

第 146 回 火山噴火予知連絡会資料

(その1の2)

霧島山

令和2年6月 24 日～30 日

火山噴火予知連絡会資料(その1の2)

目次

霧島山

部会提出資料

| | |
|------|--------|
| 気象庁 | 3-66 |
| 気象研 | 67-68 |
| 九大 | 69-84 |
| 防災科研 | 85-90 |
| 産総研 | 91-92 |
| 地理院 | 93-104 |

霧 島 山

(2020 年 5 月 31 日現在)

えびの高原（硫黄山）周辺

硫黄山では、2018 年 4 月 27 日以降、噴火は観測されていない。引き続き活発な噴気活動が続いているが、2019 年 1 月以降はその規模のさらなる拡大は認められない。

硫黄山付近では、ごく微小な地震を含む火山性地震は 2019 年 2 月以降概ね少ない状態で経過している。

GNSS 連続観測では、硫黄山近傍の基線の伸びは、2019 年 2 月頃から停滞あるいはわずかな収縮傾向となっている。

硫黄山では、火山活動の活発化を示す兆候は認められない。

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（2019 年 11 月～2020 年 5 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 400m 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 3 月 16 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。

・ 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、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。浅い所を震源とする低周波地震は 1 月 14 日以降観測されていない。

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概ね少ない状態である。

・ 地殻変動の状況（図 6-1-⑥、図 6-2-⑥、図 8～11）

GNSS 連続観測では、硫黄山近傍の基線で、2018 年 3 月頃から山体の膨張を示す変動がみられていたが、4 月 19 日の噴火に伴い、山体の収縮を示す変動がみられた。その後、6 月上旬から再び伸びの傾向が続いていたが、2019 年 2 月頃から停滞あるいはわずかな収縮傾向となっている。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 12）

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るが、その変動の傾向は 2019 年 4 月頃から鈍化している。

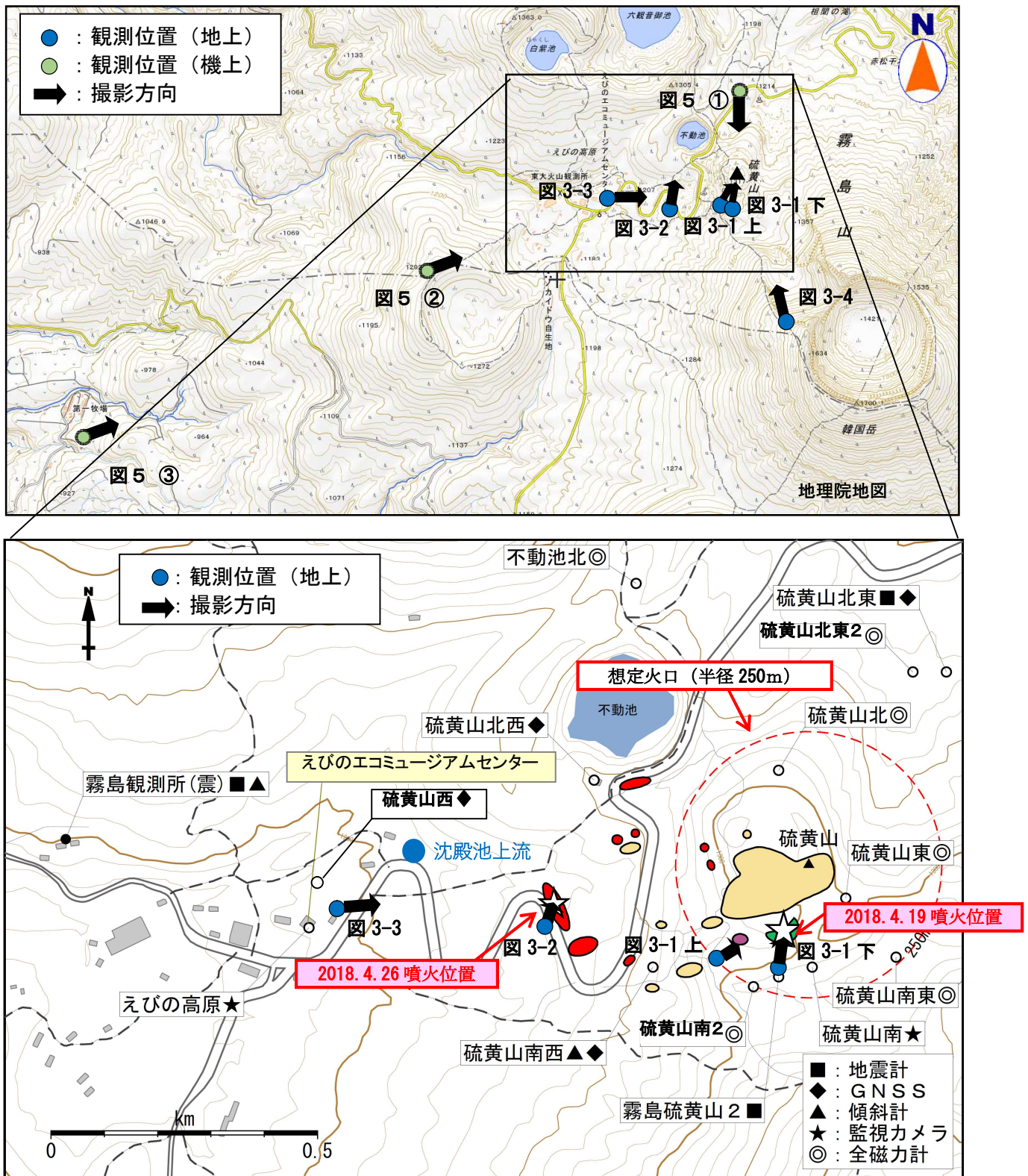


図 1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 図 3、図 5 の観測位置及び観測方向（上段）、
及び噴火位置、主な噴気地帯及び地熱域（下段）

えびの高原（硫黄山）周辺の噴気地帯及び地熱域の状況に特段の変化は認められない。

- ・ ☆は噴火位置を示す。白丸（○）は気象庁、黒丸（●）は東京大学地震研究所の観測点位置を示している。
- ・ 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●で示す。
- ・ 2018 年 4 月 9 日に確認した噴気地帯及び地熱域を●で示す（一時期、活発な熱泥の噴出がみられた）。
- ・ 2018 年 4 月の噴火以降に拡大した噴気地帯を●及び●で示す。



図 2-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山付近の状況
（4 月 6 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 400m 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
（4 月 24 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。

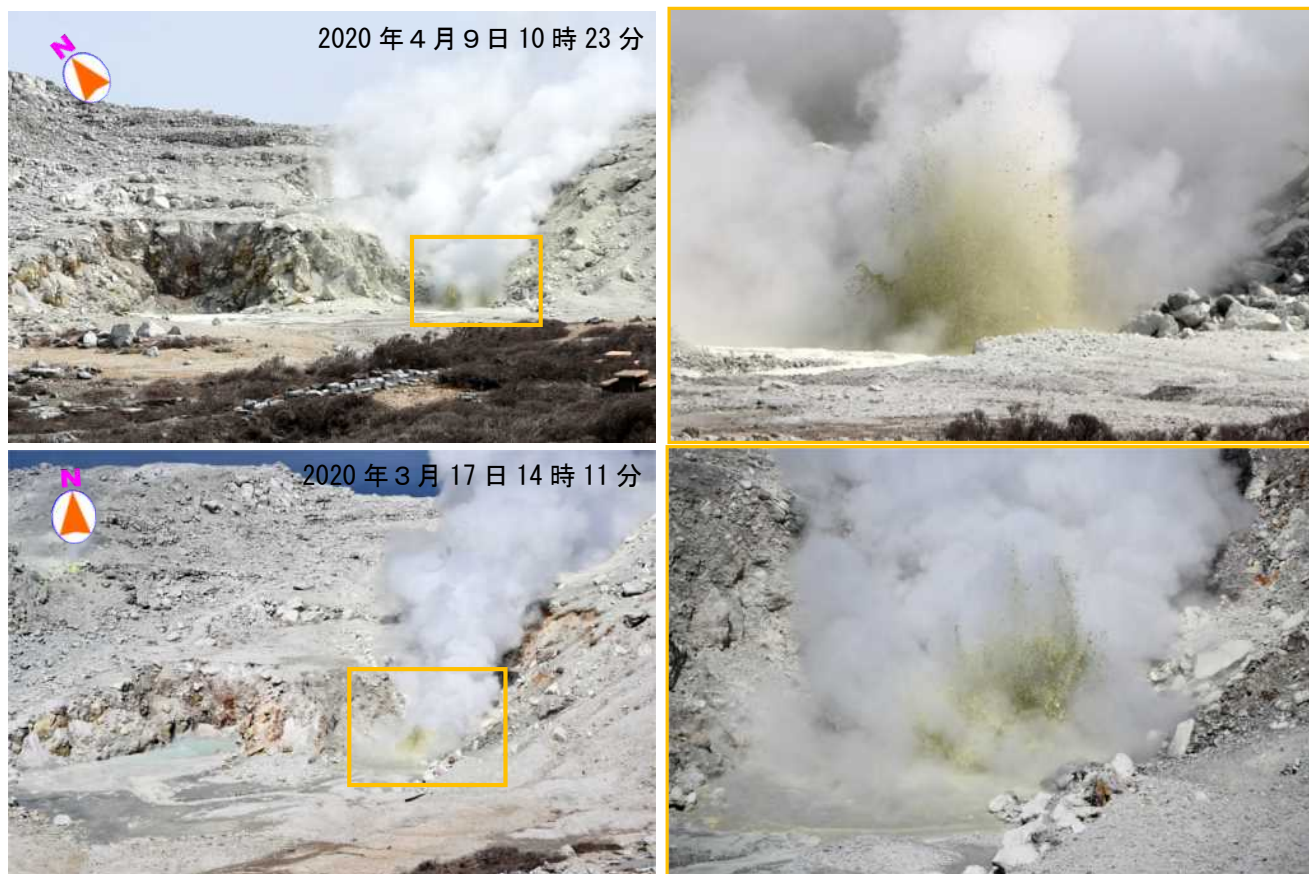


図 3-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山南側の噴気の状態
硫黄山南側の噴気孔では引き続き活発な噴気活動を確認し、湯だまりでは黄色の水を数m程度間欠的に吹き上げる噴湯現象（図中の橙枠）が認められた。



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を確認した。

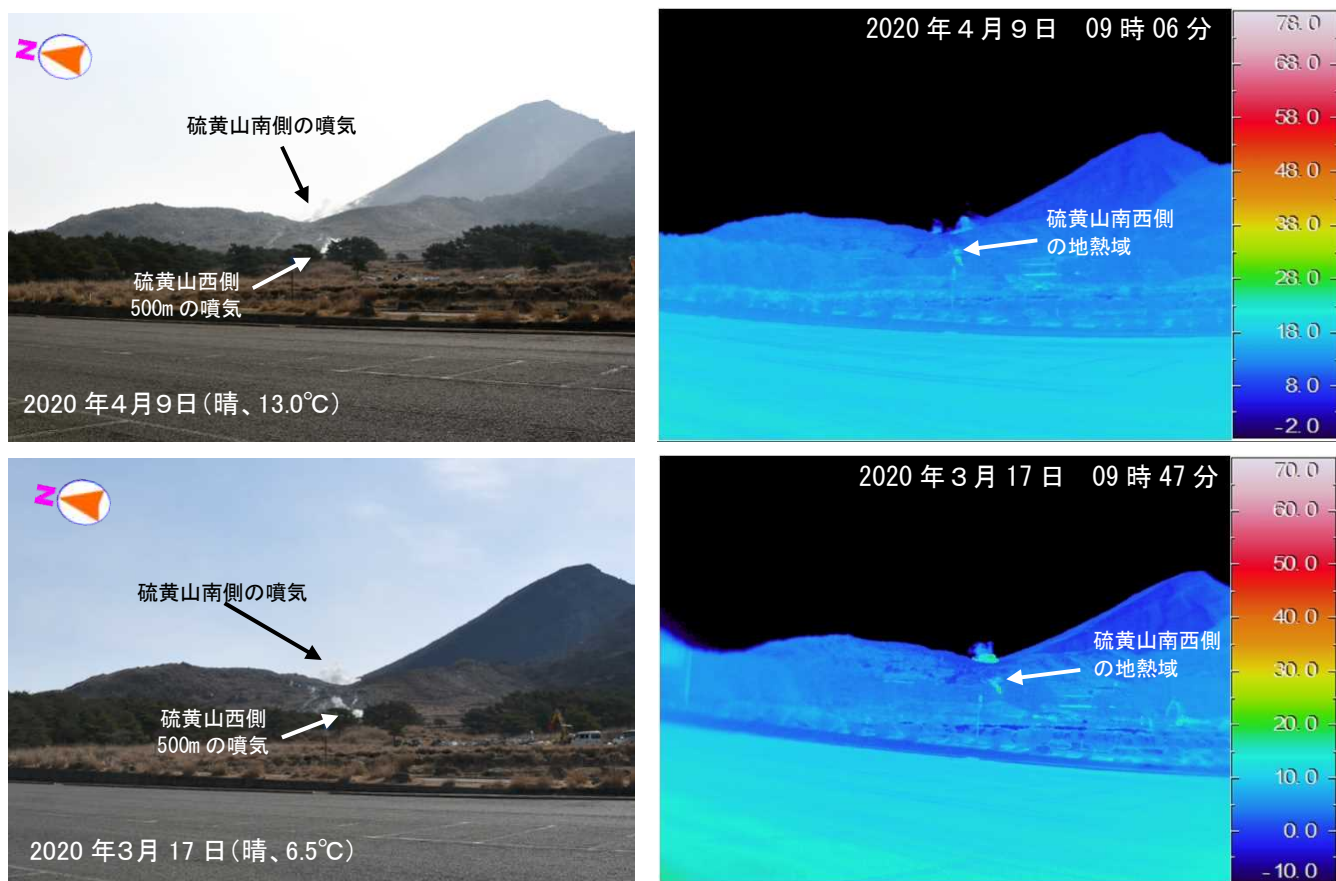


図 3-3 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山の状況

- ・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。

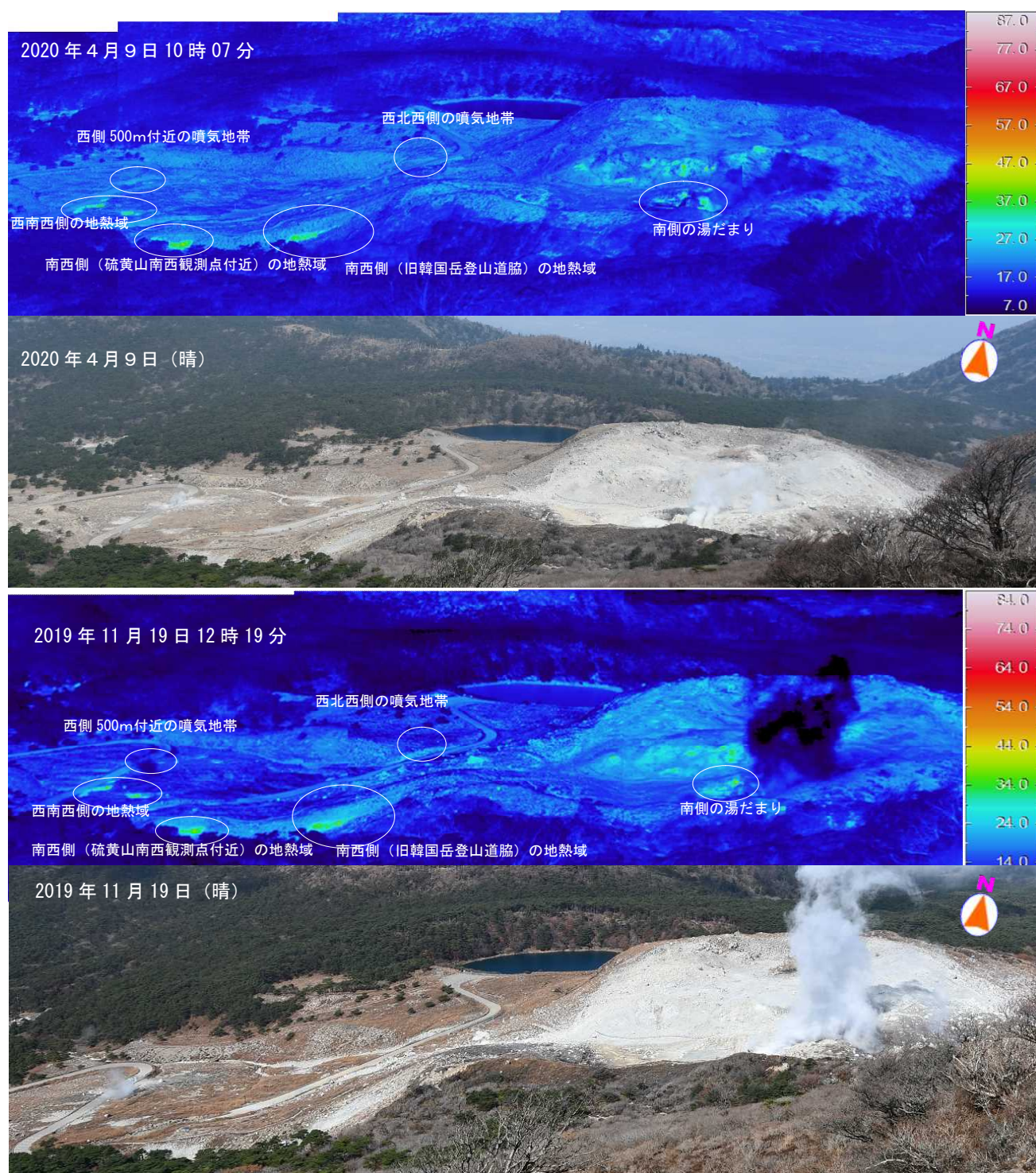


図 3-4 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山及びその周辺の状況

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。

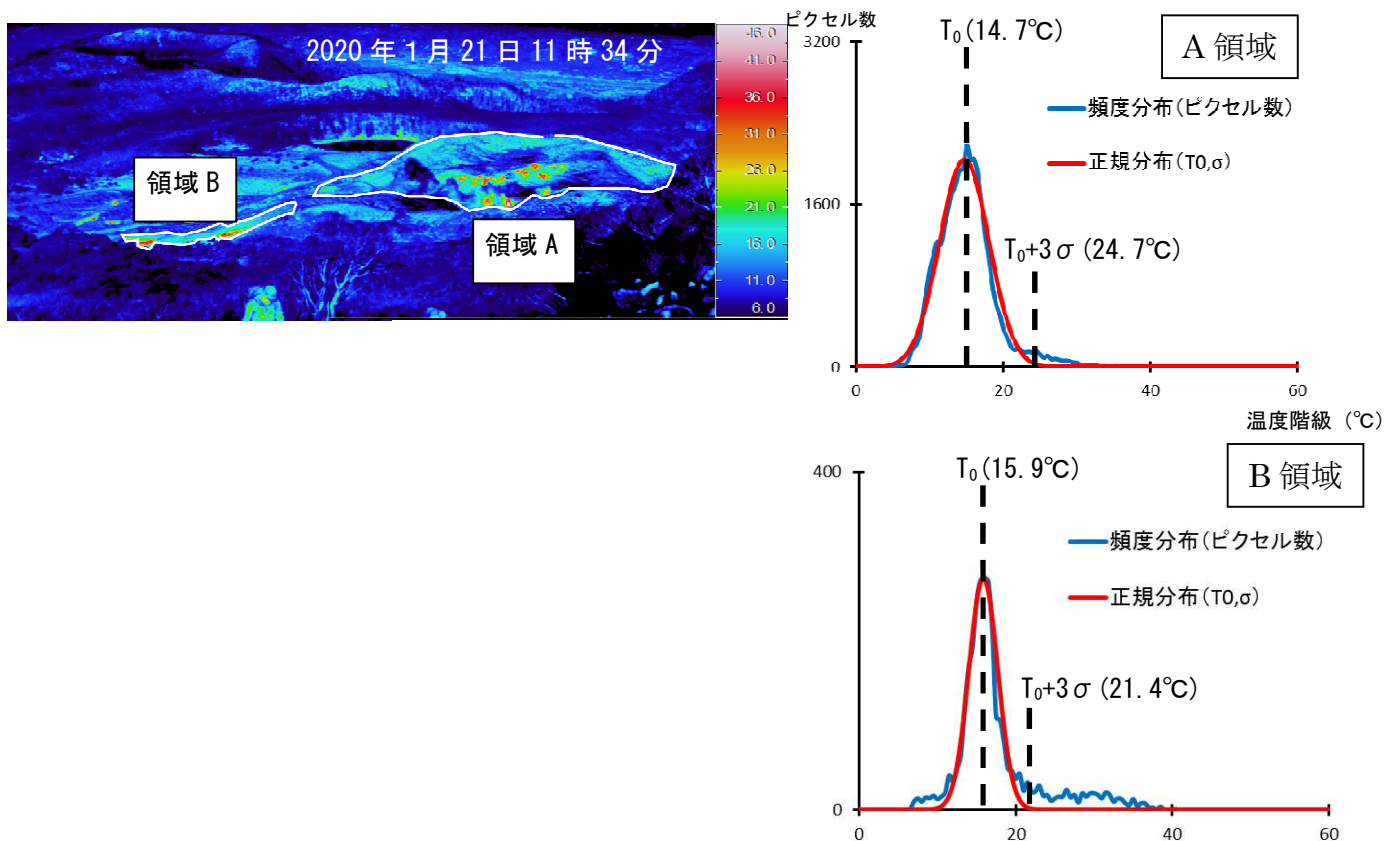


図 4-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 図 4-2 に示した硫黄山の放熱率算出の解析領域と温度分布の例（2020 年 1 月 21 日 11 時 34 分）

- ・ 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 $T_0 - 3\sigma \leq T \leq T_0 + \sigma$ 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。

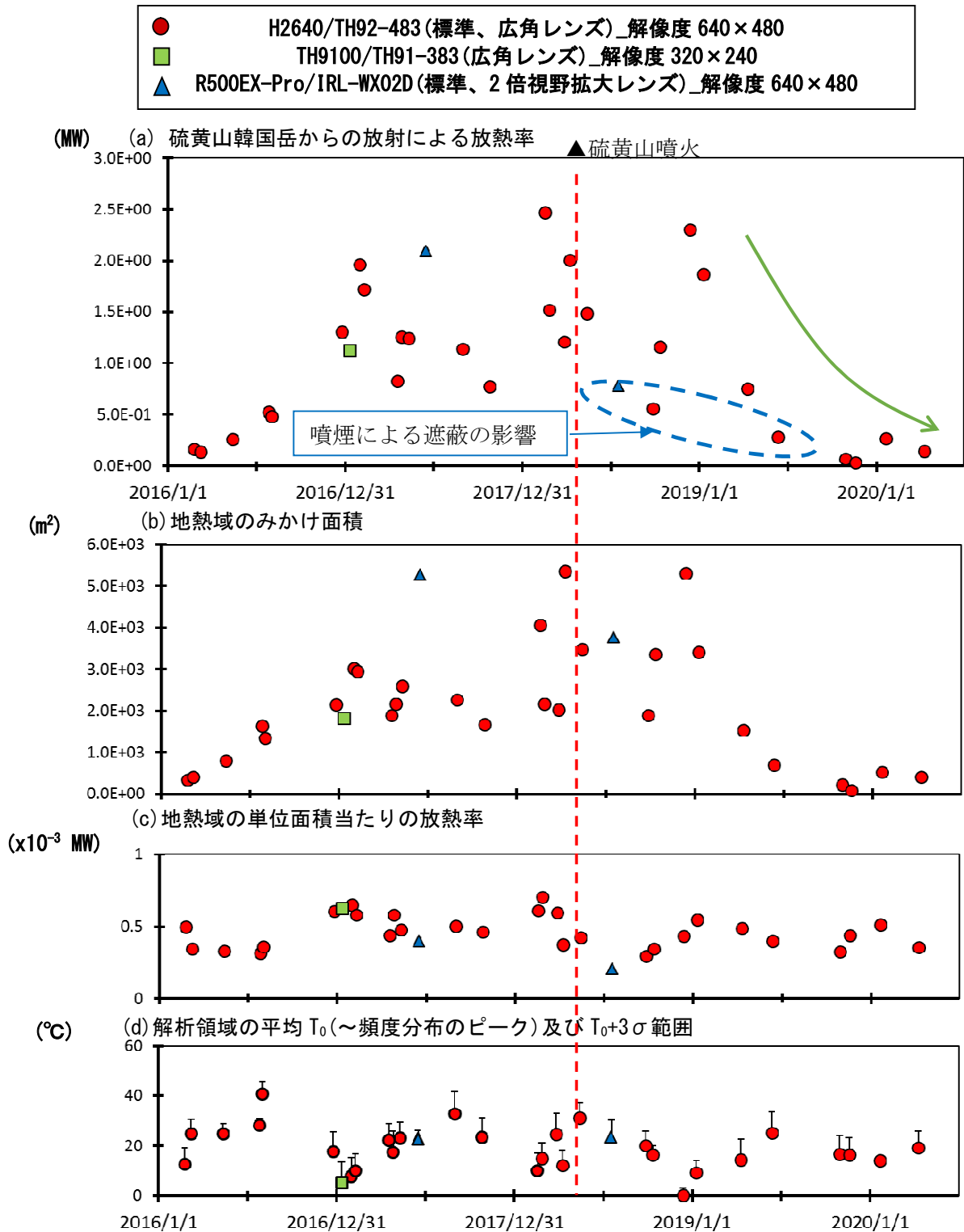


図 4-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 地表面温度分布より算出した硫黄山の放熱率の推移（値を観測日ごとに平均）（2016 年 1 月～2020 年 5 月）

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、Sekiooka (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、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） 硫黄山の南側の状況
（上段：2020 年 3 月 16 日、下段左：2019 年 11 月 10 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。

