

桜島火山灰の降灰シミュレーション

理学専攻・情報科学コース 川崎爽代香

1 はじめに

近年、火山の噴火が多発し、警戒が強められている。火山の噴火は、御嶽山の噴火に象徴されるような人的被害以外にも、建築物や農耕作にも被害を与える場合がある。常に噴火または爆発的噴火を繰り返している桜島では、定常的に島内、さらには海を挟んだ鹿児島本島へ降灰し、人々の生活に影響を与えている。

また、日本の火山の中で火山噴火予知連絡会は、今後100年程度の中長期的な噴火の可能性及び社会的影響を踏まえ、「火山防災のために監視・観測体制の充実等の必要がある火山」として47火山を選定している。その中でも桜島は近年の噴火活動が活発化している火山の一つである。2009年の最初の3か月で、前年の爆発的噴火回数を上回るなど、2009年以降の爆発的噴火回数が急増している。このように活発な火山活動により、鹿児島県の人々は日常的に火山災害を受けている。

一方、桜島には火山による恵みを受けた地域特有の農作物や温泉がある。そこで、鹿児島県民の火山に寄り添ってきた生活の中で、火山被害を軽減し、火山の恵みを強く感じられるよう力になりたいと考え、最も日常的な被害である降灰の数値シミュレーションを行い、降灰が気候などによる影響をどのように受け、どのように拡散するのかを検証する。

2 モデル化

本研究では、鹿児島県の桜島を中心に93km四方、高さ方向には対流圏の範囲を想定した上空11kmを扱う。この時の計算領域は直方体とする。

格子数は $160 \times 160 \times 40$ である。ここでは、計算量を増やさずに計算領域を広くするため、平面(xy面)では、火山を中心とした80格子四方の内部は等間隔格子をとった。その他の格子は不等間隔格子となっていて、端に行くほど、格子が粗くなるようにしている。また、高さ方向についても、同様に、高度があがるほど、格子が粗くなるようにしている。高さ方向(z方向)1番目には、格子点それぞれに国土地理院発行の数値地図250mメッシュ(標高)データをCD-ROMからとりこみ、桜島周辺地域の地形を再現している。

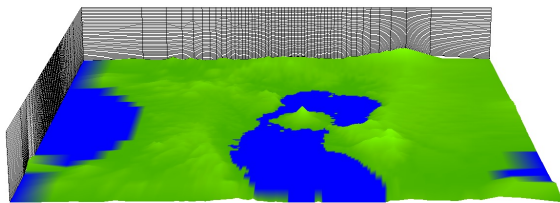


図1: 計算格子

3 計算方法

桜島火山周辺では、風速が小さいため、非圧縮性の流れとみなして、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を、連続の条件の下で解く。本研究では、熱と火山灰の濃

度を解くことで降灰の様子を考察するため、熱に対する移流拡散方程式と火山灰に対する移流拡散方程式を加えて、同様に連続の条件の下で解く。
連続の式

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

非圧縮性 Navier-Stokes 方程式

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla p + \frac{1}{Re} \Delta \mathbf{v} + \frac{Gr}{Re^2} \quad (2)$$

熱に関する移流拡散方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) T = \frac{1}{RePr} \Delta T \quad (3)$$

火山灰の濃度に関する移流拡散方程式

$$\frac{\partial R}{\partial t} + u \frac{\partial R}{\partial x} + v \frac{\partial R}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial R}{\partial z} = \frac{1}{ReSc} \Delta R \quad (4)$$

ただし、 T : 温度、 R : 火山灰濃度、 w_g : 火山灰の落下速度、 Re : レイノルズ数、 Gr : グラスホフ数、 Pr : プラントル数、 Sc : シュミット数とする。

(1)~(4)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。

4 初期条件・境界条件

風による降灰の様子の変化をみるため、異なる風速・風向データのもとで検証する。初期条件として、風速が一定となるように、速度ベクトルを与える。

例えば、風向が南東で、風速が0.2であれば、 $\mathbf{v} = (0.2\cos(\frac{\pi}{4}), 0.2\cos(\frac{\pi}{4}), 0.0)$ を与える。

境界条件は地表面を滑りなし条件、風が流れてくる平面は地表面の摩擦力を考慮した速度分布、風が流れて出す平面は自由流出、上空は成層圏を想定して一様流とする。

また、火山の噴火口について、平均噴出速度 W と熱 T と火山灰の濃度 R を与える。

5 計算結果

鹿児島県における被害を考えるため、鹿児島県内の3地点を取り上げる。



地点 A: 鹿児島市役所
地点 B: 吉野(鹿児島市)
地点 C: 垂水

図2: 鹿児島県

	垂水(垂水市)	吉野(鹿児島市)	市役所(鹿児島市)
1月	589	85	49
2月	1,118	416	79
3月	385	115	22
4月	90	55	17
5月	161	269	208
6月	5	12	19
7月	38	22	7
8月	62	667	544
9月	488	726	843
10月	335	593	1,402
11月	444	104	11
12月	433	40	13
合計	4,148	3,104	3,214

