報告

九州南部の大隅花崗閃緑岩体に発達する節理系

Joint system in the Osumi granodiorite batholith, southern Kyushu, Southwest Japan

有留千博^{1,2} 山本啓司¹

Chihiro Aridome^{1,2} and Hiroshi Yamamoto¹

2021年3月31日受付.

2021年7月1日受理.

¹ 鹿児島大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 1-21-35 Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan

² 現所属: 株式会社ダイヤコンサルタント九州支社

Present Address: Dia Consultants Co., Ltd., 5-3-19 Chiyo, Hakata-ku, Fukuoka 812-0044, Japan

Corresponding author: H. Yamamoto,
hyam@sci.kagoshima-u.ac.jp

Abstract: This study analyses the joint system of the Middle Miocene Osumi granodiorite batholith in southern Kyushu, Southwest Japan. The analysis included 916 joints at 96 localities covering the northern, middle, and southern domains of the exposed area of the Osumi granodiorite batholith. Two major sets of steep joints striking NNW and ENE and a minor set of gentle joints are recognized in the northern and the middle domains. Two further sets of steep joints striking NS and EW with a minor set of gentle joints are recognized in the southern domain. Previous paleomagnetic studies indicate counterclockwise rotation of microplates in southeast Kyushu after 2 Ma. When the orientations of the joints are restored according to the rotation angles of the microplates (45° for the northern–middle domains and 30° for the southern domain), the strikes of the steep joints are largely oriented NNE and WNW.

Keywords: joint, tectonics, Miocene, batholith, Osumi Peninsula

はじめに

岩石中にある程度規則的に発達する「割れ目(不連続面)」は、露頭で割れ目のずれの方向やセンスを認識できるものは小断層、ずれが認められないか極わずかであるものは節理として扱われる。節理や小断層などの姿勢と変位のセンスは、それらが形成された時の局所的または広域的な応力場を反映すると考えられている。すでに多くの地域で様々な年代の地層や岩石を対象として、節理や小断層のデータを統計的に処理し、過去の応力場を推定する研究が行われている。国内の花崗岩類を対象とした節理(一部断層を含む)の解析から花崗岩体形成後のテクトニクスを議論する試みは、例えば、

Fig. 1. (a) Location of the study area in southern Kyushu. (b) Regional geological setting of the Osumi peninsula. Geological boundaries are adapted and simplified from Teraoka (2004).

Hirano (1969), 横田 (1974), Fabbri et al. (1997) に報告されている。

西南日本では、中期中新世の花崗岩類が主に太平洋側の地域に点在している。それらの同位体年代は概ね 13–15 Ma の範囲であり、測定値の分布のピークは約 14 Ma である(柴田, 1978; Shinjoe et al., 2010; 折橋ほか, 2015 など)。中期中新世の花崗岩体は、日本海拡大によって大陸から分離した西南日本弧に対して、できたてのフィリピン海プレートが沈み込み、珪長質火成活動をひき起こして生じたものと考えられている(宇都, 1995; Shinjoe 1997; 中島, 2018 など)。九州南部の大隅半島南東部には中期中新世のバソリス状花

Fig. 2. Shaded topographic image of the southeastern part of the Osumi Peninsula generated from GSI Maps by the Geospatial Information Authority of Japan [URL 1]. See Fig. 1 for regional location.

崗岩体が存在し、「南大隅花崗岩類」(大庭, 1960)あるいは「大隅花崗閃緑岩体」(西村・山本, 1994)と呼ばれている(Fig. 1). 本研究では後者の名称を用いる. 大隅花崗閃緑岩体は, その分布域が面積約 400 km²に達する広い範囲におよび, 西南日本各地の中期中新世花崗岩体のなかで最大である. 大隅半島の太平洋側にはフィリピン海プレートがユーラシアプレートに沈み込む境界(南海トラフと琉球海溝)があり, 半島の南東方ではフィリピン海プレート上にある九州パラウ海嶺が沈み込んでいる(Fig. 1a). 大隅半島周辺のプレート配置は, 中期中新世以降継続してこのような状況であったと考えられている(Seno and Maruyama, 1984; Jolivet, et al., 1994; Kamata and Kodama, 1994; Isozaki et al., 2010 など).

