

第 147 回 火山噴火予知連絡会資料

(その1の2)

霧島山

令和 2 年 12 月 23 日

火山噴火予知連絡会資料(その1の2)

目次

霧島山

第4回霧島山部会資料

気象庁	3-70
気象研	71-75
九州大学	76-91
京大阿蘇	92-94
防災科研	95-100
地理院	101-113
海保	114
上智大学	115-118
東海大学	119-122
鹿児島大学	123-126

霧 島 山

(2020 年 11 月 30 日現在)

えびの高原（硫黄山）周辺

硫黄山では、引き続き活発な噴気活動が続いている。

硫黄山付近では、火山性地震は概ね少ない状態で経過しているが、2020 年 5 月頃から、地震回数がわずかに増加した状態が続いている。

GNSS 連続観測では、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る。

これらのことから、今後火山活動が活発化する可能性がある。

現在活発な噴気活動がみられている硫黄山の西側 500m の噴気地帯から概ね 100m の範囲、及び硫黄山火口内では、熱水・熱泥等が飛散する可能性があるため注意が必要である。また、火山ガスにも注意が必要である。

○ 概況（2020 年 6 月～11 月）

・ 噴煙など表面現象の状況（図 1～5、図 6-1-①②、図 6-2-①）

硫黄山では 2018 年 4 月 27 日以降、噴火は観測されていない。

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。噴気の高さは最高で 300m まで上がった。硫黄山の西側 500m 付近では、噴気が最高で 100m まで上がるなど、やや活発な状態となっている。

繰り返し実施した現地調査では、硫黄山の南側における活発な噴気活動を、硫黄山の西側 500m 付近でもやや活発な噴気活動を確認した。赤外熱映像装置による観測では、硫黄山周辺の噴気地帯でこれまでと同様に地熱域を確認した。2019 年 1 月以降は噴気域及び地熱域のさらなる拡大は認められていない。

海上自衛隊第 1 航空群の協力により 10 月 13 日に実施した上空からの観測では、硫黄山の南側の噴気地帯で活発な噴気及び西側 500m 付近の噴気地帯でやや活発な噴気を確認した。噴気地帯の更なる拡大は認められなかった。

・ 地震や微動の発生状況（図 6-1-③④⑤、図 6-2-③④⑤、図 7）

硫黄山付近では、火山性地震は概ね少ない状態で経過したが、地震回数は 2020 年 5 月以降、わずかに増加した状態が続いている。

火山性微動は、2018 年 6 月 20 日以降、観測されていない。

えびの高原周辺のやや広い範囲（韓国岳や大浪池など）では、地震活動が続いているが少ない状態である。

えびの岳付近（硫黄山から南西約 3 km）の深さ 1～3 km 及び 5 km 付近において、6 月下旬から 7 月上旬にかけて地震が一時的に増加し、その後も時々発生している。

・ 地殻変動の状況（図 6-1-⑥、図 6-2-⑥、図 8～12）

GNSS 連続観測では、硫黄山近傍の基線で、2018 年 4 月の噴火後に山体の収縮を示す変動がみられた後、山体の膨張を示す変動が認められていた。この変動は、2019 年 2 月頃から概ね停滞していたが、2020 年 5 月頃から再び山体浅部の膨張を示すわずかな伸びの傾向がみられている。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 月以降停滞している。

硫黄山周辺の傾斜計では、特段の変化は認められていない。

- ・ 全磁力変化の状況（図 13）

硫黄山の北側では全磁力の増加傾向（赤矢印）、南側で減少傾向（青矢印）が観測されており、観測を開始した 2016 年 2 月以降、硫黄山周辺の地下で熱消磁現象の進行を示す全磁力変動が認められている。その変動は 2019 年 4 月頃から鈍化していたが、硫黄山南側の観測点で 2020 年 5 月頃からやや大きくなっている。

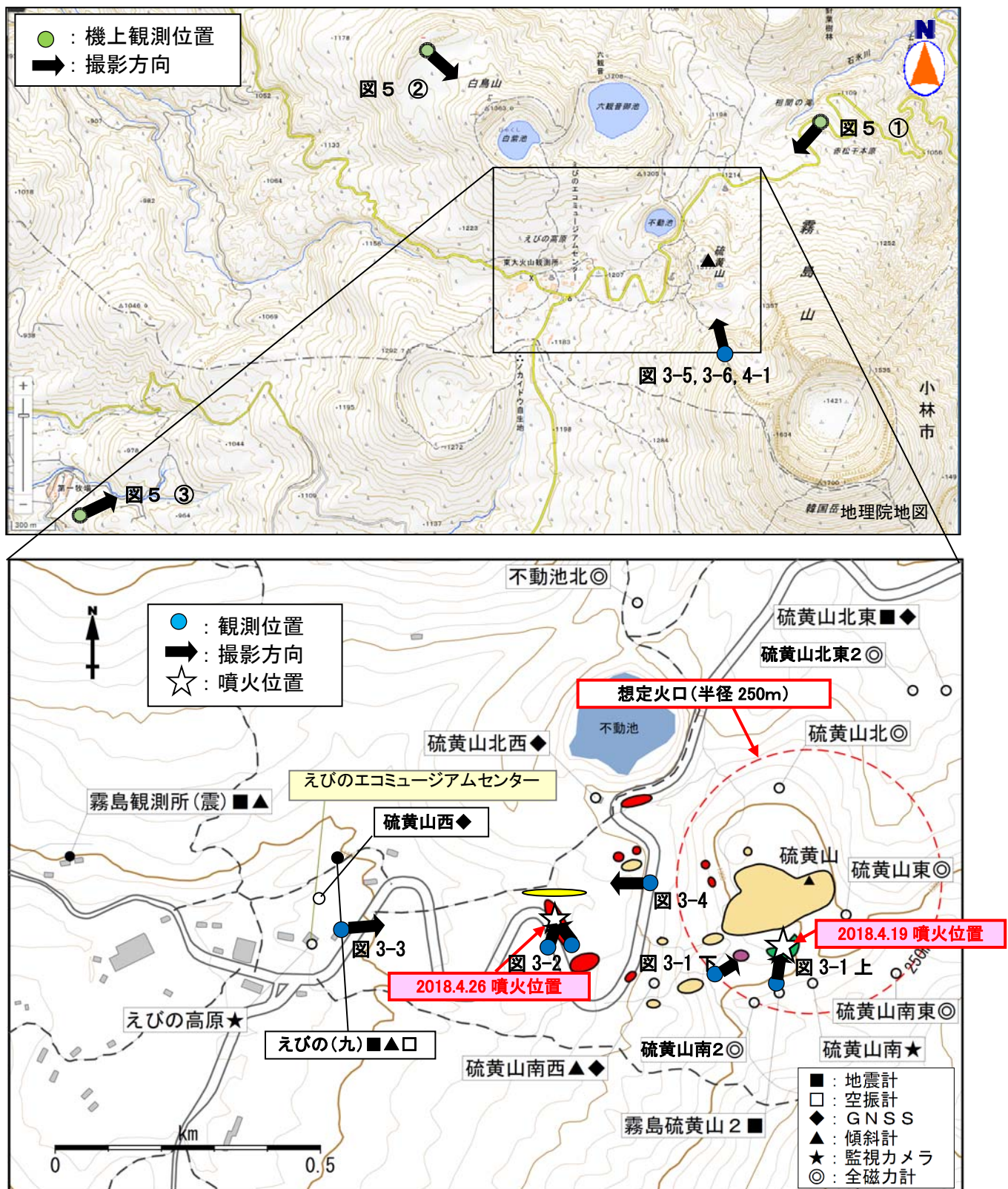


図1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 図3～5の観測位置及び観測方向、噴火位置、主な噴気地帯及び地熱域

- ・ ☆は噴火位置を示します。白丸（○）は気象庁、黒丸（●）は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
- ・ 2018年4月の噴火以前から確認されている噴気地帯及び地熱域を●で示します。
- ・ 2018年4月9日に確認した噴気地帯及び地熱域を●で示します（一時期、活発な熱泥の噴出がみられました）。
- ・ 2018年4月の噴火以降に拡大した噴気地帯を●及び●で示します。
- ・ 2020年5月に九州大学が確認した地熱域を●で示します。



図 2-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山付近の状況
(10 月 16 日、えびの高原監視カメラによる)

- ・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。噴気の高さは最高で 300m まで上がった。
- ・硫黄山の西側 500m 付近では、噴気が最高 100m まで上がるなど、やや活発な状態となっている。

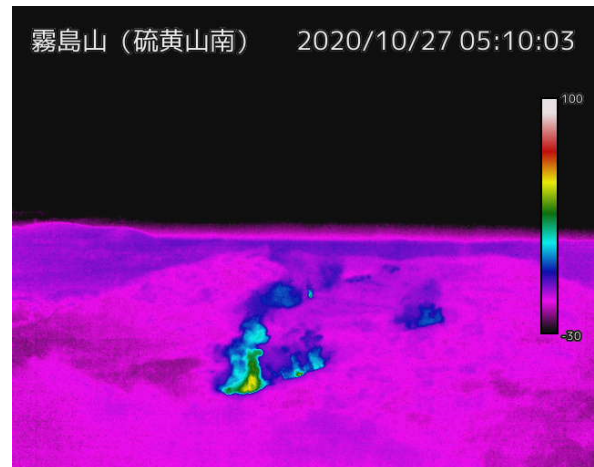


図 2-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山南側の状況
(10 月 27 日、硫黄山南監視カメラによる)
硫黄山の南側の噴気地帯で活発な噴気活動が続いている。



図 3-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山南側の噴気の状況
 硫黄山南側の噴気孔では引き続き活発な噴気活動を確認した。噴気孔の湯だまりは
 今期間は消長を繰り返しており、2020 年 4 月及び 11 月の観測では、黄色の水を間欠
 的に吹き上げる噴湯現象が認められたが、6 月の観測では湯だまりが縮小し、噴湯
 現象は認められなかった。

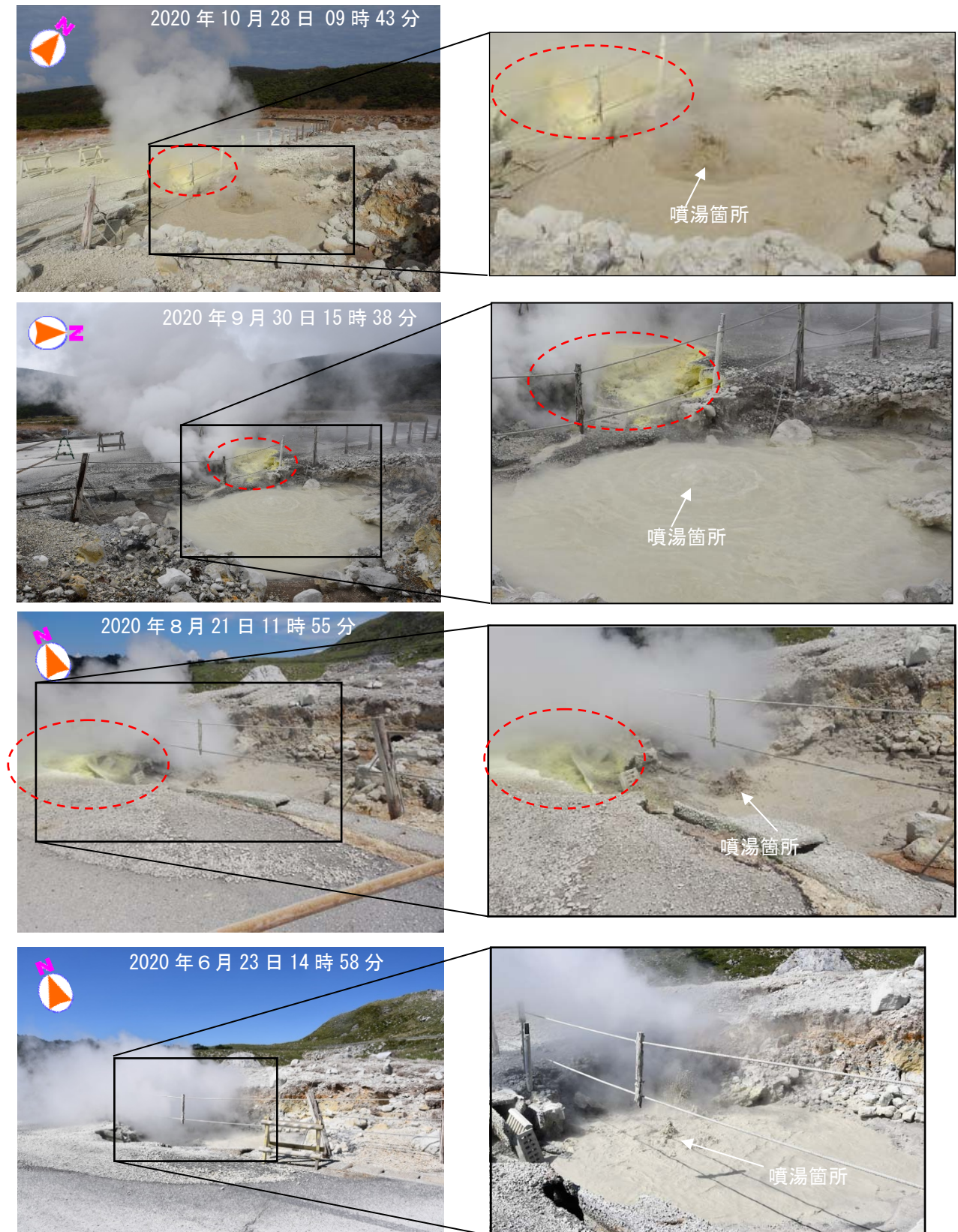


図 3-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山西側 500mの噴気の状態
 硫黄山西側 500m 付近で引き続きやや活発な噴気活動と噴湯現象を確認した。噴気孔
 付近では、2020 年 8 月以降硫黄昇華物の付着を確認している（赤破線丸）。

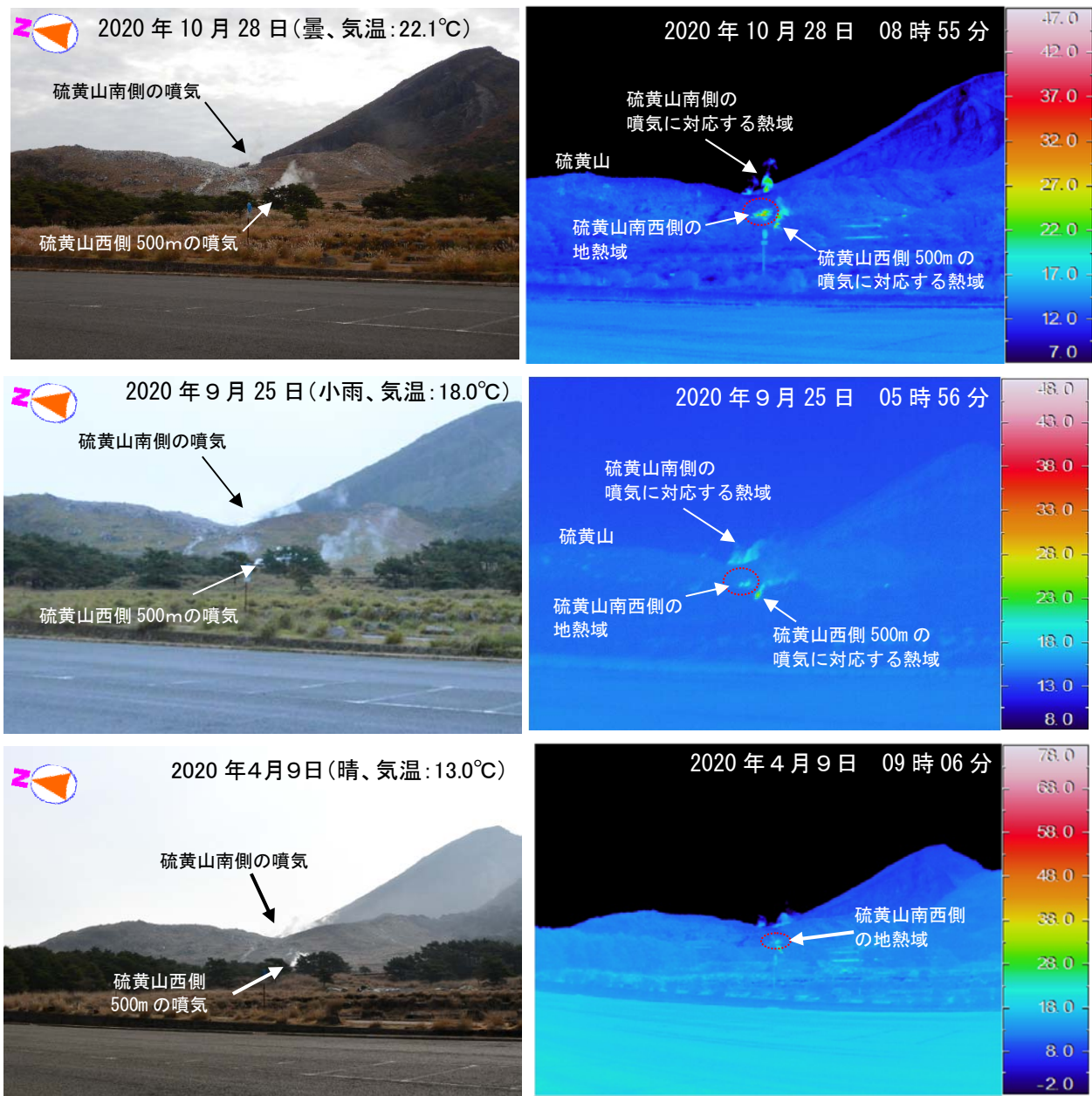


図 3-3 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山の状況

- ・ 硫黄山の南側の噴気地帯では、引き続き活発な噴気を確認した。硫黄山の西側 500m 付近では引き続きやや活発な噴気活動がみられた。
- ・ 今期間の観測において、硫黄山南西側の地熱域（赤破線）を引き続き確認した。

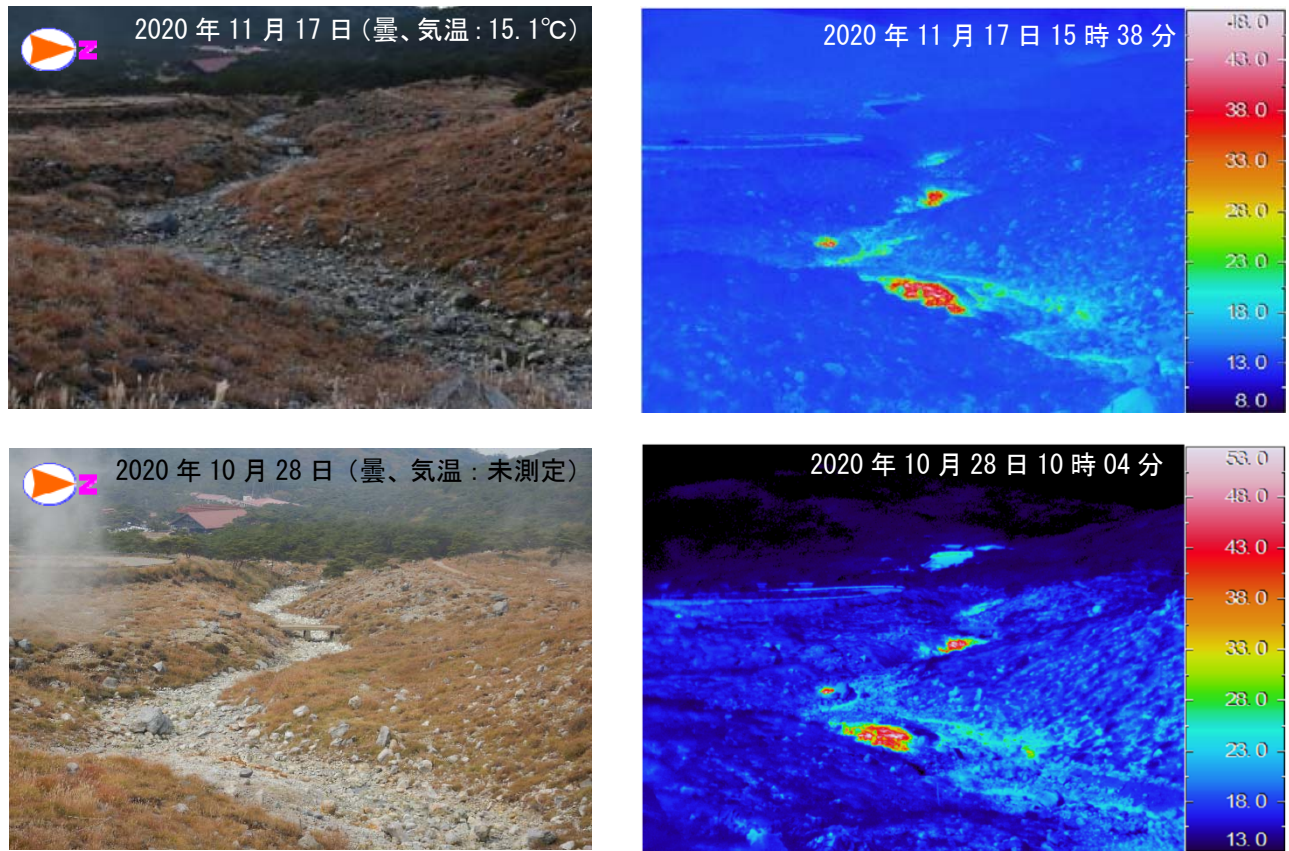


図 3-4 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 赤子川上流付近の状況

10 月 28 日及び 11 月 17 日の観測で、赤子川上流部の川沿いに地熱域を確認した。

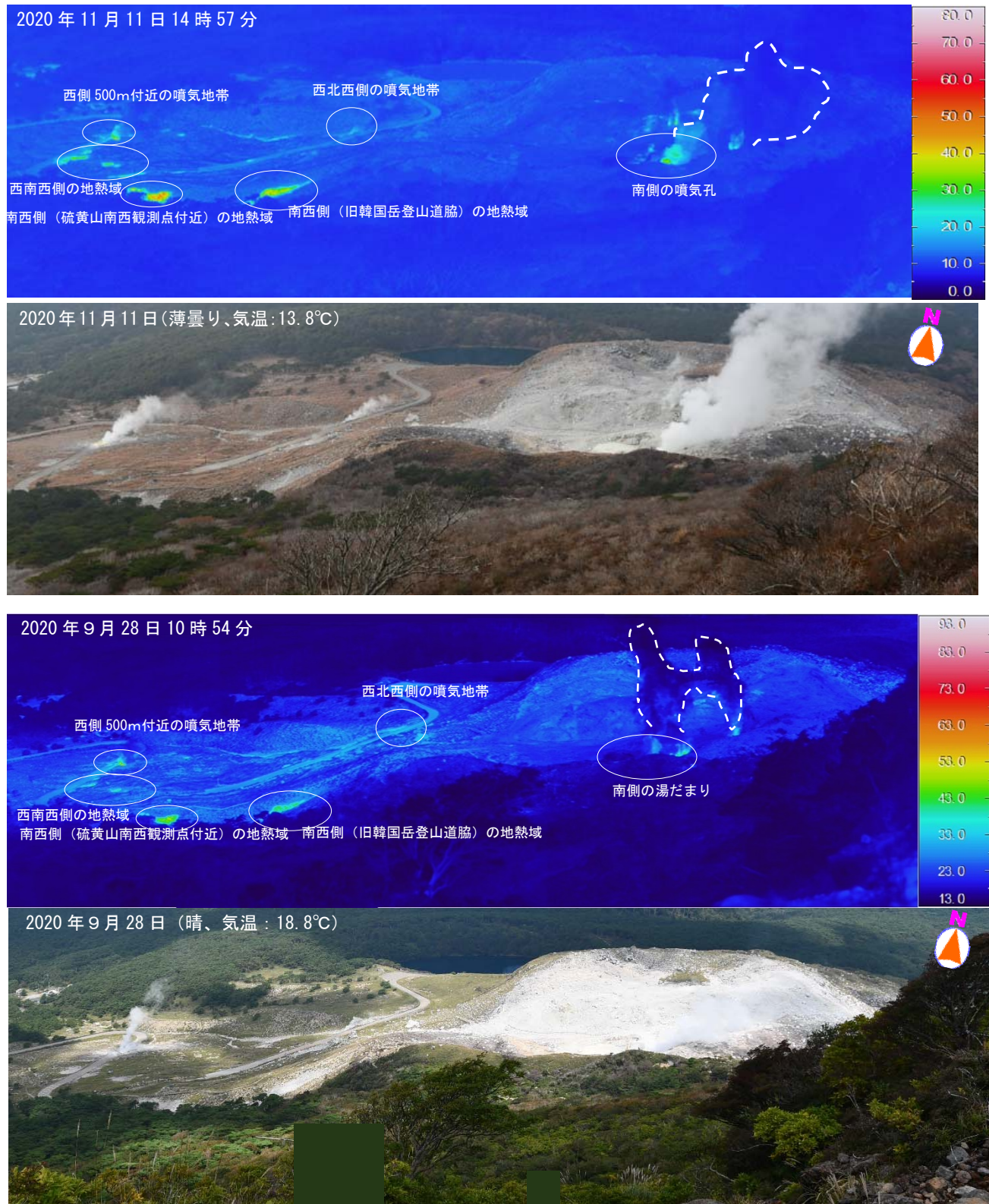


図 3-5 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山及びその周辺の状況

※噴気の影響により、地熱域等の温度が低めに測定されることがある。

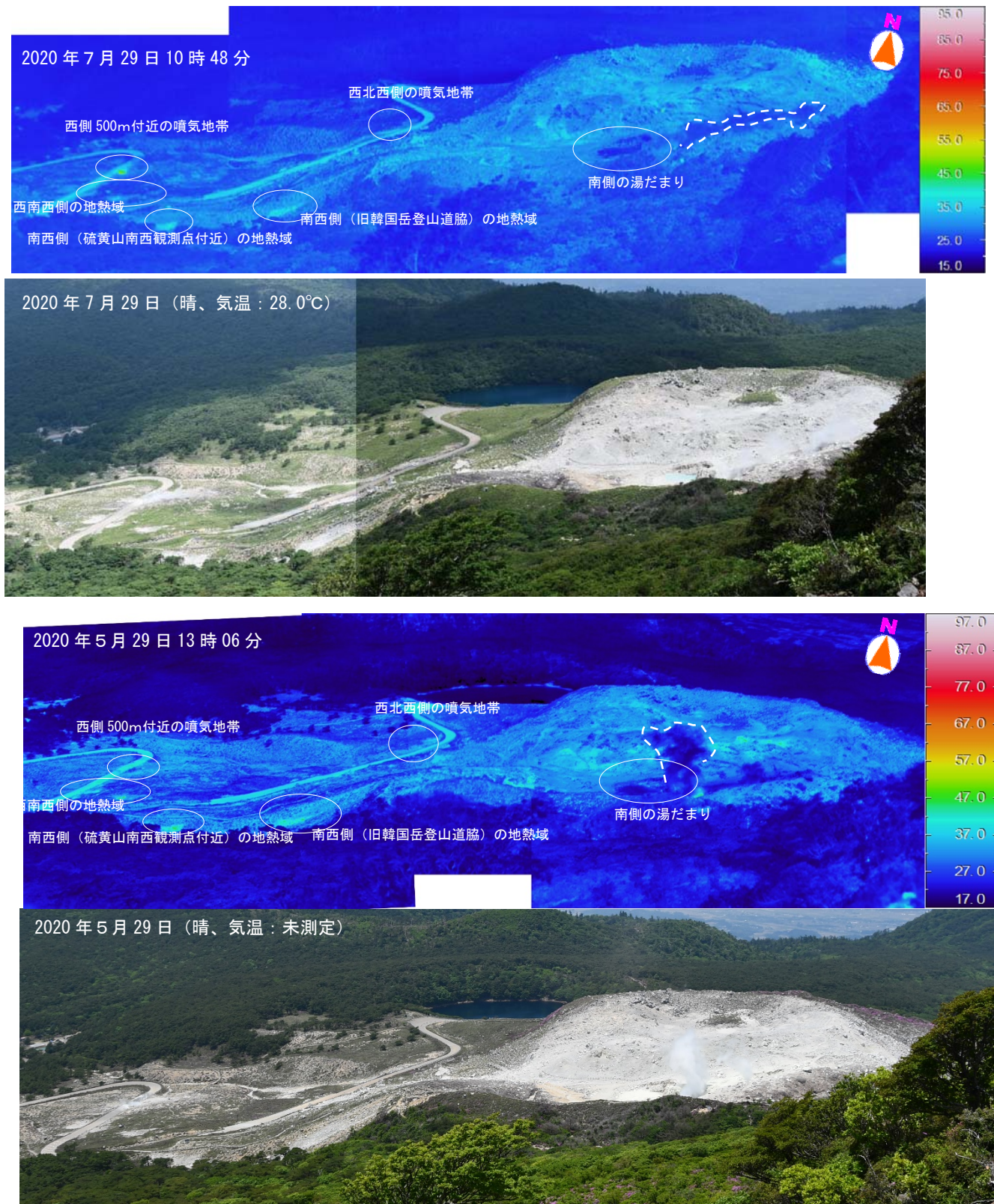


図 3-6 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山及びその周辺の状況

硫黄山南側において活発な、硫黄山西側 500m 付近においてやや活発な噴気活動を確認したが、噴気域及び地熱域のさらなる拡大は認められていない。

※噴気の影響により、地熱域等の温度が低めに測定されることがある。

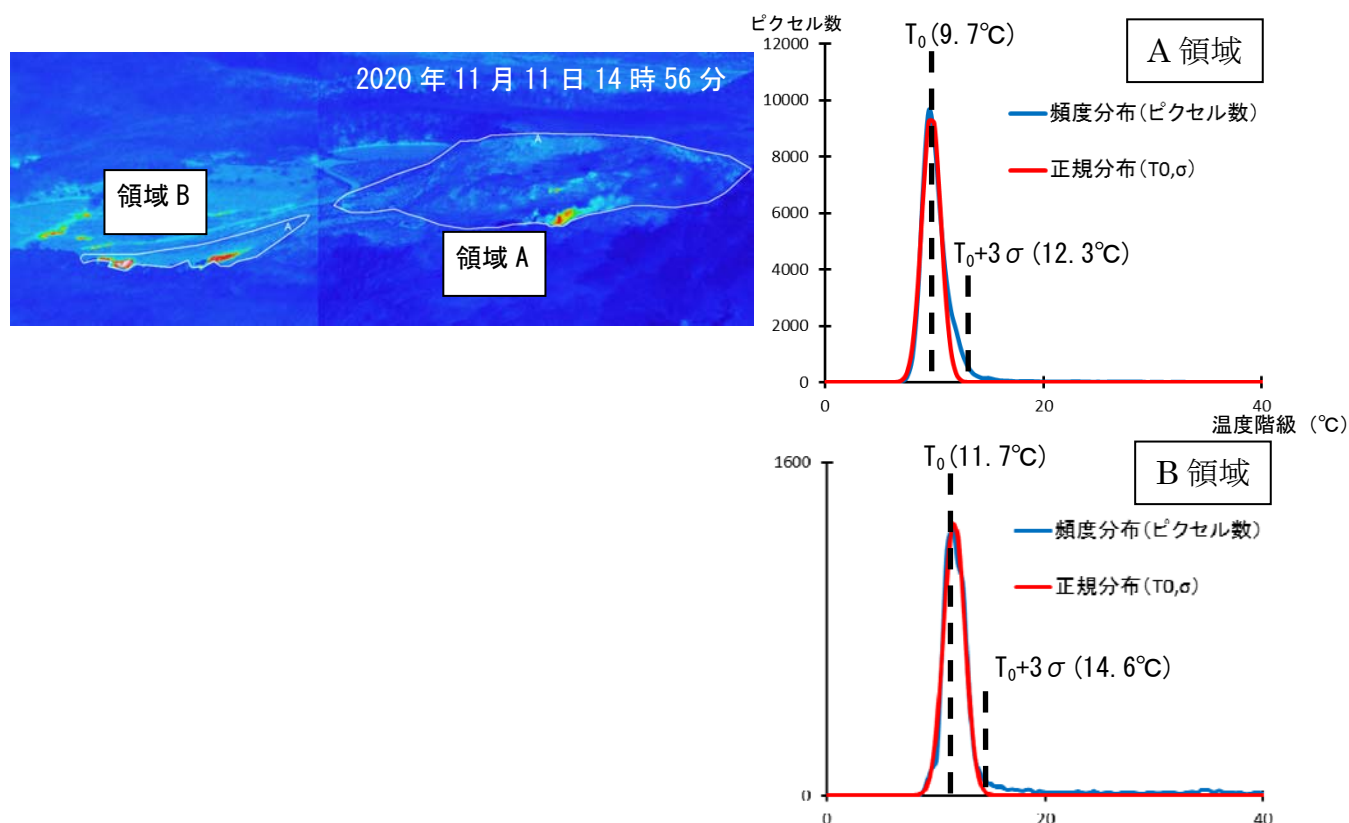


図 4-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 図 4-2 に示した硫黄山の放熱率算出の解析領域と温度分布の例（2020 年 11 月 11 日 14 時 56 分）

- ・ 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。
- ・ 左図の領域 A 及び B 内を解析領域とした。
- ・ 右図は領域内の温度ピクセルの頻度分布と、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 $T_0 - 3\sigma \leq T \leq T_0 + 3\sigma$ 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。
- ・ この解析において非地熱域の面積が十分に確保されていることを確認している。
- ・ $T_0 + 3\sigma$ 以上を明らかな地熱域とみなし、地熱域の面積及び放熱率を算出した。

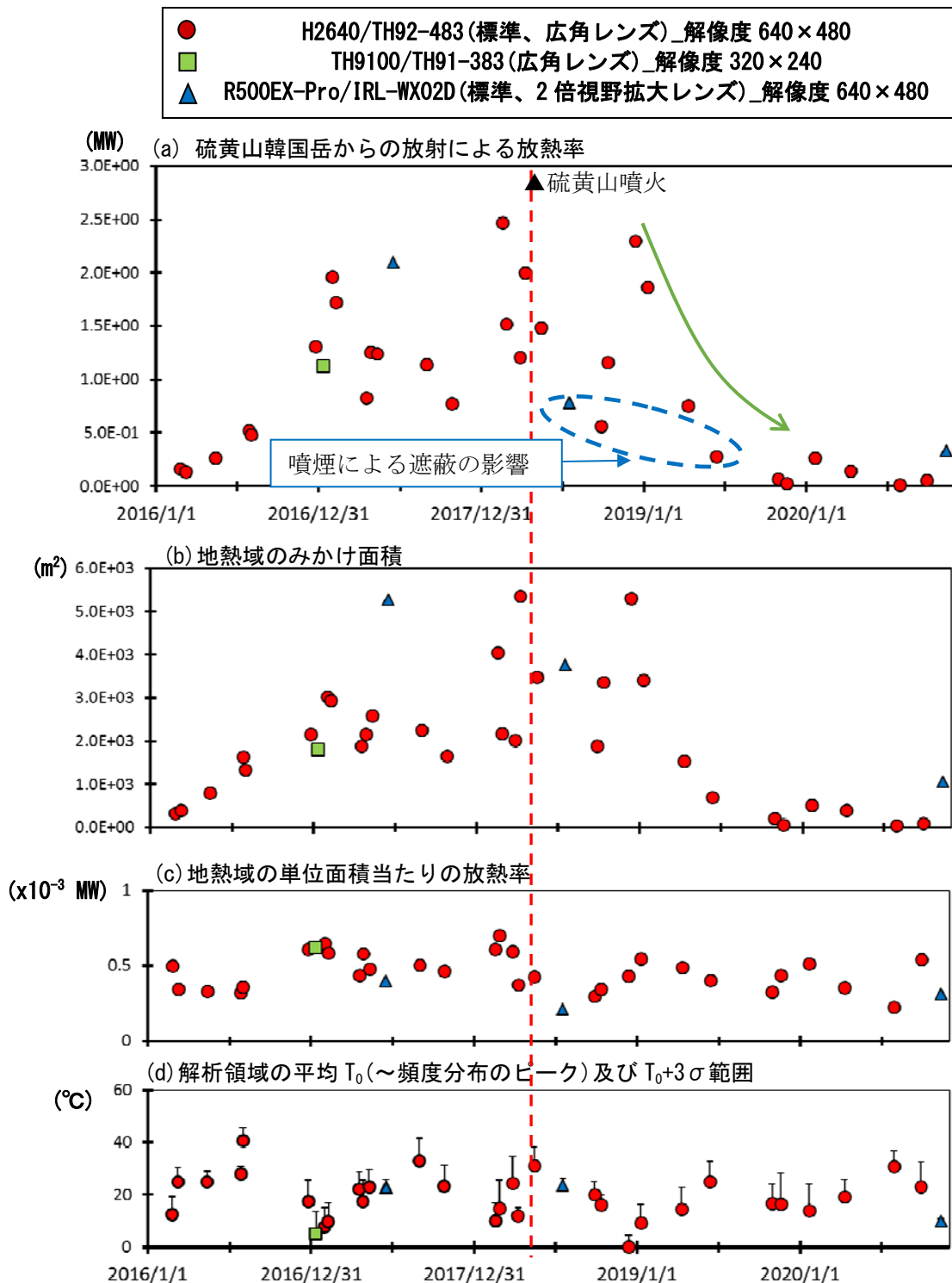


図 4-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 地表面温度分布より算出した硫黄山の放熱率の推移（値を観測日ごとに平均）（2016 年 1 月～2020 年 11 月）

図 4-1 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、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。積雪のある観測日のデータは、以上の仮定を満たさないため除去している。

- ・放熱率は、2018 年 12 月頃からは減少傾向にあり（緑矢印）、2016 年頃の値と同程度になった。
- ・2018 年 7 月 19 日、9 月 27 日及び 2019 年 6 月 13 日のデータでは、噴煙により地熱域が遮蔽され見かけ上放熱率が低くなっている（図中青破線域内）。
 ※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 5 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 上空からの状況
（上段：2020 年 10 月 13 日、下段左：2020 年 3 月 16 日、
下段右：2019 年 10 月 25 日）

硫黄山の南側（黄破線内）で活発な噴気を、西側 500m 付近（赤破線内）でやや活発な噴気を引き続き確認した。噴気地帯の更なる拡大は認められなかった。

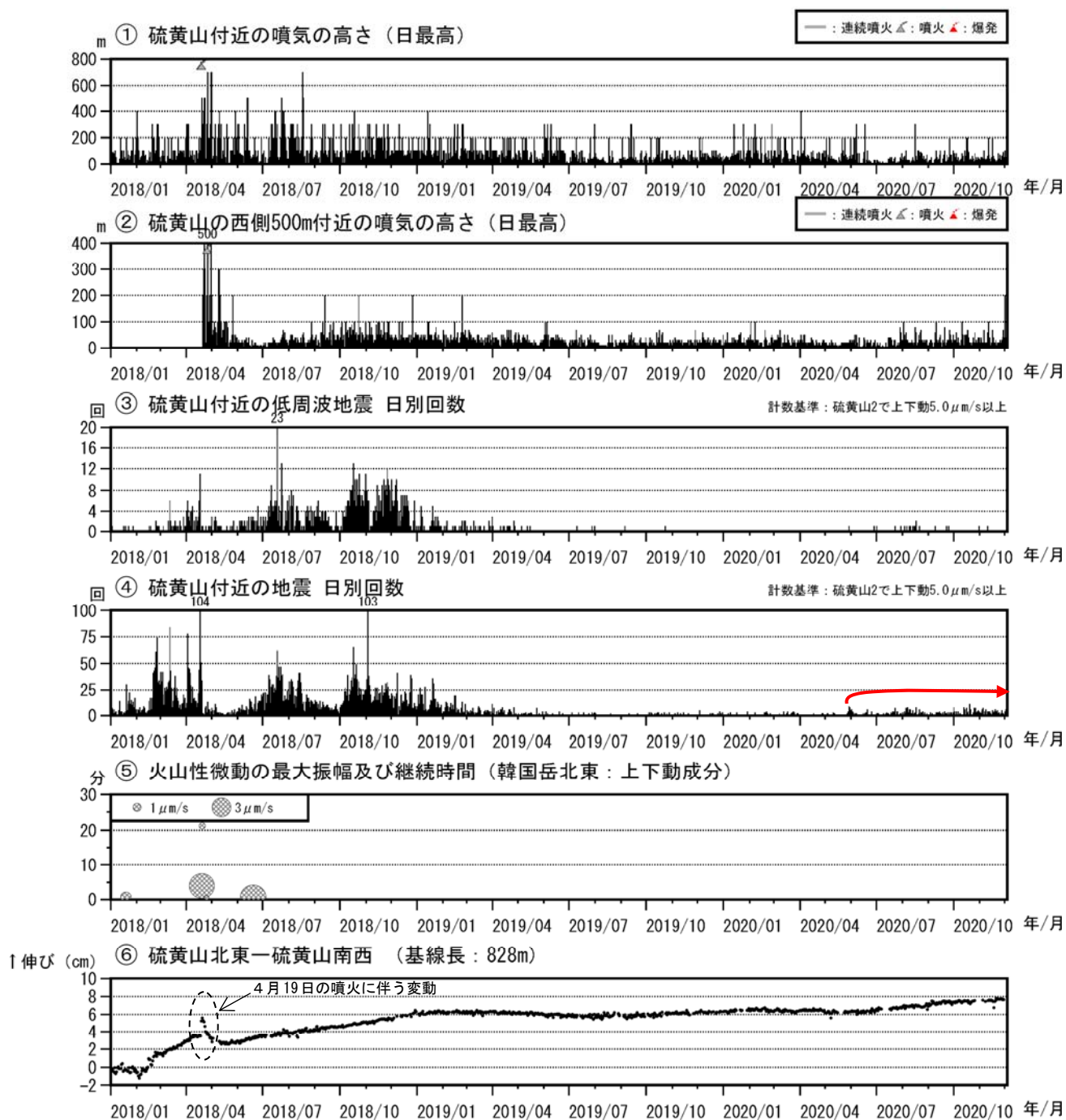


図 6-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 火山活動経過図

(2018年1月～2020年11月)

- ・硫黄山の南側の噴気地帯では、引き続き活発な噴気活動が続いている。硫黄山の西側 500 m 付近の噴気活動は、2018 年 9 月以降やや活発な状態となっている。
- ・火山性微動は 2018 年 6 月 20 日以降、観測されていない。
- ・ごく微小な地震を含む火山性地震は、少ない状態で経過したが、地震回数は 2020 年 5 月以降、わずかに増加した状態が続いている（赤矢印）。

※⑥の 2018 年 1 月頃にみられる変化は、地面の凍上の影響と考えられる。

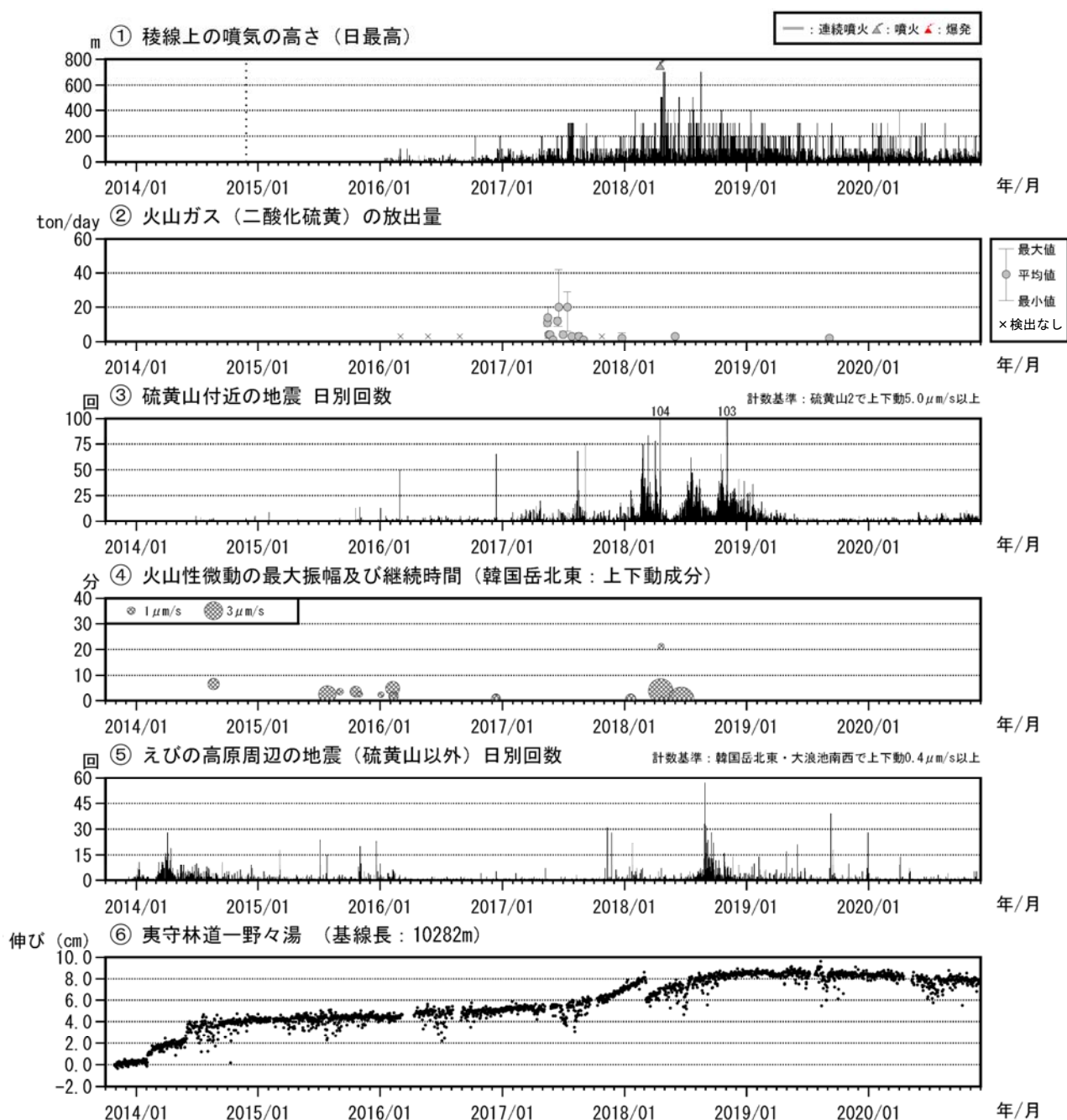


図 6-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 火山活動経過図

(2013 年 10 月～2020 年 11 月)

※2016 年 2 月 10 日 14 時 43 分頃に発生した火山性微動は、韓国岳北東観測点が欠測中であつたため④のグラフには掲載していない。

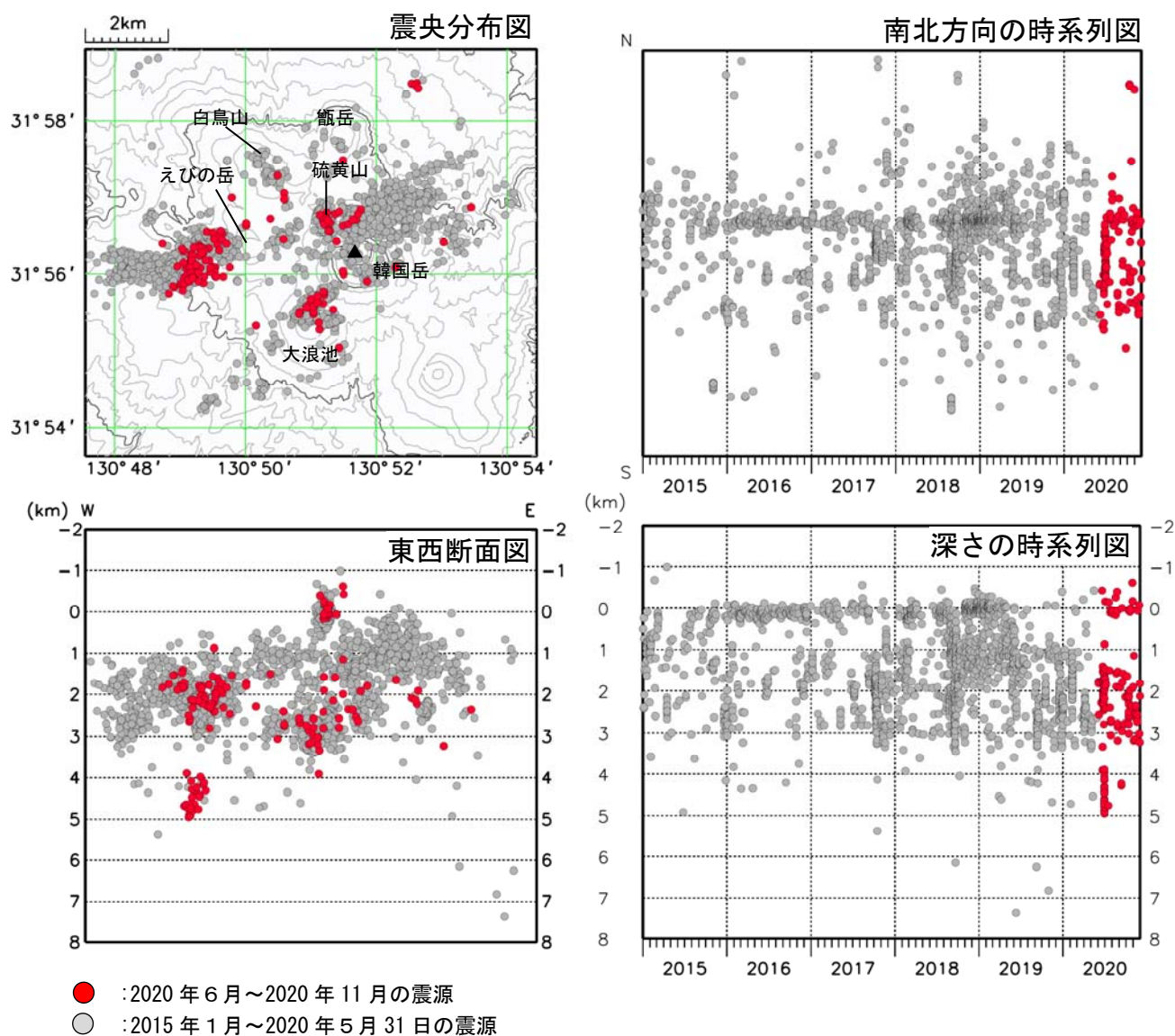


図7 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 震源分布図（2015年1月～2020年11月）

震源は、主に硫黄山近傍のごく浅いところから深さ1 km 付近、韓国岳近傍とその周辺の深さ1～3 km 付近、大浪池近傍の深さ2～4 km 付近に分布した。

えびの岳付近（硫黄山から南西約3 km）の深さ1～3 km 及び5 km 付近において、6月下旬から7月上旬にかけ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。

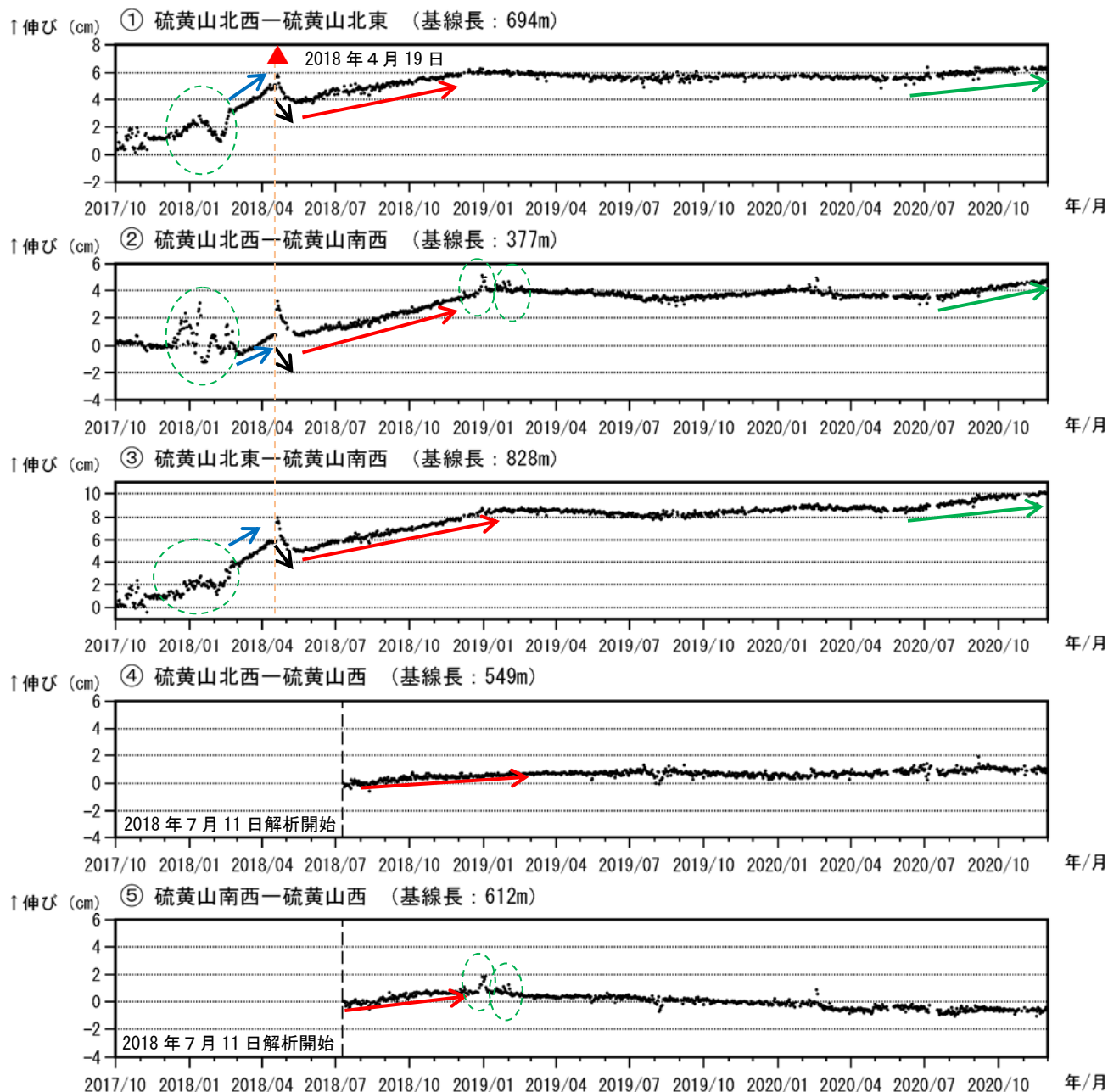


図8 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） GNSS 連続観測による基線長変化
(2017年10月～2020年11月)

GNSS 連続観測では、硫黄山近傍の基線で、2018年4月の噴火（▲）後に山体の収縮を示す変動がみられた後（黒矢印）、山体の膨張を示す変動（赤矢印）が認められていた。この変動は、2019年2月頃から概ね停滞していたが、2020年5月頃から再び山体浅部の膨張を示すわずかな伸びの傾向（緑矢印）がみられている。

