

箱根火山大涌谷における二酸化硫黄放出率 ~2022年8月までの推移~

安部祐希^{*1}・原田昌武^{*2}・板寺一洋^{*1}・高木朗充^{*3}

Sulfur dioxide emission rate at Owakudani, Hakone volcano, Japan - Its temporal variation until August 2022 -

by

Yuki ABE^{*1}, Masatake HARADA^{*2}, Kazuhiro ITADERA^{*1} and Akimichi TAKAGI^{*3}

1. はじめに

箱根火山(図1)では2001年以降、数年に一度の頻度で山体膨張を伴う群発地震が発生し火山活動の活発化を示してきた(行竹, 2020)。2015年6月29日には活発化中、大涌谷(図1)において水蒸気噴火が発生し(原田ほか, 2015; Mannen *et al.*, 2018)、その後も現在に至るまで火山活動はたびたび活発化している(Mannen *et al.*, 2021)。

温泉地学研究所では箱根火山の活動評価のために、2017年から大涌谷における二酸化硫黄放出率の繰り返し測定を行ってきた(例えば、安部ほか, 2021)。二酸化硫黄はマグマの上昇減圧あるいは冷却固化に伴って放出される火山ガスの一種であり、特に火山活動の消長に伴うような短期的な放出率の変化はマグマの上昇減圧に起因すると考えられている(篠原, 2019)。そのため、活動的な火山である箱根火山において、その推移をモニタリングすることはマグマの供給について把握する上で重要である。

安部ほか(2021)は2021年6月までの二酸化硫黄放出率の測定結果について報告したが、本資料ではそれに2022年8月までの測定結果を付け加えて報告する。

2. 手法

本資料で報告する放出率の推定手法を以下に簡単にまとめるが、その手法は安部ほか(2021)と同様であり、詳細はそれとその引用文献に記述されている。

一連の測定では、神奈川県道734号線および735号線上の、箱根ロープウェイ早雲山駅(あるいは緑の村入り口)から上湯バス停(あるいは箱根ロープウェイ姥子駅)までの区間(図1)の上空に存在する二酸化硫黄の

カラム濃度(視線方向に積分した濃度;単位はppmm)をアイリックス社製の二酸化硫黄濃度遠隔観測DOAS(Differential Optical Absorption Spectroscopy)システムを用いて測定した。現地では、自動車の天井にOcean Optics社製の分光器を取り付けて観測区間を複数回往復し、真上から入射する紫外線スペクトルの時系列を得た。観測したスペクトルと位置を対応付けるため、カシミール3D(<http://www.kashmir3d.com/>)を用いGlobal Positioning System(GPS)による測位を並行して行った。カラム濃度88、173、261、442ppmmの4種類の校正用セルを用いて取得したスペクトルに基づいて検量線を算出し、観測区間上のスペクトルを二酸化硫黄のカラム濃度に変換した。観測中に複数回、火山ガスの影響を受けない場所で校正用セルを用いてスペクトルを取得し、それに基づいてドリフト補正を行った。

二酸化硫黄放出率の算出に必要な火山ガスの移動方向および移動速度は、気象庁のメソ解析データ(気象庁予報部, 2009)から推定した大涌谷の風向風速(以降、解析値)と同値であることを仮定した。また、2019年から2021年までの観測については、箱根登山鉄道株式会社が箱根ロープウェイ大涌谷駅舎で測定した風向風速(以降、実測値)に基づく二酸化硫黄放出率の算出も行った。図1に、解析値の基準となる位置および実測値の観測点の位置を示した。火山ガスの移動方向、移動速度の推定誤差は放出率の推定誤差に大きな影響を与えるが、その定量は困難であり、ここではその参考として異なる手法で得られた風向風速値に基づいた放出率の差異を確認した。

