

図 4.88 溶岩流シミュレーション計算結果 (左: 最終堆積深、右: 到達時間)

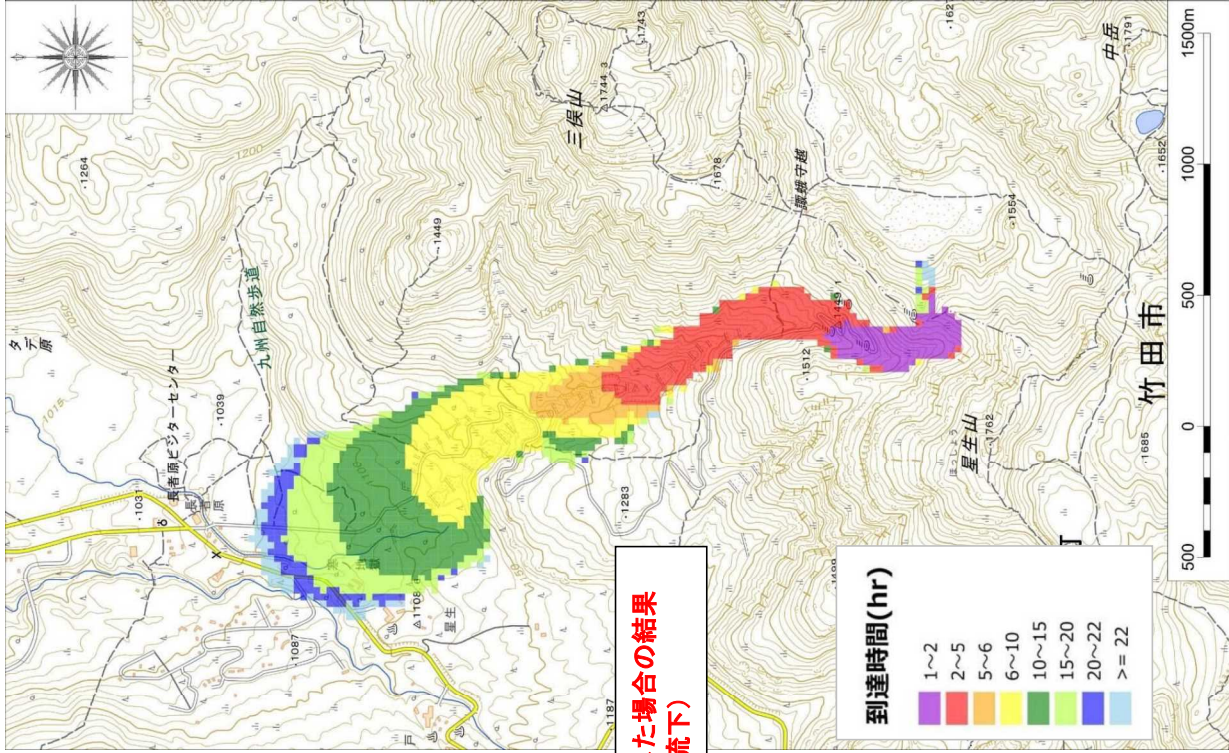
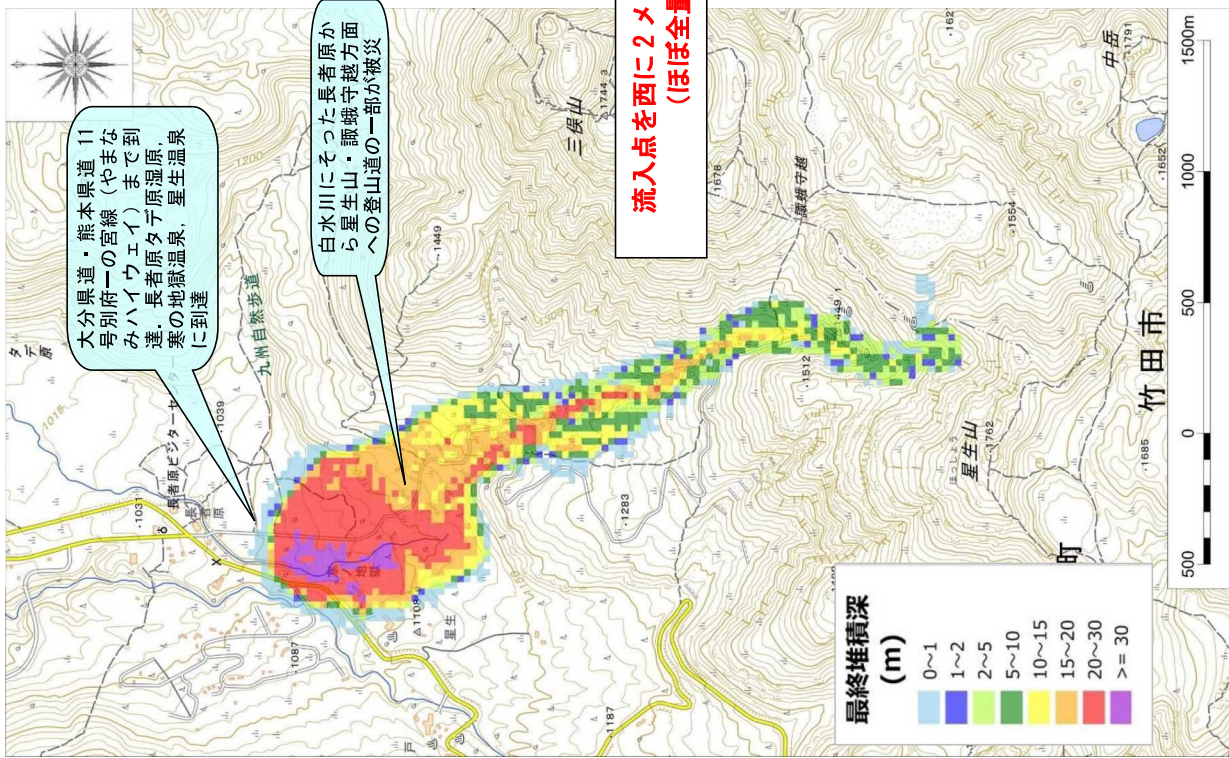


図 4.89 【参考】溶岩流シミュレーション計算結果 (左: 最終堆積深、右: 到達時間)

(9) 火山防災マップ策定時の溶岩流による影響

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、数値計算から過去の実績を検証し、段原溶岩流の総噴出量の 1/3 の量である $1.3 \times 10^7 \text{m}^3$ を想定噴出量として被害想定範囲を設定している。

ここでは、数値計算の際に検討された各パラメータを示すとともに、想定噴出量 $1.3 \times 10^7 \text{m}^3$ の溶岩流における影響範囲を示すものとする。

■ 想定噴出量

$1.3 \times 10^7 \text{m}^3$ を噴出量として設定（段原溶岩流の 1/3）

■ 地形データ

国土地理院発行の 50m 数値地図を用い、GIS により作成した 50m×50m メッシュ間隔のデジタルマップを使用。

■ 想定火口位置及び流出方向

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、東側方向と西側方向の 2 方向（前述（1）と同じ考え）

