

(9) 噴煙柱崩壊型火砕流の想定火口・流下方向

① 想定火口位置と流下方向（大船山）

想定火口位置；米窪火口

流下方向；米窪火口の地理的な条件より、火口縁より 50m 離れた位置から全方向に流下

② 想定火口位置と流下方向（硫黄山）

噴煙柱崩壊型火砕流については、火口上に形成された噴煙柱が崩壊することで形成されるため、噴火地点よりやや離れた地点に着地し流下し始めることが多い。想定火口の中心は白水川に位置するものの、想定火口域（半径 500m）は奥郷川や鳴子川にもかかっていることから、本検討においては、白水川以外の溪流での影響を確認するため、奥郷川及び鳴子川方向へ火砕流が流下した場合を想定する。



図 4.105 硫黄山の噴煙柱崩壊型火砕流の想定火口（計算開始点と流下方向）

(10) 想定規模（噴煙柱崩壊型：：硫黄山も含めて共通）

現地調査により、想定到達範囲及び平均堆積厚から火砕流噴出量が設定され、数値シミュレーション計算及びその検証計算が行われている。その際設定された火砕流の噴出量は、火砕流の分布面積  $2.29 \times 10^6 \text{m}^2$  に、層厚  $0.6 \text{m}$  を乗じて、空隙率  $60\%$  として算出された、 $82 \text{万 m}^3$  である（ $2.29 \times 10^6 \text{m}^2 \times 0.6 \times 0.6 = 0.824 \times 10^6 \text{m}^3$ ）。

(11) 想定ハイドログラフ（噴煙柱崩壊型：大船山）

① 想定ハイドログラフ（大船山）

同様の火砕流発生形態を示す樽前山の事例を参考に、火砕流の継続時間（30分）を設定し、想定規模が  $82 \text{万 m}^3$  に対し、流量は  $460 \text{m}^3/\text{s}$  の想定ハイドログラフとして設定した（図 4.106）。

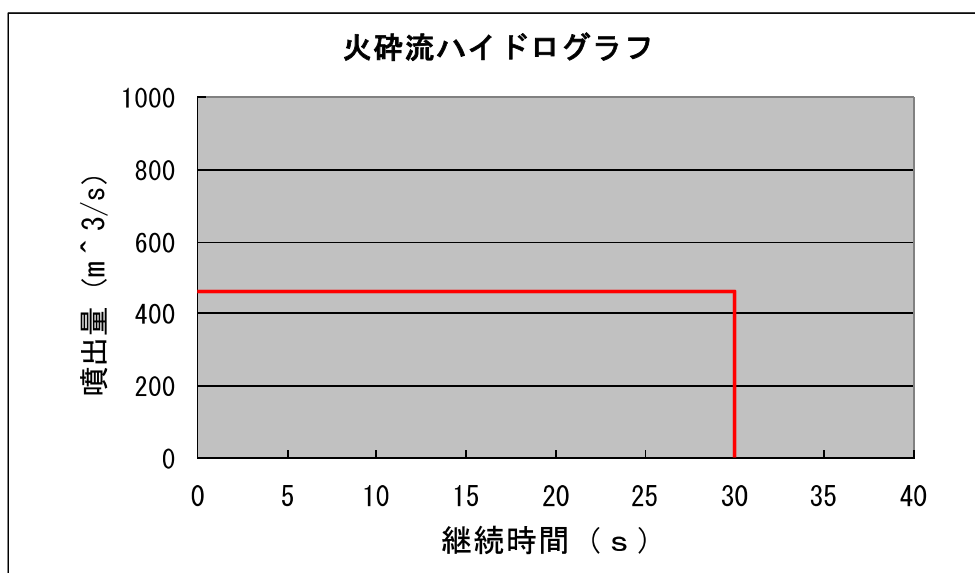


図 4.106 噴煙柱崩壊型火砕流の想定ハイドログラフ（大船山）

② 想定ハイドログラフ（硫黄山）

火砕流の噴出継続時間については、確立された手法や実績がないことから、雲仙普賢岳平成噴火時における溶岩ドーム崩落型の継続時間を参考に同程度の 10 分と想定し、火砕流の総噴出量（ $8.2 \times 10^6 \text{m}^3$ ）を継続時間（10min）で除して噴出レート（ $1,370 \text{m}^3/\text{s}$ ）とした。なお、「平成 21 年度 火噴委第 1-3 号設計委託（大分県玖珠土木事務所・財団法人砂防・地すべり技術センター、H22.3）」では、大船山山頂部を想定火口とした噴煙柱崩壊型火砕流の計算において、九重火山と同様の火砕流発生形態を示す樽前火山の事例を参考に火砕流の継続時間を 30 分と想定しているが、この事例はより規模の大きな現象（北海道駒ヶ岳の 1929 年のプリニー式噴火による大規模火砕流から想定された継続期

間)であり、本検討においては、類似した規模の雲仙普賢岳平成噴火の事例を参照して想定した。表 4.41 に噴煙柱崩壊型火砕流の噴出期間、図 4.107 に想定ハイドログラフを示す。

表 4.41 噴煙柱崩壊型火砕流の噴出期間 (硫黄山)

