

济州道西帰浦市西北、 ケンセンイ窟の形態と蛍光X線分析

沢 勲	Isao SAWA	大橋 健	Tsuyoshi OHASHI
井上 央	Hisashi INOUE	金 炳宇	Byoung-Woo KIM
金 周煥	Joo-Hwan KIM	皇甫相源	Sang-Weon HWANGBO
裴 斗安	Doo-An BE	洪 忠烈	Choong-Ryeal HONG
金 源振	Weon-Jin KIM	呉 映宙	Yeong-Ju OH

The Cave Form and XRF Analysis of Gaengsaengi-gul Cave in Sogwipo-shi, Jeju-Do

ABSTRACT

The Gaengsaengi-gul Cave (GC) is located on the southwest slop of Mt.Halla, the Jeju volcano, in latitude $33^{\circ}15'33''\text{N}$ and in longitude $126^{\circ}30'57''\text{E}$. The location belong Soho-dong, Sogwipo-shi, Jeju-Do. The altitude of cave is 280m and the length is 41m. Major chemical compositions of the Gangsaengi Cave (GC) is revealed by XRF (X-Ray Fluorescence) analysis. These values indicate the lave consist of GC may belong to alkali-basalt. Average contents of major elements (wt.%) for GC is as follows :

$\text{SiO}_2=48.80$, $\text{TiO}_2=2.497$, $\text{Al}_2\text{O}_3=13.96$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=12.21$, $\text{MnO}=0.155$,
 $\text{MgO}=7.551$, $\text{CaO}=8.990$, $\text{Na}_2\text{O}=2.881$, $\text{K}_2\text{O}=1.216$, $\text{P}_2\text{O}_5=0.438$ in GC.

It can be suggested that these facts are related to the chemical composition of formation process and the form of cave.

Key words : X-Ray Fluorescence Analysis, Cave Form, Formation Process

[大阪経済法科大学論集 第86号] [*The Review of Osaka University of Economics and Law, Vol. 86 (2004), pp 1-35*]

1 はじめに

ゲンセンイ窟(以下:GCとする)は、アジアのユニークな垂直洞窟(Pit Cave)である。現地出身の金国男は、大ゲンセンイ窟と小ゲンセンイ窟があると教示された。大ゲンセンイ窟(GC)の位置は、韓国の最南端部にある濟州道西帰浦市西好洞内の孤根山(標高396.2m)の南部斜面上に所在する。数理位置としては、北緯 33° 15' 33"と東経126° 30' 57"である。なお、GCは濟州道の最南端部にある洞窟である。濟州道の地理は、Table 1のとおりである。総面積は、大阪府下の面積(1,864km²)に似て1,847km²であり、淡路島の面積(583km²)の約3倍である。東西の長さは73.2km、南北の長さは42.1km および人口は約55万人である。

Table 1 濟州道の地理的諸元 (Geographical Features of Jeju-do)

(2001年12月調査)

項 目		規 模	
総面積	The total area	1,847 (km ²)	
総人口	The total population	552,310 (人)	
人口密度	Population Density	299 (人)	
東西の長さ	The length of east and west	73.2 (km)	
南北の長さ	The north-south length	42.1 (km)	
海岸線の長さ	The length of the coastline	253.1 (km)	
年降水量	Year precipitation	1,389 (mm)	
年平均気温	Annual normal temperature	16.1 (°C)	
位 置	地 名	経 度	緯 度
最極東部	北郡 牛島面 ビヤン島	126° 58' 20"	33° 30' 41"
最極西部	北郡 翰京面 チャキ島	126° 08' 43"	33° 18' 28"
最極南部	南郡 大静面 マラ島	126° 16' 10"	33° 06' 31"
最極北部	北郡 楸子面 シルヨ	126° 22' 10"	34° 00' 00"

溶岩洞窟の形成や規模、形態などの特徴は流出(噴出)時の溶岩の温度、噴出様式、成分特性と物性、流動場の起伏や傾斜などの環境条件に規定される。

濟州島は世界最大級の溶岩洞窟をはじめ多様な洞窟が発達し、世界的な火山洞窟の宝庫である。溶岩洞窟は表善里玄武岩地帯に集中的に分布する。既往の報告では火山洞窟の存在と現象的な記載にとどまり、形成プロセス、2次の変形の系統的な記載やモデル化などに関する研究はほとんど着手されていない。

本報書で取り上げたGCは、アジアの火山・溶岩洞窟の生成や形態解析において貴重なものと考えられる。①溶岩洞窟は、形態上から垂直洞窟、さらに割れ目の噴火と側火口（ピットクレター）に区分される。②形態解析を補足判定するために、蛍光X線分析による成分分析(wt.%)を行った。その結果は、

$\text{SiO}_2=48.80$, $\text{TiO}_2=2.497$, $\text{Al}_2\text{O}_3=13.96$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=12.21$, $\text{MnO}=0.155$,
 $\text{MgO}=7.551$, $\text{CaO}=8.990$, $\text{Na}_2\text{O}=2.881$, $\text{K}_2\text{O}=1.216$, $\text{P}_2\text{O}_5=0.438$

のとおりである。これらのデータから種々の相関性を求め、貴重な成分分析値を得た。③天井部の上部と下部では、黒色の光沢が異っている。下部では、黒色の光沢が多く、その天井部に溶岩鍾乳石がある。④垂直洞窟の中間部分の壁面では、溶岩棚がある。⑤床面には、噴出痕や破裂痕が見られ、中央部には崩落物が多量に堆積している。⑥コウモリやクモさらにカエルなどの洞窟生物が繁殖している。

蛍光X線分析に用いた資料は、洞窟の中央の巨大な溶岩石柱の付近の崩落岩片である。時代も様々・溶岩も様々であるが、本報告では、サンプリングした試料の組成分析値と濟州・富士火山を構成する岩石との比較・検討を行った。

2. 濟州道の地形・地質概観

濟州島は、韓半島の最南端に位置する (Fig. 1)。大陸東縁部のプレート沈み込み帯という構造発達史上の位置と主として第三紀末から第四紀のはじめに噴出した溶岩からなる火山島である。Fig. 1の中の○印は都市名で、×印は火山洞窟の所在地である。×4が濟州火山島である。最近、北東の鬱陵島と濟州島・台湾の延長を結んだ線上に長大な断層が認められ、日本列島はこの線に沿っ

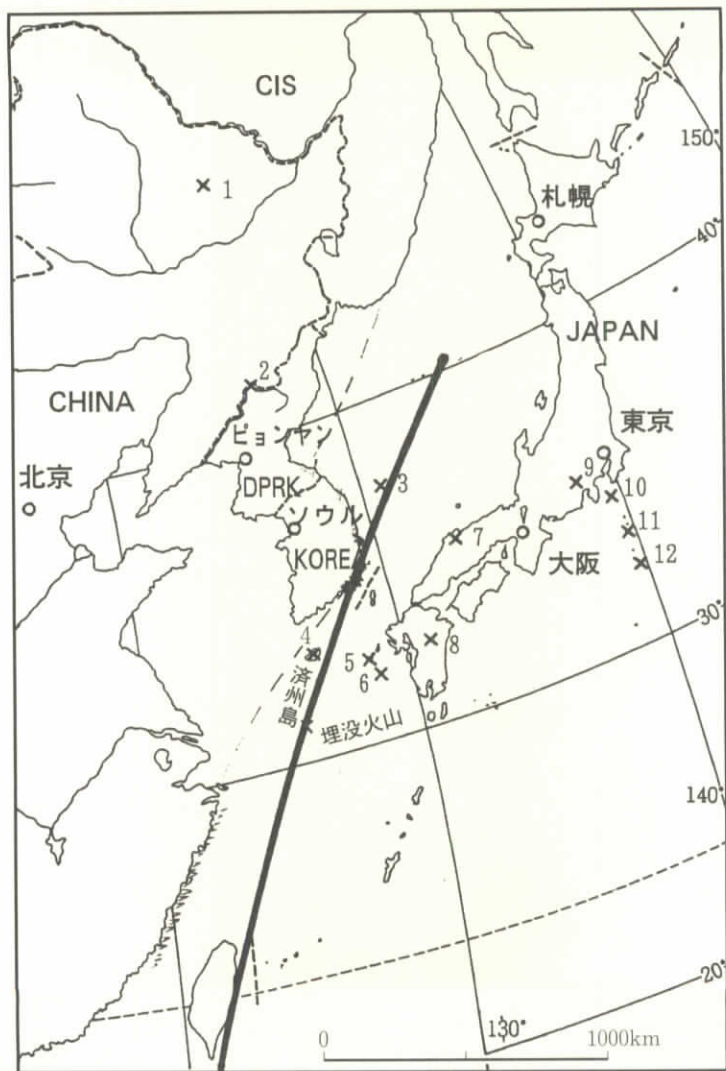


Fig. 1 日本周辺にある溶岩洞窟の分布

(Distribution of Lava Cavern in Japanese Island and its Environs)

- 1.五大連池、2.長白山(白頭山)、3.鬱陵島、4.济州島、5.福江島、6.黄島、
- 7.大根島、8.阿蘇山、9.富士山、10.大島、11.三宅島、12.八丈島

て大陸から分離し、東南方向に移動したという推論もある。第三紀から第四紀にかけてのマグマ作用・高地熱流・火山活動などの一連の現象は、この大陸と太平洋側の海洋プレートの結接地帯で起こっている。

濟州島の火山活動は、第三紀末に開始し、第四紀前半に主要な活動は終息している。早期に流出した古期の溶岩層は、200m以下の海岸部のなだらかな台地—アスピーテ(楯状火山)地形—をつくっている。一方、濟州島の中央部に聳え韓国の最高峰でもある漢拏山(海拔1,950m)を構成する溶岩層はアスピーテを貫く新期の巨大な溶岩ドームであり、鐘状トロイデ火山の特徴を呈し、濟州島は時代を異にする火山体が形成する複成火山である。漢拏山の頂上の火口には白鹿潭(火口湖)を湛え、景勝地となっている。また、山麓の台地上には360座を数える新旧の寄生火山群が発達し、本島の火山地形の特色を添えている。

濟州島の火山活動史と火山層序(元鐘寛、1975と李文遠、1982)は、大きく4回の噴出期に区分できる。噴出期における各時代に堆積した溶岩層と堆積岩の層序は、古い方から新しい方への噴出期順に説明すると、下記のようなすなわち、