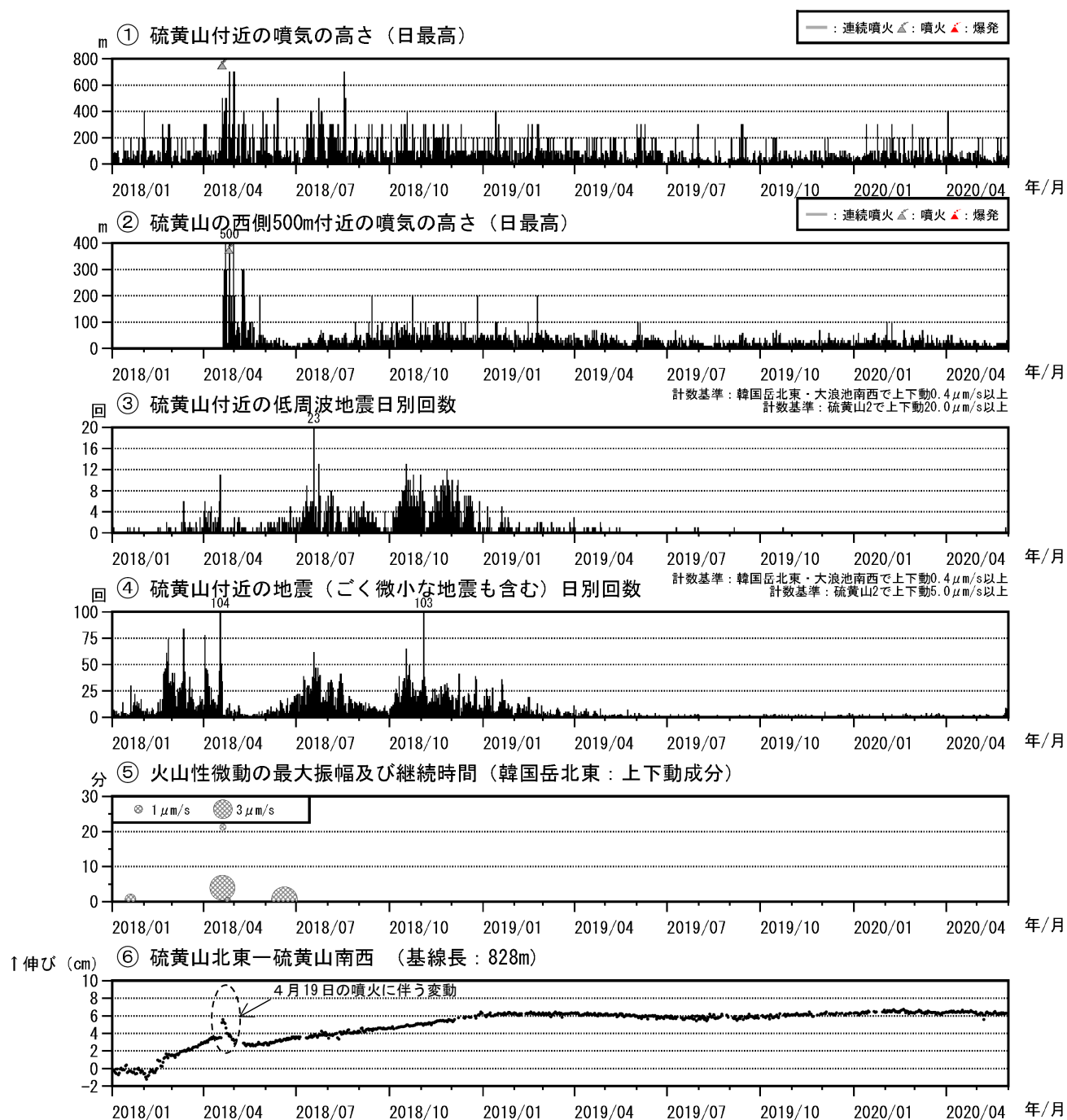


図 6-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 火山活動経過図

(2018 年 1 月～2020 年 5 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。

※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。

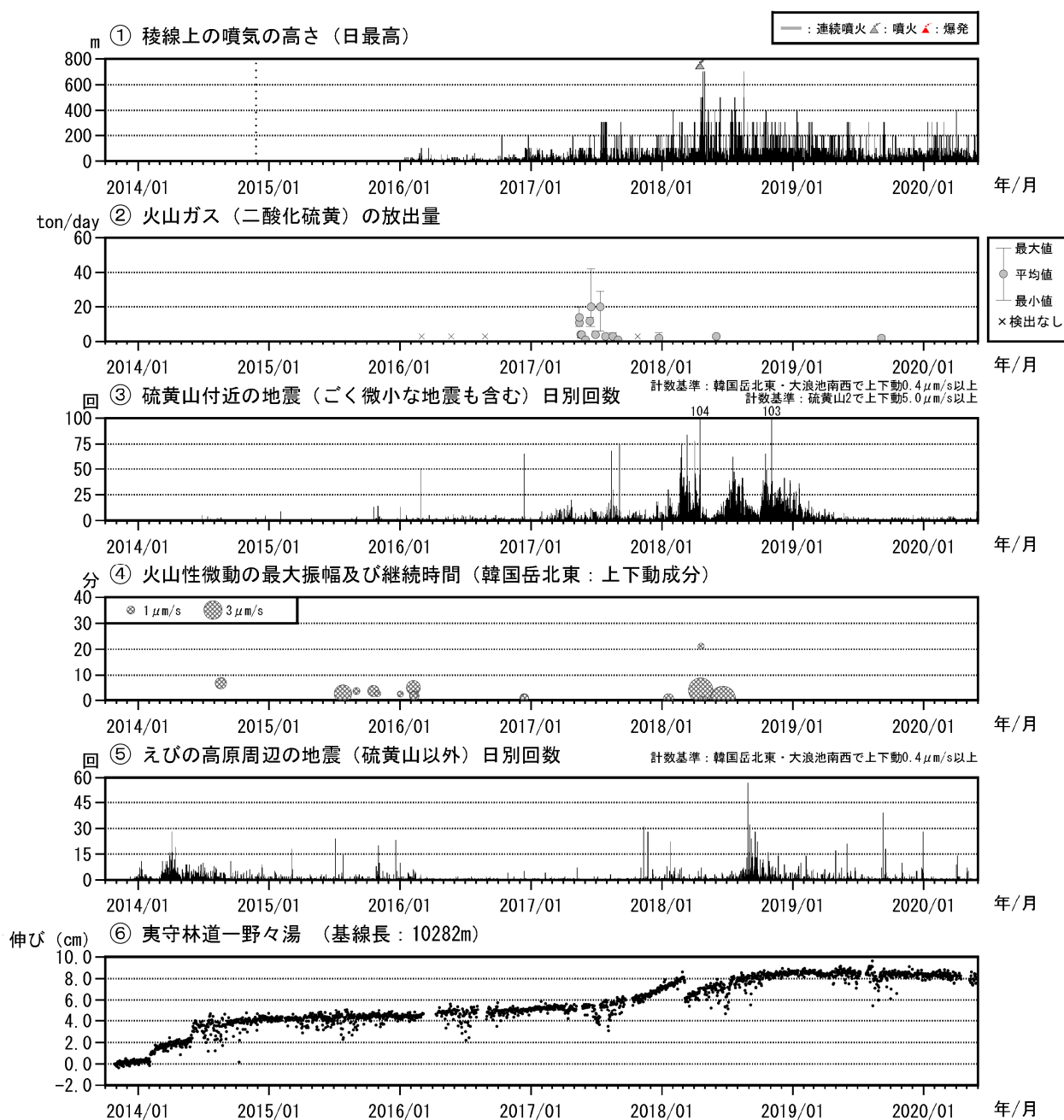


図 6-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 火山活動経過図
 （2013 年 10 月～2020 年 5 月）

※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。

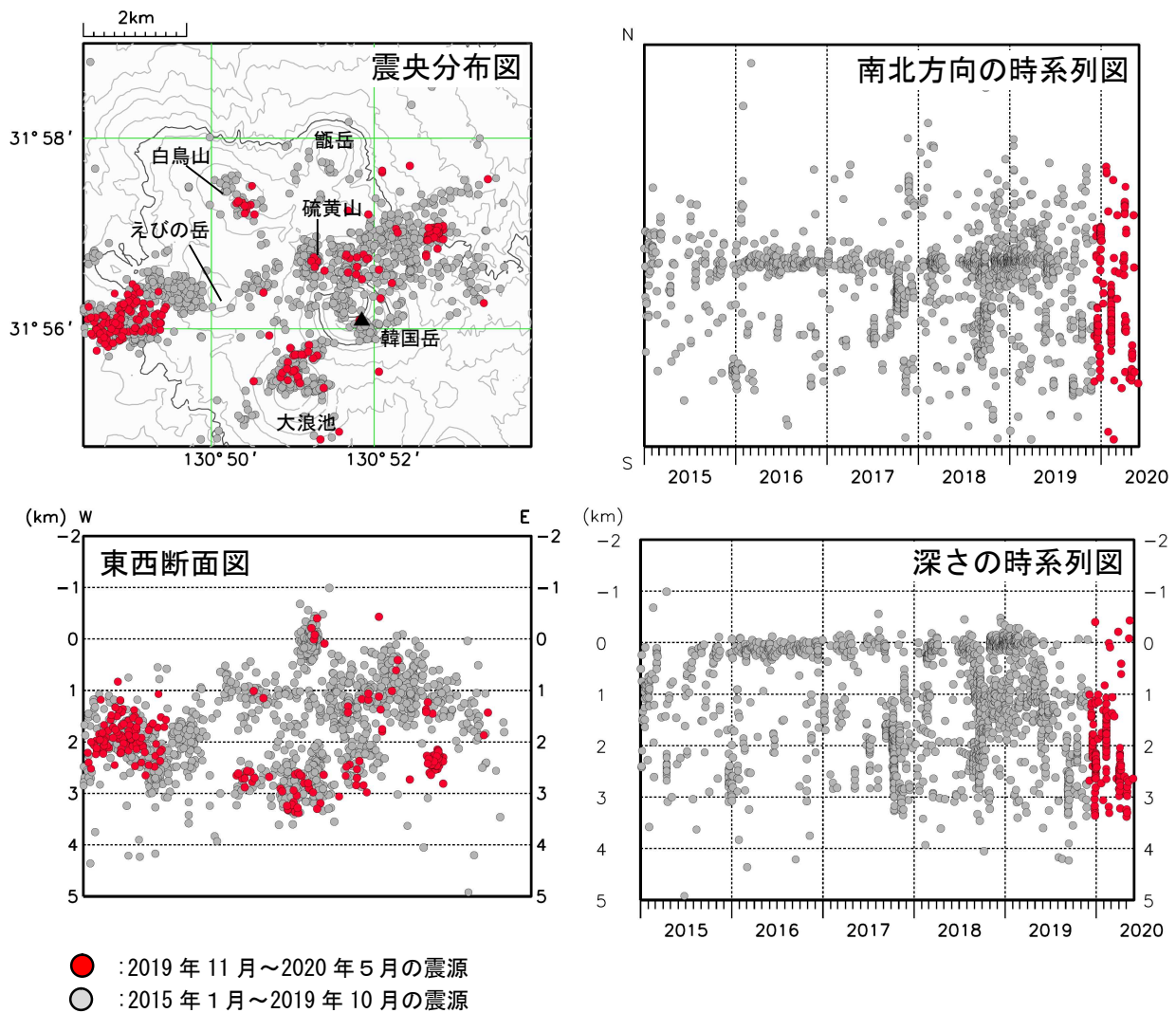


図 7 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 震源分布図（2015 年 1 月～2020 年 5 月）

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 0 ～ 3 km 付近、白鳥山付近の深さ 2 ～ 3 km 及び大浪池近傍の深さ 2 ～ 4 km 付近に分布した。また、2 月にはえびの岳の西側約 1 ～ 2 km の深さ 1 ～ 3 km 付近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。

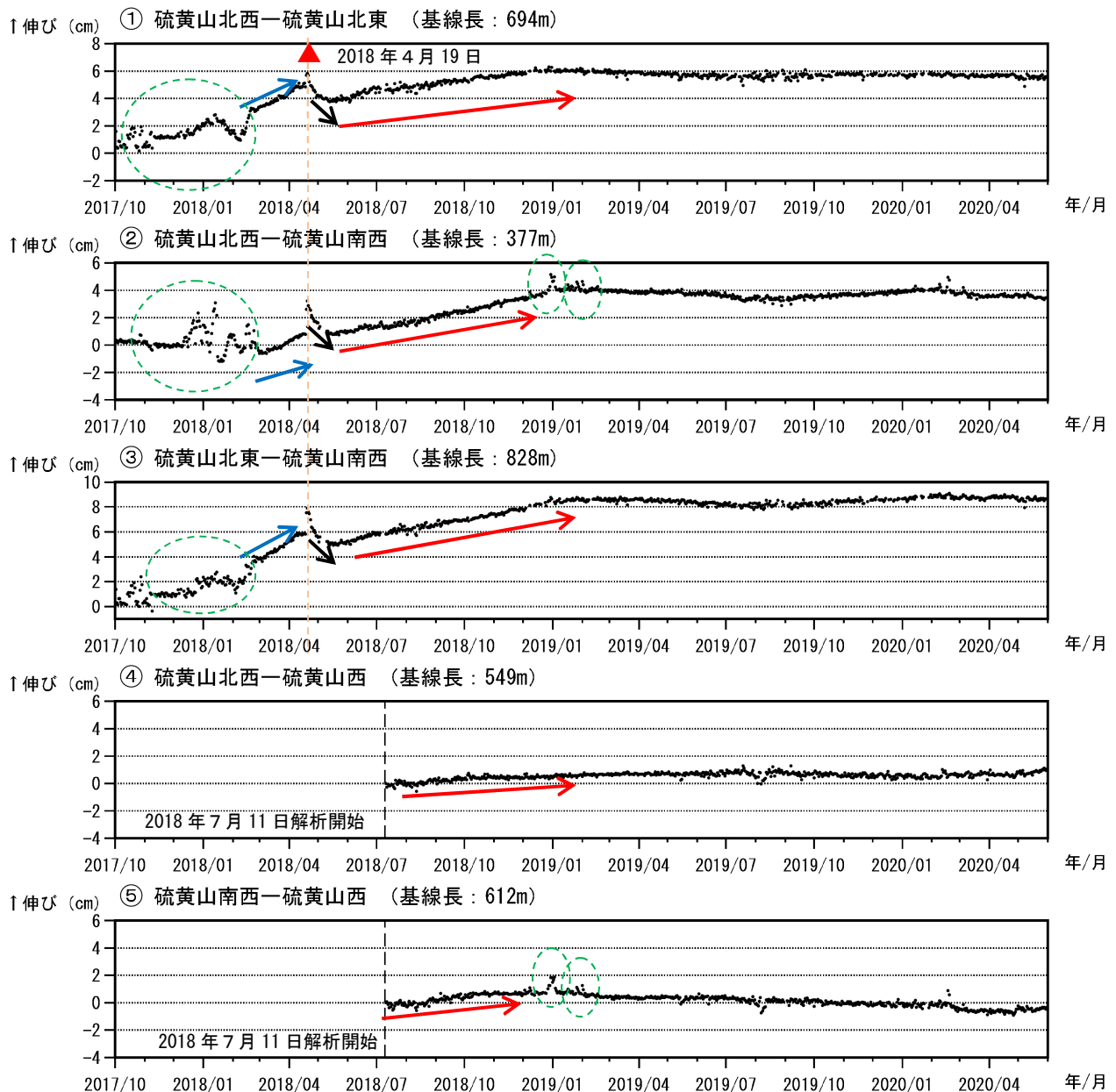


図 8 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） GNSS 連続観測による基線長変化
(2017 年 10 月～2020 年 5 月)

GNSS 連続観測では、硫黄山近傍の基線で、2018 年 3 月頃から山体の膨張を示す変動（青矢印）がみられていたが、4 月 19 日の噴火（▲）後に山体の収縮を示す変動（黒矢印）がみられた。その後、6 月上旬から再び伸びの傾向（赤矢印）が続いていたが、2019 年 2 月頃から概ね停滞している。

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。

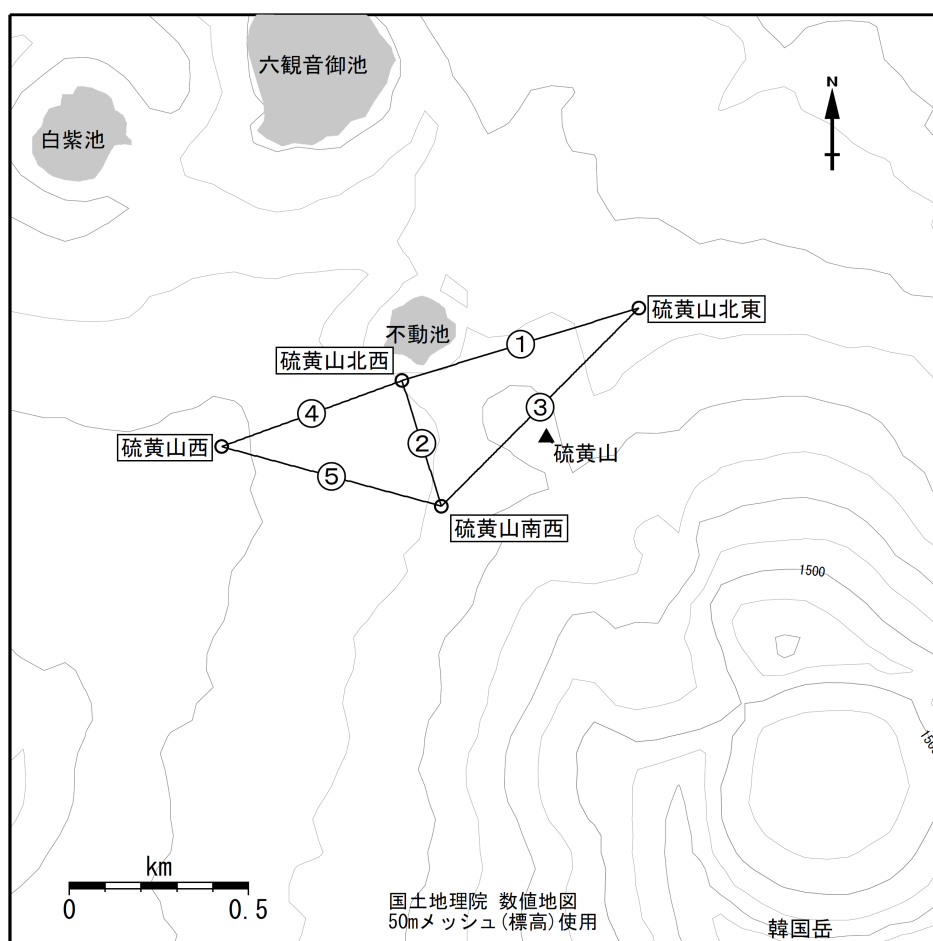


図9 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山周辺のGNSS観測点基線図

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。

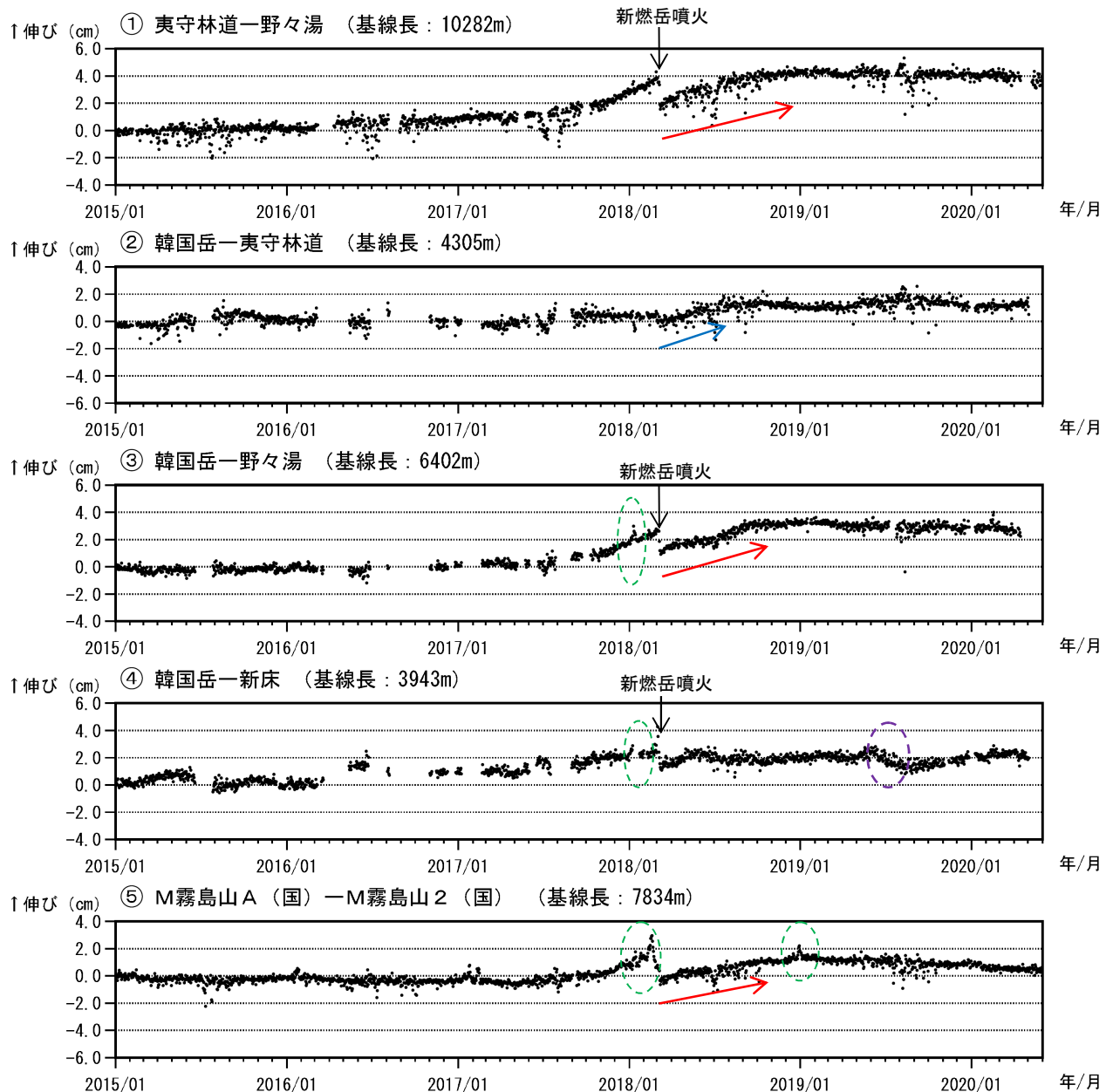


図 10-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） GNSS 連続観測による基線長変化
(2015 年 1 月～2019 年 5 月)

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（②）での硫黄山周辺の膨張を示すと考えられる基線の伸び（青矢印）は概ね停滞している。

これらの基線は図 11 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。

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。

基線の空白部分は欠測を示している。

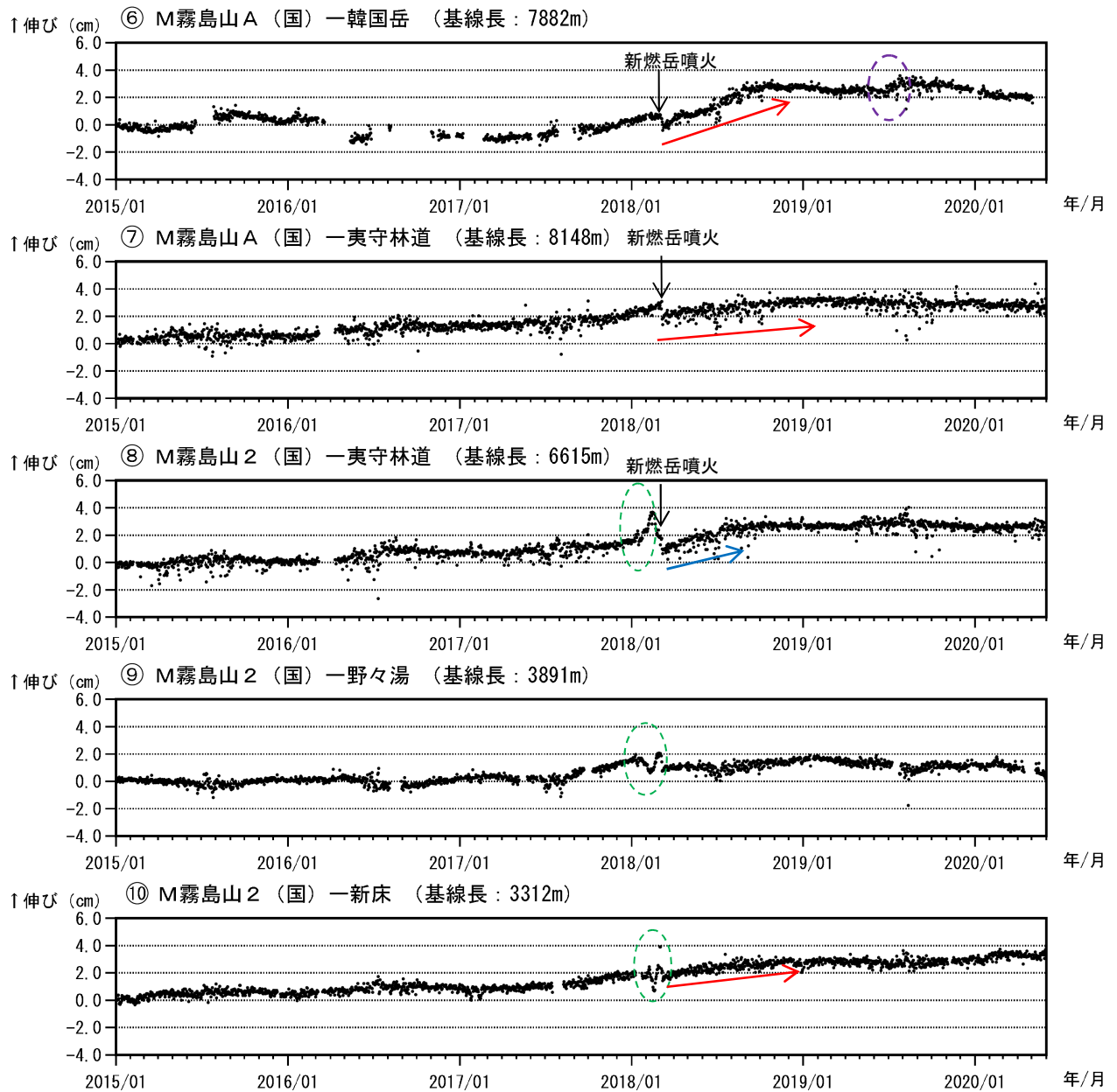


図 10-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） GNSS 連続観測による基線長変化
(2015 年 1 月～2020 年 5 月)

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（②）での硫黄山周辺の膨張を示すと考えられる基線の伸び（青矢印）は概ね停滞している。

これらの基線は図 11 の⑥～⑩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、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。

