静岡県富士宮市、犬涼み山風穴と人穴浅間神社

－蛍光X線分析、X線回折、偏向顕微鏡写真、洞窟写真、標高、経緯度－

沢　勲*・木村　和生*・勝間田隆吉**・肥塚　義明*

(洞窟環境 NET 学会*・火山洞窟学会**)

The Inusuzumi-Yama Fuketsu-Cave and its Hitoana-Asama Shrine, Fujinomiya-shi, SHIZUOKA

-X-ray Fluorescence Analysis, X-ray Analyses, Polarization Microscope Photograph, Cave Photo, Elevation , Longitude and Latitude-

Isao SAWA**・Kazuo KIMURA*・Takayoshi KATSUMATA**・Yoshiaki KOEZUKA***

ABSTRACT

Inusuzumi-Yama Fuketsu-Cave (IS) on the northeastern skirt of the Fuji Volcano, at latitude 35°22′ 42″ N and longitude 138°38′ 28″ E. The above sea level of IS cave is 1140m. Major chemical compositions of IS cave is revealed by XRF(X-ray Fluorescence) analysis. These values are the same as those of lava cave, and lava cave from IS may belong to alkali-basalt. Average contents of major elements (wt.%) for the lava cave from IS cave is as follows :

SiO_2=50.90, TiO_2=1.56, Al_2O_3=17.29, Fe_2O_3=11.61, MnO=0.18,
MgO=5.22, CaO=9.67, Na_2O=2.72, K_2O=0.76, P_2O_5=0.29 in IS

It can be suggested that these facts are related to the chemical composition formation, the crystal structure and lattice constants on IS sample in the Inusuzumi-Yama lava stream cave by X-ray diffraction method. X-ray observation on the crystal structure of these materials are triclinic, orthorhombic, cubic and monoclinic system.

The lava of Inusuzumi-Yama-Fuketsu is high alumina basalt. Plagioclase (Anorthite), olivine and augite was observed by the deflection microscope photograph and X-ray diffraction. The crystal structure of the cave is a mixed crystal of triclinic, monoclinic-cubic-orthorhombic system. As the SiO_2 increases, SiO_2 composition· (Na_2O+ K_2O) composition, lattice constant (Am and Cm is a trend of increase. As SiO_2increases, K_2O composition, Fe_2O_3 composition, MgO composition and the colored mineral are tendencies of the decrease. As the SiO_2 is increased, the lattice constant Bm is almost constant. Bm does not depend on the content of the silicic acid is in the range of measurement error. As colorless mineral ingredients increase, the colored mineral ingredient is a tendency of the decrease. The colorless mineral content greatly influences SiO_2, and the colored mineral content greatly influences Fe_2O_3.

キーワード ：蛍光Ｘ線分析、Ｘ線回折、偏向顕微鏡写真、洞窟写真、標高

Keywords: X-ray Fluorescence Analysis, X-ray Analyses, Polarization Microscope Photograph, Cave photo, Altitude,

[洞窟環境 NET 学会　紀要７号] [Cave Environmental NET Society(CENS), Vol.8(2017) - pp]

目次

1.はじめに

2.富士山の火山活動と人穴と人穴浅間神社

2-1.富士山の火山活動　2-2.富士山の人穴　2-3.富士山の人穴浅間神社（人穴富士講跡）

3.実験方法

3-1.試料調製　3-2.蛍光X線分析　3-3.X線回折における一次検索の測定条件

4.定量分析値の結果と解析

4-1.ケイ酸とアルカリ成分(Na_2O+K_2O)との関係　4-2.ケイ酸と酸化カリウム（K_2O)との関係

4-3.ケイ酸と有色鉱物(Fe_2O3・MgO・CaO)との関係

5.単斜晶系の格子定数と解析

5-1.ケイ酸と格子定数(Am)との関係　5-2.ケイ酸と格子定数(Bm)との関係

5-3.ケイ酸と格子定数(Cm)との関係

6.おわりに

1. はじめに

本研究の目的は、世界文化遺産学として、地域に貢献する資料を後世に残す参考文献として作成する目的である。本稿は、富士火山誕生からの静岡県富士宮市にある富士山本宮浅間大社は、火神とされている神域がる。人穴地域には15か所の洞窟がある。その中での犬涼み山風穴の調査を行った洞窟環境NET学会の総合学術調査(2016)報告の一部である。犬涼み山風穴の溶岩流は、犬涼み山溶岩流で、犬涼み山の山頂から最も近い所にある洞窟である。

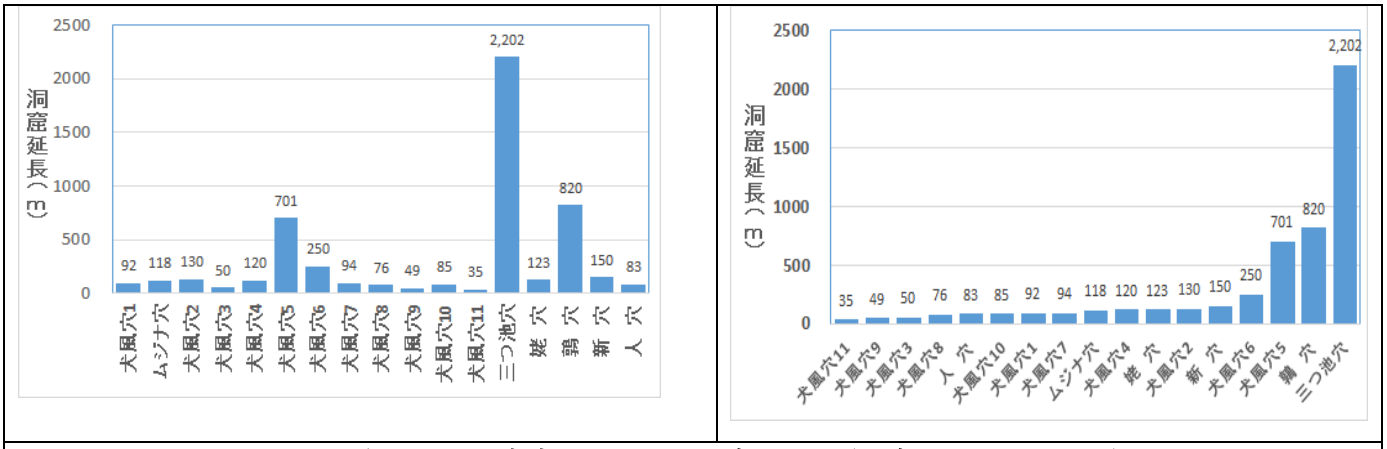


図 1-1.静岡県富士宮市人穴にある洞窟の延長(洞窟の順と延長の順)

図 1-1 は、静岡県富士宮市人穴にある洞窟の延長(洞窟の順と延長の順)である。延長の最小値級は犬涼み山風穴 11 番目の 35m、犬涼み山風穴 11 番目の 49mと犬涼み山風穴 3 番目の 50mであり、最長値は三つ池穴の 2202mである。三つ池穴の洞窟延長は、富士火山の洞窟の中では最大級である。

犬涼み山風穴（第 1から第 12）の位置は北緯 35°22′ 34″（第 12)から35°23′ 04″（第 3)、東経 138°37′ 31″（第 5)から138°38′ 35″（第 12)の範囲である(**表 1-1**)。

表 1-1.静岡県富士宮市人穴にある洞窟の延長、標高と経緯度

洞窟名	延長(m)	標高(m)	所在地	北緯	東経
犬涼み山風穴第1	91.5	1,140	人穴15-1	35°22′ 42″	138°38′ 28″
ムジナ穴	118.2	1,095	人穴15-1	35°22′ 45″	138°38′ 18″
犬涼み山風穴第2	130.0	1,070	人穴15-1	35°22′ 49″	138°38′ 11″
犬涼み山風穴第3	50.0	1,000	人穴15-1	35°23′ 04″	138°37′ 42″
犬涼み山風穴第4	120.0	995	人穴15-1	35°22′ 56″	138°37′ 39″
犬涼み山風穴第5	701.0	970	人穴15-1	35°22′ 51″	138°37′ 31″
犬涼み山風穴第6	250.0	985	人穴15-1	35°22′ 49″	138°37′ 48″
犬涼み山風穴第7	93.7	975	人穴15-1	35°22′ 41″	138°37′ 37″
犬涼み山風穴第8	76.3	980	人穴15-1	35°22′ 41″	138°37′ 40″
犬涼み山風穴第9	49.0	985	人穴15-1	35°22′ 42″	138°37′ 40″
犬涼み山風穴第10	85.0	995	人穴15-1	35°22′ 41″	138°37′ 47″
犬涼み山風穴第11	35.0	1,000	人穴15-1	35°22′ 49″	138°37′ 47″
犬涼み山風穴第12		1,150	人穴15-1	35°22′ 34″	138°38′ 35″
三つ池穴	2202.0	815	人穴字西萩平777	35°22′ 30″	138°35′ 56″
姥　穴(うばあな)	123.0	750	人穴字大畑平851-15-22	35°22′ 03″	138°35′ 45″
鵜　穴(うずらあな)	820.1	733	人穴字西萩平744	35°21′ 32″	138°36′ 15″
新　穴	149.7	720	人穴字絶頂塚205-12	35°21′ 40″	138°35′ 50″
人　穴	83.3	700	人穴字石壷206	35°21′ 31″	138°35′ 41″

