

フンガトンガ-フンガハアパイ火山 2022 年噴火の再現

課題責任者

鈴木 雄治郎 東京大学 地震研究所

著者

鈴木 雄治郎 東京大学 地震研究所

キーワード：トンガ噴火，火山噴火，火山灰，フンガトンガ，固気混相流

1. はじめに

2022 年 1 月 15 日にトンガ諸島に位置するフンガトンガ-フンガハアパイ火山 (HTHH 火山) で、非常に強い爆発的噴火が発生した。火口が浅海底にあったことから、火山砕屑物 (火山灰や軽石) と火山ガスで構成される火山噴出物は海水を取り込み、それら全体が噴煙となって成層圏まで上昇した。噴煙の一部は中間圏まで達したとの報告もある [1]。噴煙は成層大気中の密度が釣り合う密度中立点で水平に拡大する。その形状から傘型噴煙と呼ばれ、HTHH 噴火ではその直径が数百 km まで達した。この噴火は爆発性が強かったことが特徴的で、全球に渡って大気振動が伝播したこと、大気振動によって励起された潮位変動が火山から 8 千 km 以上離れた日本においても観測された。火山遠方における大気圧計や潮位計、また人工衛星によって噴火の様子が観察されたものの、島嶼地域での噴火であったため火山近傍での観測は欠損している。そのため、観測データを数値シミュレーションで補完することで噴火推移を推定することが重要である。

火山噴火は一般に、噴火規模と強度、継続時間でスケールリングされる。噴火規模は、火山噴出物の総量 (総質量、または総体積) で表される。噴火強度は、単位時間に噴出する量、すなわち噴出率 (kg/s) で示される。噴出量と噴出率、継続時間はどれか 2 つが分かれば、残りの 1 つを見積もることができる。本研究では、HTHH 噴火の噴火規模・強度・継続時間を推定することを最終的な目標とし、HTHH 噴火に伴う火山噴煙の再現を目的とした。本稿では、シミュレーションの 1 例を紹介する。

2. 計算手法・条件

火山噴煙シミュレーションには流体と粒子のカップリングモデル [2] を用いた。流体計算は、一般的な圧縮性流体力学スキームに噴煙の状態方程式を組み込んだモデル [3] を適用している。火山灰粒子輸送の表現にはトレーサー粒子を適用し、周囲流体の流れに影響を受ける。一方、トレーサー粒子は流体計算に影響を与えないと仮定した。

密度成層した大気中に高温・高圧のマグマ物質が円形の火口から噴出する場合を想定した。大気の再解析モデルから得られた密度・圧力・温度・風速プロファイルを初期条件として与えた。大気は熱帯大気で一般的な構造を持つ。簡単のため、水平方向には均質と仮定した。マグマ温度は 1233 K、マグマに含まれる火山ガス量は 5 wt% と

した。火口での圧力を大気圧とし、噴出物速度は音速 (マッハ数 1) に達すると仮定した。火口半径は 2 km とした。

HTHH 噴火では、噴出マグマと海水が接触することで爆発が強くなったと考えられる。噴煙の 1 次元モデルを用い噴火条件と噴煙高度の関係を概算すると、海水をほとんど含まないマグマ噴火では、観測された噴煙高度 50 km 以上を説明することが難しい。一方、噴煙に含まれる海水量が 20 wt% を超えると、噴煙の温度が 500 K を下回り高い噴煙を形成するだけのエネルギーを持つことができない。したがって、噴煙質量の数 wt% もしくは 10 数 wt% の海水が混合したと想定される。本計算では、混合海水の質量分率を 12 wt% とした。この場合、噴煙の初期温度は 800 K で初期密度は 1.7 kg/m^3 となる。また、噴出速度は音速の 251 m/s で、噴出率は $5.0 \times 10^9 \text{ kg/s}$ となる。噴火継続時間は 2000 秒とした。

トレーサー粒子は、噴火開始から 10 秒毎に 1500 粒子が放出するように設定した。トレーサー粒子の形状は球形を仮定し、その直径は 2°mm (8ϕ) から 2°mm (-8ϕ) までの範囲でランダムに与えた。トレーサー粒子は流体と終端速度を持って相対的に移動する。トレーサー粒子が地表に達した時点でその粒子の計算を停止し、そこを堆積地点とした。

3. 計算結果

噴火開始から 7200 秒までのシミュレーションを実行した。噴火直後から強い上昇流が発生し、約 700 秒後には高度 40 km を超えた。噴煙最上部の上昇速度は減少し、噴煙は水平方向へと拡大、傘型噴煙を形成し始めた。1000 秒後には傘型噴煙の直径は 200 km を超え、拡大速度を維持した。噴出が止まる 2000 秒には噴煙の一部は高度 50 km に達し、傘型噴煙の直径も 300 km を超えた (図 1)。噴火停止後も傘型噴煙の拡大は続き、4000 秒後にはその半径は約 500 km まで拡大した。

シミュレーション結果を 3 次元可視化し、上面から見るとほぼ同心円状に拡大したことがわかった (図 2)。実際に人工衛星画像でも同心円状に拡大する様子が観察されていて、傘型噴煙半径も観測データと整合的だった。4000 秒後には、噴煙上面に縞構造が見られた。

トレーサー粒子の計算によって、噴煙内部の火山灰分布を再現することができた (図 3)。16mm より大きな粒子は噴煙内部に出来る噴水構造の頂部から落下し、噴煙上

部には含まれない。それより小さく 0.25 mm よりは大きい中間的サイズのものは、噴煙上部まで運ばれ傘型噴煙からサイズが大きい順に落下した。さらに細かな粒子は傘型噴煙に取り込まれたまま、成層圏内を滞留した。