これらの基線は図9の①～⑤に対応している。
 緑色の破線内の変化は、地面の凍上の影響と考えられる。
 基線の空白部分は欠測を示している。

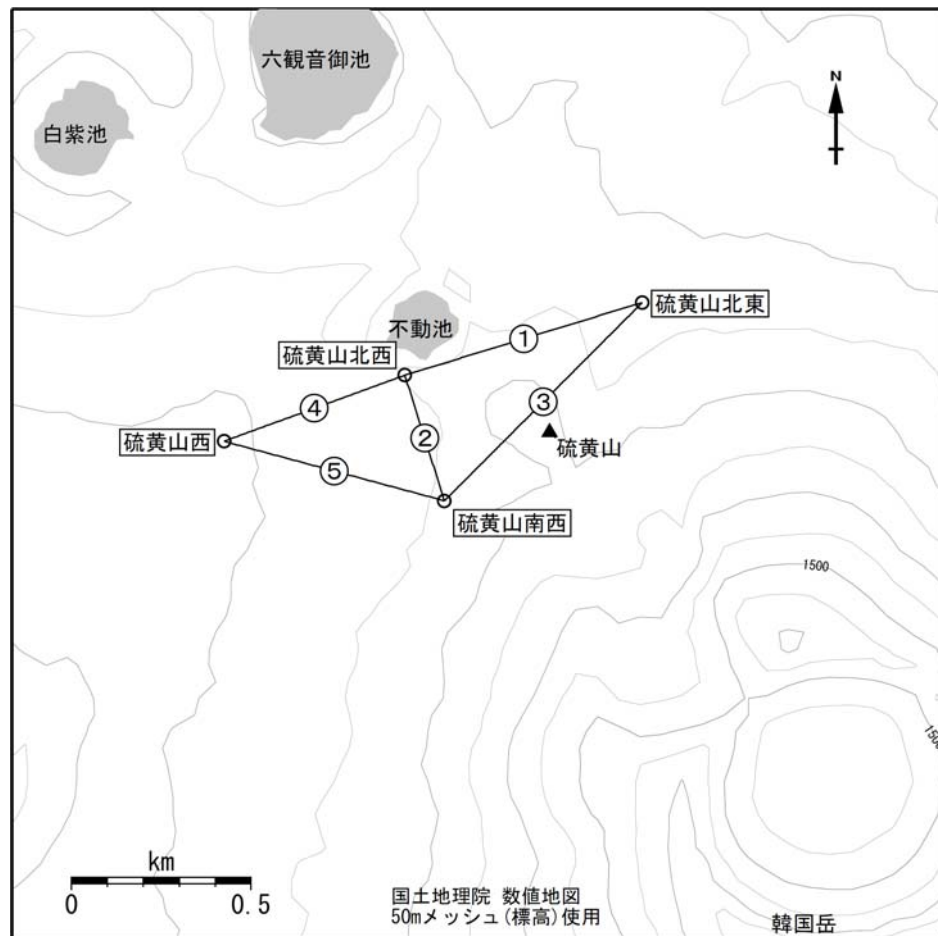


図9 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山周辺のGNSS観測点基線図

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）』及び国土数値情報の『湖沼』を使用した。

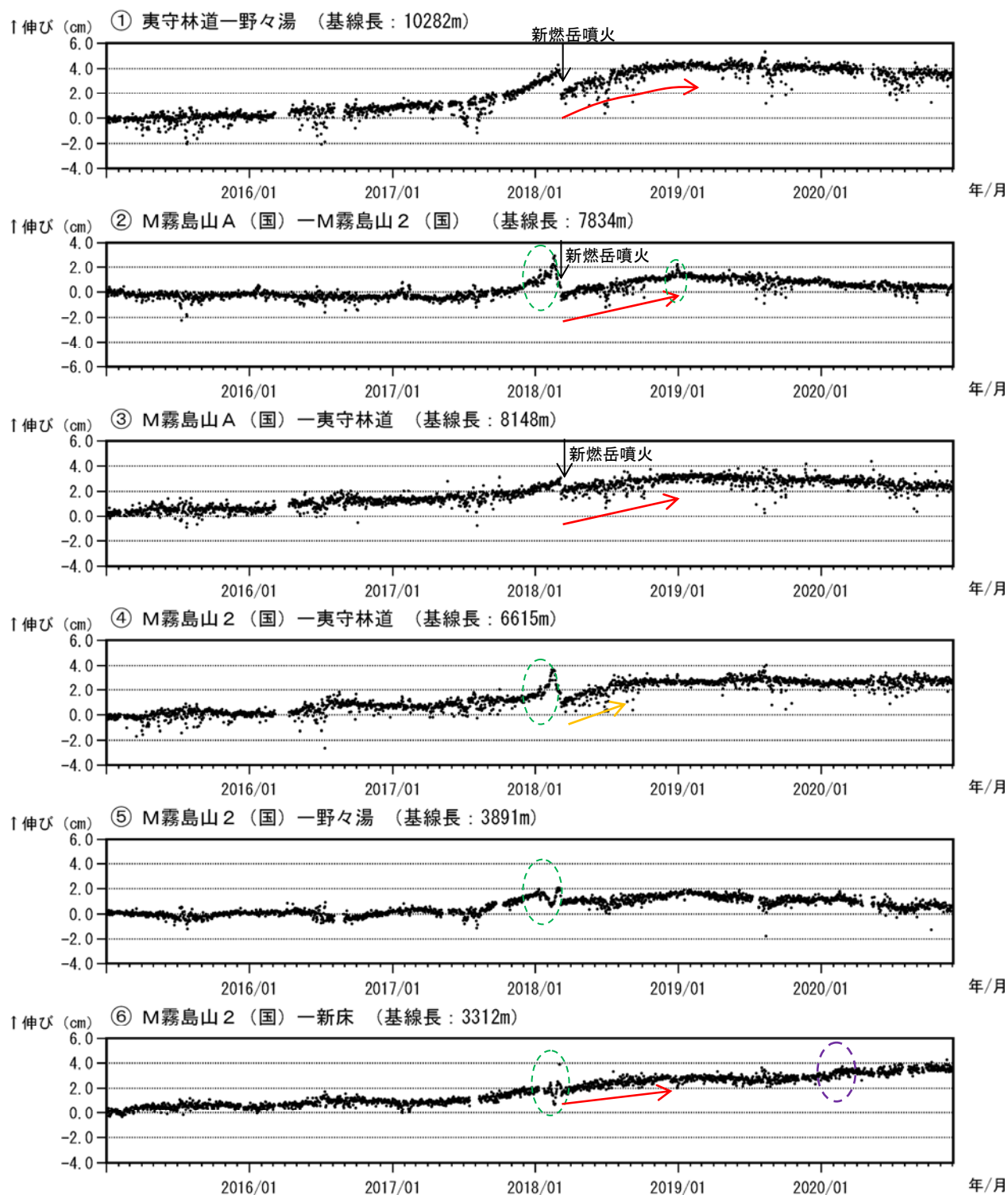


図10 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） GNSS 連続観測による基線長変化
（2015年1月～2020年11月）

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（赤矢印）は2019年2月以降停滞している。えびの高原周辺の基線（④）での硫黄山周辺の膨張を示すと考えられる基線の伸び（橙矢印）は概ね停滞している。

これらの基線は図11の①～⑥に対応している。

緑色の破線内の変化は、地面の凍上の影響と考えられる。

紫色の破線内の変化は、観測点周囲の環境の変化に伴う影響と考えられる。

基線の空白部分は欠測を示している。

（国）：国土地理院

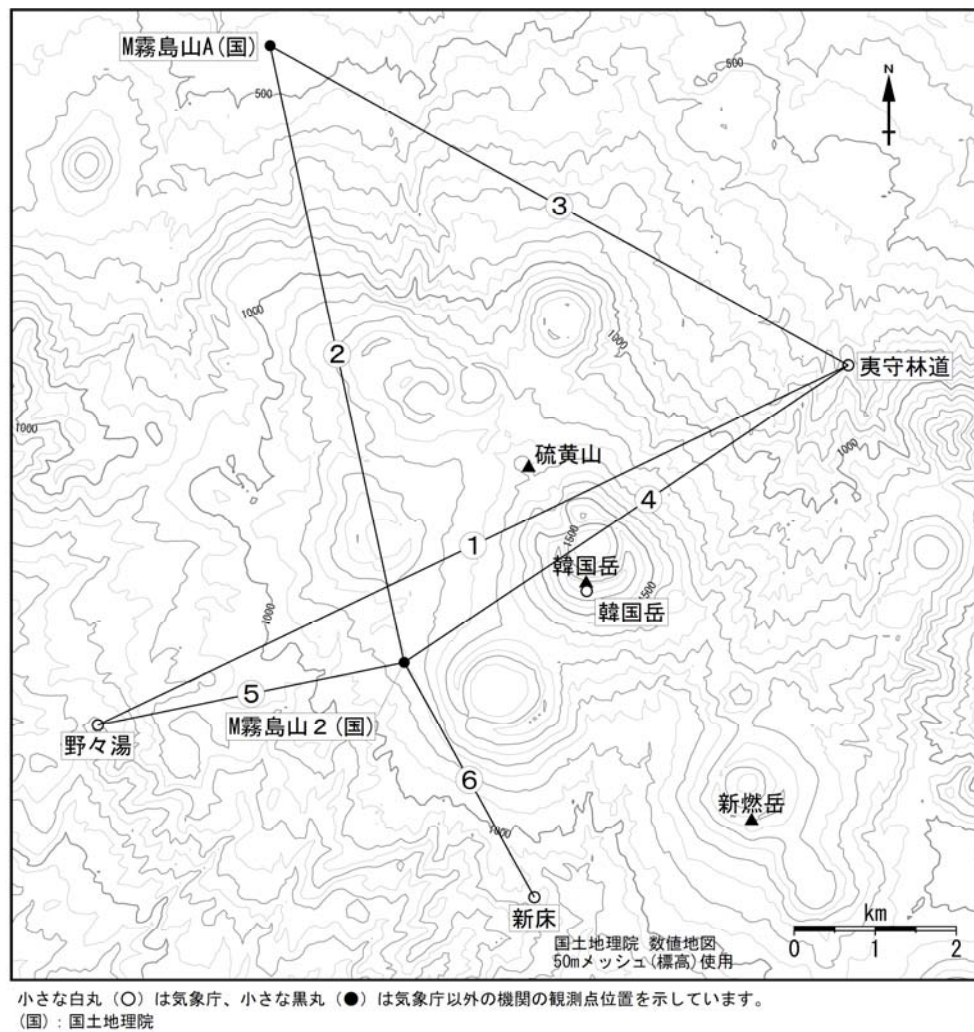


図 11 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） GNSS 観測点基線図

小さな白丸（○）は気象庁、小さな黒丸（●）は気象庁以外の機関の観測点位置を示す。
 (国)：国土地理院

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）』及び国土数値情報の『湖沼』を使用した。

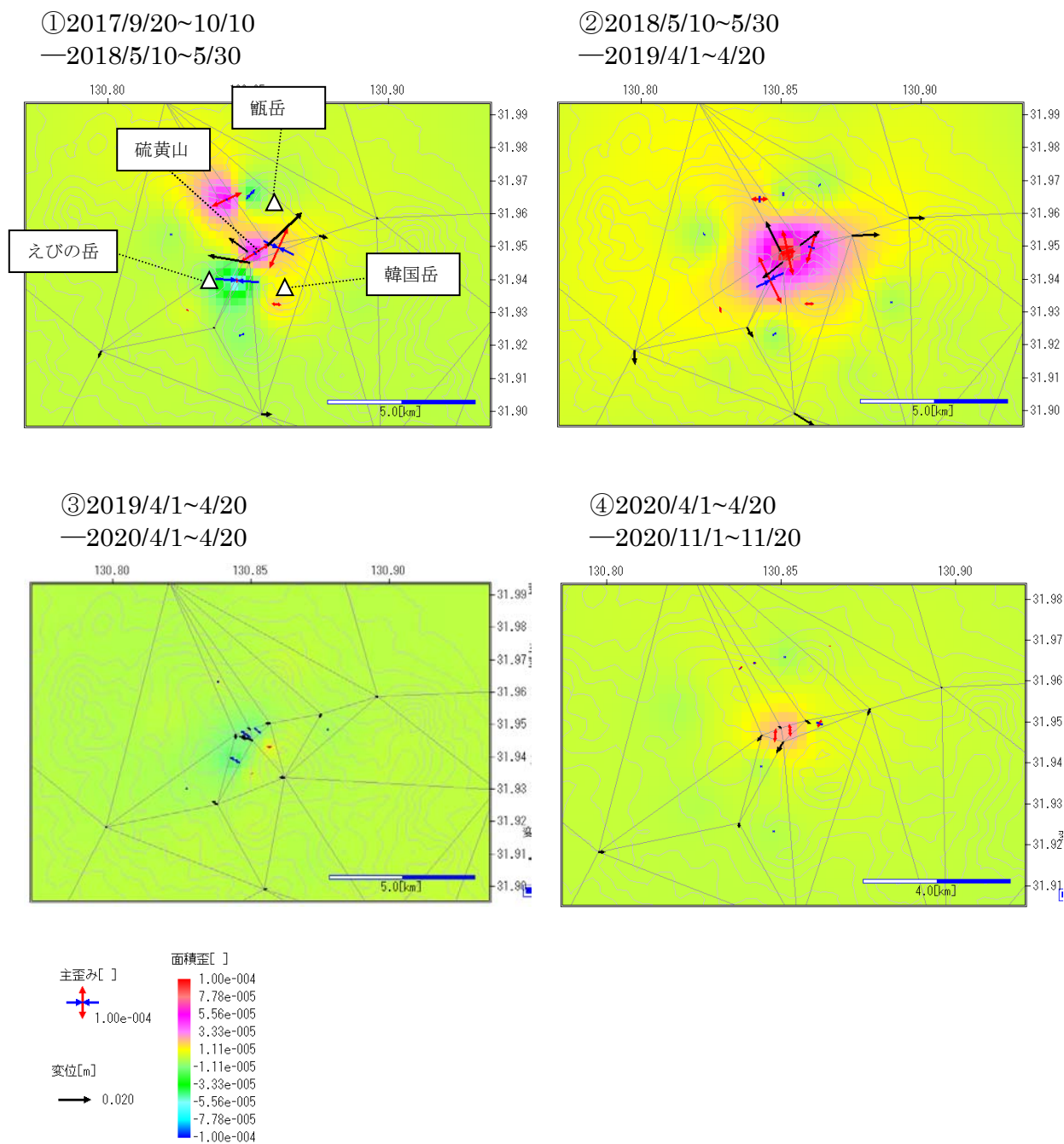
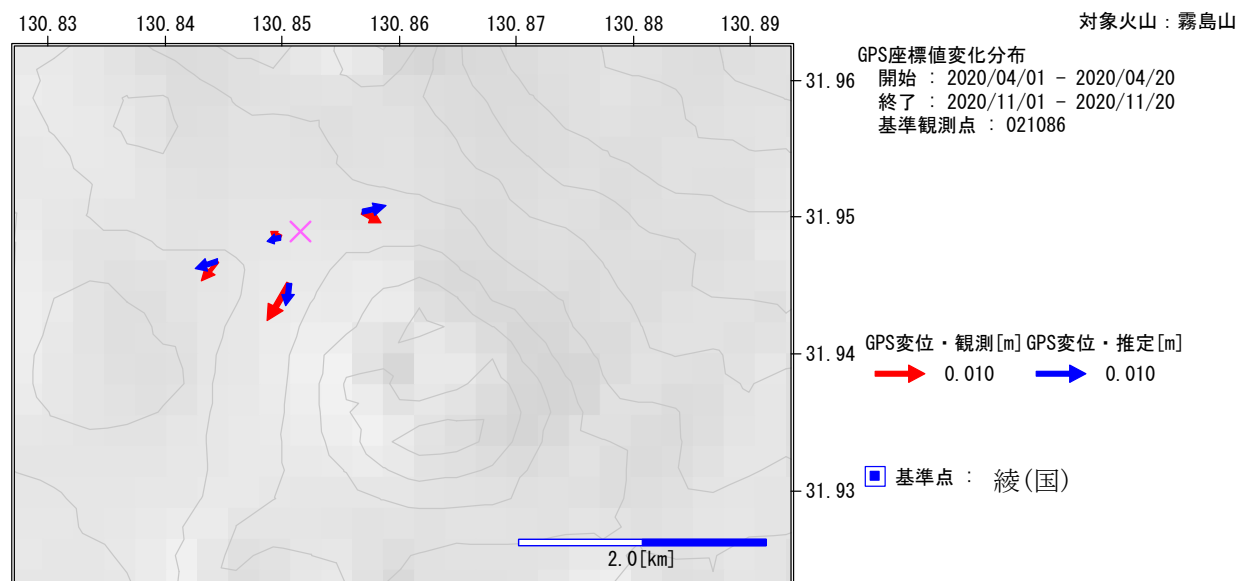


図 12-1 霧島山 えびの高原周辺の GNSS の期間毎の水平変位・主ひずみ・面積ひずみ
(2017 年 9 月 20 日～2020 年 11 月 20 日)

2020 年 5 月以降からみられる硫黄山近傍の膨張に対応しているひずみが確認できる。

※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。



山川・茂木(加圧モデル)	推定値
経度	130.8515 (度)
緯度	31.9490 (度)
標高	680 (m、固定)
体積	1.9000e+004 (m ³)

図 12-2 霧島山 えびの高原周辺の GNSS から推定した膨張量
(2020 年 4 月 1 日～2020 年 11 月)

- ・ 2020 年 5 月以降からみられるの硫黄山近傍の地殻変動に対応した膨張量を計算した。
- ・ 茂木モデルの深さを固定し、水平位置及び膨張量を変動させた。
- ・ ソースの深さは第 146 回予知連絡会九州大学資料を参考にしている。

※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 13-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 全磁力連続観測点配置図

この地図の作成には、国土地理院の地理院地図（電子国土 Web）を使用した。

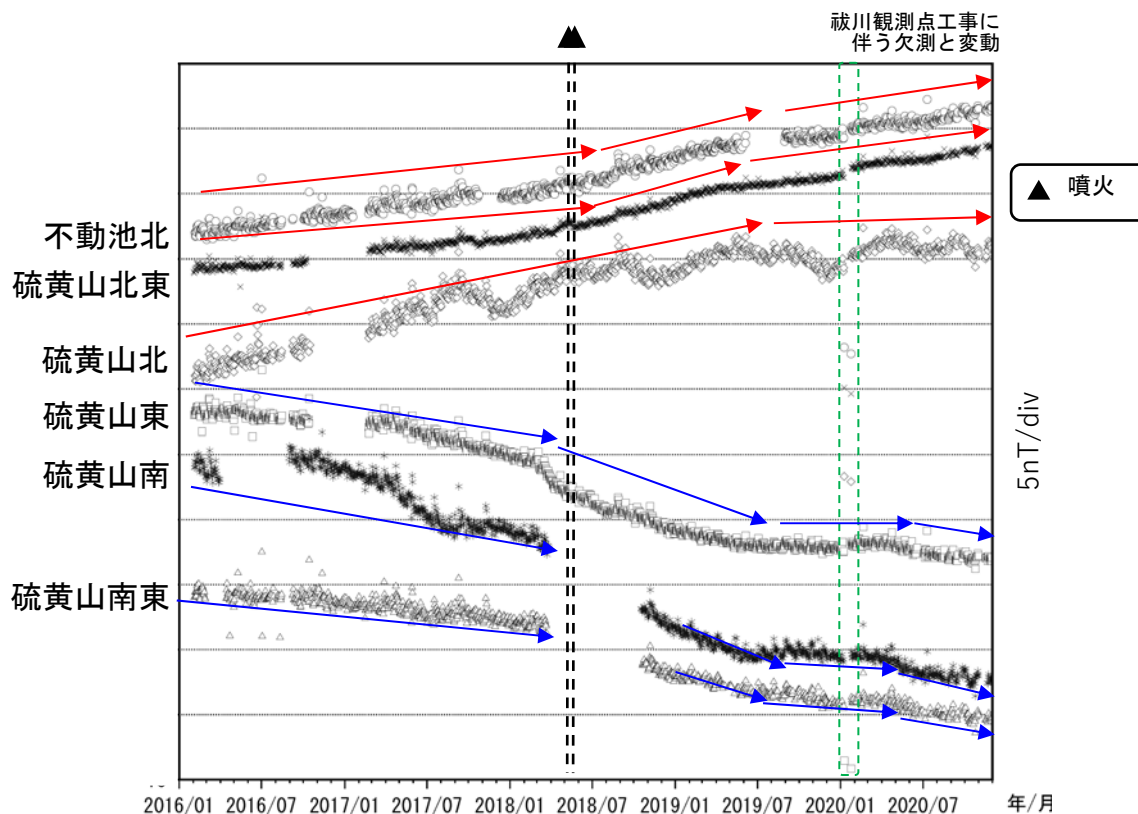


図 13-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 全磁力連続観測点で観測された全磁力変動（2016 年 2 月～2020 年 11 月）

観測を開始した 2016 年 2 月以降、硫黄山の北側では全磁力の増加傾向（赤矢印）、南側で減少傾向（青矢印）が観測されており、硫黄山周辺の地下で熱消磁現象の進行を示す全磁力変動が認められている。その変動は 2019 年 4 月頃から鈍化していたが、硫黄山南側の観測点で 2020 年 5 月頃からやや大きくなっている。

- ・硫黄山の南東約 60km にある地磁気観測所祓川観測点で観測された全磁力値を基準とした場合の 00:00 から 02:59（JST）での日平均値を示す。
- ・図上部の黒三角は 2018 年 4 月 19 日および 4 月 26 日の噴火の発生を示す。

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は、2019年11月以降増減を繰り返しているが、2020年10月中旬以降は地震活動は低下傾向となっている。

新燃岳の西側斜面の割れ目付近では、2020年2月から3月頃にかけて噴気や地熱域の拡大が認められたが、その後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4月に増加し、その後も同程度の放出量が維持されているが、特段の変化は認められない。

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、噴火に至る可能性は低くなりつつあると考えられる。

弾道を描いて飛散する大きな噴石が新燃岳火口から概ね2kmまで、火砕流が概ね1kmまで達する可能性がある。そのため、新燃岳火口から概ね2kmの範囲では警戒が必要である。また、風下側では、火山灰だけでなく小さな噴石（火山れき）が遠方まで風に流されて降るおそれがあるため注意が必要である。

地元自治体等が行う立入規制等にも留意が必要である。

○ 概況（2020年6月～11月30日）

・ 噴煙など表面現象の状況（図1～6、図8-1-①、図8-2-①②）

新燃岳では2018年6月28日以降、噴火は観測されていない。

白色の噴煙の高さは火口縁上概ね200m以下で経過した。2020年2月13日以降、火口西側斜面の割れ目において噴気が観測されており、高さは概ね100m以下で経過した。また、韓国岳の赤外監視カメラでは、2020年3月以降、火口西側斜面の割れ目付近で地熱域が認められている。

新湯温泉付近及び韓国岳からの現地調査では、2020年2月20日の調査以降、西側斜面の割れ目において噴気を、3月以降の調査で割れ目付近における地熱域の拡大を確認している。噴気及び地熱域については今期間繰り返し実施した観測でも確認したが、拡大傾向は認められていない。また、火口内を覆う溶岩の縁辺部では引き続き噴気を確認し、溶岩の縁辺部では従来と同様に地熱域を確認した。西側斜面の割れ目下方の地熱域は、今期間の観測では不明瞭になっている。

海上自衛隊第1航空群の協力により10月13日に実施した上空からの観測では、新燃岳火口内の中心部及び縁辺部の一部で白色の噴気が上がっているのを引き続き確認した。また、火口西側斜面の割れ目から噴気が上がっているのを確認したが、特段の変化は認められなかった。

・ 地震や微動の発生状況（図7、図8-1-③④、図8-2-④⑤、図9-③）

新燃岳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、2020年8月26日、27日には日回数がそれぞれ293回、212回に達した。また、BL型地震やBP型地震も時々発生した。その後、地震活動は10月中旬以降は低下傾向となっている。

地震回数は2020年6月403回、7月293回、8月856回、9月668回、10月782回、11月256回となっている。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1km付近に分布し、一部が新燃岳火口の西側1.5km付近の深さ3km付近に

分布した。

継続時間の短い火山性微動が10月15日に1回観測された。火山性微動の観測は2020年3月2日以来である。

・地殻変動の状況（図8-1-⑤、図8-2-⑥、図9-①、図10～12）

新燃岳近傍の傾斜計では、山体膨張を示す顕著な変化は観測されていない。

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。

・火山ガスの状況（図8-1-②、図8-2-③）

山麓で実施した現地調査では、火山ガス（二酸化硫黄）の1日あたりの放出量は2019年12月27日には検出限界未満であったが、2020年4月9日に100トンと増加し、23日に500トンとさらに増加した。その後も同程度の放出量（1日あたり50～300トン）が維持されている状態である。



図1 霧島山（新燃岳） 噴煙の状況（10月25日、韓国岳監視カメラによる）

- ・新燃岳火口では、噴煙の高さは火口縁上概ね200m以下で経過した。
- ・2020年2月13日以降、火口西側斜面の割れ目において噴気が観測されており、概ね高さ100m以下で経過した。また、2020年3月以降、火口西側斜面の割れ目付近で地熱域が認められており、今期間も引き続き認められた。



図2 霧島山（新燃岳） 観測位置及び撮影方向

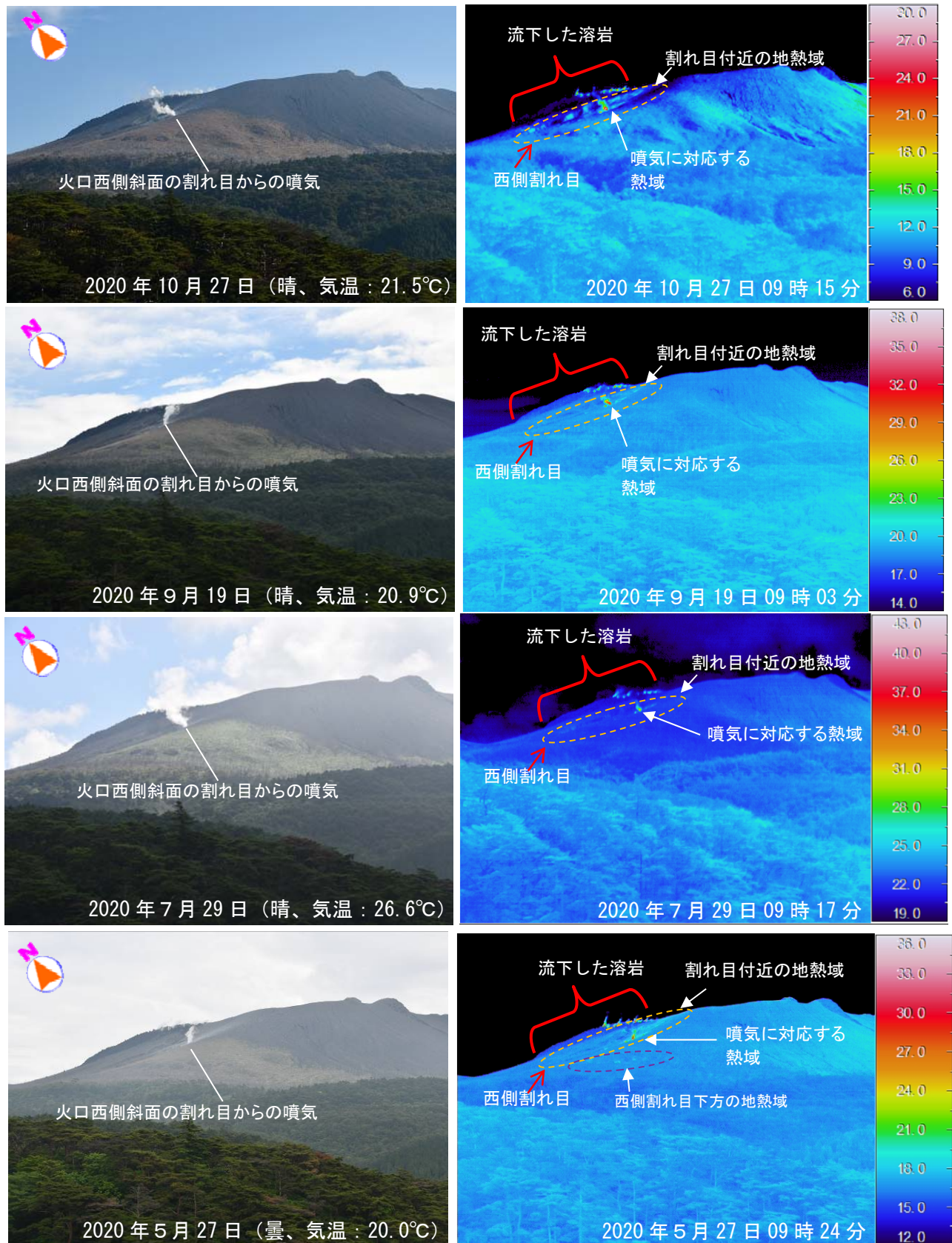


図3 霧島山（新燃岳） 新燃岳南西側の状況（新湯温泉付近から観測）

- ・2020年2月20日の調査以降、西側斜面の割れ目において噴気を、3月以降の調査で割れ目付近で地熱域の拡大を確認している。噴気及び地熱域については今期間の観測でも確認したが、特段の変化は認められていない。
 - ・火口内を覆う溶岩の縁辺部では引き続き噴気及び地熱域を確認した。
 - ・割れ目下方の地熱域※については、今期間の観測では不明瞭となっていた。
- ※2015年11月以降、西側斜面の割れ目の下方で弱い地熱域を観測している。

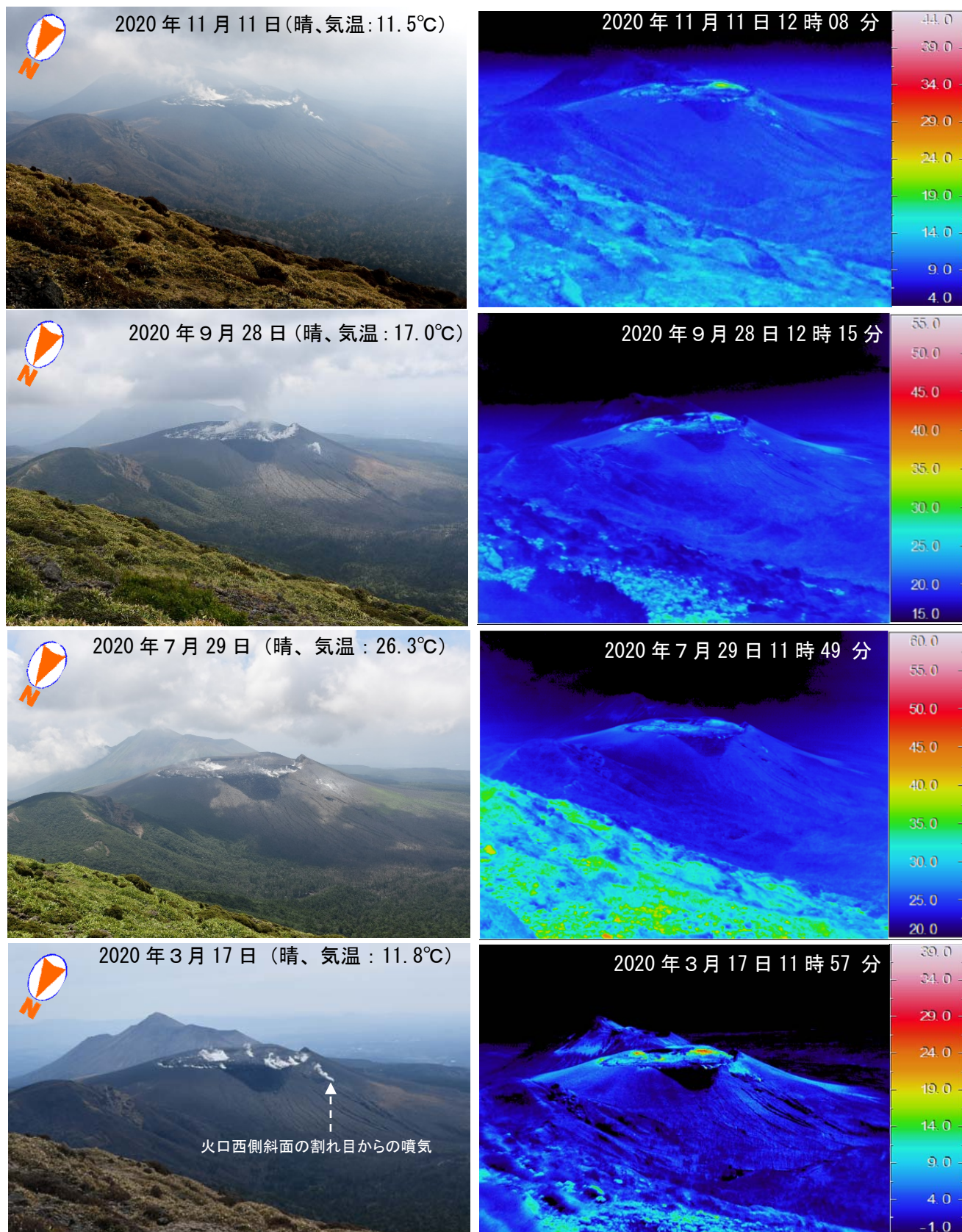


図 4-1 霧島山（新燃岳） 火口内及び西側斜面の状況（韓国岳から観測）

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気が上がっているのを確認し、これに対応する地熱域が認められたが、これまでの観測と比べ特段の変化は認められなかった。

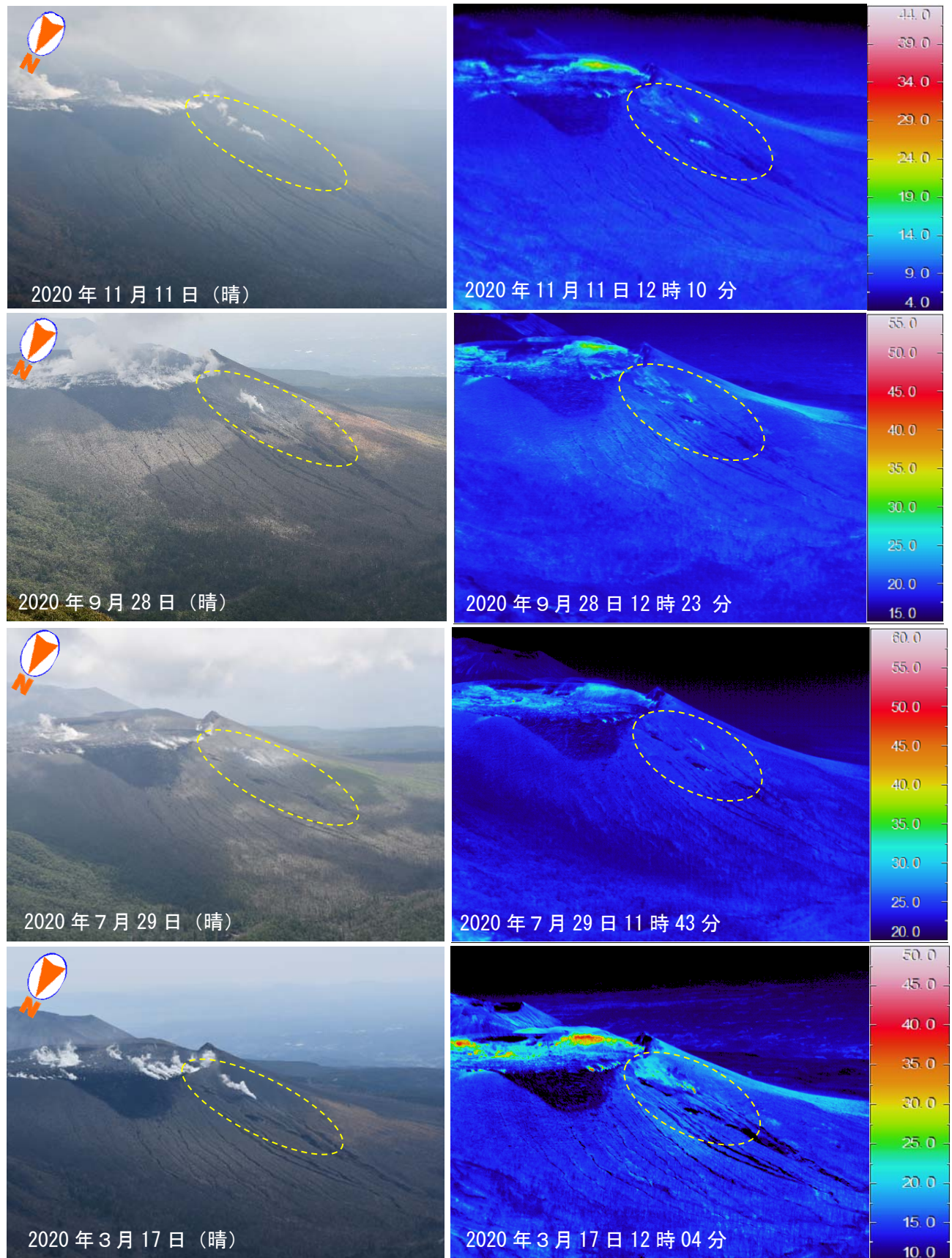


図 4-2 霧島山（新燃岳） 西側斜面の状況（韓国岳から観測）

火口西側斜面の割れ目付近（黄破線内）では、2020年2月20日の調査以降噴気を確認しており、割れ目付近では地熱域を観測した。

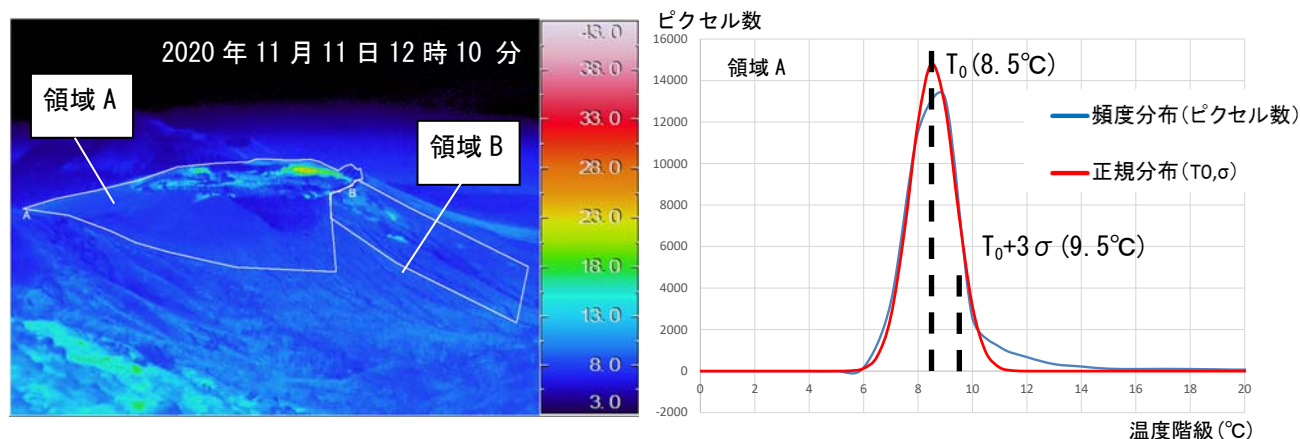


図 5-1 霧島山（新燃岳） 図 5-2 に示した新燃岳の放熱率算出の解析領域と温度分布の例（2020 年 11 月 11 日 12 時 10 分）

- ・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。

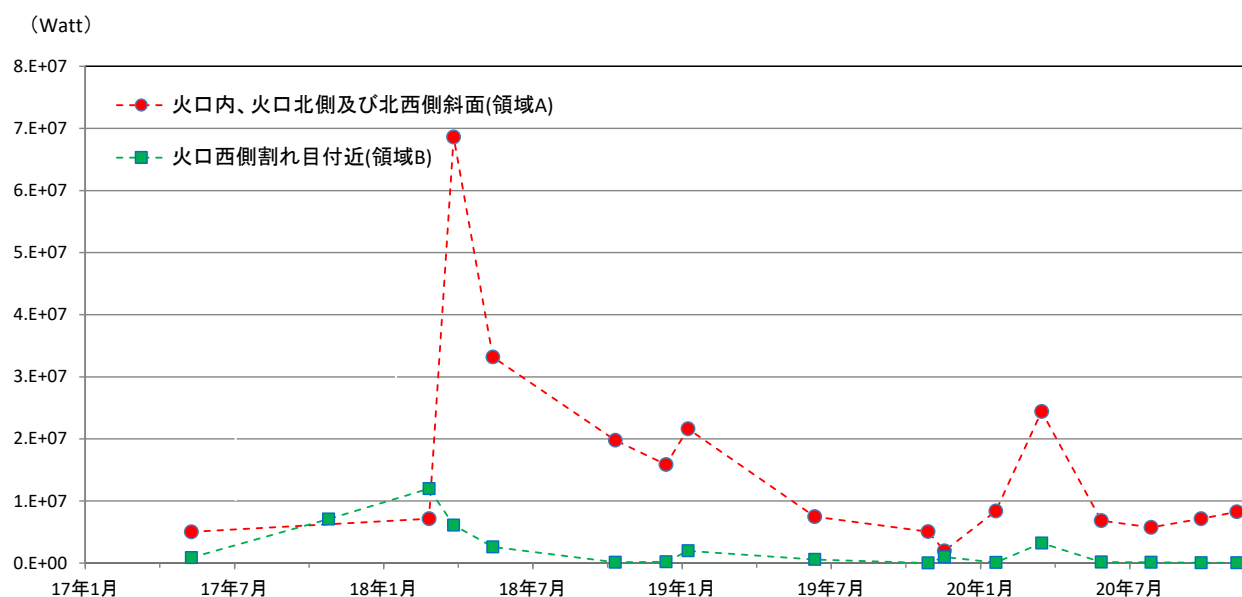


図 5-2 霧島山（新燃岳） 地表面温度分布より算出した新燃岳の放熱率の推移
(値を観測日ごとに平均) (2017 年 5 月 11 日～2020 年 11 月)

図 4 の観測データを用い、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 5-1 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。

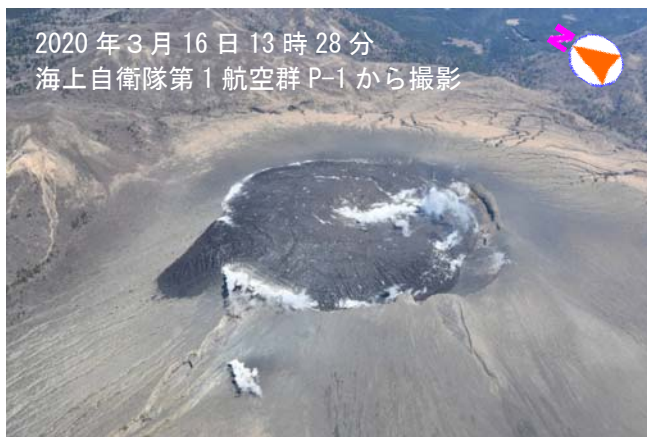


図6 霧島山（新燃岳） 新燃岳火口周辺および西側斜面の状況

（①：2020年10月13日、②：2020年3月16日、③：2019年10月25日）

- ・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、西側斜面の割れ目において白色噴気が引き続き上がっているのを確認した。

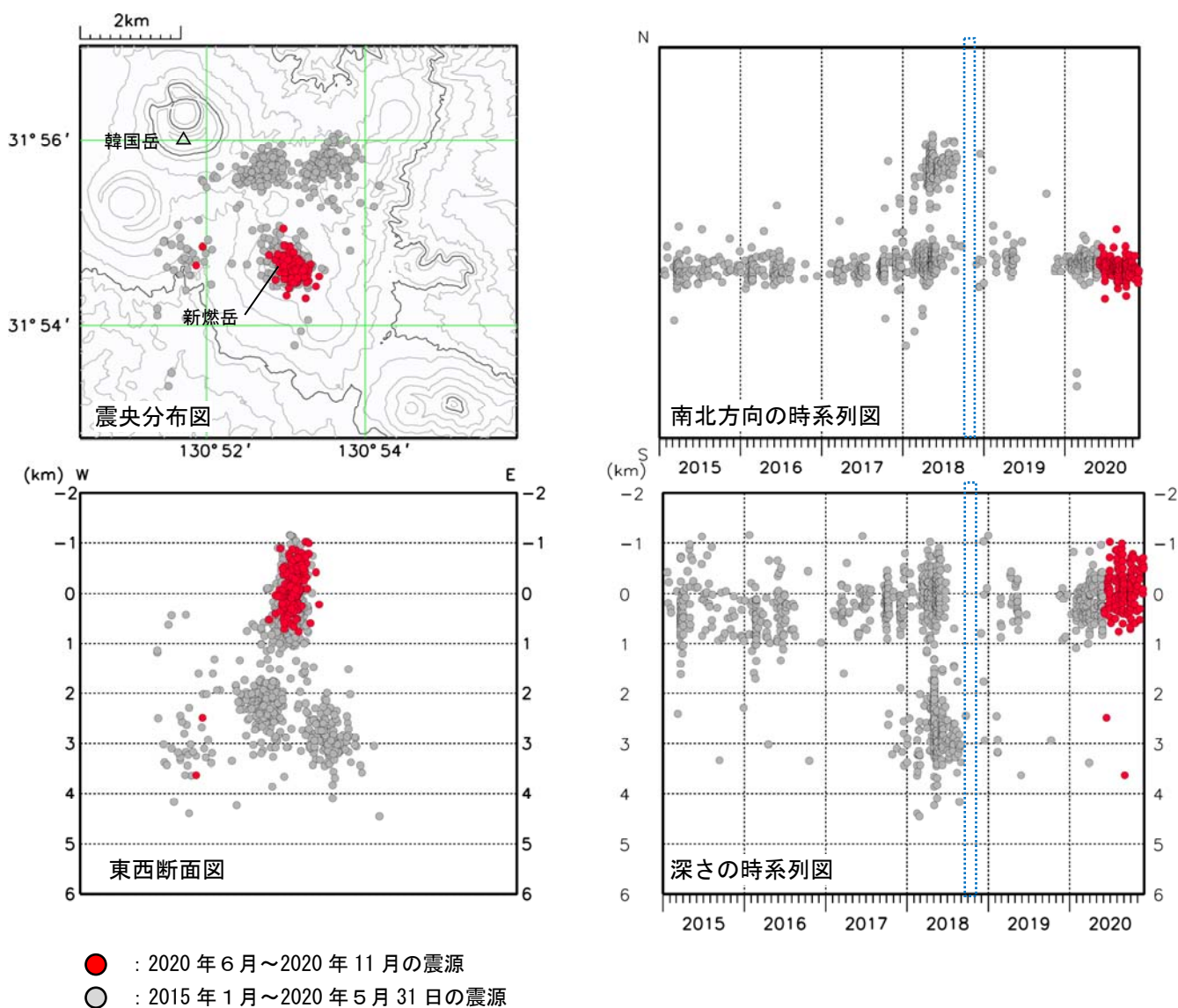


図7 霧島山（新燃岳） 震源分布図（2015年1月～2020年11月）

<2020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1km付近に分布し、一部が新燃岳火口の西側1.5km付近の深さ3km付近に分布した。

※新燃岳周辺の震源のみ図示している。

※観測点の障害により、震源が求まらなかった期間がある（青破線枠）。

※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。

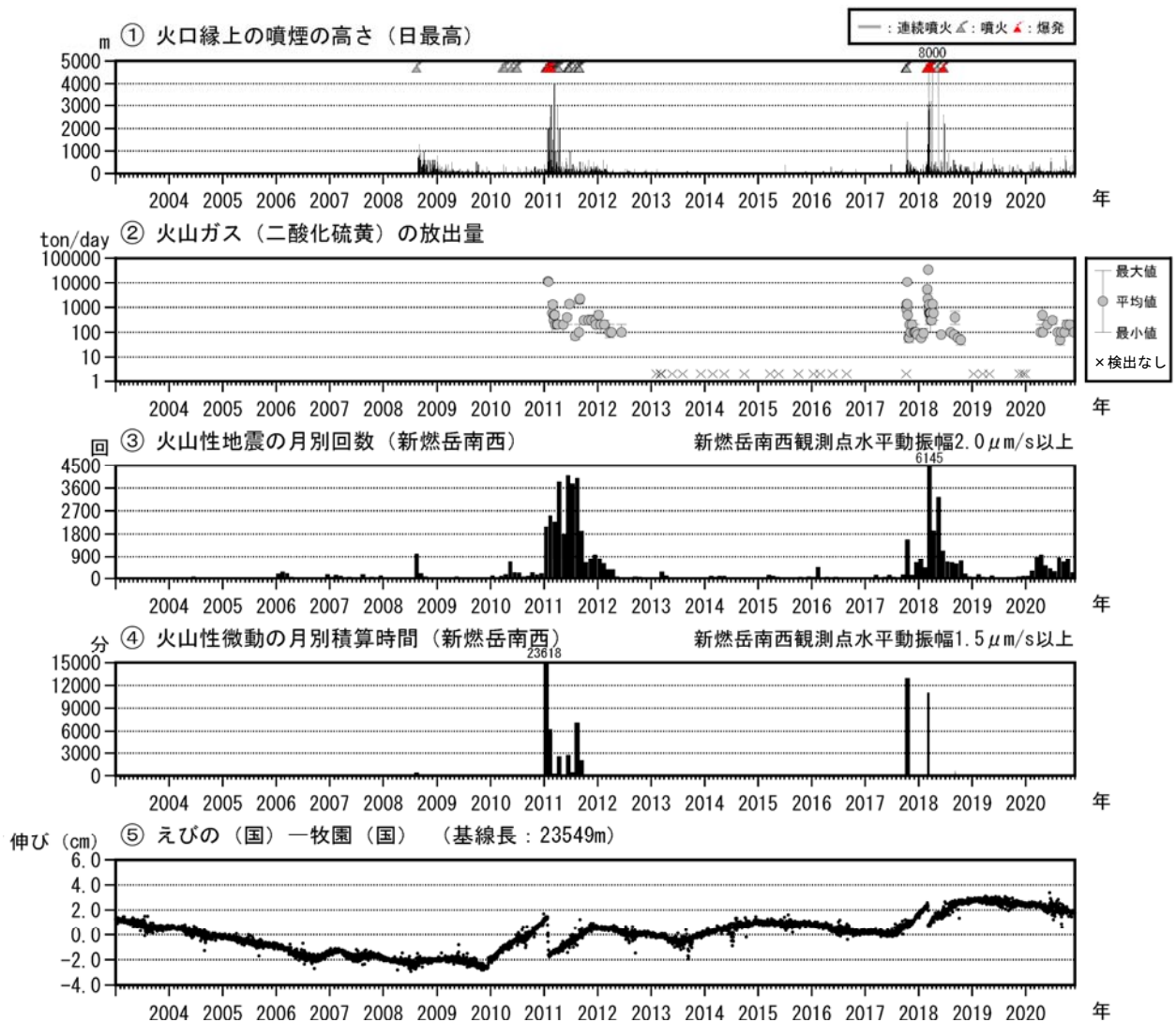


図 8-1 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2003 年 1 月～2020 年 11 月）

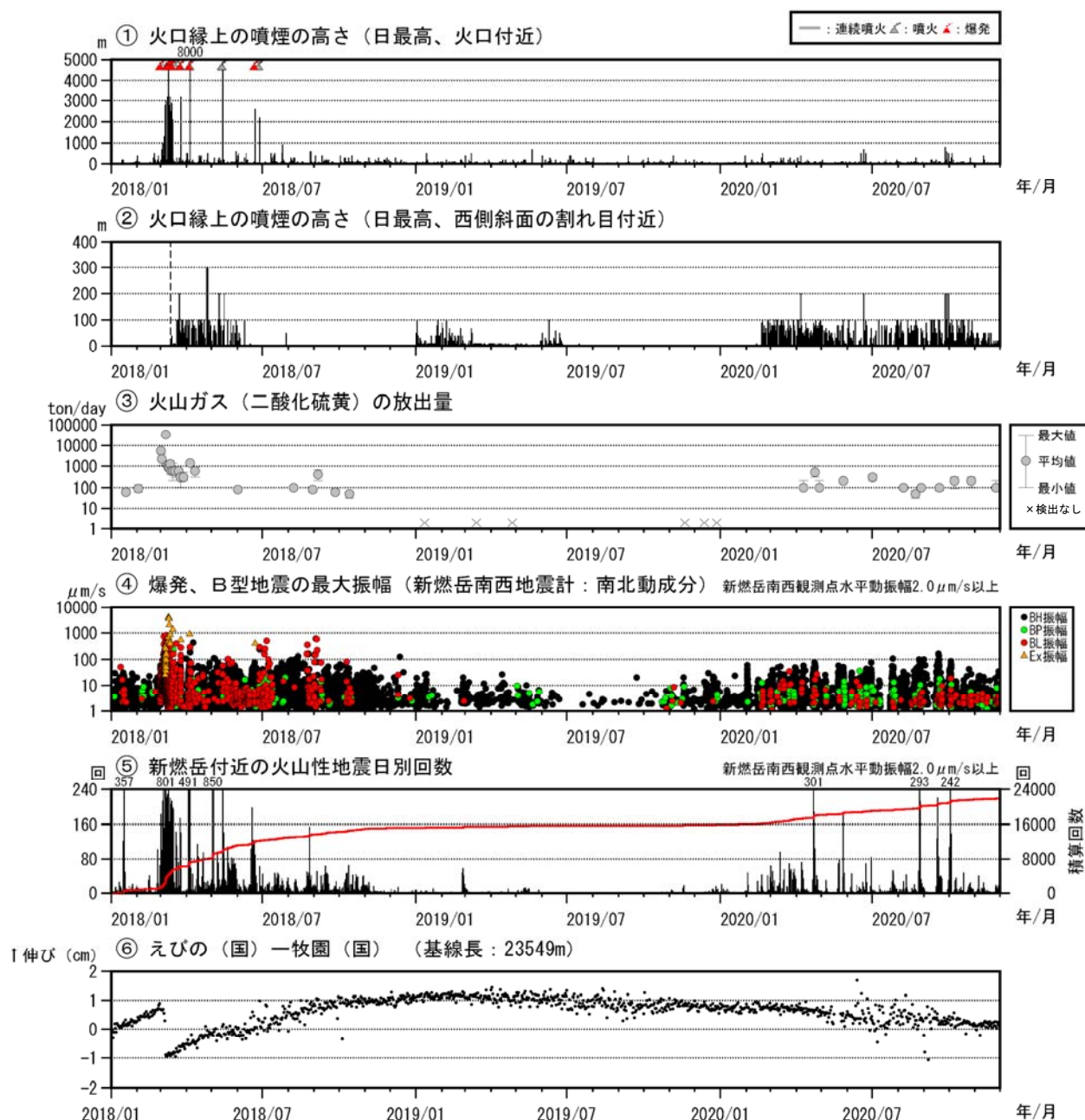


図 8-2 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2018 年 2 月～2020 年 11 月）

<2020年6月～11月の状況>

- ・ 白色の噴煙の高さは火口縁上概ね200m以下で経過した。
- ・ 火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は2019年12月27日には検出限界未満であったが、2020年4月以降は1日あたり100～500トンと増加した。その後も同程度の放出量（1日あたり50～300トン）が維持されている状態である。
- ・ 火山性地震は、増減を繰り返して時々多い状態となったが、地震活動は10月中旬以降は低下傾向となっている。また、BL型及びBP型地震が時々観測された。
- ・ 継続時間の短い火山性微動が10月15日に1回観測された。

⑤の赤線は、地震の回数の積算を示す。

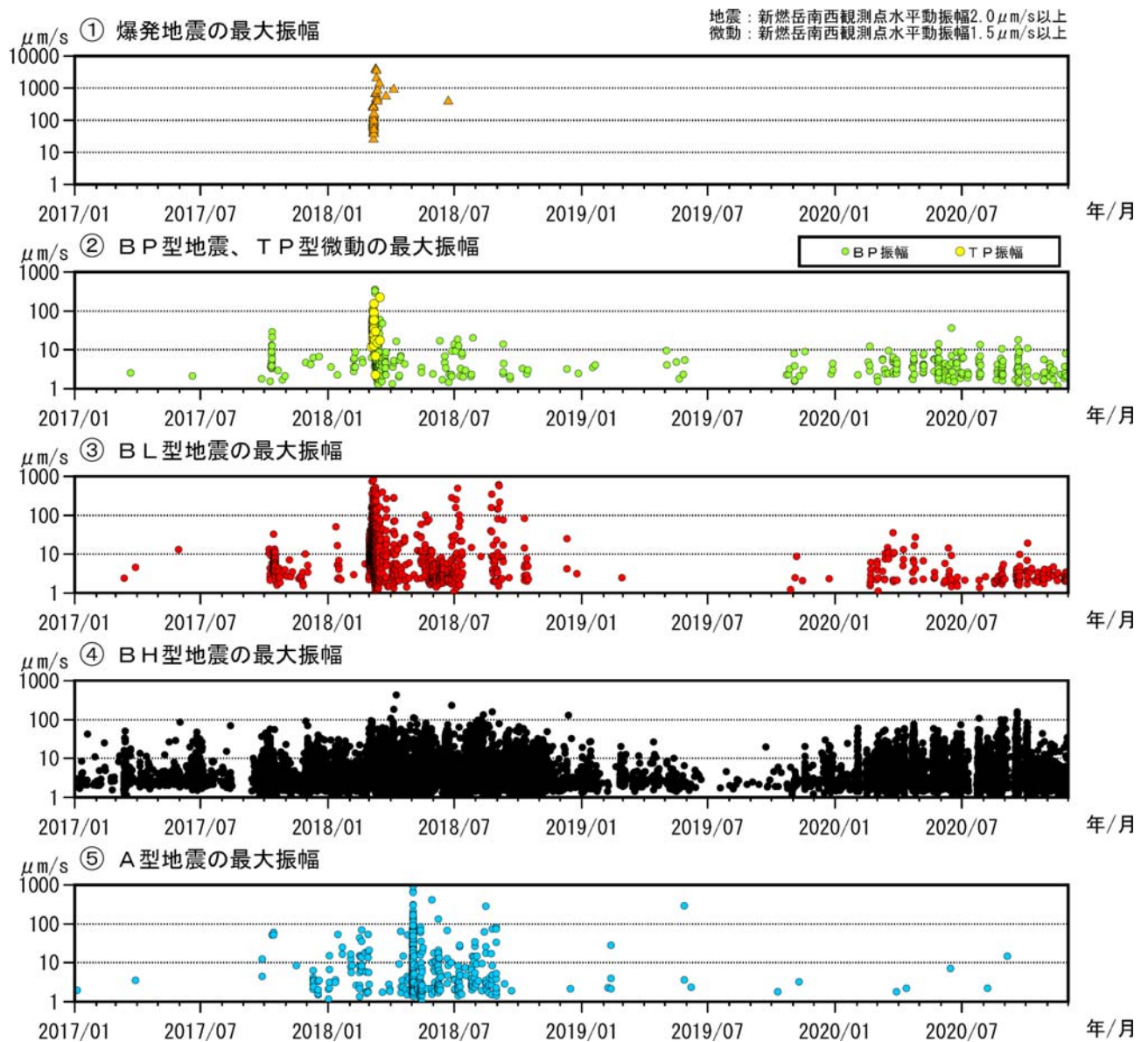


図 8-3 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2017 年 9 月～2020 年 11 月）

