

火山防災対策を検討するための
雲仙岳の噴火シナリオ

平成 31 年 2 月

雲仙岳火山防災協議会

1. 目的

雲仙岳は、活発な火山活動を繰り返してきた。1990～1996年には、溶岩ドームの形成とドームの崩壊に伴う火砕流が発生し、1991年6月3日に発生した火砕流では、死者・行方不明者43名などの被害が生じた。雲仙岳周辺には多くの居住者がおり、季節を通して多くの観光客や登山者が訪れるため、噴火による影響は計り知れない。このため、噴火シナリオを作成し、事前に防災対応を決めておくことは極めて重要である。

雲仙岳火山防災協議会では、雲仙岳周辺の防災関係機関が将来の噴火に対して共通の認識を持ち、噴火災害の軽減に向けて種々の火山防災対策を検討するための基礎的な資料として、雲仙岳周辺の噴火シナリオを作成し、共有することとした。

噴火シナリオは、過去の噴火実績や数値シミュレーション等を基に想定したいくつかの噴火ケースについて、各々のケースにおける火山活動の時間的な推移とその影響範囲を表現したものである。噴火時にどのような現象がどのような順序で発生し、それらの現象により、いつ、どの範囲にどのような被害が発生するのか等について関係機関が共通のイメージを持ち、様々な防災上の課題を抽出し、時間や場所等を考慮した具体的な火山防災対策の検討に資することを目的として作成されるものである。

2. 噴火資料等の整理

2-1. 雲仙岳の概要、地形・構造等

雲仙岳は、島原半島の中央部を東西に横断する雲仙地溝(幅約9km)内に山体の中心部があり、裾野まで含めると南北25kmの成層火山である。火山の西部は古期山体、中央部は東に開いた妙見カルデラの中に普賢岳等の最新期の溶岩ドーム群、さらに東に眉山溶岩ドームがある。岩石は安山岩・デイサイトである。

地形的特徴は、雲仙地溝の内側と外側で大きく異なる。地溝の内側では、溶岩ドームがピークをなしており、中央部から東部には複数の明瞭なピークをもつ山体がいくつもあるのに対し、西部にはきりばさん猿葉山を除き小さなピークの山体が多い。西部や東部の地溝の軸部から離れた地域では、厚い溶岩流からなる緩斜面が広がる。また、山体と海岸の間には、より緩傾斜の火山麓扇状地が広がっており、西部では谷の出口を中心に狭く分布するのに対し、東部では顕著に海に向かって張り出している。

一方、地溝の外側では、地溝のすぐ外側に明瞭なピークがあって、そこから外側へ緩斜面が広がっており、断層により切断された厚い溶岩流が分布している。その外側には、より緩斜面の火山麓扇状地が広がり、海岸へと延びる。この扇状地は上流から火砕物がほとんど供給されないため開析が進み、地溝の内側の扇状地と比べて数多くの細かい谷に刻まれている。

雲仙岳には数多くの山体崩壊地形がある。野岳は北側が山体崩壊により失われており、その崩壊地形の内側に生成した妙見岳には、南東に開いた径1.5kmの崩壊地形がある。また、眉山まゆやまは1792年の普賢岳の噴火活動に際して、南側の天狗山の東斜面が崩壊した。



図1 雲仙岳の地形図

(国土地理院発行の5万分の1地形図(島原)及び数値地図50mメッシュ(標高))

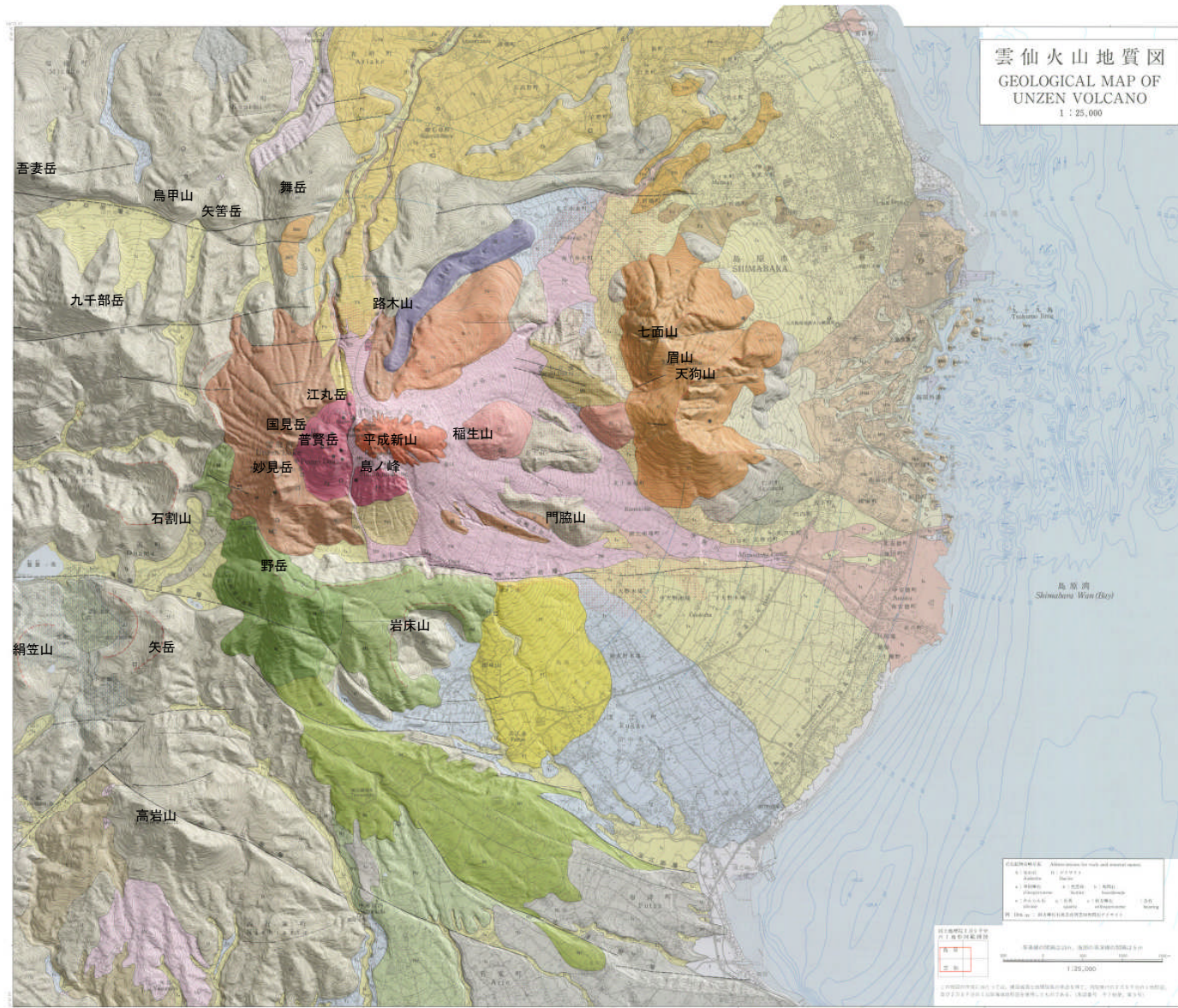


図2 雲仙火山地質図(2万5千分の1, 渡辺・星住(1995)に加筆)

2-2. 過去の噴火実績

(1) 雲仙岳の形成史

雲仙岳は、地質調査及び火山体掘削（USDP：雲仙科学掘削プロジェクト）の結果から、地形的特徴や噴出年代により、噴火活動を古期前期（50～30 万年前）、古期後期（30～15 万年前）、新期（15 万年前～現代）の3つに区分できる。

(ア) 古期前期（50～30 万年前）

古期前期は、50～40 万年前頃には爆発的軽石噴火、その後は石質火砕流噴火が頻発して、四方に火砕流及び土石流の堆積物を供給し、雲仙地溝外側の北側及び南側に火山麓扇状地を形成した。地溝の北側には、千々石断層により切断された北傾斜の扇状地に、厚い溶岩流、石質火砕流及び土石流堆積物が分布している。地溝の南側には、先雲仙火山岩類を覆って、高岩山の溶岩流と南側斜面を流下した火砕流及び土石流堆積物が分布しており、金浜断層沿いの火砕流堆積物には発砲した軽石が多量に含まれている。これらの堆積物は、火山麓扇状地を形成するほどの地溝帯中央部の高い火山体から供給されたと推定される。すなわち、この時期は、雲仙地溝の発達に限られたものであったか、地溝の沈降速度を上回って火砕物が地溝の外側に供給されている。一方、地溝内側の地表には、この年代の噴出物が露出していないことから、地溝帯の沈降により地下に埋没したと推定される。

(イ) 古期後期（30～15 万年前）

30 万年前以降、雲仙岳の噴出率が雲仙地溝の沈降速度を下回るようになった。西側には、火砕流堆積物がほとんど露出しておらず、ほぼ溶岩流のみが地溝帯内側に厚く埋積している。地溝帯内側の東側斜面には、新期雲仙噴出物に覆われて、断片的に溶岩流及び石質火砕流堆積物が分布しており、特に、垂木台地の北側の崖には 200m以上の厚さで露出している。北側から北東側にかけては、21～26 万年前の溶岩流が地溝の外側に広がって分布しているが、20 万年前の火砕流堆積物は地溝の外側にはほとんど流出せず、内側の千本木地区に 500mもの厚さで堆積した。従って、この時期に、千々石断層東部が、雲仙岳の活動と連動して大きく変位したと判断される。

(ウ) 新期（15 万年前～現在）

新期は、古い方から野岳（12～7 万年前）、妙見岳（4～2.7 万年前）、普賢岳及び眉山（2.7 万年前～現在）の3つに区分される。これらの火山体は、中央より東側に噴出中心を持ち、溶岩ドーム、ドーム崩壊型火砕流及び比較的規模の小さい溶岩流の活動を繰り返した。東側は、火砕流及び土石流堆積物の供給により、火山麓扇状地が形成された。一方、西側には全く噴出物が供給されなかったため、地溝の沈降のみが進行し、橘湾が侵入した。

(a) 野岳

野岳は、普賢岳の南方に形成された火山体で、その北側が山体崩壊により失われており、山体基部を構成する吹越溶岩、南方に広がる湯河内火砕流堆積物及び俵石岩屑なだれ堆積物、山頂部の野岳溶岩から構成される。

吹越溶岩は、妙見岳西方の吹越付近と岩床山周辺の緩斜面などをなす。白色～青灰色の黒雲母角閃石デイサイト及び安山岩の溶岩であり、約 11 万年前に噴出したと考えられる。

湯河内火砕流堆積物は、野岳南方の有家町北部を占める火砕流であり、一部はやや発泡しているが、概ね緻密な青灰色～白色の角閃石安山岩ーデイサイト本質岩塊と同質の細粒物からなる。

俵石岩屑なだれ堆積物は、俵石展望所から南方へ広がる山体崩壊による堆積物である。吹越溶岩

に酷似した白色デイサイト岩塊や褐色風化火山灰土壌片を特徴的に含み、南九州起源の始良-Tn火山灰（約2.5万年前）に覆われる。その給源の崩壊地形は残っていないが、おそらく野岳溶岩の噴出により埋没したと推定される。

野岳溶岩は、6～8万年前に形成された野岳山頂部を構成する溶岩ドーム群である。

(b) 妙見岳

妙見岳は、野岳の崩壊地形の内側に形成された底径約4kmの安山岩の溶岩を主体とする火山体で、南東に開いた径1.5kmの崩壊地形があり、主火山体、北方に分布する舞岳南火砕流堆積物及び一本松火砕流堆積物、崩壊堆積物である垂木台地岩屑なだれ堆積物から構成される。

主火山体は、2～3万年前に形成され、妙見岳、国見岳、江丸岳などの峰々と東方のおしが谷や炭酸水谷などに広がっている。崩壊壁の内側に厚い溶岩が露出していることから、厚い溶岩や溶岩ドームの集合体であったと考えられる。