それぞれの観測日において、1回の走査(観測経路の片道分)ごとにカラム濃度の分布から放出率を計算し、

*1 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田586

*2 神奈川県環境科学センター 〒254-0014 神奈川県平塚市四之宮1-3-39

*3 気象研究所火山研究部 〒305-0052 茨城県つくば市長峰1-1

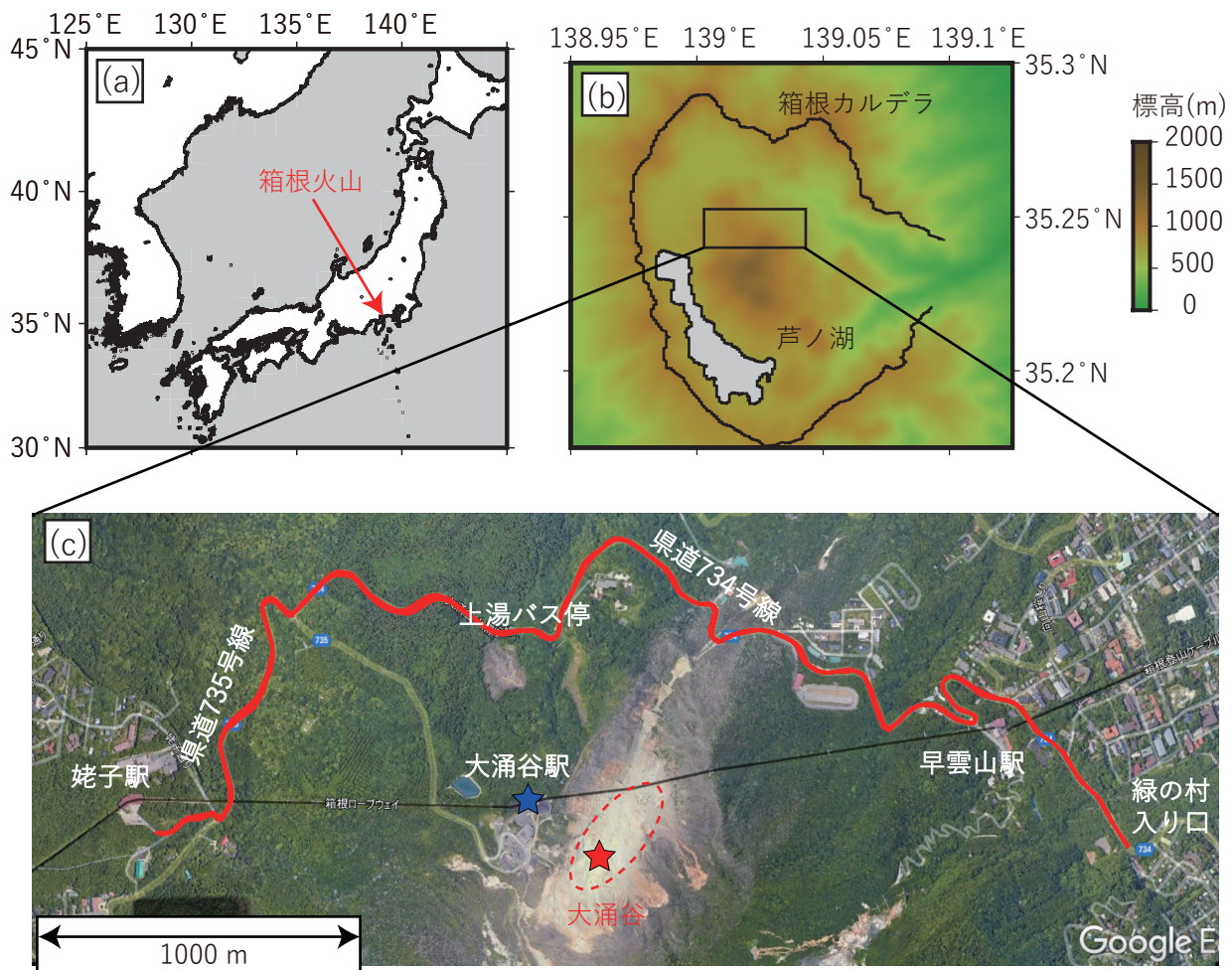


図1 (a) 箱根火山の位置。(b) 箱根カルデラの地形図。四角形で囲まれた領域の詳細を c に示す。(c) 大涌谷とその周辺の航空写真 (Google Earth により 2017 年 6 月 17 日に取得)。赤の点線で囲んだ領域に 2015 年に発生した噴火で形成された火口、噴気孔、蒸気井が存在する (Mannen *et al.*, 2018)。赤色の星印の位置の標高 1000 m の風向風速値を気象庁メソ解析 (気象庁予報部, 2009) から内挿して算出し、二酸化硫黄放出率の推定に用いた。青色の星印は箱根登山鉄道株式会社が設置した風向風速の観測点を示す。赤色の実線で、2021 年 4 月 19 日の解析に用いた走査経路を示す。この経路は全ての観測の中で最長の経路であり、それ以外の観測日の多くはその経路上の上湯バス停から早雲山駅までの間で観測を行った。

その平均値をその日の測定値とした。また、各走査から得られる放出率の分布が正規分布であると仮定し、その 99% 信頼区間を誤差範囲とした。

3. 結果

本資料では新たに、2021 年の大涌谷駅舎での風向風速の実測値を取得し、そのデータに基づいた放出率推定を行った。2021 年 4 月 19 日の観測では、風向風速の解析値をもとに 1.8 トン/日という小さな放出率が得られており、安部ほか (2021) はその値がその前後の測定値と比べて 5 分の 1 程度と小さいこと、風速の解析値が 1.2 m/s と小さいことをもとに、この放出率に大きな誤差が含まれる可能性があることを指摘していた。本資

