

図 4.71 土石流シミュレーション計算結果（奥郷川、左：最大流動深、右：最終堆積深）

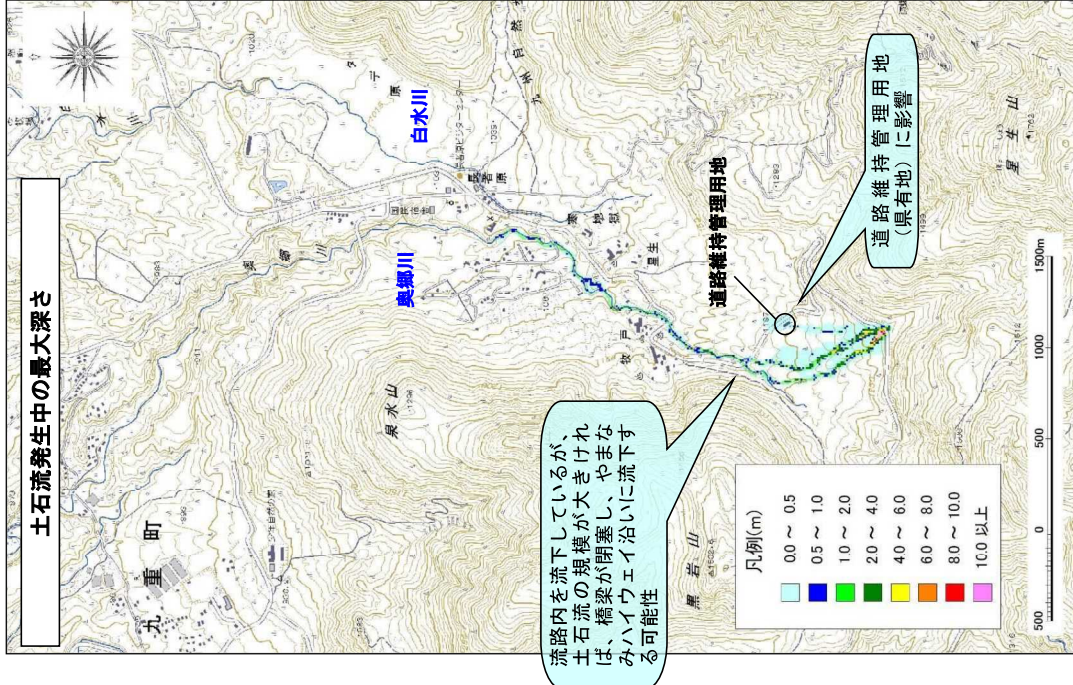
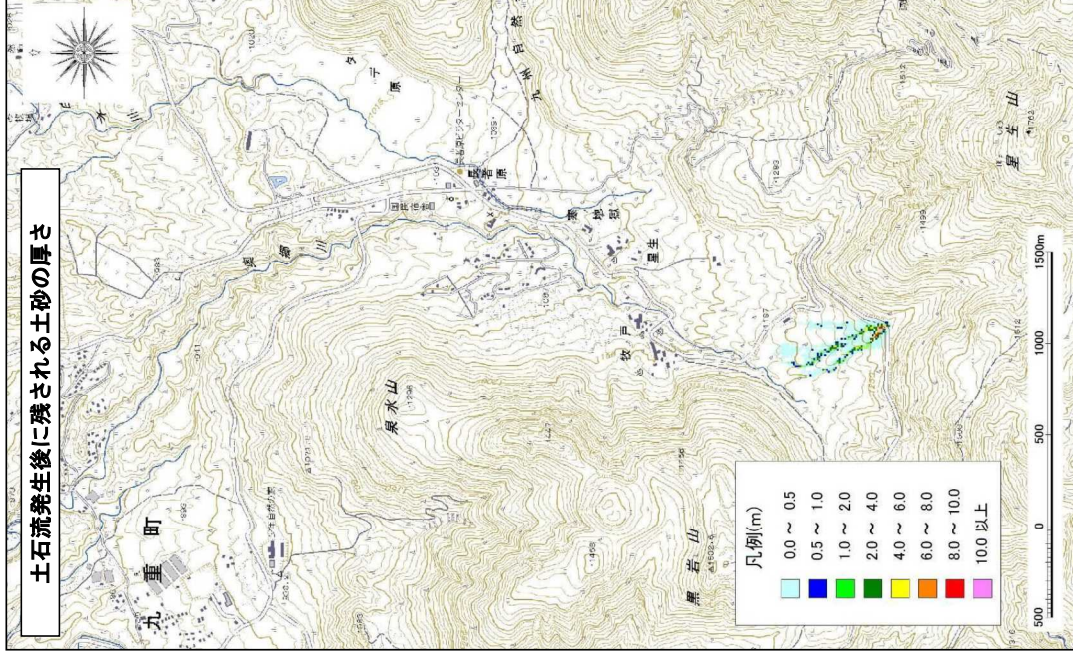


図 4.72 土石流シミュレーション計算結果 (奥郷上流川、左：最大流動深、右：最終堆積深)

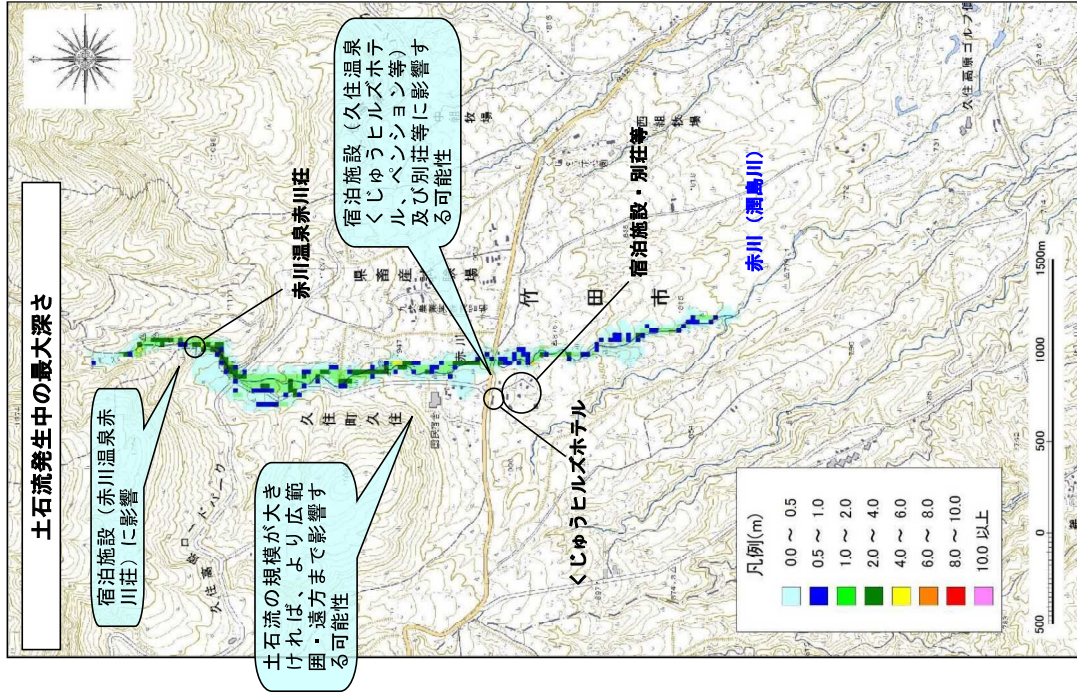
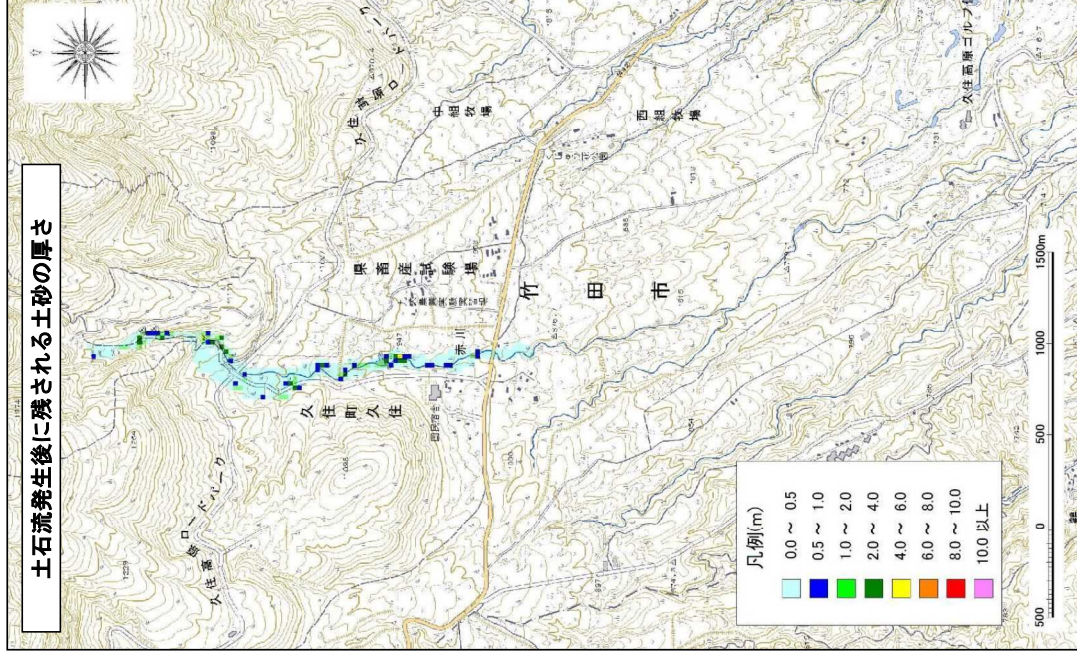