Fabbri et al. (1997)は大隅花崗閃緑岩体について節理および断層解析をおこない, NE-SW 系の断層は同方向の節理系が応力場の変化にともなって断層に転化したものであると結論した. この NE-SW 系の断層は正断層であり, 島弧に直交する方向の伸長によって形成されたと説明している. Fabbri et al. (1997)の調査範囲は大隅花崗閃緑岩体の北東側の一部であり, 全体の 3 分の 1 程度にすぎない. また, 断層露頭とその近隣で節理面の方位を多数測定しているが,

調査範囲の大部分は節理のデータとしては空白域である. 大隅花崗閃緑岩体に生じている節理の全体像は把握できていない. そこで, 大隅花崗閃緑岩体の分布域を隈なく網羅するように, できるだけ多くの露頭で節理の姿勢を測定してデータを収集したので, ここに報告する.

地形と地質の概要

大隅花崗閃緑岩体分布域(大隅半島南東部)の地形は, 大部分が急傾斜面である. 平坦面は河口域などにわずかに認められる(Fig. 2). 大隅花崗閃緑岩体分布域の中央部では, 北東-南西もしくは, それよりやや東寄りの方向に長く発達する尾根と谷が特徴的である. 内之浦の平坦面とその西方延長線より北側では鋭い稜線と谷が入り組んだ複雑な様相を呈している. 辺縁のやや北方から根占の南方を結ぶ線より南側では南北に近い方向, および東北東-西南西に配置している尾根と谷が目立つ. このような地形の特徴から, 大隅半島南東部は三つの領域に区分できる. 本研究では北東側から南西に順次「北部域」, 「中部域」, 「南部域」と呼ぶ(Fig. 2).

大隅花崗閃緑岩体(Fig. 3)は, 細粒から粗粒の黒雲母花崗閃緑岩, 黒雲母花崗岩, および細粒の白雲母黒雲母アプライト質花崗岩からなり, 暁新世~中新世前期の日南層群を非調

Fig. 3. Geologic map of the study area (based on Yamamoto et al., 2003). Numbered open circles indicate locations of outcrops worked in this study. See Fig. 1 for regional location.

和に貫いて貫入境界付近の母岩に接触変成を与えている(大庭, 1960; 1961; 山本・大庭, 1983; 加藤, 1985; 西村・山本, 1994; 斎藤ほか, 1997; Yamamoto et al., 2003; 川辺ほか, 2004). 日南層群と大隅花崗閃緑岩体は第四紀の火砕流堆積物および河床堆積物に覆われている。大隅花崗閃緑岩体は、主に粒度およびマフィック鉱物の種類と相対的存在量に基づいて7つの岩型に区分され、岩型の境界部は漸移関係にあるとされている。各岩型の特徴については、大庭(1961)、野沢・太田(1967)、山本・大庭(1983)、西村・山本(1994)、Yamamoto et al.(2003)に記載されているので、それらを参照していただきたい。

大隅花崗閃緑岩体の同位体年代については、黒雲母の K-Ar 年代($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ を含む)が多数報告されている。既報の年代値を列挙すると、 21 ± 1 Ma, 14 ± 1 Ma (Miller et al., 1962), 22 Ma (河野・植田, 1964), 14.4 ± 0.7 Ma, 14.1 ± 0.5 Ma, 13.9 ± 0.6 Ma, 13.4 ± 0.5 Ma (柴田, 1978), 14.1 ± 0.4 Ma (Fabbri et al., 2004) である。柴田(1978)の 14.4 ± 0.7 Ma は Miller et al.(1962)が 21 ± 1 Ma と報告している試料と同一のものを後に再測定した結果である。柴田は Miller et al.(1962)の著者の1人であり、自ら Miller et al.(1962)の測定には問題があったと述べている。

