

溶岩樹型の観察による形態区分と形成モデル

立原 弘	Hiroshi TACHIYARA	沢 勲	Isao SAWA
黒石川由美	Yumi KUROISHIKAWA	小川孝徳	Takanori OGAWA
本多 力	Tsutomu HONDA	金 炳 宇	Byoung-Woo KIM
槇田 但人	Tadato MAKITA	渡辺長敬	Nobuyoshi WATANABE
日向 治子	Haruko NINATA	中植きさら	Kisara NAKAUE

The Shape Classification and Formation Model by Observation of Lava Tree-mold

SUMMARY

The portion which touched tree trunk when volcanic product which flowed out at the time of an eruption passed forests and tree carries out the sudden cold of lava tree-mold in volcanic lava caves, and lava becomes hard. It is the general term of the subterranean space in which the cave and trees to which trees burned or decayed and were behind left behind as a mold formed by being related. The definition of lava tree-mold in volcanic lava caves is the subterranean space of the scale which man puts in. lava tree-mold is a cave with a diameter of 40 cm or less, and, on the other hand, is secondary generation space in which trees are formed by being related. lava tree-mold formed into igneous rock other than basalt is a pyroclastic flow, a volcano mud flow and scoria, etc.

If the basic shape of lava tree-mold is roughly divided, it can be classified into vertical tree-mold, recumbent tree-mold, and compounded tree-mold. As other basic shapes, there are cave tree-mold, capture tree-mold, fragmental tree-mold, secondary generated tree-mold, tubular tree-mold, spiracle tree-mold, etc. There is each type of basic shape of lava tree-mold,

and the environment and the conditions of generation differ from each other. I want to explain the main types with a photograph here.

The Aokigahara and Kashiwappara lava tree-molds formed in about 937・864 A.D. and 3 ± 20 A.D. Major chemical compositions of these lava tree-molds are revealed by XRF (X-Ray Fluorescence) Analysis. These values may belong to alkali-basalt. Average contents of major elements (wt.%) for the tree-mold from LT are as follows: $\text{SiO}_2=50.50$, $\text{TiO}_2=1.49$, $\text{Al}_2\text{O}_3=17.00$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=12.13$, $\text{MnO}=0.18$, $\text{MgO}=5.30$, $\text{CaO}=9.67$, $\text{Na}_2\text{O}=2.66$, $\text{K}_2\text{O}=0.79$, $\text{P}_2\text{O}_5=0.32$ in Fuji volcano.

It can be suggested that these facts are related to the chemical composition formation, the crystal structure and lattice constants on the tree-molds in Fuji volcano lava samples by X-ray diffraction method. X-ray of the crystal structure of materials are triclinic, orthorhombic, cubic and monoclinic system. Where, in the monoclinic system, it is found that the lattice constants (Am, Bm and Cm axis), and axis angle (βm) are, $\text{Am}=9.782 \text{ \AA}$, $\text{Bm}=8.917 \text{ \AA}$, $\text{Cm}=5.210 \text{ \AA}$ and $\beta m=106.27^\circ$ in Fuji volcano.

Key Words: *Lava Tree-Mold, Formation Mechanism, Shape Classification, External Shape.*

[大阪経済法科大学論集 第84号] [Osaka University of Economics and Laws, Vol. 84(2002), 1-46pp]

1. はじめに

火山洞窟学における溶岩樹型とは、火山噴火時に流出した火山噴出物が樹林帯を流下する際、樹幹に接した部分が急冷して溶岩が固結した後に、樹木が燃焼あるいは朽ちて鑄型として残された地中空間の総称である。洞窟学における火山洞窟の定義では、人間が入れる規模の地中空間を指すが、溶岩樹型では直径40cm以下の空洞や、樹木が関連して形成される二次生成空間も含まれる。玄武岩以外の火成岩の中に形成される樹型としては、火砕流、火山泥流およびス

コリア等が知られている。

この火山・溶岩樹型関連の形態区分と形成モデルの編纂は、日本洞窟学会火山洞窟学部樹型研究室と富士山火山洞窟学研究会との要請によるものである。初期の文献は、石原初太郎（1925）の『富士の自然界』、小川孝徳（1971）の『富士山』および濱野一彦（1992）の『富士山その自然のすべて』の中にまとめられている。溶岩樹型に関する学術論文では、本多力（1998）の「富士山溶岩樹型および内壁の再溶融発生機構の物理・化学的考察」、沢・井上・立原（1998）の「富士火山の柏原と青木ヶ原溶岩樹型の成分比較」などがある。

一般に溶岩樹型とされるものには、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。玄武岩には橄欖石、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、富士山溶岩樹型における平均重量百分率（wt. %）は、 $\text{SiO}_2=50.50$, $\text{TiO}_2=1.49$, $\text{Al}_2\text{O}_3=17.00$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=12.13$, $\text{MnO}=0.18$, $\text{MgO}=5.30$, $\text{CaO}=9.67$, $\text{Na}_2\text{O}=2.66$, $\text{K}_2\text{O}=0.79$, $\text{P}_2\text{O}_5=0.32$ 。いずれの試料も主成分としてアノーサイトが同定された。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、アノーサイトは、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検討する必要がある。

X線回折の分析によると、橄欖石、灰長石、普通輝石および曹長石の信頼係数は、平均として600以上である。偏光顕微鏡写真それぞれの結晶構造は、三斜晶系、単斜晶系および斜方晶系である。単斜晶系から計算された平均格子定数は、 $a_m=9.782\text{ \AA}$, $b_m=8.917\text{ \AA}$, $c_m=5.210\text{ \AA}$ and $\beta_m=106.27^\circ$ 。偏光顕微鏡写真からも橄欖石、灰長石、普通輝石および曹長石も観察できる。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が考えられる。灰長石には、 H_2O が鉱物粒の隙間に入ることにより液体相を形成する。

化合物の $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}$ 化学式に分離した分子 H_2O は、鉱物粒の境界面に沿って吸着しながら移動する状態で含まれる。橄欖石には、フォルステライトともいい、酸素の六方最密状態と鉱物粒の境界面の隙間にマグネシウム、鉄とケイ素が混入する状態がある。

近年、専門用語は、新たな洞窟の発見もあって確実に増加している。すでに日本や中国では、火山・溶岩関連用語を含めた地質関連書籍の辞典類が出版されているが、それはいずれも不十分かつ断片的であり、統一的で厳密な定義がなされているとはいえない。世界において本格的な火山・溶岩樹型関連の形態区分と形成モデルの編纂が見当たらない現状である。分類の編纂は、十分とはいえないが、溶岩樹型の研究・活用や応用において、あるいは基礎のデータとして世界最初の貴重な資料になるだろう。貴重な資料の形態区分と形成モデルを編纂した項目は、以下のとおりである。

溶岩樹型の基本形態は、豎樹型・横臥樹型および複合樹型に大別される。それ以外に、洞窟樹型・二次生成樹型に区分でき、生成の環境や条件が異なると、多様なタイプに分類できる。タイプに関わる論文の主な項目は、①溶岩樹型の研究史、②溶岩樹型の基本形態とタイプ、③溶岩樹型の形成機構（観察と成因）、④溶岩樹型の外部形態、⑤溶岩樹型内部の一次形態、⑥溶岩樹型の二次生成物などである。ここでは、その中のタイプについて、写真とともに解説を行う。

勝間田明男（1999）は、自作のホームページに英対訳と用語解説を公開している。沢勲と勝間田明男（2000）は、これらを参考にして世界最初の4カ国語（日・英・韓・中）の対訳集を作成し、火山洞窟関連用語と各種のモデルをホームページに公開している。

今回は関連のある用語を引用し、長年の間に精力的に活動した立原弘を始め、多くの樹型研究グループの独自の観察と経験から考案した用語集を編纂した。一方、溶岩樹型に関する用語は、立原弘編著（1997）と沢・鹿島（2002）を参考にして独自に考案した用語集である。これらを参考にし、観察した樹型の経験から整理した溶岩樹型関連用語集として、世界最初の4カ国語（日・英・韓・中）の対訳集を作成した（付録）。アジアでは、国際化時代に対応する火山洞窟の研究者には、日英韓中の多国語は必要とされる。

洞窟関連用語集を整理してみると、収集や情報が十分であるとは言い難い。今後、データベースの項目や内容等の訂正、補正が必要であることは、言及するまでもない。とりあえず中間報告とする。読者の意見を要請したい。

2. 溶岩樹型の研究史

溶岩樹型に関する国内の研究として、国内最初の文献には、『富士愛鷹火山調査報告書』に平林武（1899）の記述がある。その後、現在（2002年）まで多くの研究者の報告がある（表1）。

表1 溶岩樹型の研究史
(The History of Reports on Lave Tree-mold)

西暦	報告者	内 容
1899	平林 武	溶岩樹型の研究では、文部省震災調査会から『富士愛鷹火山調査報告書』を発行。溶岩洞窟および樹型の記述として我が国最初の文献。
1919	横山文治郎	地学概要に発表するなど火山洞窟に関して、学会でも関心が高まる。
1921	大森 房吉	10・11月号の地学雑誌に、キラウエア火山と富士山に生成された溶岩樹型に関する発表。
1922	石原初太郎	富士山の調査研究に取り組む。
1925	石原初太郎	『富士の自然界』の中で溶岩樹型や溶岩洞窟の記述。
1926	T. A. Jaggar	ハワイで開催された太平洋学術会議に参加した諸外国の学者が富士山を訪れた際、日本の溶岩樹型に対して賞賛の言葉を残し、特に楼閣状樹型は学術上貴重な資料として保存を訴えて帰国。当時ハワイ火山測候所長。
1929	石原初太郎	山梨県が発行した『史蹟名勝天然記念物調査報告書』に溶岩樹型に関する詳細な観察報告を残し、現在でも貴重な資料とされている。
1932	八木 貞助	浅間山鬼押し出し地域での溶岩樹型観察を発表。大正から昭和にかけて溶岩洞窟や溶岩樹型の研究が発表されて、次々と天然記念物指定。
1955	益富壽之助	富士山の溶岩樹型について火山噴出物の形成物を記述。『原色岩石図鑑』保育社。
1964	小川 孝徳	富士山五胎内の中で、須走胎内を除いた四胎内の観察報告を『芙蓉』富士急行社内誌に発表。
1969	津屋 弘達 荒牧 重雄 小川 孝徳	山梨県鳴沢村石切場跡の壑樹型鳴沢タイプ下から唐松の根を掘り出し、上部に形成された名状しがたい形状を観察。成因は不明であったが溶岩樹型と推定。

1970	津屋 弘達	富士山溶岩洞窟研究会が創設・初代会長。国内外への調査が始められた。（現、富士山火山洞窟学研究会）
1971	小川 孝徳	富士急行株式会社の創立45周年記念で発行した富士山総合調査報告書『富士山』には、溶岩洞窟および溶岩樹型に関する詳細な観察記録が記述され、樹型研究の基礎を確立した。
1972	濱野 和彦	『地質ニュース』に、溶岩樹型を井戸、石柱、横臥および傾斜のタイプ別に分類。
1975	西宮 克彦 濱野 和彦	山梨大学誌、溶岩樹型形態を記述。
1975	立原 弘	東京都八丈島で、溶岩洞窟と溶岩樹型を確認。
1977	立原 弘	韓国済州道で初めて溶岩樹型（楼閣、管状）を確認。
1986	小川賢之輔	富士市が発行した『富士市の自然』に東臼塚丸尾（溶岩流）と大淵丸尾（溶岩流）に形成された溶岩樹型の観察報告を発表。
1989	田中 収	鳴沢村石切場跡および運動場横の溶岩断面に露出した樹型をスパイラルクルという名称で水蒸気爆発孔説を同年の『大月短大論文集』に発表。
1992	小川 孝徳	裾野市が発行した『富士南麓の溶岩洞窟』に、十里木水穴が横臥樹型7本の複合樹型であると発表。
1992	濱野 一彦	『富士山その自然のすべて』に、鳴沢村石切場跡の露出した樹型をスパイラルクルと表現、水蒸気爆発孔説を記述。
1996	火山洞窟学部	日本洞窟協会、日本ケイビング協会、日本洞窟学会の合併。新体制の日本洞窟学会が発足し、火山洞窟学部が新設。
1996	小川 孝徳	小川孝徳は『山梨県天然記念物緊急調査報告書』に溶岩樹型の現状を報告。
1997	立原 弘	鷹丸尾（溶岩流）の柏原地区で大量の溶岩樹型を確認。溶岩樹型の新しい研究調査が始まる。ジラゴンノ地区、雁の穴地区、船津胎内地区等で溶岩樹型の研究が行われ、『山梨県富士山北麓柏原溶岩樹型観察報告書』を富士山火山洞窟学研究会が発行。
1998	溶岩樹型研究室	溶岩樹型を対象にして設立。火山洞窟とともに新しい調査部門が誕生。
1998	立原 弘	鳴沢村石切場跡および運動場横崖に露出した堅樹型について、スパイラルクルおよびスパイラルクル（水蒸気爆発孔説）論とは異なる溶岩滞留による鳴沢タイプの生成論を富士山洞窟学研究会で発表。
1998	沢 勲 井上 央	堅樹型と横臥樹型の周囲クラストの化学組成と富士火山を構成する岩石の化学組成との比較分析を行い発表。
1999	溶岩樹型研究室員	天然記念物である雁の穴の溶岩樹型群調査により、不明とされていた棍棒山の生成と雁の穴丸尾（溶岩流）の流出噴火口を確認し、更に樹型に囲まれた第2・3の火口を確認。
2000	本多 力	溶岩樹型の二次生成物に関して、再溶融鍾乳石および楼閣状溶岩について研究発表。

