

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。

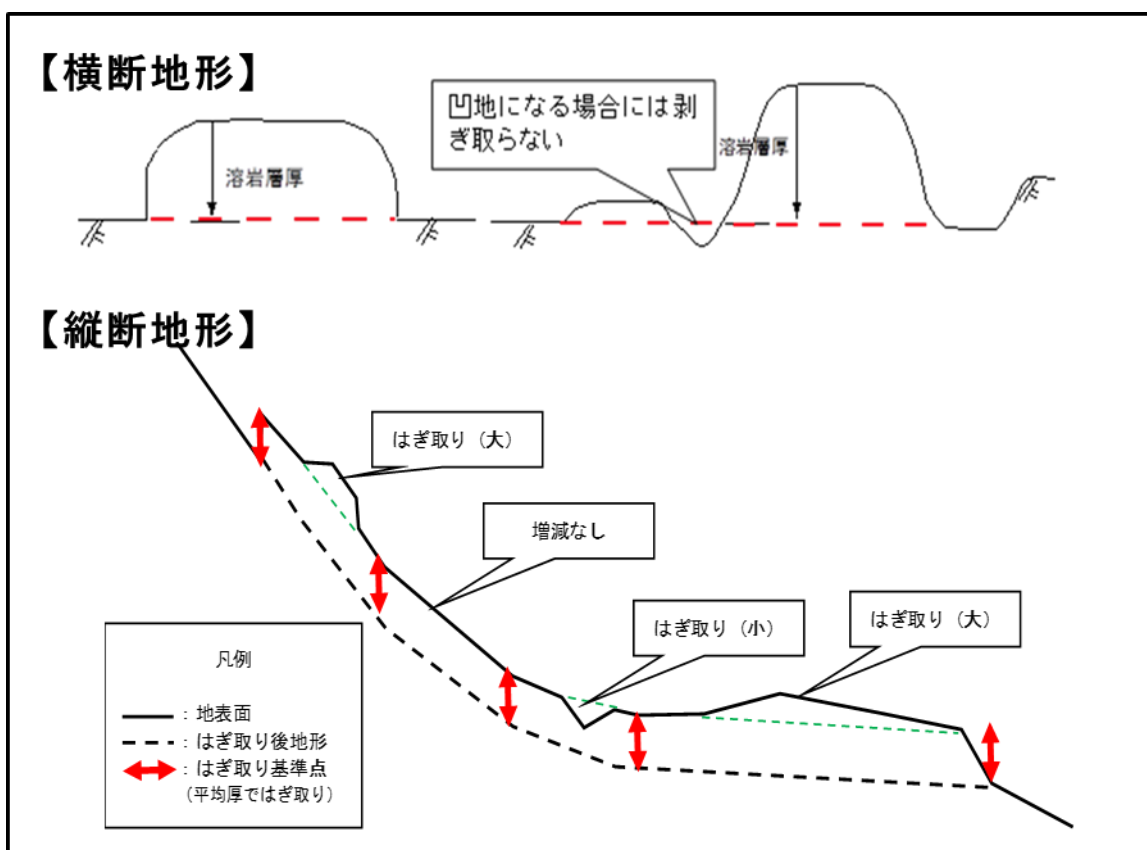


図 4.2-1 噴火前の地形を再現するための地形データの調整イメージ

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。