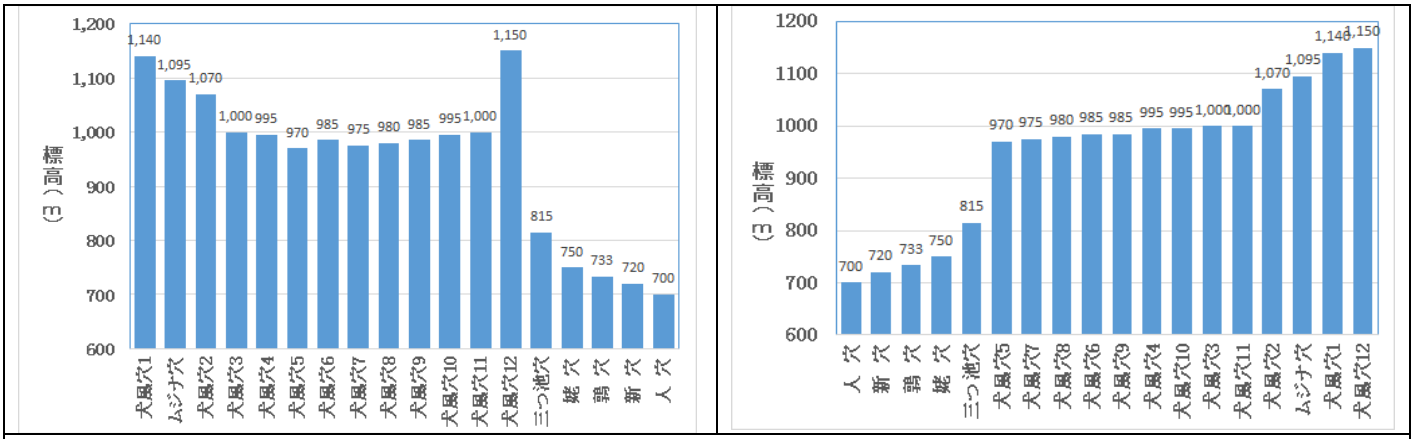


図 1-2.静岡県富士宮市人穴にある洞窟の標高(洞窟の順と標高の順)

図 1-2 は，静岡県富士宮市人穴にある洞窟の標高(洞窟の順と標高の順)である。標高の最低値級は、人穴洞窟 700m、新穴洞窟 720m、鵜穴洞窟 733mであり、最高値級は犬涼み山風穴洞窟 1 番目の 1146mと犬涼み山風穴洞窟 12 番目の 1150mである。人穴町では「人穴洞窟」の標高が低いことである。

人穴地域には 15 か所の洞窟において、洞窟延長(35m～2202m)、標高(700 m～1150m)、町の名称は人穴がある。人穴地は、花見を兼ねた参拝者で賑わい東大阪市の名勝に指定されている。富士山北西麓には、多くに溶岩洞窟は、青木ヶ腹樹海に集中し。延長 500m 以上あるものがある。これは、貞観 6 年から 7 年末(864～866 年初頭)にかけて起きた貞観噴火によって流れ出した溶岩がである。すなわち、青木ヶ原溶岩と呼ばれている。溶岩洞穴の成因は、噴火時に流出した青木ヶ原溶岩の中に溶岩トンネルが形成され、その一部が現在も残ったものである。代表的なものには、富岳風穴、鳴沢氷穴、富士風穴、本栖風穴、西湖コウモリ穴、鳴沢コウモリ穴等がある。ここでは、静岡県富士宮市人穴について纏められた結果である。

既存の洞窟の関連資料情報を収集して、調査との規模と形態等についての概要を把握し、構成要素の現象を示す事実を明らかにしたい。国内において、洞窟関連資料に関する報告はこれまで少ない。住民発達史や環境変遷史との関わりで、洞窟と人間がどの

ような位置づけや問題点を有しているかという検討が重要である。犬涼み山溶岩流によって流れた犬涼み山風穴第1について、蛍光X線分析、X線回折、偏向顕微鏡写真、洞窟写真および標高を纏めることができた。洞窟における成分分析、格子定数等の測量値は、富士山において、比較を行った。その結果、測量値から相関性を究明するため回帰方程式によって勾配と決定係数を解明した。今後の研究課題として、神社の保全と環境問題などについて所見を整理したい。さらに、短時間の調査であったため、未解明の事項が少なくない。今後も調査を継続する予定であるが、とりあえずこれまでの成果の所見を整理した。測量した値は、回帰方程式の多項式によって解析を行った。さらに、観察を行った結果について報告する。本稿は、古代国家の命運を決定づけた実証研究の報告である。

2.富士山の火山活動と人穴と人穴浅間神社

2-1.富士山の火山活動

富士山の形とは、①愛鷹山・小御岳火山、②古富士火山、③新富士火山の 3 世代に火山活動が形成され，表 2-1 で比較できる。

表 2-1.富士山の小御岳火山、古富士火山と新富士火山活動

小御岳火山の時代	約 70～20 万年前に、現在の富士山よりやや北側に小御岳火山と呼ばれる火山が誕生した。10 万年以上前に活動を停止したと考えられる。山体の一部は、富士吉田登山口 5 合目の小御岳神社付近で、高さ 2,400m まで成長した最初の富士山となる。
古富士火山の時代	約 10 万年前から 1 万年前にかけて活動された。小御岳火山の中腹で古富士火山が噴火を開始した。古富士火山は爆発的な噴火を繰り返し、少なくとも 5 回の山体崩壊を発生し、高さ 2,700m で、小御岳を覆った。
新富士火山の時代	約 1 万年前～1707 年の宝永の噴火に至る 1 万年ほどの間に 100 回以上も噴火を繰り返した。縄文時代の初期に相当する。有史時代の噴火、1707 年の宝永の噴火は、最後にして最大の噴火であるとされる。玄武岩質の溶岩流は三島市や大月市付近まで多量の溶岩を流出させた。5,000 年前には高さ 3,776m で現在の姿になった。

図 2-1 は第 4 段階の富士山形成年代（NHK と文化・観光部文化局富士山世界遺産課）で、左図は NHK モデルであり、右図は静岡県文化・観光部文化局富士山世界遺産課）のモデルである。

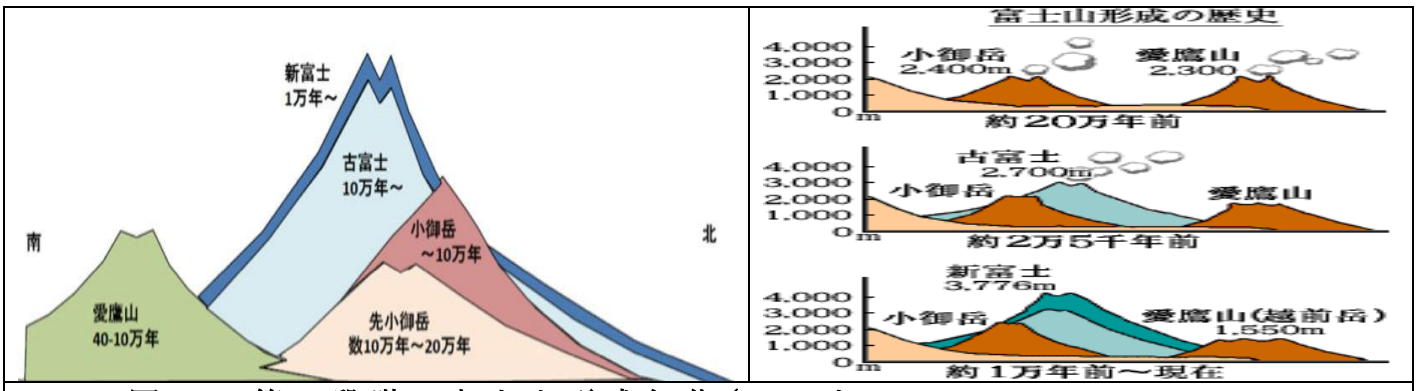


図 2-1.第 4 段階の富士山形成年代（NHK と文化・観光部文化局富士山世界遺産課）

表 2-2 は富士山の誕生と今後である。すなわち、20 万年前、10 万年前、6 万年前および今後の予想である。

表 2-2. 富士山の誕生と今後

20 万年前	富士山付近では、三つの火山が活発な活動を繰り返している。箱根山、愛鷹山と小御岳山です。箱根山にはまだ芦ノ湖も駒ケ岳もない時期
10 万年前	愛鷹山と小御岳山が火山活動を停止、代わりに富士山が活動を開始。小御岳山の南の山腹に誕生し、覆いかぶり成長している。
300 年前	宝永噴火の時に斜面が部分的に盛り上がった宝永山。
6 万年前	箱根山は大噴火を起こして山頂部が大きく陥没して、カルデラが作られている。火砕流は、東京近くまで迫るほど規模。富士山と箱根山の二大火山の両雄時代が活発化。
今後	数万年のうちに小御岳山よりも高い山に成長。山体崩壊という現象。

表 2-2 は富士山の誕生と今後である。すなわち、20 万年前、10 万年前、6 万年前および今後の予想である。

富士山の名前の由来は、次のような説がある。富士山の名前は古代から霊峰富士、一般的は「不二山」で唯一無二の高峰である。「不尽山」は、山頂に雪が絶えない意味である。夏の富士山には冠雪は無い。万葉集では、「布士」「布自」の文字が使われ、一種のあて字なので、「ふじ」と呼ばれる。「不死山」は竹取物語のように、不老不死の伝説がある。「富士山」の書き方は、士に富む山という意味で、武士道が発達する鎌倉時代以降とみられる。アイヌ語の「フンチ」(火の神＝火山)、マレー語「フジ」(すばらしい)などからきたという説があります。「芙蓉」とは、頂上噴火口の形からきたものと思われる(**図 2-2**)。

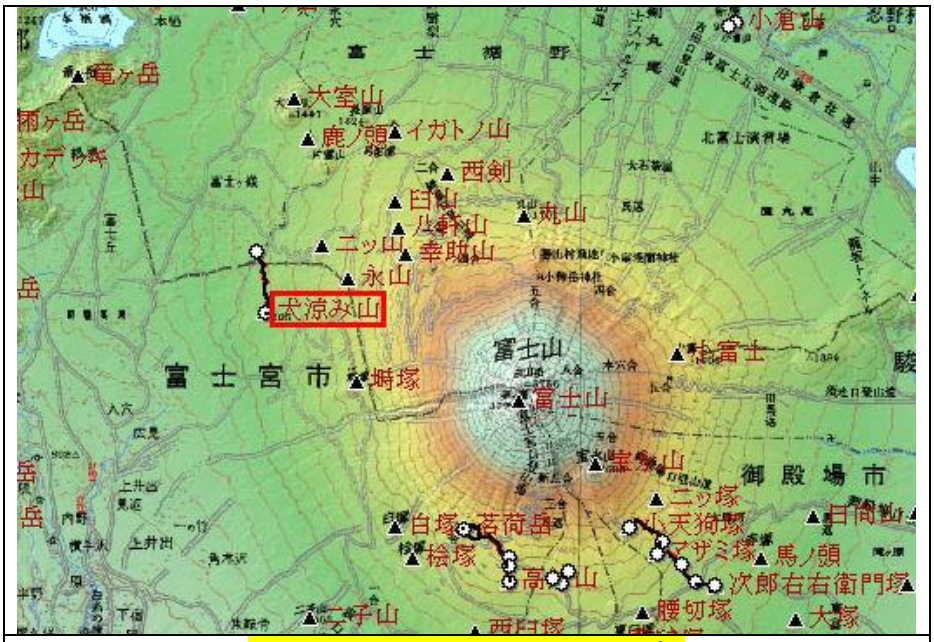


図 2-2. 富士山の上空写真

2-2.富士山の人穴

静岡県富士宮市の面積は 389.08km²(境界未定部分あり)、総人口は 130,672 人(推計人口、2016 年 2 月 1 日)である。静岡県富士宮市の人穴は富士山の中心から西に約 12km の位置にあり、富士山の一部である犬涼山の端に存在する。主洞は高さ 1.5m、幅 3m、奥行き約 90m。人穴と呼ばれる由来は、溶岩が作った洞穴の壁に肋骨や乳房のような岩の突起があるためである。最奥からさらに細い穴が伸びており、神奈川県の江ノ島に通じるとの伝説もある。江戸時代には富士信仰の修行の場ともなっていた聖地で、富士講の開祖である角行は、永禄元年(1558 年)は人穴を浄土と呼び、内部で修行をしたと伝わる。現在も洞内にはその時代に作られたとされる石仏が安置されている。https://ja.wikipedia.org/wiki/

