

講演要旨(第167回)*

特集 地質年代測定法—最近の技術—

鉛-210法

松本英二

鉛-210(^{210}Pb)法は、ウラン-238(^{238}U)系列に属する半減期22年の核種である。地殻中に含まれる ^{238}U から放射壊変により生成されるラドン-222(^{222}Rn)はガスであるため、大気中に逃散する。大気中の ^{222}Rn の大部分は壊変して ^{210}Pb となり、エアロゾルとして降水に取り込まれて再び地表に戻ってくる。こうして、地表では ^{238}U と ^{210}Pb の間に非平衡が生じる。

ベルギーのCROZAZら(1964)は、 ^{210}Pb を南極の積雪層の年代測定に利用した。これが ^{210}Pb 年代学の初めである。インドのKRISHNASWAMYら(1971)は、湖の底泥の堆積年代の測定に、続いてKOIDEら(1972)は沿岸海域での底泥の堆積年代の測定への ^{210}Pb の利用を提唱した。その原理は、水域に導入された ^{210}Pb は、水中の懸濁粒子に吸着され、雪のように水底につぎつぎに積もっていくことに基づく。

^{210}Pb および堆積粒子の底泥表面への沈積量が一定で、かつ底泥中での ^{210}Pb の再移動がなければ、その底泥が表面にあった時期は、つぎのようにして求めることができる。t年前に表面にあった底泥が現在ある深さになるまでのt年間に、 ^{210}Pb が外部から加えられることはないで、放射壊変で減少するのみである。この底泥がt年前に表面にあったときの ^{210}Pb の濃度は、現在表面の底泥中の ^{210}Pb 濃度(A_0)と同じであったはずである。ある深さxの底泥中での ^{210}Pb 濃度(A_x)とすれば、

$$A_x = A_0 \exp(-\lambda t)$$

となる。ここで λ は ^{210}Pb の壊変定数(0.0311 yr^{-1})である。

KOIDEら(1973)は上式が成立することを年層(varve)が発達しているカルフォルニア海盆の堆積物で示した。この論文を契機として、湖や沿岸海域の堆積年代測定が広く行われるようになる。特に湖や沿岸海域の汚染や環境変化を堆積物から追跡するという新しい研究分野の展開が行われる。

* 昭和59年10月5日日本所において開催の研究発表会。

文 献

- CROZAZ, G., PICCIOTTO, E. and DE BREUCK, W. (1964) Antarctic snow chronology with ^{210}Pb . *J. Geophys. Res.*, vol. 69, p. 2597-2604.
- KOIDE, M., SOUTAR, A. and GOLDBERG, E. D. (1971) Marine geochronology with ^{210}Pb . *Earth Planet. Sci. Letters*, vol. 14, p. 442-446.
- KOIDE, M., BRULAND, K. W. and GORLBERG, E. D. (1973) Th-228/Th-232 and ^{210}Pb geochronologies in marine and lake sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 37, p. 1171-1187.
- 松本英二(1981) 堆積年代測定法：鉛-210法。地質ニュース, No. 320, p. 47-51.
(海洋地質部)

電子スピン共鳴(ESR)年代測定法の現状と火山灰への応用

今井 登・下川浩一

ESR年代測定法は試料中の常磁性のラジカル(不対電子)を用いて年代測定をする。その際、過去に蓄積された放射線損傷の総量(総被曝線量)を、一年間の線量(年間線量)で割って年代値を求めるが、年代値の主要な誤差の原因は年間線量の見積りにある。その主なものは①アルファ線の効果の見積りの不確定さ、②骨・歯化石表面へのウランの吸着、③ウラン、トリウム、ラジウム等の放射非平衡、④ラドンの過剰および不足⑤水のしゃへい等があげられる。

現在適用されている試料としては、骨、歯、鐘乳石、石筍等の陸成の炭酸塩鉱物、サンゴ、貝、有孔虫等の海成の炭酸塩鉱物が主要なものである。その他石膏、フリント、ジルコン、断層破砕帯中の石英等がある。この他、チャートを初めとする種々の地質試料中の有機ラジカルを利用した研究もあげられる。