図 4.73 土石流シミュレーション計算結果(赤川(酒島川)、左:最大流動深、右:最終堆積深)

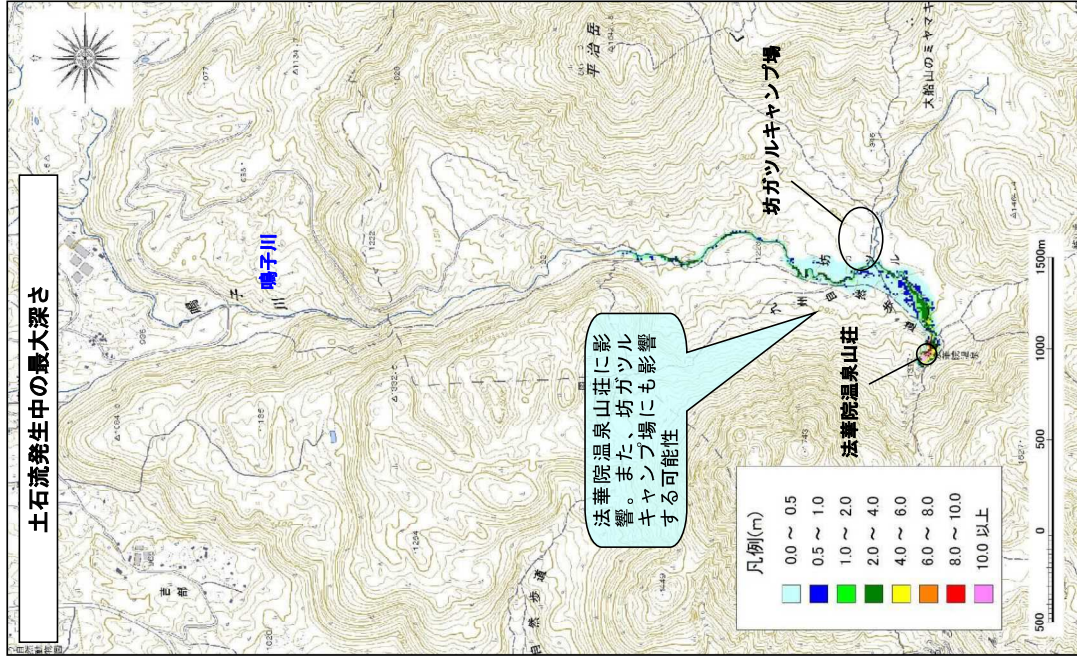
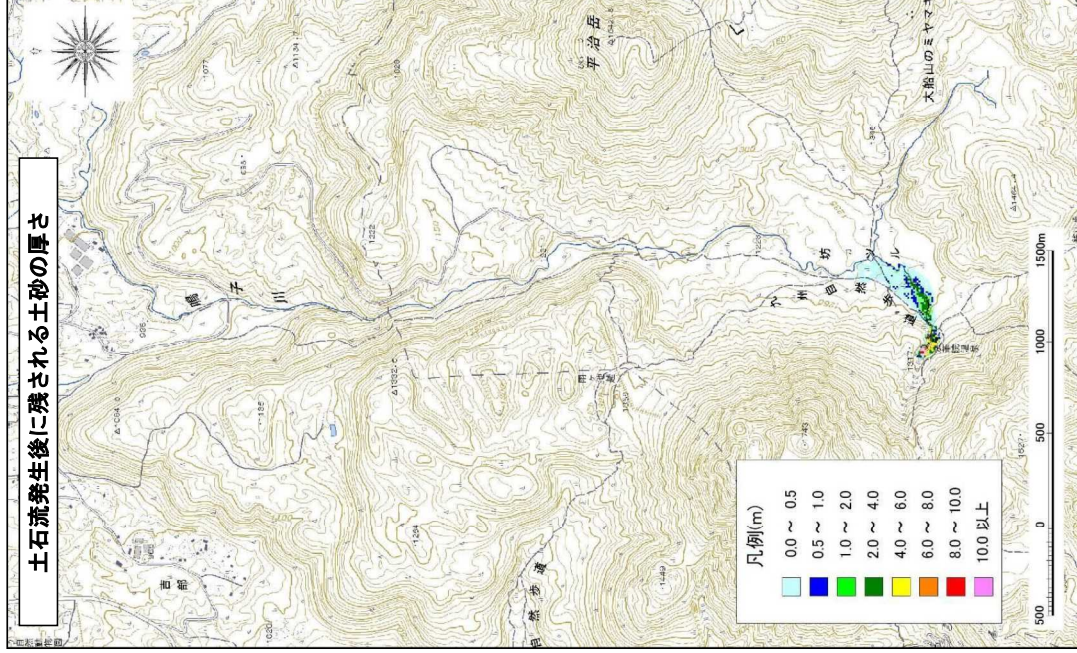


