

カリウム-アルゴン法による地質年代決定

柴田 賢

まえがき

放射性同位元素の壊変を利用して岩石の年令を測定する方法 すなわち地質年代決定法は 1950年代に入ってドイツ アメリカ ソビエトなどで急速に開発が行なわれ 今日では測定方法も確立されて地質現象の解明において役立っている。わが国においても最近各地の大学で年代決定研究が始められ すでに一部では測定結果も発表され始めた。

地質調査所においては 1962年度から年代決定法の1つであるカリウム-アルゴン法の研究が本格的に始められ 最近ようやく測定ができる段階に達した。そこで現在行なっている実験法を中心にしてカリウム-アルゴン法の実際を紹介しよう。

カリウム-アルゴン法の原理と歴史

カリウム-アルゴン法は地球上に広く分布する元素の1つであるカリウムを利用するので 他のウラン-鉛法 ルビジウム-ストロンチウム法と比べて応用範囲が広く 現在一番多く行なわれている方法である。この方法はカリウムの同位体の1つである K^{40} が放射性壊変により Ar^{40} になる事を利用する。ここでさかのぼってこの研究の歴史をちょっとふりかえてみよう。

カリウムが放射能を示すことは1905年に Campbell と Wood によって発見されたが それがカリウムの同位体 K^{40} によるものである事がわかったのは1937年であった。

そして1943年には Thompson と Rowlands がカリウムの放射性壊変によって Ar^{40} が生ずる事を証明した。1948年になって Aldrich と Nier はカリウム鉱物中に放射性壊変で生じたラジオジェニカルゴン (Ar^{40}) が存在することを初めて証明した。彼等はいくつかの時代のわかった鉱物からアルゴンを抽出し ラジオジェニカルゴンの量は年令と共に大きくなることを示

した。さらに1950年には Smits と Gentner が初めて時代不明の鉱物について カリウム-アルゴン法を適用して年令を求めた。

その後 Wasserburg と Hayden による分岐比 R の研究(1954~56年) Reynolds による微量ガス用質量分析計およびアルゴン拡散の研究(1956 1957年) Wetherill による K^{40} の壊変定数の測定(1957年) Carr と Kulp の Ar^{37} によるトレーサー実験(1957) Lipson の推積岩の年代測定(1958年)など 基礎研究や測定実験が続々と行なわれた。この間超高真空技術や質量分析計の開発も進み 年代決定の研究において役に立った。1960年前後からは実際に地質学的問題への応用が盛んになり カリウム-アルゴン法の有用性がみとめられて今日におよんでいる。

さて話を元にもどそう。カリウム-アルゴン法は鉱物中の $K^{40} \rightarrow Ar^{40}$ を利用する訳であるが 天然のカリウムは K^{39} K^{40} K^{41} からなり K^{40} の存在比は 0.0119%で この値は天然のカリウムについてほぼ一定であることがわかっている。そして K^{40} は第1図に示されるような二岐壊変をして11%が Ar^{40} に 89%が Ca^{40} になる。鉱物の年令は次式によって計算される。

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[1 + \frac{Ar^{40}}{K^{40}} \left(\frac{1+R}{R} \right) \right]$$

t = 鉱物の年令

$\lambda = \lambda e + \lambda \beta$: 壊変定数

Ar^{40} = 壊変によって生じた鉱物中のアルゴンのモル数

K^{40} = 鉱物中に残っている K^{40} のモル数

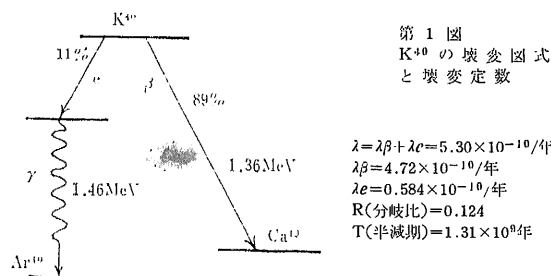
$R = \lambda e / \lambda \beta$ 分岐比

したがって Ar^{40} と K^{40} の量を実験で求めれば 年令が計算できることがわかる。

実験法

カリウム-アルゴン法による年代決定実験は 通常次の4つに分けて行なわれる。

- 1) 岩石より鉱物の分離
- 2) 試料中のカリウムの定量
- 3) 試料中のアルゴン抽出・精製
- 4) 質量分析計によるアルゴンの分析



これらの実験の内容は 研究所ごとに異なっているがここでは地質調査所で現在行なっている方法を 紹介する。

1) 鉱物の分離

測定に用いる鉱物は 雲母類 カリ長石 海緑石などカリウム含有量の高いものが望ましい。 1回の測定に必要な鉱物の量は数グラムであるから 岩石から鉱物を分離する作業はかなりの時間と労力を要する。 岩石をジョー・クラッシャー (第2図) で荒くだし、デスク・グラインダーで細かく粉碎して ふるいにかけ粒度をそろえる。 たいていの場合には 40~100 メッシュ程度であるが 時には 150 メッシュ位に細かくする必要もある。 これを七極電磁分離器 (第3図) で大わけしさらにアイソダイナミックセパレーター (第4図) で精製する。 純度は95%以上ある事が望ましい。 プロモフォルム 沃化メチレンなどの重液を使用する事もある。

