

富士山における溶岩流被害地域の予測シミュレーション

Lava Flow Simulation for the Disaster Area in Mt. Fuji Eruption

今西 茂*, 村中 徳明*

*関西大学工学部

Shigeru Imanishi, Noriaki Muranaka

*Department of Electorinics, Faculty of Engineering, Kansai University
E-mail: imanishi@k3ki.densi.kansai-u.ac.jp; muranaka@ipcku.kansai-u.ac.jp

1 まえがき

日本は、世界有数の火山国であり、最近では 2004 年 9 月 1 日に群馬の浅間山が噴火を起こした。過去には、桜島および雲仙普賢岳など大規模な火山噴火活動が見られ、これらにより発生した多量の溶岩により、周辺地域は多大な被害を受けてきたため、現在まで溶岩流の流動・噴出特性の数多くの研究が行われており、国家機関として内閣府においては、検討委員会が設けられ、溶岩流による被災地域を予測したハザードマップが作成されている⁽¹⁾。これらのハザードマップの作成には、多大な日時と制作費・人件費が費やされるため、未だハザードマップが作成されていない被災可能地域もある。また、公表されるハザードマップは、噴火地点・噴出量を過去のデータから仮定して求めたものであり、これらの予測が外れると、正確な流体方程式を用いようとシミュレーション自体が狂ってしまう。特に過去のデータの無い地域の予測は想像にすぎない。そこで我々は、予測を複雑にするパラメータを少なくして、短時間で同等のシミュレーション結果が得られ、噴火地点・噴出量などが自由に変更可能なシミュレーションを試みる⁽²⁾。本論文では、大規模な溶岩流災害の起こった火山のうち、近年噴火が懸念されている富士山を主な研究対象とする。

2 富士山の噴火の歴史⁽¹⁾⁽³⁾

富士山には、歴史時代の 3 大噴火として知られる延暦 19~21 年（西暦 800~802 年）、貞観 6 年（864 年）、宝永 4 年（1707 年）の噴火がある。1707 年 11 月 23 日に発生した「宝永噴火」は、同年 12 月 9 日まで続いた有史以来最大級のものである。この噴火がもたらした被害は、降灰・土石流など多大であった。「宝永噴火」から 300 年間富士山は長い眠りに入っているため、山麓に住む住民を含めて富士山が将来噴火し災害をもたらす可能性については、あまり認知されていない状況である。しかし、富士山は、火山学的に見て若く活動的な火山であり、噴火する可能性も高く、場合によっては、広範囲にわたる災害を引き起こすことも考えられる。実際に 2001 年 10 月から 12 月、翌年 4 月から 5 月にかけて富士山直下で低周波地震が群発し、今後噴火する可能性が見られ、現段階から防災対策を立てることは極めて重要である。

3 溶岩流シミュレーションの方法

3.1 地形データと表示 本シミュレーション、および計算結果の表示の際に使用する地形デ

ータとして、国土地理院刊行の数値地図 50m メッシュを用いる。この数値地図 50m メッシュには、一つのファイルに南北 10km、東西 10km の範囲を南北東西それぞれ 200 等分した 50m ごとの標高値データが収められている。シミュレーション結果の表示に際して、3 次元的にアニメーションで観察可能とするため OpenGL を用いる。

3.2 シミュレーションの流れ 溶岩流の流下運動は極めて複雑であり、構成物質による粘性や地形の形状・傾斜角度、および噴火口からの溶岩の噴出条件・噴火形態など様々な要素により定まる。また、溶岩は粘性を持った流れであり、粘性は外気温との温度差や流下中の冷却により変化し、凝固作用や流下速度の減少が生じる。これらの条件を考慮して、正確な流下運動の解を得ることは極めて困難であるが、溶岩の流動をよく近似したものとして Bingham 流体や、Newton 流体が挙げられる。しかし、これらは近似的な解とはいえ大きな計算時間を必要とし、一般家庭に普及しているパーソナル・コンピュータを用いて、リアルタイム（短時間）で行う必要のある動的シミュレーションには不向きである。そこで各メッシュに存在する溶岩を一つの大きな堆積物として考え、標高差によって流下量を決定する最大限に簡素化した方法を用いる⁽²⁾⁽³⁾。

本提案法は、少数の物性データに基づくパラメータしか考慮していないが、溶岩の物性自体の予測が外れる可能性もあることから、流れやすく設定することにより、最悪な場合における流下範囲の予測が可能であると考えられる。シミュレーションの大まかな流れを図 1 に示す。

