

第 5 章 西之島の二酸化硫黄放出量観測*

V Sulfur dioxide emissions at Nishinoshima**

5.1 はじめに

火山ガスはマグマから脱ガスして地表に放出される気体であり、その放出量はマグマ上昇の程度や、脱ガスの活動度等を反映するため、放出量をモニタリングすることによりマグマ活動の推移を把握することができる（風早・森, 2016）。気象研究所では、西之島のマグマ活動を評価するため、2015 年から 2016 年にかけて火山ガス放出量観測を 3 回行った。

火山ガスには、水蒸気、二酸化炭素、二酸化硫黄等の様々な成分が含まれている。これらのうち、二酸化硫黄は紫外線差分吸収分光計（Differential Optical Absorption Spectroscopy; DOAS）を用いて比較的簡便に定量することが可能である（Mori et al., 2007）。DOAS 法では、二酸化硫黄が特定の波長の紫外線を吸収する性質を利用し、紫外線強度を測定しながら二酸化硫黄を含む噴煙の下を横断することにより、その強度低下分から噴煙中の二酸化硫黄濃度を算出する。これにより 1 サンプルあたりの二酸化硫黄のカラム量（線濃度）が得られる。日放出量に換算する場合は、カラム量を横断経路に沿って積分し、風速を掛けて算出する。これをトラバース（横断）観測という。

噴煙の下をトラバースする手段としては、陸の火山では自動車が一般的であるが、西之島のように島内に上陸できない火山島の場合は、航空機と船に限られる。西之島の噴火が確認された約 2 か月後の 2014 年 1 月 29 日に、気象庁地震火山部火山課が海上自衛隊の協力を得て、ヘリコプターを用いた DOAS 法による二酸化硫黄放出量観測を行った結果、日放出量は 500 ton/day であったが（気象庁, 2014）、トラバース経路の一部で噴煙の中を通過したことにより、ヘリコプターより下層の二酸化硫黄が計測されておらず、過小評価となった可能性が示唆されていた。2015 年から 2016 年にかけて行われた気象研究所の観測では、気象庁海洋気象観測船「啓風丸」を用いたことにより、上記のような過小評価を回避し、より現実に近い放出量を観測することができた。

5.2 2015 年 6 月における観測

2015 年 6 月 4 日 08 時 27 分から 13 時 18 分にかけて、船によるトラバース観測を行った。観測時の天候は晴れで、雲量は 08 時に 7、10 時に 5、12 時に 3 だった。風向は南南西～南西だった。灰色～やや褐色の噴煙が第 7 火口（第 1 章参照）から 100 m ほど上昇した後、北東へ流れていた。噴煙高度の中心は海拔約 600 m だった。5 回（2.5 往復）の測定を行ったところ（Fig. 5.1）、2 回目の測定時に、かすかな二酸化硫黄の臭気を感じた。

解析には、波長 306.96 nm の紫外線の吸光度を用いた。キャリブレーションを行った時刻（08 時 15 分頃）と実際のトラバース観測時間（09 時 41 分～）に差があったため、その間にベースラインが約 70 ppmm と下方にシフトした（Fig. 5.2）。このため、オフセットの調整を行った。風速は、気象庁メソ解析の格子点の内挿値を用いた。二酸化硫黄放出量算出結果を Table 5.1 に示す。5 回の測定の平均は約 900 ton/day（最小量 700 ton/day, 最大量 900 ton/day）だった。

