

한국, 일본, 러시아 용암동굴 형성층의 형광X선 분석과 편광현미경적 연구

XRF Analysis and Polarizing Microscopic Study of the Lava Cave Formation, Korea, Japan and Russia

Isao SAWA*, Katsuhiko FURUYAMA**, Tsuyoshi OHASHI*, Kim Chang-Sik ***
and Naruhiko KASHIMA***3)

ABSTRACT

(1) Kaeusetgul Cave in Kimnyong-Ri, Jeju-Do, Korea.

Kaeuset-gul Cave (KC) is situated in NNE area of the Manjang-gul cave (125m a.s.l.). Kaeuset-gul Cave lies at 126°45'22" E in longitude and 33°33'09" N in latitude. The coast belong Kimnyeong-Ri, Kujwa-eup, Jeju-Do. Altitude of the cave-entrance is 10m and length of the cave is 90m. Lava hand-specimens of KC are studied by X-ray fluorescence analysis (XRF). Average major chemical components of specimens from KC is as follows (wt.%); SiO₂=47.03, TiO₂=3.16, Al₂O₃=18.41, FeO*=13.53, MnO=0.14, MgO=5.05, CaO=8.66, Na₂O=2.81, K₂O=0.67, P₂O₅=0.55 in KC. Polarizing microscopic study indicates that these specimens are described of alkali-basalt.

(2) Tachibori Fuketsu (Cave) in Shizuoka Prefecture, Fuji Volcano, Japan

Tachibori Fuketsu lies attoward 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. Average major chemical components of specimens from cave areas follows (Total 100 wt.%) ; (SiO₂=50.52, TiO₂=1.69, Al₂O₃=15.47, FeO*=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.

(3) Gorely Cave in Kamchatka Peninsula, Russia

Gorely caldera is located at the southeastern part of Kamchatka Peninsula, about 75km southwest of Petropavlovsk- Kamchatskiy. Gorely lava caves are situated in NNE area of Mt. Gorely volcano (1829m a.s.l.). One of lava cave (Go-9612=K-1) lies at 158°00'22" east longitude and 52°36'18" north latitude. The elevation of cave entrance is about 990m a.s.l. and the main cave extends in the NNW direction for about 50m by 15m wide and 5m in depth. The cave of K-3 is near the K-1 cave. Lava hand-specimens K-1 and K-3 caves are studied by X-ray fluorescence analysis and polarizing microscopic observation. Average major chemical components of specimens from these caves are as follows (wt.%) ; (SiO₂=55.12, TiO₂=1.25, Al₂O₃=16.07, T-FeO*=9.41, MnO=0.16, MgO=5.01, CaO=7.21, Na₂O=3.39, K₂O=1.92, P₂O₅=0.45) and these values indicate that the Gorely basaltic andesite belong to high alumina basalt. Polarizing microscopic study indicates that these specimens are described of Augite andesite.

Key words: Lava Cave, Lava Stalactite, Polarizing Microscopic Study, X-ray Fluorescence Analysis
World Congress of Korean Studies-Science&Technology-(Jeju National University) 2006.10.27-30

* Osaka University of Economics and Law

** Osaka City University

*** Jeju College of Technology

1. 서론

한국의 데이터는 제주도에서 실시한 일·한 공동동굴종합학술조사(2001-2003)의 일부이다. 鱒醢굴(KC)은 만장굴 시스템의 일부에 해당하고, 이섬 북동부 해안에 위치한다. 행정상으로는 제주시 구좌읍 김녕리에 속한다. 김녕리 취락의 남동부에 동굴 입구가 있어, 위치는 북위 $33^{\circ}33'09''$ 동경 $126^{\circ}45'22''$ 이다(Map.1). 이 동굴에 관해서는 해안선으로부터 불과 100수십 m 안 되는 위치에 있어, 해식동굴 혹은 용암 동굴과의 복합 동굴인 혐의가 기대 되어 한층 더 해안 용수나 해저 동굴과의 관련성도 흥미롭고, 그러한 점이 이번 조사의 최초의 동기가 되었다.

제주 해협에 걸치는 용암동굴 (해저동굴)의 존재의 가능성이 큰 것이 예측되었다. 조사의 성과와 문제점에 대해서는 벌써, 일본동굴학회(Ohashi외, 2002)에 중간보고를 하였고, 수편의 논문(Ohashi, 2002·과Sawa·Ohashi등, 2002)이 보고한 바 있다.

