資料 調4-(4)

令	和	7	2	年	2	月	1	7	日
火	山	調	査	研	究	推	進	本	部
火	Ц	1	調	Ĩ		委	Ē	Ę	슻

硫黄島の現状の評価及び調査研究方策 (案)

硫黄島の現状の評価

活動履歴

▶ 硫黄島は、直径約10kmの海底カルデラ上に形成された火山島でカルデラの中央部に広がる平坦な台地状の元山とカルデラ南西縁外の側火山である摺鉢山(すりばちやま)から成る。長期にわたって非常に速い速度の隆起が続いており、元山で採取されたサンゴの¹⁴C年代値が525-770B.P. (1950年を起点として525年前から770年前)であったことから(大八木・熊谷,1977)、海水面付近から当時の標高108mまで隆起したとすると、元山は少なくとも数百年の間、年平均14cmから20cmの速度で隆起したことになる。ただし、1952年から1968年に元山で年平均33cmの隆起が観測され(小坂・他,1985)、また、海岸には平均比高約10mの海岸段丘が7段から10段認められることから(貝塚・他,1985)、隆起の加速と停滞を繰り返しながら、長期的に隆起を続けてきたと考えられる。地熱活動は活発で、井戸ヶ浜や東海岸、北海岸、阿蘇台陥没孔、ミリオンダラーホールなどで時々水蒸気噴火が発生している。また、近くの海面でも時々変色水が確認されている。

調査観測結果

- ▶ 1970年代から実施されている繰り返し測量によると、元山は2000年代前半まで約10年ごとに間欠的な隆起と沈降を繰り返していたが、2000年代後半以降は連続的に隆起している。1990年代から開始されたGNSS連続観測でも、2006年以降は連続的な隆起が続いていることを示している。1970年代に開始された地震の連続観測によると、隆起活動に伴って多数の地震が発生しており、隆起速度が速い時期に地震数が多い傾向が認められる。摺鉢山や千鳥ヶ原、元山には多数の活断層が認められ、隆起の進行に伴い、地表面で見られる断層のずれが大きくなっている。2013年、2019年、2021年、2023年に実施された海底地形調査では、元山付近を中心とする環状断層と推定される断層状の地形が硫黄島北部~北東部~南部の海底に確認された。また、1991年の調査結果も含めて比較すると、硫黄島沿岸海域の、北ノ鼻の沖、南東岸沖、千鳥ヶ浜の沖合、監獄岩と硫黄島の間で海底の隆起が認められた。この隆起した海域は、陸域で認められる元山を中心としたドーナツ状に変動が大きい隆起帯の一部であると考えられる。
- ▶ 1983年から2024年に島内で採取された火山ガスの分析によると、1983年以降、 マグマ起源のヘリウム供給量の増加を示すと考えられるヘリウム同位体比 (³He/⁴He)の上昇が認められる。ただし、観測を行えていない期間もあり詳 細な時間変化はわかっていない。
- ▶ 最近一年間も、硫黄島の地震活動と地殻変動は継続しているが、過去10年間の変動と比べると隆起速度は低下している。

噴火の事後評価

- ▶ 2022年7月に翁浜沖で発生した噴火は、調査開始以降初めて、マグマ噴火であることが確認された。海面に噴出した軽石岩塊の全岩化学組成はSi0₂: 61wt%であり、過去に硫黄島で採取された溶岩と同じ粗面岩であった。翁浜沖でのマグマ噴火は、その後も断続的に続き、噴出物は同様の化学組成を示した(Miwa et al., 2024)。一連のマグマ噴火により、2023年10月に新島が形成されたが現在は消失している。
- ▶ 硫黄島では、水蒸気噴火の直前に1日当たり数百回を超える地震と10cmを超える急激な隆起があり、噴火後しばらく沈降が続く活動が認められることがあるが、顕著な変動がなく水蒸気噴火が発生する場合もある(Ueda et. al., 2018)。2023年11月に島北東部の海岸で、また、2024年5月に島北西部の井戸ヶ浜火口でごく小規模な噴火が発生したが、噴火の直前に地震活動や地殻変動に顕著な変動は認められなかった。井戸ヶ浜火口では噴火後も噴気が観測されているが、噴気活動は徐々に衰退している。