これらを纏めると、K-Ar 年代は河野・植田(1964)による1件を除いて 14 Ma 前後に集中する。

他の壊変系列では早瀬・石坂(1967)による Rb-Sr 年代(黒雲母-全岩)が 12 Ma, Yanagi et al.(1971)による Rb-Sr 全岩アイソクロン年代が 64 ± 11 Ma である。前者はおそらく冷却年代と解釈できる。後者の古い値は花崗岩マグマが分化した年代とされている(Yanagi et al., 1971)。折橋ほか(2015)は、九州の中期中新世花崗岩類の 15 岩体についてジルコンの U-Pb 年代を測定し、花崗岩類の主要な活動期は 14.6–14.1 Ma であると述べている。ただし、大隅花崗閃緑岩体を含む試料ごとの個別の年代値は提示されていない。以上の既存の年代値から大隅花崗閃緑岩体が貫入・固結したのは 14 Ma 頃として差し支えない。

節理面方位の測定方法

花崗岩類の露頭に認められる亀裂のうち、2 m 以上連続して追跡できて、かつ亀裂面に沿う方向の変位が認められないうか、変位量がごくわずかなものを測定対象の節理とした。変位の有無は、有色鉱物の含有量の違いによる縞模様のずれ、石英脈などのずれ、亀裂面付近に破碎作用の痕跡が認められるかどうか、亀裂面上にずれ動いた痕跡(条線)が認めら

Fig. 4. Field photograph of joints in the Osumi granodiorite batholith: (a) outcrop no. 10; and (b) outcrop no. 20. The strike and dip of the joints are indicated in each view. See Fig. 3 for outcrop location.

れるかどうか、などによって判断した。節理が開口している場合、および節理面が露出している場合に節理の表面を観察したが、節理に特有とされる羽毛状構造などを明確に視認することはできなかった。露頭面上で追跡できる長さが2 m未満の亀裂は、複雑に屈曲または湾曲して「平面」として扱い難いものが多いので測定対象外とした。露頭ごとに前述の条件を満たすもの全てについて、節理面の走向傾斜を測定した(Fig. 4)。走向はSILVA社の磁気コンパス“SILVA Expedition S”(磁北指針精度: 1°)を、傾斜はミットモ製作所の「アングルファインダーレベル」(最小読取値: 1°)を用いて測定した。節理面などの岩石中の不連続面の方位データを統計的に扱う場合、「露頭面に一定の測線(scanline)を設定して測線に交差する不連続面を測定」することにより、特定の方位の面が選択的に測定されて生じるデータの偏りを防ぐ方式が取り入れられることがある(Mauldon et al., 2001; Santos et al., 2015; Wang et al., 2019など)。一般に、測線に沿って走向傾斜を測定するには、対象となる露頭面が平面と見做せる程度に平坦でなければならない。例えば、Santos et al. (2015)は人為的に切り出された採石場の露頭面を利用しているし、Wang et al. (2019)は、氷河が削り出したものと思われる広大でほぼ平坦な露頭を扱っている。しかし、本調査地域では、花崗岩類の露頭は主に海食崖や道路脇の法面であるので、露頭面が著しく凹凸していた

り、露頭が道路に沿ってカーブしている場合が多い。そのような複雑な形状の露頭面に適切な測線を設定することは非常に難しい。そこで、各露頭の測定可能な節理は全て測ることで、方位データ取得過程で特定の方位の節理を選択しないよう配慮した。大隅花崗閃緑岩体の分布の全域に渡って、方位データの密度に極端な地域的偏りを生じないように、可能な限り満遍無く測定を行った。節理面方位を測定した露頭は96箇所、総数916の節理面を測定した(Fig. 3およびTable A1)。花崗岩類の露出面は北または南に面するものが28箇所、東または西に面するものが23箇所、北東または南西に面するものが24箇所、北西または南東に面するものが21箇所である。

