

第 149 回 火山噴火予知連絡会資料

(その3の5)

九州地方及び南西諸島

令和 3 年 12 月 27 日

火山噴火予知連絡会資料(その3の5)

目次

九州地方及び南西諸島

鶴見岳・伽藍岳	3
気象庁 3-4、地理院 5-6	
九重山	7
気象庁 7-8、地理院 9-10	
雲仙岳	11
気象庁 11-12、九大 13、防災科研 14-18、地理院 19-21	
霧島山	22
気象庁 22-38、気象研 39-42、東大 43-45、九大 46-58、防災科研 59-64、地理院 65-78、 海保 79、東海大 80-83	
開聞岳	84
京大防災研 84	
中之島	85
京大防災研 85	
「だいち2号」SAR 干渉解析判読結果	86
地理院 86-87	
気象庁資料に関する補足事項	88

鶴見岳・伽藍岳

(2021 年 6 月～2021 年 11 月)

火山性地震は少ない状態で経過したがB型地震が時々発生している。その他の火山活動に特段の変化はなく、噴火の兆候は認められない。

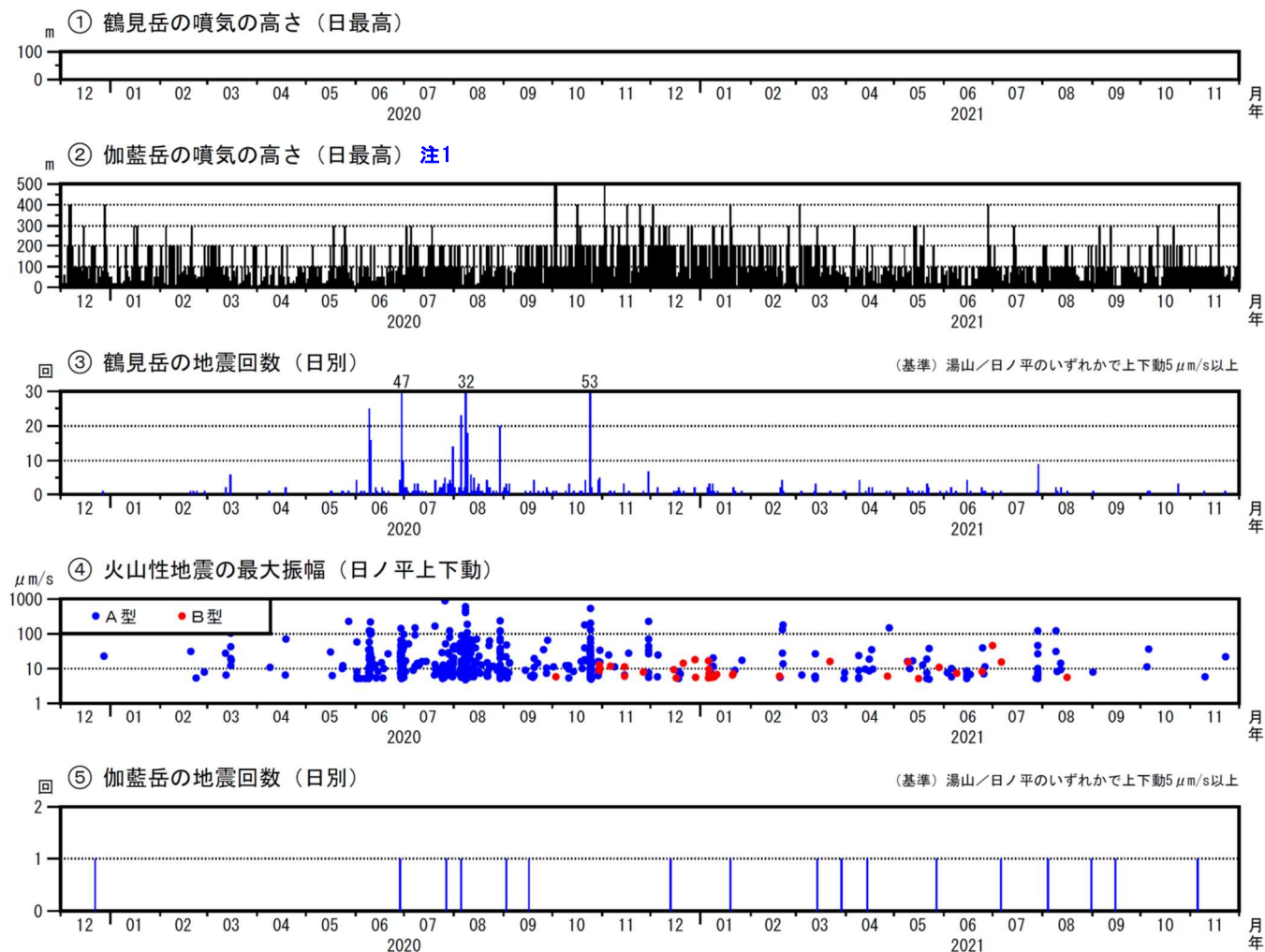


図 1 鶴見岳・伽藍岳 火山活動経過図 (2019 年 12 月～2021 年 11 月 30 日)

<2021 年 6 月～2021 年 11 月 30 日の状況>

- ・伽藍岳で噴気が噴気地帯上 400mまで上がった。
- ・鶴見岳・伽藍岳付近で発生したA型地震は少ない状態で経過した。
- ・鶴見岳付近でB型地震が時々発生した。
- ・火山性微動は、2010 年 11 月の観測開始以降、観測されていない。

注 1：伽藍岳では、2019年11月から塚原無田監視カメラによる噴気の観測を開始した。10月までは、伽藍岳の噴気の高さは、稜線上からの高さを表していたが、11月以降は噴気地帯からの高さに換算している。（10月までの値に、稜線までの標高差100mを追加）。また、塚原無田監視カメラ設置に伴い11月以降、（稜線よりも低い）高さ100m未満の噴気も観測している。

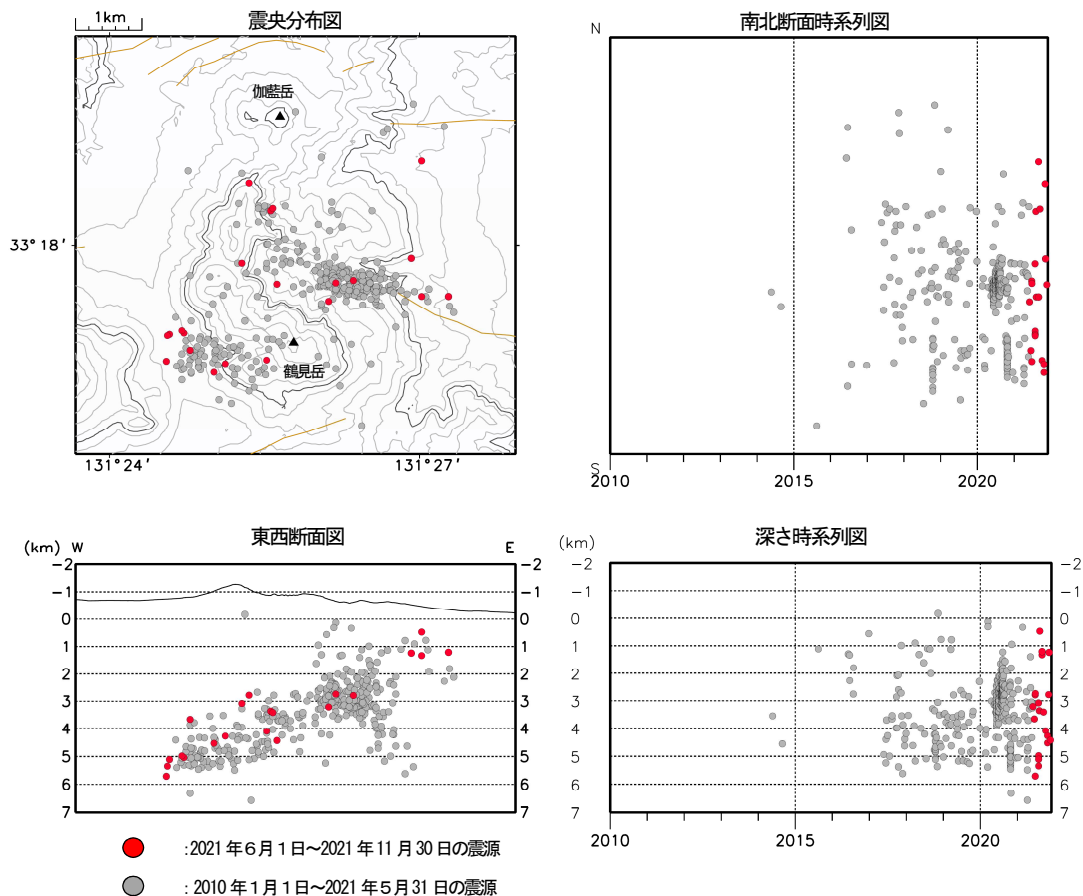


図2 鶴見岳・伽藍岳 震源分布図 (2010年1月～2021年11月30日)

<2021年6月～2021年11月30日の状況>

震源は、主に鶴見岳付近の深さ0～6kmに分布した。

山体周辺及び山体下の深さ10kmまでの地震を表示している。

近傍の観測点（湯山、日ノ平、内山北尾根、鶴見岳西山麓）において、P波とS波の到達時間差が概ね1秒以内の地震を掲載している。

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。

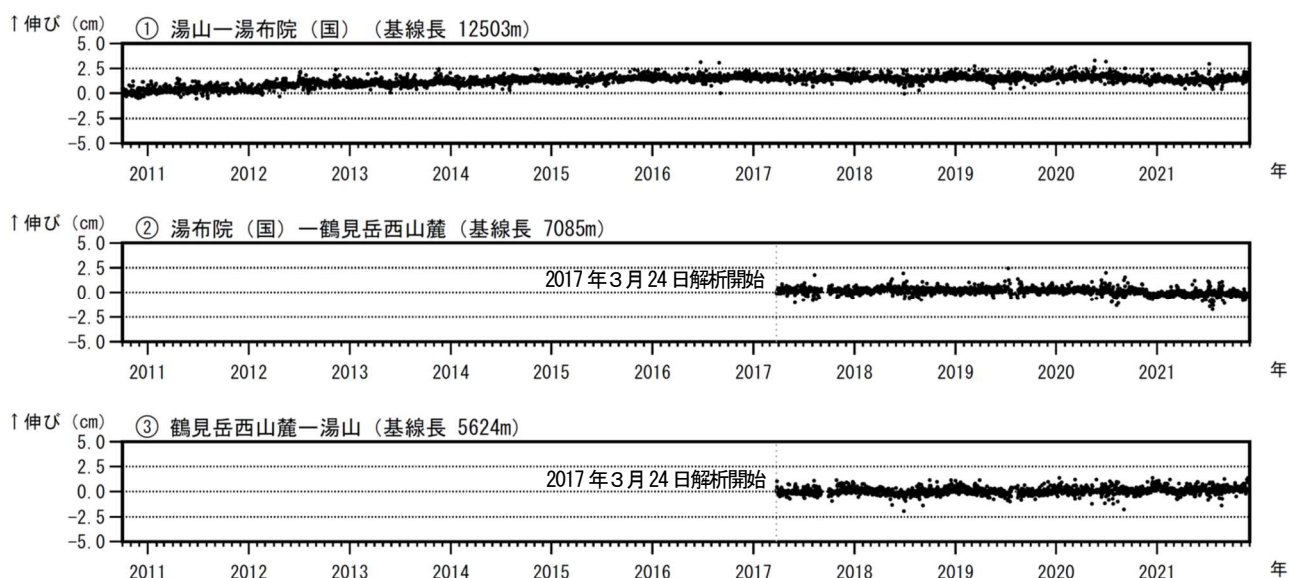


図3 鶴見岳・伽藍岳 GNSS連続観測による基線長変化 (2010年10月～2021年11月30日)

GNSS連続観測では、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。

基線の空白部分は欠測を示している。

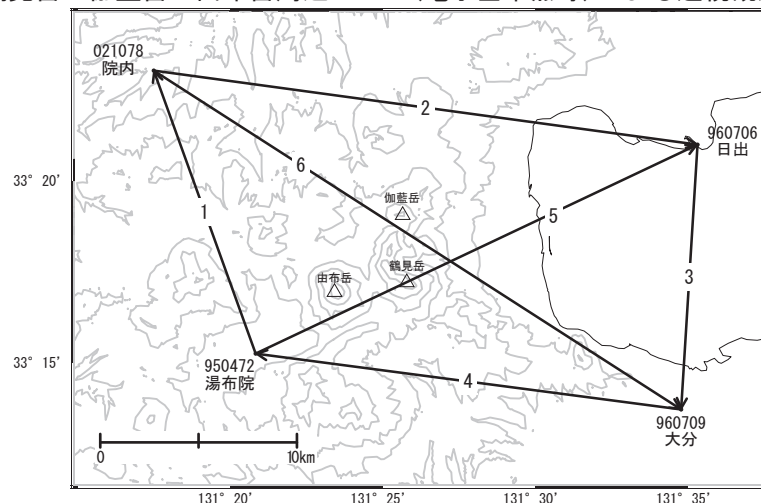
2016年4月16日以降の基線長は、平成28年（2016年）熊本地震の影響による変動が大きかったため、この地震に伴うステップを補正している。

(国)：国土地理院

鶴見岳・伽藍岳・由布岳

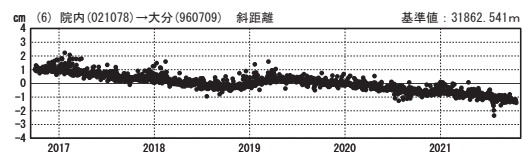
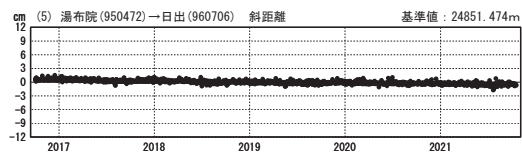
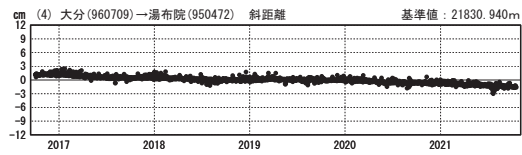
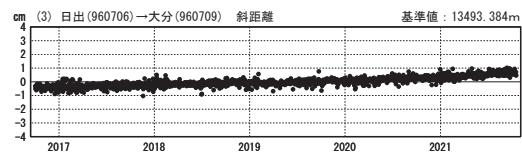
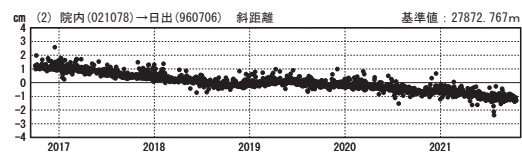
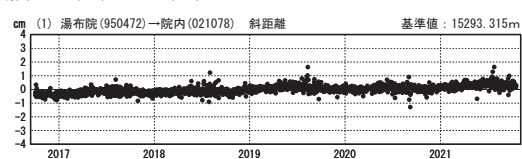
GNSS連続観測結果では、顕著な地殻変動は見られません。

鶴見岳・伽藍岳・由布岳周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図



基線変化グラフ(長期)

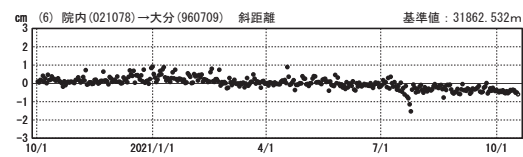
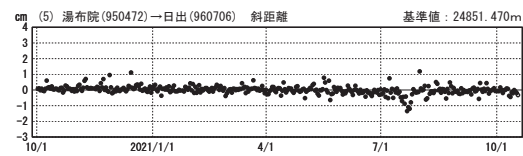
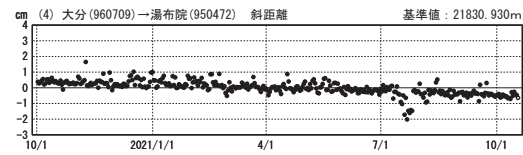
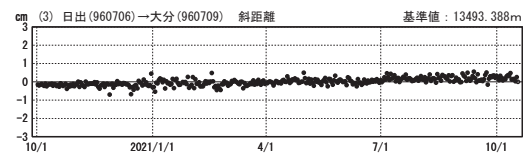
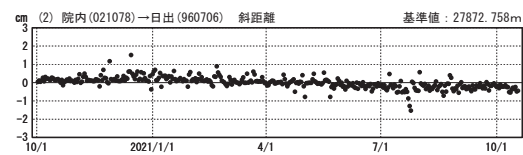
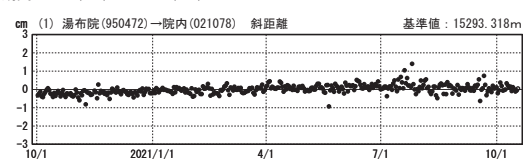
期間: 2016/10/01~2021/10/17 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

基線変化グラフ(短期)

期間: 2020/10/01~2021/10/17 JST



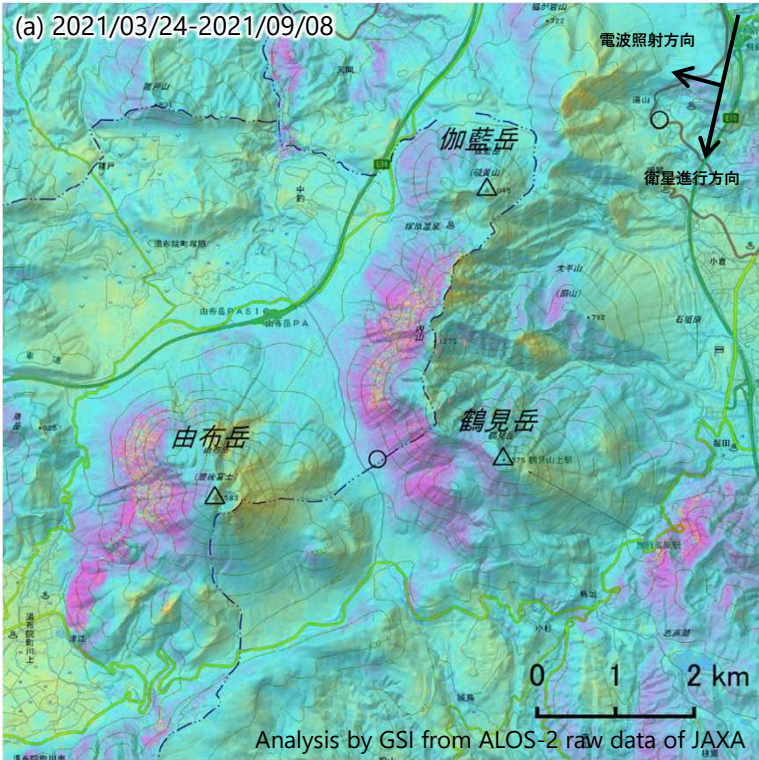
国土地理院

※[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

鶴見岳・伽藍岳・由布岳

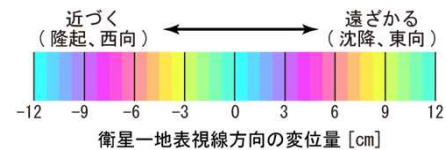
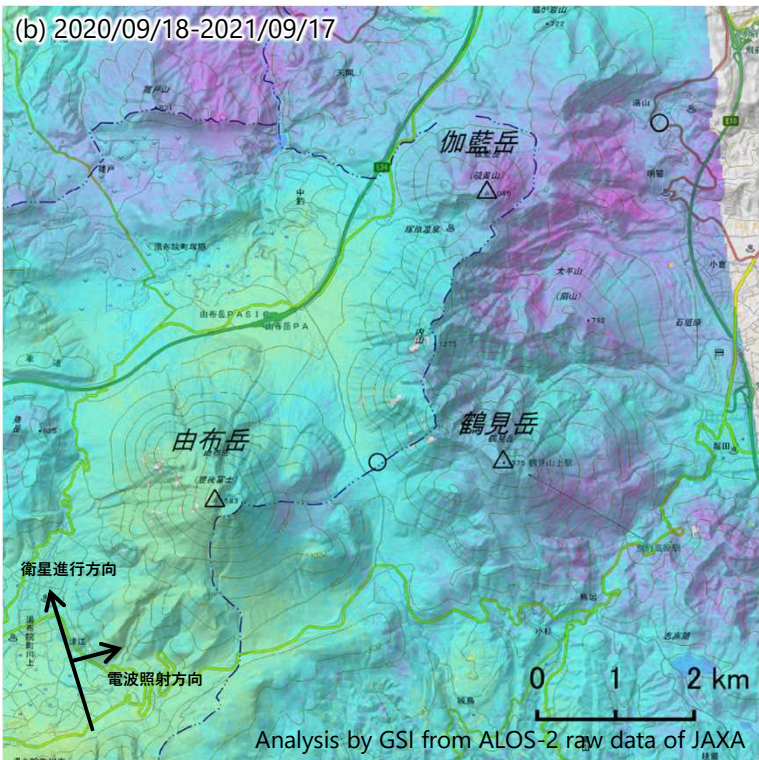
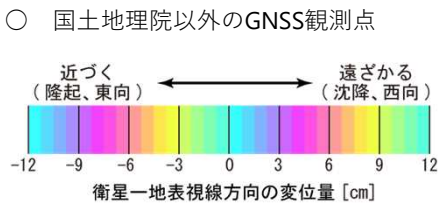
鶴見岳・伽藍岳・由布岳のSAR干渉解析結果について

ノイズレベルを超える変動は見られません。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2021/03/24 2021/09/08 12:12頃 (168日間)	2020/09/18 2021/09/17 0:12頃 (364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*1	U-U	H-H
入射角*2	44.3°	37.5°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 388m	+ 174m

*1 U：高分解能(3m)モード
H：高分解能(6m)モード
*2 由布岳における入射角



背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

鶴見岳・伽藍岳・由布岳

九 重 山

(2021 年 6 月～2021 年 11 月)

火山性地震は少ない状態であり、噴気地帯の状況にも特段の変化はなく、噴火の兆候は認められない。長期的には、硫黄山付近の噴気地帯地下の温度上昇を示す全磁力の変化がみられており、わずかに火山活動が高まっている可能性がある。

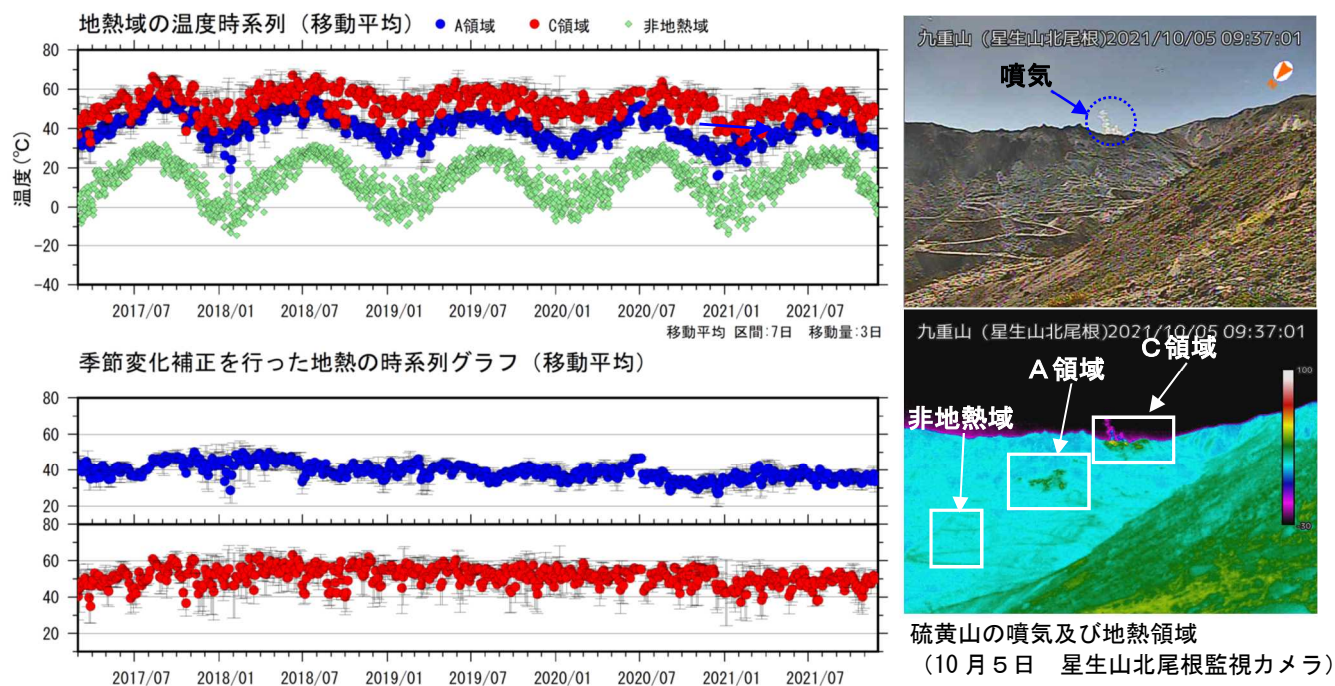


図 1 九重山 星生山北尾根赤外熱映像装置による日別最高温度の 7 日間移動平均値 (2017 年 3 月～2021 年 11 月、上：生データ、下：季節補正)

A 領域、C 領域ともに非地熱域と比べて地表面温度が高い状態が続いている。

※天候不良時は観測精度が低下する。特に観測精度が低いデータは図から取り除いている。

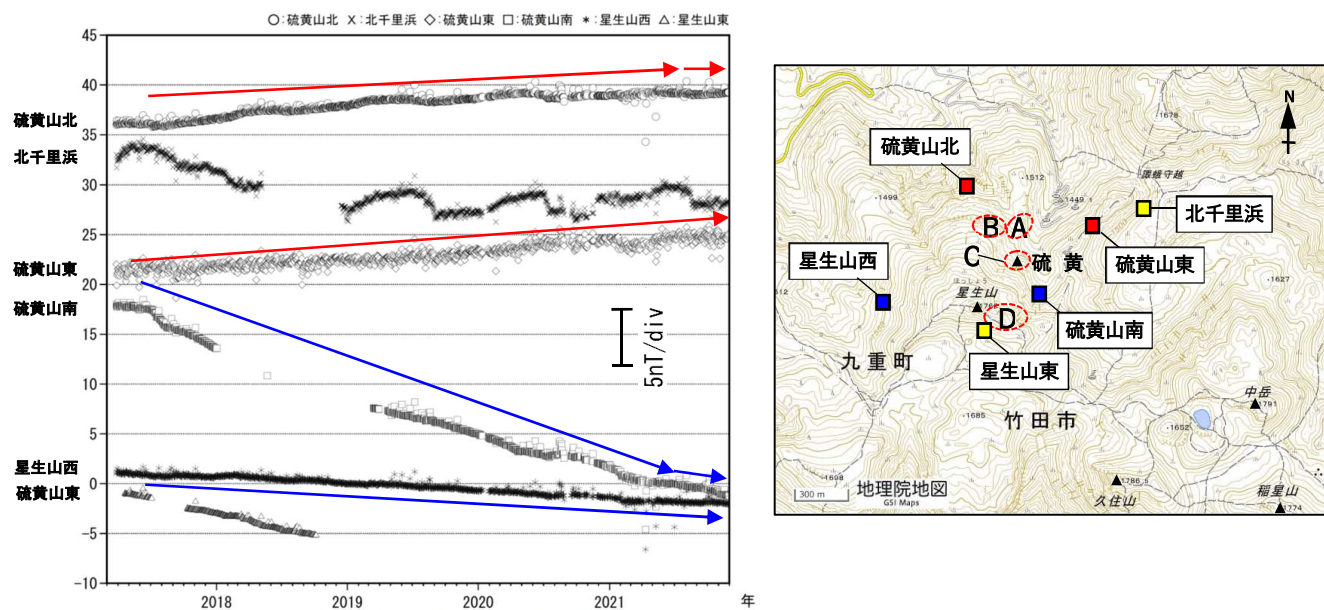


図 2 九重山 全磁力の変化 (2017 年 3 月～2021 年 11 月)

硫黄山付近の噴気地帯 (地図中の A～D 領域付近) 地下で熱消磁が進行していると考えられる。
九重山

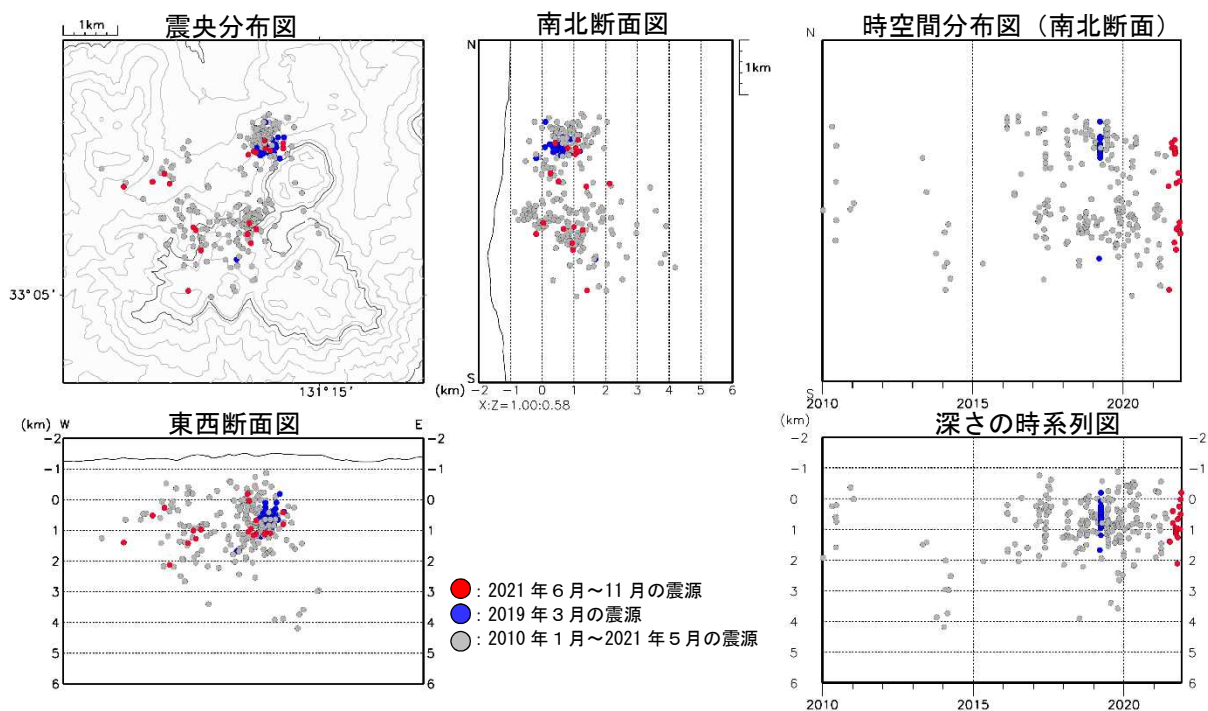


図 3 九重山 震源分布図（硫黄山付近）（2010 年 1 月～2021 年 11 月）

- ・ 9 月 22 日に三俣山付近を震源とする地震が一時的に増加し、19 回発生した。
- ・ 三俣山付近では 2019 年 3 月 28 日（青色は 2019 年 3 月の震源）にも一時的な火山性地震の増加が観測されている（青シンボル）。

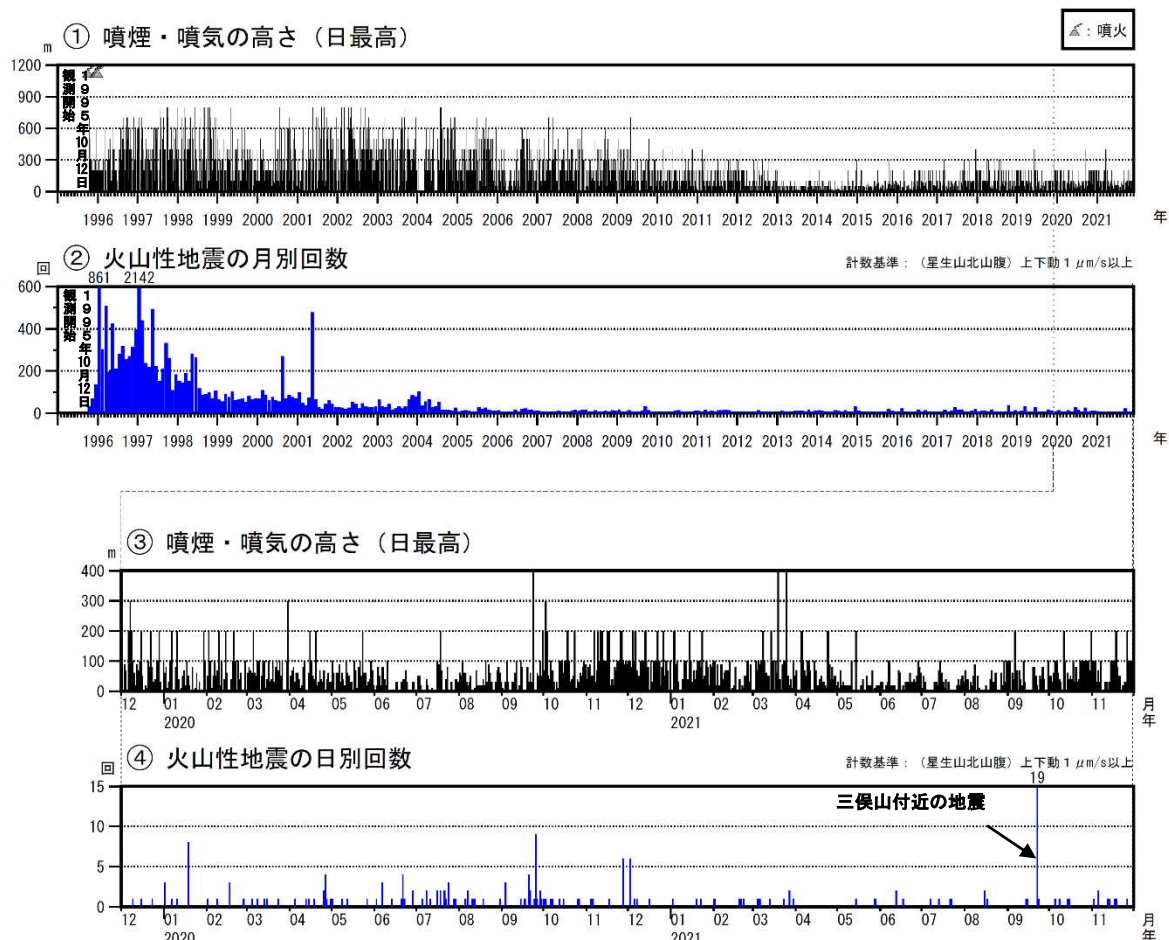


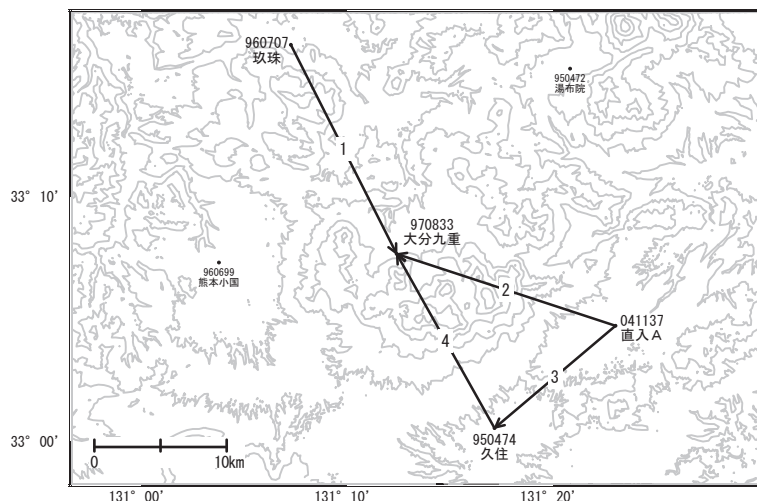
図 4 九重山 火山活動経過図（1995 年 1 月～2021 年 11 月）

- ・ 噴気活動に特段の変化はなく、噴気は噴気孔上 400m 以下で経過した。
- ・ 火山性地震は、期間を通して少ない状態で経過した。
- ・ 火山性微動は観測されなかった。

九重山

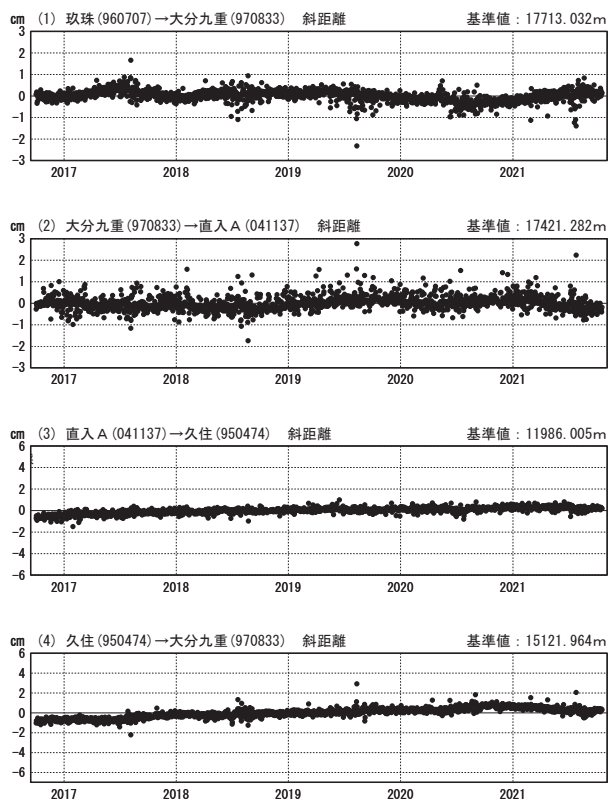
G N S S 連続観測結果では、顕著な地殻変動は見られません。

九重山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図



基線変化グラフ(長期)

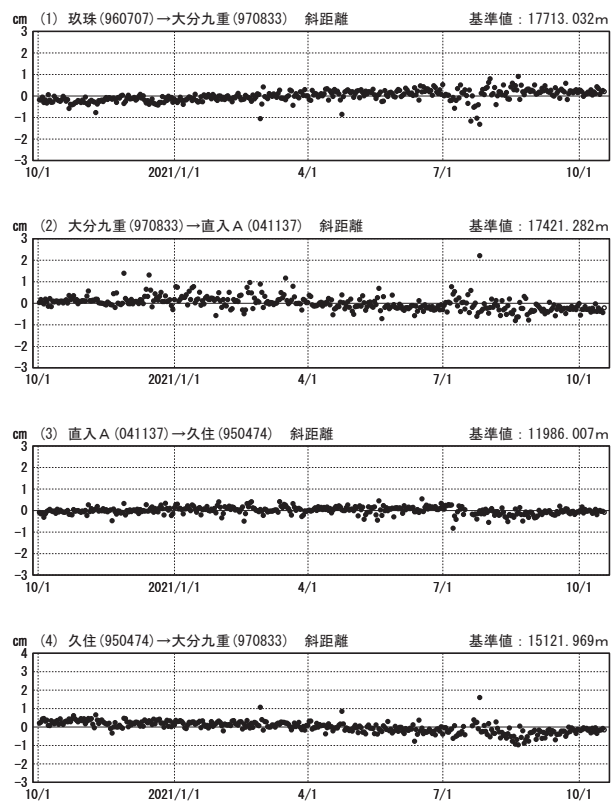
期間: 2016/10/01~2021/10/17 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

基線変化グラフ(短期)

期間: 2020/10/01~2021/10/17 JST



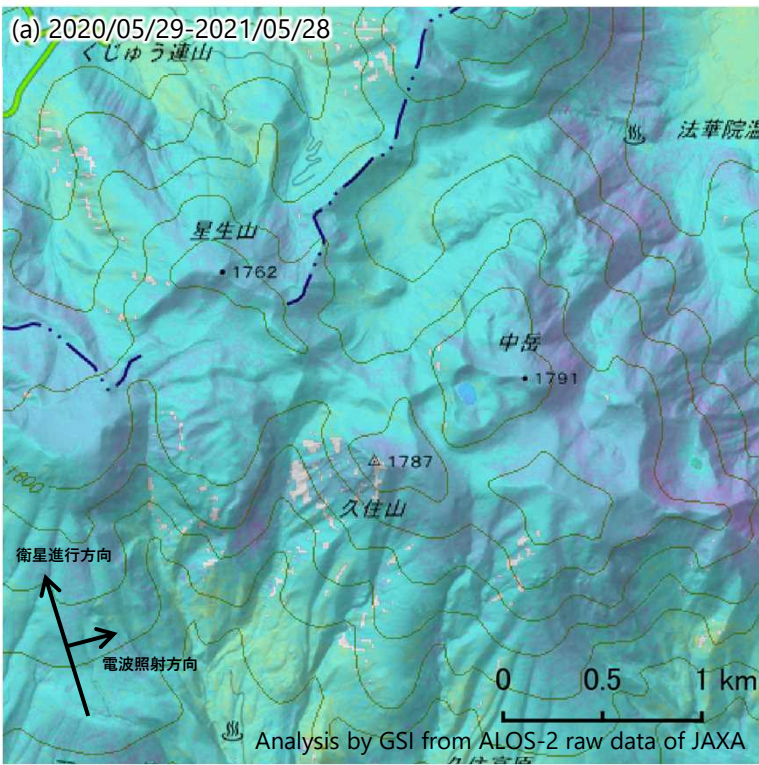
国土地理院

※[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

九重山

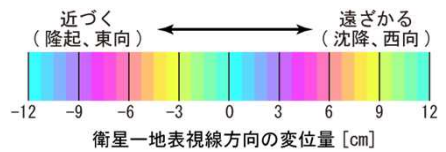
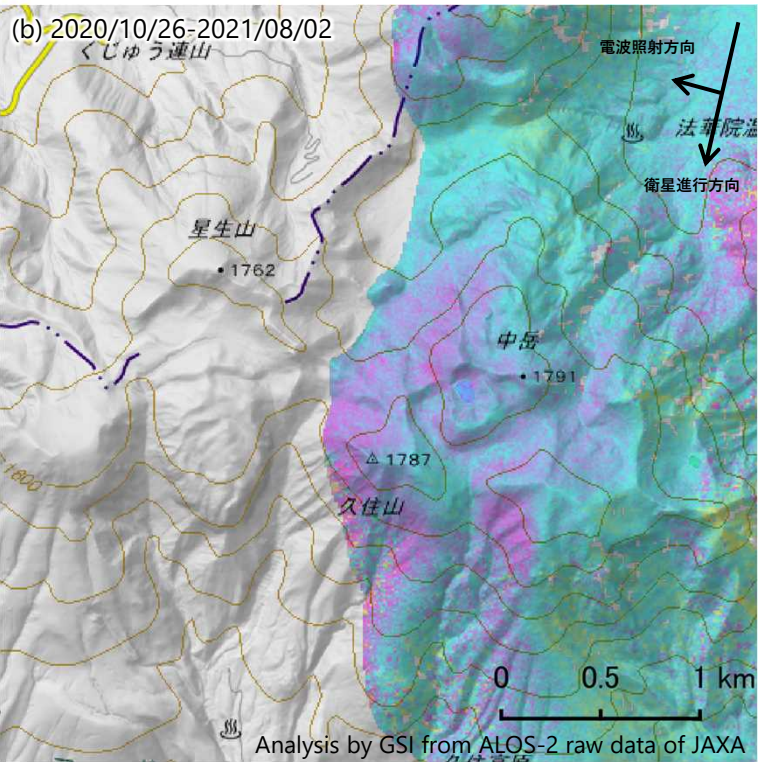
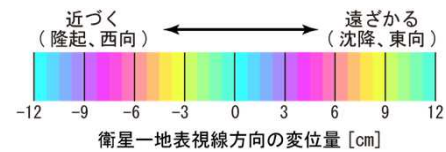
九重山のSAR干渉解析結果について