溶岩樹型に関する研究は、同じ溶岩洞窟より若干遅れたように思えるが、樹型の存在は知られていた。しかし、近代ケービング技術の進歩にともない、内部の科学的調査が可能になり、溶岩樹型に関する研究が飛躍的に行われるようになった。溶岩樹型は、樹木の鋳型であり、同じ形状の樹型は2つと存在しない。筆者らは、各樹型に関して、所在地を始め計測モデルや特徴を記録し、次世代に続く研究者に残すことが可能になった。研究者によっては、同一の樹型について異なる名称が用いられている。ゆえに、ここでは、樹型の生成形態を基本に過去の文献から名称を引用しながら外部形態および内部形態からの分類を試みた。その結果として科学的な観点から捉えるといくつかの形態（タイプ）に区分された。

表2の分類は、山梨県が発行した『史蹟名勝天然記念物調査報告書』に記載された石原初太郎（1929）ほか、最近までの論文や資料を参考にし、新たに分類しなおしたものである。

溶岩樹型の調査が進むにしたがい、新しい形態の樹型が次々と発見され即応の区分や解釈の範ちゅうに収まりきれない現状である。そのため、一部の修正を行った。今後も新しい形態の樹型が発見される可能性も高く、タイプの分類や名称の更新はあり得ることは附記するまでもない。

3. 溶岩樹型の基本形態とタイプ

溶岩樹型の基本形態を要約する。「**縦樹型**」とは、樹木が立ったままの状態で作成された樹型である。「**横臥樹型**」とは、横に倒れた結果、作成された横穴状の樹型である。また、「**複合樹型**」とは、複数の樹木が溶岩内で連結した樹型である。「**洞窟樹型**」とは、溶岩洞窟と溶岩樹型が地中で結合した空洞である。「**棲閣状樹型**」とは、木炭の割れ目状になっている二次生成物である。次に、以下のような各樹型の基本形態とモデルについて、写真を添えて解説を行う。

溶岩樹型の観察による形態区分と形成モデル（立原、沢、黒石川、小川、本多、金、植田、渡辺、日向、中植）

表2 溶岩樹型の基本形態とタイプ

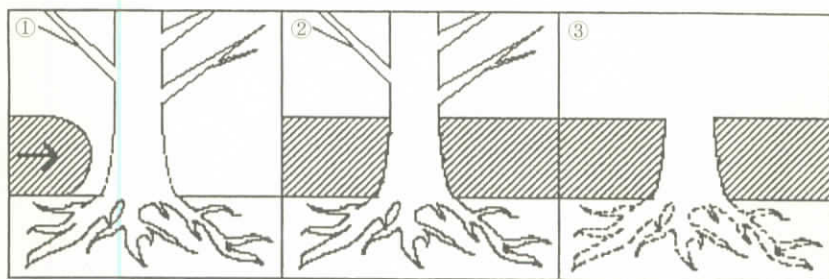
(The Basic Shape of Lave Tree-mold Classification and its Types)

基 本 形 態	番号	タイプと樹型	報 告 者	年代	文 献 名
堅 樹 型	1	井 戸 タ イ プ	石原初太郎	1929	山梨県史蹟名勝調査報告書
堅 樹 型	2	不 動 タ イ プ	石原初太郎	1929	山梨県史蹟名勝調査報告書
堅 樹 型	3	傾 斜 タ イ プ	石原初太郎	1929	山梨県史蹟名勝調査報告書
堅 樹 型	4	ブ レ ー ト タ イ プ	小川 孝徳	1982	
堅 樹 型	5	密 封 タ イ プ	植田 但人	1996	富士山火山洞窟研究発表会
堅 樹 型	6	鳴 沢 タ イ プ	立原 弘	1998	富士山火山洞窟学研究会報
堅 樹 型	7	ボ ト ル タ イ プ	植田 但人	1998	富士山火山洞窟研究発表会
堅 樹 型	8	堰 き 止 め タ イ プ	樹型研究室	1998	富士山火山洞窟研究発表会
堅 樹 型	9	棚 タ イ プ	立原 弘	2000	富士山火山洞窟学研究会報
堅 樹 型	10	多 木 棚 タ イ プ	立原 弘	1997	
堅 樹 型	11	筒 状 不 動 タ イ プ	立原 弘	2000	
堅 樹 型	12	天 蓋 タ イ プ	立原 弘	2000	
堅 樹 型	13	石 柱 筒 状 タ イ プ	沢 勲	2002	
横 臥 樹 型	1	単 独 タ イ プ	小川 孝徳	1971	富士山総合学術報告書
横 臥 樹 型	2	管 状 タ イ プ	小川 孝徳	1971	富士山総合学術報告書
横 臥 樹 型	3	密 封 タ イ プ	小川 孝徳	1998	
横 臥 樹 型	4	カ プ セ ル タ イ プ	樹型研究室	1998	洞窟大会ガイドブック
横 臥 樹 型	5	ボ ー ト タ イ プ	樹型研究室	1998	
横 臥 樹 型	6	側 壁 タ イ プ	立原 弘	1998	ジラゴンノ報告書
複 合 樹 型	1	堅 タ イ プ	立原 弘	1998	
複 合 樹 型	2	横 臥 タ イ プ	石原初太郎	1929	山梨県史蹟名勝調査報告書
複 合 樹 型	3	混 合 タ イ プ	小川 孝徳	1964	富士急行社内誌『芙蓉』
複 合 樹 型	4	立 折 タ イ プ	植田 但人	1998	富士山火山洞窟研究発表会
洞 窟 樹 型	1	樹型と洞窟の接合	立原 弘	1998	雁の穴溶岩樹型調査報告書
堅樹型の外部形態	1	不 動 岩 タ イ プ	立原 弘	2002	
堅樹型の外部形態	2	石 柱 筒 状 タ イ プ	沢 勲	2002	
堅樹型の外部形態	3	筒 状 不 動 タ イ プ	沢 勲	2002	
堅樹型の外部形態	4	溶岩堰き止めタイプ	立原 弘	2002	
堅樹型の外部形態	5	ス プ ー ン 形 状	立原 弘	2002	
堅樹型の外部形態	6	す り 鉢 状	石原初太郎	1929	山梨県史蹟名勝調査報告書
横臥樹型の外部形態	7	ボ ー ト タ イ プ	立原 弘	1998	
樹型内の一次形態	1	内 部 不 動 岩			
樹型内の一次形態	2	堅樹型多木棚タイプ			
樹型内の一次形態	3	鋭 角 状 抽 出 溶 岩			
樹型内の二次生成物	1	再 溶 融 空 洞			
樹型内の二次生成物	2	樹 型 溶 岩 棚			
樹型内の二次生成物	3	樹 型 破 裂 痕			
樹型内の二次生成物	4	樹 型 鍾 乳 石			
樹型内の二次生成物	5	樹 型 溶 岩 柱			
樹型内の二次生成物	6	樹 型 石 筍			
樹型内の二次生成物	7	樹 型 溶 岩 滴 壁			
樹型内の二次生成物	8	樹 型 胎 内 壁			
樹型内の二次生成物	9	樹 型 溶 岩 床			
樹型内の二次生成物	10	楼 閣 状 樹 型			
		天 然 木 炭			

3.1 縦樹型の観察による形態区分と形成モデル

3.1.1 縦樹型井戸タイプ（表2、モデル3.1と写真3.1）

立木がそのまま溶岩に囲まれ（モデル3.1①、②）のように単一の樹木が燃焼、また朽ちて③のように丸井戸の形状を残したもので、一般によく見かけるタイプの樹型である（写真3.1）。2本を越える立木の縦樹型は、複合樹型縦タイプとした。



モデル3.1 縦樹型井戸タイプの形成モデル
(Formation Model of Well Type Vertical Tree-mold)



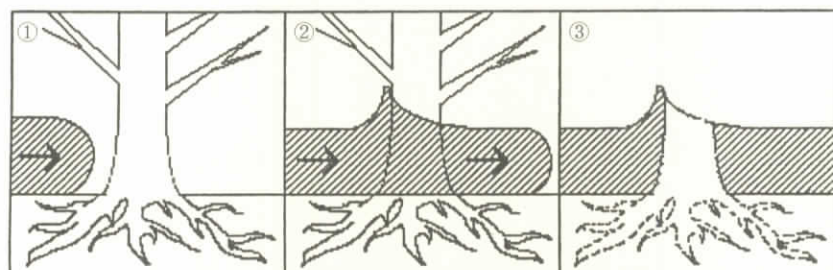
写真3.1 縦樹型井戸タイプ
(Well Type Vertical Tree-mold)



写真3.2 縦樹型不動タイプ
(Hudo Type Vertical Tree-mold)

3.1.2 縦樹型不動タイプ（表2、モデル3.2と写真3.2）

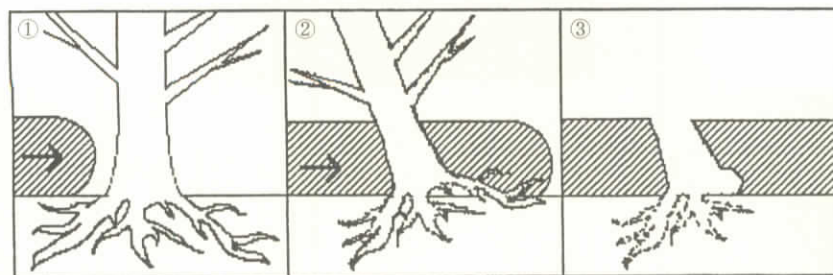
内部の形状は井戸タイプと同じだが、流動時の溶岩が立木に接した場合（モデル3.2①）、②立木の抵抗を受けて接触方向が盛り上がり、そのまま固結して地表に突き出した形状をなす。不動明王の光背に似ていることから石原初太郎により命名されたものである。モデル3.2の写真は、吉田胎内溶岩樹型群で観察できる（写真3.2）。



モデル3.2 縦樹型不動タイプの形成モデル
(Formation Model of Hudo Type Vertical Tree-mold)

3.1.3 縦樹型傾斜タイプ（表2、モデル3.3）

流動時の溶岩が、立木に接した場合（モデル3.3①）、②のように立木が傾斜状態のまま鋳型となったもので、③は基本的には、井戸タイプの傾斜状態のことである。立木が最初から傾斜していたものか、あるいは溶岩の影響で2次

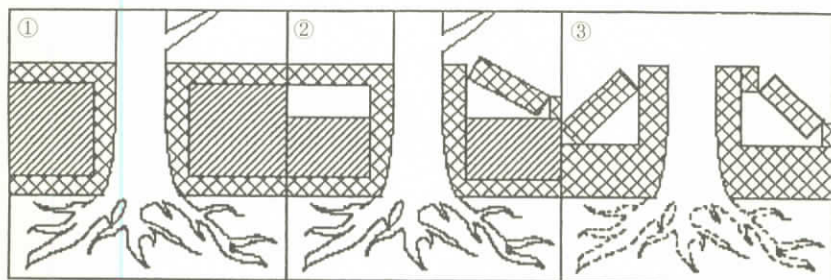


モデル3.3 縦樹型傾斜タイプの形成モデル
(Formation Model of Inclined Type Vertical Tree-mold)