図 4.74 土石流シミュレーション計算結果（鳴子川、左：最大流動深、右：最終堆積深）

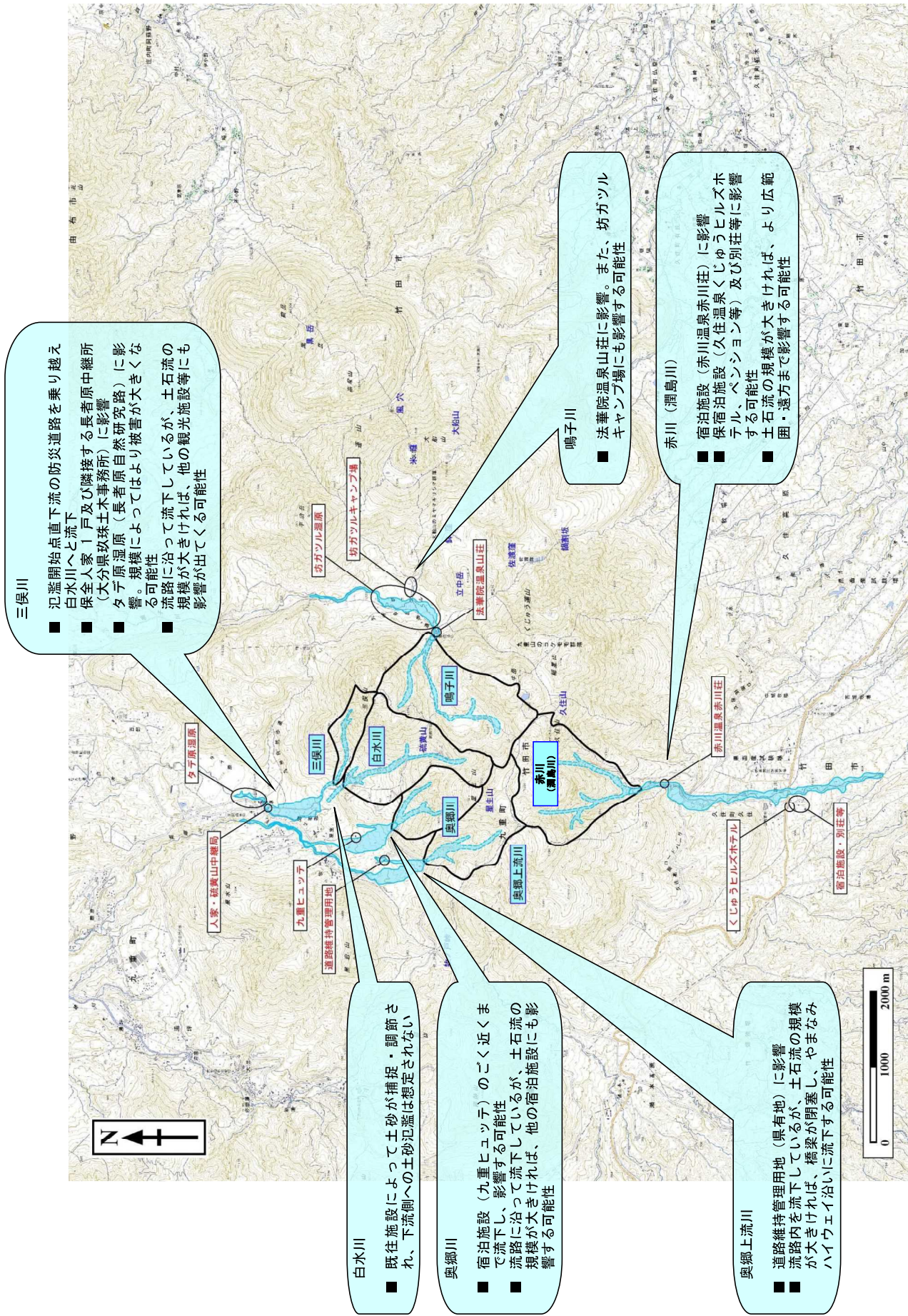


図 4.75 土石流シミュレーション計算結果による被害状況図【ケースHT-3: (VEI=2; 水蒸気噴火で最大規模のケース: 100万㎡)】

4.3.3 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、米窪火口を想定した総噴出量（ $1.3 \times 10^7 \text{m}^3$ ：段原溶岩流の 1/3→数値計算を行い過去の実績と検証）について被害想定範囲を設定している。

この規模の溶岩流については、後述するものとし、今回対象とする溶岩流は噴火シナリオに示すとおり、1 オーダー規模の大きい大船南岩流の実績総噴出量（ $9.2 \times 10^8 \text{m}^3$ ）と設定する。

(1) 想定火口位置（先行検討対象 大船山・硫黄山）

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いる。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、大船山の米窪火口を想定する。流出方向は、米窪火口の地形的な条件（火口縁の中で低い箇所）を考慮し、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 4.76）。

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平面図と鳥瞰図をそれぞれ、図 4.77及び図 4.78に示す。

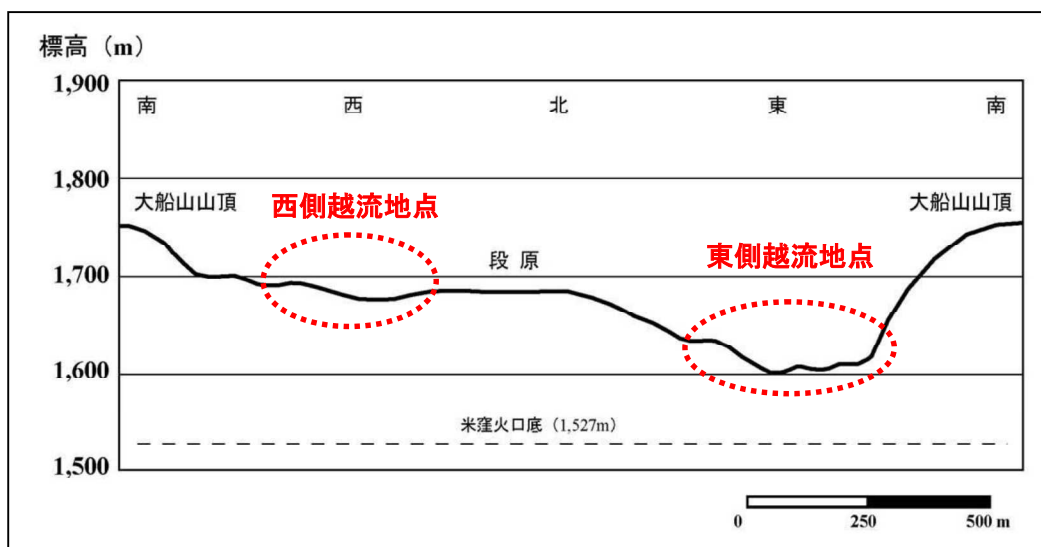


図 4.76 米窪火口の火口縁における地形形状（縦横比は 2:1）

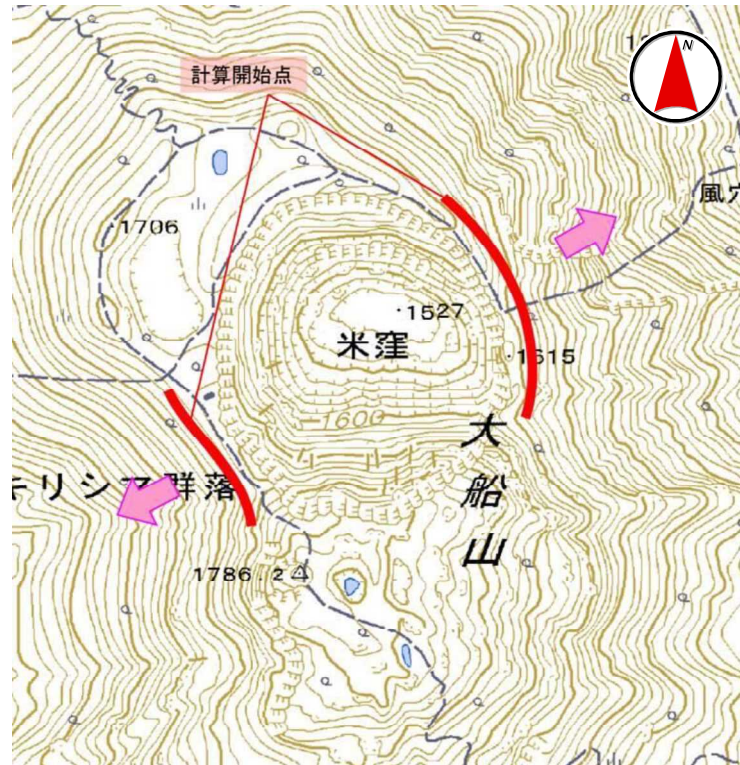


図 4.77 米窪火口周辺の平面図

(赤線：計算開始点、赤矢印：溶岩流の想定流下方向)

