

3 火山活動と人間生活をめぐって

火山活動とマグマ

荒牧重雄 = 東京大学地震研究所教授

火山の分布

勝井義雄 = 北海道大学理学部教授

火山災害を中心に

横山 泉 = 北海道大学理学部教授

火山と人間生活 温泉を中心に

大木靖衛 = 神奈川県温泉地学研究所所長

火山活動とマグマ

火山活動をとらえる3つの立場

編集 本日は、火山についていろいろとお話しをお伺いしたいと思います。最初に荒牧先生からお願いいたします。

荒牧 火山活動とは何かと言った場合、その見方がいろいろあって、一番大きな見方は、火山活動を地球の内部作用としてとらえる見方です。これは、火山の原動力はマグマでありますから、マグマとは何か、マグマはいかにして生まれ、どのようにして地表に出てくるのか、というたいへんに大きな観点からとらえます。

次に、それをもう少し具象的にみて、地球の表面における火山現象とは何かというところがあります。地下からマグマが上がってきて地表へ出てくるときが火山の活動であるから、そのときにどのような現象が起こるか、たとえば火山というもりあがった地形ができる、あるいは爆発を起こすと逆に地表が凹んでマイナスの地形ができるというように、大きな地形・地質構造の生成と変化の現象としてとらえることができます。

3番目の火山活動のとらえ方は、ある意味で小さいのですが、しかしさらに小さいわれわれ人間にとってはきわめて身近な火山の爆発現象ないし噴火現象をみるもので、マグマが外へ出てくるときのダイナミックな状況をとらえる立場です。

このように、火山というものをとらえていく場合に、スケールの異なる3つの見方があるわけです。これらはそれぞれ対象も違うし研究の方法も違うので、一つの話にはなりません。ここでは3つの内容のすべてについてお話する時間もスペースもありませんから、あとの2つの分野に関連することを簡単にお話しします。

マグマとマグマ溜り

それで、まず最初にマグマとは何か。これは簡単にいいますと、岩石をつくる物質が高温状態で溶けたものであり、液体であります。化学分析をすれば岩石をつくる物質がわかりますが、この物質は珪酸塩という無機物質で、珪素、アルミニウム、鉄、マグネシウム、カルシウム、そういうものの酸化物です。そして大切なことは、マグマとは地球の内部にたまっている物質だということです。

マグマが地表へ出てきますと 溶岩 と呼ばれ

ます。地球の内部にあってまわりから大きな圧力がかかっているのがマグマです。ですから地表にある岩石をそのまま溶かしても、マグマには少し足りないのです。地下のマグマには、高圧のために、水、炭酸ガス、硫黄の酸化化合物、塩素、フッ素というような非常に沸騰点の低いガス状の成分がある程度溶け込んでいて、そのことが、後でお話するように火山活動を考える上で大変重要なポイントになります。

ではマグマは、地下どのくらいの深さで発生するかというと、いわゆるアッパーマントル（上部マントル）のところで、恐らく一番深いところでも数百キロメートルよりは浅いだろうといわれています。ですから、地球全体の直径に比べてみれば、非常に浅いところで発生する。地震の波のつたわり方からわかっていることは、地球の大部分は いま問題としているような数百キロより浅いところでは、その圧倒的な大部分は溶けていない。ただほんの一部で、恐らく2~3%かそれ以下、地球全体で見るともつとぐんと少ない割合で、何か異常現象が起こって岩石が局部的に溶ける。恐らくその部分で、ちょっと温度が高くなるとか、あるいは局部的に圧力が下がるとか、いろいろの要因があるでしょう。

こうして一部の岩石が溶けます。そうしますと、上部マントルをつくっている岩石とはちょっと違った化学組成の液体ができる。これは変に思われるかもしれませんが、上部マントルの岩石というのは多くの種類の化学成分の集合体ですから、そういうものが溶けますと、一番溶けやすい成分だけ最初に溶け出してくる。そういうものが集まって、マグマとなる。それは周りの岩石より軽いから、浮力がついてゆっくりと上がっていくだろうと思われれます。

