

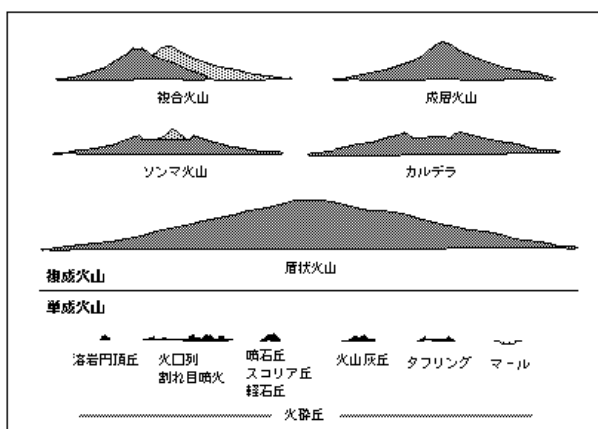
防災地学特論・第三回授業資料

「火山災害」

序言： 第一回授業で述べたとおり、自然災害とは自然の営みが大きく揺らぐときに、人間社会がその影響を受けてさまざまな被害をうける現象である。したがって、自然災害を理解する上に、自然のさまざまな現象を理解することが不可欠である。そうした自然の猛威が人間社会にどのように災厄＝自然災害を引き起こすかを理解することが、「防災」を考察するための入り口に立つことになる。今回は、火山活動が人間社会に及ぼすさまざまな災害を概観し、それに対してどのような対応がとれるかを考えたい。前半は火山噴火がいかに多様性に富む自然現象であるか、それがどういう機構により活動するのか、規模や過程のことなるさまざまな様式としてどういったものがあるのか等を確認する。その上で、さまざまな様式や規模の火山活動がもたらしうる火山災害を概観し、最後にそれら避けるあるいは軽減するためにはどのような方策が有効なのか、災害予測図＝ハザードマップの事例なども取り上げつつ考察したい。なお、火山活動そのものをより詳しく知りたい人は、「資料（詳細）」等を参照されたい。

火山とは何か： 一般には、火山とは「火山活動によって形成された地形」であり、そこで「現在も噴火している」あるいは「過去に噴火活動があった」場所といったところであろう。もう少し正確に言えば、火山に関連する地上や地下のさまざまな活動が「火山活動」であり、その中でも地下のマグマが地表に噴出する現象が「火山噴火」、火山活動や火山噴火によって形成された地形が「火山地形」ないし「火山体」ということになる。火山噴火により地上にもたらされたマグマは、塊状のものも砕けて細くなったものも、すべて火山噴出物とよばれる。

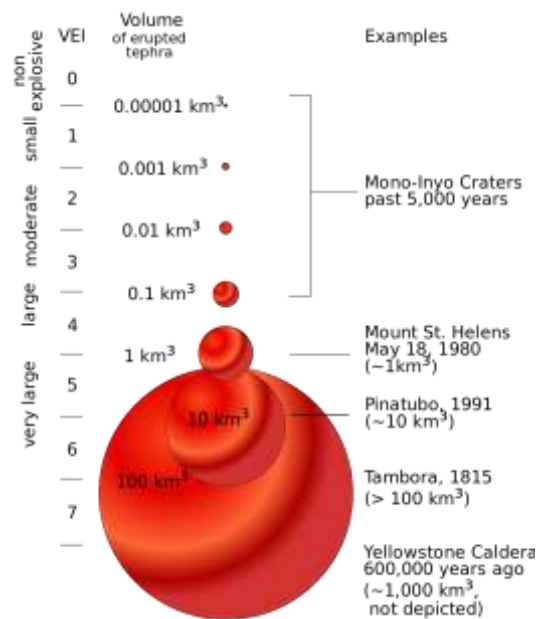
火山の最も基本的な特徴： 火山の最も基本的な特徴は、その噴火活動とそれによって造られる火山地形のいずれについても、規模と様式の両面で大きな多様性をもつということである。間近で観光できるような穏やかな噴火もあれば巨大な噴石を何 km も吹き飛ばす激しい噴火もある。マグマの噴出量がごくわずかの小規模な噴火もあれば、それが数 100km³ に達する大規模な噴火がある。たった一度の噴火でできた小規模な火山体（単成火山）もあれば、何万年にもわたって多くの噴火を繰り返してできた（複成火山）大規模な火山体もある。高くそびえたつ大きな火山体もあれば、逆に巨大なくぼ地になった火山体もある。富士山のようなきれいな積層構造を見せる火山もあれば、吹き飛ばされたり崩れたしてがたがたになった火山もある。