2) カリウムの定量

年令の計算に必要なものは K^{40} の量であるが 実際

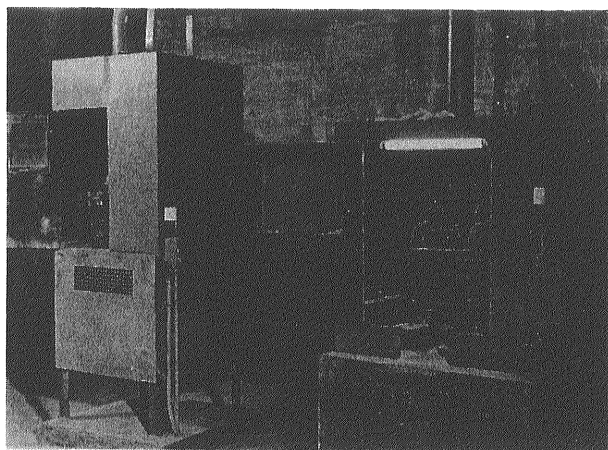
には K^{40} を直接測定するのではなくて 全K量を求めてそれに K^{40} の存在比 0.0119%をかけて K^{40} を算出する。 さきののべたようにこの存在比は一定しているので そのような算出を行なうことに問題はない。

さて カリウムの定量は炎光光度法で行なっている。 鉱物を弗化水素酸と塩酸で分解したのち 一定量の塩酸にとかして一定容積とし KCl 標準溶液を基準にしてカリウムの濃度を測定し 鉱物中の $K_2O\%$ として値を出す。 使用した装置は 日立分光光度計 EPU-2型に酸素-水素用の炎光付属装置をつけたものである (第5図)。 この方法での測定誤差は 2%程度である。

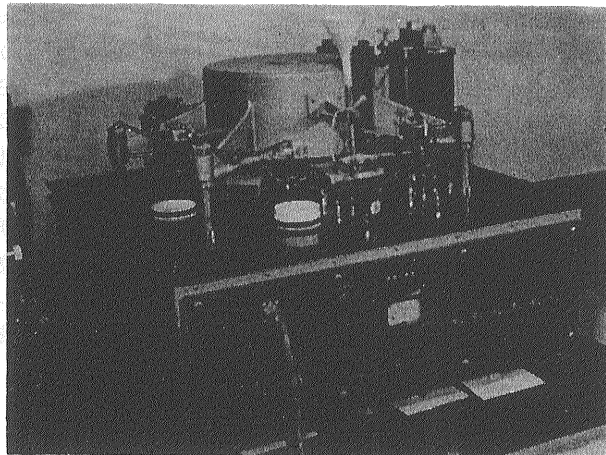
炎光光度法の他に現在テトラフェニルボロン法による重量分析も試みている。 この方法は前者に比べて手数は少しよけいにかかるが 重量法であるので精度がよくまたカリウム含有量が少ない場合には有効と思われる。

3) アルゴンの抽出・精製

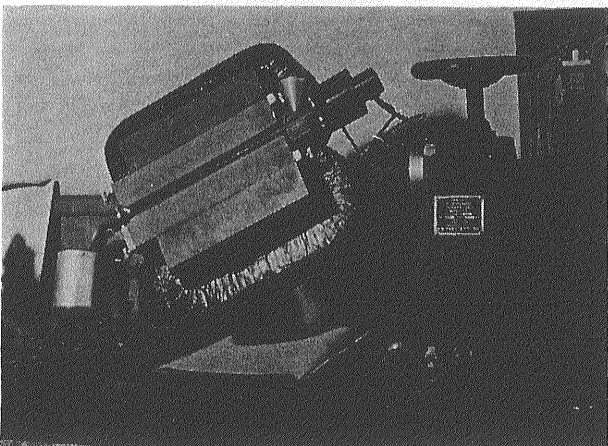
鉱物を高真空中で加熱 溶解して出てきたガスを精製しアルゴンのみをとり出す操作である。 第6図がその実験装置で 第7図にその概要を示した。 この装置は



