

4 ハザードマップの作成手法

富士山ハザードマップを作成するために、ハザードとなる現象ごとに影響範囲を想定した。火口範囲は火口が形成される可能性がある範囲を、実績から噴火規模ごとに想定した。溶岩流、火砕流、融雪型火山泥流については現象の規模・噴出率、その他の物理定数などを設定し、物理モデルに基づく数値シミュレーションを実施し、影響範囲を想定した。なお、これらの諸条件は、過去の実績などから設定したものであり、設定条件が変わればそれに応じて結果も変わる可能性がある。

4.1 想定火口範囲

富士山の火口は広い範囲に分布し(図 2.2-1)、次に起こる噴火でどこに火口が生じるかは分からないため、これまでに噴火した火口(実績火口)とその関係性や地質調査の状況にもとづき、火口が今後生じる可能性が高い範囲を「想定火口範囲」として設定する。想定火口範囲は、実績火口(1)とそれから求められる想定火口線(2)、実績火口の火口間距離の検討にもとづく想定火口範囲(3)、山頂付近の伏在火口を考慮した想定火口範囲(4)をもとに設定した。以下、これらの設定方法について解説する。

(1) 実績火口

「3.1 対象とすべき噴火年代区分」を元に、最近約5,600年間の噴火で生じた火口を実績火口とする。富士山の最近約5,600年間の火口は、山頂を中心とする半径13kmの広い範囲に分布し(図 2.2-1)、特に山頂を通る北西—南東および北東—南西方向に集中する傾向がある。

また、これらの火口のほとんどは、割れ目火口を形成しており、長いもので総延長5kmを超えるものもある。

(2) 実績火口と山頂を結ぶ想定火口線

山頂火口以外の実績火口は、概ね山腹から山麓にかけて断続的に火口が連なる割れ目火口である(図 2.2-1)。これらの割れ目火口の下には火道(岩脈)が存在し、火道(岩脈)は、マグマ溜まりから山頂に続く中心火道から分岐して伸びてきていると考えられている。

そのため、山頂から各火口の中心までを結んだ線を潜在的な割れ目火口として取り扱い、「想定火口線」として示した。(図 4.1-1)

(3) 火口間距離の検討にもとづく想定火口範囲の設定

前述のように富士山の火口は、山頂を通る北西—南東および北東—南西方向に集中する傾向があり、将来の噴火も集中域とその周辺のどこかで起きる可能性が高いと考えられる。そこで、この集中域をある程度の距離をもって包絡し、

今後起きる噴火の想定火口範囲を求めることとした。

この包絡線を客観的な基準をもって引くため、まず約 5,600 年前以降の実績火口間の距離を検討したところ、その最短距離は概ね 1 km 以内であることがわかった(図 4.1-2 及び図 4.1-3)。そこで今後の火口も既存の火口から 1 km 以内に生じる可能性が高いと考え、実績火口中心ならびに想定火口線の周囲 1 km を包絡線として囲み、その内側を「火口間距離の検討にもとづく想定火口範囲」とした。

(4) 山頂付近の伏在火口を考慮した想定火口範囲の設定

山頂周辺は、降下火砕物が厚く堆積しているため未知の火口が埋まっている可能性がある(伏在火口)。この可能性を考慮し、山頂から半径 4 km 以内の全域を、中規模噴火及び小規模噴火の「山頂付近の伏在火口を考慮した想定火口範囲」とした(図 4.1-4)。

例えば、中規模噴火の産物で火口が特定されていない鷹丸尾溶岩流も、この半径 4 km 内から噴出したことが確実である。なお、大規模噴火の火口は全て特定されており、半径 4 km を想定火口範囲には追加しない。

(5) 新たに想定した「想定火口範囲」

(3)「火口間距離の検討にもとづく想定火口範囲」に(4)で設定した「山頂付近の伏在火口を考慮した想定火口範囲」を重ね、その外周を結んだ範囲を今後噴火する可能性のある領域として設定し、「想定火口範囲」と表現した。想定火口範囲は、大・中・小の噴火規模ごとに作成した(図 4.1-5)。平成 16 年版報告書の想定火口範囲と比較すると、今回の想定では小規模で北東方向に大きく張り出し、中規模で南西方向に大きくはり出す結果となった(図 4.1-6)。

