

静岡県富士宮市、立堀風穴より産出した溶岩の 蛍光X線分析と溶岩つらら石の偏光顕微鏡観察

沢 勲¹ Isao SAWA 古山勝彦² Katsuhiko FURUYAMA
勝間田隆吉³ Takayosi KATSUMATA 宮下弘文³ Hirofumi MIYASHITA
伊東典夫³ Norio ITOU 鹿島愛彦¹ Norihiko KASHIMA
(大阪経済法科大学¹・大阪市立大学²・火山洞窟学会³)

XRF Analysis of Lava Flow and Polarizing Microscopic Study of Lava Stalactite from Tachibori Fuketsu (Cave), Fujinomiya-shi, Shizuoka

ABSTRACT

In October 2004, a speleological exploration was carried out in Tachibori Fuketsu (Cave), Fujinomiya-shi by Japan lava cave research group.

Tachibori Fuketsu lies at toward the south in skirt of the Fuji volcano, 138° 42' 04" east longitude and 35° 18'00" north latitude. The location of cave entrance is 2745, Awakura, Fujinomiya-shi, Shizuoka Prefecture. The above sea level and length of Tachibori Fuketsu are 1,170m and 82m.

Major chemical compositions of lava specimen, Tachibori Fuketsu are revealed by XRF (X-ray Fluorescence) analysis. Lava specimens of lava flow and lava stalactite from Tachibori Fuketsu are studied by polarizing microscopic study. Thin section studies indicate s that these specimens may belong to tholeiite-basalt series.

Average major chemical components of specimens from cave are as follows (Total 100 wt.%); (SiO₂=50.52, TiO₂=1.69, Al₂O₃=15.47, Fe₂O₃=13.13, MnO=0.20, MgO=5.97, CaO=9.17, Na₂O=2.52, K₂O=0.94 and P₂O₅= 0.40). Polarizing microscopic study indicates that these specimens may belong to tholeiite-basalt series. According to polarizing microscopic study, Au (Augite), Pl (Plagioclase), and Ol (Olivine) are

contained as phenocryst minerals.

Moreover Glass, Au and Pl were accepted in core of longitudinal section (wedge type) and cross section side (circular) of lava stalactite. There difference among both was checked.

From a research result, chemical composition of Nishiusuzuka Lava is clarified for the first time, and Nishiusuzuka lava flow is a lava flow (presumption of whether there is any relation was completed.) of the Mt. Fuji throat. Moreover, the outside and internal structure solved about lava stalactite. Furthermore, it was summarized that lava stalactite grew how etc.

Key words: *Lava Cave, Lava Stalactite, Polarizing Microscopic Study, X-ray Fluorescence Analysis*

[大阪経済法科大学論集 第92号] [*The Review of Osaka University of Economics and Laws Vol. 92 (2007), 1-30 pp.*]

1. はじめに

本稿は、静岡県富士宮市、立堀風穴（標高1,170m：総延長82m以上）にある溶岩（L）と溶岩つらら（LS）の蛍光X線分析と偏光顕微鏡の性格に関する学術調査（2004年10月31日）の一部である。立堀風穴は静岡県粟倉2745に所在し、Fig. 1にある西臼塚溶岩流（西臼塚山：標高：1,289m、緯度 $35^{\circ} 17' 59''$ N；経度 $138^{\circ} 42' 46''$ E）の、緯度 $35^{\circ} 18' 00''$ N；経度 $138^{\circ} 42' 04''$ Eに位置し、表富士グリーン観光株式会社敷地内にある（Fig. 2）。

『富士宮市立郷土資料館調査報告書』（1991）によると、「この洞窟は、1974年12月12日、茸狩りの人によって発見された。当初は直径15cm程の穴が開いていたが、翌年の1月、宮林署職員によって入口が広げられ、地下に直径2mの縦穴が開いているのが確認された。入口は、南北1.9m、東西2.1m、深さ6.6m。表土下に40cmのスコリア層、その下に110cmのローム層があり、さらにその下に125cmの溶岩層があって、洞窟の天井部になっている。」と記述されている。

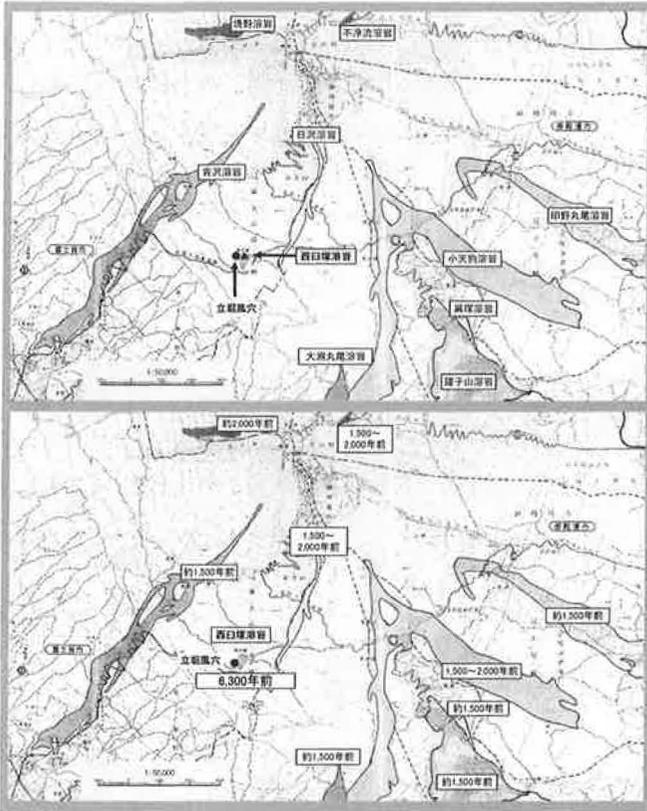


Fig.1 静岡県 富士山の溶岩流(上図)と噴出年代(下図)
 Distribution of Lava Flows (Upper Map) and Extrusion Ages (Lower Map) of Mt. Fuji, Shizuoka Pref., 国土交通省中部地方整備局2001年6月

る (Fig. 3)。

立堀風穴の特徴は、①2次溶岩流が流れた後に、形成された洞窟内の溶岩の流れを完全に確認することが不可能であること、②洞窟の内部は、崩落が多く、天井部では、急冷却相を示す黒色の光沢の多彩なタイプの溶岩(L)と溶岩つらら石(LS)があること、③床面には、気泡噴出痕や噴出時の破裂痕が残されているが、崩落が多いため観察は困難であること、④生物の面では、「かえる」や「コウモリ」の生息していることなどである。

津屋 (1938 ; 1971) は、富士火山の岩石学的研究を報告し、さらに溶岩洞窟の形成モデルを考案した。立堀風穴に関する報告としては、小山 (1990) と大佐古 (1990) の形態構造の調査がある。その他に、伊藤 (1990) は鳥の巣とカエル、川村 (1990) は西臼塚溶岩流の踏査、小川 (1990) は立堀風穴調査を行っている。LSに関する研究については、渡部ほか (1991) は富士山古期溶岩流中の三ッ池穴産の溶岩の化学分析と溶岩ストロー中に見られる磁鉄鉱の形態とその解釈についてのもがあり、またHill et al., (1997) は世界各地の報告をとりまとめている。

山梨県にある富士火山群の青木ヶ原と柏原溶岩樹型の含有鉱物の比較 (沢ほか、1998)、大淵溶岩流である厚原風穴成分分析とX線回折 (沢ほか、2001)、犬涼み山溶岩流にある水蒸気が発生する日本最大級の洞窟—富士火山にある犬涼み山風穴の成分とX線回折 (沢ほか、2001)、現在、知られている勢子辻溶岩流である「富士山こどもの国にある溶岩樹型」の成分とX線回折 (沢ほか、2002) が報告され、一部の溶岩については偏光顕微鏡観察もおこなっている。

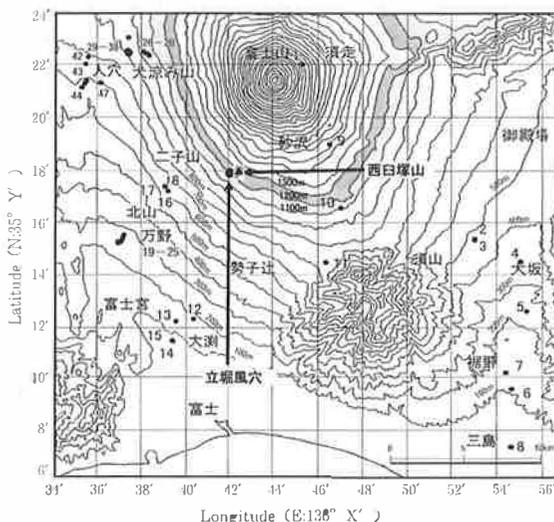


Fig.2 静岡県 富士山の火山溶岩洞窟分布図 (等高線100m)
Lava Caves Distribution Map of Mt. Fuji, Shizuoka Pref., Counter Interval is 100m. The Arrows indicate Mt. Nishiusuzuka(▲) and Tachibori Fuketsu(●). "

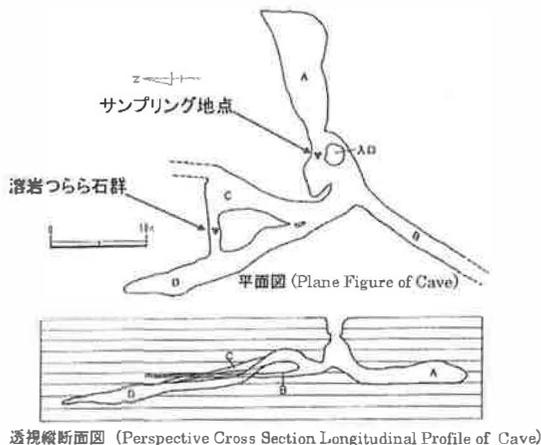


Fig.3 静岡県富士宮市 立堀風穴の平面図と透視縦断面図

Plane Figure and Perspective Cross Section Longitudinal Profile of Tachibori Fuketsu (cave) by Nishiusuzuka Lava Flow on Mt. Fuji. (大佐古, 1990)