* 長岡 優（火山研究部） ** Yutaka Nagaoka

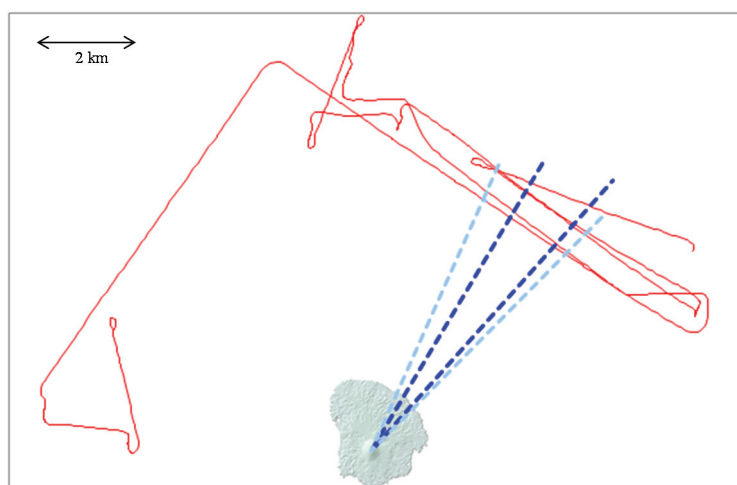


Fig. 5.1 Traverse path during mobile SO₂ flux measurements (red line) and entire (light blue dashed lines) and main (blue dashed lines) range of detected SO₂ emissions on 4 June 2015.

図 5.1 2015 年 6 月 4 日の二酸化硫黄放出量観測ルート（赤線）と，二酸化硫黄の流域範囲（水色破線）と主流流域範囲（青破線）．国土地理院による 2015 年 3 月 1 日時点の標高データおよびカシミール 3D を使用した．

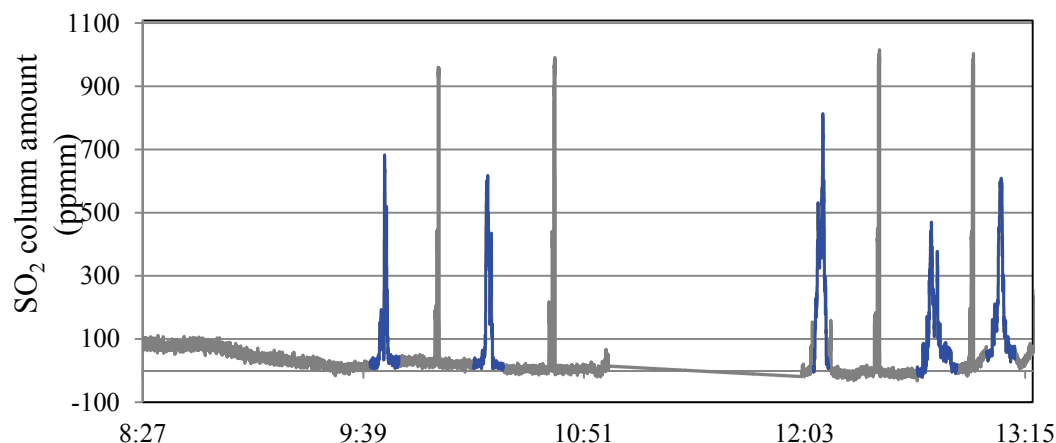


Fig. 5.2 Time series of measured SO₂ column amount during the traverse measurement on 4 June 2015. Blue peaks correspond to periods of detected SO₂ emission; gray peaks indicate calibration signals.

図 5.2 2015 年 6 月 4 日トラバース観測時の上空二酸化硫黄カラム量の変化．青線は二酸化硫黄を検知した時間を示す．11:00～12:02 の間は，二酸化硫黄放出量観測を中断していた．灰色線のピークはキャリブレーションによるものである．

Table 5.1 SO₂ flux measured at Nishinoshima on 4 June 2015.

