

熔岩洞穴の構造と成因について

濱野一彦(元所員 山梨大学) 田中 収 河西 秀夫・服部 清二・戸沢 義和(以上 山梨大学)

目 次

1. はじめに
2. 熔岩洞穴の概要
 - 1) 熔岩洞穴の分布
 - 2) 熔岩洞穴の大きさとその方向
3. 熔岩洞穴の構造
 - 1) 熔岩洞穴の平面及び断面の形態
 - 2) 熔岩洞穴の基本構造
 - 3) 熔岩洞穴の内部構造
 - 4) 熔岩洞穴と溶岩流中の他の空洞構造との関連性
4. 熔岩洞穴の成因について
5. おわりに

が使用され始めた。神原信一郎(昭和4年)⁽¹⁾は「熔岩洞穴は 熔岩流中から二次熔岩流が流出した跡である」と述べている。この神原の見解は最近まで一般的であった。

しかし 熔岩中の空洞に関する系統的な研究がすすむにつれ これらの空洞には一般に考えられていた熔融部の流出による空洞の他に 熔岩流中に樹木がとりこまれてできた空洞 熔岩流内部からのガス放出の跡にできた空洞 流下中にとり込まれた水の水蒸気化により形成された Schollen-dome 及び Blister 等の空洞など 各種の成因が考えられるようになった。熔岩流中には これらの分類にあてはまらない空洞も多数ある。この報告は 山梨大学熔岩洞穴研究グループが 富士山麓の熔岩洞穴を中心に研究した結果をまとめたものである。

2. 熔岩洞穴の概要

1) 熔岩洞穴の分布

富士山麓の熔岩流中には多数の熔岩洞穴が分布している。現在まで知られているものは50ヵ所ほどで 未発見のものもかなり存在すると思われる(表-1)。熔岩洞穴の多数が天然記念物に指定されている。

また 日本国内では大部分が富士山麓に集中し その他の地域では長崎県五島列島 島根県大根島等に少数知られているだけである。外国では韓国済州島(マンジャン窟 ハンドル窟) ハワイ アメリカ本土にも存在するが いずれも玄武岩質熔岩流中に形成されている。

富士山麓に分布する熔岩洞穴は 熔岩流の表面から5~20mの深さに存在している。また 新富士火山の古期~新期熔岩にわたって存在するが 必ずしもすべての熔岩流中に形成されているわけではない。熔岩洞穴が形成されている熔岩流は表-1に示すように 青木ヶ原熔岩流 犬涼み山熔岩流など8つの熔岩流のみで 特に青木ヶ原熔岩流に多く分布する。これらの熔岩流はすべて中腹~山麓における側噴火により流出したものであり 比較的なだらかな斜面を流下したものである。

2) 熔岩洞穴の大きさとその方向

熔岩洞穴の大きさは様々であるが 富士山麓に分布するものは200~400m以下のものが多い(表-2)。しか

1. はじめに

富士山麓の熔岩流中には大小様々な空洞がみられる。これらの空洞は 熔岩中の空洞という意味で従来より「熔岩洞穴」と呼ばれてきた。この熔岩洞穴の成因については古来より様々な見解があり 古くは「甲斐国史」中に「熔岩流中にとり込まれた大木の朽ち失せた跡が空洞として残ったもの」とあり また 大正13年に出版された「富士山麓と御嶽」(山梨県)では 熔岩流の爆発により一部は横穴が 一部は上部に噴出して縦穴を作ったと述べている。この頃から「熔岩隧道」という名称

表-1 富士山麓の熔岩洞穴数

熔 岩 流 名	熔 岩 洞 穴 の 数
青木ヶ原熔岩流	21 カ 所
犬涼み山熔岩流	11 カ 所
二子山熔岩流	3 カ 所
万 野熔岩流	5 カ 所
大 淵熔岩流	2 カ 所
十里木熔岩流	1 カ 所
三 島熔岩流	5 カ 所
雁ノ穴熔岩流	1 カ 所

表-2 熔岩洞穴の長さ

洞 穴 名	位 置	全 長 (km)
西湖蝙蝠穴	青木ヶ原 熔岩流	0.39
鳴沢氷穴		0.16
富岳風穴		0.24
背負子第一洞穴		0.11
本栖第一洞穴		0.43
神座第一風穴		0.29
駒門風穴	三島熔岩流	0.34
裾野風穴		0.10
大日穴(万野洞穴)	万野熔岩流	0.90
観音穴		0.08
窓穴		0.15
人穴	犬涼み山 熔岩流	0.08
鶉穴		0.46
マンジャン窟	韓国 齊州島	10.07
クムサンヨ窟		0.45
ソッチョン窟		3.07

表-3 熔岩洞穴の平面形態

分 類	洞 穴 名	位 置	
線 型	本栖第一風穴 富士風穴 背負子洞穴 脛水風穴	青木ヶ原熔岩流	
	婆々穴 万野洞穴 裾野洞穴	二子山溶岩流 万野 " 三島 "	
	Y 字 型	本栖第二風穴 富岳風穴	青木ヶ原 "
		岩波洞穴 駒門風穴	三島 "
	環 状 型	西湖蝙蝠穴 鶉 穴	青木ヶ原 " 犬涼み山 "
		不規則型	鳴沢氷穴 間々下穴

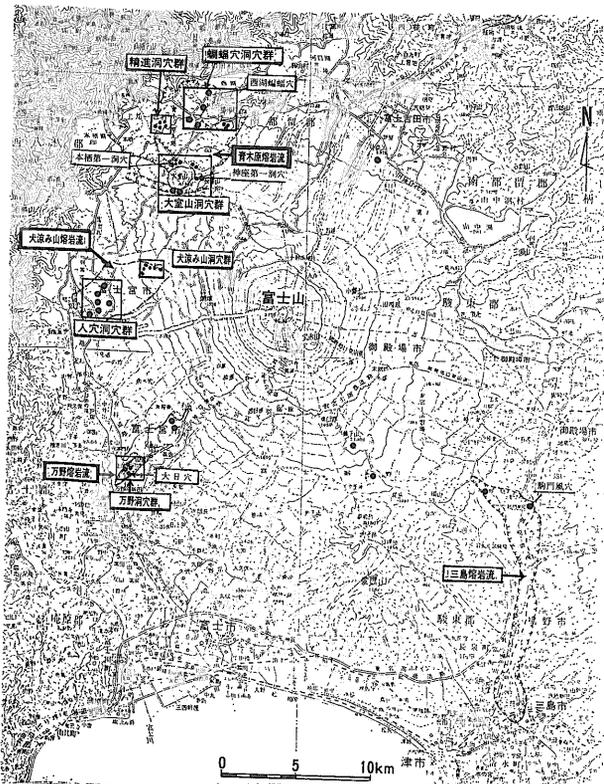


図1 富士山麓の洞穴群

し 外国には総延長が2 km 以上に達するものもあり
アメリカのカリフォルニア州北部 Hambone にあるもの
は 21.7km に達する。

熔岩洞穴の伸びの方向は 富士山麓の場合 熔岩流の
流下方向とほぼ一致しており また 図-1 に示すよう
にある区画に集中する傾向がある。 青木ヶ原熔岩流で
は大室山周辺(神座第一 同第二 本栖第一 同第二など)
西湖南岸(西湖蝙蝠穴 竜宮等) 精進湖東方(日洞 月
洞等) に集中しており 犬涼み山熔岩流 万野熔岩流で
も同様な集中傾向がみられる。

3. 熔岩洞穴の構造

1) 熔岩洞穴の平面及び断面の形態

(1) 平面形態

熔岩洞穴は平面的には比較的単純な形をしており 大
きくみると 図-2 に示すように1本の洞穴がやや湾曲
しながら伸びているもの(線形) Y字型のもの 環状
型のもの 不規則型のものに分類できる。 ほとんどの
熔岩洞穴は前2者に属し 環状型及び不規則型として分
類されるものは少ない。 鳴沢氷穴は 図-3 に示すよ
うに垂直方向に変化の多い熔岩洞穴であり 平面形態は

