

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

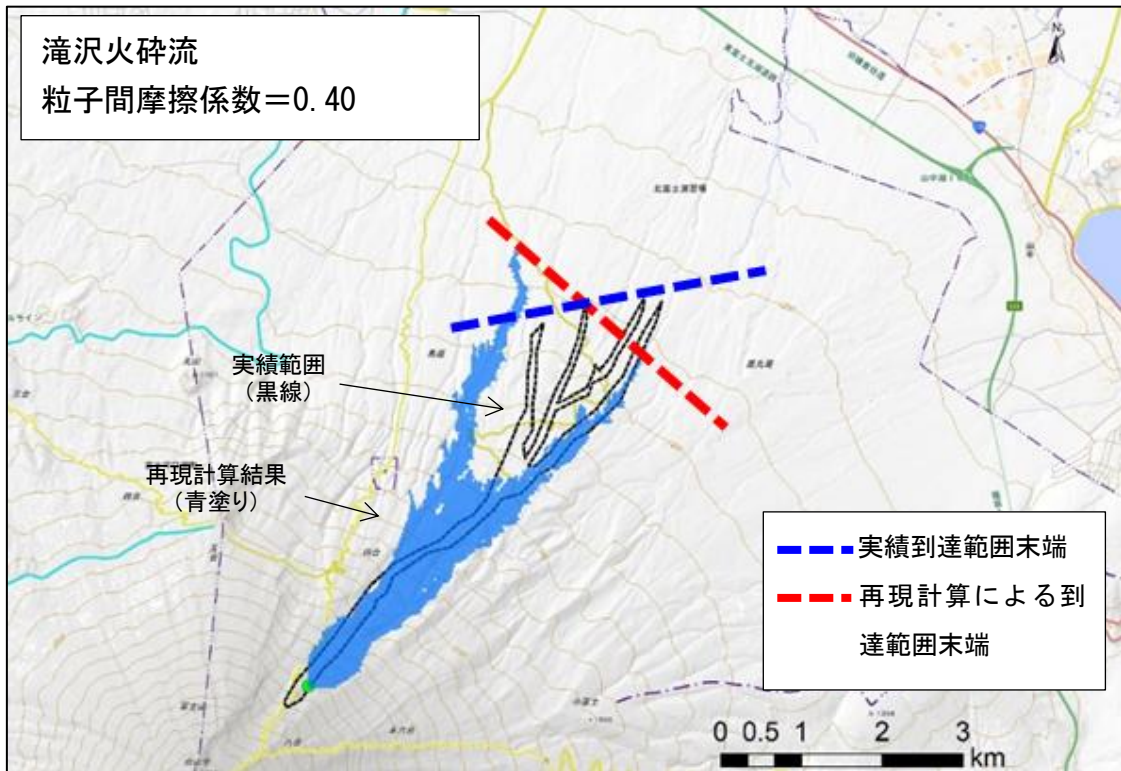


図 4.3-1 滝沢火砕流の再現計算結果と実績の到達範囲

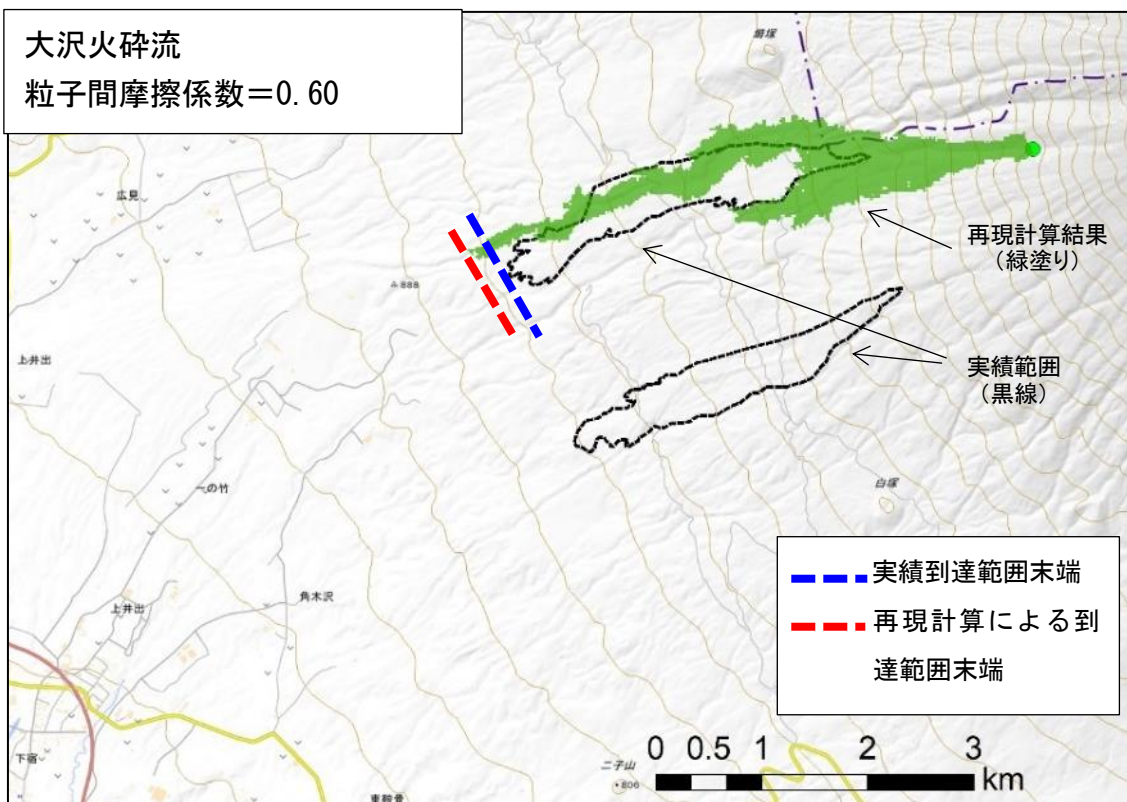