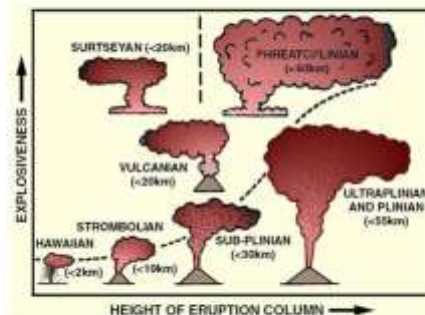
左：規模や形態がさまざまな火山体（久野久）、中：理科大野田講義棟8階から望むダイヤモンド富士（CA郡司先生撮影）、

右：明治の大噴火で北側が大きく崩壊した会津磐梯山と崩壊土砂の堰き止めで形成された桧原湖（産総研地質調査総合センター）

The Volcano Explosivity Index (VEI)

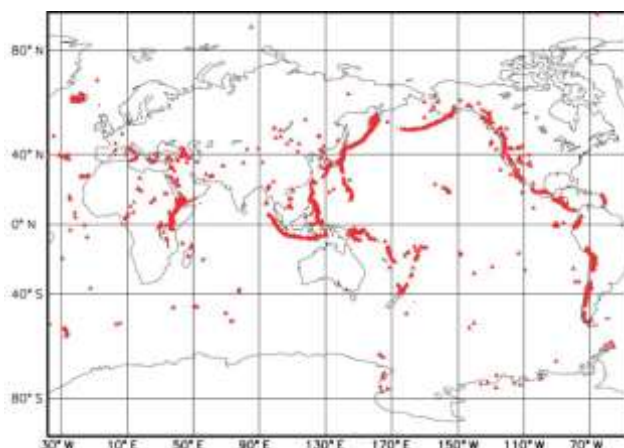


VEI	PLUME HEIGHT	VOLUME	CLASSIFICATION (See Knudsen, 1984)	EXAMPLE
0	<100 m	1,000 m ³	Repatol	St. Helens
1	100-1,000 m	10,000 m ³	Hawaiian/Strombolian	Strombol
2	1-10 km	1,000,000 m ³	Strombolian/Vulcanian	Strombol (1982)
3	3-15 km	10,000,000 m ³	Vulcanian	St. Helens (1980)
4	10-25 km	100,000,000 m ³	Vulcanian/Plinian	Strombol (1982)
5	>25 km	1 km ³	Plinian	St. Helens (1980)
6	>25 km	10 km ³	Plinian/Plinian Phase	Strombol (1982)
7	>25 km	100 km ³	Ultra-Plinian	Strombol (1982)
8	>25 km	1,000 km ³	Ultra-Plinian	Strombol (1982)



左：噴出したマグマの噴出量に基づく火山爆発指数、右：爆発規模や様式と噴煙柱の到達する高度の関係（いずれも USGS）

火山はどこにあるか： 地球上の火山の大部分は、「プレート」の境界上に位置する（例外はハワイなどのホットスポット火山）。プレートとは、地球表面を覆っている 15 枚ほどの岩板で「リソスフェア」とも呼ばれる。大洋中央海嶺で造られ、年間に数 cm ほどの速さで水平方向に移動する。プレートは海溝で地球内部に沈み込む。プレートが造りだされる中央海嶺とプレートが沈み込む海溝の近くに多くの火山が分布する。わが国は、プレートが沈み込む海溝に隣接しており、世界の陸上火山の約一割が集中する火山大国である。現在活動中あるいはいつ活動を再開しても不思議のない火山が 100 座以上も存在する。



