山口県東部, 岩国地域領家帯低度変成岩の白雲母 K–Ar 年代

K–Ar ages of low-grade metapelites from the Ryoke belt, the Iwakuni district, Yamaguchi Prefecture, Japan

大和田正明* 緑川貴裕*,† 今岡照喜*

Masaaki Owada*, Takahiro Midorikawa*,† and Teruyoshi Imaoka*

2014年7月30日受付.

2014年9月26日受理.

* 山口大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University, Yamaguchi 753-8512, Japan

† 現所属: 出光興産株式会社
Present address: Idemitsu Kosan Co., Ltd., Chiyoda-ku, Tokyo 100-8321, Japan

Corresponding author: M. Owada
owada@sci.yamaguchi-u.ac.jp

Abstract: Low-grade Ryoke belt metamorphic rocks in the Iwakuni district, Yamaguchi Prefecture, are situated at a low structural level in a Jurassic accretionary complex comprising the Kuga Group. In this paper, we report on a method of sample preparation for, and results of, K–Ar dating. Samples obtained from a slate and a pelitic schist were collected for K–Ar dating from the low-grade parts of the Ryoke belt. The muscovite K–Ar dating gave ages of 99.4 ± 2.6 Ma for the slate and 91.5 ± 2.5 Ma for the pelitic schist. These two ages, combined with previously reported age data from this district, yield ages of approximately 99 and 92 Ma for the timing of peak metamorphism and cooling of the Ryoke belt, respectively.

Keywords: muscovite K–Ar dating, low-grade metamorphic rocks, Ryoke belt, Yamaguchi Prefecture

はじめに

領家帯は中央構造線の北側に沿って東西約 700 km・最大幅 30 km にわたり分布している。主に、白亜紀の低圧型変成岩類と花崗岩類から構成され、最高変成度はグラニュイト相の変成条件に達する (Hokada, 1996; Ikeda, 2002; 上塘ほか, 2008)。山口県東部の岩国–柳井地域には、領家帯を構成する変成岩と花崗岩が広く分布する (Fig. 1; Kojima, 1953; 東元ほか, 1983)。この地域の領家帯は、美濃–丹波帯に相当するジュラ紀付加体玖珂層群の南側に位置し、変成岩の大部分は玖珂層群を原岩としている (東元ほか, 1983)。

領家帯と玖珂層群の境界は、泥質変成岩中に黒雲母が出現することで示され、東西に流れる錦川とほぼ平行に延びる線

が境界とされた (Fig. 1, 東元ほか, 1983)。一方, Ikeda (1998) は泥質岩の鉱物組み合わせに着目し、黒雲母が出現する緑泥石–黒雲母帯の北に緑泥石と白雲母の鉱物共生で特徴づけられる緑泥石帯の存在を明らかにした。すなわち、上述した東元ほか (1983) による玖珂層群の南部にまで、領家帯の累進変成作用がおよんでいることを示した。

玖珂層群はジュラ紀の付加体で、領家帯と接する玖珂層群南部からは、高見ほか (1993) や Takami and Itaya (1996) によって 121–134 Ma の白雲母 K–Ar 年代が報告されている (Fig. 1)。そして、これらの年代値は海溝から深部に沈み込むことで起こった沈み込み帯変成作用の年代と解釈された (高見ほか, 1993, Takami and Itaya, 1996, 高見・西村, 2000)。また、玖珂層群の南 15 km に位置する領家帯高度変成岩中のモナザイト CHIME 年代は 98–100 Ma で、領家帯の低圧変成作用の年代とされている (Fig. 1; Suzuki et al., 1996)。高見ほか (1993) が報告した試料の採取地点は、Ikeda (1998) による緑泥石帯に含まれるが、領家帯の低圧型変成作用がおよんだことを裏付ける年代データは得られていない。また、緑泥石–黒雲母帯の試料からは年代測定結果の報告がない。そこで、緑泥石帯と緑泥石–黒雲母帯に位置する泥質岩から白雲母を分離・濃集し、K–Ar 年代を測定したので、その結果を報告する。本測定結果は、領家帯の変成時期や低圧型変成作用のおよぶ範囲の特定に貢献できる。

