

# 極微量の岩石鉱物試料の地質年代測定

## 精密な時間軸を入れた火山活動史の解明へ向けて

### 放射年代測定

火山活動、地殻変動等の地質現象を理解する上で、それらがいつどういう順序で生じ、変化していったかを知る、すなわち時間軸を入れることは極めて重要かつ本質的なことである。

K-Ar法、 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法はいずれもカリウムの放射壊変を利用した年代測定法で、岩石、鉱物試料の年代決定に幅広く適用されている。岩石・鉱物中に含まれるカリウムのうち、0.01167%が放射性元素の $^{40}\text{K}$ である。この $^{40}\text{K}$ のうち約89%が $^{40}\text{Ca}$ に $\beta$ -壊変するが、残りの約11%は $^{40}\text{Ar}$ へと電子捕獲壊変する。従って、岩石・鉱物中の $^{40}\text{K}$ に対する放射性起源の $^{40}\text{Ar}$ の割合を知ることにより、それらの形成年代を求めることができる。

### 極微量試料の測定

従来のK-Ar法の場合、数百ミリグラムから数グラムの試料を測定に使用するのが一般的であった。これに対して $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法は、試料を原子炉に入れて中性子照射することにより、岩石中の $^{39}\text{K}$ を $^{39}\text{Ar}$ に変換するため、Ar同位体比の測定のみで年代決定でき、はるかに少ない量の試料で年代値が得られる。ここで主に使用されているのが、試料をレーザービームで加熱融解させる方法(レーザー加熱法)である。この手法は、月の岩石の試料を測定するために1970年代に初めて適用された。極微量試料を精度よく分析するためには、試料から放出されるガスを抽出精製する超高真空ラインや、アルゴン同位体比を測定する質量分析計内のブランク(装置内の管壁等から放出されるアル

ゴン、あるいはアルゴンと同じ質量数をもつ物質)を低く抑える必要がある。

この手法により行われた研究の例として、恐竜の絶滅に関連したと考えられている隕石が地球に衝突した年代決定や、人類化石を産出する地層の上下に位置するテフラ(火山灰層)の年代測定を通じて、人類の祖先が生きていた年代を決定した研究などが知られている。

### 火山岩石基試料の年代測定とその応用

産総研では、1994年よりこの年代測定システムの導入、開発を行い、陸上及び海域の火山活動史の解明に役立っている。われわれの年代測定システムの特色として、単結晶で精度よく年代を決定する試みと同時に、数ミリグラム程度の火山岩の石基(火山岩の大きな結晶(斑晶)以外の部分)を用いて、試料を段階的に加熱しながら、各温度ごとに年代測定を行う方法を確立したことがあげられる(図1)。この測定法を実現するためには、試料を均質に加熱することが必要となるが、通常のレーザービームはエネルギー分布が均質でないため、そのままでは使用できない。このため、レーザービームを光ファイバーケーブルに通すことでエネルギー分布を均質化した上で、試料に照射する方法をとっている(図2)。試料加熱中、高感度CCDカメラを用いて試料表面の熱エネルギー分布をモニターし、試料が均質に加熱されていることの確認も行われている。またAr同位体比測定に用いる質量分析計の高感度アナログ検出器を、デジタル(イオンカウンティング)方式の検出システムに変更することにより、バックグラウンド補正による誤差を低減するな

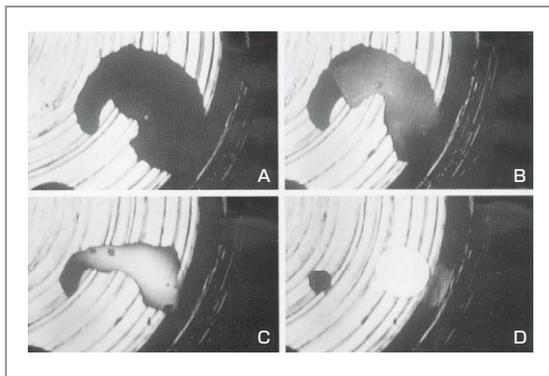


図1 試料がレーザー加熱により融解していく様子(試料サイズは約300マイクロメートル) レーザ出力の上昇とともに試料の温度は上昇し、融解、発泡し、最終的には完全に融解してガラス玉となる。このプロセスで分析対象となる試料中のアルゴンガスが超高真空ライン中に放出される。

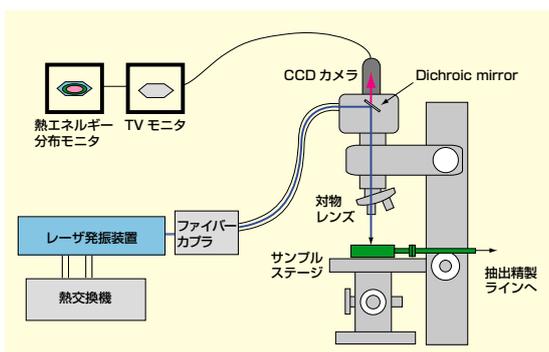
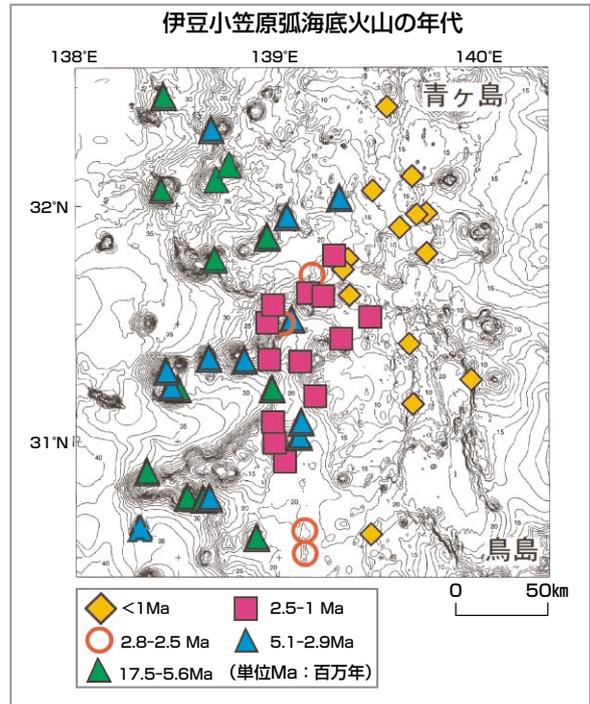