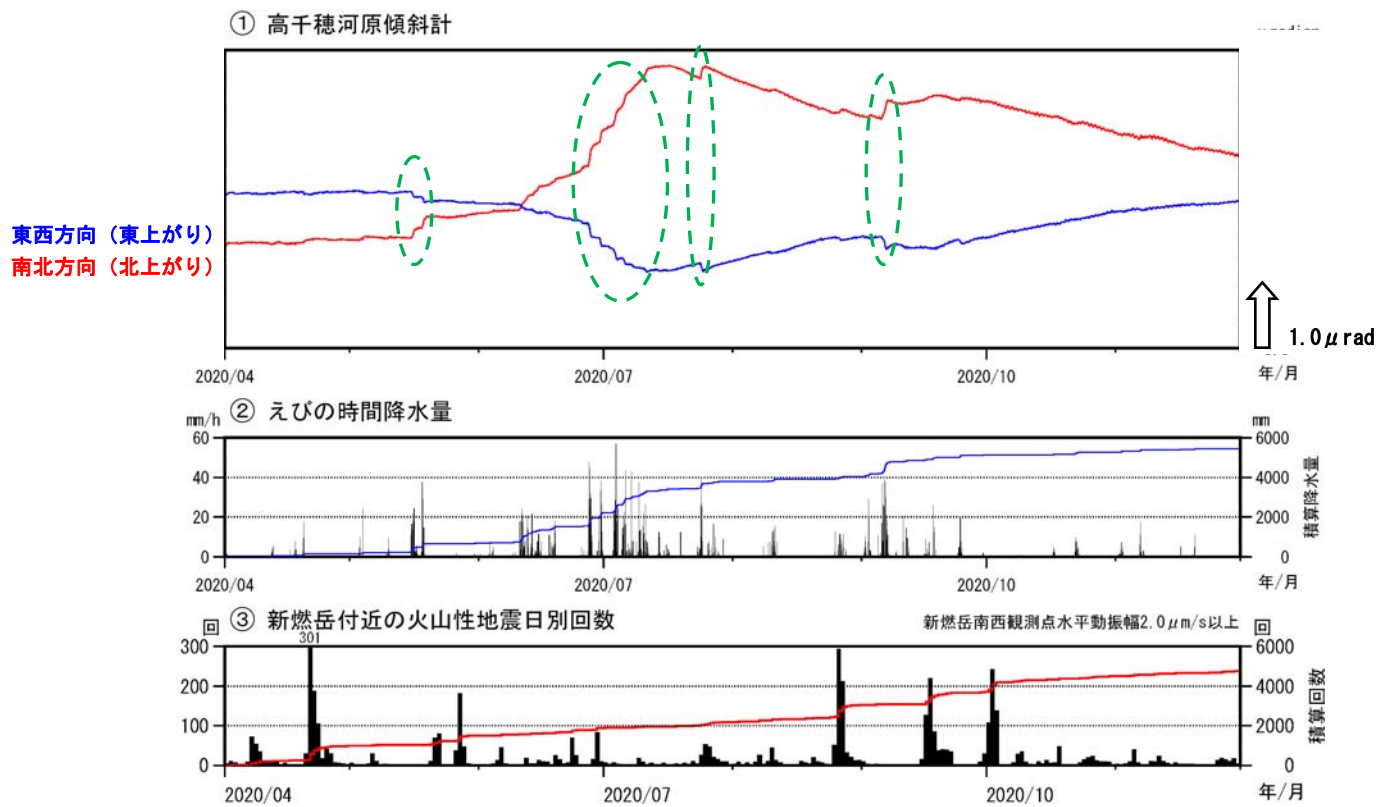


図9 霧島山（新燃岳） 地殻変動の状況（2020年4月～11月）

<2020年6月～11月の状況>

山体膨張を示す顕著な変化は観測されていない。

③の赤線は、地震の回数の積算を示す。

高千穂河原の傾斜計における緑破線内の変化は、霧島山周辺の降水による影響と考えられる。

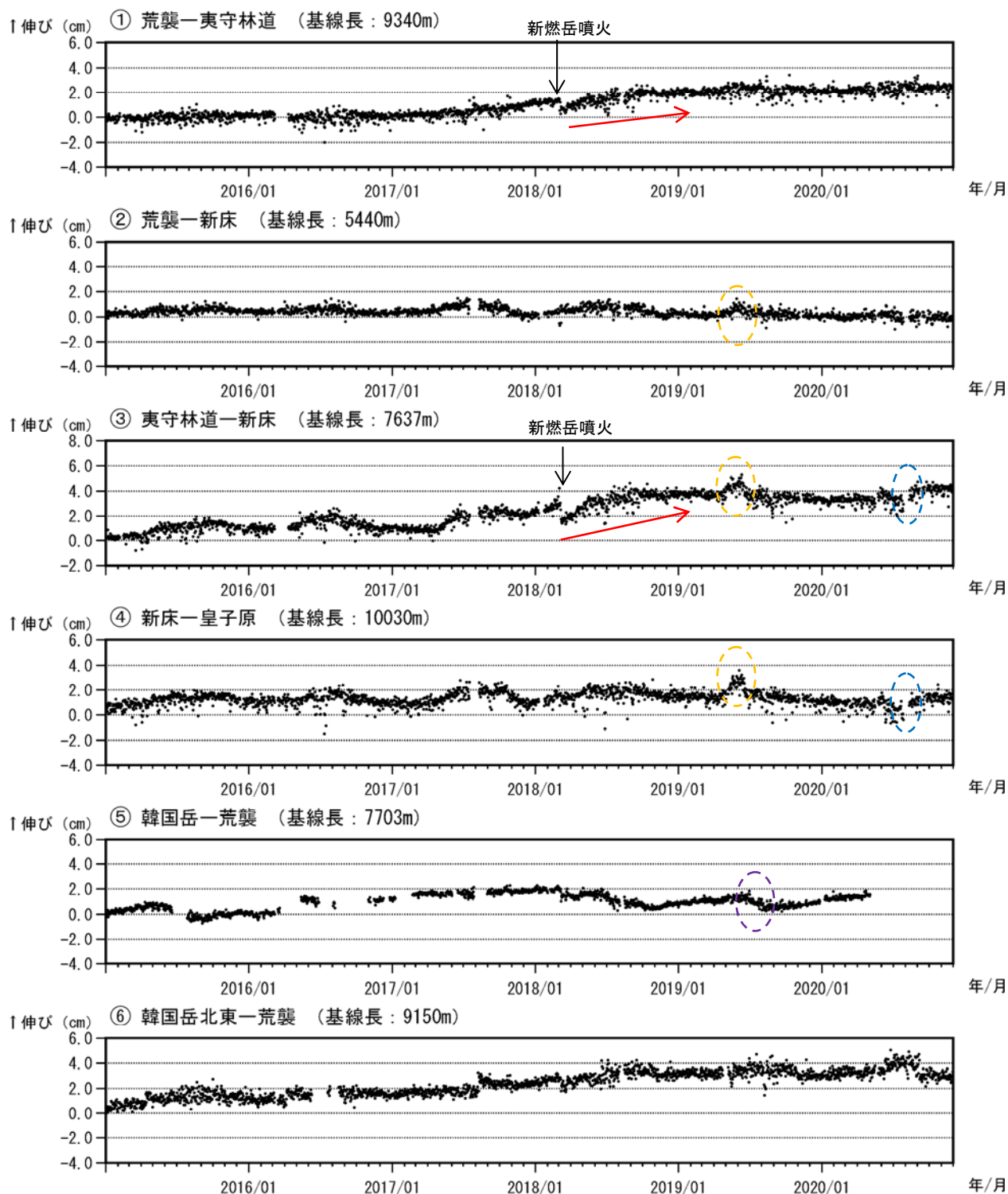


図 10-1 霧島山（新燃岳） GNSS 連続観測による基線長変化
(2015 年 1 月～2020 年 11 月)

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（赤矢印）は 2019 年 2 月頃から認められない。

これらの基線は図 11 の①～⑥に対応している。

基線の空白部分は欠測を示している。

橙色の破線内の変化は、新床観測点周囲の環境の変化に伴う影響と考えられる。

紫色の破線内の変化は、韓国岳観測点固有の局所的な変動による影響と考えられる。

青色の破線内の変化は、新床観測点固有の局所的な変動による影響と考えられる。

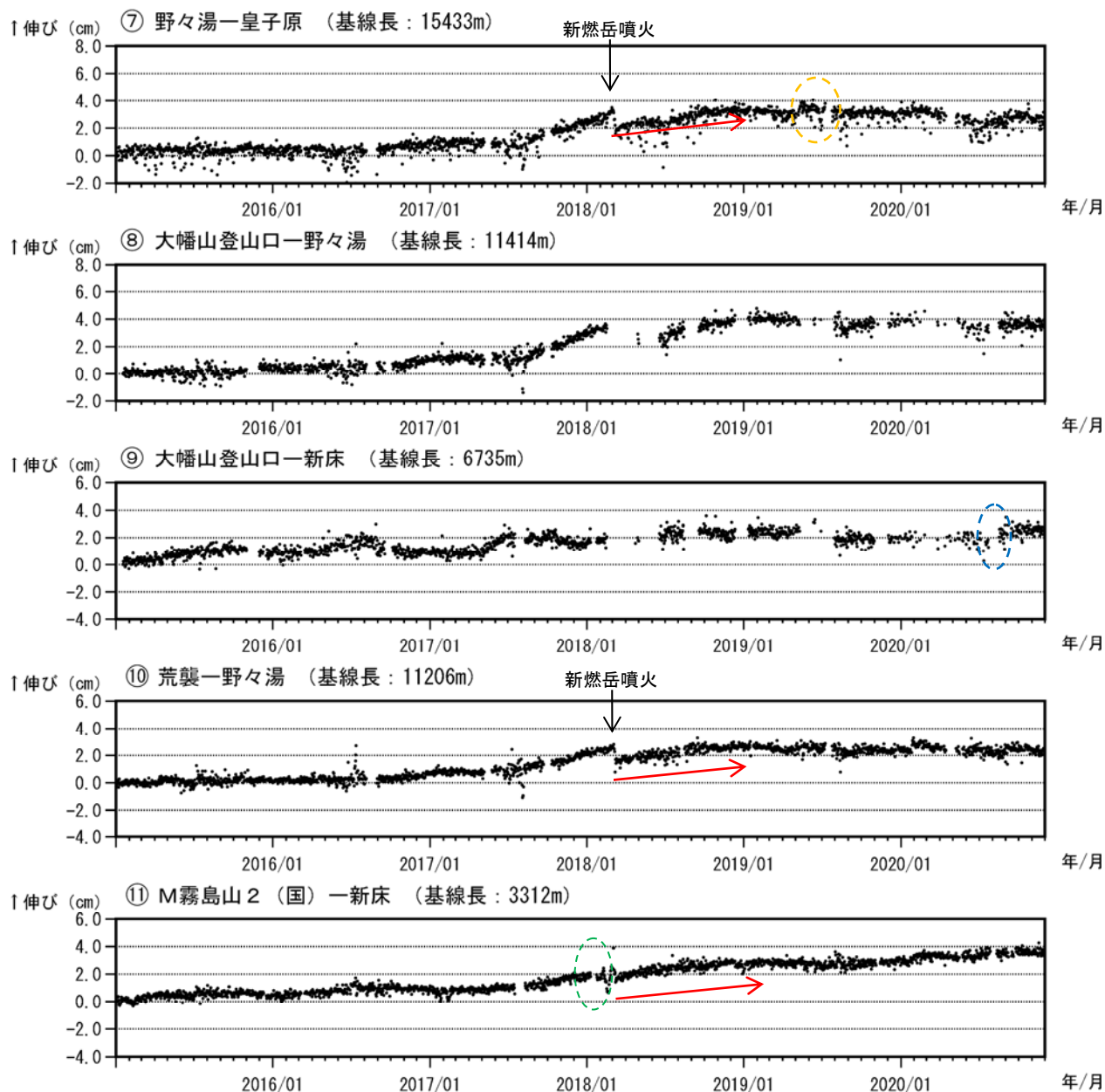


図 10-2 霧島山（新燃岳） GNSS 連続観測による基線長変化
(2015 年 1 月～2020 年 11 月)

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（赤矢印）は 2019 年 2 月頃から認められない。

これらの基線は図 11 の⑦～⑪に対応している。

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、皇子原観測点周囲の環境の変化に伴う影響と考えられる。

青色の破線内の変化は、新床観測点固有の局所的な変動による影響と考えられる。

基線の空白部分は欠測を示している。

(国)：国土地理院

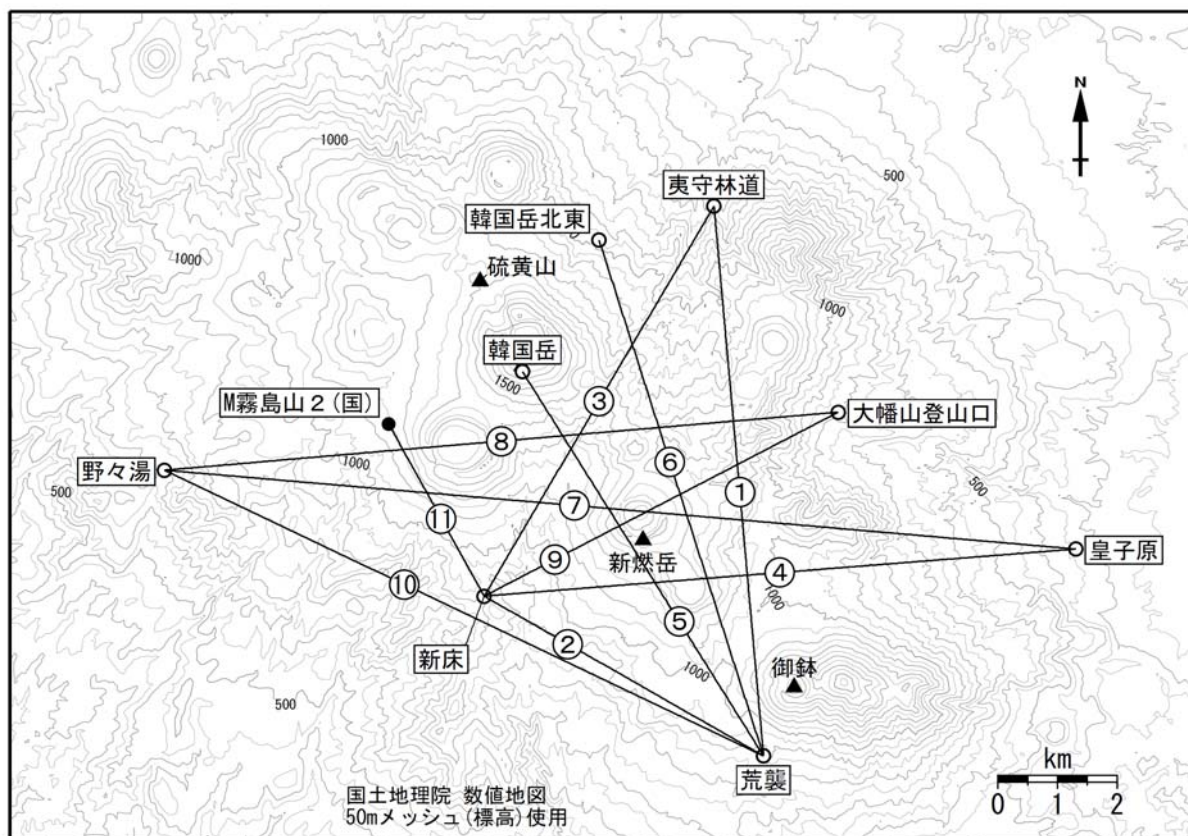


図11 霧島山（新燃岳） GNSS 観測点基線図

白丸（○）は気象庁、黒丸（●）は気象庁以外の機関の観測点位置を示す。

（国）：国土地理院

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）』及び国土数値情報の『湖沼』を使用した。

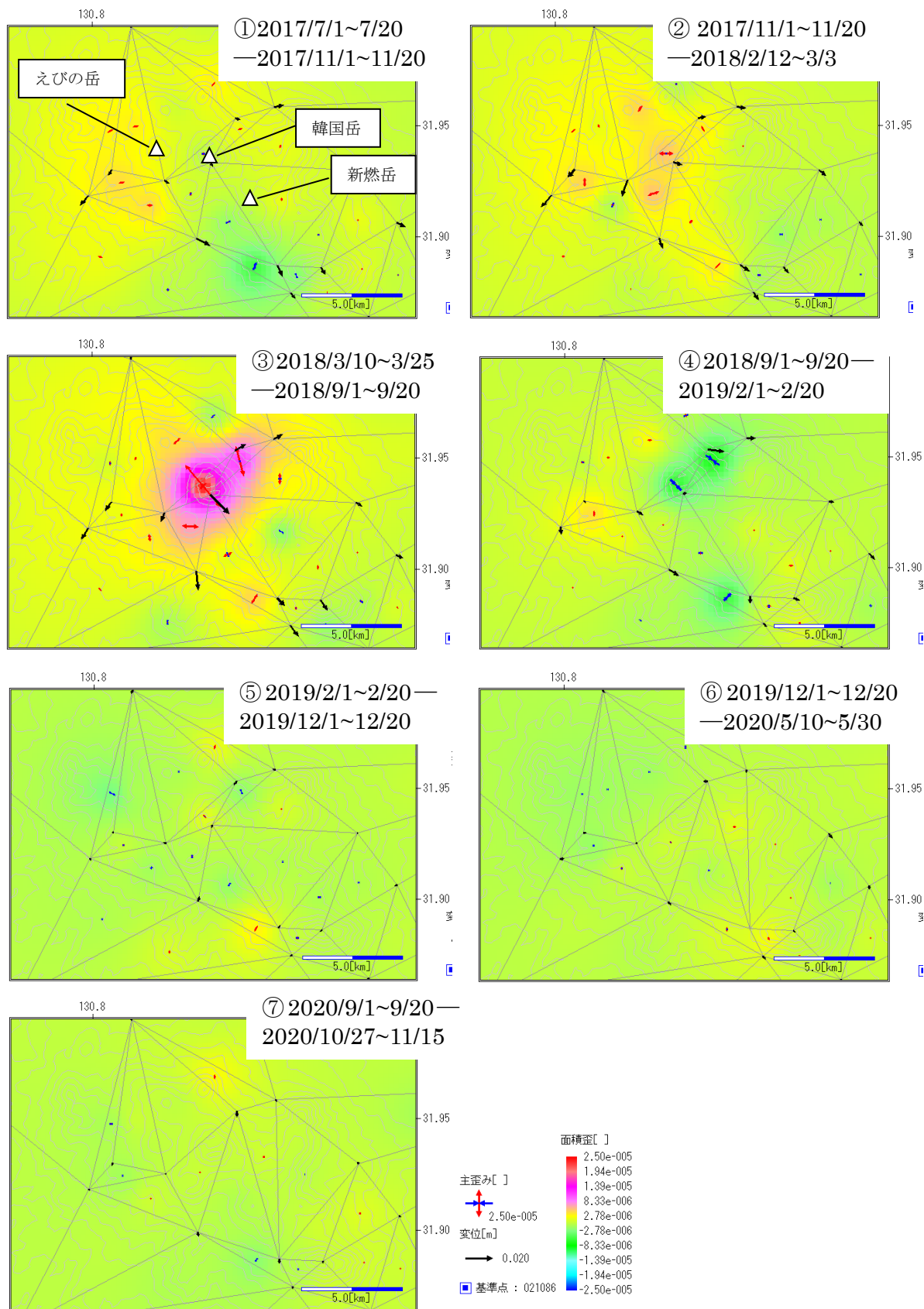


図12 霧島山 霧島山周辺のGNSSの期間毎の水平変位・主ひずみ・面積ひずみ(2017年7月1日~2020年11月15日)

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。

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が、火口内に影響する程度の突発的な噴出現象が発生する可能性はあるため、今後の火山活動に留意すること。

○ 概況（2020 年 6 月～11 月）

・ 噴煙など表面現象の状況（図 1～5、図 6-①）

火口縁を越える噴煙は観測されなかった。

10 月 16 日に実施した現地調査の結果、御鉢火口内では噴気は確認されなかった。
また、赤外熱映像装置による観測では、火口底と火口壁南側で地熱域を観測しているが、従来の観測と比べ日射の影響を超える変化は認められなかった。

10 月 13 日に海上自衛隊第 1 航空群の協力により実施した上空からの観測では、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。

・ 火山性地震、微動の状況（図 6-②～⑤、図 7）

火山性地震は、少ない状態で経過した。震源が求まった地震はなかった。

火山性微動は観測されていない。

・ 地殻変動の状況（図 8～10）

GNSS 連続観測や傾斜計では、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 1 霧島山（御鉢） 御鉢の状況（10 月 31 日、猪子石監視カメラ）

火口縁を越える噴煙は観測されなかった。

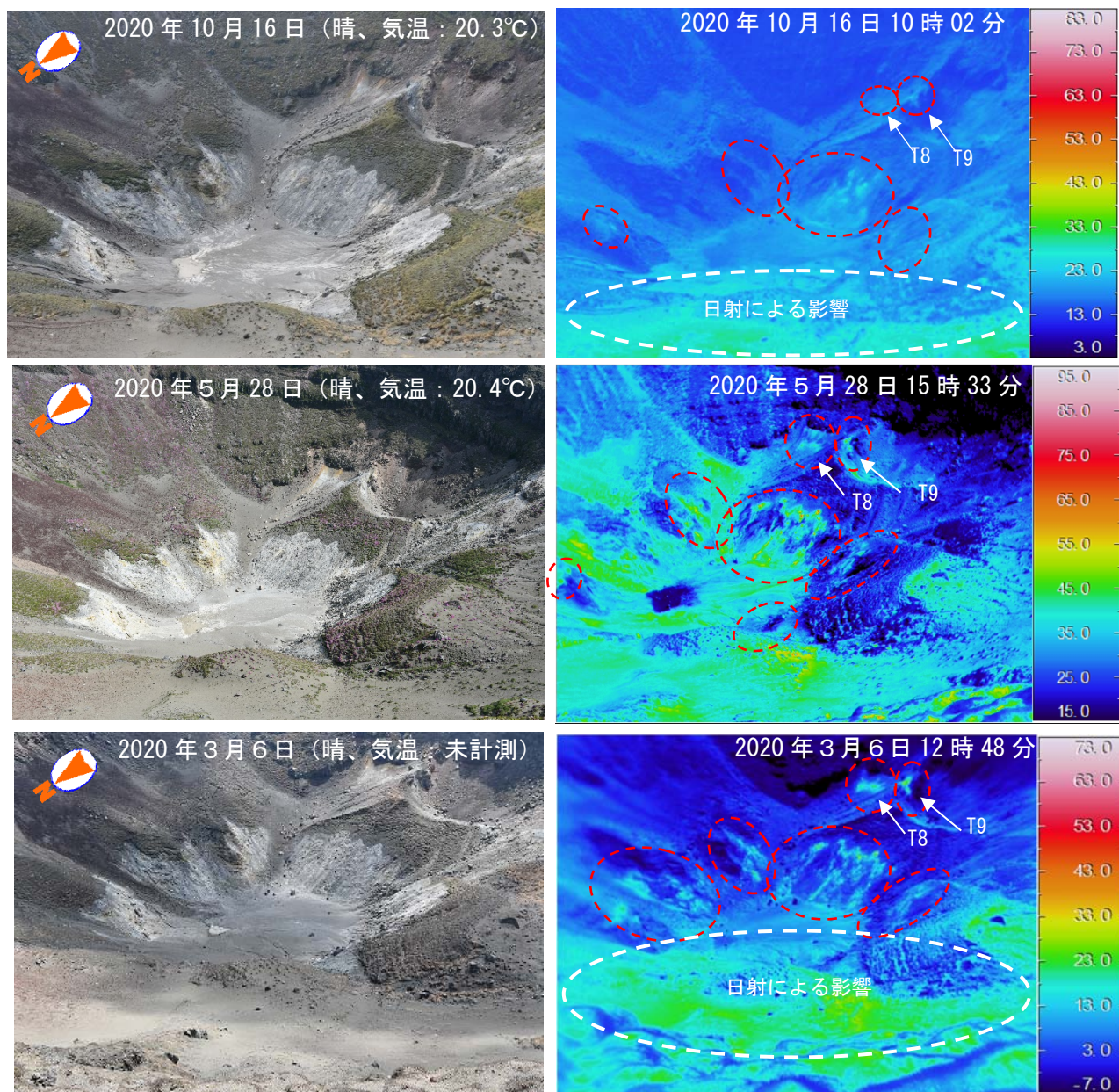


図2-1 霧島山（御鉢） 御鉢の火口内及び火口周辺の状況

10月16日に実施した現地調査の結果、御鉢火口内では噴気は確認されなかった。また、赤外熱映像装置による観測では、火口底と火口壁南側で地熱域を観測しているが、従来の観測と比べ日射の影響を超える変化は認められなかった。

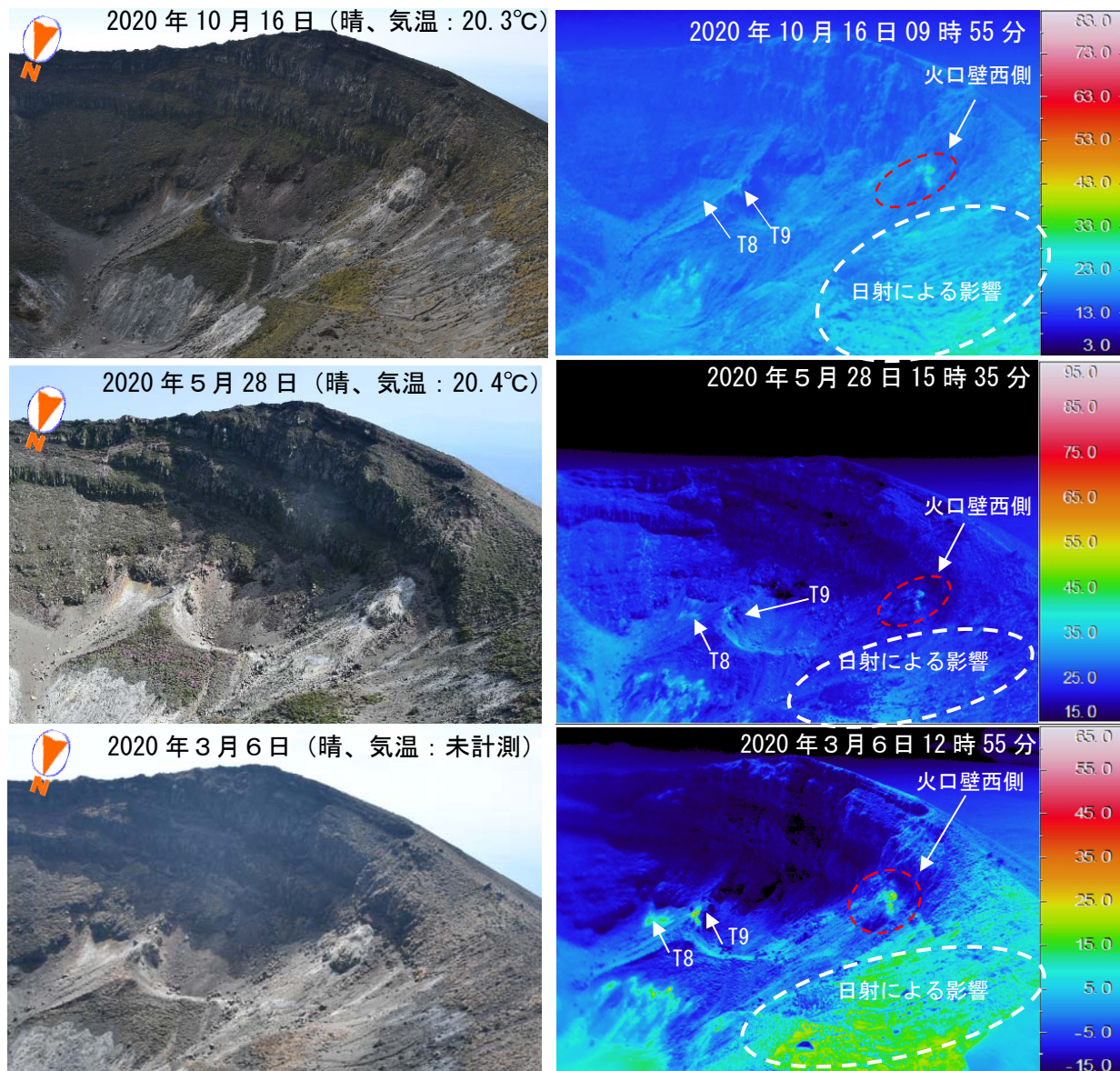


図 2-2 霧島山（御鉢） 火口周辺の状況（火口縁北西側から観測）
火口壁西側で地熱域を観測しているが、従来の観測と比べ日射の影響を超える変化は認められなかった。

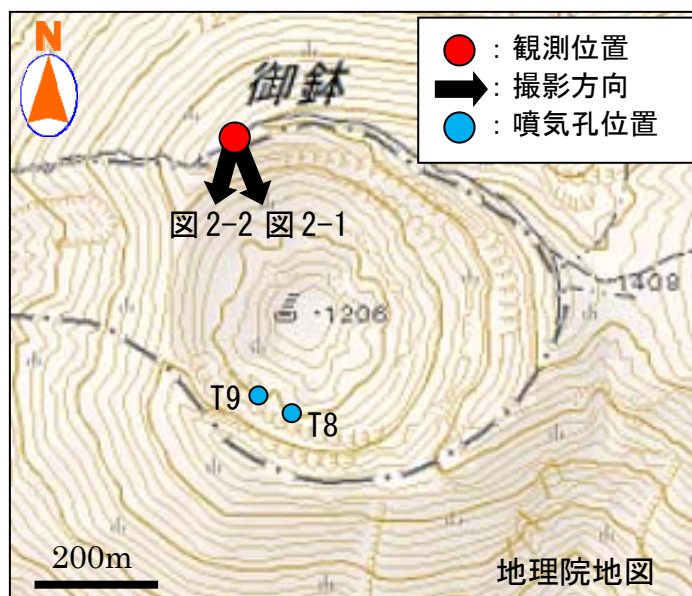


図 3 霧島山（御鉢） 観測位置、撮影方向及び噴気孔位置

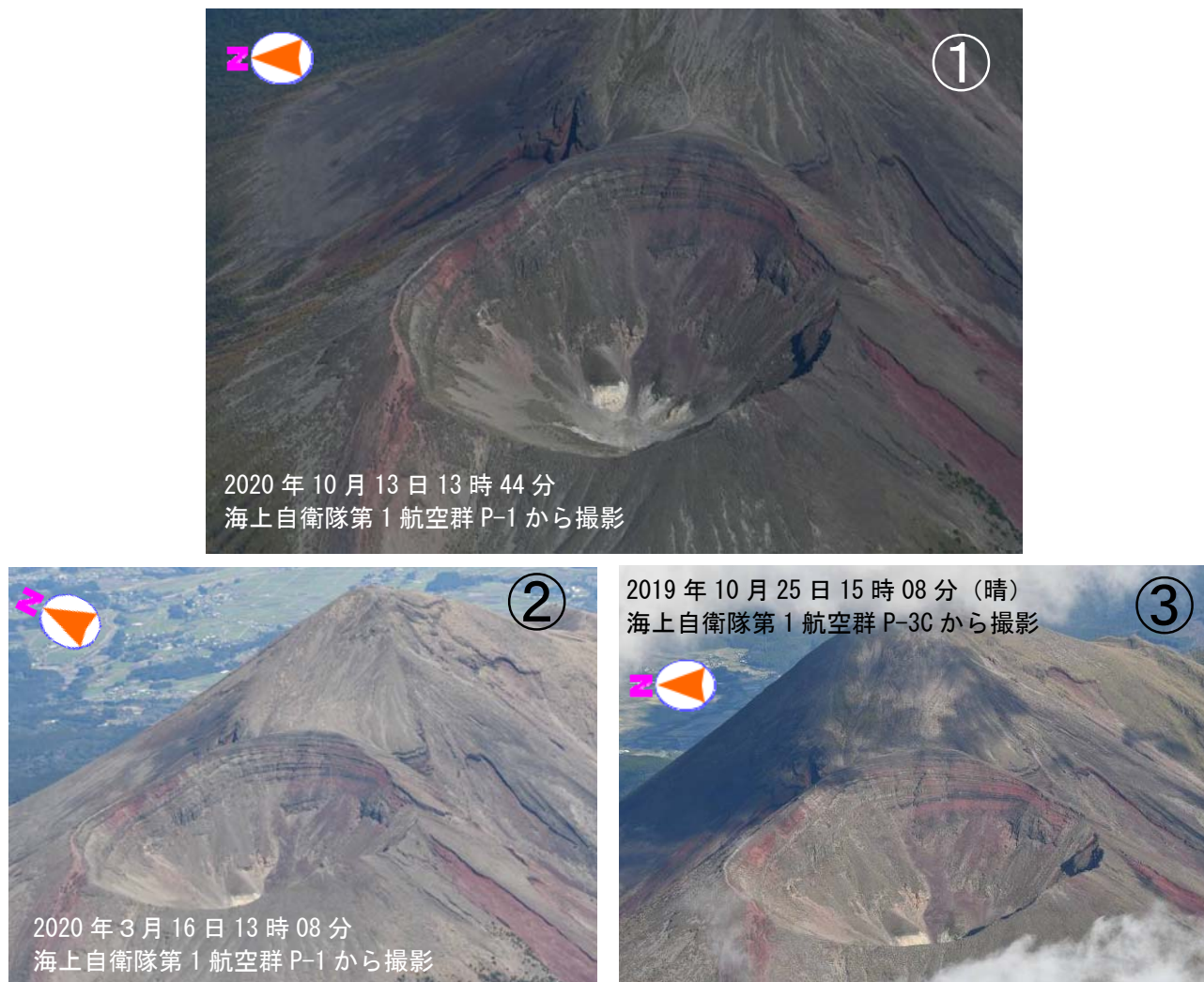


図4 霧島山（御鉢） 御鉢の火口内及び火口周辺の状況
 (①：2020年10月13日、②：2020年3月16日、③：2019年10月25日)
 火口内及び火口周辺の状況に特段の変化は認められなかった。

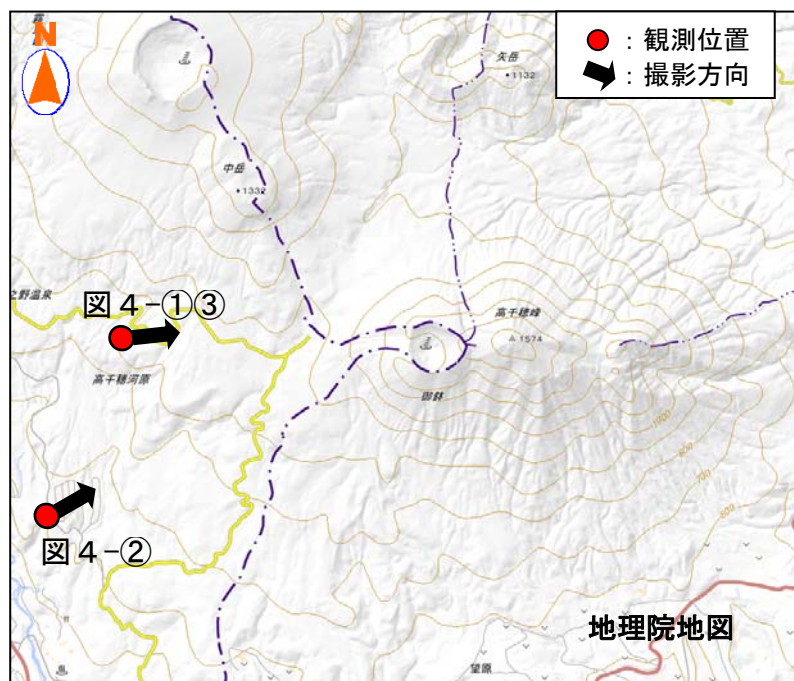


図5 霧島山（御鉢） 図4の観測位置及び撮影方向

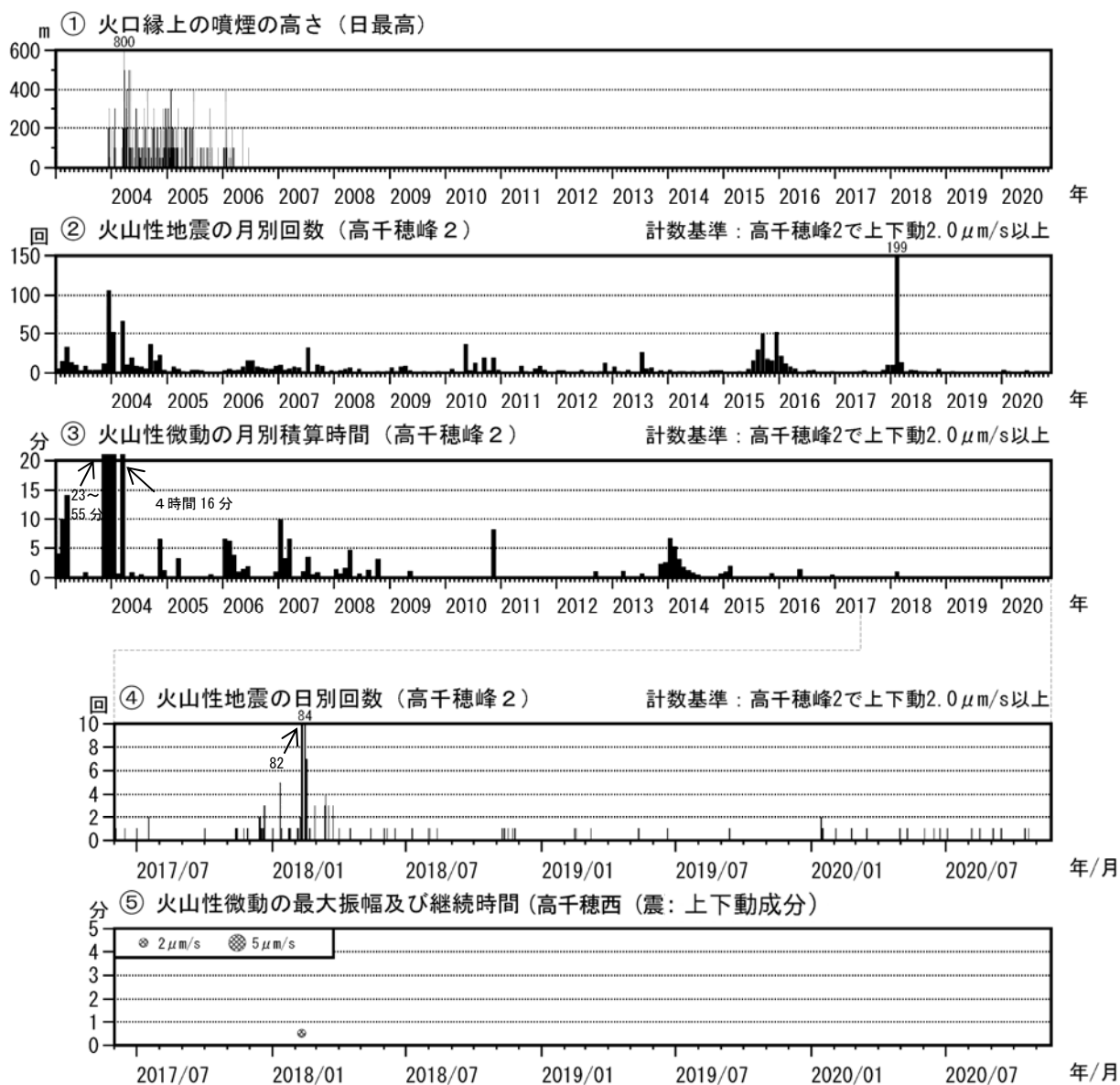


図6 霧島山（御鉢） 火山活動経過図（2003年1月～2020年11月）

<2020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。

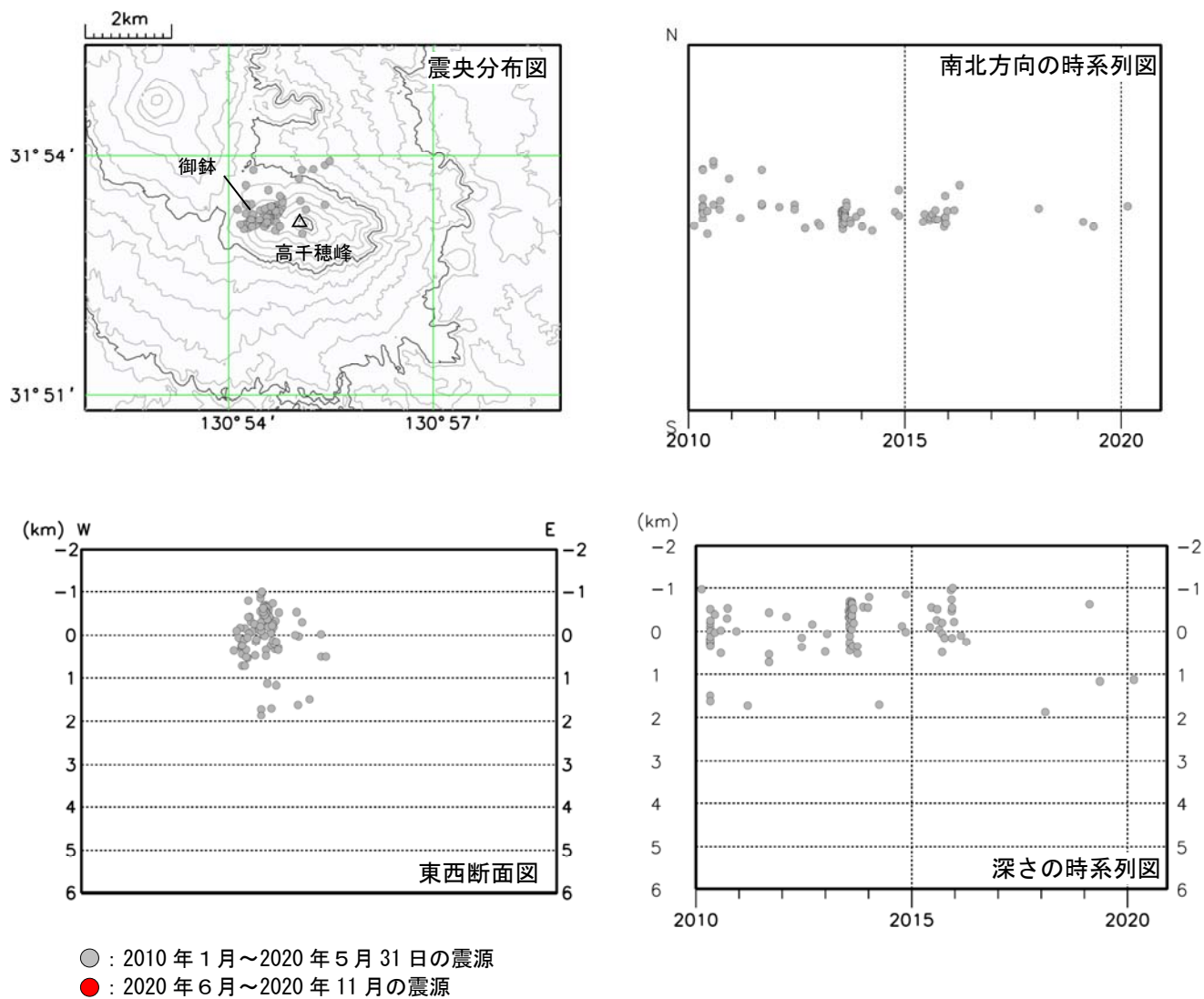


図 7 霧島山（御鉢） 震源分布図（2010 年 1 月～2020 年 11 月）

＜2020 年 6 月～11 月の活動状況＞

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。

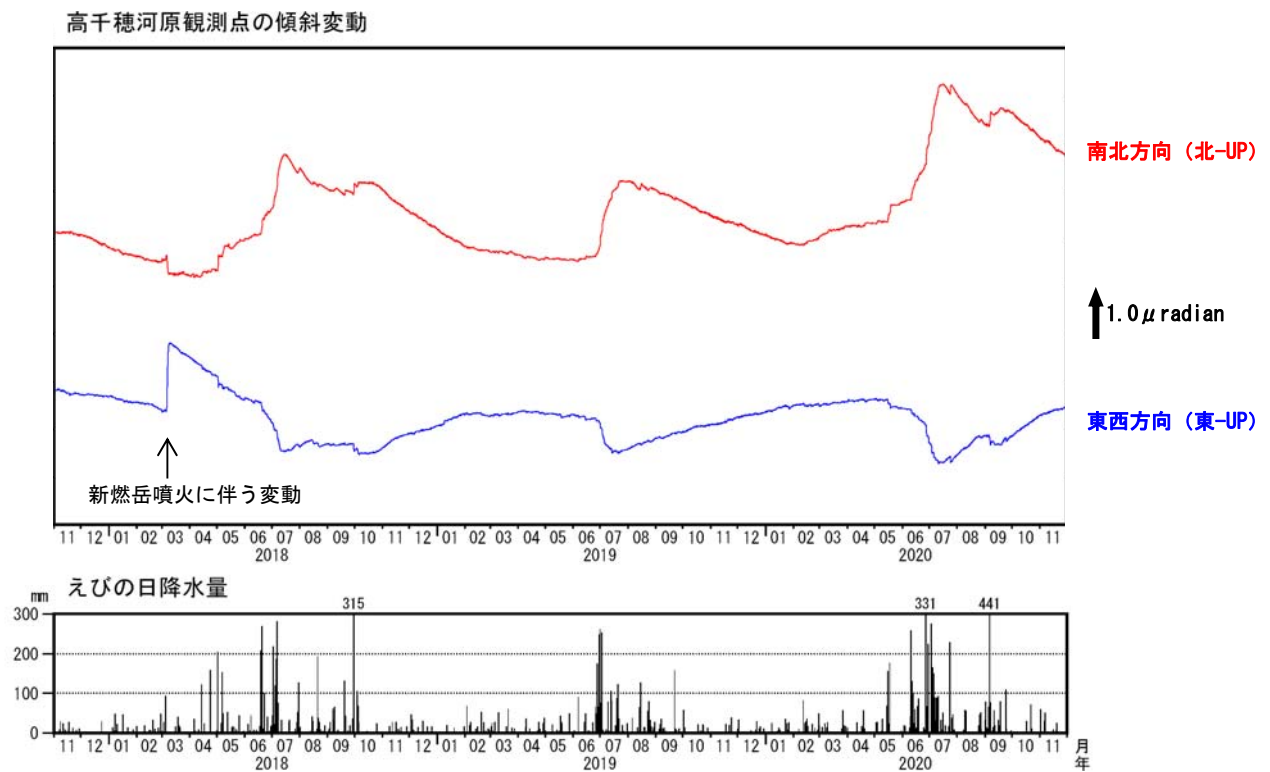
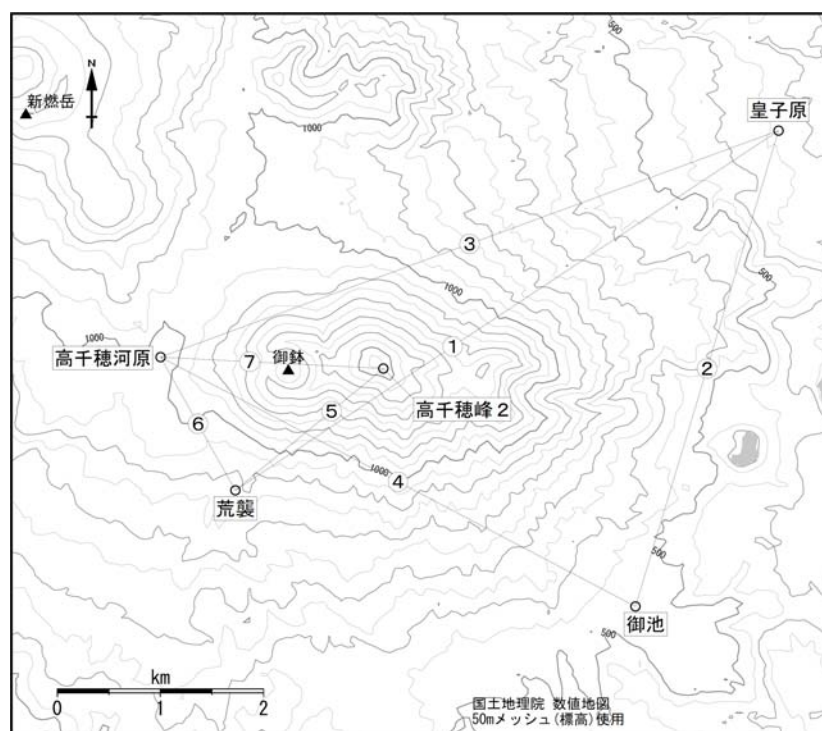


図8 霧島山（御鉢） 高千穂河原傾斜計の変化（2017年11月～2020年11月）

<2020年6月～11月の状況>

傾斜計では、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。



小さな白丸（○）は気象庁、小さな黒丸（●）は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
 (国)：国土地理院

図9 霧島山（御鉢） GNSS 観測点基線図

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）』及び国土数値情報の『湖沼』を使用した。

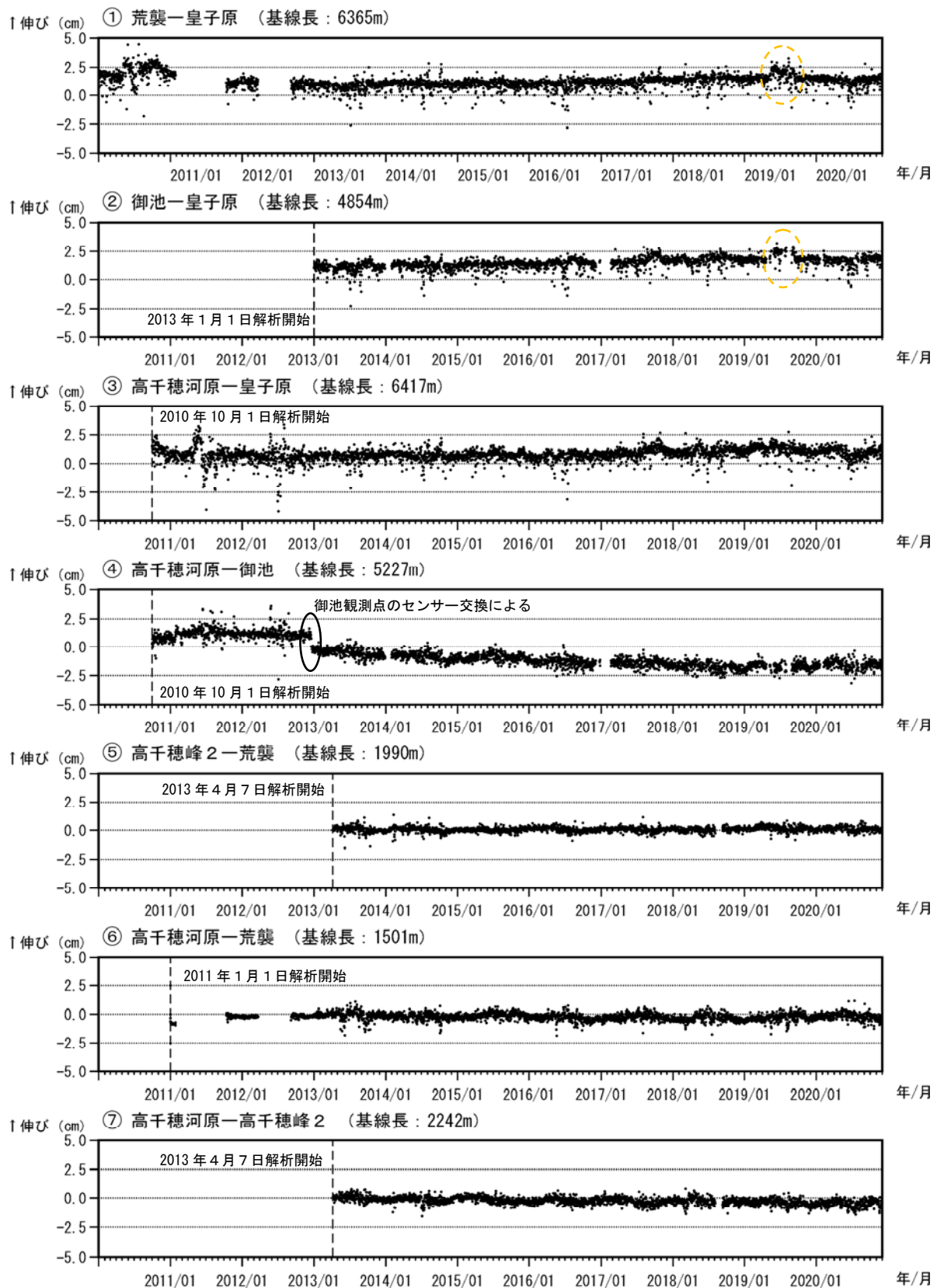


図10 霧島山(御鉢) GNSS連続観測による基線長変化(2010年1月~2020年11月)

火山活動によると考えられる変化は認められなかった。

この基線は図9の①~⑦に対応している。

基線の空白部分は欠測を示している。

2010年10月及び2013年1月に、解析方法を変更している。

橙色の破線内の変化は、皇子原観測点周囲の環境の変化に伴う影響と考えられる。

霧島山（広域）

○ 概況（2020 年 6 月～11 月 30 日）

・ 韓国岳付近及び北東側

韓国岳付近及び北東側の地震は、少ない状態で経過した（図 1、図 2）。低周波地震は観測されていない。

7 月 29 日、9 月 28 日及び 11 月 11 日に韓国岳から実施した現地調査（図 8）では、韓国岳火口内に噴気や地熱域等は確認されなかった。

・ 大浪池付近及び南西側

大浪池付近及び南西側の地震は少ない状態で経過した（図 1、図 2）。

7 月 29 日、9 月 28 日及び 11 月 11 日に韓国岳から実施した現地調査（図 9）では、大浪池周辺に噴気や地熱域等は確認されなかった。

・ 新燃岳の北側 2 km 付近（獅子戸岳付近）

獅子戸岳付近の地震は、2018 年 7 月以降、観測されていない（図 1、図 2）。

・ 大幡池及び大幡山付近

大幡山付近の地震は、2019 年 11 月以降、観測されていない（図 1、図 2）。

10 月 15 日に実施した現地調査（図 10）では、大幡山や大幡池周辺に噴気や地熱域等は確認されなかった。大幡池東側の湖岸付近では、火山ガスの噴出が複数個所で認められた。