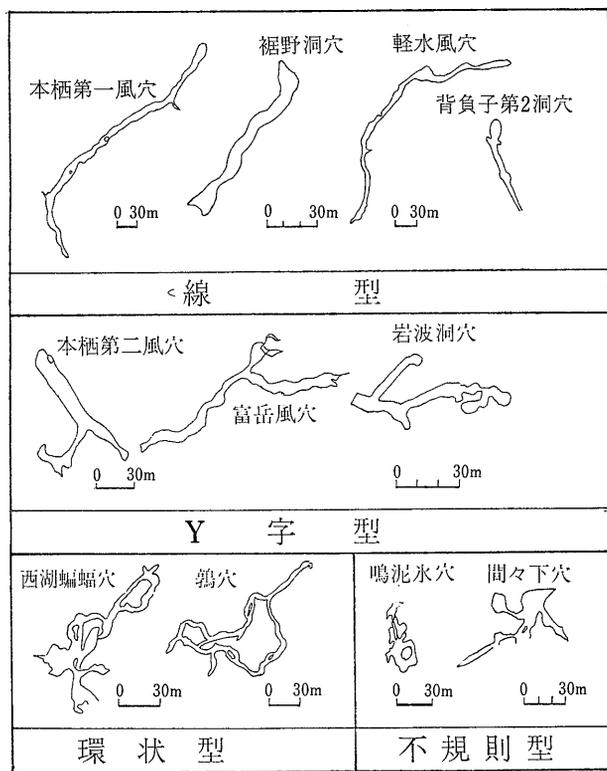


図-2 熔岩洞穴の平面形態

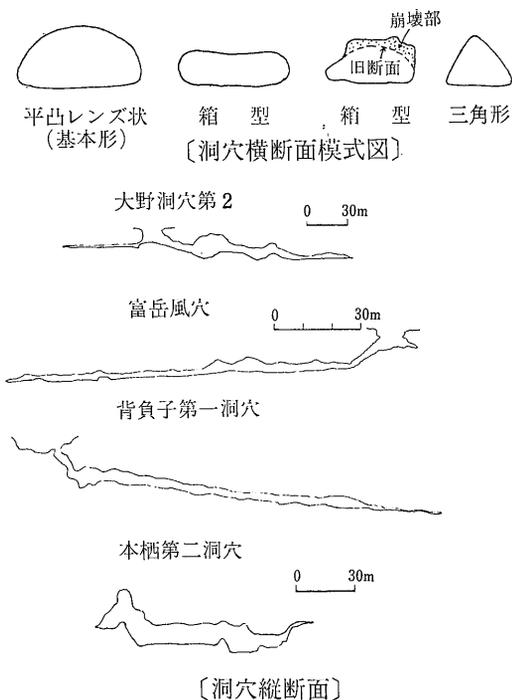


図-4 熔岩洞穴断面図

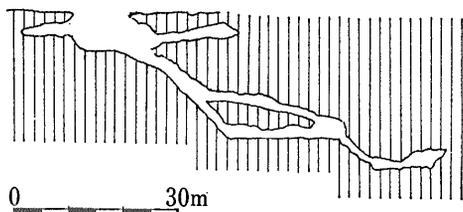


図-3 鳴沢水穴の縦断面(小川孝徳による)

複雑である。これらの4種の区分に属する洞穴の例を表-3に示した。

(2) 断面形態

熔岩洞穴の横断面は 図-4 にみられるように床面が平らで 上部がアーチ状の平凸レンズ状の形態が基本形であるが 時には崩壊や変形により三角形や箱型になっていることがある。縦断面は一律でなく 一つの洞穴でも一樣な直径が比較的長く続いている部分や 途中が膨らんでいる部分(直径が大きくなっている部分)や床のレベルが急激に変化している部分などがあり また その末端部は次第に細くなりながら終わっていることが多い。

2) 熔岩洞穴の基本構造

(1) 基本構造

熔岩洞穴は 基本的には「トンネル部」と「ドーム部」の2つの基本単位の組み合わせから構成されている。トンネル部はほぼ半円形断面を示すことが多いが 楕円形や三角形のこともある。大部分のトンネル部は幅・高さとも1~2m程度であるが 5mに達するものもある。このトンネル部はほぼ直線状に伸びることが多いが 西湖蝙蝠穴等のように 湾曲 分岐していることもある。一方 ドーム部の直径及び高さはトンネル部よりも大きく 天井は半球状を呈する。ドーム部の高さは2~5m程度のもが多く 平面形態は楕円形で その長径は大きなものでは30mに達する。西湖蝙蝠穴のように 数個のドーム部がトンネル部により珠数状に連結されているものや また本栖第一洞穴 駒門風穴 神座第一風穴等のように洞穴長の比較的長いものでは直径1~3m程度のトンネル部だけが長く続くものもある。前者は 前述の環状型あるいは不規則型にほぼ相当し また 後者は線型あるいはY字型に相当する。しかし 線型の熔岩洞穴にもドーム部とトンネル部の組み合ったものもある。

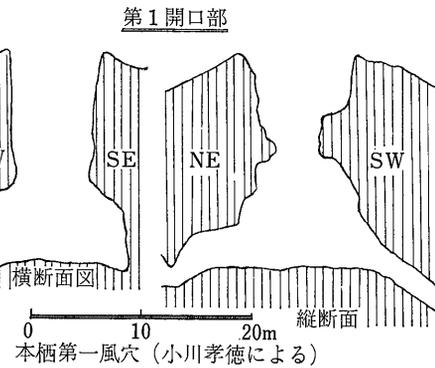
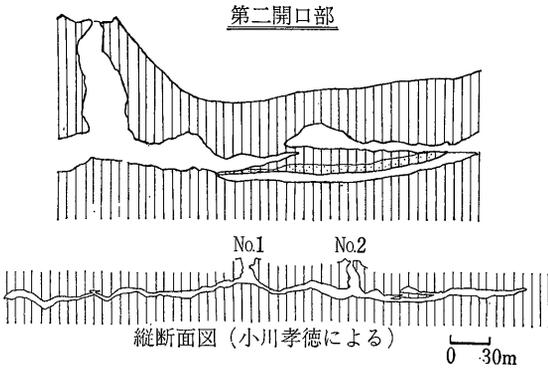


図-5 本栖第一風穴の開口部

(2) 開口部

熔岩洞穴の傾斜方向は 現在の地表及び熔岩流の傾斜方向とほぼ一致しているが 地表及び熔岩流の傾斜よりも急傾斜を示すことが多い。

洞穴の開口部はその末端部あるいは中央部に存在するが 二次的な崩壊によりできたものも多く そのような開口部の床には熔岩の崩壊土砂が厚く堆積している。またその直径は5m以上のものもある。初生的と判断される開口部は少ないが 青木ヶ原熔岩流中の本栖第一風穴では 図-5に示すように洞穴中央部に2カ所の直