一方、韓国濟州火山の溶岩洞窟 (沢ほか、2005) およびロシア、カムチャッカ半島の自然と洞窟—ゴレーリ火山の溶岩洞窟について (沢ほか、2006) の報告がある。

本稿では立堀風穴の溶岩 (L) と溶岩つらら石 (LS) の分析と観察を行った。まず、蛍光X線分析によると、溶岩 (L) は高アルカリソレライト (HT) である。次に、偏光顕微鏡観察によると溶岩 (L) には普通輝石 (Au=Augite)、斜長石 (Pl=Plagioclase) と橄欖石 (Ol=Olivine) の斑晶が認められ、溶岩つらら石 (LS) にはガラス、Au、PlとOlとが認められ、両者の構成鉱物は同じである。更に、西臼塚溶岩の化学組成が初めて明らかにされた。また (LS) については、その外形・内部構造、そしてどのように成長したのか、などが纏められた。

富士火山帯における他の火山・溶岩洞窟の成分分析値を検討した結果、溶岩洞窟の成因究明が可能になり、富士火山の溶岩洞窟との比較を行った。本稿においては、立堀風穴より産出した溶岩の蛍光X線分析、溶岩 (L) と溶岩つらら石 (LS) 試料の偏光顕微鏡観察を行った結果について報告する。

2. 立堀風穴（溶岩洞窟）周辺と溶岩と溶岩つらら石

静岡県、富士山の溶岩流と噴出年代はFig. 1のように区分できる。すなわち、Fig. 1における上段図と下段図は、それぞれの溶岩流名と溶岩流の噴出年代である。今から約1500年前（印野丸尾溶岩・鎌子山溶岩・黒塚溶岩・大淵丸尾溶岩と青沢溶岩）の5溶岩流、1,500～2,000年前（日沢溶岩・不浄流溶岩と小天狗溶岩）の3溶岩流、約2000年前の焼野溶岩、そして6300年前の西臼塚溶岩旧期（高田ほか、2004）に分類できる（Table. 1）。富士山頂から見ると、溶岩流の終端にある溶岩は約1500年前のものが多い。すなわち、印野、鎌子山、黒塚、大淵丸尾、および青沢溶岩である。富士山頂と各溶岩流の終端の間にある溶岩は、1500年前～2000年前であり、その溶岩は小天狗、日沢、不浄流溶岩である。富士山頂の周辺にある溶岩は、焼野溶岩約2000年前に分類される。ここでは、6300年前の西臼塚溶岩旧期は、県内では古い溶岩流（Fig. 1の斜線部分の表示）である。

静岡県、富士山の火山溶岩洞窟の分布図（Fig. 2）における立堀風穴（●表示）は、▲表示の西臼塚山の西側で、西臼塚山の周囲を囲んでいるのは西臼塚溶岩である。立堀風穴の平面図と縦断面図（Fig. 3）は、1989年10月に調査された形態構造報告（大佐古、1990）によるものである。立堀風穴の洞口の周辺は、管理上の問題があるため囲いがなされている（Photo. 1）。洞口はほぼ

Table 1 静岡県 富士山の溶岩流と噴出年代
Distribution of Lava Flows and Extrusion Ages of Mt. Fuji, Shizuoka Pref.

No.	溶岩流名 (Lava Flow)	噴出時代 (Extrusion Age)	No.	溶岩流名 (Lava Flow)	噴出時代 (Extrusion Age)
1	印野丸尾溶岩	約1,500年前	6	日沢溶岩	1,500～2,000年前
2	鎌子山溶岩	約1,500年前	7	小天狗溶岩	1,500～2,000年前
3	黒塚溶岩	約1,500年前	8	不浄流溶岩	1,500～2,000年前
4	大淵丸尾溶岩	約1,500年前	9	焼野溶岩	約2,000年前
5	青沢溶岩	約1,500年前	10	西臼塚溶岩 旧期	6,300年前

(南北：1.9m、東西：2.1m、深さ6.6m) に形成されており (Photo. 2)、入洞してみると、表土下に40cmのスコリア層、その下に110cmのローム層がある。Fig. 3におけるC洞とD洞接続部付近の天井には、溶岩つらら石群が観察できる (Photo. 3)。

小山 (1990) は、立堀風穴調査報の中で検鏡結果を次のように要約している。「溶岩流の溶岩の岩相は、主として赤褐色を呈する玄武岩質火砕岩と岩盤溶岩より形成されている。岩石の肉眼鑑定と検鏡結果によれば、西臼塚溶岩流の溶



Photo.1 静岡県富士宮市、立堀風穴の周辺
Circumference of Tachibori Fuketsu (Cave),
Fujinomiya-shi, Shizuoka. By Miyashita, H.,
Japan



Photo.2 静岡県、立堀風穴の円形状洞口
The entrance of a circle form cave in
Tachibori Fuketsu (Cave), Fujinomiya-shi,
Shizuoka. By Sawa, I., Japan

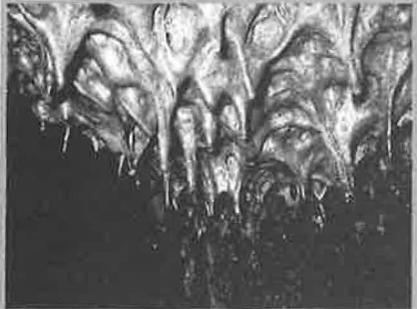


Photo.3 静岡県、立堀風穴の洞口の溶岩つらら石
Lava Stalactites from Tachibori Fuketsu
(Cave), Fujinomiya-shi, Shizuoka. By
Miyashita, H., Japan



Photo.4 静岡県、富士宮市の立堀風穴の噴気
孔の天井に付着したコウモリと溶岩つらら石
The Bat and Lava Stalactites adhering to
the ceiling of the fumarole from Tachibori
Fuketsu, Fujinomiya-shi, Shizuoka. By
Sawa, I., Japan

岩の岩質は、橄欖石普通輝石玄武岩である。」

試料：立堀風穴の溶岩、組織：斑晶組織。斑晶：[斜長石（大形、粗粒、中粒、細粒、微粒）]・[普通輝石（大粒）]・[橄欖石（大粒）]。石基：微粒斑状組織、[ガラス（オバサイト化）]・[斜長石（細粒～微粒）]・[普通輝石]・[橄欖石]、[磁鉄鉱（細粒～微粒）]。小山（1990）。

Hill et al., (1997) は、世界各地に産出している溶岩つらら石について詳細に解説を行っている。渡部ほか（1991）は、富士山古期溶岩流中の三ッ池穴産溶岩ストロー中に見られる磁鉄鉱の形態とその解釈を次のように要約している。「富士山古期溶岩流の三ッ池穴で採集された溶岩ストローを薄片および研磨片試料にして顕微鏡観察を行った。その結果、磁鉄鉱結晶の成長過程をうかがわせるような形態が多数観察され、磁鉄鉱結晶を形態的に分類して、それぞれの成長過程を推測している。今回の形態的分类からは、結晶がいつも中心から外側に向かって成長する場合のみではないことが言える」。さらに、接合部（縦断面薄片）の外核は薄い不透明鉱物帯であり、粘性の大きいものの動きである。外核と気泡の状態（横断面薄片）が観察できる。Ford et al., (1976) は、溶岩ストローと石筍についての紹介を行っている。

3. 溶岩（L）薄片と溶岩つらら石（LS）

試料薄片の偏光顕微鏡観察結果

3.1 溶岩つらら石の形態

沢ほか（2004；2006）は、溶岩つらら石について、洞窟内の形成時の環境条件（溶岩流量、ガスの雰囲気、成分の集合体、風向）の違いにより、多様な形態が見られるモデル（Model. 1）と用語（Table. 2）を纏めている。

溶岩洞の天井部に見られる多様な溶岩つらら石の形態として、シリカ鍾乳管・ケイ酸鍾乳管・溶岩つらら石・シリカつらら石・溶岩滝・天井溝・溶岩滴・溶岩ヘリクタイトの存在をあげている。次に、主な溶岩つらら石の形態と成長過程について述べる。