①第1期は、濟州島の地質の屋台骨をなし第三紀に噴出した基底玄武岩とその上に不整合で堆積した非火山岩である西歸浦層の時代である。基底玄武岩は、橄欖石・輝石の班晶等の集合体から構成され、特に、橄欖石が多く含有されていることが特徴である。

②第2期は、第四紀の更新世前期に噴出した城山層及び和順層、表善里玄武岩・西歸浦粗面岩・中文粗面岩など古期の溶岩層とその上に堆積した新陽里層の時代である。白鹿潭付近に散在していた火口から大量の溶岩が噴出し、大規模なアスピーテが形成された。

和順層は、東と西海岸の低地帯を除いた地区に分布し、西歸浦と中文粗面岩に細分される。さらに、玄武岩の岩片が含有されているのが特徴である。表善里玄武岩は、主として東と西海岸の低地帯に分布し、橄欖石と針状長石の班晶が含有され、溶岩流の表面には柱状節理が発達し、多孔質である。西歸浦粗面岩は、南海岸の低地帯の中文面大坪里付近に分布し、細粒の橄欖石と輝石の班

晶が含有されている。

③第3-1期初期は、第四紀の更新世中期に噴出した溶岩は漢拏山を中心にした南と北海岸と山間地帯に分布され、多孔質からなる粗流の長石班晶が多量に含有している。

④第4期は、第四紀の更新世後期であり、後期火山活動の産物である寄生火山群から噴出した火山砕屑層が形成された。孤根山(標高396.2m)を含む単成火山(寄生火山)噴出物は、濟州火山島の全域にわたって、360個余の火山丘を形成した。

⑤第四紀の完新世には、貝砂層(海成と風生の2種がある)と沖積層が堆積し、白鹿潭の火口湖が形成された。

本島面積の90%を玄武岩類が占めており、多くは粗面岩質の特性をもつ。火山活動はどの噴出期においても、まず多量の玄武岩の流出で始まり、安山岩質または粗面岩質に変わり、溶岩の流出の減少、そして、多量の火山砕屑物の噴出という推移が見られる。

濟州島の火山活動は第四紀後半にほとんど終息しているが、きわめて最近まで余韻があったことも史料から伺える。すなわち、高麗期中葉に2回(1002年と1007年)の爆発(新增東国輿地勝覧第38巻)、さらに端宗甲戌年12月、甲辰(AD1445)年1月24日、顯宗、庚戌年10月、丁亥(AD1570)年11月15日に火山爆発と地震が起こって人畜に多くの被害があったという記録が残っている(李朝烈聖実録)。ただし、そうした記録の地質学的検証は十分とはいえない。

濟州島の地質図によると、火山円錐・玄武岩・堆積岩から成っている(Fig. 2)。Fig. 2の中の小さい島模様と数字は、寄生火山と洞窟番号である。寄生火山と洞窟番号をより明白にするため、Fig. 3の表示した。Fig. 3の等高線の間隔は100mである。島の中心から東北と西南を結ぶ線、西北と東南を結ぶ線および東西の中間線で区分すると多くの特徴が見られる。この東西の中間線の南側と北側は、それぞれ寄生火山と多くの洞窟が存在している。規模が大きい洞窟は、漢拏山を中心にした西北と東北方向に分布されている。現在まで確認されている火山・溶岩洞窟数(濟州道・洪、1987・Sameshima, 1988)は、約60個である(Fig. 3)。洞窟の大部分は、北東部の旧左邑と北西部の翰林邑およ

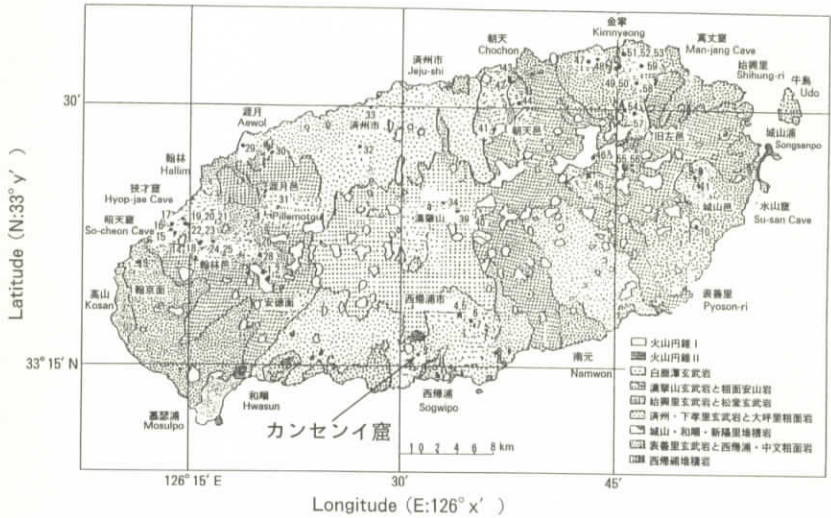


Fig. 2 济州道にある溶岩洞窟の分布と地質
(The Lava Cave Distribution and Geologic Map in Jeju-do)

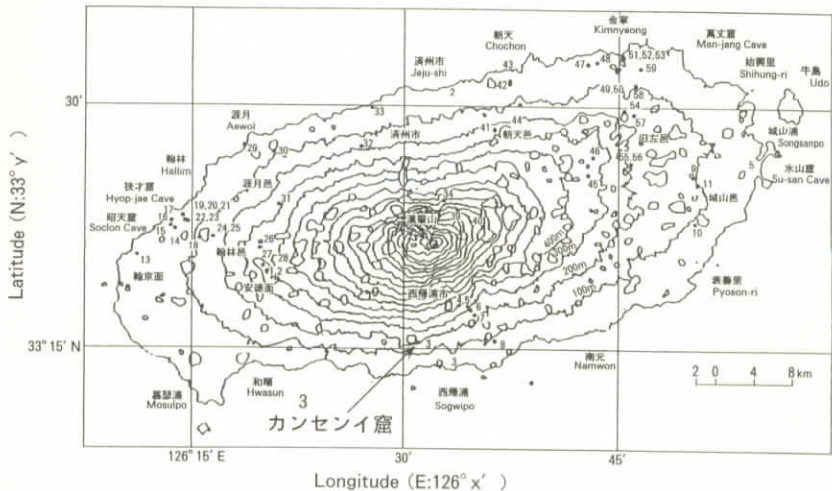


Fig. 3 济州道にある溶岩洞窟の分布 (等高線は100m間隔)
【The Distribution Map of Lava Caves and Contour Interval in Jeju-do (Contour Interval is 100m)】

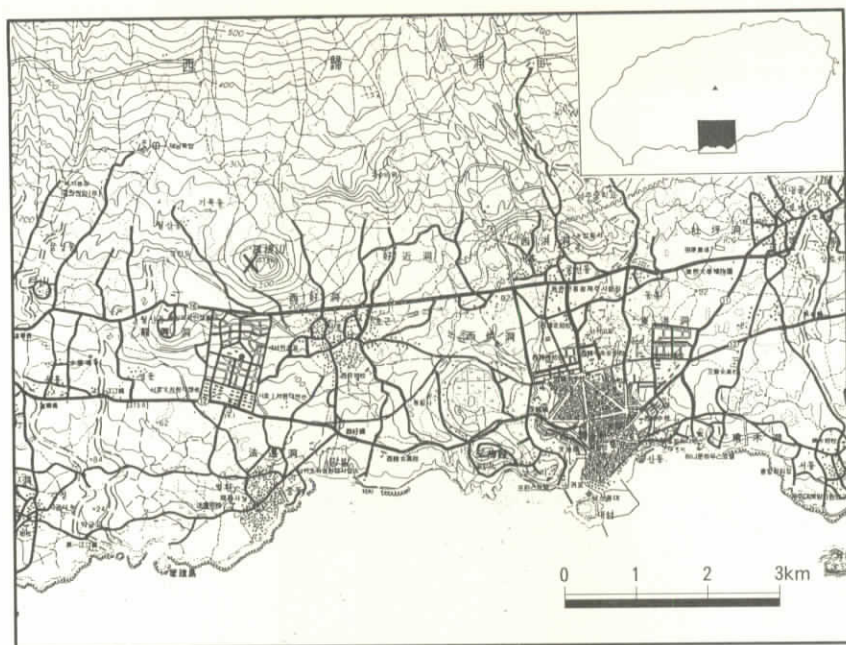


Fig. 4 ケンセンイ窟、調査地の位置概念図
(The Locality Map of Surveying Area, Gaengsaengi-gul Cave)

び涯月邑に集中的に分布している。そこはいずれも古期の溶岩—表善里玄武岩層—の分布地域であり、萬丈窟・狭才窟およびビレモッ窟洞窟システムなど本島の代表的な洞窟もそこに発達している。すなわち、溶岩洞窟は特定の溶岩地帯—粘着性が弱く、流動性が高いアルカリ性玄武岩層—のなかに形成されていることがわかる。

単位面積あたりの洞窟密度という点では、濟州島はアジア第1位であろう。濟州島の火山洞窟には、世界の火山洞窟の中で、最大級のものが多数ある。今回調査の対象とした垂直洞窟—「ケンセンイ窟」—の位置は（Fig. 4）の中に示した。

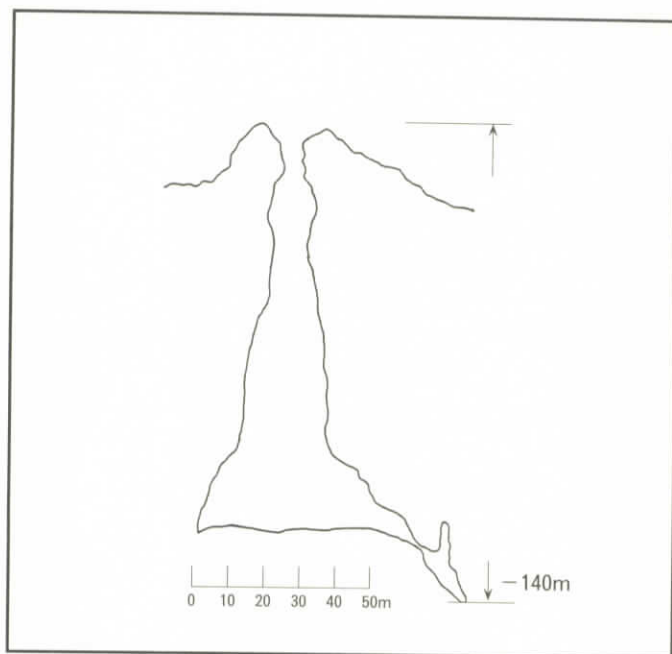


Fig. 5 アイスランド、フラフホルムにある Pihnukahellir ピットケイブの断面図
(Sectional View of Pihnukahellir Pit Cave in Blafjollum, Iceland)

