

兵庫県北部, 山陰海岸ジオパーク猿尾滝付近の中期中新世ラコリス

A Middle Miocene laccolith around the Saruodaki Falls in the San'in Kaigan Geopark, northern Hyogo, SW Japan

羽地俊樹* 山路 敦*

Toshiki Haji* and Atsushi Yamaji*

2017年3月29日受付.

2017年7月24日受理.

* 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, Kyoto 606-8502, Japan

Corresponding author: T. Haji, t-haji@kueps.kyoto-u.ac.jp

Abstract: Saruodaki Falls, which is about 60 m high, is one of the highlights of the San'in Kaigan Geopark, northern Hyogo Prefecture, SW Japan. The quartz diorite exposed at the falls has previously been thought to represent a wide dike. However, we found that it is a laccolith with a horizontal diameter of <4 km and a thickness of >100 m. The base of the laccolith is not exposed. The host of the intrusive body consists of a lower Middle Miocene shaley formation, which is subhorizontal in this region. However, the formation makes a culmination centered by the body. In addition, the interface between the shaley formation and the diorite is concordant with the domal structure of the surrounding shale. Fracture patterns observed at the falls suggest that the laccolith is a composite sill made up of at least four sheets. Fission-track and U–Pb dating of zircon from the lower part of the laccolith yields ages of 15.7 ± 1.2 Ma and 16.1 ± 1.4 Ma, respectively. These ages are concordant with fossil data from the host rocks.

Keywords: laccolith, dike, Hokutan Group, fission-track age, U–Pb age

はじめに

但馬妙見山の北西麓(Fig. 1), 兵庫県美方郡香美町村岡区さるおだきの猿尾滝(Fig. A1)は, 日本の滝百選にも数えられる落差約60 mの滝で(グリーンルネッサンス事務局編, 1991), 山陰海岸ジオパークの見所のひとつである[URL1]. 弘原海・松本(1958)以来, そこには岩脈が露出するとされ, 同じジオパークのホームページ[URL2], 県の文書[URL3], および, 現地の説明板に岩脈と記されている.

山陰海岸ジオパークで多数の岩脈がみられるのは事実である. それらの岩体は, 西南日本における広域応力場の15Ma転換説に, 有力なデータを提供した(小林, 1979a, b; Tsunakawa, 1986; 山元, 1991). 猿尾滝の岩体もそのひとつで

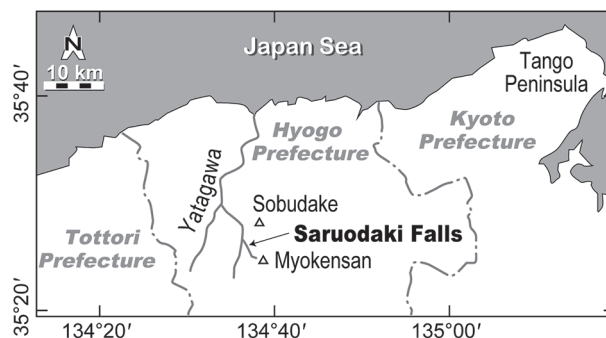


Fig. 1. Map of the Saruodaki Falls, northern Hyogo Prefecture, SW Japan.

ある. この岩体を弘原海・松本(1958)は長さ6 km, 幅1.5 kmの岩脈としている(小林(1979a)もこの幅を記す). しかしこの岩体の形状は, 公表された地質図ごとに異なっている(弘原海・松本, 1958; 上村ほか, 1981; 後藤・波田, 2003). 岩脈法応力解析の再検討を目論むわれわれにとって, これは許容しがたい不一致であった.

そこで今回この岩体の分布と母岩の構造を精査したところ, 岩脈ではなくラコリスの可能性が高いことがわかった. そこで, その分布と構造, ならびに中期中新世初頭という放射年代を報告する. 岩石学的な記載は本論文の趣旨とは異なるため言及しない. これらのことで, 山陰海岸ジオパークに幾分か寄与できれば幸いである.

既存の年代データ

猿尾滝の岩体の形成年代について, まず, 層位学的制約から述べる. 母岩は中新統北但層群の上部, 村岡層湯舟川黒色頁岩部層(弘原海・松本, 1958)である. 湯舟川黒色頁岩部層は, 砂岩層を頻りに挟む頁岩層である(Maejima et al., 2000). 村岡層最下部および, 村岡層が整合でおおう豊岡層からは *Operculina complanata japonica* と *Miogyopsina* sp. を産する(三木ほか, 1999; 安野, 2006). また, 豊岡層は Arcid-Potamid Fauna に属する貝化石を産する(Otuka, 1941; 弘原海・松本, 1958; Matsubara, 2011). これらの化石と, 年代が既知の山陰地方の地層との岩相対比により, 村岡層の堆積年代は, 基底が16 Ma頃, 最上部が15~14 Maとされる(鹿野・中野, 1985; 高安ほか, 1992; Matsubara, 2011).