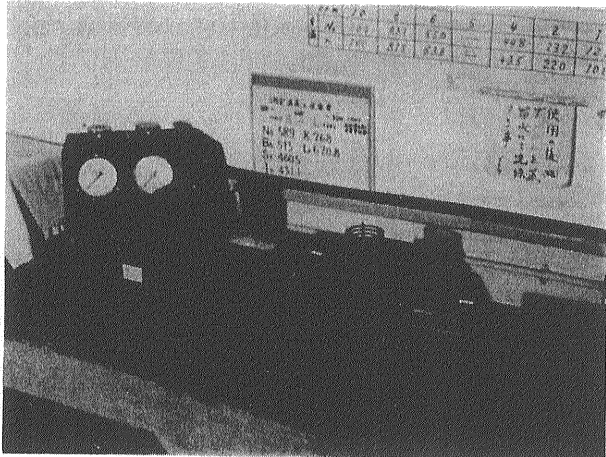
第2図 ジョー・クラッシャー(右)とデスク、グラインダー



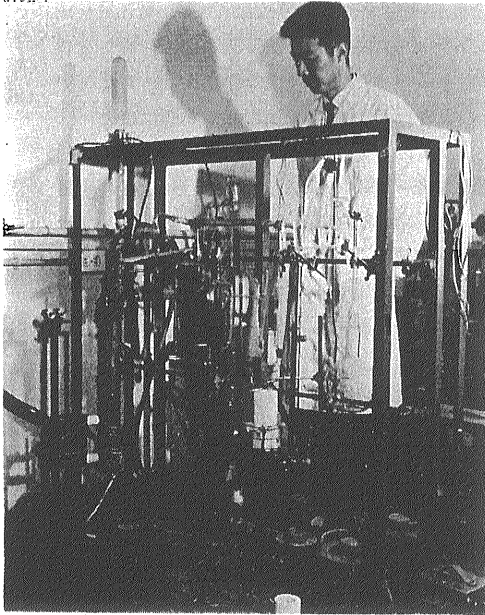
第3図 電 磁 分 離 器



第4図 アイソダイナミックセパレーター



第5図 炎 光 光 度 計

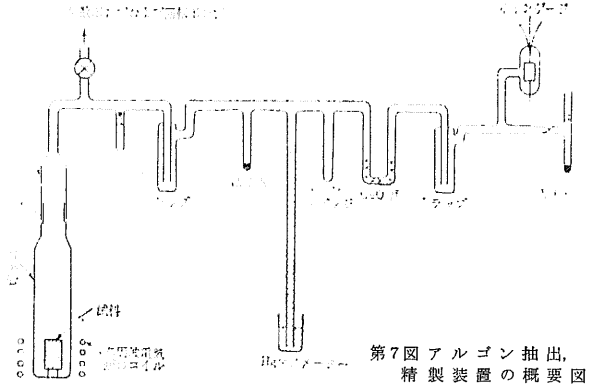


第6図 アルゴン抽出、精製装置

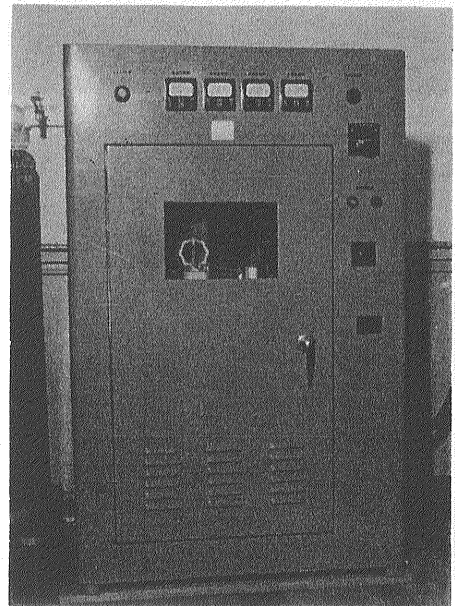
大部分がパイレックスガラス管でできており 加熱部分には石英管が使われている。

試料は直径2cm長さ5cmのモリブデンルツボ(厚さ0.05mmのモリブデン箔を加工)に計りとられ石英管の中におさまられる。この石英管の上部は段つぎによりパイレックスガラスに接続されていて 試料のとりかえはこのパイレックスガラス部分を切断することによって行なう。スパイクアルゴン(後述)およびアルゴン回収用の活性炭つきブレーク・シールがとりつけられた後装置全体を水銀拡散ポンプと油回転ポンプで排気する。チタンスポンジは約1000°Cで30分間 活性炭は約450°Cで2時間以上加熱してガス出しをし 又パーナーでガラス管部分を外部から時々加熱することにより内壁の吸着ガスを追い出す。この焼き出しをする事によって装置内の真空度は著しくよくなる。数時間排気を続けたあと 真空度が $1\sim 3\times 10^{-6}$ mmHgに保たれている事を確かめたら トラップを液体窒素で冷却し 排気系へ通じるコックをしめて試料の加熱を始める。

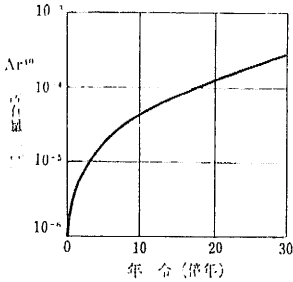
鉱物を熔融してガスを追い出すために 出力3kWの高周波電気炉(第8図)を使う。加熱はゆっくり行ないルツボが赤くなり始めた頃スパイクアルゴンのブレーク・シールを鉄片でわって Ar^{98} を装置に放出させる。30分ほどかかって約1300°Cまで温度をあげ この温度で30分以上加熱を続ける。鉱物から出たガスの量は水銀マンオメーターで監視する。数グラムの黒雲母の場合には普通約1lの容積中で数cmの圧力のガスが放出される。