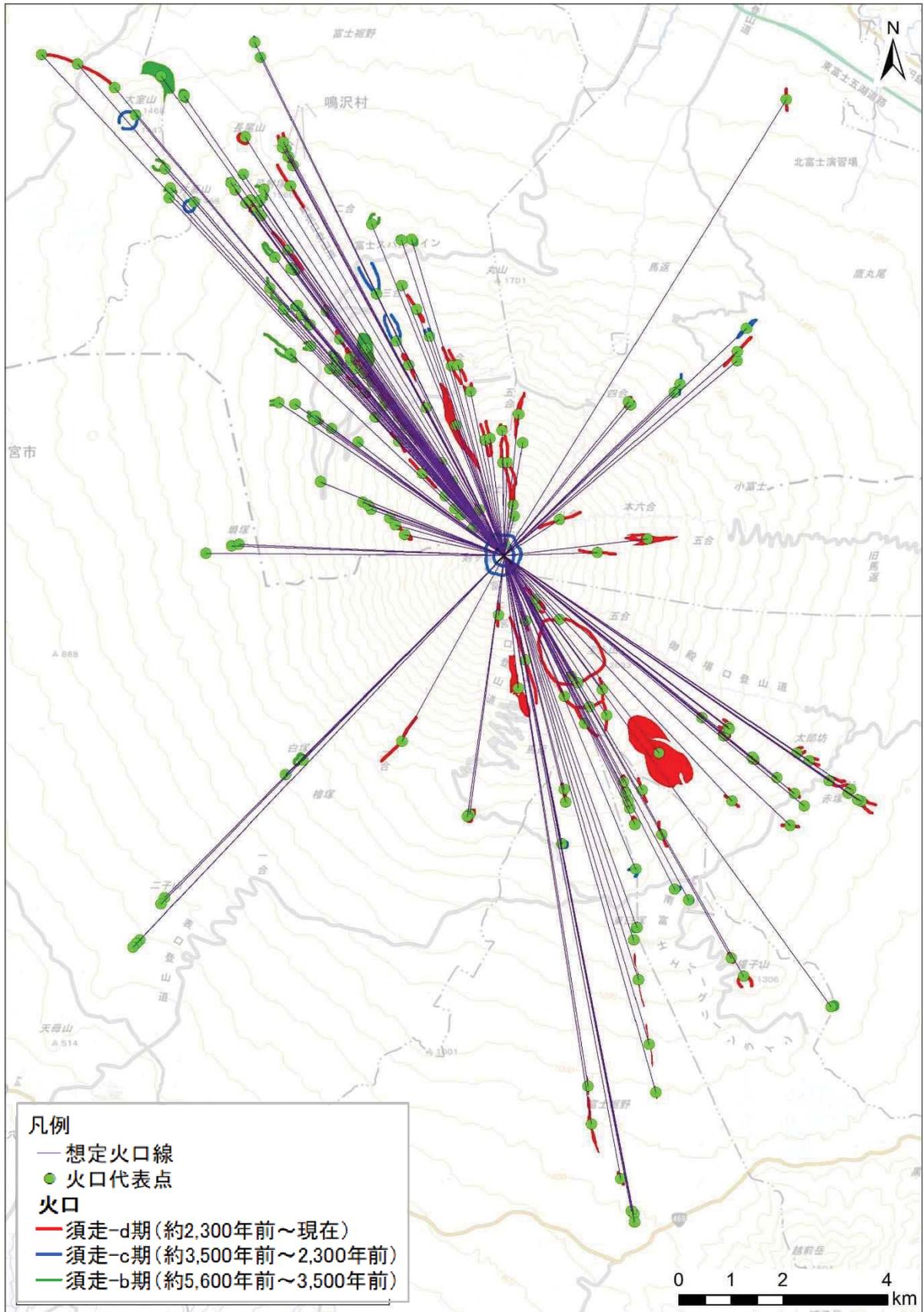


図 4.1-1 実績の火口位置および想定火口線

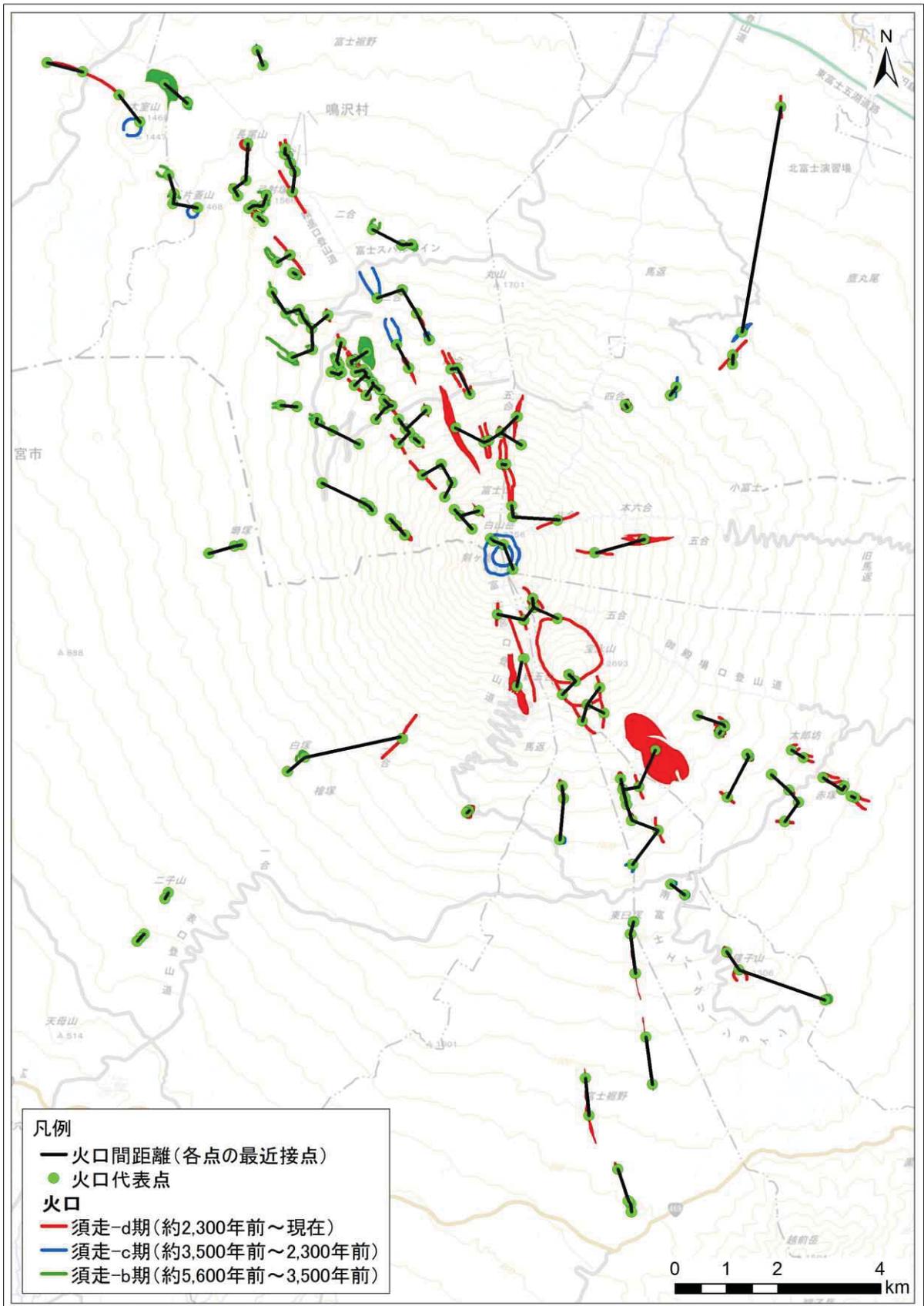


図 4.1-2 実績火口間の距離

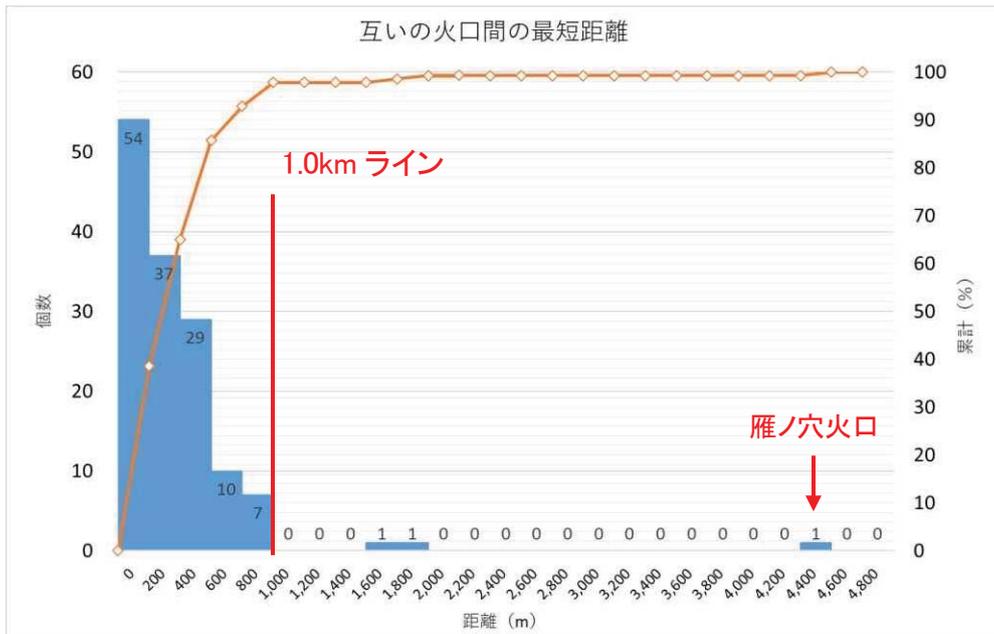


図 4.1-3 実績火口中心間の最短距離と個数

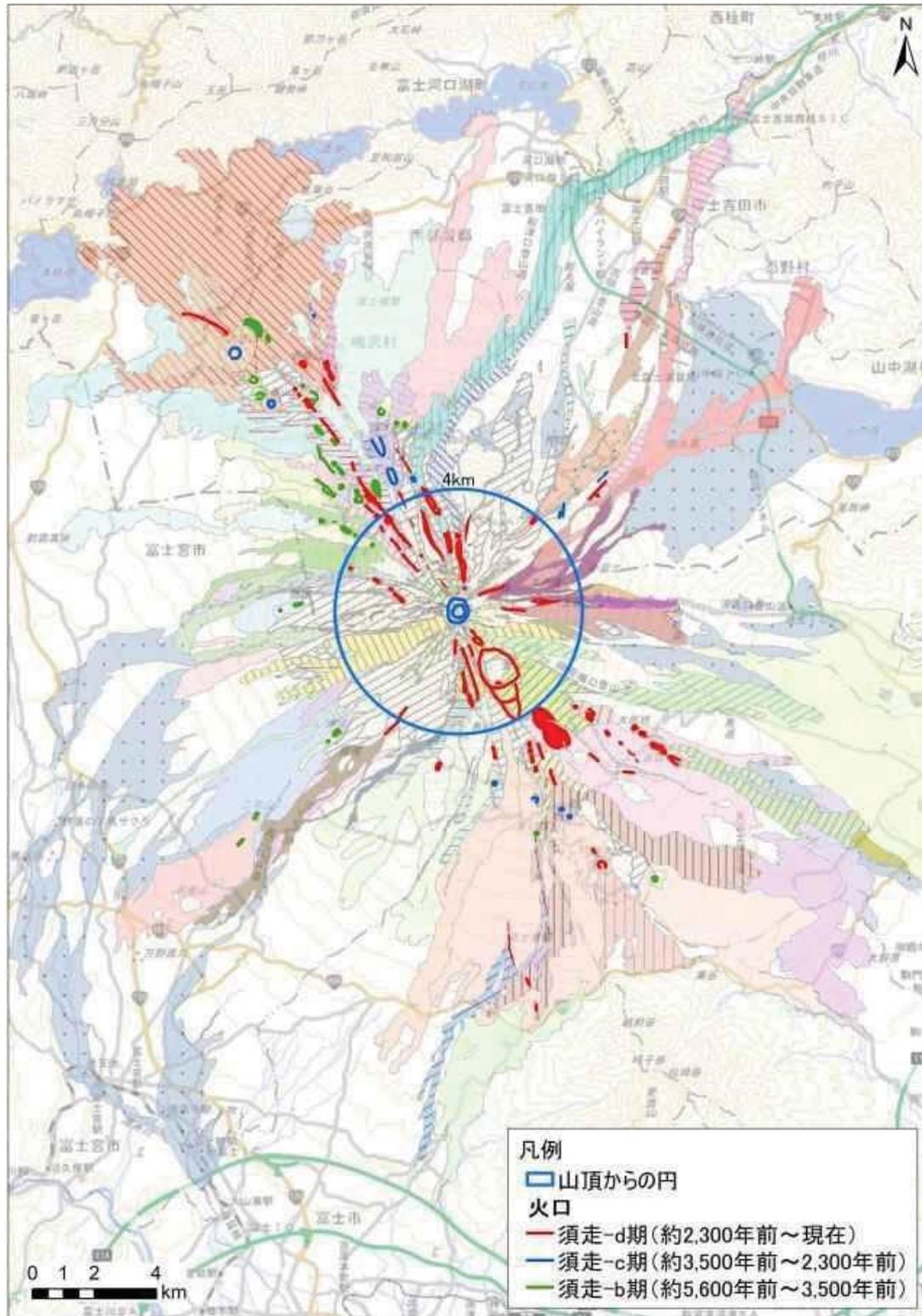


図 4.1-4 火口及び噴出物の分布、山頂から半径 4 km の円
 (背景図は、富士山火山地質図(第2版)(高田ほか, 2016)を元に作成)

(6) 想定火口範囲

(1)～(3)を基に実績火口中心、及び想定火口線から外側1kmの外周を結んだ範囲を噴火する可能性のある領域として“想定火口範囲”と表現した。想定火口範囲は大・中・小規模ごとに作成した。