妙見山付近の安山岩質貫入岩からは K–Ar 年代が報告されている. 以下, 放射年代の誤差を $\pm 1\sigma$ で示す. 通商産業

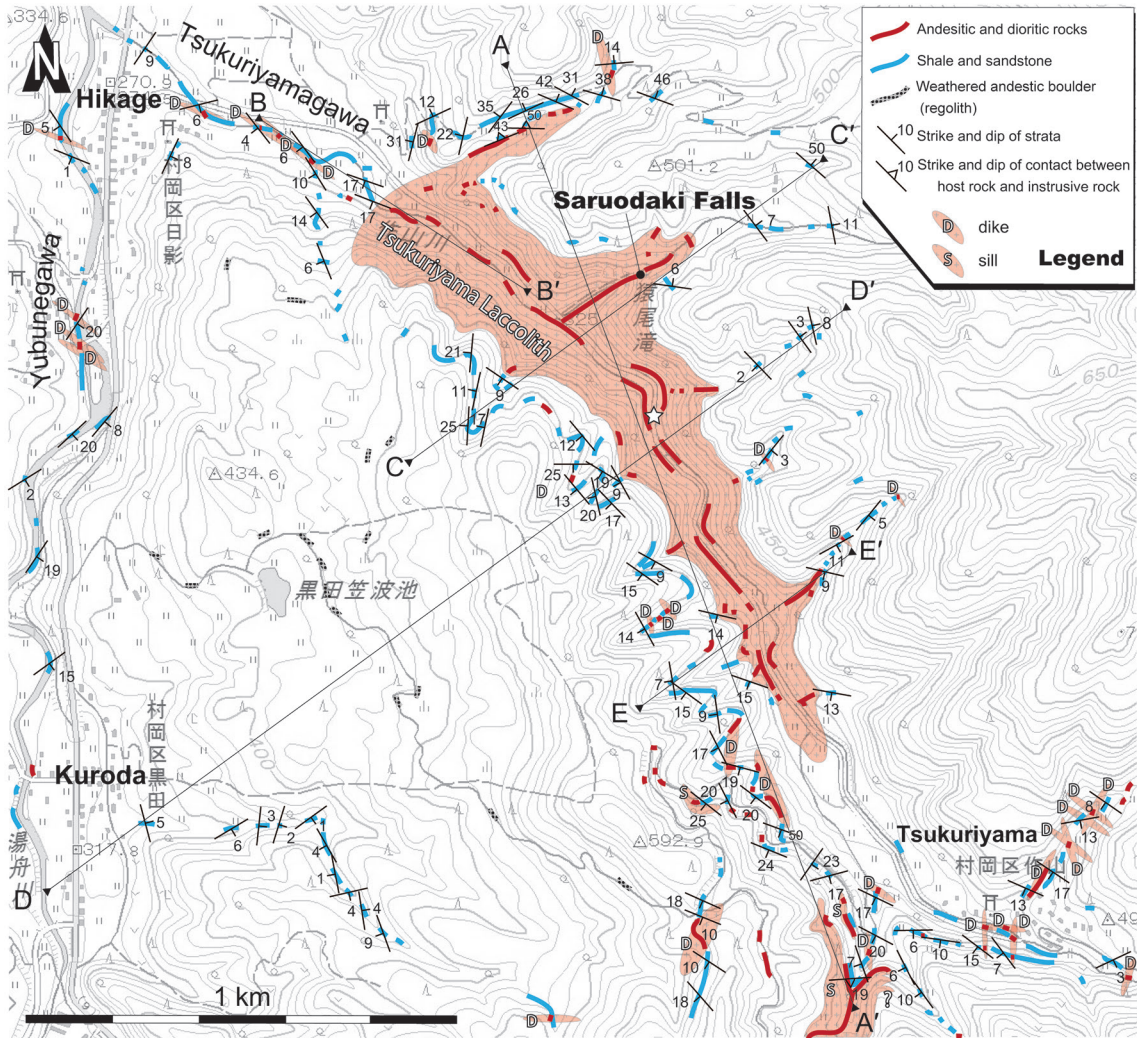


Fig. 2. Route map around the Tsukuriyama Laccolith. The star indicates the location of the sample on which radiometric dating was undertaken by Tsunakawa (1983) and that was examined in the present study. D indicates dike, and S indicates sill. Tsukuriyamagawa and Yubunegawa are branches of the Yatagawa river. The base maps are from the 1: 25,000 topographic maps “Muraoka” and “Tochimoto”, published by the Geospatial Information Authority of Japan.