基線の空白部分は欠測を示している。

（国）：国土地理院

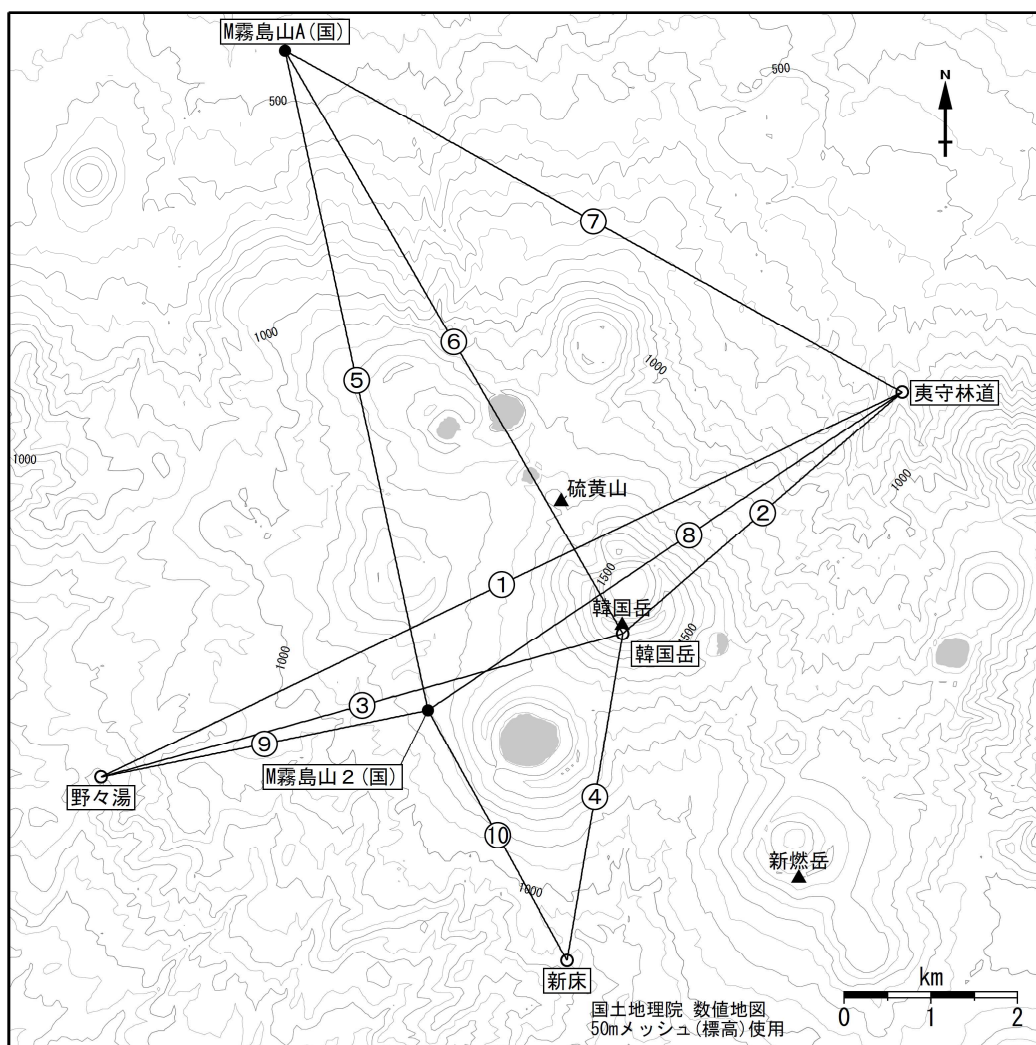


図 11 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） GNSS 観測点基線図

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（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。

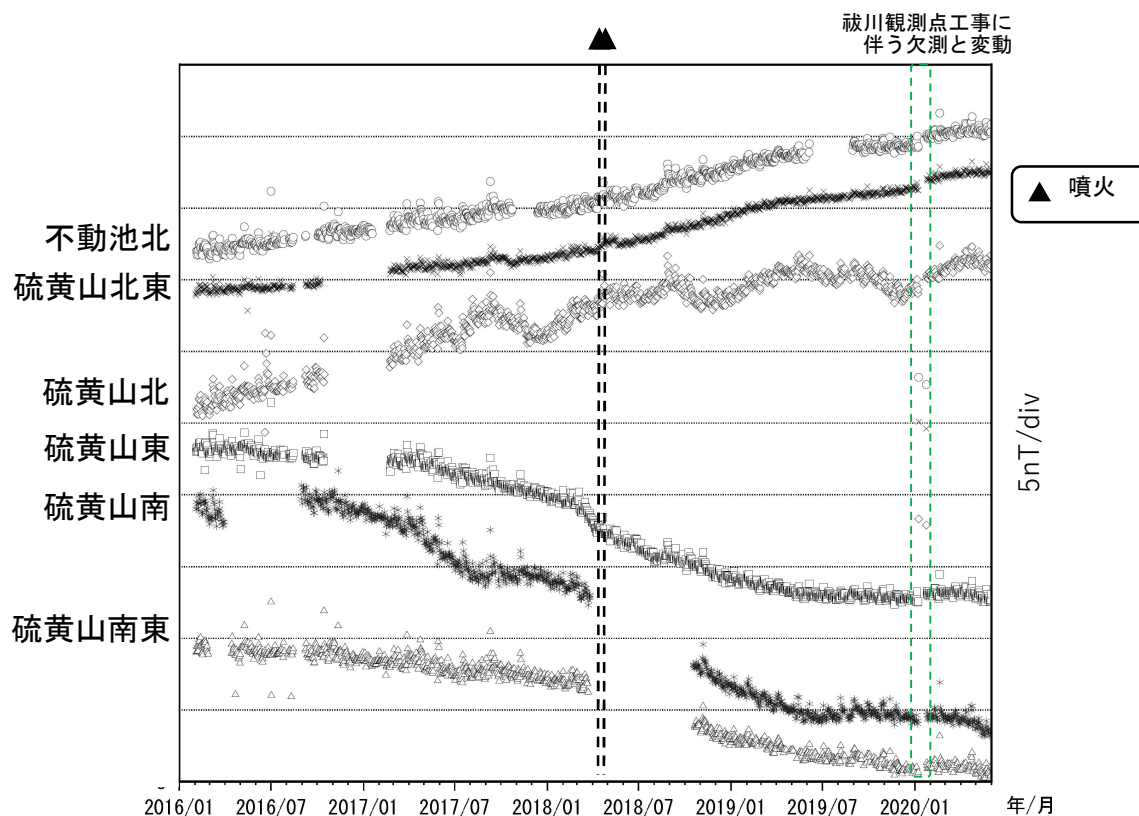


図 12-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 全磁力連続観測点で観測された全磁力変動（2016 年 2 月～2020 年 5 月）

- ・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。

○概況（2019 年 6 月～2020 年 5 月）

観測を開始した 2016 年 2 月以降、硫黄山山頂部の噴気帯北側の観測点では全磁力の増加が、南側の観測点では全磁力の減少が継続しており、硫黄山周辺の地下で熱消磁現象が現在も進行していると考えられるが、その変動の傾向は 2019 年 4 月頃から鈍化している。

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は、2019 年 11 月以降増減を繰り返している。

2020 年 2 月及び 3 月に、継続時間の短い火山性微動を観測した。

新燃岳の西側斜面の割れ目では、2020 年 2 月以降噴気を観測しており、割れ目付近では地熱域の拡大傾向が認められている。

火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、2020 年 4 月以降増加している。

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 月頃から停滞している。

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 2 km まで、火砕流が概ね 1 km まで達する可能性がある。そのため、新燃岳火口から概ね 2 km 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（2019 年 11 月～2020 年 5 月）

・ 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のわずかな広がりが見られる。

新湯温泉付近及び韓国岳から繰り返し実施した現地調査では、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確認しており、割れ目付近では地熱域が拡大しているのを観測した。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、溶岩の縁辺部及び火口西側斜面の割れ目の下方では従来と同様に地熱域を確認した。

海上自衛隊第 1 航空群の協力により 3 月 16 日に実施した上空からの観測では、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。また、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確認した。

・ 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 月以降時々増加し、2020 年 4 月 21、22 及び 23 日には日回数がそれぞれ 301、188 及び 105 回とさらに増加した。また、BL 型地震や BP 型地震も時々発生した。

地震回数は 2019 年 11 月 74 回、12 月 90 回、2020 年 1 月 88 回、2 月 305 回、3 月 884 回、4 月 979 回、5 月 239 回（25 日現在）と次第に増加している。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 1 km 付近に分布し、一部が新燃岳火口の南西側 1.5 km 付近の深さ 3 km 付近に分布した。

継続時間の短い火山性微動を 2 月 20 日に 1 回、3 月 2 日に 2 回観測した。火山性微動の観測は 2018 年 10 月 23 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、図 11）**

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 月頃から停滞している。

・ **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、28 日には 100 トンとやや減少した。なお、新燃岳山麓の現地調査で火山ガス（二酸化硫黄）が検出されたのは 2018 年 10 月 13 日（1 日あたり 50 トン）以来で、1 日あたりの放出量が 500 トン以上となったのは同年 4 月 11 日（1 日あたり 600 トン）以来である。



図 1 霧島山（新燃岳） 噴煙の状況（韓国岳監視カメラによる）

- ・ 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、2020 年 3 月以降、火口西側斜面の割れ目付近で地熱域のわずかな広がりが認められている。

霧島山

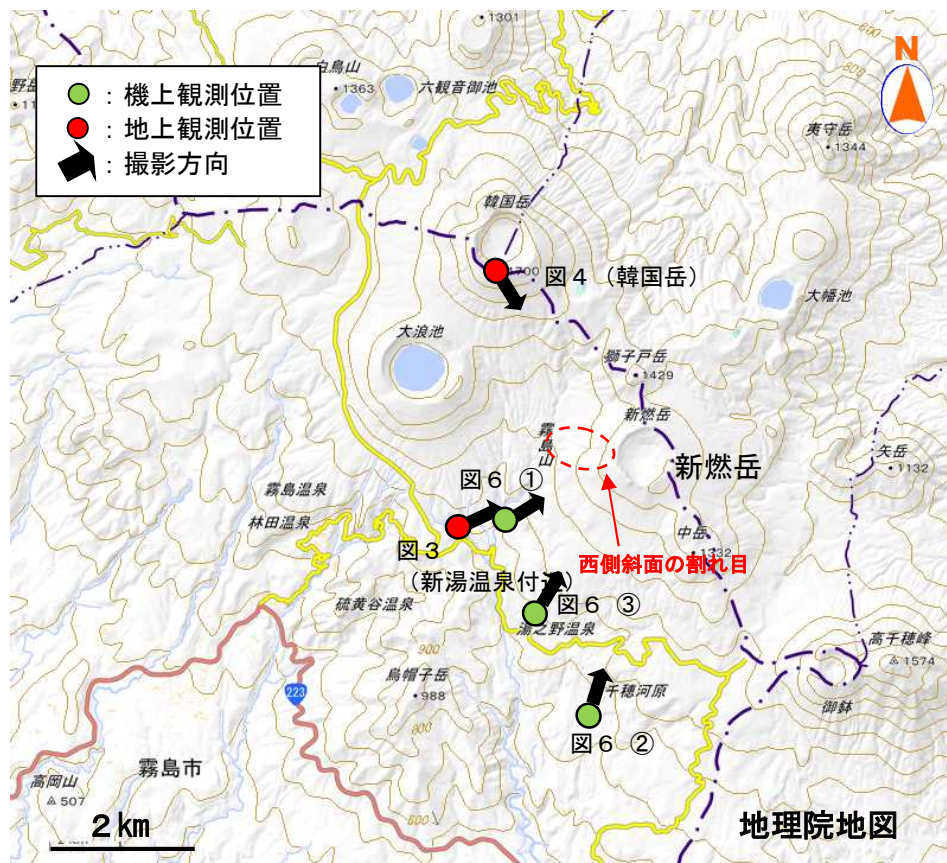


図 2 霧島山（新燃岳）観測位置及び撮影方向

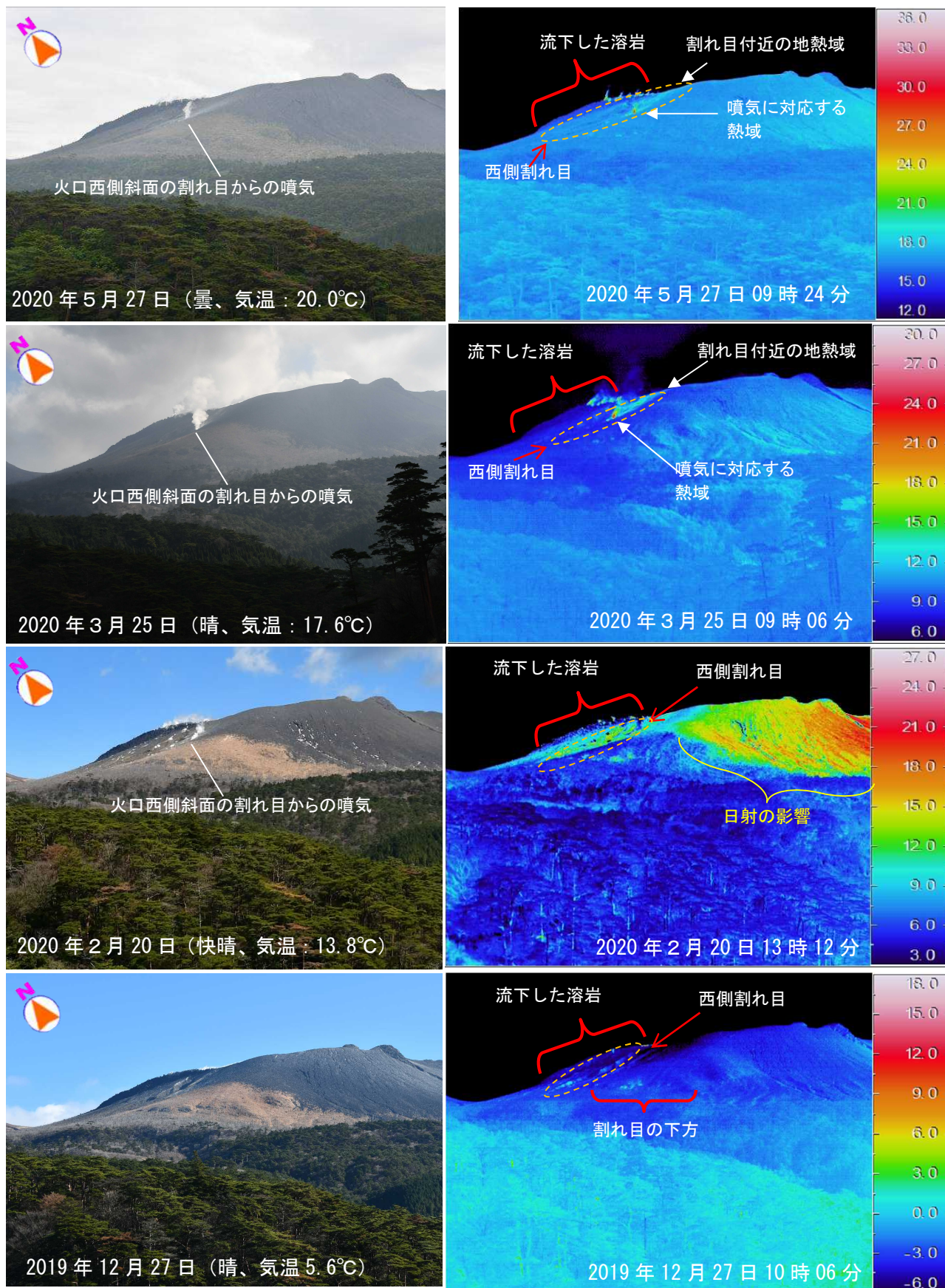


図3 霧島山（新燃岳） 新燃岳南西側の状況（新湯温泉付近から観測）

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確認しており、3月以降の調査で、割れ目付近で地熱域が拡大しているのを観測した。

火口内を覆う溶岩の縁辺部及び火口西側斜面の割れ目の下方では引き続き地熱域を確認した。また、溶岩の縁辺部では引き続き噴気を確認した。

※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。

霧島山

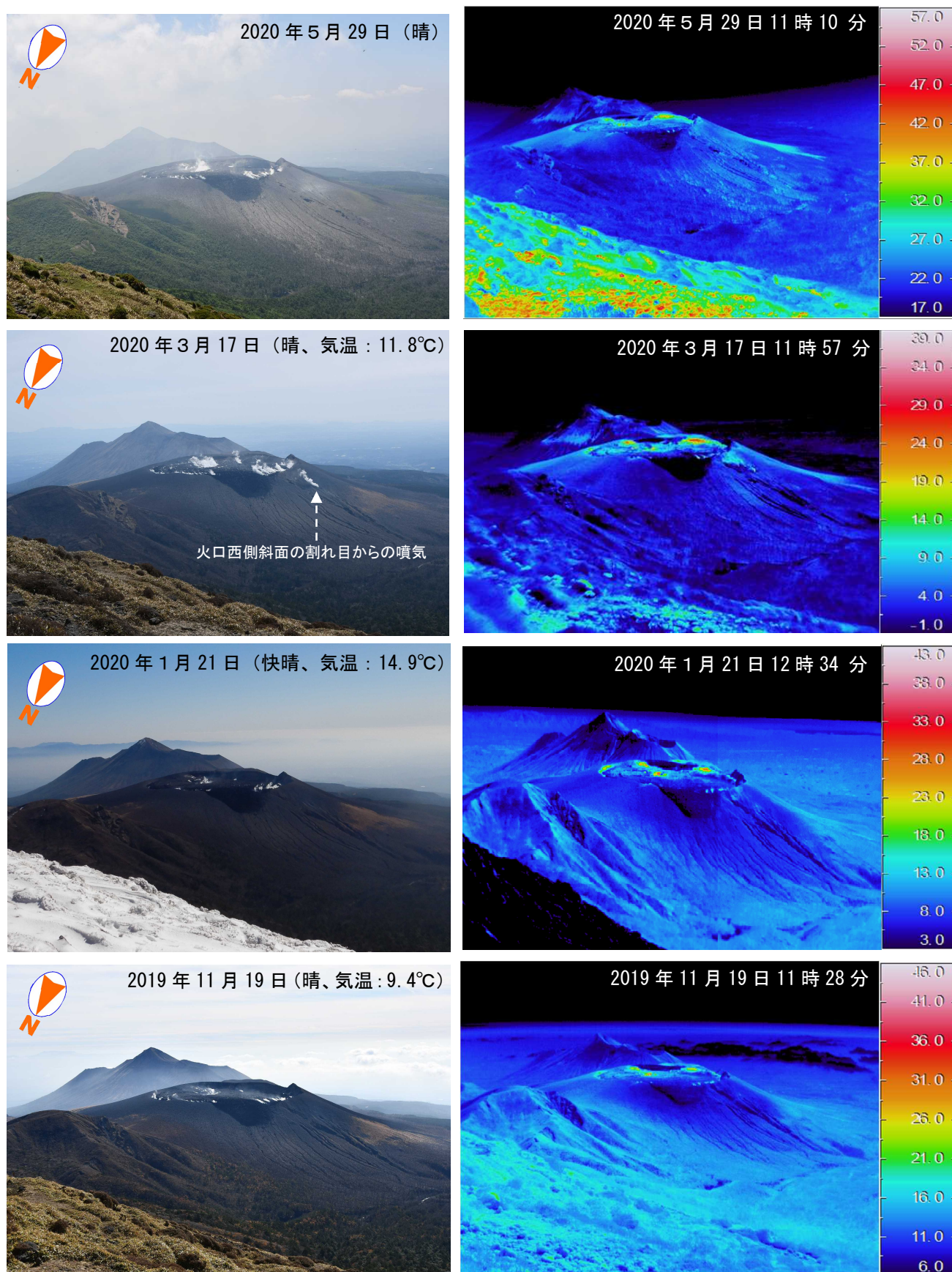


図 4-1 霧島山（新燃岳） 火口内及び西側斜面の状況（韓国岳から観測）

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。

霧島山

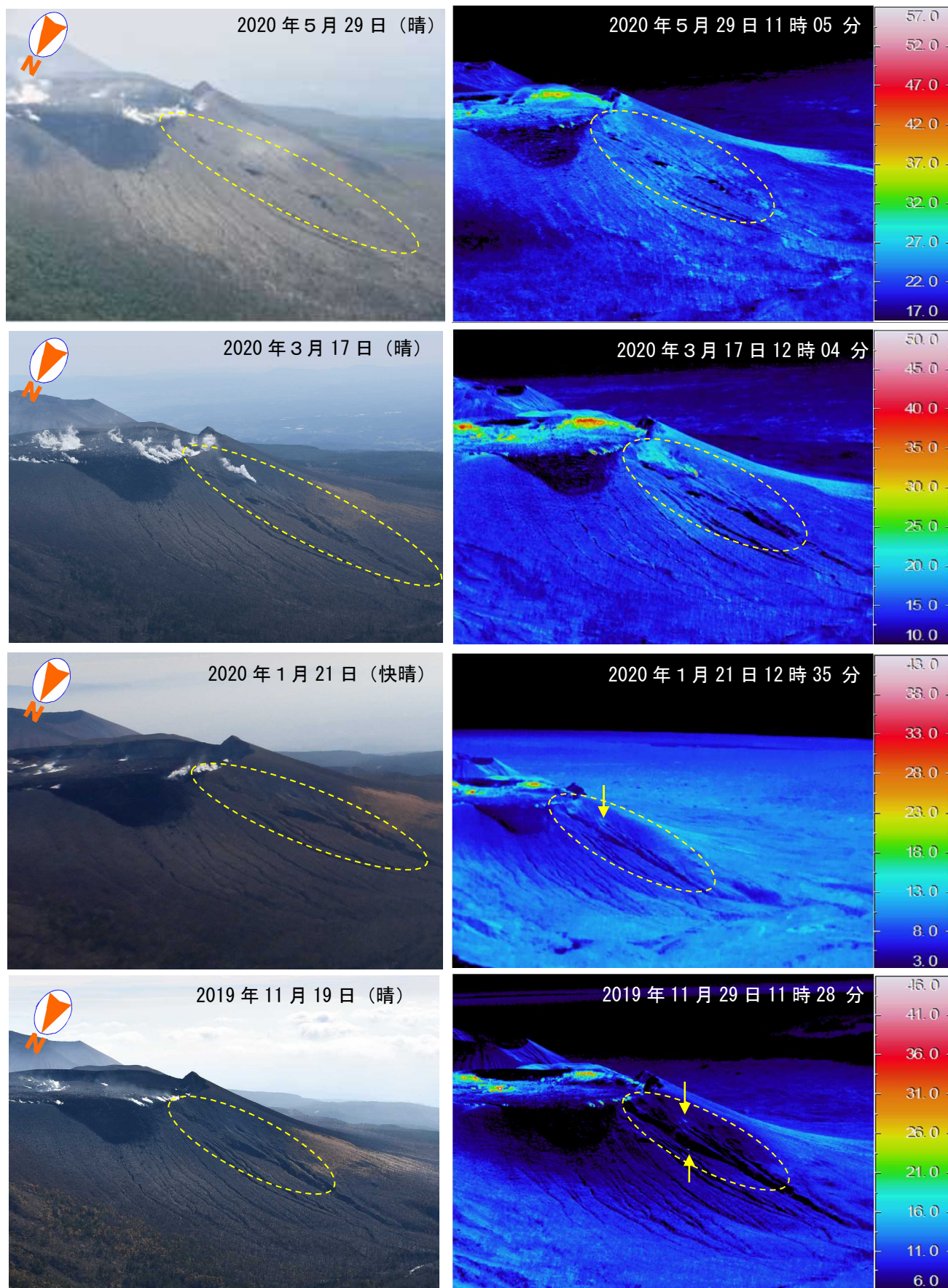


図 4-2 霧島山（新燃岳） 西側斜面の状況（韓国岳から観測）

火口西側斜面の割れ目付近（黄破線内）では、2020 年 1 月 21 日の観測まで弱い地熱域を確認していた（黄色矢印）。2020 年 5 月 29 日の観測では日射の影響を受けていたが、その影響を超えた地熱域の変化は認められなかった。

霧島山

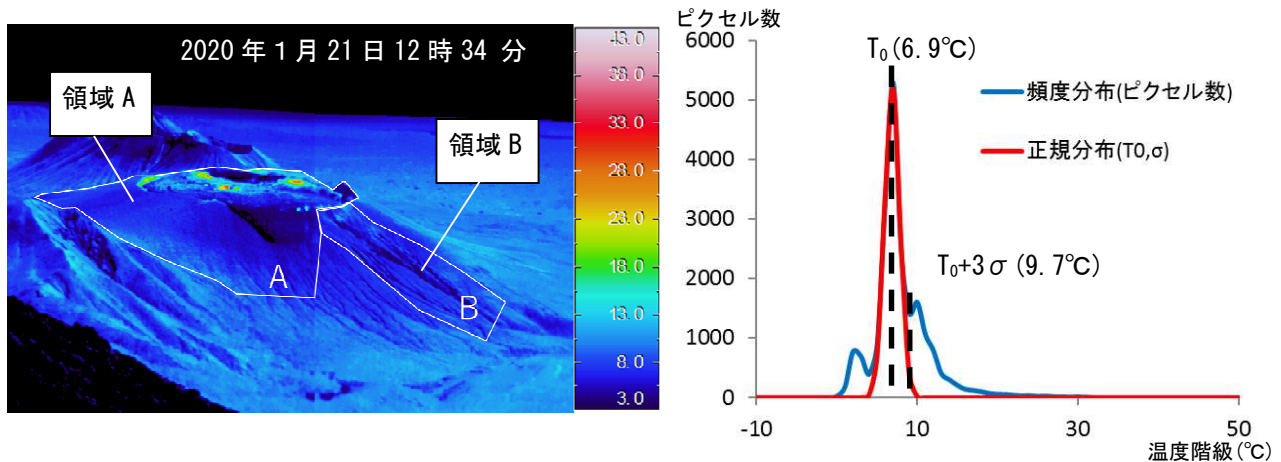


図 5-1 霧島山（新燃岳） 図 5-2 に示した新燃岳の放熱率算出の解析領域と温度分布の例（2020 年 1 月 21 日 12 時 34 分）

- ・ 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。

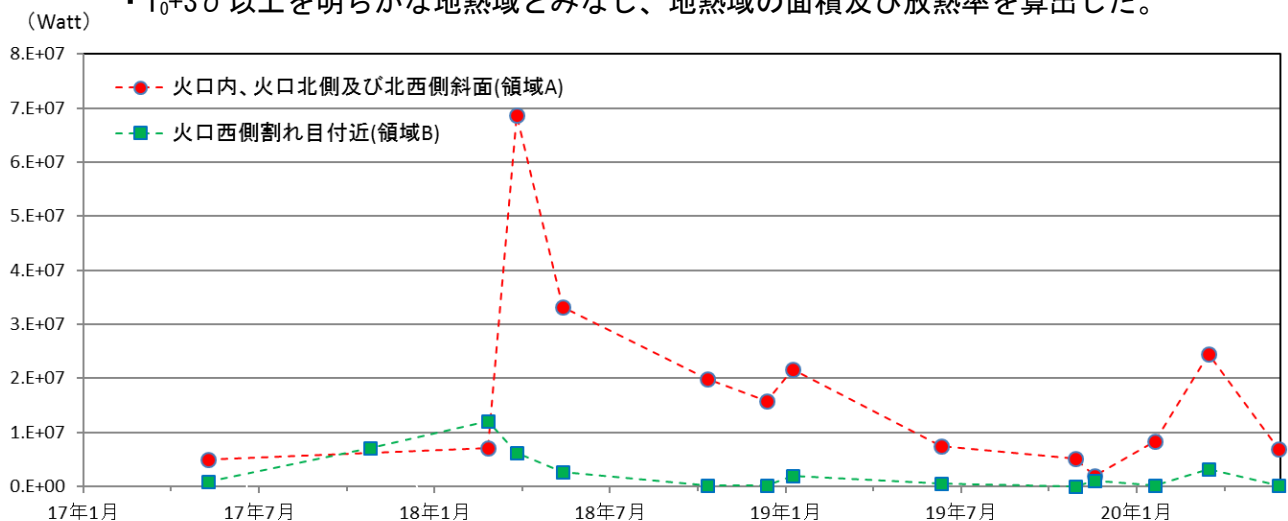


図 5-2 霧島山（新燃岳） 地表面温度分布より算出した新燃岳の放熱率の推移
(値を観測日ごとに平均) (2017 年 5 月 11 日～2020 年 5 月 29 日)

