

若い火山岩のK-Ar年代測定 —初生比補正とその応用例—

松本 哲 一¹⁾

1. はじめに

K-Ar年代測定法は、天然放射性核種の⁴⁰Kが半減期12.5億年で⁴⁰Arまたは⁴⁰Caへと放射壊変する現象を利用した年代測定法の一つです。多くの岩石・鉱物試料中にカリウムが主要元素として存在しているのに対してアルゴンは極微量しか存在しないので、この方法が岩石・鉱物試料の噴出または生成年代を知る上で最も有効な手段の一つであると考えられてきました。そして実際に、この方法による岩石・鉱物試料の年代情報が数多く提供されてきました。

一方、最近の希ガス質量分析計の検出感度の向上と超高真空技術の進歩によって、噴出年代が1万年程度の若い火山岩であってもK-Ar年代が技術的には測定可能となってきました。しかし、そのような若い火山岩を最新の真空排気装置と質量分析計を用いてK-Ar年代測定してみると、多くの場合、マイナス(未来)の年代あるいは火山層序と矛盾する年代が得られてしまい、若い火山岩のK-Ar年代測定が十分に信頼のおける年代情報を提供するとは限らない状況が続いていました。

本稿では、若い火山岩のK-Ar年代測定を不確かなものとする原因を説明するとともに、それに対する具体的な解決策を紹介します。そして、この解決策に基づいた新期御嶽火山岩類のK-Ar年代測定の結果から解決策の妥当性を評価してみました。さらに、Aso-4火砕流について、火砕流堆積物本体の年代測定を行なうとともに、Aso-4火砕流を起源とする降下テフラとの層序関係が判明した数種類の火山岩試料についても同様な測定を行なってみました。得られた結果からAso-4火砕流の噴出年代の再検討を加えてみました。

2. K-Ar年代測定法における仮定条件

岩石・鉱物試料のK-Ar年代は、試料が冷却固化してから現在までに試料中に蓄積した放射起源⁴⁰Arの量と放射壊変せずに残っている⁴⁰Kの量をそれぞれ独立した分析方法で定量し、次式(1)から計算します。

$$[\text{K-Ar年代}] = \frac{1}{(\lambda_e + \lambda_\beta)}$$

$$\ln \left[\frac{[\text{放射線起源}^{40}\text{Arの量 (mol/g)}]}{[^{40}\text{Kの量 (mol/g)}]} \left(\frac{\lambda_e + \lambda_\beta}{\lambda_e} \right) + 1 \right] \quad (1)$$

$$\lambda_e: 0.581 \times 10^{-10} / \text{y}, \lambda_\beta: 4.962 \times 10^{-10} / \text{y}$$

⁴⁰Kの量は、炎光光度法あるいは原子吸光法などで試料中に含まれるカリウムの全量を求めた後に、その値に現在の⁴⁰Kの存在度(⁴⁰K/K=0.01167%)を乗じて求めます。一方、放射起源⁴⁰Arの量は、試料中に含まれる⁴⁰Arの全量と⁴⁰Ar/³⁶Ar比を希ガス質量分析計で測定した後に、次式(2)から求めます。

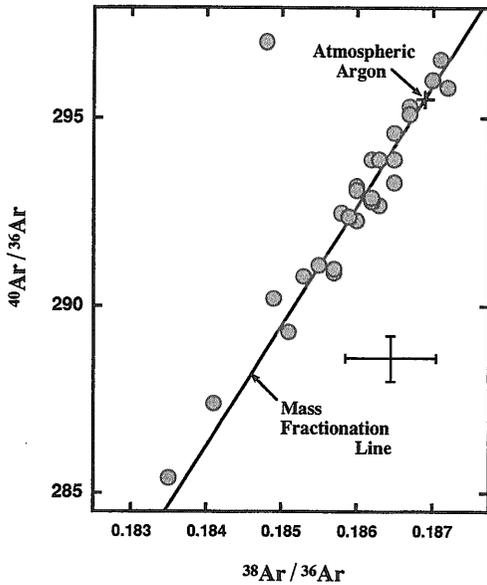
$$[\text{放射線起源}^{40}\text{Arの量 (mol/g)}] =$$

$$[^{40}\text{Arの全量 (mol/g)}] \left[1 - \frac{[\text{初生}^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar比}]}{[\text{現在の}^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar比}]} \right] \quad (2)$$

(2)式中の初生⁴⁰Ar/³⁶Ar比とは、試料が冷却固化した際に内部に取り込んだアルゴンの⁴⁰Ar/³⁶Ar比を意味し、従来からのK-Ar年代測定では現在の大気値(295.5)と同じであったと仮定してきました。このような仮定が設定されたK-Ar年代測定ですが、100万年よりも古い岩石・鉱物試料の場合、ごく一部の例外を除けば常に重要な年代情報を提供してきました。しかし、100万年よりも若い火山岩の測定では、マイナ

