

火山噴火とマグマ流出のシミュレーション

山田島 朋代 (指導教官: 河村 哲也)

1 はじめに

日本は世界有数の火山国で現在日本の活火山数は110である。活火山とは「概ね過去1万年以内に噴火した火山および現在活発な噴気活動のある火山」と定義されている。この日本の活火山数は世界の活火山数の7パーセントにあたる。日本において過去2000年で1162回も火山噴火がおきている。また、近年火山噴火は多発しており、警戒が強められている。

そのため本研究では、火山噴火によるマグマの噴出と斜面におけるマグマの流れの数値シミュレーションを様々な条件で行い、マグマの挙動について検証・考察をすることを目的とする。

2 モデル化・格子生成

2.1 対象とする現象

- case1 噴出: 噴出口からマグマが噴き出す
 - case1-1: マグマが固まらない場合
 - case1-2: マグマが固まる場合
- case2 斜面流: 斜面をマグマが流れる
 - case2-1: 斜面
 - case2-2: 谷
 - case2-3: 尾根
 - case2-4: 山

2.2 格子

- case1 噴出
立方体の領域を用いる。格子数は $50 \times 50 \times 50$ とした。各方向の比率が $x: y: z = 1: 1: 1$ である直交等間隔格子を用いる。
- case2 斜面流
平行六面体および谷、尾根、および山を表すわん曲した領域を用いる。(Fig. 1)(Fig. 2)(Fig. 3)に谷、尾根および山の形状を示す。



Fig 1 case2-2 谷 Fig 2 case2-2 尾根

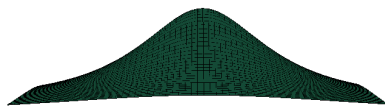


Fig 3 case2-3 山

2.3 境界条件

- case1 噴出
下面中央部の 3×3 格子部分からマグマが噴出するとした。
- case2 斜面流
 - case2-1: 傾斜 20 度。最高点からマグマを流す。
 - case2-2: 傾斜 10 度。谷の山頂側 2 か所からマグマ

を流す。

case2-3: 傾斜 10 度。最高点の中央部 8 格子部分からマグマを流す。

case2-4-1: 山頂からマグマを流す。

case2-4-1: 山頂から少し下った地点からマグマを流す。

3 計算方法

3.1 基礎方程式

マグマの流速が大きくないと仮定し、空気または水とマグマを一体化して、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を、連続の条件の下で解く。マグマは高密度とし、密度の変化に着目する為、密度方程式を加えて解く。

連続の式

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0$$

Navier-Stokes 方程式

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \frac{\mu}{\rho} \Delta \mathbf{V} - g \cdot \mathbf{K}$$

密度方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \rho = 0$$

$\mathbf{V} = (u, v, w)$: 流速, P : 圧力, g : 重力加速度, \mathbf{K} : 重力方向単位ベクトル, ρ : 密度, μ : 粘性率

3.2 解法

上記の基礎方程式をフラクショナル・ステップ法を用いて計算する。[1]

4 結果と考察

4.1 case1 噴出

case1-1 マグマが固まらない場合

粘性率 μ を 0.03, 0.01, 0.005 の 3 パターンで計算を行った。中央断面における最終形状 (20000 ステップ) は以下ようになった。(Fig. 4)(Fig. 5)(Fig. 6)

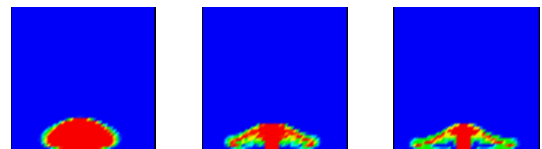


Fig 4 $\mu=0.03$ Fig 5 $\mu=0.01$ Fig 6 $\mu=0.005$

粘性率が小さいほど横に広がった形状が確認できた。粘性率が大きいと噴出口脇の隙間はほとんどなく、噴出口から上だけでなく横にも広がる流れが確認できた。

case1-2: マグマが固まる場合

ある格子点から上側の重さが一定値を超えた場合、その格子ではマグマが固まったとして計算領域から外した。case1-1 と同様に、 $\mu=0.03, 0.01, 0.005$ の 3 パター

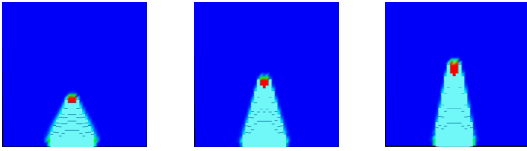


Fig 7 $\mu=0.03$ Fig 8 $\mu=0.01$ Fig 9 $\mu=0.005$

ンで計算行ったところ、中央断面での最終形状 (10000ステップ) は Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9 のようになった。