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。

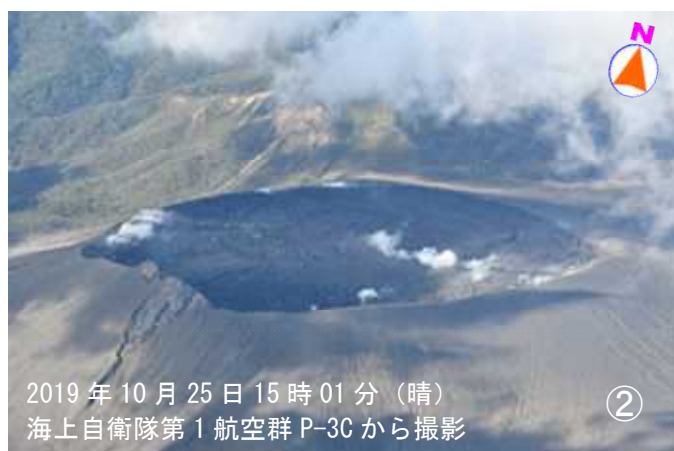


図 6 霧島山（新燃岳） 新燃岳火口周辺および西側斜面の状況

(①：2020 年 3 月 16 日、②：2019 年 10 月 25 日、③：2019 年 3 月 26 日)

- ・ 2020 年 3 月 16 日の観測では、西側斜面の割れ目において白色噴煙が火口上高さ 50m 程度上がっているのを確認した
- ・ 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た。

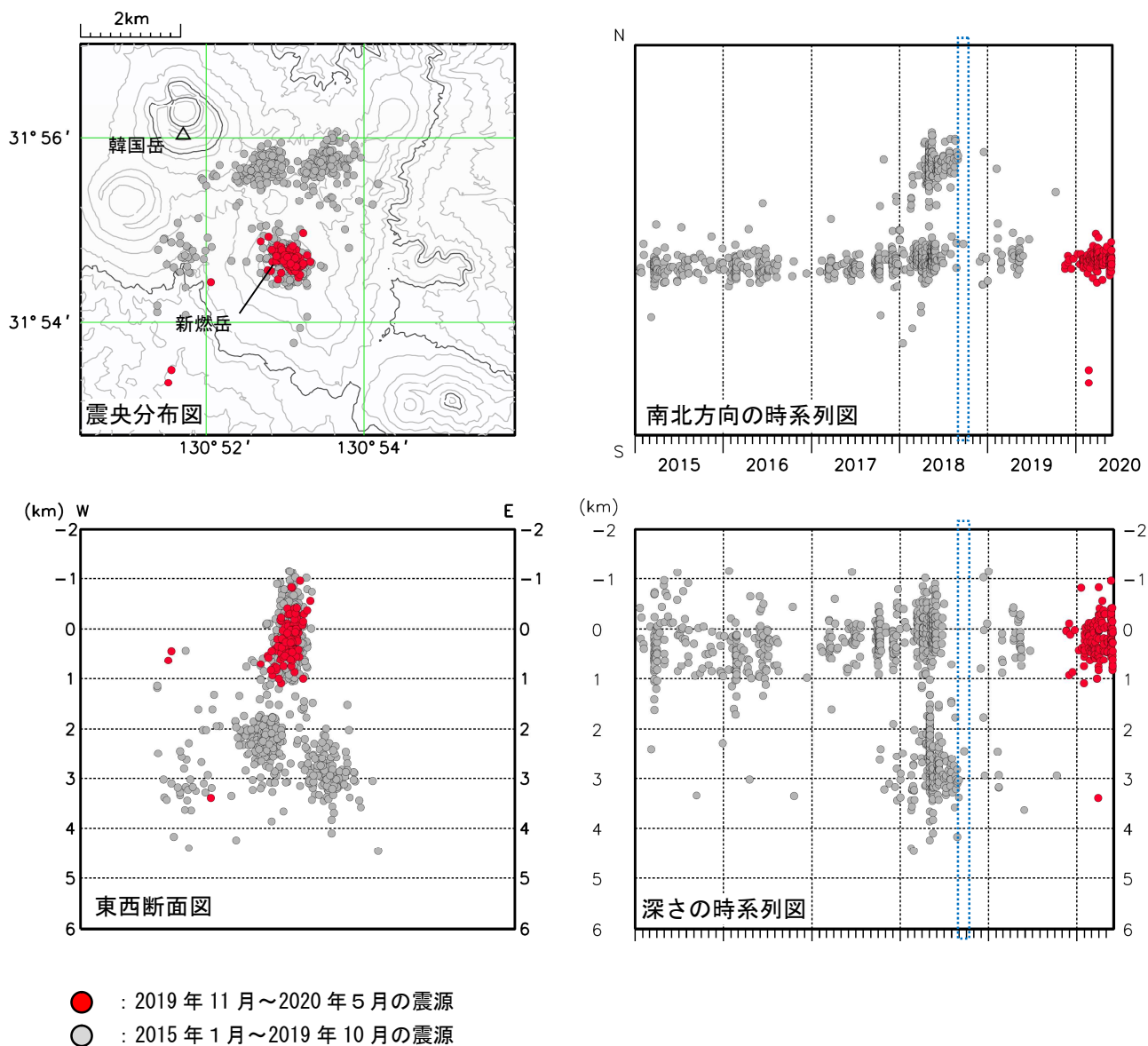


図 7 霧島山（新燃岳） 震源分布図（2015 年 1 月～2020 年 5 月）

<2019 年 11 月～2020 年 5 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、一部が新燃岳火口の南西側 1.5 km 付近の深さ 3 km 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。

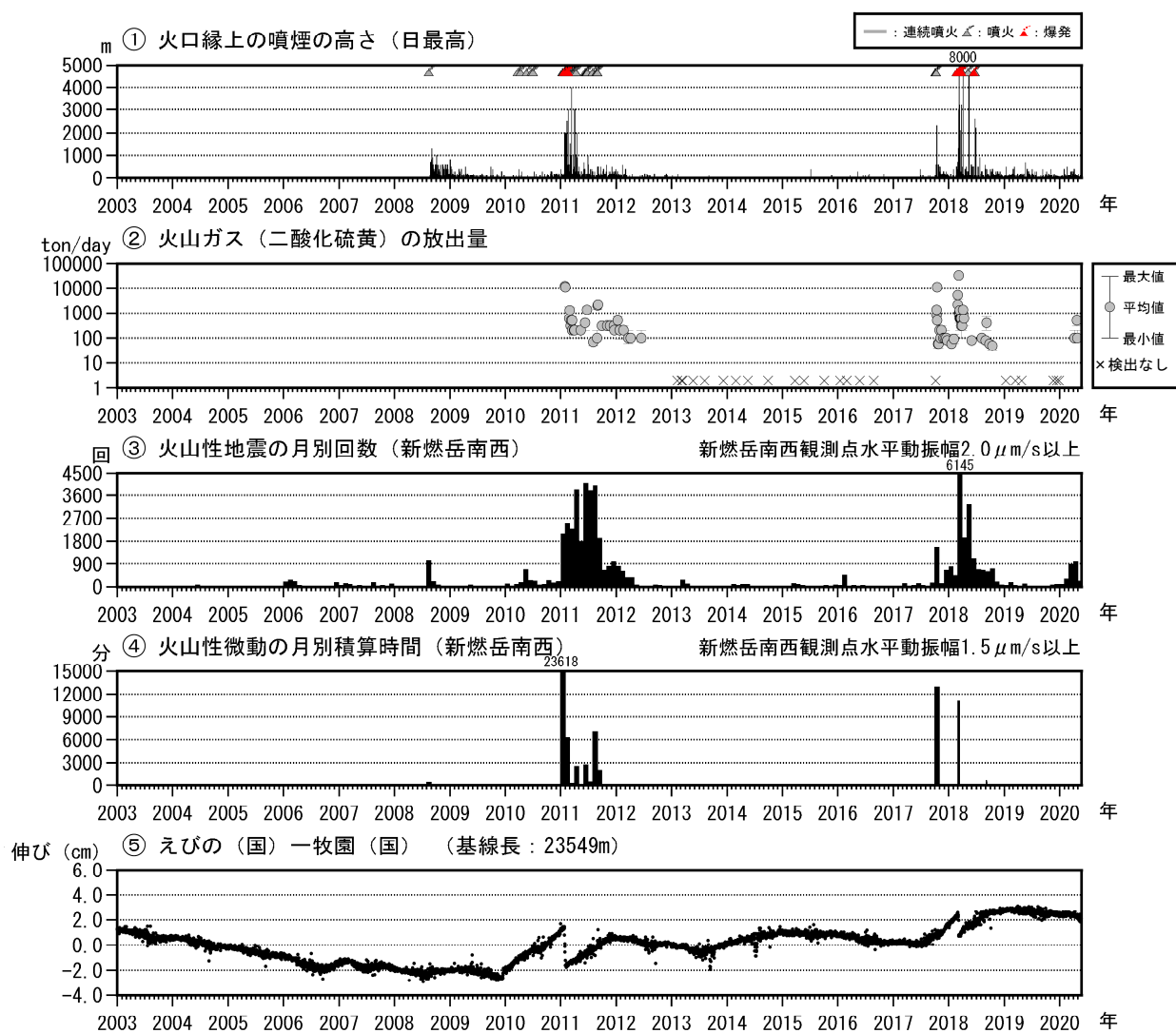


図 8-1 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2003 年 1 月～2020 年 5 月）

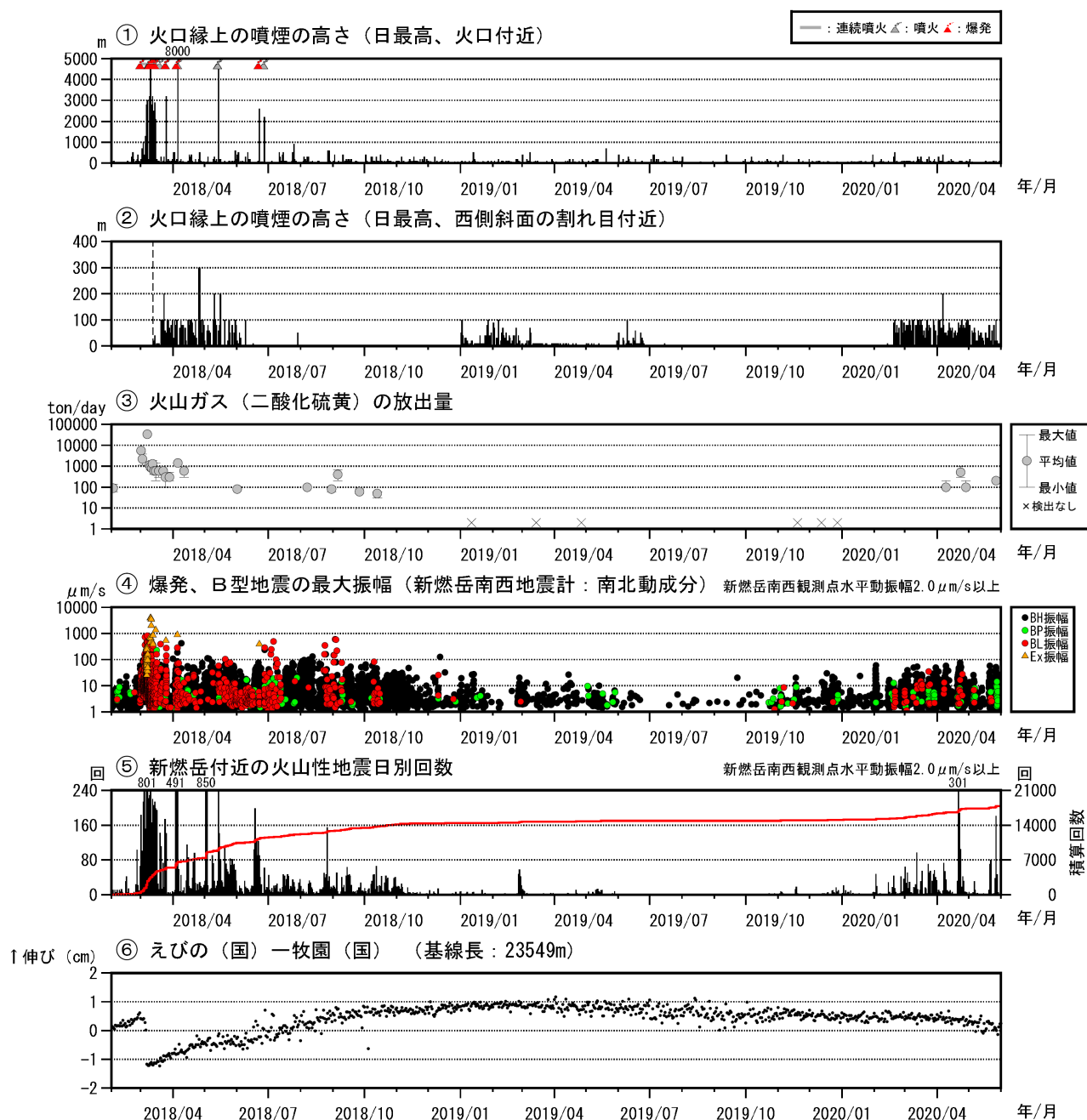


図 8-2 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2018 年 2 月～2019 年 5 月）

<2019年11月～2020年5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。
- ・ 火山性地震は、増減を繰り返して時々多い状態となった。また、BL型地震が時々観測された。
- ・ 継続時間の短い火山性微動が2020年2月に1回、3月に2回観測された。

⑤の赤線は、地震の回数の積算を示す。

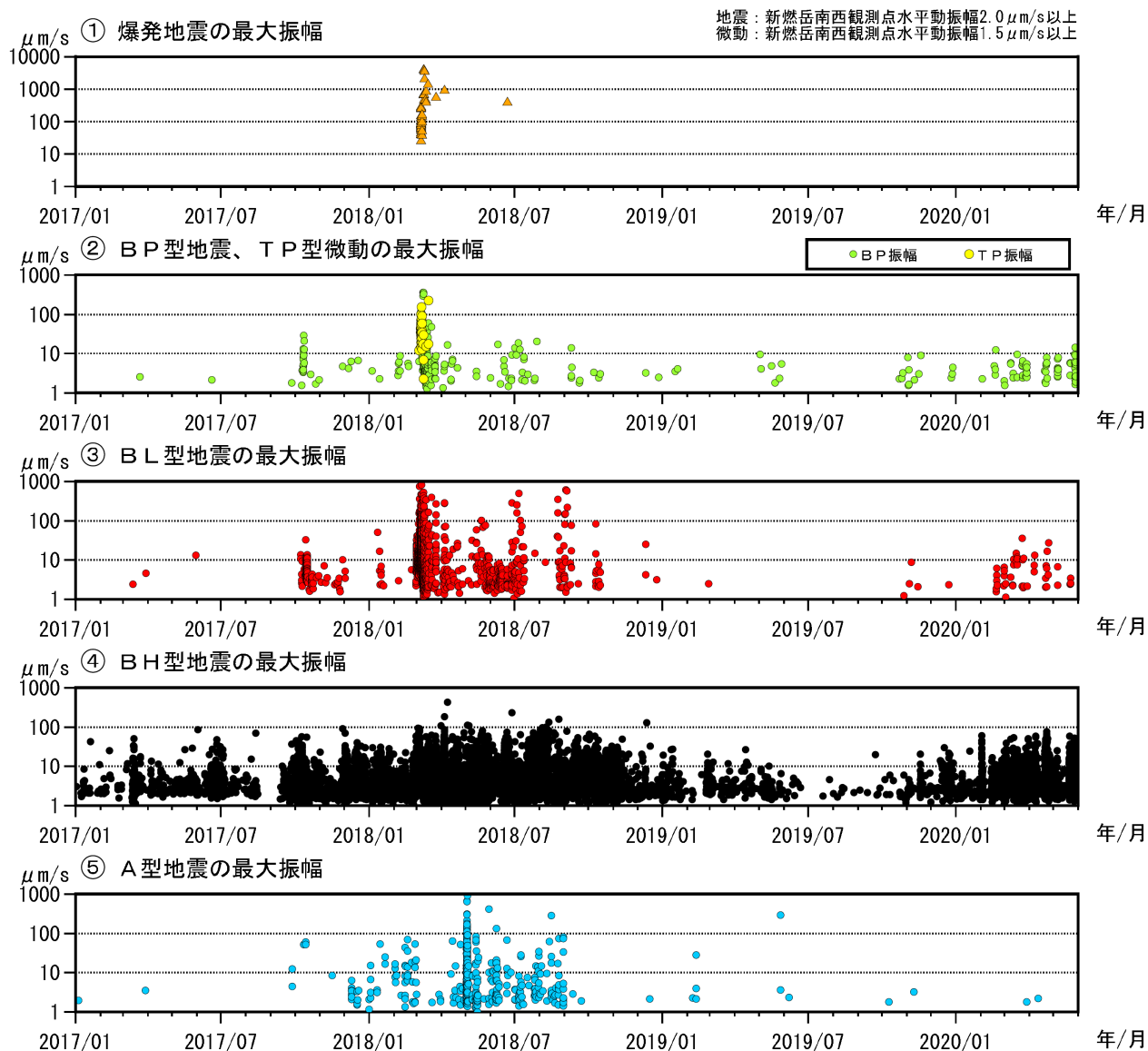


図 8-3 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2017 年 9 月～2020 年 5 月）

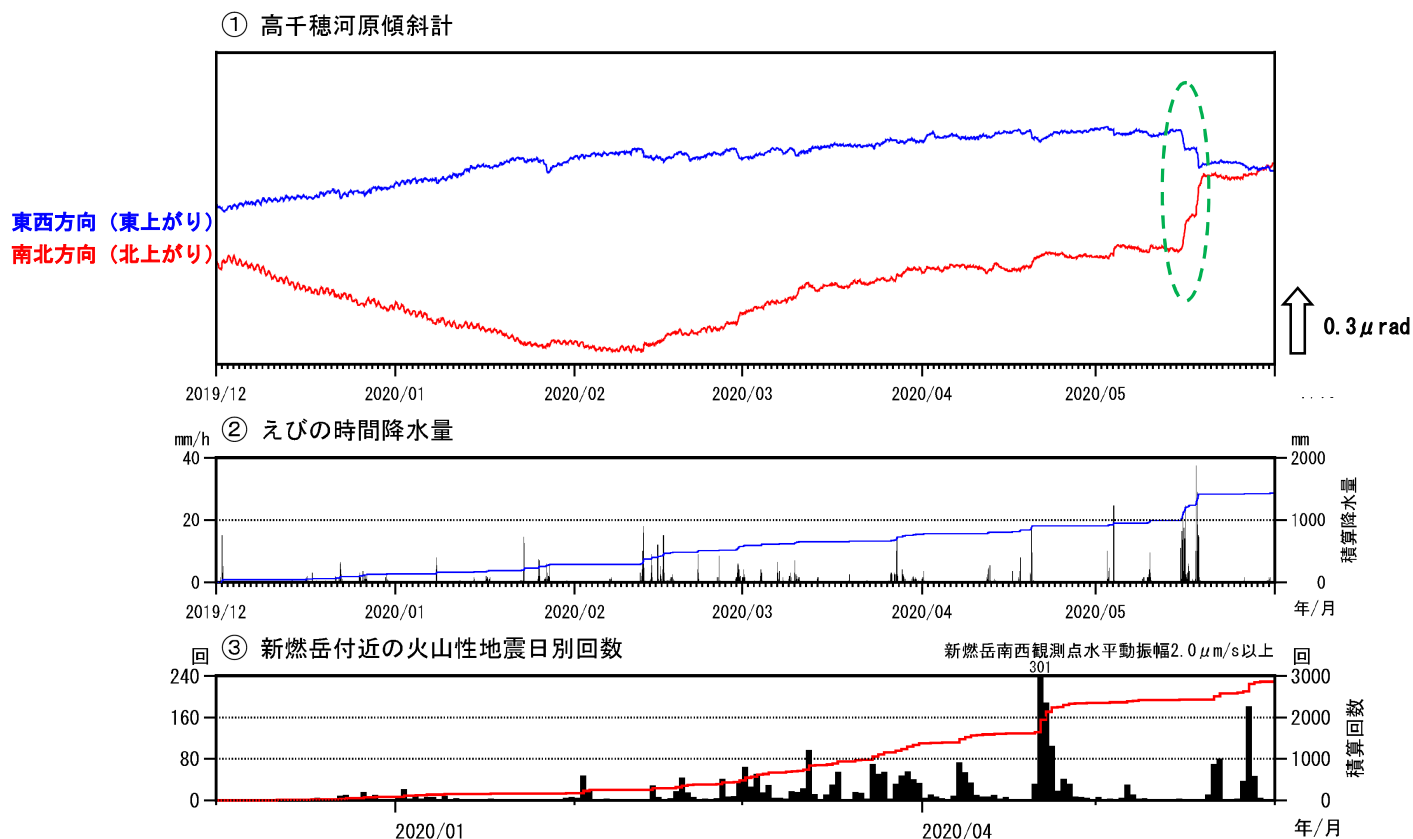


図 9 霧島山（新燃岳） 地殻変動の状況（2018 年 2 月～2019 年 5 月）

<2019年11月～2020年5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。

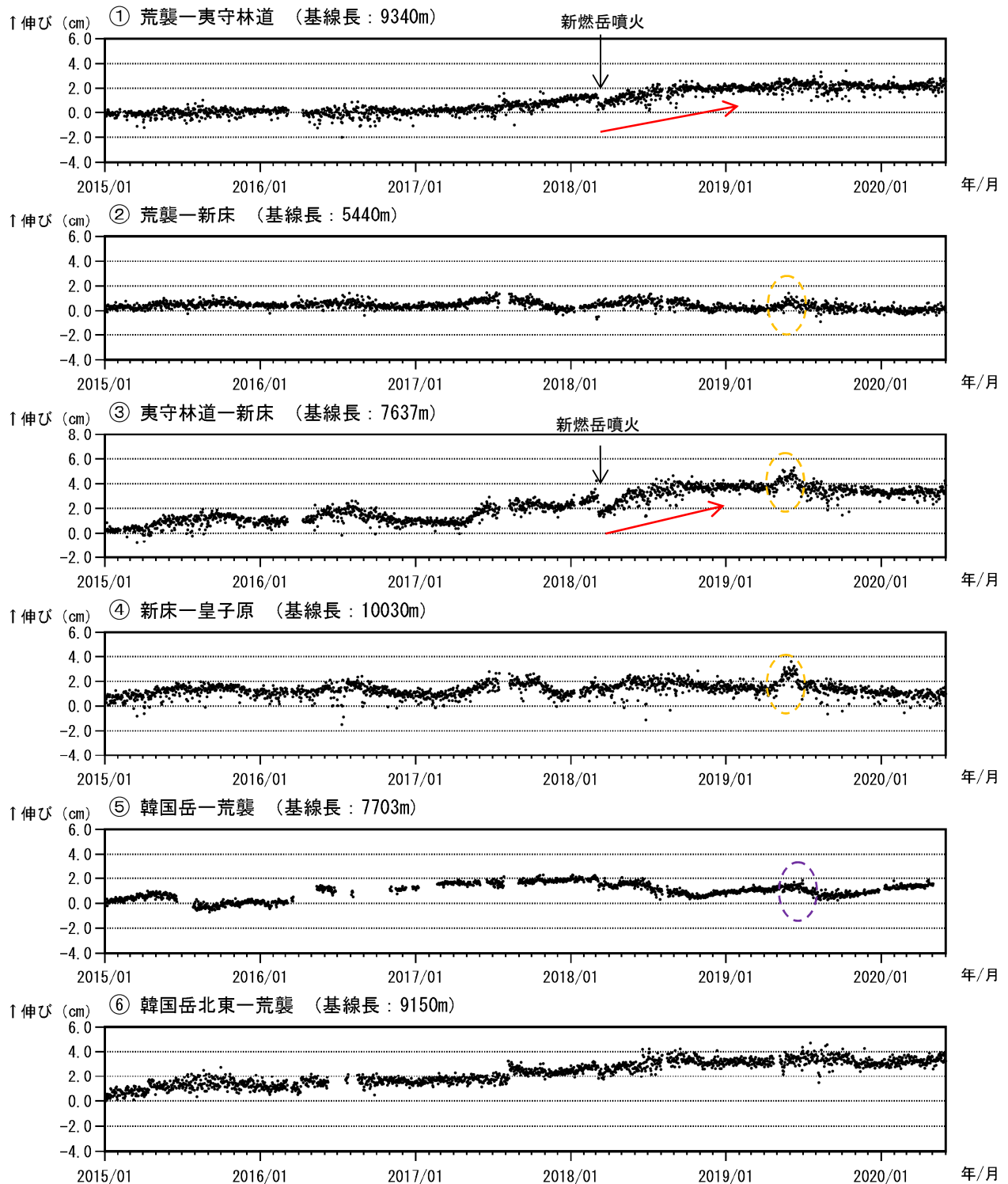


図 10-1 霧島山（新燃岳） GNSS 連続観測による基線長変化
(2015 年 1 月～2020 年 5 月)

