

第 151 回 火山噴火予知連絡会資料

(その1の9)

霧島山

令和4年 12 月6日

火山噴火予知連絡会資料(その1の9)

目次

霧島山	
気象庁	3-24
気象研他	25-26
東大震研	27-28
九大	29
日本工営他	30-46
防災科研	47-52
地理院	53-67
東海大・気象研	68-71
鹿児島大・東大震研他	72-75
気象庁資料に関する補足事項	76

霧 島 山

(2022 年 6 月～10 月)

霧島山（広域）

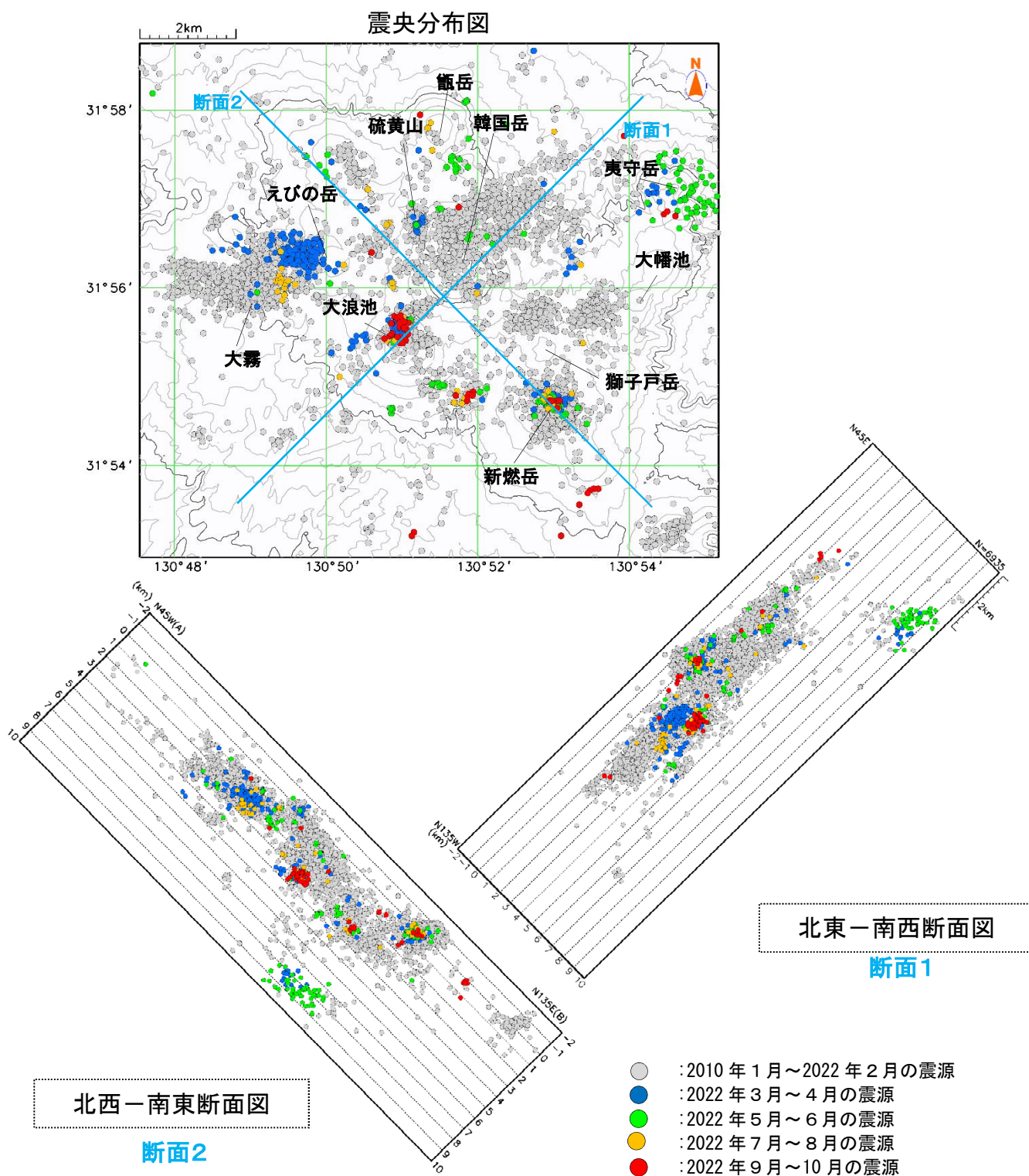


図1 霧島山 震源分布図 (2010年1月~2022年10月)

・2022年3月末から、霧島山周辺で地震活動がみられていたが、6月以降は活動は低下している。

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。

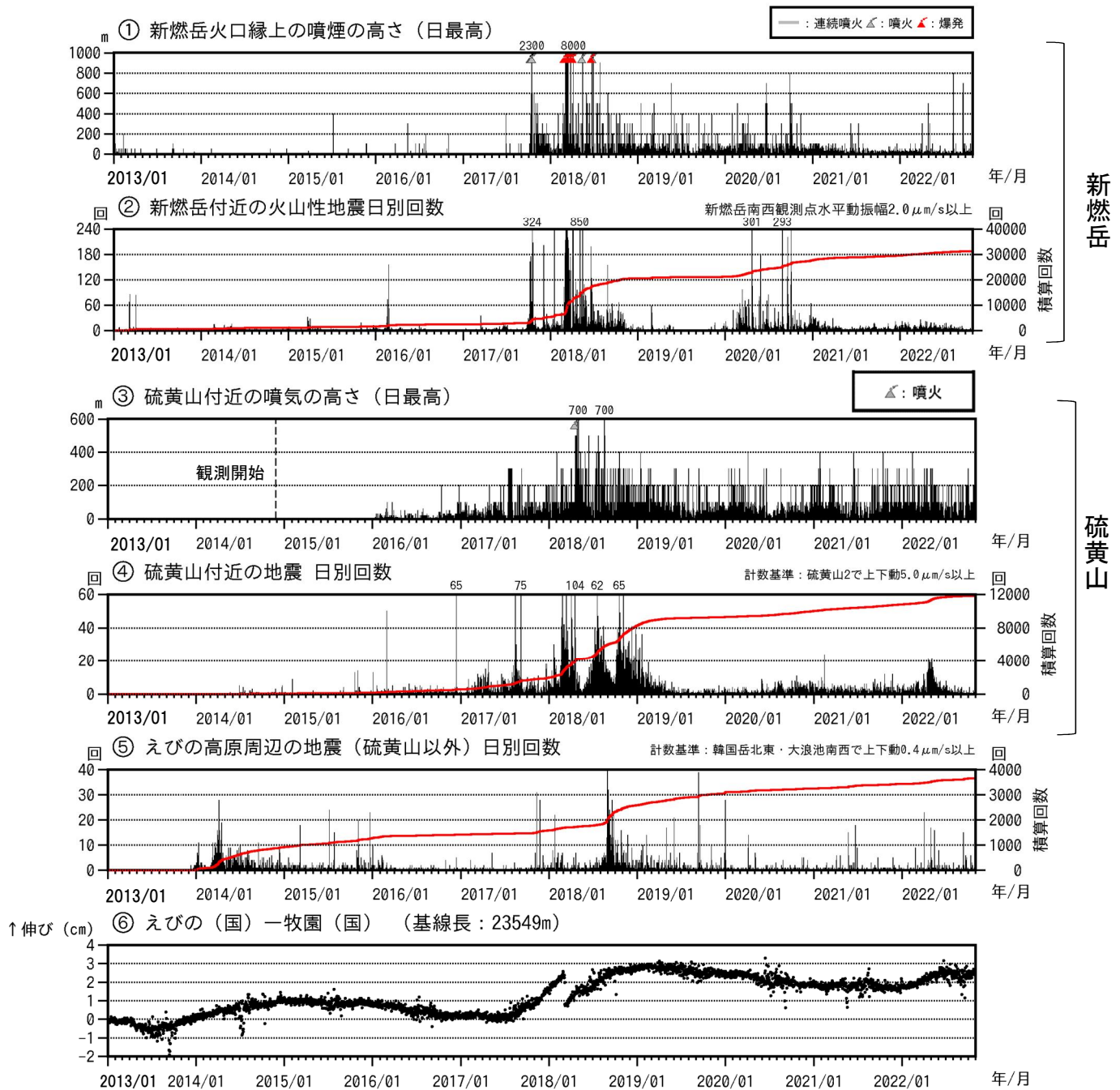


図 2-1 霧島山 活動経過図（2013 年 1 月～2022 年 10 月）

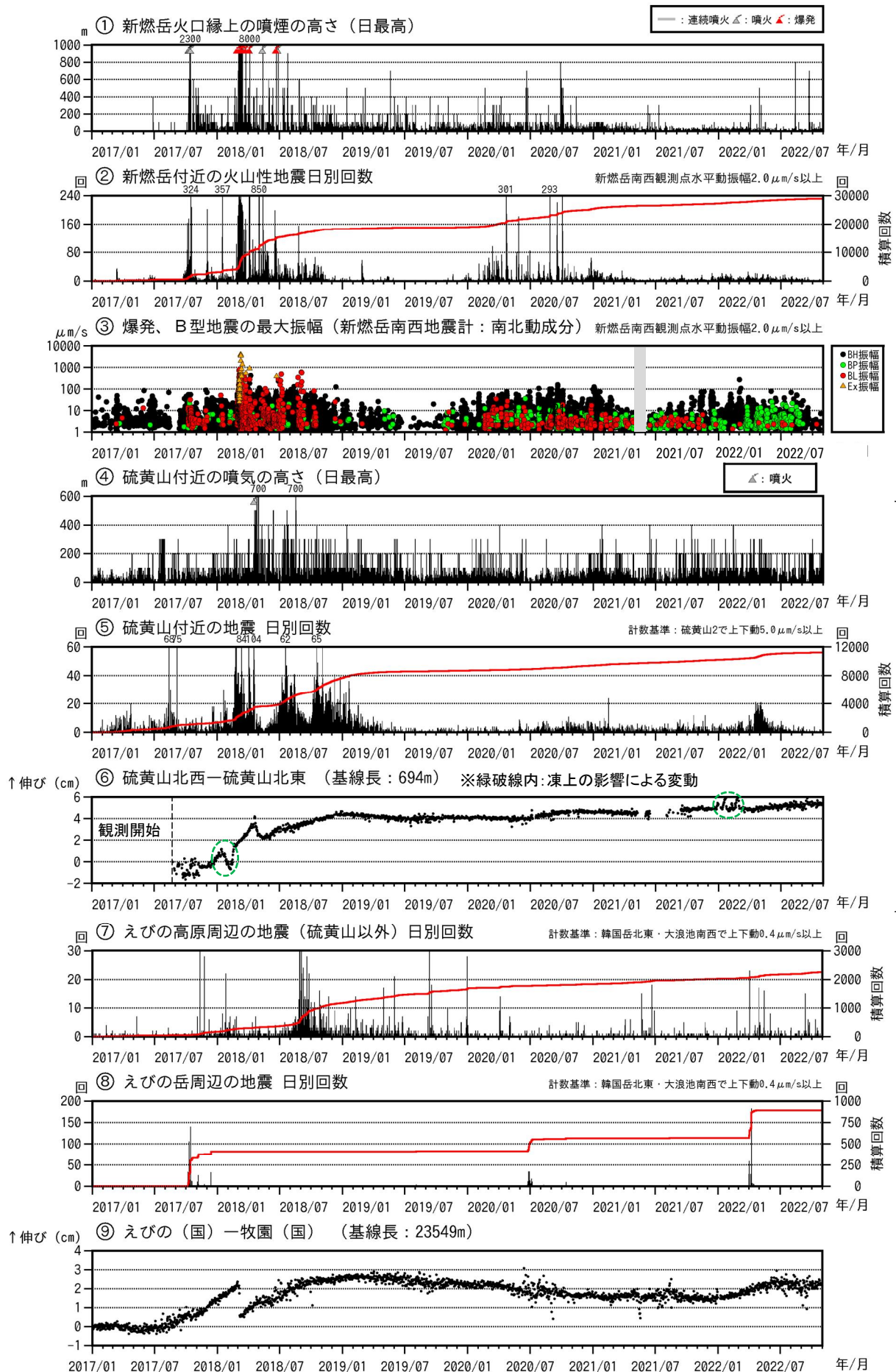


図 2-2 霧島山 活動経過図（2017 年 1 月～2022 年 10 月）

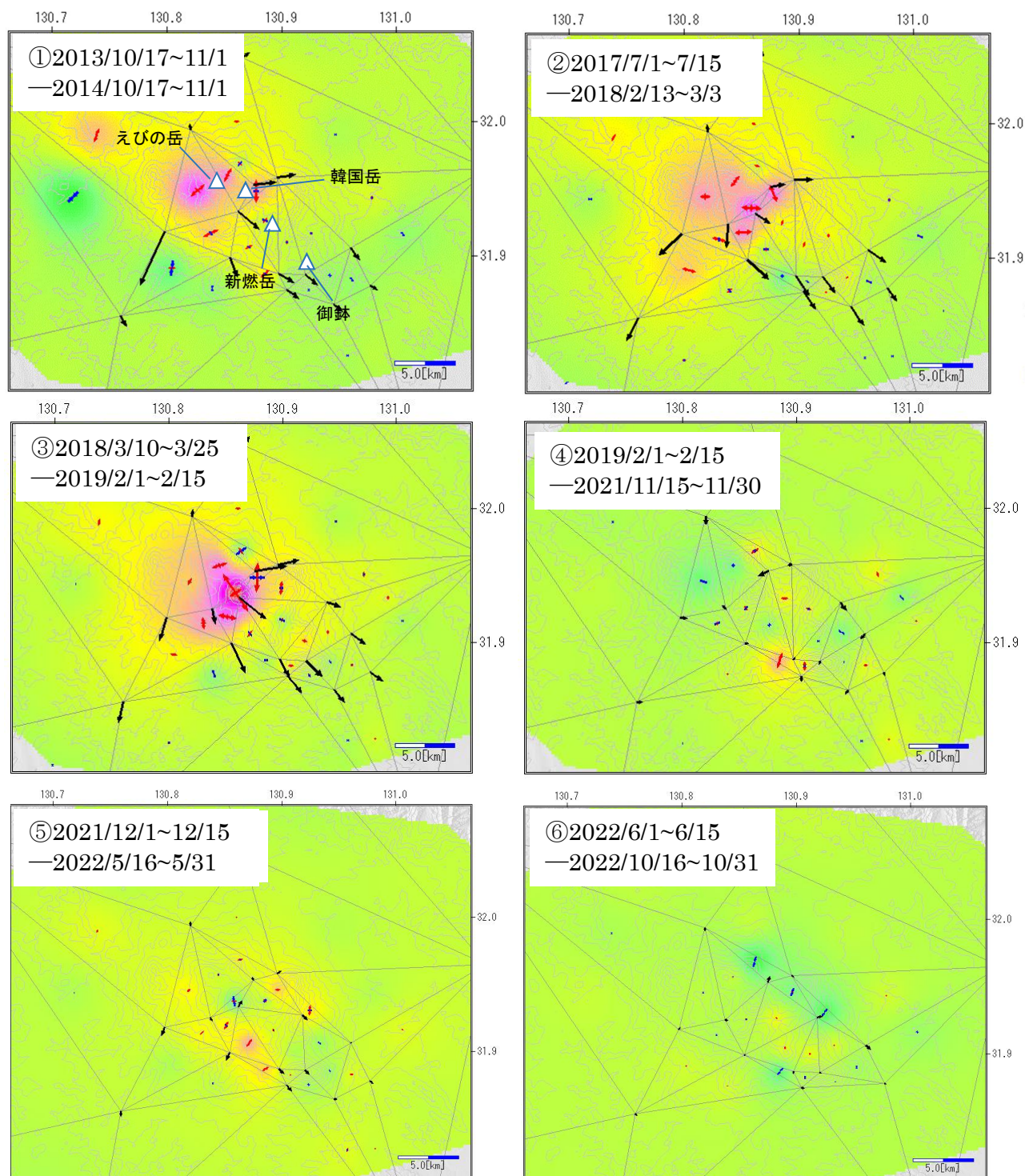


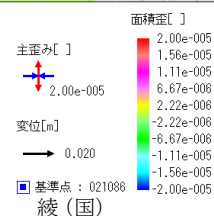
図3 霧島山 霧島山周辺のGNSSの期間毎の水平変位・主ひずみ・面積ひずみ

(2013年10月17日～2022年10月)

⑤では、えびの岳を囲む広い範囲で、面積ひずみのわずかな増加を反映して平均的に暖色化がみられたが、⑥で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50mメッシュ(標高)』を使用した。

※⑥の期間において、韓国岳観測点の局所的変化がみられたため、作図からは除外した



新燃岳

新燃岳では、火口直下を震源とする火山性地震の回数が多い状態であったが、増減を繰り返しながら次第に減少し、7月下旬以降は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、検出限界未満で経過している。

GNSS 連続観測では、2021 年 12 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、7 月頃から停滞している。また、新燃岳付近の膨張を示すと考えられる基線のわずかな伸びは、6 月以降停滞している。

以上のことから、現時点では噴火の兆候は認められない。

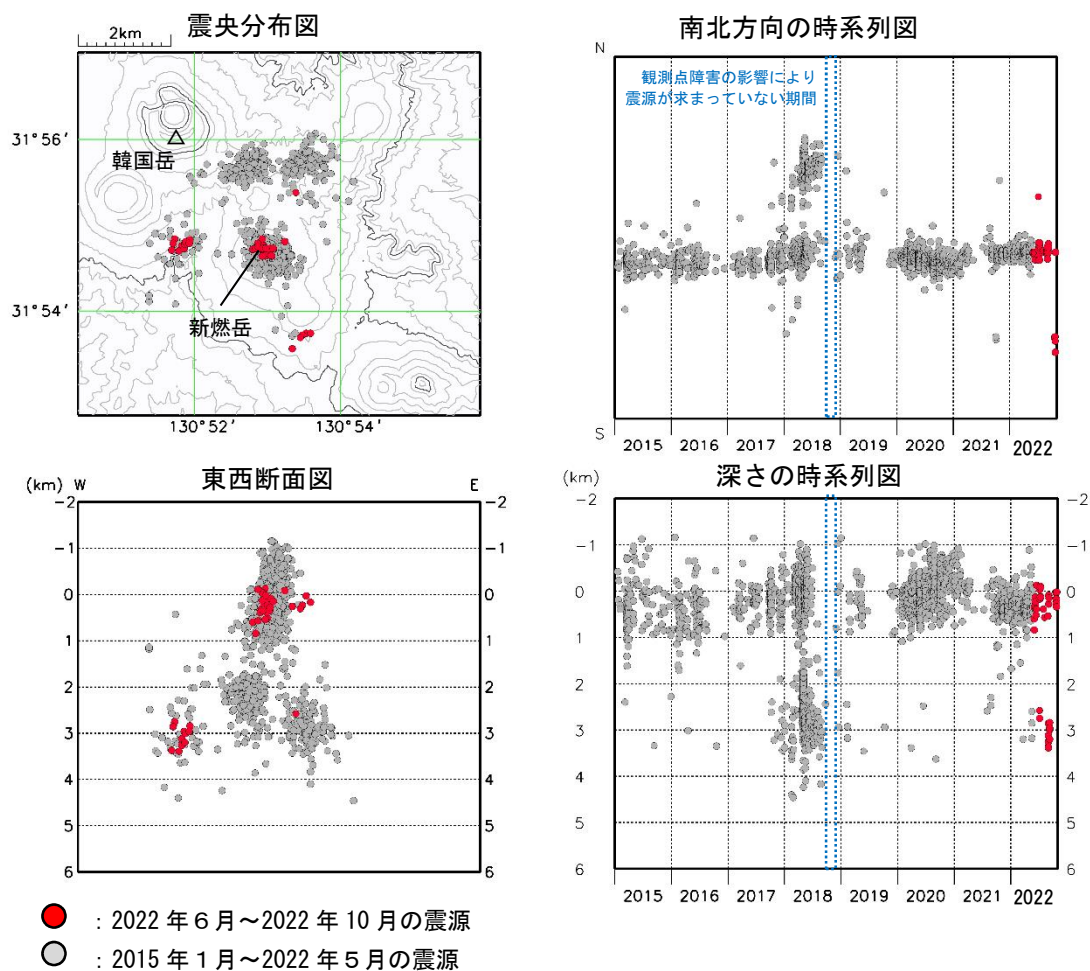


図 1 霧島山（新燃岳） 震源分布図（2015 年 1 月～2022 年 10 月）

<2022 年 6 月～10 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南東側約 2 km の深さ 0 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） 図2-2、2-3の観測位置及び撮影方向

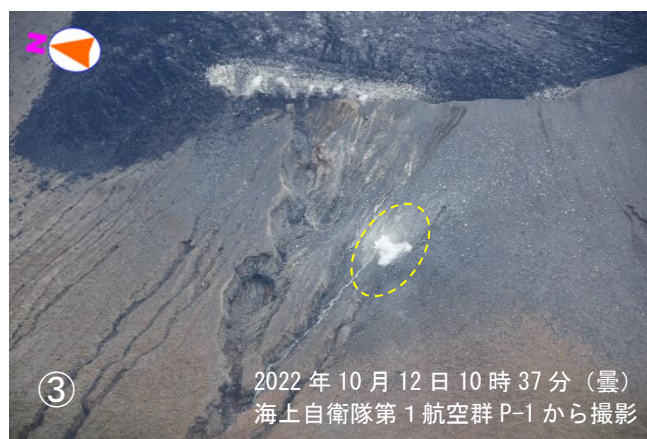


図2-2 霧島山（新燃岳） 新燃岳火口内及び西側斜面の状況

- ・火口内を覆う溶岩の中心部及び縁辺部の一部で白色の噴煙が上がっているのを確認した。
- ・火口西側斜面の割れ目付近（黄破線内）では、2022年2月24日以降の調査で白色の噴煙が上がっているのを確認した。

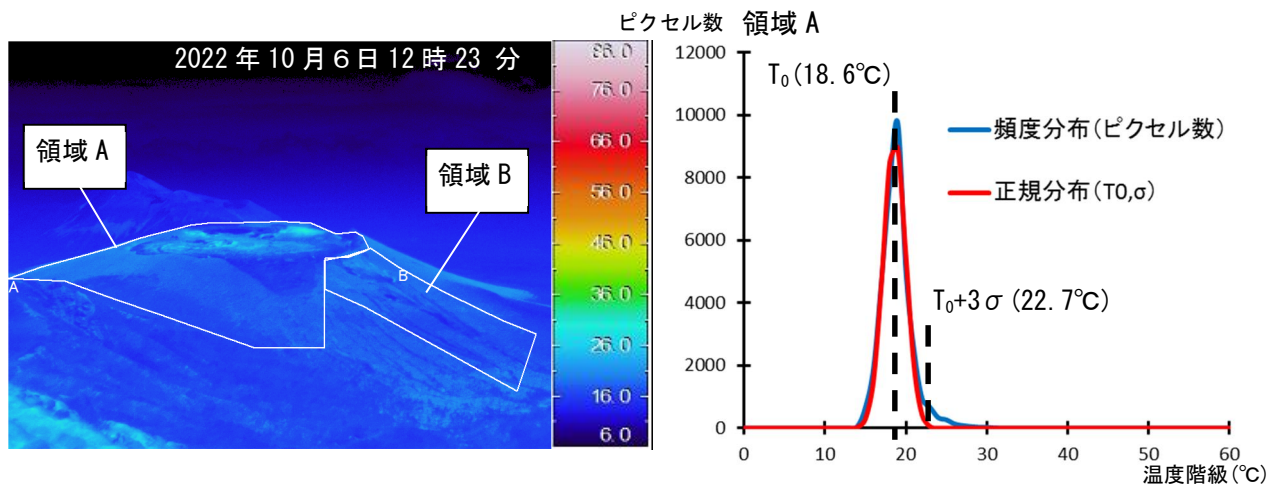


図 2-3 霧島山（新燃岳） 図 2-4 に示した新燃岳の放熱率算出の解析領域と温度分布の例（2022 年 10 月 6 日 12 時 23 分）

- ・ 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、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。
- ・ $T_0+3\sigma$ 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。

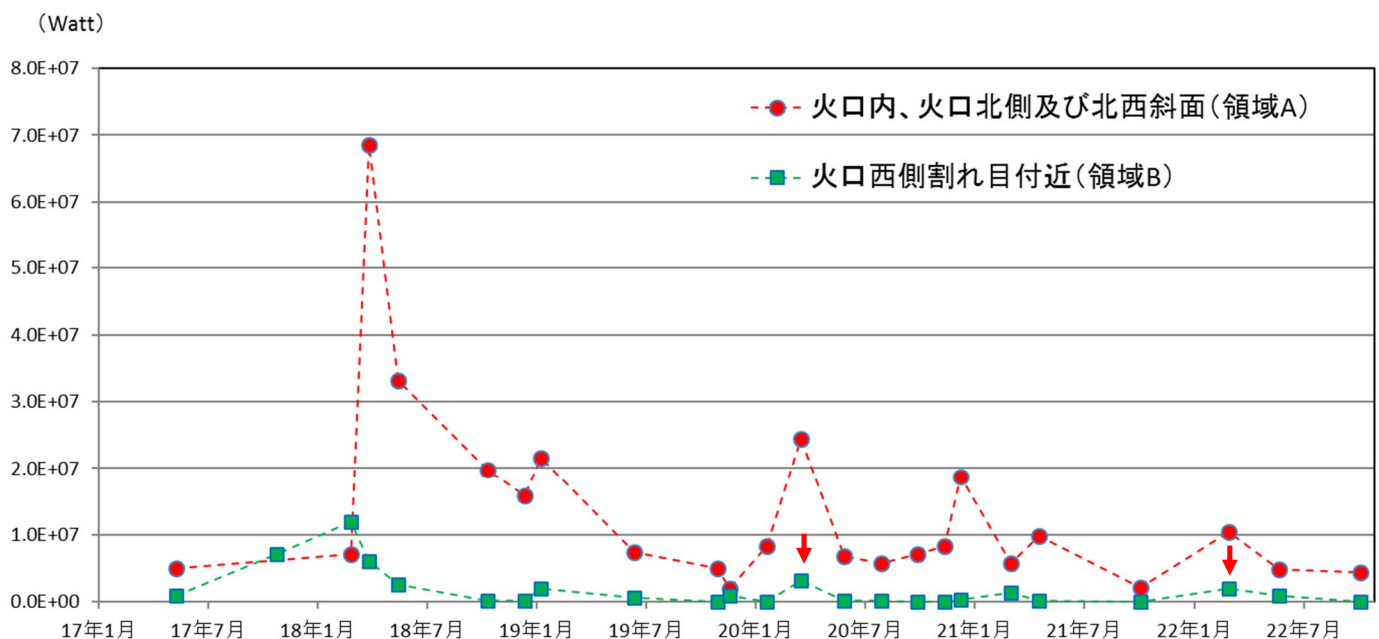


図 2-4 霧島山（新燃岳） 地表面温度分布より算出した新燃岳の放熱率の推移（値を観測日ごとに平均）（2017 年 5 月 11 日～2022 年 10 月 6 日）

<2022 年 6 月～10 月の状況>

- ・ 領域 A（主に新燃岳火口内）では、放熱率に特段の変化は認められない。
- ・ 領域 B（火口西側割れ目付近）では、2020 年 4 月と同様に、2022 年 2 月に地熱域の拡大に伴うと考えられる放熱率のわずかな増加（赤矢印）が認められたが、その後は増加傾向は認められない。

※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 2-3 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。

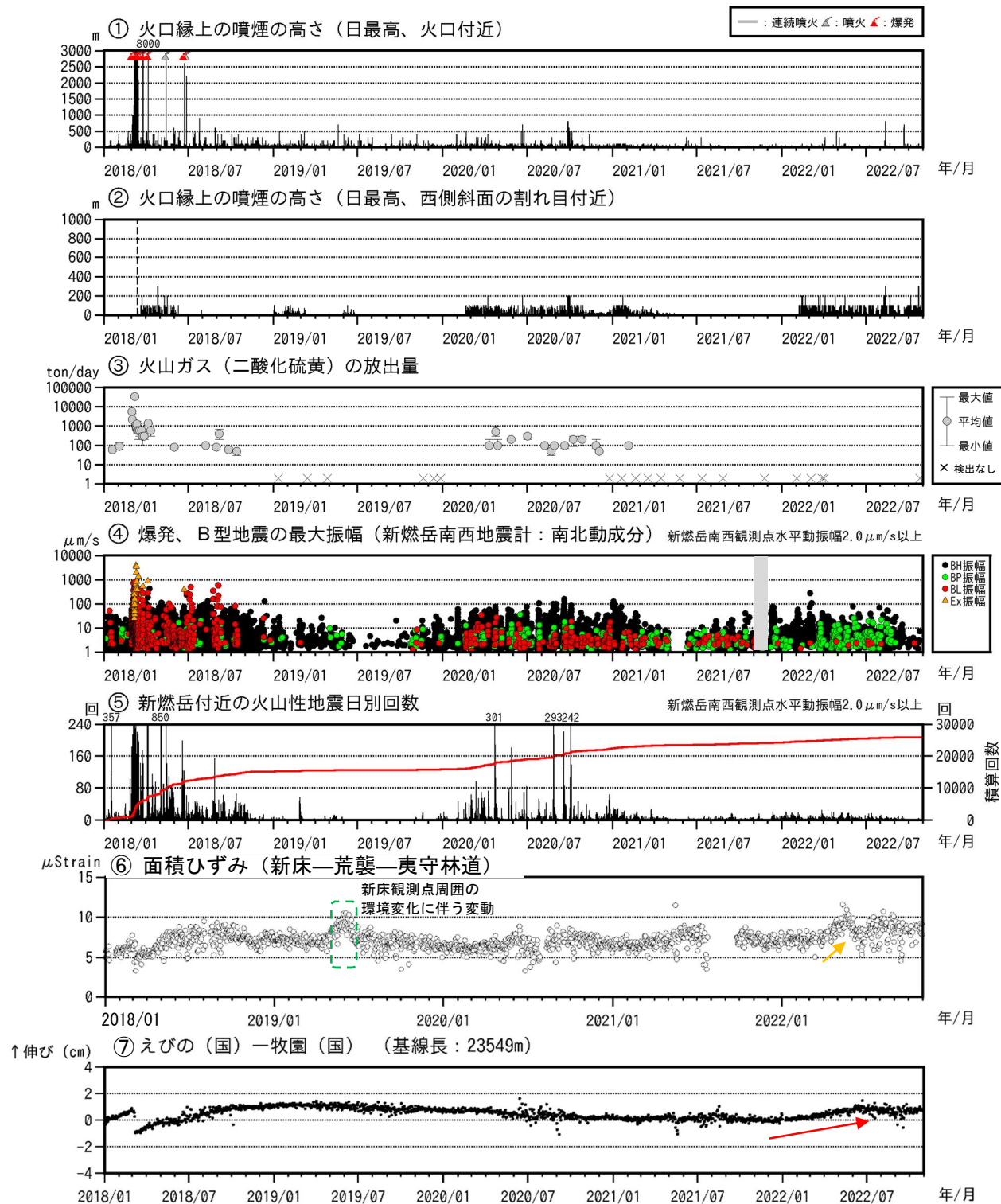


図3 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2018年1月～2022年10月）

<2022年6月～10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100m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、2021年2月下旬以降は検出限界未満で経過している。
- ・新燃岳の火口直下を震源とする火山性地震は、2022年3月27日に多い状態となったが、その後は増減を繰り返しながら次第に減少し、7月下旬以降は少ない状態で経過した。
- ・GNSS連続観測では、2021年12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ていた（赤矢印）が、7月頃から停滞している。また、新燃岳付近の膨張を示すと考えられる基線のわずかな伸び（橙矢印）は、6月以降停滞している。

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。

えびの高原（硫黄山）周辺

硫黄山では、硫黄山南側において活発な噴気活動が続いているが、噴気域及び地熱域の拡大傾向は認められていない。なお、硫黄山の西側 500m 付近の噴気は 2021 年 12 月以降時々観測されている。

硫黄山付近では、火山性地震は少ない状態で経過した。

GNSS 連続観測では、硫黄山近傍の基線長には特段の変化は認められず、現在のところ噴火の兆候は認められない。

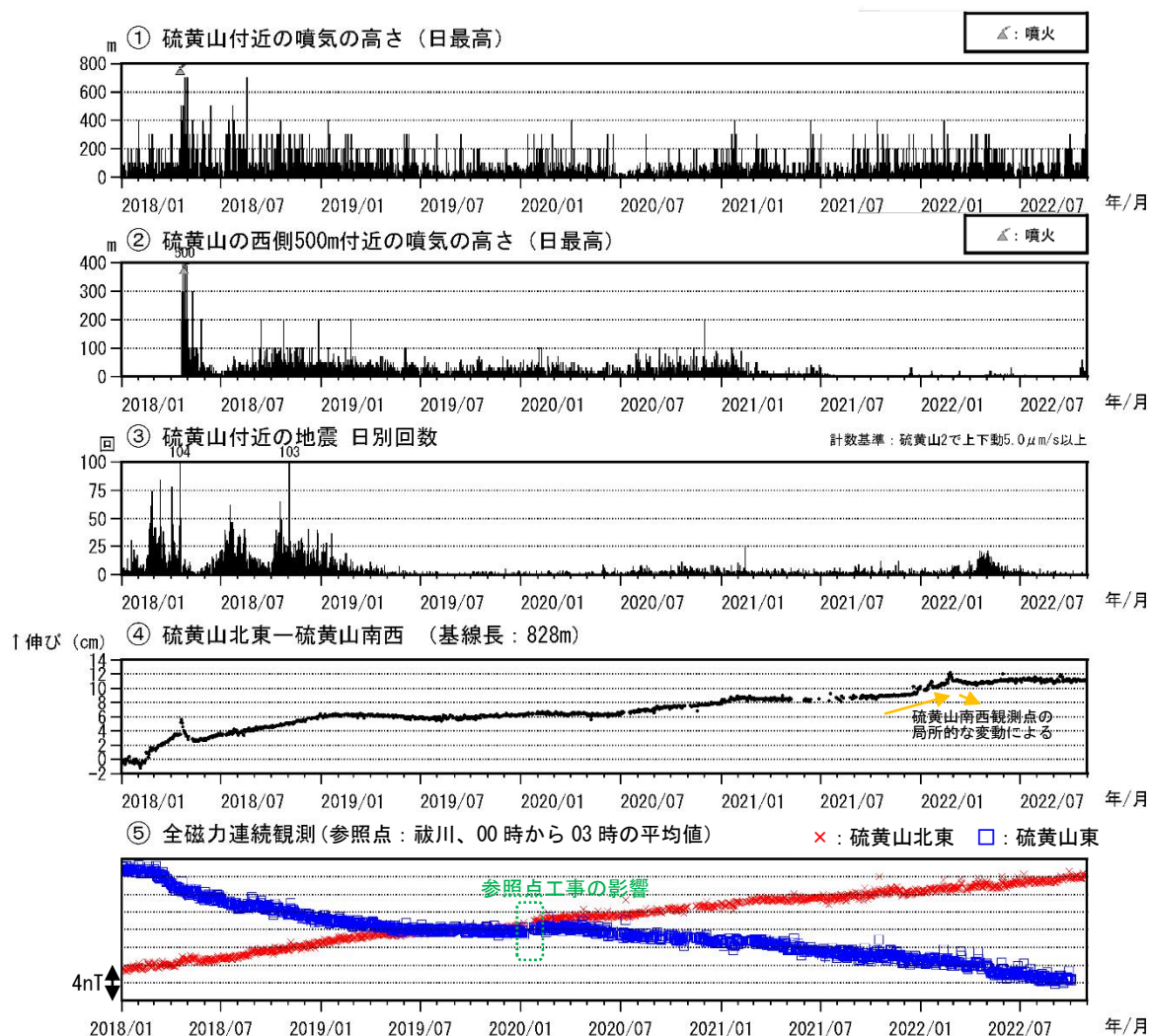


図 1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 火山活動経過図

（2018 年 1 月～2022 年 10 月）

<2022 年 6 月～10 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 付近の噴気は、2021 年 12 月頃から時々観測されている。
- ・硫黄山付近の火山性地震は少ない状態で経過している。
- ・GNSS 連続観測では、硫黄山近傍の基線長には特段の変化はみられていない。
- ・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。

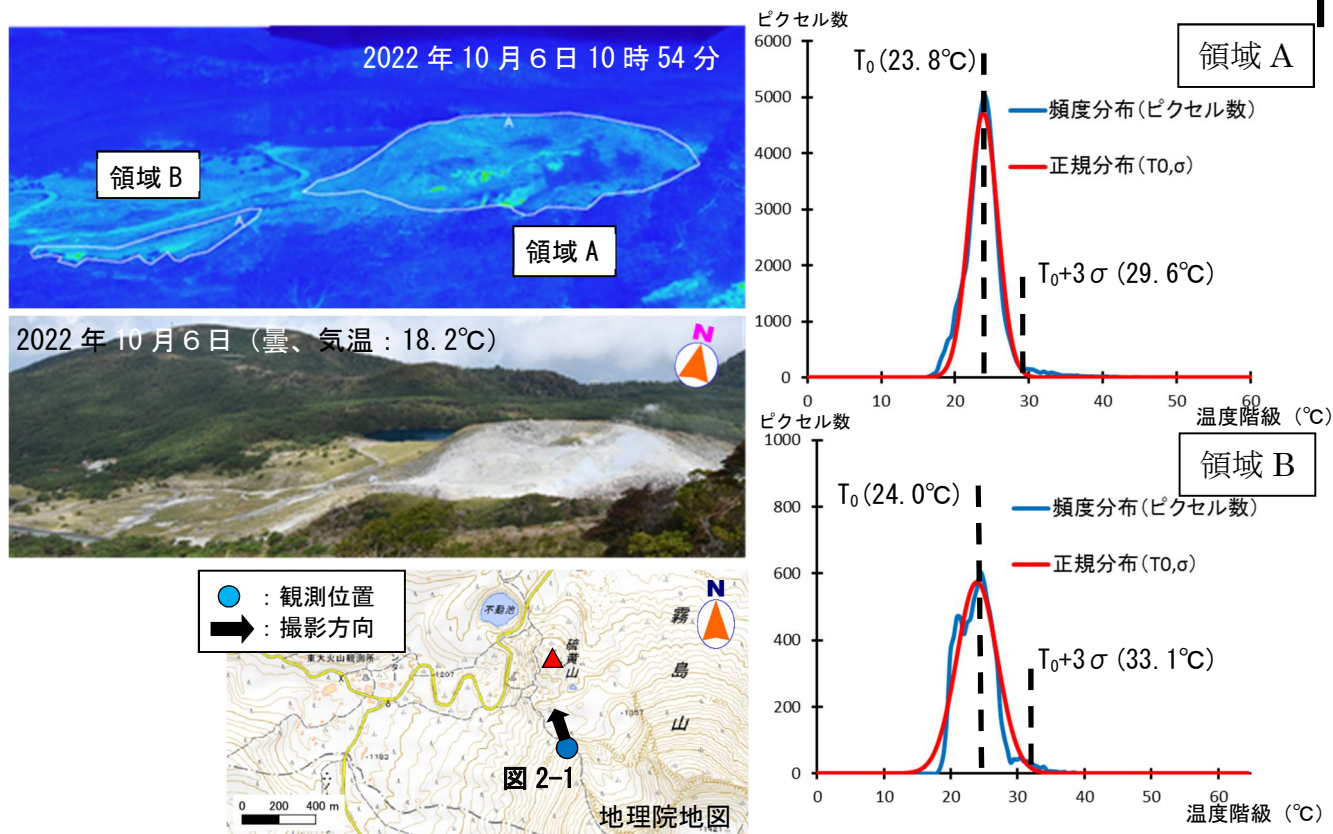


図 2-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 図 2-2 に示した硫黄山の放熱率算出の解析領域と温度分布の例（2022 年 10 月 6 日 10 時 54 分）