3. 側噴火によるピットケイブ

側噴火とは、成層火山あるいは楯層火山体の山腹斜面の側方に生じた火口で起こる小規模の噴火のことをいう。火道の下方で蓄積されたマグマが圧力作用によりチューブ状の状態で、岩脈火道を通じて側方の弱所部沿いに噴火が起こる（本多、2001）。山腹噴火になる1点だけを届いたところで出てしまえば、孤立した噴火地点となる。側火山の火道は、固結した溶岩が詰まっている。地表部において大部分は噴石丘とか溶岩円丘を形成する。

側噴火による洞窟には、リフトケイブ（Rift Cave）とピットケイブ（Pit Cave）の2つのタイプがあげられる。前者は山腹割れ目の噴火口の底部にできる火口洞窟、後者は孤立した噴火口の底部にできる火口洞窟である。両者と

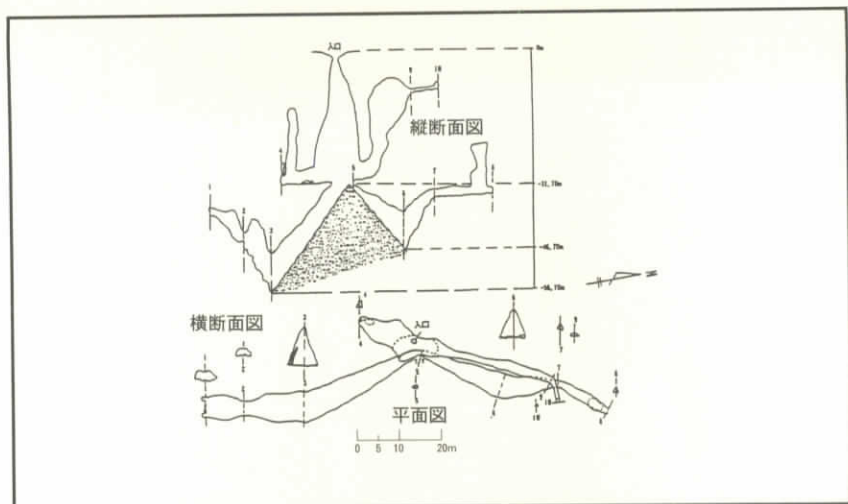


Fig. 6 スペイン、カナリア諸島ラ・パルマ島にある Sima Bucaro Martin ピットケイブの断面図と平面図
(Sectional View and a Plane View of Pit Cave in Is. Canaries, La Palma Island, Spain)

も溶岩が側噴火口の流路からドレンチバックして空洞ができたものと考えられる (本多、2001)。ピットケイブとは、スコリアを噴出する噴火口からなる火道の堅孔底部にできる空洞であると説明している (小川、2001)。現在知られているリフトケイブは、富士山に4、八丈島に4および三宅島に3つの洞窟がある。三宅島にある洞窟は、現在の噴火により埋没したと考えられる (小川、2001)。

ピットケイブの典型的な例として、Crystal Pit (Crater of the Moon National Monument、アイダホ州、アメリカ) などがあげられる。火口 (27.7m) の下方の床面はホール状の空洞を形成している。Prihnukehellir Pit Cave (Blafjollum、アイスランド) は、Bjorn Olafsson の探検により発見された (Fig. 5)。火口から深度130mの床面には大空洞がある。さらに側方にも深度140mの空洞がある。Sima Bucaro Martine Pit Cave (カナリア諸島ラ・パルマ、スペイン) は G.E.T. Benisahare の探検により発見された (Fig. 6)。Fig. 6 の上部は縦断面図、中部は横断面図および下部は平面図であ

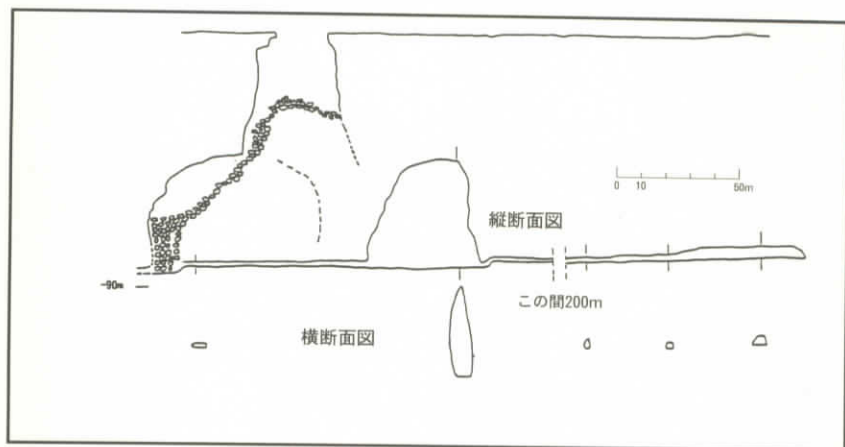


Fig. 7 アメリカ、ハワイ島にある Wood Valley ピット Crater の断面図
(Sectional View of Wood Valley Pit Crater in Hawaii Island, USA)

る。Wood Valley Pit Crater (ハワイ島、アメリカ)は Fig. 7 のとおりである。Fig. 7 の上部は縦断面図、中部は横断面図である。これらのピットケイブは、単純な形態から複雑な形態まで実に多様である。

側噴火による火山・溶岩洞窟の形成過程を検証するためには、造洞層の成分の定量分析値(重量含有率)が不可欠である。筆者等は、次のような方法で試料調整と蛍光X線分析を行った。

4. 実験方法

4.1 試料調製

本研究に用いた岩石試料(200 g)は、ハンマーを用いて試料を約1 cmのチップに荒砕し、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、ヘキサシによる200メッシュ以下への湿式粉碎を行った。粉碎後の粉末について、105°C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0.400 g:

融剤 $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (無水四ホウ酸リチウム) の 4.0 g) 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°C 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°C 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。

4.2 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 **Table 2** のとおりである。

Table 2 蛍光X線分析の測定条件
(Measurement Condition of X-Ray Fluorescence Analysis)

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 Peak	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
スペクトル	K α				X線管			縦型 Rh 管		
管電圧	50kv				管電流			70mA		
フィルター	Out				分析径			30mm ϕ		
アッテネータ	Out				スリット			Std.		
PHA	微分法				X線通路			真空		

5. 定量分析の結果と解析

5.1 定量分析と結晶構造

GC の定量分析値(重量百分率 wt.%) はグループ分析によると 10 成分である。すなわち、 $\text{SiO}_2 = 48.80$, $\text{TiO}_2 = 2.497$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 13.96$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 12.21$, $\text{MnO} = 0.155$, $\text{MgO} = 7.551$, $\text{CaO} = 8.990$, $\text{Na}_2\text{O} = 2.881$, $\text{K}_2\text{O} = 1.216$, $\text{P}_2\text{O}_5 =$

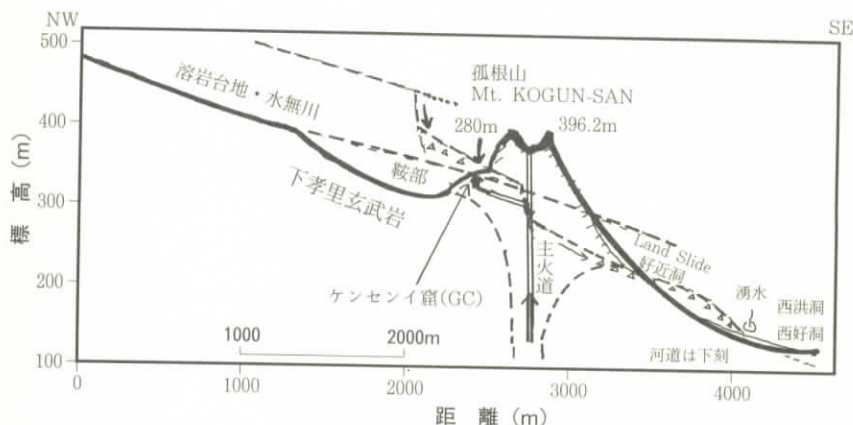


Fig. 8 ケンセンイ窟付近の地形断面図
(The Geomorphic Section of Mt. Kogun-San and Locality of Gaengsaenggul Cave in that)

0.438である。GCに近い成分は $(Ca,Na)(Si,Al)_2Si_2O_8$ という Anorthite の三斜晶系、 $(Ca,Na)(Si,Al)_2Si_2O_8$ という Anorthite の三斜晶系、 $Ca(Mg,Fe)Si_2O_6$ という Augite の単斜晶系、 $(Mg,Fe)_2SiO_4$ という Forsterite の斜方晶系、 Fe_2TiO_4 という Ulvospinel の立方晶系および $(Ca,Na)Al(Si,Al)_3O_8$ という Albite の三斜晶系である。

6. 考 察

6.1 洞窟周辺の位置と地形断面

GCの位置は、韓国の最南端部にある濟州道西歸浦市西好洞内の孤根山（標高396.2m）の南西斜面上にあり、正確な位置は北緯 $33^{\circ}15'33''$ 東経 $126^{\circ}30'57''$ である。孤根山の傾斜地にあるGC洞窟付近の地形断面図は、Fig. 8に示したように南東側である割れ目噴火口あるいはガス噴気孔（直径：2m・長さ：3.5m）である。さらに南西側には側噴火口がある。GC洞口の標高は280m、延長41mである。