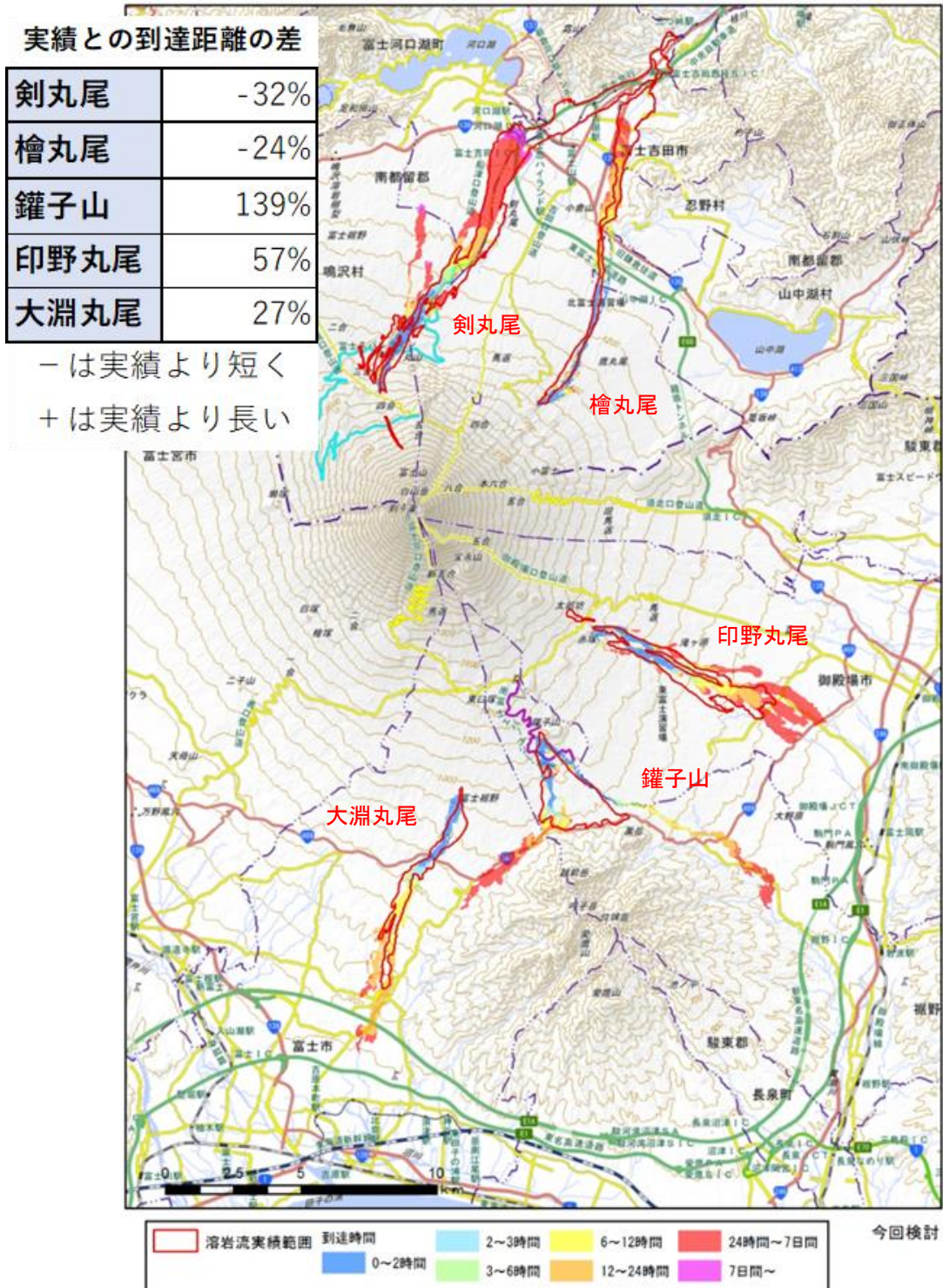


図 4.2-2 冷却効率パラメータ 0.1 の計算結果

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。

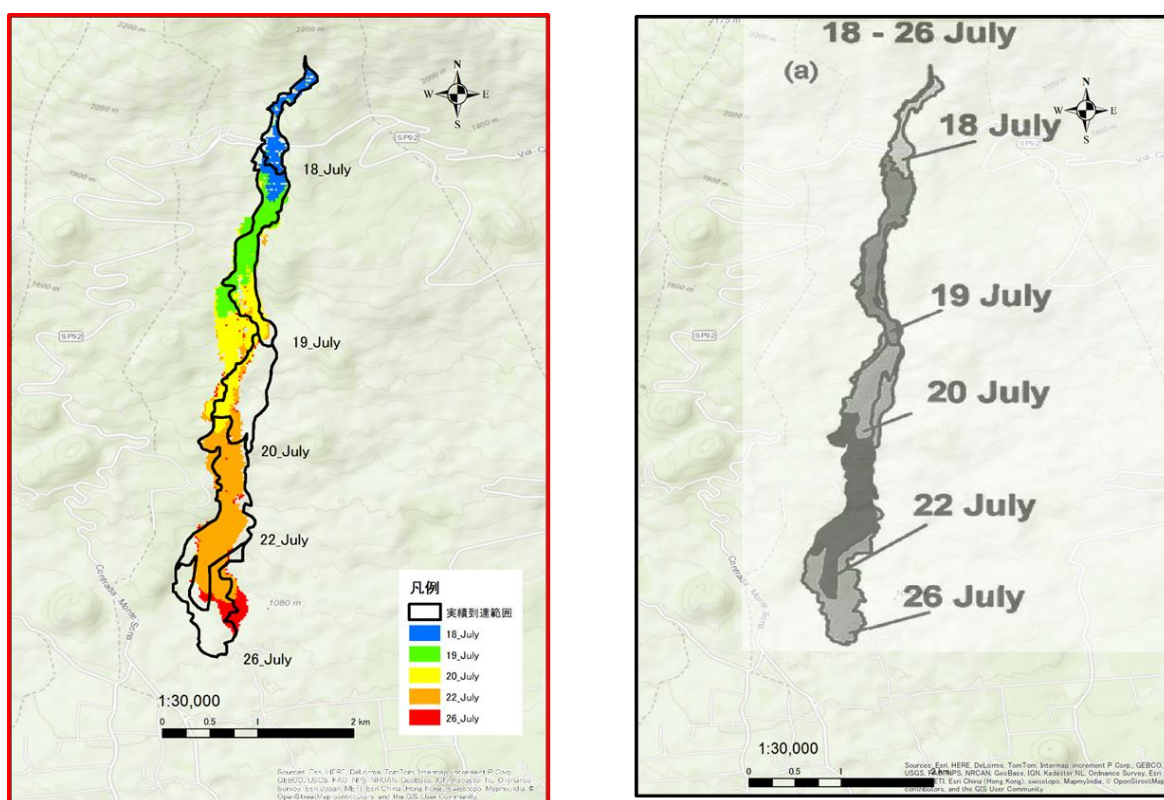


図 4.2-3 エトナ火山での再現計算結果

※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	$\log_{10} \eta = 25.61 - 0.0181T$		—	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。