地質調査所では、従来 ESR 信号が微弱か多量の常磁

性不純物の妨害のため困難とされてきた岩石の ESR 年代測定を行うため、火山岩および火山灰から分離した石英中の種々の格子欠陥を用いて年代測定を行った。石英の格子欠陥には、E', Ge, peroxy, Al-中心等があるが、この中で低温でのみ観測される Al 中心の信号は、常温で観測される E', Ge 中心等の信号より数桁強度が強く、Al 中心の信号を用いれば岩石の ESR 年代測定を容易に行うことができる。玉川溶結凝灰岩中の石英を常温で観測すると Ge 中心の信号から 2.0 Ma を求めることができ、低温測定による Al 中心からは 0.60 Ma を得る。この試料は FT (フィッシュントラック) 年代が 2.0 Ma, TL (サーモルミネッセンス) 年代が 0.48 Ma と求められており、この差は過去のある時期に起きた熱変成により、TL に関与する格子欠陥が解消されたことによるといわれている。ESR 年代値の Ge, Al 中心による差は両者の欠陥の安定性の違いによっており、安定性の低い Al 中心は TL から予想される熱変成で解消されて 0.60 Ma の年代値を示し、それより安定性の高い Ge 中心の信号はそのまま残ったため FT と同じ 2.0 Ma の年代を示すと考えられる。この他、Al 中心の信号は石英だけでなく長石や火山ガラスでも検出され、これらを用いた年代測定も可能である。

(技術部・環境地質部)

年代が測定上可能な最古の年代となる。さらに重要なことは試料自身の ^{14}C の汚染である。これまで報告された例では、阿多火砕流は、層序およびフィッシュントラック年代からは 8 万年 B. P. 頃と考えられているにもかかわらず、2 万 3 千年 B. P. の ^{14}C 年代を示す場合がある。この場合、前処理後もなお、現代カーボンにして 5% の混入があったと計算できる。一方、同火砕流中の炭の ^{14}C 年代が 4 万 3 千年でスケールアウトしている場合も報告されているので、試料および前処理次第で、現代カーボンの混入は、0.5% 以下にもおさえ得る。地調で測定した例としては、吉沢ローム層中の木片(フィッシュントラック年代で 13-14 万年 B. P.) が 51,000 年 ± 3800 年 B. P. (JGS-124) を示し、この場合の現代カーボン混入率は 0.2% である。この程度の現代カーボンの混入の効果は、4 万年以下では計数誤差 (2σ) 以下であるが、4 年以上では計数誤差 (2σ) を越える。従って、未知年代試料の 4 年以上の年代についてはミニマム年代と考えた方が妥当である。

なお、4 万年をこえる年代の測定のためには、試料の量、労力、時間、費用ともに、4 万年以下の試料の 4-5 倍を費やさねばならない。(技術部)

フィッシュン・トラック年代測定

玉生志郎

炭素-14法による 4-5 万年の年代測定

富樫茂子

ベンゼン-液体シンチレーション法による 4 万年以下の年代の試料の ^{14}C 年代測定については既に公表済である(富樫・松本, 1983; TOGASHI & MATSUMOTO, 1984)。ベンゼン-液体シンチレーション法は、従来の気体法に比べ、低バックグラウンドで、測定可能な炭素量が多いことなどにより、4 万年を越える年代測定も可能である。本報告では、4-5 万年の年代測定について、方法とその問題点、年代値の解釈について議論した。

4-5 万年の年代測定をするためには、現代の ^{14}C の 100 分の 1-500 分の 1 の微量の ^{14}C の濃度の測定をしなければならない。現在、地調で使用している液体シンチレーションカウンターは、試料ベンゼン 15 cc (炭素 12.2 g) でバックグラウンドが 1.5 cpm と小さい。この条件で、100 時間測定した時に測定可能な最古の年代は、59,000 年 B. P. である。ところが、ベンゼン合成途中に試薬や反応所から ^{14}C の混入があり、ブランクの古生代の石灰岩の年代は 56,000 ± 3800 年 B. P. であり、この

