

第 153 回
火山噴火予知連絡会
火山活動資料

霧島山

令和6年2月 20 日

目次

霧島山
気象庁	3-26
気象研他	27-28
東大	29-31
地理院	32-46
東海大・気象研	47-50
日本工営他	51-63
気象庁資料に関する補足事項 64

霧 島 山

(2023 年 6 月～11 月)

霧島山 (広域)

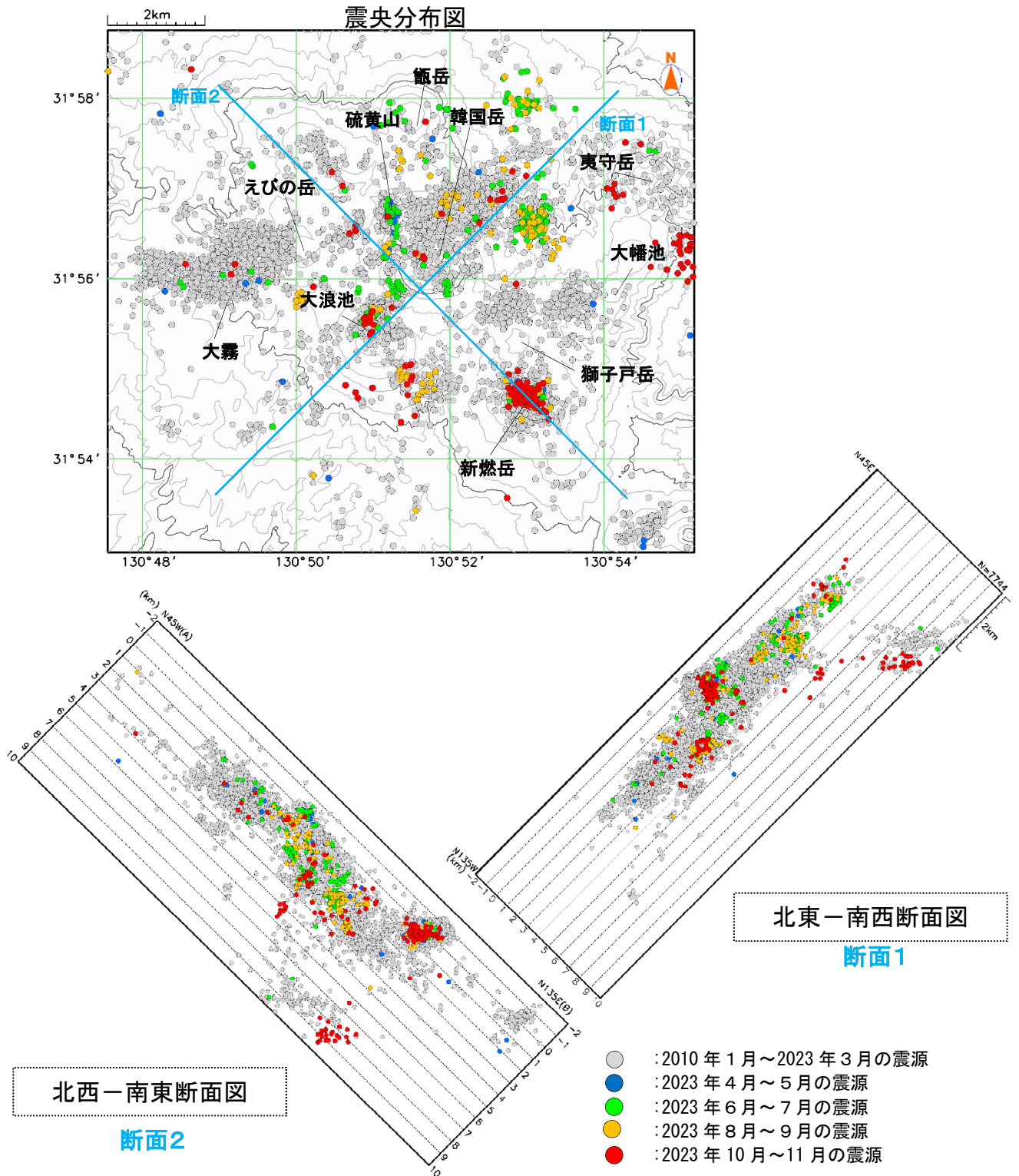


図 1 霧島山 震源分布図 (2010 年 1 月～2023 年 11 月)

霧島山周辺では、韓国岳～韓国岳北東側周辺において、7月下旬から8月上旬にかけて火山性地震が時々増加した。また、新燃岳の西側から大浪池付近では、8月～9月に火山性地震の一時的な増加が時々みられた。

この地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図 50mメッシュ (標高)』を使用した。

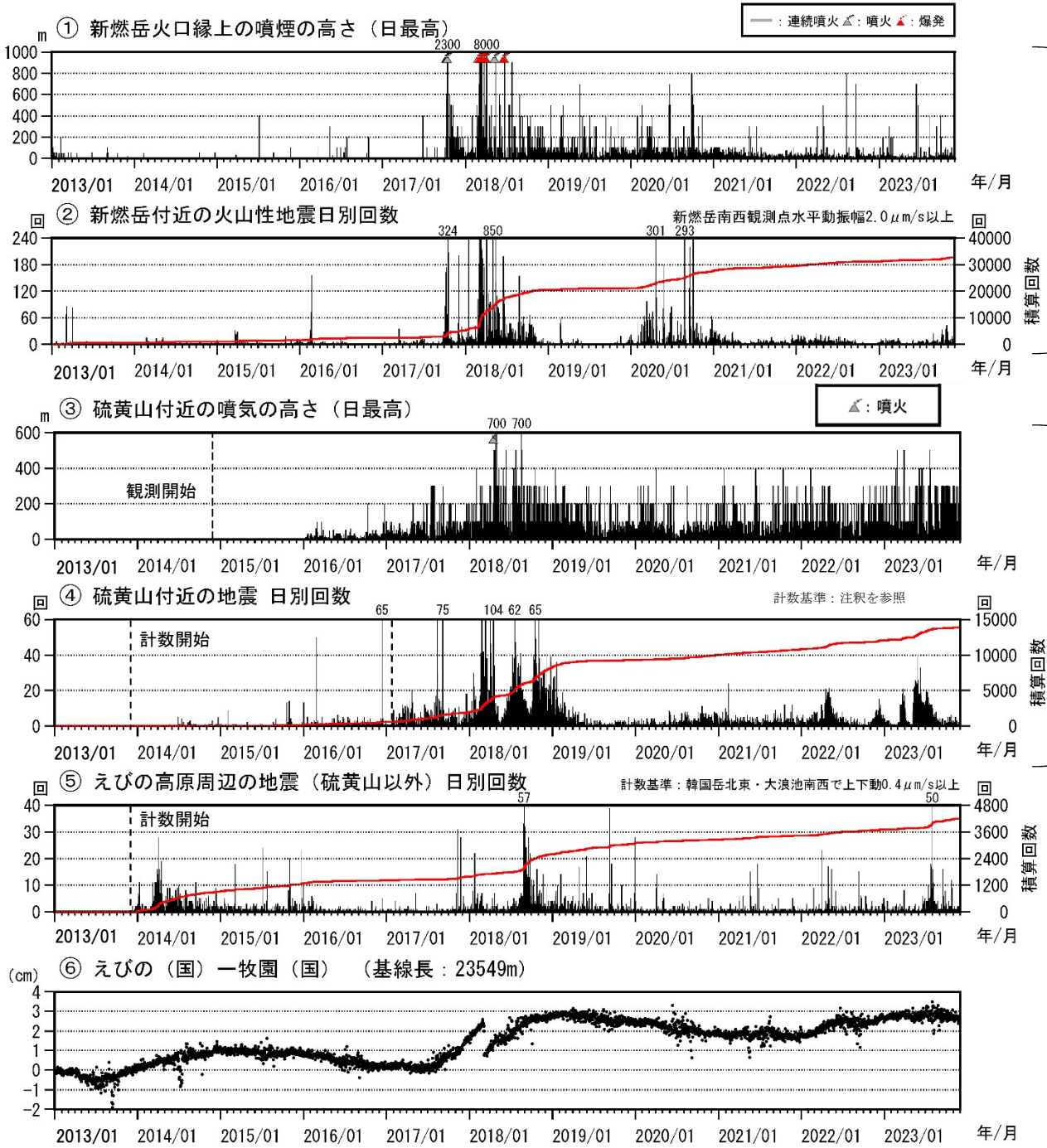


図 2-1 霧島山 活動経過図 (2013 年 1 月～2023 年 11 月)

硫黄山付近の火山性地震の回数について 2013 年 12 月 1 日から 2017 年 1 月 24 日まで「韓国岳北東観測点・大浪池南西観測点 (計数基準 上下動: 0.4 μm/s)」で計数していましたが、硫黄山付近の微小な地震を活動評価に用いるため、2017 年 1 月 25 日から「霧島硫黄山 2 観測点 (計数基準 上下動: 5.0 μm/s)」で計数しています。

新燃岳

硫黄山

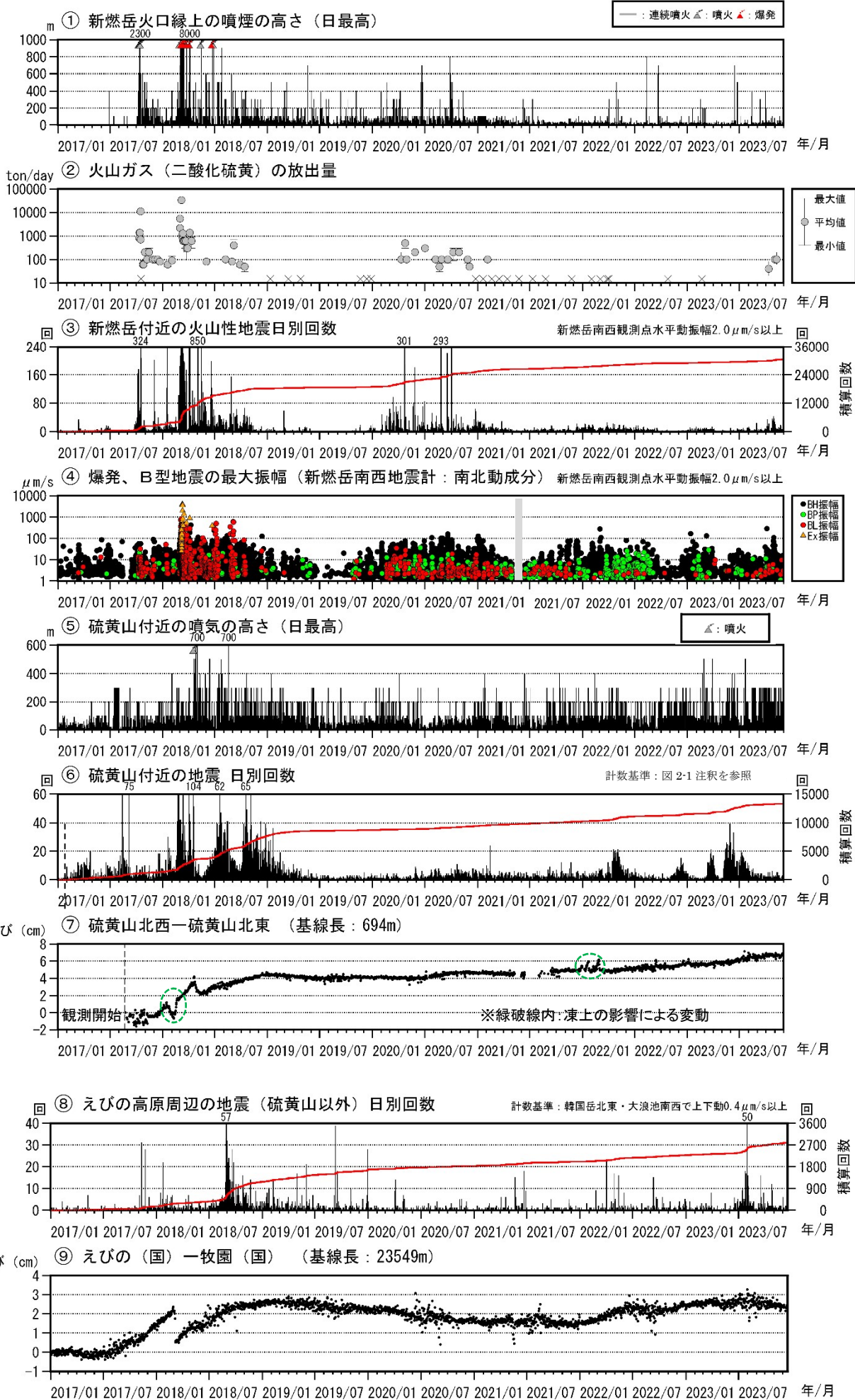


図 2-2 霧島山 活動経過図（2017 年 1 月～2023 年 11 月）

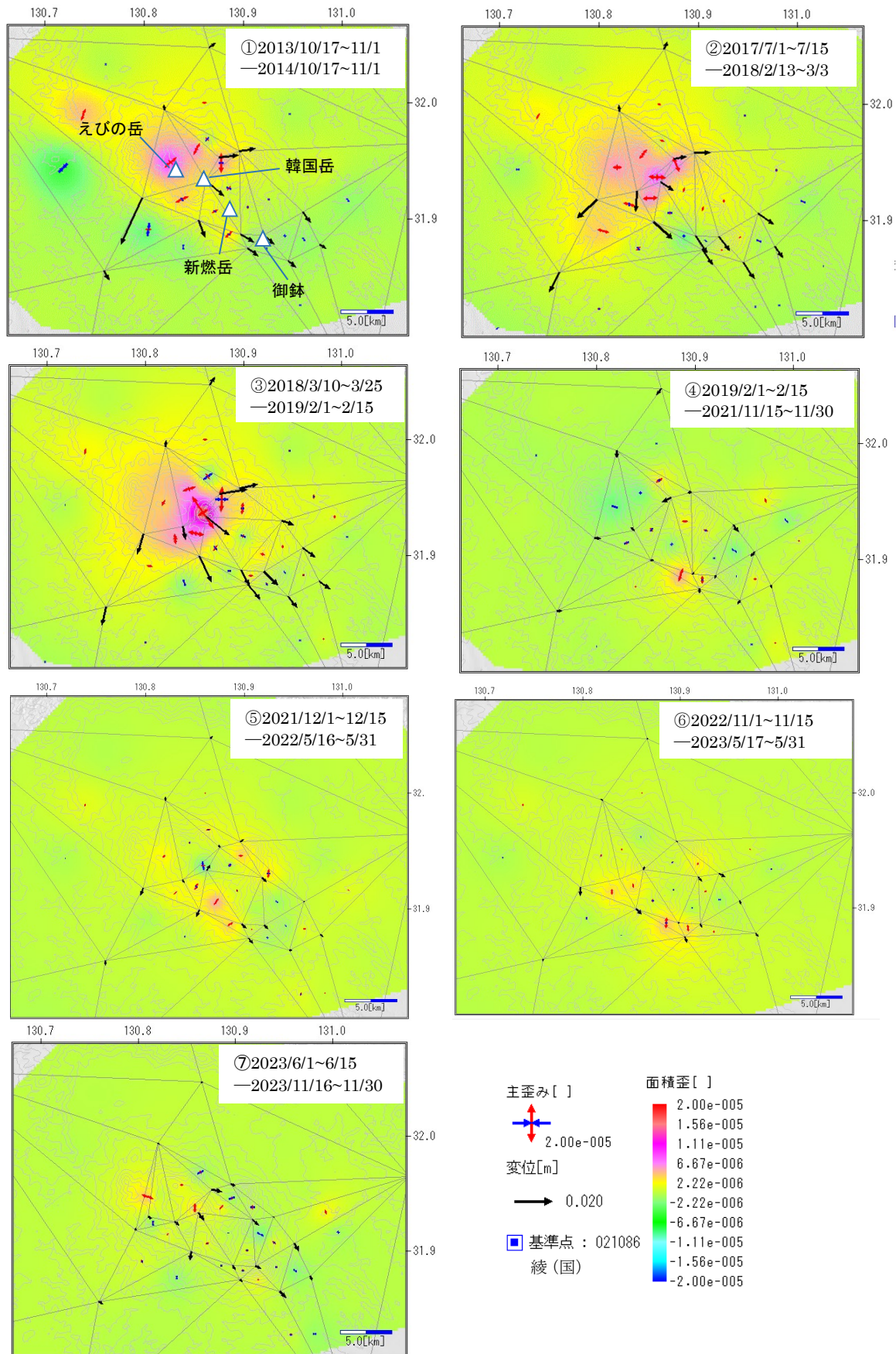
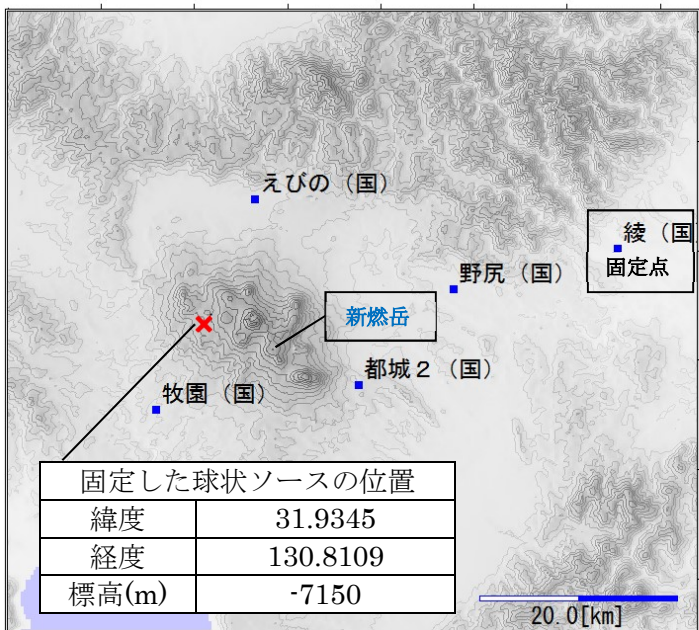
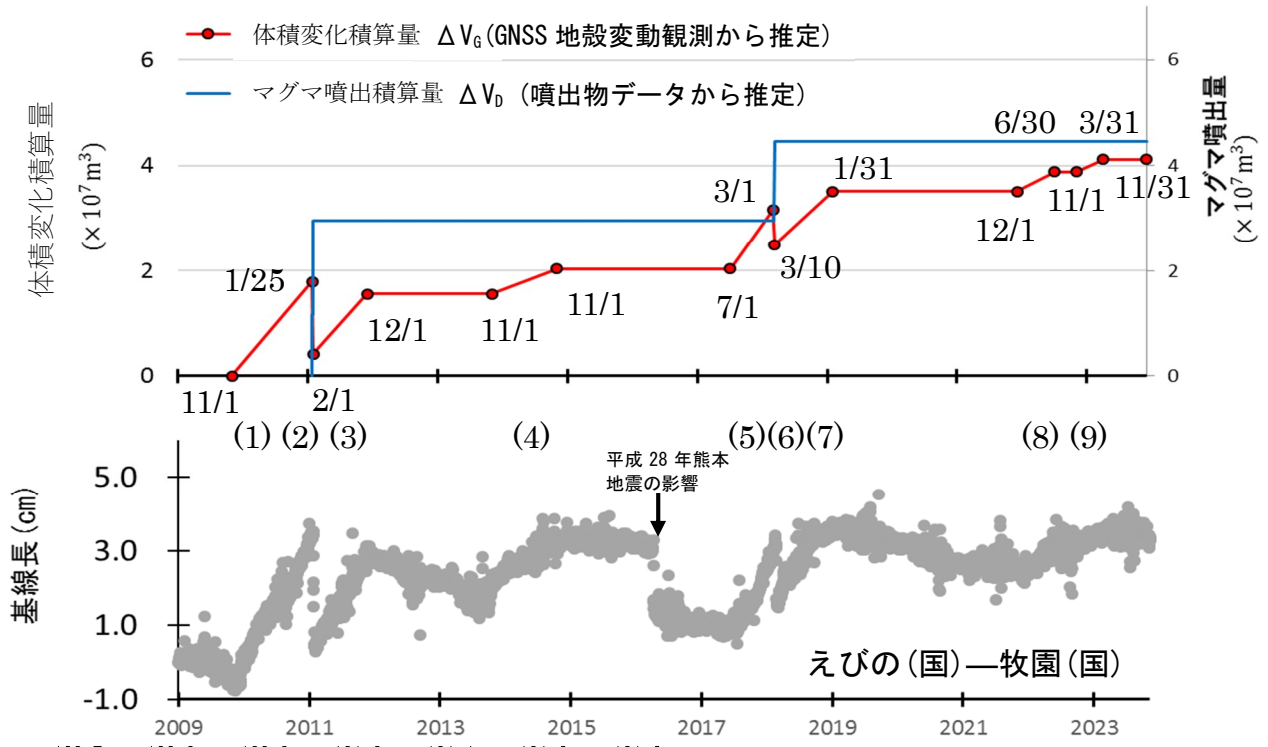


図 3 霧島山 霧島山周辺の GNSS の期間毎の水平変位・主ひずみ・面積ひずみ (2013 年 10 月 17 日～2023 年 11 月)

⑤、⑥では、えびの岳を囲む広い範囲で、⑤では新燃岳付近で面積ひずみのわずかな増加を反映して暖色化がみられたが、今期間(⑦)は特段の変化は認められない。
 ※この地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図 250mメッシュ (標高)』を使用した。



	開始日	終了日	ソース膨張量 ΔV_G , $\times 10^7 m^3$
(1)	2009/11/1	2011/1/25	1.8
(2)	2011/1/25	2011/2/1	-1.4
(3)	2011/2/1	2011/12/1	1.1
(4)	2013/11/1	2014/11/1	0.48
(5)	2017/7/1	2018/3/1	1.1
(6)	2018/3/1	2018/3/10	-0.66
(7)	2018/3/10	2019/1/31	1.0
(8)	2021/12/1	2022/6/30	0.37
(9)	2022/11/1	2023/3/31	0.23
積算値			4.12

図 4-1 霧島山 噴出物量及び地殻変動から推定した体積変化量の積算の推移 (2009年1月～2023年11月)

霧島山の物質収支として、噴出物量とマグマの蓄積と考えられる体積変化量についてとりまとめた。ここでは揮発性物質の放出については取り扱わない。体積変化量については、GNSS 地殻変動観測からえびの岳地下付近をソースとする球状モデル(山川・茂木モデル)の膨張量を期間ごとに計算(図 4-2)し、積算したのから時間変化を推定している。マグマ噴出積算量については、2011年、2018年の噴火における噴出物データ(火砕物及び火口内の蓄積溶岩の総和)から見積もられたマグマ噴出量を積算したのから時間変化を推定しており、ソース位置は2017年7月から2018年3月初頭までのGNSS地殻変動観測から推定し、2009年からソース位置は変わらないと仮定している(第141回火山噴火予知連絡会、気象庁資料)。また、その座標を図中に示す。

期間(1)～(9)について、期間の日時及びGNSS地殻変動観測から見積もったソース膨張量を図中に示す。2009年11月1日からの膨張量収支としては、 $4.1 \times 10^7 m^3$ の膨張と推定される。

※(国)：国土地理院

※GNSSの解析値については、2009年1月から2021年11月までは国土地理院の解析結果(F3解及びR3解)を、2021年12月以降は気象庁の解析結果(J1解及びJ2解)を使用した。

※この地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図250mメッシュ(標高)』を使用した。

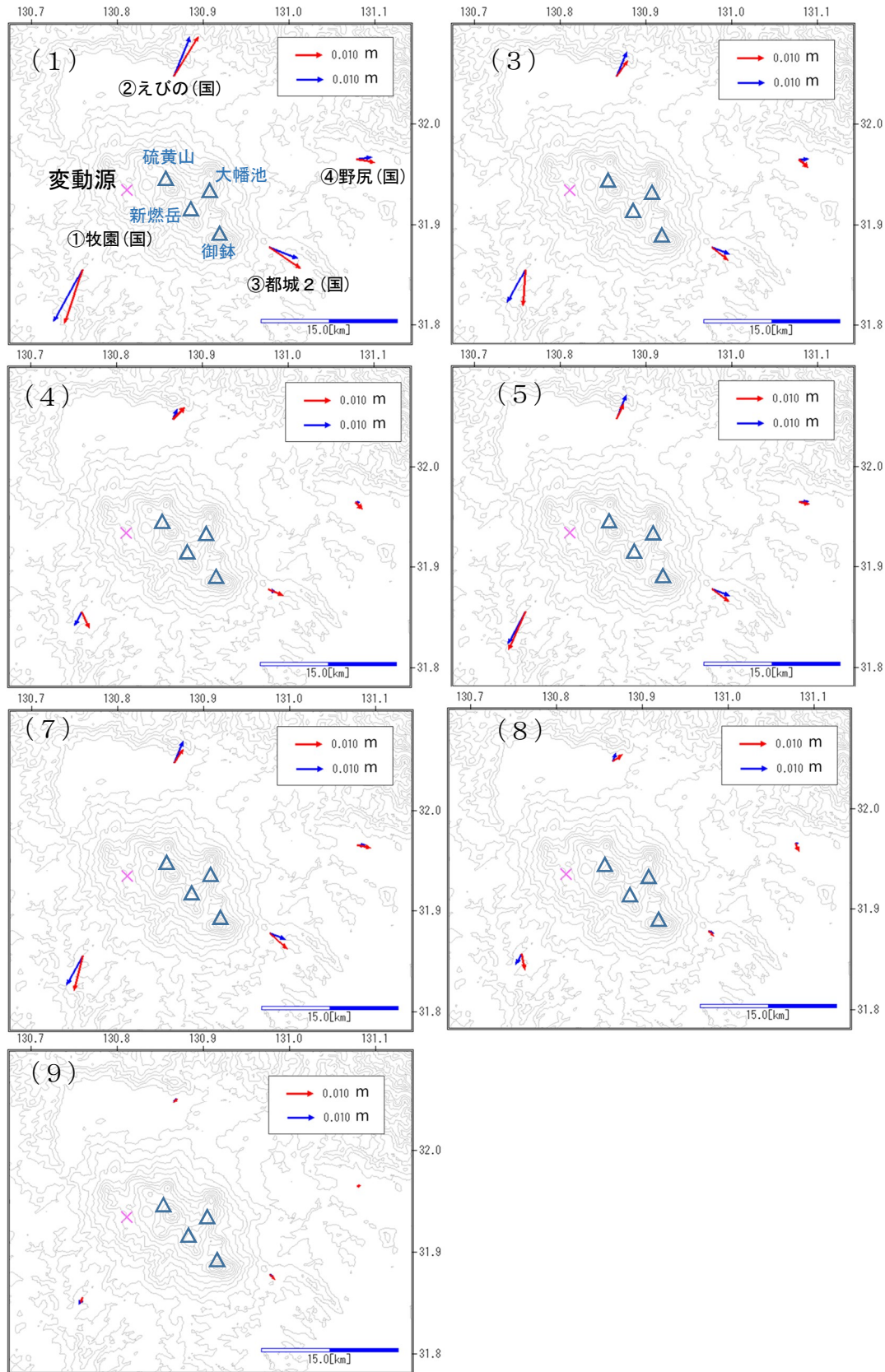


図 4-2 霧島山（新燃岳） 霧島山周辺の GNSS 変動源推定（膨張がみられた期間）

図 4-1 で示した変動源位置を固定し、GNSS の水平変位量から球状モデルの膨張量を図 4-1 中の膨張がみられた期間(1)、(3)～(5)、(7)～(9)でそれぞれ推定した。

使用観測点は、①牧園(国)、②えびの(国)、③都城2(国)、④野尻(国)、綾(国)の5点である。基準点は、綾(国)である。(国)：国土地理院 (8)(9)の解析には気象庁の解析結果(J1解及びJ2解)、それ以外は国土地理院の解析結果(F3解及びR3解)を使用した。

この地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図250mメッシュ(標高)』を使用した。図中では、各観測点でのGNSS変動の観測結果を→、求めた球状モデルでのGNSS変動の理論値を→で示している。また、仮定した膨張源を×で示している。

えびの高原（硫黄山）周辺

硫黄山では、2023 年 5 月頃から硫黄山近傍の基線において硫黄山付近の膨張を示すわずかな伸びが認められていたが、11 月頃から停滞している。

硫黄山付近では、火山性地震は少ない状態で経過している。7 月 7 日には継続時間の短い火山性微動が発生したが、その後は観測されていない。

硫黄山南側では活発な噴気活動が続いているが、更なる高まりは認められない。2022 年 11 月以降、ごく小規模な噴出現象や熱水の噴気孔外への流出が時折観測されている。硫黄山の西側 500m 付近では弱い噴気活動がみられている。

現時点では噴火の兆候は認められないが、現在活発な噴気活動がみられている硫黄山火口内、及び硫黄山の西側 500m の噴気地帯から概ね 100m の範囲では、熱水・熱泥等が飛散する可能性がある。

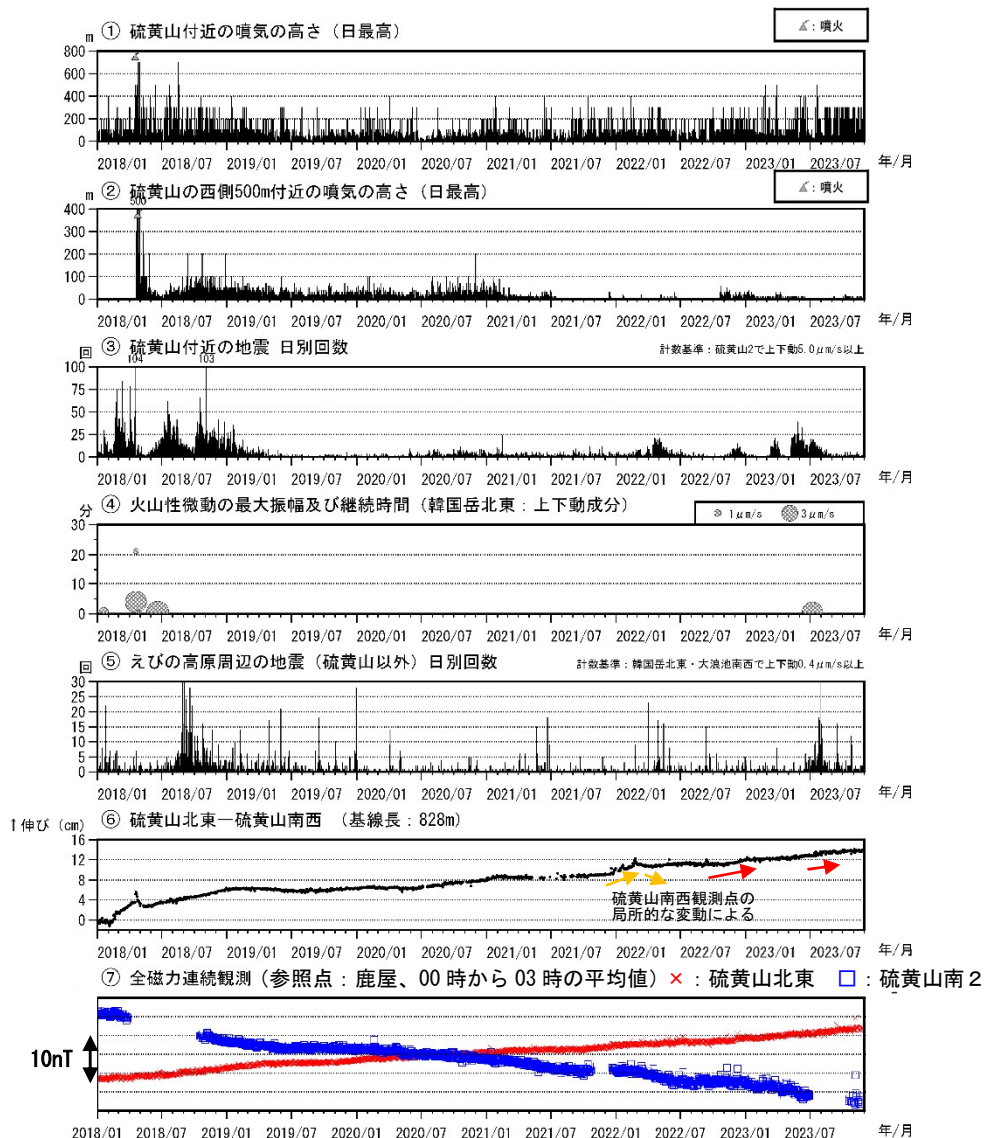


図 1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）火山活動経過図

（2018 年 1 月～2023 年 11 月）

<2023 年 6 月～11 月の状況>

- ・硫黄山の南側の噴気地帯では、活発な噴気活動が続いている。硫黄山の西側 500m 付近では弱い噴気活動がみられている。
- ・硫黄山付近の火山性地震は 2023 年 6 月以降は少ない状態で経過している。
- ・GNSS 連続観測では、2023 年 5 月頃から硫黄山近傍の基線において硫黄山付近の膨張を示すわずかな伸びが認められていたが、10 月頃から鈍化し 11 月頃から停滞している。
- ・全磁力観測では、硫黄山周辺の地下における消磁の進行を示す変動が継続している。

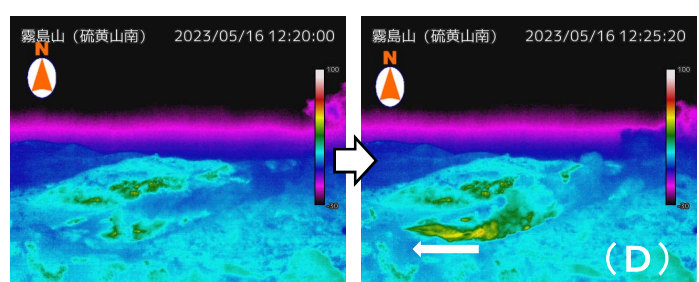
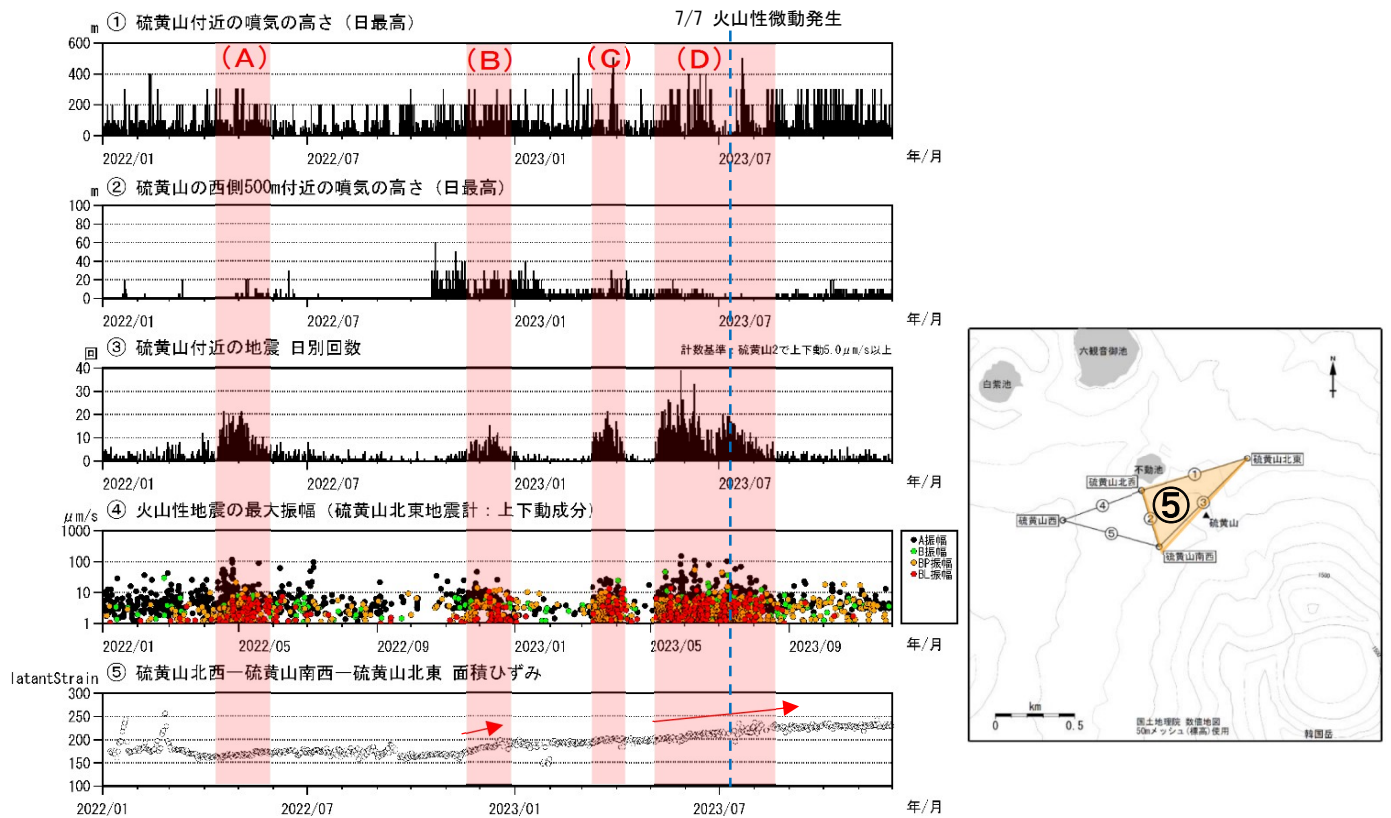