제2회 현지조사 (2002년 9월)로는, 한층 더 유사 조건을 가지는 해안에 있는 해면 하 용암 동굴 (Kaeuset cave : 개우셋굴) 에 일한 합동 조사를 시도했다. 용암의 채취와 그 형광X선 분석에 의한 조성, 동굴 내 물의 오염 상황을 분명히 하는 목적으로 수질 분석을 시도했다. 거기다가 용암 동굴 주변 지구의 김녕사굴 등과의 관련, 해안 용수와와의 관련, 해안 단구나 이수빈 제열 등과의 관련에 대해 검토했다.

일본의 데이터는, 시즈오카현 후지노미야시, Tachibori Fuketsu (표고 1,170m : 총연장 82m 이상)에 있는 용암 (L) 과 용암고드름석(LS)의 형광X선 분석 과 편광 현미경적 성격에 관한 학술 조사 (2004년 10월 31일)의 일부 이다. Tachibori Fuketsu는 시즈오카현 아와쿠라 2745 번지에 소

재하고, 서구총 용암류(서구총산의 표고 : 1,289m, 위도 $35^{\circ}17'59''$ 경도 $138^{\circ}42'46''$ 의, 위도 $35^{\circ}18'00''$ 경도 $138^{\circ}42'04''$ 위치하고, 표후지 그 린관광주식회사 부지 내에 있다(Map.2).

Tachibori Fuketsu의 편광현미경 관찰은 용암 및 LS의 종단면 (설형)의 외각과 핵(중앙부) 및 횡단면(원형)의 외각과 핵(중앙부) 이다. 그 결과, 우선 형광X선 분석에 의하면 용암은 소래아이트이다. 다음에, 편광 현미경 관찰에 의하면 용암에는 보통 휘석 (Au = Augite)·사장석 (Pl = Plagioclase)·감람석 (Ol = Olivine) 반정이 인정 되어, LS에는 유리·Au·Pl 과 Ol이 인정되고, 양자의 차이가 확인되었다. 또한, 서구총 용암의 화학 조성이 처음으로 밝혀졌다. 또 LS에 대해서는 그 외형·내부 구조, 그리고, 어떻게 성장했는지 등을 모을 수 있었다.

러시아의 데이터는, 캄차카 반도에서 실시한 일·러 공동동굴종합학술조사(2004)의 일부이다. Gorely 화산은 캄차카 주도인 페트로파브로프스 크의 남서 측의, 북위 $52^{\circ}27'$; 동경 $158^{\circ}07'$ 에 위치한다. 직경 13 km × 12 km의 칼데라를 형성 해, 폭발성의 분화를 하는 화산의 타입이다. 용암 동굴 (K-1)은, Gorely 화산의 북북서 방향에 있어, 북위 $52^{\circ}36'18''$; 동경 $158^{\circ}00'02''$ 위치하고 있다(Map.3). 본격적인 학술조사는 행해지지 않지만, BCRA (British Cave Research Association) 는, 1996년에 Kamchatka lava tube의 조사를 실시 해 South Tolbachik 화산에서 12개의 North Gorely 화산에서 14개의 용암동굴의 측량도를 작성하였다.

2. 동굴 주변의 지형·지질 개관

2.1. 한국 제주도 만장굴계의 개우셋굴

제주도는 한반도의 최남단에 위치한다. 제3기

말부터 제4기의 처음에 분출한 현무암으로부터 되는 Hot Spot 형의 화산도이다. 제주도의 화산 활동은 제 3기말에 개시하여 제4기 전반에 주요한 활동은 종식하고 있다. 초기에 유출한 고기의 용암층은 표고 200m 이하의 해안부의 완만한 대지를 만들고 있다. 한편, 제주도의 중앙부에 우뚝 솟는 한국의 최고봉인 한라산 (1950m)은 아스피-테를 관철하는 종 모양(톨로이드) 화산의 특징을 나타내고, 제주도는 시대를 달리하는 화산체의 형성하는 복성화산이다.

제주도의 지질은 현무암으로부터 되어 남부의 일부에 퇴적암을 볼 수 있다. 제주 화산도의 중심으로부터 동북과 서남을 연결하는 선, 서북과 동남을 연결하는 선 및 동서의 중간선으로 구분하면 각각의 지역에 많은 특징을 볼 수 있다. 동서의 중간선의 남쪽과 북측은 각각 기생화산과 많은 동굴이 존재하고 있다. 현재까지 확인되고 있는 용암 동굴 수는 190개 전후이며(Hong, 1987), 그 중 조사가 실시된 것에 대해서는, Sawa-Ogawa-Ohashi-Kashima 등의 보고(2001)에서는 약60개라고 하고 있다(Map.1.).