左：世界の火山は環太平洋地域と地中海・東部アフリカに集中（防災科研）、右：日本国内の活動的な火山の分布（気象庁）

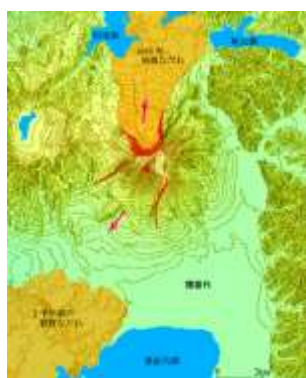
火山噴火の本質： 火山噴火を一言で表せば「地下のマグマが地上に噴出すること」。上で述べた火山活動や火山体の規模や様式の多様性は、マグマの性質や噴出規模の多様性と密接に関係する。マグマが地上に噴出すると何が起こるのか？ マグマは「ケイ酸塩溶融体」とも呼ばれる。ケイ酸塩鉱物、つまり岩石の大部分を構成している鉱物が 1000℃ 前後の高温のために融解状態にある、それがマグマの主体。それとともに重要なのが、そのケイ酸塩融解物の中には、水や炭酸ガスに代表される揮発成分が多量に溶解していること。圧力が地上の千倍以上、つまり 1000 気圧以上にある

マグマには、高圧のために多量の揮発成分が溶け込んでいる。高温のケイ酸塩「融」解物に高圧のため多量の揮発成分が「溶」解しているから、ケイ酸塩「溶融体」。そのケイ酸塩溶融体が地上に噴出するとどうなるか？ 地上の温度は約 20℃で、気圧は 1 気圧。つまり火山噴火では、噴出したマグマの温度が約 1000℃低下するとともに、その圧力が 1/1000 以上に低下することになる。この温度と圧力の大幅な低下に際して、マグマは「冷却固化」と「減圧発泡」という二つの変化をする。これが、火山噴火の本質。「冷却固化」と「減圧発泡」は、その程度やタイミングが様々にブレンドされて多様な噴火の様式をもたらす。



左：マグマの種類と特徴（藤井敏嗣）、中：吹きガラスの観光体験（軽井沢ガラス工房）、右：祝優勝のビールかけ（NTV）

火山体の本質： 火山体とは、火山噴火に代表される火山活動によって造営され、火山から噴出された物質、つまり火山噴出物を構成物質として構築された地形。ただし、ときには激しい火山噴火による爆発で吹き飛ばされた凹地形なども見られる。火山地形の重要な点は、噴出物が積み重なった、つまり堆積してできた地形だけでなく、積み重なった火山噴出物が安定性を失って崩れてしまう、つまり崩壊してできた地形もごく普通に認められるということ。火山噴出物の積み重なりは高さで数 km に及ぶことが珍しくない一方、崩壊も山の形が一変して数 km 以上も崩壊土砂が流出することが珍しくない。



左：典型的な火山体の構造（JST）、中：明治の噴火で大崩壊した磐梯山（防災科研）、右：阿蘇山の巨大カルデラ（阿蘇ジオパーク）

火山噴火の多様性： 火山の噴火活動には、以下のようにさまざまな様式がある。

・噴煙柱： マグマが冷却固化しながら発泡することで作られた大量の細かな粒である火山灰が、強烈な上昇気流で火口の上空へと立ち上る噴火。風下に運ばれながら火山灰を降らせる。噴煙柱の上昇機構は噴出したマグマの熱で加熱された空気の密度低下による浮力であるため、その到達高度は噴出したマグマの量とよく対応する。大規模な噴火では到達高度は数 1000m に、巨大噴火では一万 m に達し、破局的な噴火では成層圏中に大きく突入して大気圏に大量の固体微粒子を注入する。



三宅島の降灰（平成12年7月16日）

左：フィリピン・ピナツボ火山の1991年噴火の噴煙柱（AFP）、中左：三宅島噴火での道路面の降灰状況（気象庁）、
中右：降灰によるビニールハウスの損壊（産総研、宮城磯治）、右：発泡固結した火山ガラスの破片からなる火山灰（JST）