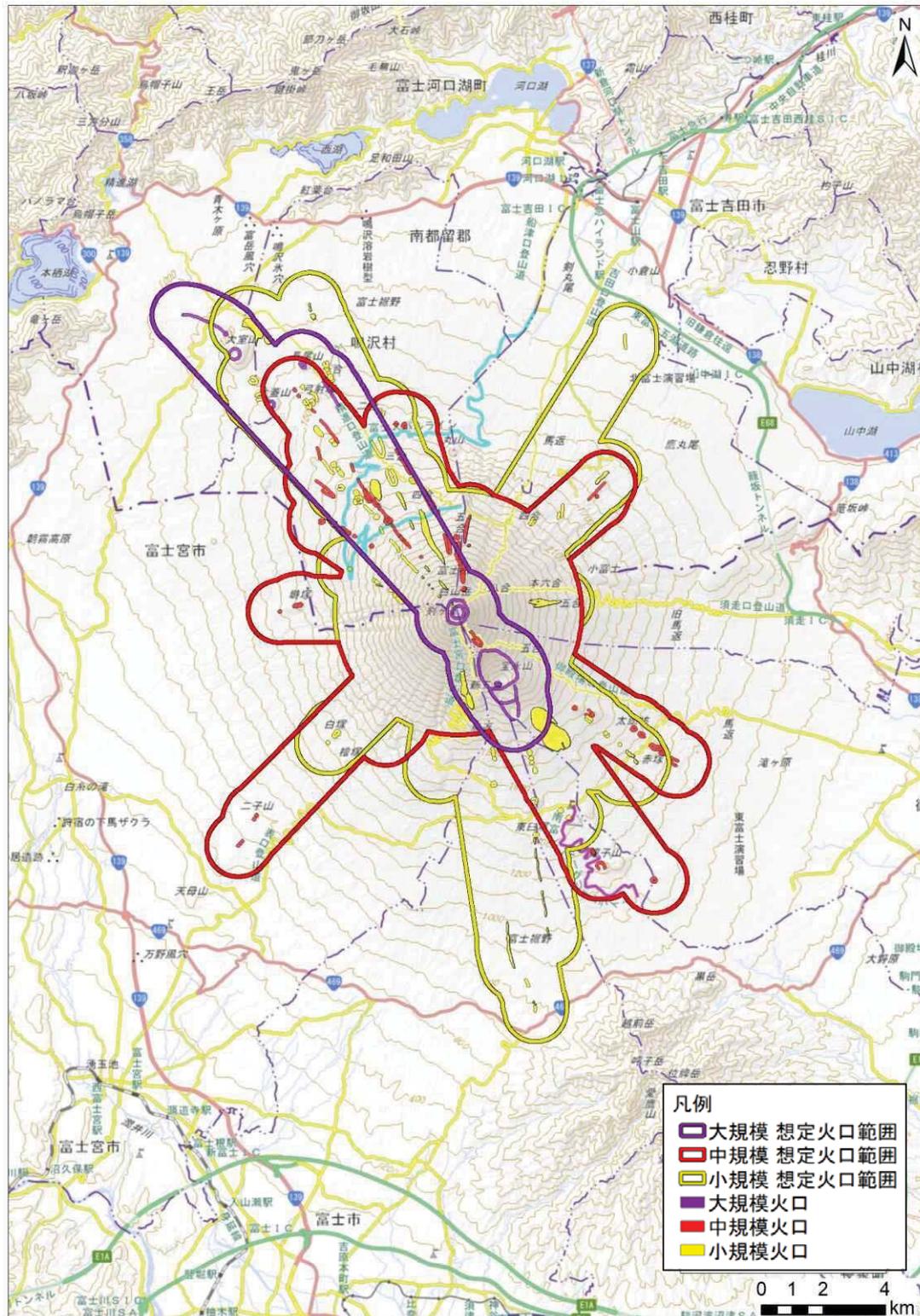


図 4.1-5 規模ごとの実績火口位置と想定火口範囲

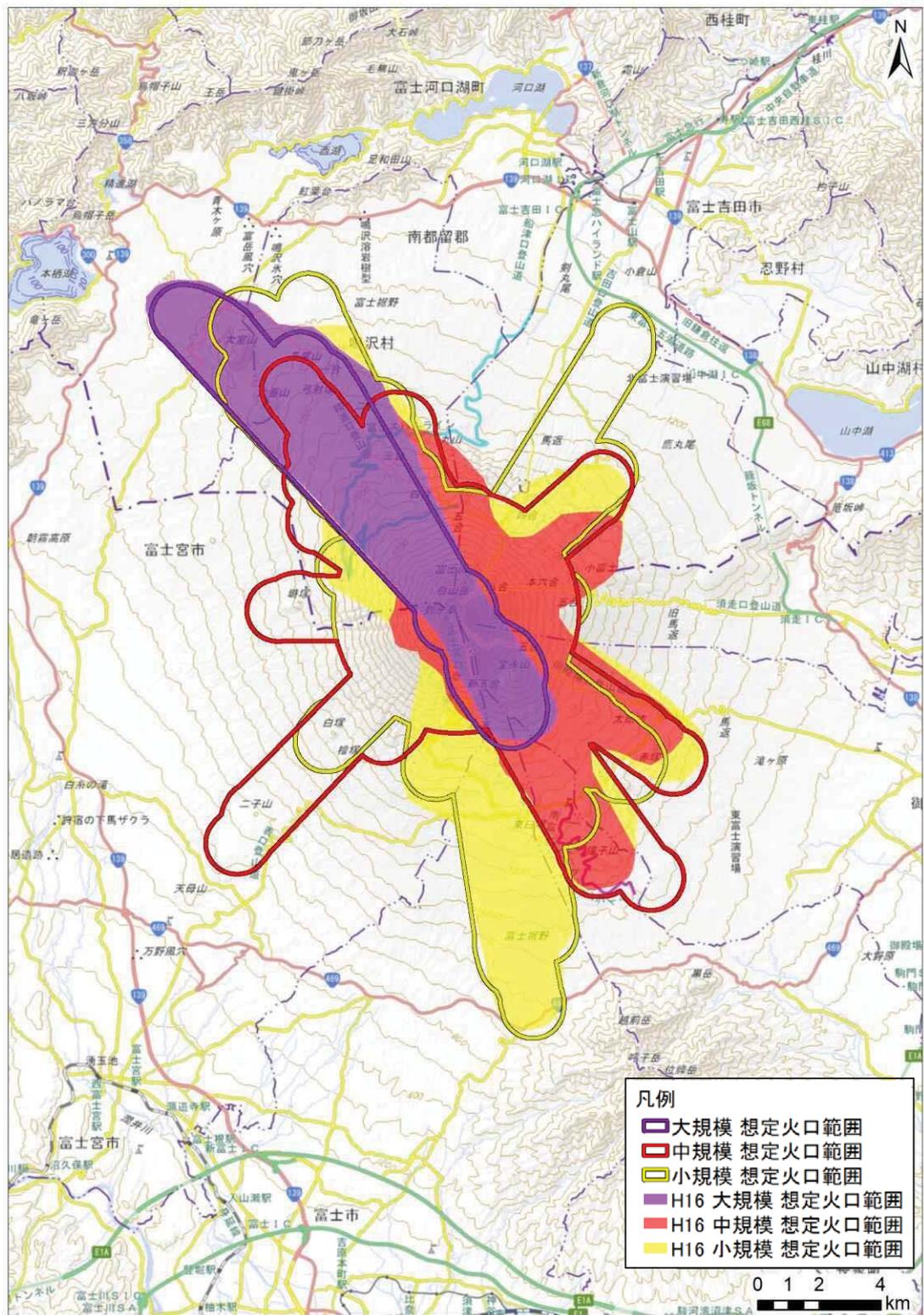


図 4.1-6 平成 16 年版報告書と想定火口範囲の比較

引用文献

高田 亮・山元 孝広・石塚 吉浩・中野 俊（2016） 富士山火山地質図（第2版），
特殊地質図 12，産総研地質調査総合センター，56P.

4.2. 溶岩流のシミュレーション

(1) シミュレーションモデル

溶岩流のシミュレーションは、2004年の富士山ハザードマップ検討時にも用いられた、流れをビンガム流体とし流下していく過程において熱放射によって粘性やせん断降伏応力が増加することで流れにくくなって停止するというモデル（山下ほか、1990）を用いた。このうち、熱放射については、石原ほか（1988）や Miyamoto and Sasaki（1998）の研究成果を適用している。

シミュレーションプログラムは（一財）砂防・地すべり技術センターにより開発され、上記モデルを採用した高速化 J-SAS 溶岩流プログラムを用いた。

(2) 想定する溶岩流規模

想定溶岩流規模は 3.1 で設定した噴火規模区分ごとに、それぞれの最大値（大規模：13 億 m^3 、中規模：2 億 m^3 、小規模 2,000 万 m^3 ）を噴出総量として設定した。

(3) パラメータの設定

数値シミュレーションを実施する上で設定するパラメータは、基本的に平成 16 年版報告書の値を踏襲したが、以下の点については新たな知見および実績に基づき修正した。

【火口直径】

平成 16 年版報告書では、数値シミュレーションに用いるメッシュは 200m であったため、火口＝溶岩流の計算開始点は 1 メッシュ＝200m×200m とし設定していた。今回メッシュ間隔を 20m に変更したことを受けて、火口直径は実績の火口直径が 12～244m であることから 100m×100m とした。これに伴い溶岩流の計算開始点は 5×5＝25 メッシュ（100×100m）とし、各規模の噴出レートを 25 メッシュ内に均等に配分し（噴出レートの 1/25 を各メッシュに与え）て計算を開始した。

【噴出レート】

貞観噴火について記載されている「日本三代実録」によると、貞観溶岩の大部分は 2 ヶ月間にわたり噴出していたことがうかがえる。（富士山の歴史噴火総覧）（小山，2007）。そこで大規模噴火の噴出レートは 13 億 m^3 / 60 日間から 300 m^3 /s と設定した。

【冷却効率パラメータ】

数値シミュレーションは前述したように熱放射により温度が低下することにより流れにくくなるモデルであり、溶岩流の放射率が到達範囲に大きな影響を与える。石原ほか（1988）では 1986 年伊豆大島の噴火を例に、放射率

を 0.9 と設定している。しかしながら流動中の溶岩流表面を低温の溶岩岩塊が被覆するが、内部の溶岩は高温で流動性が高く溶岩トンネルを形成する場合など、放射率は溶岩のマグマ組成や流下状況によっても異なると考えられる。そのため平成 16 年版報告書では、富士山の溶岩流実績（剣丸尾第 1 溶岩、檜丸尾第 1 溶岩、印野丸尾溶岩、鐘子山溶岩、大淵丸尾溶岩）を対象に再現計算を行い、放射率に掛ける係数として冷却効率パラメータを 0.024 として設定している。

今回は数値シミュレーションに用いるメッシュ間隔を 200m から 20m に変更したことを受けて、再度富士山の溶岩流実績を対象に再現計算を行った。その際、噴火前の地形を再現するために各溶岩の噴出総量を面積で除した平均厚さを参考に縦横断の地形を見ながら、地表からの剥ぎ取り（標高値を下げる）を行いなめらかな山腹斜面となるよう調整した。また凹地がある場合には、剥ぎ取りでなく埋める条件となるが、このような場合には、凹地を埋めないものとした。