測定結果とその説明

節理面方位の測定結果は、Table A1、およびステレオ投影図(Fig. 5)にまとめて提示する。節理面方位の全ての測定値を一つのシュミットネット(下半球)に極投影してコンター図を作成すると、走向が北北西–南南東で傾斜が鉛直に近いものが卓越する。この節理系にほぼ直交する(走向が東北東–西南西で高角傾斜)投影点の集中(極大)も認められる。これらの2系統よりも少数ながら、傾斜30°以下の節理面による極大が存在する。これらの節理系(高角傾斜の2セットと低角傾斜の1セット)の形成時期の新旧を系統的に判別できる事実(例えば、露頭における一定の切断–被切断関係)を見出すことはできなかった。低角傾斜の節理面を観察できるかどうかは、節理面の間隔に対して露頭面の高度差が十分に大きいかに依存する。露頭の高所に低角傾斜の亀裂面の存在を目視できたものの、到達困難で観察・測定できなかったものが9面あった。低角傾斜の節理面については、その実際の存在頻度に見合う測定数を得られていないと推測されるが、その影響がどの程度であるかを評価することは難しい。

大隅花崗閃緑岩体は大隅半島南東部の広い範囲を占めている。節理面方位の傾向に地域的な違いがあるかどうかを確認するため、節理面方位の測定値を北・中・南部域の各領域別に集約してシュミットネット(下半球)に極投影し、コンター図を作成した。それぞれの領域に含まれる測定地点数は、北部域31、中部域31、南部域34である。全測定値のプロットでは、前述の極大およびその近辺とは異なる方位の測定値が散発的に存在するが、北部域に限定したプロットでは北北西および東北東走向の高角傾斜の2系統の極大への集中が明瞭になっている。中部域のプロットでは、北部域と同様に2系統の極大が明瞭であることに加えて、中部域のほうが低角傾斜の節理面がやや多い。Fabbri et al. (1997)のFig. 8aには、本研究の北部域と中部域に重なる領域で測定された245の節理面方位の極投影図が提示されている。同図の節理面の極の分布は本研究の北部・中部域のものとほぼ同等である。南部域の節理面方位のコンター図は北・中部域とは少し異なり、南北および東西走向の2系統の高角傾斜面に由来する極大が認められる。南部域のコンター図を鉛直方向を軸として反時計回りに15°から20°程度回転させると、極

Fig. 5. Lower hemisphere equal-area projections of orientation data for joints in the Osumi granodiorite batholith. Stereograms were created using OSXStereonet v. 1.6 (Allmendinger et al., 2012). Contours were determined from poles to joint planes using the method of Kamb (1959). The contour interval is 2 sigma. Numbers of poles (n) are indicated on the lower right of each diagram.

大の配置は北・中部域の図と概ね一致する。

Kamata and Kodama (1994) は中国、四国、および九州各地の中新世における古地磁気偏角に基づいて、6 Ma 以降に九州南部が反時計回りに 30° 程度回転したことを示した。Kodama et al. (1995) は、大隅花崗閃緑岩体(本研究の北部域と中部域の試料)、および九州南部の太平洋側(種子島を含む)に分布する中新世の末頃から鮮新世にかけての堆積層の古地磁気方位と九州における浅発地震の震央の分布を検討し、九州南部の太平洋側が3つのマイクロプレート(北から南に A, B, C とされている。)に分かれていて、それぞれが 2 Ma 以降に反時計回りに 30° 程度回転したことを提唱した。さらに、Kamata and Kodama (1999) は、西南日本の火山活動史に基づいて Kodama et al. (1995) による「2 Ma 以降の反時計回り回転」を支持している。Kodama et al. (1995)

の Fig. 5 によると、B マイクロプレートの南限は本研究の中部域と南部域の境界に相当する位置にあり、南部域は C マイクロプレートに属している。B マイクロプレートと C マイクロプレートのそれぞれの領域の古地磁気偏角のデータを既存の文献 (Ishikawa and Torii, 1986; Kodama et al., 1991; Kodama and Nakayama, 1993) から読み取ると、本研究の北・中部域を含む B マイクロプレートの南部は西偏約 45° 、C マイクロプレートは西偏約 30° である。B の南部の方が C よりも約 15° 大きく西偏している。本研究で測定した節理の形成時期を 2 Ma 以前と仮定し、北部・中部域から得られた節理面方位のデータに 45° 、南部域から得られたデータに 30° の時計回り回転を与えると、Fig. 6. に示すように、高角傾斜の節理系の走向は西北西および北北東の2つの系統に集約される。