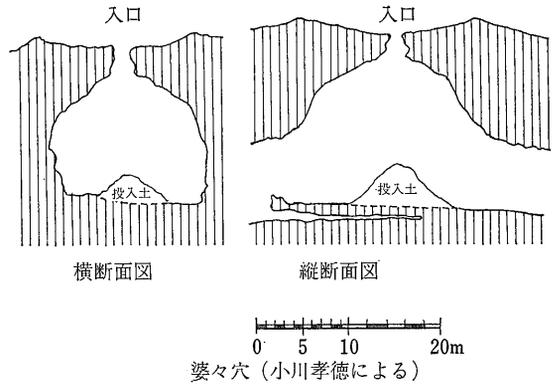


図-6 婆々穴の開口部

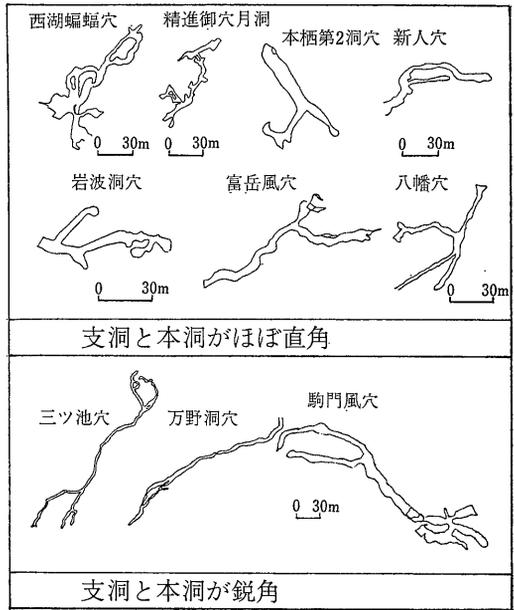


図-7 支洞と本洞の分枝合流部



写真-1 西湖蝙蝠穴にみられる支洞
支洞の高さは約1mで奥行きは10m以上

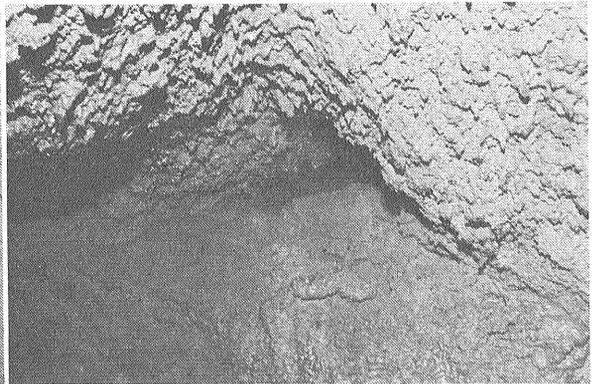
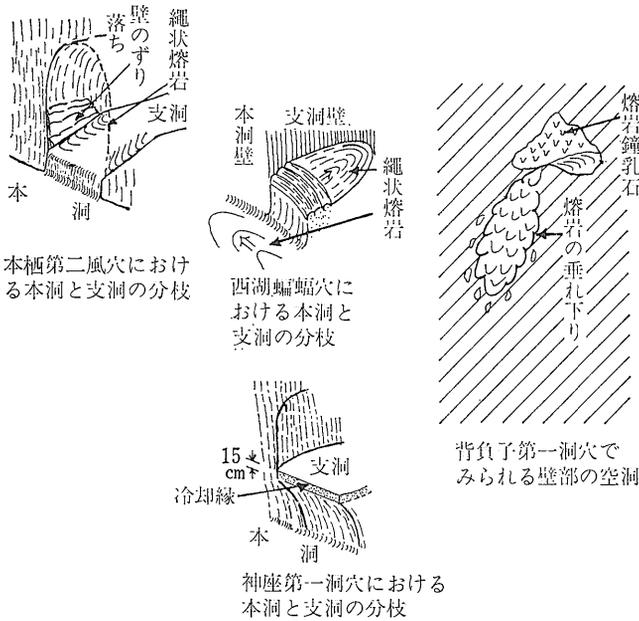


写真-2 西湖蝙蝠穴の壁面上部に存在する小支洞



本栖第二風穴における本洞と支洞の分枝

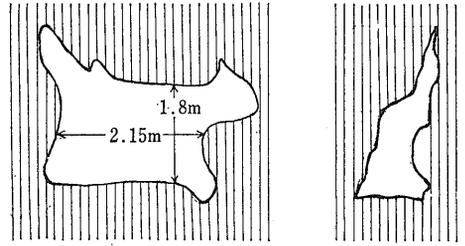
西湖蝙蝠穴における本洞と支洞の分枝

神座第一洞穴における本洞と支洞の分枝

図-8 本洞と支洞の分枝(レベルが異なる場合)

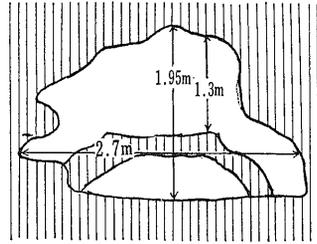
径10m程度の開口部が存在しこの開口部には二次的崩壊の跡が認められず 開口部周囲の地表が盛り上って塚状をなしている。また ドーム部の天井が上に抜けた煙突状構造をしていることなどから この開口部は洞穴内のガスが地表に抜けた噴出孔であろうと推定される。このような初生的ガス噴出孔と推定される開口部は この他に婆々穴 本栖第二洞穴 神座第一洞穴等にもみられる。

また 末端部に開口部がある場合はほとんどが洞穴の上位側(熔岩流上流側)に存在している。西湖蝙蝠穴の開口部は周囲のレベルよりも5m程度低く細長い窪地となっており また この開口部は第一ドームと隣接している(観察図参照)。この隣接するドームの天井の厚さは3~5mと薄く その平面形態や位置関係から判断すると この開口部は第一ドームの半分が崩壊してできたものであろうと思われる。富岳風穴 鳴沢氷穴 駒門風穴 万野洞穴等のように開口部が直径5m以上の窪地(深さ3m以上)となっている洞穴が多い。これら洞穴の開口部はその形態などから判断すると 西湖蝙蝠穴と同じようにドーム部の天井の崩壊の結果 形成されたものと推定される。また 富岳風穴や駒門風穴等の二次的崩壊による開口部の壁面には径数m 床面からの高さ0.5~1.5m程度の小規模な円形~楕円形の空洞が認められる。これらの空洞は洞穴本体よりも浅いレベルにあり その位置も洞穴本体と重なり合っている。



背負子第一洞穴

軽水洞穴



背負子第一洞穴

図-9 洞穴トンネル部横断面

(3) 洞穴の分岐部

熔岩洞穴は前述のY型 環状型洞穴のように分岐合流することも多い。鵜穴のようにほぼ同一規模の洞穴が分岐・合流しているものもあるが ほとんどの場合 分岐・合流する各々の洞穴はその規模が異なることが多い。その規模の大きな方を本洞 小さな方を支洞と称する。この分岐・合流の角度は駒門風穴 三ツ池穴 万野洞穴等のように鋭角をなす場合もあるが 西湖蝙蝠穴 本栖第二洞穴 精進御六月洞等のようにほぼ直角をなすものもある(図-7)。また 西湖蝙蝠穴 本栖第二洞穴等ではこの分岐・合流レベルが異なり(比高1~2m)支洞が本洞に断ち切られている。この部分のスケッチを図-8に示したが 図に示すように垂直あるいは急傾斜をなすことが多く また この部分がずり落ちていることもある。

この他 洞穴側壁上部から中部に高さ20~30cm 奥行3~10m程度の空洞や高さ1m程度の凸レンズ状の空洞が存在することもある(写真-1・2)。これらの空洞も小規模な支洞であり 背負子第一洞穴では図-7に示すように この支洞から熔岩が流出して側壁に沿って垂れ下っているのがみられる。

背負子第一洞穴 婆々穴 本栖第一風穴等では洞穴内部が二段構造になっている部分がある(図-9)。背負子第一洞穴の場合は天井の一部が剥れて落下したものであるが その他のものはレベルの異なる洞穴が互いに並んでいるか あるいは縦方向に重なっている。しかし

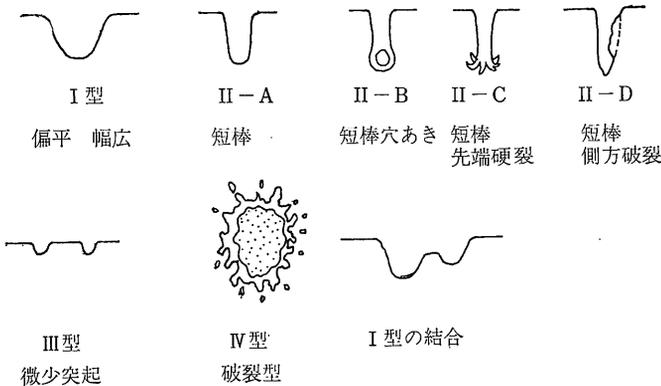


図-10 熔岩鐘乳石の分類

この重なり部分は比較的短く レベルの異なる洞穴の末端部がくつきあい重なりあっているものとみなすことができる。また 神座第一風穴の場合は レベルの異なるトンネル部とドーム部が直径 50cm 程度の細長いトンネルでつながっているが これも前述と同じ例であろう。

3) 熔岩洞穴の内部構造

(1) 天井の小構造

<1> 天井の形態

トンネル部横断面形は前述のように平凸レンズ~箱型をなすが 詳細にみるとかなり不規則な形状をしている。天井部は図-9 に示すような半球状の窪みや上方に向かって伸びる細長い空洞がみられることが多い。これらの空洞は天井の崩壊により形成されたものもあるが 半球状の窪みの表面には熔岩鐘乳石が発達しているものもあり また空洞にも熔岩鐘乳石が発達しているものもあり これらの熔岩鐘乳石が発達している窪みや空洞は崩壊によって形成されたものではなく その形態からみてガスの吹き出しあるいは熔岩中への圧入により形成されたものである。

<2> 熔岩鐘乳石

洞穴の天井には直径 1 cm 以下 長さ数 cm 程度の突起が発達しており その形状が鐘乳石に類似していることから「熔岩鐘乳石」と称されている。この熔岩鐘乳石はその形状から図-10 に示すように I II III IV型の4種に区分でき II型はさらに4種に細分される。また 同一場所にはほぼ同種の熔岩鐘乳石が集中する傾向が認められる。