・ えびの岳付近

えびの岳付近（硫黄山から南西約 3 km）の地震は、6 月下旬～7 月上旬にかけて時々増加し、その後も時々発生している（図 1、図 2）。

・ 大霧付近

大霧付近では、時々活発な地震活動が見られているが、今期間は地震回数は少ない状態であった（図 1、図 2）。

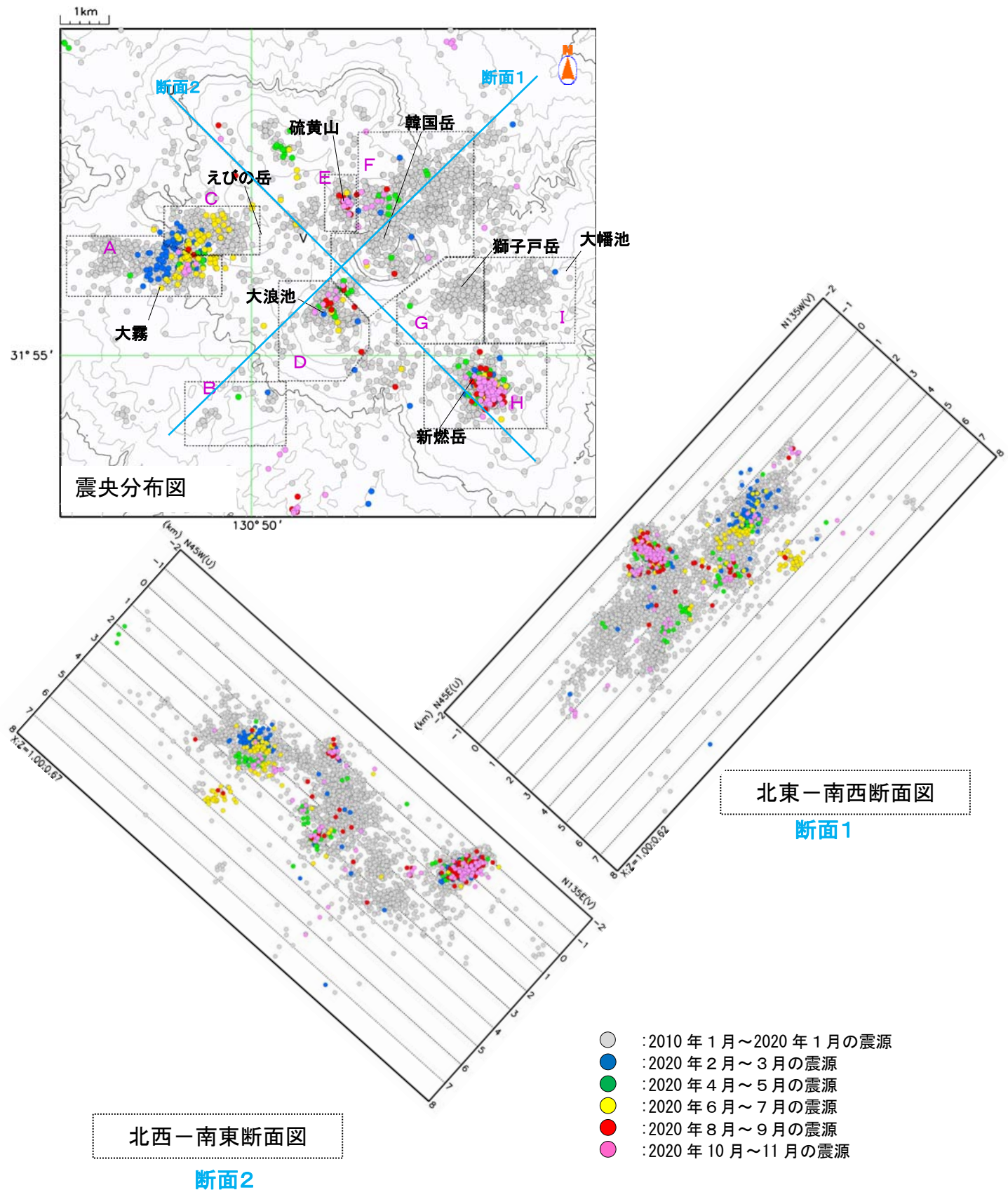


図1 霧島山 霧島山の震源分布図（2010年1月～2020年11月）

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。

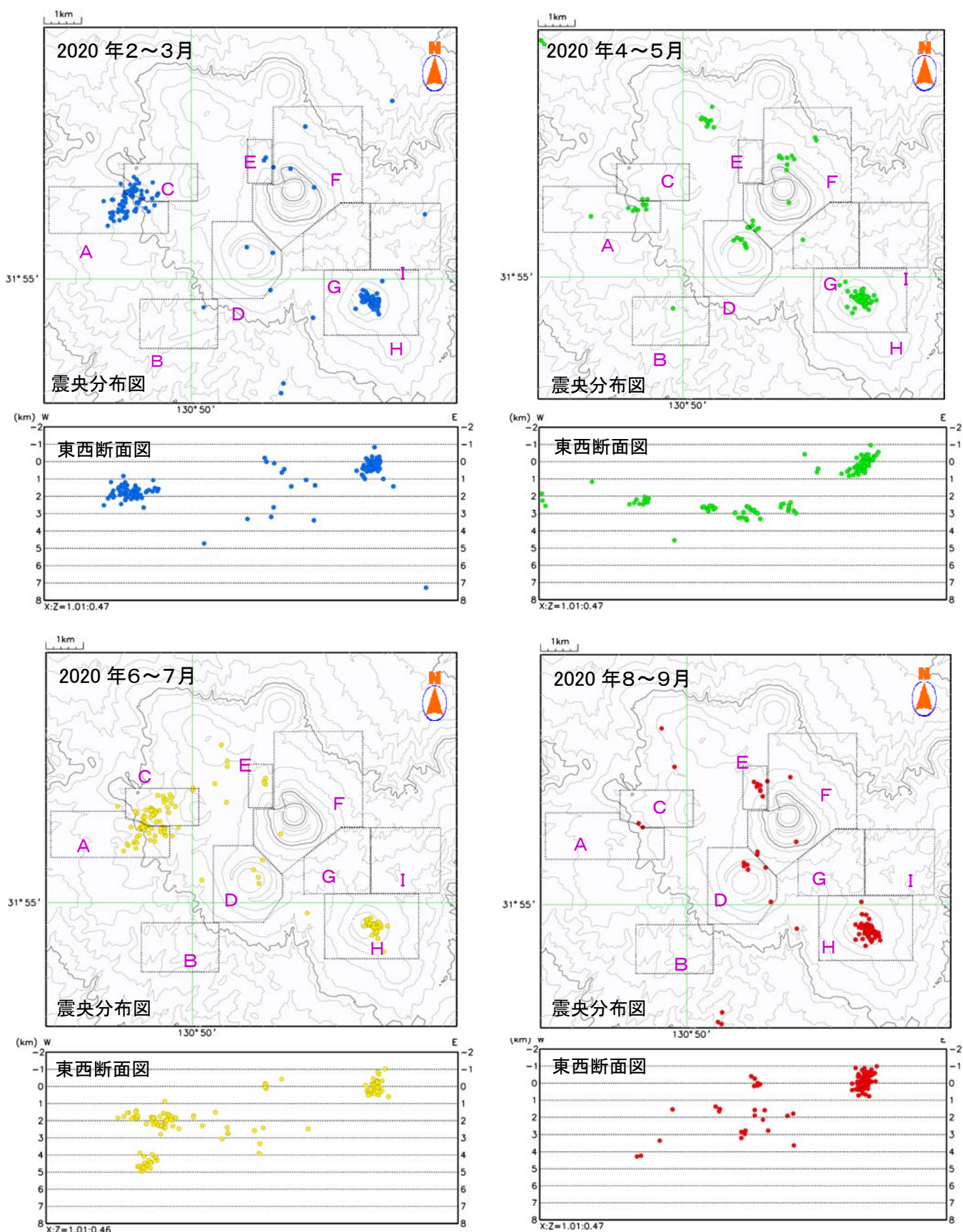


図 2-1 霧島山 霧島山の 2 ヶ月毎の震源分布図

(左上 : 2020 年 2 ～ 3 月、右上 : 2020 年 4 ～ 5 月、左下 : 2020 年 6 ～ 7 月、右下 : 2020 年 8 ～ 9 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。

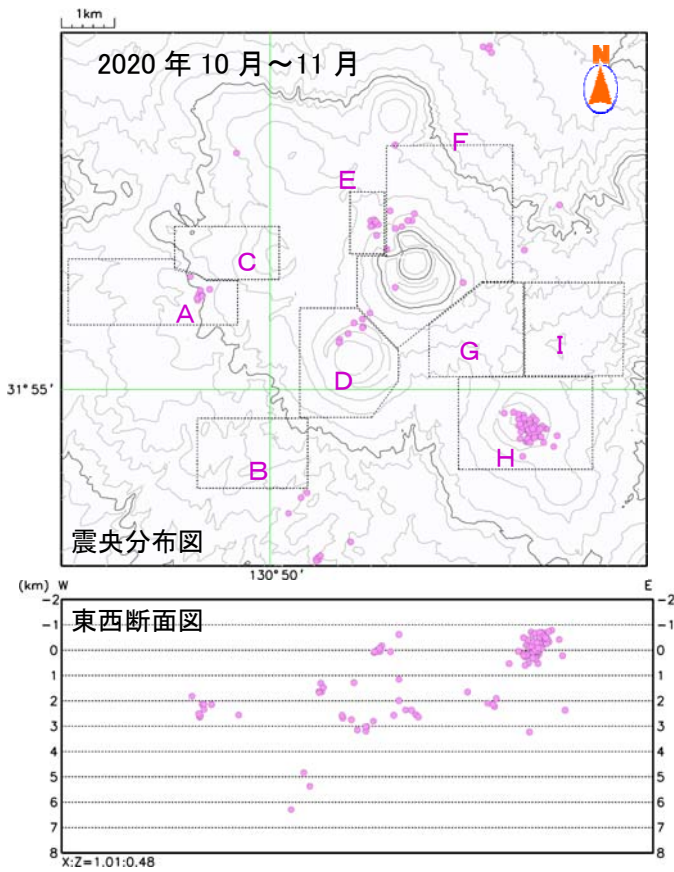


図 2-2 霧島山 霧島山の2ヶ月毎の震源分布図（2020年10月～11月）

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。

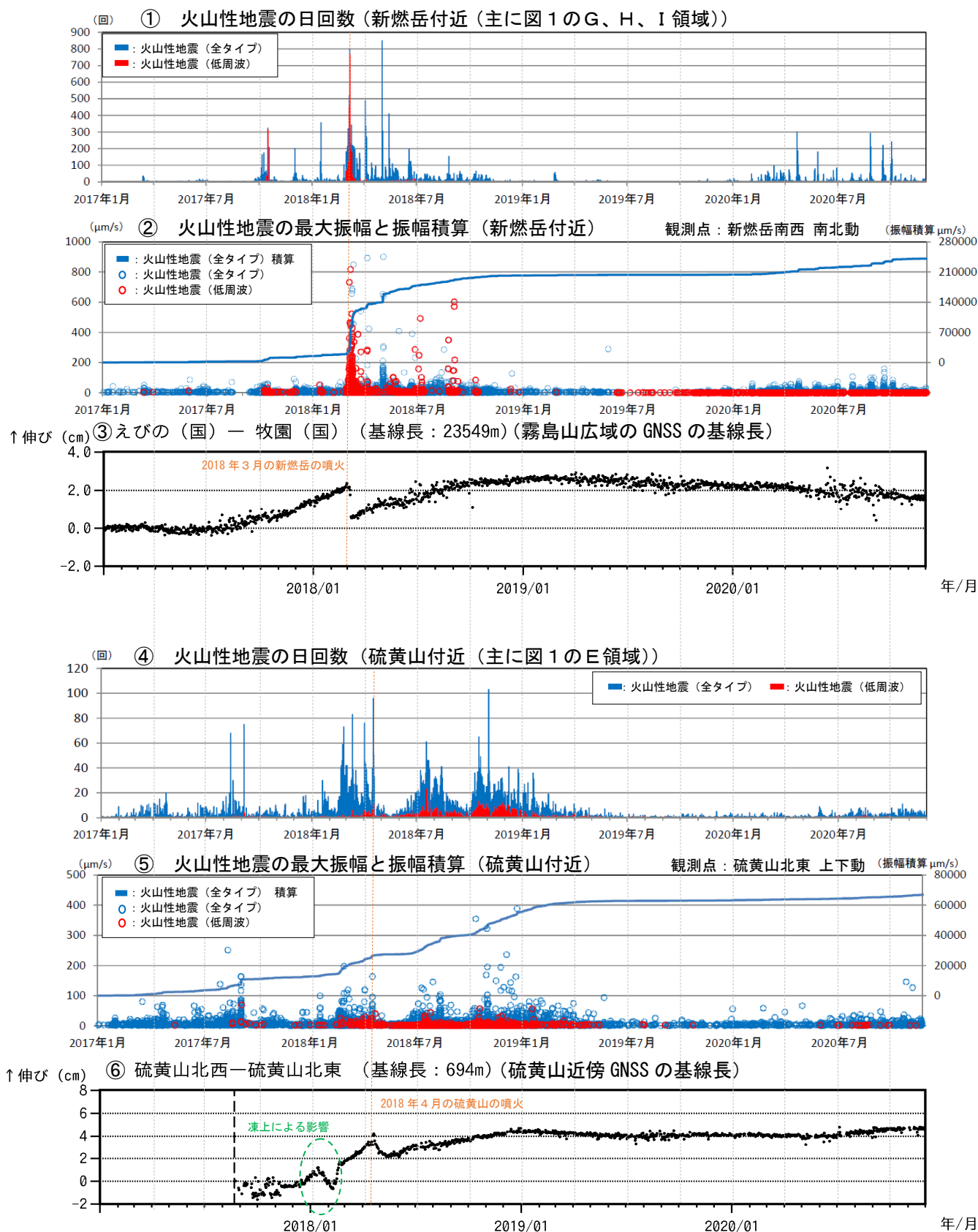


図3 霧島山 新燃岳の火山性地震及び霧島山広域のGNSSの基線長と硫黄山の火山性地震及び硫黄山近傍のGNSSの基線長の活動経過図（2017年1月～2020年11月）



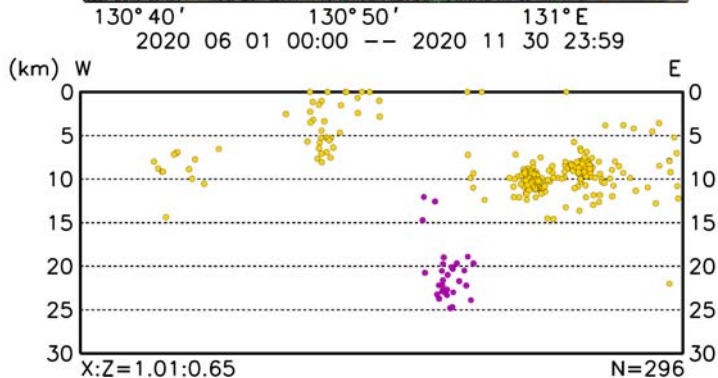
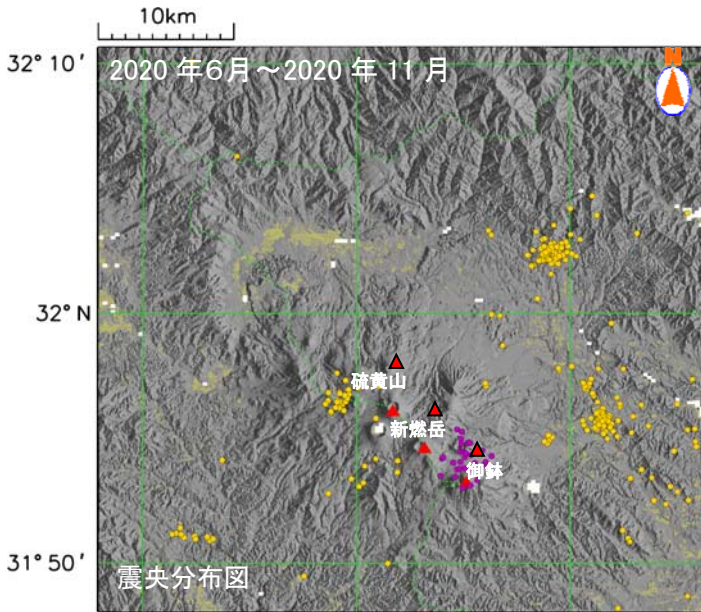
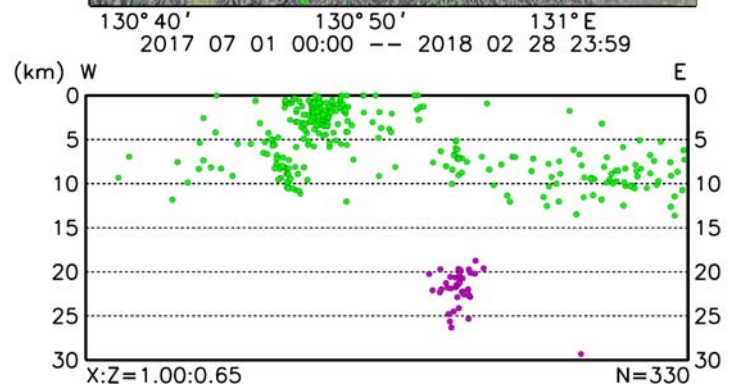
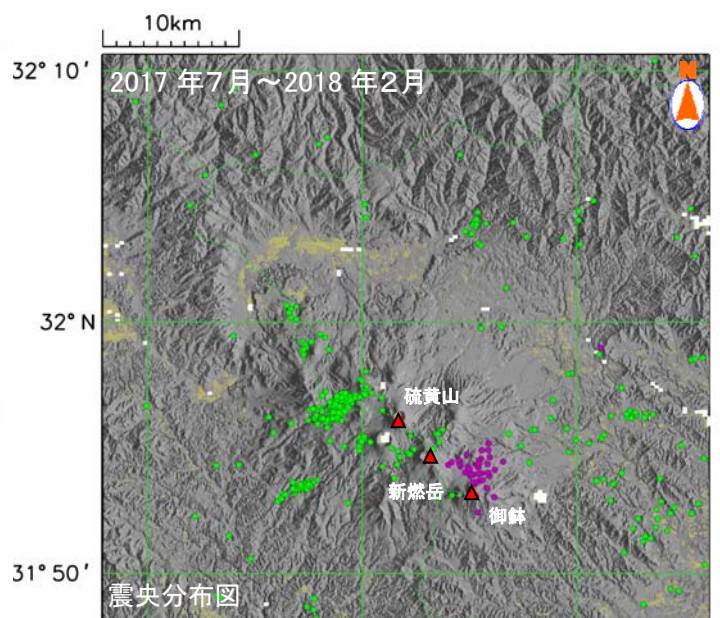
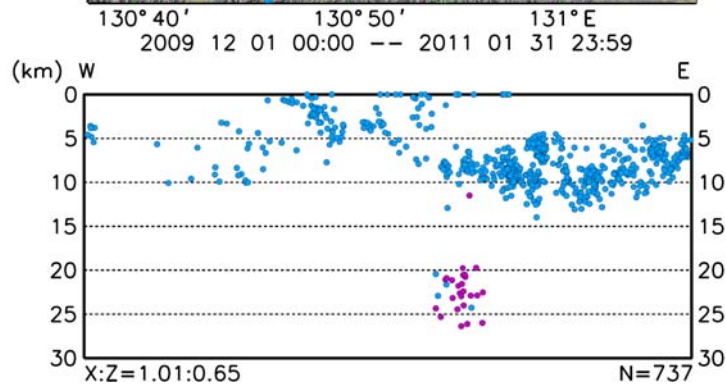
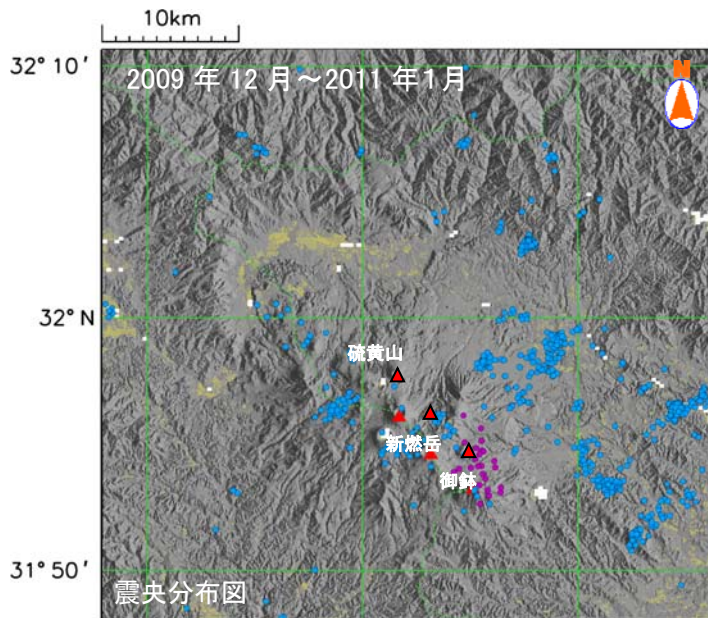


図 4-2 霧島山 一元化震源による広域の地震活動

(左上 : 2009 年 12 月～2011 年 1 月

右上 : 2017 年 7 月～2018 年 2 月

左下 : 2020 年 6 月～2020 年 11 月)

※表示している震源には、震源決定時の計算誤差の大きなものが表示されることがある。

※この図では、関係機関の地震波形を一元的に処理し、地震観測点の標高を考慮する等した新手法で得られた震源を用いている (ただし、2020 年 8 月以前の地震については火山活動評価のための参考震源である)。

※2020 年 4 月 18 日から 10 月 23 日までの地震について、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。

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

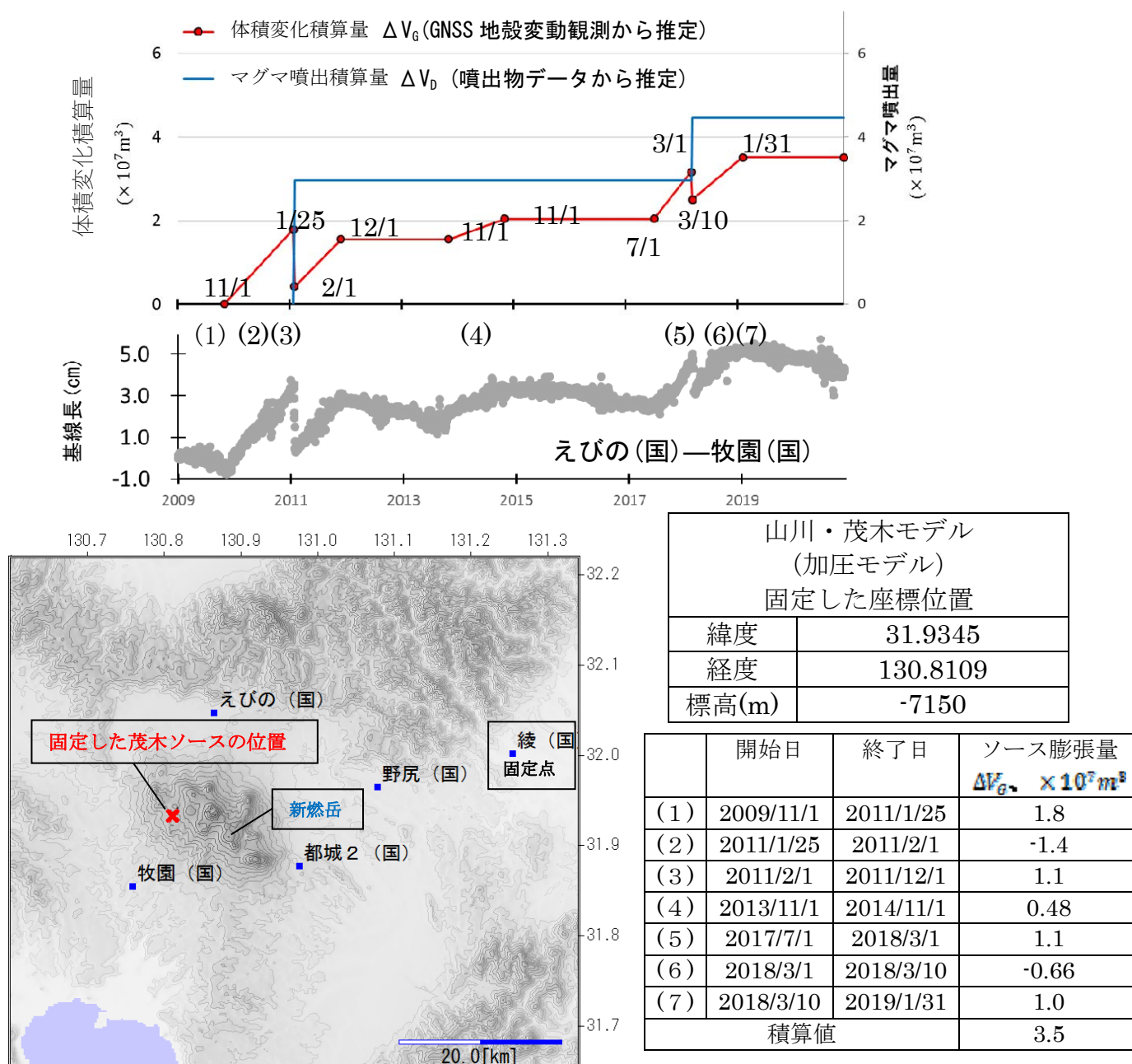


図 5-1 霧島山 噴出物量及び地殻変動から推定した体積変化量の積算の推移

(2009 年 1 月～2020 年 11 月)

霧島山の物質収支として、噴出物量とマグマの蓄積と考えられる体積変化量についてとりまとめた。ここでは揮発性物質の放出については取り扱わない。体積変化量については、GNSS 地殻変動観測からえびの岳地下付近をソースとする球状モデル(山川・茂木モデル)の膨張量を期間ごとに計算(図 5-2)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、 $3.5 \times 10^7 \text{ m}^3$ 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。

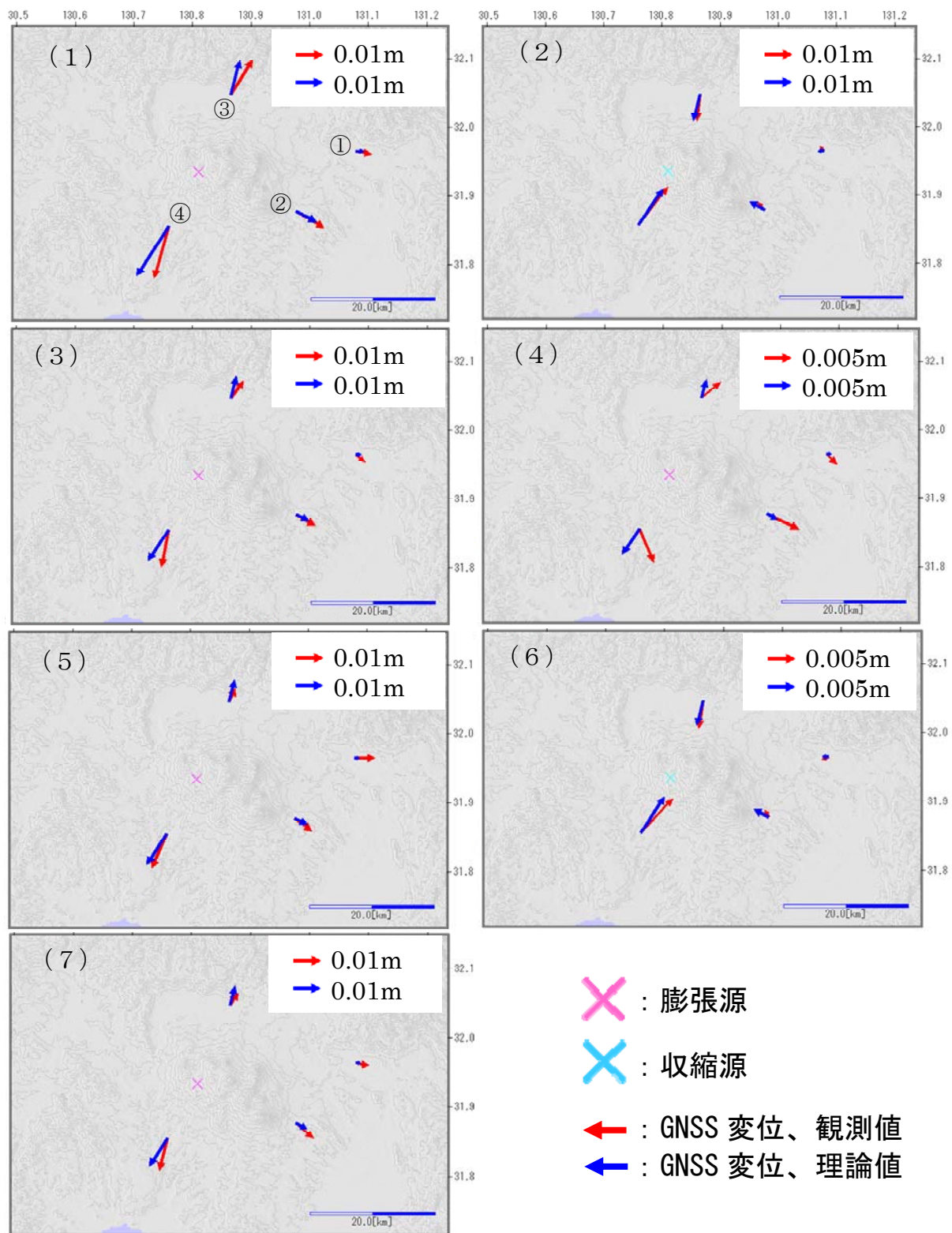


図 5-2 霧島山（新燃岳） 霧島山周辺の GNSS 変動源推定

図 5-1 で示した変動源位置を固定し、GNSS の水平変位量から球状モデルの膨張量を図 5-1 中の期間(1)～(7)で推定した。

使用観測点は、①牧園(国)、②えびの(国)、③都城2(国)、④野尻(国)、綾(国)の5点である。基準点は、綾(国)である。(国)：国土地理院 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。図中では、各観測点での GNSS 変動の観測結果を →、求めた球状モデルでの GNSS 変動の理論値を → で示している。また、推定された膨張源を ×、収縮源を × で示している。

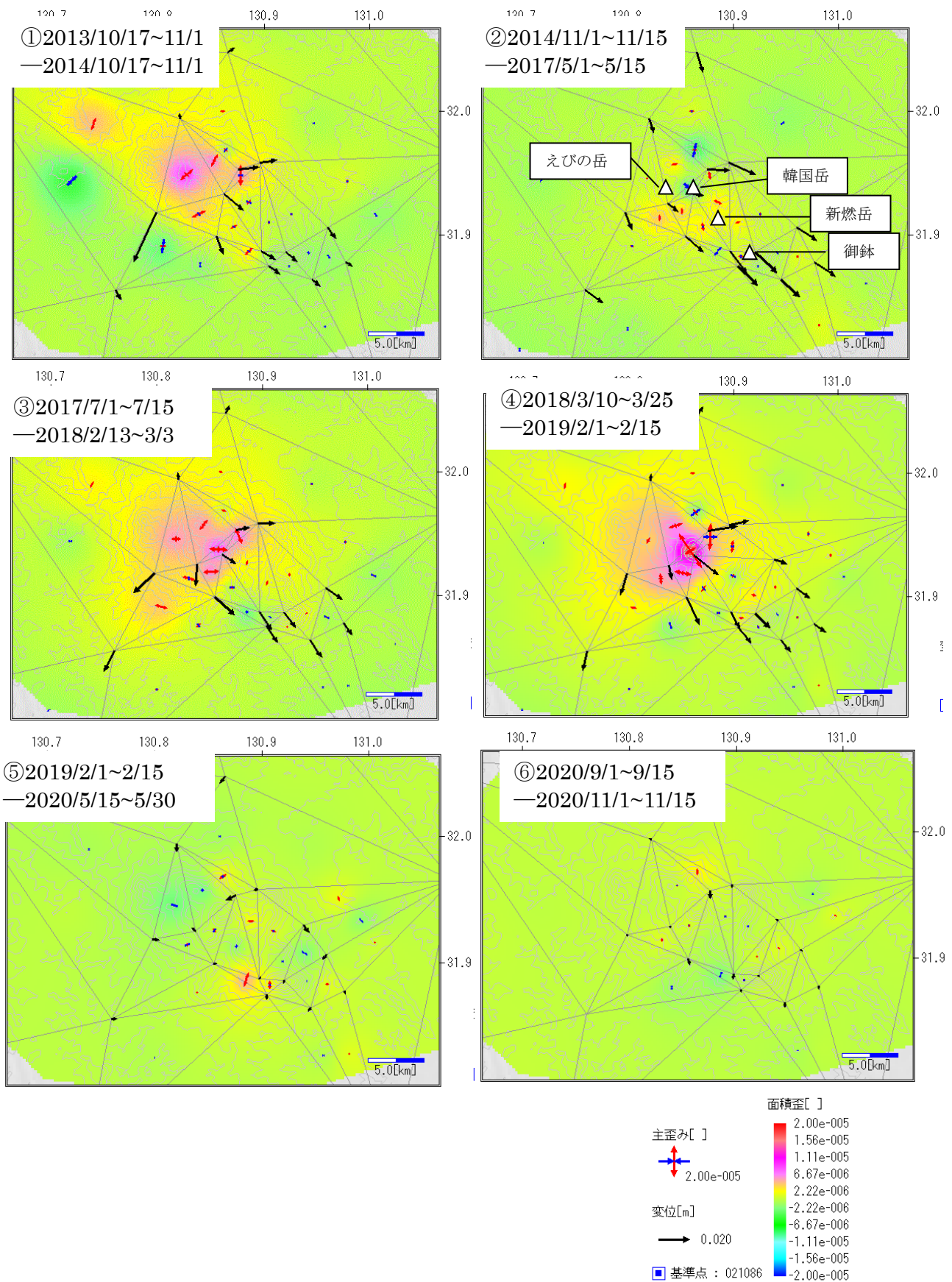


図6 霧島山 霧島山周辺のGNSSの期間毎の水平変位・主ひずみ・面積ひずみ(2013年10月17日~2020年11月15日)

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。

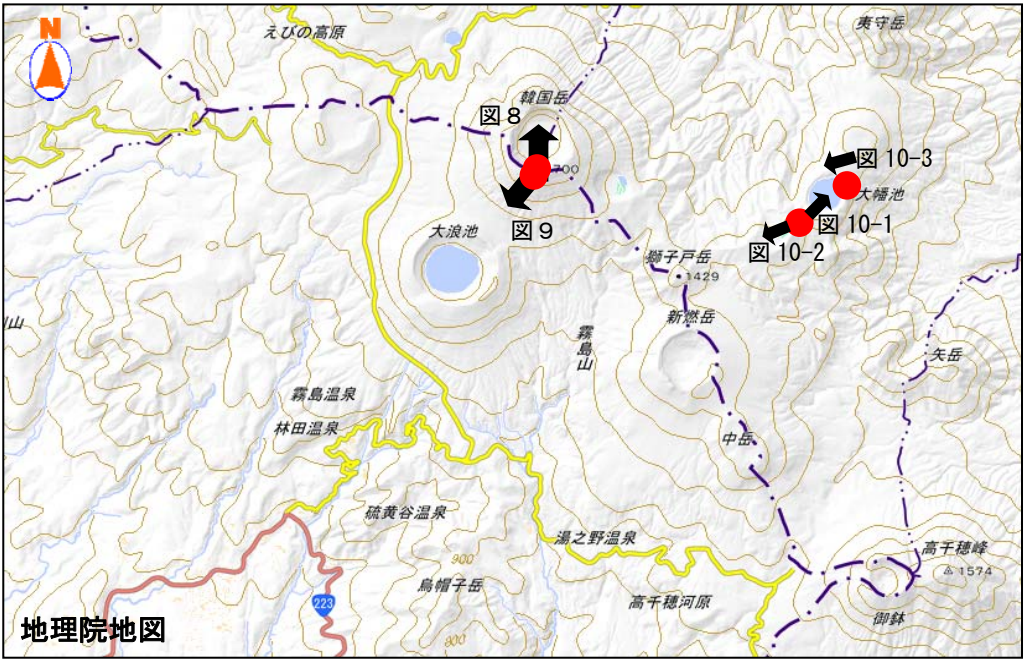


図 7 霧島山（広域） 観測位置及び撮影方向

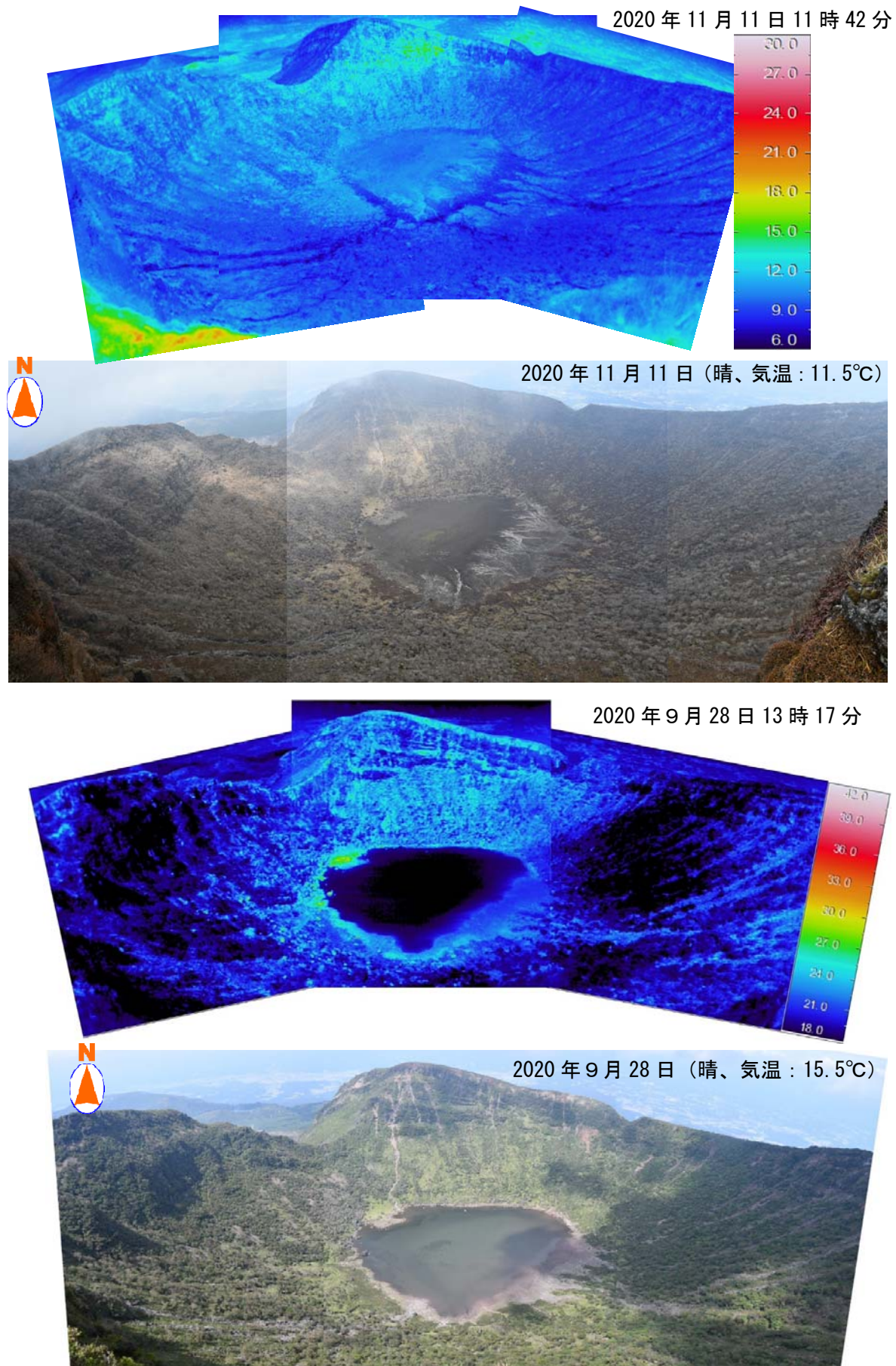


図 8-1 霧島山 韓国岳火口の状況（韓国岳から観測）

※植生が少ない火口底や山体の斜面の一部では日射の影響を受けているところがある

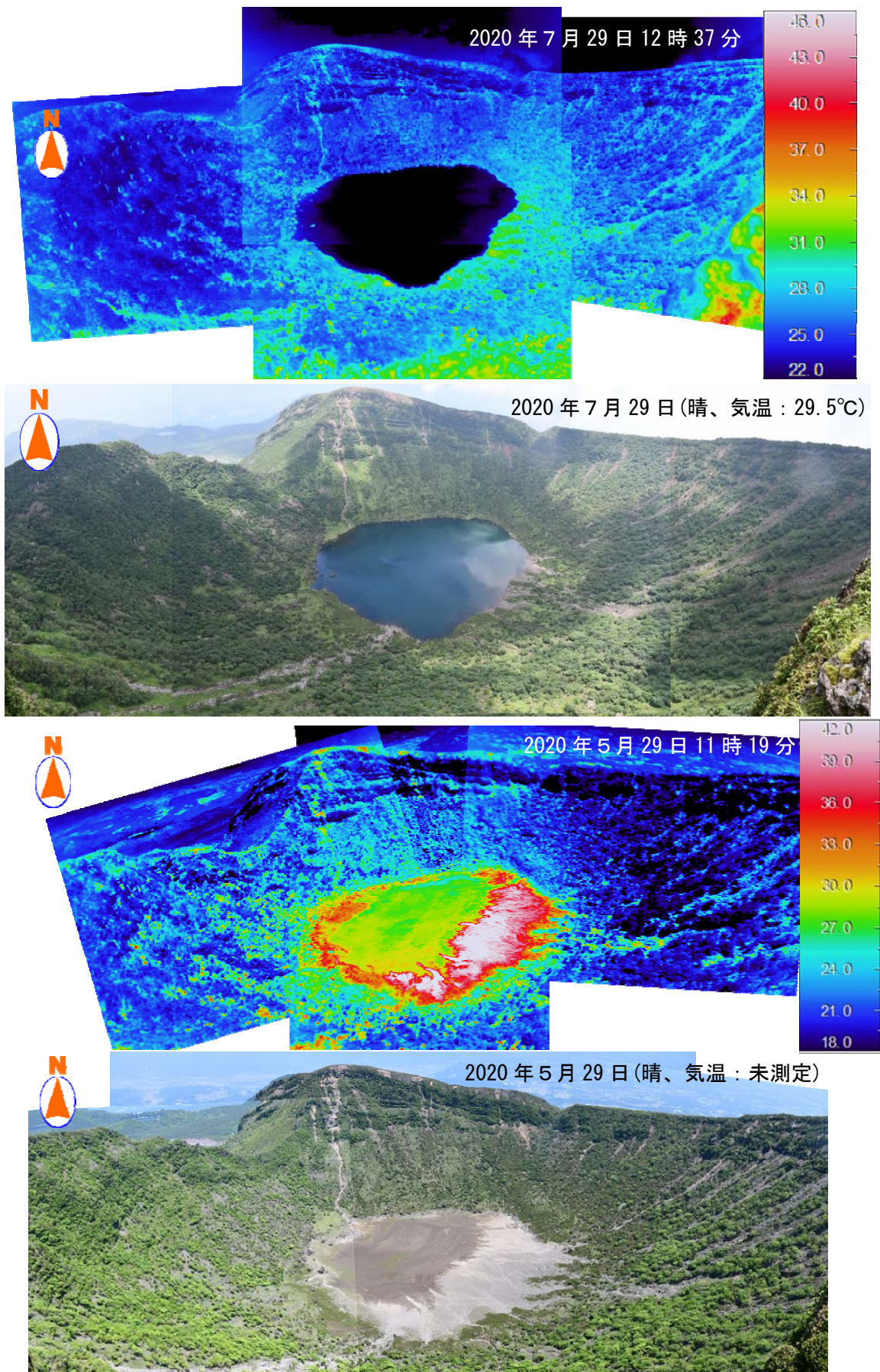


図 8-2 霧島山 韓国岳火口の状況（韓国岳から観測）

火口内に噴気や地熱域は認められなかった。
 ※植生が少ない火口底や山体の斜面の一部では日射の影響を受けているところがある

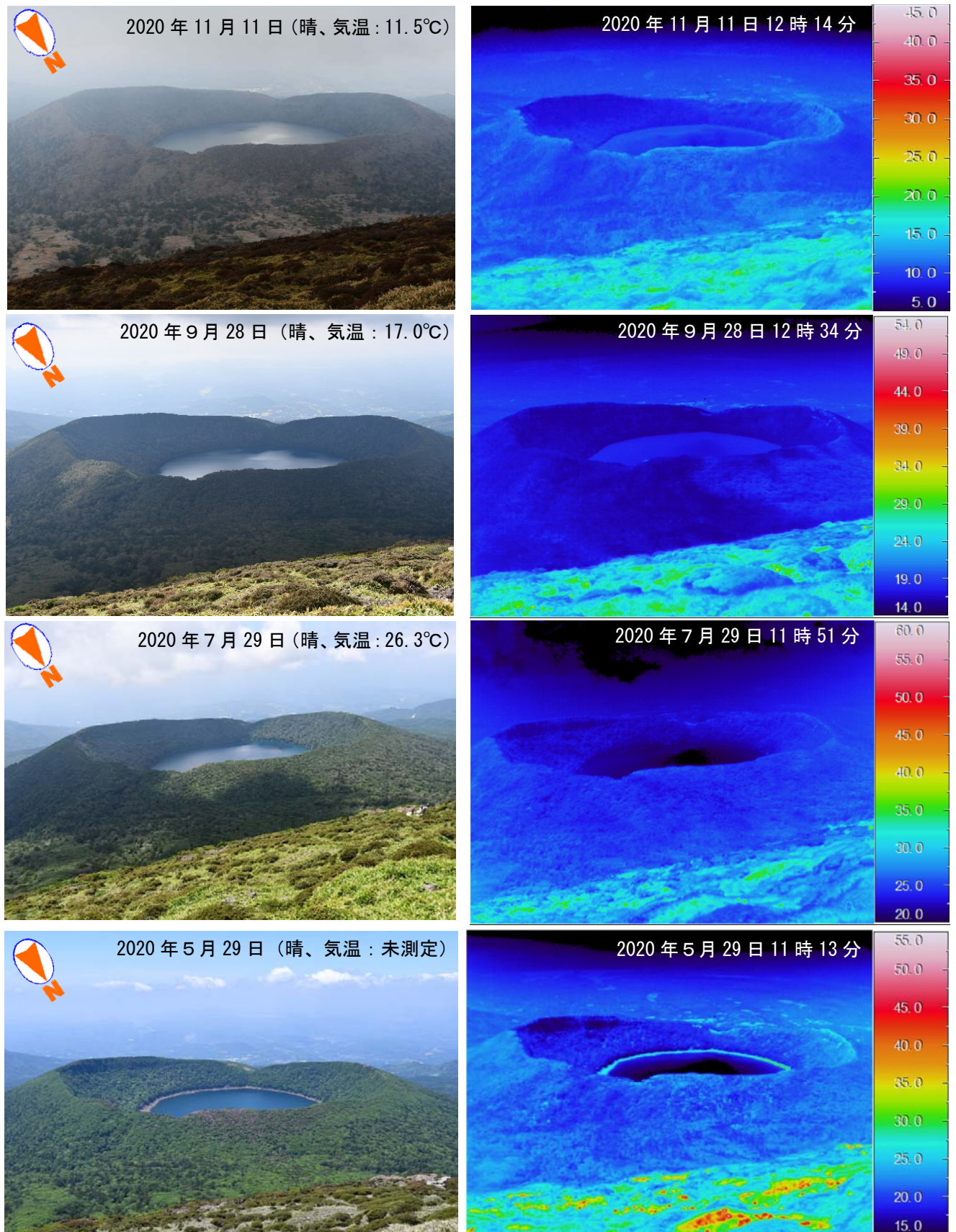


図 9 霧島山 大浪池の状況 (韓国岳から観測)

大浪池周辺に噴気や地熱域は認められなかった。

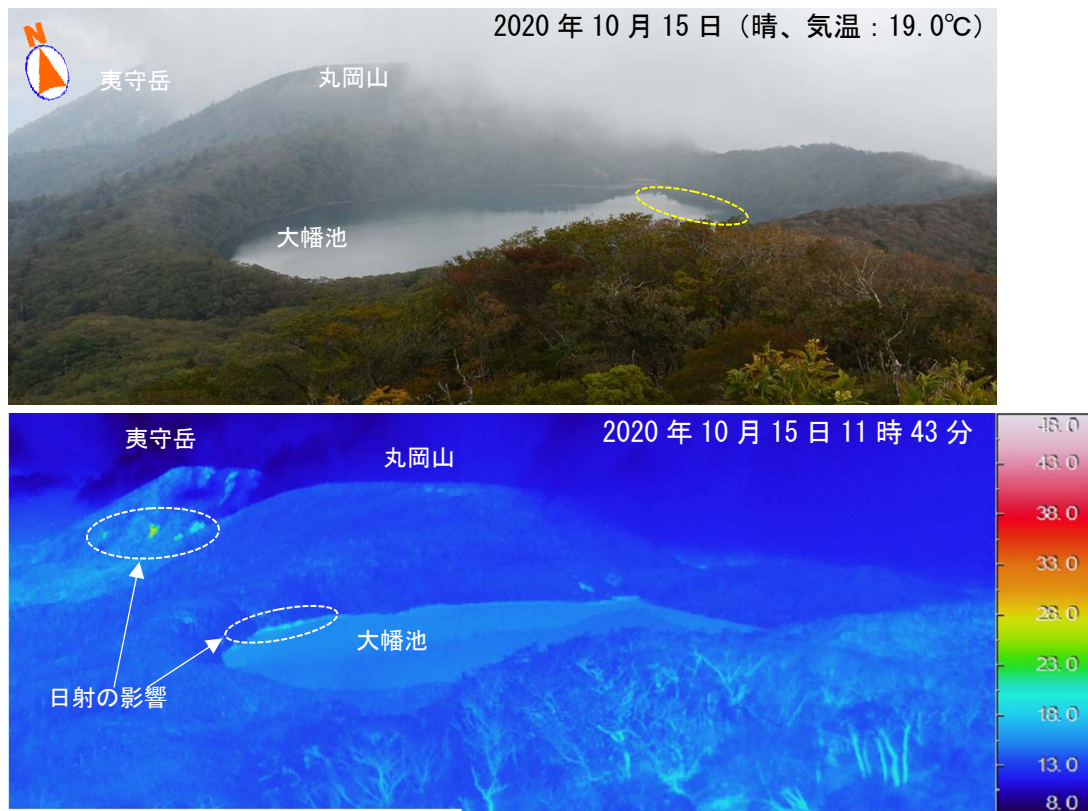


図 10-1 霧島山 大幡池の状況（大幡山北東側から観測）

大幡池の火口付近では、噴気や地熱域は認められなかった。また、東側の湖岸付近では、火山ガスの噴出が複数個所で認められた（黄色の破線で示す箇所）。

※植生が少ない山体の斜面の一部では日射の影響を受けているところがある

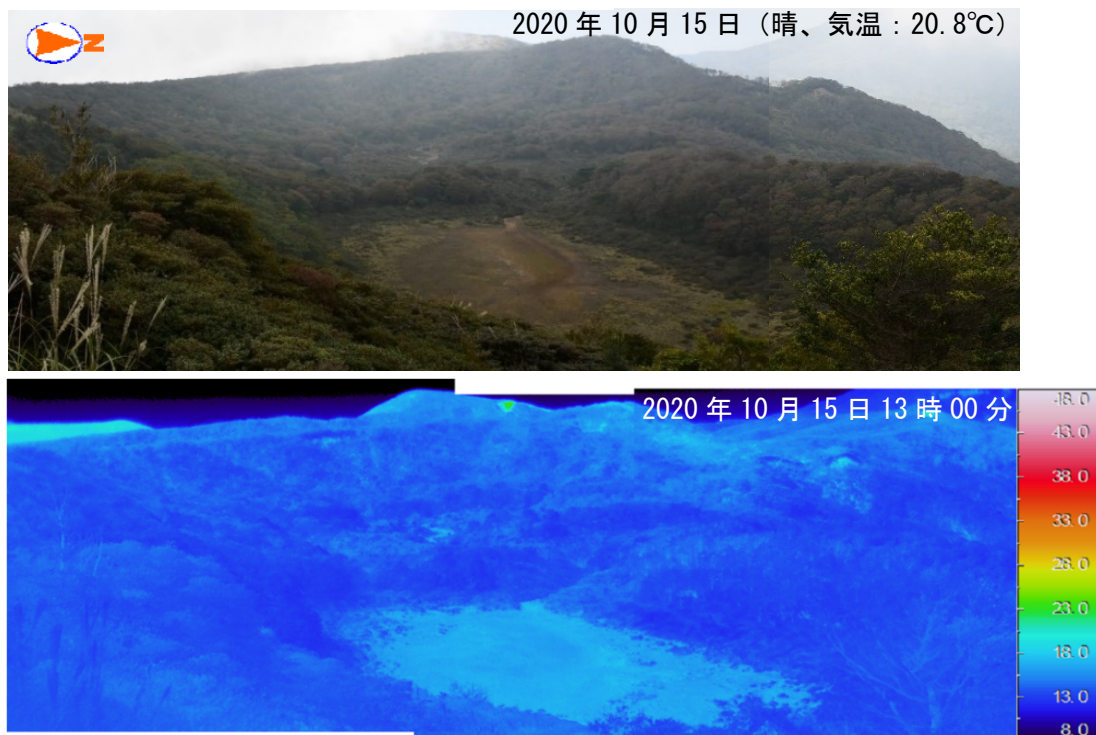


図 10-2 霧島山（大幡池） 大幡山付近の状況（大幡山北東側）から観測

大幡山の火口付近では、噴気や地熱域は認められなかった。

※植生が少ない山体の斜面の一部では日射の影響を受けているところがある

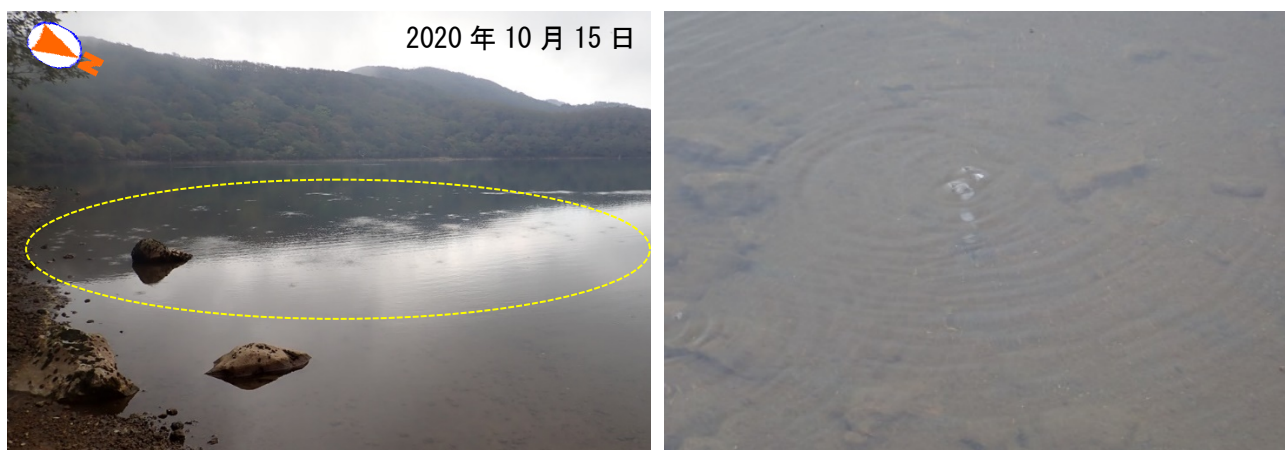


図 10-3 霧島山（大幡池） 大幡池の火山ガスの状況

大幡池では、主に東側の湖岸付近で湖底から火山ガスの噴出（気泡の湧出：黄破線内）が認められた。また、火山ガス（硫化水素）の臭気がわずかに感じられた。検知管による分析では、火山ガスは二酸化炭素を多く含んでおり、硫化水素もわずかに含まれることを確認した。