・**火砕流**： 噴煙柱と基本的に同じだが、見かけの密度が空気よりも重いために上昇できずに山腹を高速で流れ下る。小規模な火砕流は、溶岩流が急斜面で分離落下することでも発生。

・**溶岩流**： 火口から噴出する前に発泡で生じた気体成分の大部分あるいは一部が先行分離して、ケイ酸塩融解物を主体とする粘性の大きな高温の流動体が流下する現象。高温の溶岩ほど流動性が高い。



雲仙普賢岳の火砕流（平成6年6月24日）



左：1991年雲仙普賢岳のデーサイト質溶岩ドームの崩壊による火砕流（気象庁）、中左：地質時代のカルデラ大噴火時に噴出した大量の火砕流が堆積した「シラス」（熊本県）、中右：静かに流出するキラウエア火山の玄武岩質の溶岩流（National Geographic）、
右：大島三原山の火口カルデラから流出する玄武岩質の溶岩流（産業技術総合研究所地質調査研究センター、中野俊）

・**噴石**： 強烈なガス圧の開放により火口から吹き飛ばされた岩塊が、空中を弾道飛行して火口の周辺に降り注ぐ。到達範囲は最大で数 km。こぶし大は普通で、ときには直系数mにも達する岩塊が飛行し、落下することもある。



浅間山の噴石（平成17年8月4日）



左：熔融状態で噴出して飛行したながら表面が固結したパン皮状火山弾（荒牧重雄）、中左：浅間山の巨大噴石（気象庁）、中右：
霧島火山新燃岳から噴出する火山灰と弾道飛行する噴石（産業技術総合研究所地質調査研究センター）、右：2014年木曽御嶽山
噴火の噴石で穴だらけになった山小屋（長野県）

・**泥流**： 大規模な噴煙柱や火砕流が発生し、火山の山腹に大量の火山灰が降り積もると、降雨のたびに火山灰まじりの泥流が発生する。火山の噴火活動そのものが収束しても、長期にわたり断続的に発生する。また、積雪期に発生する融雪泥流は、高温の火砕流や溶岩で融かされた融雪と火山灰や岩塊が入り乱れた流動体が高速で流下する。

・**岩屑流**： 高くかつ急斜面でかこまれた火山体は、噴火や地震を契機として大規模に崩壊し山麓に向かって高速で流動することがある。その流動体は大小様々な岩塊を多量に含み岩屑流と呼ばれる。大規模な岩屑流が水域に突入すると、津波が発生することもある。

火山噴火に伴う災害： 火山災害は、火山噴火の多様性を反映して多くの様式がある。またその規模も大きな範囲にわたる。



左：明治以降の国内の主な火山災害（産経ビジネス）、右：歴史時代の国内の主な火山災害（朝日新聞）

・**噴煙柱**： 大規模な噴煙柱が立ち昇ると、風下には大量の火山灰が降下堆積する。一見降雪とも似ているが、雪と火山灰との最大の違いはその重量と堆積後の振る舞いである。雪は、見かけ比重は0.1にも満たない。冬に雪を集めて融かしてみると、なべ一杯取った雪も融けるとほんのわずかの水にしかならないことに驚く。火山灰は、粒子自体の比重は3近くあるが、堆積した火山灰の見かけ比重はそれよりも小さい。とはいえ、積雪よりもはるかに大きな比重により、ビニールハウスなどの農業施設は簡単に押しつぶされる。雪は放っておいても遅くとも春になれば融けて消え去るが、火山灰は人が手間をかけて排除しない限りはその場にいつまでも残る。降雨があると水を吸収して比重が増加するとともに、降雨後は乾燥固結して簡単には排除できなくなる。泥濘状態になった火山灰は少量でも自動車をスリップさせる。電気軌道上に降灰がはりつくと回路が寸断されて電動機がまひするし、線路の切り替え器には噛み込むことで正常な作動ができなくなる。微細な粒子は精密な電子機器や工作機械などの内部にも入り込んで誤作動や故障の原因となる。農耕地が火山灰に覆われれば作物は全滅する。発泡しつつ固結した火山灰粒子は鋭利な外形をしているために、吸入したひとの呼吸器や眼などの粘膜に深刻な問題を引き起こす。火山灰に埋もれて死ぬほどの量が降らなくても、これだけの多様な被害が発生する。1707年の富士山宝永噴火では、都心で約10cmの降灰が観測された。上記は、その程度の降灰で現在の東京で発生しうると予想されている被害である。