(1) 葡萄房状溶岩鍾乳石（Botryoid Lava Stalactite）：短い枝別れした溶岩

ヘリクタイトがまとまっているもので、小さな葡萄の房のように見える。

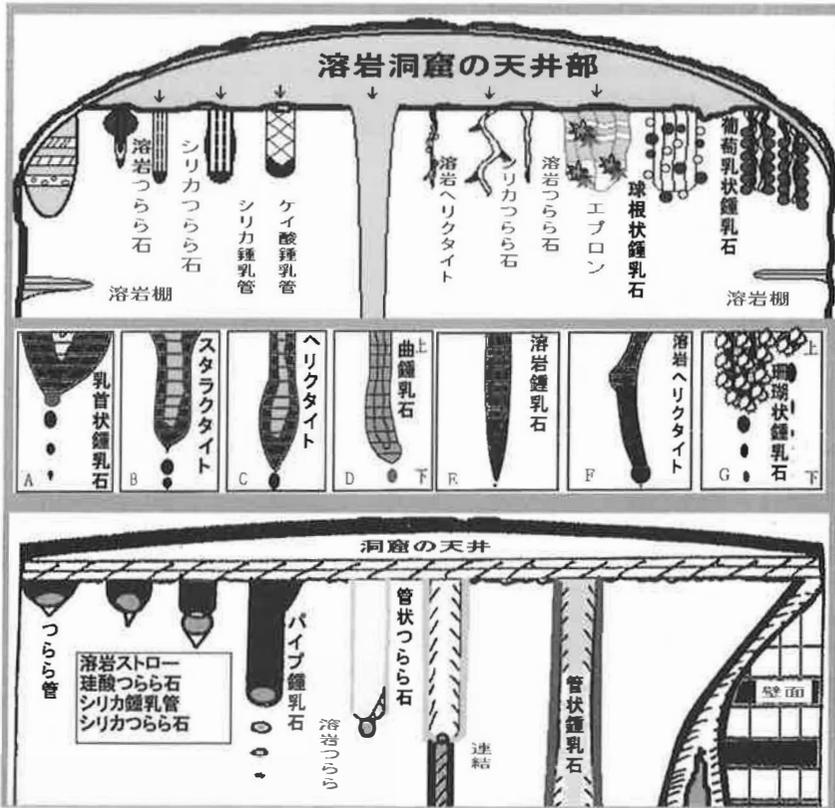
- (2) 球根状溶岩鍾乳 (Bulbous Lava Stalactite) : 根元が先端に比べてかなり太くなっている溶岩鍾乳石。知られている例は小さなもので、溶岩トウについているものである。
- (3) 象足鍾乳石 (Elephant's Foot Lava Stalactite) : 溶岩鍾乳石で、後に移動してしまった物体のために、とぎれたもの。天井の分離したライニングの間のできるので、数cm以上のことはほとんどない。
- (4) 溶岩ヘリクタイト (Lava Helictite) : 円筒形で、たびたび一部が管状となっている突起物。通常はねじ曲がってつながっているが、時には真っ直ぐの場合もある。重力の影響によるものではない。多くは管状の溶岩鍾乳に似て、それらといっしょに生じている。溶岩鍾乳との違いは溶岩ヘリクタイトは重力の影響を受けていないことである。ほとんどのものは、溶岩の表面にいきなり飛び出しており、みかけ上ガス圧より吹き出したように見えて、どちらの端でも成長しうる。大きさは直径5mmの小さいものから、小枝のように枝分かれたものや溶岩鍾乳の普通の大きさのものまでである。これは、あらゆる種類の内部面、他のヘリクタイト、鍾乳、割けた表面からさえも出てくる。
- (5) 溶岩鍾乳石 (Lava Stalactite) : 今回の場合、溶融あるいは固化状態の溶岩のかたまりでできた鍾乳石。全ての溶岩鍾乳は溶融した状態でできる。あるものは液体状態から変形しないで、固化する場合もある。固化する前に、(ガスの流れの) 外部要因や (発泡の) 内部要因の変形の場合もある。溶岩フローストーンや溶岩滴によりFe-Ti酸化物で覆われる場合もある。横断面は円形 (参照: 乳首状鍾乳 (teat stalactite) から非常に引き延ばされた (参照: 肋骨状溶岩 (rib)) のものまで様々なものがある。
- (6) 管状溶岩鍾乳石 (Tubular Lava Stalactite) : 溶岩でできた溶岩鍾乳石。ほとんどは、すこしずつ一様に細くなっている。直径は、平均7cmで先端に向かい次第に細くなる。0.4~1cmという極端に細いものも報告されている。長さはそれと認識可能というものから1メートルを越えるも

のもある。先端は半球状になっている場合もあるし、かなりの長さ口を開いている場合もある。しかし、内部は通常気泡が引き延ばされたものや隔壁になっている。外部表面は微少結晶で、成長過程と思われる浅い輪状の溝がついていることもある。管状溶岩鍾乳石は、よく、かなりの量の流体溶岩の流路の役割を果たす。体積にして100倍の溶岩石筍に対応した鍾乳石も稀ではない。ヘリクタイトとの組となって発生して、曲がったり、真っ直ぐだったり、枝分かれしたり、葡萄状であったり、湾曲していたり、ねじれていたたり、縮んでいたたり、更にそれらの変形が組合さったりもしている。

Table.2 つらら石の4ヶ国語(日英韓中)用語 (沢・鹿島・大橋、2006)
Technical Terminology of Stalactites Multilingual Translation (English, Japanese, Korean and Chinese)

番号	日本語	五十音	英語	韓国語	中国語
1	管状つらら石	かんじょうつらいし	Straw Stalactite	쥬리호트음식	磁彝雌皮墳
2	奇形鍾乳石	まげいしょうにゆうせき	Evtratic Stalactite	奄吳奇政汐	音号奇雌皮墳
3	球根状鍾乳石	きゅうこんじょうしょうにゆうせき	Bulbous Lava Stalactite	鍾根雌奇政汐	白功彝雌皮墳
4	曲鍾乳石	まよくしょうにゆうせき	Helicite	崙奇政汐	曲乳石
5	珪酸つらら石	けいさんつららせき	Silica Stalactite	硯亞고트음식	珪酸乳管
6	鯊の歯状鍾乳石	さめのはじょうしょうにゆうせき	Shark Tooth Stalactite	雌鯊威政汐	鯊齒雌皮墳
7	珊瑚状鍾乳石	サンゴじょうしょうにゆうせき	Coralloid Stalactite	至嶺雌奇政汐	深末彝雌皮墳
8	シリカ鍾乳管	シリカしょうにゆうかん	Silica Soda Straw	이산화규소용유관	矽石乳管
9	シリカつらら石	シリカつらいし	Silica Stalactite	이산화규소고트음식	矽石乳石
10	スタラクタイト	スタラクタイト	Stalactite	스타라크타이트	雌皮墳
11	スパッター鍾乳石	スパッターしょうにゆうせき	Spatter Stalactite・Speleothem	什蔭斗奇政汐	螢終雌皮墳
12	象足鍾乳石	ぞうあししょうにゆうせき	Elephant's Foot Stalactite	雌麟雌奇政汐	否怎雌皮墳
13	乳筍状鍾乳石	ちくびじょうしょうにゆうせき	Teat Stalactite	政嶺雌奇政汐	皮遊彝雌皮墳
14	つらら石(鍾乳石)	つらら(しょうにゆうせき)せき	Stalactitic	고트음식	雌皮墳
15	つらら管	つららせき	Stalactite Tube	고트음관	雌皮管
16	パイプ鍾乳石	パイプしょうにゆうせき	Pipe-Stem Stalactite	竹威嶺奇政汐	磁彝雌皮墳
17	葡萄乳状溶岩鍾乳石	ぶどうにゆうじょうようがんしょうにゆうせき	Botryoid Lava Stalactite	包胤政雌管政汐	屈末皮彝雌皮墳
18	噴出鍾乳石	ふんしつしょうにゆうせき	Extrusional Stalactite	嶺寧奇政汐	鳥嶺彝雌皮墳
19	ヘリクタイト	ヘリクタイト	Helicite	헤리크타이트	音号奇雌皮墳
20	溶岩鍾乳石	ようがんしょうにゆうせき	Lava Stalactite	連寧奇政汐	匪？雌皮墳
21	溶岩ストロー	ようがんストロー	Lava Stalactite	용암연대	熔岩乳管
22	溶岩つらら石	ようがんつらいし	Lava Stalactite	용암고트음식	熔岩乳石
23	溶岩ヘリクタイト	ようがんヘリクタイト	Lava Stalactite	용암헤리크타이트	熔岩管状突起

Model.1 溶岩つらら石のモデル (沢・鹿島・大橋、2006)
 Model of Lava Stalactites.



3.2. 溶岩 (L) 試料薄片の観察結果と検討

西臼塚溶岩流の溶岩は、小山 (1990) によって、「溶岩 (の岩相) は主として赤褐色を呈する玄武岩質火砕岩と岩盤溶岩より形成されている。岩石の肉眼鑑定・検鏡結果によれば、西臼塚溶岩流の溶岩は橄欖石普通輝石玄武岩で、新富士火山の溶岩の一般的な特徴を反映している」と報告されている。

溶岩の色は黒色で、立方体に近い溶岩試料の気泡数を検査すると、 1 cm^2 当たり 0.69 から 2.29 個 ($0.69 \sim 2.29$ 個 / 1 cm^2) が存在し、平均値は 1.78 個 / 1 cm^2 である