省(1988)は猿尾滝西方つくりやまの作山川沿いで、問題の岩体から 24.0 ± 3.0 Ma (全岩) という値を得ながらも、母岩の年代より古くて信用できないとしている。Tsunakawa et al. (1983) は同じ岩体から 14.6 ± 0.6 と 13.9 ± 0.4 Ma という K-Ar 年代(全岩)を報告した。実際、Tsunakawa et al. (1983, Appendix, MK2) に示された試料採取地点は、緯度経度を当時の測地系から現在のそれに変換 [URL4] すると、猿尾滝南方約 300 m の作山川沿いの地点ということがわかる (Fig. 2)。山元・星住 (1988) は、丹後半島北東部に分布する 13~14 Ma の火山岩類(丹後層)とそのフィーダー岩脈を、村岡層中の安山岩質貫入岩に対比した。その根拠は、2 地域での放射年代の大雑把な一致、および、妙見山付近に産する岩脈群の卓越トレンド(小林, 1979a) と丹後半島の岩脈群のそれとの類似性である。

分布と構造

猿尾滝に露出するものを含め、妙見山付近 (Fig. 1) に露出する安山岩質貫入岩を、弘原海・松本 (1958) は猿尾滝岩脈群と命名した。この岩体は作山川の峡谷 (Fig. 2) とその両側の支流にのみ露出するが、この河床では、猿尾滝の西北西約 500 m のところから上流に向けて直線距離で約 2 km にわたって露出する。次いで通商産業省 (1972) は、妙見山付近には岩脈だけでなく岩床も存在するとして、猿尾滝貫入岩類とよんだ。通商産業省 (1988) と後藤・波田 (2003) も後者の名を踏襲している。このように、猿尾滝という名はそれらの岩体の総称になっている。そこで小論では、猿尾滝に露出する岩体を、近くの川と集落の名にちなんで作山ラコリスとよぶことにする。

