

関東山地北縁の川井山石英閃緑岩体:ジルコンU-Pb年代測定

土屋裕太^{1*}・照屋海人²・青木翔吾³・菅原久誠⁴・能美洋介²・青木一勝¹

The Kawayama quartz-diorite body in the northern Kanto Mountains,
Southwest Japan: zircon U-Pb dating

Yuta TSUCHIYA^{1*}, Kaito TERUYA², Shogo AOKI³, Hisanari SUGAWARA⁴, Yousuke NOUMI² & Kazumasa AOKI¹

Abstract: We conducted U-Pb isotope analyses of zircons from the Kawayama quartz-diorite in the Iwayama area of Shimoniwa located in the northern Kanto Mountains, Southwest Japan by a laser-ablation inductively-coupled plasma-mass spectrometer. The weighted mean U-Pb age of the zircons obtained in these analyses is 277.1 ± 3.2 Ma. Combined with previously published K-Ar, our results suggests that cooling rate of the Kawayama quartz-diorite body was ca. 9.2 °C/Ma.

I. はじめに

関東山地北縁には、「領家帯」に帰属する白亜紀高温型変成岩類が産し、その南縁では中央構造線を挟んで「三波川帯」や「秩父帯」に帰属する白亜紀高圧型変成岩類やジュラ紀付加体構成岩類が産する(磯崎ら 2010)。この地域の地質構造は、それら地質体の構造的上位に、ほぼ水平な断層を介して新第三紀以前の年代を示す複数の岩体が「クリッペ」として産する(藤本ら 1953, 保科・関東山地研究グループ 2017)。これら異地性岩類の形成プロセスを含む関東山地北縁の地質構造発達史の理解は、日本列島の地質構造発達史の包括的理解につながるため、これまでに多くの研究がなされてきた(藤本 1935, 高木ら 1989, 竹内・牧本 1995, 佐藤ら 2015, 2020, 中畑ら 2015 など)。特に、異地性岩体全体の熱史の制約は、クリッペ構成岩体の初期形成場の特定にもつながる。「跡倉ナップ」研究発祥の地でもある群馬県甘楽郡下仁田町には、一連の異地性岩類である「川井山石英閃緑岩体」が分布する(図 1)。高木ら(1989)の研究によれば、この岩体から得られた角閃石K-Ar年代値は、大北野地域で 277 ± 8 Ma および岩山地域で 250 ± 7 Ma と、ペルム紀中期~後期の年代値を示す。しかし、角閃石K-Arの閉鎖温度は約 560 °C (Montigny 1989など)であるため、川井山石英閃緑岩体の熱史を制約したとは言い難い。ジルコン

のU-Pb系における閉鎖温度は 900 °C 以上(Lee et al. 1997, Cherniak & Watson 2001 など)、既報のK-Ar年代値と組み合わせることで、より詳細な川井山石英閃緑岩体の熱史を制約できる。本論では川井山石英閃緑岩に含まれるジルコンのU-Pb年代測定を試み、その測定結果について報告し、川井山石英閃緑岩体の熱史を議論する。

II. 測定試料

群馬県甘楽郡下仁田町岩山地域の川井山石英閃緑岩体から複数個試料を採取し、そのなかから変質の少ない試料を1つ(Sample No. ST-6)を選定した(図 1)。本岩体は、高木ら(1989)で使用された試料SKW 2と同じ岩体である。なお、同地域の詳細な地質や研究史については高木ら(1989)や保科・関東山地研究グループ(2017)を参照されたい。

Sample No. ST-6の主要な構成鉱物は、斜長石、石英、角閃石、緑れん石、カリ長石、不透明鉱物であり、副成分鉱物としてジルコン、アパタイト、チタナイトも確認された。斜長石、カリ長石の一部は変質が進んでおり、セリサイト化やカオリン化しているのも確認された。

ジルコン粒子の分離・濃集は、岡山理科大学内に整備されている鉱物分離部屋で行った。まず、試料をタングステン乳鉢内で粉碎し、 500 μmのメッシュを用いてふ

¹ 岡山理科大学基盤教育センター, 〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1. Center for Fundamental Education, Okayama University of Science, 1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama 700-0005, Japan.

² 岡山理科大学生物地球学部生物地球学科, 〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町1-1. Faculty of Biosphere-Geosphere Science, Okayama University of Science, 1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama-shi, Okayama 700-0005, Japan.