岩国地域の地質概要

山口県岩国地域には、北から南へ向かい玖珂層群と領家帯が分布する (Fig. 1)。北部に分布する玖珂層群は北傾斜で、岩相、付加年代そして変成年代によって南から北へユニット I、II および III に区分されている (高見ほか, 1993)。領家帯の変成岩類は玖珂層群ユニット I の南側、すなわち構造的低位に位置する。

玖珂層群ユニット I と領家帯低度変成岩類の間には顕著な構造の違いはなく、岩石構成も共通する (東元ほか, 1983)。領家帯の北に位置する玖珂層群ユニット I は、泥質岩を主体として東西方向へ連続性のよいレンズ状およびシート状のチャートに伴い、砂岩、珪質頁岩そして石灰岩の岩塊を含む。海溝における堆積年代はジュラ紀後期とされている (高見・西村, 2000)。層理面の走向・傾斜は E–W–N70°E、40°–70°N である。一方、領家帯変成岩類は主に泥質岩からなり、レンズ状ないしシート状のチャートや砂岩を狭在する。また、珪質頁岩や石灰岩のレンズを含む。一般に岩相境界と泥質岩中の面構造は平行で、E–W–N70°E 走向、30°–70° で北へ傾斜する。

Fig. 1. Geological sketch map of the Iwakuni-Yanai region, showing sampling sites of metapelites for K-Ar dating. The map was compiled from Higashimoto et al. (1983) and Takami et al. (1993).

試料の採集位置と岩石記載

年代測定に使用した2試料の採集位置をFig. 1に示す。年代測定用の試料は粘板岩(試料11071201)と泥質片岩(試料09052502)である。いずれの試料も花崗岩類からは2 km以上離れている。粘板岩試料と泥質片岩試料は、Ikeda(1998)による緑泥石帯と緑泥石-黒雲母帯にそれぞれ属する。

1. 粘板岩(試料11071201)

優黒色、細粒・緻密で弱い面構造をもつ。主に石英、白雲母および少量の緑泥石からなり、副成分鉱物として炭質物や不透明鉱物を含む。鏡下では主に白雲母の定向配列によって弱く片理面が発達している(Fig. 2A, 2B)。

石英は0.01~0.1 mm程度で、一般に細粒である。白雲母は0.01~0.1 mm程度の結晶で、片理面にそって定向配列している。緑泥石は0.1 mm以下の結晶として産する。淡緑色を呈し、多色性は弱い。暗青色の異常干渉色を示す。

2. 泥質片岩(試料09052502)

優黒質細粒で、構成鉱物の配列による面構造が発達している。石英、白雲母、緑泥石および少量の黒雲母からなり、副成分鉱物として炭質物や不透明鉱物を含む。雲母類と炭質物は顕著な定向配列を示す。また、ちりめん皺状の微褶曲が発達している。白雲母は石英と共存する(Fig. 2C, 2D)。

石英は0.1 mm以下の細粒で、半自形~自形結晶である。面構造に対して平行にやや伸長し、弱い波動消光を示す。白雲母は0.1 mm以下の伸長した結晶で、粒間充填状の極細粒な鉱物として産する。炭質物と共に定向配列を示す。緑泥石は0.01~0.5 mmで、多色性は弱い。また、暗青色の異常干渉色を示す。黒雲母は散点的に産する。0.01~0.8 mm