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。

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。

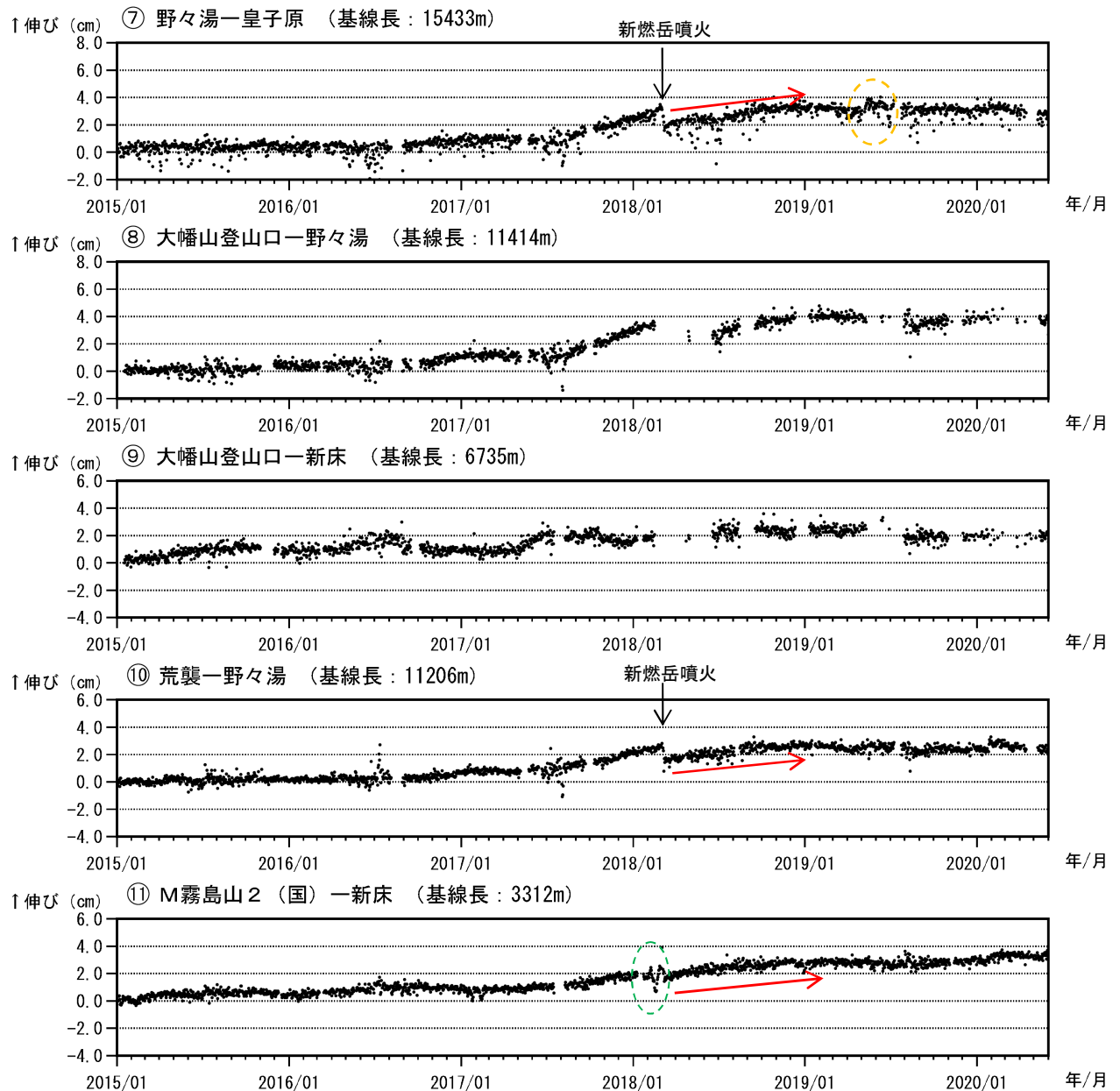


図 10-2 霧島山 (新燃岳) GNSS 連続観測による基線長変化

(2015 年 1 月～2020 年 5 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 月頃から停滞している。

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。

基線の空白部分は欠測を示している。

(国): 国土地理院

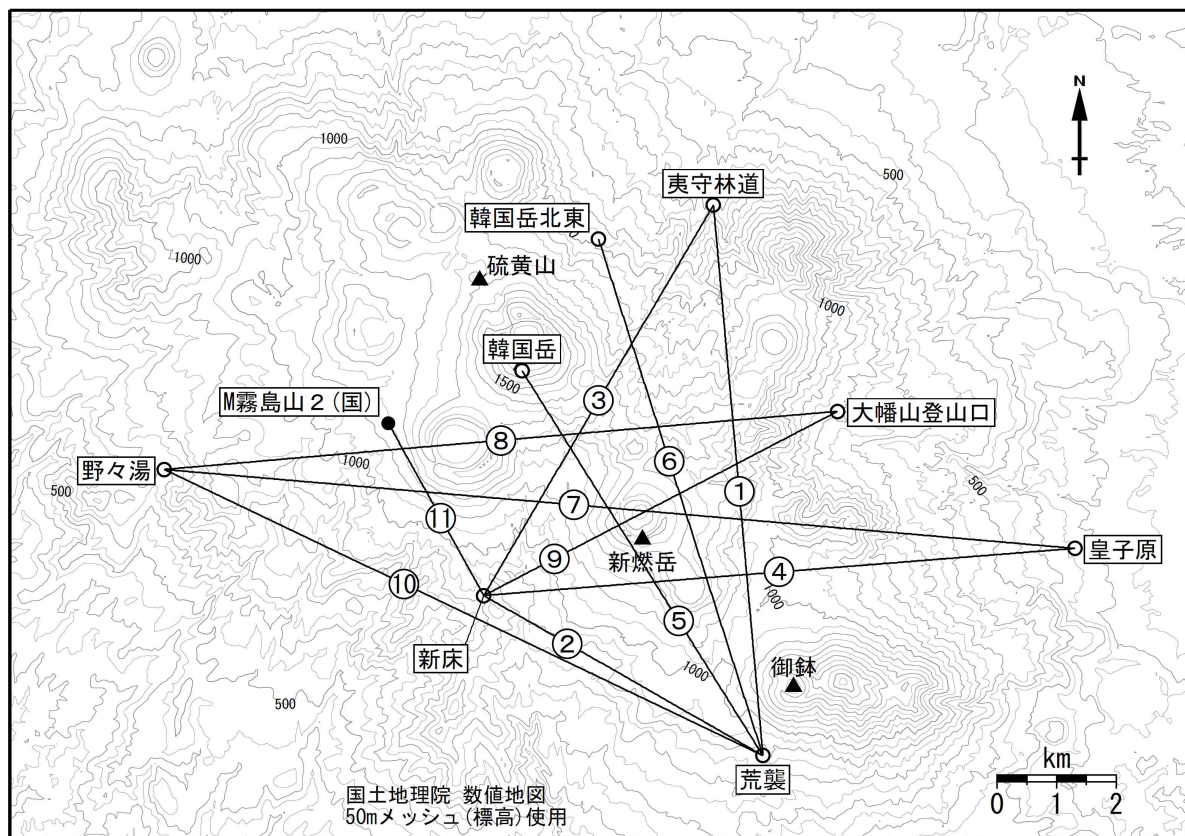


図 11 霧島山（新燃岳） GNSS 観測点基線図

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。

表 1 霧島山（新燃岳） 2008 年 8 月以降の噴火活動に前駆する各観測種目の観測状況の比較

| 項目 | | 2008年8月 水蒸気噴火 | 2010年3月～7月 水蒸気噴火 (1) | 2011年1月～9月 マグマ噴火 | 2013年12月～2014年12月 広域GNSSの基線で伸びが認められた 期間 | 2017年10月 水蒸気噴火※ | 2018年3月～6月 マグマ噴火 | 2019年11月～2020年5月 今期間 |
|----------|---|--|---|--|---|---|--|-------------------------|
| 噴火概要 | | 8/22に小規模噴火発生。西側斜面に割れ目形成。噴石が火口縁から300m付近まで飛散。噴出物量約20万トン。 | 3/30、4/17、5/27、6/27、28、7/5、10に小規模な噴火発生。7/10にごく小規模な火砕サーージが約300m流下。5/27噴火の噴出物量は数百トン。 | 1/19に小規模噴火。1/26に準ブリニース噴火に移行。1/27頃から火口内に溶岩が噴出し、2月上旬まで成長。9月上旬まで噴火を繰り返す。テフラ体積は約1000万m ³ 。溶岩体積は約1000万m ³ 。 | 噴火の発生なし | 10/11に火口内東側から小規模な噴火。噴火は10/17まで断続的に発生。噴煙は最高で2300m。噴出物量は26-45万トン。 | 3/1に噴火発生。3/6に爆発的噴火。火口内に溶岩噴出。最後の噴火は6/27。テフラ体積は約70万トン、溶岩の体積は約1500万m ³ 。 | 2020年5月31日現在、噴火なし。 |
| 噴火前の活動状況 | 表面現象 (噴煙、地熱域) | × | △ | △ | △ | ○ | △ | ○ |
| | 火山ガス (二酸化硫黄) | × | × | × | × | △ | △ | ○ |
| | 火山性地震 (高周波) | ○ | ○ | ○ | △ | ○ | ○ | ○ |
| | 火山性地震 (低周波, BP) | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 火山性微動 | ○ | × | ○ | × | ○ | ○ | ○ |
| | 地殻変動 (傾斜計) | △ | △ | ○ | × | ○ | × | × |
| | 地殻変動 (GNSS) 霧島山の深い場所の マグマの蓄積を示す 基線の伸び | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ |
| 備考 | | ※前回の噴火は1991-1992年（水蒸気噴火） | (1) 5/27噴火の火山灰にはごくわずかな本質物質と思われる発泡ガラスあり。 (2) 火口湖の色が2019年4月下旬以降、緑から茶色に変色、7月には元に戻る。 | ※近傍のGNSS観測点は2011年噴火以降欠測 ※火口湖は2011年噴火時に火口内が溶岩で満たされたため消失 | | ※火山灰には新たに供給されたマグマ由来の粒子を含む。 | | |

○：明らかに認められる前駆的变化 △：わずかに認められる前駆的变化 ×：有意な前駆的变化は認められず

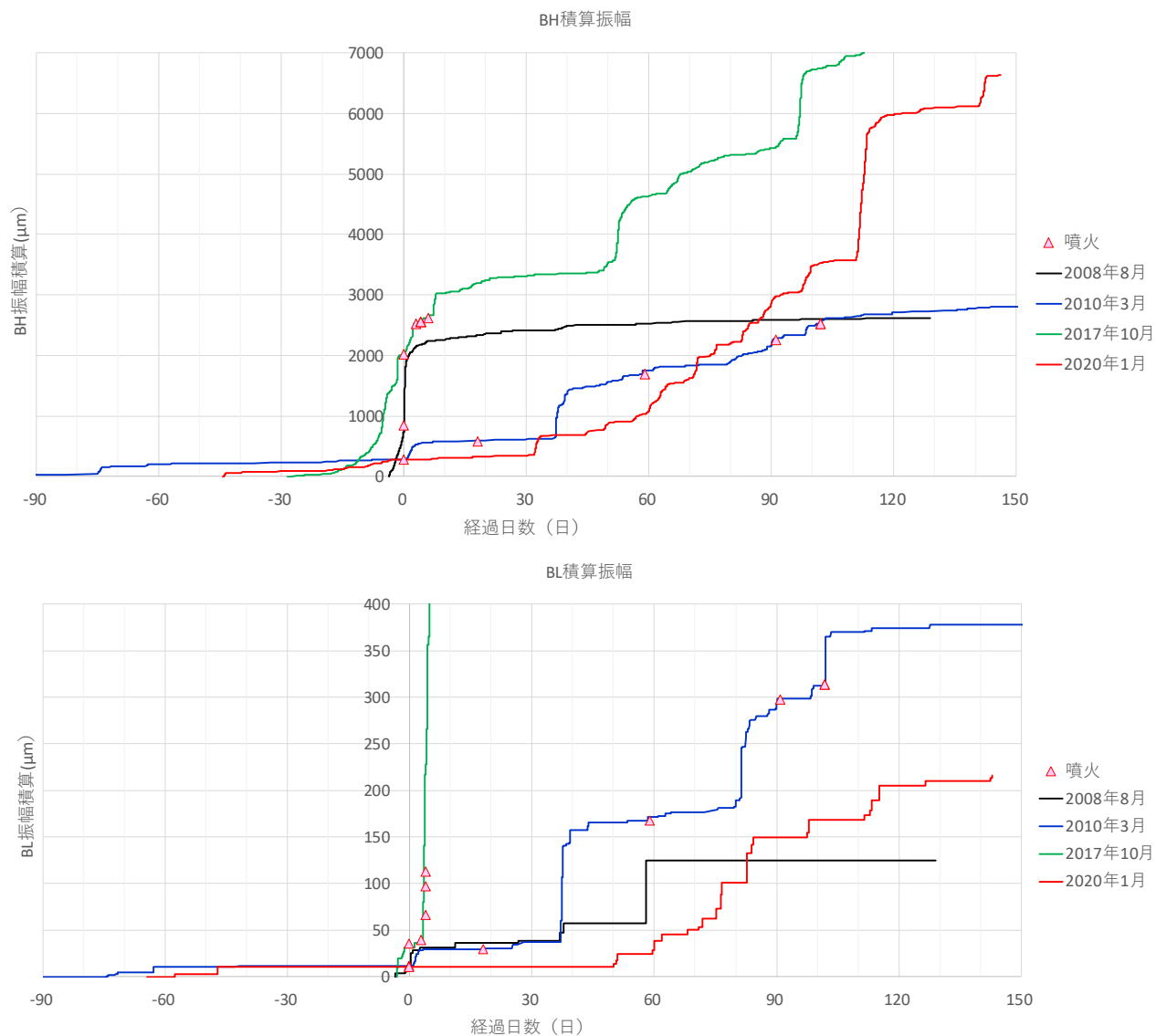
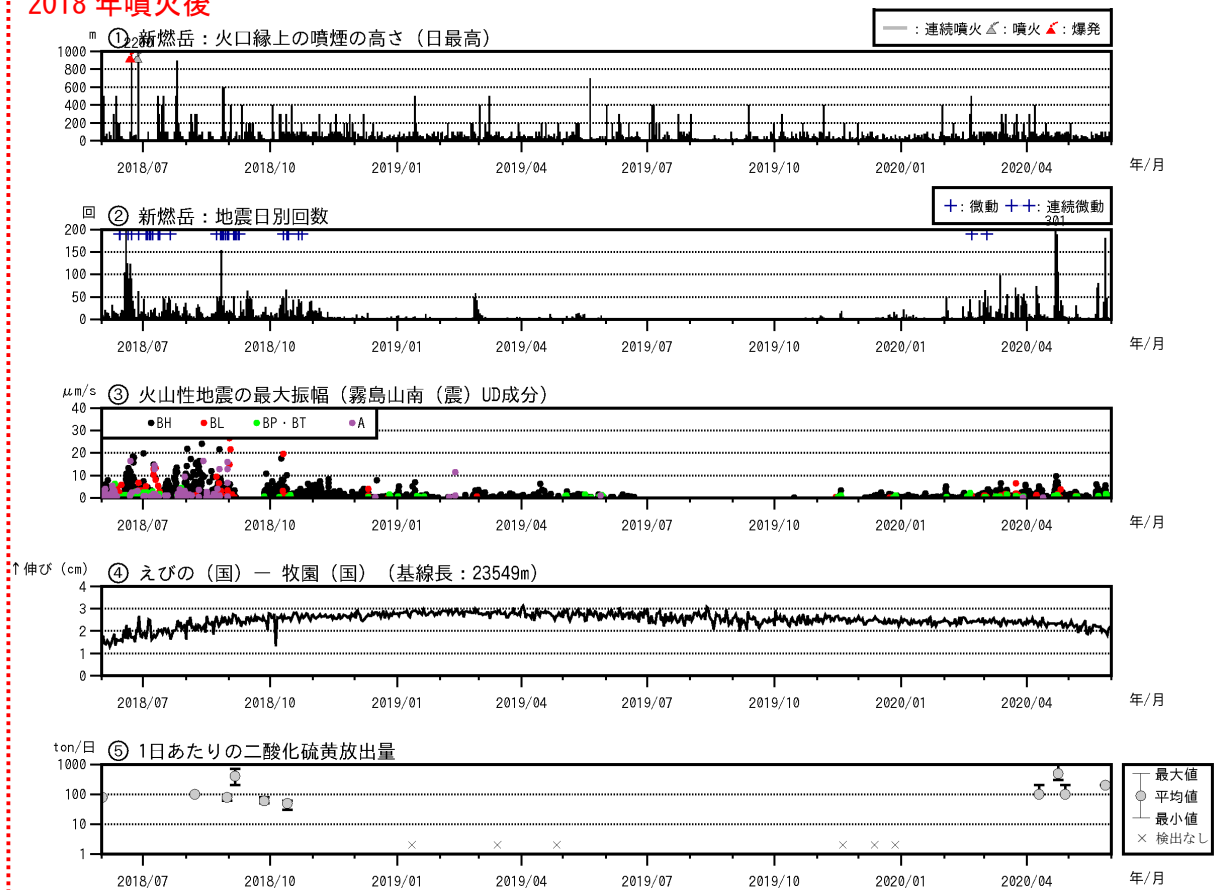


図 12 霧島山（新燃岳） 2008 年以降の噴火前後における地震活動の比較

2008 年 8 月 22 日、2010 年 3 月 30 日及び 2017 年 10 月 11 日（噴火発生日）と、2020 年 1 月 1 日をそれぞれ基準日としたときの、BH 型地震（上段）及び BL 型地震（下段）の振幅積算（新燃岳南西観測点 UD 成分）を示す。

※2020 年 1 月以降、火山性地震の増加が顕著にみられているため（噴火警戒レベル 2 を継続）、2020 年 1 月 1 日を基準日とした

2018 年噴火後



2011 年噴火後

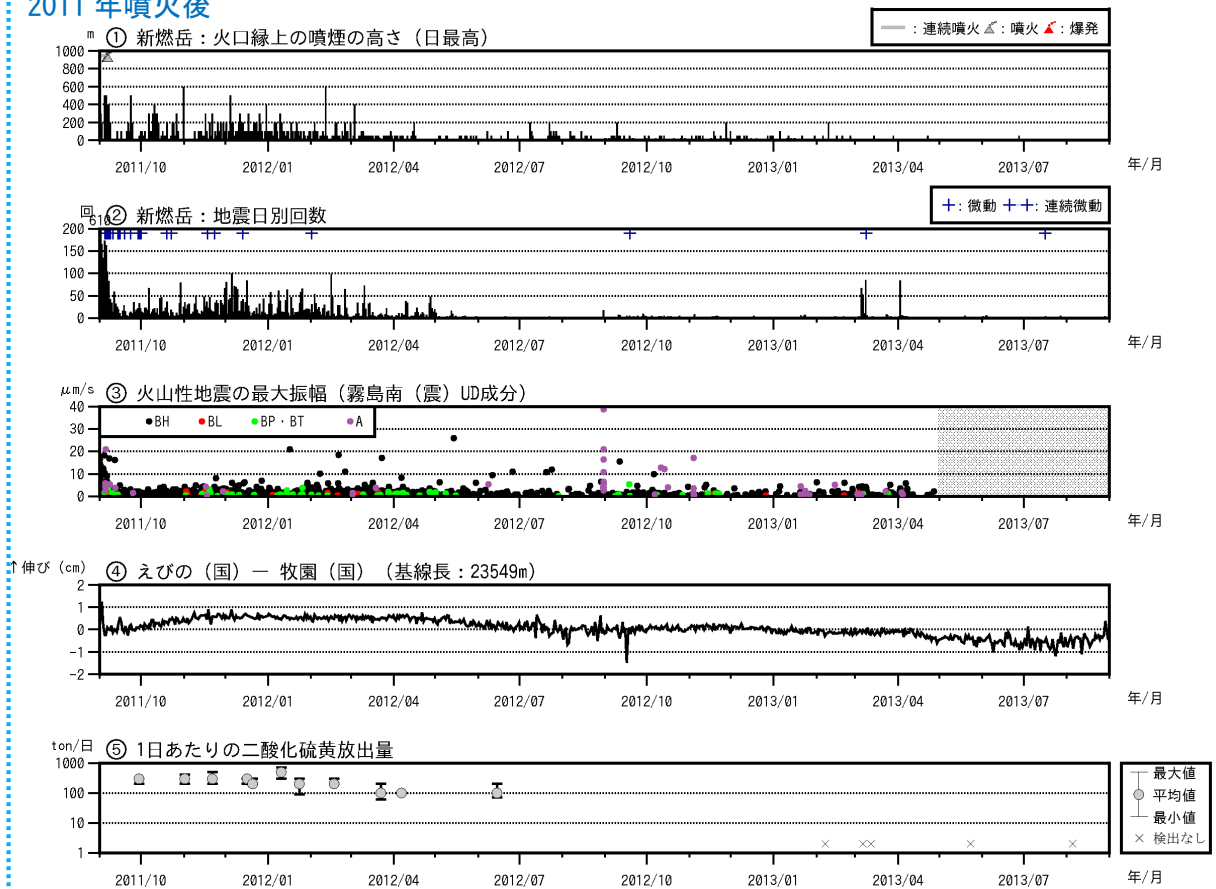


図 13 霧島山（新燃岳） 2011 年噴火後と 2018 年噴火後の火山活動との比較

※2011 年噴火後の③の網掛け部分は欠測

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（2019 年 11 月～2020 月 5 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。

3 月 6 日に実施した現地調査の結果、御鉢火口の火口壁南側の 2 か所で高さ 1 m 程度の噴気を確認した。また、赤外熱映像装置による観測では、これまでと同様に火口底と火口壁南側で地熱域を観測した。これらの状況に特段の変化は認められなかった。

3 月 16 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。震源は、御鉢火口の深さ 1 km 付近に求まった。

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（4 月 6 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。

