

硫黄島の地熱帯で2016年10月に発生した自然硫黄の溶融・燃焼 と溶融硫黄の流出について*

The occurrence of molten and burning sulfur in geothermal zone of Ioto in
October 2016

筑波大学**・気象庁

University of Tsukuba・Japan Meteorological Agency

・気象庁が硫黄島阿蘇台東に設置している遠望カメラでは、2016年10月7日～12日にかけて、硫黄島西部、沈船群北端付近の海岸（千鳥ヶ浜）に位置する地熱変質帯（第1図）から白色噴気が上がっているのが観測された（第2図）。顕著な噴気の上昇は10月7日～9日の期間に限られた。また、同期間の夜間に発光現象は確認されない。沈船群北端付近の海岸には、以前から地熱変質帯が存在しており、噴気も観測されているが（例：熊谷，1976；高橋・熊谷，1977；小坂ほか，1985）、気象庁の遠望カメラによって顕著な噴気を観測した記録がないため現地調査を行った。



第1図 硫黄島、沈船群北端付近東側の海岸に発達する地熱変質帯の位置と溶融硫黄を確認した範囲
第3図中段左、第4図右、第6図下段左右、第7図上段左右の噴気孔（同一）は、溶融硫黄の範囲の南東端付近に位置する。なお、本図の作成には、国土地理院の地理院地図を使用した。

Fig. 1. Location map of geothermal alteration zone on seashore in the east of northern part of Ship Wrecks in Ioto.



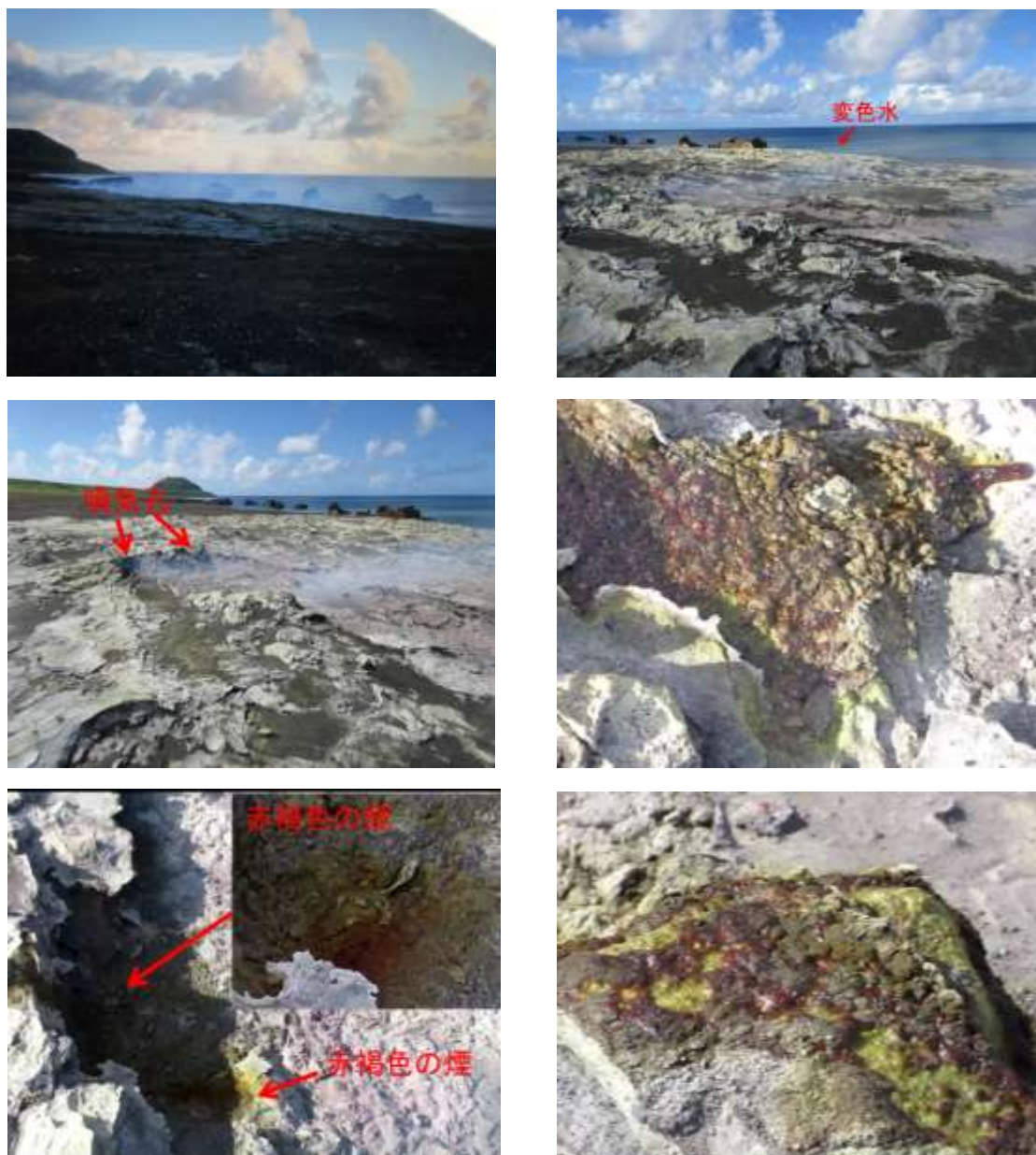
第2図 阿蘇台東遠望カメラから撮影された硫黄島西部の海岸周辺の噴気の状態
左図：2016年10月7日撮影。右図：2016年10月8日撮影。