この岩体が岩脈ではなくラコリスであることは、母岩との境界面の三次元的形状と、この岩体周辺で母岩の層理面の形

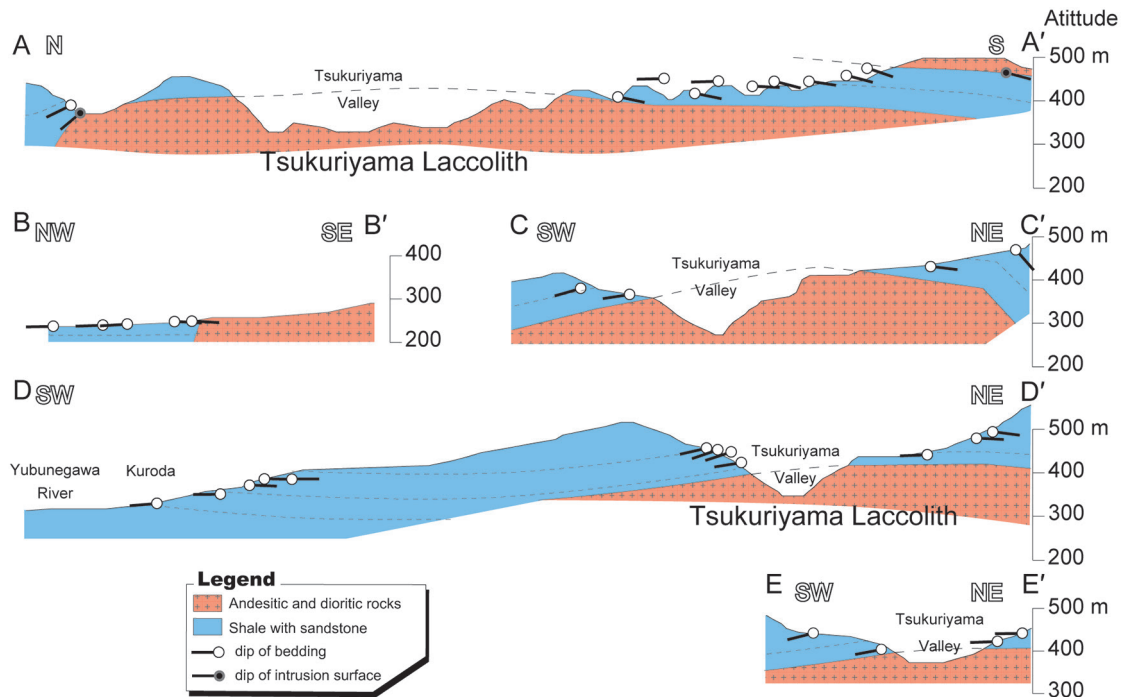


Fig. 3. Geological cross-sections along lines A–A’ through E–E’ in Fig. 2. No vertical exaggeration.

状が、長細いカルミネーションをなし、分布域の北端部分を除いてそれら2つの形状が調和的であることから判断した。まず、境界面であるが、猿尾滝の北西約400mの沢底でのみ露出していた。露出はしないものの、狭い範囲に境界の位置が限定できた地点が多数ある(Fig. 2)。作山川の東側の猿尾滝付近では、滝の北側の尾根の峡谷に面した先端部や滝の真東約70mのところとその例で、そのあたりで境界は標高400~430mにある。また、滝より南南東の枝沢では、境界は標高400mまでしだいに標高を下げる。作山川の西側では、400~410mとほぼ一定の高さにある。ただし、露出域の北限、すなわち猿尾滝の500mほど北西では、境界面は等高線と平行ではなく、40~50°傾く境界面が露出していた。峡谷にほぼ平行な断面A–A’断面図を作成すると、この岩体の上面が翼の上面と似た形をしている(Fig. 3)。

次に母岩の湯船川黒色頁岩部層の層理面の形状を示す。本調査地域の西側地域では大局的に10°前後で東北東に傾く(Fig. 2)。村岡層にはスランプ構造など傾いた地層が小範囲でところどころに見られるが、キロメートルの広がりでも系統的に傾くのは、この岩体の周辺部に特徴的である。作山川の峡谷では、冠線が峡谷に沿う緩やかなカルミネーションをなしている(Figs. 2, 3)。この冠線の位置は不明瞭だが、作山川側の北東200mあまりのところを並走する。南西翼は10~20°の傾斜、北西翼は10°に満たない緩傾斜をなす。冠線は、岩体の露出域の北側と南西側でプランジする(Fig. 3, A–A’断面)。すなわち、北端付近の猿尾滝の北隣の枝沢では、頁岩の層理面は貫入岩体との境界面の凹凸と調和的で、30°前後の傾きを持つ。また露出域の南東側、作山集落付近では、20°前後で南南西に傾いている。岩体の北縁と作山川

の交差するあたりは例外的に、頁岩の層理面と岩体の境界面が高角で交わる(Fig. 3, B–B’断面)。この付近で地層を切って貫入している。

これが岩脈と誤認されたわけは、別個の貫入岩体と混同されたからではなからうか。例えば藤藤・波田(2003)の地質図では、猿尾滝の岩体は滝から北に約4.5km、南に約2kmにわたって分布するとし、猿尾滝の北方約2kmの地点、金山峠に登る自動車道脇の女郎滝(Fig. 2の範囲外)にも露出するとしている。しかしそこに露出する岩脈はNW–SEトレンドで、同地質図の記述とあわない。また作山集落の南西に多数の岩脈や厚いシルがある(Figs. 2, 3)。層状貫入岩体を認定するには、その上下面の少なくとも一方を追跡しなければならないが、母岩の地層が水平に近い場合、層状貫入岩体と認定するには枝沢を上り下りしなければならないという困難がある。また、本地域は露頭での観察でラコリス岩体のものか別の貫入岩なのかの判断が難しい場合もある。ラコリスの周辺に分布する貫入岩は、斑晶の大小はあるもののみな黒色の非完晶質な安山岩である。一方、作山川河床のラコリスの中心部をなす岩体は灰色で完晶質な閃緑岩であるため、それぞれの典型的な露頭では見分けは可能である。しかし、ラコリスの縁辺部では結晶サイズが小さくなり、また風化した貫入岩の露頭も多いため、岩石だけではラコリスと周辺の別の貫入岩との判断が難しい場合も多い。また、周囲の貫入岩の姿勢も高角なものから水平なものまでさまざまであり、貫入面に注意しながら観察をしなければ貫入岩の形体の判断は難しい。そのためFig. 2において、貫入面の方向の確認できなかった貫入岩には貫入岩のトレンドを記載していない。周囲の貫入岩とラコリスの貫入の前後関係は不明であ