동굴의 대부분은 북동부의 구좌읍과 북서부의 한림읍 및 애월읍에 집중적으로 분포하고 있다. 만장굴, 협재굴 및 빌레못굴 시스템 등 본도의 대표적인 동굴도 여기에 발달하고 있다. 용암 동굴은 특정의 용암지대 「점성이 작고, 알칼리 현무암층」 안에 형성되고 있어 단위면적 (1km^2) 근처의 동굴 밀도라고 하는 점에서는, 제주도는 아시아지역에서 제 1위이다.

2.2. 일본 시즈오카현 후지노미야시, 후지산의 Tachibori Fuketsu 동굴

시즈오카현, 후지산의 용암 동굴의 분포도는 Map.2와 같다. Tachibori Fuketsu의 용암류(의 암상)는 주로 적갈색을 나타내는 현무암질 화쇄

암에 의해 형성되고 있다. 암석의 육안 검경·검사 결과에 의하면, 서구충 용암류의 용암은 감람석·보통 휘석 현무암이다. Tachibori Fuketsu의 특징은 2차 용암류가 흐른 후에, 형성된 동굴내의 용암의 흐름을 완전하게 확인하는 것이 불가능한 것에 있다. 동굴의 내부는 폭락이 많아, 천정부에서는 급냉각 상을 나타내는 흑색의 광택의 다채로운 타입의 용암과 용암고드름석이 있다. Tsuya (1938)는 후지산의 암석학적 연구를 보고하였고, 한층 더 용암동굴의 형성 모델을 고안(1971) 했다. Tachibori Fuketsu에 관한 보고서에는 Koyama (1990) 형태 구조의 조사가 있다.

Takahashi 외(2003)는 후지화산을 stage1-stage9 정원 자리수이다. 고후지 화산은 stage1-5, 신후지 화산은 stage6-9에 상당한다. 그들은 847개의 분석 데이터를 플롯 하고, 고후지 화산, 신후지 화산의 화학 조성의 특징을 나타냈다. 주된 화학 성분에서는 신 후지화산은 고 후지 화산에 비해, FeO^*/MgO 가 높은 것이 많고, 또, TiO_2 · K_2O , P_2O_5 가 풍부한 특징이 확인되었다. 이 847개의 분석 데이터를 그래프화하여 서구충 용암의 분석치를 도시하였다. 그 결과, 서구충 용암은, 신 후지화산 안에서도 FeO^*/MgO 비가 낮은 측에 있다. 한편, 특히 K_2O · P_2O_5 가 풍부하여 신 후지 화산의 화학 조성의 특징을 가지는 것이 분명해졌다.

2.3. 러시아 캄차카 반도, Gorely 동굴

캄차카 반도 (Kamchatka Peninsula)는, 유라시아 대륙의 동쪽 단부에 위치하는 러시아 연방 캄차카 주에 속하고 있어 주도는 페트로파블로 후스크-캄체트키(Petropavlovsk-Kamchatskiy)이다. 서쪽의 스투진누이 산맥(Shredinnng Ridge -중앙 산맥: 연장 900km) 과 동쪽의 보스토치누이 산맥 (Vostochny Ridge-동부 산맥: 연장 600km)에

분포하고 있어, 약 300개의 휴화산과 29개의 활화산이 존재한다. Map.3.는 Gorely·칼데라의 용암 동굴의 분포만을 타원형의 실선으로 표시하고 있다. 지금까지의 캄차카 반도에 있어서의 용암동굴의 보고에는 다음의 것이 있다.

Yokoyama(1992)는 트르바티크 (Tolbachik) 화산의 1975~1976년에 균열 분화한 현무암 용암 중의 용암동에 입동하고 있다. 후지산 화산동굴 연구회는 1995년 9월에, 뉴 트르바티크 (The New Tolbachinsky) 화산의 남서 산록 (표고 1,199m~340m 부근)의 분석 구열군으로부터 1973년에 유출한 용암류중의 3개의 용암동굴을 조사하고 있다. 오사카 경제법과 대학 “일-러 공동동굴종합학술조사”는 2004년 8월 러시아·암네이 클럽의 협력을 얻어 Gorely 화산의 용암동굴의 조사를 실시했다.

캄차카 반도의 Gorely 동굴 K-1 (Go-9612) 및 K-3 동굴은 용암동굴이며, 빙혈이기도 하다. K-1 동굴은 표고 990m, 길이 55m, 폭약 15m, 깊이 5m, 라바-튜브의 전형적 형태를 세우고 있어 단면은 반원형을 이룬다. 주동의 방향은 북북서의 방향을 나타내고 기울면서 저하하여 동쪽 폭도 커지고 있다. 그 하부에는 유동한 용암류가 침하한 자취나 함몰구가 있어 폭락암괴가 동저에 퇴적한 채로, 동저·동벽·천개부에는 얼음을 볼 수 있다. 용암종유 등의 지물의 발달은 불량이다. 복수의 지동이 인정되어 일련의 동굴 계를 구성해있는 것이라고 생각할 수 있다.