Fig. 2. Visible images of seashore in the western part of Ioto on October 7 and 8, 2016.

* 2017年4月21日受付

** 池端 慶・伊達みのり Kei Ikehata・Minori Date

・海上自衛隊硫黄島航空基地隊硫黄島気象班による2016年10月7日～9日の現地調査では、地熱変質帯の数か所の地点（主に2か所の噴気孔）から白色の噴気が上がり、その周囲の地熱変質物（主に自然硫黄：後述）が赤褐色煙・白煙を上げ、泡立ちながら溶融・燃焼、また溶融部の一部が流出していることが確認された（第3図）。調査中に溶融・燃焼部からの煙（火山ガス）の影響で喉が痛くなった隊員もいた。沈船群の周辺海域では、黄褐色や水色等の変色水が確認された（第3図）。

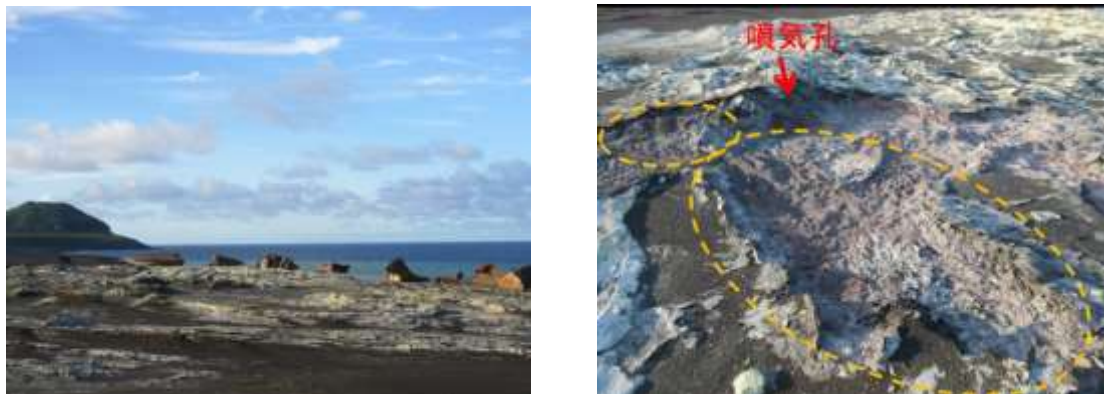


第3図 硫黄島沈船群北端付近の地熱変質帯の状況（2016年10月7日～9日）

上段左図：2016年10月7日撮影。上段右図：2016年10月8日撮影。中段左図：2016年10月9日撮影。中段右図：溶融・燃焼硫黄と溶融硫黄の流出（2016年10月8日撮影）。下段左図：溶融・燃焼硫黄（2016年10月8日撮影）。下段右図：溶融・燃焼硫黄（溶融部の長径は約20cm）（2016年10月9日撮影）。

Fig. 3. Photographs of geothermal alteration zone on seashore in the east of northern part of Ship Wrecks in Ioto (October 7-9, 2016).