写真 2-1.静岡県富士宮市人穴の犬涼み山穴の断面形態。支洞がある3差路(Yタイプの天井は世界的に神秘的である。

写真 2-2.静岡県富士宮市人穴の入口。新田一族の草創期の様子を知る事のできる録で、「吾妻鏡」新田ともいう。

写真 2-3.静岡県富士宮市人穴のうずら穴。溶岩の侵食により分離した中間部と右下にある2つ形状天井の断面形態。By Katsumata,T.

人穴富士講遺跡は、人穴浅間神社の境内にある。犬涼み山溶岩流内にできた長さ約 83mの溶岩洞穴「人穴」と富士講講員が建立した 200 基を超える碑塔等がある。甲州街道や山梨県郡内地方に通じる郡内道(人穴道)がある。『吾妻鏡』には人穴探検の様子が描かれ、人穴探検談は、後に浅間大菩薩の霊験譚「人穴草子」として纏められ、近世には富士講の隆盛もあり広く普及した。また、『吾妻鏡』には、人穴は「浅間大菩薩の御在所」とあり、当時人穴が富士山信仰に関係する場所である。 http://www.city.fujinomiya.shizuoka.jp/fujisan/

人穴洞穴には、祠と碑塔 3 基と石仏 4 基が建立されている。洞穴は、南西の端が進入口となり、洞穴中央部でくの字型に曲がっている。入口から約 20mの位置に祠が、30mの屈曲部手前中央には直径約 5mの溶岩柱がある。最奥部までは約 80mで、そのまま閉塞している。洞穴内には文化財保護のため無断で入れない。

写真2-4.静岡県富士宮市の人穴指定遺跡。「那弥の御柱」と呼ばれる溶岩柱。左は洞内の宗教施設「行場」。

写真 2-5.静岡県富士宮市人穴指定遺跡「那弥の御柱」と呼ばれる溶岩柱。左は洞の宗教施設「行場(こもり堂)」である。

写真2-6.静岡県富士宮市の三ケ池穴。ガス噴出で酸化された黄褐色柱状節理現象。By Katsumata,T.

2-3. 富士山の人穴浅間神社 (人穴富士講跡)

人穴は富士山の火山活動で出来た溶岩洞くつの一つである。古来、富士山の祭神が住むといわれる聖地であった。のちに、富士講の基礎を築いた長谷川角行(藤原角行)が、人穴を拠点に富士登山 129 回および霊力の修行を行い、穴の中で大往生を遂げる。その周りに 200 以上の石碑や供養塔があるのは、富士教の信者達が聖地へ建てたためである。霊山富士と修験特有のパワーを強く

感じる場所である。富士宮市内にある神社は**表 2-3** で、浅間神社名は多いことが見られる。

表 2-3.富士宮市内にある神社

富士山本宮浅間大社(宮町)	芝山浅間神社(上井出)	村山浅間神社(村山字水神 1151)
浅間神社(根原 104)	人穴浅間神社(人穴 206)	浅間神社八幡宮(内房字相沼 3388)
山宮浅間神社(山宮 740)	二之宮浅間神社(光町 2-1)	若之宮浅間神社(元城町 32-28)
小浅間神社(弓沢町 791)	精進川浅間神社(精進川 485)	城山富士浅間神社(元城町 26-13)
泉浅間神社(小泉 308)	五躰王子浅間(杉田 456)	

人穴浅間神社は、「光きゅう寺(こうきゅうじ)大日堂」があり、神仏分離令を受けて廃された。昭和 17 (1942) 年に少年戦車兵学校の開校に伴い地区の山野が演習地となり浅間神社も移転した。が、昭和 29(1954)年に復興された。現在の社殿は平成 13(2001)年に建立されたものである。

浅間神社のほとんどは富士山に対する信仰(富士信仰、特に浅間信仰)の神社であるが、一部浅間山に対する信仰の神社もある。富士信仰に基づいて富士山を神格化した浅間大神(浅間神)、または浅間神を記紀神話に現れる木花咲耶姫命(コノハナノサクヤヒメ)と見てこれを祀る神社である。富士山は古くは「福慈神」・「不尽神」と記載されるような霊妙な神山・日本鎮護の神山であった。しかし奈良時代末から火山活動が活発化し、火山神(浅間神)としての信仰(浅間信仰)として全国に広がった。「浅間」の語源については諸説あるが、長野県の浅間山のように火山を意味するとされる。「あさま」は古称で、もう 1 つの称「せんげん」は中世以降から用いられたとされる(「富士信仰#浅間の語源」も参照)。https://ja.wikipedia.org/wiki/

浅間神と木花咲耶姫命が同一視されたのには木花咲耶姫命の出産が関係している。中には木花咲耶姫命の父神・大山祇神や、姉神・磐長姫命を主祭神とするものもあり、それらを含めて全国に約 1,300 社の浅間信仰の神社がある。これらの神社は、富士山麓をはじめとしてその山容が眺められる地に多く所在する。その中でも特に、富士山南麓の静岡県富士宮市に鎮座する富士山本宮浅間大社が総本宮とされている。名神大社「浅間神社」、延長 5 年(927 年)成立の『延喜式神名帳』には、名神大社として駿河国と甲斐国に「浅間神社」の記載がある。富士山本宮浅間大社(富士宮市)は、「駿河国富士郡　浅間神社」と記載される名神大社。以下の一社に比定されている。富士山本宮浅間大社(富士宮市)-駿河国一宮、旧官幣大社、別表神社である。社伝では、垂仁天皇 3 年とされる創建から大同元年(806 年)までは山宮浅間神社で祀られており、同年に現在地に遷座したという。

碑塔群:人穴浅間神社の境内地には、富士講信者が建立した 232 基の碑塔が存在する。18世紀中頃から、江戸を中心に富士講が隆盛すると、人穴は霊地(西の浄土)として信仰されるようになり、18 世紀末以降、現在の東京都・埼玉県・千葉県を中心とした関東地方の富士講信者によって「墓碑供養碑」「祈願奉納碑」「顕彰記念碑」などが建立された。講(枝講)ごとにまとまって建立されてお

り、刻銘から、各講の歴史や構成地域を知ることができる。

人穴浅間神社は、「光きゅう寺(こうきゅうじ)大日堂」があり、神仏分離令を受けて廃された。昭和17(1942)年に少年戦車兵学校の開校に伴い地区の山野が演習地となり浅間神社も移転した。が、昭和29(1954)年に復興された。現在の社殿は平成13(2001)年に建立されたものである。

浅間神社のほとんどは富士山に対する信仰(富士信仰、特に浅間信仰)の神社であるが、一部浅間山に対する信仰の神社もある。富士信仰に基づいて富士山を神格化した浅間大神(浅間神)、または浅間神を記紀神話に現れる木花咲耶姫命(コノハナノサクヤヒメ)と見てこれを祀る神社である。富士山は古くは「福慈神」・「不尽神」と記載されるような霊妙な神山・日本鎮護の神山であった。しかし奈良時代末から火山活動が活発化し、火山神(浅間神)としての信仰(浅間信仰)として全国に広がった。「浅間」の語源については諸説あるが、長野県の浅間山のように火山を意味するとされる。「あさま」は古称で、もう1つの称「せんげん」は中世以降から用いられたとされる(「富士信仰#浅間の語源」も参照)。https://ja.wikipedia.org/wiki/

3. 実験方法

3-1. 試料調製

本研究に用いた岩石試料は、ハンマーを用いて試料を約1cmのチップに荒砕きし、超音波洗浄機を用いて純水で洗浄した。乾燥後、振動ミルにて、タングステンカーバイト製容器を用い、ヘキサンによる200メッシュ以下への湿式粉砕を行った。粉砕後の粉末について、105℃で2時間の乾燥を行った。ガラスビートの希釈率は、試料と融剤の量が1:10の割合(試料0.400g:融剤Li2B4O7(無水四ホウ酸リチウム):4.0g)である。これらを十分に混合させてから、理学電機製全自動卓上型高周波ビートサンプラーを用い、最初の2分間は1200℃に加熱して、その後、加熱したまま5分間揺動させた。融剤は、マッフル炉によって700℃で4時間以上乾燥したものを使用した。隔離剤としてはLiFを用いた。

3-2. 蛍光X線分析

全岩化学組成分析は、蛍光X線分析装置(リガクRIX2100)にてガラスビード法で行い、定量分析はFP法にて行った。測定条件は**表3-1**とｽﾍﾟｸﾄﾙ:Kα、PHA:微分法、ｽﾘｯﾄ:Std.、ﾌｨﾙﾀｰ:Out、X線管:縦型Rh管、管電流:70mA、管電圧:50kV、X線通路:真空、分析径:30mmφとｱｯﾃﾈｰﾀ:Outのとおりである。

表3-1.蛍光X線分析装置の測定条件

項目	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P
分光結晶	PET	LiF	PET	LiF	LiF	TAP	Ge	TAP	Ge	Ge
検出器	F-PC	SC	F-PC	SC	SC	F-PC	F-PC	F-PC	F-PC	F-PC
測定時間	40秒	40秒	40秒	40秒	40秒	40秒	40秒	100秒	40秒	40秒
BG	20	20＊2	20	20＊2	20＊2	20	20	50	20	20