図 4.3-2 大沢火砕流の再現計算結果と実績の到達範囲

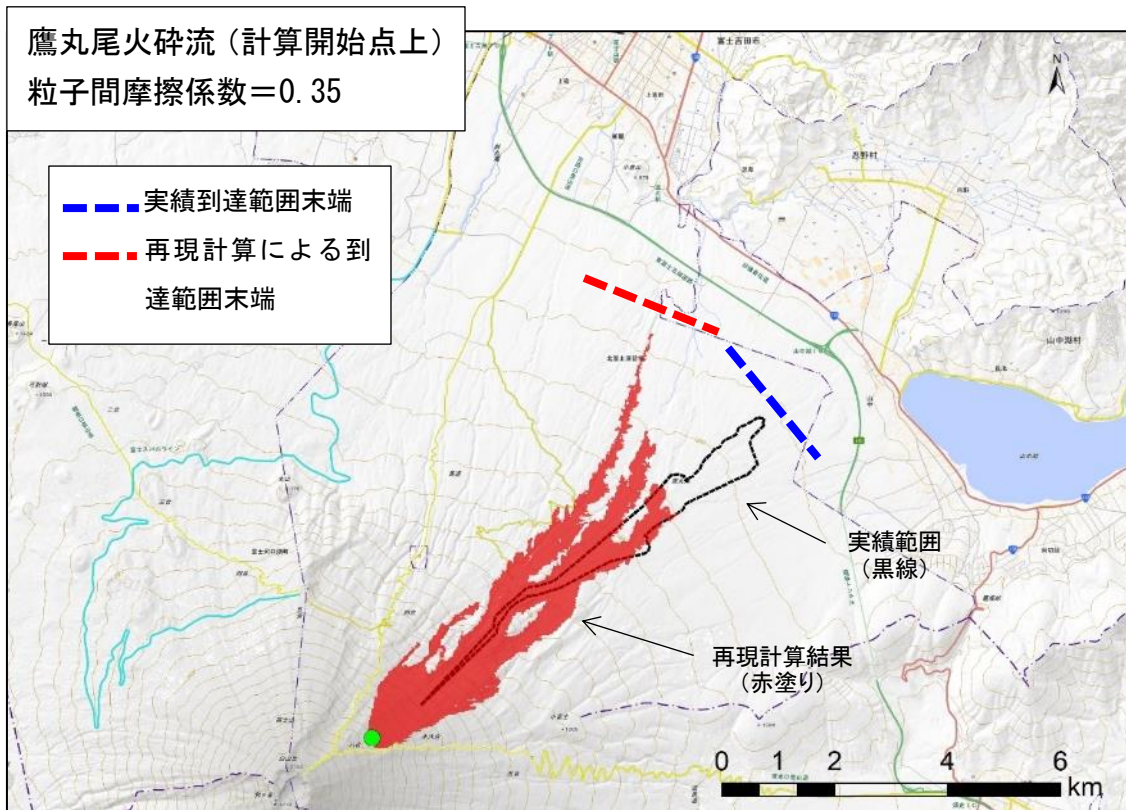


図 4.3-3 鷹丸尾火砕流（計算開始点上）の再現計算結果と実績の到達範囲

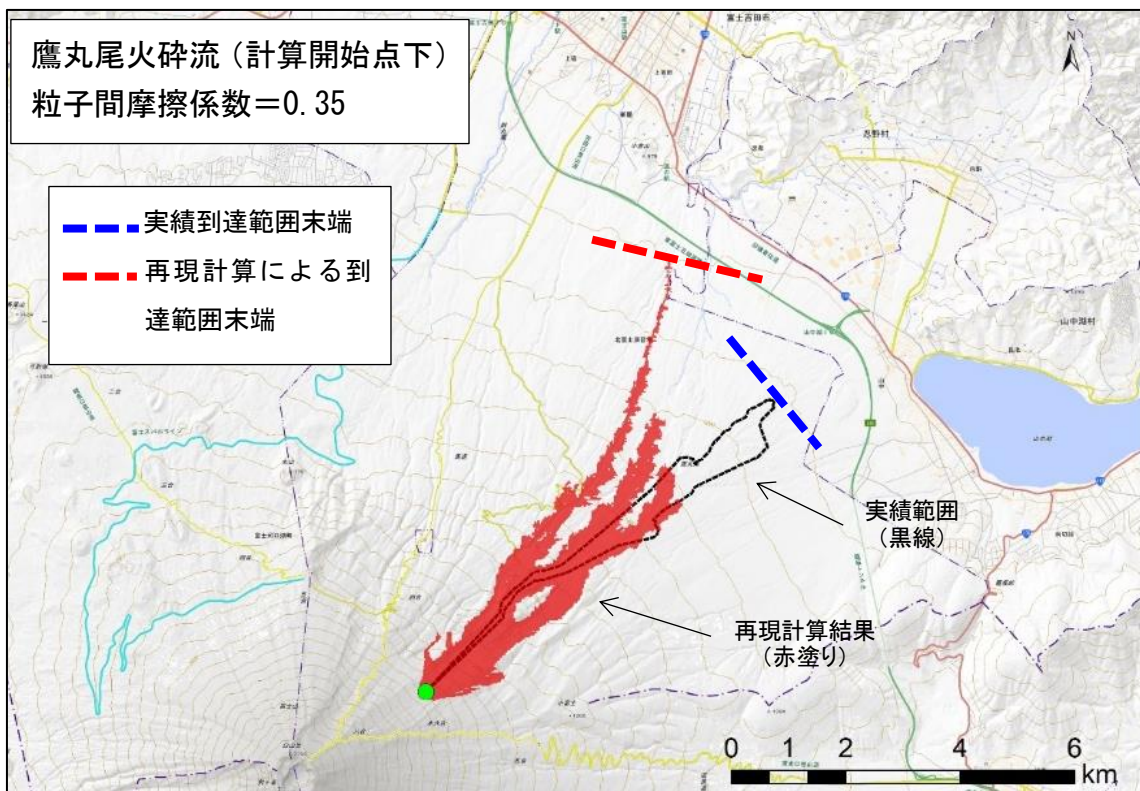