ノイズレベルを超える変動は見られません。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/05/29 2021/05/28 0:12頃 (364日間)	2020/10/26 2021/08/02 12:19頃 (280日間)
衛星進行方向	北行	南行
電波照射方向	右(東)	右(西)
観測モード*	U-U	U-U
入射角	36.3°	34.6°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 256m	+ 35m

* U：高分解能(3m)モード



背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

九重山

雲 仙 岳

(2021 年 6 月～2021 年 11 月)

GNSS 連続観測では山体西部のマグマ溜りに対応する変動は認められておらず、火山活動は概ね静穏に経過している。2010 年頃から普賢岳から平成新山付近の深さ概ね 1 ～ 2 km の火山性地震が時々発生しているので、今後の火山活動に留意が必要。

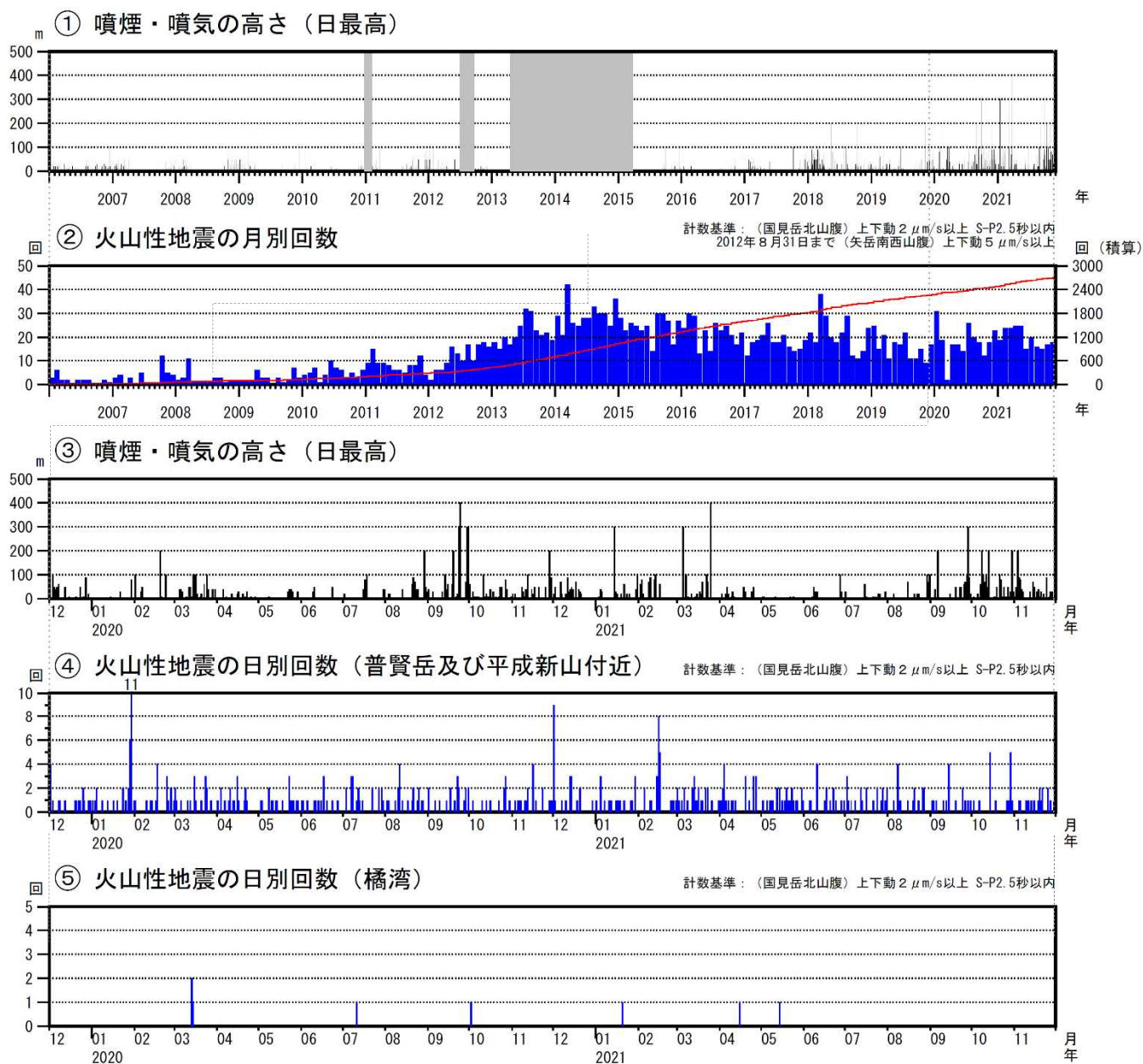


図 1 雲仙岳 火山活動経過図（2006 年 1 月～2021 年 11 月）

- ・ 白色の噴煙が時々観測され、最高で噴気孔上300mまで上がった。
- ・ 火山性微動は2006年11月以降、観測されていない。

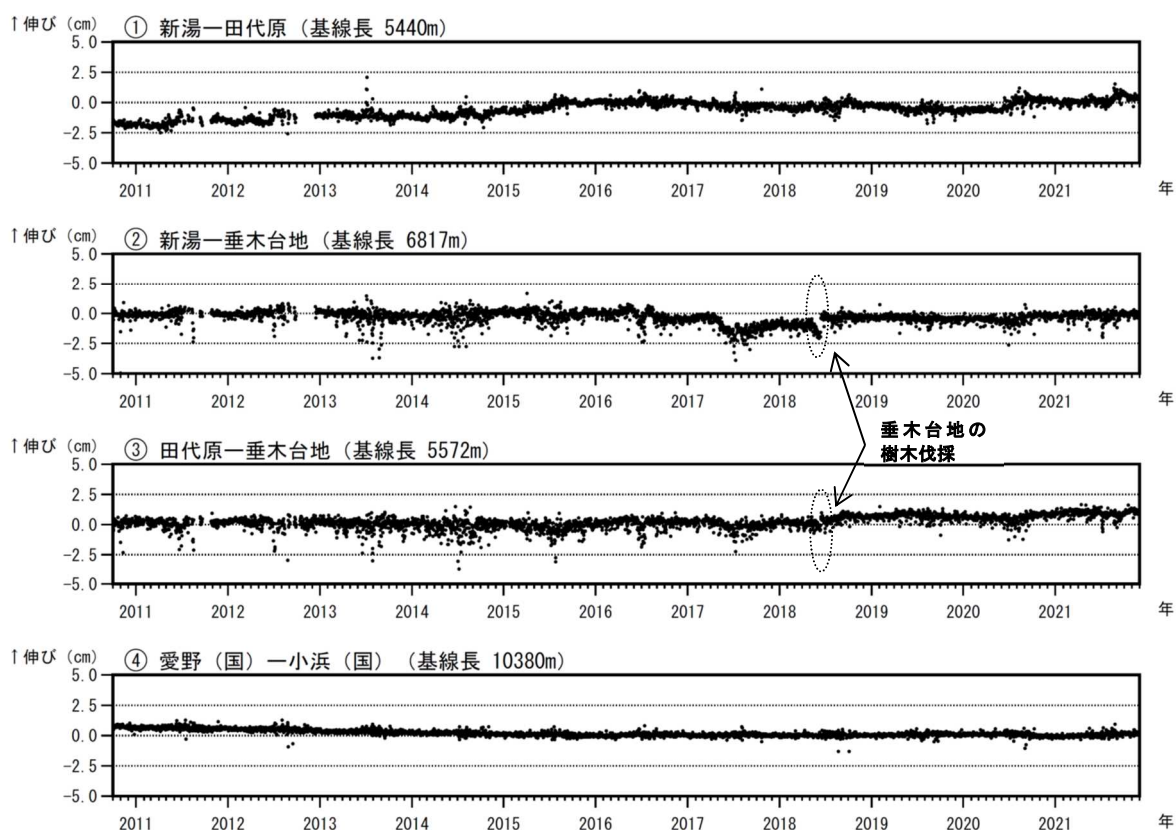


図 2 雲仙岳 GNSS 連続観測による基線長変化 (2010 年 10 月～2021 年 11 月)
GNSS 連続観測では、火山活動によると考えられる特段の変化は認められなかった。

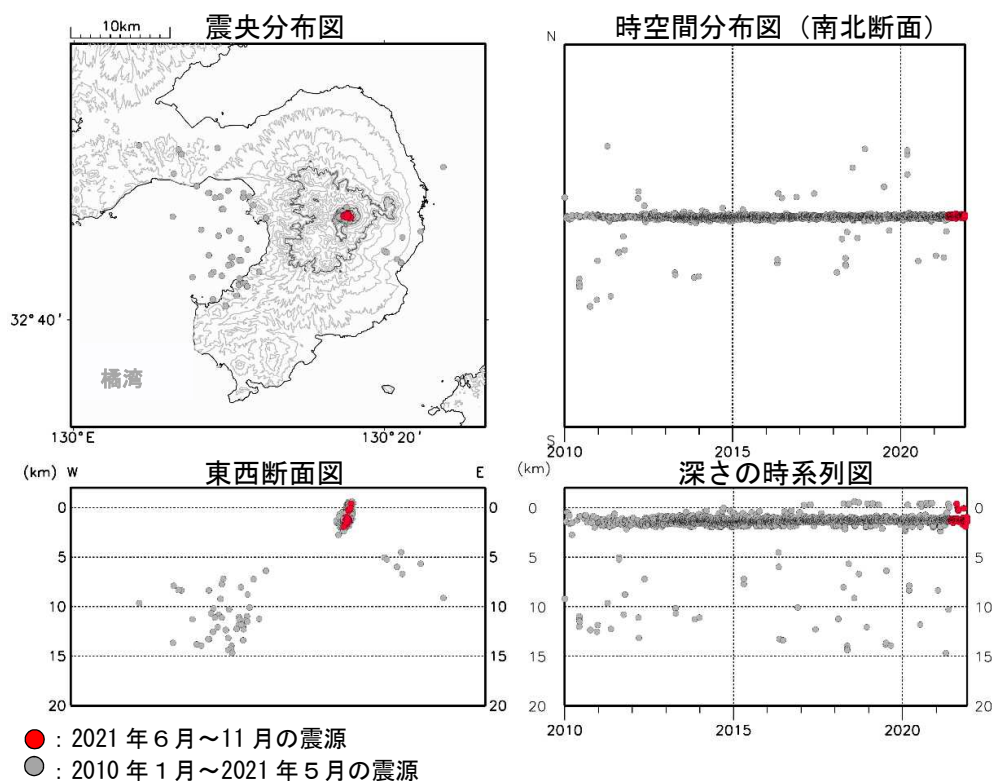
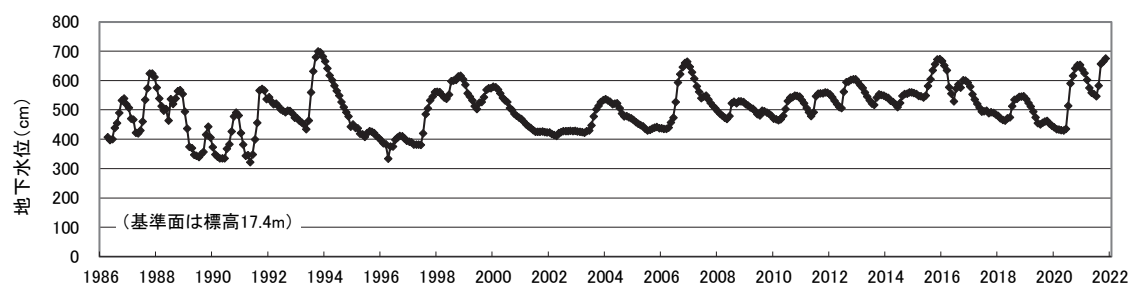


図 3 雲仙岳 震源分布図 (2010 年 1 月～2021 年 11 月)

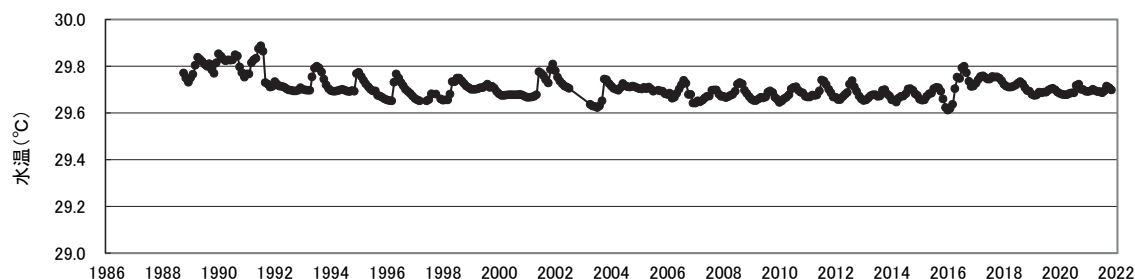
- ・ 震源は普賢岳から平成新山の直下に分布し、それ以外で震源が求まる地震はなかった。
- ・ 2010 年頃から普賢岳から平成新山付近の深さ概ね 1 ～ 2 km を震源とする火山性地震が時々発生している。

雲仙火山における地下水観測

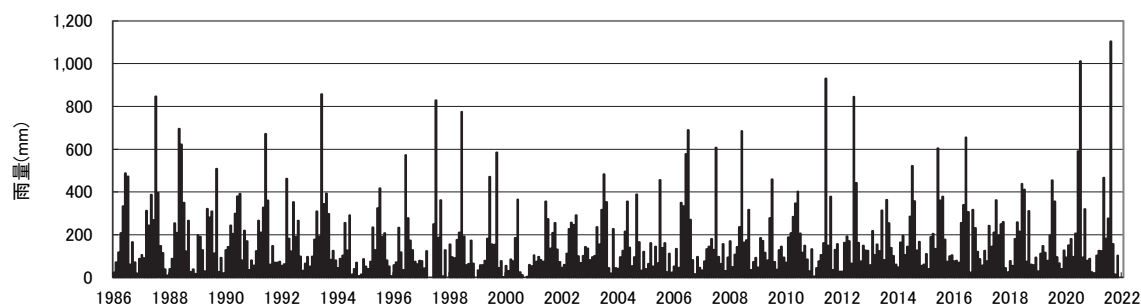
地下水位 (SHV観測井)



水温 (SHV観測井)



月間総雨量 (島原)

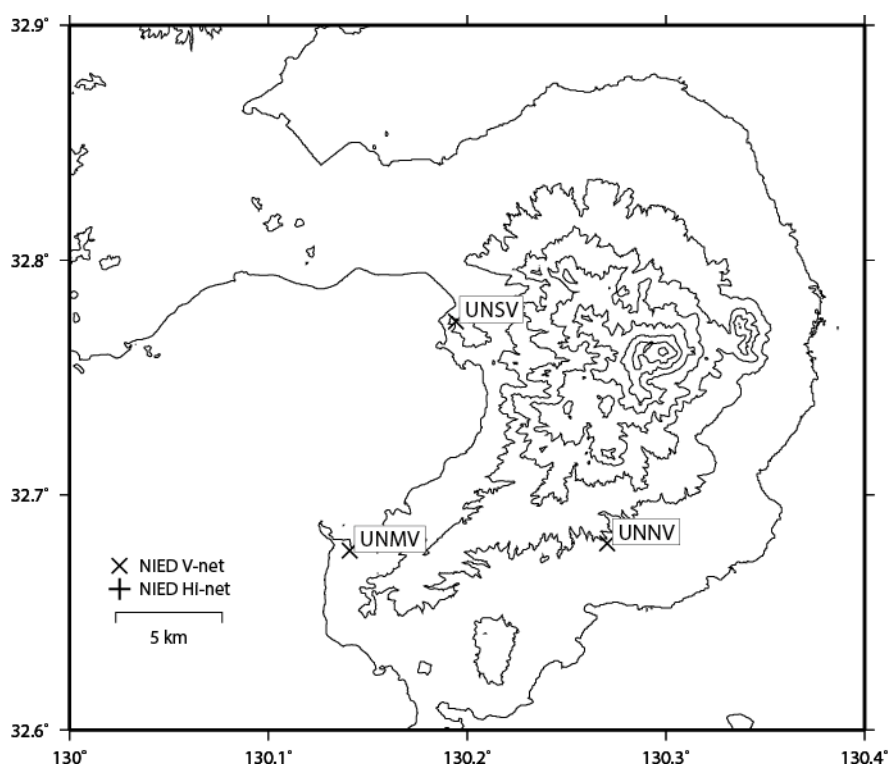


地震火山観測研究センター・島原観測所温泉観測井(SHV観測井)における月平均水位・月平均水温・月間総雨量の観測結果
(2005年5月以降の月間総雨量は気象庁アメダス島原を使用)

地震火山観測研究センター・島原観測所温泉観測井(SHV観測井)は、構内の標高47.9mの場所に設置された深さ365mの坑井である。全長にわたり、ケーシングパイプが挿入されており、255～355m間にはストレーナーが配置されている。水圧式水位計を地表から30.5m、水晶温度計を329mの深さに設置している。

当観測井の地下水位は、時差2ヶ月・半減期12ヶ月の実効雨量(雲仙岳)と正の相関が強いことがわかっている(回帰期間:1998年1月～1999年12月)。

雲仙岳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。

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

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

UNMV=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

○ 地殻変動

GNSS 観測結果と傾斜計データには、火山活動に関わる明瞭な地殻変動は認められない。

雲仙岳の傾斜変動 (2014/7/15~2021/11/30)

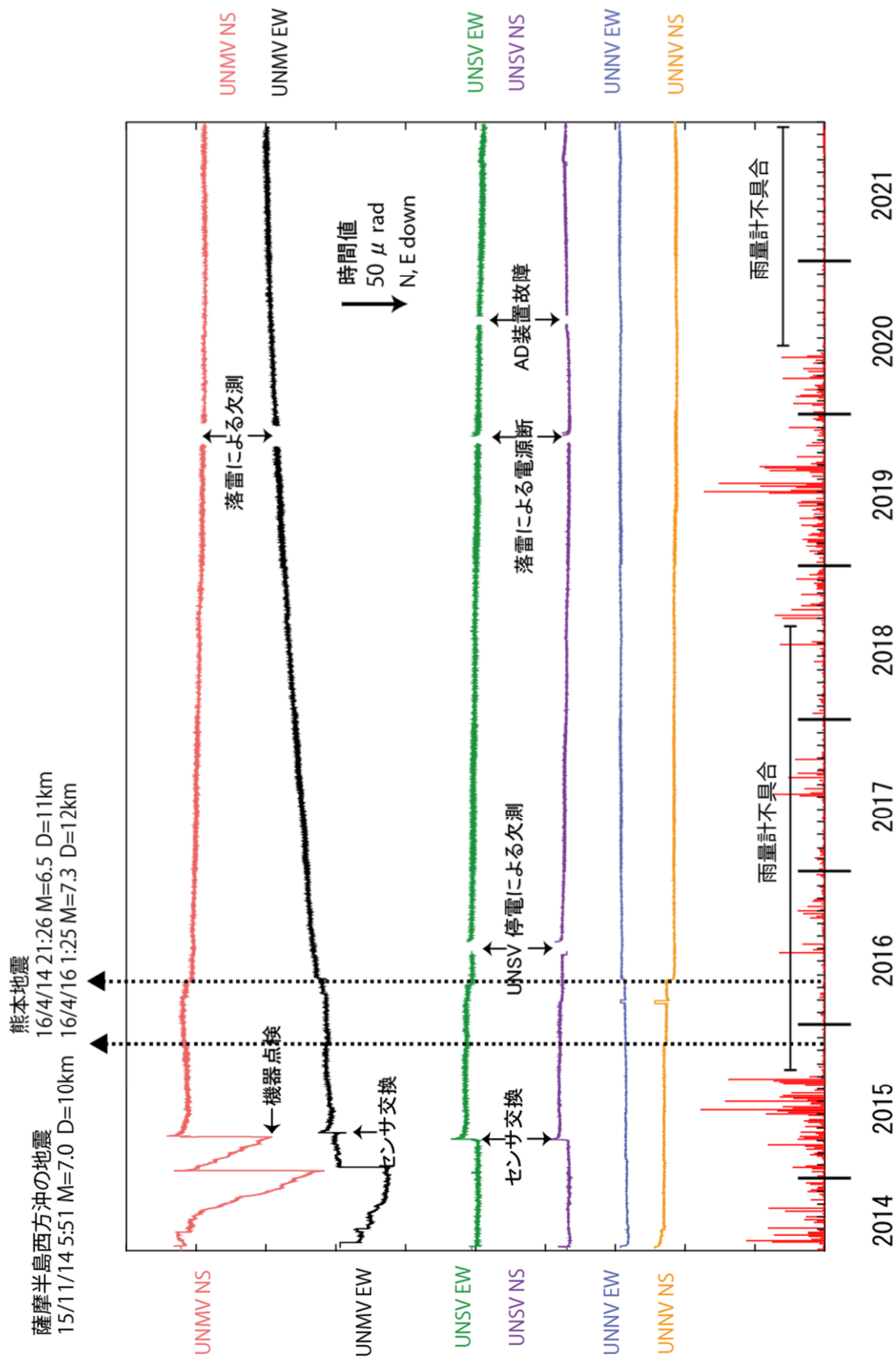


図 1 雲仙岳の傾斜変動

雲仙岳

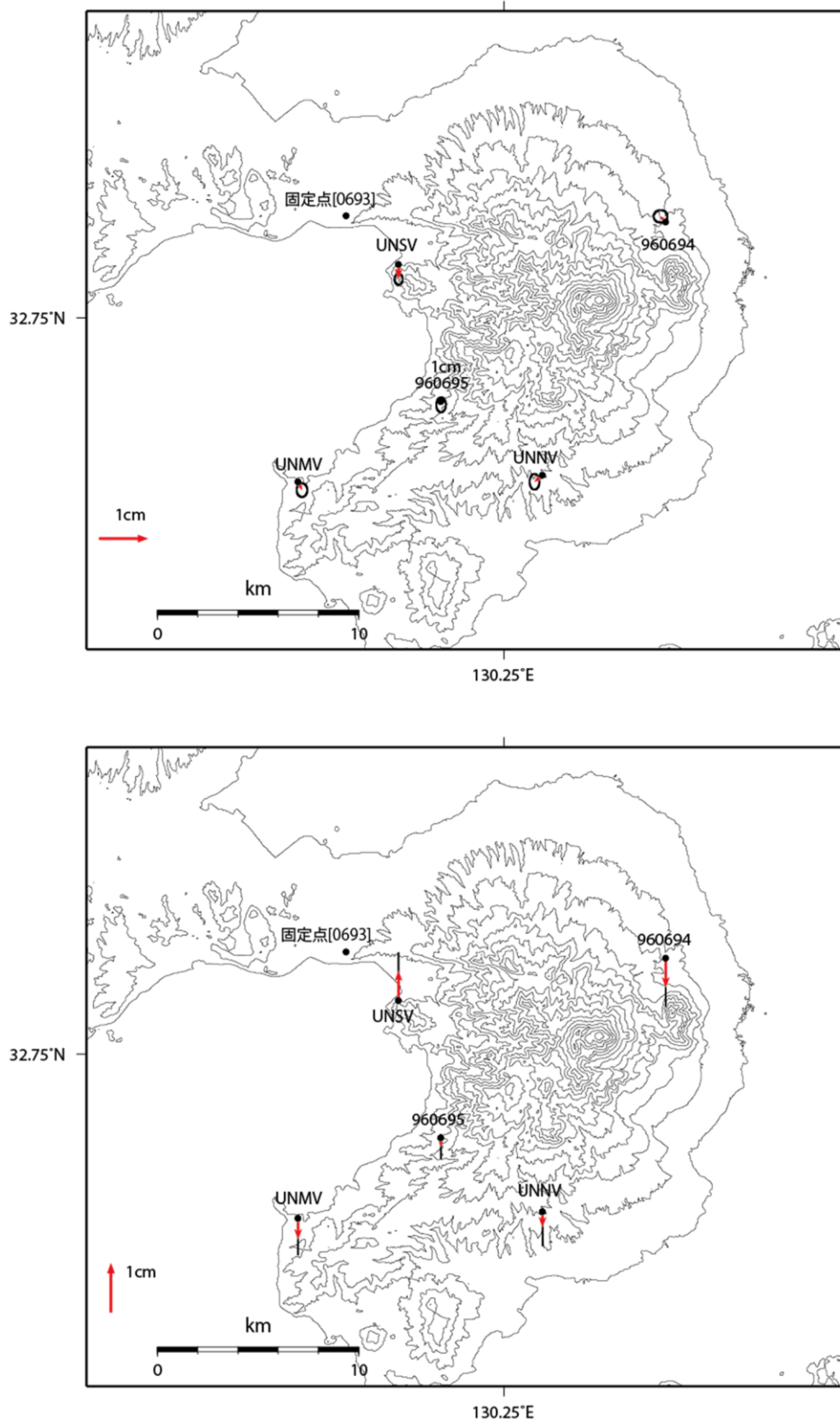
防災科学技術研究所 GNSS 観測点及び国土地理院 GEONET で得られた、
2020 年 10 月 1 日－2021 年 10 月 31 日の地殻変動【愛野（0693）固定】

図 2 雲仙岳の GNSS 解析結果ベクトル図。
(上段：水平成分、下段：上下成分)

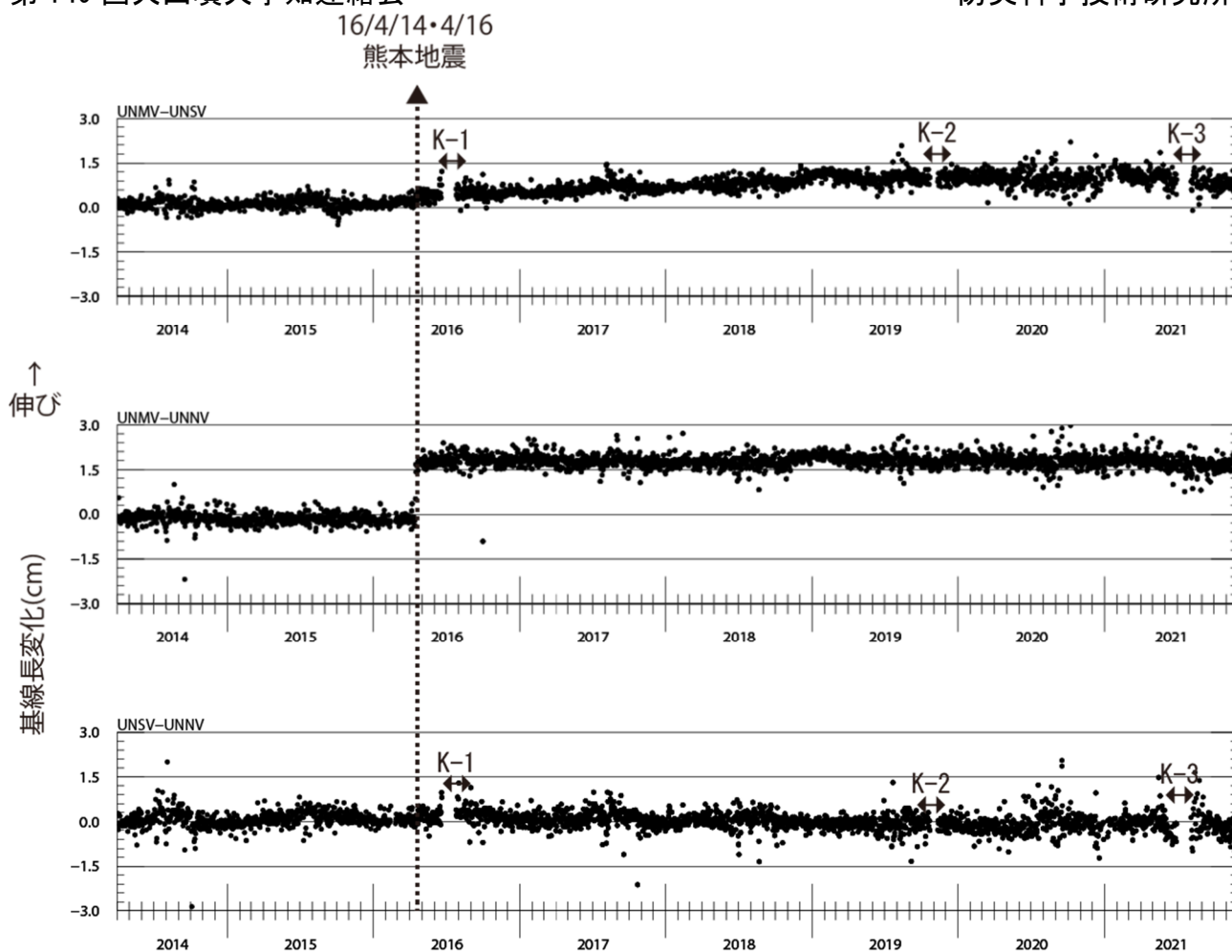


図 3 防災科研 3 観測点(西有家, 猿葉山, 南串山)間の基線長変化.
2014/4/1~2021/11/30

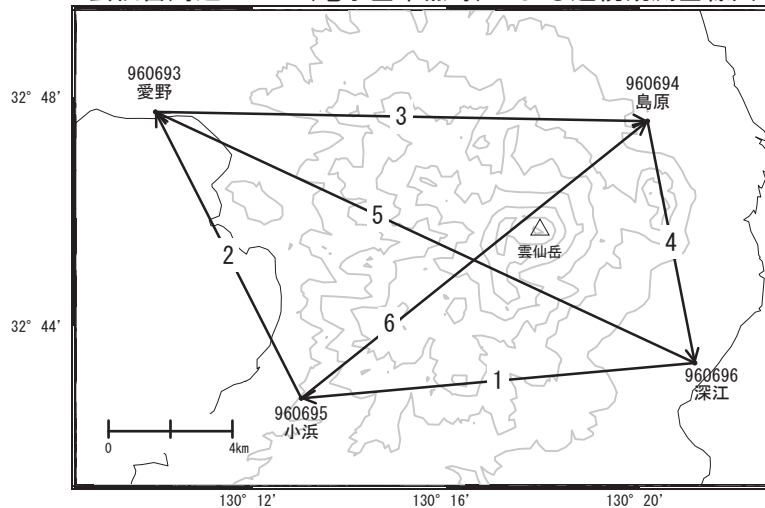
表1 GNSS観測履歴

観測点番号	観測点名	図中記号	日付	保守内容
	雲仙岳猿葉山 (UNSV)		2014/2/27	2周波観測開始
		K-1	2016/6/21～ 2016/7/26	停電欠測
		K-2	2019/10/18-11/11	停電欠測
		K-3	2021/7/01-8/04	受信機不具合により欠測
	雲仙岳西有家 (UNNV)		2014/2/26	2周波観測開始
	雲仙岳南串山 (UNMV)		2014/2/26	2周波観測開始

雲仙岳

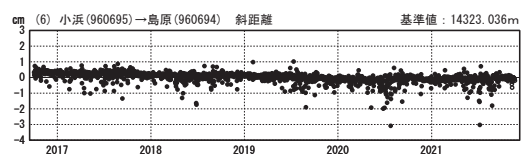
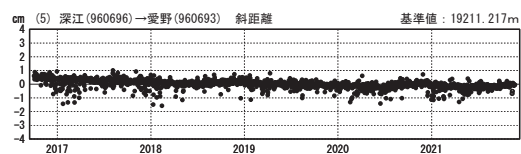
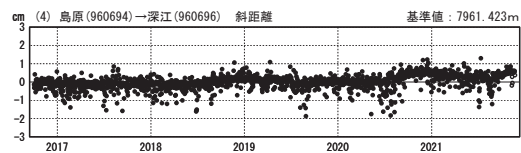
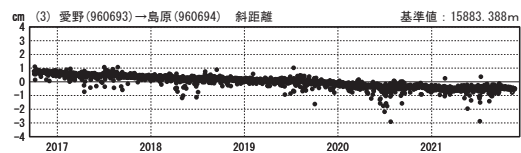
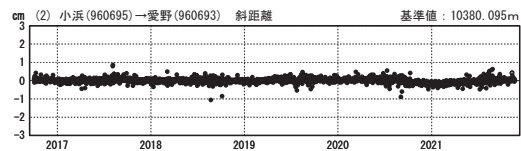
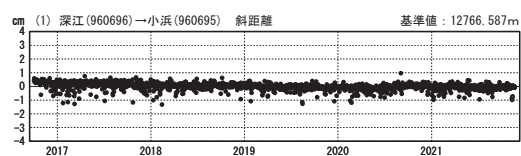
2021年8月頃から一部の基線でわずかな伸びが見られます。

雲仙岳周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図



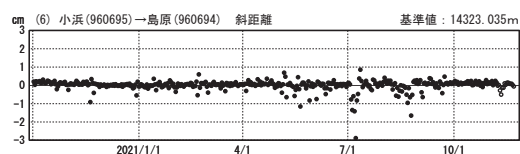
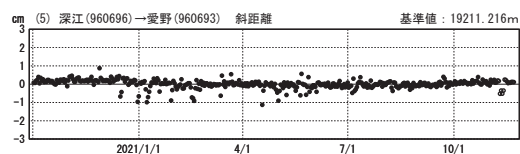
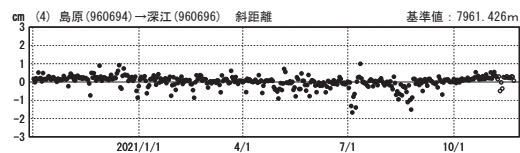
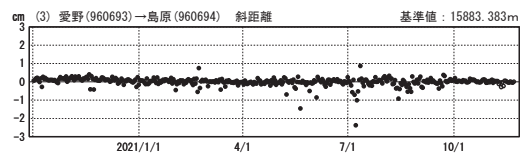
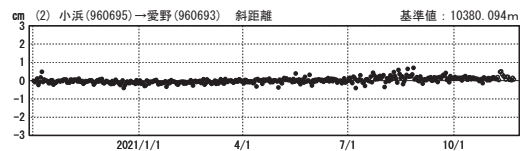
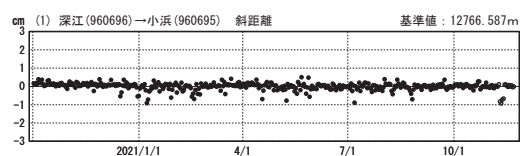
基線変化グラフ (長期)

期間: 2016/10/01~2021/11/22 JST



基線変化グラフ (短期)

期間: 2020/10/01~2021/11/22 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

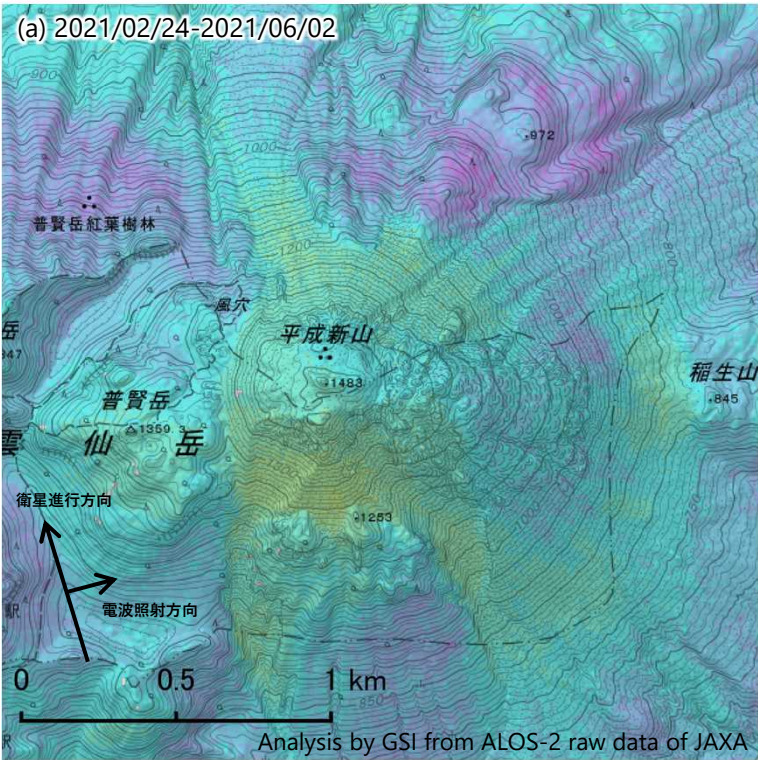
国土地理院

※[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

雲仙岳

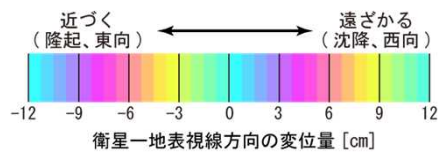
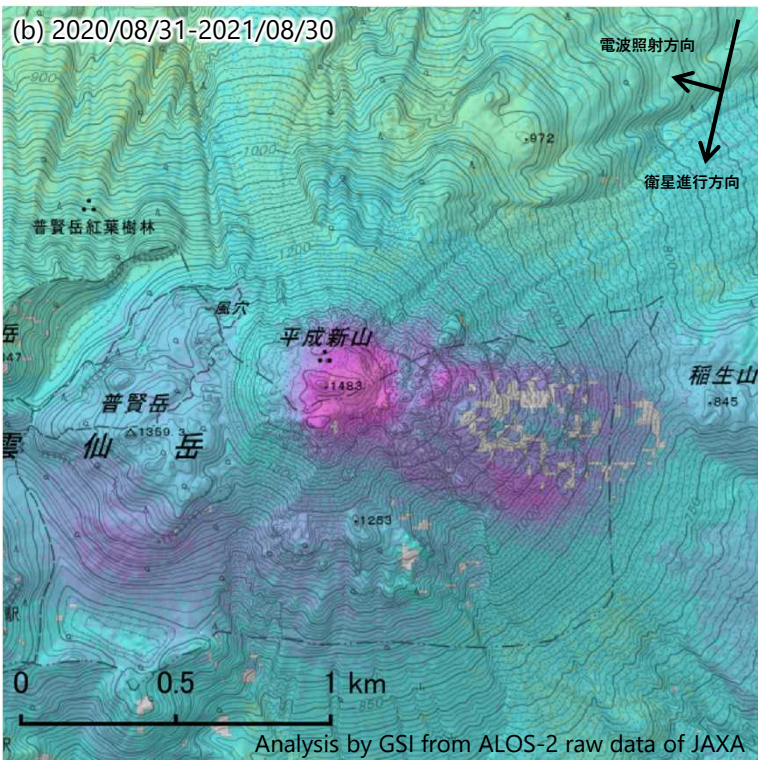
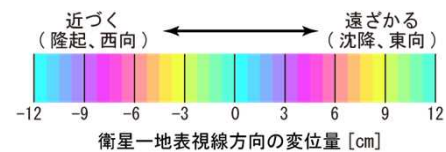
雲仙岳のSAR干渉解析結果について

(b)では、平成新山周辺に衛星から遠ざかる変動が見られます。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2021/02/24 2021/06/02 0:19頃 (98日間)	2020/08/31 2021/08/30 12:19頃 (364日間)
衛星進行方向	北行	南行
電波照射方向	右(東)	右(西)
観測モード*	U-U	U-U
入射角	40.7°	40.1°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 8m	- 33m

* U：高分解能(3m)モード

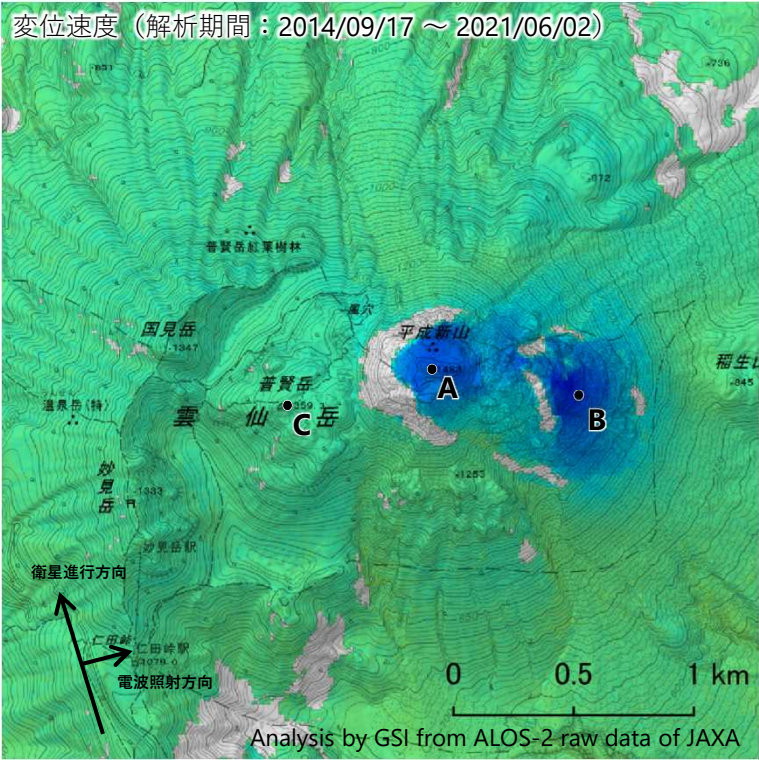


背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

雲仙岳

雲仙岳の干渉SAR時系列解析結果（北行）

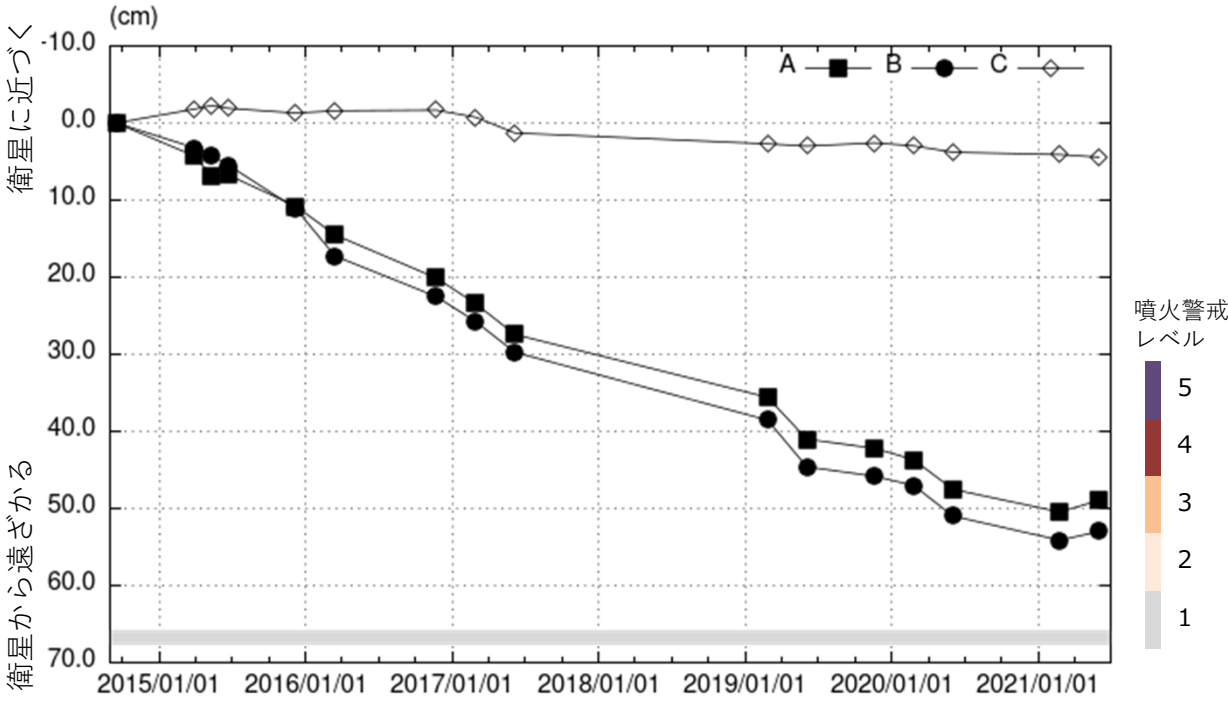
平成新山の地点A及び地点B周辺に、衛星から遠ざかる変動が見られます。



衛星名	ALOS-2
観測期間	2014/09/17 ～ 2021/06/02 (2450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	40.7°
偏波	HH
データ数	16
干渉ペア数	21

* U：高分解能(3m)モード

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「愛野」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