3. 편광 현미경 관찰 및 고찰

3.1. 한국 제주도, 용암 동굴과 용암수형

한국 제주도에 있는 용암동굴과 용암수형의 시료에 대한 편광현미경 관찰 결과는 다음과 같다. 만장굴 산의 용암석주 (Photo.1. 좌측)·용암

교 3F (Photo.1중양의 하단 부)의 시료에는 3종의 반정으로서 감람석·단사회석·사장석이 있고, 빌레못굴 산 (Photo.1. 우측의 상단 부)·소천굴 산 (Photo.1. 중양의 상단 부)·한림읍 산의 용암수형 (Photo.1. 좌측의 하단 부)의 용암에는 감람석·사장석이 확인되었다. 그 결과, 편광현미경 관찰에 의해서, 제주도에 있어서의 동북지방(만장굴)과 서북지방의 반정의 차이가 명백하게 확인할 수 있게 되었다.

3.2. 일본 후지산, Tachibori Fuketsu 산의 용암고드름 석

지금까지 후지산의 용암동굴에 있는 용암고드름 석의 시료 박편의 편광현미경 관찰 결과적으로는 Watanabe·Honma·Miwa (1991)의 보고와 Mitsuke lava tunnel 산의 용암빨대 (횡단면과 종단면)에 대한 보고가 있지만, 용암빨대의 각 부분에 있어서의 광물명은 기재되지 않았다. Tachibori Fuketsu의 용암고드름 석의 특징은 「흑색의 외각 부는 두께 약 10 μ m로 거의 불투명 광물 (Fe-Ti 산화광물로 추정)로부터 구성되어 있다(Photo.2. 좌측). 외각부터 내부에 두께 약 40 μ m까지 (Mantle : 맨틀 부)는 한층 더 안쪽 (핵 부)에 비해 세립이며, 한편 외각 안쪽에서 내부에 수직에 가까운 급각도로 침상의 Pl(사장석), Au(보통 회석)가 성장한다. 또, 맨틀부의 Fe-Ti 산화광물은 핵 부에 비해 미세한 급랭성장의 형태를 이룬다.」는 것이다.

용암고드름 석의 횡단면 (원형 : Photo.2. 중양의 상단 부)과 종단면 (설형 : Photo.2. 우측의 상단 부)의 외각의 특징은, Glass (유리/최상 부), Au (보통회석/상부) 및 Pl (사장석/중양과 하부)을 관찰할 수 있다. 용암고드름 석의 횡단면 (원형 Photo.2. 중양의 하단 부)과 종단면 (설형 : Photo.2. 우측의 하단 부)의 핵의 특징은, Glass

(유리/중앙부), Au (보통회석/중앙부) 및 Pl (사장석/우측)을 관찰할 수 있는 것이다. 용암고드름 석의 맨틀부와 핵 부는 Pl (사장석) 과 Ol (감람석) 를 반정에 가지고 있다. 석기는 Pl (사장석), Au (보통회석), Fe-Ti 산화광물 및 갈색의 Glass로부터 된다. 구성 광물 및 조직에 관해서 용암, 용암고드름 석의 맨틀 부, 핵 부는 같다. 용암고드름 석의 외각은, 지상에서 공중에 비산한 현무암 마그마가 급랭되고 유리(페레-의 눈물, 페레-의 머리카락 등)가 되는데 대해, Fe-Ti 산화광물로부터 되는 것이 확인되었다.

3.3. 러시아 캄차카, Gorely 용암동굴

Gorely산 용암의 편광현미경 관찰 결과는, 반정은 1 ~ 3mm의 자형 ~ 반자형의 사장석, 수 mm 이하의 반자형 ~ 타형의 보통회석으로부터 되는 반장 조직을 하고 있다. 사장석은 집편 쌍정을 이루어, 루대 구조의 현저한 것이 많아, 집반장을 이루는 것도 볼 수 있다. 보통회석은 자형을 이루는 것은 적고, 부정형의 보통회석 만으로의 집반장이나 사장석과 보통회석으로 집반장을 이루는 것을 볼 수 있다.

석기는 인타서탈 조직(전간장 조직)을 이루어, 0.1 ~ 0.3mm정도의 홀쭉한 사장석이나 부정형의 보통회석의 사이를, 갈색의 유리장·입상의 불투명 광물 등이 충전하고 있다. 육안 관찰의 특징은 다공질인 흑색의 암석으로, 수 mm 이하의 백색의 사장석 반정이 눈에 띄는 존재이다(Photo.3. 좌측). 암석명은 보통회석 안산암이라고 인정할 수 있다(Photo.3. 우측) .