■ 計算定数

計算に必要な定数等は、表 4.37 に示すとおり。

表 4.37 溶岩流の計算定数一覧表

項目	単位	数値
噴出レート	m^3/s	250
溶岩流噴出温度	$^{\circ}\text{C}$	950
溶岩密度	g/cm^3	2.5
放射率	—	0.9
比熱	$\text{J}/\text{kg}/\text{K}$	0.86
重力加速度	m/s^2	9.8
Stefan-Boltzmann定数	$\text{J}/\text{m}^2//\text{K}^4/\text{s}$	5.67×10^{-8}
温度-粘性関数	poise	参考値 $\log_{10} \eta = -15.21 + 21901(1/T)$
温度-降伏応力関数	dyn/cm^2	参考値 $\log_{10} \tau_y = -5.79 + 10.769(1/T)$

*) 表 4.35 と同じ

■ 想定ハイドログラフ

噴出レートは桜島の大正溶岩の検証計算（宮本、1990）における噴出レートを参考として $250\text{m}^3/\text{s}$ の想定ハイドログラフとして設定した（図 4.90）。

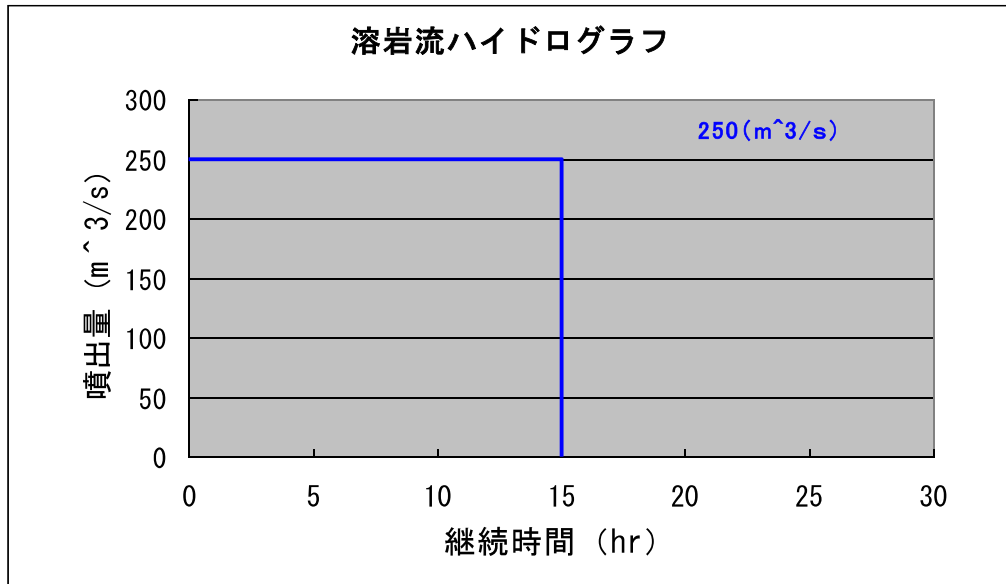


図 4.90 溶岩流の想定ハイドログラフ

■ 影響範囲と被害状況



図 4.91 溶岩流による保全対象への想定被害状況

4.3.4 火砕流による影響

(1) 火砕流の代表的な発生形態

火砕流は、高温ガスと火山砕屑物の混合物（固気混相流）が主に重力によって加速されて、高温・高速で山腹斜面を流下する現象である。その流動特性は低層部の火砕流本体（高温の溶岩片等からなる粒子流）と上層部の火砕サージ（火山灰と気体からなる高速高温の固・気混相流）からなる2層流として特徴づけられる。

また、火砕流は、その発生様式や規模、含有火砕物の性質等は多様である。他の流動体と同様に谷地形等に沿って流下し、高速であるため低い尾根は容易に乗り越え、規模が大きい場合には1,000m以上の起伏も乗り越えて流下することがある（横山 1972）。

小規模な火砕流は、その発生形態によって図 4.92 に示すような3つのタイプに分類されている（Macdonald, 1972）。いずれの火砕流も、流下速度が秒速 60m（時速 200km）以上に達し温度も 1,000 度近くになることから、火砕流が発生したことを確認してからでは避難が間に合わず人命に対する危険度は極めて高い。さらに、火砕流が流下・堆積した範囲では家屋・農作物等が破壊あるいは消失し、その被害は甚大である。

火砕サージは、火砕流本体と比較するとより低温であるが、火砕流が流下方向を変えても勢いで直進したり、火砕流本体が停止してもより遠方にまで到達したりすることがあるため、火砕流同様に危険度は極めて高い。

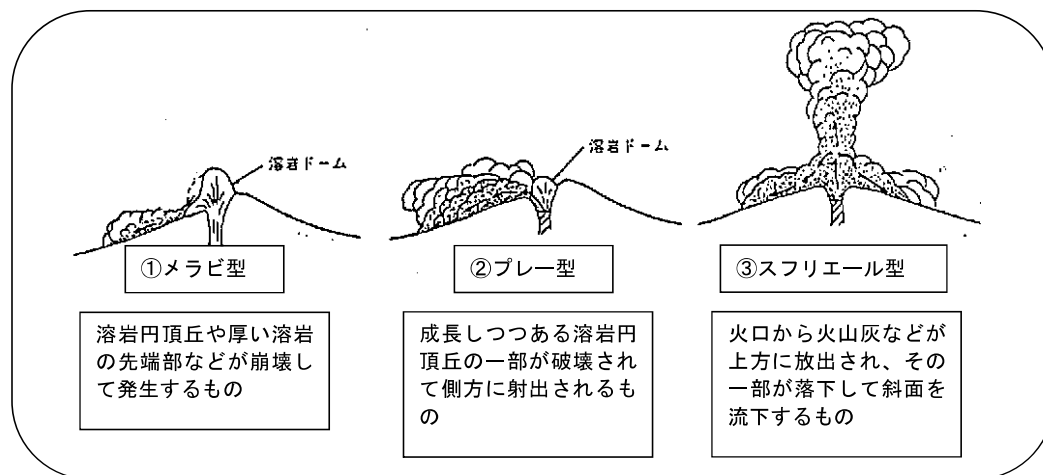


図 4.92 Macdonald (1972) による小規模な火砕流の代表的な発生形態

平成 15 年度に策定された『くじゅう山系火山防災マップ』では、噴煙柱崩壊型（スフリエール型：図 4.92③）について大船山の被害想定範囲を設定している。今回対象とする火砕流の発生形態は、九重山で検討された噴火シナリオに示されているように、以下の2つを想定する。

- 1) 溶岩ドーム崩落型火砕流（メラピ型；図 4.92 の ①）
- 2) 噴煙柱崩壊型火砕流（スフリエール型；図 4.92 の ③）

(2) 溶岩ドーム崩壊型火砕流の想定火口位置

① 想定火口位置（大船山）

九重山系全体ではマグマ噴火が発生することを想定しており、最新のマグマ噴火は、1,700年前頃の黒岳溶岩及び黒岳火砕流の活動であるが、これらは局所的に溶岩ドームを形成したものであり、噴火形式からの火口位置が想定しがたい。また、長期的な火山活動の視野に立つと、火口位置が山系西部から東部へと移動しており、将来噴火が発生しうる火口位置を特定することが困難である。