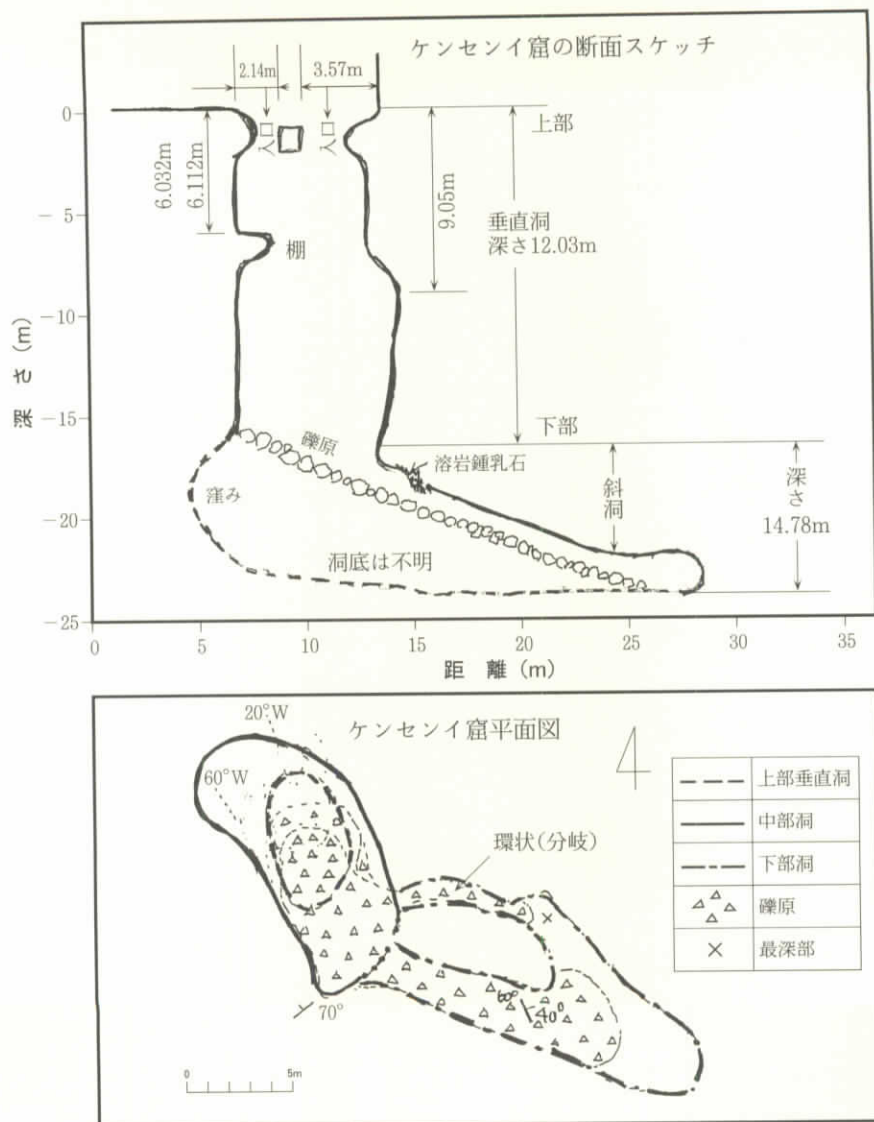


Fig. 9 ケンセンイ窟の断面スケッチ (上図) と平面図 (下図)
 (A Cross-sectional Sketch and Plane View of a Gaengsaengi-gul Cave)

GC 付近の 5 万分の 1 の地形図から地形断面図 (Fig. 8) を作成してみると、NE-SW 方向の傾斜変換があり、孤根山の周辺の上部ではなだらかな溶岩台地・水無川からなり、鞍部がある。その基部では湧水がある。周辺には地すべり地形が卓越し、窪地がある。窪地は地下水面が高く、集落立地の好場となっている。

Fig. 9 の上段と下段は、それぞれ GC 洞窟の断面スケッチと平面図である。洞窟の断面スケッチから観察すれば、深さは約 26.81m、洞内には溶岩棚からなる棚状突起、窪地および溶岩鍾乳石等が確認された。さらに、GC 洞窟の上部と下部は、円筒状垂直洞 (深さ: 12.03m) と崩落による斜洞窟 (14.78m) から形成されている。GC 洞窟の平面図から観察すれば、上部垂直洞、中部洞および下部の 3 区分でき、洞底部は礫原をなし、環状 (分岐) の特徴がある。

この洞窟の成因を総合的に Pit Cave であると判断したが、さらに確実な多くのデータと分析が必要である。溶岩洞窟の形成や規模および形態などの特徴は、流出 (噴出) 時の溶岩の温度・噴出様式・成分特性と物性・流動場の起伏や傾斜などの環境条件に依存する。そして、定量分析値 (重量百分率 wt.%) も必要である。

6.2 全岩化学組成および考察

濟州火山における火山噴出物の化学組成の分析は、李商萬 (1966)・元鐘寬 (1975) および李文遠、(1982) によって既に報告されている。一方、萬丈窟の溶岩石柱に関する成分分析 (蛍光 X 線分析による分析値) は沢ほか (1989) と沢ほか (1996) によって報告されている (Table 3)。さらに、表善里玄武岩である萬丈窟の溶岩ブリッジに関する成分分析 (蛍光 X 線分析による分析値) は沢 (1999)、沢・井上 (1999)、沢・川村 (2000) と沢・井上・河野 (2000) によって報告されている。

富士火山における洞窟内の火山噴出物の SiO_2 組成範囲は、48.0 (八幡穴洞窟) ~ 51.3 (須走胎内洞窟) wt.% であり、濟州火山島における火山噴出物の SiO_2 組成範囲は、41.20 ~ 66.31 wt.% で、さらに、萬丈窟の溶岩 (沢・井上、1990・1996・1999・2000) の SiO_2 組成範囲は、50.99 wt.% である。富士火山と濟州火山島

Table 3 济州道、ケンセンイ窟を含む溶岩洞窟の蛍光X線分析値
(XRF Analysis Data of Lava Cave included Gaengsaengi-gul Cave, Jeju Volcanic Island)

組成	萬丈窟洞窟系 ²⁾					西帰浦 ²⁾		翰林溶岩樹型 ²⁾		挟才窟洞窟系 ³⁾				济州溶岩洞窟	
	溶岩石柱	溶岩橋1F	溶岩橋2F	溶岩橋3F	ケウセツ窟	ケンセンイ窟	堅型	横臥型	挟才窟	双龍窟	黄金窟	昭天窟	最小値	最大値	
SiO ₂	50.99	50.60	53.10	52.60	44.87	48.80	47.50	47.40	47.50	46.20	48.70	47.20	44.87	53.10	
TiO ₂	2.15	1.93	1.79	1.74	3.01	2.50	2.58	2.58					1.74	3.01	
AlO ₃	15.17	14.40	14.30	14.30	17.56	13.96	14.40	14.60	19.30	19.80	18.80	18.50	13.96	19.80	
Fe ₂ O ₃ ¹⁾	12.56	12.40	12.40	12.40	12.91	12.21	12.60	12.60	10.80	11.70	10.70	12.30	10.70	12.91	
MnO	0.16	0.16	0.15	0.15	0.14	0.16	0.16	0.16					0.14	0.16	
MgO	6.15	6.39	6.23	6.89	4.82	7.55	8.63	8.57	8.80	9.10	7.80	9.30	4.82	9.30	
CaO	8.06	9.59	8.85	8.84	8.26	8.99	9.12	9.13	6.80	6.20	7.50	6.20	6.20	9.59	
Na ₂ O	3.27	3.71	2.64	2.54	2.67	2.88	2.95	2.93	3.20	3.40	3.10	3.50	2.54	3.71	
K ₂ O	1.04	0.63	0.38	0.36	0.64	1.22	1.54	1.48	0.80	0.70	0.70	0.60	0.36	1.54	
P ₂ O ₅	0.30	0.20	0.16	0.18	0.53	0.44	0.51	0.60					0.16	0.60	
	経法論集36・76、洞窟20・21、日本洞窟学会15・21	経法論集36・76、洞窟20・21、日本洞窟学会29、	経法論集76、KOFST99、日本洞窟学会29、	経法論集76	経法論集予定	経法論集86	経法論集79	経法論集79	経法論集79	韓国洞窟大観	洪始煥著				

1) Total Iron as Fe₂O₃, 2) Sawa and Others, 3) Hong

における火山噴出物の SiO_2 組成範囲を比較した。その結果、翰林溶岩樹型試料の SiO_2 は、最小含有量の47.40wt.%で玄武岩質（塩基性岩）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 ）は13.19~25.20wt.%の範囲である。GCの Al_2O_3 の含有率は富士火山や済州火山島の噴出物から比較すれば、平均値よりやや小さい値である。

6.3 含有鉱物および考察

一般に溶岩洞窟と呼ばれているものには、玄武岩に形成されることが圧倒的に多く、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、富士山地域の溶岩樹型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。定性分析や結晶構造を判定するにはJCPDSを参照する。定性分析結果を記載したGC鉱物は、次のとおりである。斜長石はJCPDSのNo.09-0465によるとAnorthite・三斜晶系、カンラン石はJCPDSのNo.31-0795によるとForsterite・斜方晶系および灰長石はJCPDSのNo.18-1202によるとAnorthite・三斜晶系である。これらの造岩鉱物は、富士火山における青木ヶ原や柏原溶岩樹型と似ているが、萬丈窟の溶岩柱と溶岩橋のケースとは異なっている。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が考えられる。

6.4 ケイ酸と斑状組織との関係

ケイ酸の含有率を基準として、アルカリ性（ $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ）、カリウム（ K_2O ）、有色鉱物および斑状組織との関係を解析してみよう。ケイ酸の含有率とアルカリ性の関係は、（ $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ）が多くなるとそれぞれの物性が異なってくる事が分かる。火山・溶岩洞窟にあるケイ酸の含有率は、約45（玄武岩）~53（玄武岩質安山岩）wt.%の範囲である。その結果、Table 4のような関係が得られる。

ケイ酸の含有率と斑状組織との関係を分類できる。玄武岩には、性質は苦鉄質・塩基性である。GCを形成しているケイ酸の含有率は、約48.80wt.%であ

Table 4 成分 SiO_2 に対する噴火との関係、造岩鉱物、温度および粘性
(Relation between SiO_2 Composition VS, Rock-Forming Minerals, Temperature and Viscous)

SiO_2 (wt.%)	Eruption	Rock-Forming Minerals (深度)	Temperature	Viscous
45~52	極小噴火	玄武岩質・深い	高い温度 (1200°C)	低い粘性
57~67	小噴火	安山岩質・浅い	中間温度 (1000~1200°C)	中間粘性
69~	大噴火	流紋岩質・浅い	低い温度 (800~1000°C)	高い粘性

ることから解釈すれば、マグマ溜りの深度が大きく、低い粘性をもった玄武岩質の噴火であり、1200°C程度であると考えられる。

6.5 ケイ酸とアルカリ成分 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) との関係

濟州火山島における火山噴出物の ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 組成範囲と平均値は2.30~13.03wt.%と6.26wt.%で、ハワイのキラウエアや富士火山より広い範囲である。濟州火山の溶岩洞窟の ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 組成範囲と平均値は2.90~4.49wt.%と3.91wt.%で、濟州火山島より狭い範囲で、小さい平均値で、玄武岩質である。

