

硫黄島



地形図は国土地理院の地理院地図を使用した

概要

当庁航空機による観測結果を報告する。

- ・ 2024年10月、11月、12月、2025年1月に調査を実施した。
- ・ 2023年10月からの噴火で形成された翁浜沖の新島は浸食により消滅し、2024年10月以降確認されていない。
- ・ 2025年1月の調査では翁浜沖の噴火地点で気泡の湧出が認められた。
- ・ 離岩付近の噴出孔からは継続的に白色噴気の放出が認められた。
- ・ 島の周囲に茶褐色～緑色の変色水が広範囲に広がっていた。

○2024年10月22日 13:25-13:39 調査

- ・硫黄島南岸の昨年噴火で形成された翁浜沖の新島は確認できなかった。(図1)。
- ・離岩南部の噴出孔では、1箇所から白色噴気の放出を認めた。噴出孔付近に湯だまりを認めた。噴出孔Aに湯だまりは認められなかった(図2)。
- ・離岩北部の海岸の2箇所から白色噴気を認めた(図3、4)。
- ・北ノ鼻西部の噴出孔3孔について、1孔は薄緑色、1孔は緑色及び茶色の変色水だまりを認め、残りの1孔はほぼ埋まっていた(図5)。
- ・井戸ヶ浜の噴出孔には水が溜まっていた(図6)。
- ・硫黄島の周囲で広範囲に茶褐色～緑色の変色水を認めた(図1、2、7)。

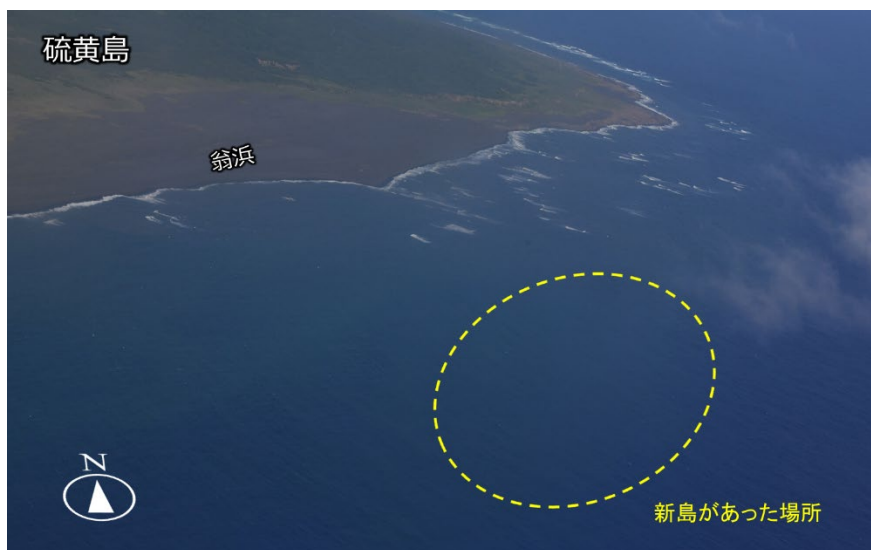


図1 硫黄島 翁浜沖

2024年10月22日 13:37 撮影



図2 硫黄島

離岩南部の噴出孔

2024年10月22日 13:28 撮影



図3 硫黄島
離岩北部の白色噴気
2024年10月22日 13:34 撮影



図4 硫黄島
離岩北部の白色噴気
2024年10月22日 13:35 撮影



図5 硫黄島
北ノ鼻西部の噴出孔
2024年10月22日 13:35 撮影

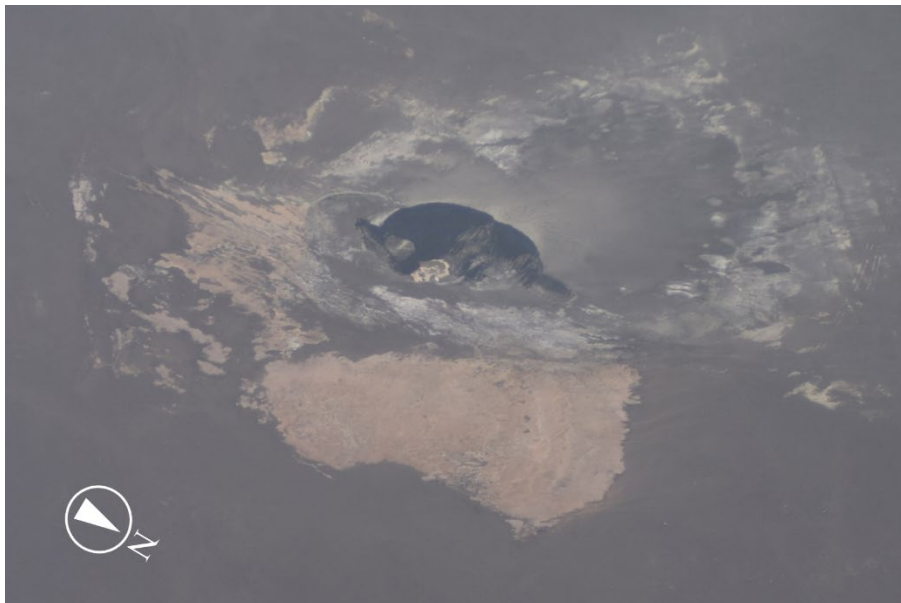


図6 硫黄島

井戸ヶ浜

2024年10月22日 13:39 撮影

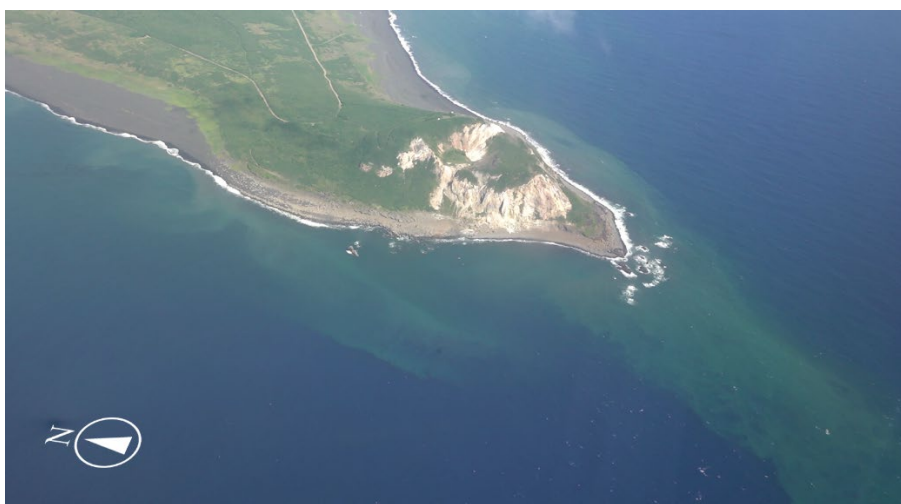


図7 硫黄島

摺鉢山周辺

2024年10月22日 13:36 撮影

○2024年11月27日 13:04-13:12 調査

- ・硫黄島南岸の翁浜沖のかつて新島が存在していた付近では周囲よりやや濃い茶褐色の変色水を認めた（図8）。
- ・離岩南部の噴出孔では、1箇所から白色噴気の放出を認めた。噴出孔Aは飛行高度が低いため視認できなかった（図9）。
- ・離岩北部の海岸の4箇所から白色噴気を認めた（図10、11）。
- ・北ノ鼻西部の噴出孔3孔について、2孔は薄い緑白色の変色水だまりを認め、残りの1孔は飛行高度が低いため視認できなかった（図12）。
- ・硫黄島の周囲で広範囲に茶褐色から緑色の変色水を認めた（図8、13）。



図8 硫黄島 翁浜沖
2024年11月27日 13:10 撮影



図9 硫黄島
離岩南部の噴出孔
2024年11月27日 13:05 撮影



図10 硫黄島
離岩北部の白色噴気
2024年11月27日 13:06 撮影



図11 硫黄島
離岩北部の白色噴気
2024年11月27日 13:06 撮影



図12 硫黄島
北ノ鼻西部の噴出孔
2024年11月27日 13:07 撮影

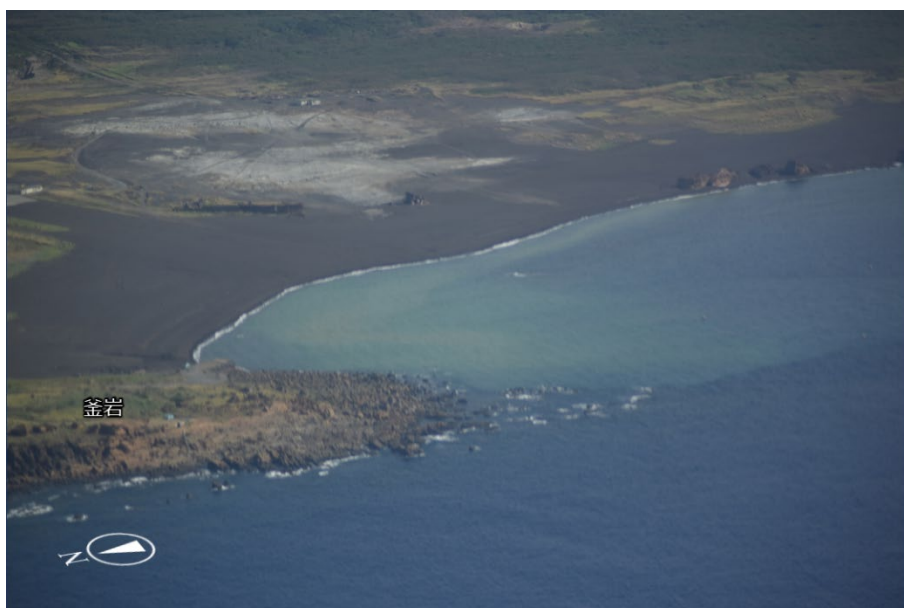


図13 硫黄島
釜岩付近
2024年11月27日 13:08 撮影

○2024年12月26日 14:12-14:20

- ・硫黄島南岸の翁浜沖に特異事象は認められなかった（図14）。
- ・離岩南部の噴出孔では、1箇所から白色噴気の放出を認めた。湯だまりは認められなかった（図15）。
- ・離岩北部の海岸の2箇所から白色噴気の放出を認めた（図16）。
- ・北ノ鼻西部の噴出孔3孔について、1孔は緑褐色、1孔は黄土色の変色水だまりを認め、残りの1孔はほぼ埋まっていた（図17）。
- ・井戸ヶ浜の噴出孔に特異事象は認められなかった（図18）。
- ・硫黄島の周囲で広範囲に茶褐色から緑色、西岸の一部では濃い灰色の変色水域を認めた（図14～16）。

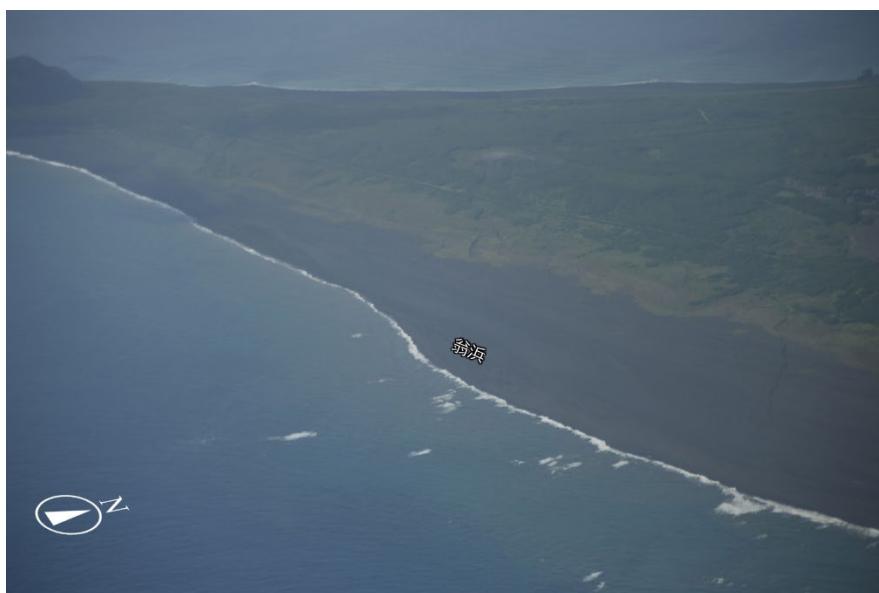


図14 硫黄島 翁浜沖

2024年12月26日 14:13 撮影



図15 硫黄島
離岩南部の噴出孔

2024年12月26日 14:13 撮影



図16 硫黄島
離岩北部の白色噴気
2024年12月26日 14:14 撮影

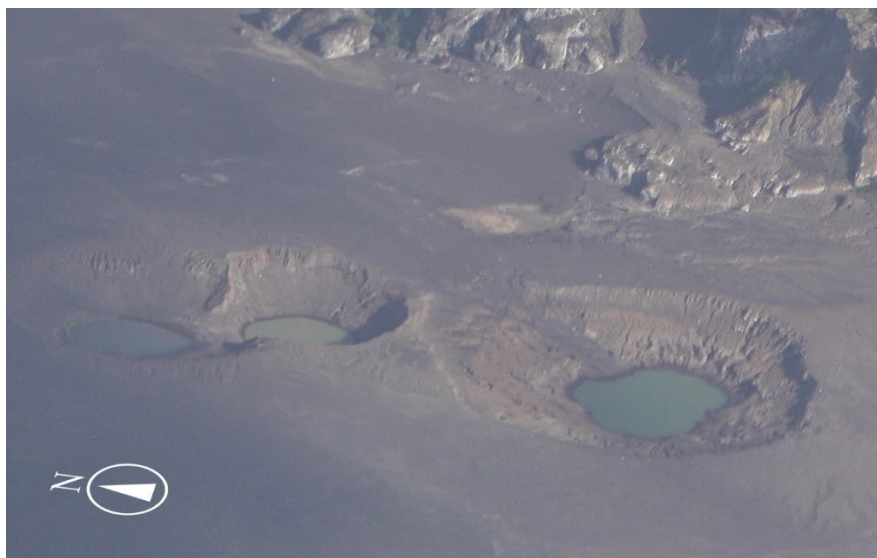


図17 硫黄島
北ノ鼻西部の噴出孔
2024年12月26日 14:15 撮影



図18 硫黄島
井戸ヶ浜の噴出孔
2024年12月26日 14:15 撮影

○2025年1月27日 13:31-13:46

- ・硫黄島南岸の翁浜沖で直径数十メートルの円環状の気泡の湧出を認めた（図19、20）。
- ・離岩南部の噴出孔では、2箇所から白色噴気の放出を認めた（図21）。
- ・離岩北部の海岸で白色噴気の放出を認めた（図21、22）。
- ・北ノ鼻西部の噴出孔3孔について、1孔は緑褐色、1孔は緑褐色及び黄土色の変色水だまりを認め、残りの1孔はほぼ埋まっていた（図23）。
- ・井戸ヶ浜の噴出孔に特異事象は認められなかった（図24）。
- ・井戸ヶ浜東の噴出孔に白色噴気の放出を認めた（図25）。
- ・硫黄島の周囲で広範囲に茶褐色から緑色の変色水域を認めた（図19～21、26）。