噴出量 ( $m^3$ )	噴出率		噴出期間 (分)
	$m^3/sec$	$m^3/hour$	
820,000	1,367	82,000	10

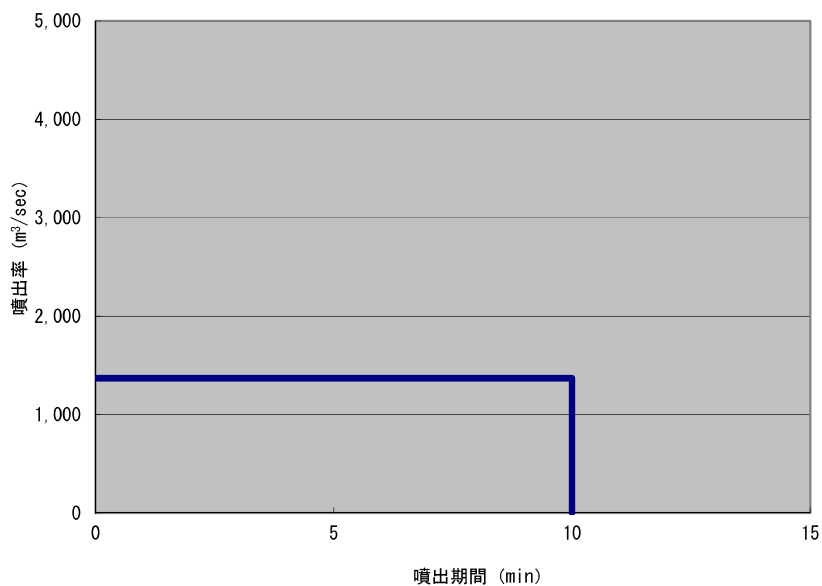


図 4.107 噴煙柱崩壊型火砕流の想定ハイドログラフ (硫黄山)

## (12) 地形データ

米窪火口のある大船山周辺では、レーザープロファイラーによる地形データが作成されていないため、国土地理院発行の 50m 数値地図を用いて作成した 50m×50m メッシュ間隔のデジタルマップを使用した。

硫黄山周辺では、溶岩流の計算同様、林野庁が平成 28 年度に作成した航空レーザ計測データ（公共測量助言番号：平成 28 九公第 48 号）・（公共測量助言番号：平成 28 九公第 142 号）及び国土交通省九州地方整備局佐伯河川国道事務所が平成 25 年度に作成した航空レーザ測量データ（公共測量助言番号：平成 25 九公第 208 号）を統合したものを使用した。この地形データをもとに、25m×25m メッシュ間隔のデジタルマップを作成し、計算に使用した。

## (13) 計算定数（噴煙柱崩壊型：：硫黄山も含めて共通）

計算に必要な定数等については、表 4.42 のとおり。

表 4.42 噴煙柱崩壊型火砕流の計算定数一覧表

項目	記号	単位	数値	備考
礫密度	$\rho$	t/m <sup>3</sup>	2.60	スコリアの一般値
代表粒径	dm	cm	10	現地状況より
堆積土砂濃度	C*	-	0.6	
粒子間摩擦係数	$\mu$	-	0.30	堆積勾配の1/3乗を目安とした
継続時間	t	分	10	他火山(雲仙普賢岳)実績考慮

## (14) 影響範囲と被害状況の把握（噴煙柱崩壊型）

### ① 火山防災マップ策定時の火砕流による影響（大船山）

平成 15 年度に作成された「くじゅう山系火山防災マップ（平成 16 年 3 月）」では、噴煙柱崩壊型の火砕流を想定している。ここでは、噴煙柱崩壊型火砕流における影響範囲を示すものとする。

## ■ 影響範囲と被害状況

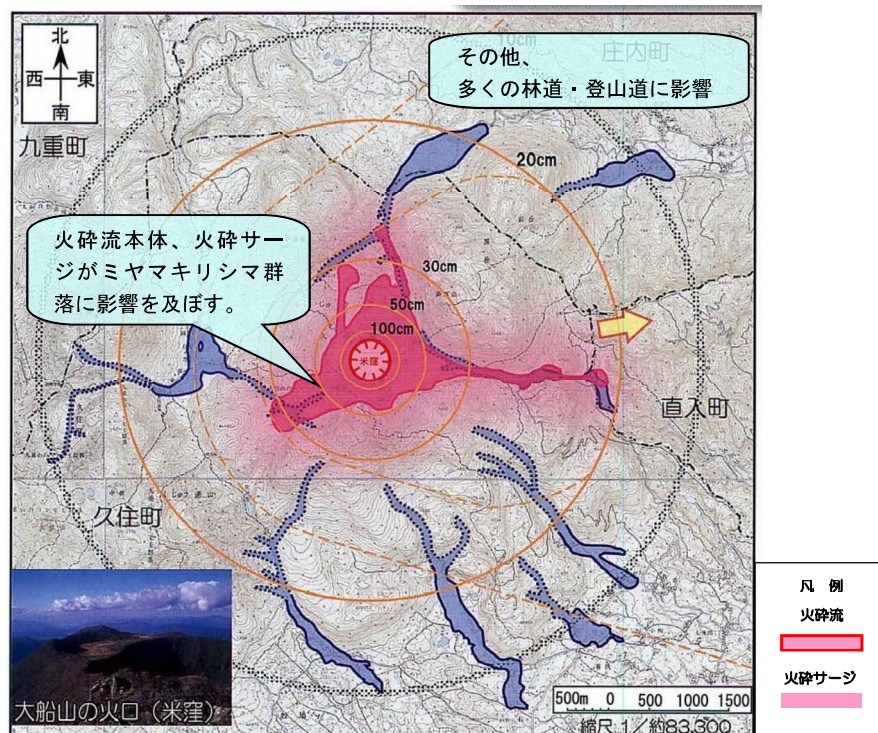


図 4.108 噴煙柱崩壊型火砕流による保全対象への想定被害状況（大船山）

### ② 影響範囲と被害状況の把握（硫黄山周辺）

計算実施結果を、図 4.109 に示す。火砕サーージの想定影響範囲については、雲仙普賢岳の平成噴火時の事例を参考に、前回検討では直進方向は本体から一律 1km 程度まで、急斜面を駆け上がる際には 150～200m の比高差まで到達すると想定していたが、本検討においては、地形を考慮して精度向上を図った。その結果を図 4.110 に示した。