ケイ酸とアルカリ成分との関係を究明するため、**Table 3** と **Fig. 10** は、横軸に SiO_2 (wt.%)、縦軸に ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) (wt.%) をとり、それぞれの溶岩の化学組成 (Miyashiro, 1978 ; R.W.Le Maitre, 1938) をプロットした。**Fig. 10** 上図は濟州火山島における全体の成分である。図中2本の境界線は KUNO (1966) によるものでアルカリ玄武岩 (A線) と非アルカリ玄武岩 (AH線) である。すなわち、AH線は非アルカリ玄武岩系で、A線はアルカリ玄武岩系である。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。**Fig. 10** 下図は濟州火山島の溶岩洞窟を含めた GC の成分である。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、GC は高アルミナ玄武岩であることが分かる。横軸に SiO_2 (X: wt.%)、縦軸に ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) (wt.%) から回帰方程式と決定係数として与えられる。

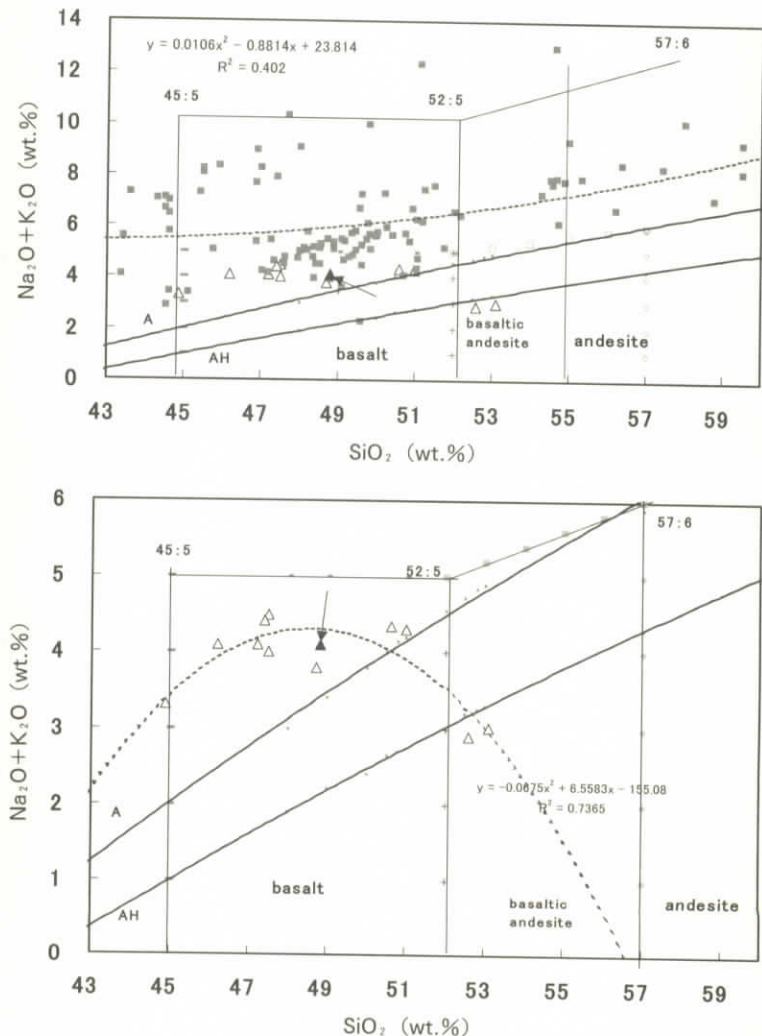


Fig. 10 濟州島の溶岩洞窟をつくる溶岩 (上图) とケンセンイ窟をつくる溶岩 (下图) におけるケイ酸とアルカリ性との関係【Plot of SiO_2 vs. $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ contents of Lava in Jeju Volcanic Island (Upper Figure) and Lava Cave included Gaengsaengi-gul Cave (Lower Figure). Chemical Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks using the Total Alkali Versus Silica (TAS) Diagram (after Le Bas et al., 1986, Fig.2). The Letter A denotes for Alkali Basalt Rock-Series; AH, High Alumina-Basalt Rock-Series; X-Indicate and Solid Triangle Square Rocks from GC. The Thick Vertical Lines indicate the Equivalent Position of the Fields in the TAS Diagram】

$$Y(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) = -0.01X^2 - 0.88X + 3.81X \cdots \cdots (R^2 = 0.402)$$

(島全体)…… (1)

$$Y(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) = -0.07X^2 + 6.56X - 155.08X \cdots \cdots (R^2 = 0.737)$$

(島内洞窟)…… (2)

GC を含む洞窟は三角形表示である。GC は高アルミナ玄武岩で双曲線の中央にある。GC のアルカリ性は、ケイ酸が多くなると多くなり、それから減少の傾向である。島内洞窟の決定係数は、島全体より大きい。

6.6 ケイ酸と酸化カリウムとの関係

濟州火山島の火山噴出物の (K_2O) 組成範囲と平均値は 0.05~5.63wt.% と 2.06 wt.% で、ハワイのキラウエアや富士火山より広い範囲である。濟州火山島の溶岩洞窟の K_2O 組成範囲と平均値は 0.36~1.54wt.% と 0.84wt.% で、濟州火山島より狭い範囲で、小さい平均値である (*Table 3*)。ケイ酸と酸化カリウム成分との関係を究明するため、*Fig. 11* は、横軸に SiO_2 (X : wt.%)、縦軸に K_2O (Y : wt.%) をとり、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 ; R. W. Le Maitre, 1938 に基づいている。 *Fig. 11* の上図と下図は濟州火山島の全体と洞窟の成分である、多くは高いカリウム成分である。この関係は次のような回帰方程式と決定係数として与えられる。

$$Y(\text{K}_2\text{O}) = -0.01X^2 - 0.58X + 13.2X \cdots \cdots (R^2 = 0.649) \quad (\text{島全体}) \cdots \cdots (3)$$

$$Y(\text{K}_2\text{O}) = -0.03X^2 + 3.33X - 79.6X \cdots \cdots (R^2 = 0.411) \quad (\text{島内洞窟}) \cdots \cdots (4)$$

濟州火山島における噴出物の広い範囲では、 X の SiO_2 が多くなるにつれ、 Y の酸化カリウムも増大の傾向である。一方、濟州火山島における溶岩洞窟の成分のみをプロットしたのが *Fig. 11* 下図である。

GC の K_2O 組成は、回帰曲線の値と近い酸化カリウム成分である。GC の酸化カリウム成分は、 SiO_2 組成とアルカリ成分 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 組成と同様に似たような特徴を有する。下図における上の線は high-K と medium-K の境界

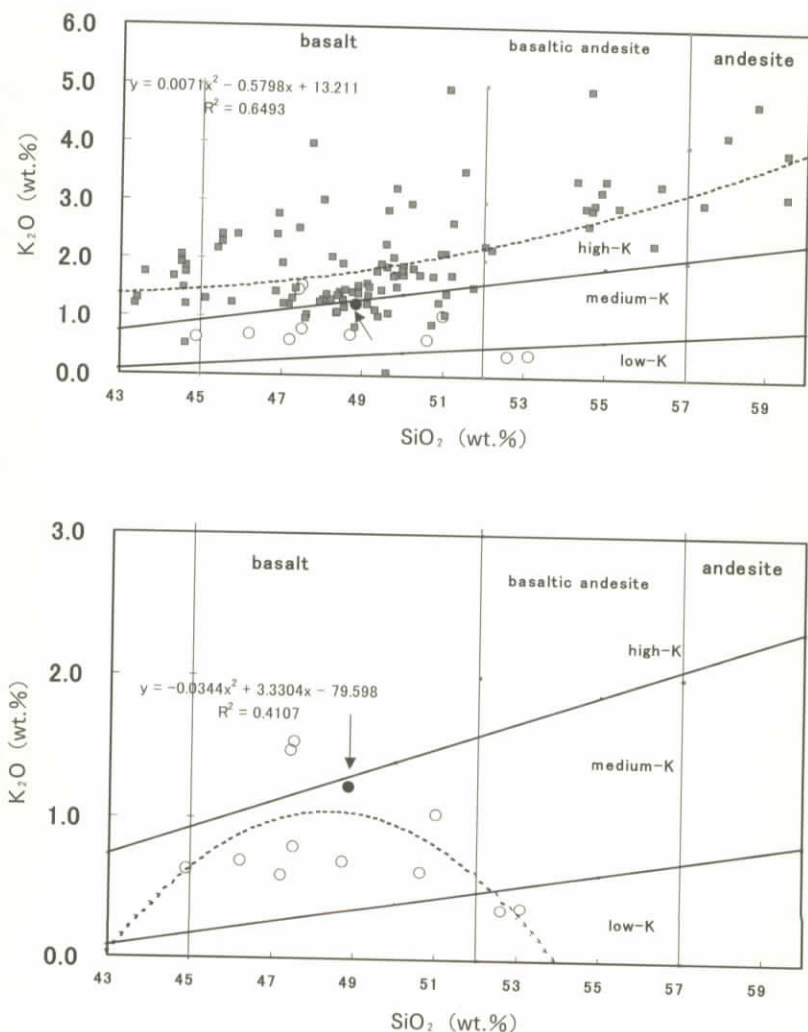


Fig. 11 濟州道の溶岩洞窟を含む火山噴出物 (上図) とケンセンイ窟を含む溶岩洞窟 (下図) におけるケイ酸と酸化カリウムとの関係

【Plot of SiO_2 vs. K_2O contents of Lava in Jeju Volcanic Island (Upper Figure) and Lava Cave included Gaengsaengi-gul Cave (Lower Figure). Division of Basalts (with SiO_2 大48%, Basaltic Andesites and Andesites in Low-K, Medium-K and High-K Types. Note that High-K is NOT Synonymous with Potassic. Solid Circle Rocks from GC. The Thick Vertical Lines indicate the Equivalent Position of the Fields in the TAS Diagram】

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。**Fig. 3** における横軸52(wt.%)を基準線として、その以下は玄武岩であり、その以上は玄武岩質安山岩である。

境界線は、Miyashiro(1978) ; R.W.Le Maitre (1938) に基づいている。GC は medium-K の高アルミナ玄武岩であることが high-K に近いことが理解できる。この関係は次のような回帰方程式と決定係数として与えられる。GC は medium-K の高アルミナ玄武岩であることが high-K に近いことが理解できる。GC は、双曲線の中央にある。GC の酸化カリウムは、ケイ酸が多くなると多くなり、それから減少の傾向である。