- ・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 2-2）。

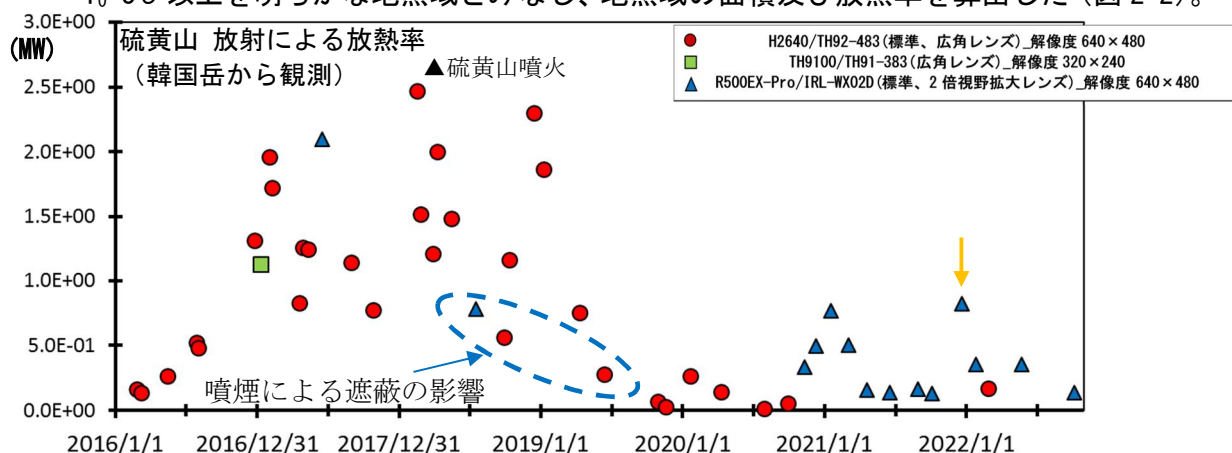


図 2-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 地表面温度分布より算出した硫黄山の放熱率の推移（値を観測日ごとに平均）（2016 年 1 月～2022 年 10 月）

<2022 年 6 月～10 月の状況>

2021 年 12 月頃に放熱率の増加が認められたが（橙矢印）、その後は増加傾向は認められていない。

※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。

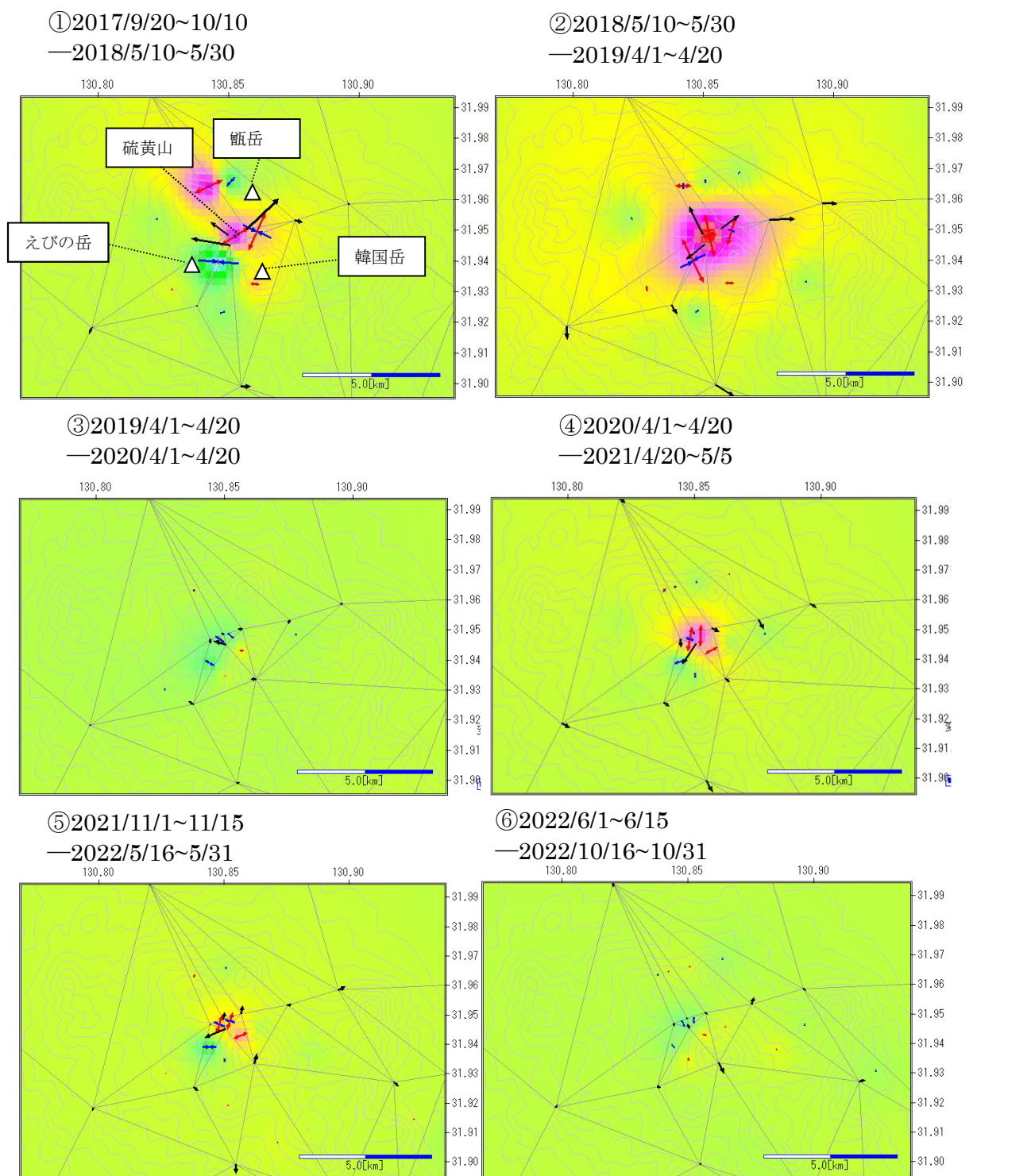
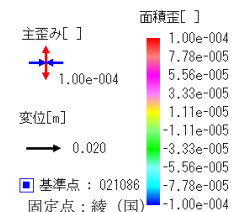


図3 霧島山 えびの高原周辺のGNSSの期間毎の水平変位・主ひずみ・面積ひずみ（2017年9月20日～2022年10月）

今期間（⑥）は特段の変化は認められない。

※⑤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50mメッシュ（標高）』を使用した。



えびの高原（硫黄山）周辺

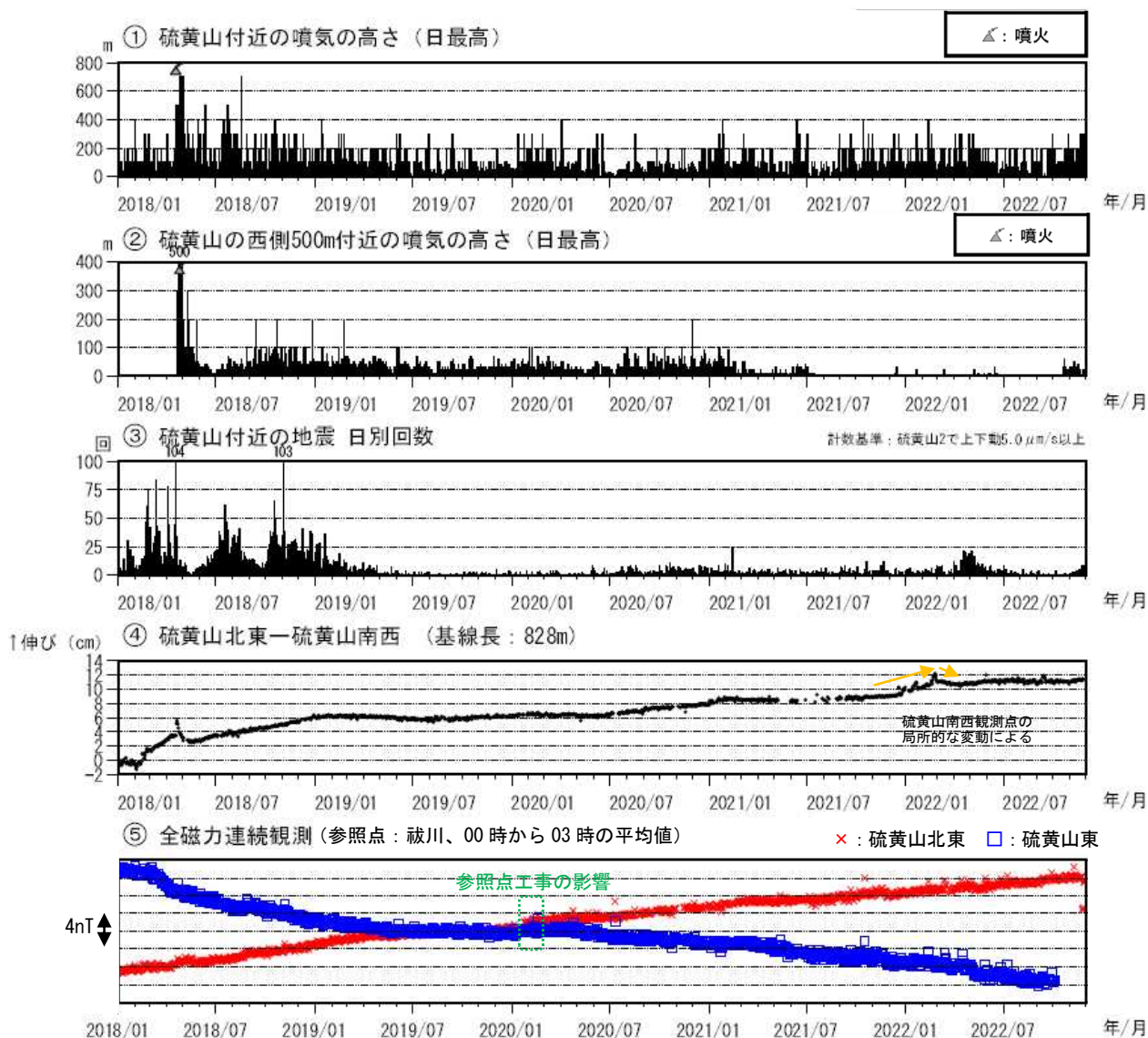


図1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 火山活動経過図

（2018年1月～2022年12月1日）

<2022年6月～12月1日の状況>

- ・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付近の噴気は、2021年12月頃から時々観測されている。
- ・硫黄山付近の火山性地震は少ない状態で経過している。
- ・GNSS連続観測では、硫黄山近傍の基線長には特段の変化はみられていない。
- ・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） 硫黄山南側の状況
（硫黄山南監視カメラ画像）

- ・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。
- ・11月19日頃から、活発な噴気孔の北側に位置する地熱域付近（黄破線内）に、堆積物及び湯だまりに対応すると考えられる熱域が認められる。

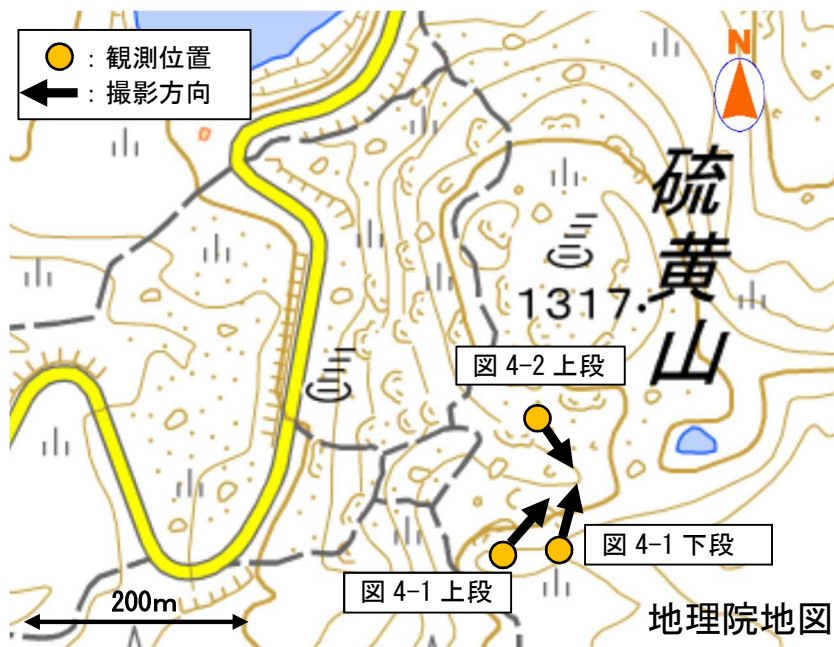


図3 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 図4の観測位置

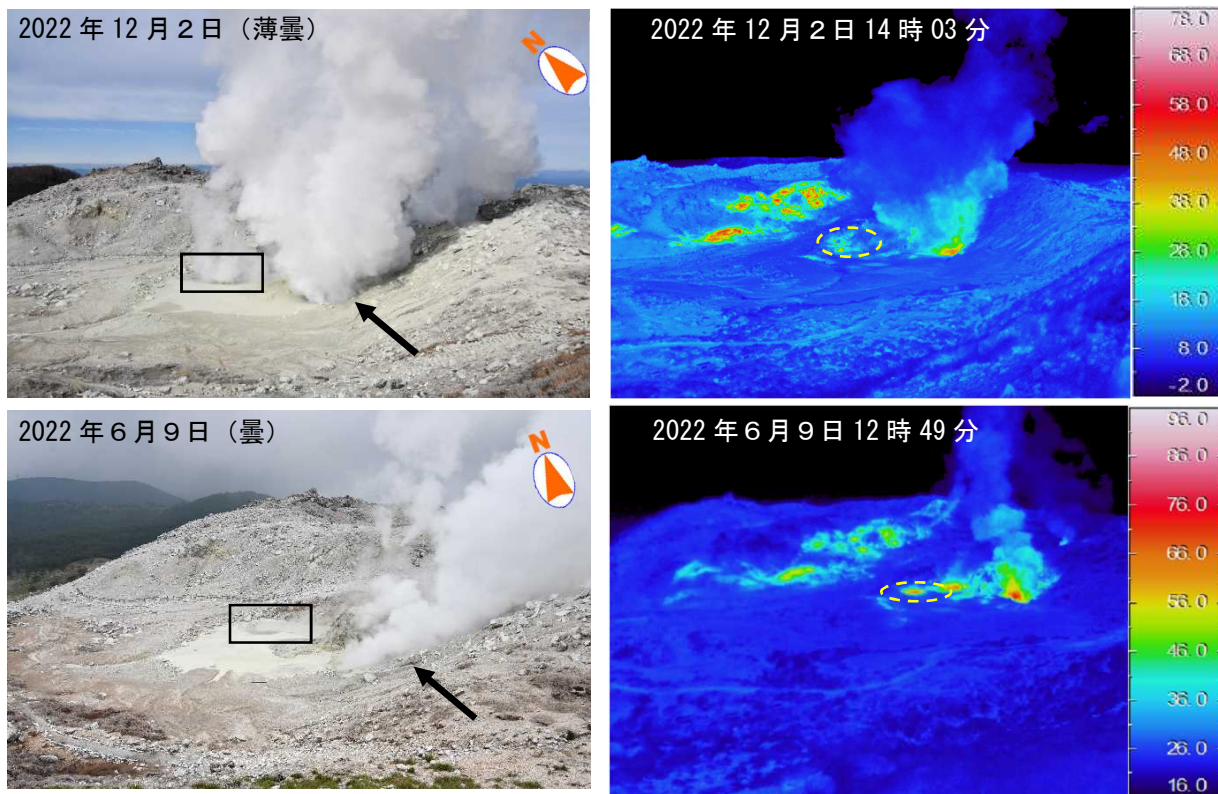


図 4-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山南側の状況

- ・硫黄山南側の噴気孔（黒矢印）では引き続き活発な噴気活動を確認した。
 - ・活発な噴気孔の北側に位置する地熱域（黒四角内及び黄破線内）において、噴気孔の拡大を確認した。それ以外の地熱域の状況には、特段の変化は認められない。
- ※噴気の影響を避けるため、前回（6月9日）とは異なる位置から観測している。



図 4-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 図 4-1 黒四角内の噴気孔の状況

活発な噴気孔の北側に位置する地熱域（図 4-1 黒四角内）において噴気孔の拡大（直径 6～7 m 程度）を確認し、その周囲に噴出物とみられる土砂の堆積を確認した。噴出の痕跡は噴気孔の中心から最大で 10 m 程度の範囲に認められ（下段黄破線内）、確認した噴出物の大きさは最大で 10 cm 程度であった。

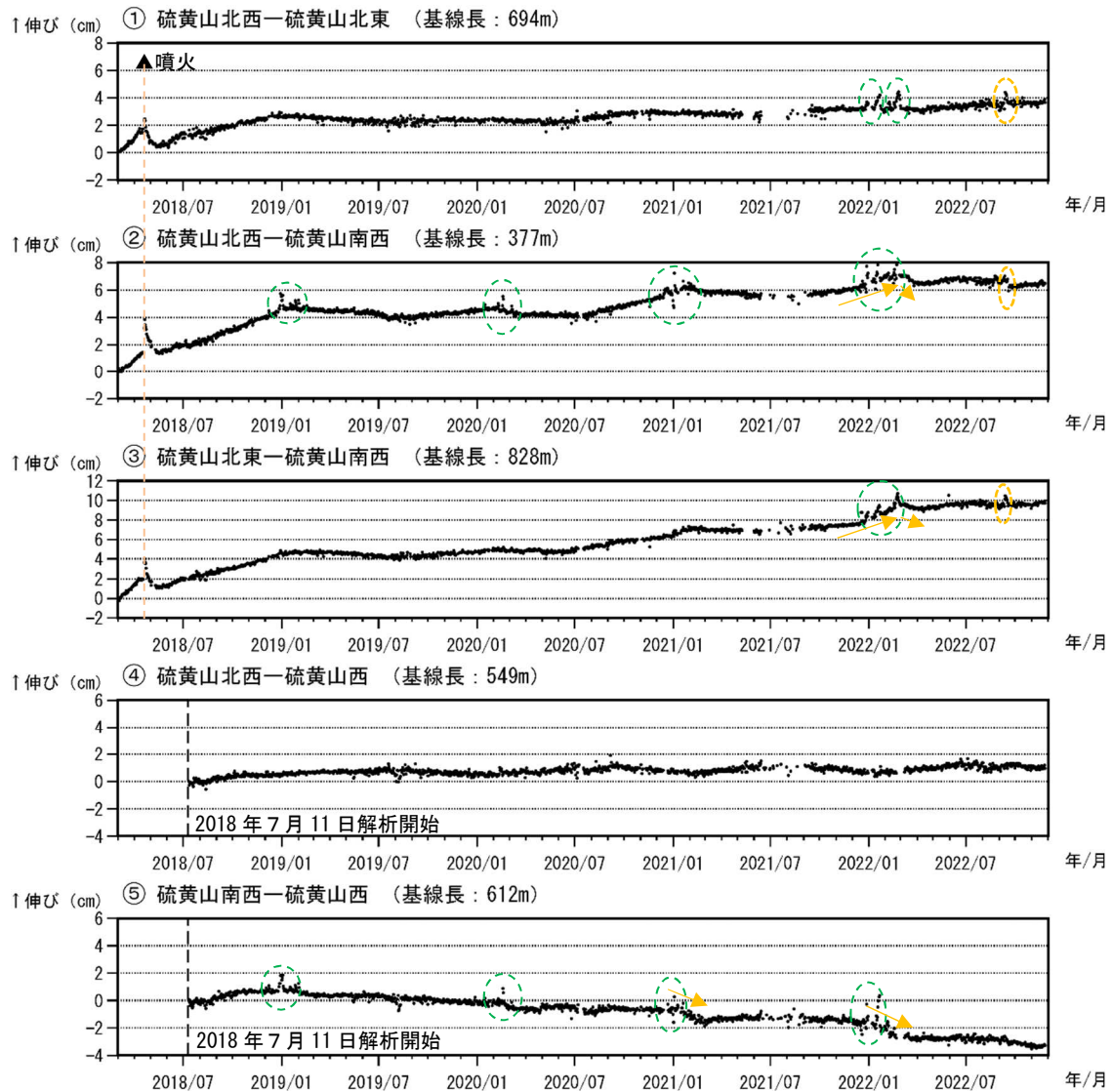


図5 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） GNSS 連続観測による基線長変化
(2018年3月～2022年12月1日)

GNSS 連続観測では、硫黄山近傍の基線長において特段の変化はみられていない。

これらの基線は図6の①～⑤に対応している。

基線の空白部分は欠測を示す。

緑色の破線内の変化は、地面の凍上の影響と考えられる。

橙色の破線内の変化は、台風等の気象要因の影響と考えられる。

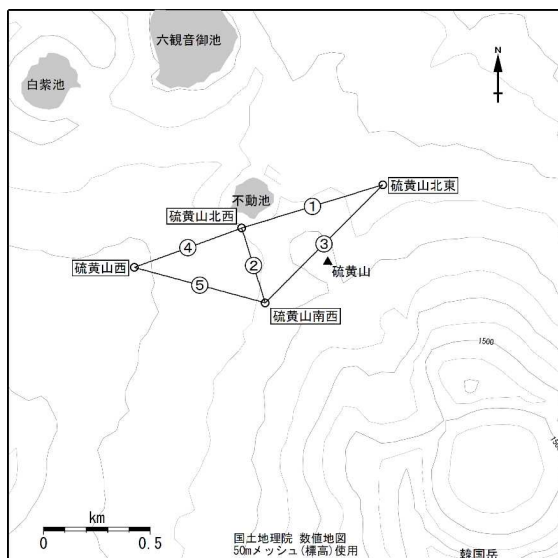


図6 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）
図1④及び図5のGNSS連続観測点と基線番号

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、火山活動によって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。

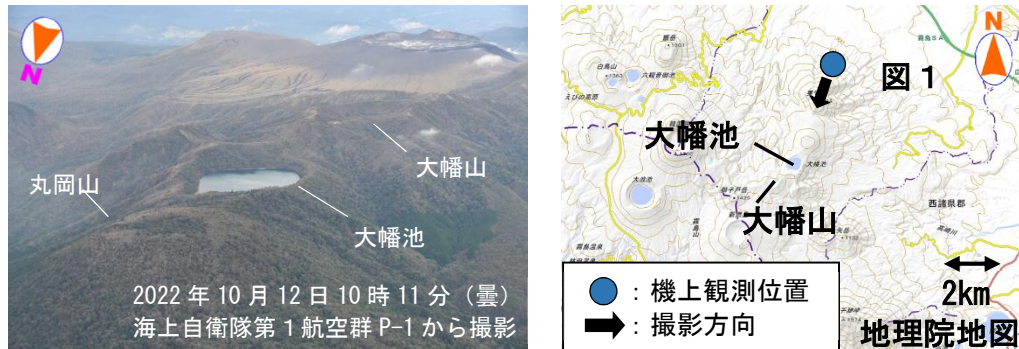


図 1 霧島山（大幡池） 大幡池、大幡山の状況（上空から観測）及び観測位置
大幡池及び大幡山では、噴気は認められず、周辺の状況にも特段の変化はみられなかった。

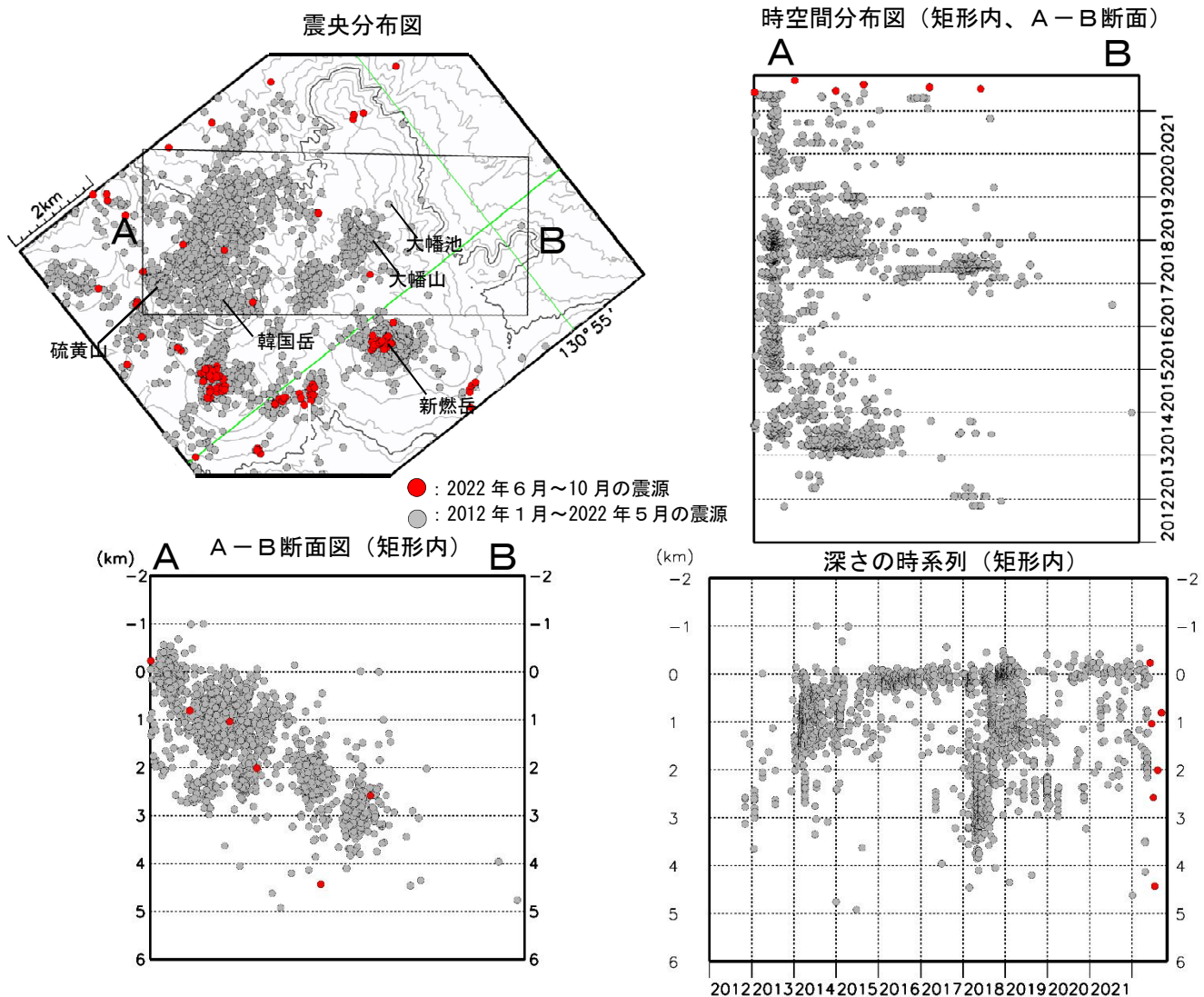


図 2 霧島山（大幡池） 震源分布図（2012 年 1 月～2022 年 10 月）

＜2022 年 6 月～10 月の状況＞

震源は、大幡山付近の深さ 3 km 付近及び大幡池の北側約 2 km の深さ 0 km 付近に分布した。

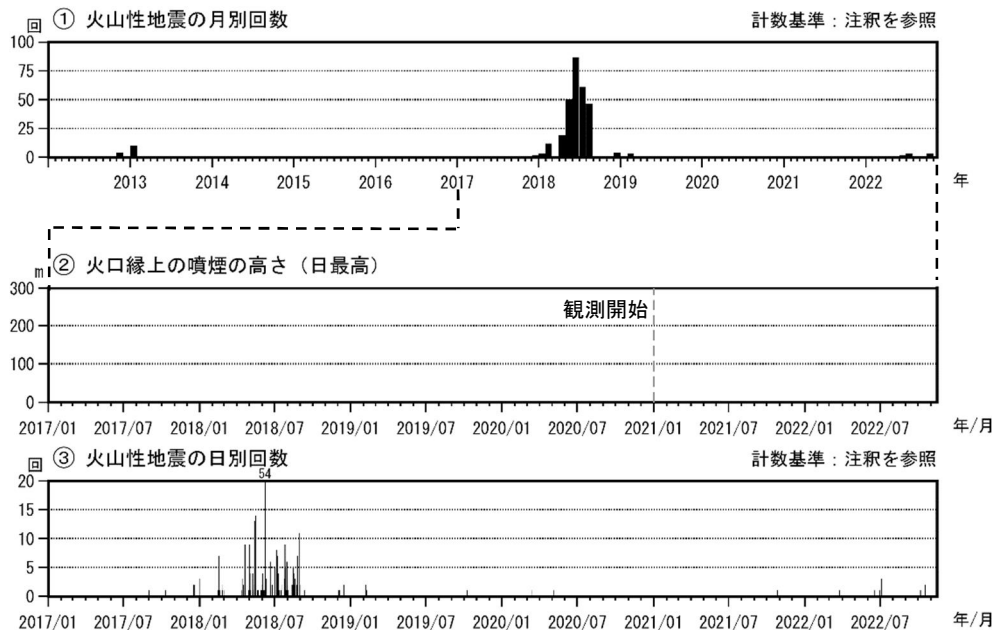


図 3 霧島山（大幡池） 火山活動経過図（2012 年 1 月～2022 年 10 月）

<2022 年 6 月～10 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 $\mu\text{m/s}$ ）」で計数していたが、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 $\mu\text{m/s}$ ）」で計数している。

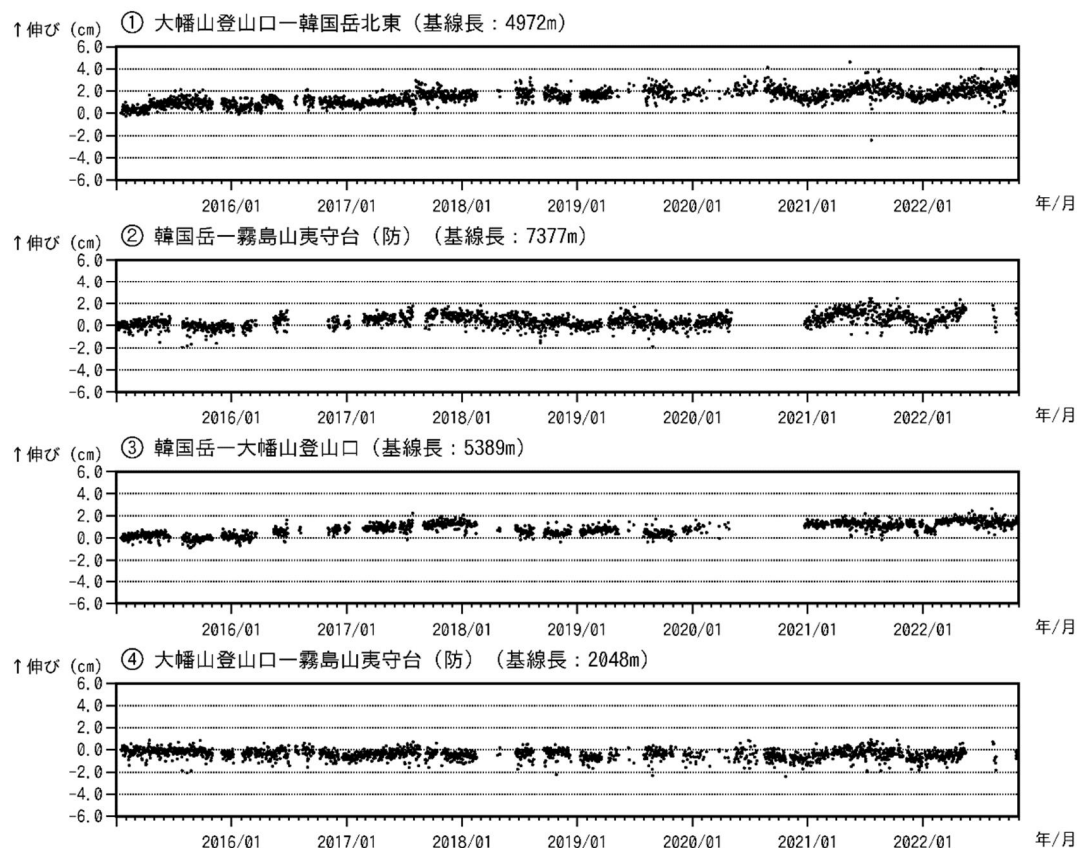


図 4 霧島山（大幡池） GNSS 連続観測による基線長変化（2015 年 1 月～2022 年 10 月）

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。

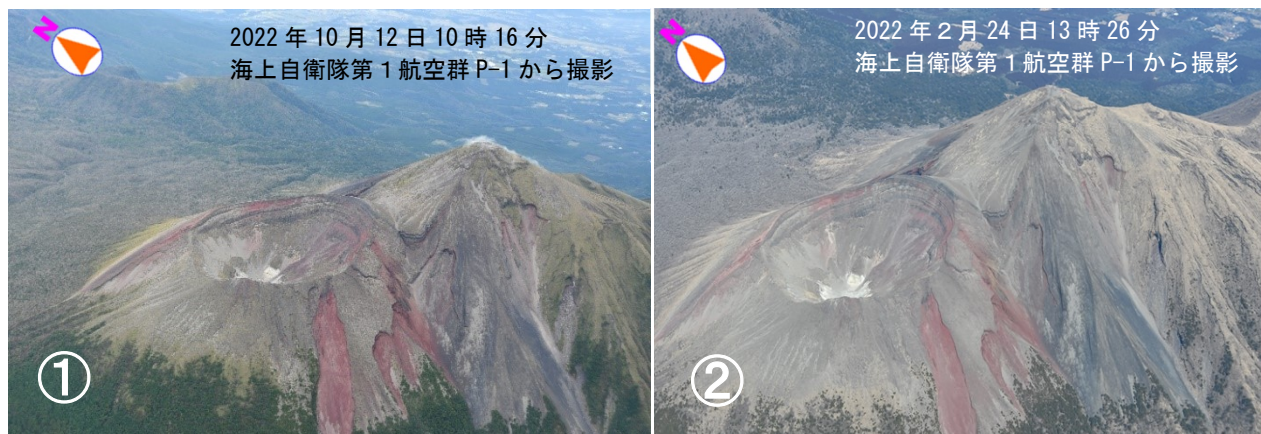


図1 霧島山（御鉢） 御鉢火口の状況（上空から観測）
御鉢火口内及び火口周辺の状況に特段の変化は認められなかった。

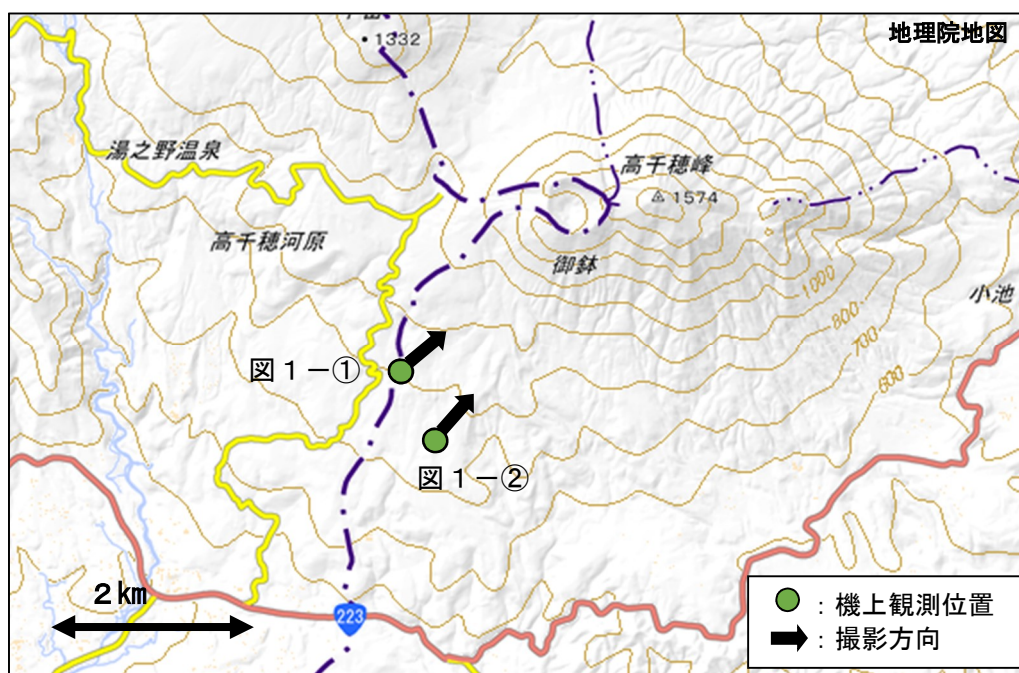


図2 霧島山（御鉢） 上空からの観測位置及び撮影方向

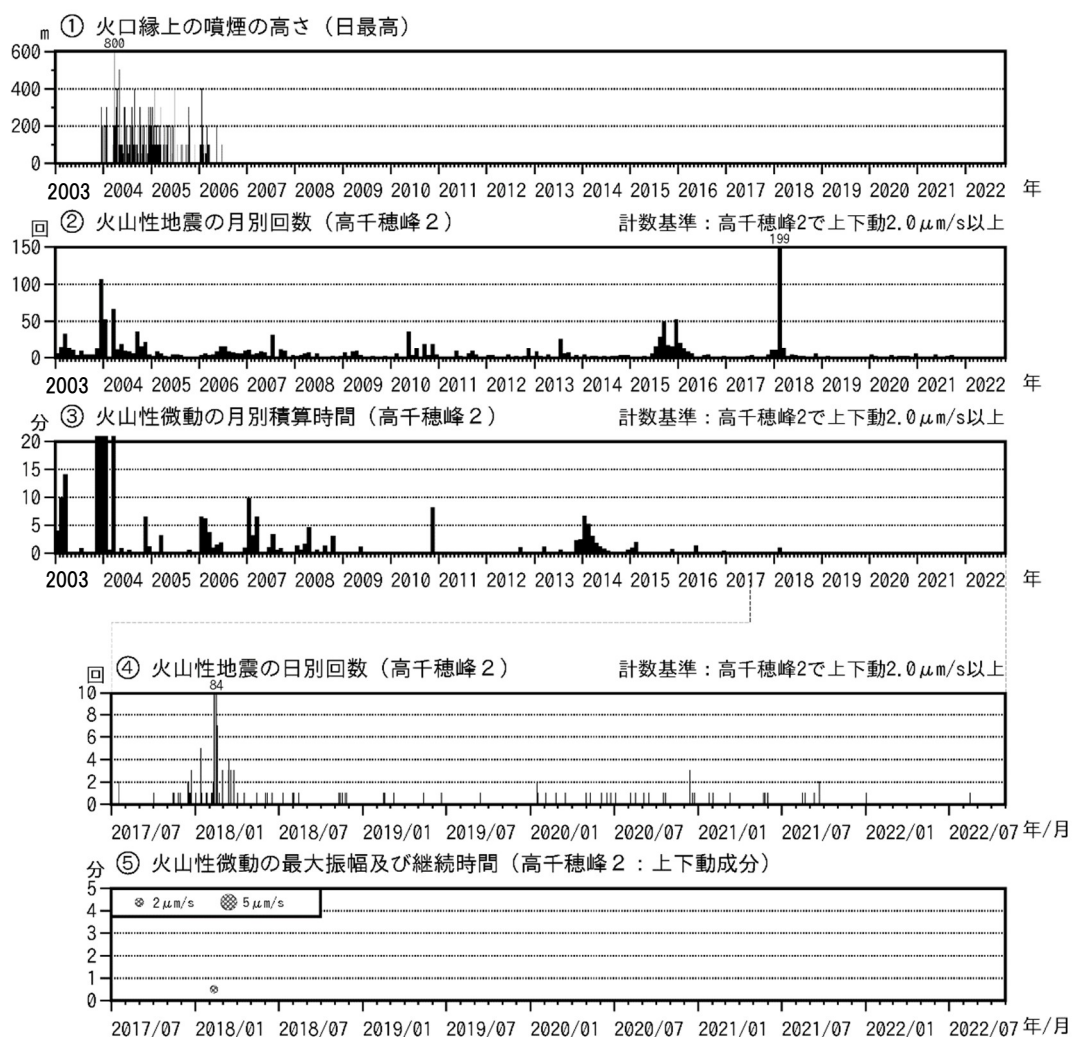


図3 霧島山（御鉢） 火山活動経過図 （2003年1月～2022年10月）

<2022年6月～10月の状況>

- ・火口縁を越える噴煙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。
- ・火山性微動は観測されていない。