程度の半自形~自形結晶が多く、淡黄褐色~褐色の多色性を示す。

K-Ar年代

1. 白雲母の分離方法

傾家帯の弱~低変成度岩からK-Ar年代を得るため、泥質岩から白雲母を分離した。低度変成岩類は再結晶度が低く、一般に細粒である。特に粘板岩などの弱変成度岩では、構成鉱物の粒度が100ミクロン以下のため、白雲母の分離が難しい。特に粘板岩試料(11071201)は、肉眼的には斑状層群とほとんど見分けがつかない程細粒な岩相である。こうした岩石から白雲母を効率よく分離する方法として、HClで処理し、共存する緑泥石を除去する方法がItaya and Takasugi(1988)や西村ほか(1989)によって報告されている。この場合、試料を十分に洗浄することで、HClが年代測定データに影響を及ぼさないことも確認されている(Sawai et al., 1989, Itaya et al., 1991, 沢井, 2006, 八木・板谷, 2011)。そこで、本研究では、水簸によって集めた微細粒子をHClで処理する方法で白雲母の分離・濃集を試みた。その結果、細粒な泥質岩からもかなりの精度で白雲母を濃集させることができた。以下に手順の詳細を述べる。

①タングステン乳鉢で岩石を粉碎して330メッシュ以下の粉末を回収する。

②①の試料を1リットルピーカーに移し、水を9分目まで入れてガラス棒でよく攪拌させる。それを4時間放置したのち、上澄みを上部から5 cm回収する。回収した上澄み液を遠心分離機に10分かけて微粒子を強制沈殿させる。上澄み液を捨て、沈殿した試料のみを回収して80°Cのエアバスで乾燥させる。

Fig. 2. Photomicrographs of dated samples. Slate (No. 11071201) under open nicols (A) and crossed nicols (B); pelitic schist (No. 09052502) under open nicols (C) and crossed nicols (D). Ms, muscovite; Gr, graphite; Qz, quartz.

- ③この作業によって回収した約 1 g の試料を 50 ml ビーカーに移し, そのビーカーに 6 mol/l (6M) の HCl を 20 ml 加え, 超音波洗浄器で攪拌させた後, ウォーターバス上でビーカーを 30 分間温浴する。
- ④試料と HCl の入ったビーカーを超音波洗浄器に 1~2 分かけたのち, 遠心分離器に 30 分かける。上澄みの HCl を廃棄した後, 沈殿した試料を 50 ml ビーカーに移し, 蒸留水を 40 ml 加えて 30 分間温浴上で洗浄する。
- ⑤蒸留水で温浴洗浄した後, 超音波洗浄器で攪拌して遠心分離器に 30 分かける。上澄み液を廃棄して沈殿した試料をビーカーに回収する。ビーカーに蒸留水を加えて超音波洗浄器で攪拌し, 再び遠心分離器に 30 分かける。
- ⑥分離試料から ^{36}Cl を完全に取り除くためには十分な洗浄が必要である。 ^{36}Cl が残存すると ^{36}Ar のピークを重複するため, ^{36}Ar の精密測定が困難になるからである。Sawai et al. (1989) は, 6 M の HCl で処理した場合でも, ⑤の作業を 10 回以上繰り返すことで, ^{36}Cl の影響は除去できるとした。Sawai et al. (1989) の成果を踏まえて, 今回は最低 20 回繰り返して洗浄した。洗浄した試料を 80°C のエアバスで乾燥させ K-Ar 測定用の試料とした。

2. 測定結果

白雲母を濃集させた試料は Actlabs 社に依頼して, K-Ar 年代を測定した。測定結果を Table 1 に示す。粘板岩試料 (11071201) の年代値は 99.4 ± 2.6 Ma で, 泥質片岩試料 (09052502) のそれは 91.5 ± 2.5 Ma であった。粘板岩と泥質片岩の K 含有量 (wt.%) は, それぞれ 5.96 wt.% と 2.41 wt.% で, K_2O に換算すると 7.18 wt.% と 2.90 wt.% である。一般的な白雲母の K_2O 含有量は 10~11 wt.% なので, 泥質片岩に比べると白雲母の濃集率は粘板岩のほうが高い。

