

岩石学と年代測定

Link between Petrology and Chronology

榎並正樹^{1*}

Masaki ENAMI^{1*}

¹ 名古屋大学年代測定総合研究センター

¹ Nagoya University Center for Chronological Research

**Correspondence to: Masaki ENAMI; E-mail: enami@nagoya-u.jp*

Abstract

Meaning of chronological data for petrological studies was reviewed. Mizutani and Shibata (1983) estimated duration of lithification after initial deposition of sediment as 17 million years using a combination of radiolarian fossil and ⁸⁷Rb-⁸⁷Sr whole rock isochron ages. Harayama (1992) reported a youngest exposed granitoid pluton on Earth from the Northern Alps, central Japan, based on the K-Ar hornblende and biotite ages, Rb-Sr biotite age, and fission track zircon age. Metamorphic rocks generally record ages of many equilibrium stages during metamorphic evolution. Katayama (2004) confirmed five stages of zircon growth in ultra-high pressure metamorphic rocks from the Kokchetav massif, and estimated their exhumation speed as 0.5-0.6 cm/year using Secondary Ion Mass Spectrometry.

Keywords: Petrology; dating; metamorphic rock; igneous rock; sedimentary rock

キーワード：岩石学；年代測定；変成岩；火成岩；堆積岩

はじめに

名古屋大学年代測定総合研究センターでは、半減期が 5730 年の ¹⁴C とそれに比べるとはるかに半減期が長い ⁸⁷Rb や U, Th を使用する年代測定を行っている。このうち、¹⁴C 年代測定は、主に考古学的遺物や古文書を対象にしたり、実年代と測定値のずれから過去の太陽活動などの変遷を解明する目的などで利用されている。例えば、土器に付着している有機物を用いて年代測定を行う場合、おそらくその土器が使用されたのは長くても 10 年単位であろうから、年代測定で期待されるのは、その土器が使用されていたほとんどピンポイントの年代である。これに対して、地球科学の分野、特に岩石学的研究で要求されるのは、その岩石が現在の状態に至るまでの時間的変遷である。すなわち、この分野では、ある試料に対してそれが記録しているであろういくつもの時間を、なるべく高い分解能で知ることが目的となる。本報告では、堆積岩、火成岩と変成岩それぞれが示す年代の意味をまとめることにする。

堆積岩にとっての年代の意味

堆積岩は、礫岩、砂岩、泥岩などに分けられるが、いずれもそれらの岩石が形成される以前にあった岩石（原岩）が、風化・浸食をうけて、礫、砂や泥になり、それらが別の場所に

は運ばれて、堆積し、続成作用¹によって固結しやがて岩石になるという、共通の過程を経験している。この場合、少なくとも、原岩が形成された年代、堆積した年代、そして最終的に岩石となった年代が、本来区別されるはずである。このうち、原岩の年代は、堆積物を構成している碎屑粒子の年代を直接測定すれば、原理的には知ることが出来る。しかし、堆積した年代や固結した年代を知ることが、一般に困難である。特に堆積年代は、その時に火山活動などが起こり、ジルコンなどを含む火山灰が混入するなどの特殊な条件が重ならない限り、放射性同位体を用いた年代測定では、知ることが出来ない。この困難を克服したまれな例が、Mizutani and Shibata (1983) で報告されている (図 1)。彼らは、中部地方・美濃帯に産する珪質頁岩を用いて、 ^{87}Rb - ^{87}Sr 全岩アイソクロンより $128 \pm 3 \text{ Ma}$ の年代を得た。そして、この年代は、岩石が同位体的に閉じた系となった時、すなわち続成作用によって堆積物が固結し堆積岩に変化した年代であると解釈した。また、堆積岩に含まれる放散虫化石が、ジュラ紀後期・チトニアン早期を示すことから、堆積層が形成された年代をおよそ 145 Ma とした。そして、この試料は、約 1700 万年かけて堆積物から堆積岩へ変化したと結論した。この試料の碎屑粒子の年代が測定できれば、原岩の形成から、風化・浸食、運搬・堆積を経て、続成作用による堆積岩の形成までの一連の過程に、時間目盛を入れることが可能である。