※2022年8月21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（南北動または上下動 $1.0\mu\text{m/s}$ 以上）で計数している。

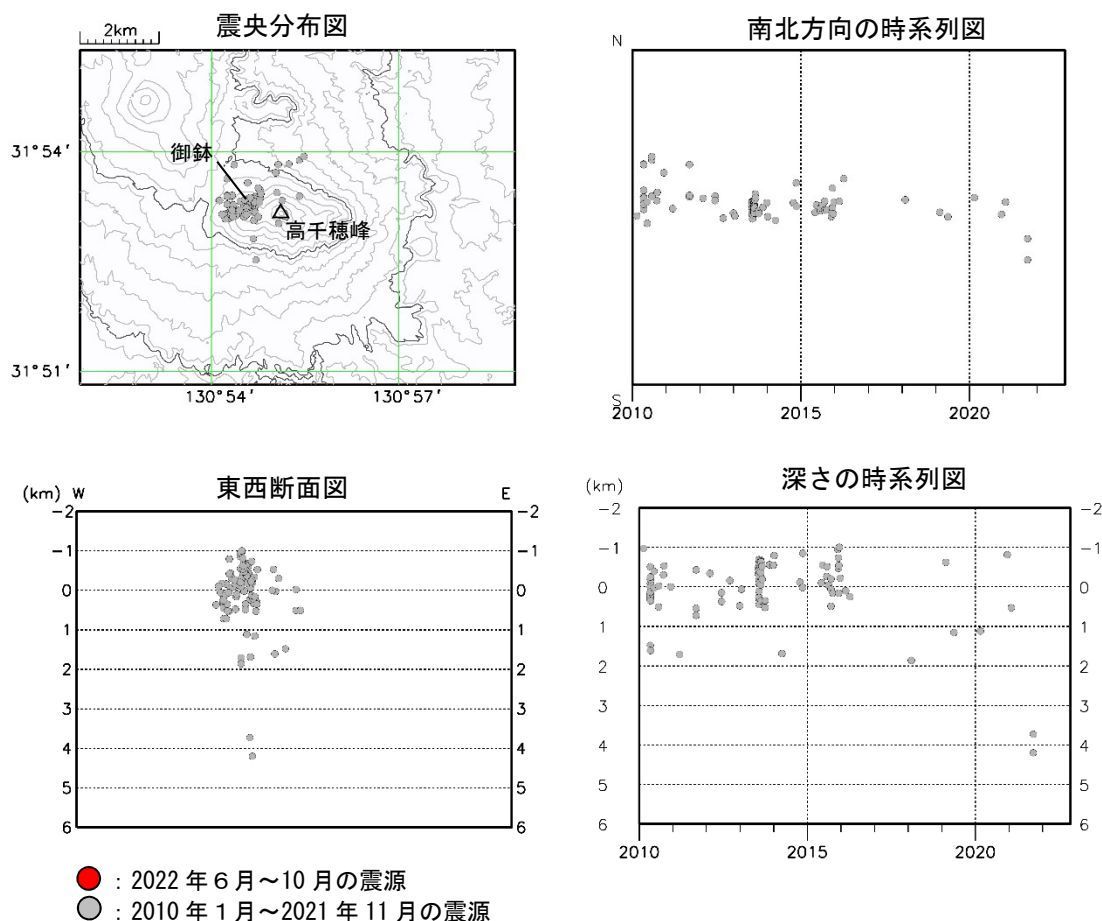


図 4 霧島山（御鉢） 震源分布図（2010 年 1 月～2022 年 10 月）

<2022 年 6 月～10 月の状況>

震源が求まった火山性地震はなかった。

※御鉢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。

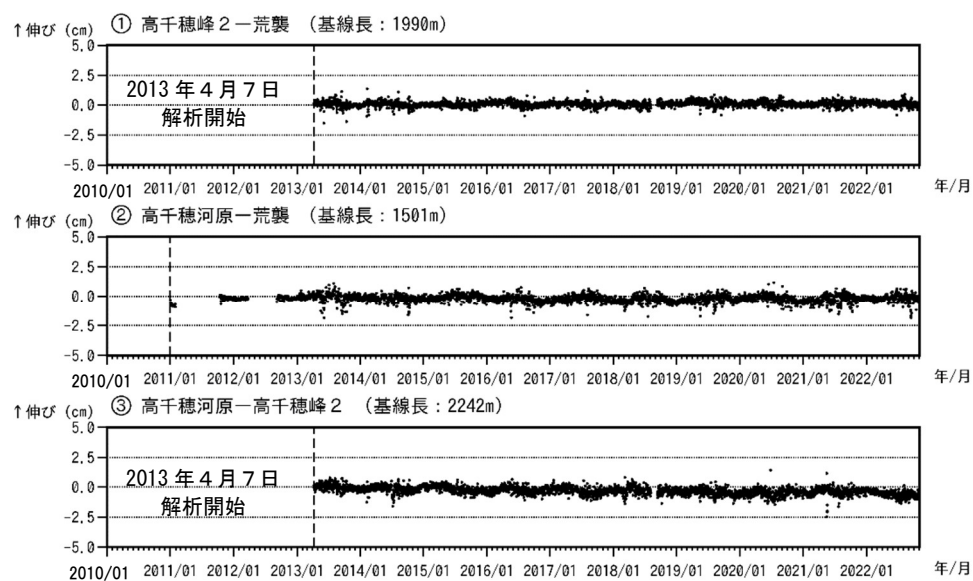


図 5 霧島山（御鉢） GNSS 連続観測による基線長変化（2010 年 1 月～2022 年 10 月）

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。

※2013 年 1 月に、解析方法を変更している。

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

新燃岳火口内で視線距離伸長の位相変化が認められる。その他の地域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。

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

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.
130_630 (SM1_U2-6)	北行	右	32.4°	2022.02.03	2022.09.29	第 1 図- A, B, C

3. 解析結果

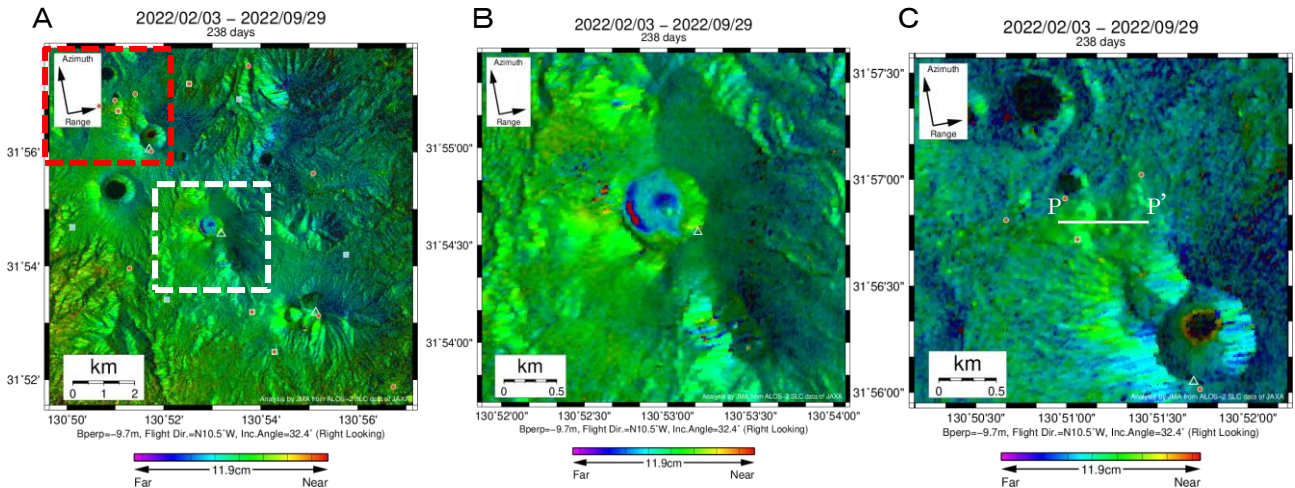
第 1 図に霧島山周辺の北行軌道の長期ペアによる干渉解析結果画像を示す。新燃岳付近では、火口内で視線距離伸長の位相変化が認められる。えびの高原（硫黄山）付近及びその他の地域ではノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

第 2 図にはえびの高原（硫黄山）周辺の地表変位の時間変化を示す。2018 年 4 月以降、B またはその付近において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

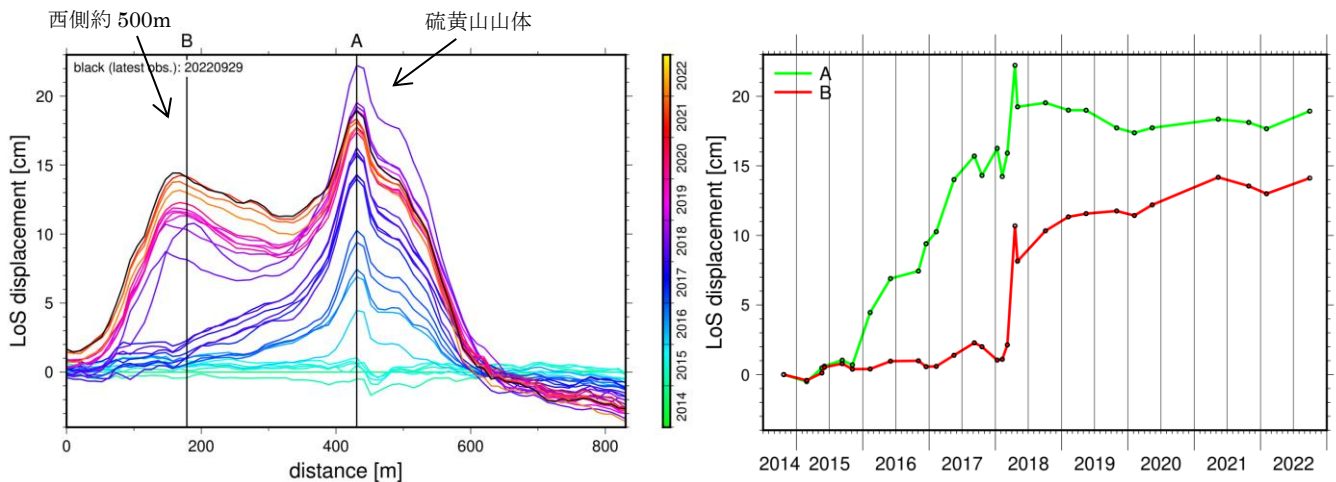
パス 130 (SM1_U2-6) (A, B, C) による干渉解析結果

霧島山及びその周辺 (A)、新燃岳付近の拡大図 (B)、えびの高原 (硫黄山) 付近の拡大図 (C)

図中の白三角印は山頂位置を示す。丸印は GNSS 観測点、四角印は傾斜観測点を示す。

A の白破線は新燃岳付近、赤破線はえびの高原付近の拡大図を示す。

新燃岳付近では、火口内で視線距離伸長の位相変化が認められる。えびの高原 (硫黄山) 付近及びその他の地域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 (パス 130)

左は東西断面 (第 1 図-C 中の P-P')、右は時系列を示す。視線距離短縮を正とする。

2018 年 4 月以降、B またはその付近において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

(2022 年 11 月 22 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。

11 月 22 日の観測時点で熱水の供給が続き、これを採取できた硫黄山南火口跡(Pa)の Cl/SO_4 比は本年 11 月 22 日時点で約 0.07 であり、本年 6 月 13 日(Cl/SO_4 比=1.05) から減少した(図 1)。ただし、硫黄山南火口跡(図 2; Pb), 硫黄山西火口跡(V2), 硫黄山西麓湧水(A) は熱水が消失していた一方、Pb では火山ガスの放出が継続し、Pa 近傍には熱泥孔が出現するなどの地表面変化が観察されており(図 3), 今後も推移の観測を継続する。

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

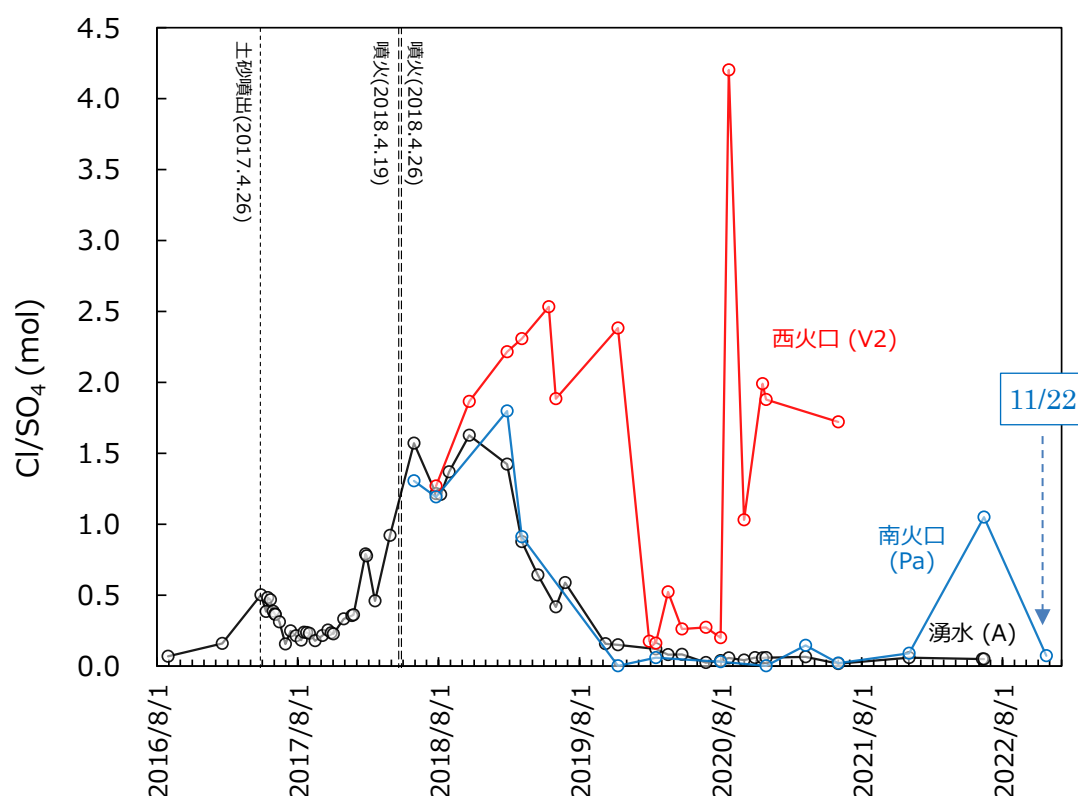


図 1. 硫黄山周辺の湧水・火口跡熱水の Cl/SO_4 モル比の変化

* 南火口周辺には複数の湯だまりがあるが、本資料では Pa について表示している。

*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)の研究費を使用しました。

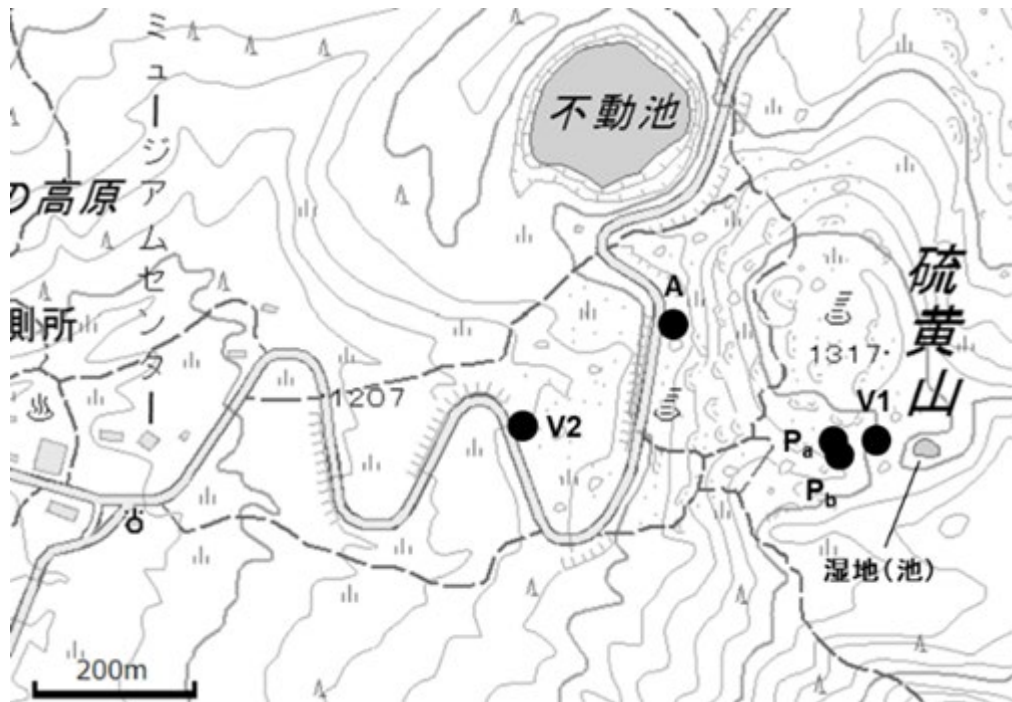


図 2. 試料採取および観測地点 (背景地図に地理院地図を使用した)

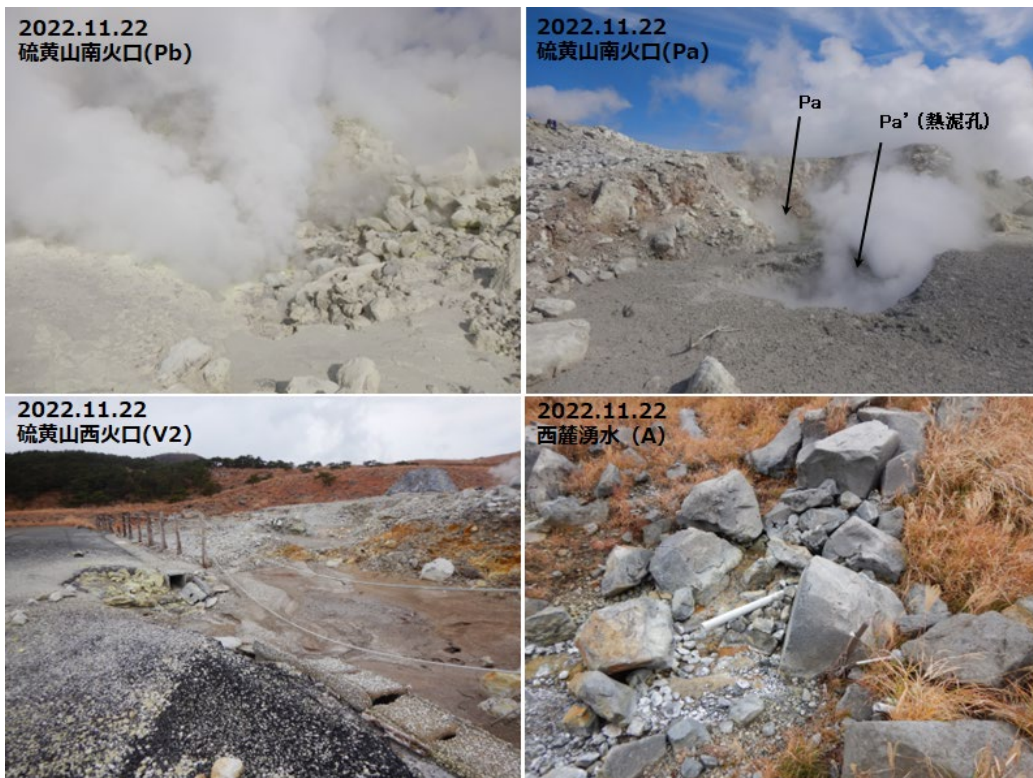


図 3. 硫黄山周辺の湧水・火口跡熱水の様子 (2022.11.22)

霧島火山における Seismic background level の時間変化

新燃岳における微弱な火山性微動を反映している地震波背景振幅レベル (Seismic background level, 以下 SBL) の長期活動の解析を行った。新燃岳での SBL の時間変化は火山活動との関連していることが指摘されており、例えば 2008 年 8 月の水蒸気爆発以降の約 8 か月ほぼ同じレベルで継続していたことと、2010 年 10 月から 2011 年噴火に向けては、顕著に振幅の増加が進んだことが報告されている。さらに、2017 年新燃岳噴火の数か月以上前から振幅の加速的増加が発生し、2018 年噴硫黄山火まで続いた (図 2)。SBL の成長期は、深部マグマだまりの膨張を示す地殻変動も発生していること、その震源は新燃岳火口近傍の 2 km 以浅にあると考えられることから、噴火前の長期的なマグマ移動に伴う振動であると解釈されている。2020 年以降の変動をみると、2020 年から約 1 年間 EV.SMN や EV.SMW といった新燃岳火口近傍の観測点で SBL の一時的な高まりがみられ、その後 SBL は一時減少したが、2022 年 1 月頃より EV.SMN や EV.SMW において再び増加し、2022 年 11 月 29 日現在振幅レベルが高い状態が継続している (図 2)。

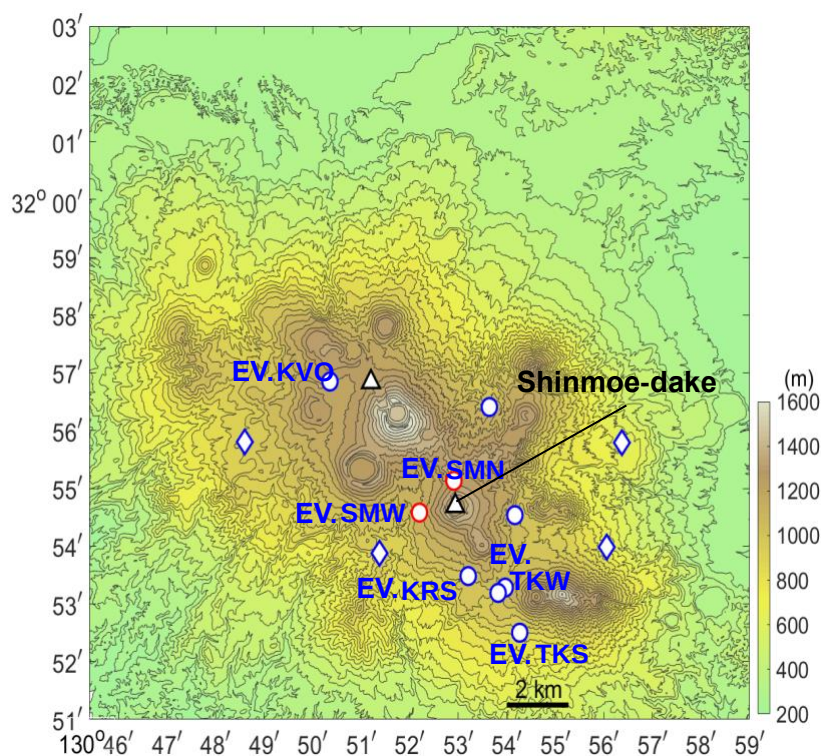


図 1 Seismic background level (SBL) の時間変化推定に使用した観測点の分布図。

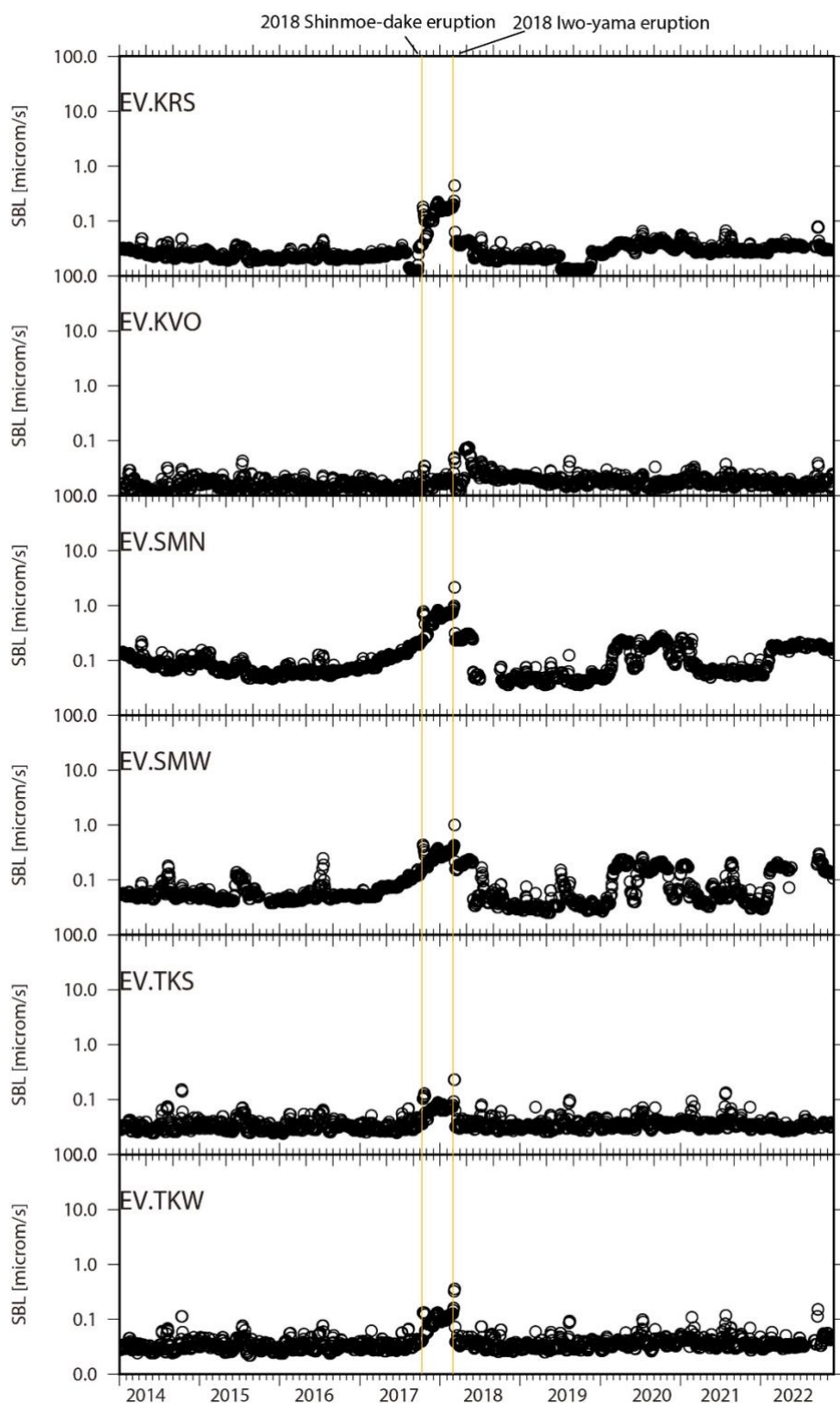
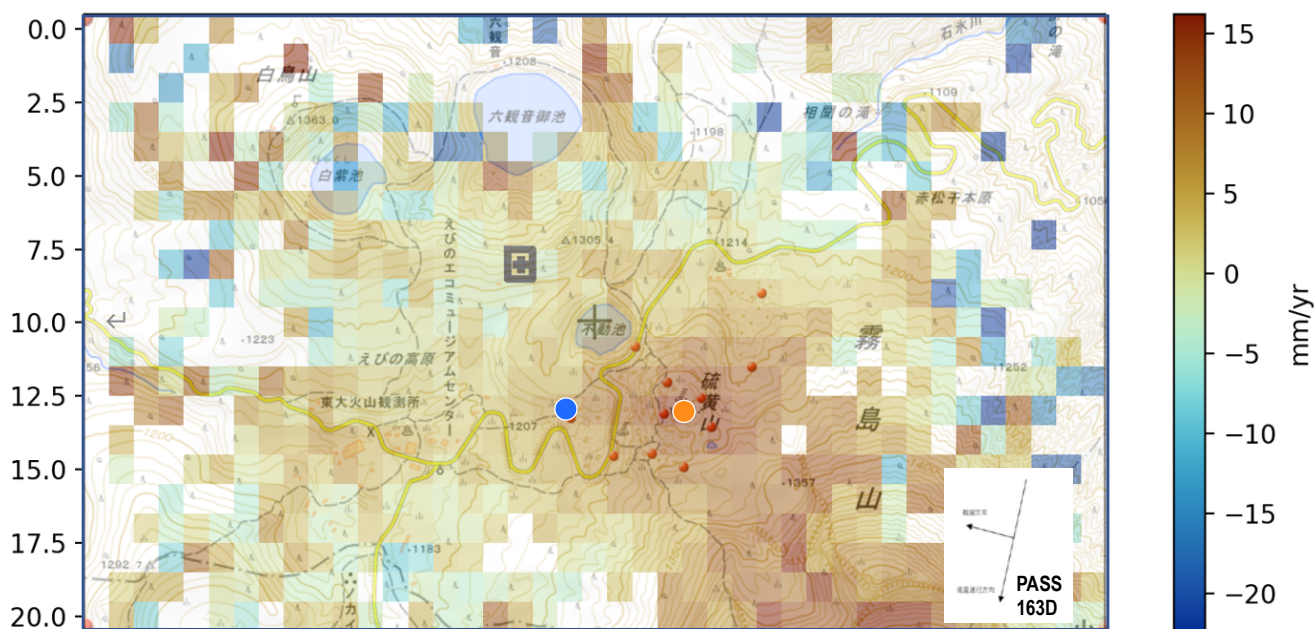


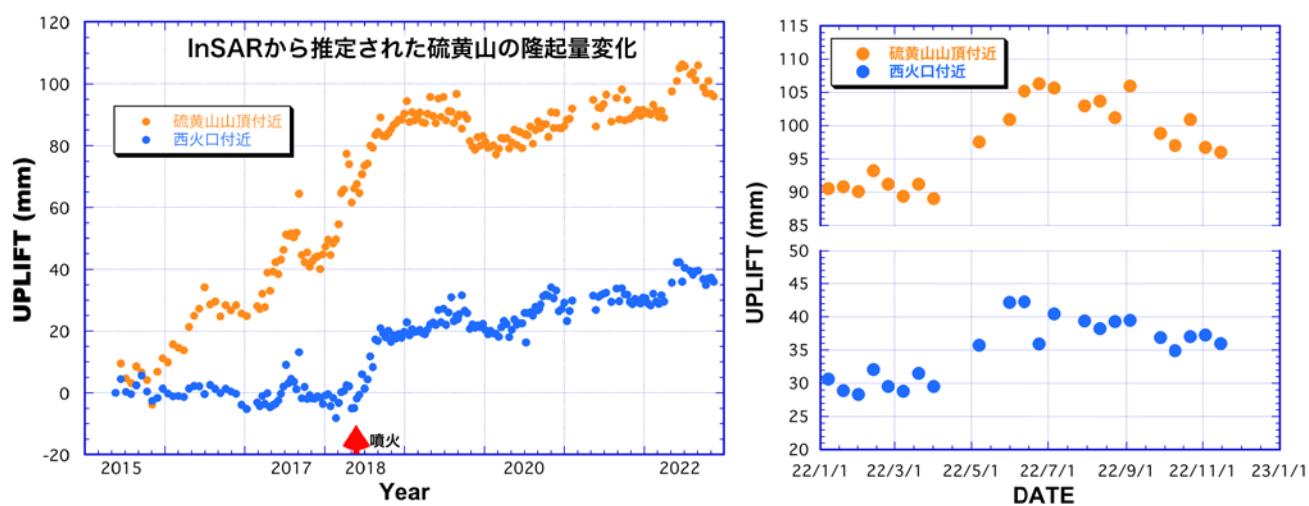
図2 2014年1月1日～2022年11月29日における期間での、各観測点でのSBLの変化。最近では2022年1月頃にEV.SMNとEV.SMWでSBLの増加が起き、振幅レベルが高い状態が続いている。なお、EV.SMWにおける夏季のSBL増加は降雨の影響である。

InSAR 解析から推定された硫黄山の隆起活動

2022 年 4 月上旬より霧島硫黄山頂から西火口にかけての地域で隆起現象が生じていることがわかってきたが、最新データ(11 月 15 日)の InSAR 解析では 7 月上旬ごろから徐々に沈降していることがわかった。地表の地熱現象も沈静化の様相をみせており、調和的な結果となっている。



第 1 図 Sentinel-1 の InSAR 解析から得られた視線方向変位速度図(2021/10~2022/10)



第 2 図 InSAR 解析から推定された硫黄山山頂および西火口付近の隆起量の時間変化。右図は最近 1 年間の拡大図。今回は南行軌道の視線方向の距離の変化のデータのみ使用しているが、唐(2022)より、硫黄山山頂部ではほぼ上下変動のみ、西火口付近では上下方向の約 0.6 倍の西向き変位が平均的に求められているので、その値を使用して上下変位に換算している。

謝辞：LiCS プロジェクト (COMET) が公開している Sentinel-1 衛星のバスの自動干渉済み SAR データおよび時系列解析ツール LiCSBAS (Morishita, 2020) を使用した。地図描写には地理院地図を用いた。ここに記して感謝する。

硫黄山周辺（硫黄山・硫黄山西噴気帯）の地熱活動の変化について

活発な地熱活動が続いていた硫黄山噴気帯（硫黄山南火口）、硫黄山西噴気帯（硫黄山西火口）であるが、硫黄山西噴気帯（硫黄山西火口）では地熱活動の衰退が見られた。硫黄山噴気帯（硫黄山南火口）では、10 月に入ってから Y2a, Y2b で定常的な湯溜まりがほぼ消失したが、活発な噴気活動は継続しており引き続き監視が必要である。

1. 概 要

えびの高原（硫黄山）周辺の南火口、西火口周辺を含む硫黄山及び硫黄山西噴気帯では、2022 年 5 月に入り表面活動に活発化がみられた（第 150 回火山噴火予知連絡会資料）。地熱活動の活発後にも継続調査を行い、7 月 28 日の調査では硫黄山西噴気帯域の地熱活動に縮小傾向、10 月には Y2a, Y2b での定常的な湯溜まりの消失が見られたため報告する。

2. 硫黄山南火口及び周辺の活動（硫黄山噴気帯）

硫黄山南火口及び周辺（図 2）の活動では、2022 年 5 月 18 日の調査で Y2b での活発な噴湯、Y2a 火口湯だまりにおいて複数箇所の噴湯が生じ、Y3 火口では 2018 年 12 月以来と考えられる高水位の湯だまり形成が形成されるなど非常に活発な活動が生じていた。その後、6 月 7～9 日の調査では、Y2b での噴湯はおさまり、Y3 の湯溜まりが消失していた（図 7）。また 7 月 28 日の調査では全体として地熱活動の大きな変化は見られなかったが（図 2）、Y2a では噴湯する箇所数が少なくなっていた。また空中赤外映像（図 3）をみると、南火口の北側の噴気地帯（H, G, I）の高温領域の減少が見られている。

Y2a, Y2b 湯溜まり及び活発な噴湯活動が 9 月 18 日まで監視カメラにより確認できたが、その後台風による 900mm を越える降雨（えびの高原）に伴い、9 月 19 日には Y2a で急激な水位増減変化が少なくとも 3 回確認され、満水状態や噴気の停止・湯溜まりの消失現象が繰り返された。その後 9 月末までは、Y2a の湯溜まり及び噴湯現象が続いていたが、10 月に入ると湯溜まりが消滅し、地下からの噴気が直接噴出するようになっていた。10 月 21 日の現地調査では、Y2b に小さな湯溜まりを確認したが、Y2a には湯溜まりが見られなかった（図 5～図 7）。しかし、Y2a, Y3 では活発な噴気活動は継続しており、Y3 では 10 月 21 日に 124.0℃の噴気温を観測した（図 14）。一方、11 月 13 日の 30mm の降雨の後には Y2a の湯溜まりが一時的に復活していることが監視カメラにより確認されており、最近では地下水位の影響が強くなっているように考えられる。

3. 硫黄山西火口及び周辺の活動（硫黄山西噴気帯）

硫黄山西噴気帯の川湯周辺（図 2）では、2022 年 5 月になって、K2, U3 などジェット・可聴音を伴う活発な噴気活動や熱泥水孔の出現が確認されていた。しかし、7 月 28 日の調査では、K2 に顕著な噴気活動が見られず、熱水孔に高温のたまり水がある程度に衰えた（図 9）。U3 に形成された熱泥水孔もわずかに水頭が確認される程度であり水位低下が生じていた（図 10）。また、空中赤外映像調査によると、7 月 22 付近での県道西側の地熱域が縮小

しており, その他多くの地熱域や噴気が縮小・消失していた(図 4). この傾向は 9 月 14 日, 10 月 21 日調査でも変わらず, 9 月 14 日には県道西に加え川湯周辺(K7, K2, K6)の地熱域が縮小していた(図 2). 一方, 10 月 21 日の際には, 硫黄山西火口(W4)から噴気活動が生じていたことを確認したが, 以前の噴気と比べ顕著な変化は認められない(図 8).

