岩石標準試料のK-Ar年代

K-Ar Ages of Rock Reference Materials

内海 茂・宇都浩三・柴田 賢

Sigeru Uchiumi, Kozo Uto and Ken Shibata

(平成元年9月29日受理)

K-Ar ages were determined for 6 GSJ rock reference materials and 3 mineral standards for K-Ar dating. The results give reasonably good reproducibility, and generally agree with the reported values within experimental errors.

1. 緒 言

各種の機器分析技術の飛躍的向上により、地球構成物質の元素存在度、岩石生成年代など非常に精密なデータが得られている。分析機器、特に計測系の改良により、機器自体の測定精度(Precision)は大きく向上したものの、測定結果の確度(Accuracy)は用いる標準試料の良否によって大きく左右され、場合によっては研究室ごとに有意の系統的な差が生じる恐れがある。それを解決する上で、地球化学的標準岩石または鉱物試料のはたしている役割は大きい。地質調査所では、火成岩、堆積岩など元素濃度が様々な岩石標準試料が多種作成され、それらの試料中の各種元素濃度や同位体比にはじまり帯磁率、弾性率などの岩石物性などのデータが集計され報告されている^{1,2)}。

K-Ar年代測定における放射起源⁴⁰Arの定量は、手法の開発初期は体積法³⁾によっていたが、希ガス用質量分析計の発達にともない、現在多くの場

合³⁹Arをスパイクとした同位体希釈法により求めている。アルゴンは不活性な気体であるため、スパイクの検定は試薬等を用いることはできず、①⁴⁰Ar量が既知の標準鉱物②一定体積の標準空気、のどちらかにより行われている。①の場合、標準鉱物中の⁴⁰Arの含有量は、体積法あるいは②の方法により決められなければならないが、一度正確な定量値がきめられれば、その後はそれを基準にすることで比較的簡便にスパイク検定を行うことができる。一方、②については、正確に一定量の空気を計り取ることで一種の絶対測定が可能だが、空気を正確に分取する容器の体積の正確な定量や機器内のブランクの正確な補正が必要となり、それらのわずかな誤差が系統的な定量値のずれを生じさせる危険性を持つ。Flash⁴⁾は、ベルン大学におけるスパイク検定において両方法を比較し、結果的に①のほうがより信頼性の高かったことを示した。

K-Ar年代測定用標準鉱物試料としては、アメリ

カ地質調査所作成の白雲母P207⁵⁾が有名で、各国のK-Ar年代測定研究室間におけるデータの比較に大きな役割を果たした。しかし、すでに作成された試料のほとんどが使い尽くされており、新たに配布される見込みはない。しかし、LP-6, Bern4 Bなどのいくつかの標準試料がまだ用いられている。地質調査所では、岩石標準試料JG-1の原岩である沢入花崗岩から分離した黒雲母を研究室内標準試料とし、マクレオード圧力計による体積法、P207, LP-6, MMhb-1などの標準鉱物による検定等により、その中の放射起源⁴⁰Arを 24.9×10^{-6} mlSTP/gと決め、スパイク検定用に用いている⁶⁾。この黒雲母については、上述②の方法でスパイク検定を行ったAr定量システムで 25.2×10^{-6} mlSTP/gの値⁷⁾が報告されている。

この論文では、①地質調査所作成の岩石標準試料火成岩シリーズの基礎データとしてのそれらの岩石の生成年代の報告、②沢入黒雲母を用いた各種のK-Ar用標準鉱物中の放射起源⁴⁰Arの定量、を目的とする。

2. K-Ar年代測定

K-Ar年代測定法の手順は、試料の調製、岩石・鉱物からのアルゴンの抽出・精製、アルゴン同位体比測定、およびカリウムの定量の4つの操作に分けられる。一般に配布される岩石標準試料は、岩石を50～100 μ mに細粉化したものであり、そのままK-Ar年代測定に用いることは、低温型カリ長石等のK-Ar年代測定に不適当な鉱物の混在、細粉化の際のアルゴン散逸など問題が多いので、原岩石から鉱物分離もしくは年代測定用の全岩試料調製をおこなった。鉱物試料については岩石試料をジョークラッシャー、ディスクグラインダーで粉碎したのち、60～80メッシュに揃え、水洗いをし、さらにアイソダイナミックセパレーター、重液などを用いて目的とする鉱物を分離した。全岩試料については肉眼的に新鮮な部分を選び、鉱物試料と同様に粗粉碎し、5～10メッシュ(4.00mm～1.68mm)に揃え、水洗いをした。さらに全岩試料についてはカリウム測定用に上記のものの一部をさ