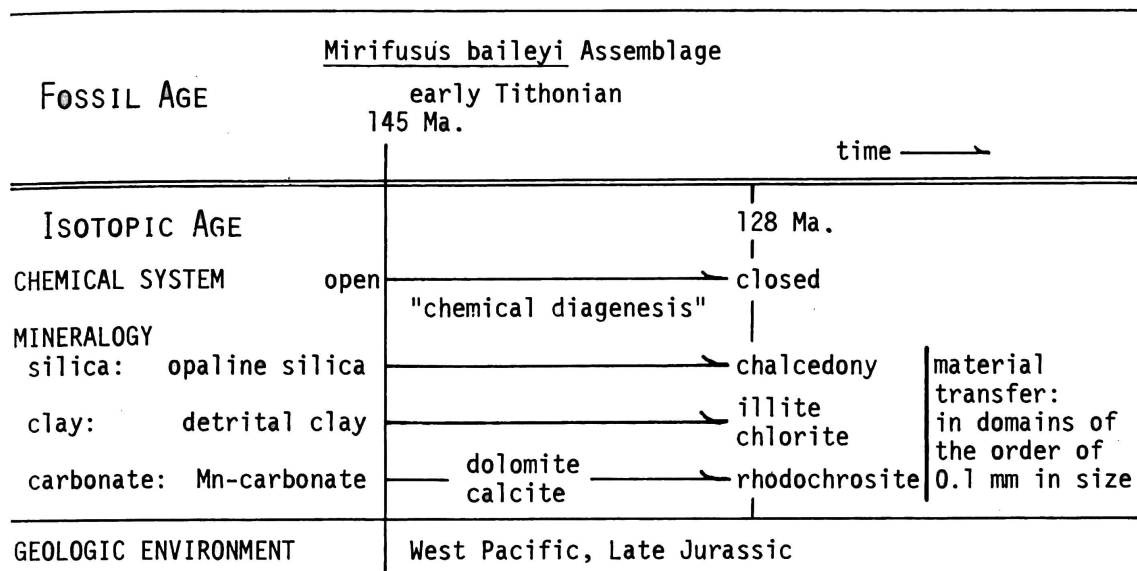


図 1. 堆積物の続成作用と年代測定 (Mizutani and Shibata, 1983)

火成岩にとっての年代測定

火成岩は、マグマが固結して形成される岩石の総称である。したがって、火成岩の年代とは、一般にマグマが固結した年代を意味する。火成岩のうち、マグマが地表や水中に噴出し急冷されて形成される火山岩は、噴出前にマグマだまりで徐冷して形成された部分（比較的粗粒な結晶で斑晶と呼ばれる）と噴出時に急冷されて固結した微細結晶やガラス物質からな

¹ 堆積物が圧密作用を受けたり、水分中に溶けていた成分が粒子間結合部およびその周辺に析出したりして、固結し堆積岩になる作用。

る部分（石基）とに別れている．一般に，火山岩の形成年代とは，噴出時の年代を示している．もし，斑晶個々の形成年代を決めることが出来れば，噴出以前にマグマはどのくらいの時間マグマだまりに留まっているのかなど，興味深い情報が得られるはずであるが，それに成功した例を筆者は知らない．

火成岩のうち，主に地下深部で徐冷されて形成される深成岩は，火山岩と異なり固結し始めてから完全に冷却するまでに，測定可能な時間が経過する．それを解析した例が，Harayama (1992) によって報告されている．彼は，中部日本・北アルプスに産する滝谷花こう岩類とそれと同じマグマ起源を同じくする溶結凝灰岩や火砕流堆積物の年代を測定した（図2）．その結果，溶結凝灰岩や火砕流堆積物は2.5-2.3 Maを与えた．このことは，少なくともこの時までは，マグマはまだほとんど固結していなかったことを示している．そして，花こう岩類の年代を閉止温度が異なる複数の年代測定法で求めたところ，1.9-0.8 Maの年代が得られた．これらのことから，およそ350 °C/Maの平均冷却速度が得られた．また，0.8 Maには，まだ花こう岩類は地表に露出していなかったとみなしてもほぼよいから，滝谷花こう岩類は，世界で報告されている深成岩の中で，現在地表に露出している最も若いものであると同時に，急激に隆起した北アルプス地域の歴史を物語っている．