³ 秋田大学国際資源学部, 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町1-1. Faculty of International Resource Sciences, Akita University, 1-1 Tegatagakuen-machi, Akita-shi, Akita 010-8502, Japan.

⁴ 群馬県立自然史博物館, 〒370-2345 群馬県富岡市上黒岩1674-1. Gunma Museum of Natural History, 1674-1, Kamikuroiwa, Tomioka-shi, Gunma 370-2345, Japan.

*Correspondence: Yuta TSUCHIYA, Email: y.tsuchiya0512@gmail.com

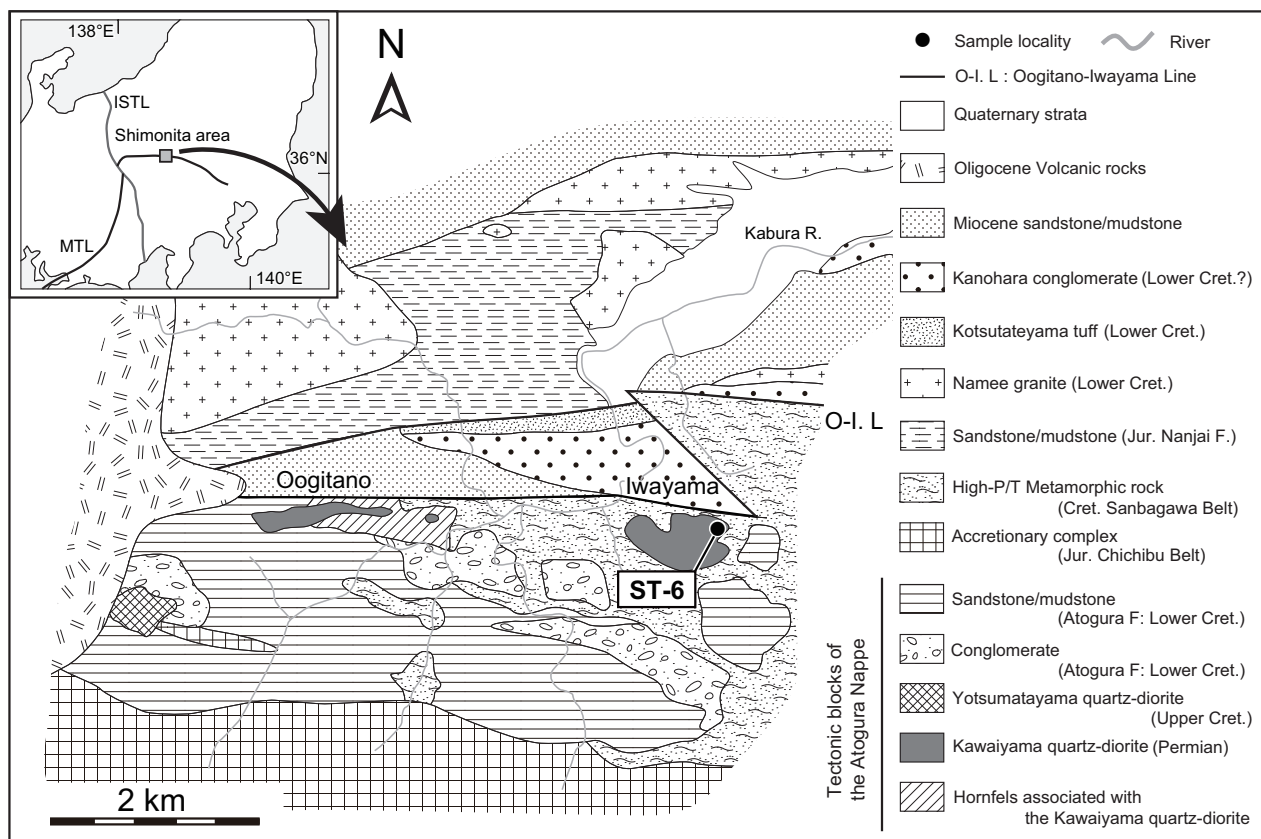


図 1. 関東山地における下仁田地域の簡易地質図(佐藤ら 2015, 2018 を一部改変)と試料採集地(ST-6). MTL: 中央構造線. ISTL: 糸魚川静岡構造線. O-I. L: 大北野-岩山線.