表 5.1 2015 年 6 月 4 日西之島の二酸化硫黄放出量．

Measurement	1st	2nd	3rd	4th	5th	Average
Start time	9:41	10:15	12:06	12:40	13:03	—
End time	9:51	10:25	12:11	12:53	13:12	—
Wind speed (m/s)	12.3	12.3	12.5	12.5	12.5	—
SO ₂ flux (rounded)	700	900	900	900	900	900
(tons/day)	697	913	934	932	880	(871.2±89.2)

5.3 2015 年 10 月における観測

2015 年 10 月 4 日 11 時 25 分から 14 時 20 分にかけて、船によるトラバース観測を行った。観測時の天候は晴れで、雲量は 09 時に 2, 12 時に 5, 15 時に 3 だった。風向は北～北北東だった。灰色の噴煙が第 7 火口からほぼ南へ流れていた。噴煙高度の中心は海拔約 1200 m だった。5 回 (2.5 往復) の測定 (Fig. 5.3) の間、二酸化硫黄の臭気は全く感じなかった。

キャリブレーションを行った時刻 (08 時 30 分頃) と実際のトラバース観測時間 (11 時 47 分～) に差があったためベースラインが下方にシフトし、その後、太陽高度が下がるにつれて上方にシフトしたため (Fig. 5.4), オフセットの調整を行った。風速は、気象庁メソ解析の格子点の内挿値を用いた。二酸化硫黄放出量算出結果を Table 5.2 に示す。5 回の測定の平均は約 400 ton/day, (最小量 300 ton/day, 最大量 500 ton/day) だった。2015 年 6 月 4 日に啓風丸により観測を行った結果は平均 900 ton/day であったので、二酸化硫黄放出活動は 4 か月前に比べ低下したと言える。

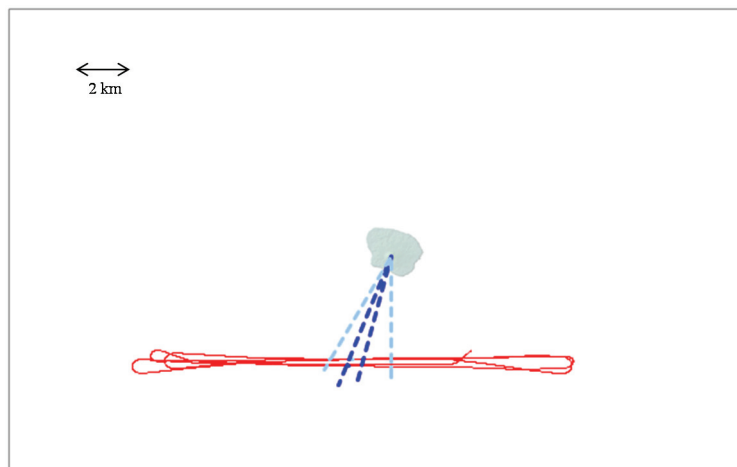


Fig. 5.3 Traverse path during mobile SO₂ flux measurements (red line) and entire (light blue dashed lines) and main (blue dashed lines) range of detected SO₂ emissions on 4 October 2015.

図 5.3 2015 年 10 月 4 日の二酸化硫黄放出量観測ルート (赤線) と、二酸化硫黄の流域範囲 (水色破線) と主流流域範囲 (青破線)。国土地理院による 2015 年 7 月 28 日時点の標高データおよびカシミール 3D を使用した。