的に傾斜したのかは不明である。溶岩流の上流部へ傾斜している状態と、逆に下流部へ傾斜している状態の2タイプがある。

3.1.4 縦樹型プレートタイプ（表2、モデル3.4）

ハワイ島で小川孝徳が観察した樹型である。表層が固結した後（モデル3.4①）に内部の液相溶岩が流れ去って②の如く空洞化したため、板状の固結溶岩は③のように縦樹型のクラストに一片を乗せて、他は沈下したものである。すなわち、樹木周囲の表層固結層だけが盛り上がった樹型を形成した。



モデル3.4 縦樹型プレートタイプの形成モデル
(Formation Model of Plate Type Vertical Tree-mold)

3.1.5 縦樹型密封タイプ（表2、写真3.3）

鳴沢村石切場跡で観察されるタイプである。このタイプは溶岩の内部に形成され、地表での観察は不可能であるため、稀にしか発見できない。樹幹が細く、初期溶岩流の高熱によって樹幹の上部は燃焼消失してしまい、下部の残った樹幹が溶岩の内部に密封されているものである。断面を撮影した写真によると、中央部から下は茶褐色で、上部は灰色であることから密封されたことにより燃焼が中断されたことを示している（写真3.3）。

3.1.6 縦樹型鳴沢タイプ（表2、モデル3.5と写真3.4）

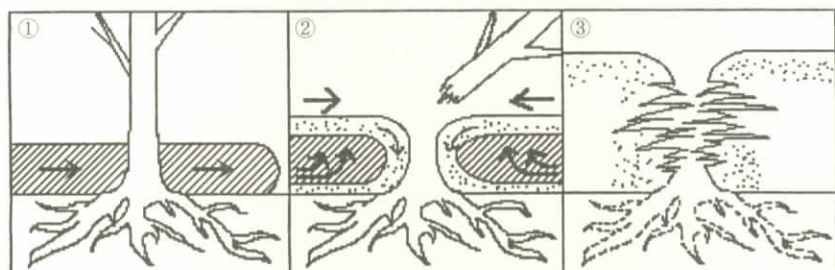
山梨県鳴沢村の石切場跡を中心に溶岩流が堰き止められ、後続して流下した溶岩が表層固結面を押し上げ、広大な溶岩プールを形成したためにできた縦樹型



写真 3.3 縦樹型密封タイプ
(Closed Type Vertical Tree-mold)



写真 3.4 縦樹型鳴沢タイプ
(Narusawa Type Vertical Tree-mold)



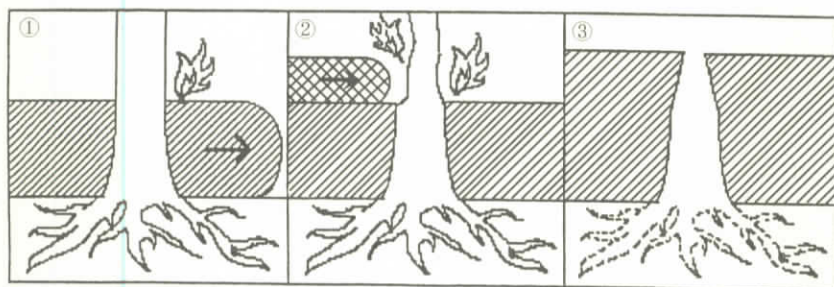
モデル 3.5 縦樹型鳴沢タイプの形成モデル
(Formation Model of Narusawa Type Vertical Tree-mold)

である。大気に触れることのない粘性の低い溶岩は、表層の固結層に保護されて高熱のまま流下し（モデル 3.5 ①）、溶岩プールへ流れ込んで半固結状の表層を押し上げ、②のように表層半固結層は縦状に変化する。溶岩表層は上昇したがつて樹幹周囲の半固結層に引き込まれるように縦状になり、③のようにひび割れが生じて、内部の液相溶岩がひび割れの中から押し出されている。樹型の表層がすり鉢状を呈しているのは、表層の半固結層が樹木周囲の半固結層と引き合ったものである。表層半固結層と内部の液状溶岩との間には、上昇

を阻まれた気泡が水平状に並ぶ気泡層が観察できる。すなわち、樹型周囲の縦状気泡層と合体する。特に、樹型周囲の気泡は半固結層が引き合ったために縦状の楕円形を呈している。また下部には、井戸タイプが鮮明に残され、水蒸気爆発孔（スパイラルクルあるいはスピラクル）との解釈もあるが、更なる研究課題である（写真3.4）。

3.1.7 縦樹型ボトルタイプ（表2、モデル3.6）

初期溶岩に囲まれて（モデル3.6①）、地表に露出した樹幹が②のように燃焼をはじめて細くなった後に、③の新たな溶岩に囲まれると初期溶岩樹型より上方は細い空洞が形成され、後の空洞が酒瓶に似ていることから付けられた名称



モデル3.6 縦樹型ボトルタイプの形成モデル
(Formation Model of Bottle Type Vertical Tree-mold)

である。柏原樹型群（No.73号）、雁の穴樹型群（No.25号他）を参照。

3.1.8 縦樹型堰き止めタイプ

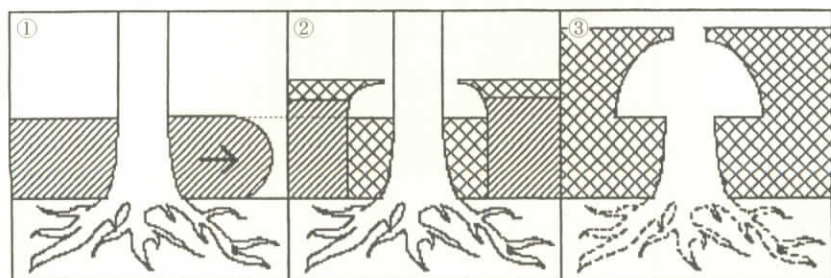
溶岩流先端部などに形成される片面縦樹型井戸タイプで、溶岩を堰き止めた樹型である。堰き止めの場合は、樹木周囲を溶岩が取り囲むが、溶岩接触面の片面だけが樹型となった場合である。但し、縦樹型の井戸タイプには堰き止め現象と同様にクラストを起し、接触部と下流に段差の起きているものも多い。船津胎内樹型群資料（No.105号）等とモデル5.2を参照。

3.1.9 縦樹型棚タイプ（表2、モデル3.7と写真6.1）

溶岩プールに生成された縦樹型の井戸タイプである。同じ溶岩プールで生成される縦樹型鳴沢タイプは、樹木の幹が比較的細いのにに対して、棚タイプは、直径1 m前後の幹を有している。樹木の直径が約30cm前後の場合は、上方が燃焼して下部だけが縦樹型密封タイプとして残される場合もある。鳴沢道の駅周辺に観察される縦樹型棚タイプは、初期溶岩流によって縦樹型の井戸タイプを形成した後（モデル3.7①）、一時的に、溶岩補給が中断して溶岩プールの表層上昇が止まり、樹木周囲の溶岩固結は拡大する。②のように再び溶岩の上昇が始まると、中断した時間帯に固結した層が樹木中心に円形状の段差（棚）として残される。周囲の溶岩は補給を受けて、再び上昇して③の状態となる。

特に、前記の地域には、溶岩プールを実証する横臥樹型ボートタイプや陥没したような大きな穴があるが、多くの穴底に縦樹型井戸タイプが確認できる。こうした棚タイプをガス陥没孔と誤解している。

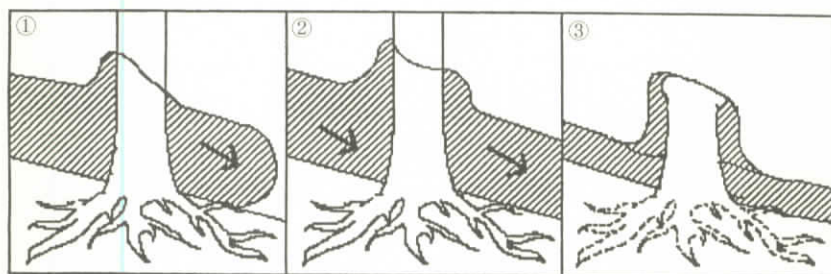
2本の隣接した樹木によって形成された縦樹型多木棚タイプについては、モデル6.2を参照されたい。このような要因での単一の棚タイプは、ジラゴンノ樹型群（No.41とNo.48号）や静岡県「こどもの国」駐車場内でも観察される。



モデル3.7 縦樹型棚タイプの形成モデル
(Formation Model of Shelf Type Vertical Tree-mold)

3.1.10 豎樹型筒状不動タイプ（表2、モデル3.8）

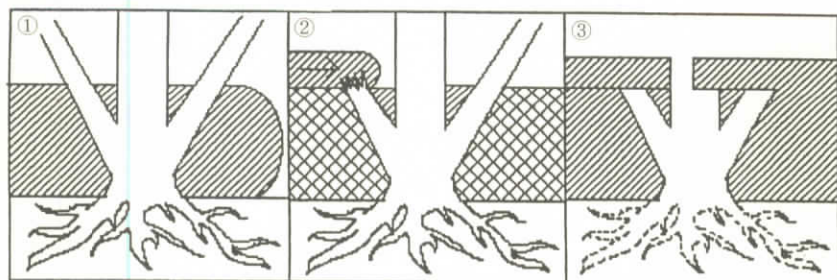
外部形態では、筒状タイプと不動タイプの中間に位置する樹型で、浅間山鎌原溶岩樹型群で観察した。八木貞助は肘掛け椅子（1931）と記述し、小川賢之輔は富士山大淵丸尾溶岩樹型群で観察した不動直立樹型と記述している。海外でも同タイプの樹型があり、豎樹型筒状不動タイプとした。比較的に粘性の低い溶岩流によって小規模な不動タイプ（モデル3.8①）が形成され、後にレベル降下によって②から③へ移行するタイプである。



モデル3.8 豎樹型筒状不動タイプの形成モデル
(Formation Model of Tube-hudo Type Vertical Tree-mold)

3.1.11 豎樹型天蓋タイプ（表2、モデル3.9）

立木が、幹分かれしている場合（モデル3.9①）に、溶岩流が流れて、何かの条件から溶岩レベル線で折れる状態②になる。その時、樹幹が残されている

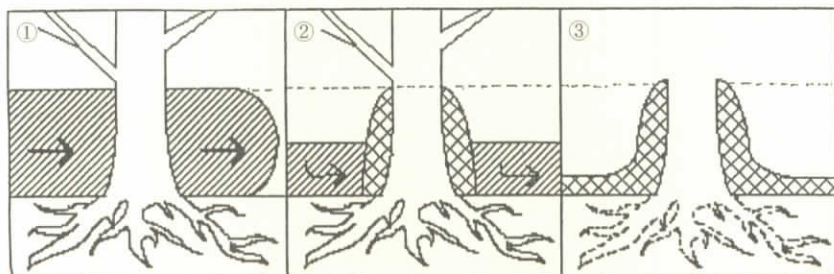


モデル3.9 豎樹型天蓋タイプの形成モデル
(Formation Model of Canopy Type Vertical Tree-mold)

る状態で溶岩がさらに流れながら蓋をした状態で重なり合い、③のように井戸タイプの樹型が天井を塞がれた形状の樹型である。この場合、密封状態の樹木水分は高温高压のガスに変化して大気に放出され、噴出孔側壁が高熱の影響を受けて再溶融している。ただし、塞がれている部分が、少ないと再溶融を起こさないこともある。堅樹型の密封タイプと形成過程は同じであるが、天蓋タイプは、ガス放出が起こった樹型を呼称している。雁の穴樹型群 G 1、記念物重要資料 No. 117 を参照。

3.1.12 堅樹型石柱筒状タイプ（表 2、モデル 3.10）

日本では確認されていないが、ハワイのマウイ島やハワイ島に多く確認されているタイプである。立木の樹幹（モデル 3.10①）は、溶岩流が流れる過程に低い粘性溶岩の補給が減少する状態である。この時に溶岩レベルが低下して②のように、樹幹周囲の固結した溶岩が残される。後に、内部の樹木が燃焼、あるいは朽ちて堅穴として③のように筒状に空洞化するもので、比較的細い樹幹でも形成される。まるでジャングルのように林立した樹型は、公園として大切に保護されている（ハワイ島のバホアの溶岩樹国立公園ほか）。