らに細粉化した。アルゴンの抽出・精製は、石英-パイレックスガラス製の高真空装置で行った。使いすてのモリブデン箔製ルツボは、あらかじめ真空中で5分間1300℃で加熱し脱ガスしておいた。これに試料を入れて秤量し装置に取り付け後、試料ガス精製系を200℃で3時間焼き出しをした。アルゴン抽出部については鉱物試料のときは100℃で3時間、岩石試料のときはさらに13時間焼き出しを行った。抽出は高周波加熱炉を用い試料を約30分かけて約1300℃まで昇温し、その状態で10分間加熱溶融した。抽出したガスは液体窒素トラップと金属チタンスポンジで精製した後、液体窒素温度の活性炭ブレイクシーลに捕集し、装置から切り離れた。アルゴン同位体比測定はMicromass603型質量分析計を用い、静作動方式で行った。測定条件は、電子加速電圧75V、エミッション電流200 μ A、イオン加速電圧1kVであった。出力はSolartron社製デジタルボルトメータと日電社製マイクロコンピュータPC-9801VM2を用いてデータを取り込み、⁴⁰Ar/³⁸Ar、³⁸Ar/³⁶Ar比を求めた。ただし、JB-1の全岩試料(KANo. 383: 地質調査所の通し番号)については三菱電機社製のレイノルズ型質量分析計を用いた。カリウムの定量は、TableIIのKANo.が1600番以前は日本ジャーレル・アッシュ社製AA-781型原子吸光光度計を用い、希釈時に干渉抑制剤としてナトリウムを添加する原子吸光法で、それ以降はコタキ製作所製FIP-30D型炎光光度計を用い、内部標準物質としてリチウムを加える炎光光度法で行った。

K-Ar年代を実際に計算する一般式は

$$t = \frac{1}{\lambda_e + \lambda_\beta} \ln \left(\frac{{}^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}}{{}^{40}\text{K}} \cdot \frac{\lambda_e + \lambda_\beta}{\lambda_e} + 1 \right)$$

である。ただし、tは年代、 λ_e 及び λ_β はそれぞれ⁴⁰Kの電子捕獲及び β^- 壊変による壊変定数である。また、⁴⁰Ar_{rad}及び⁴⁰Kは、それぞれ試料中で⁴⁰Kの壊変で生じた⁴⁰Ar(Radiogenic ⁴⁰Ar)及び⁴⁰Kの原子数を表わす。

⁴⁰Kの壊変定数 λ_e 、 λ_β については、地質調査所ではIUGS, Subcommittee on Geochronologyが

岩石標準試料のK-Ar年代

1977年に勧告した新しい定数 $\lambda_0=0.581\times 10^{-10}/\text{y}$ 及び $\lambda_\beta=4.962\times 10^{-10}/\text{y}^{8)}$ を、また、 ^{40}K の存在量 $^{40}\text{K}/\text{K}$ は0.01167atom%を用いている。文中に引用した年代値はすべてこの定数によって換算した値である。

測定誤差の見積については、Cox and Dalrymple⁹⁾による次式を用いた。

$$\sigma = [(\sigma_K)^2 + (\sigma_x)^2 + (\sigma_{38}^{40})^2 \left(\frac{1-r}{r}\right)^2 + (\sigma_{38}^{36})^2 \left(\frac{1}{r}\right)^2]^{1/2}$$

ここで、

σ : K-Ar年代値に対する標準偏差

σ_K : カリウム定量の際の標準偏差

σ_x : ^{38}Ar スパイク検定の際の標準偏差

σ_{38}^{40} : $^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ 比測定に伴う標準偏差

σ_{38}^{36} : $^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ 比測定に伴う標準偏差

r : 放射起源 ^{40}Ar の ^{40}Ar 全体に対する割合

なお地質調査所における測定実験では、 $\sigma_K=2\%$ 、 $\sigma_x=2\%$ 、 $\sigma_{38}^{40}=1\%$ 、 $\sigma_{38}^{36}=2\%$ と見積っている⁶⁾。 r は各々の試料によって異なる。