I型は厚さが薄く幅が広い扁平なもので先端に穴があいているリング状のものや2

つの熔岩鐘乳石が結合しているものである。II型は長さ 1~3 cm の短棒状のものであり 先端や側方が破裂しているもので先端がリングになっているものもある。III型はII型と比べ長さが短く(1 cm 以下) むしろ微小突起といってよい。I型 II型 III型とも天井からの熔融熔岩の垂れ下りにより形成されたものであり さらに床に落下 堆積し熔岩石筍を形成することもある。熔岩石筍を形成しない場合は虫状熔岩と呼ばれている。また II型熔岩鐘乳石が壁に沿って流れている場合や流線状の配列模様を示すことがある。後者は背負子第一

洞穴等でみられるが 側壁や天井に渦を巻く様に配列している。前者は万野洞穴 富岳風穴等の天井部に洞穴と同じ方向に流れている。これらは熔岩鐘乳石がまだ熔融状態のうちに洞穴内部のガスの流動により吹き流されたものと推定される。大型の熔岩鐘乳石の表面にはガラス質の急冷縁が形成されていることがあり 内部には気泡が存在する。また 一般に小型の熔岩鐘乳石のうち 破裂型のは熔岩鐘乳石内部に存在していたガスがまだ熔融状態のうちに噴出したものであろう。

IV型熔岩鐘乳石は 内部で分離したガスが洞穴表面で破裂したものであり 天井や側壁に発達している。

この同型の熔岩鐘乳石は比較的大きく 背負子第一洞穴では 直径 20~30cm に達するものもある。

<3> 乳房状熔岩突起

洞穴天井部には熔岩鐘乳石の外に 直径 1 cm 程度の天井からの凸レンズ状の垂れ下りが発達することがあり(西湖蝙蝠穴 背負子第一洞穴等) 「乳房状熔岩突起」と称している。西湖蝙蝠穴では この乳房状熔岩突起の真下の床部が熔岩の堆積により 1 m ほど盛り上っている。また 背負子第一洞穴ではこの突起が床面まで達し熔岩

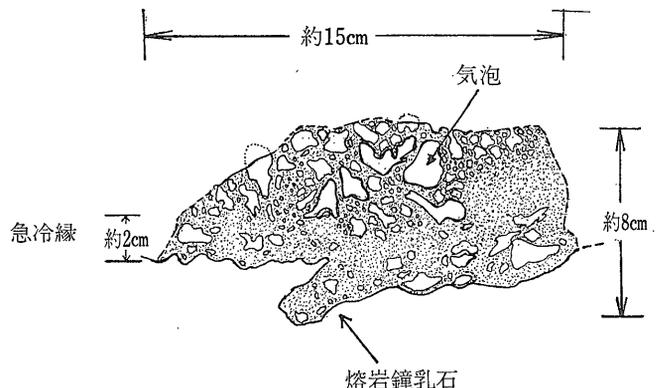


図-11 洞穴天井表面層断面(本栖第二洞穴)

柱を形成している。

この突起の表面にも熔岩鐘乳石が発達している。この乳房状熔岩突起は前述のドーム部に発達していることが多く、トンネル部では確認されていない。この突起は天井の熔岩の熔融により形成されたものであろうと思われ、途中で冷却したものが乳房状熔岩突起となり床面まで垂れ下り床面の熔岩と結合したものが熔岩柱である。

<4> 天井部表層

熔岩洞穴の天井部表層には若干の気泡をもつ厚さ数cm程度の緻密な急冷縁が発達することがあり、この急冷縁は側壁表層にも一枚の板となって側壁にはりついている。図-11に示すように、熔岩鐘乳石はこの急冷縁に形成されており、小型の熔岩鐘乳石自体も緻密であり、この急冷縁の一部とみなすことができる。これからも前述のI、II、III型の各熔岩鐘乳石は、熔岩の垂れ下りにより形成されたことが推定される。

この急冷縁の内部は赤褐色のスコリア質となっており、多数の気泡がみられる。熔岩内部からのガスの発泡が盛んだったことを示している。この発泡部はほとんどの洞穴に認められるが、天井の崩壊部分で見るとその厚さは1m程度である。このように天井部表層は(1)熔岩鐘乳石を伴う厚さ数cm程度の急冷縁、(2)厚さ

1m程度の発泡部の2層から構成されており、これは洞穴側壁と一体となっている。発泡部につづく内側は緻密な熔岩となっており、この部分には小間隔の柱状節理が発達していることが多い。

<5> 珪酸華及び珪酸鐘乳石

天井部には前述の熔岩鐘乳石、乳房状熔岩突起の他、珪酸からなる付着物が存在することがある。このうち無形態のものを珪酸華、棒状に垂れ下ったものを珪酸鐘乳石と称している。これらの珪酸質付着物は古期～中期熔岩流中に形成された熔岩洞穴中に発達しており、新期熔岩流中の洞穴にはほとんどみられない。

(2) 床の構造

<1> 床面

洞穴床面は比較的平滑であり、また床と壁の接触部には床を形成している熔岩が側壁との摩擦により引きずられた痕跡を示すことがあり、両者の形成には時間的ずれがあったことが推定される。また床面の両側あるいは片側に溝が存在することもある。

一般に床には縄状熔岩やアア状熔岩がみられ、特に縄状熔岩が発達している場合にはその流動方向が推定できるが、大局的にみるとこの流動方向は母体の熔岩流の方向と一致する傾向があるが、これと逆方向に流れている場合や滞留していることも多い。

前述のドーム部の床面には、表面に放射状の亀裂が生じている低い(0.5m以下)塚状の盛り上り(西湖蝙蝠穴)

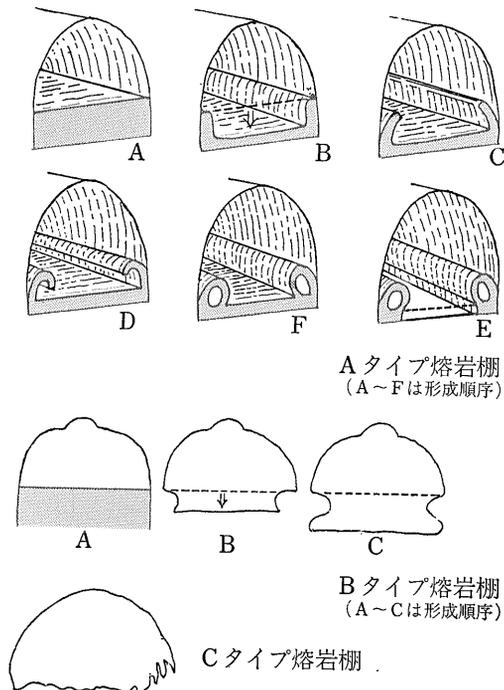


図-12 熔岩棚の分類(小川孝徳による)

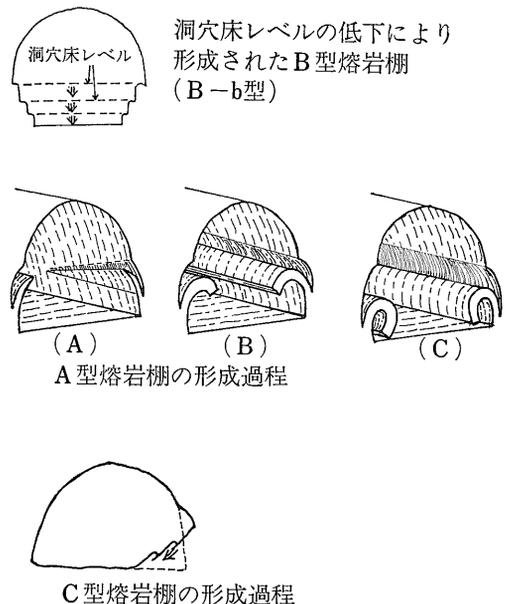


図-13 熔岩棚の成因

表-4 洞 穴 群

洞穴群名	熔岩流	洞 穴 名
蝙蝠穴 洞穴群	青木ヶ原 熔岩流	西湖蝙蝠穴 竜宮洞穴 富岳風穴 鳴沢水穴 鳴沢蝙蝠穴第1 2 3
精進洞穴群		日洞 月洞 上人穴 精進洞穴 第1~4
大室洞穴群		富士風穴 軽水風穴 背負子第1~3 本栖第1~2 神座第1~2 大室洞穴第1~2 和人穴第1~2 片蓋山洞穴 行者穴 メガネ穴 蒲鉾穴
犬涼み山洞穴群	犬涼み山 熔岩流	犬涼み山洞穴第1~5 ムジナ穴
人穴洞穴群		三ツ池穴 姥穴 新穴 人穴 間々下穴 鶴穴
万野洞穴群	二子山熔岩流	屋敷穴 弘法穴 窓穴 万野風穴