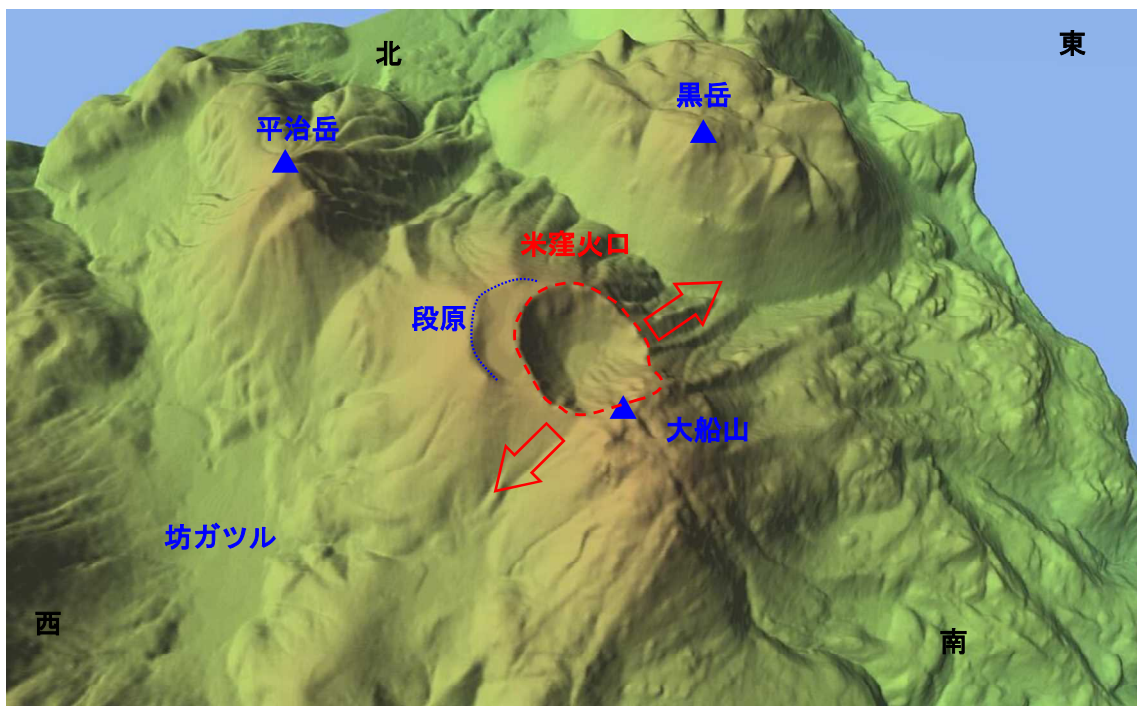


図 4.78 米窪火口周辺の鳥瞰図（縦横比は 2:1；カシミール 3D を使用して作成）

(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）

これまで、気象庁が九重山の噴火警戒レベルの改定にあわせて明確にした、想定火口位置（半径 500m）の範囲を参考に検討されてきたが、その後、「火山防災対策を検討するための九重山の噴火シナリオ」の見直しが行われ、想定火口については、1995 年噴火前後に噴火・噴気活動があった A、B、C、D 領域（図 4.79）を囲む半径 500m の領域として、明確化された。

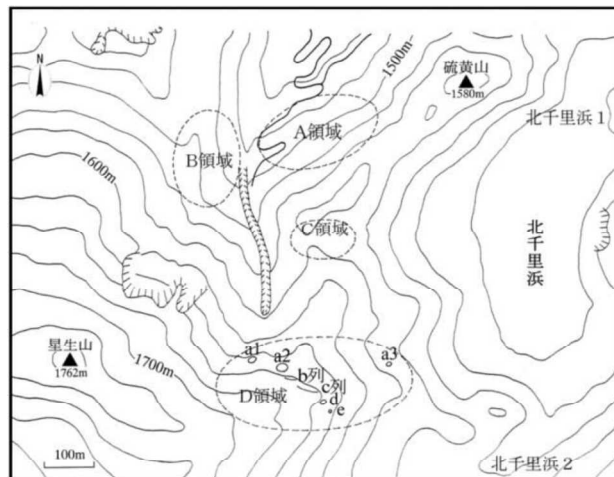


図 4.79 1995 年噴火前後に噴火・噴気活動があった A、B、C、D 領域
（九重山、日本活火山総覧（気象庁））

令和 3 年 2 月 15 日には、九重山の噴火警戒レベルの改定が実施されたが、それに合わせて更新された九重山の噴火警戒レベルリーフレット（気象庁：R3.2）においても、この範囲が想定火口範囲として変更されている（図 4.80）。なお、この範囲は、現状の立ち入り禁止区域と概ね合致している。

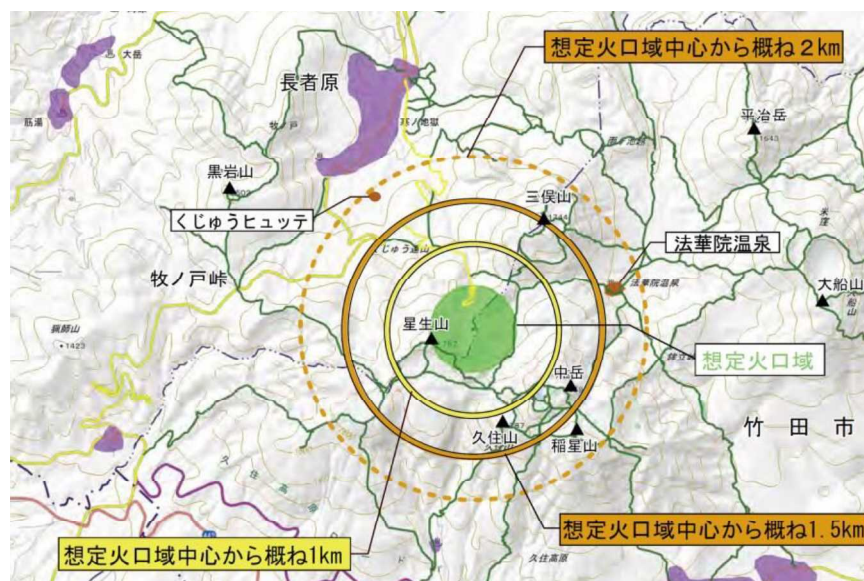


図 4.80 1995 年噴火前後に噴火・噴気活動があった A、B、C、D 領域

ここでは、これまでの検討経緯を踏まえ、気象庁が九重山の噴火警戒レベルの改定にあわせて明確にした、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、その中心点とした（図 4.81）。

