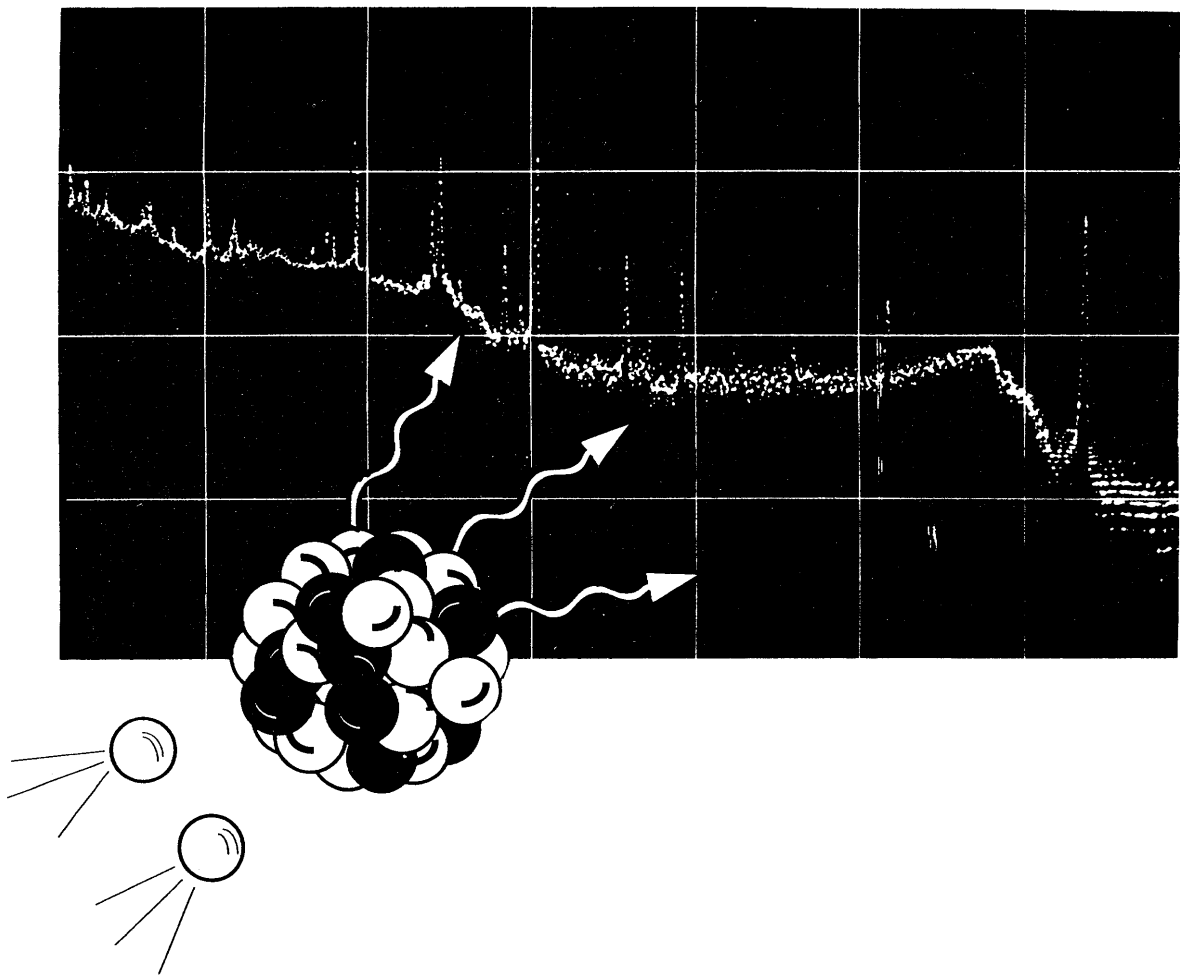


1996年4月

# 放射化分析

No. 3



放射化分析研究会

### 放射化分析研究会および会誌「放射化分析」の英文名称について

過日、会員の一人から放射化分析研究会と会誌「放射化分析」を英文名でどのように云うのでしょうか、という問い合わせがあったことがきっかけで、幹事会でOrganization? Society? Association?... と頸を捻ることになりました。結局正式名称を決めるには至りませんでした。仮称として以下のようにしておくことになりました。必要な場合に参考にして下さい。また、より良い英文の提案を歓迎します。

放射化分析研究会	Japan Association of Activation Analysis
会誌「放射化分析」	Activation Analysis

題字は 本田雅健先生によるものです。

表紙は 岡田往子さん（武蔵工大原研）によるものです。

（次号以降の表紙のデザインを募集します。）

### 放射化分析研究会および会誌「放射化分析」の英文名称について

過日、会員の一人から放射化分析研究会と会誌「放射化分析」を英文名でどのように云うのでしょうか、という問い合わせがあったことがきっかけで、幹事会でOrganization? Society? Association?... と頸を捻ることになりました。結局正式名称を決めるには至りませんでした。仮称として以下のようにしておくことになりました。必要な場合に参考にして下さい。また、より良い英文の提案を歓迎します。

放射化分析研究会	Japan Association of Activation Analysis
会誌「放射化分析」	Activation Analysis

題字は 本田雅健先生によるものです。

表紙は 岡田往子さん（武蔵工大原研）によるものです。

（次号以降の表紙のデザインを募集します。）

# 放射化分析 No. 3

## 目次

講座	放射化分析のための $\gamma$ 線測定と解析	1
	まえがき	鈴木 章悟
	I. Ge 半導体検出器とマルチチャンネルアナライザ	鈴木 章悟
	II. ガンマ線スペクトル解析 -現状と展望-	岸川 俊明
研究紹介-1		18
	古代・中世土器の産地推定法の開発研究	三辻 利一
研究紹介-2		36
	地球化学的比較標準物質と放射化分析	坂本 浩
若い声		42
	とある1日の昼休み	宮本 ユタカ
Q & A		43
	放射化分析はコストが高いと云われますが、費用はどれくらいかかりますか？	
談話室		44
	歴史学・考古学における分析データの「量」と「質」	富沢 威
施設だより		45
	東北大学原子核理学研究施設	
	原研施設利用共同研究	
	立教大学原子力研究所	
	武蔵工業大学原子力研究所	
	京都大学原子炉実験所	
研究会報告		52
	放射化分析支援システム研究会	
	1995年度日本地球化学会年会	
研究集会案内		53
会員名簿		56

## 放射化分析のための $\gamma$ 線測定と解析

第3号の講座では、「 $\gamma$ 線測定と解析」について特集します。半年前の第2号では原子炉を使った中性子放射化分析のための照射設備の解説がなされました。本特集ではそれを受けて、照射の次に行われる、放射化された試料の $\gamma$ 線スペクトル測定と解析について解説いたします。

$\gamma$ 線の測定と解析の部分では装置の高性能化にともない簡単に精度のよい実験が出来るようになりましたが、反面、装置のコンピュータ化はブラックボックス的な使用を意味するものであり、ハード、ソフトとも十分に使いこなせなくなる傾向があります。

「I. Ge半導体検出器とマルチチャンネルアナライザ」では、 $\gamma$ 線スペクトル測定システムの主要機器である検出器とマルチチャンネルアナライザを中心に測定システムについて解説します。

「II. ガンマ線スペクトル解析—現状と展望—」では、 $\gamma$ 線スペクトル解析の現状とその問題点を解説します。

できるだけ、初心者にわかりやすく書きました。用語についてもまだ統一されておらず、いろいろな用語が使われているので、考慮して書きました。紙面の都合で、パルス・パイルアップなど実際の測定における問題点や解析ソフトウェアの紹介など取り上げることが出来なかった事項がいろいろありますが、放射化分析を行う上で、参考になれば幸いです。

また、次号では放射化学分離・前濃縮など、化学処理を伴う取り扱いに関する講座を予定しています。ご期待下さい。  
(武蔵工業大学原子力研究所 鈴木章悟)

### I. Ge半導体検出器とマルチチャンネルアナライザ

#### 1. $\gamma$ 線スペクトル測定システム

放射化分析における $\gamma$ 線スペクトル測定システム( $\gamma$ 線スペクトロメータ)は基本的に、Ge(ゲルマニウム)半導体検出器、高圧電源、前置増幅器(プリアンプ)、増幅器(アンプ)、多重波高分析器(マルチチャンネルアナライザ(MCA))で構成される。図1に測定システムの構成図を示す。

Ge半導体検出器は使用時には液体窒素で冷却される必要がある。そのためのデュワ(液体窒素容器)とクライオスタット(Ge検出器結晶を冷却するための真空冷却装置)が必要であり、垂直型、水平型、ポータブル型などがある。前置増幅器はクライオスタット内に納められている。また、Ge検出器は普通、鉛あるいは鉄で構成された遮蔽体の中に設置されている。アンプなど弁当箱状のNIMモジュール(アメリカ原子力委員会などで制定された規格)は電源が別になっているので、電源を供給する筐体(ピン電源という)に納められる。

検出器の半導体結晶に放射線が入射すると電離作用により電荷が生じる。検出器には高圧電圧がかけられているので、電荷は両端の電極に移動し、電荷パルスが発生することになる。

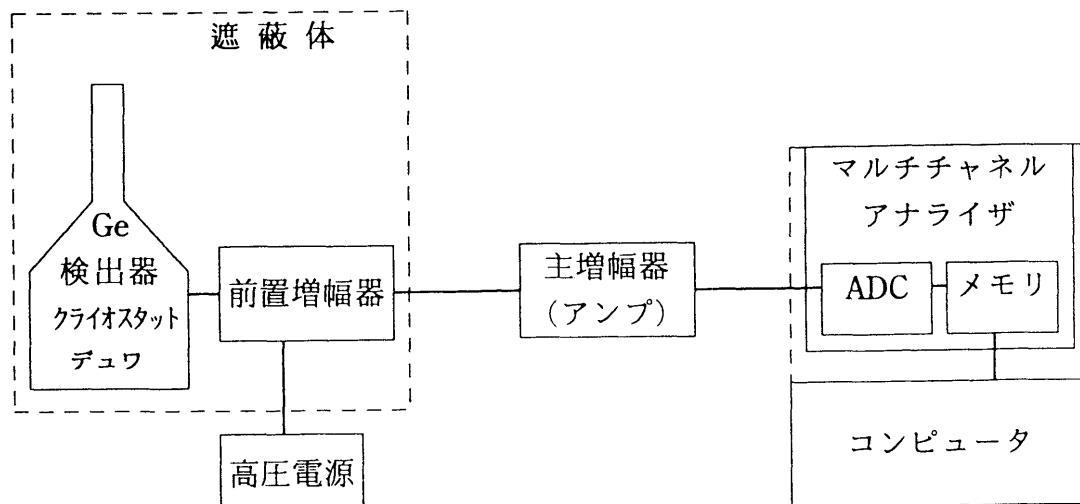


図1  $\gamma$ 線スペクトル測定システムの構成

## 放射化分析のための $\gamma$ 線測定と解析

第3号の講座では、「 $\gamma$ 線測定と解析」について特集します。半年前の第2号では原子炉を使った中性子放射化分析のための照射設備の解説がなされました。本特集ではそれを受けて、照射の次に行われる、放射化された試料の $\gamma$ 線スペクトル測定と解析について解説いたします。

$\gamma$ 線の測定と解析の部分では装置の高性能化にともない簡単に精度のよい実験が出来るようになりましたが、反面、装置のコンピュータ化はブラックボックス的な使用を意味するものであり、ハード、ソフトとも十分に使いこなせなくなる傾向があります。

「I. Ge半導体検出器とマルチチャンネルアナライザ」では、 $\gamma$ 線スペクトル測定システムの主要機器である検出器とマルチチャンネルアナライザを中心に測定システムについて解説します。

「II. ガンマ線スペクトル解析—現状と展望—」では、 $\gamma$ 線スペクトル解析の現状とその問題点を解説します。

できるだけ、初心者にわかりやすく書きました。用語についてもまだ統一されておらず、いろいろな用語が使われているので、考慮して書きました。紙面の都合で、パルス・パイルアップなど実際の測定における問題点や解析ソフトウェアの紹介など取り上げることが出来なかった事項がいろいろありますが、放射化分析を行う上で、参考になれば幸いです。

また、次号では放射化学分離・前濃縮など、化学処理を伴う取り扱いに関する講座を予定しています。ご期待下さい。  
(武蔵工業大学原子力研究所 鈴木章悟)

### I. Ge半導体検出器とマルチチャンネルアナライザ

#### 1. $\gamma$ 線スペクトル測定システム

放射化分析における $\gamma$ 線スペクトル測定システム( $\gamma$ 線スペクトロメータ)は基本的に、Ge(ゲルマニウム)半導体検出器、高圧電源、前置増幅器(プリアンプ)、増幅器(アンプ)、多重波高分析器(マルチチャンネルアナライザ(MCA))で構成される。図1に測定システムの構成図を示す。

Ge半導体検出器は使用時には液体窒素で冷却される必要がある。そのためのデュワ(液体窒素容器)とクライオスタット(Ge検出器結晶を冷却するための真空冷却装置)が必要であり、垂直型、水平型、ポータブル型などがある。前置増幅器はクライオスタット内に納められている。また、Ge検出器は普通、鉛あるいは鉄で構成された遮蔽体の中に設置されている。アンプなど弁当箱状のNIMモジュール(アメリカ原子力委員会などで制定された規格)は電源が別になっているので、電源を供給する筐体(ピン電源という)に納められる。

検出器の半導体結晶に放射線が入射すると電離作用により電荷が生じる。検出器には高圧電圧がかけられているので、電荷は両端の電極に移動し、電荷パルスが発生することになる。

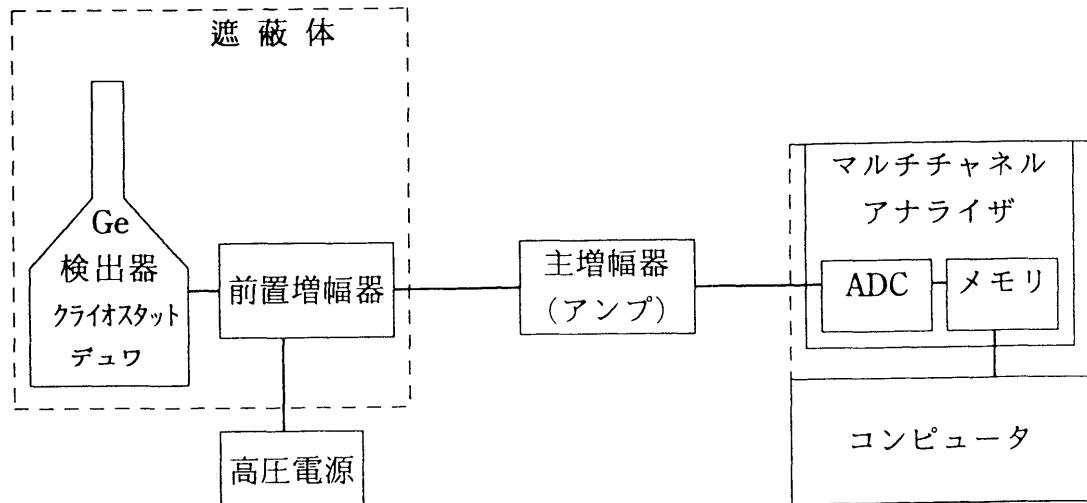


図1  $\gamma$ 線スペクトル測定システムの構成

前置増幅器では、この電荷パルスは積分され、比例した電圧パルスができる。前置増幅器は抵抗とコンデンサのフィルタ回路でできており、回路の時定数に応じて指数的に減衰する電圧パルスが出力される。

(主)増幅器(アンプ)はスペクトロスコピアンプやリニアアンプとも呼ばれ、ここでは、入力した電圧パルスが増幅され、波高分析に適した大きさのパルスになる。また、アンプでは前置増幅器と同じくRCフィルタ回路で波形整形が行われ、ガウス波形などの電圧パルスが出力信号となる。信号がマルチチャンネルアナライザに入力した後の処理については、3. マルチチャンネルアナライザの原理で述べる。

アンプなどモジュールの出力インピーダンスは  $50\Omega$  と  $93\Omega$  が多く、それに合わせてケーブルも  $93\Omega$  のRG-62/Uと  $50\Omega$  のRG-58/Uがよく用いられている。一般に立ち上がりの早いパルスを扱う場合に  $50\Omega$  のケーブルを用いる。数10m以上の長いケーブルを使う場合にはインピーダンス整合をとらなければならない。高圧電源は耐電圧の関係で信号ケーブルのBNC型コネクタと別の形のSHV型コネクタが使われており、混同の恐れは少ない。

## 2. Ge 半導体検出器

### 2. 1 Ge 半導体検出器の種類と特徴

放射線のエネルギースペクトルを測定する場合、その放射線の種類により最も有効な検出器を選択する必要がある。高純度Ge半導体検出器はエネルギー分解能に優れ、広いエネルギー範囲のスペクトル測定ができるが、熱雑音を除去するために、使用時には液体窒素で冷却する必要がある。高純度のGe結晶が得られない頃はLiを結晶に浸透させて作ったGe(Li)検出器を使用していたが、これは保管時にも液体窒素で冷却する必要がある。Ge検出器の種類と特徴を次に説明する。図2に各種Ge検出器の結晶構造を、図3に効率曲線を示す。

#### 1) 同軸型Ge検出器(エネルギー範囲：約50keV～約10MeV)

最も一般的に $\gamma$ 線スペクトル測定に用いられる検出器である。Ge結晶を円筒状に形成した検出器である。計数効率は120keV付近が一番高く、それより低エネルギーでは大きく減少する。

#### 2) 広エネルギー帯域Ge検出器(約5keV～約10MeV)

同軸型Ge検出器のエネルギー範囲の下限を下げた検出器で、ガンマX型とも呼ばれる。X線領域も同時に測定できる。入射窓は同軸型Ge検出器がAlで作られているのに対して、厚さ0.5mm程度のBe(ベリリウム)で作られている。N型Ge結晶を使用しているものは中性子損傷に対して強くなっている。

#### 3) 低エネルギーGe検出器(約3keV～約400keV)

平板(プレーナ)型で低エネルギーX線用の検出器であり、小容量(有効面積 $0.3\text{cm}^2$ )から大容量( $20\text{cm}^2$ )まである。エネルギー分解能が大変優れている。入射窓は極薄いBeで作られている。 $^{239}\text{Pu}$ の75keV  $\gamma$ 線ピークの測定などによく用いられる。

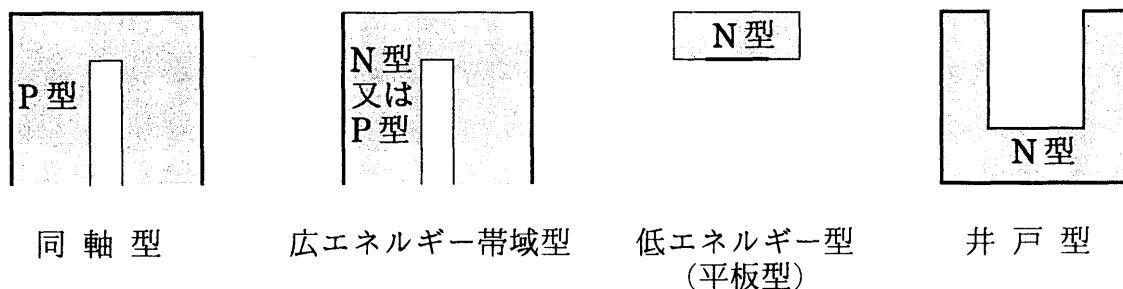


図2 各種Ge検出器の結晶構造

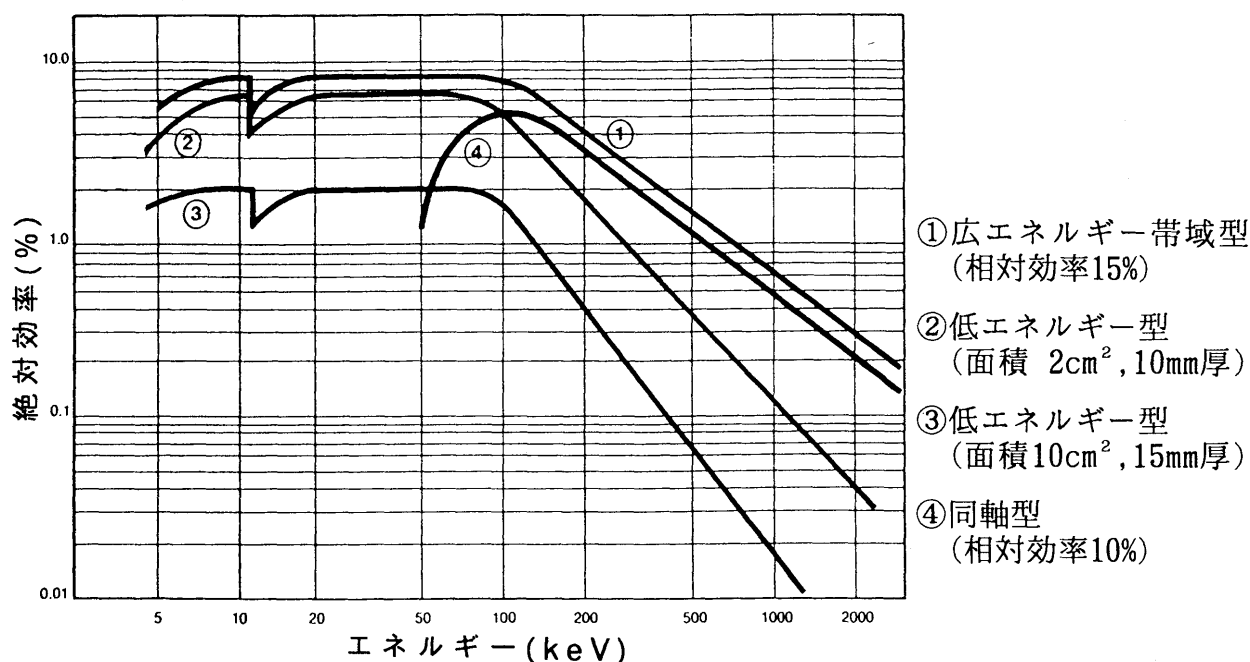


図3 各種Ge検出器の効率曲線

#### 4) 井戸型Ge検出器(約10keV～約10MeV)

Ge結晶を井戸(ウェル)型に形成した検出器であり、入射窓(ウェルの内側)は薄いAlで作られている。試料を井戸の中に入れて測定するため、計数効率が高くなるが、サム効果が起こりやすくなる。

この他、X線検出用のシリコン検出器や、計数効率の高いNaI(Tl)などのシンチレーション検出器があるが、放射化分析用としては一般的でない。

### 2. 2 遮蔽体

Ge検出器は、周りの物質から放射されている天然の放射線を弱めるために鉛や鉄などで構成された遮蔽体の中に設置される。10cm厚の鉛で検出器を取り囲んだ場合、1000keV付近の領域では自然放射能は1/100程度に激減する。5cm厚では1/10程度の低減にとどまるので、遮蔽体の厚さは鉛10cmが目安となり、それ以上厚くしても効果はうすい。鉄の場合は18cmの厚さが必要である。

散乱γ線の影響を少なくするため、遮蔽体の内容積をなるべく大きくとるとともに、遮蔽材として原子番号の高い材料を用いるのがよい。低原子番号の鉄などを用いると散乱γ線によって150～200keV領域のスペクトルが高くなり、測定の妨害となる。

しかし、鉛など高原子番号の遮蔽材の場合は、特性X線(鉛の場合、75, 73 keV)が発生し、低エネルギーの測定に妨害を与えることがある。このため鉛の内側に数mmのカドミウム板や銅板で内張りをするとよい。また、下方向からの<sup>40</sup>Kなどの放射線に対する遮蔽として、床面に5cm程度の厚さの鉛を敷くことも有効である。

### 3. マルチチャンネルアナライザの原理

マルチチャンネルアナライザ(MCA)はデータの収集、データのモニタ、データの出力の役目を持ち、検出器とともに測定システムの中で最も重要な役割を果たしている。

MCAにはパルス波高分析(PHA)モードとマルチチャンネルスケリング(MCS)モードがある。

PHAモードは、入力パルスの波高によって分類し、チャンネルとよぶマルチチャンネルアナライザのメモリの対応する番地にその波高を持つパルスの個数を蓄積する。

MCSモードは、時間の関数として事象を計数するのに使われ、放射線計数値の時間変化が記録されることになる。例えばこのモードにより放射性核種の減衰曲線から半減期の測定が行える。



放射化分析ではほとんどの場合PHAモードで測定されるので、その原理のみ説明する。

アンプより出力された電圧パルスはアナログ信号(通常0~10V)で、パルスの高さはγ線エネルギーに比例している。この信号はADC(アナログ・デジタル・コンバータ)によりデジタル信号に変換される。デジタル信号は、その大きさに対応するメモリチャンネルへ記憶される。次々に入力されて変換されたパルスが、それぞれの大きさに対応したメモリチャンネルへ加算される。そして、発生頻度対パルス波高を表すヒストグラムを作成する。MCAの心臓部ともいえるADCにはウイルキンソン方式と逐次比較方式がある。

ウイルキンソン方式は微分直線性(チャンネル幅のバラツキ)がよいのでADCの主流として使われている。図4に示すような動作原理になっている。入力パルスのピーク値に相当する電圧で、コンデンサが充電され、これが一定電流で放電することにより、放電している時間をクロックパルスで計数する。入力パルスと計数された値は比例することになり、A-D変換がなされる。

たとえば入力信号の波高値 8Vを 4000 チャンネルに相当するように変換するには、8Vに充電し、放電が終わるまでにクロックパルスがちょうど 4000 個通過するように定電流放電の勾配を選ぶ。そうすれば入力信号が 3Vならクロックパルスを 1500 個数えるというようにして変換がなされる。

図中のaはパルスの立ち上がり要するリニアゲート時間(ADCに入力する前のアンプのフィルタ回路の時定数で決まる)で、bは変換時間= $b_1 + b_2$ ( $b_1$  ホールド時間,  $b_2$  放電時間(チャンネル番号/クロック周波数)), cはメモリ転送時間であり、全部を足した  $a + b + c$  がADCの処理時間つまり不感時間となり、この間は次の入力信号は変換されない。

ウイルキンソン方式では、ADCの性能を向上させるためには、クロック周波数を上げてクロックの山を細かくして短時間に数えるようにする。現在、最高速は450MHzであり、4000チャンネルで変換時間bは約  $9.2 \mu\text{sec}$ (そのうち放電時間 $b_2$ は  $8.8 \mu\text{sec}$ )である。これくらいがウイルキンソン方式の限界である。

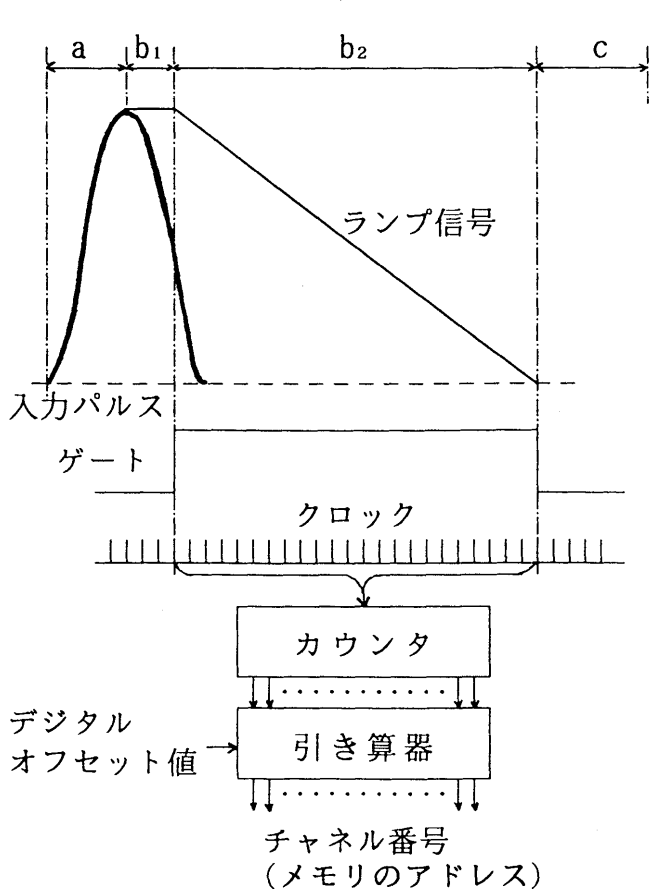


図4 ウィルキンソン方式ADCの原理

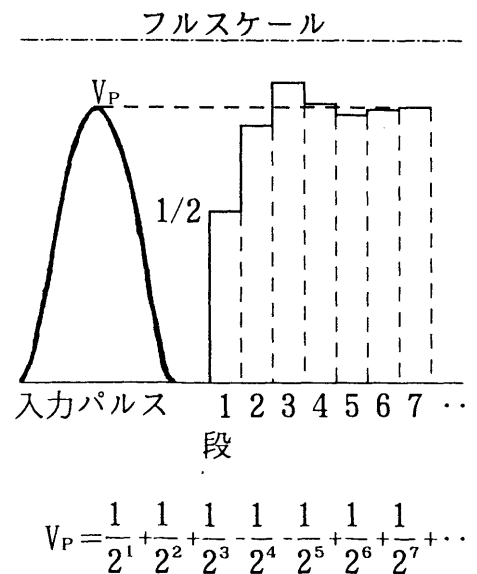


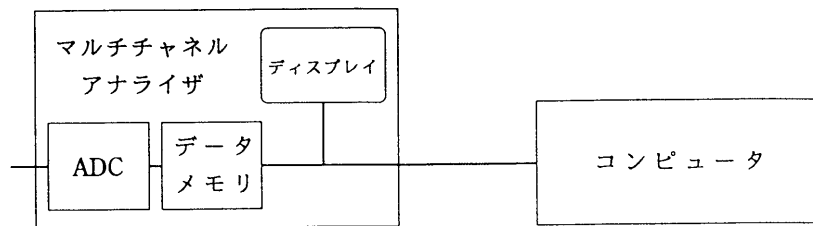
図5 逐次比較方式ADCの原理

逐次比較方式は、図5のように、まず入力パルスが全変換信号の半分の比較信号より大きい小さいかを決める。第二段では更に、半分の比較信号を加えたもの、あるいは差し引いたものと入力パルスと比較する、このように何段も比較して近似値を求める方式である。チャンネル数が8192のADCなら13回比較することになる。逐次比較方式はADCのチャンネル数が大きくなってもそれほど変換時間が大きくなり、微分直線性が改善されたこともあり、よく使われるようになってきている。ウィルキンソン方式のbに相当するの変換時間が最小で0.8 $\mu$ sec位である。