舞岳南火砕流堆積物は、舞岳の南側の平坦面に分布する緻密な角閃石安山岩岩塊と同質の砂質火山灰からなる火砕流堆積物である。

北麓の一本松火砕流堆積物は、緻密な安山岩と発泡したデイサイトの2種類の本質物を含んでおり、約9万年前の阿蘇-4T火砕流堆積物を覆い、約2.5万年前の始良-Tn火山灰に覆われている。

妙見岳の崩壊に伴って流下した岩屑なだれ堆積物は特定できていないが、眉山西方の垂木台地の上面を構成する垂木台地岩屑なだれ堆積物がそれに相当する可能性がある。

(c) 普賢岳

普賢岳はいくつもの溶岩流、溶岩ドーム及び火砕流堆積物からなり、その噴出位置は妙見岳の崩壊壁の内側だけでなく、崩壊壁の外側にも点在している。普賢岳の周囲には、1991～96年の火砕流と岩相の比較的よく似た火砕流堆積物がいくつも広がっている。

普賢岳南東のボタン山の緩斜面を構成する古江火砕流堆積物は、こぶし大～人頭大の緻密な角閃石デイサイト岩塊と同質の砂状の火山灰からなる。一方、普賢岳の北斜面から礫石原の扇状地面にかけてと、地形的にやや高い立野町や舞岳北東側の台地面には、約1.9万年前の通常薄く（0.5～3m）、こぶし大以下の本質岩塊を大量に含み細粒物に乏しい礫石原火砕流堆積物が分布している。

垂木東溶岩は、約2万年前の多斑晶のデイサイト溶岩である。

稲生山溶岩は、多斑晶のデイサイト溶岩ドームで、頂部に溶岩じわと見られる新鮮な地形を残している。

千本木溶岩は、約1.3万年前の崩壊壁外側から流出した安山岩溶岩である。

島原市の眉山北方の流れ山地形をなす島原岩屑なだれ堆積物は、鬼界アカホヤ火山灰（約7,300年前）を覆っており、普賢岳火山の産物と思われるがその給源は不明である。

妙見岳の崩壊地形内に噴出した3つの溶岩ドーム（風穴溶岩、普賢岳山頂溶岩及び島ノ峰溶岩）は、岩質及び化学組成が互によく似た角閃石デイサイトからなり、その噴出順序や噴出年代はよくわかっていないが、島ノ峰溶岩は4,000～8,000年前と推定される。一方、赤松谷や水無川の上流部に分布する約4,000年前の水無川火砕流堆積物は、その上流部に島ノ峰溶岩が位置することと両者の年代測定値が誤差の範囲で一致することから、島ノ峰溶岩生成時に流下した可能性がある。風穴溶岩及び普賢岳山頂溶岩は、生成時に流下した火砕流堆積物が特定できていない。

(d) 眉山

雲仙岳の東端に位置する側火山の眉山火山は、眉山の基底部や山麓に分布する 15~19 万年前の眉山基底溶岩の上部に、4,000~5,000 年前に形成され、七面山と天狗山の2つの角閃石デイサイトの溶岩ドーム、山麓の火砕流堆積物及び山体崩壊堆積物からなる。この2つの溶岩ドームは同質のデイサイトであり、おそらく相次いで噴出したと推定される。岩石は、斜方輝石含有石英黒雲母普通角閃石デイサイトで、微量の普通輝石やかんらん石を伴うことがあり、斑晶の大きさは2~8mmのものが多い。

北側の七面山の北西側には、六ツ木火砕流が流下した。また、南側の天狗山の東斜面は、1792年の普賢岳の噴火活動に際して崩壊した。

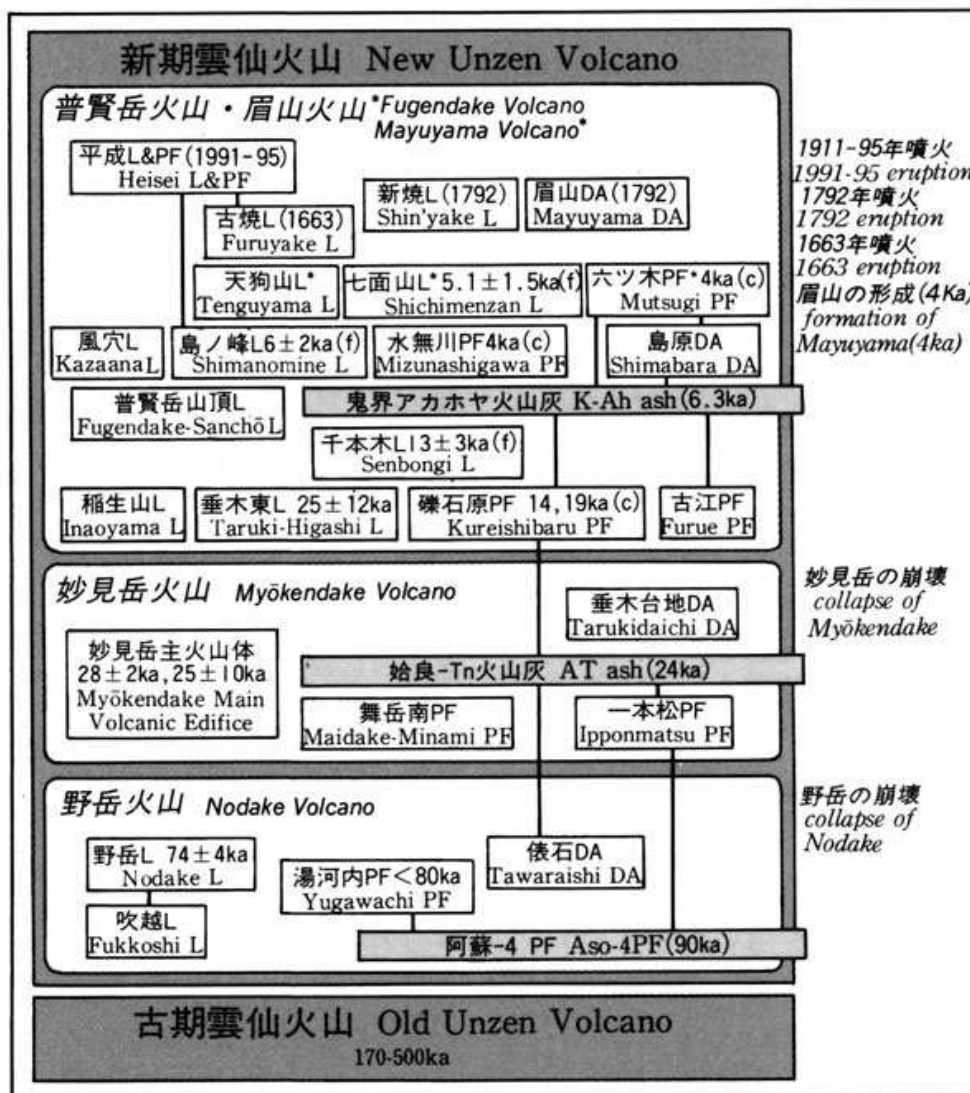


図3 雲仙岳の層序関係図 (渡辺・星住, 1995)

数字は年代測定値を示す (ka : 1000 年前、c : ¹⁴C 年代測定値、f : フィッション・トラック年代測定値、これ以外の値は K-Ar 年代測定値)。

L : 溶岩、PF : 火砕流堆積物、DA : 岩屑なだれ堆積物、網をかけたものの給源は他の火山。

(2) 有史以降の火山活動

普賢岳火山の有史の噴火活動は、3回知られている。

1663年と1792年の噴火では溶岩が流出した(図4)。1990～1996年の噴火では、溶岩ドームの形成とドーム崩壊に伴って火砕流が発生した。火砕流堆積物を伴う大規模な噴火は、19,000年前、14,000年前、9,000～10,000年前、4,000年前に発生しており、1990～1996年の噴火を含めると、数千年に一回程度の割合で繰り返していることになる。

(ア) 1663年(寛文3年)の噴火

1663年12月の噴火では、普賢岳の北北東900mの飯洞岩^{ばんどういわ}からカルデラ縁の亀裂を通過して北方へ溶岩(古岳溶岩)が流出した。この溶岩は、幅約0.15km、全長約1km、量約 $0.05 \times 10^8 \text{ m}^3$ で、雲仙岳の岩石の中では SiO_2 含有量が少なく、かんらん石斑晶を含むことが特徴的な安山岩である。

1664年春には、普賢岳の南東600mの九十九島火口^{つくもじま}(平成新山により埋没)から出水し、赤松谷に沿って流れ、島原市南部の水無川沿いの安徳で氾濫し、民家が流失して死者30余名の被害が生じた。

(イ) 1792年(寛政4年)の噴火

(a) 1791年

11月から島原半島西部の雲仙市小浜付近で群発地震が始まり、12月には雲仙市小浜町で山崩れが発生し死者2名の被害が生じた。

(b) 1792年

1月に地獄跡火口から噴煙をあげた。

2月10日には普賢岳で鳴動があり、山頂付近の地獄跡火口から噴気・土砂を噴出した。2月28日には穴迫谷の琵琶の首からも噴煙・土砂が噴出した。

3月1日には普賢岳北東側からデイサイトの溶岩(新焼溶岩^{しんやけようがん})が流出し、約2か月続いた。3月22日には蜂の窟から噴煙・溶岩が流出し、新岳溶岩と合流した。この溶岩流は、幅220～360m、全長2.7km、量約 $0.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ であった。3月25日には古焼頭からも噴煙を上げた。

溶岩流出が収まった後の4月の終わりから、眉山から島原にかけて、強い群発地震が続き、島原の城下町一帯の各所で斜面崩壊や地割れが生じ、湧き水の変化も起きた。

5月21日に発生した2回の強い地震とともに大音響が起き、眉山(天狗山)の東斜面が大崩壊を起こした。崩壊した山の部分($4.4 \times 10^8 \text{ m}^3$)は、瞬時に大規模な岩屑なだれとなり、市街地を襲い有明海に突入した。これにより、津波が有明海の沿岸を襲い、島原9千数百名、対岸の肥後・天草を合わせて、死者・行方不明者約1万5千名という日本で最大の火山災害となった(図5)。また、岩屑なだれ堆積物により、海岸線は長さ4km、幅1kmにわたって埋め立てられ、九十九島といわれる大小無数の小島ができた。