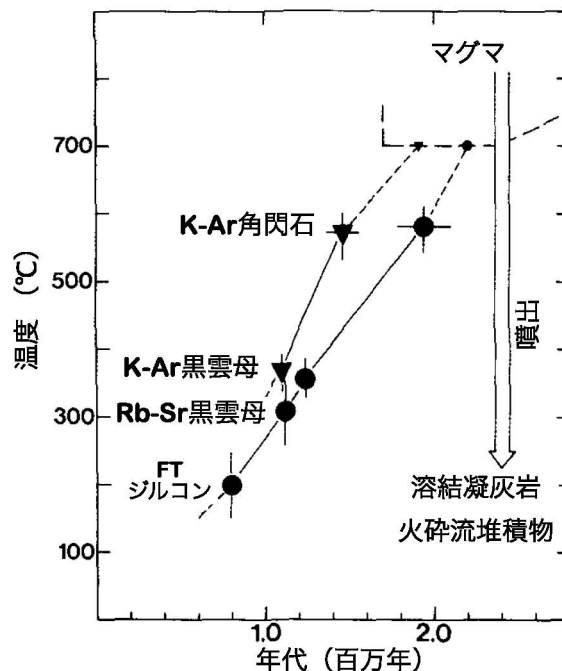


図2. 滝谷花こう岩類およびそれに関連する火成岩類の冷却過程 (Harayama, 1992).

変成岩にとっての年代測定

変成岩とは，元々あった堆積岩，火成岩や変成岩（原岩）が，地下深部にもたらされたりマグマの貫入を受けたりして，温度や圧力の上昇をとまって再結晶しできた岩石の総称である．したがって，変成岩にとっては，まず原岩の形成年代と変成作用の年代を区別する必要がある．特に，全岩アイソクロンで年代を議論するときには，両者が区別されない可能性が高いので，注意が必要である．マグマの貫入によって形成される接触変成岩の場合は，滝谷花こう岩類の例を参考にとすると，再結晶を起こす高温の状態（マグマの貫入・冷却開始直後）は長くても10万年単

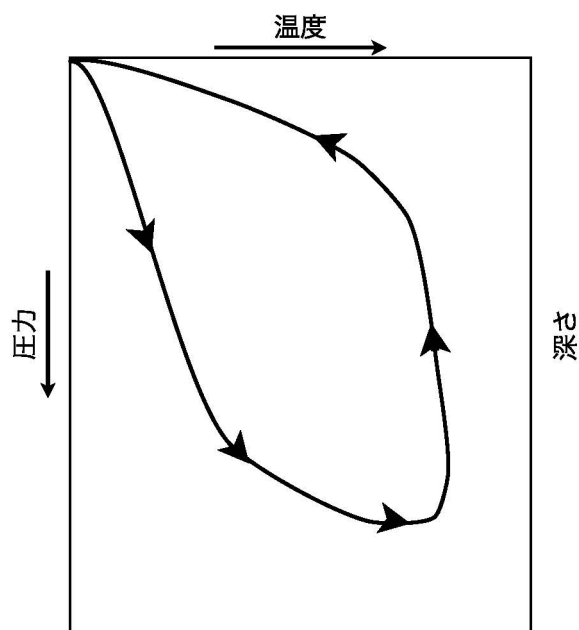


図3. 広域変成岩が経験する仮想的温度-圧力履歴.

位である。したがって、変成作用として認識される年代は、ほぼマグマの貫入年代と同じである。そして、変成岩の冷却時の過程も深成岩と同じように、閉止温度が異なる年代測定法を組み合わせることで議論可能である。

一方、地下深部で形成される広域変成岩は、図3に示すように地表付近にあった岩石が1000万年単位の時間をかけて、地下深部に至り再び地表に戻る歴史を持っている。したがって、ある結晶が複数の時期に形成されている場合（例えば、結晶の中心部と周辺部で形成時期が異なる場合）、それぞれを区別して意味のある年代を得る必要がある。そのために、SIMS, LA-ICP MSやCHIMEなど高い空間分解能をもつ年代測定法が必要となる。それと同時に、もし複数の年代が区別できたとしても、それぞれがどの時期（例えば、形成された深さ）を代表しているのかを、独立に決める必要がある。これは、極めて困難なことではあるが、その例がいくつか報告されている。例えば、Katayama et al. (2000)は、カザフスタン共和国・コクチェタフに産する超高压変成岩中の多くのジルコンの包有物をラマン分光法で検討し、原岩の碎屑粒子に由来する部分、温度・圧力が上昇する昇温期に形成された部分と、上昇・減圧期に形成された部分の計五つの時期に区別した。そして、片山ほか (2004) は、ダイヤモンドを含むジルコン（およそ深さ 100 kmで形成された）の年代として 537 ± 9 Maを、上昇して地殻下部に達した時に形成されたとするジルコンの最外縁部（およそ深さ 30 km）に対して 507 ± 8 Maを与えた（図4）。これにもとづけば、コクチェタフ地域の超高压変成岩の上昇速度は、平均すると0.5-0.6 cm/year程度となる。