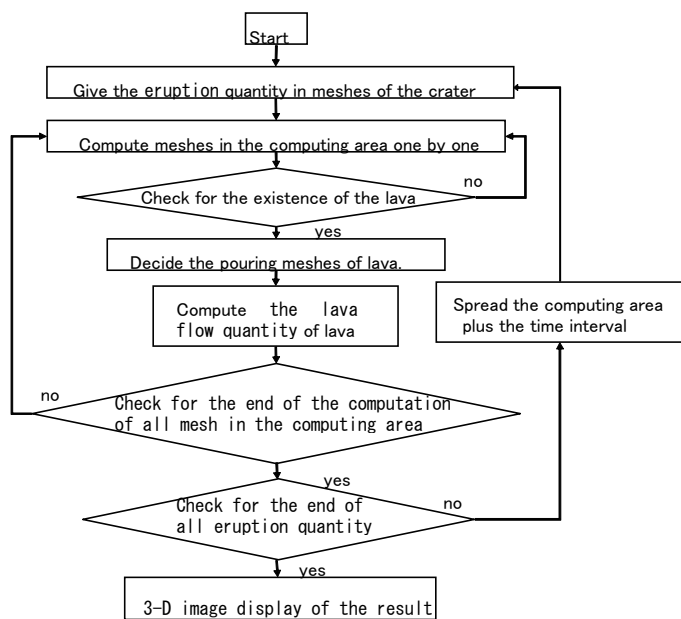


図 1 シミュレーションの流れ

Fig.1 Flow chart of the simulation.

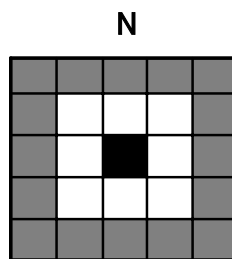


図 2 噴火口のメッシュ構成

Fig.2 Mesh composition of the crater.

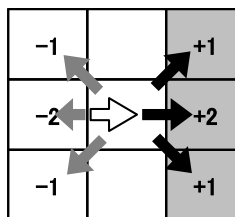


図 3 流入が 1 方向の場合の流出

Fig.3 Outflow when inflow is one direction.

図 1 において、最初に噴火口にあたるメッシュに溶岩量のデータを与えこれを噴火として考える。その後、溶岩量の計算を溶岩の存在するメッシュ 1 つ 1 つに対して行っていく。計算対象となっているメッシュの標高値と、そこに存在する溶岩量を足したものを隣接するメッシュのそれと比較し、差がある一定の標高差以上であり、かつ流入方向から考慮されたメッシュを流出方向先として決定する。ある一定の値とは、流動するための最低厚みであり、溶岩はその粘性のため溶岩の存在するメッシュより低いメッシュすべてに流れるという訳で

はないことから、溶岩の粘度を表す粘性係数から導出する。Newton 流体によって溶岩流の高さ h は、式(1)のように表される⁽⁴⁾。

$$h = \sqrt{\frac{3 \cdot \eta \cdot v}{\rho \cdot g \cdot \sin \alpha}} \quad \dots (1)$$

ここで、 η は粘性係数、 v は速度、 ρ は密度、 g は重力加速度、 α は傾斜角度を表す

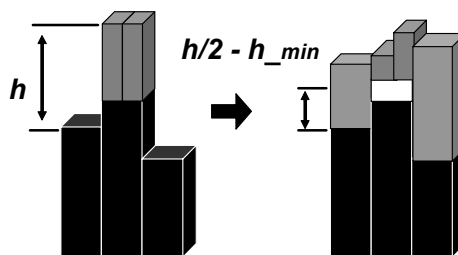


図 4 流下量計算

Fig.4 Computation of the lava flow quantity.

図 2 に噴火口のメッシュ構成を示す。まず、噴火口に想定している中心メッシュ（黒）を計算範囲とする。次に、中心メッシュとそれを取り囲む周のメッシュ（白）を統合した範囲を計算範囲とする。次の計算範囲も同様に、先ほどの範囲を更に一回り大きくし、図 2 での黒、白、灰のメッシュを統合した範囲を計算範囲とする。このように随時計算範囲を一回りずつ拡大していき、拡大する度に範囲内のメッシュ全ての流下計算を行う。全メッシュの計算が終了すると、再度噴火口にあたるメッシュの溶岩量を増加させ、同様の計算を行う。これを繰り返し、溶岩量の増加は仮定した噴火量に達するまで行い、計算は各メッシュからの溶岩の流出が完璧になくなるまで実行する。また、もう一つの要素として方向性を考える。

図 3 において、白色の矢印の方向から中心メッシュへ流入があったとすると、方向性を考慮した流出先は黒矢印の 3 個のメッシュであり、最も流出する可能性の高い直進方向を“+2”，その両端を“+1”とする。反対方向に見られる灰色の矢印は流入の方向性から最も流出する可能性の低い方向であり、大きさを“-2”，“-1”とする。2 方向以上の流入がある場合は、それぞれの流出先の方向性の大きさを加算し 1 以上の大きさのメッシュを次の計算の対象とする。流下方向を限定し、標高を比較した後の流下先メッシュへの流下量の計算方法を図 4（真ん中のメッシュから両隣の 2 個のメッシュへの流下）で説明する。まず、流下先メッシュ数が 2 方向より、真ん中のメッシュに存在する溶岩量を 2 分割した量を最大流下量とし、流下後の標高が同等となるように流下量を計算し、最低厚みを減算した量を最終的な流下量とする。