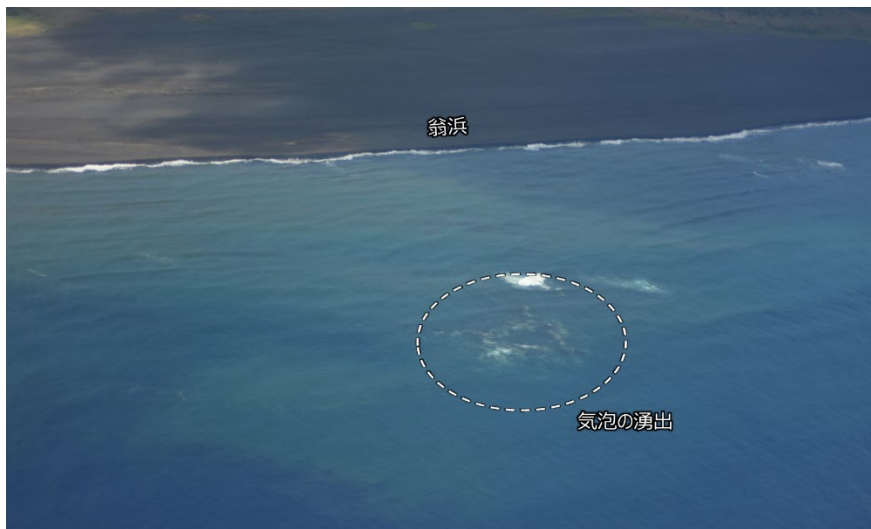


図19 硫黄島 翁浜沖

2025年1月27日 13:32 撮影



図20 硫黄島 翁浜沖

気泡の湧出

2025年1月27日 13:32 撮影



図 21 硫黄島
離岩周辺の白色噴気
2025年1月27日 13:34 撮影



図 22 硫黄島
離岩北部の白色噴気
2025年1月27日 13:35 撮影



図 23 硫黄島
北ノ鼻西部の噴出孔3孔
2025年1月27日 13:35 撮影



図24 硫黄島
井戸ヶ浜の噴出孔
2025年1月27日 13:48 撮影



図25 硫黄島
井戸ヶ浜東の噴出孔
2025年1月27日 13:48 撮影

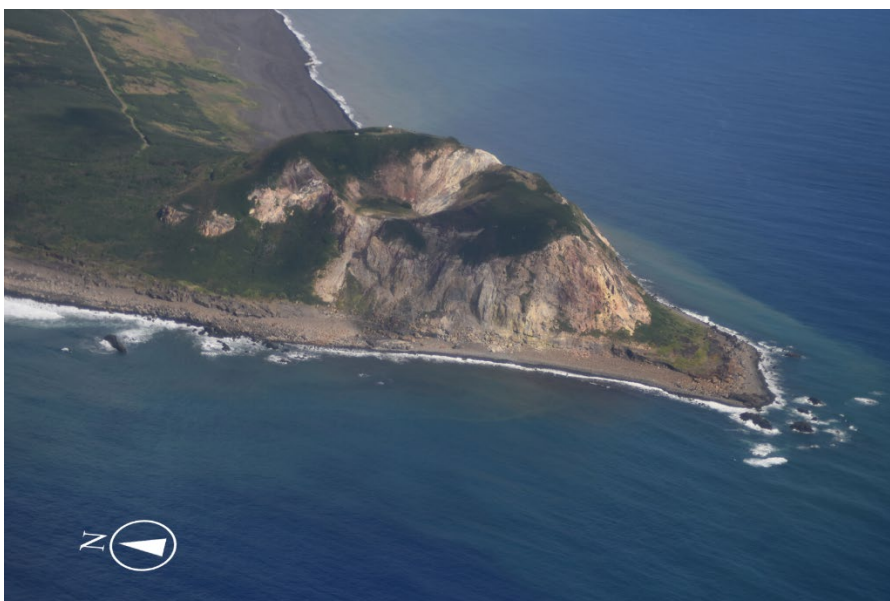


図26 硫黄島
摺鉢山周辺
2025年1月27日 13:37 撮影

硫黄島周辺の海底地形調査結果について

1. 調査概要

海上保安庁では、海図の作成・更新及び海域火山の基礎情報の整備のため硫黄島の海底地形調査を実施している。これまでに得られた海底地形データを集約のうえ図化し、地形の特徴（概要）と地形変化について報告する。

2. 調査結果

2-1. 海底地形の概要

2013年、2019年、2021年、2023年の4回にわたり当庁測量船にて取得した地形データを用いて海底地形図を作成した（図1、2、表1）。

硫黄島は海底面からの比高が2,000m以上ある成層火山で、大部分が海面下となっている。本調査により硫黄島中央部の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から北東部～南部にかけての海底に確認された（図3）。

また、硫黄島北西部～北部～東部にかけての海底に溶岩流様の地形を認めた（図3）。

2.2. 海底地形の変化

これまでに実施した海底地形調査の重複海域について、水深を比較することで地形変化の有無を確認した。

比較対象とした1991年の調査結果を図4に示す。この調査は、測量船「拓洋」及び同船搭載の測量艇により行われたもので、測位はGPS単独測位により、測深はマルチビーム音響測深機及びシングルビーム音響測深機によった。当時のGPSは、衛星数が少なく衛星配置に偏りが生じる時間帯が多かったことに加え、SA（Selective Availability）と呼ばれる位置精度低下処理が行われていたため、単独測位の水平精度は100～200m程度であったと考えられる。また、測深機の性能的限界により水深データの点密度は本調査に比べて低いことに留意する必要がある。

2.2.1 1991年と2023年（32年間）の水深値の比較

1991年と2023年の水深を比較した結果を図5に示す。

硫黄島北岸の北ノ鼻沖の環状断層の内側で最大20m程度浅くなっている。隆起によるものと仮定すれば約0.6m/年の隆起となる。

2.2.1 1991年と2021年（30年間）の水深値の比較

1991年と2021年の水深を比較した結果を図6に示す。

硫黄島の北西沖の監獄岩と硫黄島の間で最大35m程度、南東岸の沖で最大約30m程度浅くなって

いる。隆起によるものと仮定すればそれぞれ約 1.2m/年、約 1.0m/年の隆起となる。いずれも環状断層の内側であった。また、南西沿岸の千鳥ヶ浜沖においても最大 20m程度浅くなっており、約 0.6 m/年の隆起となる。

2.2.2 1991年と2019年（28年間）の水深値の比較

1991年と2019年の水深を比較した結果を図7に示す。

有意な水深変化は認められなかった。

2.2.3 1991年と2013年（22年間）の水深値の比較

1991年と2013年の水深を比較した結果を図8に示す。

硫黄島北岸の北之鼻沖の環状断層の内側に最大 20m程度浅くなっている。隆起によるものと仮定すれば約 0.9m/年の隆起となる。

2.2.4 2013年と2023年（10年間）の水深値の比較

2013年と2023年の水深を比較した結果を図10に示す。

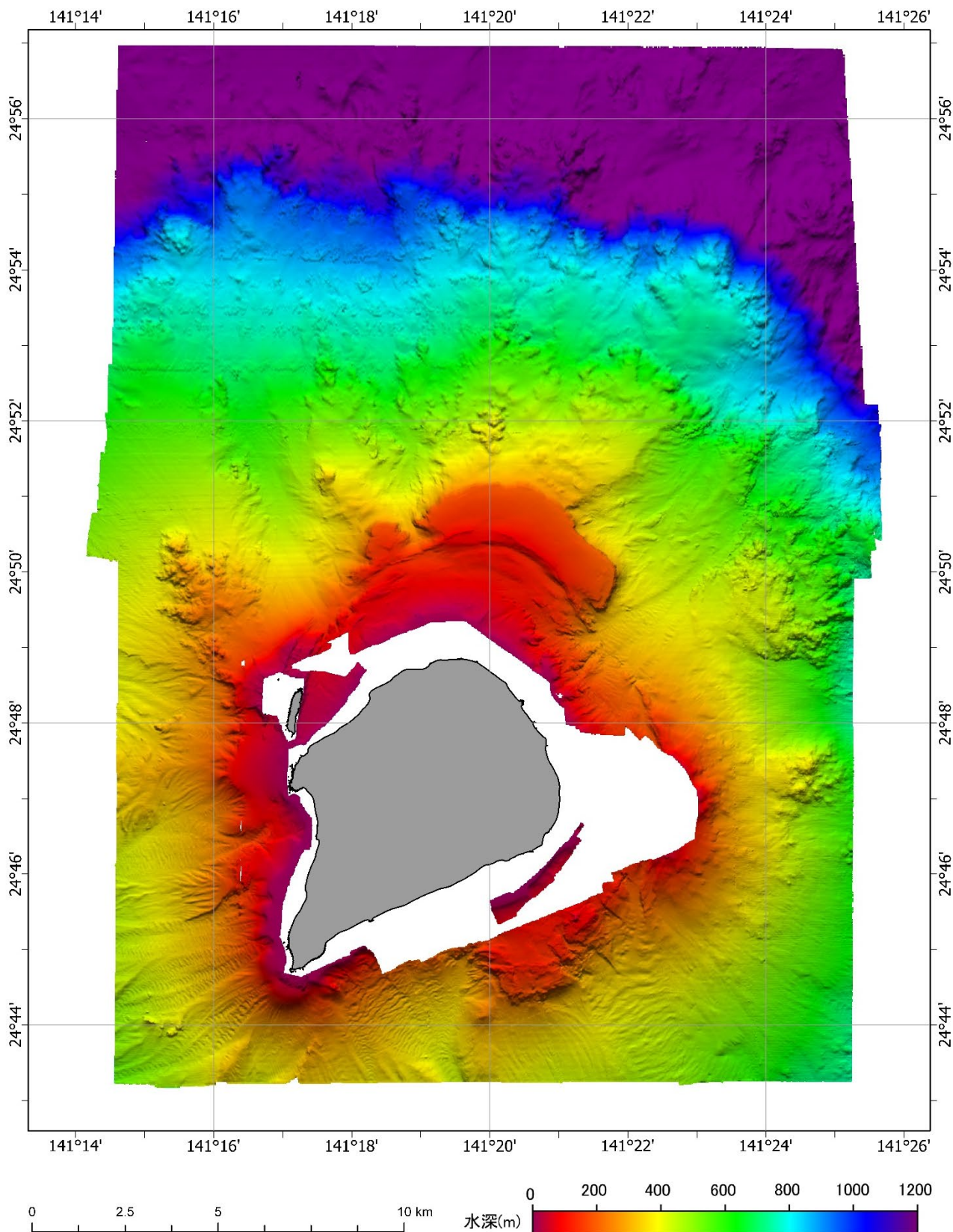
硫黄島北～北西沖の環状断層の内側で最大 15m程度浅くなっている。隆起によるものと仮定すれば約 1.5m/年の隆起となる。

2.2.5 まとめ

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隆起が認められた。隆起は主に環状断層の内側で顕著であった。国土地理院の干渉 SAR 解析結果（図11）によると陸域では元山を中心としてドーナツ上に変動が大きい隆起帯があり、上記の隆起した海域はこの隆起帯の一部であると考えられる。

また、隆起が認められた箇所については、硫黄島沿岸に近いほど変化量が大きい傾向にあった。

一方で、沖合部では有意な水深変化はみられなかった。



2013年9月調査
2019年9月調査
2021年10月調査
2023年2月調査

海部:海上保安庁(JCG)
海岸線:国土地理院基盤地図情報(海岸線)

メルカトル図法
※光源0°で作成

図1 海底地形図

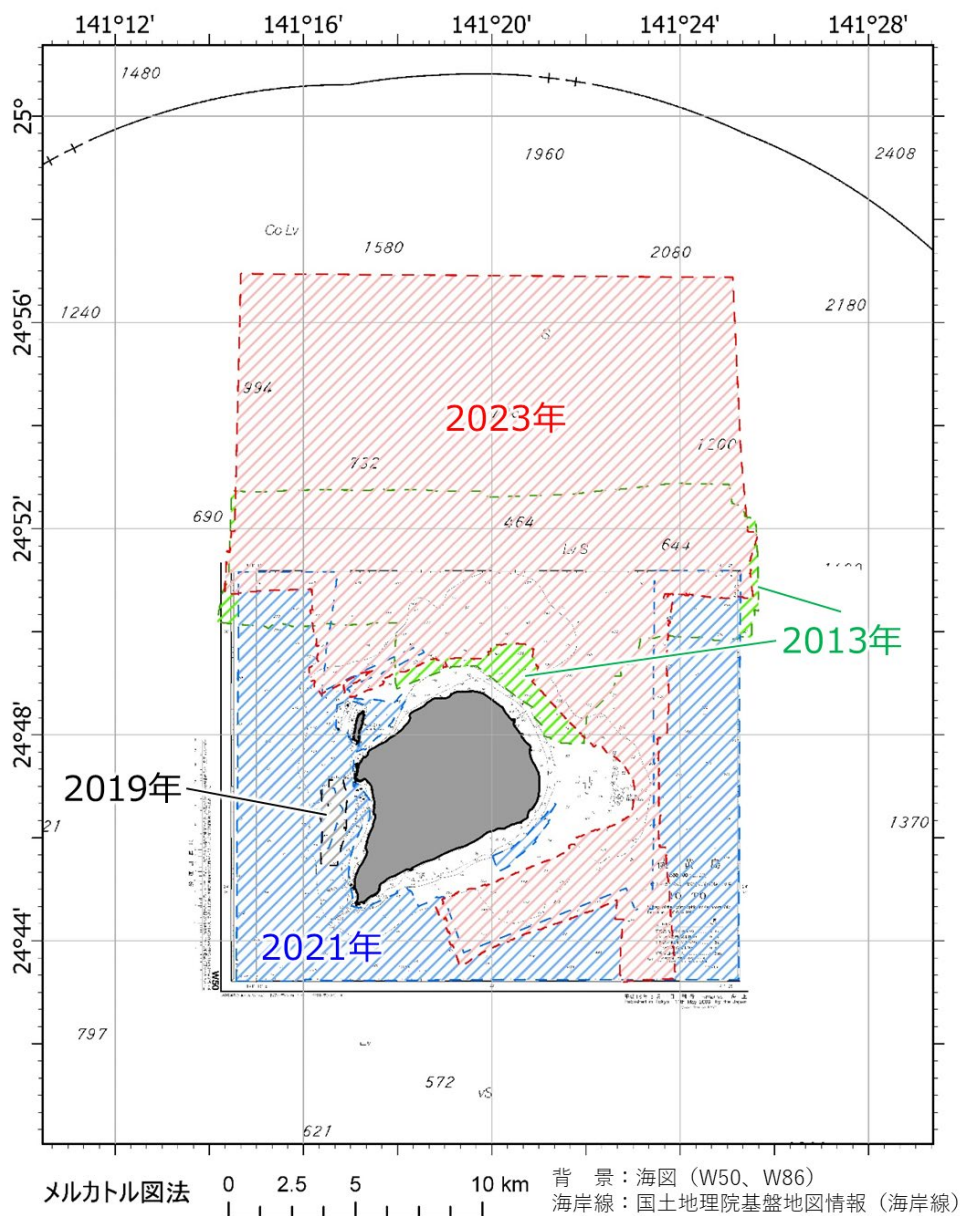


図2 地形データ取得年

表1 調査機器概要

調査年月日	使用船舶	使用測深機
2023. 1. 31~2. 11	測量船平洋及び特殊搭載艇	マルチビーム測深機 (Seabat_T50R, T50P, Hydrosweep_MD/50)
2021. 10. 6~10. 26	同上	同上
2019. 9. 4~9. 16	測量船拓洋及び搭載艇	マルチビーム測深機 (Seabat_T50R, EM710, Sonic2022) シングルビーム測深機 (PDR8000)
2013. 9. 15~9. 24	測量船昭洋	マルチビーム測深機 (EM455, EM710)
1991. 6. 3~6. 10 6. 21~7. 2	測量船拓洋及び搭載艇	マルチビーム測深機 (853/E) シングルビーム測深機 (PDR101)