今年年代値を報告した試料のうち 99.4 ± 2.6 Ma を示す粘板岩の採集地点は, 高見ほか (1993) によって白雲母 K-Ar 年代が報告された試料採集地点の東南東約 2 km に位置する (Fig. 1)。高見ほか (1993) や Takami and Itaya (1996) による花崗岩の接触変成作用が及んでいない試料の白雲母 K-Ar 年代は 121~135 Ma を示し, 海溝における堆積作用に続く沈み込み帯変成作用の年代とされている。高見ほか (1993) の試料と本報告で測定した試料との構造的な上下関係は不明である。しかし, 高見ほか (1993) の測定結果は本報告の結果 (99 Ma) と異なる。一方で, 高見ほか (1993) は, 白雲母の分離方法として西村ほか (1989) の方法に従っている。本報告も西村ほか (1989) の方法を踏襲しているので, 岩石から測定試料を分離する方法の違いが異なる年代測定結

Table 1. K–Ar muscovite ages of weakly metamorphosed pelitic rocks from the Iwakuni district. The K–Ar dating was performed by ActLabs Co. Ltd.

Sample no.	Rock type	K (wt%)	$^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$ (nl/g)	Atmospheric ^{40}Ar (%)	Age (Ma)
11071201	Slate	5.96 ± 0.02	23.24 ± 0.38	12.5	99.4 ± 2.6
09052502	Pelitic schist	2.41 ± 0.02	8.63 ± 0.17	39.0	91.5 ± 2.5

Table 2. Summary of geochronological data for the Kuga Formation and the metamorphic rocks and granitoids of the Ryoke belt, Iwakuni–Yanai region. Rb–Sr (whole rock biotite)*: whole rock and biotite Rb–Sr internal isochron age.

Sample	Method	Age (Ma)	Reference
Ryoke granitoids			
Granodiorite	Rb–Sr (whole rock-biotite)*	87.1 ± 0.5	Okudaira et al. (2001)
	Rb–Sr (whole rock-biotite)*	87.5 ± 0.7	Okudaira et al. (2001)
	Rb–Sr (whole rock-biotite)*	89.4 ± 0.1	Okudaira et al. (2001)
	Rb–Sr (whole rock-biotite)*	87.9 ± 0.5	Okudaira et al. (2001)
Ryoke metamorphic rocks			
Biotite gneiss	CHIME (monazite)	98.9 ± 2.1	Suzuki et al. (1996)
	CHIME (monazite)	99.6 ± 2.4	Suzuki et al. (1996)
	CHIME (monazite)	98.2 ± 5.7	Suzuki et al. (1996)
Unit I from the Kuga Formation (inside of contact aureole)			
Cordierite zone			
Pelitic hornfels	K–Ar (biotite)	84.0 ± 1.8	Takami et al. (1993)
	K–Ar (biotite)	83.7 ± 1.9	Takami et al. (1993)
	K–Ar (white mica)	85.6 ± 1.9	Takami et al. (1993)
Biotite zone			
Siliceous mudstone	K–Ar (white mica)	98.8 ± 2.1	Takami et al. (1993)
Coarse-grained	K–Ar (white mica)	82.7 ± 1.8	Takami et al. (1993)
black mudstone	K–Ar (white mica)	84.5 ± 1.8	Takami et al. (1993)
	K–Ar (white mica)	96.8 ± 2.1	Takami et al. (1993)
	K–Ar (white mica)	105.1 ± 2.3	Takami et al. (1993)
	K–Ar (white mica)	117.5 ± 2.5	Takami et al. (1993)
	K–Ar (white mica)	114.8 ± 2.5	Takami et al. (1993)
	K–Ar (white mica)	122.3 ± 2.6	Takami et al. (1993)
Unit I from the Kuga Formation (outside of contact aureole)			
Siliceous mudstone	K–Ar (white mica)	127.1 ± 2.7	Takami et al. (1993)
	K–Ar (white mica)	133.8 ± 2.9	Takami et al. (1993)
	K–Ar (white mica)	131.7 ± 2.8	Takami et al. (1993)
Fine-grained	K–Ar (white mica)	132.0 ± 2.8	Takami et al. (1993)
black mudstone	K–Ar (white mica)	121.8 ± 2.7	Takami & Itaya (1996)
	K–Ar (white mica)	129.0 ± 2.8	Takami & Itaya (1996)