4. 전암화학 조성 및 고찰

4.1. 형광X선 분석에 의한 전암화학 조성

제주도에 있어서의 용암성분분석 치에 대해

서, 만장굴 석주(Sawa·Katayama/1989, Sawa·Murata·Hong/1990 및 Sawa/1990), 만장굴의 용암 성분(Sawa·Murata·Kohno/1996) 및 만장굴 용암 교(Sawa·Inoue/1999·2000) 등의 보고가 있다. 제주도에 있어서의 용암(Sawa·Kawamura/2000 과 Sawa 등/2004·2005) 등에 보고되고 있다. 제주도의 동굴 산 화산분출물의 SiO₂ 조성 범위는 47.03 ~ 53.10wt.% 이다.

Tachibori Fuketsu 산 용암의 화학 조성(wt.%)은 Table.1에 나타났다. 이 숫자로 후지산에 있는 용암동굴이라는 비교를 실시했다. Tachibori Fuketsu의 SiO₂ = 50.52(wt.%)는, 후지산의 용암동굴의 평균 암석 치와 같은 정도이다. Tachibori Fuketsu의 TiO₂ = 1.69 `MnO = 0.2 `K₂O = 0.96 과 P₂O₅ = 0.40(wt.%)은, 후지산에 있는 용암동굴의 최대치로 동일한 정도이다.

한편, Tachibori Fuketsu의 Al₂O₃ = 15.47 와 CaO = 9.17(wt.%)은, 후지산에 있어서의 용암동굴의 최소치와 같은 정도이다. 후지산에 있어서의 성분분석 치에 대해서는 지금까지, 주로 용암수형에 대해서는, Sawa·Tachihara(1998) 와 Sawa·Inoue·Ogawa 등(2001) 등의 보고가 있다. 후지산에 있어서의 동굴의 화산분출물의 SiO₂ 조성 범위는, 47.97 ~ 51.27wt.%이다.

캄차카에 있어서 Gorely 용암동굴의 용암분석 치에 대해서는, Sawa·Furuyama·Ohashi·Fujimoto·Kashima·Kuwabara(2006)의 보고도 있다 (Table.1). 화산분출물의 SiO₂ 조성 범위는 50.06 ~ 55.85wt.% 이다.

4.2. 규산과 알칼리 성분과의 관계

규산(Na₂O)과 알칼리(K₂O) 성분과 SiO₂와의 관계는, 알칼리 현무암 계열(A), 고 알칼리 소레아이트(고 알루미늄 현무암) 계열(HT) 과 저 알칼리 소레아이트 계열(LT)의 3개의 범위에 구분

할 수 있다. 제주도에 있어서의 용암동굴 산 용암의 규산(47.03 ~ 53.10wt.%) 과 알칼리 성분(2.90 ~ 4.49wt.%)의 관계에 대해서는, Fig.1 위 그림에 나타내 있다. 그림중의 ●표시는 개우셋굴 산의 용암이다. 제주도에 있어서의 용암은, 알칼리 현무암 계열(A) 과 저 알칼리 소레이이트 계열(LT)에 속하고 있다. 용암동굴은 주로 현무암이다.

후지산의 몇 개의 용암동굴의 성분분석 치는 Table.1에 나타냈다. 이번 분석치를 나타낸 Tachibori Fuketsu 출산의 용암은, 고 알칼리 소레이이트(고 알루미늄 현무암) 계열(HT)에 속한다(Fig.1중앙도). 후지산의 용암은 현무암질로부터 유문암질까지 조성 범위가 넓은 가운데 용암동굴은 주로 현무암에 분포하고 있다. 후지산으로 보여 지는 용암동굴의 용암은 SiO_2 가 증가하는 것에 따라 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)도 증대의 경향이 있다.

캄차카반도 산의 분석치는, 고 알칼리 소레이이트(고 알루미늄 현무암) 계열(HT)에 속한다. 용암의 규산(50.06 ~ 55.85wt.%)과 알칼리 성분(2.86 ~ 5.35wt.%)과의 관계를 고찰했다(Fig.1. 아래 그림). 캄차카반도로 보여 지는 용암의 알칼리 성분은 SiO_2 가 커지는 것에 따라 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)도 커지는 경향이 있다.