4. まとめ

これまでに開発した噴煙の3次元モデルを用い、HTHH噴火の噴煙挙動を再現することができた。さらにパラメータスタディを進めることで、噴出率・噴火総質量・噴火継続時間といった噴火スケールを推定することができる。

謝辞

本研究の一部は、科学研究補助費(課題番号 17KK0085)と次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの補助を受けた。

文献

- [1] J. L. Carr, A. Horvath, D. L. Wu, and M. D. Friberg, "Stereo plume height and motion retrievals for the record setting Hunga Tonga-Hunga Ha'apai eruption of 15 January 2022." *Geophys. Res. Lett.*, vol. 40, e2022GL098131, 2022.
- [2] Y. J. Suzuki, T. Koyaguchi, M. Ogawa, and I. Hachisu, "A numerical study of turbulent mixing in eruption clouds using a three-dimensional fluid dynamics model." *J. Geophys. Res.*, vol. 110, B08201, 2005.
- [3] Y. J. Suzuki, and T. Koyaguchi, "3D numerical simulation of volcanic eruption clouds during the 2011 Shinmoe-dake eruptions." *Earth Planets Space*, vol. 65, pp. 581-589, 2013.

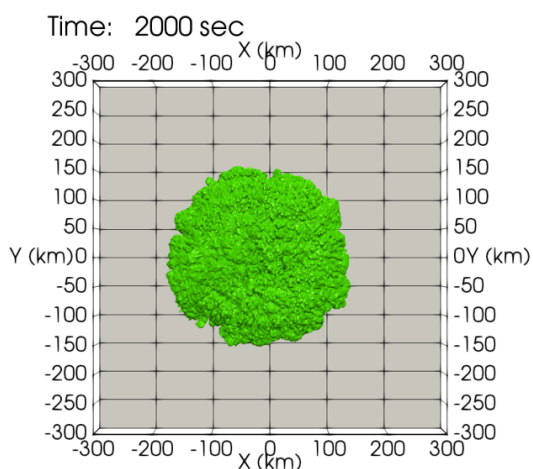


図2：3次元モデルで再現した噴煙の上面図。噴火開始から2000秒後の噴出物の質量分率が0.02の等値面を表す。

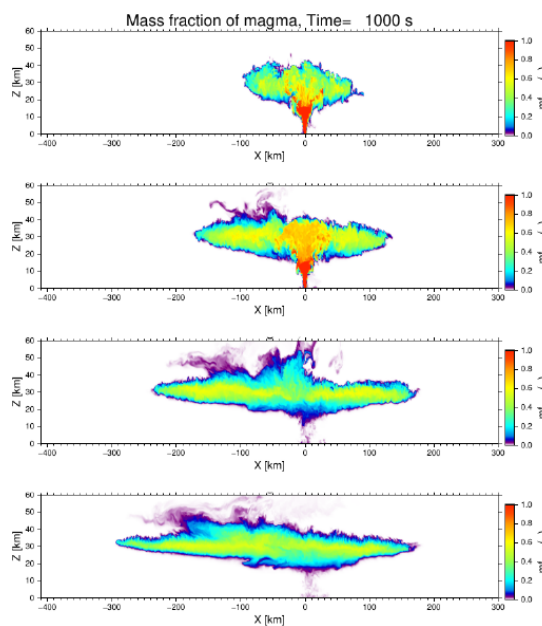


図1：x-z断面における噴出物の質量分率分布。上から噴火開始後1000, 2000, 3000, 4000秒後。

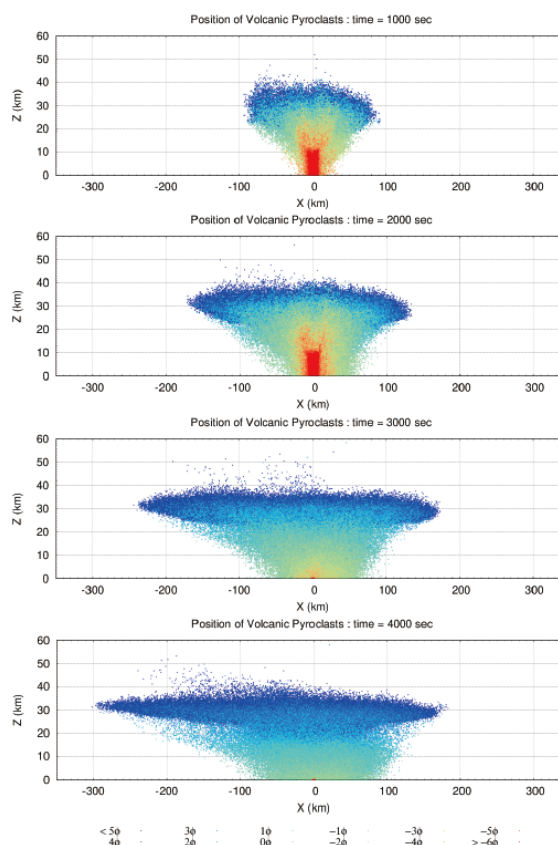


図3：火山噴煙中のトレーサー粒子の空間分布。上から噴火開始後1000, 2000, 3000, 4000秒後。全トレーサー粒子をx-z平面に投影している。色は粒子サイズを示す。