図2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）火山活動経過図
(2022年1月～2023年11月) 及び確認された表面現象

- ・硫黄山付近の地震活動にわずかな高まりが認められた期間を赤塗 (A) ～ (D) で示す。硫黄山では、2022年4月以降地震のわずかな増加が時折みられ、それぞれの活動(A)～(D)に対応して噴気活動の活発化やごく小規模な噴出現象、熱水の噴気孔外への流出等の表面現象が観測された。
- ・GNSS連続観測では、2022年11月頃から12月頃と、2023年5月頃から10月頃にかけて硫黄山近傍の基線において硫黄山付近の膨張を示すわずかな伸びが認められた。

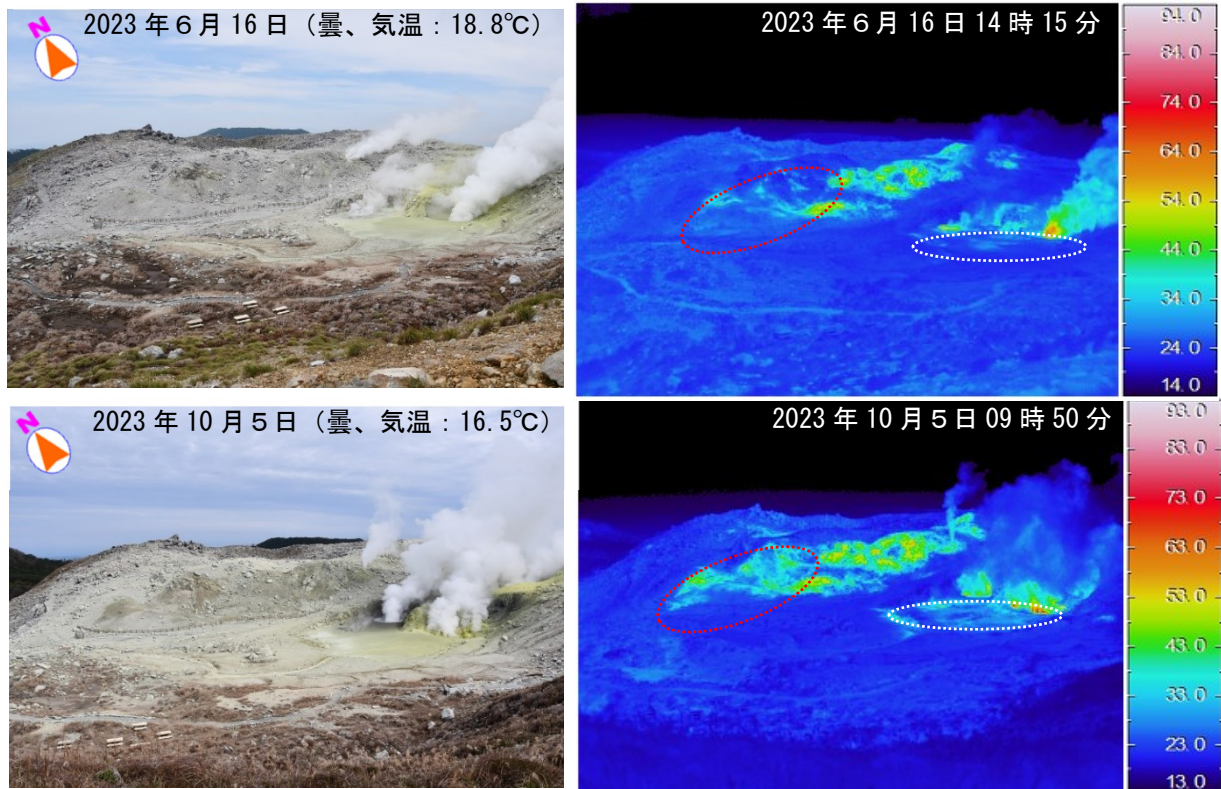


図 3-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山南側の状況

10月5日の観測では、硫黄山の火口南側斜面（赤破線内）及び南側の噴気地帯の一部（白破線内）において、6月16日の観測時と比較して地熱域の拡大を確認した。

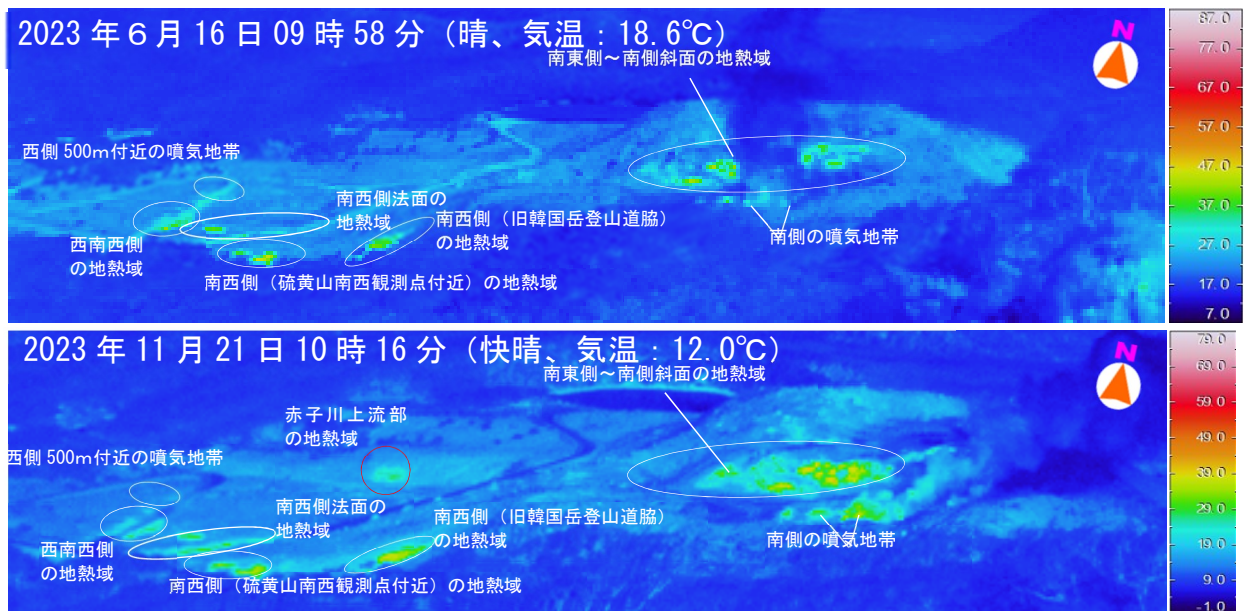


図 3-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山の火口及びその周辺の状況
（韓国岳 4 合目から観測）

11月21日の観測では、赤子川上流部に10月5日の観測で確認された新たな地熱域（赤破線内）を確認した。

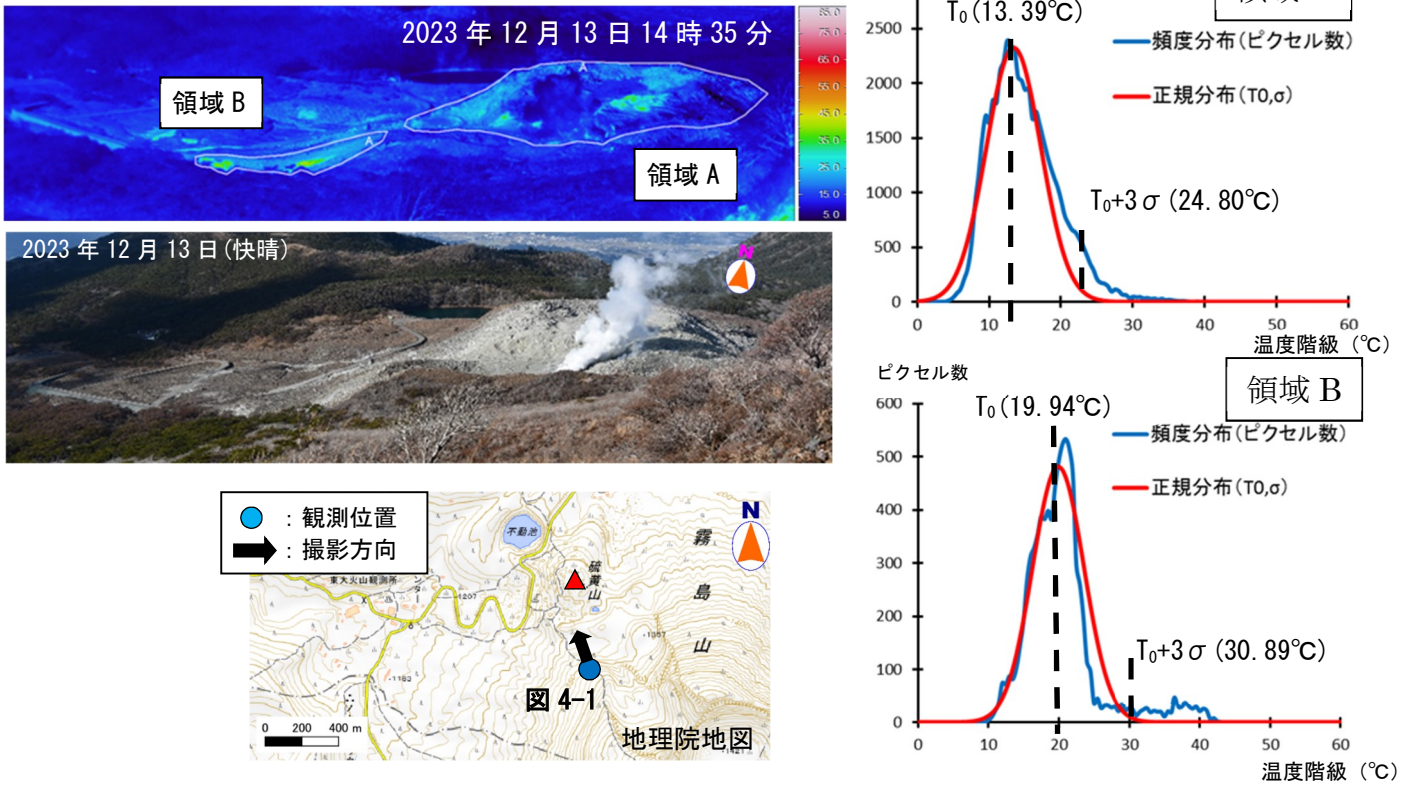


図 4-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 図 4-2 に示した硫黄山の放熱率算出の解析領域と温度分布の例（2023 年 12 月 13 日 14 時 35 分）

- ・ 韓国岳 4 合目において撮影した赤外熱映像装置による観測データを使用した。
- ・ 右図は領域 A 及び B 内の温度ピクセルの頻度分布と、それを正規分布に当てはめた結果との比較であり、概ね正規分布の平均値 T_0 と頻度のモードが一致しているため非地熱域を正規分布で近似した。 T_0 と σ については、まず全温度範囲の頻度分布について最小二乗法で近似した正規分布から T_0 と σ を得る。その後、鍵山 et al. (1979) と同様に $T_0 - 3\sigma \leq T \leq T_0 + \sigma$ の温度範囲の頻度分布について最小二乗法で近似した正規分布から再び T_0 と σ を得て採用した。
- ・ $T_0 + 3\sigma$ 以上を明らかな地熱域とみなし、地熱域の面積及び放熱率を算出した（図 4-2）。

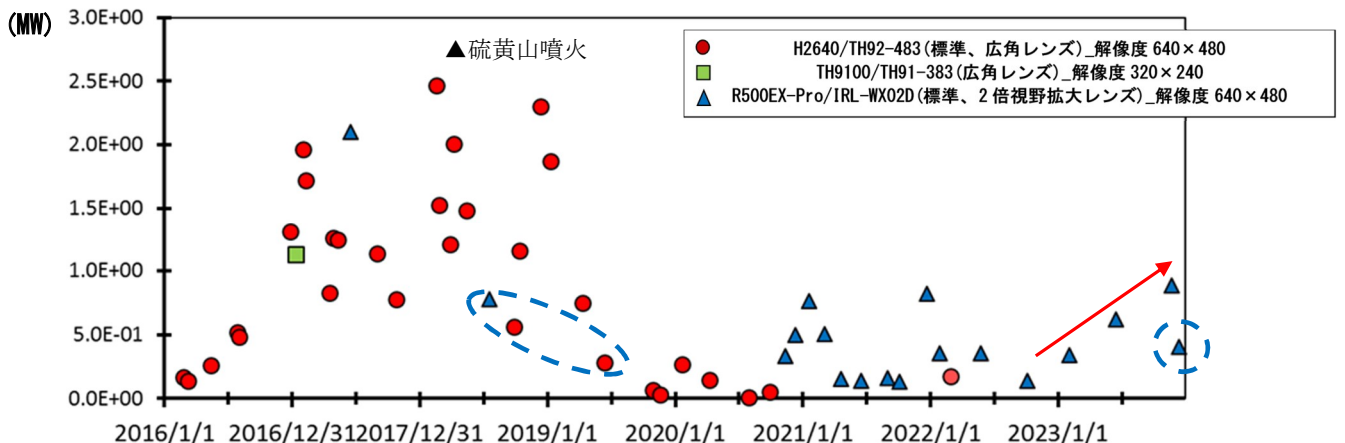


図 4-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 地表面温度分布より算出した硫黄山の放熱率の推移（値を観測日ごとに平均）（2016 年 1 月～2023 年 12 月 13 日）

＜2022 年 11 月～2023 年 12 月 13 日の状況＞

- ・ 2023 年以降、放熱率のわずかな増加傾向（赤矢印）が認められている。
- ・ ※Sekioka(1983)の手法により放熱率を算出し、値を観測日毎に平均した。
- ・ ※噴気活動による放熱は考慮されていない。
- ・ ※2018 年 2 月 26 日以降は規制区域の変更に伴い、観測位置を変更した。
- ・ ※青破線内のデータは噴気による遮蔽のため、放熱率が過小に算出されている可能性がある。

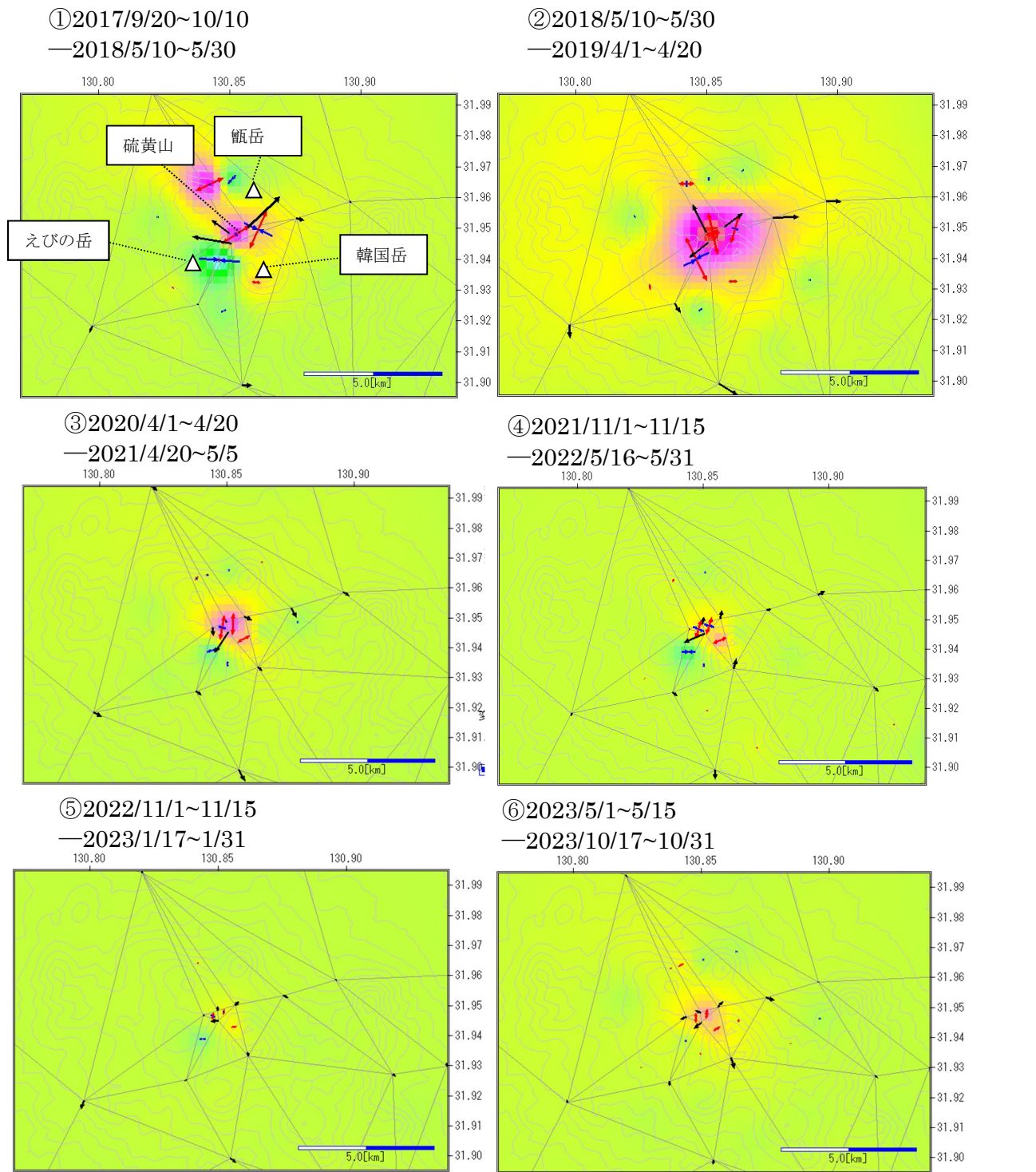
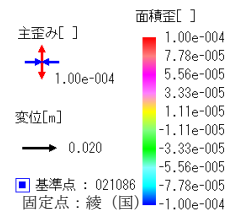


図 5 霧島山 えびの高原周辺の GNSS の期間毎の水平変位・主ひずみ・面積ひずみ (2017 年 9 月 20 日~2023 年 10 月 31 日)

2023 年 5 月頃から 10 月頃にかけて、硫黄山付近において山体のわずかな膨張に対応すると考えられる変化が認められた。

※④の期間には、硫黄山南西観測点の局所的な変化に伴うひずみ変化がみられる。
 ※この地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図 250mメッシュ (標高)』を使用した。



新燃岳

新燃岳では、火口直下を震源とする火山性地震が 10 月下旬から 11 月上旬にかけてやや多い状態となった。また、8 月下旬には新燃岳の西側 2 km 付近で地震が一時的に増加したが、それ以外は概ね少ない状態で経過した。

新燃岳火口内及び新燃岳西側斜面の割れ目では、噴気活動及び地熱域の状況に特段の変化はみられていない。

火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、2023 年 10 月以降やや少ない状態で経過している。

GNSS 連続観測では、2022 年 11 月頃から霧島山の深い場所でのマグマの蓄積を示すと考えられる基線の伸びが認められていたが、2023 年 4 月頃から停滞している。

以上のことから、現時点では噴火の兆候は認められない。

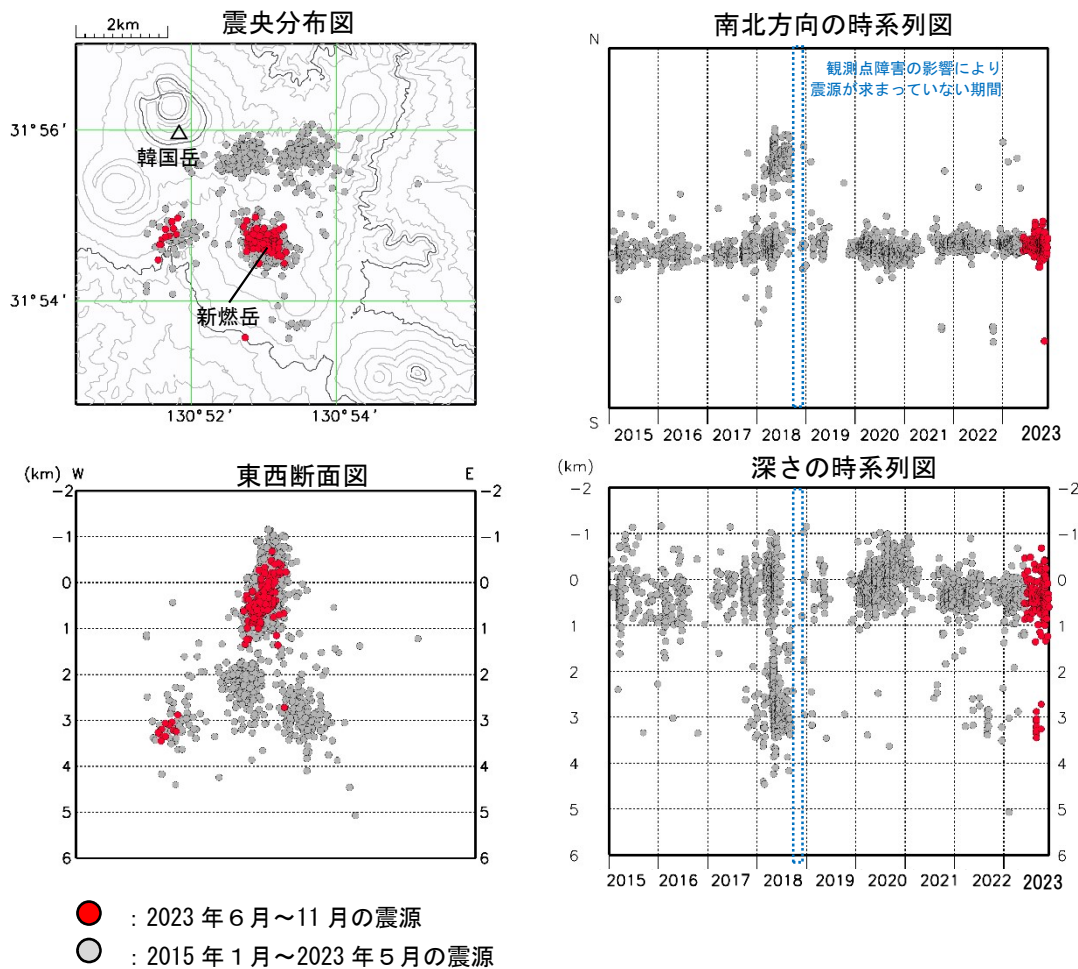


図 1 霧島山（新燃岳） 震源分布図（2015 年 1 月～2023 年 11 月）

<2023 年 6 月～11 月の状況>

震源は、主に新燃岳火口直下のごく浅いところから深さ 1 km 付近、新燃岳の西側約 2 km の深さ 3 km 付近及び新燃岳の南側約 2 km の深さ 1 km 付近に分布した。

※新燃岳周辺の震源のみ図示している。

※この地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図 50mメッシュ（標高）』を使用した。

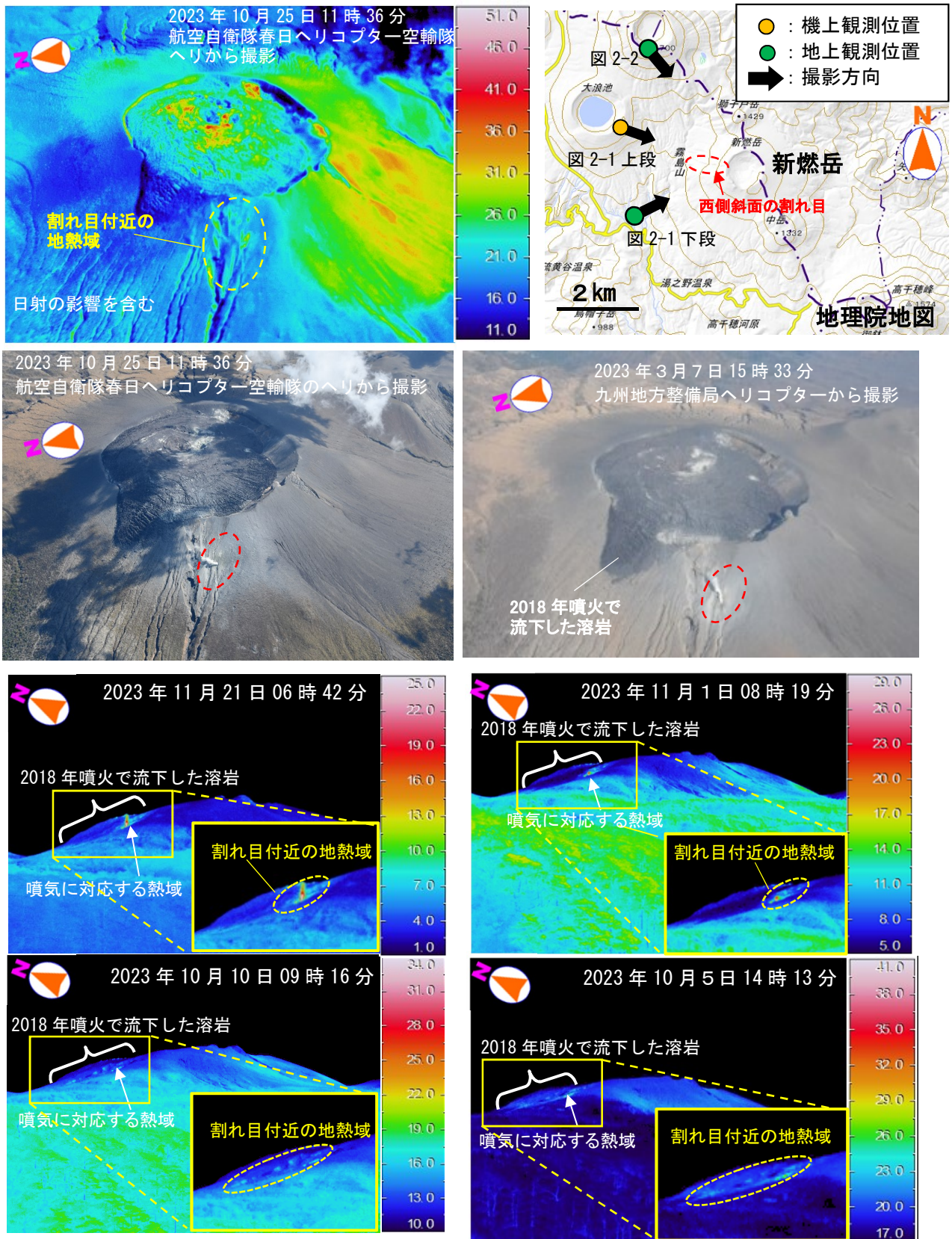


図 2-1 霧島山（新燃岳） 新燃岳火口内及び西側斜面の状況
 上段：西側上空からの観測、下段：新湯温泉付近からの観測、
 右上：観測位置及び撮影方向

- ・ 火口内を覆う溶岩の中心部及び縁辺部の一部、火口西側斜面の割れ目（赤破線内）で引き続き白色の噴煙が上がっているのを確認した。
- ・ 赤外熱映像装置による観測では、引き続き火口西側斜面の割れ目付近（黄破線内）で地熱域を確認した。11月以降の観測では、前月（10月）までの観測と比較して、下方側において縮小が認められた。

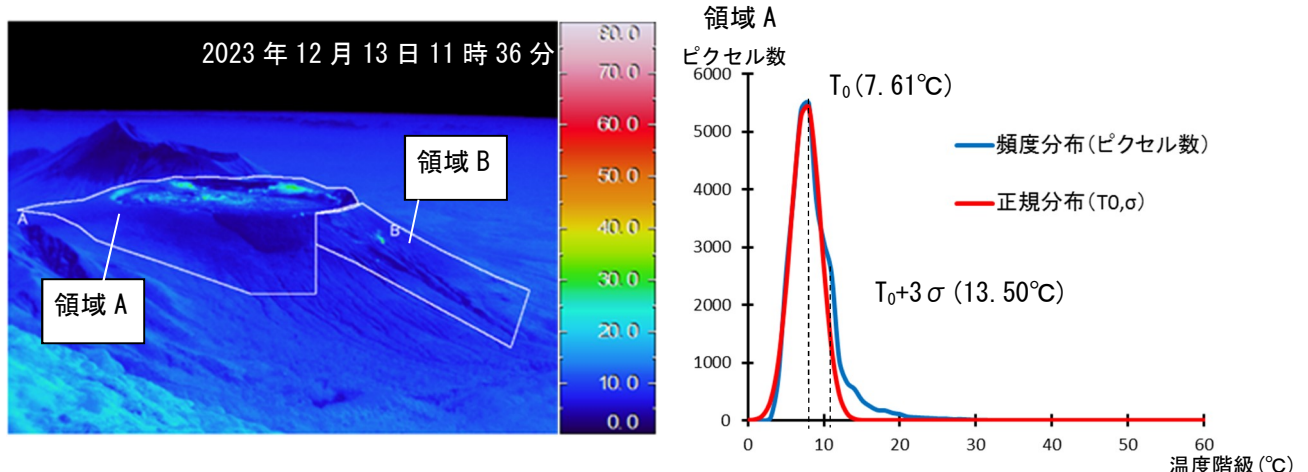


図 2-2 霧島山（新燃岳） 図 2-3 に示した新燃岳の放熱率算出の解析領域と温度分布の例 (2023 年 12 月 13 日 11 時 36 分)

- ・韓国岳山頂付近 (図 2-1 右上) から観測を行い、左図の領域 A 及び B 内を解析領域とした。
- ・右図は領域内の温度ピクセルの頻度分布と正規分布の比較であり、概ね平均値 T_0 と頻度のモードが一致しているため非地熱域を正規分布で近似した。
- ・ $T_0+3\sigma$ 以上を明らかな地熱域とみなし、地熱域の面積及び放熱率を算出した。

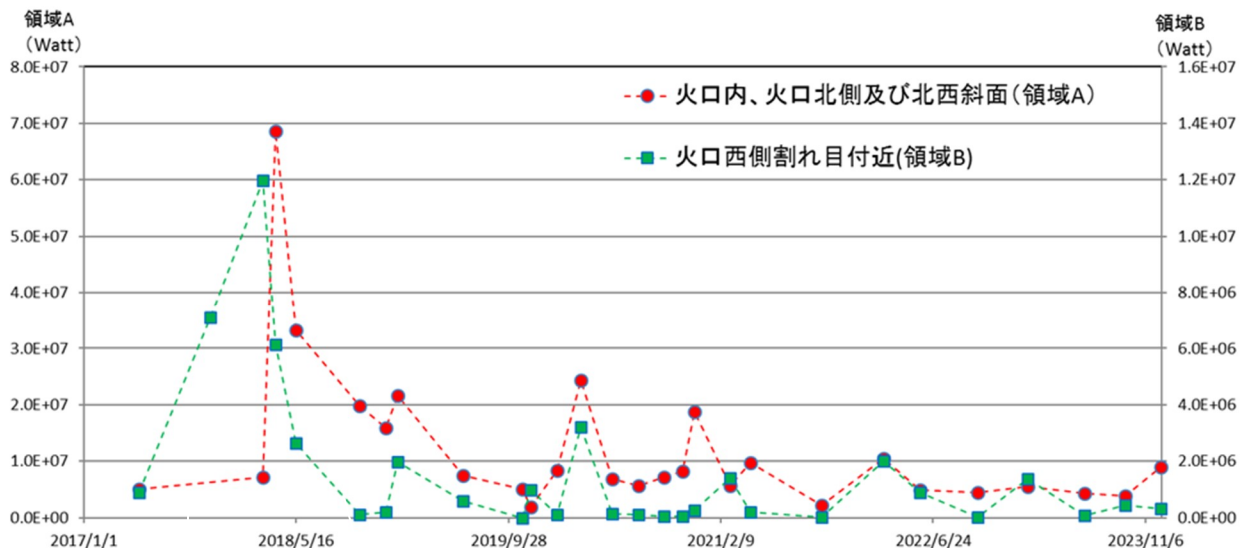


図 2-3 霧島山（新燃岳） 地表面温度分布より算出した新燃岳の放熱率の推移 (値を観測日ごとに平均) (2017 年 5 月 11 日～2023 年 12 月 13 日)

<2022 年 11 月～2023 年 12 月 13 日の状況>

領域 A (主に新燃岳火口内) 及び領域 B (火口西側割れ目付近) では、放熱率に特段の変化は認められない。

※韓国岳山頂からの赤外熱映像装置による観測データを用い、Sekioka(1983)の手法により放熱率を算出し、値を観測日ごとに平均した。図 2-2 に示した領域 A、B を解析範囲とし、領域内の温度頻度分布を正規分布に当てはめた時の平均値 T_0 と偏差 σ から、 $T_0+3\sigma$ 以上を明らかな地熱域とみなした。