る。

ちなみに、作山川の西側の尾根を越えると、黒田笠波池を中心とする西南西傾斜の広大な地すべり地になっていて(田中ほか, 2003), 風化した安山岩の転石が多数みられる(Fig. 2). C-C' 断面(Fig. 3)からみて, それらは作山ラコリスより上位層準の貫入岩体に由来するものであろう. この斜面の西端, 村田区黒田には, 安山岩のシルが地すべり性デュープレクスをなすことが, 加藤ほか(2003)により報告されている. おそらくそれも, 作山ラコリスより上位に貫入したものであろう.

作山ラコリスは, この峡谷にしか露出しないことから, 次に述べるように, 水平規模が約 4 km を超えることはないと考えられる. 著者らは作山ラコリスの南東約 3 km の妙見山(Fig. 1)周辺で地質調査を進めているが, 母岩の村岡層もその下位の豊岡層も, 地層は水平に近い(後藤・波田, 2003). 妙見山の南斜面の村岡層中には, 作山ラコリスに続くと思えるほど厚くて側方への連続性のよい層状貫入岩体はみられない. また, 作山川の東側には妙見山から蘇武岳(Fig. 1)にかけて標高 1 km を超える稜線がそびえるが, その東斜面の村岡層中にもみられない. したがって, 作山川から南方および東方では, それらの斜面まで達しないうちに(水平距離約 3 km 以下で)作山ラコリスは尖滅する. また, 西方の湯舟川沿いには露出しない(Fig. 2)ので, 作山川から西方へは約 1.5 km 以内で尖滅する.

ところで Gilbert(1877)以来, 露出のよいユタ州南部は, 層状貫入岩体の研究で教科書的な地域である. 最近, 詳細な調査で見出された風化度や節理のパターンの違いから, その地域のラコリスが, 多数のシルで構成された複合貫入岩体であることが明らかにされた(Morgan et al., 2005). 猿尾滝の作山ラコリスも, 節理のパターンから 6 層に分けられる. 猿尾滝は落差 21 m の下段と落差 39 m の上段に分かれ, 下段とそれより下位の部分は塊状であるが, 上段は不規則な節理のある層に比較的塊状の層がはさまれていることが, 水の少ない季節に遠望できる(Fig. A1). しかし, 峡谷に流れ込む枝沢は急傾斜で近寄りがたく, それらの層の間の貫入関係を示す証拠を残しながら観察できていない.

放射年代

本研究では, 作山ラコリスから分離したジルコンを用い, U-Pb 年代とフィッション・トラック(FT)年代を得た. サンプルは Tsunakawa et al.(1983)と同じく, 作山川の河床の東経 134°36'54", 北緯 35°25'52" の場所から採取した(Fig. 2). 露出するかぎり, 岩体の最下部から採取したことになる.

年代測定は(株)京都フィッション・トラックに依頼した. FT 密度は結晶外部面で計測し, ジルコン FT のエッチングは, KOH : NaOH = 1 : 1 (mol) の共融液で 225°C, 24 時間の条件で行われた. Pb/U 同位体比測定および U 定量にはレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析(LA-ICP-MS)法が適用された. レーザー照射および ICP-MS 分析条件は Table 1 にまとめた. 本測定でモニターした同位

体は ^{29}Si , ^{202}Hg , ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , ^{232}Th , ^{238}U の 8 つで, ^{238}U - ^{206}Pb 年代, ^{235}U - ^{207}Pb 年代および ^{208}Pb - ^{232}Th 年代を求めた. 同位体分別の補正には 1 次スタンダードとして Nancy91500 ジルコン(Weidenbeck et al., 1995)を用い, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}=0.17917$, $\text{Th}/\text{U}=0.3444$ の値を用いた. さらに年代測定結果の正確性を評価するため, 2 次スタンダードとして OD-3 ジルコン(岩野ほか, 2012; Iwano et al., 2013)も分析した. ウラン濃度は, 91500 ジルコン(74 ppm の破片)との相対濃度から定量し, その際主成分(^{29}Si)は一定として内標準補正を施した. FT 年代値の較正はゼータ較正法によって行われ(Donelick et al., 2005; Hasebe et al., 2013), ゼータ値は 47.9 ± 2.6 (誤差は 1σ) $\text{yr} \cdot \text{cm}^2$ であった.