4. 2022 年イベントの地熱活動について

第 150 回火山噴火予知連絡会追加資料では, イベントを挟んだ K3 湧水の温度上昇率を示した. 過去に生じた 2017 年ジェット噴気形成・2018 年噴火イベント前後では, いずれも K3 湧水温が急上昇し, その上昇率は概ね $0.30 \sim 0.35^{\circ}\text{C}/\text{day}$ であった. 第 150 回追加資料では, 今回も 4 月 20 日以降に K3 湧水温の急上昇 ($0.79^{\circ}\text{C}/\text{day}$ もしくは $0.37^{\circ}\text{C}/\text{day}$) が生じていることを報告したが, 連絡会時にはその推移の判断はつかなかった. その後の 7 月 1 日 (57.3°C), 今回の 7 月 28 日 (60.5°C) の結果から, 5 月 22 日頃を境として上昇率が緩やかになる傾向に転じた(図 12). この様なイベント前後の急な水温上昇から緩やかな水温上昇に変わる変化は 2017 年, 2018 年イベント時にも観測され, それらと同程度の上昇率を示したが, 現時点で上昇傾向は見られず安定もしくは低下傾向である(図 15).

5. 化学組成の経時変動

南火口の湯だまりでは, 2022 年の 5 月に Y3 噴気孔に再び湯だまりが形成されるなど噴気活動の活発化が認められ, これに合わせて $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HSO}_4) > 0.7$ を超える高い比が Y3, Y2a で観察された. さらに 6 月の調査時には Y3 の湯だまりが消失し噴気のみになったが Y2a, Y2b の湯だまりで $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HSO}_4) > 0.5$ を超える高い比を維持していた. しかし 7 月の調査時には, Y2a, Y2b の湯だまりとともに $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HSO}_4) < 0.2$ に低下し, 2021 年 1 月から 4 月および 2021 年 11 月以降の冬季と同じレベルに戻っていた(図 1). 5 月の活動の活発化と関連するマグマ由来成分の供給は一時的であったと考えられる.

一方, 県道のすぐ下から西火口にかけての地域の湯だまりの熱水 K2, U3 においては, 5 月以降 $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HSO}_4) < 0.2$ の低い比を保っている. また県道のすぐ下側に位置する湯だまり M8 においても $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HSO}_4) < 0.05$ の低い値を保っている(図 1). これらの結果はマグマ由来成分の直接的な供給が南火口周辺に限定されていたことを示唆する.

【謝辞】

本研究の一部は, 文部科学省による「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト(課題 B4)」, 「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第 2 次)」, 東京大学地震研究所共同研究プログラムおよび九州大学「実践的火山専門教育拠点」プログラムの援助を受けた. 現地調査の際には, 噴気温等の測定は九州工業(株)に, 安全確保のために気象庁鹿児島地方気象台に火山活動監視を依頼した.

【文献】

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・松島 健・宮本知治・前野 深

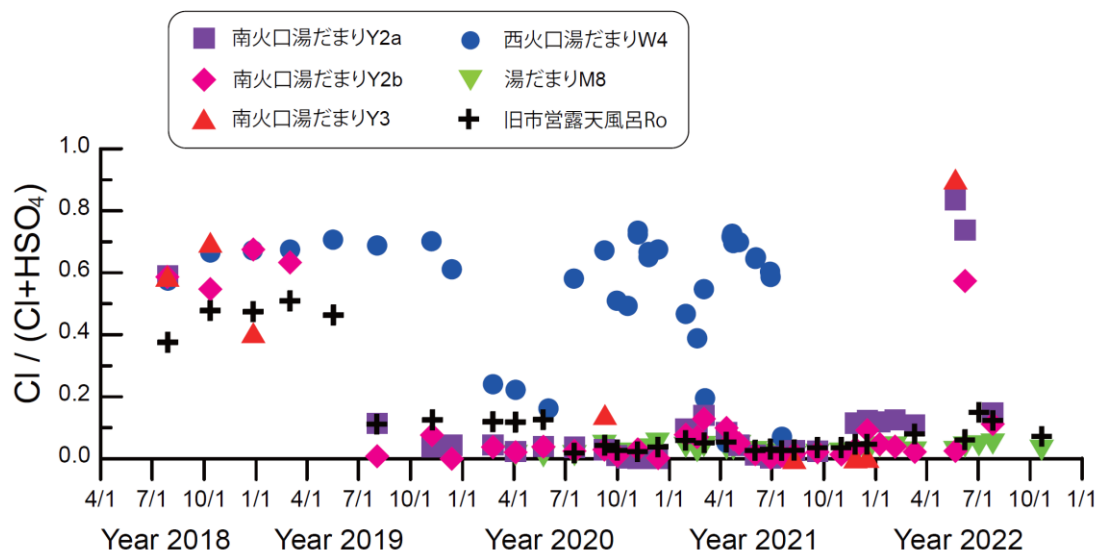
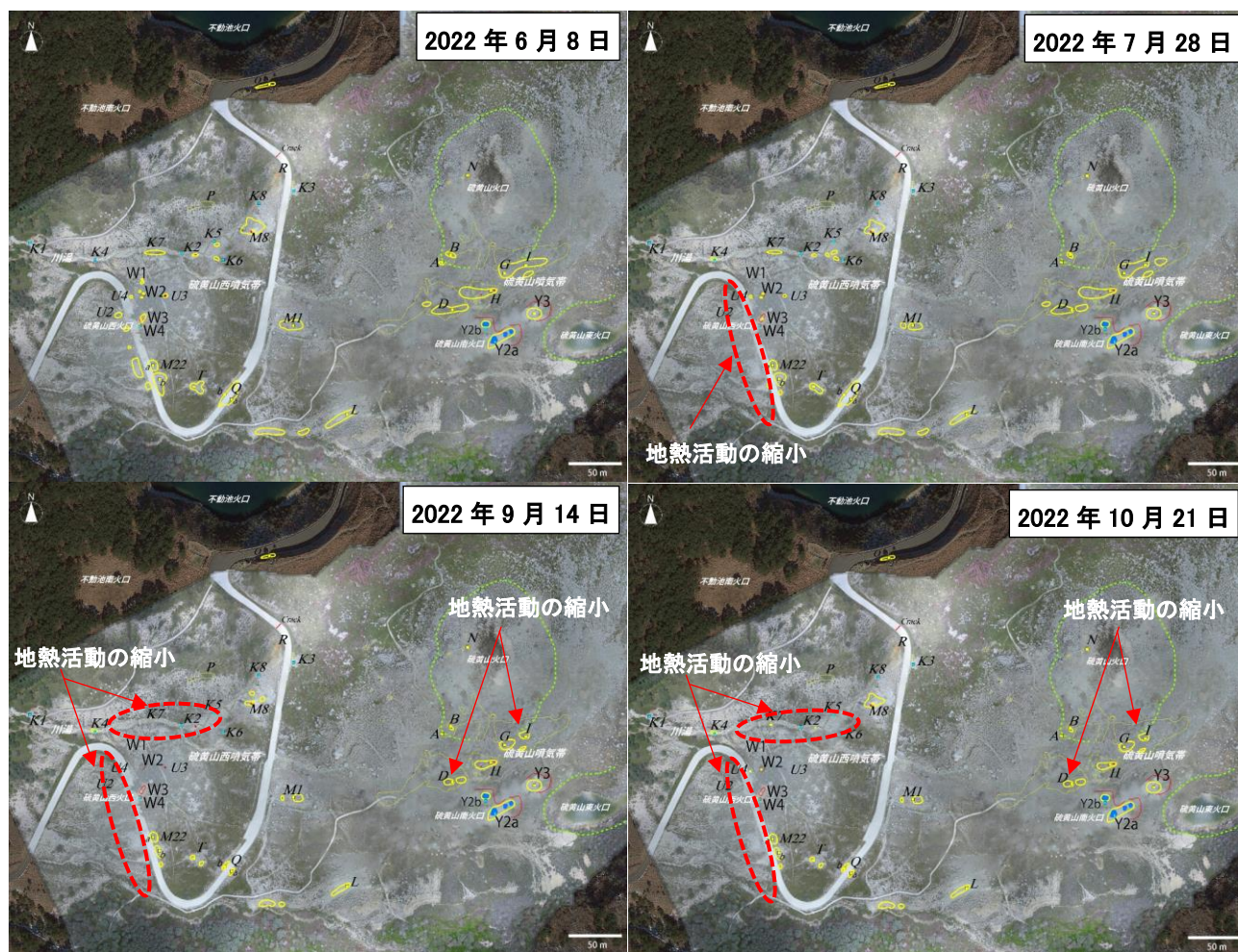
図 1 霧島硫黄山周辺の湯だまりおよび温泉水の $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{HSO}_4)$ 比 (モル比) の経時変化

図 2 硫黄山噴気帯・硫黄山西噴気帯周辺の噴気位置変遷

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。

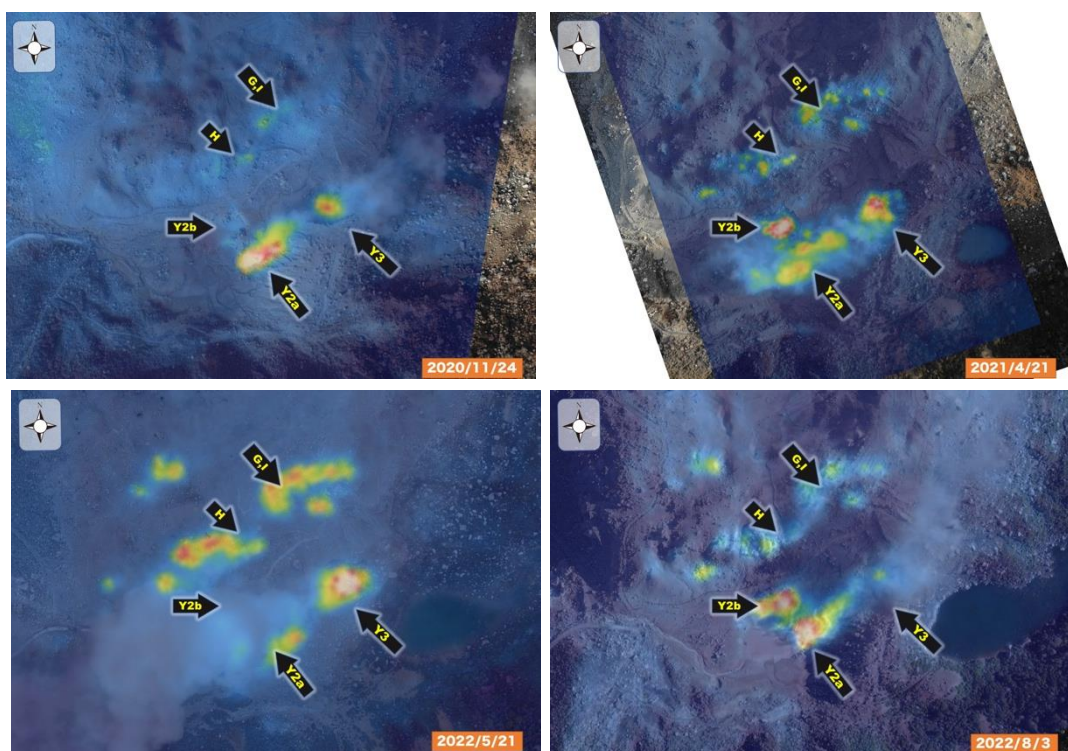


図 3 硫黄山南火口付近の空中赤外映像

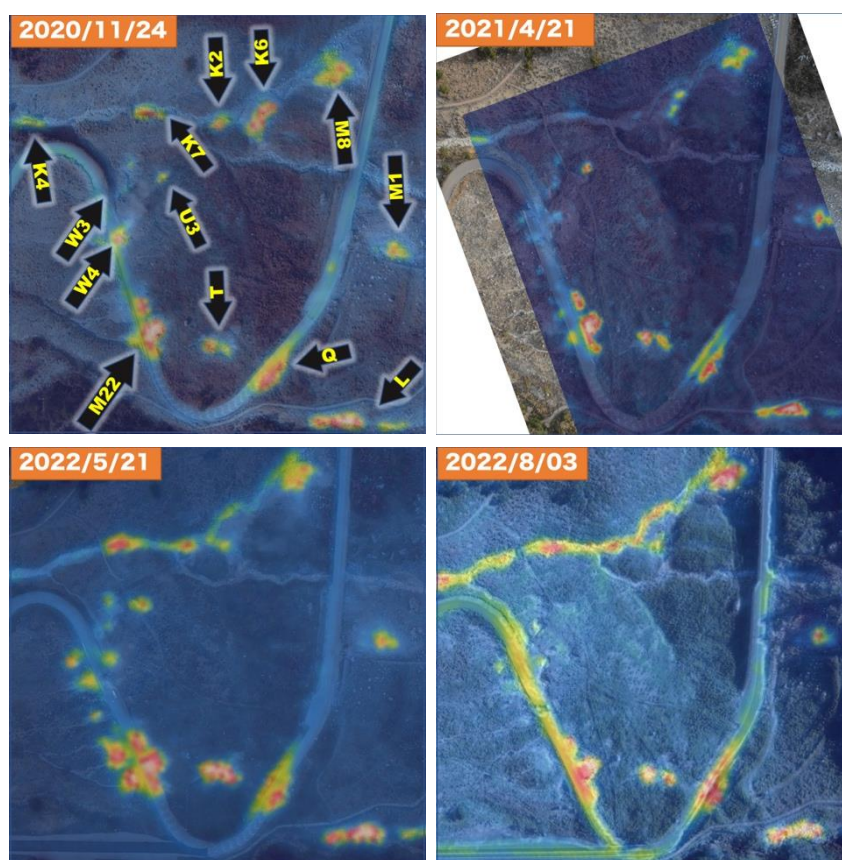


図 4 硫黄山西噴気帯の空中赤外映像

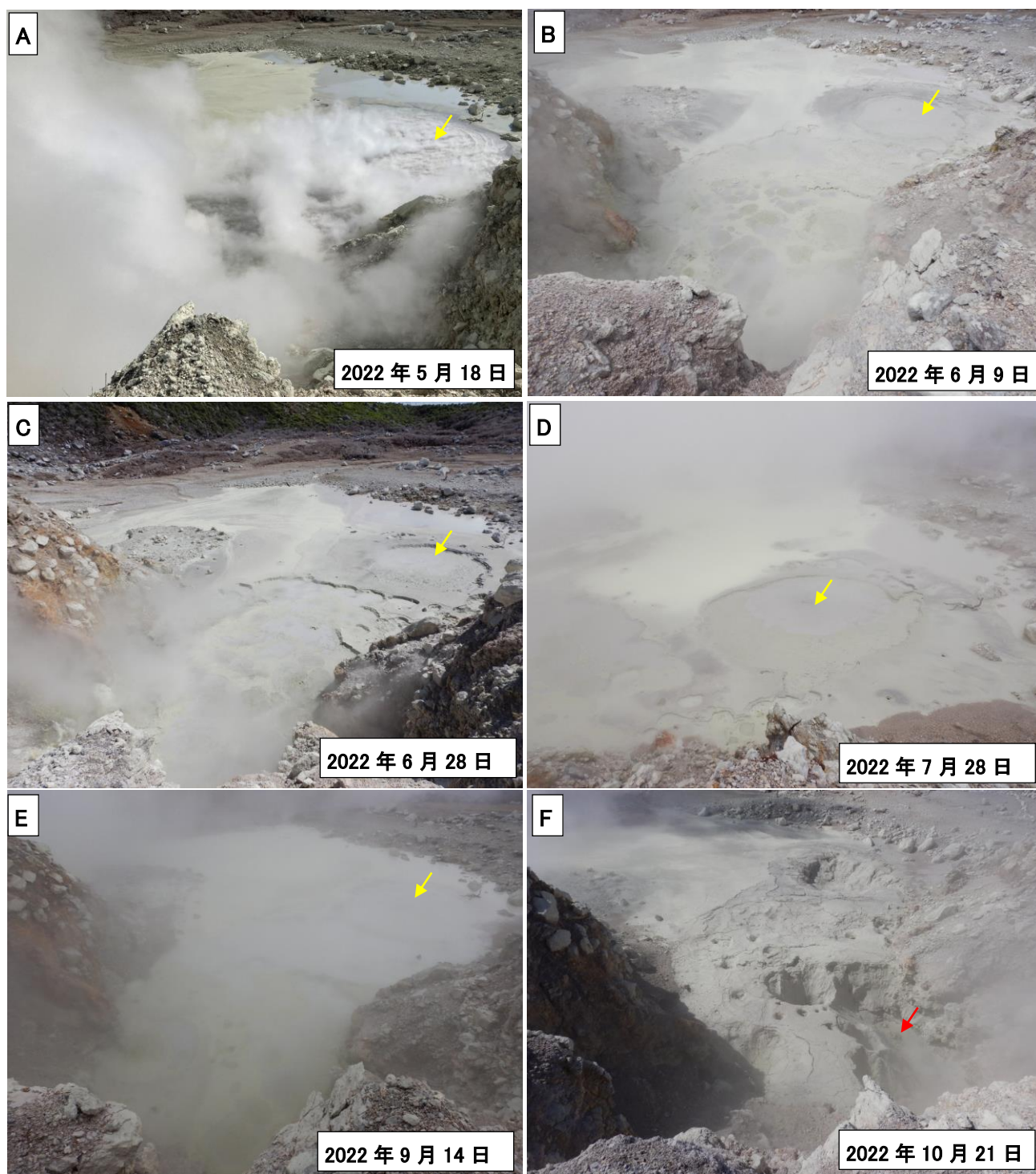


図 5 硫黄山南火口(Y2b)の湯だまりの変化

A. 2022年5月18日, ガス湧出量が多く噴気に覆われる。写真奥の小穴(黄矢印)からは活発な噴湯が見られる。B. 2022年6月9日, ガス湧出量が多く, 小穴には湯だまりが見られる。C. 2022年6月28日, ガス湧出量が多く噴気に覆われる。小穴の水位に大きな変化はない。D. 2022年7月28日, ガス湧出量が多く噴気に覆われる。小穴の水位に大きな変化はない。E. 2022年9月14日, 湯溜まりが維持される。直前に降雨があり, 湯溜まりの水位がやや高い。F. 2022年10月21日, 極一部に熱水湧出が見られるが(赤矢印), 湯溜まりがほぼなくなる。

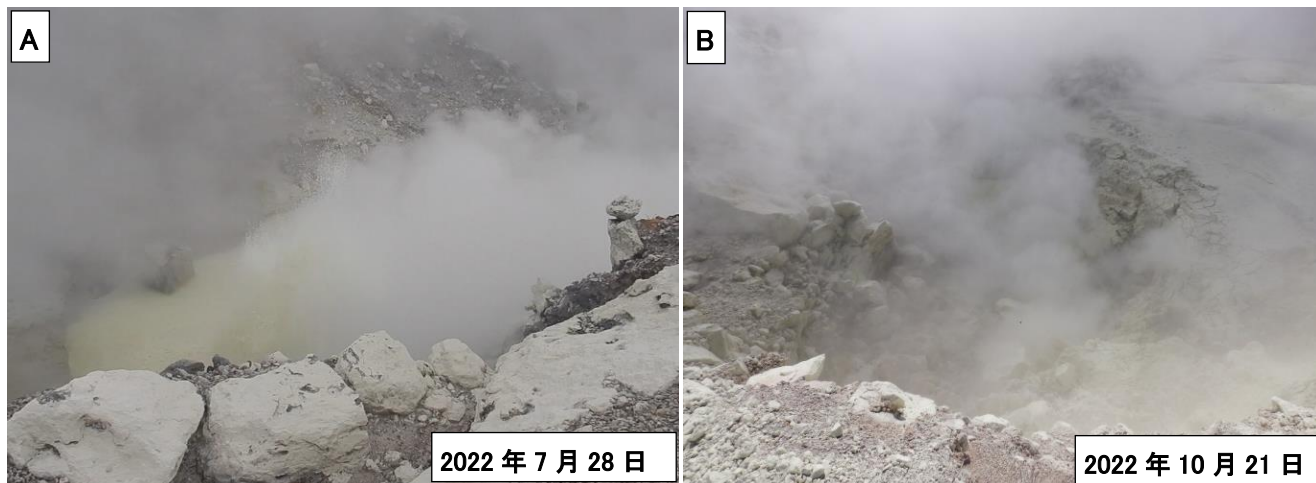


図 6 硫黄山南火口(Y2a)の湯だまり及び噴気

A. 2022年7月28日には湯だまりが維持されており, 9月14日も同程度であった. B. 2022年10月21日の状況. 湯だまりが消失した.

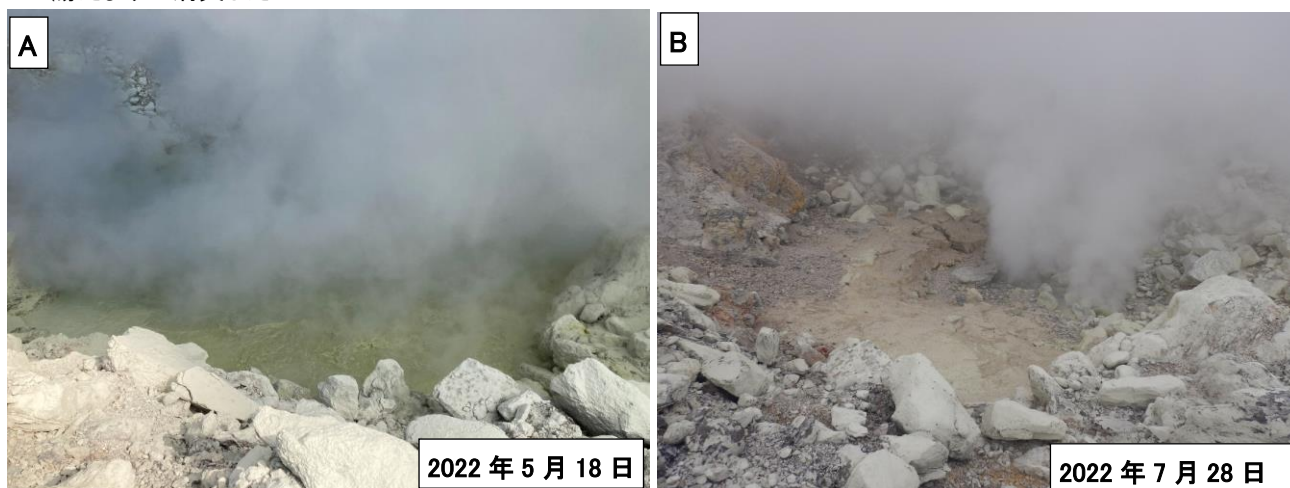


図 7 硫黄山南火口(Y3)の湯だまり及び噴気

A. 2022年5月18日の湯だまりは2018年12月以来の高い水位であった. B. 2022年7月28日の状況. 湯だまりは消失しており, 9月14日には降雨によると推定される水位が確認されたが, 10月21日には消失していた.

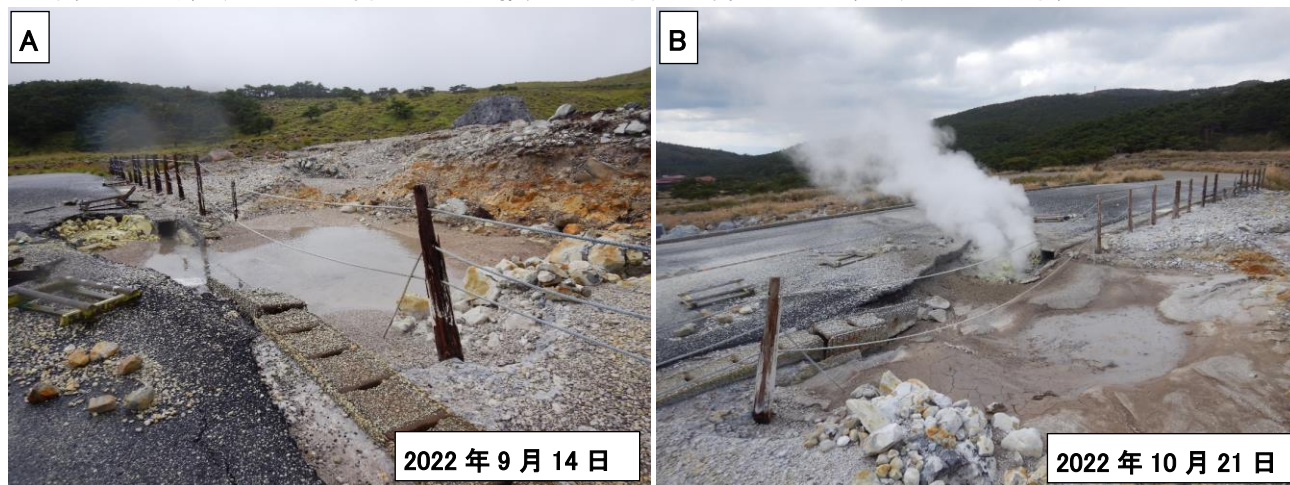


図 8 硫黄山西火口(W4)の湯だまり及び噴気

A. W4は2022年5月18日に停止し, 9月14日には水たまりが形成されていた. B. 10月21日にW4噴気活動の再開を確認した.



図 9 硫黄山西噴気帯 K2 熱水孔

A. K2熱水孔(長径2.0m, 短径1.2m, 深さ0.4m)は噴湯しており, 下流への白濁水流出が確認できる. B. K2熱水孔の孔底に温水が溜まる程度で顕著な噴気は見られない.



図 10 硫黄山西噴気帯 U3 に形成された熱泥水孔

A. U3に形成された熱泥水孔, 長径1.1m, 短径0.8m, 深さ0.3m, 下流への泥水流出が見られた. B. 熱泥水が見られる孔は1箇所のみである. 下流への流出は見られない.

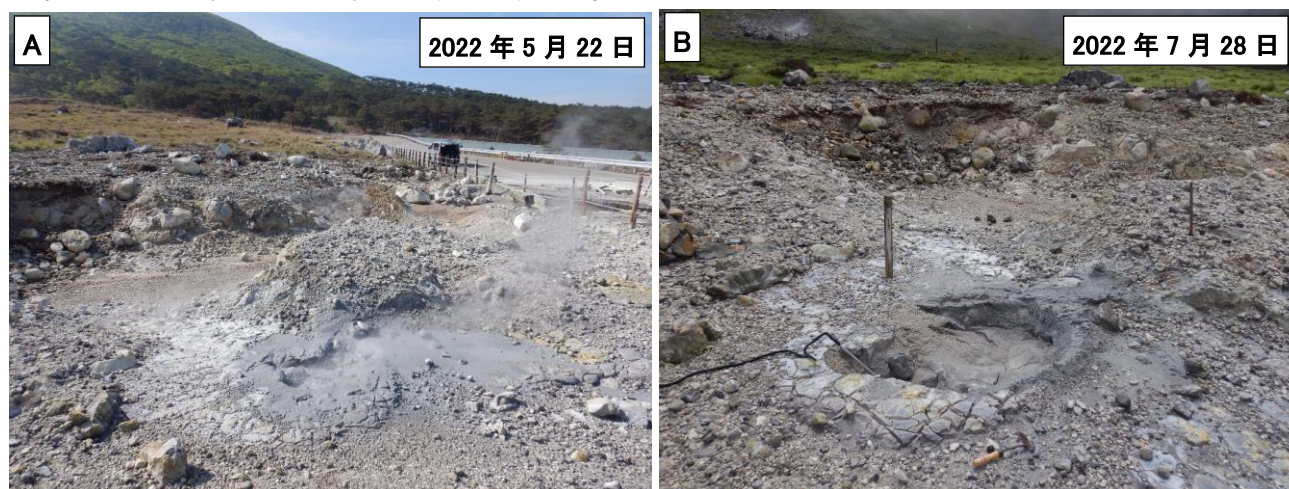


図 11 硫黄山西噴気帯 W3 火口脇に形成された熱泥水孔

A. W3火口の脇に形成された熱泥水孔. B. W3火口脇の熱泥水孔に熱泥水は見られない.

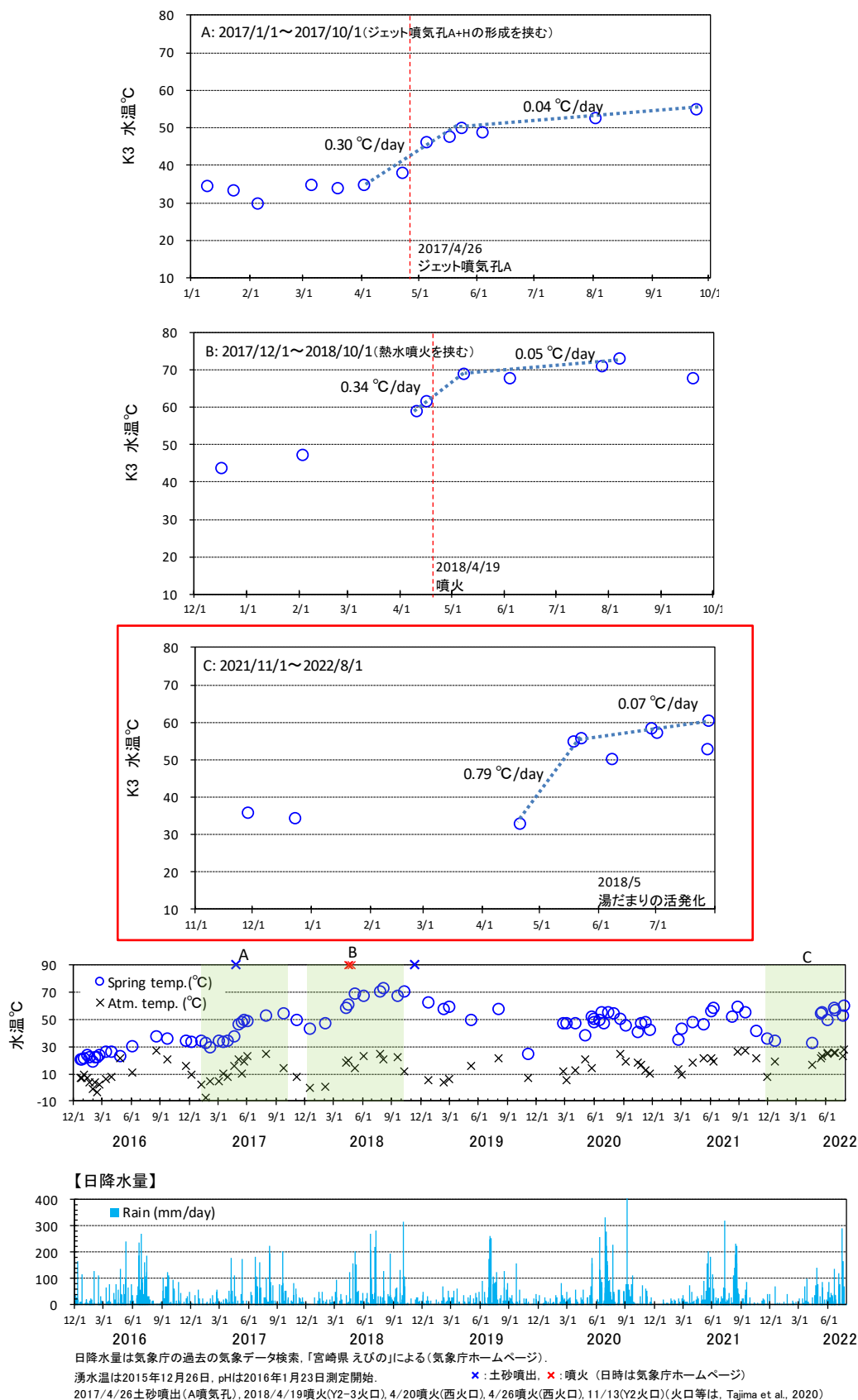
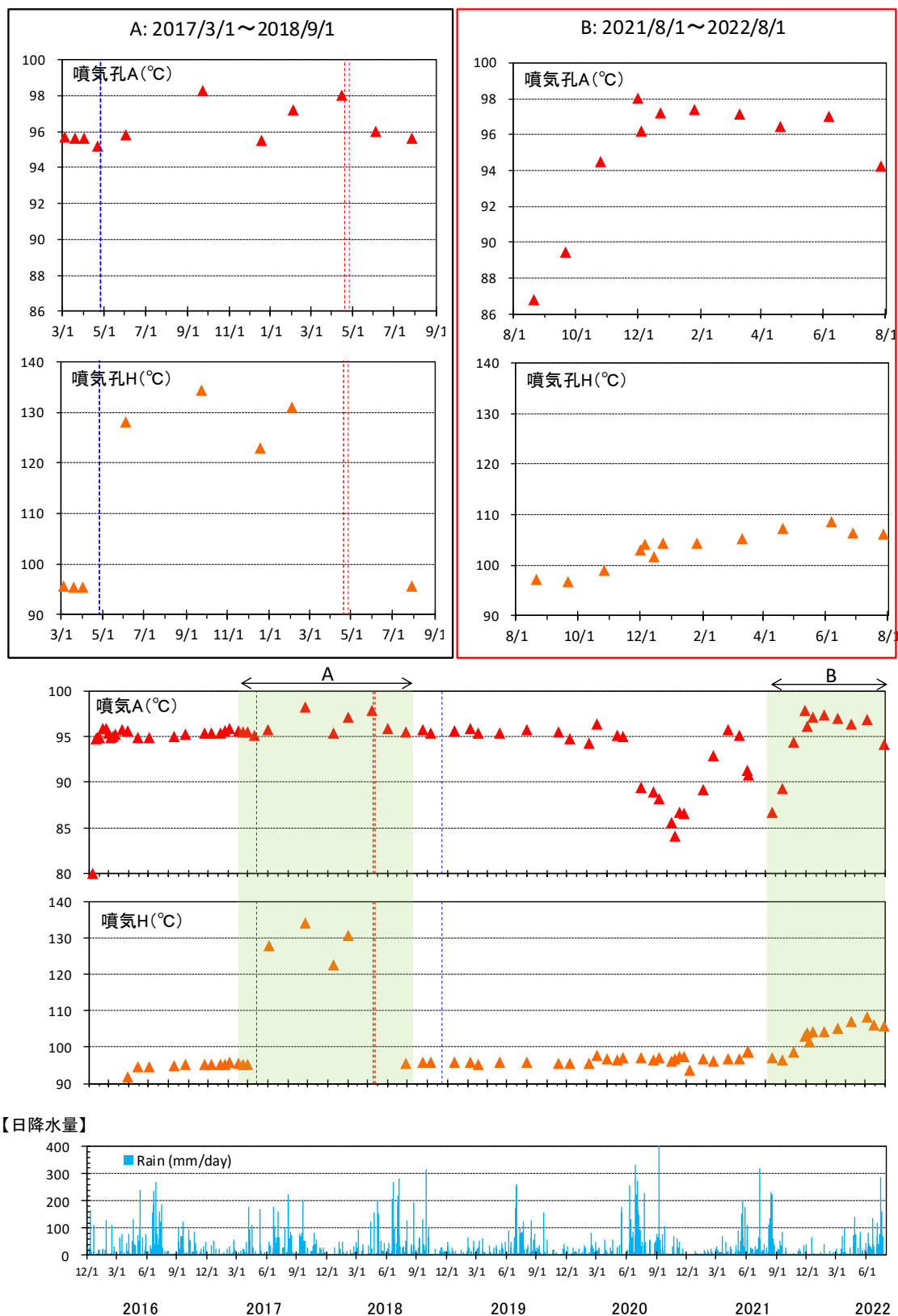


図 12 K3 湧水点の水温上昇とイベントの関係 (位置は図 2 参照)



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)。

湧水温は2015年12月26日, pHは2016年1月23日測定開始。青線: 土砂噴出, 赤線: 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 13 噴気孔 A・噴気孔 H の噴気温とイベントの関係(位置は図 2 参照)

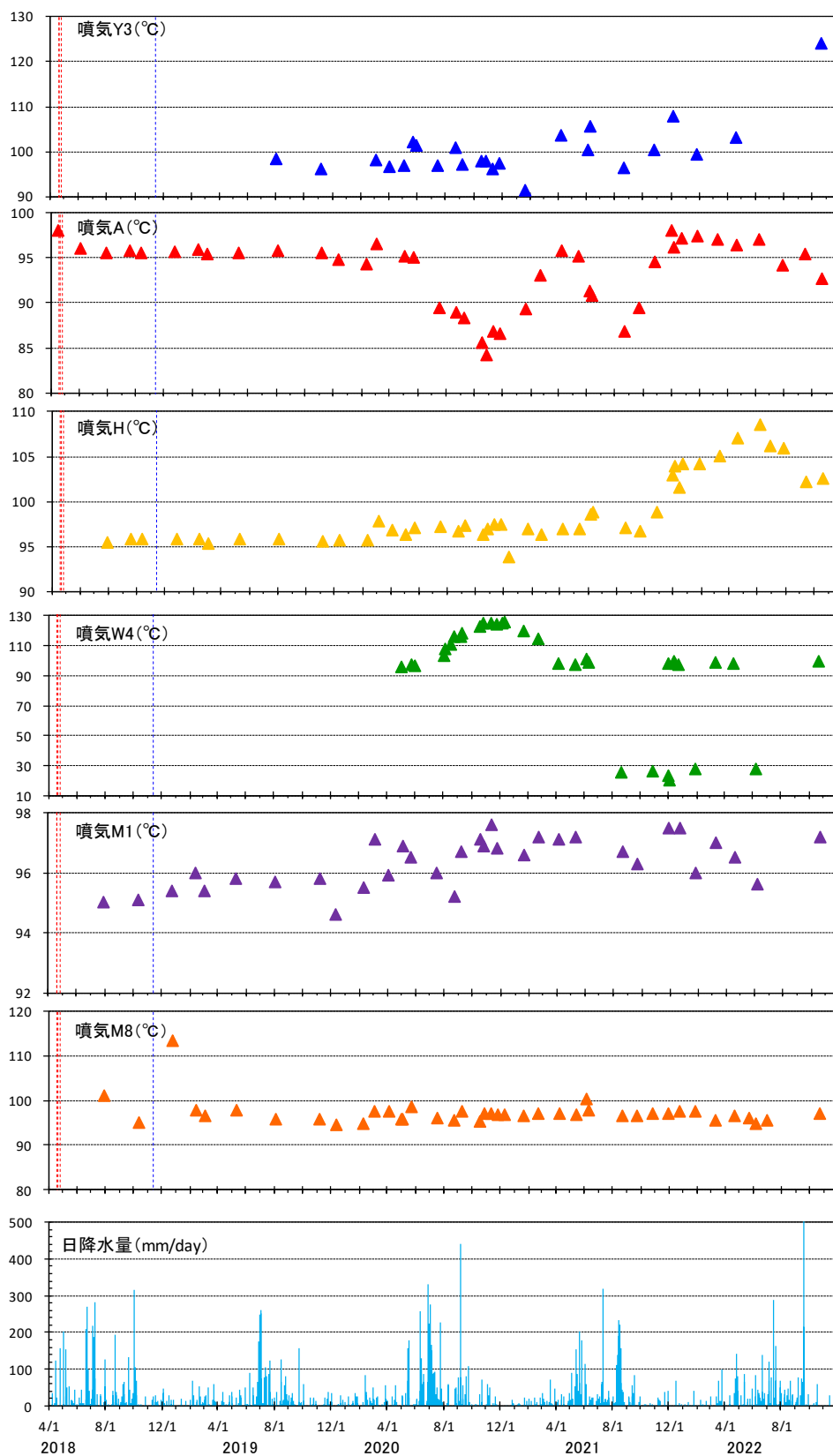


図 14 硫黄山南・西火口周辺の噴気温度の測定結果(位置は図 2 参照)