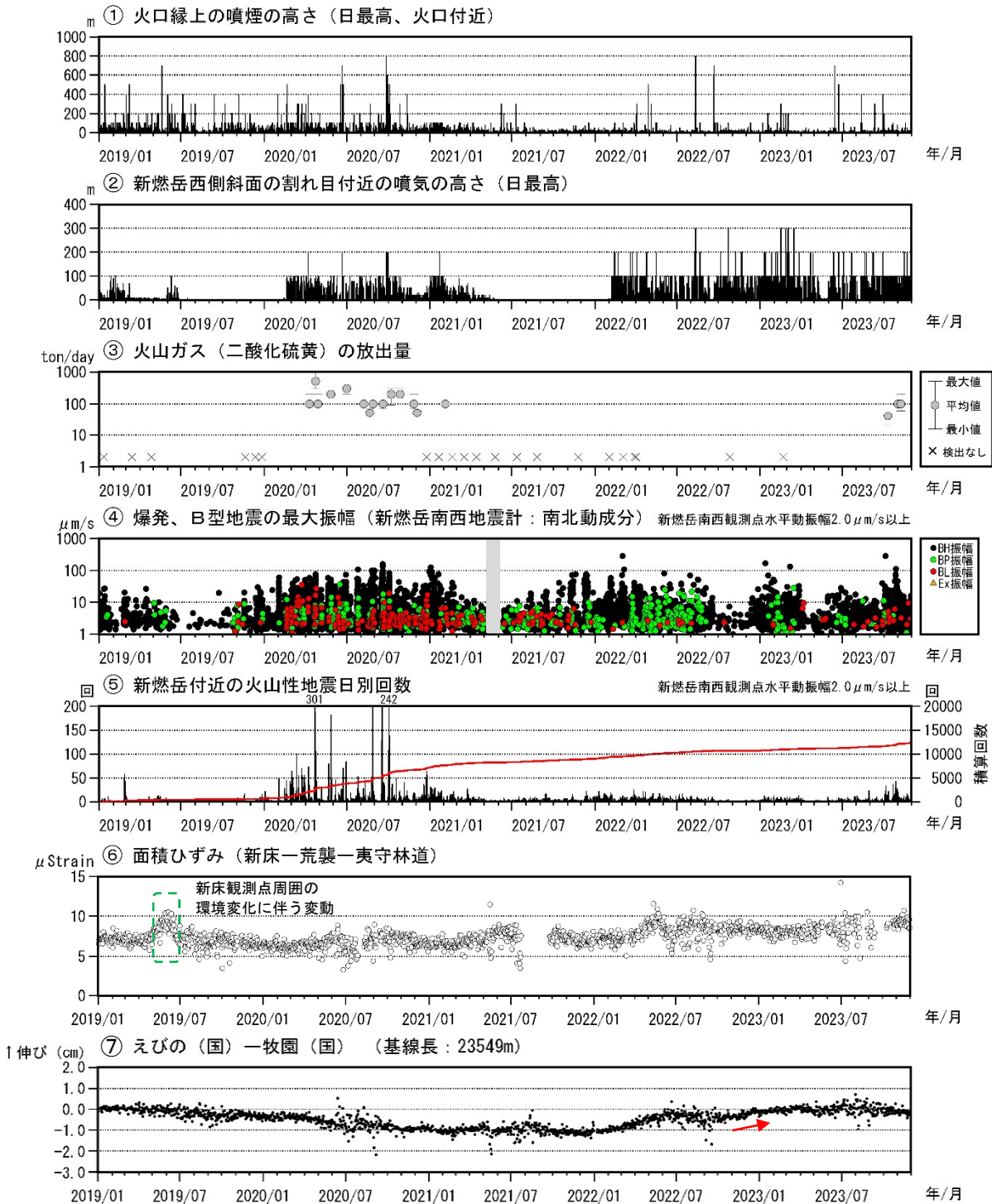


図 3 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2019 年 1 月～2023 年 11 月）

<2023年6月～11月の状況>

- ・新燃岳火口では、白色の噴煙の高さは概ね火口縁上100m以下で、西側斜面の割れ目では、噴気の高さは概ね200m以下で経過し、特段の変化は認められない。
- ・火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、2023年10月以降はやや少ない状態で経過している。
- ・新燃岳の火口直下を震源とする火山性地震は、10月下旬から11月上旬にかけやや多い状態となった。また、8月下旬には新燃岳の西側2km付近で地震が一時的に増加したが、それ以外は概ね少ない状態で経過した。
- ・GNSS連続観測では、2022年11月頃から、霧島山を挟む基線において、霧島山の深い場所でのマグマの蓄積を示すと考えられる伸びが認められた（赤矢印）が、2023年4月以降停滞している。新燃岳付近の基線には、膨張を示す特段の変化は認められない。

④の灰色の枠内は、新燃岳南西観測点の障害のためデータが抜けている期間を示す。
 ⑤の赤線は、地震の回数の積算を示す。

大幡池

噴気は認められず、火山性地震は少ない状態で経過した。火山性微動は観測されなかった。
 地殻変動観測では、火山活動によると考えられる特段の変化は認められなかった。
 大幡池では、火山活動の活発化を示す兆候は認められない。

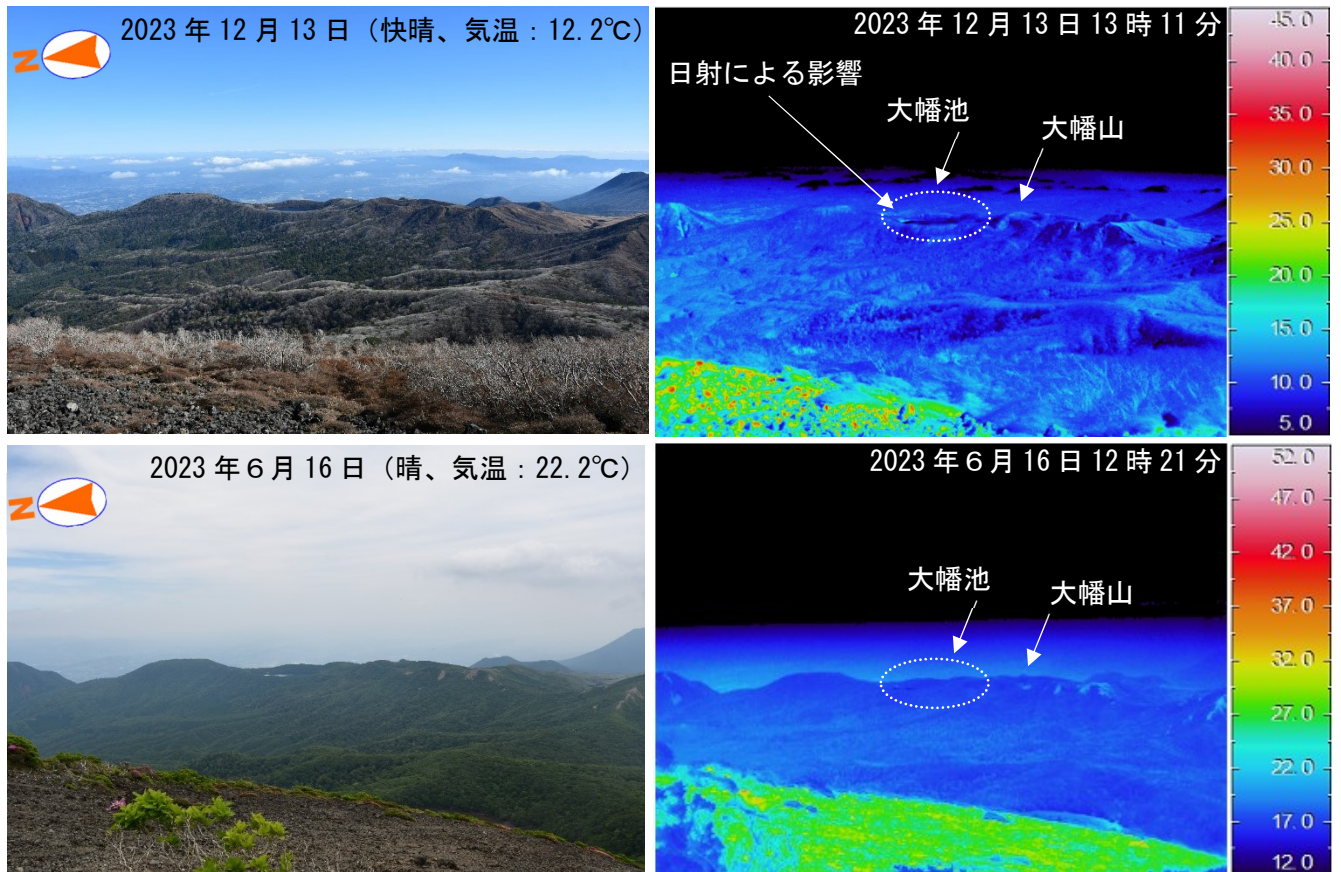


図 1-1 霧島山（大幡池） 大幡池及び大幡山付近の状況
 （韓国岳山頂付近（図 2）から観測）

噴気や地熱域は認められず、大幡池及び大幡山付近の状況に特段の変化は認められなかった。

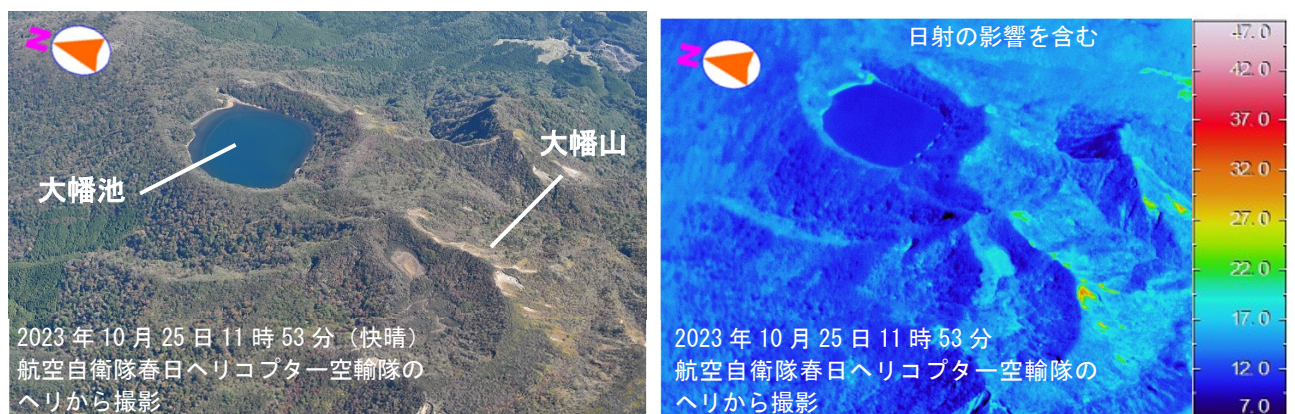


図 1-2 霧島山（大幡池） 大幡池及び大幡山の状況（上空から観測）

大幡池及び大幡山付近に噴気や地熱域は認められなかった。

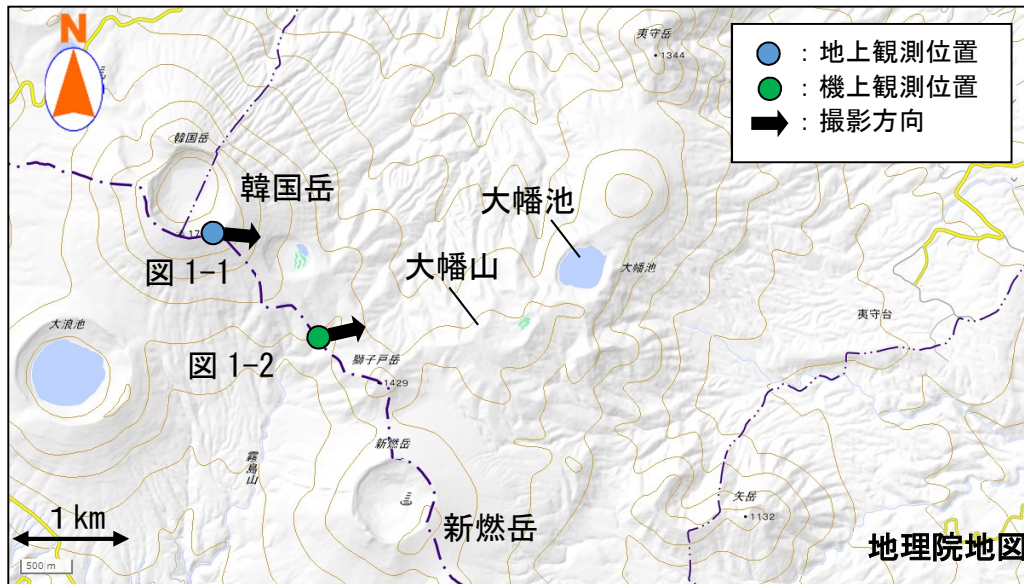
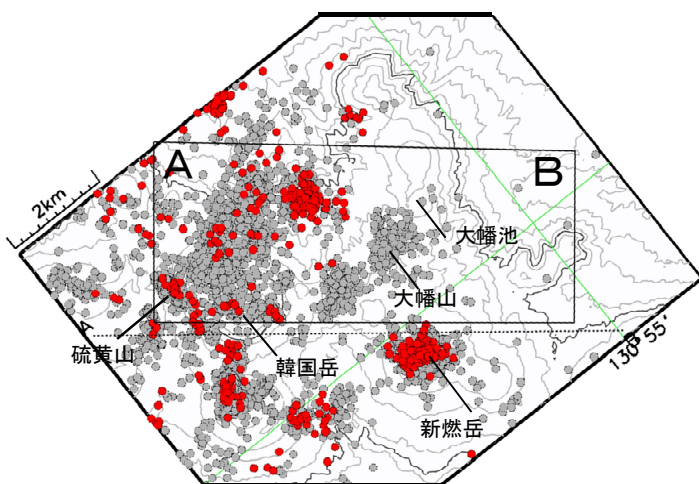


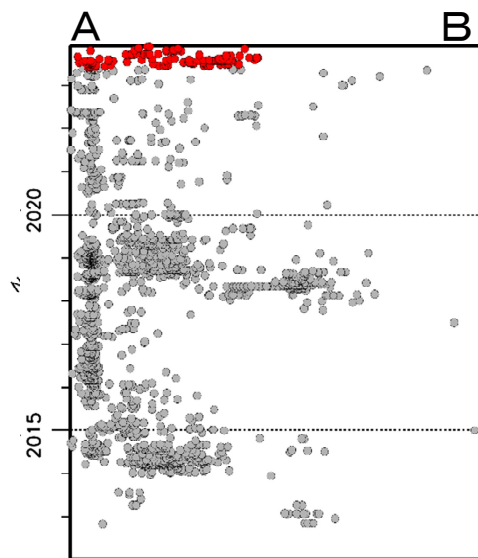
図 2 霧島山（大幡池） 図 1-1、1-2 の観測位置及び撮影方向

震央分布図

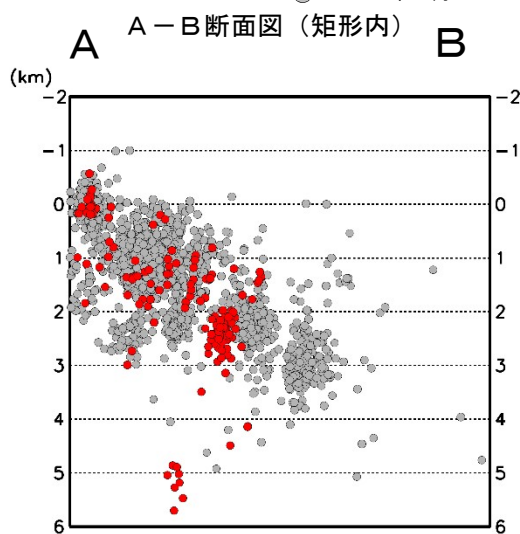
時空間分布図（矩形内、A-B断面）



● : 2023 年 6 月～11 月の震源
● : 2012 年 1 月～2023 年 5 月の震源



深さの時系列（矩形内）



A A-B断面図（矩形内）

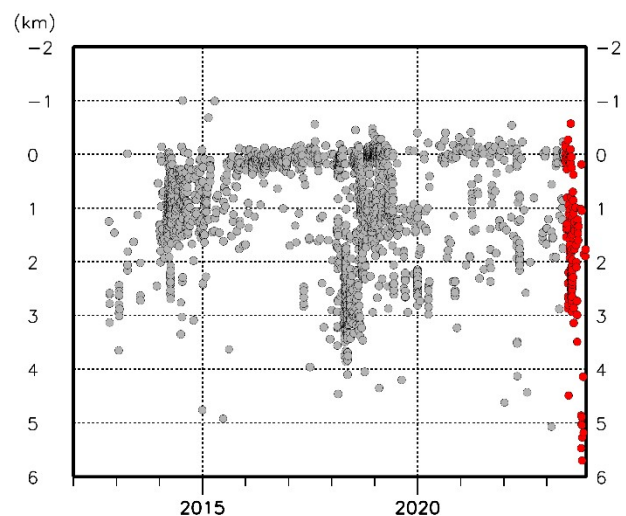


図 3 霧島山（大幡池） 震源分布図（2012 年 1 月～2023 年 11 月）

<2023 年 6 月～11 月の状況>

大幡池付近に震源が求まった火山性地震はなかった。

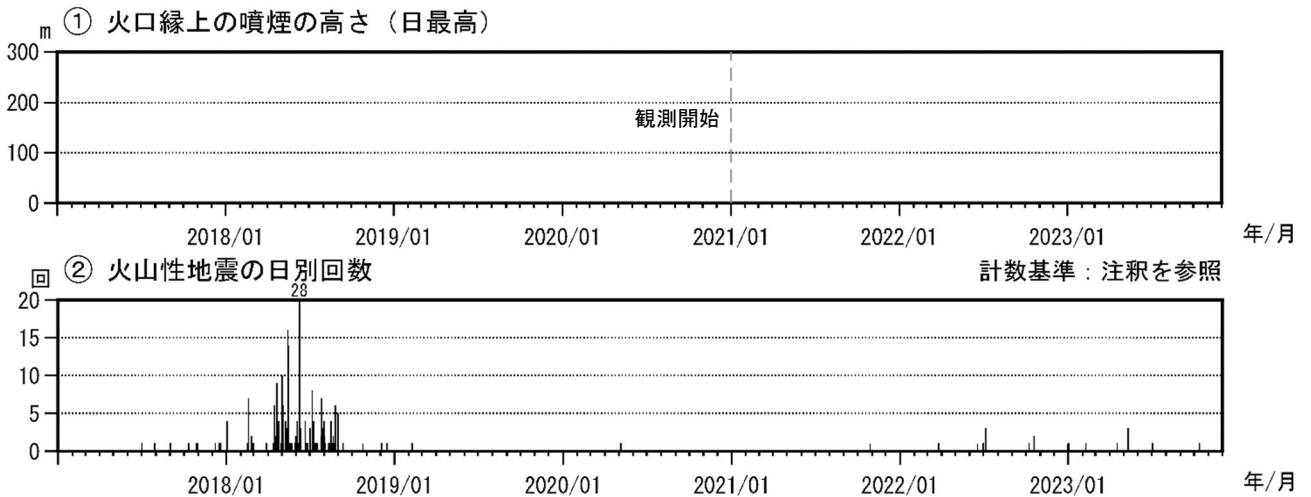


図 4 霧島山（大幡池） 火山活動経過図（2017 年 1 月～2023 年 11 月）

<2023 年 6 月～11 月の状況>

- ・ 噴気は観測されなかった。
- ・ 火山性地震は少ない状態で経過した。

大幡池付近の火山性地震の回数について、2020 年 12 月 31 日までは「新燃岳南西観測点（計数基準 水平動：2.0 μ m/s）」で計数していましたが、大幡池付近の地震活動をより正確に捉えるため、2021 年 1 月から「大幡山登山口観測点（計数基準：南北成分：6.0 μ m/s）」で計数しています。

2023 年 9 月に、大幡池付近で発生した火山性地震（2017 年 1 月から 2020 年 12 月）について精査を実施し、地震回数グラフを変更しています。

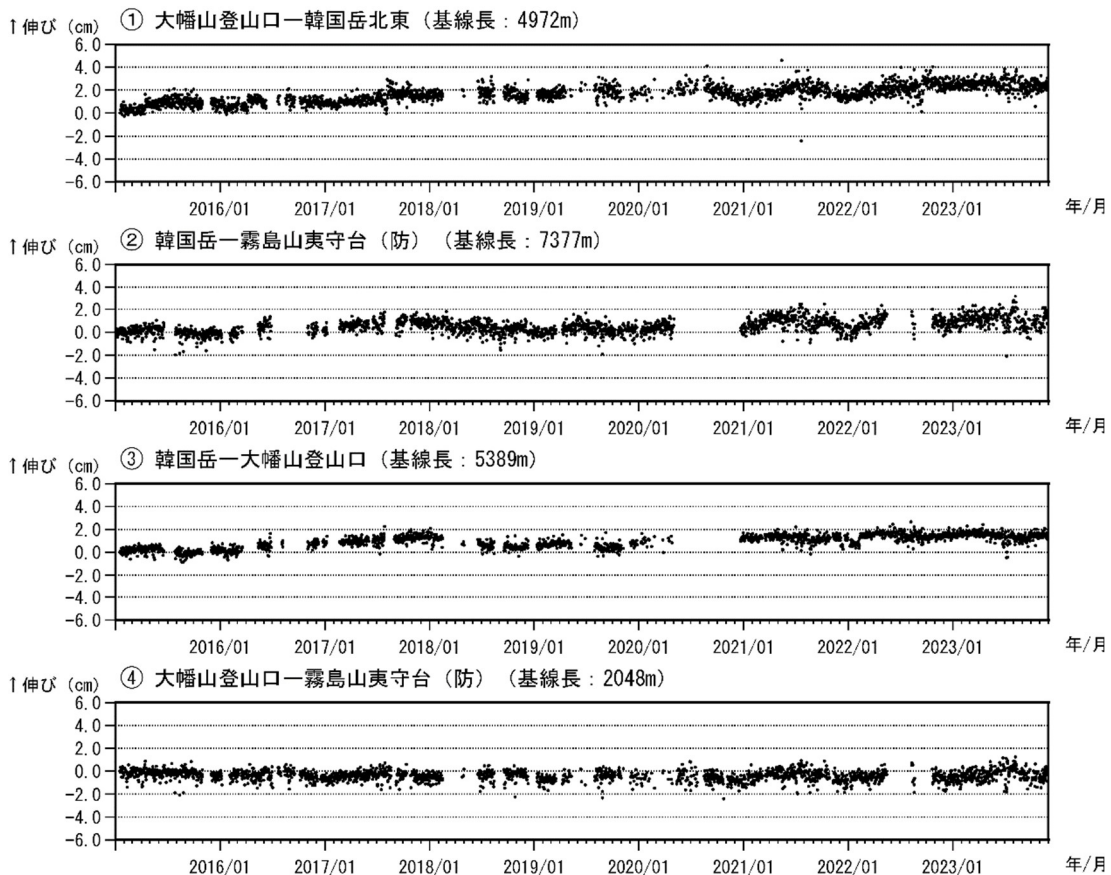


図 5 霧島山（大幡池） GNSS 連続観測による基線長変化（2015 年 1 月～2023 年 11 月）

火山活動によると考えられる変化は認められなかった。

基線の空白部分は欠測を示している。

御鉢

火山性地震は少ない状態で経過した。火山性微動は観測されなかった。
 地殻変動観測では、火山活動によると考えられる特段の変化は認められなかった。
 御鉢では、火山活動の活発化を示す兆候は認められない。

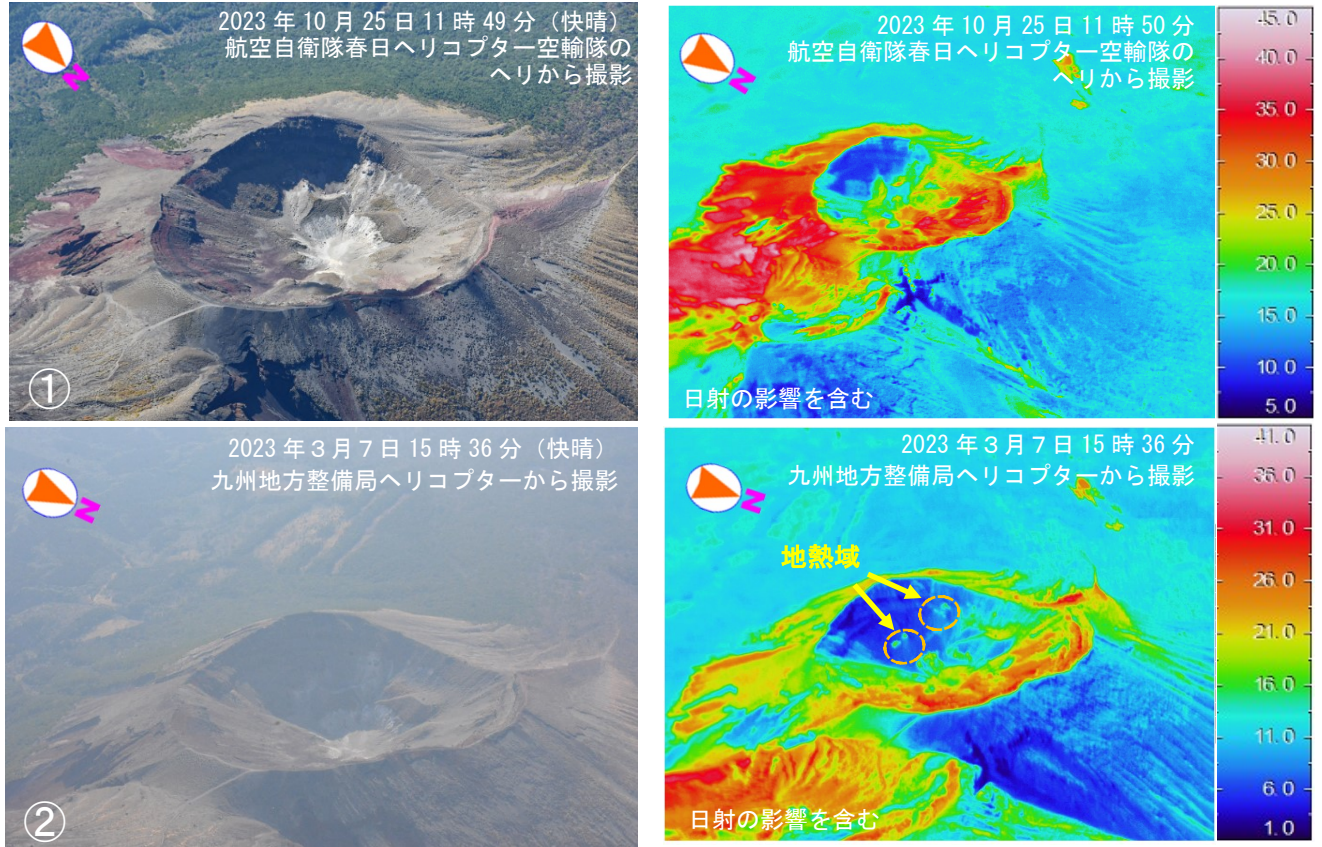


図 1 霧島山（御鉢） 御鉢火口内及びその周辺の状況（上空から観測）
 御鉢火口内及び火口周辺に日射の影響を超える地熱域や噴気は認められなかった。

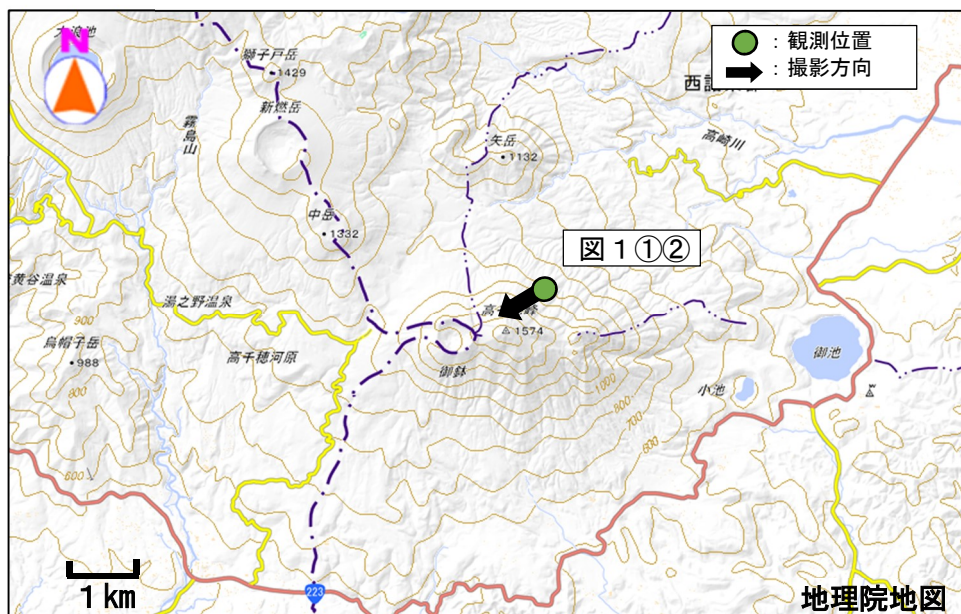


図 2 霧島山（御鉢） 図 1 の観測位置及び撮影方向

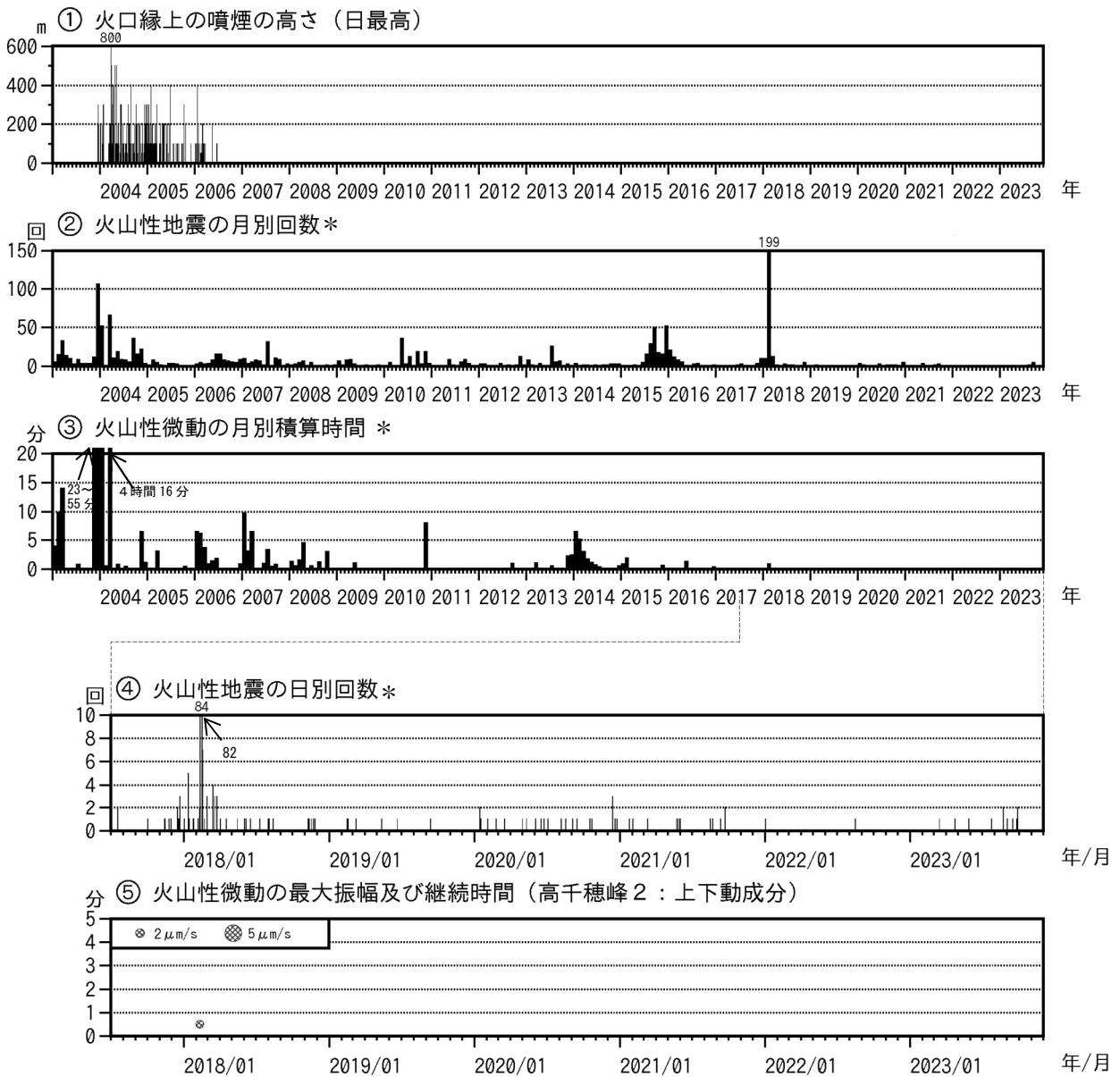


図3 霧島山（御鉢） 火山活動経過図（2003年1月～2023年11月）

<2023年6月～11月の状況>

- ・監視カメラによる観測では、噴煙は認められなかった。
- ・火山性地震は少ない状態で経過した。
- ・火山性微動は観測されていない。

* 「高千穂峰2観測点、高千穂西（震）観測点及び高千穂河原観測点」で計数
 （計数基準 高千穂峰2：上下動 $2.0\mu\text{m/s}$ 以上、高千穂西（震）：水平動東西成分または上下動 $1.3\mu\text{m/s}$ 以上、高千穂河原：水平動南北成分または上下動 $1.0\mu\text{m/s}$ 以上）

2022年8月21日から11月17日まで、及び2023年8月24日以降高千穂峰2観測点は障害のため、高千穂河原観測点で計数しています。

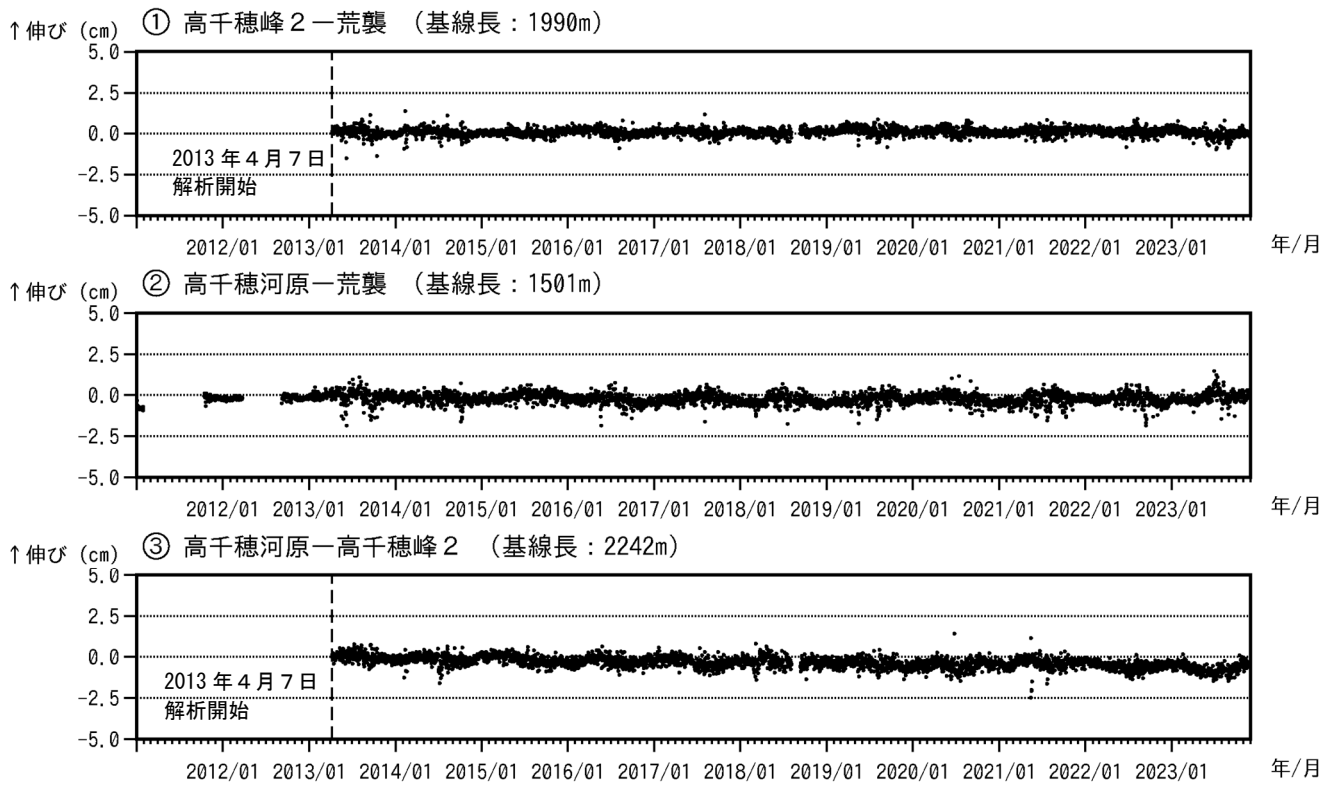


図4 霧島山(御鉢) GNSS連続観測による基線長変化(2011年1月~2023年11月)