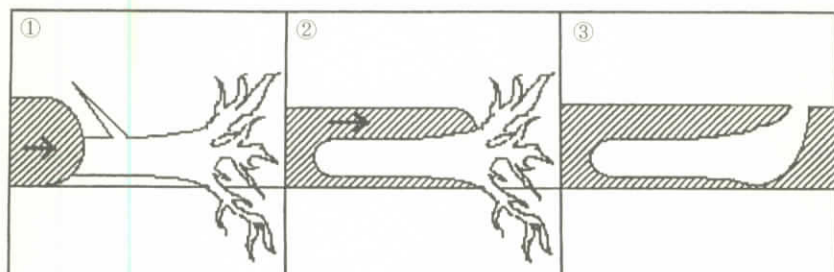
モデル 3.10 堅樹型石柱筒状タイプの形成モデル
(Formation Model of Column Tube Type Vertical Tree-mold)

3.2 横臥樹型の観察による形態区分と形成モデル

3.2.1 横臥樹型単独タイプ（表 2、モデル 3.11）

横臥樹型としては一般的なタイプで、溶岩が立木を倒した場合と溶岩到達以

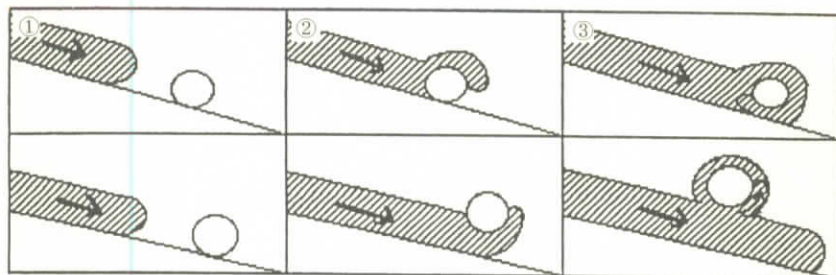
前に倒れていた樹木もある（モデル3.11①）。溶岩が②のように倒れている樹木を取り込んで形成された横穴状の樹型である。この場合、単独で1本の樹木を指しているが、③は密封状態となり高熱高压によって樹木成分が気体状態から外気の酸素と混合され、高熱を発生して再溶融を起こす場合もある。柏原樹型群No51を参照。



モデル3.11 横臥樹型単独タイプの形成モデル
(Formation Model of Individual Type Transverse Tree-mold)

3.2.2 横臥樹型管状タイプ（表2、モデル3.12と写真3.5）

管状タイプは、溶岩流の末端部に多く観察される樹型である。倒木を溶岩流の先端内部（モデル3.12①）から押し出される粘性の低い溶岩によって、海苔巻き状態で巻き込み②）、③のように回転して生成されるもので、比較的樹幹の細いものが多い。巻き込まれた樹木は、燃焼するか、あるいは朽ちて大



モデル3.12 横臥樹型管状タイプの形成モデル
(Formation Model of Tubular Type Transverse Tree-mold)



写真 3.5 横臥樹型管状タイプ
(Tubular Type Transverse Tree-mold)



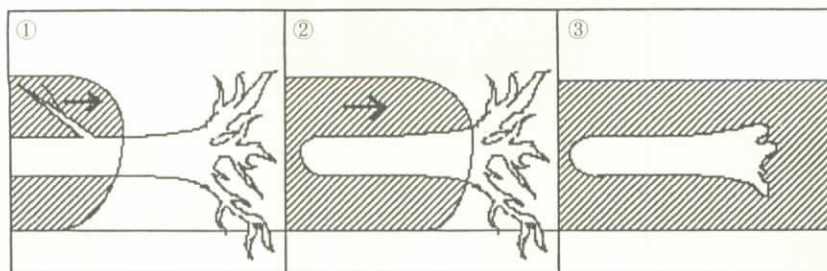
写真 3.6 楼閣状樹型の形成モデル
(Formation Model of Rokaku Tree-mold)

砲の筒に似た形状になる。富士山ばかりでなく、ハワイや韓国済州道を含め、外国でも多数確認されている。

管状の長さは、回転するために2 m前後であり、まれに、2本の樹木を重ねて生成された樹型も観察されている。写真は、前面から撮影したメガネ状の管状タイプである（写真3.5）。これらの樹木巻き込み時の溶岩状態はそれぞれ異なり、樹幹の上方から、あるいは下部から巻き込むことがある。さらに、溶岩流に流されて縦状に停止しているものも観察されている。

3.2.3 横臥樹型密封タイプ（表2、モデル3.13）

倒木が、溶岩中に取り込まれたもの（モデル3.13①～③）である。溶岩流



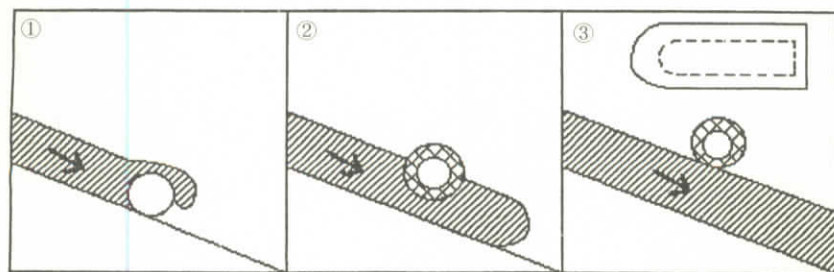
モデル 3.13 横臥樹型密封タイプの形成モデル態
(Formation Model of Sealing Type Transverse Tree-mold)

が②のように流れながら③のように形成された密封状態の樹型である。地表からは観察できないが採石場や工事などで確認されている。こうした樹型は、③のように密封状態にもよるが、気体化して残留物が無い場合と炭化して残されている場合もある。密封タイプには巨木もあり、比較的に細いものもある。忍野のキャンプ場入口で観察された。

3.2.4 横臥樹型カプセルタイプ（表2、モデル3.14）

倒木が溶岩中に巻き込まれ（モデル3.14①）、後に②、③のように溶岩表層に押し上げられた状態である。樹木が、密封状態におかれる結果、内部に炭化物や楼閣状樹型が発見されることもある。形状③の樹型は、大砲の弾に似ており、一方の先端は円錐状で、他方では平らに塞がれている。生成過程は管状タイプと同様で、生成過程に密封されたため、樹木内部の水分の膨張により、一方のみ円錐状となる。

富士山の山麓では数多く発見されているが、珍しいので民家の庭などに飾り物として置かれ、特に大きいものは、静岡県印野の「御胎内清愛園」に展示されている。発見時には内部から木炭が採取されている。

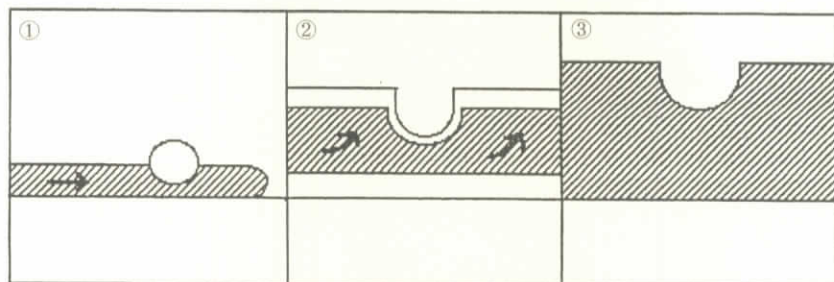


モデル3.14 横臥樹型カプセルタイプの形成モデル
(Formation Model of Capsule Type Transverse Tree-mold)

3.2.5 横臥樹型ボートタイプ（別名：ハーフチューブ：表2、モデル3.15）

ボートタイプは、溶岩プール地域（滞留）で希に観察される樹型である。溶岩プール形成時に、倒木の下部へ溶岩が入り込む状態（モデル3.15①）であ

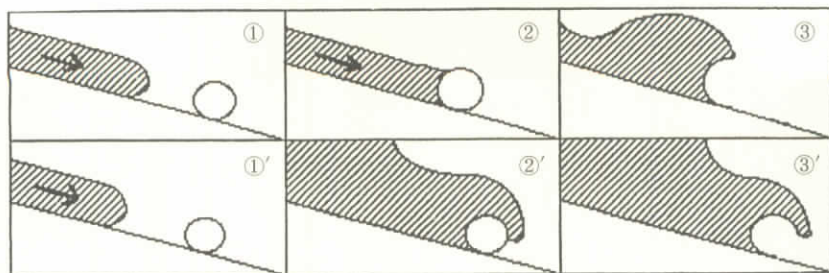
る。そのまま②のように表層に乗って上昇し、樹木の半分が樹型として残るため、丸木舟のような③形状となる。このような樹型は、表層固結層を押し上げた重要な資料で溶岩プール形成や、溶岩滞留地域の実証資料となる。ジラゴンノ樹型群（No.37）や鳴沢道の駅遊歩道内で観察された。



モデル 3.15 横臥樹型ボートタイプの形成モデル
(Formation Model of Boat Type Transverse Tree-mold)

3.2.6 横臥樹型側壁タイプ（表 2、モデル 3.16）

まず、倒木に溶岩流が接近する前段階（モデル 3.16①）である。溶岩流が堰き止められて②、片面だけが鋳型となって残される形状③で、比較的溶岩の薄い層の場合に形成される。ジラゴンノ樹型群No.50号樹型では、倒木の半分は前記のように片面が樹型として残り、残りの半分は樹木を溶岩が乗り越えて横臥樹型③'を形成している。これらの多くは溶岩流の末端部に多く見られる。

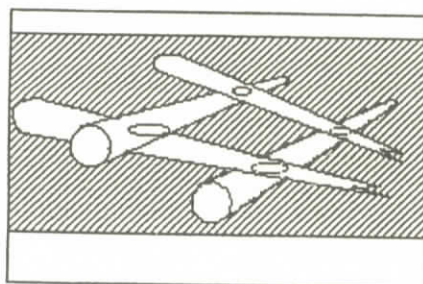


モデル 3.16 横臥樹型側壁タイプの形成モデル
(Formation Model of Side Wall Type Transverse Tree-mold)

3.3 複合樹型の観察による形態区分と形成モデル

3.3.1 複合樹型横臥タイプ（表2、モデル3.17）

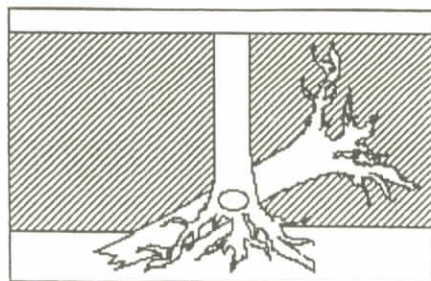
横臥タイプは、横臥樹型が複数連結したものである。代表的なのが吉田胎内樹型や船津胎内樹型である。もっとも数の多い複合樹型は、10本以上が地中で連結している。このような複合樹型は世界でも貴重な火山資料である。重なり合った倒木が、モデル3.17のように地中空洞部が連結して形成されている。



モデル3.17 複合樹型横臥タイプの形成モデル
(Formation Model of Transverse Type Compounded Tree-mold)

3.3.2 複合樹型混合タイプ（表2、モデル3.18）

混合タイプは、縦樹型と横臥樹型が、相互に交差状態として連結したもので（モデル3.18）、複合樹型の中でも多く観察される。柏原溶岩樹型群（No.14号）

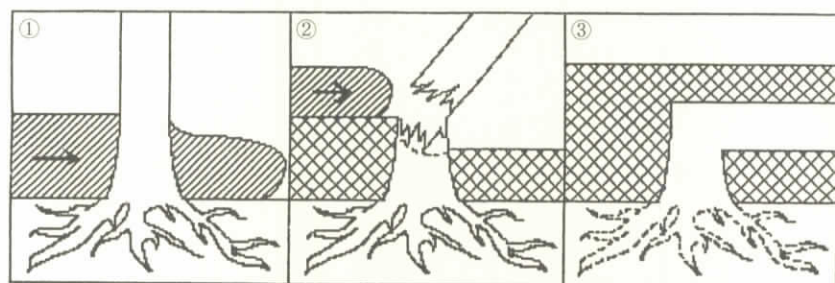


モデル3.18 複合樹型混合タイプの形成モデル
(Formation Model of Mixed Type Compounded Tree-mold)

