

空気振動観測によるブルカノ式噴火の岩塊到達距離評価
-運動方程式に基づく圧力積分と初速度の検討-

Hazard evaluation of ballistic projectiles from Vulcanian eruptions with infrasound observation
- a consideration for the pressure integral and velocity relation -

○山田大志・井口正人

○Taishi YAMADA, Masato IGUCHI

The initial launching velocity of the volcano ballistics projectile (VBP) is a primal factor for the maximum reaching range of VBPs, which defines the hazard area. Based on the equation of motion of VBPs, we evaluate the maximum launching velocity (V_{max}) with I_{max} (integral peak value of observed infrasound pulse) from Vulcanian eruptions at Sakurajima and Suwanosejima volcanoes. We obtained a representative relation of $V_{max}=25I_{max}^{0.15}$ that defines the maximum range of V_{max} with given I_{max} values. Based on the equation of motion, this relation yields another relation between the overpressure P and V_{max} as $V_{max}=2.02P^{0.30}$. Comparing the results with the existing VBL launching model, we demonstrate that P and volatile emission amount are both critical for V_{max} (117 words).

1. はじめに

火山噴火による放出岩塊のハザード範囲は最大到達距離によって規定されるため、現地調査に依らない物理観測による最大到達距離の評価は重要な課題である。大きな形状の岩塊の運動に対しては空気抵抗の影響は限定的であり、射出時の初速度が到達距離に大きく影響する。岩塊射出時の運動方程式に基づく、初速度を主に決定づけるのは圧力項の時間積分（圧力積分）である。桜島火山や諏訪之瀬島火山の代表的な噴火様式の一つであるブルカノ式噴火は、岩塊放出と共に大振幅の増圧相を伴う空気振動を励起する。岩塊放出と同時に励起される圧力波という観点からは、圧力積分は増圧相に反映されている可能性がある。本発表では初速度と圧力積分の関係に基づき、空気振動観測による岩塊の最大到達距離の評価について検討する。

2. 対象と観測

対象とするブルカノ式噴火は、桜島南岳の2017年11月から2023年11月までに発生した585例、2021年3月以降に諏訪之瀬島御岳で発生した449例である。最大到達距離は気象庁による遠望観測と、実際に判明している落下地点（桜島南岳2020年6月4日(2:59)）の記録を用いる。Wilson(1972)の岩塊運動方程式に基づき、到達距離を岩塊射出時の初速度に換算する。到達距離を最大にする射出角を 63° （井口・他、1983）、抵抗係数を0.6、

代表的な岩塊の大きさを桜島南岳は2 m、諏訪之瀬島は1 mとそれぞれ仮定している。岩塊の射出軸は鉛直方向とし、その際の最大の射出速度 V_{max} (m/s)を検討の指標とする。空気振動は火山活動研究センターのハルタ山観測室(桜島南岳)、GPS観測室(諏訪之瀬島)に設置された低周波マイクロフォン(SI104)の観測記録を用いる。

3. I_{max} と V_{max} の関係

空気振動波形の特徴と V_{max} の関係を検討すると、 V_{max} が大きいイベントでは増圧相の最大振幅が大きいだけでなくパルス幅も長い。特にパルス幅の増大は、放出される揮発性成分(火山ガス)量が多いために、岩塊をより加速させていることを示唆する。つまり、 V_{max} には噴火時の過剰圧と揮発性成分放出量の双方が効いていることが期待される。振幅とパルス幅の両方を評価するために、増圧相波形の一回積分(振幅距離減衰を補正)のピーク値 I_{max} (Pa・s)を空気振動観測から得られる指標とし、 V_{max} との対応関係を図1に示す。 V_{max} への過剰圧と揮発性成分の双方の寄与についての仮説の妥当性を検証するため、以下では岩塊射出の理論モデルから期待される初速度と圧力積分の関係に基づいて I_{max} と V_{max} の分布を検討する。

4. 岩塊射出モデルに基づく検討

本発表では、ブルカノ式噴火を模した衝撃波管減圧実験における岩石試料上のプレート(蓋)の

運動を記述した Alatorre-Ibargüengoitia et al.(2010)の一次元モデルを岩塊射出時の運動方程式の検討に用いる。当該モデルの主要な変数は初期過剰圧 P (Pa)と岩石試料空隙率 ϕ , 岩石試料の厚さ d (m)である。本発表では岩石試料は岩塊として放出される火口底溶岩の下に形成されるガス溜まり, d は爆発深度とそれぞれ解釈する。ブルカノ式噴火に関する先行研究や岩石の破壊強度を参考に, P の最大値は 25 MPa とする。一次元モデルに従って岩塊が運動する範囲 z_{th} (m)については, $z_{th} = z_{th0} + A(ma)$ と定義する。 z_{th0} は 2 m とし, z_{th0} における岩塊の慣性力 (加速度 a (m/s²), 岩塊質量 m (kg), 係数 A) に応じて z_{th} が変化するものとする。 A は仮定した圧力範囲で I_{max} と V_{max} の分布を網羅するよう決定する (2.0×10^{-5})。検討における z_{th} の最大値は 270 m 程度であるが, これは桜島南岳火口の深さとほぼ同等である。室内実験における ϕ の上限は 0.65 程度とされるが, ここでは I_{max} と V_{max} の分布上限を説明するために 0.85 と仮定する。