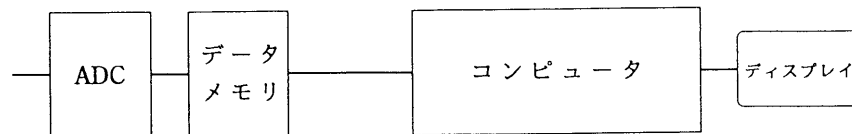
#### 4. 市販のMCAの紹介

MCAはコンピュータとの関係において大別すると、図6に示すように3タイプに分けられる。

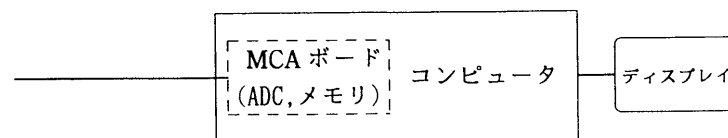
第1は、従来からある、独立して使用できる専用機タイプ。コンピュータとは必要に応じて接続する。専用のスペクトルデータのディスプレイと操作パネルが付いており、それらで操作を行うが、接続したコンピュータからでも操作できるようになっているものも多い。



1) MCA 独立タイプ(専用機)



2) ADC, メモリ独立タイプ(パソコンMCA)



3) 完全内蔵タイプ(ボードMCA)

図6 MCAとコンピュータの関係

第2は、ADCとスペクトルデータを貯えるメモリをNIMモジュールとしてコンピュータの外に置き、インターフェイスを介してコンピュータと結ぶタイプ。メモリについてはボードでコンピュータに入れるタイプもある。スペクトルのモニタにはコンピュータのディスプレイを使い、操作はキーボードにより行う。第1の専用機タイプに比べると操作性が悪い点があるが、10年ほど前からよく使われており、コンピュータMCAまたはパソコンMCAと呼ばれていた。現在このようなタイプは少なくなり、ADCまでコンピュータの中に入る第3の方式が多くなってきた。

第3は、ADCとデータを貯えるメモリを搭載したボードをコンピュータのスロットに差し込んで使う内蔵タイプ。ボードMCAとかカード型MCAと呼ばれており、後で紹介するMCAはほとんどこのタイプである。コンピュータの中にADCを入れるためのノイズ対策が施されている。第2のタイプと同様、コンピュータのディスプレイとキーボードを使って操作する。

パソコンの高性能化により、どのタイプのMCAも性能に違いはないといえる。違いがあるとすれば操作性だけである。

現在、市販されている比較的低価格の主なMCAについて紹介する。ほとんどすべてのMCAがWINDOWS95で動作できるようになりつつあり、WINDOWS搭載可能なパソコンで使用できる。しかしボードMCAの場合は、相性などからメーカーの推奨するパソコンでのみ使うのがよい。他のソフトとの競合などにも気を付けなければならない。

☆MCA/ATおよびMCA/PC98BX (ラボラトリ・イクイップメント・コーポレーション)

低価格パソコンMCAの第1号として、高い評価を受けていたMCA/PC98の後継機種でウィルキンソン方式200MHz、8192チャンネルのADCを使用している。MCA/ATはIBM PC/AT互換機(DOS/V機)で、MCA/PC98BXはNEC 98シリーズで使用される。パソコンのCPUとは、独立してMCAボードが計測を実行するので、測定中でも他のプログラムを実行できる。測定したスペクトルを表計算ソフトExcelで処理することができる。

☆Genie-PC (CANBERRA/東陽テクニカ)

ネットワーク、ボード、スタンドアローンの3タイプがある。ネットワークMCAはイーサネットによるネットワークシステムの構築が可能である。ボード、スタンドアローンのMCAはIBM PC/AT互換機用のボードMCAである。科学技術庁平成2年度版"ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー"に準拠した環境放射能分析プログラム(PC/GAMMA II)を使うことができる。

☆スーパーグラフィックMCA7700 (セイコーEG&G)

10年近く使われていたMCA7800の後継機種でグラフィックな対話形式の操作ができる。アンプ、高圧電源を本体に組み入れて、画面上でコントロールできる。紹介したMCAのなかで唯一の専用機タイプである。専用のディスプレイの特徴を生かして、スペクトル上を指で触れるだけでカーソル移動やスクロールができるなど、指で画面のアイコンを直接クリックして、いろいろな操作ができる。

☆シリーズ5000MCAカード (Aptec/東洋メディック)

パソコンベースのMCAカードで、ADCのチャンネル数が2048(2k)から16384(16k)までの4種類のMCAカードがあり、IBM PC/AT互換機で使用される。さらにGe検出器用アンプも一緒に内蔵されているMCAカードや、高圧電源用のカードも用意されている。カナダAptec社のMCAは日本ではあまり使われていないが、5年前に行ったIAEAの調査では、定量分析ソフトウェア(OSQ/Plus)は高い評価を受けた。

この他、CANBERRA社、ORTEC社、Aptec社などでは高圧電源、アンプが内蔵されている、軽量(最小3.2kg)のポータブル型のMCAも用意されている。バッテリーで長時間測定ができ、パソコンと接続すればリアルタイムでスペクトルがディスプレイされ、パソコンMCAと同じように操作できる。

測定器のコンピュータ化は他の分野でも起こっていることであり、コンピュータの低価格化、高性能化が測定器自体に反映されるなど利点が多い。しかし、コンピュータのOSのバージョンアップにより、MCAプログラムも対応しなければならず、メーカーもユーザもコンピュータに振り回される危険性がある。

また、メーカーごとにスペクトルデータのフォーマットがバラバラである。実験者としては、せめて放射化分析用だけでもフォーマットを定めて、統一して貰いたい。

## 5. ゲルマニウムγ線検出器の性能検査方法

検出器を購入後、性能が劣化したり、仕様を満たしてないと感じても、性能を正確に測定するのは難しいものである。メーカーに上手にクレームをつけるための試験方法について述べることにする。

検出器の性能は $^{60}\text{Co}$ 1332keVγ線に対する分解能、相対計数効率、ピークコンプトン比で評価されている。日本工業規格にゲルマニウムγ線検出器の試験方法(JIS Z 4520)が定められており、それを参考にして試験方法をわかりやすく説明する。

### 5. 1 γ線スペクトルの測定方法

1)  $^{60}\text{Co}$ 線源の1332keVγ線ピークの半値幅が6チャンネル以上になるようにアンプのゲインを調整する。アンプのポールゼロ調整用のトリーマを回して、オシロスコープで観測しながら、ア

ンプの出力パルスのテイル部分ができるだけ早くゼロレベルになるように調整する(図7参照)。このポールゼロ調整が適正に行われていないと、ピークの左右どちらかが広がり、ピーク形状が非対称で分解能が悪くなる。

2)  $\gamma$ 線源強度(または検出器-線源間距離)は、全計数率が1000cps程度になるように選ぶ(それより高いとパルス・パイルアップの可能性があり、逆に低いと長時間測定によるドリフトの可能性もある)。全計数率の測定はアンプの出力端子にディスクリミネータ(SCAのこと)と計数率計を接続して行うか、MCAによってLLDより上の全領域の積分値を測定時間で割って求める。ディスクリミネータやLLDのレベルは雑音より少し上(50keV程度か)に設定する。

3) 測定に使用した機器の諸設定条件は漏らさず記録する。

4) 測定時間は半値幅内の計数の総和が少なくとも10000カウント以上になるように設定して測定する。

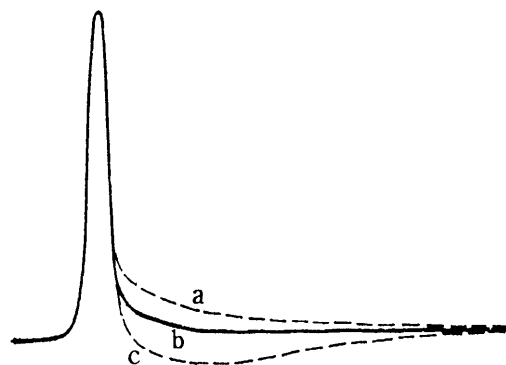


図7 アンプのポールゼロ調整  
bが正しく調整されている  
出力パルス a, cが不適正

## 5. 2 エネルギー分解能の求め方

分解能は $^{60}\text{Co}$ 1332keVピークの半値幅(FWHM)と1/10幅(FWTM)で評価する。半値幅はピーク高さの半分の高さに相当する部分のエネルギー幅である。1/10幅はピーク高さの1/10の高さにおけるエネルギー幅である。

1) 図8に示すように、カウント数が最大値となるピーク中心チャンネル $X_p$ とそのカウント数 $N(X_p)$ および、半値幅に相当する位置の前後のチャンネル $X_1, X_2, X_3, X_4$ とそれらのカウント数 $N(X_1), N(X_2), N(X_3), N(X_4)$ を測定スペクトルから調べる。チャンネル単位の半値幅FWHM(ch)は、次式のように求められる。

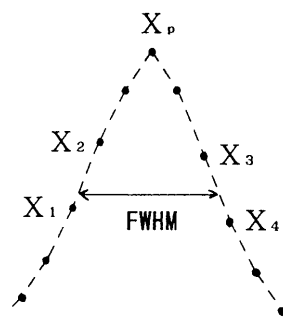


図8 ピーク拡大図

$$\text{FWHM(ch)} = X_3 - X_2 + \frac{N(X_2) - N(X_p)/2}{N(X_2) - N(X_1)} + \frac{N(X_3) - N(X_p)/2}{N(X_3) - N(X_4)}$$

2) チャンネル当たりのkeVの値は $^{60}\text{Co}$ 1173keVピークのピーク中心チャンネルを $X_{1173}$ とすると、 $159.3 / (X_p - X_{1173})$ で求められるので、エネルギー単位の半値幅FWHM(keV)は次式のように求められる。

$$\text{FWHM(keV)} = \text{FWHM(ch)} \times 159.3 / (X_p - X_{1173})$$

3) 1/10幅(FWTM)もFWHMと同様の計算で求められる。1/10幅はピークのテイリング(すそを引くこと)の程度を表す指標であり、正常なGe検出器では半値幅の2倍をこえない。

## 5. 3 ピーク対コンプトン比の求め方

ピーク対コンプトン比は $^{60}\text{Co}$ 1332keVピークカウント数と1332keVピークのコンプトン平坦部の比で評価する。

1) 比較的平坦なコンプトン連続部である1040keVと1096keVのエネルギーに相当するチャンネル間のカウント数の平均値 $N_c$ を求める。

2) ピーク対コンプトン比 $P/C$ は、 $N_c$ に対するピーク中心チャンネルのカウント数 $N(X_p)$ の比で次式のように求められる。

$$P/C = N(X_p) / N_c$$

ピーク対コンプトン比は検出器に入る散乱 $\gamma$ 線があると減少するので、内容積の小さな遮蔽体内では注意が必要である。

#### 5. 4 $\gamma$ 線ピーク検出効率(相対効率)の求め方

相対効率は3インチNaI(Tl)検出器から25cm離れた位置に置いた $^{60}\text{Co}$ 線源の1332keVのピーク効率に対するGe検出器のピーク効率の比で評価する。

1)  $^{60}\text{Co}$ の点状標準線源を用いて、パルス波高分布を測定する。線源は検出器結晶前面より25cmの位置に置く。検出器結晶前面はエンドキャップの内側になるが、エンドキャップから25cmの位置にしても大きな違いはない。

2) ピーク検出効率(絶対効率) $E_a$ は、1332keVのピーク面積 $A$ 、測定時間(ライブタイム) $t$ (sec)、 $^{60}\text{Co}$ 線源の放射能 $C$ (Bq)より、次式のように求められる。ピーク面積の求め方は次章「II. ガンマ線スペクトル解析」の「3.2.3A) 片対数スペクトル直線ベース近似法」に簡便な方法が詳しく説明されている。

$$E_a = (A / t) / C$$

$^{60}\text{Co}$ 線源の測定時の放射能 $C$ は次式から求める。

$$C = C_0 \exp(-0.693Y/5.272)$$

$C_0$ : 検定時の放射能(Bq)

$Y$ : 検定時から測定時までの経過時間(年単位)

3) 相対ピーク効率 $E_r$ (%)は、直径3in×高さ3in NaI(Tl)検出器の線源-検出器結晶前面間距離25cmに置いた $^{60}\text{Co}$ 線源の1332keV  $\gamma$ 線に対する検出効率が0.0012であるので、次式から求まる。

$$E_r(\%) = (E_a / 0.0012) \times 100$$

以上の方法により、Ge検出器の性能検査ができる。

終わりに、資料として、セイコーEG&G(ORTEC)、東陽テクニカ(CANBERRA)、東洋メディック(PGT, APTEC)、ラボラトリ・イクイップメント・コーポレーション各社のカタログ類を使わせて頂きました。

#### 参考文献

岡村迪夫: "放射線測定回路とシステム", 日刊工業新聞社, (1975).

野口正安: "実験と演習  $\gamma$ 線スペクトロメトリー", 日刊工業新聞社, (1980).

N. Tsoulfanidis, 阪井英次訳: "放射線計測の理論と演習(上)(下)", 現代工学社, (1986).

(武蔵工業大学原子力研究所 鈴木章悟)

## II ガンマ線スペクトル解析 —現状と展望—

### 1. はじめに

Ge検出器付ガンマ線スペクトロメータでガンマ線エネルギーを測定すると、多くの場合、結晶分光法で得られているエネルギーより低い値が得られる。この事実は、次の問題を提起している。

- ①ガンマ線スペクトロスコピーによるエネルギー値に偏りが無いか？
- ②ガンマ線スペクトロメトリーにおける「常用」のエネルギー校正法は適切か？

結論は、①偏りがある。②適切でない。この問題は、著者らが初めて導入した装置関数に基づいて解明された。その原因は、光電吸収に基づくピーク（光電ピーク）の極大の位置（ピーク位置）がエネルギーを代表するという、誤った理解にあった。

本稿では、まず、ガンマ線スペクトルに出現する種々の波形を概観し、次に「常用」の光電ピーク解析法を取り上げ、さらに「新しい」ピーク解析法の考え方を展望する。

### 2. ガンマ線スペクトルに出現する種々の波形

ガンマ線スペクトロメータでガンマ線を測定するとスペクトル中には様々な波形が出現する。そのうちスペクトル解析の対象となる波形は光電吸収に基づくピーク、すなわち光電ピークである。まずスペクトルを概観しよう。スペクトルは、ガンマ線と検出器材料との相互作用の結果出現する。図1<sup>1)</sup>は、エネルギーEのガンマ線の検出器内での相互作用とスペクトル中の波形とを対応させたものである。相互作用と波形の出現エネルギーE<sub>detec</sub>との関係は次のとおりである。

- ① 光電吸収 ( $E_{\text{detec}} = E$ )
- ② 電子対生成 ( $E_{\text{detec}} = E$ )
- ②<sub>bis</sub> 対消滅 ( $E_{\text{detec}} = E$ )
- ③ コンプトン散乱線の吸収 ( $E_{\text{detec}} = E$ )
- ④ エスケープ効果 ( $E_{\text{detec}} = E - X_{\text{KGe}}$ )
- ⑤ 単光子エスケープ ( $E_{\text{detec}} = E - m_0c^2 = E - 511 \text{ keV}$ )
- ⑥ 2光子エスケープ ( $E_{\text{detec}} = E - 2m_0c^2 = E - 2 \times 511 \text{ keV}$ )
- ⑦ コンプトン効果：後方散乱により反跳拡散したコンプトン電子で、コンプトン吸収端までの連続分布 ( $E_{\text{detec}} = E - E_{\text{back scattering photon}} = E_{\text{diffused electron}}$ )
- ⑧ 外部コンプトン効果：後方散乱ピークまでの連続分布 ( $E_{\text{detec}} = E_{\text{back scattering photon}} \& \text{diffused photon}$ )
- ⑨ 外部コンプトン効果：後方散乱
- ⑩ ダブルコンプトン効果 ( $E_{\text{detec}} = E - E_{\text{escape}}$ )
- ⑪ シャヘイ体からの特性X線
- ⑫ 線源から放射された電子の検出
- ⑬ 511 keV消滅放射線の検出：シャヘイ体内での対消滅による消滅放射線

図中のさまざまな波形を比較してわかるように、スペクトル中の光電ピーク（①光電吸収に基づくピーク）を読み取ることは、比較的やさしい。そのうえ一般に、ガンマ線測定による放射能計量は、この光電ピークを対象にする。ところが光電ピークは、図中の光電ピークの形状を見てもわかるように、連続部（ベース成分、あるいはバックグランド成分ともいう）の上に乗っている。したがって、光電ピークを定量対象にする場合、定量精度は、このベース成分をいかに正確に取り除くかによって左右される。

### 3. 常用の光電ピーク解析法

#### 3. 1 エネルギー校正

ガンマ線スペクトロメータには、ガンマ線エネルギーを直接表示する機能がないので、ガンマ線信号が入力したチャンネルとガンマ線エネルギーとの対応を付ける必要がある。これがエネルギー校正である。このため、スペクトロメータには、エネルギーとチャンネルとの間に正確な比例関係が望まれる。これを一般に直線性という。直線性には積分直線性と、微分直線性の2種類あり、



積分直線性の悪さがエネルギーとチャンネルのズレをもたらす。一方、微分直線性が悪いと平坦であるべきスペクトルに凹凸が現われる。

エネルギー校正には、エネルギー既知の標準線源を用いることが多い。エネルギーとピーク位置の直線関係は、グラフにプロットしてチェックできる。そこでは一見、直線性は良好に見える。しかし、Ge半導体スペクトロメータはエネルギー分解能が優れているために、見かけから直線とみなすには不十分である。それで、補正は、測定したピーク位置のチャンネル値と計算したチャンネル値との差 $\Delta(ch)$  から非直線性補正曲線、すなわちエネルギー校正のための補正曲線を作成して行う。非直線性補正曲線の一例を図2に示す。

### 3. 2 光電ピーク解析

#### (1) ピーク位置

ピーク位置は、3. 1に述べたように光電ピーク計数の最も高い位置である。この精密な位置は、ピーク領域の形状からベース成分を差し引く前と後とでは、若干ずれる。しかし解析の手法は同じだから、いくつかの方法を紹介し、その特徴を述べる。

1A) 正規分布3点計数值法 この方法は、光電ピークのピーク位置付近を正規分布と仮定した場合で、ピーク位置は次式で表わされる。

$$x_p = x_h + \frac{\ln(N_{h+1}/N_{h-1})}{\ln\{N_h^2/(N_{h-1}N_{h+1})\}} \quad (3-1)$$

ここで、 $x_p$ はピーク位置、 $x_h$ は最も計数值の高いチャンネル、 $N_h$ はその計数值、 $N_{h-1}$ および $N_{h+1}$ はその前後のチャンネルの計数值である。

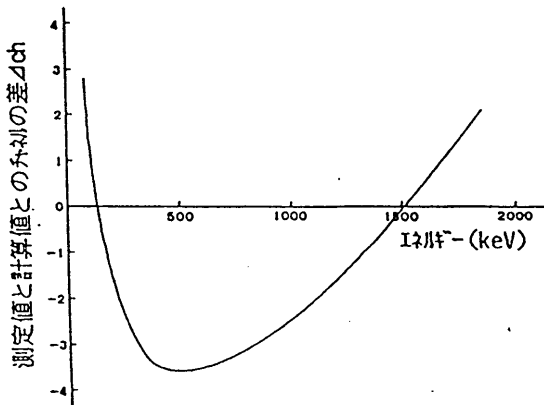


図2 非直線性補正曲線<sup>3)</sup>

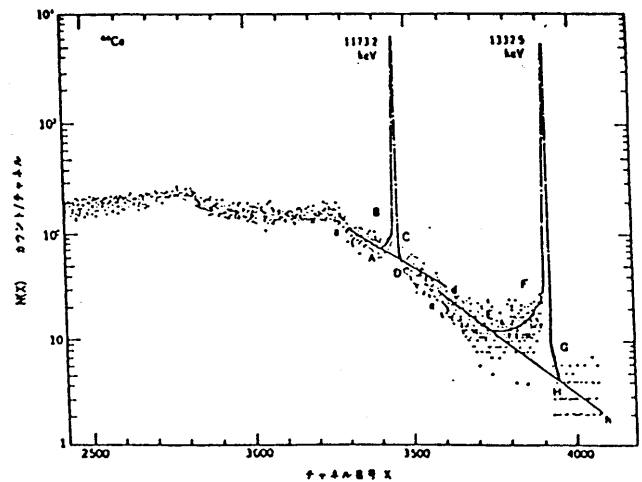


図3 Co-60ガンマ線の部分のスペクトル (片対数プロット、直線ベース近似)<sup>2)</sup>

1B) 放物線3点計数值法 この方法は、光電ピークのピーク位置付近を放物線と仮定した場合で、ピーク位置は次式で表わされる。

$$x_p = x_h + \frac{1}{2} \left( \frac{N_{h+1} - N_{h-1}}{2N_h - N_{h-1} - N_{h+1}} \right) \quad (3-2)$$

1C) 1次微係数ゼロクロス法 この方法は、極値の微係数がゼロとなることを利用した場合で、ピーク部分の最も計数值の高いチャンネルと二番目のチャンネルの間にピーク位置があるとする。ピーク位置は次式で表わされる。

$$x_p = x_m + \frac{\Delta N_m}{\Delta N_m - \Delta N_{m+1}}, \quad \Delta N_m > 0, \Delta N_{m+1} < 0 \quad (3-3)$$



(2) ピークの半値幅等の計算法

ピークの半値幅FWHMは、ピークの1/10値幅FTM、1/100値幅FW.01Mと併せて、検出器（および検出系）のエネルギー分解能を表わす尺度である。簡単な手計算法は比例配分法である。この方法は、次の3A)で得られる正味計数に対して、ピーク $N_p$ の高さの、それぞれ、1/2、1/10、および1/100の高さにおける全幅を、隣接計数間を結んだ直線との交点チャンネルとして求める。

(3) ピーク面積およびベース成分面積の解析法

ピーク解析とは、一般に、ピーク領域のピーク形状からベース成分を差し引いてピーク面積を求めることと理解されている。ここでは単一ピークの解析は比較的簡単である。複合ピークの場合、構成成分の分離定量に波形関数のアンフォールディング手法が取り入れられる。

3A) 片対数スペクトル直線ベース近似法 ここでは、最も簡単なピーク面積およびベース成分面積の求め方を紹介<sup>2)</sup>するが、方法論の当否より、むしろ問題点に注目して手法をつかみたい。

①まずガンマ線スペクトルを片対数プロットする(図3)。この片対数プロット上のピークの両側を通る直線(直線a-dまたは直線e-h)を引いて、ピークの下のベース成分を近似する。この場合直線の近似法として、それぞれa, d, eおよびh点の近傍の10点の平均を使ってもよい。

②ピークのデータ点を通るなめらかな曲線を描き、その曲線がピークの両端のすそでベース直線と接するまで延ばす(曲線E-Fまたは曲線G-H)。

③ベース成分として、ピークの曲線と接する2点間の直線(直線A-Dまたは直線E-H)の下の面積をとる。

④見かけの全ピーク面積 $A_a$ は、ベース成分と接する2点間のチャンネル当たりのカウントの和、すなわち次式で与えられる。

$$A_a = \sum_{x=E}^H N(X) \tag{3-4}$$

⑤ベース成分面積 $A_b$ は、チャンネル当たりのベース成分カウント $B(X)$ の和、すなわち次式で与えられる。

$$A_b = \sum_{x=E}^H B(X) \tag{3-5}$$

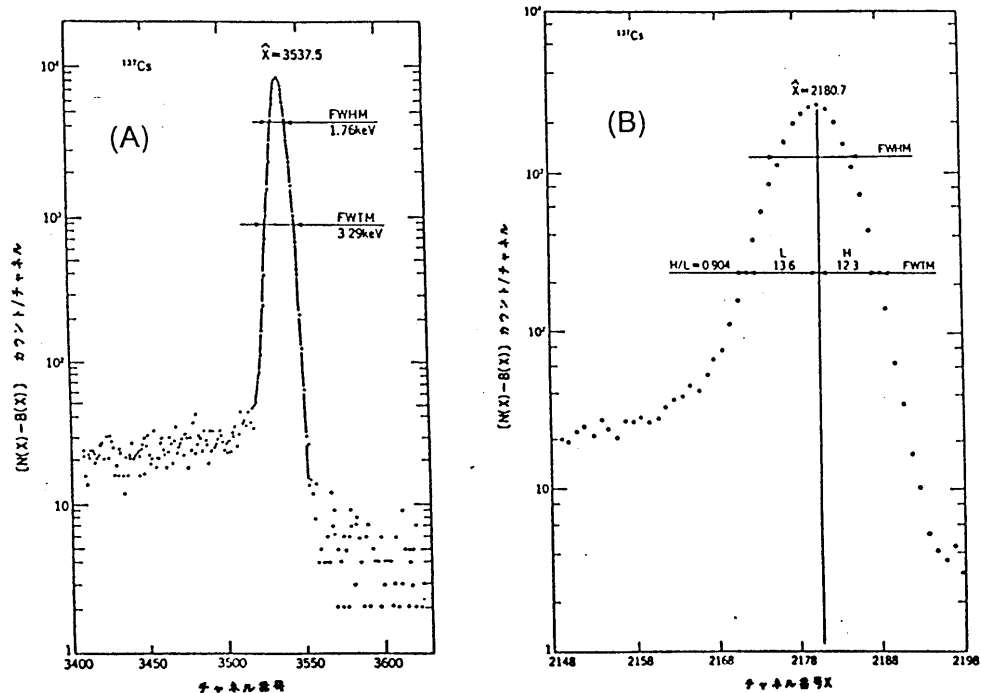


図4 光電ピークのピーク位置、半値幅FWHM、1/10値幅FTMおよび1/100値幅の非対象性

⑥ピーク面積Aは  $A = A_a - A_b$  で与えられる。

このような簡単な方法でピーク面積が求められるのは、ピークの面積Aに比べて、ベース成分面積 $A_b$ が小さい場合、できれば $A_b/A$ が0.10以下の場合に限られる。

Cs-137のガンマ線スペクトルについて、同様のベース成分差し引きによって得られたピーク領域の波形を図4Aに示す。このピークをCo-60の1332.5keVピークと比べると、なぜ直線F-Gをベース波形とみなさないのかという、素朴な疑問が出てくる。すなわち、図4Aの場合、実線で描いたピーク部分の両端を結んだ直線をベースとして良さそうではないか。このような疑問をひとまずおいて、得られたピーク部分を概観しよう。図4Bにはピーク位置、FWHMおよびFWTMが挿入してある。FWTMからピークが非対称であることがわかる。

3B) 関数適合法 面積計算のために関数適合を行う場合、適合関数は2B)で取り扱ったような単純な正規分布関数と1次式の組み合わせは望ましくない。ここでは、科学技術庁の放射能測定マニュアル<sup>3)</sup>の例を紹介する。

ピークの形状を図5に示す。

①ピークの左右でFWHM ( $w_L, w_R$ ) の異なる正規分布曲線を頂点で接続する。

$$f_p(x) = h \exp \left( -2.7726 \frac{(x - x_p)^2}{(w_L \text{ or } w_R)^2} \right) \quad (3-6)$$

②低エネルギー側の階段状の形Aは、次式で表わされる。

$$f_A(x) = \frac{a}{1 - \exp \{ (x - x_p) / (1.5 w_L) \}} \quad (3-7)$$

③低エネルギー側の裾を引いた形Bは、次式で表わされる。

$$f_B(x) = \frac{b}{1 + c(x - x_p)} - \frac{1}{1 + \exp \{ (x - x_p) / (1.5 w_L) \}} \quad (3-8)$$

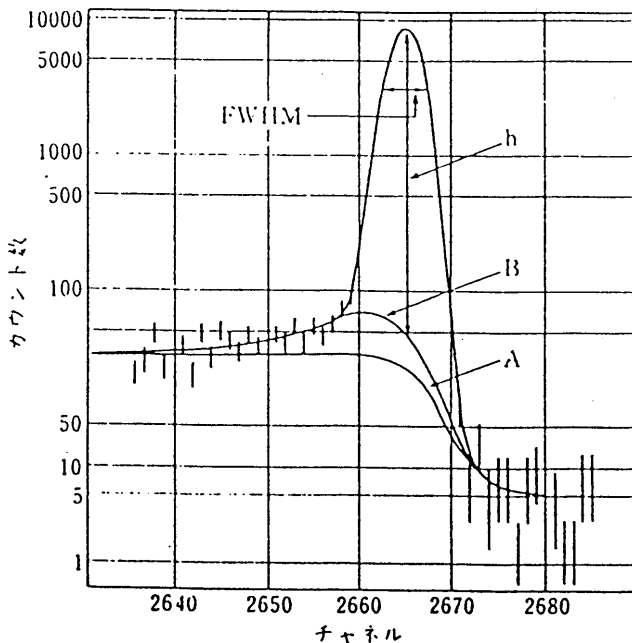


図5 ピーク形状の適合関数による波形の一例<sup>2)</sup>

④ベースラインは、次式で表わされる。

$$f_B(x) = g \quad (3-9)$$

⑤以上を合わせると、ピーク形状適合関数は、次式になる。

$$P(x) = f_p(x) + f_A(x) + f_B(x) + f_B(x) \quad (3-10)$$

ここで、 $h$ はピークの高さ、 $a$ は段差の高さ、 $w_L$ はピークの左側に適用する幅、 $w_R$ はピークの右側に適用する幅、 $b$ はテイリングの高さ、 $c$ はテイリングの広がり、 $g$ はベースラインの高さである。

適合パラメータは、 $h$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $w_L$ 、 $w_R$ 、 $g$ およびピーク位置 $x_P$ である。マニュアル<sup>3)</sup>には、適合パラメータの設定の仕方や複合ピークの処理について述べてある。

適合関数は、今までに数多く提案されている。確かに、適合度を向上させるような関数形の選択が可能である。しかし、各適合パラメータがどのような物理的因子を反映しているのかわからない。その上、接続正規分布(3-6)、階段状形A(3-7)や裾引形B(3-8)を反映する信号源が存在するわけではない。このように、各成分の形は計測の物理的因子とは無関係である。