図2 レーザ加熱システム レーザ発振装置から発振されたビームは、集光されて光ファイバーケーブルに導入される。その後ビームは、顕微鏡の光学系を通過し、超高真空試料チャンパー内の試料に覗き窓を通して照射される。

図3 伊豆小笠原弧中部の海底に分布する火山体から採取された火山岩についての<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年代測定結果

得られた年代値を年代別に色分けし、海底地形図上で各試料採取地点にプロットしたものの。この結果、大局的には時代とともに火山活動の場が東側に移動していった、あるいは火山活動の起きている地域の西端が東側に移動し、火山活動の場が東側に収束していったことが明らかになった。また赤丸で示した、南北方向に伸びた地形から得られた玄武岩溶岩は、いずれも極めて近い年代を示し、この地形が広域にわたってほぼ同時期に形成されたこともわかる。



どして、微弱なシグナルを精度よく測定するための工夫を行っている。

この手法は従来法に比べて、ボーリングや調査航海等により得られた貴重かつ少量の試料について、信頼性、精度ともに高い年代値が得られること、変質等、岩石鉱物が形成された後で被った影響について、ある程度客観的な評価ができることがメリットとしてあげられる。

この手法の導入により、これまで特に年代測定が困難で解明が進んでいなかった日本周辺の海底の火山活動史の解明が飛躍的に進んだ。その一例として、伊豆-小笠原地域で明らかになった海底火山活動の時間・空間変化を図3に示す。海底火山の岩石以外に、海底を構成する基盤岩類の年代測定も実

施しており、これにより日本周辺海域、さらに広くアジア地域の地殻構造発達史や、火山活動分布の時間変遷を理解する上で必要な基礎データを提供している。

2004年度からは、国家的な取り組みが行われている、国連への大陸棚延伸

申請のための日本周辺の大陸棚限界画定調査において、海底基盤岩類の同定を目的とした年代決定を行っている。

## 今後の展開

現在使用している可視光レーザーでは困難な斜長石等の透明な鉱物の段階加熱測定をCO<sub>2</sub>レーザーを用いて実現することを目指している。また低ブランクの小型抵抗炉を用いた、より多くの試料を均質に加熱できるシステムを製作中である。

## 参考文献

- O. Ishizuka, K. Uto, M. Yuasa, A.G. Hochstaedter: Volcanism in the earliest stage of back-arc rifting in the Izu-Bonin arc revealed by laser-heating <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating. J. Volcanol. Geothermal Res., 120, p71-p85 (2002)
- O. Ishizuka, K. Uto, M. Yuasa: Volcanic history of the back-arc region of the Izu-Bonin (Ogasawara) arc. Geol. Soc. Spec. Publ., 219, p187-p205 (2003)
- 石塚 治, 小原泰彦, S.H. Bloomer, 木村純一, M. Reagan, R.J. Stern, R.N. Taylor, Y.B. Li, 石井輝秋: 伊豆小笠原弧形成初期におけるマグマ起源物質の時空変化について. 月刊地球 号外 52 202-209 (2005)
- G.H. Megrue: Spatial distribution of <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages in lunar breccia 14301. J. Geophys. Res., 78, p3216-p3221 (1973)
- C.C. Swisher III, J.M. Grajales-Nishimura, A. Montanarini et al.: Coeval <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages of 65.0 million years ago from Chicxulub Crater melt rocks and Cretaceous-Tertiary boundary tektites. Science, 257, p954-p958 (1992)
- R.C. Walter, P.C. Manega, R.L. Hay, R.E. Drake, G.H. Curtis: Laser-fusion <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of Bed I, Olduvai Gorge, Tanzania. Nature, 354, p145-p149 (1991)

地質情報研究部門 (つくばセンター)

石塚 治

E-mail : o-ishizuka@aist.go.jp

1994年に地質調査所に入所以来、レーザー加熱法による<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年代測定システムの確立を行い、その応用として、伊豆小笠原弧背弧地域の火山活動史を解明する仕事を手がけた。調査船、潜水船による海底地質調査と陸上調査により得た試料について、年代測定及び化学組成、同位体比測定技術を用いて、地質現象に精密な時間軸を入れ、その上で特に島弧火山及び熱水活動による物質の移動、濃集過程を明らかにする研究を行ってきた。上記の技術を生かして統合国際深海掘削計画等でも火山(マグマ)活動による島弧地殻形成過程の調査研究に貢献していきたい。