粘性率が小さいほど傾きが急な山ができた。仮に海底火山だとすると、浮力があるため、マグマは陸より急な勾配で固まると考えられる。

4.2 case2 斜面流

case2-1: 斜面

まず case1 と同様に、 $\mu=0.03, 0.01, 0.005$ の 3 パターンで計算行ったところ斜面における密度の途中分布は以下ようになった。(Fig. 10)(Fig. 11)(Fig. 12)

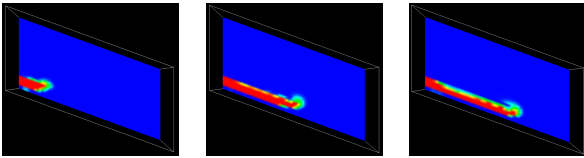


Fig 10 $\mu=0.03$ Fig 11 $\mu=0.01$ Fig 12 $\mu=0.005$

粘性率が大きいほど、斜面を流れる速度は遅くなった。また、一様に流れるのではなく、先頭に頭のある形状の流れが確認できた。頭ができるまでの時間は粘性率が大きいほど短く、粘性率 0.03 のときの頭は斜面を下るにつれて前倒しのような形になった。

次に一部からマグマを流し、障害物を斜面上に設置した場合の検証を行った。(真上から見た図) (Fig. 13) (Fig. 14)



Fig 13 n=4000step Fig 14 n=6000step

密度の濃い部分の波が確認できた。下方に行くにつれて波の部分の密度は小さくなっていった。障害物のすぐ下方は下三角形の範囲でマグマが流れない部分が見られた。

case2-2. 谷

$\mu=0.01$ として検証を行った。(真上から見た図) (Fig. 15) (Fig. 16)

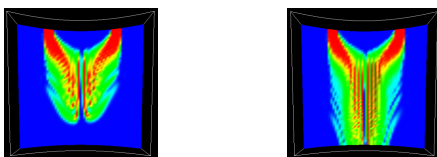


Fig 15 n=3000step Fig 16 n=5000step

谷底付近に密度の大きい部分の縦縞が見られた。谷

の中央に障害物を設置した検証も行った。(結果略)

case2-3. 尾根

$\mu=0.01$ として検証を行った。(Fig. 17)

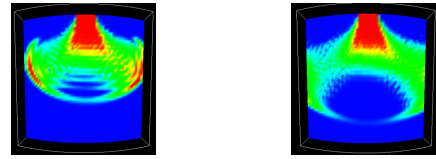


Fig 17 n=3000step Fig 18 n=5000step

まっすぐ尾根を進むのではなく、左右に波を作りながら流れた。尚、左右の境界では反射条件を課したためその影響がでている。

尾根の右側側面に障害物を 2 つ設置した検証も行った。(結果略)

case2-4-1. 山 (山頂から噴出)

$\mu=0.01$ として検証を行った。(Fig. 19)(Fig. 20)

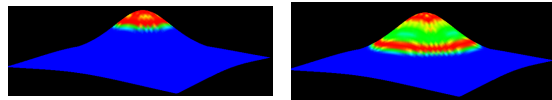


Fig 19 n=4000step Fig 20 n=8000step

大きい密度の流体が円を作り軸対称的に斜面を下っていくことが確認できた。

case2-4-2. 山 (斜面から噴出)

$\mu=0.01$ として検証を行った。(Fig. 21)(Fig. 22)

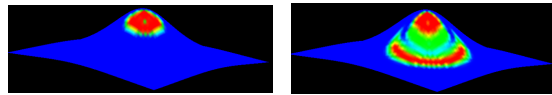


Fig 21 n=3000step Fig 22 n=8000step

case2-3 と類似の結果が得られた。斜面の途中で密度の大きい部分が分離して下っていった。

5 まとめと今後の課題

火山噴火によるマグマの噴出と、斜面におけるマグマの流れを様々な条件で数値シミュレーションを行うことができた。検証のまとめとして、マグマに耐えうる障害物が斜面または尾根近くにある場合、その後ろにはあまりマグマは流れ込まず安全に近いということが考えられた。

今後は、斜面とマグマの摩擦や熱を考慮し、より現実に近い傾斜、粘性率、密度に基づいてシミュレーションを行い、火山災害に対する対策を考案することで、自然災害被害軽減に貢献していく所存である。

参考文献

- [1] 河村哲也. 数値シミュレーション入門. サイエンス社, 2006.
- [2] 気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>