5. 結果と解釈

図1には, 上記モデルから想定される初速度と圧力積分の関係を I_{max} と V_{max} の分布上に灰色破線で投影している。モデルから期待される初速度と圧力積分の特徴は, 初速度は P に, 圧力積分は d にそれぞれ大きく依存する。圧力積分の d への依存性は, 火砕物全体の質量が増加することで加速により長い時間が必要であることを反映している。図1からは単一の d の仮定のみでは I_{max} と V_{max} の分布全体を説明できないことが読み取れる。つまり, V_{max} が大きくなるほど P と d の双方が増大していることを示唆する。また図1には I_{max} に対しての V_{max} の上限を規定する代表的な関係式として $V_{max} = 25I_{max}^{0.15}$ を黒実線で示す。モデルに基づく, 関係式付近の P と圧力積分は $I_{max} = 1.4 \times 10^{-8}P^{2.01}$ という関係に従う。つまり, I_{max} に対する V_{max} 上限式の背後には $V_{max} = 2.02P^{0.30}$ という関係が存在していることを意味する。この性質を, P と V_{max} の関係を直接的に検討している Wilson (1980)のモデルと比べて検討する (図2)。Wilson (1980)のモデル (点線) に基づくと, 上記の上限式から期待される P と V_{max} の関係 (赤線) は, V_{max} の増大に対して P だけでなく噴出に寄与する揮発性成分の質量分率 n も同時に増加しているという特徴を表して

いると解釈できる。つまり, V_{max} の増大に対しての過剰圧と揮発性成分の双方の寄与という空振観測から示唆を支持すると言える。

本発表の結果は, ブルカノ式噴火の岩塊到達距離には火口底に蓄積される過剰圧だけではなく, 同時に放出される揮発性成分の放出量も大きく影響していることを示している。揮発性成分放出量は個別のブルカノ式噴火に留まらず, 揮発性成分を含んだマグマが駆動する噴火活動の盛衰そのものを反映すると期待される。つまり, より巨視的な噴火活動の一部という観点からも放出岩塊の到達距離を評価する必要があると言える。

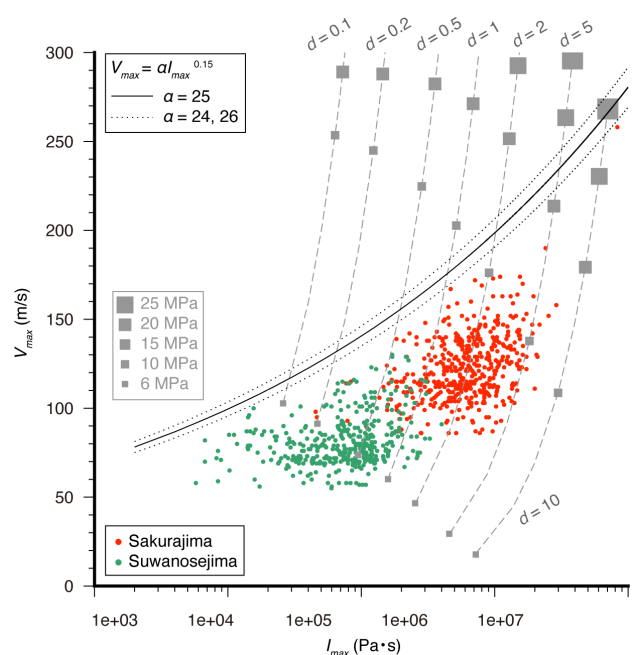


図1. I_{max} と V_{max} の関係, 岩塊射出モデルに基づく初速度と圧力積分の関係 (灰), I_{max} に対する V_{max} 上限の関係式 (黒)

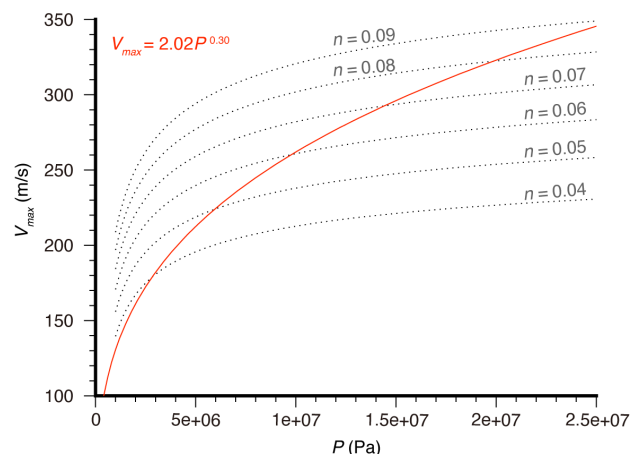


図2. 得られた P と V_{max} の関係 (赤) と Wilson (1980)の岩塊射出モデル (点線) の比較