(Photo. 5)。溶岩の発泡が微粒で、気泡数が著しく多いことは、高温により粘性の小さいことを意味する。気泡直径 ϕ は2~3mm以下である。

溶岩試料薄片を偏光顕微鏡観察した特徴は、多泡質な黒青灰色の普通輝石玄

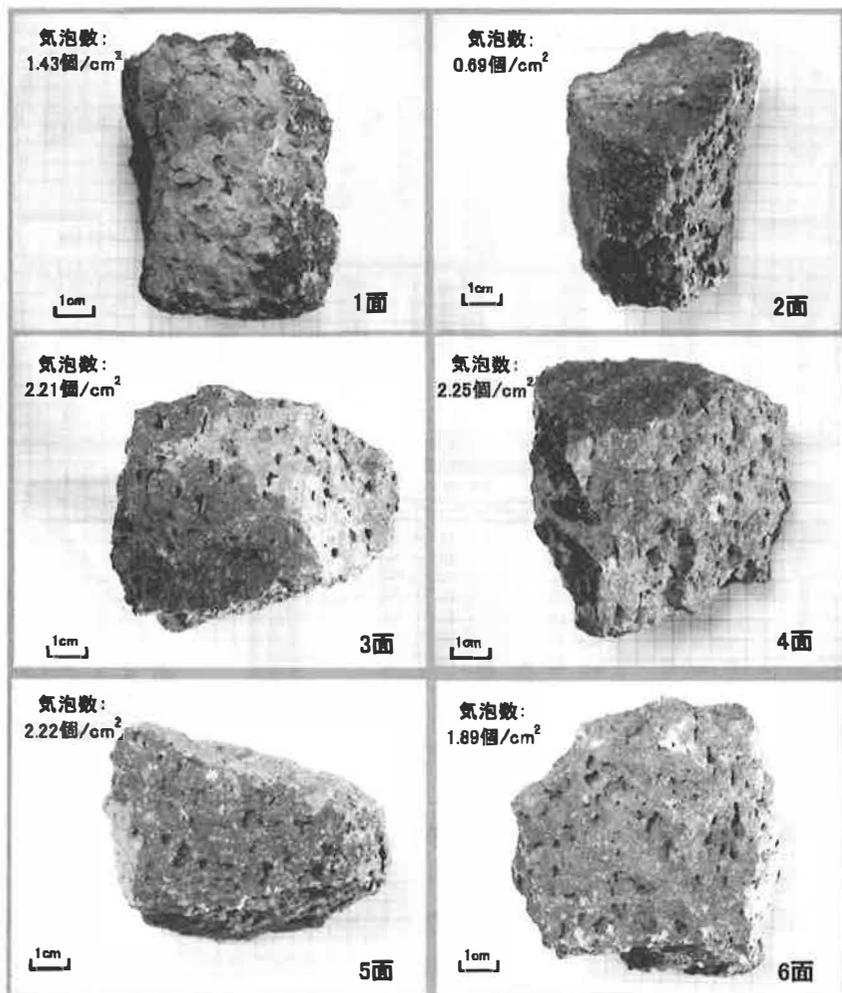


Photo.5 静岡県富士宮市、立堀風穴より産出した溶岩 (台紙5mm方眼紙を使用)
Six-sides of Lavas Specimen from Tachibori Fuketsu (Cave), Fujinomiya-shi, Shizuoka.
Numerical value is Vesicles per Unit area. (Pasteboard 5mm Section Paper is used)

武岩である。斑状組織を有し、斑晶は、1～数mmの自形～半自形のPl数mm以下の半自形～他形のAu、Olである。溶岩試料薄片の1と2について、オープンニコルとクロスニコルによって観察し比較を行った。

- ①斜長石 (Pl=Plagioclase) は、斑晶が目立つ存在で、集片双晶・粗粒、中粒、細粒、微粒をなし、累帯構造の顕著なものが多く、集斑状をなすものも見られる (Photo.6.写真の左側上中部分とPhoto7写真の右側上下部分)。
- ②普通輝石 (Au=Augite) は自形をなすものは少なく、不定形の普通輝石のみでの集斑状や斜長石と普通輝石とで集斑状をなすものが見られる (Photo.6写真の左側下部分/Photo.7写真の中央下部分)。
- ③橄欖石 (Ol=Olivine/微粒) は、大粒をなすものである (Photo.6写真の右側中央部分/Photo.7の写真の左側上部分)。
- ④石基はインターサタル組織 (填間状組織) をなし、0.1～0.3mm程度の細長い斜長石や不定形の普通輝石の間を、褐色のガラス状・粒状の不透明鉱物などが充填している)。

溶岩洞窟の溶岩試料薄片の偏光顕微鏡観察結果について、溶岩洞窟と溶岩樹型及び溶岩に含まれる斑晶の組み合わせ次の通りである。

(1)韓国済州道にある溶岩洞窟と溶岩樹型

- 萬丈窟産の溶岩石柱の溶岩 …… (橄欖石・単斜輝石・斜長石)(沢、未発表)
- 萬丈窟産の溶岩橋3Fの溶岩 … (橄欖石・単斜輝石・斜長石)(沢、未発表)
- ビレモツ窟産の溶岩 …………… (橄欖石・斜長石)(沢、未発表)
- 昭天窟産の溶岩 …………… (橄欖石・斜長石)(沢、未発表)
- 翰林邑産の溶岩樹型の溶岩 …………… (橄欖石・斜長石)(沢ほか、2001)

(2)富士山にある溶岩洞窟と溶岩樹型

- 青木ヶ原樹海産の溶岩樹型の溶岩…………… (橄欖石・単斜輝石・斜長石)
(沢ほか、2000)
- 犬涼み山洞窟 (全体) 産の溶岩…………… (橄欖石・単斜輝石・斜長石)
(沢ほか、2001)
- 犬涼み山洞窟 (部分) 産の溶岩 …… (橄欖石・単斜輝石)(沢ほか、2001)

- 厚原風穴（洞窟）産の溶岩 ……………（橄欖石・斜長石）(沢ほか、2001)
- 須走胎内洞窟（全体）産の溶岩 ……………（橄欖石・斜長石）(沢ほか、2000)
- 須走胎内洞窟（部分）産の溶岩 ……………（斜長石）(沢ほか、2000)
- 立堀風穴（溶岩洞窟）産の溶岩……………（橄欖石・普通輝石・斜長石）

(3)ロシア、カムチャッカにある溶岩洞窟：

- ゴレーリ洞窟産1の溶岩 ……（普通輝石・斜長石）(沢ほか、2006)
- ゴレーリ洞窟産3の溶岩 ……（普通輝石・斜長石）(沢ほか、2006)

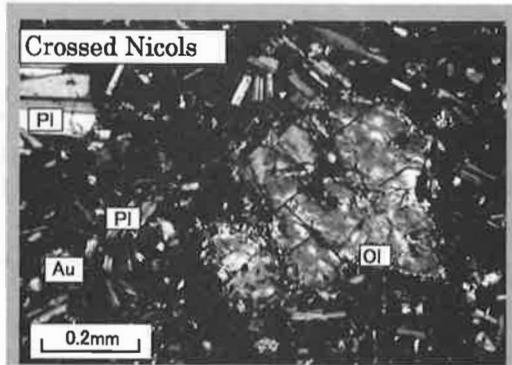


Photo.6 溶岩試料薄片1の偏光顕微鏡写真（クロスニコル）、PI：斜長石、Au：普通輝石、Ol：橄欖石
Microphotographs (Crossed Nicols) of Lava Sample 1 from Tachibori Fuketsu (Cave). Au : Augite, Pl : Plagioclase and Ol : Olivine.

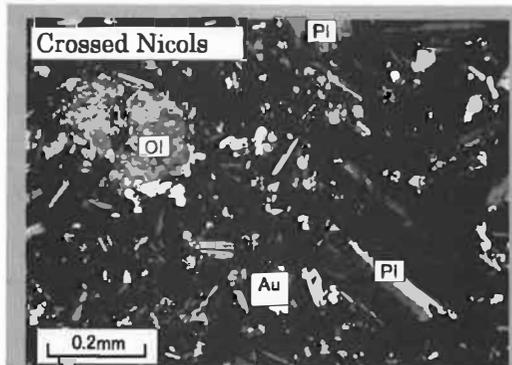


Photo.7 溶岩試料薄片2の偏光顕微鏡写真（クロスニコル）、PI：斜長石、Au：普通輝石、Ol：橄欖石
Microphotographs (Crossed Nicols) of Lava Sample 2 from Tachibori Fuketsu (Cave). Au : Augite, Pl : Plagioclase and Ol : Olivine.

3.3. 溶岩つらら石 (LS) 試料薄片の偏光顕微鏡観察結果

溶岩つらら石は肉眼では、表面はなめらかで、黒褐色で鈍い金属光沢を示す。

富士山にある溶岩つらら石の試料薄片の偏光顕微鏡観察結果として、渡部ほか(1991)は、三ッ池穴産の溶岩ストロー(横断面と縦断面)について報告しているが、各場所における鉱物名は示していない。

A) 横断面

Photo. 8は溶岩つらら石(LS)薄片の横断面(12×15mm)と縦断面(14×25mm)の偏光顕微鏡写真である。LSの横断面の外殻、マントル部と核部(Photo. 9左図)は、外殻(黒色不透明皮膜)、マントル部(一部の細粒結晶集合を含む)および核部には

Glass (ガラス/ Photo. 9右図の下部)、

Au (普通輝石/ Photo. 9右図の上部)、

P1 (斜長石Photo.9.右図の上部と下側)が観察できる。

Photo.10は、立堀風穴にある溶岩つらら石の横断面の偏光顕微鏡写真(右側:反射像)である。外殻は厚さ10 μ m程度の黒色不透明皮膜である。黒色不透明皮膜の下部にあるマントル部は、厚さ40 μ m程度である。

B) 縦断面

LSの縦断面の外殻、マントル部と核部の特徴(Photo.11.左図)は、外殻(黒色不透明皮膜)、マントル部(一部の細粒結晶集合を含む)および(Photo.11.右図)は、核部(円形の大きい結晶と褐色ガラスを含む)である。

Glass (ガラス) Au (普通輝石)、P1 (斜長石)が観察できる。

さらに、LSの縦断面を高倍率で観察したものを(Photo.12)に示した。

Photo.12は、立堀風穴にある溶岩つらら石の縦断面の偏光顕微鏡写真(左側:オープンニコル、中央:クロスニコル、右側:反射像)である。溶岩つらら石縦断面の外殻部(黒色不透明皮膜)とマントル部を示す。外殻は長さ10 μ m以下のFe-Ti酸化鉱物により構成されていることがわかる。またわずかに、ガラスも存在する。

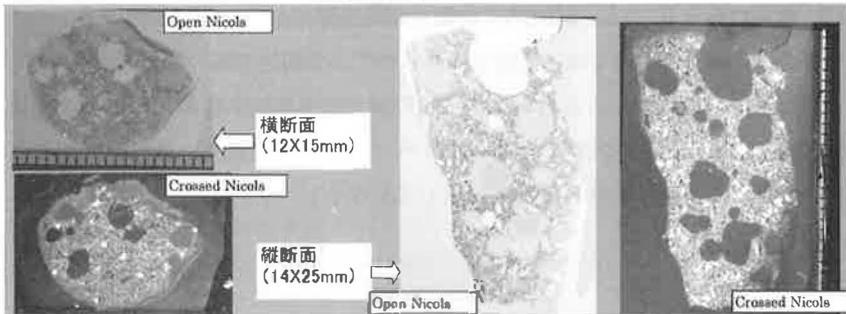


Photo.8 立堀風穴にある溶岩つらら石薄片の横断面 (12X15mm) と縦断面 (14X25mm) の偏光顕微鏡写真 (薄片)

Microphotographs of Cross Section (12X15mm) and Vertical Section (14X25mm) of Lava Stalactite from Tachibori Fuketsu (Cave). (Thin Section)



Photo.9 立堀風穴にある溶岩つらら石の横断面の偏光顕微鏡写真 (両側：オープンニコル)、Glass : ガラス、Au : 普通輝石、Pl : 斜長石

Microphotographs of Cross Section of Lava Stalactite Thin Section from Tachibori Fuketsu (Cave). Glass, Au : Augite and Pl : Plagioclase.