その後、地震や鳴動がしばらく続き、6月と7月にも時々噴火と降灰があった。

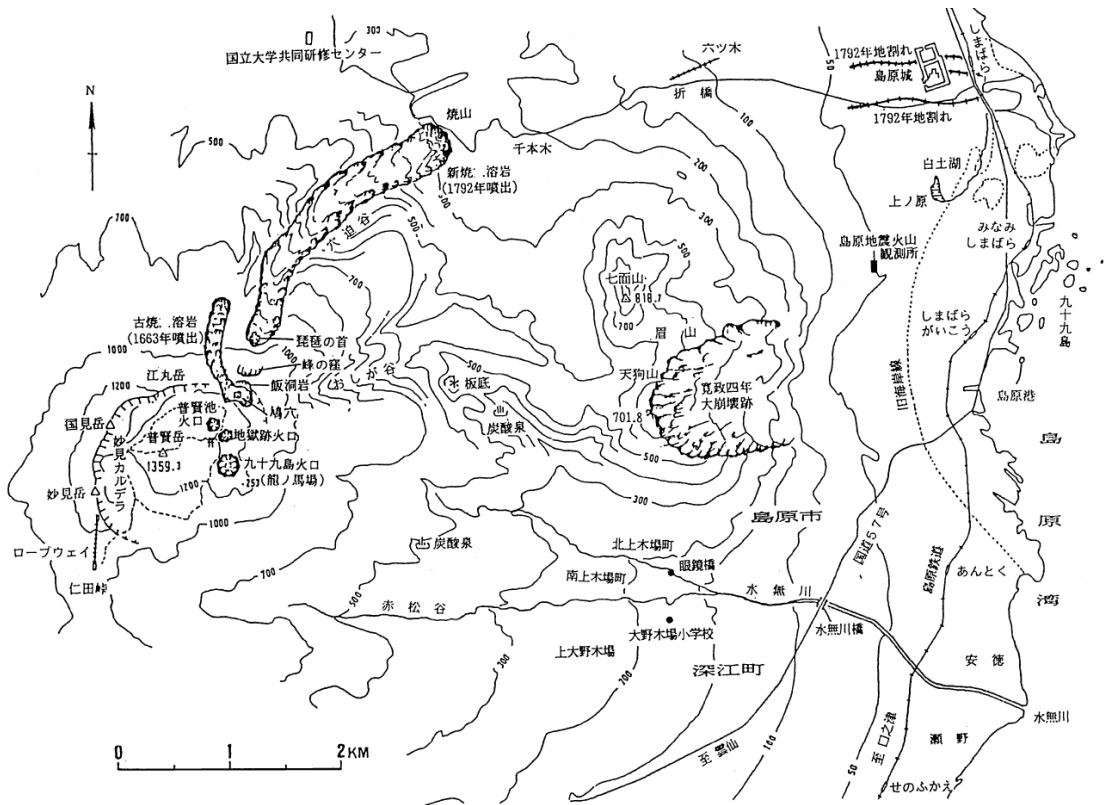


図4 1663年古焼溶岩、1792年新焼溶岩(太田, 1985)

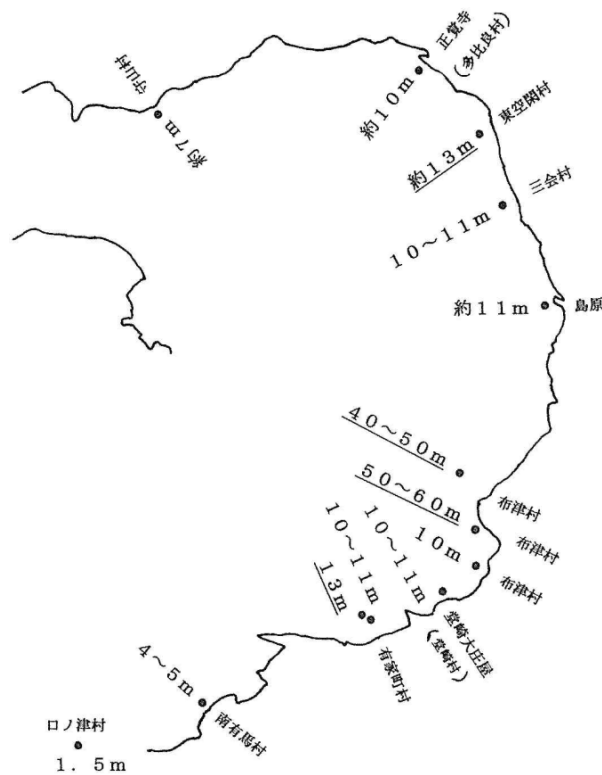


図5 寛政四年(1792年)島原半島眉山の大崩壊による有明海での津波遡上高分布(赤木, 2001)
下線のある数値は地形の影響を他より大きく受けた高度を示す。

(ウ) 1990年(平成2年)～1996年(平成8年)の噴火

1990年11月17日に198年ぶりの噴火が発生し、1996年まで続いた。噴火活動は、山頂に溶岩ドームを次々と形成し、その崩落による火砕流が9,425回発生した。総噴出物量は2.1億 m^3 (溶岩換算)で、その約半分(長さ1.2km、幅0.8km、厚さ0.23～0.54km)は溶岩ドームとして留まっている。また、降雨により大規模な土石流も度々発生した。相次ぐ火砕流や土石流により、死者・行方不明者44名、多数の建物被害などが生じた。

(a) 1989年

11月22～23日に島原半島西方の橘湾で群発地震活動が発生した(図6)。その後、地震回数は消長を繰り返しながら、次第に増加した。

(b) 1990年

7月には震源が島原半島中央部まで拡大(図6)し、7月24日～25日には震度1以上26回(雲仙岳測候所で最大震度3)を含む432回の火山性地震が観測された。また、7月4日には、1967年の観測開始以来、初めて火山性微動が観測された。

8～9月には、火山性地震の震源が橘湾に移動して回数が減少したが(図6)、火山性微動が引き続き観測され、振幅が大きくなった。

10月に入ると、火山性地震の震源が再び橘湾から島原半島に拡大して回数が増加し、震源の深さが徐々に浅くなった(図6)。火山性微動も増加し、振幅はさらに大きくなった。

11月17日03時22分から火山性微動が観測され始め、08時に雲仙岳測候所は^{つくもじま}九十九島火口及び地獄跡火口からの水蒸気噴火を確認した。九十九島火口からごく少量の灰白色の噴煙が300mまで、地獄跡火口からごく少量の白色の噴煙が150mまで上がり、島原市内で降灰があった。また、土砂が火口から10～20mの高さまで上がっていた。連続微動は、振幅が次第に小さくなり、17日19時頃に停止した。11月18日になると、地獄跡火口の噴煙は急速に衰え、仁田峠第2展望所からは見えなくなった。九十九島火口では、噴煙の量は半減したが、夕方には灰白色の噴煙が400mまで上がり、仁田峠で降灰があった。地獄跡火口は、黒色、灰色の湯だまりとなっており、高さ5m程の土砂噴出が観測され、火口の北方では人頭大からこぶし大の噴石飛散が見られた。11月19日以降、九十九火口からの噴煙も次第に減少し、火山灰混じりの灰白色の噴煙は11月23日まで観測されたが、11月24日以降は白色の噴煙に変わった。火山性地震は島原半島内(普賢岳西方)で発生し、11月20日に震度1以上を11回(雲仙岳測候所で最大震度3)観測するなど活発であった。火山性微動は11月28日以降発生しなくなった。

(c) 1991年

1月15～16日にかけて普賢岳の西南西6km付近を震源とする火山性地震が群発し、1月25日から火山性微動が再び発生するなど活動が活発となった。また、1月16日には、地獄跡火口の北西約100mの斜面から幅10m、長さ5mの範囲で、数か所から高さ1mくらいの新しい噴気(地獄跡火口西端噴気)が確認された。

2月12日には、地獄跡火口底から西南西約170mの普賢神社裏の屏風岩付近で、新しく形成された火口(屏風岩火口)から噴火が発生し、灰白色の噴煙が300～500mまで上がった。普賢神社付近では火山灰が約30cm積もり、直径2～3cmの火山礫が約100mの範囲に飛散した。屏風岩火口の活動は、2月末まで活発な状態が続き、火山灰を含む灰白色の噴煙を連日噴出したため、島

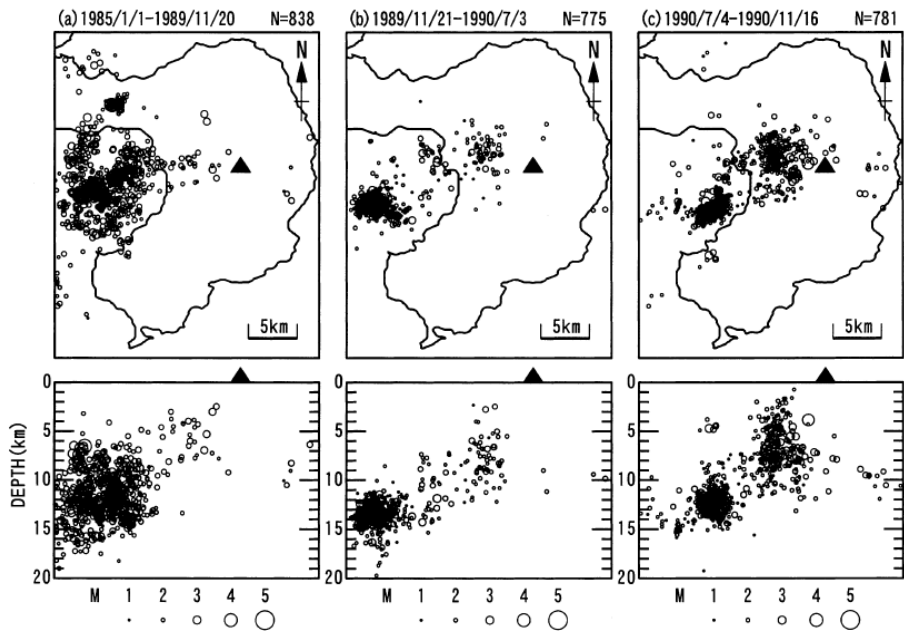


図6 1985年1月1日～1990年11月16日の震源分布 (Umakoshi et al., 2001)

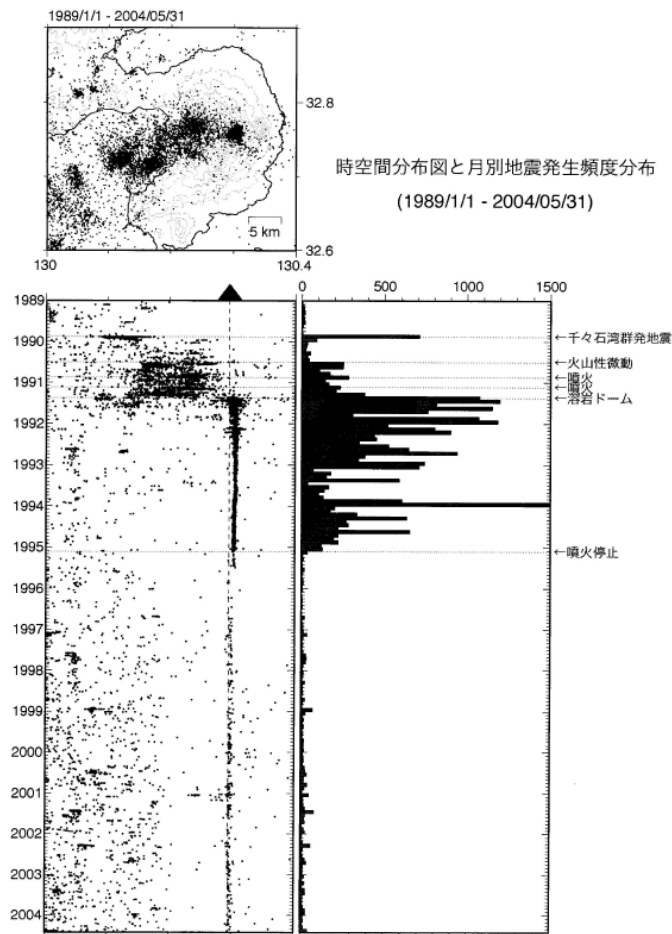


図7 時空間分布と月別地震発生頻度分布 (九州大学, 2005)
(1989年1月1日～2004年5月31日)