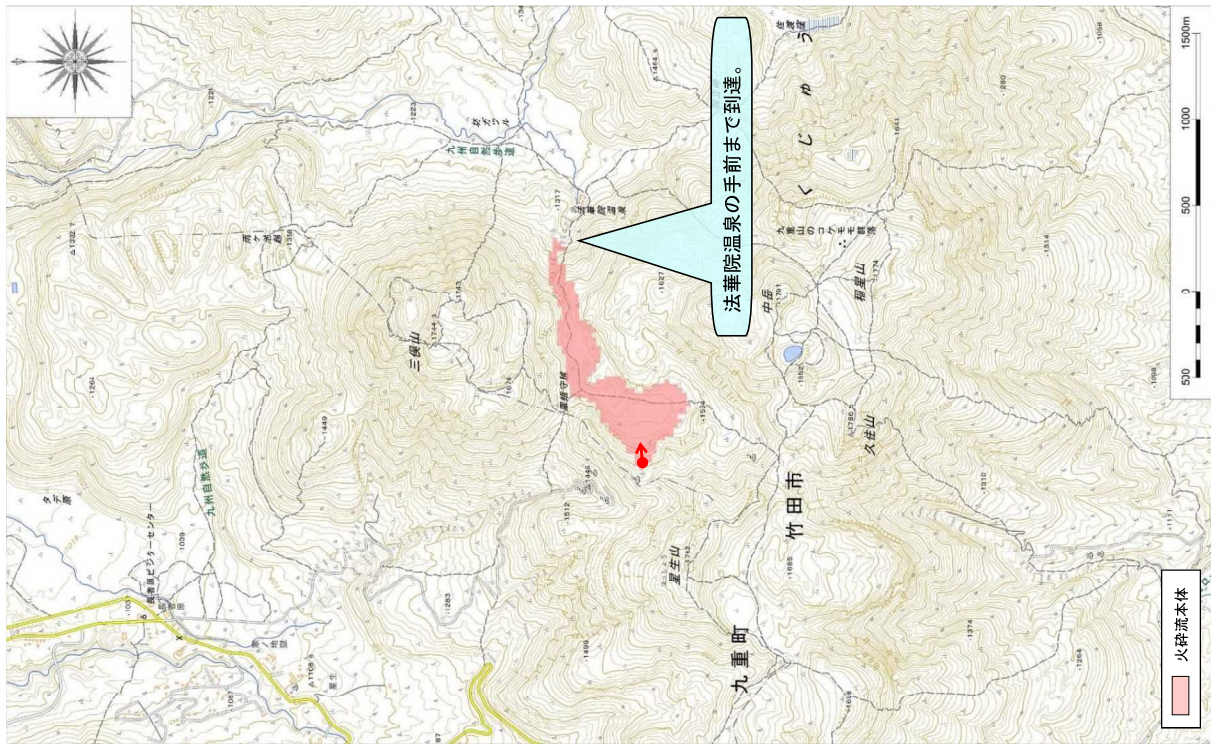
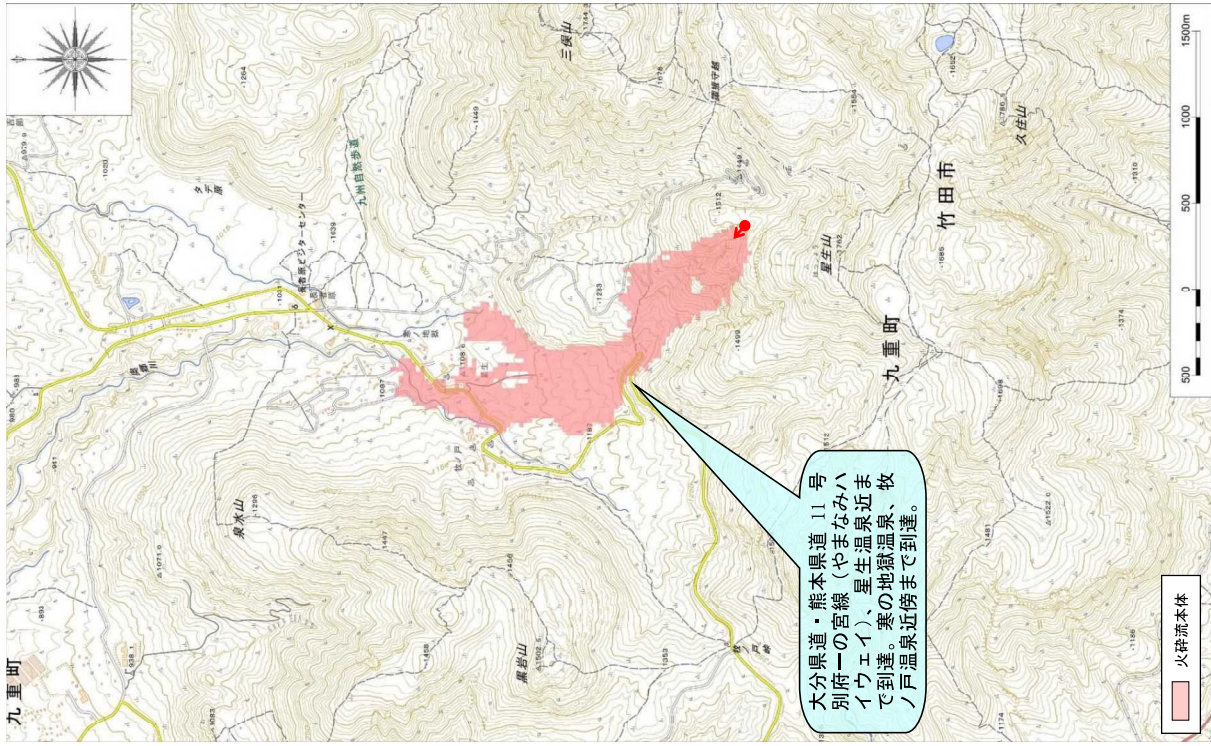