#### 4. 新しいピーク解析法の考え方

##### 4. 1 放射線検出の確率事象と装置関数

検出器に入射する光子には種々の属性がある。入射信号を波形として見ると、入射信号関数には、①デルタ関数形(壊変ガンマ線)、②ローレンツ関数形(X線、捕獲ガンマ線、 $\mu$ 粒子原子X線)のほか、③ドップラー効果の関数形(511 keV消滅放射線)、④半連続関数形(小角散乱ガンマ線)や⑤連続関数形(高エネルギーガンマ線に基づくコンプトン散乱)などがある。これらの入射信号は、相応した出力信号波形を形成する。ガンマ線スペクトルは、図1に挿入されたスペクトルをみてもわかるように、さまざまな来歴をもつ入射信号に装置関数が畳み込まれた結果出現した出力信号関数の集合、とみることができる。

装置関数 $I(x)$ とは、ガンマ線スペクトロメータにおいて光子(エネルギー $E$ )の入射信号関数 $S(E, x)$ と、観測される出力波形関数 $M(E, x)$ とを媒介し、光子のエネルギー情報を伝達する関数である。この関係は、次のように表わされる。

$$M(E, x) = I(x) * S(E, x) \quad (4-1)$$

ここで、 $*$ は畳み込み積分を表わす。

装置関数は、測定系(検出器・前置増幅器・主増幅器・AD変換器・記憶装置)に生起する確率事象の分析に基づいて関数化された、いわゆる複合事象の結合確率密度分布関数である。装置関数を構成する確率事象には、次のものがある。①光電効果による光電子の発生、②電荷担体(電子・正孔対)形成の際の統計的動揺( $ND_{cc}$ )、③測定系に発生する電子雑音の統計的動揺( $ND_{en}$ )、④電荷収集の際に起こる電荷担体の捕獲事象に基づく統計的動揺(REPDED: Random Escape Probability Density Distribution)および、⑤電子雑音の測定系における歪。これらに基づく確率密度分布関数を図6に示す。各々の事象は互いに独立であるから、確率の乗法則が成り立つ。言い替えると、装置関数とは、これらの確率密度分布関数が畳み込まれた複合確率密度分布関数である。

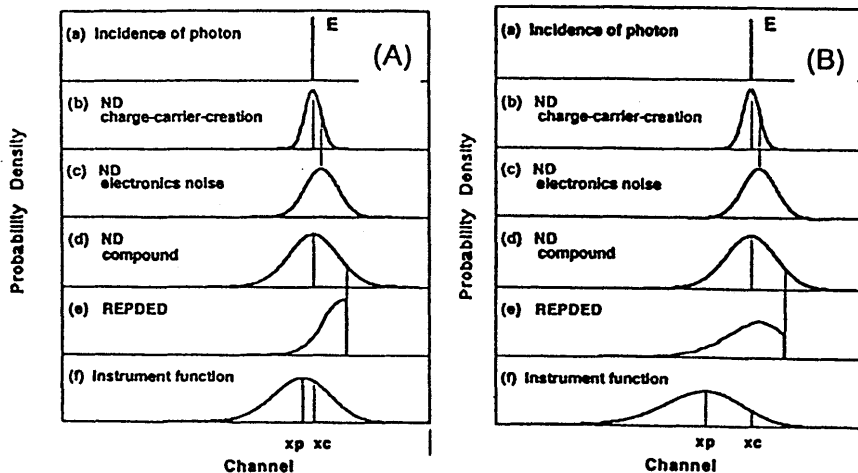


図6  
装置関数を構成する確率密度分布関数の接続の模式図  
REPDED分布の平均が小さい場合(A)と大きい場合(B)

図6AおよびBは電荷担体の捕獲の程度によって波形の歪が異なることを示している。重要なことは、ガンマ線のエネルギーを代表する位置が、ピーク位置（ピークの極大の位置）ではなく、装置関数に畳み込まれた正規分布のセントロイドであることである。（従来、ここで言うピーク位置のことをピーク中心と呼んできた。それで、これと区別するために、あえて中心と呼びことを避ける）。さらに重要なことは、光電ピークの面積計数が装置関数と入射光子数の積として得られることである。光電効果のように入射信号がデルタ関数とみなされる場合、出力波形は装置関数波形と同一である。すなわち、この関数は、光電ピークの波形関数でもある。この装置関数波形がピーク位置に関して左右非対称であることも、光電ピークの出力波形を良く表わしている。

④の電荷収集の際に起こる電荷担体の捕獲事象に基づく統計的動揺(REPDED)は、まれにしか起こらない。したがってポアソン過程として取り扱うことができる。REPDEDモデルには、検出器の入射位置に独立のモデルと、入射位置依存モデルがある。後者によると波形の歪をもたらす物理的因子は、同軸型の場合、検出器半径（内径・外径）、不純物密度、電子・正孔移動度、捕獲係数、印加電圧、極性、電界強度、検出器材料の比誘電率等である<sup>4)</sup>。一方、前者の場合、装置関数は、次式で表わされる。

$$I(E, x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{\text{obs}}(E, x_C)} \int_{-\infty}^v \exp \frac{-(v - x_C)^2}{2 \sigma_{\text{obs}}^2(E, x_C)} \times \frac{(E/c_W \lambda_{\text{RE}})^w}{w!} \exp(-E/c_W \lambda_{\text{RE}}) |_{w=v-x} dv \quad (4-2)$$

ここに、正規分布の見かけの分散は、電荷担体形成と電子雑音の複合分散であり、次式で表わされる。

$$\sigma_{\text{obs}}^2(E, x_C) = \sigma^2(E, x_C) + \sigma_N^2(x_C) = F E_p / c_W E / c_W + \sigma_{\text{obs}}^2(E, x_C) \quad (4-3)$$

ここで、Eは入射ガンマ線のエネルギー、xとwはそれぞれNDとREPDEDの確率変数（単位：チャンネル）、 $c_W$ はチャンネル幅、 $\lambda_{\text{RE}}$ はREPDED係数、 $\sigma_{\text{obs}}^2(E, x_C)$ 、 $\sigma^2(E, x_C)$ および $\sigma_N^2(x_C)$ はそれぞれ、見かけ、電荷担体形成および電子雑音の分散、Fはファノ因子、 $E_p$ は一組の電荷担体形成に要する平均エネルギーである。

#### 4. 2 エネルギーの参照標準

ガンマ線エネルギーの一次標準（参照標準）には、<sup>198</sup>Au-411 keVの遷移が用いられている。この値は次のように変遷している。

・1978年以前： 電子静止質量尺度	<sup>198</sup> Au	(411.794	±0.008	keV)
・1978年以降： 波長尺度	<sup>198</sup> Au	(411.804 41	±0.000 11	keV)
・1986年以降： 波長尺度	<sup>198</sup> Au	(411.807 59	±0.000 01	keV)

ただし、

・1986以前の換算係数：	$E \lambda = 1.239 852 0 \times 10^{-6} \text{ eVm} \pm 2.6 \text{ ppm}$
・1986以降換算係数：	$E \lambda = 1.239 842 44 \times 10^{-6} \text{ eVm} \pm 0.03 \text{ ppm}$

波長尺度の<sup>198</sup>Au-411 keV遷移の値は、NISTのKesslerら<sup>5, 6)</sup>が透過型二重平面ガンマ線結晶分光法により得た。その後、ガンマ線エネルギーチェーンの構築が進められた結果、現在のガンマ線エネルギーの評価値が得られている。

ところが、この現在の評価値に一定の偏りがあることが、著者<sup>7)</sup>によって初めて明らかにされた。この偏りの原因は、常用のエネルギー校正法にあった。すなわち、ピーク位置 $x_p$ をエネルギー当てはめに用いたため、この偏りが生じた。正しいエネルギー校正は、装置関数のセントロイド $x_c$ に対してなされるべきである。

### 4.3 システム校正

常用のエネルギー校正では、ピーク位置を標準線源の相応するガンマ線エネルギーと対応づけたが、新しいエネルギー校正では、装置関数のセントロイドを波長分散法で得られている参照標準エネルギーと対応づける。このために、システム校正の概念を導入する。

システム校正とは、参照標準エネルギーとセントロイドチャンネルとの間に正確な比例関係を付けることである。このための補正を、常用の「直線性」と混同しないため、非比例性補正曲線と呼ぶ。このためには、精密パルス発生装置を用いる。これは、図6からわかるように、複合正規分布のセントロイドとパルス発生装置のセントロイドが同一位置に出現するという原理に基づく。非比例性補正<sup>8)</sup>の一例を図7に示す。補正曲線は挿入されていないが、平滑化スプライン関数で内挿する。

### 4.4 光電ピーク形状

光電ピーク近傍に出現する波形は、図1に詳細な説明がないことから、十分に解明できているとはいえない。それにもかかわらず、光電ピークの定量のための面積計数として、3.2(3)に述べたような、適当なベース差し引きが行われている。4.1で取り扱った入射信号の事象分析の結果<sup>9)</sup>によると、一般に、入射信号はエネルギーEの全エネルギー吸収ピークPPの他、エッジロス半連続線EL、小角散乱半連続線SAS、ランダムサミング半連続線RSが、高エネルギーガンマ線に起因したコンプトン効果およびバックグラウンドに基づく連続線COであることが明らかになってきた。これらの入射信号関数に装置関数が畳み込まれて、各々の出力波形が出現する。これらの関係を図8に示す。

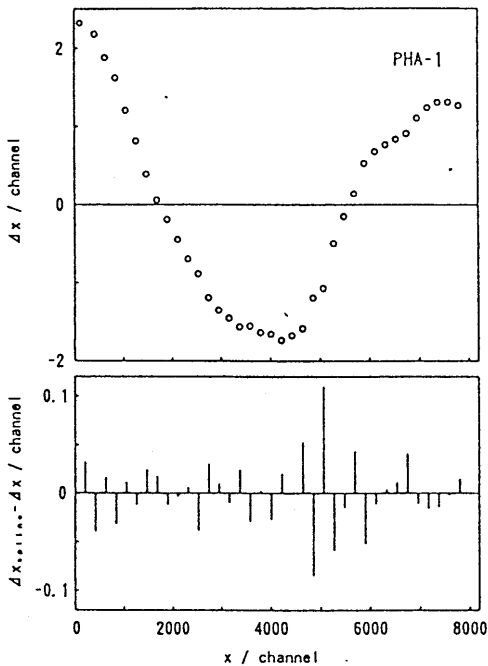


図7 非比例性補正曲線の一例<sup>8)</sup>

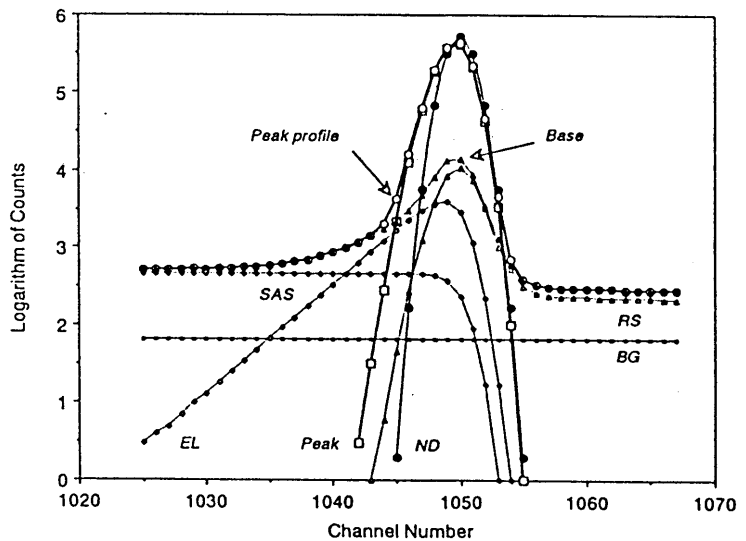


図8 ピーク形状を構成する諸出力波形関数<sup>9)</sup>

ピーク形状は、光電ピーク波形PPおよびベース形状 (SAS + EL + RS + CO) とから構成されていることがわかる。ベース差し引きとは、このベース形状を正確に取り除くことである。各波形の強度は測定条件によって異なる。したがって、単純な「差し引き」は困難である。それで、光電ピーク波形解析の目標は、ベース差引なしの全波形関数のすべてのパラメータを最尤推定法により推定することである。最尤推定法は、アルゴリズムとしては、極値問題である。このための方法には、安定化ガウスニュートン法、マルカート法、フレッチャーパウエル法、最急降下法やシンプレックス法等がある。このうちいずれを選ぶかは演算時間と収束性の観点から決まる。いずれの場合も、各パラメータの初期値設定法に問題があり、その確立が急務となっている。

## 5. おわりに

新しい波形解析法は、非中性子核データ（核エネルギー準位・放出比）の精密化に大きく貢献するはずである。この方法により、当然、より正確なベース差引が実現できる。すなわち、放射化分析の定量精度の向上に寄与する。このためにも、新しい解析法の完成と、多くの核種への適用が待ち望まれる。

## 参考文献

- 1) Plagnard, J., private communication, DAMRI, Commissariat a l'Energie Atomique, B.P. 52- 91193, Gif-sur-Yvette, Cedex France (1995).
- 2) 日本規格協会編”JISハンドブック 放射線(能)” 日本規格協会、1988年
- 3) 科学技術庁放射能測定シリーズ7”ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー” 科学技術庁、1990年
- 4) 岸川俊明、西村一久、放射線、19(3) (1993) 57、および同文献中の引用文献
- 5) Kessler, E.G., Jr., Deslattes, R.D. et al., Phys. Rev. Lett., 40 (1978) 171.
- 6) Deslattes, R.D., Kessler, E.G. et al., Ann. Phys., 129 (1980) 378.
- 7) Kishikawa, T., J. Nucl. Sci. Tech., 28 (1991) 487.
- 8) Kishikawa, T., Yonezawa, C., et al., in eds. Miyajima, M., et al., KEK Proceedings 95-1, "RADIATION DETECTORS AND THEIR USES Proceedings of the 9th Workshop on Radiation Detectors and Their Uses", National Laboratory for High Energy Physics, Tsukuba (1995) p.243.
- 9) Kishikawa, T., Yonezawa, C., et al., Nucl. Instrum. and Meth., A(1995) in press; International Symp. on Radionuclide Metrology and its Applications ICRM'95 (Paris).

(熊本大学工学部 岸川 俊明)

## 研究紹介-1

### 古代・中世土器の産地推定法の開発研究

奈良教育大学 教育学部

三辻 利一

#### 1. はじめに

これまでの土器の考古学研究は土器形式から土器を年代順に整理し、編年体系を作り上げることであった。この研究はほぼ、完成の域に達しており、その結果、遺跡から出土する土器をみて、考古学者はいつ頃の遺跡であると判断できるところまで来ている。ところが、土器にはもう一つの未解明の問題がある。

「土器はどこで作られ、どこへ供給されたのか」という産地問題である。この問題が解明されると、大量に出土する土器から、歴史の一面を読むことが可能となってくる。勿論、考古学者によって、土器形式から産地を推定することが試みられているが、形式の判断が主観によるという点に加えて、土器を作る工人が移動すると、別の場所でも同じ形式の土器が作られることになり、考古学的な肉眼観察の所見だけでは土器の伝播・流通の研究を推進することは困難となる。こうした背景から、土器を分析して、その産地を知る方法が出来ないものかという問題が考古学側から自然科学側へ出されたのは今から20年も前のことであった。こうして、「古代土器の産地推定法の開発研究」、つまり、各地で作られた土器を元素分析によって特定する方法の開発研究が始まった。

#### 2. 何故、須恵器を分析することになったか

土器は粘土を素材としているから、各地に産出する粘土を特定する方法を開発すればよい訳であるが、各地の粘土の分布図が作成されておらず、地下の粘土の分布状況についても十分わかっていない現在、すべての粘土を採集し、分析することは不可能である。だが、土器製作に全ての粘土を使用した訳ではない。土器製作に適した一部の粘土を使用したに過ぎないのである。そうすると、本研究の分析対象として、何も粘土から出発する必要はなく、製品の土器から出発する方が、より現実的であるということになる。ただ、その場合には、「製作地がわかっている土器を分析する」という枠がはまることになる。ところが、うまい具合に、この条件を全て満足する古代土器があったのである。「須恵器」という硬い焼き物である。硬い焼き物（陶質土器）はもともと、朝鮮半島南部の伽耶地域で、製鉄技術と密接な関係をもって出現した。この技術が5世紀ころ、日本に伝えられて「須恵器」生産が開始されることになる。この技術が伝来した当初の頃、須恵器は古墳での祭器としての目的をもって、限られた地域でしかつくられなかったが、平安時代（9世紀代）になると、甕、壺、坏などとして、広く日常生活でも使われるようになり、需要の拡大とともに、全国各地で生産されることになった。須恵器窯跡は長崎、山梨、神奈川県、北海道を除く全県で見つけられており、その数は数千基に達するといわれている。しかし、その多くは良質の粘土の産出地域に集中して見つけられており、窯跡群を形成する。しかも、これらの窯跡からは大量の須恵器破片が出土しており、各地の須恵器の地域特性を求めるとして絶好の試料となっている。こうして、各地の須恵器の地域特性を求めて、全国各地の窯跡出土須恵器を分析する作業が始まった。

### 3. 分析法に対する考え方

岩石は鉱物（化合物）の多様な混合物である。化学分野では化合物は一定の組成をもつので、その組成を求めるために、主成分元素を正確に定量する。この定量値をモル数に換算し、各元素のモル比をとれば、化合物の組成（実験式）を求めることができる。しかし、岩石のように、多数の鉱物からなる多様な混合物の場合には、いかに正確に化学組成を求めても、それだけでは化合物の混合比を簡単に求めることはできない。岩石学分野では化学組成から、ノルム計算という独特の考え方を使って、岩石を構成する主成分鉱物についての情報を引きだそうとする。

他方、粘土は岩石が風化して生成したものであるが、その理論的化学式は  $(Al_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O)$  で示されるとおり、単純な化学組成をもつ。しかし、その結晶構造は多様で、幾種もの粘土鉱物が存在することになる。ところが、全国各地で産出する粘土や、それを素材として作った土器を分析すると、必ず、K、Ca、Na、Fe、Tiなどの主成分元素の他に、岩石と同様、多数の微量元素も検出されるのである。このことは天然に産出する粘土には理論化学式で示されるような理想的な粘土鉱物ばかりではなく、母岩中の残余鉱物が微粒子となって含有されていることを示している。しかし、粘土は単に、岩石が風化し、破砕されて生成したばかりではなく、周辺の岩石破砕体が混合されて生成した可能性もあるから、岩石学で使うノルム計算を適用しても、岩石以上に有効性があることは期待し難い。つまり、各地の粘土の地域差を求めるには、別の言い方をすれば、各地の窯跡出土須恵器の地域差を求めるには、何も、従来から岩石学分野で使われているような完全分析をして、化学組成を求めなければならない理由はないのである。むしろ、大量の試料を分析しなければならないから、地域差を示す元素についてのみ、定量分析をすればよいのである。

これまでの粘土に関する研究は粘土鉱物を調べるといふ鉱物学的見地から進められた研究が殆どで、各地の粘土の地域差を求めるような地球化学的研究は殆どなかった。粘土の地域差を求める研究は粘土を素材として製作した古代土器の産地問題が提示されてはじめて浮上した問題なのである。したがって、各地の窯跡出土須恵器の地域差を求める研究には、従来の分析法にとらわれずに新たに、合理的な分析法を開発しなければならないのである。何よりもまず、全国各地の窯跡出土須恵器の地域差を求めるには、少なくとも、数万点の試料の分析が必要であり、従来からの完全分析法をとった場合、とうてい、この数をこなすことは出来ないことは明白である。かくして、筆者は2次ターゲット方式のエネルギー分散型の蛍光X線分析装置を使い、地域差を示す元素を探索することから始めた。エネルギー分散型を採用したのは、筆者が研究を始めたとき、完全自動分析が出来たのはエネルギー分散型の装置だけだったからであり、2次ターゲット方式を採用したのはバックグラウンドが低く、TV上に表示される蛍光X線スペクトルから、地域差を示す元素を見つけ易かったからである。現在は、より分析機能の高い波長分散型の装置を使用している。

### 4. 何故、JG-1を標準試料として採用したか

蛍光X線分析では試料の表面から発生する蛍光X線の強度を示す理論式から予想されるように、マトリックス効果の問題がある。マトリックス項はマトリックスを構成する各元素の質量吸収係数と重量含有率の積の総和からなる<sup>1)</sup>。粘土の場合は  $SiO_2$  と  $Al_2O_3$  の重量含有率の総和が80%を越えるので、マトリックス効果の主体は  $SiO_2$  と  $Al_2O_3$  となる。したがって、これに類似したマトリックスをもつ試料を標準試料に採用すれば、マトリックス効果を少なくすることはできる。このような観点から、岩石標準試料の



中からJG-1を標準試料として採用することにした。JG-1は群馬県産の花崗岩類の一つであるが、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ を併せて80%以上含み、Feの含有量も比較的、須恵器に近い。そうすると、測定された試料の各元素の蛍光X線強度をJG-1中の対応する元素の蛍光X線強度で割った値、すなわち、JG-1による標準化値は近似的に試料中の各元素の重量含有率に比例することになる。このことはいくつかの岩石標準試料を使って、JG-1による標準化値と、報告されている分析値の間に直線性があることを確かめることによって確認される。エネルギー分散型の装置を使って作成された検量線を図1に示す<sup>2)</sup>。いずれの元素についても、通常、須恵器中に含まれる濃度範囲において直線性がほぼ、成り立つことがわかった。回帰直線の式を使い、得られたJG-1による標準化値から、濃度に換算することはできるが、JG-1による標準化値をそのまま活用する方が便利である点が多い。その最たるものは、2群間判別分析やクラスター分析などの統計計算をするとき、地域差を有効に示すK、Ca、Rb、Srの分析値のケタ数がそろっていることである。もし、主成分元素を%で、微量元素をppmで表示すると、2ケタほどケタ数が違い、統計計算の結果に悪影響を及ぼす。その他、生データを使ってRb-Sr分布図を作成したり、母岩とその上に分布する粘土中の元素の含有量を比較したりする上にも便利である。そのため、筆者は通常、JG-1による標準化値を使用している。

## 5. 須恵器の産地推定法

本研究ではじめにしなければならないことは、地域差を示す元素の探査である。通常、2つの母集団の間でどの元素が差違を示すかを知るためには、主成分分析が適用される。しかし、窯跡は全国各地にあるので、いちいち、主成分分析を繰り返す訳にはいかない。このとき、威力を発揮したのがエネルギー分散型のスペクトロメーターである。この装置では、測定しつつ、スペクトルがTV上に表示されるので、どの元素が地域差を示すかは容易にわかる。二次ターゲット方式のエネルギー分散型のスペクトロメーターで測定した須恵器の蛍光X線スペクトルの例を図2<sup>3)</sup>に示す。Si、K、Ca、Ti、Fe、Rb、Sr、Y、Zrの9元素が測定されるが、各地の窯跡出土須恵器の蛍光X線スペクトルを比較した結果、K、Ca、Fe、Rb、Srの5元素を地域差を示す元素の有力候補として採用した。各地の窯跡出土須恵器の蛍光X線スペクトルを図3に比較してある<sup>3)</sup>。これらの図からわかるように、スペクトル線が並んで測定されるRbとSrはピークの高さが逆転する位、目立って地域差を示すことがわかった。そこで、バックグラウンドを差し引いて両ピークのネット強度を求め、それらを両軸にとったRb-Sr分布図を作成して地域差を表示することを考案した。Rb-Sr分布図の一例を図4<sup>4)</sup>に示す。大阪府堺市に通称、陶邑窯群と呼ばれる数百基の窯からなる須恵器の一大生産地がある。一方、長野県信州中野市には20基程度の窯からなる草間窯跡群がある。図4にはこれらの窯群の中から任意に須恵器破片を採集し、分析した結果が示されている。陶邑窯群や草間窯跡群の試料はそれぞれ、よくまとまって分布しているが、陶邑窯群と草間窯跡群では明らかに地域差を示すことがわかる。同様にして、全国各地の窯跡出土須恵器の分析データをこの分布図に分布させると、よく地域差が示されることが判明した<sup>5)</sup>。こうして経験的に、Rb-Sr分布図が有効に地域差を表示する分布図であることが見つけられたのである。

一方、元素の周期表上の位置、および、そのイオン半径から、主成分元素K、Caはそれぞれ、微量元素Rb、Srと正の相関性をもつことが予想される。K、Caのピークからネット強度を求め、相関をとったところ、相関係数が0.7から0.8程度の高い相関性を示した。このことから、K-Ca分布図も各地の窯跡出土須恵器の地域差を表示することが予想できる。しかし、K-Ca分布図はRb-Sr分布図

ほど有効に地域差を表さなかったので、結局、各地の窯跡出土須恵器の地域特性を表す分布図として、Rb-Sr分布図が採用されることになった。JG-1による標準化値が1という値は、Rb, Srとしてそれぞれ、181ppm, 184ppmに相当し、この結果、両軸の目盛はほぼ等価であるのに対し、JG-1中のK<sub>2</sub>O, CaOの含有量はそれぞれ、3.95%、2.18%だから<sup>6)</sup>、両軸の1目盛の大きさが等価にならない点が、K-Ca分布図はRb-Sr分布図ほど有効に地域差を示さなかった理由である。重みを付けて、両軸を等価な目盛をもつようにしてやれば、K-Ca分布図も有効に地域差を示すはずである。こうして、K, Ca, Rb, Srの4元素が地域差を示す有効元素であることがわかったのである。これに対して、Fe因子は前記4因子ほどまとまった地域差を示さず、1つの窯群内の窯間でも異なる場合があり、窯群を形成して、全国各地の多数の窯を整理していく上では使い方が難しい元素である。なお、Rb-Sr分布図では通常、窯群の試料をできるだけ多く包含するようにして手書きで長方形の領域を描いてあるが、きちんと描こうとすれば、図5に示すように、95%の試料を含む等確率楕円をコンピュータを使って描かさなければならない。この方法を使うと、隣接した地域の窯跡群間の地域差を見易く表示することができる。図6には、東海地域の中世陶器の一つである山茶碗の生産地ごとの地域差を示してある<sup>7)</sup>。もし、これを手書きの長方形で領域を描くと、これ程見易い図とはならない。

Rb-Sr分布図は見易いという利点をもつが、たとえ、95%の等確率楕円で領域を描いても、窯(群)間の相互識別を定量的に行うことは難しい。さらに、K, Ca, Rb, Srの4因子を同時に使うとすると、別の表示法をとらない限り、2次元分布図は作成できない。この点を打開するために、考案されたのが2群間判別図である<sup>8)</sup>。この図は、統計学の考え方によって作成される図である<sup>9, 10)</sup>。マハラノビスの汎距離という統計学上の距離を計算しなければならない。この計算にはいくつもの因子を入れることができるが、筆者は長石系因子が地域差を示すという考えから、上記4因子を使って計算している。マハラノビスの汎距離(Dの記号で表す)とは1因子の場合、母集団の重心から任意の試料までの距離を母集団の標準偏差を尺度にして測ったものである。したがって、母集団の重心より大きい値をとれば正の値をもつが、小さい値をとれば負の値をとる。統計学ではDの値を二乗して正負の符号を除去して使うのが普通である。因子の数が多くなると、因子間の相関係数による補正項が入り、計算式は複雑となるので、コンピュータで計算されるのが普通である。

さて、Rb-Sr分布図では同一紙面上でいくつもの母集団の特性を比較することができた。しかし、判別分析図では2つの母集団の間の相互識別の可否を論じることしかできない。両軸上にはA, B2つの母集団からのD<sup>2</sup>値がとられることになる。これをそれぞれ、D<sup>2</sup>(A), D<sup>2</sup>(B)とかく。仮にA, B2つの母集団から50点ずつ試料を抽出して分析し、K, Ca, Rb, Srの4因子を使ってD<sup>2</sup>(A), D<sup>2</sup>(B)を計算する。この結果を2群間判別図にプロットすると両者は別々に、それぞれまとまって分布するのが普通である。このままでは4因子を使った一種の分布図にすぎないが、ここで各母集団の領界を決定する。そのために、5%の危険率をかけたホッテリングのT<sup>2</sup>検定が適用される。ホッテリングによるT<sup>2</sup>式は母集団の試料数(n)、使用因子数(N)、各試料のD<sup>2</sup>(X)からなり、一種のF分布をする。この分布に5%の危険率をかけたF検定をする訳である。この場合はn=50, N=4であるから、検定に合格するD<sup>2</sup>(X)が決定されることになる。筆者は通常、nの数として30~100程度のものを使用しているので、この検定に合格するD<sup>2</sup>値は10~12辺りにくる。そのため、D<sup>2</sup>(X)=10のところ領界線を引いてある。そうすると、A群の領域はD<sup>2</sup>(A) ≤ 10であり、B群の領域はD<sup>2</sup>(B) ≤ 10となる。両群の化学特性が著しく異なるときには、互いに、D<sup>2</sup>(相手群) > 10の領域に分布し、その結

果、A群の試料は $D^2(A) \leq 10$ 、 $D^2(B) > 10$ の領域に、また、B群の試料は $D^2(B) \leq 10$ 、 $D^2(A) > 10$ の領域に分布し、両群は完全に分離する。しかし、両群の化学特性(K, Ca, Rb, Srの分析値)が類似してくると、両群の試料は次第に接近して分布するようになり、遂に $D^2(A) \leq 10$ 、 $D^2(B) \leq 10$ の重複領域に両群の試料は混在するようになる。A, B両群が完全に分離するときの例を図7に、また、分離できなかったときの例を図8に示す<sup>10)</sup>。図8は福岡県甘木市にある朝倉窯群の中の小隈窯と山隈窯の相互識別の例である。一般に窯群の中にあるどの窯の製品も類似した化学特性をもつ場合が多いので、図8のように相互識別できない場合が多い。逆に言えば、これらの窯をまとめて窯群とすることができるので、多数の窯を整理する上には便利である。また、重複領域に両群の一部の試料が混在するときには、その試料数から誤判別の確率を求めることもできる。