図 4.3-4 鷹丸尾火砕流（計算開始点下）の再現計算結果と実績の到達範囲

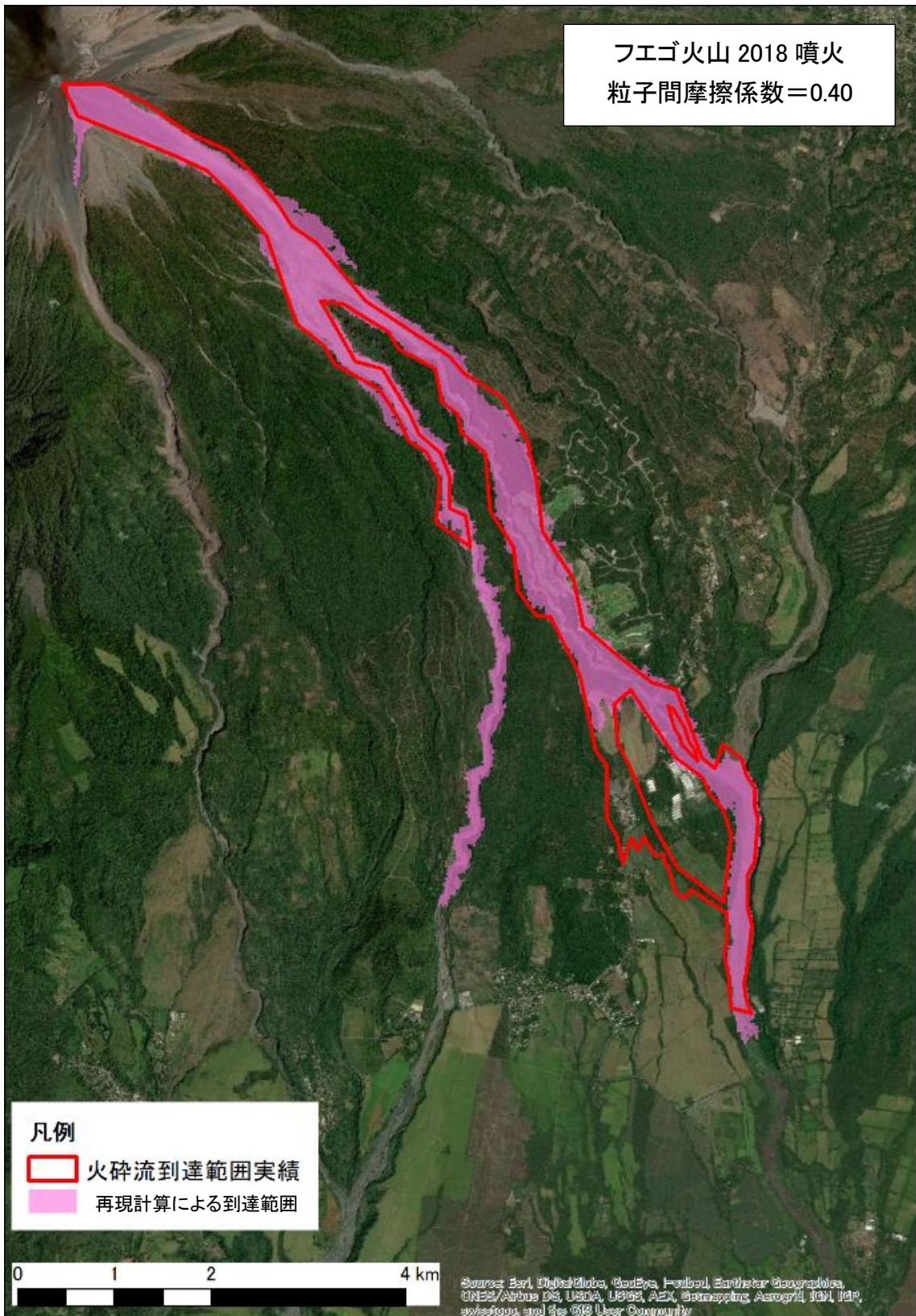


図 4.3-5 フエゴ火山火砕流の再現計算結果と実績の到達範囲
 ※火砕物の代表粒径はDavid et al.1978 を参考に設定した。