火山活動によると考えられる特段の変化は認められませんでした。

これらの基線は図5の①~③に対応しています。
 基線の空白部分は欠測を示しています。
 2013年1月に、解析方法を変更しています。

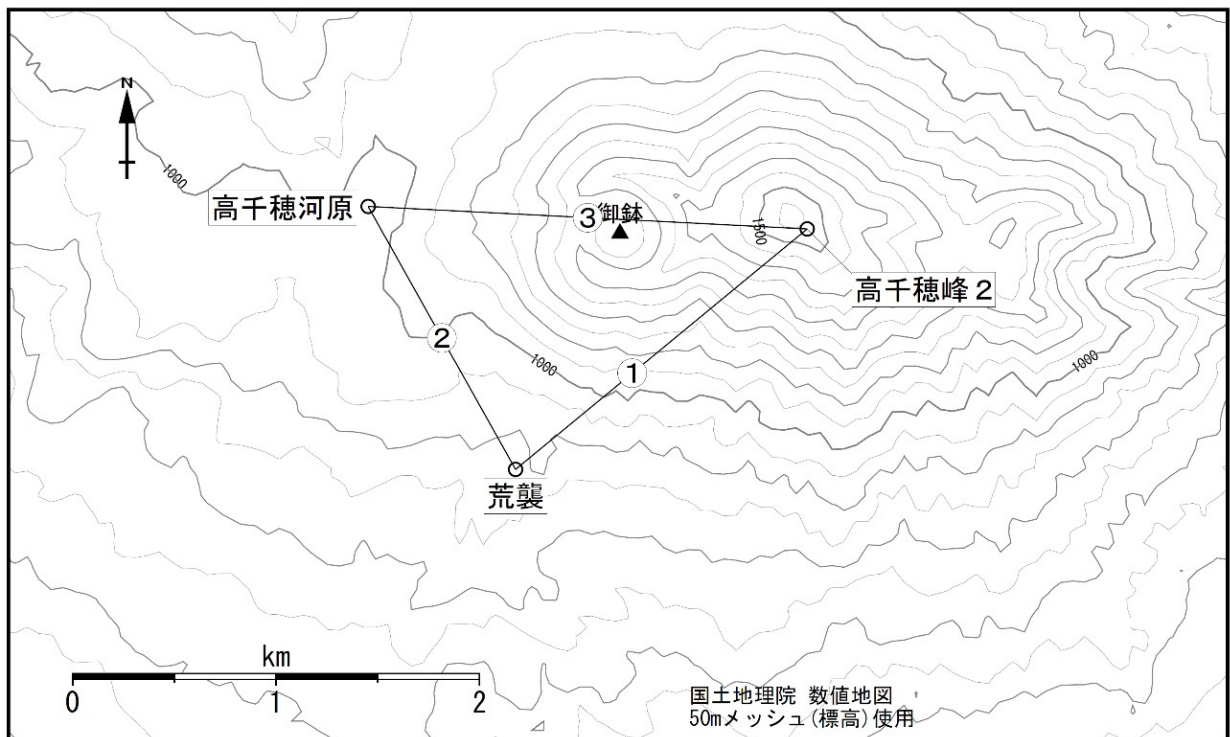


図5 霧島山(御鉢) GNSS連続観測点と基線番号

ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた 霧島山における SAR 干渉解析結果

SAR 干渉解析では、ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。えびの高原（硫黄山）周辺の干渉 SAR 時系列解析では、硫黄山及び西側で視線方向の緩やかな短縮が認められる。

1. はじめに

ALOS-2/PALSAR-2 で撮像された霧島山周辺のデータについて干渉処理を行ったので報告する。

2. 解析データ

差分干渉解析に使用したデータを第 1 表に示す。

第 1 表 干渉解析に使用したデータ

Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
131_620(SM1_U2-9)	北行	右	42.9°	2022.12.13	2023.11.28	第 1 図- A1
23_2970(SM1_U2-7)	南行	右	36.1°	2023.07.03	2023.11.06	第 1 図- A2
131_620(SM1_U2-9)	北行	右	42.9°	2022.12.13	2023.11.28	第 1 図- B1
23_2970(SM1_U2-7)	南行	右	36.1°	2023.07.03	2023.11.06	第 1 図- B2

3. 解析結果

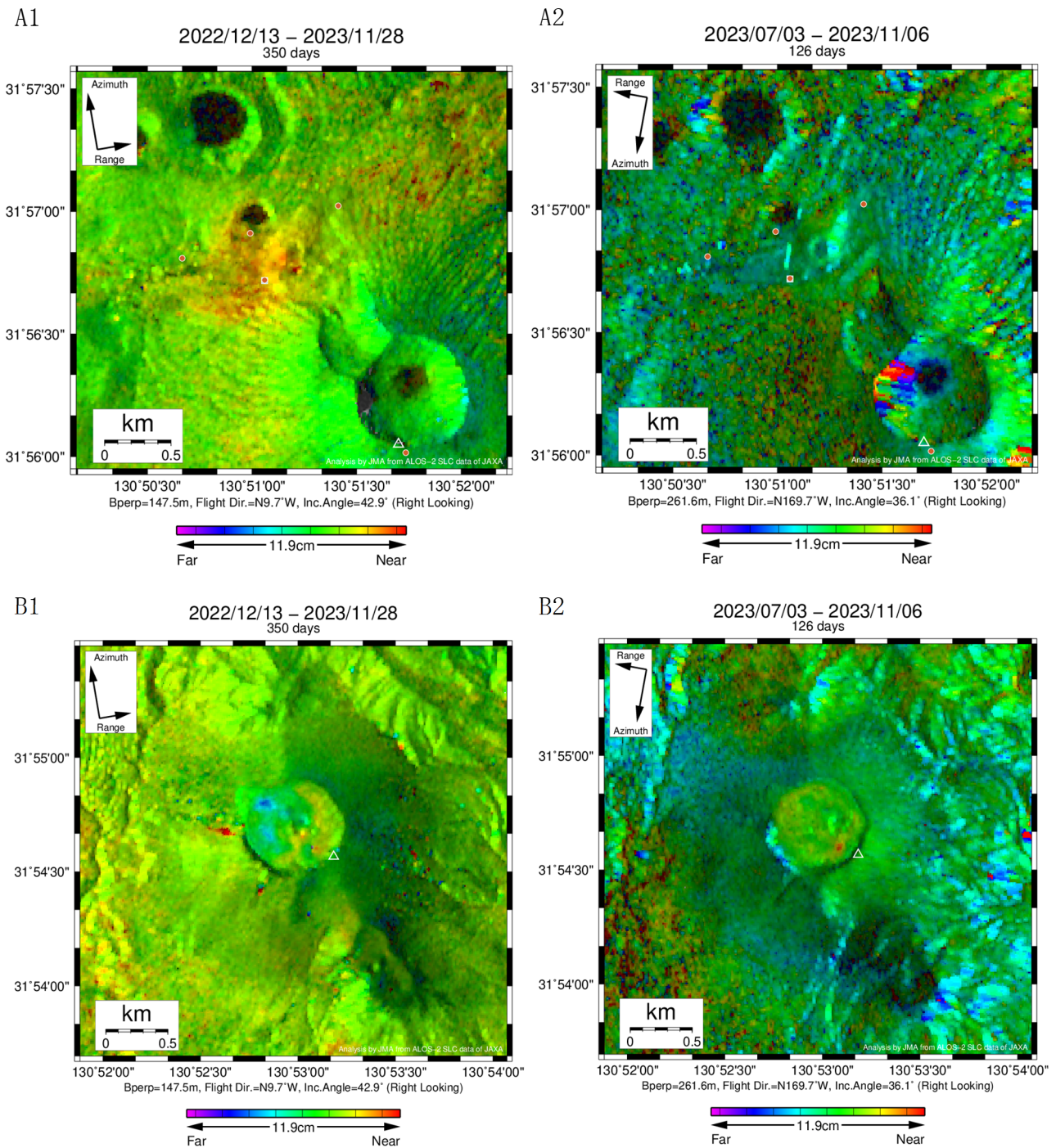
第 1 図に北行及び南向軌道のペアによる、霧島山の干渉解析結果画像を示す。えびの高原（硫黄山）付近、新燃岳付近では、2023 年 7 月以降は、ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

第 2 図に、干渉 SAR 時系列解析による、えびの高原（硫黄山）周辺の東西の地表変位の時間変化を示す。硫黄山の西側約 300m を中心として 2018 年 4 月以降、また硫黄山を中心として 2022 年頃以降、視線距離の緩やかな短縮が認められる。

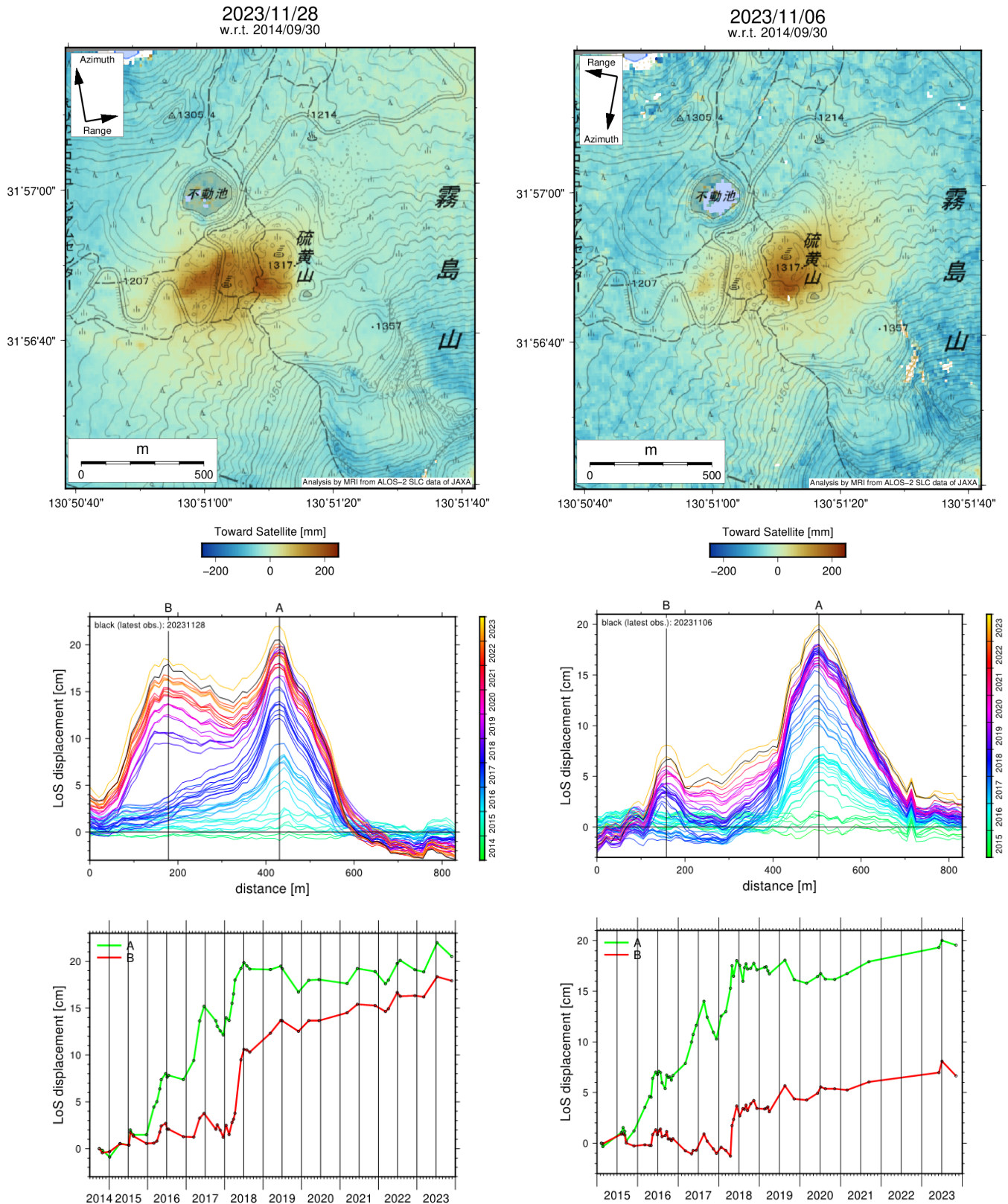
なお、各干渉解析結果について、電離圏遅延補正を行っていないため、ノイズが重畳している可能性がある。

謝辞

本解析で用いた PALSAR-2 データは、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験（衛星解析グループ）に基づいて、宇宙航空研究開発機構（JAXA）にて観測・提供されたものである。また、一部のデータは、PIXEL で共有しているものであり、JAXA と東京大学地震研究所の共同研究契約により JAXA から提供されたものである。PALSAR-2 に関する原初データの所有権は JAXA にある。PALSAR-2 の解析ソフトウェアは、防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発された RINC を使用した。また、処理の過程や結果の描画においては、国土地理院の数値地図 10m メッシュ（標高）を元にした DEHM を、地形の描画には数値地図 25000（行政界・海岸線）のデータを使用した。ここに記して御礼申し上げます。



第 1 図 霧島山の干渉解析結果 (A1, A2 : えびの高原 (硫黄山) 周辺、B1, B2 : 新燃岳)
 丸印は GNSS 観測点、四角印は傾斜観測点を示す。2023 年 7 月と最近のペア (A2 及び B2) では、ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。



第 2 図 えびの高原（硫黄山）付近の地表変位の時間変化（左：パス 131、右：パス 23）

上段は、視線距離変化の分布図。中断は、硫黄山を含む東西測線（長さ約 800m）における、視線距離分布の時間推移。下段は、硫黄山山体（A）とその西約 300m（B）における時系列。いずれも視線距離は短縮を正とする。硫黄山の西側約 300m (B) を中心として 2018 年 4 月以降、また硫黄山 (A) を中心として 2022 年頃以降に、視線距離の緩やかな短縮が認められる。

霧島山(硫黄山)周辺の湧水・火口跡熱水の化学組成

(2024 年 1 月 12 日観測まで)

硫黄山周辺においては、同山西麓の湧水(A)に含まれる Cl^- と SO_4^{2-} の比率 (Cl/SO_4 比) が 2017 年 4 月の土砂噴出や 2018 年 4 月の噴火の前後で顕著に変化するなど(図 1)[1], 水中の Cl/SO_4 比の変化は火山活動の盛衰を反映していると考えられる。

最も高頻度で観測を続けている硫黄山西麓湧水(A)の Cl/SO_4 比に関し、最近では 2023 年 5 月の観測で顕著な上昇が観測され、その後は増減しつつ 10 月初旬をピークとして 2024 年 1 月にかけて減少した(図 1)。

硫黄山南火口域(V1, Pa, Pa', Pb)の湯だまりでは観測頻度が低いですが、Pb 湯だまりについては 2023 年 6 月から同年 10 月下旬にかけて Cl/SO_4 比の減少が観測された (表 1)。

* 本研究の一部には文部科学省次世代火山研究推進事業(課題 B3)の研究費を使用しています。

[1] 気象研究所ほか (2018) 火山噴火予知連絡会会報, 130, 285–291.

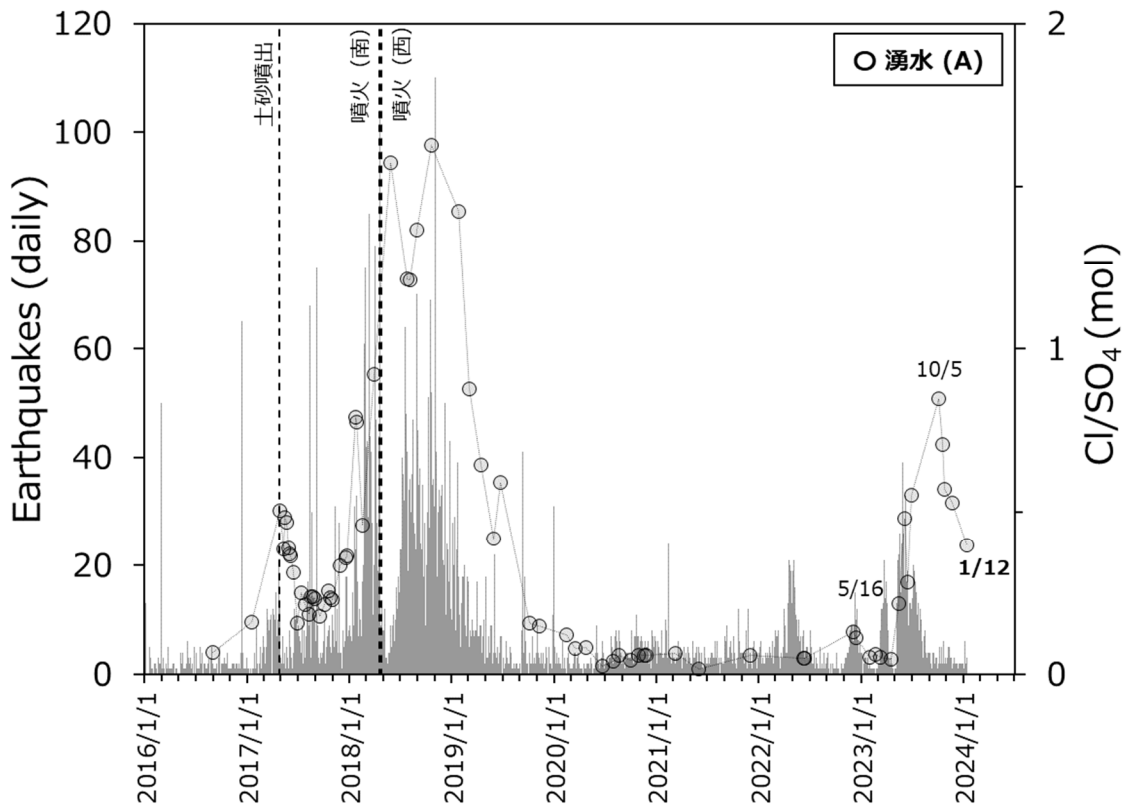


図 1. A 地点 (硫黄山西麓) 湧水の Cl/SO_4 モル比の変化

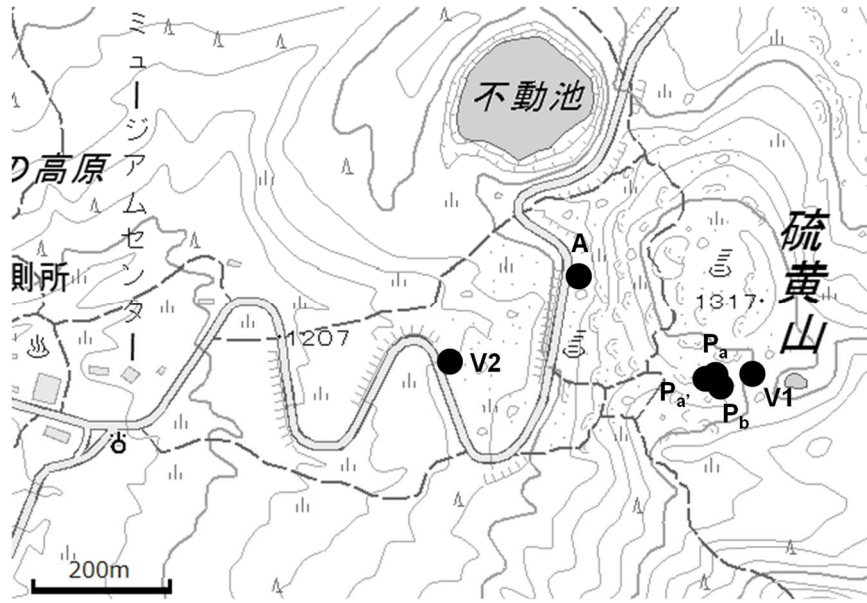


図2. 試料採取地点 (背景地図に地理院地図を使用した)

表1. 最近の Cl/SO₄比の変化 (抜粋)

採水地点	採取日	WT ?C	pH	Cl/SO ₄ molar ratio	採水地点	採取日	WT ?C	pH	Cl/SO ₄ molar ratio
A	2022/6/13	53.0	1.08	0.05	V1	2023/6/5	93.1	0.31	18
A	2022/12/2	45.4	1.82	0.13	Pa	2023/6/5	ND	-0.21	32
A	2022/12/14	44.9	1.7	0.11	Pa'	2023/6/5	ND	0.25	10
A	2023/2/2	40.1	1.63	0.05	Pb	2023/5/16	ND	-0.13	7.3
A	2023/2/21	43.0	1.87	0.06	Pb	2023/6/5	ND	-0.42	36
A	2023/3/10	34.5	1.74	0.05	Pb	2023/10/27	ND	-0.24	3.8
A	2023/4/18	54.8	1.56	0.04					
A	2023/5/16	ND	1.43	0.22					
A	2023/6/5	56.1	1.58	0.48					
A	2023/6/16	62.5	1.43	0.28					
A	2023/6/28	59.5	1.44	0.55					
A	2023/10/5	51.7	1.61	0.85					
A	2023/10/18	53.0	1.65	0.71					
A	2023/10/27	51.1	1.62	0.57					
A	2023/11/21	48.9	1.64	0.53					
A	2024/1/12	41.1	1.6	0.40					

霧島山硫黄山噴気のヘリウム同位体比

1. 概要

2016年10月から2023年12月にかけて霧島山硫黄山の5地点で噴気を採取し、ヘリウム同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) を測定した。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の経時変動は新燃岳や硫黄山の火山活動と関連がある。2020年以降 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は高い値で推移しており、とくに2023年6月以降はこれまでで最もマグマ起源ヘリウムの寄与を強く示す値が継続して観測されているため、今後も注意深く見ていく必要がある。

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 は地球形成時から存在する始原的成分がほとんどを占めている一方、 ^4He では始原的成分に加えて、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) も多く存在している。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5つの噴気孔 : a, b, c, h, V2 において、真空コック付きのガラス製容器に噴気を採取し、試料の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と、ヘリウムとネオン濃度の比 ($^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比) を希ガス質量分析計^[2,3]を用いて測定した。

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2に2016年から2019年にかけての硫黄山の噴気 (a, b, c, h, V2) における、大気混入を補正した $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比 (Air-corrected $^3\text{He}/^4\text{He}$) の経時変化を示す。噴気 a, b, c, h の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の経時変化は、2019年5月以降の噴気 a を除いて同期しており、値も概ね一致している。また、2020年に出現した噴気 V2 の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は、直前に採取した噴気 c あるいは h の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と誤差の範囲で一致している。これらのことは、それぞれの噴気が共通のリザーバーから火山ガスの供給を受けていることを示唆する。

$^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の経時変化と新燃岳や硫黄山の火山活動との関連に着目すると、2017年10月に発生した新燃岳の噴火の2週間前まで (2016年8月30日から2017年9月19日にかけて) の噴気 a, b, c の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の平均値は約 $6.9 R_A$ から約 $7.5 R_A$ へと上昇していたが、噴火後の2017年10月18日から2017年11月28日にかけて、約 $7.2 R_A$ へ減少した。また、2018年3月から6月にかけての新燃岳の噴火と2018年4月の硫黄山の噴火前には、2017年11月28日の約 $7.2 R_A$ から2018年3月28日の約 $7.4 R_A$ へとわずかに上昇していたが、噴火活動が終息しかけていた2018年5月29日には、約 $7.1 R_A$ まで減少した。こ

のように、硫黄山の噴気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の経時変化は、新燃岳の噴火前に増加傾向を、噴火後には減少傾向を示している。噴火の準備過程におけるマグマだまりの圧力上昇に伴い、マグマだまり起源ガスの供給量が増加すると、地殻など他の供給源からヘリウムの寄与は相対的に減少し、噴気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は上昇すると考えられる。一方、噴火に伴う大規模なガス放出によりマグマだまりの圧力が減少すると、他の供給源からのヘリウムの寄与が相対的に増加し、噴気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は減少すると考えると、上記の経時変化は説明できる。また、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の 2018 年 5 月（約 7.1 R_A ）から 10 月 19 日（約 7.6 R_A ）への上昇と、それに続く 2019 年 1 月 25 日（約 7.4 R_A ）にかけてのわずかな減少は、2018 年 10 月に噴火は起こっていないものの、同年 5 月には約 100 回、同年 10 月には約 800 回と増加していたえびの高原周辺の地震回数が、2019 年 1 月には約 400 回へと減少したことと対応して、火山活動との関連を示していると考えられる（地震回数は気象庁ホームページ内の火山の状況に関する解説情報及び月別地震回数を参照）。

2019 年 5 月以降は噴気 a と b の勢いが弱まり、噴気 b では 2020 年 2 月以降試料が採取できておらず、噴気 a も試料が採取できた場合でも、他の噴気（c, h, V2）と比較して顕著に低い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が観測されており、勢いの弱い噴気には地表付近における地殻起源ヘリウムの寄与が大きいことがうかがえる。一方で 2017 年以降継続的に観測している噴気 c の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比に着目すると、2018 年～2019 年の平均値が $7.46 \pm 0.12 R_A$ (1σ) であるのに対し、2020 年以降の平均値は $7.59 \pm 0.08 R_A$ (1σ) と、やや上昇している。さらに 2020 年 7 月からやや勢いが弱まり試料採取が可能になった噴気 h と、2020 年 5 月から観測を開始した噴気 V2 は、一貫して 7.5 R_A 以上の高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を示しており、とくに 2023 年 6 月以降は 7.7 R_A 以上の、これまで硫黄山で観測された中で最も高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が継続的に観測されている。これらのことから、マグマだまり起源ガスの供給量が最近になって相対的に増加している可能性があり、今後も継続して観測していく必要がある。

[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.

[謝辞]

本報告の観測データの一部は、文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」と「火山機動観測実証研究事業」により取得された。福岡管区気象台は安全確保のために、調査実施中に硫黄山の地震活動をモニタリングして下さいました。ここに記して感謝いたします。

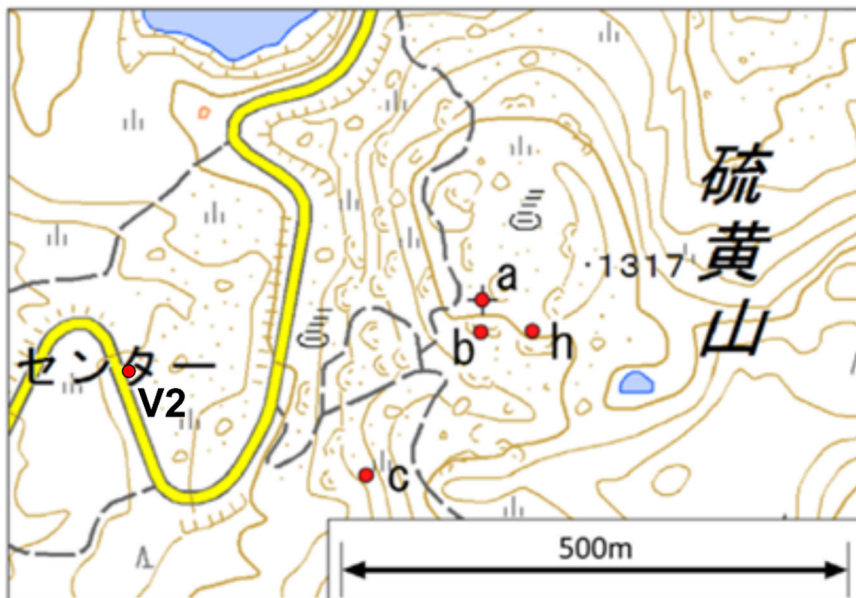


図 1. 硫黄山の噴気 a, b, c, h, V2 の位置（背景の地図として、国土地理院 1/25000 地形図を使用した）

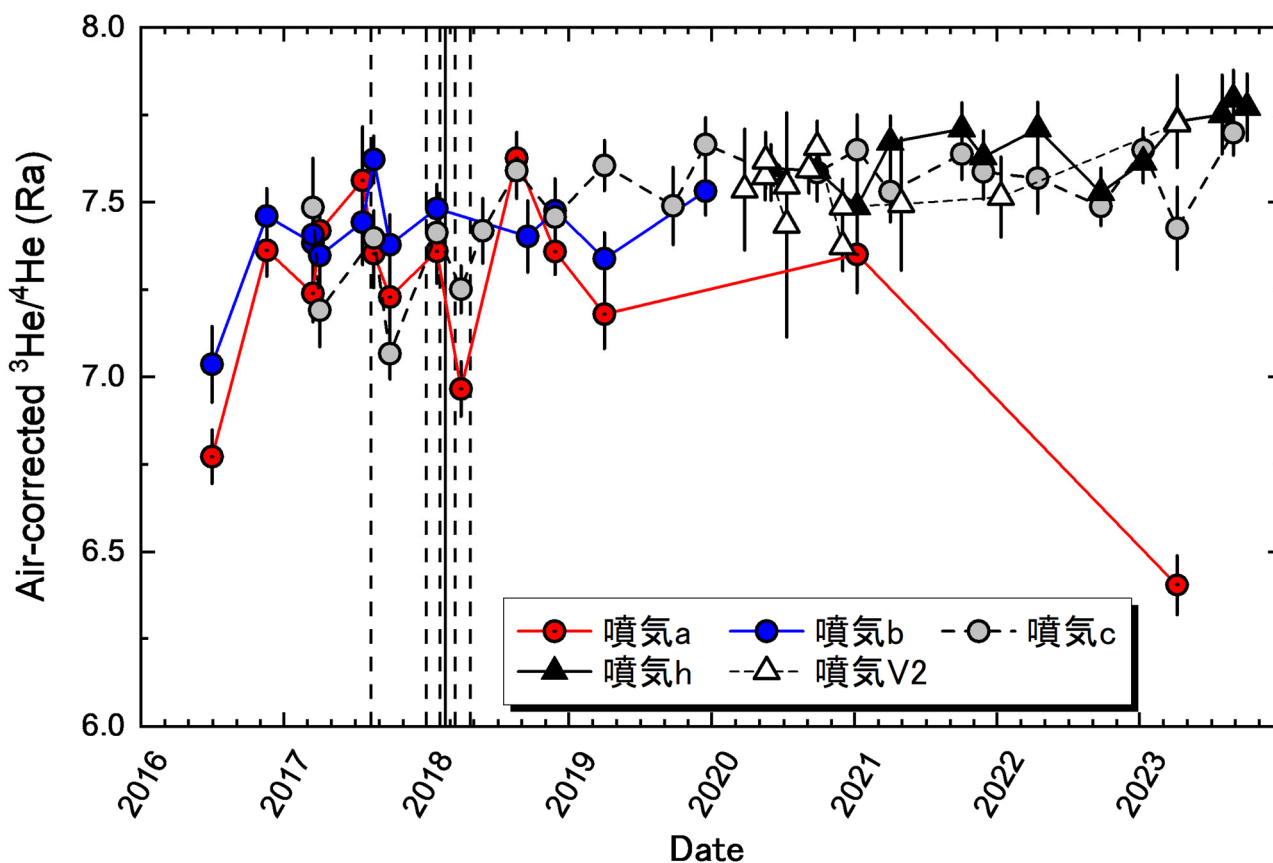
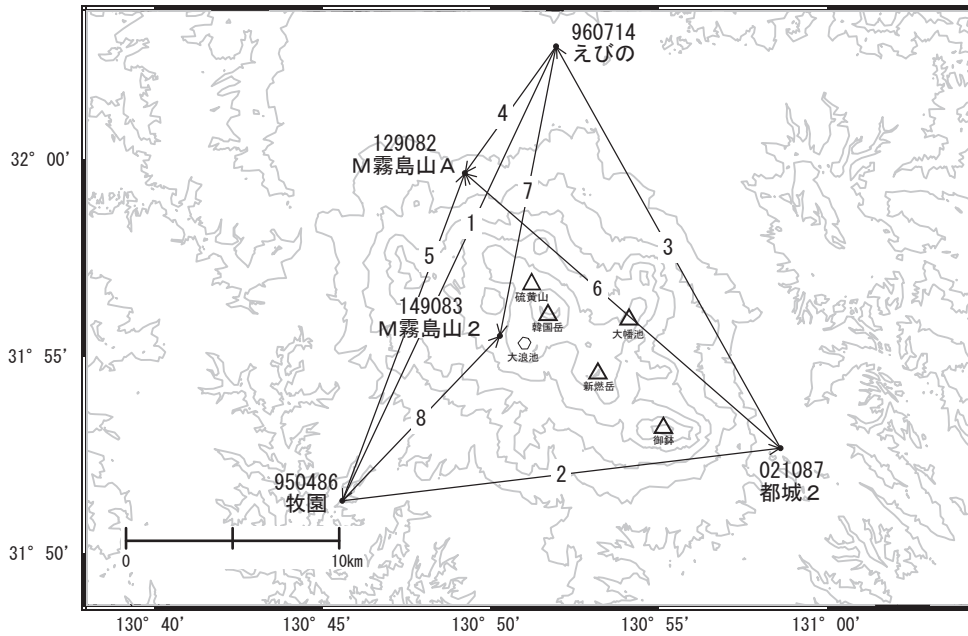


図 2. 硫黄山の噴気 (a, b, c, h, V2) における $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み）の経時変化。エラーバー（ 1σ ）は、測定誤差と大気ヘリウム混入の補正に伴う誤差を含む。点線は新燃岳における噴火を、実線は硫黄山における噴火を示している。

霧島山

G N S S連続観測結果では、顕著な地殻変動は見られません。

霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(1)

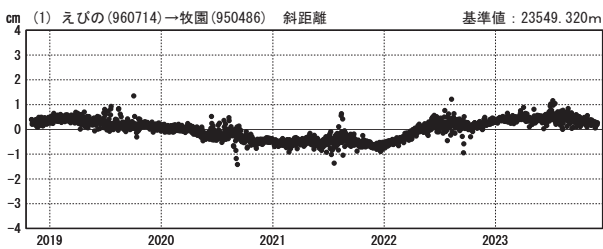


霧島山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
950486	牧園	2023-01-30	アンテナ更新・受信機更新
960714	えびの	2019-10-04	受信機更新
021087	都城2	2021-01-25	受信機更新

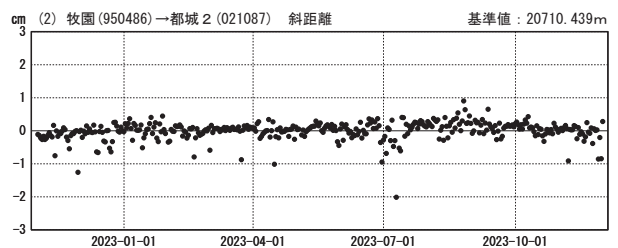
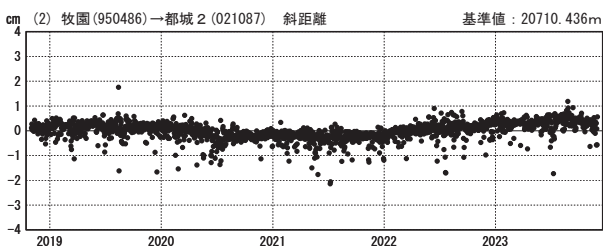
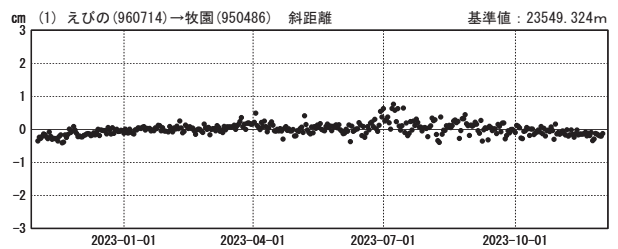
基線変化グラフ(長期)