・**火砕流**： 噴煙柱が、見かけ密度が大気よりも軽い火山探屑粒子が上昇したものであるのに対して、火砕流は見かけ密度が大気よりも大きな火山灰が地形面に沿って流下していく。巨大な噴煙柱の下部が倒壊して火砕流になることもあれば、山頂火口からせり出してきた溶岩ドームが崩落する際に発生する火砕流もある。噴出して間もないマグマであるから数百度の高温であり、山腹斜面を自らが噴き出すガスによって浮き上がることで、その流動抵抗は極めて小さくなる。その結果、火砕流の流下速度が時速100kmを超えることはざらにある。巻き込まれれば人命は失われる。発生を確認してからでは逃げる時間がない。火砕流は、発生頻度の高い火山災害の中では最も危険な噴火様式である。

・**溶岩流**： 溶岩流は、マグマが地表勾配にしたがって山麓を流下していく点は火砕流と共通しているが、その速度が遅いことが大きな特徴である。もっとも流動性の高い玄武岩質の高温のマグマであっても、たかだか時速数kmであり、よほどの悪条件でない限り発生を知ってから避難であっても人命が脅かされることは少ない。しかし、当然ながら溶岩流に接したあらゆる可燃物は燃焼し、場合によっては大規模な山火事を引き起こし、家屋や農地は完全に破壊され道路は寸断される。

・**噴石**： 噴石の到達範囲は火口から数kmに限られるが、その居合わせた人にとっては致命的な被害をもたらす。噴火の記録動画などを注意して見ているとわかるが、火口付近では大小無数の黒っぽい塊が弧を描いて飛ぶつまり弾道飛行していることが分かる。コブシ大で急所にあたれば致命傷で、数発くらうと多発性外傷によりやはり相当に危険な状態になる。不幸にしてサッカーボール大の噴石にあたった場合はほぼ致命傷となる。火口からもくもくと立ち上ってくる「煙」の中に、そうした大きさの噴石がビュンビュン飛び交っていることを忘れてはならない。2014年の

長野・岐阜県境の木曾御嶽山の噴火は、マグマの噴出量はほぼゼロの極めて小規模な噴火だった。にもかかわらず数十名の死亡者が出たが、大勢の死因は噴石による外傷だった。「ドンっ、もくもくもく〜」に際してはインスタ映えをきにしてはならない。ともかくも遮蔽物の下に逃げ込まねばならない。御嶽山噴火で、噴石の落下フェイズ前に付近の山小屋に逃げ込んだ人は、全員が助かっている。

・泥流： 泥流は、泥だと思って侮ってはならない。火山体は大きな傾斜をもっているの、火山灰や大小様々な碎屑物つまり石ころや岩塊と水が練りまわされて流れ下る泥流は、その流速・密度の大きさから大きな破壊力をもつ。巻き込まれれば極めて深刻である。大きな密度をもち岩塊も含むことから、橋や道路などを損壊する。また、大規模な噴火により大量の火山灰が堆積した火山では何十年にもわたって降雨のたびに泥流が発生する。流下した泥流はそのたびに河道から溢れて、周辺の耕作地や町に堆積し、復興を極めて困難なものにする。長野・群馬県境の浅間山は現在でもときおり噴火するが、江戸時代の1783年の天明噴火はかなり大規模で、噴火に巻き込まれて多くの住民が犠牲になった。鎌原の神社の階段上で折り重なって倒れた状態で発掘された老若2名の女性を襲ったのが泥流である（当初は火砕流とされていたが、堆積物に含まれている木片が炭化していないことから現在では泥流とされている）。1991年に二十世紀最大の噴火をしたフィリピンのピナツボ火山では、繰り返す泥流の襲撃により米軍基地が甚大な被害を受け、同国からの米軍撤退の契機となった（その後の南シナ海の情勢変化により2012年に再駐留となった）。