6.7 ケイ酸と有色鉱物 ($MgO \cdot Fe_2O_3 \cdot CaO$) との関係

濟州火山島における火山噴出物の MgO (wt.%)組成範囲と平均値は0.00~10.61と4.73である。 Fe_2O_3 (wt.%)組成範囲は0.67~14.24と5.50で、富士火山より広い範囲であり、平均値より多い含有率である。 CaO (wt.%)組成範囲と平均値は1.07~12.76と7.25である(**Table 3**)。一方、富士火山における火山噴出物の Fe_2O_3 (wt.%)組成範囲は1.60~13.70(八幡穴)wt.%である。

島全体のケイ酸と有色鉱物($MgO \cdot Fe_2O_3 \cdot CaO$)成分との関係を究明するため、**Fig. 12** は、横軸に SiO_2 (X:wt.%)、縦軸に ($MgO \cdot Fe_2O_3 \cdot CaO$)(Y:wt.%)をとり、それぞれの溶岩の化学組成をプロットした。この関係は次のような回帰方程式と決定係数として与えられる。

$$Y(MgO) = -0.01X^2 + 0.80X - 8.27X \cdots (R^2 = 0.418) \quad (\text{島全体}) \cdots (5)$$

$$Y(Fe_2O_3) = 0.02X^2 - 2.27X - 71.93X \cdots (R^2 = 0.148) \quad (\text{島全体}) \cdots (6)$$

$$Y(CaO) = -0.01X^2 + 0.70X - 3.41X \cdots (R^2 = 0.636) \quad (\text{島全体}) \cdots (7)$$

上図にある濟州火山島における GC 有色鉱物成分は、回帰方程式線より多い。濟州火山島の噴出物の広い範囲では、ケイ酸が増大するにつれ、 MgO と CaO の成分は同様に減少の傾向であるが、 Fe_2O_3 は異なった傾向である。

濟州火山島における溶岩洞窟の MgO (wt.%)組成範囲と平均値は4.82~9.30

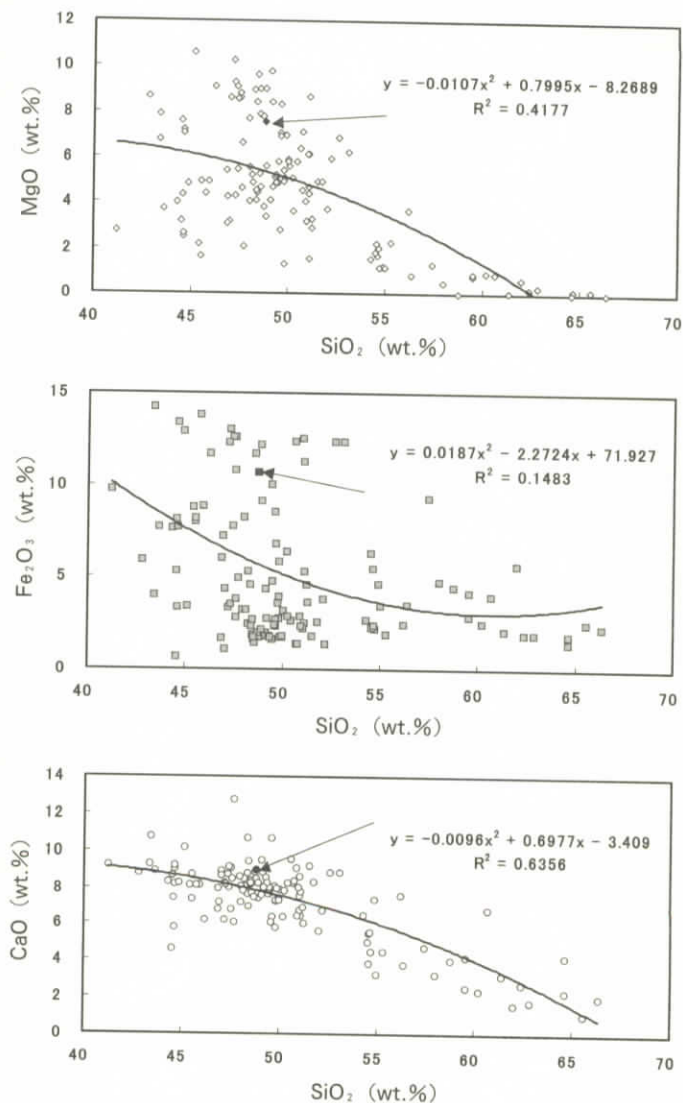


Fig. 12 済州道の溶岩洞窟を含む火山噴出物におけるケイ酸と有色鉱物 (MgO, Fe₂O₃ と CaO) との関係

【Plot of SiO₂ vs. the Colored Mineral (MgO, Fe₂O₃ and CaO) in a Volcanic Product including the Lava Cave, Jeju Volcanic Island】

と7.52である。Fe₂O₃(wt.%)組成範囲は10.70~12.91と12.13で、富士火山より広い範囲であり、平均値より多い含有率である。CaO(wt.%)組成範囲と平均値は6.20~9.59と8.13である。一方、富士火山における火山噴出物のFe₂O₃(wt.%)組成範囲は1.60~13.70(八幡穴)wt.%である。

GCを含む洞窟全体のケイ酸と有色鉱物(Fe₂O₃・MgO・CaO)成分との関係を究明するため、Fig. 13は、横軸にSiO₂(X:wt.%)、縦軸に(Fe₂O₃・MgO・CaO)(Y:wt.%)をとり、それぞれの溶岩の化学組成をプロットした。横軸にSiO₂(X:wt.%)、縦軸に(Fe₂O₃・MgO・CaO)(Y:wt.%)をとり、それぞれの溶岩の化学組成をプロットした。この関係は次のようなと回帰方程式と決定係数として与えられる。

$$Y(\text{Fe}_2\text{O}_3) = -0.13X^2 + 12.15X - 286.12X \cdots (R^2 = 0.413) \text{ (島内洞窟)} \cdots (8)$$

$$Y(\text{MgO}) = 0.05X^2 - 4.54X - 123.04X \cdots (R^2 = 0.171) \text{ (島内洞窟)} \cdots (9)$$

$$Y(\text{CaO}) = -0.001X^2 + 0.10X + 0.65X \cdots (R^2 = 0.203) \text{ (島内洞窟)} \cdots (10)$$

GCのMgOは回帰方程式線より少なく含有量で、ケイ酸が増大するにつれ増大し、それから減少の傾向である。GCのFe₂O₃は回帰方程式線より多い含有量で、ケイ酸が増大するにつれ減少し、それから増大の傾向で決定係数が大きい。GCのCaOは回帰方程式線より多い含有量で、ケイ酸が増大するにつれ増大の傾向である。

6.8 ケイ酸と鉱物(TiO₂・Al₂O₃)との関係

濟州火山島の火山噴出物のTiO₂(wt.%)組成範囲と平均値は0.00~3.57と1.76で、GCの含有量は平均値に近い値である。Al₂O₃(wt.%)組成範囲は13.19~25.20と17.52で、GCの含有量は最小値に近い値である(Table 3)。ケイ酸と鉱物(TiO₂・Al₂O₃)成分との関係を究明するため、Fig. 14は、横軸にSiO₂(X:wt.%)、縦軸に(TiO₂・Al₂O₃)(Y:wt.%)をとり、それぞれの溶岩の化学組成をプロットした。この関係は次のようなと回帰方程式と決定係数として与えられる。

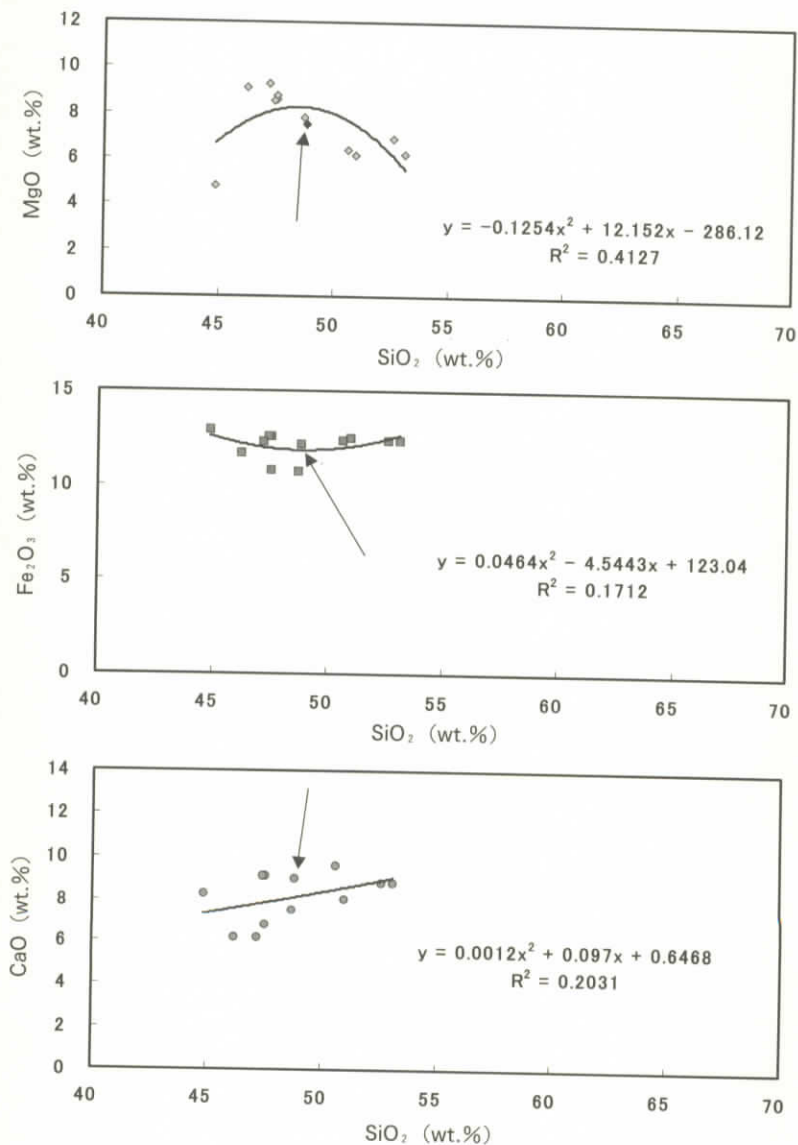


Fig. 13 濟州道のケンセンイ窟を含む溶岩洞窟におけるケイ酸と有色鉱物 (MgO, Fe₂O₃とCaO) との関係
 【Plot of SiO₂ vs. the Colored Mineral (MgO, Fe₂O₃ and CaO) in the Lava Cave, Jeju Volcanic Island】