4.3. 규산과 산화칼륨 성분과의 관계

규산(Na_2O)과 산화칼륨(K_2O) 성분과의 관계는, high-k, medium-k와 low-k의 3개의 범위로 구분된다. 제주도산의 용암은, 이 3개의 범위(high-k, medium-k와 low-k)에 걸쳐서 있다. 규산(47.03 ~ 53.10wt.%)과 산화칼륨 성분(0.36 ~ 1.54wt.%)의 관계를 비교했다(Table.1과 Fig.2 위 그림). Fig.2 의 그림의 ●표시 ($\text{SiO}_2 = 47.03\text{wt.}\%$ 과 ($\text{K}_2\text{O} = 3.48\text{wt.}\%$)는 개우셋굴 산의 용암이다. 제주도산의 용암은 SiO_2 가 많아지는 것에 따라

산화칼륨이 감소하는 경향이 인정된다.

후지산 산의 용암의 규산과 산화칼륨 성분과의 관계를 구명하기 위해, 규산(47.97 ~ 51.27 wt.%)·산화칼륨 성분(0.52 ~ 0.96wt.%) 그림에, 각각의 용암의 화학 조성을 나타냈다(Table.1과 Fig.2 중앙도). Fig.2 중앙도의 ●표시는 Tachibori Fuketsu산의 용암이다. Tachibori Fuketsu산을 포함한 후지산의 용암동굴의 산화칼륨 성분은 medium-K의 영역인 것을 확인할 수 있었다. Tachibori Fuketsu산의 용암의 산화칼륨 성분(0.94wt.%)에 대해서는 비교한 후지산의 동굴 안에서는 최대치를 나타내고 있다.

캄차카반도의 동굴산 용암의 규산(50.06 ~ 55.85wt.%)과 산화칼륨 성분(0.27 ~ 1.96wt.%)과의 관계를 검토했다. Fig.2밑그림의 ●표시는 Sawa·Furuyama·Ohashi·Fujimoto·Kashima·Kuwabara(2006)에 의한 Gorely 동굴산의 용암이다. Gorely동굴용암의 산화칼륨 성분은 high-k의 영역이다.

한편, Sawa·Furuyama·Ohashi·Fujimoto·Kashima·Kuwabara(2006) 이외의 Tatsumi·Kogiso·Nohda (1995)에 의한 산화칼륨 성분은, 현무암질과 현무암질 안산암의 범위의 low-k의 영역에 있고, SiO_2 가 커지는 것에 따라 K_2O 도 완만하게 커지는 경향을 나타내고 있다.

5. 만장굴 시스템내의 수질 분석 및 고찰

개우셋굴의 성인은 용암동굴이며 해식동굴은 아니다. 그 하부에는 유동한 용암류가 침하한 자취, 동저에는 유수를 볼 수 있다. 남쪽으로 지동 이 있어 연결동이다. 북단은 해면 하 용암동굴인 해저동굴의 가능성이 크다. 수질 분석의 결과로부터 동내수의 수질오염은 거의 인정받지 못한다.

생물학적 산소 요구량(BOD)에 관한 시험 방법과 배수기준은 JIS K 0102와 160(mg/l)이다. 만장굴 동굴 계 내의 수질 시험 분석치는 만장굴 = 26(mg/l) : Sawa(1997), 개우셋굴 = 1(mg/l) : Sawa(2005)이다. 화학적 산소 요구량 (COD) 의 시험 방법과 배수 기준은 JIS K 0102와 160(mg/l)이다. 환경기준은 2(mg/l)이다. COD에 관한 만장굴 동굴 계 내외의 수질 시험 분석치는 만장굴 = 1.5(mg/l) : Sawa(1997), 개우셋굴 = 1.1(mg/l) : Sawa (2005), 동검령리해안 = 1.4(mg/l) : Sawa (2005) 이다. 거기다가 Cu함유량 (배수 기준 3(mg/l)의 0.3 미만), Zn함유량 (배수 기준 5(mg/l)의 0.5 미만), 용해성 Fe함유량과 용해성 Mn함유량 (배수 기준 10(mg/l) 의 1 미만) 및 F 함유량 (배수 기준 8(mg/l) 의 0.01) 미만) 인 것이 확인되었다.

6. 결 론

제주도, 검령리의 개우셋굴의 조동층의 형광 X선분석의 결과는 다음과 같이 요약된다.

개우셋굴 용암의 $TiO_2 \cdot FeO^*$ 와 Al_2O_3 는, Table.1의 값으로는, 최대의 함유율을 나타내고, SiO_2 , MnO와 MgO는 최소의 함유율을 나타내고 있다. 개우셋굴 용암은 SiO_2 와 (Na_2O+K_2O) 의 관계로부터 알칼리 현무암임을 확인하였다.

Tachibori Fuketsu의 용암 형광X선 분석과 용암과 용암고드름 석의 편광현미경 관찰에서 다음과 같은 결과의 요약 얻었다.