しかしながら、約 2,000-4,000 年前にかけて、大船山及びその北隣に位置する火口（米窪火口及び段原火口）で、米窪玄武岩質降下スコリア、米窪安山岩質降下火山灰、大船南溶岩、段原降下スコリアを噴出しており、ほぼ同じ場所で複数回の活動が発生している。このため、シミュレーションを実施する対象位置として、溶岩流の場合と同様に、大船山の米窪火口を想定した。

溶岩ドーム崩壊型火砕流は溶岩ドームが形成され、その先端部が崩壊して発生する形態である。雲仙岳の平成噴火の事例では、その先端部の地形勾配が概ね 22 度であり、最初に形成された溶岩ドームでは 32 度の地形勾配で火砕流が発生したことが知られている。

図 4.93 は、米窪火口周辺の地形勾配を表現しているが、火口周辺は全て 20 度以上の勾配を呈し、どこで溶岩ドームが形成されても火砕流が発生することが示唆される。よって、火口縁の中で低い箇所である東側方向及び西側方向の 2 方向にそれぞれ流下した場合を想定した。

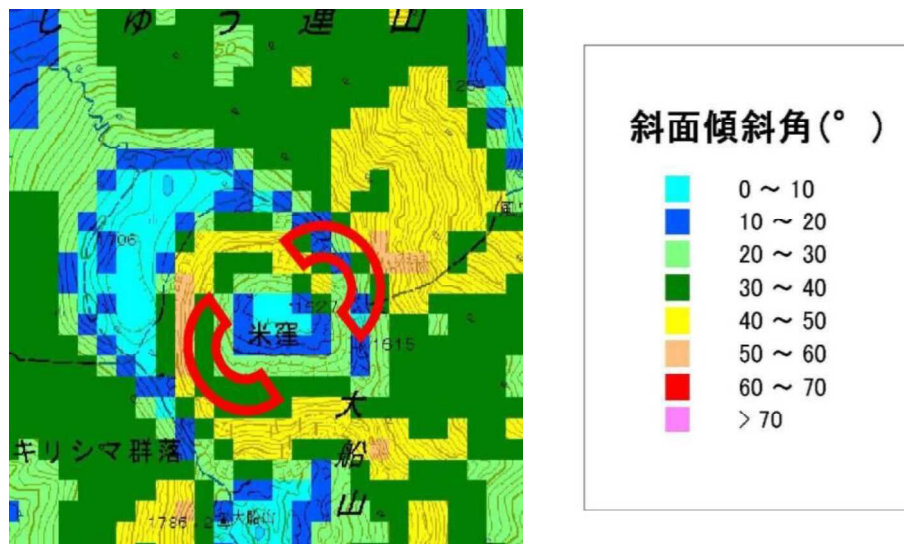


図 4.93 米窪火口周辺の地形勾配区分図

(赤で示した範囲が火口縁の中で低い箇所)