Fig. 6. Lower hemisphere equal-area projection of rotated orientation data for joints in the Osumi granodiorite batholith. Orientation data from the northern and middle domains were rotated 45° and those from the southern domain were rotated 30° clockwise around a vertical axis. Rotation was performed using OSXStereonet v. 1.6 (Allmendinger et al., 2012). Diagram details are the same as those in Fig. 5.

謝 辞

Hafiz Ur Rehman 氏には草稿段階において有益なご指摘をいただいた。また、本稿は山路敦氏の査読コメントにより大きく改善された。

文 献

- Allmendinger, R. W., Cardozo, N. and Fisher, D. M., 2012, *Structural Geology Algorithms: Vectors and Tensors*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 289p.
- Fabbri, O., Monié, P. and Fournier, M., 2004, Transtensional deformation at the junction between the Okinawa trough back-arc basin and the SW Japan island arc. *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, **227**, 297–312.
- Fabbri, O., Tokushige, H. and Hayamizu, M., 1997, Normal faulting in the Middle Miocene Osumi granodioritic pluton, southern Kyushu, Japan, and its significance. *J. Geol. Soc. Japan*, **103**, 141–151.
- 早瀬 一・石坂恭一, 1967, Rb–Sr 法による地質年令(I), 西南日本. 岩石鉱物鉱床学会誌, **58**, 201–212. [Hayase, I. and Ishizaka, K., 1967, Rb–Sr dating on the rocks in Japan(I), South Western Japan. *J. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **58**, 201–212.]
- Hirano, M., 1969, Joint System of the Rokko Mountain Range: Tectonics of uplifted massif in the Kinki district Japan(I). *J. Geosci. Osaka City Univ.*, **12**, 25–44.
- Ishikawa, N. and Torii, M., 1986, Westerly deflected remanent magnetization of the middle Miocene granite from the Osumi Peninsula. *Rock Magn. Paleogeophys.*, **13**, 8–11.
- Isozaki, Y., Aoki, K., Nakama, T. and Yanai, S., 2010, New insight into a subduction-related orogen: A reappraisal of the geotectonic framework and evolution of the Japanese Islands. *Gondwana Res.*, **18**, 82–105.