3-3. X線回折における一次検索の測定条件

測定にはX線管球のRh対陰極管を使用した。試料マスクにはステンレス材の測定試料径(30 mmφ)を使用した。測定装置

は、理学電機製のX線回折装置 RINT－2500(湾曲ｸﾞﾗﾌｧｲﾄ・モノクロメータ使用)である。本装置では、制御コンピュータ(PC-9821)および付属ソフトウェアにより全自動分析を行った。全自動分析におけるピーク・サーチの定性分析の測定条件は、①X線の管球(Cu)、②発散スリット(1°)、③散乱スリット(1°)、④管電圧(50 kV)、⑤管電流(300 mA)、⑥走査軸(2θ/θ)、⑦受光スリット(0.15 mm)、⑧サンプリング幅(0.020°)、⑨アタッチメント(標準試料ホルダー)、⑩走査速度(2 deg./min)、⑪ゴニオメーター(広角ゴニオメーター)および⑫データ処理に用いたX線の波長(1.54056Å)である。

一次検索の定性分析を行うための検索条件は、次のように分類できる。すなわち、①信頼性係数再評価は行う、②平滑化点数は 9、③最低一致率は10%、④一致判定許容幅は3、⑤信頼性係数閾値は 50、⑥回折角度は2θ＝3～80 度、⑦検索ファイルは鉱物ファイル、⑧検索方法はファイル1だけ検索、⑨不定成分は水素・酸素と炭素の三元素、⑩元素指定方法は指定元素のみ、⑪主成分は酸素・ナトリウム・マグネシウム・アルミニウム・ケイ素・カルシウムおよび鉄の7元素。⑫信頼性係数計算方法は角度と強度因子とも使用、⑬微成分は、燐・カリウム・チタンの3元素である。これらの試料に関してピーク・サーチを行ったデータは**表 3-2** である。ここで、左側からは、回折図形の面指数に対応する面間隔、半価幅のデータである。面指数は回折角度によってそれぞれが異なっている。回折角度2θ(°)と面間隔d(Å)は、ブラッグの反射条件式によって決定される。

表 3-2.回折図形の面指数に対応する面間隔・半価幅

	面指数			面間隔	半価幅		面指数			面間隔	半価幅
番号	h	k	l	d	Δ(°)	番号	h	k	l	d	Δ(°)
1	0	2	0	4.48	0.21	18	2	4	0	2.02	0.46
2	2	2	0	3.21	0.40	19	5	1	0	1.83	0.34
3	-2	2	1	3.00	0.32	20	-3	3	2	1.80	0.15
4	3	1	0	2.95	0.47	21	1	5	0	1.76	0.26
5	-3	1	1	2.90	0.23	22	-5	3	1	1.63	0.52
6	1	3	0	2.84	0.20	23	4	4	0	1.61	0.83
7	-1	3	1	2.57	0.26	24	-2	2	3	1.60	0.07
8	-2	0	2	2.52	0.46	25	5	1	1	1.58	0.24
9	-1	1	2	2.51	0.67	26	6	0	0	1.57	0.25
10	3	1	1	2.31	0.64	27	3	5	0	1.54	0.36
11	-3	1	2	2.23	0.51	28	-6	2	1	1.53	0.45
12	1	1	2	2.21	0.61	29	0	6	0	1.49	0.45
13	3	3	0	2.19	0.55	30	2	6	0	1.42	0.55
14	-3	3	1	2.14	0.36	31	-3	5	2	1.39	0.35
15	-4	2	1	2.11	0.30	32	-7	1	2	1.33	0.21
16	4	2	0	2.07	0.13	33	-4	6	1	1.26	0.28
17	0	4	1	2.04	0.40						

ここで、λは波長(Å)で、この回折角度と波長によって計算した面間隔の範囲は、ICCD における No.24-0203 の $Ca(Mg,Fe)Si_2O_6$ という Augite の単斜晶系を基準とした面指数をピーク順にした。

高さの相対強度(HI%)が 15%以上になっている面指数は、①高さの相対強度 100.0 は(220)面、②37.7 は(-221)面、③35.9 は(-202)面、④27.3 は(310)面、⑤19.5 は(-112)面、⑥17.9 は(-331)面、⑦16.5 は(-131)面および⑧16.2 は(-311)面の 8 の面指数である。面指数の(220)面を 100.0 とすれば、他の面指数の HI は 37.7%以下である。

面積の相対強度(AI%)が 15%以上(**表 3-2**)になっている面指数は、①面積の相対強度 100 は(220)面、②41.4 は(-202)面、③32.3 は(-112)面、④31.5 は(310)面、⑤29.7 は(-221)面、⑥16.2 は(-331)面および⑦14.9(060)面の 7 の面指数である。面指数の(220)面を 100.0 とすれば、他の面指数の AI は 41.4%以下である。高さの相対強度(HI)と面積の相対強度(AI)との関係を求められる。ここでは、直線(式 3-1)と双曲線(式 3-2)の回帰方程式の関係を決定係数として、次のものを求めた。

$AI = -0.251 + 1.001(HI)$ $(R^2 = 0.954)$ ……(3-1)

$AI = -0.191 + 0.992(HI) + 1E-04(HI)^2$ $(R^2 = 0.954)$ ……(3-2)

式 3-1 の直線と**式 3-2** の双曲線の回帰方程式の関係を決定係数として比較すれば、両者が 0.954 で信頼性が高いことが認められたのである。**半価幅（Δ）**が 0.50° 以上の面指数(表 3-2)は、①半価幅 0.834 は(440)面、②0.668 は(-112)面、③0.636 は(311)面、④0.611 は(112)面、⑤0.551 は(330)面、⑥0.550 は(260)面、⑦0.522 は(531)面および⑧0.513 は(-312)面の8つの面指数である。半価幅の範囲は 0.065～0.834 である。

4. 定量分析値の結果と解析

IS に関する岩石の性質を調べるために、サンプリングした溶岩の蛍光X線分析による全岩化学組成を**表 4-1** に示した。併せて、富士山の火山噴出物の化学組成も示した11)。ISの溶岩では、SiO_2 が50.90 wt.%で、玄武岩質である。富士山に見られる溶岩洞窟の含有率の平均と比較すれば、その中で犬涼み山風穴第1の溶岩は、SiO_2 、TiO_2、Fe_2O_3、MgO、Na_2O、K_2OおよびP_2O_5については平均より多く、Al_2O_3および CaO については平均より少ない含有率である。富士山に見られる溶岩が玄武岩質の組成範囲が狭い中、犬涼み山風穴第1洞窟の溶岩も同様に玄武岩質である。横軸にケイ酸、縦軸に酸化ナトリウム酸化カリウムの和との関係からアルカリ玄武岩と非アルカリ玄武岩との境界線（Fig.7)は、Kuno(1966)によるものである。したがって、ISはアルカリ玄武岩であることが分かる。これらの溶岩の溶融は高温の上昇、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、周囲の熔岩を溶かして析出するものと思われる。一方、温度と粘性の関係および熔岩中の水の量と粘性の関係からも検討を要する。定量分析値(重量百分率wt.%) のISはグループ分析による結果である。

表 4-1. 富士山にある洞窟と犬涼み山風穴の定量分析値

	溶岩樹型			須走胎内洞窟			犬涼み山風穴		
wt. %	青木横臥	青木竪型	柏原竪型	洞窟内	洞窟外	洞窟上	IS	全平均	富士火山
SiO_2	50.70	50.70	50.20	51.20	51.30	51.00	50.90	50.86	48.00～51.30
TiO_2	1.47	1.44	1.51	1.30	1.33	1.27	1.56	1.41	1.03～1.97
Al_2O_3	17.10	17.20	17.30	17.90	18.00	17.50	16.00	17.29	15.83～19.03
Fe_2O_3	12.00	11.80	12.20	10.90	11.00	11.30	12.10	11.61	1.60～13.70
MnO	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.15～0.29
MgO	5.22	5.18	5.07	4.86	4.73	5.64	5.86	5.22	3.80～6.76
CaO	9.63	9.74	9.71	9.90	9.80	9.54	9.38	9.67	0.77～10.42
Na_2O	2.66	2.69	2.71	2.80	2.71	2.70	2.74	2.72	2.29～3.16
K_2O	0.79	0.77	0.77	0.68	0.75	0.67	0.91	0.76	0.52～1.16
P_2O_5	0.30	0.29	0.31	0.26	0.27	0.25	0.37	0.29	0.08～0.54
Total	100.05	99.99	99.96	99.97	100.1	100	100	100.01	

SiO_2=50.90, TiO_2=1.56, Al_2O_3=17.29, Fe_2O_3=11.61, MnO =0.18,

MgO =5.22, CaO =9.67, Na_2O =2.72, K_2O =0.76, P_2O_5=0.29 .