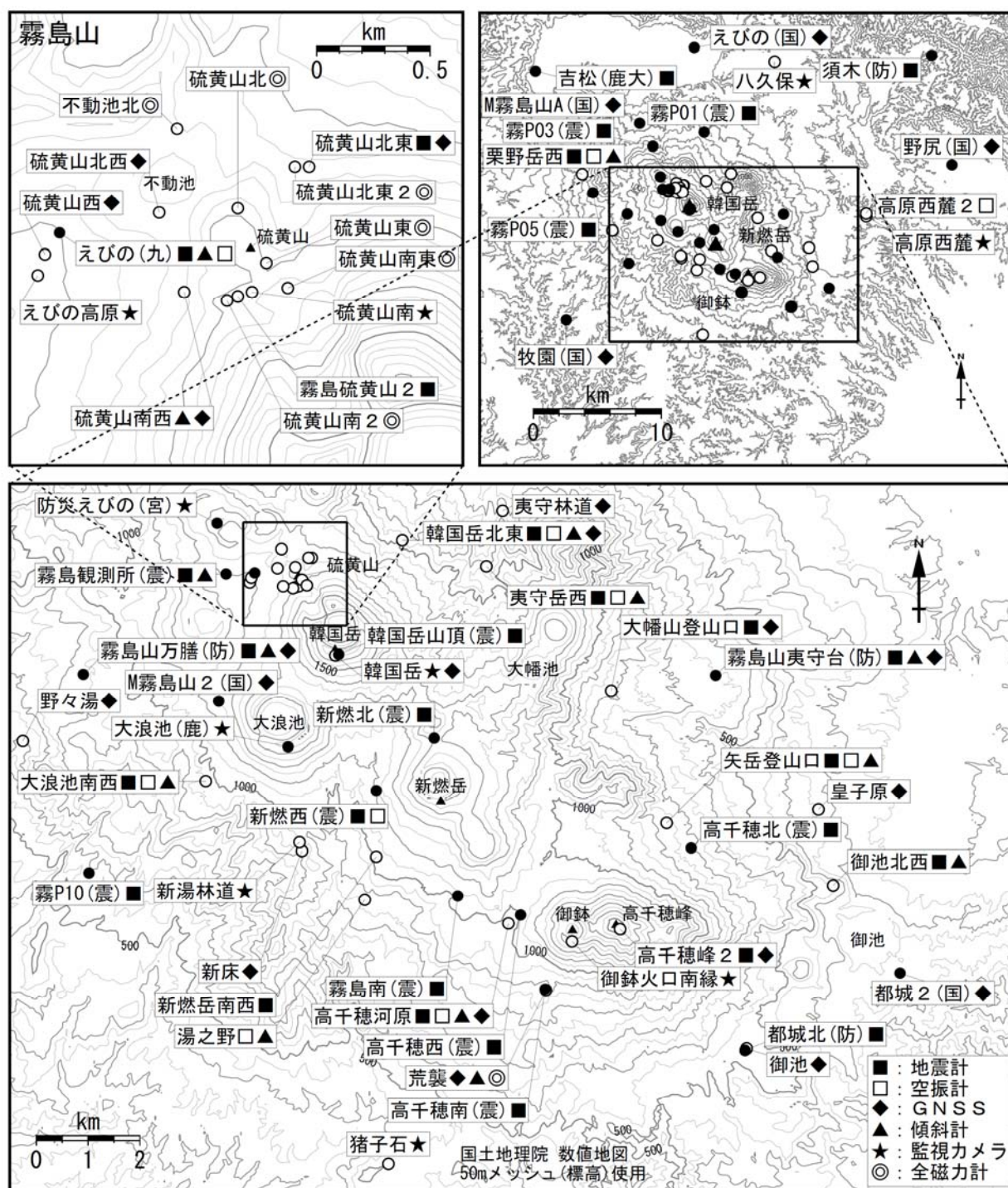


図 11 霧島山 観測点配置図

小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の機関の観測点位置を示している。
 (国) : 国土地理院、(震) : 東京大学地震研究所、(九) : 九州大学、(鹿大) : 鹿児島大学
 (防) : 防災科学技術研究所、(宮) : 宮崎県、(鹿) : 鹿児島県

地図の作成に当たっては、国土地理院発行の『数値地図 50mメッシュ (標高)』及び国土数値情報の『湖沼』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

新燃岳火口内において位相変化がみられるが、系統的な傾向は認められない。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°	2019.08.19	2020.08.17	第1図 - A, B, C
			36.1°	2019.11.11	2020.11.09	第1図 - D, E, F
30-2930 (SM1_U3-13)	南行	左	52.8°	2019.05.20	2020.07.27	第2図 - G, H, I

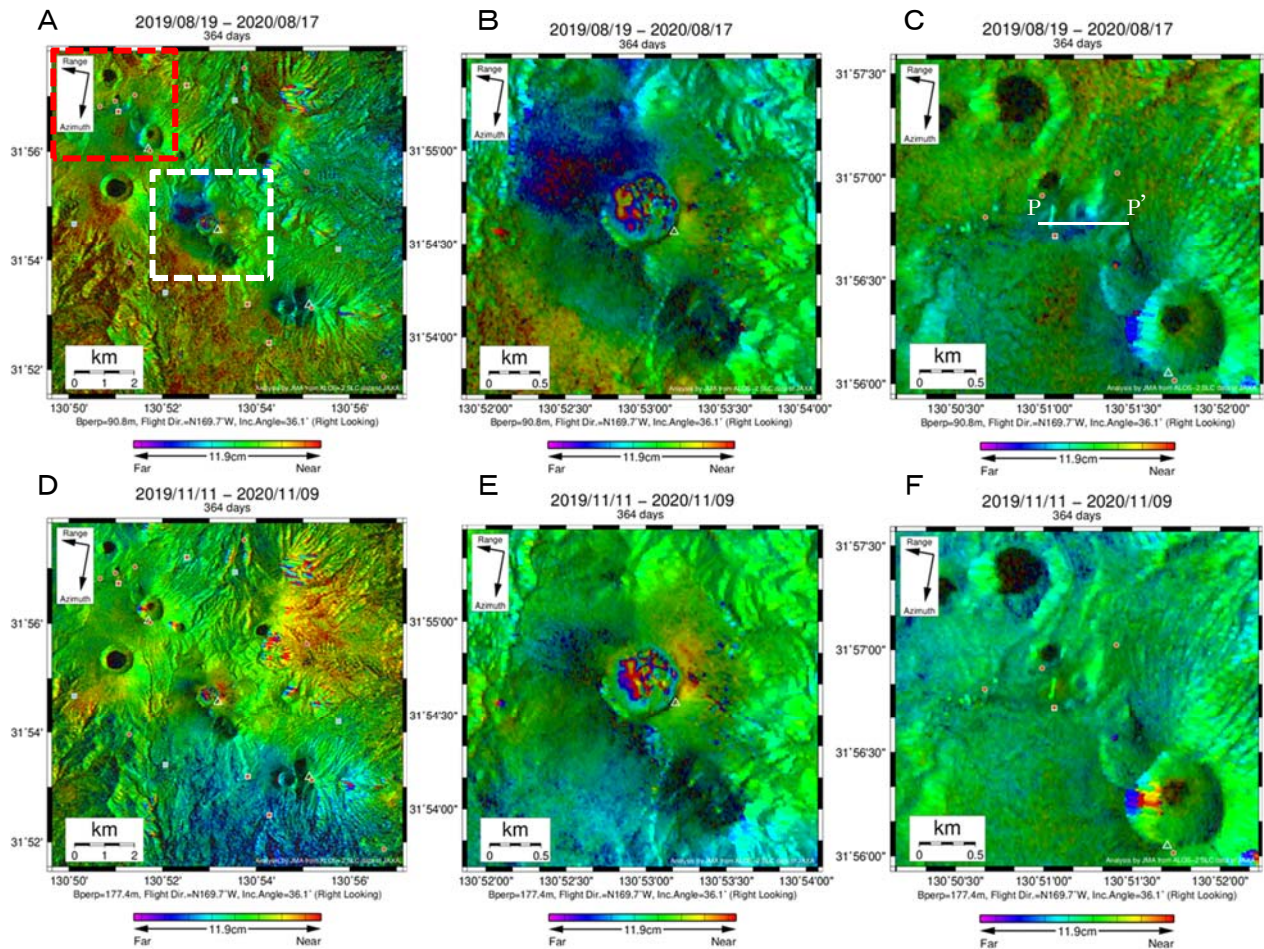
3. 解析結果

第1図、第2図に霧島山周辺の長期ペアによる干渉解析結果画像を示す。いずれにおいても、新燃岳火口内で位相変化がみられるが、系統的な傾向は認められない。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3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。2020年の観測では、ノイズレベルを超えるような変動は認められない。

謝辞

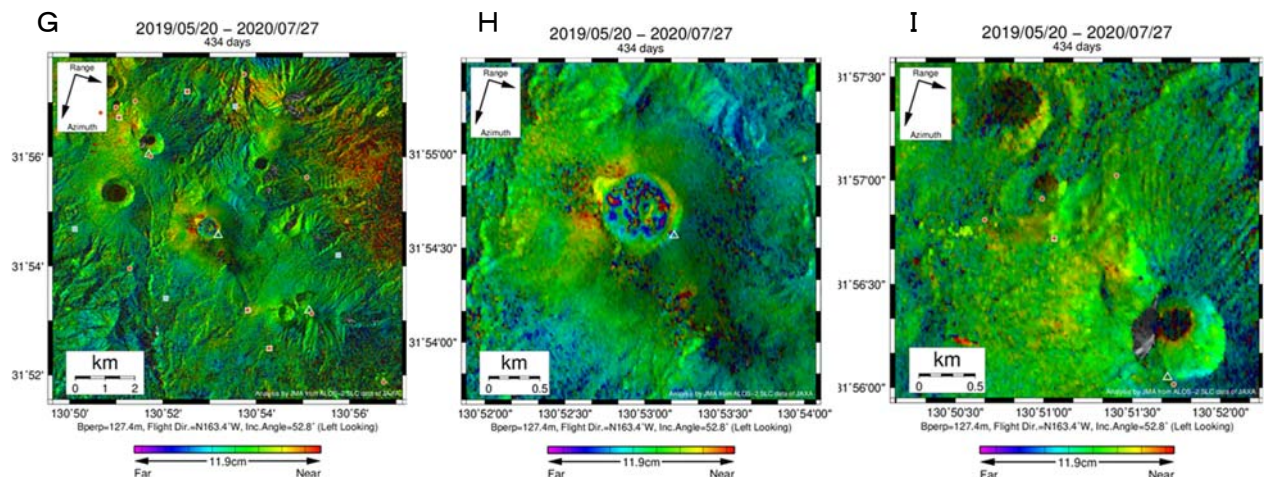
本解析で用いた PALSAR-2 データは、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験(衛星解析グループ)に基づいて、宇宙航空研究開発機構(JAXA)にて観測・提供されたものである。また、一部のデータは、PIXELで共有しているものであり、JAXAと東京大学地震研究所の共同研究契約によりJAXAから提供されたものである。PALSAR-2に関する原初データの所有権はJAXAにある。PALSAR-2の解析ソフトウェアは、防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発されたRINCを使用した。また、処理の過程や結果の描画においては、国土地理院の数値地図10mメッシュ(標高)を元にしたDEHM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 パス 23 (SM1_U2-7) による干渉解析結果

霧島山およびその周辺 (A、D) 新燃岳付近の拡大図 (B、E) えびの高原 (硫黄山) 付近の拡大図 (C、F)

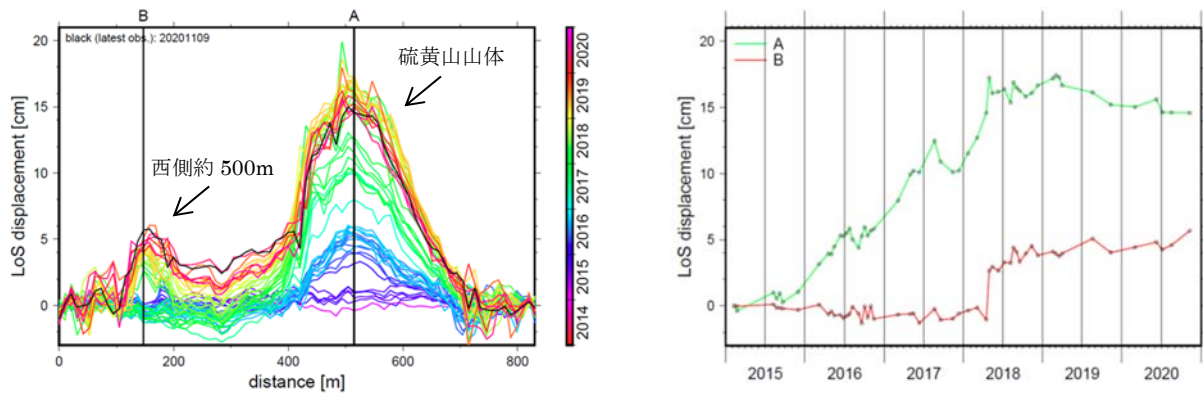
図中の白三角印は山頂位置を示す。丸印は GNSS 観測点、四角印は傾斜観測点を示す。
A の白破線は新燃岳付近、赤破線はえびの高原付近の拡大図を示す。



第 2 図 パス 30 (SM1_U3-13) による干渉解析結果

霧島山およびその周辺 (G)、新燃岳付近の拡大図 (H)、えびの高原 (硫黄山) 付近の拡大図 (I)
凡例は第 1 図と同じ。

第 1 図、第 2 図の新燃岳付近の拡大図 (B、E、H) において、火口内で位相の変化がみられるが、系統的な傾向は認められない。この他にはノイズレベルを超える位相変化は認められない。



第3図 パス 23 を用いたえびの高原（硫黄山）付近の地表変位の時間変化

左は東西断面、右は時系列を示す。視線距離短縮を正とする。東西断面の位置は第1図-C中のP-P'。

A、Bにおいて、2020年の観測ではノイズレベルを超えるような変動は認められない。

霧島山硫黄山周辺の湧水・湯だまりの化学組成

(2020 年 11 月 26 日観測)

2020 年 11 月 26 日までに霧島山(硫黄山)周辺で採取された湧水および火口跡湯だまりの熱水の化学組成を分析した。

(1) 硫黄山山頂域 (図 1; A, P 地点)

硫黄山の山頂域に近い A 湧水および P 熱水 (硫黄山南 4/19 火口跡) は 2020 年 11 月 26 日時点で Cl/SO₄ モル比 0.1 以下を維持している。

A 湧水の Cl/SO₄ 比は、調査を開始した 2016 年 8 月時点で 0.07 程度であったが、その後増減を繰り返しながら増加を続け、2018 年 3 月時点で 0.9、2018 年 4 月噴火後の 5 月時点では同比は 1.6 まで増加した。これ以降 2019 年 1 月にかけての期間同比は 1.2~1.6 と噴火前よりも高い値で推移したが、2019 年 3 月頃から明瞭に減少して 2020 年 3 月以降は 0.1 以下を維持している(表 1, 図 2)。なお、2020 年 11 月 26 日の A 湧水は、7 月 31 日に比較して水量が減少していた(図 3)。

2018 年 4 月の硫黄山南で発生した噴火の跡に出現した湯だまり P(図 4)の熱水は上記 A 湧水と同様に 2019 年 3 月頃から Cl/SO₄ 比が減少し、2019 年 11 月以降は Cl/SO₄ 比 0.1 以下を維持している。なお、2020 年 11 月 26 日の P 湯だまりは前回観測(2020 年 7 月 31 日)に比較して pH が低下して溶存成分濃度の指標となる電気伝導度(EC)が増加した。ただし、Cl と SO₄ のうち増加したのは SO₄ であり、熱水に含まれる Cl 濃度は Pa が 1.6mg/L、Pb が 3.6mg/L 程度とわずかであることから(表 1)、Cl に富む流体が供給された形跡は見当たらない。一方、P 湯だまり近傍の湿地(図 1, 5)は 7 月 31 日時点で池を成していたが、この池は 11 月 26 日時点で枯渇しており、周辺の地下水量が低下しているとみられる。これらの踏まえると、P 湯だまりで観測された 7 月から 11 月にかけての SO₄ 濃度の増加には、上昇する流体の変化だけでなく熱水に混合する周辺の地下水量の変化が関与している可能性もあり、今後の変動を引き続き注視したい。

(2) 硫黄山西火口域(図 1; V2 地点)

V2 熱水の Cl/SO₄ モル比は 2020 年 11 月 26 日時点で 1.9 と山頂域の湧水や火口跡熱水よりも高く、今夏以降大きく増減している。

この湯だまりでは 2018 年 4 月の硫黄山噴火後の同年 7 月から 2019 年 11 月まで Cl/SO₄ 比が 1.3~2.5 程度と高い値で推移した。2020 年 1 月から 7 月までは Cl/SO₄ 比は概ね 0.5 程度以下で推移したが、8 月以降は大きな増減を示しているほか山頂域の湧水や火口跡熱水よりも高い Cl/SO₄ 比で推移しており、引き続き注視を続けたい。なお、今夏以降の Cl/SO₄ 比の大きな変動の直接的な要因は不明であるが、V2 地点では今夏以降に湯だまりの形状や水量が変化したり、近傍に新たな噴気孔が出現したりするなど産状が大きく変化しているため(図 6)、これらとの関連も念頭において観測を続けたい。

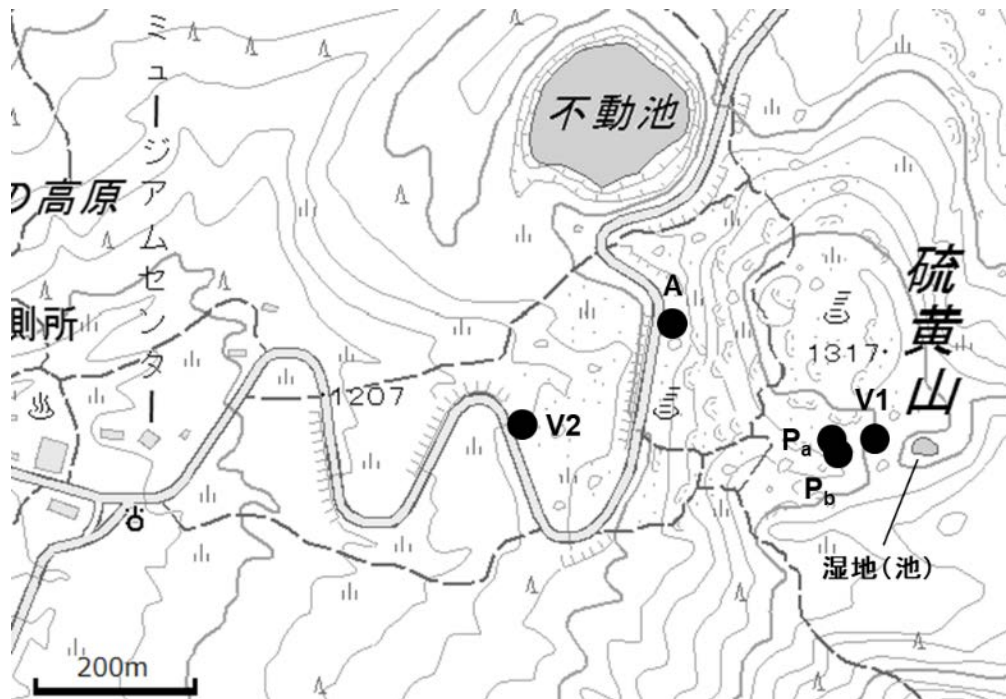


図 1. 試料採取および観測地点（背景地図に地理院地図を使用した）

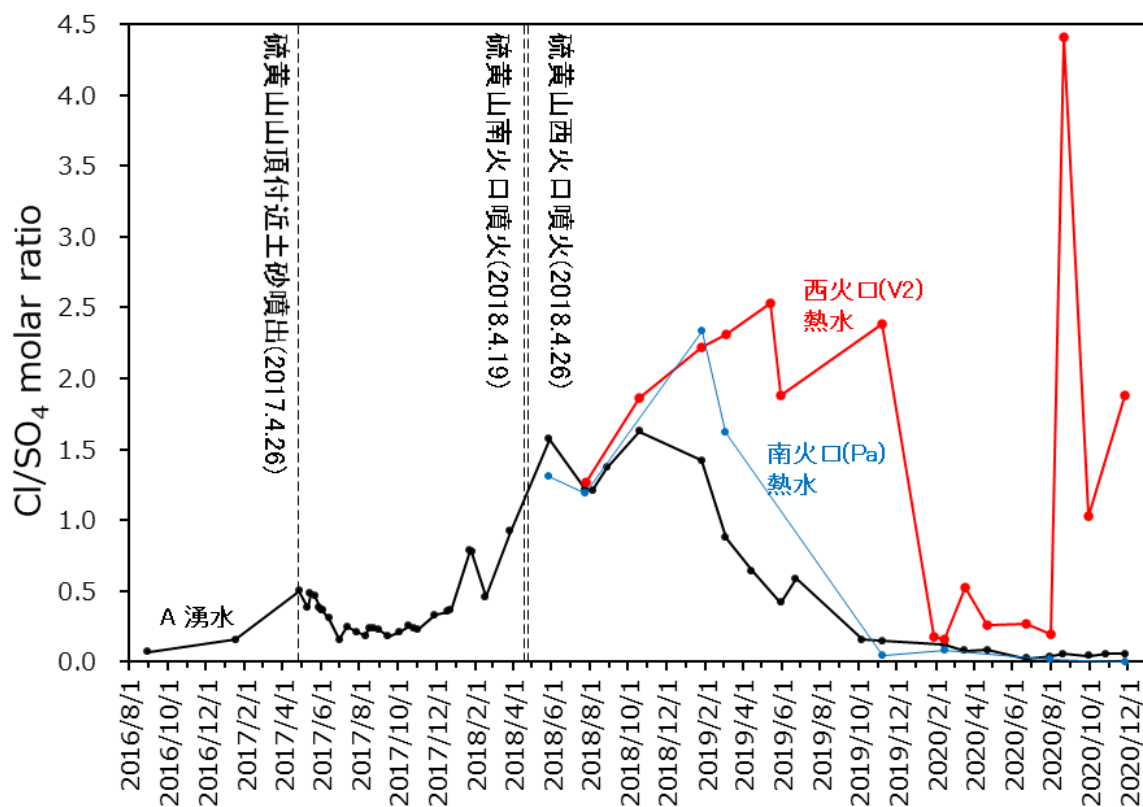


図 2. 硫黄山周辺の湧水、火口跡熱水の Cl/SO₄ モル比の変化

霧島山（硫黄山）



図 3. A 湧水(硫黄山西麓)
(7 月に比較して 11 月は水量が減少していた)



図 4. P 湯だまり(硫黄山南火口跡)

霧島山 (硫黄山)



図 5. P 湯だまり近傍の湿地(池)の水量の変化
(11 月 26 日時点で池はほぼ完全に枯渇していた)



図 6. V2 湯だまり(硫黄山西火口跡)
(7 月は水量が多く道路側の噴気孔に熱水が流れ込むが、
11 月には水量が減少していて噴気孔と湯だまりは混ざり合っていない)

第147回火山噴火予知連絡会

気象研究所・東海大学・東京大学大学院・福岡管区气象台・鹿児島地方气象台・宮崎地方气象台

表 1. 霧島山硫黄山周辺の湧水および湯だまりの化学組成 (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
A (硫黄山西麓湧水)	2020/2/14	43.7	1.92	0.70	101	2240	0.12
	2020/3/17	45.6	1.81	0.88	94.5	3180	0.08
	2020/4/22	44.0	1.86	0.74	72.6	2380	0.08
	2020/6/23	55.3	1.51	1.58	50.6	5660	0.02
	2020/7/31	55.4	1.71	0.99	44.4	3110	0.04
	2020/8/21	49.9	1.67	1.04	71.4	3350	0.06
	2020/9/30	55.0	1.70	0.95	45.5	2890	0.04
	2020/10/28	45.1	1.81	0.79	54.4	2510	0.06
	2020/11/26	41.3	1.79	0.90	63.8	2950	0.06
Pa (硫黄山南火口跡湯だまり)	2020/2/14	45.1	1.41	1.82	82.3	3820	0.06
	2020/7/31	26.7	2.14	0.30	5.8	527	0.03
	2020/11/26	20.9	1.44	1.55	1.6	2970	0.00
Pb (硫黄山南火口跡湯だまり)	2020/2/14	83.2	1.18	3.34	238	7510	0.09
	2020/7/31	89.8	1.33	2.11	24.0	4540	0.01
	2020/11/26	88.4	0.82	9.77	3.6	24200	0.00
V2 (硫黄山西火口跡湯だまり)	2020/1/28	90.2	1.60	1.18	136	2110	0.17
	2020/2/14	93.6	1.96	0.50	48.3	810	0.16
	2020/3/17	ND	1.36	2.20	859	4450	0.52
	2020/4/22	89.8	1.58	1.17	210	2190	0.26
	2020/6/23	88.0	1.60	1.18	266	2630	0.27
	2020/7/31	95.7	1.62	1.12	190	2580	0.20
	2020/8/21	83.4	1.17	3.53	5140	3320	4.19
	2020/9/30	74.9	1.78	0.81	484	1270	1.03
	2020/11/26	90.2	1.26	2.83	2370	3410	1.88

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, Integrigon)を使用した。

謝辞 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。

霧島山 (硫黄山)

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～2020 年 9 月)

2020 年 9 月上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～2020 年 9 月は硫黄山西麓を中心としてわずかな膨張が確認された。

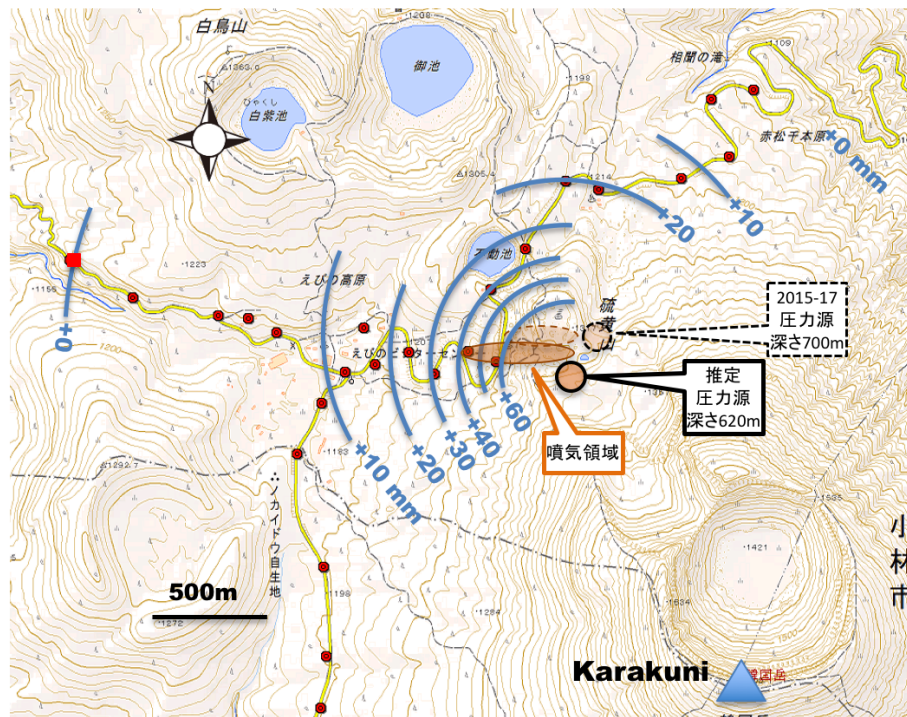
九州大学を中心とした大学合同水準測量班は、2015 年 6 月にえびの高原周辺に水準路線を増設した（第 1 図）。その後、硫黄山では火山性地震の群発や傾斜変動をとまなう火山性微動がたびたび発生し、2015 年 12 月中旬には地表に新たな噴気帯が生じ、2017 年 5 月には火山泥の噴出が確認されている。その後噴気活動は一時沈降傾向になったが、2018 年 2 月には火山性地震が増加し、噴気現象も再度活発になってきた。4 月上旬から硫黄山の南側に沿って東西に新たな噴気孔列が生じ、一部で小噴火を発生させた。

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 2020 年 9 月までに 72.7 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。

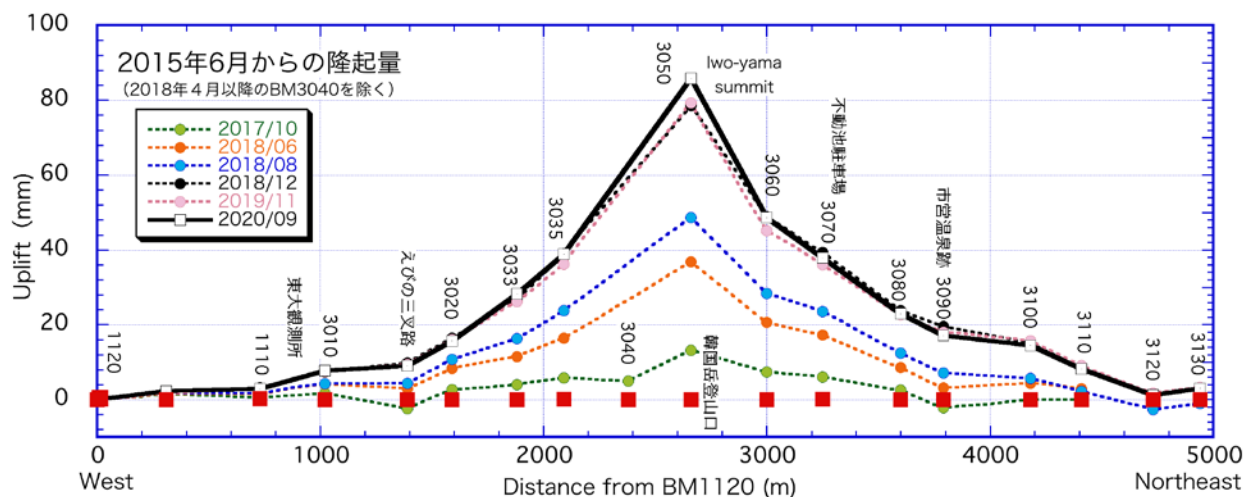
第 1 表に推定された圧力源の位置を示す。圧力源の位置は、2017 年 10 月以前は硫黄山噴気群の東側約 100 m であったが、2017 年 10 月以降は硫黄山南噴気孔の南側に存在していると考えられる。またその深さもこの地点の標高を 1300m と考えると、地表からそれぞれ、700m、620 m となり、圧力源の位置も徐々に上昇していると考えられる。硫黄山直下では厚さ 700 m 程度の低比抵抗層(スメクタイト層と推定)が 3 次元 MT 解析で推定されており(Tsukamoto et al., 2018)、これがキャップロックとなりこの直下で熱水溜まりの圧力が増加しているものと推定され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

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 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麓噴気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 2020 年 9 月の水準測量による上下変位と気象庁 GNSS による水平変位を示す。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。



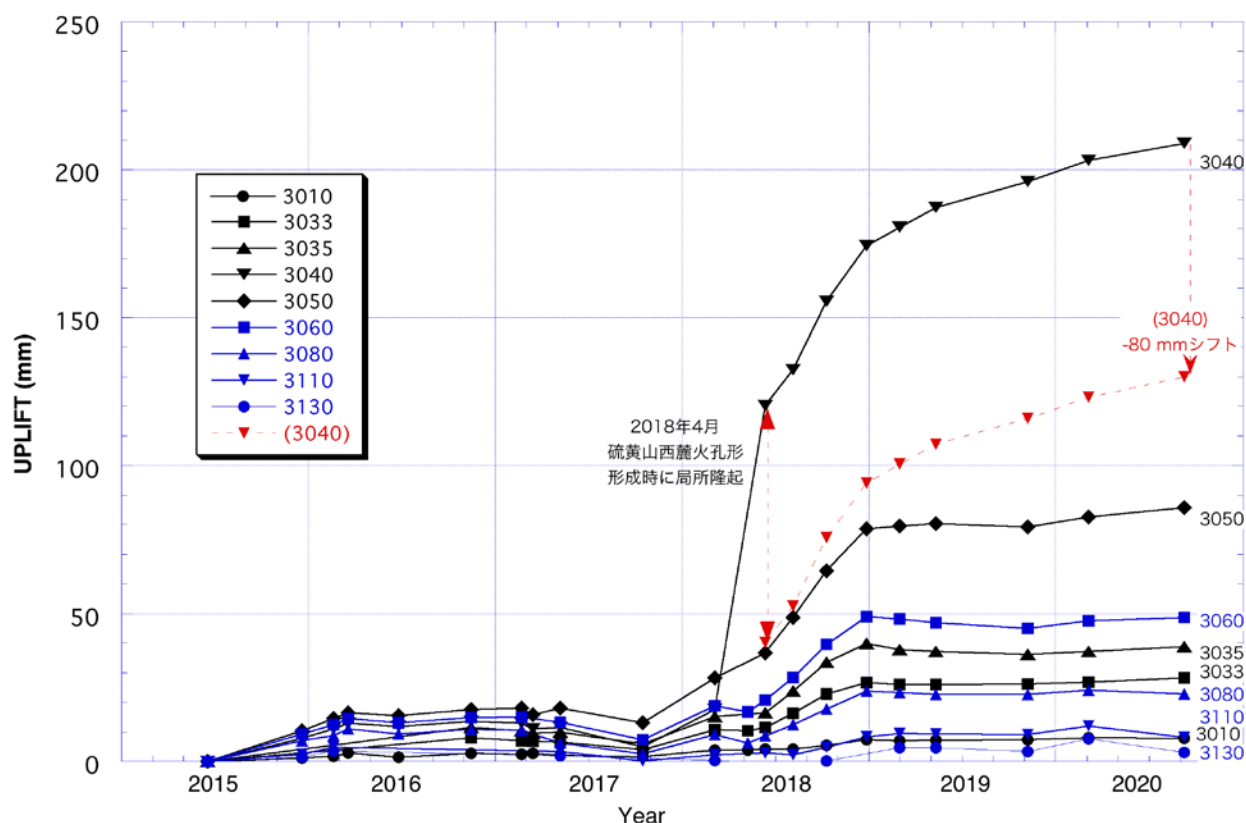
第 1 図 えびの高原～硫黄山区間の水準路線と 2017 年 10 月から 2018 年 12 月までの隆起量を示す。2018 年 4 月から活発化した噴気領域や、これまでの水準測量から推定された圧力源の水平位置も同時に示す。国土地理院電子地形図（タイル）を使用した。



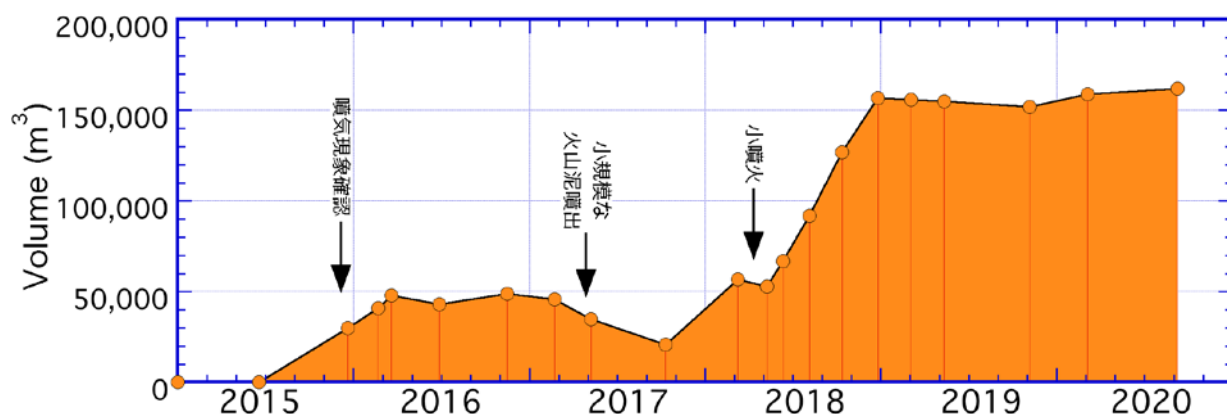
第 2 図 2017 年 10 月以降の主な水準測量結果 (BM3040 を除く)。隆起・沈降の中心は硫黄山付近の浅部と考えられる。2018 年 12 月以降の値はほとんど重なっているが、2019 年 11 月以降は硫黄山西麓の 3033～3060 間で若干の隆起傾向が見える。

第 1 表 推定された圧力源の位置・

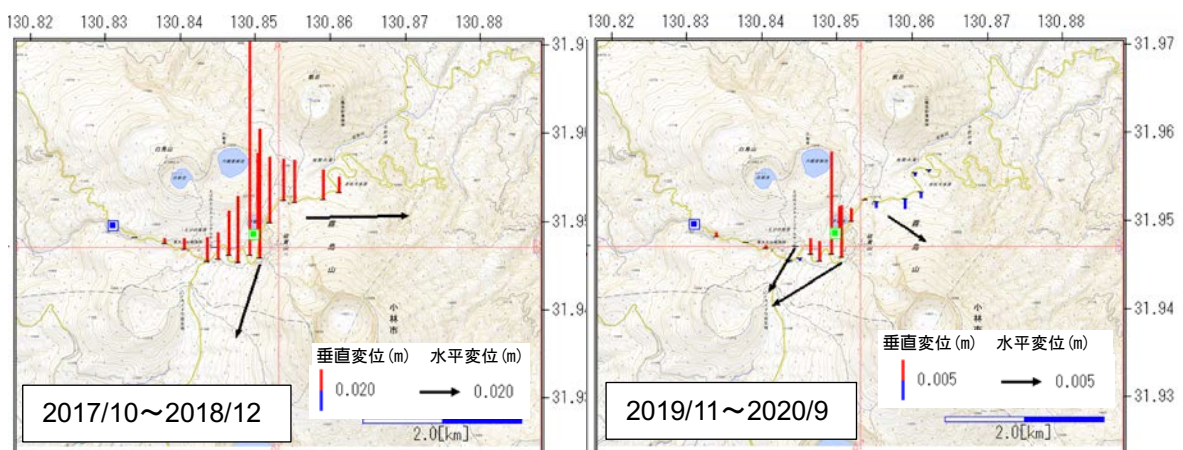
	2017 年 10 月以前	2017 年 10 月以降
北緯	31.946777	31.94517
東経	130.85460	130.853975
海拔高度	600m	680m



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 2020 年 9 月の水準測量による上下変位と気象庁 GNSS による水平変位を示す. 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 (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.

2020 年 9 月の測量作業は 内田和也・松島 健・清水 洋・唐 懌塵・吉永光樹・橋本真美が行った. 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・気象庁の協力で実施されている.

ここに記して感謝する.

硫黄山噴気帯及び硫黄山西噴気帯における地熱異常

硫黄山西噴気帯の W4 孔では、2020 年 5 月 23 日に定常的な湯だまりが消失し、その後は湯だまり水位が変化している。湯だまりが消失した 5 月に 96~97℃のジェット状噴気が観測されたあと、周辺の噴気地点では 8 月に 100℃を超え、11 月 11 日には 125.2℃の噴気温度を記録した。また、川湯沿いでは、K7, K2, K6 で新たな噴気活動が生じ、W4 孔周辺においても U1 で新たな熱異常が認められた。硫黄山山頂域の噴気帯では著しい噴気温の上昇や、熱異常域の拡大は認められない。従って、W4 孔及び川湯周辺での熱異常域拡大や噴気温上昇には注意を要するものと考えられる。

1. 硫黄山西噴気帯及び川湯の湧水

- ・W4 孔では、5 月 23 日に水位低下により定常的な湯だまりが見られなくなり、まとまった降水ごとに湯溜まりの復活と消滅が繰り返された(図 6)。湯だまりのドライアップ時には、硫黄昇華物が火孔周辺に生成している。
- ・8 月 2 日には W4 孔のすぐ西側の県道のアスファルト舗装道路上に高温熱水の染み出しが見られ、8 月 16 日には活発な高温噴気孔に成長した(図 6D, E)。5 月 23 日と 11 月 25 日と比較した所、W4 孔の道路側への拡大は約 2.5 m である(図 6F)。
- ・湯だまり消滅時は W4 底の噴気孔からジェット音を伴った高温のガスが直接噴出(5 月 23 日: 97.4℃)されるようになった。道路に拡大した噴気孔では 8 月 2 日 103.4℃, 8 月 24 日 116.2℃, 9 月 9 日 118.7℃, 11 月 11 日 125.2℃と徐々に上昇したが、11 月からは、11 月 25 日 124.5℃, 12 月 5 日 125.6℃と安定状態になっている(図 8, 9)。
- ・11 月 24 日のドローン調査では、W4 孔周辺で U1~U3 の熱異常が確認された(図 2B)。ただし U2, U3 の熱異常は 2019 年 5 月 23 日に東京大学地震研究所が撮影した赤外映像(第 144 回予知連資料)においてもかすかに確認できる。また、W1, W2, W7 においても熱異常が認められる(図 2B)。
- ・川湯(赤子川上流)では、9 月 9 日以降に K7, K2, K6 において新たな噴気活動(熱異常)が発生した(11 月 25 日確認, 図 2A, 図 7)。K6 では泥温水の湧出(95.5℃; 11/25), K5 では無色温水の湧出(43.8℃; 11/25)も見られた。
- ・川湯 3 (K3) は、5 月後半から 50℃前後のやや高い水温を示すが、著しい変化は見られない(図 8)。

2. 硫黄山噴気帯

- ・硫黄山南火口(Y2a, b)では水温が安定せず、表層水の影響が示唆される(図 8)。特に Y2b は 6 月以降噴湯現象もみられず、湯溜まりも泥水から無色水に変化しており噴気活動はほとんど停止しているが、気泡状のガスは認められた。
- ・南火口(Y3)では、5 月以降 100℃前後の噴気温が観測されており、5 月 23 日に 102.2℃を記録している。(図 8)。
- ・硫黄山噴気帯は、H のように安定した温度の噴気、もしくは A など噴気温が低下するものが

霧島山

認められる (図 9). 噴気帯北域での地熱活動の減退が顕著である。

3. ドローン調査

2020 年 9 月 9 日, 11 月 24 日にサーマルセンサーを搭載した小型ドローン (DJI 社製 MAVIC 2 ENTERPRISE DUAL) を使用して硫黄山およびその周辺の地熱地帯を撮影した (図 2~5).

9 月 9 日調査では, W4 孔周辺のわずかな熱異常域の拡大及び既噴気域での活動は認められた (図 3). 11 月 24 日の調査では W4 孔周辺に点在する熱異常地点と, 川湯沿いに点在する熱異常地点を確認した (図 2). 川湯沿いの K7, K2, K6 は 9 月以降に出現した噴気地点と推定される. また, Y2a, Y3 での活発な地熱活動に伴う熱異常も確認した (図 4, 5).

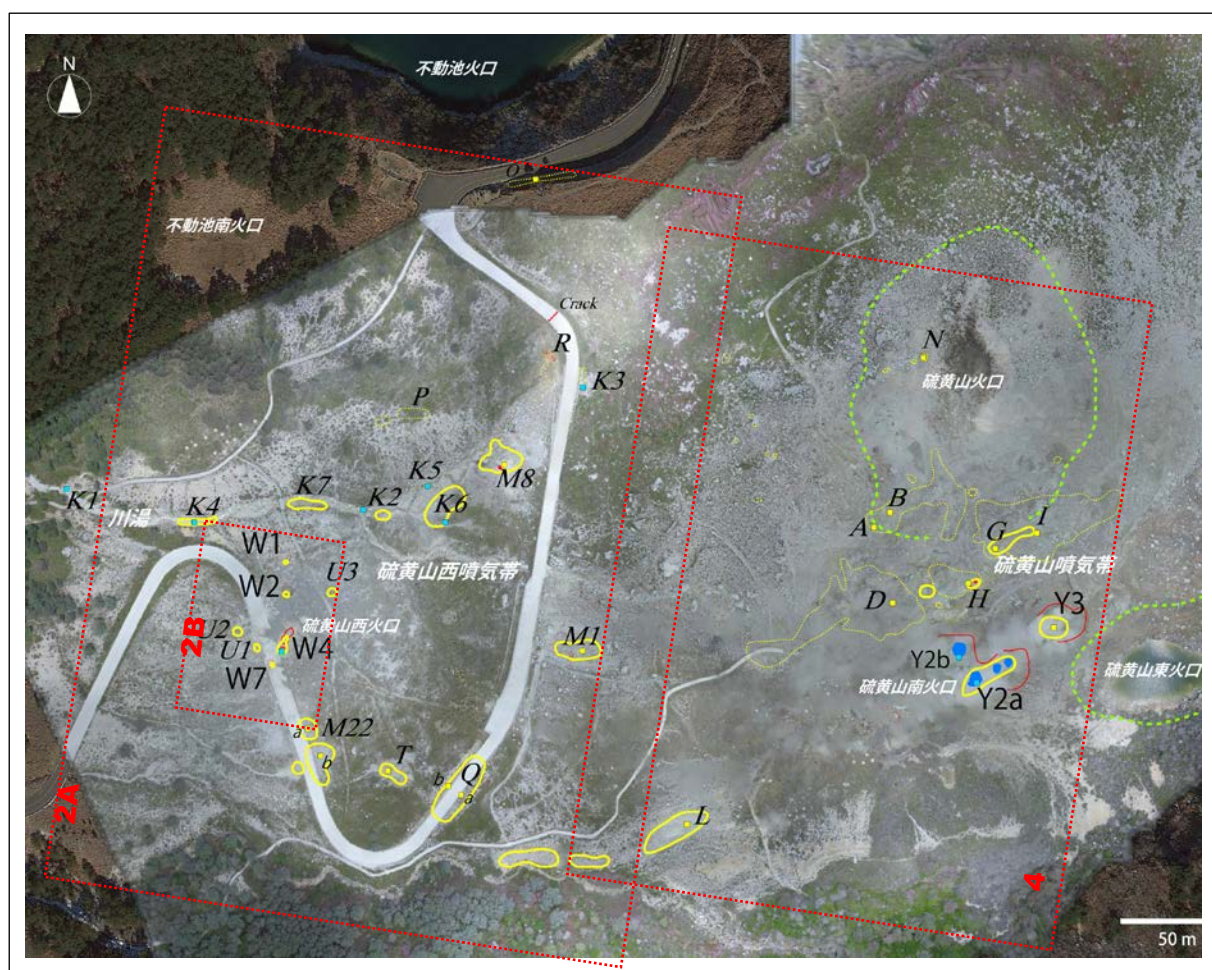


図 1 硫黄山噴気帯・硫黄山西噴気帯周辺の熱異常及び熱水の位置図

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. 赤点線枠は, 図 2, 4 の熱異常気域撮影範囲.

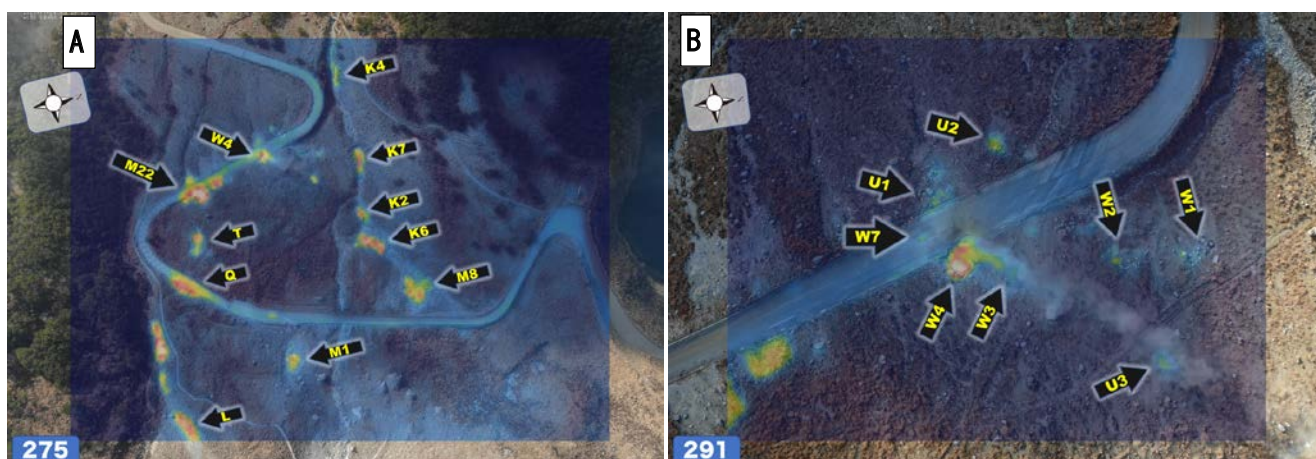


図2 ドローン調査による硫黄山西噴気帯の地熱活動（2020年11月24日）

A. 硫黄山西噴気帯の地熱異常. B. 硫黄山西火口（W4, W3）周辺の地熱異常.

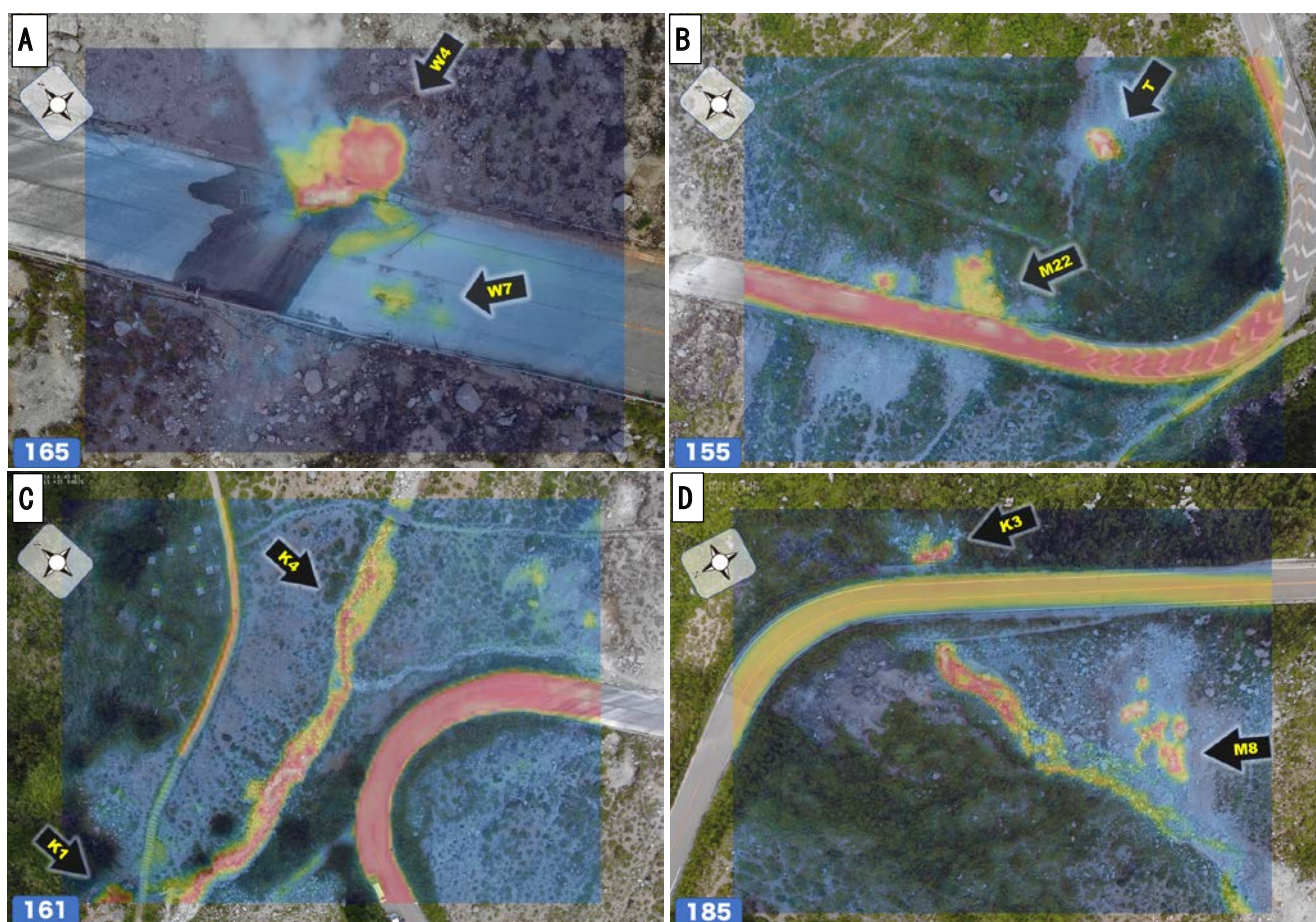


図3 ドローン調査による硫黄山西噴気帯の地熱活動（2020年9月9日）

A. 硫黄山西火口 W4, W7 及び周辺の地熱異常. B. M22, T の地熱異常. 道路面の赤色は日射による影響と推定される. C. 県道北側赤子川に認められる温水湧出箇所(K-1, K-4). D. K3, M8 付近の地熱異常.

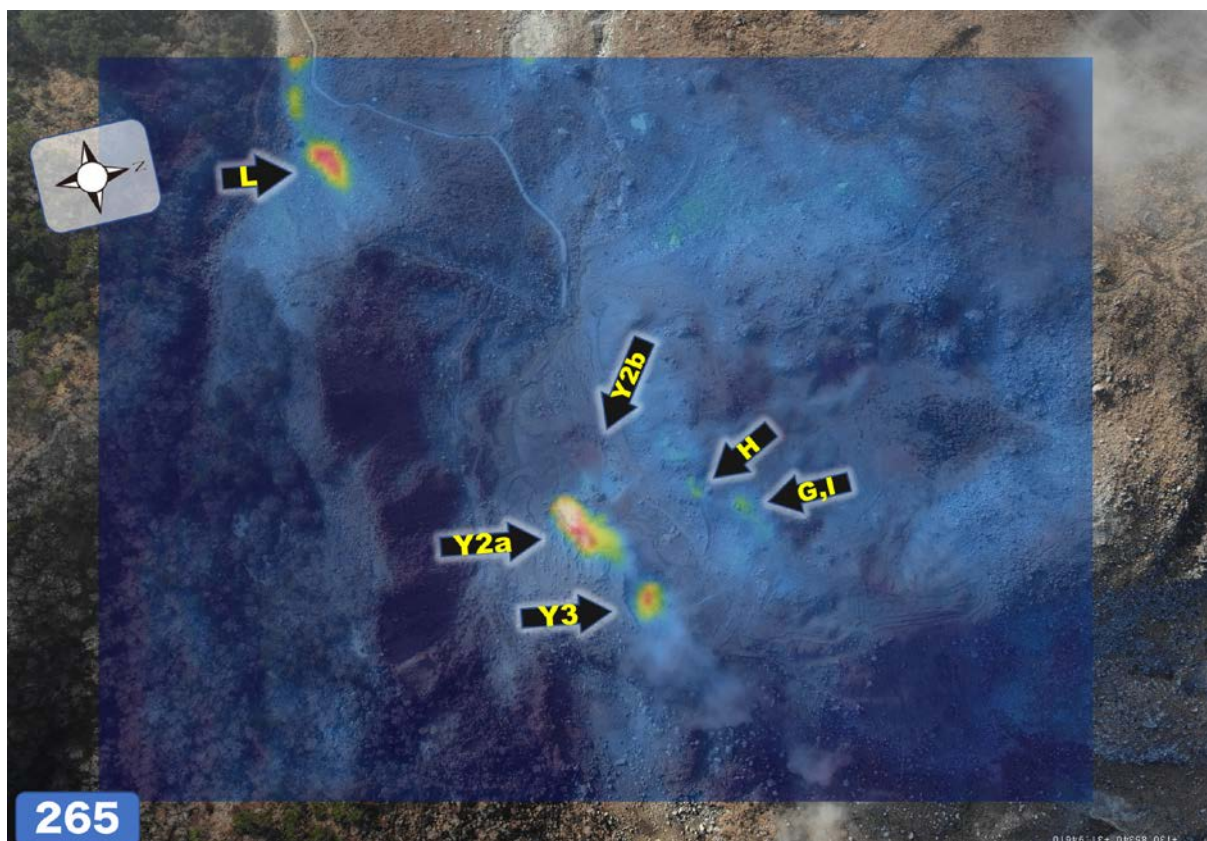


図4 ドローン調査による硫黄山噴気帯の地熱活動 (2020年11月24日)

Y2a, Y3 火口に顕著な熱異常が認められ, H, G, I 噴気孔周辺にも熱異常が認められる.