(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。

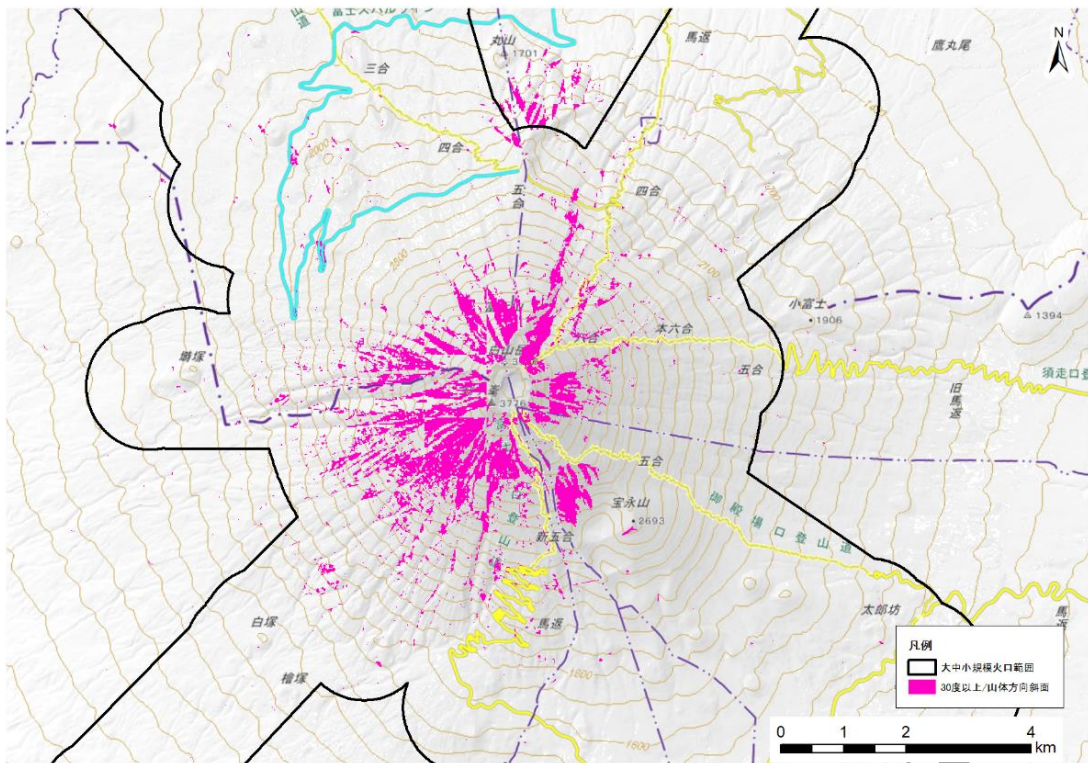


図 4.3-6 抽出した火砕流発生領域