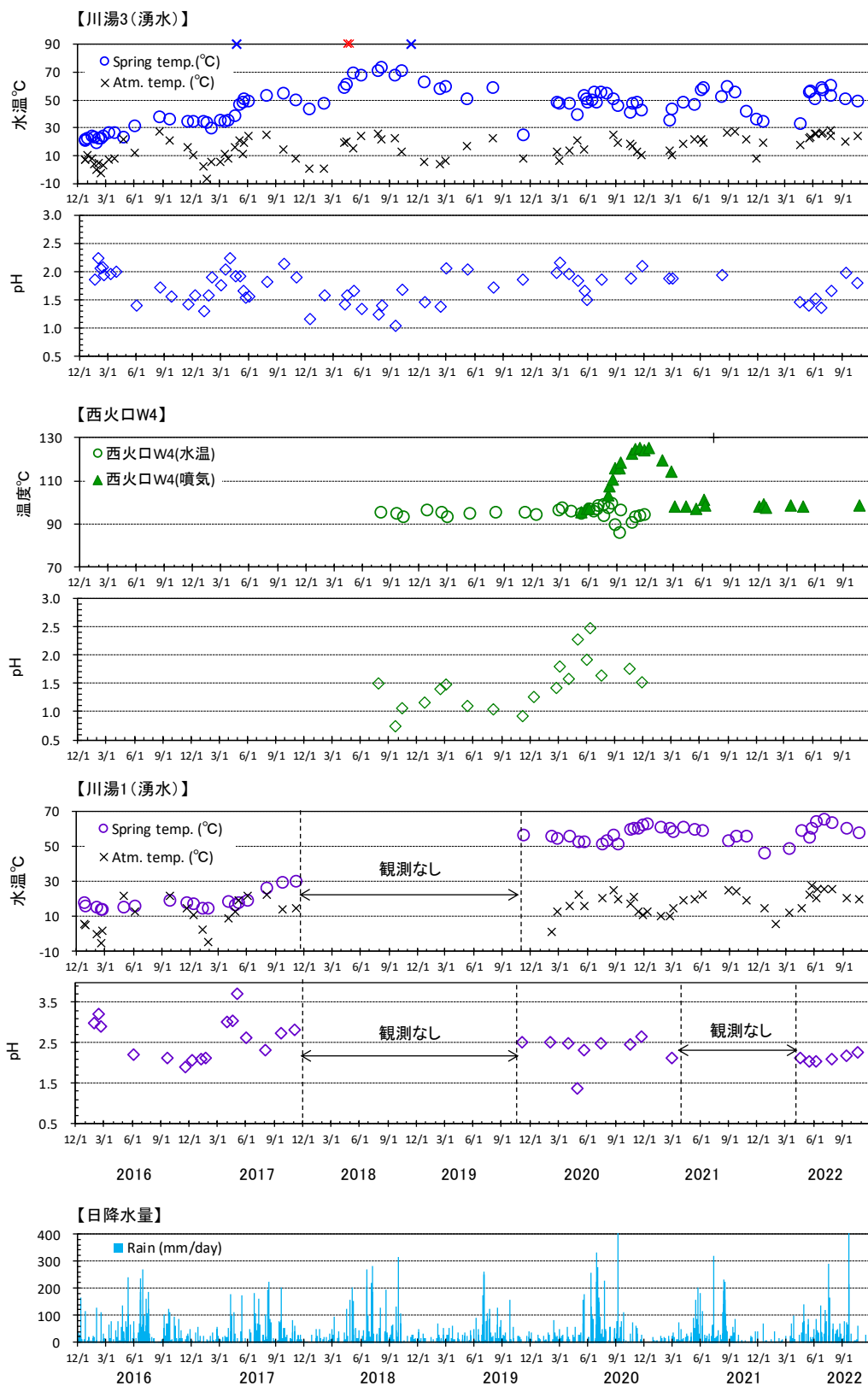


図 15 硫黄山西噴気帯の湯だまり・噴気・湧水の測定結果(位置は図 2 参照)

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

湯だまりが消失していた硫黄山南火口（硫黄山噴気帯）では，11 月中頃過ぎに Y2b において噴出物を伴う湯だまり孔が再形成され，Y2a，Y3 においても湯だまりが出現した．H 噴気孔では 2018 年噴火以降初めて 110℃を超える噴気温を記録した．従って山頂域では，地熱活動が活発化しており注意を要すると考えられる．また，硫黄山西噴気帯においても停止していた噴気域の活動が再開する場所があり，活発化の傾向が見られる．

1. 概 要

えびの高原（硫黄山）周辺の南火口周辺を含む硫黄山噴気帯では，先に提出した本資料において 2022 年 10 月に Y2a，Y2b での定常的な湯溜まりの消失が見られたと報告したが，11 月中旬以降に山頂域を中心に湯だまり活動が再開し，活動の活発化傾向が見られたため追加資料として報告する．硫黄山周辺の噴気孔等の位置図は，前資料を参照されたい．

2. 再開湯だまり孔（硫黄山南火口，Y2b-v5）

12 月 1～2 日の調査において Y2b 火口に噴湯現象を伴う湯だまり孔の再形成を確認した（図 2 A）．この湯だまり孔は 10 月に消失した Y2b 湯だまり内の v4 小孔付近に位置しているが（図 2 B2），湯だまり孔周辺に以下に示すように新たな堆積物が見られ，v4 孔は活動を一旦停止したことより再開孔（v5）とする．湯だまり孔の縁には地形的な高まりがあり，火口縁から高さが外に低くなるリング状の地形が見られる．このリング状の地形は 10 月 21 日調査の際には見られず（図 2 B），湯だまり形成に関連した地形と考えられる．なお，この湯だまり及び地形の形成は，情報通信研究機構（NICT）・九大・東北大が試験的に南火口縁に設置してるカメラ映像（現在公開手続中）では，11 月 18 日 14 時の映像では再開孔は確認できていないが，霧が晴れた 19 日 14 時の映像では確認されていることから，この間に出現したものと考えられる．

この湯だまり v5 は，直径が約 8 m のほぼ円形形状であり，孔縁は垂直の崖面を形成している（図 3 A）．孔壁の断面観察より，南東方向に最大層厚（約 40 cm：目視）となる堆積物が確認できる（図 3 B）．孔の西側では堆積物の断面も確認でき，10 月末に表層を形成していたシルト～泥堆積物の上位に，円礫（最大直径 10 cm）混じりの砂礫堆積物が認められた．また，この砂礫堆積物にはレンズ上の薄い泥層の狭在が見られる（図 3 C）．砂礫堆積物の鏡下観察では，変質した岩片・鉱物片が見られるのみであった．さらには，リング状堆積物の南南西方向（S17W）には礫～岩塊（最大長径約 10 cm）の散在（最大到達距離は孔縁より約 12 m）が確認できる（図 3 D）．この岩塊・礫を裏返すと湿った薄い砂泥堆積物が下位に見られる（図 3 E）．この湿った砂泥堆積物も新湯だまりから周囲に拡がることより，岩塊・礫はリング状堆積物形成とほぼ同時に飛散し着地した投出岩塊・礫と考えられる．岩塊・礫の飛散は，湯だまり孔形成の際に噴出現象が生じていたことを示唆している．なお，この噴出現象に伴う灰等の放出について，地表の色が変わる顕著な堆積域は湯だまり孔の周辺（約 10～20 m）以外に見られないが（図 3 F），今後の検討課題となる．リング状

地形を円と仮定しリング幅を現地計測より約 2 m と考え、砂礫堆積物の南東縁半分を層厚 0.4 m、北西縁半分を層厚 0.15 m とし孔域を抜いた円錐を仮定した場合の体積は約 20 m³（暫定）となる。しかし、湯だまり孔は明らかに砂礫層の堆積後に拡大しており、初期の湯だまり孔の周囲はさらに多量の砂礫堆積物があったと考え、この噴出体積は最小限のものと考えらるべきである。今後、目視観測でしか得られなかった層厚などの精度を上げる必要がある。

3. 硫黄山周辺の噴気活動について

山頂域の硫黄山噴気帯では、Y2a, Y3 において湯だまりが確認でき、いずれも噴湯現象を伴っており活発な噴気・熱水活動が生じていた（図 4 A, 4 B）。H 噴気孔においても 2 箇所からジェット音を伴う噴気が生じその噴気温度は 115.6℃であり（図 4 C, 図 5）、10 月 21 日の 102.6℃から上昇した。なお、H 噴気孔において 110℃を超えるのは 2018 年 4 月噴火以降では初めてである。硫黄山西噴気帯では、10 月 21 日と比較し W2, K7, K2 において噴気が遠方からも視認でき、M22・W4 の旧道南側でも噴気が見られた（図 4 D, 4 E）。従って、硫黄山噴気帯（山頂域）、硫黄山西噴気帯のいずれでも噴気活動はやや高まった状態にあり、特に山頂域では活発な噴気・熱水活動が生じている。

4. 湯だまりの化学組成について

南火口の湯だまり熱水の化学組成の速報値を追加する（図 1）。いったん消失した後に噴湯現象が再開した Y2a, Y3 の熱水では、 $Cl / (Cl + HSO_4) > 0.95$ を超える高い比が観察された。また新たに形成された噴出物を伴う新湯だまり孔 Y2b-v5 から採取した熱水も、 $Cl / (Cl + HSO_4) > 0.6$ を超える高い比を示した。これらの高い $Cl / (Cl + HSO_4)$ 比は、6 月の調査時に観察された際にも観察されており、5 月の活動の活発化と同様にマグマ由来成分の供給があったと考えられる。

一方、県道のすぐ下側に位置する湯だまり M8 においても $Cl / (Cl + HSO_4) < 0.05$ の低い値を保っている。マグマ由来成分の直接的な供給が南火口周辺に限定されていることを示唆する。

* 田島靖久・石橋純一郎・鈴木桂子・松島 健・宮本知治

【謝辞】

鹿児島地方気象台には、湯だまりに関する情報提供をいただいた。御礼申し上げます。

【文献】

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.

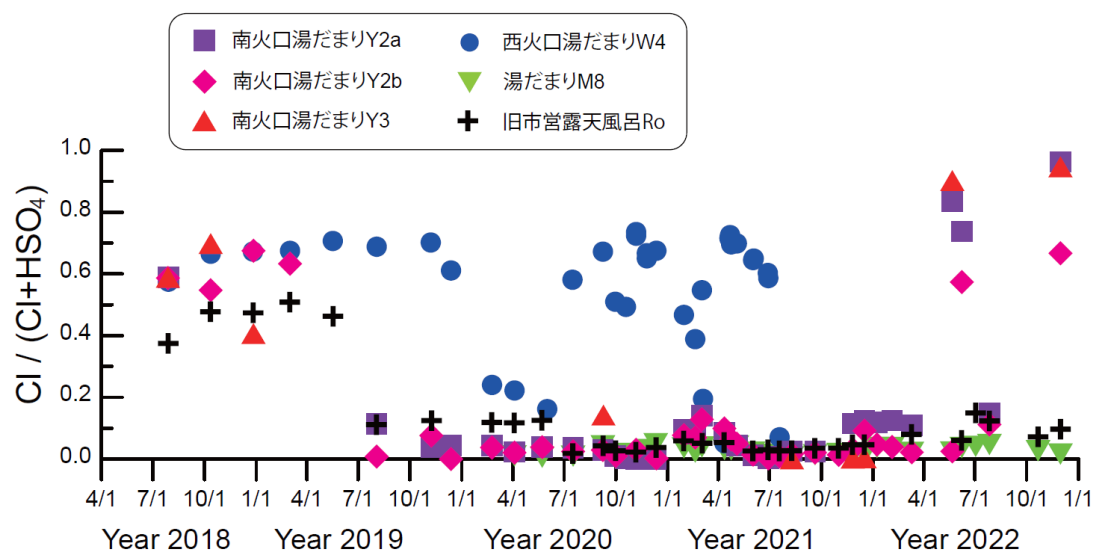


図 1 霧島硫黄山周辺の湯だまりおよび温泉水の $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{HSO}_4)$ 比（モル比）の経時変動

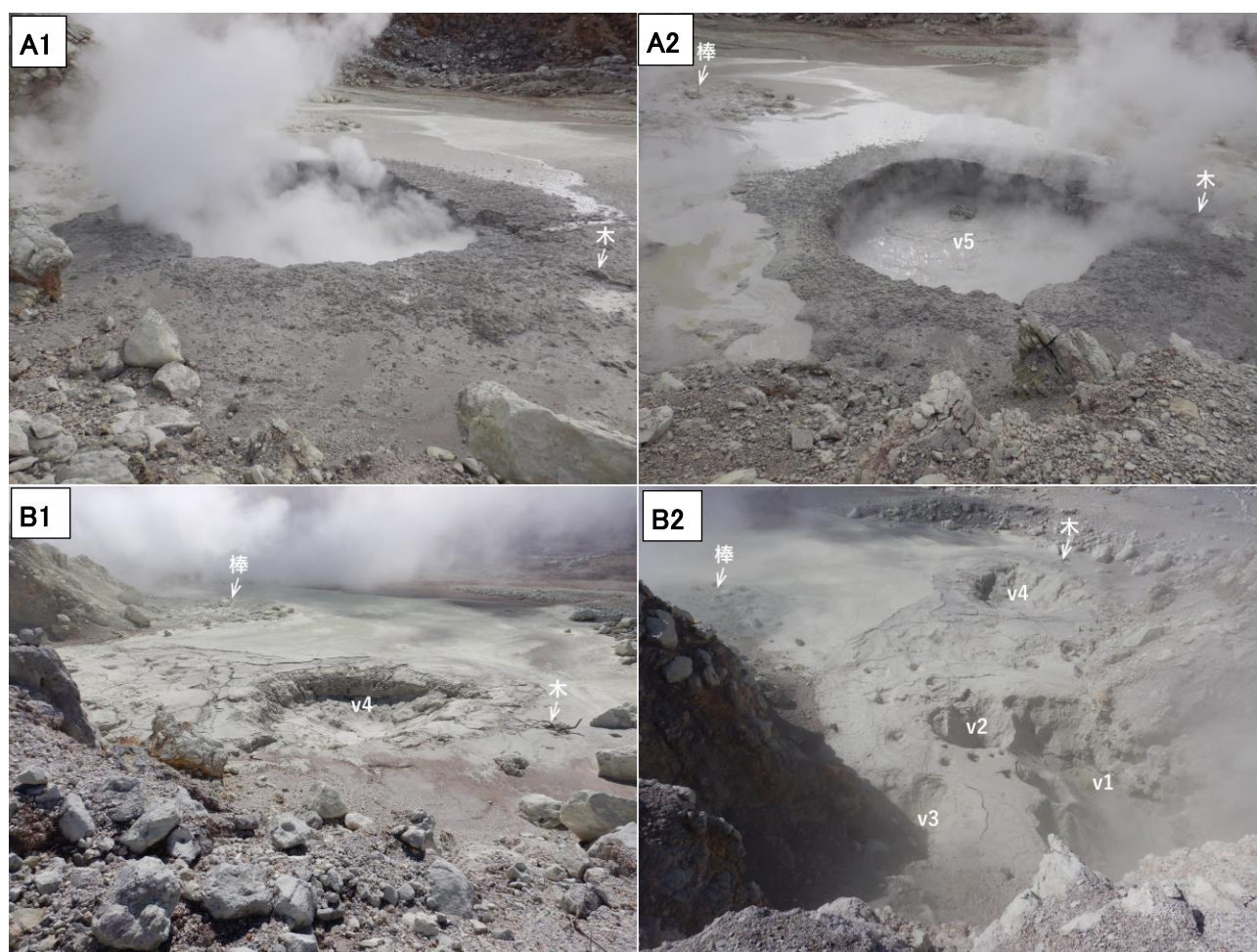


図 2 硫黄山南火口(Y2b)に再形成された湯だまり孔

A1・A2. 2022年12月1日のY2b火口内の湯だまり，B1・B2. 10月21日のY2b火口写真．B2写真のv4小孔付近に再開湯だまり孔v5が形成された．矢印の木，棒はA，B写真における同じ位置．

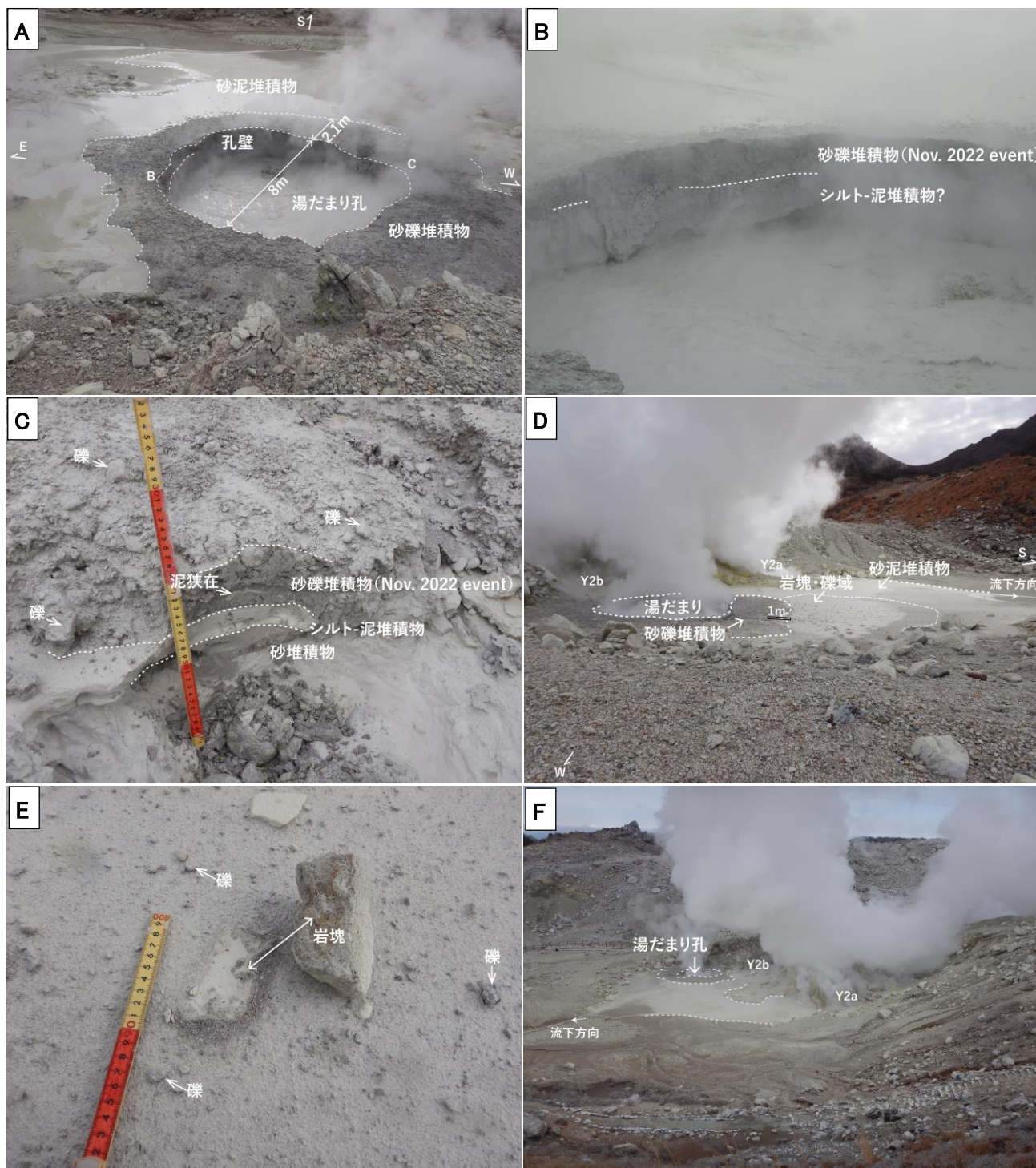


図 3 硫黄山南火口(Y2b-v5)の湯だまり及び噴気(12月1・2日)

A. Y2b火口内に形成された湯だまり(v5)。直径は約8 m。B, Cは写真位置。B.南東孔壁に見られる砂礫堆積物。白色のシルト-泥堆積物と推定される層の上に堆積し目視で約40 cmと推定した。C. リング状堆積物西側での砂礫堆積物の断面。白色シルト-泥堆積物の上位に、暗灰色の円礫混じりの砂礫堆積物が見られる。その中には薄い泥堆積物が挟まれる。D. 湯だまりから南南西方向分布する岩塊・礫。E. 湯だまり縁から約6.7 mの距離に見られる岩塊。この岩塊は湿った砂泥堆積物の上にあり、砂泥堆積物上に降ってきたことがわかる。F. 新湯だまりから流出したと推定される泥水の流出痕跡。

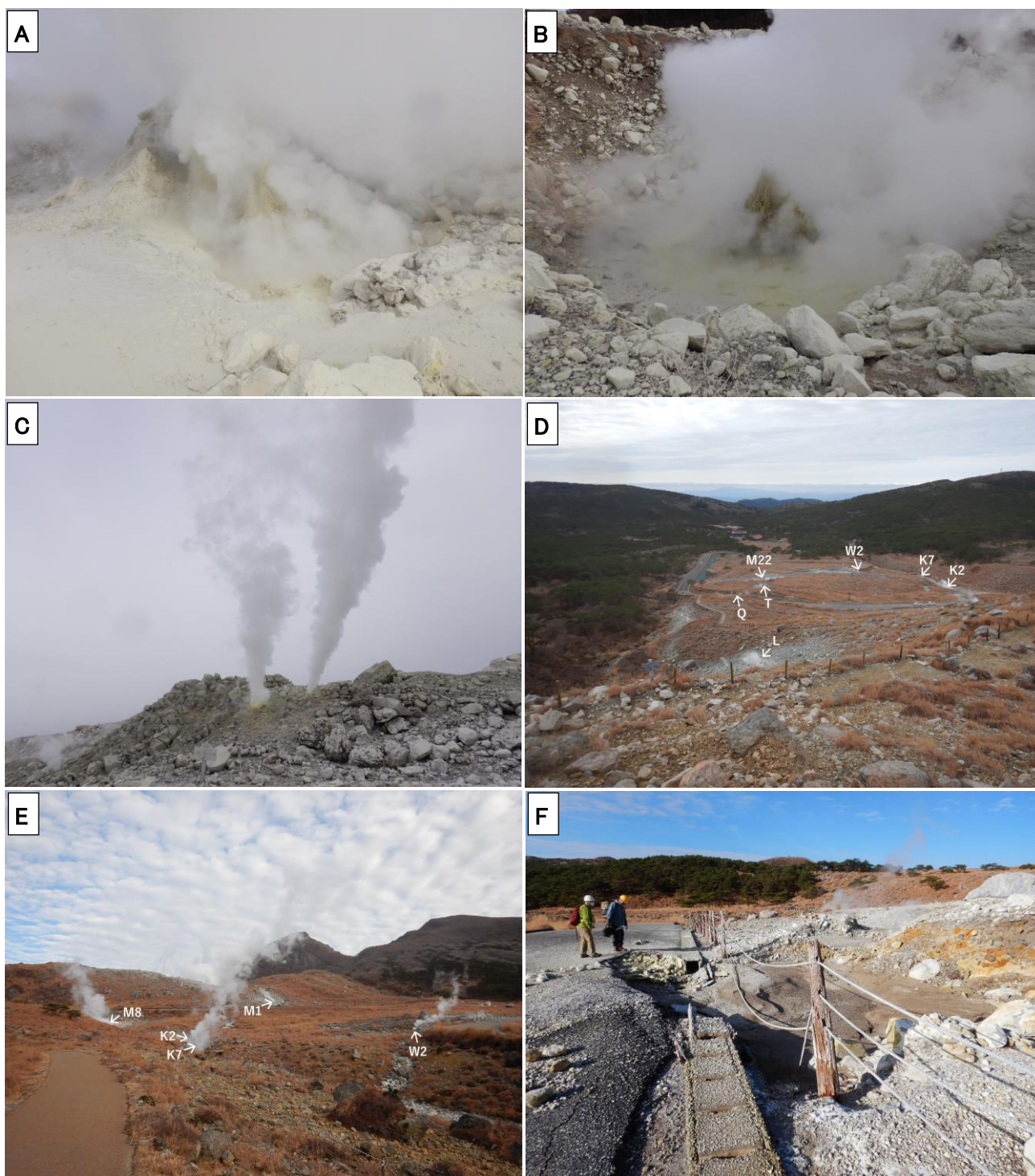


図 4 硫黄山噴気帯・硫黄山西噴気帯の状況(12 月 1・2 日)

A. Y2a火口内の湯だまり。高さ5～6 mの活発な噴湯現象が見られる。B. Y3火口内の湯だまり，噴湯現象も見られる。C. ジェット音を伴う噴気が見られるH噴気孔。12月1日の測定では，115.6℃を記録した。D. 硫黄山西噴気帯の活動。M22南側，W2，K2付近で10月21日に停止していた噴気活動が再開した。E. 硫黄山西噴気帯の活動。W2，K2付近で10月21日に停止していた噴気活動が再開した。F. 硫黄山西火口W4に噴気活動は見られない。

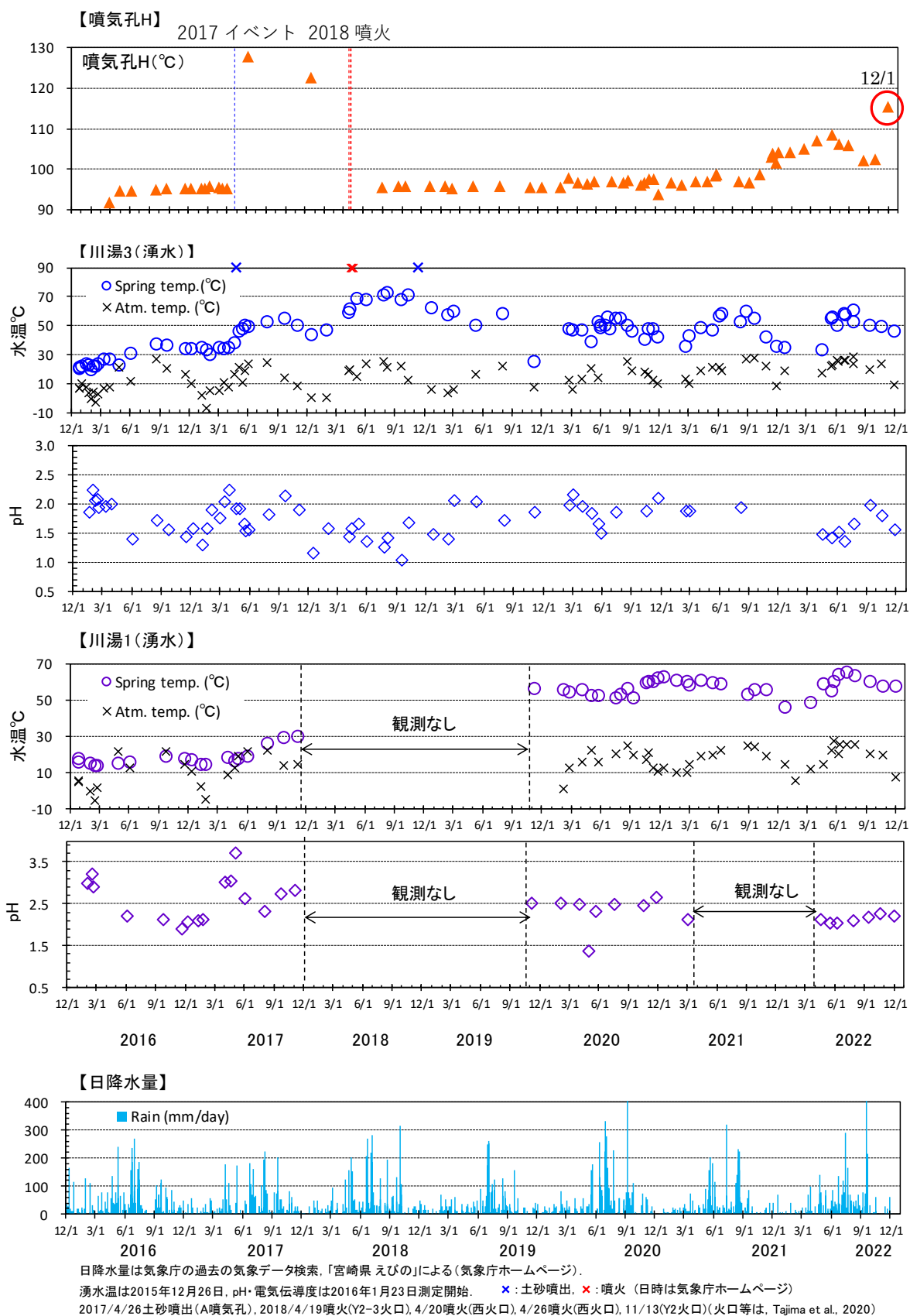
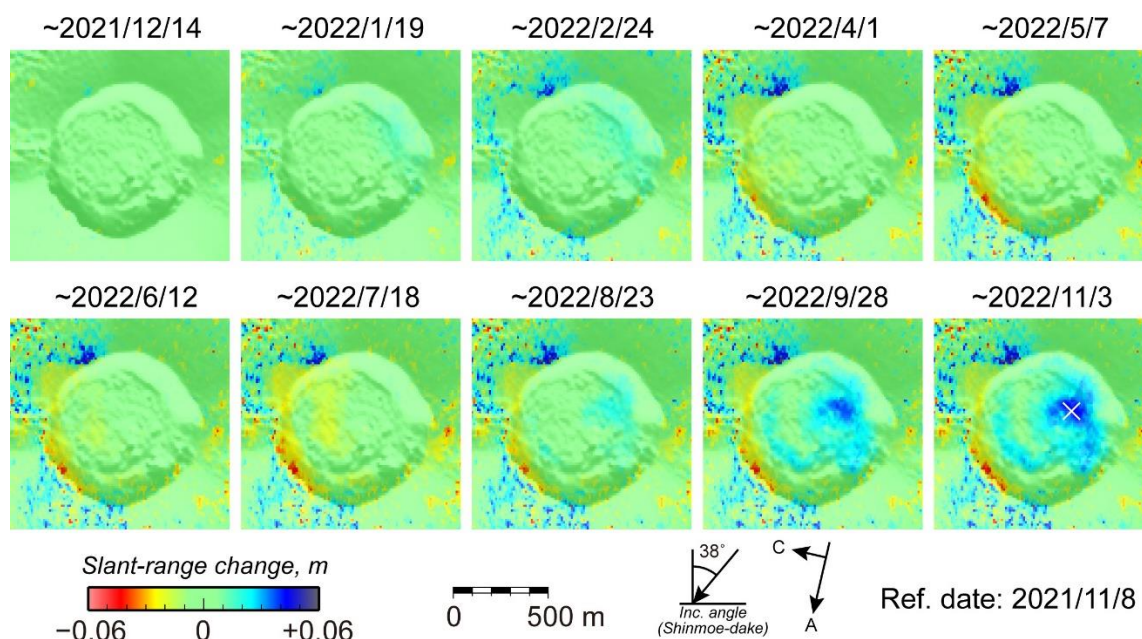


図 5 硫黄山噴気帯 H 噴気孔・硫黄山西噴気帯の噴気・湧水の測定結果

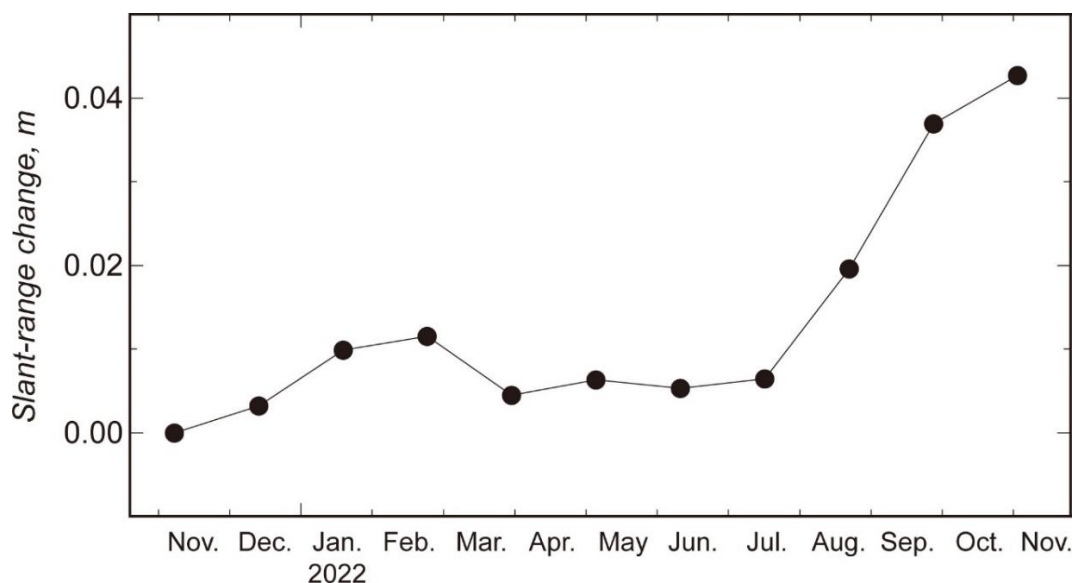
SAR 干渉解析による新燃岳火口内の変形

新燃岳火口内の変形を調査するため、Sentinel-1 データを用いた SAR 干渉解析を実施した。第 1 図に、2021 年 11 月 8 日からのスラントレンジ変化(積算)を示す。火口内の北東部において、2022 年 7 月頃からスラントレンジ伸長(沈降もしくは西進が卓越)が見られる。第 1 図中の白×印におけるスラントレンジ変化時系列を見ると、スラントレンジ伸長は 7 月頃に加速し、それから 11 月までの変化量は約 4cm である(第 2 図)。

謝辞. 本解析で使用した Sentinel-1 データは Copernicus Open Access Hub を通じて提供されたものである。Sentinel-1 データの所有権は欧州宇宙機関が有する。解析および描画においては、国土地理院の基盤地図情報 10m メッシュ DEM を使用した。

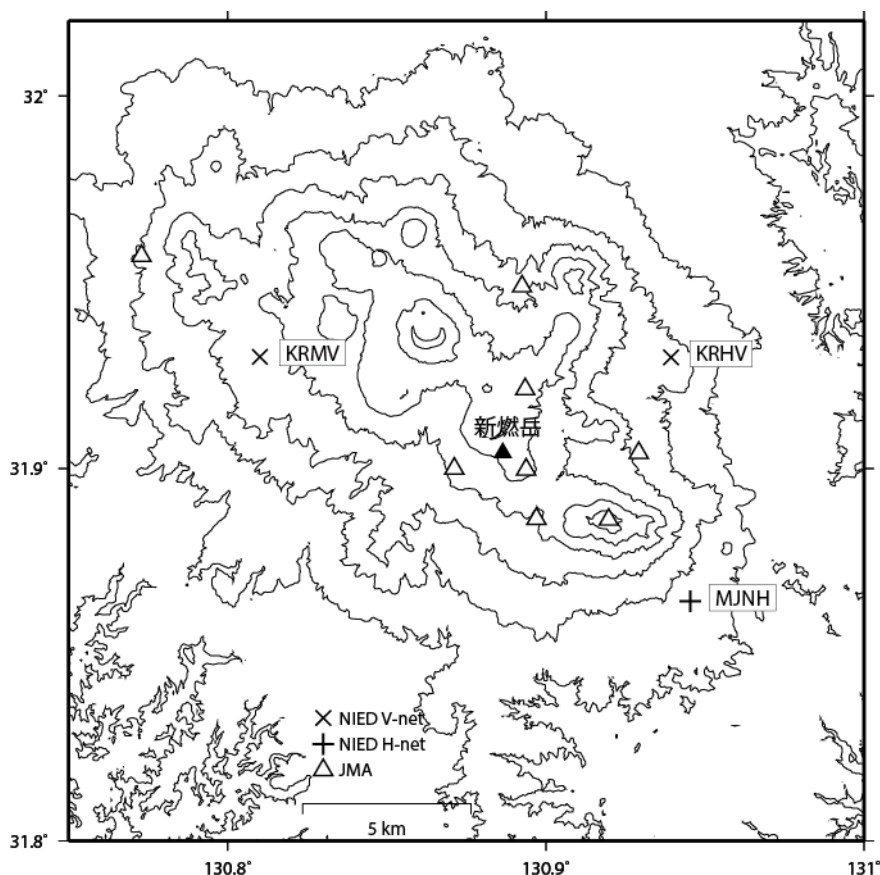


第 1 図. Sentinel-1 データから求めた、新燃岳火口周辺の 2021 年 11 月 8 日からのスラントレンジ変化。陰影は 2018 年噴火以前の地形を示す。



第 2 図. 火口内北東部(第 1 図の白×印)におけるスラントレンジ変化時系列。

霧島山の火山活動について



この地図の作成にあたっては、国土地理院発行の
数値地図 50mメッシュ（標高）を使用した。

KRMV=地震計（短周期・広帯域）、傾斜計、気圧計、温度計、雨量計、GNSS

KRHV=地震計（短周期・広帯域）、傾斜計、気圧計、温度計、雨量計、GNSS

資料概要

○ 地震活動

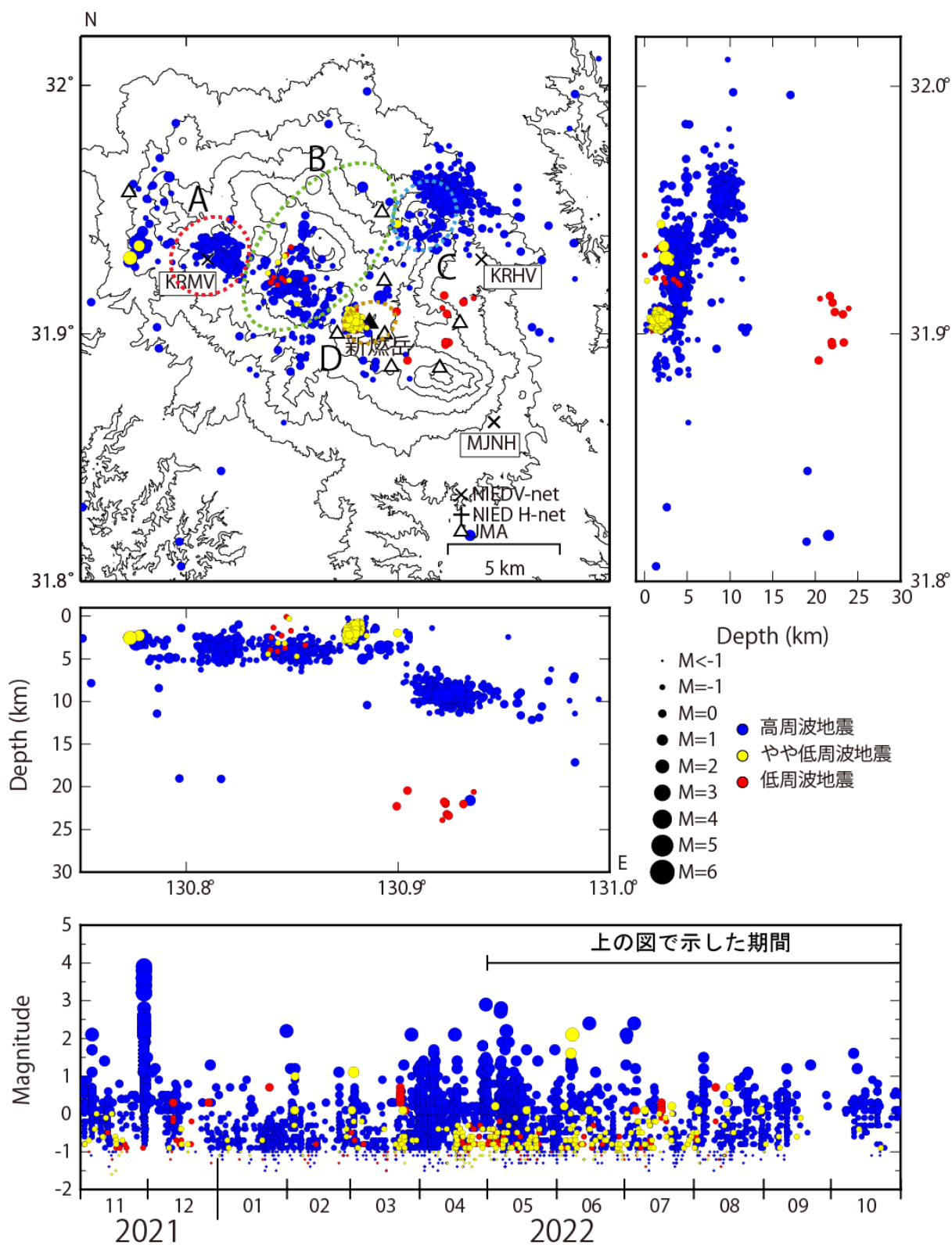
2022 年 5 月から 2022 年 10 月の震源分布を図 1 に示した。特に顕著な活動は見られなかった。