Fig. 1. Simplified geological map of the Shimonita area in the Kanto Mountains (modified from Sato et al. 2015, 2018) and sampling point (ST-6). MTL: Median Tectonic Line. ISTL: Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line. O-I. L: Oogitano-Iwayama Line.

るいについで、鉱物の粒径を揃えた。その後、碗かけを行った。さらに、濃集した鉱物を磁力選別をかけ、最終的に実体顕微鏡下でジルコン粒子を目視選別した。選別したジルコン粒子はアクリル樹脂に包埋し、表面研磨を行った後、内部構造観察を行った。観察には岡山理科大学設置のEPMA (JEOL JXA-8230) に装備されているカソードルミネッセンス(CL) 検出器を使用した。その結果、観察したすべてのジルコンから火成起源ジルコンに特徴的なオシロトリー累帯構造(Corfu et al. 2003)を確認した。本研究では、結晶表面および内部で割れ目や鉱物包有物が確認されない箇所を分析スポットとして選定し、1 粒子 1 分析点で12粒子のU-Pb年代測定を行った。また、コンコーディア曲線図作成と加重平均計算には、Isoplot 4.15(Ludwing 2012)を用いた。

III. 測定条件

U-Pb年代測定には、岡山理科大学に設置されているLA-ICP-MS (Laser Ablation Inductively-Coupled Plasma Mass Spectrometer) システムを使用した。装置は、四重極型ICP-MS (Thermo Scientific社製, ICAP-RQ) とArF Excimer Laser (波長 193 nm Teledyne Cetac 社製, Analyte

G2) で構成される。測定時のレーザーエネルギー密度、周波数、スポットサイズはそれぞれ 1.72J/cm², 5 Hz, 25 μm である。Pb/UおよびTh/U比の補正には91500ジルコン(Wiedenbeck et al. 1995, 2004)を、Pb/Pb比の補正にはNIST612 (Jochum & Stoll 2008) を使用した。その他の分析手法の詳細については、青木・青木(2019)を参照されたい。本論では、測定値のコンコールド/ディスコールドの指標として、 $100 \times (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U age}) / (^{207}\text{Pb}/^{205}\text{U age})$ の式を利用した。その値が90から110の間を示す測定データをコンコールドとみなし、その年代値として $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U age}$ (誤差 2 σ) を採用した。なお、測定精度の確認には、二次標準試料としてPlešovice zircon (約 337 Ma, Sláma et al. 2008) を用いた。

IV. 結果

測定した12粒子から得られたデータはすべてコンコールドであり、その年代値は 268.7 ± 5.8 Ma から 284.0 ± 7.5 Ma の範囲を示した(図 2 a)。また、Th/Uに関してもすべての測定点で0.1以上であった(表 1)。得られた年代値の加重平均値を計算すると、277.1 ± 3.2 Ma の値を示した(図 2 b)。