期間: 2018-11-01~2023-11-30 JST



基線変化グラフ(短期)

期間: 2022-11-01~2023-11-30 JST



●---[F5:最終解] ○---[R5:速報解]

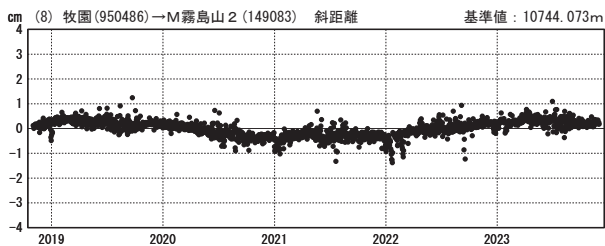
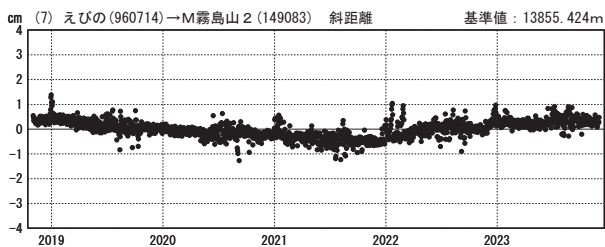
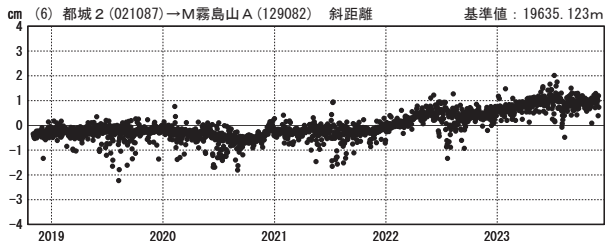
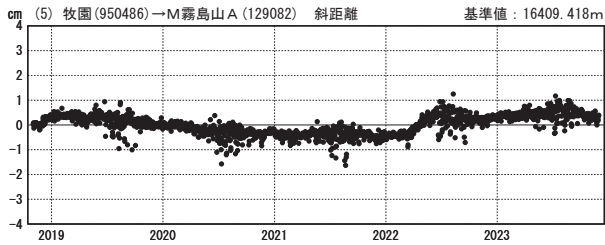
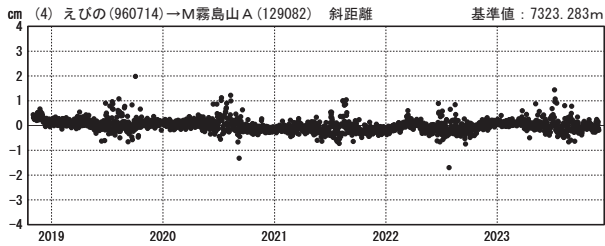
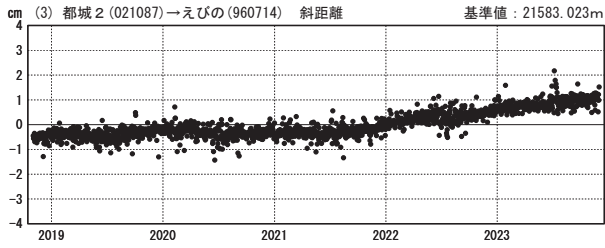
国土地理院

※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

霧島山

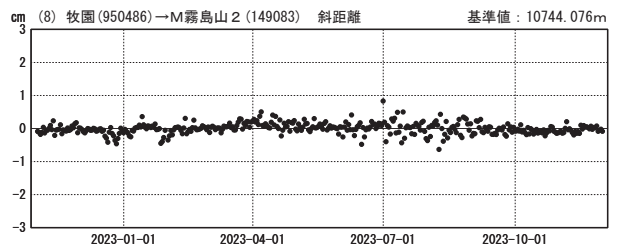
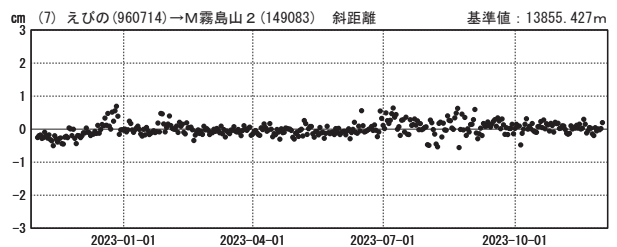
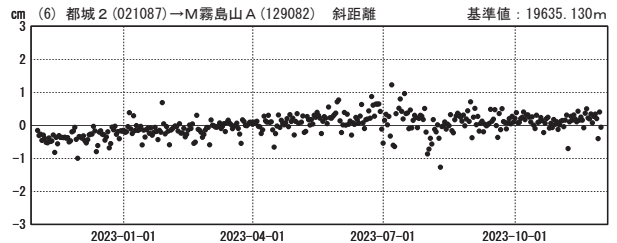
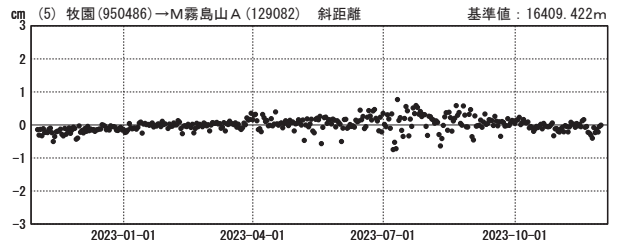
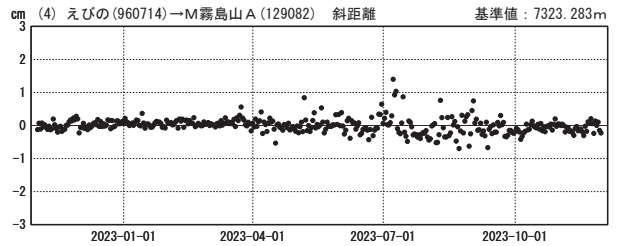
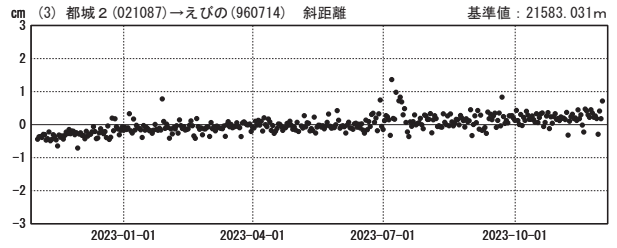
基線変化グラフ（長期）

期間：2018-11-01~2023-11-30 JST



基線変化グラフ（短期）

期間：2022-11-01~2023-11-30 JST



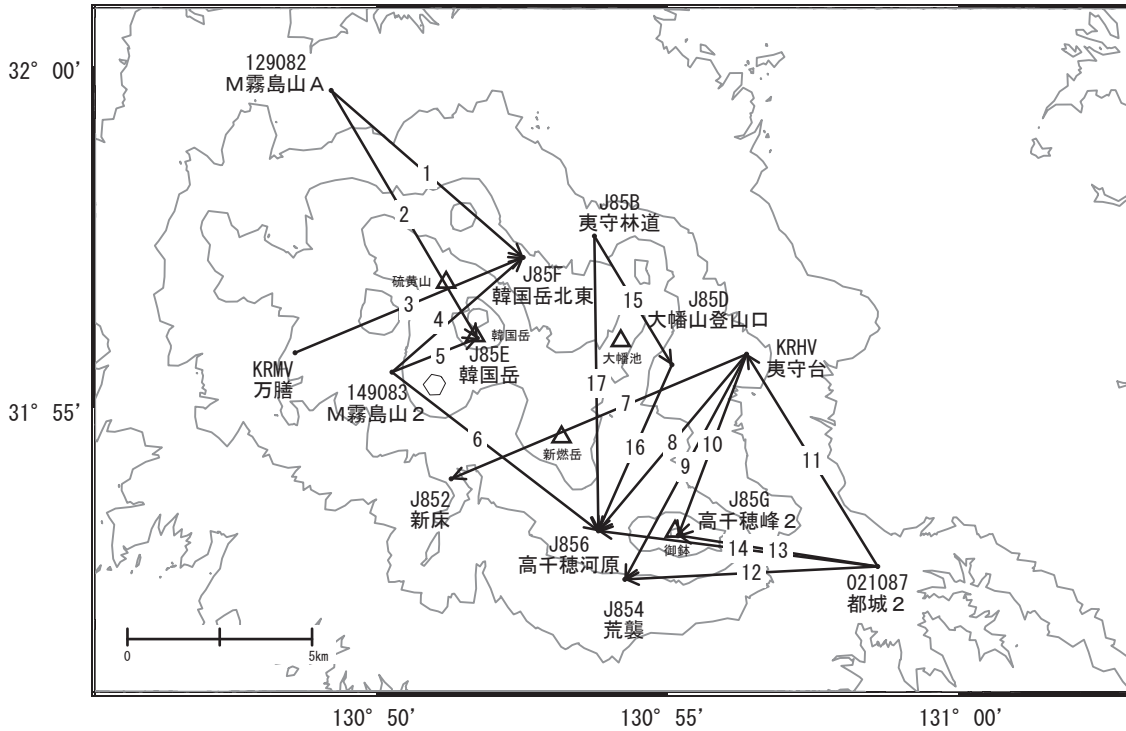
●---[F5:最終解] ○---[R5:速報解]

国土地理院

※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

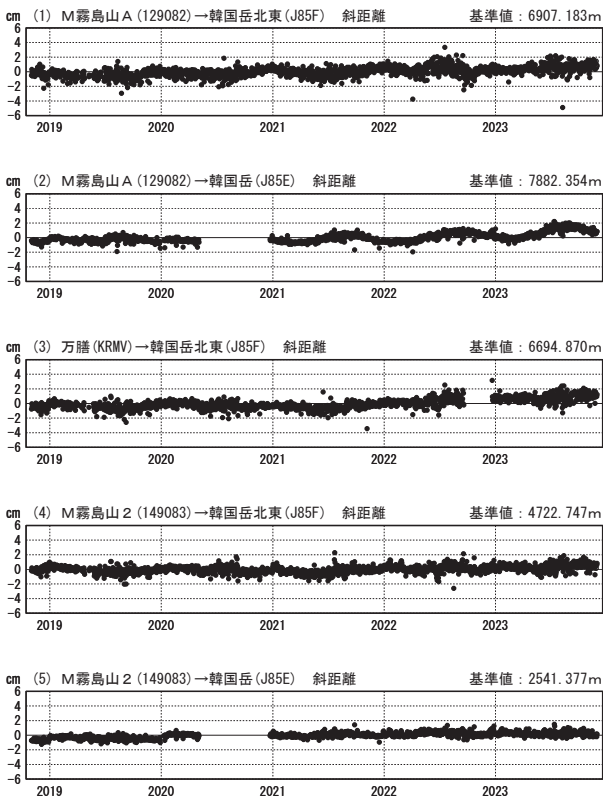
霧島山

霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(2)



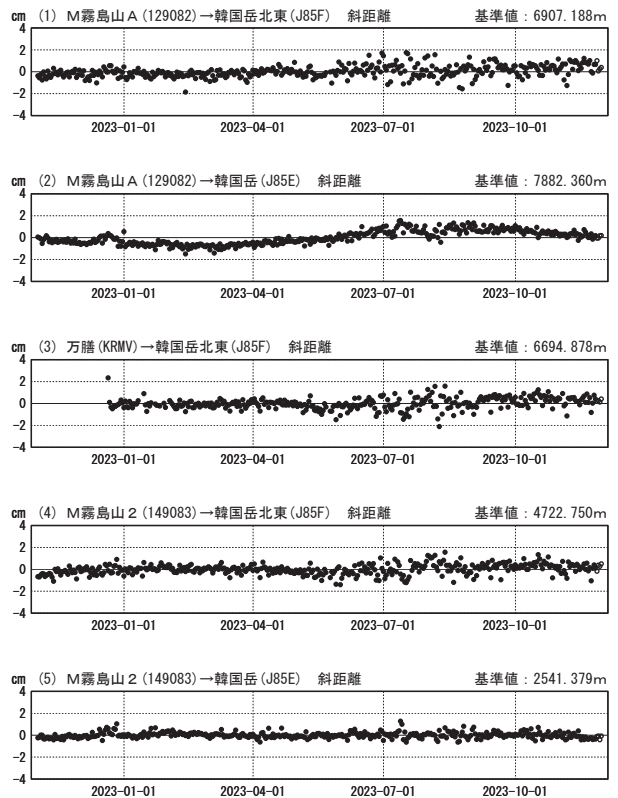
基線変化グラフ(長期)

期間: 2018-11-01~2023-11-30 JST



基線変化グラフ(短期)

期間: 2022-11-01~2023-11-30 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

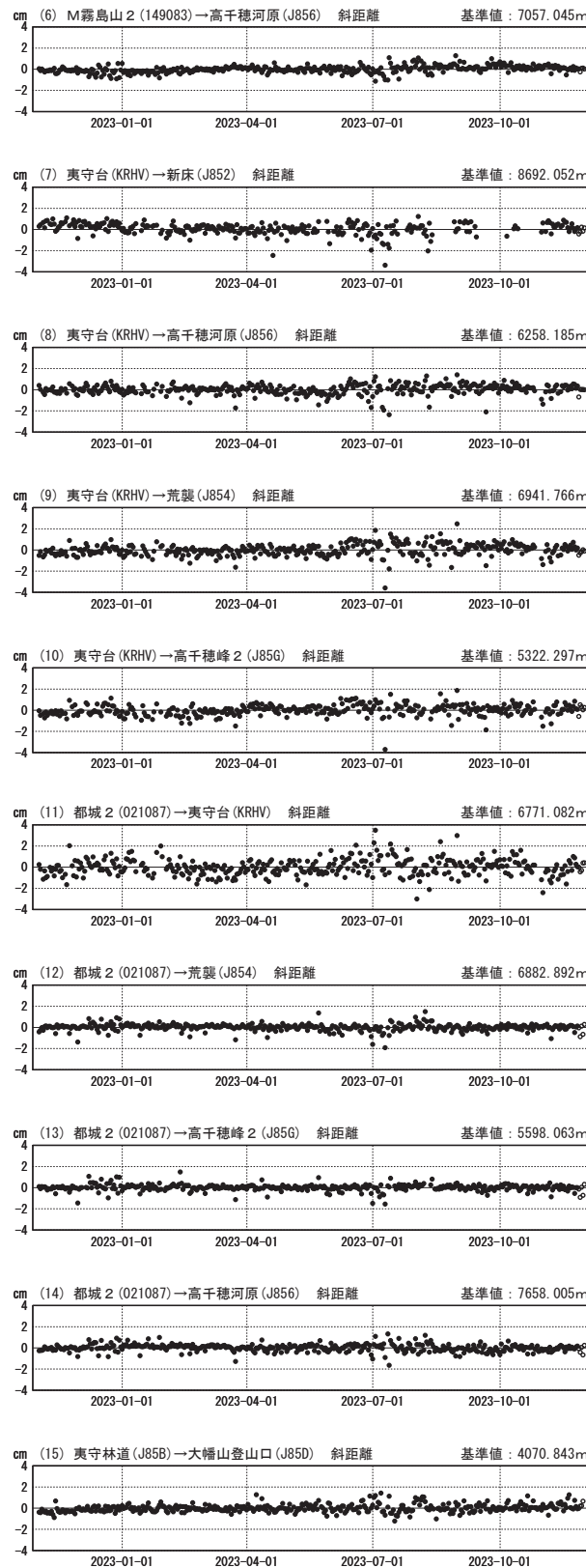
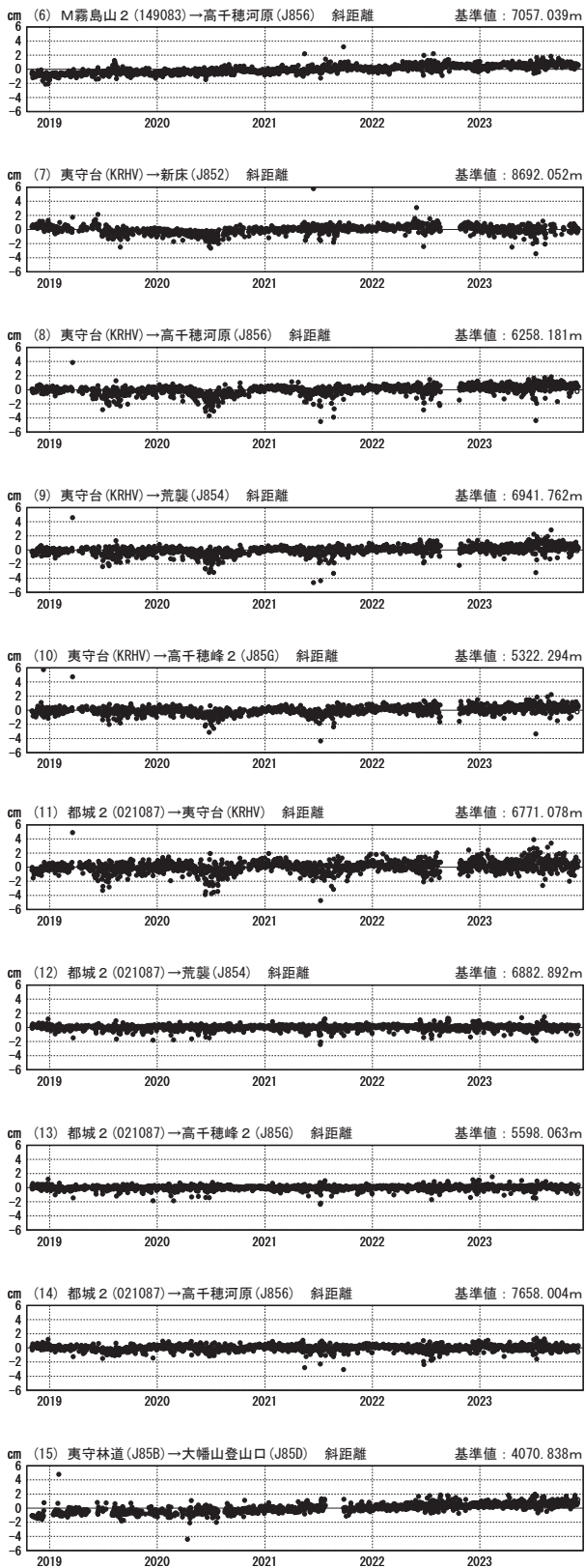
霧島山

基線変化グラフ（長期）

基線変化グラフ（短期）

期間：2018-11-01～2023-11-30 JST

期間：2022-11-01～2023-11-30 JST



●---[F5:最終解] ○---[R5:速報解]

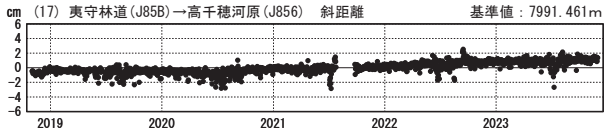
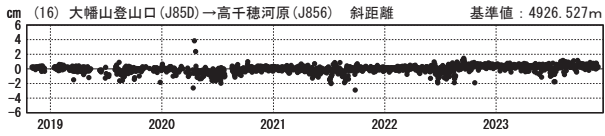
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

霧島山

基線変化グラフ（長期）

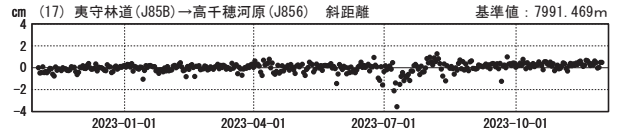
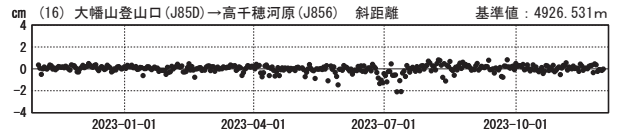
期間：2018-11-01～2023-11-30 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

基線変化グラフ（短期）

期間：2022-11-01～2023-11-30 JST

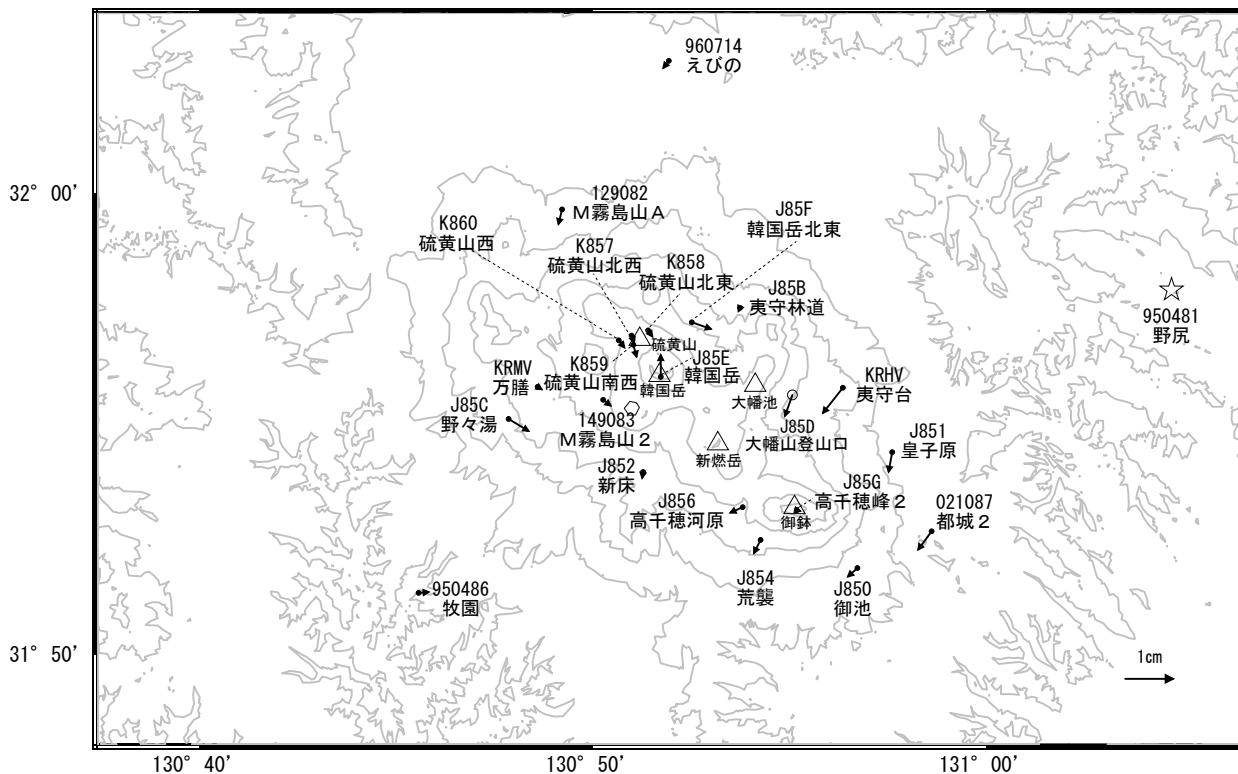


国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

霧島山周辺の地殻変動(水平:3か月)

基準期間:2023-08-21~2023-08-30[F5:最終解]
比較期間:2023-11-21~2023-11-30[F5:最終解]

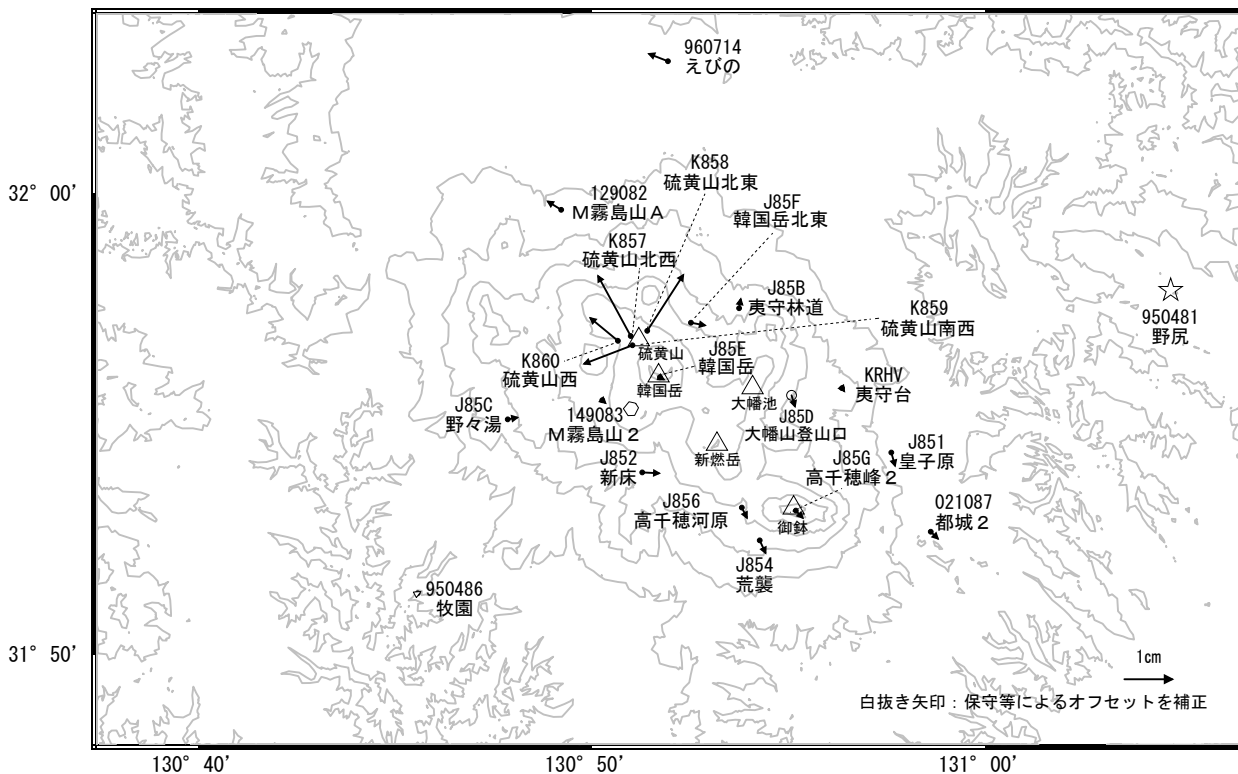


☆ 固定局:野尻(950481)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

霧島山周辺の地殻変動(水平:1年)

基準期間:2022-11-21~2022-11-30[F5:最終解]
比較期間:2023-11-21~2023-11-30[F5:最終解]

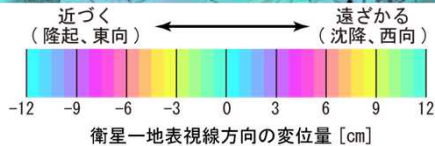
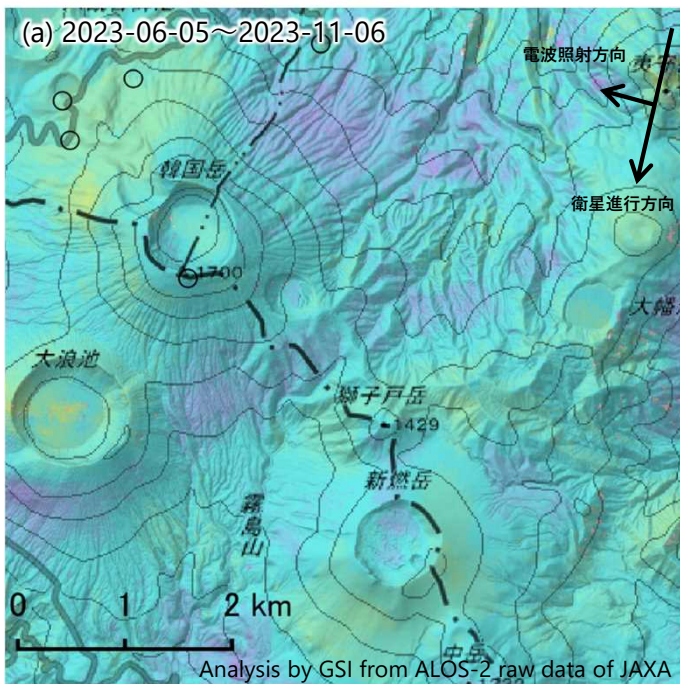


☆ 固定局:野尻(950481)

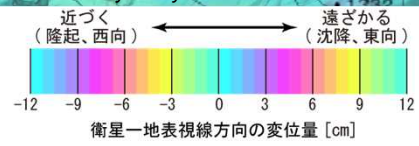
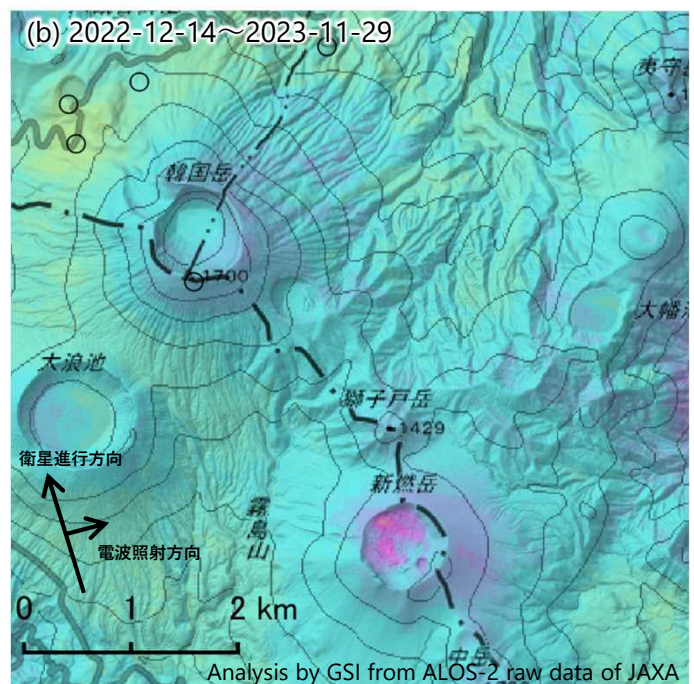
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

霧島山のSAR干渉解析結果について

(b)では、新燃岳火口内に衛星から遠ざかる変動が見られます。

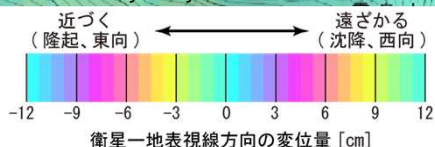
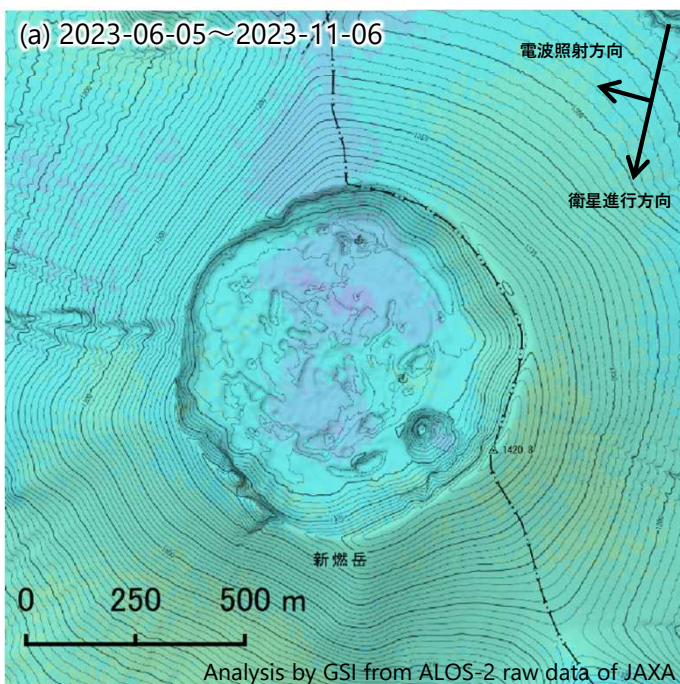


背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

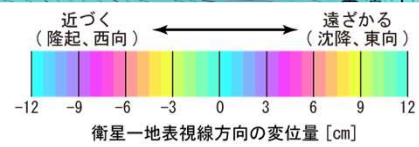
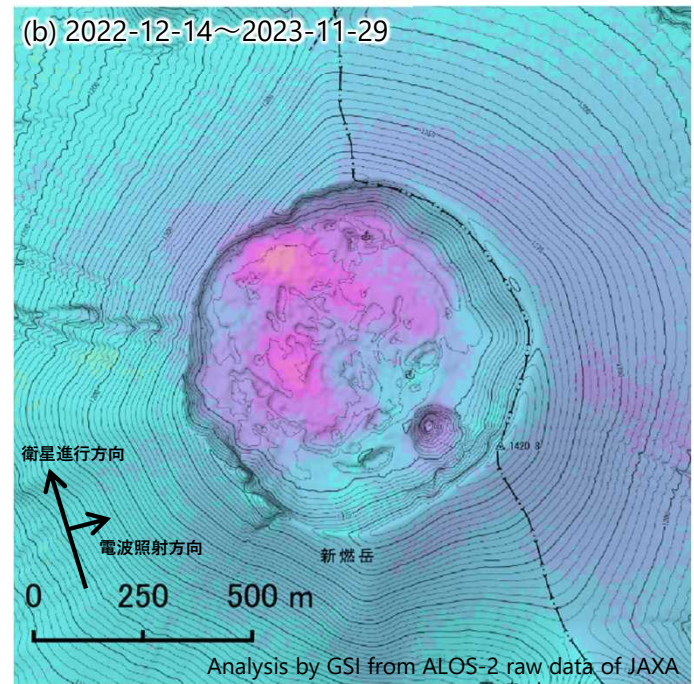


○ 国土地理院以外のGNSS観測点

【新燃岳の拡大図】

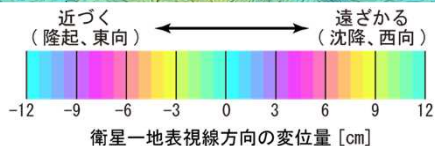
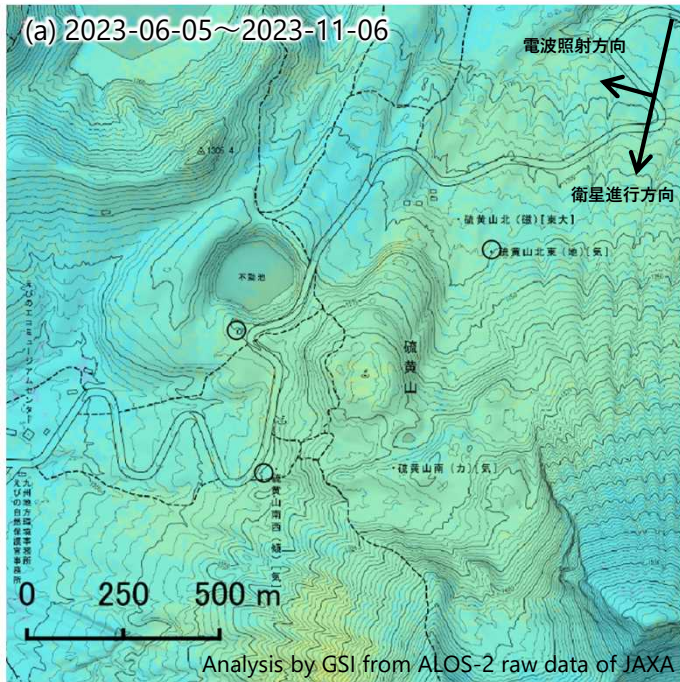