現象の解釈及びメカニズムの推定

- ▶ 硫黄島の異常な速度での隆起や活発な地熱活動は、硫黄島の地下浅部にマグマだまりが存在し、そのマグマだまりへの間欠的・連続的なマグマ注入が起こっていることによると考えられる。マグマだまりの深さは正確には不明だが、震源の深さの下限が約3kmであることから、その深さよりもやや深い場所にマグマだまりの上端があると推定される。硫黄島で発生する最大規模の地震(マグニチュード3程度)の振動に最大周期約30秒のVLP振動が常時含まれていることも、地下浅部に流体が存在していることを示唆している。
- ▶ 繰り返し測量によると、元山の間欠的な隆起が続いていた2000年代前半まで、 元山の測量点間の基線長は一定速度での短縮、摺鉢山や釜岩のカルデラ外の 測量点との基線長は一定速度の伸びが観測されていたが、2010年以降はそれ ぞれ加速している。また、島内のGNSS観測点でも、元山の観測点間の短縮の 加速、摺鉢山の南西方向の動きの加速が認められる。これら2010年以降の加 速と、カルデラ内縁に沿って水蒸気噴火が頻発していること、2022年に南側 の翁浜沖でマグマ噴火が発生したことは、カルデラ内縁でマグマが上昇して いる可能性を示している。

想定される火山活動の推移

▶ 硫黄島は、1980年代から2000年代まで続いていた間欠的な隆起から、2010年頃に連続的な隆起に変化し、水蒸気噴火の発生も増え、2022年からはマグマ噴火も発生しており、中長期的に火山活動が活発化する傾向が認められる。当面は、現在と同じ規模のマグマ噴火が発生する可能性がある。なお、現在続いている隆起が今後も継続した場合には、現在よりも規模の大きいマグマ

噴火が発生する可能性がある。一方で、このような隆起の加速は過去にも繰 り返し発生していると考えられることから、現在の隆起速度が低下して沈降 に変化すれば、マグマ噴火の発生する可能性は低下する。

- ▶ これまで水蒸気噴火が発生している海岸付近では、引き続き、水蒸気噴火が 発生する可能性がある。
- ▶ また、元山及び摺鉢山の地殻変動の加速は続いたままであることから、地表面で見られる断層のずれの拡大は続くと考えられる。

引用文献

- 貝塚爽平,加藤 茂,長岡信治,宮内崇裕(1985)硫黄島と周辺海底の地形,地学雑誌,94, 424-436. https://doi.org/10.5026/jgeography.94.424
- 小坂丈予, 辻昭治郎, 小椋英明 (1985) 硫黄島の地殻変動 (I), 地学雑誌, **94**, 474-479. https://doi.org/10.5026/jgeography.94.474
- 大八木則夫, 熊谷貞治(1977)火山列島硫黄島の 14C 年代, 国立防災科学技術センター研 究速報, 25, 5-17. https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nrcdp/nrcdp_sokuho u/25/25_01.pdf
- Ueda, H., Nagai, M. and Tanada, T. (2018) Phreatic eruptions and deformation of Ioto Island (Iwo-jima), Japan, triggered by deep magma injection. *Earth Planets Space*, 70, 38. https://doi.org/10.1186/s40623-018-0811-y
- Miwa, T., Nagai, M., Kozono, T., Nakada, S., Yasuda, A., Ozawa, T., Ueda, H., Tanada, T., and Fujita, E. (2024) Petrological constraints on magma storage conditions during ongoing post-caldera volcanism at Ioto volcano, Ogasawara, Japan. Preprint in Research Square, https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4543053/v1