米窪火口の火口縁における地形形状及び米窪火口周辺の鳥瞰図を、図 4.94 及び図 4.95 に示す。

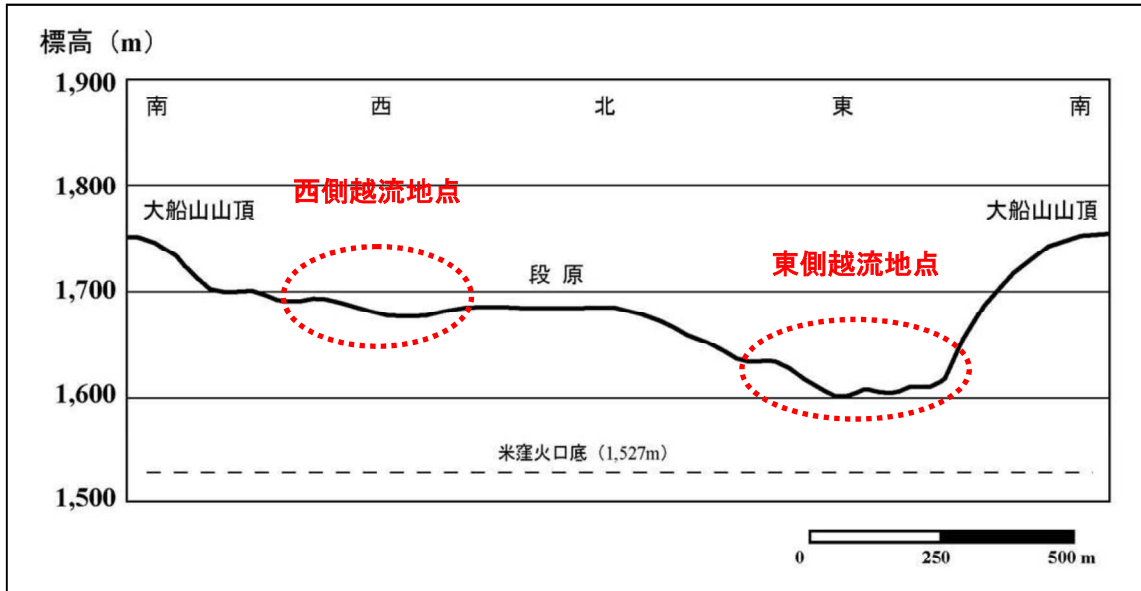


図 4.94 米窪火口の火口縁における地形形状（縦横比は 2 : 1）

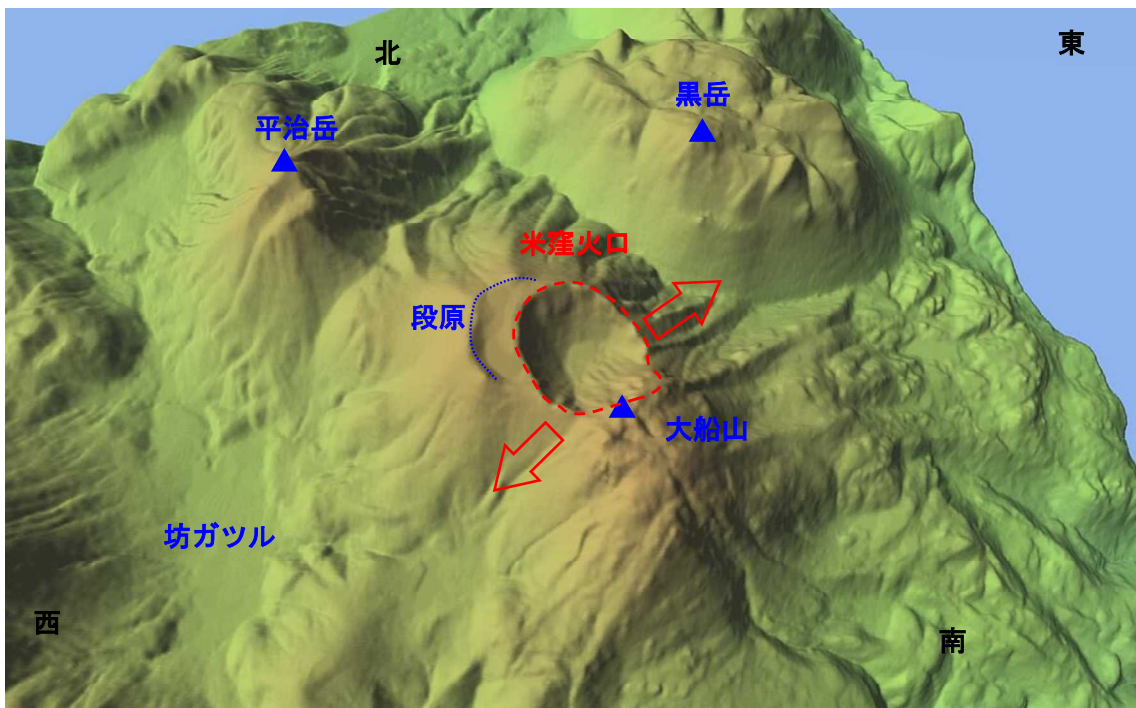


図 4.95 米窪火口周辺の鳥瞰図（縦横比は 2 : 1, カシミール 3D を使用して作成）
（赤矢印：溶岩流の想定流下方向）

② 想定火口位置（硫黄山周辺）

溶岩ドーム崩落型火砕流は溶岩ドームが形成され、その先端部が崩壊して発生する形態であり、雲仙普賢岳の平成噴火の事例では、その先端部の地形勾配が概ね 22 度、最初に形成された溶岩ドームでは 32 度の地形勾配で火砕流が発生したことが知られており、本計算開始点周辺の地形勾配は、30 度の勾配を有していることから、溶岩ドームが形成された場合、崩落して火砕流が発生することが示唆される。したがって、溶岩ドーム崩落型火砕流の計算開始点については、溶岩流の計算同様、気象庁が想定した想定火口位置（半径 500m）の範囲を参考に検討するものとし、溶岩流の想定火口（計算開始点）はその中心点、流下方向は最急勾配方向とした（図 4.96）。



図 4.96 溶岩ドーム崩落型火砕流の想定火口（計算開始点と流下方向）

(3) 想定規模（溶岩ドーム崩壊型：硫黄山も含めて共通）

溶岩ドーム崩壊型火砕流を想定する上では、雲仙岳の火砕流と同じように 1 回あたりの噴出量は十万～百万 m³ 規模である。

噴出シナリオの中で示した VEI（火山爆発指数）は目安の量であり、十万～百万 m³ 規模の火砕流が何千回と繰り返し、総量として千万～億 m³ に達すると想定することが妥当であると考えられる。

雲仙岳では比較的大きな規模の火砕流が、1991 年 6 月 3 日（240 万 m³）、1991 年 6 月 8 日（340 万 m³）、1991 年 9 月 15 日（400 万 m³）の 3 回確認されている。これら噴出量の平均値を使用するものとし、350 万 m³ を噴出量として設定した。

(4) 想定ハイドログラフ（溶岩ドーム崩壊型：硫黄山も含めて共通）

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、他火山の実績を参考に設定した。本検討では、雲仙岳の 3 回の火砕流（1991 年 6 月 3 日、6 月 8 日、9 月 15 日）の平均継続時間である 10 分間に、火砕流が一定量、定常的に供給されるとした。

また、実際の噴火では溶岩の噴出率は時間的に変化するが、計算上は矩形ハイドログラフを想定し、溶岩の総噴出量（ $3.5 \times 10^6 \text{m}^3$ ）を継続時間（10min）で除して噴出レート（ $5,833 \text{m}^3/\text{s}$ ）を算出した。

表 4.38 に溶岩ドーム崩壊型火砕流の噴出時間、図 4.97 に想定ハイドログラフを示す。

表 4.38 溶岩ドーム崩壊型火砕流の噴出時間

噴出量 (m ³)	噴出率		噴出期間 (分)
	m ³ /sec	m ³ /hour	
3,500,000	5,833	349,980	10

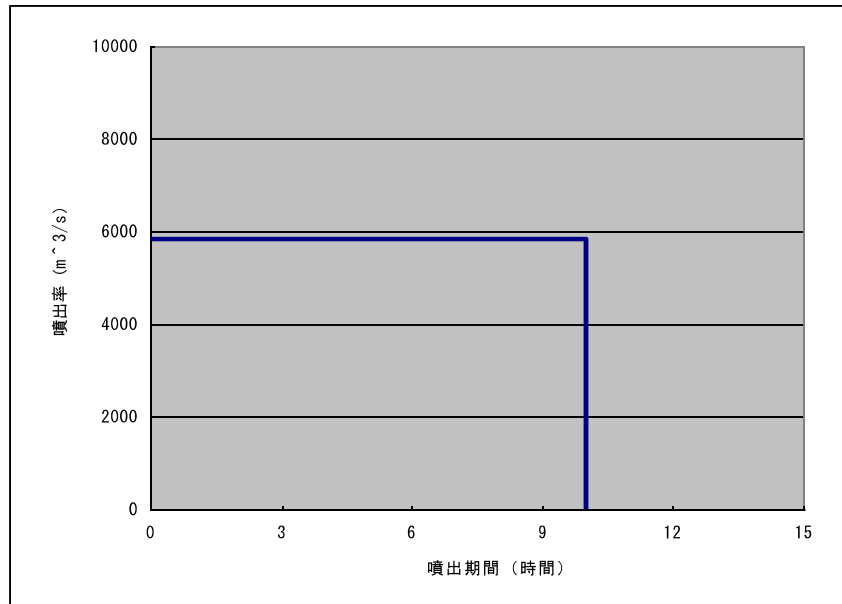


図 4.97 溶岩ドーム崩壊型火砕流の想定ハイドログラフ

(5) 地形データ (溶岩ドーム崩壊型)

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 25m×25m 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。この地形データを基に、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。

(6) 計算定数 (溶岩ドーム崩壊型：硫黄山も含めて共通)

計算に必要な定数等については、雲仙岳での事例を参考に設定した (表 4.39)。

表 4.39 溶岩ドーム崩壊型火砕流の計算定数一覧表

項目	単位	値	備考
礫密度	g/cm ³	2.6	
代表粒径	cm	10	
堆積土砂濃度		0.6	
粒子間摩擦係数	—	0.2	溶岩ドーム崩落型火砕流の事例
継続時間	分	10	雲仙普賢岳平成噴火時における 3事例の平均値

(7) 影響範囲と被害状況の把握 (大船山：溶岩ドーム崩壊型)