3. 測定試料

測定した試料番号、産地、岩石名、試料採取地点の緯度・経度をTable Iに示す。

地質調査所標準岩石試料

1) JG-3

この試料は、白亜紀三刀屋花崗閃緑岩体から採取した深成岩である。この試料からは、黒雲母と角閃石を鉱物分離して測定した。

2) JB-1

この試料は、新第三紀の北松浦玄武岩類から得られた溶岩である。この溶岩については、先に述べた5-10メッシュ(4.00mm~1.68mm)に粉碎

Table I Rock Reference Samples

Name	Rock	Note	Latitude	Longitude
G.S.J. Rock reference samples				
JG-3	Granodiorite	Mitoya granodiorite (Hornblende-biotite granodiorite) Cretaceous-Paleogene. Mitoya-cho, Shimane Prefecture.	35°16'41"N	132°52'19"E
JB-1	Basalt	Kitamatsuura basalt (Titanaugite-olivine basalt) Myokanji Toge, Sasebo, Nagasaki Prefecture.	33°13'58"N	129°41'41"E
JR-1	Rhyolite	Wada Toge obsidian, north of Wada Toge, Wada-mura, Nagano Prefecture.	36°09'04"N	138°08'43"E
JR-2	Rhyolite	Wada Toge obsidian, south of Wada Toge, Shimosuwa-machi, Nagano Prefecture.	36°08'08"N	138°08'36"E
JA-2	Andesite	Goshikidai sanukitoid (Olivine andesite) Sa-kaide, Kagawa Prefecture.	34°18'30"N	133°55'37"E
JGb-1	Gabbro	Utsushigatake mass (Augite-hypersthene hornblende gabbro) Funehikimachi, Fukushima Prefecture.	37°28'53"N	140°36'48"E
K-Ar Dating rock reference samples				
LP-6	Pyroxenite	Simalkameen composite pluton (Biotite pyroxenite) northern Okanagan Highlands, Washington, U.S.A.		
FC-3	Rhyolite	Fish Canyon Tuff, south of South Fork, Colorado, U.S.A.		
Bern4B	Gneiss	Verzasca gneiss, Brione, Central Alps. Switzerland.		

した全岩試料と、地質調査所から一般に配布されている標準試料 (50~100 μ m) の2種類を測定した。

3) JR-1, JR-2

両試料は、八ヶ岳火山北西方の長野県和田峠周辺に分布する黒曜岩 (和田峠流紋岩) である。JR-1は、峠の北側、JR-2は南側の石切場で採取した。

4) JA-2

この試料は、新第三紀瀬戸内火山岩類に属する高マグネシア安山岩であり、香川県五色台の溶岩台地を構成する溶岩流から採取したものである。

5) JGb-1

この試料は、阿武隈花崗岩中にみられる小規模のはんれい岩岩体の一つ (移ヶ岳岩体) からのものである。

K-Ar年代測定用標準鉱物試料

1) LP-6

LP-6はアメリカ合衆国地質調査所 (USGS, Menlo Park) において調製されたK-Ar年代測定用黒雲母標準試料である¹⁰⁾。この試料については、標準試料の不均質性が詳しくチェックされ、99.9%以上純粋な黒雲母で、カリウムの測定には5mg、アルゴンの測定には50mg以上の試料を用いることにより、試料分取の際の不均質性を1%以下におさえることができるとされている¹⁰⁾。また、世界各国の研究機関によりカリウム、アルゴンの精度のよい分析値が多数報告されており、良く吟味された文献値¹⁰⁾が得られている。

2) Bern 4B

この試料は、スイス・ベルン大学において作成された標準黒雲母試料で、中央アルプスのVerzasca片麻岩から分離されたものである。

3) FC-3

本試料は、フィッシュトラック年代測定用のジルコンおよびアパタイト標準試料¹¹⁾として広く用いられているFish Canyon Tuffについて、これと同じ場所から改めて採取された凝灰岩試料から、我々の実験室において独自に黒雲母を分離したものである。従って、K-Ar年代測定用の標準鉱

物試料というわけではない。しかし、本試料と同一露頭の岩石から分離された黒雲母、角閃石、サニディン、斜長石についてK-ArおよびAr-Ar法により繰り返し年代測定が行われ、後述するように、それぞれが非常によく一致した年代が得られている。従って標準試料に準じると考え、ここに併せて報告する。この試料は、今後フィッシュトラック年代とK-Ar年代及びAr-Ar年代との対比のみならず、K-Ar年代測定自体にとっても良質な標準試料となりうると考えられる。

4. 測定結果及び考察

測定結果をTable IIに示す。それぞれの試料とも2~4回測定したが、その測定結果は誤差 (1 σ) の範囲内でいずれもよく一致している。アルゴン分析の精度については、誤差の設定を含め問題ないことが示されている。