加熱の終わり頃チタンスポンジが約800°Cに加熱されガスはこれに吸収されて装置内の圧力は数分のうちに1~3mmに減少するが この温度でチタンスポンジの加熱をさらにつづけても圧力はそれ以下にはならない。チタンスポンジの加熱を止め放冷する間に残りのガスの大部分が吸着される。このようにチタンスポンジは高温で種々のガスを吸着し 温度が下がってもそれを放出しないという性質を持っているが アルゴンなどの稀ガスに対してはそのような性質を示さないという点がこの場合重要なことである。この性質を利用してアルゴンの精製が行なわれるのである。ところで加熱によって鉱物から出てくるガスには 多量の水蒸気のほかに H_2 N_2 CO_2 CO 炭化水素 稀ガスなどがあげられるが このうち稀ガスと H_2 以外はチタンスポンジに吸収されるものであり H_2 だけが問題となる。少量の H_2 ならば質量分析の際にじゃまにはならないが 多い場合は除く必要がある。そのためにCuO炉が使われる。チタンスポンジによる吸収は30分以上行なわれるが その後でCuO炉を約500°Cに加熱し 残りのガスをこの上を通すことに

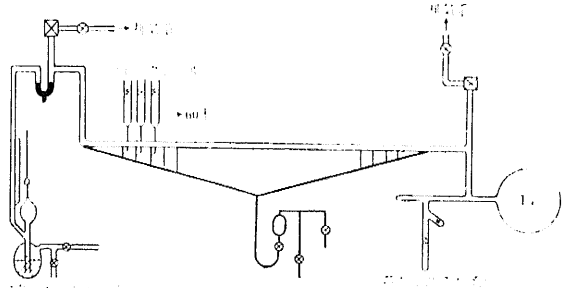


第8図 高周波電気炉



第9図
 鉱物の年齢と
 Ar^{40} 含有量と
 の関係
 ($\lambda\beta = 4.72 \times 10^{-10}/\text{年}$
 $\lambda e = 0.584 \times 10^{-10}/\text{年}$
 カリウム含有量 $K = 1.0\%$
 試料 = 1.0g の場合)

第10図
 スパイクアルゴン
 調製装置



より H_2 を水にかえる。アルゴンの精製が完了したかどうかはテスラーコイルによる放電によって知ることができる。最後にブレーク・シールの活性炭を液体窒素で冷却してアルゴンを集め あらかじめガラス管を細くしておいた部分で焼き切って次の質量分析の実験に入る。

ここでスパイクアルゴンなるものについて説明しておこう。鉱物からでてきたアルゴンの量を求めるにはガスを精製したあとで一定容積内で圧力をはかればよい。このために以前はマクレオード真空計が使われたこともあった。しかし圧力を測定する場合にはアルゴンの精製を完全に行なう必要がある。また鉱物中のアルゴンの量は第9図に示されるごとくきわめて微量であるのでこの方法で正確にアルゴンの量を求めることは非常にむずかしい。そこで考えられたのが同位元素稀釈法である。とくにこの場合は安定同位元素を対象とした稀釈法が利用される。同位元素稀釈法というのは 定量しようとする元素を含む試料に 同じ元素でありながら同位体組成の著しく異なったもの的一定量をトレーサーとして加えてまぜ合わせ その一部をとりだして質量分析計で同位体組成を求めてそれからもとの元素の量を知る方法である。アルゴンの場合について考えてみよう。

鉱物中で放射性壊変によって生じたアルゴンは Ar^{40} という同位体である。ところで大気中のアルゴンの同位体組成は $Ar^{40} = 99.600\%$ $Ar^{38} = 0.063\%$ $Ar^{36} = 0.337\%$ で わずかながら Ar^{38} Ar^{36} が含まれている。そこで この Ar^{38} を利用する事が考えられた。実際には熱拡散による同位元素効果を利用して大気アルゴンから Ar^{38} を濃縮することが行なわれ きわめて純度の高い Ar^{38} が市販されている。この Ar^{38} の一定量を鉱物を加熱する時に装置内に入れて出てきたガスとまぜ合わせ アルゴンを精製して質量分析計で Ar^{40} と Ar^{38} の比をはかれば直ちに Ar^{40} の量が求められる訳である。このために使われるアルゴンがスパイクアルゴンと呼ばれるものである。したがって問題は Ar^{38} の一定量をいかにして正確にはかりとるかという事である。第10