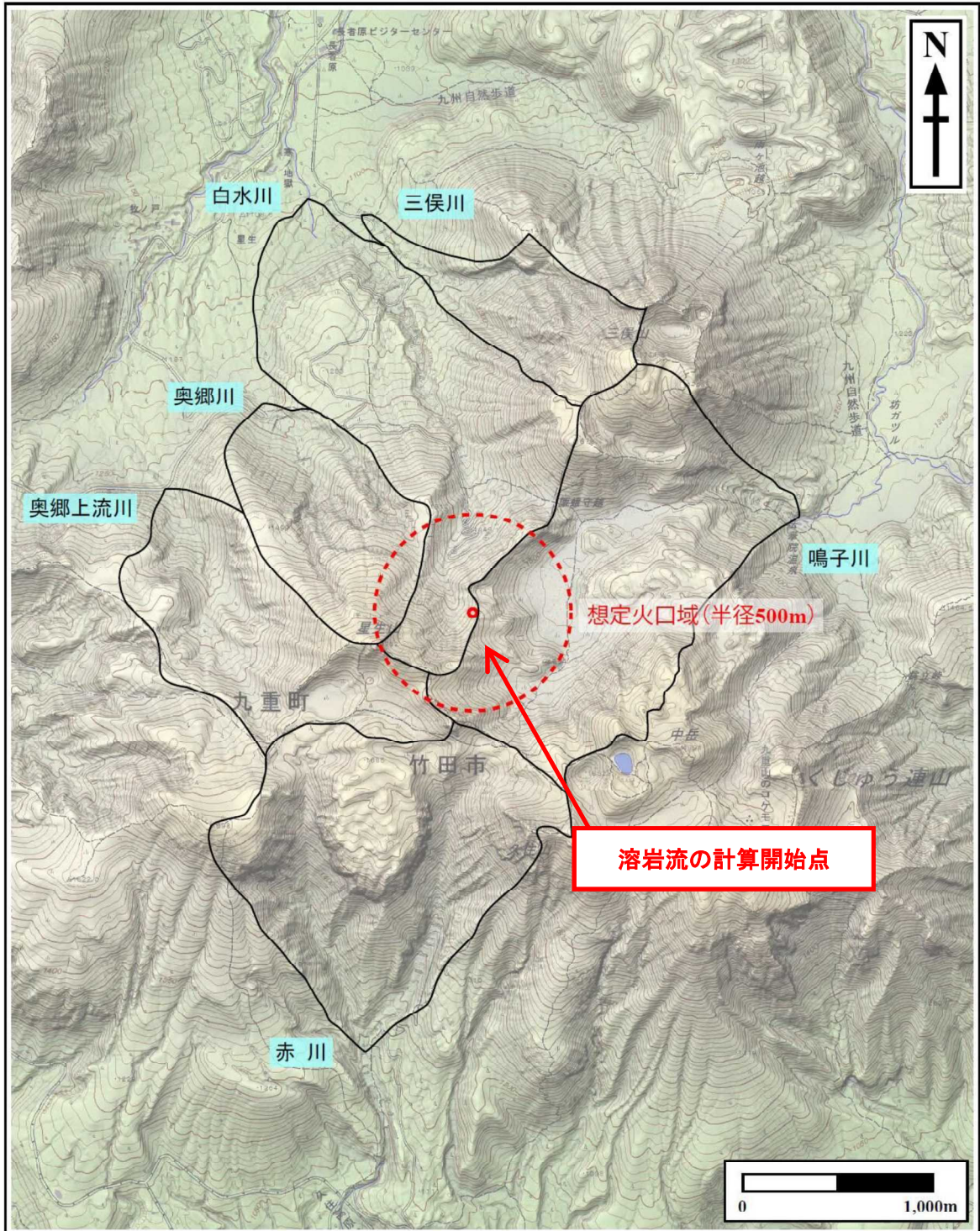


図 4.81 溶岩流の想定火口（計算開始点）

(2) 想定規模

① 九重山系全体

対象とする溶岩流は、大船山における大船南岩流の実績総噴出量 ($9.2 \times 10^8 \text{m}^3$) とする。

② 硫黄山

対象とする溶岩流は、防災マップで想定されている「段原溶岩流の噴出量 ($4.0 \times 10^7 \text{m}^3$) の1/3」である「 $1.33 \times 10^7 \text{m}^3$ (1330万 m^3)」とする。平成14年度に作成した火山防災マップ検討において、VEI=3規模の溶岩流として、2,000年前の米窪火山噴火と類似した段原溶岩全量 ($4.0 \times 10^7 \text{m}^3$) が数回 (3回) 程度で噴出するものとし、 $1.33 \times 10^7 \text{m}^3$ ($=4.0 \times 10^7 \text{m}^3 / 3$ 回) を想定規模として設定している。

(3) 想定ハイドログラフ

溶岩流の噴出継続時間については、溶岩流が一定時間・一定量に定常的に供給されると仮定する。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、溶岩の総噴出量を噴出レート（250m³/s）で除して得られる値を噴出時間とする（大船山： $9.2 \times 10^8 \text{m}^3 / 250 \text{m}^3/\text{s} = 43$ 日間、硫黄山： $1.33 \times 10^7 \text{m}^3 / 250 \text{m}^3/\text{s} = 14.8$ 時間）。

表 4.33 に溶岩流の噴出期間、図 4.82 に想定ハイドログラフを示す。

表 4.33 溶岩流の噴出期間（上：九重山系全体、下：硫黄山）

噴出量 (m ³)	噴出率		噴出期間 (日)
	m ³ /sec	m ³ /hour	
920,000,000	250	21,600,000	43

噴出量 (m ³)	噴出率		噴出期間 (hour)
	m ³ /sec	m ³ /hour	
13,300,000	250	900,000	14.8

コラム：噴出率による変化

火山からの噴出量の総量が同じでも、噴出率が違えば溶岩流や火砕流など、発生する現象が変化する。

噴出率250m³/secは、桜島の大正噴火における溶岩流に基づくものである。

火砕流の実績として、近年の代表的な事例である雲仙普賢岳では、91/5/24～7/14の噴出率の平均値が、約 $3.4 \times 10^5 \text{m}^3/\text{day}$ との報告がある（宝田ら 1993）。これは単位換算すると、噴出率約4.0m³/secとなり、溶岩流（250m³/sec）の60分の1以下の噴出率である。

（出典：雲仙岳 1991-92 年噴火の噴出物量と 6 月 3 日、8 日の火砕流の発生機構/宝田ら/地質調査所月報、第 44 巻 第 1 号、p.11-24, 1993）

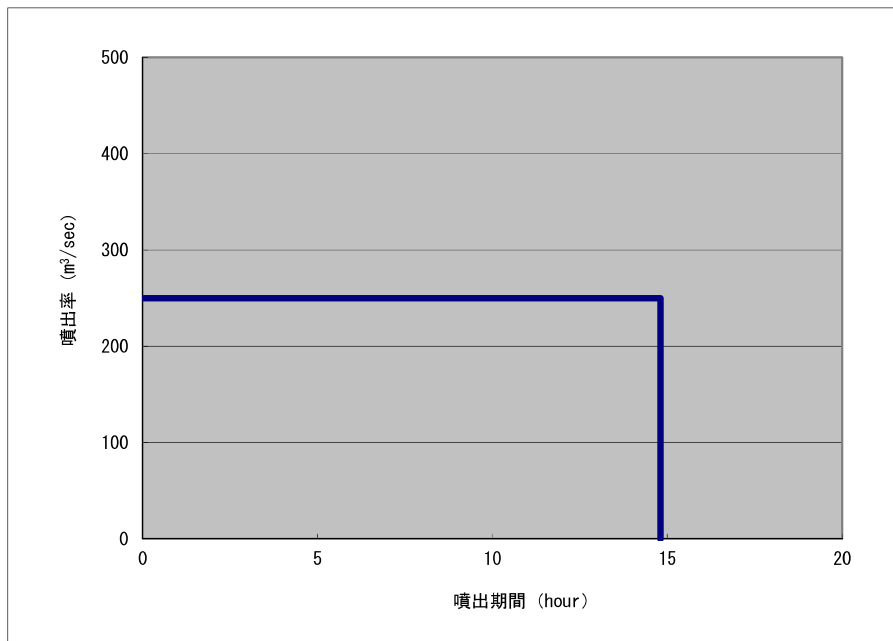
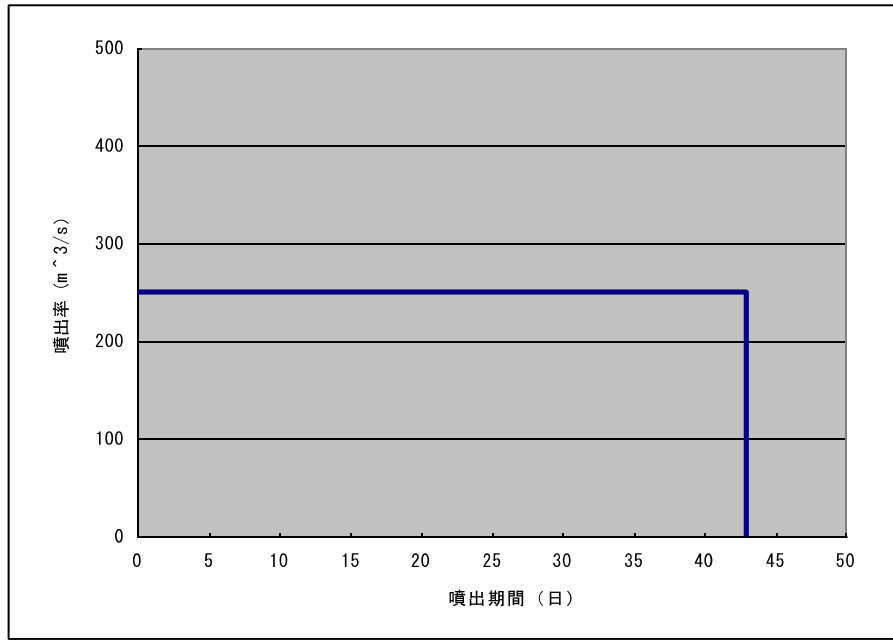