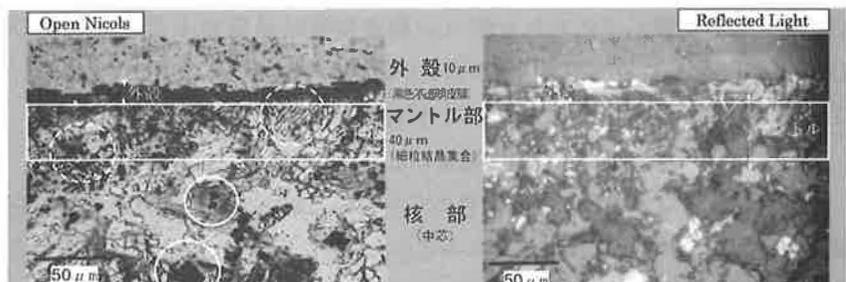


Photo.10 立堀風穴にある溶岩つらら石の横断面の偏光顕微鏡写真 (左側：オープンニコル 右側：反射像)

Microphotographs (Right Side: Reflected Light) of Cross Section of Lava Stalactite Thin Section from Tachibori Fuketsu (Cave).

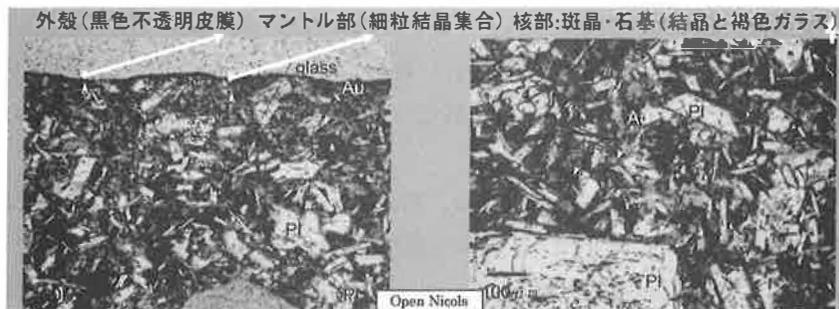


Photo.11 立堀風穴にある溶岩つらら石の縦断面の偏光顕微鏡写真(両側:オープンニコル)、Glass: ガラス、Au: 普通輝石、Pl: 斜長石
Microphotographs of Longitudinal Section of Lava Stalactite Thin Section from Tachibori Fuketsu (Cave). Glass, Au: Augite and Pl: Plagioclase.



Photo.12 立堀風穴にある溶岩つらら石の縦断面の偏光顕微鏡写真(左側:オープンニコル、中央:クロスニコル、右側:反射像)
Microphotographs (Left Side: Open Nicol, Middle: Crossed Nicol, Right Side: Reflected Light) of Longitudinal Section of Lava Stalactite Thin Section from Tachibori Fuketsu (Cave).

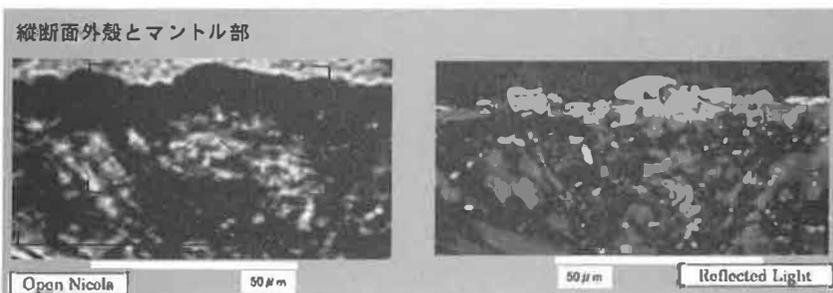


Photo.13 立堀風穴にある溶岩つらら石(外殻とマンテル部)の縦断面の偏光顕微鏡写真(左側:オープンニコル、右側:反射像)
Microphotographs (Left Side: Open Nicol, Right Side: Reflected Light) of Longitudinal Section of Lava Stalactite Thin Section (Outer Core and Mantle Part) from Tachibori Fuketsu (Cave).

最後に、さらに、外殻、マントル部と核部の詳細を明らかにするため、LSの縦断面を高倍率（接眼レンズ10倍、対物100倍）にした偏光顕微鏡写真を（Photo.13）に示す。その左側と右側はそれぞれオープンニコルと反射像である。

LSはP1（斜長石）とOl（橄欖石）、Au（普通輝石）を斑晶にもち、石基はP1（斜長石）、Au（普通輝石）、Fe-Ti酸化鉱物および褐色のGl ass（ガラス）からなる。構成鉱物に関して、LとLSのマントル部、核部は同じである。LSの外殻は、地上で空中に飛散した玄武岩マグマが急冷されるとガラス（ペレーの涙、ペレーの髪など）になるのに対し、Fe-Ti酸化鉱物で構成されていることが確認された。

4. 溶岩の蛍光X線分析結果

4.1. 溶岩の蛍光X線分析の条件

溶岩試料の新鮮な部分を純水にて超音波洗浄後、タングステンカーバイド製振動粉碎機により粉末とした。試料粉末は110℃にて乾燥後に、高周波ビードサンプラーにより試料と融剤（Johnson Matehey社製Spectroflux 100B）の量比が1：2のガラスビードとして、蛍光X線装置（リガク社製 RIX2100）により分析した。定量分析に使用した検量線は、地質調査所標準試料で作成したガラスビードを用いて装置内蔵プログラムにより作成した。

4.2. 蛍光X線分析による全岩化学組成

サンプリングした立堀風穴産の溶岩の蛍光X線分析による全岩化学組成（wt.%）は $\text{SiO}_2=50.52$ 、 $\text{TiO}_2=1.69$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3=15.47$ 、 $\text{FeO}^*=13.12$ 、 $\text{MnO}=0.2$ 、 $\text{MgO}=5.97$ 、 $\text{CaO}=9.17$ 、 $\text{Na}_2\text{O}=2.52$ 、 $\text{K}_2\text{O}=0.94$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5=0.4$ 合わせると（total100（wt.%）換算）である（Table. 3）。立堀風穴産の溶岩の化学組成（wt.%）は、富士山にある他の溶岩洞窟との比較を行った。立堀風穴の $\text{SiO}_2=50.52$ （wt.%）は、Table. 3に示された溶岩洞窟の平均岩石値と同じ程度である。立堀風穴の $\text{TiO}_2=1.69$ 、 $\text{MnO}=0.2$ 、 $\text{K}_2\text{O}=0.96$ と $\text{P}_2\text{O}_5=0.40$ （wt.%）は、

Table. 3 に示された溶岩洞窟の最大岩石値と同程度である。一方、立堀風穴の $Al_2O_3=15.47$ と $CaO=9.17$ (wt.%) は、Table. 3 に示された溶岩洞窟の最小岩石値と同じ程度である。標準偏差の大きい値は、 SiO_2 (0.99)、 Al_2O_3 (0.79) と FeO^* (0.86) であり、小さいのは、 TiO_2 (0.13)、 MnO (0.01)、 Na_2O (0.14)、 K_2O (0.12) と P_2O_5 (0.05) である。

富士火山における洞窟産の火山噴出物の SiO_2 組成範囲は、47.97wt.% (八幡穴) ~51.27wt.% (須走胎内) である。富士火山において 2 番目に多い化学組成の噴出物 ($Al_2O_3=15.47$ wt.%) は、富士山の洞窟から産出したデータ (15.47~17.99) wt.% と比較すれば、最小値と近い値であることが報告されている。

4.3. ケイ酸 (SiO_2) とアルカリ成分 (Na_2O+K_2O) との関係

富士山にある溶岩洞窟のケイ酸 (47.97~51.27wt.%) とアルカリ成分 (2.81~3.65wt.%) との関係を探明するため、 SiO_2 -(Na_2O+K_2O) 図を用いて溶岩値をプロットした (Table. 3 と Fig. 4)。Fig. 4 中の 2 本の境界線 (太線) は Kuno (1960) によるものである。諏訪 (1992) によると、岩系 (岩石系列) に分類すると次の分布域に区分できる。すなわち、上部境界線より上の領域はアルカリ玄武岩系列 (A)、下部境界線より下の領域が低ソレライト玄武岩系列 (LT) あるいはソレライト (TH) ともいい、2 本の境界線に挟まれる部分が高アルカリソレライト (高アルミナ) 玄武岩系列 (HT) あるいは高アルミナ玄武岩 (AH) に属するものである。アルカリ成分の含有量が少なくなると低アルカリソレライト系列 (LT) に属し、多くなると高アルカリソレライト系列 (HT) に属する。高アルカリ玄武岩は、アルミナ (Al_2O_3) が豊富であるからである。溶岩成分 $SiO_2=50.52$ wt.% と (Na_2O+K_2O) =3.46wt.% 関係図にプロットした Fig. 4 の ● 表示は、立堀風穴 (溶岩洞窟) 産の溶岩である。