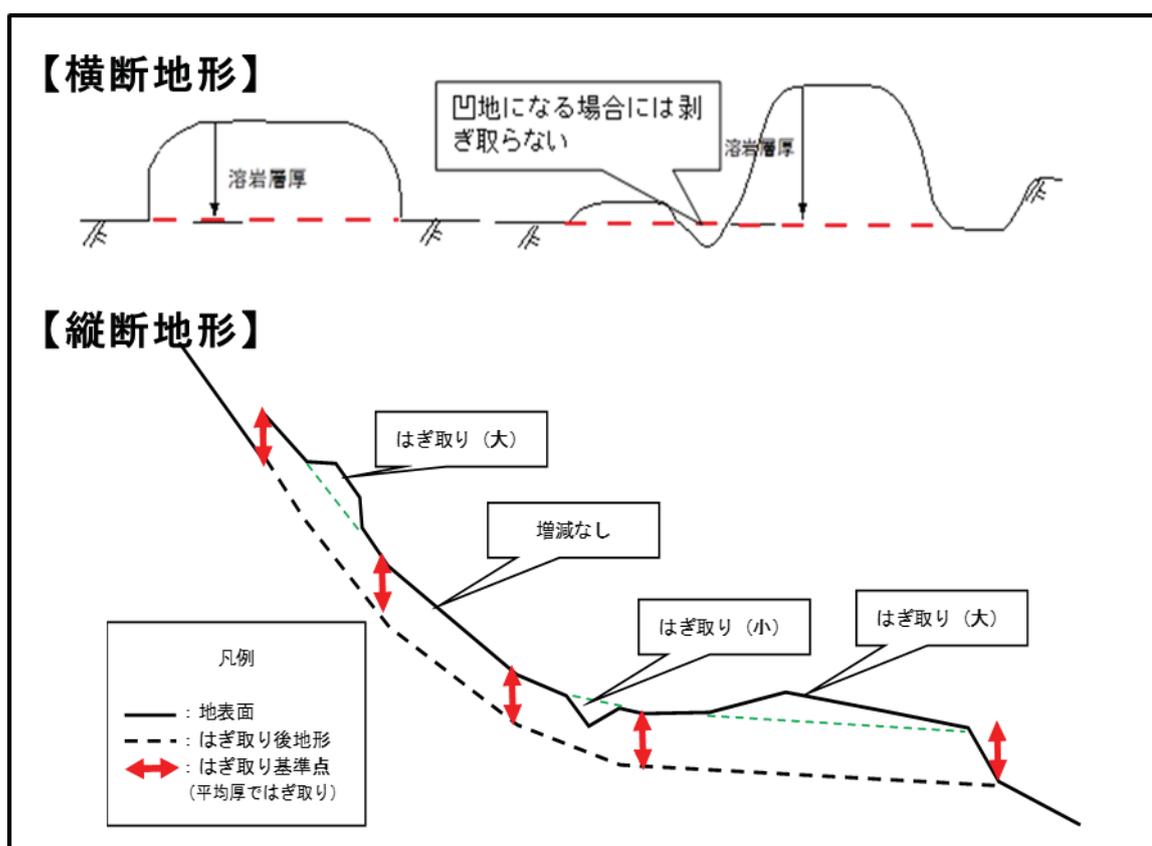


図 4.2-1 噴火前の地形を再現するための地形データの調整イメージ

その結果、冷却効率パラメータを 0.1 とした場合に、数値シミュレーションによる到達距離と実績の到達距離の差の平均が最も小さかったため、この値を採用した。

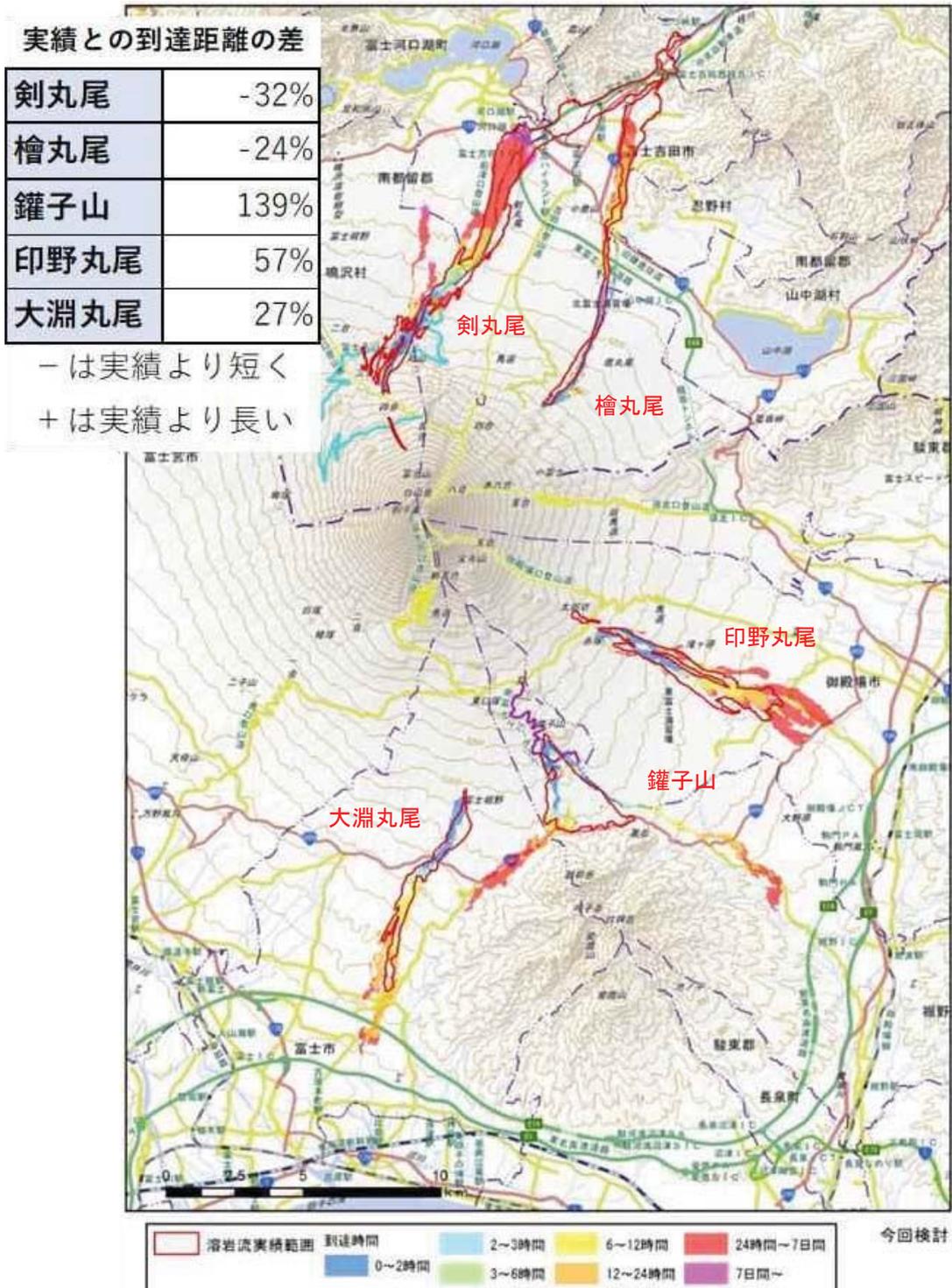


図 4.2-2 冷却効率パラメータ 0.1 の計算結果

また溶岩流に対する防災対応ではその場所に到達する時間が重要であるが、富士山の溶岩流は発生から長い年月が経っており、噴火からどれだけの時間でどこまで到達したのかについての情報は得られない。そのため本モデルに基づいた溶岩流のシミュレーションが到達範囲と流速の双方を適切に算出しているか検証するため、イタリア・エトナ火山の2001年7月から8月にかけての噴火による溶岩流実績を用いて、再現計算を行った。

その結果、エトナ火山の事例では冷却効率パラメータを0.15と設定した場合に、経過日ごとの到達距離を再現することができた。

すなわち、時間ごとの到達範囲は冷却効率パラメータを適切に設定することにより再現できたことから、富士山の過去の溶岩流についても溶岩流シミュレーションプログラムで算出した時間ごとの到達範囲が妥当であることを示しているものと考えられる。

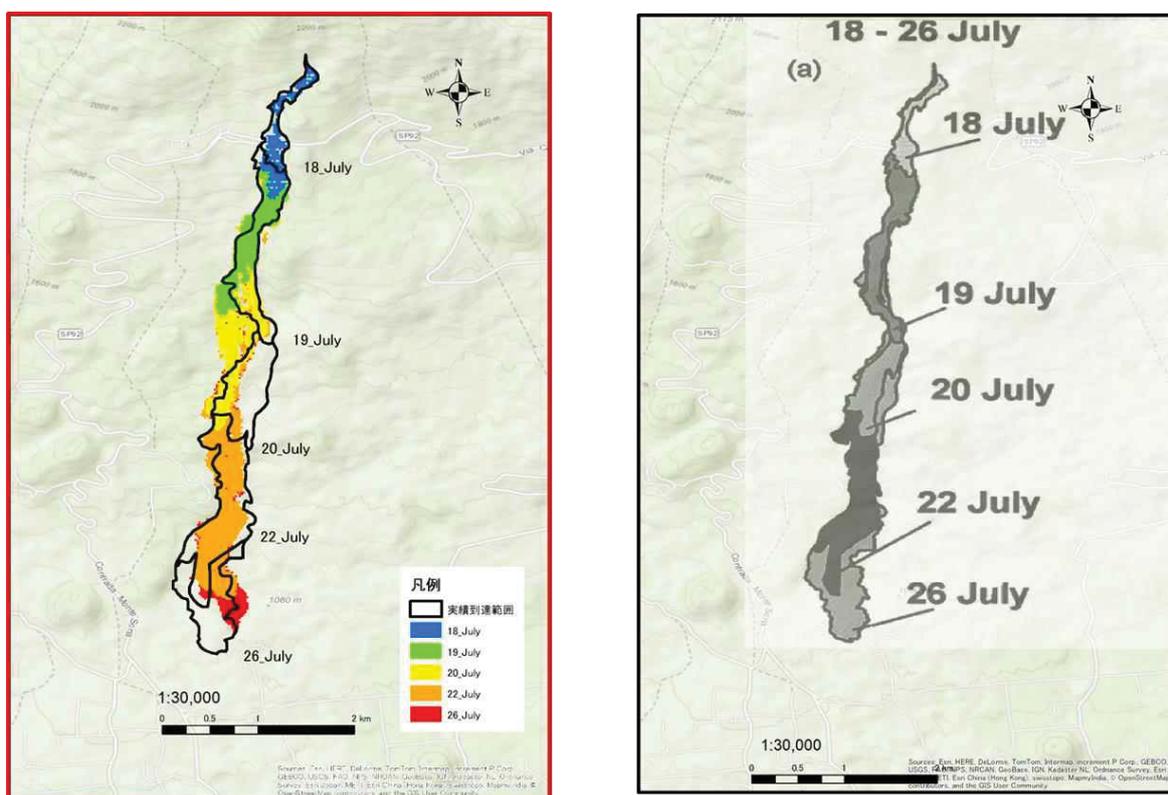


図 4.2-3 エトナ火山での再現計算結果

※左図の黒実線は右の実績 (Cristina Proietti et al., 2009) による日ごとの到達範囲、色がついた範囲はシミュレーション結果による日ごとの到達範囲

その他のパラメータについて平成 16 年版報告書の値を踏襲した。以下にパラメータ一覧を示す。

表 4.2-1 計算パラメータ一覧

パラメータ	今回の値	以前の値	変更理由	平成 16 年度版での 設定根拠
メッシュサイズ	20m	200m	詳細な地形及び大規模な構造物を再現可能	当時の計算性能に依存
火口直径	100m	200m	実績火口より設定	メッシュサイズと合わせた
溶岩温度	1,200°C		—	他火山の実績より
噴出総量				
小規模	2,000 万 m ³	2,000 万 m ³	—	富士山の溶岩噴出量と発生頻度より区分
中規模	2 億 m ³	2 億 m ³	—	
大規模	13 億 m ³	7 億 m ³	貞観溶岩の規模見直し	
噴出レート				
小規模	100m ³ /s	100m ³ /s	—	他火山の実績より 他火山の実績より 貞観溶岩の噴出期間から逆算
中規模	200m ³ /s	100m ³ /s	小と大の中間値	
大規模	300m ³ /s	200m ³ /s	貞観溶岩の規模見直しに伴い	
溶岩密度	2,500kg/m ³		—	既往研究と他火山の実績より
粘性係数	$\log_{10} \eta = 23.61 - 0.0181T$		—	1951 年伊豆大島噴火実績より
降伏応力	$\log_{10} T_Y = 14.67 - 0.0089T$		—	
冷却効率	0.1	0.024	メッシュサイズ変更に伴い、再度再現計算実施	再現計算結果より

(4) 計算開始点の設定

溶岩流の計算開始点は大中小の規模ごとの想定火口範囲の外縁部（下流側）と地形条件から、以下の2つの考え方に基づき規模ごとに設定した。

a) 谷筋を流れて流下幅が狭く流下厚が厚い方が、冷却に寄与する表面積が体積と比べて相対的に小さくなるため冷えにくく溶岩流の流動性が高まり、結果としてより遠方まで届く。そのため20mメッシュからGISで谷地形を検出し、想定火口範囲の外縁部と主な谷地形が交わる点に設定した。

b) 富士山山腹の地形は複雑であり谷地形が不明瞭でどちらに流下するか判別しがたい場所もある。また谷地形のみに計算開始点を設定すると、その他の地点から溶岩流が噴出した際に思わぬ方向に流下する恐れがある。そのため想定火口範囲の外縁部で尾根や山腹斜面となる地点にも設定した。