・岩屑流： 岩屑流は、高温の火砕流でも、火山灰を主体とする泥流でも、溶融状態のマグマが流動する溶岩流でもない、いったん火山体を形作ったさまざまな火山噴出物が混合して山麓に向かって流下する流れである。多くの場合、巨大噴火や地震を契機として、山体の一部の崩壊を伴って発生する。「一部」は小部分のこともあれば火山体の形が様変わりするほど大規模のこともある。流動体の規模が大きなことが特徴であり、したがって破壊・埋積される範囲も大きく、火山災害としては極めて大規模なものになる可能性が高い。1888年磐梯山の明治噴火では、山体の北部が大規模に崩壊して大規模な岩屑流が発生し、北麓の松原村全体が埋積されて村民多数が生き埋めとなり命を落とした。

火山災害への備え・防災： 災害の発生が予想される火山に対して、ハザードマップが作成されることが多い。ハザードマップとは、自然の猛威が災害となる可能性の高い地域において、自然の猛威の種類ごとに、発生する状況に一定の前提を設けたうえで、自然の猛威の様式や程度の分布を描いた地図のこと。火山の場合は、噴火の様式ごとにその影響範囲や影響の程度が地図上に表される。しかし、一言で「地図に表す」と言っても、実際には非常に複雑な作業であり、つくられる地図つまりハザードマップを活用するためには相応の知識と努力が必要となるうえ、かなりの程度の不確実性も伴う。例えば、噴煙柱は、その到達高度や風向きによって降灰面積や形が変わり、噴火の継続時間によって降下量が変わってくる。溶岩流は、火口の位置により到達範囲や到達予想時間が変わる。溶岩は、火山の頂上の「中心火口」から流出するとは限らず、例えば富士山では過去数百年の噴火はすべて山頂から離れた側火口から噴出している。どの火口からの噴出を予想するかで異なる地図になる。また、火山噴火に伴う最大級の災害である山体崩壊は、崩壊方向や崩壊規模の予想を立てることが非常に困難である。

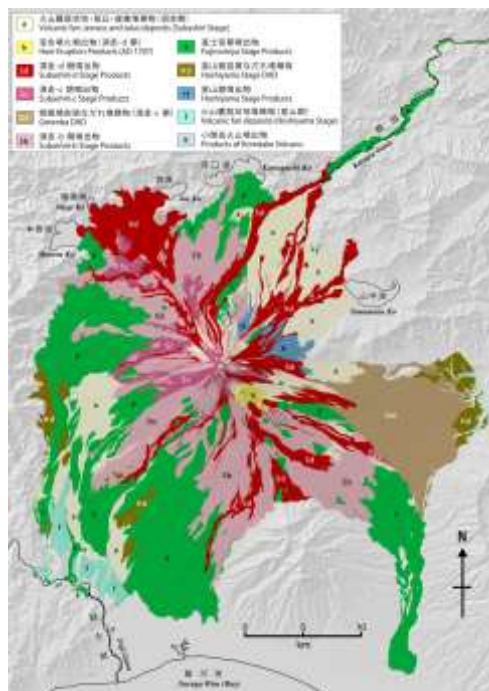
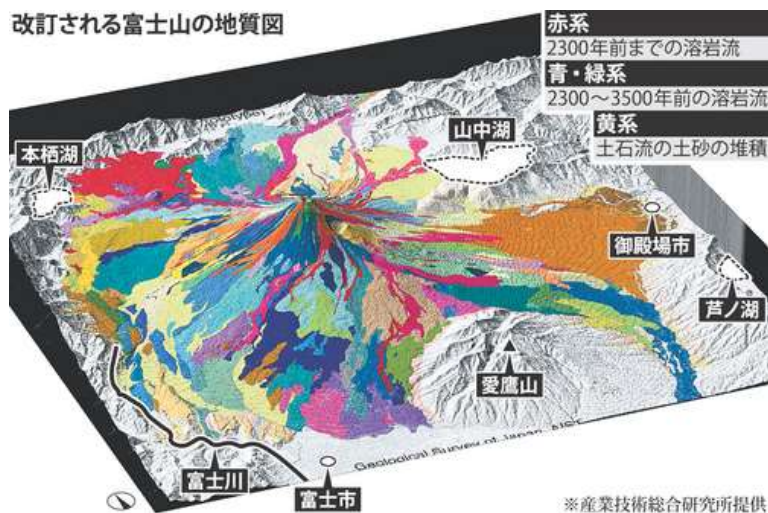