雲仙岳

本解析で利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。

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さらなる拡大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 8 月以降認められなかったが、12 月頃から再び観測されるようになった。

火山性地震は概ね少ない状態で経過している。硫黄山付近では 2020 年 5 月頃から火山性地震がわずかに増加した状態が続いているが、さらなる増加は認められない。また、GNSS 連続観測では、同時期から山体浅部の膨張を示すわずかな伸びが認められていたが、2021 年 2 月以降は停滞している。

これらのことから、現在のところ噴火の兆候は認められない。

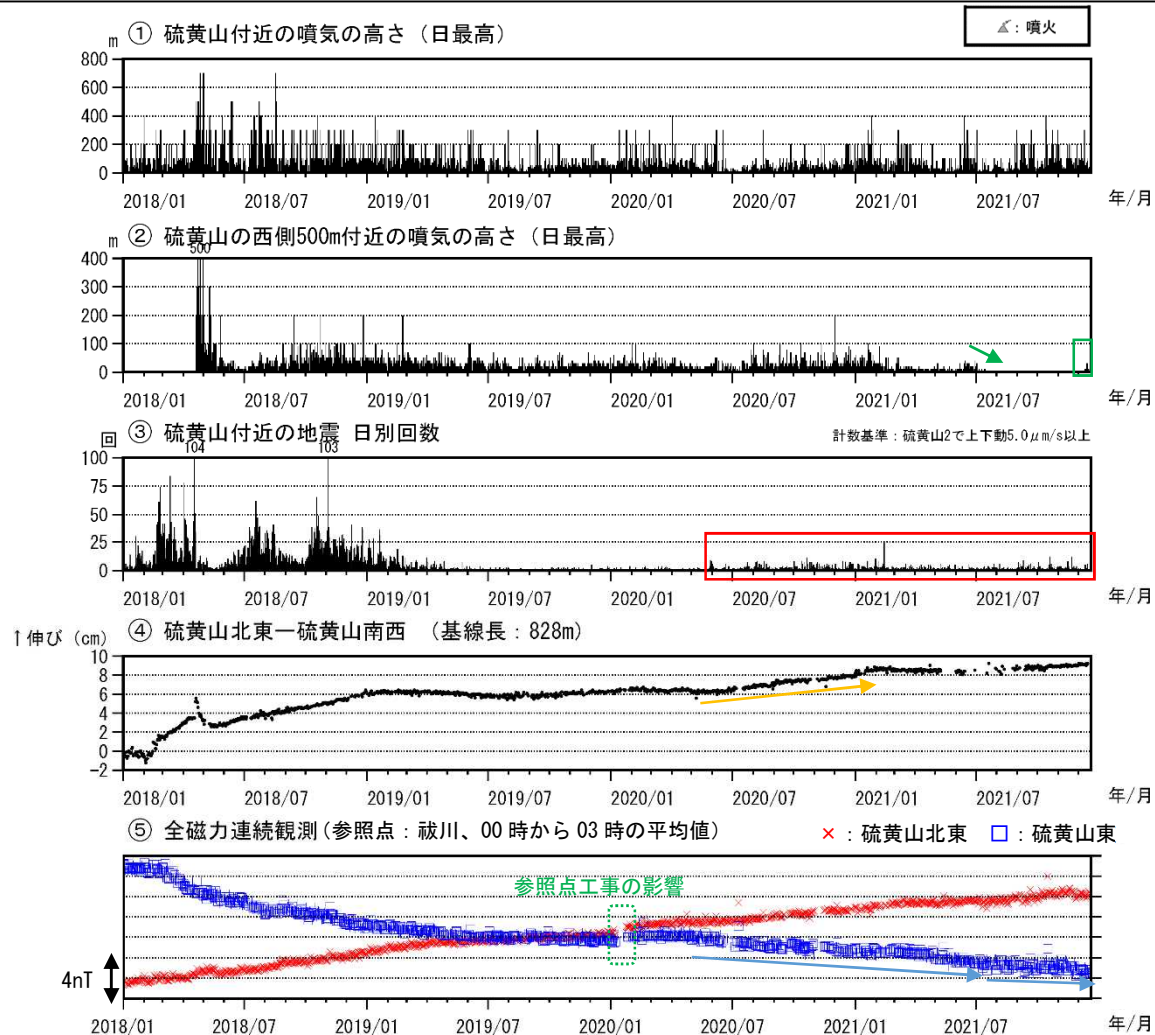


図 1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）火山活動経過図

(2018 年 1 月～2021 年 12 月 19 日)

<2021 年 6 月～12 月 19 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 7 月に低下し（緑矢印）8 月以降認められなかったが、12 月頃から再び観測されるようになった（緑四角内）。
- ・火山性地震は概ね少ない状態で経過している。硫黄山付近では 2020 年 5 月頃から火山性地震がわずかに増加した状態が続いているが（赤四角内）、さらなる増加は認められない。
- ・GNSS 連続観測では、硫黄山近傍の基線において、2020 年 5 月頃から山体浅部の膨張を示すわずかな伸びが認められていたが（橙矢印）、2021 年 2 月以降は停滞している。
- ・全磁力観測では、消磁の進行を示す変動が継続し、特に硫黄山南側の観測点で 2020 年 5 月頃から変動量がやや大きくなっていったが、2021 年 7 月頃から鈍化している（青矢印）。

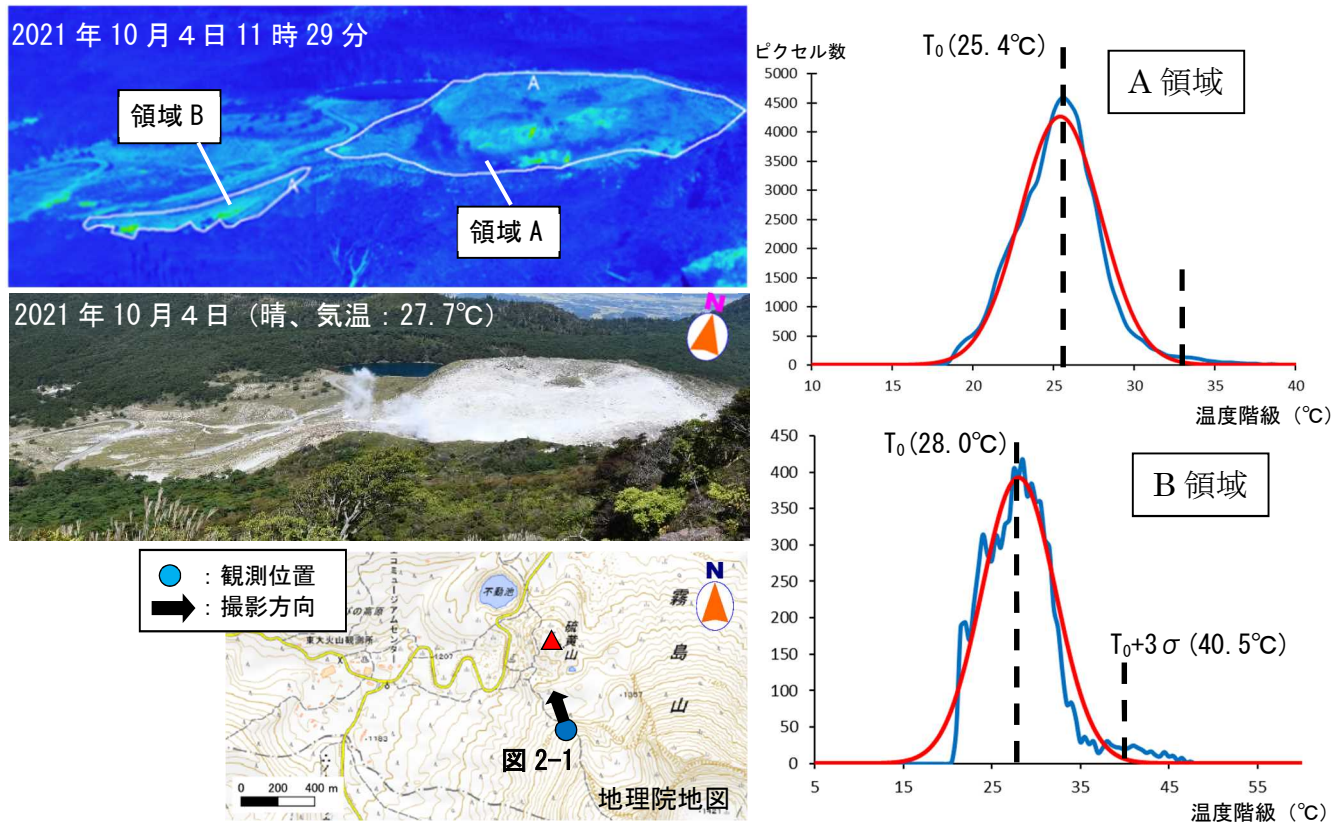


図 2-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 図 2-2 に示した硫黄山の放熱率算出の解析領域と温度分布の例（2021 年 10 月 4 日 11 時 29 分）

- ・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）。

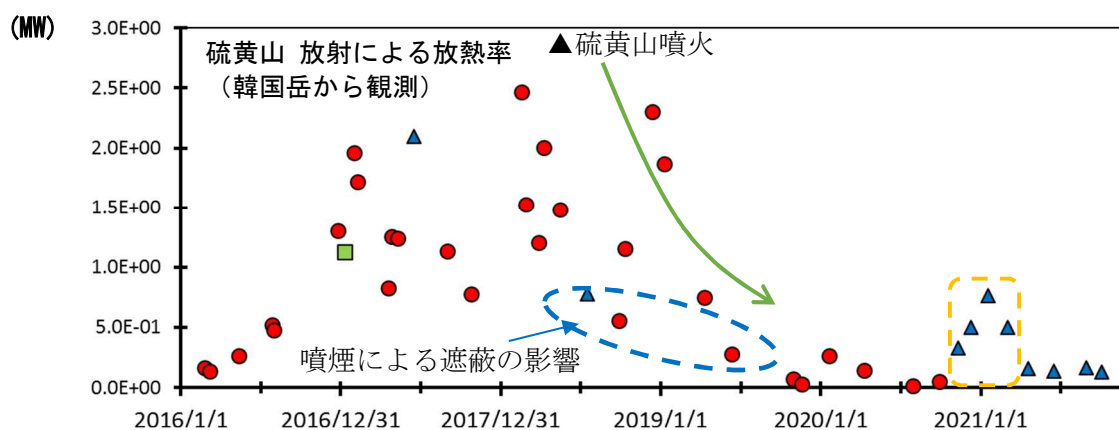


図 2-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 地表面温度分布より算出した硫黄山の放熱率の推移（値を観測日ごとに平均）（2016 年 1 月～2021 年 11 月）

<2021 年 6 月～11 月の状況>

2020 年 10 月頃から 2021 年 3 月頃にかけて放熱率が一時的に増加した（橙破線内）が、その後は特段の変化は認められない。

※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。

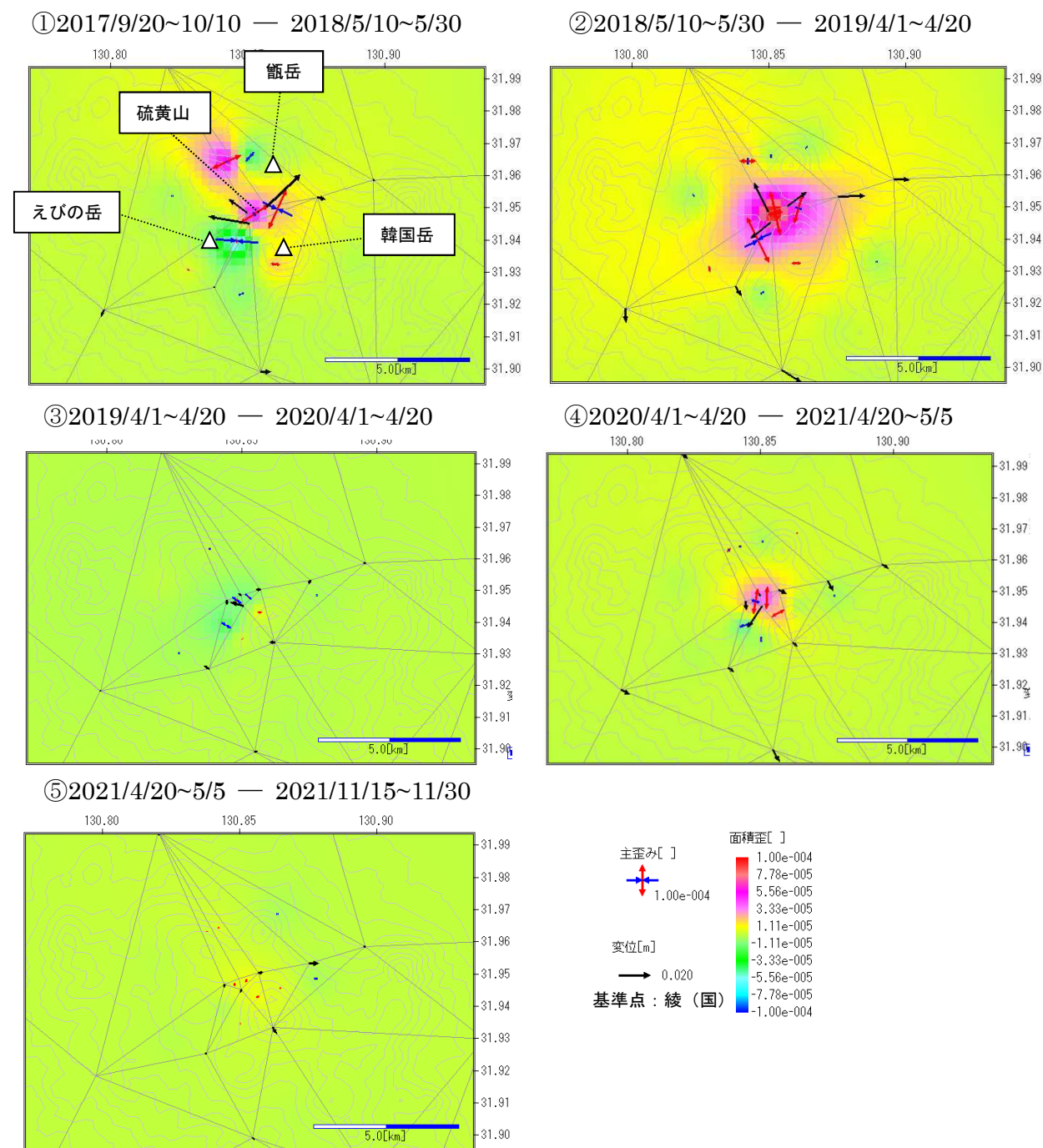


図3 霧島山 えびの高原周辺の GNSS の期間毎の水平変位・主ひずみ・面積ひずみ
(2017年9月20日~2021年11月30日)

2021年5月以降、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。

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。

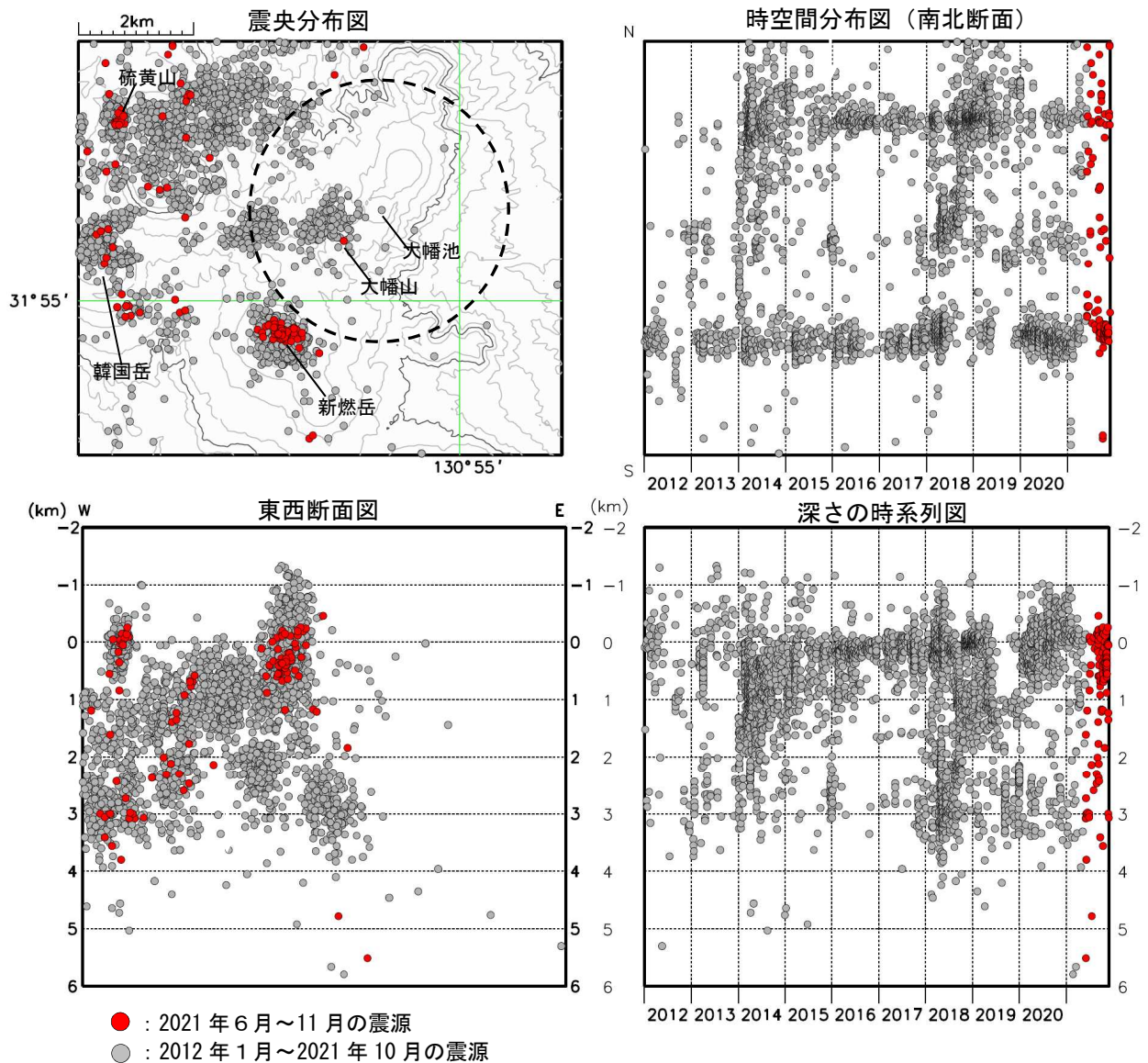


図 1 霧島山（大幡池） 震源分布図（2012 年 1 月～2021 年 11 月）

<2021 年 6 月～11 月の状況>

震源は、大幡山付近の深さ 2 km 付近に求まった。

霧島山（大幡池）の火山活動については、主に大幡池及び大幡山付近（黒破線内）の地震活動に注目して監視している。

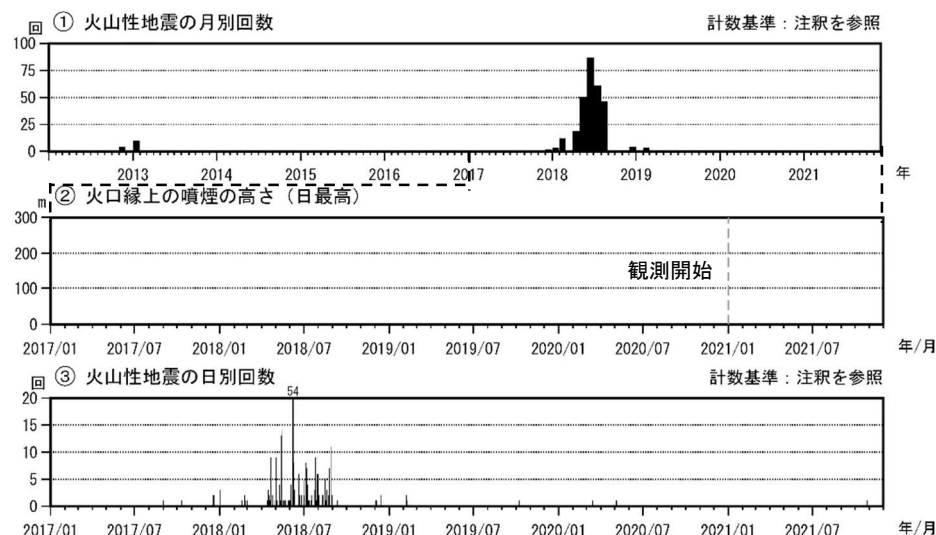


図 2 霧島山（大幡池） 火山性地震の発生状況（2012 年 1 月～2021 年 11 月）

<2021 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： $2.0 \mu\text{m/s}$ ）」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。

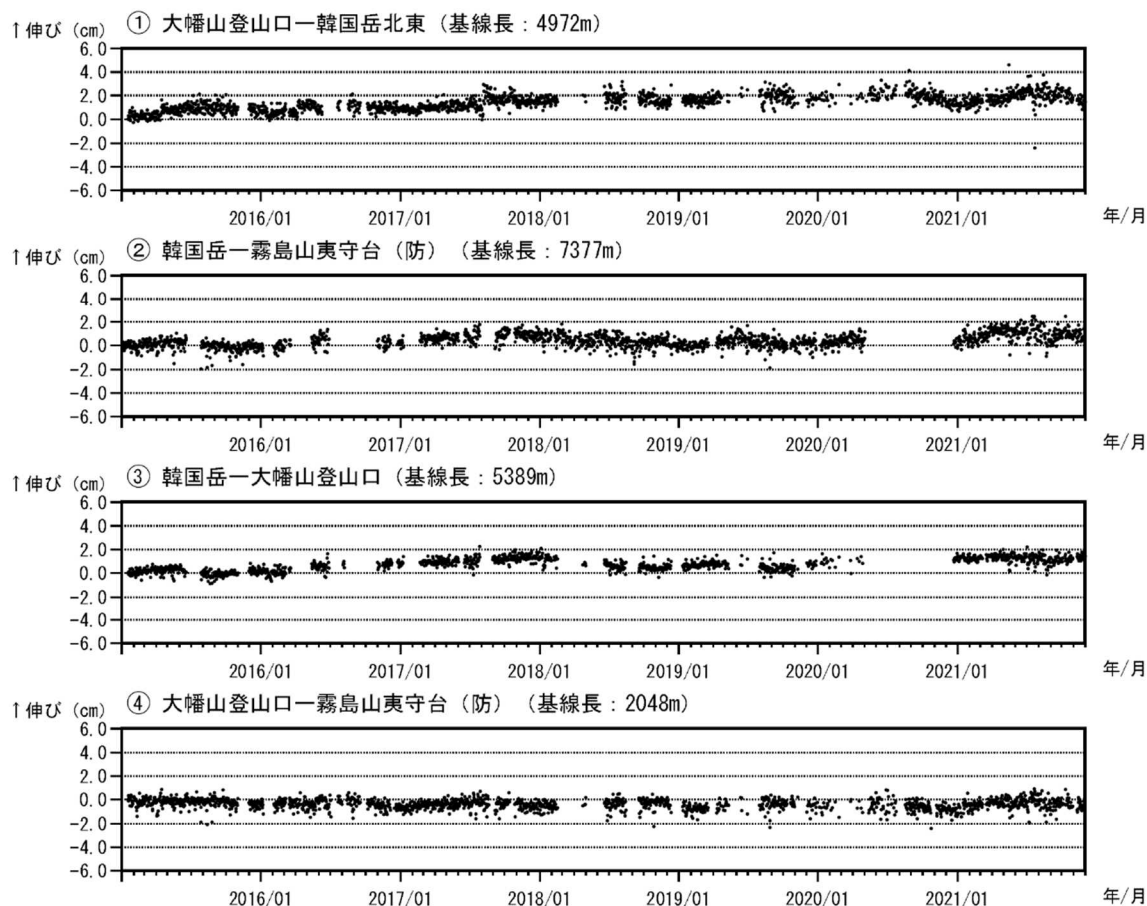


図 3 霧島山（大幡池） GNSS 連続観測による基線長変化（2015 年 1 月～2021 年 11 月）

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。

新燃岳

新燃岳では 2018 年 6 月 28 日以降、噴火は観測されていない。

火口直下を震源とする火山性地震の回数は、2019 年 11 月以降増減を繰り返しているが、2021 年 2 月以降は少なくなっている。

新燃岳火口内及び西側斜面の割れ目付近の噴気や地熱域には、拡大傾向は認められない。

火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、2020 年 12 月に減少し、2021 年 2 月下旬以降は検出限界未満で経過している。

GNSS 連続観測では、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は 2019 年 2 月頃から認められない。

これらのことから、現在のところ噴火の兆候は認められない。

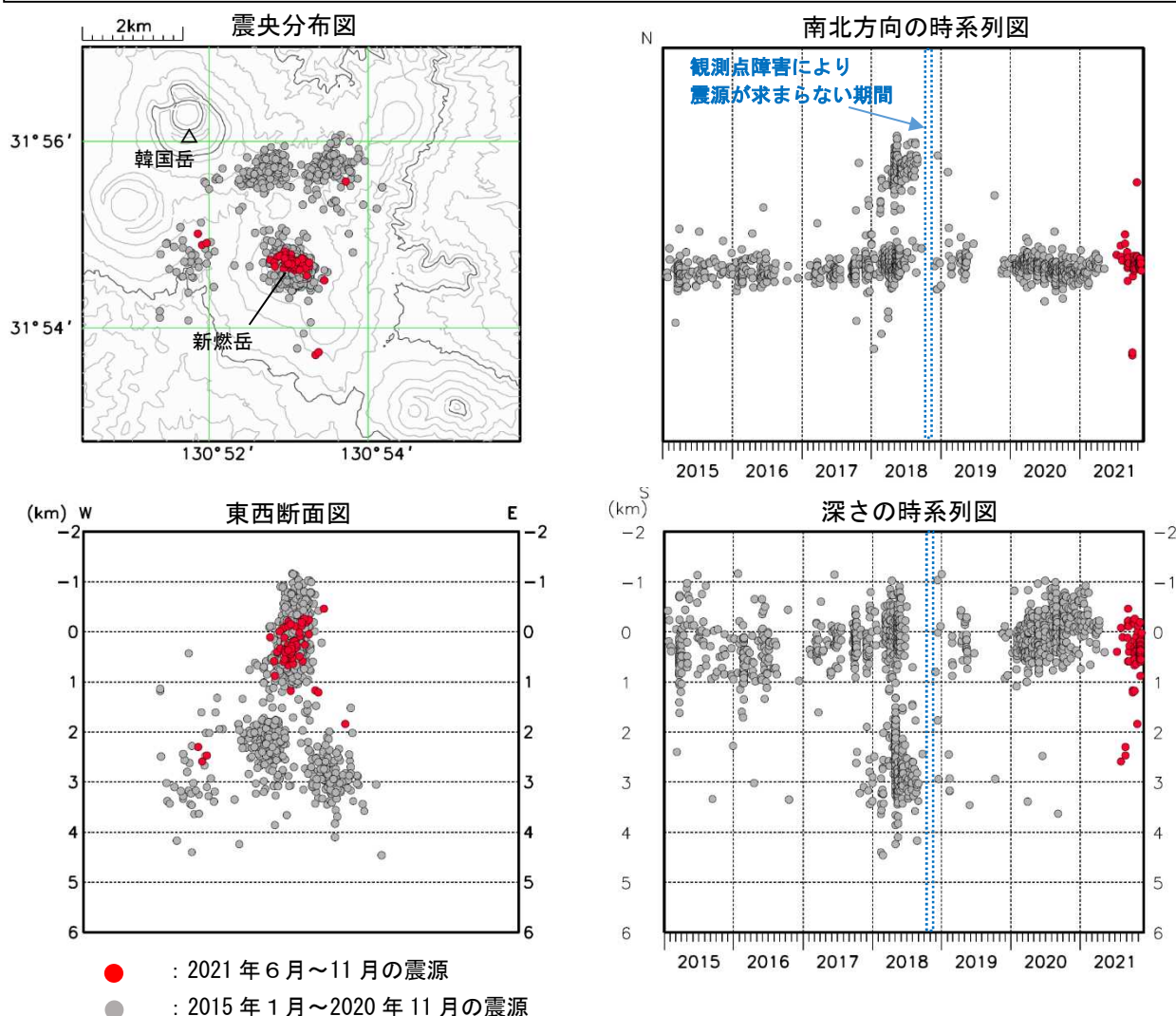


図 1 霧島山（新燃岳） 震源分布図（2015 年 1 月～2021 年 11 月）

<2021 年 6 月～11 月の状況>

震源は、大部分が新燃岳火口直下のごく浅いところから深さ 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。

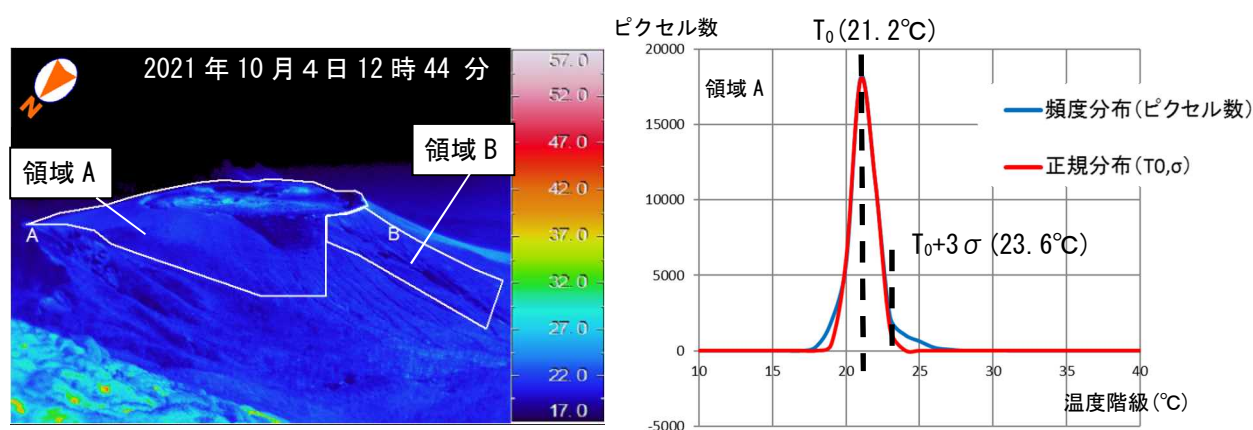


図 2-1 霧島山（新燃岳） 図 2-2 に示した新燃岳の放熱率算出の解析領域と温度分布の例（2021 年 10 月 4 日 12 時 44 分）

- ・ 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。

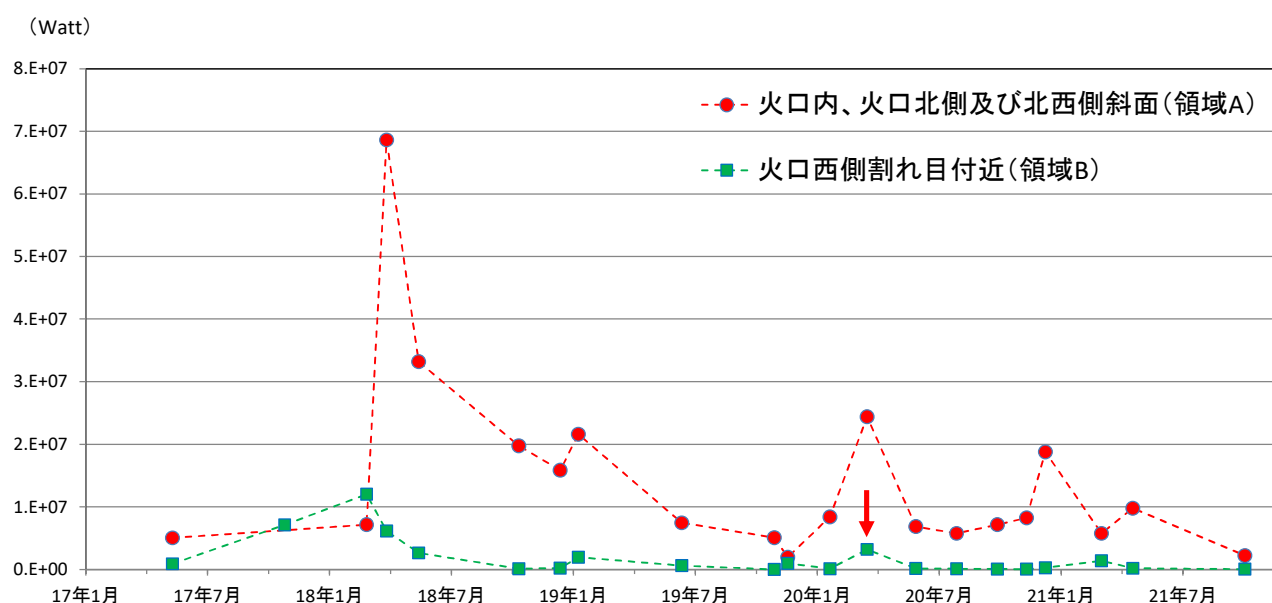


図 2-2 霧島山（新燃岳） 地表面温度分布より算出した新燃岳の放熱率の推移（値を観測日ごとに平均）（2017 年 5 月 11 日～2021 年 11 月）

<2021 年 6 月～11 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 月に地熱域の拡大に伴うと考えられる放熱率の増加が認められた（赤矢印）が、その後は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 2-1 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。

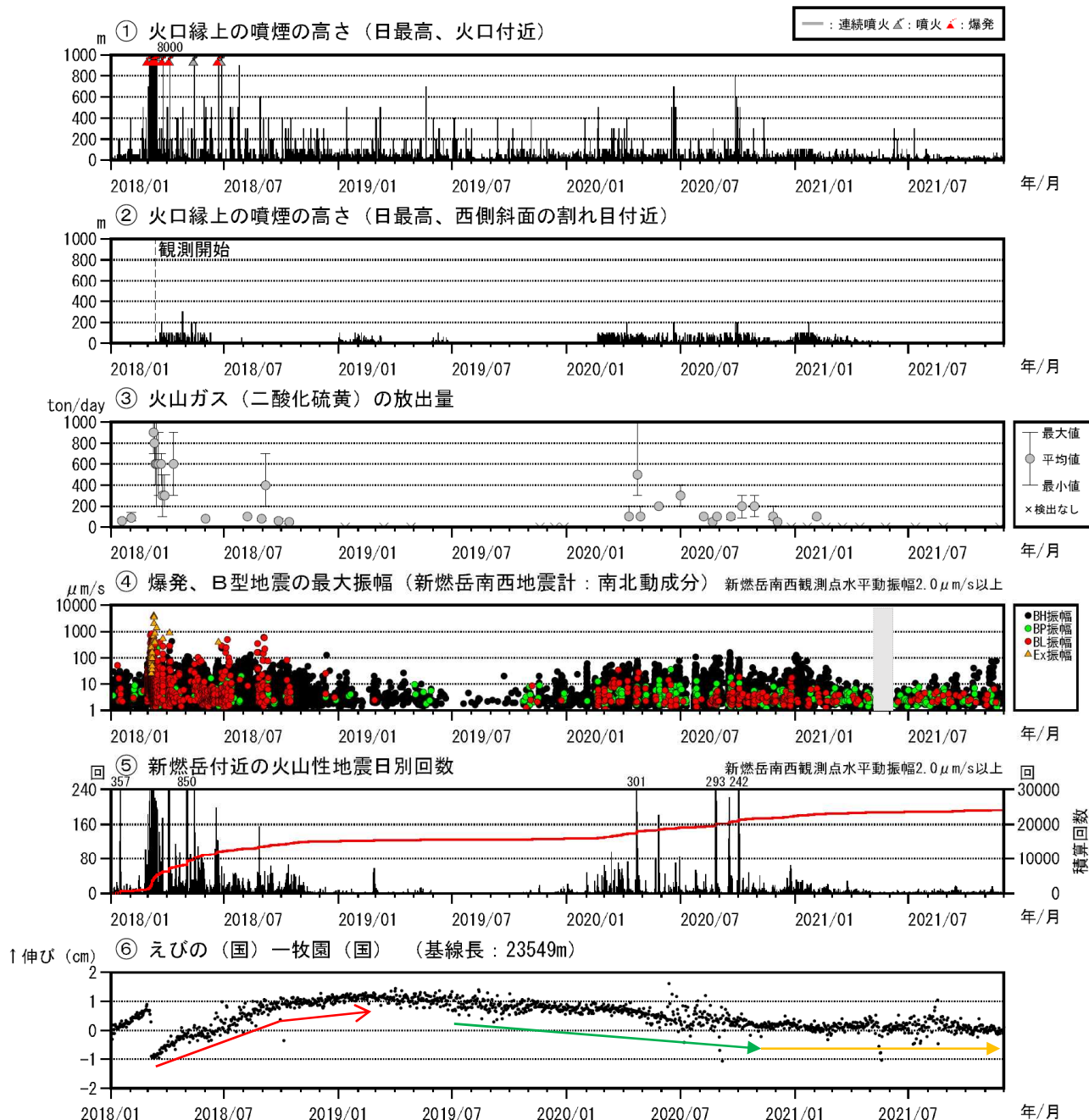


図3 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2018年1月～2021年11月）

<2021年6月～11月の状況>

- ・ 白色の噴煙の高さは概ね火口縁上100m以下で経過した。
- ・ 火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は2020年12月以降減少し、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、2019年11月以降増減を繰り返しているが、2021年2月以降は少ない状態で経過している。また、BL型及びBP型地震が時々観測された。火山性微動は観測されていない。
- ・ GNSS観測では、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（赤矢印）は2019年2月頃から停滞し、同年7月頃から縮み（緑矢印）に転じていたが、2020年11月頃から停滞（橙矢印）している。

④の灰色の領域は、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。

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。

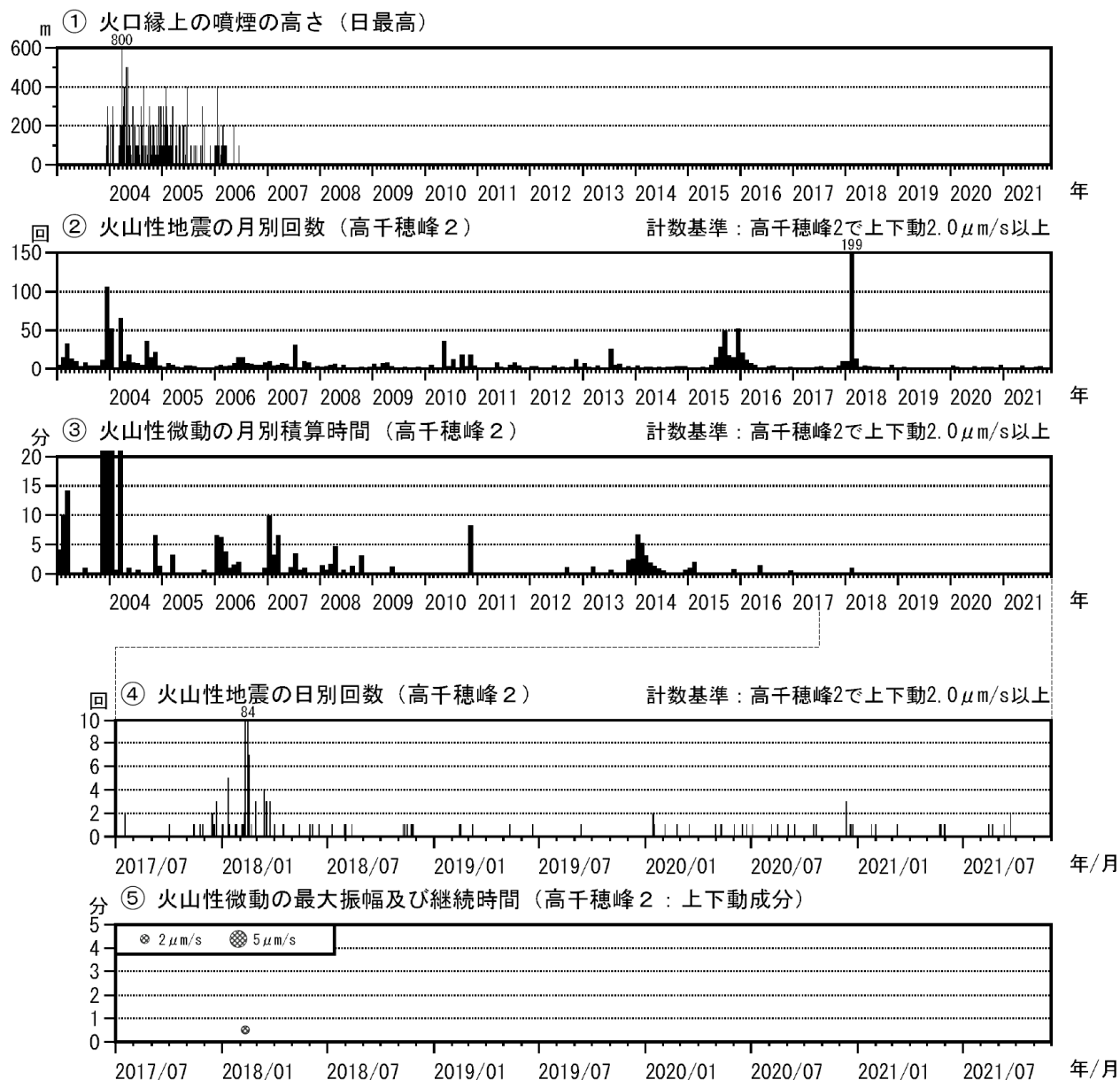


図 1 霧島山（御鉢） 火山活動経過図 （2003 年 1 月～2021 年 11 月）

<2021 年 6 月～11 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。

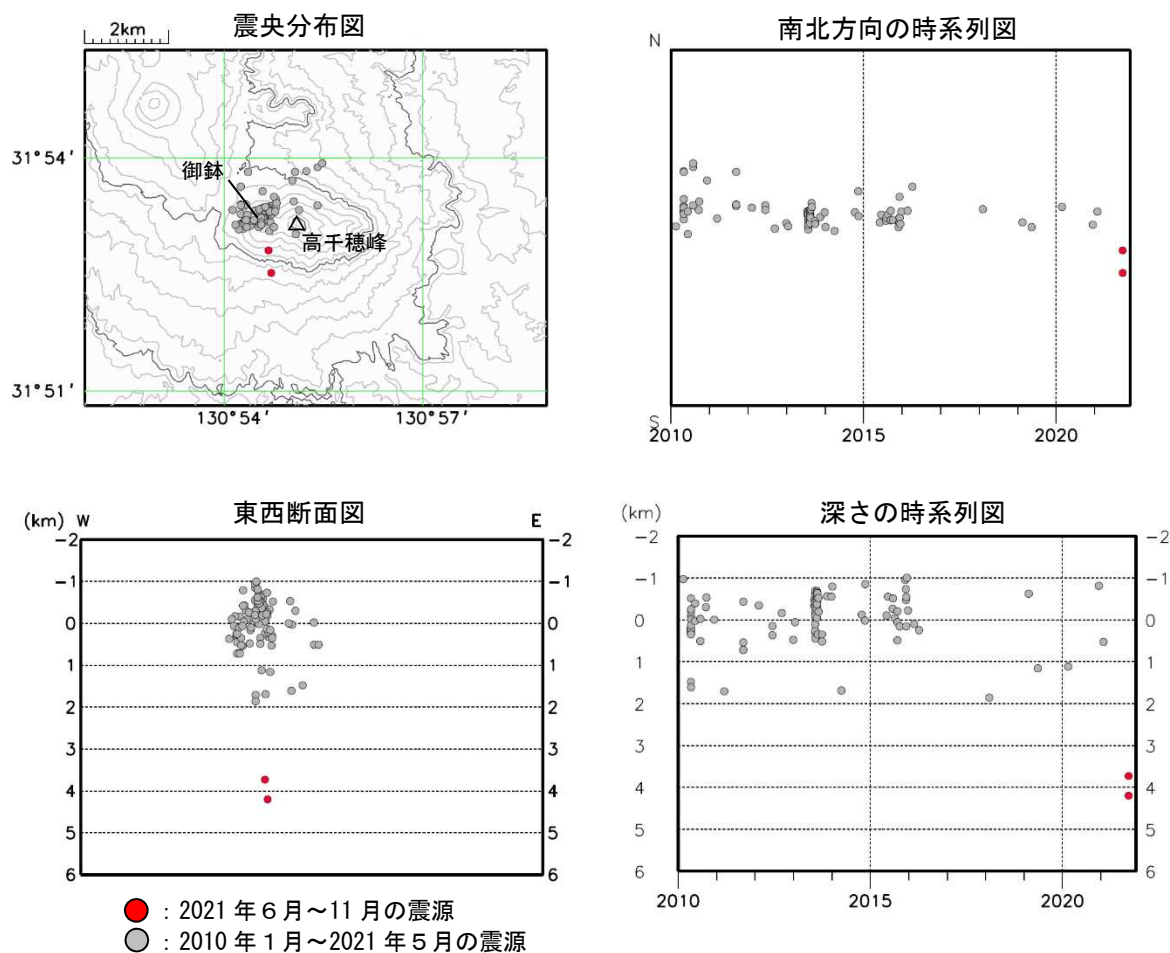


図 2 霧島山（御鉢） 震源分布図（2010 年 1 月～2021 年 11 月）

<2021 年 6 月～11 月の活動状況>

震源は御鉢火口の南側 1 km 付近の深さ 4 km に分布した。

※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。

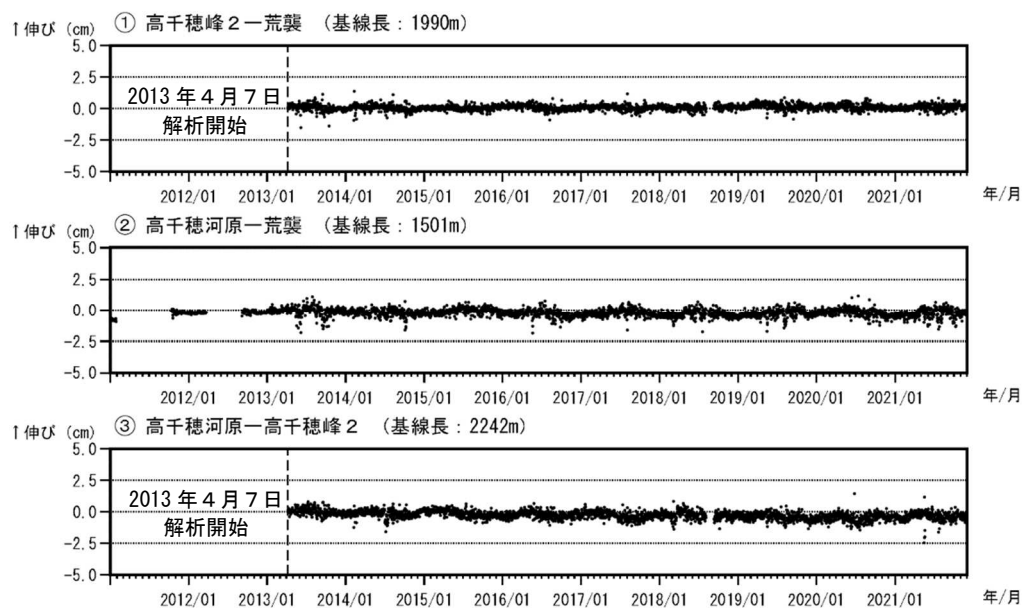


図 3 霧島山（御鉢） GNSS 連続観測による基線長変化（2010 年 1 月～2021 年 11 月）

火山活動によると考えられる変化は認められなかった。

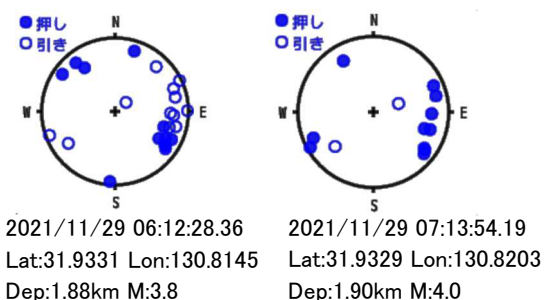
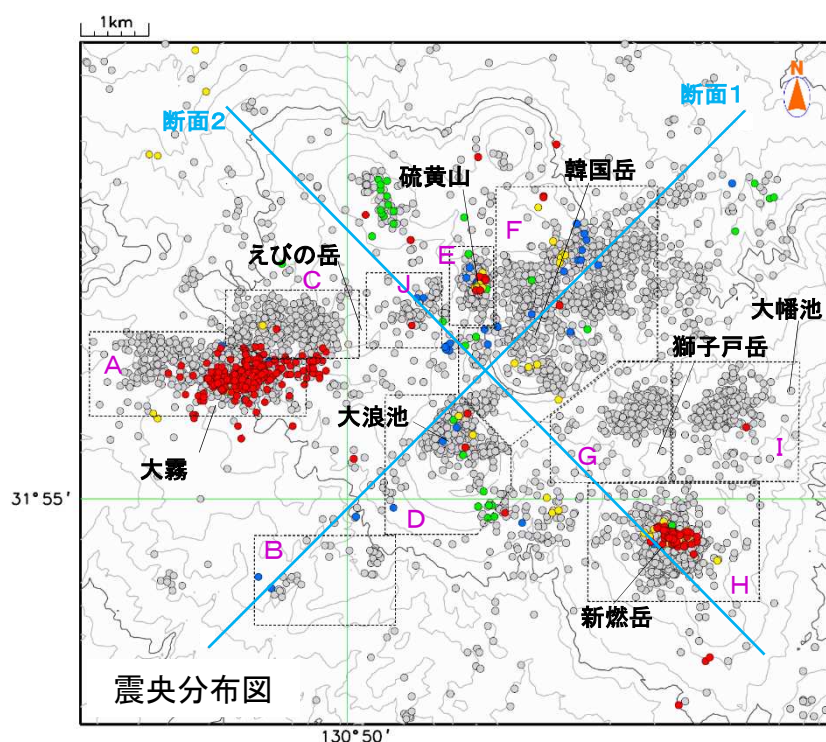
※基線の空白部分は欠測を示している。