同気象班による2016年10月11日の現地調査では、地熱変質帯からの顕著な噴気の上昇や、地熱変質物の溶融・燃焼は確認されなかった（第4図）。また、2016年10月8日～9日に確認された地熱変質物の溶融部の一部は、燃焼により焼失し、変質帯の表層に、えぐれたような跡を認めた（第4図）。



第4図 硫黄島沈船群北端付近の地熱変質帯の状況（2016年10月11日）

左図：2016年10月11日撮影。右図：自然硫黄が溶融・燃焼により焼失した部分（破線）。噴気孔の一部も焼失。焼失部は、最大約2.5m×約1mの範囲と推定される（2016年10月11日撮影）。

Fig. 4. Photographs of geothermal alteration zone on seashore in the east of northern part of Ship Wrecks in Ioto (October 11, 2016).

・筑波大学と気象庁による2016年10月25日、28日の現地調査の結果、沈船群北端付近の地熱変質帯（南北約250m、東西約210m；第1図、第5図）は、主に火山砂礫からなる千鳥ヶ原砂層（津屋1936）の表層や内部に発達しており、地層中の空隙（噴気孔）、裂溝の周囲のみならず、表層や内部には自然硫黄が広く晶出（最大層厚25cm）していることを確認した（第5図）。また、沈船群の周辺海域から釜岩方向に、黄褐色や水色等の変色水が広がっていることを確認した（第5図）。

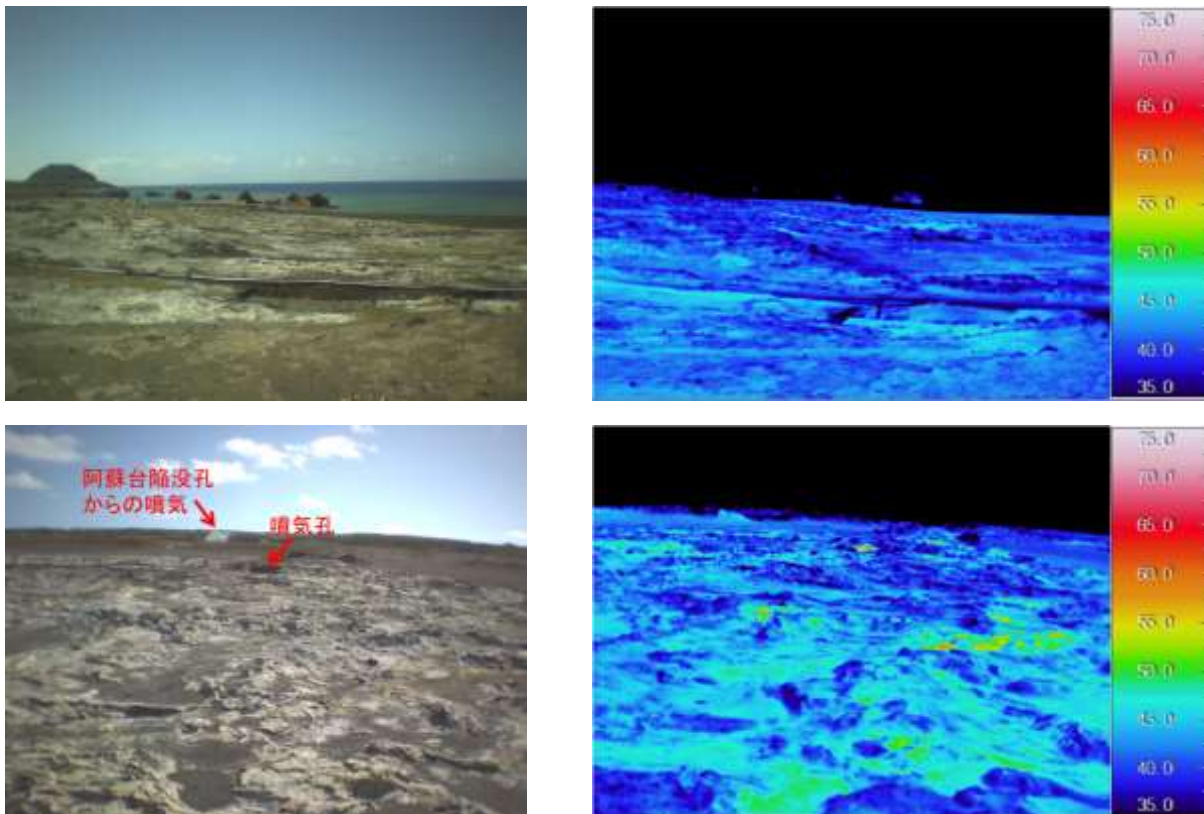
熱画像測定装置による地熱変質帯の地表面温度分布の観測では、主に2016年10月7日～9日に白色噴気を上げていた噴気孔（第4図）や他の地層中の空隙、裂溝周辺のみならず高温部が確認された（第6図）。サーミスタ温度計により測定（10月25日）した、地熱変質帯（表面に地熱変質鉱物がみられる部分）の地中・噴気温度の最高値は、95.2℃（上述の噴気孔の噴気温度）であった。地熱変質帯の表面が火山砂礫（海浜砂）のみからなる部分の地中温度（30cm）の最高値は61.6℃であった。これらの温度は、過去に同地熱変質帯で測定された噴気温度（沈船陥没孔：99.2℃（1976年3月）、高橋・熊谷，1977；沈船脇：90.6℃（1982年9月）、小坂ほか，1985）と比較して、特段高くない。