- Jolivet, L., Tamaki, K. and Fournier, M., 1994, Japan Sea, opening history and mechanism: A synthesis. *J. Geophys. Res. B: Solid Earth*, **99**, 22237–22259.
- Kamata, H. and Kodama, K., 1994, Tectonics of an arc-arc junction: An example from Kyushu Island at the junction of the Southwest Japan Arc and the Ryukyu Arc. *Tectonophysics*, **233**, 69–81.
- Kamata, H. and Kodama, K., 1999, Volcanic history and tectonics of the Southwest Japan Arc. *Isl. Arc*, **8**, 393–403.
- Kamb, W. B., 1959, Ice petrofabric observations from Blue Glacier, Washington, in relation to theory and experiment. *J. Geophys. Res.*, **64**, 1891–1909.
- 加藤高政, 1985, 日南層群の層位学的研究. 東北大理学部地質古生物邦文報, **87**, 1–23. [Kato, T., 1985, Stratigraphy of Nichinan Group in southeastern Kyushu, Japan. *Contrib. Inst. Geol. Paleontol. Tohoku Univ.*, **87**, 1–23.]
- 川辺慎久・阪口桂一・斎藤 眞・駒澤正夫・山崎俊嗣, 2004, 20 万分の1地質図幅「開聞岳及び黒鳥の一部」. 産総研地質調査総合センター. [Kawanabe, Y., Sakaguchi, K., Saito, M., Komazawa, M. and Yamazaki, T., 2004, *Geological Map of Japan, Scale 1: 200,000, Kaimon Dake and a Part of Kuro Shima*. Geol. Surv. Japan, AIST.]
- 河野義礼・植田良夫, 1964, 本邦産火成岩の K–A dating(I). 岩石鉱物鉱床学会誌, **51**, 127–148. [Kawano, Y. and Ueda, Y., 1964, K–A dating on the igneous rocks in Japan(I). *J. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **51**, 127–148.]
- Kodama, K. and Nakayama, K., 1993, Paleomagnetic evidence for post–Late Miocene intra-arc rotation of South Kyushu, Japan. *Tectonics*, **12**, 35–47.
- Kodama, K., Ozawa, T., Inoue, K., Mayeda, Y. and Takeuchi, T., 1991, Paleomagnetism and post-middle Miocene counterclockwise rotation of Tanegashima Island off Kyushu, Japan. *J. Geomagn. Geoelec.*, **43**, 721–740.
- Kodama, K., Tashiro, H. and Takeuchi, T., 1995, Quaternary counterclockwise rotation of south Kyushu, southwest Japan. *Geology*, **23**, 823–826.
- Mauldon, M., Dunne, W. M. and Rohrbaugh, M. B. Jr., 2001, Circular scanlines and circular windows: new tools for characterizing the geometry of fracture traces. *J. Struct. Geol.*, **23**, 247–258.
- Miller, J. A., Shibata, K. and Kawachi, Y., 1962, Potassium-argon ages of granitic rocks from the Outer Zone of Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **13**, 712–714.
- 中島 隆, 2018, 日本の花崗岩: 2017 年における総括. 地質雑, **124**, 603–625. [Nakajima, T., 2018, Granites of Japan: A review at 2017. *J. Geol. Soc. Japan*, **124**, 603–625.]
- 西村光史・山本温彦, 1994, 鹿児島県大隅花崗閃緑岩体北東部の鉛直組成変化. 鹿児島大学理学部紀要(地学・生物学), **27**, 101–111. [Nishimura, K. and Yamamoto, M., 1994, Vertical compositional variation in the northeastern part of Osumi granodiorite batholith, Kagoshima Prefecture, Japan. *Rep. Fac. Sci. Kagoshima Univ.*, **27**, 101–111.]
- 野沢 保・太田良平, 1967, 内之浦地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の1地質図幅). 地質調査所, 37p. [Nozawa, T. and Ota, R., 1967, *Geology of the Uchinoura District*. Quadrangle Series, 1: 50,000, Geol. Surv. Japan, 37p.]
- 大庭 昇, 1960, 南大隅花崗岩. 資源科学研究所彙報, **52–53**, 127–135. [Oba, N., 1960, The Southern Ōsumi Granite. *Misc. Rep. Res. Inst. Nat. Resour.*, **52–53**, 127–135.]
- 大庭 昇, 1961, 大隅花崗岩の岩石化学的研究, 特にその不均質性と片状構造. 資源科学研究所彙報, **54–55**, 191–201. [Oba, N., 1960, Petrochemical study of Ōsumi granite, especially its heterogeneity and schistose structure. *Misc. Rep. Res. Inst. Nat. Resour.*, **54–55**, 191–201.]
- 折橋裕二・新正裕尚・安間 了, 2015, 九州地方における, 西南日本外帯, 中期中新世花崗岩類のマグマ活動史の全容解明: LA-ICPMS U–Pb 年代測定による制約. 日本地球化学会第 62 回年会講演要旨, 1B17. [Orihashi, Y., Shinjoe, H. and Anma, R.,