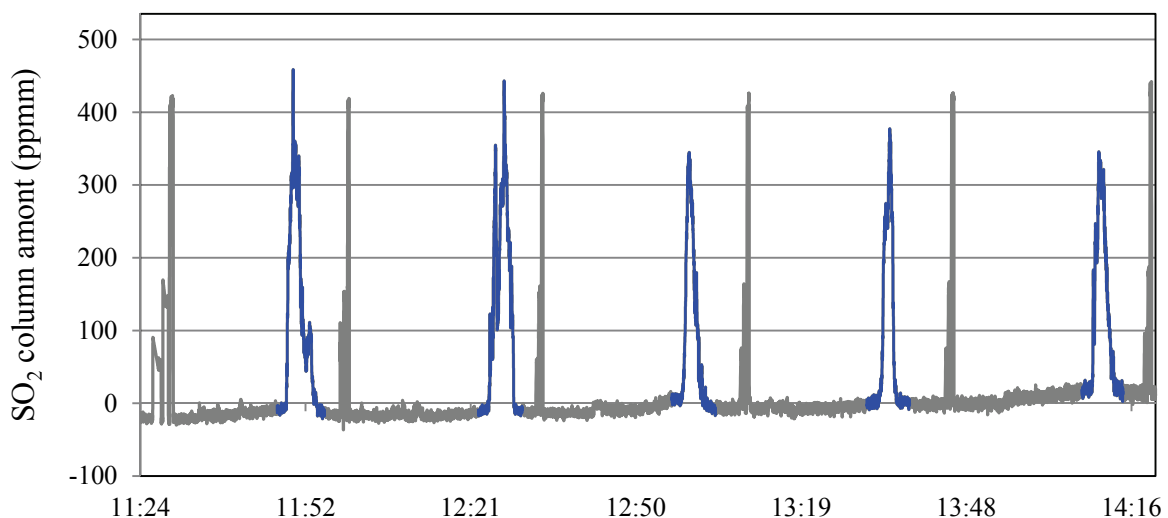


Fig. 5.4 Time series of measured SO₂ column amount during the traverse measurement on 4 October 2015. Blue peaks correspond to periods of detected SO₂ emission; gray peaks indicate calibration signals.

図 5.4 2015 年 10 月 4 日トラバース観測時の上空二酸化硫黄カラム量の変化。青線は二酸化硫黄を検知した時間を示す。灰色線のピークはキャリブレーションによるものである。

Table 5.2 SO₂ flux measured at Nishinoshima on 4 October 2015.

表 5.2 2015 年 10 月 4 日の西之島の二酸化硫黄放出量.

Mwasurement	1st	2nd	3rd	4th	5th	Average
Start time	11:47	12:22	12:56	13:30	14:08	—
End time	11:56	12:30	13:04	13:38	14:15	—
Wind speed (m/s)	5.7	5.7	5.6	5.6	5.6	—
SO ₂ flux (rounded) (tons/day)	500 515	500 507	300 326	300 290	400 370	400 (401.6±92.9)

5.4 2016 年 6 月における観測

2016 年 6 月 5 日 14 時 04 分から 16 時 05 分にかけて、船によるトラバース観測を行った。観測時の天候は晴れで、雲量は 12 時に 6 だった。風向は南南西～南西だった。白～灰色の噴煙が火口から上昇しながら、ほぼ北東へ流れていた。青みがかった噴煙は、火口縁南側から放出され、一部は火口内に滞留しつつ、火口丘北東側斜面に沿って流下しているように見えた。4 回（2 往復）の測定（Fig. 5.5）の間、二酸化硫黄の臭気は全く感じなかった。

直達の太陽光がセンサーに入射するのを避けるため、14 時から観測を開始した。太陽高度が下がる時間帯であったため、時間の経過とともにベースラインの上昇がみられたが、西之島の二酸化硫黄を捉えた濃度の高まりは全くみられず、今回の測線では二酸化硫黄を検知できなかった（Fig. 5.6）。ベースラインの標準偏差は 5 ppm 程度であった。今回の観測における二酸化硫黄のシグナルがベースラインの幅の中に埋もれていると仮定し、また、風速が 2015 年 10 月観測時と同程度であったことから、二酸化硫黄の拡散範囲も同様であると仮定すると、今回の観測で捉えられた二酸化硫黄放出量は、せいぜい 2015 年 10 月の 100 分の 1 程度、つまり数 ton/day と推測される。ただし、二酸化硫黄が海水による吸収を受けている可能性があるため、この値は過小見積もりかもしれない。

