

## 桜島における 2020 年 6 月 4 日の噴火による火山岩塊の解析

## Analysis of ballistic projectiles ejected during the June 4, 2020 eruption of Sakurajima volcano

○常松佳恵・山田大志・中道治久・横尾亮彦

○Kae TSUNEMATSU・Taishi YAMADA・Haruhisa NAKAMICHI・Akihiko YOKOO

Sakurajima volcano, one of the most active volcanoes in the world often eject large pyroclasts of several meters in size. These pyroclasts, often travel drawing parabolic trajectories and deposit around the vent, are called ballistic projectiles. A large ballistic block ejected during the eruption on June 4<sup>th</sup>, 2020 and it landed on the field near the town called “Yuno” in Sakurajima. To assess the risk of these ballistic projectiles, we estimated the ejection and landing velocity based on the comparison of images taken by monitoring camera with numerical simulation results. The analysis of the images showed that the maximum height of the ballistic projectile reached 2210 a.s.l. We have suggested two kinds of estimation method assuming that 1) ejection axis was vertical and 2) ejection axis was inclined. Both methods estimated the ejection velocity larger than 100 m/s. This means that the ballistic blocks of larger than 70 cm can damage a roof of buildings made of reinforced concrete.

## 1. はじめに

桜島火山においては過去にも大きな岩塊が噴出される噴火が発生しており（井口ほか, 1983; 井口・加茂, 1984），2020年6月4日の未明にも火口から3.4 kmも離れた「湯野」と呼ばれる桜島の南部の居住域内に岩塊が落下した。この際に岩塊は落下地点の周辺に直径約6メートルのインパクトクレータを形成した。また、岩塊は衝撃によっていくつかの破片に砕けており、岩塊の大きさは計測できなかったが、破片をつなぎ合わせると、砕け散る前は50-70 cmほどの大きさではなかったかと想像される。一方、この噴火の際には、湯野の着弾地点から100メートル離れた資材置き場の屋根にも岩塊によると考えられる穴が開いていた。このように、火山岩塊は建物などを破壊する大きなエネルギーを持って飛来し、火山周辺の居住地に被害を及ぼすことがある。よって、被害を軽減するためには岩塊はどれくらいのエネルギーを持って噴出し、降下するのかを推定してそれに応じた対策を取る必要がある。今回の噴火によって噴出した岩塊のエネルギーを推定するため、モニタリングカメラの映像と数値計算の結果

を比較することによって、逆算的に噴出速度・角度等の噴出条件を推定した。

(a)



(b)

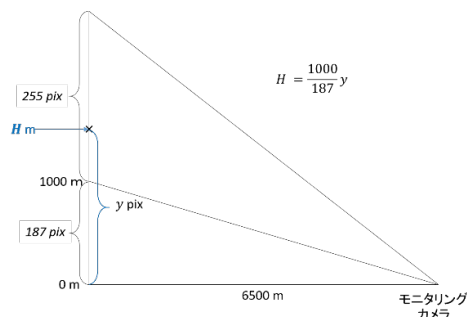


図 1 (a) モニタリングカメラから見える桜島の様子。

(b) モニタリングカメラからの視点と鉛直方向の視野との関係。

## 2. 手法

モニタリングカメラの画像は、桜島の南東に位置する海淵の監視カメラから得られた画像を用い、噴石の最高到達高度などを推定した。なお、視野を確認するために、Google Earth を用い、モニタリングカメラからの視野における左端と右端の地点を地図上で表し、その左右の端を通る断面図を国土地理院がインターネット上で提供する Digital Elevation Model (DEM) から作成して、ピクセル値と実際の距離との対応関係を抽出した (図 1)。

シミュレーションには Ballista (Tsunematsu et al., 2016) を用いた。Ballista は複数の岩塊を同時に噴出させ、3 次元で各岩塊の移動の時間変化を計算し、軌跡と落下地点の分布を出力する数値モデルである。噴出地点・速度・方向・角度、岩塊の密度・大きさを入力パラメータとして、岩塊ごとに以下のような運動方程式を解く。

$$m \frac{D\vec{v}}{Dt} = - \frac{AC_D \rho_a (\vec{v} - \vec{u}) |\vec{v} - \vec{u}|}{2} - m\vec{g}$$

ここで、 $m$  は岩塊の質量、 $v$  は岩塊の速度、 $u$  は周囲の気体の流速、 $C_D$  は抵抗係数、 $A$  は岩塊の流れに垂直な方向の面積、 $\rho_a$  は周囲の気体の密度、 $g$  は重力加速度である。噴出条件を推定する際には、鉛直上向きから湯野の方向に何度か傾いた方向に放出された場合と、岩塊がほぼ直上に放出されたと仮定する 2 つのパターンを考えて噴出条件を推定した。

岩塊の放出軸が傾いていた場合、以下のような条件をどちらも満たすシミュレーションケースの入力パラメータを噴出条件であると推定する。  
条件 1: 実際に落下した地点 (湯野) の近くに岩塊が飛んだ。

条件 2: 噴出したすべての岩塊のうち、最大距離が実際のものに近い。

また、岩塊がほぼ直上に放出されたと仮定する場合は以下の条件をどちらも満たすパラメータを噴出条件であると推定する。

条件 1: 岩塊の最大到達高度がモニタリングカメラの映像から見積もられた値と等しい。

条件 2: 岩塊が湯野の落下地点に到達する。

なお、シミュレーションに用いる岩塊の密度は、実際に湯野に落下した岩塊の破片の密度を測定して得られた  $2883 \text{ kg/m}^3$  を用いた。

## 3. 結果と考察

モニタリングカメラの映像から推測された岩塊の最高到達高度は海拔  $2870 \text{ m}$  であった。

映像解析とシミュレーションによって求められた最高到達高度および最大到達地点の情報などによって推定される噴出速度は、岩塊の放出軸が傾いていた場合も、鉛直直上に放出された場合でも  $100 \text{ m/s}$  以上と見積もられた。これは、岩塊の直径が  $70\text{-}100 \text{ cm}$  の際、火口から  $3 \text{ km}$  以上の距離に到達した場合には衝突エネルギーが  $10^4 \text{ J}$  を超える値になることを意味している。Spence et al. (2005) によると、これは鉄筋コンクリートの屋根を貫通するエネルギーより大きい値に相当する。そのため、たとえ鉄筋コンクリートの屋根であっても、噴出した岩塊が火口から  $3 \text{ km}$  以上離れた地点に到達する場合には、被害が発生する恐れがある。6 月 4 日の噴火で資材置き場の屋根を貫通した岩塊は  $20 \text{ cm}$  程の穴をあけていたことを考えても、この噴火における岩塊の放出は大きなエネルギーを持ち、被害を発生させるのに十分であったことがうかがえる。

以上のようなことから、今後も桜島における噴火では岩塊による被害を防ぐため、建造物の強化などの対策が必要と考えられる。

なお、共同研究においては火山岩塊の大きさと岩塊が受けるガスの推進力や回転の様子が岩塊の飛翔にどのように関係するかを探るため、桜島における火山岩塊のハイスピード観測を行っている。今後はモニタリングカメラだけでなく、キャンペーン観測等で得られる詳細なデータを利用して、岩塊の飛翔におけるエネルギー減衰の仕組みや岩塊の大きさや到達距離との関係について、さらに議論を進める予定である。