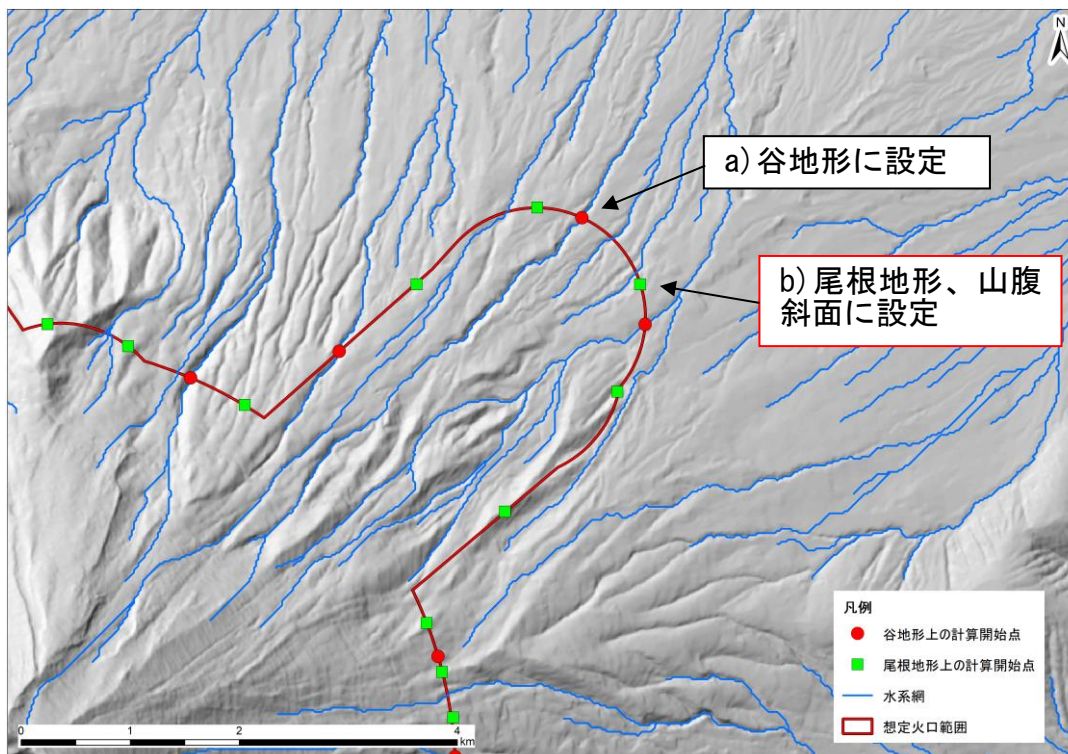


図 4.2-4 計算開始点の考え方

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。

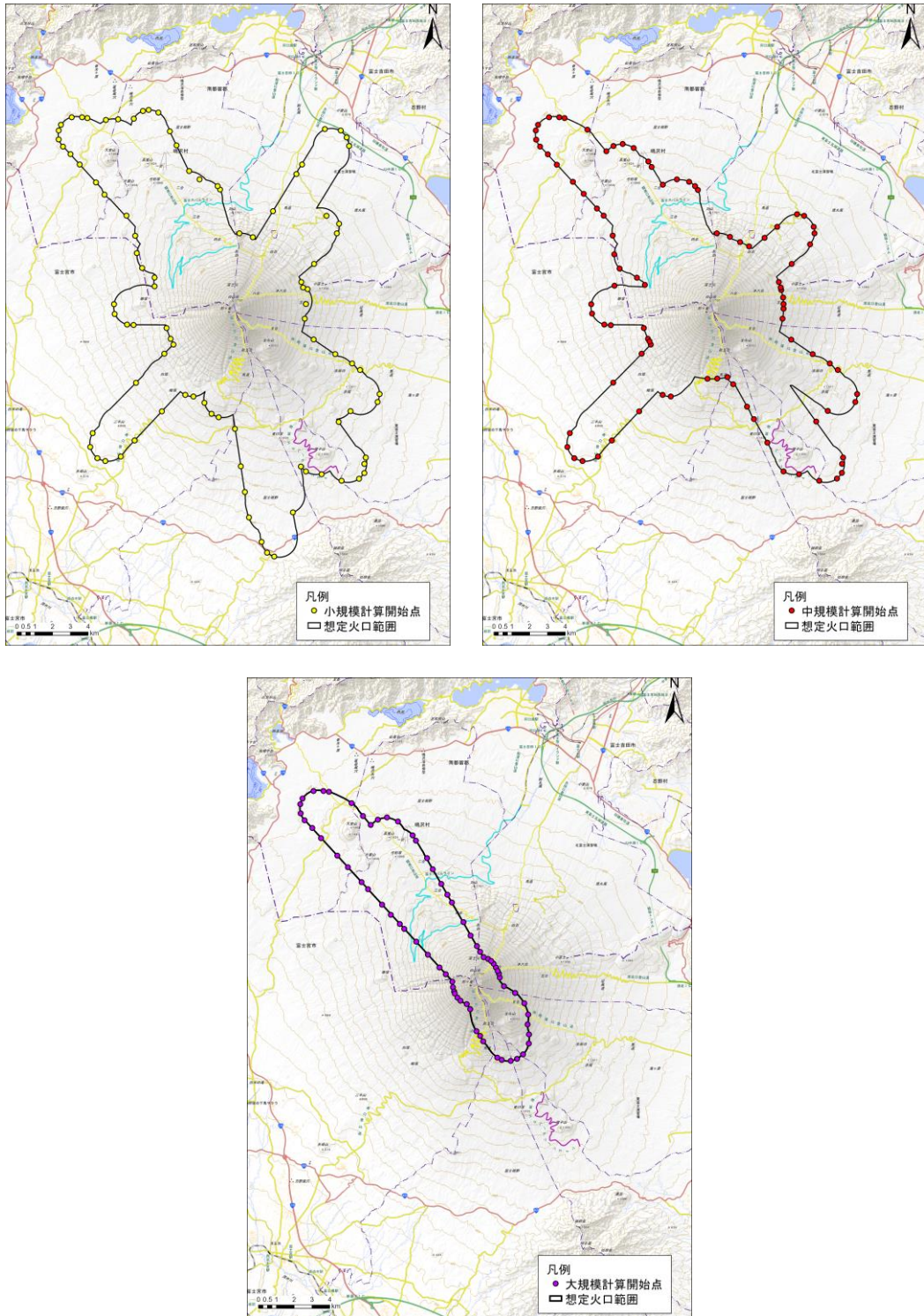


圖 4.2-5 溶岩流計算開始点 (左上：小規模、右上：中規模、下：大規模)