や船津胎内樹型群（No.102号）などでは大量の倒木と立木が連結し、堅樹型の内部に溶岩再溶融が観察される場合が多い。倒木が、溶岩に押されて立木に接触した例も観察されている。

3.3.3 複合樹型立折タイプ（表2、モデル3.19）

立木が、溶岩流に取り込まれている状態（モデル3.19①）で、その途中から何かの要因で折れて倒木②となる。倒木となった樹幹も溶岩中に取り込まれて形成した樹型③で、一本の樹木である。樹型としては、堅樹型と横臥樹型が連結しているので複合樹型として分類された。立っている部分と折れて横になった部分が空洞で連結している珍しいものである。連結部分の観察から溶岩流の流動圧力②による影響があったものと思われる。横臥状の空洞は、いずれも水平であり、元地表から3～4mの高さにあり、何らかの溶岩の影響を受けたものと推定できる。大杉樹型群No.79号と船津胎内樹型群（No.117号とNo.118号）を参照。



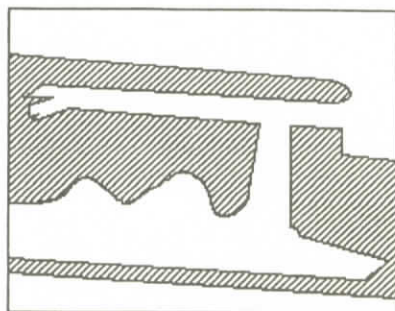
モデル3.19 複合樹型立折タイプの形成モデル
(Formation Model of Tree-break Type Compounded Tree-mold)

3.4 その他の溶岩樹型の観察による形態区分と形成モデル

3.4.1 洞窟樹型（表2、モデル3.20）

1999年に初めて観察された樹型で、まだ、2例だけの貴重な形態の空洞である。雁の穴樹型群Z2（モデル3.20）は、溶岩洞窟の高圧ガスが上方の横臥

樹型に流動し、さらに、横臥樹型を経て大気中に噴出している。その他、和人穴樹型群（No.5号）でも観察され、世界でも報告例のない貴重な樹型の形態である。発見当時は、混成洞と呼称していたが、洞窟と樹型が交わった空洞として理解できる名称に変更された。



モデル 3.20 洞窟樹型の形態
(Formation Model of Cave Tree-mold)

3.4.2 楼閣状樹型（表2、写真3.6）

石原初太郎文献（1929）に記述され、地元ではラジエーターなどと呼び、庭の鑑賞石として高価に取引されている。この樹型は、溶岩に取り込まれた樹木が、高熱で蒸され炭化した割れ目に再溶融した溶岩が入り込んだものである（写真3.6）。命名は、細かい板状の溶岩が重なりあって楼閣に似ているからである。再溶融した板状の間から木炭が採取され、成因の解明は1999年である。同様の樹型は、1977年の韓国済州道洞窟調査時に北済州群でも観察され、溶岩樹型内に形成された二次生成物である。

4. 溶岩樹型の形成機構（観察と成因）

4.1 溶岩樹型の成因過程と形成条件環境

火口から流出する溶岩は、10余含有量によって異なる性質の溶岩を噴出させている。ケイ酸、酸化アルミニウムおよび酸化鉄を含む10余含有量からなる玄

武岩は、約1,000℃の高熱を保ちながら流下するので、その時における溶岩流と樹木との温度差は、約1,000℃である。樹木に接した溶岩は、樹幹に含まれた水分の水蒸気化（気体化）の放出と冷却影響を受けながら固結化を早め、樹木の鋳型を形成する。溶岩樹型の成因には、樹木成分の存在、溶岩の粘性、流動速度、溶岩噴出量、地形等の5大要因がある。それらは相互が連関しながら溶岩樹型が形成されている。

溶岩樹型の形成条件としては樹林帯の存在が不可欠であり、鋳型を形成する樹木成長期間が必要である。したがって同期間における樹木成長の妨げとなるような火山噴火および災害が発生しなかったことを証明している。樹幹の大小は、樹型形成に依存する。すなわち、細い樹幹は、溶岩流動圧によって多くは倒されるか、溶岩の高熱で燃焼消滅し、地中の根部分だけが炭化状態で残留する場合もある。しかし、大半の細い樹木は、溶岩の余熱によって燃焼し、樹型を形成していない。ただし、希ではあるが、樹幹に巻き付いた蔓類の鋳型が、観察されているので、細くても全てが燃焼する訳ではないことを証明できる。

4.2 溶岩樹型の形成環境と観察

溶岩流の先端部は、溶岩流内を流動してきた粘性の低い溶岩が次々と押し出されて、温度の低い外気に触れて表面から固結化するが、樹幹に接する時点で液相に近いことは樹型に残された鮮明な樹皮模様からも判断できる。

A) アフリカ：溶岩の固結を早め、樹幹に接する部分にクラストを形成することは、温度差に加えて、物体に含まれた水分が影響する。アフリカ・ザイールで発見された象の鋳型は、鼻や尾の部分まで完全な鋳型として残され、樹幹の温度差と共に水分が溶岩の固結を早めている要因の一つと考えられる。

B) ハワイ：溶岩の粘性が低い玄武岩では、樹型を形成する条件に適合するが、粘性の高い安山岩に近い溶岩では不適合である。これは、キラウエア火山のパアホイホイ溶岩のように、一時的な溶岩流出と短期的な溶岩流出にも依存するが、樹幹の細い（約30cm以下）樹木でも、堅樹型石柱筒状タイプ樹型を形成している。

C) 富士山：富士山では、表面がアア溶岩の様相を呈し、内部は粘性の低いパアホイホイ溶岩に近く、多くの溶岩洞窟や溶岩樹型を形成している共通点がある。

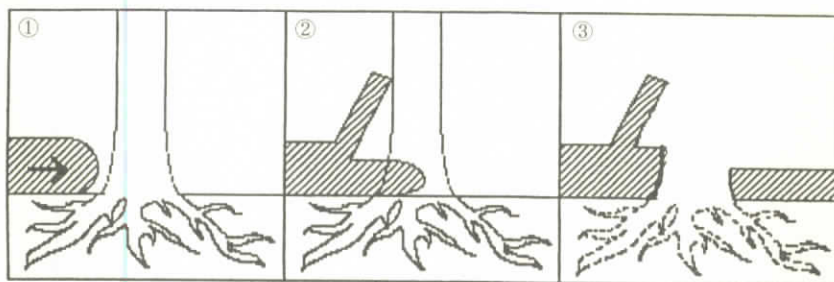
富士山の北麓では、溶岩滞留による表層上昇で8 mを越える溶岩層（溶岩プール）に豎樹型井戸タイプ、さらに、柏原溶岩樹型群では薄い7層の溶岩が重なり、3 m以上の溶岩層に豎樹型井戸タイプが観察されている。一方、溶岩流の傾斜度や滞留によっても異なり、富士山の南麓である静岡県側では、1.5～2 m前後の溶岩層に多く観察されている。

5. 溶岩樹型の外部形態

地表に露出した溶岩樹型の外部形態は、主に不動岩タイプや石柱筒状タイプ等である。樹型の外形形態は、溶岩の粘性、斜度、地形、溶岩量および樹幹等の5条件が要因となって、異なることが観察されている。

5.1 豎樹型不動岩タイプの外部形態（モデル5.1と写真5.1）

不動岩は石原初太郎の命名で、平地に忽然と立つ溶岩樹型の側壁を不動明王の光背に似ていることから命名されたと伝えられている。不動岩の成因は、多くの観察から様々な形成過程の存在が明らかにされている。溶岩流のレベル降下も一つの要因であるが、表面固結層が樹幹に接した後、後続溶岩流の流動圧によって樹幹に沿って押し上げられる場合（押し上げブロック）や、斜面上で樹幹の抵抗を受けて波のように押し上げられる場合もある。これらは、それぞれが異なる成因によって形成されているからである。



モデル5.1 豎樹型不動岩タイプの外部形態
(External Shape of Hudo-iwa Type Vertical Tree-mold)



写真 5.1 豎樹型不動岩タイプ
(Hudo-iwa Type Vertical Tree-mold)



写真 5.2 すり鉢状
(Suribachi Type)

共通している要因の一つには、樹幹に接した溶岩が急速に固結してクラストを形成した後に、後続溶岩流の影響を受けていることである。例えば、レベル降下による不動岩形成では、後続の溶岩補給が減少した結果、溶岩流内の液相が下流に流動し、表層固結溶岩層レベルが降下する。その時に、樹幹に接した層（クラスト）が取り残され、溶岩表層に露出する②。抵抗の多い程、樹型に接する溶岩上流部が上昇して、突起形態で残され、樹幹は燃烧するか朽ちて、その跡が空洞化する。溶岩流表層部が固結流動し、立木に接触した場合の上流部表層の固結層のみが立木に沿って押し上がり不動岩を形成②、プレートタイプの板状形態③となる（写真 5.1）。

5.2 豎樹型石柱筒状タイプの外部形態

石柱筒状タイプは、不動岩タイプと生成過程は類似している。石柱筒状タイプは、樹木の存在によって形成され、特に、粘性の低い溶岩流に形成されている。ハワイのマウイ島やハワイ島では、大量の石柱筒状タイプの樹型が観察され、樹幹が細くても溶岩レベルの降下によって形成されている。富士山では、ハワイと同様の石柱筒状タイプが観察されないのは、溶岩粘性にも関係しているが、短時間におけるレベル降下が起こらず、1 m以下の筒状不動タイプのみ

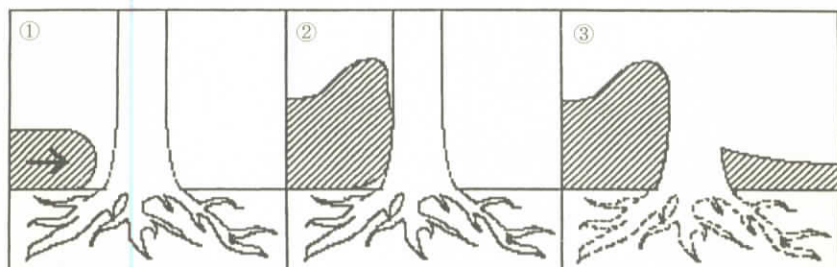
が静岡、山梨、群馬県で数本観察されている。モデル3.8とモデル3.10の生成過程モデルを参照。

5.3 縦樹型筒状不動タイプの外部形態

筒状不動タイプの名称は、同一の形態にあるのに、肘掛け椅子（八木貞助）・不動型直立樹型（小川孝徳）・僧正の襟（小川賢之輔）の異なった名称がある。ハワイで観察される石柱筒状タイプより樹幹が太いのが特徴で、高さも1 m前後で、上方が斜め状に形成され、上記のような名称がついた。このタイプは浅間山や富士南麓に多い。北麓では柏原樹型群No.90号に類似している。この樹型については様々な名称があるので、整理上「筒状不動タイプ」とした。モデル3.8とモデル3.10を参照。

5.4 縦樹型溶岩堰き止めタイプの外部形態（モデル5.2）

樹幹に接した溶岩が急速に固結してクラストを形成するが、この現象によって溶岩流を堰き止めて流れの方向を変えている現象を総称している。川の流れに想定してみると、浅瀬に杭を立てた場合（モデル5.2①）と同様に、流れが左右に分かれることになるが、ゴミや木の枝が杭に溜まれば、さらに影響は拡大する。この原理と同じで水分を含む樹木に接した溶岩②は、急速に固結範囲を広げて堤防の役割を果たし、後続溶岩の流れを結果的に変えることになる。傾斜が緩く溶岩層が3 m前後であった柏原地区では樹木によって溶岩が②堰



モデル5.2 縦樹型溶岩堰き止めタイプの外部形態
(External Shape of Lava Dammed Type Vertical Tree-mold)

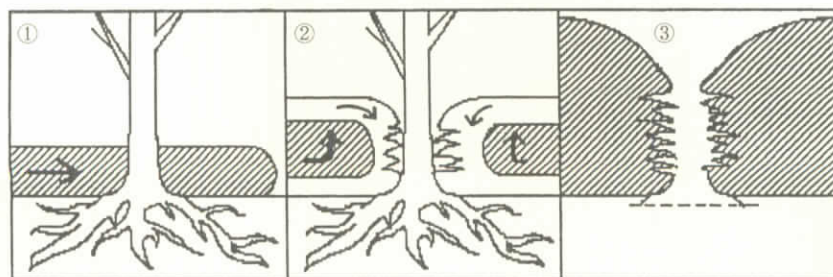
き止められ、流れを変えた樹型が多数観察された。この特徴を活用して火山災害に備えることも可能と考えられる。鳴沢道の駅地域の溶岩プールも樹木によって堰き止められた広大な溶岩プールである。