IS の溶岩に近い成分の物質番号 ICCD は、No.10-0393 の $Na(Si_3Al)O8$という Albite の三斜晶系、No.18-1202 の $Ca,Na)(Si,Al)_4O_8$という Anorthite の三斜晶系、No.19-0629 の Fe_3O_4という Magnetite の立方晶系、No.24-0201 の $Ca(Mg,Fe)Si_2O_8$ という Augite の単斜晶系、No.31-0795 の$(Mg,Fe)_2Si_4$という Forsterite の斜方晶系などである。今回は単斜晶系の No.24-0201 を引用した数値解析を行った格子定数である。ゆえに、IS の鉱物は、斜長石(灰長石)、カンラン石と普通輝石が X 線回折により確認さ

れた。さらに、斜長石とカンラン石は偏向顕微鏡写真(オープンとクロスニコル)により観察されたのである。倍率を 47 倍にしたオープンニコルは、発砲(Pore)が見られた。倍率を 47 倍にしたクロスニコルは、OI(カンラン石)と CPX(単斜輝石)が見られた。CPX からも分かるように No.24-0201 を引用した単斜晶系の数値解析から格子定数を算術したのである。

4-1.ケイ酸とアルカリ成分(Na_2O+K_2O)との関係

富士火山における火山噴出物の(Na_2O+K_2O)組成範囲は 2.81(八幡穴)～4.32wt.%で、その平均より極わずかに多い IS の(Na_2O+K_2O)は平均 1.72wt.%で玄武岩質である。一方、済州火山島における火山噴出物の(Na_2O+K_2O)組成範囲は 1.46～13.72wt.%で、富士火山より広い範囲であり、この済州火山島の平均値より小さい値である。ケイ酸とアルカリ成分との関係を究明するため、**図 4-1** と**表 4-1** は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に(Na_2O+K_2O) (wt.%)をとり、それぞれの熔岩の化学組成(Miyashiro, 1978 ； R.W.Le Maitre, 1938)をプロットした。関係式は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる。

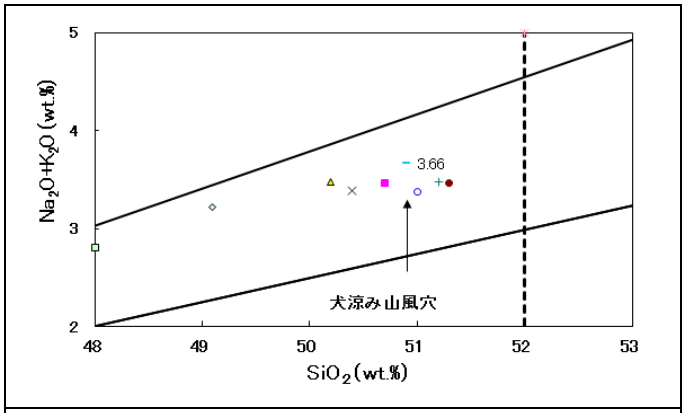


図 4-1.ケイ酸とアルカリ成分との関係

上図は富士火山帯における全体成分である。富士火山の噴出物の広い範囲では、ケイ酸が増大するにつれ、アルカリ成分(Na_2O+K_2O)は同様にわずかな増大の傾向を示している。 下図は富士火山帯における洞窟の成分である。下図の A 線はアルカリ玄武岩系であり、下図の AH 線は非アルカリ玄武岩系である。２本の境界線があり，上部境界線より上の領域がアルカリ玄武岩，下の領域が非アルカリ玄武岩，２本の境界線に挟まれる部分が高アルミナ質玄武岩である。**図 4-1** におけるアルカリ玄武岩と非アルカリ玄武岩との境界線は、KUNO(1966)によるものである。これによると、双方の熔岩樹型とも高アルミナ玄武岩であることが分かる。IS の SiO_2 の含有率は、富士火山洞窟内では大きいけれども、富士火山の全体ではやや大きい含有率である。IS のアルカリ成分は、富士火山洞窟内では平均に近い成分である。

4-2.ケイ酸と酸化カリウム(K_2O)との関係

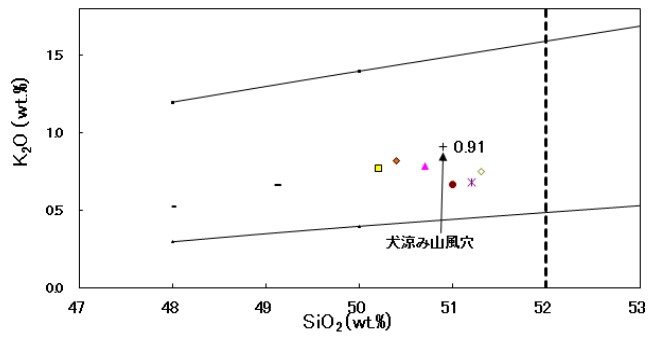


図 4-2.ケイ酸と酸化カリウムとの関係

富士火山における火山噴出物の K_2O 組成範囲は 0.52(八幡穴)～1.16wt.%である。IS の K_2O(wt.%)は、0.91 wt.%であり、富士火山の全体では最大級含有率、富士火山洞窟の全体では最大の含有率である。一方、済州火山島における火山噴出物の K_2O 組成範囲は 0.05～5.63wt.%で、富士火山より広い範囲であり、この済州火山島の平均値より小さい値である。ケイ酸とカリウム成分との関係を究明するため、**図 4-2** は、横軸に SiO_2(wt.%)、縦軸に K_2O(wt.%)をとり、それぞれの熔岩の化学組成をプロットした。関係式は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる。

境界線は, Miyashiro, 1978 ; R.W.Le Maitre, 1978 に基づいている。上図は富士火山帯における全体成分であり、下図は富士火山帯における洞窟のみの成分である。富士火山の噴出物の広い範囲では、ケイ酸が増大するにつれ、カリウム成分は同様にわずかな減少傾向を示している(上図)。IS における K_2O(wt.%)は、回帰直線の値より多いカリウム成分である。IS のカリウム成分は、SiO_2 組成と(Na_2O+K_2O)組成(下図)は、青木ヶ原樹型の成分と似たような特徴の成分である。下図における上の線は high-K と medium-K の境界線の玄武岩系であり、下の線は medium-K と low-K の境界線の玄武岩系である。図 4-2 における横軸 52(wt.%)を基準線として、それ以下は玄武岩であり、それ以上は玄武岩質安山岩である。したがって、双方の熔岩樹型とも medium-K の高アルミナ玄武岩であることが分かる。IS のカリウム成分は、SiO_2 組成と(Na_2O+K_2O)組成と同様に似たような特徴である。

4-3. ケイ酸と有色鉱物(Fe_2O_3・MgO・CaO)との関係

ケイ酸と有色鉱物(Fe_2O_3)成分との関係を究明するため、ぞれの熔岩の化学組成をプロットした。富士火山帯における Fe_2O_3 成分である(**図 4-3**)。中図はMgO 成分である(**図 4-4**)。右図はCaO である(**図 4-5**)。**火山噴出物のFe_2O_3(wt.%)組成範囲**は 1.60～13.70(八幡穴)wt.%である。その平均値より多い Fe_2O_3(wt.%)は、12.10 wt.%である。一方、済州火山島における火山噴出物の Fe_2O_3(wt.%)組成範囲は 0.67～14.24 wt.%で、富士火山より広い範囲であり、この済州火山島の平均値よりはるかに多い含有率である。関係式は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる。

Fe_2O_3(上) = 48.87-0.732(SiO_2) ...(R^2=0.827) .....(6-1)

Fe_2O_3(下) = 40.38-0.736(SiO_2) ...(R^2=0.235) .....(6-2)

ここで、上の直線は Fe_2O_3 としての全体の鉄であり、下の直線は Fe_2O_3 のみである。ケイ酸が増大するにつれ、Fe_2O_3 は、わずかな減少の傾向である。勾配はほぼ同じであるが、決定係数は異なっている。

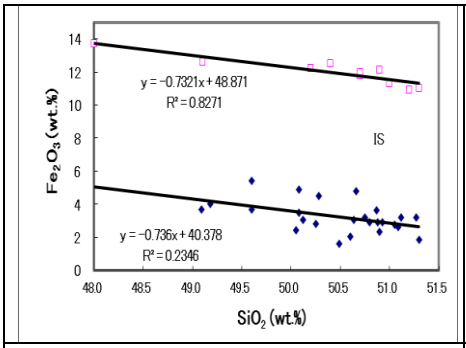


図 4-3.ケイ酸と Fe_2O_3 成分

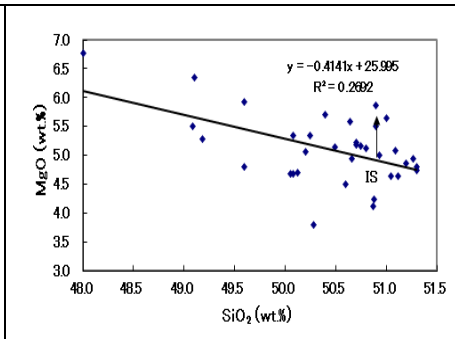


図 4-4.ケイ酸と MgO 成分との関係

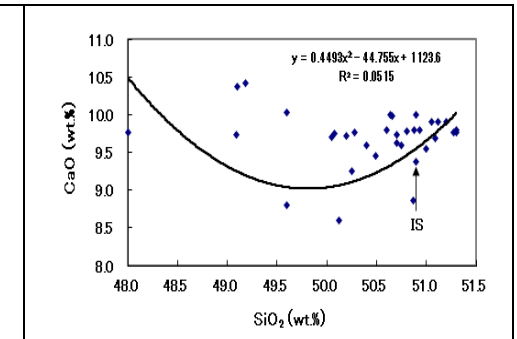


図 4-5.ケイ酸と CaO 成分との関係

火山噴出物のMgO(wt.%)組成範囲のは3.80～6.76 wt.%である。ISのMgO(wt.%)は5.86 wt.%である。関係式は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる(**図4-4**)。

MgO = 26.00-0.414(SiO_2) ...(R^2=0.269) ....(6-3)

ケイ酸が増大するにつれ、MgO は減少の傾向である。火山噴出物の CaO(wt.%) 組成範囲は、0.77～10.42 wt.%である。IS の CaO は 9.38 wt.%である。関係式は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる(**図 4-5**)。

$MgO = 1134-44.76(SiO_2)+0.449(SiO_2)^2 ...(R^2=0.051)$ ....(6-4)

CaOは、ケイ酸が増大するにつれ、Fe_2O_3とMgOと異なった傾向があり、減少し、それから増大の傾向である。富士火山の噴出物の広い範囲では、ケイ酸が増大するにつれ、Fe_2O_3とMgOの成分は同様に減少の傾向である。一方、ケイ酸が増大するにつれ、洞窟の無色鉱物{(K_2Oを除いたSiO_2、Na_2Oおよび(Na_2O+K_2O)}の成分は増大の傾向である。一方、有色鉱物は減少の傾向である。

5.単斜晶系の格子定数と解析

単斜晶系の格子定数の決め方は、単斜晶系の格子定数(沢ら、1996・1998)は、面間隔(d)と面指数(hkl)によって求められる。格子定数の解析におけるモデル化と問題の構成から変数間の関係を求めるため解析を行ったのである。解析における情報システムを対象とする関係式を用いる。面間隔d(hkl)]は、ブラッグの反射条件式の面指数(hkl)と格子定数(A、B、C)によって求められる。面指数(hkl)は**表 3-2**のように決定し、格子定数を求めるためにデータシートを表示した。**表 5-1**における面間隔(d)と面指数(hkl)から回帰方程式の最小2乗法によって、格子定数(A、B、C)が求められる仕組みを行った。