年代測定に用いた岩石試料は完晶質, 灰色で, 斑晶として斜長石, 普通角閃石, 単斜輝石および石英を含む. 本試料から得られたジルコンは細粒自形結晶で(Fig. A1), 晶癖や微量化学成分(U 濃度が平均 510 ppm, Th/U 比が平均 2.8)から見て均質性が高い. ランダムに選んだジルコン 20 粒の U-Pb および FT 年代測定結果を Table A2 および A3 に示す. ^{238}U - ^{206}Pb 年代は 20 粒中 11 粒がコンコダントデータで, これらの加重平均値から $16.1 \pm 0.7 \text{ Ma}$ (誤差は 1σ) を得た(Table A2). 一方, 同一粒子の FT 年代は見かけ上 5~29 Ma の範囲でばらつきがあるものの, 自発トラック数とウラン定量のカウント数において χ^2 検定に合格した. したがって, それら 20 粒子を単一年代集団に属するものとみなし, 加重平均値(pooled FT age)として $15.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$ (誤差は 1σ) を求めた. 今回用いた二つの 2 つの年代測定法は閉鎖温度が U-Pb 年代測定法では約 900°C(Cherniak and Watson, 2000), FT 年代測定法では約 250°C(Hurford, 1986; Tagami et al., 1995)と大きく異なるが, 一致した年代が得られた. また, 本研究で得られた FT 年代と U-Pb 年代は, Tsunakawa et al.(1983)による全岩 K-Ar 年代の結果と $\pm 1\sigma$ の誤差範囲内でかさなる. これは上述の村岡層の化石年代と矛盾しない.

謝 辞

現地の方々には, 調査に際してたいへんお世話になった. とくに養父市の森田樹美子氏と兵庫県立大学の松原典孝先生には, 種々便宜を図っていただいた. 小木曾 哲先生には, 試料のモード測定で X 線顕微鏡を使用させていただいた. (株)京都フィッショントラックの壇原 徹氏と岩野英樹氏には, 年代測定についてご助言いただいた. 加藤靖郎氏には, 地すべりの観察地点をご教示いただいた. 査読者である福岡大学の譲原雅樹先生と担当編集委員の山口大学の大和田正明先生のご指摘は, 原稿の改訂に有益であった. 本研究は, 山陰海岸ジオパーク学術研究奨励ならびに JSPS 科研費 15H02141 の助成を受けた. 記して感謝の意を表す.

文 献

Cherniak, D. J. and Watson, E. B., 2000, Pb diffusion in zircon. *Chem. Geol.*, **172**, 5-24.