硫黄島の調査研究方策

硫黄島の評価のために機動的な調査観測を含めた以下の調査研究が必要である。

- 今後の噴火の規模を評価するための、硫黄島の地下浅所へのマグマ貫入 状況の把握に向けた、地殻変動や地震等の連続観測による隆起速度等の 変化や長周期の地震動の発生状況の解析。
- 今後の噴火の推移を評価するための、発生した噴火にマグマがどの程度関 与しているかの把握に向けた、噴出物の構成物や化学組成、火山ガス組成 等の分析。
- 今後の噴火の位置等を評価するための、地熱域や地殻変動の分布の把握に向けた、衛星や航空機による熱や地殻変動の分布の面的な解析。

硫黄島

(2023年8月~2024年11月)

翁浜沖では 2023 年 10 月から 2024 年 7 月にかけて、休止期を挟みながら繰り返し噴火が発生した。 2023 年 10 月下旬から始まった噴火では、黒色の水柱や噴煙を伴う噴火が 12 月上旬まで続き、爆発音 や空振を伴う噴火も観測され、噴出したマグマにより新たな陸地が形成され成長した。噴火が一旦休 止した 2023 年 12 月中旬以降、新たな陸地は波浪による侵食でその面積は徐々に小さくなり、2024 年 10 月には新たな陸地は確認できなくなった。

島内では、2023 年 11 月に島北東部の海岸で、2024 年 5 月 3 日から 19 日にかけて島北西部の井戸 ヶ浜火口でごく小規模な噴火が発生した。噴火後も井戸ヶ浜火口では噴気が観測されているが、噴気 活動は徐々に衰退している。

長期的に島全体の隆起を示す地殻変動が継続しているが、2020 年後半から隆起速度が時間ととも に低下している。

なお、2025年1月28日から翁浜沖で噴火が確認されており、2月2日頃から軽石と思われる浮遊物が観測されている(期間外)。



☆*⁴ 大規模な変色水の新たな出現

図1 硫黄島 過去に噴火等が確認された地点及びそれらにおいて確認された現象 噴出地点及び各噴出地点で確認された現象は、関・他(2024)*(2023 年 8 月まで)及び気象庁、海上自衛隊及び防災科学 技術研究所(2023 年 9 月以降)の観測を基に記載。青及び橙破線はそれぞれ 1978 年及び 2016 年の海岸線。 *関 晋・長井雅史・及川輝樹(2024)2002 年から 2023 年 8 月における硫黄島の噴出地点.地質調査総合センター研究 資料集, no. 755, 12p. +1 file (https://www.gsj.jp/publications/pub/openfile/openfile0755.html).



- 図2(前ページ) 硫黄島 火山活動経過図(2011年3月8日~2024年11月30日) 噴火は関・他(2024)及び気象庁、海上自衛隊及び防災科学技術研究所の観測を基に記載。千鳥観測点(地震計・空振計) は2018年9月22日から2019年1月28日までと、2020年9月15日から2021年8月1日まで、障害のため欠測とな り、これらの欠測期間中では、硫黄島における地震検知能力が低下している。
- ・海上自衛隊硫黄島航空基地隊によると、2021年以降、翁浜沖(図1赤枠)で噴火が断続的に発生している。期間中(2023年8月~2024年11月)、2023年10月下旬から同年12月上旬にかけて発生した噴火は、これまでより規模の大きい噴火であった(図5)。翁浜沖での噴火活動は12月11日以降一旦停止したが、その後も、2023年12月31日から2024年1月6日、2024年2月28日から4月19日、及び2024年7月15日から同月21日にかけても噴火が発生した。
- ・翁浜沖以外でも、2023 年 11 月 18 日に島北東部の海岸(図1緑枠)で、2024 年 5 月 3 日から 19 日に かけて島北西部の井戸ヶ浜(図1青枠)でごく小規模な噴火が発生した。井戸ヶ浜の噴火では、高さ が最大で 200m程度の土砂噴出を観測した。
- ・期間中、火山性地震は、一時的な増加はあったものの、やや少ない状態で経過した(①、②)。
- ・2021 年からの翁浜沖の噴火に伴い、単色型微動が増加することが明らかになっている(③)。
- ・GNSS 連続観測では、長期的に島全体の隆起が継続している。2012 年4月及び 2018 年9月には、地震の増加とともに数日程度の短期間で大きな地殻変動が観測された(矢印)(⑥)。