溶岩洞窟の岩石のアルカリ成分は、ケイ酸が多くなると多くなり、それから増大の傾向である。立堀風穴 (溶岩洞窟) 産を含む富士山の溶岩洞窟のアルカリ成分は、TH と A の領域には見られないが、中間にある高アルミナ質玄武岩系列 (AH) であることが確認できた。富士山にある溶岩洞窟の岩石の分析値

Table.3 富士火山の噴出物と溶岩洞窟の蛍光X線分析値 (wt.%)

Representative XRF Analysis Results of Effusive and Lava Caves of Fuji Volcano
(富士山における成分分析値について、主に溶岩樹型は沢ほか (1998)、三ッ池穴は渡部ほか (1991)、富士山の溶岩は、沢ほか (2000) と沢ほか (2001) などである。)

	試料名	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	備考
1	柏原溶岩樹型壺型	50.22	1.51	17.31	12.20	0.18	5.07	9.71	2.71	0.77	0.31	沢ほか 1998
2	青木ヶ原溶岩樹型壺型	50.71	1.44	17.20	11.80	0.18	5.18	9.74	2.69	0.77	0.29	
3	青木ヶ原溶岩樹型横臥型	50.67	1.47	17.09	11.99	0.18	5.22	9.63	2.66	0.79	0.30	
4	犬涼み山風穴第1	50.90	1.56	16.00	12.10	0.18	5.86	9.38	2.74	0.91	0.37	沢ほか2000
5	須走胎内の外側	51.27	1.33	17.99	10.99	0.17	4.73	9.79	2.71	0.75	0.27	沢ほか 2000
6	須走胎内の内側	51.22	1.30	17.91	10.90	0.17	4.86	9.90	2.80	0.68	0.26	
7	須走胎内の上部	50.98	1.27	17.49	11.30	0.17	5.64	9.54	2.70	0.67	0.25	
8	厚原風穴第1	49.13	1.44	16.41	12.61	0.19	6.35	10.38	2.55	0.66	0.28	沢ほか2001
9	八幡穴	47.97	1.56	16.99	13.69	0.20	6.76	9.76	2.29	0.52	0.26	未発表
10	こどもの国溶岩樹型	50.35	1.55	16.38	12.49	0.19	5.70	9.59	2.57	0.82	0.36	沢ほか2002
11	三ッ池穴	50.70	1.72	15.76	12.77	0.19	5.76	9.15	2.61	0.96	0.39	未発表
12	立堀風穴	50.52	1.69	15.47	13.12	0.20	5.97	9.17	2.52	0.94	0.40	本文
	MAX	51.27	1.72	17.99	13.69	0.20	6.76	10.38	2.80	0.96	0.40	統計 分析
	AVG	50.39	1.49	16.83	12.16	0.18	5.59	9.65	2.63	0.77	0.31	
	MIN	47.97	1.27	15.47	10.90	0.17	4.73	9.15	2.29	0.52	0.25	
	STDEV	0.95	0.14	0.82	0.84	0.01	0.61	0.33	0.14	0.13	0.05	
	富士山噴出物 MAX	60.53	2.38	20.91	5.91	0.34	6.38	11.46	3.47	1.28	0.59	津屋1938、 沢ほか2000と 高橋ほか2003
	富士山噴出物 MIN	53.46	1.13	18.07	1.80	0.16	4.10	0.93	2.59	0.59	0.09	
	三ッ池穴産溶岩 ストロ-の化学分析値	55.54	2.29	17.01	10.85	0.17	4.23	4.88	2.91	1.29		渡辺ほか

は、AHの領域に存在している。

Fig. 5 は富士山全体に見られる岩石と溶岩洞窟の岩石を合わせた成分分析値である。これらの値について、富士山全体のケイ酸 (47.97~60.53wt.%) とアルカリ成分 (2.81~4.67wt.%) との関係を究明するため、SiO₂-(Na₂O+K₂O) 関係図を用いて溶岩値をプロットした (Table. 3 と Fig. 5)。プロットした Fig. 5 の◆表示 (SiO₂=50.52wt.%とNa₂O+K₂O=3.46wt.%) は、立堀風穴産の溶岩である。

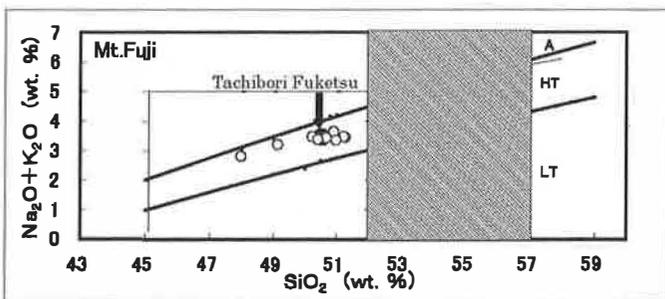


Fig.4 富士火山の溶岩についてのSiO₂対(Na₂O+K₂O)図
 Plot of SiO₂ vs. (Na₂O+K₂O) contents of Lavas in Fuji Volcano.

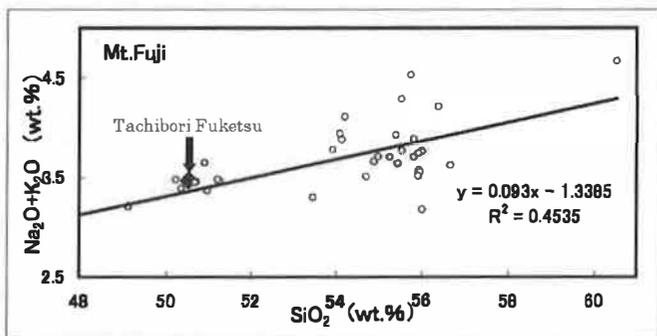


Fig.5 富士火山の溶岩についてのSiO₂対(Na₂O+K₂O)の相関分析図
 Plot of SiO₂ vs. (Na₂O+K₂O) contents of Lavas in Fuji Volcano.

Fig. 5 のSiO₂=52wt.%以下の値は、沢ら (1998, 2001, 2002) による蛍光X線分析による溶岩洞窟の岩石であり、SiO₂=52wt.%以上の値は、津屋 (1938) による化学分析による富士山に見られる岩石の値である。ケイ酸SiO₂ (wt.%) とアルカリ成分 (Na₂O+K₂O) (wt.%) の関係から回帰方程式が求められ勾配が求められた。

$$Y (\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})=-1.339+0.093X (\text{SiO}_2) \cdots \cdots (R^2=0.4535) \cdots \cdots (1)$$

ここで、決定係数 (R^2) が0.4535であることが算出された。

4.4. ケイ酸 (SiO_2) と酸化カリウム成分 (K_2O) との関係

溶岩の溶融は温度の上昇、粘性や圧力の減少および融点を低下させる組成物の付加によって、周囲の溶岩を溶かして析出するものと思われる。溶岩のケイ酸と酸化カリウム成分との関係を究明するため、ケイ酸 SiO_2 (47.97~51.27wt.%) -酸化カリウム成分 K_2O (0.52~0.96wt.%) 図に、それぞれの溶岩の化学組成をプロットした (Table. 3 と Fig. 6)。プロットした Fig. 6 の境界線は、Miyashiro (1978) によるものである。酸化カリウム成分 K_2O は、high-k、medium-k と low-k の3つの範囲に区分される。

溶岩成分 $\text{SiO}_2=50.52\text{wt.}\%$ と $\text{K}_2\text{O}=0.94\text{wt.}\%$ 関係図にプロットした Fig. 6 の●表示は、立堀風穴 (溶岩洞窟) 産の溶岩である。溶岩洞窟の岩石の酸化カリウム成分は、ケイ酸が多くなると多くなり、わずかに増大の傾向である。立堀風穴産を含む富士山の溶岩洞窟の酸化カリウム成分は、medium-Kの領域でアルミナ質玄武岩あることが確認できた。

Fig. 7 は富士山全体に見られる岩石と溶岩洞窟の岩石を合わせた成分分析値である。これらの値について、富士山全体のケイ酸 (47.97~60.53wt.%) と酸化カリウム成分 (0.52~0.96wt.%) との関係を究明するため、 SiO_2 -(Na_2O) 関係図を用いて溶岩値をプロットした (Table. 3 と Fig. 7)。

プロットした Fig. 7 の◆表示 ($\text{SiO}_2=50.52\text{wt.}\%$ と $\text{K}_2\text{O}=0.94\text{wt.}\%$) の関係図は、立堀風穴 (溶岩洞窟) 産の溶岩である。立堀風穴産の溶岩を含む富士山の溶岩について、玄武岩質の範囲内の SiO_2 が大きくなるにつれ、 K_2O も大きくなる傾向である。立堀風穴 (溶岩洞窟) 産の溶岩の酸化カリウム成分 (0.94wt.%) について、富士山の洞窟と比較すれば、 K_2O は平均値よりやや多い値である。

Fig. 7 は富士山に見られる岩石と溶岩洞窟の岩石の全体である。富士山に見られる岩石と溶岩洞窟の岩石のケイ酸と酸化カリウム成分との関係を究明するため、ケイ酸 SiO_2 (47.02~54.09wt.%) -酸化カリウム成分 K_2O (0.52~1.28wt.%) 図に、それぞれの溶岩の化学組成をプロットした (Table. 3 と