上がってきて、地下の数キロメートルまでくると、一たん止まるかもしれない。たとえば浮力がなくなってしまえば釣合ってそれ以上は昇らない。浅いところの岩石は、深いところの岩石よりも軽い（密度が小さい）から、深いところではまわりの岩石より軽かったマグマも、浅いところにくるとまわりの岩石よりも重くなってしまふというわけです。そういうところでマグマが相当量たまる。こうして生じた貯溜槽がいわゆるマグマ溜りと言われているもので、これが火山の根っ子ではなかるうかというのが一般の考えです。図1-1Aはハワイ火山の推定断面図

図1-1 A - ハワイ火山の推定断面図

<イトン 1962>

矢印は上部マントルで生じたマグマが地下深所の通路に供給されていることを示す。上昇したマグマは地下数kmのマグマ溜りを充たし、山頂カルデラ及びリフトゾーン（破線）から流出する。断面中の数字は地震波（P波）の速度（km/sec）

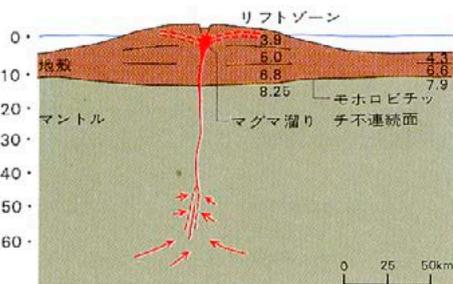
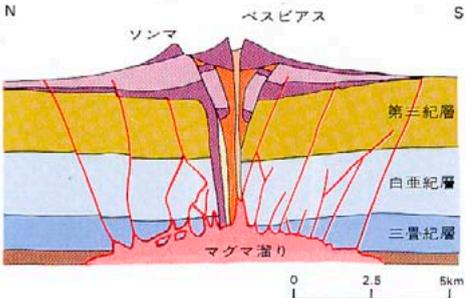


図1-2 B - ベスピアス火山の推定断面図

<リットマン 1936>



で、上部マントルで生じたマグマが地下深所の通路に供給され、上昇したマグマは、地下数キロのところにありと推定されるマグマ溜りを満たし、やがて山頂カルデラ及びリフトゾーンから流出するものと考えられています。また図1-1Bは、ベスピアス火山の推定断面図です。ここでは、上位の第三紀層の岩石は熱変成をうけておりませんが、下の白亜紀層は軽度の熱変成を、その下の三疊紀層は強い熱変成作用をうけているので、そうした事実から山頂下約6.5kmのところにはマグマ溜りの頂部があるらしいと考えられています。ただ根っ子がなく、マグマができてそのまますぐ上がってくるような火山もあるらしいのですが、日本のような火山帯では、大部分の火山には下に根っ子があるらしいと考えられています。

マグマの性状と噴火活動

マグマ溜りにいったんたまったマグマが、また何らかの原因で上へ上がってくる、そして地表へ噴き出す。これが火山の噴火です。噴き出したものが積もり積もると凸形の地形、すなわち火山になります。

岩石が地下で溶けたものがマグマで、それが地表に噴き出したものが溶岩ですが、表1-1に溶岩の化学組成を示します。これは、固化した溶岩について調べたもので、地下でマグマが含まれていた揮発性成分は噴火のさいかなりの量が空中に放出されてしまうので、この表には入っておりません。表は、ハワイ及び日本の火山の溶岩の主成分化学組成を調べたもので、玄武岩は酸化鉄、MgO・CaOなどの成分に富み、流紋岩

の方はこれらの成分に乏しく、逆に珪酸、アルカリに富んでいます。そしてこれら溶岩の温度は、高いところで1200℃、低いところで750℃ぐらいです。玄武岩のような黒っぽい溶岩をつくる岩石は、1200℃に近い方です。少し酸性がかかってくる安山岩では1100℃ぐらいから1000℃ぐらい。もう少し酸性になったデイサイトと呼ばれる岩石ですと1000℃ぐらいから750℃ぐらいまで下がる場合もある。750℃ぐらいまで下がる噴火というのは、非常に特殊な噴火です。