料で検討した 2021 年 4 月 19 日の観測中の平均的な風向風速の実測値は、東北東・1.7 m/s であった。風向の解析値は南西であるため、その解析値と実測値には大きな差異がある。この結果も、この観測期間中の火山ガスの移動の推定に大きな誤差が含まれる可能性を示している。また、火山ガスの移動方向として実測値の風向を仮定すると、火山ガスは大涌谷から観測区間の方向に移動しないことになるため、二酸化硫黄の放出率を算出することはできなかった。

2021 年の測定では、4 月 19 日を除くと、風向風速の解析値を用いて推定した放出率と実測値を用いて推定した値を比較しても、大きな差異はなかった。

現在までに得られた大涌谷における二酸化硫黄放出率

の推移を図2に示す。2017年以降現在に至るまで数〜数十トン/日の二酸化硫黄放出率が継続している。

謝辞

気象庁の藤松淳氏には大変有益なご助言をいただきました。箱根登山鉄道株式会社には、箱根ロープウェイ大涌谷駅舎における風向風速の観測データをご提供いただきました。GPS測位データの記録にはカシミール3D (<https://www.kashmir3d.com/>) を、作図には Generic Mapping Tools (Wessel and Smith, 2019)、および Google Earth の航空写真を使用させていただきました。また、萬年一剛氏と長岡優氏のご助言により、本資料は改善されました。記して感謝いたします。

参考文献

安部祐希・原田昌武・板寺一洋・高木朗充・藤松淳 (2021) 箱根火山大涌谷における二酸化硫黄放出率～2021年6月までの推移～, 温泉地学研究所報告, 53, 55-60.

原田昌武・板寺一洋・本多亮・行竹洋平・道家涼介 (2015) 2015年箱根火山活動に伴う地震活動と地殻変動の特徴 (速報), 温泉地学研究所報告, 47, 1-10.

気象庁 (2016) 箱根山, 第135回火山噴火予知連絡会資料 (その7), 58-66.

気象庁予報部 (2009) 非静力学メソ4次元変分法, 数値予報課報告・別冊第56号, 104.

気象研究所 (2016) 箱根山, 第135回火山噴火予知連絡会資料 (その7), p.67.