第5図 硫黄島沈船群北端付近の地熱変質帯の状況（2016年10月25日、28日）

左図：2016年10月28日撮影。右図：地熱変質帯の表層付近に晶出する微細（長径2mm以下）な自然硫黄（2016年10月25日撮影）。

Fig. 5. Photographs geothermal alteration zone on seashore in the east of northern part of Ship Wrecks in Ioto (October 25 and 28, 2016).



第6図 硫黄島沈船群北端付近の地熱変質帯の地表面温度分布の状況（2016年10月28日）

上段左図：可視画像。上段右図：赤外線熱画像。地熱変質帯の北側から南東方向を観測（2016年10月28日撮影）。下段左図：可視画像。下段右図：赤外線熱画像。噴気孔周辺に高温部が認められる（2016年10月28日撮影）。

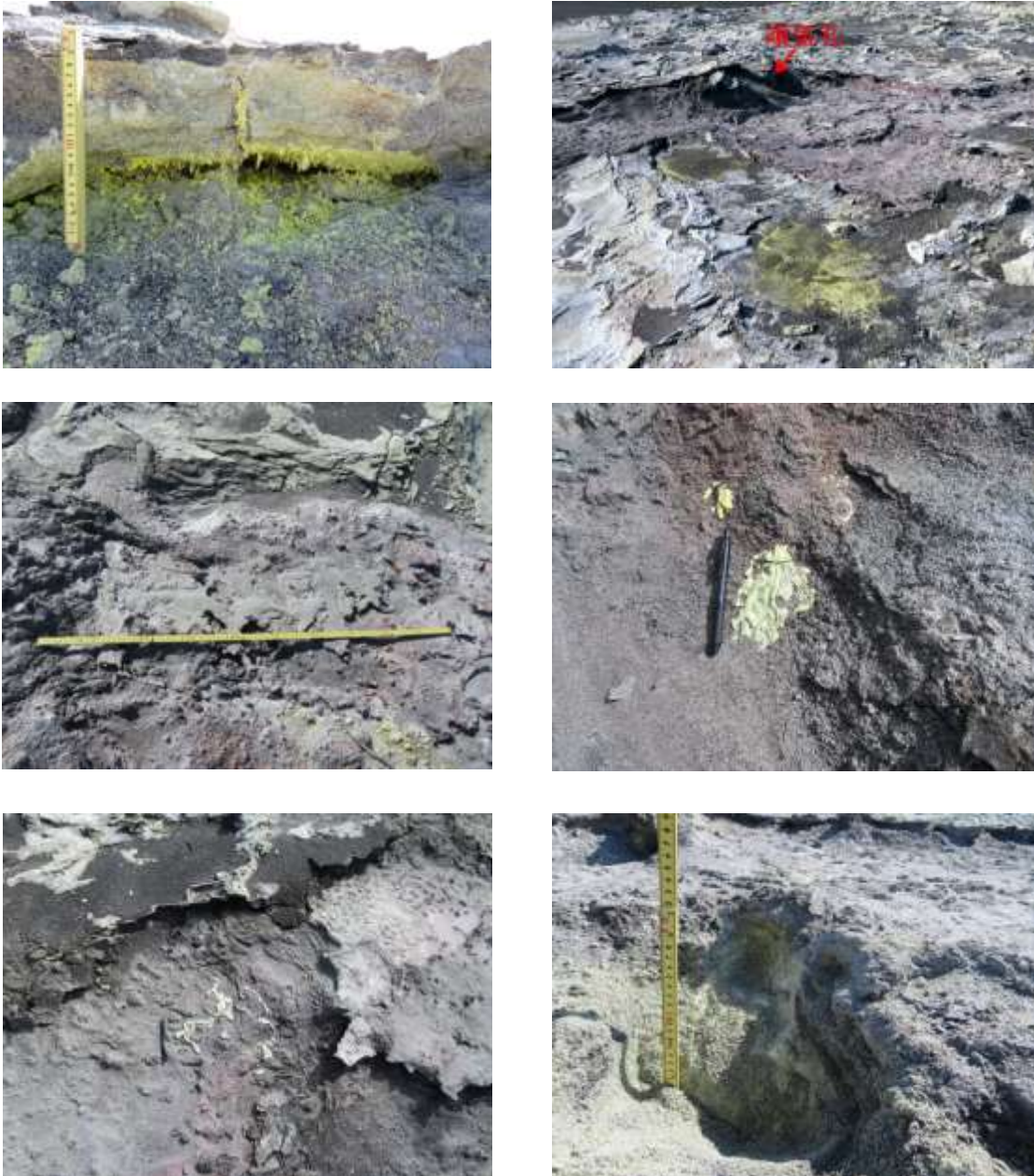
Fig. 6. Visible (left) and infrared (right) images of geothermal alteration zone on seashore in the east of northern part of Ship Wrecks in Ioto (October 28, 2016).