こうしたいろいろの溶岩の粘性係数は、実際に測定することができ、 10^3 から 10^{11} ポアズ(CGS単位)ぐらいの範囲で実測値があります。

粘性係数の小さい方は 10^3 ポアズぐらいで、これは水あめぐらいの感じで、溶岩としてはきわめて流動的ですが、 10^{11} ぐらいに大きくなればずっとかたくなり、なかなか流動しません。図1-2は、こうして測定されたいろいろの溶岩の温度と粘性です。

図にみるように、一般にどんな溶岩でも温度が下がるにしたがって粘性が大きくなりますが、溶岩の性質によって粘性の大小はさまざまで、たとえば約1000℃の粘性係数をみると、ハワイの玄武岩が 10^4 で粘性係数はきわめて小さく流動性に富みますが、昭和新山のデイサイトは 10^{11} ときわめて大きくほとんど流動性を失っています。

この事実は、一般には、マグマの中に珪酸成分が多くなると、珪酸塩鉱物の骨格をつくるSiO₄四面体どうしの結びつきの数(重合度)が増え、

全体として動きがにぶくなり、粘性が大きくなると説明されています。

ところで、さきほどお話ししたようにマグマは、地下数キロメートルから10キロメートルぐらいのところまでマグマ溜りとして存在する 경우가多く、そこで満を持しているわけです。ではそれがどうやって噴火するのか、すなわちマグマはどうやって地表に出てくるのかということになります。この考え方はいろいろありますけれども、一つは周りからグューグュー押されれば、その分だけマグマ溜りがちぢむ。もしマグマ溜りから地表へ道が通じていけば、そこを伝わってマグマがあふれ出てくる。この場合は、おそらく比較的ゆっくりとおだやかに溶岩だけが流れだしてくる、そういう噴火の仕方があるだろうと思われます。

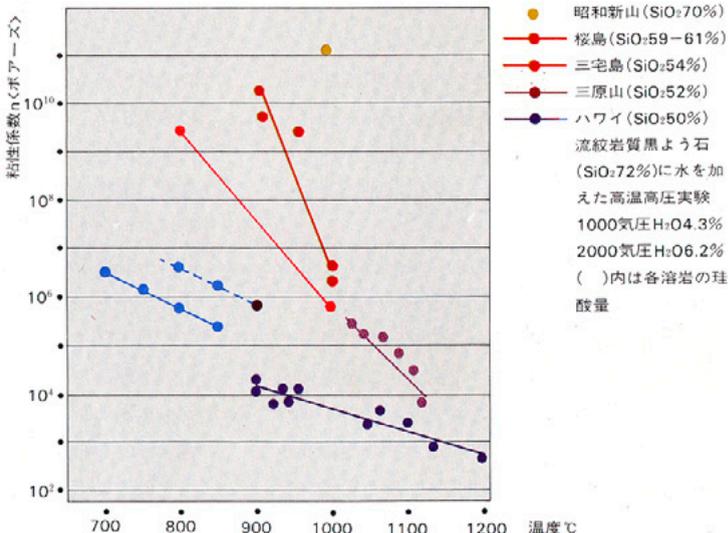
もう一つは、さきほどマグマ自身には水とか炭酸ガスとかの揮発成分(ガス成分)が溶け込んでいたと言いましたが、それが飽和状態になって、さらに過飽和になる。マグマが地下の圧力の高いところから浅いところへ上がってきますと、周りの圧力が減りますからマグマの中に含まれている水などのガス成分が過飽和になる。過飽和になるとガス成分は、気泡としてマグマから分離してくる。そうしますと全体の体積は非常にふえますから、そのためにマグマとあわの混合物がマグマ溜りから地表にあふれ出てくる。これが噴火です。このとき、気泡がマグマから分離する速度が非常に速く、マグマ溜りの壁をつくっている岩石や溶岩のかけら、あるいはマグマのしびきといったものが噴火口か