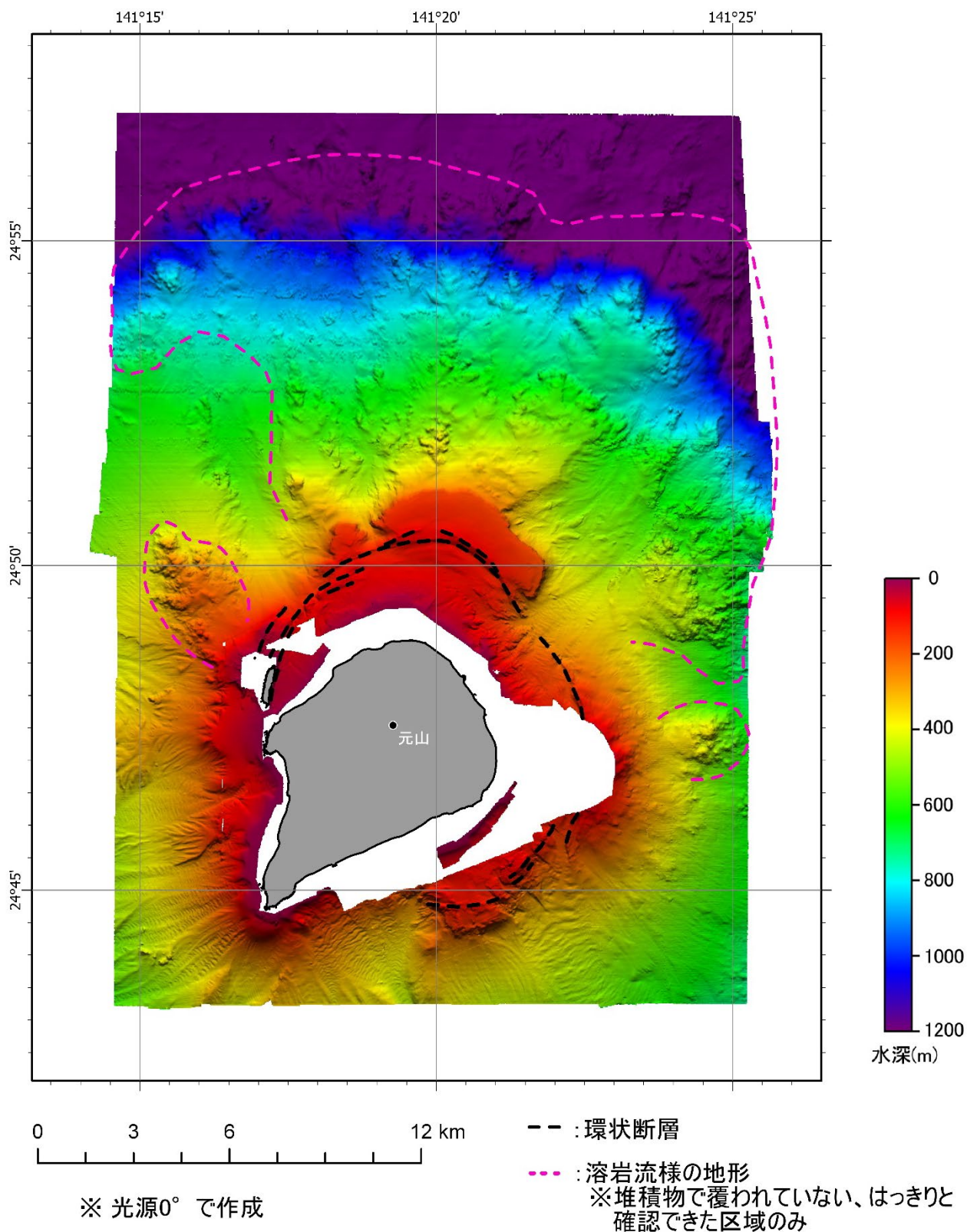


図3 環状断層、溶岩流様の地形

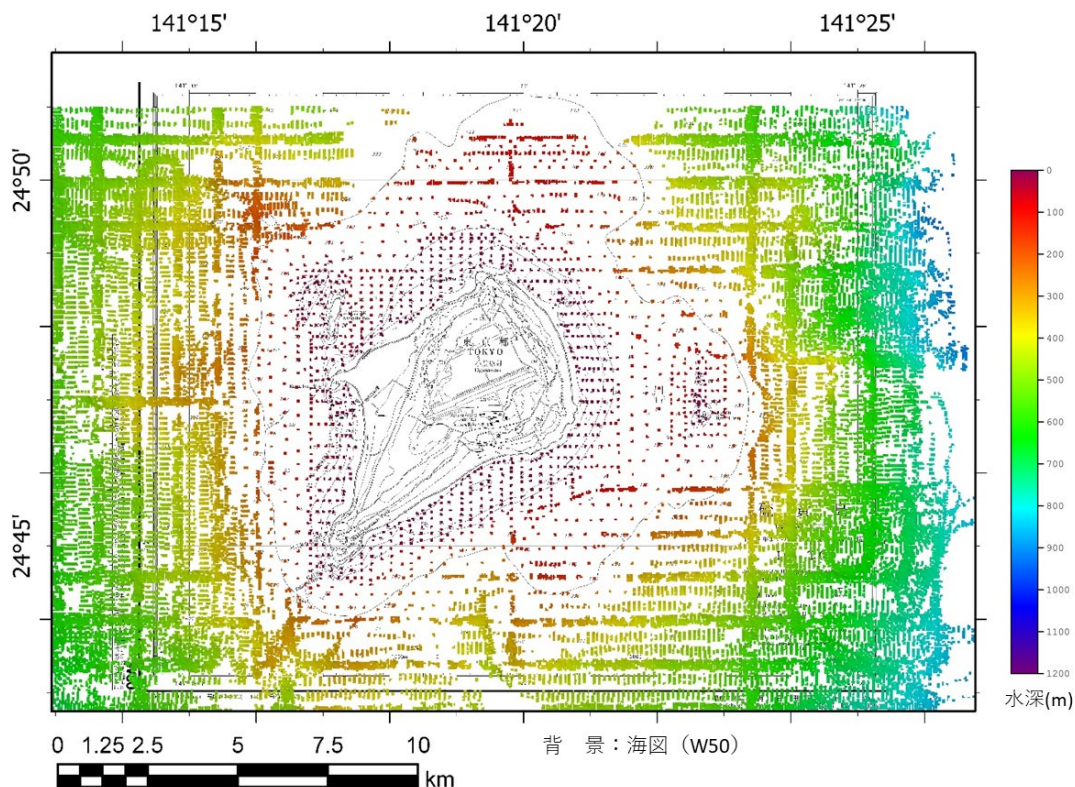


図4 1991年の海底地形調査結果

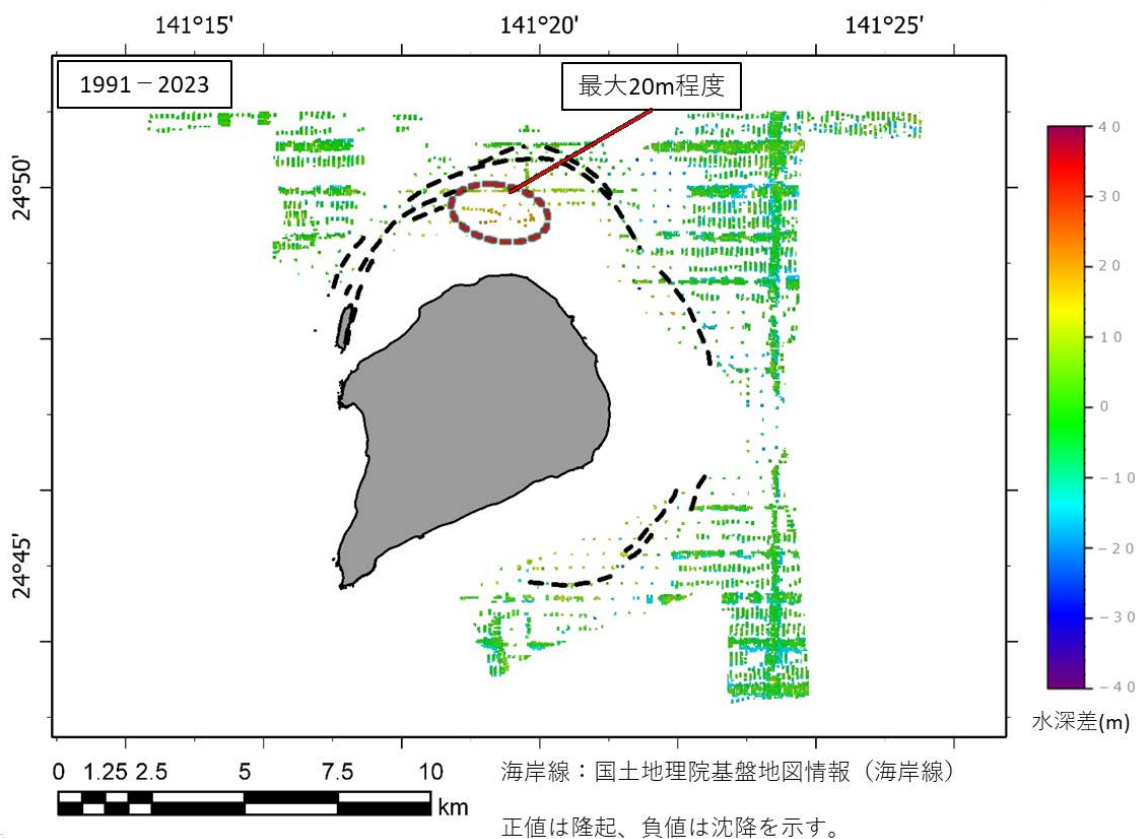


図5 1991年と2023年(32年間)の水深値の比較

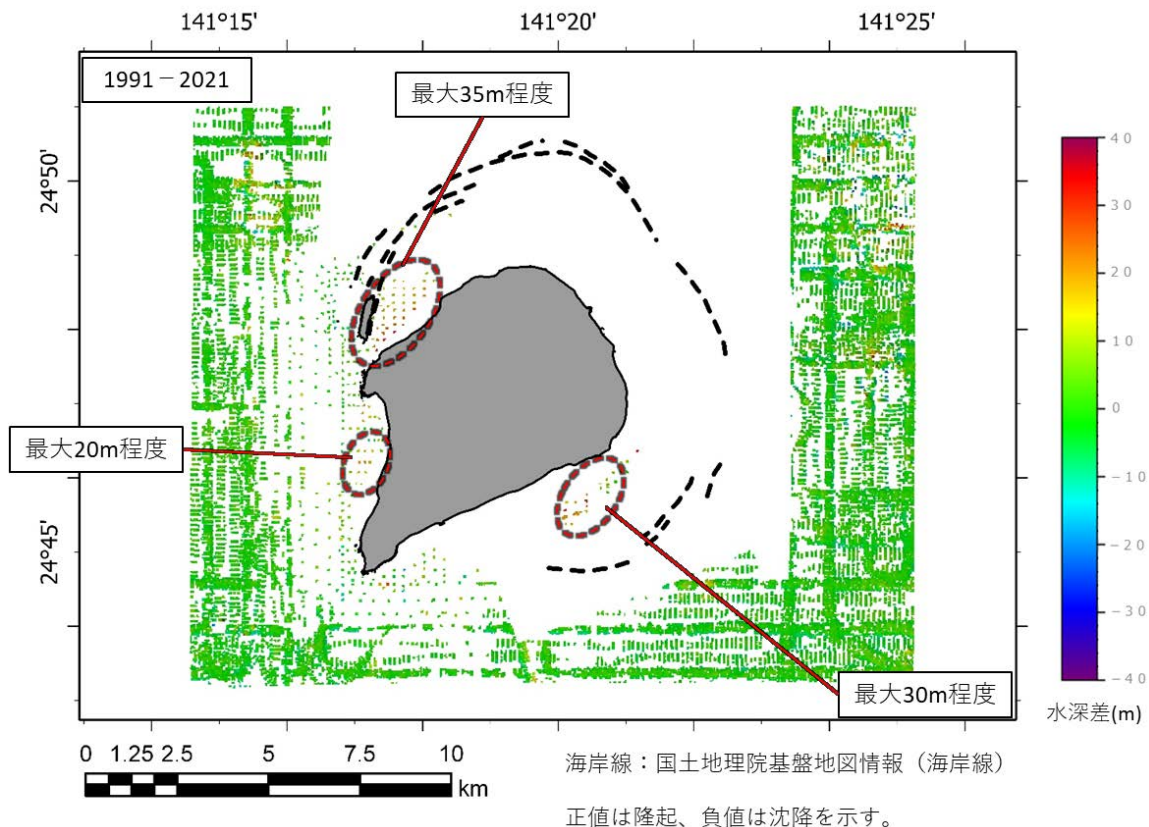


図6 1991年と2021年（30年間）の水深値の比較

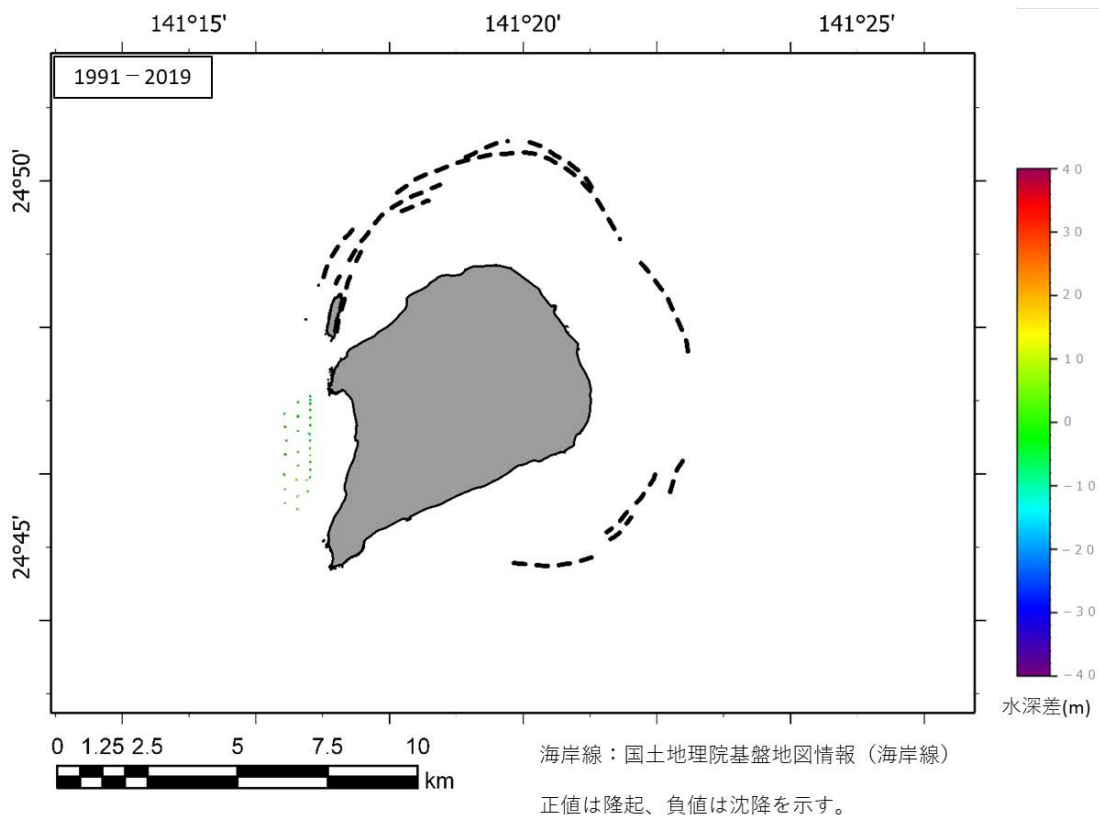


図7 1991年と2019年（28年間）の水深値の比較

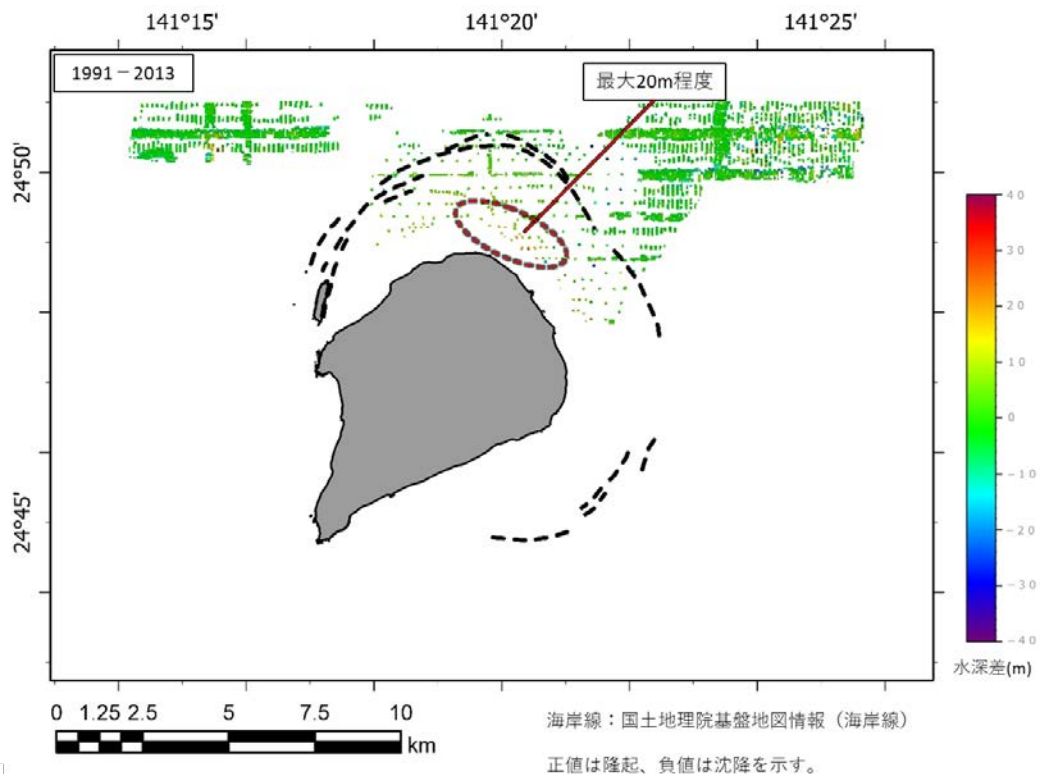


図8 1991年と2013年（22年間）の水深値の比較

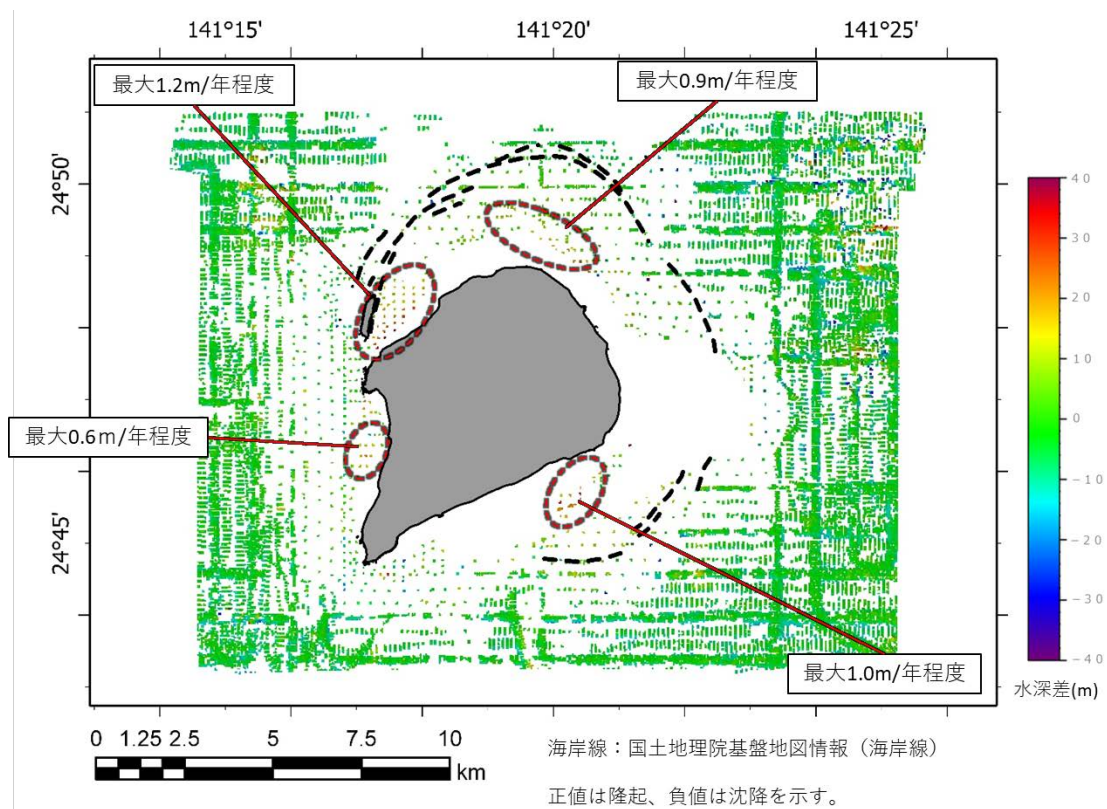


図9 1991年と2013年～2023年の水深値の比較

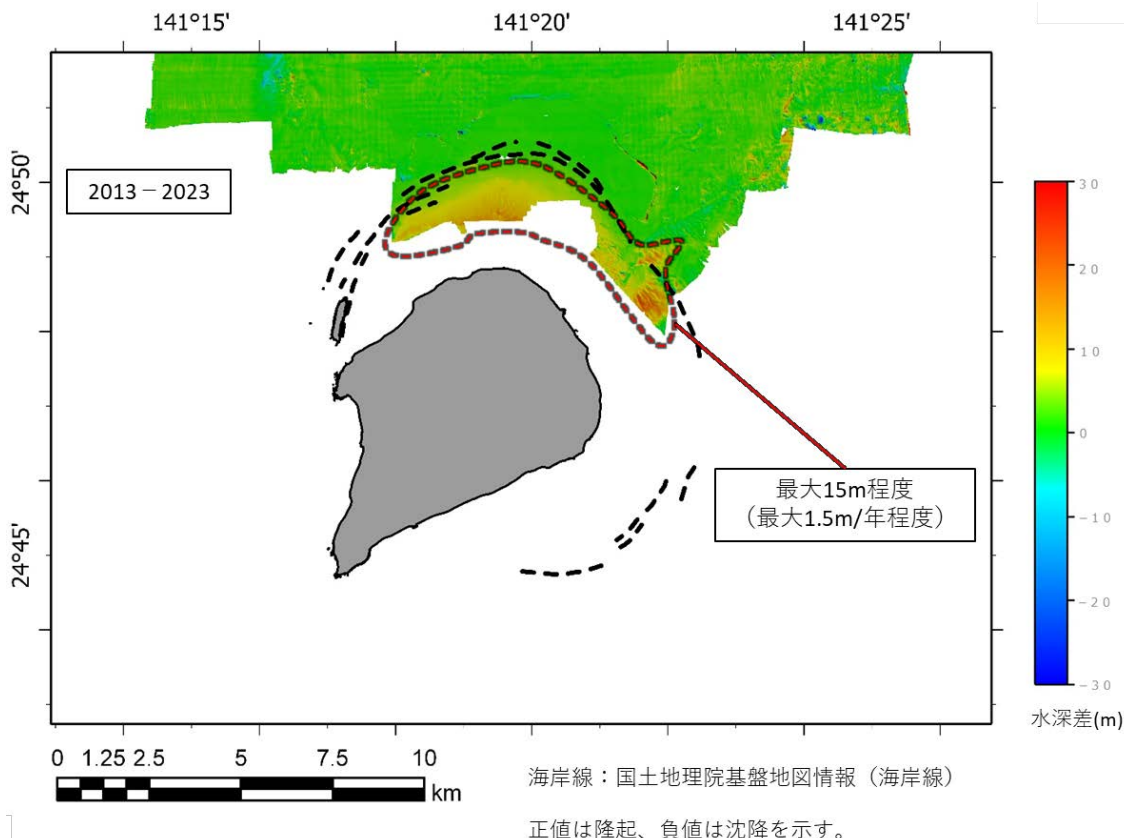


図10 2013年と2023年の水深値（10年間）の比較