以下には、各試料について年代測定結果を比較検討した。

地質調査所標準岩石試料

JG-3 (三刀屋花崗閃緑岩) からは、角閃石について 55.9 ± 2.1 Ma、黒雲母について 54.3 ± 1.2 Maという結果が得られた。両者は、誤差の範囲で一致しているものの、2回ずつの測定結果は角閃石の方がわずかに古い。徐冷する深成岩においては、アルゴンの閉鎖温度の高い角閃石の方が黒雲母より古い年代を示すことが一般的であり¹²⁾、今回の結果も同様の傾向を示している。三刀屋花崗閃緑岩については、 52 Ma¹³⁾、 45 Ma¹⁴⁾という黒雲母K-Ar年代が報告されており、前者は今回の黒雲母の年代にほぼ等しい。一方、 45 Maという年代は、見かけ上ひとつづきの岩体の別の場所から得られたものであるが、前者に比べて若い年代を示す原因は不明である。

JB-1 (北松浦玄武岩) からは、K-Ar用全岩試料について 6.60 ± 1.40 Ma、粉体試料について 7.59 ± 0.53 Maの年代が得られた。前者については、三菱電機社製のガラス製質量分析計を用い、当研究室における年代測定の比較的初期に測定したもので、大気混入率が大きく誤差が大きい。システ

岩石標準試料のK-Ar年代

ム全体のブランクが高かったためと考えられる。一方、粉体試料は全岩試料に比べ試料の表面積が圧倒的に多く、表面に吸着している空気のためブランクが著しく高くなることが心配されたものの、全岩試料に比べ大気の影響率は少ない。両測定の間には9年の時間経過があり、その間に真空技術の向上があったことが端的に示されている。北松浦玄武岩類については、Ozima et al.¹⁵⁾などにより多数のK-Ar年代測定が行われている。松井ほか¹⁶⁾の取りまとめによると、同玄武岩類の活動年

代は10～7 Maと考えられる。また松井ほか¹⁶⁾の層序によると、JB-1の溶岩流は同玄武岩類の中でも最上位に近いので、粉体試料の年代はほぼJB-1の噴出年代を示していると考えられる。Dalrymple and Lanphere⁵⁾によると、岩石を細かく粉碎すると岩石中の放射性起源のアルゴンが散逸する可能性のあることが示されている。しかし少なくともJB-1については、年代値に影響するほどの放射起源アルゴンの散逸はなかったと考えられる。

Table II K-Ar Ages of Rock Reference Materials

KA No.	Sample No.	Rock	Material	K ₂ O (%)	⁴⁰ Ar rad. (10 ⁻⁶ ml/g)	Atm. ⁴⁰ Ar (%)	Age (Ma)
1717	JG-3	Granodiorite	Hornblende	0.563, 0.564	1.03	41.0	55.9±2.0
1754					1.03	70.7	55.8±3.7
							55.9±2.1
1753			Biotite	8.73, 8.80	15.6	9.30	54.3±1.7
1755					15.6	9.63	54.2±1.7
							54.3±1.2
383	JB-1	Basalt	Whole Rock	1.42	0.310	90.1	6.60±1.40
1082			Rock Powder			72.6	7.59±0.53
801	JR-1	Rhyolite	Whole Rock	0.439	0.111	56.8	0.78±0.13
865						2.37	0.84±0.15
							0.81±0.10
917	JR-2	Rhyolite	Whole Rock	4.427	0.0865	88.1	0.61±0.10
985					0.0849	59.3	0.60±0.05
							0.60±0.06
1716	JA-2	Andesite	Whole Rock	1.68, 1.69	0.790	32.7	14.5±0.5
1763					0.709	25.3	13.0±0.4
1768					0.805	36.9	14.8±0.5
							14.1±1.0
1718	JGb-1	Gabbro	Hornblende	0.372, 0.372	1.29	32.5	105±4
					1.25	43.6	101±4
							103±3
942	LP-6	Pyroxenite	Biotite	10.03, 9.90	44.5	21.4	130
944				10.08, 10.04	43.4	34.2	
950				10.01±0.08	42.9	15.3	
987					43.5	7.2	
					43.6±0.7		
1608	FC-3	Rhyolite	Biotite	8.92	8.47	48.1	29.2±1.1
1617					8.14	34.6	28.0±1.0
1620					7.84	39.2	27.0±1.0
							28.1±1.1
1600	Bern 4B	Gneiss	Muscovite	9.53	5.20	50.8	16.8±0.7