○ 地殻変動

傾斜計記録（図 2）には、火山活動に伴う変動は観測されていない。KRHV-KRMV の GNSS 基線長変化は（図 3）は、2022 年 1 月ごろからわずかな伸びがみられたが 7 月に停滞した。8 月以降は欠測している。

合成開口レーダの解析によると、新燃岳の火口底において、2022 年 7 月頃から衛星－地表間距離伸長変化（沈降もしくは西進）の加速が見られる。

霧島山の地震活動(2022/5/1- 2022/10/31)

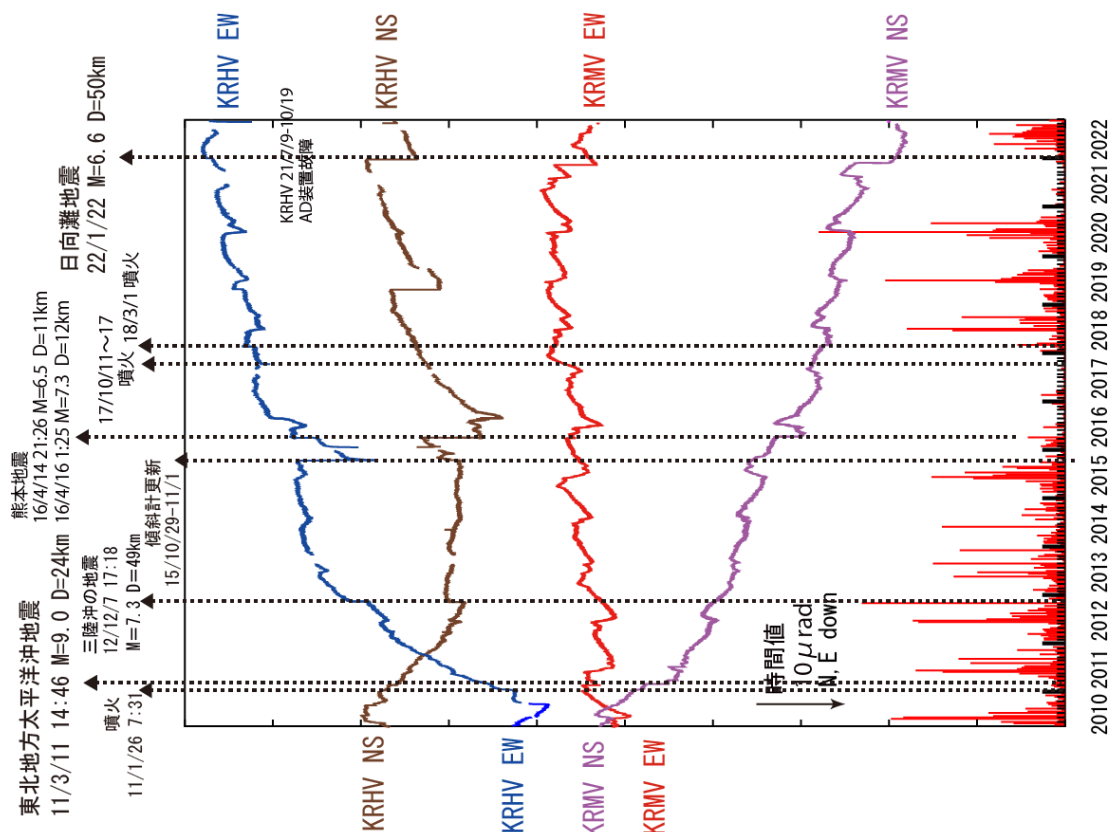


震源決定には、気象庁の観測点（位置は図中）も使用した。

地図の作成にあたっては、国土地理院発行の数値地図 10mメッシュ（標高）を使用した。

図 1 霧島山の地震活動(2022/5/1 - 2022/10/31)

霧島山の傾斜変動 (2010/5/1~2022/10/31)



霧島山の傾斜変動 (2022/6/1~2022/10/31)

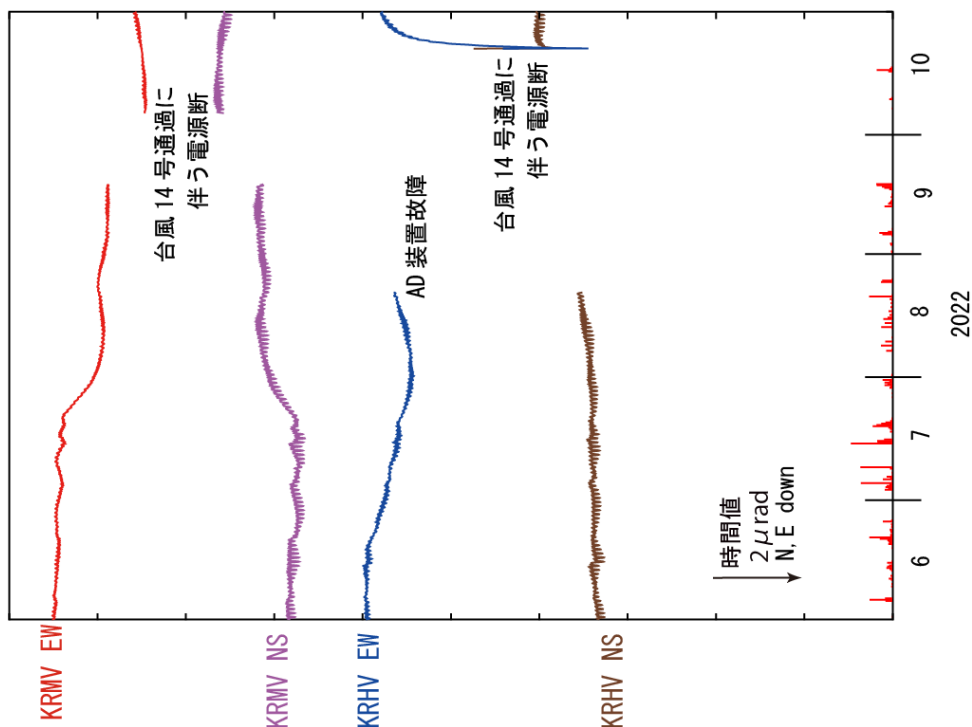
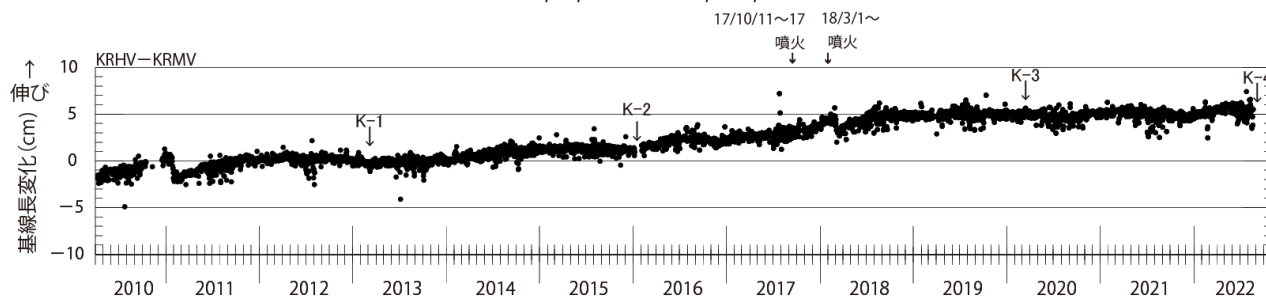


図 2 霧島山の傾斜変動

防災科学技術研究所 GNSS 観測点及び国土地理院 GEONET 観測点で得られた地殻変動

2010/4/1～2022/10/31



2021/10/1-2022/10/31 の地殻変動【大口 (950485) 固定】

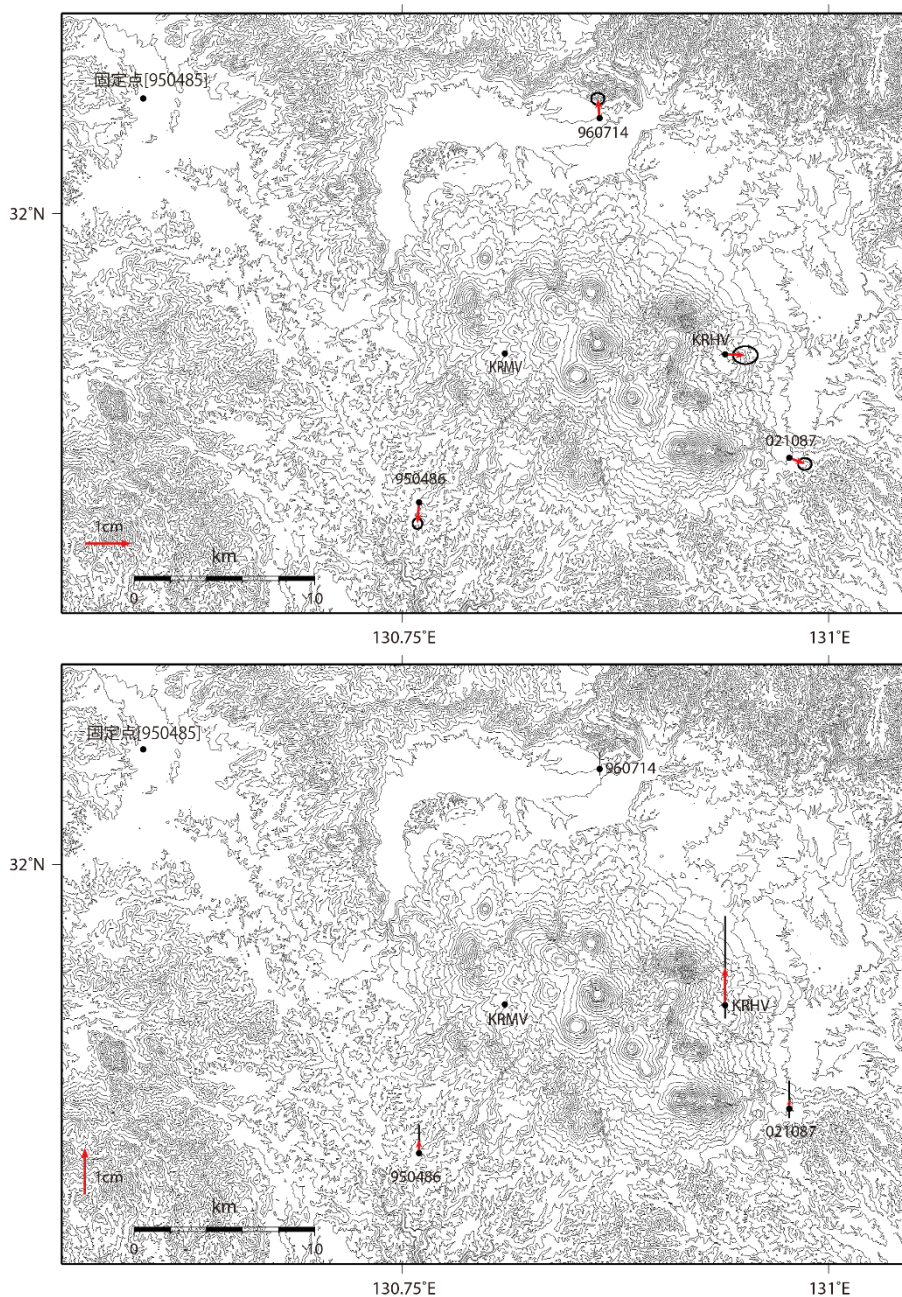


図 3 霧島山 GNSS 解析結果. ※ベクトル図は速報暦使用
(上段：水平成分、下段：上下成分)

表1 GNSS観測履歴

観測点番号	観測点名	図中記号	日付	保守内容
	霧島山夷守台 (KRHV)		2010/4/10	2周波観測開始
		K-1	2013/2/14	アンテナ台改善作業
		K-2	2016/7/3～7/19	通信断による欠測
			2016/8/1～8/10	
			2016/9/18～9/29	
	霧島山万膳 (KRMV)		2010/4/9	2周波観測開始
			2010/11/13	受信機故障
			2010/12/17	受信機再設置
		K-1	2013/2/15	アンテナ台改善作業
		K-3	2020/3/19-4/2	受信機不具合による欠測
		K-4	2022/9/26～	台風14号被害および受信機不具合による欠測

霧島山周辺の地殻変動

Crustal Deformations around Kirishima Volcano

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

第1図から第7図は、霧島山周辺のGNSS連続観測結果である。

第1図上段に基線の配置を、中段に各観測局の保守履歴を示した。第1図下段及び第2図は、第1図上段に示した基線の基線長変化グラフであり、左列は最近約5年間（2017年10月～2022年10月16日）の時系列、右列は最近約1年間（2021年10月～2022年10月16日）の時系列である。第3図上段に気象庁、防災科学研究所の観測点を含む各点への基線の配置を示した。第3図下段及び第4図及び第5図は、第3図上段に示した基線の基線長変化グラフであり、第1図下段及び第2図と同様に、左列は最近約5年間（2017年10月～2022年10月16日）の時系列、右列は最近約1年間（2021年10月～2022年10月16日）の時系列である。第6図上段に硫黄山、韓国岳、新燃岳を囲む基線の配置を示した。第6図下段は、第6図上段に示した基線の基線長変化グラフであり、最近約25年間（1997年1月～2022年10月16日）の時系列である。顕著な地殻変動は見られない。

第7図は、霧島山周辺の電子基準点、気象庁及び防災科学技術研究所のGNSS観測点の統合解析から得られた水平変動ベクトル図であり、「野尻」を固定局としている。上段に最近3か月間（2022年7月～10月）を、下段に最近1年間（2021年10月～2022年10月）を示す。顕著な地殻変動は見られない。

第8図は、「だいち2号」のSAR干渉解析結果である。ノイズレベルを超える変動は見られない。

第9図は、「だいち2号」の干渉SAR時系列解析結果である。第9図上段は、2015年2月～2022年7月の変位速度である。第9図下段は、上段に示した各地点における変位の時系列データである。硫黄山の地点A周辺に、衛星に近づく変動が見られたが、最近では停滞している。

第10図は、GNSS観測データに基づき、時間依存のインバージョン手法により霧島地域の変動源を茂木ソースと仮定して体積の増減を時系列的に推定した結果である。解析に使用するGNSS観測点の一部は、桜島の活動の影響を受けるため、今回の解析では桜島地域との同時解析を行った。第10図上段は推定に用いた観測点の配置と変動源の位置図で、下段は推定された体積変化の時系列である。2021年後半以降膨脹が見られていたが、2022年7月頃からは停滞している。

第11図及び第12図は、推定された各観測点の地殻変動（計算値）と観測値の比較であり、第11図は時系列グラフ、第12図はベクトル図である。このモデルから推定した計算値は比較的よく再現されている。

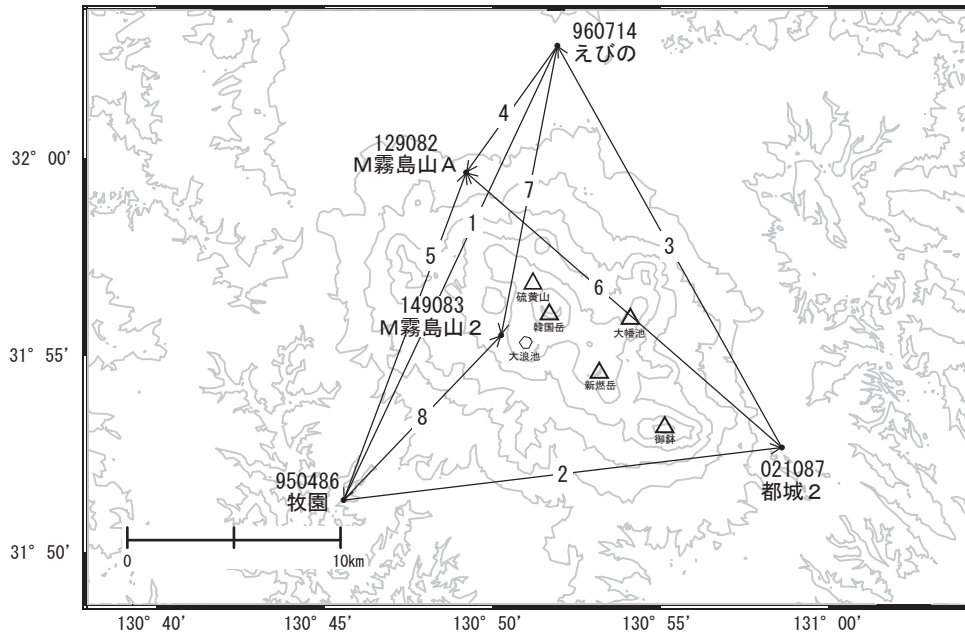
謝辞

ここで使用した「だいち2号」の原初データの所有権は、JAXAにあります。これらのデータは、「だいち2号」に関する国土地理院とJAXAの間の協定に基づき提供されました。

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)

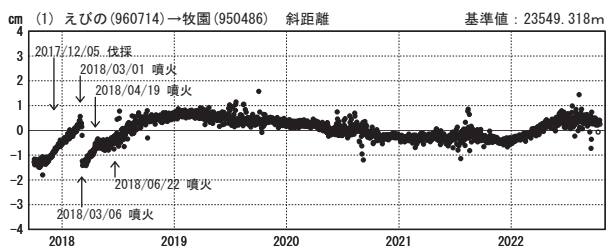


霧島山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
950486	牧園	20171205	伐採
960714	えびの	20191004	受信機交換
021087	都城2	20210125	受信機交換

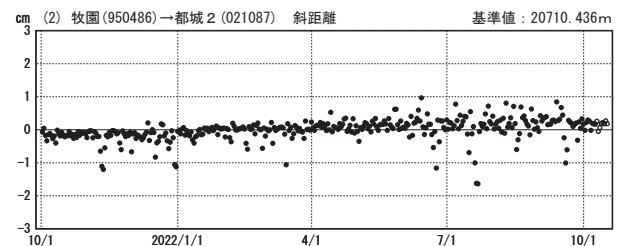
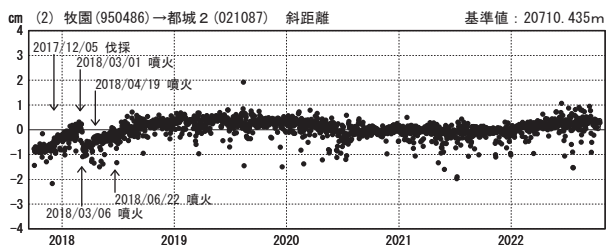
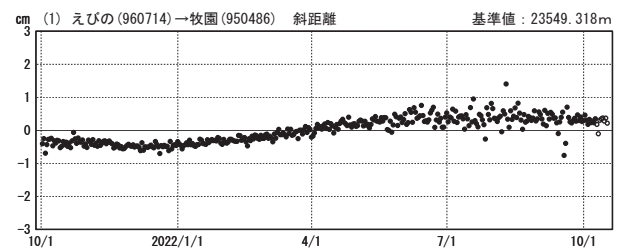
基線変化グラフ(長期)

期間: 2017/10/01~2022/10/16 JST



基線変化グラフ(短期)

期間: 2021/10/01~2022/10/16 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

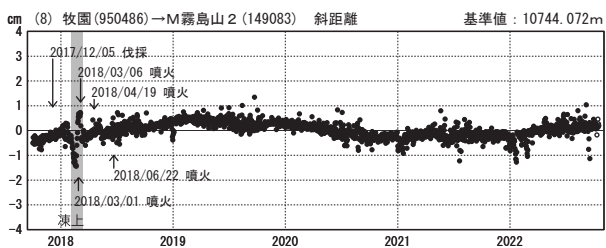
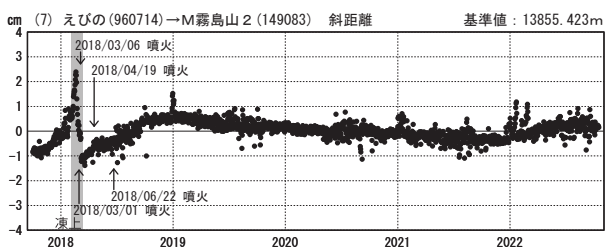
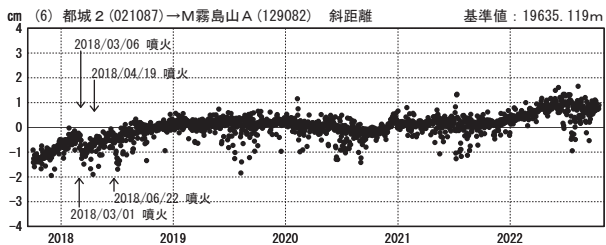
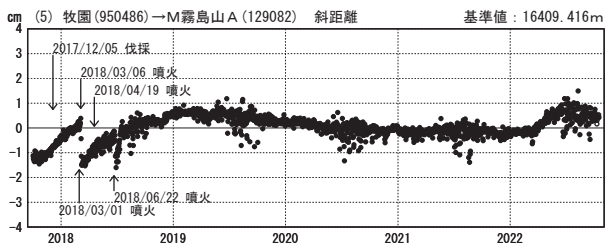
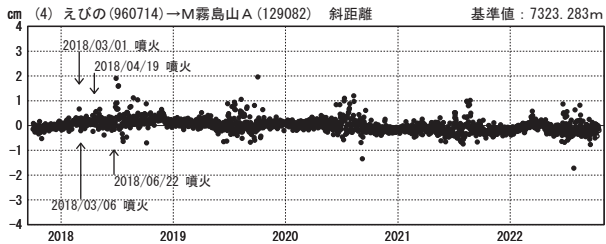
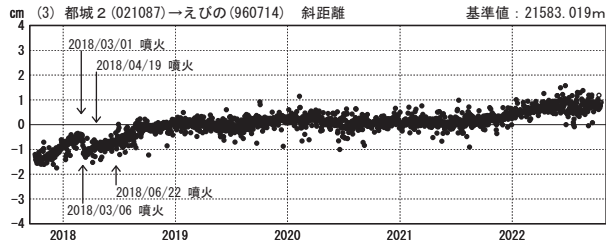
第1図 霧島山周辺のGNSS連続観測基線図(上段)、観測局の保守履歴(中段)、

基線変化グラフ(下段 左列: 2017年10月~2022年10月16日、右列: 2021年10月~2022年10月16日)

霧島山

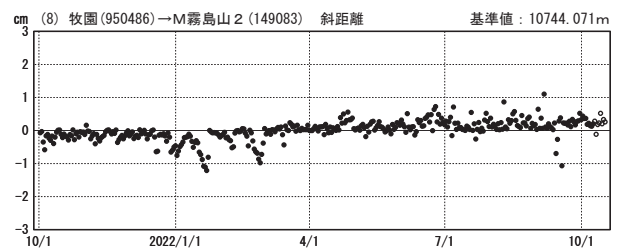
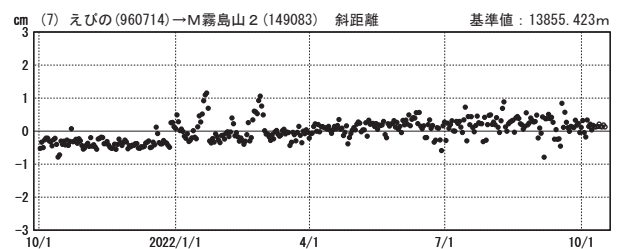
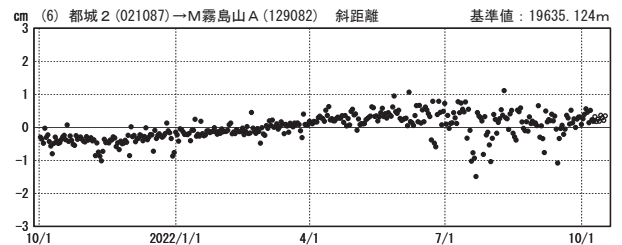
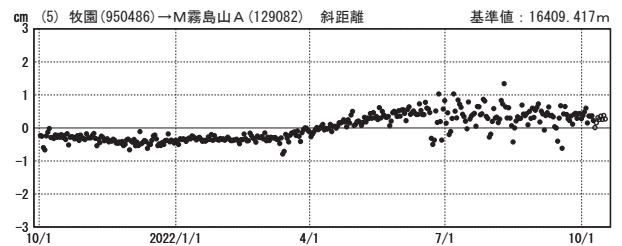
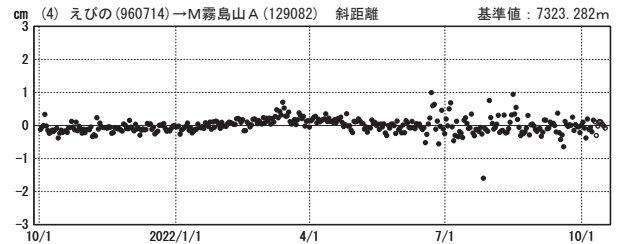
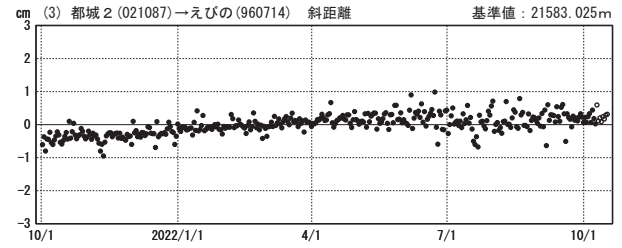
基線変化グラフ（長期）

期間：2017/10/01～2022/10/16 JST



基線変化グラフ（短期）

期間：2021/10/01～2022/10/16 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

国土地理院

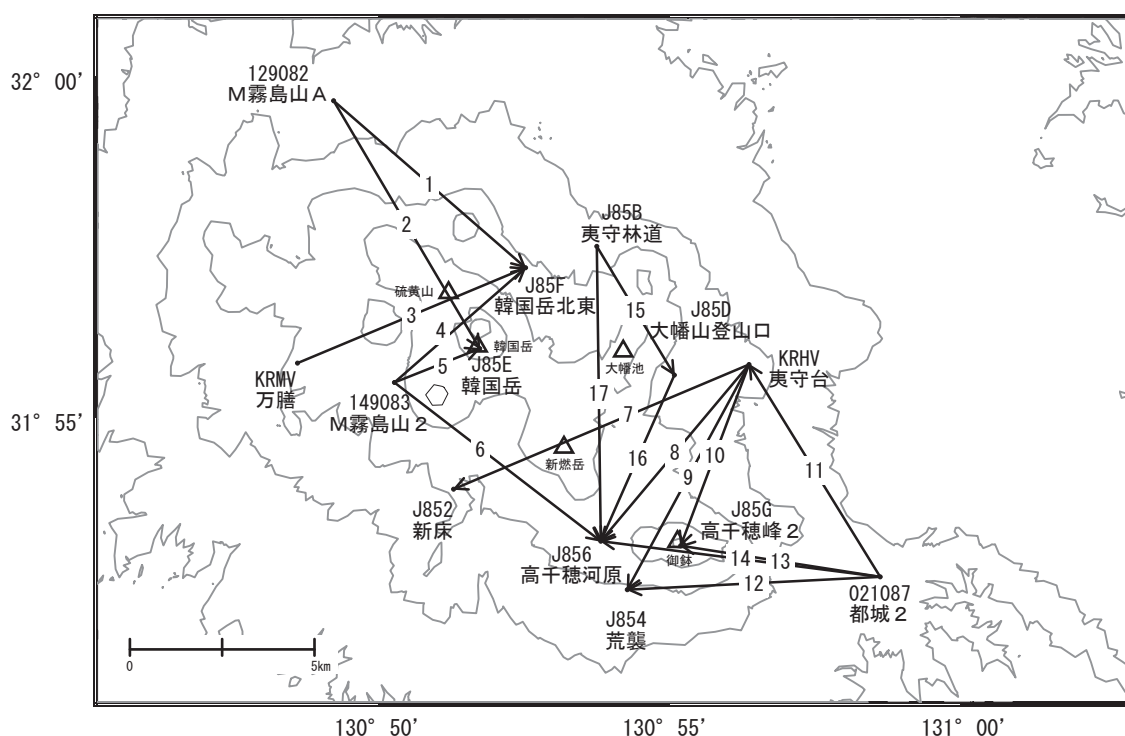
※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

第2図 霧島山周辺のGNSS連続解析基線図による基線変化グラフ

(左列：2017年10月～2022年10月16日、右列：2021年10月～2022年10月16日)

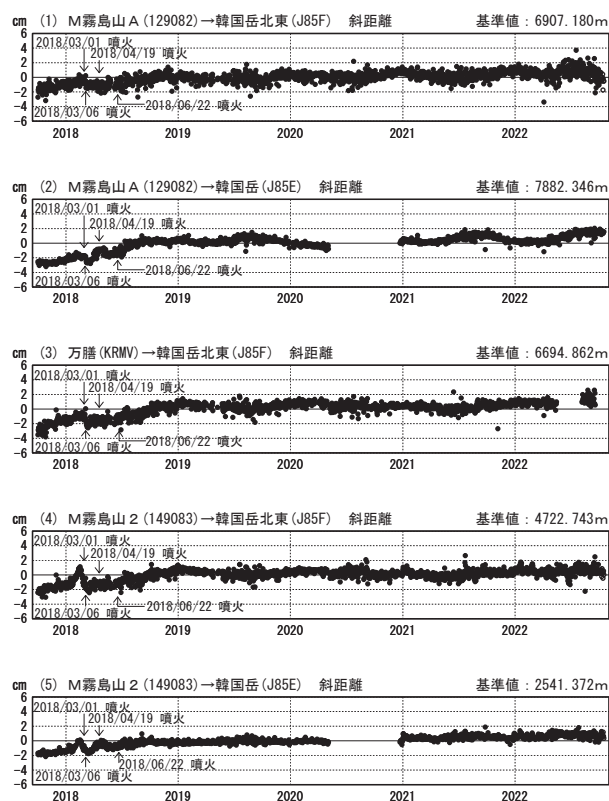
霧島山

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)

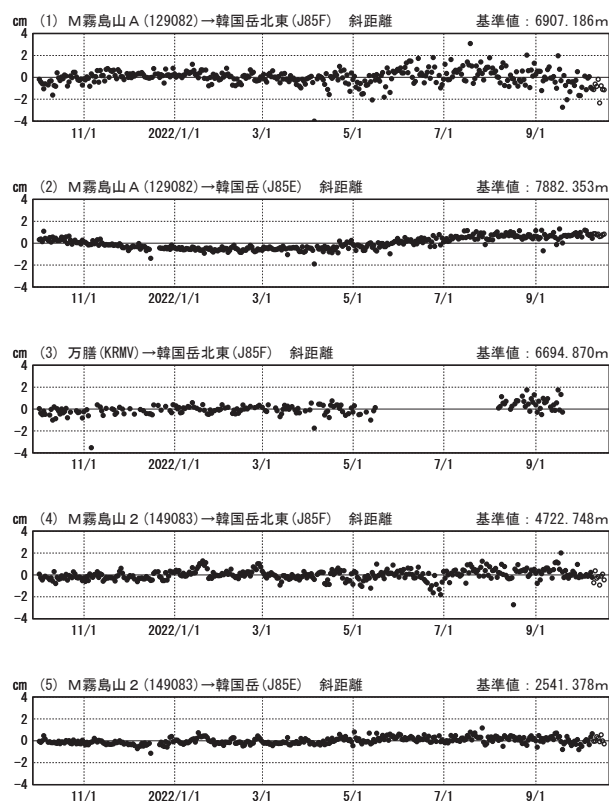
期間: 2017/10/01~2022/10/16 JST



●——[F5:最終解] ○——[R5:速報解]

基線変化グラフ (短期)

期間: 2021/10/01~2022/10/16 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

第3図 霧島山周辺のGNSS連続解析基線図(上段)、

基線変化グラフ(下段 左列: 2017年10月16日~2022年10月、右列: 2021年10月~2022年10月16日)

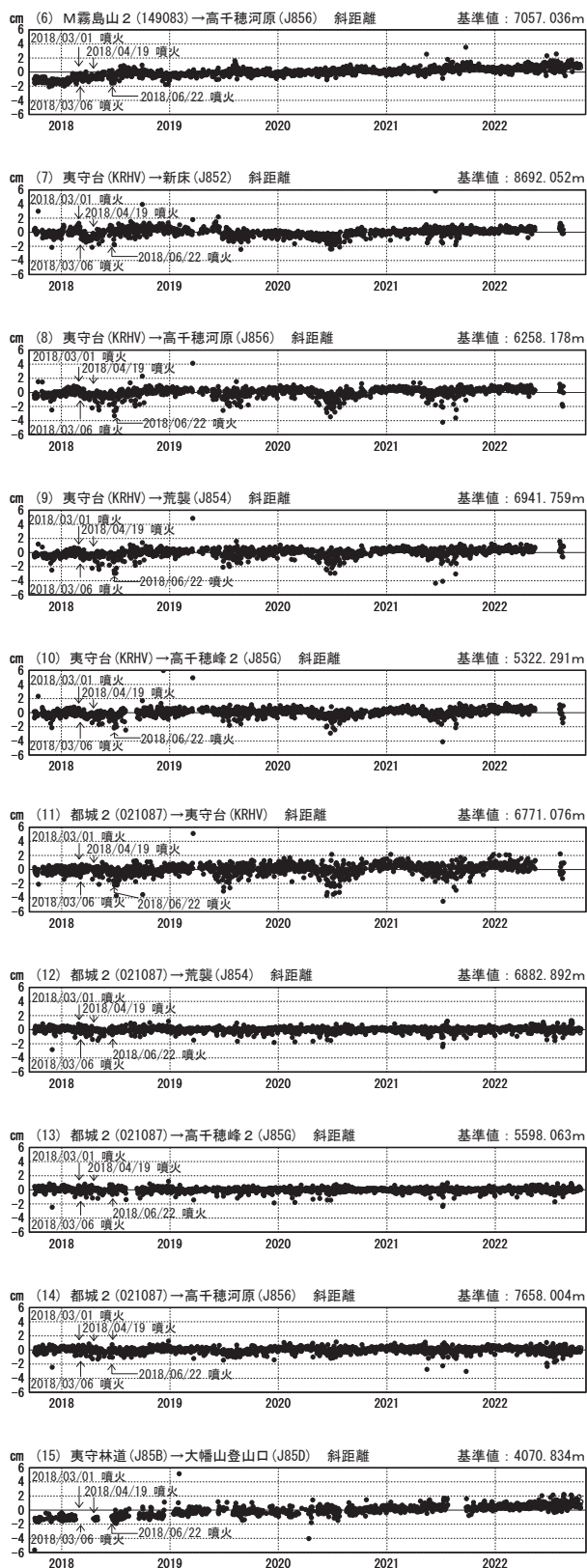
霧島山

第151回火山噴火予知連絡会

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

基線変化グラフ（長期）

期間：2017/10/01～2022/10/16 JST

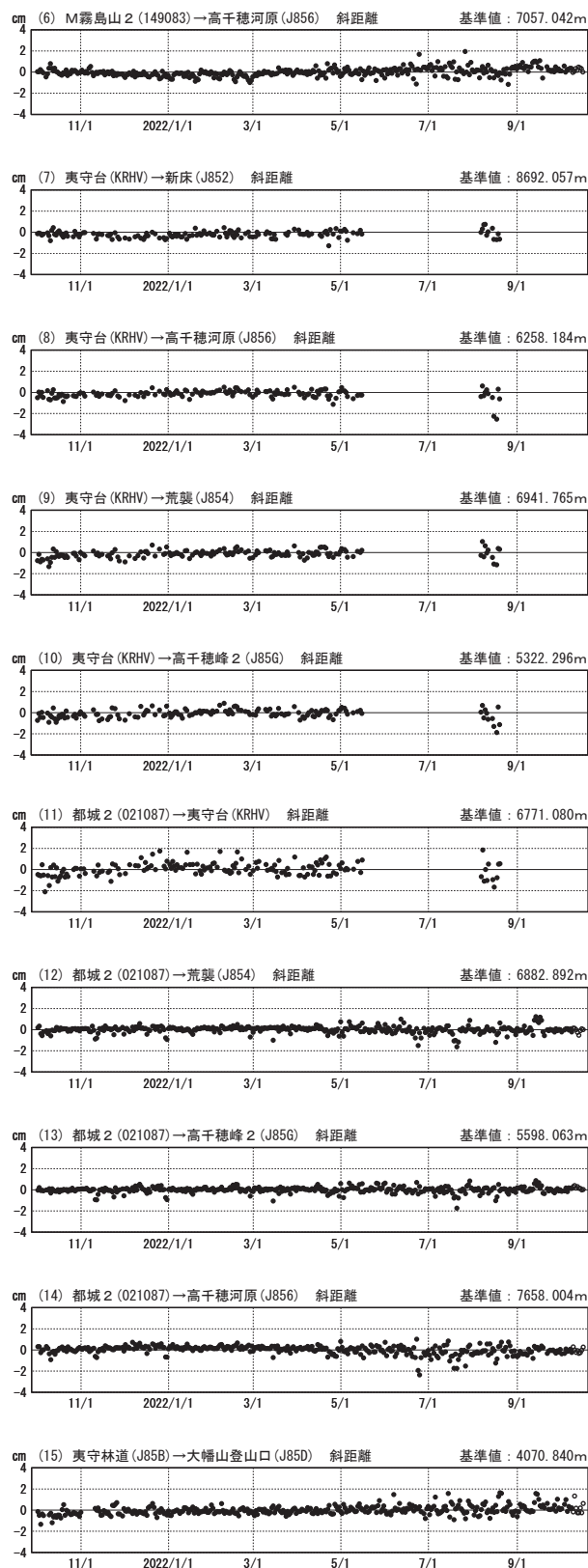


●---[F5:最終解] ○---[R5:速報解]