図に Ar^{38} の調整装置の概要図を示した。この装置は学習院大物理学部の長沢宏氏によって組み立てられたものでこの装置を使って Ar^{38} の分離を行なった。 Ar^{38} はスイスのチューリッヒ大学から購入したもので $Ar^{38}/Ar^{36} \approx 100,000$ $Ar^{38}/Ar^{40} \approx 5,000$ ときわめて純度の高い Ar^{38} である。約0.1cc の Ar^{38} を数本に小わけしたあとそのうちの1本を高真空の装置内に拡散させ 圧力測定後容積のわかった約60本のブレーク・シールを封じてスパイクアルゴンとした。これを鉱物を加熱するたびに装置にとりつける。 Ar^{38} の量は直接年令計算に関係してくるので できるだけ正確に知る必要があり そのために正確に計りとった一定量の大气アルゴンをブレーク・シールの Ar^{38} とまぜ合わせて質量分析計にかけて比をはかり Ar^{38} の量を求めた。この量に関する誤差は3%程度と見積もられる。

4) 質量分析計によるアルゴンの分析

3)の操作で得られたアルゴンは質量分析計によってその同位体組成が求められる。

質量分析計は試料を高真空中でイオン化し 電場と磁場をかけてイオンを質量に応じて分離して同位元素の組成を測定する大型精密機械で 年代決定の研究には欠くことのできないものである。地質調査所で使用している質量分析計は 日立RMU-5BR型で (第11図および第12図) この装置は安定同位元素組成のわずかなたよりを精密測定するために設計されたもので 年代決定に必要な微量分析には適さず 一部に改良が加えられた。この質量分析計は次のような総合性能・仕様をもっている。

性能

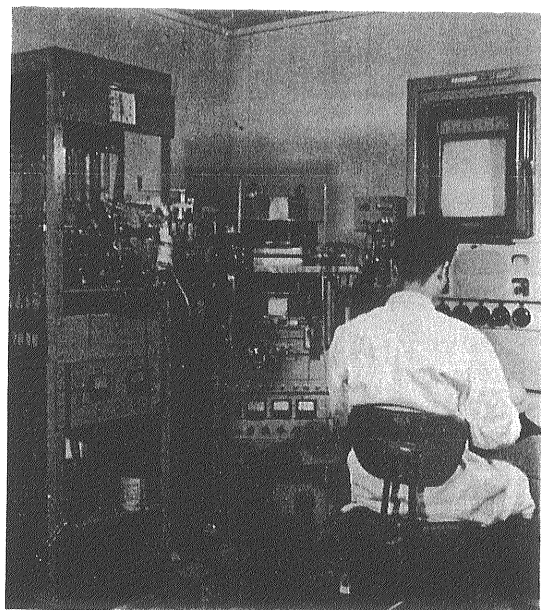
- (1) 分解能 M/e200
- (2) 分析範囲 M/e 2~200
- (3) 検出感度 1~10 pp m
- (4) 分析感度 100 div/ μ
- (5) 記録時間 5~10 min
- (6) 試料所要量 0.1~1 cc
- (7) 分析精度 0.5%

仕 様

- | | |
|-------------|---|
| (1) 構 成 | 分析部 電源部 試料部 AVR
の4ユニット |
| (2) イオン軌道 | 半径200mm 偏向角90度 |
| (3) イオン加速電圧 | 常用2000V 連続可変
600~2400V |
| (4) 磁場の強さ | 0.4~5kG 連続可変 |
| (5) 走査方式 | 励磁電流可変 |
| (6) 記録方式 | 一点ペン書記録計 |
| (7) イオン源 | T-2型 ヒーターおよびソースマ
グネット付属 |
| (8) コレクタ系 | ダブルコレクタ アースス
リット幅および位置可変 |
| (9) 増幅器 | タケダ理研 TR81型 振動容量
型増幅器および直流増幅器
二系統導入方式 |
| (10) 試料導入系 | |
| (11) 分析管真空度 | 10 ⁻⁷ mmHg |
| (12) 保護装置 | 終夜無人放置運転可能 |

質量分析計は高真空で使用しなければならないので回転ポンプ 油拡散ポンプで排気を行なうとともにドライアイス 液体窒素の二段のトラップが用いられる。分析を行なう前に分析管 イオン源 イオンコレクターおよび試料部の一部を加熱して焼き出しをする。焼き出しをしたあとの装置内真空度は通常2×10⁻⁷mmHg程度である。

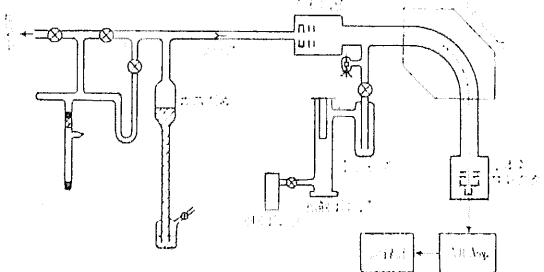
アルゴンの分析を行なうにはまず3)の操作で得られたアルゴンの入ったブレーク・シールを試料部に熔接しこれにつながる部分を排気する。じゅうぶんに排気した後 バックグラウンドを記録する。バックグラウンドとは試料を入れない時に分析管中に残っているガスによるピークの事である。入力高抵抗を5×10¹⁰Ωで M/e=40(M/e₀)はイオンの質量を電荷でわったものでこの