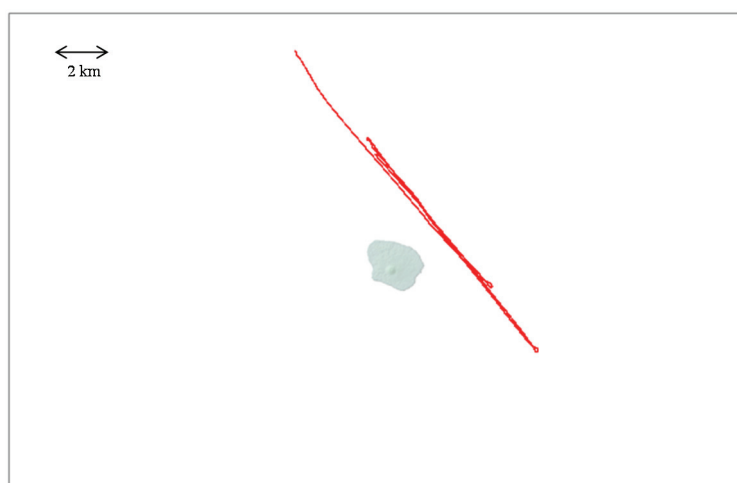


Fig. 5.5 Traverse path during mobile SO₂ flux measurements (red line) on 5 June 2016.

図 5.5 2016 年 6 月 5 日の二酸化硫黄放出量観測ルート（赤線）。国土地理院による 2015 年 7 月 28 日時点の標高データおよびカシミール 3D を使用した。

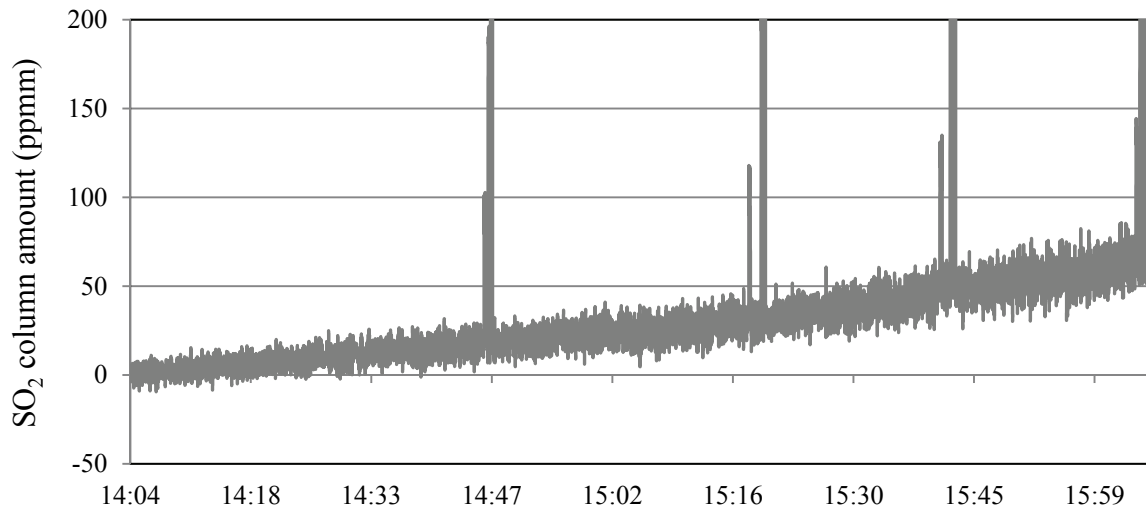


Fig. 5.6 Time series of measured SO₂ column amount during the traverse measurement on 5 June 2016. Gray peaks indicate calibration signals. No SO₂ emissions from Nishinoshima were detected.

図 5.6 2016 年 6 月 5 日トラバース観測時の上空二酸化硫黄カラム量の変化。灰色線のピークはキャリブレーションによるものである。西之島の二酸化硫黄を捉えた濃度の高まりは全くみられなかった。

5.5 まとめ

2013 年 11 月 20 日に噴火が確認されて以降、気象庁および気象研究所で実施した観測による二酸化硫黄放出量の時系列グラフを Fig. 5.7 に示す。2015 年以降の啓風丸による 3 回の観測で測定された二酸化硫黄放出量は、2015 年 6 月時点が最多の平均 900 ton/day だったが、それ以降は減少し、2016 年 6 月には検知限界以下となった。これは他の観測で捉えられた西之島の活動低下の推移とも整合的である。