Fig. 7)。SiO₂=52wt.%以下の値は、沢ら (1998, 2000, 2001と2002) による蛍光X線分析による溶岩洞窟の岩石であり、SiO₂=52wt.%以上の値は、津屋 (1938) による化学分析による富士山に見られる岩石の値である。

ケイ酸SiO₂ (wt.%) と酸化カリウム成分K₂O (wt.%) の関係から回帰方程式が与えられ、勾配が求められた。

$$Y(K_2O) = 1.3 - 0.048X + 0.0007X^2 \text{ (SiO}_2\text{)} \dots\dots\dots (R^2 = 0.2109) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、決定係数 (R²) が0.2109であることが算出された。

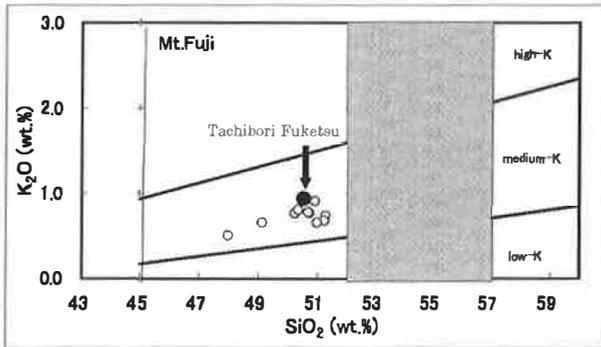


Fig.6 富士火山の溶岩についてのSiO₂対K₂O図
Plot of SiO₂ vs.K₂O contents of Lava Caves in Mt. Fuji Volcano.

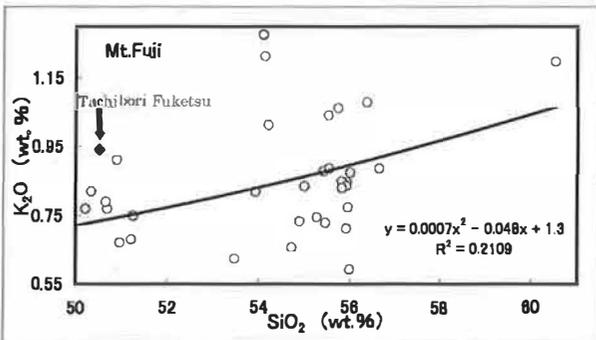


Fig.7 富士火山の溶岩についてのSiO₂対K₂O相関分析図
Plot of SiO₂ vs.K₂O contents of Lava Caves in Mt. Fuji Volcano.

4.5. FeO^*/MgO の比と酸化物成分 ($\text{TiO}_2, \text{K}_2\text{O}, \text{P}_2\text{O}_5$) との関係

高橋ほか (2003) は富士火山をstage 1～stage 9 にわけた。古富士火山はstage 1-5、新富士火山はstage 6-9に相当する。彼らは847個の分析データをプロットして、古富士火山、新富士火山の化学組成の特徴を示した報告をしている。主化学成分では新富士火山は古富士火山に比べ、 FeO/MgO が高いものが多く、また、 TiO_2 、 K_2O 、 P_2O_5 に富む特徴がある。このグラフに西臼塚溶岩の分析値を■でプロットした (Fig. 8) Fig. 8 は古富士(○)および新富士(+)のマグマ群の多量溶岩成分の FeO^*/MgO 図形である。西臼塚溶岩は、新富士火山の中でも FeO/MgO 比が低い側にある。一方、特に K_2O 、 P_2O_5 にとみ、新富士火山の化学組成の特徴をもつ。高橋ほか (2003) の図に対応した立堀風穴を含む富士山の溶岩洞窟と溶岩流をプロットしたとき、新富士火山の化学組成の特徴をもつことが示される (Fig. 9)。Fig. 9 は、富士山にある溶岩洞窟(○)、立堀風穴(■)および溶岩流(▲)の蛍光X線分析による FeO^*/MgO 変化図形である。彼らの論文に、分析採取地点がしめされているが、サンプル、6-99の地点が西臼塚溶岩に相当するかどうか、微妙である。化学組成で比べると、6-99は FeO/MgO が2.44と高く、今回の1.96とはかなり異なることから、異なる溶岩と思われる。

微量成分比においても、古富士、新富士火山に違いが見られる (Fig.10)。Fig.10は富士山に噴出した古い富士(○)、新富士(+)、西臼塚溶岩流(+)および沢ほか(◆)によって、Y対溶岩成分要素の比率を比較した図形である。この図では、古富士火山と新富士火山ではstage 9の分析値 (Y対Ba、Rb、Zr、Nb) がプロットされている。高橋ほか (2003) はこれらの元素比で古富士と新富士に違いが見られるとしている。

5. おわりに

立堀風穴の蛍光X線分析 (溶岩) と偏光顕微鏡観察 (溶岩と溶岩つらら石) の結果は、次のように要約できる。まず、蛍光X線分析によると溶岩はソレイト玄武岩系列である。次に、偏光顕微鏡観察によると溶岩は斑晶としてAu、

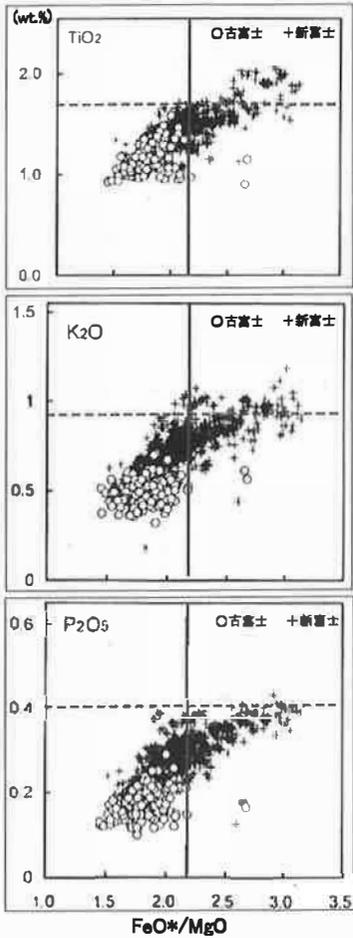


Fig.8 古富士(○)および新富士(+)
のマグマ群の多量溶岩成分のFeO*/MgO
図形 (高橋ほか (2003))

FeO*/MgO Diagrams of Major
Element Chemistry for Ko-fuji (○)
and Shin-fuji (+) Magmatic Group
are shown as a reference by Masaki
TAKAHASHI et al (2003).

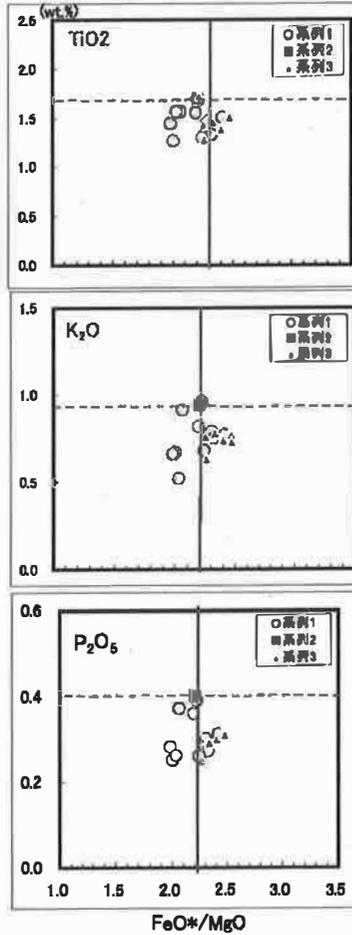


Fig.9 富士山にある溶岩洞窟(○)、立堀
風穴(■)および溶岩流(▲)の蛍光X線分析
によるFeO*/MgO変化図形

FeO*/MgO Variation Diagrams of
Major Element Chemistry for Lava
Cave (○), Tachibori Fuketsu (■)
and Lava Flow (▲).

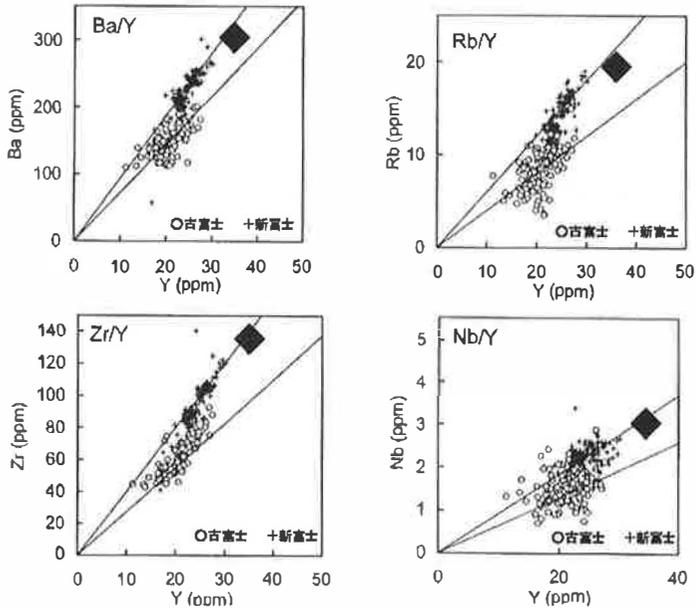


Fig.10 富士山に噴出した古い富士(O)、新富士(+)、西日塚溶岩流(+および沢ほか(◆)によって、Y対溶岩成分要素の比率を比較。高橋ほか(2003)に記入
Ratio of incompatible Element for the Eruptive Products of Ko-fuji (O) and Shin-fuji (+) are shown as a reference by Masaki TAKAHASHI et al. (2003), Compared to the value of Nishiusuzuka Lava flow (+) by Sawa et al.,(◆).