- Donelick, R. A., O'Sullivan, P. B. and Ketcham, R. A., 2005, Apatite fission-track analysis. *Rev. Min. Geochem.*, **58**, 49–94.
- Gilbert, G.K., 1877, *Report on the Geology of the Henry Mountains*. U. S. Geogr. Geol. Surv., Washington D. C., 160p.
- グリーンルネッサンス事務局編 (Secretariat of the Green Renaissance, ed.), 1991, 日本の滝 100 選 (*A Hundred Waterfalls in Japan*)*. 講談社 (Kodansha), 97p.
- 後藤博彌・波田重熙 (Goto, H. and Hata, S.), 2003, 村岡 (5 万分の 1 表層地質図) (*Subsurface Geological Map, Muraoka*). 兵庫県 (Hyogo Prefecture).
- Hasebe, N., Tamura, A. and Arai, S., 2013, Zeta equivalent fission-track dating using LA-ICP-MS and examples with simultaneous U–Pb dating. *Island Arc*, **22**, 280–291.
- Hurford, A. J., Cooling and uplift patterns in the Lepontine Alps South Central Switzerland and an age of vertical movement on the Insubric fault line. *Contrib. Mineral. Petrol.* **92**, 413–427.
- 岩野英樹・折橋裕二・檀原 徹・平田岳史・小笠原正継 (Iwano, H., Orihashi, Y., Danhara, T., Hirata, T. and Ogasawara, M.), 2012, 同一ジルコン結晶を用いたフィッション・トラックと U–Pb ダブル年代測定法の評価—島根県川本花崗閃緑岩中の均質ジルコンを用いて— (Evaluation of fission-track and U–Pb double dating method for identical zircon grains: Using homogeneous zircon grains in Kawamoto Granodiorite in Shimane prefecture, Japan). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **118**, 365–375.*
- Iwano, H., Orihashi, Y., Hirata, T., Ogasawara, M., Danhara, T., Horie, K.,... Yamamoto, K., 2013, An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as secondary U–Pb dating standard. *Island Arc*, **22**, 382–394.
- 上村不二雄・坂本 了・山田直利・猪木幸男 (Kamimura, F., Sakamoto, T., Yamada, N. and Inoki, Y.), 1981, 20 万分の 1 地質図幅 [鳥取] (*Geological Map of Japan 1: 200,000, Tottori*). 地質調査所 (Geol. Surv. Japan).
- 鹿野和彦・中野 俊 (Kano, K. and Nakano, S.), 1985, 山陰地方新第三系の放射年代と対比について (Stratigraphic correlation of the Neogene in the San-in district, Southwest Japan, in the light of radiometric dating). *地調月報 (Bull. Geol. Surv. Japan)*, **36**, 427–438.
- 加藤靖郎・吉松弘行・吉村和司・秋山晋二・井上英将・関 正造 (Kato, Y., Yoshimatsu, H., Yoshimura, K., Akiyama, S., Inoue, H. and Seki, S.), 2003, 第三系北但層群における層状貫入岩体の地すべり構造 (Landslide structure of the Saruodaki bedding parallel intrusion in the Tertiary Hokutan Group, Hyogo Prefecture). 日本地質学会第 110 年学術大会講演要旨 (*110th Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*), 136.
- 小林洋二 (Kobayashi, Y.), 1979a, 西南日本内帯における新第三紀後半の岩脈群と広域応力場 (Late Neogene Dike Swarms and Regional Tectonic Stress Field in the Inner Belt of Southwest Japan). *火山 第 2 集 (Bull. Volcanol. Soc. Japan, 2nd Ser.)*, **24**, 153–168.
- 小林洋二 (Kobayashi, Y.), 1979b, 西南日本における中新世前・中期の岩脈群と広域応力場 (Early and Middle Miocene dike swarms and regional tectonic stress field in the Southwest Japan). *火山 第 2 集 (Bull. Volcanol. Soc. Japan, 2nd Ser.)*, **24**, 203–212.
- Maejima, W., Kimoto, T. and Nakajo, T., 2000, Meter-scale bedding cyclicity in storm-dominated shelf deposits in the Tertiary Hokutan basin, southwestern Japan. *堆積学研究 (Jour. Sediment. Soc. Japan)*, **50**, 3–10.
- Matsubara, T., 2011, Miocene shallow marine molluscs from the Hokutan Group in the Tajima area, Hyogo Prefecture, southwest Japan. *Bull. Mizunami Fossil Mus.*, **37**, 51–113.
- 三木武行・谷口正夫・松本俊雄・瀬戸浩二 (Miki, T., Taniguchi, M., Matsumoto T. and Seto, K.), 1999, 北但層群からの Mio-gypsina, Operculina の産出とその意義 (New occurrence of Mio-gypsina and Operculina from the Miocene Hokutan Group). 日本地質学会第 106 年学術大会講演要旨 (*106th Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*), 20.
- Morgan, S., Horsman, E., Tikoff, B., de Saint-Blanquat, M. and Habert, G., 2005, Sheet-like emplacement of satellite laccoliths, sills, and bysmaliths of the Henry Mountains, Southern Utah. In Pederson, J. and Dehler, C. M., eds., *Geol. Soc. Amer. Field Guide*, **6**, 283–309.
- Otuka, Y., 1941, Fossil mollusca from Tajima, Hyogo Pref. Japan. *Japan Jour. Geol. Geogr.*, **8**, 21–24.