5.5 スプーン形状の外部形態

樹幹に接触した溶岩は急激に固結するが、後続溶岩流に押されて溶岩は左右に分かれた後に、樹幹を回り再び下流で合流する。粘性や斜度によって合流点が下方になり、残された樹型は、樹幹が円形で合流するまでの間が長くのび、平面モデルがスプーンに似ていることからつけられた名称である。こうした樹型は、溶岩流末端の薄い溶岩層地帯に多く見られる。

5.6 すり鉢状の外部形態（モデル5.3と写真5.2）

豎樹型の鳴沢タイプに観察されているが、全ての溶岩プールに形成されているものではない。こうした形状を水蒸気爆発孔とした解釈もあるが、溶岩プール（モデル5.3①）によって、半固結表層溶岩が液相溶岩の内部流入によって押し上げられる際②に、樹幹周囲の半固結層に引かれてできるすり鉢状の凹み③を呼称している。山梨県鳴沢村運動場横の溶岩断面に露出した豎樹型鳴沢タイプに観察される（写真5.2）。



モデル5.3 すり鉢状の外部形態
(External Shape of Suribachi Type Vertical Tree-mold)

5.7 横臥樹型ポートタイプ（ハーフチューブ）の外部形態

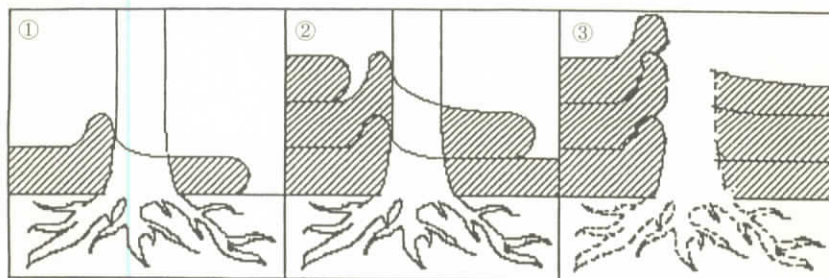
丸木舟に似た樹型で、初期溶岩流が倒木の下に流れ込んで樹幹の半分を包み込んで固結し、後続溶岩流が表層を押し上げて形成された樹型で、溶岩滞留地あるいは溶岩プールを形成する地域に見られる貴重な樹型である。根の形まで残したまま10m以上も旧地表から押し上げられている場合もある。押し上げられた根拠としては、周囲に豎樹型があり、流動していないことを証明している。モデル3.15を参照

6. 溶岩樹型内部の一次形態

一般に溶岩樹型の内部は、樹幹に接した溶岩の急速な固結作用で樹木の鋳型が形成される。樹幹に接する溶岩が液相であれば、密着して鮮明に樹皮模様を残すことになるが、大半はスコリア状の赤い壁面が多い。溶岩樹型の内部と溶岩洞窟の内部とが異なるのは、形成後の溶岩流動がないことで、高熱が保たれ側壁の色や表面の艶までが異なっている。ただし、横臥樹型には、二次性の高熱再溶融の胎内壁を形成する場合もある。

6.1 内部不動岩（モデル6.1）

柏原樹型群に多く観察された形状で、初期溶岩流によって形成された不動岩

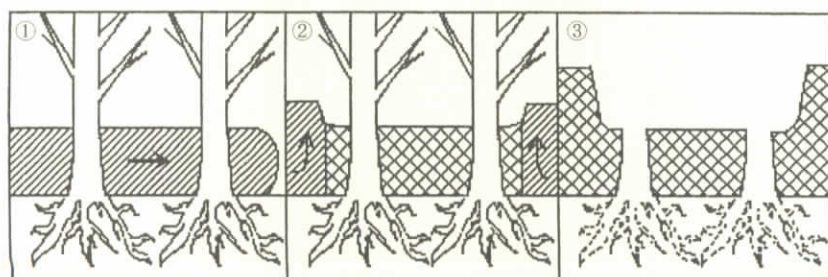


モデル6.1 内部不動岩豎樹型の一次形態
(The Primary Shape of Internal Hudo-iwa Vertical Tree-mold)

（モデル6.1①）に後続溶岩流②が重なって、次々に不動岩③を形成している。これは一時的に後続溶岩流の補給が中断すると、溶岩流動が停止して層全体が固結し、その上に液相溶岩が重なって不動岩を形成し、③7層の不動岩が側壁に観察された樹型もある。こうした溶岩の動きを地表から観察することは不可能であるが、樹型の内部からは容易に観察することができ、溶岩流動の方向と溶岩層厚を示す貴重な資料である。

6.2 堅樹型多木棚タイプ（モデル6.2と棚タイプの写真6.1参照）

この形態は、溶岩滞留地帯で観察される（モデル6.2）。溶岩堰き止めによる溶岩プール形成では、後続溶岩流が液相部へ流入することで、表層固結層が押し上げられる結果、樹幹周囲の固結溶岩が取り残されて棚状の段差が生じる。ただし、後続溶岩流の補給停止時間が長時間、あるいは樹型が複数隣接している場合、樹幹周囲の固結範囲も拡大され棚も拡大する。また、希ではあるが溶岩流動地でも小規模であるが棚が観察される。薄い溶岩層になる条件で棚が形成された例もある。堅樹型棚タイプは山梨県鳴沢村「鳴沢道の駅」周辺に多く見られる（写真6.1）。



モデル6.2 堅樹型多木棚タイプの一次形態
(The Primary Shape of Trees Shelf Type Vertical Tree-mold)

6.3 鋭角状抽出溶岩（写真6.2）

溶岩プール形成時における溶岩補給は、広範囲にわたるプール全体の表層固



写真 6.1 堅樹型棚タイプ
(Shelf Type Vertical Tree-mold)



写真 6.2 鋭角状抽出溶岩
(Acute Angle-like Extraction Lava)

結層を押し上げるが、数カ所から溶岩が流入している。堅樹型鳴沢タイプの生成では、上昇する表層固結層を樹幹周囲の半固結層が引き込むような状態となる。そのため、引き合いが生じて縦状になった半固結層に割れ目が起こる。その割れ目から内部の液状溶岩が押し出され、先端が鋭角状の形状（写真6.2）を呈している。この地域では、横板状に押し出されているが、他の樹型では、縦状の割れ目から同様の押し出された鋭角状の溶岩が観察できる。したがって、こうした形状を水蒸気爆発とした解釈もあるが、形状からも根拠に乏しい。

7. 溶岩樹型の二次生成物

一般的な溶岩樹型の成因は、樹幹に接した液相溶岩が樹幹に含まれた90%以上の水分と温度差の影響を受けて、樹幹周囲に溶岩クラストを形成する。後に、樹幹が燃焼もしくは朽ちて空洞化したものを溶岩樹型と呼称している。溶岩樹型の内部形態には、液相から固相に変化した一次生成物と、樹木の気化燃焼で発生する高熱が溶岩を再溶融させ、再び固結した二次生成物に区分できる。しかし、信仰の対象となった胎内模様の特有の肋骨状側壁を作り出した生成については様々な説がある。30年間にわたる火山洞窟の観察から基本的な解釈を述べることにした。

溶岩樹型の観察から溶岩再溶融には様々な形態が残されている。今日まで見

られなかった縦樹型井戸タイプの側壁に小規模の再溶融が観察された。井戸タイプの樹幹でも、高熱による樹木燃焼が進み、酸素補給の循環作用によって樹幹の一部が高熱を生んで再溶融を起こす場合も明らかになった（雁の穴樹型群）。

吉田胎内、船津胎内そして印野胎内に大規模な再溶融が起きている。その共通点は、三胎内とも複合樹型であり、内部の樹木から発生するガスの影響を受けているからである。吉田胎内を例にすると、洞口に当たる横臥樹型に再溶融が観察される。しかし、連結している他の樹型には、再溶融は観察されない。このことは、胎内を形成した横臥樹型以外の連結した樹木は、初期の段階で、一度は溶岩内に取り込まれて密封されている。その時には、高温高压状態に置かれ、超臨界水（ 374°C =約220気圧）の状態が作られたとしても不思議ではない。この高温高压によって、樹木である物体を分解した可能性は否定できない。それは、再溶融を起こした樹木以外に炭化物はおろか内部に灰も残っていない現状である。

7.1 二次生成の再溶融空洞（写真7.1）

高压の気体は、地表近い樹木から一気に大気中に放出され、同時に、酸素と結合して高熱を発生する。さらに、高压の気体は樹型の天井を融かし、樹木の上に流れ落ちて炭化中の樹木を包む。このとき、天井を融かした溶岩が側壁に肋骨状の模様を形成している。吉田胎内と船津胎内は、上下に2本の横臥樹木

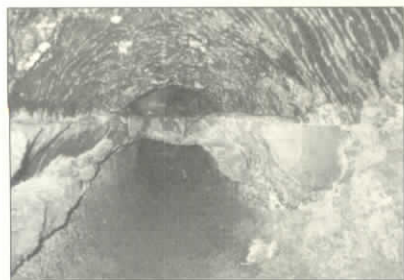


写真7.1 再溶融
(Refusion Cavity)



写真7.2 樹型破裂痕
(Branched Imprint Tree-mold)

が重なっているような空洞に見える。上方はガス圧と高熱で融けた空洞であり、下部は本来の樹木空洞である。しかも、一度、溶岩に密封された樹木は、複合以外の単独タイプにおいても再溶融を起こし、胎内と同様な内部形状を呈した樹型も観察された。このように、一度固結した溶岩が、再び、融けて作り出す空洞や溶岩を二次生成物と総称している。

再溶融空洞は、溶岩内に取り込まれた樹木燃焼の影響で二次的に形成される。成因は、溶岩内高圧ガス膨張で樹木鑄型とは異なるが、分類として溶岩樹型に属している。再溶融空洞は大別して下記の通り2種に分類している。

- A. 樹木に含む水分の高圧気体化により液相に近い溶岩内に空洞を形成する。
- B. 上記への気体化のガス燃焼で、溶岩が溶融して形成される空洞である。

写真7.1の吉田胎内は、二段状になっている。下段は樹木本来の鑄型であり、中間は再溶融した溶岩が形成した樹型溶岩棚、上段の空間が再溶融空洞である。崖状の樹型開口部付近以外に再溶融は見られず、開口部の奥、MとL樹型（内部樹型名）内部には、再溶融跡や樹木を示す残留物は見られない。

7.2 二次生成物の樹型溶岩棚（写真7.1）

溶岩棚とは、高温高圧のガス燃焼によって横臥樹幹（炭化して樹幹は細い）の上に溶融した溶岩が落ちて炭化樹幹を包み込んだ、平らな表面の棚である。この床状表面に天井から落ちる溶岩滴がミミズ状や重って樹型石筍を形成する。下部の樹幹は、炭化した高熱の木炭割れ目に溶融溶岩が入り込み、楼閣状樹型を形成する。床面の上部は、融け落ちた溶岩体積と同じ体積（高圧ガスの影響で体積がプラスされる場合もある）の空間が生じている。したがって、溶け落ちた再溶融溶岩は樹幹の上部に層を形成し固結化する。下部の樹幹は炭化あるいは気化して新たに空洞を形成し、断面から見るとブリッジ（棚状）に見られることから樹型溶岩棚と呼称している。

7.3 二次生成物の樹型破裂痕（写真7.2）

樹型破裂痕は、再溶融を起こした樹型の内壁に観察された。溶岩に密封され高温高圧となって気体化したガスが、酸素と結合して高熱状態になる。やがて



写真 7.3 樹型鍾乳石
(Stalactite Tree-mold)



写真 7.4 樹型溶岩柱
(Lava Column Tree-mold)

大気に放出が始まり、内部の気圧が下がると、樹木の枝など閉じこめられていた低い気圧のガスは、樹型空間に放出される。この時、樹幹部の壁は、再溶融しているため、薄い壁を破る。やわらかい溶岩は、樹型空洞部にまくれあがった形状のままで固結（写真 7.2）して残る。その形状を樹型破裂痕と呼称している。