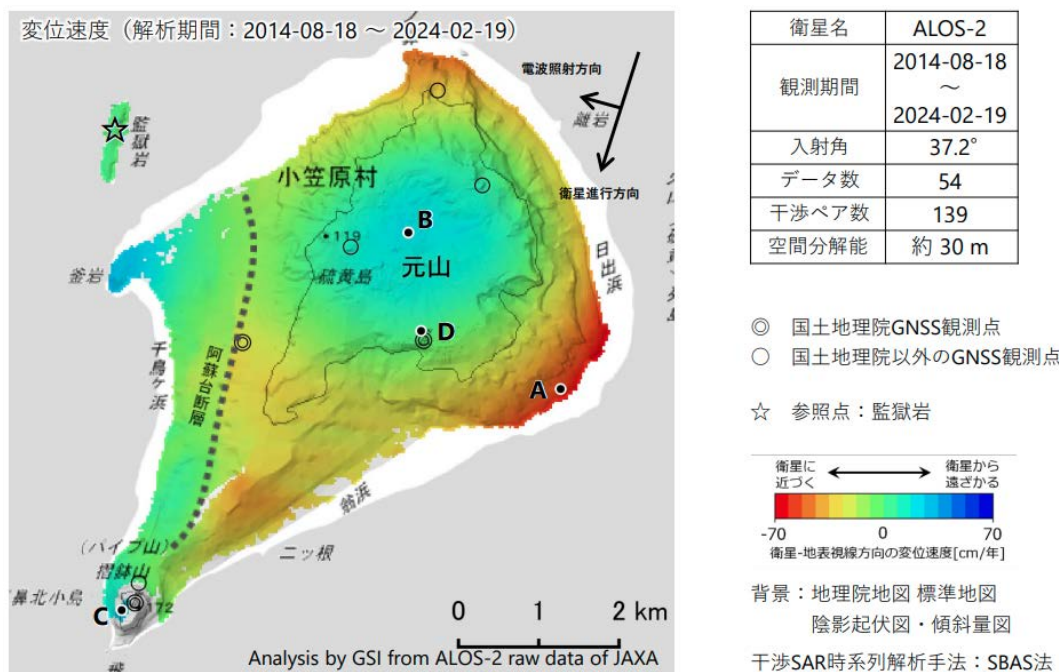


図11 （参考）硫黄島の干渉 SAR 時系列解析結果（南行）

（※ 第3回火山調査委員会 国土地理院資料より抜粋）

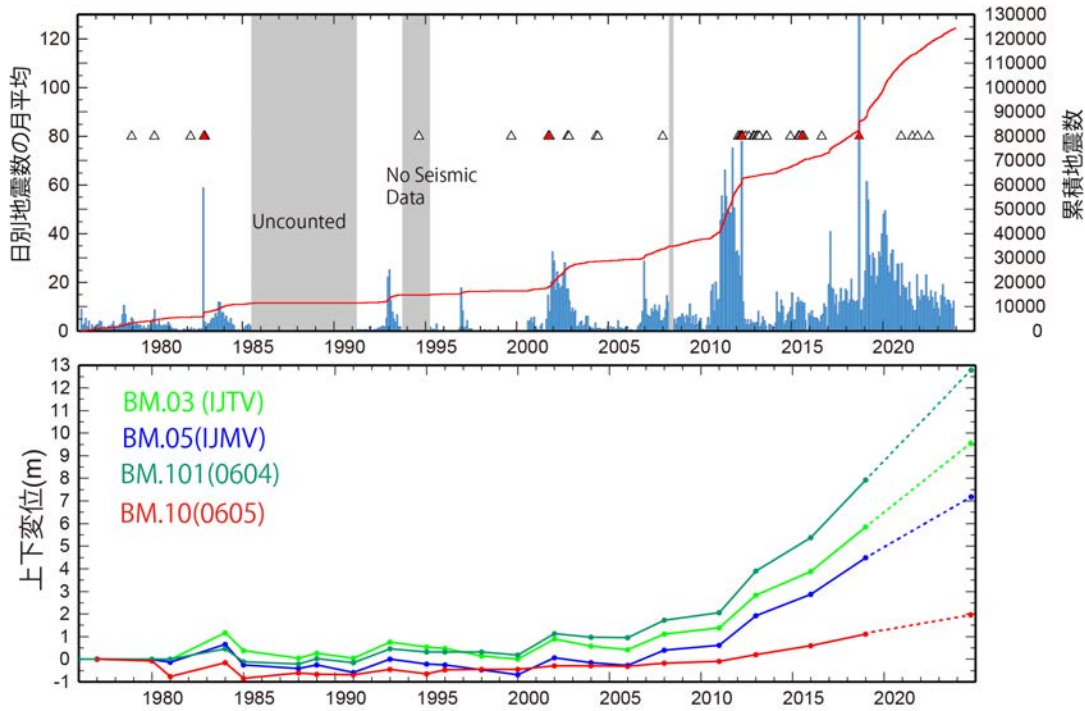


図1 (上) 硫黄島の日別地震数の月平均値(棒グラフ)と累積地震数(赤線)。三角は噴火の発生時を示す。(下) キャンペーン測量による上下変位。GNSS観測点の近くにある測量点の動きを示している。2024年の値はGNSSデータからの推定値。0604と0605は国土地理院GEONET観測点。

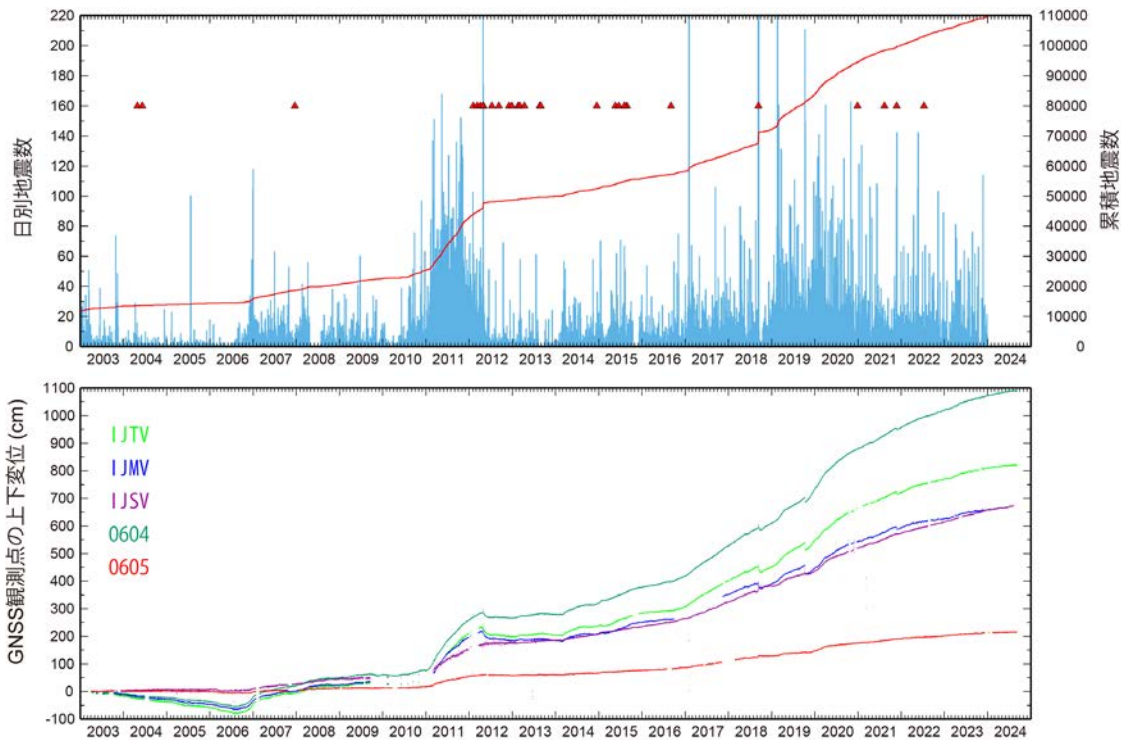


図2 (上) 硫黄島の日別地震数と累積地震数。三角は噴火の発生時を示す。(下) GNSS観測による上下変位。0604と0605は国土地理院GEONET観測点。本解析には国土地理院のデータを使用した。

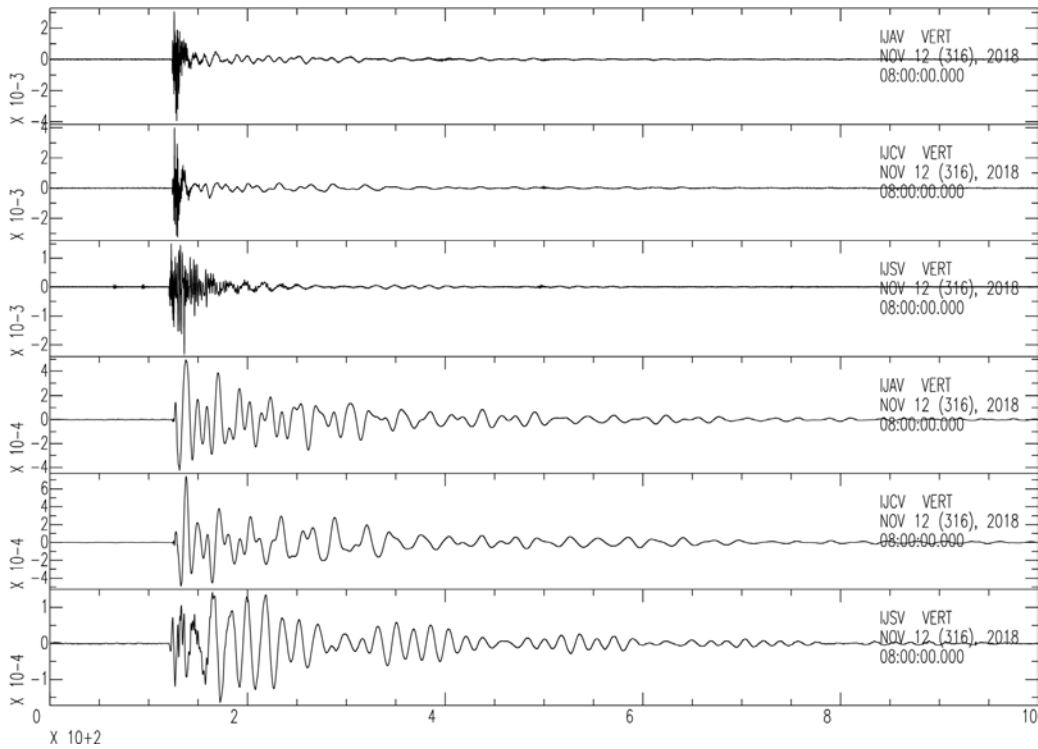


図3 超長周期地震の波形例（2018年11月12日8時台に発生したM3.1の地震）。上の3つは広帯域地震計の上下成分の生波形データ。下の3つはローパスフィルタをかけたもの。