※[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

基線変化グラフ（短期）

期間：2021/10/01～2022/10/16 JST



国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

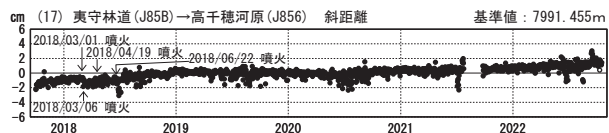
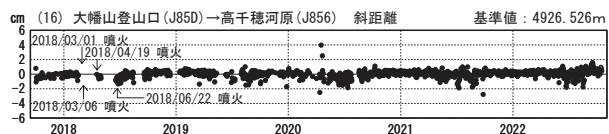
第4図 霧島山周辺のGNSS連続解析基線図による基線変化グラフ

(左列：2017年10月～2022年10月16日、右列：2021年10月～2022年10月16日)

霧島山

基線変化グラフ（長期）

期間：2017/10/01～2022/10/16 JST

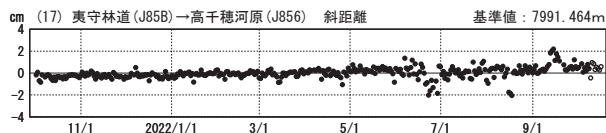
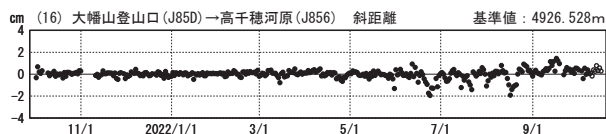


●——[F5:最終解] ○——[R5:速報解]

※[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

基線変化グラフ（短期）

期間：2021/10/01～2022/10/16 JST

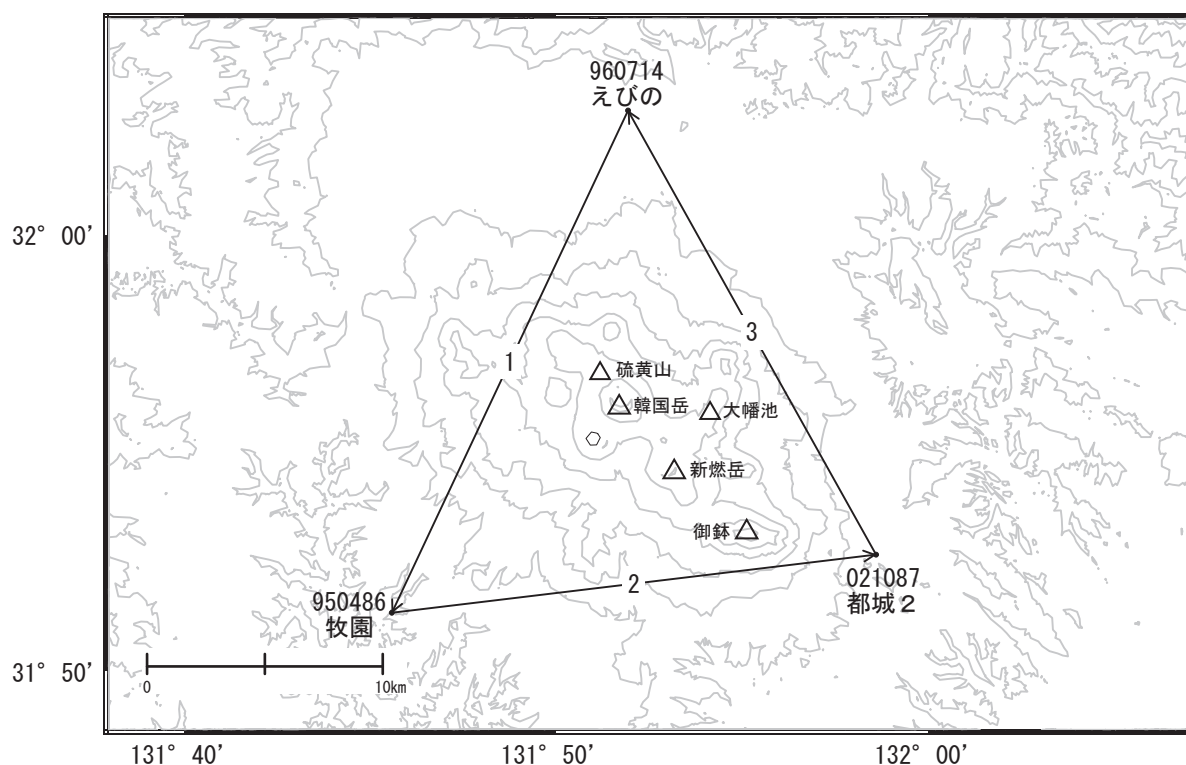


国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

第 5 図 霧島山周辺のGNSS連続解析基線図による基線変化グラフ

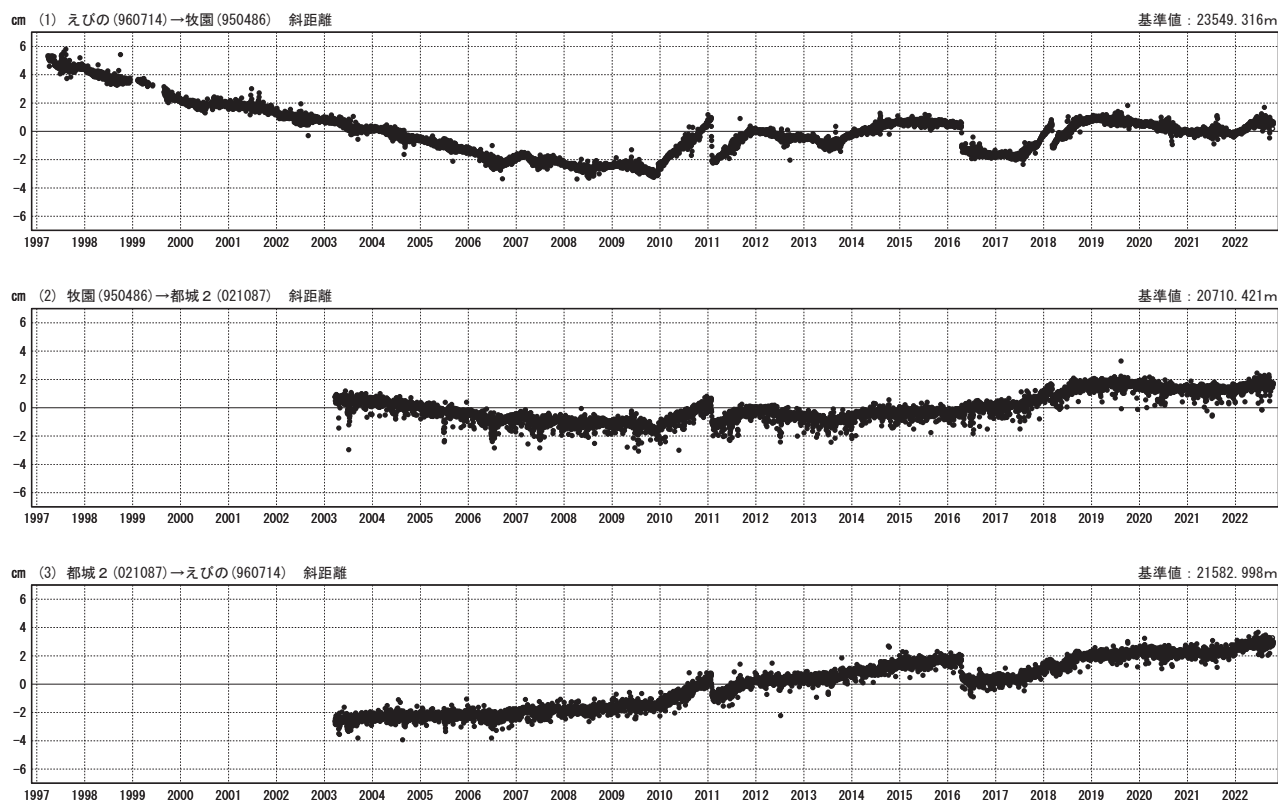
(左列：2017年10月～2022年10月16日、右列：2021年10月～2022年10月16日)

霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(3)



基線変化グラフ

期間: 1997/01/01~2022/10/16 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

国土地理院

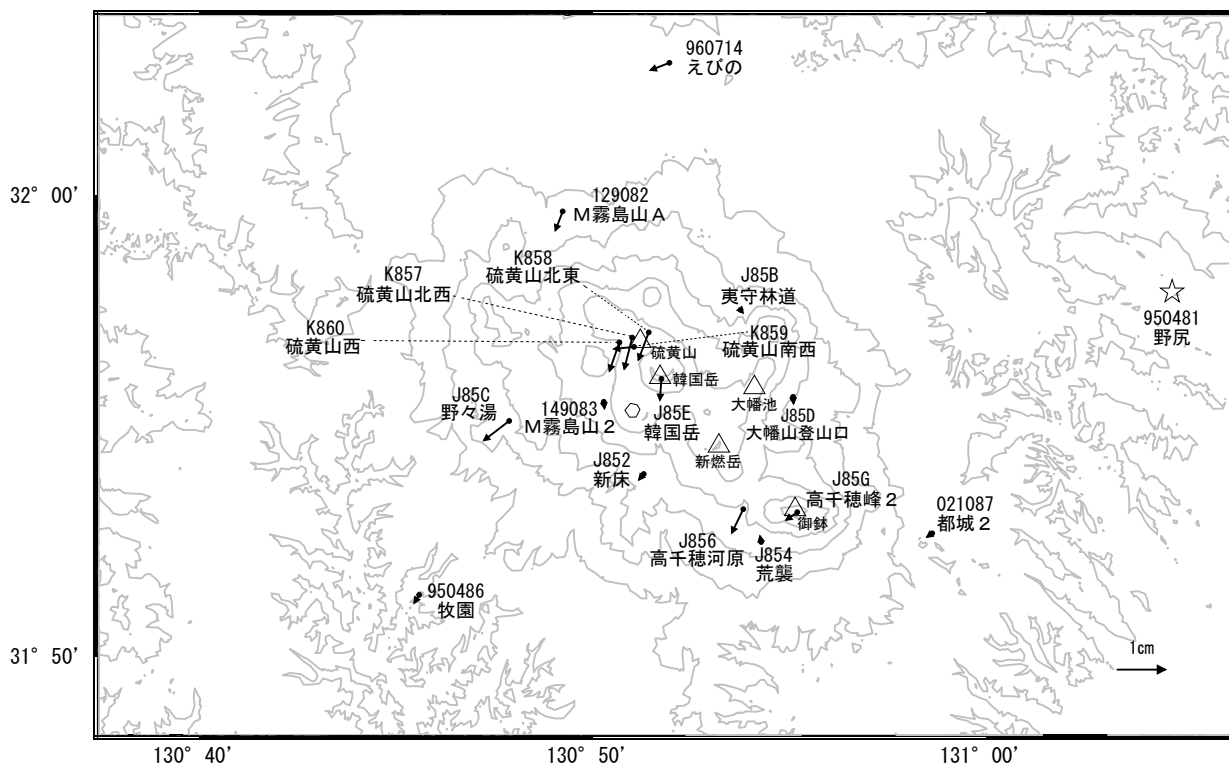
※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

第6図 霧島山周辺のGNSS連続観測基線図(上段)、基線変化グラフ(下段 1997年1月~2022年10月)

霧島山

霧島山周辺の地殻変動(水平:3か月)

基準期間:2022/07/07~2022/07/16[F5:最終解]
比較期間:2022/10/07~2022/10/16[R5:速報解]

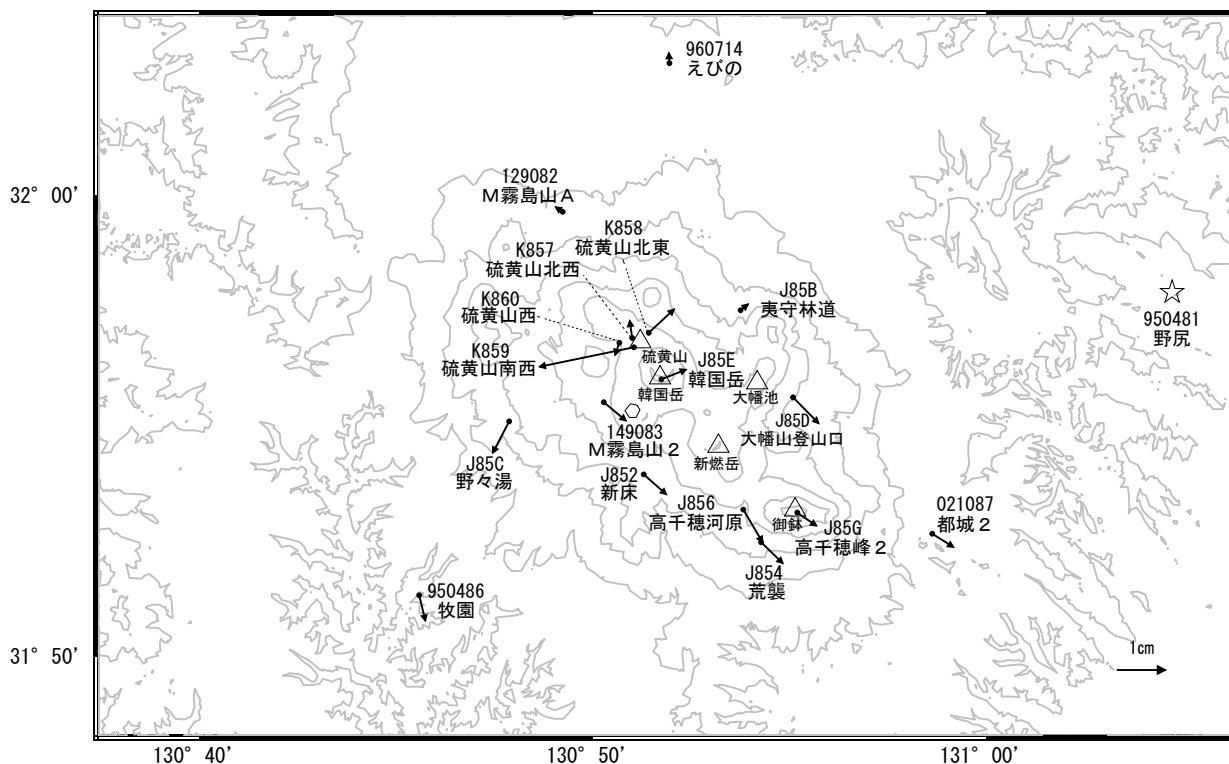


☆ 固定局:野尻(950481)

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:2021/10/07~2021/10/16[F5:最終解]
比較期間:2022/10/07~2022/10/16[R5:速報解]



☆ 固定局:野尻(950481)

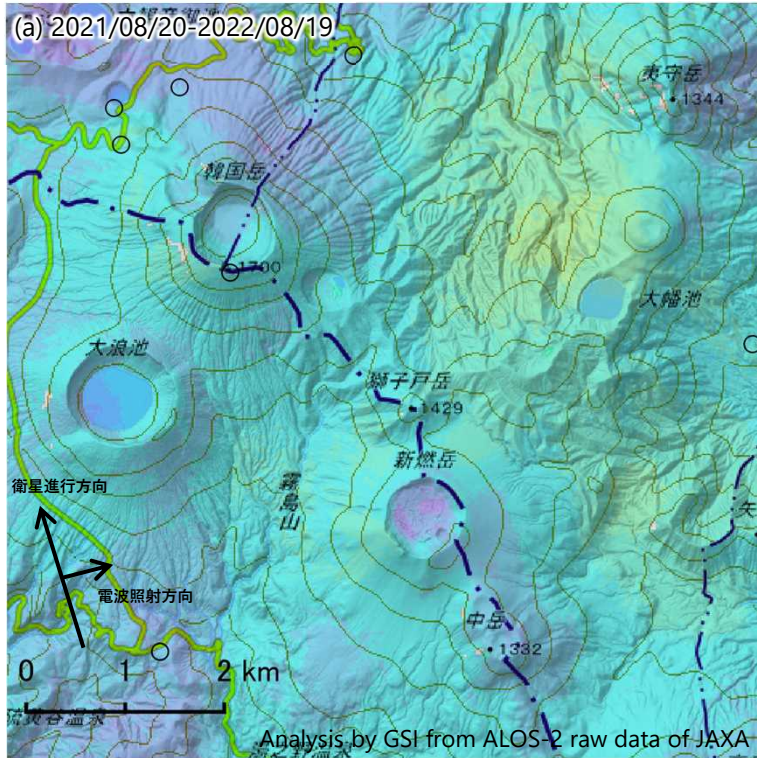
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

第7図 霧島山周辺の電子基準点・気象庁・防災科学技術研究所GNSS観測点の統合解析による
水平変動ベクトル図(上段:2022年7月~10月、下段:2021年10月~2022年10月)

霧島山

霧島山のSAR干渉解析結果について

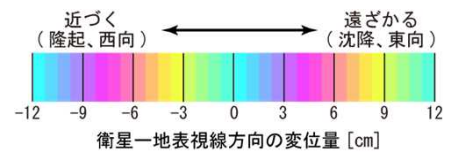
新燃岳火口内に衛星から遠ざかる変動が見られます。



	(a)
衛星名	ALOS-2
観測日時	2021/08/20 2022/08/19 0:11頃 (364日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右(東)
観測モード*	H-H
入射角	32.1°
偏波	HH
垂直基線長	+ 49m

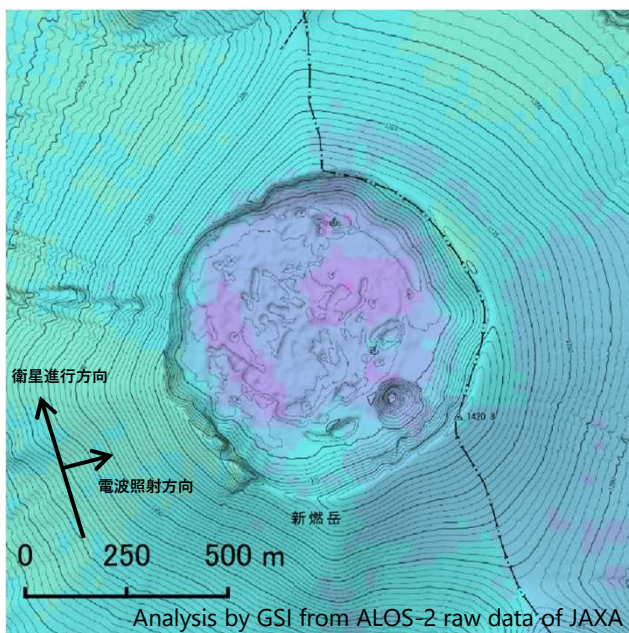
* H：高分解能(6m)モード

○ 国土地理院以外のGNSS観測点



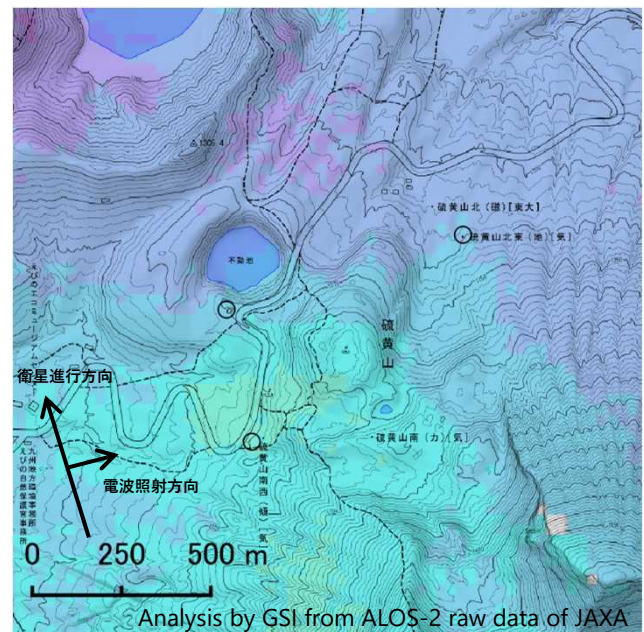
背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

【新燃岳の拡大図】



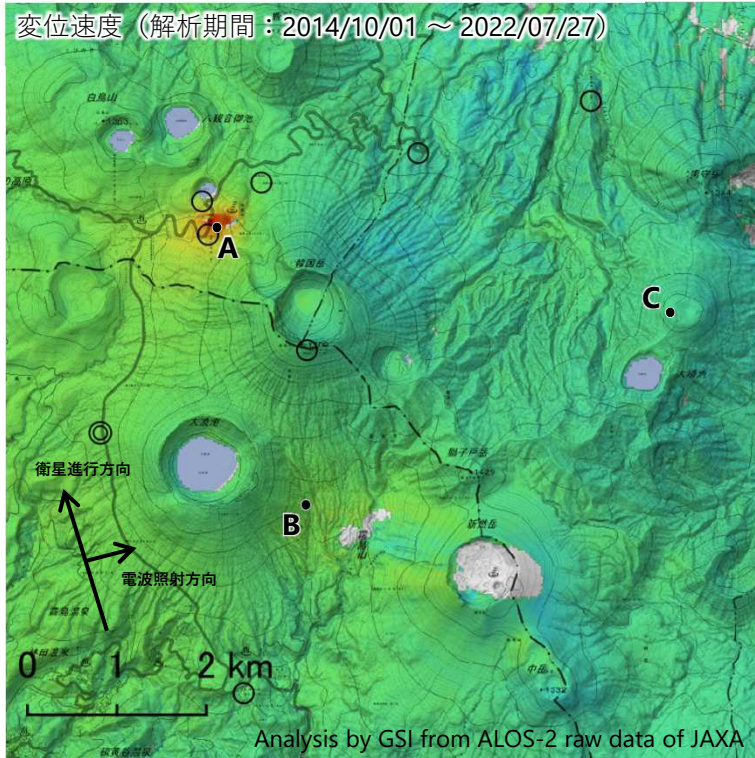
背景：地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

【硫黄山の拡大図】



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。

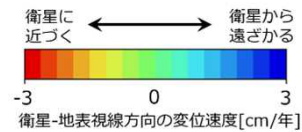


衛星名	ALOS-2
観測期間	2014/10/01 ～ 2022/07/27 (2856日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右(東)
観測モード*	U
入射角	42.9°
偏波	HH
データ数	46
干渉ペア数	176

* U：高分解能(3m)モード

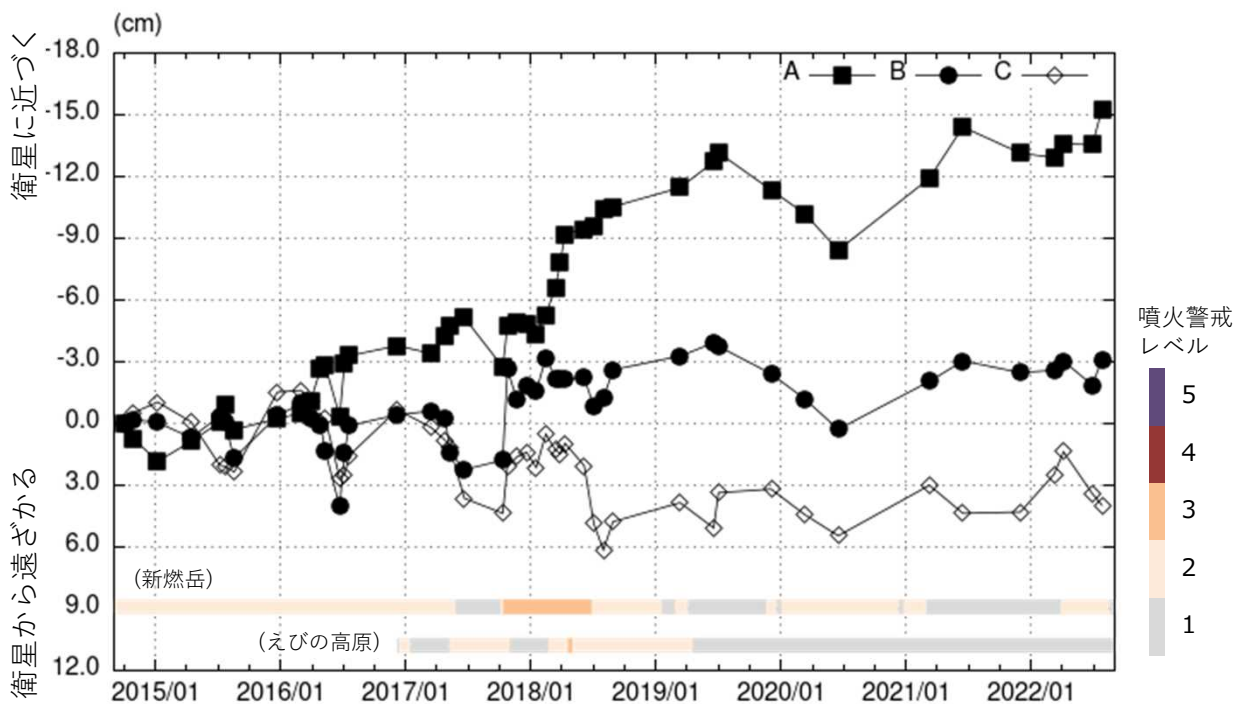
◎ 国土地理院GNSS観測点

○ 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

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

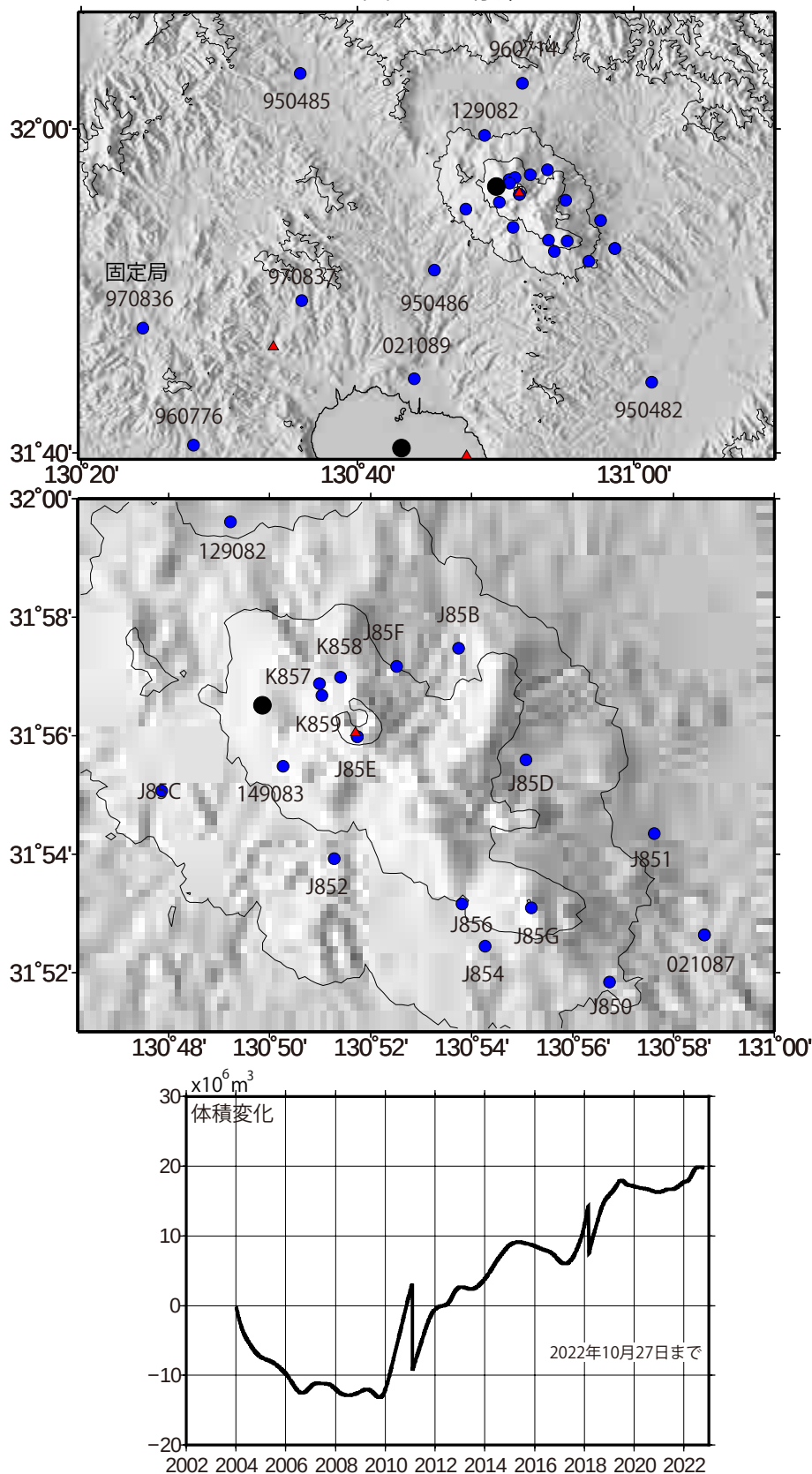
第9図 霧島山の干渉SAR時系列解析結果（2014年10月～2022年7月）

（上段）変位速度の分布 （下段）変動の時系列データ

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

2022年半ばから停滞



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

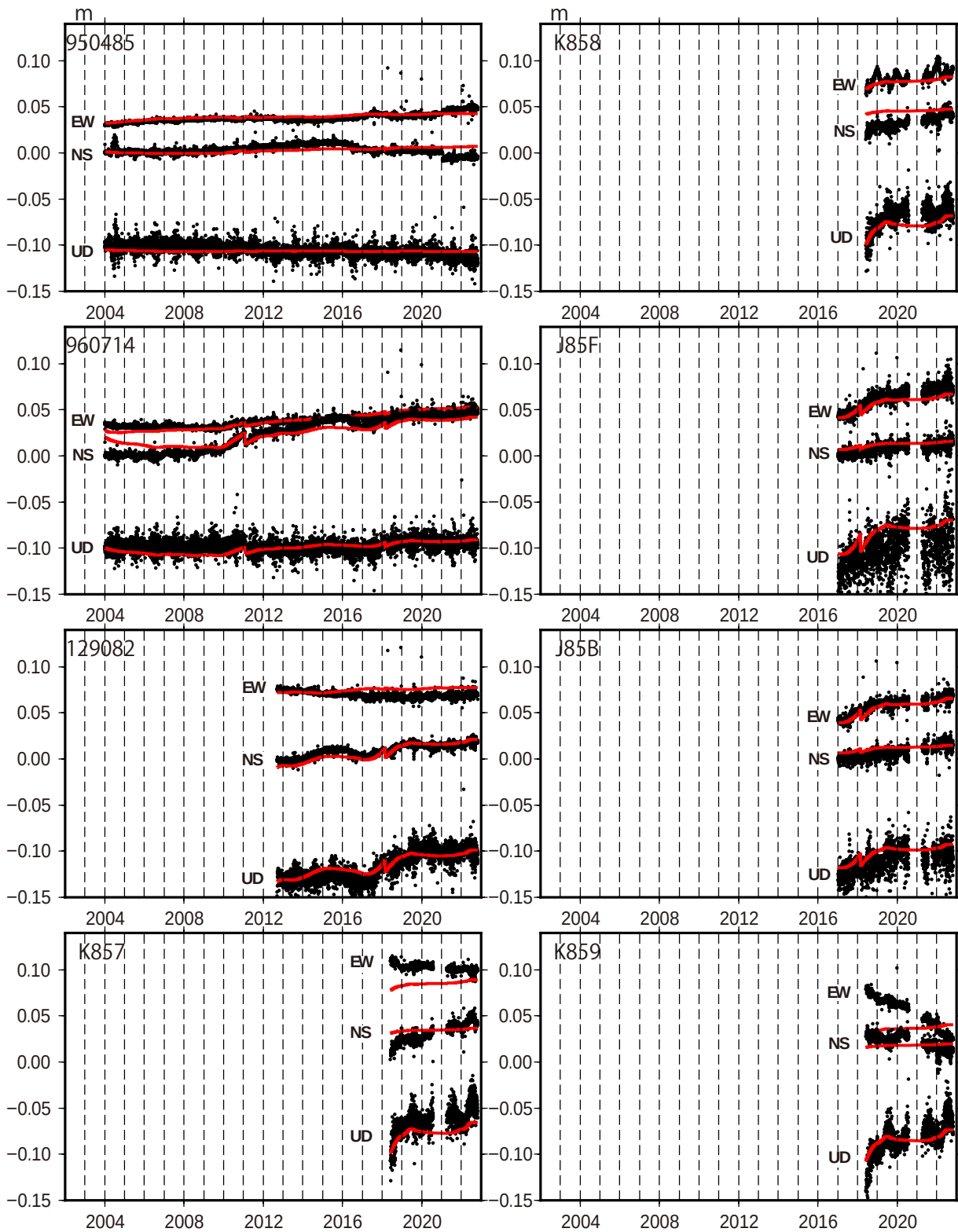
第10図 時間依存インバージョンの手法による霧島山地域の変動源の体積変化推定

(上段・中段: 推定に用いた観測点(青点)配置と茂木ソース(黒丸)の位置、
下段: 推定された茂木ソース体積の時間変化)

霧島山

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



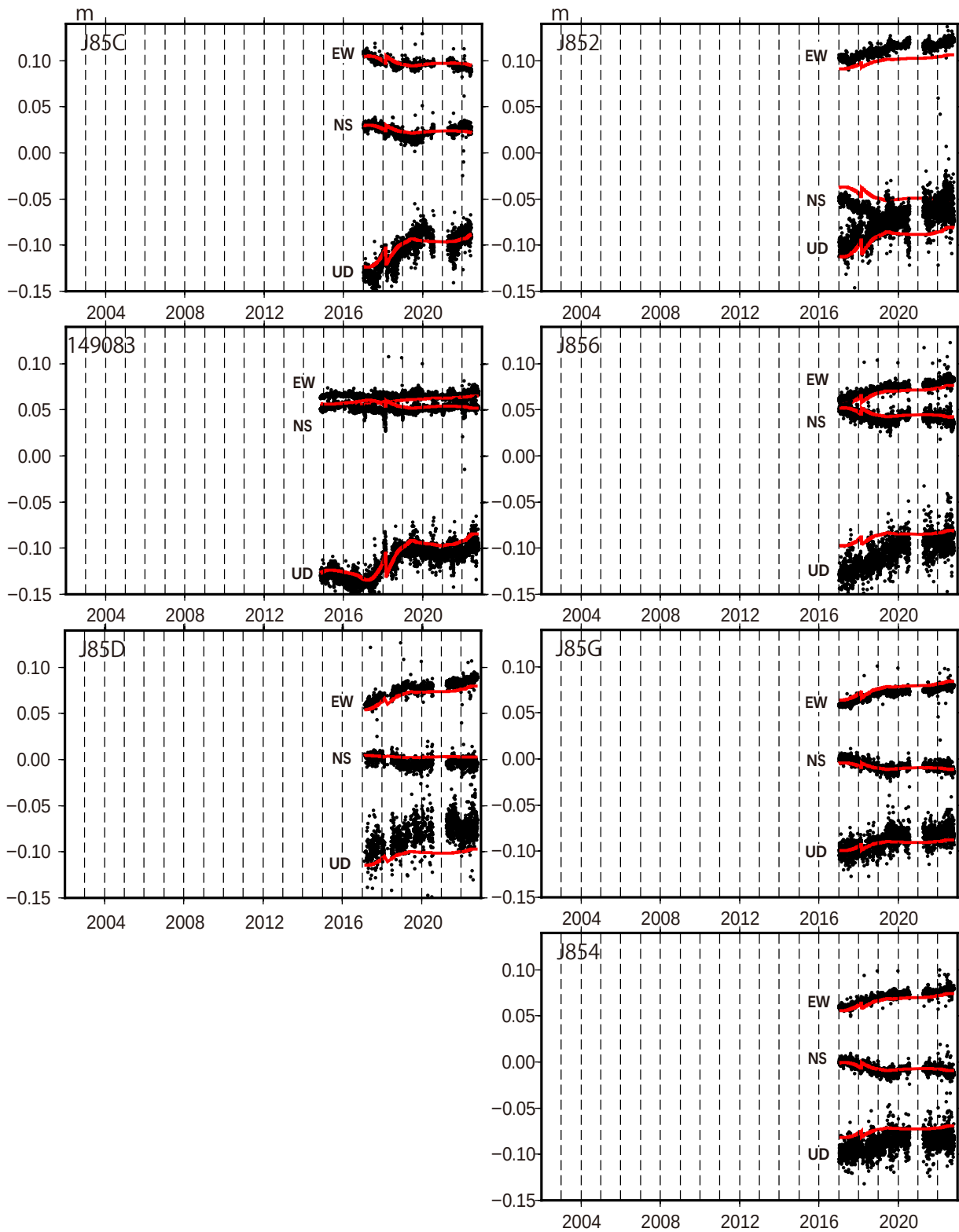
固定局970836.EW,NS,UDは東西、南北、上下変動。周期成分は除いている。

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

第11図 推定された茂木ソースによる地殻変動計算値(赤実線)と観測値(黒点)の比較

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



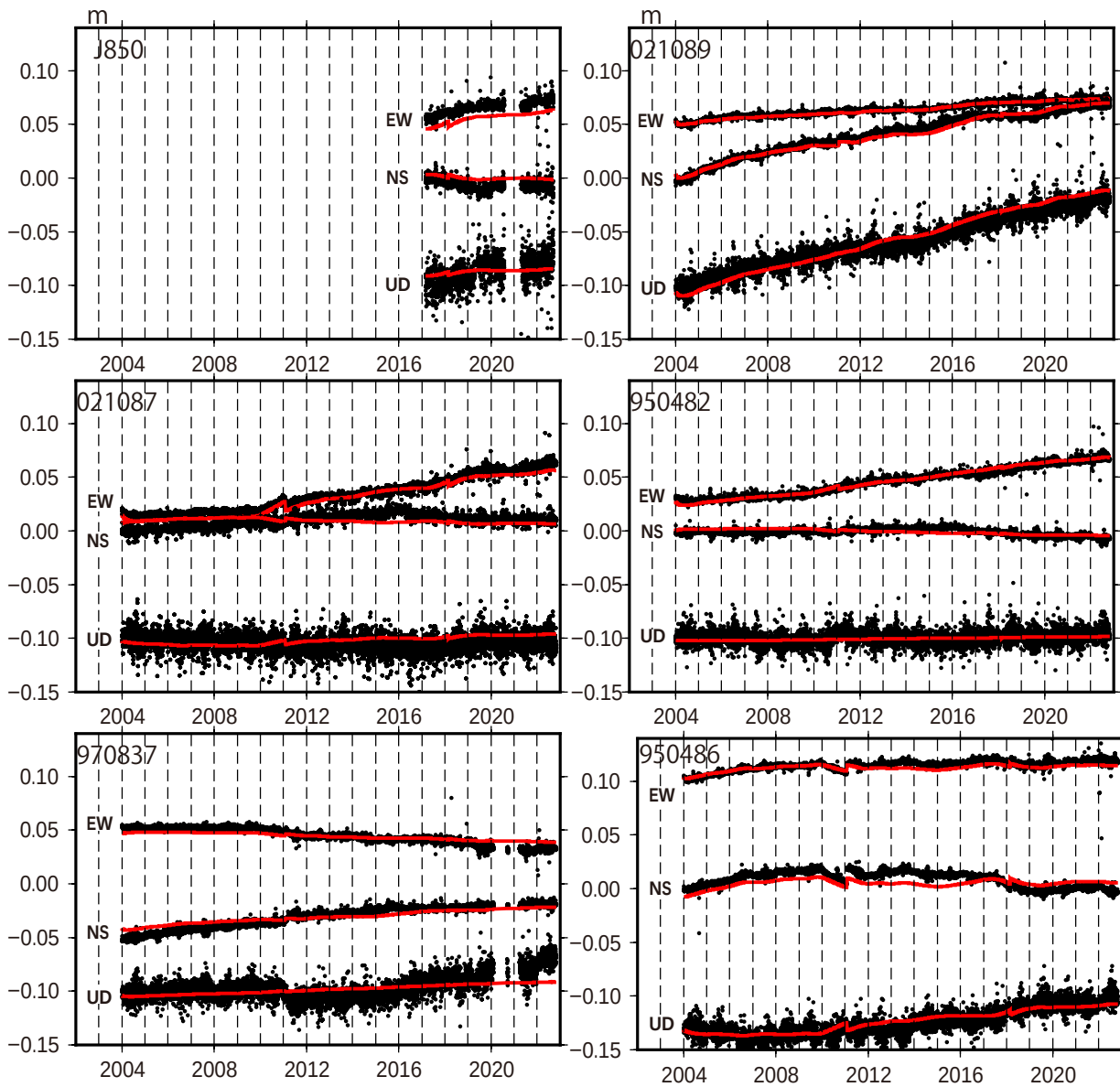
固定局970836.EW,NS,UDは東西、南北、上下変動.周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