図9には大庭寺1, 2号窯の甕類の二群間判別図を示してある<sup>11)</sup>。両群の試料は斜線に沿って混ざって分布していることがわかる。この斜線は理想境界線と名付けられるもので、両母集団が統計学的にみて等価である場合、両群の重心から等距離にある点の軌跡と定義される。この図では大庭寺1号窯、2号窯の甕類が100点ずつ分析されており、統計諸量が近似的に等しいので、本来はこの理想境界線が両群の境界線ということになる。この線上に両群の試料が混ざって分布するということは両群の試料がK, Ca, Rb, Srの4因子からみて等価であることを意味する。すなわち、両群の胎土は同じである。いい換えれば、同じ素材粘土を使用して作った須恵器であること示している。このように、二群間判別分析図を使うと、2つの窯(群)間の相互識別を定量的に行うことができる。ただ、多数の母集団を同時に定量的に判別することはできないので、年代等考古学的な条件から選択された2つの母集団についての判別を行う。もし、選択された母集団が2つ以上あれば、組み合わせを変えて、二群間判別を繰り返すことになる。煩雑ではあるが仕方ない。また、二群間判別分析で導入された $D^2(X) \leq 10$ という(X)群への帰属条件は古墳や住居跡などの供給先の遺跡から出土した須恵器に適用すると、その産地が推定できることになる。勿論、産地推定においては、年代等の考古学的諸条件をそろえておくことはいままでもない。このようにして、元素分析による須恵器の産地推定では考古学的諸条件も加味される訳である。また、現在、二群間判別分析では長石系のK, Ca, Rb, Srの4因子しか使用していないが、今後、放射化分析などで微量元素が地域差を有効に示すことが分かれば、因子数を増やせばよい訳である。現在でも、福岡県甘木市の朝倉窯群の製品(須恵器、埴輪とも)にはSc量が異常に多く、Sc因子だけで朝倉窯群と判断できるくらいであり<sup>12)</sup>、また、朝鮮半島と大阪陶邑群の製品を比較すると、朝鮮半島の製品には、Laなどの希土類元素が多い傾向があり、したがって、伽耶群か陶邑群かの二群間判別には前記4因子の他に希土類元素が追加されることになる<sup>13)</sup>。このように筆者が開発した須恵器産地推定法では、今後、有効に地域差を示す因子が見つかれば、逐次、追加できる仕組みになっている。なにも、過去の習慣にしたがって完全分析にこだわる必要はないのである。既に、筆者のところでは全国各地の窯跡出土須恵器片試料が数万点、分析されており、各地の須恵器の化学特性は求められている。そして、これらのデータを駆使し、多数の産地推定の実例も報告されているので、以下に、その中の代表的なものについて紹介する。

## 6) 古墳時代の土器の産地推定<sup>14)</sup>

各地の豪族の首長クラスの人物の墳墓が古墳である。古墳には方墳、円墳、前方後方墳、前方後円墳などのいくつかの形がある。また、古墳の全長が500メートルクラスまでの種類の古墳がある。現在、考古学では古墳の形と大きさが被葬者の政治的ランキングを示すと考えられている。この古墳から出土する

土器が須恵器と埴輪である。これらの土器はきわめて政治的な意味をもった土器であり、その生産と供給の関係の解明が注目される。

須恵器生産の技術が朝鮮半島から日本に伝えられた当初（5世紀代）の須恵器を初期須恵器という。初期須恵器の窯跡は大阪府堺市に20基程度見つけられており、倭の五王の配下で操業されたと考えられている。地方窯は福岡県、香川県、鳥根県、宮城県などの限られた地域でしか見つけられていないが、その中で最も注目されるのが、「筑紫の君」の配下で操業したとみられる福岡県甘木市の朝倉窯群（小隈、山隈、八並の3基の窯からなる）である。朝倉窯群と大阪陶邑窯群の間の二群間判別図は図10に示されている<sup>13)</sup>。図11のRb-Sr分布図からも予想されるように、両群は完全に相互識別される。その分布図上に、朝倉窯群周辺にある古墳群出土の初期須恵器をプロットしたのが図12である<sup>13)</sup>。当然のことであるが、地元、朝倉窯群の製品が多数検出されているが、驚くべきことには、陶邑産と推定される須恵器も相当数見つけられた。かって、田辺昭三氏は考古学的観察から、陶邑産の製品が一元的に全国各地の古墳へ供給されるという仮説を提出した。その後、地方窯が見つけられて、田辺説は挫折したかに見えたが、胎土分析によって、陶邑産の須恵器が九州北部地域の古墳へ供給されたことが立証された訳である。

佐賀市には神籠池窯という初期須恵器の窯が見つけられている。朝倉窯群の性格を知る上で、神籠池窯の製品の供給範囲が注目された。図13に神籠池窯の須恵器のRb-Sr分布図を示してあるが、この分布図から予想されるように、二群間判別による両群の相互識別は完全である。さらに、この図上に、神籠池窯周辺の古墳から出土した初期須恵器をプロットしたのが図14である。地元、神籠池窯の製品はごく少数しか検出されないが、朝倉窯群の製品と、それを上回る数の大阪陶邑産の初期須恵器が検出される点が注目される。朝倉窯群、および、神籠池窯周辺の古墳出土須恵器の産地推定の結果は、表1、2にまとめられている<sup>15)</sup>。ここで、注目されるのは、神籠池窯の製品はこの窯周辺の古墳でしか検出されないことである。これに対して、朝倉窯群の製品は周辺の古墳のみならず、佐賀県側の古墳にも一方的に供給されているのである。現在、朝倉窯群の製品は筑前、肥前の地域の広域首長連合である、筑紫の君の領域内ではしか伝播しないと考えられている。同様に、他の地域の窯の製品も、窯周辺の古墳にしか供給されておらず、各地の初期須恵器の製品は各首長連合内での、祭祀道具として採用されたことがうかがわれる。これに対して、大阪陶邑産の初期須恵器は全国各地の古墳へ一方的に供給されていたのである。現在、大阪陶邑産の初期須恵器は南は鹿児島県、大隅半島の横瀬大塚古墳、北は山形市のお花山古墳群にいたるまで、全国各地の古墳から検出されており、田辺氏による陶邑一元供給仮説を裏付けたことになる。陶邑からの祭祀道具としての須恵器の一元供給は倭の五王によって推進されたとみられる。このことは倭の五王による古代ヤマト王権が確立したことを示している。古墳時代の須恵器、とくに5世紀代の須恵器にはもう一つ重要な問題がある。それは朝鮮半島産の陶質土器か日本産の須恵器かという問題である。とりわけ、初期須恵器の中に、形式上、陶質土器か須恵器か判別し難いものがあり、考古学者を悩ませてきた。その原因は初期須恵器の製作技術が日本へ伝えられたのは、技術だけが伝えられたのではなく、この技術をもった工人集団が渡来し、陶質土器と見分けのできない須恵器を製作したことに原因があると思われる。それが時代が下るにつれて、日本に定住した工人集団の子から孫へと世代交代を重ねていくうちに、須恵器型式も次第に日本化し、日本独特の須恵器を製作することになったのだろう。この時期に入ると、陶質土器か須恵器かという問題に考古学者も悩まされなくなる。

大阪陶邑内に数年前、大庭寺1号、2号窯という2つの初期須恵器の窯跡が発見された。この発見が考古学者を驚かせた理由は、それらの窯から出土した須恵器は型式からみて、陶質土器と見分けがつかなかっ

たのである。ところが、伽耶群と陶邑群の2群間判別分析でその胎土は陶邑産であることが判明した。両群の2群間判別図を図15に、また、この図上に大庭寺窯の須恵器をプロットした結果を図16に示してある<sup>16)</sup>。大庭寺窯では朝鮮半島から渡来した工人集団が陶邑の粘土を素材として須恵器を製作したのである。いま、日本各地の5世紀代の古墳からは陶質土器か陶邑産の須恵器か考古学者が判断に迷う硬い土器が出土している。しかも、胎土分析で、これらのほとんどが陶邑産の須恵器であることが立証されてきている。大庭寺窯のような、渡来の工人集団が動かした窯が陶邑内にまだ他にあることも予想される。これらの製品を倭王は各地の豪族の墳墓へ供給させたのであろう。このように考えると、陶質土器か須恵器かの判別がつかない土器が、朝鮮半島には距離的に近い九州北部地域の古墳からあまり出土せず、むしろ、四国、山陽地域、畿内、関東などの東国の古墳から出土する理由がよく理解できるのである。いずれ、この問題は胎土分析を徹底的に遂行することによって解決できるものと思われる。

埴輪も古墳の周囲に並べられた祭祀道具である。その生産・供給体制についてはほとんど解明されていないし、埴輪が古墳に並べられた意味についても統一の見解がある訳ではない。4世紀代の埴輪は野焼きで製作されたといわれるが、5世紀代に入ると、須恵器生産の影響をうけ、大量生産の目的をもって窰窯で大量に焼成されることになった。その結果、古墳の周囲には大量の埴輪が並べられることになる。河内の羽曳野市には通称、古市古墳群と呼ぶ古墳群がある。この地域内には誉田白鳥、土師ノ里窯群があり、応神天皇陵、その他の古墳へ埴輪を供給したことが胎土分析によって明らかにされている。他方、摂津三島野には継体系の豪族の古墳群があり、その中に、10数基の窯からなる新池窯群がある。考古学者が継体陵だという今城塚古墳や、宮内庁が継体陵と指定してしている太田茶臼山古墳にも新池窯の製品が検出されている<sup>17, 18)</sup>。年代的には太田茶臼山古墳の方が古く、もし、考古学者が指摘するように、今城塚古墳が継体陵であるとする、太田茶臼山古墳には継体の父か祖父に相当する人物が埋葬されていることになり、既に、この段階から、埴輪窯群を要するくらい大きな勢力を継体系は摂津三島野に築いていたことになる。古墳における古市系と摂津系の埴輪の分布模様はこの時期の政治情勢を探る上にきわめて興味深いものがある。埴輪の胎土分析もまた、古墳時代の歴史研究には重要な役割を果たすものと期待される。

## 7. 平安時代の須恵器への適用

古墳時代から奈良・平安時代へと時代が大きく遷回するとともに、須恵器の用途も祭祀道具から日常生活の道具として変わってくる。当然、須恵器需要の著しい増大が予想される。この時期に入ると、現在の2～3県程度の地域内につくくらいの割合で、数10基以上の窯をもつ大規模窯群が形成される。いわば、須恵器生産工場ともいえるものである。各地にあるこれら大規模須恵器窯群の製品は一体どこへ供給されていったのだろうか。勿論、延喜式という文献にもみられるように、摂津、播磨、讃岐、美濃などのような須恵器生産地の製品は「調」という租税として、平城京や平安京へと須恵器を供給したのであろう。同様に、ヤマト朝廷の地方出先機関である各地の「国が」へも供給されたものと想像される。中央ではなく各地方の須恵器の伝播状況については目下のところ、文献には記されていない。もしかしたら、古代地方行政の展開についての何らかの情報をもっている可能性もあるのである。また、現代のように、製品を動かす原動力は圧倒的に大きい商業力という訳にはいかないのである。何かにつけて、役所の力がものをいう時代である。したがって、各地の大型須恵器窯群は官窯とはいえないまでも、それに近いような性格をもっていた可能性があるのである。このような目的をもって研究を展開する上には、律令制の施行が遅れ、比

較的、政治機構の簡単な東北地方がフィールドとして着目された。東北地方にも8世紀頃から須恵器生産が始められるが、本格的な操業に入るのは9世紀代である。この時期に、会津若松市に大戸窯群という、東北地方最大規模の須恵器窯群がある。東北地方の窯跡出土須恵器の分析データから、宮城、福島両県の太平洋側の窯の製品にはK、Rb量が少ないという特徴があることが分かった。これに対して、新潟、山形などの日本海側の製品には対照的に、K、Rb量が多く、そのため、両者の識別は簡単であることが分かっている。大戸窯群の須恵器にはFe量が少なく、一見して、東海産の須恵器と見間違ふ。この大戸窯群産の製品にはK、Rb量も多く、この製品が多賀城などの太平洋側の遺跡へ供給されると、容易に検出することができる。実際、大戸窯群産の製品は多賀城はじめ、宮城・福島両県の「官が」クラスの遺跡から多数検出されたのである<sup>19)</sup>。しかも、その器種をみると、長頸瓶、短頸瓶などの大型製品がほとんどである。多賀城の近くには坏類などの小物製品を大量に生産した河南町窯群がある。破損し易い小物製品は近くで作らせ、ふんだんに消費したものであろう。そして、良質の粘土の産地である会津若松市周辺で、大型の甕、壺類を作らせ、それぞれ、「官が」クラスの遺跡へ供給させたものと推察される。しかし、不思議なことに、大戸窯群の製品は日本海側の遺跡からはほとんど検出されていないのである。ヤマト朝廷の東北支配の要として、太平洋側には多賀城が、そして、日本海側には秋田城が設置された。この秋田城に大戸窯群の製品が見つからないのである。別ルートの製品が秋田城へ供給されていたはずである。多賀城に対する河南町窯群のように、秋田城に対しては秋田城周辺窯群がある。しかし、大戸窯群に対応するような大規模窯群の存在は目下のところ、確認されていない。横手盆地には50基程度の中規模窯群の存在は確認されているが、果たして、横手盆地窯群の製品が秋田城へ大量に供給していたかどうかは現段階では不明である。

もう一つの問題は北海道の遺跡から出土する須恵器の産地問題である。考古学ではこれまで、これらの須恵器は、青森県五所川原窯群の製品であると考えられてきた。ところが、胎土分析によって、これらの須恵器は必ずしも、五所川原窯群の製品ではなく、その大部分は東北地方から北陸地方へかけての、日本海側の製品であることがわかってきた。さらに、下北半島や津軽半島の遺跡は勿論、五所川原市内の遺跡からさえ、この手の須恵器が検出されたのである<sup>20)</sup>。現在、これらの須恵器は9世紀代のものと推定されており、五所川原窯群が操業に入る前の段階で、外部地域から搬入されたものと考えられている。これらの搬入品は単純に、1～2ヶ所程度の産地から供給されたものだけでなく、何ヶ所かの生産地から供給されたものと推定されており、所謂、エゾ地の9～10世紀代における外部地域との交流についての情報をもたらすものと期待されている。

このような問題は日本各地にあり、平安時代の、地方の須恵器の伝播・流通の様相はこれまでの古代史では明らかにされていないだけに、興味深い情報をもたらすものと期待される。

## 8. 中世陶器への適用

律令体制下で営まれた古代須恵器生産は律令体制の崩壊とともに消え去る運命をもっていた。須恵器生産とは古代最大の窯業生産であった訳である。しかし、焼き物の必要性はなくなった訳ではない。貴族に代わって、武士や商人などの新しい社会階層が時代の主役として登場する中世に入ると、登り窯で高温で焼成する硬い焼き物が再び登場する。これが常滑陶器や越前陶器などで代表される中世陶器である。須恵器も平安時代後半にはまとまったところで大量に生産されたが、その傾向は中世では一層強まり、常滑では1000基を越える窯跡があったといわれている。このように、須恵器に比べてまとまったところで作

られた中世陶器は考古学者たちによる肉眼観察でその産地が特定できることが多いといわれている。それでもなお、肉眼観察だけでは判断できない場合もあり、胎土分析が必要である。

多くの場合、中世陶器の生産地は平安時代の須恵器生産地と重複するが多い。それはこれらの地域では良質の粘土を産出するからである。会津若松市の大戸須恵器窯群でも中世陶器を生産した。越前陶器を生産した福井県武生市宮崎村でも、越南窯跡群という須恵器生産地があった。常滑陶器も然りである。したがって、これらの中世陶器の胎土は須恵器胎土と類似するが多い。このことは須恵器生産も中世陶器の生産も地元の粘土を素材としたことを物語る。

中世陶器はその搬出の際、交通の要所をおさえる武士団の制約を受けたとはいえ、売買によって利益を得ようとする商人達のたくましい「商業力」によって全国各地へ送られていった。その広がり、分布、さらには、運搬通路、運搬機構など解明されていない点も多い。これらの問題を解明するため、一つの方法として、中世陶器の胎土分析も行われることになった。越前一乗谷の朝倉氏館跡からは各地の中世陶器が出土しているが、肉眼観察で越前陶器と推定されたものの7割程度は胎土分析でも越前陶器と確認された<sup>21)</sup>。奥州平泉の藤原氏柳之御所遺跡からも大量の常滑陶器が出土しているが、珠洲陶器の研究者である、国立歴史民族博物館の吉岡康暢教授から依頼された「珠洲陶器と疑わしい陶器」も胎土分析によって、珠洲陶器と判断された。珠洲市以外の地域で生産された珠洲陶器類似品（これを珠洲系陶器という）はほとんど検出されなかった。この結果、奥州藤原氏の居館へ、日本海コースをとって搬入した焼き物があることが判明した<sup>22)</sup>。

山茶碗は中世、民衆の間でも広く使われた焼き物である。その生産は瀬戸から美濃、尾張、知多・渥美両半島へかけての地域で行われた。山茶碗は須恵器と同様、その形がどこの製品も類似しているところから、その流通の広がりを追跡する研究には胎土分析が不可欠である。図17には瀬戸の製品と常滑の製品の相互識別の結果を示してある。また、これらの地域の窯跡出土山茶碗のRb-Sr分布図を図6に示しておいた。これらの地域には4因子からみて類似した化学特性をもつものが多く、産地推定には考古学的条件などを入れて、慎重に行うことが望ましい。これらの基礎データを使って、伊勢地域の遺跡出土山茶碗の胎土分析が行われた。瀬戸の製品はほとんどなく、大半が知多・猿投窯群の製品であった。そして、一部の遺跡には渥美半島の製品も搬入されており、伊勢湾を利用した海上交通によって、山茶碗が搬出されていたことがうかがわれる<sup>7)</sup>。山茶碗の流通に関する研究も今後、さらに、大々的に推進されることが期待される。

## 9. 地球化学試料への適用

これまでは各地の土器にみられる地域差を利用して、古代・中世土器の産地推定を行った結果について紹介してきた。では、この地域差の原因は一体何なんだろうか。窯跡出土須恵器の素材粘土が在地のものであるとすると、どの地域においても、化学特性はよくまとまっているところから、人為的なものではなく、地質的なものが原因であろうと大方の推察はつく。この原因を追究するためには、大掛りな研究が必要である。筆者はこの研究の第一歩として、日本列島の地質の基盤を構成する全国各地の花崗岩類をこの方法で分析してみることにした。この方法というのは、試料採集の方法が従来からの岩石学や地球化学分野で行われている方法とは異なり、花崗岩類で構成されている山や半島などで、多数の岩石小片を採集してきて分析し、その山や半島を構成する花崗岩類の化学特性を推計しようというのである。一例として、福井県敦賀半島と青森県八戸市の階上岳の花崗岩類のRb-Sr分布図を図18、K-Ca分布図を図

19に示してある<sup>23)</sup>。それぞれ、まとまって分布しており、敦賀半島、階上岳としての化学特性をもっていることがわかる。そして、何よりも注目される点は東日本の階上岳の花崗岩類にはK, Rb量が比較的少なく、逆に、Ca, Sr量が比較的多いのに対し、西日本の敦賀半島の花崗岩類には、これと対照的に、K, Rb量が多く、Ca, Sr量が少ないという点である。この傾向はまさに、東日本と西日本の窯跡出土須恵器のもつ一般的傾向と驚くほどよく一致するではないか。筆者はこのデータをみたとき、ある種の興奮を覚えた。地質学者や岩石学者がいうように、日本列島の基盤は同質ではなく、2つの異質なものから成り立っているのではないだろうか。それが窯跡出土須恵器の化学特性として残存しているのではないだろうか。現在、筆者の手元には、朝鮮半島も含めて、日本列島各地の花崗岩類の4000点を越える試料の分析データがある。東日本の花崗岩類のRb-Sr分布図を図20に<sup>23)</sup>、そして、東日本と西日本の花崗岩類の比較を図21に示してある<sup>24)</sup>。明らかに、西日本の花崗岩類にはRb量が多く、Sr量が少ないのに対し、対照的に、東日本の花崗岩類にはRb量が少なく、Sr量が多いことがわかる。そして、RbとSrは逆相関状に分布する点が注目された。この微量元素にみられる傾向は一体、何を意味しているのだろうか。この意味を解説するためには、Rb, Srが花崗岩類の中のどの鉱物中に存在するかを知らなければならない。花崗岩類を構成する主成分鉱物は石英( $\text{SiO}_2$ )、長石類(一般式は $\text{WZ}_4\text{O}_8$ で、WはNa, K, Ca, Ba, ZはSiとAlである)、雲母類(一般式は $\text{W}(\text{X}, \text{Y})_{2-3}\text{Z}_4\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ でWはK, Na, XとYはAl, Li, Mg,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ である)、輝石族(一般式は $(\text{W})_{1-p}(\text{X}, \text{Y})_{1+p}\text{Z}_2\text{O}_8$ でWはNa, Ca, XはMg,  $\text{Fe}^{2+}$ , Mn, YはAl,  $\text{Fe}^{3+}$ , Ti, ZはSi, Alである)、角閃石族(一般式は $(\text{W}, \text{X}, \text{Y})_{7-8}(\text{Z}_4\text{O}_{11})_2(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_2$ でWはCa, Na, XはMg,  $\text{Fe}^{2+}$ , YはTi, Al,  $\text{Fe}^{3+}$ , ZはSiとAlである)である。また、岩石学的な記載がある約700個の火成岩の平均鉱物組成をみると、石英12.0%、長石59.5%、輝石・角閃石16.8%、黒雲母3.8%、その他7.9%である<sup>25)</sup>。したがって、花崗岩類中のKの主要な存在鉱物は長石であり、Caもまた長石中にその大半が含有されたものと推察される。そして、RbとK、SrとCaの正の相関性を考慮に入れると、微量元素Rb, Srは主成分元素K, Caとともに長石中に含まれていた可能性がもっとも高い。そして、長石類はKを含むカリウム長石、Caを含む斜長石、Naを含む正長石からなることを考慮に入れると、K, Rbは主として、カリウム長石に、Ca, Srは主として斜長石中に存在したことがわかる。そうすると、RbとSr、KとCaが逆相関状に分布するということはカリウム長石と斜長石が自然界には逆相関状に分布することを物語る。前者は大陸を構成する花崗岩類中に多く含まれ、後者は海洋低プレートを構成する玄武岩類の中に多く含まれる。日本列島を構成する花崗岩類が2つの異質なものから成り立っているのではないかと述べたが、実はこの2つの異質なものは長石類にみられる花崗岩(大陸)的なものと、玄武岩(海洋)的なものことである。そして、日本列島はアジア大陸の東端に位置し、列島のすぐ東側では太平洋プレートが沈み込む。日本列島の基盤を構成する花崗岩類が大陸的なものと、海洋的なものからなるということは日本列島の置かれた位置に深く関係するのではないだろうか。もし、このような考え方が成り立つとすれば、花崗岩類や玄武岩類のようにマグマが地下で固まった岩石以外のもの、例えば、マグマが地下の浅所から噴出した火山灰にも、このような傾向が現れているはずである。筆者は青森、秋田、岩手県の東北地方北部地域の平安時代に比定される遺跡の地層から出土する火山灰の分析データも集積してきた<sup>26)</sup>。K, Ca, Rb, Srの4因子からみて明らかに異なる2種類の火山灰が検出されているのである。一つはK, Rb量が少なく、Ca, Sr量が多い東日本の花崗岩類と類似した化学特性をもっており、十和田a火山灰と考えられている。もう一



つの火山灰は全く対照的な化学特性をもっており、北朝鮮と中国の国境にそびえる白頭山の大噴火によって飛来した火山灰と考えられている。そして、両者が遺跡で見つけられるときには必ず、前者が下位火山灰である。十和田a火山灰の噴出年代は扶桑略記という書物によると、西暦915年といわれるが、白頭山火山灰の降下年代については目下のところ、正確に年代測定された報告はない。10世紀前半と推定されているだけである。K, Rb量を多く含む白頭山火山灰は実際にカリウム長石が多いという町田洋教授の報告がある<sup>27)</sup>。このように、K, Rb量が高い火山灰は現在、日本列島のどこの火山でも見つからないが、大陸側では、朝鮮半島の東側の日本海上に浮かぶウルルン島の火山灰も白頭山火山灰と類似した大陸型の化学特性をもつ。このように、火山灰にも大陸型と海洋型の2種類があることが判明した。では何故、花崗岩類には日本列島内でもK, Rb量の高い大陸型があるにもかかわらず、火山灰には大陸型がないのだろうか。このことは日本列島の花崗岩類と火山灰の生成した年代のずれが原因ではないかと考えられる。日本列島の花崗岩類の多くは中生代白亜紀に生成したものであるが、現在、我々が採集できる多くの火山灰は新生代第四紀のものである。日本列島の地下構造が地球進化の過程で中生代と新生代で変動したことが、その大きな原因ではないのだろうか。中生代には大陸型のマグマは日本列島の地下にあったことは大陸型の花崗岩類が日本列島に存在することが証明している。そして、新生代では大陸側には大陸型の火山灰が噴出しているにもかかわらず、日本列島には噴出していないという現実を説明するにはこのように考えざるを得ないのである。このようなことは仮説的な考えにすぎないが、いずれにしても、K, Ca, Rb, Srの4因子は日本列島の成り立ちについて重要な情報を秘めているものと思われる。日本列島の成因を論じるにはさらに大量のデータが必要であろう。

さて、最後に粘土について述べる。粘土の成因や、その生成過程についてはよくわかっていない。ただ、粘土研究者によると、粘土はその成因によって大きく2つに分類される。一つは岩石がその場でそのまま腐食して粘土化した残留粘土であり、他は岩石が風化によって破砕され、粘土化されていく過程で、河川などによって運ばれ、母岩とは別の場所に堆積した漂積粘土である。一般的には、生成した粘土が流されて別の場所に堆積した粘土を想定するので、いうなれば、2次粘土ともいうべきものである<sup>28)</sup>。窯跡出土須恵器の分析データを見ると、その化学特性が窯の後背地を構成する母岩の化学特性に対応する場合がほとんどである。例えば、新潟県五泉市にある五頭山はK, Rb量の高い花崗岩類でできた山である。この麓にある笹神丘陵に形成された窯跡群から出土する須恵器や中世陶器にもK, Rb量が他地域のものに比べて高い。同様なことは福井県敦賀半島の花崗岩類と福井県美浜町の興道寺窯の須恵器、埴輪、瓦の間にもみられる。逆に、阿蘇山の凝灰岩の上に形成された大分県中津市の伊藤田窯群や、関東ロームの上に形成された埼玉県南部地域の窯群出土須恵器にはK, Rb量は少ない。しかし、カリウム長石に比べて、斜長石の風化が早いせい、Ca, Sr因子にはK, Rb因子ほど明確な対応性がない。これらのことから、須恵器の素材粘土は残留粘土が主体となったものと推察される。もし、漂積粘土が主体となって須恵器が作られていると、窯跡出土須恵器に明白な地域差はみられないのではなかろうか。

このように、筆者は全国各地の窯跡出土須恵器にみられる地域差の原因を究明するために、地球化学的試料もこの方法を使って分析し続けている。

以上が筆者の研究室での研究状況であるが、完成途上のものが多い。完成に向かって、着々と道路開設工事をやっているようなものである。20年以上もわたって、このような研究を推進してきたが、それを支えていたのが「夢」を実現しようとする情熱だったのだろう。研究とは研究者に「夢」を与えるものなのだろう。

## 引用文献

- 1) 浅田栄一, 貴家怒夫, 大野勝美, 「X線分析」, 共立出版 (1968)
- 2) 三辻利一, 土器の蛍光X線分析法, 「第4紀試料分析法2」, p 458, 東大出版 (1993)
- 3) 三辻利一, 土器の産地を求めて, 「続 考古学のための化学10章」, p 105, 東大出版 (1986)
- 4) 三辻利一, 土器の産地推定, 考古学ジャーナル No. 239, 37 (1984)
- 5) 三辻利一, 「古代土器の産地推定法」, ニューサイエンス (1983)
- 6) A. Ando, N. Mita, S. Terashima: Geostandards Newsletter, 11 p159 (1987)
- 7) 三辻利一, 山茶碗の蛍光X線分析, 三重県埋蔵文化財センター「研究紀要」第3号, p 83 (1994)
- 8) 三辻利一, 蛍光X線分析法による古代土器の産地推定法の開発, 理学電機ジャーナル, 25, p 32 (1994)
- 9) 田中豊, 脇本和昌, 「多変量統計解析法」, 現代数学社 (1984)
- 10) 奥野忠一, 久米均, 芳賀俊郎, 吉澤正, 「多変量解析(改訂版)」, 日科技連 (1981)
- 11) 三辻利一, 土器の産地推定, 「新しい研究法は考古学になにをもたらしたか(改訂版)」, p 265, クバプロ (1995)
- 12) 三辻利一, 阿部雅浩, 中野幸廣, 九州北部地域の初期須恵器の放射化分析, 日本文化財科学会第12回大会要旨 (1995)
- 13) 三辻利一, 岡井剛, 杉直樹, 山口一裕, 日本の古代遺跡における朝鮮半島産陶質土器の検出(第2報), 考古学と自然科学 第18号, p 77 (1985)
- 14) 三辻利一, 初期須恵器の産地推定法, X線分析の進歩 第23号, p 205 (1992)
- 15) 三辻利一, 胎土分析からみた初期須恵器の伝播, 日本考古学協会春季大会研究発表要旨(1996)
- 16) 三辻利一, 今井加織, 大庭寺1, 2号窯出土須恵器の蛍光X線分析, 大庭寺遺跡 印刷中
- 17) 三辻利一, 吉田和美, 大船孝弘, 森田和伸, 大阪府下の窯跡出土埴輪の相互識別, 考古学と自然科学 第19号, p 13 (1986)
- 18) 三辻利一, 新池窯群出土埴輪の蛍光X線分析, 「新池」p 283, 高槻市教育委員会(1993)
- 19) 三辻利一, 石田明夫, 大戸窯群産須恵器の供給先, 日本文化財科学会第12回大会要旨(1995)
- 20) 三辻利一, 三浦圭介, 岡田康弘, 五所川原窯群産須恵器の蛍光X線分析, 日本文化財科学会第11回大会要旨 (1994)
- 21) 南洋一郎, 三辻利一, 大島めぐみ, 一乗谷朝倉氏遺跡出土中世陶器の蛍光X線分析, 一乗谷朝倉氏遺跡出土資料館紀要, p 15 (1992)
- 22) 吉岡康暢, 三辻利一, 金枝武志, 平泉・柳御所遺跡出土中世陶器の考古学的および自然科学的研究, 日本文化財科学会第12回大会要旨 (1995)
- 23) 三辻利一, 山本成顕, 伊藤晴明, 松山刀, 北海道、東北地方の花崗岩類と火山灰の化学的特性, X線分析の進歩 22, p 95 (1991)
- 24) 三辻利一, 化学分析による土器の産地の推定, 「新しい研究法は考古学に何をもたらしたか」, p 252, クバプロ (1998)
- 25) メイスン, 松井義人・一国雅巳訳, 「一般地球化学」, 岩波書店 (1970)
- 26) 三辻利一, 日本文化財科学会第9回大会要旨 (1992)
- 27) 田賀井秀夫, 「入門焼き物の科学」, 共立出版 (1974)
- 28) 町田洋, 火山噴火とボッ海の衰亡, 「謎の王国・ボッ海」, p 104, 角川書房 (1992)