表 5-1.富士山にある洞窟と犬涼み山風穴の単斜晶系の格子定数

単斜晶系 (Å)	溶岩樹型			須走胎内洞窟			犬涼み山風穴	平均
軸 A	9.779	9.764	9.813	9.799	9.731	9.720	9.783	9.770
軸 B	8.899	8.922	8.920	8.928	8.911	8.940	8.897	8.917
軸 C	5.190	5.214	5.246	5.229	5.160	5.212	5.173	5.203
角 度	106.55	106.16	105.77	105.49	106.33	105.97	105.90	106.02

5-1.ケイ酸と格子定数(Am)軸との関係

富士火山における火山噴出物の格子定数(Am)の範囲は 9.713(厚原穴:厚原風穴第一)～9.819(TT)Åで、その平均値(9.764Å)である。ISのAmは、9.7832Åで、平均値(9.764Å)より大きい。一方、済州火山島における火山噴出物のAm範囲(沢ら、1996・1998)は 9.754～9.819Åで、富士火山より狭い範囲である。ケイ酸と Amとの関係を究明するため、**表 5-1** の関係から**図 5-1** は、横軸にSiO_2(wt.%)、縦軸に格子定数(Am: Å)をプロットした。上図の上線は済州火山島における溶岩洞窟の成分であり、上図の下線は富士火山における洞窟成分である。さらに、下図は、両方の溶岩洞窟の関係である。この両洞窟の関係は、つぎのような回帰方程式と決定係数として与えられる。

済州火山の洞窟： $Am(Å) = 9.62 + 0.003\ WSiO_2(wt.\%)....(R^2=0.099)$ …(5-1.)

富士火山の洞窟： $Am(Å) = 9.52 + 0.005\ WSiO_2(wt.\%)....(R^2=0.023)$ ....(5-2)

両方火山の洞窟： $Am(Å) = 9.59 + 0.004\ WSiO_2(wt.\%)....(R^2=0.037)$ ....(5-3)

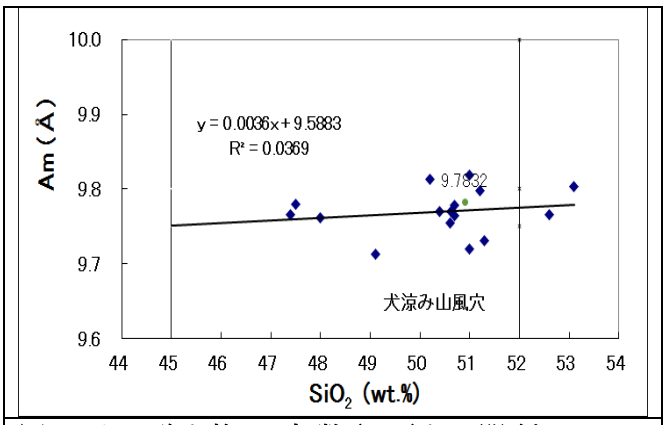


図5-1.ケイ酸と格子定数(Am)との関係

済州火山と富士火山の広い分野では、ケイ酸が増大するにつれ、Am はわずかな増大の傾向である。決定係数は 0.1 以下である。格子定数 Am の IS は、回帰直線の値とは近い値である。ここで、済州火山洞窟の Amの切片は、富士火山洞窟の Am より0.1Å大きい値である。萬丈窟における上段ブリッチのケイ酸は大コキク、翰林溶岩樹型は小さい値である。その間に、富士火山洞窟におけるケイ酸が含まれている。IS 窟における格子定数 Am(:9.7832 Å)は、Bm(平均:8.974Å)とCm(平均:5.1729Å)より大きい値である。

5-2. ケイ酸と格子定数(Bm) 軸との関係

富士火山における火山噴出物の格子定数(Bm)の範囲は 8.897(青木ヶ原樹型の横臥型)～8.940(本八合目)Å で、その平均 8.916Å である。IS の Bm は、8.8974Å で、平均値(8.916Å)より小さい。一方、済州火山島における火山噴出物の Bm 範囲(沢ら、1996・1998)は 8.893～8.934Å で、富士火山より狭い範囲である。IS における Bm は、済州火山島の平均値(8.915Å)の中間値である。ケイ酸と Bmとの関係を究明するため、**表 5-1** の関係から**図 5-2** は、横軸に SiO_2(wt.%)、縦軸に格子定数(Bm: Å)をプロットした。上図の上線は済州火山島における溶岩洞窟の成分であり、上図の下線は富士火山における洞窟成分である。さらに、下図は、両方の溶岩洞窟の関係である。この両洞窟の関係は、つぎのような回帰方程式と決定係数として与えられる。

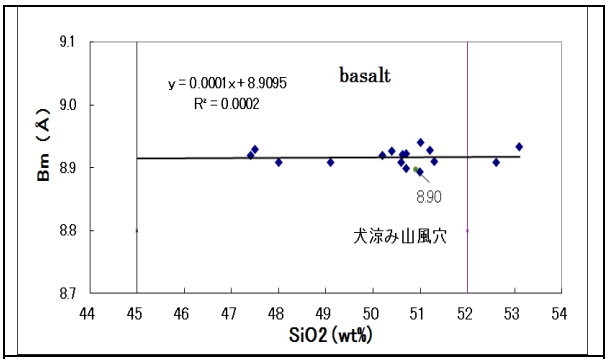


図5-2.ケイ酸と格子定数(Bm)との関係

済州火山の洞窟：$Bm(Å) = 8.97 - 0.001\ WSiO_2(wt.\%)..(R^2=0.029)$ ....(5-4)

富士火山の洞窟：$Bm(Å) = 8.74 + 0.004\ WSiO_2(wt.\%)..(R^2=0.073)$ ....(5-5)

両方火山の洞窟：$Bm(Å) = 8.91 - 0.0001WSiO_2(wt.\%)..(R^2=0.0002)$ ...(5-6)

済州火山と富士火山の広い分野では、ケイ酸が増大するにつれ、Bmはわずかな減少(済州火山)と増大(富士火山)の傾向がある。決定係数は 0.03 以下である。 両洞窟における Bmは、回帰直線の値とほぼ近い値である。IS の SiO_2組成は萬丈窟の石柱に近い成分である。格子定数 Bm は、回帰直線の値とほぼ近い値である。ここで、済州火山洞窟の Bmの切片は、富士火山洞窟の Bmより0.23Å大きい値である。IS における格子定数Bm(平均:8.974Å)は、Am(平均:9.770Å)より小さく、Cm(平均:5.181Å)より大きい値である。

5-3. ケイ酸と格子定数（Cm） 軸との関係

富士火山における火山噴出物の格子定数(Cm)の範囲は 5.159(子供国)～5.255(TT)Åで、その平均値(5.195Å)である。ISのCmは、5.1729Åで、平均値(5.195Å)より小さいのである。一方、済州火山島における火山噴出物のCm範囲（沢ら、1996・1998)は5.189～5.255Åで、富士火山より狭い範囲である。ISのCmは、済州火山島の平均値(5.211Å)よりわずかに小さい値である。ケイ酸とCmとの関係を究明するため、**表 5-1** の関係から**図 5-3** は、横軸に SiO_2(wt.%)、縦軸に格子定数(Cm:Å)をプロットした。上図の上線は済州火山島における溶岩洞窟の成分であり、上図の下線は富士火山における洞窟成分である。さらに、下図は、両方の溶岩洞窟の関係である。この両洞窟の関係は、つぎのような回帰方程式と決定係数として与えられる。

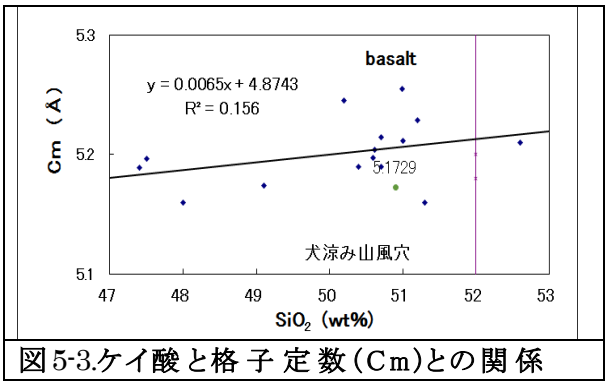


図5-3.ケイ酸と格子定数(Cm)との関係

$$\text{済州火山の洞窟：Cm(Å)} = 4.98 + 0.005W\text{SiO}_2\text{(wt.\%)}..(R^2=0.230) \quad ....(5\text{-}7)$$

$$\text{富士火山の洞窟：Cm(Å)} = 4.67 + 0.010W\text{SiO}_2\text{(wt.\%)}..(R^2=0.133) \quad ....(5\text{-}8)$$

$$\text{上方火山の洞窟：Cm(Å)} = 4.89 + 0.006W\text{SiO}_2\text{(wt.\%)}..(R^2=0.127) \quad ....(5\text{-}9)$$

済州火山と富士火山の広い分野では、ケイ酸が増大するにつれ、Cmはわずかな増大の傾向がある。決定係数は0.23以下である。両洞窟におけるCmのISは、回帰直線の値とわずかに遠い値である。ISC、OCとUCのSiO_2組成は、須走胎内洞窟と萬丈窟の石柱が近い成分である。ここで、済州火山洞窟のCmの切片は、富士火山洞窟のCmより0.21Å大きい値である。ISにおける格子定数Cm(5.1729Å)はAm(平均:9.770Å)とBm(平均:8.921Å)より小さい値である。