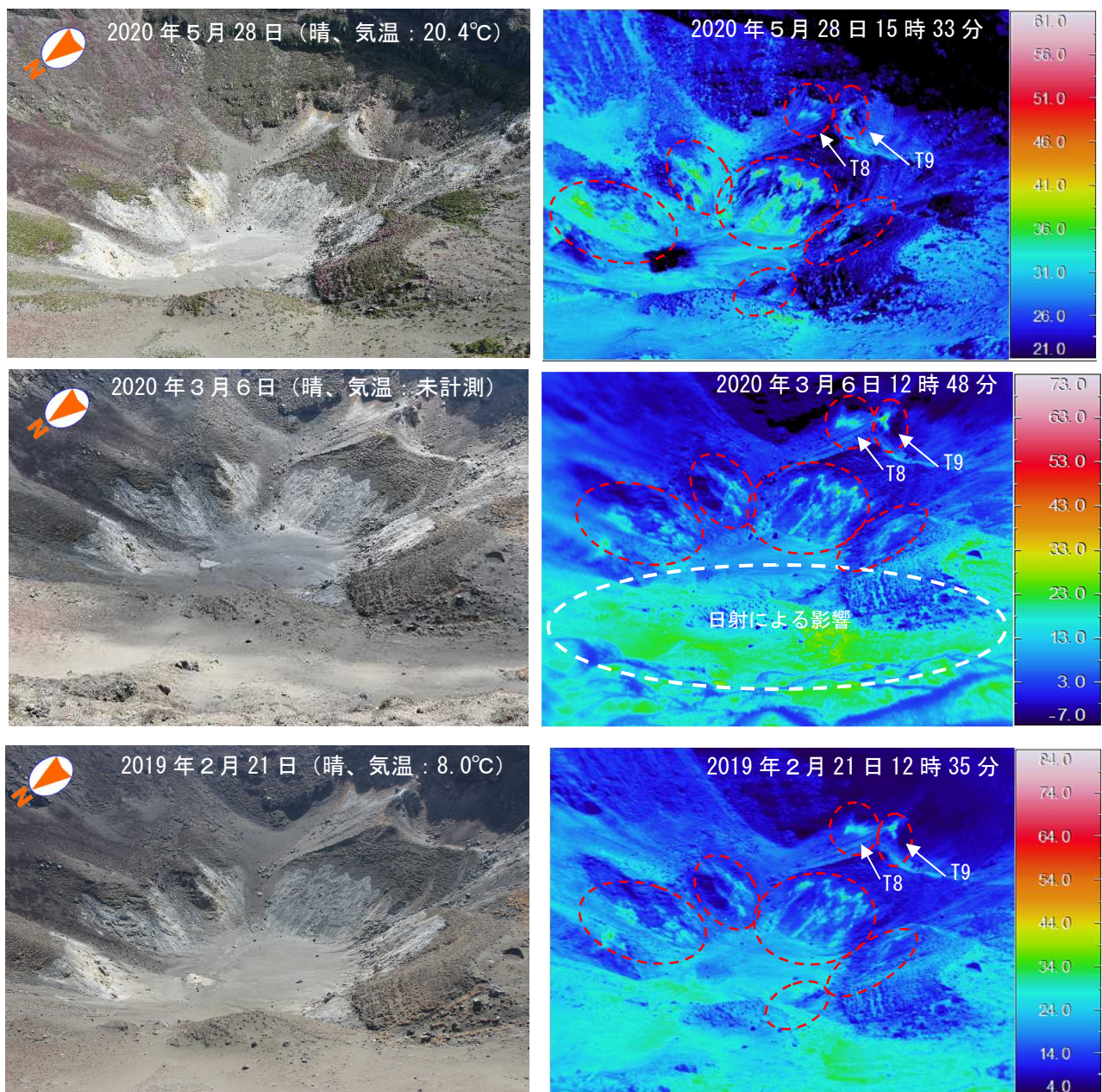


図2-1 霧島山（御鉢） 御鉢の火口内及び火口周辺の状況

火口底付近及び火口壁南側（T8、T9）で、これまでと同様に地熱域（赤破線）が認められた。また、火口内で弱い噴気が認められた。

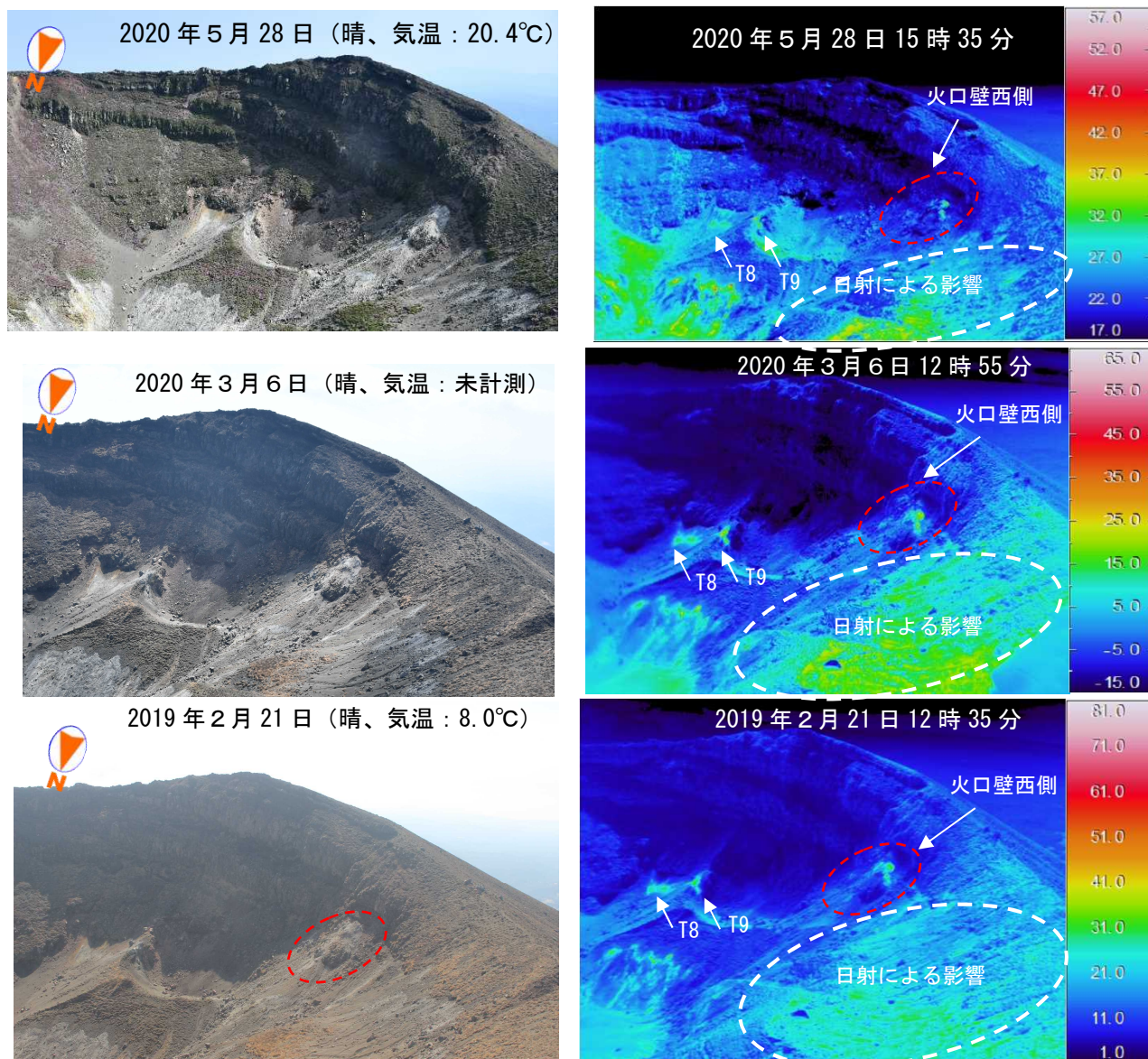


図 2-2 霧島山 (御鉢) 火口周辺の状況 (火口縁北西側から観測)
火口壁西側で、これまでと同様に地熱域 (赤破線) が認められた。



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3月16日、②：2019年10月25日、③：2019年3月26日)

3月16日の観測では、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。

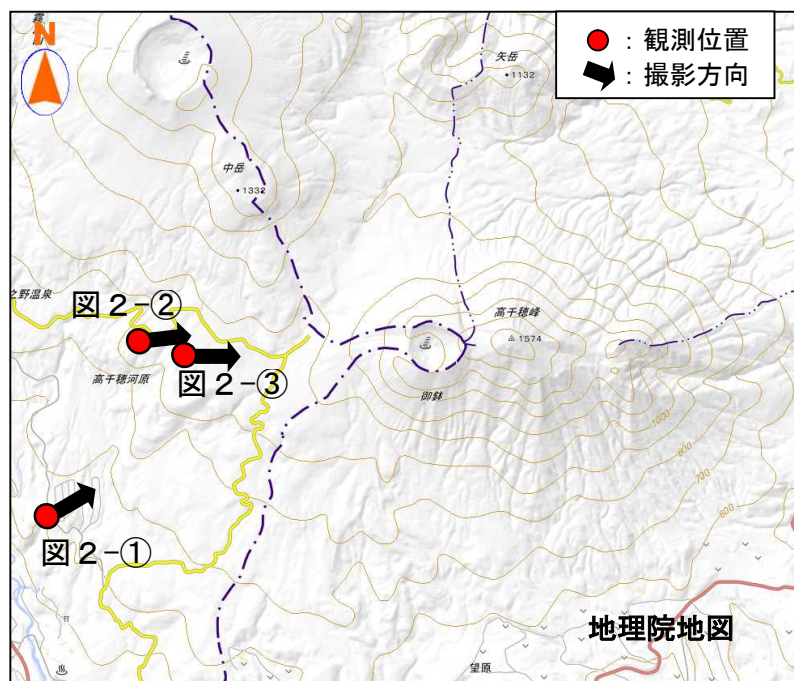


図 5 霧島山（御鉢） 図 4 の観測位置及び撮影方向

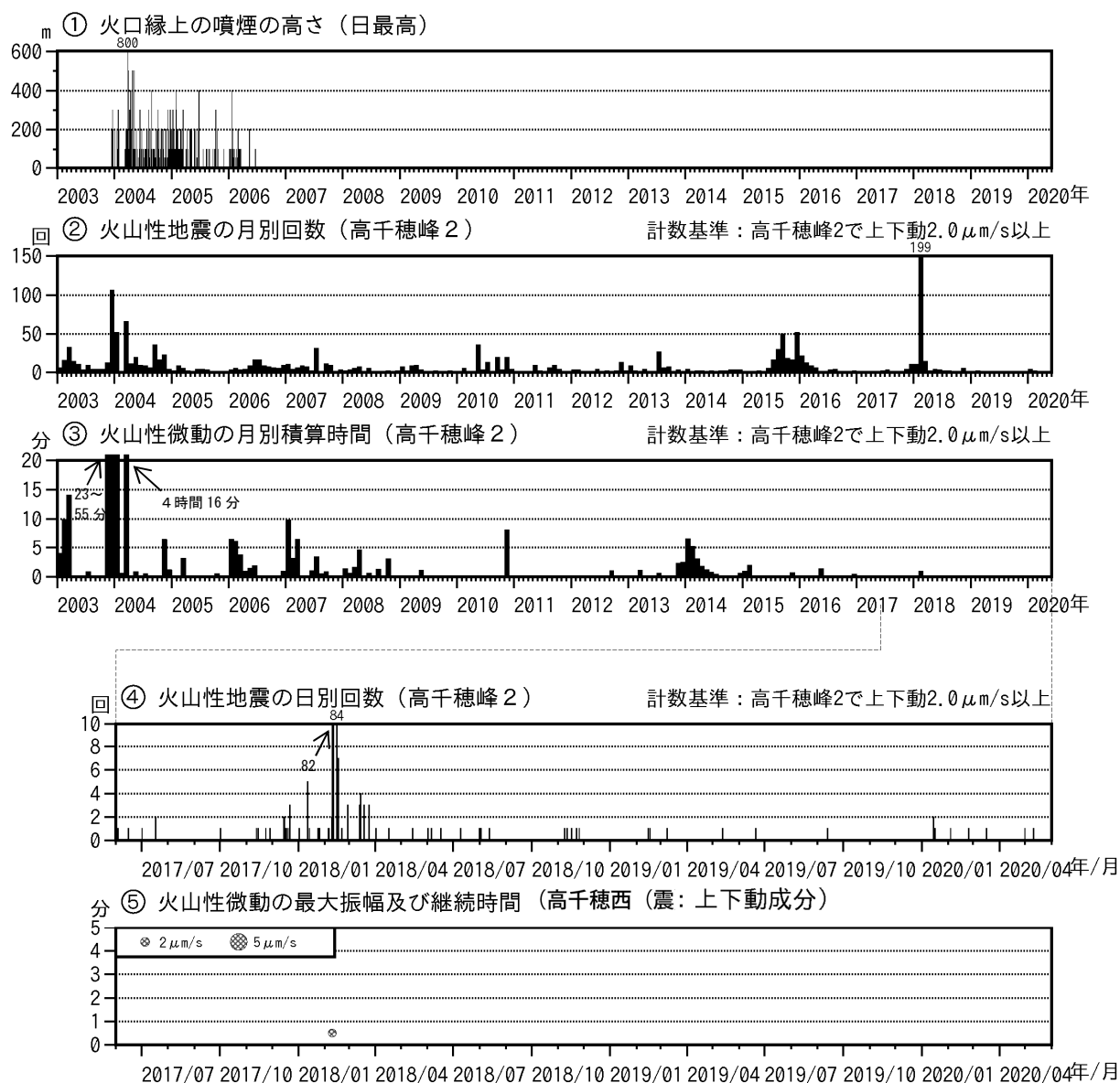


図 6 霧島山（御鉢） 火山活動経過図 （2003 年 1 月～2020 年 5 月）

<2019 年 11 月～2020 年 5 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。

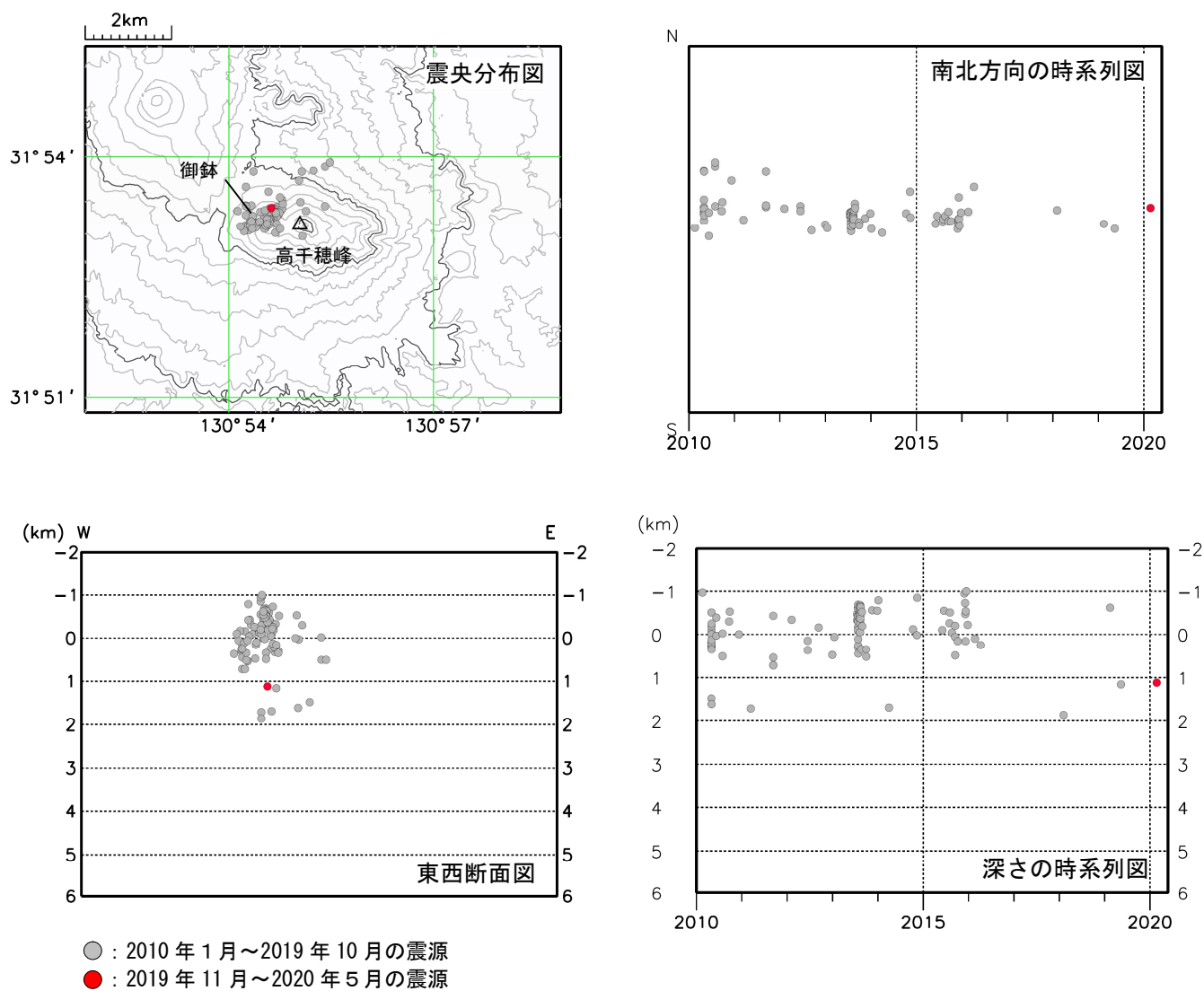


図 7 霧島山（御鉢） 震源分布図（2010 年 1 月～2020 年 5 月）

＜2019 年 11 月～2020 年 5 月の活動状況＞

震源は、御鉢火口の深さ 1 km 付近に求まった。

※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。

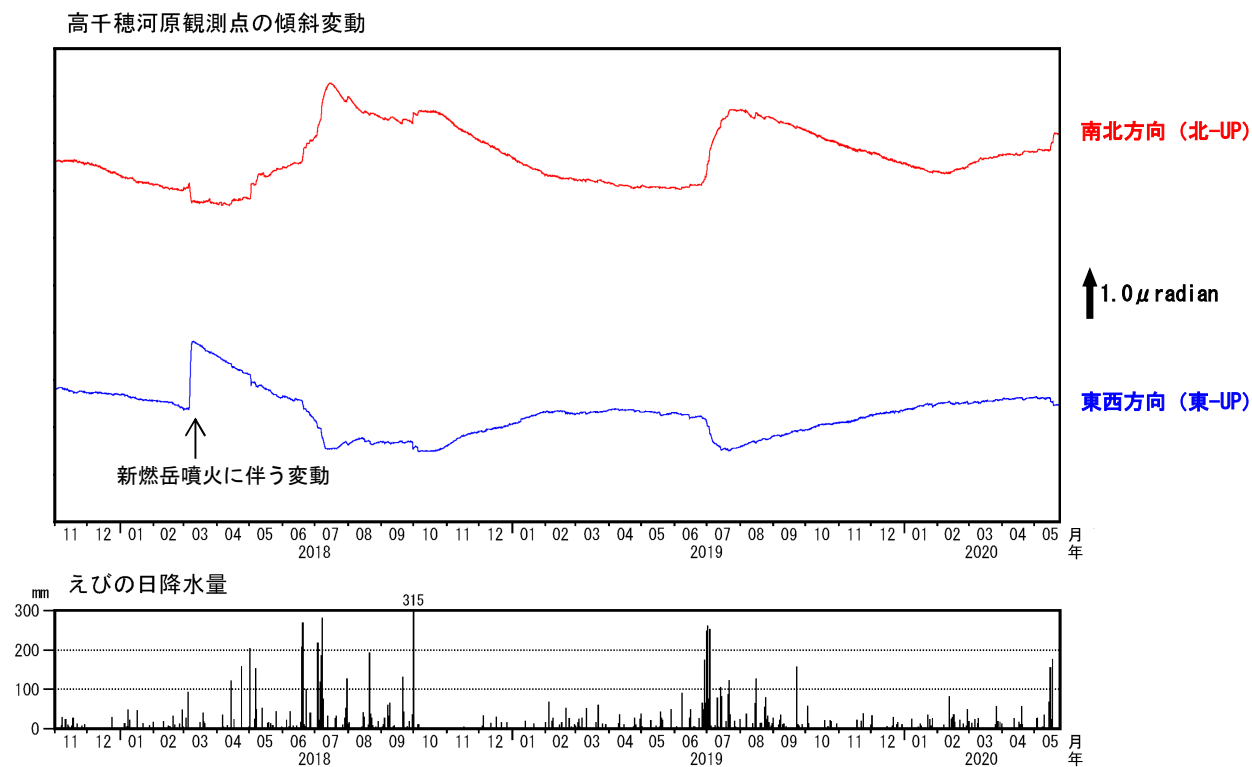
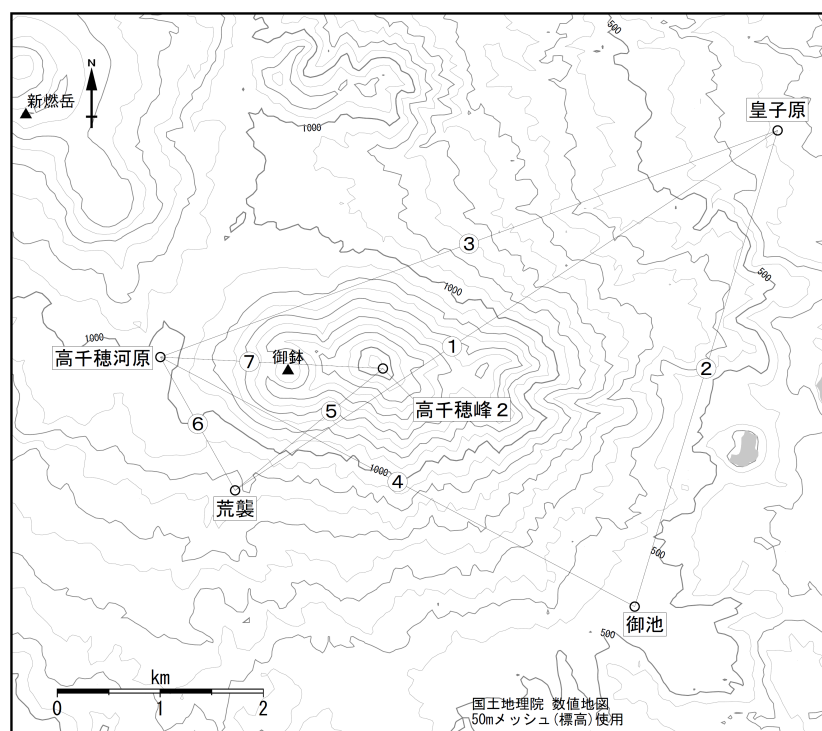


図 8 霧島山（御鉢） 高千穂河原傾斜計の変化（2017 年 6 月～2020 年 5 月）

<2019 年 11 月～2020 年 5 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。

霧島山

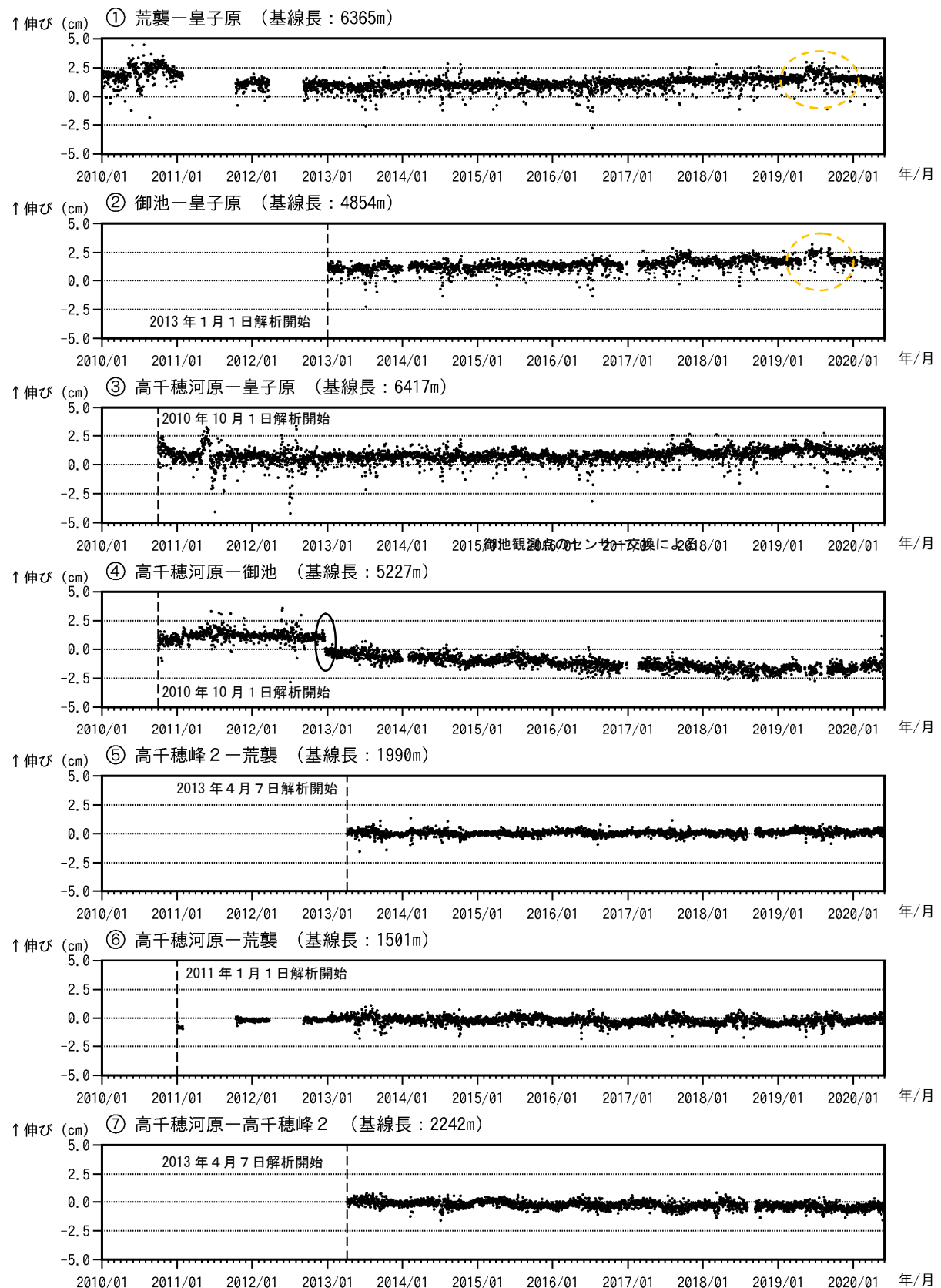


図 10 霧島山（御鉢） GNSS 連続観測による基線長変化（2010 年 1 月～2020 年 5 月）

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

霧島山（広域）

○ 概況（2019 年 11 月～2020 年 5 月）

・ 韓国岳付近及び北東側（図 1～3）

韓国岳付近及び北東側の地震は、韓国岳付近で 4 月 4 日に 14 回と一時的にやや多い状態となったが、概ね少ない状態で経過した（図 1～3）。また、韓国岳北東側では浅い所を震源とする低周波地震を 1 月 14 日に 1 回観測した（図 3）。

1 月 21 日及び 5 月 29 日に韓国岳から実施した現地調査では、韓国岳火口内に噴気や地熱域等は確認されなかった（図 8）。

・ 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）。

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

・ 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）。

・ 新燃岳の北東側 2.5 km 付近（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）。

5 月 29 日に韓国岳から実施した現地調査では、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（図 10）。

・ 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、11 月 7 日に 1 回観測した（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。2019 年 12 月 17 日、2020 年 2 月 10～11 日に一時的に地震が増加し活動がやや活発になった（図 1、図 2）。

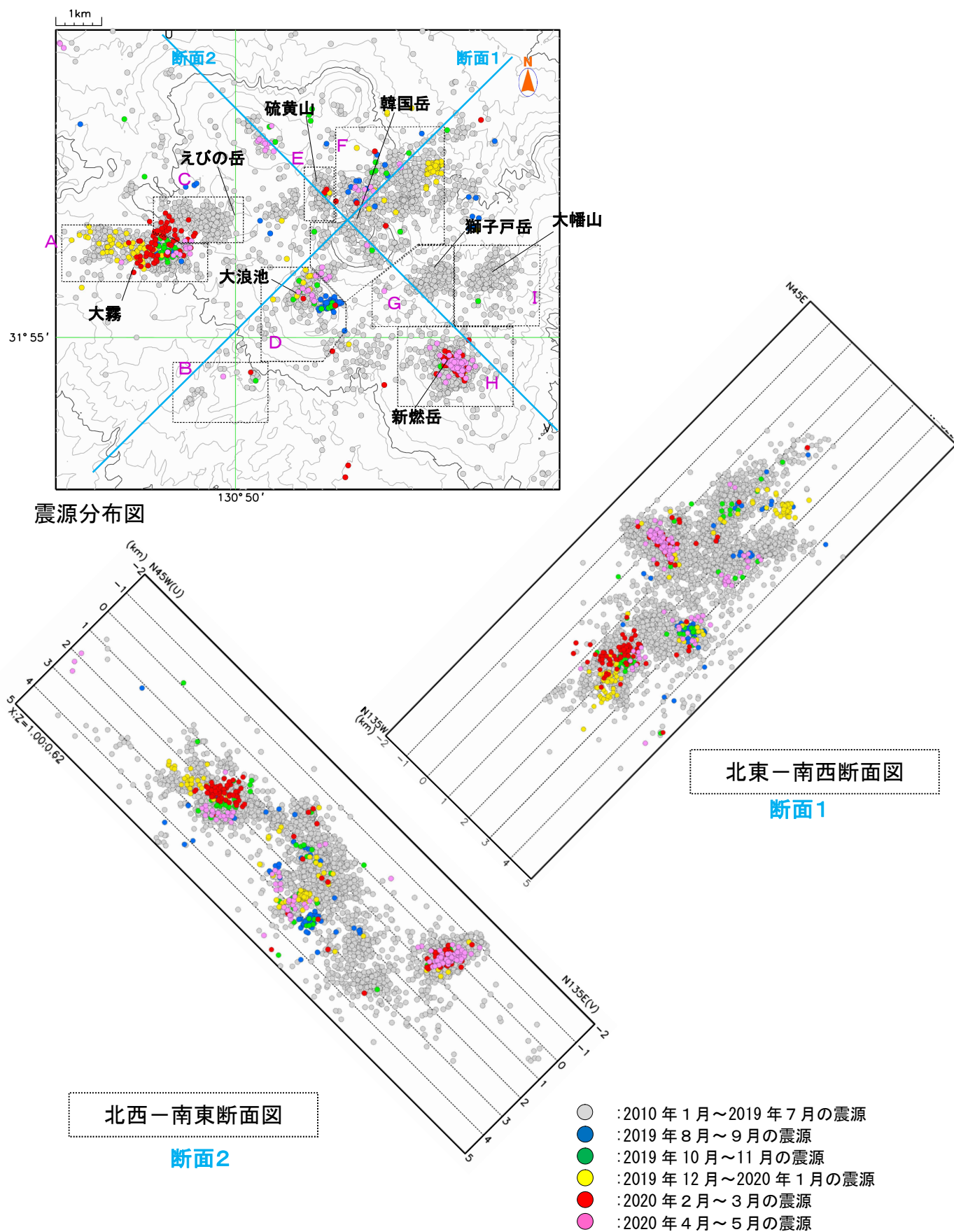


図 1 霧島山 霧島山の震源分布図 (2010 年 1 月～2020 年 5 月)