や Pressure ridge 状 (背負子第二洞穴では幅2.5m・長さ20m程度) 構造が発達することもある。

<2> 熔岩棚

側壁下部には棚状のものが発達しており「熔岩棚」と称されている。熔岩棚はその形態により分類することができる。小川孝徳⁽²⁾は図-12に示すように熔岩棚をA B Cの3種に分類しその成因について述べている。小川によるとA型は中空円筒のもの B型は側壁が張り出しているもの C型は床部を形成している熔岩のよどみとなっている。A型熔岩棚は富岳風穴 鳴沢蝙蝠穴第一などに B型熔岩棚は婆々穴 大日穴 (別名万野洞穴) などに C型熔岩棚は本栖第二洞穴 富岳風穴 鶴穴などにみられる。小川は A型及びB型熔岩棚はともに洞穴の床のレベルの低下により形成されたもので床部の熔岩の側壁に接する部分とその摩擦のために低下せず残ったものとしている (図-12)。

しかし 図-13に示すようにA型及びC型熔岩棚の背後の壁面に窪みが存在すること 富岳風穴にはA型熔岩棚の一連の形成過程がみられることから その成因及び生成過程は次のようなものと推定される。

A型熔岩棚は 前述のようにその背後の側壁に壁面が剥れた跡と推定される窪みが存在し また富岳風穴ではその一連の形成過程が観察されること 洞穴両側に必ずしも発達していないことなどから 図-13に示すように壁面の剝離により形成されたものであろうと推定される。この剝離は図-13に示す(A) または(B)の段階で止まっていることもあり (鶴穴) また 天井部近くが剝離していることもある (軽水風穴)。これらの剝離面の内側(背面)には熔岩鐘乳石が発達していることがあり

この壁面剝離は洞穴内部のガス燃焼等の高温の状態にあるうちに生じたものと推定される。また 剝離された壁面には 高温状態で剝離側が上昇しながらつたと推定される条線も多く認められる (写真-3)。従って小川のいうように必ずしも洞穴床部の低下を考える必要はなく あってもA型熔岩棚形成の直接的原因ではないと考えられる。

B型熔岩棚は 図-12に示すように小川は棚状に張り出した型態のみを示しているが この他に図-13に階段型のものもあり 前者をB-a型 後者をB-b型とする。同型熔岩棚はともに洞穴両側に比較的長く続いており またB-b型熔岩棚の表面には垂直方向に引きずられた跡がみられる。これらのことから B-b型熔岩棚は洞穴床面の低下により形成されたものと推定される。B-a型熔岩棚の場合はB-b型のものと同様な過程で形成されたものもあると思われるが 一部 前述の二重洞穴の天井の崩壊もあろうと思われる。

C型熔岩棚の場合は 図-13に示すようにその背後の壁面に窪みがみられることから むしろ熔融時に表面が

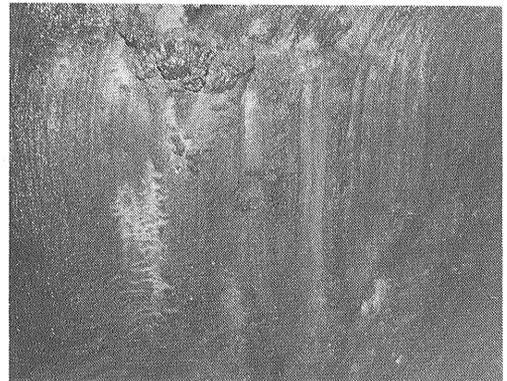


写真-3 西湖蝙蝠穴にみられる条痕

ずり落ちて形成されたものと考えた方がよいと思われる。富岳風穴の場合はこのずり落ち部分の傾斜はなだらかである。

4) 熔岩洞穴と熔岩流中の他の空洞構造との関連性

(1) 熔岩洞穴群と Schollen-dome 及び Blister

<1> 熔岩洞穴群

熔岩洞穴は前述のように集中分布する傾向があり 青木ヶ原熔岩流では大室山周辺 (大室山洞穴群 洞穴数17) 紅葉台西～南側 (蝙蝠穴洞穴群 洞穴数7) 精進登山道標高100m付近 (精進洞穴群 洞穴数7) の3ヵ所 犬涼み山熔岩流では犬涼み山付近 (犬涼み山洞穴群 洞穴数6) 人穴周辺 (人穴洞穴群 洞穴数6) の2ヵ所 二子山熔岩流では富士宮市外神付近 (万野洞穴群 洞穴数4) にその集中分布が認められ その集中範囲は1～3km程度である。洞穴群の位置を図-1に 各洞穴群に属する洞穴例を表-4に示した。

このように熔岩洞穴は熔岩流全体に均一に分布することはなく 洞穴群として集中分布する傾向がある。この他単独の場合もあるが この単独の場合には比較的小規模な熔岩流が多い。

蝙蝠穴洞穴群及び大室山洞穴群は 熔岩洞穴の他に大小様々な Schollen-dome や Blister を伴っており 熔岩洞穴 Schollen-dome Blister の3者で洞穴群を構成している。特に蝙蝠穴洞穴群では Schollen dome 及び Blister の発達が著しい。

<2> Schollen-dome 及び Blister

Schollen-dome Blister とも本質的には同一のものであり 外部から熔岩流中にとりこんだ水などのガス化により形成されるので 膨れ上りを Schollen-dome (写真4・5)、爆裂崩壊したものを Blister と称するが 両者とも熔岩流の表層部に形成されるものである。Blister

の大きさは直径10m以下のものが多く 大半は円形～楕円形の窪地 (深さ1～2m) となっている。

Schollen-dome は Blister と比較すると規模が小さく直径5m以下のものが多い。その形態は Blister と同様円形～楕円形の平面形を呈することが多く また隣接する Schollen-dome が平面的あるいは上下方向に接合し 複雑な形状を呈しているものもある。

Schollen-dome の断面をみると (図-14) 空洞内面付近に比較的大きな気泡が密に分布し 空洞から離れるに従って次第に気泡も小さく 数も少なくなっていく 内面でのガス発泡が盛んだったことを物語っている (写真)。空洞の天井部には熔岩鐘乳石が多数発達しているが 前述の I II型が多い。また乳房状熔岩突起がみられることもある。床の表面には主としてアア熔岩が発達するが ときには 縄状熔岩がみられることもある。一般に床面は傾斜している。また熔岩棚が発達していることもあるが その形態はほとんどA型あるいはC型のタイプである。

Blister から細長い空洞がさらに延びていることがあるが この側方に伸びる空洞の天井部の厚さは薄く1m以下の場合が多い。西湖畔に位置するもの (蝙蝠穴洞穴群に属する) では比較的規模が大きく 逆L型の平面形を呈し その長さは数10mに達する。この空洞部の天井部には熔岩鐘乳石 (III型の微小突起が多い) 乳房状熔岩突起が発達している。この空洞自体もドーム部とトンネル部の組み合わせからなり ドーム部は明らかに大規模な Schollen-dome である。また 熔岩洞穴と同様に規模とレベルの異なる空洞の分枝も存在する。この空洞部に沿って熔岩流表面がカマボコ状に盛り上っており (天井の厚さ 30～50cm) その盛り上りの最高部に亀裂が空洞部の伸びと同じ方向に走っている。この亀裂は熔岩流表面の縄状熔岩を切っている。