第11図つづき 推定された茂木ソースによる地殻変動計算値(赤実線)と観測値(黒点)の比較

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



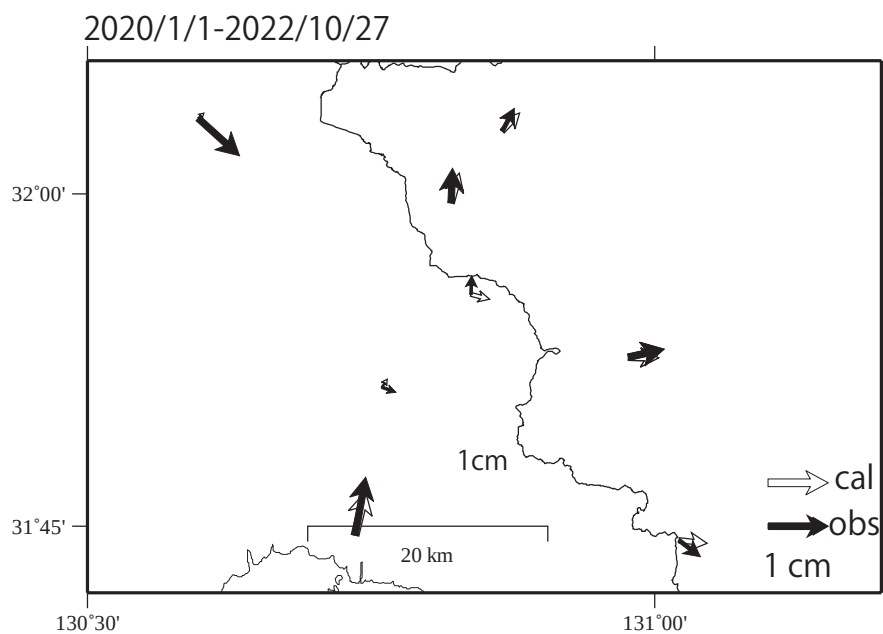
固定局970836.EW,NS,UDは東西、南北、上下変動.周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

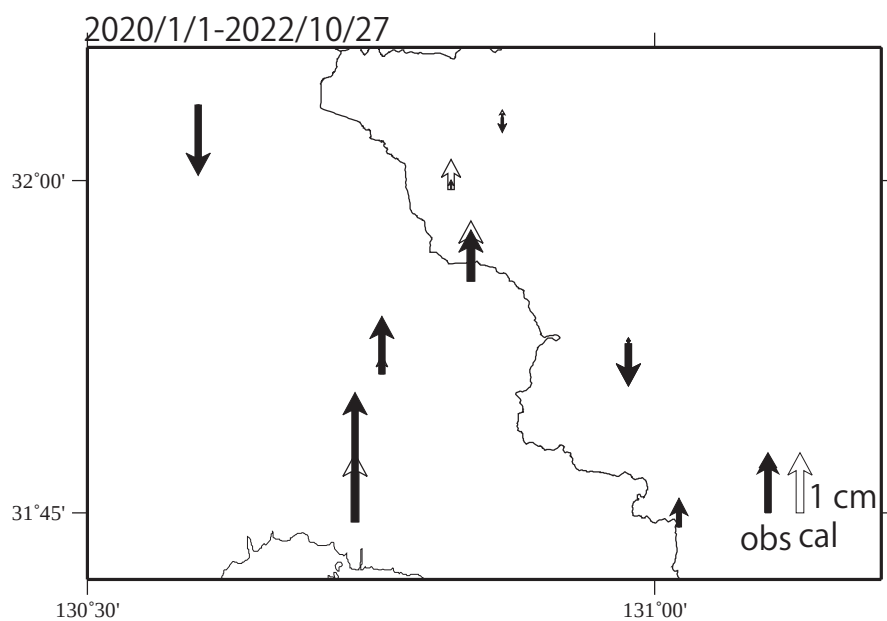
第11図つづき 推定された茂木ソースによる地殻変動計算値(赤実線)と観測値(黒点)の比較

観測値(黒)と計算値(白)の比較

水平



上下



第12図 推定された茂木ソースによる地殻変動計算値(白)と観測値(黒)の比較

霧島えびの高原硫黄山噴気の化学組成(2015 年 12 月～2022 年 11 月)

Chemical composition of the fumarolic gases at Ebinokogen Iwoyama volcano、Kirishima、Japan (From Dec. 2015 to Nov. 2022)

1. 概要

えびの高原硫黄山では 2022 年 6 月から 11 月にかけて、噴気孔 c、h で採取した火山ガスの SO_2/CO_2 比や $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比に上昇が観測された。一方で、噴気孔 c の火山ガスに含まれる H_2O の酸素同位体比は低い値を維持しており、2018 年 4 月の水蒸気噴火の直前に観測されたような高い値には達していない。

2. 噴気の採取・分析

2015 年 12 月から 2022 年 11 月の期間、硫黄山の山頂付近の図 1 に示す噴気孔 a、b、c、h 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、採取そのものができない場合や、大量の空気の混入が認められる場合があった。

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 比の変化を図 2 に示す。噴気 c、h では、2022 年 6 月から 11 月にかけて増加が観測された。噴気の $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比変化を図 3 に示す。噴気 c、h で 2022 年 6 月から 11 月にかけて上昇し、これまでで最大の値を示している。

噴気に含まれる H_2O の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) の変化を図 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、2022 年 11 月には $+2.9\text{‰}$ に達した。噴気 h においてマグマ起源 H_2O の寄与が最近になり相対的に増大している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 2022 年 11 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。2022 年 11 月の -16.2‰ 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ると判断される。噴気 h の 2022 年 11 月の組成は、これまでで最もマグマ起源成分の組成に近づいたと判断される。

硫黄山の噴気に含まれる SO_2 の濃度は、高温のマグマ性ガスと浅部地下水の相互作用により影響されていると考えられている (Ohba et al., 2021), すなわち、マグマ性ガスに含まれる SO_2 は接触した地下水に吸収され部分的に失われる。噴気 h では、 SO_2/CO_2 比の上昇と酸素同位体比の上昇が同時に起きて

おり、地下水と接触するマグマ性ガスの割合が増加していると考えられる。硫黄山における地震回数は 2022 年 6 月以降、低いレベルにあり、マグマ性ガスの流量が増加しているとは考えにくい。よって、少なくとも噴気 h については、マグマ性ガスと接触する地下水の流量が減少し、 SO_2/CO_2 比の増加と酸素同位体比の上昇をもたら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 B 3）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

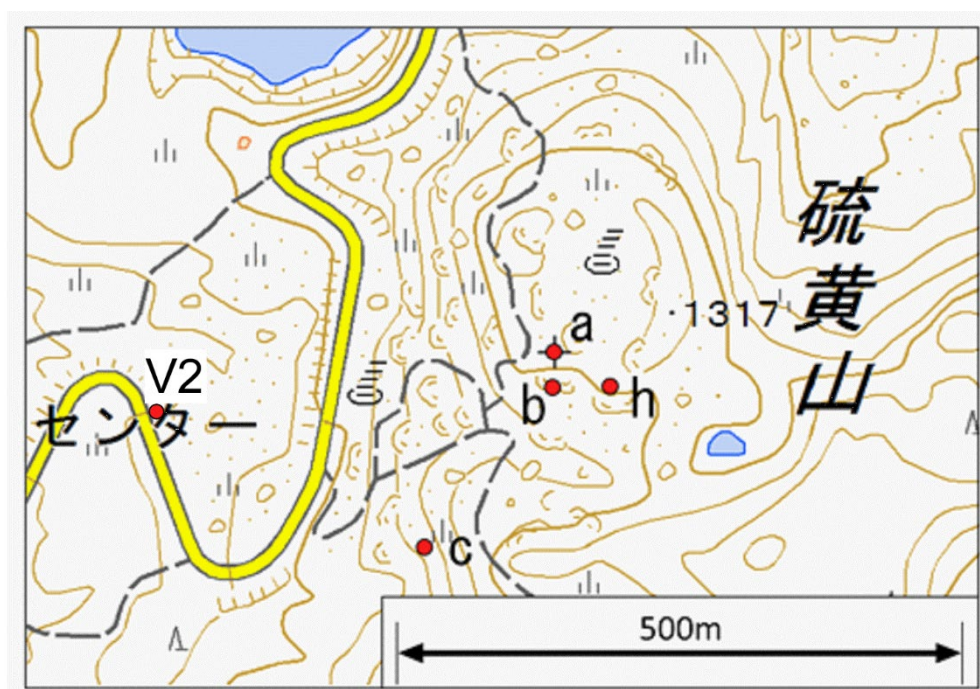


図 1. 硫黄山噴気 a, b, c, h, V2 の位置（背景の地図として、国土地理院 1/25000 地形図を使用した）

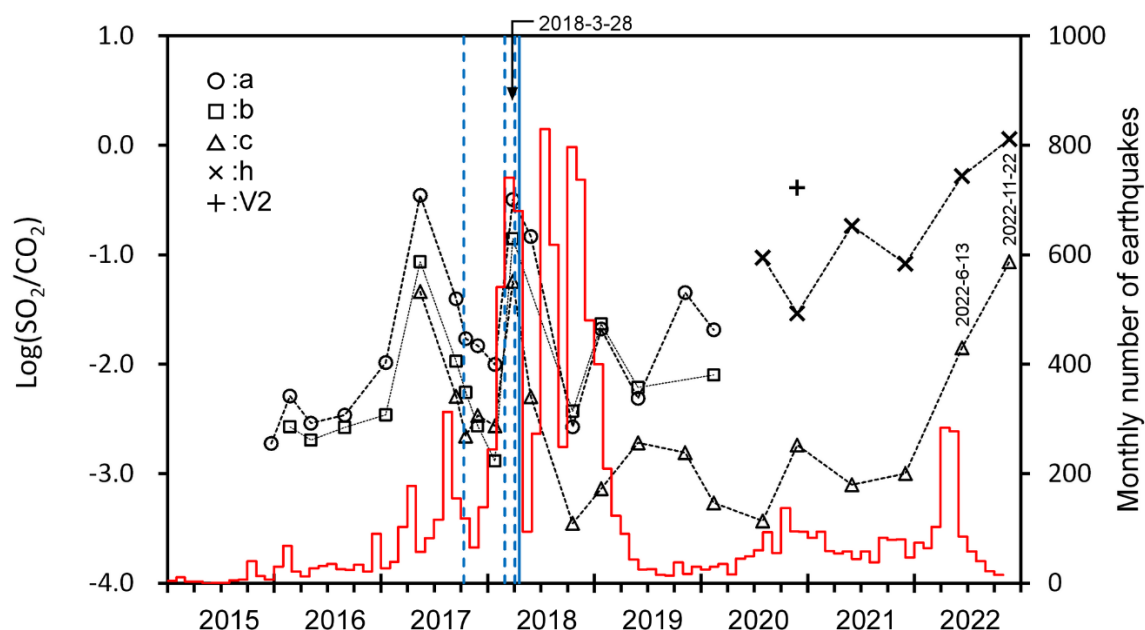


図 2. SO_2/CO_2 比の時間変化（赤線は気象庁による月別地震回数、青の実線は硫黄山における噴火、青破線は新燃岳における噴火を示す）

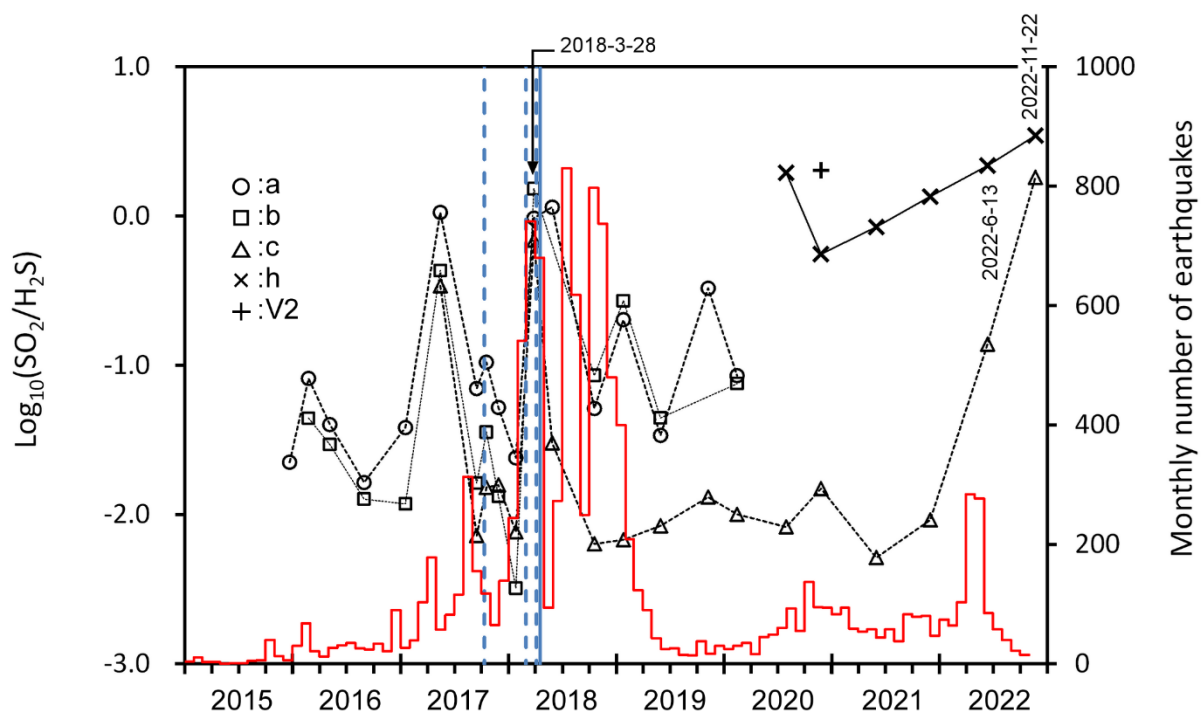


図 3. $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の時間変化（赤線は気象庁による月別地震回数、青の実線は硫黄山における噴火、青破線は新燃岳における噴火を示す）

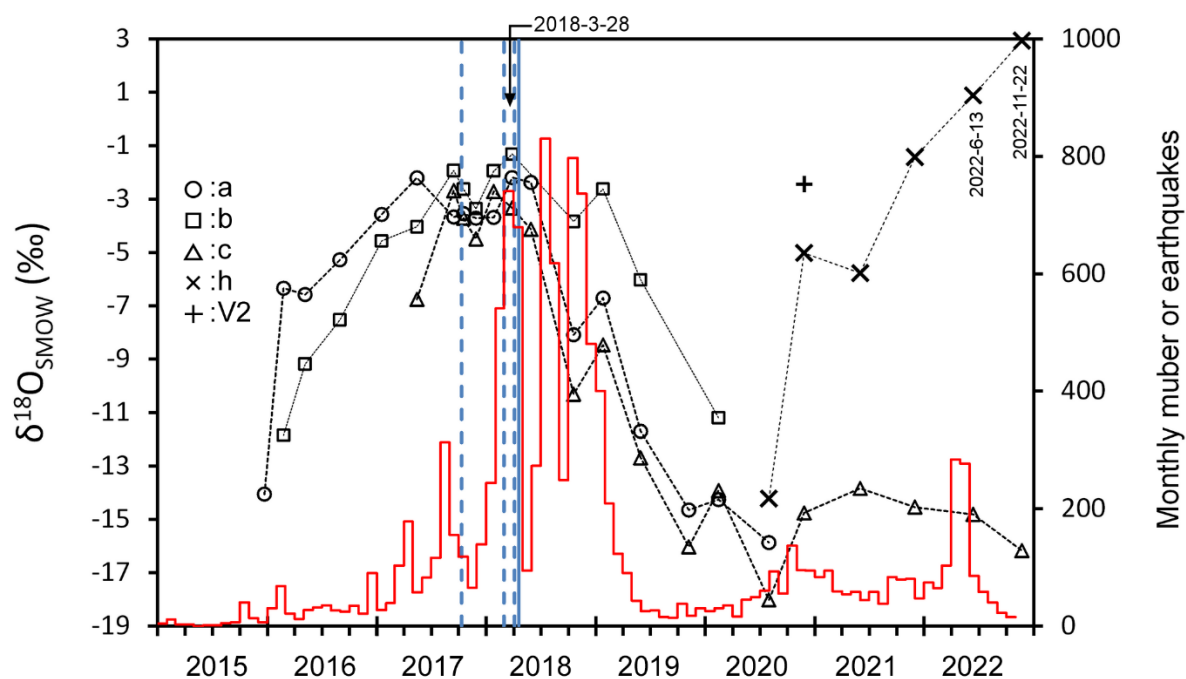


図 4. H_2O 酸素同位体比の時間変化（赤線は気象庁による月別地震回数、青の実線は硫黄山における噴火、青破線は新燃岳における噴火を示す）

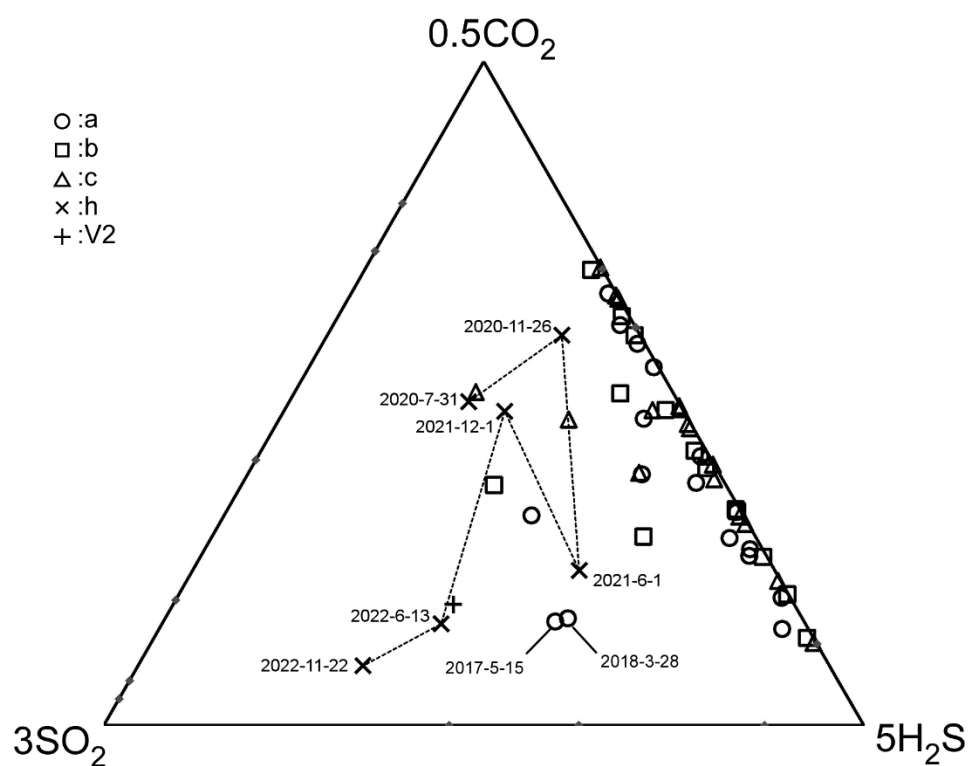


図 5. 噴気の SO_2 - CO_2 - H_2S 三成分図

火山噴火予知連絡会

鹿児島大学理工学研究科

東京大学地震研究所・他①

霧島火山

鹿児島大学理工学研究科と東京大学地震研究所は、2011年1月の噴火前より霧島山（新燃岳）周辺にGNSS観測点を4点設置し、東北大学、北海道大学、九州大学と共同で観測点を増設し、京都大学防災研究所、防災科学技術研究所、国土地理院、気象庁のデータと併せて地殻変動データの解析を行っている。観測点配置を図1に示す。

長期的な変動（図2、図3）としては、2011年1月末の噴火後にも継続していたマグマ蓄積は2011年11月頃一旦停止したが、2013年10月頃より再開し、2014年9月頃に一旦停止した。2017年2月ごろから一部の基線長の伸びが見られはじめ、2017年10月の噴火に至った。その後すぐに基線長の伸長が再開し、2018年3月上旬の噴火の際に収縮した。その後伸長が再開したが、2011年噴火時の収縮源をはさむ基線のうち、2019年1月上旬から2019年6月くらいまでに基線長の収縮が始まり、2021年11月頃まで続いた。2021年12月頃から基線長の伸長が始まり、2022年5月頃まで続き、停滞期にはいったように見える。

図4、図5に2017年1月から2021年5月までの拡大図を示す。2018年9月上旬から停滞しているように見える。そのなかでもKKCD-KRS、KKCD-KRSP（どちらも図4）の新燃岳の直上を通る基線では速度は遅いものの伸長しているように見えていたが、2019年4月ころより停滞ののち収縮に転じている。また、KKCD-950486、KKCD-MNZS（どちらも図4）、950486-960714、950486-KVO（どちらも図5）は2019年7月ごろから緩やかに縮んでいたが、2021年に入り停滞しているように見える。その後、2021年12月ごろから伸長を開始し、2022年5月頃まで続いた。現在は停滞しているようにみえる。

解析には、国土地理院、防災科学技術研究所、気象庁の観測データも利用した。また、次世代火山研究人材育成総合プロジェクトの課題B-4「火山内部構造・状態把握技術の開発」の支援を受けている。ここに謝意を表す。

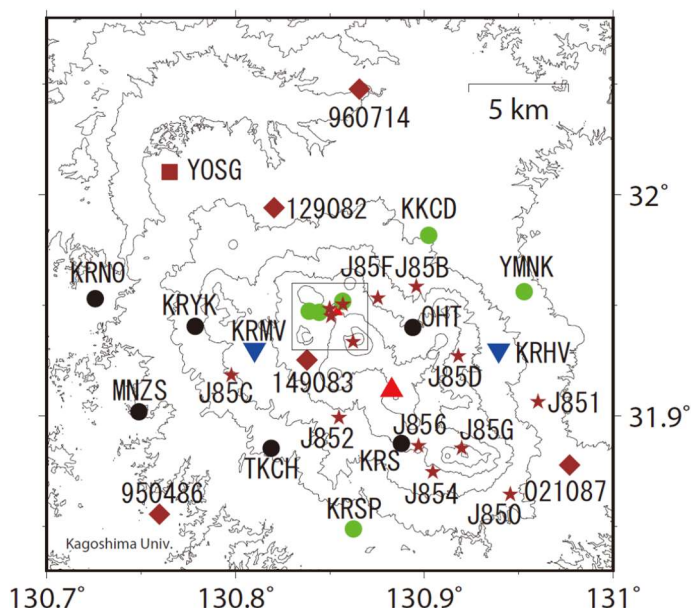


図1. 霧島山（新燃岳）周辺のGNSS観測網

霧島火山

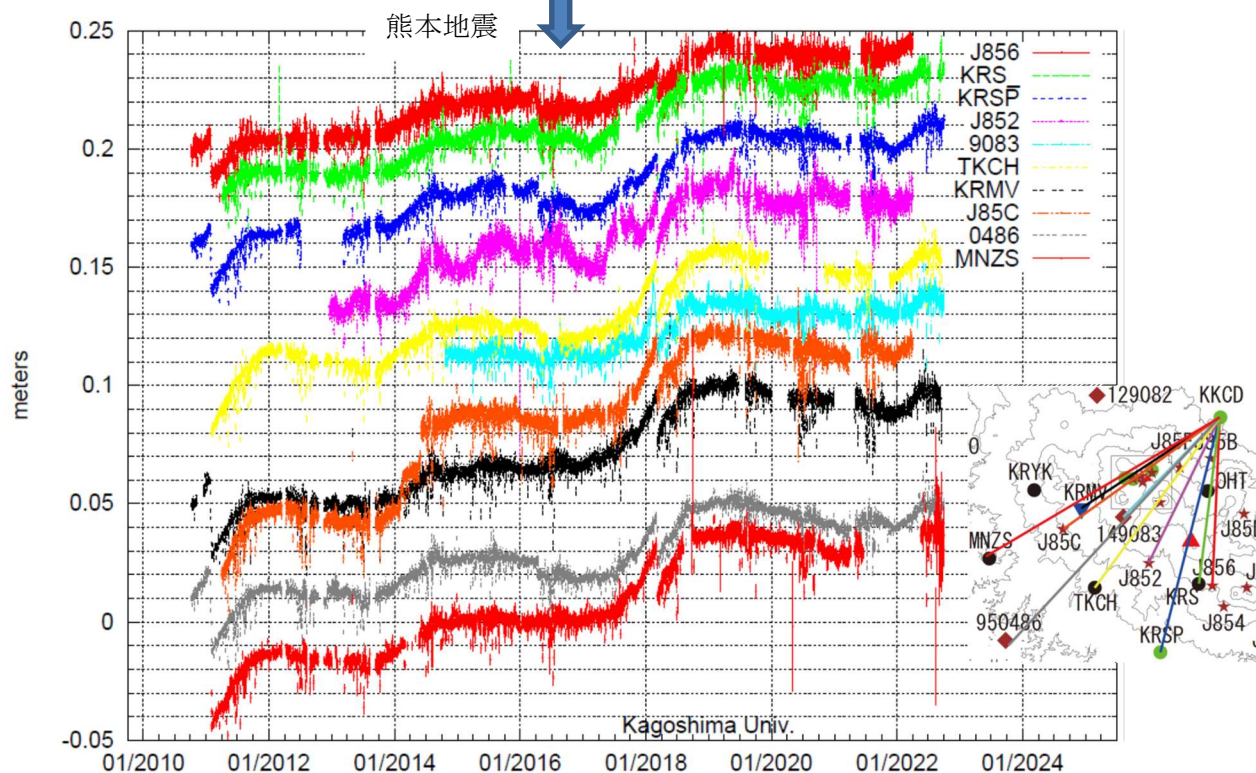


図2. 霧島山（新燃岳）をはさむ基線の基線長の時間変化（2010年10月～2022年10月）. 基準点は KKCD 観測点

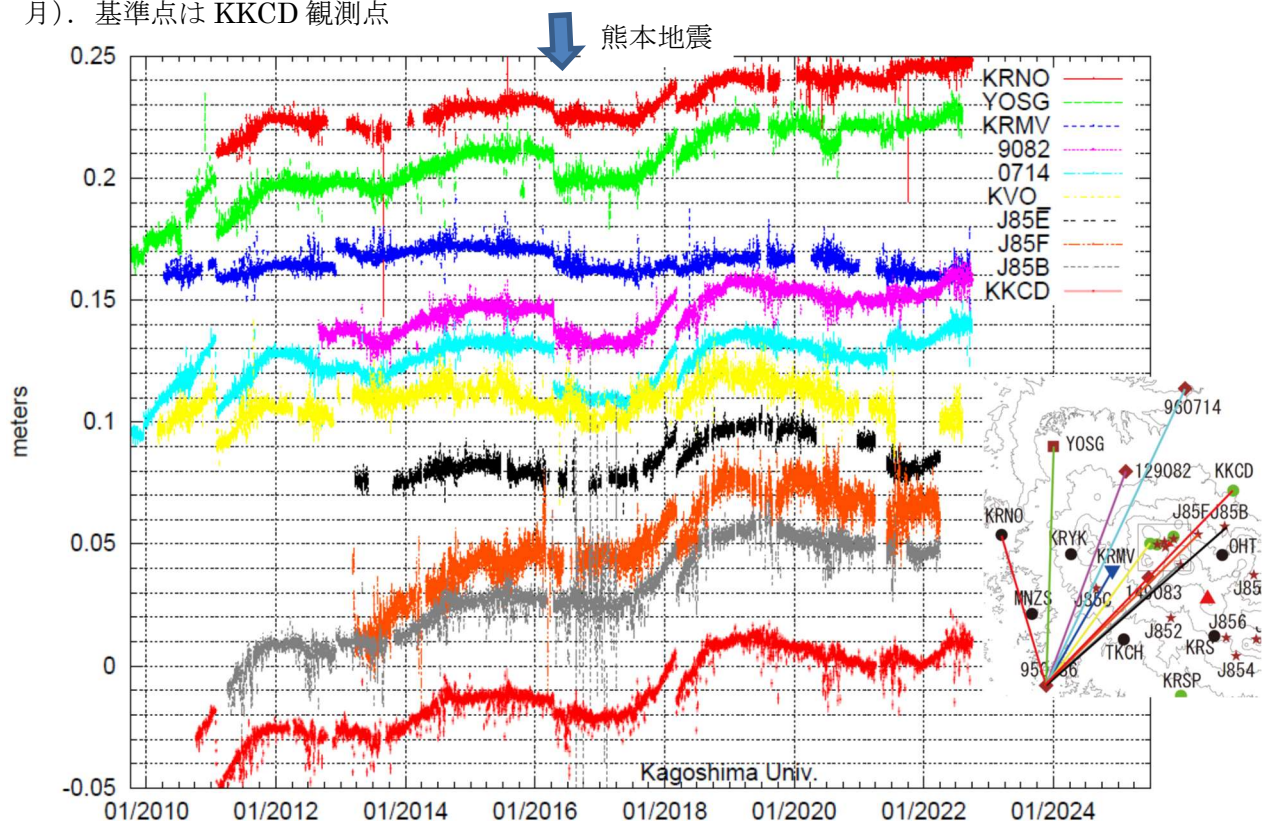


図3. 霧島山（新燃岳）をはさむ基線の基線長の時間変化（2009年10月～2022年10月）. 基準点は 950486 (GEONET) 観測点

霧島火山

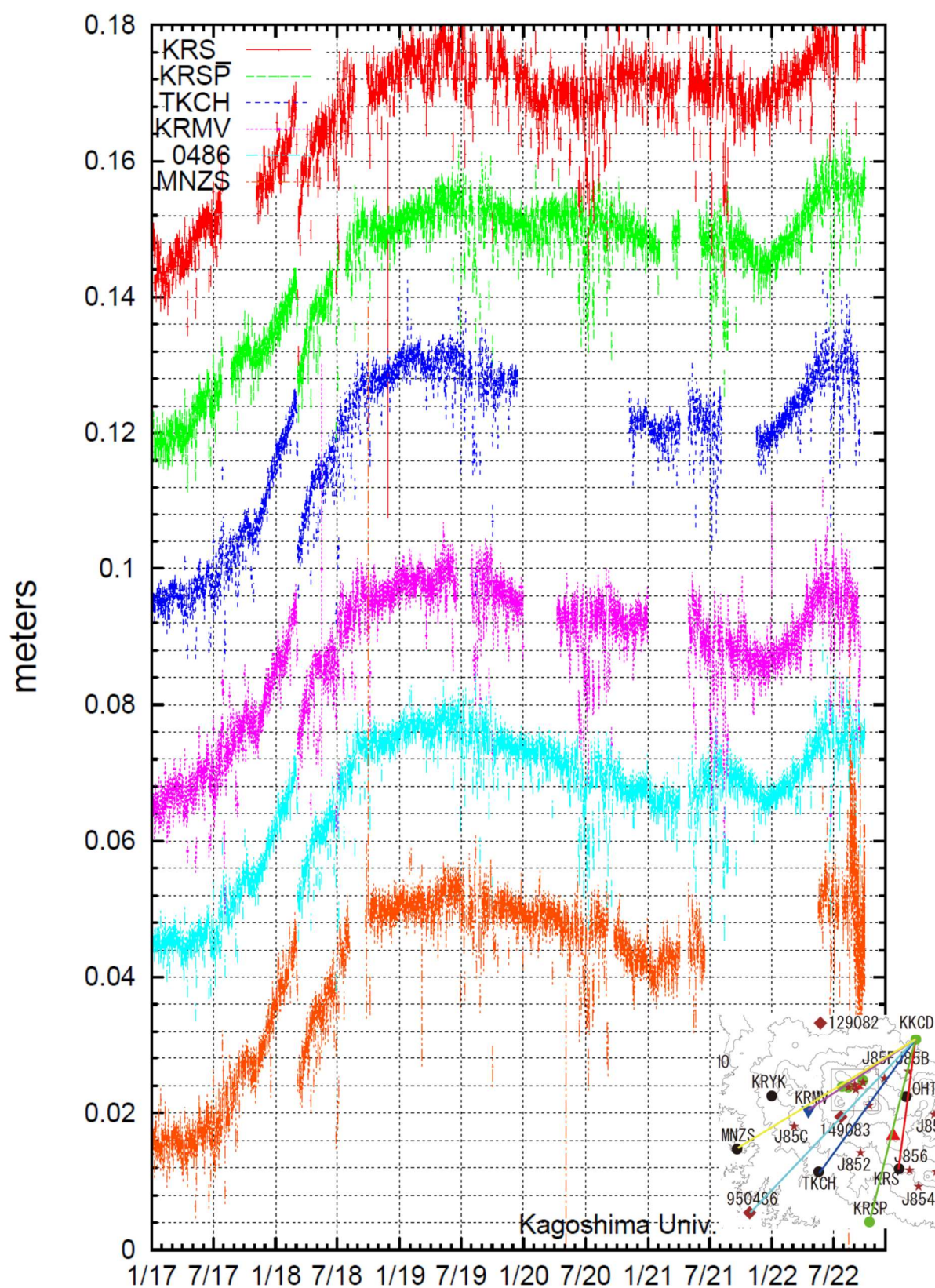


図4. 2011年新燃岳噴火時のマグマソースをはさむ基線の基線長変化 (2017年1月～2022年10月). 基準点はKKCD観測点.

霧島火山

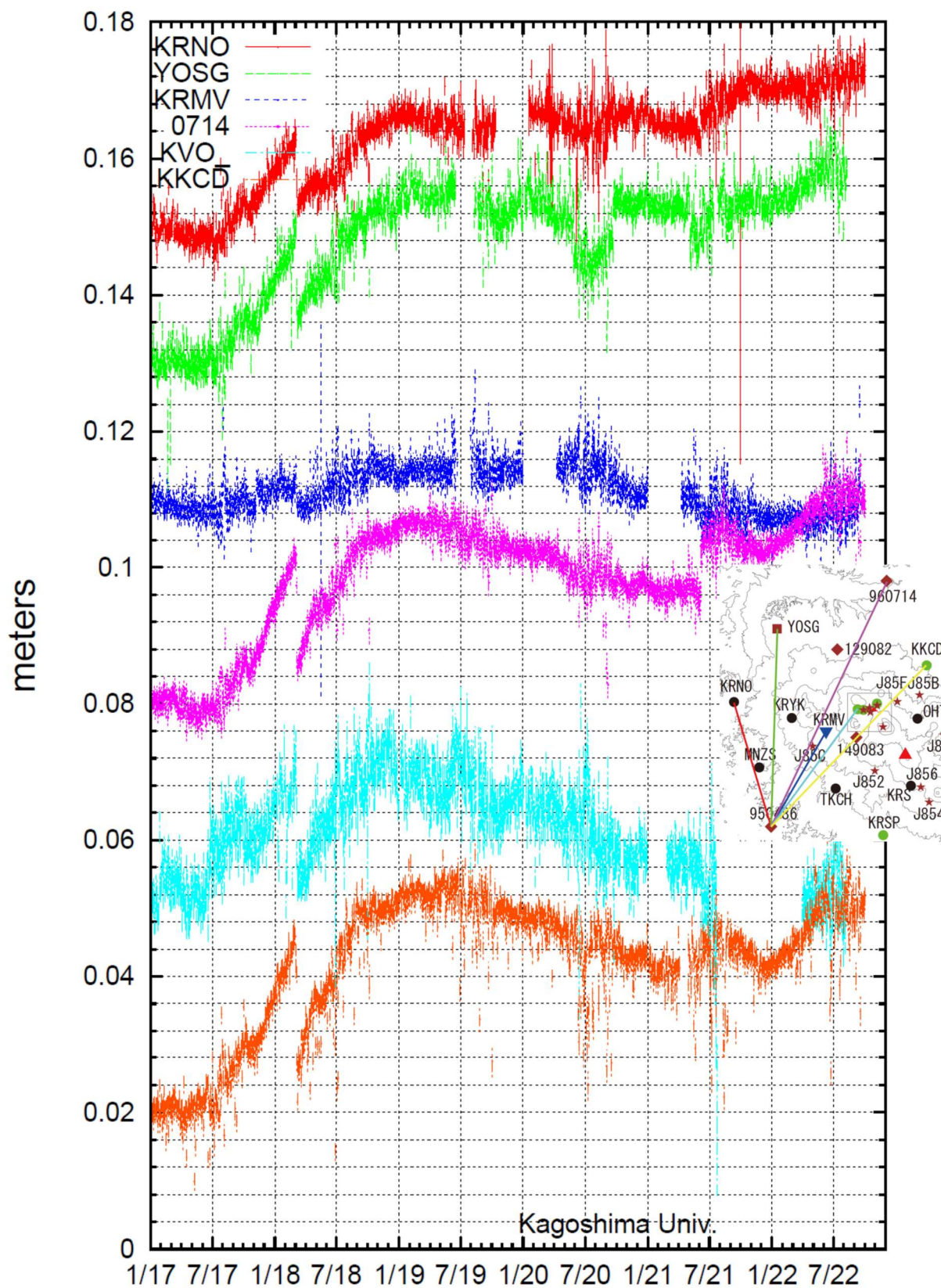


図5. 2011年新燃岳噴火時のマグマソースをはさむ基線の基線長変化 (2017年1月～2021年5月). 基準点は950486 (GEONET) 観測点.

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。