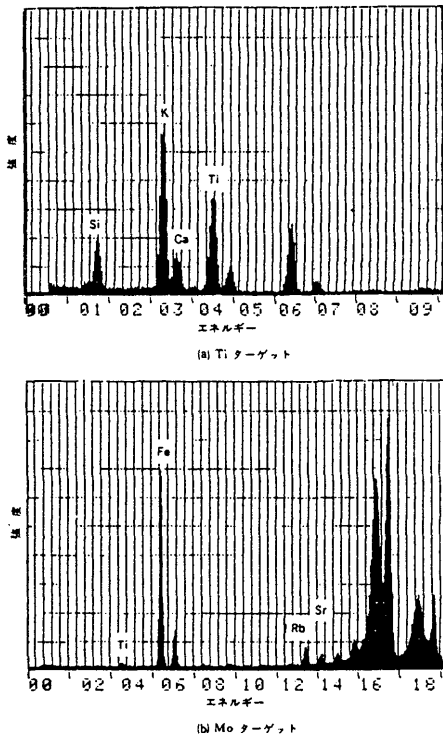


図2 エネルギー分散型スペクトロメータによる須恵器の蛍光X線スペクトル

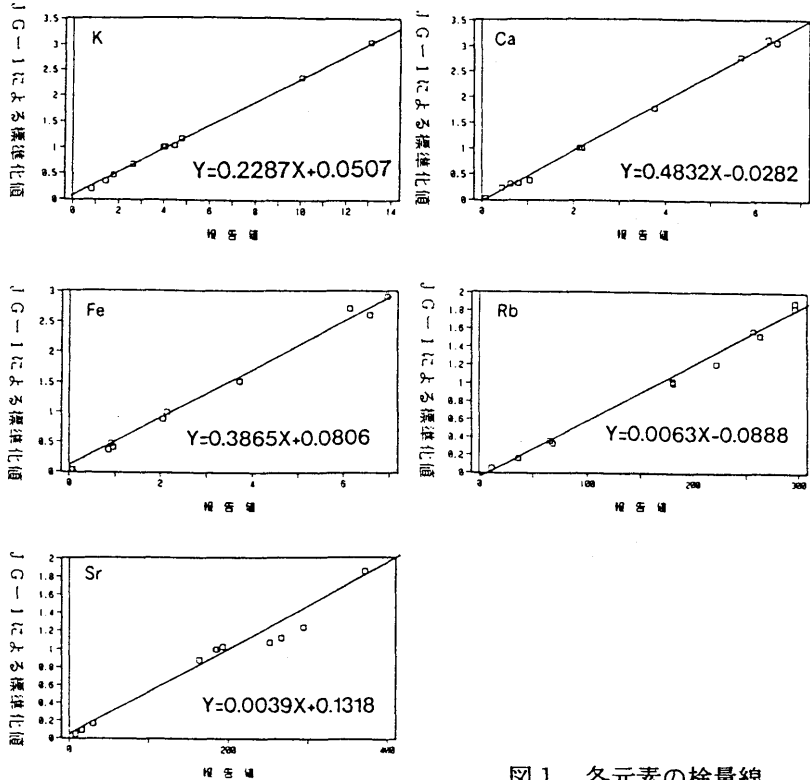


図1 各元素の検量線

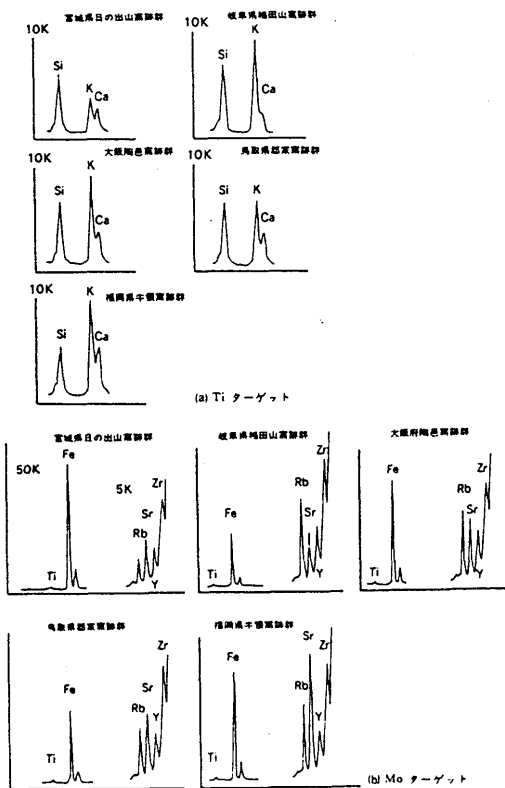


図3 各地の須恵器の蛍光X線スペクトル

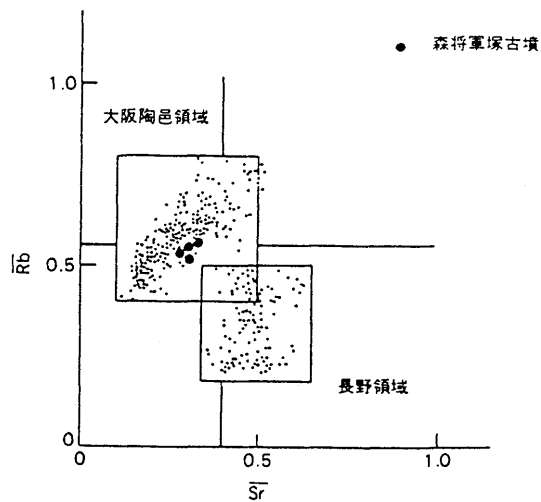


図4 陶器窯群の草間窯群のRb-Sr分布図

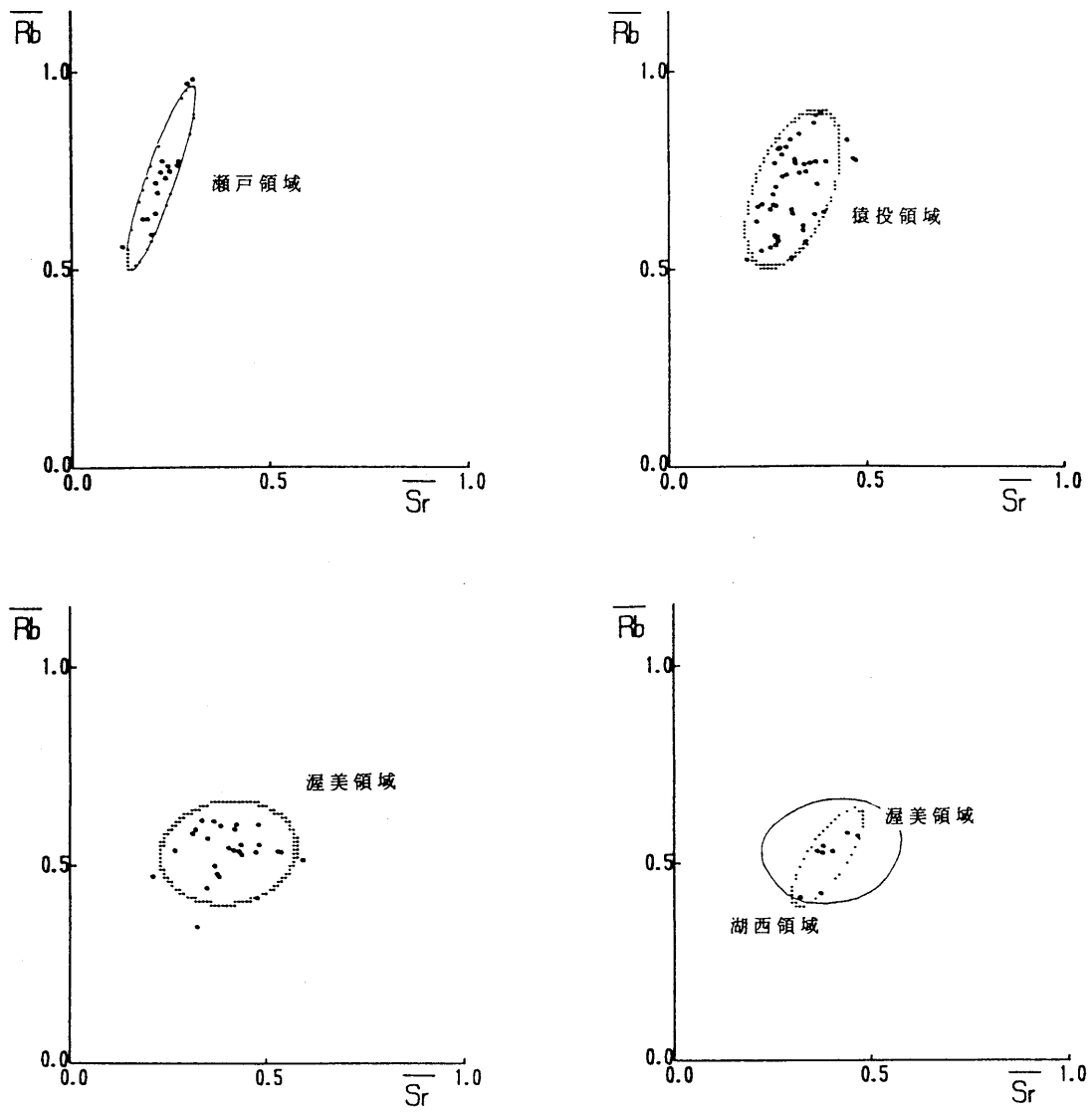


図5 等確率楕円法で描いた東海地方の山茶碗窯群の分布領域

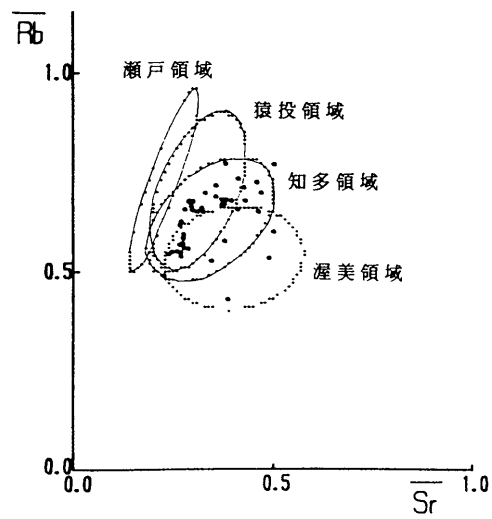


図6 東海地方の山茶碗窯群の地域差

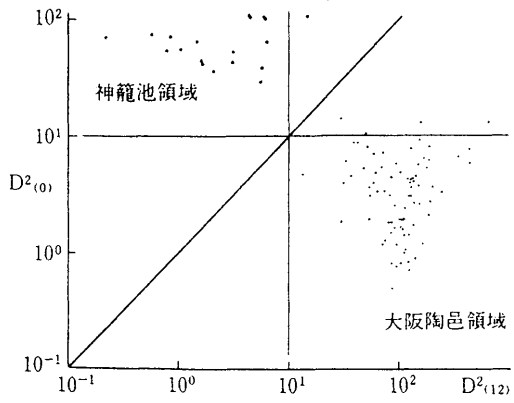


図7 神籠池群と大阪陶器群との相互識別(K, Ca, Rb, Sr因子使用)

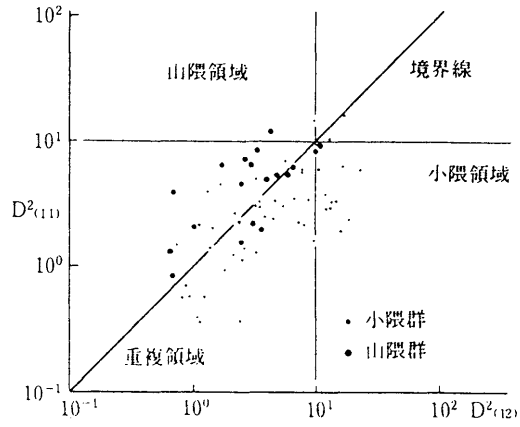


図8 小隈窯と山隈窯の相互識別(K, Ca, Rb, Sr因子使用)

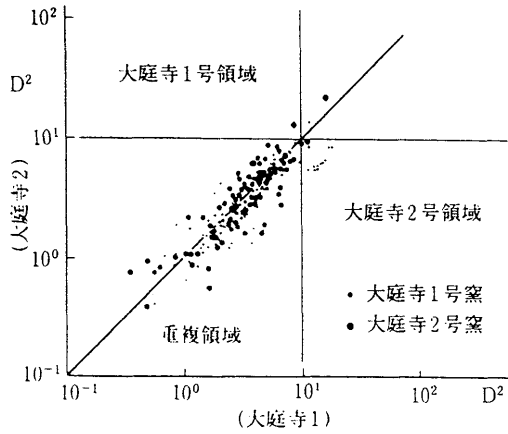


図9 大庭寺1号窯、2号窯の相互識別(K, Ca, Rb, Sr因子使用)

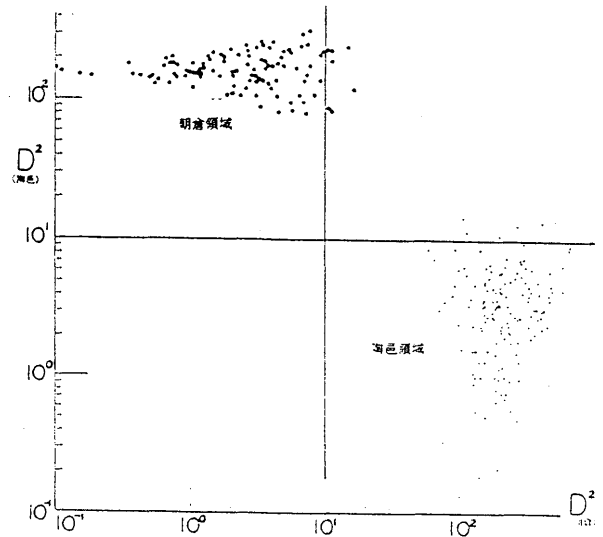
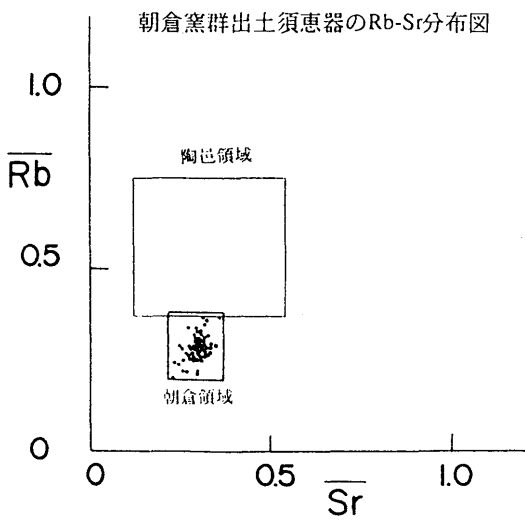


図10 朝倉群と陶器群の相互識別(K, Ca, Rb, Sr因子使用)



大阪陶器(大阪府南部)窯群出土須恵器のRb-Sr分布図

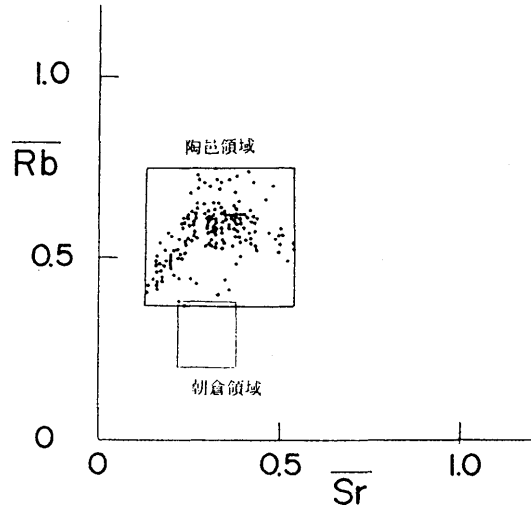


図11 朝倉窯群と陶器窯群のRb-Sr分布図

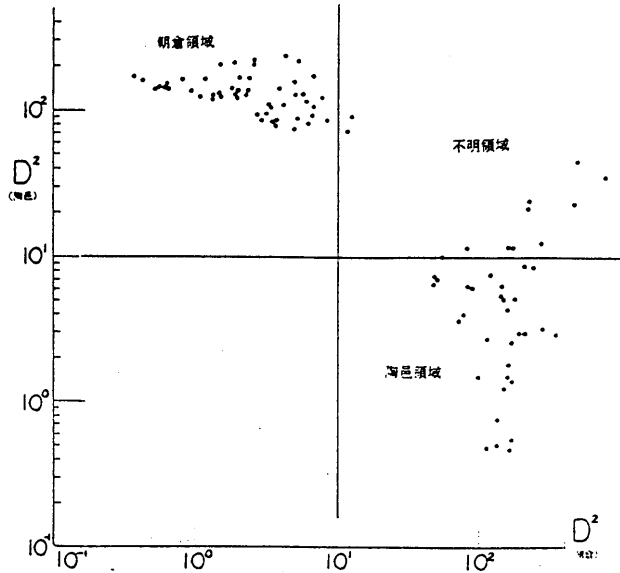


図12 朝倉窯群周辺の古墳出土初期須恵器の産地推定 (K, Ca, Rb, Sr 因子使用)

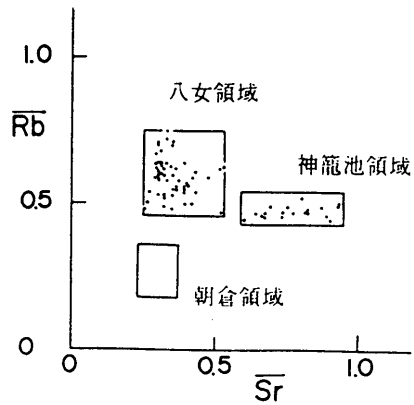


図13 八女窯跡群、神籠池窯出土須恵器のRb-Sr分布図

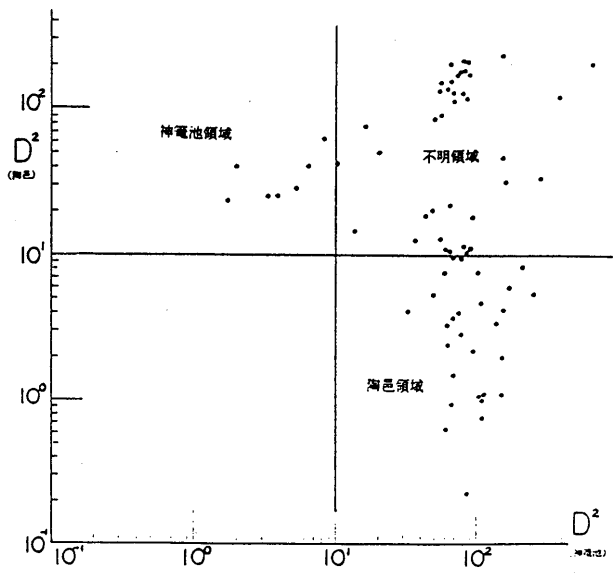


図14 神籠池窯周辺の古墳出土初期須恵器の産地推定

表1 朝倉窯群周辺の古墳出土初期須恵器の産地推定

古墳名	朝倉群産	陶邑産	不明
小隈古墳	22	0	0
三並梶原古墳群	2	4	0
乙植木2号墳	1	0	0
石人山古墳	4	5	0
井河1号墳	2	3	2
松木遺跡	2	0	0
瑞王寺	1	3	0
平原1号墳	1	2	0
平原5号墳	1	2	0
御塚古墳	0	3	2
立山山12号墳	3	5	0
有田街区2号住居跡	2	2	1
小田茶臼塚古墳	9	1	0
隈1、2号墳	3	3	0
三雲寺口遺跡	0	2	1
合計	53	35	6

表2 神籠池周辺の古墳出土初期須恵器の産地推定

古墳名	神籠池産	朝倉群産	陶邑産	不明
赤司遺跡	0	0	1	1
碓石遺跡	0	4	2	1
金立開拓遺跡	0	0	8	0
藤附K遺跡	0	0	1	0
久保泉山遺跡	3	0	1	0
西原遺跡	0	1	0	0
鈴期遺跡	3	4	4	0
猿獄A遺跡	0	1	1	0
野田遺跡	0	0	1	0
下中杖遺跡	0	0	2	2
東尾犬塚遺跡	0	1	0	0
土生遺跡	0	0	0	2
合計	6	11	21	6

飯盛遺跡	0	4	5	4
------	---	---	---	---

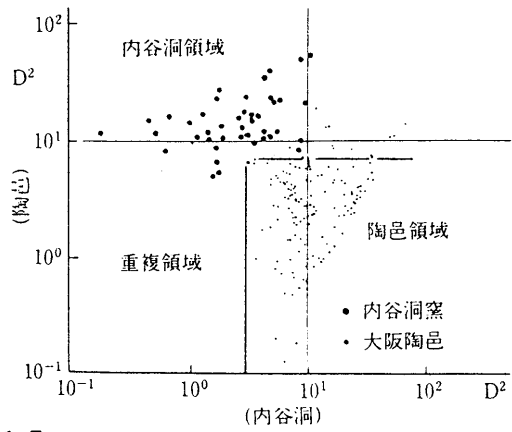


図 15 大阪陶器群と内谷洞群の相互識別(K, Ca, Rb, Sr因子使用)

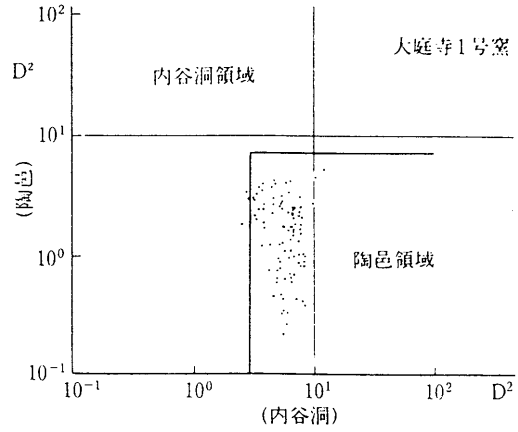


図 16 大庭寺1号窯出土初期須恵器の産地推定

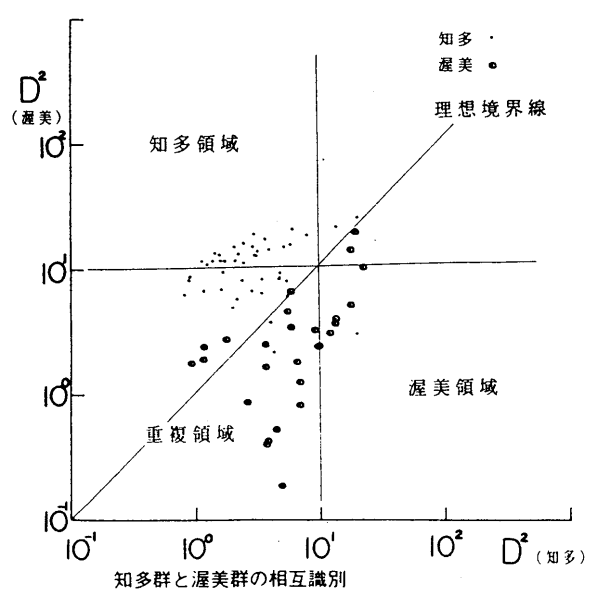
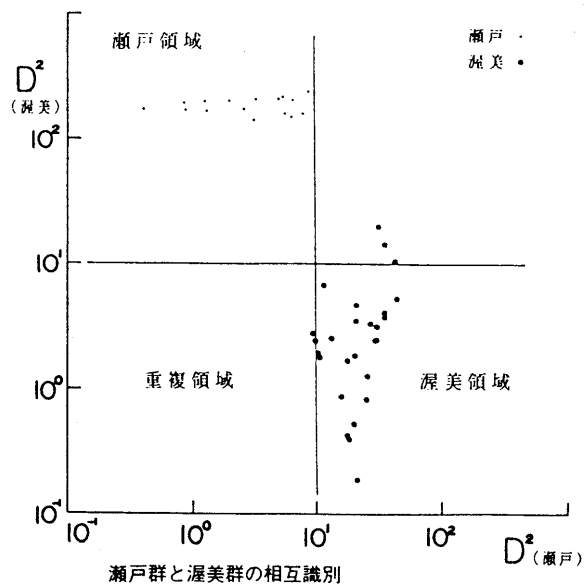
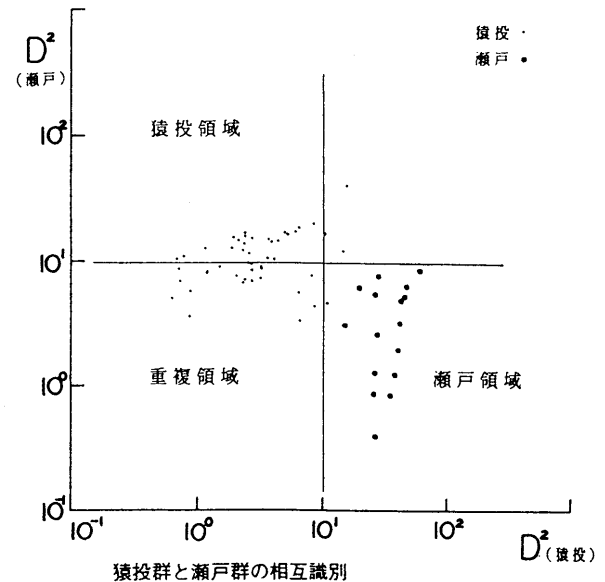
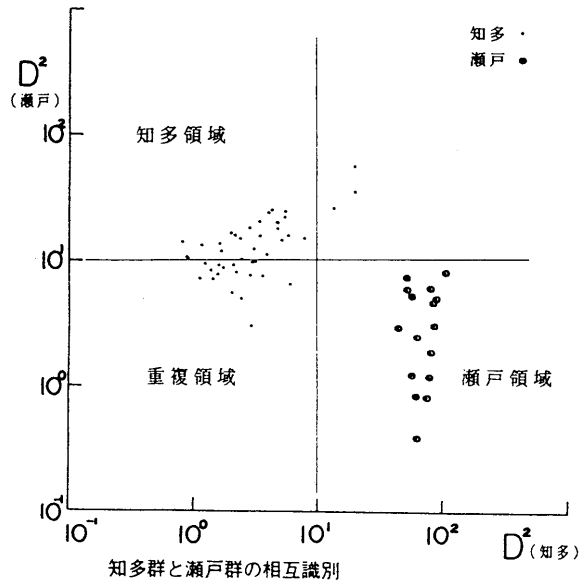


図 17 東海地方の山茶碗窯群の2群間判別図

Table 1 Localities of granitic rocks collected in Hokkaido and Tohoku districts

Hokkaido 北海道		
1. Hurano city (釧路野市)	17. Taro-cho Nakakura (田老町中倉)	
2. Uryu-jun (湧別郡)	18. Miyako city Hosogoe (宮古市福越)	
3. Hiroo-cho (広尾町)	19. Iwazumi-cho Matsuyashiki (岩泉町松屋敷)	
Aomori pref. (青森県)		
1. Iwasaki-mura (岩崎村)	21. Iwazumi-cho Ohbiro (岩泉町大広)	
Iwate pref. (岩手県)		
1. Tamayama-mura (玉山村)	22. Yamada-machi Yamatani (山田町山谷)	
2. Tokidateyama (時館山)	23. Yuda-machi (湯田町)	
3. Ichinohe-machi (一戸町)	24. Waga-cho (和賀町)	
4. Yamagata-mura (山形村)	Akita pref. (秋田県)	
5. Hiraniwa heights (平尾高原)	1. Kawabe-cho (河辺町)	2. Tazawako-machi (田沢湖町)
6. Kuji city (久慈市)	Miyagi pref. (宮城県)	
7. Noda-mura (野田村)	1. Kinkazan island (金剛山)	
8. Iwazumi-cho (岩泉町)	Yamagata pref. (山形県)	
9. Ohtanabe coast (大田名部海岸)	1. Shinjo city Kamuro damu (新庄市神室ダム)	2. south of Nagai city Kijiyama damu (長井市木地山ダム南)
10. Hudai-mura (奥代村)	3. Asani mountains (阿蘇山地)	
11. north-east of Numabukuro (沼袋北東)	Fukushima pref. (福島県)	
12. Hosozawa (細沢)	1. Iwashiro-machi (岩手町)	2. Kawamata-machi (川俣町)
13. north of Iwazumi-cho Natsubushi (岩泉町夏面北)	3. Name-machi (浪江町)	4. Ohkuma-machi (大曲町)
14. north of Iwazumi-cho Uchizawa (岩泉町内沢北)		
15. Taro-cho Kurumihata (田老町胡蝶畑)		
16. Taro-cho Ohhira (田老町大平)		