6. おわりに

6-1. 静岡県富士宮市人穴にある洞窟

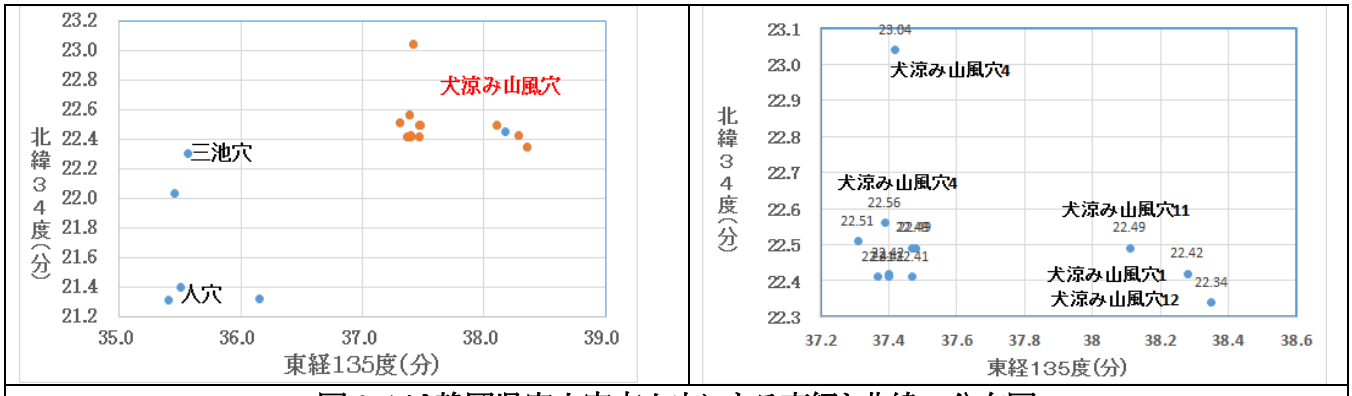
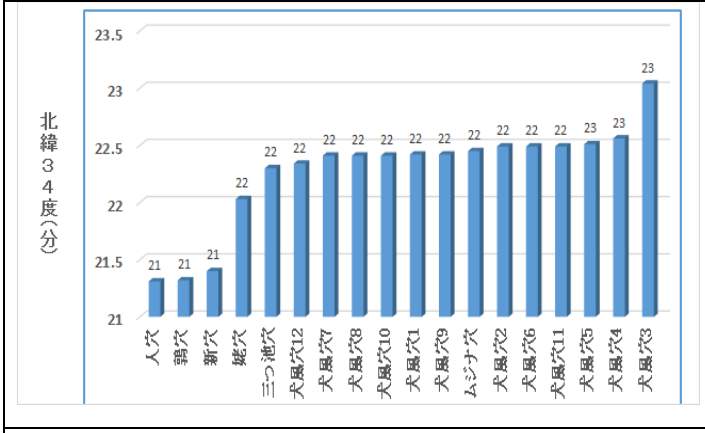


図6-1は静岡県富士宮市人穴にある東経と北緯の分布図

図1-2は静岡県富士宮市人穴にある洞窟は東北と西南に分布している。東経と北緯が小さくなっている洞窟は人

穴洞窟である。人穴洞窟から三つ池穴洞窟までは東経がほぼ同じである。静岡県富士宮市人穴にある洞窟の中での犬涼み山風穴洞窟は東北に分布していることが確認された。



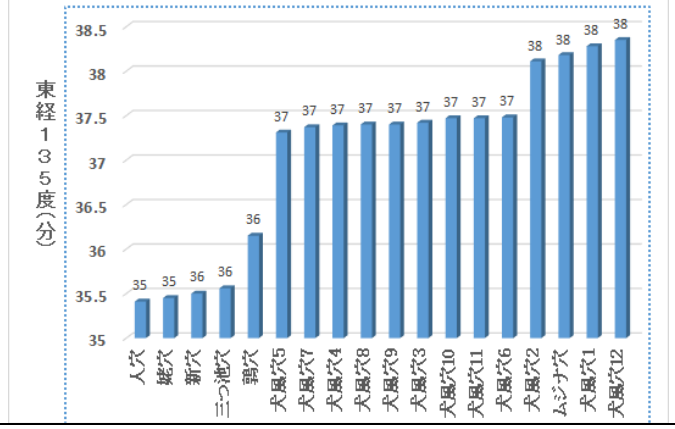


図 6-2 は静岡県富士宮市人穴にある東経と北緯のヒストグラフ

図6-2 は静岡県富士宮市人穴にある洞窟は東北と西南に分布している。人穴洞窟:21 分 31 秒、鶉穴洞窟:21 分 32 秒、新穴洞窟:21 分 4 秒は最南端である。中間では北緯34度 22～23 ふんである。最北端は犬風穴 3 番目の北緯34度 23 分 23 秒である。東経135度の小さい35 分は人穴・姥穴・新穴・三つ池穴である。35 分は犬風穴5・犬風穴7・犬風穴4・犬風穴8・犬風穴9・犬風穴3・犬風穴10・犬風穴 11・犬風穴 6・犬風穴 2 である。再東端ムジナ穴・犬風穴 1 と犬風穴 12 である。

6－2．犬涼み山風穴の溶岩の偏光顕微鏡

写真6-1.静岡県・富士山犬涼み山風穴の溶岩

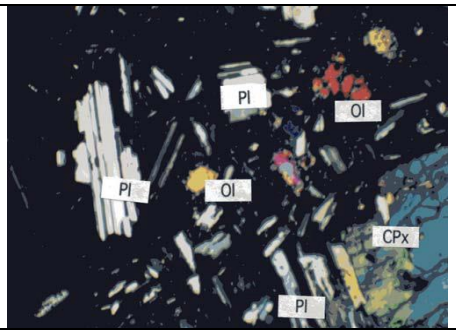


写真 6-2.溶岩の偏光顕微鏡クロスニコル真:Ol＝橄欖石、Pl＝輝石、CPx＝単斜輝石

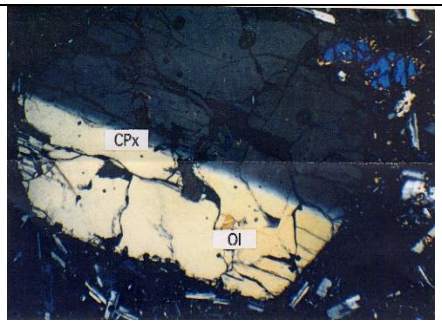


写真 6-3.溶岩の偏光顕微鏡クロスニコル真:Ol＝橄欖石、CPx＝単斜輝石。

写真 6-1 は静岡県・富士山犬涼み山風穴の溶岩である。**写真 6-2** は、溶岩の偏光顕微鏡クロスニコル写真:Ol＝橄欖石、Pl＝輝石、CPx＝単斜輝石である。**写真 6-3** は、溶岩の偏光顕微鏡クロスニコル写真:Ol＝＝橄欖石、CPx＝単斜輝石である。偏光顕微鏡クロスニコル写真とは、光路に偏光子に加え、検光子を差し込んで観察を行う場合を「クロスニコル」(直交ニコル)といい、試料プレパラートを入れずに接眼レンズを覗くと暗視野に見える。これは 2 つの偏光板によって光線が遮断されているためである。は、溶岩の偏光顕微鏡クロスニコル写真:Ol＝＝橄欖石、CPx＝単斜輝石である。偏光顕微鏡クロスニコル写真とは、光路に偏光子に加え、検光子を差し込んで観察を行う場合を「クロスニコル」(直交ニコル)といい、試料プレパラートを入れずに接眼レンズを覗くと暗視野に見える。これは 2 つの偏光板に

よって光線が遮断されているためである。

6-3.含有鉱物および考察

一般に熔岩洞窟とされるものには、玄武岩に形成されることが多く、安山岩にも一部が存在する。玄武岩には、カンラン石、普通輝石および斜長石の鉱物が含有する。安山岩には、斜方輝石、普通輝石、斜長石および石英の鉱物が含有する。これらの鉱物が、富士山地域の熔岩にどの程度に含まれているかを知るために次のように検討を行った。定性分析は、蛍光X線分析結果の元素情報を参考にして解析を行った。定性分析の結果、いずれの試料も主成分としてAnorthiteが同定された。しかしながら、元素情報およびICDDカード記載のピークに対してピークがシフトしていることを考慮すると、ICDDカード記載の構成元素に対して他の元素が固溶しているものと思われる。したがって、Anorthiteは、ICDDカードに相当するかについては断定できない。そのため、比較的プロファイルの近い物質を定性分析結果に記載した。

表6-1.定性分析結果を記載したISの鉱物信頼性係数と結晶構造

	コード番号	化学式	鉱物名	信頼性係数	相対強度 I/%	密度	結晶構造
1	41-1476	KCl	Sylvite	9.5	100	1.988	立方晶系
2	10-0393	Na(Si3Al)O8	Albite, disordered	5.0	60	2.608	三斜晶系
3	41-1480	(Na,,Ca)Al(Si,Al)3O8	Albite, calcian, ordered	8.3	62	2.644	三斜晶系
4	20-0528	(Ca,Na)(Al,Si)2Si2O9	Anorthite, sodian, ordered	6.5	68	2.759	三斜晶系
5	41-1486	CaAl2Si2O8	Anorthite, ordered	5.1	56	2.761	三斜晶系
6	09-0465	(Ca,Na)(Al,Si)2Si2O8	Anorthite, sodian, ordered	22.6	85	2.769	三斜晶系
7	18-1202	(Ca,Na)(Al,Si)4O8	Anorthite, sodian, intermediate	3.2	56	2.784	三斜晶系
8	31-0795	(Mg,Fe)2SiO4	Forsterite, ferroan	16.9	10	3.141	斜方晶系
9	41-1483	Ca(Mg,Fe+3,Al)Si2O6	Augite, aluminian	13.8	11	3.298	単斜晶系
10	24-0201	Ca(Mg,Fe)Si2O6	Augite	14.1	28	3.702	単斜晶系
11	19-0629	Fe_3O_4	Magnetite, Syn	9.6	23	5.197	立方晶系

定性分析結果を記載したISの鉱物信頼性係数は3.2から22.6の範囲、鉱物相対強度は10から100の範囲、密度は1.988から5.197(g/mm^3)の範囲である。ここでは、主な鉱物のみを**表6-1**に表示した。その他、鉱物存在の可能性のある物質を記載したが、これらもピークのシフトやピーク強度比が異なることが確認された。それは、これら定性分析結果に記載した物質も他元素の固溶や固溶に伴う構造の変化からなると考えられる。密度(D:縦軸)と相対強度(I/I.:横軸)の関係式は、散布図に引かれた直線の方程式によって求められる。

6-4.洞窟の形成状態

犬涼み山風穴第1(IS)の位置は、富士山山頂の西側にある静岡県富士宮市人穴15-1で、北緯35°22′43″、東経138°38′28″である。総延長:191.5m、洞内高さ:約6m、幅:5～10m、溶岩流:犬涼み山溶岩流、洞内温度:14～15度および海抜:1,140mである。さらに洞口は、噴火口下2～300mで南北間(2m)、東西間1.5m、深さ:6mであり、横穴は南から南西方向へ延びていると思われる。