(m) 300

(m) 50

0

(回) 600

400

200

0

(回) 100

80

60 40

20

0

4000

3000

2000

1000 0

(cm) 50





図3 火山活動経過図(2023年8月1日~2024年11月30日) 硫黄島

- ・2024 年5月に噴火が発生した井戸ヶ浜火口の噴気活動は、徐々に減衰している(①)。
- ・阿蘇台陥没孔の噴気活動は低調に経過している(②)。
- ・2024 年7月 22 日以降、翁浜沖で噴火は確認されず、これまで翁浜沖の噴火に伴い観測された単色型 微動はほとんど発生していない(③)。
- ・火山性地震は一時的な増加があるものの、概ね少ない状態で経過した(④)。
- ・GNSS 連続観測によると長期的に島全体の隆起が継続している。短期的には隆起速度の停滞、または低 下する期間がある(⑥)。













噴火に関する情報は海上自衛隊硫黄島航空基地隊による。

- ・(a) 2023 年 10 月 21 日から翁浜沖で噴火活動開始。黒色の噴出物を含んだ水柱や噴煙が数分間隔で発生。変色水や軽石の浮遊も確認。空振を伴う単色型微動が増加し(図7-1)、同年 10 月 26 日をピークに減少。
- ・(b) 2023年10月30日に新たな陸地の形成を確認。噴出が徐々に増大し同年11月3日には数秒間隔で噴出。立ち上がりが明瞭な空振が増える(図5)一方で、単色型微動の振幅は小さくなる(図7-2)。
- ・(c) 2023 年 11 月 4 日より身体に感じる程度の爆発音、空振を伴う噴火が数分間隔で発生し、同月 9 日まで続く(図 5)。噴火に伴う空振により励起された震動を観測(図 7 3)。
- ・(d) 2023 年 11 月 12 日に陸地のやや西寄りから噴火が再開。同月 24 日には最大噴煙高 400mを観測 (図5)。小休止を挟みつつ 2023 年 12 月 10 日まで断続的に噴火。単色型微動や空振を観測(図7-4 及び7-5)。
- ・(e) 新たな陸地は 2023 年 11 月下旬にかけて拡大するも波浪による浸食で徐々に縮小。12 月 31 日に 噴火が再開し、2024 年 1 月 6 日まで断続的に噴火が確認された。
- ・(f) 2024 年 2 月 28 日に噴火が再開し、4 月 19 日まで断続的に噴火が確認された(図 5)。海上保安 庁が3月16日に実施した上空からの観測では、「新たな陸地」は浸食により面積が減少し、ごくわず かな固結部のみが残存していることを確認。
- ・(g) 2024 年 7 月 15 日から同月 21 日にかけて単色型微動や空振を伴う噴火が確認された(図 5)。
- ・(h) 海上保安庁が2024年10月22日に実施した上空からの観測では、「新たな陸地」は確認できなかった。

気象庁



図 5 硫黄島 火山活動経過図(2023年10月1日~2024年7月31日)

噴火に関する情報は海上自衛隊硫黄島航空基地隊による。

- ・2023 年 10 月以降の翁浜沖の噴火について、噴出高、噴煙高及び空振振幅を考慮すると、2023 年 10 月 下旬から同年 12 月上旬にかけて発生した翁浜沖の噴火は、他の期間の翁浜沖の噴火と比較して規模 の大きい噴火であった。
- ・翁浜沖の噴火活動に関連する火山性地震の発生頻度の変化は確認できない。
- ・GNSS 連続観測では、島全体の隆起が継続しているが、2023 年 11 月下旬に一時的に沈降した(最下段の青矢印)。



・長期的に島全体の隆起が継続している(①②)。

・長期的に③及び④の基線長に伸びがみられるが、主に硫黄島2(国)観測点で南方向の変位が継続していることに対応する。

気象庁



図6-2 硫黄島 父島A(国)を基準とした場合の各年の比高変化(2020年~2024年11月30日) (国):国土地理院。グラフの空白部分は欠測。欠測期間が長いため、2021年及び2024年の北ノ鼻南の比高変化は表示 していない。