溶岩ドーム崩壊型火砕流による影響範囲と被害状況を、図 4.99 に示す。

また、この結果に火砕サージの想定影響範囲を重ね合わせたものを図 4.100 に示す。

火砕サージについては、数値シミュレーションの手法が確立されていないため、雲仙岳の平成噴火時及びマヨン（フィリピン）の事例を参考に設定した。

結果、直進方向は本体から 1km 程度まで到達するものとし、急斜面を駆け上がる際には 150-200m の比高まで到達すると想定し、地形を考慮して設定した。

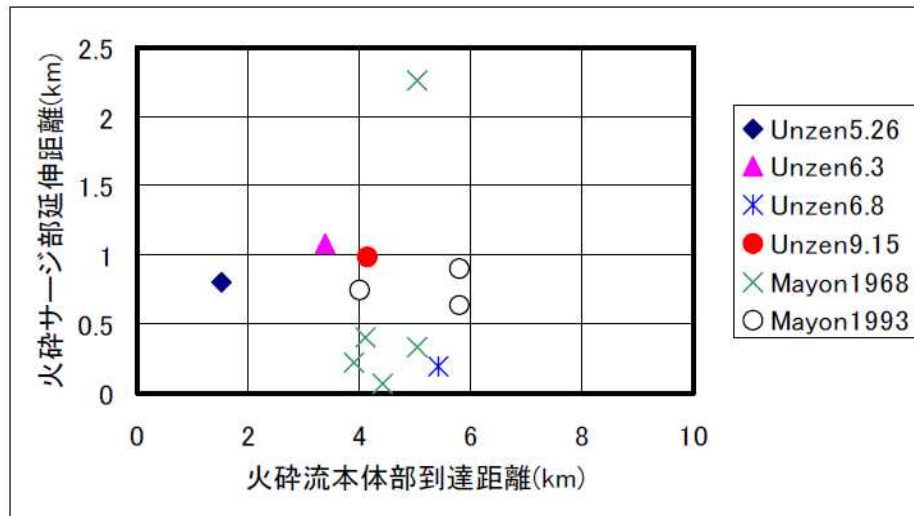


図 4.98 火砕流と火砕サージの到達距離

表 4.40 火砕流本体と熱風部の到達距離の関係

火山名	発生日	本体部	熱風部			文献
		到達距離 L1	到達距離 L2	延伸長 L3=L2-L1	延伸率 L3/L1	
雲仙岳	1991.5.26	1.53 km	2.34 km	0.81 km	53%	*1
	1991.6.3	3.38 km	4.46 km	1.08 km	32%	*2
	1991.6.8	5.40 km	5.60 km	0.20 km	4%	''
	1991.9.15	4.13 km	5.12 km	0.99 km	24%	''
マヨン	1968.5	5.04 km	5.37 km	0.33 km	7%	*3
	1968.5	5.04 km	7.30 km	2.26 km	45%	''
	1968.5	4.11 km	4.52 km	0.41 km	10%	''
	1968.5	4.40 km	4.48 km	0.07 km	2%	''
	1968.5	3.89 km	4.11 km	0.22 km	6%	''
	1993.2.2	5.80 km	6.64 km	0.84 km	15%	*4
	1993.2.2	5.80 km	6.91 km	1.11 km	19%	''
	1993.2.2	4.00 km	4.75 km	0.75 km	19%	''

*1石川芳治(1993, 土質工学会編)

*2千葉達郎(1993, 土質工学会編)

*3宇井・Geronimo-Catane, 1993 (after Moor and Melson, 1969)

*3宇井・Geronimo-Catane, 1993 (after PHIVOLCS, 1993 unpublished data)