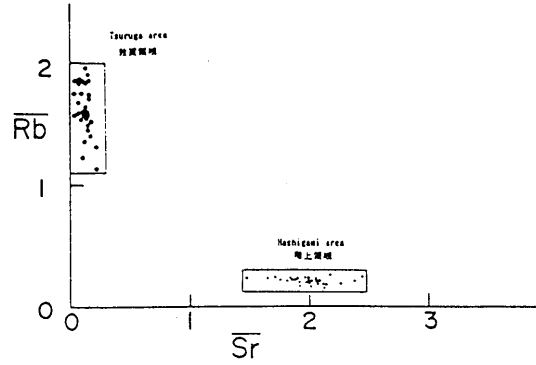


図18 敦賀半島、階上岳の花崗岩類のRb-Sr分布図

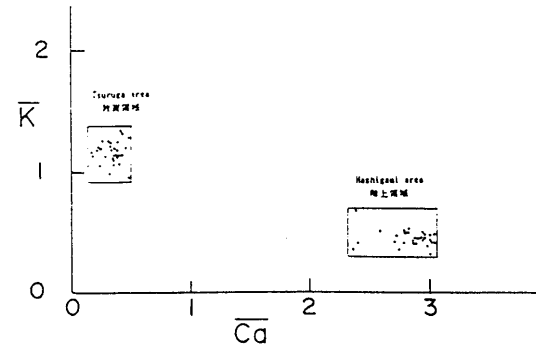


図19 敦賀半島、階上岳の花崗岩類のK-Ca分布図

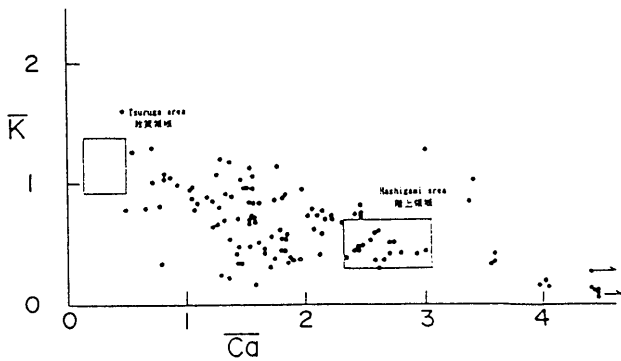
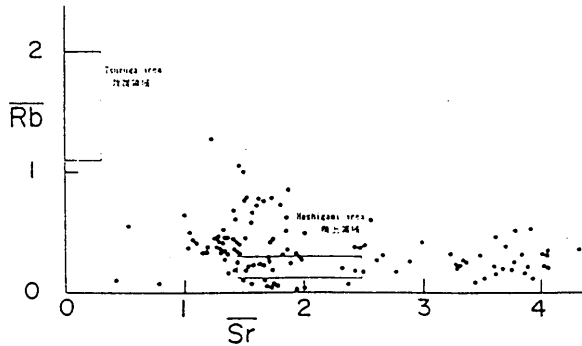


図20 東日本の花崗岩類のRb-Sr分布図  
東日本の花崗岩類のK-Ca分布図

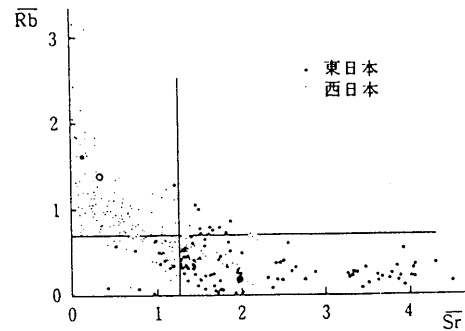


図21 西日本と東日本の花崗岩類のRb-Sr分布図



## 研究紹介-2

### 地球化学的比較標準物質と放射化分析

金沢大学・理学部・放射化学講座

坂本 浩

本研究会幹事氏より標題についての「研究報告」を求められた。筆者は“放射化分析”を特に自分の専門とは考えていないが、隕石や地球岩石の構成元素の元素組成に関心があることから、主に日本地質調査所 (GSJ; 以下、地調) 発行の比較標準岩石試料 JB-1やJG-1、米国地質調査所 (USGS) のW-1, G-1などのお世話になりながら京大炉や東北大電子LINACで中性子及び光量子放射化分析 (NAA及びPAA) を行ってきた。そのうち、JG-1の推奨値 (recommended values; 保証値 certified values ではない) に疑問が生じて、恐る恐る放射能屋の仲間に打ち明けると“そうだそうだ”ということになり<sup>1, 2)</sup>、やがて新発行試料が送られてくるままに、これらの協同分析が我々の machine time を結構占領するようになってきた。数年前には、韓国資源エネルギー研究所 (現在は Korean Inst. Geol. Mining and Materials, KIGAM と改称) から6種の新調製試料が送られてきた。結果については、ある程度の纏まりがあった所で随時発行元へ報告してきたが、これらについての一通りの「研究報告」を最近行ったばかりである<sup>3, 4, 5)</sup>。さらに、このところひょんなこと (昨年インド Poona 大へ招へいされて各地を周遊また MTAA-9 で韓国を再訪して元々好物のスパイシーな料理を堪能したこと、丁度、NAA に興味をもつパキスタン原研の Dr. Zaidi が学振招へいで筆者の所に滞在開始したこと) から、植物の種子・根菜試料-各地からのスパイス18種32試料と豆類10種16試料-の放射化分析 (NAA, PAA) を試みるはめとなった<sup>6, 7)</sup>。この際には植物葉ばかりであるが異なる発行機関からの比較標準試料 (CRM Bowen's Kale, NBS-SRM-1573 Tomato leaves, NIES No.7 Tea leaves) のお世話になり、標準試料自体の相互比較が必要であった。このようなことから、標準試料の user として、また放射化分析に限った共同分析への参加者としての立場から、本「研究報告」では論文に書いてない「裏話」の辺りを報告してみよう。プラス・マイナスを含めて大方の参考となれば幸いである。

当たり前のことながら、化学分析に限らず、物質の諸性質の値付けは、その値が真でかつ所要の精度であることは必須である。理想的には誰が何回分析しても同じ結果が得られなければならない。このことは実際には仲々容易でなく、そのために度量衡の絶対基準を決めたり、あるいは約束基準を設けておいてこれに準拠した値付けを行うと便利である。殊に貿易工業商品や医薬品・食料など保健に係わる品質の保証は勿論、科学分野のすべてにおいて、このための努力は長い歴史をもつ。信頼保証の一つは、値付けの“方法”の標準化であり、各国の公定分析法の制定や国際標準化機構 ISO、世界保健機構 WHO など国際的合意による“方法”の取り決めである<sup>8)</sup>。もう一つは正確な特性値を保有・運搬する“標準物質”の作製と頒布である。標準物質は ISO の定義 (Guide 30) があり、“一つ以上の特性値が、機器の校正、測定方法の評価または測定値の指定に使うように、十分に確定された材料または物質”であり、その特性値が技術的に正当な方法で認証 (certify) され、認証団体により認証書 (保証書 certificate) または相当する文書が添付されているか、認証を索源できる (traceable) 物を認証 (保証) 標準物質 (CRM) と呼ぶ (Guide 31)。我々が、例えば化学分析を行う場合、天秤の分銅を使うような具合に、対象分析試料と同じ構造・組成をもつ CRM が使えて、これと“全く同じ条件”で分析すれば、両者の比較から、絶対濃度に換算できる訳で、誠に有難い。この比較用標準物質の認証付けにつ

いては3種の方法が認められている (Guide 35)。一つは高度の技術を有する機関が、所定の科学的根拠を持った方法で基本単位に直結するか、または基本単位に間接につながる測定を行った結果である場合、二つ目は計量学的に測定の条件や手順が明確でよく検討された2つ以上の方法で測定された値である場合、三つ目はほぼ同じ技術水準をもつ機関が参加する共同実験でその結果について協議により科学的妥当性を検討した後に統計的な処理をすることを前提として測定を行った場合である。いずれの方法においても、一定の不確かさの範囲内で一致しなければ認証値にならない。従って、認証値にはその不確かさが付けられていなくてはならない。それぞれの CRM には保存方法や取り扱い上の注意を含めた使い方も付記されていて、これを守ったとしても、この誤差が付随していることと、“同じ条件で測定”すればという点でその使い方は結構難しい (Guide 35)。経験的に思うことは、使っている CRM の値の由ってきた内容への理解が必要であり、自分がそれによって校正しようとしている方法あるいは機器での値が保証過程へどう寄与し、その中で他の方法の値と比較してどうであったかを知ることが校正結果を吟味する上で極めて重要であるということである。

さて、本題の地球化学的 (及び環境分析) 比較標準の値付け認証法は、上記第3の共同分析方法が盛んに行われている。歴史的には、1951年、MIT の Fairbairn の提唱により USGS と Carnegie 地球物理研究所の支援で Rhode Island 産花崗岩 G-1 と Virginia 産輝緑岩 W-1 を調製、最初の共同分析結果を発表し<sup>9)</sup>、続いて1952年に11ヶ国35研究室へ配布して interlab. test を行ったのが嚆矢であろう<sup>10)</sup>。その結果、各国一流と目される分析者の値が主成分ですら必ずしも一致しなかったことから、一大反響を呼び起こした。その後、20余年にわたって、分析参加機関は倍々増し、あらゆる分析法が駆使されて主要・微量元素の膨大な定量値が蓄積され、また新しい分析法の改良・開発を促すことになった。この間、データの纏めが数年毎に行われて、その時点での推奨値 (recommended values) 及び推定値 (preferred or reasonable values) ないし参考値 (reference or working values) が公表されてきた。しかし、この種の標準試料の運命として、分析値が出揃ってきたときにはストック切れとなる。USGS は G-1 の再調製 (G-2) をはじめ、花崗閃緑岩 GSP-1、安山岩 AGV-1、玄武岩 BCR-1、かんらん岩 PCC-1、ダナイト DTS-1 を調製発行し、分析結果は1967年以降 Flanagan により幾度か纏められてきている<sup>11)</sup>。日本では地調安藤氏を中心に1967年群馬県沢入花崗閃緑岩から JG-1、1968年長崎県北松浦アルカリ玄武岩からの JB-1 の発行以来、上記のアメリカの例と同様の役割と運命をたどり<sup>12)</sup>、1982年以降再・新調製で現在では火成岩シリーズ 20種、堆積岩シリーズ 9種が発行されている<sup>13, 14)</sup>。因みに、環境試料についてはイギリス Reading 大学 Bowen による kale powder (芽キャベツ; Bowen's Kale) が古くから知られていて、分析値が最もよく揃っている1つであるが<sup>15)</sup>、1972年に NIST (アメリカ国立標準局、旧 NBS) から orchard leaves, bovine liver 等が出されて植物・動物の代表的標準となった<sup>16)</sup>。日本では国立環境研 (旧公害研) で不破、岡本両氏を中心に、1980年の NIES No. 1 リョウブ<sup>17)</sup> をはじめ10数種の植物、動物、堆積物等の環境分析用比較標準が作製・頒布されている。

ところで、これらの共同分析においてのより真に近い値を求めての認証作業は、前述の ISO の定める方式に従って専ら調製・発行元が行う。参加者側は得意とする方法で分担し、結果の報告を行うが、“科学的妥当性”の検討を行う協議は発行元任せ、ないし疑義に応答する。これは編集側の科学性を信用しているからであるが、立場を返せば、分担者側が信用されているからであり、それだけに責任重大である。でなければ、CRM は精度を優先する concensus の c となり、大きな bias を生む<sup>18)</sup>。筆者には、当初から自分達の“腕試し”という意図が大きかったが、中性子放射化という多元素同時分析の難しさと腕の悪さを痛感させられてきた。

さて、長い前置きはこれ位にして、先ず、我々の放射化分析を述べる。

GSJ 15種の火成岩シリーズについては報告3)では basalts (JB-1a, -2, -3)、rhyolites (JR-1, -2)、granites (JG-1a, -2, -3)、andesites (JA-1, -2, -3)、gabbro (JGb-1) は30元素、feldspars (JF-1, -2) と peridotite (JP-1) はそれぞれ27、25、21元素の分析値を報告した。報告4)は9種のGSJ堆積岩シリーズの結果で、sediments (JLk-1, JSd-1, -2, -3) と slates (JSl-1, -2) では30-31元素、limestone (JLs-1)、dolomite (JDo-1)、chert (Jch-1) ではそれぞれ23、26、28元素の値である。また、6種の韓国火成岩シリーズについては、NAA から31-33元素、PAA から19元素、重複があるから結果として主要元素8、微量元素32の計40元素である<sup>5)</sup>。

希土類元素 (REE) は、アルカリ溶融-REE 群分離 (HCl 系での陰イオン交換、ふっ化物沈殿、しゅう酸塩沈殿- $\gamma$ 測定)、Uは核分裂飛跡 (FT) 法と<sup>239</sup>Np (一部)、その他はINAA、但し、精度はないが Si と Alは金沢大でもつ14 MeV-中性子発生装置での (n, p) 反応を用いる INAAである。PAAも専ら非破壊である。GSJ 火成岩試料のハロゲン (I, Br, Cl) 分析-未公表-は RNAA、RPAA を随分試みたが得心のゆく結果に到っていない<sup>19)</sup>。方法の詳細は表報告<sup>3)</sup>に既述であるからここでは省略する。

これらの分析での分析標準が悩みである。REE は一次標準として高純度酸化物試薬の重量を基にして溶解・希釈し、また市販の原子吸光標準液を用いて、試料と同量程度の (~100 ng) のクロマト級 SiO<sub>2</sub> 上に一定重量を滴下・乾燥し、試料 (1カプセル10~15個) と同形で照射した。この際、REE 滴下液としては、(La, Sm, Tb, Yb, Lu) と (Ce, Pr, Nd, Gd, Dy, Ho, Er) の2組のそれぞれ濃度の異なる (試料中のREE含量程度とその数倍・数分の1の最低3種の) 混合液を用いた。それぞれでは $\gamma$ -スペクトルでの相互妨害は避けられる：より少数の組に分けた方がコンプトン・バックグラウンドを低下できて感度はよいが、その分だけ測定時間をとられる。我々はすべて対象核種の同定定量は光電ピークのエネルギーと半減期をいつも確認することを基本としているために、この2組 (×3 以上) と試料の測定に充分の統計をもたせる方を採用した。このREE 標準は、試料と同形で $\gamma$ 測定を行うために、照射後、試料と同じくNd 担体と化学収率トレーサーの<sup>144</sup>Ceを加え、ふっ化物沈殿、水酸物沈殿の後、最後にしゅう酸塩にして測定試料とする。非破壊測定では、測定できる元素 (核種) はできるだけ対象とすることとし、JB-1、JG-1、JA-1 の推薦値ないし自分達の確認値を使った。FT 法では、(1) 10 mm厚のグラファイト板に穴を開け、低部に FT 検出器 (マイカまたは石英) を固定して試料粉を入れる sample powder on detector 方式と (2) ポリエチレン容器につめた試料粉に石英検出器を埋める detector in sample powder 方式を用いたが、U濃度標準としてはJB-1 (1.7 ppm)、JA-1 (0.39±0.01 ppm) を用いた。(2) では2枚のNBS ガラス SRM 617 (61.92 ppb) で FT 検出効率の check を行った<sup>20)</sup>。

さて、中性子放射化は主に (n,  $\gamma$ ) 反応を利用するが、周知のように硬い中性子場では (n, p) 反応で同じ放射性核種を作る。例えば<sup>26</sup>Mg (n,  $\gamma$ )<sup>27</sup>Mgと<sup>27</sup>Al (n, p)<sup>27</sup>Mgや<sup>55</sup>Mn (n,  $\gamma$ )<sup>56</sup>Mnと<sup>56</sup>Fe (n, p)<sup>56</sup>Mnである。我々は、京大炉 圧気輸送管 pn-2 ( $2.75 \times 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ) の利用が多いが、 $4 \times 10^{11} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ の熱中性子カラム TC-pnにおける照射結果と比較検討して (n, p) 反応の寄与、さらに熱外共鳴の寄与を check する。これらのINAA用照射は、通常、30秒-2分照射と30-60分照射を中心とし、屢々、水圧輸送管 (hydrolic transfer system) による炉心 5時間照射 ( $8.75 \times 10^{13} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ) を併用する。hydro. は一度に照射できる試料数に制約 (標準を含めて6-8 程度) があるために、含有量が極めて低い (sub-ppb)、放射化対象同位体の存在度 ( $\theta$ ) が低い (数%以下)、放射化断面積 ( $\sigma$ ) が小さい (数b 以下)、生成核の半減期 ( $T_{1/2}$ ) が長い (数ヶ月~年)、 $\gamma$ 線の分岐比 ( $I_{\gamma}$ ) が小さい (10%以下) などの1つまたはいくつかの原因で感度の悪い場合に適用する<sup>21)</sup>。

岩石試料の中性子照射では、 $^{24}\text{Na}$  [ $T_{1/2}=15.0$  hr,  $E_{\gamma}=1368.5, 2754, 2243$  (single escape),  $1732$  (double escape) keV] と  $^{56}\text{Mn}$  [ $T_{1/2}=2.6$  hr,  $E_{\gamma}=846.8, 1811, 2113$  keV 他] が圧倒し、また植物試料でも  $^{24}\text{Na}$ 、 $^{56}\text{Mn}$ に加えて  $^{42}\text{K}$  [ $T_{1/2}=12.36$  hr,  $E_{\gamma}=1524.6$  keV]、 $^{38}\text{Cl}$  [ $T_{1/2}=37.24$  m,  $E_{\gamma}=1642.4, 2167.6, 1657$  (single escape) keV] などが高いコンプトンバックグラウンドを作る。対象核種の半減期がこれらより十分長ければ冷却を待てばよいが、短ければ化学的に除去すべきで、我々の REE 群分離はこのため（他の長寿命核種を含めて）である。しかし、例えば岩石試料から群分離した REE でも、 $^{141}_{59}\text{Pr}$  ( $n, \gamma$ )  $^{142}\text{Pr}$  は低い  $I_{\gamma}$  の、 $^{159}_{64}\text{Gd}$  ( $n, \gamma$ )  $^{160}\text{Gd}$  も低  $\sigma$  と低  $I_{\gamma}$  の、 $^{170}_{69}\text{Tm}$  ( $n, \gamma$ )  $^{171}\text{Tm}$  は長  $T_{1/2}$ 、低  $\sigma$ 、低  $I_{\gamma}$  のトータルの、 $^{166}_{67}\text{Ho}$  ( $n, \gamma$ )  $^{166}\text{Ho}$  は低  $I_{\gamma}$  の結果として感度が悪く、また、 $^{171}\text{Tm}$  と  $^{166}\text{Ho}$  の  $E_{\gamma}=84.3$  と  $80.6$  keV は、 $\gamma$ 線検出器を内張りなしで鉛遮蔽していると Pb-X線の妨害があるので再現性のよい高精度の値を得るには苦労が多い。INAA では半減期に応じて冷却時間を変え、測定対象を拡げるが、この場合の難しい例を挙げると、上記の REE はなおのことであるが、 $^{41}\text{K}$  ( $\theta, \sigma, T_{1/2}, I_{\gamma}$ )、 $^{48}\text{Ca}$  ( $\theta, \sigma, T_{1/2}, I_{\gamma}$ )、 $^{46}\text{Ca}$  ( $\theta, \sigma$ )、 $^{50}\text{Ti}$  ( $\theta, \sigma$ )、 $^{51}\text{V}$  ( $T_{1/2}, \sigma$ )、 $^{50}\text{Cr}$  ( $\theta, T_{1/2}, I_{\gamma}$ )、 $^{181}\text{Ta}$  ( $\theta, \sigma, T_{1/2}$ ) などであり、それぞれ ( ) 内の問題で多くの場合に感度が悪い。従って、いくつかの例外を別として、一般にこれらの元素の値は大きな誤差を伴っており、特に火成岩シリーズの JF と JP、堆積岩シリーズの殆どは精度が悪い。また堆積岩シリーズ中、JLs-1 (石灰岩)、JDo-1 (ドロマイト)、JCh-1 (チャート) は、それぞれ純度の高い  $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{MgCO}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  で、他の元素は“微量”に属し精度もよくない。特に JCh-1 は、分析元素数も僅かである。韓国火成岩シリーズの分析では、( $\gamma, n$ ) ( $\gamma, p$ ) 反応を利用する IPAA で 20 余の元素の定量を加えて、NAA で測定できなかった Y, Zr, Nb, Sr, Mo に加えて、Ca, Ti, Mn, Ni, As, Ba は IPAA が容易により高い精度の値が得られた。因みに、IPAA を精力的に用いた測定は東北大榎本氏の報告<sup>22)</sup>がある。

U の FT 法による分析では、一般に、前述の 2 つの検出方式で照射時間を 2, 3, 10, 15, 60 分と変えて飛跡測定を行い、互いに結果が一致することを確認したが、長時間照射の JG シリーズでは飛跡のクラスターの存在が問題になった。これは、花崗岩鉱物中の U 分布がマイクロスケールで不均一であることを示している。

以上のようにして、異なる方法も合わせると元素によっては多い場合は 10-20 回以上の繰り返し測定を行ったことになる。その中で、検量線 (AA の場合は、照射カプセル毎に作る標準 mg 当りの照射終了時刻での光電ピーク計数 vs 既知濃度) の悪い場合や同一核種からの複数の  $\gamma$  ピークが合わない場合 (極めて稀) を除外して平均をとり、これから  $2\sigma$  以上離れる値をさらに除外して平均をとる操作を繰り返し、最終結果とした。それぞれ、最終結果に含まれる測定数は元素によって異なり (表報告 1-3) 参照)、少ない場合は 1-3 回、多い場合は 10-17 回測定 (特に IPAA を含む韓国火成岩試料は多い) を含む。回数が特に少ないか、多い場合は、測定が容易であることを意味する。「表報告」では、自分達の結果と発行元 (地調) によるその時点での“推奨値”との比較や岩石種による元素組成の特徴の検討結果を述べておいたが、堆積岩シリーズなどではかなりの数の新しい分析値を付け加えるとなった。韓国火成岩試料の他所での結果を知らされていないために、専ら、地調火成岩シリーズの対応する岩石種との比較を行った。

我々は精度が悪くても値を出しておいた。その意味は、他の分析結果がないからとかの他に、放射化分析は他の分析化法と較べて汚染による誤りを最低にできるから確度は高いと思われること、及び自分の使っている放射法の結果を他の諸法の結果と較べて、それぞれの元素のバラツキの度合い、確度 (bias)・精度が実際にどう位置付けられるかが分かるからである。<sup>23)</sup>

放射化分析は、①試料採取・照射試料調製、②照射 (放射化)、③化学分離、④放射線測定、⑤データ整

理、⑥分析値と誤差の決定、の順序をとる。比較標準試料の共同分析では、①は供与された 100 g ロットから 4 分法で 10 g 程度を分取し、乾燥・重量測定を行う程度で、②に移るから、他の多くの方法と異なって④の測定までに入りうる汚染が最も少ない。放射化法では特に②～④において、前述したように標準を測定対象試料と いかにか identical にするかが難しい。②では同一カプセル内でのスペクトル変動と遮蔽が問題になろう。同一カプセル内の試料間 flux の差は、我々の場合は 1 個 1 個にステンレス線を巻いて生成<sup>51</sup>Cr の放射比を使って補正 (数%) しているが、検量線の直線性が成立することを基に自己遮蔽は無視できるとしている。④では幾何学的条件を同じにできれば  $\gamma$  線測定では問題は少ない。 $\alpha$ 、 $\beta^-$ 、X 線を用いる場合はこのための③が必要となるが、 $\gamma$  線対象の場合の上記 REE の例のように化学分離はむしろ妨害核種の除去を目的とする。⑤での  $\gamma$  線スペクトル解析は、我々は金沢大小村氏 (最近浜島が改良) のプログラムを PC 化して、長年使ってきている。先に触れたように、すべての場合に光電ピーク減衰を追って半減期の確認は欠かさない。このようにして 10 回同じ測定をしてもすべてが同じ結果を示さないから、⑥では統計処理に頼る。分析回数が少ないと互いに outlier になったり、あるいはさらに多くしても平均値が正しくて outlier が誤りである保証にはならない。

比較標準試料は、測定試料と いかにか "identical" に分析するか観点から、matrix と対象元素濃度が同じか類似であることが望まれ、現在では極めて多種多様の材料が世界各国から調製・発行されており、有料・無料で配布されている<sup>24-27</sup>)。因みに比較標準試料の解説やカタログ分類では地球化学的比較標準試料と環境試料は屢々区別されているが、発行者や users の立場上の便宜的分類であると筆者は理解している。いずれにせよ、例えば、天然試料毎に標準試料を作製するとすれば、種類も限りなく、またそれは実際的でもない。1 つの試料の調製と分析を完成するには膨大な労力と費用を要するし、またいつの場合でも "同じ matrix" を必要とするわけでもない。分析の目的とそのため使用する分析方法・手段において、この点を良く検討すること、及び試料の貴重さを認識することが、比較標準を使用する分析者に求められる。殊に、同一試料に対して様々な分析方法の評価がなされる共同分析に参加し、問題点を共有しつつ、分析者個人の技量を含めて新しい進歩へつなげていくことは極めて有用と思われる。

## 文献

- 1) 藁袋佳孝他、第 29 回放射化学討論会予稿集 P07 (1985).
- 2) M. Ebihara et al., Anal. Sci., 1 209 (1985).
- 3) N. Aota et al., Geostandards Newsletter, 18 65 (1994).
- 4) N. Aota et al., ibid., 18 185 (1994).
- 5) K. Sakamoto et al., J. Radioanal. Nucl. Chem., to be published as Proc. MTAA-9 (1996).
- 6) J. H. Zaidi et al., Intern. J. Environ. Anal. Chem., to be submitted (1996).
- 7) J. H. Zaidi et al., J. Radioanal. Nucl. Chem., in preparation (1996).
- 8) 川瀬 晃他、化学と工業 (標準物質特集)、43 巻 5 号 (1990); 分析化学実験ハンドブック、浜口 博編 第 3 章 pp. 221-269 (丸善、1987 版).
- 9) H. W. Fairbairn et al., U.S. Geol. Surv. Bull., No. 980 (1951).
- 10) H. W. Fairbairn et al., Geochim. Cosmochim. Acta, 4 143 (1953); M. Fleisher, ibid., 33 65 (1969); U.S. Geol. Surv. Prof., Paper 840 (1976).
- 11) F. J. Flanagan, ibid., 33 81 (1969); U. S. Geol. Surv. Prof., Paper 840 (1976).
- 12) A. Ando et al., Bull. Geol. Surv. Japan, 26 335 (1975).
- 13) S. Itoh et al., Geostandards Newsletter, 17 1, 5 (1993); N. Imai et al., ibid., 19 135, 221 (1995).

- 14) A. Ando et al., Bull Geol. Surv. Japan, 41 27 (1990) ; S. Terashima, Geostandards Newsletter, 14 1 (1990) ; S. Itoh et al., ibid., 17 5 (1993).
- 15) H. J. M. Bowen, At. Energy Rev., 13 451 (1975) ; Pure Appl. Chem., 51 1183 (1979) : " Biological Reference Materials", ed. W.R. Wolf p. 3 (Wiley Intersci., NY, 1985).
- 16) NBS, Certificate of Analysis for Standard Ref. Materials 1571 Orchard Leaves, NBS, Washington (1977) ; ibid., 1577 Bovine Liver (1977).
- 17) K. Okamoto and K. Fuwa, 「NIES No. 1 りょうぶ」 季刊 環境研究、30号、97 (1980) ; 「NIES No. 2 地底質」 同誌、34号、125 (1981) ; 「NIES No. 3 クロレラ」 同誌、42号、114 (1983) ; 「NIES No. 7 茶葉」 同誌、62号、167 (1986) 及び Freserius A. Anal., Chem., 326 622 (1987)、及び 文献 26) 参照。
- 18) たとえば、L. Costa, IAEA Technical Reports Series No. 197, Chap. 14, p.317 (IAEA, Vienna, 1980) 及び C. Veillon, Anal. Chem., 58 851A (1986).
- 19) S. Kosanda, Kanazawa Univ. MS thesis (1990).
- 20) 中西 孝、日本化学会編 実験化学講座 14 核・放射線、第3章 pp.302 (1992).
- 21) 坂本 浩、京大原子炉実験所 "放射化分析" 専研報告、KURRI-TR-393, p. 183 (1994).
- 22) 榎本和義、八木益男、東北大核理研研究報告、21 (2)、243 (1988).
- 23) S. Itoh et al., Bull. Geol. Surv. Japan, 43 (11) 659 (1992)
- 24) K. Govindaraju, Geostandards Newsletter, 8, Special Issue (1984) 及び 13, Special Issue (1989) ; 同誌はGRS専門誌で地球化学、環境用 RSM の詳細の他に1995年までで計15回のGRSの文献サーベイがある。
- 25) E. S. Gladney, et al., NBS Special Publication, 260-11 (1987).
- 26) R. Zeisler, et al., "Reference materials for trace elements, nuclides and organic microcontaminants (Revision 2) A Survey Volume 1", IAEA/RL/128/1, Vienna (1995).
- 27) ゼネラルサイエンスコーポレーション社カタログ。

## とある1日の昼休み

金沢大学理学部 宮本ユタカ

今年もまた、共同利用の実験計画を提出する時期が来た。利用できる期間、研究室の行事予定、試料調製にかかる日数などを見比べて決定しなければならない。毎年のことではあるがやはり煩わしい。他の元素分析法と異なり、利用できる施設、日数も限られているから測定したいときにすぐに分析、とはなかなか難しい。その点から言えば、目的元素にもよるがICP-MSなどの多元素同時分析機器の方が扱いやすいのかもしれない。我々の研究室もICP-MSを使っている(?)が、ご存知のようにppbレベルの希薄水溶液を扱うので水や試薬の純度、容器の材質など分析化学的に色々と気を使う事が多い。準備に手間をかけて湿式灰化、希釈し終わっただけで“これは誰にでも手軽なのだろうか?”と疑問に思ってしまう。慣れと試料の種類にもよるのだろうが、岩石などは周りからの“汚染”に加えて完全に灰化させる事に頭を悩ませなければならず、放射能の“汚染”に注意すればよい放射化分析が自分にとってはずっと気楽で良い。

最近では放射化分析で測定したスペクトルデータを全て紙に打ち出さず、ぺらぺらなディスクなどに保存しているからデータ量の多さを実感しなくなったが、やはりそのデータを1つ1つ解析しなければならない事には変わりない。その処理にはオートマティックに計算してくれるシステムは利用していないが、スペクトルのフィットや濃度計算などのかなりの部分をコンピュータに頼っている。十数年前まではうちの研究室でも電卓を何個も並べて大量のデー

タを計算してグラフ用紙を積み重ねて書いていたそうだから今は便利な世の中だと感謝したくなる。しかし面倒な単純計算はともかく、放射化学をやっている以上どんなに便利になっても自分は $\gamma$ 線スペクトルの様子や壊変の追跡はチェックしようと思っている。特にINAAの場合、スペクトルが複雑で単純にいかないことが多いし、自ら喜んで簡便さに逆行しているようだが定量元素全て化学分離したくなることがしばしばある。

こうして得られたデータの意味となるとその分野の知識が必要となるが、“放射化学”の領域に住んでいる自分にはそれが不足していて、地球化学的な試料ならば地学、生物試料だったら生物学の研究者の世界には及ばない。だから“その筋”の先生に相談したりするのだが、その時に“放射化分析をしている自分はどこに位置するのだろうか?”としばしば思う。分析者としての位置は確認できるが、その試料の議論についてとなるとその領域の一面を見ているに過ぎないようで居心地が悪い。

しかし、それは熟練者から見ればまだまだ見識が浅い“若い声”の戯言なのかもしれない。そして、50年前と比べてPGA, NAA, PAA, ICP-MS, ... と組み合わせると殆ど全ての元素が簡単に定量できる恵まれた世の中で、こんな事は贅沢な悩みだと怒られるに違いない。

そうだった。ぼーっとしていないで実験計画を見比べ、予定を立ててさっさと書類を提出しなければいけないのだった...