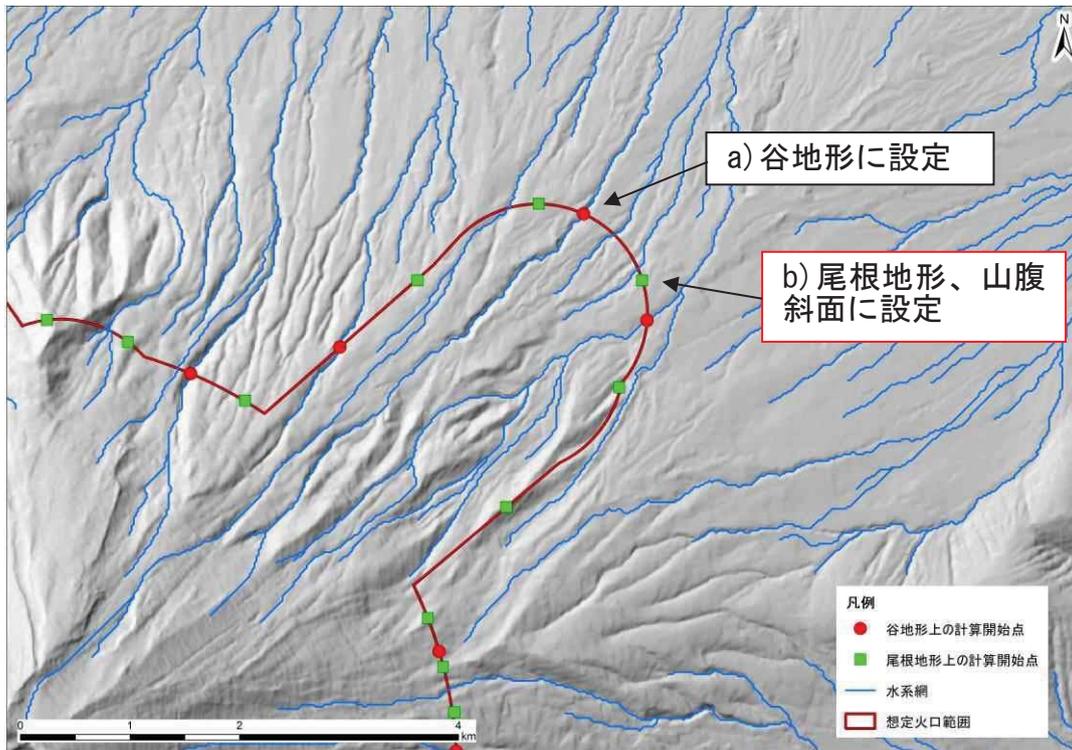


図 4.2-4 計算開始点の考え方

a)とb)2つの考え方により、計算開始点は小規模溶岩は92点、中規模溶岩は91点、大規模溶岩は69点に設定した。

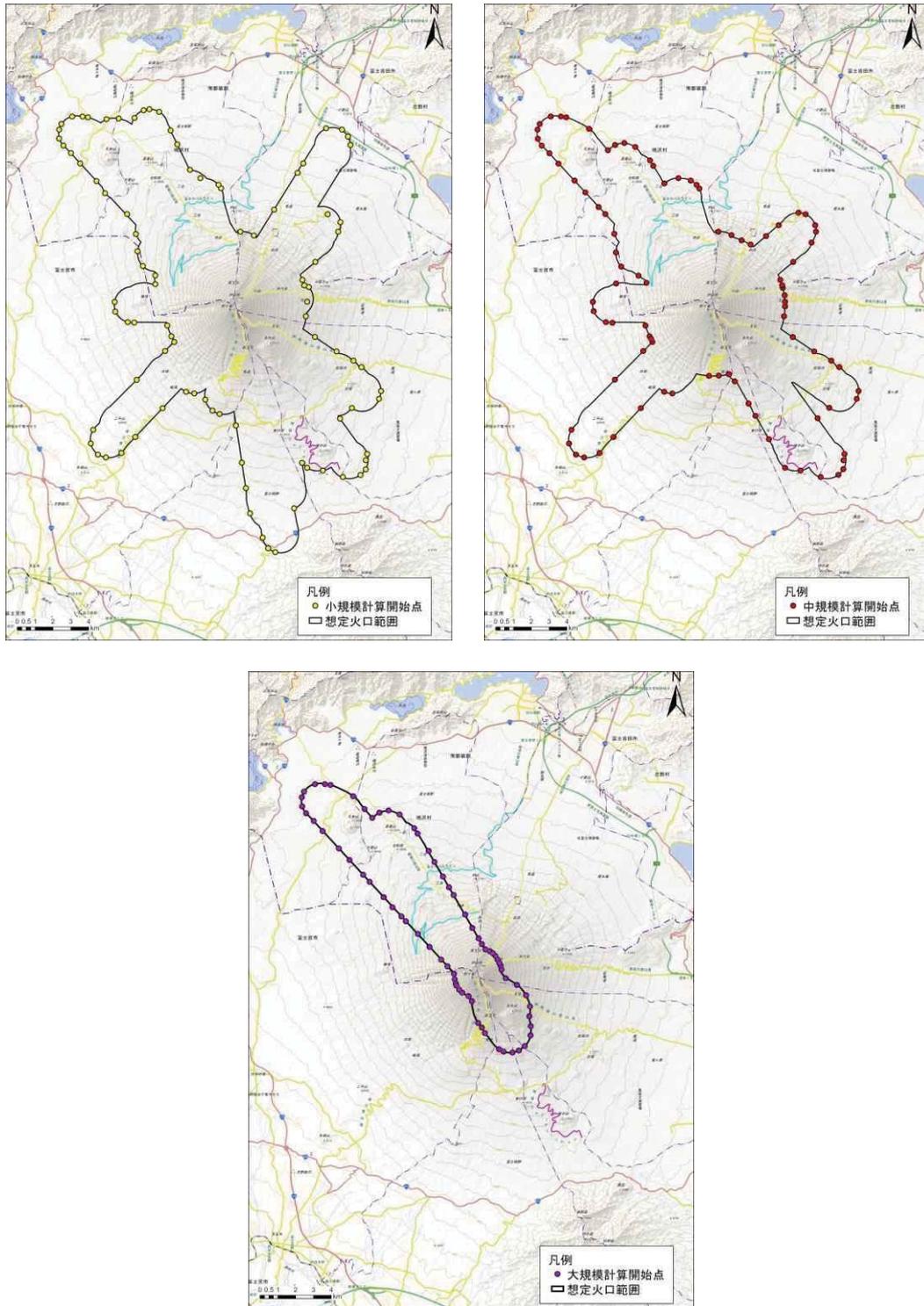


圖 4.2-5 溶岩流計算開始点 (左上：小規模、右上：中規模、下：大規模)

(5) 使用した地形データ

地形データは 1.2 で記述したレーザ航測成果から作成した 20m メッシュ DEM を使用した。ただし中・大規模溶岩は従来のメッシュ範囲よりも下流に流下するため、北東の桂川流域、東の酒匂川流域、南の狩野川流域のレーザ航測データを用いて地形データ (20m メッシュ DEM) を追加した。

また溶岩流が流入する富士五湖および相模湖については、国土地理院「湖沼データ・ダウンロードサービス」および山梨県富士山科学研究所、神奈川県提供データを用い湖底地形を地形データに反映させた。ただし使用したモデルの特性上、放射率および冷却効率パラメータは全メッシュに対して一律に与えているため、湖水による冷却は考慮していない。

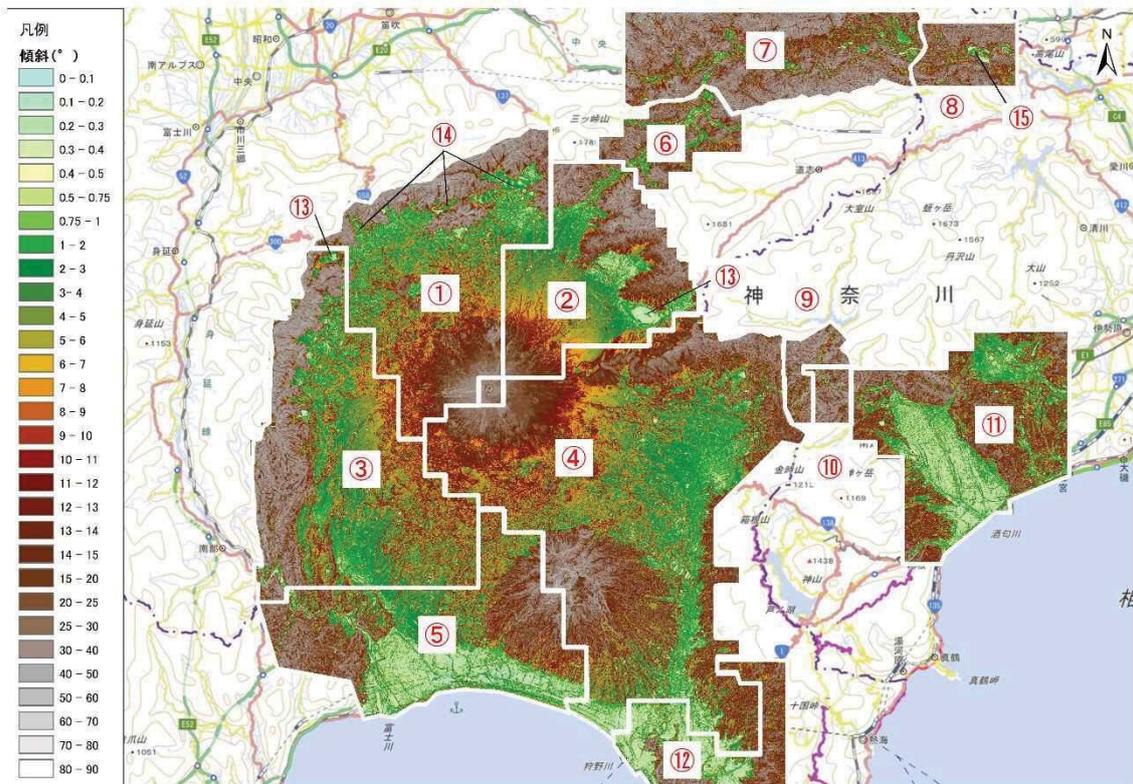


図 4.2-6 追加した地形データ (DEM) の範囲

No.	使用データ
①	平成 25 年度 富士山北部航空測量業務
②	平成 20 年度 富士山航空レーザ測量業務
③	平成 23 年度 富士山麓(富士山)航空測量業務
④	平成 25 年度 富士山南部航空測量業務
⑤	平成 24 年度 富士山南西野溪航空測量業務
⑥	平成 21 年度 大規模崩壊地対策航空レーザ計測その 3 業務
⑦	平成 21 年度 大規模崩壊地対策航空レーザ計測その 2 業務
⑧	平成 20 年度 渡良瀬川流域及び鬼怒川流域航空レーザ計測業務
⑨	平成 21 年度 公共測量助言番号 H21E0012
⑩	平成 31 年度 富士山南麓航空レーザ測量業務
⑪	平成 21 年度 公共測量助言番号 H21GC005-06
⑫	平成 25 年度 公共測量助言番号 H25E0258
⑬	富士山科学研究所より提供(本栖湖、山中湖)
⑭	国土地理院「湖沼データ・ダウンロードサービス」(精進湖、西湖、河口湖)
⑮	神奈川県(相模川水系ダム管理事務所)より提供(相模湖)

(6) シミュレーション結果

各計算開始点 (25 メッシュ 100m×100m) に各規模の噴出総量を噴出レートに応じて投入し、(3)で設定したパラメータと(5)の 20m メッシュを用いて数値シミュレーションを実施した。

引用文献

山下 伸太郎・宮本 邦明・大原 正則・緒統 英章・水山 高久 (1990) 溶岩流の数值シミュレーション, 水工学論文集, 第 34 卷, Feb, p.391-396.

石原 和弘・井口 正人・加茂 幸介 (1988) 数值計算による 1986 年伊豆大島溶岩流の再現, 火山, 第 2 集, 第 33 卷, p.64-76.

Miyamoto, H. and Sasaki, S. (1998) Numerical simulations of flood basalt lava flows: Roles of parameters on lava flow morphologies, *Journal of Geophysical Research*, vol.103, No.B11, p.27, 489-27, 502.

小山 真人 (2007) 富士山の歴史噴火総覧, 『富士火山』山梨県環境科学研究所, p.119-136.

Proietti, C., Coltelli, M. , Marsella, M. and Fujita, E.(2009) A quantitative approach for evaluating lava flow simulation reliability: LavaSIM code applied to the 2001 Etna eruption, *Geochemistry Geophysics Geosystems*,10, Q09003,doi:10.1029/2009GC002426

4.3 火砕流のシミュレーション

(1) シミュレーションモデル

火砕流のシミュレーションは、2004年富士山ハザードマップ検討時にも用いられた、乾燥粒子流モデル（Yamashita and Miyamoto, 1991）を用いた。本モデルは火砕流下層の本体部を重力流動モデルとして表したもので、基礎方程式として、質量保存則、運動量保存則、状態方程式、エネルギー保存則を用い、構成方程式としてエネルギー損失の要因に粒子間の固体摩擦力を考慮した金谷(1979)の構成方程式を用いている。

シミュレーションプログラムは（一財）砂防・地すべり技術センターにより開発され、上記モデルを採用した高速化 J-SAS 火砕流プログラムを用いた。

(2) 想定する火砕流規模

最新の調査・研究により、富士山で発生した大沢火砕流は従来の 210 万 m³ から 620 万 m³ と規模が修正された（前田・宮地，2012）。また、2.2 で述べた通り新たに鷹丸尾火砕流の堆積物が確認され（馬場ほか，2018）、規模は概算で 1,240 万 m³ と見積もられている。

ハザードマップの改定にあたり想定する火砕流の規模は、実績の最大である鷹丸尾火砕流と同程度とした。ただし鷹丸尾火砕流の規模 1,240 万 m³ は概算の値であるため、富士山ハザードマップ（改訂版）検討委員会での討議の結果、想定火砕流規模は 1,000 万 m³ を総噴出量として設定した。

また、火砕流に伴う高温の火砕サージについては、力学モデルが確立していないので、他火山の実績に基づいて影響範囲を推定した。

(3) パラメータの設定

数値シミュレーションを実施する上で設定するパラメータは、新たな知見が得られていないため基本的に平成 16 年版報告書の値を踏襲した。

ただし数値シミュレーションに用いるメッシュの間隔を 50m から 20m に変更したことに伴い、特に火砕流の流下範囲に影響する粒子間摩擦係数は再現計算により再設定した。

表 4.3-1 計算パラメータ一覧

定数	単位	数値	備考
粒子間摩擦係数	—	0.4	再現計算より再設定
火砕流流量	m ³ /s	10,000	平成 16 年版報告書で設定した値
火砕物の代表粒径	cm	0.5	平成 16 年版報告書作成の際に実施した滝沢火砕流 B の試験結果より
火砕物の密度	kg/m ³	2,860	
堆積土砂濃度	—	0.63	