表1-1 - 溶岩の化学組成

(岩石名)	玄武岩	玄武岩	安山岩	石英安山岩	流紋岩
(産地)	ハワイ キラウエア溶岩	三原山 1950-51年溶岩	桜島 大正溶岩	昭和新山 円頂丘溶岩	新島向山 円頂丘溶岩
SiO ₂	50.52	52.45	59.01	68.89	76.05
TiO ₂	3.63	1.47	0.72	0.47	0.12
Al ₂ O ₃	13.85	15.41	17.35	14.92	12.44
Fe ₂ O ₃	0.98	3.38	1.01	3.01	0.84
FeO	9.77	10.03	6.14	1.78	0.22
MnO	0.14	0.11	0.10	0.16	0.07
MgO	7.07	4.62	3.57	0.90	0.17
CaO	11.33	9.73	7.99	4.10	0.87
Na ₂ O	1.51	1.64	2.77	4.00	4.31
K ₂ O	0.47	0.34	1.51	1.03	2.88
P ₂ O ₅	0.22	0.12	0.22	0.24	tr.
H ₂ O+	0.04	0.51	0.12	0.12	1.66
H ₂ O-	—	0.15	0.16	0.32	0.11
合計	99.53	99.96	100.67	99.94	99.74

(文献) マクドナルド 久野 久 山口謙次 大場与志男 津屋弘遠

図1-2 - 観測された溶岩の温度と粘性 <水上、マクドナルド、ショウホカ>



らガスと一緒に勢いよく噴き出してくる。これが火山の爆発的な噴火です。

一般に、玄武岩質のマグマに多い粘性の小さいマグマは、大きな圧力が加わらなくても噴出できるので火山性地震も一般に小さく、またガスもにげやすいので爆発性が低いと言われてます。それに比べて、安山岩質とかデイサイト質の粘性の大きいマグマは、噴出にさいして多くの火山性地震や地殻の隆起を生じ、はげしい爆発をとまいません。日本のような島弧、環太平洋の火山帯に特徴的なマグマは安山岩質マグマで、相当に爆発的で、浅間山とか桜島のような爆発をします。

さまざまな噴火のタイプ

そこで噴火の様式ということになりますが、これは勝井さんの整理された図1-3がわかりやすいので、それをごらんいただきます。ただこの図に示されている噴火形式の名称の多くは、地球の歴史の上で起った特徴的な噴火を便宜的にそのまま使用しております。実際の噴火では、これらの中間的なものや、あるいはまた一回の連続的活動の中で噴火形式の変化する場合も多いことを含んでみていただきます。

それで玄武岩質のマグマが直線状の割れ目の群から勢いよく短時間に大量に噴出する噴火、こういうのを割れ目噴火と言います。こうしてできた巨大な溶岩台地では、溶岩流の厚さは、平均20～30メートルぐらいですが、そのかわり水平距離にして何百キロメートルまで溶岩が広がる。厚さは非常に薄いが大面積をおおう玄武岩質の溶岩流が何枚も何枚も重なって、やがてそれは1kmとか2kmというような厚さになる。たとえばインドのデカン高原とか、現在ではアイスランドの噴火がこれにあたります。これは、現在の日本列島全体ぐらいの大きさの面積が、一つの噴火で一つといても何百万年も続く噴火ですけれども、でき上がってしまうわけで、地球上における火山活動の最大の規模はこういう噴火です。

粘性の小さい玄武岩質の溶岩の噴火でも、もう少し小規模になると、しかし単一の火山としては大型の火山なのですが、こういうのが、主として太平洋や大西洋の島、あるいは海底火山をつくっています。これは基底の直径が200km、高さが900mにも達するような大型の円錐形の火山をつくります。傾斜は非常に緩くて平均5度ないし10度ぐらいです。これがいわゆる盾状