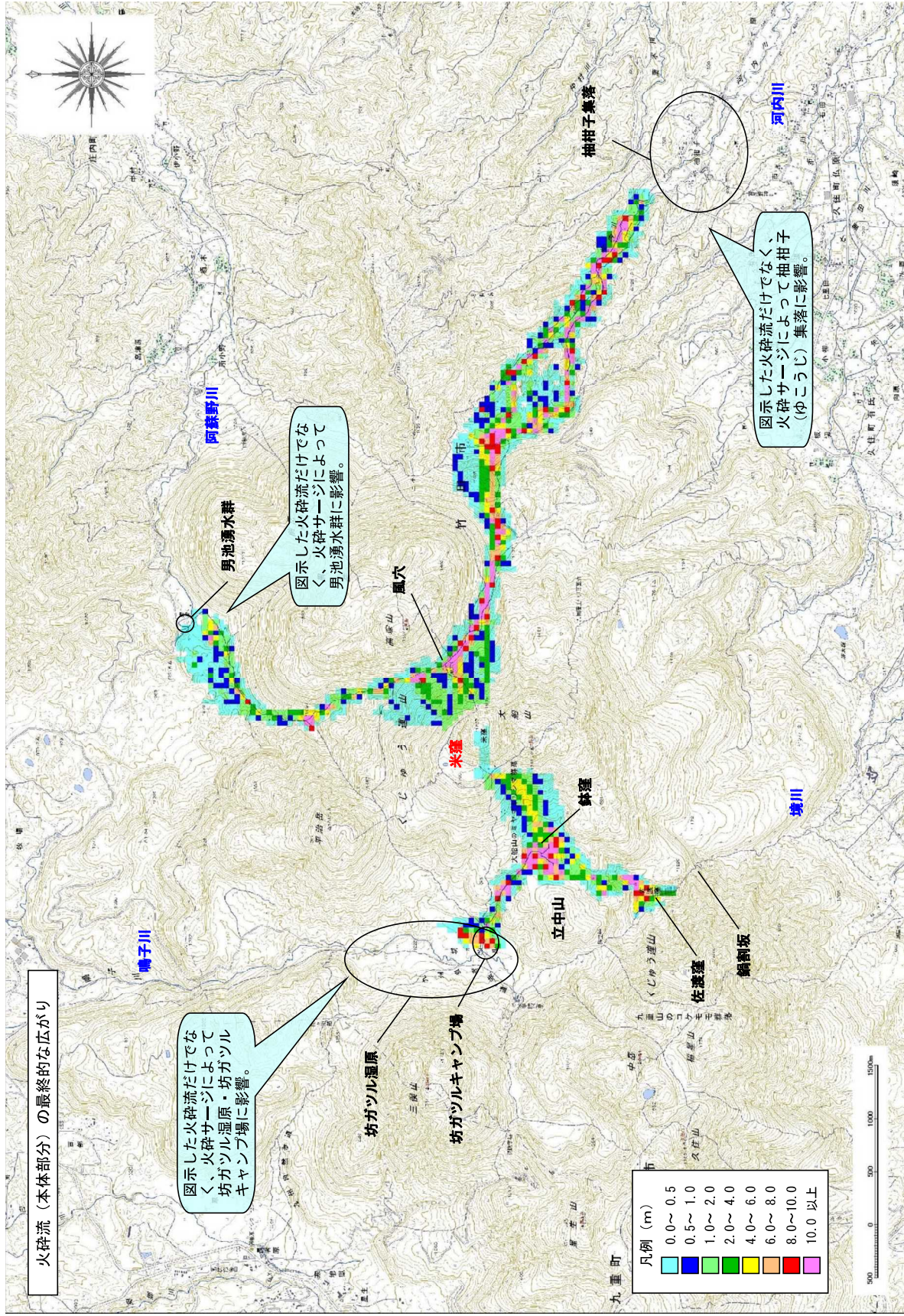


図 4.99 VEI = 4 規模の火砕流（ケース T-1）のシミュレーション計算結果（最大流動深：計算開始点は米窪火口東側及び西側）

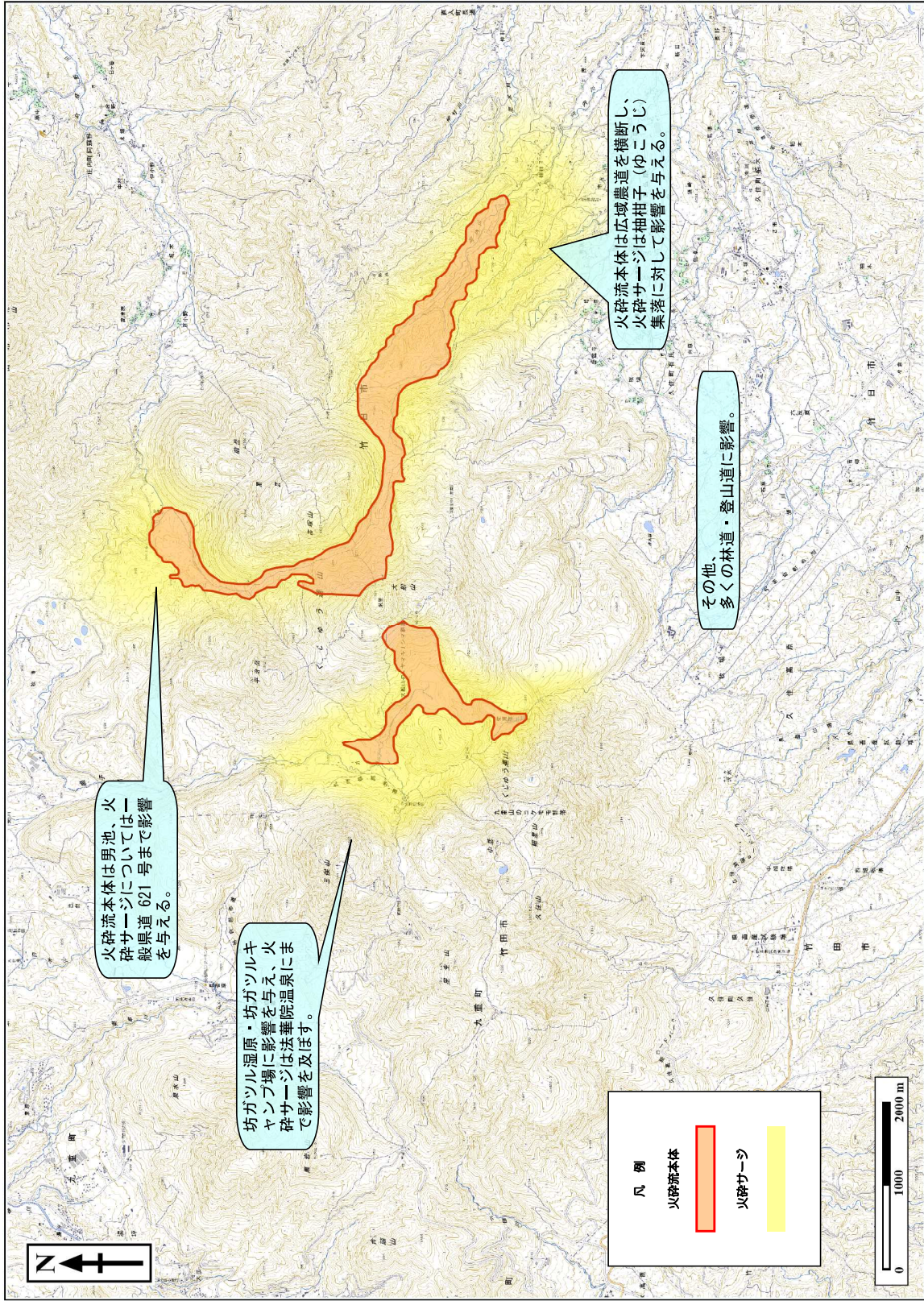


図 4.100 溶岩ドーム崩壊型火砕流による保全対象への想定被害状況【ケース T-1：（噴出量 350 万 m³）】

前述したように、米窪火口周辺の地形勾配は全て 20 度以上の勾配を呈し、どこで溶岩ドームが形成されても火砕流が発生することが示唆される。

このため、参考ケースとして、以下の 2 つのケースについてもシミュレーション計算を実施した。

CASE1

- ・火口中心に溶岩ドームが形成された場合（図 4.101）

CASE2

- ・東と西方向以外に急勾配を呈する北側に溶岩ドームが形成された場合（図 4.102）

この結果、火口中心に溶岩ドームが形成された場合（図 4.101）、溶岩ドームは火口縁で最も低い標高となる東側火口縁を乗り越え、東方向に流出させた場合とほぼ同じ傾向で流出することが確認された。