- 2015, Elucidation of whole Mid-Miocene granitic magmatism of the outer zone of southwestern Japan, Kyushu province: Constraint from LA-ICPMS U–Pb age determination. *62nd Annu. Meet. Geochem. Soc. Japan, Abstr.*, 1B17.]
- 斎藤 眞・阪口圭一・駒澤正夫, 1997, 20 万分の 1 地質図幅「宮崎」, 地質調査所. [Saito, M., Sakaguchi, K. and Komazawa, M., 1997, *Geological Map of Japan, Scale 1: 200,000, Miyazaki*. Geol. Surv. Japan.]
- Santos, R. F. V. C., Miranda, T. S., Barbosa, J. A., Gomes, I. F., Matos, G. C., Gale, J. F. W.,...Guimarães, L. J. N., 2015, Characterization of natural fracture systems: Analysis of uncertainty effects in linear scanline results. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, **99**, 2203–2219.
- Seno, T. and Maruyama, S., 1984, Paleomagnetic reconstruction and origin of the Philippine Sea. *Tectonophysics*, **102**, 53–84.
- 柴田 賢, 1978, 西南日本外帯における第三紀花崗岩貫入の同時性. 地調月報, **29**, 551–554. [Shibata, K., 1978, Contemporaneity of Tertiary granites in the Outer Zone of Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **29**, 551–554.]
- Shinjoe, H., 1997, Origin of the granodiorite in the forearc region of southwest Japan: Melting of the Shimanto accretionary prism. *Chem. Geol.*, **134**, 237–255.
- Shinjoe, H., Orihashi, Y. and Sumi, T., 2010, U–Pb zircon ages of syenitic and granitic rocks in the Ashizuri igneous complex, southwestern Shikoku: Constraint for the origin of forearc alkaline magmatism. *Geochem. J.*, **44**, 275–283.
- 寺岡易司, 2004, 九州の四万十累層群. 地質ニュース, **599**, 40–48. [Teraoka, Y., 2004, Shimanto Supergroup in Kyushu, Southwest Japan. *Chishitsu News*, **599**, 40–48.]
- 宇都浩三, 1995, 火山と年代測定: K–Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代測定の現状と将来. 火山, **40**, S27–S46. [Uto, K., 1995, Volcanoes and age determination: Now and future of K–Ar and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **40**, S27–S46.]
- Wang, Q., Laubach, S. E., Gale, J. F. W. and Ramos, M. J., 2019, Quantified fracture (joint) clustering in Archean basement, Wyoming: application of the normalized correlation count method. *Pet. Geosci.*, **25**, 415–428.
- Yamamoto M., Kawano, Y., Imai, A. and Nishimura, K., 2003, Miocene granites and the Hishikari gold deposits in Kyushu. In Shimura, T. and Ishihara, S., eds., *Hutton Symposium V, Field Guidebook*, Geol. Surv. Japan, Interim-Rep., **28**, 61–80.
- 山本温彦・大庭 昇, 1983, 高隅山花崗岩体・大隅花崗閃緑岩体の地質・岩石. 日本地質学会第 90 年学術大会巡検案内書, 61–79. [Yamamoto, M. and Oba, N., 1983, Geology and rocks of the Takakuma-yama granite stock and the Osumi granodiorite batholith. *90th Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Excursion Guidebook*, 61–79.]*
- Yanagi, T., Yamaguchi, M. and Nozawa, T., 1971, Sr whole rock ages of the granites of Minami-osumi and Amami-oshima, South-west Japan. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. D, Geol.*, **21**, 163–175.
- 横田修一郎, 1974, 滋賀県「湖南アルプス」における花崗岩中の節理系. 地質雑, **80**, 205–214. [Yokota, S., 1974, Analytical studies of the joint systems in the Konan Mountain area (Konan Alps), Shiga Prefecture. *J. Geol. Soc. Japan*, **80**, 205–214.]
- [URL 1] 国土地理院, 地理院地図(Geospatial Information Authority of Japan, GSI Maps), <https://maps.gsi.go.jp/>
- * English translation from the original written in Japanese.
- 以下の Appendix は, オープンファイルとして学会ホームページ上で公開しています. <<http://www.geosociety.jp/publication/content0006.html>>
- Table A1.** Strike and dip of joints in the Osumi granodiorite batholith. See Fig. 3 for location.

(著者プロフィール)

有留千博 鹿児島大学大学院理工学研究科博士前期課程修了. 16 年 3 月から現職. 本研究の地質調査・構造地質学的データ処理を担当.
山本啓司 本研究の地質調査・構造地質学的解釈・統括を担当.

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, 以下のサイトをご覧ください.

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