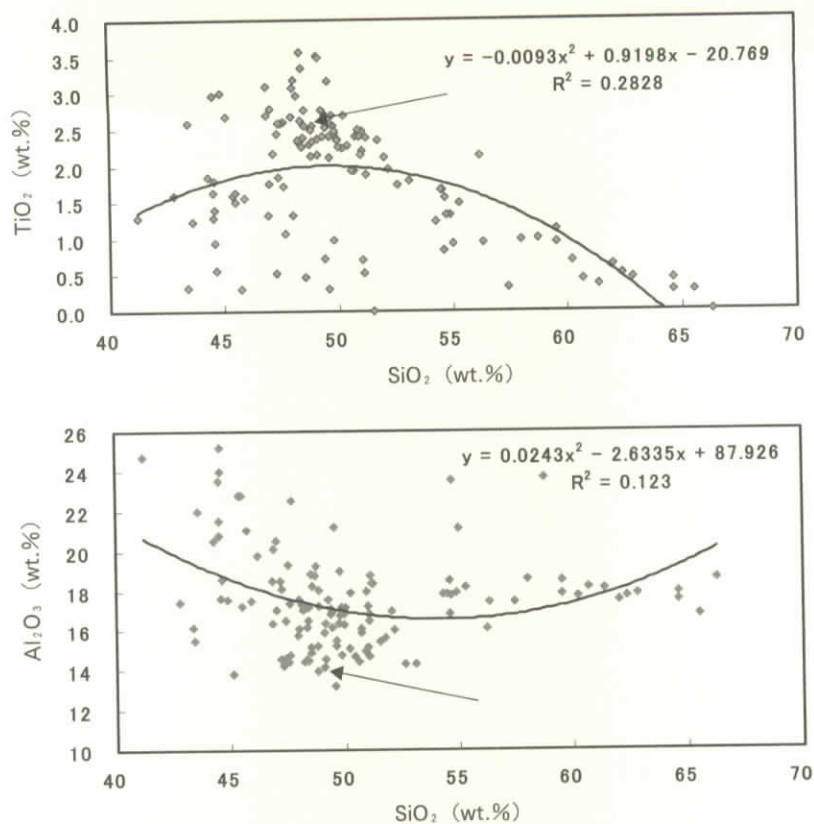


Fig. 14 濟州道の溶岩洞窟を含む火山噴出物におけるケイ酸と鉱物 (TiO₂ と Al₂O₃) との関係

【Plot of SiO₂ vs. the Mineral (TiO₂ and Al₂O₃) in a Volcanic Product including the Lava Cave, Jeju Volcanic Island】

$$Y(\text{TiO}_2) = -0.01X^2 + 0.92X - 20.77X \cdots \cdots (R^2 = 0.283) \quad (\text{島全体}) \cdots \cdots (11)$$

$$Y(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0.02X^2 - 2.63X - 87.93X \cdots \cdots (R^2 = 0.123) \quad (\text{島全体}) \cdots \cdots (12)$$

上図にある濟州火山島のGC無色鉱物成分は、回帰方程式線より多い。濟州火山島の噴出物の広い範囲では、ケイ酸が増大し、それから減少の傾向である。Al₂O₃の成分はTiO₂と逆の傾向である。

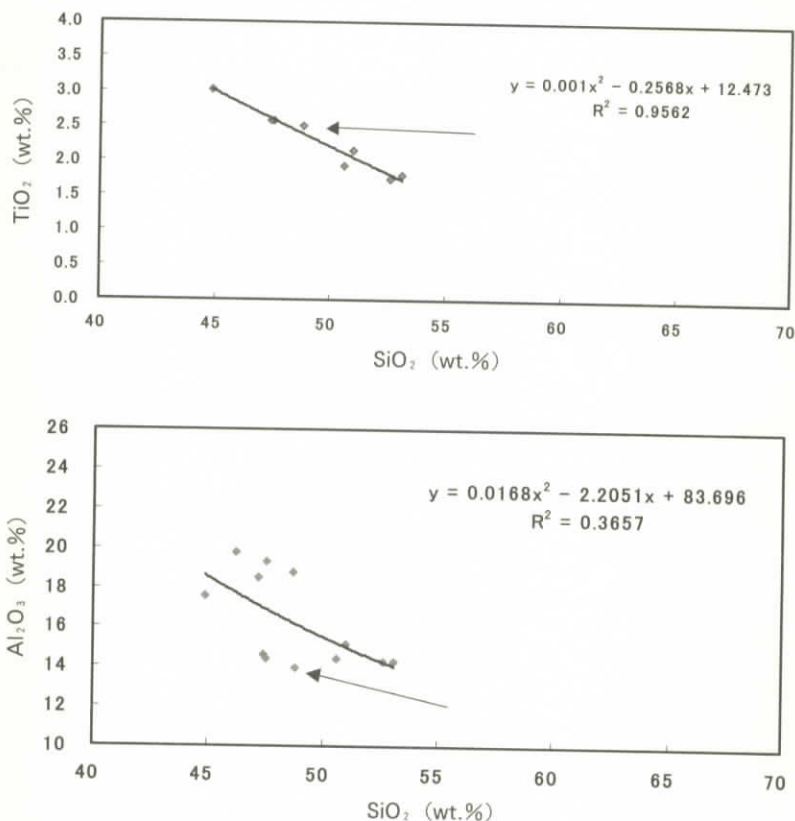


Fig. 15 濟州道のケンセンイ窟を含む溶岩洞窟のケイ酸と無色鉱物 (TiO₂ と Al₂O₃) との関係
 【Plot of SiO₂ vs. the Colorless Mineral (TiO₂ and Al₂O₃) in a Volcanic Product including the Lava Cave, Jeju Volcanic Island】

濟州火山島の溶岩洞窟の TiO₂(wt.%)組成範囲と平均値は1.74~3.01と2.28である。Al₂O₃ (wt.%)組成範囲は13.96~19.80と16.26である。ケイ酸と有色鉱物(Fe₂O₃・MgO・CaO)成分との関係を究明するため、**Fig. 15**は、横軸にSiO₂(X:wt.%)、縦軸に(TiO₂・Al₂O₃)(Y:wt.%)をとり、それぞれの溶岩の化学組成をプロットした。この関係は次のような回帰方程式と決定係数として与えられる。

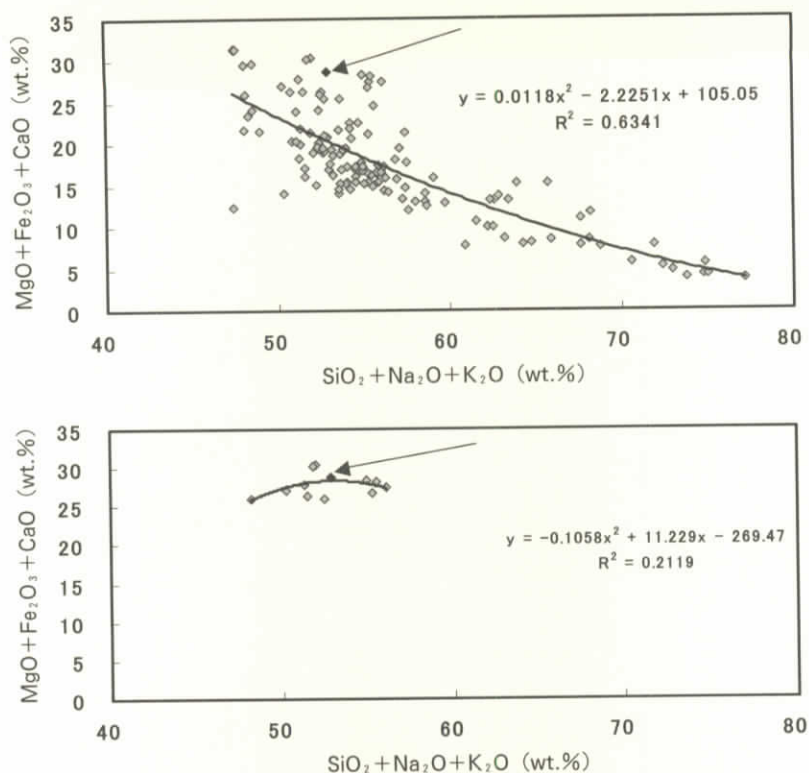


Fig. 16 濟州道の有色鉱物(MgO+Fe₂O₃+CaO)と無色鉱物(SiO₂+Na₂O+K₂O)との関係。溶岩洞窟を含む火山噴出物(上図)とケンセンイ窟を含む溶岩洞窟(下図)【Plot of Color Minerals (MgO+Fe₂O₃+CaO) vs. Colorless Minerals (SiO₂+Na₂O+K₂O), the Lava Cave containing a Volcanic Product including a Lava Cave (above figure), and Lava Cave included Gaengsaengi-gul Cave (the following figure), Jeju Volcanic Island】

$$Y(\text{TiO}_2) = 0.001X^2 - 0.26X + 12.47X \cdots (R^2 = 0.956) \quad (\text{島内洞窟}) \cdots (13)$$

$$Y(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0.017X^2 - 2.21X + 83.70X \cdots (R^2 = 0.366) \quad (\text{島内洞窟}) \cdots (14)$$

GC の TiO₂ と Al₂O₃ は回帰方程式線より多い含有量で、ケイ酸が増大するにつれ、減少の傾向である。TiO₂ の決定係数は Al₂O₃ より大きく、信頼性が高いことが確認された。

6.9 無色鉱物と有色鉱物との関係

無色鉱物($\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)と有色鉱物($\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$)との関係を検討した。**Fig. 16**の上図と下図は、それぞれ濟州火山島の全体成分とGCを含む洞窟である。無色鉱物と有色鉱物の成分との関係を究明するため、横軸に無色鉱物($\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)(X:wt.%)、縦軸に有色鉱物($\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$)(Y:wt.%)をとり、それぞれの溶岩の化学組成をプロットした。この関係は次のような回帰方程式と決定係数として与えられる。

$$Y_1 = 0.01X^2 - 2.23X + 105.05X \cdots \cdots (R^2 = 0.634) \quad (\text{島全体}) \cdots \cdots (15)$$

$$Y_2 = -0.11X^2 + 11.23X - 269.47X \cdots \cdots (R^2 = 0.212) \quad (\text{島内洞窟}) \cdots \cdots (16)$$