JR-1、JR-2は同時代に噴出したと考えられるが、 $0.81 \pm 0.10 \text{ Ma}$ と $0.60 \pm 0.06 \text{ Ma}$ という異なった値を与えた。JR-1は新鮮なガラスから成るが、JR-2の原岩はやや加水しており、標準試料そのものは採石場において焼結しているものを粉砕して調製している(安藤 厚、私信)。Kaneoka¹⁷⁾は、和田峠周辺の黒曜岩の系統的K-Ar年代測定を行い、年代値が $1.1 \sim 0.7 \text{ Ma}$ とばらつくこと、 H_2O (+)量と年代値との間に負の相関があることを示した。JR-2の原岩の H_2O (+)量は不明であるが、前述のようにかなり加水しており、その年代値が 0.6 Ma という結果はJR-1及びKaneoka¹⁷⁾の新鮮な黒曜岩に比べ明らかに低い。このことは、Kaneoka¹⁷⁾の指摘と調和的であり、加水に伴う変質作用時に放射性起源 ^{40}Ar の散逸があったものと考えられる。一方、 H_2O (+)量が約1%であるJR-1については、 $0.81 \pm 0.10 \text{ Ma}$ とKaneoka¹⁷⁾の同程度の H_2O (+)量の黒曜岩の年代と一致している。しかし、この年代が噴出年代を示すかどうかについては今後の検討が必要である。

JA-2は、瀬戸内火山岩類に属する香川県五色台の高マグネシア安山岩溶岩である。五色台の安山岩のK-Ar年代は、Sato¹⁸⁾によりJA-2と同じ露頭の試料について $13.1 \pm 0.7 \text{ Ma}$ 、そのほかの露頭の試料について $13.5 \pm 0.7 \text{ Ma}$ 、 $14.2 \pm 0.7 \text{ Ma}$ の年代が商業的年代測定機関(Teledyne Isotope社)の結果として報告されている。今回の測定結果は、わずかに高い $14.1 \pm 1.0 \text{ Ma}$ であるが、誤差を考慮に入れると矛盾のない結果である。

JGb-1(阿武隈山地移ヶ岳はんれい岩体)の角閃石については $103 \pm 3 \text{ Ma}$ という結果を得た。この岩体の黒雲母について、深沢・大貫¹⁹⁾は 88 Ma という年代を報告している。今回の年代値は、それより明らかに古い。先にJG-3で触れたようにこの差は角閃石と黒雲母の閉鎖温度の違いによるものと考えられる。北部阿武隈山地の深成岩類の黒雲母年代はほとんどが $90 \sim 95 \text{ Ma}$ であり、移ヶ岳岩体の年代はその下限値に近い。なお、この角閃石の年代 103 Ma は阿武隈花崗岩類の角閃石の年代 $96.4 \sim 119 \text{ Ma}$ ²⁰⁾の範囲内にあり、花崗岩類と本

はんれい岩体とはほぼ同時期に貫入、冷却したことを示している。

K-Ar年代測定用標準鉱物試料

LP-6(黒雲母)についてはカリウム、アルゴンとも4回ずつ測定し、その平均として $\text{K}_2\text{O} = 10.01 \pm 0.08 \text{ wt \%}$ 、 $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}} = (43.6 \pm 0.7) \times 10^{-6} \text{ mlSTP/g}$ という値を得た。LP-6については、20(Kは19)機関の平均値として $\text{K}_2\text{O} = 10.03 \pm 0.04 \text{ wt \%}$ 、 $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}} = (43.26 \pm 0.44) \times 10^{-6} \text{ mlSTP/g}$ という値が集計されており²¹⁾、我々の結果は1%以内の範囲で平均値と非常によく一致している。

Bern-4B(黒雲母)については、カリウム、アルゴンとも各一回のみ測定をおこなった。その結果、 $\text{K}_2\text{O} = 9.53\%$ (7機関の平均: 9.51%)、 $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}} = 5.20 \times 10^{-6} \text{ mlSTP/g}$ (同: $5.33 \times 10^{-6} \text{ mlSTP/g}$)という結果を得た。一回のみの測定であり、十分な論議はできないが、我々の $^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ の測定誤差は1σで3%以上である⁵⁾ことから考えると他の研究機関の結果と誤差範囲内では一致しているといえる。