フィッシュン・トラック(以下 FT と略記)年代測定法の現状と問題点について報告する。

筆者は今まで長野県小谷温泉、九州地方の豊肥地熱地域、東北の仙岩地熱地域などの地熱地帯の地表試料・岩芯試料を用いて FT 年代測定を行ってきたが、得られた年代値は一般に層序学的に予想したものより若いことが多かった(玉生(1984, 印刷中), 玉生ほか(1981), 玉生・糟谷(1983))。FT は加熱されてフェーディングを起こすことから、これらの FT 年代は地熱により若返った年代を示しているのであろうと考えていた。しかし、最近 FT の異方性や最適エッチング条件などが議論される中で、特に若い時代の試料においては自発核分裂トラック密度が過小評価されて実際より若い年代値となっている可能性が指摘されるようになった(SUZUKI, 1984)。そのため筆者は K-Ar 法などで年代値の明らかになっている年代標準試料(4th International Fission Track Dating Workshop 用に提供されたもの)を用いて私の用いている FT 法 ($\text{S}4\pi\text{IS}-12\pi\text{ED}$ 法で一般に言う External Detector 法)の検討を行った。その結果、84-1(ジルコン)で 14.5

±0.8 Ma (K-Ar 法で16.8±2.0 Ma), 84-2 (ジルコン)で25.4±1.1 Ma (K-Ar で27.8±0.7 Ma), 84-3 (アパタイト)で30.8±2.2 Ma (K-Ar 法で27.8±0.7 Ma), 84-4 (アパタイト)で88.3±6.6 Ma (K-Ar 法で98.7±0.6 Ma), 84-5(スフェーン)で98.5±4.8 Ma(K-Ar法で98.7±0.6 Ma)となった。今回私の求めた熱中性子線量が真の値であると仮定すれば、今回得られたFT年代はK-Ar年代に比べて、ジルコンの場合10-15%若くなる事が判った。但し今回の年代標準試料にはジルコンのFT年代測定にかなり大きな影響が出そうな1Ma程度のものが含まれていなかったため、今後そのような若い試料の化石トラックの異方性や最適エッチング条件を明らかにさせねばならない。このような基礎的な研究が行われなければ、地熱によるFT年代の若返りの度合を正しく評価することは出来ない状況である。

文 献

SUZUKI, M. (1984) Discussion on terminology, anisotropy, and Interprocedural cross-checks of fission track ages of zircon. *Joul. Geol. Soc. Japan*, vol. 90, p.551-563.

玉生志郎(1984) 岩芯分析(フィッション・トラック(FT)年代測定. 昭和58年度サンシャイン計画研究開発成果中間報告書。(印刷中).

玉生志郎・長谷紘和・村岡洋文(1981) 長野県北安曇郡小谷温泉周辺の石英閃緑ひん岩及び石坂流紋岩のフィッション・トラック年代—日本の地熱活動に関連する火成岩のフィッション・トラック年代(3)—. 地調月報,

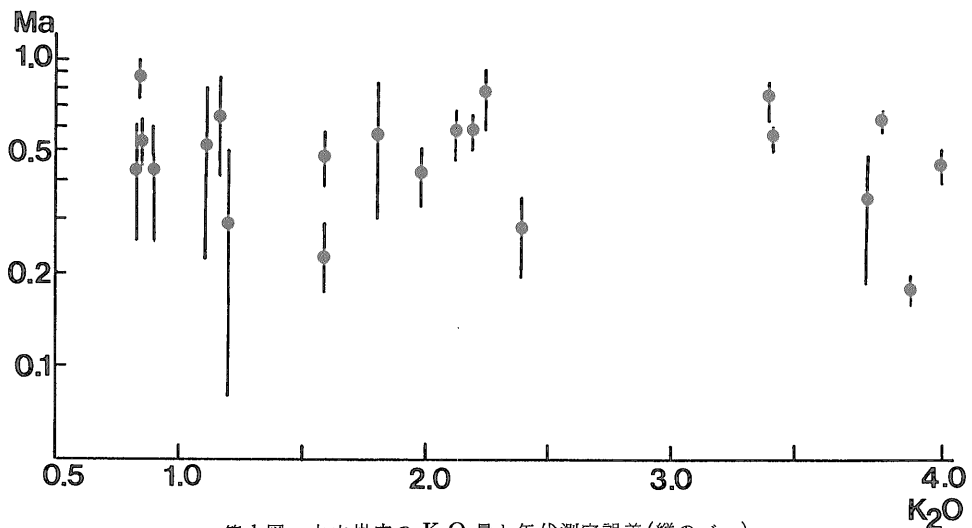
vol. 32, p.717-721.