1) 地質調査所 地殻化学部

キーワード: K-Ar年代測定法, 若い火山岩, 初生比補正, 新期御嶽火山岩類, Aso-4火砕流

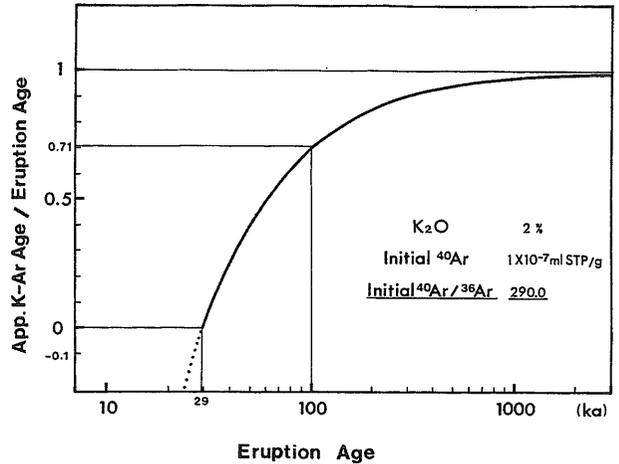


第1図 日本各地から採取した歴史溶岩のアルゴン同位体比(松本ほか, 1989a)。図中“+”が現在の大気アルゴン同位体比であり、その点を通る直線は大気アルゴンが熱拡散によって質量数の差に比例した同位体分別を起こした場合の理論的な変化直線を意味する。図中のエラーバーは各試料のアルゴン同位体比測定に対する誤差の中でそれらの最大値を1 σ 水準で表示した。

ス(未来)の年代あるいは火山層序と矛盾する年代が頻繁に得られてしまいます。この原因は初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比に対する仮定が若い火山岩ではどうも成り立っていないからようです。このことについて、3.で説明します。

3. 初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比のばらつき

今から数万年以上前に噴出した火山岩と比較して、つい最近噴出した火山岩(いわゆる“歴史溶岩”)が冷却固化してからの経過時間はほとんど“0”であると見なせます。そして、この歴史溶岩のアルゴン同位体比が、K-Ar年代を測定する若い火山岩の初生アルゴン同位体比を代表していると考えられます。日本各地から採取した歴史溶岩の $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ・ $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を第1図にまとめてみました。この図から明らかのように、大部分の歴史溶岩のアルゴン同位体比は、“+”で示した現在の大気値とは測定誤差の範囲を越えて異なっており、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比は285~297の範囲

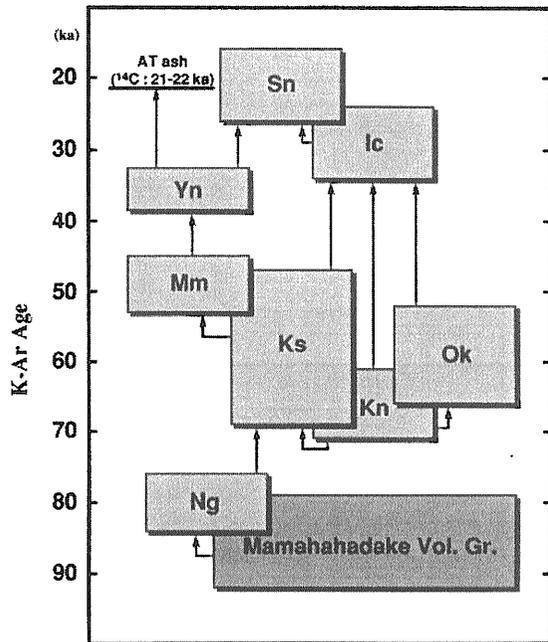


第2図 K-Ar年代測定試料が大気アルゴンと異なる初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を有していた場合の年代計算への影響。図中では、 K_2O の量が2%、初生 ^{40}Ar の量が 1×10^{-7} ml STP/g、初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比が290.0のモデル試料について、従来どおりに初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を大気値(295.5)で代用して求めたK-Ar年代と本当の噴出年代との“ずれ”を見積もった。噴出年代が100万年よりも若い場合、その“ずれ”は急激に増大する。

に散在していました。若い火山岩の初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比も噴出時には同様な傾向にあったのではないかと推定されます。