※2013 年 1 月に、解析方法を変更している。

霧 島 山

(2021 年 6 月～11 月)

霧島山（広域）



初動分布図
(Aの領域、VOIS 震源)

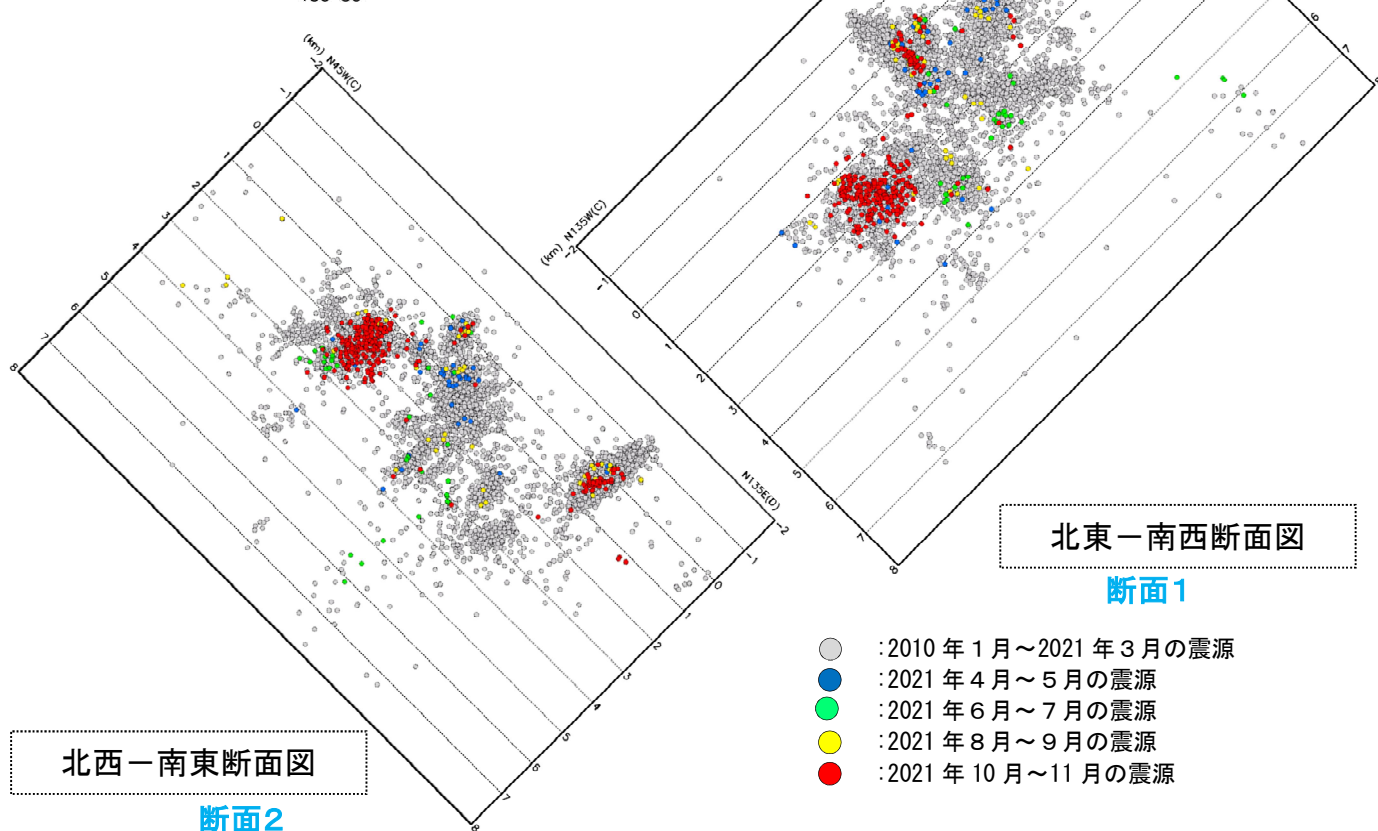
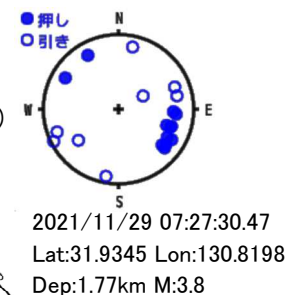


図1 霧島山 霧島山の震源分布図（2010年1月～2021年11月）

2021 年 11 月 29 日から 30 日にかけて、硫黄山の南西約 3 ～ 5 km の深さ 1 ～ 3 km 付近（A の領域）において地震が一時的に増加した。

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。

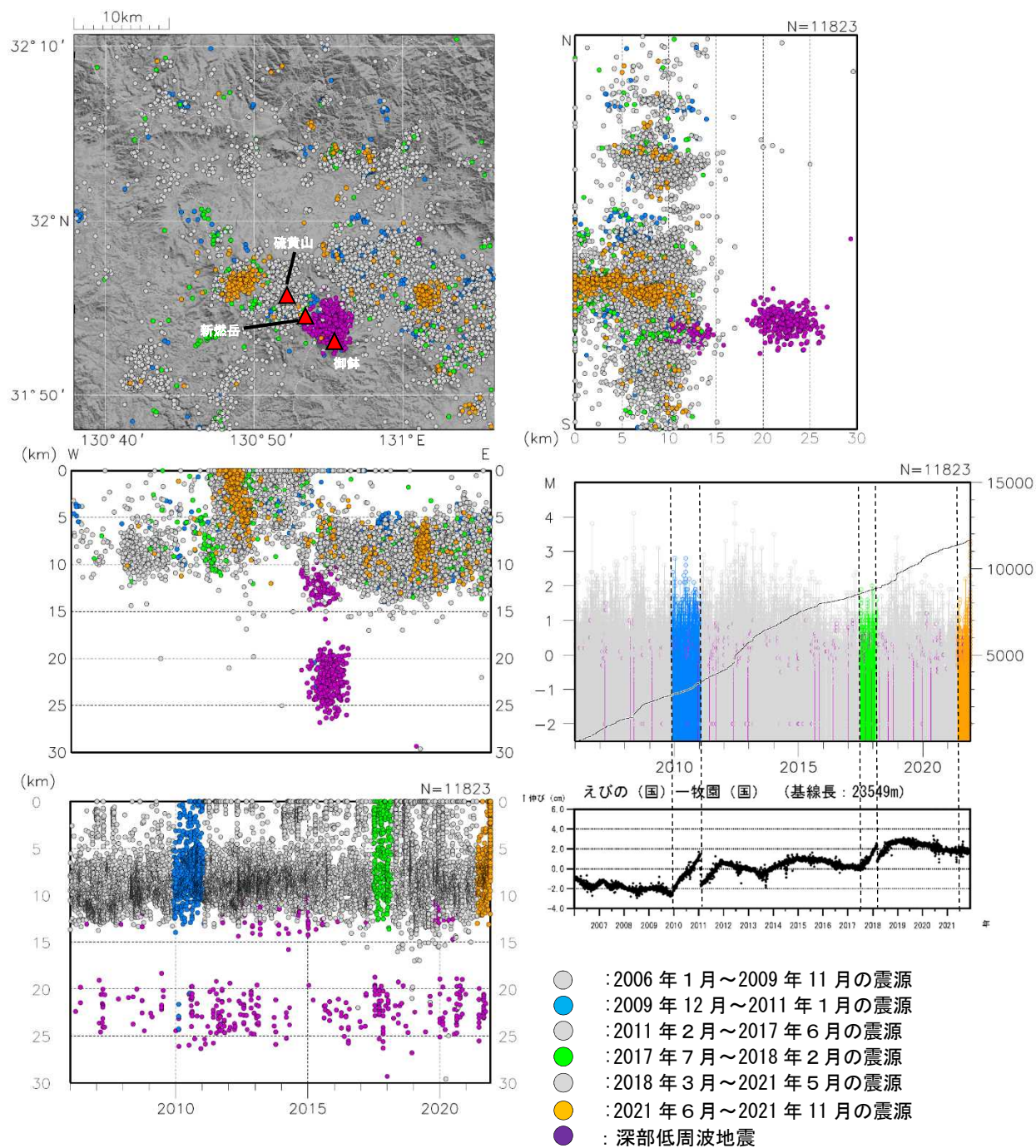


図2 霧島山 一元化震源による広域の地震活動 (2006 年 1 月～2021 年 11 月)

※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。

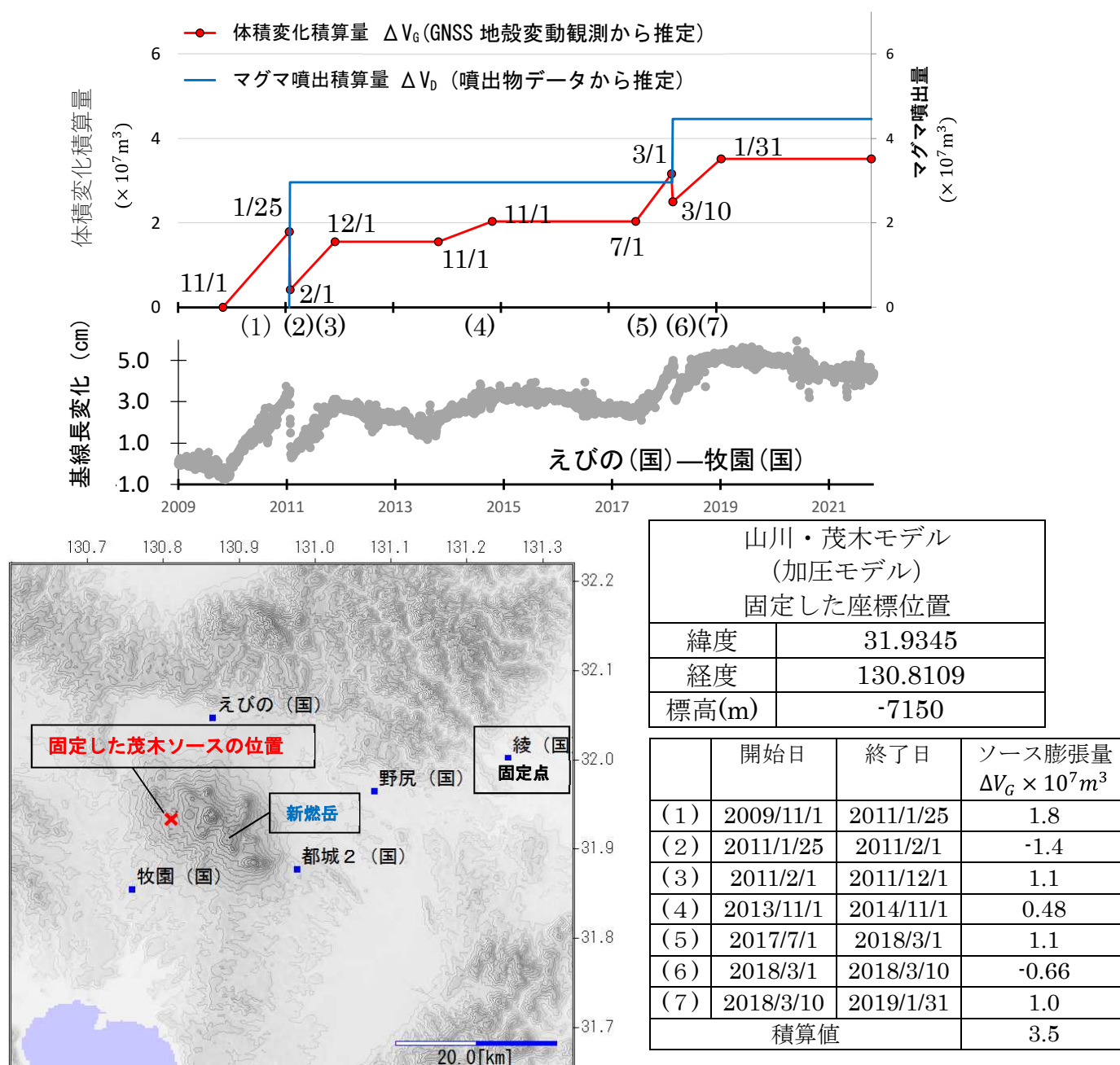


図3 霧島山 噴出物量及び地殻変動から推定した体積変化量の積算の推移

(2009年1月～2021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し、積算したも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も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)～(7)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、 $3.5 \times 10^7 m^3$ の膨張と推定される。

※(国)：国土地理院 えびの(国)—牧園(国)の基線長については、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50mメッシュ(標高)』を使用した。

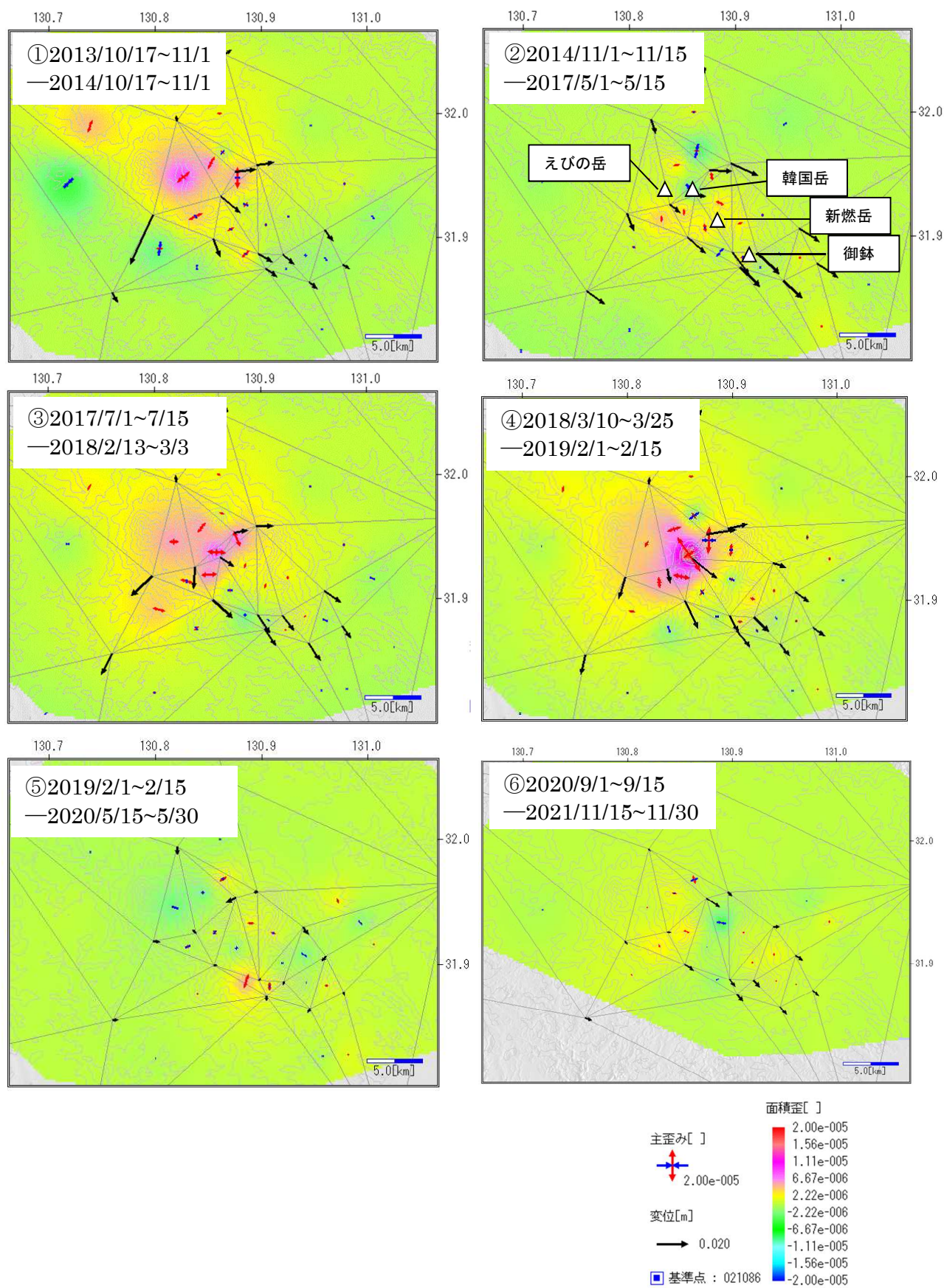


図 4 霧島山 霧島山周辺の GNSS の期間毎の水平変位・主ひずみ・面積ひずみ
(2013 年 10 月 17 日～2021 年 11 月 30 日)

2019 年 2 月以降は顕著な地殻変動は見られない。

※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。

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。また、硫黄山付近で視線距離短縮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.
23_2970 (SM1_U2-7)	南行	右	36.1°	2020. 11. 09	2021. 09. 13	第 1 図- A, B, C
				2021. 03. 01	2021. 09. 13	第 1 図- D, E, F
130_630 (SM1_U2-6)	北行	右	32.4°	2021. 05. 13	2021. 10. 28	第 1 図- G, H, I

3. 解析結果

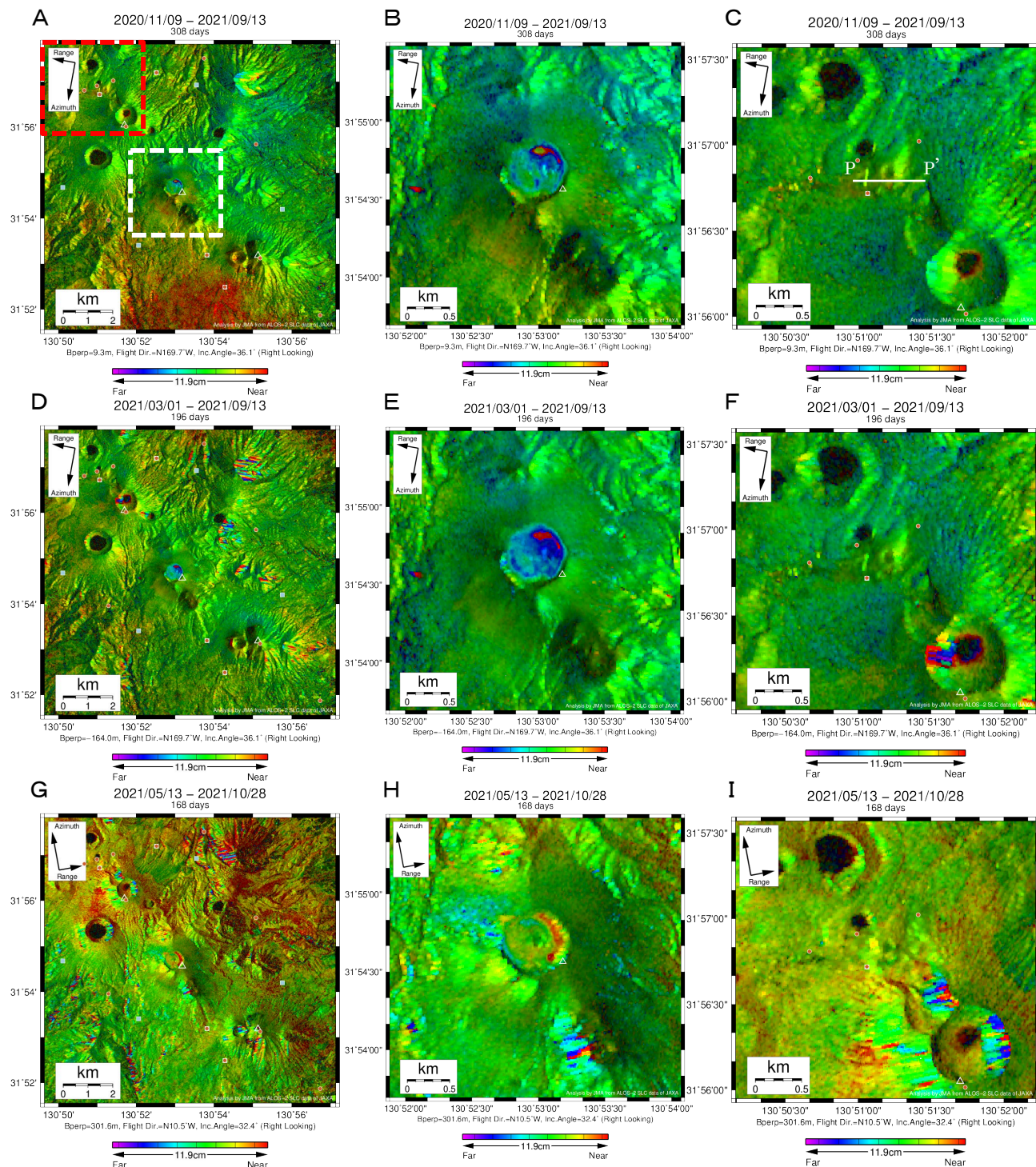
第 1 図に霧島山周辺の南行軌道の長期・短期ペア及び北行軌道の短期ペアによる干渉解析結果画像を示す。新燃岳付近では、南行軌道の長期及び短期ペア (B, E) において、火口内で視線距離伸長の位相変化が認められる。また、えびの高原（硫黄山）付近では、南行軌道の長期ペア (C) において、硫黄山付近で視線距離のわずかな短縮を示す位相変化が認められる。その他の地域ではノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

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。B またはその付近において視線距離のわず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 23(SM1_U2-7) (A, B, C, D, E, F) 及び 130(SM1_U2-6) (G, H, I) による干渉解析結果

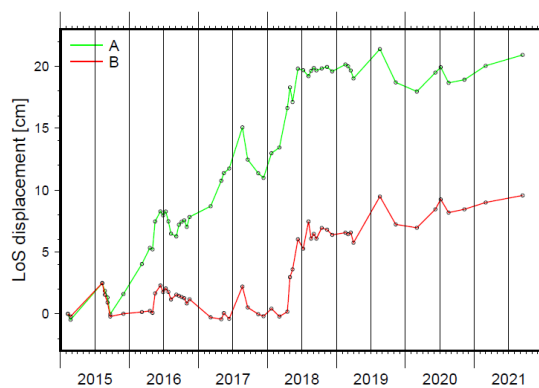
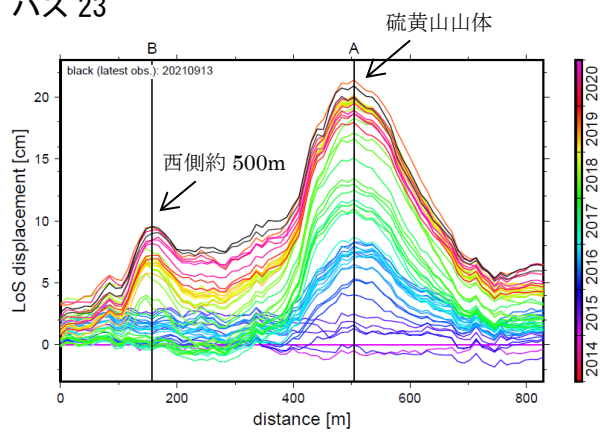
霧島山及びその周辺 (A, D, G)、新燃岳付近の拡大図 (B, E, H)、えびの高原 (硫黄山) 付近の拡大図 (C, F, I)

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。

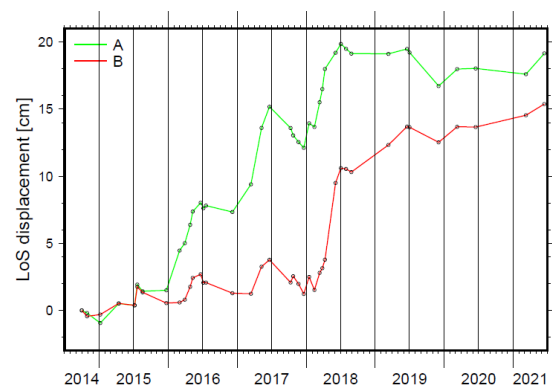
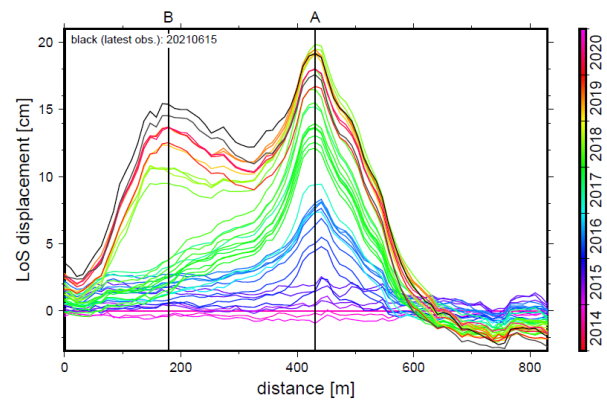
A の白破線は新燃岳付近、赤破線はえびの高原付近の拡大図を示す。

新燃岳付近では、南行軌道の長期及び短期ペア (B, E) において、火口内で視線距離伸長の位相変化が認められる。また、えびの高原 (硫黄山) 付近では、南行軌道の長期ペア (C) において、硫黄山付近で視線距離のわずかな短縮を示す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。

パス 23



パス 130



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 23、右：パス 130）
 上は東西断面（第 1 図-C 中の P-P'）、下は時系列を示す。視線距離短縮を正とする。
 B またはその付近において視線距離のわず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

(2021 年 12 月 1 日まで)

概要

2016 年 8 月から 2021 年 12 月までに霧島山(硫黄山)周辺の湧水および火口跡湯だまりから採取した熱水の化学組成を分析した。硫黄山では湧水や熱水中の Cl/SO_4 比が 2018 年 4 月噴火の前後で顕著に増加するなど火山活動の盛衰に対応して変動している。定点観測している硫黄山山頂域の火口跡熱水(P)および西側湧水(A)の Cl/SO_4 比は 2021 年 6 月から 12 月にかけてわずかに増加したものの、いずれも過去 1 年間の変動の範囲を超えるような顕著な変動は認められない。

はじめに

一般に、火山活動の活発化に伴って噴出する火山ガスの温度が上昇すると火山ガスに含まれる HCl の SO_2 に対する比率(HCl/SO_2)が増大することが知られており[1][2]、火山ガスの供給を受けた火口跡の熱水や湧水に溶存する Cl^- と SO_4^{2-} の比率 (Cl/SO_4 比) も火山活動の盛衰に応じて変化すると期待して観測を続けている。例えば、2018 年 4 月に硫黄山で発生した噴火の前後では硫黄山西側の湧水(図 1, A)の Cl/SO_4 比が顕著に増加した[3]。

試料と分析

本研究では 2016 年 8 月以降、図 1 に示す硫黄山山頂西側の湧水(A)、南火口跡(V1, P)、西火口跡(V2)などに形成された湯溜りなどから熱水を採取している。最新の調査は 2021 年 12 月 1 日に実施した。本資料では主に、年間数回の観測が維持できている湧水 A、南火口跡 P について報告する。採取した湧水は孔径 $0.45\mu\text{m}$ メンブレンフィルターでろ過処理した後に適宜希釈し、イオンクロマトグラフ法で Cl^- 、 SO_4^{2-} 濃度を分析した。

結果

- (1) 湧水(A 地点): 2018 年 4 月噴火の前後で顕著に高まった湧水(A)の Cl/SO_4 比(最高値は 2018 年 10 月=1.63) は 2019 年 3 月頃から明瞭に減少し、翌年 2020 年 3 月以降は 0.1 以下 (観測開始の 2016 年 8 月=0.07 と同程度かそれ以下)で推移している(表 1, 図 2)。2021 年 12 月の Cl/SO_4 比は 0.06 であり前回観測値(2021 年 6 月=0.017)よりも増加したが、過去 1 年間の変動の範囲を超えるような顕著な増加は認められない。
- (2) 南火口跡熱水(Pb): 硫黄山南火口跡(Pb)では湧水(A 地点)と同様に 2019 年 3 月頃から熱水の Cl/SO_4 比が減少した(図 2)。直近の観測では、Pb 地点熱水の Cl/SO_4 比は 2020 年 11 月に 0.00、2021 年 3 月に 0.14、同 6 月に 0.010、同 12 月に 0.13 と推移した(表 1, 図 2)。

上記の通り湧水(A)・火口跡熱水(Pb)の Cl/SO_4 比はいずれも本年 6 月から 12 月にかけて増加したが、それらの増加は過去 1 年間の変動の範囲を超えるような顕著な増加ではない。このほか、2021 年 12 月の観測では硫黄山南火口跡(V1)に湯溜りが再形成されていたが(図 3)、その Cl/SO_4 比は 0.00 よりも小さく(表 1)、2021 年 3 月頃には間欠化していた西火口跡(V2)は 2021 年 12 月時点で枯渇していた(図 3)。

霧島山 (硫黄山)

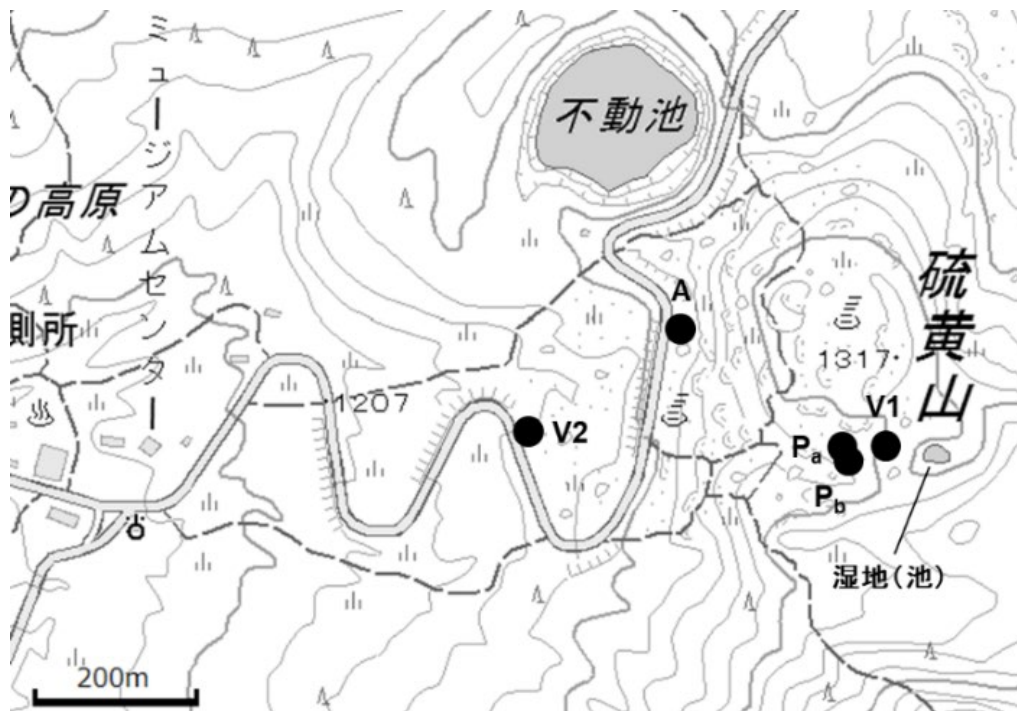


図 1. 試料採取および観測地点 (背景地図に地理院地図を使用した)

表 1. 硫黄山周辺の湧水・火口跡熱水の化学組成 (抜粋)

採水地点	採取日	WT ?C	pH	E.C. S/m	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	Cl/SO ₄ モル比
湧水(A)	2020/11/26	41.3	1.79	0.90	63.8	2950	0.059
	2021/3/8	44.3	1.94	0.65	47.6	2005	0.064
	2021/6/1	57.9	1.51	1.61	32.9	5221	0.017
	2021/12/1	35.7	1.87	0.76	57.2	2640	0.059
南火口跡(Pa)	2020/11/26	20.9	1.44	1.55	1.6	2970	0.0015
	2021/3/8	74.1	1.06	4.39	526	9764	0.15
	2021/6/1	50.3	1.77	0.74	10.5	1381	0.021
	2021/12/1	29.3	1.03	4.28	325	9780	0.090
南火口跡(Pb)	2020/11/26	88.4	0.82	9.77	3.6	24200	0.000
	2021/3/8	87.0	0.82	7.97	947	18100	0.14
	2021/6/1	83.0	1.19	2.84	21.6	5870	0.010
	2021/12/1	91.0	0.68	10.8	1260	25600	0.13
南火口跡(V1)*	2020/2/14	95.4	1.57	1.2	35.8	2415	0.04
	2021/12/1	90.8	1.28	2.4	7.8	5130	0.00
西火口跡(V2)**	2020/11/26	90.2	1.26	2.83	2370	3410	1.88
	2021/3/8				枯渇		
	2021/6/1	91.8	0.91	6.58	6400	10100	1.72
	2021/12/1				枯渇		

pHおよびECの測定にはガラス電極(HORIBA, 9615S)および白金-白金黒電極(HORIBA, 3552-10D)を接続したポータブルpH/EC計(HORIBA, D-74)を使用した。Cl, SO₄の分析にはイオンクロマトグラフ法(Thermo, Integrion)を使用した。分析値は修正する可能性があります。

霧島山 (硫黄山)

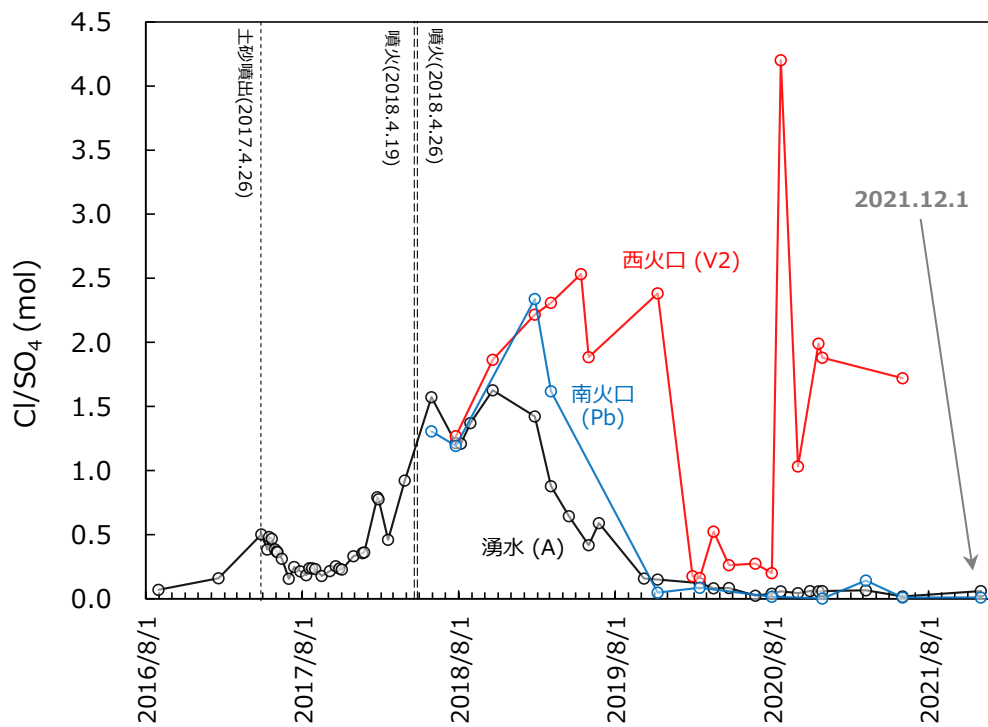


図 2. 硫黄山周辺の湧水・火口跡熱水の Cl/SO_4 モル比の変化

* 南火口周辺には複数の湯だまりがあるが、ここでは継続して熱水が存在する Pb についてのみ表示。



図 3. 硫黄山周辺の湧水・火口跡熱水の様子 (2021.12.1)

霧島山 (硫黄山)

参考文献

- [1] I. Iwasaki et al. (1966) Bull. Tokyo Inst. Tech., 74, 1–57.
- [2] 小坂丈予ほか (1988) 火山, 43, 25–31.
- [3] 気象研究所ほか (2018) 火山噴火予知連絡会会報, 130, 285–291.

*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), 東京大学地震研究所共同利用研究(2020-KOBO11)の研究費を使用しました.