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。

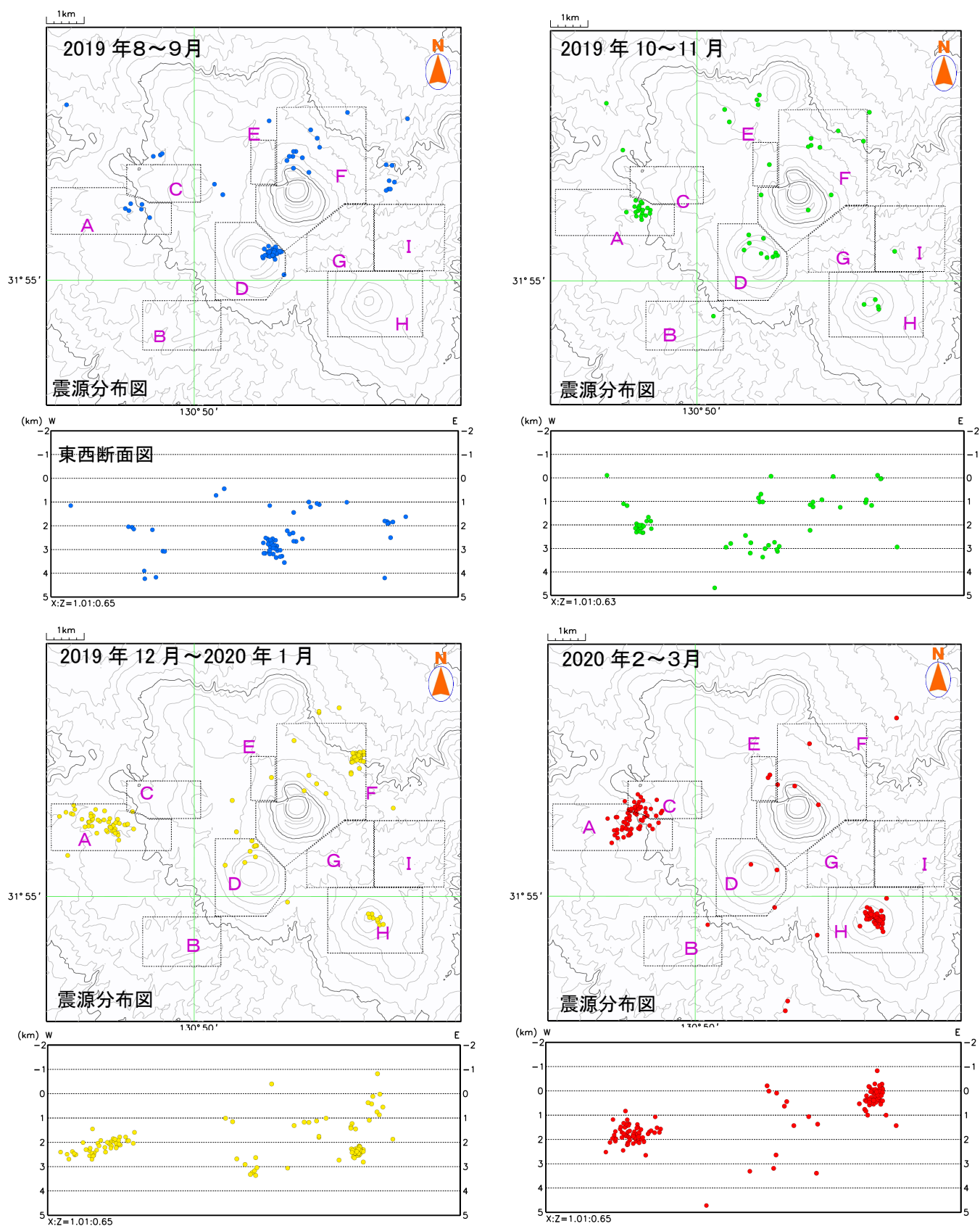


図 2-1 霧島山 霧島山の2ヶ月毎の震源分布図

(左上: 2019 年 8～9 月、右上: 2019 年 10～11 月、左下: 2019 年 12 月～2020 年 1 月、
右下: 2020 年 2～3 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。

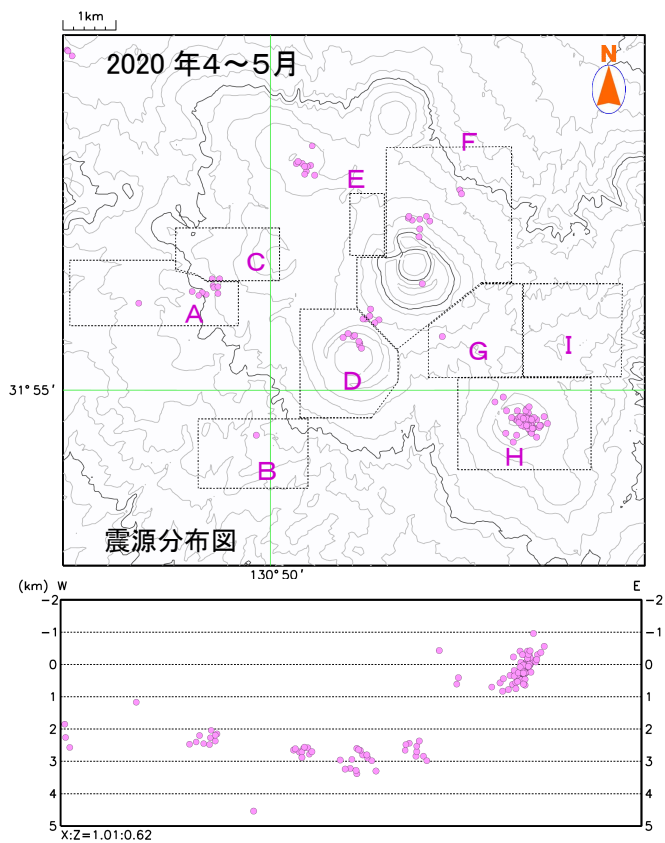


図 2-2 霧島山 霧島山の 2 ヶ月毎の震源分布図（2020 年 4 月 1 日～5 月）

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。

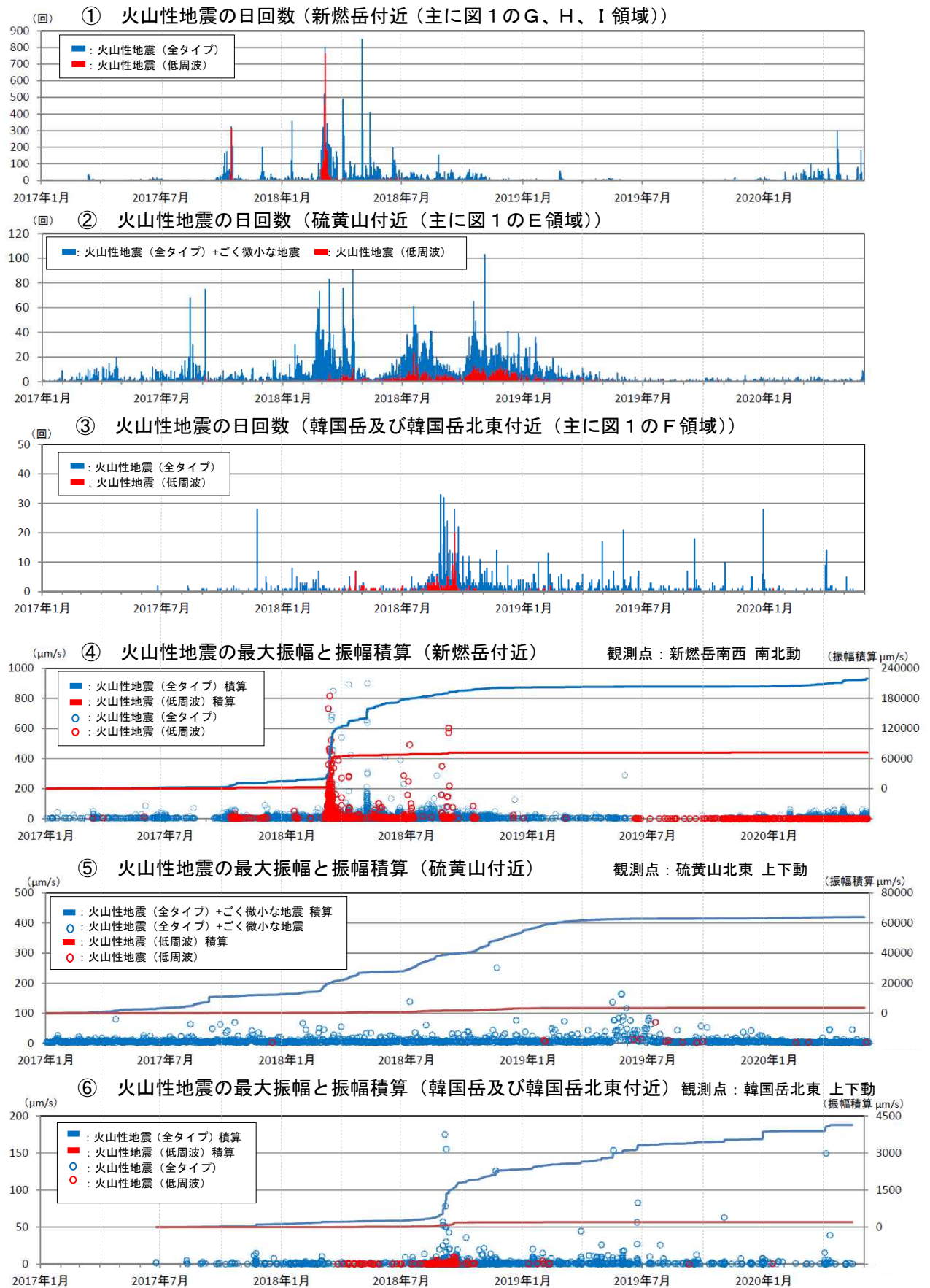


図 3 霧島山 新燃岳、硫黄山、韓国岳及び韓国岳北東付近を震源とする火山性地震の活動経過図（2017 年 1 月～2020 年 5 月）

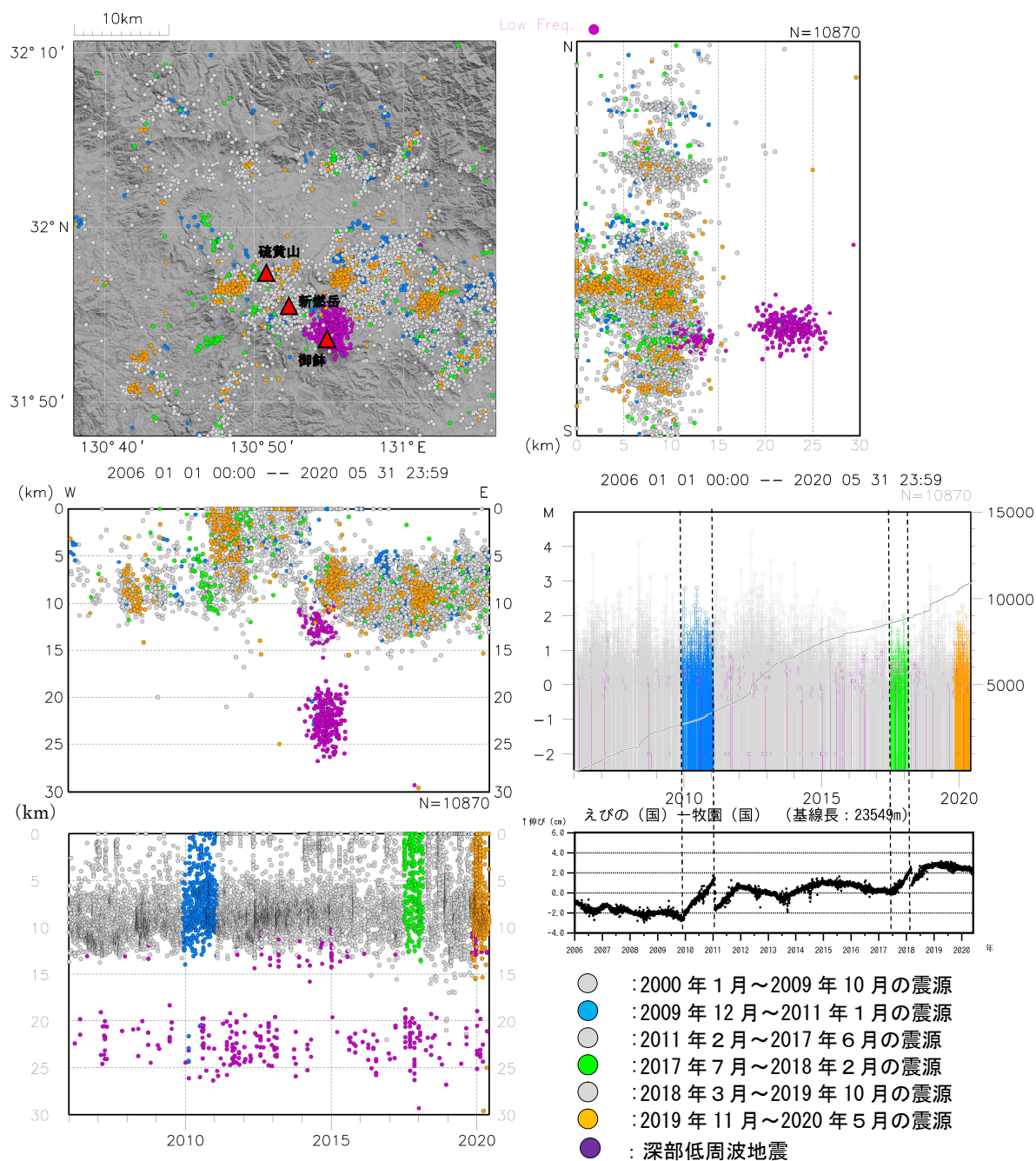


図 4-1 霧島山 一元化震源による広域の地震活動（2000 年 1 月～2020 年 5 月）

※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。

※2020 年 4 月 18 日以降の地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、それ以前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 50mメッシュ（標高）』を使用した。

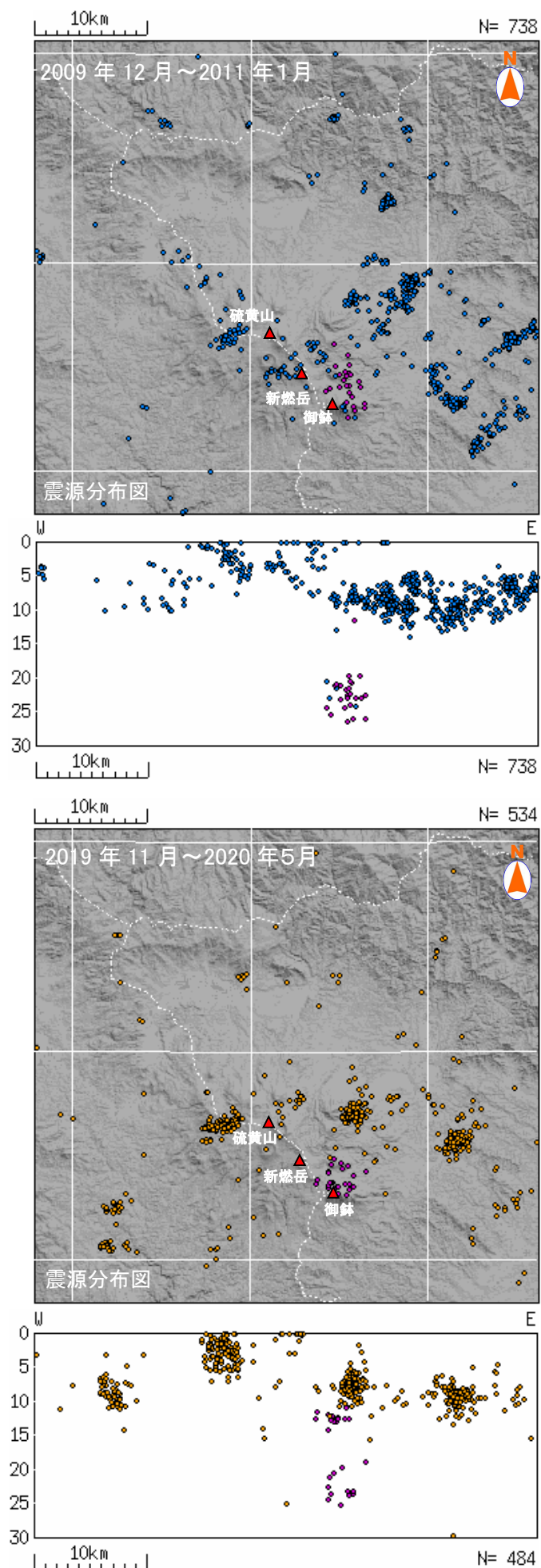


図 4-2 霧島山 一元化震源による広域の地震活動
 (左上 : 2009 年 12 月～2011 年 1 月
 右上 : 2017 年 7 月～2018 年 2 月
 左下 : 2019 年 11 月～2020 年 5 月)

※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。

※2020 年 4 月 18 日以降の地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、それ以前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 50m メッシュ（標高）』を使用した。

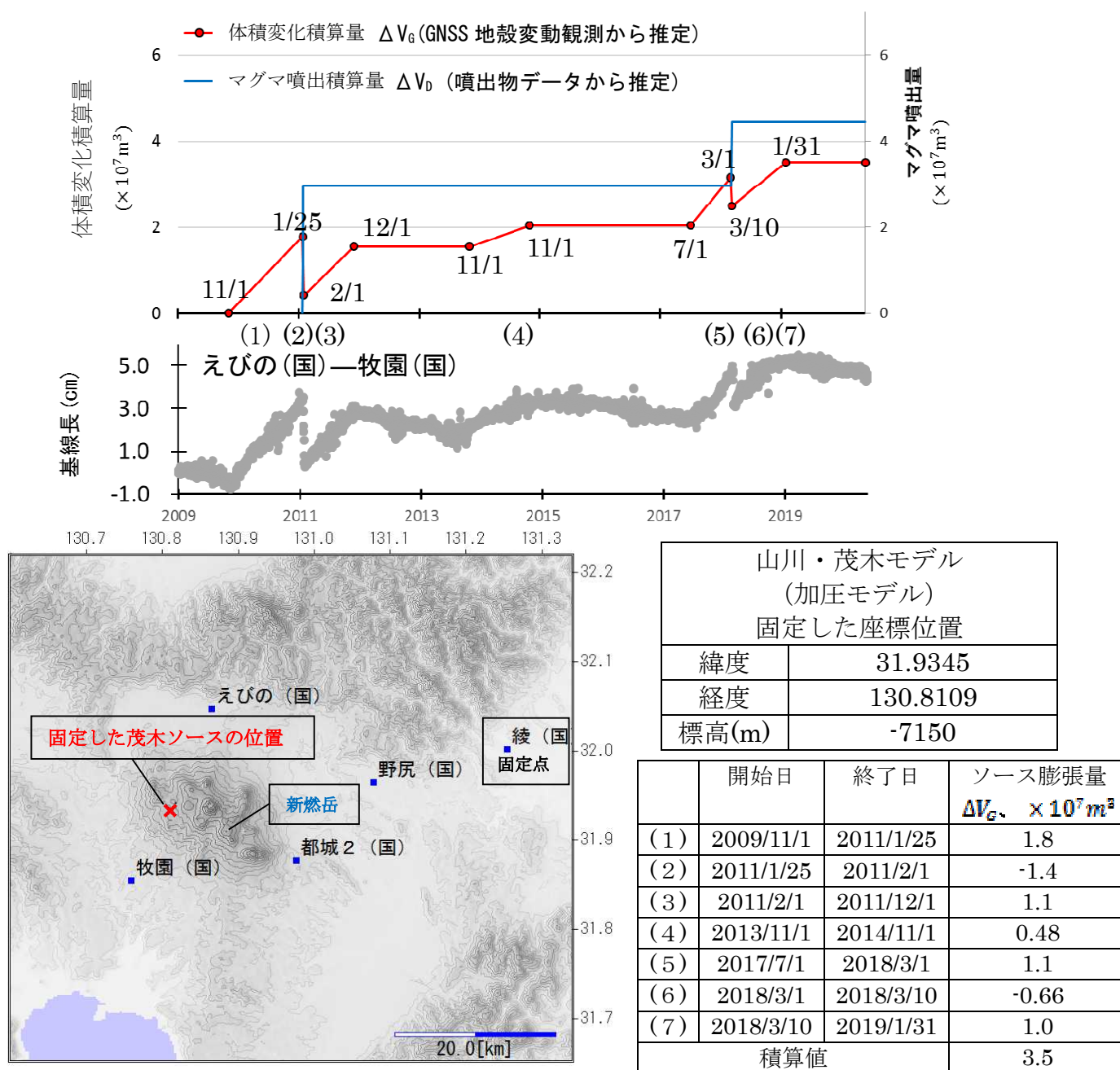


図 5-1 霧島山 噴出物量及び地殻変動から推定した体積変化量の積算の推移
(2009 年 1 月～2020 年 5 月)

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、 $3.5 \times 10^7 m^3$ 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。