図 3: 降灰量実測データ (平成 25 年, 単位 g/m^2)
 ピンクの帯はその月に 3 地点の中で最も降灰量が多い地域を示している。

夏には主に鹿児島半島, 冬には主に大隅半島に降灰がみられるため, 本研究では次の 2 つの場合を想定してシミュレーションする。

1. 風向: 南東, 風速: 0.2
2. 風向: 北西, 風速: 0.3

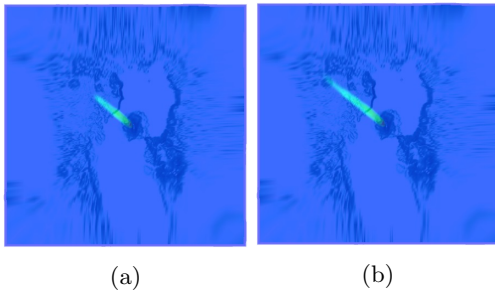


図 4: 夏の降灰 (a)800 秒後 (b)1250 秒後)

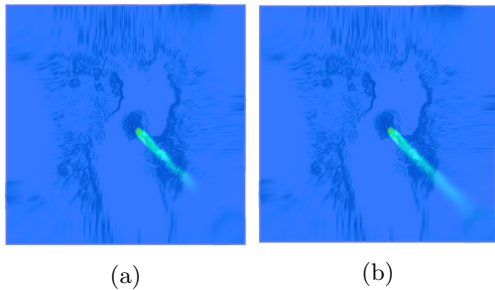


図 5: 冬の降灰 (a)800 秒後 (b)1250 秒後)

また, 吉野と垂水の上空で, 高度別に火山灰濃度を比較する。

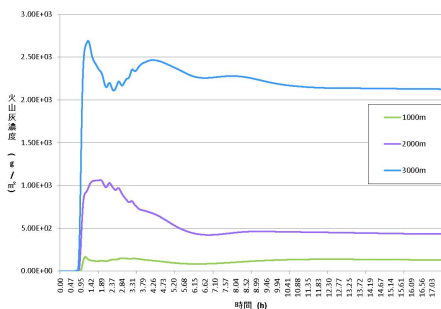


図 6: 高度別の火山灰濃度 (吉野)

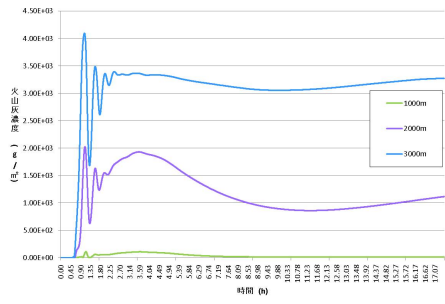


図 7: 高度別の火山灰濃度 (垂水)

6 考察

夏と冬のそれぞれの場合について上空から見ると, 冬の降灰範囲の方が夏よりも広範囲に拡散する。一方で, 吉野と垂水の高度別の火山灰濃度を比較すると, 高度が高いところでは垂水, 高度が低いところでは吉野の方が高い火山灰濃度を示した。また, 垂水における火山灰濃度の波の変化が激しくなっているのは, 垂水の山が多いという地形により, 気流の変化が生じ, その気流に沿って蛇行しながら拡散するためであると考えられる。

これらのことから, 夏の場合は, 高度が低めの上空をほぼ直線方向に拡散し, 冬の場合は, 高度が高めの上空を山の影響を受けて蛇行しながら広い範囲に降灰することがわかった。

本研究では, 地形データを取り込んでいるため, 地上における火山灰濃度の計測が難しく, 高度別の火山灰濃度から, ラグランジュ補間を用いて地上における火山灰濃度の予測値を得た。実測値より予測値の方が大きい, おおまかに現実と近い結果を得ることができた。

地点	火山灰濃度実測値 (g/m^2)	火山灰濃度予測値 (g/m^2)
吉野	182	346.6
垂水	162	191.9

7 まとめと今後の課題

詳細な地形データを取り込むことにより, 季節により異なる風向・風速の条件下で, 実測データと近い結果を得た。桜島は, 火山の噴火により形成された島であり, 一部が陸続きという特徴もあるので, 熱の流れについても検証したが, 陸面と海面における温度の条件を考慮していない。今後の課題としては, 地形データに熱の特徴も加えた上での検証をすすめていきたい。また, 風速の条件を簡略化して一様としているが, 実際には上空へいくに連れて, 風速が大きくなるため, 地点によって風速を変化させてシミュレーションにも取り組みたい。

8 参考文献

- [1] 気象庁ホームページ
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- [2] 鹿児島県庁危機管理・防災ホームページ
<https://www.pref.kagoshima.jp/bosai/index.html>
- [3] 河村哲也:流体解析 I, 朝倉書店, 2000
- [4] 河村哲也, 渡辺好夫, 高橋聡志, 岡野覚: 流体解析 II, 2002