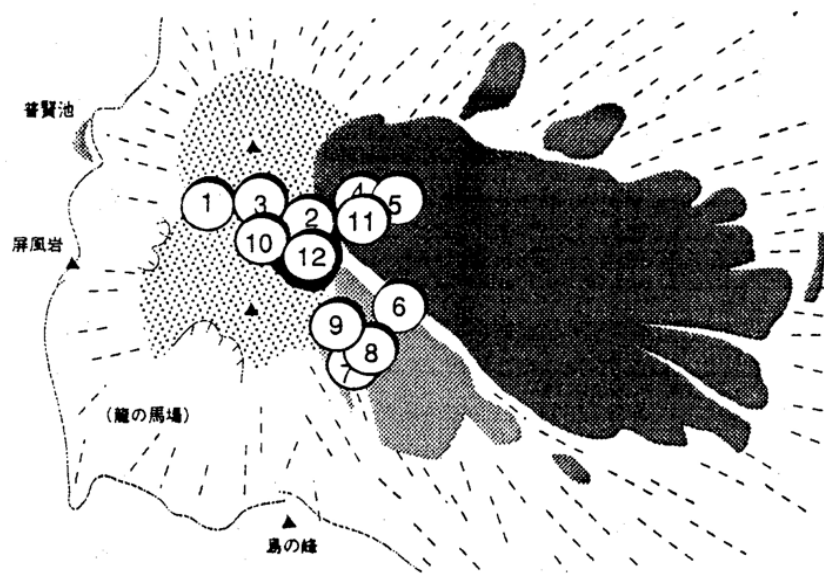


図9 各溶岩ドーム湧きだし口の位置図(九州大学理学部地球惑星科学科・他, 1994a)
番号は各ロープの番号に対応。ドーム図は1993年12月上旬。

大きく成長した溶岩塊が普賢岳東斜面（V字谷）を崩落し、灰白色の噴煙が立ち上がる火砕流が発生して標高700m付近に達した。5月26日11時過ぎから火砕流が頻発した。火砕流は水無川源流部に沿って人家近くの約2.5kmまで流下し、治山ダム工事現場で作業員1名が巻き込まれてやけど（重症）を負った。

6月3日16時08分にそれまでより規模の大きな火砕流が発生し、水無川沿いに地獄跡火口の東方へ約4.3km流下して、死者・行方不明者43名、建物179棟の被害が生じた。この火砕流は、第1溶岩ドームの一部とその下の山体の一部をえぐるように崩落し、地獄跡火口東部には東に開いた馬蹄形の凹地が形成された。6月8日19時51分には6月3日を上回る規模の火砕流が発生し、水無川方向へ約5.5km流下して、先端は国道57号線の近くまで達した。この火砕流により、建物207棟の被害が発生したが、6月7日に水無川流域が災害対策基本法に基づく警戒区域に設定されていたことにより、人的被害はなかった。また、6月8日20時07分頃に爆発的噴火が発生し、火山礫や火山豆石が仁田峠や島原市街地等に降った。6月11日23時59分には再び爆発的噴火が発生し、鳩穴分かれに人頭大の火山弾、島原市街地に多量の噴石や火山礫を飛散させた。噴石は火口から北東約8kmの有明海沿岸部に達し、島原市北千本木町で直径7～10cmの噴石（軽石）が確認され、島原新港付近で直径3～4cm、島原警察署で直径2～3cmの火山礫が降ったため、自動車等に多数の被害が生じた（図10）。6月30日には、梅雨前線による大雨により、水無川で火口から約7km下流の有明海に達する土石流が発生したほか、湯江川、赤松谷川及び土黒川流域でも土石流が発生し、水無川流域で建物151棟、湯江川流域で建物51棟及び負傷者1名の被害が生じた。

9月15日18時42分及び18時54分に規模の大きな火砕流が北東斜面で発生し、おしが谷を北東方向へ流下し、垂木台地の手前で谷沿いに南東に向きを変え、水無川に達した。この火砕

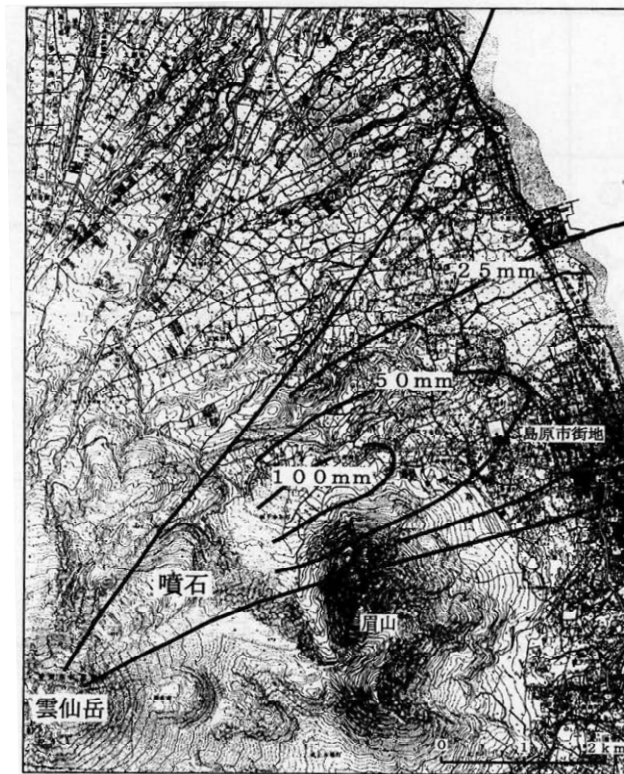


図 10 1991 年 6 月 11 日の爆発的噴火に伴う降灰分布図(気象庁, 2002)
 国土地理院 1/25,000 地形図「雲仙」(昭和 60 年 1 月 30 日発行)による。

流の流走距離は約 5.5 km (到達距離は約 5.0 km) で、崩落量は 6 月 8 日より多く、一連の噴火活動で最大級であった。火砕サージは直進して水無川を横切り、南島原市深江町大野木場に達し、大野木場小学校を含む建物 218 棟が焼失した。島原市内には火山豆石が降り、島原市、南島原市の深江町と布津町で強い降灰があった。

(d) 1992 年

8 月 8 日 08 時頃～11 時頃にかけて、規模の大きな火砕流が頻発し、南東の赤松谷を流下して、島原市と南島原市深江町で建物 17 戸が焼失した。また、8 月 8 日は台風第 10 号、8 月 12～15 日は大雨により、水無川で規模の大きな土石流が発生し、建物 244 棟の被害が生じた。

(e) 1993 年

1993 年は平年より雨量が多く、水無川と中尾川で多数の土石流が発生した。4 月 28 日には大雨により水無川で土石流が発生し、河口から 2 km の地点で扇形に氾濫して、島原鉄道が約 650 m、国道 251 号線が約 800 m にわたり土砂で埋没した。5 月 2 日には、水無川と中尾川で土石流が発生し、水無川の土石流は国道 57 号線を約 250 m、国道 251 号線を約 900 m にわたり土砂で埋没させて海岸線に達し、中尾川の土石流は県道を約 250 m 土砂で埋没させた。これらの土石流により、水無川流域で建物 434 棟、中尾川流域で建物 44 棟の被害が生じ、土石流被害で最大のものとなった。

6 月 23～24 日に第 11 溶岩ドーム (図 9) の北側が大きく崩落した。6 月 23 日 11 時 14 分に発生した大規模な火砕流が中尾川方向を 4.0 km 以上流下するなど、一連の火砕流により、島原市

千本木地区の建物 187 棟が焼失し、自宅を見るため警戒区域に立ち入っていた住民 1 名が犠牲となった。

7 月 19 日には火砕流が 32 回発生し、18 時 21 分に発生した火砕流は、水無川方向へ約 5.6 km 流下し、国道 57 号を 100m 超えて最長の到達距離となったが、先端付近が極めて細く、1991 年 6 月の火砕流と状況が若干異なった。

7 月 25 日～8 月 16 日にかけて、溶岩ドーム付近を震源とする火山性地震が頻発し、8 月 7 日には噴火活動開始後最多の 2,604 回観測した。

11 月上旬以降、第 11 溶岩ドームわきだし口北西部の第 10 溶岩ドーム（図 9）が、ドーム西部の広い範囲で隆起を始めた。これに対応するように、光波測距、傾斜及び GNSS の観測により、溶岩ドームの北から南西方向にかけて膨張する方向の地殻変動が観測された。

12 月～1994 年 1 月中旬にかけて、普賢岳付近を震源とする火山性地震が多発した。12 月 10 日～20 日は 1 日の地震回数が 1,000 回を超え、12 月は 25,340 回の地震を観測した。また、12 月 15 日～1994 年 1 月 5 日にかけて、雲仙測候所で震度 1 を 197 回観測した。

(f) 1994 年

8 月 25 日には、小規模な火砕流が日回数最多の 68 回発生し、南西の龍の馬場方向に流下したが、地形の効果もあり、到達距離は約 2.0 km であった。

(g) 1995 年

2 月中旬以降、溶岩ドームの形状にほとんど変化が見られなくなり、噴火活動は停止した。火山性地震は、2 月 4 日の 55 回を最後に 1 日あたり 0～数回程度となり、噴火前と同程度となった。1990 年 11 月以降なかった火山性微動が、2 月 16 日に観測され、8 月までに 37 回観測された。

(h) 1996 年

2 月 10～13 日にかけて、火砕流が 1995 年 2 月 11 日以来約 1 年ぶりに 6 回観測され、何れも赤松谷方向へ約 1.5 km 流下した。また、5 月 1 日に火砕流が観測されたが、流下方向や距離は不明である。これらの火砕流は、山体に残っている溶岩ドームの不安定な部分が崩落したものであった。

2-3 火山活動の特徴

雲仙岳では、約 7,300 年前のアカホヤ火山灰の堆積後に、岩屑なだれが発生し現在の眉山の北方に堆積物を残しているが、その給源は不明である。その後、約 4,000～8,000 年前には島ノ峰溶岩が噴出し、火砕流を発生させた。さらに、約 4,000～5,000 年前には雲仙火山のうち、最も東に位置する場所に眉山が生成し、北斜面に火砕流が発生した。これ以降の活動は、有史の活動であり、1663（寛文 3 年）、1792（寛政 4 年）年に溶岩の流出、1990～1996 年には、溶岩ドームの形成とドームの崩壊に伴って火砕流が発生した。

以下に、過去 1 万年以降の活動の特徴を、噴石や火砕流、溶岩流の到達状況により取りまとめた。また、噴火後の土石流の発生状況についても取りまとめた。

①噴石の到達距離

- ・普賢岳の噴火（約 4,000～8,000 年前）
噴石が噴出したと推定されるが到達距離等の詳細は不明
- ・眉山の噴火（約 4,000～5,000 年前）
噴石が噴出したと推定されるが到達距離等の詳細は不明
- ・寛文の噴火活動（1663 年（寛文 3 年））
九十九島火口から噴火。降灰はあったと思われるが、噴石の詳細は不明。
- ・寛政の噴火活動（1792 年（寛政 4 年））
地獄跡火口から噴火、噴石が噴出したと推定されるが到達距離等の詳細は不明。北千本木まで降灰があった。
- ・1990～1996 年の噴火活動
九十九島火口、地獄跡火口、屏風岩火口から噴火、火口周辺に半身大の噴石
1991 年 6 月 11 日に爆発的噴火が発生し、噴石（火山礫）が火口から北東へ約 8 km の海岸部まで達した。島原市北千本木町（火口から約 4 km）で直径 7～10 cm の噴石が降下。

②火砕流の到達距離

- ・普賢岳の噴火（約 4,000～8,000 年前）
火砕流が発生したと推定されるが到達距離の詳細は不明
- ・眉山の噴火（約 4,000～5,000 年前）
北側の七面山の北西側に、六ツ木火砕流が流下したが、到達距離の詳細は不明
- ・寛文の噴火活動（1663 年（寛文 3 年））
九十九島火口から噴火 火砕流の詳細は不明
- ・寛政の噴火活動（1792 年（寛政 4 年））
地獄跡火口から噴火 火砕流の詳細は不明
- ・1990～1996 年の噴火活動
九十九島火口、地獄跡火口、屏風岩火口から噴火。溶岩ドーム形成し、崩落で火砕流発生、流下範囲は図 11 による。

③溶岩流の到達距離

- ・普賢岳の噴火（約 4,000～8,000 年前）
溶岩流噴出、到達距離等の詳細は不明
- ・眉山の噴火（約 4,000～5,000 年前）
溶岩ドーム形成
- ・寛文の噴火活動（1663 年（寛文 3 年））
九十九島火口から噴火 妙見岳カルデラ北壁から北北東山腹へ溶岩流出 長さ約 1 km
- ・寛政の噴火活動（1792 年（寛政 4 年））
地獄跡火口から噴火 普賢岳穴迫谷から北北東山腹へ溶岩流出 長さ約 2 km
- ・1990～1996 年の噴火活動
九十九島火口、地獄跡火口、屏風岩火口から噴火 溶岩ドーム形成し、崩落で火砕流発生