①洞窟内には、5連結部分があり、きわめて狭く、傾斜が大きいため、天井が低いところの低地では泥が溜まり過ぎるため通行が困難である。空洞内にある連結部間には、かなりの落差が見られるため、不安定な部分が崩壊したと考え

られる。②洞窟の左側壁には、柱状節埋の薄層現象の溶岩（Lamina・乱層）がある洞窟である。国内にある洞窟は、三ヶ池穴・神座風穴第１・ムジナ穴・不洞窟・本栖風穴第１などがあり、済州火山の萬丈窟には、類似した大型のものがある。薄層は、世界でも例証が少なく、研究には貴重である。これは、水蒸気が噴煙することと、各薄層間からガスが放出され、連結部からの移動する過程で形成されたと考えられる。薄層には、ガス噴出時におけるケイ酸、酸化アルミニウム等の含有量によって異なるために、流体力学の理論によると流動速度が異なることが判明できる。③洞窟内の各地に白いケイ酸鍾乳が見られた。ケイ酸と酸化アルミニウムの含有量が約７割含んでいることが解明された。国内にある洞窟は婆々穴にあり、済州火山の挟才窟やビレモツには、類似した大型のものがある。さらに、X線回折によって結晶構造や岩石名が科学的に解明された。

④洞窟の左側壁には、溶岩棚の剥離している部分がある洞窟である。国内にある洞窟は、婆々穴にあり、済州火山の萬丈窟やビレモツには、類似した大型のものがある。萬丈窟にある含有量の分析は本研究で解明された。さらに、モデルも計画中である。 ⑤洞窟の入り口から下ると末端部になる。この末端部には、落盤が多く、スコリア層からなっている。このスコリア層は、この洞窟の下流部とその下部にあるムジナ穴の流部に塞がれ、また、海抜の度合いや洞窟の傾斜から分析すれば、当初は連結していたと思われる。

6-5.世界最大級の水蒸気が噴煙する洞窟

入口部では傾斜の大きい洞窟で、直径 3mのガス噴出孔があるため水蒸気が噴煙する洞窟である。噴煙は、夏季には見られないが、冬季には見られる現象である。冬の１月に水蒸気が墳煙するのは、富士山にある洞窟（126 ヶ所）の中で唯一の洞窟である。市川博英・流石皇甫（1998･1･10 に調査：流石皇甫 1998 富士山火山洞窟学研究会報 Vol. 2 No. 1 P. 15 掲載）は、水蒸気の噴煙を確認した。すなわち、噴煙する状態は、高さ 3m・横幅 3mの規模であり、絶え間無く・音も無く・無臭である。

6-6.コウモリ群の糞

富士山の洞窟にはコキクガジラコウモリが、常時生息している。20 年前に富士山洞窟研究者が調査したが、コウモリは１羽も見られなかったらしい。今回が第２回目の調査である。洞窟の入り口から約６ｍの下に下り、約 20mのところに着くと、数百羽のコウモリ（あまりにも多いので分からない ）の親と子のコウモリが見られた。コウモリの飛行速度が、あまりにも速いので撮影は困難であった。コウモリを見た瞬間、全身が硬直した。

洞窟の天井部には、生まれたばかりの赤児コウモリ群が、洞窟天井にぶら下がっていた。親が運ぶ食料を待っていると思われる。コウモリの出産期というタイミングに遭遇したのである。生命の躍動を目撃した。川村一之は、このようなコウモリ群を見たのが初めてあり、怖くて入れなかった。洞窟を調査し、帰りは一羽も見られなかった。遭遇することは大変なことである。静かな安息地に生きるコウモリにとっては、迷惑であろうと思い、可哀想な子供を連れて、どこかで悲しんでると思うと、また、どこかの安息地を探しているコウモリに申し訳ないと思うと、眠れられない一晩であった。コウモリの最大群団の生殖地にしては、この洞窟は日本一であると考えられる。洞窟環境の保全と保存を考えないと絶滅する可能性がある。.

写真 6-4.空中のコウモリとつらら石

写真 6-5. コウモリの巨大な糞塊

写真 6-6.拡大したコウモリ糞

筆者は20年前に萬丈窟でコウモリを捕獲し、同伴の調査団である日本の中央大学探検部学生にプレゼントしたことがある。韓国のテレビでは、筆者が捕獲した瞬間を放映している。それほど、捕獲した人が珍しいからである。1997 年、富士山洞窟研究者と共に、韓国済州道南済州郡にある美千窟で数百羽の大人のコウモリを目撃した。おそらく韓国1番のコウモリの群団であろう。その時、何十枚の写真を撮ったが一枚も写らなかった経験がある。このような洞窟は、アジアでは見られず、世界でもめずらしい洞窟である。この洞窟にはコキクカジラコウモリが生殖しているため、水蒸気が噴煙する洞窟にコキクカジラコウモリが生殖地には、地形に対して相関関係があるため研究にも大きいな意義がある。溶岩流がもつ流体力学としての特徴による形成の解釈もある。このような沢山の特徴がある洞窟は珍しく、洞窟形成と成分に関心があるため分析を行ったのである。

6-6. 研究成果の要約

今回は、成分分析値並びにX線回折による結晶構造から単斜晶系の格子定数を解析した。後者は含有率の多いケイ酸と格子定数との関係について解析を行った。測定に用いた試料としては、IS(犬涼み山風穴のある直径3mのガス噴出孔)から採集された溶岩の化学組成(SiO_2=50.90, TiO_2=1.56, Al_2O_3=17.29, Fe_2O_3=11.61, MnO=0.18, MgO=5.22, CaO=9.67, Na_2O=2.72, K_2O=0.76, P_2O_5=0.29)と結晶構造における斜方晶系の格子定数(Am=9.7832Å, Bm=8.8974Å, Cm=5.1729Åと β m=106.02°)を明らかにした。富士火山帯における他の火山・溶岩洞窟の成分とX線回折による結晶構造を比較・検討し、溶岩洞窟の成因究明の一助とするのが目的である。また、富士山から 1,150km も離れた済州火山島にある萬丈窟洞窟および白頭山の鹿鳴洞窟溶岩についても分析・比較を行った。以上について、一定の結論に達したので、ここに報告する。IS から採集された分析の結果、以下のことが分かった。

①SiO_2の含有率について、IS は 50.90 wt.%で玄武岩質(塩基性岩)である。

②IS の溶岩は、高アルミナ玄武岩である。

③ ISの鉱物は、斜長石(灰長石)、カンラン石と普通輝石がX線回折により確認され、さらに、斜長石とカンラン石は偏向顕微鏡写真により観察された。

④ IS の結晶構造は、混合物であることから三斜晶系・単斜晶系・立方晶系・斜方晶系の混晶である。

⑤ケイ酸が増大するにつれ、Na_2O 組成・(Na_2O+K_2O)組成・格子定数 Am および格子定数 Cm は増大の傾向である。すなわち、格子定数の Am と Cm は、ケイ酸の含有率に依存している。

⑥ケイ酸が増大するにつれ、K_2O 組成・Fe_2O_3組成・MgO 組成および有色鉱物は減少の傾向である。

⑦ケイ酸が増大するにつれ、格子定数 Bm はほぼ一定である。Bm はケイ酸の含有率に依存せず、測定誤差の範囲内。

⑧無色鉱物の成分が増大するにつれ、有色鉱物の成分は減少の傾向である。無色鉱物の含有率は SiO_2 に大きく影響し、有色鉱物の含有率は Fe_2O_3 に大きく影響しているのである。

謝辞

この論文の作成には、X線に関するデータ作成にあたっては、(株)リガクの方にご協力を頂き、関係各位に感謝の意を表します。さらに、データ処理には藤田浩史君に感謝の意を表したい。

参考文献

1) 津屋弘達;「富士火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,16:638－657,1938 年。

2) Miyashiro. A.;「Nature of Alkali Volcanic Rock Series. *Contrib. Mineral. Petrol.* 66P.94～104, 1978 年。

3) R.W.Le Maitre;『A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms』, Blackwell Scientific Publications.1978 年。

4) 沢 勲・村田守・洪始煥・鹿島愛彦;「大韓民国万丈窟双子熔岩石柱についての二、三の知見. 洞窟学雑誌,15:42-46,1990 年。

5) KUNO, H.;「Lateral variation of basalt magma type across continental margins and island arcs. *Bull. volcano.*,(2),29:195-222, 1996 年。

6) 沢 勲・村田守・河野久征;「白頭山の鹿蹄洞と済州火山島の萬丈窟における熔岩洞窟の成分比較. 洞窟学雑誌,21:65-70,1996 年。

7) 本多 力;「富士山溶岩風穴内の溶岩棚形成に対する熱流体力学的解釈. 洞窟学雑誌,22:81-88,1997 年。

8) 本多 力;「富士山溶岩樹型および内壁の再溶融(胎内)発生機構の物理・化学的考察. 洞窟学雑誌,23:29-38,1998 年。

9) 沢 勲・洪始煥・河野久征;「済州火山島の萬丈窟の双子溶岩石柱の単斜晶系と立方晶系. 大阪経済法科大学論集,70:55-78,1998 年。

10) 沢 勲・井上久・立原弘;「富士火山の柏原と青木ヶ原熔岩樹型の成分比較. 洞窟学雑誌,28:39-45,1998 年。

11) 沢 勲・井上久・立原弘;「富士火山の青木ヶ原熔岩樹型の蛍光Ｘ線分析とX線回折(竪型と横臥型溶岩樹型の成分と単斜晶系). 大阪経済法科大学論集,77:31-63,2000 年。

12) 沢 勲・井上久・川村一之・本多力・勝間田隆吉・宮崎哲;「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,78:1-39,2000 年。

13) 沢 勲・井上久・金龍哲・裵斗安;「済州火山の翰林溶岩樹型のX線分析と偏光顕微鏡(竪型と横臥型の年代測定・成分分析・単斜晶系・偏光顕微鏡). 大阪経済法科大学論集,78:1-39Z,2001 年。

14) 沢 勲・井上久・川村一之・宮下哲・本多力他;「水蒸気が噴煙する日本最高級の洞窟-富士火山にある犬涼み山風穴の成分とX線回折. 大阪経済法科大学論集,88,2001 年。