첫째, 형광X선 분석으로부터 용암은 고 알루미나현무암이다.

둘째, 편광현미경 관찰로부터 용암에는, 용암고드름 석의 핵 부 모두 반정으로서 Au-Pl과 Ol이 인정된다.

셋째, 용암고드름 석은 조직에 의해 외피·맨

틀·핵으로 나눌 수 있음이 확인되었다.

넷째, 러시아캄차카반도의 용암동굴과 Gorely 화산에 있는 동굴에 대해서는, 동굴을 배태하는 용암의 화학조성 분석에 의하면, Gorely 동굴의 시료(K-1과 K-3)에 있어서 $SiO_2(55.12 ; 55.09 \text{ wt.})$, $Na_2O+K_2O(5.31 ; 5.35 \text{ wt.})$ 의 고 알루미나 현무암이다. 또한, 편광현미경에 의한 관찰에 의하면 보통회석 안산암이다.

감사의 글

이 논문 작성과 보도에 대해서는, 한국방송공사(KBS)의 김양주 전국장, 제주문화방송(MBC)의 오석훈 전국장과 송창우 취재부장의 TV 보도 관계자와 그리고, 제주일보사의 부영주 부사장과 한문성 편집국장, 한라일보사의 변창운 전사장과 강만생 사장과의 신문보도 관계자에 대해서, 많은 협력에 깊은 감사의 뜻을 드립니다.

현지 동굴 조사에 동반한 탐험가 및 연구자인 康勝三 이학박사, 朴景允 공학박사, 金炳宇 이학박사, 金周煥 이학박사, 蘇大和 공학박사, 尹正模 공학박사, 洪忠烈 문학박사, 皇甫相源 공학박사/지적기술사, 金源振 이학박사에 감사의 뜻을 나타냅니다. 동시에 제주도에는 金君天과 원종진의 만장굴 개발자, 협세굴 시스템의 관계자, 강세업 미천굴주, 申裕泳회장, 姜淳錫 이학박사, 高東熹 농학박사, 金福心 전교장부인, 金景植 교장에 감사의 뜻을 나타냅니다.

참고문헌

- 津屋弘達 (1938) 「富士山の地質学並学研Ⅱ」. 東京大学研6 : 638-657.
- R.W.Le Maitre (1939) 『A Classification Igneous Rocks and Glossary of Terms』.Blackwell Scientific Publications
- H.Kuno (1960) 「High-alumina Basalt」. J.Petrol.

1:121-145.

津屋弘達 (1971) 「富士洞窟分布図」, 国001年6月

T.D.Ford · H.D.Cullingford (1976) 『The Science of Speleology』. Academic Press 593pp

上野俊一・邊繇(1978) 『洞窟科学』, 講談社 233pp

A.Miyashiro (1978) 「Nature of Alkali Volcanic Rock Series. Contrib」. Mineral. Petrol. 66:94-104.

R.W.Le Maitre (1978) 『A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms』. Blackwell Scientific Publications.

沢勲・q μ 繇 (1989) 「済双学大阪経済学36:1-26.

沢勲・(1990) 「大韓民国双嶺」, 日本洞窟学会 15:42- 46.

沢勲(1990) 「Fundamental Parameter 法による 萬丈窟溶岩石柱の蛍洞窟 22:17-56.

小山賢之輔 (1990) 「立堀風穴調査報」, 日本火山洞窟協会 7-2:2-8.

大佐古孝 (1990) 「立堀風穴の形態構造」, 日本火山洞窟協会 7-1:2-10.

渡部景隆・(1991) 「富士山古期溶岩流中の三ッ池穴産溶岩ストロー鉄鉱」, 地学教 4-1:7-19.

諏訪彰 (1992) 『富士山—その自然のすべて—』, 同文書院 355pp.

Y.Tatsumi · Kogiso · Nohda (1995) 「Formation of a third Volcanic Chain in Kamchatka : Generation of Unusual Subduction-related Magmas」. Contrib Mineral Petrol. 12:117-128.

沢勲・(1996) 「白頭山の鹿蹄洞と済洞窟学雑誌 21:65-70.

C.Hill · Forte (1997) 『Cave Minerals of the World』. (2nd ed):217-218.

沢勲・(1999) 「X-ray Fluorescence Analysis and K-Ar Age Determination of a Lava Bridge in Manjang-gul Cave, Korea」. 洞窟学雑誌 24:57-63.

沢勲・(1998) 「富士山の柏原と青亭」. 洞窟学雑誌 3:39-45

沢勲・(2000) 「X-ray Analysis and K-Ar Age

Determination on Lava Bridge in Manjang-gul Cave」. 大阪経済学 6:37-56.