FC-3(黒雲母)は、前述のようにK-Ar年代測定用標準鉱物試料ではないが、この場合の試料から分離した鉱物(サニディン、黒雲母、角閃石、斜長石)の平均のK-Ar年代として $27.9 \pm 0.7 \text{ Ma}$ ²²⁾(新壊変定数を用いた再計算値)、 $27.42 \pm 0.41 \text{ Ma}$ ²³⁾、また黒雲母の ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代として $27.45 \pm 0.50 \text{ Ma}$ ²³⁾という非常に詳細な年代値が報告されている。この試料については、3回のアルゴン測定を行い $28.1 \pm 1.1 \text{ Ma}$ という値を得た。上述の年代値に比べるとわずかに古い年代値を示すものの、誤差の範囲内で一致している。

4. まとめ

(1)地質調査所の地球化学岩石標準試料の基礎データとして、6試料についてK-Ar年代測定を行い、再現性のよい値を得た。JG-3、JGb-1を除き、既知の年代試料と矛盾の無い結果を得た。

(2)K-Ar年代測定用標準鉱物試料のLP-6、Bern-4B及び詳しい年代値の判明しているFC-3についての繰り返しアルゴン測定結果は、いずれ

も誤差の範囲で文献値と一致した。この結果、沢入(JG-1)黒雲母を研究室内標準試料と定めた地質調査所のK-Ar年代測定の精度および確度とも、十分信頼性が高いことが示された。

5. 謝 辞

標準試料Fish Canyon Tuff(FC3)を提出していただいた大阪大学理学部糟谷正雄博士および米国地質調査所C.W.Naeser博士、ならびに試料調製に御協力いただいた地質調査所青山秀喜氏に深謝の意を表する。

文 献

- 1) 安藤 厚, ふんせき, 8(1978).
- 2) A. Ando and K. Shibata, *Geochem. J.*, 22, 149 (1988).
- 3) J. A. Miller and K. Shibata, *Bull. Geol. Surv. Japan.*, 12, 653 (1961).
- 4) M. Flish, "Numerical Dating in Stratigraphy." G. S. Odin, ed., John Wiley & Sons, p 151 (1982).
- 5) G. B. Dalrymple and M. A. Lanphere, "Potassium-argon dating," Freeman, San Francisco, 1969, p 258 (1969).
- 6) 内海 茂・柴田 賢, 地調月報, 31, 267 (1980).
- 7) 長尾敬介・西戸裕嗣・板谷徹丸・緒方惟一, 岡山理科大学蒜山研究所報告, 9, 19 (1986).
- 8) R. H. Steiger and E. Jäger, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36, 359 (1977).
- 9) Cox and Dalrymple, *J. Geophys. Res.*, 72, 2603 (1967).
- 10) C. O. Ingamells and J. C. Engels, *Nat. Bur. Stand., Spec. Pub.*, 422, 401 (1976).
- 11) C. W. Naeser, R. A. Zimmermann and G. T. Cebula, *Nucl. Tracks*, 5, 65 (1981).
- 12) 柴田 賢・杉山雄一・高木秀雄・内海 茂, 地調月報, 39, 759 (1988).
- 13) 河野義礼・植田良夫, 岩鉱, 56, 191 (1966).
- 14) 河野義礼・植田良夫, 岩鉱, 57, 177 (1967).
- 15) M. Ozima, I. Kaneoka, M. Kono, H. Kinoshita, K. Kobayashi, M. Ohinaka, T. Nagata and H. Kurasawa, *J. Geomag. Geoelectr.*, 20, 85 (1968).
- 16) 松井和典・古川俊太郎・沢村孝之助, "佐世保地域の地質," 地質調査所, p92(1988).
- 17) I. Kaneoka, *Mass Spectroscopy*, 17, 514 (1969).
- 18) H. Sato, *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, 26, 51, (1982).
- 19) 深沢丈夫・大貫 仁, 岩鉱, 66, 1 (1972).
- 20) 柴田 賢・内海 茂, 岩鉱, 78, 405 (1983).
- 21) G. S. Odin and others, "Numerical Dating in Stratigraphy." G. S. Odin, ed., John Wiley & Sons, p123 (1982).
- 22) T. A. Steven, H. H. Mehnert and J. D. Obradovich, *U.S.G.S., Prof. Paper* 575-D, D47 (1967).
- 23) A. J. Hurford and K. Hammerschmidt, *Chem. Geol.*, 58, 23 (1985).

Keywords

K-Ar dating
K-Ar ages
Rock reference materials