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 2021 年 6 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 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はやや高い値で推移しているため、今後も注意深く観測していく必要がある。

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している。ヘリウムの安定同位体のうち、 ^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 に示した地点 (硫黄山の 5 つの噴気孔 : a, b, c, h, V2) において、真空コック付きの鉛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。a, b, c, h 地点の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の経時変化は、2019 年 5 月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、直近に採取した c, h 地点における $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と誤差の範囲で一致している (空気混入率が高く誤差の大きい 2020 年 9 月の試料を除く)。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 3 地点の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 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、 $7.5 R_A$ から $7.2 R_A$ 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 $7.2 R_A$ から 2018

年3月28日の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る2018年5月29日には、7.1 R_A まで減少した。その後、2018年10月19日には7.5 R_A へと上昇したが、2019年5月31日にかけてわずかに減少傾向を示している。

以上のように、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、2018年5月から10月の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の上昇と、2019年1月25日にかけてのわずかな減少は、同10月に噴火は起こっていないものの、同5月には約100回、同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）。

また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 $7.60 \pm 0.05 R_A$ (1σ)とやや上昇している。このことから、マグマだまり起源ガスの供給量が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」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。

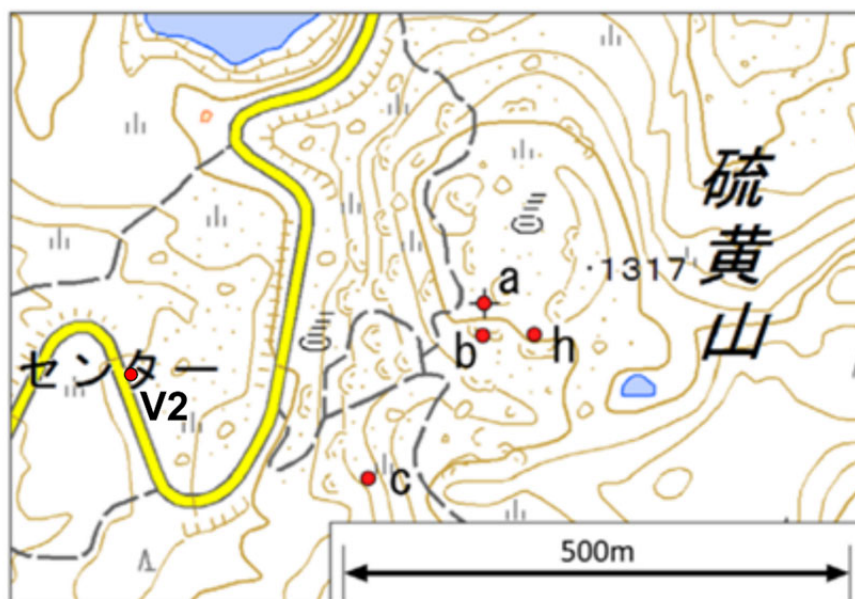


図 1. 硫黄山の噴気 a, b, c, h, V2 の位置（背景の地図として、国土地理院 1/25000 地形図を使用した）

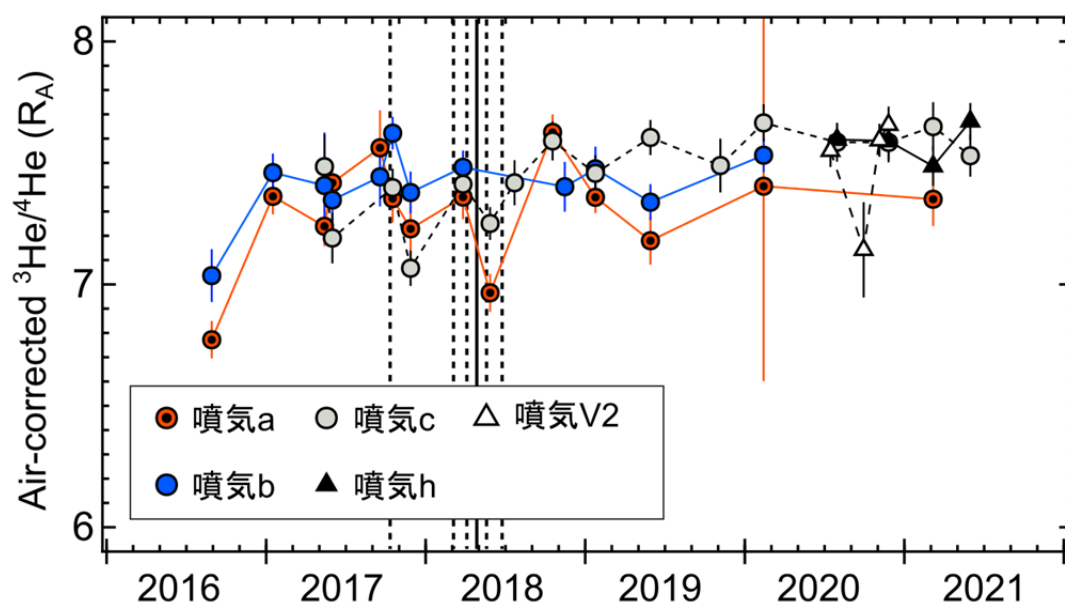


図 2. 硫黄山の噴気 (a, b, c, h, V2) における $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み）の経時変化。エラーバー（ 1σ ）は、測定誤差と大気ヘリウム混入の補正に伴う誤差を含む。点線は新燃岳における噴火を、実線は硫黄山における噴火を示している。

精密水準測量で検出された霧島・硫黄山の地盤上下変動

(2015 年 6 月～2021 年 10 月)

2021 年 10 月下旬に霧島えびの高原において精密水準測量を実施した。その結果、硫黄山の地下 600～700 m にあると推定される圧力源の膨張は、2018 年 12 月以降ほぼ停滞状態であるが、2019 年 11 月～2021 年 10 月は硫黄山西麓を中心として局所的に隆起が確認されている。

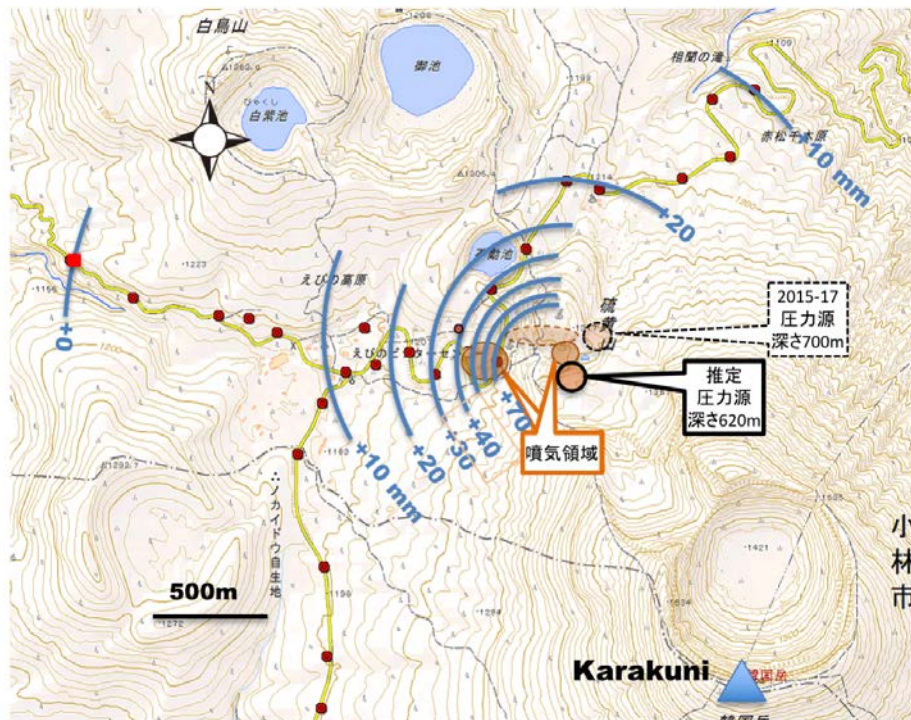
九州大学を中心とした大学合同水準測量班は、2015 年 6 月にえびの高原周辺に水準路線を増設した（第 1 図）。その後、硫黄山では火山性地震の群発や傾斜変動をとまなう火山性微動がたびたび発生し、2015 年 12 月中旬には地表に新たな噴気帯が生じ、2017 年 5 月には火山泥の噴出が確認されている。その後噴気活動は一時沈降傾向になったが、2018 年 2 月には火山性地震が増加し、噴気現象も再度活発になってきた。4 月上旬から硫黄山の南側に沿って東西に新たな噴気孔列が生じ、一部で小噴火を発生させた。

2017 年 10 月以降の主な水準測量結果を第 2 図に示す。また主な水準点における隆起量の時間変化を第 3 図に示す。いずれも 2015 年 6 月および、測線の西端の BM1120 を基準としている。再隆起が始まった 2017 年 10 月以降の隆起量を図 1 の等値線で示す。硫黄山山頂に近い BM3050 で 2021 年 10 月までに 78.8 mm の隆起が見られる。隆起中心も 2017 年 5 月以前よりは南西側に移動しており、地表の噴気領域の移動と調和的である。

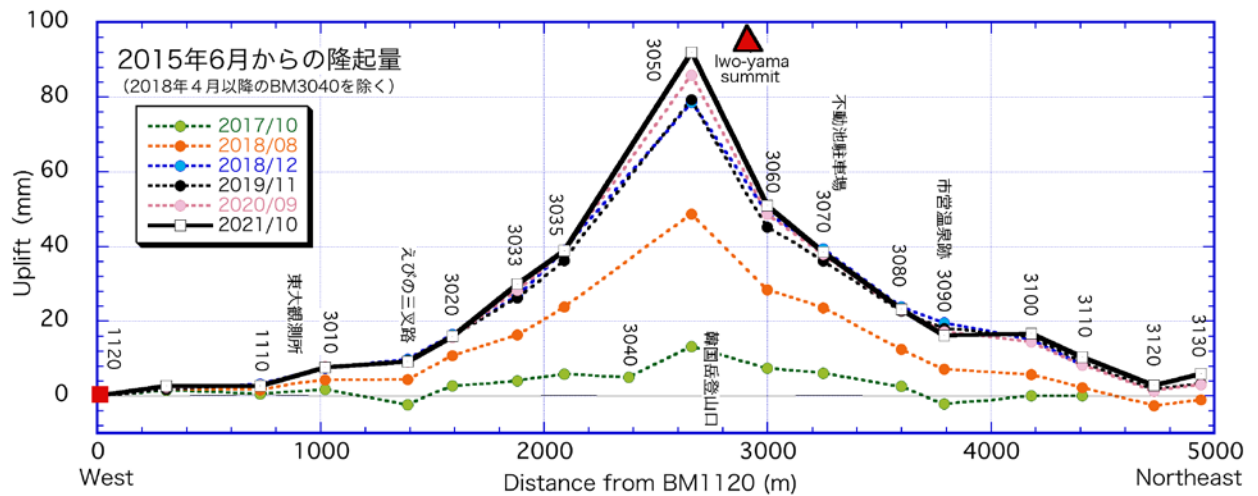
第 1 表に推定された圧力源の位置を示す。圧力源の位置は、2017 年 10 月以前は硫黄山噴気群の東側約 100 m であったが、2017 年 10 月以降は硫黄山南火口の南側に存在していると考えられる。またその深さもこの地点の標高を 1300m と考えると、地表からそれぞれ、700m、620 m となり、圧力源の位置も徐々に上昇したと考えられる。硫黄山直下では厚さ 700 m 程度の低比抵抗層（スメクタイト層と推定）が 3 次元 MT 解析で推定されており（Tsukamoto *et al.*, 2018）、これがキャップロックとなりこの直下で熱水溜まりの圧力が増加しているものと推定される。

第 4 図に水準測量から推定された硫黄山下の圧力源の体積変化量を示す。この際、圧力源の位置は第 1 表の場所に固定し、体積変化量のみを変化させて最適値を求めている。2015 年 6 月を基準とした体積増加量は、2018 年 12 月では 15.7 万 m^3 、2019 年 3 月 15.6 万 m^3 、11 月 15.2 万 m^3 、2020 年 3 月 15.9 万 m^3 、9 月 16.2 万 m^3 、2021 年 3 月 17.4 万 m^3 、10 月 17.3 万 m^3 と推定された。2017 年 10 月からの地下圧力源の膨張は 2018 年 12 月以降停滞状態である。2019 年以降は硫黄山南火口や西火口の熱水湧水量や水蒸気量に明らかな減少が見られることから、地下深部から圧力源への熱水の供給が衰えつつあると考えられる。

第 5 図に最近の地殻変動の比較を示す。左図は 2017 年 10 月から 2018 年 12 月まで、右図は 2019 年 11 月から 2021 年 10 月の水準測量による上下変位を示す。前者の期間は硫黄山全体が隆起傾向にあったが、後者の最近 1 年間は硫黄山西麓の狭い領域に隆起がとどまっている。このことから、2019 年 11 月以降は硫黄山西麓のごく浅い部分が膨張していると考えられる。この領域は 2020 年以降、噴気や熱水の湧出、地熱異常が多く確認されている領域であり、膨張の原因としては地温上昇や間隙水圧増加に伴う浅部の地層の体積増加が想定される。



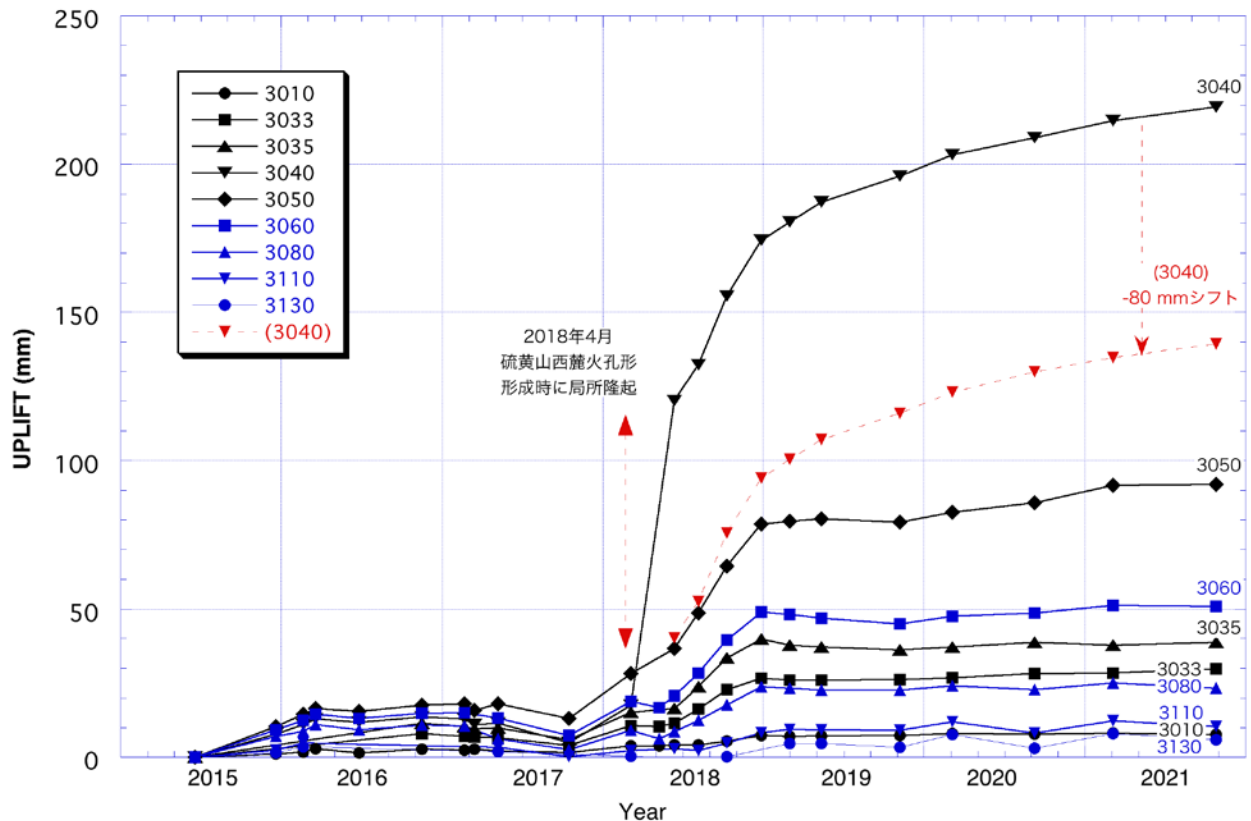
第 1 図 えびの高原～硫黄山区間の水準路線と 2017 年 10 月から 2021 年 10 月までの隆起量を示す (BM3040 を除く)。2018 年 4 月から活発化した噴気領域や、これまでの水準測量から推定された圧力源の水平位置も同時に示す。国土地理院電子地形図 (タイル) を使用した。



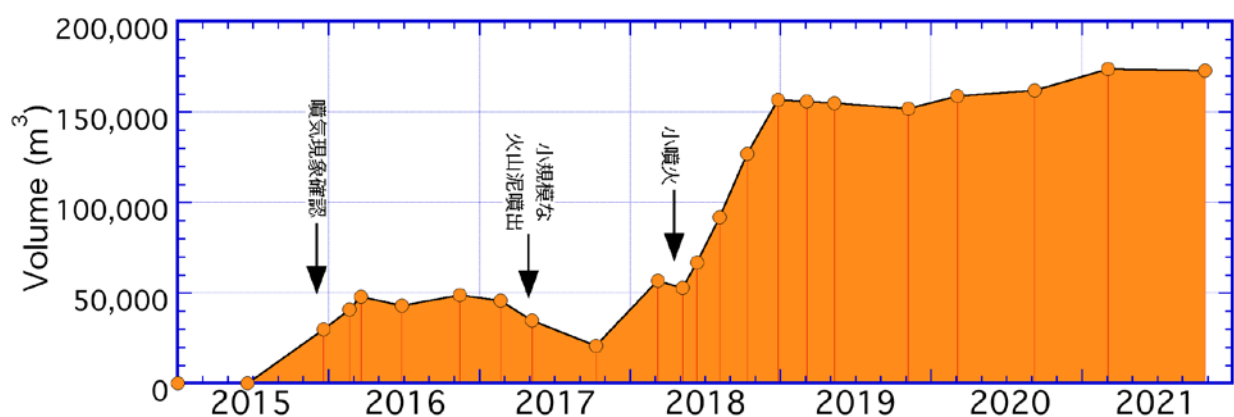
第 2 図 2017 年 10 月以降の主な水準測量結果 (BM3040 を除く)。隆起・沈降の中心は硫黄山付近の浅部と考えられる。2018 年 12 月以降の値はほとんど重なっているが、2019 年 11 月以降は硫黄山西麓の 3033～3060 間で若干の隆起傾向が見える。

第 1 表 推定された圧力源の位置。

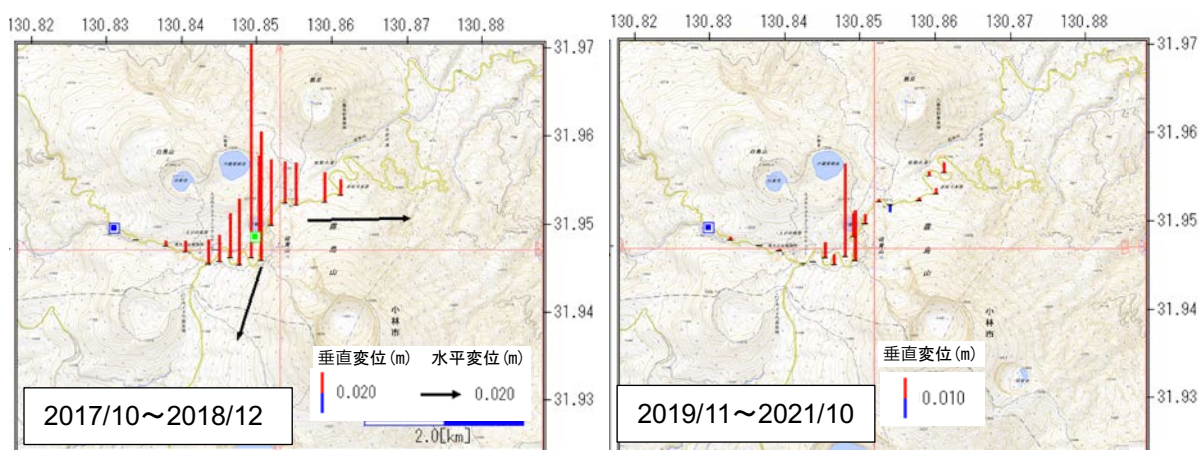
	2017 年 10 月以前	2017 年 10 月以降
北緯	31.946777	31.94517
東経	130.85460	130.853975
海拔高度	600m	680m



第 3 図 主な水準点の標高の時間変化. 2017 年 10 月以降は隆起傾向がみられ, 地下の圧力源の急膨張が推定されていたが, 2018 年 12 月以降は多くの観測点でほぼ停止状態である. BM3040 は硫黄山西側噴気孔近傍の県道沿いに位置し, 2018 年 4 月 20 日からの硫黄山西側噴気の活発化に伴い局所的に約 8 cm の隆起がみられ, その後も局所的に変化が大きい. また, 2019 年 11 月以降は, 硫黄山西麓にあたる 3033~3060 の基準点でわずかに隆起傾向となっている.



第 4 図 水準測量から推定された硫黄山下の圧力源の体積の時間変化. 2015 年夏から始まった圧力源の膨張は 2017 年には一端収縮に向かったが, 2017 年末から再度急激な膨張が始まり, 2018 年 4 月には小噴火が発生した. しかしその膨張も 2018 年 12 月以降は, ほぼ停滞状態となっている.



第 5 図 最近の地殻変動の比較。左図は 2017 年 10 月から 2018 年 12 月まで、右図は 2019 年 11 月から 2021 年 10 月の水準測量による上下変位を示す。前者の期間は硫黄山全体が大きく隆起傾向にあるが、後者の最近 1 年間は硫黄山西麓の狭い範囲に隆起がとどまっている。このことから、2019 年 11 月以降は硫黄山西麓のごく浅い部分がわずかに膨張していると考えられる。地形図には国土地理院電子地形図（タイル）を使用した。

参考文献

Tsukamoto K., Aizawa K., Chiba K., Kanda W., Uyeshima M., Koyama T., Utsugi M., Seki K., and Kishita T., Three-dimensional resistivity structure of Iwo-yama volcano, Kirishima Volcanic Complex, Japan: Relationship to shallow seismicity, surface uplift, and a small phreatic eruption, *Geophysical Research Letters*, 45, 12821-12828.

謝辞

現地調査の際には、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。また気象庁からは硫黄山周辺の GNSS 測量結果の提供を受けた。地下の圧力源の推定には、気象研究所の火山用地殻変動解析ソフトウェアの MaGCAP-V を使用した。

本調査の一部は、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 (JPJ005391)」 「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。

2021 年 10 月の測量作業は 内田和也・松島 健・唐 懌塵・吉永光樹・池田宝佑・南野一樹・及川 純が行った。これまでの測量作業は九州大学のほか、京都大学・北海道大学・日本大学・東京大学・気象庁・次世代火山人材育成コンソーシアムの協力で実施されている。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

硫黄山西噴気帯の W4 火口では、2021 年 3 月頃から噴気活動の衰弱が見られ、7 月 2 日頃に停止した。しかし、11 月 30 日に W4 拡大孔から噴気活動の再開が確認され、12 月 13 日以降は噴気活動が活発化している。W4 火口では 4 月～6 月にかけて湯溜まりにおいて、間欠泉的な湧湯や地下への吸引がみられていたが、現時点で湯溜まりは復活していない。

硫黄山噴気帯の硫黄山南火口では噴気や噴湯現象がつづいているが、一部の噴気孔に温度の上昇や地熱の上昇が見られる。

1. 概 要

霧島火山群、えびの高原（硫黄山）周辺では、2018 年 4 月上旬に硫黄山溶岩の南側の Y1 において噴湯現象が確認されたあと、19 日 15:39 に硫黄山溶岩の南側の Y2a, Y3, Y2b において噴火（硫黄山南火口）が発生し（気象庁, 2018）、その後南火口から西に約 500 m 離れた地点で W1～W7 の火口列（硫黄山西火口）が形成された（図 1, 田島・他, 2019）。気象庁の公式記録では西火口の噴火は、2018 年 4 月 26 日 18 時 15 分であるが、4 月 21 日午前の撮影写真から西火口周辺に噴出物の堆積が確認され（田島・他, 2019）、噴出源（W3, W4）から 100～200 m に広がる泥質火山灰が確認され礫の放出が伴っていたことより（長井・他, 2018 ; 田島・他, 2019）、4 月 20 日夕方～21 日朝の間に噴火が発生し、その時刻は 20 日 21:05（W6）～21:42 頃（W3, W4）と考えられている（Tajima et al., 2020; Muramatsu et al., 2021）。西火口は県道 1 号線の脇に形成され、2021 年 12 月現在も火口から 100 m の範囲は立ち入りが規制され、その活動性の把握は社会活動の観点から重要な観測項目となる。

2. 硫黄山西火口及び周辺の活動（硫黄山西噴気帯）

2018 年 4 月 20 日から活動を始めた西火口であるが、特に W4 火口では噴火後から長期に渡り噴湯を伴う湯だまりが継続してみられ、活発な活動を行ってきた。以下、九州大学・他の火山噴火予知連絡会報告を元に W4 火口の活動を整理すると、噴火後から 2018 年 10 月には県道の側溝近くまで（第 143 回火山噴火予知連絡会）、2019 年 3 月には県道の一部までが湯だまりによって浸食され（第 144 回火山噴火予知連絡会）、その口径は徐々に拡大を続けていた。しかし、2019 年 12 月以降は、湯だまり水頭が低下する時期があり、地熱活動に変化が生じた（第 145 回、第 146 回火山噴火予知連絡会）。また、2020 年 8 月には、道路縁に新たな噴気が出現し、噴気温上昇によってアスファルトが溶け道路端から 2.5 m 程孔が拡大した。この活動における噴気温は 2020 年 12 月をピーク（125.6℃）に低下し、2021 年 3 月には噴気温は 90 度台とほぼ元の温度まで低下し（図 8）、噴気活動の低下も確認された（第 147 回、第 148 回火山噴火予知連絡会）。また、2021 年 4 月頃から湯溜まりへの湧湯と地下への吸引を繰り返す間欠泉現象生じていた。（第 148 回火山噴火予知連絡会）。その後 7 月 2 日には噴気口の温度が 90 度から 40 度台に落ち、7 月 8 日には 3 日間で 500 mm を越える豪雨で、土砂が W4 火口内に堆積し、噴気活動がまったく認められなくなった（図 5）。7 月 19 日に実施した調査では、W4 火口では降雨による溜まり水が生じており（図 2B）、火

山ガスの湧出気泡は見られなかった。また、2020 年 8 月から活発化した拡大孔にも噴気活動が見られなくなり、地熱活動の著しい低下が認められる(図 2C)。同様に、9 月、10 月末の調査においても湯だまり・噴気は認められず、地熱活動が低下した状態が継続していた。ただし、9 月 21~24 日及び 10 月 25~11 月 2 日の調査では、W4 拡大孔縁の一部にやや温かい場所があった(図 3A)。その後 11 月 30 日に W4 拡大孔に 98.1℃の噴気を確認したが(図 2E, 図 3B)、翌 12 月 1 日には測定間に降った雨のためか噴気が消失し噴気地点の温度は 23.0℃に低下した(図 3C, 図 10)。なお、現地での聞き取りから 11 月 28 日には噴気が見られなかったが、11 月 29 日午前にえびの岳周辺で発生した群発地震との関係は不明である。さらに、W4 火口では 12 月 12 日に拡大孔において温度上昇、13 日には音を伴う活発な噴気を確認された。14 日にも活発な噴気が継続しており、W4 火口中心部での地温も上昇し弱い噴気を伴っていた(図 2F)。従って、7 月に一時的に活動が低下した後、11 月末に活動が再開した W4 火口での活動の変化には留意する必要がある。なお、W4 火口北側では新たに U4 噴気が生じるなど地熱活動は継続しているが(図 4)、川湯周辺では K5 で地熱活動が見られなくなり K2, K6 において地熱域が減少しそれぞれ地点で温度低下が見られた(図 1, 図 10)。

3. 硫黄山南火口及び周辺の活動(硫黄山噴気帯)

硫黄山南火口での活動は大きな変化がなく、Y2a において噴湯を伴う湯だまり、Y2b において湯だまりの形成、Y3 では活発な噴気活動(107.8℃, 12/5)が続いていることを確認した(図 5, 図 8)。なお、南火口の湯だまり水位には、上昇と下降の変動も認められる。その他、硫黄山噴気帯の活動には大きな変化はないが、噴気孔 H において 100℃を超える噴気温度(104.0℃, 12/5)、G, I 周辺で地熱域がやや拡大し、噴気孔 A, 噴気 I で温度の上昇が見られるなど活発な活動が続いている(図 9)。

4. 湯だまりの化学組成変化

図 7 に湯だまり熱水中に溶存するマグマ由来化学成分である Cl と SO_4 のモル比の経時変動を 2020 年 9 月から 2021 年 11 月の一年余りの期間に対して示した(変動幅が大きいので対数スケールで示している)。

西火口の湯だまり W4 では、2020 年 8 月に道路縁に新たな噴気が出現した後は高い Cl/SO_4 比を示していたが、2020 年 12 月以降に噴気温度の低下に対応して Cl/SO_4 比の低下が見られた。2021 年 4 月頃から生じた間欠泉的な現象の期間は、湯だまりの温度が高い際には以前と同様の高い Cl/SO_4 比を、湯だまりの水温が低い際は低い Cl/SO_4 比を示す傾向が確認された。これらの結果は、マグマ性流体が噴気によって(間欠泉的な現象になった後も)停止するまでは、湯だまり W4 にもたらされていたと解釈できる。

南火口の湯だまり Y2a, Y2b でも、同じ期間に Cl/SO_4 比が大幅な変動を示した。この南火口の変動が、西火口で見られた地熱活動の経時変動と逆センスであることは興味深い。2020 年 8 月-12 月の西火口で新たな噴気のできた期間には、南火口湯だまりの Cl/SO_4 比は著しい低下を示した。2020 年 12 月以降に西火口で温度低下があった際には、南火口湯だまり周

辺の地熱活動は活発になり Cl/SO_4 比も 2020 年 8 月のレベルに戻った。2021 年 4 月ごろに西火口で間欠泉的な現象が生じた際には、再び南火口湯だまりの Cl/SO_4 比は低下を示した。2021 年 7 月に西火口 W4 での噴気孔が停止した後は、再び Cl/SO_4 比は元のレベルに戻ったようである。このように西火口と南火口で見られた地熱活動の経時変動が相補的であることは、深部からのマグマ性流体の供給量が噴火直後に比べて減少して、片方にしか供給できなくなっている可能性がある。

*田島靖久・松島 健・石橋純一郎・益田晴恵・前野 深

【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。



図 1 硫黄山噴気帯・硫黄山西噴気帯周辺の熱異常及び熱水の位置図(2021.11.30)

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:2020 年 11 月 25 日噴気域。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。位置や名称は, Tajima et al.(2020)に基づく。赤矢印は、新たに形成された噴気を伴う陥没孔。

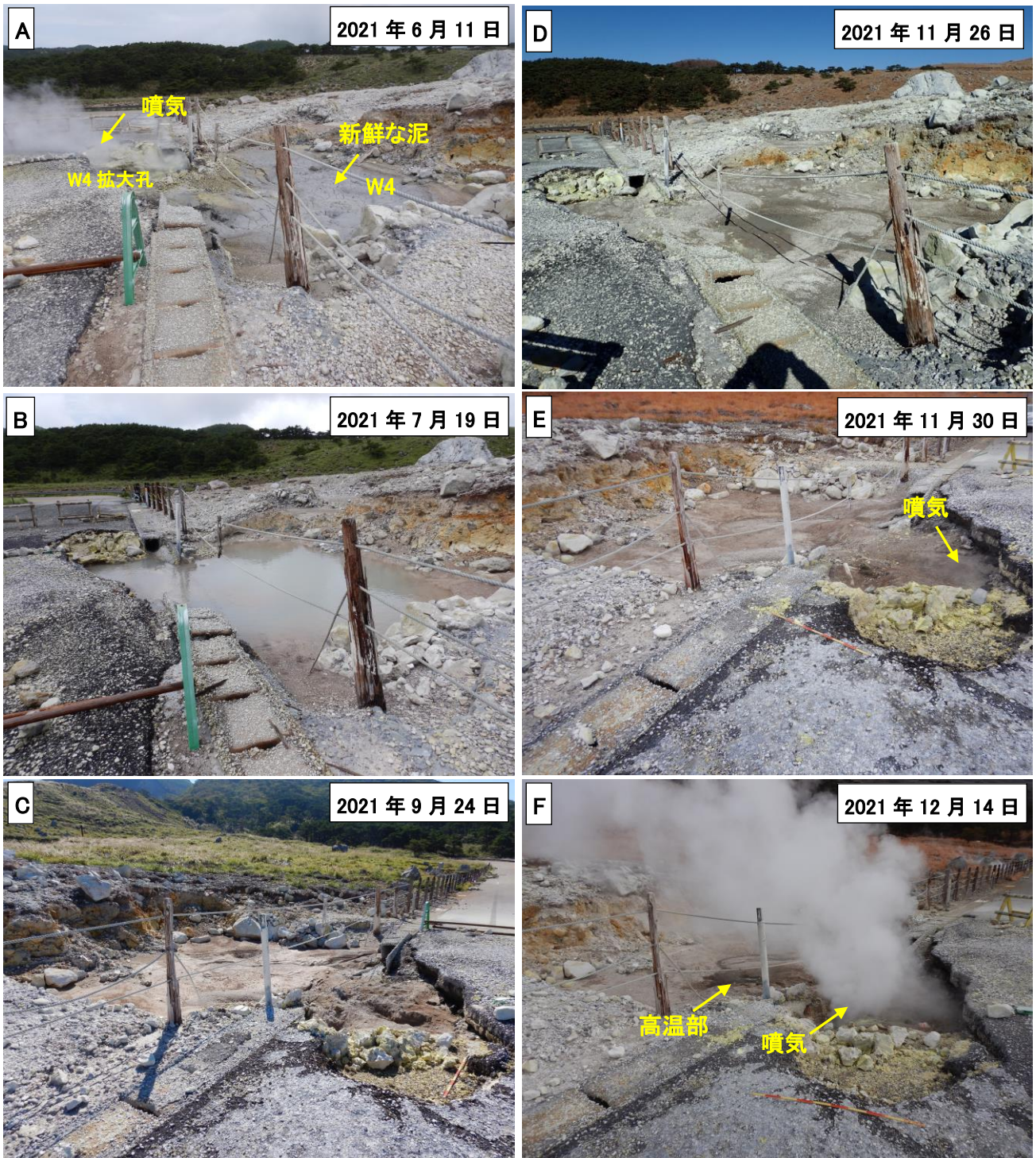


図2 硫黄山西火口(W4)の地熱活動(1)

A. 2021 年 6 月 11 日, W4 中心付近には間欠泉による泥の堆積, 拡大孔付近に噴気が見られる. B. 2021 年 7 月 19 日, 雨水による溜まり水が見られるが, ガスの湧出は見られない. C. 2021 年 9 月 24 日, 湯だまり・噴気は認められず, 拡大孔の縁に僅かに温度の高い所が残る. D. 2021 年 11 月 26 日, 湯だまり・噴気は認められない. E. 2021 年 11 月 30 日, 噴気が認められ, 温度は 98.1°C であった. 12 月 1 日には噴気地点の地温は降雨により 23.0°C (気温 1°C) と下がった. F. 12 月 12 日から再度温度上昇し, 13 日に活発な噴気が見られた W4 拡大孔. 噴気温度は拡大孔で 98.4°C, W4 中心高温部で 97.2°C (12/14). W4 中心付近にも弱い噴気が認められる.

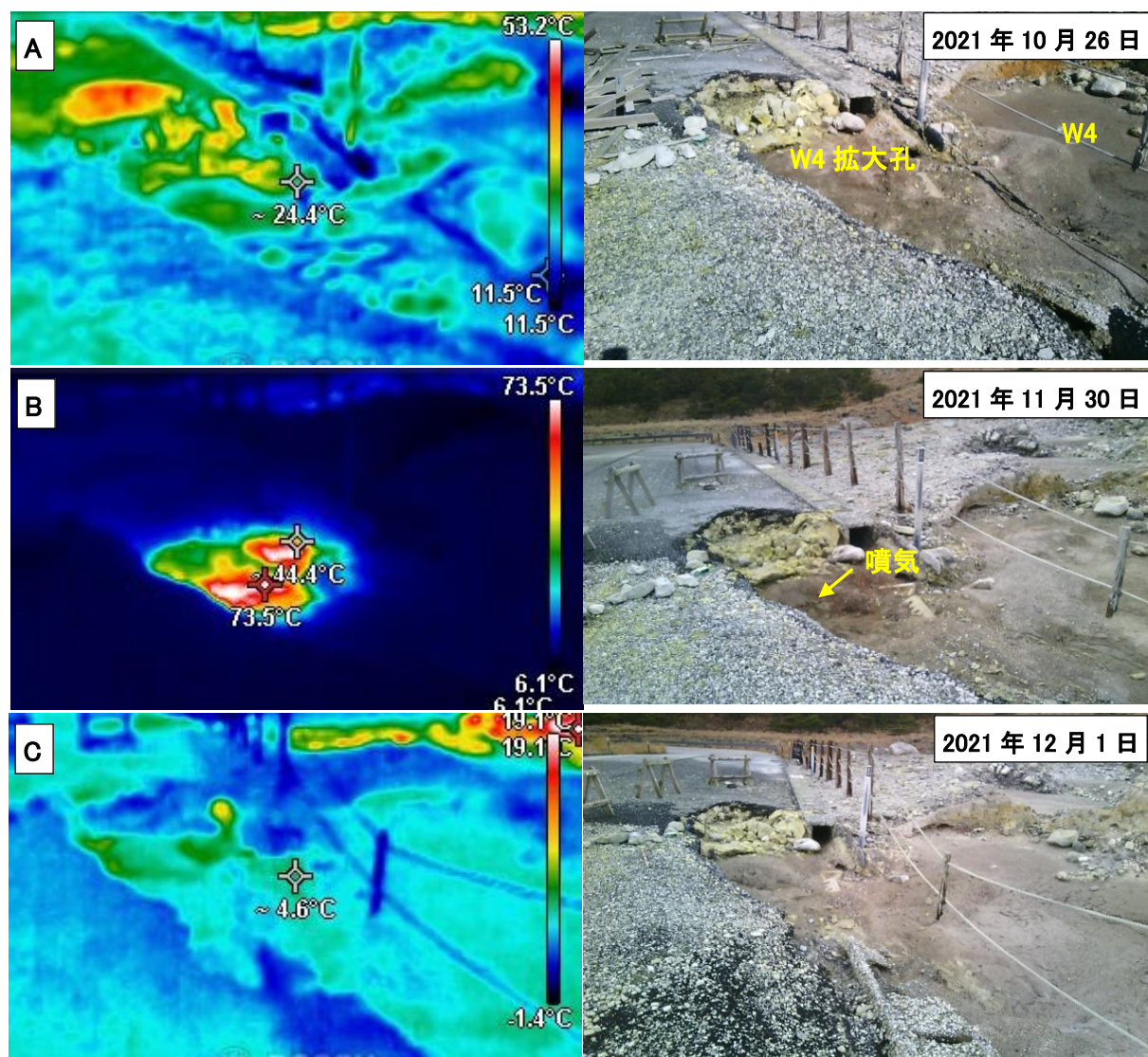


図3 硫黄山西火口(W4)の地熱活動(2)

A. 西火口の活動は低下していたが、拡大孔縁にやや温かい場所が見られる(2021年10月26日). B. 11月29日の地震後のW4の拡大孔、噴気が生じ茶色付近の温度が高い(2021年11月30日). C. 写真B翌日の拡大孔、噴気・高温域は見られない(2021年12月1日). 噴気・地温は熱電対によって測定し、本図の表示値と異なる.

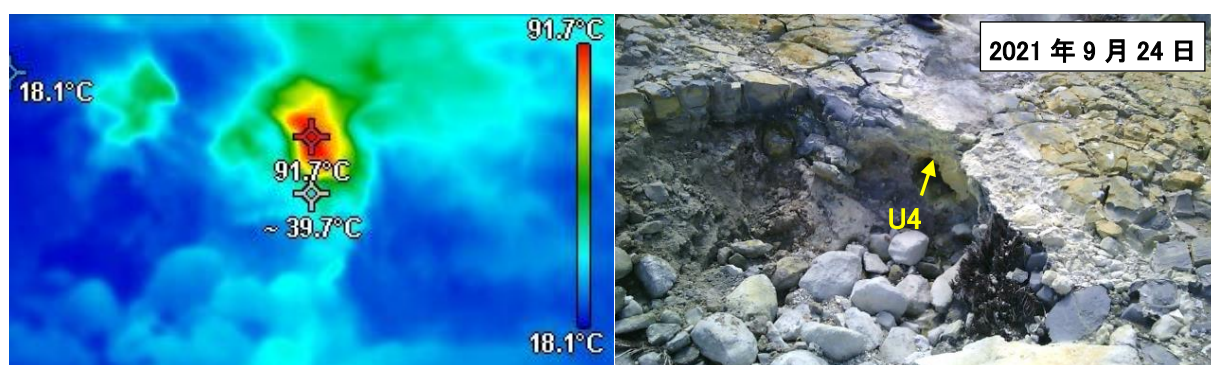


図4 U4の地熱活動

W4の北側に生じた噴気 U4. ガリーの中に横穴が形成され、そこから噴気が生じていた.



図5 硫黄山W4の噴気温度変化.