(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。

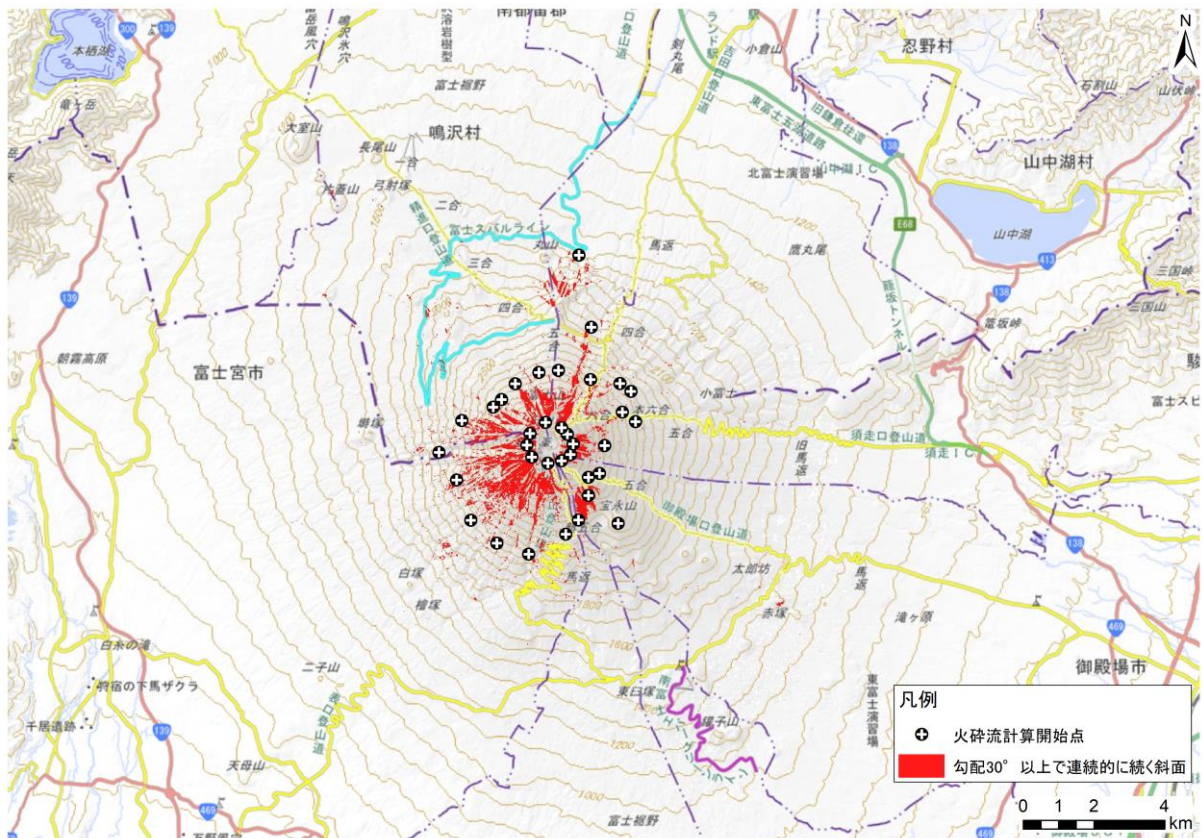


図 4.3-7 計算開始点設定結果 (全 35 点)

(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。