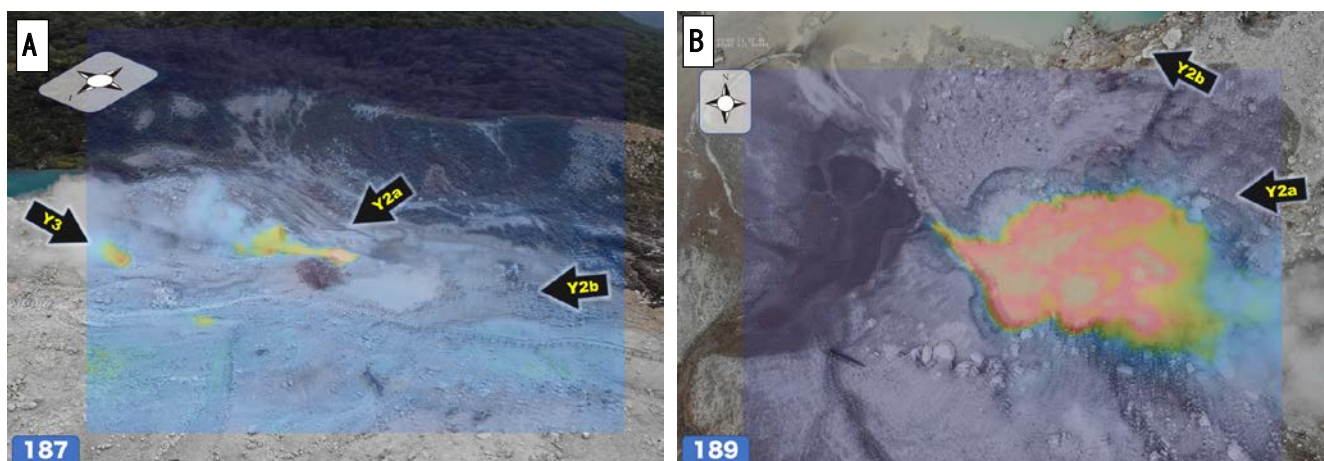


図5 ドローン調査による硫黄山噴気帯の地熱活動 (2020年9月9日)

A. 硫黄山南火口の熱異常 (斜め写真). B. 硫黄山南火口 (Y2a) の地熱異常.

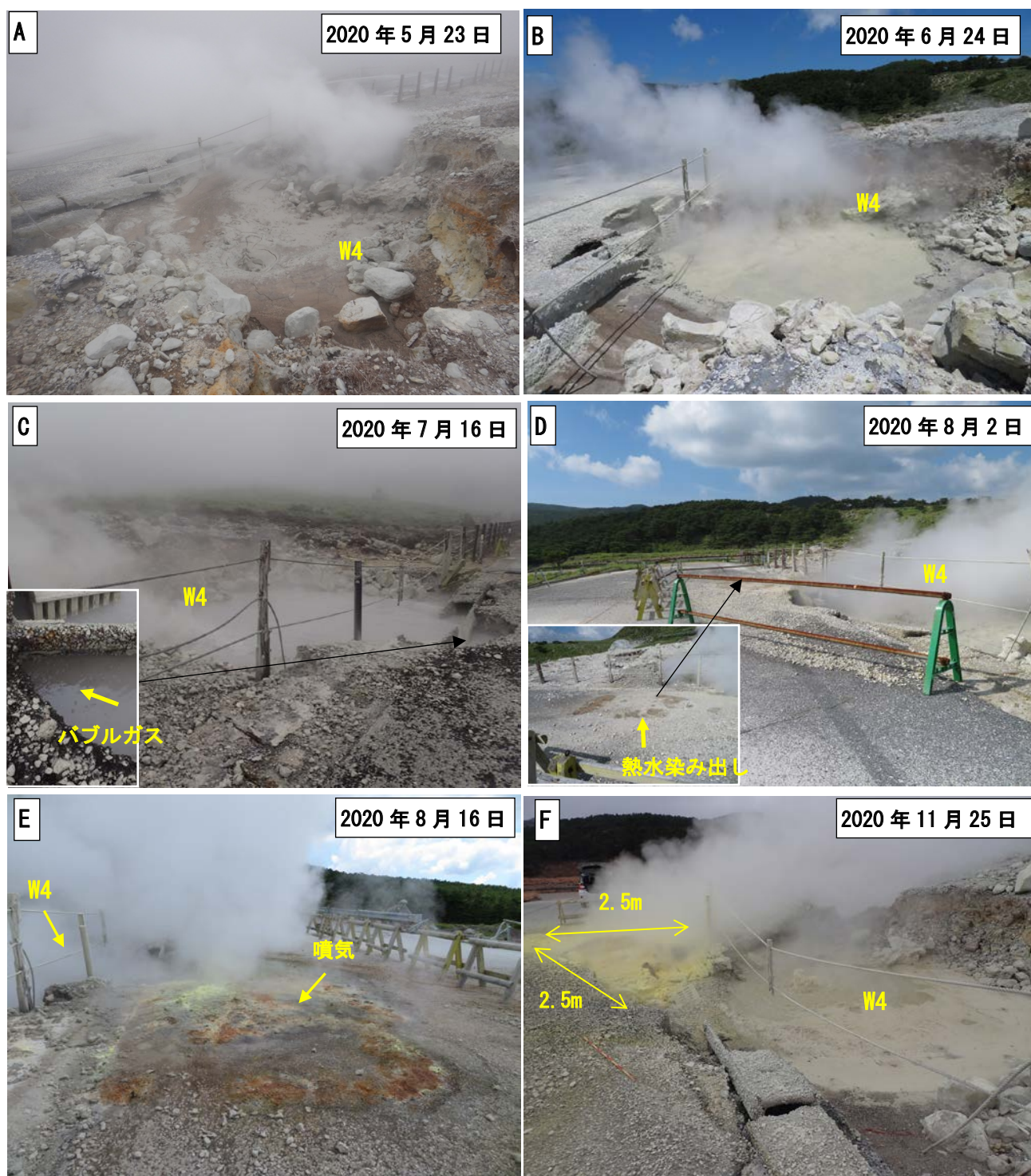


図6 硫黄山西火口 (W4) の地熱活動

A. 湯だまりが消失したW4孔. B. 湯だまりが回復したW4孔, 道路侵食に大きな変化はない. C. 降雨後のW4孔, 道路侵食に大きな変化はない. ただし道路の側溝ぎわの湯だまりにバブルガスが見られる. D. 道路上に輪状の染み出し跡が見られる. E. Dの染み出し域から噴気が生じ, 路面に変色域が見られる. F. 噴気及び湯だまりによって拡大したW4孔. 黄色矢印は5月23日後の拡大範囲であり, 噴気孔が道路側に約2.5 m拡大した. B, D, Eの写真は, 古園俊男氏撮影.

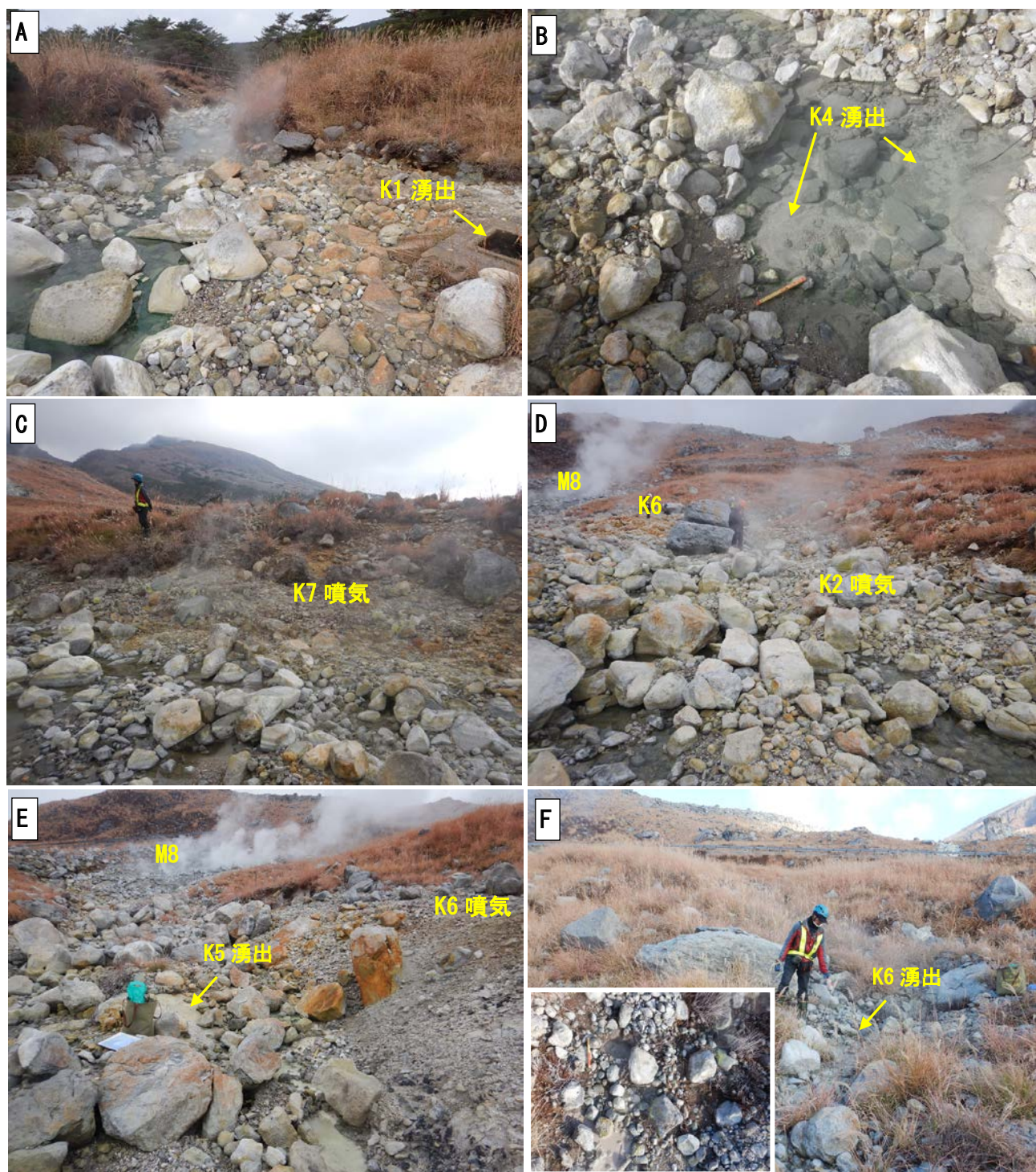
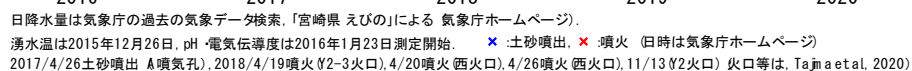


図7 川湯沿いの地熱活動 (2020年11月25日撮影)

A. K1付近の状況. 赤子川を流れる河川水に濁りは見られない. B. K4での湧出状況. 複数地点から温水の湧出が見られた. 周囲に噴気は見られない. C. K7の噴気状況, 河川内に湧出は見られない. D. K2の噴気状況, 河川内に湧出は見られない. E. K5及びK6熱異常地点. K5からは温水湧出が見られた. F. K6の温水湧出地点. 泥水状の温水 (95.5℃) の湧出が見られた.



霧島山

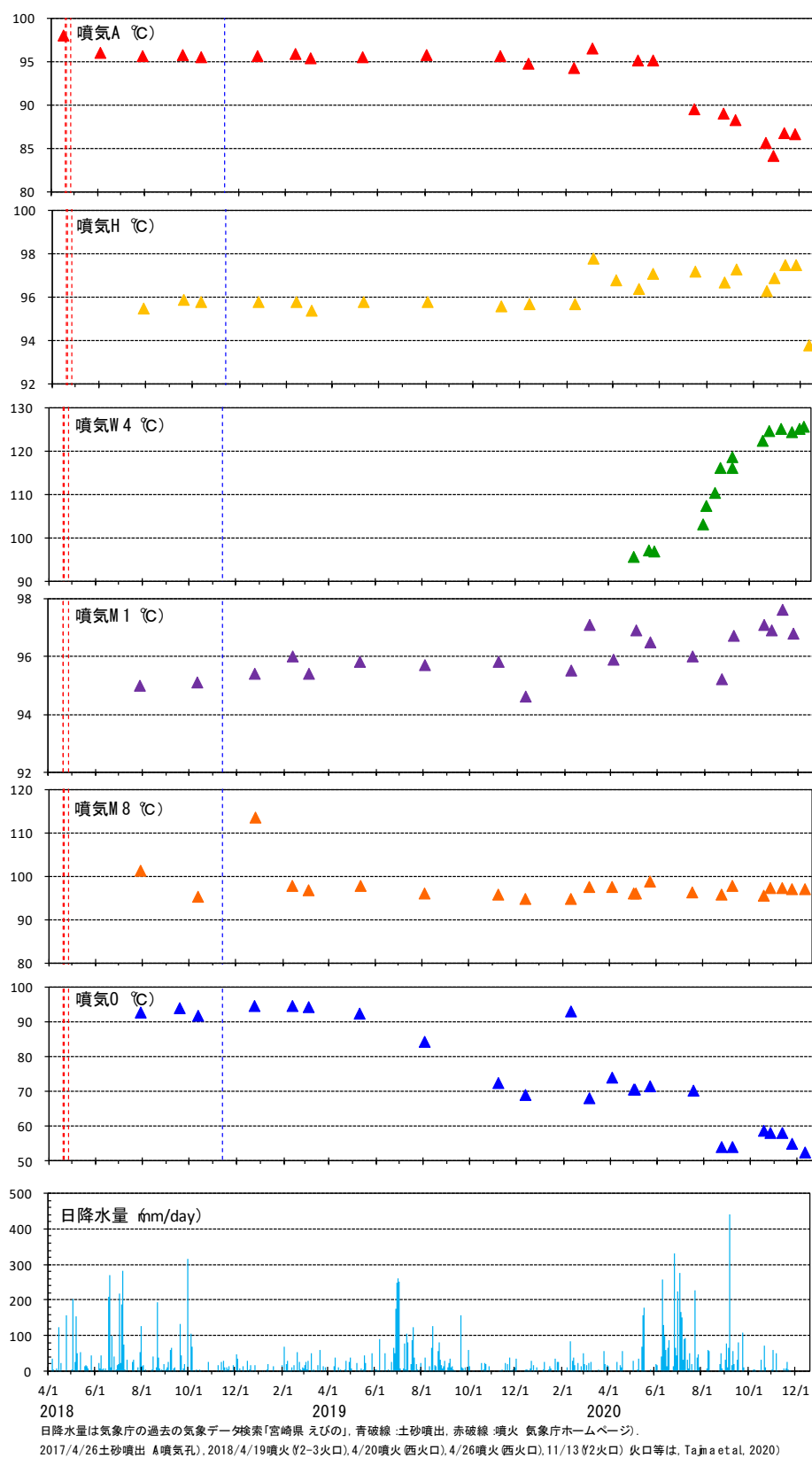


図 9 硫黄山及び硫黄山西噴気帯の噴気温度測定結果 (位置は図 1 参照)

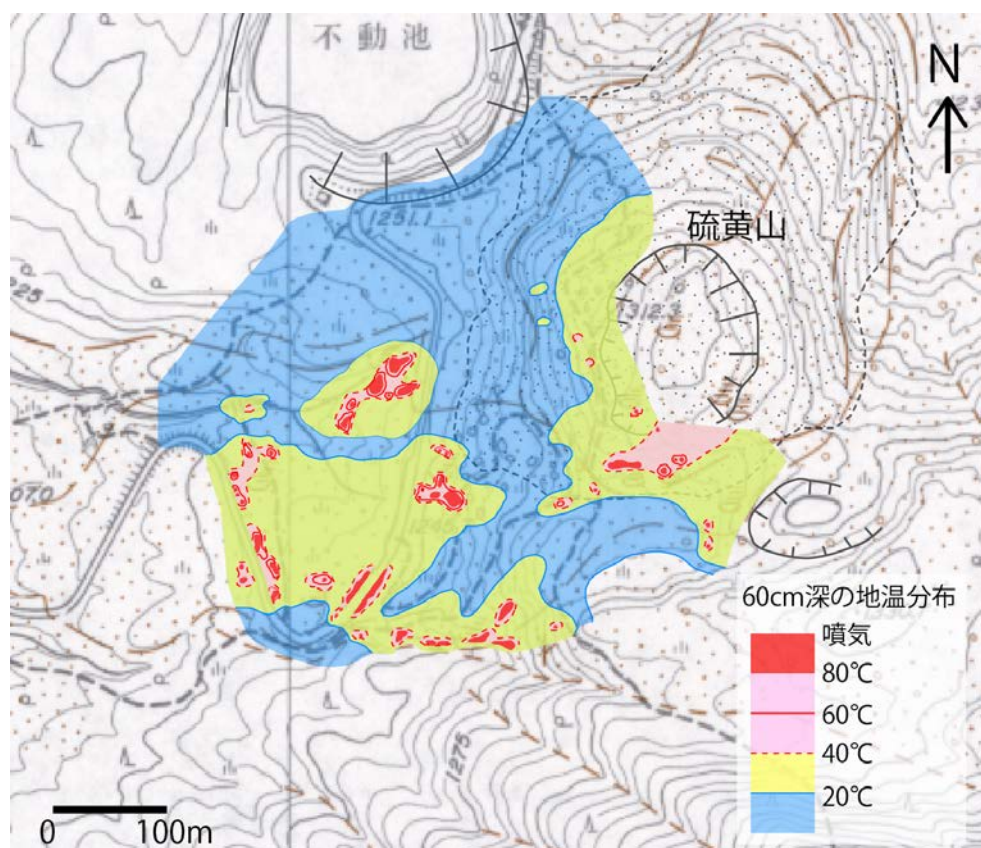


図 10 1980 年代後半の硫黄山の噴気地域と 60cm 深の地温分布図。

硫黄山西麓の県道 1 号線は 1950 年台に開通したが、当時その周囲に地熱徴候はみられていなかった。しかし 1970 年頃から県道沿いに噴気活動が始まり、1981～1983 年にかけて噴気箇所が増加して活発になった。噴気は 1986 年まで確認され、その後は衰えて地熱徴候も徐々になくなっていった。しかし 2015 年からの硫黄山西麓の地熱・噴気活動域は 1980 年代の地熱異常分布と驚くほど一致しており、現在の火山活動は 1980 年代の硫黄山の噴気経路をそのまま利用していると考えられる。えびの高原自然保護対策協議会（1987）の付図を元に作図した。基図は、国土地理院の火山基本図を用いた。

【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。また現地調査の際には、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。環境省霧島錦江湾国立公園管理事務所えびの管理官事務所には、えびの高原自然保護対策協議会資料の掲載許可を頂いた。ここに記して感謝する。

【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.
- 東京大学地震研究所 (2019) 霧島-硫黄山の赤外観測. 第 144 回火山噴火予知連絡会資料 その 2-3 (霧島山②), 129.
- えびの高原自然保護対策協議会 (1987) 「霧島屋久国立公園えびの高原地区における事故防止対策のための検討調査報告書」

硫黄山周辺の熱水・湧水の化学組成の経時変動について

硫黄山周辺の熱水・温泉水・湧水を対象として 2018 年 7 月末から 2 年半以上の期間にわたり、ほぼ 2・3 か月に 1 回の間隔で試料採取と化学分析を行っている。熱水の $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比が低下する傾向が、硫黄山南火口群では 2019 年夏から現在まで、西火口では 2019 年 12 月～2020 年 6 月にかけて観測された。しかし、西火口の湯だまりでは 2020 年夏以降この比が増加に転じている。

1. 試料の採取と分析

試料採取は、硫黄山南火口群とその北東に広がる湿地帯を中心に行っている。継続して採取分析を続けているのは、南火口群に形成された Y2a, Y2b の湯だまり、西火口群の中で最も活発な W4 の湯だまり、硫黄山の北側に位置する旧市営露天風呂の源泉 Ro、硫黄山の北東に広がる湿地帯にある湧水池 Sg である。ただし湯だまりは水位が低下した際に安全に近づくことができないなどの理由で採水できなかったことが何回かある。図 1 にこれらの採取地点の位置を示す。

水温, pH, EC (電気伝導度) は採水時に計測機器を用いて現場測定を行なった。化学組成については、陽イオン (Na, K, Mg, Ca) と Si, B を ICP 発光分析法により、陰イオン (Cl , SO_4) をイオンクロマトグラフィーにより、九州大学で分析を行った。



図 1 試料採取地点 (国土地理院の地図「電子国土 web」に追記)

2. 分析結果

熱水、温泉水、湧水の化学分析の結果として、2020 年 4 月以降の試料の結果を表 1 に示す。また図 2 に、 $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{SO}_4)$ 比（モル比）の 2018 年 7 月から 2020 年 5 月までの経時変動を示す（一般に用いられる Cl/SO_4 比よりもなめらかな変動を示すことから、この組成比のプロットを示した）。

表 1 霧島硫黄山周辺の湯だまりおよび湧水の現場計測結果と陰イオン化学組成

採取地点	採取日	水温 (°C)	pH	EC (S/m)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl/SO ₄ モル比	Cl/(Cl+SO ₄) モル比
南火口湯だまりY2a	2020/4/4	83.0	1.23	3.1	89	10150	0.02	0.023
	2020/5/23	-	1.48	1.8	113	7510	0.04	0.039
	2020/7/17	96.7	1.98	0.4	18	1260	0.04	0.036
	2020/9/8	88.7	-	-	24	2190	0.03	0.029
	2020/9/30	80.4	1.19	-	33	8810	0.010	0.010
	2020/10/18 #	80.8	-	-	8	8790	0.002	0.002
	2020/11/6	88.7	1.21	7.0	5	23000	0.001	0.001
	2020/11/25 #	-	-	-	6	22000	0.001	0.001
	2020/12/11	88.1	0.82	7.4	4	25000	0.001	0.001
南火口湯だまりY2b	2020/4/4	67.0	1.70	0.9	20	2610	0.02	0.020
	2020/5/23	34.8	1.92	0.7	27	1840	0.04	0.038
	2020/7/17	17.3	1.92	0.7	1	63	0.03	0.024
	2020/9/8	22.9	2.49	-	7	684	0.03	0.029
	2020/10/1	40.4	1.54	-	6	1699	0.01	0.010
	2020/11/6	23.0	1.56	0.8	17	1534	0.03	0.030
西火口湯だまりW4	2020/4/4	93.2	1.67	1.3	405	3870	0.28	0.22
	2020/6/1 #	97.4	-	-	89	1260	0.19	0.16
	2020/7/16	92.5	1.57	1.8	2070	4080	1.37	0.57
	2020/9/8	86.3	-	0.9	1050	1400	2.03	0.67
	2020/9/30	89.6	1.96	-	462	1210	1.03	0.50
	2020/10/19 #	95.8	-	-	757	2130	0.96	0.49
	2020/11/6	96.0	1.45	2.2	2890	3020	2.59	0.72
	2020/11/26#	-	-	-	2050	3020	1.84	0.64
	2020/11/27#	-	-	-	2440	3340	1.98	0.66
旧市営露天風呂Ro	2020/12/12	95.4	1.54	1.0	3620	4760	2.06	0.67
	2020/4/4	18.4	2.24	0.18	25	500	0.13	0.11
	2020/5/23	17.5	2.75	0.11	15	282	0.14	0.12
	2020/7/17	16.1	2.20	0.33	6	869	0.02	0.02
	2020/9/9	15.0	-	-	6	366	0.05	0.04
	2020/10/1	17.2	2.35	-	8	718	0.03	0.02
	2020/11/6	17.9	2.09	0.29	7	779	0.02	0.02
	2020/12/12	18.3	2.26	0.15	11	738	0.04	0.03
湿地帯(緑色池)Sg	2020/4/4	14.9	3.44	0.06	13	226	0.16	0.13
	2020/7/17	16.4	3.39	0.06	9	226	0.10	0.09
	2020/9/9	14.3	-	0.05	7	180	0.10	0.09
	2020/12/12	14.4	2.99	0.03	7	190	0.10	0.08

の試料（2020/6, 2020/10, 2020/11）は、持ち帰り試料を数日後にろ過をして分析をした。

- : 機器不良や安全確保などの理由で計測データなし。 n. a. : 定量限界以下などの理由で分析結果なし。

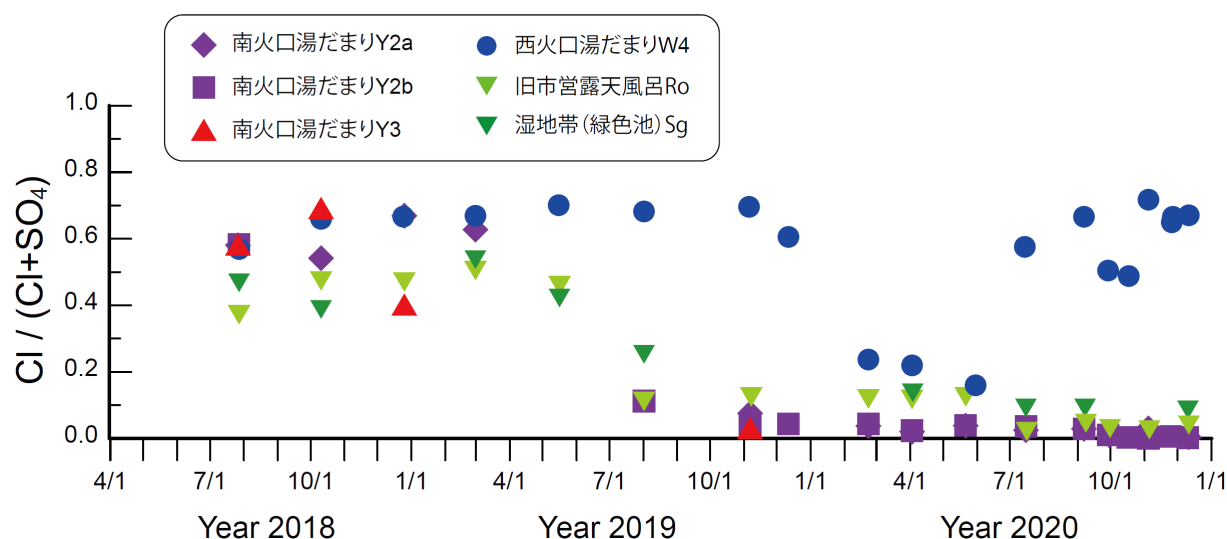


図2 霧島硫黄山周辺の湯だまりおよび湧水の温泉水の $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比（モル比）の経時変動
（南火口の湯だまりは2019年の夏季に、西火口の湯だまりは2019-20年冬季に水位低下によって試料採取ができなかった時がある）

3. 結果の解釈

時間の経過とともに $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比が低下する傾向が長期的傾向としてすべてのサイトで観察されていたが、西火口の湯だまり W4 では2020年7月になって増加に反転した。2020年7月は西火口の前の県道の側溝においてバブルガスが認められた時期である。その後、噴気孔群が県道内に発達したのと合わせて、西火口の湯だまり W4 の $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比は高い値を保っている。今後の噴気孔や湯だまりの活動を注視する必要がある。一方、南火口の湯だまり Y2a では $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比の低下が続いている。ただし、2020年11月以降の観測では、（10月の観測に比べ明らかに湯だまりの水量が増えていたにもかかわらず） SO_4 濃度の顕著な増加が観測された。隣接する湯だまり Y2b における活動が2020年7月にはほとんど停止したかのようにも見えていたのが、10月、11月と水温の上昇があったことと合わせて、降水量の少ない冬季の動向を見る必要があるだろう。

霧島火山群えびの高原の地中温度の時間変化 (2019 年 2 月～2020 年 8 月)

えびの高原において図 1 に示す EBI8、EBI9 の 2 点で地中温度（約 1m）の連続測定を行っている。



図 1 測定点位置

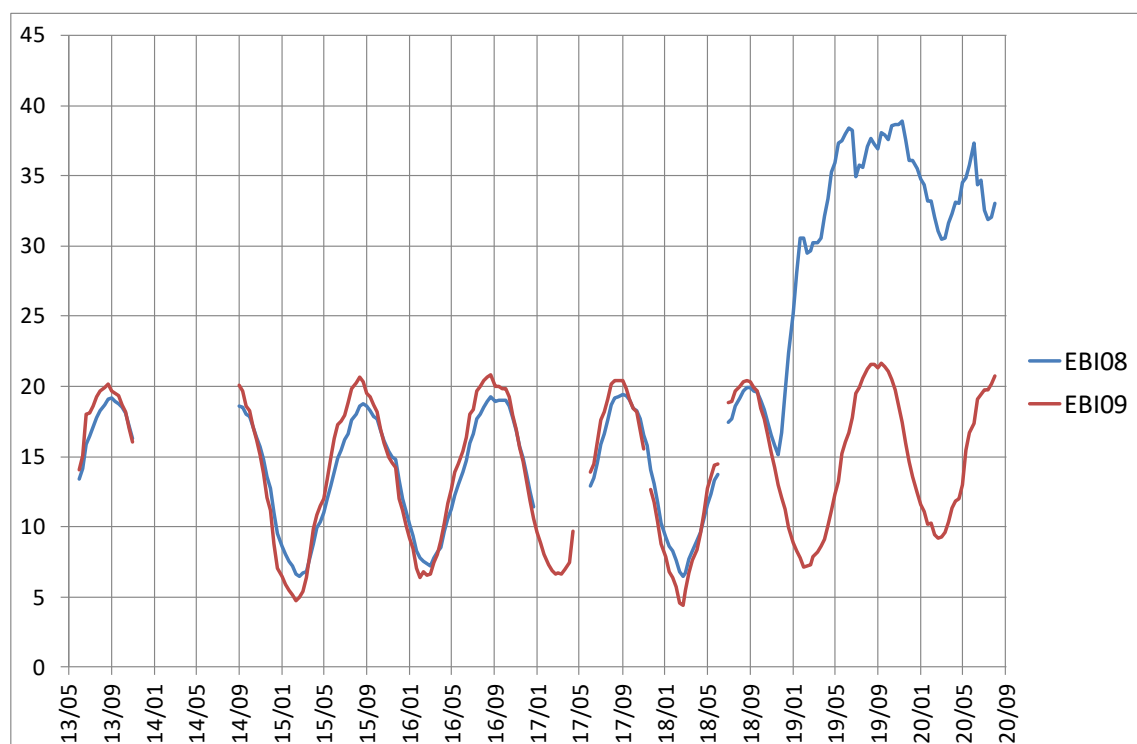


図 2 EBI8、EBI9 における旬別地中温度の変化

地中温度の旬別測定結果を図 2 に示す。2018 年末まで、いずれの点も同じような年周変化を示していたが、2018 年 12 月に EBI8 の温度が上昇し（143 回予知連に報告）、その後は 35℃ 程度の高さと年周変化を示している。

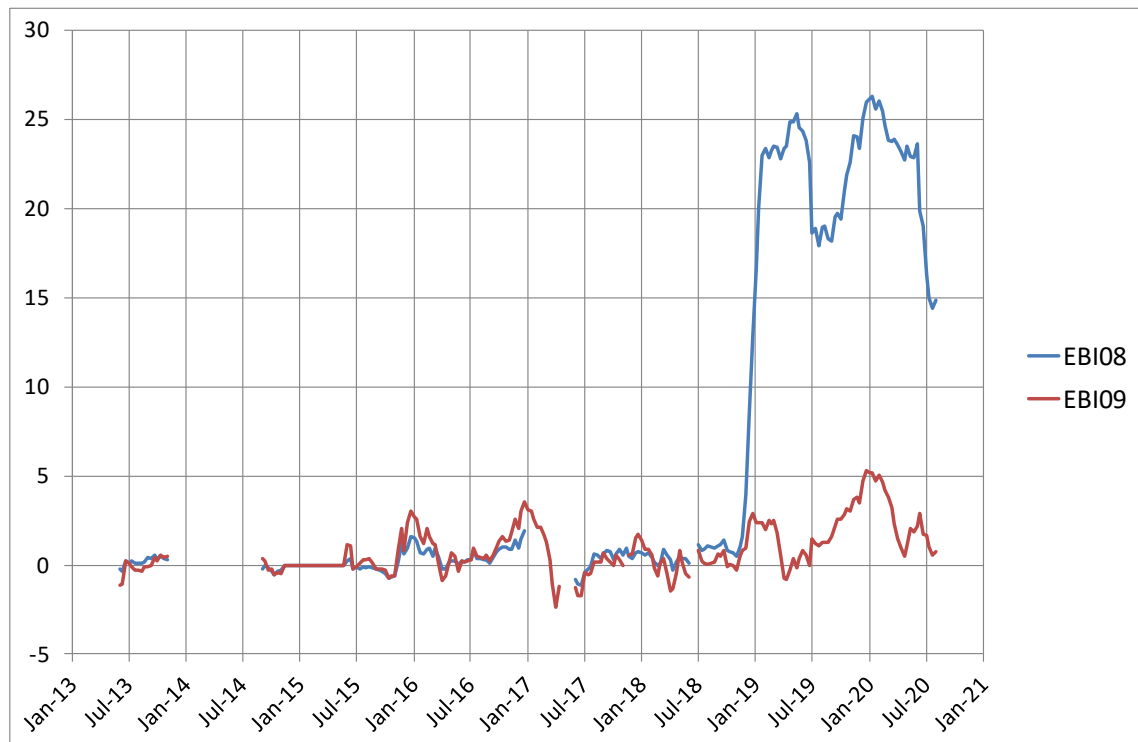


図 3 a

図 3 a は、過去の地中温度測定結果から標準的な年周変化を計算し、観測される地温と同旬の標準地温との差を示している。この図を見ると、2018 年 12 月の大きな温度上昇だけではなく、2015 年 10 月頃から 2016 年 2 月頃および 2016 年 8 月頃から 2017 年 3 月頃までにも温度が 3°C 程度わずかに上昇していたことがわかる（第 140 回予知連に報告）。これらの変化は、微動の発生や、硫黄山山頂での噴気の出現、高濃度の硫化水素放出の時期と整合的である。

図 3 b に最近の測定結果を示す。それを見ると、以下のようなことが明らかとなった。

- 1：地中温度の上昇は EBI8 だけではなく、EBI9 においても 3°C 程度上昇していた。
- 2：2020 年 1 月頃までは、EBI8 は 20°C から 25°C 程度の上昇を、EBI9 は 3°C から 5°C 程度の温度上昇を継続していたが、その後はどちらの点でもやや温度が低下する傾向を見せていた。
- 3：2020 年 6 月以降、EBI8 では 10°C 程度の温度低下が起きている。この時期は、気象庁の GNSS 観測でやや測線に伸びが観測され時期に一致しているほか、硫黄山西側の噴気活動が活発化した時期にも一致している。この変化は、西側噴気孔から流体が集中して放出されたことにより、近傍の地点における地中温度が低下したものかもしれない。

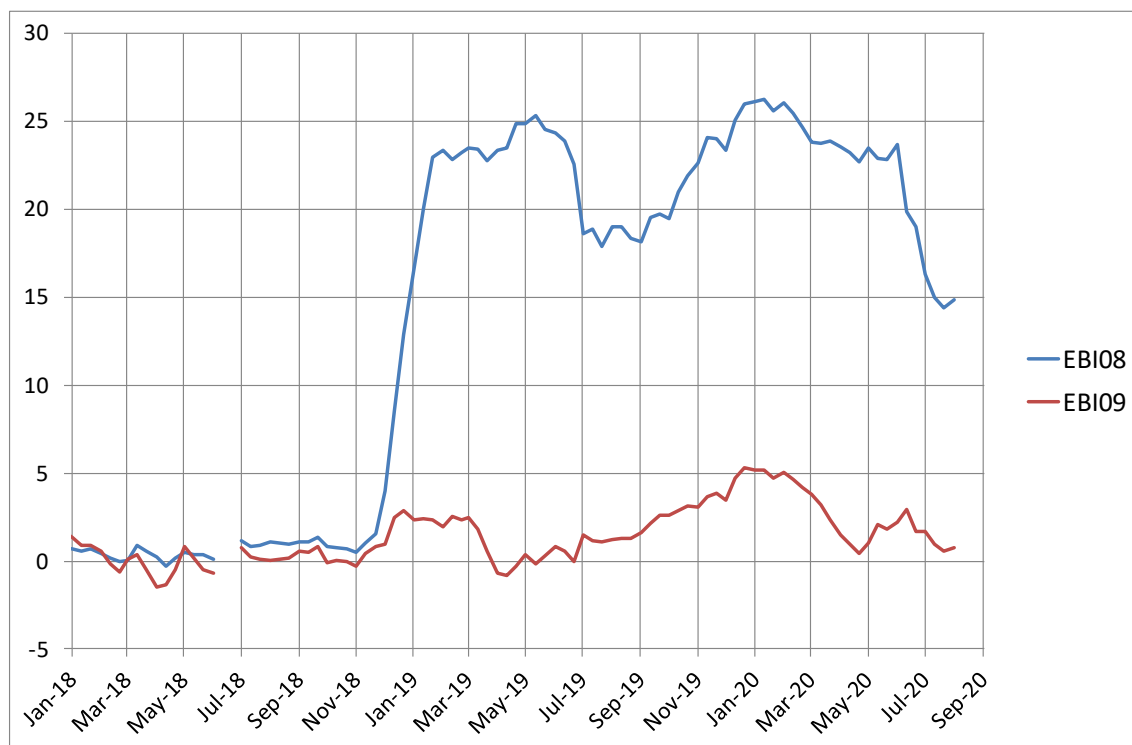
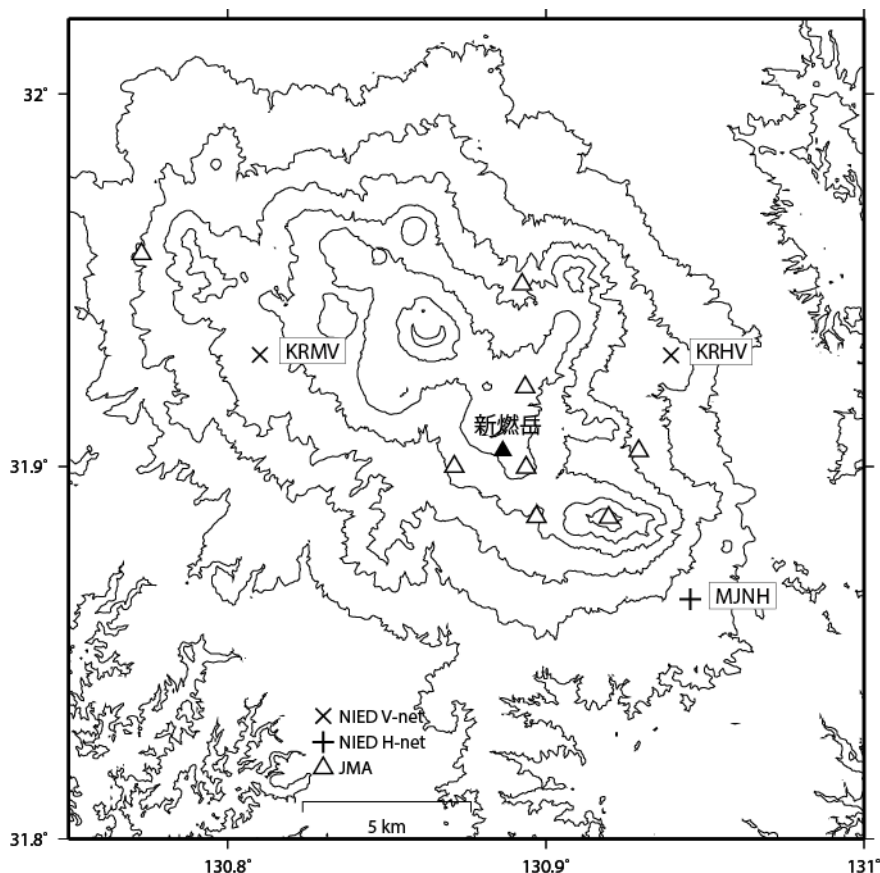


図 3 b

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

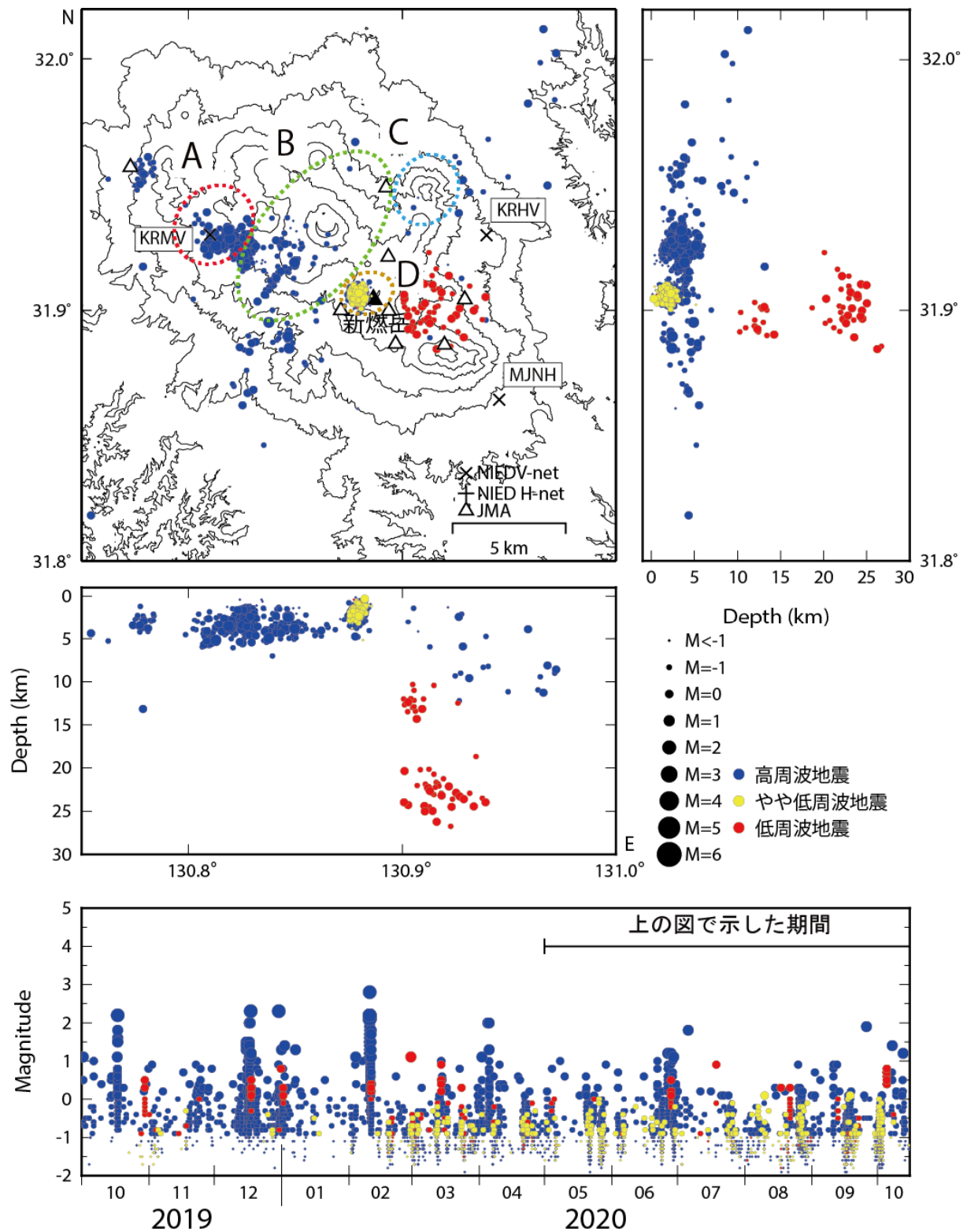
○ 地震活動

2020年5月から2020年10月15日にかけての震源分布を図1に示した。Aの領域で時々地震が群発的に発生した。

○ 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。また、GNSS解析結果（図3）においては、KRHV-KRMV間の基線長に顕著な変化は観測されていない。

霧島山の地震活動 (2020/05/01 - 2020/10/15)

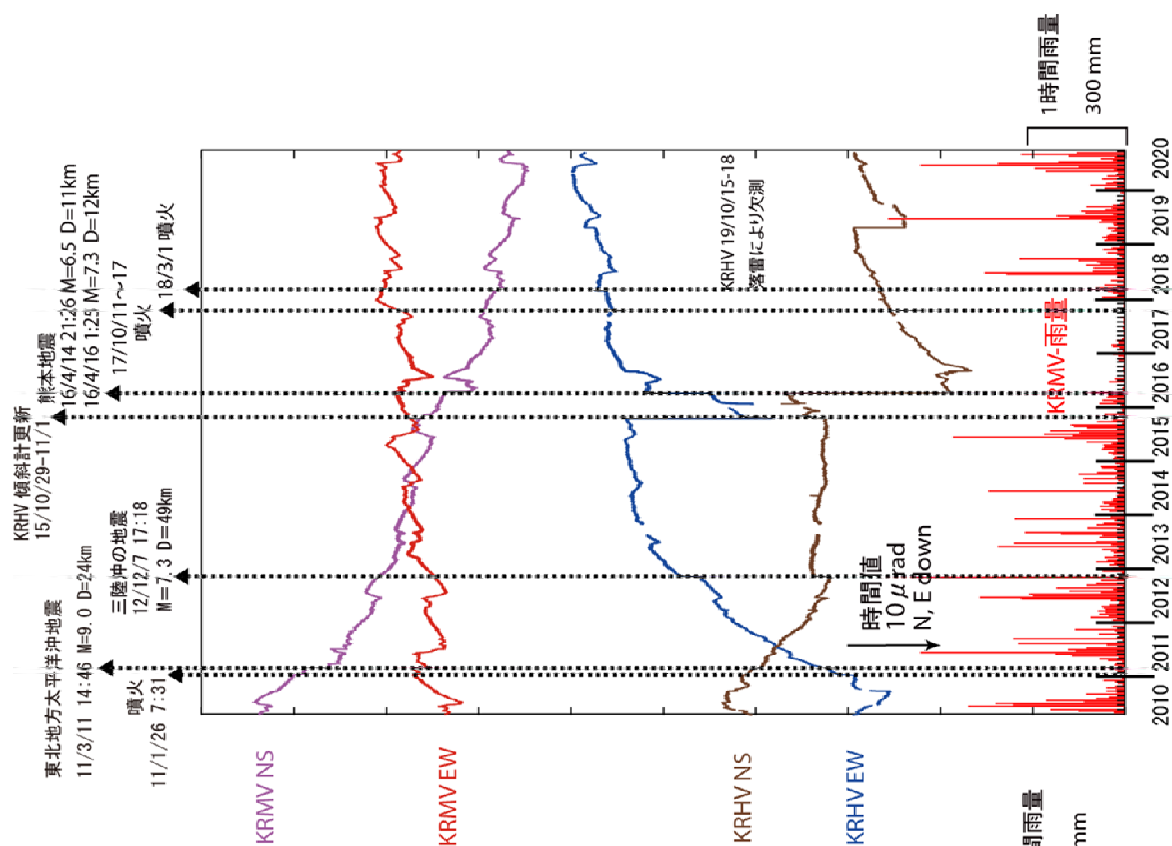


震源決定には、気象庁の観測点（位置は図中）も使用した。

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 (2020/05/01 - 2020/10/15)

霧島山の傾斜変動 (2010/05/01 ~ 2020/10/15)



霧島山の傾斜変動 (2020/05/01 ~ 2020/10/15)

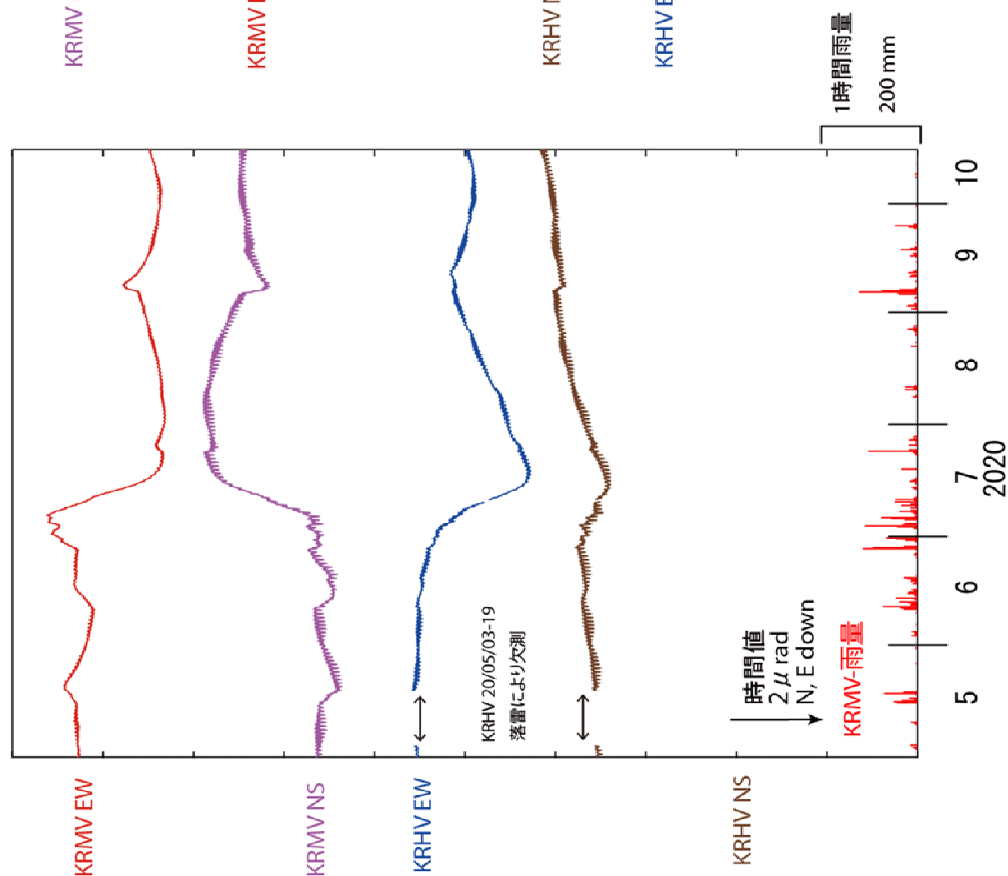


図2 霧島山の傾斜変動

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
2010/4/1～2020/10/15

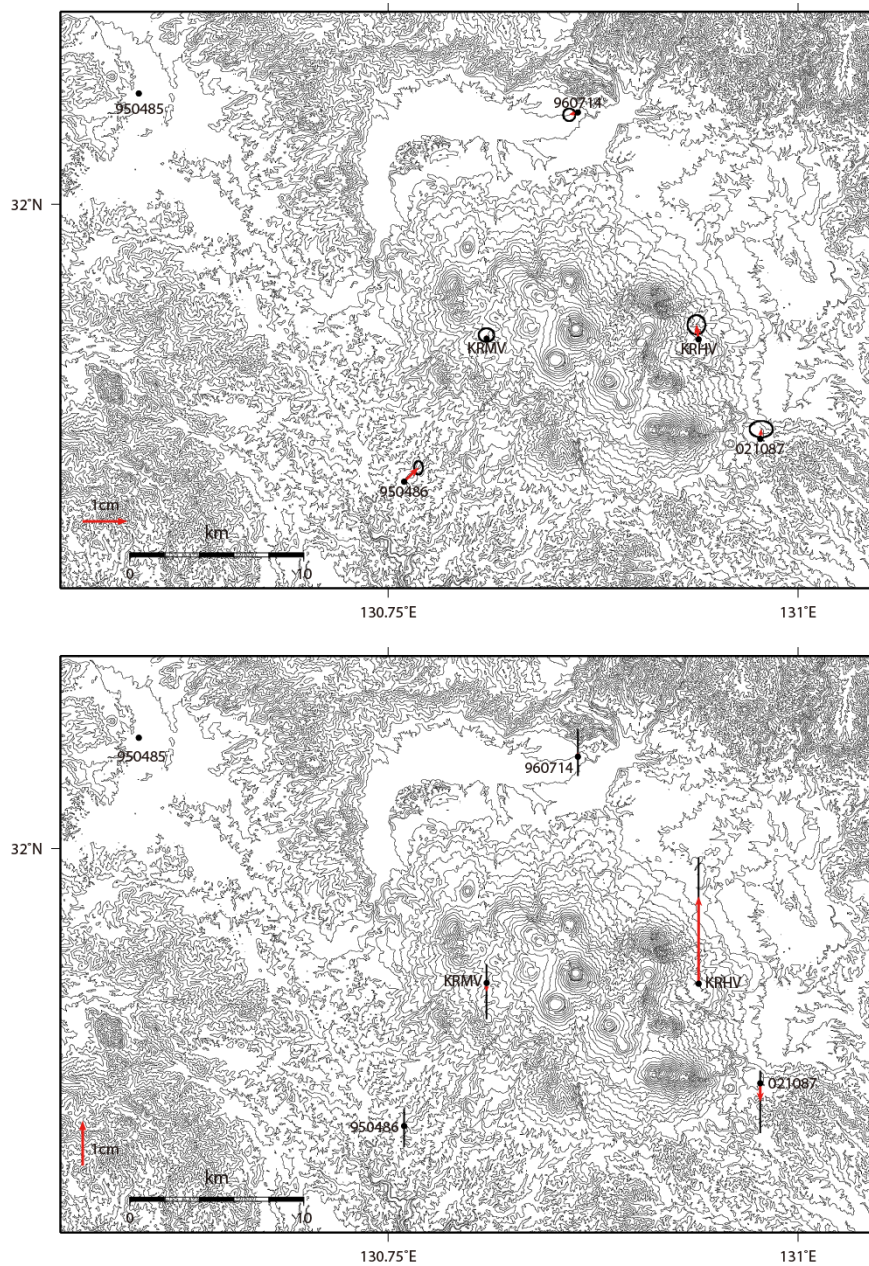
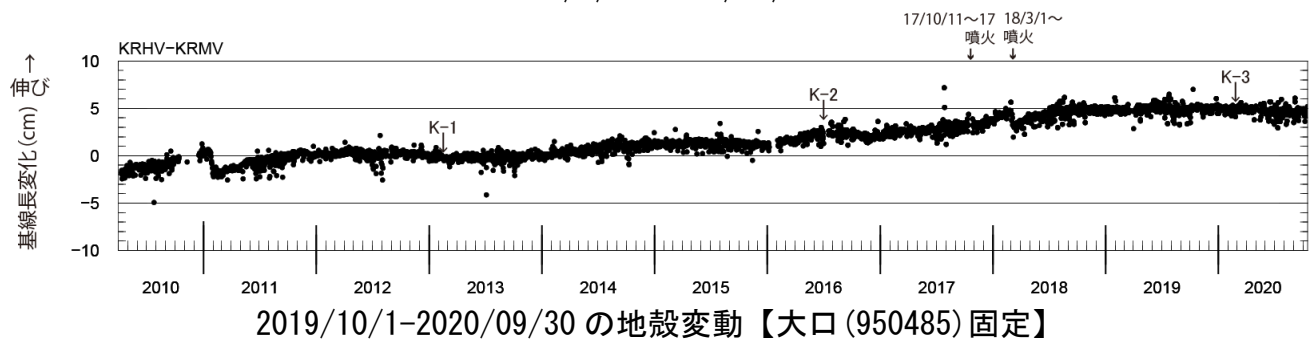


図3 霧島山 GNSS 解析結果. ※ベクトル図は速報暦使用
(上段：水平成分、下段：上下成分)

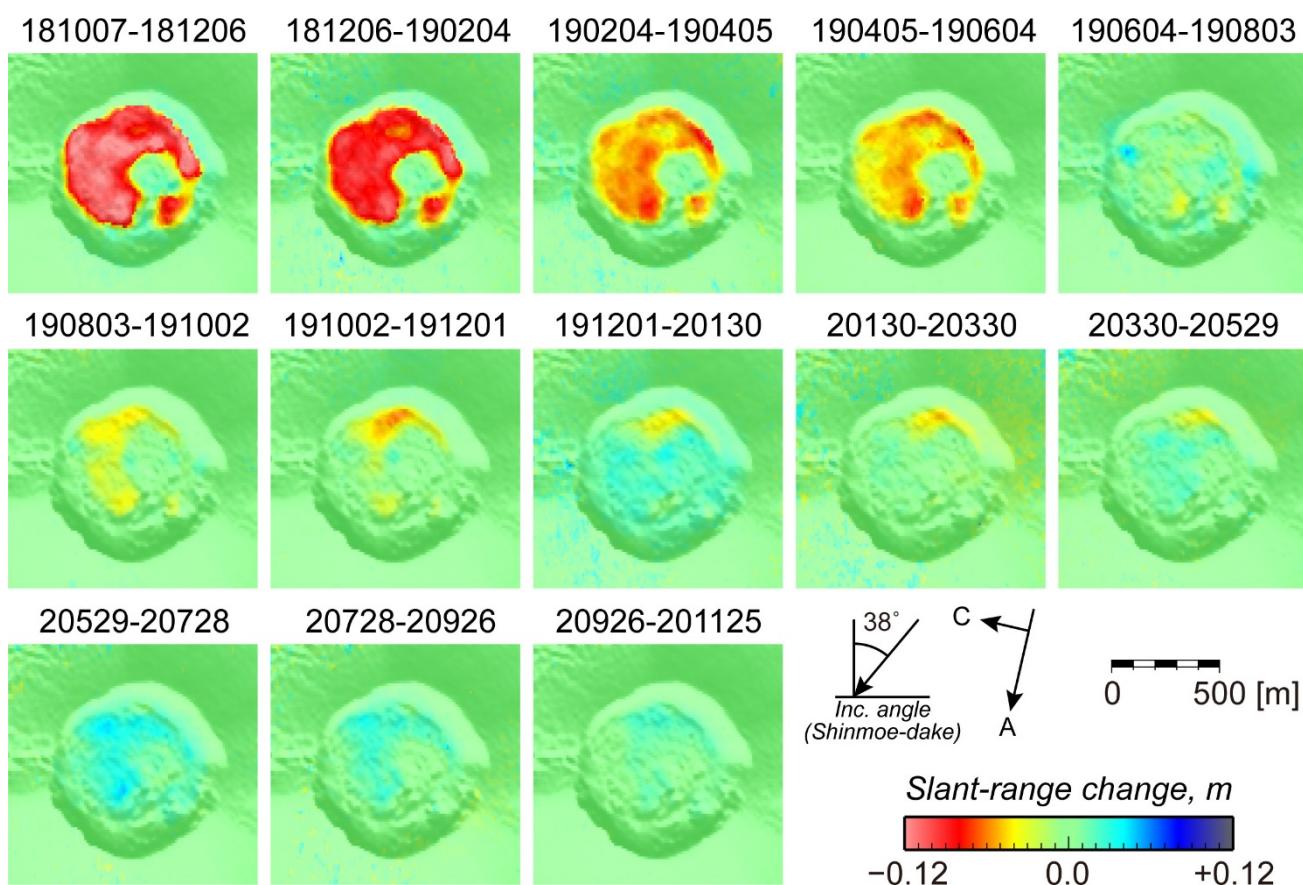
表1 GNSS観測履歴

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	2020/03/20-3/25	サーバ更新に伴う欠測

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(隆起もしくは西進)は時間の経過とともに大きさ、範囲ともに小さくなり、2020 年 6 月以降に顕著なスラントレンジ短縮は見られない。一方、2020 年春頃からは、スラントレンジ伸長変化(沈降もしくは東進)が火口内に見られるが、この変化も時間の経過とともに減衰しつつある。