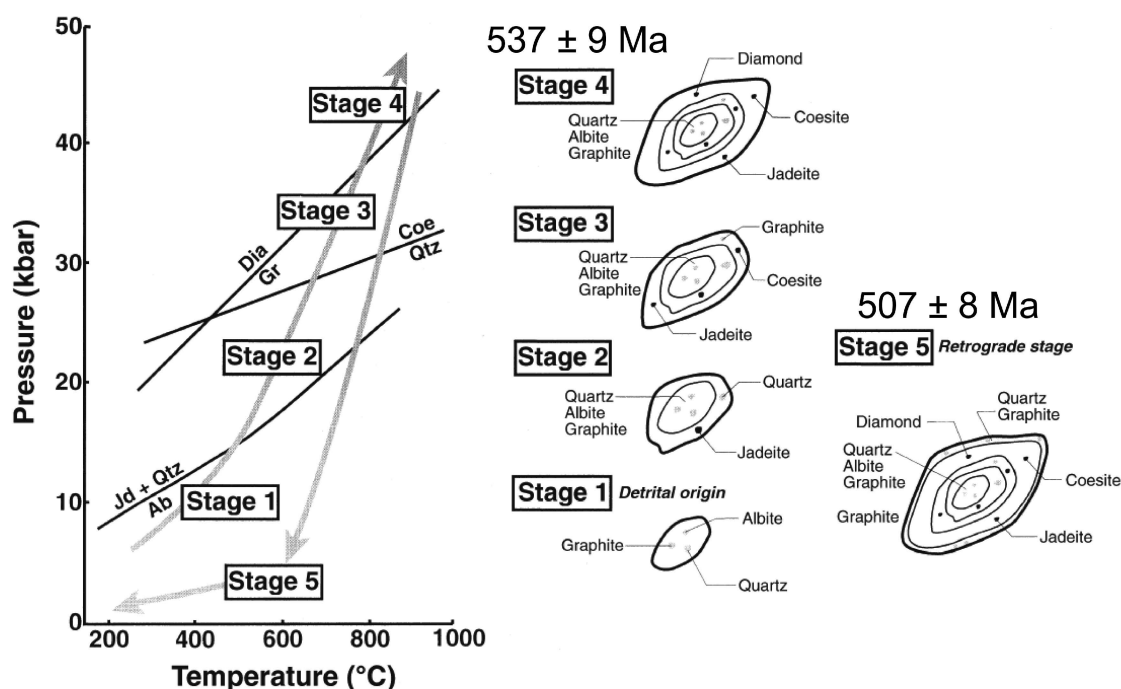


図4. コクチェタフ超高压変成岩の温度-圧力履歴と年代 (Katayama et al., 2000; 片山, 2004)

謝辞

以上は、2013年1月16日に 第25回（2012年度）名古屋大学年代測定総合研究センターシンポジウムで講演した内容をまとめたものである。日頃、議論をしていただいている同センターおよび岩石グループのメンバーの方々および鈴木和博名誉教授に感謝します。

引用文献

- Harayama, S., 1992. Youngest exposed granitoid pluton on Earth: Cooling and rapid uplift of the Pliocene-Quaternary Takidani Granodiorite in the Japan Alps, central Japan. *Geology*, **20**, 657-660.
- 片山郁夫 (2004) 超高压変成作用のジルコンインクルージョン法による温度圧力時間経路. 地学雑誌, **113**, 678-687.
- Katayama, I., Zayachkovsky, A.A. & Maruyama, S., 2000. Prograde pressure-temperature records from inclusions in zircons from ultrahigh-pressure-high-pressure rocks of the Kokchetav Massif, northern Kazakhstan. *Island Arc*, **9**, 417-427.
- Mizutani, S. & Shibata, K., 1983. Chapter 16 Diagenesis of Jurassic siliceous shale in central Japan. In: *Siliceous Deposits in the Pacific Region* (eds Iijima, A., Hein, J.R. & Siever, R.), p. 283-297, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.