噴気孔から約5m南西の火山砂礫が卓越する部分に設置した温度ロガーの測定結果（地中15cm温度、記録30分間隔）は、最高温度69.2℃、最低温度24.2℃、平均温度61.5℃（測定期間2016年10月28日10時00分～2016年12月20日13時30分）であった。温度が低い期間は、硫黄島の降雨日と一致した。そこで、降雨日とその後2日間のデータを除いて計算した結果は、最高温度69.2℃、最低温度51.5℃、平均温度63.9℃（測定期間2016年10月28日10時00分～2016年12月20日13時30分）であった。

主に2016年10月7日～9日に白色噴気を上げていた噴気孔（第4図）からは、時々、約0.5mの弱い白色噴気が上がっており、硫化水素臭を感じた。ガス検出器（JIKCO Gas Buster Light; 硫化水素、二酸化硫黄；測定レンジはともに0-100ppm）により噴気ガスの硫化水素、二酸化硫黄濃度を測定した結果、それぞれ100ppm以上、1ppmであった。この噴気孔の内壁には、硫化水素ガスより形成されたと考えられる自然硫黄の結晶が多数みられた（第7図）。

同噴気孔（第4図）の周囲、南北約15m、東西約21mの範囲（第1図）には灰緑色、灰色、灰白色、暗灰色、薄紅色、赤褐色、黄灰色、中黄色等の様々な色を呈した地熱変質物の溶融部（最大層厚9cm）・燃焼部（跡）、溶融物の流出部が複数確認された（第7図）。確認した溶融物の流出部（燃焼なし）は、最大、長さ86cm、幅37cm、厚さ2.5cmであった。溶融物には、最大長径1cmの気泡が含まれる。溶融・燃焼部の下部には、新鮮な自然硫黄の微細結晶がみられる場合が多い（第7図）。

X線解析装置（XRD）による鉱物同定の結果、これらの地熱変質物の溶融部、燃焼部、流出部は、主に自然硫黄（斜方晶系）から構成されていることが明らかになった。薄紅色、赤褐色の溶融・燃焼部からは、赤鉄鉱が検出された。また一部の試料には、周囲の火山砂礫起源と考えられる斜長石、普通輝石、火山ガラスが含まれた。溶融硫黄の微量元素・同位体組成等の詳細については現在解析中である。



第7図 硫黄島沈船群北端付近の地熱変質帯噴気孔周辺の状況（2016年10月25日、28日）
 上段左図：噴気孔内壁の昇華自然硫黄（2016年10月28日撮影）。上段右図：噴気孔周辺の溶融硫黄・
 燃焼硫黄の跡（2016年10月28日撮影）。中段左図：溶融硫黄固結部とその流出部（2016年10月28
 日撮影）。中段右図：溶融硫黄固結部とその流出部（2016年10月25日撮影）。下段左図：燃焼・溶
 融硫黄固結部とその流出部（2016年10月25日撮影）。溶融硫黄固結部には縄状の構造がみられる。
 表面の凹凸は、主に周囲の既存の火山砂礫を含む部分。下段右図：溶融硫黄固結部の下部にみられ
 る新鮮な自然硫黄（長径2mm以下）（2016年10月28日撮影）。

Fig. 7. Photographs around the fumarole in the geothermal alteration zone on seashore in the east of northern part of Ship Wrecks in Ioto (October 25 and 28, 2016).