W4の噴気は降雨によって左右されるも、概ね摂氏95度以上を保っていた。しかし7月2日より急速に噴気温度が低下し、7月8日から豪雨で上流から土砂が流れ混み、噴気が完全に停止してしまった。

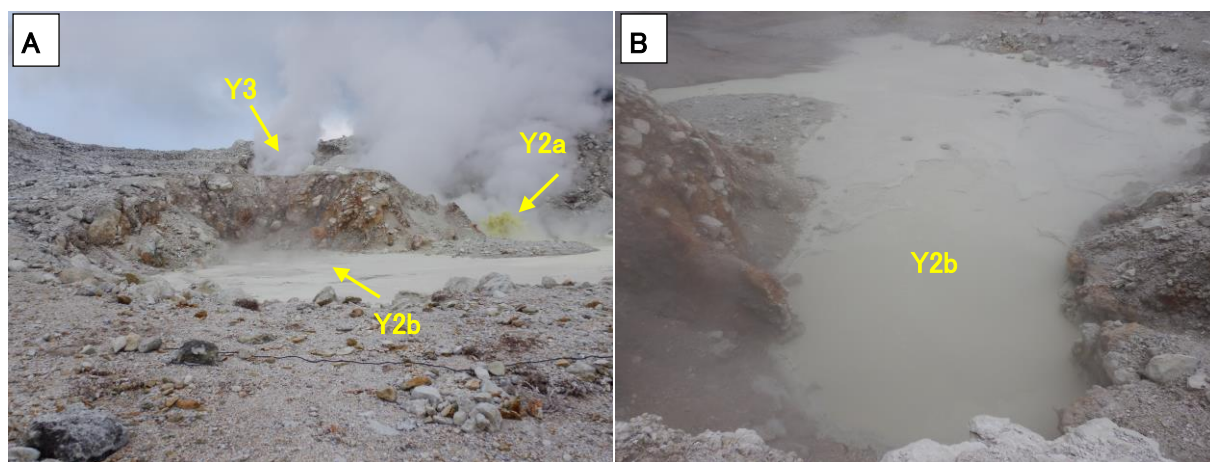
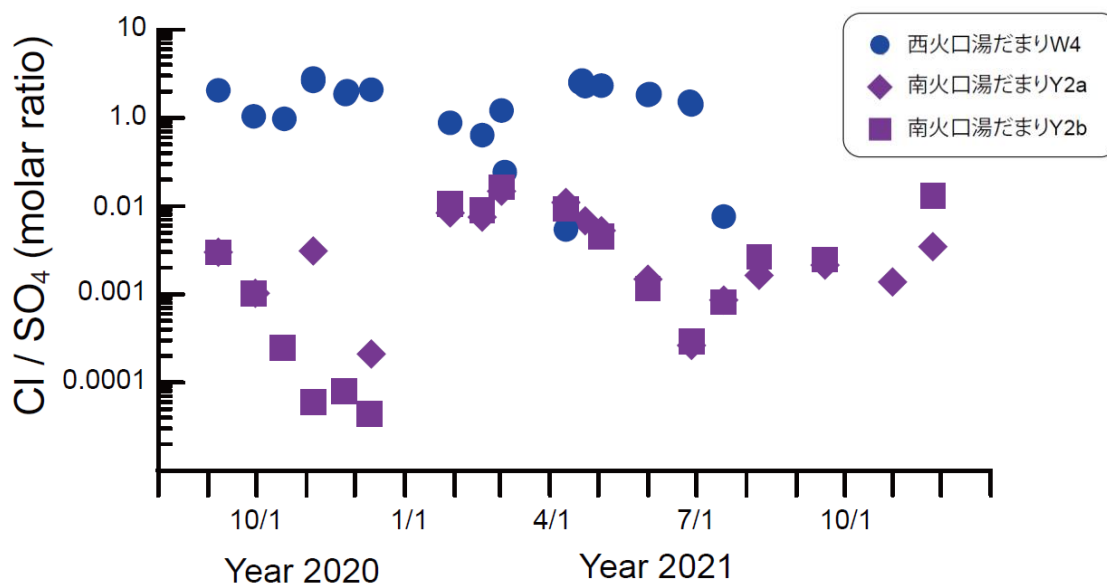


図6 硫黄山南火口での地熱活動（2021年9月24日）

A. Y2a では活発な噴湯が見られ、Y2b では濁った湯だまりが見られた。B. Y2b の湯だまりの水位は、やや高いレベルとなっていた。

図7 西火口湯だまり(W4)と南火口湯だまり(Y2a, Y2b)の Cl/SO₄ 比の経時変動

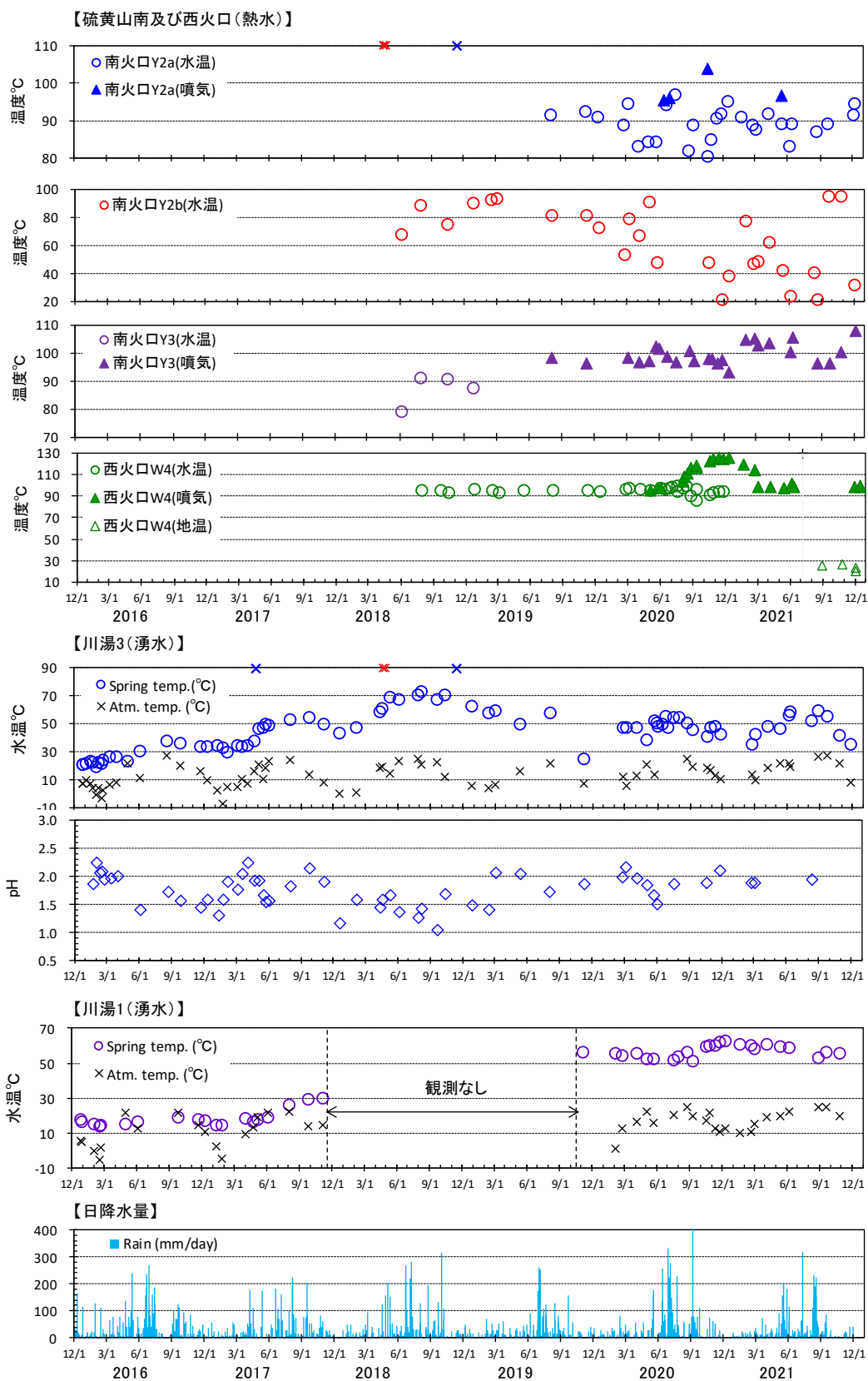


図 8 硫黄山周辺の湯だまり・湧水の測定結果(位置は図 1 参照)

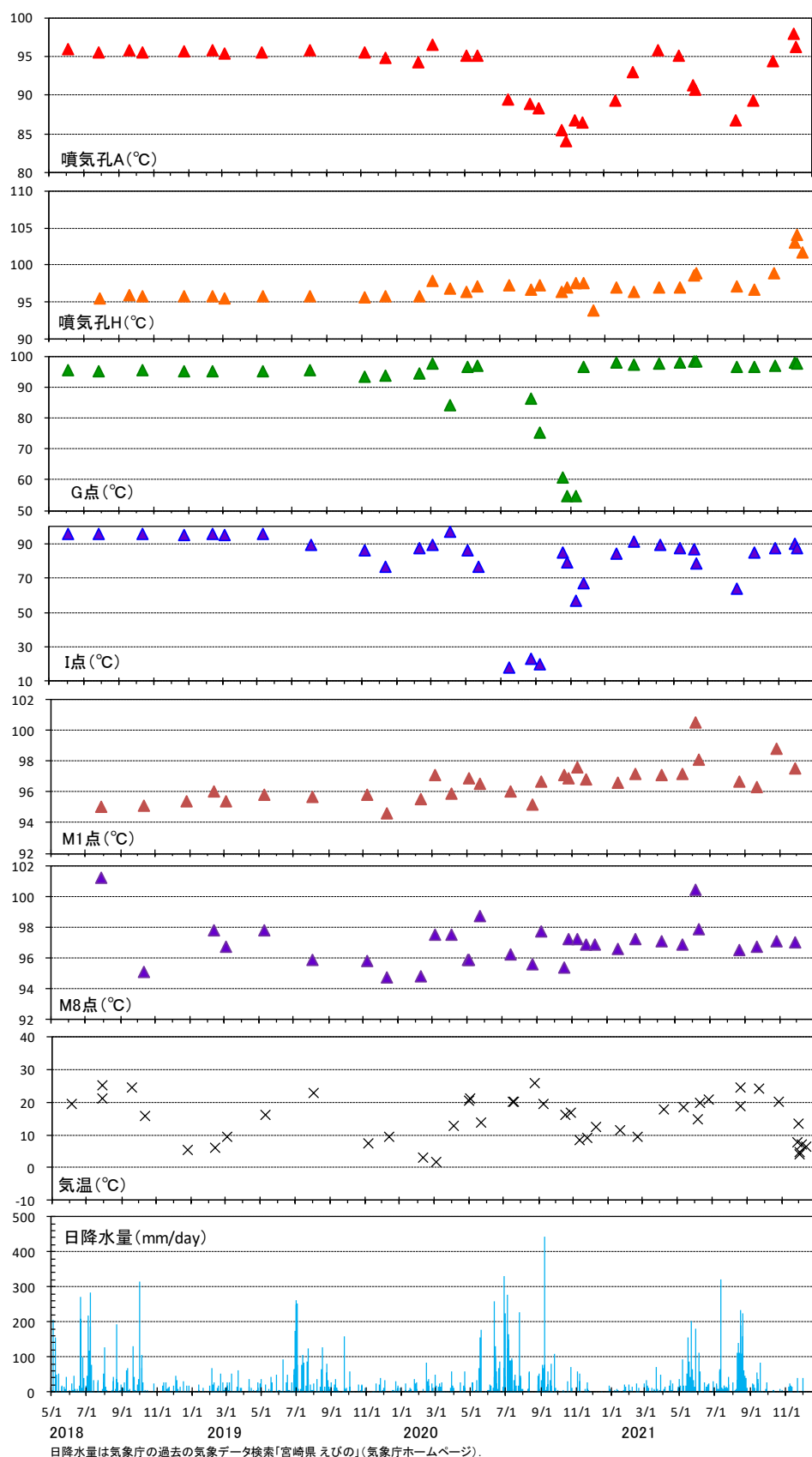


図 9 硫黄山及び硫黄山西噴気帯の噴気温度測定結果(位置は図 1 参照)

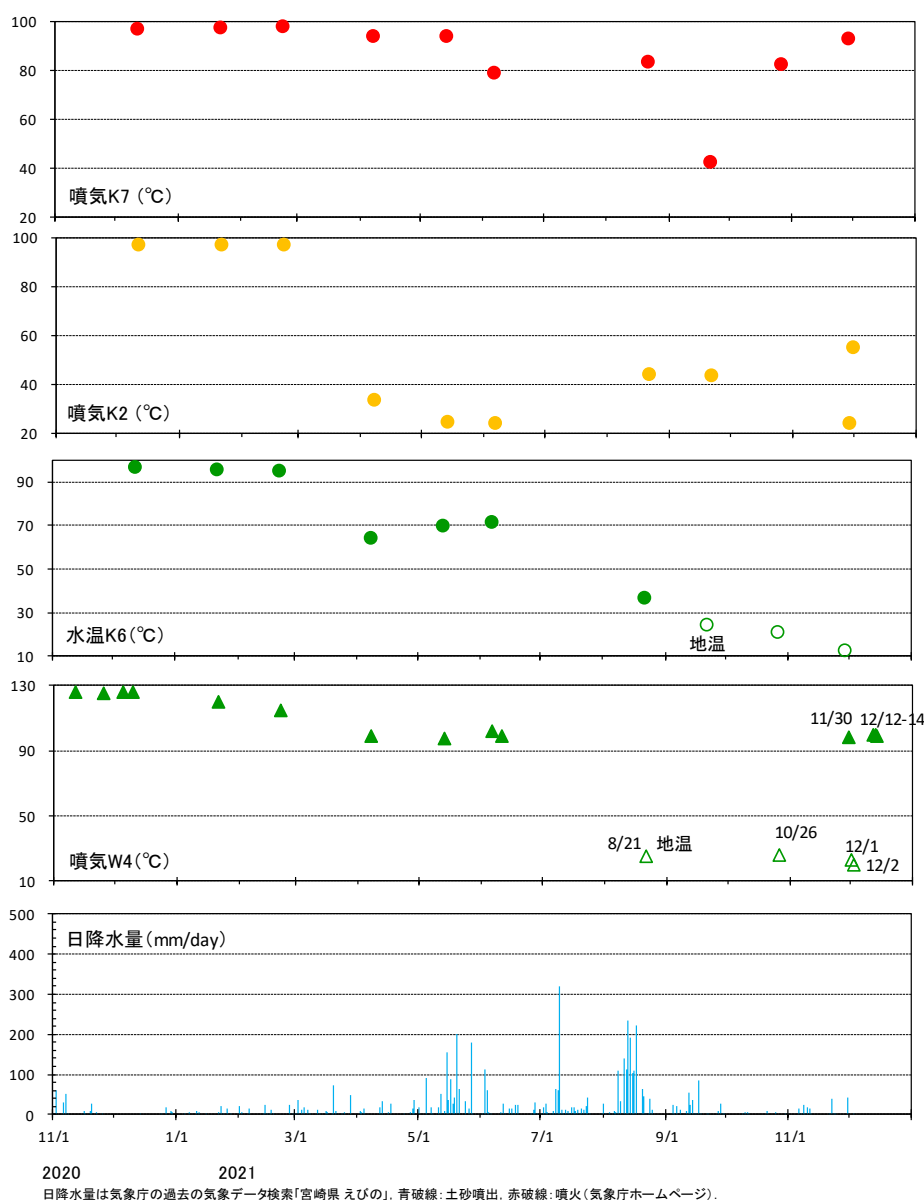
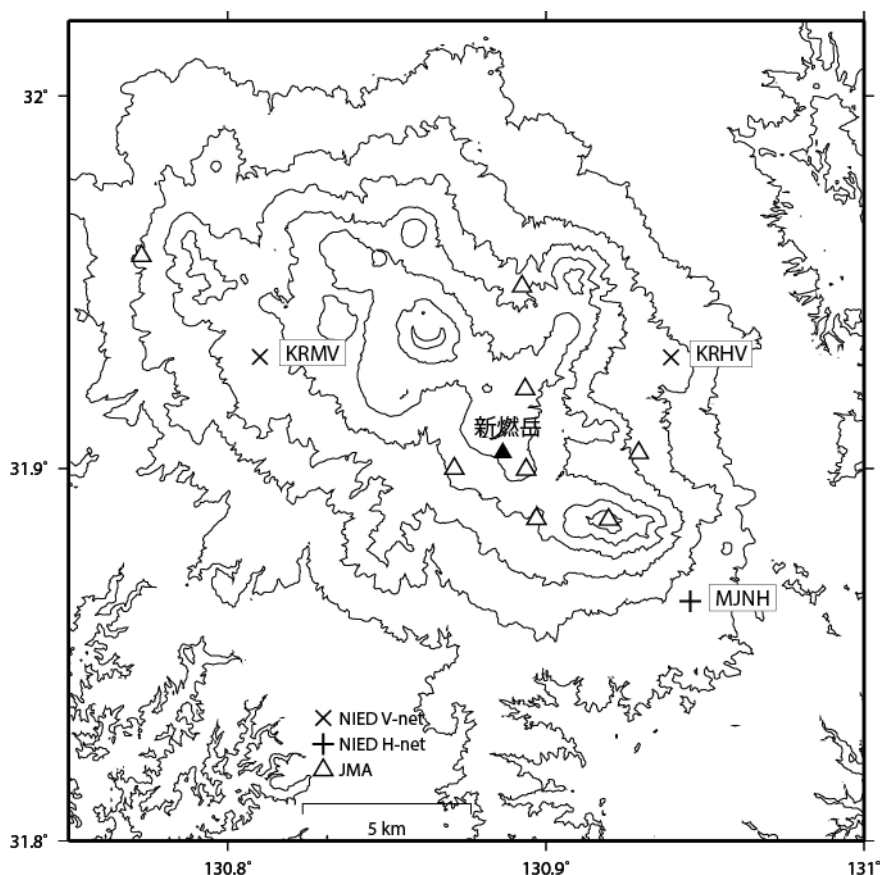


図 10 W4 及び川湯に関する水温・噴気温度測定結果(位置は図 1 参照)

【参考文献】

- 気象庁 (2018) 霧島山の火山活動—2018 年 2 月～2018 年 5 月 31 日—. 火山噴火予知連絡会会報, 130, 213-284.
- 田島靖久・中田節也・長井雅史・前野 深・渡邊篤志 (2019) 霧島火山群, えびの高原硫黄山の 2018 年 4 月の小噴火. 火山, 64, 147-151.
- 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.
- 長井雅史・田島靖久・前野 深・中田節也・古園俊男・渡邊篤志 (2018) 霧島火山, えびの高原硫黄山地域 2018 年噴火の噴出物. 日本火山学会講演予稿集, 2018 年度秋季大会, A1-06.
- Muramatsu, D., Matsushima, T., Ichihara, M. (2021) Reconstructing surface eruptive sequence of 2018 small phreatic eruption of Iwo-yama volcano, Kirishima Volcanic Complex, Japan, by infrasound cross-correlation analysis. Earth, Planets Space, 73:8.

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

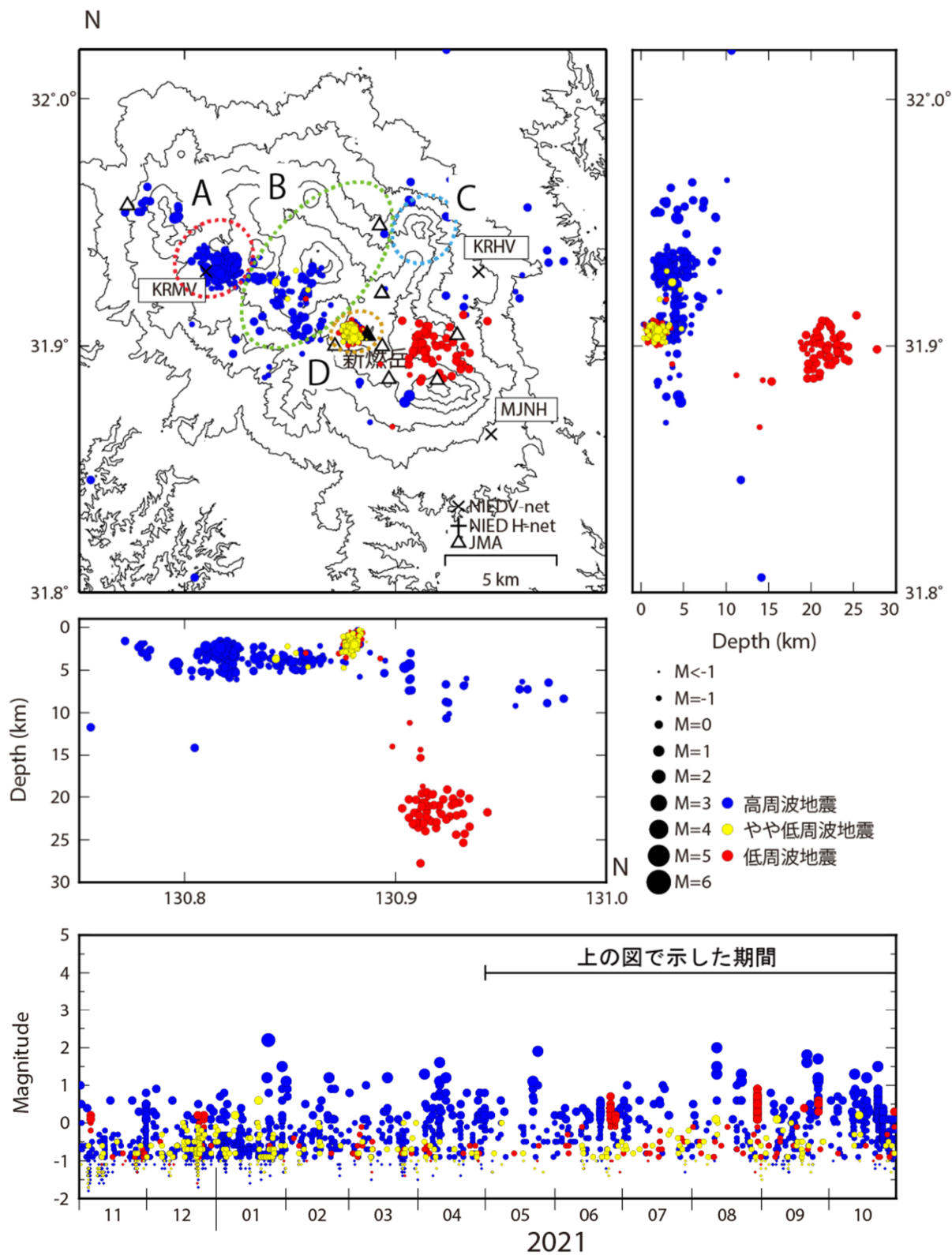
○ 地震活動

2021 年 5 月から 2021 年 10 月 31 日にかけての震源分布を図 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、2020 年末ごろからわずかな伸びがみられたが 2021 年 7 月頃から停滞している。

霧島山の地震活動(2021/5/1- 2021/10/31)



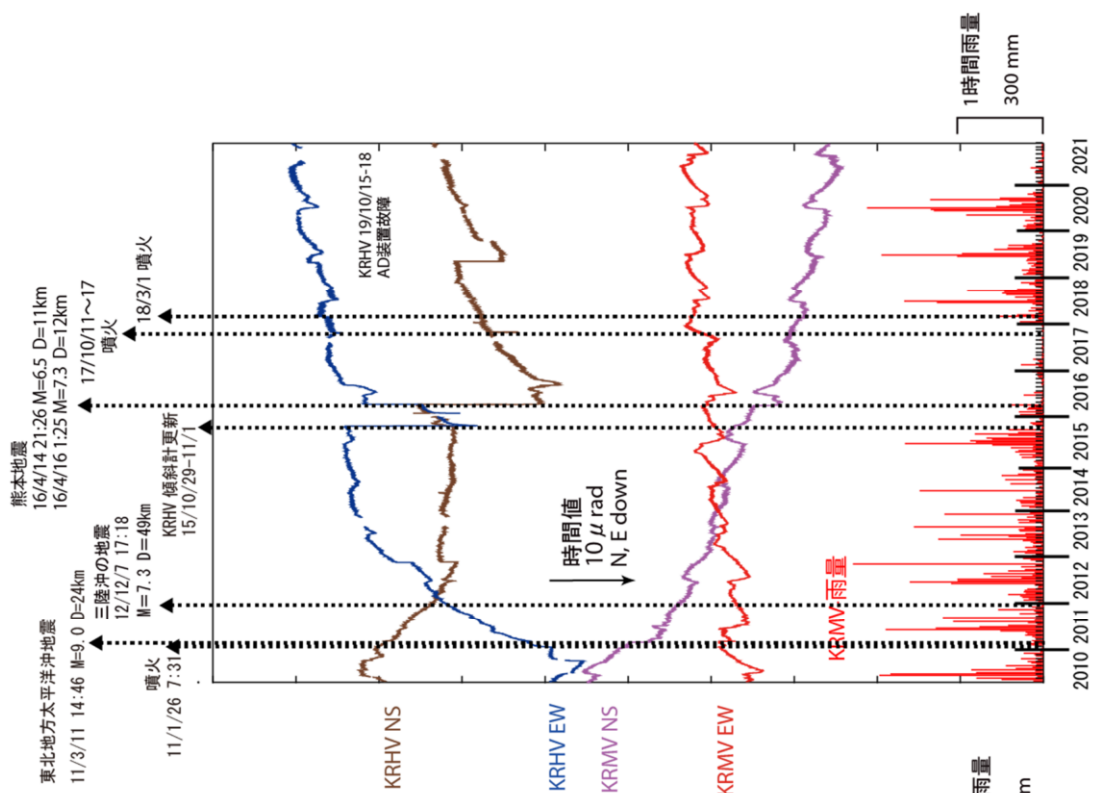
震源決定には、気象庁の観測点（位置は図中）も使用した。

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(2021/5/1 - 2021/10/31)

霧島山

霧島山の傾斜変動 (2010/5/1~2021/11/30)



霧島山の傾斜変動 (2021/6/1~2021/11/30)

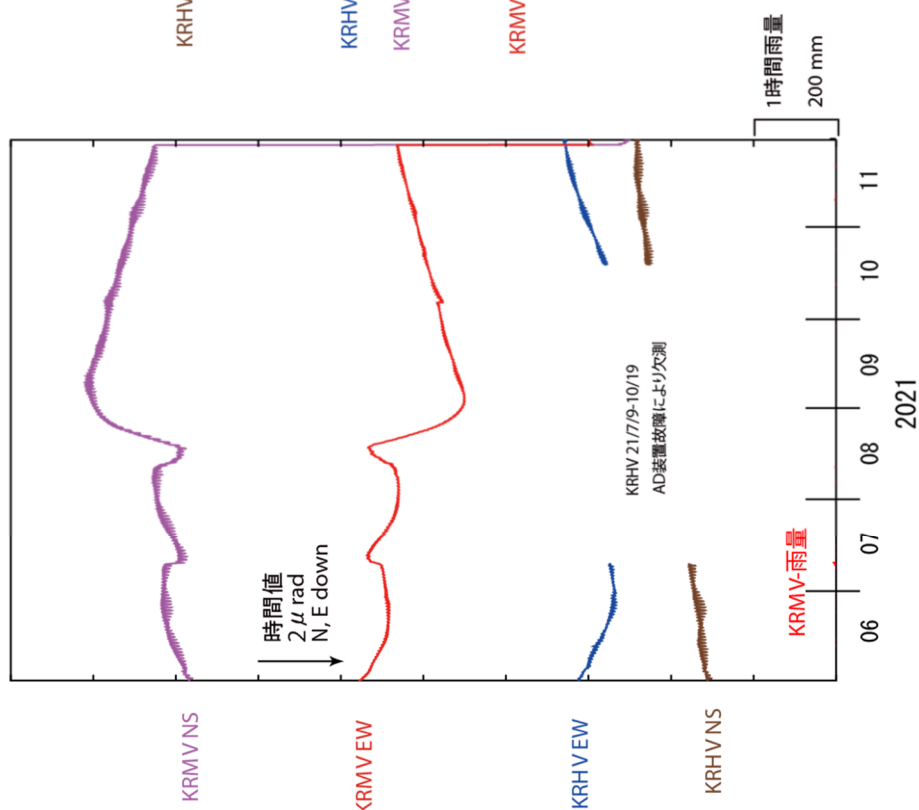
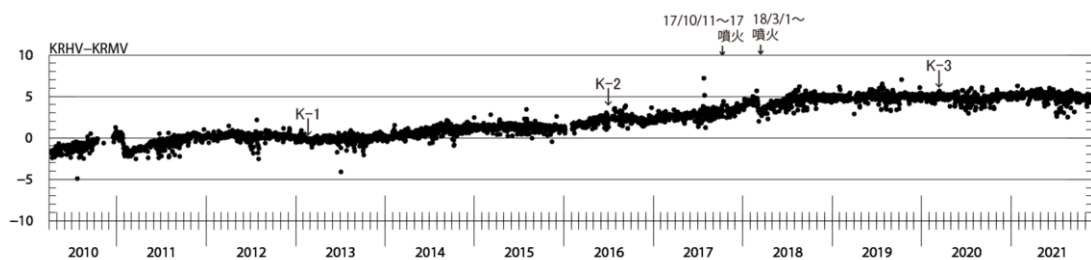


図 2 霧島山の傾斜変動

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
2010/4/1～2021/11/30



2020/10/1-2021/10/31 の地殻変動【大口 (950485) 固定】

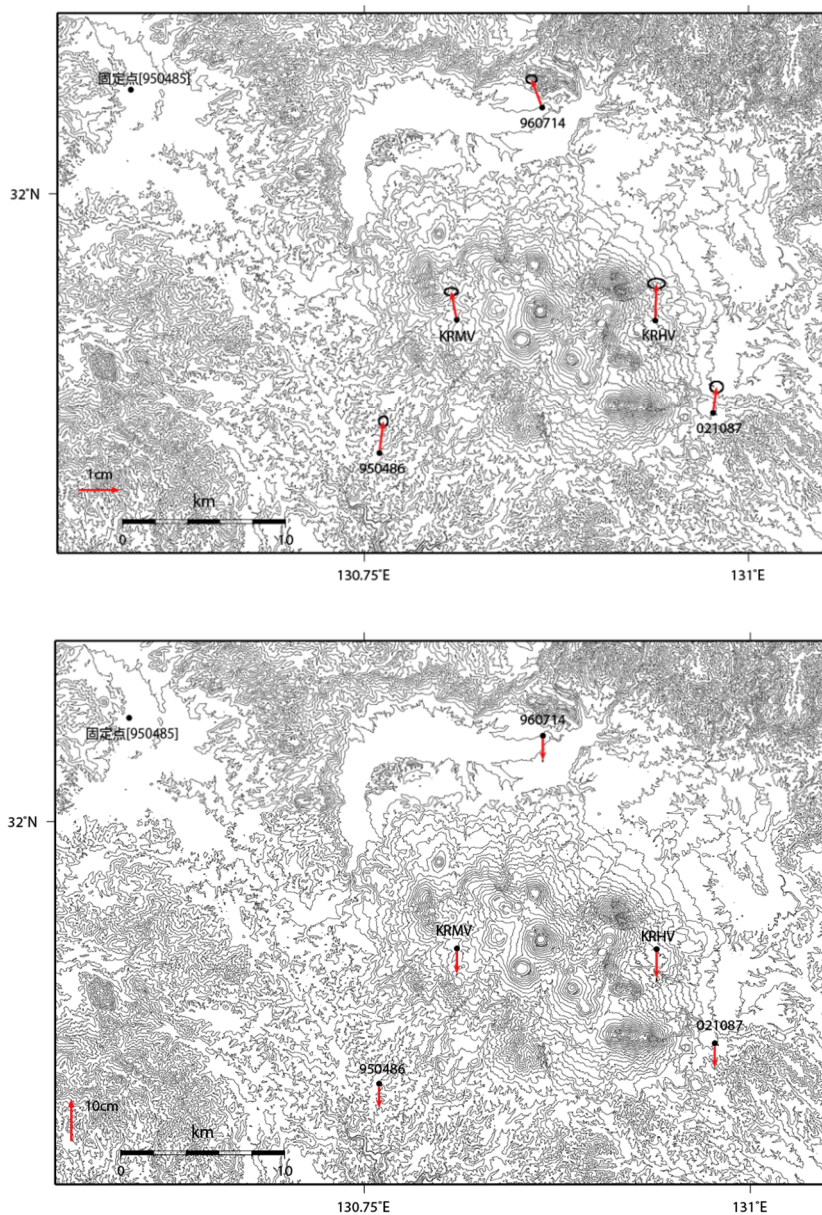


図 3 霧島山 GNSS 解析結果. ※ベクトル図は速報暦使用
(上段：水平成分、下段：上下成分)

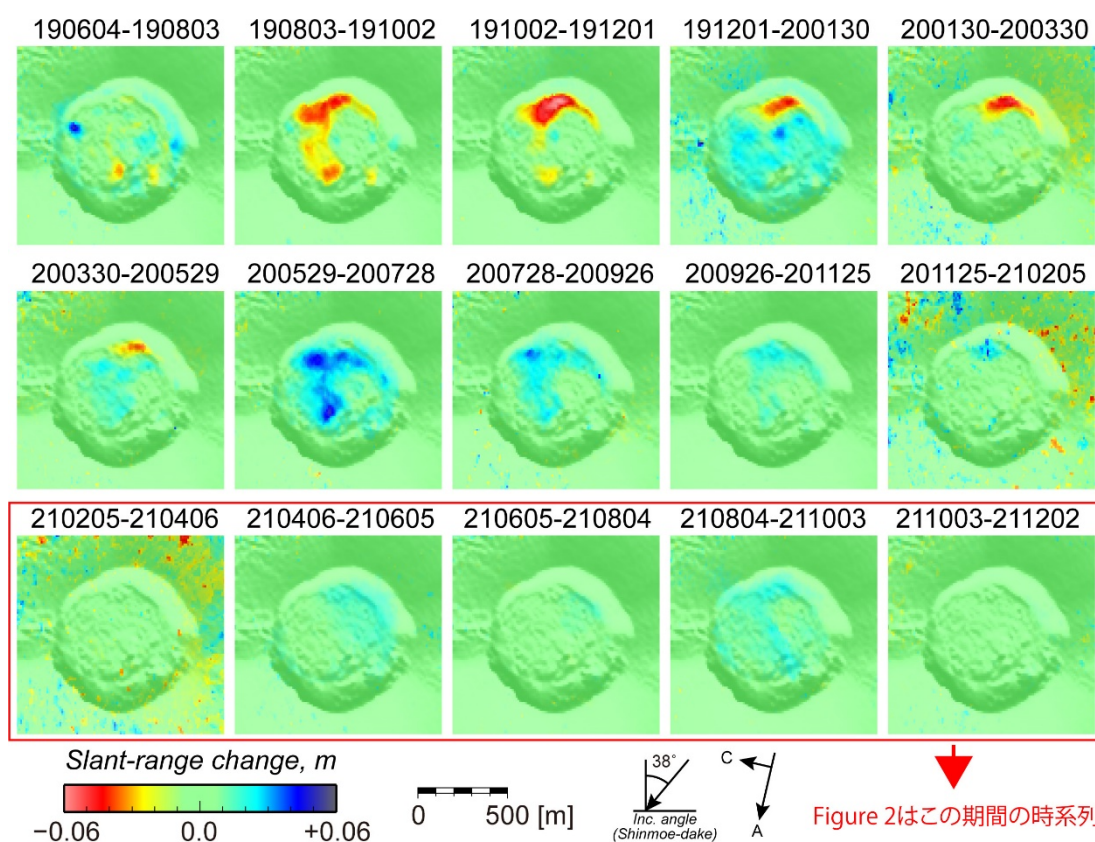
表1 GNSS観測履歴

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	
			2020/11/13	GNSS観測装置更新
	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

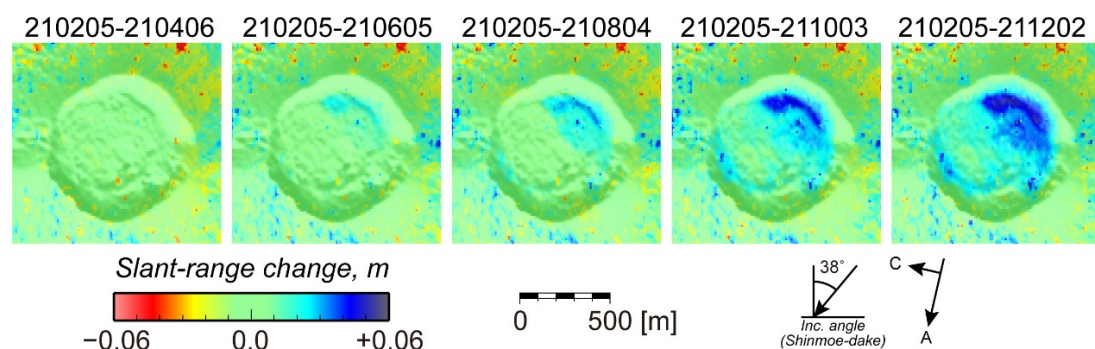
SAR 干渉解析による新燃岳火口内変形

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、得られた 60 日毎のスラントレンジ変化を示す。2018 年噴火の終息以降に見られていた火口内容岩域の衛星-地表間距離(スラントレンジ)短縮変化(隆起もしくは東進)は見られなくなり、スラントレンジ伸長変化(沈降もしくは西進)に転じている。2021 年 2 月 5 日以降においては、火口北縁付近にのみ、スラントレンジ伸長変化が見られる(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 60 日間ごとのスラントレンジ変化分布。

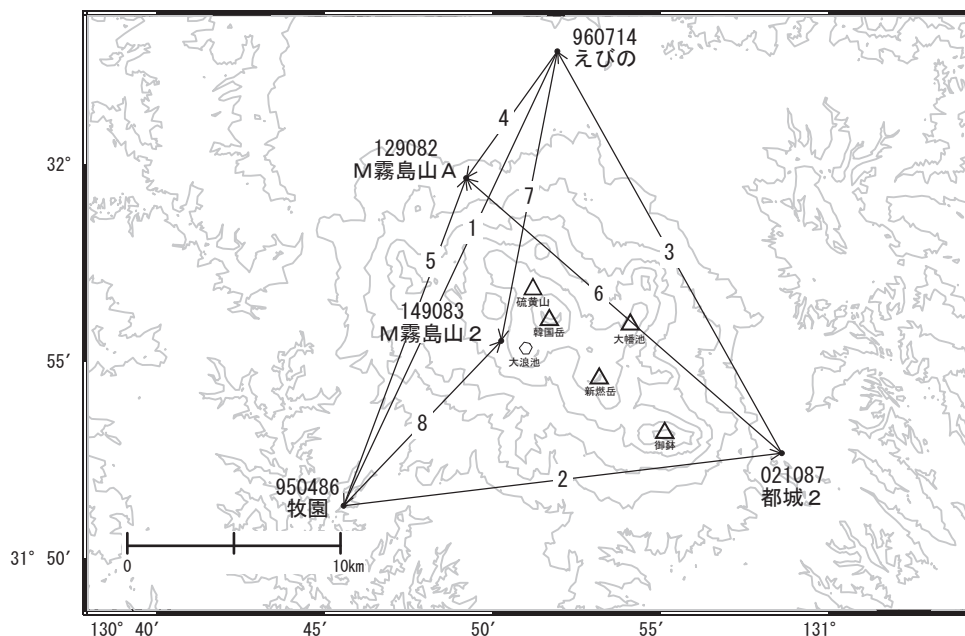


第 2 図. Sentinel-1 から求めた、新燃岳火口周辺の 2021 年 2 月 5 日からのスラントレンジ変化の分布。

霧島山

GNSS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)

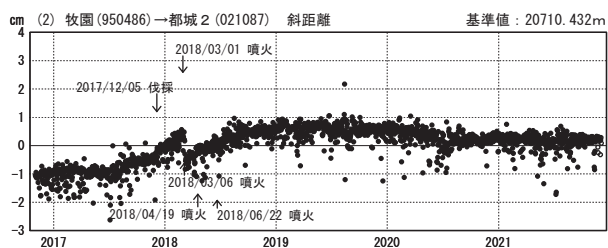
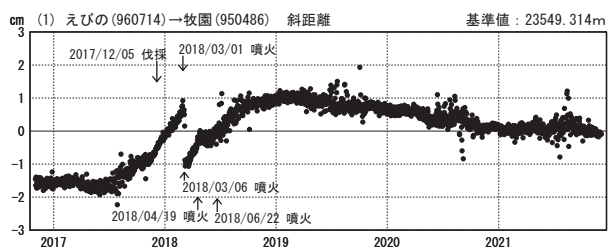


霧島山周辺の各観測局情報

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

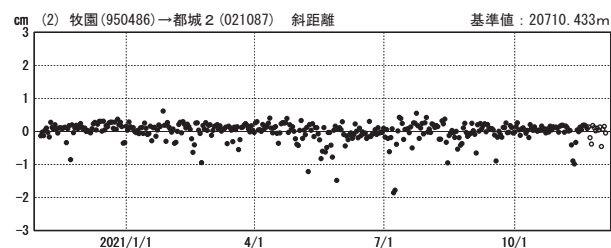
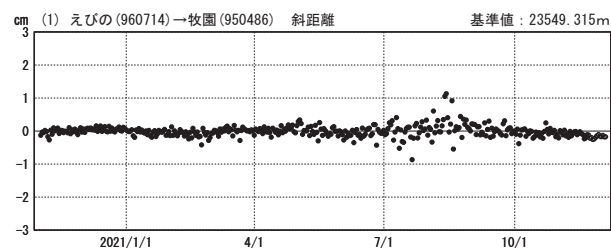
基線変化グラフ (長期)

期間: 2016/11/01~2021/12/03 JST



基線変化グラフ (短期)

期間: 2020/11/01~2021/12/03 JST



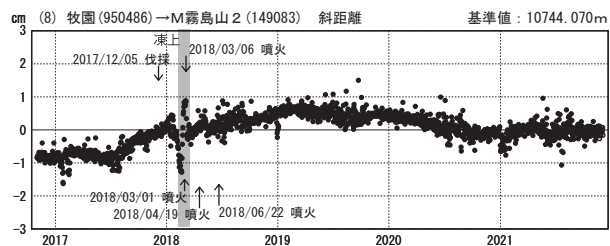
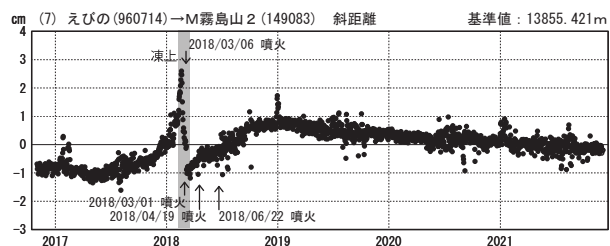
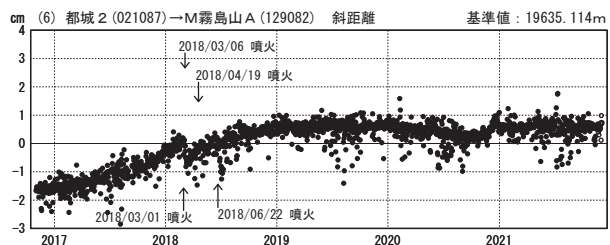
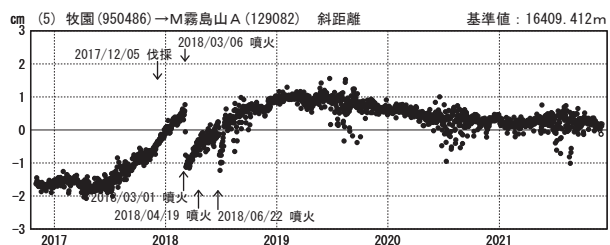
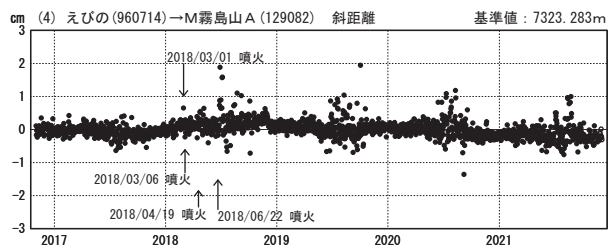
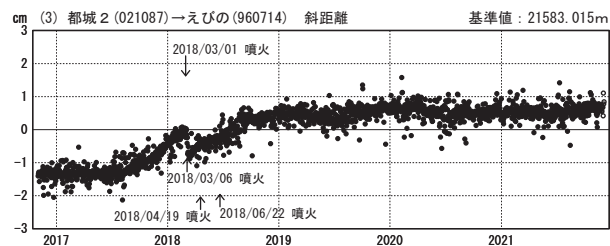
●---[F5:最終解] ○---[R5:速報解]

※[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

国土地理院
霧島山

基線変化グラフ（長期）

期間：2016/11/01～2021/12/03 JST

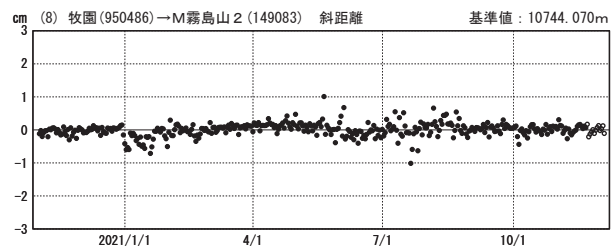
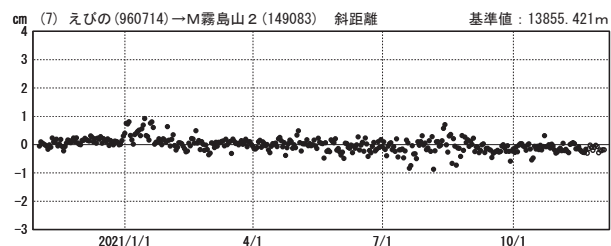
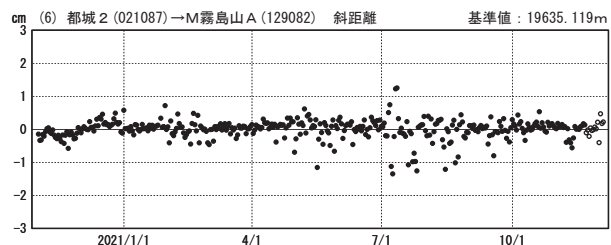
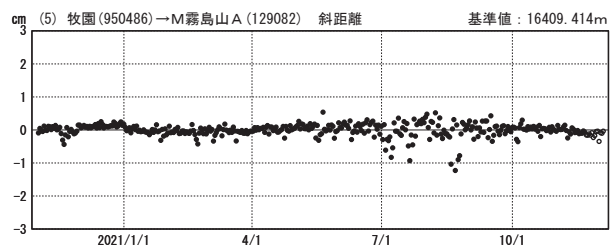
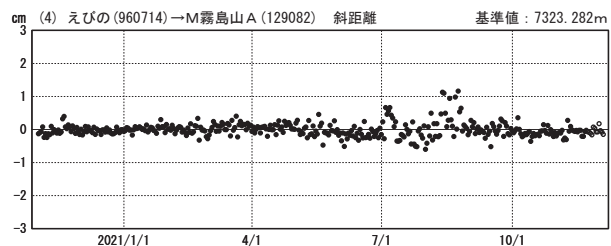
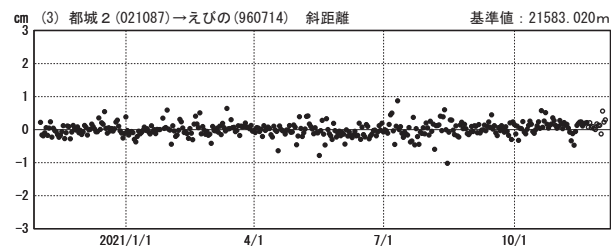


●---[F5:最終解] ○---[R5:速報解]