果をもたらした可能性は低い。

Ikeda (2004) による各鉱物帯の温度条件を低温側へ延長すると、緑泥石帯の温度条件は $\sim 400^\circ\text{C}$ と推定される。この温度範囲はおおよそ白雲母 K–Ar 年代の閉鎖温度 ($350 \pm$

50°C ; Jäger, 1979, 500°C ; Villa, 1998) の範囲内である。また、この年代値は、領家帯高度変成岩の 3 試料から得られたモナズ石の CHIME 年代 ($98 \sim 100 \text{ Ma}$; Suzuki et al., 1996) と一致する。これらの CHIME 年代は高度変成岩類

が角閃岩相に到達する時期, すなわちピーク変成年代に近い年代とされている(Suzuki et al., 1996). また, 高見ほか(1993)で検討した花崗岩の貫入で接触変成作用を受けた範囲から採取された試料の年代値の範囲内にある(Table 2).

一方, 91.5 ± 2.5 Ma を示す泥質片岩の産する緑泥石-黒雲母帯は, 約 500°C に達する変成温度条件が見積もられている(Ikeda, 2004). したがって, 緑泥石-黒雲母帯の変成温度条件も白雲母 K-Ar 年代の閉鎖温度内にある. 今回報告した 92 Ma の年代値は, 上述した花崗岩の接触変成帯や高度変成岩に調和的に貫入する花崗岩類の冷却年代(黒雲母-全岩 Rb-Sr 内部アイソクロン年代: $87 \sim 89$ Ma; Okudaira et al., 2001)と重なる.

ま と め

山口県東部岩国地域には, ジュラ紀付加体の玖珂層群とそれを原岩とする領家帯の変成岩類が分布する. 領家帯は玖珂層群の構造的下位に位置する(東元ほか, 1983). ここでは, Ikeda (1998)の変成分帯のうち, 緑泥石帯と緑泥石-黒雲母帯に産する泥質変成岩中の白雲母を濃集し, K-Ar の年代測定結果を報告した.

- (1) 緑泥石帯に位置する試料の白雲母 K-Ar 年代は 99.4 ± 2.6 Ma である. この年代値は高見ほか(1993)で報告された玖珂層群ユニット I の沈み込み帯変成作用の年代値より若く, Suzuki et al. (1996)によるモナズ石の CHIME 年代から求めた領家帯の変成年代と一致する.
- (2) 緑泥石-黒雲母帯から採集した試料の白雲母 K-Ar 年代は, 91.5 ± 2.5 Ma である. この年代値は, 玖珂層群ユニット I に貫入した花崗岩体の接触変成帯から得られた年代値(高見ほか, 1993)の一部や高度変成岩に調和的に貫入する花崗岩の冷却年代(Okudaira et al., 2001)と類似する.

謝 辞

本研究を遂行するにあたり, 鎌田祥仁氏には玖珂層群の層序・構造や変成作用について有益な議論をしていただいた. 担当編集委員の伊藤久敏氏と海洋研究開発機構の佐藤桂子氏ならびに匿名の査読者には, 本原稿を改善するための有益なコメントをいただいた. また本研究は, 科学研究費補助金(23540559: 大和田正明)からの援助を受けた. 以上の方々に感謝申し上げます.

文 献

東元定雄・濡木輝一・原 郁夫・佃 栄吉・中島 隆(Higashimoto, S., Nureki, T., Hara, I., Tsukuda, E. and Nakajima, T.), 1983, 岩国地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅) (*Geology of the Iwakuni District. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*). 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 79p.
Hokada, T. 1996, Orthopyroxene from a metabasite of the Ryoke belt in the Ina district, Nagano Prefecture, Central Japan: textural evidence of partial melting. *Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **91**, 253-265.
Ikeda, T., 1998, Progressive sequence of reactions of the Ryoke