④噴火後の土石流の発生状況

- ・普賢岳の噴火（約 4,000～8,000 年前）
不明
- ・眉山の噴火（約 4,000～5,000 年前）
不明
- ・寛文の噴火活動（1663 年（寛文 3 年））
九十九島池（火口）が決壊して赤松谷に沿って土石流が流下した。水無川河口の安徳河原では土石流による河川氾濫で 30 人余が死亡した
- ・寛政の噴火活動（1792 年（寛政 4 年））
不明
- ・1990～1996 年の噴火活動
1991 年 5 月 15 日以降、土石流がたびたび発生し、特に水無川流域では被害甚大。流下範囲は図 11 による。

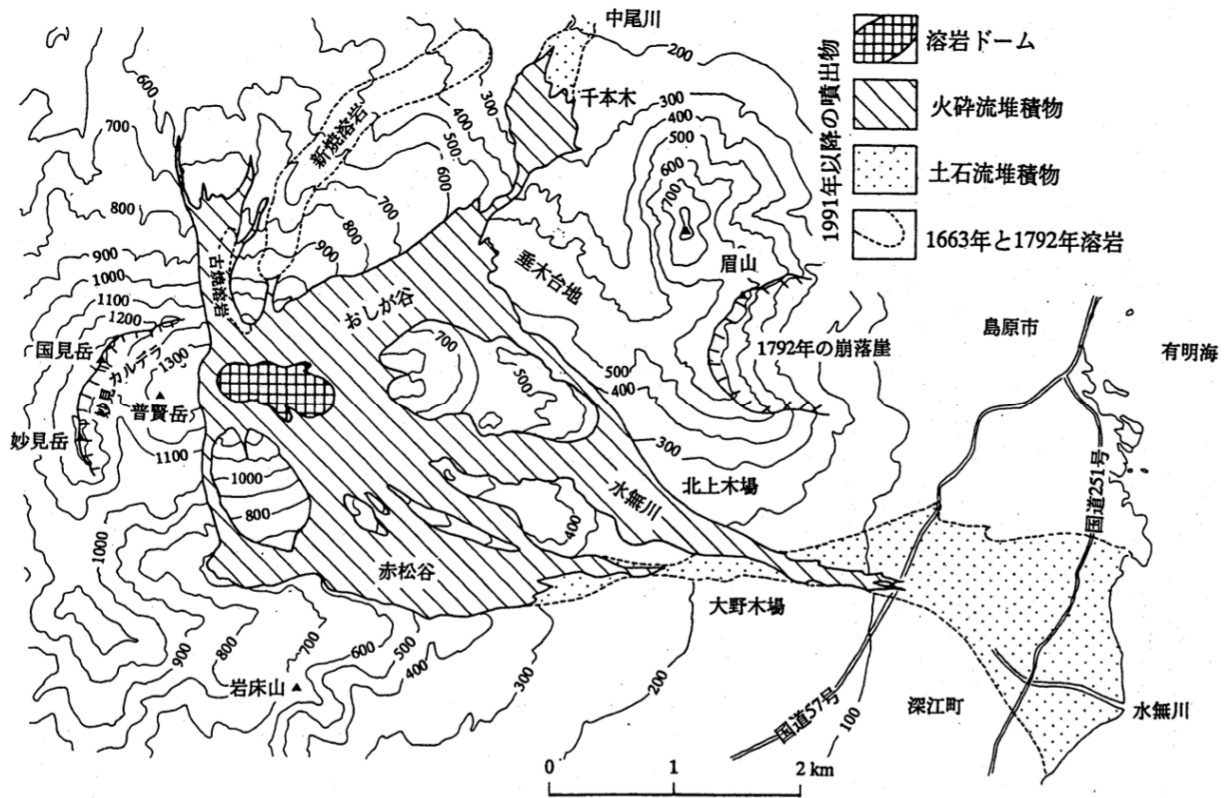


図11 火砕流堆積物、土石流堆積物の分布状況 1994年10月初旬
(九州大学理学部地球惑星科学科・他, 1994b)

3. 噴火シナリオの作成

3-1. 想定される噴火場所

平成19年より運用を開始した雲仙岳の噴火警戒レベルは平成新山周辺からの噴火を想定しているが、平成噴火により、山頂付近に溶岩ドームが形成され、現在の火道が塞がれた可能性が指摘されている。

また、過去の噴火位置は1万年以降、普賢岳周辺から眉山周辺の広い範囲に分布しているが、有史以降では普賢岳の周辺で発生している。ことから、噴火の発生する可能性が高い範囲として、既存火口の分布傾向などを踏まえ、普賢岳周辺で、ある程度の幅を持たせることとした。

平成噴火の火口の移動範囲や過去の噴火における火口の移動範囲及び雲仙普賢岳火山噴火緊急減災対策砂防計画検討委員会では、普賢岳周辺（約2万5千年前から現在）で、位置が比較的明瞭な火口位置から概ね500m程度を包括する範囲を想定している。そのため、噴火シナリオでは、位置が比較的明瞭な火口位置を包括する円を想定火口の範囲とした。

想定する火口の範囲（想定火口）を図12に示す。

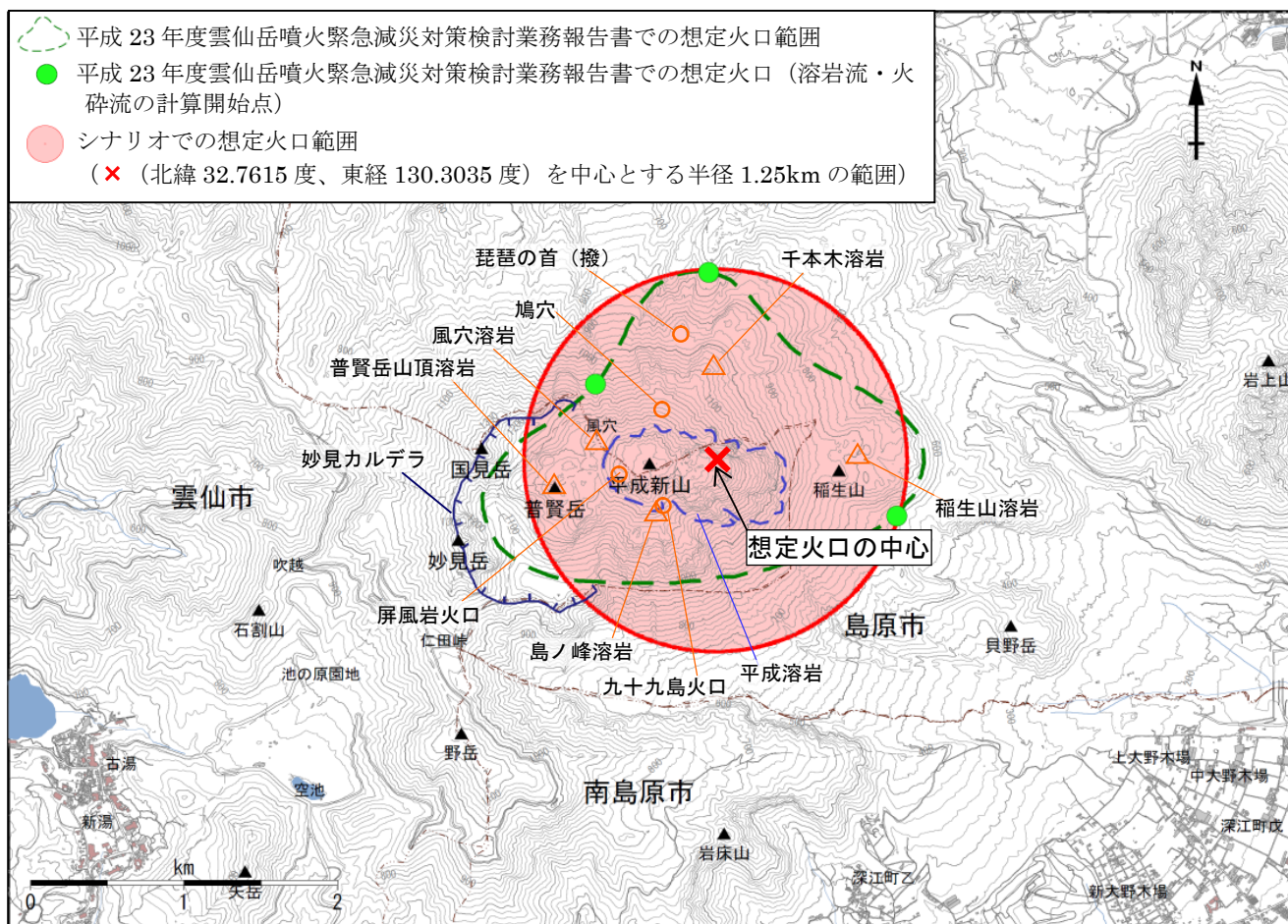


図12 想定火口範囲（国土地理院発行の『基盤地図情報』『基盤地図情報（数値標高モデル）』を使用した）

- ：歴史時代に発生した噴火の火口（1663(寛文3)年，②1792(寛政4)年，③1990-1996(平成2-8)年)
- △：2.7万年前以降に普賢岳で発生した噴火の推定火口位置

3-2. 噴火シナリオの整理に向けた噴火区分

普賢岳の想定火口に最も近い居住地域は南島原市深江町小林地区であり、火口（想定火口縁）から約1.2 kmに位置している。

火口（想定火口縁）の西側約1.2 kmには、国道389号線がある。これらのことから火口から概ね1 kmを超えると居住地への影響を考慮する必要がある（図13）。

2-3の火山活動の特徴から、噴火の場所や様式、規模等を整理した（表1）。

これらに加え、火砕流や溶岩流等による影響範囲（図14、図15）から、居住地域の位置と大きな噴石の飛散距離及び火砕流等の到達距離に基づいて噴火の規模を区分した（表2）。区分にあたっては、大きな噴石の飛散距離の詳細が把握されている事例が少ないことも考慮し、火山防災マップ作成指針（平成25年3月、内閣府ほか）も参考にする。

さらに、噴火様式毎にその影響範囲と噴火事例も整理した（表3）。

表1 過去の噴火の場所と噴火様式等

噴火の場所	年代	噴火様式	噴火の規模 (テフラの体積)	噴火に伴う現象等
普賢岳（島ノ峰溶岩）	約 4,000 ~ 8,000 年前	マグマ噴火	$1.2 \times 10^8 \text{ m}^3$	溶岩ドーム、火砕流
眉山（七面山、天狗山）	約 4,000 ~ 5,000 年前	（山体崩壊）→ マグマ噴火	$5.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ （七面山溶岩） $4.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ （天狗山溶岩）	岩屑なだれ→溶岩ドーム、火砕流
普賢岳	1663 年	マグマ噴火	$0.05 \times 10^8 \text{ m}^3$	溶岩流
普賢岳	1792 年	マグマ噴火	$0.2 \times 10^8 \text{ m}^3$	溶岩流 約 2 km 流下 噴石は不明
普賢岳	1990~1996 年	水蒸気噴火⇒ マグマ水蒸気噴火 ⇒マグマ噴火	$2.0 \times 10^8 \text{ m}^3$	大きな噴石、溶岩ドーム、火砕流

表2 雲仙岳 影響範囲による噴火区分

	噴火区分	警戒が必要な範囲 (影響範囲) の目安 (火口からの距離、地域・家屋・施設等)	目安となる主な 建物・場所の名称等	主な噴出物の種類
噴火	ごく小規模	想定火口内	普賢岳登山道 (北周り・紅葉茶屋)	降灰 小さな噴石
	小規模	想定火口縁から概ね 0.5km	妙見岳展望台 吹越から国見岳登山道	降灰 大きな噴石 火砕流
	小規模	想定火口縁から概ね 1 km以内	雲仙岳ロープウェイ、 仁田峠有料道路等、 県道 207 号、 平成新山ネチャーセンター	降灰 大きな噴石 溶岩流 火砕流
	中規模	想定火口縁から概ね 1 km 以上 (居住地域)	南島原市深江地区、雲 仙市小浜、島原市礪石 原、国道 389 号、県道 58 号線、県道 207、208 号線等	降灰 大きな噴石 溶岩流 火砕流