また、東と西方向以外に急勾配を呈する北側に溶岩ドームが形成された場合（図 4.102）も、東方向から流出させた場合とほぼ同じ傾向で流出することが確認できた。

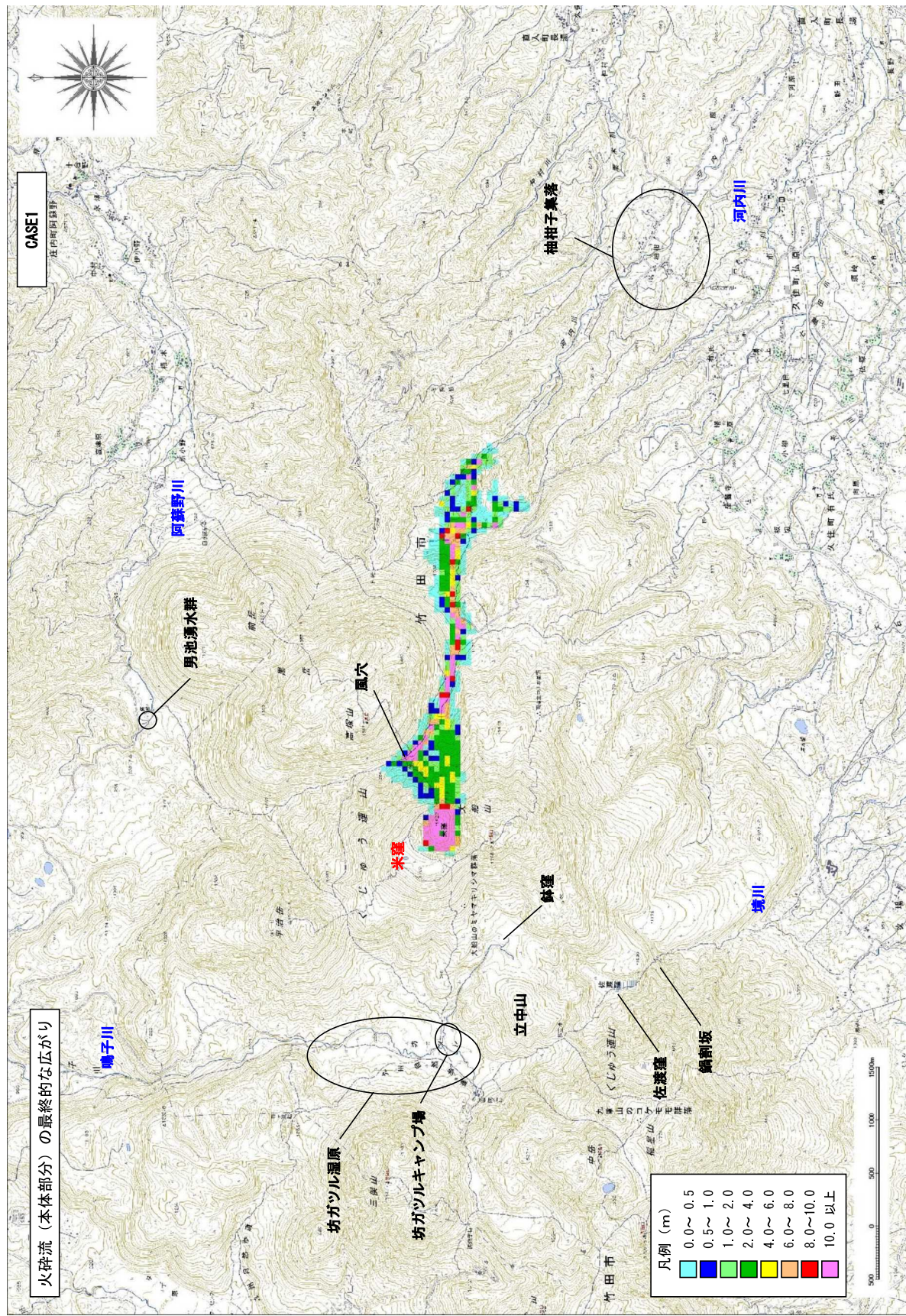


図 4.101 CASE1 溶岩ドーム崩壊型火砕流のシミュレーション計算結果 (最大流動深: 計算開始点は米窪火口の火口底)

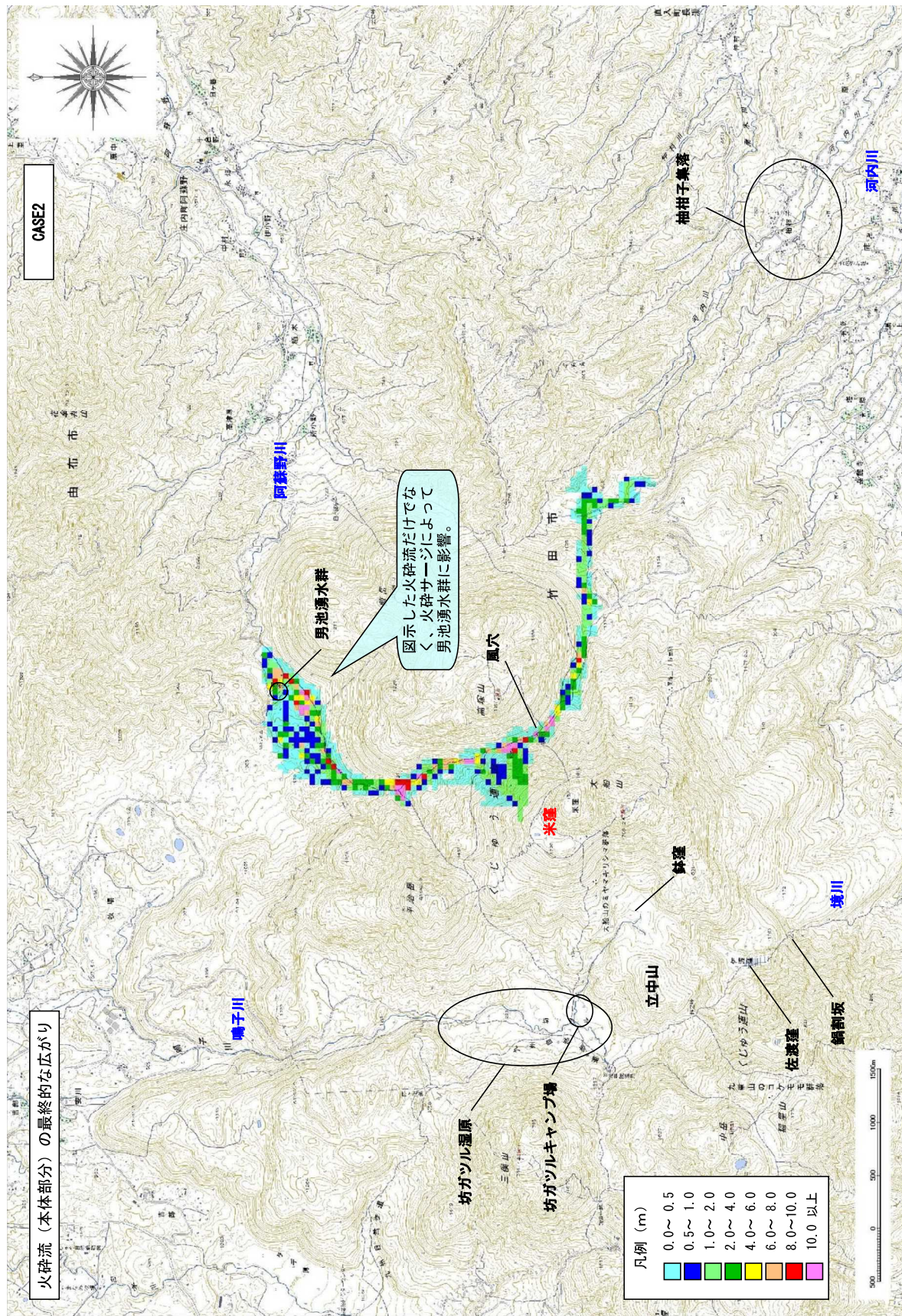


図 4.102 CASE2 溶岩ドーム崩壊型火砕流のシミュレーション計算結果 (最大流動深: 計算開始点は米窪火口北側)

(8) 影響範囲と被害状況の把握（硫黄山周辺：溶岩ドーム崩壊型）

計算実施結果を、図 4.103 に示す。火砕サ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 4.104 に示す。