火山。ハワイがそのいい例です。

それがもう少し粘性が大きくなって、やや爆発的になりますと、日本列島で特徴的な、山頂へ向かって傾斜が急になり、すそ野へ向かって傾斜が緩くなる富士山型の山ができます。これは一般に成層火山と呼ばれています。これが太平洋のまわりの火山帯に圧倒的に多いので、島弧型の火山のスタンダードといえます。これは火山の大きさとしては中型に属します。日本では桜島、浅間山、富士山、羊蹄山、そういうものがこのタイプに属します。

それから、噴出してくるマグマの粘性がもう少し強くなる、ないしは溶岩が流れにくくなりますと、溶岩が噴火口のまわりに盛り上がってしまつて、急傾斜のドーム状の小さな山をつくりまします。これが溶岩円頂丘。この溶岩円頂丘は余り大きな火山はできませんで、せいぜい比高が500mぐらいまでのものが多い。例としては、箱根の二子山や駒ヶ岳があります。

一方、デイサイト質ないしは流紋岩質の珪酸分に富むマグマが大量に噴火することがあります。この場合は爆発的なので、溶岩流として流れないで火砕流として流れます。非常に温度の高い火山灰とガスのまざった混合物が、勢いよくなだれのようにして流れ広がるわけですが、図にみるように、これにもいろんなタイプのものがあります。その多くは、火山灰の堆積物を広くつくり、全体が台地になります。こういうものは火砕流台地と呼ばれて、たとえば日本では、南九州鹿児島湾沿いのシラス地域などがそうです。また、噴火するマグマにガスが多くて爆発の度合いが激しいと、スコリア、軽石、溶岩のかげらをふき飛ばしてまわりに積み上げる。そうしますと、すりばちを逆さまにしたような形の山ができる。てっぺんに大きな噴火口があるわけですが、これが碎屑丘と呼ばれるもので、日本の例としては、小型の火山ですが伊豆半島の大室山や小室山などがあります。

それから、もっと爆発的ではあるけれども、非常に小規模で溶岩がでてこないままに終わりますと、小さな穴だけができる。そこに水がたまって池になったりする、そういう円形の穴状の負の地形をマールと言います。そういうような火山もある。

さきほどから繰り返し言っているように、火山噴火の原動力の非常に重要な部分は、マグマからガス成分が逃げ出すこと、すなわち気泡がで

きるということです。それで、たとえばマグマ溜りの中で発泡現象が大規模に起こりますと、あわに富んだ、ちょうどビールのあわみみたいな感じになったマグマがマグマ溜りから勢いよく外へ出てしまう。そうしますと、一時的にマグマ溜りの上の方がからになるわけで、噴火口のまわりの地表が支えきれずに陥没します。そうやってマグマ溜りの真上に円形の陥没した地形ができることがある。これは、大型の火砕流が噴出してマグマ溜りの中身が大部分なくなってしまった直後に起こる。これがいわゆる陥没カルデラといわれるものの大部分です。日本では珪長質マグマの爆発的噴出に伴って生ずる陥没カルデラがかなり多く、阿蘇、始良をはじめたくさんあります。

いままでの例は、マグマが陸上に出てきた場合の噴火ですが、マグマが海底に出てきますと、ちょっと様子が違ってきます。それは高温のマグマが低音の水に直接接触しますから、しかも水はよく冷やす能力があるから、でてきたマグマが溶岩流のように流れないで、それが冷えてすぐ粉々に破碎されてしまう。そのために、陸上で噴火するより海底で噴火した方が、砕かれた岩石や溶岩の破片が大量につくられる。したがってできる火山の形も違ってくる。それから特殊な場合、特に温度が高くて流動性に富んだ玄武岩質のマグマの場合には、表面が水に触れて急冷して革袋のようになって、その中に溶けたマグマが、しずくのようになって分離します。そういうものが積み重なって、最終的には枕を積み重ねたような形の堆積物ができる。これが枕状溶岩です。