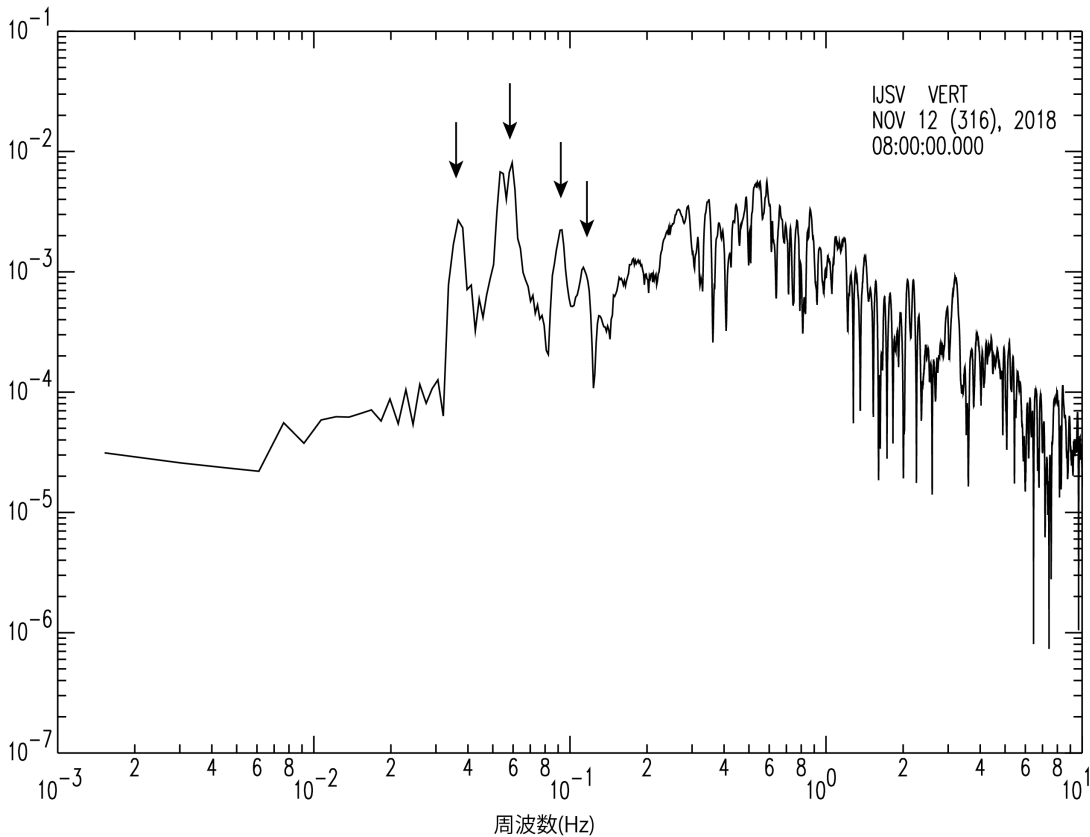


図4 超長周期地震のスペクトル（2018年11月12日8時台に発生したM3.1の地震、摺鉢山観測点の広帯域地震計の上下動成分）。周期30秒—10秒付近に複数のピークがみられる。

硫黄島

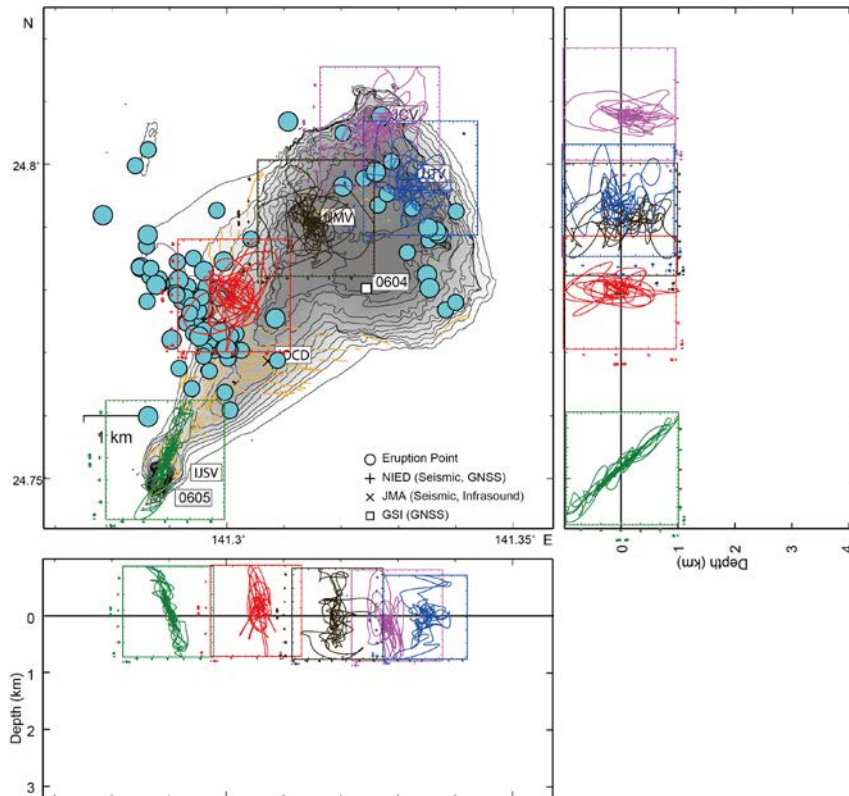


図5 超長周期地震のパーティクルモーション (2018年11月12日8時台に発生したM3.1の地震)。IJSV、IJAV、IJCVは広帯域地震計のデータ、IJMVとIJTVは短周期地震計のデータを使用した。ローパスフィルタをかけている。青い丸は2010年以降に発生したM2.7以上の地震の震央。M3程度の地震は全て超長周期地震であり、スペクトルのピーク、パーティクルモーションの卓越方向は同じである。

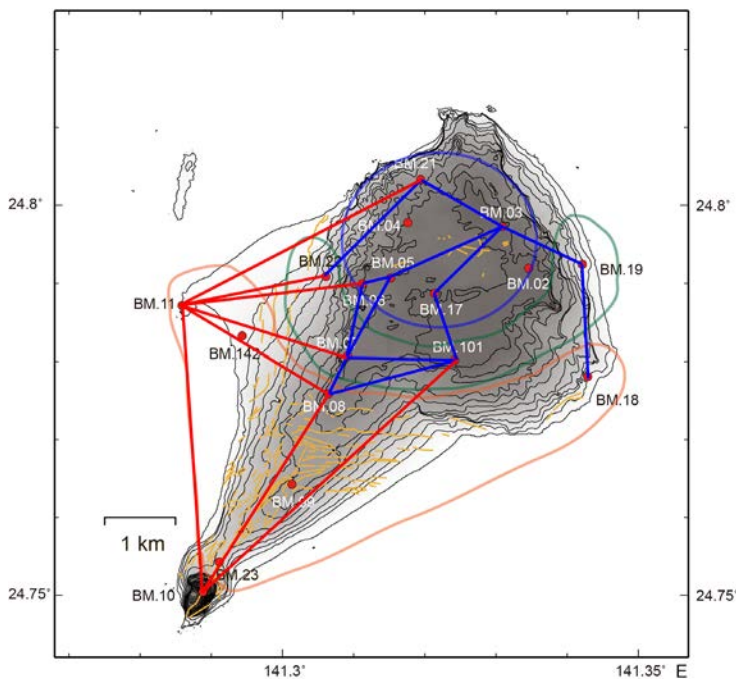


図6 キャンペーン測定の測量点。

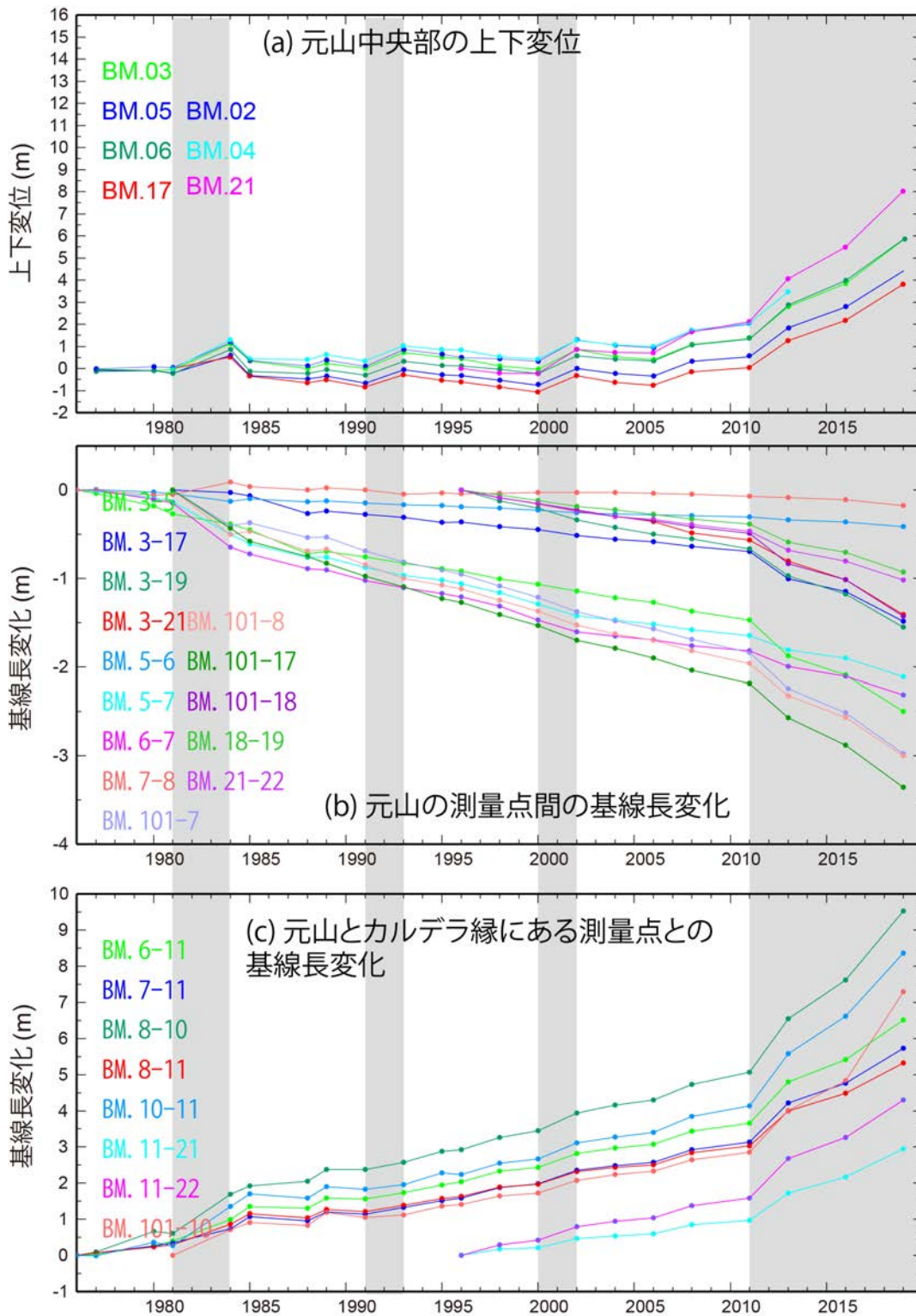


図7 キャンペーン測量の結果。(a) 元山中央部の上下変位。図4の青い円内の測量点。(b) 元山の測量点間の基線長変化。図4の赤い基線。(c)元山とカルデラ縁(摺鉢山、釜岩)にある測量点間の基線長変化。図4の青い基線。1980年代—2000年代は元山の間欠的な隆起・沈降が見られたが、水平変動ではほぼ一定レートの元山の収縮と元山—カルデラ縁(摺鉢山、釜岩)間の伸びが見られた。2011年頃から元山の隆起が加速し、それと同期して水平変動も加速している。

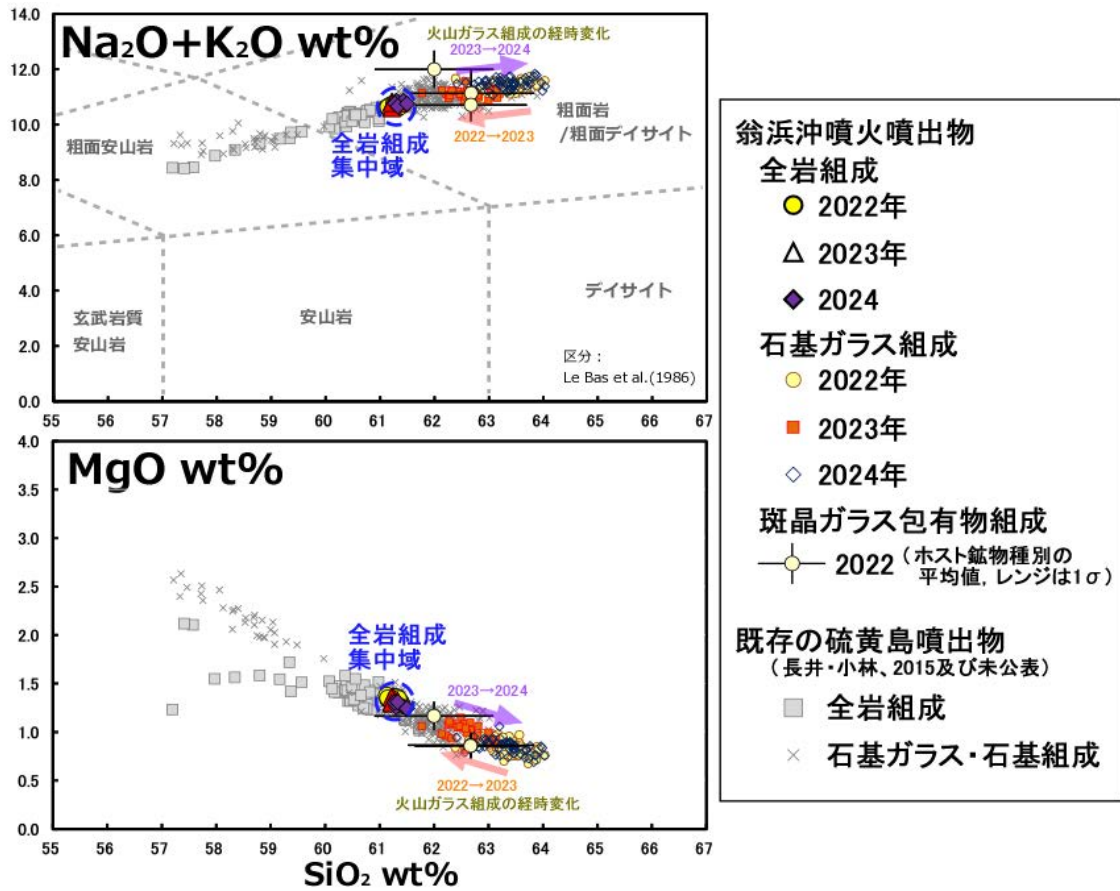


図 硫黄島翁浜沖噴火の全岩化学組成・火山ガラス化学組成

翁浜沖噴火噴出物の全岩組成はこれまで硫黄島で採取された岩石の範囲内にあり、2022年7月以降2024年7月の噴火まで $\text{SiO}_2 = 61\text{wt}\%$ でほとんど変化していない。