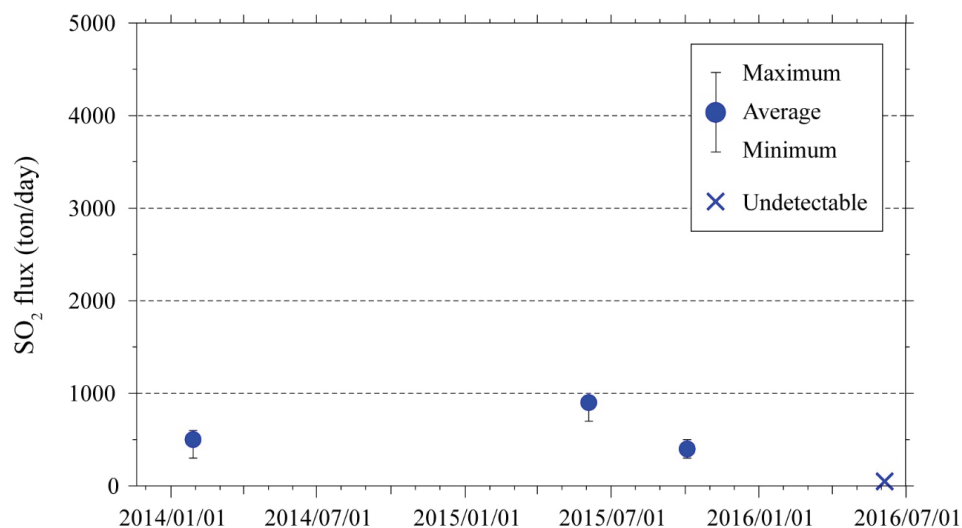


Fig. 5.7 Time series of SO₂ flux at Nishinoshima. The measurement on 29 January 2014 was conducted by the Volcanology Division of the Seismology and Volcanology Department (Japan Meteorological Agency) via helicopter, with cooperation from the Japan Maritime Self-Defense Force. That measurement may represent an underestimate because the helicopter could not fly completely under the plume.

図 5.7 西之島における二酸化硫黄放出量の時系列グラフ。2014 年 1 月 29 日の測定は気象庁地震火山部火山課が海上自衛隊の協力を得て実施したヘリコプターによるトラバース観測による。この際、トラバース経路の一部で噴煙の中を通過したため、過小評価の可能性はある。

啓風丸による観測では、活発な火山活動によりアプローチが困難な火山島において、DOAS を用いたリモートセンシングによる二酸化硫黄放出量観測が有効であるという活動評価手法の側面だけでなく、西之島のように噴火口の標高が低い火山島の場合には、ヘリコプターよりも船からの観測の方がより正確な測定ができるという技術的な側面としても重要な成果が得られた。

謝辞

二酸化硫黄放出量観測には、地球環境・海洋部の海洋気象観測船「啓風丸」を使用しました。啓風丸の船長をはじめ乗組員の方々、及び海洋気象課には、より適した条件で観測が実施できるよう最大限にご配慮いただいたことに、心より感謝いたします。図の作成にあたり、国土地理院の標高データおよびカシミール 3D を使用しました。

参考文献

- 気象庁, 2014: 第 128 回火山噴火予知連絡会資料 (その 2) 西之島, pp. 3-8, https://kazan-a.seisvol.jp/yochiren/section1/128/128_no02.pdf.
- 風早竜之介・森俊哉, 2016: 火山ガス観測研究から見る地下のマグマ挙動および噴火現象の解釈, *火山*, **61**, 155-170.
- Mori, T., J. Hirabayashi, K. Kazahaya, T. Mori, M. Ohwada, M. Miyashita, H. Iino and Y. Nakahori, 2007: A Compact Ultraviolet Spectrometer System (COMPUSS) for Monitoring Volcanic SO₂ Emission: Validation and Preliminary Observation, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **52**, 105-112.