図 4.82 想定ハイドログラフ (上 : 九重山系全体、下 : 硫黄山)

(4) 地形データ

計算には、大船山は国土地理院発行の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。

硫黄山周辺では表 4.34 に示す林野庁が平成 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。それぞれの使用範囲は、図 4.83 に示す通りである。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。

表 4.34 使用した測量成果一覧表

助言番号	計画機関名称	担当部署	測量目的	測量地域 都道府県	測量地域 市区町村	測量期間	測量種別	等級・縮尺	作業員	作業機関名称
平25九公第 208号	九州地方整備局佐伯 河川国道事務所	調査第一課	砂防計画	大分県	臼杵市,佐伯市,竹田 市,津久見市,豊後大野 市	2013/5/28 2014/3/31	航空レーザ測量	1000 1000	270 kmf 462 kmf	アジア航測株式会社 国際航業株式会社
平28九公第 142号	林野庁	森林整備部治山課施 設実行班	治山計画	大分県	九重町,玖珠町	2016/9/15 2016/11/30	航空レーザ測量	500	273.4 kmf	アジア航測株式会社
平28九公第 48号	林野庁	森林整備部治山課施 設実行班	治山計画	熊本県,大分県	阿蘇市,益城町,菊池 市,御船町,甲佐町,高 森町,山都町,産山村, 西原村,大津町,南阿 蘇村,美里町,別府市, 由布市	2016/6/4 2016/8/31	航空レーザ測量	500	1824 kmf	アジア航測株式会社 株式会社/スコ 国際航業株式会社 中日本航空株式会社 朝日航空株式会社

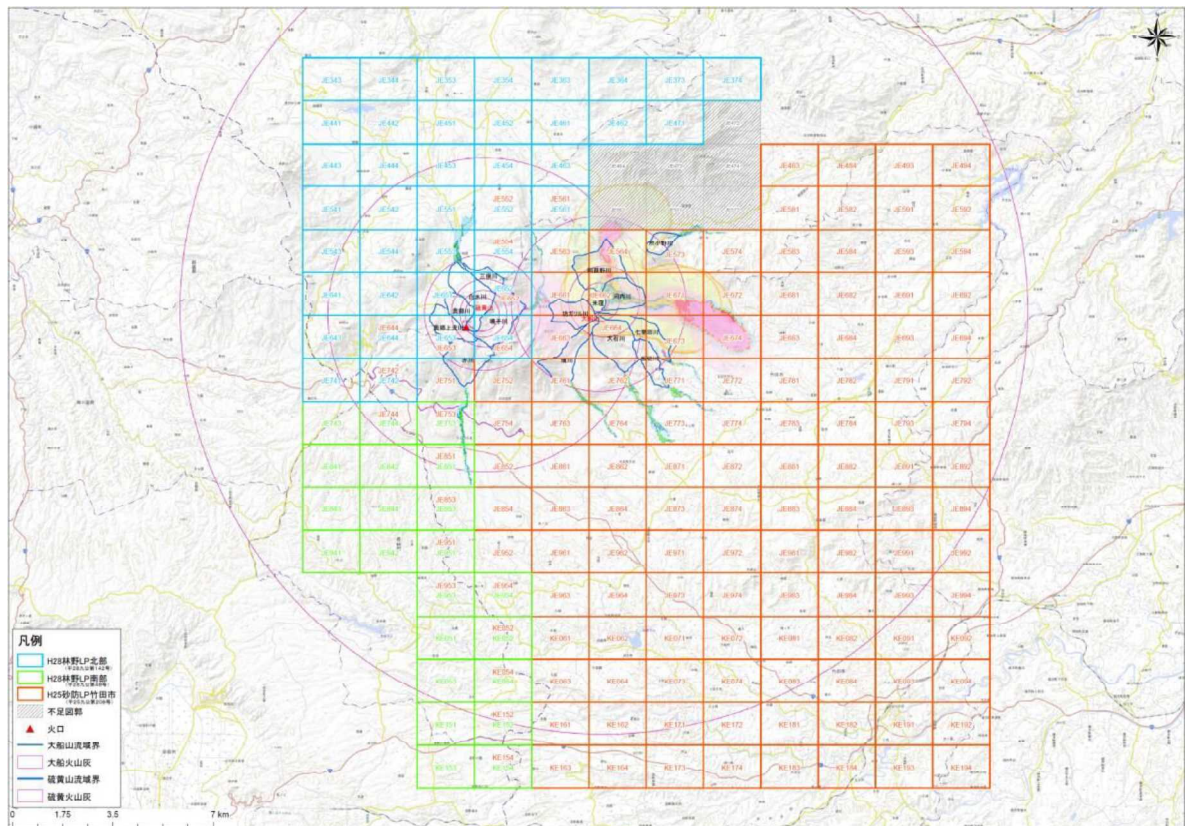


図 4.83 測量成果利用範囲図

(5) 計算定数

噴出温度は、溶岩流の流下時間内の粘性係数や降伏せん断応力を支配する重要なパラメータの1つである。本計算では、「くじゅう山系火山防災マップ（平成16年3月）」作成時同様に一般的な安山岩の溶岩流を想定し、溶岩流の温度を950℃、温度-粘性係数及び温度-降伏応力係数も一般的な安山岩の値、溶岩流の噴出率を250m³/sとした。

その他の定数についても、溶岩の噴出実績等を参考に設定されている「くじゅう山系火山防災マップ（平成16年3月）」作成時同様の数値を使用した。

これらの計算定数の一覧表を、表 4.35に示す。

表 4.35 溶岩流の計算条件一覧表

項目	単位	数値
噴出レート	m ³ /s	250
溶岩流噴出温度	°C	950
溶岩密度	g/cm ³	2.5
放射率	—	0.9
比熱	J/kg/K	0.86
重力加速度	m/s	9.8
Stefan-Boltzmann定数	J/m ² //K ⁴ /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 $\log_{10} \tau_y = -5.79+10.769(1/T)$

(6) シミュレーション結果の妥当性検証

今回の溶岩流シミュレーション結果の妥当性について、溶岩流の到達距離と溶岩流末端での層厚の関係から、過去の噴出物の形状と比較し検証した。

なお、想定した溶岩流は VEI=4 規模であるため、それと同等規模の溶岩を抽出した。

結果を表 4.36 及び図 4.84 に示す。これらに示すように、相関性はほぼ保たれており、到達地点も現況位置とほぼ同位置となっているため、妥当と判断した。

表 4.36 シミュレーション結果と実績の溶岩流の比較

溶岩名		噴出量 (m^3)	火口(縁) からの 到達距離 (km)	末端での 層厚 (m)
計算結果	計算結果(東北側)	9.2×10^8	3.3	378
	計算結果(東南側)		5.8	410
	計算結果(北西側)	9.2×10^8	5.2	280
	計算結果(南西側)		4.8	442
実績	大船南溶岩(南東側)	9.2×10^8	4.5	289
	大船南溶岩(南西側)		4.5	277
	岳麓寺溶岩	6.2×10^8	4.1	196
	平治岳溶岩	1.5×10^8	1.3	257
	湯沢山溶岩	8.4×10^8	3.1	159
	岩井川岳溶岩	1.9×10^8	1.6	335