PlとOlが認められ、普通輝石玄武岩である。

(1)溶岩の蛍光X線分析の結果

サンプリングした溶岩試料の蛍光X線分析による全岩化学組成 (wt.%) は、 $\text{SiO}_2=50.52$ 、 $\text{TiO}_2=1.69$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3=15.47$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3=13.12$ 、 $\text{MnO}=0.2$ 、 $\text{MgO}=5.97$ 、 $\text{CaO}=9.17$ 、 $\text{Na}_2\text{O}=2.52$ 、 $\text{K}_2\text{O}=0.94$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5=0.4$ (total 100 (wt.%) 換算) である。富士火山に見られる溶岩洞窟の溶岩は主に玄武岩質である。溶岩のケイ酸とアルカリ成分との関係を究明するため、 SiO_2 対 $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 図を用い、溶岩値をプロットした。溶岩は高アルカリソレライト (HT) あるいは高いアルミナ玄武岩 (AH) 系列であることが確認できた。溶岩のケイ酸と酸化カリウム成分との関係を究明するため、 SiO_2 対 K_2O 図に、それぞれの溶岩の化学組成

をプロットした。境界線は、Miyashiro (1978) によるもので、溶岩はmedium-Kの領域であることが確認できた。立堀風穴におけるSiO₂の含有率は、それぞれ50.52wt.%の玄武岩質安山岩で、富士火山（玄武岩）や濟州火山島（玄武岩と安山岩）の溶岩より高い含有率である。立堀風穴におけるAl₂O₃とCaO含有率は、富士山の中で少ない含有率である。立堀風穴におけるTiO₂、MnOとP₂O₅の含有率は、富士山の溶岩より少ない含有率である。

(2)溶岩 (L) と溶岩つらら石 (LS) の偏光顕微鏡観察

溶岩つらら石の内部のFe-Ti酸化鉱物の急冷成長のさまざまな形態については渡部ほか (1991) の報告がある。また同報告では溶岩つらら石の表面がFe-Ti酸化鉱物で覆われるとの記述がある。Corsaro et al., (2005) は、長径約5cmの溶岩つらら石のオープンニコルでの横断像および走査電顕 (SEM) 像が示されている。外殻のFe-Ti酸化鉱物はTi-magnetiteと分析されている。マントル部の針状鉱物の産状については触れられていない。また核部は完晶質な組織を示し、ガラスは認められていない。

溶岩トンネル内の天井に付着した溶融溶岩は、トンネル内の溶岩本流が流れ去るか、水位を下げるかすると高温のガスと接する状態となる。天井の溶融マグマは天井の傾斜に沿い低い側に移動し、たれ落ちてしまうが、たれ落ちる途中で停止すると、溶岩つらら石となる。天井や溶岩つらら石の表層に外殻が形成されるのがどのときか、すなわち、(1) 高温ガスと接した早い時期に表層部は形成し始め、溶岩の移動に伴い移動していき、溶岩つらら石を形成するか、(2) 溶岩が滴り落ちる途中も、溶岩つらら石の成長に伴って、長さ10 μm以下のFe-Ti酸化鉱物の外殻とその内側から急成長するマントル部が溶岩つらら石の根元（あるいは先端）に補充されていくのか、確信をえていない。

通常、溶岩の急な水冷、空冷ではガラスが形成されるのであるが、溶岩トンネル内の高温の火山ガス環境がこのような溶岩つらら石の層構造を形成したと考えられる。表面から厚さ10 μmの酸化物からなる外殻・厚さ40-50 μmのマントル部が断熱材の役目をし、その内部は通常の発泡状溶岩組織形成をもたらしたものと考えられる。

謝 辞

立堀風穴調査の入洞時には、地主の静岡森林管理署 表富士森林管理所の事務局から申請して頂きました。表富士グリーン観光株式会社の杉山文孝支配人に感謝申し上げます。本論文作成にあたっては、資料提供のご協力を頂きました「北九州市立自然史・歴史博物館」の藤井厚志博士と本学客員研究員の大佐古孝様に、さらに情報処理に協力頂いた藤田浩史、上原章弘と肥塚義明諸君に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 津屋弘達 (1938)「富士山の地質学的並に岩石学的研究(Ⅱ)」、東京大学地震研究所彙報16: 638-657.
- 2) Kuno.H (1960)「High-alumina Basalt」. J.Petrol. 1:121-145.
- 3) 津屋弘達 (1971)「富士洞窟分布図」. 国土交通省中部地方整備局 2001年6月
- 4) Ford.T.D&C.H.D.Cullingford (1976)『The Science of Speleology』. Academic Press 593pp
- 5) Miyashiro.A (1978)「Nature of Alkali Volcanic Rock Series」. Contrib. Mineral. Petrol. 66.94-104.
- 6) 小山賢之輔 (1990)「立堀風穴調査報」. 日本火山洞窟協会会報27-2:2-8.
- 7) 大佐古孝 (1990)「立堀風穴の形態構造」. 日本火山洞窟協会会報27-1:2-10.
- 8) 伊藤昌光 (1990)「立堀風穴で見つけた鳥の巣とカエル」. 日本火山洞窟協会会報27-1:11-13.
- 9) 川村一之 (1990)「西臼塚溶岩流の踏査報告」. 日本火山洞窟協会会報27-1: 14-15.
- 10) 小川孝徳 (1990)「立堀風穴調査報告」. 日本火山洞窟協会会報27-1:16.
- 11) 富士宮市立郷土資料館調査報告書 (1991)『富士宮の火山洞窟』. 富士宮市立郷土資料館2:55.

- 12) 渡部景隆・本間久英・三輪洋次 (1991)「富士山古期溶岩流中の三ッ池穴産溶岩ストロー中に見られる磁鉄鉱の形態とその解釈」. 地学教育44-1:7-19.
- 13) 諏訪彰 (1992)『富士山—その自然のすべて—』. 同文書院355pp.
- 14) 沢勲・村田守・河野久征 (1996)「白頭山の鹿蹄洞と済州火山島の萬丈窟における溶岩洞窟の成分比較」. 洞窟学雑誌 21:65-70.
- 15) Hill.C.A.&P.Forti (1997)『Cave Minerals of the World』. (2nd):217-218.
- 16) 沢勲・井上央・立原弘 (1998)「富士山の柏原と青木ヶ溶岩樹型の成分比較」. 洞窟学雑誌23:39-45
- 17) 沢勲・川村一之 (2000)「萬丈窟と富士山の溶岩に関する成分の比較」. 愛媛大学鹿島愛彦教授退官記念論文集153-157.
- 18) 沢勲・井上央・川村一之・本多力・勝間田隆吉・宮崎哲 (2000)「世界最高所級である富士火山、須走胎内洞窟の成分とX線回折」大阪経済法科大学論集78:1-39
- 19) 国土交通省中部地方整備局 (2001)
- 20) 沢勲・井上央・小川孝徳・川村一之・宮下弘文・本多力・田近雅洋・小門淳・宮崎哲 (2001)「水蒸気が発生する日本最大級の洞窟—富士山にある犬涼み山風穴の成分とX線回折」. 大阪経済法科大学論集80:1-39.
- 21) 沢勲・井上央・小川孝徳・立原弘・川村一之・鈴木一年・日向治子・黒石川由美 (2001)「富士山、厚原風穴の成分とX線回折—ITによる図表と成分分析」. 大阪経済法科大学論集81:1-37.
- 22) 大橋健 (2001)「溶岩洞窟の形成に関する地形学的研究—韓国済州道朝天邑橋来里巨文岳の事例—」. 大阪経済法科大学論集81:39-65.
- 23) 沢勲・井上央・小川孝徳・立原弘・川村一之・鈴木一年・日向治子・黒石川由美 (2002)「富士山、こどもの国にある溶岩樹型の成分とX線回折—ITによる成分分析と格子定数の解析—」 大阪経済法科大学論集 82 : , 1-39.
- 24) 高橋正樹・小見波正修・根本靖彦・長谷川有希絵・永井匡・田中英正・西直人・安井真也 (2003)「富士山噴出物の全岩化学組成—分析データ847個の総括—」. 日本大学文理学部自然科学研究所紀要. 38:117-166.

- 25) 高田亮・石塚吉浩・中野俊・小林淳・鈴木雄介・荒木健一・千葉達郎
(2004)「富士火山の噴火様式の進化(予報)ートレンチの調査からー」.
月刊 地球の号外 富士火山の総合的研究, 108-117.
- 26) Corsaro,R.A,S.Calvari&M.Pompilio (2005)「Formation of Lava
Stalactite in the Master tube of 1792-1793 Flow Field, Mt.Etna」.
American Mineralogist, 90:1413-1421.
- 27) 沢勲・鹿島愛彦・庫本正・藤井厚志・金炳宇・金周煥・大橋健・勝間田明
男(2004)『洞窟学4カ国語(英日韓中)用語集』. 増版. 大阪経済法科大学
出版部203pp
- 28) 沢勲・大橋健・井上央・金炳宇・金周煥・皇甫相源・裴斗安・洪忠烈・金
源振・呉映宙(2005)「済州道西帰浦市西北、ケンセンイ窟の形態と蛍光
X線分析」. 大阪経済法科大学論集86:1-35.
- 29) 沢勲・古山勝彦・大橋健・藤本和貴夫・鹿島愛彦・桑原武志(2006)「ロ
シア、カムチャッカ半島の自然と洞窟ーゴレーリ火山の溶岩洞窟
について-」. 大阪経済法科大学論集90:1-24.
- 30) 沢勲・鹿島愛彦・大橋健(2006)『洞窟科学入門-写真と図解』. 大阪経済
法科大学出版部171pp