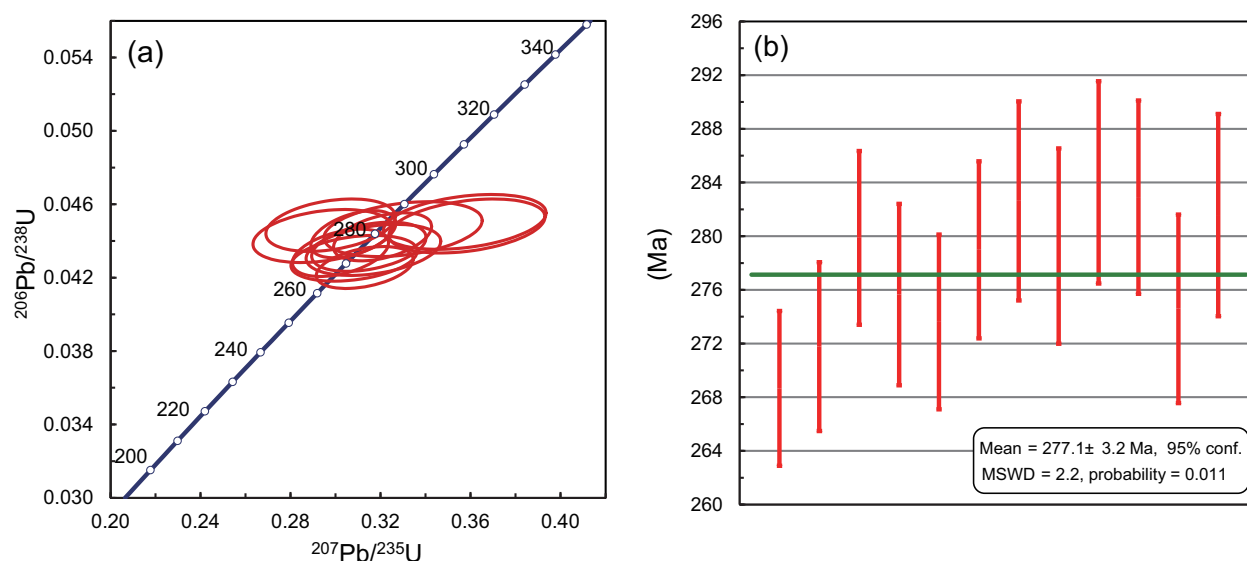


図 2. (a) 川井山石英閃緑岩における火成ジルコンの U-Pb コンコーディア図. (b) 分析ジルコンから得られた加重平均 U-Pb 年代.

Fig. 2. U-Pb Concordia diagram for igneous zircons from the Kawayama quartz-diorite (a) and weighted mean U-Pb age obtained from the analyzed zircons (b).

表 1. 川井山石英閃緑岩における火成ジルコンの LA-ICP-MS を用いた U-Pb 同位体分析データ.

Table 1. LA-ICP-MS U-Pb isotopic analytical data for igneous zircons from the Kawayama quartz-diorite.

Grain No.	Isotope ratios				Age (Ma)					
	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	2σ	Th/U	2σ
ST-6-1	0.3130	0.0176	0.0426	0.0009	276.5	13.6	268.7	5.8	0.40	0.01
ST-6-2	0.3082	0.0230	0.0431	0.0010	272.8	17.8	271.8	6.3	0.52	0.01
ST-6-3	0.3079	0.0154	0.0444	0.0010	272.5	12.0	279.9	6.5	0.20	0.01
ST-6-5	0.3148	0.0208	0.0437	0.0011	277.9	16.1	275.7	6.8	0.54	0.02
ST-6-6	0.3022	0.0175	0.0434	0.0011	268.1	13.6	273.6	6.5	0.35	0.01
ST-6-8	0.3209	0.0178	0.0442	0.0011	282.6	13.7	279.0	6.6	0.32	0.01
ST-6-9	0.3584	0.0283	0.0448	0.0012	311.0	21.2	282.6	7.4	0.36	0.01
ST-6-10	0.2942	0.0253	0.0443	0.0012	261.9	19.8	279.3	7.3	0.43	0.01
ST-6-11	0.3574	0.0296	0.0450	0.0012	310.3	22.1	284.0	7.5	0.46	0.02
ST-6-12	0.2977	0.0235	0.0449	0.0012	264.6	18.4	282.9	7.2	0.54	0.02
ST-6-13	0.3168	0.0244	0.0435	0.0011	279.4	18.8	274.6	7.0	0.50	0.02
ST-6-14	0.3300	0.0288	0.0446	0.0012	289.5	22.0	281.6	7.5	0.41	0.01

V. 議論

一般に、火成起源ジルコンが示すTh/Uは0.1を超えるものが多く(Rubatto 2002, Corfu et al. 2003など)、分析試料のTh/UおよびCL像観察を考慮すると、測定したジルコンはすべて同一マグマから晶出したと考えられる。したがって、当該岩体形成に関与したマグマ活動は、 277.1 ± 3.2 Ma に活動していたと結論づけられる。一方で、同地域の角閃石K-Ar年代値は 250 ± 7 Ma (高木ら 1989)を示し、誤差を考慮しても本研究結果に比べ有意に若く、その年代差は最大誤差を考慮すると約3700万年である。ジルコンU-Pb系と角閃石K-Ar系の閉鎖温度は、それぞれ約900°Cと約560°Cであり、その温度差は約340°Cである。このことから、それぞれ

の鉱物が同一マグマから晶出したことを考慮すれば、本研究結果と先行研究結果が示す年代値の違いは、一連のマグマ冷却-固化過程における温度の違いを反映していると考えられる。したがって、約3700万年の年代差は、当該岩体の温度冷却過程を示し、その冷却速度は約9.2°C/Maであったと推測される。