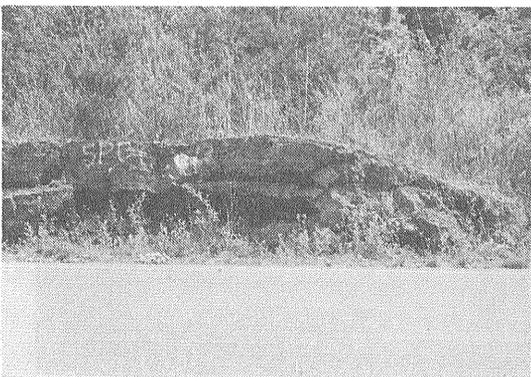


写真-4 西湖畔にみられるショレンドーム 内部に二段構造の空洞が存在する



写真-5 写真4の拡大 空洞周辺には気泡が特多い

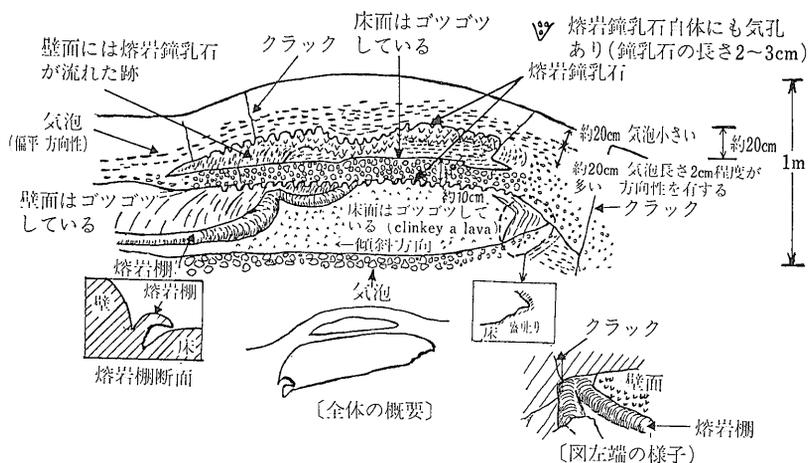


図14
西湖畔の
Schollen dome

※Blister 大型気泡共に天井部には熔岩鐘乳石が発達する
床部は大型気泡の場合は滑らかであるがBlisterの場合
はゴツゴツしているか 繩状lavaが認められる

<3> 複合熔岩樹型 (胎内)

富士山麓の熔岩流中には多数の熔岩樹型がみられる。これらの熔岩樹型は大きく堅穴型と横臥型に区分されるが横臥型樹型のうちには「複合熔岩樹型」と称される樹型の複合体があり 俗に「胎内」といわれている。

これらの複合熔岩樹型の壁面には 熔岩のしずくが壁に沿って流れたスジが発達しており(写真-6) 俗に「肋^{あばら}」といわれている。このスジは天井近くでは熔岩鐘乳石(I型が多い)につながっている。また 熔岩のしずくが床に直接落下 堆積して小規模な熔岩石筈を形成する



写真-6 熔岩樹型の壁にみられる熔岩のひだ
熔岩鐘乳石が壁に沿って流れたもので
俗に「肋」といわれる

こともある。富士スバルラインの入口近くにある船津胎内では樹型末端部に直径5m 高さ2m程度のほぼ円形の平面形を呈するドーム部が存在する。また入口付近には ガスにより形成されたと思われる空洞もある。

<4> 大型気泡

熔岩流中には気泡が存在するが(写真-7) これらのうち規模の比較的大きいなもの(直径約10cm以上)を「大型気泡」と称する。これらの大型気泡の天井部には熔岩鐘乳石が発達している。熔岩鐘乳石はI型~II型Aがほとんどである。床は平滑であることが多い。また隣接する幾つかの気泡が結合して複雑な形状を呈することもある。

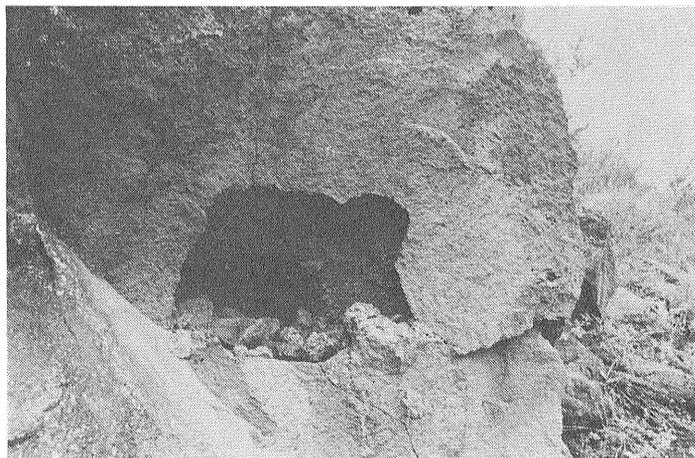


写真-7 西湖湖畔にみられる大型気泡
数個の気泡が結合して大型気泡を形成している

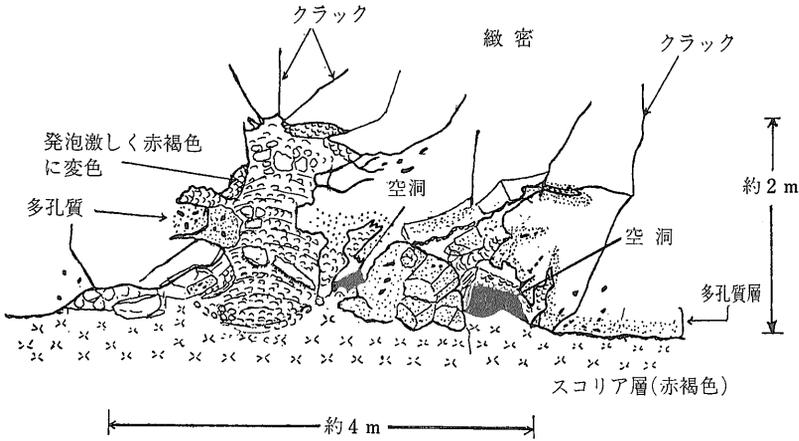


図-15
旧鳴沢採石場で
みられる
Spiracle

<5> その他の空洞構造

熔岩流中には以上の空洞の他に Pressure-ridge 及び Spiracle による空洞が存在する。

Pressure-ridge (圧縮熔岩突起) は熔岩流表面の固結部が水平方向の圧力を受け 線状に隆起したものである。この隆起線上の頂部には 幅 0.5~1m の溝状の開口部があり また その内部に空洞が存在することが多い。

Spiracle は熔岩流が湿地に流下する際 熱のため水蒸気化した水が熔岩流内に圧入したもので 図-15 図-16に示すように熔岩流内で止まったものと 突き抜けたものの2種類が存在する。Spiracle 内壁は激しく発泡

しており赤褐色に変化している。また熔岩流内で止まったものは 空洞先端から気泡が空洞先端の伸びの方向に並んでいる。

<6> 熔岩洞穴と他の空洞構造との関連性

<1>~<5>で述べたように 熔岩流中の空洞には 熔岩洞穴の他に Schollen-dome 及び Blister 熔岩樹型 (複合熔岩樹型) 大型気泡 Pressure-ridge Spiracle が存在する。これらの空洞の内部構造と熔岩洞穴の内部構造には類似性が存在する。熔岩鐘乳石は Schollen-dome Blister 複合熔岩樹型 大型気泡にみられ 必ずしも熔岩洞穴特有の現象ではない。

熔岩棚も Schollen-dome 及び Blister に発達している。しかし 熔岩洞穴の場合は A B C型の3種がみられるのに対して Blister 及び Schollen-dome の場合にはA型及びC型の2種類である。熔岩洞穴の場合も A B C型の3種類の熔岩棚が1つの洞穴に見られることはほとんど無く A型及びC型の2種類の組み合わせとB型のみの場合にわかれてようである。

また 複合熔岩樹型にもドーム部が存在することがある。熔岩洞穴及び複合熔岩樹型にみられるドーム部は Blister あるいは Schollen-dome の内部形態に類似しており また Blister から側方に伸びる空洞にもやはりドーム部に相当する部分が存在する (西湖畔)。後者の場合 このドーム部の表面は膨れ上っており また その天井の一部が亀裂崩壊しており 明らかに Schollen-dome であると思われる。