図 4.109 噴煙柱崩壊型火砕流の想定到達範囲 (図中の赤丸は流入点、矢印は供給方向、左：奥郷川方向、右：鳴子川方向)

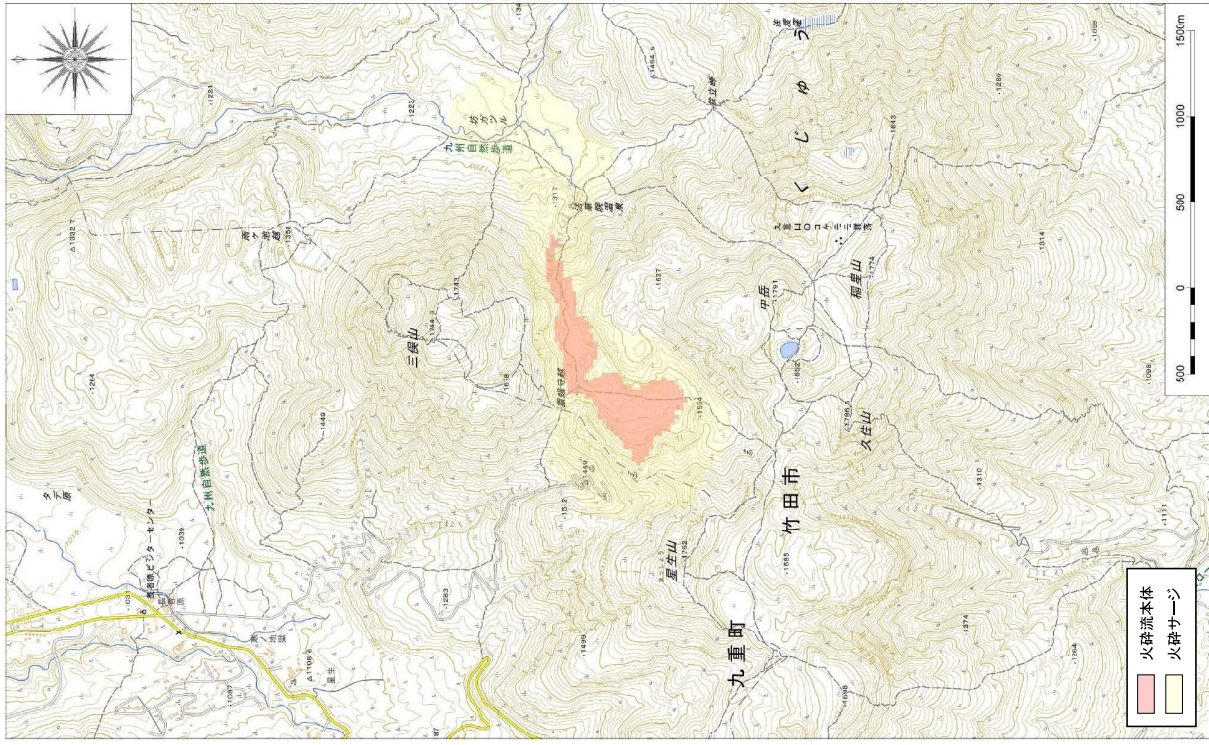
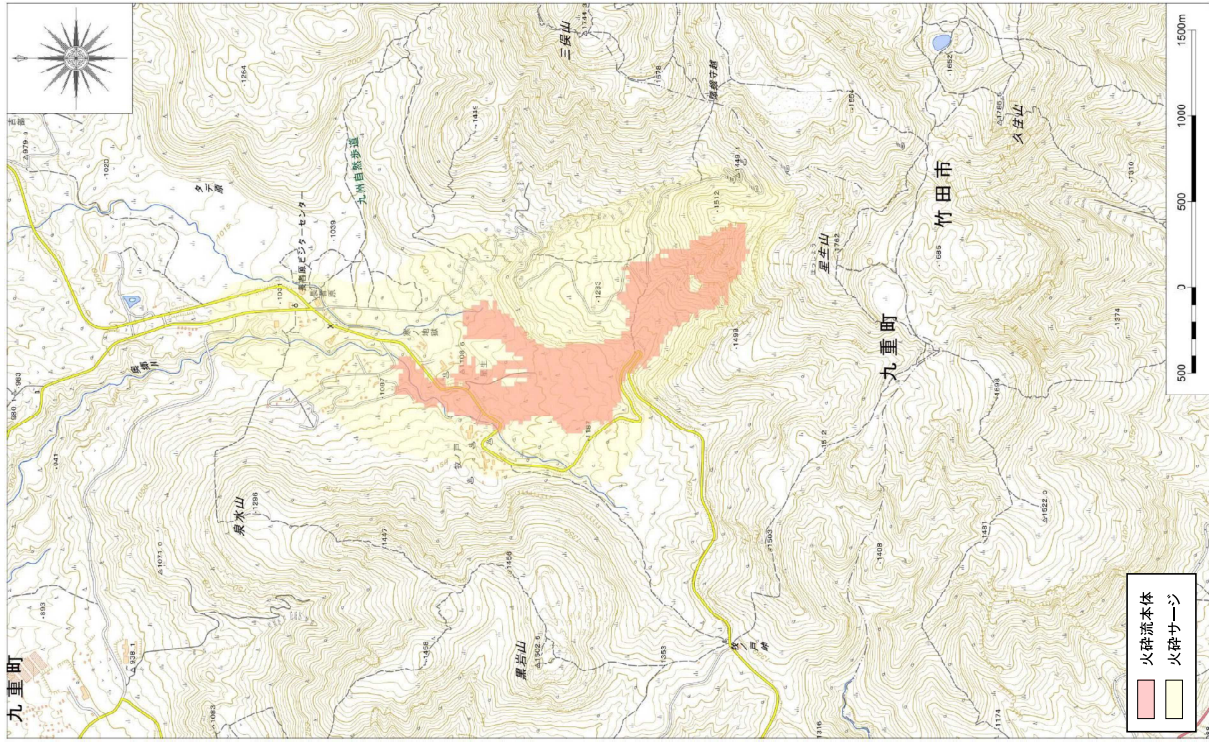