※噴火の規模表現は、火山学的な噴火の規模（噴出物量）とは異なり、居住地域の位置と大きな噴石の飛散距離及び火砕流等の到達距離に基づいて噴火を区分した

※溶岩ドームの崩落及び土石流は噴火警戒レベルの対象外のため記載していない

表3 雲仙岳の噴火様式と影響範囲、噴火事例の整理

噴火の様式		水蒸気噴火	マグマ噴火
想定した主要な現象		<ul style="list-style-type: none"> 大きな噴石の飛散 火砕流 	<ul style="list-style-type: none"> 大きな噴石の飛散 溶岩の流下 火砕流
主な影響のおよぶ範囲		居住地域の近くまで	居住地域まで
過去の噴火事例		<ul style="list-style-type: none"> 1990 年普賢岳 	<ul style="list-style-type: none"> 1991～1996 の普賢岳 1663 年の普賢岳 1792 年の普賢岳 約 4,000～5,000 年前の眉山 約 4,000～8,000 年前の普賢岳（島ノ峰溶岩）
噴石	50cm 以上	不明	火口周辺（1991～1996 年）
	50cm 未満	火口周辺	噴石が火口から北東へ約 8 km（1991 年～1996 年）
溶岩流		なし	約 2 km 流下（1792 年）、溶岩ドーム噴火（1991～1996）
火砕流		なし	居住地域（約 5.6 km（1991～1996 年））
火山灰		風下の広い範囲	風下の広い範囲

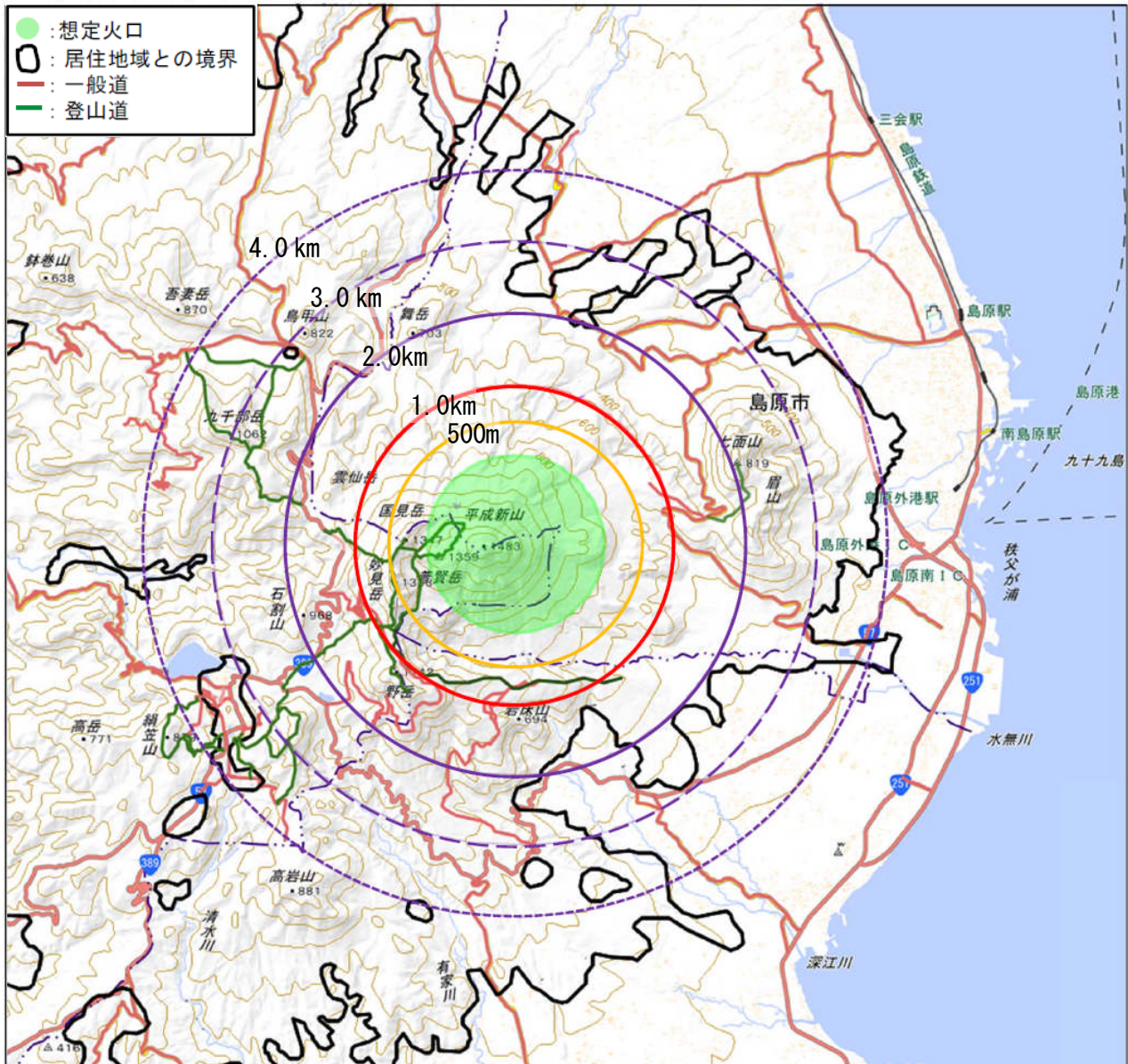


図13 想定火口からの大きな噴石の影響範囲

- ・水蒸気噴火（小規模）：影響範囲は想定火口縁から概ね500m以内
- ・マグマ（水蒸気）噴火（小規模）：影響範囲は想定火口縁から概ね1km以内
- ・マグマ噴火（中規模）：影響範囲は想定火口縁から概ね2km以内
 （噴火活動の状況により、想定火口縁から概ね3km以内、4km以内）
 火砕流・溶岩流による想定最大影響範囲は、図14、図15

※¹噴火の規模表現は、火山学的な噴火の規模（噴出物量）とは異なり、大きな噴石、火砕流や溶岩流の到達する範囲（警戒が必要な範囲）を基準に想定した。

※²火口の位置が概ね安定した場合には、火山活動の状況とともに特定した火口位置からの警戒範囲と防災対応について、協議会において速やかに検討する（詳細は4項を参照）。

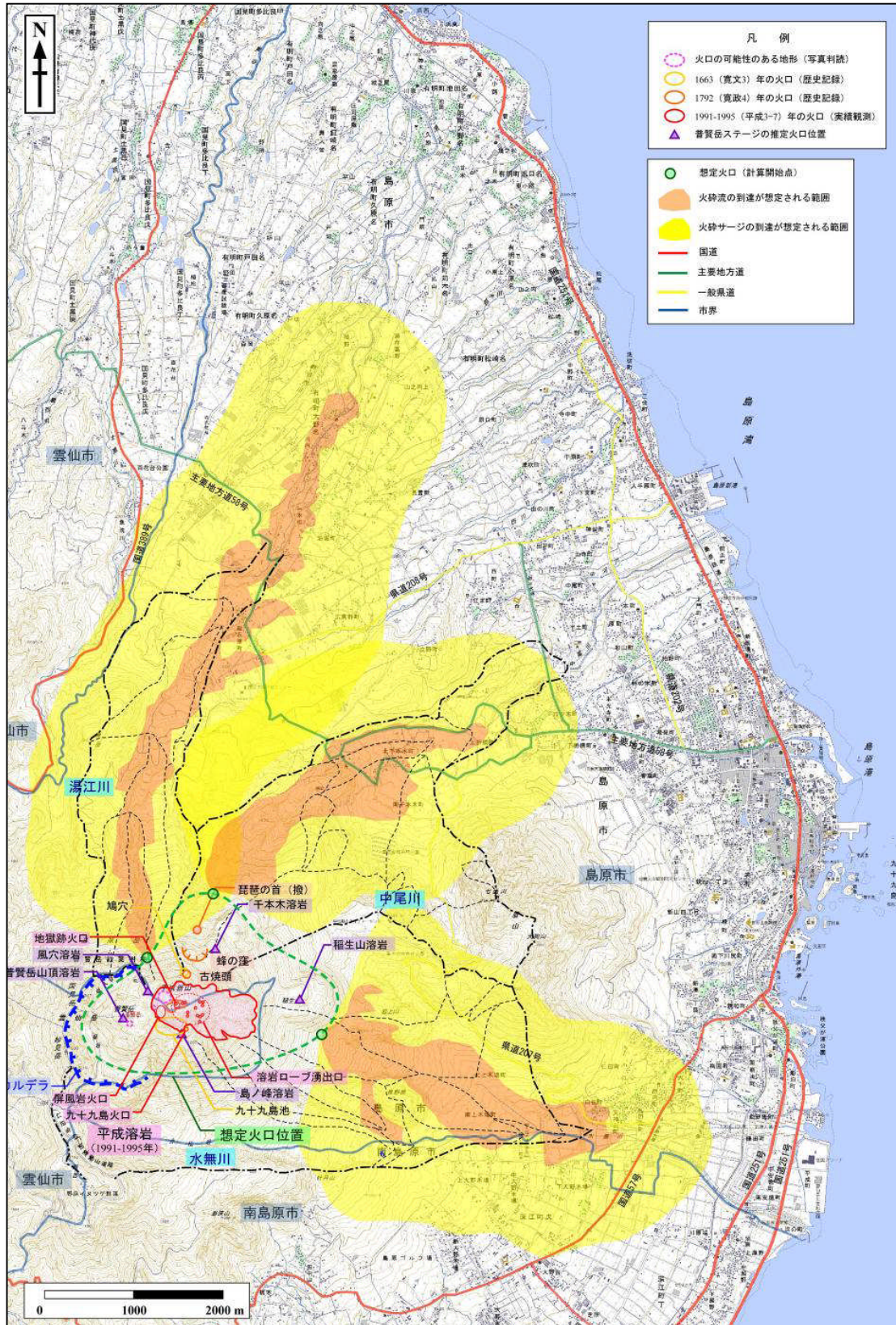


図 14 火砕流及び火砕サージの影響範囲
 (国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所, 2012)