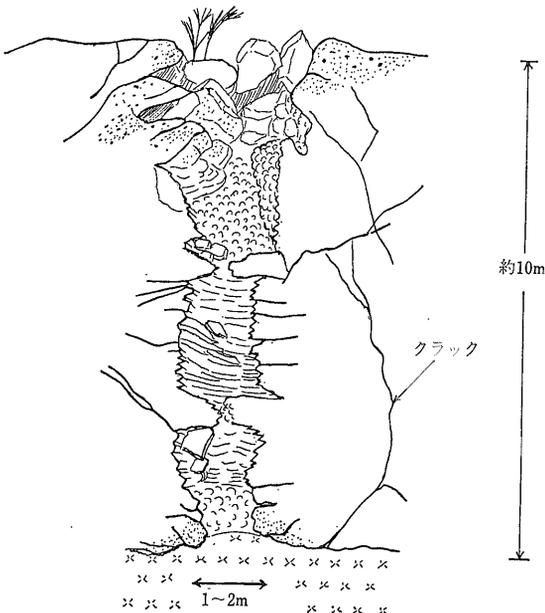


図-16 旧鳴沢採石場でみられる Spiracle

4. 熔岩洞穴の成因について

1) feeding pipe 型

熔岩洞穴の成因については Garden. A. Macdonald⁽³⁾

及び Bullard⁽⁴⁾ は各々その著書の中で同一内容のことを述べているが その概要は次の通りである。

『玄武岩質熔岩流が厚い場合には その内部での移動が不均一となり 流速の遅い部分の粘性は短時間のうちに大きくなり 流動状態のまま残るのは流速の速い部分のみとなる。結局 粘性の高くなった熔岩流内にパイプ状の流動部が形成され 火道から供給される熔岩はこのパイプを通して熔岩流先端へ運ばれる。このパイプは feeding pipe と称されており この feeding pipe が崩壊のために入口が閉塞されて熔岩が流れこまなくなったり 火道からの熔融熔岩の供給が停止した場合には feeding pipe 内の熔融熔岩が流出した跡が空洞となる。この空洞が熔岩洞穴 (Lava tube) である。この熔融熔岩の流出の際 feeding pipe 内の床の中央部のみをえぐるように流出し 側壁に接した部分を洞穴内にベンチ状に残すとこのベンチが熔岩棚である。一方 床の表面にはその流動方向を示す縄状熔岩や 粘性増加によるゴツゴツしたアア熔岩 (Clinkery Aa Lava) が形成される。熔岩洞穴は傾斜地に形成されやすく また feeding pipe はその末端部では河川のように分枝するため分枝した熔岩洞穴ができる』

この説によれば 熔岩洞穴は feeding pipe そのものであり その生成機構は熔岩流の流下機構に関係し 総延長が長い洞穴が形成されやすい。1970年のハワイのマウナウルの噴火の際流出した熔岩流に熔岩洞穴網が形成されたことが報告されている (Peterson 1973)

このような feeding pipe は流動性の大きいパーホエホエ熔岩のみに形成されるもので アア熔岩の場合には熔融熔岩は feeding river として熔岩流表面を流下するため feeding pipe は形成されない。熔岩洞穴が玄武岩質熔岩のみに形成されていることもこの説によれば説明しやすい。

万野洞穴 駒門風穴 本栖第一風穴 神座第一風穴等はトンネル部を主とする比較的単純な形態 (線型) を示し また これらの洞穴に発達する熔岩棚は B 型熔岩棚が主で この型の熔岩棚は前述のように床のレベルのえぐりとりによる低下により形成されたものである。また万野洞穴及び神座第一洞穴では B 型熔岩棚が洞穴の傾斜に沿って両側に続いており 床の傾斜急変部でも連続的に続いている。床部に発達する縄状熔岩から推定される移動方向は 母体の熔岩流の流下方向とほぼ一致しており 洞穴の分枝部も鋭角をなす場合が多い。これらのことから 上にあげた洞穴は前述の feeding pipe により形成されたものと思われる。

しかし これらの洞穴の開口部や末端部にドーム部が存在し 特に開口部のドーム部はガス噴出孔と推定され

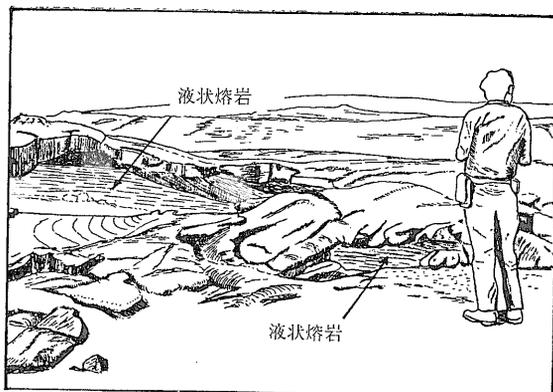


図-17 熔岩中のトンネル内を流れる熔岩
(1973. 1 マウナウル) トンネル天井が崩壊し内部が露出
(「Volcano of the earth」Fred M. Bullard より)

ることや 天井部や壁面には発泡の跡が多数認められることから 洞穴の生成にはガスも一役買っていたものと思われる。

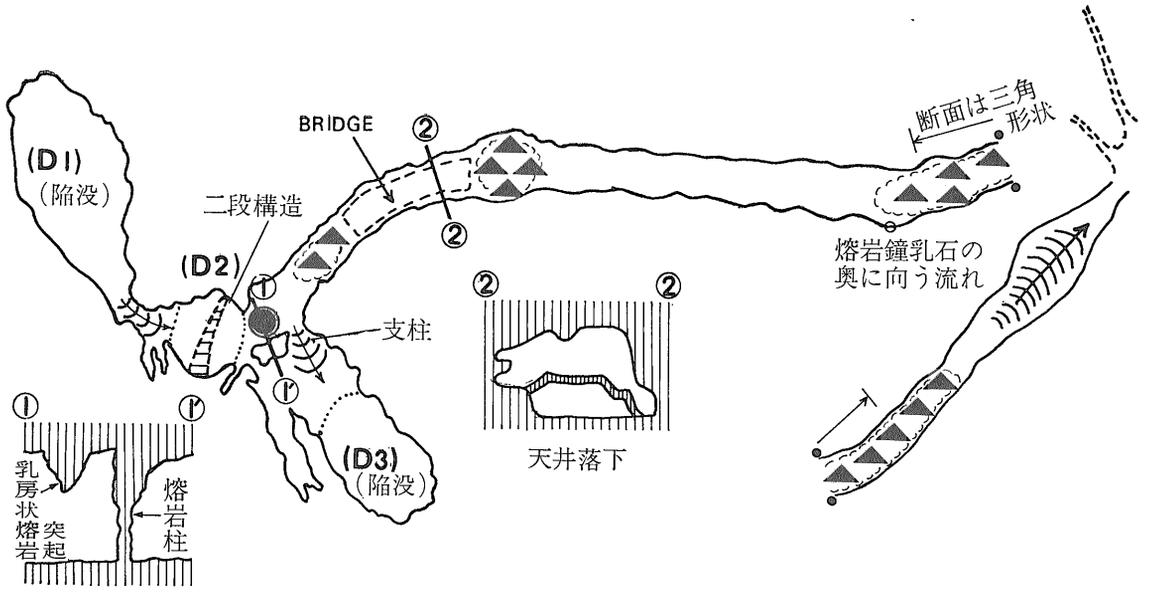
2) Schollen-dome 型

背負子第三洞穴 西湖蝙蝠穴 鳴沢水穴等は洞穴長が短く (全長 400m程度) また これらの洞穴はドーム部とトンネル部の複合体である。熔岩棚も A 型及び C 型が多く B 型のはほとんどみられない。鳴沢水穴の場合は 垂直方向にドーム部が連結している。これらのことから上記の洞穴は前述の feeding pipe により形成されたものとは考え難い。また鳴沢水穴 西湖蝙蝠穴周辺には前述のように Schollen-dome や Blister が多数発達しており その内部構造は熔岩洞穴の内部構造と類似している。特に西湖畔に分布する Blister から側方に伸びる空洞は熔岩洞穴と区別し難い構造をもっている。これらのドーム部とトンネル部の組み合わせからなる洞穴は 比較的平坦な山麓部に分布する傾向があり 特に鳴沢水穴 西湖蝙蝠穴が属する蝙蝠穴洞穴群は青木ヶ原熔岩流が湖に流入したと推定される位置に分布している (貞観6年の噴火で熔岩流が刻の海に流入し 西湖と本栖湖に分断したという記録がある)