各分析試料で最も結晶度が低い急冷縁部分で測定した石基火山ガラスの組成は、これまで硫黄島で得られたガラス組成に類似するが、より SiO_2 に富む傾向にある。経時的に組成が変化しており、2023年10月～11月に噴出した試料では全岩組成に近い SiO_2 に乏しい組成に変化した。2024年3月以降の噴火では SiO_2 に富む組成に戻っている。

斑晶中のガラス包有物の組成は2022年噴出物のみ測定結果があるが、全岩組成と石基火山ガラス組成の中間に位置し、2023年石基火山ガラスと類似する。

以上の結果から推定すると、これまでの翁浜沖噴火ではマグマの組成は一定で、硫黄島火山のマグマとしては結晶化が進んだ状態で噴出する傾向がある。ただし噴出率が高かったと推定される2023年10月～11月の新島形成噴火時には、マグマはマグマだまりを出発してからほとんど結晶化が進んでいない状態で噴出した可能性が高いと考えられる。

*全岩化学組成は東京大学地震研究所の蛍光X線分析装置により、その他ガラス組成は防災科学技術研究所のSEM-EDSにより測定した。

衛星「しきさい」(GCOM-C)による 硫黄島周辺の変色水の観測結果

硫黄島周辺では継続的に変色水が識別された(衛星「しきさい」(GCOM-C)の海色プロダクトに深層学習を適用して推定したもの)。数か月単位で増減を繰り返しているとみられる。2024年11月から2025年1月にかけては、変色水の面積は40km²を超える変色水は識別されていないものの、2025年1月には翁浜付近に濃い変色水が観測された(図2参照)。

※衛星「しきさい」(GCOM-C)は、可視光線(近紫外線を含む)から熱赤外線まで、15の波長(色)や偏光により19チャンネルで地上を250m分解能で観測する衛星である。各波長の明るさを正確に測定できる。海域火山活動の把握のため、変色水や熱を観測している。

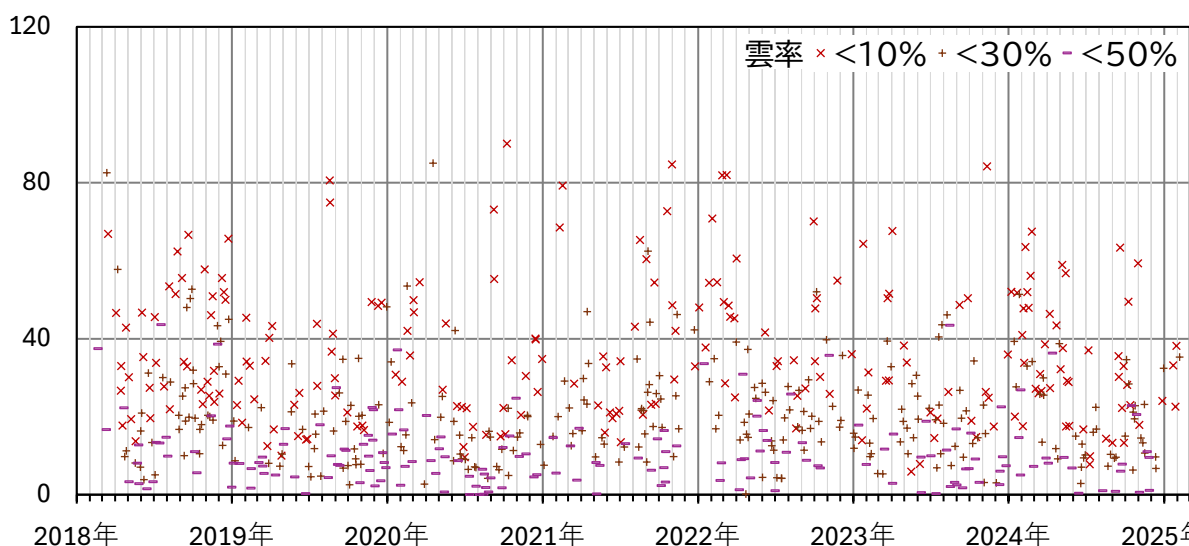


図1: 硫黄島付近の変色水面積の推定値(単位: km²)の推移(衛星「しきさい」(GCOM-C)海色プロダクトに深層学習を適用して変色水の面積を推定した。雲率により記号を区別した。赤×: 雲率10%以下、茶+: 雲率30%以下、紫-: 雲率50%以下)

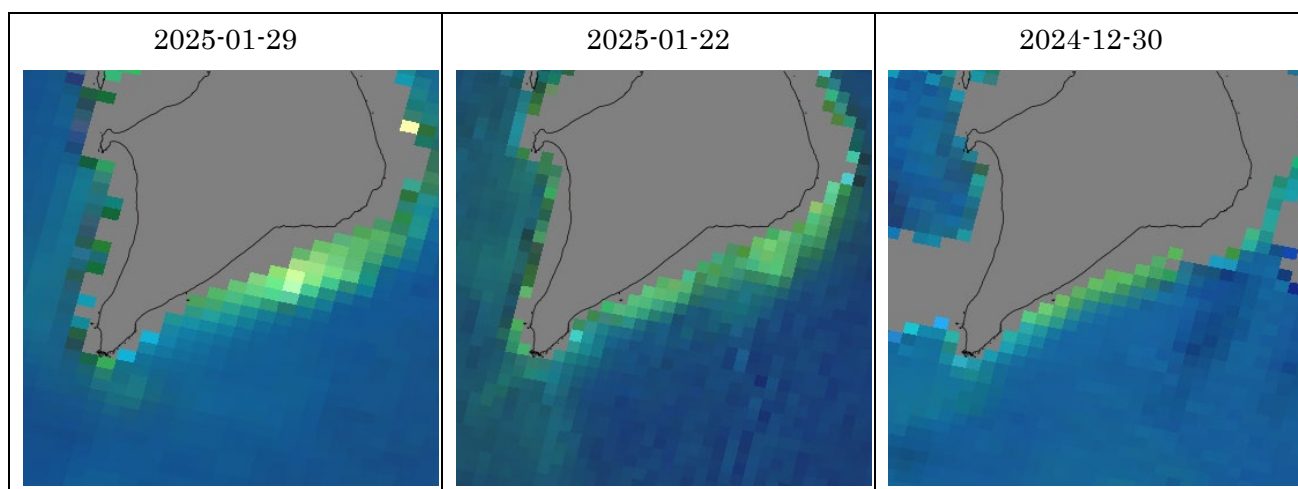


図2: 2024年12月以降の変色水の推移(2025年1月29日に翁浜付近で濃厚な変色水が観測された)

表1: 硫黄島の GCOM-C 海色可視画像 (硫黄島周辺の 30km 四方の切り出し画像)

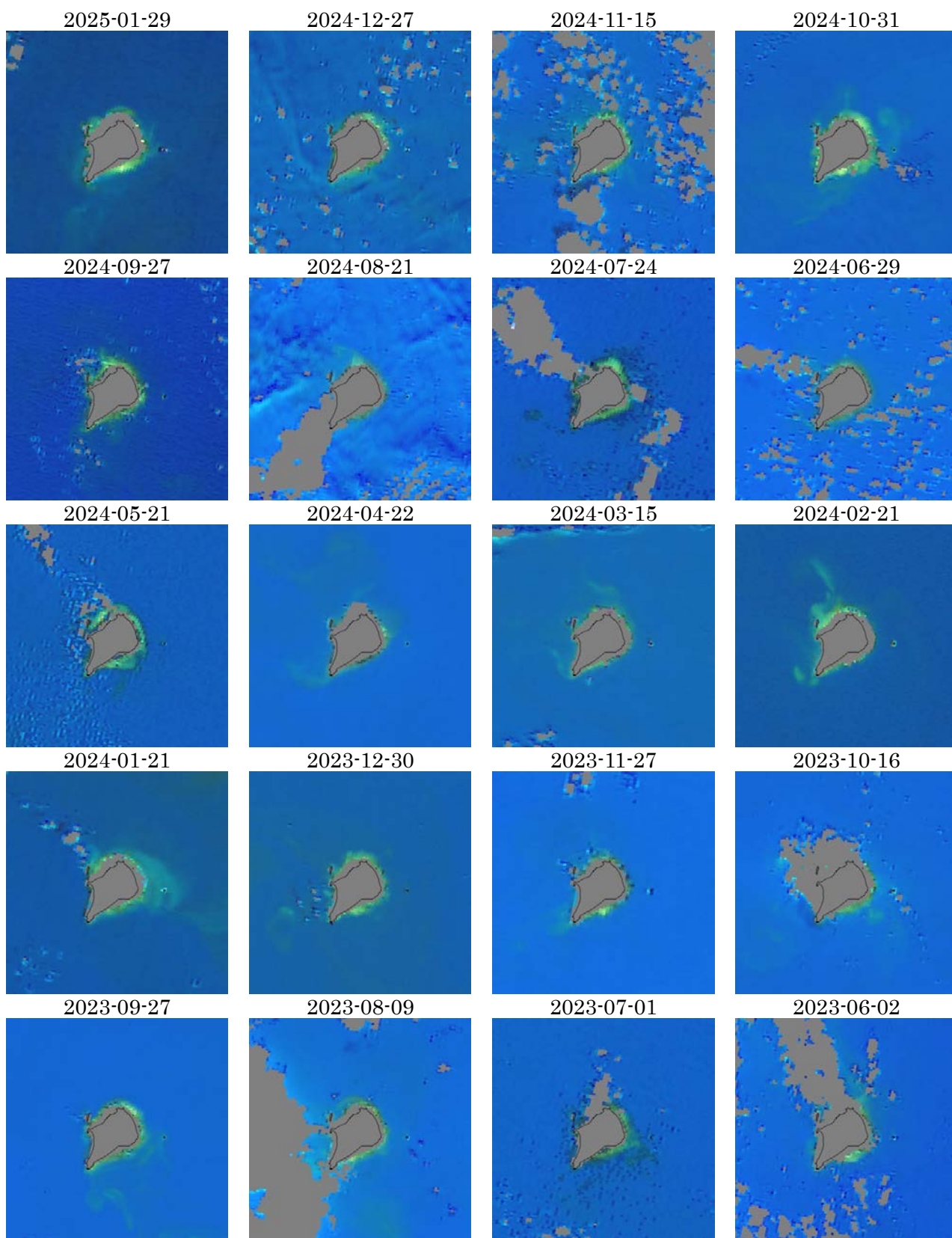
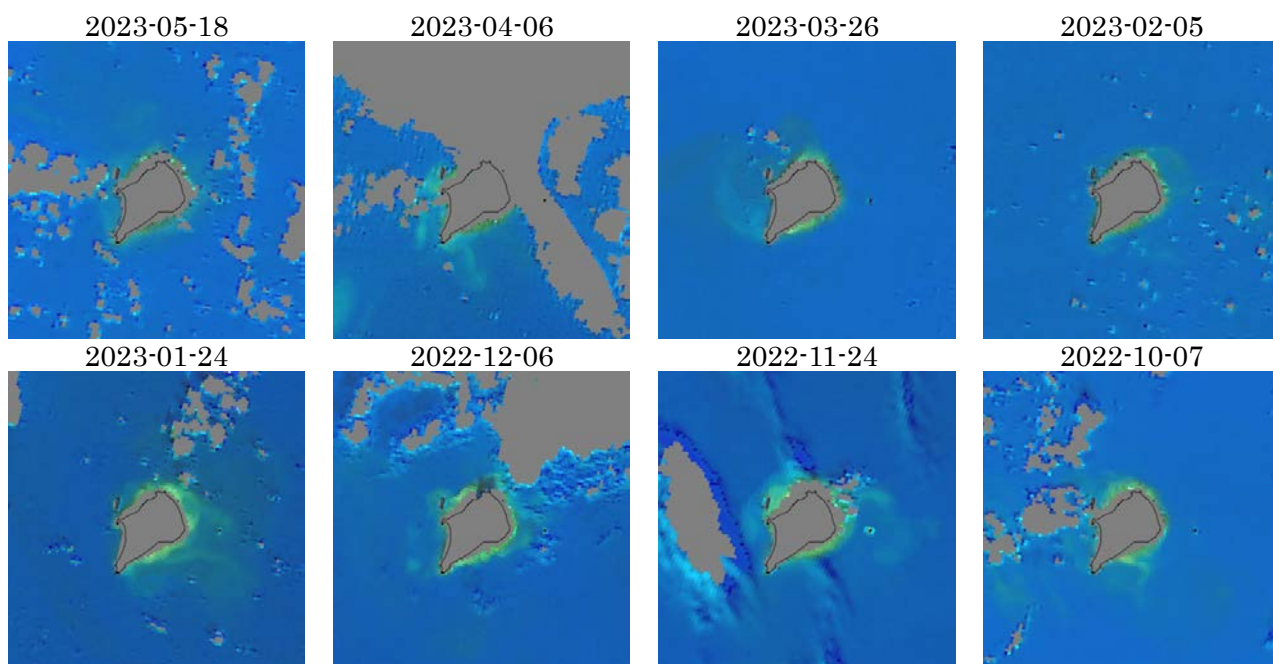


表1 (続き) : 硫黄島の GCOM-C 海色可視画像 (硫黄島周辺の 30km 四方の切り出し画像)



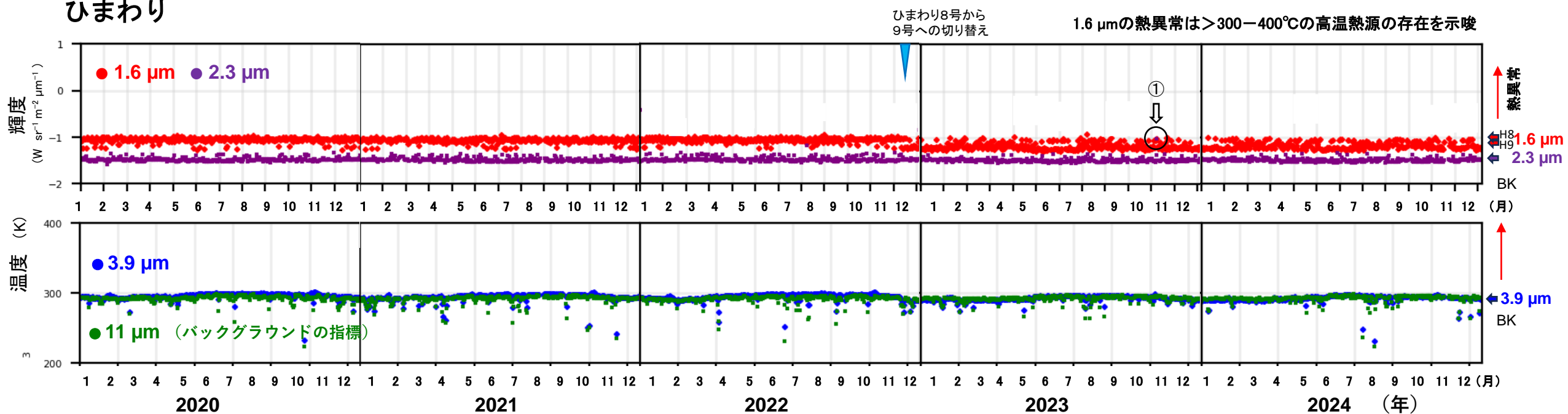
以上

■ 小笠原硫黄島

・ 熱異常の長期的変化：2020–2024年

小笠原硫黄島では、2023年10月21日–12月10日の噴火イベントに対応して、ひまわり 2.3- μm 画像（11月3日；矢印①）、しきさい 1.6- μm 画像（11月3日、7日；矢印②）で、微弱な熱異常が認められる（図1）。2020–2024年の期間では、この他には熱異常は認められない。

