウムの実測の計数値、G [cps/gK] が求められるから、

$$\text{検出効率} = \frac{\text{cps}}{\gamma/\text{sec}} = \frac{G}{F}$$

$$= \frac{\text{標準線源KCl中カリウム 1グラムあたりのcps (実測値)}}{\text{KCl中カリウム 1グラムあたりの}\gamma\text{線/sec (計算値)}}$$

$$= \frac{\text{-----}}{\text{-----}} = \text{-----}$$

によって、検出効率を得られる。

Gは、E [g] のカリウムを含むKCl 標準試料 _____ [g] の計数値が D [cps] であるから

$$G = \frac{D [\text{cps}]}{E [\text{gK}]} = \text{-----} [\text{cps/gK}]$$

となる。

K7-4. 放射性核種の量をはかる-4 (検出効率による方法④)

検出効率がえられれば、検出効率をきめた時とおなじ測定条件ではかった カリウムを含む未知試料で、おなじエネルギーの γ 線に対し、

$$\frac{\text{未知試料の cps}}{\text{未知試料の } \gamma \text{ 線/sec}} = \frac{\text{標準線源の cps}}{\text{標準線源の } \gamma \text{ 線/sec}} = \text{検出効率}$$
が成り立つから

未知試料の γ 線/sec = $\frac{\text{未知試料の cps}}{\text{検出効率}}$ が成り立つ。

ただし未知試料は、標準線源とまったくおなじ条件で測定したものである。

このようにして、未知試料中カリウムの γ 線/secがもとまったら、K7-2で、Fの計算をしたときの式を使って、dpsを計算することができる。

前に使った式は、K 1 [g] の [dps] が計算でもとめてあつて、その値から、 [γ 線/sec] を計算で求めるための式で、つぎのようであつた。

$$F [\gamma \text{ 線/sec}] = \text{_____} [\text{disintegration/sec}] \times 0.107 [\gamma \text{ 線/disintegration}]$$

今度は、未知試料中カリウムの [γ 線/sec] が、わかつていて、dpsが分かっていないのであるから、

$$\text{未知試料の dps} = \frac{\text{未知試料の } [\gamma \text{ 線/sec}]}{0.107 [\gamma \text{ 線/disintegration}]}$$

の式をつかえば、未知試料中カリウムのdps、すなわち λN (放射能) を得ることができる。

さらに、K 1 [g] の放射能を計算する時のプロセスを逆にたどることによって、カリウムの量をもとめることができる。

すなわち、問題の γ 線の cps を、検出効率で割れば γ 線/sec が得られ、 γ 線/secの値を、問題の γ 線の放出率で割り算すれば、dpsが得られ、K1 [g] あたりのdps, すなわちAの値で割り算すれば、カリウムの量が得られる。

K8-1 カリウムを含む未知試料の測定とデータ整理

例 1 K_2CO_3 の測定

測定値 _____ [counts] / _____ [sec]

= _____ [cps] 空容器をさしひいて _____ [cps]

同じ測定条件で検出効率 = _____ であつたから、

$$\frac{\text{_____ [cps]}}{\text{検出効率}} = \text{_____ [\gamma線/sec]}$$

測定した1461 [kev] γ 線の放出率は、 ^{40}K 1 disintegration あたり
0.107/1 disintegrationであるから

$$\frac{\text{_____ [\gamma線/sec]}}{0.107 [\text{disintegration}^{-1}]}$$

$$= \text{_____ [disintegration/sec, Bq]}$$

K 1 [g] あたりの λN は A [Bq] であるから 上に得られた値を A [Bq/gK]
で割って K_2CO_3 試料中カリウムの量 (グラム数) ② は

$$\text{_____ g 註9}$$

前に、比例計算で求めた場合には、その値と一致しているかどうか、しらべてみてくだ
さい。

K8-2. カリウムを含む未知試料

いろいろな食品にカリウムが含まれているが、測定時間が限られているので、カリウムをなるべく多く含むものを試料にしたい。つぎに、その例を示す。この中から、適当なものを選んで測定する。

食品中のカリウムの量をつぎの表に示す。

カリウムの多い食品のカリウム含有量 (100g食品中)

食品名	カリウム量 (mg)	食品名	カリウム量 (mg)
米ぬか	1800	焼きあまのり	2400
こんにやく粉	2900	あらめ (干)	3700
あずき (乾)	1500	まこんぶ (素干し)	6100
いんげん (乾)	1500	利尻こんぶ (素干し)	5300
大豆 (乾) 国産	1900	きざみこんぶ	7100
大豆 (乾) 米国産	1800	ひじき (干)	4400
大豆 (乾) 中国産	1800	わかめ (干)	5500
きなこ	1900	板わかめ	7700
粉乳	1800	くきわかめ (生)	1900
脱脂粉乳 国産	1800	めかぶわかめ (干)	8800
脱脂粉乳 輸入	1600	玉露	2800
菊のり	2500	抹茶	2700
干ぜんまい	2100	煎茶	2200
切干大根	2500	番茶	1900
しなちく	1900	ほうじ茶	1900
とうがらし (干)	2700	ウーロン茶	1800
わらび (干)	2700	紅茶	2000
しいたけ (干)	2100	ココア	2800
あおのり (干)	3200	コーヒー豆	2000
あまのり (干)	2100	インスタントコーヒー	4200