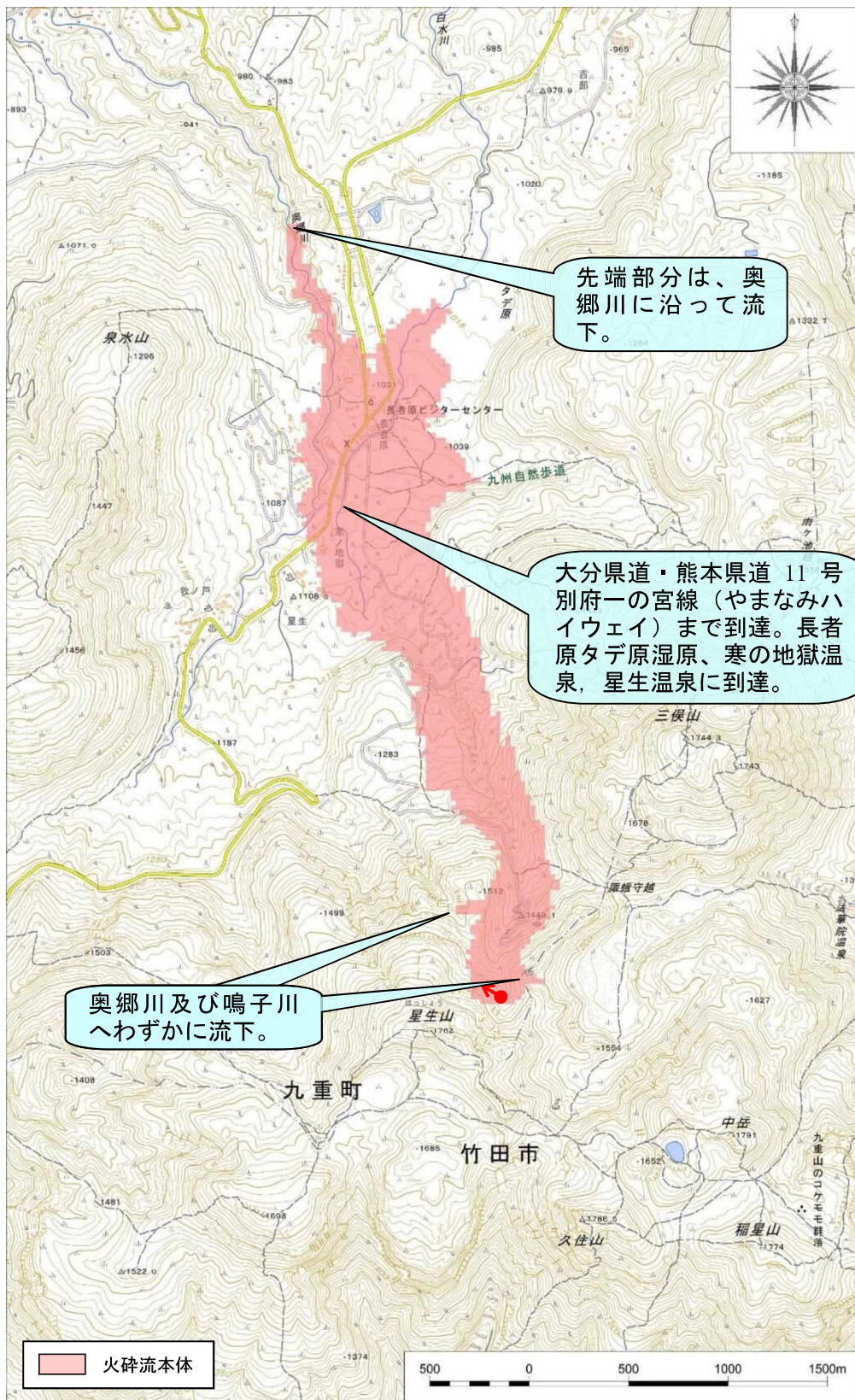


図 4.103 溶岩ドーム崩壊型火砕流の想定到達範囲
 (図中の赤丸は流入点、矢印は供給方向)

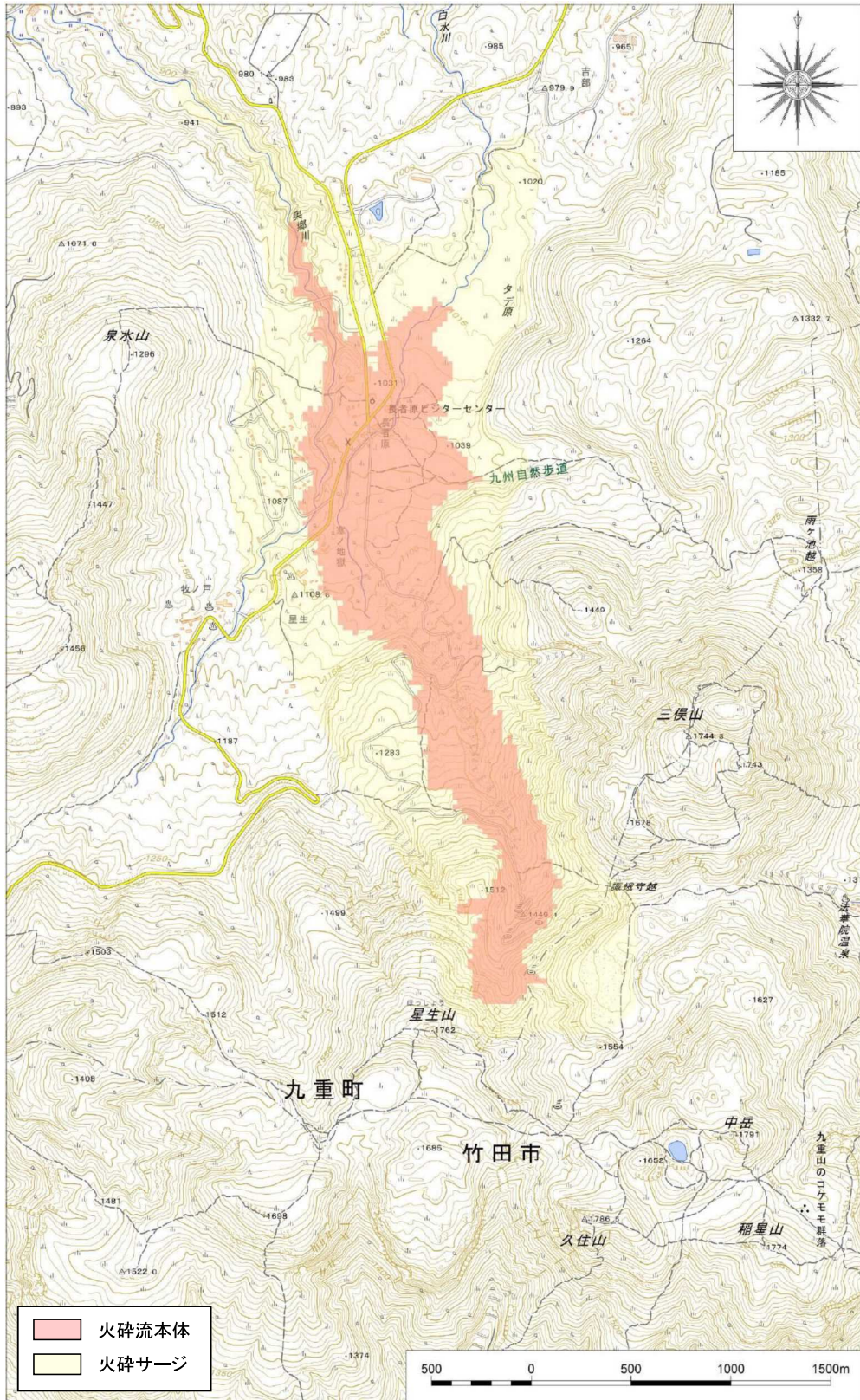


図 4.104 溶岩ドーム崩壊型火砕流及び火砕サージの想定到達範囲