・2020年後半から島の隆起速度が時間とともに低下している。



図 6 - 3 硫黄島 父島 A (国)を基準とした場合の硫黄島 2 (国)の各年の南北変位 (2020 年~2024 年 11 月 30 日) (国): 国土地理院。グラフの空白部分は欠測。

・2020年後半から硫黄島2(国)の南向きの変動速度が時間とともに低下している。





(c)



図 7-1 硫黄島 2023 年 10 月 25 日に観測された単色型微動及び空振

a 及び b は 21 時 00 分から 21:29 分に千鳥観測点で観測された単色型微動及び空振波形をそれぞれ示す。c は各地震観測点及び千鳥観測点の空振計で観測された地震・空振波形を示す。

・2023 年 10 月 21 日から開始した翁浜沖の噴火活動の初期には、噴火により発生した単色型微動に伴い、比較的長い周期を持つ空振波形が主に 10 月末まで観測された。このような特徴を持つ空振波形は、 2022 年や 2023 年 6 月の翁浜沖の噴火活動でも観測された。

(a		
	10 sec	
21:00	WMM www.www.www.www.www.www.www.www.www.w	60µm/s
21:02	h	
21:04		
21:06		
21:08		
21:10	WWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWW	
21:12		
21:14		
21:16		Ē
21:18		
21:20		
21:22	have been a second and the second sec	
21:24		_
21:26	WWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWWW	_
21:28	www.www.www.www.www.www.www.www.www.ww	Ē



(c) 眼鏡岩 UD 招鉢山 UD 千鳥 UD 121:26:00 21:27:00

図 7-2 硫黄島 2023 年 10 月 29 日に観測された単色型微動及び空振

a、b 及び c いずれも図 7 − 1 と同じ内容を示す。

・2023 年 10 月 30 日に東京大学地震研究所が上空から行った観測によると、翁浜沖の噴出地点のすぐ北 側に新たな陸地が形成されたことを確認した。この陸地の形成期にあたる期間では単色型微動の振幅 が小さくなる傾向がみられ、微動に伴う空振波形への高周波成分の重畳が主に 2023 年 11 月 1 日まで の期間でみられた。



図7-3 硫黄島 2023年11月4日に観測された単色型微動及び空振

a、b及びcいずれも図7-1と同じ内容を示す。

- ・2023 年 11 月 4 日から同月 9 日にかけて、爆発音や身体で感じる空振を伴う噴火が数分間隔で発生したが、この期間、単色型微動の振幅は陸地の形成期(図 4)と比較してさらに小さくなった。
- ・一方、噴火に伴う空振の振幅が大きくなり、地震計では空振が励起したと考えられる高周波の地動を 記録するようになった。
- ・海上保安庁が11月10日に実施した観測によると、新たな陸地に形成された火砕丘から上昇する噴気が確認された。このことから、それまで海面下で発生していた噴火が海面上の火砕丘から発生することにより、噴火に伴う空振の振幅が大きくなったとも考えられる。



図 7-4 硫黄島 2023 年 11 月 24 日に観測された単色型微動及び空振

a、b 及び c いずれも図 7 − 1 と同じ内容を示す。

・地震計では単色型微動に先立ち高周波成分の震動が観測され、その震動にはパルス状の空振波形が伴った。

気象庁

^{・2023}年11月9日から噴火の発生は観測されず、単色型微動及びそれに伴う空振もの発生頻度も少なくなり、かつそれらの振幅も小さくなったが、同月11日より単色型微動の発生が再び目立つようになった。海上保安庁が2023年11月23日に実施した観測では、新たな陸地は南北約450m×東西約200mまで成長し、形成された火砕丘から間欠的に噴煙が高度約200mまで上がるようなマグマ水蒸気噴火が確認された。