- Tagami, T., Hasebe, N., and Shimada, C., 1995, Episodic exhumation of accretionary complexes: Fission-track thermochronologic evidence from the Shimanto Belt and its vicinities, southwest Japan. *Island Arc*, **4**, 209–230.
- 高安克己・山崎博史・上田哲郎・赤城三郎・松本俊雄・野村律夫... 吉谷昭彦 (Takayasu, K., Yamazaki, H., Ueda, T., Akagi, S., Matsumoto, T., Nomura, R.,... Yoshitai, A.), 1992, 山陰地方の中新統層序と古地理 (Miocene stratigraphy and paleogeography of the San'in district, Southwest Japan). *地質論集 (Mem. Geol. Soc. Japan)*, **37**, 97–116.
- 田中眞吾・井上 茂・辻村紀子 (Tanaka, S., Inoue, S. and Tsujimura, N.), 2003, 5 万分の 1 地形分類図 (*Geomorphological and Land Classification Map, Muaroka*). 兵庫県 (Hyogo Prefecture).
- Tsunakawa, H., 1986, Neogene stress field of the Japanese arcs and its relation to igneous activity. *Tectonophysics*, **124**, 1–22.
- Tsunakawa, H., Kobayashi, Y. and Takada, A., 1983, K–Ar ages of dikes in Southwest Japan. *Geochem. Jour.*, **17**, 265–268.
- 通商産業省 (Ministry of International Trade and Industry), 1972, 昭和 46 年度広域調査報告書, 播但地域 (*Report on the Fundamental Survey of Mineral Deposits in the Bantan Region during the Fiscal Year Showa 46*)*, 31p.
- 通商産業省 (Ministry of International Trade and Industry), 1988, 昭和 62 年度広域調査報告書, 播但地域 (*Report on the Fundamental Survey of Mineral Deposits in the Bantan Region during the Fiscal Year Showa 62*)*, 178p.
- 弘原海 清・松本 隆 (Wadatsumi, K. and Matsumoto, T.), 1958, 北但馬地域の新生界層序: 近畿西北部の新生界の研究 (その 1) (The stratigraphy of the Neogene formations in northern Tazama: Study of the Neogene in the Northwestern Part of the Kinki District (Part 1)). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **64**, 625–637.
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W. L., Meier, M., Oberli, F.,... Spiegel, W., 1995, Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analyses. *Geostand. Geoanal. Res.*, **19**, 1–23.
- 山元孝広 (Yamamoto, T.), 1991, 日本列島の後期新生代岩脈群と造構応力場 (Late Cenozoic dike swarms and tectonic stress field in Japan). *地調月報 (Bull. Geol. Surv. Japan)*, **42**, 131–148.
- 山元孝広・星住英夫 (Yamamoto, T. and Hoshizumi, H.), 1988, 丹後半島新第三系の層序と中期中新世の火山活動 (Stratigraphy of the Neogene system in the Tango Peninsula, eastern part of the San-in district, southwest Japan, and associated Middle Miocene volcanism). *地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan)*, **94**, 769–781.
- 安野敏勝 (Yasuno, T.), 2006, 兵庫県香美町南部村田地域から産出した哺乳類足跡化石 (Mammalian footprint fossils from Muraoka, Southern Kami Town, Hyogo Prefecture, Central Japan). 福井自然史博研報 (*Bull. Fukui City Mus. Nat. Hist.*), **53**, 35–40.
- [URL1] 山陰海岸ジオパーク, 香美町 MAP, http://www.town.mikata-kami.lg.jp/www/contents/1305546570091/files/geokamimap_Japanese.pdf.
- [URL2] 山陰海岸ジオパーク, 固い火山岩でできた山地と山陰道の城下町のサイト, <http://sanin-geo.jp/geosite/2022>.
- [URL3] 兵庫県の貴重な自然: 兵庫県版レッドリスト 2011 (地形・地質・自然景観・生態系), <http://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/JPN/apr/hyogoshizen/reddata2011/index.htm>.
- [URL4] 日本の測地系, <http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/datum-main.html>.

* English translation from the original written in Japanese.

以下は、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>>

Fig. A1. Photographs of the Saruodaki Falls. (a) Upper and lower parts of the falls. The rectangle indicates the location of the image in (b). (b) Horizontal sub-layers of the intrusive body, which are recognized by their fracture patterns.

Fig. A2. Photomicrographs of mounted zircon grains from the Tsukuriyama Laccolith (top) and the 20 zircons analyzed for U-Pb dating (bottom).

Table A1. LA-ICP-MS FT age data of zircons from the Tsukuriyama Laccolith sample.

Table A2. LA-ICP-MS U-Pb age data of zircons from the Tsukuriyama Laccolith and a secondary standard (OD-3).

Table A3. LA-ICP-MS FT age data of zircons from the Tsukuriyama Laccolith sample.

(著者プロフィール)



羽地俊樹 京都大学大学院理学研究科博士課程。15年 京都大学理学部卒。研究内容：グリーンタフ地域の堆積盆テクトニクス。本研究では、地質調査・総括・原稿執筆。

山路 敦 京都大学大学院理学研究科教授。88年 東北大学大学院理学研究科博士課程修了(理学博士)。10年から現職。研究内容：構造地質学・テクトニクス。本研究では、企画立案および現地指導・作文指導。

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>