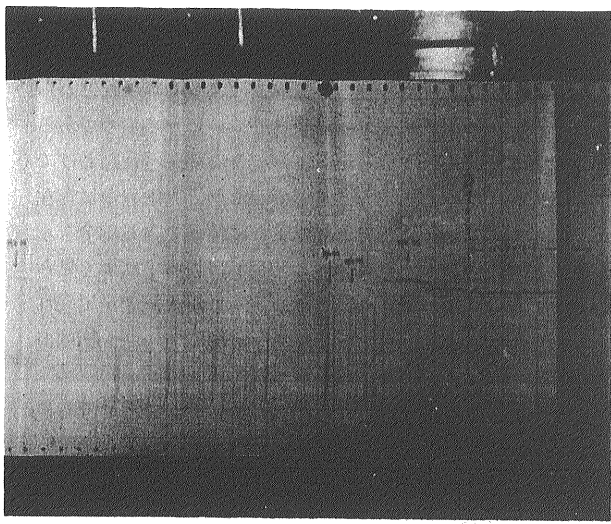
第11図 質 量 分 析 計

場合は Ar⁴⁰ に相当する)のピークを記録し 次に1×10¹²Ωを使って M/e=36~40を記録する。それからマグネットカレントを M/e=36 のピークが出るように合わせて記録紙上に書かせておく。試料部の排気系をしゃ断し 液体窒素トラップを入れて ブレーク・シールをこわし アルゴンを約 100cc のガスだめに拡散させる。

次に水銀をガスだめの中に入れてその容積をへらしアルゴンの圧力を高くする。こうする事により分析部に入るアルゴンの量は始めの時より数倍以上となりピークの高さも大となるが 時間によるピークの減少が著しくなるので 両者のかね合いで適当な圧力にとどめる。こうしてアルゴンはガラス製のリークを通して質量分析部に入ってゆく。先に合わせておいた M/e=36 のピークは試料中の Ar³⁶ の分だけ増加する。次に高抵抗を5×10¹⁰Ωに切りかえ 磁場を連続的に変化させて Ar³⁸ と Ar⁴⁰ のピークを5回以上交互に記録する。最後に再び 10¹²Ωの抵抗に切りかえ M/e=36 のピークに合わせ ガスだめのガスを排気して Ar³⁶ を除いてバックグラウンドの M/e=36 の位置を記録させる。Ar³⁶の量を求めるのにこの方法をとるのは Ar³⁶ のイオン流が Ar³⁸ Ar⁴⁰ に比べてきわめて小さく 10¹²Ωという高抵抗を使わなければ検出できず そのために増幅器の応答速度がおそくて磁場を時間的に変化させるスキャン方式がとれないためである。第13図に記録の一例を示した。上記のように試料を常に分析管中に流し込み 一方では排気をしながら測定をする方法は Flow method と呼ばれているが これに対して試料のある量を分析管の中にとじ込め排気系をしゃ断して分析を行なうのが Static method と呼ばれる方法である。後者ではとくに微量のアルゴン分析ができるので若い年令の鉱物を測定するにはもっぱらこの方法がとられているがわれわれの質量分析計は微量分析用に設計されていないので Static method はとれず 若い時代の岩石の年代測定はきわめて困難である。さて上で求めた記録から Ar⁴⁰/Ar³⁸ Ar³⁸/Ar³⁶ を求めて次の計算式に数字を入れてラジオジェニックな Ar⁴⁰ の量を計算する。



第12図 質 量 分 析 計 の 構 成 図



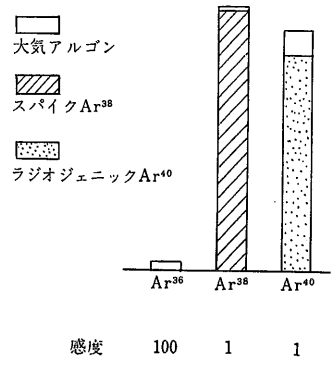
第13図 質量分析計による測定記録

$$Ar^{40} = f_s N_s \left\{ R_{38}^{40} \left[1 + \frac{1 - S_{38}^{36} R_{38}^{38}}{R_{38}^{38} a_{38}^{36} - 1} \right] - \frac{1 - S_{38}^{36} R_{38}^{38}}{R_{38}^{38} a_{40}^{36} - a_{40}^{38}} S_{38}^{40} \right\}$$

ただし、 Ar^{40} = 鉱物中のラジオジェニック Ar^{40} のモル数
 f_s^{38} = スパイク中の Ar^{38} の原子比
 N_s = スパイク中のアルゴンのモル数
 $R_{38}^{40} R_{38}^{38}$ = ガス試料中の Ar^{40}/Ar^{38} Ar^{38}/Ar^{36} の比
 $S_{38}^{36} S_{38}^{40}$ = スパイク中の Ar^{36}/Ar^{38} Ar^{40}/Ar^{38} の比
 $a_{38}^{36} a_{40}^{36} a_{40}^{38}$ = 大気アルゴンの Ar^{36}/Ar^{38} Ar^{36}/Ar^{40} Ar^{38}/Ar^{40} の比