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 の SAR データから求めた、新燃岳火口周辺のスラントレンジ変化分布。

霧島山周辺の地殻変動

Crustal Deformations around Kirishima Volcano

第1図から第6図は、霧島山周辺における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（2015年11月～2020年11月）の時系列、右列は最近約1年間（2019年11月～2020年11月）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（2015年11月～2020年11月）の時系列、右列は最近約1年間（2019年11月～2020年11月）の時系列である。

第5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5図下段は、第5図上段に示した基線の基線長変化グラフであり、最近約23年間（1997年1月～2020年11月）の時系列である。霧島山を挟む基線での伸びは2018年9月以降鈍化している。

第6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（2020年8月～2020年11月）を、下段に最近1年間（2019年11月～2020年11月）を示す。

GNSS観測からは、顕著な地殻変動は観測されていない。

第7図から第8図は「だいち2号」のSAR干渉解析結果である。第7図に霧島山周辺の解析結果を、第8図に新燃岳の拡大図を示す。新燃岳では火口内において北西側を中心として衛星から遠ざかる変動が見られる。併せて(a)および(b)のペアでは、火口内北側縁部で衛星に近づく変動が見られる。

第9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9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。2011年及び2018年に噴火により、一時的に体積が著しく膨張及び収縮したが、全体として変動源は膨張傾向にある。最近の1年半程度はほぼ停滞しているが、2018年の噴火後に膨張したまま戻っていない。第10図は推定された各観測点の地殻変動（計算値）と観測値を比較した時系列グラフである。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。

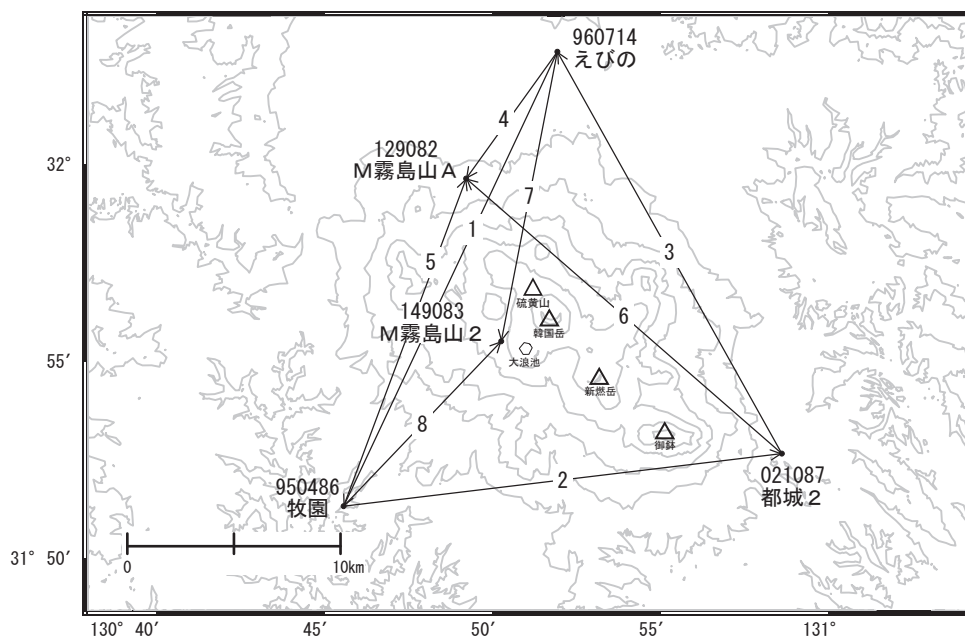
謝辞

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

顕著な地殻変動は観測されていません。

霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(1)

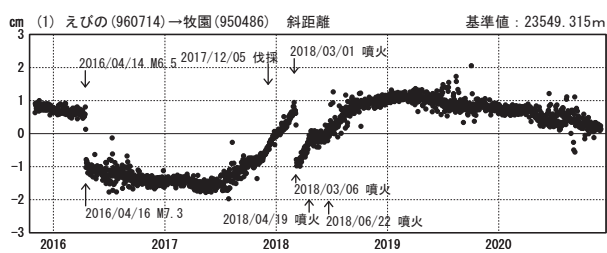


霧島山周辺の各観測局情報

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

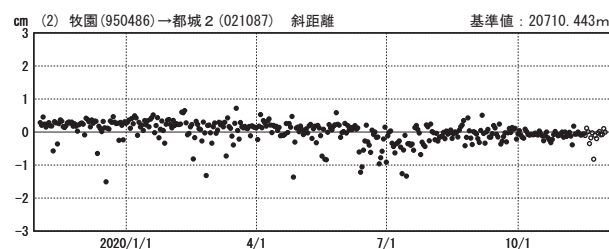
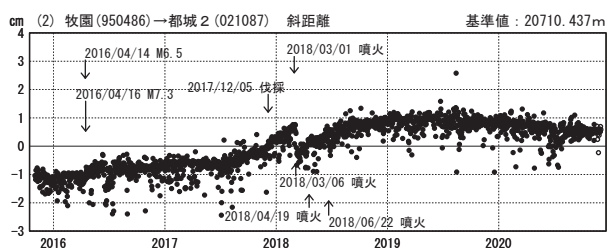
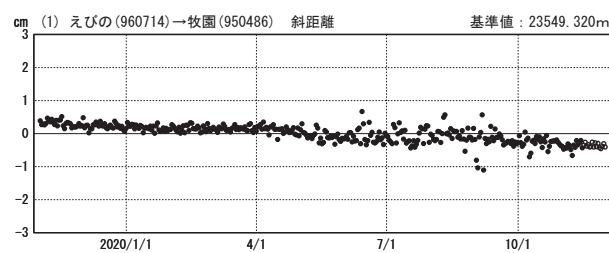
基線変化グラフ(長期)

期間: 2015/11/01~2020/11/30 JST



基線変化グラフ(短期)

期間: 2019/11/01~2020/11/30 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

※[R3: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

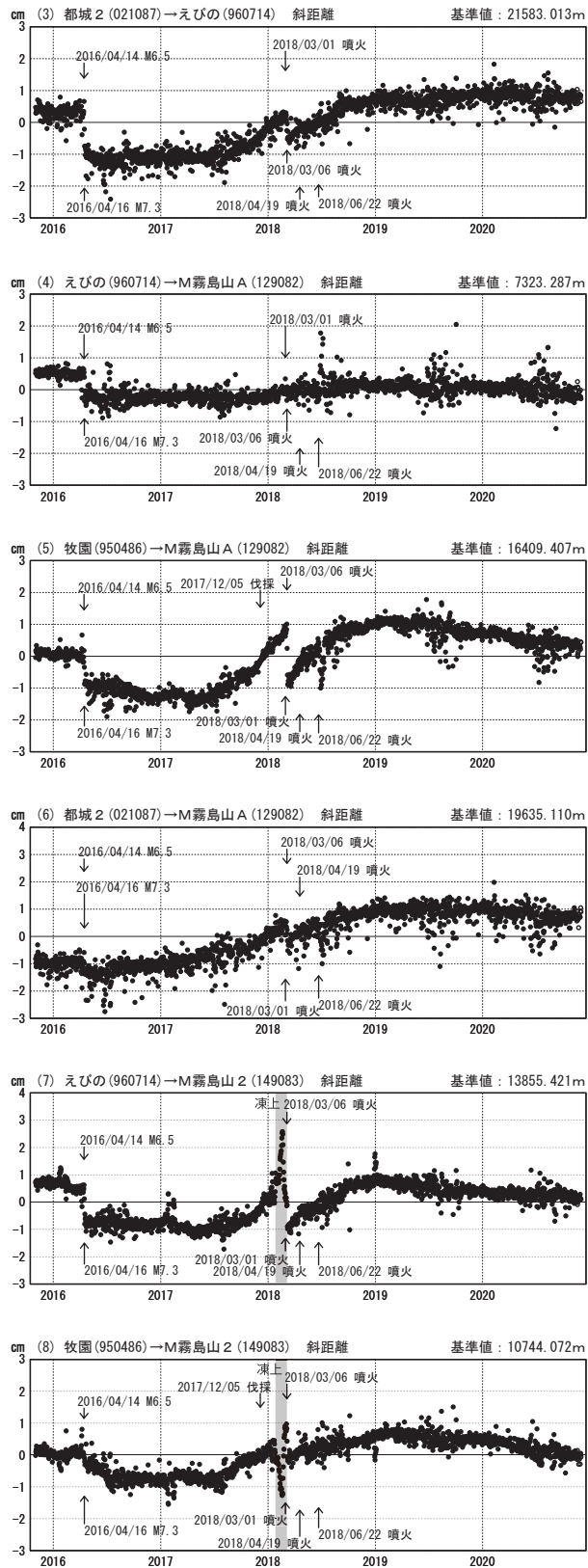
国土地理院

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: 2015年11月~2020年11月、右列: 2019年11月~2020年11月)

霧島山

基線変化グラフ（長期）

期間：2015/11/01～2020/11/30 JST

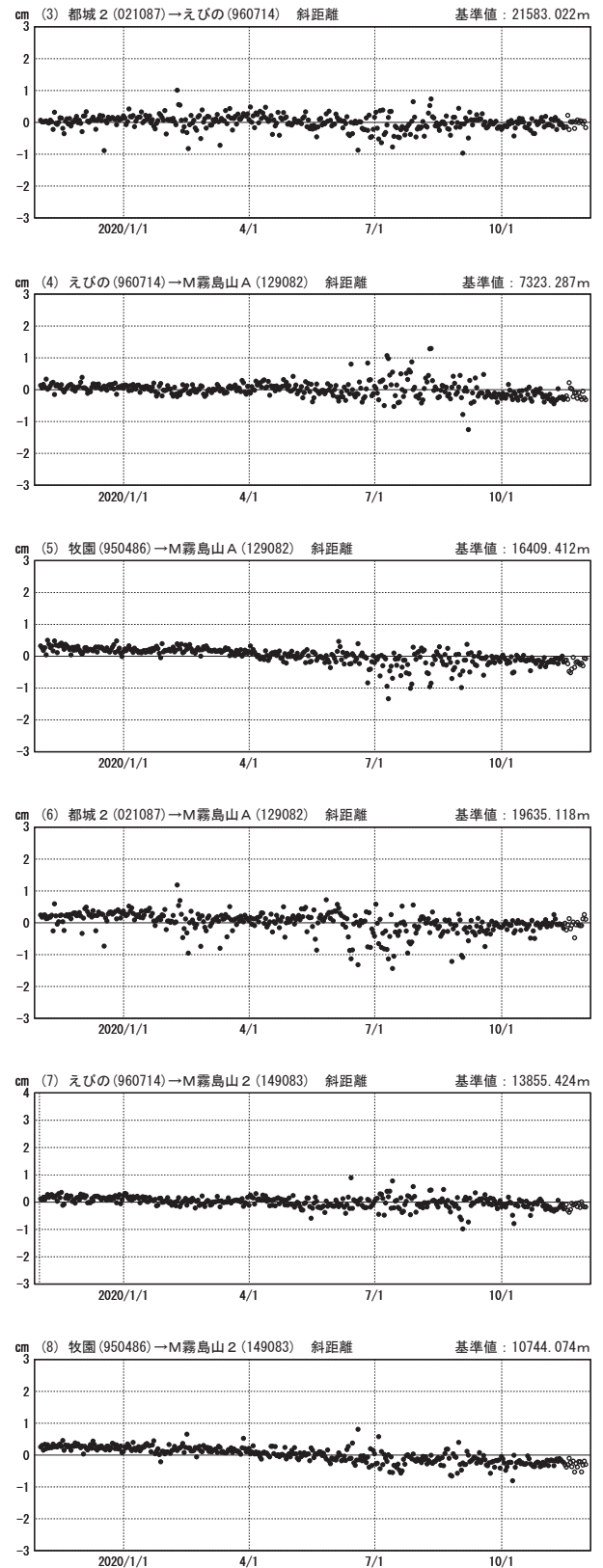


●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

国土地理院

基線変化グラフ（短期）

期間：2019/11/01～2020/11/30 JST



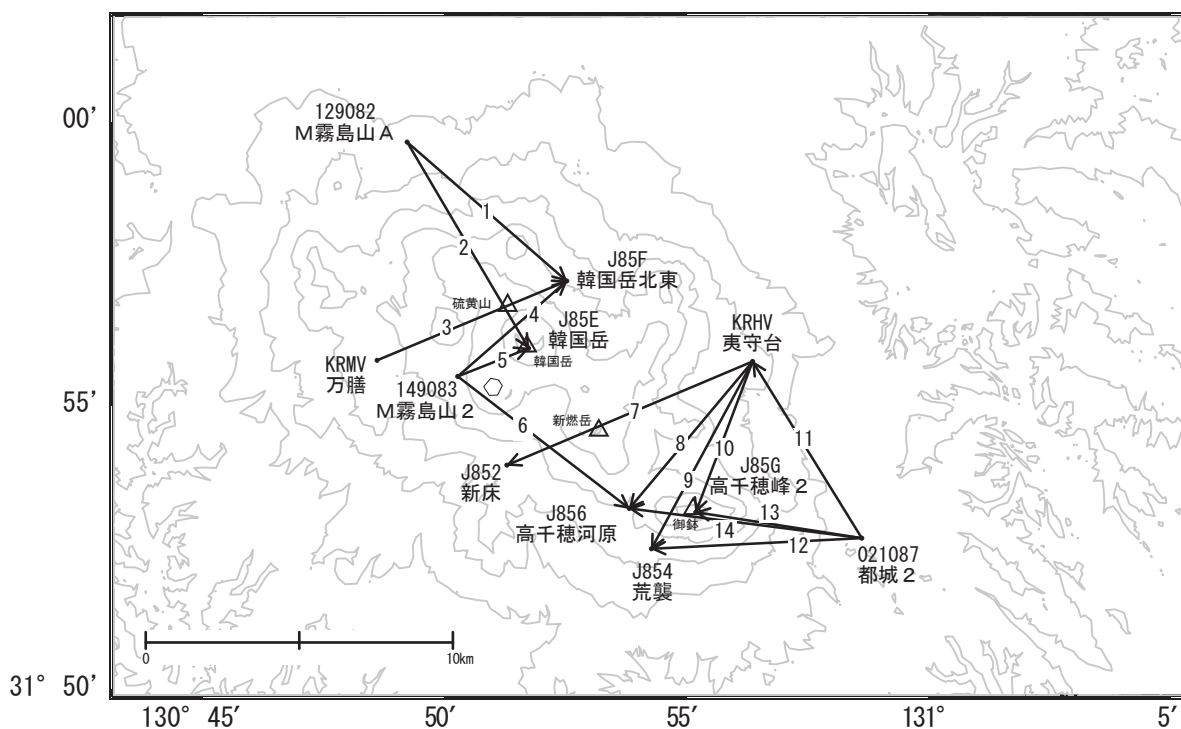
※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

第2図 霧島山周辺のGNSS連続観測による基線変化グラフ

(左列：2015年11月～2020年11月、右列：2019年11月～2020年11月)

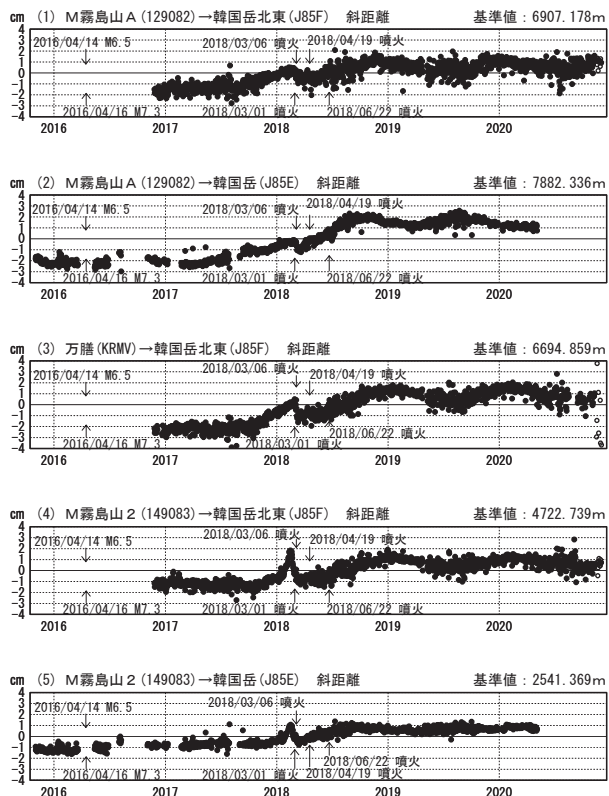
霧島山

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)

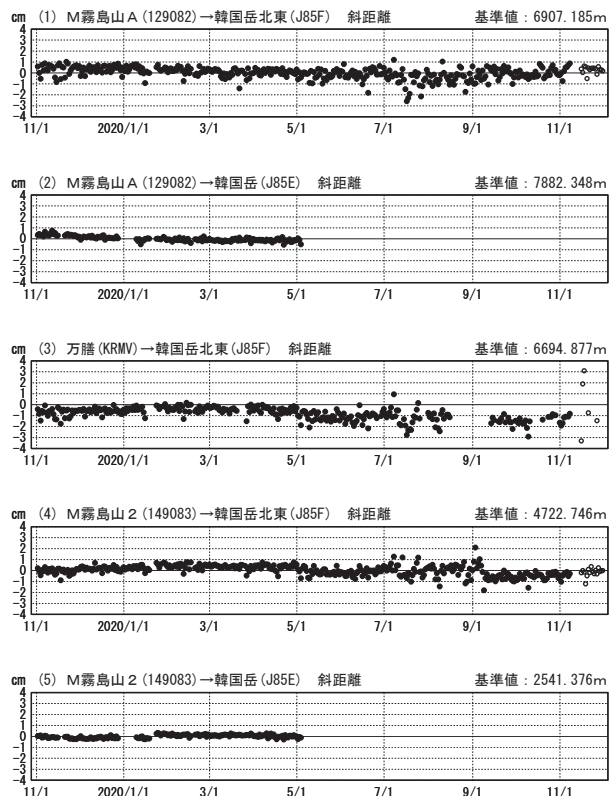
期間: 2015/11/01~2020/11/30 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

基線変化グラフ(短期)

期間: 2019/11/01~2020/11/30 JST



国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

第3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 左列: 2015年11月~2020年11月、右列: 2019年11月~2020年11月)

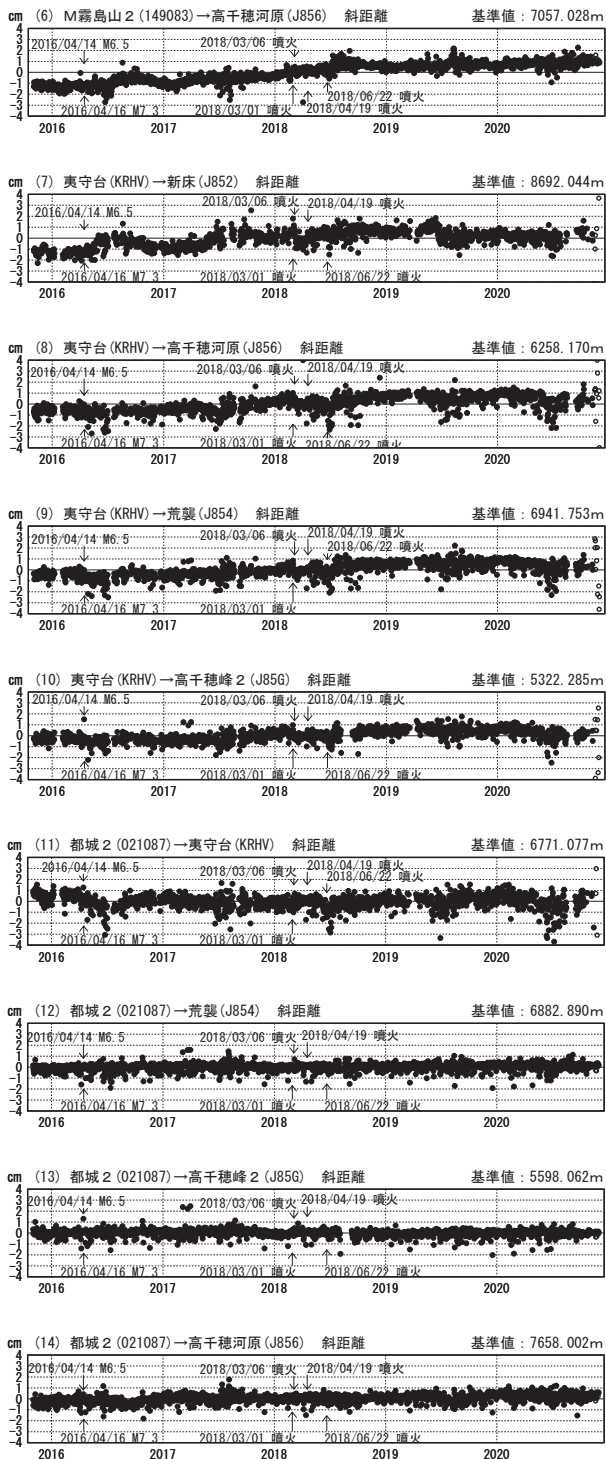
霧島山

第147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

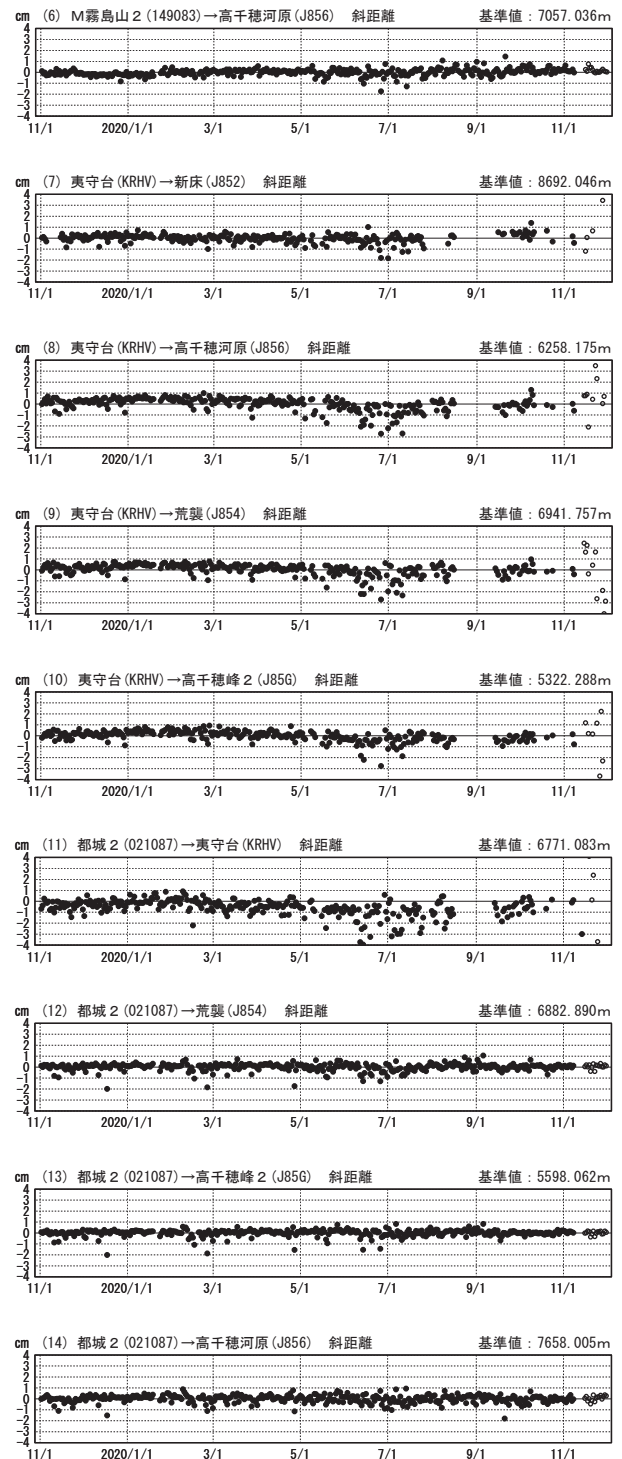
基線変化グラフ（長期）

期間：2015/11/01～2020/11/30 JST



基線変化グラフ（短期）

期間：2019/11/01～2020/11/30 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

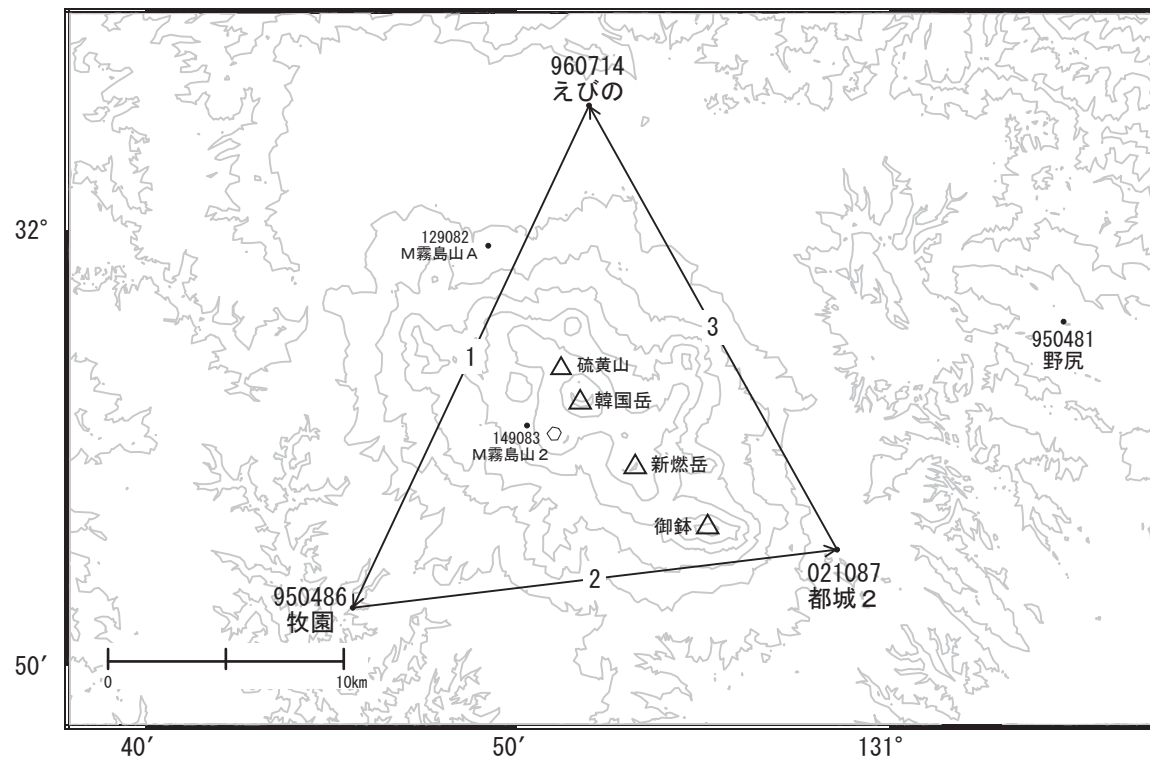
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

※[R3: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4図 霧島山周辺のGNSS連続観測による基線変化グラフ
(左列：2015年11月～2020年11月、右列：2019年11月～2020年11月)

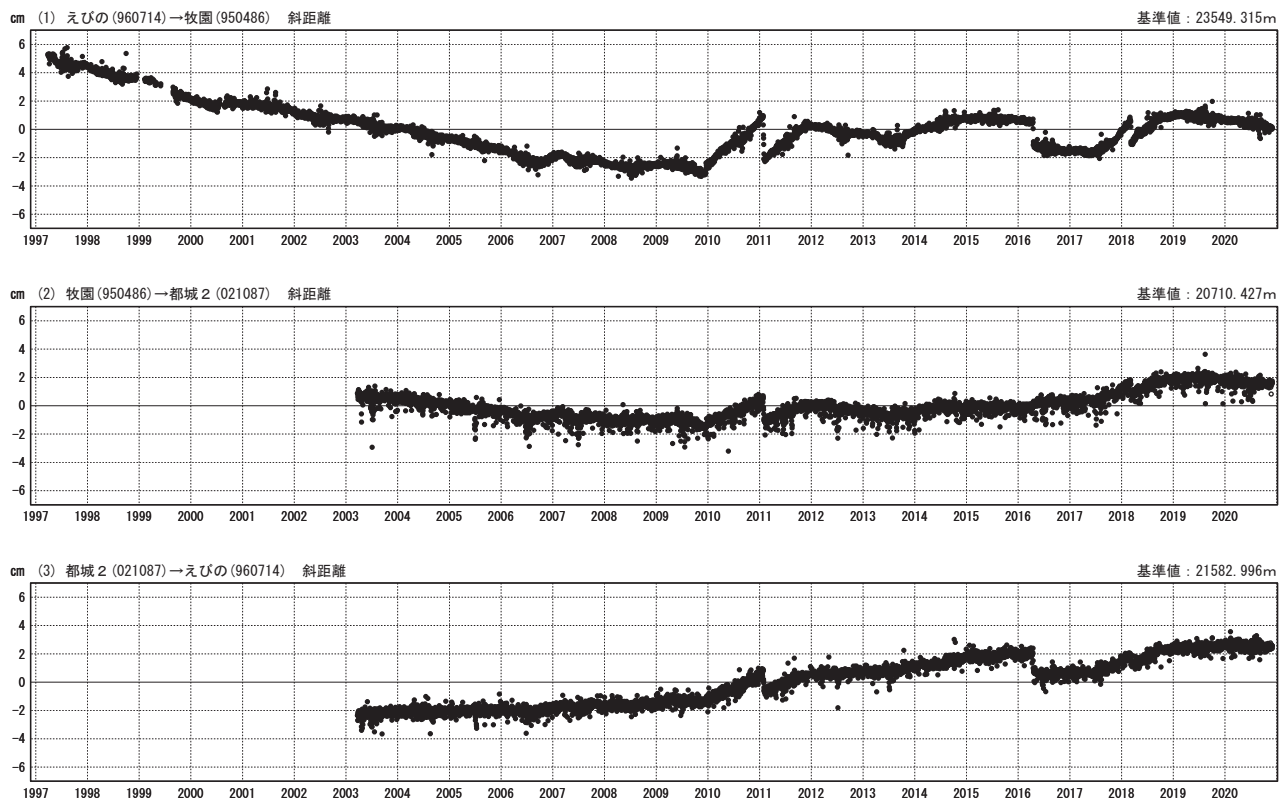
霧島山

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：1997/01/01～2020/11/30 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

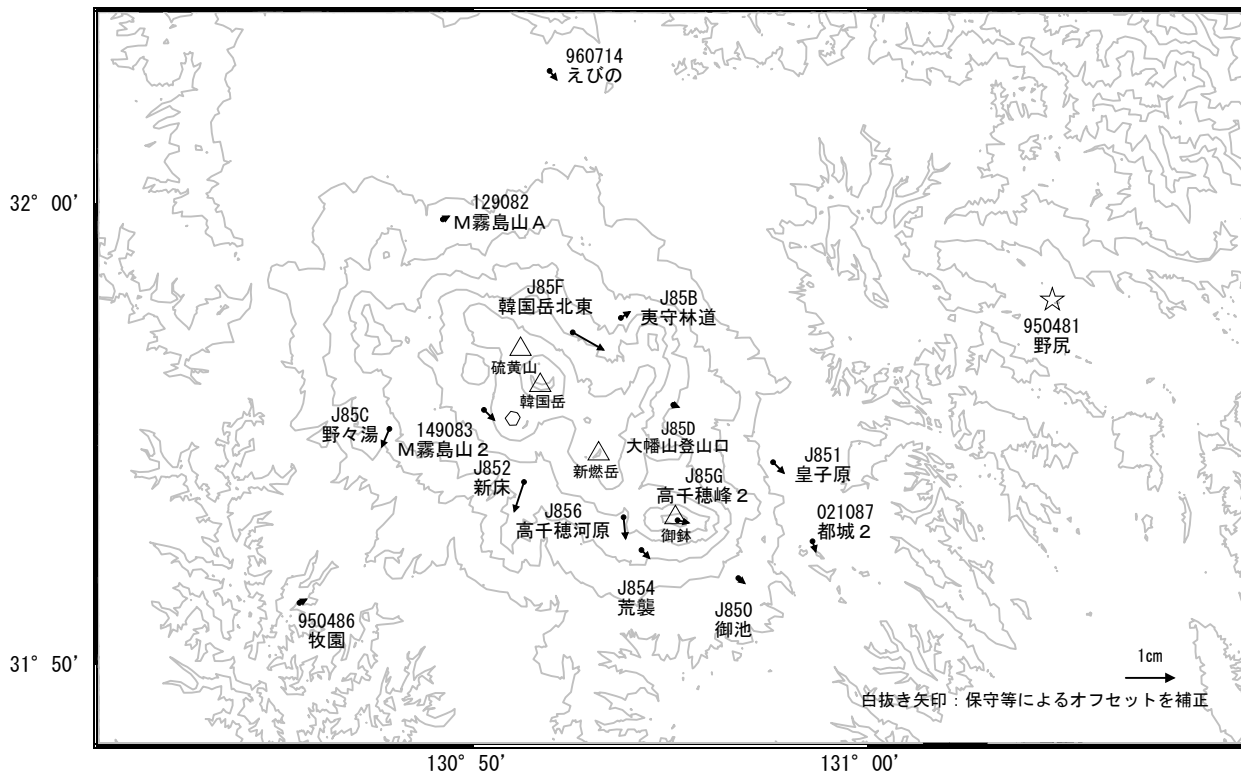
国土地理院

※[R3: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5図 霧島山周辺のGNSS連続観測基線図(上段)と基線変化グラフ(下段 1997年1月～2020年11月)

霧島山周辺の地殻変動(水平:3か月)

基準期間:2020/08/21~2020/08/30[F3:最終解]
比較期間:2020/11/21~2020/11/30[R3:速報解]

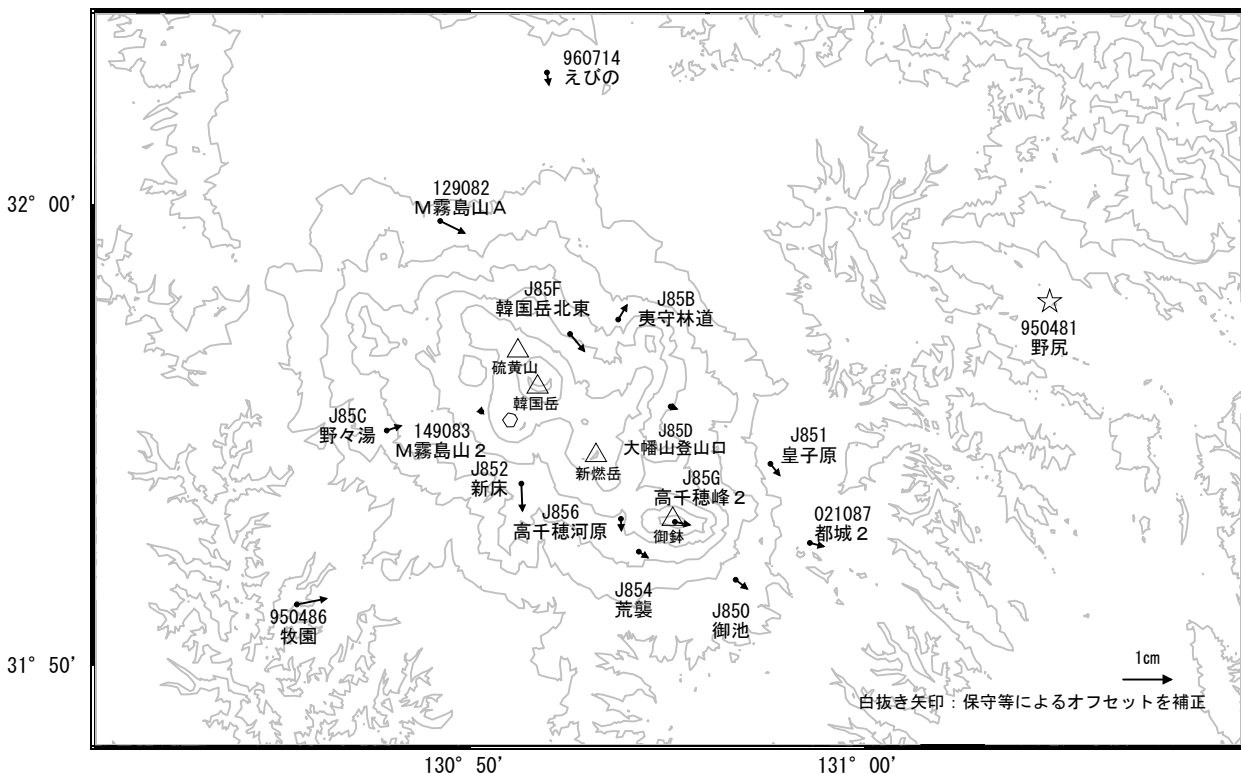


☆ 固定局:野尻(950481)

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:2019/11/21~2019/11/30[F3:最終解]
比較期間:2020/11/21~2020/11/30[R3:速報解]



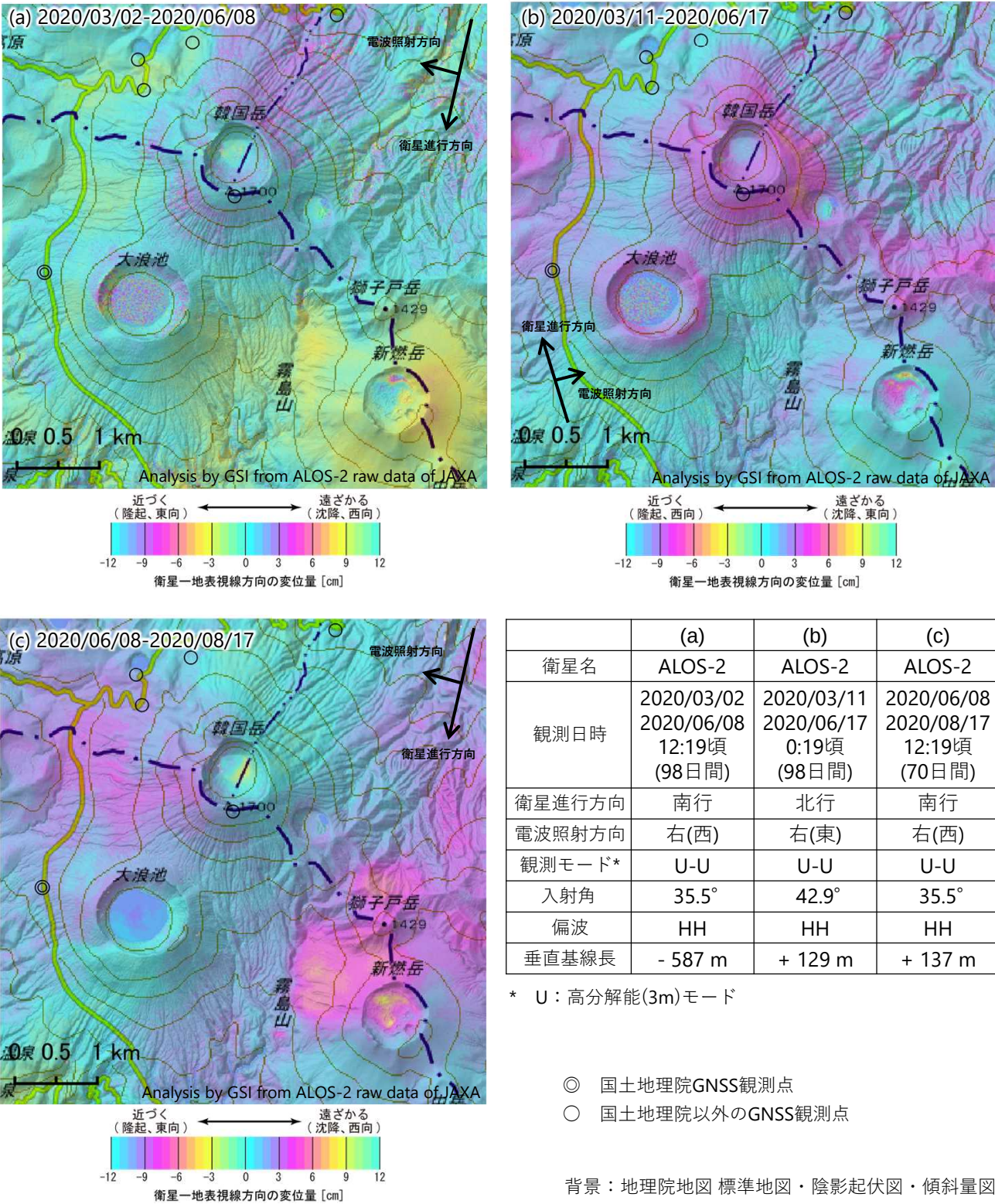
☆ 固定局:野尻(950481)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

第6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:2020年7月~2020年11月、下段:2019年10月~2020年11月)

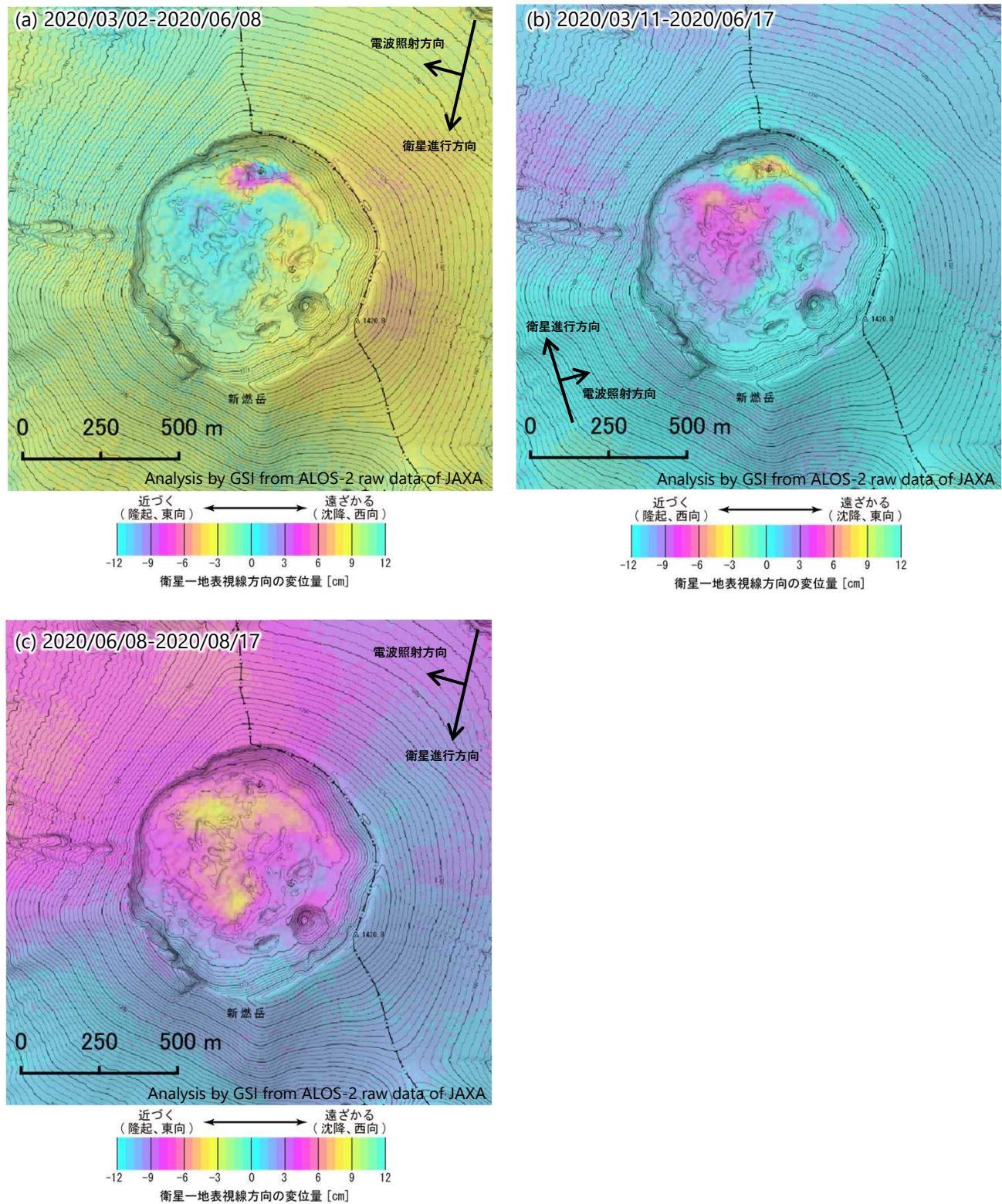
霧島山のSAR干渉解析結果について

新燃岳では、火口内の北西側を中心として衛星から遠ざかる変動が見られます。(a)(b)では、新燃岳の火口内北側縁部で衛星に近づく変動が見られます。



第7図 「だいち2号」 PALSAR-2による霧島山周辺地域の解析結果（1）

【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

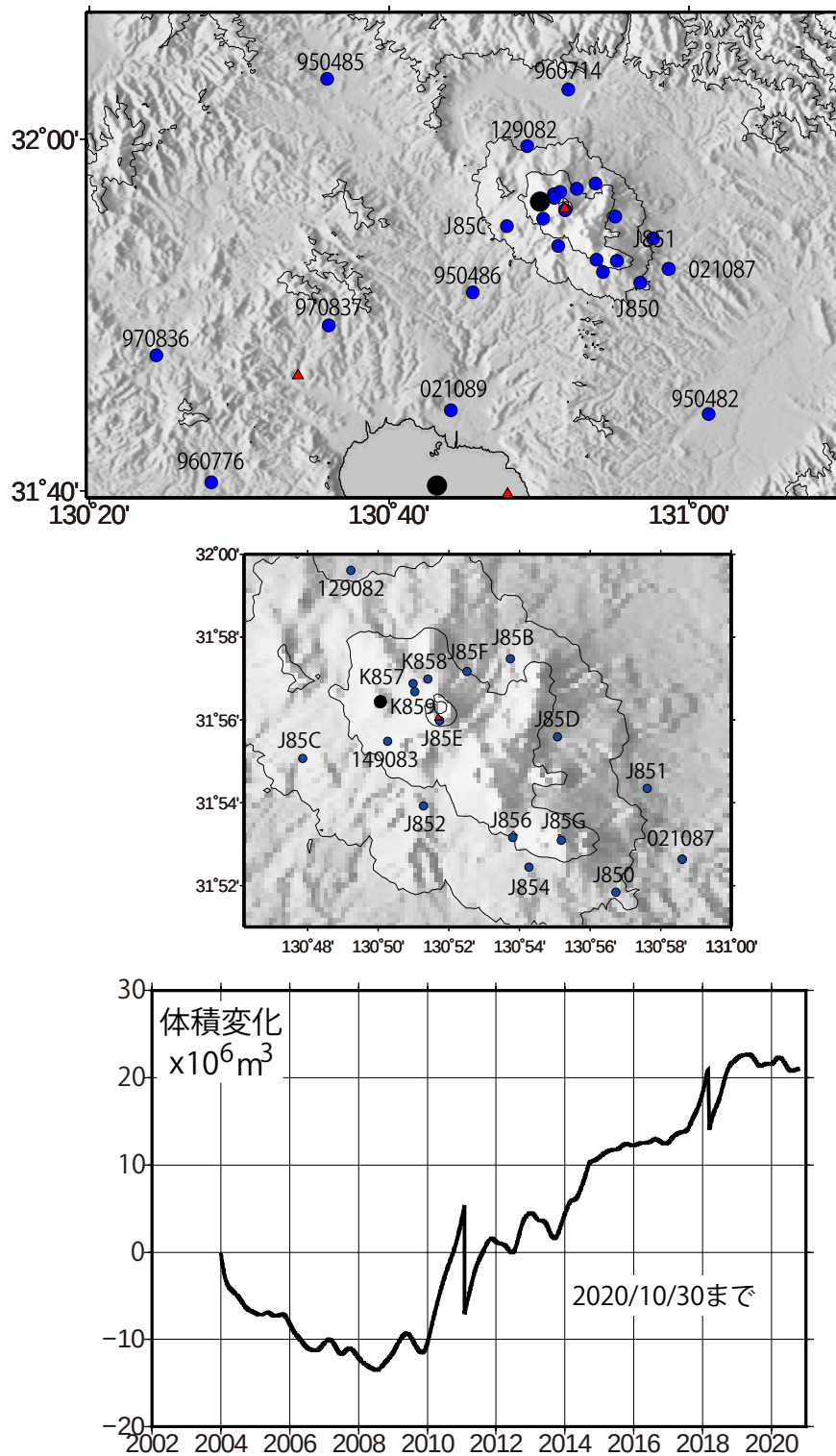
第8図 「だいち2号」 PALSAR-2による霧島山周辺地域の解析結果（2）

霧島山

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

最近の1年半程度はほぼ停滞しているが、2018年の噴火後に膨張したまま戻っていない。



茂木ソース 経度130.834, 緯度31.941, 深さ7.6km

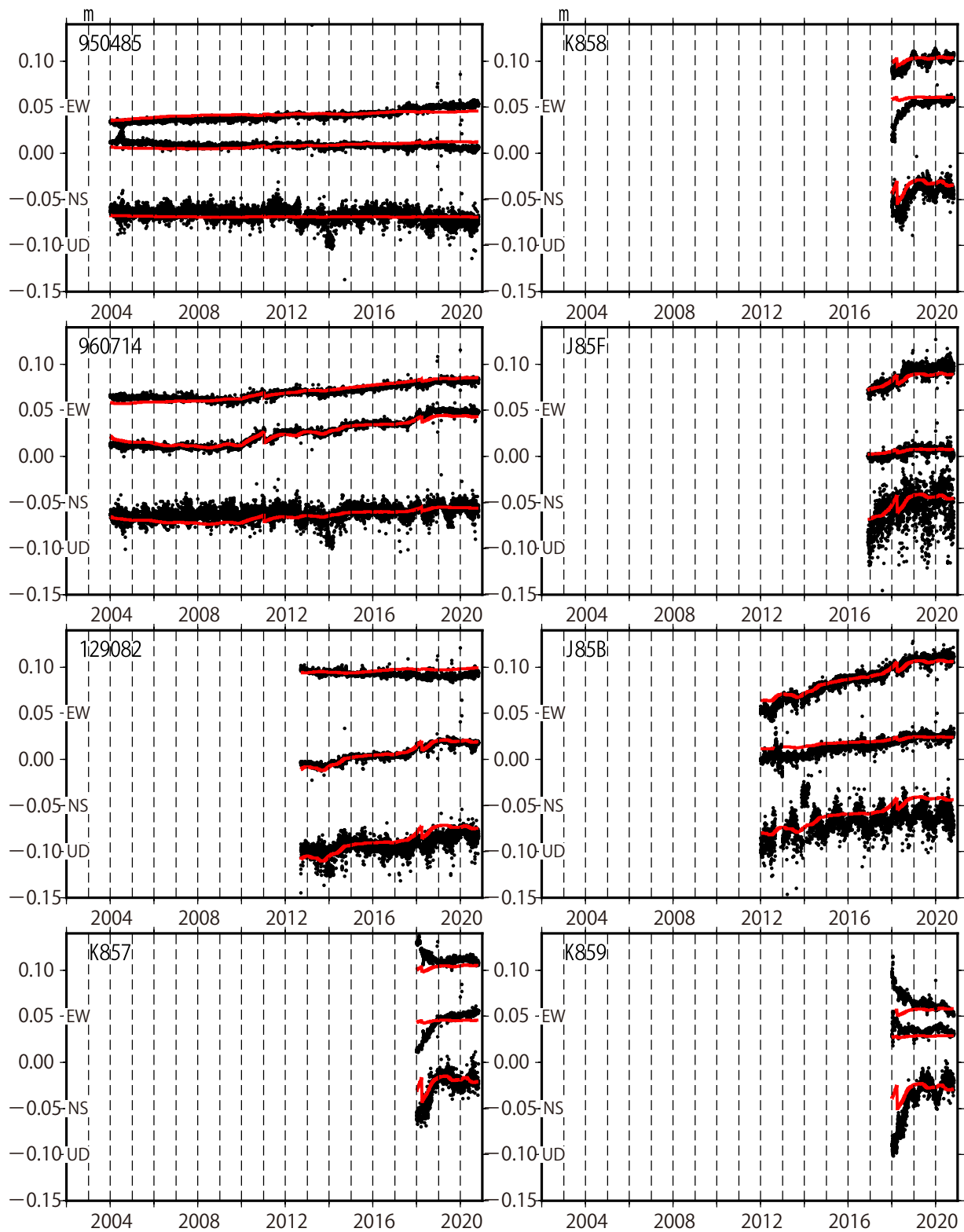
固定点: 桶脇(970836)

電子基準点の保守等による変動は補正済

第9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



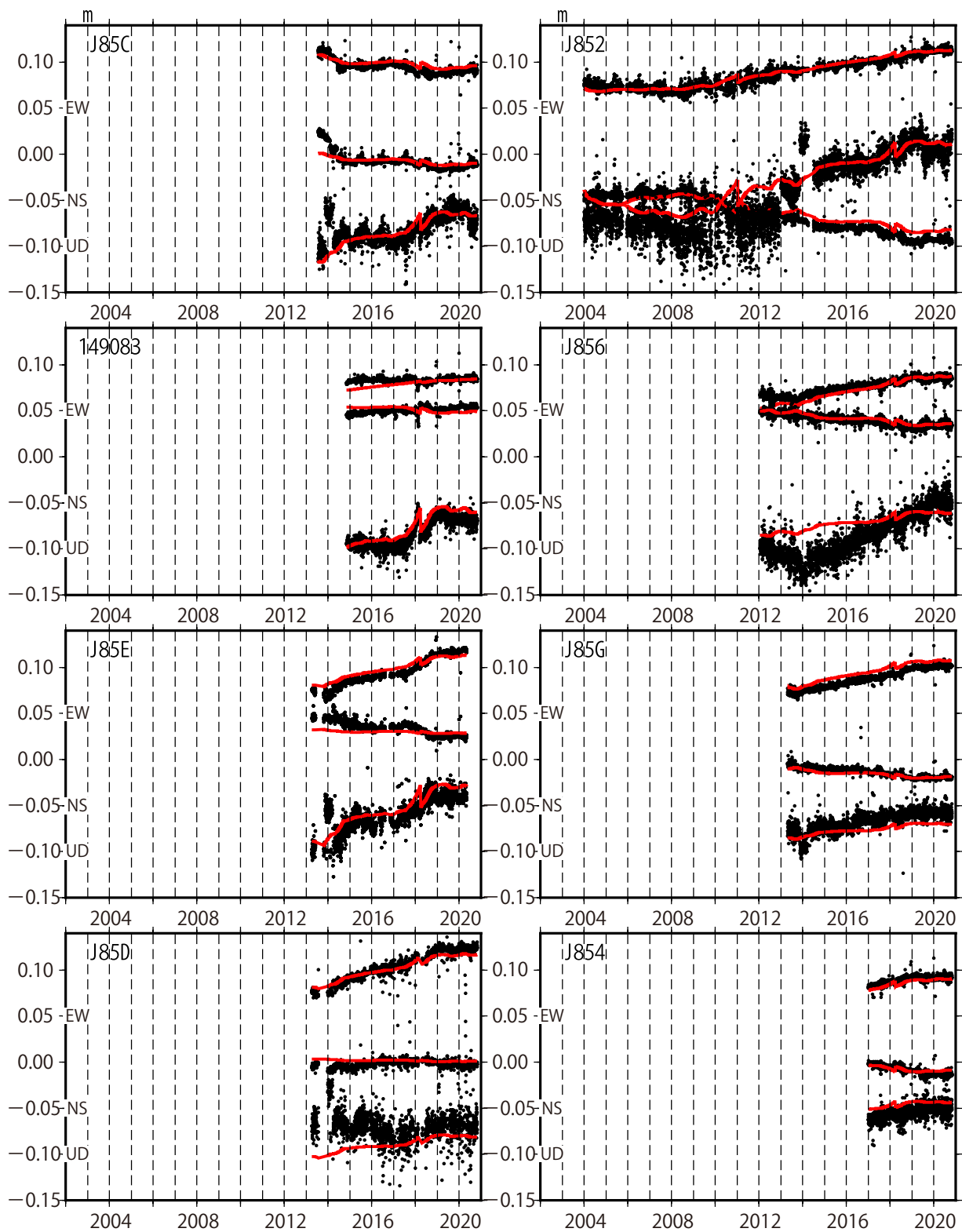
固定局970836. EW, NS, UDは東西、南北、上下変動. 周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

第10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



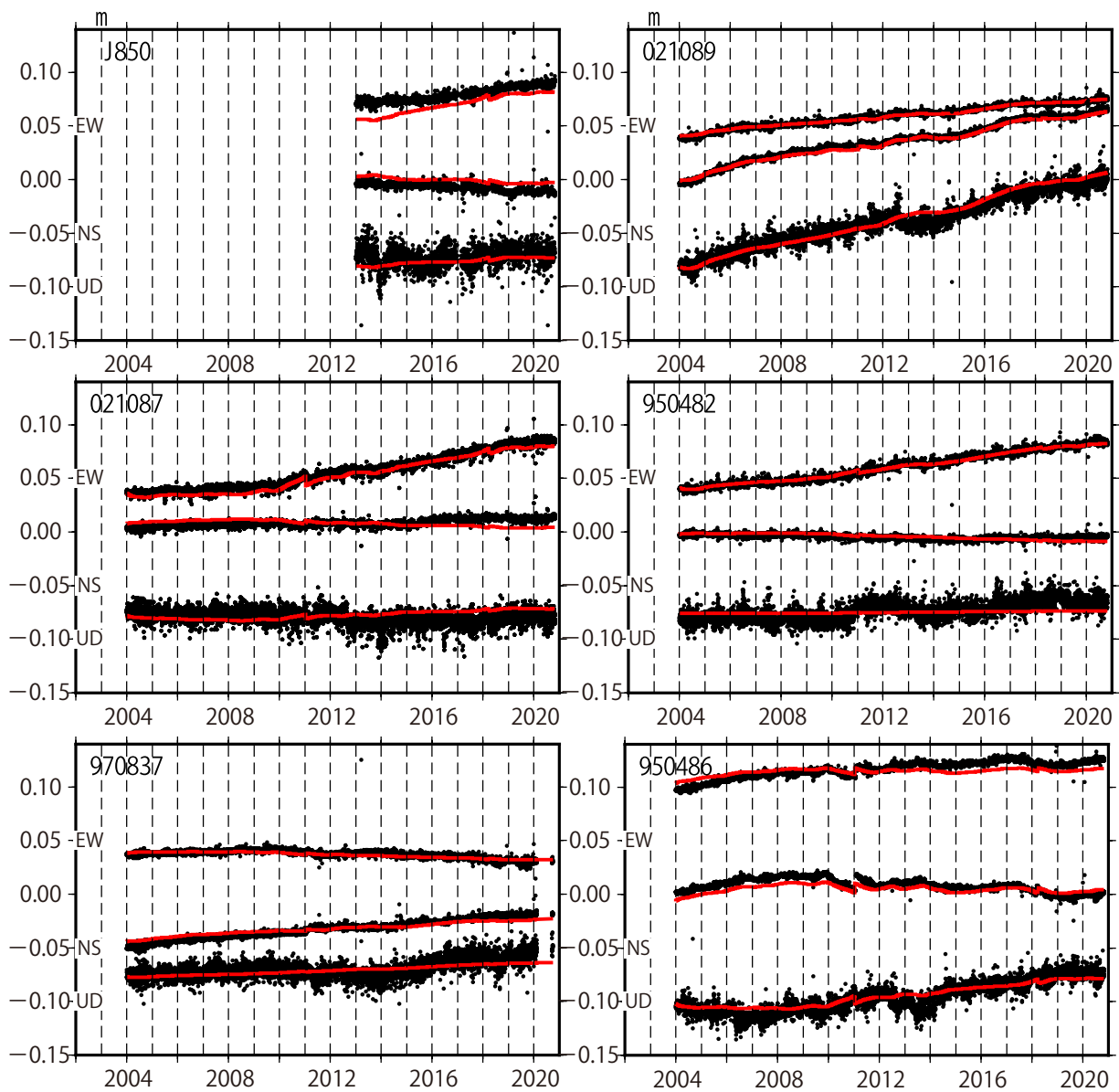
固定局970836. EW, NS, UDは東西、南北、上下変動. 周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

第10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10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

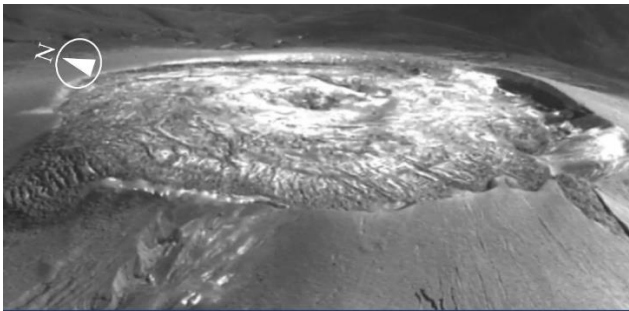
地形図は国土地理院の電子地形図（タイル）を使用した
矢印は画像の撮影場所を示す

○最近の活動について

年月日	調査機関等	活 動 状 況
2020/ 9 /29	第 十 管 区 海上保安本部	新燃岳火口及び西側斜面の割れ目に白色の噴気が認められた（第 2 図、第 3 図）。 御鉢火口（高千穂峰）からの噴気は認められなかった。



第 2 図 霧島山 新燃岳火口
2020 年 9 月 29 日 10:51 撮影



第 3 図 霧島山 新燃岳火口（熱画像）
2020 年 9 月 29 日 10:51 撮影

霧島硫黄山・えびの高原の熱水・湧水組成の変化

湧水等の採水地点を図 1 に示す. 直近の分析値は 2020 年 10 月 11 日～12 日の採水である.