沢勲・(2000) 「萬丈窟と富士山の溶岩に關愛媛大学教 53-157.

沢勲・(2001) 「済仇屹」, 大阪経済学 9:37-83.

沢勲・徳・・鹿島愛彦・・001) 「韓国済・大阪経済学 1:67-122.

大橋健 (2001) 「溶岩洞窟の形成に關学研究—韓国済来大阪経済学 1:39-65.

大橋健 (2002) 「宇宙衛星画済」. 大阪経済学 4:47-58.

沢勲・徳・・・(2002) 「富士山・静岡県・ITによるデータベース化にむけて3ヵ国」, 大阪経済学 2:67-115.

高橋正樹・・・範邇柵絵・・・真 (2003) 「富士山噴出物の全岩化学—47個の総」, 日本大学学学 38:117-166.

R.A.Corsaro · Calvari · Pompilio (2005) Formation of Lava Stalactite in the Master tube of 1792-1793 Flow Field, Mt.Etna」. American Mineralogist, 90:1413-1421.

沢勲・・・駝桂・・・(2004) 『洞窟学カ国増大阪経済学 03pp

沢勲・・・백(2005) 「韓国済煤長峯」, 大阪経済学 9:1-29.

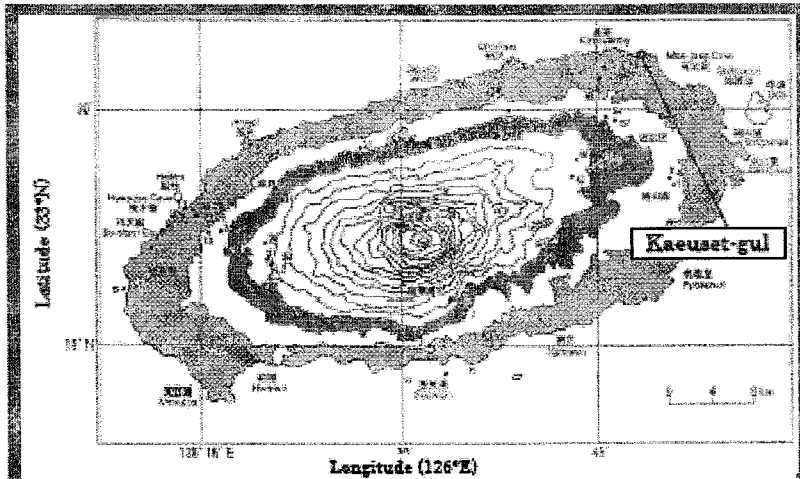
沢勲・・・・(2006) 「ロシア・カムチャッカ半島の自然と洞窟—グレー」, 大阪経済学 0:1-24.

沢勲・・(2006) 『洞窟科学写真図大阪経済学71pp

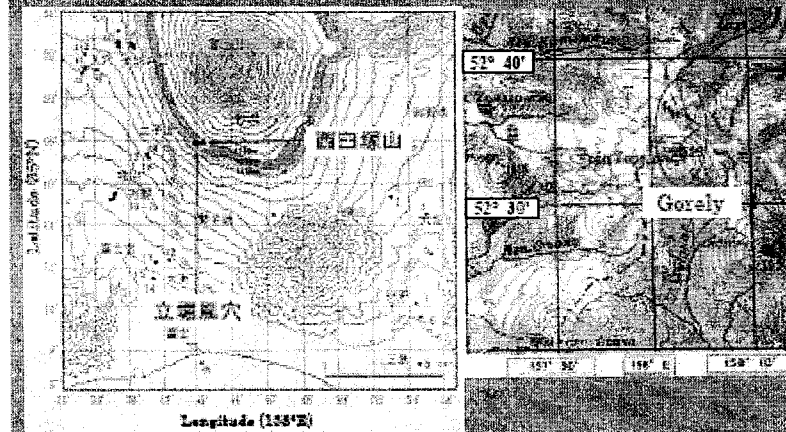
沢勲・・(2006) 『洞窟科学写真図DVD版大阪経済学

大橋健・・・・沢勲・(2006) 『ロシアの火山」, 大阪経済学園研究会

大橋健・・・・沢勲・(2006) 『ロシアの火山」, DVD版大阪経済学



Map.1. The Lava Caves Distribution Map of Jeju-do, Korea. (Contour Interval is 100m).



Map.2. The Lava Caves Distribution Map of Mt. Fuji, Shizuoka. (Counter Interval is 100m.)



Map.3. The Lava Caves Distribution Map of Gorely Caldera, Kamchatka Peninsula, Russia.