ひまわり



しきさい

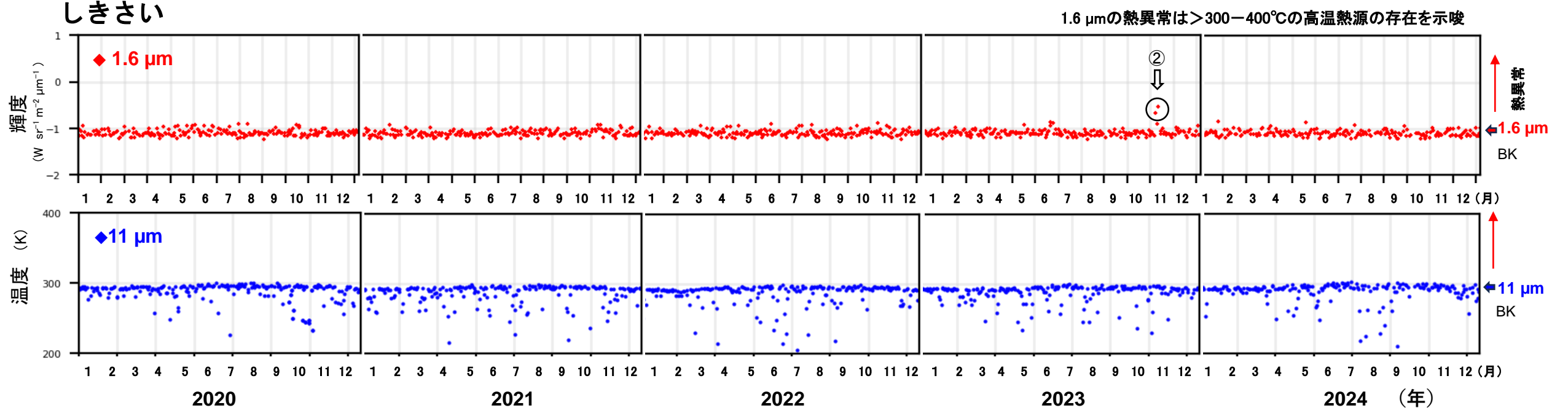


図1 ひまわり、しきさいによる熱異常の長期的変化: 2020–2024年

図1のひまわり、しきさいのチャート上では、前記（2023年11月）以外の噴火イベントに対応した熱異常は確認できないものの、しきさいの画像（分解能 250 m）上では、複数の微弱な熱異常域が準定常的に認められる（図2）。この内、馬瀬岩北西や飛行場付近の熱異常は時間変化が少ないが、阿蘇台陥没構付近の熱異常は徐々にレベルが上がっているように見える。翁浜沖の熱異常は、2023年10月になって生じたが、同年11月中旬には、確認できなくなった（後述）。

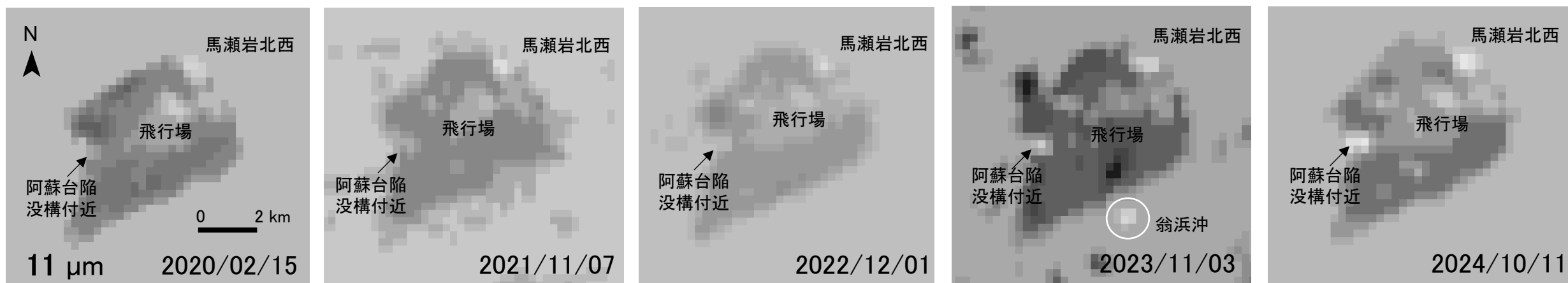
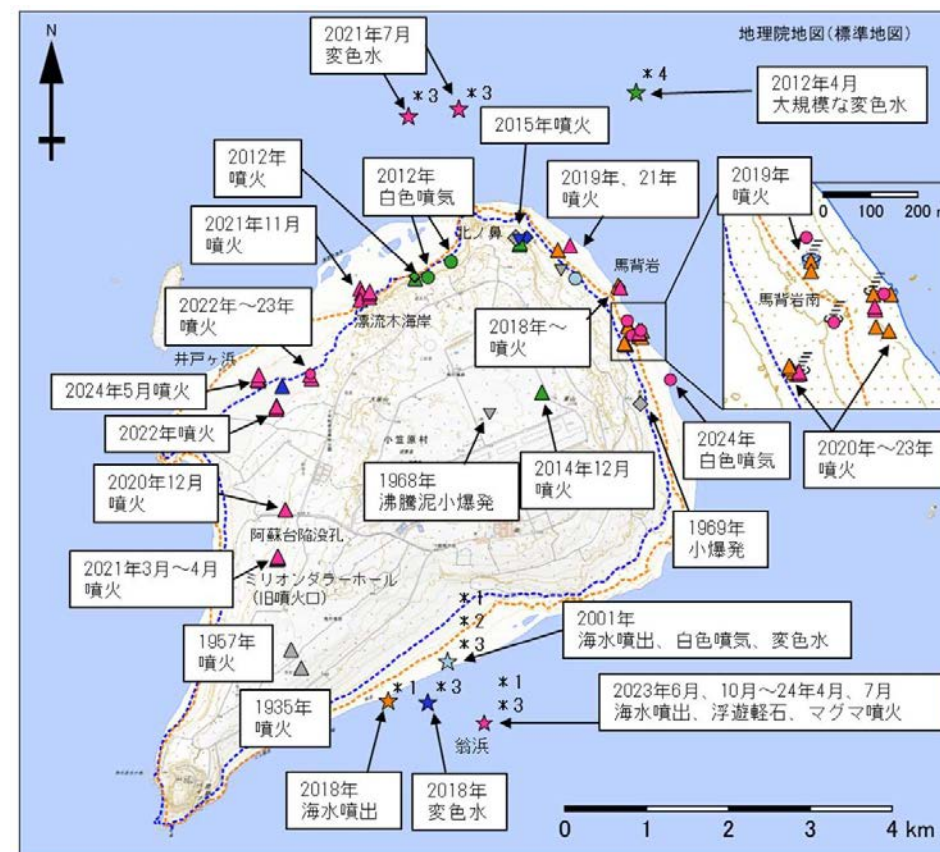


図2 しきさい 11- μ m 画像(分解能 250 m)上での熱異常域の長期変化:2020-2024年



気象庁による噴火位置のまとめ

・ 2023年10月21日-12月10日の噴火イベント

2023年10月21日-12月10日の噴火イベントについて、しきさい画像（分解能 250 m）で詳しく見る。翁浜沖の熱異常は、10月29日にはすでに出現しており、11月3日頃最盛期となった後、7日まで続き、17日には見られなくなった（図3）。

ひまわりデータにより時間分解能を上げてこの最盛期を詳しく見る（図4）と、11月3日15～16時 UTCに熱異常が上昇し始め、16時以降、やや高い一定の値が続いていることが確認される（とくに 2.3 μm において顕著：青囲い）。このパターンは、溶岩の噴出時に見られる特徴であり、この開始時期は、翁浜沖の溶岩の噴出口が陸地化したことを示すと考えられる。翌日11月4日には熱異常が認められないことから、この時までには溶岩の噴出は停止したと推定される。ひまわり画像上でも、11月3日の溶岩噴出は、硫黄島の南東側で起きていたことがわかる（図5）。



図3 しきさい 11- μm 画像(分解能 250 m)上での熱異常域の変化

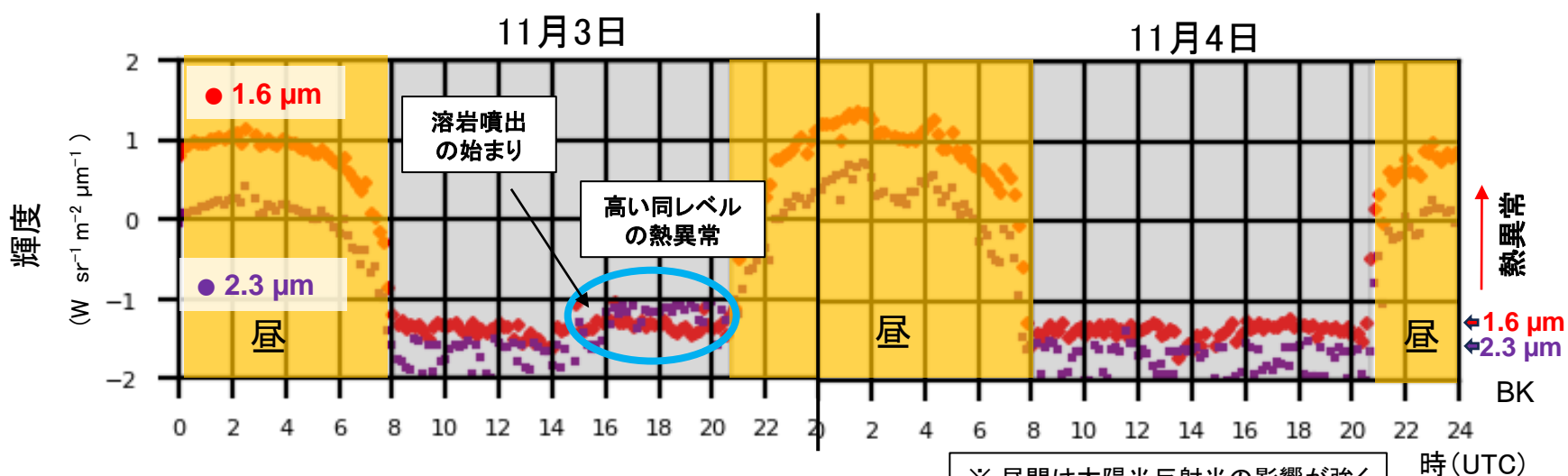


図4 ひまわりによる2023年11月3-4日の熱異常の時間変化

※ 昼間は太陽光反射光の影響が強く当該波長域は利用できない。

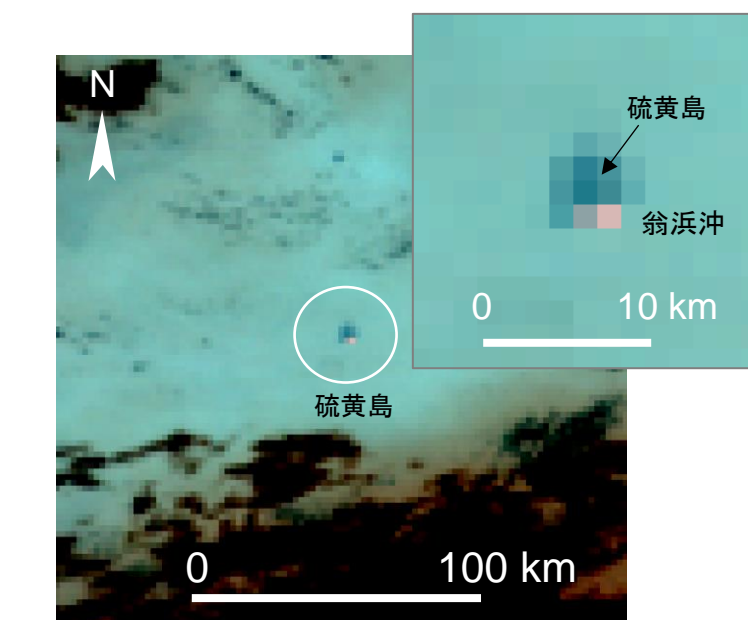


図5 2023年11月3日16:00 UTCのひまわり画像

ひまわり・しきさい（GCOM-C）等による熱異常観測

重点評価対象火山となった諏訪之瀬島、薩摩硫黄島、桜島、小笠原硫黄島、口永良部島、焼岳、岩手山について、ひまわり・しきさい（GCOM-C）による熱異常観測（2020年～2024年）の結果を報告する。

■ ひまわり・しきさい（GCOM-C）赤外画像の特徴

観測に用いたひまわり・しきさい（GCOM-C）赤外画像の特徴と利点について整理する。

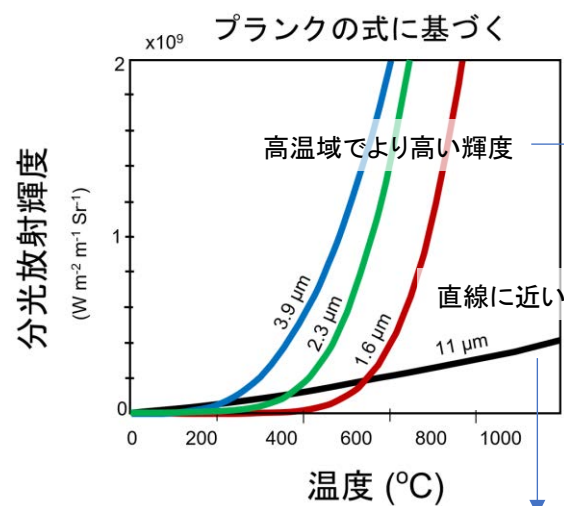
・ 観測に用いたバンドの諸元と特徴

	ひまわり	GCOM-C(しきさい)
使用バンド	1.6, 2.3, 3.9, 11 μm	1.6, 11 μm
分解能	2 km	250 m
観測頻度	10 分ごと	2-3 日ごと

・ ひまわりの利点

観測頻度が10分ごとと圧倒的に高い

- ・ 細かな時間変化を捉えられる
- ・ 一時でも被覆している雲が切れれば観測可能
- ・ リアルタイム性が高い



1.6- μm 、2.3- μm 、3.9- μm バンドは、画素内に高温熱源が存在すれば、小規模でも、高い見かけ輝度、温度を示す。

1.6- μm バンドは、熱源の温度が300-400 $^{\circ}\text{C}$ 以下では、熱異常を示さなため、1.6- μm バンドの熱異常は、**熱源の温度 > 300-400 $^{\circ}\text{C}$** を示唆

11- μm バンドは画素内の広い面積を占める熱源の温度を反映する。多くの場合はバックグラウンドの温度となる。

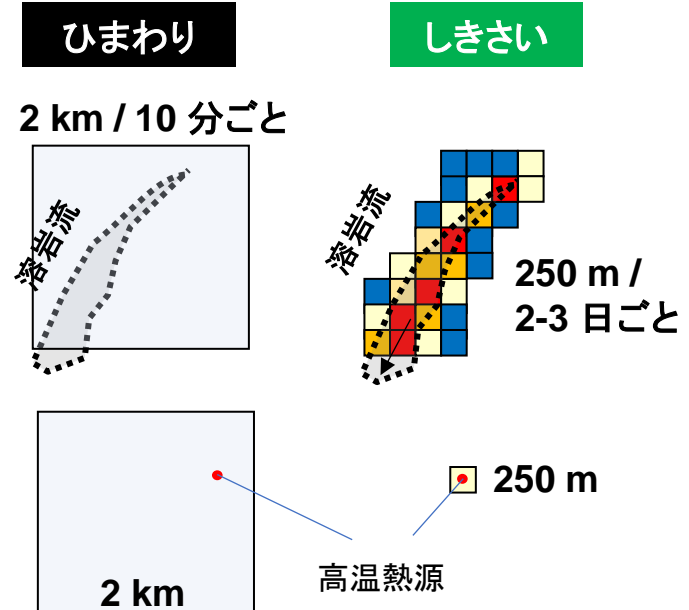
・ しきさいの利点

空間分解能が高い

噴出物の分布を捉えることができる

実効的感度が高い

画素サイズが小さいので、同じ熱源でも実効的な感度が高くなる



GCOM-C赤外画像による小笠原硫黄島 2025年2月6日の熱異常画像

2023年10月から12月の噴火イベントでは、GCOM-C画像により、翁浜沖において10月29日から11月7日の間に熱異常が確認された（図1a）。その後、この地点で熱異常は観測されなかった（図1b）。しかし、2025年2月6日の画像では、翁浜沖にごく微弱な熱異常が発生しているように見える（図1c；2023年と比較すると、やや島に近い位置で発生している可能性がある）。