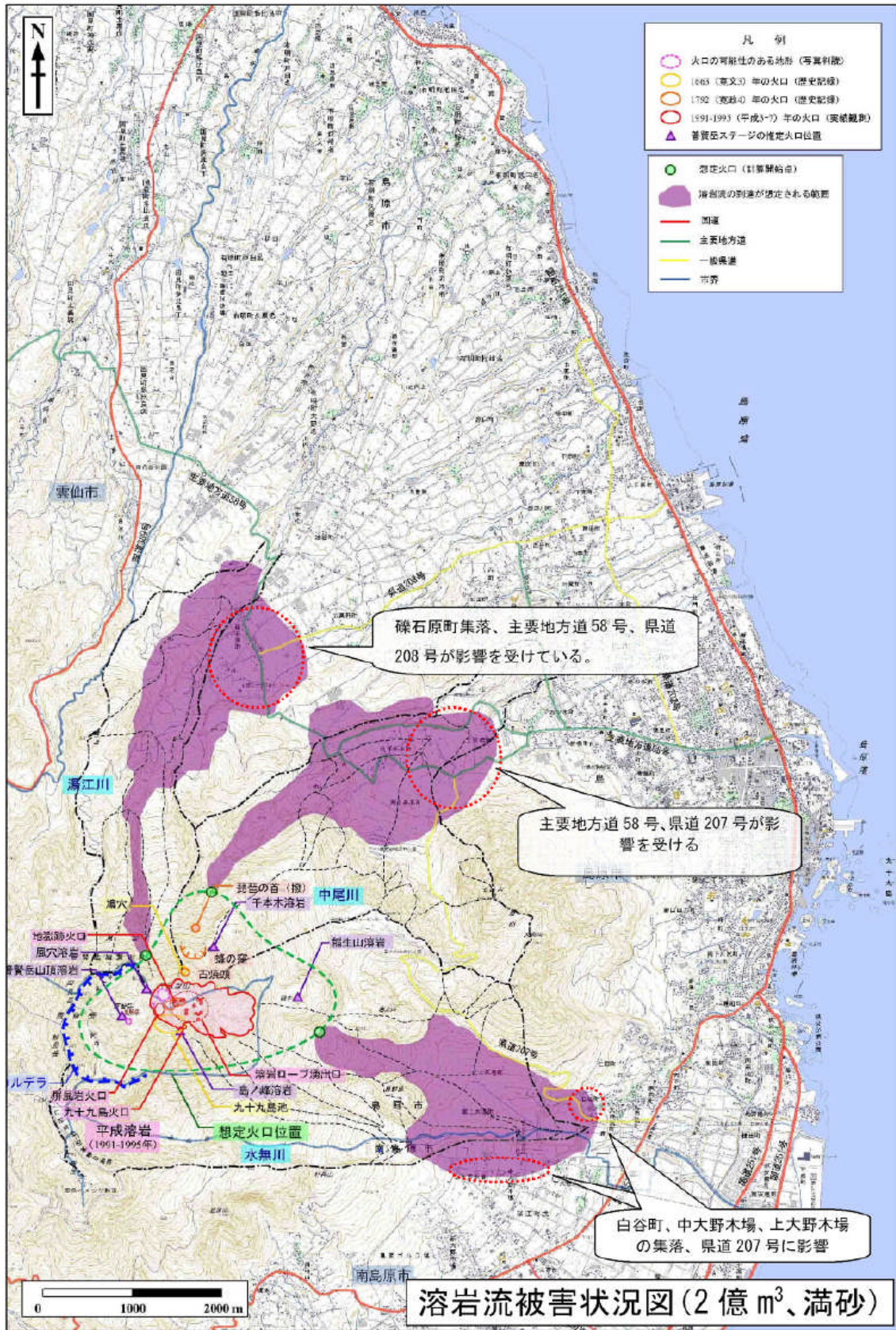


図 15 溶岩流の影響範囲
 (国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所, 2012)

3-3. 検証対象とする噴火の想定

噴火シナリオは、雲仙岳の噴火でどのような現象が発生するのかなど、イメージを掴むと同時に、住民避難や道路規制等の防災対策に役立てることを目的としている。

住民避難等の防災対策を考える場合、事象発生後、直ぐに人家等まで到達して人命に重大な影響を及ぼす現象が重要となる。ここでは主として弾道を描いて飛散する大きな噴石と火砕流、岩屑なだれに着目し、噴火を区分している。

雲仙岳の過去2万年以降の活動をみると、約2万年前の妙見岳山頂部の爆発による崩壊で、江丸岳、国見岳、妙見岳を外輪（カルデラ縁）とする径約1.5 kmの妙見カルデラが形成された。妙見岳山頂部の爆発に伴って生じた山体崩壊堆積物（岩屑流・土石流・泥流堆積物）の大半は、赤松谷に沿って島原湾に注いだと考えられる。さらに、普賢岳溶岩が3つの溶岩円頂丘（風穴溶岩、普賢岳山頂溶岩、島ノ峰溶岩）を形成し普賢岳溶岩や千本木溶岩等が噴出した。なお、眉山溶岩円頂丘は雲仙火山中央部の形成とは別の活動として形成された。有史後の火山活動としては、寛文の噴火活動（古焼溶岩）、寛政の噴火活動（新焼溶岩）、1990年～1996年の噴火活動がある。寛文、寛政の噴火活動は、比較的粘性の低い溶岩の流下と噴煙や噴気、降灰を主体とした活動様式であり、1990年～1996年の噴火活動は、水蒸気噴火の発生からマグマ噴火を経て、溶岩ドームの形成・崩落と火砕流の発生といった活動様式であったことから、今後も水蒸気噴火からマグマ噴火が発生するという活動を続けていくと考えられる。また、雲仙岳では水蒸気噴火の発生のみで噴火活動が終息した状況は認められていないが、他火山では、マグマから分離した高温のガスに起因する水蒸気噴火で一連の活動が終息する事例もあり、前兆となる地震・微動の増加や地殻変動等も顕著に現れないケースも考慮する必要がある。

よって、シナリオの想定にあたっては、過去の文献等も含めて、噴火活動による状況の把握が可能な有史以降の現象を対象とし、水蒸気噴火で終息する事例とマグマ噴火へ至る事例（1990年～1996年）の2通りを想定する。

シナリオ1

水蒸気噴火で終了するシナリオ（雲仙岳では事例がないため、他火山を参照）

シナリオ2

マグマ供給に伴うと考えられる橘湾地下の地震活動の増加、島原半島、山体（普賢岳）直下への震源の移動の観測事例と、水蒸気噴火からマグマ噴火、溶岩ドームの形成、溶岩ドーム崩壊型火砕流発生に至るシナリオ（1990～1996年の噴火事例に基づき作成）

（1）想定される噴火の規模

過去の実績により噴火の規模を以下のとおり想定する。

○シナリオ1：想定火口から居住地域の近くまで影響を及ぼす噴火

○シナリオ2：居住地域まで影響を及ぼす噴火

表4 火山現象毎の想定噴出量（シナリオ2）※

火山現象	噴出量(m ³)	過去の事例等
溶岩流	2億m ³	平成噴火
火砕流	200万m ³	平成噴火

※ 雲仙岳における火山活動の影響範囲（平成23年度雲仙岳噴火緊急減災対策検討業務報告書より）

（2）想定される現象（噴火警戒レベルの対象に下線）

○シナリオ1：大きな噴石、火砕流、小さな噴石、降灰、空振、土石流、泥流

○シナリオ2：大きな噴石、火砕流、溶岩流、小さな噴石、降灰、空振、土石流、泥流

3-4. 各シナリオで想定される火山活動推移の時系列での整理

噴火の想定に基づいて、火山活動の推移を時系列で整理し、フロー図として取りまとめた(図17,18)。

フロー図は、各噴火シナリオの代表的な事例に基づき作成したものであるが、単純に事実として判明している事項を時系列に並べるのではなく、

- ・その事実がどのような火山現象あるいはマグマ活動に基づくものか
- ・発生する現象が現在の観測網ではどのようなデータとして観測されるか

といった火山学的な解釈や推定を含むものとする。

3-5. 各シナリオで想定される現象とその影響範囲の補足

シナリオ1の影響範囲は、風の影響を受けずに弾道を描いて飛散する大きな噴石を対象とした。また、御嶽山の噴火では、火砕流も発生していることから対象としている。

噴石の飛散距離の実績は、平成噴火時には10cm程度の小さな噴石の飛散距離は約4kmに達しているが、ブルカノ式噴火に伴ったものである。水蒸気噴火に伴った事例は確認できないことから、他火山の水蒸気噴火の事例等も考慮したうえで、大きな噴石の最大到達範囲は想定火口周辺から居住地域の近くまでとする。

シナリオ2は大きな噴石、火砕流、溶岩流を対象とした。大きな噴石の飛散距離はマグマ噴火（ブルカノ式噴火）も想定し、他火山の事例等も考慮したうえで、想定火口縁から概ね2kmの範囲を基本とし、噴火活動の状況によって3km、4kmの範囲とする(図13)。火砕流、溶岩流については、過去の実績等を考慮したシミュレーションで示された範囲を想定する(図14、15)。