ラジオジェニック Ar^{40} の量がわかれば最初の年令計算式によって年令が求められる。

上式中には大気アルゴンの同位体比が入っているがこれは次の理由による。もし鉱物から抽出されたアルゴンがすべてラジオジェニックなものであれば Ar^{40} のみでしたがって測定記録に出てくる Ar^{38} Ar^{36} のピークはスパイクのものと考えてよいはずである。ところが実際は鉱物を焼いた時には量の多少はあっても必ず大気性のアルゴンが出てくる。これは鉱物の表面などに



第14図 質量分析計で求められるアルゴン同位体の割合 (大気アルゴンの Ar^{38} の量は実際よりも100倍ほど大きく示してある)

大気アルゴンが吸着しているためであり この量を求めて Ar^{40} 量を補正する必要がある。このために大気アルゴンの同位体比が上式に入っているわけである。

先きのべたように大気アルゴンはその 99.6% までが Ar^{40} すなわち放射性壊変で K^{40} から生じた Ar^{40} と同じもので区別がつかず 大気アルゴンの量を知るには Ar^{40} ・300分の1しかない Ar^{36} を使わなければならない。われわれの場合スパイク中の Ar^{36} Ar^{40} は無視しうるほど少ないので大ざっぱに言って Ar^{36} の量を 300 倍したものが大気性 Ar^{40} であり したがって求めた全 Ar^{40} からこの量を引いた残りがラジオジェニックアルゴンと考えることができる。この関係を第14図に示そう。

鉱物の年令が若いと当然蓄積されているアルゴン量が少なくなり大気アルゴンの割合が増大して補正が大きくなる。大気アルゴンは試料を $200^{\circ}C$ ほどで余熱することによってある程度減らす事はできるが全部をとり除くことは不可能である。したがって Ar^{36} の量をできるだけ正確に求めることがきわめて大切である。われわれの所では第三紀以降の岩石についての年代測定は今のところできないが そのおもな理由は Ar^{36} の量を正確に求める事がきわめて困難なためである。第1表に最近行なった年代測定結果を示した。結果についての地質学的な検討は別の機会に行なう事として ここでは 2 3 気のついた事をあげておく。

使用した鉱物は三滝と五島以外は黒雲母である。 K_2O の値はほとんどの場合 2 回以上の測定の平均値である。大気アルゴン混入率とはラジオジェニック Ar^{40} と大気アルゴンとの合計に対する大気アルゴンの割合である。年令に関する誤差は実験誤差で その大部分が

第1表 カリウム-アルゴン法による年代測定結果

試料	産地	岩石・鉱物	K_2O (%)	大気アルゴン混入率 (%)	年令 (百万年)	
F	概	岩手県東磐井郡千鹿町	QD・B	5.82	8.4	114 ± 8
		目立市河内玉簾	QD・B	8.36	10.0	98 ± 7
		目立市河内滝沢	M・B	6.71	12.1	90 ± 8
		常陸太田市長谷	M・B	8.58	7.9	102 ± 11
		新潟県岩船郡山北町	GD・B	7.18	17.0	91 ± 6
天	生	岐阜県吉城郡河合村天生	GD・B	5.28	9.4	175 ± 11
		同	GD・B	2.45	17.2	163 ± 12
TN61091302	岐阜県大野郡丹生川村	QD・B	6.78	5.6	86 ± 6	
隠岐道後	隠岐島西郷町原田	M・B	7.99	13.7	164 ± 12	
三滝	I	愛媛県宇和郡城川町三滝山	G・TR	1.98	35.5	163 ± 13
		福岡市大原津舟崎	GD・B	6.27	8.9	89 ± 7
				10.3	90 ± 8	
NK-17B	福岡市能古島	GD・B	5.48	17.4	97 ± 11	
Ud-10B	福岡県糸島郡二丈村淀川	GD・B	5.64	17.0	97 ± 6	
F-375	福岡県筑紫郡那珂町恵子	G・B	8.42	14.6	83 ± 7	
Og-96D	熊本県下益城郡小川町南部田	M・B	6.10	8.2	108 ± 9	
				5.7	106 ± 11	
五島	五島列島相ノ島	HF・TR	2.52	27.5	81 ± 11	