図 4.110 噴煙柱崩壊型火砕流及び火砕サージの想定到達範囲 (左：奥郷川方向、右：鳴子川方向)

#### 4.3.5 火口半径と噴石の飛距離との関係

谷口・他（1999、2009）では、火山爆発を特徴付けるエネルギー量や深度等の爆発パラメータと、噴火の様相や災害の広がり等との関係を調べるため、野外爆発実験を行っている。実験の結果から、噴石のスケール化到達距離と爆発のスケール化深度の関係や、噴石のスケール化到達距離とスケール化重量の関係が示されている。また、Sato and Taniguchi（1997）では、火口の半径と噴出量の関係が示されていることから、火口半径をもとに、爆発エネルギー量、噴石飛距離及び噴石の規模（直径）等について想定した。

##### (1) 火口半径

噴石飛距離を求めるには、パラメータの基礎となる火口半径を算定する必要がある。空中写真及び 1/25,000 地形図より、現在の地形として残っている火口を確認し、図上より火口半径を計測した。計測に用いた図を図 4.111 に示す。

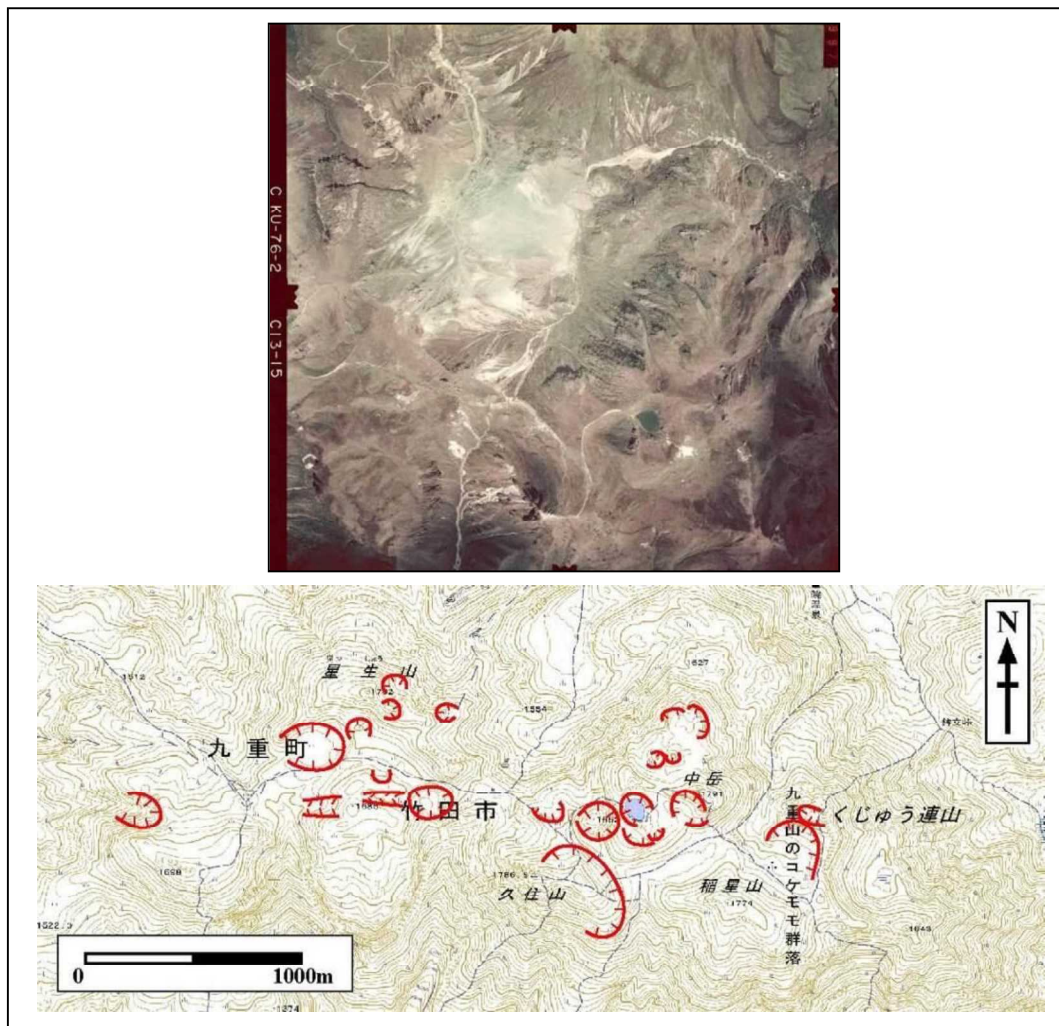


図 4.111 火口半径と空中写真



## (2) これまでの実績

九重山では、1995 年の水蒸気噴火の際に噴石が確認されている。この噴火では火口からの泥流も確認されており、田口・他（1996）では噴石について以下のとおり示されている。