7.4 二次生成物の樹型鍾乳石（写真 7.3）

石灰洞窟（鍾乳洞）の鍾乳石は、長い年月をかけて成長する。溶岩鍾乳石は、溶岩液相時のみに成長し（写真 7.3）、固結時と同時に成長は止まる。溶岩洞窟内に生成される鍾乳状の一次生成物は、溶岩鍾乳石と呼称する。樹型内部で生成される鍾乳石は、二次生成物である。そのため、二次生成物の樹型鍾乳石と呼称している。名称は、石灰洞窟の鍾乳石と類似し、石灰洞窟研究の歴史が古いため、呼称されてきた面も否定できない。

7.5 樹型溶岩柱の二次生成物（写真 7.4）

樹型溶岩柱は、樹型内で再溶融した液状溶岩が、落差のある空間に流れ落ち、下部から固結して柱状に形成されたもので、数少ない貴重な資料である。樹型溶岩柱は洞窟内の一次生成溶岩柱と異なり、溶岩樹型の空洞そのものが樹幹の鋳型で、再溶融した空間を加えても、洞窟の溶岩柱とは比較にならないほどの

小さい規模である。しかも、成長する溶岩量が限られるため、大規模な溶岩柱は生成されない。写真 7.4 は、民家に逆さまに飾られたものである。

7.6 二次生成物の樹型石筍

高さ 2 m に達する最大の溶岩石筍は、静岡県朝霧高原の三ツ池穴内で観察された。溶岩石筍は、洞窟天井の割れ目から上層の液状溶岩がしみ出し、溶岩滴となって落下しているので、流動する床面では生成されない。床面が固定されている箇所では、次々に溶岩滴が積み重なって石筍となる。溶岩石筍は、溶岩洞窟の一次生成物であるのに対し、樹型石筍は再溶融による二次生成物に分類される。樹型溶岩棚の項を参照されたい。

7.7 二次生成物の樹型溶岩滴

側壁や天井から落ちる再溶融溶岩滴（粒状）の大きさは粘性、更に落ちる空間内の温度によって異なる。高温から低温に変化しながら床に形成される形状は、床面融合、ミミズ状および石筍の順である。

7.8 二次生成の胎内壁（写真 7.5）

胎内壁とは、再溶融溶岩による樹型内の形状（写真 7.5）を示すものである。人間の胎内に似た肋骨状模様は、古い時代から富士講や安産等の信仰に利

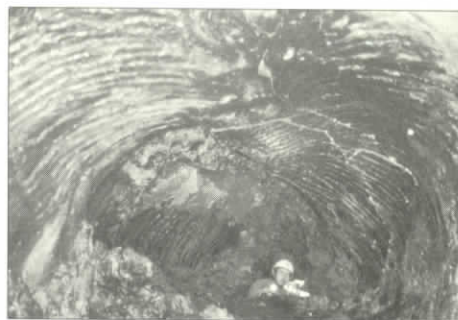


写真 7.5 胎内壁
(Tainai-wall)

用されてきた。再溶融による胎内模様は、複合樹型だけではなく、溶岩に包まれた樹木が密封されて樹木成分が高熱・高圧状態になり、やがて地表へ放出され酸素と結合して、爆発的な高熱が起こり、横臥樹型単独タイプや二次生成の再溶融空洞内にその形状は観察される。

7.9 二次生成の樹型溶岩床

天井から落下する溶岩滴や側壁を流れ下る再溶融溶岩は、やがて炭化した樹幹を包み込み樹幹上方に溜まって床を形成する。これは溶岩棚で、樹幹が完全に燃焼または消滅して空洞の底に溜まった再溶融溶岩の床を樹型溶岩床と呼称している。

7.10 二次生成物の楼閣状樹型

楼閣状樹型は、昭和4年（1929）に富士山を訪れたハワイ火山測候所創立者ジャッガー博士が、鳴沢村で見た楼閣状樹型に対し、貴重な学術資料として保存を訴えて帰国した。が、地元の住民は珍しさも加わって乱獲し、天然記念物に指定されたものまで採掘した。現在、無傷で形成位置に残存する楼閣状樹型は皆無である。今日においても、工事等で出土しても、保存されずに民家の庭などに鑑賞石として飾られている状況にある。楼閣状樹型に関する初期の研究者は、腐朽木を溶岩が取り巻いて形成したものと思われていた。が、今日の観察研究では、溶岩に取り囲まれた樹幹が、炭化途上に再溶融溶岩によって木炭の隙間に入り込んだものと定説になってきている。

7.11 天然木炭

豎樹型井戸タイプの溶岩底には、溶岩の高熱から土壌に守られた樹木の根が、炭化状態で多く出土している。また、横臥樹型、カプセルタイプおよび楼閣状樹型等からも木炭が採取され、放射性炭素の測定に用いられている。

8. 日本の溶岩樹型

8.1 富士山溶岩樹型の分布

日本の溶岩樹型研究が恵まれているのは、富士山という火山地帯に多くの樹型を有しているからである。国内にある溶岩樹型の大半は、富士山に集中し、浅間山の火砕流中に形成した樹型も存在する、また、東京都の八丈島と三宅島などでも確認されているが、富士山全域における溶岩樹型の分布調査は、一部だけで大半が未調査である。今、確認されている静岡県と山梨県の溶岩樹型の分布は、それぞれ表3と表4である。下記に記載していない樹型群は未知数である。

溶岩樹型は、全ての溶岩帯に形成するものではなく、溶岩噴出時に、樹林帯の存在や生成条件に恵まれている環境が必要となり、限定された地域に集中している可能性が高い。玄武岩以外にも樹型が存在している可能性もあり、今後の研究・調査に期待する。

表3 静岡県にある溶岩樹型群と溶岩流
(Division of Lava Tree-mold Groups and Lava Flow
Developed in Shizuoka Prefecture)

	樹型群名	溶岩流名	現況	指定
1	印野胎内樹型群	印野丸尾（溶岩流）	詳細未調査	天然記念物
2	十里木溶岩樹型群	十里木溶岩流	詳細未調査	
3	東臼塚溶岩樹型群	東臼塚丸尾（溶岩流）	所在位置確認	
4	勢子辻溶岩樹型群	勢子辻溶岩流	観察のみ	
5	大淵丸尾溶岩樹型群	大淵丸尾（溶岩流）	所在地確認	
6	富士川河口	富士川橋（大宮）溶岩	観察のみ	

溶岩樹型の観察による形態区分と形成モデル（立原、沢、黒石川、小川、本多、金、槇田、渡辺、日向、中植）

表4 山梨県にある溶岩樹型群と溶岩流

(Division of Lava Tree-mold Groups and Lava Flow
Developed in Yamanashi Prefecture)

	樹型群名	溶岩流名	現況	指定
1	ハリモミ溶岩樹型群	鷹丸尾溶岩流	詳細未調査	
2	鷹丸尾溶岩樹型群	鷹丸尾溶岩流	観察のみ	
3	柏原溶岩樹型群	鷹丸尾溶岩流	中間調査終了	
4	桧丸尾溶岩樹型群	桧丸尾溶岩流	終了	
5	雁の穴溶岩樹型群	雁の穴丸尾溶岩	中間調査終了	天然記念物
6	吉田胎内溶岩樹型群	剣丸尾溶岩流	詳細調査中	天然記念物
7	船津胎内溶岩樹型群	剣丸尾溶岩流	詳細未調査	天然記念物
8	鳴沢溶岩樹型群		詳細未調査	天然記念物
9	溶岩プール樹型群		詳細未調査	
10	屋坪溶岩樹型群		詳細未調査	
11	ジラゴンノ溶岩樹型群		終了	
12	青木ガ原溶岩樹型群	大塚溶岩流	詳細未調査	
13	背負子溶岩樹型群	青木ガ原溶岩流	詳細未調査	
14	石塚溶岩樹型群	石塚溶岩流	詳細未調査	
15	大杉溶岩樹型群	石塚溶岩流	詳細未調査	
16	本栖サガリ山溶岩樹型	不明	詳細未調査	
17	精進溶岩樹型群	石塚溶岩流	詳細未調査	
18	白大竜王溶岩樹型群	奥庭第2溶岩流	詳細未調査	
19	片蓋山溶岩樹型群	奥庭第2溶岩流	詳細未調査	
20	茅ガ原溶岩樹型群	奥庭第2溶岩流	詳細未調査	
21	野下溶岩樹型群	青木ガ原溶岩流	詳細未調査	
22	御庭溶岩樹型群	奥庭第2溶岩流	詳細未調査	
23	佐原山溶岩樹型群	御庭溶岩流	詳細未調査	
24	白山溶岩樹型群	奥庭第2溶岩流	詳細未調査	
25	和人穴溶岩樹型群	青木ガ原溶岩流	詳細未調査	
26	神座溶岩樹型群	水穴溶岩流	詳細未調査	
27	天神山溶岩樹型群	天神山溶岩流	詳細未調査	

8.2 富士山以外の溶岩樹型

火山噴出物および火山の影響を受けて形成された樹木の鋳型全般を溶岩樹型として扱っている。したがって、玄武岩以外の火山噴出物（火山灰、火山泥流、火砕流等）内に形成された樹木鋳型も溶岩樹型に含まれている。

表5 富士山以外の溶岩樹型群と火山名
(Lava Tree-mold Groups in Japan Except Mt. Fuji)

火 山 名	指 定	樹 型 群 名	所 在 地
浅 間 山	特別天然記念物	鎌原溶岩樹型群	群馬県嬬恋村
八 丈 富 士	指定なし		東京都八丈町
雄 山	指定なし		東京都三宅村

8.2.1 特別天然記念物鎌原溶岩樹型（写真8.1）

1940年8月30日に国の天然記念物指定を受け、1956年3月29日付けで特別天然記念物指定された。浅間山鬼押し出しの東西に分布し、火砕流樹型として貴重な存在であるが長年放置され、1975年より保護整備が始められている。詳細は鎌原溶岩樹型調査記録を参照。

2000年7月の観察（写真8.1）では、火砕流に生成された八木貞助の樹型報告は貴重な存在である。したがって周辺地域に散在している溶岩樹型の調査保存は急務な作業と考えられる。また火山博物館職員の話では、博物館の近くには玄武岩溶岩樹型が存在しているとの話もあり確認調査と火砕流樹型に関しては、確認されていない横臥樹型等の詳細調査が必要と思われる。

8.2.2 八丈島の溶岩樹型（写真8.2）

八丈島で観察された溶岩樹型は玄武岩質で、底土港の海底工事中に発見された。郷土資料館には、二次生成物の楼閣状樹型と横臥樹型管状タイプが展示され、島内の民家にも楼閣状樹型や再溶融溶岩の小片が多数飾られている（写真8.2）。ただし、豎樹型および横臥樹型等は確認されていない。また、八重根



写真 8.1 鎌原の溶岩樹型
(Lava Tree-mold on Kamahara)



写真 8.2 八丈島の溶岩樹型
(Lava Tree-mold on Hachijou-shima)

の軍艦山地下には、旧日本軍地下壕の側壁に水穴（現地呼び名）と称する直径10cm前後の横穴が無数にあり、内部に木片の残存が確認され、凝灰岩層で三原山山系に属している。

8.2.3 三宅島の溶岩樹型

1983年の噴火で阿古地区へ流下した溶岩流の中に、大量の再溶融小片が観察できたことは、噴火口周辺の樹木（直径10cm前後）が溶岩に巻き込まれて密封され、樹幹周囲を再溶融させた後に、溶岩流動中に破壊されたものである。ただし、豎樹型および横臥樹型等は確認されていない。

9. おわりに

溶岩樹型群における溶岩樹型の観察による形態区分と形成モデルならびに写真撮影の結果、沢、井上、立原（1998、2000、2002）による蛍光X線分析、X線回折による解析と偏光顕微鏡写真の結果から以下のことが分かった。

- 1) SiO_2 の含有率について、平均50.20wt.%, 玄武岩質（塩基性岩）で、高アルミナ玄武岩である。
- 2) 溶岩樹型の鉱物は、斜長石（灰長石）、橄欖石、普通輝石、曹長石が多い。
- 3) 溶岩樹型の結晶構造は、灰長石・曹長石・輝石および橄欖石の混合物であ