現在の大気値(295.5)とは異なる初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を有していた若い火山岩に対して従来どおりの仮定でK-Ar年代を計算した場合、得られた年代が本当の噴出年代とどの程度異なるかを第2図で見積もってみました。この図では、初生 ^{40}Ar の量が 1×10^{-7} ml STP/g(注1)、初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比が290.0、 K_2O の量が2%のモデル試料について、本当の噴出年代からのK-Ar年代の“ずれ”が表示されています。この図を見てみると、100万年よりも古い年代では、初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を従来どおりの295.5と仮定しても、計算されるK-Ar年代は誤差の範囲内で本当の噴出年代と一致していると判断できそうです。しかし、年代がそれよりも若い場合では、K-Ar年代は本当の噴出年代から徐々にかけ離れていき、3万年よりも若い場合では、K-Ar年代はマイナス(未来)の値になってしまいます。

この結果は次のような理由で説明することができそうです。すなわち、年代が比較的古い試料では、今



第5図 新期御嶽火山岩類のK-Ar年代と火山層序。Sn：三ノ池火山噴出物、Ic：一ノ池火山噴出物、Yn：四ノ池火山噴出物、Mm：継母岳火山噴出物、Ks：草木谷火山噴出物、Ok：奥の院火山噴出物、Kn：金剛堂火山噴出物、Ng：濁河火山噴出物。図中の矢印は火山噴出物間の層序関係を示す(山田・小林, 1988)。摩利支天火山群に属する8種類の噴出物については、それぞれ複数試料のK-Ar年代の荷重平均を求め、その値をブロックで表示した。このブロックの垂直方向の幅が荷重平均年代の誤差 1σ に相当する。継母岳火山群に属する4種類の火山噴出物については、それらのK-Ar年代がすべて測定誤差の範囲内で一致したので、単一のブロックにまとめて表示した。

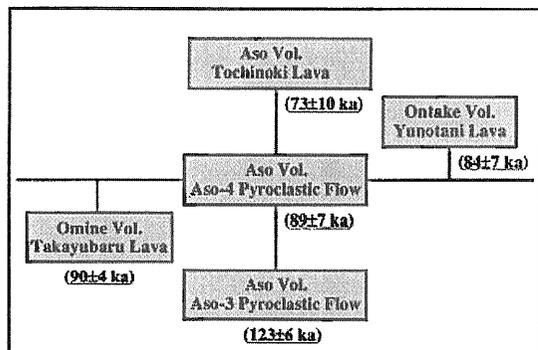
山層序との整合性とその時間分解能を評価するため、火山噴出物ごとの年代データを第5図に整理しなおしてみました。この図では、活動後期(摩利支天火山群)の8種類の噴出物については、同じ噴出物から採取した複数試料のK-Ar年代の荷重平均を求め、その値をブロックで表示しました。各ブロックの縦の長さは噴出物の荷重平均年代に対する誤差 1σ 水準に対応しています。各ブロックを結ぶ矢印は、野外調査で判明した層序関係に対応しています。一方、活動前期(継母岳火山群)の4種類の噴出物については、いずれの荷重平均(一部単独)年代も8~9万年の間に

集中していて、お互いの年代を有意に区別できないので、単一のブロックにまとめました。この図から、摩利支天火山群に属する8種類の噴出物の荷重平均したK-Ar年代は火山層序との整合性を保っていると判断できます。そして、噴出物のK-Ar年代の間に約20年以上の相違があれば、相互の活動年代の違いを議論できそうです。さらに、広域テフラの“AT ash”に覆われる四ノ池火山噴出物のK-Ar年代(36 ± 3 ka)は、 ^{14}C 年代に基づく“AT ash”の推定噴出年代(21-22ka)とも整合性を保っています。以上の結果から、若い火山岩のK-Ar年代測定では、試料ごとに初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比から推定すれば、従来法よりもはるかに正確なK-Ar年代が得られると判断できそうです。

6. Aso-4火砕流の噴出年代

今回紹介した初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比推定法を利用したK-Ar年代測定法のもう1つの応用例として、後期更新世の示標層として重要な意義をもつ阿蘇火山起源のAso-4火砕流について、火砕流堆積物の直接測定を行なうとともに、Aso-4火砕流以前に噴出したAso-3火砕流と大峰火山高遊原溶岩、Aso-4火砕流以後に噴出した阿蘇火山栃ノ木溶岩についても同様な測定をしてみました。Aso-4火砕流堆積物の直接測定では、強溶結凝灰岩中のレンズと基質から分離した本質ガラス・角礫岩中の黒曜石岩片・軽石岩片中の気相再結晶部の3種類を試料としましたが、気相再結晶部試料についてのみ有意なK-Ar年代が得られました。それ以外の試料では、放射起源 ^{40}Ar の含有率が1%にも満たず有意な年代が得られませんでした。Aso-3火砕流では、採取地点の異なる3種類の強溶結凝灰岩中の黒曜石レンズのうち1試料だけで年代が得られました。高遊原溶岩と栃ノ木溶岩については、全岩試料から0.5mm径以上の斑晶をできる限り除去した石基濃集部から年代を得ました。以上の結果とともに、Aso-4火砕流の降下テフラ層を介してAso-4火砕流以後の噴出物であることが判明している新期御嶽火山岩類の湯ノ谷溶岩層の年代も合わせて第6図に整理してみました。