玉生志郎・糟谷正雄(1983) 豊肥地熱地域のボーリング・コアのフィッション・トラック年代(その1). 地調月報, vol. 34, p.455-469. (地殻熱部)

火山岩のカリウム—アルゴン法年代測定

宇都浩三

地質調査所における、百万年より新しい火山岩のカリウム—アルゴン年代測定の現状および将来の可能性を紹介した。カリウム—アルゴン法においては、一般に大気の混入率が90%以上になると、すなわち測定試料中のアルゴン総量に対する放射起源 ^{40}Ar の割合が10%以下になると急激に測定誤差が大きくなる。従って、若い火山岩の年代測定における最大の問題点は、測定試料中の大気に由来するアルゴンをいかに減らすかということである。ここ数年、測定試料中の大気アルゴンの量を減らすために様々な試みを行っている。その結果、大半の測定試料中の1gあたりの大気アルゴンの量を、約 5×10^{-6} ml STP 以下とすることができた。従って、百万年より若い火山岩についても精度良く測定することが可能となった。第1図に、最近測定された百万年以下の火山岩試料21個の測定結果を示す。この図から明らかのように、条件が良ければ K_2O 量が1.5%程度の岩石なら、誤差2割で20万年近くまで測定することが可能となった。しかし、これより新しい時代の岩石について実用に足る年代測定を行うのは、現状では難しく、測定機器の改良もし



第1図 火山岩中の K_2O 量と年代測定誤差(縦のバー)

くは更新などの近代化が必要である。(技術部)

火成岩の Rb-Sr 法年代測定

白波瀬輝夫・中島 隆・原山 智

Rb-Sr 系による年代測定法は 1943年に確立されて以来、K-Ar 法と共に広範に用いられており、後者よりも系の安定性が高いという長所があるが、閉鎖系になった時の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を推定するために、系内の複数種の鉱物あるいは全岩、または、同一系と考えられる複数の全岩試料について測定を行うために、鉱物あるいは、全岩 1 種で測定可能な K-Ar 法に比べて手間がかかる。

火成岩についていえば、一般的に、同一岩石について測定された K-Ar 年代、あるいは、鉱物—全岩による Rb-Sr アイソクロンの与える年代に比べて、全岩アイソクロンの与える年代がより大きいことが多い。これは全岩アイソクロン年代が、共通の系(マグマ)から分化した時の年代を表わし、また、それはほぼマグマの定置した年代をも表わすと考えられるのに対し、鉱物の示す年代は、夫々の鉱物が Ar なり、Sr を保持しえる温度にまで、系が冷却した時の年代を示すと考えられている。

しかし、全岩アイソクロン年代にも問題があり、年代及び $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初生値の誤差には、測定誤差の他に、定置年代を異にする岩相、または初生値の異なるマグマに由来する岩相が含まれていることによる誤差が存在するので、試料の選択には充分注意する必要がある。

東中国の花崗岩類について測定した例では、65-90Ma の年代を示す岩体において、全岩アイソクロン年代は K-Ar 年代よりも 0.3-2.6% 大きい、誤差の範囲内で一致しており、一岩体のみ 5.2% K-Ar 年代よりも大きく、誤差の範囲を越えた例がある。