・ α 硫黄（斜方晶系）と β 硫黄（単斜硫黄）の融点は、それぞれ 112.8-115.11℃、114.6-119.6℃である（Meyer, 1976）。また、自然硫黄の発火温度は 248-261℃（Meyer, 1977）である。粉状硫黄は、190℃以上で発火、燃焼するとの報告もある（例：河野，1988）。したがって、硫黄島沈船群北端付近の地熱変質帯の地中・噴気温度は、通常 100℃以下であるが、自然硫黄が褐色煙・白煙を上げ溶融・燃焼、また溶融部の一部が流出していることが確認された 2016 年 10 月 8 日～9 日には、一時的に自然硫黄を含む変質帯の一部の温度が 190℃以上になったと考えられる。現地調査の結果、自然硫黄の溶融・燃焼の範囲は局所的（噴気孔の周囲等）であることから、地熱変質帯の全体的な地中温度が一時的に上昇したのではなく、地熱変質帯の空隙（噴気孔）や裂溝等から、一時的に 190℃以上の火山ガスが噴出して、周囲の自然硫黄を溶融・燃焼させたと考えられる。溶融硫黄の燃焼時には、二酸化硫黄が発生したと推定される。溶融硫黄の流出域（燃焼を伴わない）は、自然硫黄の溶融・燃焼部の一部のみで確認された。この調査結果は、溶融硫黄の粘性が 157℃以上で急激に高くなる性質に起因すると推察される（例：Sagan, 1979）。

硫黄島内の他の地熱変質帯では、地中・噴気温度が 100℃を超える場所（最高温度は金剛岩にて 1980 年 7 月に観測された 128.5℃、小坂ほか，1985）もあるため、地熱変質帯に広く産出する自然硫黄が溶融する可能性が高いが、報告例はない。しかし、自然硫黄の溶融・燃焼は国内外の多数の火山の噴気帯・地熱変質帯から報告されている（例：Harris et al., 2000）。例えば、弥陀ヶ原火山の地獄谷では、1984 年 8 月に自然硫黄が褐色煙・白煙を上げ、溶融・燃焼、またその一部が低所に向かって流下している様子が目撃されている（河野，1988）。

謝辞

海上自衛隊硫黄島航空基地隊硫黄島気象班には現地調査の際に協力をいただいた、また現地の情報提供をしていただいた。記して感謝いたします。

引用文献

- 1) Harris, A.J.L, Sherman, S.B., Wright, R. (2000) : Discovery of self-combusting volcanic sulfur flows. *Geology*, 28, 415-418.
- 2) 河野俊夫 (1988) : 立山火山地獄谷産“火口”硫黄について. 島根大学地質学研究報告, 7, 91-97.
- 3) 熊谷貞治 (1976) : 小笠原硫黄島の火山活動 (4). 防災科学技術, 30, 12-15.
- 4) Meyer, B. (1976) : Elemental sulfur. *Chemical Reviews*, 76, p.367-388.
- 5) Meyer, B. (1977) : Sulfur, energy, and environment. Amsterdam, Elsevier, 448pp.
- 6) 小坂丈予・小沢竹二郎・松尾禎士・平林順一・大隅多加志 (1985) : 硫黄島における地球化学的研究. 地学雑誌, 94, 551-563.
- 7) Sagan, C. (1979) : Sulphur flows on Io. *Nature*, 280, 750-753.
- 8) 高橋博・熊谷貞治(1977) : 火山列島硫黄島の陥没孔（短報）. 国立防災科学技術センター研究速報, 25, 41-45.
- 9) 津屋弘達 (1936) : 硫黄島（火山列島）の地質及び岩石に就いて. 地質学雑誌, 43, 382-383.