これまで、川井山石英閃緑岩体は、関東山地寄居地域の金勝山石英閃緑岩体や九州東部白杵川地域の白杵川石英閃緑岩体と同時期・同一形成場で形成されたと考えられてきた(広田 1964, 1967, 高木ら 1989, 1997など)。本研究で得られた岩山地域の川井山石英閃緑岩体のジルコンU-Pb年代値は、金勝山石英閃緑岩体や白杵川石英閃緑岩体から報告されているSHRIMPジルコンU-Pb年代値(約290-280 Ma; Sakashima et al. 2003,

Ogasawara et al. 2016)と一致する。したがって、年代値の観点から言えば、本研究はそれら岩体に対するこれまでの成因的解釈を支持する。

金勝山石英閃緑岩体や白杵川石英閃緑岩体と、本研究対象である岩山地域の川井山石英閃緑岩における角閃石K-Ar年代値は、ジルコンU-Pb年代値に比べ4000-3000万年程度若い(小野 1983, 高木ら 1989, 1997, Sakashima et al. 2003, Ogasawara et al. 2016)。しかし、大北野地域に産する川井山石英閃緑岩体(図1)の角閃石K-Ar年代値は 277 ± 8 Ma(高木ら 1989)であり、本研究で示されたジルコンU-Pb年代値と類似する。したがって、対象地域を含む広域の岩体が同時期に形成されたと考えられているが、本論の結果は川井山石英閃緑岩体の冷却速度に不均質が生じていたことを示唆する。

謝辞

二人の匿名査読者には多くの有益なコメントを頂き、本論の改善に大いに役立った。本研究の一部には、文部科学省私立大学研究ブランディング事業(岡山理科大学)とJSPS科研費(JP19K04043)を用いた。

引用文献

- 青木翔吾・青木一勝(2019)年代標準試料を用いたLA-ICP-MSジルコンU-Pb年代測定. *Naturalistae* 23: 23-29.
- 新井房夫・端山好和・林信悟・細矢尚・井部弘・神沢憲治・木崎喜雄・久保誠二・中島孝守・高橋洸・高橋武夫・武井暁朔・戸谷啓一郎・山下昇・吉羽興一(1966)下仁田構造帯. *地球科学* 83: 8-24.
- Cherniak, D. J. & Watson E. B. (2001) Pb diffusion in zircon. *Chemical Geology* 172: 5-24.
- Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O. & Kinny, P. (2003) Atlas of zircon textures. *Reviews in Mineral and Geochemistry* 53: 469-500.
- 藤本治義(1935)関東山地北部の地質学的研究(その2). *地質学雑誌* 42: 163-181.
- 藤本治義・渡部景隆・沢秀生(1953)関東山地北部の推し被せ構造. 秩父自然科学博物館研究報告 3: 1-41.
- 広田正一(1964)群馬県下仁田付近のいわゆる石英閃緑岩類と埼玉県寄居付近の石英閃緑岩の関係(演旨). *地質学雑誌* 70: 419.
- 広田正一(1967)群馬県下仁田地域および埼玉県寄居地域の花崗岩と石英閃緑岩について(演旨). *地質学雑誌* 73: 108.
- 保科裕・関東山地研究グループ(2017)群馬県下仁田町周辺における「跡倉ナップ」の研究史と論点. 下仁田町自然史館研究報告 2: 33-45.
- 磯崎行雄・丸山茂徳・青木一勝・中間隆晃・宮下敦・大藤茂(2010)日本列島の地体構造区分再訪-太平洋型(都城型)造山帯構成单元および境界の分類・定義-. *地学雑誌* 119: 999-1053.
- Jochum, K. P. & Stoll, B. (2008) Reference materials for elemental and isotopic analyses by LA-(MC)-ICP-MS: successes and outstanding needs. *In: Sylvester P. (ed.), Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues* 40, pp. 147-168. Mineralogical Association of Canada, Québec.
- 小林健太(1995)関東山地北縁部の中央構造線. *地質学雑誌* 101: 729-738.
- Lee, J. K. W., Williams, I. S. & Ellis, D. J. (1997) Pb, U and Th diffusion in natural zircon. *Nature* 390: 159-162.
- Ludwig, K. R. (2012) User's Manual for Isoplot Version 3.75-4.15: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Special Publication No. 5. Berkley Geochronological Center, Berkley.
- Montigny, R. (1989) The conventional potassium-argon method. *In: Roth, E. & Poty, B. (eds.), Nuclear Methods of Dating*, pp. 295-324. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- 中畑浩基・磯崎行雄・小坂和夫・坂田周平・平田岳史(2015)関東山地北縁, 上部白亜系跡倉層・栃谷層の碎屑性ジルコン年代パターン-飛騨帯と中央構造線南縁との弧横断方向の関連-. *地学雑誌* 124: 633-656.
- Ogasawara, M., Fukuyama, M. & Horie, K. (2016) SHRIMP U-Pb zircon dating of the Kinshozan Quartz Diorite from the Kanto Mountains, Japan: Implications for late Paleozoic granitic activity in Japanese Islands. *Island Arc* 25: 28-42.
- 小野晃(1983)関東山地, 金勝山石英閃緑岩のK-Ar年齢. *岩石鉱物鉱床学会誌* 78: 38-39.
- Rubatto, D. (2002) Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. *Chemical Geology* 184: 123-138.
- Sakashima, T., Terada, K., Takeshita, T. & Sano, Y. (2003) Large-scale displacement along the Median Tectonic Line, Japan: evidence from SHRIMP zircon U-Pb dating of granites and gneisses from the South Kitakami and paleo-Ryoke belts. *Journal of Asian Earth Science* 21: 1019-1039.
- 佐藤興平・柴田賢・内海茂(2015)関東山地北縁部の異地性岩塊や礫岩に含まれる珪長質火成岩類の年代: 跡倉ナップ実像解明の歴史と今後の課題. 群馬県立自然史博物館研究報告 19: 69-94.
- 佐藤興平・竹内誠・李雨嘯・南雅代・柴田賢(2020)関東山地北西縁の下仁田地域に産する南蛇井層: ジルコンのU-Pb年代による考察. 群馬県立自然史博物館研究報告 24: 53-70.
- 佐藤興平・竹内誠・鈴木和博・南雅代・柴田賢(2018)関東山地北西縁下仁田地域に産する珪長質火成岩体のU-Pbジルコン年代. 群馬県立自然史博物館研究報告 22: 79-94.
- Sláma J., Košler, J., Condon, D. J., Crowley, J. L., Gerdes, A., Hanchar, J. M., Horstwood, M. S. A., Morris, G. A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M. N., Whitehouse, M. J. (2008). Plešovice zircon — A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*

