

年代測定法の新分野と将来

柴田 賢 (地球化学課)

Ken SHIBATA

天然の放射性同位体を利用して岩石・鉱物ができてからの年数を求める方法が地質年代測定法で この方法で求められた年代を放射年代あるいは同位体年代という。地質年代測定法は19世紀末の放射能の発見に始まるというてよいか³ この方法が技術的に確立され 地質年代学が地球科学の一分野として認められるようになったのは 1950年以降のことである。

表1に主な年代測定法を示した。これらの方法は技術的にもほぼ確立されており 地質調査所において実施中又は近く開始予定のものである。しかし最近原理的にはこれらの方法にもとづきながら 技術的に新分野として開発された測定法がいくつかある。今回はそれらを含むいくつかの新しい年代測定法を紹介する。

1. ⁴⁰Ar-³⁹Ar 法

⁴⁰Ar-³⁹Ar 法の基本原理は K-Ar 法と同じであるが K を定量する代りに 試料を原子炉中で中性子照射し ³⁹K(n,p)³⁹Ar 反応で生じた ³⁹Ar の量ををはかる。すなわち K-Ar 法における式

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{{}^{40}\text{Ar}^*}{{}^{40}\text{K}} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_e} + 1 \right)$$

の代りに ⁴⁰Ar-³⁹Ar 法では

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{{}^{40}\text{Ar}^*}{{}^{39}\text{Ar}} J + 1 \right)$$

という関係がなりたつ。ここで ⁴⁰Ar* は ⁴⁰K から壊変で生じた ⁴⁰Ar の量 J は中性子照射に関係した値である。実際の測定においては年代値のわかった標準試料と年代未知試料を同時に照射し 標準試料によって計算された J の値を未知試料に用いて 年代を求める。

表1 主な地質年代測定法

方法	同位体	半減期(年)	試料	年代範囲
K-Ar法	⁴⁰ K→ ⁴⁰ Ar (⁴⁶ Ca)	1.25×10 ⁹	雲母, 角閃石, 海緑石, 火山岩	>10 ⁷ 年
Rb-Sr法	⁸⁷ Rb→ ⁸⁷ Sr	4.88×10 ¹⁰	雲母, カリ長石, 深成岩, 変成岩	>10 ⁷ 年
U, Th-Pb法	²³⁸ U→ ²⁰⁶ Pb	4.47×10 ⁹	ジルコン, モナズ石, チタン石, 閃ウラン鉱	>10 ⁶ 年
	²³⁵ U→ ²⁰⁷ Pb	7.04×10 ⁸		
	²³² Th→ ²⁰⁸ Pb	1.40×10 ¹⁰		
Sm-Nd法	¹⁴⁷ Sm→ ¹⁴³ Nd	1.06×10 ¹¹	変成岩, 火山岩, 深成岩	>10 ⁸ 年
フィッション・トラック法	²³⁸ Uの自発核分裂	(λ=(7~8)×10 ⁻¹¹ /年)	ジルコン, ガラス, リン灰石	>10 ⁴ 年
¹⁴ C法	¹⁴ C	5730	木片, 泥炭, 貝殻, 骨	<4×10 ⁴ 年
²¹⁰ Pb法	²¹⁰ Pb	22.2	細粒堆積物	<100年

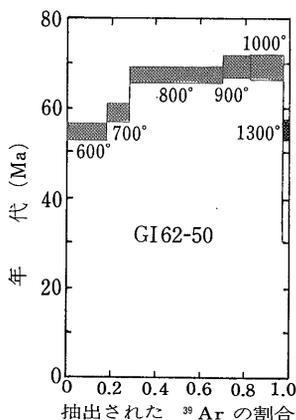


図1 インドデカン高原流紋岩の ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代スペクトル (Kaneoka,1980). 800—1000°C 部分で求められる 68.3Ma が噴出年代で 低温部の低い年代は 変質などにより Ar が一部失われたことを示す。

⁴⁰A-³⁹Ar 法はわが国では東大地球物理学教室で実施されている。

⁴⁰Ar-³⁹Ar 法の特徴は K と Ar の量が同じ試料で求められるので 試料の不均質性の問題がないこと また Ar 同位体比のみで年代が求められるので 試料の量が少なくてすみ さらにその量を知る必要もないことである。しかしなんといってもこの方法が威力を発揮するのは段階加熱法を応用した場合である。すなわち 100°C 位の間隔で試料の加熱温度を上げて行き 各温度段階で Ar を抽出し ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代を求める。この年代と抽出された ³⁹Ar の割合との関係を表わしたものが ⁴⁰Ar-³⁹Ar の年代スペクトルで その1例を図1に示す。このような年代スペクトル図から 鉱物からの Ar の逸脱や過剰アルゴンの存在などを読みとることが

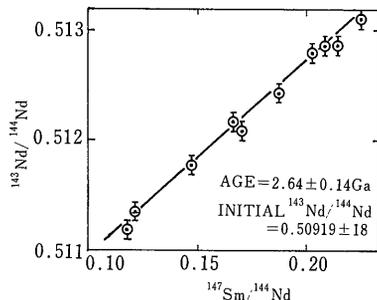


図2 ローデシアグリーンストーン帯の塩基性火山岩類の Sm-Nd アイソクロン (Hamilton ほか 1977).