背景：地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

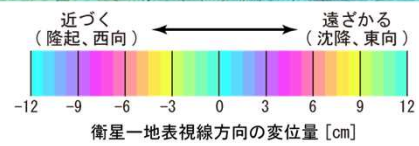
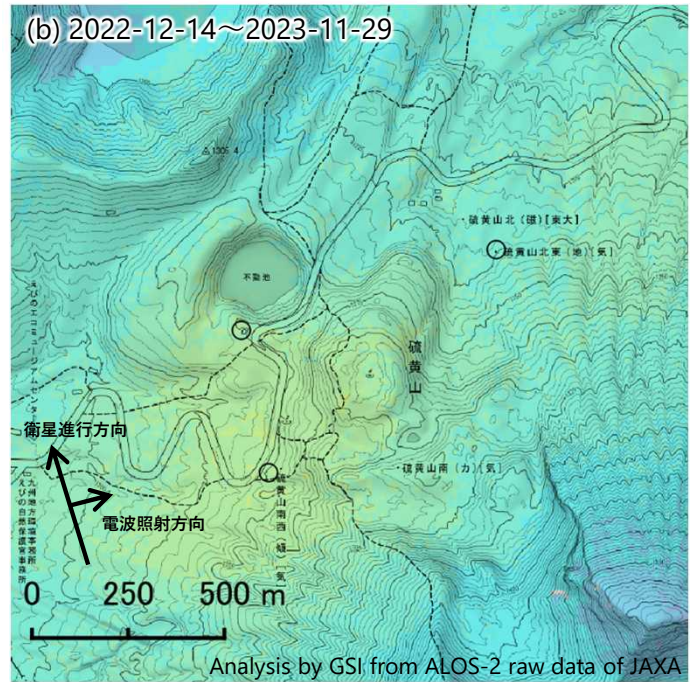


霧島山

【硫黄山の拡大図】



背景：地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図



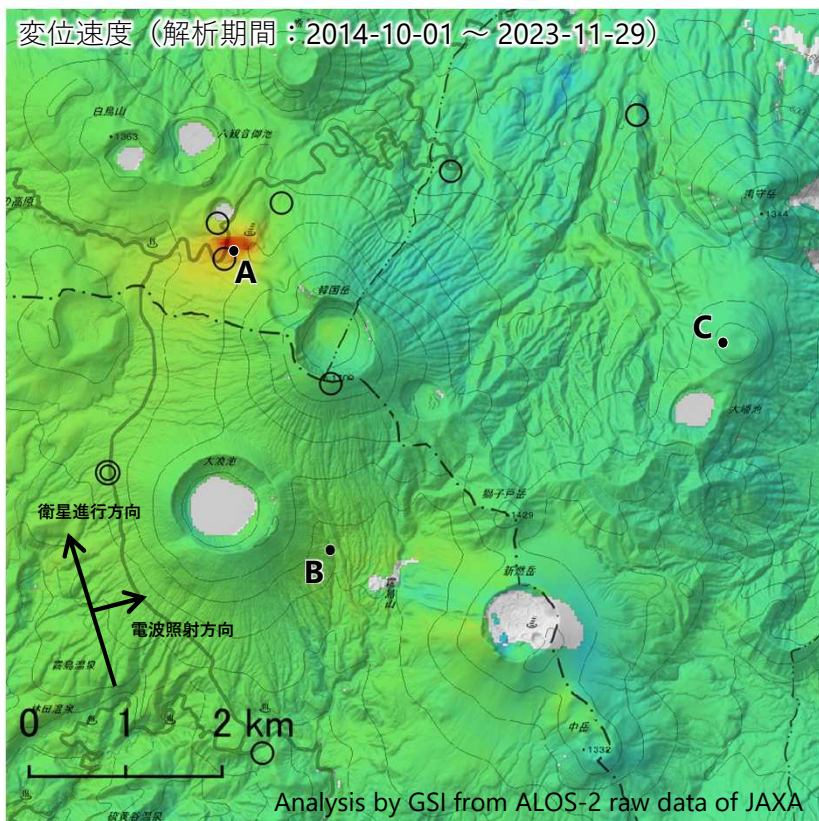
○ 国土地理院以外のGNSS観測点

	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2023-06-05 2023-11-06 12:19頃 (154日間)	2022-12-14 2023-11-29 0:19頃 (350日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	U-U
入射角	35.5°	42.9°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 338 m	+ 144 m

* U：高分解能(3m)モード

霧島山の干渉SAR時系列解析結果（北行）

硫黄山の地点A周辺に、衛星に近づく変動が見られます。

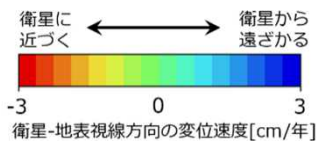


衛星名	ALOS-2
観測期間	2014-10-01 ~ 2023-11-29 (3346日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右(東)
観測モード*	U
入射角	42.9°
偏波	HH
データ数	51
干渉ペア数	192

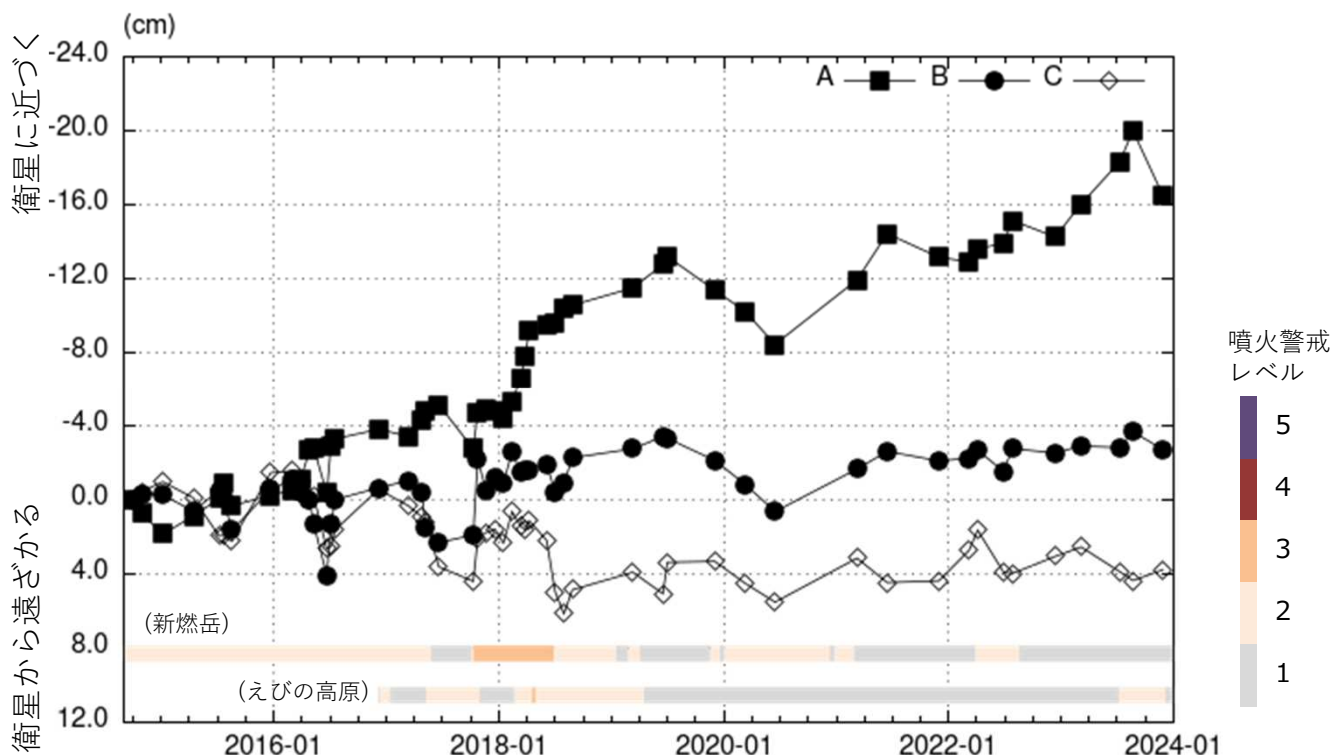
* U: 高分解能(3m)モード

◎ 国土地理院GNSS観測点

○ 国土地理院以外のGNSS観測点



背景: 地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図 ※参照点は電子基準点「牧園」付近
干渉SAR時系列解析手法: SBAS法



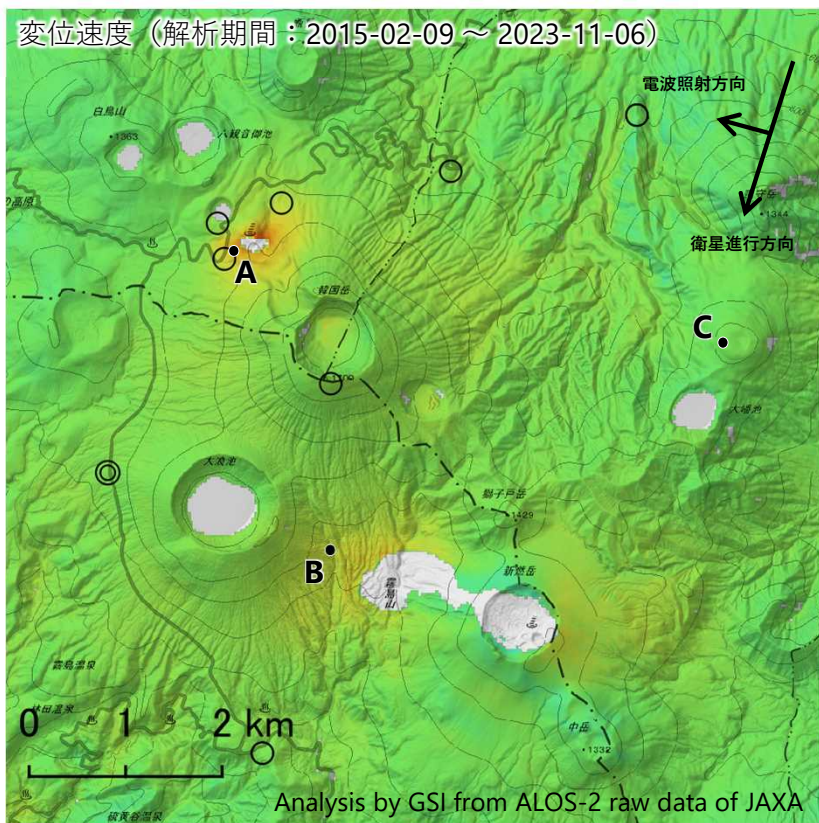
地点A・B・Cにおける衛星-地表視線方向の変位の時系列

霧島山

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。

霧島山の干渉SAR時系列解析結果（南行）

硫黄山の地点A周辺に、衛星に近づく変動が見られます。

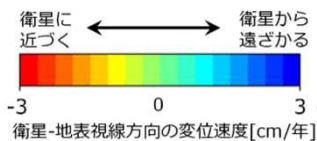


衛星名	ALOS-2
観測期間	2015-02-09 ~ 2023-11-06 (3192日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U
入射角	35.5°
偏波	HH
データ数	59
干渉ペア数	323

* U: 高分解能(3m)モード

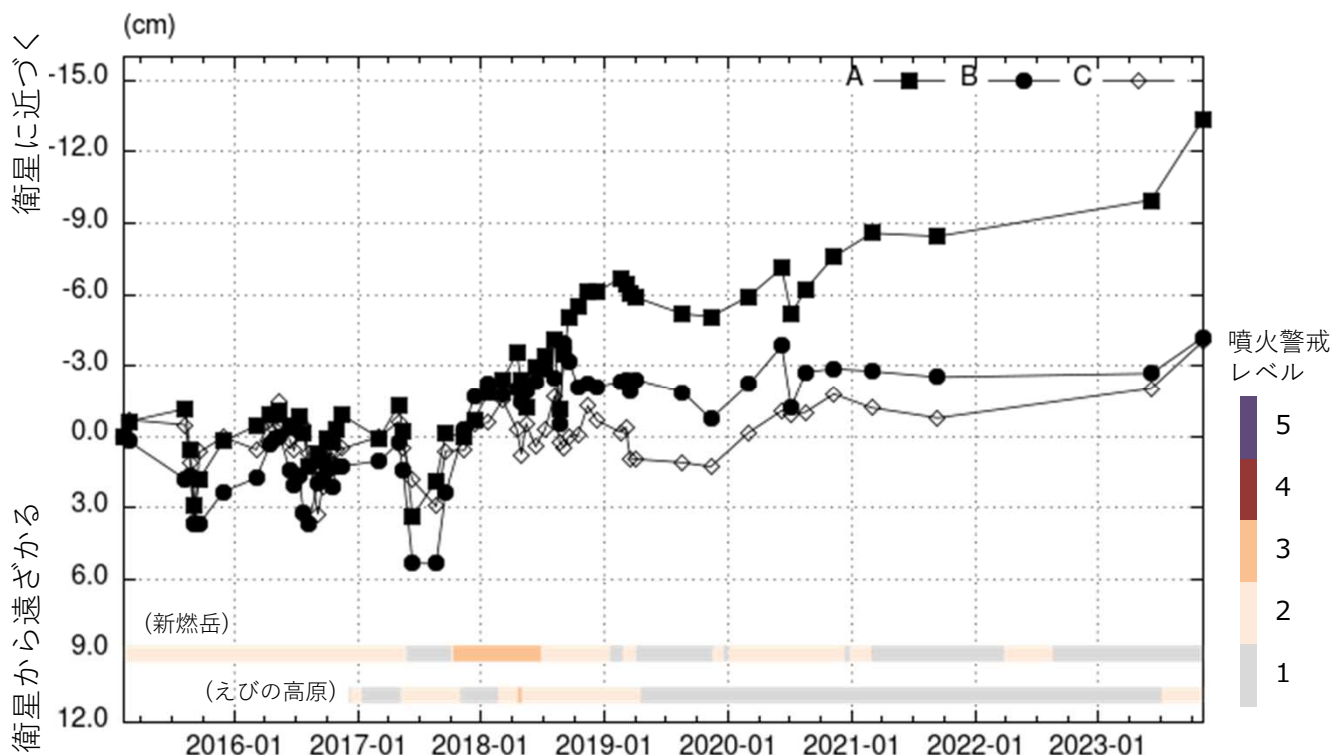
◎ 国土地理院GNSS観測点

○ 国土地理院以外のGNSS観測点



背景: 地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図 ※参照点は電子基準点「牧園」付近

干渉SAR時系列解析手法: SBAS法

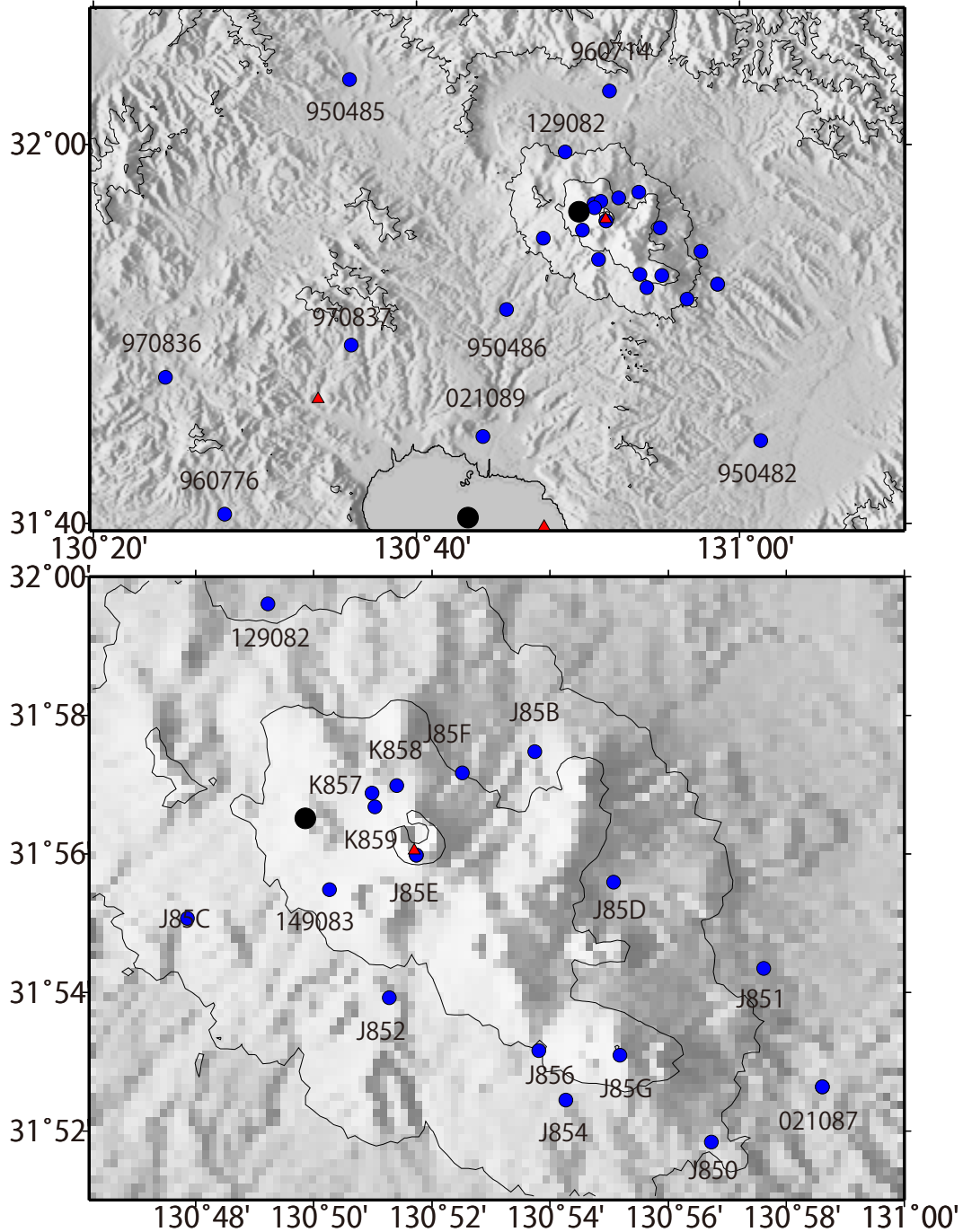


地点A・B・Cにおける衛星-地表視線方向の変位の時系列

霧島山

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。

霧島の茂木ソースの位置と体積変化
 時間依存のインバージョン解析
 2023年後半から膨張

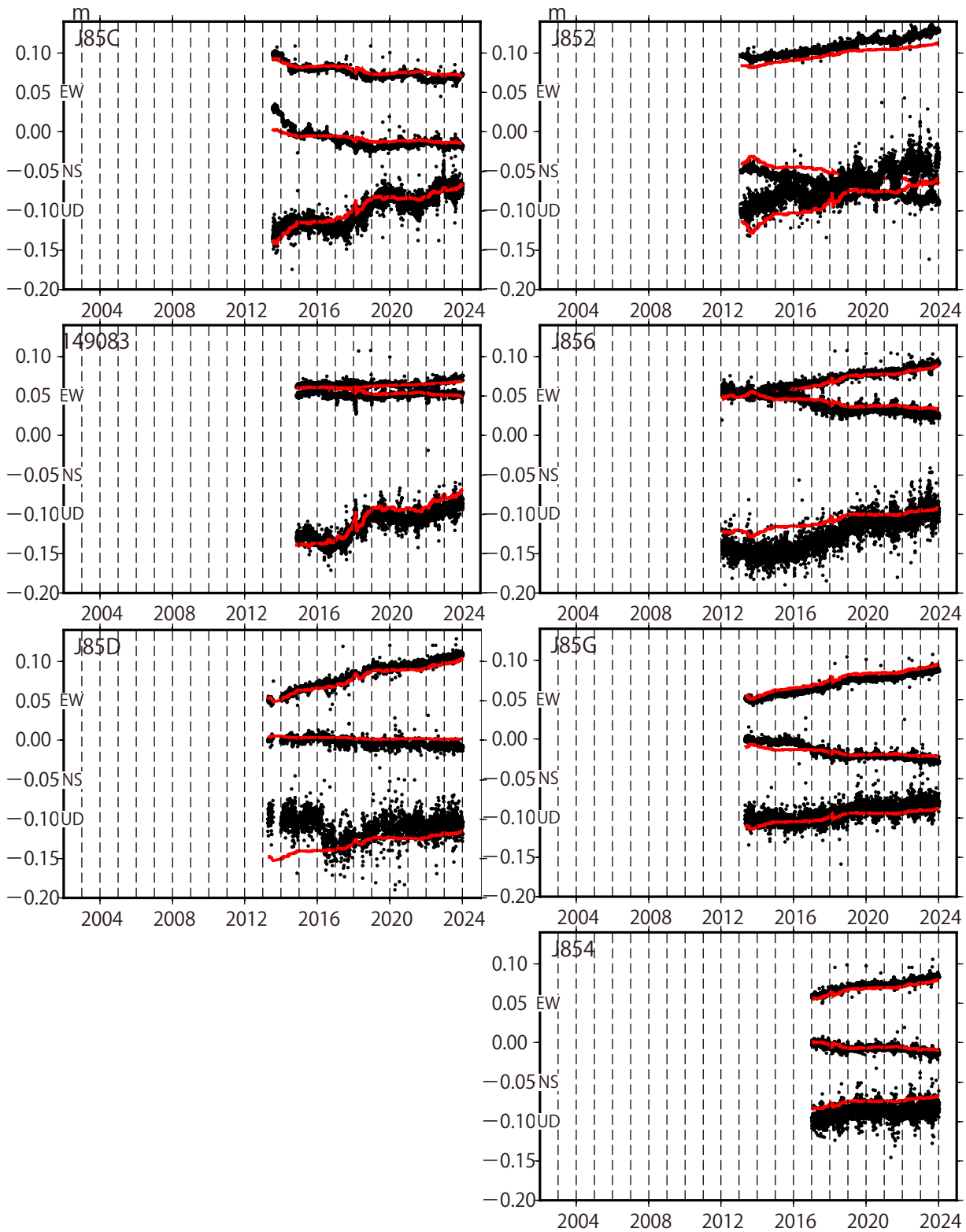


茂木ソース: 緯度 31.94 経度 130.83 深さ 7.6km

*電子基準点の保守等による変動は補正済

霧島・桜島周辺の観測点の座標時系列(黒丸)と計算値(赤線)

時間依存のインバージョン

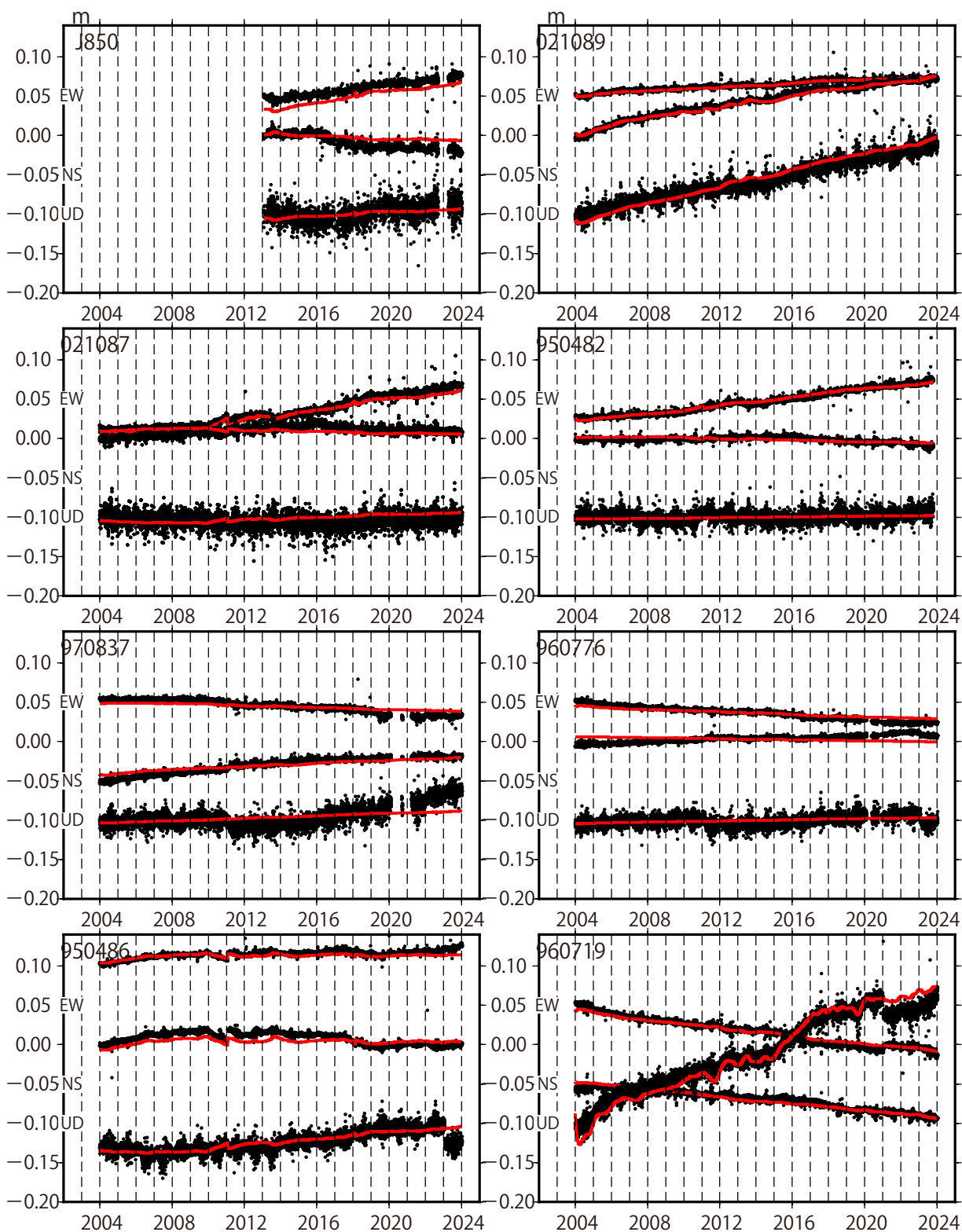


固定局970836.EW,NS,UDは東西、南北、上下変動.周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

霧島・桜島周辺の観測点の座標時系列(黒丸)と計算値(赤線)

時間依存のインバージョン

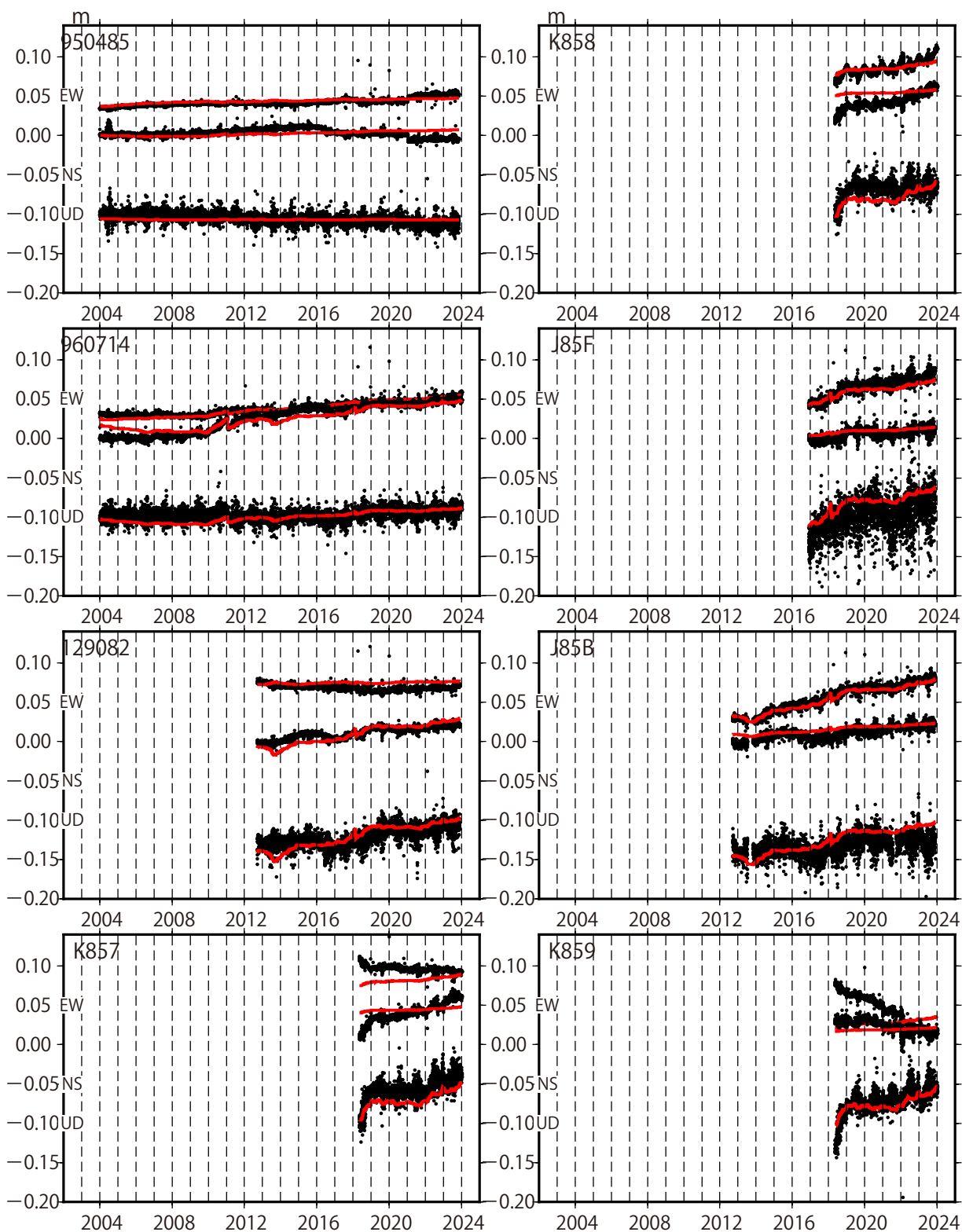


固定局970836.EW,NS,UDは東西、南北、上下変動.周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

霧島・桜島周辺の観測点の座標時系列(黒丸)と計算値(赤線)

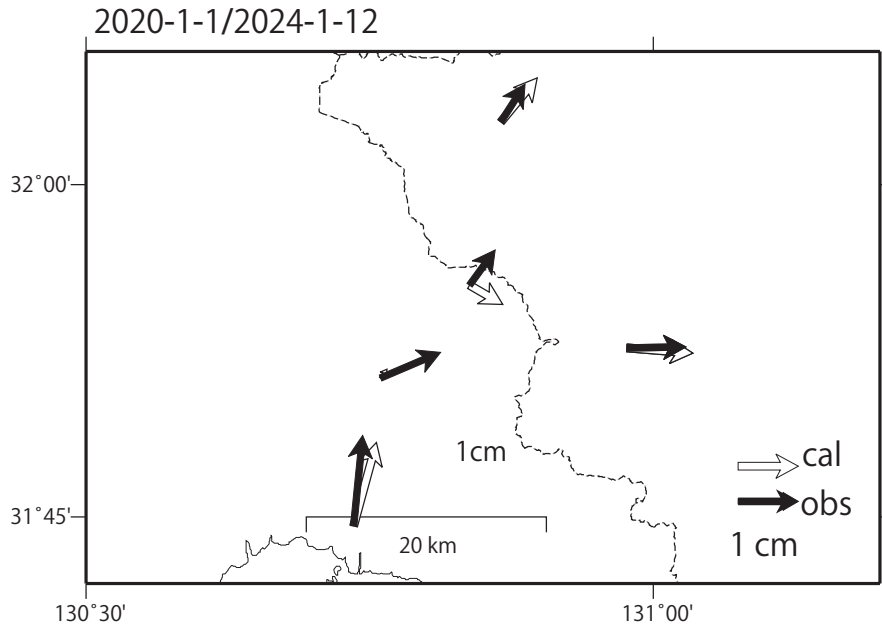
時間依存のインバージョン



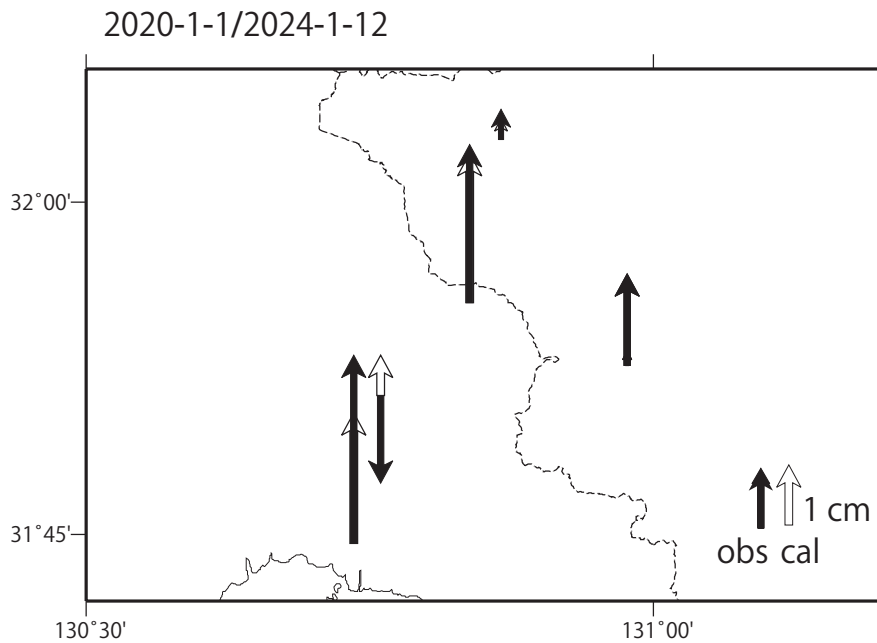
固定局970836.EW,NS,UDは東西、南北、上下変動.周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

霧島山の周辺の地殻変動（観測値(黒)と計算値(白)の比較)
水平



上下



霧島えびの高原硫黄山噴気の化学組成(2015年12月～2023年10月)

Chemical composition of the fumarolic gases at Ebinokogen Iwoyama volcano, Kirishima, Japan (From Dec. 2015 to Oct. 2023)

1. 概要

えびの高原硫黄山では2023年6月から10月にかけて、噴気孔c、hで採取した火山ガスの SO_2/CO_2 比は低下した。同期間において、火山ガスに含まれる H_2O の酸素同位体比は、噴気孔cで停滞し、噴気孔hで低下した。火山ガスの組成に基づくと、えびの高原硫黄山の火山活動はやや沈静化していると推定される。

2. 噴気の採取・分析

硫黄山の山頂付近の噴気孔a、b、c、h(図1)で噴気を繰り返し採取・分析した。噴気a、bは2019年以降、放出の勢いが著しく低下し、採取そのものがない場合があったが、2023年6月5日の時点で、噴気aの放出量が増加したため、採取を実施した。2023年10月27日は、噴気孔cとhで採取を行った。