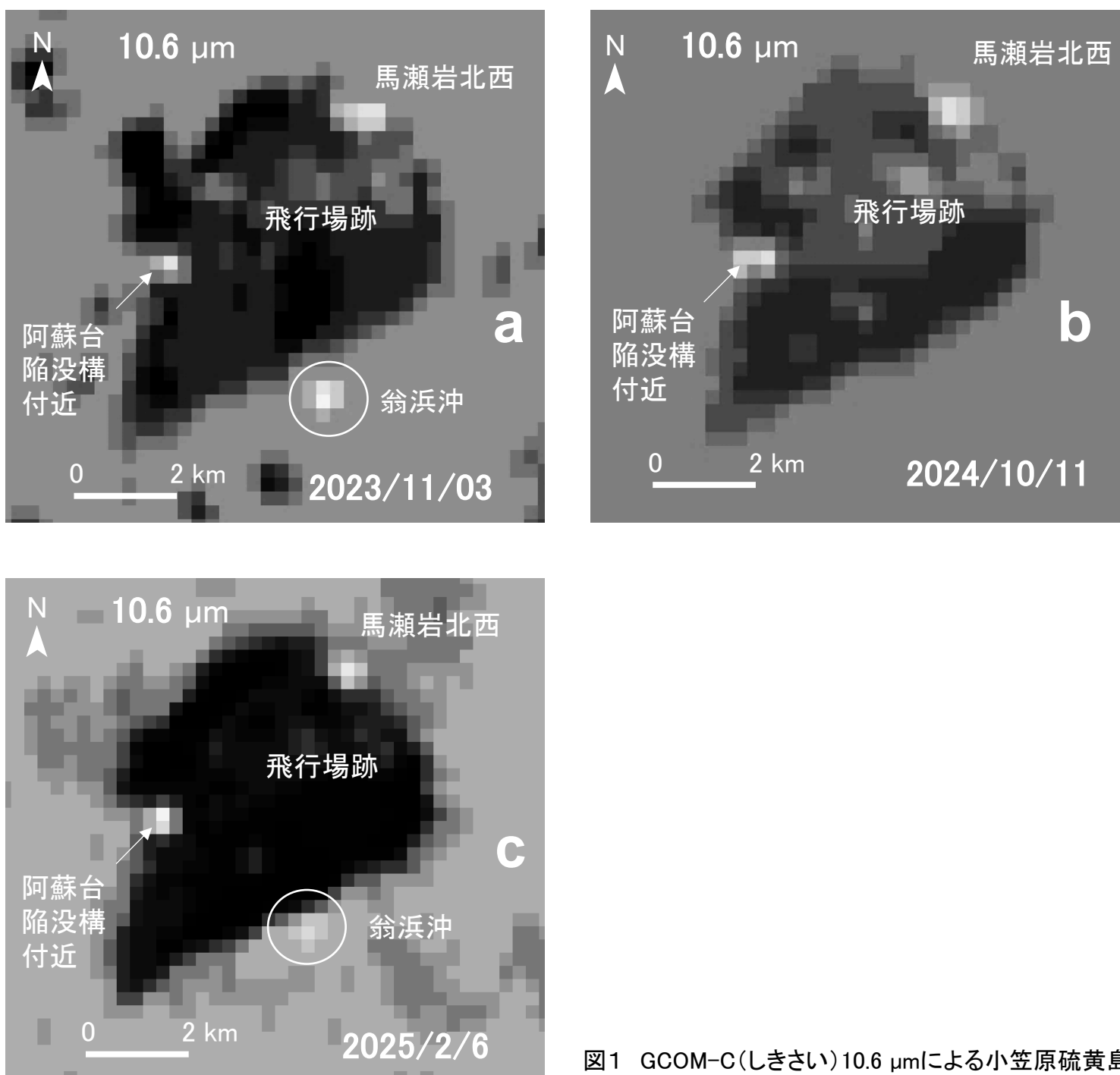


図1 GCOM-C(しきさい)10.6 μmによる小笠原硫黄島

小笠原硫黄島の火山ガスのヘリウム同位体比

1. 概要

2024年6月30日から7月2日にかけて小笠原硫黄島の2地点で火山ガスを採取し、ヘリウム同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) を測定した。過去の観測結果と比較すると、2022年7月以来のマグマ噴火開始後に上昇していた元山中央部の硫黄ヶ丘の温泉ガスの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比に、若干の低下がみられた。噴火活動の衰退に伴い、マグマ起源ヘリウムの供給量が減少したことを示している可能性がある。

2. はじめに

ヘリウム (He) などの希ガスは、化学的に不活性であり化学反応に関与しないため、その同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) は地下深部からの移動過程で変動しにくく、起源の異なる複数の供給源からの寄与率の違いを反映する。 ^3He はほぼ全てが地球形成時から存在する始原的成分である一方、 ^4He では始原的成分よりも、U や Th の放射壊変によって生成された成分 (放射壊変起源成分) が多い。この始原的成分と放射壊変起源成分の寄与率の違いを反映して、大気、マントル、地殻の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は大きく異なる。大気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の絶対値 ($R_A = 1.4 \times 10^{-6}$) を基準とすると、マントルの値は $8 R_A$ 程度であり相対的に始原的成分に富んでいる一方で、地殻の値は $0.02 R_A$ 以下であり、放射壊変起源成分が卓越している。このことを利用してマグマ活動度が評価できると期待される^[1]。

3. 試料採取地点・分析法

図1に示した2地点 (元山中央の硫黄ヶ丘の温泉池と、2022年7月以降のマグマ噴火の火口に近い、翁浜に形成された池) において、それぞれ2024年6月30日と7月2日に真空コック付きのガラス製容器に遊離ガス (バブル) を採取し、希ガス質量分析計^[2,3]を用いて $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と、ヘリウムとネオン濃度の比 ($^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比) を測定した。試料中のヘリウムには、地下でのガスの移動中、あるいは試料採取時に混入した大気由来のヘリウムが含まれている。このような大気起源ヘリウムの混入による $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の改変は、 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比を用いて補正できる。これ以降、本報告で示す $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はすべて、大気起源ヘリウムの混入を補正している。

4. 結果・考察

図1に各地点における、大気混入を補正した遊離ガス試料の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比 (Air-corrected $^3\text{He}/^4\text{He}$) を示す。翁浜池の試料の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は大気成分の混入率が高く、その補正に伴う誤差が大きい。一方、硫黄ヶ丘では大気混入率が小さい良質の試料が得られたが、その $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はマントルの値 (約 $8 R_A$) よりも有意に低く、地殻起源ヘリウムがマグマそのものか、マグマから分離して地表まで上昇する過程の火山ガスに混入していることを示している。

図2は、過去の文献値^[4,5]と、2017年から現在までに気象研と防災科研によって採取された試料の分析値を用いて、噴気や遊離ガスの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の経時変化を示したものである。全ての時期について同じ地点 (噴気地帯あるいは火口、温泉、池等) で試料を採取できていないため、元山 (硫黄ヶ丘、大湯谷)、東海岸 (離岩南、金剛岩、千鳥温泉跡、箱庭浜、北ノ鼻)、西海岸 (沈船海岸、阿蘇台陥没孔、井戸ヶ浜、井戸ヶ浜東、漂流木火口) でエリアを区分して示している。

1983年と1997~2001年を比較すると、元山（硫黄ヶ丘）でも東海岸（金剛岩）でも、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は上昇していたようである。1997~2001年の期間では、東海岸で元山及び西海岸よりわずかに高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が観測されており、それ以前に東海岸（1993年：箱庭浜沖、1994年：離岩）で起こった水蒸気噴と対応して、マグマ起源ヘリウムの寄与が他のエリアよりも高かったことを示唆しているかもしれない。

1997~2001年から2017年にかけては、元山と東海岸で $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比がほとんど変化しなかった一方で、西海岸ではわずかに上昇し、東海岸と同程度の値になっている。この間には東海岸で小規模な水蒸気噴火（2004年：阿蘇台陥没孔、2012年・2013年：ミリオンダラーホール、2015年・2016年：井戸ヶ浜）が発生しており、それに対応してマグマ起源ヘリウムの寄与も上昇した可能性がある。

2022年7月以降は翁浜南の海中（図1の星印）で断続的にマグマ噴火が発生したが、その開始後の11月に、硫黄ヶ丘ではそれまでの観測値（2001年と2017年はいずれも $5.5 R_A$ ）より顕著に高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（ $6.0 R_A$ ）が観測されている。2017年から2022年にかけては西海岸（2020年：阿蘇台陥没孔、2021年：漂流木海岸）と東海岸（2019年：馬背岩南）で水蒸気噴火が発生したが、これらに対応する $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の変動はいずれのエリアでも起こっておらず、硫黄ヶ丘での $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の上昇は、マグマ噴火に対応して、マグマ起源ヘリウムの寄与率が大きく増えたことを反映している可能性がある。この高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は2023年11月にも継続して観測され、2024年4月まで噴火活動が断続的ながら継続していたことと対応していると考えられる。また硫黄ヶ丘と比較的近い大湯谷（2001年： $5.6 R_A$ → 2023年11月： $5.9 R_A$ ）と離岩南（2022年11月： $5.6 R_A$ → $5.8 R_A$ ）でも若干の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の上昇が見られたことは、マグマ起源ヘリウムの供給量の増加の影響が、硫黄ヶ丘より遅れて及んだことを示しているかもしれない。

一方、2024年6月30日に硫黄ヶ丘で観測された $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は $5.9 R_A$ であり、2022年11月および2023年11月に観測された $6.0 R_A$ よりわずかに低い。これは活動が衰退し、2024年4月以降に噴火が起こっていないことを反映して、マグマ起源ヘリウムの供給量が減少したことを示しているかもしれない。なお2024年7月2日に翁浜の池で採取した遊離ガスは、前述の通り大気混入の補正に伴う $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の誤差が大きく、2022年以降のマグマ噴火の火口に近いこの地点でマグマ起源ヘリウムの供給量が高いかは、現時点では不明である。

このように近年のマグマ噴火に伴い、マグマ起源ヘリウムの供給量がとくに島の中央部である元山の中心部の直下で増加していた可能性があり、噴火活動がどのように推移していくかの指標として、今後も火山ガスのヘリウム同位体比を継続して観測していく必要があると考えられる。

[参考文献]

- [1] Padrón, E., Pérez, N.M., Hernández, P.A., Sumino, H., Melián, G.V., Barrancos, J., Nolasco, D., Padilla, G., Dionis, S., Rodríguez, F., Hernández, I., Calvo, D., Peraza, M.D., Nagao, K., 2013. Diffusive helium emissions as a precursory sign of volcanic unrest. *Geology* 41, 539-542.
- [2] Sumino, H., Nagao, K., Notsu, K., 2001. Highly sensitive and precise measurement of helium isotopes using a mass spectrometer with double collector system, *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.* 49, 61-68.
- [3] 角野浩史, 2015. 希ガス同位体質量分析の温故知新. *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.* 63, 1-30.
- [4] Marty B, Jambon A, Sano Y, 1989. Helium isotopes and CO_2 in volcanic gases of Japan. *Chem. Geol.* 76, 25-40.
- [5] Sumino, H., Notsu, K., Nakai, S., Sato, M., Nagao, K., Hosoe, M., Wakita, H., 2004. Noble gas and carbon isotopes of fumarolic gas from Iwojima volcano, Izu-Ogasawara arc, Japan: implications for the origin of unusual arc magmatism. *Chem. Geol.* 209, 153-173.

[謝辞]

海上自衛隊硫黄島航空基地隊気象班には現地調査に御協力いただいた。記して御礼申し上げる。

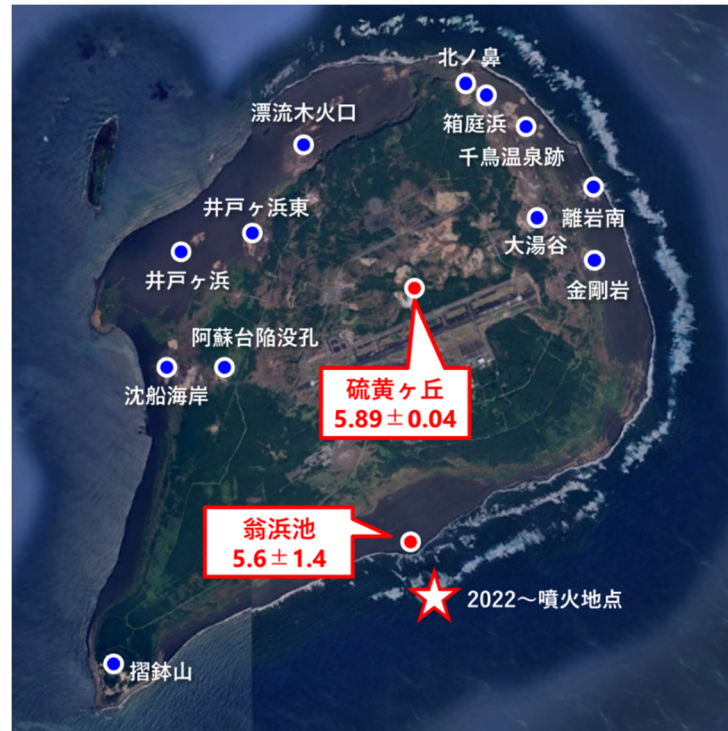


図1. 2024年6月~7月の調査における硫黄島の火山ガス（遊離ガス）の採取地点（赤丸）と ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ 比（単位は R_A 、大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み）。青丸は過去の ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ 比の測定値がある地点を示す。星印は2022年7月以降のマグマ噴火の発生地点。背景画像として Google Earth を使用した。

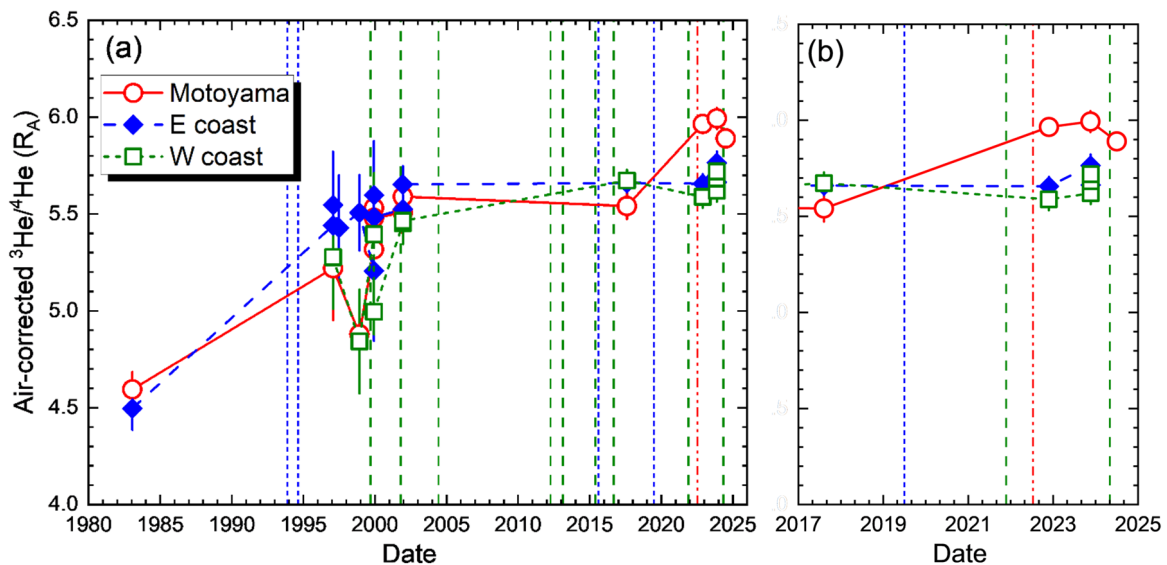


図2. (a) 硫黄島の火山ガス（元山：硫黄ヶ丘・大湯谷、東海岸：離岩南・金剛岩・千鳥温泉跡・箱庭浜・北ノ鼻、西海岸：沈船海岸・阿蘇台陥没孔・井戸ヶ浜・井戸ヶ浜東・漂流木火口）の ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ 比の経時変化。エラーバー（ 1σ ）は、測定誤差と大気ヘリウム混入の補正に伴う誤差を含む。点線は東海岸（青）、西海岸（緑）、翁浜沖（赤）における噴火を示す。2024年7月に翁浜の池で採取した遊離ガスは、 ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ 比の誤差が大きいためプロットしていない。(b) 2017年以降の火山ガスの ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ 比の経時変化。