国土地理院

基線変化グラフ（短期）

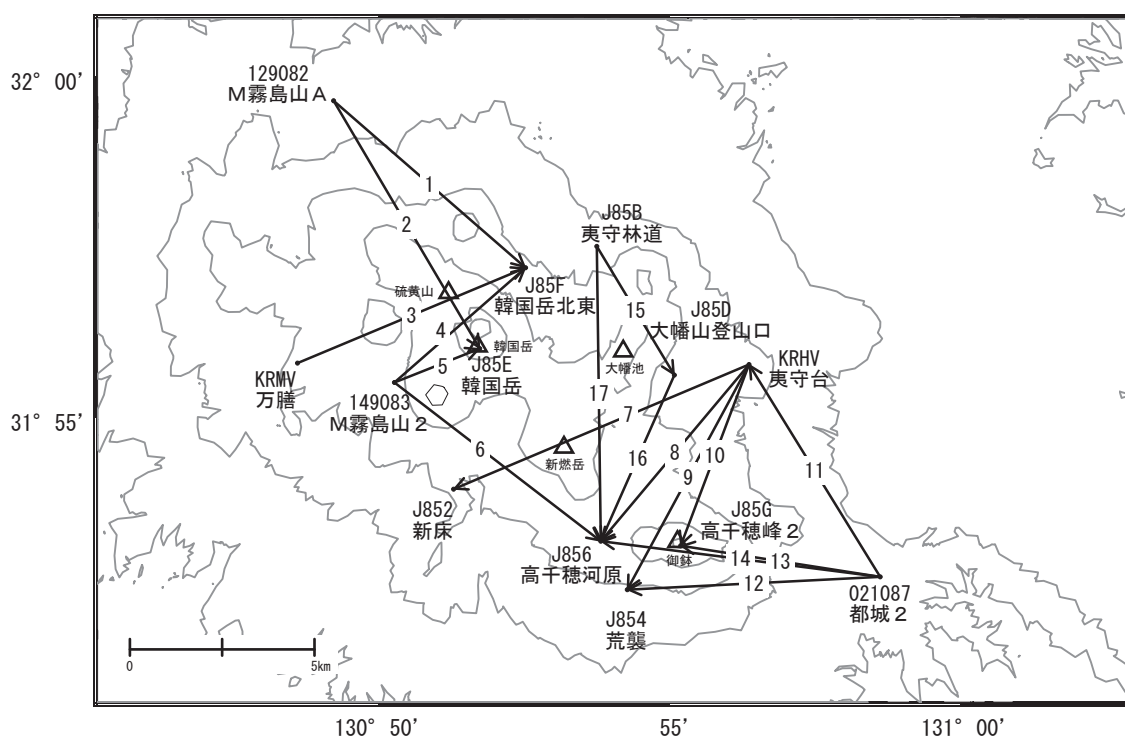
期間：2020/11/01～2021/12/03 JST



※[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

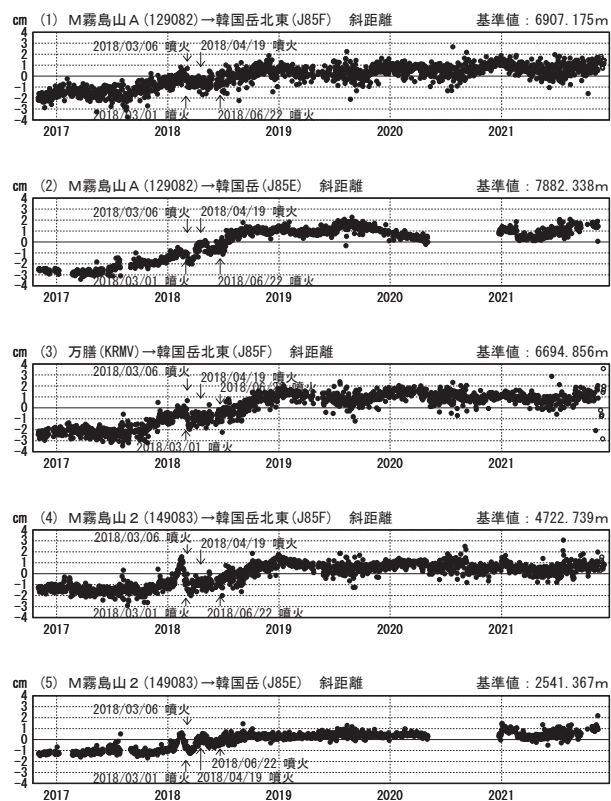
霧島山

霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(2)



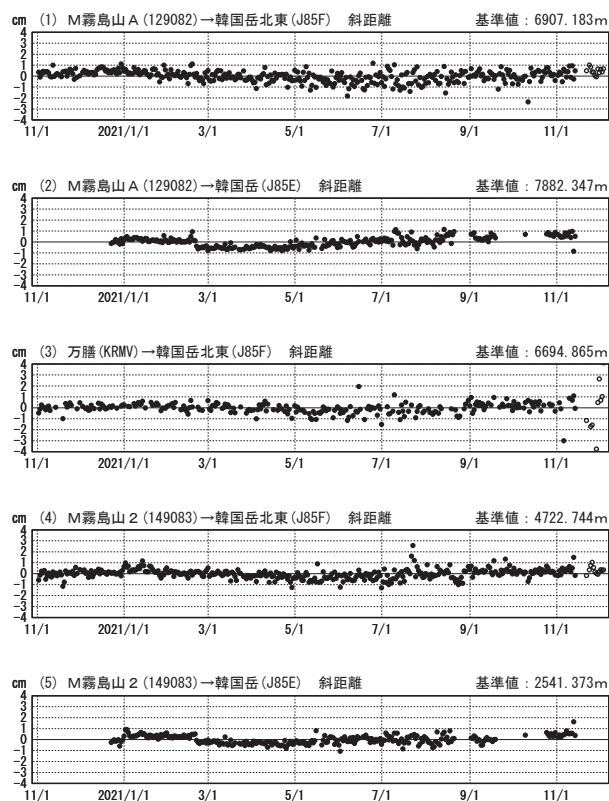
基線変化グラフ(長期)

期間: 2016/11/01~2021/12/03 JST



基線変化グラフ(短期)

期間: 2020/11/01~2021/12/03 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

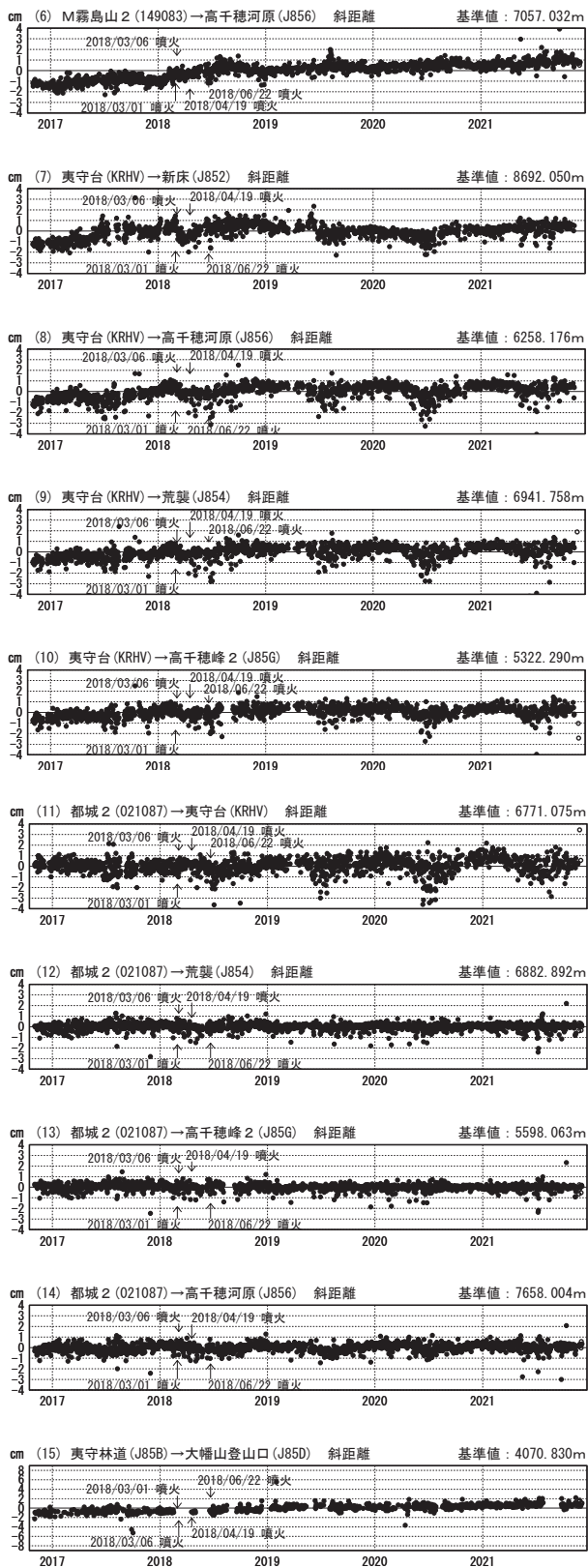
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

※[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

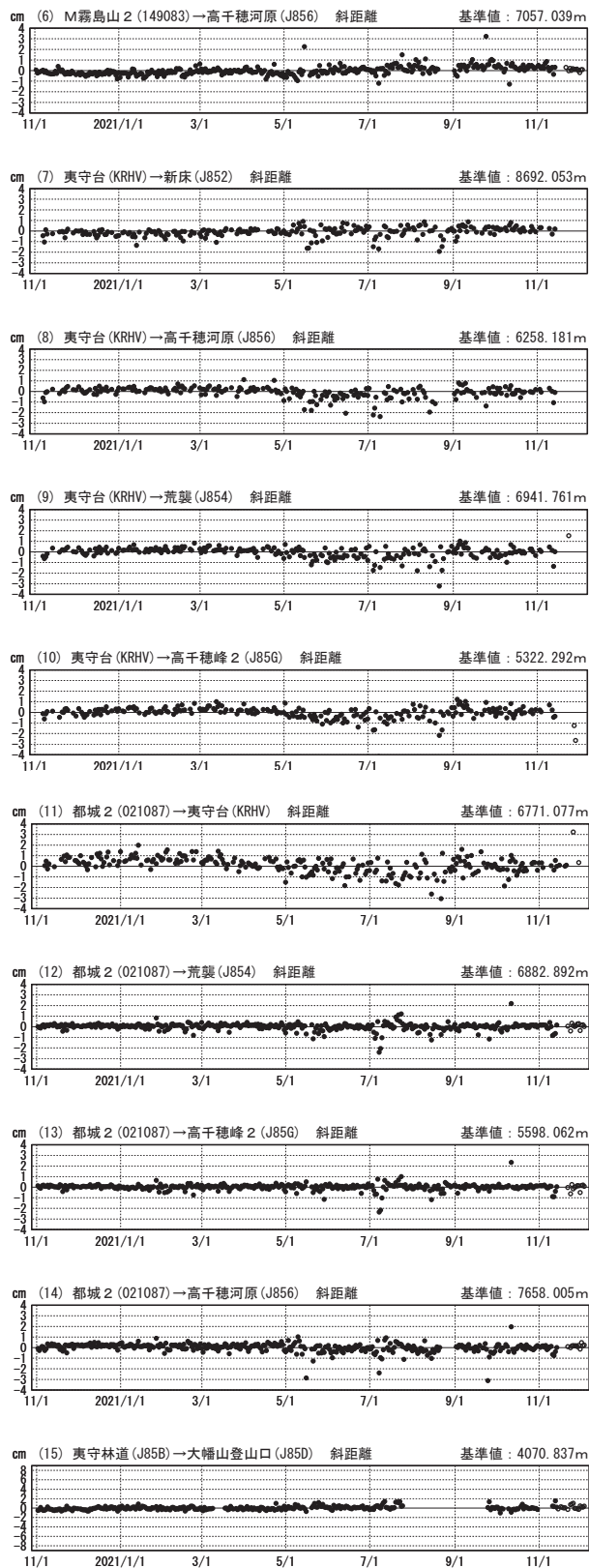
基線変化グラフ（長期）

期間：2016/11/01～2021/12/03 JST



基線変化グラフ（短期）

期間：2020/11/01～2021/12/03 JST



●---[F5:最終解] ○---[R5:速報解]

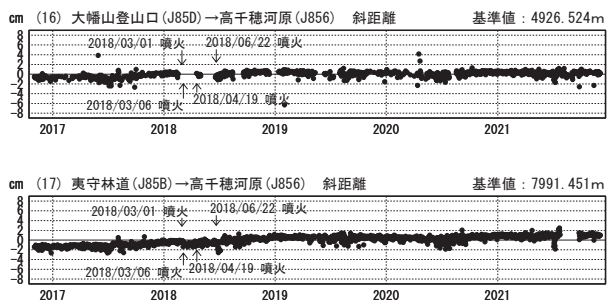
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

※[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

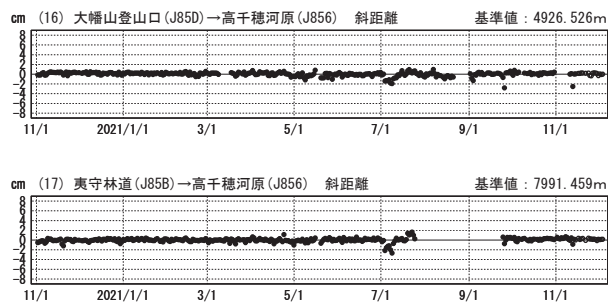
基線変化グラフ（長期）

期間：2016/11/01～2021/12/03 JST



基線変化グラフ（短期）

期間：2020/11/01～2021/12/03 JST



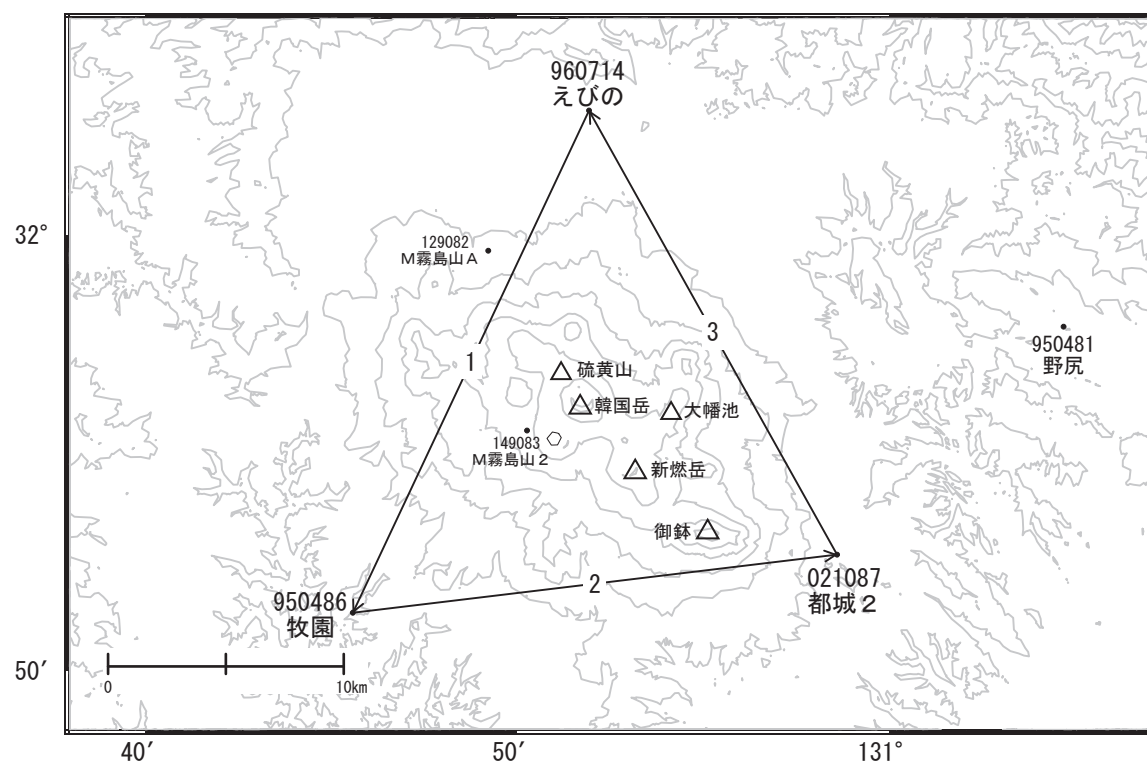
●---[F5:最終解] ○---[R5:速報解]

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

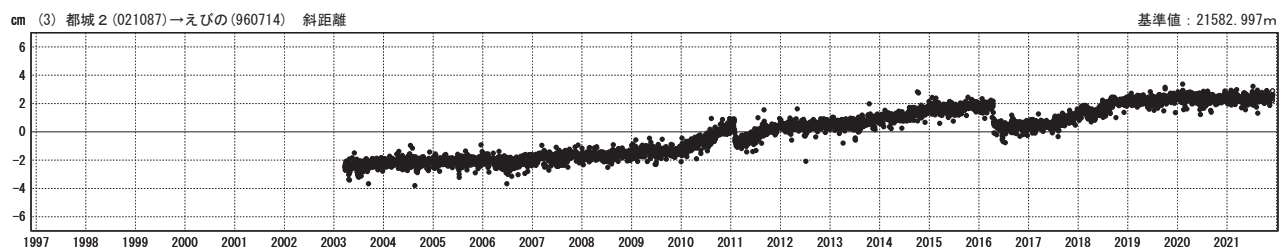
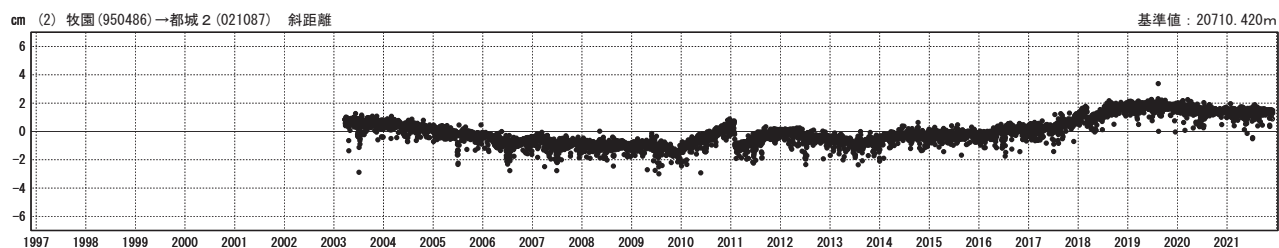
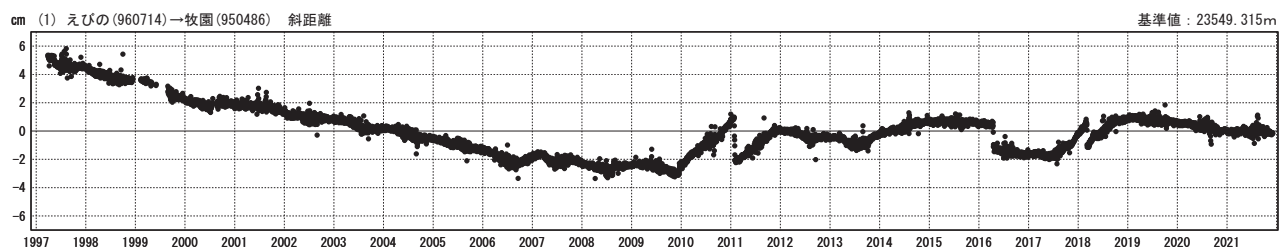
霧島山

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：1997/01/01～2021/12/03 JST



●—[F5:最終解] ○—[R5:速報解]

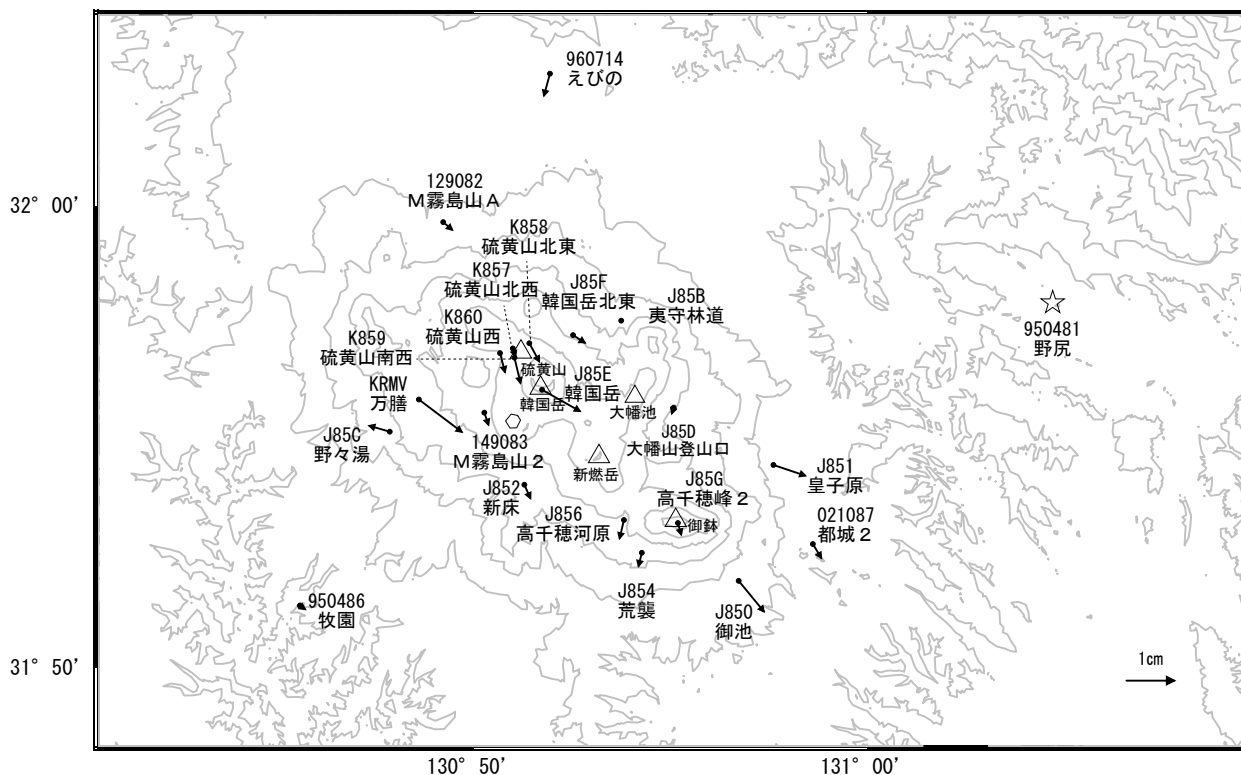
国土地理院

※[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

霧島山周辺の地殻変動(水平:3か月)

基準期間:2021/08/04~2021/08/14[F5:最終解]
比較期間:2021/10/28~2021/11/06[F5:最終解]

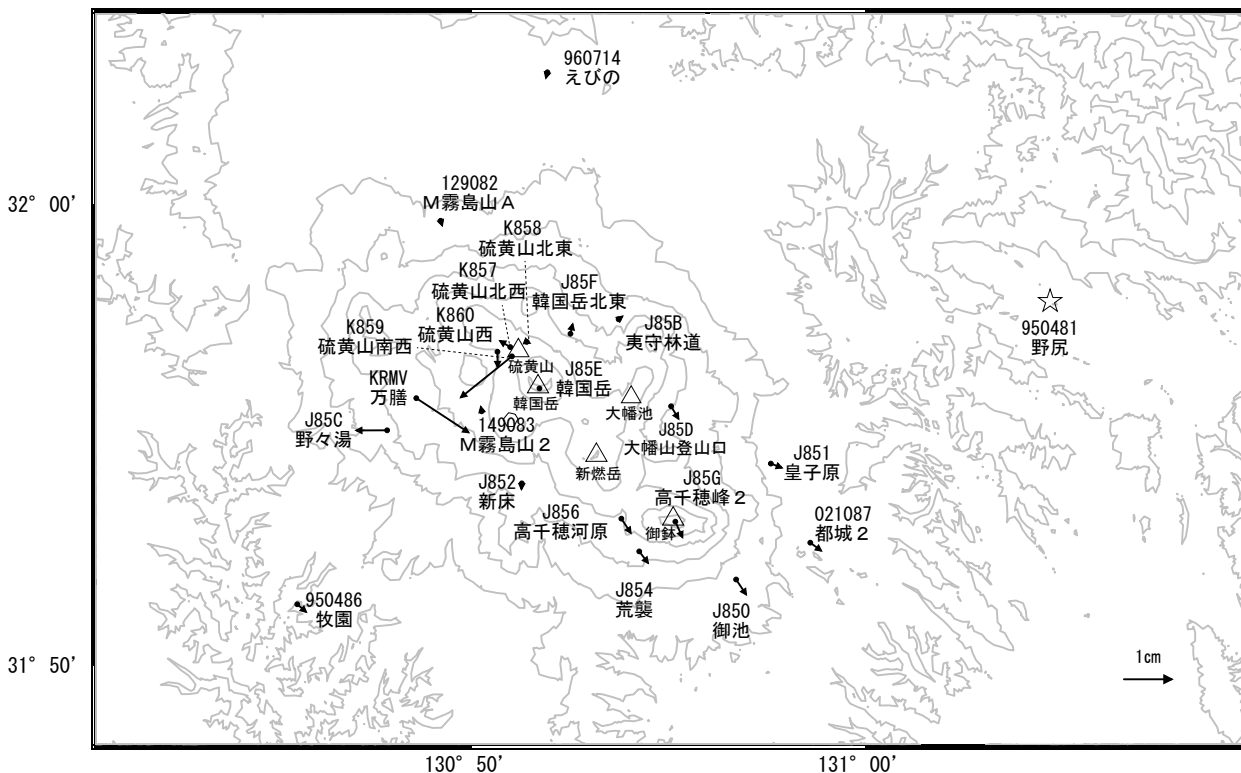


☆ 固定局:野尻(950481)

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:2020/11/04~2020/11/14[F5:最終解]
比較期間:2021/10/28~2021/11/06[F5:最終解]



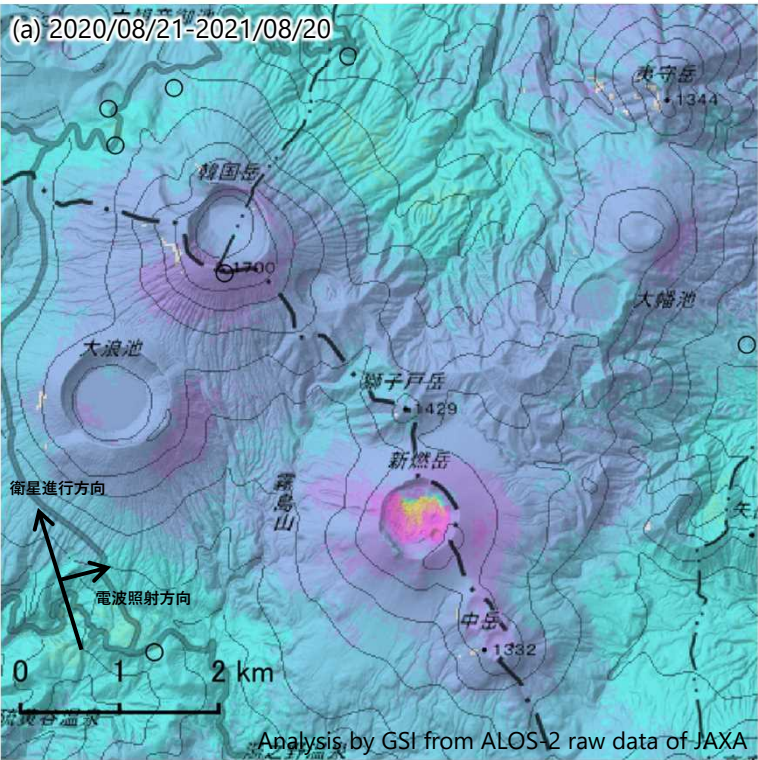
☆ 固定局:野尻(950481)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

霧島山

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。

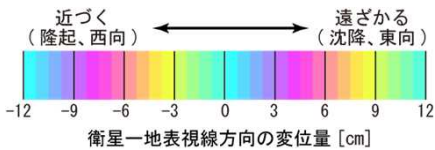


背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

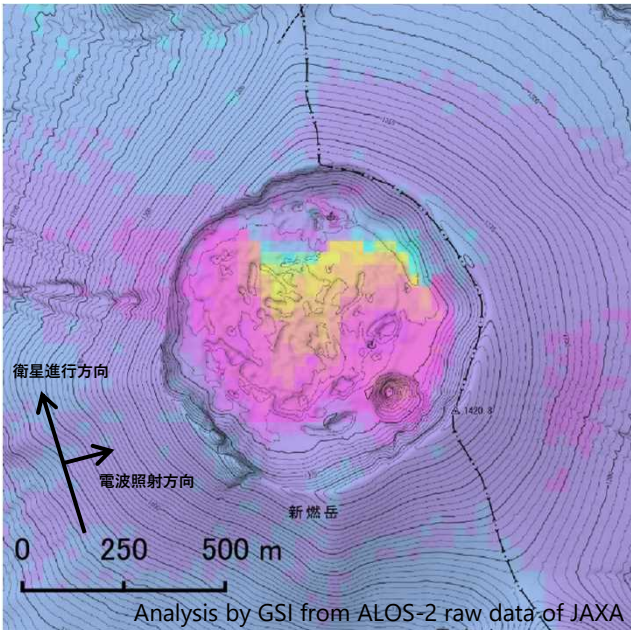
	(a)
衛星名	ALOS-2
観測日時	2020/08/21 2021/08/20 0:11頃 (364日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右(東)
観測モード*	H-H
入射角	32.1°
偏波	HH
垂直基線長	+ 107m

* H：高分解能(6m)モード

○ 国土地理院以外のGNSS観測点

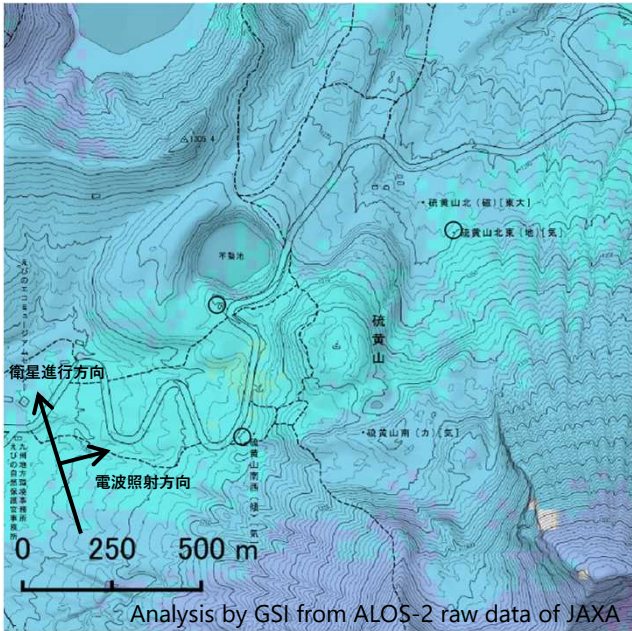


【新燃岳の拡大図】



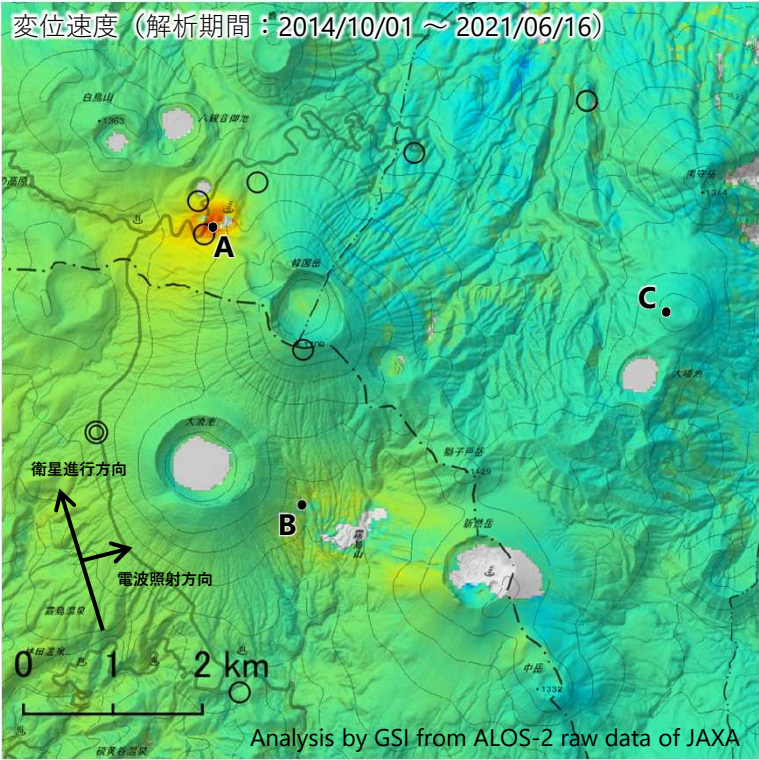
背景：地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

【硫黄山の拡大図】



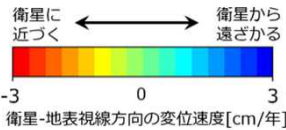
霧島山の干渉SAR時系列解析結果（北行）

硫黄山の地点A周辺に、衛星に近づく変動が見られます。

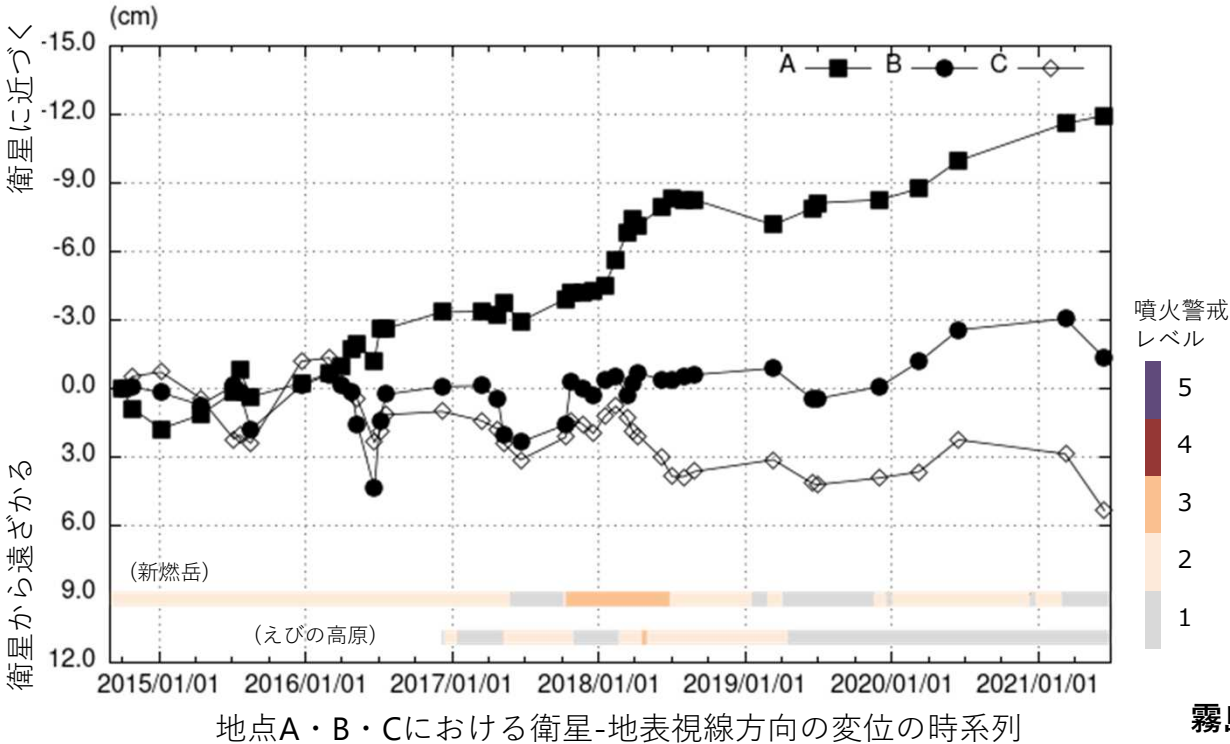


衛星名	ALOS-2
観測期間	2014/10/01 ～ 2021/06/16 (2450日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右(東)
観測モード*	U
入射角	42.9°
偏波	HH
データ数	41
干渉ペア数	158

* 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



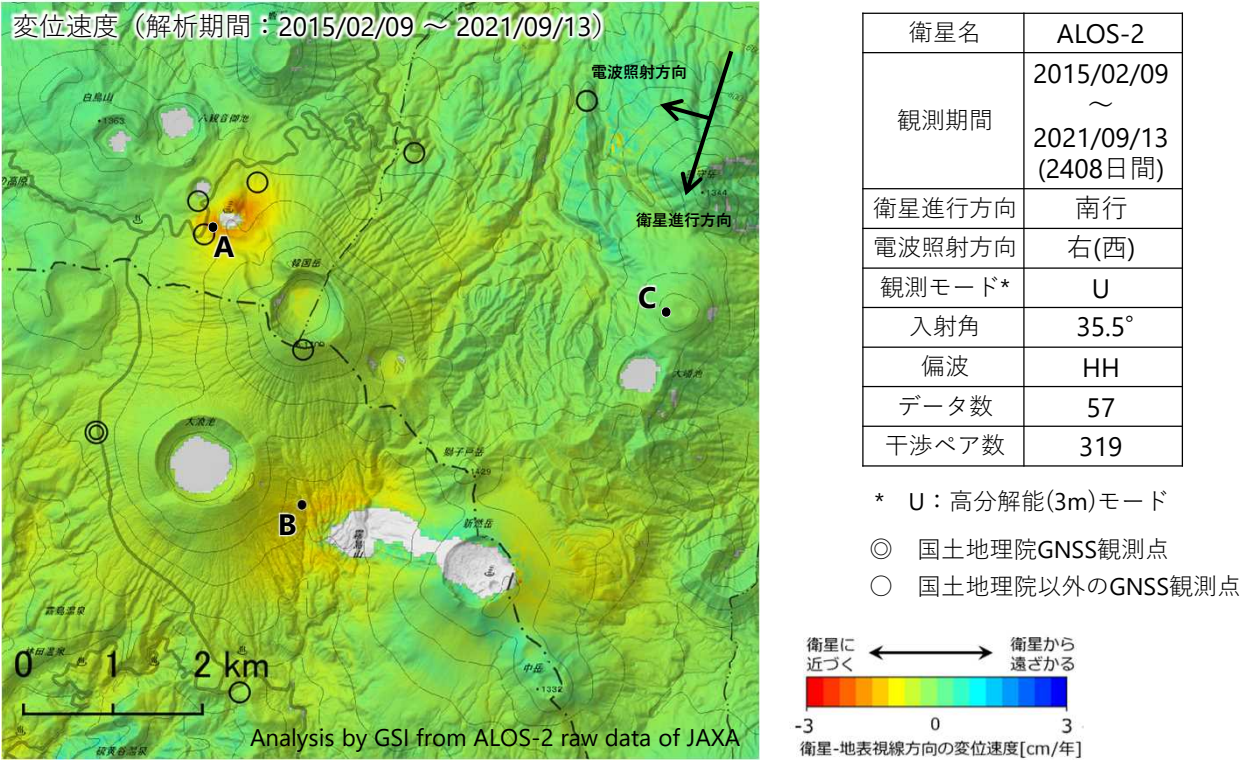
背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図 ※参照点は電子基準点「牧園」付近
干渉SAR時系列解析手法：SBAS法



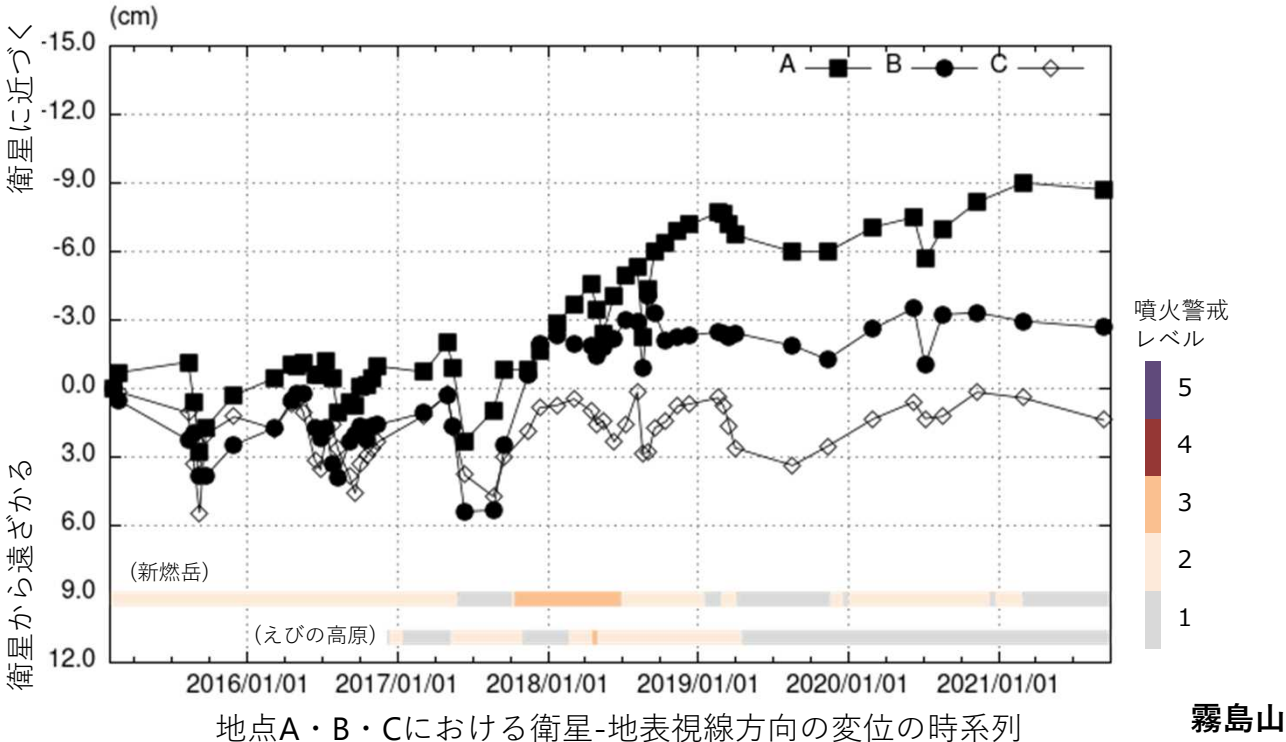
本解析で使用了データの一部分は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