再現計算は富士山の実績である滝沢火砕流と大沢火砕流、鷹丸尾火砕流に対して実施した。ただし大沢火砕流の実績到達範囲は大沢と大久保沢の2筋に分かれており、大久保沢の分布範囲に関しては推定された部分が多いため、大沢流下分のみを対象として再現計算を実施した（流量は、全量 620 万 m³のうち、推定到達範囲の大沢流下分のみ面積の割合から 333 万 m³とした）。

また鷹丸尾火砕流の発生地点は不明であるため、過去の堆積物や現在の谷地形を考慮した鷹丸尾火砕流の到達範囲最上流端（計算開始点下）と、富士山で火砕流が発生する斜面勾配 30° の範囲の末端（計算開始点上）の2パターン再現計算を行った。

その他、富士山の実績火砕流は発生から長い年月が経っており、特に到達範囲末端は調査で完全に確定したものではなく不確かさが残る。そのため富士山と似た山体形状でかつ最近噴火して到達範囲が明確な、グアテマラのフェゴ火山で 2018 年 6 月に発生した火砕流に対しても、ALOS30m（撮影時期 2006～2011 年）メッシュの DEM を GIS で 20m メッシュに内挿・変換したものをを用い、規模は到達範囲面積×画像から判読した平均厚さ 2m=1,080 万 m³として再現計算を実施した。

再現計算は粒子間摩擦係数を複数設定して行い、実績と再現計算結果の到達距離を比較した。その結果から想定計算では粒子間摩擦係数=0.40 を用いることとした。

表 4.3-2 再現計算と実績で比較した到達距離の比

対象火砕流		粒子間摩擦係数					
		0.23	0.35	0.40	0.45	0.50	0.60
滝沢火砕流 (240 万 m ³)		+50%	+30%	-7%	-31%	—	—
大沢火砕流 (333 万 m ³)		+77%	—	+42%	—	+28%	+4%
鷹丸尾火砕流 (1,000 万 m ³)	計算開始点 上	+38%	-2%	-14%	-15%	—	—
	計算開始点 下	+31%	+9%	-19%	-15%	—	—
フェゴ火山 (1,080 万 m ³)		—	+17%	+3%	-6%	—	—