火口近くのこの泥流の上には白色の噴石（数 cm～10cm 大）や乾燥した灰色のペレット状の火山灰（～数 mm 大）がのっている。これは水洗乾燥後でも灰色のままである。ペレット状の火山灰は火口南西 100m 付近まで分布している。噴火初日の細粒な火山灰は黒灰色を呈し、火口の 50-200m の範囲で採取した。

この噴火による新しい火口群は大きく 5 列（北から a, b, c, d, e）からなり、噴石を放出した火口はこの中の a2 火口と呼ばれる火口で直径約 30m 以上とされている。

## (3) 噴石の飛距離

火口半径と噴出量および爆発エネルギーの関係は、Sato and Taniguchi（1997）において下式（1）及び（2）のとおりに示されている。

$$D_1 = 0.11V_1^{0.42} \quad \text{and} \quad D_2 = 0.97V_2^{0.36} \dots \dots \dots (1)$$

( $D_1$  : マグマ噴火、 $D_2$  : マグマ水蒸気噴火)

D : 火口半径 (m)

V : 噴出量 ( $m^3$ )

※ マグマ水蒸気噴火の方がマグマ噴火に比べ火口の拡がりが大きくなる傾向がある。

4.3.1 で計測した火口はいずれも水蒸気噴火に伴いできた火口であるため、規模はさほど大きくはない。この火口を持って噴出量を推定するため、ここでは火口の拡がりマグマ水蒸気噴火と比較し小さく見積られるマグマ噴火により、算出する。

$$E = 4.45 \times 10^6 D^{3.05} \dots \dots \dots (2)$$

E : 爆発エネルギー (J)

また、下式（3）より爆発深度から求めると同時に、スケール化深度が求まることとなる。

$$2D = 2.67 \times H + 0.0047 \times E^{1/3} \dots \dots \dots (3)$$

H : 爆発深度 (m)

※スケール化深度 ( $m J^{-1/3}$ ) は爆発深度を  $E^{1/3}$  で除した値を示す。

スケール化深度とスケール化距離との関係は、図 4.112 のとおり相関が示されている。九重山においては 4.3.2 で示したとおり、火口半径 15m に対し噴石の到達飛距離が最大で 200m という実績を有することから、これに合うようスケール化距離を  $0.1\text{mJ}^{-1/3}$  と設定した。

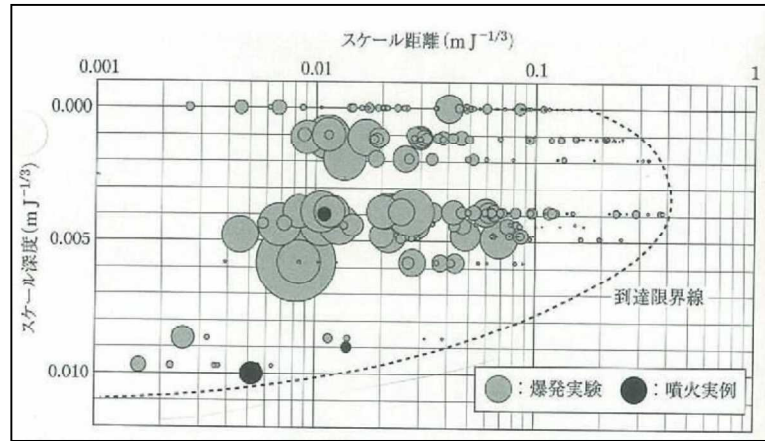


図 4.112 噴石のスケール化到達距離と爆発のスケール化深度との関係 (谷口・他、2009)  
(円サイズは噴石のサイズに比例している)

スケール化重量とスケール化距離との関係は、吉田・他 (1999) より下式 (4) のとおり示されている。

$$\text{スケール化距離} = 0.0038 \times \text{スケール化重量}^{-0.3568} \dots \dots \dots (4)$$

(4) 式で求められたスケール化重量をもとに、噴石の重量を求める。

噴石を球体の形状として密度を  $2.4\text{t/m}^3$  と仮定し、噴石の体積から噴石の規模 (半径) を推定した。以上の式 (1) ~ (4) より、火口半径ごとに算定した噴石飛距離との関係について図 4.113 に示し、各々の推定値を表 4.43 に示す。