metamorphism in the Yanai district, southwest Japan: the formation of cordierite. *Jour. Metamorphic. Geol.*, **16**, 39-52.
Ikeda, T., 2002, Regional occurrence of orthopyroxene-bearing basic rocks in the Yanai district, southwest Japan: Evidence for granulite-facies Ryoke metamorphism. *Island Arc*, **11**, 185-192.
Ikeda, T., 2004, Pressure-temperature conditions of the Ryoke metamorphic rocks in Yanai district, SW Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **146**, 577-589.
Itaya, T., Ito, H. and Nagao, K., 1990, Degassing of argon from young geological materials by low temperature stepwise heating. *Mineral. Jour.*, **15**, 309-320.
Itaya, T. and Takasugi, H., 1988, Muscovite K-Ar ages of the Sanbagawa schists, Japan and argon depletion during cooling and deformation. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **100**, 281-290.
Jäger, E., 1979, Introduction to geochronology. In Jäger, E. and Hunziker, J. C., eds., *Lectures in Isotope Geology*. Springer-Verlag, Berlin, 1-12.
上塘 斎・今岡照喜・大和田正明(Kamitomo, I., Imaoka, T. and Owada, M.), 2008, 領家帯柳井地域の含ざくろ石苦鉄質グラニュイトから見出された減圧組織. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **114**, 88-91.
Kojima, G., 1953, Contributions to the knowledge of mutual relations between three metamorphic zones of Chugoku and Shikoku, Southwest Japan, with special reference to the metamorphic and structural features of each metamorphic zone. *Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, **1**, 61-65.
西村祐二郎・板谷徹丸・磯崎行雄・亀谷 敦(Nishimura, Y., Itaya, T., Isozaki, Y. and Kameya, A.), 1989, 西南日本内帯 220 Ma 高圧変成岩の原岩年代と変成履歴-山口県錦町地域の例-. 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 33, 143-166.
Okudaira, T., Hayasaka, Y., Himeno, O., Watanabe, K., Sakurai, Y. and Ohtomo, Y., 2001, Cooling and inferred exhumation history of the Ryoke metamorphic belt in the Yanai district, south-west Japan: Constraints from Rb-Sr and fission-track ages of gneissose granitoid and numerical modeling. *Island Arc*, **10**, 98-115.
沢井長雄(Sawai, O.), 2006, 熱水変質岩からの K-Ar 年代測定用鉱物の分離法. 地質技術(*Engin. Geol. Japan*), no. 0, 15-18.
Sawai, O., Okada, T. and Itaya, T., 1989, K-Ar ages of sericite in hydrothermally altered rocks around the Toyoha deposits, Hokkaido, Japan. *Mining Geol.*, **39**, 191-204.
Suzuki, K., Adachi, M. and Nureki, T., 1996, CHIME age dating of monazites from metamorphic rocks and granitic rocks of the Ryoke belt in the Iwakuni area, Southwest Japan. *Island Arc*, **5**, 43-55.
高見美智夫・磯崎行雄・西村祐二郎・板谷徹丸(Takami, M., Isozaki, Y., Nishimura, Y. and Itaya, T.), 1993, 弱変成付加体の K-Ar 年代測定における碎屑性白雲母の混入と接触変成作用の影響-山口県東部ジュラ紀付加体の例-. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **99**, 545-563.
Takami, M. and Itaya, T., 1996, Episodic accretion and metamorphism of Jurassic Accretionary complex based on biostratigraphy and K-Ar geochronology in the western part of the Mino-Tanba Belt, Southwest Japan. *Island Arc*, **5**, 321-336.
高見美智夫・西村祐二郎(Takami, M. and Nishimura, Y.), 2000, 山口県東部の接触変成帯における炭質物の石墨化と K-Ar 白雲母年代の若返り. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **106**, 151-160.
Villa, I. M., 1998, Isotopic closure. *Terra Nova*, **10**, 42-47.
八木公史・板谷徹丸(Yagi, K. and Itaya, T.), 2011, 塩酸処理による主要鉱物の K-Ar 年代への影響. 地質技術(*Engin. Geol. Japan*), no. 1, 37-43.

科学論文では、学説の検証可能性を保証することが重要です。そのため、地質学雑誌掲載論文には、重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります。言うまでもないことですが、見学や採取を行う場合、各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得の必要があることにご注意下さい。詳しくは、次のページをご覧ください。

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会