※表中の数字は（再現計算の到達距離－実績の到達距離）／実績の到達距離

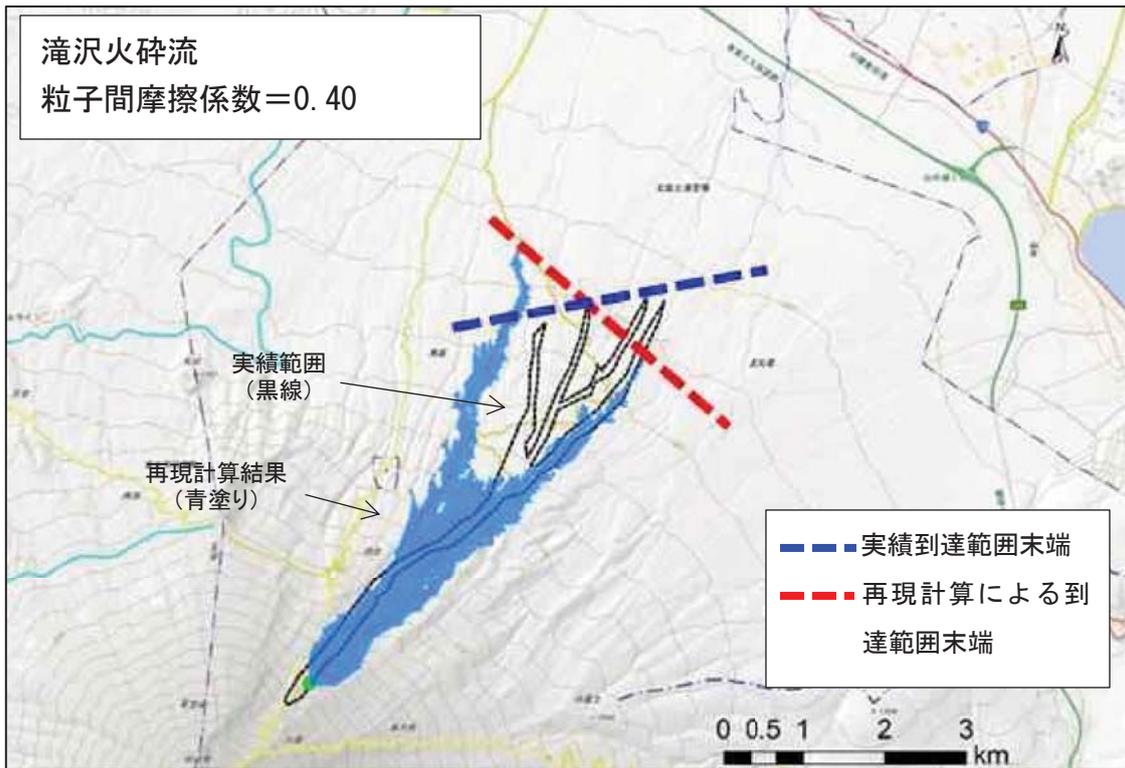


図 4.3-1 滝沢火砕流の再現計算結果と実績の到達範囲

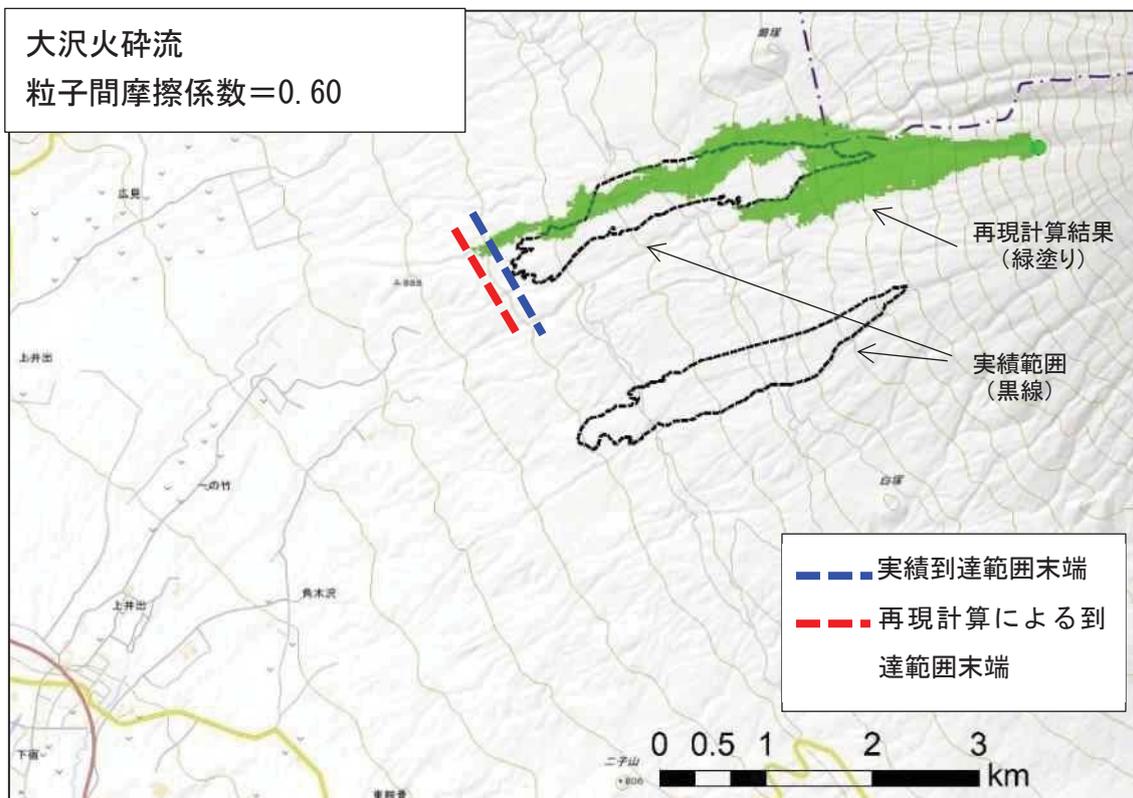


図 4.3-2 大沢火砕流の再現計算結果と実績の到達範囲

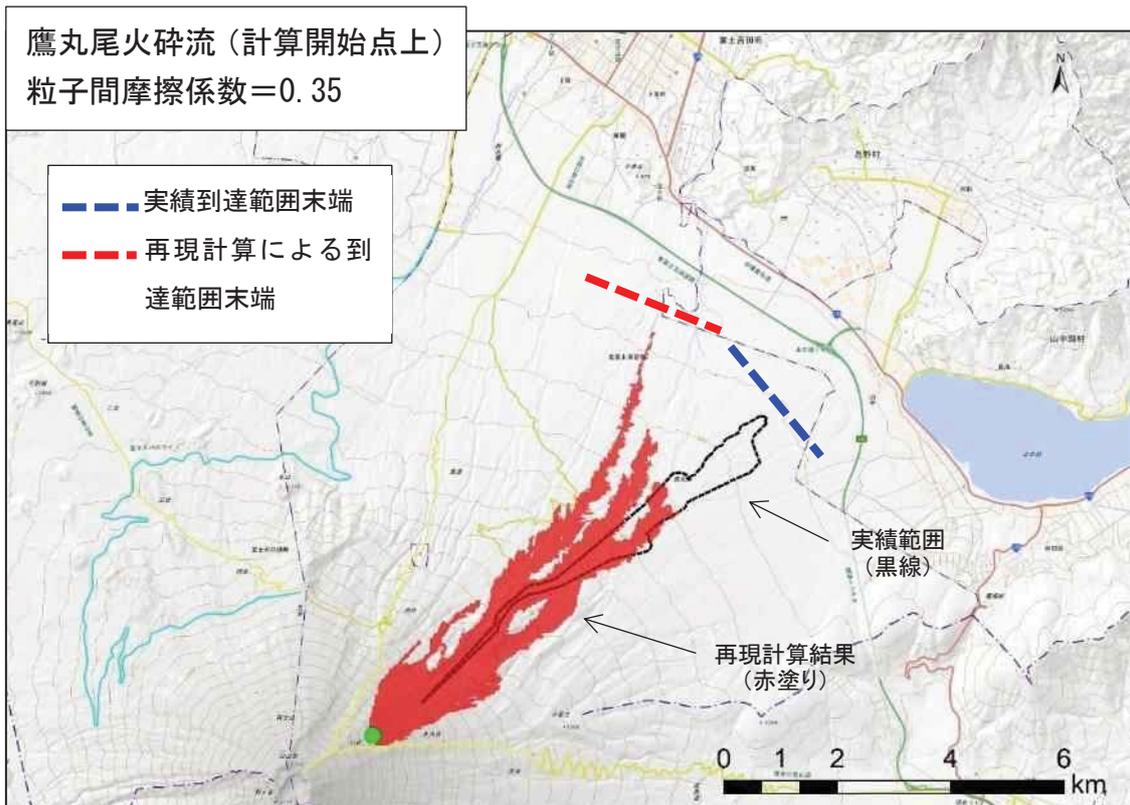


図 4.3-3 鷹丸尾火砕流（計算開始点上）の再現計算結果と実績の到達範囲

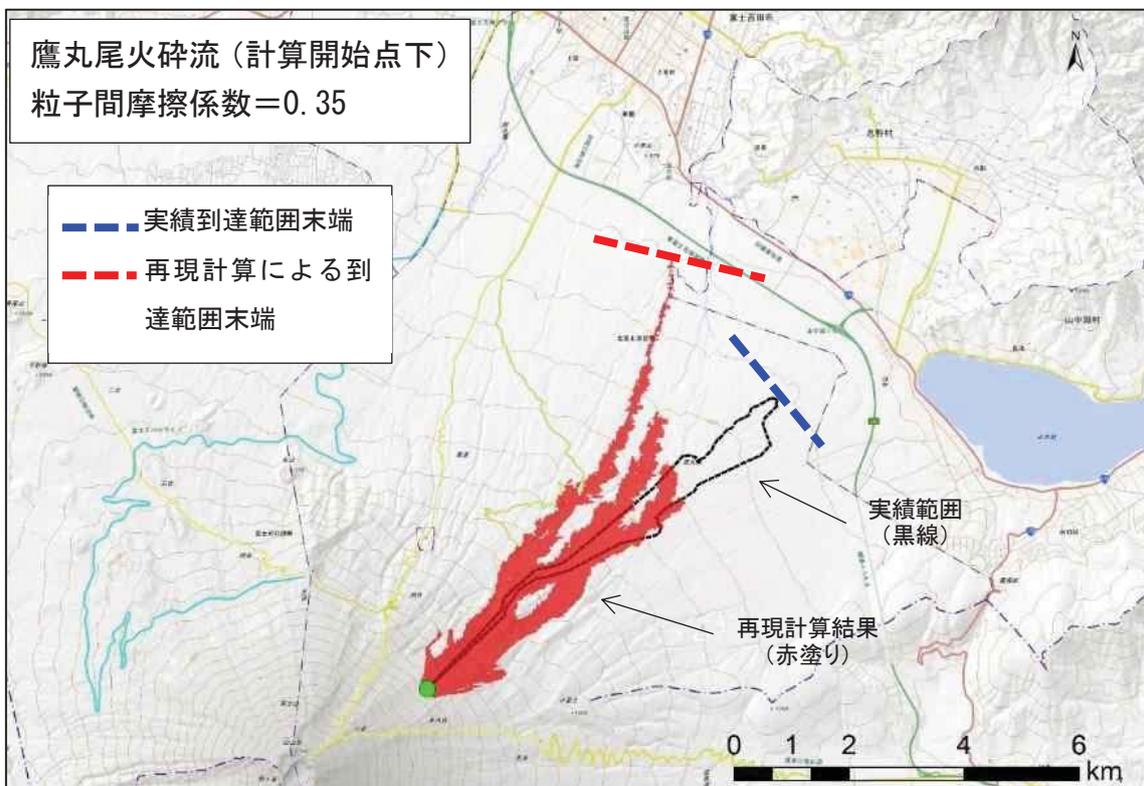


図 4.3-4 鷹丸尾火砕流（計算開始点下）の再現計算結果と実績の到達範囲

(4) 火砕流発生領域の設定

玄武岩質な成層火山である富士山の火砕流発生メカニズムは、噴火によって噴出した火砕物が山頂付近の急斜面に降下した後、定置できずに高温のまま流下すると考えられている（山元ほか，2007）。

また過去の噴火で富士山山麓に形成されたスコリア丘の最大傾斜角は 30° 程度であることから、これを超える急斜面では上記のメカニズムにより火砕流が発生しうると考えて、山頂周辺の 30° 以上の連続的に伸びる斜面を 20m メッシュの地形データから火砕流発生領域として抽出した。

ただし傾斜 30° 以上の斜面抽出のみでは、谷地形の側方斜面等が含まれる。よって、大沢の谷幅の長さを目安として 500m メッシュ DEM で傾斜方向を算出し、20m メッシュで算出した傾斜方向と 500m メッシュ DEM で算出した傾斜方向が一致している斜面のみに絞ることで、谷の側方斜面を除外した。

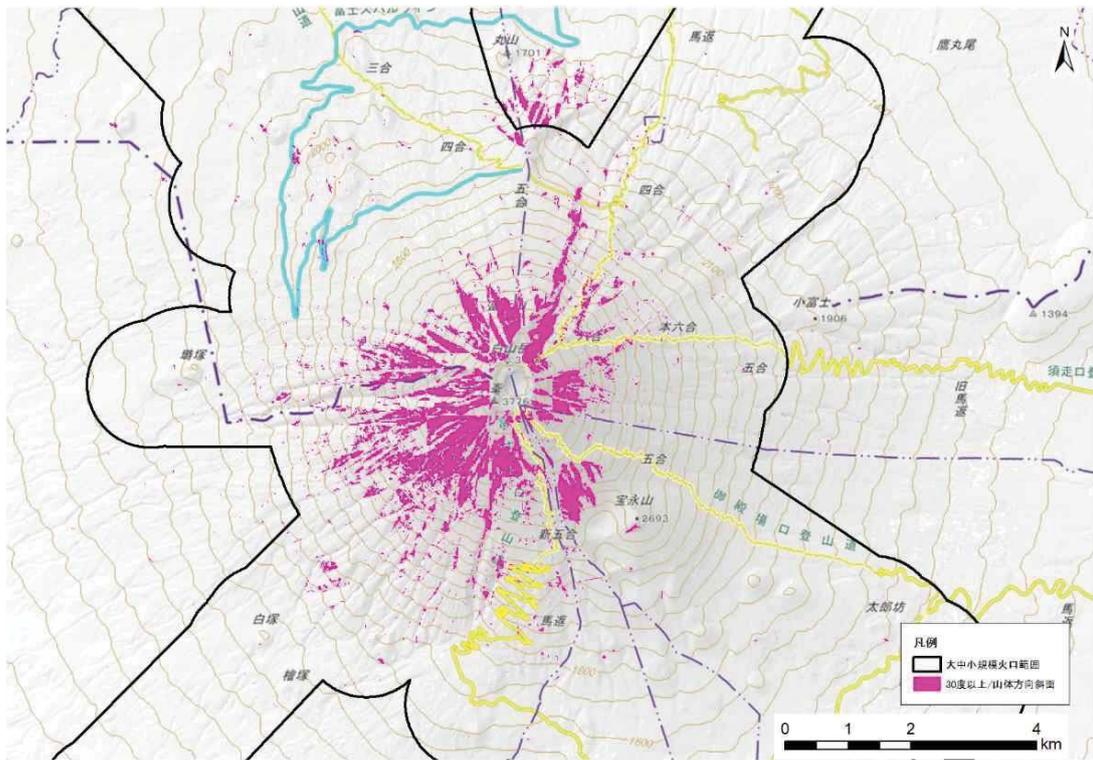


図 4.3-6 抽出した火砕流発生領域

(5) 計算開始点の設定

火砕流発生領域の中から数値シミュレーションの計算開始点を、以下の方針に基づき 35 点設定した。

- ① 東西南北 8 方向別に各 2 点を目安に、火砕流発生領域と谷線（水系網線）が重なる最下流点に計算開始点を設定。

- ②谷線が火砕流発生領域に届かない場合は、火砕流発生領域の末端に計算開始点を設定。
- ③北方の小御岳と南東の宝永山については、地形による影響を考慮して重点的に設定。
- ④①～③で設定した計算開始点での火砕流流下範囲を確認の上、火砕流が到達していない流域にも流下するように、隙間を埋めるように計算開始点を設定。
- ⑤さらに、火砕流が最も広域に広がるケースの想定として、山頂直下の最上流部の尾根上に計算開始点を設定。

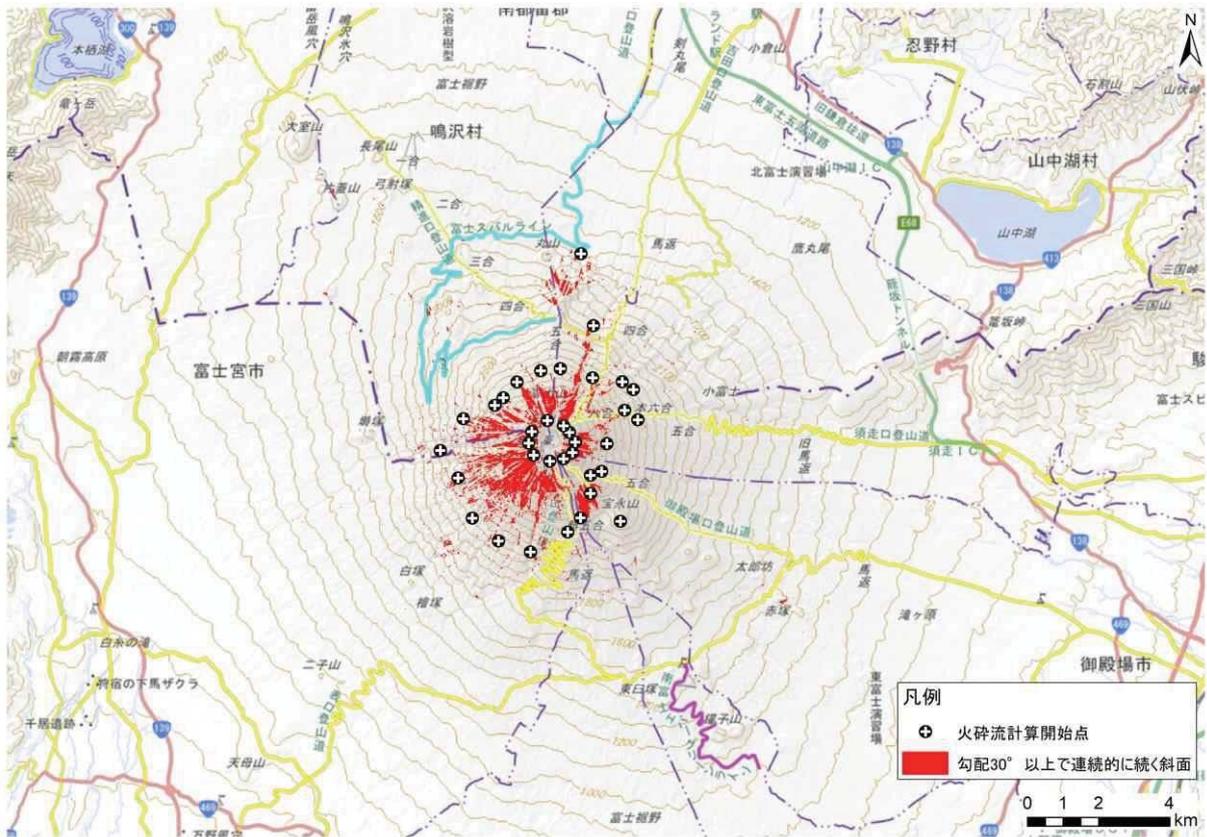


図 4.3-7 計算開始点設定結果 (全 35 点)

(6) シミュレーションの実施

各計算開始点 (1 メッシュ 20m×20m) から想定火砕流規模 1,000 万 m³ を火砕流流量 10,000m³/s (継続時間 1,000 秒) で投入し、(3) で設定したパラメータと溶岩流と同じレーザー航測成果から作成した 20m メッシュを用いて数値シミュレーションを実施した。

(7) 火砕サージの到達範囲の想定

火砕サージは、一般に火砕流本体より遠くに到達することが認められている。その範囲について、他火山の実績を調べると図 4.3-8 のように本体部の到達距離と比例関係はなく、90%以上が本体部より 1km 程度以内に到達していることから火砕流本体到達範囲から 1km 以内を火砕サージ到達範囲とした。

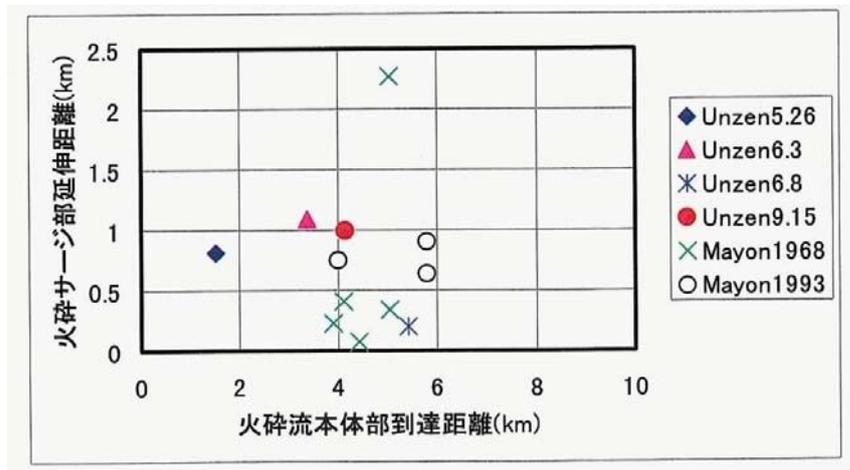


図 4.3-8 火砕流と火砕サージの到達距離
(平成 16 年度版報告書による)

引用文献

Yamashita, S. and Miyamoto K. (1991) NUMERICAL SIMULATION METHOD OF DEBRIS MOVEMENTS WITH A VOLCANIC ERUPTION, Japan-U.S. Workshop on Snow Avalanche, Landslide, Debris Flow Prediction and Control, p.433-442.