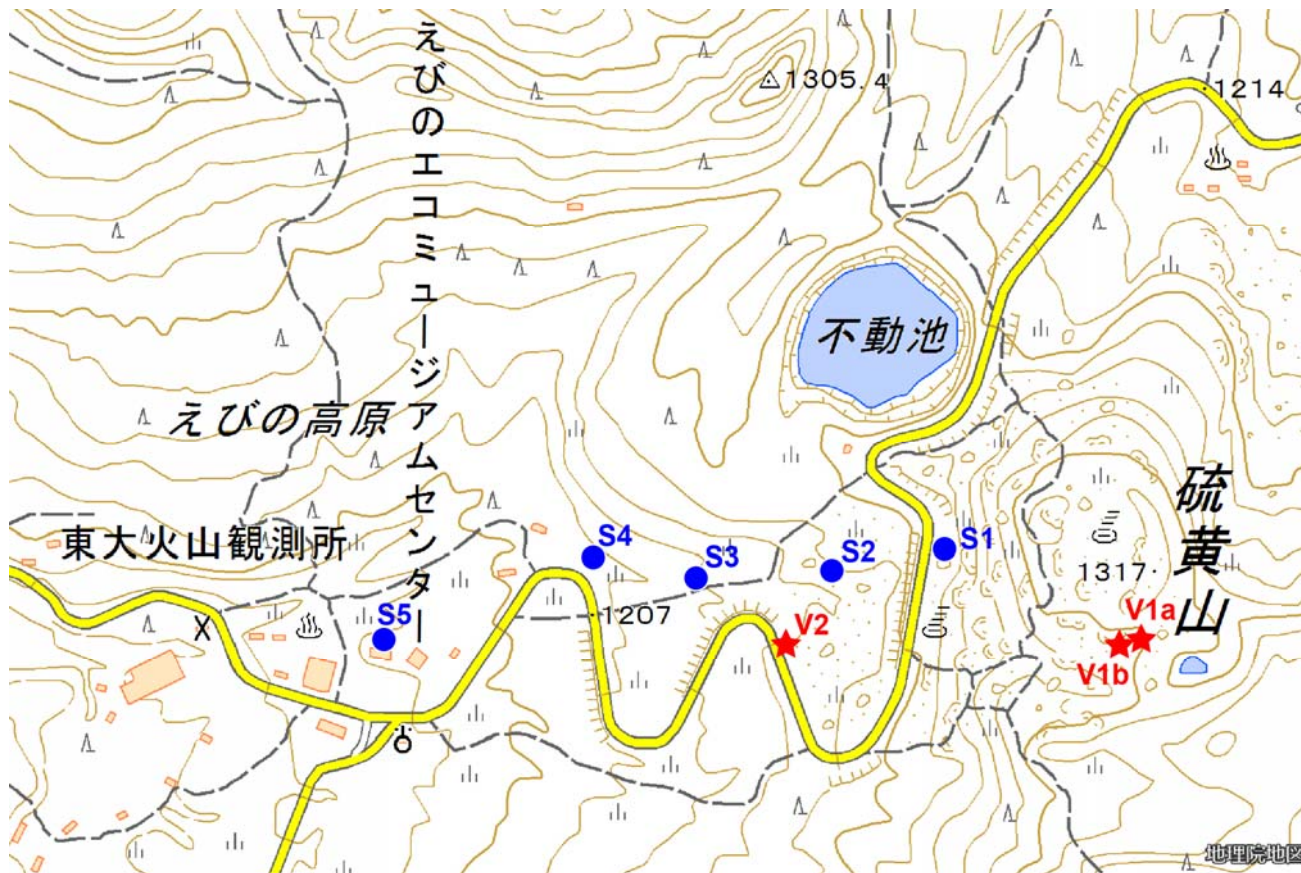


図 1 湧水の採取地点(えびの高原内)(地理院地図「電子国土 web」を使用した)

S1～S5 は湧水の位置を示し, V1a, b は硫黄山南湯だまり, V2 は硫黄山西火孔である.

図 2～図 8 に湯だまり・熱水・湧水の水質に関わる時系列データを示す. 試料名の記号は図 1 の採取地点に対応している. なお, 湧水 S2 については 2018 年秋以降, 湧出を確認していない.

2020 年に入ってから, 湯だまりや火孔熱水の Cl^- 濃度や SO_4^{2-} 濃度は大きく低下した状態が続いており(図 2), また, 湧水 S1 の Cl^- 濃度や SO_4^{2-} 濃度(図 3)は噴火前のレベルの戻ったことから, えびの高原へ供給される深部熱水のフラックスは 2018 年噴火における活動活発化当時に比べ大きく低下している. 深部熱水の寄与の低下については, ほう素濃度の推移(図 6)からも読み取れる. 一方で, 硫黄山西火孔 V2 については直近の $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比が 1 近くに返っており(図 4), またこのとき, V2 位置の地表に露出した噴気孔において 2020 年 10 月 12 日に 118.3 °C, 12 月 13 日に 124.0 °Cを計測していることから, 硫黄山西火孔 V2 の活動は一定のレベルを保持している. これに対して硫黄山南火孔 V1 の活動は低調である.

湧水 S1～S5 の水質変化からは, 2019 年半ば以降, 水温の明らかな低下は認められず(図 7), 噴火前の水温にも戻っていないことから, えびの高原下部の熱活動は安定的に保持されているように思われる. また, 硫黄山から最も離れた採水地点である湧水 S5 の最近の $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比(図 5)の変

化から、火山性流体の供給がえびの高原の西方へと広がりつつあると考えられる。

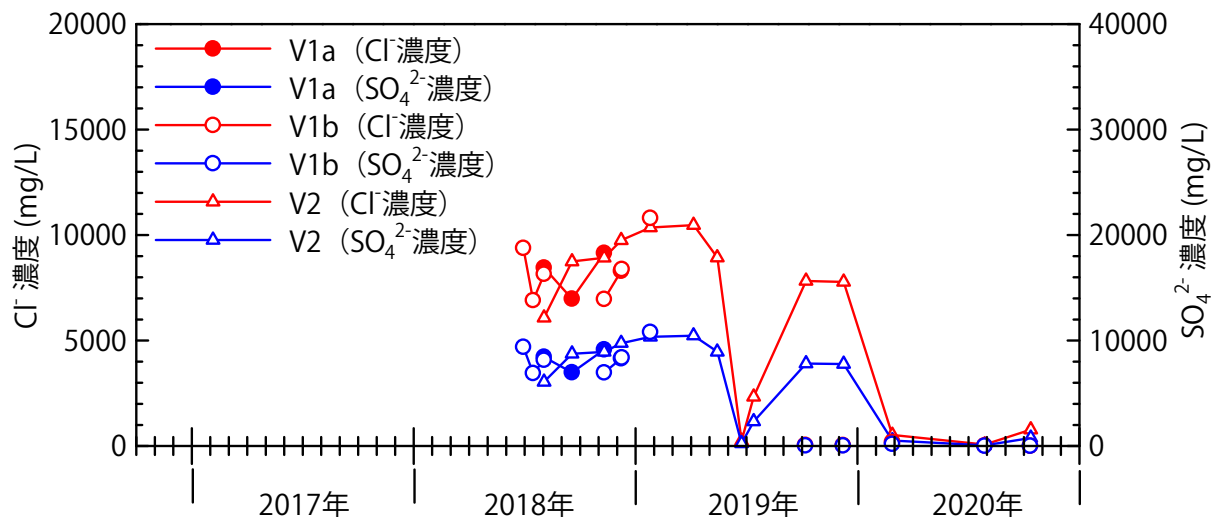


図2 湯だまり・熱水の Cl^- , SO_4^{2-} 濃度の推移

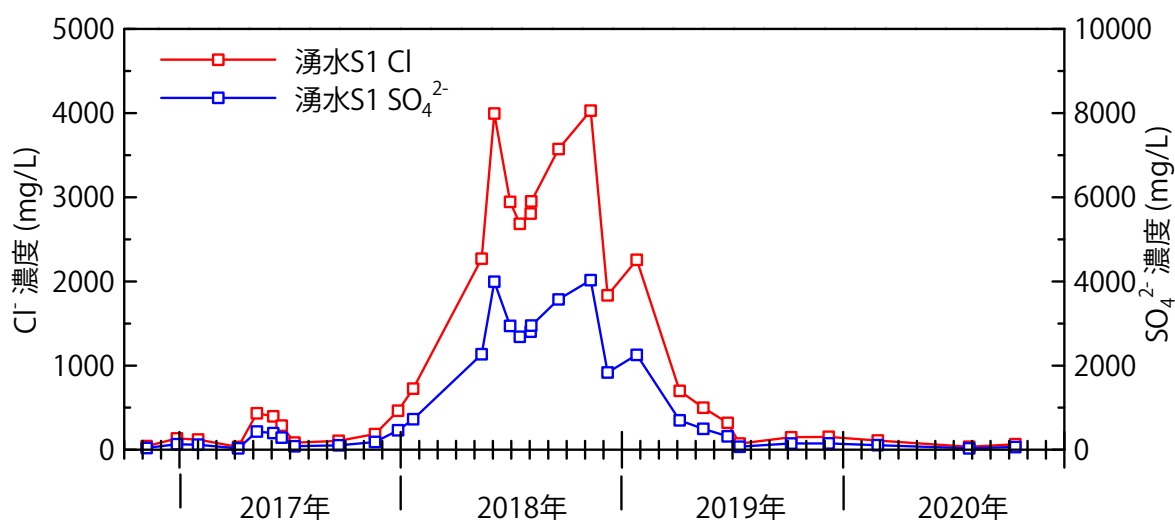


図3 湧水 S1 の Cl^- , SO_4^{2-} 濃度の推移

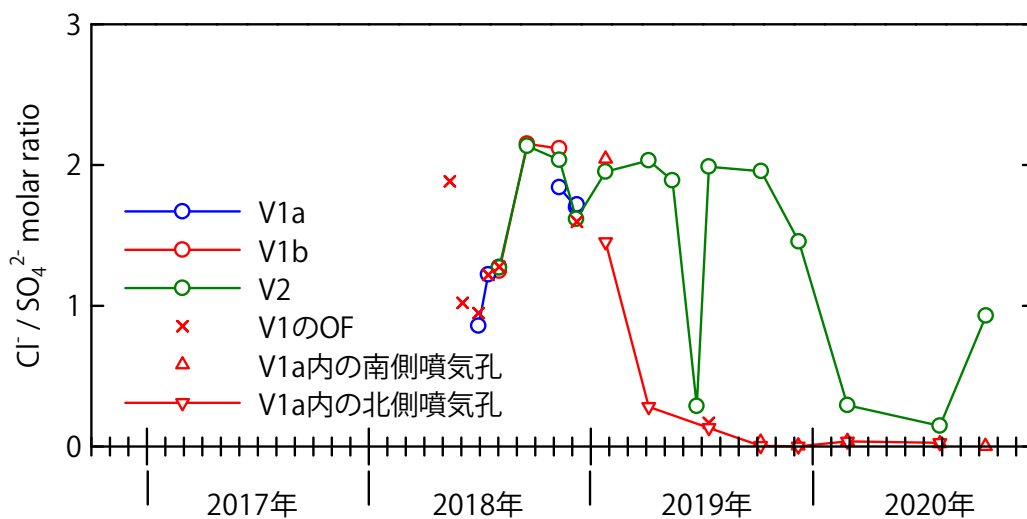


図4 湯だまり・熱水の $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ モル比の推移

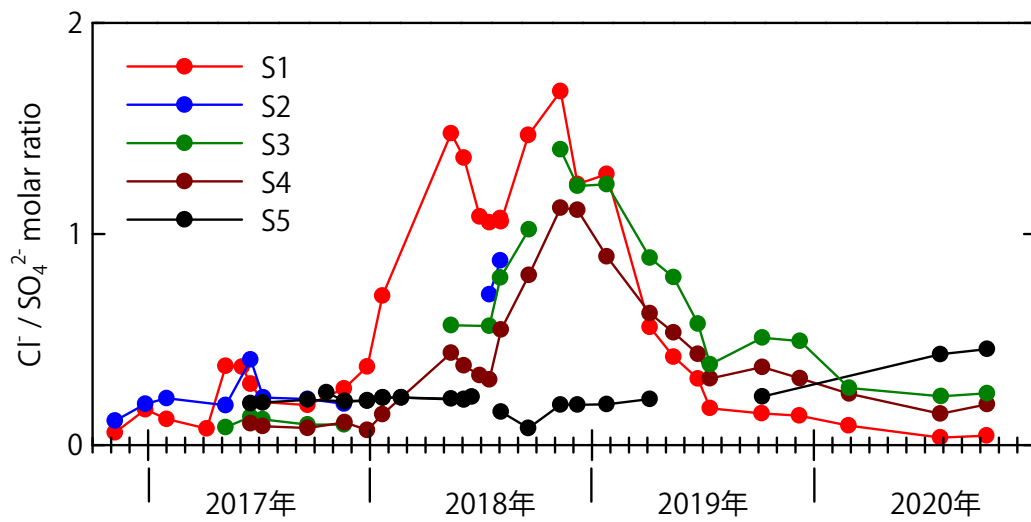


図5 湧水 S1～S5 の $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ モル比の推移

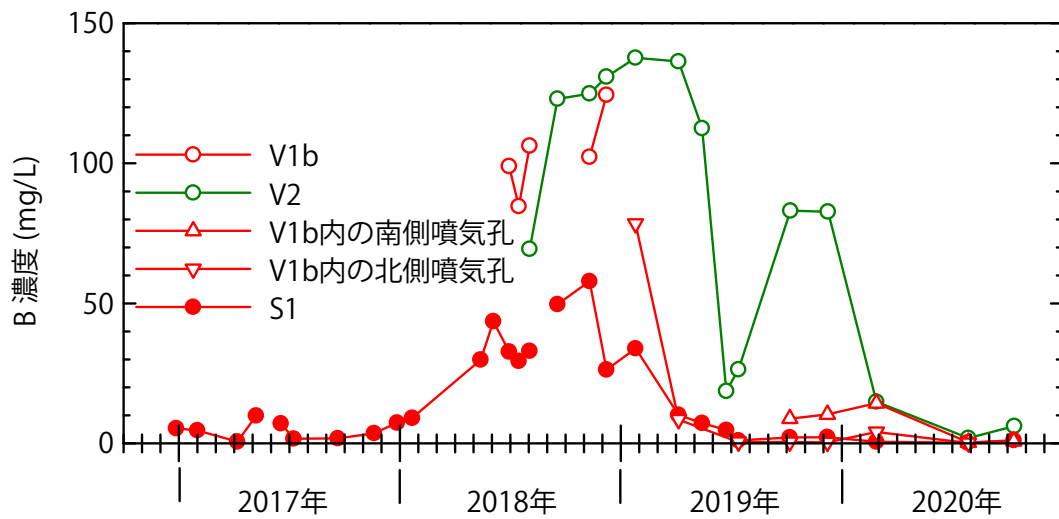


図6 湯だまり・熱水・湧水 S1 のホウ素濃度の推移

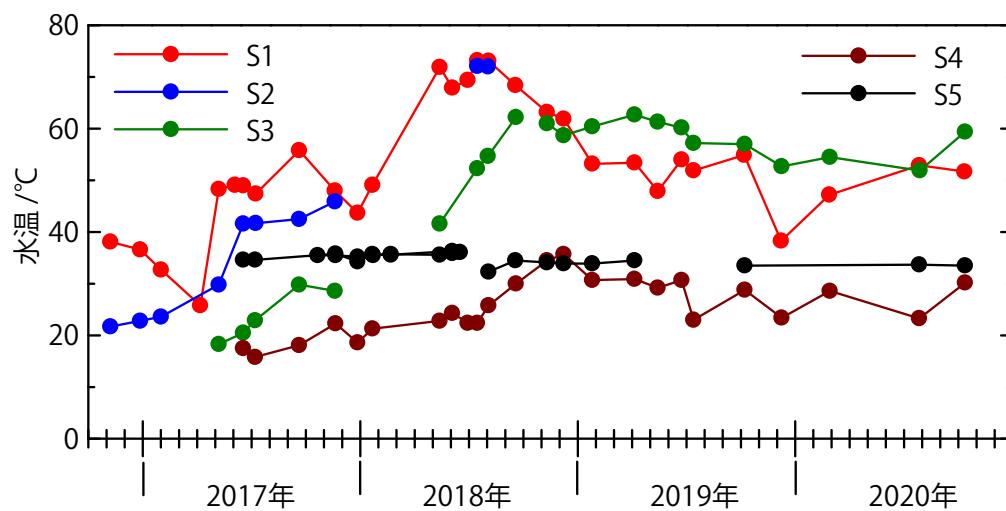


図7 湧水 S1～S5 の水温変化

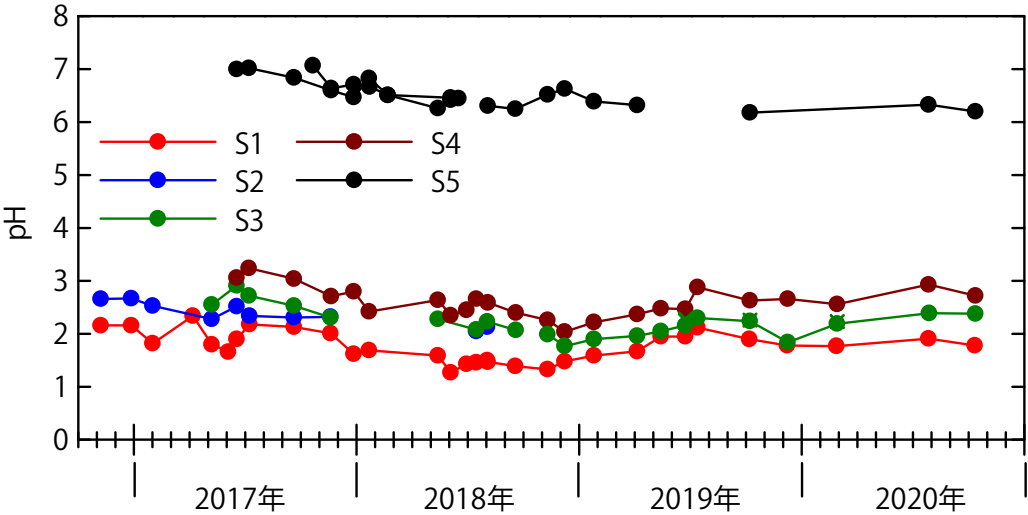


図 8 湧水 S1～S5 の pH 変化

以上

霧島えびの高原硫黄山噴気の化学組成（2015 年 12 月～2020 年 11 月）

Chemical composition of the fumarolic gases at Ebinokogen Iwoyama volcano, Kirishima, Japan (From Dec. 2015 to Nov. 2020)

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、噴気に含まれるマグマ起源成分である H_2 や SO_2 の濃度は低下傾向が継続している。2020 年の秋に新たに出現した噴気(V2) は高濃度の SO_2 ガスを含み、マグマ起源成分の寄与が大きく、今後の組成変化に注目する必要がある。

2. 噴気の採取・分析

2015 年 12 月から 2020 年 11 月にかけて、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。ただし、h 噴気は、2020 年 7 月と 11 月の 2 回の採取に限られる。V2 噴気は 2020 年の秋以降に新しく出現した噴気で、2020 年 11 月 1 回の採取に限られる。噴気 a, b, c 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、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

2020 年 11 月 26 日の観測で、噴気孔 b の位置に噴気の放出が確認できなかった。噴気 a, c, h, V2 の出口温度は、それぞれ、86.4, 95.9, 95.7, 120.8℃であった。噴気 a は、空気の混入が避けられないので採取は行わなかった。噴気 c, h, V2 の化学組成を表 1 に示す。

硫黄山と同様に水蒸気噴火を発生する火山として箱根山や草津白根山を挙げることができる。これらの火山では、噴気に含まれる H_2S 等の熱水系に起源する成分の濃度が比較的安定しており、浅部熱水系で、これらの成分を一定に保つ緩衝作用が働いていると考えられる。箱根山や草津白根山では、噴気に含まれる He 等のマグマ起源成分と、 H_2S 等の熱水系起源成分の比を用いて、浅部熱水系に対するマグマ起源成分の寄与を評価することが可能である。一方で、硫黄山の噴気に含まれる H_2S の濃度は時間変化が大きく、箱根山や草津白根山のような浅部熱水系による緩衝作用は働いていないと考えられる。そこで、箱根山や草津白根山とは異なる噴気の評価手法が必要となる。

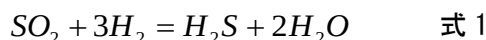
マグマ起源成分である H_2 や SO_2 等は、マグマから脱ガスし地殻を上昇する過程で、浅部熱水系内にお

いて、酸化や加水分解などの作用により部分的に「除去」され、噴気に含まれる濃度が低下する。マグマ起源成分の流量が上昇すると、この除去効果が低下し、噴気に含まれる H_2 や SO_2 の濃度が上昇すると期待される。この原理を用いると、硫黄山の火山活動を的確に評価できる可能性がある。

噴気の H_2/He 比の時間変化を図 2 に示す。噴気 a, b, c で 2017 年 5 月と 2018 年 3 月に局大値が観測されている。これらの局大値は、除去効果を受けない He に対してマグマ起源成分である H_2 の濃度が増大したことを意味しており、マグマ起源成分の流量増加を反映していると考えられる。実際に、2017 年 5 月には極めて勢いの強い噴気 h が出現し、2018 年 3 月の直後には水蒸気噴火が発生している。最近の変化としては、噴気 c において、2020 年 7 月から 11 月にかけて H_2/He 比の上昇が起きている。

噴気の SO_2/He 比の時間変化を図 3 に示す。 H_2/He 比の場合と同様に、噴気 a, b, c で 2017 年 5 月と 2018 年 3 月に局大値が観測されている。最近の変化としては、噴気 c において、2020 年 7 月から 11 月にかけて SO_2/He 比の上昇が起きている。噴気 h は同期間で逆に低下しているが、比の絶対値は高い値を維持している。V2 の SO_2/He 比は高く、噴気 a で 2017 年 5 月に観測した値に匹敵する。

噴気の見かけ平衡温度 (AETS) の時間変化を図 4 に示す。AETS は火山ガスの成分間で以下の化学反応、



が平衡に到達する温度であり、AETS はガスの圧力に依存する。本報告では平衡圧力として熱水系における飽和水蒸気圧を仮定して計算した。 H_2/He 比や SO_2/He 比と同様に、噴気 a, b, c で 2017 年 5 月と 2018 年 3 月に局大値が観測されている。最近の変化としては、噴気 h において、2020 年 7 月から 11 月にかけて AETS の上昇が起きている。

最近の H_2/He 比と AETS を総合的に考慮すると、2020 年 11 月の時点で、硫黄山における火山活動は 2017 年 5 月と 2018 年 3 月の時のような高いレベルにはないと推定される。一方で、噴気 h と V2 の SO_2/He 比は高い値を維持しており、マグマ起源流体の寄与が大きく、今後の組成変化を監視する必要がある。

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。

表 1 えびの高原硫黄山噴気の化学組成 (2020 年 11 月 26 日採取)

Date	Location	Temp	H ₂ O	CO ₂	H ₂ S	SO ₂	R-gas	in R-gas He	in R-gas H ₂	in R-gas O ₂	in R-gas N ₂	in R-gas CH ₄	in R-gas Ar
		C	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2020/11/26	h	95.7	98.3	1.52	0.080	0.044	0.0169	0.0655	14.96	1.01	83.7	0.0199	0.268
2020/11/26	c	95.9	98.7	1.18	0.144	0.002	0.0144	0.0726	1.07	0.21	98.1	0.0916	0.427
2020/11/26	V2	120.8	98.6	0.84	0.170	0.344	0.0140	0.0557	13.37	1.53	84.6	0.0533	0.404

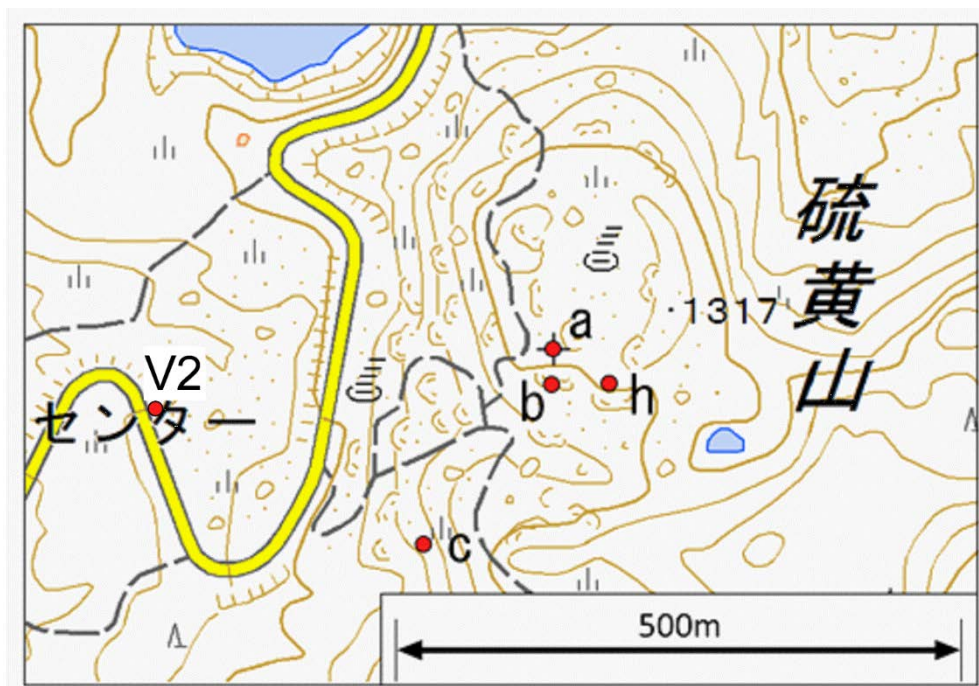
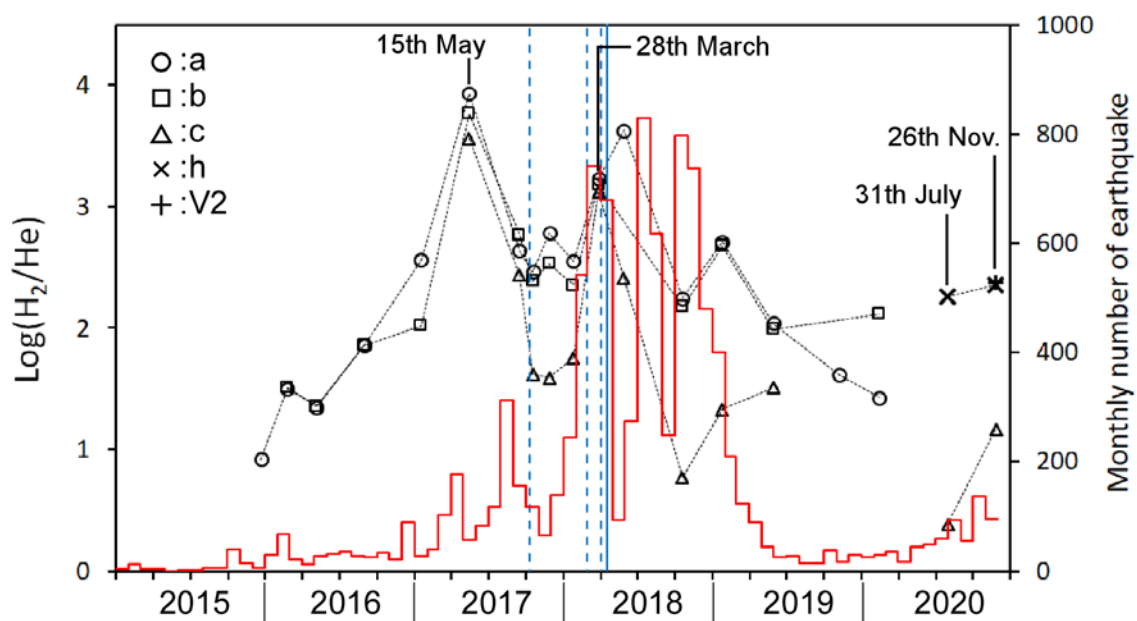


図 1. 硫黄山噴気 a, b, c, h, V2 の位置 (背景の地図として, 国土地理院 1/25000 地形図を使用した)

図 2. H_2/He 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. V2 と h のマーカーが重なっている)

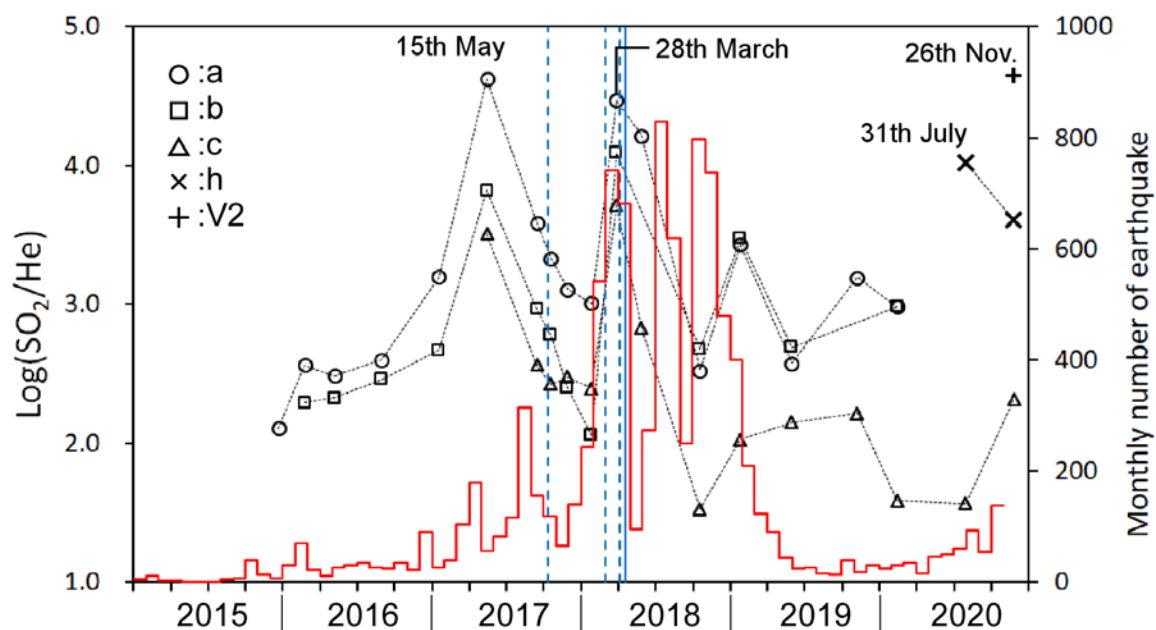


図 3. SO_2/He 比の時間変化（赤線は気象庁による月別地震回数，青の実線は硫黄山における噴火，青破線は新燃岳における噴火を示す）

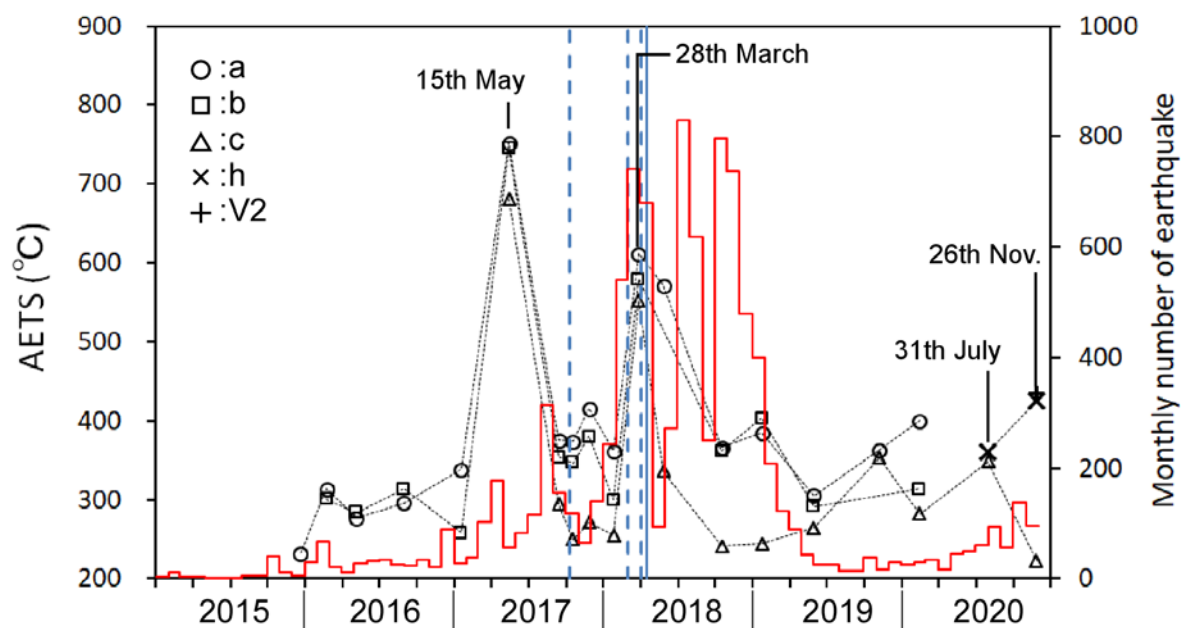


図 4. 見かけ平衡温度（AETS）の時間変化（赤線は気象庁による月別地震回数，青の実線は硫黄山における噴火，青破線は新燃岳における噴火を示す．V2 と h のマーカーが重なっている）

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、継続している。

図4、図5に2017年1月から2020年11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。

なお、この基線長変化は日々更新され、以下の HP の「GPS 即時解析」で公開している。<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/MS/>

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。

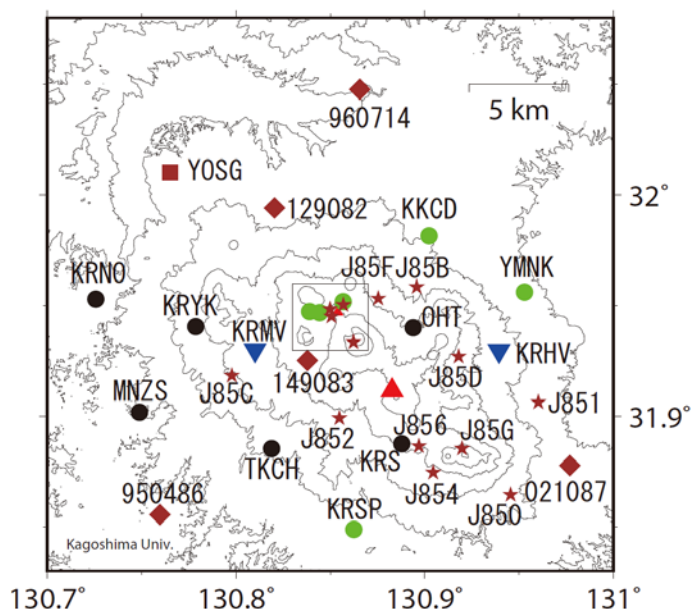


図1. 霧島山（新燃岳）周辺の GNSS 観測網。

霧島火山

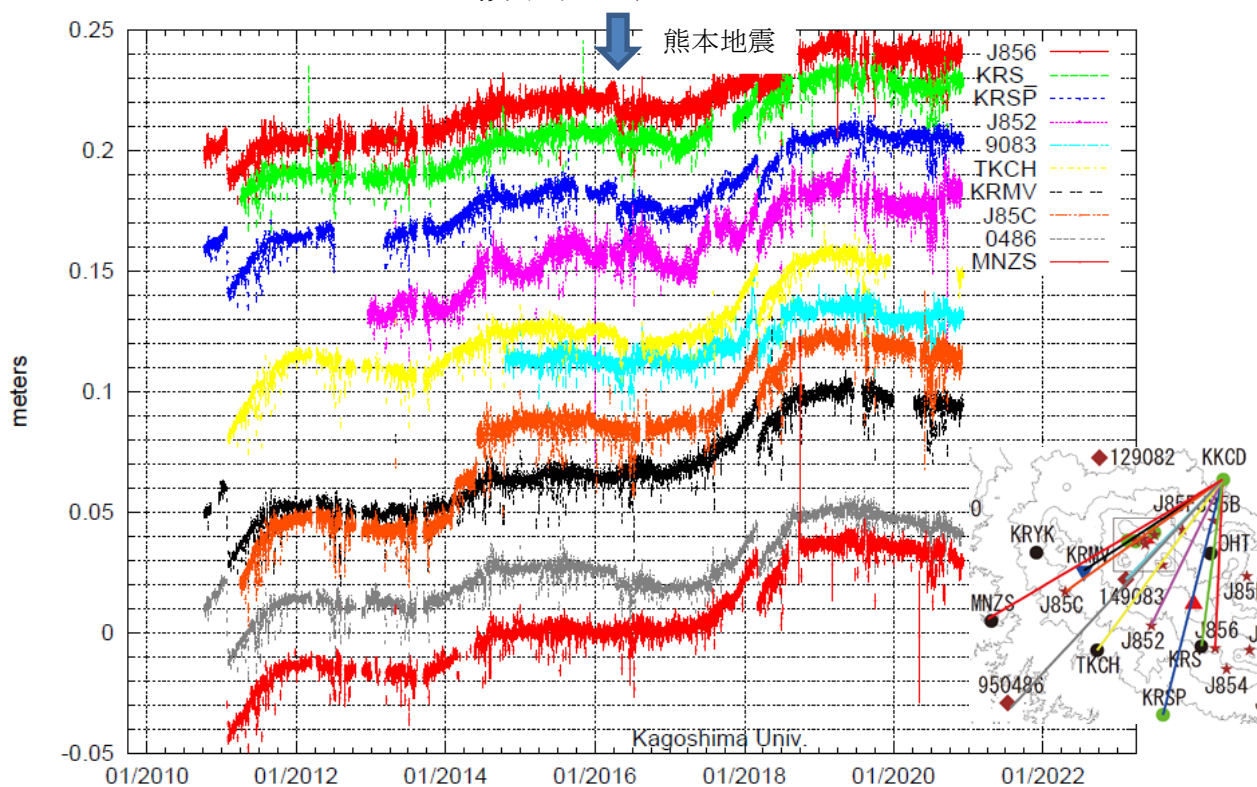


図2. 霧島山（新燃岳）をはさむ基線の基線長の時間変化（2010年10月～2020年11月）. 基準点は KKCD 観測点

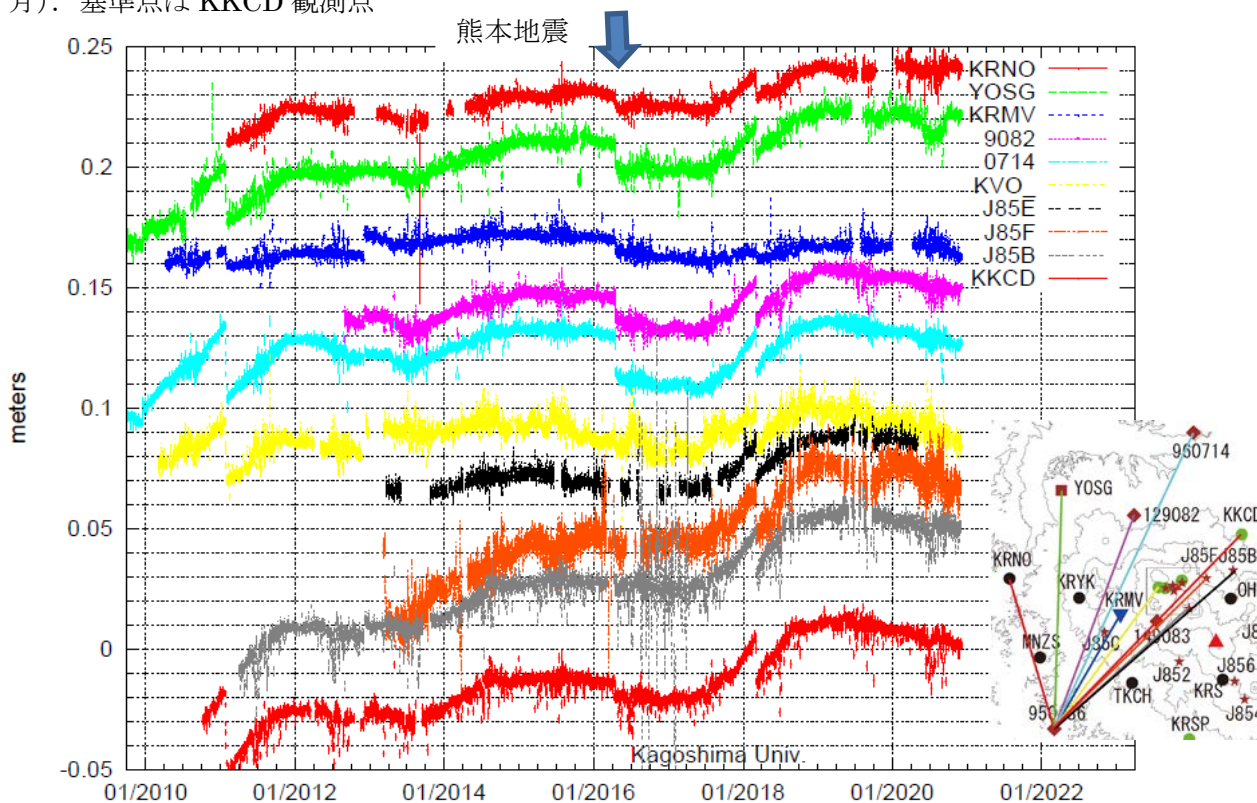


図3. 霧島山（新燃岳）をはさむ基線の基線長の時間変化（2009年10月～2020年11月）. 基準点は 950486（GEONET）観測点

霧島火山

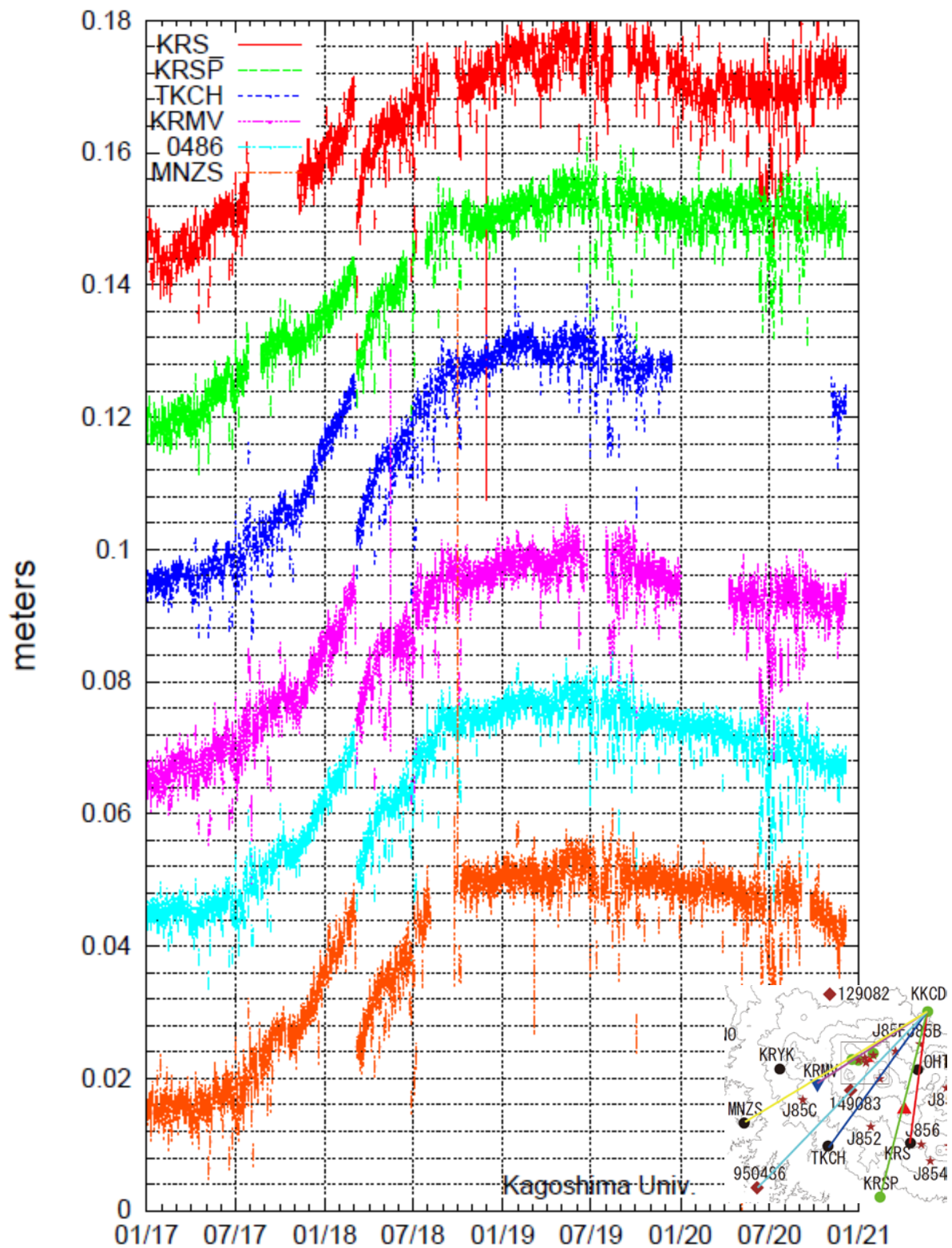


図4. 2011年新燃岳噴火時のマグマソースをはさむ基線の基線長変化(2017年1月～2020年11月). 基準点はKKCD観測点.

霧島火山

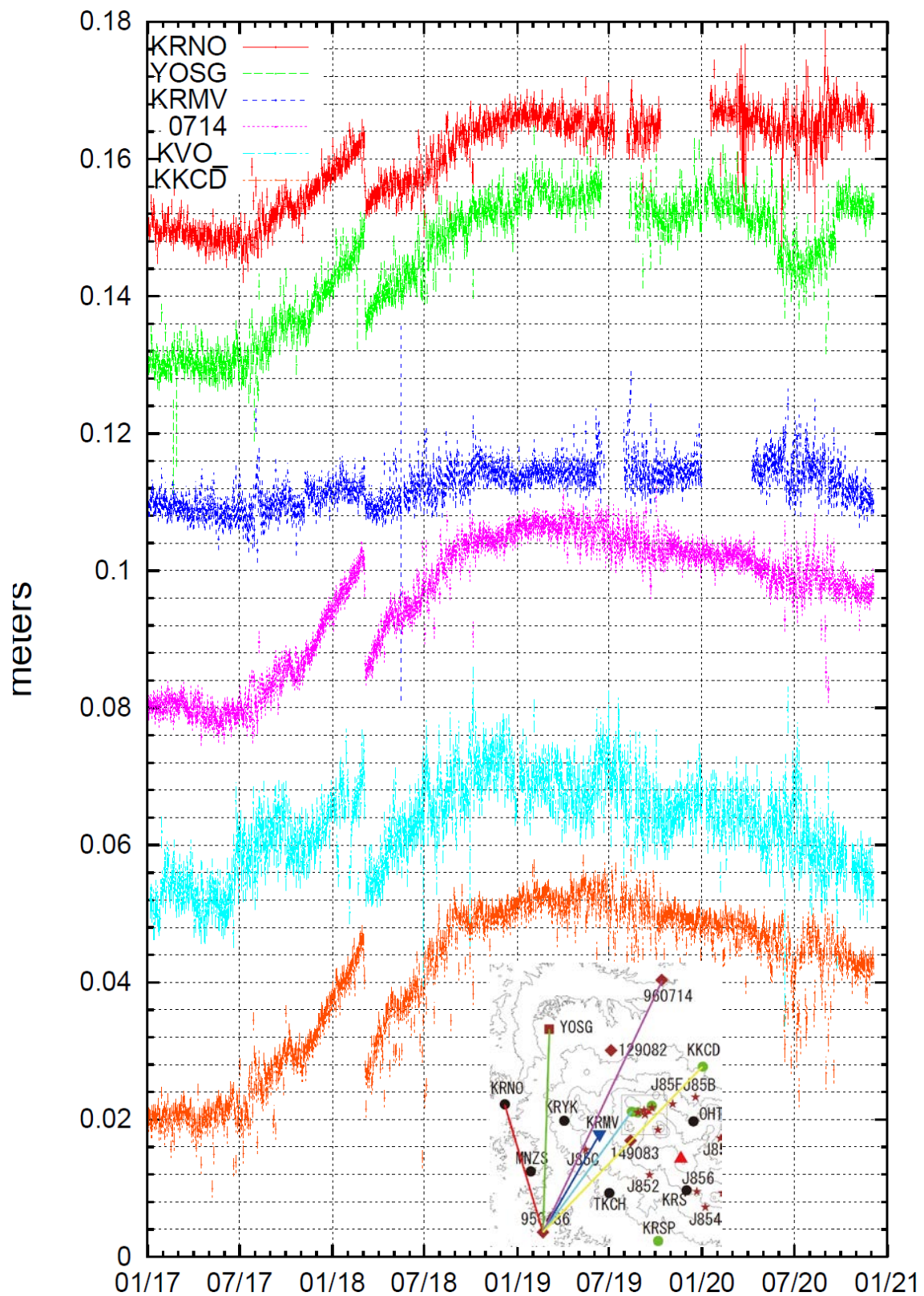


図5. 2011年新燃岳噴火時のマグマソースをはさむ基線の基線長変化(2017年1月～2020年11月). 基準点は950486(GEONET)観測点.