## Q. 放射化分析はコストが高いと云われますが、費用はどれくらいかかりますか？

A. 現在日本で料金を払って放射化分析を行える原子炉は、日本原子力研究所の研究炉か、立教大学原子力研究所の原子炉のいずれかだと思います。これら2研究所の原子炉の利用は、利用者が直接申し込んで照射を依頼し、自ら放射線測定とデータ解析を行うことも出来ます。このような利用の窓口については、本誌「放射化分析 No.2」の Q & A (30ページ) をご覧下さい。以下では、分析試料を分析代行機関にあずけて、照射・測定・解析の一切を委託して分析データを得る場合についてお答えします。

現在行われている放射化分析のほとんどは機器中性子放射化分析 (INAA) で、非破壊・多元素・同時定量が可能です。INAA については、各分析代行機関で料金体系がほぼ確立されており、サンプル数、定量希望元素数が決まれば、料金表から感嘆に費用が見積もれます。短寿命各種を利用した INAA では、10試料について7元素を定量する場合、4代行機関について費用を計算してみると、38万円、40万円、34万円、19万円となりました。最後の例は私どもの計算の誤りの可能性もありますが、1元素当たりの料金は約5000円と云えましょう。分析業務を評価するときにはデータの質の善し悪しが重要になるので、料金の単純な比較だけでは律しきれない面もあります。ここで見積もった料金が多くの分析と比較して高いか安いかは、皆様の判断にお任せしますが、放射化分析が他の分析に比べて正確さが格段に高いことは考慮に入れる必要があるかと思えます。中・長寿命核種を利用した INAA では、1キャプセルに多数試料を入れることが出来、同時定量出来る元素数も多いので、1元素当たりのコストは更に安くなります。放射化学的放射化分析については、別途見積料金で受託していますので、各機関にご相談下さい。

日本原子力研究所研究炉・立教大学原子炉を利用して放射化分析を代行している機関には下記のものがあります。各機関とも料金表が準備されていますので、必要な場合にはそれぞれ問い合わせして下さい。放射化分析のコストが高いとの先入観を払拭してくれることと思えます。

- ・ (財) 放射線照射協会  
〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方白根  
分析技術部技術課 TEL 029-282-9533 FAX 029-283-1182
- ・ (財) 日本分析センター  
〒千葉県稲毛市山王町 295-3  
TEL 043-423-5325 FAX 043-423-5372
- ・ (株) 第一原子力グループ放射線研究所  
〒240-01 横須賀市長坂 2-4-1  
TEL 0468-56-4126 FAX 0468-56-4129
- ・ 武蔵工業大学原子力研究所  
〒215 川崎市麻生区王禅寺 971  
TEL 044-966-6131 FAX 044-966-6165

外国に放射化分析を依頼することも可能です。一例として下記を挙げておきます。

- ・ Activation Laboratories Ltd.  
1336 Sandhill Drive, Ancaster, Ontario, Canada L9G4V5  
TEL 416-698-9611 FAX 416-648-9613

(回答者 戸村健児、井口 明)



歴史学・考古学における分析データの「量」と「質」

慶応義塾大学 文学部 富沢 威

1996年1月16日(火)～18日(木)に、鳥根県松江市くにびきメッセ国際会場にて、「国際金属史フォーラムしまね」が開催された。このフォーラムは、第4回国際金属史会議が、1998年に鳥根県で開催されることからそのプレシンポジウムとして行われたものである。第1回国際金属史会議は、人類の金属及び合金の生産技術の解明を目的として、1981年に中国・北京で開催された。今回の会議では、海外からの招待者によるヨーロッパやアジアの鉄や青銅、金、銀などの生産史についての講演が主に行われたが、その中には<sup>14</sup>C年代測定法、鉛同位体法、ラジオグラフィなどの自然科学の手法を応用した研究もみられた。

この会議に参加して感じたことを、簡単に述べてみたい。自然科学の手法を応用して歴史学や考古学の課題を解明することを目的にした境界領域の研究の特殊性からみた分析データの「量」と「質」についてである。実験という共通点があるため違いを認識することは少ないが、境界領域の研究と自然科学には、その方法論に重要な違いがあるものと考えられる。それは、自然科学は自然現象の法則を明らかにして普遍的な法則を導くことやそのための手法の開発が目的であるが、境界領域の研究は自然科学の手法を応用して歴史学や考古学の課題を解明することが主な目的であるという違いを意味するものではない。自然科学は実験を行いその結果により仮説を検証するという点に特徴があるが、境界領域の研究では検証すべき仮説をどう見つけるかが特に重要であるという点である。例えば、境界領域の研究で対象とする土器や青銅器などの遺物は、自然の摂理にのみに支配された物ではなくて、具体的な意志を持つ人間の営みが介在した、所謂、「制作技術」を反映した複雑な要素をもった人工遺物である。複合的な性質をもった遺物の研究では、総合的な検討が重要になってくる。確からしい最も簡単な方法は、「データ自身に語らせる」と言うことであろう。こうした観点からみると、人工遺物を検討する際には、出来るだけ多数の分析データを統計処理して結果を導く必要がある。必ずしも仮説検証とは言えない境界領域の課題の研究では、わずかばかりの分析例ではデータとしての意味をなさない。課題の解明には、多数の精度の高い「質」の保たれた定量値が必要であると言えよう。

## 施設だより

### 東北大学 原子核理学研究施設

核理研では引き続き建設工事が行われています。ストレッチャー・ブースターリング（STB）の設置は8月には完了し、ビームテストの後、施設検査を受けることになります。このため、放射化学関連分野の共同利用も後期には始められる予定です。利用者からは前期に実験実施の希望もありますので、実験可能性など現在検討中です。

現在、施設では大学附置の「電子線科学研究センター」への改組と全国共同利用化を平成9年度概算要求中です。また、純 $\gamma$ 線照射、電子線照射、気送管照射の3本のビーム・コースの整備も要求中です。放射化分析をはじめ各種実験計画をお持ちで共同利用に参加を希望される場合には施設世話人へお申し出下さい。

インターネット上での核理研案内は <http://www.ins.tohoku.ac.jp/> をご覧下さい。

(東北大学 榎本和義)

### 原研施設利用共同研究（東京大学原子力研究総合センター 大学開放研究室）

東京大学原子力研究総合センターが運営している原研施設利用共同研究は、大学の研究者が原研の色々な大型研究施設を利用するためのもので、核物理・計測、放射化学、放射線化学、放射線固体物性、生物照射効果、中性子散乱、原子炉工学、原子炉材料学、などの広範な分野で下記の研究課題を設定して大学間で共同研究を組織して行っている。

- ・原子核をプローブとする物理・化学研究
- ・放射線とイオンビームによる物質構造の研究と改質・合成
- ・生物に対する放射線効果
- ・中性子利用元素分析（即発ガンマ線分析・放射化分析）
- ・中性子ラジオグラフィによる構造解析
- ・原子炉の高度化に関する研究
- ・核燃料サイクルバックエンド化学研究
- ・放射線高度利用研究
- ・中性子散乱・回折を用いた物質の探求
- ・タンデム加速器協力研究
- ・TARA協力研究
- ・中性子散乱協力研究

研究の形態としては、一般共同研究（大学の研究者のみの組織で行うもの）、協力研究（原研の研究者と協力して行うもの）、大学・原研プロジェクト共同研究（大学と原研が共同でプロジェクト的に行う研究）などがある。平成8年度の研究課題数は総数で、459件にのぼっている。

その中で放射化分析及びその近隣の研究課題を抽出して以下に示す。その多くは一般共同研究として行われているが、（中性子捕獲）即発ガンマ線分析や中性子ラジオグラフィは協力研究として行われている。

なお、平成7年度から原研施設利用共同研究の効率化と簡素化とをめざして運営が改善され、関連する委員会が統合された。これに伴って、これまで毎年義務づけられていた研究課題申請と研究成果報告が3年を最大とする研究期間を単位としておこなうことが出来るようになった。すなわち採択された研究課題は3年間継続出来、研究成果報告は3年を最大とする研究継続期間の後に1回書いていただければ良いことになった。

原研施設利用共同研究の機関紙として「きそうかん」が刊行され、共同研究に参加されている方々に配布される。現在共同研究に参加されていないけれど配布を受けたい方は下記宛お申し出下さい。

## 施設だより

### 東北大学 原子核理学研究施設

核理研では引き続き建設工事が行われています。ストレッチャー・ブースターリング（STB）の設置は8月には完了し、ビームテストの後、施設検査を受けることになります。このため、放射化学関連分野の共同利用も後期には始められる予定です。利用者からは前期に実験実施の希望もありますので、実験可能性など現在検討中です。

現在、施設では大学附置の「電子線科学研究センター」への改組と全国共同利用化を平成9年度概算要求中です。また、純 $\gamma$ 線照射、電子線照射、気送管照射の3本のビーム・コースの整備も要求中です。放射化分析をはじめ各種実験計画をお持ちで共同利用に参加を希望される場合には施設世話人へお申し出下さい。

インターネット上での核理研案内は <http://www.ins.tohoku.ac.jp/> をご覧下さい。

(東北大学 榎本和義)

### 原研施設利用共同研究（東京大学原子力研究総合センター 大学開放研究室）

東京大学原子力研究総合センターが運営している原研施設利用共同研究は、大学の研究者が原研の色々な大型研究施設を利用するためのもので、核物理・計測、放射化学、放射線化学、放射線固体物性、生物照射効果、中性子散乱、原子炉工学、原子炉材料学、などの広範な分野で下記の研究課題を設定して大学間で共同研究を組織して行っている。

- ・原子核をプローブとする物理・化学研究
- ・放射線とイオンビームによる物質構造の研究と改質・合成
- ・生物に対する放射線効果
- ・中性子利用元素分析（即発ガンマ線分析・放射化分析）
- ・中性子ラジオグラフィによる構造解析
- ・原子炉の高度化に関する研究
- ・核燃料サイクルバックエンド化学研究
- ・放射線高度利用研究
- ・中性子散乱・回折を用いた物質の探求
- ・タンデム加速器協力研究
- ・TARA協力研究
- ・中性子散乱協力研究

研究の形態としては、一般共同研究（大学の研究者のみの組織で行うもの）、協力研究（原研の研究者と協力して行うもの）、大学・原研プロジェクト共同研究（大学と原研が共同でプロジェクト的に行う研究）などがある。平成8年度の研究課題数は総数で、459件にのぼっている。

その中で放射化分析及びその近隣の研究課題を抽出して以下に示す。その多くは一般共同研究として行われているが、（中性子捕獲）即発ガンマ線分析や中性子ラジオグラフィは協力研究として行われている。

なお、平成7年度から原研施設利用共同研究の効率化と簡素化とをめざして運営が改善され、関連する委員会が統合された。これに伴って、これまで毎年義務づけられていた研究課題申請と研究成果報告が3年を最大とする研究期間を単位としておこなうことが出来るようになった。すなわち採択された研究課題は3年間継続出来、研究成果報告は3年を最大とする研究継続期間の後に1回書いていただければ良いことになった。

原研施設利用共同研究の機関紙として「きそうかん」が刊行され、共同研究に参加されている方々に配布される。現在共同研究に参加されていないけれど配布を受けたい方は下記宛お申し出下さい。

## 原子核をプローブとする物理・化学研究

6106	EC壊変を用いたX線状態分析	宮城教育大学	玉木洋一
6107	メスbauer分光法による無機化合物の研究(II)	東邦大学	高橋 正
6108	ランタノイド(III)錯体の安定度の順序	東京大学	富永 健
6109	Rh-105の製造と放射性医薬品への利用	金沢大学	安東 醇
6110	核分裂生成長寿命核種 <sup>99</sup> Tcの環境挙動基礎研究	東北大学	関根 勉
6111	アスタチンの化学的性質に関する研究	大阪大学	馬場 宏
6112	大環状金属錯体における照射効果の微視的研究	筑波大学	荘司 準
6206	中性多座配位子を用いるランタノイド(III)の抽出・選択性	茨城大学	井村久則
6207	溶媒抽出における同位体効果に関する研究	大阪大学	西澤嘉寿成
6208	放射性レニウム標識化合物の合成と体内動態の研究	東京大学	巻出義紘

## 中性子利用元素分析(即発ガンマ分析・放射化分析)

6141	海洋生物に含まれる重金属微量元素の放射化分析	北海道大学	大西俊之
6142	植物の葉に含まれるコバルトの分布図の作成	北海道大学	増子捷二
6143	放射化による含臭素化合物の海洋生物内の代謝の研究	北海道大学	鈴木 稔
6144	食餌中のSe含量とリンパ腫発病に関する研究	北里大学	伊藤伸彦
6145	JRR-3, 4号炉を主体とした分析元素のデータベース構築	秋田大学	中村 彰
6146	レアアースの多座配位子による協同効果抽出	東北大学	中村重人
6147	中性子放射化分析法を用いた環境モニタリング法の研究	宇都宮文星短	伊澤郡藏
6148	微小粒鉱物中の微量元素の挙動に関する鉱物化学的研究(IV)	北海道大学	豊田和弘
6149	地下熱源による微量元素の移行挙動	青山学院大学	木村 幹
6150	中性子放射化分析による宇宙・火山起源物質の研究	学習院大学	福岡孝昭
6151	隕石試料の放射化分析(II)	日本大学	永井尚生
6152	高純度材料中の極微量元素の分析法の開発	武蔵工業大学	平井昭司
6153	隕石中の微小構成粒子の同位体・化学組成とその形成環境の研究	名古屋大学	田中 剛
6154	中国・四国地方の白亜紀~第三紀花崗岩類の希土類元素組成	山口大学	今岡照喜
6155	大気降下浮遊塵中の微量元素分析	九州大学	大崎 進
6156	生体類似多元素合成標準物質の開発と普及	秋田大学	岩田吉弘
6157	新規な抽出試薬による金属元素の放射化分析	山形大学	阿部重喜
6158	宇宙物質の中性子放射化分析(II)	東京都立大学	海老原充
6159	バルト海産ネズミイルカ(Phocoena phocoena)の有機態ハロゲン(Cl, Br, I)	愛媛大学	脇本忠明
6160	黒曜石のフィッシュン・トラック年代測定値の標準化	鹿児島大学	鈴木達郎
6161	金コロイドの放射化分析による底生生物の摂食量の測定	東京大学	白山義久
6224	中性子即発ガンマ線分析と放射化分析の統合・系統化	東京大学	伊藤泰男
6225	X線・低エネルギーγ線検出による即発ガンマ線分析	東京大学	薬袋佳孝
6226	固体環境試料および地球化学的試料の即発ガンマ線分析	東京大学	松尾基之
6227	含ホウ素・水素鉱物の即発γ線分析	青山学院大学	木村 幹

6228	隕石試料の即発ガンマ線分析	東京都立大学	海老原充
6229	陽極アルマイト皮膜中の水素含有量と分布	東京都立大学	森崎重喜
6230	即発ガンマ線測定による非破壊状態分析法の開発	大同工業大学	酒井陽一
6231	中性子ガイドビームを用いた中性子吸収反応の核・放射化学への応用	熊本大学	岸川俊明
6232	極微量元素の中性子放射化分析 (II)	東京都立大学	海老原充
6233	即発ガンマ線分析を用いた生命起源の鉄の同位体分析	秋田大学	中村 彰
<b>中性子ラジオグラフィによる構造解析</b>			
6234	植物試料中の中性子ラジオグラフィ	東京大学	中西友子
6235	JRR-3MのTNRF2を用いた電子線撮像法によるNRGの高解像度化に関する研究	武蔵工業大学	持木幸一
6236	JRR-3MのTNRF2を用いた3次元CTに関する研究	武蔵工業大学	村田 裕
6237	TNRF2およびC2-3中性子ラジオグラフィ用照射場の定量化(II)	立教大学	小林久夫
6238	JRR-3M高束中性子NRシステムによる熱流動現象の可視化と計測に関する研究 (II)	神戸大学	竹中信幸
6239	JRR-3M高束中性子炉NRシステムによる加圧混相流動の可視化と計測に関する研究 (II)	山口大学	加藤泰生
6240	Cf中性子源を用いたNRG法の開発研究	武蔵工業大学	持木幸一
6241	JRR-3M冷中性子を利用するラジオグラフィ高度化技術の開発と応用研究	名古屋大学	玉置昌義
6242	JRR-3M冷・熱中性子を用いたラジオグラフィ技術の高度化 (II)	京都大学	三島嘉一郎

## 立教大学 原子力研究所

1996年度は年間109日+ $\alpha$ 日の原子炉運転を予定しています(1996年度立教大学原子力研究所原子炉運転計画参照)。昨年度に比べ、7日減っていますが、これは本年5月末に韓国のテジョンで開催される第5回アジア地域研究炉シンポジウム(ASRR-V)に立教原研からも多数参加するため5月の運転日を1週減らしたことが主な原因です。ASRRは第1回を立教で開き、その後、日本原研、インドネシア、北京で、2~3年毎に主として研究炉の運転・管理・利用について討議します。109日以外の $\alpha$ 日は生物試料等を特殊条件(出力・時間指定)で照射するための予備日で、通常金曜日に行われます。立教専有週が2週組み込まれていますが、この週も照射だけの利用は可能です。ただし、3月末の専有週は大学共同研究の場合、年度末の会計事務処理の関係で利用出来ません。

全国大学共同研究(東京大学原子力研究総合センターが窓口になっている)には1996年度は54課題が採択され、その中、約40課題が放射化分析です。今年度は昨年のように採択通知が研究者に遅れて届くような事態は起こらないと思いますが、採択決定者には通知到着以前にも利用する道も開かれておりますので、比較的利用者の少ない4~6月の利用をおすすめします。全国大学共同研究に応募しなかった方も一般利用者として、放射化分析を行うことが出来ますので、直接立教原研にご相談下さい。

数年前から問題になっている立教原研施設の他機関への移管については交渉相手機関が難色を示しているようで、立教大学としては廃炉も考慮せざるを得ないという苦しい状況に置かれています。1997年3月には定年で立教原研を退職する人が集中しますので、1997年度以降の原子炉運転・利用については現在の所全く分からない状態にあります。放射化分析研究者にとって、立教炉が貴重な存在であることは今後も変わらないと思いますので、何か良いお知恵が有りましたらご助言下さい。

(立教大学 戸村健児)

6228	隕石試料の即発ガンマ線分析	東京都立大学	海老原充
6229	陽極アルマイト皮膜中の水素含有量と分布	東京都立大学	森崎重喜
6230	即発ガンマ線測定による非破壊状態分析法の開発	大同工業大学	酒井陽一
6231	中性子ガイドビームを用いた中性子吸収反応の核・放射化学への応用	熊本大学	岸川俊明
6232	極微量元素の中性子放射化分析 (II)	東京都立大学	海老原充
6233	即発ガンマ線分析を用いた生命起源の鉄の同位体分析	秋田大学	中村 彰
<b>中性子ラジオグラフィによる構造解析</b>			
6234	植物試料中の中性子ラジオグラフィ	東京大学	中西友子
6235	JRR-3MのTNRF2を用いた電子線撮像法によるNRGの高解像度化に関する研究	武蔵工業大学	持木幸一
6236	JRR-3MのTNRF2を用いた3次元CTに関する研究	武蔵工業大学	村田 裕
6237	TNRF2およびC2-3中性子ラジオグラフィ用照射場の定量化(II)	立教大学	小林久夫
6238	JRR-3M高束中性子NRシステムによる熱流動現象の可視化と計測に関する研究 (II)	神戸大学	竹中信幸
6239	JRR-3M高束中性子炉NRシステムによる加圧混相流動の可視化と計測に関する研究 (II)	山口大学	加藤泰生
6240	Cf中性子源を用いたNRG法の開発研究	武蔵工業大学	持木幸一
6241	JRR-3M冷中性子を利用するラジオグラフィ高度化技術の開発と応用研究	名古屋大学	玉置昌義
6242	JRR-3M冷・熱中性子を用いたラジオグラフィ技術の高度化 (II)	京都大学	三島嘉一郎

## 立教大学 原子力研究所

1996年度は年間109日+ $\alpha$ 日の原子炉運転を予定しています(1996年度立教大学原子力研究所原子炉運転計画参照)。昨年度に比べ、7日減っていますが、これは本年5月末に韓国のテジョンで開催される第5回アジア地域研究炉シンポジウム(ASRR-V)に立教原研からも多数参加するため5月の運転日を1週減らしたことが主な原因です。ASRRは第1回を立教で開き、その後、日本原研、インドネシア、北京で、2~3年毎に主として研究炉の運転・管理・利用について討議します。109日以外の $\alpha$ 日は生物試料等を特殊条件(出力・時間指定)で照射するための予備日で、通常金曜日に行われます。立教専有週が2週組み込まれていますが、この週も照射だけの利用は可能です。ただし、3月末の専有週は大学共同研究の場合、年度末の会計事務処理の関係で利用出来ません。

全国大学共同研究(東京大学原子力研究総合センターが窓口になっている)には1996年度は54課題が採択され、その中、約40課題が放射化分析です。今年度は昨年のように採択通知が研究者に遅れて届くような事態は起こらないと思いますが、採択決定者には通知到着以前にも利用する道も開かれておりますので、比較的利用者の少ない4~6月の利用をおすすめします。全国大学共同研究に応募しなかった方も一般利用者として、放射化分析を行うことが出来ますので、直接立教原研にご相談下さい。

数年前から問題になっている立教原研施設の他機関への移管については交渉相手機関が難色を示しているようで、立教大学としては廃炉も考慮せざるを得ないという苦しい状況に置かれています。1997年3月には定年で立教原研を退職する人が集中しますので、1997年度以降の原子炉運転・利用については現在の所全く分からない状態にあります。放射化分析研究者にとって、立教炉が貴重な存在であることは今後も変わらないと思いますので、何か良いお知恵が有りましたらご助言下さい。

(立教大学 戸村健児)

## 放射化分析

### 1-1 環境科学

自動車起源の煤塵でストレスをかけた植物中の微量生元素の研究  
熱中性子および熱外中性子を用いた地球環境試料の放射化分析  
熱中性子捕獲反応を利用した環境化学の研究Ⅱ  
TTF A法による大気粒子の発生源同定に関する研究  
放射性核種を含む微量元素を指標とする河川水の研究  
放射化分析による環境中の微量元素の分布と挙動の解析(Ⅱ)  
ブナ林表層土壌の環境化学的研究  
環境試料の放射化分析

金沢大学 中西 孝  
東京大学 松尾基之  
大同工業大学 酒井陽一  
大阪府立大学 溝畑朗  
青山学院大学 木村 幹  
愛知医科大学 小島貞男  
弘前大学 鶴見 実  
大妻女子大学 大森佐與子

### 1-2 宇宙・地球化学

バイカル湖湖底堆積物のコア試料の放射化分析  
第四紀黄砂の地球化学的性質とTL年代測定  
中性子放射化法による標準岩石の分析および未知試料への応用  
岩石の酸性変質に伴うランタノイド並びにアクチノイド元素の移動  
地球化学における指示元素に関する研究(Ⅱ)  
堆積物と鉱床の放射化分析  
地球化学図作成を目的とする河川堆積物の多試料多元素分析  
カザフスタン共和国の内陸閉鎖湖の塩湖化と脱塩機構  
微量元素組成によるテフラ(火山灰)の対比と年代測定  
湖水環境での物質循環に関する研究  
カーボナタイト中の微量元素の放射化分析  
地球化学・宇宙化学的試料中の揮発性元素の中性子放射化分析(2)  
放射化分析法による海底堆積物試料中の微量元素の定量  
隕石試料等の放射化分析(Ⅲ)  
北海道北東部新第三紀玄武岩類の地球化学的研究(Ⅱ)  
層準規制型灰重石鉱床とスカルン鉱床産の灰重石の組成の比較検討  
天然・人造ガラス質の放射化分析

北海道大学 豊田和弘  
北海道教育大学 雁沢好博  
北海道大学 前田仁一郎  
上智大学 大井隆夫  
群馬大学 赤岩英夫  
東京大学 松本 良  
名古屋大学 田中 剛  
京都大学 片山幸士  
学習院大学 福岡孝昭  
金沢大学 山本政儀  
琉球大学 大出 茂  
東京都立大学 海老原充  
北里大学 小林貴之  
日本大学 永井尚生  
北海道教育大学 池田保夫  
北海道教育大学 伊藤俊彦  
東京大学 薬袋佳孝

### 1-3 ライフサイエンス

微生物などのバイオマスを利用する水圏中重金属元素の回収除去  
植物試料中のA1の分析  
放射化分析による食品中微量元素の定量  
脳の機能と微量元素に関する研究  
ラット臓器中の微量元素の放射化分析(Cu投与の影響)  
臭化メチルくん蒸における土壌中への臭素の挙動  
各種疾病ラット臓器中の微量元素の定量(Ⅱ)  
機器中性子放射化分析による未利用飼料資源の開発研究  
ラット肝臓中の微量元素の濃度と総量  
汚染米中の微量元素の中性子放射化分析  
歯科材料の放射化分析(3)米国製陶歯中のウランの分析

宮崎医科大学 坂口孝司  
東京大学 中西友子  
大妻女子大学 櫻井四郎  
静岡県立大学 荒川泰昭  
城西大学 万里輝男  
北里大学 田中 茂  
昭和薬科大学 遠藤和豊  
麻布大学 松原利光  
東京慈恵会医科大学 矢永誠人  
静岡大学 長谷川罔彦  
日本大学 森脇一成

### 1-4 材料・他

微量成分元素存在量にもとづく文化財資料の分析化学的研究

東京学芸大学 二宮修治

鉄試料の中性子放射化分析	武蔵工業大学	平井昭司
金属フラーレンの放射化分析とその応用	東京都立大学	末木啓介

## 2. 核物理

強度変調型中性子検出器の較正と中性子スペクトル測定への応用	武蔵工業大学	堀内則量
核分裂生成核種の中性子捕獲断面積の測定	岐阜医療技術短期大学	加藤敏郎
短寿命核の $\beta$ 半減期測定	名古屋大学	山本 洋
光ファイバーを用いた炉内中性子・ $\gamma$ 線強度分布測定法の開発	名古屋大学	森千鶴夫
中性子放射化各種のガンマ線エネルギー	熊本大学	岸川俊明

## 3. 原子核プローブ

核分裂生成物をマルチトレーサーとするイオン交換体への吸着挙動	お茶の水女子大学	富田 功
--------------------------------	----------	------

## 4. フィッション・アルファトラック

西南日本日本海沿岸地域に分布する中新統火砕岩類の フィッション・トラック法による年代測定	島根大学	大平寛人
フィッション・トラック年代測定における中性子照射場の再検討	鹿児島大学	鈴木達郎
熱中性子照射によるボロン分布観察法の材料学への応用	東京大学	柴田浩司
フィッショントラック法による $\beta$ の検出	東京大学	森 実
フィッション・トラック法による石油堆積盆地の熱履歴解析	九州大学	渡辺公一郎
フィッション・トラック年代による変成帯の冷却史と上昇過程の研究	北海道大学	在田一則

## 5. 中性子ラジオグラフィー

イメージングプレートを用いる中性子ラジオグラフィ法の基礎研究 とその応用	名古屋大学	玉置昌義
---	-------	------

## 6. その他

金属錯体イオン会合体二成分系における反跳現象の研究 (II)	筑波大学	荘司 準
$^{10}\text{B}$ 封入イムノリポソームの中性子捕捉療法への応用	東京大学	藤井祐三

### 武蔵工業大学原子力研究所

残念ながら、武蔵工大炉は1989年12月に起こった原子炉タンクの漏水に係わる事象のため、現在も停止しています。一日も早い再開に向けて日夜努力しております。昨年12月に核燃料物質の貯蔵設備が新設され、新しい設備に燃料棒が乾式で貯蔵できるようになりました。新設の設備は80本の燃料棒を貯蔵する使用済燃料貯蔵容器2基などからなり、原子炉室内に設置されています。また、本研究所内の大学院原子力工学専攻は原子炉が停止している悪条件にもかかわらず、24名の修士の学生がおり、他施設を利用するなどして研究を行っています。

(武蔵工大原研 鈴木章悟)



鉄試料の中性子放射化分析	武蔵工業大学	平井昭司
金属フラーレンの放射化分析とその応用	東京都立大学	末木啓介

## 2. 核物理

強度変調型中性子検出器の較正と中性子スペクトル測定への応用	武蔵工業大学	堀内則量
核分裂生成核種の中性子捕獲断面積の測定	岐阜医療技術短期大学	加藤敏郎
短寿命核の $\beta$ 半減期測定	名古屋大学	山本 洋
光ファイバーを用いた炉内中性子・ $\gamma$ 線強度分布測定法の開発	名古屋大学	森千鶴夫
中性子放射化各種のガンマ線エネルギー	熊本大学	岸川俊明

## 3. 原子核プローブ

核分裂生成物をマルチトレーサーとするイオン交換体への吸着挙動	お茶の水女子大学	富田 功
--------------------------------	----------	------

## 4. フィッション・アルファトラック

西南日本日本海沿岸地域に分布する中新統火砕岩類の フィッション・トラック法による年代測定	島根大学	大平寛人
フィッション・トラック年代測定における中性子照射場の再検討	鹿児島大学	鈴木達郎
熱中性子照射によるボロン分布観察法の材料学への応用	東京大学	柴田浩司
フィッショントラック法による $\beta$ の検出	東京大学	森 実
フィッション・トラック法による石油堆積盆地の熱履歴解析	九州大学	渡辺公一郎
フィッション・トラック年代による変成帯の冷却史と上昇過程の研究	北海道大学	在田一則