(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。

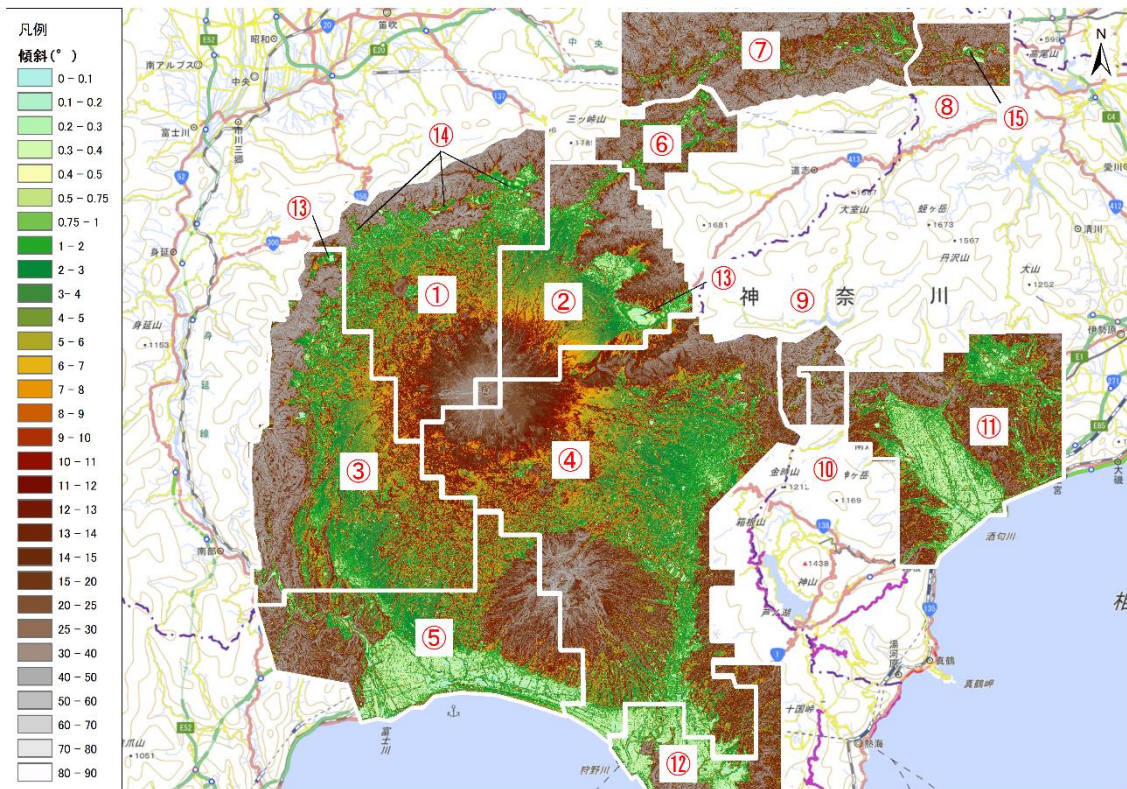


図 4.2-6 追加した地形データ (DEM) の範囲

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