種類		対象範囲	レベルとキーワード		火山活動の程度	避難等の行動	避難の目安
特別警戒	噴火警戒レベル1	居住地域	避難	避難	噴火警戒レベル1に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。	噴火警戒レベル1に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。	噴火警戒レベル1に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。
	噴火警戒レベル2	避難準備	避難準備	避難準備	噴火警戒レベル2に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。	噴火警戒レベル2に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。	噴火警戒レベル2に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。
警戒	噴火警戒レベル3	火口から居住地域近くまで	入山規制	入山規制	噴火警戒レベル3に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。	噴火警戒レベル3に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。	噴火警戒レベル3に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。
	噴火警戒レベル4	火口周辺	火口周辺規制	火口周辺規制	噴火警戒レベル4に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。	噴火警戒レベル4に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。	噴火警戒レベル4に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。
手帳	噴火警戒レベル5	火口内	登山禁止	登山禁止	噴火警戒レベル5に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。	噴火警戒レベル5に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。	噴火警戒レベル5に達した場合は、噴火の発生に注意し、避難の準備を怠らない。

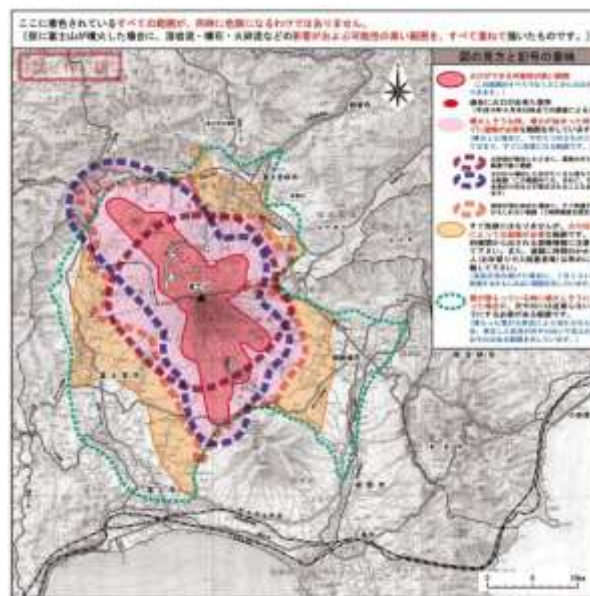
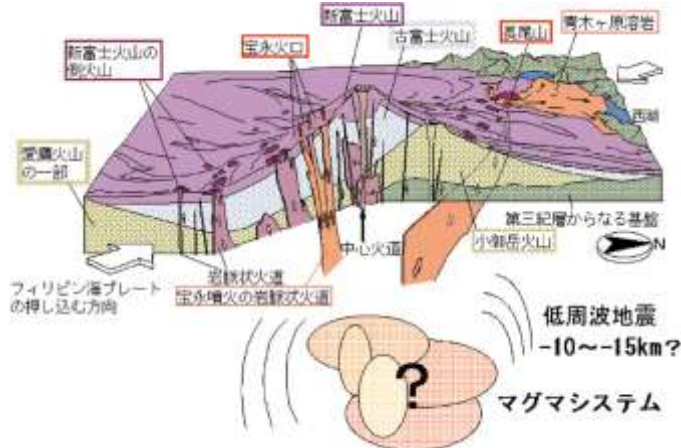
左：危険性が高いために特に重点的に観測されている50火山、右：噴火警戒レベル（いずれも気象庁）