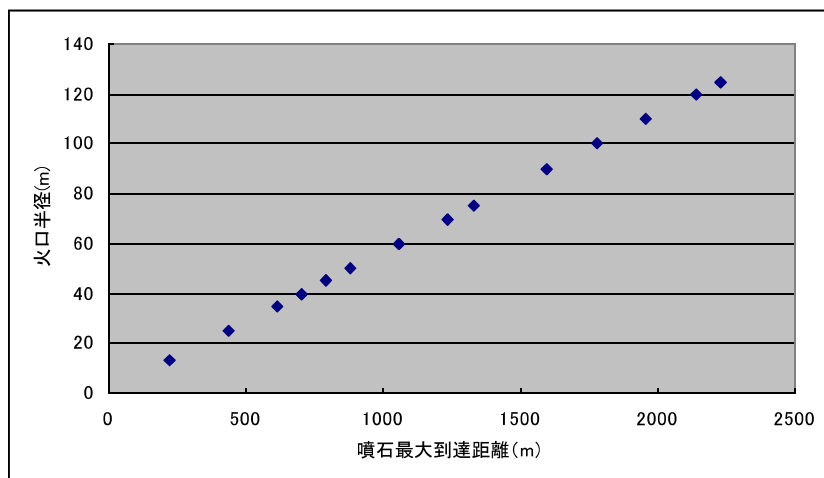


図 4.113 火口半径と噴石飛距離の関係

表 4.43 火口半径と噴石飛距離及び噴石

火口半径 D(m)	噴出量 V(m <sup>3</sup> )	VEI	爆発エネルギー E(J)	Eの1/3 E(J)	爆発深度 H(m)	スケール化爆発 深度Ds(mJ <sup>-1/3</sup> )	スケール化距離 mJ <sup>-1/3</sup>	噴石到達 距離(m)	VEI毎の 平均値(m)	噴石の 直径(cm)	VEI毎の 平均値(m)
13	86,029	0	11,114,431,038	2,232	5.43	0.0024		223	200	12	12
25	408,157	1	81,672,723,387	4,339	11.09	0.0026		434	500	15	16
35	909,391	1	227,912,185,794	6,108	15.46	0.0025		611		17	
40	1,249,761	2	342,486,127,161	6,997	17.65	0.0025		700		18	
40	1,249,761	2	342,486,127,161	6,997	17.65	0.0025		700		18	
45	1,654,317	2	490,521,647,219	7,887	19.83	0.0025		789		19	
45	1,654,317	2	490,521,647,219	7,887	19.83	0.0025		789		19	
50	2,126,009	2	676,423,246,054	8,778	22.00	0.0025		878		19	
60	3,281,647	2	1,179,563,497,881	10,566	26.34	0.0025		1057	1,000	21	20
60	3,281,647	2	1,179,563,497,881	10,566	26.34	0.0025	0.1	1057		21	
70	4,736,842	2	1,887,595,933,348	12,359	30.68	0.0025		1236		22	
70	4,736,842	2	1,887,595,933,348	12,359	30.68	0.0025		1236		22	
75	5,582,516	2	2,329,683,180,970	13,257	32.84	0.0025		1326		22	
90	8,617,013	2	4,062,558,846,004	15,956	39.33	0.0025		1596		24	
100	11,073,965	3	5,602,218,082,484	17,760	43.64	0.0025		1776		24	
110	13,894,955	3	7,492,171,338,747	19,568	47.95	0.0025		1957		25	
120	17,093,457	3	9,789,285,718,398	21,377	52.26	0.0024		2138	2,100	26	25
125	18,838,280	3	11,064,595,730,823	22,283	54.41	0.0024		2228		26	
125	18,838,280	3	11,064,595,730,823	22,283	54.41	0.0024		2228		26	

\*) 表中の着色帯は、VEI の区別を示す

#### (4) 影響範囲

今回算定した噴石到達距離と、気象台が設定している噴火警戒レベルと連動した規制範囲を比較した。

表 4.44 算定した噴石到達距離と噴火警戒レベルと連動した規制範囲

VEI	噴石到達距離(m)	噴火警戒レベル	規制範囲(m)
0	200	2	1,000
1	500		
2	1,000	3	1,500
3	2,100	3	—

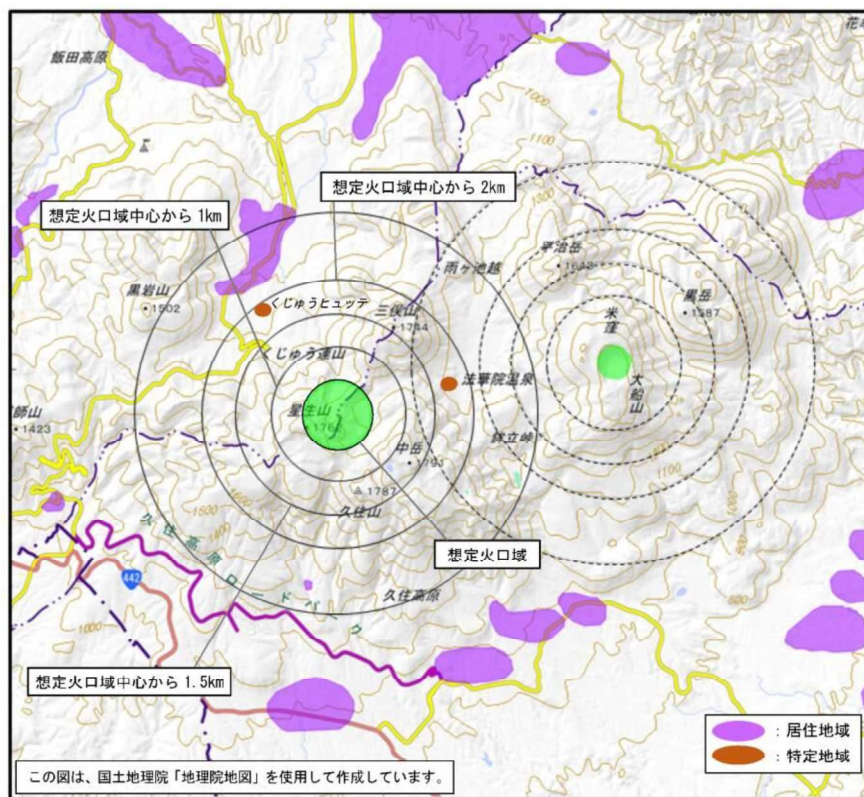


図 17 九重山の居住地域の分布とレベルに応じた警戒が必要な範囲

- ★硫黄山を想定火口とした場合の警戒が必要な範囲等
    - レベル1：硫黄山想定火口域
    - ※硫黄山想定火口域は硫黄山のA、B、C、D領域を囲む半径500mの範囲
    - レベル2：小噴火：想定火口域中心から概ね1km以内
    - レベル3：中噴火：想定火口域中心から概ね2km以内
    - レベル4、5：大噴火：想定火口域中心から居住地域付近まで
    - (大船山米窪火口が噴火した場合、火砕流、溶岩流による想定最大影響範囲は図18、図19)
  - ※特定地域
    - ・硫黄山想定火口域中心から東側1.6km付近の法華院温泉
    - ・硫黄山想定火口域中心から北西側2km付近のくじゅうヒュッテ
- 「特定地域」とは、居住地域よりも想定火口域に近いところに位置する温泉等の施設が含まれる地域で、居住地域よりも早い段階で避難準備や避難の対応が必要となる。
- 参考資料として、大船山米窪火口を中心とする同心円（破線）を图中に描いている。