珪長質火山岩の例として測定された笠ヶ岳流紋岩及び濃飛流紋岩において、鉱物—全岩及び全岩アイソクロン年代は、ジルコンのフィッシュトラック年代と誤差の範囲でよく一致したが、黒雲母はアイソクロン年代より 50%以上小さい年代を示し、貫入岩または変質による ^{87}Sr の逸散があったことを示している。なお、火砕流堆積物の全岩試料を選択する際は、外来岩片の混入だけでなく堆積時間の差の大きさにも注意する必要がある。

Rb-Sr 系の全岩試料における二次的な変化の例として、領家帯の花崗岩によって弱い熱変成をうけた濃飛流紋岩の最下位ユニットから得られた全岩試料が、花崗岩の定置年代に近い年代を示すアイソクロンにのる例があり、これは全岩の範囲での花崗岩の貫入による元素の再

配分によるか、または、噴出後の変質によって Rb/Sr 比に比例した ^{87}Sr の逸失が生じたかのいずれかで説明されるであろう。(技術部・同・名古屋出張所)

地質調査所におけるサマリウム—ネオジウム法及びランタン—セリウム法による年代測定

田中 剛

$^{147}\text{Sm}-\alpha-^{143}\text{Nd}$ および $^{138}\text{La}-\beta-^{138}\text{Ce}$ 壊変を利用した年代測定はいずれも最近になって地質学的試料への適用が可能になった年代測定法である。両壊変系ともその親核種、娘核種が希土類元素であることから、K-Ar 法、Rb-Sr 法等より試料の風化・変質に対する耐性が強いことが結論づけられている。しかし、上記放射壊変系はその半減期(後者は部分半減期)が 1,060 億年、2,700 億年と長いことから、娘核種の変動の精密な測定には極めて高度の技術が求められる。地球化学課では当所に設置された固体用質量分析計を用いて La-Ce 年代測定法の開発および Sm-Nd 年代測定法の検証に成功した(TANAKA & MASUDA, 1982)。

本発表では第二のステップとして、これらの年代測定法が本邦における各種の地質学的試料にどのように適用し得るかについて検討した結果を報告する。試料として、1)南極隕石(ALH 765 ユークライト)、2)月試料(14310 玄武岩)、3)飛驒変成岩(二屋層からの黒雲母角閃石微斜長石斜長石石英変麻岩)、4)穂岐島後の両輝石角閃岩(HOSHINO, 1979)、5)中奥地向斜玄武岩(TANAKA & SUGISAKI, 1973)を用いた。1)と2)は Sm-Nd 法、La-Ce 法による結果と Rb-Sr 法との一致年代が予測されるもので、当所における両年代測定の妥当性を検討するため。3)と4)は K-Ar 法や Rb-Sr 法により変成年代が出されているが、源岩の年代はより古いと考えられているのでその年代を出せるか否かを検討するため。5)は変質により、K-Ar 法、Rb-Sr 法による源岩年代が出せないが本方法により源岩年代の測定が可能か否かを検討するためである。

測定の結果隕石 ALH 765 の Sm-Nd 年代は 4.48 ± 0.08 Ga となり、アメリカ合衆国地質調査所(デンバー)における中村らの測定値 4.52 ± 0.09 Ga と一致する。月試料(14310)の鉱物アイソクロン年代は 3.85 ± 0.47 Ga で、当所における Rb-Sr 年代 3.75 ± 0.07 Ga およびカリフォルニア工科大学における測定値 3.80 ± 0.04 Ga (PAPAN ASTASSIOU & WASSERBURG, 1971)と良い一致を示した。飛驒変成岩は見かけ上角閃石と長石の含有比に