4 シミュレーション結果

富士山のシミュレーションで用いた噴出量パラメータは表 1⁽⁴⁾のとおりであり、内閣府と同様のものである。また、富士山の地質調査などから、過去の噴火による溶岩が玄武岩質溶岩流であり、1983 年の三宅島噴火における溶岩流と同じであることが分かっている。従って、Time interval に関しては、1983 年の三宅島噴火の平均流速を用いて 71 秒と設定した。なお、噴火口の位置については図 5 の山頂付近を拡大したものから得た 13 個とする。表 1 のパラメータを用いたシミュレーション結果を図 6 の赤茶色で示す。比較の意味で内閣府におけるシミュレーション結果の流下範囲を青線で示す。シミュレーション時間は約 6 時間であった。内閣府のシミュレーション結果に対する本提案法のカバー率（流下領域を覆うことができる割合）およびオーバー率（流下領域からはみ出した割合）のグラフを図 7 に示す。

表 1 富士山の噴出量パラメータ

Table 1. Parameters of the eruption in Mt. Fuji.

All eruption quantity [k m ³]	Eruption rate [m ³]	Time interval [s]
0.7	200	71

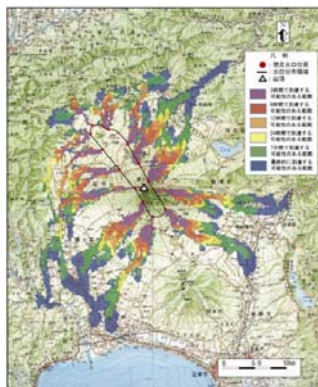
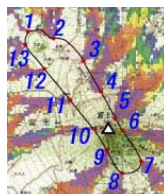


図 5 内閣府による富士山シミュレーション結果

Fig.5 Simulation result in Mt. Fuji by Cabinet Office.



Crater positions

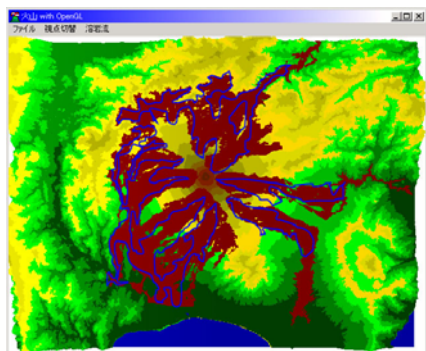


図 6 富士山のシミュレーション結果

Fig.6 Simulation result in Mt. Fuji.

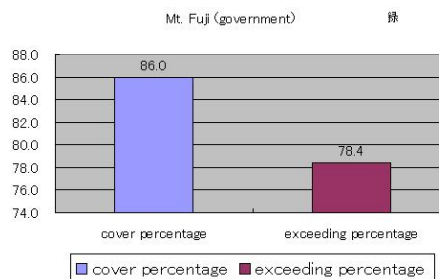


図 7 本シミュレーション結果のカバー率およびオーバー率
Fig.7 The cover percentage and the exceeding percentage of this simulation result.

5 まとめ

本シミュレーション結果では、カバー率は 86.0%，オーバー率は 78.4%であり、内閣府のシミュレーション結果に近い結果が得られた。また、流下範囲が大きいことが見られるが、到達距離に関しては、南東部分以外では、山岳地形部分は常識的に考え、到達範囲が一致することは当然であるが、南西平地地帯においても到達距離の観点から高精度の結果が得られた。このシステムの特徴は、不安を持つ住民や観光客達が、各家庭に普及しているパーソナル・コンピュータ上で、日時と費用をかけずに、何時でも何処でも任意の地域に関するハザードマップが得られることであり、すでにある内閣府の検討委員会のハザードマップなどと併用しながら、自由に利用できる意義は大きいと考える。

参考文献：(1) 内閣府，“溶岩流の基礎的なハザードマップ”，内閣府ホームページ，(2002-6) (<http://www.bousai.go.jp/fujisan/>)
 (2) 石川智也，村中徳明，石田貴彦，橋本潤一，徳丸正孝，今西茂，“火山噴火による被害地域の予測のための溶岩流シミュレーション”，電気学会論文誌 C, Vol. 123, No. 5, (2004-05), 1165-1172
 (3) 小山真人責任編集，“富士を知る”，集英社，(2002-11)
 (4) 石原和弘，井口正人，加茂幸介，“玄武岩質溶岩流のシミュレーション”，日本火山学会，火山第 2 集，第 29 卷，三宅島噴火特集号，(1984-12)，S242-S252