(a)	10 sec	
06:00	≠> permanentepersonallet/weighterentertraleperationstreamentationstre teamentationstreamentationstreamentationstreamentationstreamentationstreamentationstreamentationstreamentationst	₩40µm/s
06:02		~
06:04		~~
06:08	and and the second of the seco	<u>_</u>
06:10	water warman warman and a second	mV
06:12	and the production of the second and the second of the sec	m
06:14_	Will White was a second was a	~_
06:16 06:18		
06:20	have a second	
06:22	Land and the second of the sec	M
06:24	and the manuscript and the second of the second	~
06:26	management and a second of the	M
(b)	10 sec	
06:00		1Pa
06:02		-
06:04		_
06:00		-
06:10	- white was a second and a second a s	-
06:12		-
06:14_		-
06:16		_
06:20	mwWhAnshhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhh	-
06:22		-E
06:24		
06:26		-
(c)		⊢ 100 um /s
J	F山 UD	100 μm/s 1 Pa
BI	■●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●●	114
- -	- THE OD	
−		
06:20:0	00 06:21:00 06:22:0	00

図7-5 硫黄島 2023年12月7日に観測された単色型微動及び空振

a、b 及び c いずれも図 7 − 1 と同じ内容を示す。

・海上保安庁が 2023 年 11 月 23 日以降に実施した観測によると、翁浜沖の噴火地点に新たに形成された陸地の面積は波浪による浸食で減少していることが確認されている。

・新たな陸地の面積に縮小が見られる中、単色型微動の卓越周波数と同じ約1Hz及びその高調波からなる空振が2023年11月末から12月上旬にかけて観測された。



』):国土地理院、(防):防災科学技術研究所

図8 硫黄島 観測点配置図 GNSS 基線(A~E)は図2、3及び6の基線に対応している。

気象庁資料に関する補足事項

1. データ利用について

- ・資料は気象庁のほか、以下の機関のデータも利用して作成している。
 国土地理院及び国立研究開発法人防災科学技術研究所
- 2. 地図の作成について
- ・資料内の地図の作成には、国土地理院発行の『電子地形図(タイル)』を使用した。

硫黄島

「硫黄島1」及び「M硫黄島A」では隆起が、「硫黄島2」では南向きの変動が 継続しています。



硫黄島周辺 GNSS連続観測基線図

硫黄島周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
960604	硫黄島1	2021-02-24	受信機交換
		2023-03-28	受信機更新
960605	硫黄島2	2023-03-28	受信機更新
		2024-01-09	受信機交換
		2024-11-21	伐採
149086	M硫黄島A	2021-02-24	受信機交換
052007	父島A	2021-12-05	受信機更新
		2024-08-07	レドーム開閉

第4回火山調査委員会

国土地理院



第4回火山調査委員会

国土地理院



国土地理院



国土地理院





硫黄島周辺の地殻変動(水平:3か月)

基準期間:2024-08-21~2024-08-30[F5:最終解] 比較期間:2024-11-21~2024-11-30[F5:最終解]

第4回火山調査委員会

硫黄島周辺の地殻変動(上下:3か月)

☆ 固定局:父島A(052007)

第4回火山調査委員会

成分変化グラフ





国土地理院

※電子基準点の保守等による変動は補正済み

第4回火山調査委員会

成分変化グラフ





島の東側の地点A周辺において、衛星に近づく変動が見られます。 元山の地点B周辺及び地点D周辺において、衛星に近づく変動が見られます。



国土地理院



島の東側の地点A周辺において、衛星に近づく変動が見られます。 元山の地点B周辺及び摺鉢山の地点C周辺において、衛星から遠ざかる変動が見られます。



本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。 対流圏遅延補正には、気象庁数値予報格子点データを使用しています。

硫黄島の2.5次元解析結果(2014年~2024年)

元山の周囲において隆起が見られます。また、阿蘇台断層の東側において東向きの 変動が見られます。

解析ペア:2014-08-18~2024-08-05(東→西)、2014-11-09~2024-08-18 (西→東)



背景:地理院地図標準地図・陰影起伏図・傾斜量図