金谷 健一 (1979) 粒状体の流動の基礎理論 (第 2 報, 発達した流れ), 日本機械学会論文集 (B 編), 第 45 巻 392 号, p.515-522.

前田 美紀・宮地 直道 (2012) 富士火山西麓に分布する玄武岩質火砕流の成因, 火山, 第 57 巻, 第 1 号, p19-35.

馬場 章・渋谷 秀敏・内山 高 (2018) 古地磁気学的手法を用いた富士火山、鷹丸尾火砕流堆積物の噴火推移の解明, 第 144 回地球電磁気・地球惑星圏学会予稿集, R004-P06.

David, K. Davies, Michael W. Quearry and Samuel B. Bonis (1978) Glowing avalanches from the 1974 eruption of the volcano Fuego, Guatemala. GSA Bulletin, vol.89, issue 3, p.369-384.

山元 孝広・高田 亮・石塚 吉浩・宮地 直道・田島 靖久 (2007) 富士火山西斜面で発生した玄武岩質火砕流の特徴とその起源, 富士火山, 山梨県環境科学研究所, p.245-254.

4.4 融雪型火山泥流のシミュレーション

(1) 作成方法

融雪型火山泥流のシミュレーションは、2004年富士山ハザードマップ検討時にも用いられた、水と細粒分土砂が一体として流下し、その流量と地点ごとの勾配により流砂量式（MPM式）で与えられる粗粒分土砂が掃流状態で運搬されるモデルを用いた。

シミュレーションプログラムは（一財）砂防・地すべり技術センターにより開発され、上記モデルを採用した高速化 J-SAS 泥流プログラムを用いた。

(2) 泥流規模の算出方法

融雪型火山泥流は山腹の積雪が火砕流により融かされて発生した水が、火砕流の土砂を巻き込みながら流下して発生する現象である。そのため想定泥流規模は、積雪量と火砕流との間の熱収支計算による融雪水量と、勾配等の地形条件によって決定される土砂輸送能力量により算出する。

積雪量および火砕流量、勾配等の地形条件は火砕流の流下方向ごとに異なるため、後述する融雪型火山泥流の計算開始点ごとに想定泥流規模を設定した。

ただし十勝岳大正泥流に関する既往研究成果（宮本ほか, 1989）より、融雪水に取り込まれた火砕流の土砂のうち 60%は細粒分として水と一体化して流下するものと考えた。

また計算開始点における粗粒分の土砂濃度は、高橋の土石流濃度式（高橋 1978）による土砂濃度と、粗粒分 / （水 + 細粒分 + 粗粒分）による濃度（ただし上限値は堆積土砂濃度 $0.6 \times$ 粗粒分の割合 $0.4 = 0.24$ ）を比較して小さい方を採用した。

(3) 積雪量の算出方法

平成 16 年版報告書では、当時は山頂付近を除いて積雪深の統計データがなかったため、現地の積雪状況について地元の雪氷学会員や山岳会関係者にヒアリングを行い、富士山麓の積雪深を一律 50cm、積雪密度は雪が締まった時期を想定して $0.35\text{g}/\text{cm}^3$ と設定している。

その後、国土交通省富士砂防事務所により平成 30 年 3 月、平成 31 年 3 月、4 月に富士山山麓のレーザー測量および現地での積雪密度調査が行われ、山麓全体の積雪深平均値は 39~47cm、積雪密度は $0.27 \sim 0.36\text{g}/\text{cm}^3$ という値が得られている。この値に対して山麓の積雪深計のデータと比較し、測量時は年間で最も雪が多く積もっている時期であり、測量した年は平均的な積雪量であることを確認した上で、危険側（雪が多い）の値として平成 16 年版報告書と同じ積雪深 50cm、積雪密度 $0.35\text{g}/\text{cm}^3$ を採用した。

計算開始点ごとの積雪量は、計算開始点を基準として流域分割を行い、その流域面積 \times 積雪深 50cm \times 積雪密度 $0.35\text{g}/\text{cm}^3$ として算出した。

(4) 融雪水量の算出方法

平成 16 年版報告書と同様に、滝沢火砕流-B の火砕流温度を 500°C 以上とし(瀧ほか, 2002)、以下の式より積雪と火砕流との間の熱収支計算を考えると、50cm の積雪深の場合、火砕流が到達した範囲の積雪は全て融ける。

全ての雪が融ける場合、

$$W_0 = \frac{T_s C_s}{(1 - C_m) q_m} W_s$$

ここで、 W_0 : 雪の体積 (空気なし) (m^3)、 W_s : 火砕物体積 (空気なし) (m^3)、 T_s : 火砕流温度 ($^{\circ}C$)、 C_s : 火砕物の比熱 ($=0.53cal/g \cdot K$)、 C_m : 雪の含水率、 q_m : 氷の融解熱 ($\approx 80cal/g$) である (宮本ほか, 1989)。

(5) 泥流ハイドログラフの作成

清水として流下する融雪水と細粒分土砂のハイドログラフ (時間あたりの流量) は、融雪水が斜面を流れて下流に集中する過程と斜面地形を反映できるキネマティックウェーブモデル (宮本・井戸, 2003) を用いて計算開始点ごとに作成した。

得られた融雪水+細粒分土砂のハイドログラフに、(2) の濃度に応じた粗粒分土砂量を加えて、計算開始点ごとに泥流ハイドログラフを作成した。

各ケースの平均総泥流量は 160 万 m^3 、平均ピーク流量 : 1, 000 m^3/s である。

(6) パラメータの設定

数値シミュレーションを実施する上で設定するパラメータは、新たな知見が得られていないため、現地調査結果や標準的な土質定数を用いた平成 16 年版報告書の値を基本的に踏襲した。

表 4.4-1 パラメータ一覧

定数	単位	数値			備考
粒径	m	0.003	0.006	0.02	2004 年に実施した滝沢火砕流 B の密度試験結果より
		40%	30%	30%	
堆積土砂濃度	—	0.63			
砂礫密度	kg/ m^3	2,600			一般的な物性値
泥水密度	kg/ m^3	1,200			一般的な物性値

(7) 計算開始点の設定

融雪型火山泥流の計算開始点は、火砕流の流下によって発生した融雪水が、谷に集まっていくものと考え、火砕流の下流端付近で谷地形を呈している地点とした(図 4.4-1)。

なお、一つの流域に複数ケースの火砕流到達範囲がある場合は、複数の火砕流が同時に発生しないと考えると、面積が最大となるケースの火砕流到達範囲のみから融雪水量を算出している。

逆に一つの火砕流到達範囲が複数の流域にまたがっている場合は、流域単位で火砕流到達範囲を分割しそれぞれで融雪水量を算出している。

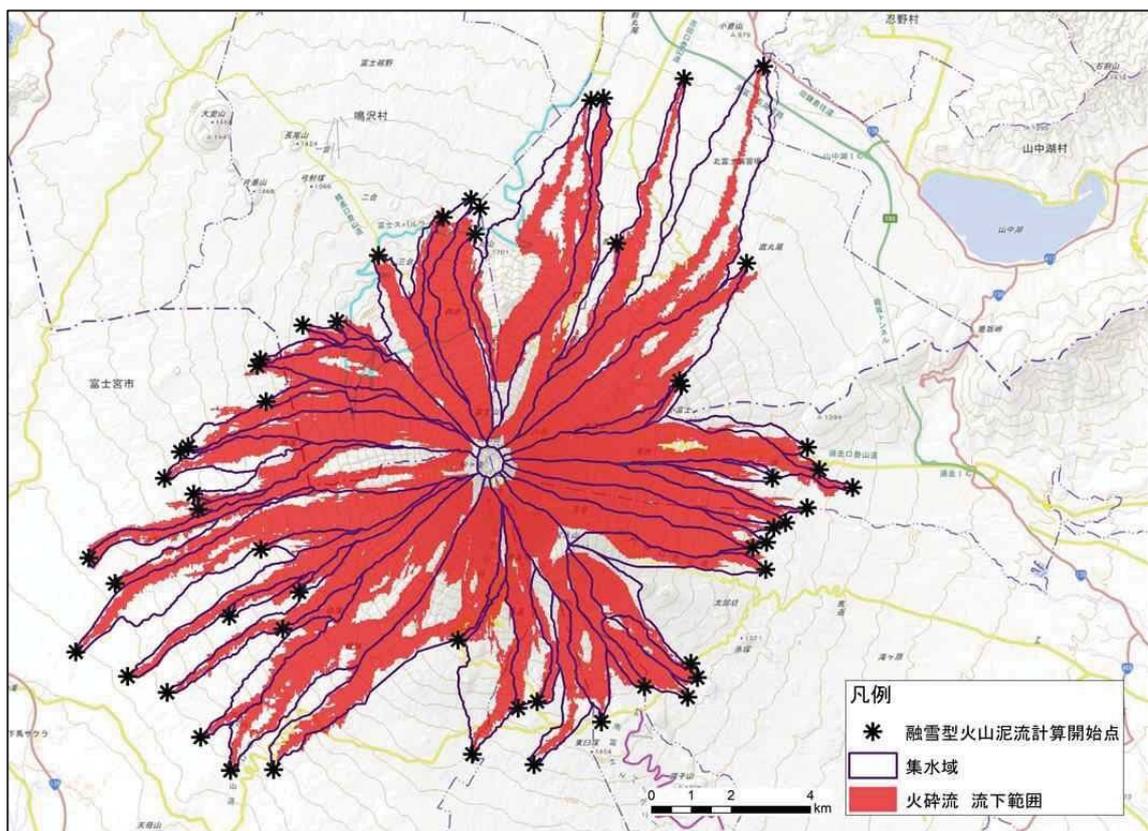


図 4.4-1 融雪型火山泥流の計算開始点

(8) シミュレーションの実施

各計算開始点（1メッシュ 20m×20m）からそれぞれの泥流ハイドログラフを投入し、(6)で設定したパラメータと溶岩流と同じレーザー航測成果から作成した20mメッシュを用いて数値シミュレーションを実施した。

引用文献

瀧 尚子・千葉 達朗・田島 靖久・宮地 直道・遠藤 邦彦 (2003) 富士山北東斜面における火砕流堆積物の古地磁気学的検討. 日本大学理学部自然科学研究所研究紀要, 38, 89 - 101.

宮本 邦明・鈴木 宏・山下 伸太郎・水山 高久 (1989) 十勝岳大正 15 年 (1926 年) 泥流の再現計算, 第 33 回水理講演会論文集, p. 361-366.

宮本 邦明・井戸 俊介 (2003) 任意 3 角形平面要素を用いた土砂流出解析法, 砂防学会誌, Vol. 55, No. 6, p. 33-39.

高橋 保 (1978) 土石流の発生と流動の機構, 土と基礎, vol. 26, No. 6, p. 45-50.