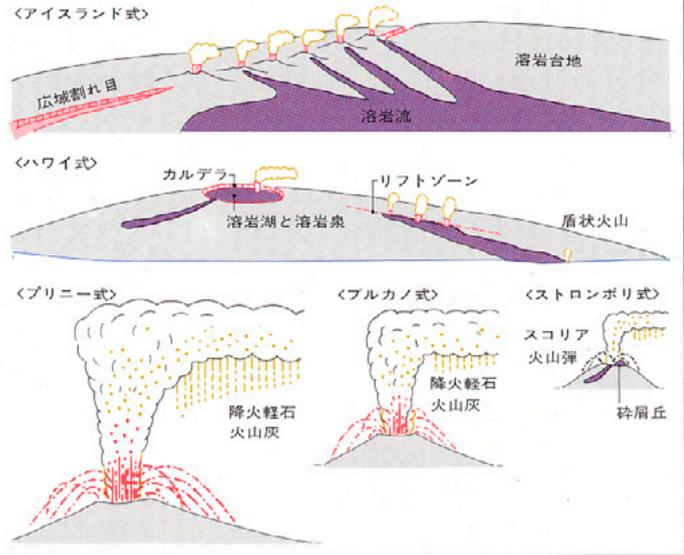
ところで海洋底というのは、こういう破碎された溶岩のかげらや枕状溶岩が、一様に、非常に厚く覆っている。海洋底の最上部数キロメートルというのは、こういうものでできていると思われています。

したがって、地球の表面の七分の三を占める海洋底は、そのほとんど全部が火山活動の噴出物で覆われている。ちょっと極端にいうと、海洋底は、火山活動の産物そのものであるといえる。そういう意味では、火山活動というのは、地球上において非常に大きな部分を占めているということが言えると思います。

図1・3 - 噴火形式とその実例

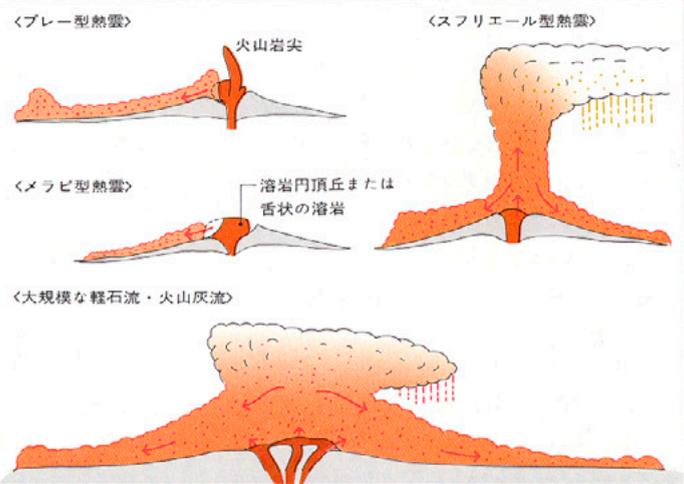
A 主要な噴火形式

噴火形式	マグマの性質	活動の特徴	噴出物の特徴	地形・構造	実例
アイスランド式	静穏的 流動的 玄武岩質 マグマ	広域割れ目から多量の溶岩流出	パホイホイ溶岩・アア溶岩。初期に火山砕屑物が少量噴出	溶岩台地、 砕屑丘	ラキ1783年 アスキア1961年
ハワイ式	玄武岩質 マグマ	山頂及びリフトゾーンの割れ目から溶岩流出	パホイホイ溶岩・アア溶岩・溶岩泉の活動を伴うが爆発的ではない	盾状火山、 キラウエア 型カルデラ	マウナロア1942 キラウエア1959 ～60年
ストロンボリ式	玄武岩～ 苦鉄安山 岩質 マグマ	中心噴火。小爆発をおこし半溶融状態の溶岩塊を噴出	紡錘状火山弾・スコリア・火山灰のほか、ときにパホイホイまたはアア溶岩を噴出	成層火山、 砕屑丘	ストロンボリ、 三原山1950～ 51年
ブルカノ式	安山岩～ 粗面安山 岩質 マグマ	中心噴火。激しい爆発。ときに火砕流を伴う。爆発の間隔は一般に長い	火山岩塊・パン皮火山弾・軽石・火山灰。最後に塊状溶岩を噴出することもある。	成層火山、 砕屑丘、マ グマの粘性 が高いと溶 岩円頂丘	ブルカノ1888～ 90年 浅間山、桜島
プリニー式	安山岩～ 流紋岩質 マグマ	中心噴火。永い止期の後に極めて激しい爆発的爆発。	多量の軽石・火山灰。ときに火砕流を伴う。マグマの分化作用顕著	成層火山、 砕屑丘。大 規模なときは カルデラ	ベスピアスAD 79年