Fig. 16の上図と下図の式は、式(15)と式(16)である。上図では無色鉱物が増大するにつれ、有色鉱物は減少の傾向である。上図ではGCを含む洞窟の無色鉱物の含有率(48~58wt.%)は、有色鉱物の含有率が最大になっている。周期律表から見ると、無色鉱物のナトリウムとカリウムおよび有色鉱物のマグネシウムとカルシウムが共にaに属している。無色鉱物の含有量が多いのはケイ酸が多く含まれているからである。島全体の決定係数は洞窟より大きく、信頼性が高いことが確認された。

6.10 回帰方程式と決定係数

濟州火山島の溶岩とGCの造洞層を含む洞窟の含有鉱物について、回帰方程式と決定係数を確認した。まず、濟州火山島の溶岩の成分分析値から回帰分析を行った(**Table 5**)。ケイ酸が増大するにつれ、($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)と K_2O は増大の傾向であり、決定係数は0.4以上である。ケイ酸が増大するにつれ、有色鉱物($\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$)成分は減少の傾向であり、決定係数は0.15~0.64の範囲である。ケイ酸が増大するにつれ、 TiO_2 成分は増大し、それから減少の傾向であり、 Al_2O_3 成分は逆の傾向である。

次に、濟州火山島のGCを含む溶岩洞窟の回帰分析を行った。ケイ酸が増大するにつれ、CaOは増大の傾向であり、決定係数は0.2以上である。ケイ酸が

Table 5 済州火山島の噴出物と溶岩洞窟、ケイ酸対回帰方程式と決定係数
(The Recurrent Equations and Determination Factors of Lava Composition in Cave and its Environs, Jeju Volcanic Island)

	内 容	回帰方程式 $Y = AX^2 - BX + C$	決定係数 (R^2)
1	Fig.10 SiO ₂ 対アルカリ性 (島全体)	$Y = 0.01X^2 - 0.88X + 23.81$	0.402
2	Fig.10 SiO ₂ 対アルカリ性(島内洞窟)	$Y = -0.07X^2 + 6.56X - 155.08$	0.737
3	Fig.11 SiO ₂ 対K ₂ O (島全体)	$Y = 0.01X^2 - 0.58X + 13.21$	0.649
4	Fig.11 SiO ₂ 対K ₂ O (島内洞窟)	$Y = -0.03X^2 + 3.33X - 79.60$	0.411
5	Fig.12 SiO ₂ 対MgO (島全体)	$Y = -0.01X^2 + 0.80X - 8.27$	0.418
6	Fig.12 SiO ₂ 対Fe ₂ O ₃ (島全体)	$Y = 0.02X^2 - 2.27X + 71.93$	0.148
7	Fig.12 SiO ₂ 対CaO (島全体)	$Y = -0.01X^2 + 0.70X - 3.41$	0.636
8	Fig.13 SiO ₂ 対MgO (島内洞窟)	$Y = -0.13X^2 + 12.15X - 286.12$	0.413
9	Fig.13 SiO ₂ 対Fe ₂ O ₃ (島内洞窟)	$Y = 0.05X^2 - 4.54X + 123.04$	0.171
10	Fig.13 SiO ₂ 対CaO (島内洞窟)	$Y = 0.001X^2 + 0.10X + 0.65$	0.203
11	Fig.14 SiO ₂ 対TiO (島全体)	$Y = -0.01X^2 + 0.92X - 20.77$	0.283
12	Fig.14 SiO ₂ 対Al ₂ O ₃ (島全体)	$Y = 0.02X^2 - 2.63X + 87.93$	0.123
13	Fig.15 SiO ₂ 対TiO (島内洞窟)	$Y = 0.001X^2 - 0.26X + 12.47$	0.956
14	Fig.15 SiO ₂ 対Al ₂ O ₃ (島内洞窟)	$Y = 0.017X^2 - 2.21X + 83.70$	0.366
15	Fig.16 無色鉱物有色鉱物 (島全体)	$Y = 0.01X^2 - 2.23X + 105.05$	0.634
16	Fig.16 無色鉱物有色鉱物(島内洞窟)	$Y = -0.11X^2 + 11.23X - 269.47$	0.212

増大するにつれ、TiO₂とAl₂O₃成分は減少の傾向であり、Al₂O₃成分は逆の傾向であり、決定係数は0.96と0.37である。ケイ酸が増大するにつれ、(Na₂O+K₂O)、K₂O、MgO成分は増大し、それから減少の傾向であり、Fe₂O₃成分は逆の傾向である。

7. おわりに

側噴火による洞窟であるピットケイブの形態分析を行った。リフトケイブと同様に溶岩が側噴火口からドレンチバックして空洞ができたものと考えられる。GCの造洞層は、濟州島の地質図(姜相培、1988)から下孝里玄武岩、濟州火山類の噴出順序(李文遠、1982)から考察すれば、第4期(更新世中期)から第3・前期になる。

GCの分析と考察の結果、以下のことが分かった。

- 1) SiO_2 の含有率について、GCは48.80wt.%で、玄武岩(塩基性岩)である。
- 2) GCの SiO_2 含有率は、萬丈窟洞窟系の溶岩柱、溶岩橋より少なく、挾才窟洞窟系や翰林溶岩樹型より大きい。
- 3) GCの $\text{TiO}_2 \cdot \text{MnO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 含有率は、 SiO_2 含有率と逆で、萬丈窟洞窟系の溶岩柱、溶岩橋より大きく、挾才窟洞窟系や翰林溶岩樹型より小さい。
- 4) GCの Al_2O_3 含有率は、萬丈窟洞窟系、挾才窟洞窟系や翰林溶岩樹型より小さい。
- 5) GCの Fe_2O_3 含有率は、挾才窟洞窟系より大きく、萬丈窟洞窟系や翰林溶岩樹型より小さい。
- 6) GCは、 SiO_2 とアルカリ性の関係から高アルミナ玄武岩であることが確定できた。濟州火山島の萬丈窟(沢ら、1990)、白頭山の鹿蹄洞(沢ら、1996)の溶岩洞窟は玄武岩である。一方、萬丈窟にある溶岩橋を除くと、濟州火山島の噴出物や洞窟は、高アルミナ玄武岩である。これらは、環日本海玄武岩の共通した特徴である。

謝 辞

この調査は、2001年9月8日に実施した。参加者は、表記の報告者のほか、溝上瑛教授・濟州文化放送取材班を含め28名であった。本研究は大阪経済法科大学研究補助金による成果である。試料分析にあたっては(株)リガクの中村和

樹氏に多くのご協力を頂いた。関係各位に感謝の意を表します。富士山火山洞窟学研究会の小川孝徳名誉会長には世界のピットケイブの資料、CG洞窟を紹介していただいた駐大阪韓国領事館の金国男前副総領事、濟州文化放送(MBC)の呉夷堦局長・宋昌佑部長、さらにデータ処理を手伝っていただいた藤田浩史、上原章弘と肥塚義明君に深謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) S.M. Lee 「Volcanic Rocks in Jeju Island」 J. Geological Society of Korea 2/, 1-7 1966年
- 2) 小川孝徳『富士総合学術調査報告書』（財）堀内浩庵会120-128 1971年
- 3) 元鐘寛「濟州島の形成過程と火山活動に関する研究」建国大学校地学論集, 1/, 7-48 1975年
- 4) A. Miyashiro 「Nature of Alkali Volcanic Rock Series」.Contrib. Mineral. Petrol 66/, 94-104 1978年
- 5) R. W. Le Maitre 『A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms』 Blackwell Scientific Publications 1978年
- 6) M.W. Lee 「Petrology and Geochemistry of Jeju Volcanic Island, Korea」 The Science Reports of the Tohoku University Series III 15/, 177-250 1982年
- 7) K.J.Won, J.I.Matsuda, K.Nagao, K.H.Kim and M.W.Lee 「Paleomagnetism and Radiometric Age of Trachytes in Jeju Island, KOREA」 J.K.I.M.G 19/, 25-33 1986年
- 8) 沢勲・片山佐一「濟州火山島における萬丈窟双子石柱の化学分析」大阪経済法科大学論集 36/, 1-26 1989年
- 9) 沢勲・高文玉「Fundamental Parameter 法による萬丈窟の溶岩双子石柱の蛍光X線分析」洞窟 20/, 29-62 1989年
- 10) 沢勲「Fundamental Parameter 法による萬丈窟溶岩石柱の蛍光X線分析」洞窟 22/, 17-56 1990年
- 11) 沢勲・村田守・洪始煥「大韓民国萬丈窟双子溶岩石柱についての二、三の

- 知見」日本洞窟学会誌 15/,42- 46 1990年
- 12) KUNO, H 「Lateral Variation of Basalt Magma Type Across Continental Margins and Island Area」. Bull. Volcanol.,(2), 29/,195-222 1996年
 - 13) 沢勲・村田守・河野久征「白頭山の鹿蹄洞と濟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 1996年
 - 14) 国立中央青年の家『富士山周辺の地質と自然』国立中央青年の家 1996年
 - 15) 沢勲・井上久・立原弘「富士火山の柏原と青木ヶ原溶岩樹型の成分比較」洞窟学雑誌 23/,39-45 1998年
 - 16) 沢勲「Quantitative Analysis and K-Ar Age Determination of a Lava Bridge in Manjang-gul Cave」KOFST 739-746 1999年
 - 17) 沢勲・井上久「X-ray Fluorescence Analysis and K-Ar Age Determination of a Lava Bridge in Manjang-gul Cave, Korea」洞窟学雑誌 29/,57-63 1999年
 - 18) 沢勲・川村一之「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集集 153-157 2000年
 - 19) 沢勲・井上久・河野久征「X-ray Analysis and K-Ar Age Determination on Lava Bridge n Manjang-gul Cave」大阪経済法科大学論集 76/, 37-56 2000年



写真1 日本・韓国 国際共同研究調査団



写真2 二つの洞口を上から撮影



写真3 洞口から降下する調査団員



写真4 溶岩鍾乳石(上)と子供のコウモリ群

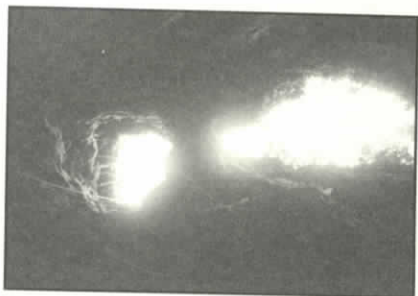


写真5 洞窟の内部から見られる二つの洞口



写真6 天井部にぶらさがっているコウモリ群



写真7 天井部から飛来する親のコウモリ



写真8 崩壊寸前の壁部分



写真9 テレビ記者会見中の傾斜洞の洞床

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...