Mannen, K., Abe, Y., Daita, Y., Doke, R., Harada, M., Kikugawa, G., Honma, N., Miyashita, Y., Yukutake, Y. (2021) Volcanic unrest at Hakone volcano after the 2015 phreatic eruption: reactivation of a ruptured hydrothermal system? Earth Planets, and Space, 73, 80.

Mannen, K., Yukutake, Y., Kikugawa, G., Harada, M., Itadera, K., Takenaka, J. (2018) Chronology of the 2015 eruption of Hakone volcano, Japan – geological background, mechanism of volcanic unrest and disaster mitigation measures during the crisis, Earth Planets, and Space, 70, 68.

篠原宏志 (2019) 火山ガス観測から推定される火山活動推移過程, 火山, 64, 121-129.

Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., Tian, D. (2019) The Generic Mapping Tools version 6. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 20, 5556-5564.

行竹洋平 (2020) 箱根火山の深部低周波地震, 地震ジャーナル, 69, 31-41.

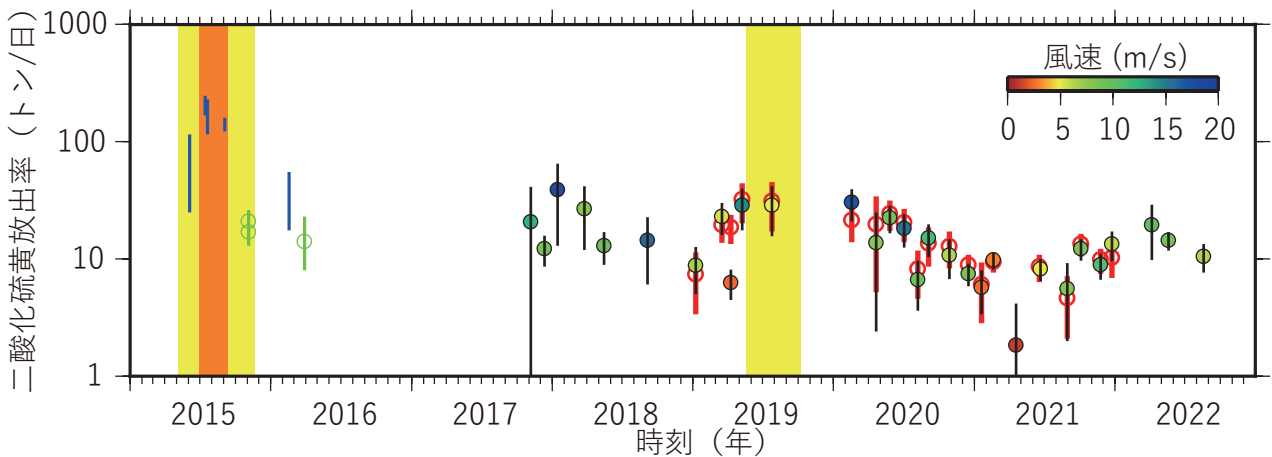


図2 2015年以降に測定された大涌谷における二酸化硫黄放出率の時間推移。丸印で各観測日における放出率の平均値、バーで誤差範囲を示している。青のバーで気象庁(2016)による測定結果を、緑の丸印とバーで気象研究所(2016)による測定結果を示す。黒と赤の丸印とバーで安部ほか(2021)と本資料で推定した結果を示す。黒と赤はそれぞれ、風向風速の解析値および実測値を参照した値であることを示す。丸印を塗りつぶした色で、その値を算出するのに参照した風速の解析値を示す。気象庁(2016)と気象研究所(2016)が算出した誤差範囲はそれぞれの観測日に得られた最小値から最大値までの範囲を示し、安部ほか(2021)と本資料による誤差範囲はそれぞれの観測日に得られた平均値の99%信頼区間を示す。背景の黄色は箱根火山の噴火警戒レベルが2であった期間、オレンジ色は噴火警戒レベルが3であった期間を示す。