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。



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

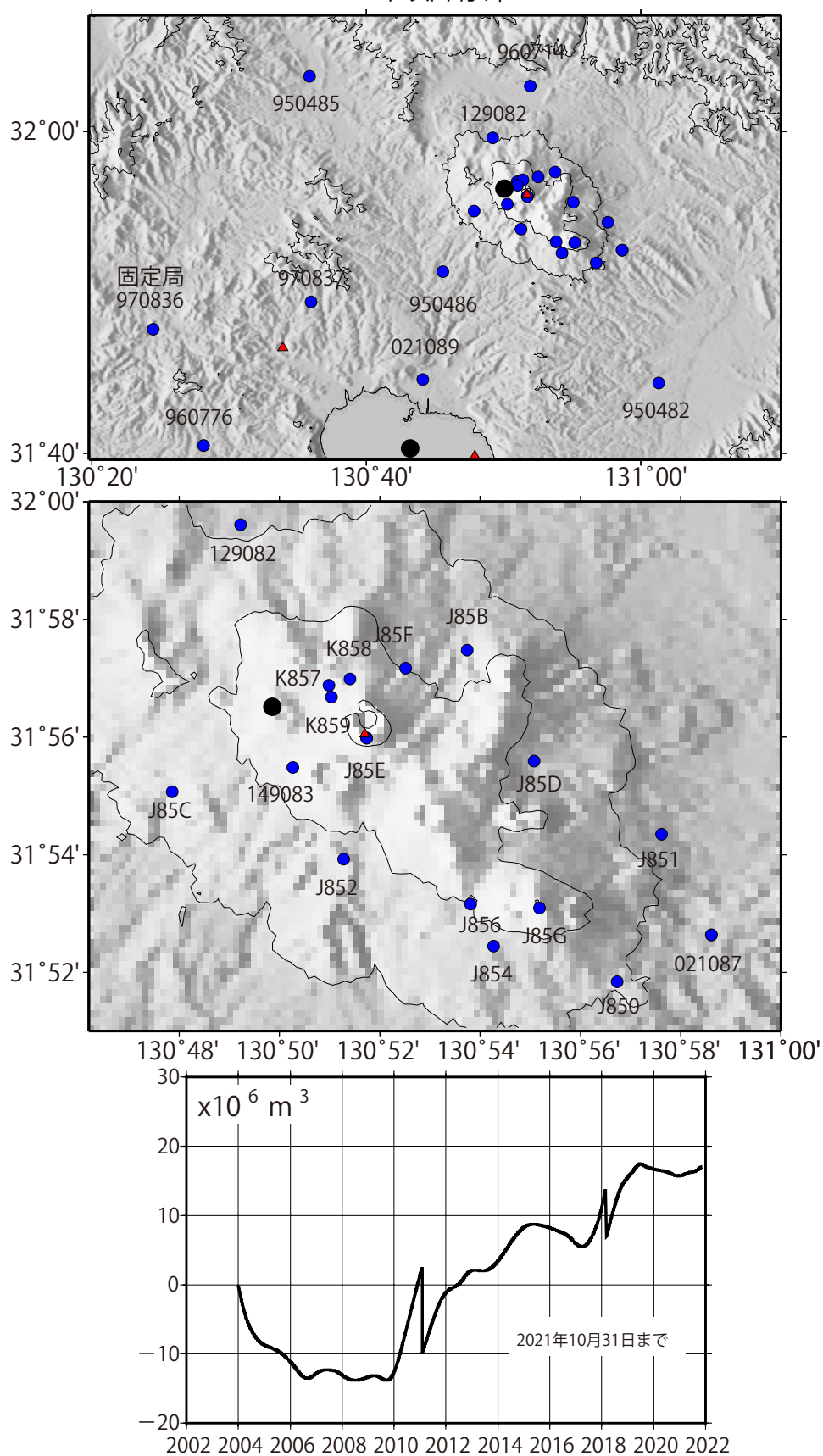


本解析で使用了データの一部分は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

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

2021年以降停滞

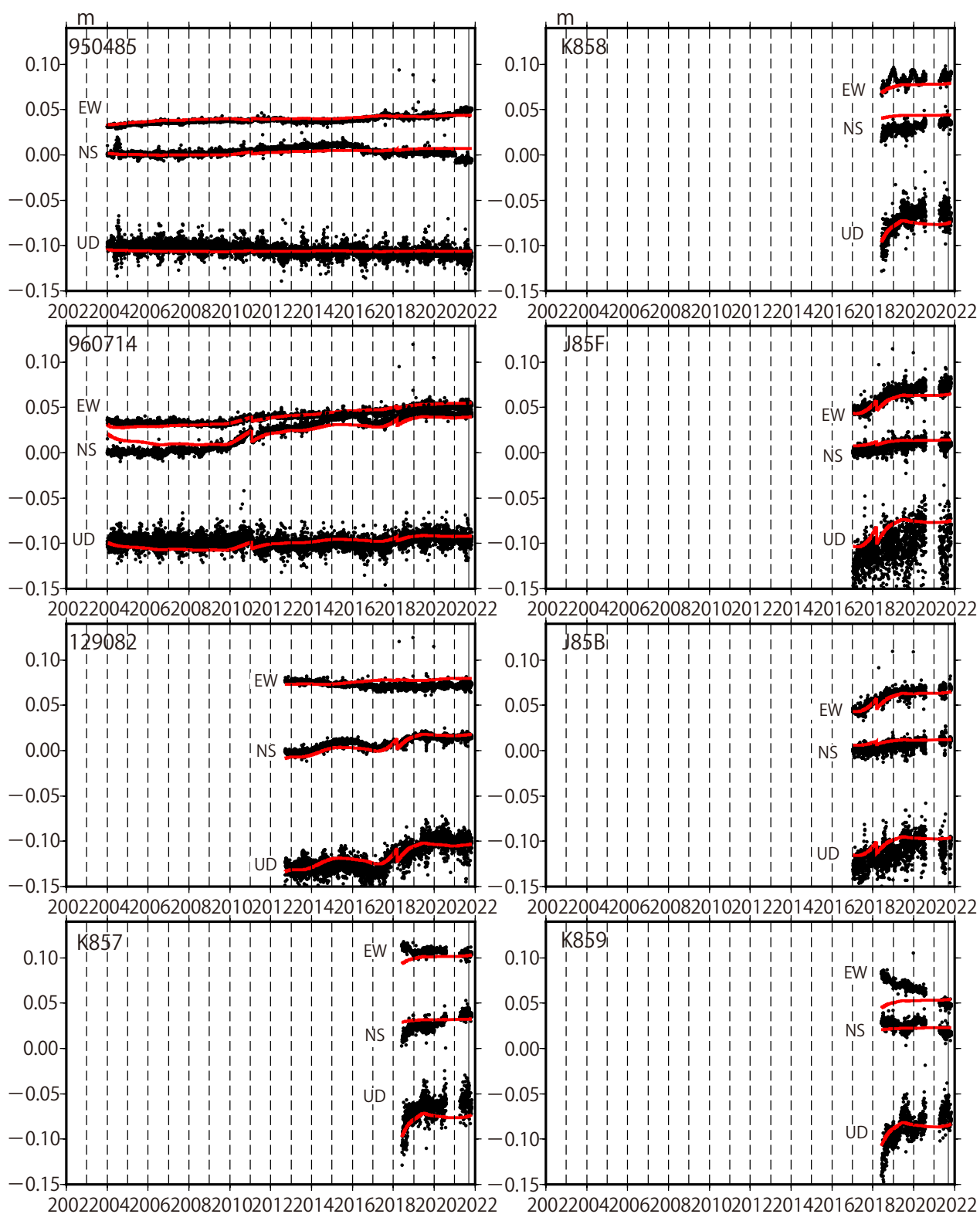


茂木ソース: 経度130.831, 緯度31.942, 深さ7.6km

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



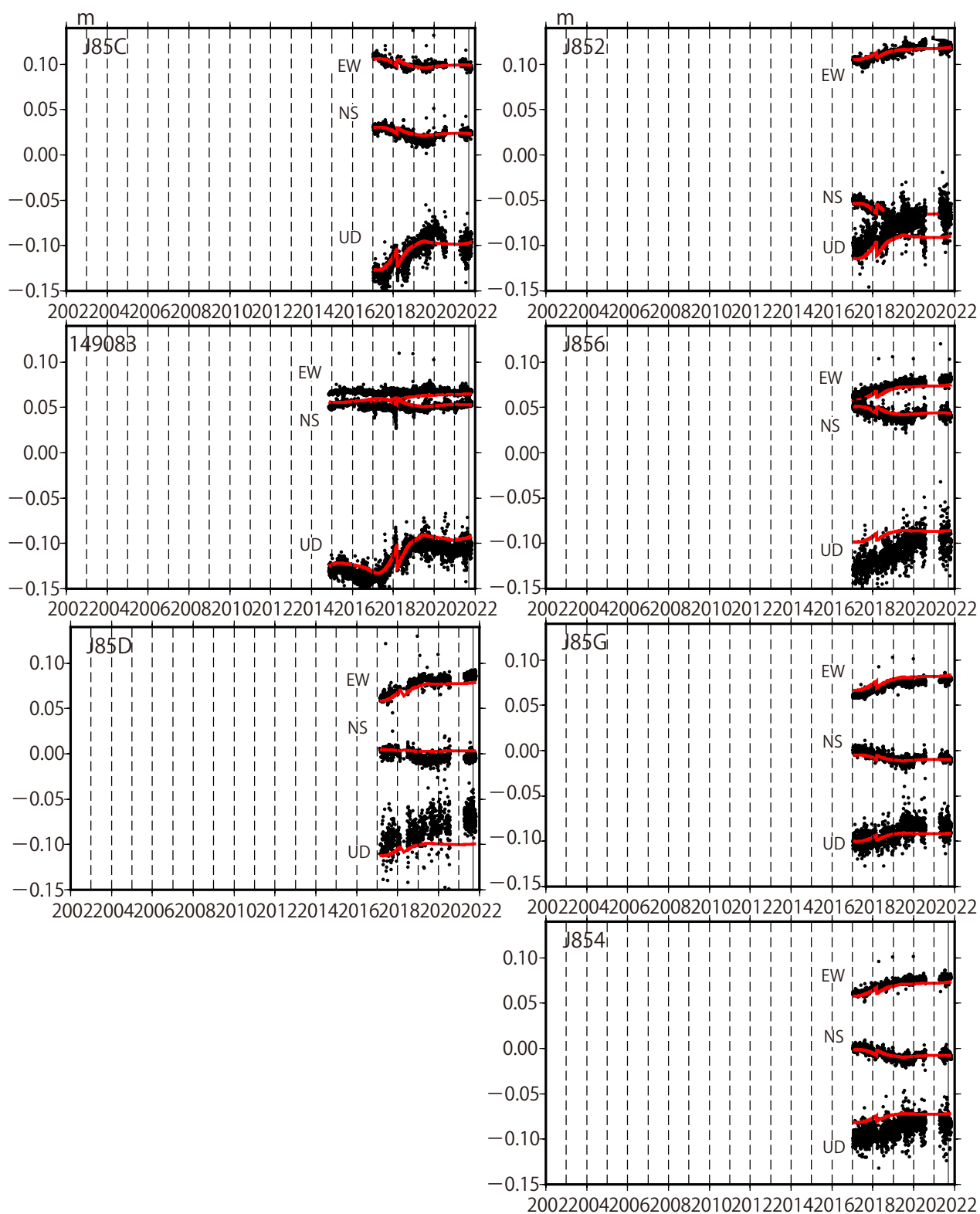
固定局970836.EW,NS,UDは東西、南北、上下変動.周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

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



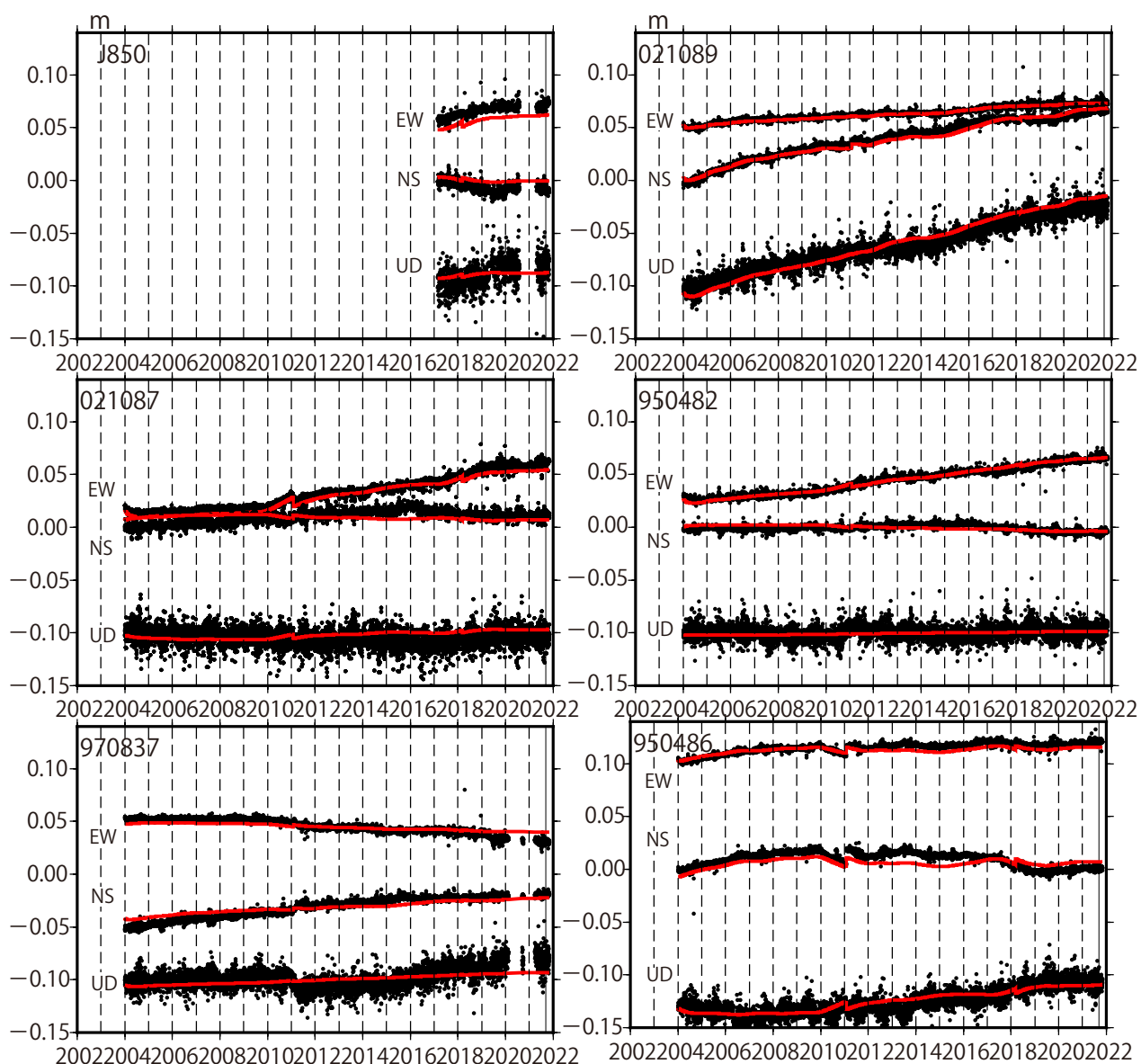
固定局970836.EW,NS,UDは東西、南北、上下変動.周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

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

霧島山



第 1 図 霧島山

地形図は国土地理院の電子地形図（タイル）を使用した

矢印は画像の撮影場所を示す

○最近の活動について

年月日	調査機関等	活 動 状 況
2021/10/29	第 十 管 区 海上保安本部	・新燃岳火口で白色噴気の放出が認められた（第 2 図）。 ・硫黄山噴気地帯の 2 か所で白色噴気が認められた（第 3 図）。 ・御鉢火口に特異事象は認められなかった。



第 2 図 霧島山（新燃岳火口）
2021 年 10 月 29 日 11:03 撮影



第 3 図 霧島山（硫黄山噴気地帯）
2021 年 10 月 29 日 10:59 撮影

霧島山

霧島えびの高原硫黄山噴気の化学組成(2015 年 12 月～2021 年 12 月)

Chemical composition of the fumarolic gases at Ebinokogen Iwoyama volcano, Kirishima, Japan (From Dec. 2015 to Dec. 2021)

1. 概要

えびの高原硫黄山では 2018 年 4 月の水蒸気噴火以降、火山活動は穏やかになり、全体的には噴気に含まれるマグマ起源成分である SO_2 の濃度は最盛期より低下した。一部の噴気は高い SO_2/CO_2 比や $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比を維持し、マグマ性 H_2O の地下水に対する相対的な寄与が増加しているものの、マグマ性ガスの浅部熱水系に対する供給量は増加していないと考えられる。

2. 噴気の採取・分析

2015 年 12 月から 2021 年 12 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, V2 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。V2 噴気孔は、2021 年 6 月の調査時には、噴気の放出は認められず、間欠的に温泉水の湧出が観察された。

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、ヨウ素を含む溶液を噴気で洗気し、 SO_2 と H_2S の分別定量のための採取を行った。

3. 結果・考察

噴気の SO_2/CO_2 比と $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の変化を、それぞれ、図 2, 3 に示す。これらの比は、噴気 c では、2020 年 7 月から 2021 年 12 月にかけて低い値が維持された。噴気 h の SO_2/CO_2 比は、2020 年 7 月から 11 月にかけて低下し、2020 年 11 月から 2021 年 6 月にかけて上昇したが、2021 年 12 月に再び低下した。噴気 h の $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は、2020 年 7 月から 11 月にかけて低下したが、2020 年 11 月から 2021 年 12 月にかけて徐々に上昇した。噴気 h の SO_2/CO_2 比と $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は、絶対値としては噴気 c の値と比較して高いものの、2020 年 7 月から 2021 年 12 月にかけて明確な上昇あるいは、低下傾向は起きていないと判断される。

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 c の酸素同位体比は、2020 年 7 月から 2021 年 12 月にかけて、 -13‰ 以下の低い値を維持した。噴気 h では 2020 年 7 月は -14.2‰ と低く、その後上昇し、2021 年 12 月には -1.4‰ に達した。えびの高原硫黄山の噴気では、酸素同位体比が -13‰ を下回る火山ガスは、地上に放出される以前に、水蒸気の一部が凝縮していると考えられている (Ohba et al., 2021)。噴気 h の同位体比が 2021 年 12 月に高い値まで上昇したことは、最近では凝縮の効果が失われ、マグマ起源 H_2O の寄与が相対的に増大していることを示唆している。

噴気の SO_2 - CO_2 - H_2S 三成分組成を図 5 に示す。噴気 h の組成は、2020 年 7 月と 11 月では、 SO_2 をある程度含み、比較的 CO_2 に富む組成を示したが、2021 年 6 月には、 CO_2 に対し、 SO_2 と H_2S が増加した。2021 年 6 月の組成は、噴火直前における 2018 年 3 月の噴気 a の組成に接近し、火山活動活発化の兆しかと懸念されたが、2021 年 12 月の組成は、2020 年 7 月の組成付近に回帰した。

噴気 c は、2018 年 4 月の噴火前後で、定常的に火山ガスを放出しており、特に H_2O の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) は、火山性地震の回数の増減に対応して変動している (図 4)。噴気 c の酸素同位体比に注目すると、2018 年 4 月の噴火後、火山活動は低下し 2019 年頃に極小を迎え、その後 2021 年 12 月にかけて火山活動の活発化は起きていないと判断される。えびの高原硫黄山の噴気は、マグマ性ガスと浅部地下水が混合して生じた気相部分を代表していると考えられている (Ohba et al., 2021)。噴気 h の酸素同位体比が 2020 年 7 月から 2021 年 12 月にかけて上昇しているのは、マグマ性ガスの流量が増大しているのではなく、浅部地下水の混合率低下が原因であると推測される。

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

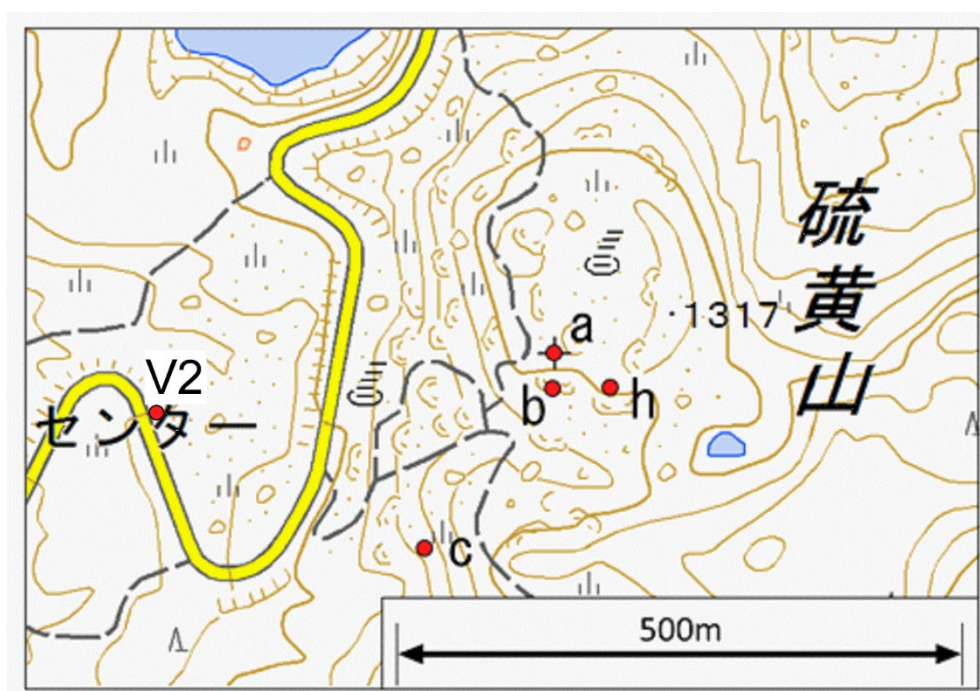


図 1. 硫黄山噴気 a, b, c, h, V2 の位置 (背景の地図として、国土地理院 1/25000 地形図を使用した)

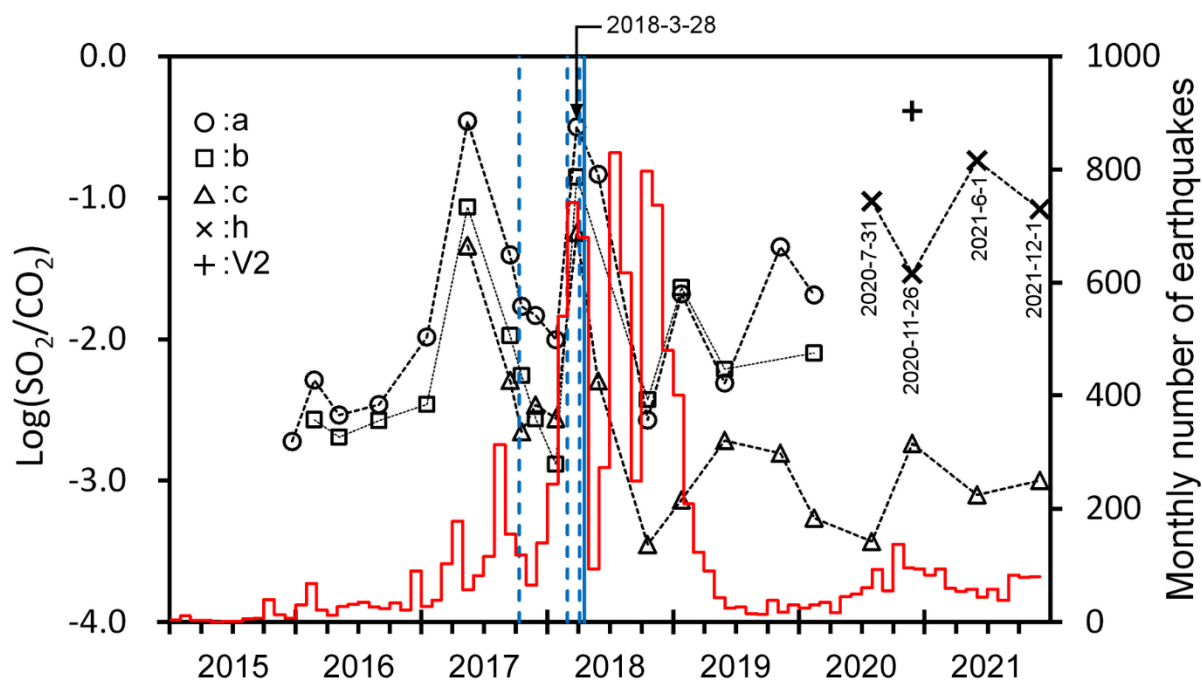


図 2. SO_2/CO_2 比の時間変化（赤線は気象庁による月別地震回数，青の実線は硫黄山における噴火，青破線は新燃岳における噴火を示す）

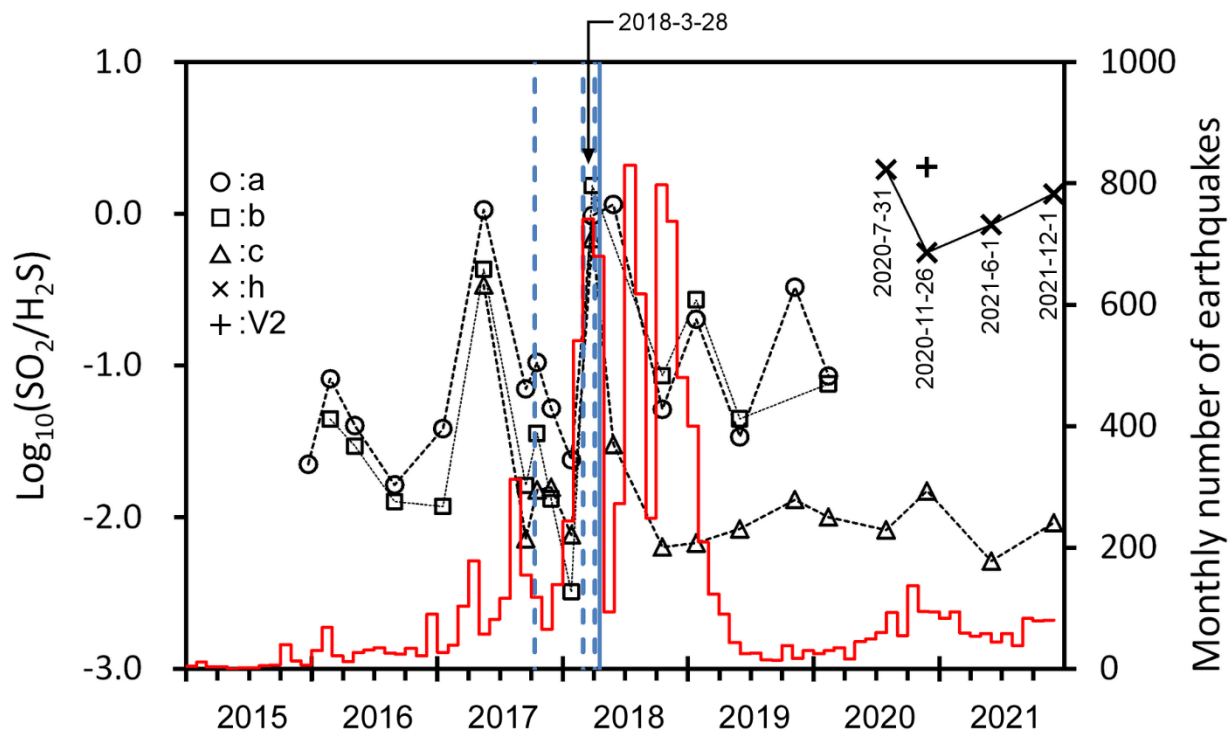


図 3. $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の時間変化（赤線は気象庁による月別地震回数，青の実線は硫黄山における噴火，青破線は新燃岳における噴火を示す）

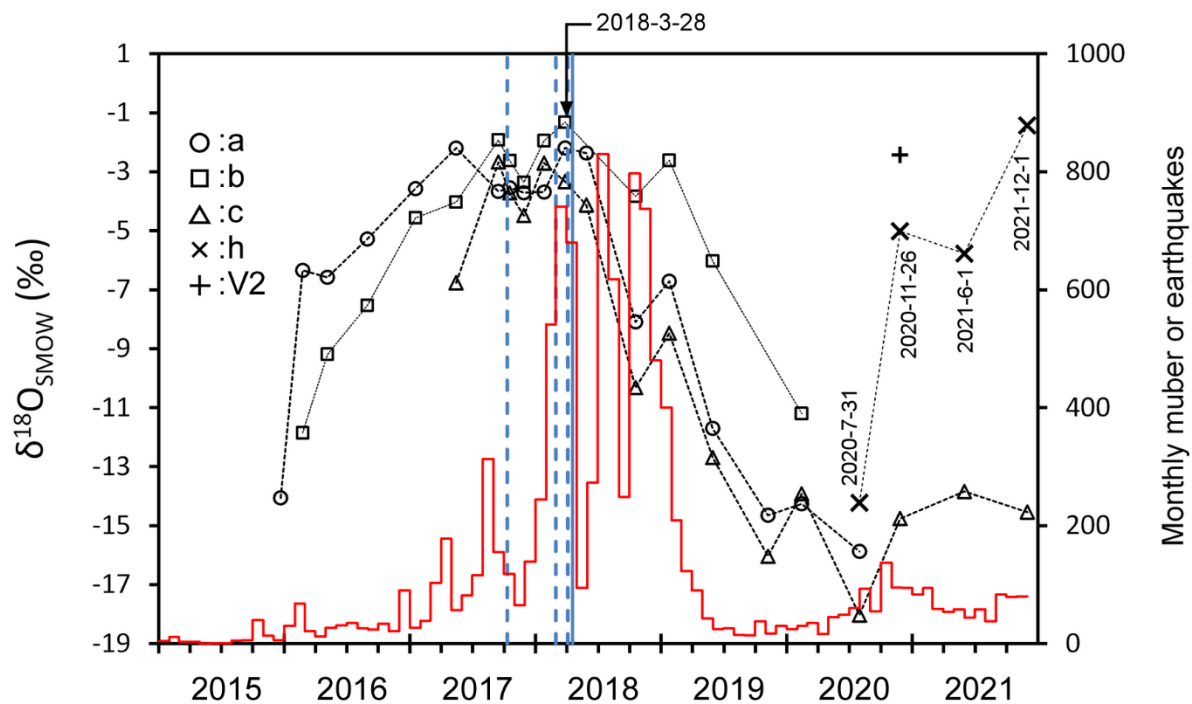


図 4. H_2O 酸素同位体比の時間変化（赤線は気象庁による月別地震回数，青の実線は硫黄山における噴火，青破線は新燃岳における噴火を示す）

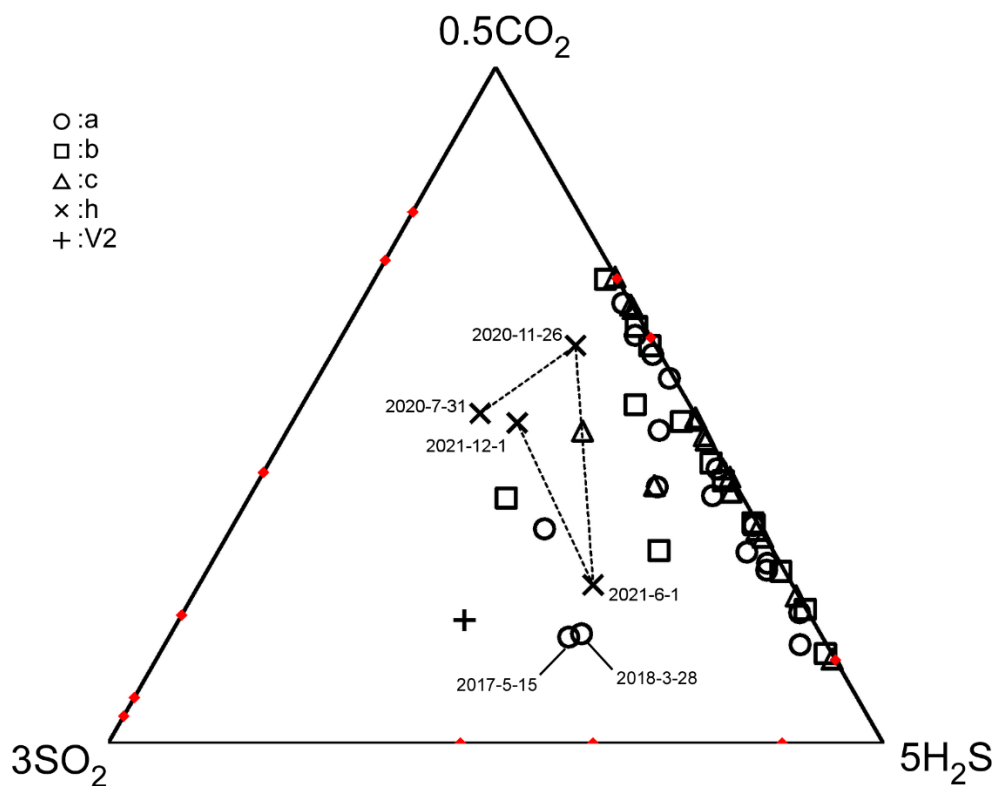
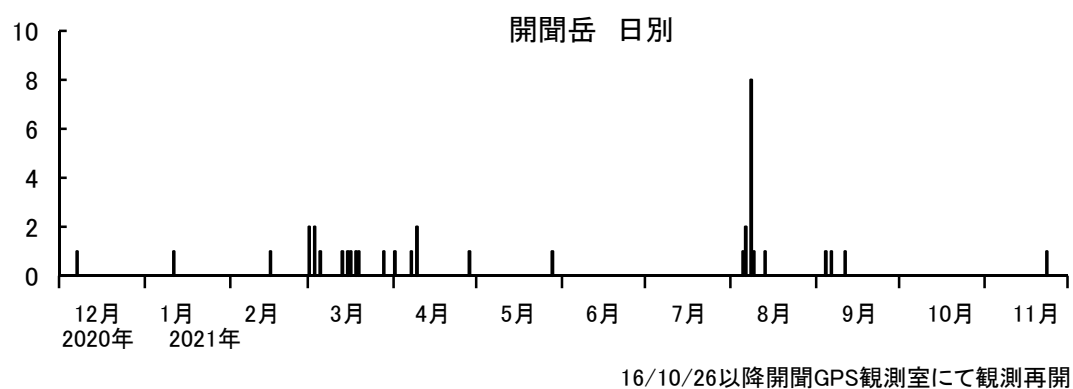
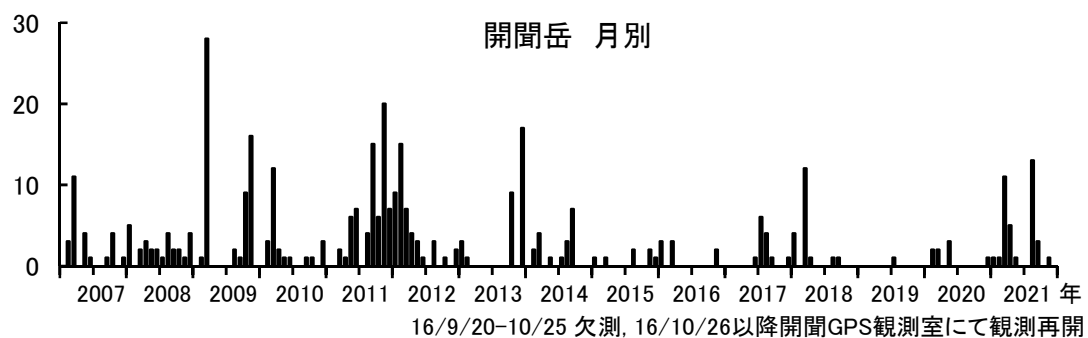


図 5. 噴気の SO_2 - CO_2 - H_2S 三成分図

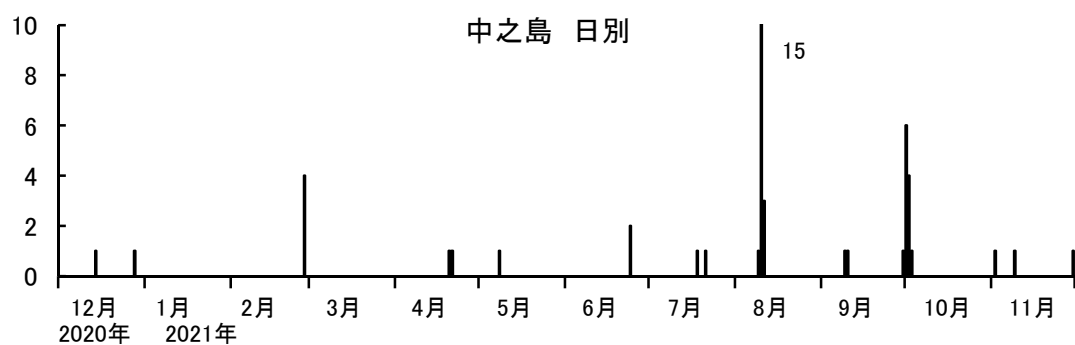
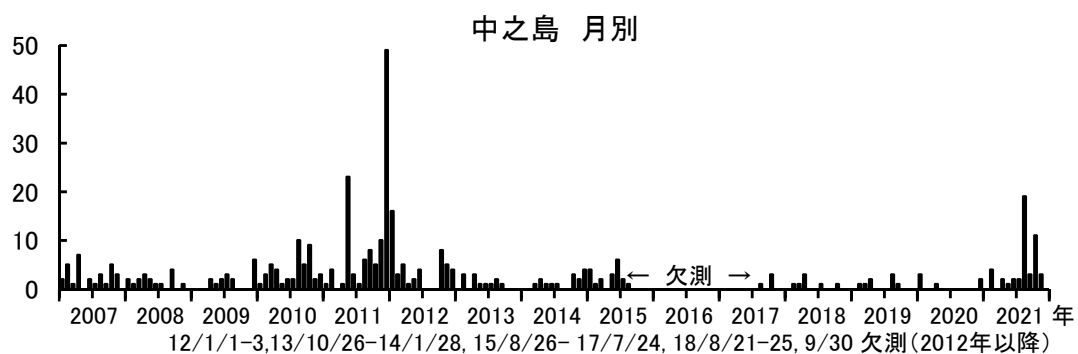
開聞岳における地震活動の推移



開聞岳における火山性地震の発生回数
(2021年11月30日まで)

開聞岳

中之島における地震活動の推移



中之島における火山性地震の発生回数
(2021年11月30日まで)

中之島

「だいいち2号」SAR干渉解析判読結果（中国・九州地方及び南西諸島）

地方	活火山名	観測日		期間 [日]	衛星 進行 方向	観測 方向	判読結果 変動なし:ノイズレベルを超える変動は見られません。 干渉不良:干渉不良により有意な結果は得られていません。	資料
		1回目	2回目					
中国・九州・南西諸島	三瓶山	2020/05/24	2021/05/23	364	北行	右	変動なし	
		2021/02/14	2021/05/23	98	北行	右	変動なし	
		2020/08/26	2021/08/25	364	南行	右	変動なし	
		2021/03/10	2021/08/25	168	南行	右	変動なし	○
		2020/09/13	2021/09/12	364	北行	右	変動なし	○
	阿武火山群	2020/06/12	2021/06/11	364	北行	右	変動なし	
		2021/03/05	2021/06/11	98	北行	右	変動なし	
		2020/08/02	2021/08/01	364	北行	右	変動なし	○
		2016/10/07	2021/10/01	1820	北行	右	変動なし	
	鶴見岳・伽藍岳・由布岳	2020/05/29	2021/05/28	364	北行	右	変動なし	
		2021/02/19	2021/05/28	98	北行	右	変動なし	
		2020/08/03	2021/08/02	364	南行	右	変動なし	
		2020/10/26	2021/08/02	280	南行	右	変動なし	
		2020/09/09	2021/09/08	364	南行	右	変動なし	
		2021/03/24	2021/09/08	168	南行	右	変動なし	○
		2020/09/18	2021/09/17	364	北行	右	変動なし	○
	九重山	2020/05/29	2021/05/28	364	北行	右	変動なし	○
		2021/02/19	2021/05/28	98	北行	右	変動なし	
		2020/08/03	2021/08/02	364	南行	右	変動なし	
		2020/10/26	2021/08/02	280	南行	右	変動なし	○
		2020/09/18	2021/09/17	364	北行	右	変動なし	
	阿蘇山	2020/05/29	2021/05/28	364	北行	右	中岳第一火口周辺に衛星から遠ざかる変動が見られます。	
		2021/02/19	2021/05/28	98	北行	右	中岳第一火口周辺に衛星から遠ざかる変動が見られます。	
		2020/09/04	2021/09/03	364	北行	右	変動なし	
		2021/05/28	2021/10/15	140	北行	右	変動なし	○
		2021/09/13	2021/10/25	42	南行	右	中岳の火口周辺に、10月20日の噴火に伴う火山噴出物によるものとみられる非干渉領域が見られます。	○
	雲仙岳	2020/06/03	2021/06/02	364	北行	右	平成新山周辺に衛星から遠ざかる変動が見られます。	
		2021/02/24	2021/06/02	98	北行	右	変動なし	○
		2020/08/07	2021/08/06	364	北行	右	平成新山周辺に衛星から遠ざかる変動が見られます。	
		2020/08/31	2021/08/30	364	南行	右	平成新山周辺に衛星から遠ざかる変動が見られます。	○
		2021/03/15	2021/08/30	168	南行	右	変動なし	
	福江火山群	2020/06/22	2021/06/21	364	北行	右	変動なし	
		2021/03/15	2021/06/21	98	北行	右	変動なし	
		2020/08/12	2021/08/11	364	北行	右	変動なし	○
		2020/09/05	2021/09/04	364	南行	右	変動なし	
		2021/03/20	2021/09/04	168	南行	右	変動なし	○
	霧島山	2020/05/15	2021/05/14	364	北行	右	新燃岳火口内に衛星から遠ざかる変動が見られます。	
		2020/06/17	2021/06/16	364	北行	右	新燃岳火口内に衛星から遠ざかる変動が見られます。	
		2021/03/10	2021/06/16	98	北行	右	新燃岳火口内北側に衛星から遠ざかる変動が見られます。硫黄山付近で衛星に近づく変動が見られます。	
		2020/08/21	2021/08/20	364	北行	右	新燃岳火口内に衛星から遠ざかる変動が見られます。	○
	米丸・住吉池	2020/06/03	2021/06/02	364	北行	右	変動なし	
		2021/02/24	2021/06/02	98	北行	右	変動なし	
		2020/08/07	2021/08/06	364	北行	右	変動なし	
		2020/08/21	2021/08/20	364	北行	右	変動なし	○

「だいいち2号」SAR干渉解析判読結果（中国・九州地方及び南西諸島）

地方	活火山名	観測日		期間 [日]	衛星 進行 方向	観測 方向	判読結果 変動なし:ノイズレベルを超える変動は見られません。 干渉不良:干渉不良により有意な結果は得られていません。	資料
		1回目	2回目					
中国・九州・南西諸島	桜島	2020/05/15	2021/05/14	364	北行	右	変動なし	
		2020/06/03	2021/06/02	364	北行	右	変動なし	
		2021/02/24	2021/06/02	98	北行	右	変動なし	
		2020/06/17	2021/06/16	364	北行	右	変動なし	
		2021/03/10	2021/06/16	98	北行	右	変動なし	
		2020/08/21	2021/08/20	364	北行	右	変動なし	○
	池田・山川・開聞岳	2020/06/03	2021/06/02	364	北行	右	変動なし	○
		2021/02/24	2021/06/02	98	北行	右	変動なし	
		2020/08/07	2021/08/06	364	北行	右	変動なし	
	薩摩硫黄島	2020/06/03	2021/06/02	364	北行	右	変動なし	
		2021/02/24	2021/06/02	98	北行	右	変動なし	○
		2020/08/07	2021/08/06	364	北行	右	変動なし	
	口永良部島	2020/05/20	2021/05/19	364	北行	右	変動なし	
		2021/02/10	2021/05/19	98	北行	右	変動なし	
		2020/09/09	2021/09/08	364	北行	右	変動なし	○
	口之島	2020/05/20	2021/05/19	364	北行	右	変動なし	
		2021/02/10	2021/05/19	98	北行	右	変動なし	
		2020/08/26	2021/08/25	364	北行	右	変動なし	○
		2020/08/31	2021/08/30	364	南行	右	変動なし	
		2021/03/15	2021/08/30	168	南行	右	変動なし	○
	中之島	2020/05/06	2021/05/05	364	北行	右	変動なし	○
		2021/01/27	2021/05/05	98	北行	右	変動なし	
		2020/08/26	2021/08/25	364	北行	右	変動なし	
		2020/08/31	2021/08/30	364	南行	右	変動なし	
		2021/03/15	2021/08/30	168	南行	右	変動なし	○
	諏訪之瀬島	2020/05/06	2021/05/05	364	北行	右	変動なし	
		2021/01/27	2021/05/05	98	北行	右	変動なし	
		2020/06/22	2021/06/21	364	北行	右	変動なし	
		2021/03/15	2021/06/21	98	北行	右	変動なし	
		2020/08/12	2021/08/11	364	北行	右	変動なし	
		2020/08/26	2021/08/25	364	北行	右	変動なし	
		2020/08/31	2021/08/30	364	南行	右	変動なし	
		2021/03/15	2021/08/30	168	南行	右	変動なし	○
	硫黄島	2021/05/05	2021/10/20	168	北行	右	変動なし	○
		2020/05/11	2021/05/10	364	北行	右	変動なし	
		2021/02/01	2021/05/10	98	北行	右	変動なし	
		2020/06/27	2021/06/26	364	北行	右	変動なし	
		2021/03/20	2021/06/26	98	北行	右	変動なし	○
		2020/08/17	2021/08/16	364	北行	右	変動なし	
		2020/08/22	2021/08/21	364	南行	右	変動なし	○
		2021/03/06	2021/08/21	168	南行	右	変動なし	

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新手法で求められている。
- ・2021 年 12 月現在、次の期間の地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化（増減）が見られる。

- ① 2020 年 9 月 1 日から 10 月 23 日まで、② 2021 年 1 月 9 日から 3 月 7 日まで、③ 2021 年 4 月 19 日以降

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。