249: 1-35.

高木秀雄・柴田賢・鈴木和博・田中剛・上田寛(1997)九州東部, 臼杵-八代構造線沿いの臼杵川石英閃緑岩の同位体年代とその地質学的意義. 地質学雑誌 103: 368-376.

高木秀雄・柴田賢・内海茂・藤森秀彦(1989)関東山地北縁部の花崗岩類のK-Ar年代. 地質学雑誌 95: 369-380.

竹内圭史・牧本博(1995)関東山地跡倉ナツプ, 緑色岩メランジュ中の角閃岩岩塊のK-Ar年代. 地質調査所月報 46: 419-423.

Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W. L., Meier, M., Oberli, F., Von Quadt, A., Roddick, J. C. & Spiegel, W. (1995) Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards and Geoanalytical Research* 19: 1-23.

Wiedenbeck, M., Hanchar, J. M., Peck, W. H., Sylvester, P., Valley, J., Whitehouse, M., Kronz, A., Morishita,

Y., Nasdala, L., Fiebig, J., Franchi, I., Girard, J.-P., Greenwood, R. C., Hinton, R., Kita, N., Mason, P. R. D., Norman, M., Ogasawara, M., Piccoli, P. M., Rhede, D., Satoh, H., Schulz-Dobrick, B., Skår, O., Spicuzza, M. J., Terada, K., Tindle, A., Togashi, S., Vennemann, T., Xie, Q. & Zheng, Y.-F. (2004) Further characterisation of the 91500 zircon crystal. *Geostandards and Geoanalytical Research* 28: 9-39.

要約

関東山地北縁に位置する下仁田町岩山地域に産する川井山石英閃緑岩のジルコンU-Pb年代測定を行った。その結果、 $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ 年代の加重平均値として、 $277.1 \pm 3.2 \text{ Ma}$ の値が得られた。これまで報告されている同地域のK-Ar年代値を踏まえれば、同岩体の冷却速度は、 $9.2 \text{ }^\circ\text{C/Ma}$ であることが示唆された。

(2021年5月10日受理)