大きな差があったものの、予想外に Sr/Nd 比が小さく、意味のある年代を得ることはできなかった。しかし、隕石に対する(近似的にマントルに対する)モデル年代は 1.5 Ga となり、上麻生礫岩等の年代値に近いことは注目すべきであろう。稔岐の両輝石角閃岩は鉍物アイソクロン法によったので従来の K-Ar 法等によったものに近い年代値 163 ± 22 Ma を得た。これはこの地域において源岩の生成後複変成が予想されるが、最後の変成作用が、K-Ar, Sm-Nd の両時計をリセットするだけ強かったと考えられる。又その後 K-Ar 時計のみをリセットする(弱い)変成すらもなかったことがわかる。中奥地向斜玄武岩は分析した5つの全岩試料はすべて1つのアイソクロン上により、意味のある年代値が得られた。今後、より精度を上げるための作業を進める。この結果は他地域の類似する岩石の年代測定に極めて有用であると考えられる。

文 献

- HOSHINO, M. (1979) Two-pyroxene amphibolites in Dogo, Oki islands, Shimane-Ken, Japan. *J. Japan Assoc. Min. Pet. Econ. Geol.*, vol. 74, p. 87-99.
- PAPANASTASSIOU, D. A. and WASSERBURG, G. J. (1971) Rb-Sr ages of igneous rocks from the Apollo 14 mission and the age of the Fra Mauro formation. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 12, p. 36-48.
- TANAKA, T. and SUGISAKI, R. (1973) Successive eruption of alkaline and tholeiite magmas in a Japanese Paleozoic geosynclinal basalt body with special reference to rare earth element features. *Jour. Petrol.*, vol. 14, p. 489-507.
- TANAKA, T. and MASUDA, A. (1982) The La-Ce geochronometer: a new dating method. *Nature*, vol. 300, p. 515-518.

(技術部)

地質年代尺度に関する最近の話題

柴田 賢

地質系統に年数の目盛を入れて地質年代尺度を作るためには、化石によって時代が限定された岩石を精度よく年代測定する必要がある。しかし堆積岩を直接年代測定する方法はまだ確立されていないので、火成岩が利用される場合が多い。尺度作成のための年代測定においては、特に試料の変質(加水、脱ハリ化等)、外来物の混入などに注意しなければならない。堆積岩中の自生鉍物である海緑石は年代尺度検定によく用いられるが、必ずしも信頼のおけるデータが得られるとはかぎらない。

1913年に HOLMES が最初の年代尺度を発表して以来多くの人によって尺度作成が試みられた。最近では1982年に Harland 他と Odin がそれぞれ新しい尺度を発表しているが、二つの尺度を比較してみるとかなりの違いが認められる。例えば先カンブリア時代-カンブリア紀の境界年代は Harland 他が 590 Ma, Odin では 530 Ma で際違った違いがある。年代データのとりあつかいによってこれだけの差が生じる訳で、尺度作成のむずかしさを物語るよい例である。白亜紀についても、Odin は前期がかなり若くなった尺度を提案している。これは海緑石のデータを積極的にとり入れた結果である。

第三紀-第四紀境界については、最近イタリアの Vrica において標準層序を選び、*Cytheropteron testudo* の出現直下の層準を境界とする、という提案がなされた。この層準は Olduvai event の直上にあたり、従って境界年代は約 1.6 Ma と見積られる。

日本の放射年代の中には、白亜紀の年代尺度に関連してかなり重要なものがいくつかある。例えば宮古花崗岩 (Barremian-Aptian, 125 Ma), エゾ層群中の凝灰岩(小平: Lower Turonian, 93.3-93.5 Ma; 万宇: Santonian, 81.2-84.3 Ma) などがある。また最近根室層群に進入するアルカリ岩について、新しい年代データが報告された。すなわち Middle-Upper Campanian のノッカマップ層のドレライトで 75.0 Ma, 玄武岩で 72.0-73.9 Ma, Uppermost Campanian-Lowermost Maastrichtian の太田村層に進入するモゾニ岩で 69.5-70.3 Ma, Maastrichtian とされる浜中層のドレライトで 66.0-67.6 である。これらの年代は後期白亜紀尺度についての検定点として重要であり、Harland 他年代尺度にほぼ調和する。

(技術部)