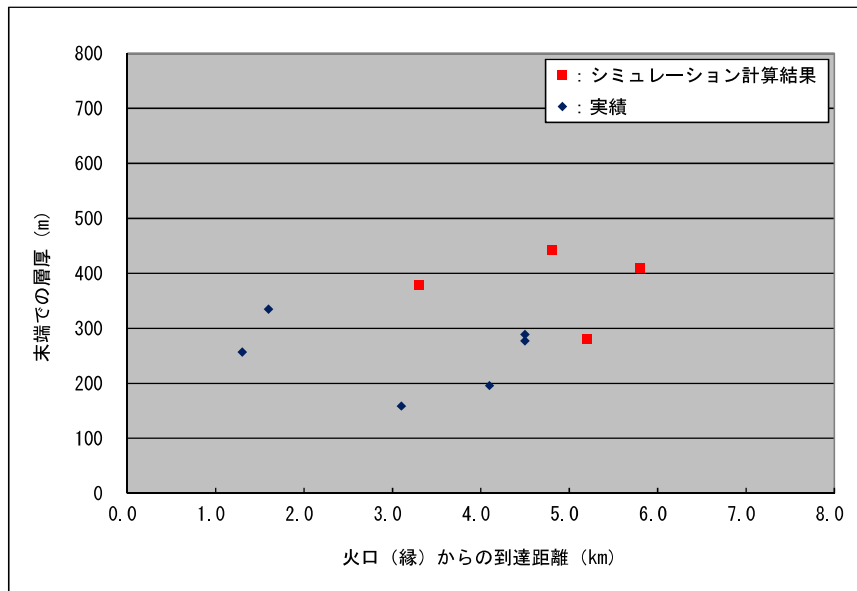


図 4.84 シミュレーション結果と実績の溶岩流形状との相関性

(7) 影響範囲と被害状況の把握（大船山）

溶岩流による影響範囲と被害状況を、図 4.85 及び図 4.86 に示し、概要を以下に示す。東側及び西側の 2 方向とも、流下後に地形的障害に突き当たり、北側と南側に分岐して流下している。

① 東側

火口から東側へ流下した溶岩流は、黒岳との鞍部である風穴付近で、北上する流れと南下する流れの 2 方向へ分岐する。北側へは、阿蘇野川沿いに流下し、一般県道 621 号に到達する手前の男池手前約 300m 付近まで到達する。

南側へは、河内川沿いに流下し、広域農道（通称、奥豊後グリーンロード）を横断し、^{ゆこうじ}柚柑子集落へわずかに到達している。その他、登山道及び林道等に影響を与えている。

② 西側

火口から西側へ流下した溶岩流は、立中山との鞍部である鉢窪で、北上する流れと南下する流れの 2 方向へ分岐する。北側へは、坊ガツル川沿いに流下し、鳴子川と合流するあたりとなる坊ガツル湿原・坊ガツルキャンプ場に影響を与え、標高 1,000m 付近にまで流下している。

南側へは、鉢窪から佐渡窪、鍋割坂を越えて境川流域に流入し、境川に沿って流下し、一般県道 669 号を越え、ガンジーファーム（観光牧場）、レゾネイトクラブくじゅう（宿泊施設）に影響を与え、標高 800m 付近にまで流下している。その他、登山道及び林道等に影響を与えている。

また、これらの影響範囲と被害状況をとりまとめたものを、図 4.87 に示す。

25m × 25mメッシュデジタルマッピング使用
(国土地理院50m数値地図より作成)

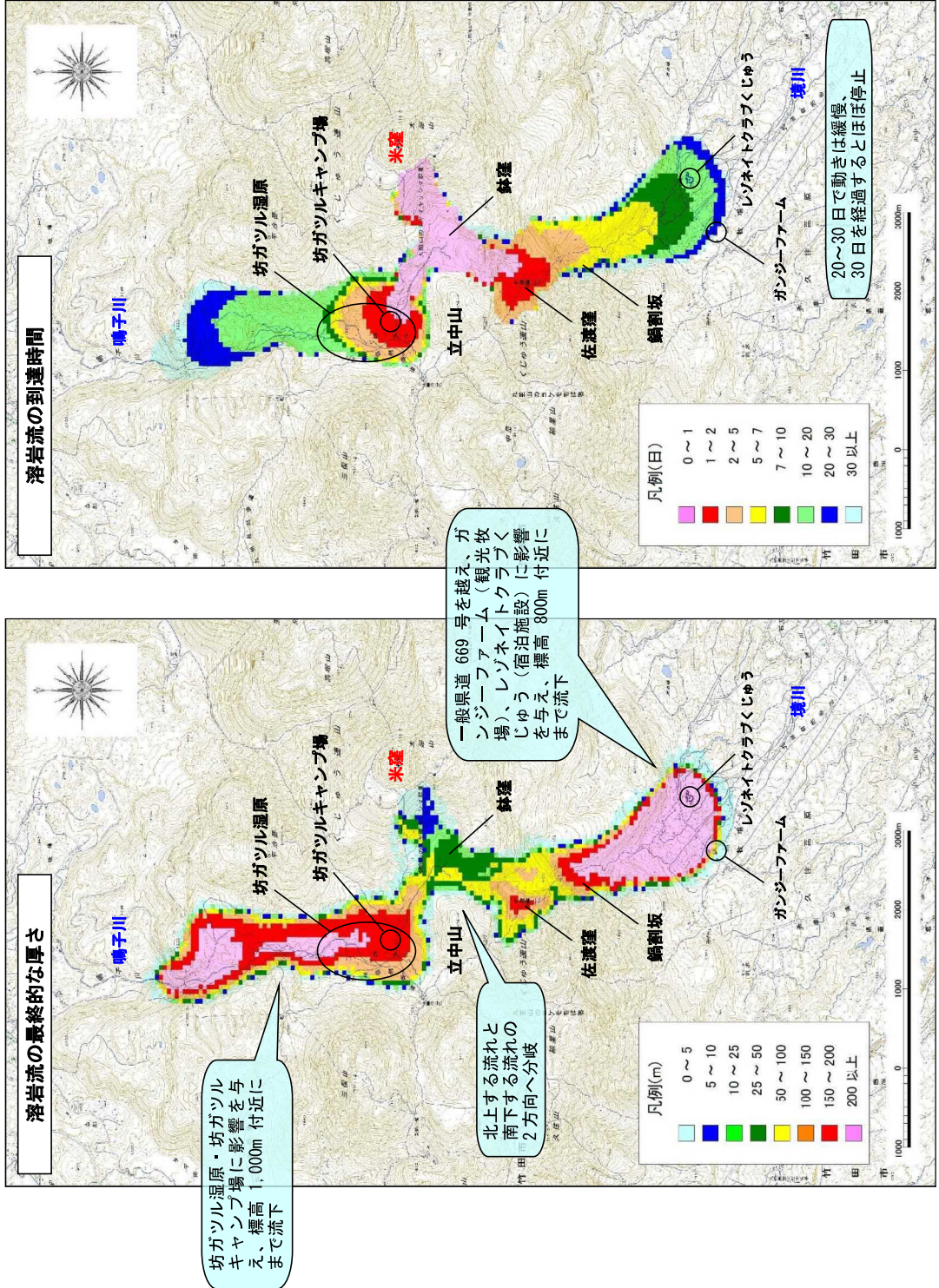
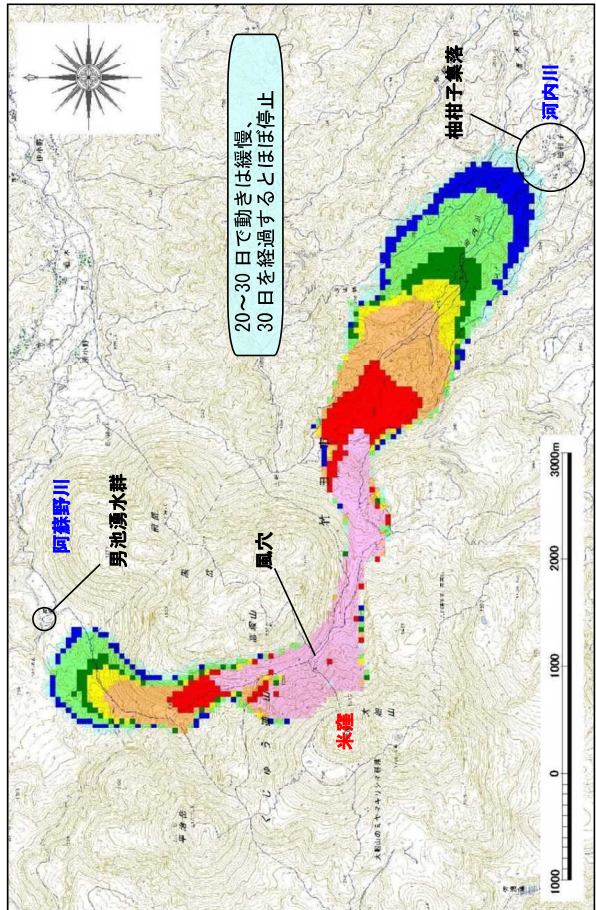