噴気を採取するために、金属チタン管を噴気孔に差し込み、管と孔の隙間を砂などで注意深く塞いだ。次にチタン管にゴム管を接続し、ゴム管の出口を真空ガラス瓶のコックに接続した。真空ガラス瓶にはあらかじめ高濃度のアルカリ性水溶液(KOH) 20mlを封入した。真空ガラス瓶のコックを慎重に開けることにより火山ガスをアルカリ性水溶液に吸収させた。真空瓶を用いた採取とは別に、安定同位体比の測定のために噴気を水冷したガラス二重管に通し、凝縮水を採取した。また、 SO_2 と H_2S の分別定量のためヨウ素溶液を噴気で洗気し、試料として持ち帰った。

3. 結果・考察

噴気の SO_2/CO_2 比を図2に示す。噴気cとhでは、2023年6月から10月にかけて SO_2/CO_2 比が低下した。噴気の $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比を図3に示す。噴気c、hで2023年6月から10月にかけて、わずかに $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比が上昇した。噴気に含まれる H_2O の酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}$)を図4に示す。噴気hでは2020年7月は-14.2‰と低く、その後上昇し、2023年6月には+4.0‰に達したが、10月には+2.7‰に低下した。この変化は、噴気hにおいてマグマ起源 H_2O の寄与が相対的に低下したことを示唆している。噴気cの酸素同位体比は、2020年7月から2023年10月にかけて低い値を維持した。噴気cの酸素同位体比は、2018年4月の水蒸気噴火前の2018年3月28日に-3.3‰という高い値を示している。2023年10月の-14.8‰という低い値は、火山ガスに含まれる水蒸気の一部が、地表近くで凝縮したことを示唆している(Ohba et al., 2021)。

図5に、噴気の $\text{SO}_2\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{S}$ 三成分組成を示す。この三成分図では、左下の SO_2 の頂点に近づくほど、マグマ起源成分の影響が強くなり、頂点の CO_2 に向かう変化は、マグマ性ガスと地下水間の相互作用増大が原因であると解釈される。噴気hとcで、2023年6月から10月にかけて頂点の CO_2 に向かう動きが観測された。この変化は、マグマ性ガスに対する地下水の影響が増加したことを反映していると考え

られる。

4. 謝辞

本研究実施のために、文部科学省次世代火山研究推進事業（課題B3）の研究費を使用しました。福岡管区気象台は安全確保のために調査実施中に硫黄山の地震活動をモニタリングして下さいました。ここに記して心より感謝いたします。

5. 文献

T Ohba, M Yaguchi, U Tsunogai, M Ito, R Shingubara (2021) Earth Planets and Space (2021)
doi:10.1186/s40623-021-01405-4

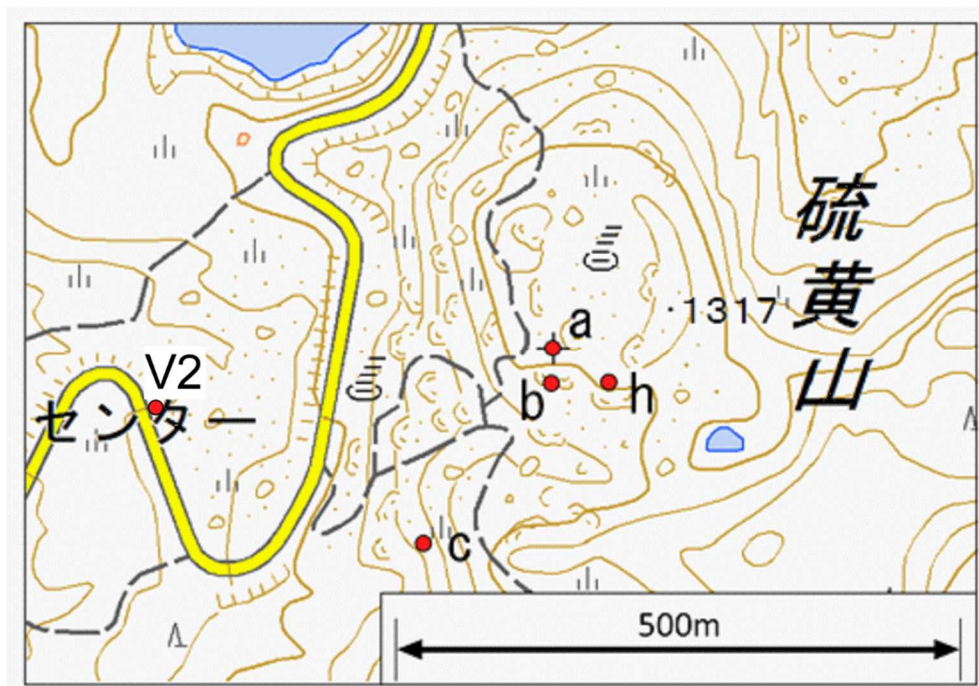


図1 硫黄山噴気 a、b、c、h、V2 の位置（背景の地図として、国土地理院 1/25000 地形図を使用した）

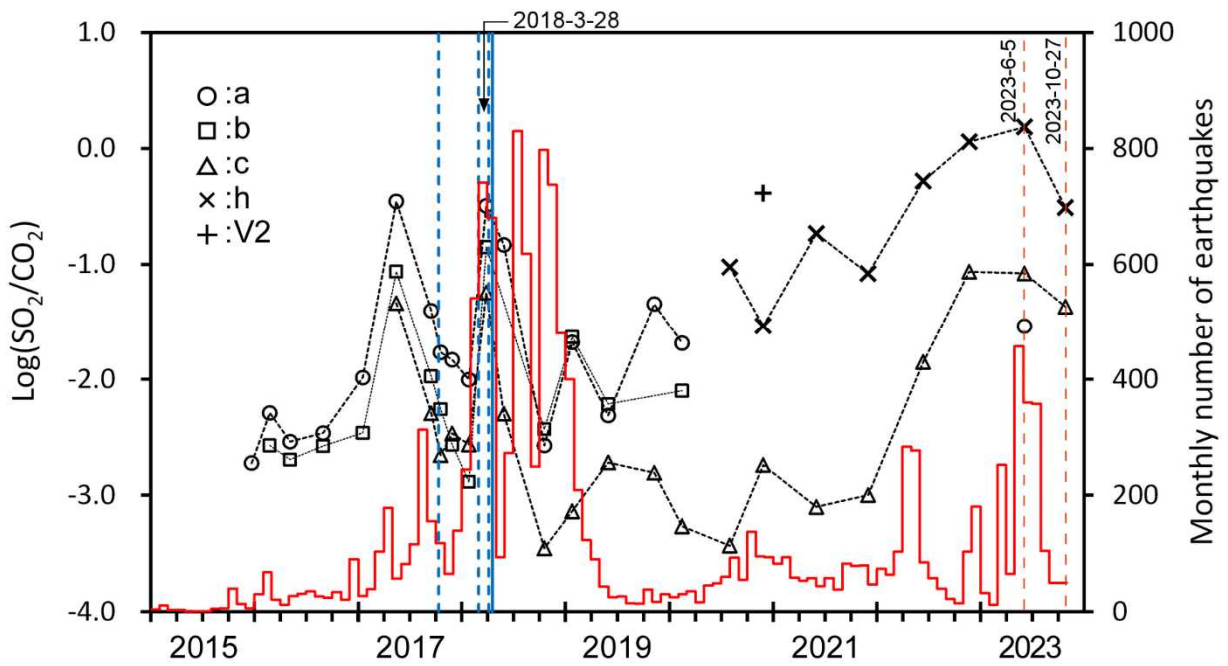


図2 SO₂/CO₂ 比の時間変化（赤線は気象庁による月別地震回数、青の実線は硫黄山における噴火、青破線は新燃岳における噴火を示す）

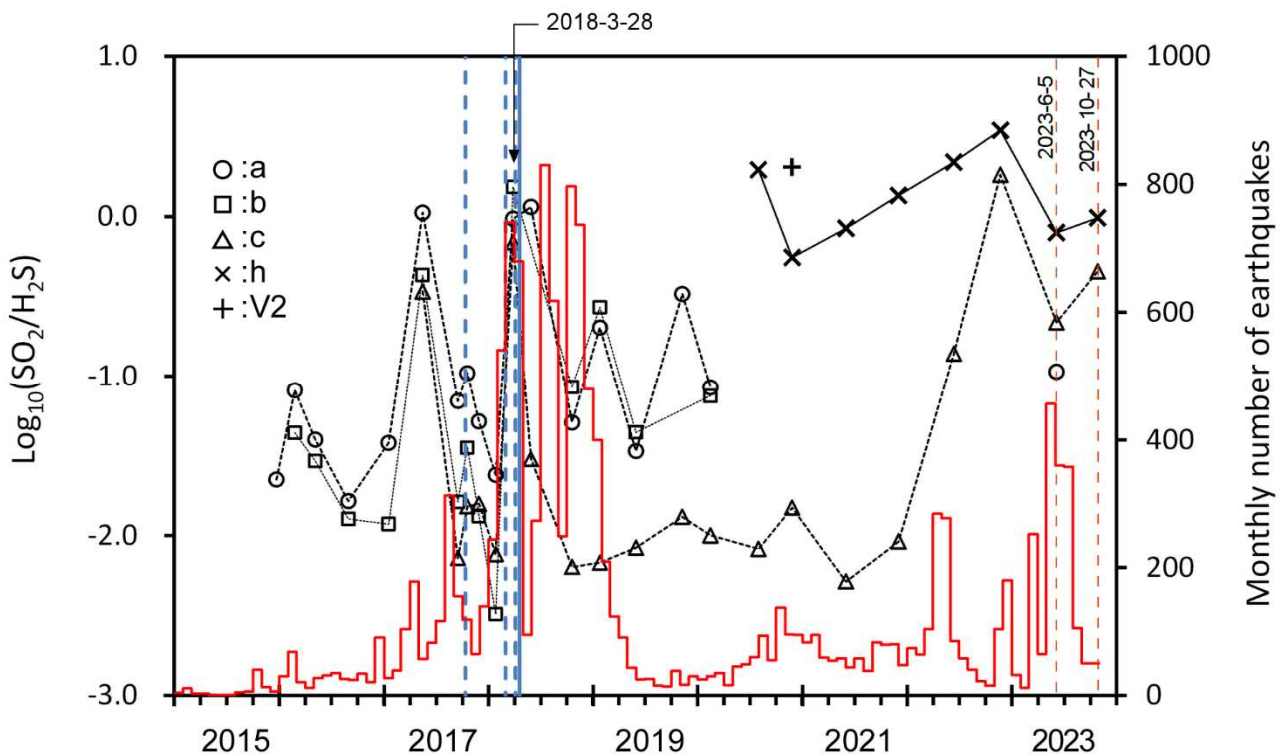


図3 SO₂/H₂S 比の時間変化（赤線は気象庁による月別地震回数、青の実線は硫黄山における噴火、青破線は新燃岳における噴火を示す）

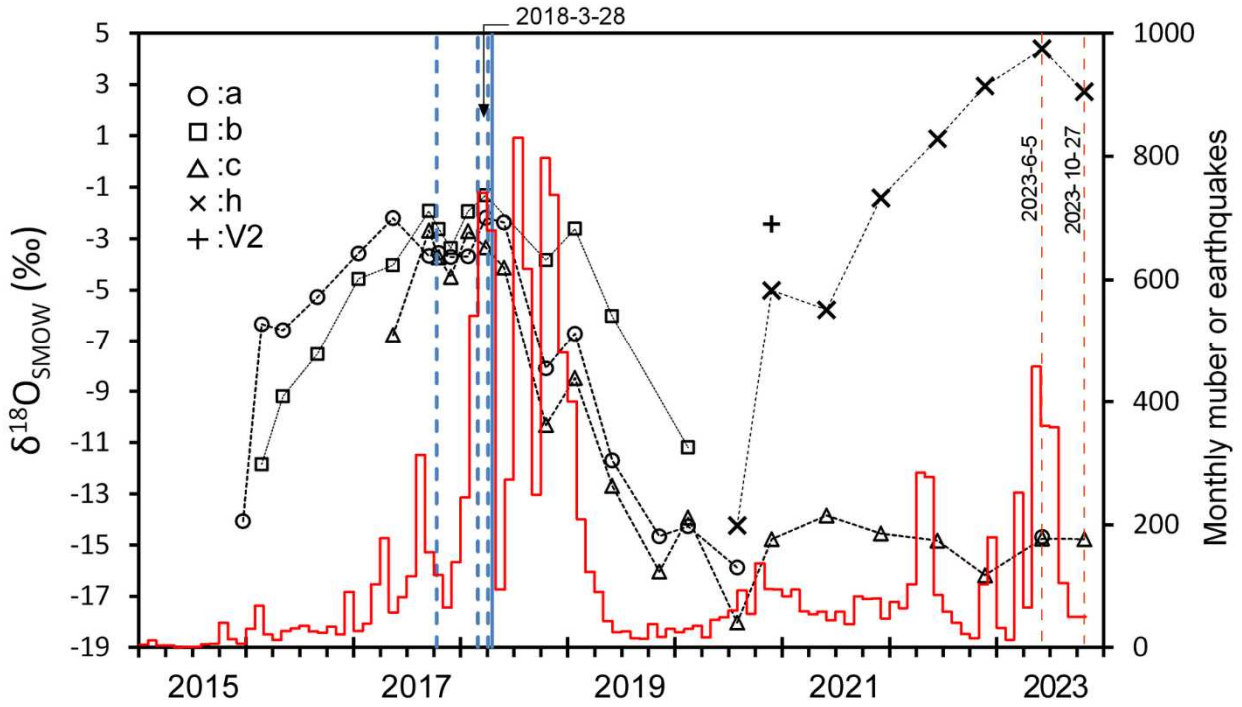


図4 H₂O 酸素同位体比の時間変化（赤線は気象庁による月別地震回数、青の実線は硫黄山における噴火、青破線は新燃岳における噴火を示す）

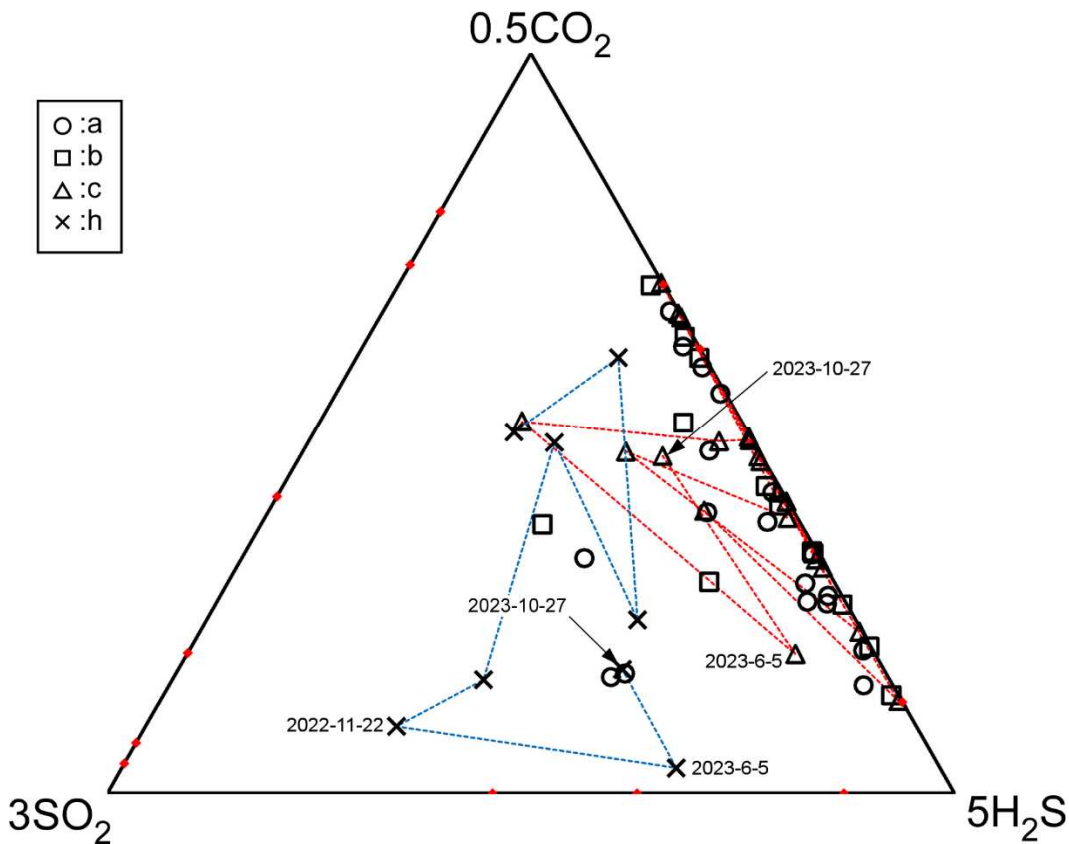


図5 噴気の SO₂-CO₂-H₂S 三成分図

硫黄山南火口における 2022-2023 年に発生した小噴出イベントについて

1. 概要

活発な地熱活動が続いている硫黄山噴気帯(硫黄山南火口)では、2022 年末から 2023 年にかけて度々非常に小規模な噴出イベントが生じた。これらの噴出イベントの中には距離数百 m を超え固形物が飛散した例もあり、極小規模な噴出イベントの多様な活動性を把握する上では重要な現象となる。従って、本報告においてこれら噴出イベントの調査結果の概要をまとめ報告する。

2. 硫黄山南火口及び周辺における噴出イベント

2-1. 2022 年 11 月 18/19 日の噴出イベント

第 151 回火山噴火予知連絡会では、Y2b 火口に噴出物を伴う小湯だまり孔の再形成が生じたことを報告した。Y2b 火口では 2022 年 10 月に湯だまりがほぼ消失したが、その後 12 月調査時に小湯だまり孔が形成されていることを確認した(Y2b-v5)。Y2b-v5 の縁にはリング形状の地形的な高まりが形成され、孔縁から高さが外に低くなる噴出物の堆積が見られた。このリング状の高まりは、高解像度監視映像から 11 月 18 日 14 時頃には確認できないが、霧が晴れた翌日の 19 日 14 時頃の映像で確認できたことからこの間に形成されたと推定される(田島・他, 2022)。孔縁周辺の南西側には最大長径約 10 cm の投出岩塊が認められ、放出されたレキは最長約 12 m 距離まで到達した。堆積物の体積は地形形状から約 22 m³と推定した(表 1)。不定方位試料の XRD 分析によって硫黄、クリストバライト、アルナイト、石英、黄鉄鉱を検出した(表 2)。ただし、噴出孔から風に流され拡がる灰状の堆積物は確認できなかった。このことから泥水を主体とする土砂噴出によって形成されたと考えられる。

2-2. 2023 年 3 月 17 日の噴出イベント

Y2b-v5 孔では、2023 年 3 月 17 日 6 時 13 分頃に高解像度監視映像によって高さ 20 m を超える土砂噴出が生じたことが捉えられた。Y2b-v5 孔から周囲約 4 m は新たに砂礫が堆積し暗色に着色され、孔縁より 1.5m の地点で堆積物の厚さは 4 cm であった。また、Y2b-v5 の南側では孔縁から約 8 m の距離まで長径約 10 cm の投出岩塊(南西側に 7.7 m 距離に長径 11 cm 岩塊)が確認でき、降レキも最大 15 m の距離まで見られた。噴出後の調査によって泥質灰が Y2b-v5 より北側に 50 m を超える距離まで堆積していることを確認したが 100 m には達していなかった(図 2)。3 月 17 日の噴出物の体積は等層厚線図から区間積分法(宝田・他, 2001)を用い約 19 m³と推定した。不定方位試料の XRD 分析によって硫黄、クリストバライト、石英、アルナイト、石膏、黄鉄鉱(表 2)が検出された。映像による噴出現象の確認、10cm 径の岩塊投出、50 m 超距離の泥質灰の堆積より、爆発的な土砂噴出が生じていたと考えられる。

2-3. 2023 年 9 月後半の噴気塔形成・溶融硫黄流出イベント

硫黄山南火口 Y2a では湯だまりが消失し活発な噴気活動が続いていたが、6 月前半から Y2a 火口周辺域が鮮やかな黄色に着色し噴気中への硫黄混入量が増加した可能性が示唆された。9 月には Y2a 火口の下段孔 (Y2a-v1 孔: 図 3) 孔底に高さ 2.5~3 m (目測) の噴気塔 (増渕, 2013) の形成とそこから流出する溶融硫黄を確認した。高解像度監視映像から、噴気塔は 9 月 15 日から 27 日の間に成長し始めたと推定される。また、溶融硫黄は噴気塔の複数箇所から流出し多くは黒色 (固結後黄色) だったが、一部にはやや褐色の溶融硫黄も見られ褐色溶融硫黄は 124~160 °C の可能性 (Theiling, 1982; Inostroza et al., 2023) が考えられた。溶融硫黄の流出は Ya2-v1 以外にも Y2a 火口の上段孔 (Y2a-v2 孔), Y2a-v2 北側孔壁などの複数箇所から生じており、それぞれの箇所で複雑な形状の噴気塔が形成されていた。また、10 月 25 日に Y2a-v2 北側孔壁において黒色溶融硫黄の直接測定を行いその温度は 118.1°C であった。同時期の H 孔の噴気温度が 119.5 °C (9 月 28 日), 119.0 °C (10 月 26 日) であったことから β 硫黄が溶融したと推定される。

2-4. 2023 年 10 月 8 日の噴出イベント

9 月後半から成長した Y2a-v1 孔の噴気塔は、高解像度監視映像から 10 月 8 日夕方まで確認できるが 9 日朝には上部が消滅した。同時に 9 日には Y2a-v1 孔から拡がる黒色噴出物が堆積しており何らかの噴出現象が生じた (図 2)。現地調査では、この噴出物は砂状の灰色堆積物として確認でき、堆積範囲は Y2a-v1 孔を中心に東西に 130 m 程度に伸びた楕円分布形状をしていた (図 4, 図 5)。Y2a-v1 孔北西の登山道沿い木柵の木杭下面及び側面には噴出物の付着・堆積が見られ、本噴出に伴い水平の流れ現象が生じていたと考えられる。偏向した堆積面調査から Y2a-v1 孔を中心に拡がる流向結果が得られた。火口直近地点の観測機器の保護プラスチックや被服物に変色や溶融は見られず、支柱の傾きもないことから緩やかかつ低温の流れが生じたと推定される。火口南側の高い位置にある気象庁カメラ地点においても堆積が認められ上空からの降灰も生じた。本噴出物の体積は等層厚線に基づく区間積分法から約 26 m³ と推定される (表 1)。本噴出物は主に灰色球状硫黄 (Ikehata et al., 2019) から構成され、その中に僅かに黄色球状硫黄 (大井上, 1921) 等が含まれ (図 6)、噴出物の不定方位試料の XRD 分析においてもほぼ硫黄 (93%) から構成され、石英、アルナイトを含有することを確認した (表 2)。堆積物は Y2a-v1 孔底噴気塔付近で最大厚となり、構成物はほぼ球状硫黄から構成されることより、溶融硫黄を起源とした噴出現象 (硫黄噴出) とそれに伴う水平方向の流れ現象が生じたと考えられる (Oct-8 硫黄灰)。地震・空振解析では 10 月 8 日 17~21 時頃に低周波パワーの増加が見られ、この時間帯に噴出した可能性がある。

2-5. 2023 年 10 月 10 日の噴出イベント

10 月後半の調査では、Y2a 火口の北東域に Oct-8 硫黄灰とは異なる黄緑色の堆積物を確認した。黄緑色灰は、火口近傍では気象庁地磁気観測地点の機器上やポールに、遠方では火口から 600 m の旧露天風呂近くの気象庁観測地点において堆積していた (図 4)。さらに旧露天風呂から東側の県道 1 号のガードレール支柱に白粒の点在が確認でき、その最大距

離は火口から約 1.3 km であった。ガードレール支柱の白粒密度から推定される分布軸は、Y2a 火口～県道間の調査による軸位置とも一致し一連の現象によるものと推定される。この黄緑色灰は Y2a 火口直近では堆積物としても確認でき、灰色 Oct-8 硫黄灰（層厚 1 cm）の上位に 0.7 cm の黄緑色の灰として堆積していた（図 5）。地震・空振解析では、10 月 10 日 8 時台より Y2a 付近を波源とする高周波なシグナルが観測され、本噴出物は Oct-8 硫黄灰の上位にあることと粒子形状が大きく異なることより（図 6）、10 月 10 日噴出によって生じた堆積物（Oct-10 硫黄灰）と考えられる。噴出物の体積は定量観測点が少なく不明であるが、堆積状況より 10 月 8 日の硫黄灰体積より小規模であったと考えられる。不定方位試料の XRD 分析によって硫黄（97%）と石英が検出された（表 2）。

2-6. 2023 年 11 月 27/28 日の噴出イベント

12 月 1 日に H 孔周辺で新たな泥質物堆積の情報があり、12 月 6 日に現地調査を実施した。泥質物は H 噴気孔を中心に北東方向に約 100 m 拡がっており（図 7）、巨石上にも堆積が見られたことより上空より降下した噴出物と推定される。堆積物は灰色を呈する泥質物からなり、調査時には水分を多く含む泥であった。また、投出岩塊・レキの飛散は見られなかった。高解像度監視映像から 11 月 27～28 日間に H 孔周辺に灰色の着色域が生じておりこの間に噴出したと推定される。本噴出物の体積は等層厚線に基づく区間積分法から約 2 m³ と推定されるが、水分を含む泥試料採取は困難を極め下限値と考えられる。不定方位試料の XRD 分析によって石膏、硫黄、石英、岩塩、黄鉄鉱が検出され石膏（48%）の含有が顕著であった（表 2）。また、調査時に噴気に当たると痛みを伴う刺激があり塩酸ミストが生じていたと推定される。

2-7. 2023 年 12 月 6/7 日及び 12 月 11 日の噴出イベント

12 月 14 日に H 孔周辺で新たな泥質物の堆積を確認し、現地調査を 12 月 28 日に実施した。泥質物は主に Y3 孔を中心に拡がっており、周辺の巨石上に堆積が見られたことより上空から降下した噴出物と推定される。Y3 火口中心部には近づくことが困難であったが、Y3 孔から 5～6 m の地点では投出岩塊・レキは見られなかった。現地調査からこの噴出物は 250 m 以上の距離まで堆積したと推定されるが、堆積後に生じた積雪のためそれ以上の追跡は困難であった。この噴出物に関して高解像度監視映像の分析から 2 回のイベントが推定された。始めに 12 月 6 日の夕方の映像から Y3 孔周辺の地表は黄色がかった黒色となっておりそれ以前と変化は見られなかった。しかし翌日の 7 日の午前 6 時代の写真には Y3 孔の周辺域に光沢のある灰色の新たな堆積物が見られた。従ってこの間に噴出現象が生じたと推定される。しかしこの時には H 孔周辺に堆積は見られず、12 月 14 日の観察事実と異なっている。また 2 日夕方の後の 4 日朝に Y3・Y2a-v2 周辺では地面がやや暗色に変色しているが映像みられるが不明瞭で確かなことは言えない。さらなる高解像度監視映像解析から Y2a-v2 孔周辺では 11 日 10 時 43 分の映像に新たな堆積物は見られなかったが、11 時 9 分の映像には新たな堆積物が生じていた。なお、11 時 9 分の写真には H 孔周辺に泥が堆積している様子も確認でき、この間に H 孔周辺への泥堆積が生じたと考えられる。この新しい泥は

明らかに Y2a-v2 孔周辺に堆積しており, Y2a-v2 では強い噴気が生じていた. 従って, 12 月 11 日噴出は Y2a-v2 孔から生じたと言える. また 12 月 12 日の午後に旧露天風呂から韓国岳方向に 500 m 程の調査を行った際のズボンへ泥が付着し, これは 12 月 11 日の噴出の影響と推定される. これらの噴出に伴う噴出物の堆積域の調査結果を示すが 2 回の噴出現象を合せた結果である (図 8). 不定方位試料の XRD 分析によって硫黄, 石英, アルナイト, クリストバライト, 石膏, 黄鉄鉱, 岩塩が検出された (表 2). なお変色域がやや北に膨らんでいるのは Y2a-v2 孔からの H 孔方向への噴出の影響と推定される. 2 回の噴出物の体積は, 噴出量が多いと推定される Y3 孔を中心として等層厚線図から区間積分法を用い約 55 m³ と推定したが (表 1), 他の結果に比べ精度は劣ると考えられる.

3. 2022-2023 年の噴出イベントについて

2022~2023 年には, 2022 年 12 月・2023 年 3 月の噴石を伴う土砂噴出, 2023 年 10 月の硫黄噴出, 2023 年 11 月以降の泥噴出が生じた. 2021 年 12 月頃から H 孔噴気温が 100°C を超えるようになり 2022 年 6 月前半の小ピーク後, 一旦温度が下がるが, 2022 年 11 月 18/19 日の噴出後に急上昇する. これら噴出現象が生じている間の H 孔の噴気温はほぼ 110°C 以上であり, H 噴気孔の温度傾向は C1/HSO₄ 比の傾向とほぼ一致している (図 9). 従って, 高 C1/HSO₄ 比や H 孔温度が 100°C を超える様な時には湯だまりやジェット噴気孔周辺での小噴出を生じさせるポテンシャルがあると考えられる.

また, 各噴出時やその前には降雨が生じていた. 従ってこれらの噴出イベントと降雨との関係を整理した (図 10). 降雨データは気象庁のアメダスのえびの高原もしくは小林のデータを用い, 概ね 1 日前からの期間を検討した (気象庁ホームページ). 2022 年 11 月 18/19 日の Y2b-v5 での噴出イベントは, 噴出イベントが生じたと考えられる時間帯に降雨が生じており, 19 日の 8 時~13 時頃に弱いながらピークが見られる (図 10a). 2023 年 3 月 17 日の Y2b-v5 での噴出イベントは, 噴出イベントと同日に降雨が見られるが, この降雨は 17 日 20 時以降に生じたものであり, 噴出イベント前・中に降雨は生じていなかった (図 10b). 2023 年 10 月 8 日の Y2a-v1 での硫黄噴出時には, 10 月 8 日 2 時頃から降雨量が多くなり 7~8 時に雨量 10 mm/h のピークとなった. 噴出イベント自体は, 17 時過ぎから低周波シグナルが観測され始め降雨のピークからは 10 時間ほど遅れている. 降雨は 8 日にはほぼ終わり, 10 月 10 日の Y2a-v2 での噴出イベント前に降雨はほぼなかった (図 10c). なおこの時はえびの高原のアメダスが故障しており小林のデータを用いた. 次に, 2023 年 11 月 27/28 日の H 孔での噴出イベントの際には, イベント発生時間帯の半日~1 日前に弱い降雨が生じていた (図 10d). 12 月 6/7 日の Y3 での噴出イベント直前には, 1 日半~2 日程度前の 5 日 6~11 時に弱い雨が観測されている (図 10e). 2023 年 12 月 11 日の Y2a-v2 での噴出イベントでは, イベント発生の時間帯の 7 時間程前から弱い降雨が生じていた (図 10f). 上記の中で 3 月 17 日の噴出イベントには直前の降雨は見られなかった. それ以外はすべてのイベント前からイベント中に降雨が生じていたが, その関連性は不明である. ただし, 2023 年 10 月 8 日の硫黄噴出イベント直前の降雨は, やや強い雨のピーク後に噴出が

生じており、大湯沼で見られるような球状の黄色硫黄(大井上, 1921)が含まれ球状黄色硫黄は水に関する環境で生成したと考えられる。なお、12月6/7日もしくは11日の噴出イベントの堆積物にも黄色球状硫黄が含まれる。

この他、2023年3月17日噴出イベント前や2023年12月噴出イベント頃前まで、いずれの期間でもH孔において噴気温度の急速な低下が生じおり(図9)、噴気を供給する気道の閉塞の可能性が示唆される。H孔温度低下後の噴出イベントではいずれの噴出物にも石膏(gypsum)が検出され、特に11月27/28のH孔噴出イベントでは噴出物のピーク強度比約50%を占める多量の石膏が検出された(表2)。2023年11月後半~12月の複数イベント前のH孔の急速な温度低下とH孔噴出物に含まれる多量の石膏は、この間に石膏によって気道閉塞が進行した可能性が示唆される。

Cl/HSO₄比等の化学組成やH孔温度からマグマ性の熱水活動が卓越しない間に、噴出イベントは今のところ発生していない。従ってマグマ性の熱水活動が卓越する時は小噴出イベントに留意する必要がある。その間でも降雨との関係を考慮する必要がある。ただし現時点では何がどのように寄与したか不確かであり、今後そのタイミングや要因を詳しく検討する必要がある。噴出イベントによる影響域は、2023年10月8日・10日噴出イベント以外では湯だまり孔やジェット噴気孔から50m程度に多量の泥堆積や降レキが生じている。溶融硫黄流出時の10月8日の噴出イベントでは、約100mの距離まで横方向の流れ現象が到達しておりより高いレベルの注意が必要となる。

【謝辞】

情報通信研究機構(NICT)・東北大には、硫黄山南火口の高解像度監視映像の提供をいただいた。2023年12月1日の調査情報を東京大学角野浩史氏より情報をいただいた。現地調査の際には、安全確保のために気象庁鹿兒島地方気象台に火山活動監視を依頼し、古園俊男氏には現地での監視をお願いした。室内分析では日本工営中央研究所の諸氏にお世話になりました。ここに御礼申し上げます。

【文献】

- Ikehata K, Date M, Ishibashi J, Kikugawa J, Mannen K (2019) Solid sulfur spherules near fumaroles of Hakone volcano, Japan. *Int. J. Earth Sci.* 108, 347-356, doi: 10.1007/s00531-018-1657-z
- Inostroza M, Fernandez B, Aguilera F, Layana S, Walter TR, Zimmer M, Rodríguez-Díaz A and Oelze M (2023) Physical and chemical characteristics of active sulfur flows observed at Lastarria volcano (northern Chile) in January 2019. *Front. Earth Sci.* 11:1197363. doi: 10.3389/feart.2023.1197363
- 気象庁ホームページ: <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>
- 増渕佳子 (2013) 富山県立山地獄で2010年5月に発生した硫黄溶岩流の産状と記載岩石学的特徴. 富山市科学博物館研究報告. 37, 1-9.
- 大井上義近 (1921) 北海道登別温泉大湯沼産硫黄に就いて. *地質学雑誌*, 28, 473-479.
- Tajima, Y., Nakada, S., Maeno, F., Huruzono, T., Takahashi, M., Inamura, A., Matsushima, T. Nagai, M. and Funasaki, J. (2020) Shallow magmatic hydrothermal eruption in April 2018 on Ebinokogen Ioyama volcano in Kirishima volcano group, Kyushu, Japan. *Geosciences*, 10:183.
- 田島靖久・石橋純一郎・鈴木桂子・松島 健・宮本知治 (2022) 硫黄山南火口(Y2b)における湯だまりの再形成と硫黄山噴気帯の活動. 第151回火山噴火予知連絡会資料 霧島山, 41-46.
- 宝田晋治・他 (2001) 有珠火山2000年噴火の降灰と火口近傍の状況. *地質調査研究報告*, 52, 167-179.
- Theilig, E. (1982). A primer on sulfur for the planetary geologist (No. NASA-CR-3594). Germany: NASA.