科学技術庁資源調査会・編〈四訂日本食品標準成分表〉による
四訂食品成分表 (1989) より

K8-3. カリウムを含む未知試料の測定とデータ整理②

食品名① _____ 重量 _____ [g]

測定値 _____ [counts] / _____ [sec]

= _____ [cps] 空容器をさしひいて _____ [cps]

$$^{40}\text{Kのdps} = \frac{\text{cps}}{\text{検出効率} \times ^{40}\text{K1461 [kev] の放出率}}$$

$$= \text{_____} = \text{_____ [dps]}$$

したがって、食品 (_____) 中K (カリウム) の量は、 _____ [g]

K (カリウム) の含有量は、 _____ [%] (註10)

食品名② _____ 重量 _____ g

測定値 _____ [counts] / _____ [sec]

= _____ [cps] 空容器をさしひいて _____ [cps]

$$^{40}\text{Kのdps} = \frac{\text{cps}}{\text{検出効率} \times ^{40}\text{K1461 [kev] の放出率}}$$

$$= \text{_____} = \text{_____ [dps]}$$

したがって、食品 (_____) 中Kの量は、 _____ [g]

Kの含有量は、 _____ [%] (註10)

食品名③ _____ 重量 _____ g

測定値 _____ [counts] / _____ [sec]

= _____ [cps] 空容器をさしひいて _____ [cps]

$$^{40}\text{Kのdps} = \frac{\text{cps}}{\text{検出効率} \times ^{40}\text{K1461 [kev] の放出率}}$$

$$= \text{_____} = \text{_____ [dps]}$$

したがって、食品 (_____) 中Kの量は、 _____ [g]

Kの含有量は、 _____ [%] (註10)

K9. 註9 カリウムの放射能 [dps] から、カリウムのグラム数の計算

方法 1

カリウム 1 gあたりの dps は、前に計算したとおり

$$A = \frac{[Bq]}{[gK]} \text{ であるから,}$$

K_2CO_3 中カリウムによる全 dps を

カリウム 1 g 当り dps で割れば、カリウムのグラム数が得られるから

$$\frac{[Bq]}{[Bq/gK]} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ g}$$

方法 2

まず ^{40}K の原子個数は、

$$\begin{aligned} \frac{^{40}K [dps]}{\lambda [sec^{-1}]} &= \frac{^{40}K \text{ の } \lambda N [sec^{-1}]}{\lambda [sec^{-1}]} \\ &= \underline{\hspace{2cm}} \text{ 個} = N \end{aligned}$$

これは、 ^{40}K だけの数であるから、カリウムの原子個数を得るには、

これを ^{40}K の同位体比で割って

$$\frac{N}{0.000117} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ 個} = n \text{ (K原子個数)}$$

カリウムの重さは、

カリウムのモル数 × カリウムのモル質量

$$\begin{aligned} &= \frac{n}{6.022 \times 10^{23} [mol^{-1}]} \times 39.098 [g \cdot mol^{-1}] \\ &= \underline{\hspace{2cm}} [g] \end{aligned}$$

K10. 註10 食品中カリウム量の数値

なお、このような食品は、 KCl や K_2CO_3 にくらべてみかけの密度が小さいため、計算につかっただ検出効率が、正確には、もう少し大きい値だと考えなければならない。つまり、正確な値を得るには、さらに、密度の補正や試料を構成している物質のガンマ線吸収の性質にたいする配慮などが必要なのである。

K20. 実験のまとめ

1. 計算と実験の結果

空容器 _____ [cps]

カリウム 1 [g] の放射能 (計算値, A) _____ [Bq]

KCl (_____ [g]) の計数值 (実測値, D) _____ [cps]

K₂CO₃の計数值 (実測値) _____ [cps]K₂CO₃中カリウムの量 (実測値) -① _____ [g]

1 [g] のカリウムのγ線/sec (計算値, F) _____ [γ線/sec]

標準試料KCl中の

1 [g] のカリウム計数值 (実測値, G) _____ [cps/gK]

今回の測定条件における検出効率 _____

K₂CO₃の放射能 (dps, Bq) _____ [Bq]K₂CO₃中カリウムの量 (実測値) -② _____ [g]K₂CO₃の重量 _____ [g]

食品 (_____) (_____ [g]) 中カリウムの重量 _____ [g]

食品 (_____) (_____ [g]) 中カリウムの重量 _____ [g]

2. 感想

平成 年 月 日 実験場所 _____

_____ 班 氏名 _____

3. アンケート (該当する項にチェックして下さい)

理解度 () よく分かった、() かなり分かった、() だいたい分かった、
() 少し分かった、() 分からなかった

仕事との関連性 () あり、() どちらともいえない、() ない

予備知識 () あり、() どちらともいえない、() ない