図 4.85 溶岩流シミュレーション計算結果 (米窪西側、左: 最終堆積深、右: 到達時間)

25m×25mメッシュデジタルマップ使用
(国土地理院50m数値地図より作成)

溶岩流の到達時間



溶岩流の最終的な厚さ

一般県道 621 号手前の
男池手前約 300m 付近
まで到達

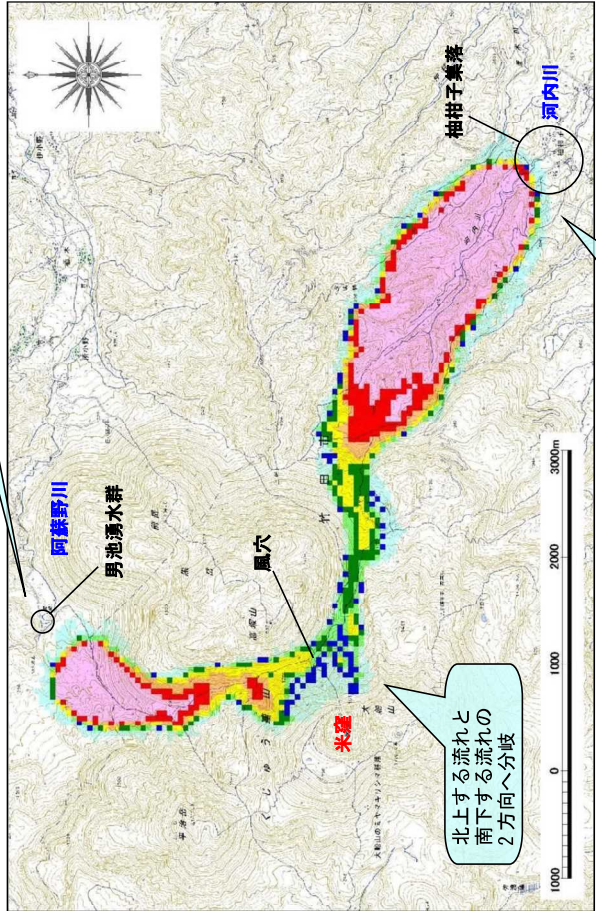


図 4.86 溶岩流シミュレーション計算結果 (米窪東側、左:最終堆積深、右:到達時間)

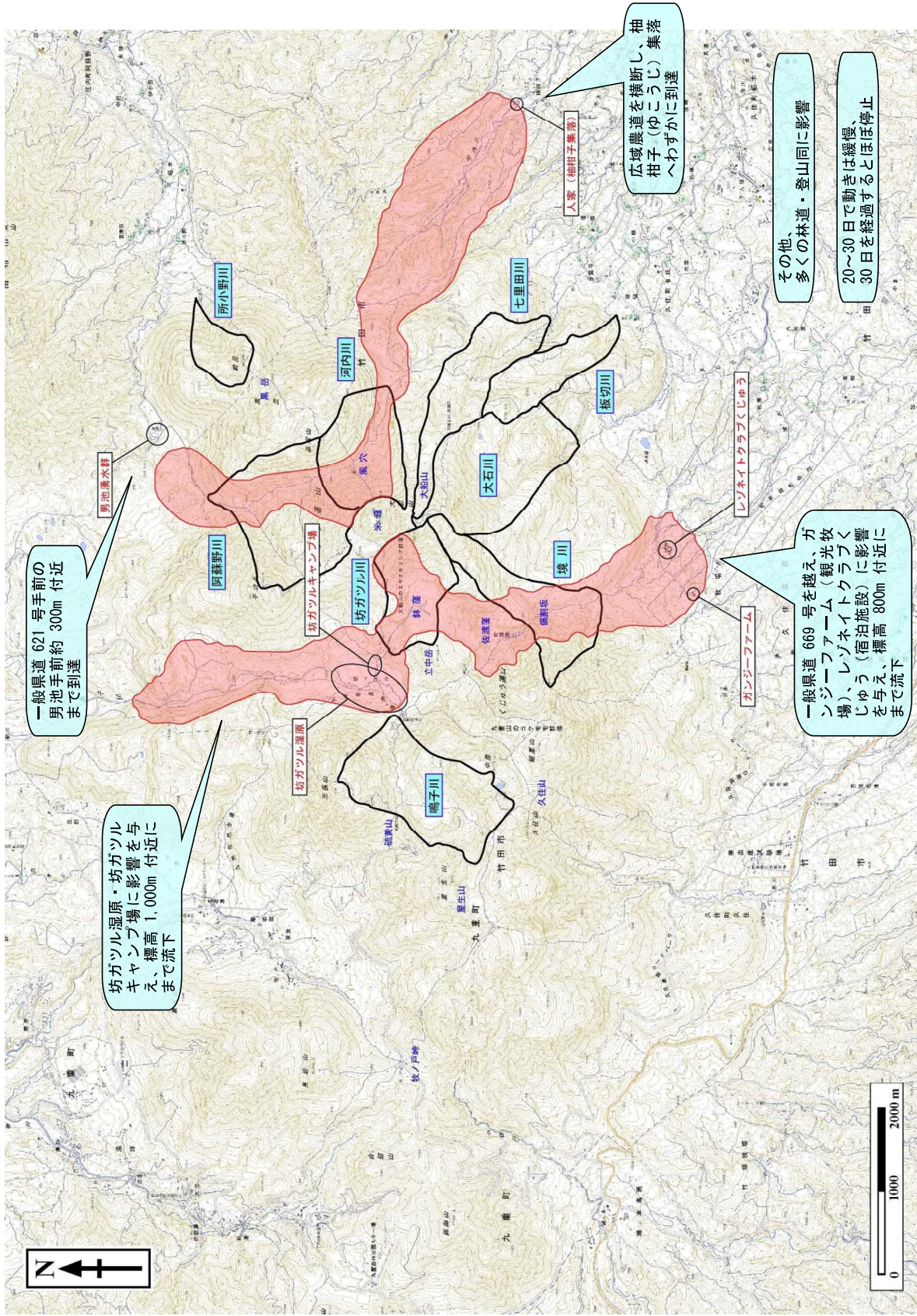


図 4.87 溶岩流による保全対象への想定被害状況 [ケース T-1: (VEI=4; マグマ噴火で最大規模のケース; 9.2 億 m³)]

(8) 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 4.88 に示す。なお、参考までに流入点を西に 2 メッシュずらした場合は、ほぼ全量が白水川に流下する（図 4.89）。