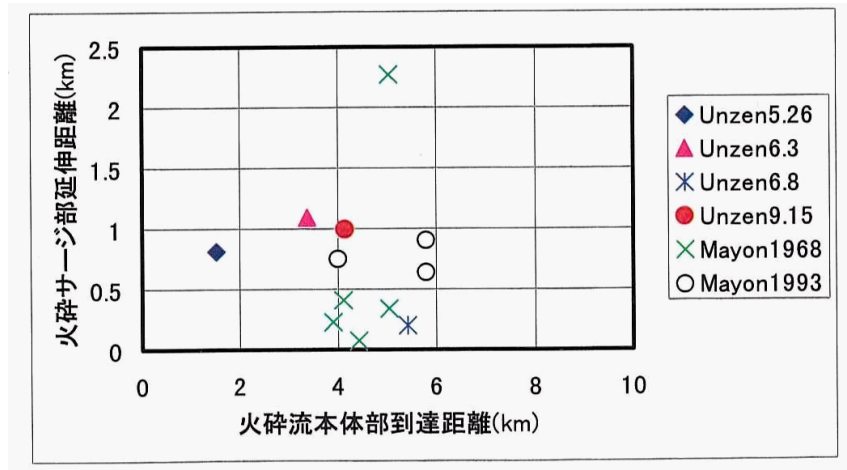


図 4.3-8 火砕流と火砕サージの到達距離
(平成 16 年度版報告書による)

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.