注1. 本測定結果は筆者と共同研究者によって近く公刊される予定で それまで本書からの引用を禁止する

注2. QD: 石英閃緑石 M: 変成岩 GD: 花崗閃緑岩 G: 花崗岩 HF: ホルンフェルス B: 黒雲母 TR: 岩石全体

Ar³⁶ の測定誤差によるものであり 又年令に対する誤差の割合が一定でないのはラジオジェニック Ar⁴⁰ の誤差が大気アルゴン混入率に関係しているからである。

千厩とF-375の2試料は筆者が以前ケンブリッジ大学で測定したもので その値はそれぞれ119±5m.y.(百万年) 88±4 m.y. であった。今回地質調査所で測定した114±8 m.y. 83±7m.y. の値は誤差の範囲内でそれぞれ前者と同じである。また同一試料について2回測定した例もあるが これもほぼ同じ値が得られ再現性の点も問題はない。鉱物の分離を行わず岩石全体として測定した三滝と五島の試料は K₂O 含量が少なく大気アルゴン混入率も大きくて年令の誤差も大きい。その年令に対する信頼度も黒雲母について求めた場合よりも低くなるものと思われる。岐阜県天生の2つの試料は同一岩石のものではないが同地域から採取したもので K₂O 2.45%の方は黒雲母がかなり緑泥石に変質していた。測定値が幾分小さいのは緑泥石化によってアルゴンの逸散が少し起こったためかも知れない。

カリウム-アルゴン法の問題点

カリウム-アルゴン法で年代測定をする時 考慮しなければならない最も重要な事は 鉱物からのアルゴンの逸散に関する問題である。そこでとくにこの問題について2-3の例をあげて考えてみよう。

直径1mmの黒雲母は常温では数10億年の間100%ラジオジェニックアルゴンを保持できるが150°Cの温度では1,000~5,000万年の間に約半分のアルゴンを失う。さらに300°Cで数百万年の間加熱されるとそれまで蓄積されたアルゴン全部が除かれてしまう事が実験的に推定されている。したがって岩石が比較的低度の変成作用を受けた場合でもすでに変成作用以前の年代決定を不可能にする。これはある面では都合のよいことで黒雲母で年代決定を行えばたいいていの場合最後の火成作用あるいは変成作用のみを示すと考えてよいという事になる。

海緑石は堆積岩の年令を直接測定できるという意味で重要な鉱物であるが 常温においても5億年程で20~30%のアルゴンが失われ また温度が100°Cくらいになると百万年程度で約半分のアルゴンが失われることが知られている。従って海緑石で年代測定を行なう場合は地層が過去に地表からどの程度の深さにまで達したかを調べる必要がある。数千mもの深さに長い間あった海緑石にはカリウム-アルゴン法は適用できないのである。

同一岩石中の黒雲母とカリ長石について年代測定を行なってみると カリ長石の年令がほとんどの場合若くである。これはカリ長石からアルゴンが逸散した事を示す

ものと考えられているが この現象は Mica-feldspar 効果と呼ばれ かなり以前から多くの研究者によりその原因が追求されてきた。最近では拡散の実験などからその原因のある部分は結晶構造の違いによるものであることが認められているが まだ完全に解決されたわけではない。ところでカリ長石の高温型で火山岩中に存在する玻璃長石は黒雲母と同じように信頼できる年令を示すことがわかっている。カリ長石は岩石中によく見られる鉱物の1つであり これを使って年代測定が出来れば試料の範囲も広げられるので 上記のアルゴン拡散の問題のはっきりした解決が望まれる。

以上のべたようにアルゴンの逸散に関してだけでも種々の問題があり 測定された年令の解釈は慎重を要する。

む す び

カリウム-アルゴン法の別の特長は他の年代決定法に比べてきわめて若い年令のものを測定できるという事であろう。最近ではこの方法で新第三紀以降の火山岩に対しても盛んに年代測定が行なわれつつある。ごく新しい例をあげると誤差は大きい玄武岩について9万年というおどろくべき値が求められた。こうしてC¹⁴法を使って測定できる最大数万年とのギャップが段々ちぢめられつつある。かくして近い将来にはあらゆる年代の試料について放射性同位元素を利用する年代測定が高い信頼度をもってできるようになるであろう。

地質調査所においても昭和39年度の予算でカリウム-アルゴン法専用の小型質量分析計を製作することになった。この装置は大部分がガラス製で焼出しがじゅうぶんで真空度は10⁻⁹mmHg以上にすることができ、この装置を使えば少くとも数百万年程度の若い試料の年代測定が可能と思われる。これと共にアルゴン抽出装置の方にも改良を加え微量のアルゴンも取りあつかえるようにする予定である。一方同一岩石を異なった方法で年代測定を行なう事もきわめて重要であり そのためにルビジウム-ストロンチウム法やウラン-鉛法の実験設備をととのえる事も必要であろう。

(筆者は技術部 地球化学課)

おもな参考文献

- 山口 勝: カリウム-アルゴン法による年代測定 I, II 科学 30巻 447頁 531頁(1960)
河野 義礼・植田 良夫: 本邦産火成岩のK-A dating(1) 岩鉱 51巻 128頁(1964)
Carr, D.R. and Kulp, J.L.: Potassium-argon method of geochronometry, Bull. Geol. Soc. Am. 68, p. 763 (1957)
Lipson, J.: Potassium-argon dating of sedimentary rocks, Bull. Geol. Soc. Am. 69, p.137 (1958)
Sraïes, A.A. and Wager, L.R., Ed.: Methods in Geochemistry, Interscience Publ. (1950)