* 田島靖久・石橋純一郎・松島 健・宮本知治・村松 弾・及川 純

表 1 硫黄山南火口及び周辺で発生した噴出現象の一覧 (2022-2023 年)

日	時	イベント	場所	噴出物体積	レキ等距離
2022年11月18/19日	14時～翌14時の間	土砂噴出	Y2b-v5	22 m ³	12 m
2023年3月17日	6時13分頃	土砂噴出	Y2b-v5	19 m ³	15 m
2023年10月8日	17～21時	硫黄噴出	Y2a-v1	26 m ³	—
2023年10月10日	8時台～	硫黄噴出	Y2a-v2	10/8以下	—
2023年11月27/28日	17時～翌10時の間	泥噴出	H	2 m ³	—
2023年12月6/7日	17時～翌6時の間	泥噴出	Y3	55 m ³	—
2023年12月11日	10:43～11:09の間	泥噴出	Y2a-v2		

表 2 硫黄山南火口及び周辺で発生した噴出物の XRD 分析結果 (2022-2023 年)

Sample nama	S	Qz	Cr	Alu	Gyp	Py	Hal
2022 Nov-18/19 dep.	++++	+	++	++		-	
2023 Mar-17 dep.	++++	+	+++	+	+	-	
2023 Oct-08 dep.	++++	+		+			
2023 Oct-10 dep.	++++	+					
2023 Nov-27/28 dep.	+++	+++			++++	-	-
2023 Dec-6/7 and 11 dep.	++++	++	+	++	+	+	-

S: sulfur, Qz: quartz, Cr: cristobalite, Alu: alunite (soda), Gyp: gypsum, Py: pyrite, Hal: halite. Marks indicate RIR values of the XRD. ++++: $\geq 40\%$, +++: $\geq 20\%$, ++: $\geq 10\%$, +: $< 10\%$, -: $< 1\%$



図 1 硫黄山噴気帯・硫黄山西噴気帯周辺の噴気位置 (2023 年 9 月 28 日)

基図はドローン撮影より図化し, 色調の異なる外側は Google Earth (Google Earth © 2018 ZENRIN 2018)による. 緑破線: 旧火口地形. 黄線: 噴気域. 黄破線: 2018 噴火前に見られた噴気域. 赤線: 2018-火口地形. 赤塗: 噴気・熱水孔. 赤破線は活動が停止. 黄四角: 噴気観測定点, 青四角: 水温観測定点. Tajima et al.(2020)に基づく.

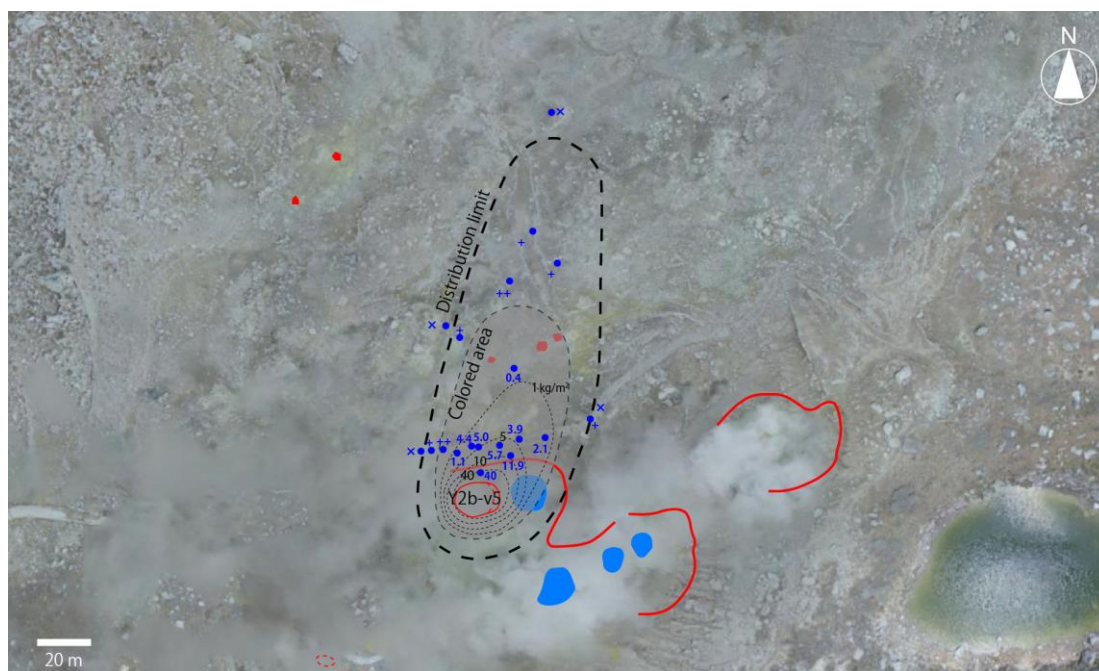


図 2 2023 年 3 月 17 日の Y2b-v5 孔からの噴出物の堆積域

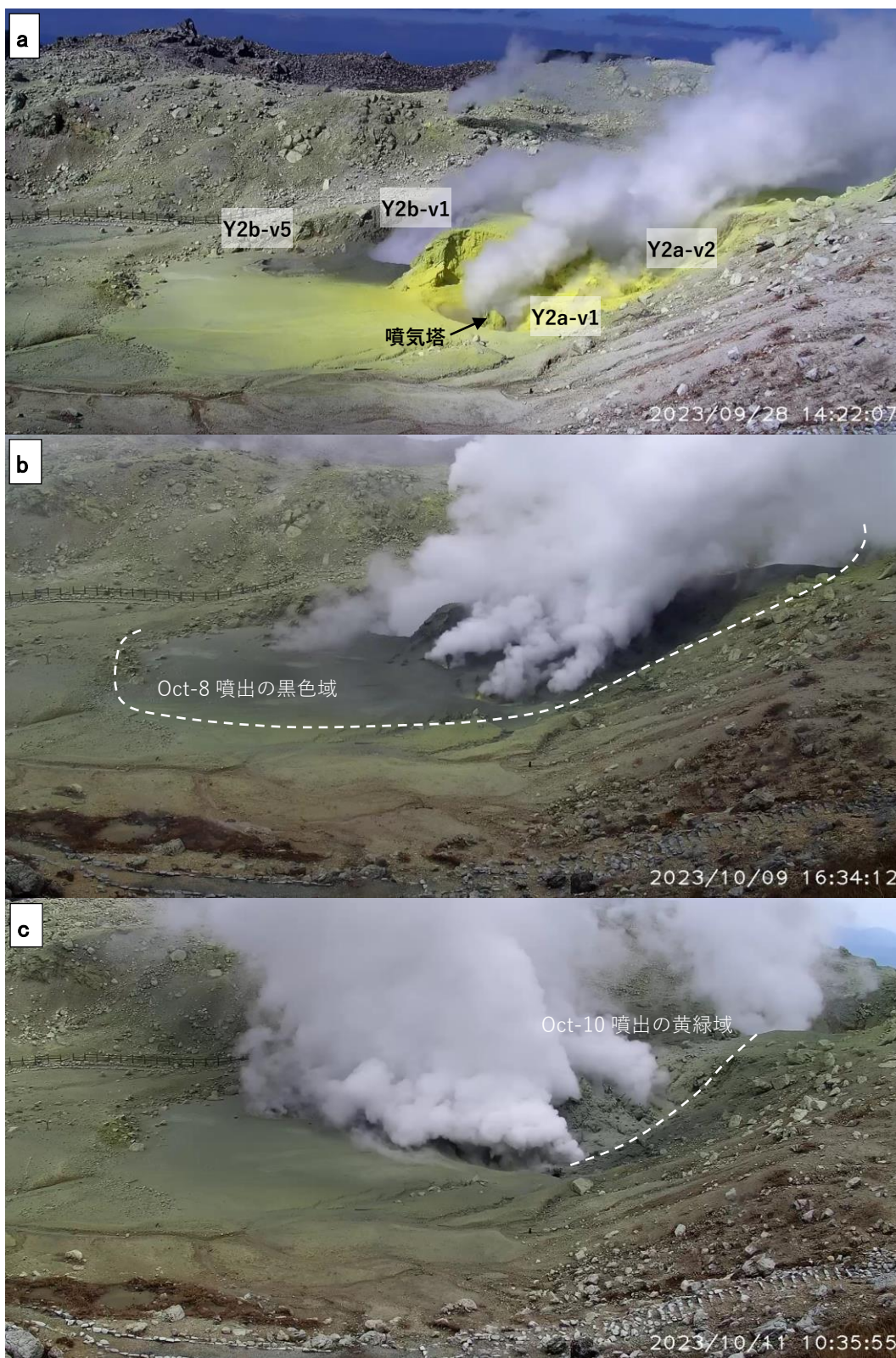


図 3 9月～10月イベントに関する硫黄山南火口 Y2a・Y2b の変化(高解像度監視映像より)
 (a) Y2a では活発な噴気活動が見られ, Y2a-v1 では噴気塔が形成される. また, 周辺域は硫黄の堆積により黄色くなる. (b) 10月8日～9日の夜間に Y2a-v1 付近から噴出が生じ, 黒色噴出物で覆われる(図中破線内). (c) Y2a-v2 では, 黄緑灰に覆われ, その分布は北東に拡がる(図中破線付近).

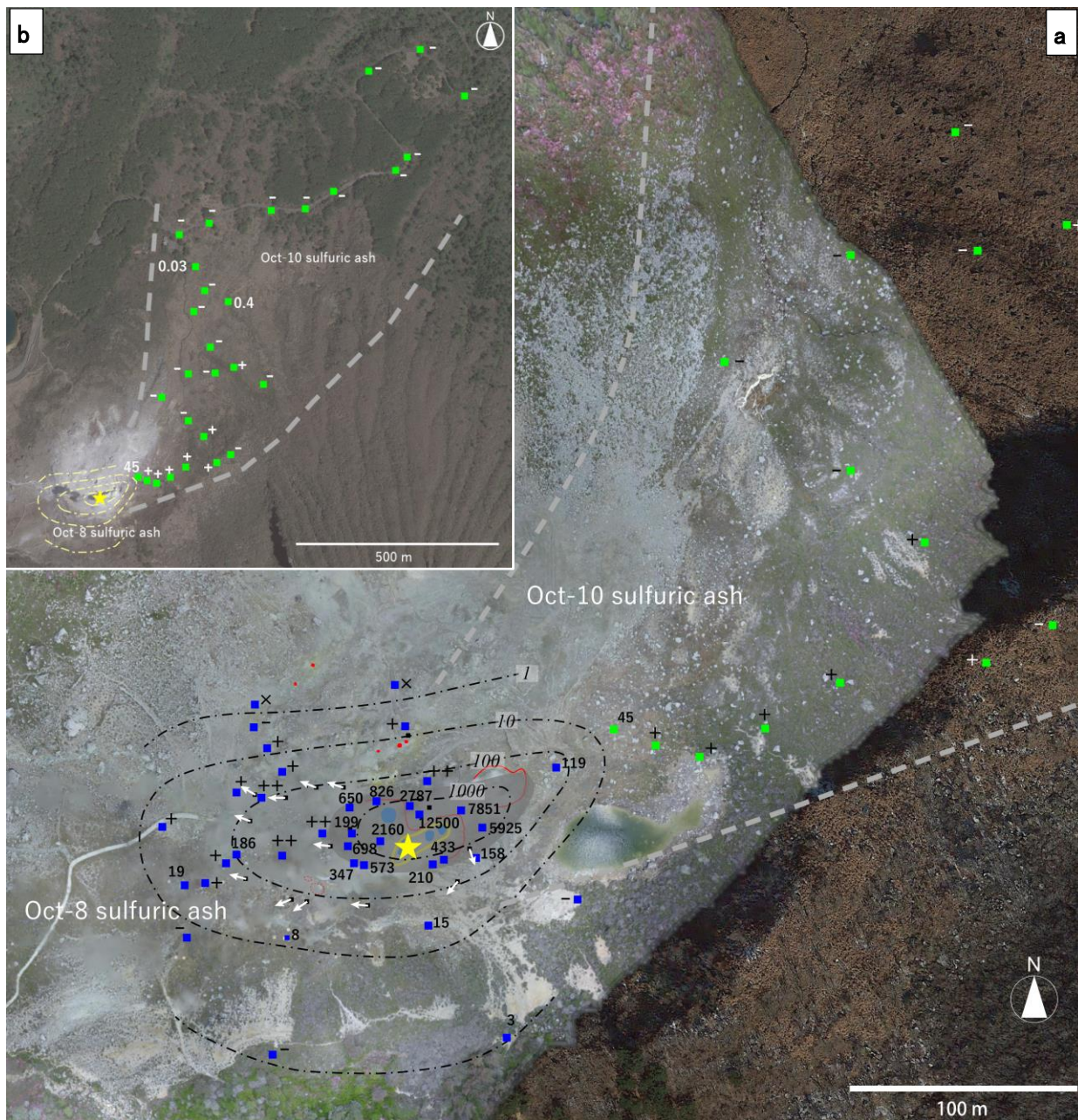


図 4 2023 年 10 月 8 日及び 10 日噴出物の堆積域

(a) 図中の数値・記号は硫黄灰の堆積量(g/m^2), みかけ量(++: 多い, +: あり, -: 僅か, x: なし). 青四角は主に Oct-8 sulfuric ash, 緑四角は主に Oct-10 sulfuric ash の地点. 灰色塗域は, 図 3b の黒色堆積範囲. 白矢印は流向調査結果に基づく流向. 基図はドローン撮影より図化し, 色調の異なる外側は Google Earth (Google Earth © 2018 ZENRIN 2018) による(Tajima et al., 2020). (b) Oct-10 sulfuric ash の分布域全体, 基図は Google Earth を用いた. 星印は Oct-8 の推定噴出源.

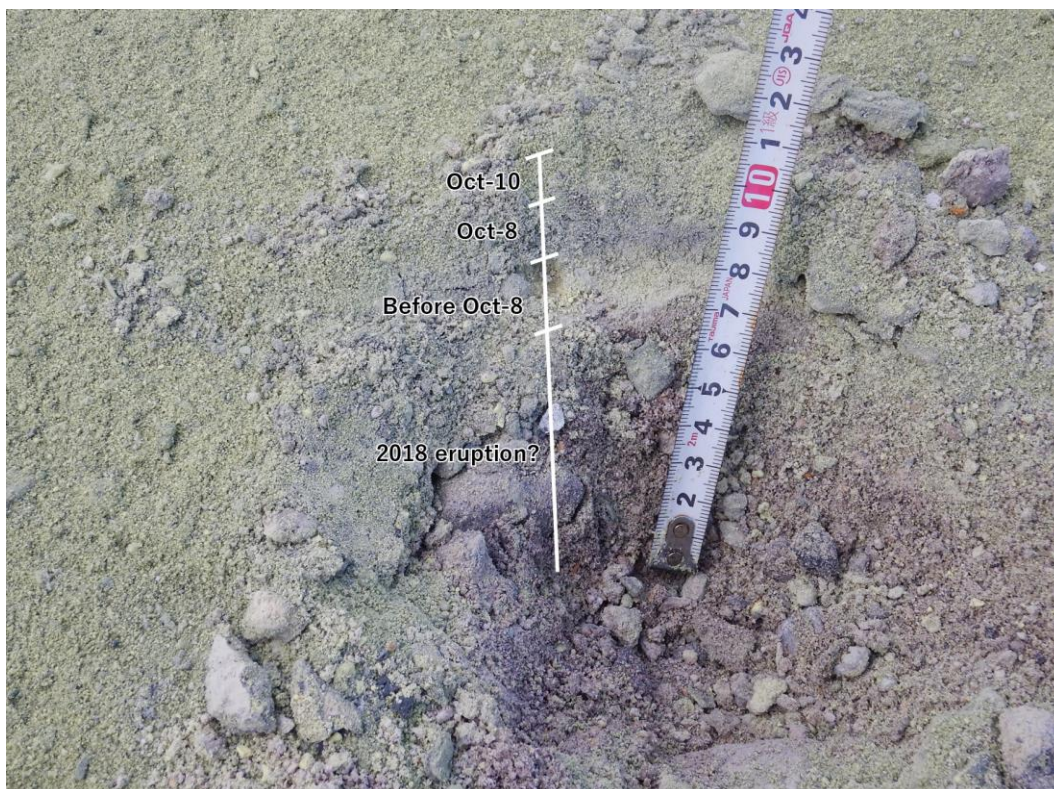


図 5 硫黄山南火口 Y2a-v1 の北東に堆積した硫黄灰(2023 年 10 月 26)

12500g/m² 地点(図 4)付近での硫黄灰の堆積状況. 下位より, 2018 年の噴火堆積物と推定される礫層. その上位に黄緑色の硫黄灰の堆積, 2023 年 10 月 8 日以前の堆積物. さらに上位には, 灰色を呈する Oct-8 硫黄灰の堆積が見られ, 地表には黄緑色-を呈する Oct-10 硫黄灰が堆積する.

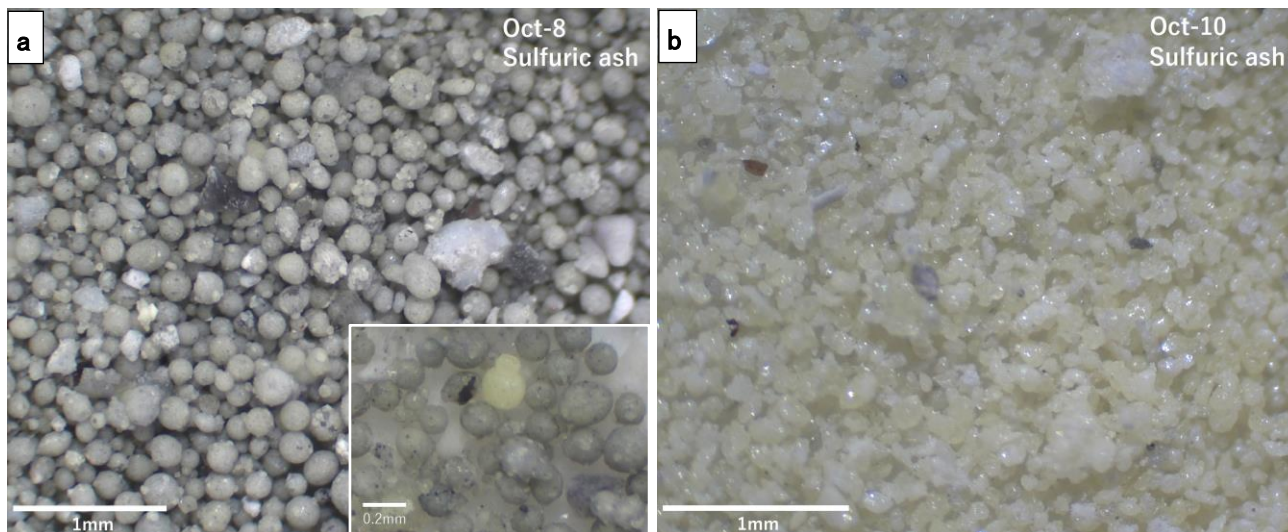


図 6 Oct-8 硫黄灰及び Oct-10 硫黄灰の顕微鏡観察結果

(a) 2023 年 10 月 8 日夜~9 日朝に発生した噴出現象に伴う Oct-8 硫黄灰. 球状かつ灰色の球状硫黄粒子が構成物のほとんどを占める. それ以外には黄色球状硫黄粒子(右下)・白色・灰色岩片が見られる. (b) 2023 年 10 月 10 日~11 日に堆積した Oct-10 硫黄灰. コンペイトウ状かつ黄色の硫黄粒子が構成物のほとんどを占める.

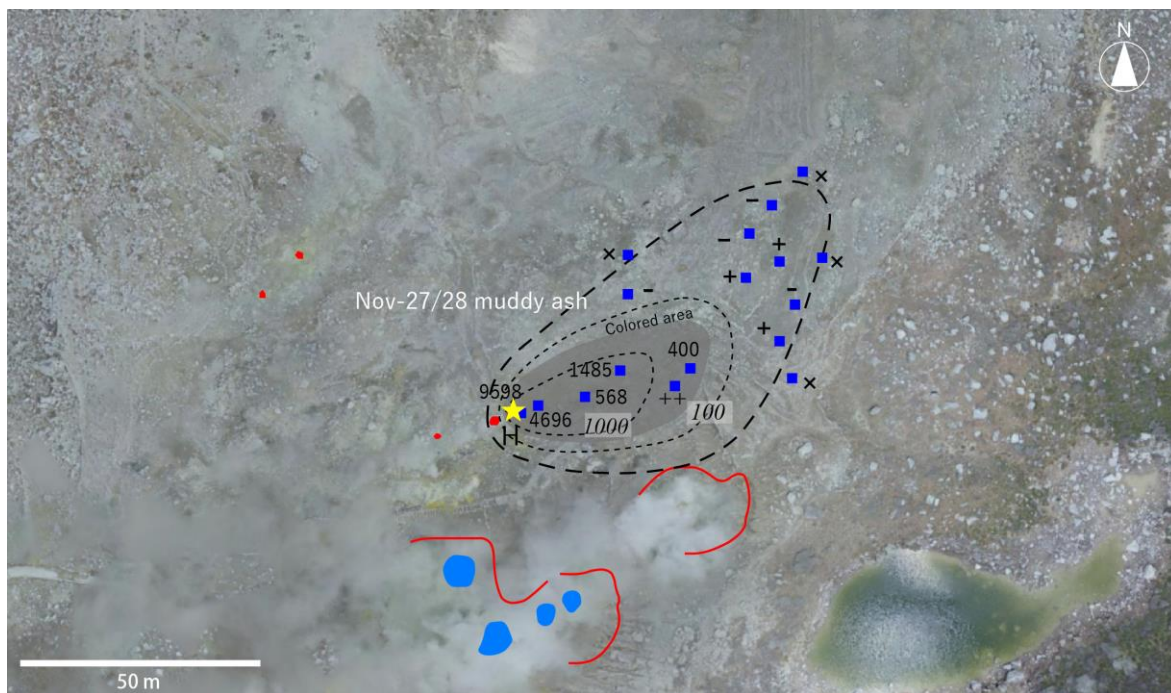


図 7 2023 年 11 月 27/28 日の H 孔からの噴出物の堆積域
 図中の数値・記号は硫黄灰の堆積量(g/m²), みかけ量(++: 多い, +: あり, -: 僅か, x: なし).

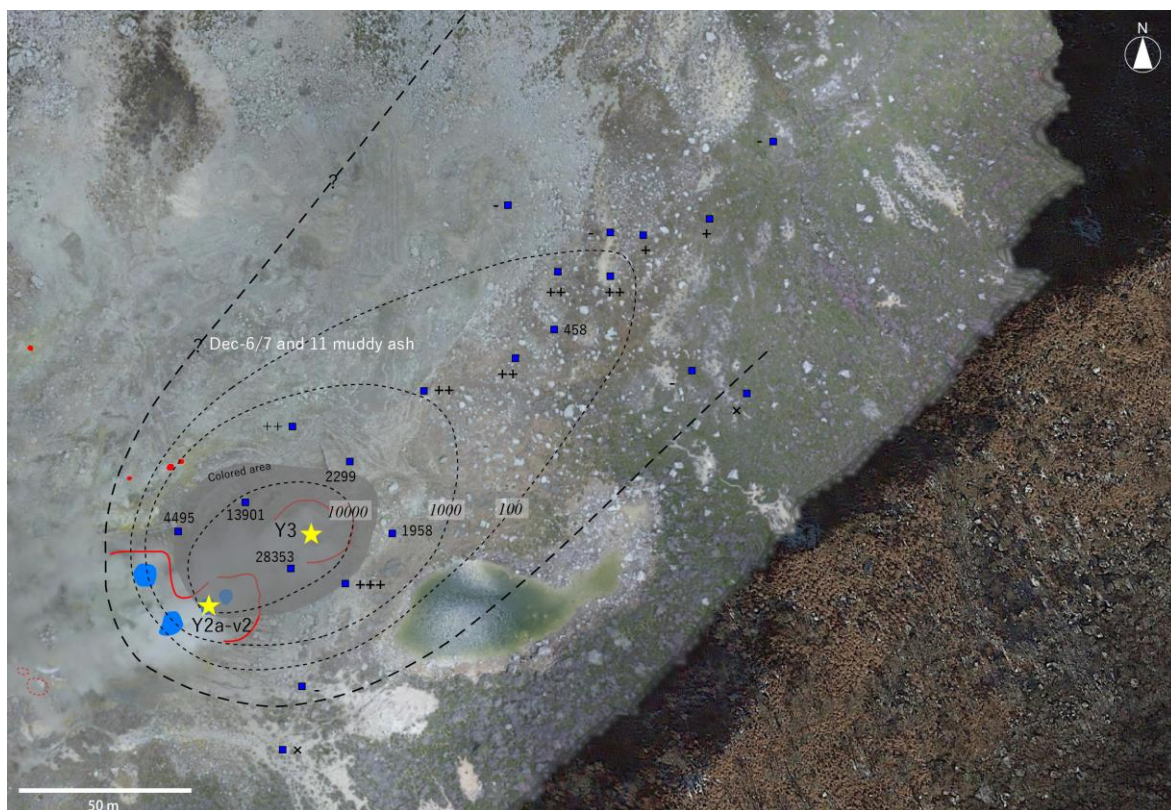
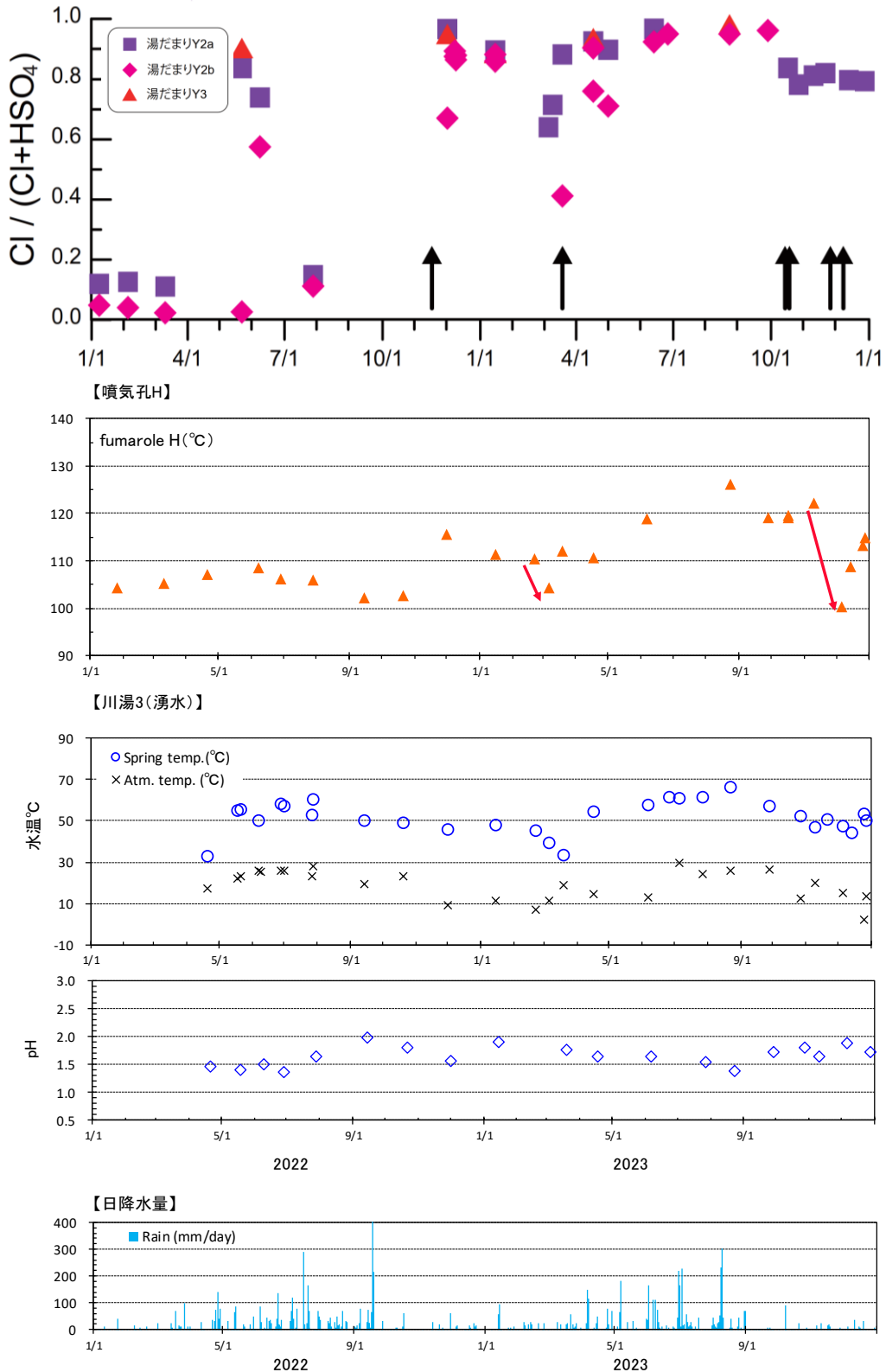


図 8 2023 年 12 月 6/7 日と 11 日の Y3 孔及び Y2a-v2 孔からの噴出物の堆積域
 図中の数値・記号は硫黄灰の堆積量(g/m²), みかけ量(+++: かなり多い, ++: 多い, +: あり, -: 僅か, x: なし).



日降水量は気象庁の過去の気象データ検索、「宮崎県 えびの」による(気象庁ホームページ)。2023/10/1~10/13間は「宮崎県 小林」
湧水温は2015年12月26日、pH・電気伝導度は2016年1月23日測定開始。 * : 土砂噴出, * : 噴火 (日時は気象庁ホームページ)
2017/4/26土砂噴出(A噴気孔), 2018/4/19噴火(Y2-3火口), 4/20噴火(西火口), 4/26噴火(西火口), 11/13(Y2火口)(火口等は, Tajima et al., 2020)

図 9 硫黄山南火口における水質分析及びH 孔噴気温度, K3 湧水の水溫測定結果

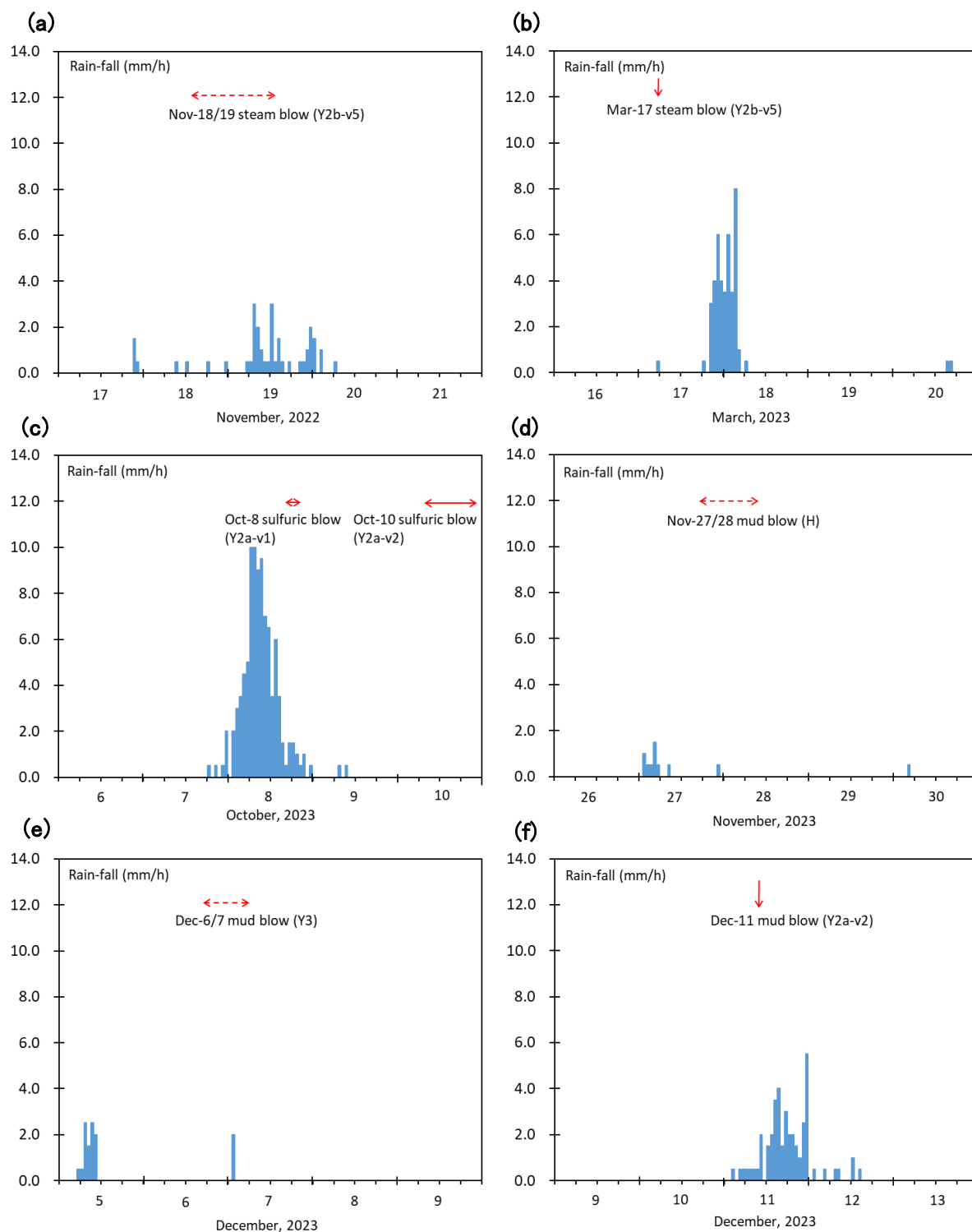


図 10 噴出イベントと降雨との関係

(a) 2022 年 11 月 18/19 日 (Y2b-v5) の噴出イベントと降雨. (b) 2023 年 3 月 17 日の Y2b-v5 での噴出イベントと降雨. (c) 2023 年 10 月 8 日 (Y2a-v1), 10 日 (Y2a-v2) の噴出イベントと降雨. (d) 2023 年 11 月 27/28 日 (H 孔) の噴出イベントと降雨. (e) 12 月 6/7 日 (Y3) の噴出イベントと降雨. (f) 2023 年 12 月 11 日 (Y2a-v2) の噴出イベントと降雨. これらについては気象庁えびの高原のアメダスデータを用い, c のみ小林を用いた (<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>).

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。

北海道地方（北方領土を含む）：国土交通省北海道開発局、国土地理院、北海道大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、北海道、地方独立行政法人北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所及び公益財団法人地震予知総合研究振興会

東北地方：国土交通省東北地方整備局、国土地理院、東北大学、弘前大学、北海道大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、青森県及び公益財団法人地震予知総合研究振興会

関東・中部地方：関東地方整備局、中部地方整備局、国土地理院、東北大学、東京工業大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、長野県、新潟県、山梨県、神奈川県温泉地学研究所及び公益財団法人地震予知総合研究振興会

伊豆・小笠原地方：国土地理院、東京大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、東京都

九州地方・南西諸島：九州地方整備局大隅河川国道事務所、九州地方整備局長崎河川国道事務所（雲仙砂防管理センター）、国土地理院、九州大学、京都大学、鹿児島大学、東京大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、宮崎県、鹿児島県、大分県、十島村、三島村、屋久島町、公益財団法人地震予知総合研究振興会及び阿蘇火山博物館

2. 一元化震源の利用について

- ・2001 年 10 月以降、Hi-net の追加に伴い検知能力が向上している。
- ・2010 年 10 月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。
- ・2016 年 4 月 1 日以降の震源では、M の小さな地震は、自動処理による震源を表示している場合がある。自動処理による震源は、震源誤差の大きなものが表示されることがある。
- ・2020 年 9 月以降の震源は、地震観測点の標高を考慮する等した手法で求められている。

3. 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『数値地図 25000 (行政界・海岸線・地図画像)』、『数値地図 50m メッシュ (標高)』、『基盤地図情報』及び『電子地形図 (タイル)』を使用した。