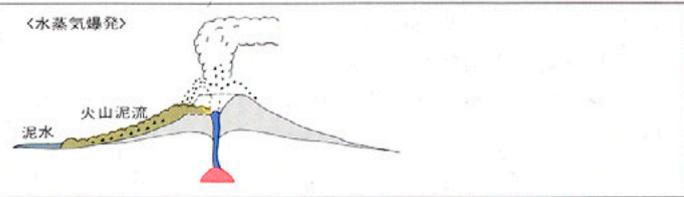
B 火砕流のさまざまなタイプ

タイプ	マグマの性質	噴火の特徴	噴出物の特徴	実例
プレー型熱雲	発泡不良 粘性大	溶岩円頂丘の爆発により溶岩片・火山灰・火山ガスからなる熱雲(700℃～1000℃)が高速で流下	噴出物は少量で、火山岩塊・火山礫・火山灰が多い。	プレー1902年 有珠山1853年
メラビ型熱雲	粘性大	溶岩円頂丘または厚い溶岩流の崩壊により高温の岩屑などが頻発		メラビ
スフリエール型熱雲	流紋岩、 ディサイト、 安山岩、 質 マグマ	爆発的噴火で高く上昇する噴煙柱から分かれた噴出物が重力で流下。やや遅く低温。		スフリエール 1902年
中間型火砕流		爆発的噴火とともに降下軽石、火砕流の発生。マグマの発泡度は熱雲型よりやや良好なので中間型として区別される		浅間山1783年 (吾妻火砕流)
軽石流・ 火山灰流	発泡良好 やや流動的	爆発的噴火とともに火山灰・軽石が1万m以上に上昇し、下方では多量の軽石流・火山灰流が流下。大規模なものはカルデラを形成。	噴出物は多量で、軽石・火山灰が多い。 火山砕屑岩台地・カルデラ(クラカトア型・カトマイ型・バイエス型など)	駒ヶ岳1929年 クラカトア1883 カトマイ1912年



C 水蒸気爆発と火山泥流

形式	マグマの性質	活動の特徴	実例
水蒸気爆発	マグマ噴出せず	既存の山体が高圧の火山ガスにより破壊される。新しいマグマは噴出せず。噴出物はすべて既存山体の破片	磐梯山1888年 キラウエア1924年
火山泥流	必ずしも噴火に伴わない	火山物質が水を媒体とした泥流となって流下するもので、その成因は、①火口からの泥物質の噴出、②湖底噴火で泥水を噴出 ③火口湖の決壊 ④雪水の融解・降雨・地震など、さまざまである。	十勝岳1926年 ケルト1919年



D 水中の噴火

噴火の場所	水圧	活動の特徴	噴出物の特徴	実例
湖底噴火	低圧	高温のマグマに水が接触してマグマ水蒸気噴火が発生。横なぐりのベースサージを伴う。	火山砕屑物はガラス質急冷縁をもつ水冷火山弾・火山岩塊・火山礫・軽石など。	タール1965年
水底噴火	中～ 低圧	マグマ水蒸気噴火。水の急速な融解で火山泥流が発生	苦鉄質溶岩は枕状溶岩、中性～柱状溶岩は水中日破砕溶岩	デセプション アイランド
浅海底噴火	低圧	マグマ水蒸気噴火。ときにベースサージが発生		西之島新島73～74 明神礁1952～53年
深海底噴火	高圧	高い水圧によりマグマは発泡をおさえられて、爆発せず、静かに海底に流出。	枕状溶岩・ハイアロクラスタイト	不明