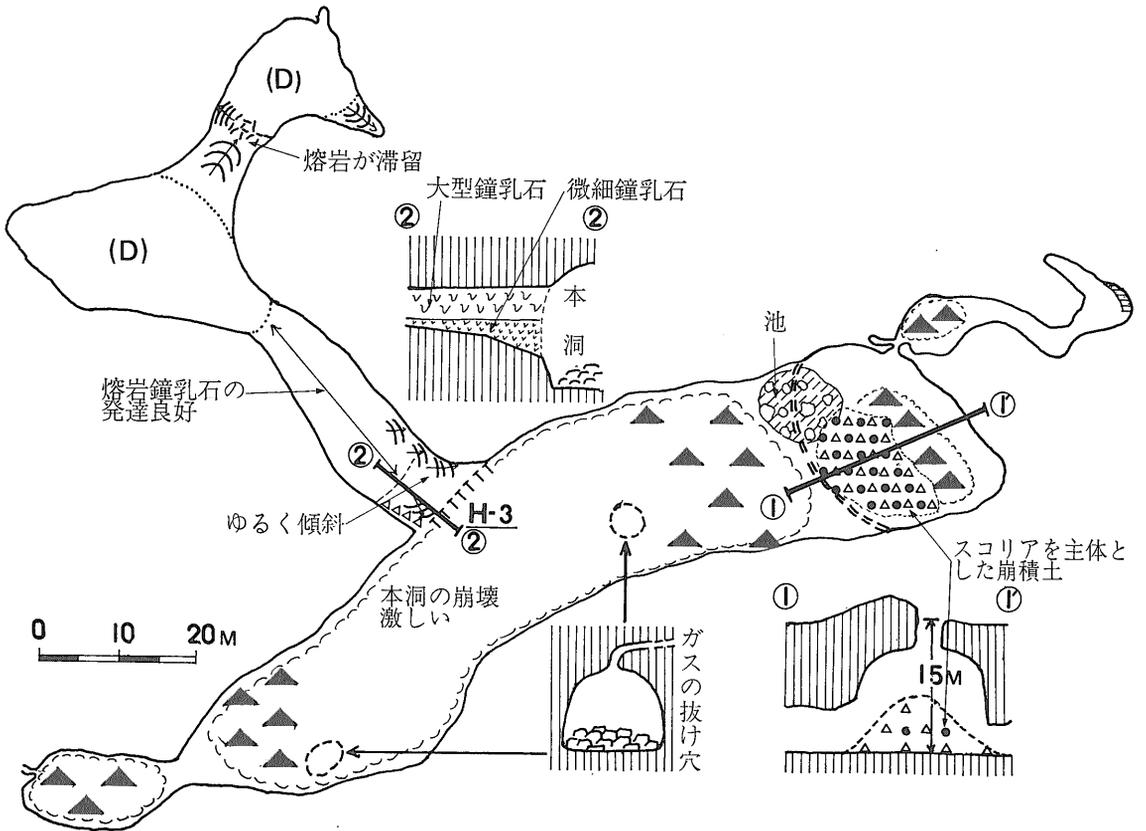
これらのことから 上記の熔岩洞穴は Schollen-dome と同様な機構で形成されたものと考えられる。即ち熔岩洞穴は隣接する大型の Schollen-dome が結合したものであり この Schollen-dome に相当する部分がドーム部であり 結合部に相当する部分がトンネル部であろうと思われる。

5. おわりに

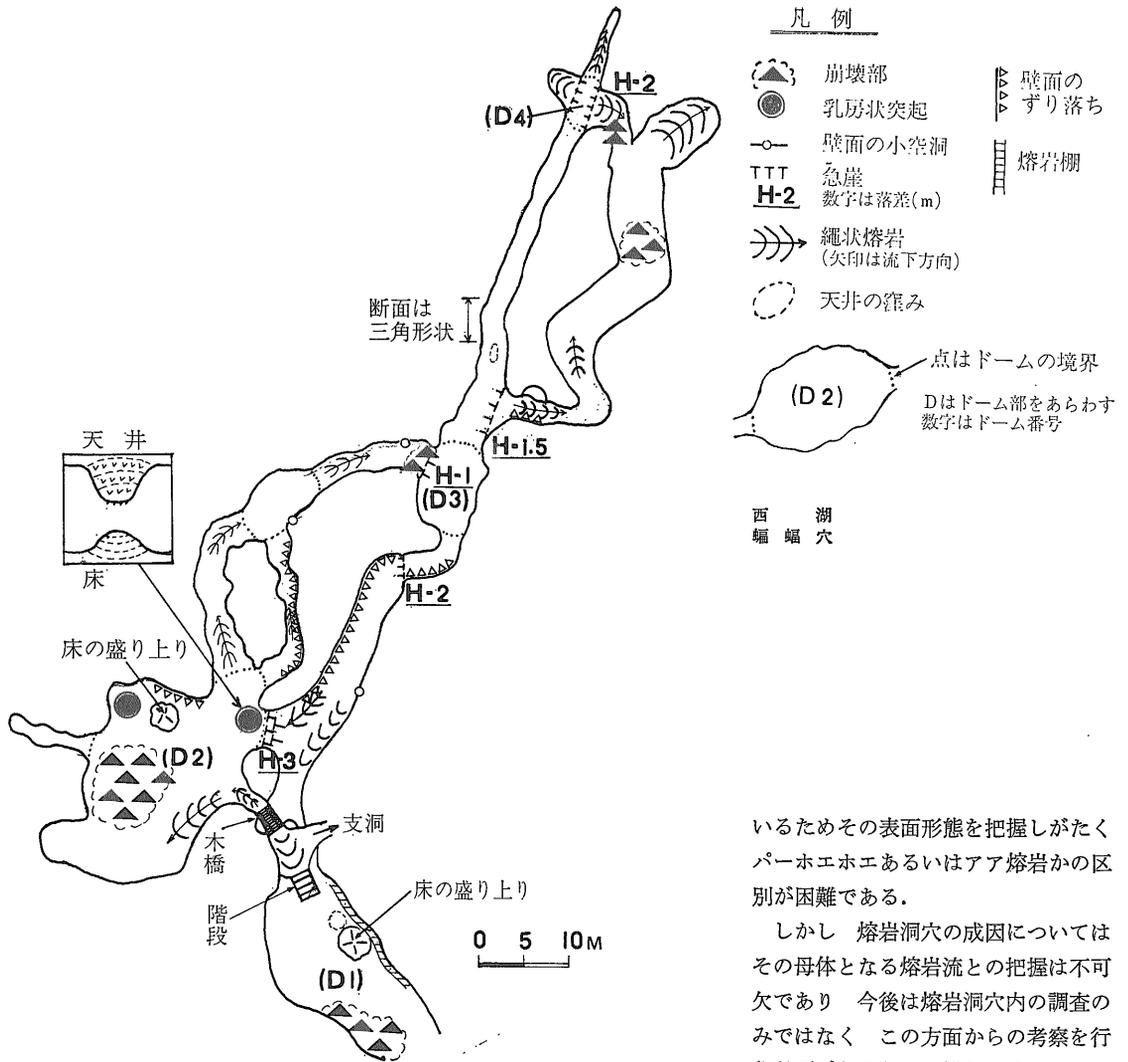
熔岩洞穴は玄武岩質熔岩流中に形成されるものであり その成因は feeding pipe を主体とするものと熔岩流内



背 負 子 第 一 洞 穴



本 栖 第 二 洞 穴



いるためその表面形態を把握しがたくパーホエホエあるいはアア熔岩かの区別が困難である。

しかし 熔岩洞穴の成因についてはその母体となる熔岩流との把握は不可欠であり 今後は熔岩洞穴内の調査のみではなく この方面からの考察を行う必要があろうかと思われる。

にそのガスが集積した Schollen-dome が主体となるものの2種類があると思われる。 両者ともパーホエホエ熔岩の流下機構及びその性質に基づくものであろうと推定される。 また複合熔岩樹型 Schollen-dome 及び Blister の内部構造は熔岩洞穴の内部構造と類似しており これらとの関連も考慮して熔岩洞穴の生成機構を考える必要があろう。

一方 熔岩洞穴が存在する熔岩流の平面分布は現在判明しているが その層厚などの垂直分布は 露頭の欠如ボーリングデータの僅少数性のためほとんど判明しておらず 熔岩流層内における熔岩洞穴の垂直位置については不明な点が多い。 また 熔岩地帯は新期熔岩の場合は森林に被われ 中期～古期熔岩の場合は耕地化されて

なお 洞内観察図を作成するにあたって 洞穴坑内図は富士山洞穴研究会で測量したものをもとにした。 また 本報告内に使用した洞穴平面図及び断面図についても一部富士山洞穴研究会で測量したものをを使用した。

参 考 文 献

- (1) 神原信一郎(昭和4)：「富士山の地質と水理」
- (2) 富士山総合学術報告書 富士急行株式会社
- (3) Garten, A. Macdonald: 「Volcanoes」 Prentice-Hall Inc.
- (4) Fred. M. Bullard 「Volcanoes of Earth」 University of Texas Press.
- (5) 浜野一彦：「富士山の熔岩」 地質ニュース 209号