火山防災の事例＝富士山のハザードマップ： 日本の最高標高をもつ巨大な成層火山である富士山は「噴火のデパート」とも呼ばれるほど多様な噴火活動を行ってきた。したがって、富士山の噴火を想定したハザードマップには、溶岩流・火砕流・噴石・降灰・岩屑流等、あらゆる噴火様式に対応した分布図が盛り込まれることになる。富士山は、少なくとも新旧3つの火山、「新富士火山」「古富士火山」「小御岳火山」が重なり合ってきた巨大な成層火山。現在の富士山の形は基本的に新富士火山により形成されており、崩れやすい火山灰と崩れにくい溶岩が互層することで、巨大な山体が一体性を保っている。直近の噴火は江戸時代の宝永噴火（1707年）なので、300年以上も噴火活動をしていないが、これは富士山の歴史の中では異例の長期間の静穏期であり、本来の富士山の活動様式から考えると、いつ本格的な噴火活動が再開されても不思議はない。噴火災害を軽減するためには、噴火の規模や様式を予想しなければならず、そのためには対象火山の火山活動の様式を理解する必要がある。そのための基礎となる知見が、火山の地質や地下構造である。

改訂される富士山の地質図



左：富士山の地質図に基づく過去の溶岩流の三次元分布、右：富士火山の地質図（いずれも産業技術総合研究所地調）



左：富士火山の地下構造（藤井敏嗣）、右：富士山の総合ハザードマップ（内閣府）

ハザードマップは研究機関の成果を基礎として、さまざまな想定や角度から表現が検討されて作成される。最終的に自治体や国から発表されるとともに、その成果をさまざまな媒体が取り上げて注目されることも多い。その場合、ハザードマップが想定している条件や、発生する確率、想定条件とことなる条件で発災する可能性も十分にありうることなどに留意する必要がある。



左：富士山の溶岩流の流下想定（朝日新聞）、中：火山灰の降灰想定（産経新聞）、右：山体崩壊の被害想定（産経新聞）

火山災害を「防ぐ」手立て： 残念ながら、火山噴火による災害、例えば火砕流や岩屑流に正対してそれを食い止めることは極めて困難である。したがって、火山災害に関しては、それを避ける行動、つまり避難が非常に重要である。ピナツボの噴火でも、初期の小規模な噴火活動の期間中にその後の大規模噴火が予想され、多くの住民や関係者が避難に成功した。噴火の予測が一定の成功を収めた事例は少なくない。避難は、そのタイミングによって犠牲者の数が大きく変わる。噴火の時期と規模と様式の予測の精度が高いほど効果的な避難ができる。また、大規模な噴火に先立って小規模な噴火が発生する場合には、それを捉えることも防災上重要となる。我が国で噴火を予測するために重点的な監視の対象とされている50の火山では、震動観測、空震観測、遠望観測、赤外線観測、火山ガス観測、地殻変動観測などさまざまな手法による観測が実施されている。振動観測では、地下のマグマが火口に向かって移動する状況を捉えて、噴火が近付いた段階でそれを認識することが期待される。地殻変動観測も、地下のマグマだまりへの新たなマグマの注入に伴う火山体の膨張変形を捕捉しようとする意図するものである。空震観測や赤外線観測では、夜間でも爆発的な事象を捕捉できる。

一方で、泥流対策としての砂防堤、火口近くの登山者向けのコンクリート製の避難小屋など、小規模な防災施設も有効性ではあるが、どこかに何かを作っておくことで火山災害全体を防ぐことは不可能である。いざ噴火が始まった、あるいは噴火の兆候が高まった際には、避難が最も重要である。住民としては、日頃からハザードマップを正しく理解してさまざまな噴火様式に対応付けた非難の経路やタイミングを考えておき、いざ噴火に際しては刻々変わるであろう状況を把握しつつ最適な避難行動をとることが肝要である。また行政としては、噴火の兆候や開始をいち早く察知して住民に知らせることが重要である。さらに、公的で拠点機能を持つ施設を被災のリスクの高い地点に立地させないといった防災戦略の視点も不可欠である。

以上