なお、火砕流のシミュレーションでは、海岸付近まで達していることから、住民等の避難については、海岸までを対象とすることが望ましい。

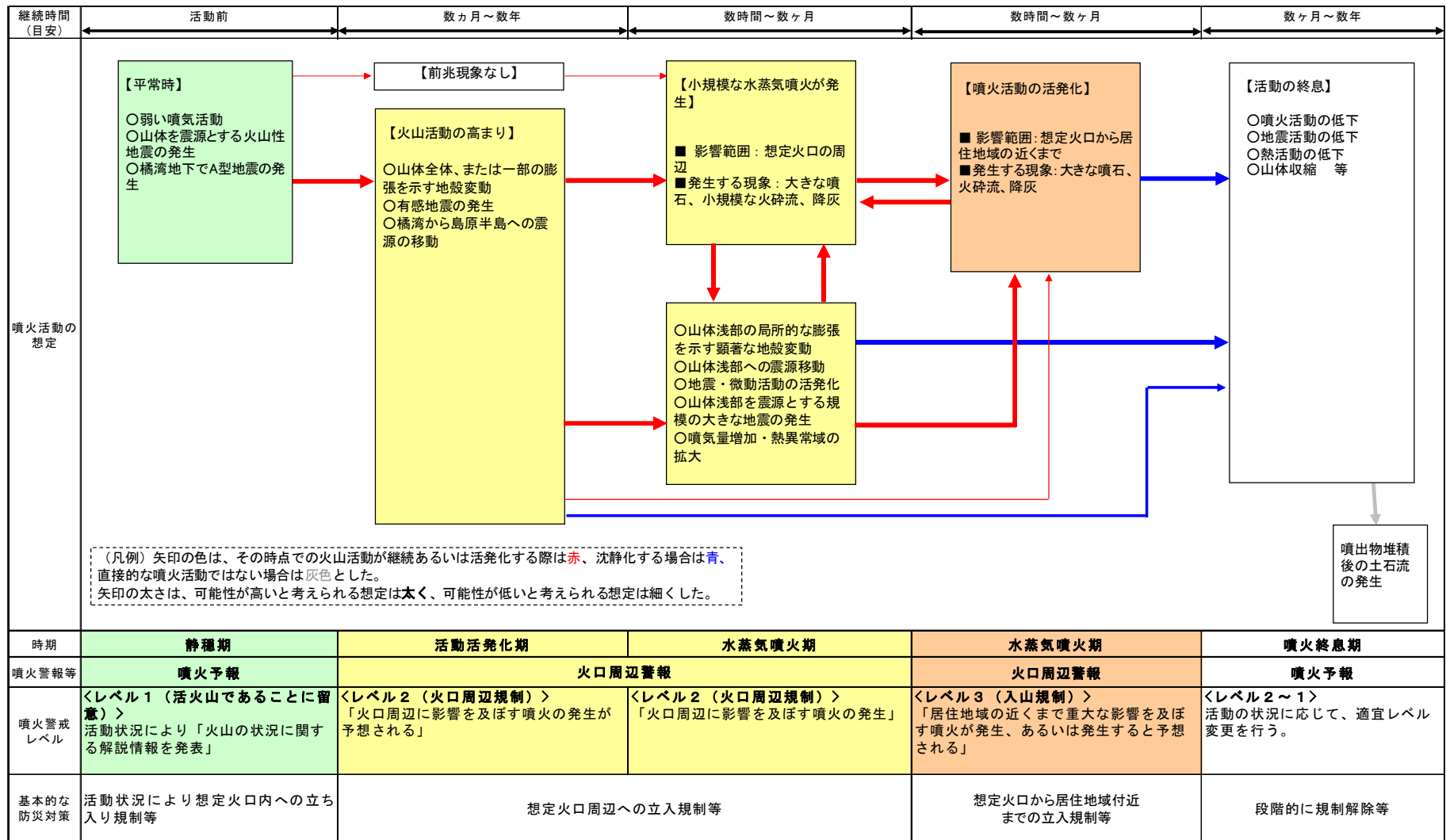


図 17 シナリオ 1 における火山活動の推移

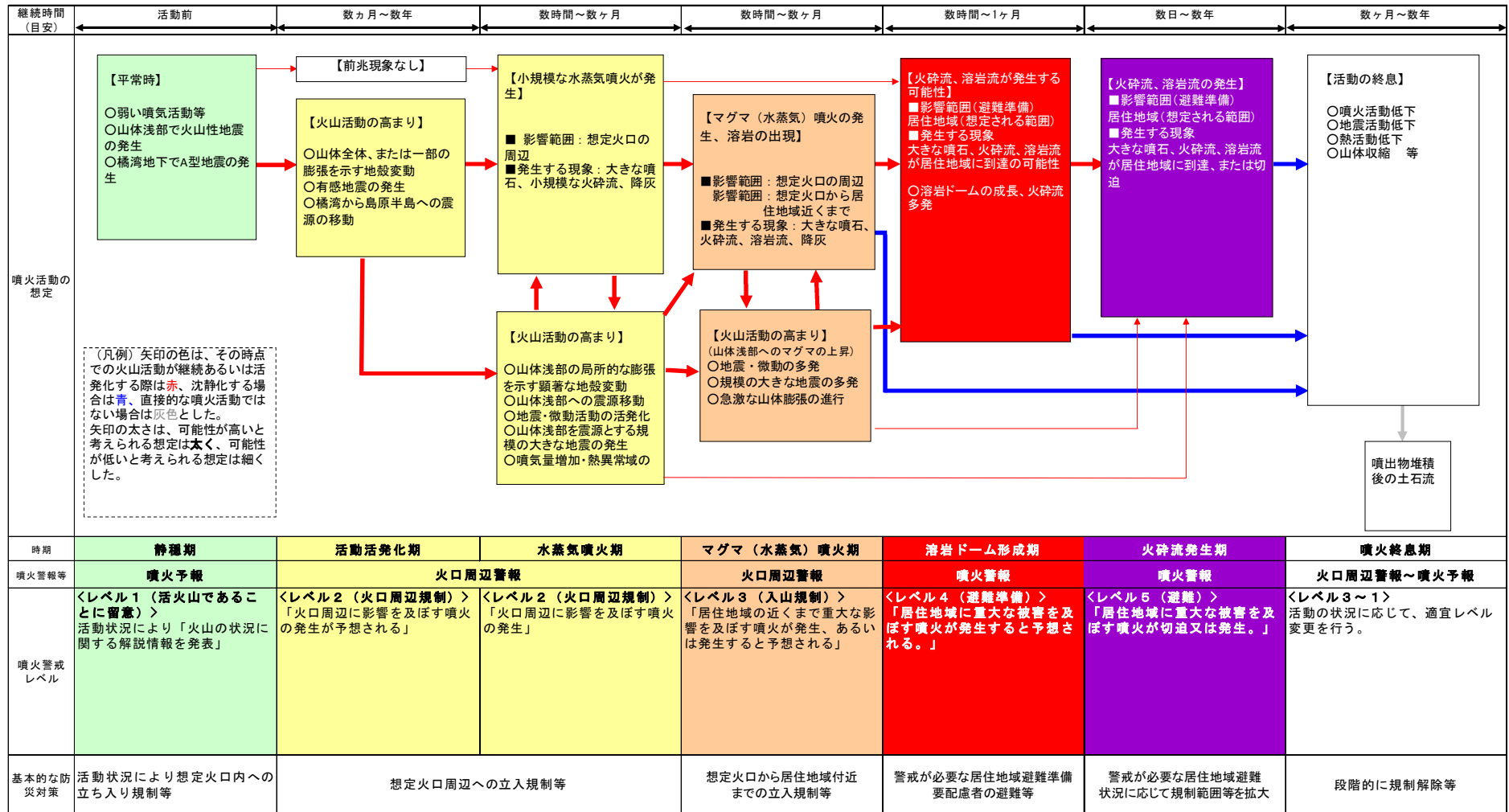


図 18 シナリオ 2 における火山活動の推移

4. 各レベルに応じた警戒範囲と防災対応について

想定火口については、3項に述べた理由から、半径 1.25km 程度の広い範囲としており、平成噴火時の一連の活動においても、本格的なマグマ噴火に至る過程では、火口位置の移動もみられている。

レベル毎の警戒範囲については、想定火口縁から火山防災マップ作成指針（平成 25 年 3 月、内閣府ほか）も参考に設定し、噴火警報に応じた各関係機関の対応を予め定めておくことで、迅速な防災対応に寄与することを目的としている。

しかし、火口の位置が概ね安定した場合には、火山活動の状況とともに特定した火口位置からの警戒範囲と防災対応について、協議会において速やかに検討し、その結果を噴火警報に反映するとともに、防災対応の必要な範囲を絞り込むことが重要である。

5. 今後の検討課題

5-1. プリニー式噴火による影響範囲と山体崩壊

雲仙岳と良く似た粘性の高いデイサイト質のマグマによる噴火では、溶岩ドームの生成に先行して、大規模な「プリニー式噴火」を伴うことがある。雲仙岳では、爆発的軽石噴火を繰り返した形成初期の 50~40 万年前頃には「プリニー式噴火」が発生したと考えられるが、それ以降に発生した証拠は認められていない。

「山体崩壊」についても、よく知られている眉山崩壊以外にも雲仙岳周辺では過去に発生した実績も認められているが、岩屑なだれをもたらす大規模な山体崩壊は火山噴火だけではなく、地震や大雨等の外力に伴って発生することや、崩壊箇所やその規模の想定も現時点では困難である。

このため、現時点では噴火警戒レベルの対象としていないが、稀な事象として、このような現象も起こりうることに留意するとともに、監視や対策についても、科学技術の進捗もふまえ、検討していく必要がある。

5-2. 想定火口以外での噴火

有史以降の噴火は普賢岳の周辺で発生していることを考慮し、噴火の発生する可能性が高い範囲として、噴火警戒レベルの想定火口としているが、過去 1 万年まで考慮すると、普賢岳周辺から眉山周辺の広い範囲で噴火が発生していることから、将来、雲仙地溝内（特に地溝内東部の新期雲仙火山の山腹や山麓）で噴火が発生し、眉山のような溶岩ドームを形成することも否定できない。しかし、溶岩ドーム生成の可能性のある場所は地溝内全域に及び、範囲の限定が困難であることから、現時点で噴火警戒レベルの想定火口とはしていないが、山腹や山麓に溶岩ドームが形成される場合には、有珠山などの事例から、噴火（溶岩ドーム出現）地点付近では地震活動と地盤変動が先行して観測されることも考えられる。

このため、万が一、このような現象が観測された場合、及び山腹や山麓において噴火が確認された場合には、噴火警報の見出し及び本文に、噴火地点及び想定されている火口位置とは異なること、想定される現象や警戒範囲を示したうえで、居住地域に影響しない場合は噴火警戒レベル 2 または 3、居住地域に影響する場合は噴火警戒レベル 4 または 5 で発表することとする。このような場合、関係機関においては、速やかに防災対応を実施するとともに、観測機器を設置し、観測を強化するとともに、火山活動の推移と火山噴火予知連絡会等の議論に基づいた防災対応を検討する必要がある。

5-3. 普賢岳周辺の溶岩ドーム崩落と土砂災害

雲仙普賢岳周辺では、溶岩ドームの崩落や噴火後に発生する土石流等の土砂災害も懸念されているが、この場合についても、今後検討していく必要がある。

6. 留意事項

(1) 実際の噴火時には必ずしもシナリオどおりに推移するとは限らない。

また、火山に対する研究の進展等を踏まえ、雲仙岳火山防災協議会において、適宜更新されるものとし、噴火シナリオの活用にあたっては、これらにも十分に留意する必要がある。

(2) 1963年には雲仙地獄の増築基礎工事にともない、深さ7mの地下を掘削中、突然大音響とともに土砂混じりの蒸気が約5分間にわたって、およそ40mの高さに噴き上げ、作業員18名全員が高温の噴気により全身やけどを負い、そのうち5名が死亡に至った。

事故現場は観光客の通る清七地獄の近くで、テストボーリングによる地温測定では深さ30-40mで116℃と報告されていた。事故は大きな岩塊を掘り出そうとしたときに、岩塊の下から高温の蒸気が噴出したとされており、原因については変質帯の下に溜まっていた高温蒸気が工事用掘削パケットの突入によって爆発的に噴出したものであり、報告書では火山活動に直接、起因するものではないとされているが、秋田県澄川温泉では、地すべりとともに爆発的な蒸気噴出の事例もあることから、雲仙地獄においても、突発的に発生する可能性があることに留意が必要である。

参考資料

- 赤木祥彦 (2001) : 島原半島における眉山大崩壊による津波の高度とその範囲. 歴史地理学, **43**, 4-19.
- 福岡管区気象台 (1996) : 雲仙・普賢岳の火山活動報告. 福岡管区気象台要報, **51**, 1-315.
- 福岡管区気象台 (2002) : 九州地方の火山 雲仙岳. 福岡管区気象台要報, **57**, 70-127.
- 星住英夫・宇都浩三 (2000) : 雲仙火山の形成史. 月刊地球, **22**, 237-245.
- 星住英夫・宇都浩三・松本哲一・徐勝・栗原新・角井朝昭 (2002) : 雲仙火山の形成史—山麓掘削と組織的反射年代測定の結果—. 月刊地球, **24**, 828-834.
- 気象庁 (2002) : 平成 3 年 (1991 年) 雲仙岳調査報告. 気象庁技術報告, **123**, 1-372.
- 気象庁 (2013) : 日本活火山総覧 (第 4 版).
- 国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所・(財) 砂防・地すべり技術センター (2012) : 平成 23 年度雲仙岳噴火緊急減災対策検討業務報告書.
- 国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所 (2012) : 平成 23 年度雲仙普賢岳火山噴火緊急減災対策砂防計画(案)
- 国土交通省砂防部 (2007) : 火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン.
- 九州大学 (2005) : 雲仙岳火山活動概況 (2004 年 2 月~2004 年 5 月). 火山噴火予知連絡会会報, **88**, 111-121.
- 九州大学理学部地球惑星科学科・東京大学地震研究所・大学合同観測班地質グループ (1994a) : 雲仙普賢岳噴火、1993 年 10 月~1994 年 2 月の地質岩学的観察記録. 火山噴火予知連絡会会報, **58**, 171-187.
- 九州大学理学部地球惑星科学科・東京大学地震研究所・大学合同観測班地質グループ (1994b) : 雲仙普賢岳噴火、1994 年 6 月~10 月の地質岩学的観察記録. 火山噴火予知連絡会会報, **60**, 119-130.
- 内閣府 (防災担当)・消防庁・国土交通省水管理・国土保全局砂防部・気象庁 (2013) : 火山防災マップ作成指針.
- Nakada, S., Shimizu, H. and Ohta, K. (1999) : Overview of the 1990-95 eruption at Unzen Volcano. J. Volcanol. Geotherm. Res., **89**, 1-22.
- 太田一也 (1985) : 島原半島の地震災害史, 1984 年島原群発地震の活動と被害に関する総合調査. 文部省科学研究費自然災害特別研究突発災害研究成果, 自然災害科学総合研究班, **B-59-1**, 17-30.
- Umakoshi, K., Shimizu, H. and Matsuwo, N. (2001) : Volcano-tectonic seismicity at Unzen Volcano, Japan, 1985-1999. J. Volcanol. Geotherm. Res., **112**, 117-131.
- 渡辺一徳・星住英夫・板谷徹丸 (1991) : 雲仙火山眉山の地質. 平成 2 年度科学研究費補助金・総合研究 (A) 研究成果報告書「雲仙火山眉山の地学的・土質工学的環境の基礎的調査研究」(研究代表者: 加茂幸介), 1-9.
- 渡辺一徳・星住英夫 (1995) : 雲仙火山地質図. 火山地質図 8, 地質調査所.
- 湯原浩三 (1997) : 噴気爆発の事例. 地熱, **34**, 314-330.