## 5. 中性子ラジオグラフィー

イメージングプレートを用いる中性子ラジオグラフィ法の基礎研究 とその応用	名古屋大学	玉置昌義
---	-------	------

## 6. その他

金属錯体イオン会合体二成分系における反跳現象の研究 (II)	筑波大学	荘司 準
$^{10}\text{B}$ 封入イムノリポソームの中性子捕捉療法への応用	東京大学	藤井祐三

### 武蔵工業大学原子力研究所

残念ながら、武蔵工大炉は1989年12月に起こった原子炉タンクの漏水に係わる事象のため、現在も停止しています。一日も早い再開に向けて日夜努力しております。昨年12月に核燃料物質の貯蔵設備が新設され、新しい設備に燃料棒が乾式で貯蔵できるようになりました。新設の設備は80本の燃料棒を貯蔵する使用済燃料貯蔵容器2基などからなり、原子炉室内に設置されています。また、本研究所内の大学院原子力工学専攻は原子炉が停止している悪条件にもかかわらず、24名の修士の学生がおり、他施設を利用するなどして研究を行っています。

(武蔵工大原研 鈴木章悟)

## 京都大学原子炉実験所

組織改編を実行して1年が過ぎようとしている（前号施設だより参照）。新組織も定着の度を深め、実験所は、今、研究炉と関連施設を用いた特徴ある研究を目指して着実な歩みを進めている。3月18日には改組記念行事の開催が予定されている。

このような状況の中で、放射化分析は変わることなく原子炉を利用する目的の大きな部分を占めている。平成8年度の共同利用研究でもその採択件数の1/3が放射化分析に関係している。研究課題一覧を下に示す。

12月7・8日に、東北大・核理研、日本原子力研究所、武蔵工大、立教大学核原子力研究所のスタッフの方々にも出席していただいて「同位体の製造と高度利用」ワークショップを開催した。

これらの核反応装置を有する研究所が密接な関係を持ちつつ、たとえば、運転期間などが調整できれば・・・等の希望意見が出され、賛同を得ていた。

KURでは重水設備改修工事が進行している。工事完了後には重水設備の特性試験や医療照射の手順確率のための試験運転が予定されているので、一般の研究のための運転は例年より遅れて7月に開始される。この運転時間の短縮を補うため、平成9年は例年より長く、2月末まで運転を続けることになっている。

### 平成8年度共同利用採択一覧（放射化分析関係）

1. 紙に含まれる微量元素の分析	京大・工	河野益近
2. 天然石英中のAl不純物の熱中性子放射化分析と $\gamma$ 線照射由来ESRとルミネッセンスの観測	新大・理	橋本哲夫
3. 降水の酸性化が森林生態系の物質環境に及ぼす影響	京大・農	片山幸士
4. 微量元素の存在度からみた中・古生代海洋玄武岩成因に関する研究	愛媛大・教育	佐野 栄
5. 西南日本内帯古期泥質岩の希土類元素組成	京教大・教育	武蔵野実
6. 放射化分析法による考古遺物の理学的研究	奈良教大	三辻利一
7. 中性子放射化分析法による動植物中の微量元素の定量	京薬大・薬	桜井 弘
8. 放射化分析による地球化学アトラス作成のための基礎的研究	岡山理大・理	関 達也
9. ラット臓器内各種細胞におけるヒ素親和性に関する研究	阪府大・農	片山眞之
10. 層状金属鉱末と関連する火成岩類の地球化学的研究	秋田大・鉱山	水田敏夫
11. 隕石鉱物、マントル物質及び、標準岩石の放射化分析	金沢大・理	坂本 浩
12. 放射化分析による大気水圏における沈降物の地球化学的研究	名大・大気圏研	加藤喜久雄
13. 放射化分析による水圏における微量元素の地球化学的研究	名大・大気圏研	増澤敏行
14. 病態に伴う金属元素の変動とその機序の解明ならびに金属元素への医薬への応用	名城大・薬	西田幹夫
15. サンゴ礁・沖縄トラフ海底堆積物の微量元素含有量	琉球大・理	平良初男
16. 放射化分析法による植物、特に蘇苔類、羊歯類の微量元素濃縮と環境評価の研究	神戸市環境研	今井佐金吾
17. ヒトの諸種疾患と微量元素群の相互機序	神戸市環境研	林皓三郎
18. 水生生物の放射化分析による水質モニタリングに関する研究	東京都環境研	山崎正夫
19. 酸性雨が地球環境に及ぼす影響の調査・研究	都アイトプ研	谷崎良之
20. ヒト組織中の各種元素の放射化分析	(財)都神経研	佐藤武雄
21. 電子線型加速器による環境標準試料の放射化分析	東北大・理	榎本和義
22. 中性子ラジオグラフィによる金属製文化財中の有機素材の検出(3) フィルム濃度と素材との相関性および放射化分析	(財)元興寺文化財研	増澤文武
23. ケミカルフォールアウトによる微量有害物の負荷と環境中動態に関する研究	京大・工	森澤眞輔
24. 脳の病的老化と微量元素に関する研究	静岡県立大	荒川泰昭
25. 海洋底試料の貴金属含量	青学大・理工	木村 幹

26. 毛髪メタルバランスによる病態把握に関する研究	大妻女子大	大森佐與子
27. 導電性高分子の荷電担体とドーパントの存在状態	中央大・理工	風間重雄
28. 島孤火成岩及び堆積岩類中の微量元素存在度に関する地球化学的研究	海技大・教養	藤谷達也
29. 放射年代から見た島孤の進化	京大・理	田上高広
30. 放射性核種の地球化学的挙動に関する研究	阪大・工	山本忠史
31. アクチニド元素及び核分裂生成物の分離分析	広大・工	竹味弘勝
32. 悪性脳腫瘍に対するCDDP至適投与法に関する研究	鳥取大・医	堀智勝

なお、次の実験所員主導の研究も進められている。

i. シリコン単結晶中の不純物元素に関する研究	京大・原子炉	武内孝之
ii. アフリカ象の象牙原産地判別調査	京大・原子炉	武内孝之
iii. シダ類に集積される希土類元素間にみられる相関について	京大・原子炉	高田寛彌

(京都大学原子炉実験所 小林慎江)

——— 6時間運転日

- - - - - 5時間運転日

1996(平成八)年度 立教大学原子力研究所 原子炉運転計画

1995(平成七年)12月22日

<p><b>4</b> April (12日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td></tr> <tr><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td></tr> <tr><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					<p><b>5</b> May (7日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td></tr> <tr><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		<p><b>6</b> June (12日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td></tr> <tr><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td></tr> <tr><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td></tr> <tr><td>30</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30							<p><b>7</b> July (12日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td></tr> <tr><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td></tr> <tr><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
	1	2	3	4	5	6																																																																																																																																																																												
7	8	9	10	11	12	13																																																																																																																																																																												
14	15	16	17	18	19	20																																																																																																																																																																												
21	22	23	24	25	26	27																																																																																																																																																																												
28	29	30																																																																																																																																																																																
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
			1	2	3	4																																																																																																																																																																												
5	6	7	8	9	10	11																																																																																																																																																																												
12	13	14	15	16	17	18																																																																																																																																																																												
19	20	21	22	23	24	25																																																																																																																																																																												
26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																													
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
						1																																																																																																																																																																												
2	3	4	5	6	7	8																																																																																																																																																																												
9	10	11	12	13	14	15																																																																																																																																																																												
16	17	18	19	20	21	22																																																																																																																																																																												
23	24	25	26	27	28	29																																																																																																																																																																												
30																																																																																																																																																																																		
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
	1	2	3	4	5	6																																																																																																																																																																												
7	8	9	10	11	12	13																																																																																																																																																																												
14	15	16	17	18	19	20																																																																																																																																																																												
21	22	23	24	25	26	27																																																																																																																																																																												
28	29	30	31																																																																																																																																																																															
<p><b>8</b> August (5日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td></tr> <tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	<p><b>9</b> September (3日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						<p><b>10</b> October (0日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td></tr> <tr><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		<p><b>11</b> November (12日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td></tr> <tr><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td></tr> <tr><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td></tr> <tr><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
				1	2	3																																																																																																																																																																												
4	5	6	7	8	9	10																																																																																																																																																																												
11	12	13	14	15	16	17																																																																																																																																																																												
18	19	20	21	22	23	24																																																																																																																																																																												
25	26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																												
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																												
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																												
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																												
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																												
29	30																																																																																																																																																																																	
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
			1	2	3	4																																																																																																																																																																												
5	6	7	8	9	10	11																																																																																																																																																																												
12	13	14	15	16	17	18																																																																																																																																																																												
19	20	21	22	23	24	25																																																																																																																																																																												
26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																													
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
						1																																																																																																																																																																												
2	3	4	5	6	7	8																																																																																																																																																																												
9	10	11	12	13	14	15																																																																																																																																																																												
16	17	18	19	20	21	22																																																																																																																																																																												
23	24	25	26	27	28	29																																																																																																																																																																												
30	31																																																																																																																																																																																	
<p><b>12</b> December (12日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					<p><b>1</b> January (11日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td></tr> <tr><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		<p><b>2</b> February (12日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td></tr> <tr><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td></tr> <tr><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td></td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		<p><b>3</b> March (11日)</p> <table border="1"> <tr><td>日</td><td>月</td><td>火</td><td>水</td><td>木</td><td>金</td><td>土</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td></tr> <tr><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td></tr> <tr><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td></tr> <tr><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	日	月	火	水	木	金	土							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																												
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																												
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																												
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																												
29	30	31																																																																																																																																																																																
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
			1	2	3	4																																																																																																																																																																												
5	6	7	8	9	10	11																																																																																																																																																																												
12	13	14	15	16	17	18																																																																																																																																																																												
19	20	21	22	23	24	25																																																																																																																																																																												
26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																													
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
						1																																																																																																																																																																												
2	3	4	5	6	7	8																																																																																																																																																																												
9	10	11	12	13	14	15																																																																																																																																																																												
16	17	18	19	20	21	22																																																																																																																																																																												
23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																													
日	月	火	水	木	金	土																																																																																																																																																																												
						1																																																																																																																																																																												
2	3	4	5	6	7	8																																																																																																																																																																												
9	10	11	12	13	14	15																																																																																																																																																																												
16	17	18	19	20	21	22																																																																																																																																																																												
23	24	25	26	27	28	29																																																																																																																																																																												
30	31																																																																																																																																																																																	

# 研究会報告

放射化分析支援システム研究会

報告者 伊藤泰男

日所 1995年 10月 20日 10:00-16:00

場所 日本原子力研究所 (富国生命ビル 15階 第一会議室)

放射線照射振興協会が日本原子力研究所の委託を受けて1993年度から行っている「放射化分析支援システム」に関する調査の一環として、年1回研究会が行われてきたが、その3回目の研究会である。

今回は標準試料に関する問題点を中心にプログラムが組まれた。放射化分析では標準仕様が重要であることは当たり前のことでありながら、改めて吟味することはあまりされていないので、極めて有意義な研究会であった。

## 1. 標準試料-1 (座長 平井昭司)

- 1) 標準試料の必要性と特性値 物質工学工業研究所 久保田正明
- 2) 岩石標準物質 今井 登
- 3) 標準物質の調整法 岡本研作
- 4) 多元素合成標準試料の調整と応用 岩田吉弘
- 5) 放射化分析による標準物質の検定のための標準添加内標準法  
榎本和義

## 2. 標準試料-2 (座長 重松俊男)

- 6) 比較標準岩石試料の使用について 坂本 浩
- 7) 宇宙・地球科学と標準試料 海老原充
- 8) 海洋堆積物・粒子の放射化分析 増澤敏行
- 9) 植物試料の放射化分析 片山幸士

## 3. フリートーク (座長 福岡孝昭)

「放射化分析に関わる研究炉の照射場について」

## 4. 報告事項 (榎本和義)

「INAA 自動化システム」ワーキンググループの活動状況について

この研究会の記録は「放射化分析支援システムの調査 (III) に関する報告書 その2」にまとめられ、放射線照射振興協会のご厚意によって多数増刷いただきましたので、「放射化分析 No. 3」(本号) とともに配布されます。

1995年度日本地球化学会年会

報告者 葉袋佳孝

1995年度日本地球化学会年会は11月10日(金)より12日(日)の会期で東海大学海洋学部(清水)にて開催されました。放射化分析を用いての研究について目に付いたものを、以下にリストしてみました。地球化学・環境化学の領域では微量元素の定量手法として放射化分析は有効に利用されています。ただし、多数の試料を対象とする場合が多いことから、機器中性子放射化分析の利用が多くを占めています。ICP-MS等の手法を適用した研究例も多くなっていることから、放射化分析については利用環境の整備などを図って行く必要がある様に思われます。

# 研究会報告

放射化分析支援システム研究会

報告者 伊藤泰男

日所 1995年 10月 20日 10:00-16:00

場所 日本原子力研究所 (富国生命ビル 15階 第一会議室)

放射線照射振興協会が日本原子力研究所の委託を受けて1993年度から行っている「放射化分析支援システム」に関する調査の一環として、年1回研究会が行われてきたが、その3回目の研究会である。

今回は標準試料に関する問題点を中心にプログラムが組まれた。放射化分析では標準仕様が重要であることは当たり前のことでありながら、改めて吟味することはあまりされていないので、極めて有意義な研究会であった。

1. 標準試料-1 (座長 平井昭司)
  - 1) 標準試料の必要性と特性値 物質工学工業研究所 久保田正明
  - 2) 岩石標準物質 今井 登
  - 3) 標準物質の調整法 岡本研作
  - 4) 多元素合成標準試料の調整と応用 岩田吉弘
  - 5) 放射化分析による標準物質の検定のための標準添加内標準法 榎本和義
2. 標準試料-2 (座長 重松俊男)
  - 6) 比較標準岩石試料の使用について 坂本 浩
  - 7) 宇宙・地球科学と標準試料 海老原充
  - 8) 海洋堆積物・粒子の放射化分析 増澤敏行
  - 9) 植物試料の放射化分析 片山幸士
3. フリートークキング (座長 福岡孝昭)  
「放射化分析に関わる研究炉の照射場について」
4. 報告事項 (榎本和義)  
「INAA 自動化システム」ワーキンググループの活動状況について

この研究会の記録は「放射化分析支援システムの調査 (III) に関する報告書 その2」にまとめられ、放射線照射振興協会のご厚意によって多数増刷いただきましたので、「放射化分析 No. 3」(本号) とともに配布されます。

1995年度日本地球化学会年会

報告者 葉袋佳孝

1995年度日本地球化学会年会は11月10日(金)より12日(日)の会期で東海大学海洋学部(清水)にて開催されました。放射化分析を用いての研究について目に付いたものを、以下にリストしてみました。地球化学・環境化学の領域では微量元素の定量手法として放射化分析は有効に利用されています。ただし、多数の試料を対象とする場合が多いことから、機器中性子放射化分析の利用が多くを占めています。ICP-MS等の手法を適用した研究例も多くなっていることから、放射化分析については利用環境の整備などを図って行く必要がある様に思われます。

- 10C09 愛知県津具地方の多元素濃度分布、  
戸上薫・田中剛（名大理）
- 10C15 中国Qarhan塩湖の湖水及び湖水からの沈殿物中に含まれるランタノイド元素の定量、  
油井瑞明・大井隆夫・小坂知子・向田政男（上智大理工）
- 10D20 日本の土壌に対するヨウ素( $I^-$ と $IO_3^-$ )の吸着、  
吉田聡・村松康行・内田滋夫(放医研)
- 11B10 ランタノイド、アクチノイド存在度に基づくオーディナリコンドライト熱変成作用の研究、  
篠塚一典 日高洋、海老原充、中原弘道（都立大理）
- 11C10 火山岩中ホウ素の即発 $\gamma$ 線分析、  
福岡孝昭・米沢仲四郎・松江秀明・澤幡浩之（学習院大理・原研東海・東大原総セ）
- 11P31 潜水艇「しんかい(6500)」で採集された東太平洋海膨南部の熱水性チムニーの地球化学、  
大森保・李受映・井内紀子・棚原朗・平良初男・浦辺徹・高田実弥・松下録治（琉球大理・  
地調・京大原子炉）
- 11P44 Rグループコンドライトの化学組成、  
尾崎大真・海老原充・中原弘道・米沢仲四郎・松江秀明・澤幡浩之（都立大理・原研東海・  
東大原総セ）
- 12C09 ルーマニアの（Fagaras Mountainsの角閃岩の成因についての地球化学的研究、  
Dragusanu Cristian・田中剛・岩森光（名大理）
- 12C11 日本の列島表層部の平均組成：（島弧地殻の地球化学、  
富樫茂子・今井登・奥山(楠瀬)康子・狛武・岡井貴司・青山秀喜・田中剛（地調・名大理）
- 12C18 岩石の酸性変質に伴うランタノイド元素の挙動、  
木川田喜一・大井隆夫・小坂知子・向田政男・本田照幸（上智大理工・武蔵工大原研）

## 研究集会案内

### 1. 2nd International $k_0$ Users Workshop

1. 開催日：1996年9月30日～10月3日
2. 開催地：Ljubljana, Slovenija
3. トピックス：
  - Characterization of irradiation facility
  - Detector characterization
  - Computerization
  - New developments
  - Applications
  - Quality assessment
4. アブストラクト締切り：1996年4月19日
5. 連絡先：
  - 2nd International  $k_0$  Uses Workshop
  - c/o Dr. B.Smodis
  - Jozef Stefan Institute, Jamova 39
  - SI-61111 Ljubljana, Slovenia
  - Phone: +386(0) 61 1885/287 or 353
  - Fax: +386(0) 61 374919
  - e-mail: borut.smodis@ijs.si

- 10C09 愛知県津具地方の多元素濃度分布、  
戸上薫・田中剛（名大理）
- 10C15 中国Qarhan塩湖の湖水及び湖水からの沈殿物中に含まれるランタノイド元素の定量、  
油井瑞明・大井隆夫・小坂知子・向田政男（上智大理工）
- 10D20 日本の土壌に対するヨウ素( $I^-$ と $IO_3^-$ )の吸着、  
吉田聡・村松康行・内田滋夫(放医研)
- 11B10 ランタノイド、アクチノイド存在度に基づくオーディナリコンドライト熱変成作用の研究、  
篠塚一典 日高洋、海老原充、中原弘道（都立大理）
- 11C10 火山岩中ホウ素の即発 $\gamma$ 線分析、  
福岡孝昭・米沢仲四郎・松江秀明・澤幡浩之（学習院大理・原研東海・東大原総セ）
- 11P31 潜水艇「しんかい(6500)」で採集された東太平洋海膨南部の熱水性チムニーの地球化学、  
大森保・李受映・井内紀子・棚原朗・平良初男・浦辺徹・高田実弥・松下録治（琉球大理・  
地調・京大原子炉）
- 11P44 Rグループコンドライトの化学組成、  
尾崎大真・海老原充・中原弘道・米沢仲四郎・松江秀明・澤幡浩之（都立大理・原研東海・  
東大原総セ）
- 12C09 ルーマニアの（Fagaras Mountainsの角閃岩の成因についての地球化学的研究、  
Dragusanu Cristian・田中剛・岩森光（名大理）
- 12C11 日本の列島表層部の平均組成：（島弧地殻の地球化学、  
富樫茂子・今井登・奥山(楠瀬)康子・狛武・岡井貴司・青山秀喜・田中剛（地調・名大理）
- 12C18 岩石の酸性変質に伴うランタノイド元素の挙動、  
木川田喜一・大井隆夫・小坂知子・向田政男・本田照幸（上智大理工・武蔵工大原研）

## 研究集会案内

### 1. 2nd International $k_0$ Users Workshop

1. 開催日：1996年9月30日～10月3日
2. 開催地：Ljubljana, Slovenija
3. トピックス： Characterization of irradiation facility  
Detector characterization  
Computerization  
New developments  
Applications  
Quality assessment
4. アブストラクト締切り：1996年4月19日
5. 連絡先： 2nd International  $k_0$  Uses Workshop  
c/o Dr. B.Smodis  
Jozef Stefan Institute, Jamova 39  
SI-61111 Ljubljana, Slovenia  
Phone: +386(0) 61 1885/287 or 353  
Fax: +386(0) 61 374919  
e-mail: borut.smodis@ijs.si

---

---

## 2. 9th International Symposium on Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics (CGS9)

---

---

1. 開催日：1996年10月8日～12日
2. 開催地：Budapest, Hungary
3. トピックス：
  - Nuclear structure
  - Capture reactions
  - Statistical nuclear properties
  - Nuclear data
  - Nuclear astrophysics
  - Fundamental physics
  - Practical applications
  - New techniques and facilities
4. アブストラクト締切り：1996年4月1日
5. 連絡先： Dr. G. Molnar  
Institute of Isotopes, POB 77  
Budapest H-1525, Hungary  
Phone: +36-1-2754347  
Fax: +36-1-2754349  
e-mail: cgs9@alpha0.iki.jfki.hu

---

---

## 3. 4th International Conference on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry

---

---

1. 開催日時 1997年4月6-11日
2. 開催地 Kailua-Kona, Hawaii
3. トピックス
  - Activation analysis and applications
  - Ultra-low level radioanalytical methods
  - Non-nuclear methods for radionuclide determination
  - Advances in radiochemical separation techniques
  - Quality assurance and standards for radioanalytical chemistry
  - Environmental radioactivity
  - Radon measurements and environmental behavior
  - Measurement of actinides in environmental and biomedical studies
  - Characterization of nuclear wastes
  - Remote sensing and field applications
4. アブストラクト締切り 1996年11月1日
5. 連絡先
  - Dr. Steve Carpenter
  - P.O. Box 4044
  - Gaithersburg, MD 20885-4044, USA
  - E-mail :
    - for general information Janet Hydorn chydorn@aol.com
    - for program information Roy Filby rfilby@mail.wsu.edu



**研究会報告**

補遺

## 第8回 日露分析化学シンポジウム 8/26/96 - 8/31/96

報告者 栗袋佳孝 (武蔵大学)

本シンポジウムは、我が国とロシア連邦の分析化学者の交流の場として、2年に1回開催されて来た。開催地は日露両国が交替となっており、前回は函館・札幌の両地で International Trace Analysis Symposium (ITAS' 94) として開催された。今回は8月26-8月31日の日程でモスクワ・サラトフの両地で開かれた。主開催地のサラトフはボルガ河に面した景勝の地であった。分析化学の広範な領域をカバーしたシンポジウムであり、放射化学関連の発表もいくつか報告された。特に、放射化分析に関する発表としては Y. Iwata and N. Suzuki, "Determination of Trace Elements in Biological Materials by Nuclear Analytical Methods" が挙げられる。この発表は生物試料を対象とした放射化分析に関するものであり、生物試料にマトリックスが類似した標準試料の調製法、中性子放射化分析のための前濃縮法などについての方法論的研究、並びに、海草を対象とした場合の微量元素の分布について報告された。中性子放射化分析の他に、荷電粒子放射化分析、PIXE、不足等量法などによる分析結果も発表された。生物地球化学、微量元素環境化学の発展に放射化分析が寄与する所が極めて大きいことを改めて認識させる研究であった。

**研究会案内**

補遺

International Conference on Methods and Applications of  
Radioanalytical Chemistry (4/6/97-4/11/97)

本会議は今回で4回目を数え、トレーサー法を含む広い範囲の放射分析化学の基礎と応用に関する研究発表と討論が行われる。環太平洋諸国を中心とするが、ヨーロッパの研究者も多数参加する、この分野での代表的な国際会議の一つである。

○共催 : American Nuclear Society, Food & Drug Administration,  
American Chemical Society, IAEA

○会期 : 1997年 4月 6日 (日) ~ 11日 (金)

○会場 : ハワイ、キングカメハメハホテル

○申込・紹介先 : 関心ある方又は発表希望の方は、200語の申込要旨とともに  
11月 1日までに下記にご照会下さい。

Dr. Steve Carpenter:

P.O. Box 4044, Gaithersburg,

MD 20885-4044, USA,

又は E:mail Janet Hydorn at chydorn@aol.com

**研究会報告**

補遺

=====

第8回 日露分析化学シンポジウム 8/26/96 - 8/31/96

報告者 栗袋佳孝 (武蔵大学)

=====

本シンポジウムは、我が国とロシア連邦の分析化学者の交流の場として、2年に1回開催されて来た。開催地は日露両国が交替となっており、前回は函館・札幌の両地で International Trace Analysis Symposium (ITAS' 94) として開催された。今回は8月26-8月31日の日程でモスクワ・サラトフの両地で開かれた。主開催地のサラトフはボルガ河に面した景勝の地であった。分析化学の広範な領域をカバーしたシンポジウムであり、放射化学関連の発表もいくつか報告された。特に、放射化分析に関する発表としては Y. Iwata and N. Suzuki, "Determination of Trace Elements in Biological Materials by Nuclear Analytical Methods" が挙げられる。この発表は生物試料を対象とした放射化分析に関するものであり、生物試料にマトリックスが類似した標準試料の調製法、中性子放射化分析のための前濃縮法などについての方法論的研究、並びに、海草を対象とした場合の微量元素の分布について報告された。中性子放射化分析の他に、荷電粒子放射化分析、PIXE、不足等量法などによる分析結果も発表された。生物地球化学、微量元素環境化学の発展に放射化分析が寄与する所が極めて大きいことを改めて認識させる研究であった。

**研究会案内**

補遺

=====

International Conference on Methods and Applications of  
Radioanalytical Chemistry (4/6/97--4/11/97)

=====

本会議は今回で4回目を数え、トレーサー法を含む広い範囲の放射分析化学の基礎と応用に関する研究発表と討論が行われる。環太平洋諸国を中心とするが、ヨーロッパの研究者も多数参加する、この分野での代表的な国際会議の一つである。

○共催 : American Nuclear Society, Food & Drug Administration,  
American Chemical Society, IAEA

○会期 : 1997年 4月 6日 (日) ~ 11日 (金)

○会場 : ハワイ、キングカメハメハホテル

○申込・紹介先 : 関心ある方又は発表希望の方は、200語の申込要旨とともに  
11月 1日までに下記にご照会下さい。

Dr. Steve Carpenter:

P.O. Box 4044, Gaithersburg,

MD 20885-4044, USA,

又は E:mail Janet Hydorn at [chydorn@aol.com](mailto:chydorn@aol.com)

## 編集後記

「放射化分析」第3号が完成しました。執筆者の皆様にはお忙しいところ大変ご無理をお願いした上、原稿料無しで、本当に申し訳ありませんでした。ここでお礼を申し上げます。

本会は設立2年めに入り、研究会活動がほぼ軌道に乗りつつありますが、このまま軌道に乗せ、更に発展するためには会員の皆様の協力が不可欠です。「講座」、「研究紹介」、「談話室」及び「若い声」欄の執筆について、自薦・他薦どちらでも結構ですので最寄りの幹事または事務局までお申し下さい。また「Q&A」及び「アナウンスメント」欄へ質問及び投稿、更に、会の運営等に関する意見及び質問等についても気軽に送りください。今回から通信票を挟み込みましたので、これに自由に意見を書いてお届け下さい。「放射化分析」誌を更に充実し、会の活動も会誌発行以外にも広げていきたいと思っております。

放射化分析関連の大きな国際会議として MTAA-9が昨年韓国ソウルで開催されました（その印象記が第2号で特集されています）が、来年4月にはハワイで MARC-IVが開催されます。一昨年のMARC-IIIについては、福島さんの印象記(第1号)にもあるように、大変風光明媚な地での楽しい会議のようです。皆で参加したいものです。

1996年度の会費納入もお忘れなく。

(米沢、伊藤)

## 本会誌の内容および投稿募集

放射化分析研究会の情報媒体は、定期刊行機関紙「放射化分析」と不定期のニュース紙「放射化分析研究会ニュース」を主とします。

会誌「放射化分析」は下記の記事で構成されます。

### 講座・特集・解説

専門的な記事を毎号企画していきます。

記事の内容についてのご希望や提案をお寄せください。

### 研究紹介

放射化分析に関する研究、放射化分析を用いた研究を紹介していきます。研究の当事者にまとまった内容を執筆していただくものと、秀れた論文を紹介するものがあります。特に紹介したい研究についてご意見をお寄せください。

### 実験手引き Q&A

会員から質問を受けて、回答やアドバイスを掲載します。どのような質問でも結構です。回答者は幹事会が責任をもって会員の中から選定します。

### 施設・研究室紹介

放射化分析を行うことができる施設については、毎回情報を提供します。また放射化分析を行っている研究室の紹介を適宜行います。

### 談話室（要望、話題、新刊書籍紹介、その他）

会員の気軽なおしゃべりの場です。どのような内容でも結構ですので、お寄せください。

### 若い声

学生や若手研究者およびこれから放射化分析を手がけようとする方々の新鮮な声を反映させる欄です。

### 研究会報告・最近の動向等

最近開催された研究会の報告です。放射化が取り扱われている研究は広範囲な分野に顔を出している筈です。放射化が関係している研究課題が1件でもあれば、この欄に取り上げたいと思います。会員の皆さんからの情報提供をお待ちしています。

### アナウンスメント

#### 課題採択一覧

放射化分析関係の共同利用、共同研究が行われている施設で採択されている研究課題を適宜掲載します。

### 会員名簿

以上の項目に対応する記事を積極的にお寄せください。

原稿は A4 横書き、40字×40行、上下マージン 25mm、左右マージン 20mmを標準として、そのままオフセット印刷又はコピーして使える形に清書して送付して下さい。編集の際にレイアウトを工夫させていただくこともありますので、念のためファイルをフロッピーディスク添付して下さい。（ファイルは MS-DOS のテキストモードが最適ですが、Macintosh のファイルやワープロ専用機のファイルもかなりの程度処理できます）

放射化分析研究会

事務局

319-11 茨城県那珂郡東海村 日本原子力研究所内 大学開放研究室

TEL 029-282-5516 FAX 029-287-2464

幹事

井口 明	伊藤泰男	海老原充	小林慎江	重松俊男	鈴木章悟
戸村健児	中西友子	増澤敏行	榎本和義	薬袋佳孝	米沢仲四郎