できるので 複雑な熱的経過をへた試料についても 真の生成年代を求められるという利点がある。

最近 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法において $\sim 10\text{mg}$ という少量の試料を連続レーザービームでとかして Ar を抽出する方法が考案された (York et al.1981)。 まだ若い試料の年代測定は無理のようであるが この方法が技術的に改良される可能性は大きい。

2. Sm-Nd 法 Lu-Hf 法

Sm-Nd 法は ^{147}Sm が α 崩壊して ^{143}Nd に変ることを利用する。 この方法は ^{147}Sm の半減期が 1.06×10^{11} 年と長く また Sm と Nd が共に希土類元素であることから Sm/Nd 比に大きな変化が期待できないことから 最近までかえりみられなかった。 しかし質量分析計の精度が著しく向上したことや 希土類元素の存在度のデータが蓄積されるにつれ 年代測定が試みられるようになった。 初めは隕石の年代測定に応用されたがその後先カンブリア時代の岩石にも利用されつつある (図2)。 この方法の特徴は塩基性岩石や変質した岩石にも適用できることである。 また Sm-Nd 法に関連して Nd 同位体比による火成岩成因の解明も今後ますます重要な研究分野となるであろう。

Lu-Hf 法は ^{176}Lu が β 崩壊して ^{176}Hf に変ることを利用するもので ごく最近その実用性が確認された。 岩石中の Lu の含有量はきわめて少く ($< 1\text{ppm}$) また ^{176}Lu の半減期も正確には求められていなかったが Patchett & Tatsumoto (1980) は年代が正確に測定されている隕石の Lu-Hf アイソクロンから 半減期を $3.53 \pm 0.14 \times 10^{10}$ 年と定めた。 そしてこの方法は世界最古の岩石であるアミツォク片麻岩に応用され $3.55 \pm 0.22\text{Ga}$ という年代が求められた。 Lu-Hf 法も更に技術的に改良されて より若い岩石に応用されるなり また Nd 同位体と同様に Hf 同位体も岩石成因の研究に役立つことであろう。

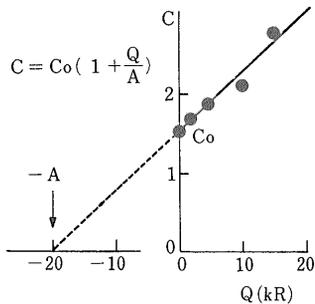


図3 中国周口店骨化石の ESR 年代測定結果 (池谷 1980)。 C は欠陥濃度 Q は照射量 A が今までに受けた放射線量 (考古学的線量)。

3. 加速器による ^{14}C 年代測定法

^{14}C による年代測定法は生物の遺骸中の ^{14}C 量が時間と共に減少することを利用するもので ^{14}C の壊変に伴う β 線を計測することによって年代が求められる。 しかし ^{14}C の存在量はきわめて小さく また半減期が 5730年と長い為 その放射能測定は難しく この方法で測定できる年代は約 4 万年までとされている。

ところが最近加速器を用いて ^{14}C 原子を直接計測する新しい方法がアメリカで開発された。 この方法は試料をイオン化し数 MeV まで加速し高エネルギーをあたえ電磁場のふるいをかけて検出器により ^{14}C を定量する。 この方法は 従来の放射能を測定する方法に比べて 1) 試料の量が $\times 1000$ (数 mg) ですむ、 2) バックグラウンドの心配がない 3) 測定時間が短い 4) 約 10 万年までの年代測定が可能 などの利点があるが 装置にばく大な経費 (約 3 億円) がかかる点が一番問題である。 わが国でも名大理学部の中井信之教授のもとで この装置の建設が進められており 1, 2 年のうちに動き出すことであろう。 そして ^{14}C 法は勿論のこと ^3H ^{10}Be ^{36}Cl 等による新しい年代測定法の開発が大いに期待される。

4. 電子スピン共鳴 (ESR) 年代測定法

結晶中を放射線が通過すると格子欠陥が作られ そこに不対電子や電子の抜けた穴が生ずる。 結晶を加熱していくと 元の状態にもどると共に発光する。 光の量は結晶が受けた放射線の総量に比例するので それから年数が計算できる。 これが熱ルミネッセンス年代測定法で 考古学の分野で利用されている。 ところで格子欠陥に存在する電子は磁界をもち電子スピン共鳴 (以下 ESR と呼ぶ) で検出できる。 欠陥濃度は放射線量に比例するので これを ESR で測定することにより年代を測定することができる。 これが ESR 年代測定法で わが国では山口大学工業短大部の池谷元同教授により開発された。 ESR 法では人工的に放射線を照射して欠陥濃度を増大させ 現在までに受けた放射線量を求める。 図3 に示した例ではこの線量は 20krad である。 もし線量率が 0.1rad/年なら年代は 20 万年になる。 しかし線量率を求めることは困難な場合が多い。

そこで 放射線による欠陥濃度の増加の経時変化を測定して年代を求めるデジタル ESR 法が最近開発された。 まだ考古学的試料への応用は成功していないが ESR 信号の検出精度に改良が加えられ 地質学的年代の測定にも利用されるようになることを期待したい。