図 4.114 居住地域の分布とレベルに応じた規制範囲

(「火山防災対策を検討するための九重山の噴火シナリオ(令和3年2月九重山火山防災協議会)」より抜粋)

今回算定した噴石飛距離は風の影響を考慮していないため、実際の現象としては、風の影響を受け飛距離が増す場合も想定される。

気象台で設定している規制範囲は、居住地域における安全の確保を主眼としているため、想定した噴石飛距離より安全側に設定されている。

このことから、噴火警戒レベルと規制範囲（噴石到達距離）の関係については、居住地域における安全の確保という、気象台が定める規制範囲に準じるものとした。

## 5. 用語説明

**火山性微動** 火山で発生する震動のうち、地震と異なり不明瞭な波で連続的に発生する振動で、地下のマグマや熱水の動きに関係する場合や噴火に伴って発生する場合がある。

**地殻変動** 火山活動時に地下のマグマの動き等を原因として、土地が隆起、沈降、横ずれを起こすこと。変動が著しい場所では断層が地表に現れる。変動量が大きな地区では、建物の破壊、道路の亀裂・段差が生じて通行不能となる。

**水蒸気噴火** 地下水等が地下で高温のマグマにより熱せられて水蒸気となり、噴石や火山灰が爆発的に放出される現象。九重山では、平成 7（1995）年の硫黄山で発生した噴火がこれに相当する。

**マグマ水蒸気噴火** 地下水等がマグマと直接接触することにより激しく爆発して噴石や火山灰が放出される現象。火砕サージが発生することもある。

**火砕流** 火山から噴出し高温の火山灰・軽石・岩片・火山ガス等が、斜面を高速に流下する現象。温度は数百℃に達する。駒ヶ岳の昭和 4 年（1929）の大噴火では立ち上った噴煙柱が崩れることで火砕流が発生したが、雲仙岳で発生した火砕流は溶岩ドームが成長して崩れることによって発生するタイプだった。このように火砕流の発生機構はいくつか種類がある。

**火砕サージ** 細かい軽石・岩片が爆風によって、高速で運ばれる高温の砂嵐のような現象。雲仙岳の犠牲者の大部分は火砕サージによる。

**降灰後の土石流** 火山噴火で斜面に積もった微細な土砂（火山灰）が、降雨等によって侵食を受けて発生する泥流。火山灰が斜面を膜のように覆うため、雨水が地中に浸透しにくくなり、少量の降雨でも発生しやすい。降り積もった火山灰が多く、降雨規模も大きい時等には、流れの規模が大きくなり破壊的な流れになることもある。ラハール、火山泥流、二次泥流、降雨型泥流等と呼ばれることもある。

**火山噴火緊急減災対策砂防** 火山噴火時に発生が想定される火山災害の被害をできる限り軽減（減災）するため、緊急時に実施するハード対策とソフト対策からなる火山防災対策のうち、国及び都道府県の砂防部局が実施する対策。

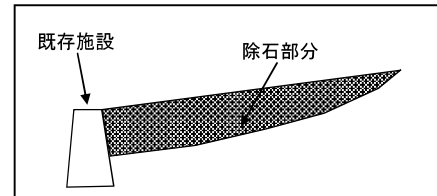
**ハード対策** ハード対策とは、計画対象量の土砂を砂防施設の配置等によって処理し、土砂災害を防止・軽減するために実施する対策をいう。

**ソフト対策** ソフト対策とは、土砂移動現象の発生・流動監視や防災情報の提供等により災害を軽減するための対策をいう。

**整備率** 想定される土砂流出に対するハード対策施設の整備状況を示す指標であり、次式で算出される。

$$\text{土砂整備率} = \text{土砂に対する施設効果量} / \text{土砂総量} \times 100 (\%)$$

**除石工** 砂防堰堤等に堆砂した土砂を掘削して河道外へ運搬し、施設の土砂捕捉効果を増進する工法。



**導流堤工** 導流堤工は、土砂等が保全対象を直撃することがないように、下流域に安全に導流するために施工する。緊急ハード対策での基本的な構造は、資機材の調達状況を考慮し大型土のう及びコンクリートブロックを使用する。

**仮設堤工** 降灰後の土石流の捕捉を目的として、仮設的に設置する砂防堰堤。本計画では、コンクリートブロック砂防堰堤を想定している。

**リアルタイムハザードマップ作成システム** リアルタイムハザードマップ作成システムには、プレアナリシス型とリアルタイムアナリシス型がある。プレアナリシス型は、複数の噴火規模、現象において予めハザードエリアを特定し、その情報を GIS 上に格納しておき、火山の活動状況に応じて必要となる情報を引き出すことを可能としたシステムである。リアルタイムアナリシス型は、火山活動に伴う地形の変化や、火山噴出物の物性、量、範囲等に対応して、数値シミュレーション等により、随時ハザードマップを作成するシステムである。

[参考文献]

- 1) 宇井忠英：火山噴火と災害，東京大学出版会，219pp，1997
- 2) 土木学会：火山工学入門，2009
- 3) 社団法人砂防学会：砂防用語集，2004
- 4) 土交通省国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，2007
- 5) 建設省河川局砂防部：火山砂防計画策定指針（案），1992
- 6) 国土交通省砂防部：火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン，2007