る。すなわち、三斜晶系・単斜晶系・立方晶系・斜方晶系の混晶である。

- 4) 溶岩樹型の生成地質として、溶岩樹型を代表する地質は主に玄武岩であったが、その他の地質で観察されたものは表 6 のとおりである。
- 5) 溶岩樹型に関する観察として、溶岩樹型に関する観察研究の多くは、狭く危険である地下空間が故に内部へは潜入せず、地上からの観察や計測が行われてきたが、ケービング技術と計測機材の発展によってより詳細な観察が行えるようになり、従来の溶岩樹型観察から飛躍的に前進した。

個々の溶岩樹型計測のデータ集計では、地下溶岩流の流れを正確に解明でき、二次生成物（再溶融の科学的要因）の観察や残留木炭の多いことから溶岩流噴出年代の測定その他、当時の植生を知る貴重な資料であることが判明した。これらは残された樹型の形態から新しく溶岩噴出火口の発見や鳴沢溶岩プールの存在を確認でき、樹木が溶岩流を堰き止めた貴重な資料であることが解明でき、世界の溶岩流災害に一石を投じることになるだろう。溶岩樹型の研究は、狭く危険で体力消耗の厳しさから今日まで研究対象とされなかった未知の分野であり、この観察は富士山の樹型全体の10分の1も達していない現状であり、今後の観察が重要な課題である。

表 6 溶岩樹型の生成地質
(Generation Geology of Lava Tree-mold)

火 山 名	溶 岩 流 と 地 質	所 在 地
富 士 山	玄武岩溶岩流	山梨県、静岡県
富 士 山	火山灰、スコリヤ	山梨県富士吉田市浅間神社
八 丈 富 山	玄武岩	東京都八丈島底土港
三 原 山	凝灰岩	東京都八丈島軍艦山下
浅 間 山	火山灰、火山砂、火山礫、火山弾、溶岩塊（八木貞助は、天明3年噴火以前と推察）	群馬県嬬恋村鎌原
磐 梯 山	火山灰	群馬県片品村花咲武尊

6) タイプ分けとモデル化について、日本の溶岩樹型は5,000以上もあり、豎樹型（韓国では垂直樹型）・横臥樹型（韓国では横樹型）および複合樹型に基本形態は大別される。それ以外に、洞窟樹型・楼閣状樹型などに区分できる。韓国済州道の溶岩樹型は、25である。韓国では溶岩樹型を、①垂直樹型・②横樹型・③複合樹型・④捕獲樹型および⑤古死木樹型等に基本形態が大別されている。

静岡県と山梨県にある溶岩樹型群数は、それぞれ6と27で、合わせると33である。ここでは静岡県と山梨県にある溶岩樹型群にある調査と観察から形態別にタイプの分類とモデル化をした。すなわち、豎樹型は13タイプ、横臥樹型は6タイプ、複合樹型は4タイプである。この他に、溶岩樹型内の一次形態は3、溶岩樹型内の二次生成物は10および洞窟樹型の1タイプを合わせると27タイプに区分できる。

今回の溶岩樹型の観察による形態区分と形成モデルならびに写真撮影の資料は、溶岩樹型の成因研究において重要な意味があると考えられる。

謝 辞

本用語集及び樹型形態区分編集に貴重な時間をかけてモデル創作を行った古橋孝江様、建設的な意見を頂いた富士山火山洞窟学研究会の勝間田隆吉と川村一之の両氏、韓国洞窟学会の洪忠烈博士・金源振・呉映宙研究員の3氏、大阪経済法科大学の大橋健教授ならびに日本洞窟学会の配川武彦様の各位、さらに、筆者と共に用語の一つ一つを入念に検討するために多くの時間を費やしてくれた藤田浩史と肥塚義明の両君に、深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 石原初太郎（1925）『富士の自然界』。山梨県。
- 2) 石原初太郎（1928）『富士の地理と地質』。古今書院。
- 3) 石原初太郎（1929）『史蹟名勝天然記念物調査報告書第四輯』。山梨県。
- 4) 益富壽之助（1955）『原色岩石図鑑』。保育社。

- 5) 小川考徳（1964）『芙蓉』。富士急行K K.
- 6) 小川考徳ほか（1971）富士山総合調査報告書『富士山』。富士急行K K.
- 7) 濱野和彦（1972）『地質ニュース』。
- 8) 西宮克彦（1975）『富士山』。小峰書店。
- 9) 小川賢之輔（1986）『富士市の自然』。静岡県富士市。
- 10) 田中 収（1989）『大月短大論集』。大月短大。
- 11) 濱野和彦（1992）『富士山その自然のすべて』。同文書院。
- 12) 小川考徳（1996）『山梨県天然記念物緊急調査報告書』。山梨県。
- 13) 地学団体研究会編（1996）『新版地学事典』。平凡社。
- 14) 立原 弘（1997）『山梨県富士山北麓柏原溶岩樹型群観察報告書』。富士山火山洞窟学研究会。
- 15) 金炳宇（1997）「済州道洞窟生物の生態学的特性と分布」。韓国洞窟学会誌, 51:19-26.
- 16) 本多 力（1998）「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.
- 17) 沢勲・井上央・立原弘（1998）「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, 28:39-45.
- 18) 下鶴大輔他（1998）『火山の辞典』。朝倉書店。
- 19) 小川孝徳、立原弘、上野俊一、吉行瑞子（1998）『'98ケイプフェスティバルガイドブック』。日本洞窟学会火山洞窟学部。
- 20) 勝間田明男（1999） http://kat.servehttp.com/lava_tube/lava_tube_terms.html
- 21) 沢勲・井上央・立原弘（2000）「富士火山の青木ヶ原溶岩樹型の蛍光 X 線分析と X 線回折法（堅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.
- 22) 沢勲、勝間田明男（2000）「火山溶岩洞窟関連用語集」。大阪経済法科大学論集, 78:53-105.
- 23) 沢勲・井上央・金龍哲・裴斗安（2001）「済州火山の翰林溶岩樹型の X 線分析と偏光顕微鏡（堅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, 79:1-36.

24) 沢勲 (2001) <http://homepage2.nifty.com/sawaisao>.

25) 沢勲・井上央・小川孝徳・立原弘・川村一之・鈴木一年・日向治子・黒石川由美 (2002) 「富士山こどもの国にある溶岩樹型の成分と X 線回折 (IT による成分分析と格子定数の解析)」, 大阪経済法科大学論集, 82:1-39.

26) 沢勲・鹿島愛彦・小川孝徳・立原弘・金柄宇・金周煥・勝間田明男・藤田浩史 (2002) 「火山・溶岩洞窟と溶岩樹型の関連用語集 (データベース)」, 大阪経済法科大学論集, 83:131-206.

付録 溶岩樹型の関連用語
(Terminology of Lava Tree-mold)

番号	日 本 語	五十音順	英 語	韓 国 語	中 国 語
1	井戸タイプ	いどタイプ	Well Type	우물형	井型
2	鋭角状抽出溶岩	えいかくじょうちゅう うしゅつようがん	Acute Angle-like Extraction Lava	예각상추출용 암	锐角状抽出熔 岩
3	横臥樹型	おうがじゅけい	Recumbent Tree-mold	횡수형	横卧树型
4	横臥タイプ	おうがタイプ	Transverse Type	횡형	横卧型
5	カプセル	カプセル	Capsule	캡슐	密封舱
6	カプセルタイプ	カプセルタイプ	Capsule Type	캡슐형	密封舱型
7	管状樹型	かんじょうじゅけい	Tubular Tree-mold	관상수형	管状树型
8	管状タイプ	かんじょうタイプ	Tubular Type	관상형	管状型
9	傾斜タイプ	けいしゃタイプ	Inclined Type	경사형	傾斜型
10	混合タイプ	こんごうタイプ	Mixed Type	혼합형	混合型
11	再熔融空洞	さいようゆうくう どう	Refusion	재용융공동	再熔融空洞
12	樹型石筍	じゅけいせきじゅん	Stalagmite Tree-mold	석순수형	石笋树型
13	樹型破裂痕	じゅけいはれつこん	Branched Imprint Tree-mold	파열흔수형	破裂痕树型
14	樹型溶岩床	じゅけいようがん しょう	Lava Floor Tree-mold	용암바닥수형	熔岩床树型
15	樹型溶岩石筍	じゅけいようがん せきじゅん	Tree-mold Lava Stalagmite	용암석순수형	熔岩石笋树型
16	樹型溶岩棚	じゅけいようがん たな	Lava Shelf Tree-mold	용암선반수형	熔岩棚树型
17	樹型溶岩柱	じゅけいようがん ちゅう	Lava Column Tree-mold	용암주수형	熔岩柱树型
18	樹型溶岩滴	じゅけいようがん てき	Lava Drip Tree-mold	용암적수형	熔岩滴树型
19	樹型鍾乳石	じゅけいしょうに ゆうせき	Stalactite Tree-mold	종유석수형	钟乳石树型
20	スプーンタイプ	スプーンタイプ	Spoon Type	스푼형	汤匙型
21	すり鉢状	すりばちじょう	Suribachi Type	막자사발형	搗钵型
22	堰き止めタイプ	せきとめタイプ	Dammed Type	제방형	堤坝线结型
23	側壁タイプ	そくへきタイプ	Side Well Type	측벽형	側壁型
24	胎内壁	たいないへき	Tainai Well	태내벽	胎内壁
25	胎内模様	たいないもよう	Tainai-pattern	태내모형	胎内情况

26	立折タイプ	たちおれタイプ	Tree-Break Type	입절형	立折型
27	豎樹型	たてじゅけい	Vertical Tree-mold	수직수형	豎樹型
28	豎樹型棚タイプ	たてじゅけいたなタイプ	Shelf Type Vertical Type	선반형수직형	棚状豎樹型
29	豎樹型多木棚タイプ	たてじゅけいたばくたなタイプ	Trees Shelf Type Vertical Tree-mold	다목선반형수직수형	多木棚豎樹型
30	複合樹型豎タイプ	ふくごうじゅけいたてタイプ	Compounded Type Vertical Tree-mold	복합형수직수형	複合豎樹型型
31	豎樹型不動タイプ	たてじゅけいふどうタイプ	Hudo Type Vertical Tree-mold	부동형수직수형	不動形豎樹型
32	単独タイプ	たんどくタイプ	Individual Type Vertical Tree-mold	단독형	単独型
33	石柱筒状タイプ	せきちゅうつつじょうタイプ	Tube Type	석주통상형	石柱筒状型
34	筒状不動タイプ	つつじょうふどうタイプ	Tube-hudo Type	통상부동형	筒状不動型
35	天蓋タイプ	てんがいタイプ	Canopy Type	천개형	宝盖型
36	天然木炭	てんねんもくたん	Mineral Charcoal	천연목탄	天然木型
37	洞窟樹型	どうくつじゅけい	Cave Tree-mold	동굴수형	洞窟樹型
38	内部不動岩	ないぶふどういわ	Internal Hudo-Iwa	내부부동암	内部不動岩
39	鳴沢タイプ	なるさわタイプ	Narusawa Type	나루사와형	鳴澤型
40	二次生成樹型	にじせいせいじゅけい	Secondary Generated Tree-mold	2차생성수형	二次生成樹型
41	複合樹型	ふくごうじゅけい	Compounded Tree-mold	복합수형	複合樹型
42	複合胎内タイプ	ふくごうたいないタイプ	Compound Tainai Type	복합태내형	腐朽胎内型
43	不動岩	ふどういわ	Hudo-Iwa	부동암	不動岩
44	不動タイプ	ふどうタイプ	Hudo Type	부동형	不動型
45	不動棚	ふどうだな	Hudo Shelf	부동선반	不動棚
46	プレートタイプ	プレートタイプ	Plate Type	평판형	板塊构造型
47	ボートタイプ	ボートタイプ	Boat Type	보트형	小船型
48	ボトルタイプ	ボトルタイプ	Bottle Type	병형	筒指型
49	密封タイプ	みつふうタイプ	Sealing Type	밀봉형	密封型
50	溶岩樹型	ようがんじゅけい	Lava Tree-mold	용암수형	溶岩樹型
51	溶岩堰き止めタイプ	ようがんせきとめタイプ	Lava Dammed Type	용암제방형	溶岩堤坝线结樹型
52	溶岩プール	ようがんプール	Lava Pool	용암폴	溶岩储备
53	ラジエーター(樹型)	ラジエーター(じゅけい)	Radiator	라디에이터	輻射源
54	楼閣状樹型	ろうかくじょうじゅけい	Roukai Tree-mold	누각상수형	楼閣状樹型