今回、気相再結晶部試料からAso-4火砕流のK-Ar年代(89 ± 7 ka)を直接得ることができましたが、それ以前に噴出したAso-3火砕流と高遊原溶岩の年代



第6図 Aso-4火砕流と関連火山岩類のK-Ar年代。噴出物の層序関係は小野・渡辺(1985)および山田・小林(1988)による。

(123 ± 6; 90 ± 4 ka), さらにはそれ以後に噴出した栃ノ木溶岩と湯ノ谷溶岩層の年代(73 ± 10; 84 ± 7 ka)を総合すると, Aso-4火砕流の噴出年代は約8~9万年前の間であったと判断するのが妥当なようです。この年代値はテフクロロジーで広く採用されてきたAso-4火砕流の推定噴出年代(約7万年前)と比較すると少なくとも1万年以上は有意に古く, Aso-4火砕流の噴出年代を再検討する必要があることを示唆しています。このように, ある特定の若い火山岩の噴出年代をK-Ar年代情報から正確に推定する場合, 目的噴出物に対する直接測定はもちろんのこと, それとの層序関係が判明した別地域の噴出物についても可能な限り多くの測定を行ない, 得られたK-Ar年代から目的噴出物の年代を総合的に判断することが重要です。

7. まとめ

本稿では, 初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を大気値(295.5)と仮定する従来からのK-Ar年代測定法が若い火山岩では不適切であり, 初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を試料ごとに $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比から推定する重要性を述べてきました。この初生比推定法は, 今までに ^{38}Ar スパイクを一度でも導入した質量分析計では行なうことができず, 専用の質量分析計を新たに用意する必要があります。また, この方法で得られたK-Ar年代の誤差は, 推定した初生 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比の“不確かさ”も考慮したので, 従来法による年代誤差よりも増大してしまいました。しかし, この方法の優越性は, 新期御嶽火山岩類と

Aso-4火砕流および関連火山岩類の測定結果(第4~6図)からも明らかです。

今回は, K-Ar年代を不確かなものとするもう1つの要因である過剰 ^{40}Ar の存在については詳しい議論はしませんでした。もし, 試料中に有意な量の過剰 ^{40}Ar が存在していれば, K-Ar年代は本当の年代よりもはるかに古い値となってしまいます。K-Ar年代測定法は原理的には試料中の過剰 ^{40}Ar の有無を直接判断することはできませんが, 次のような試料調製や複数試料の測定を行なうことで, 過剰 ^{40}Ar の存在が疑われる試料を間接的に棄却できそうです。すなわち, 過剰 ^{40}Ar の存在が頻繁に報告されている比較的大きな斑晶(>0.5 mm径)を可能な限り除去した石基濃集部を年代測定試料とします。そして, 目的の噴出物は採取地点の異なる複数試料からK-Ar年代を得るとともに, 層序関係が判明している別種な噴出物についても測定を行ないます。もし, 目的の噴出物中に有意な量の過剰 ^{40}Ar が存在していれば, 同一噴出物間でのK-Ar年代の不一致や火山層序との整合性を欠く結果となるはずです。

注1) “STP”とは“Standard Temperature and Pressure”の略であり, 試料1gから抽出されたアルゴンが0°C 1気圧の状態で何mlの容積を有するかを意味します。

文 献

- 松本哲一(1989): K-Ar年代測定におけるカリウム定量法の改良。地調月報, 40, 65-70。
 松本哲一・宇都浩三・柴田 賢(1989a): 歴史溶岩のアルゴン同位体比-若い火山岩の年代測定における初生値補正の重要性-。質量分析, 37, 353-363。
 Matsumoto, A., Uto, K. and Shibata, K. (1989b): K-Ar dating by peak comparison method -New technique applicable to rocks younger than 0.5 Ma-. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 40, 565-579。
 Matsumoto, A. and Kobayashi, T. (1995): K-Ar age determination of late Quaternary volcanic rocks using the “mass fractionation correction procedure”: application to the Younger Ontake Volcano, central Japan. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 125, 123-135。
 小野晃司・渡辺一徳(1985): 阿蘇火山地質図。火山地質図4, 地質調査所, 8p。
 山田直利・小林武彦(1988): 御嶽山地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 136p。

MATSUMOTO Akikazu (1996): K-Ar age determinations of young volcanic rocks -correction for initial $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ratios and its application-.

<受付: 1996年2月7日>