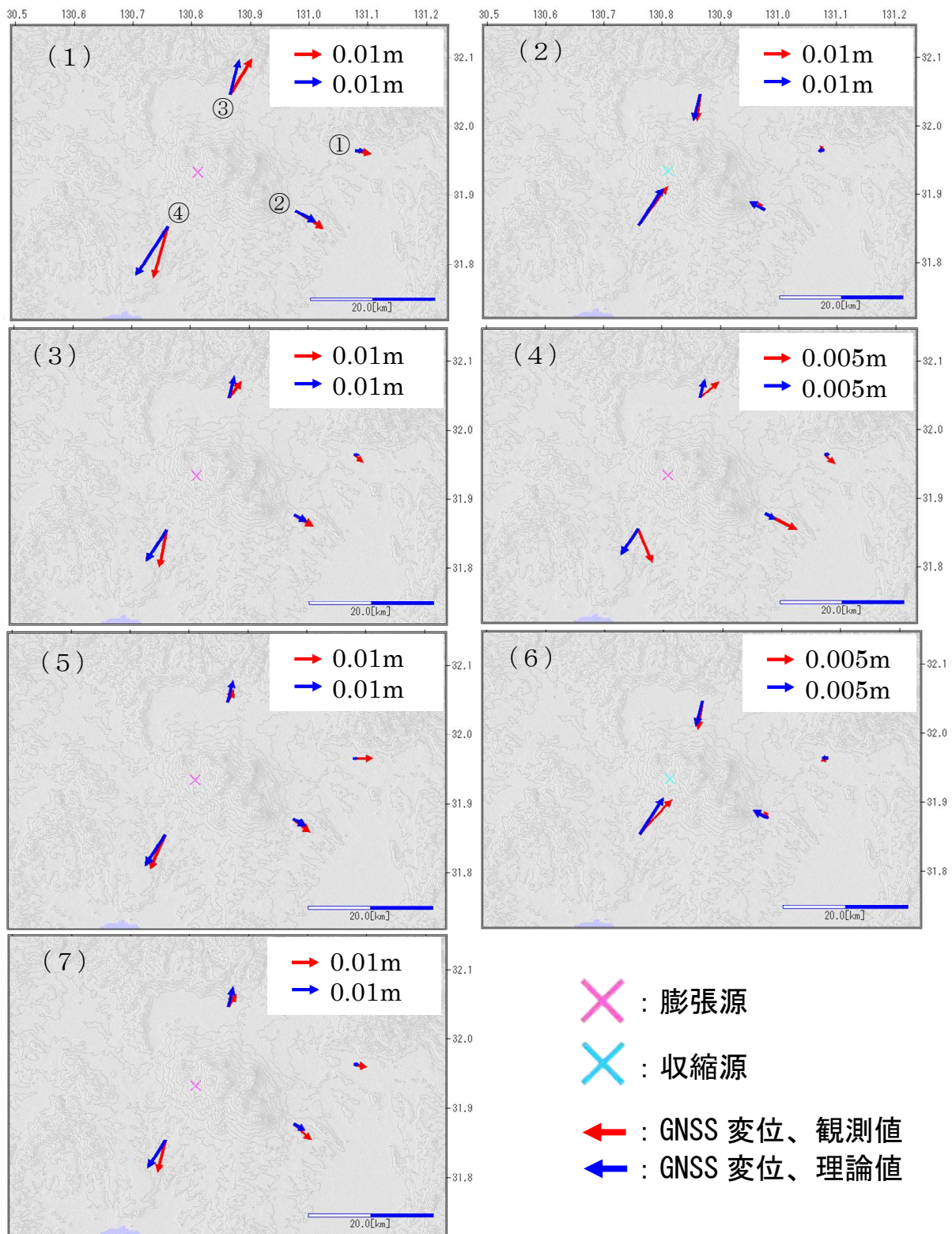


図 5-2 霧島山（新燃岳） 霧島山周辺の GNSS 変動源推定

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。

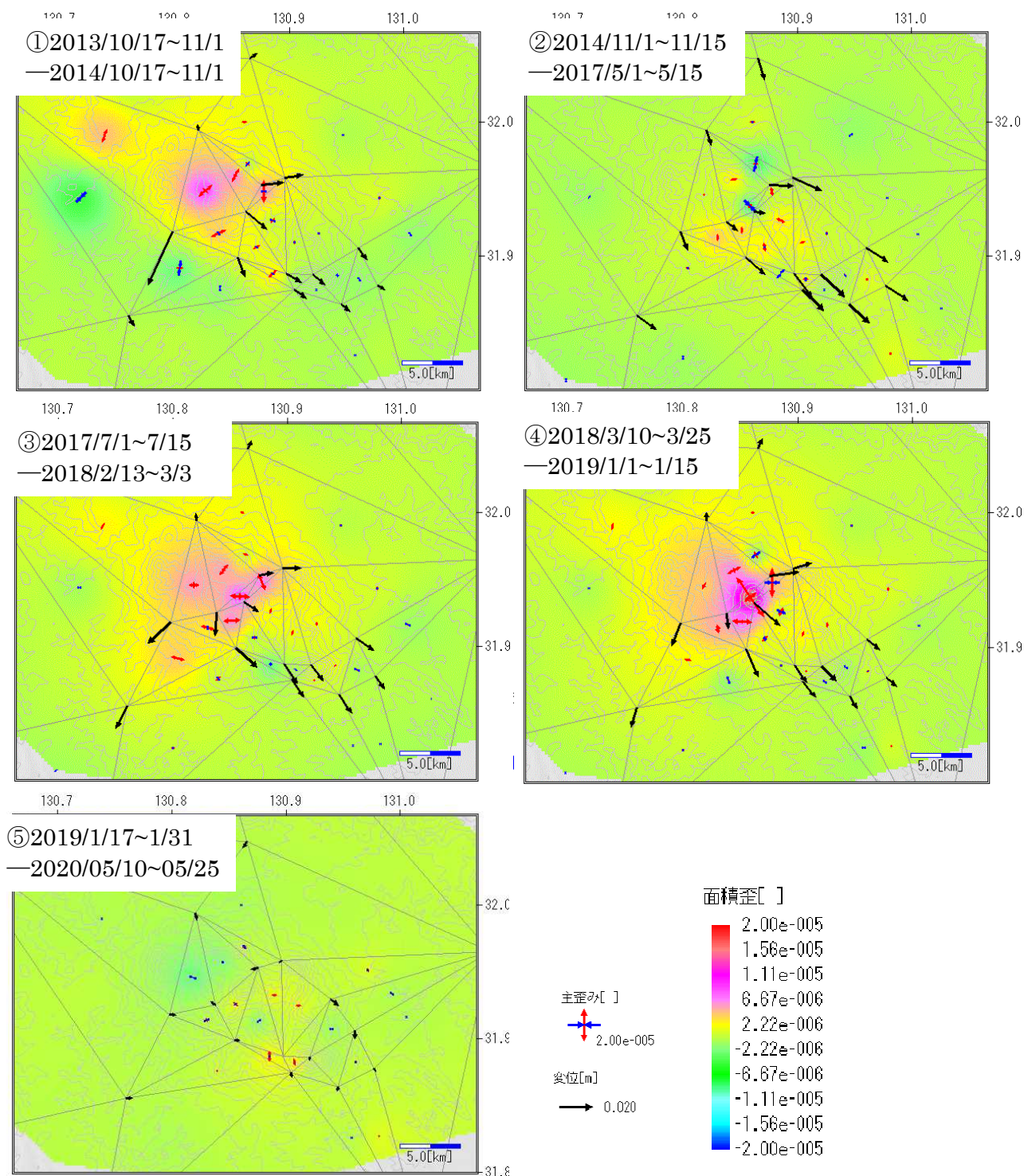


図6 霧島山 霧島山周辺の GNSS の期間毎の水平変位・主ひずみ・面積ひずみ（2013年10月17日～2020年5月25日）

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。

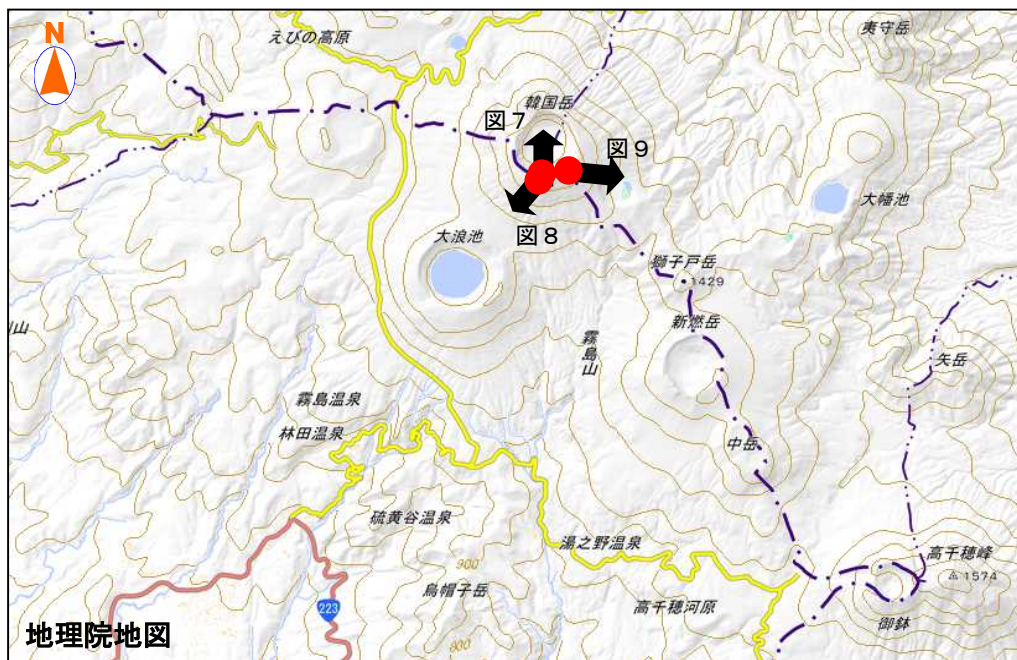


図 7 霧島山（広域） 観測位置及び撮影方向

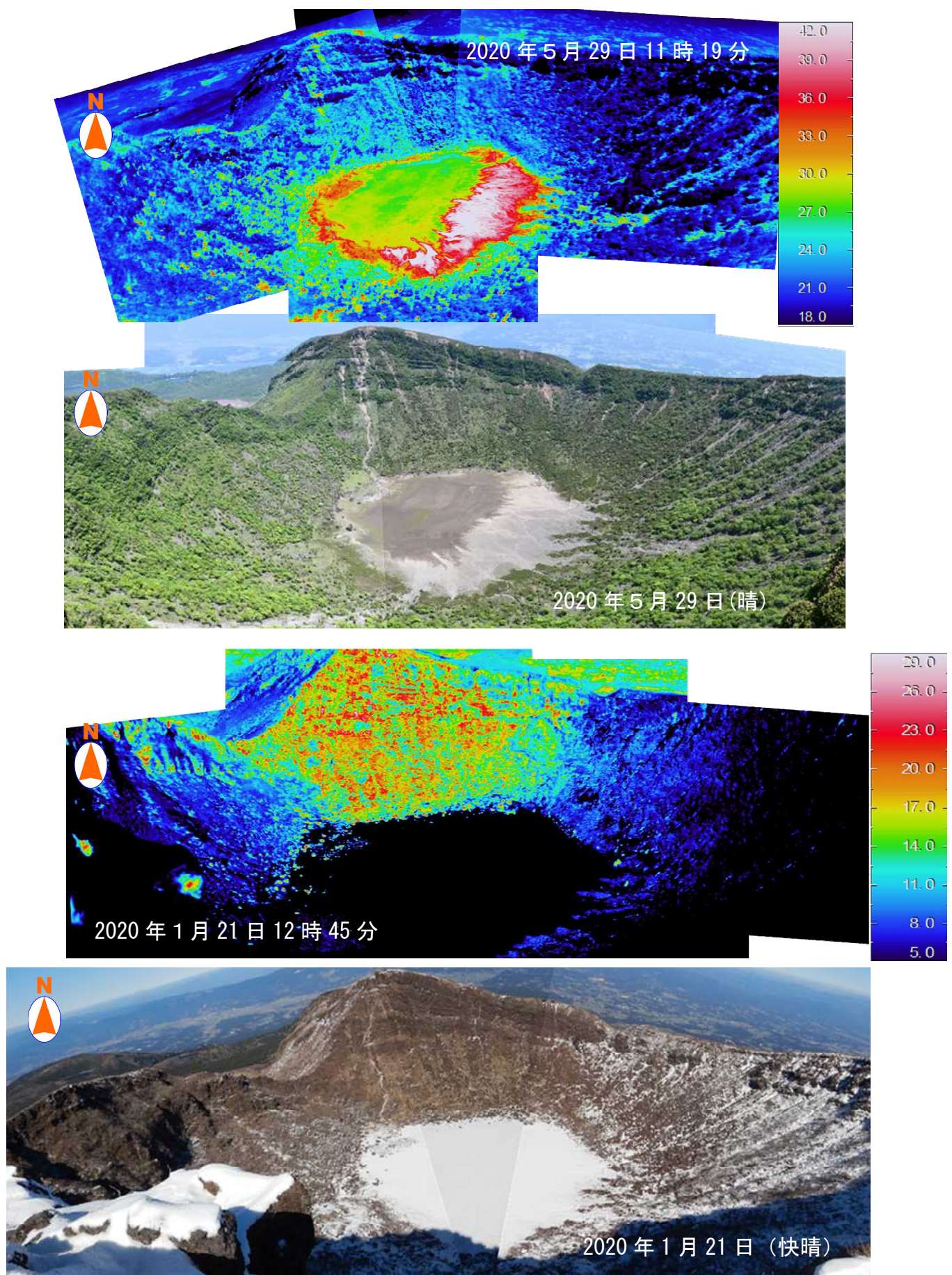


図 8 霧島山 韓国岳火口の状況（韓国岳から観測）

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

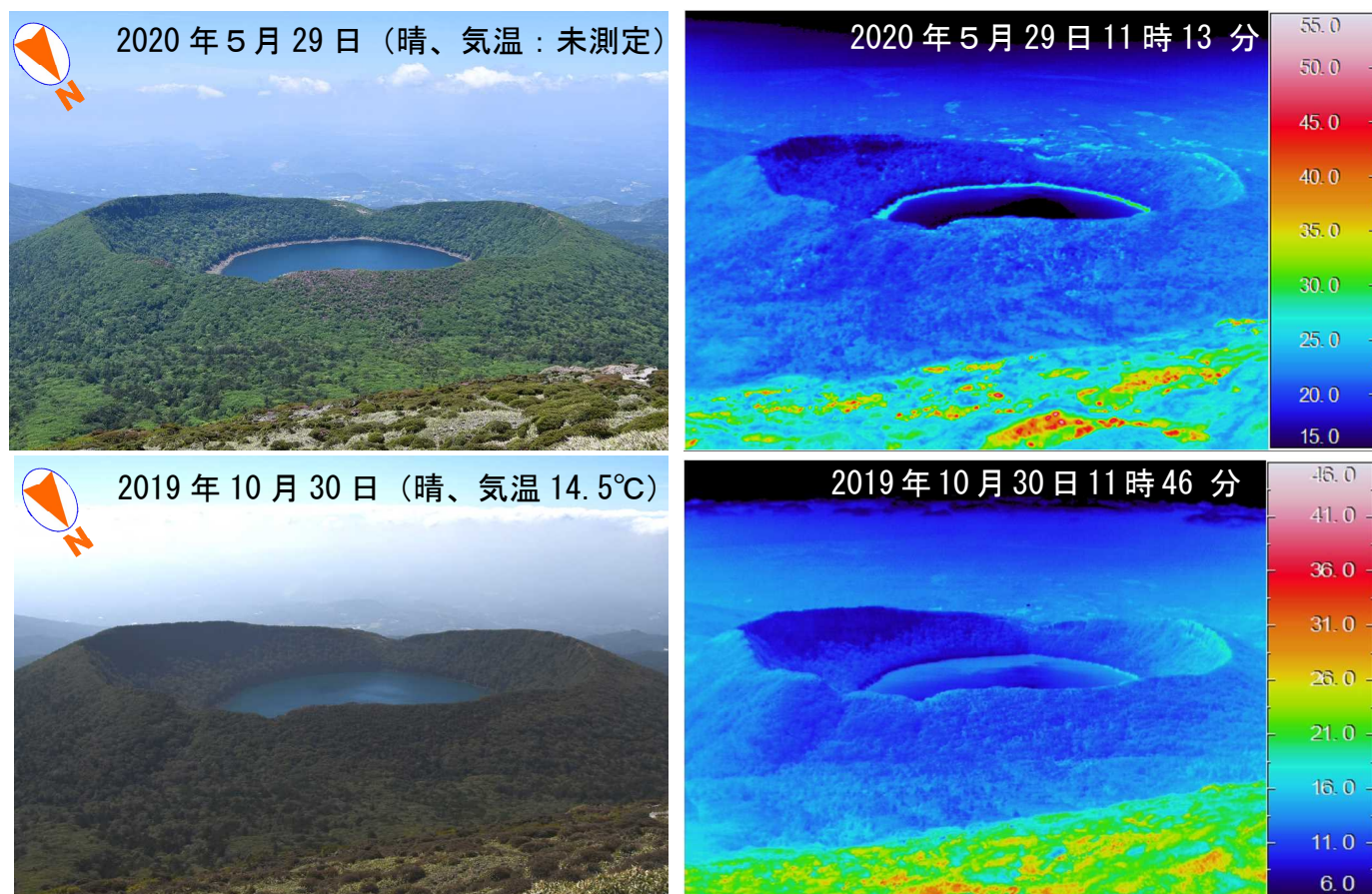


図 9 霧島山 大浪池の状況 (韓国岳から観測)

大浪池周辺に噴気や地熱域は認められなかった。

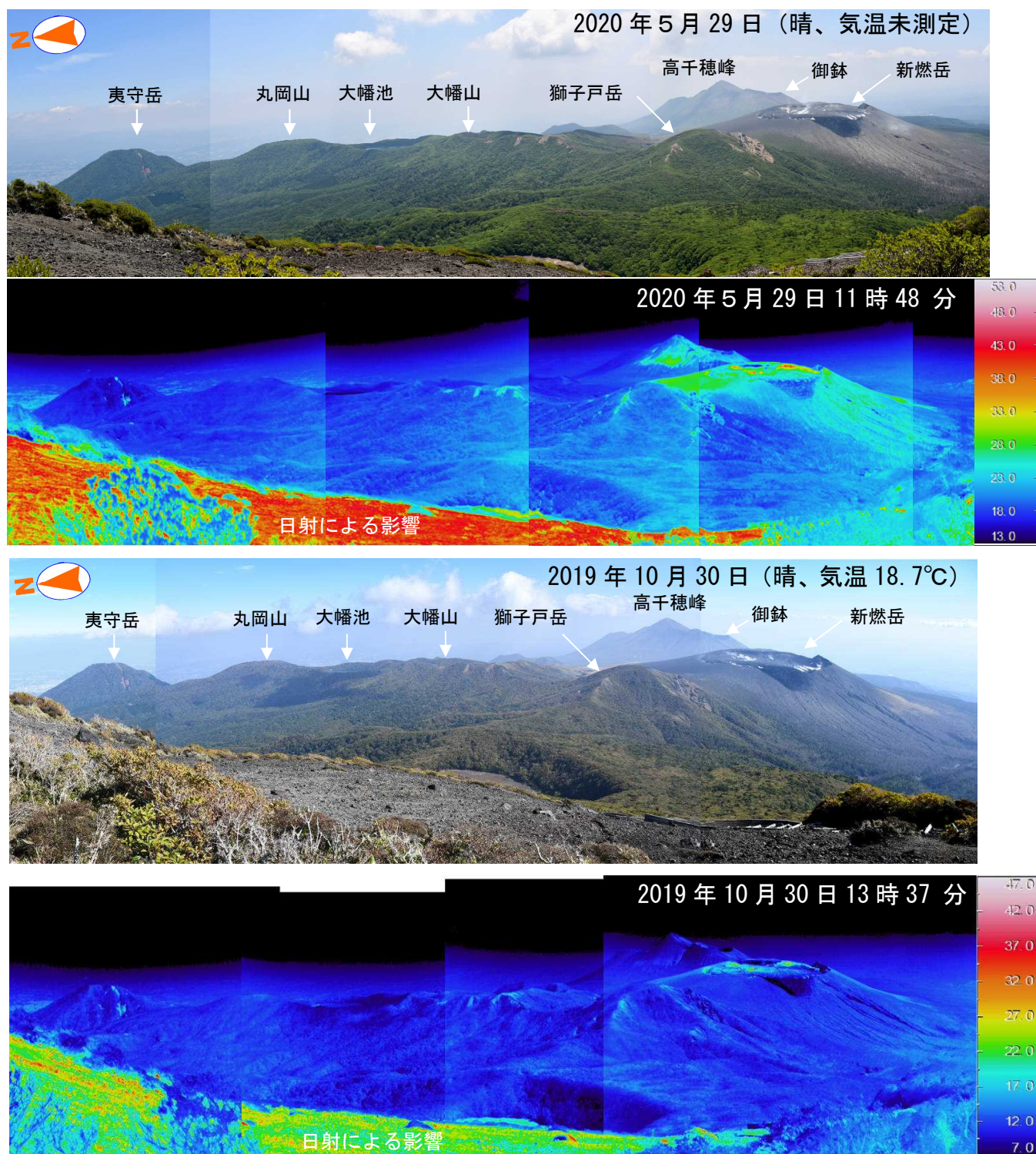


図 10 霧島山 夷守岳-丸岡山-大幡池-大幡山-獅子戸岳-高千穂峰-御鉢-新燃岳の状況
(韓国岳から観測)

新燃岳では、引き続き火口内を覆う溶岩の中心部及び縁辺部の一部で白色の噴煙が上がっているのを確認し、これに対応する地熱域が認められたが、それ以外の山では噴気や火山活動に考えられる明瞭な地熱域は観測されなかった。

※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

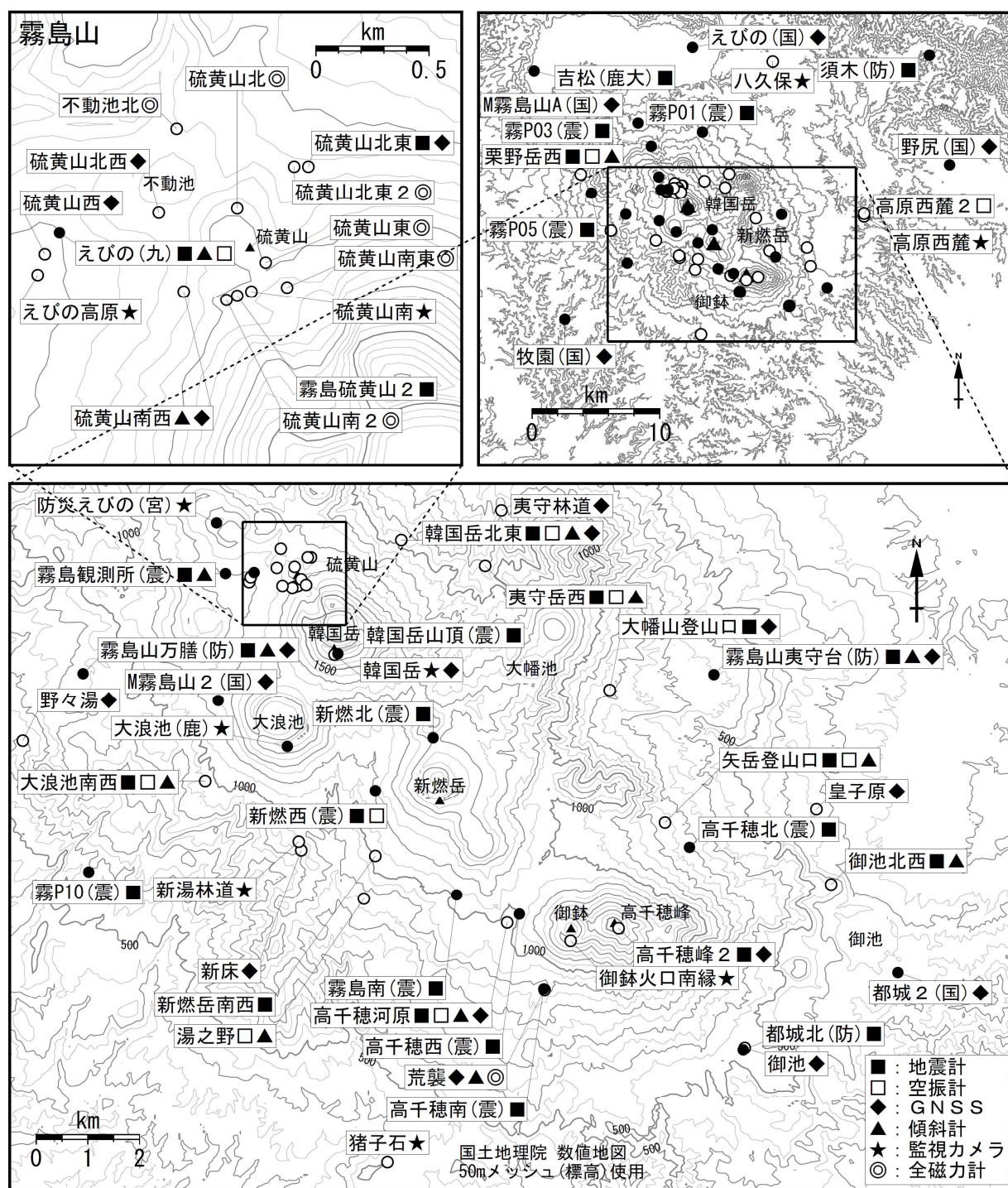


図 11 霧島山 観測点配置図

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。
(撮像間隔が 1 年程度となる解析結果による)

1. はじめに

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

2. 解析データ

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

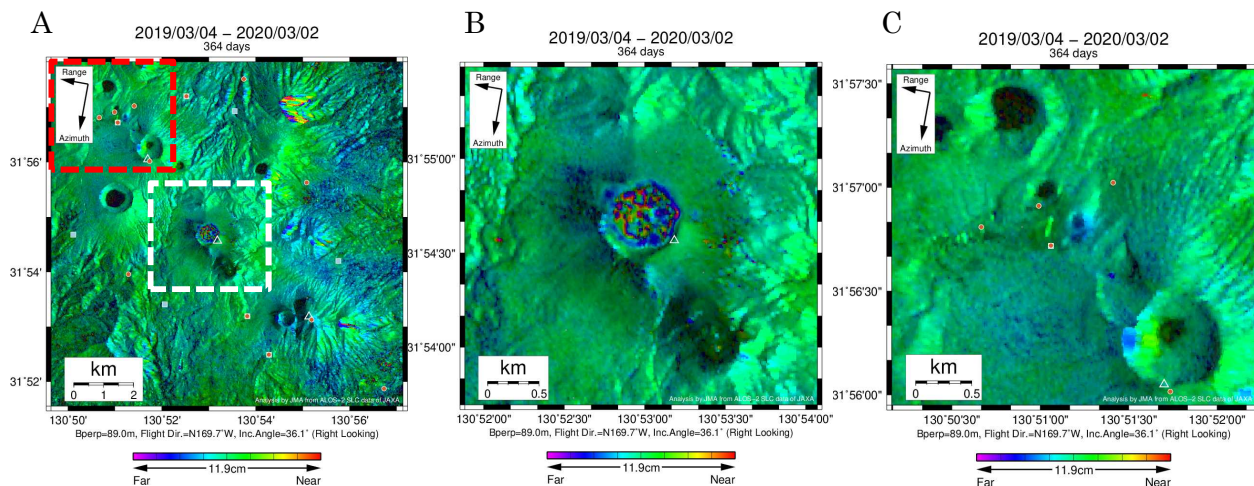
| Path-Frame | Orbit | Looking | Inc. angle | Earliest Scene | Latest Scene | Figure No. |
|--------------------|-------|---------|------------|----------------|--------------|----------------|
| 23_2970(SM1_U2_7) | 南行 | 右 | 36.1° | 2019.03.04 | 2020.03.02 | 第 1 図- A, B, C |
| 30_2930(SM1_U3_13) | 南行 | 左 | 52.8° | 2019.05.20 | 2020.05.04 | 第 2 図- A, B, C |
| 130-630(SM1_U2-6) | 北行 | 右 | 32.4° | 2019.05.16 | 2020.05.14 | 第 3 図- A, B, C |

3. 解析結果

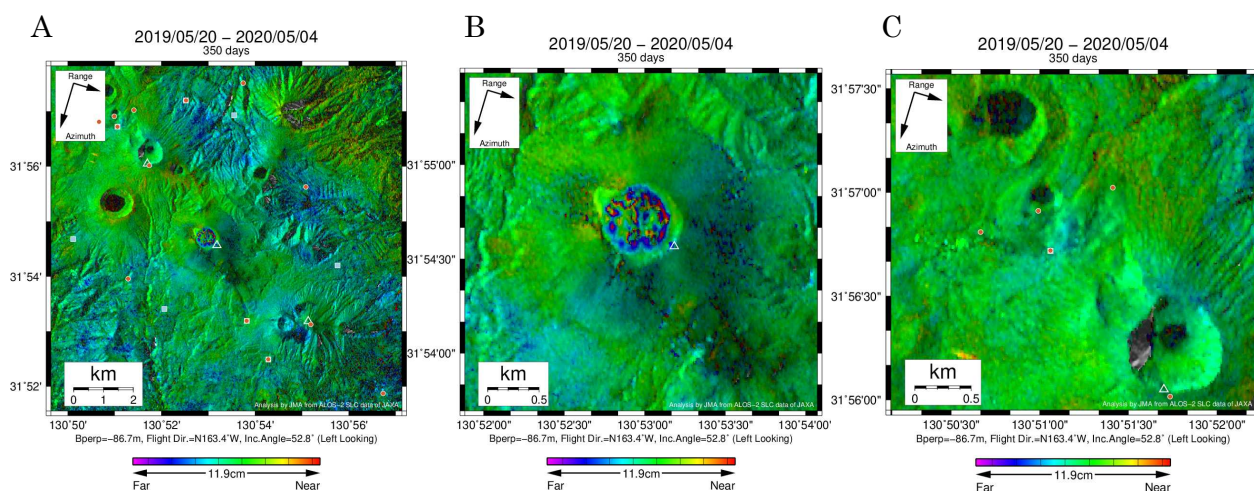
第 1 図、第 2 図及び第 3 図に霧島山周辺の長期ペアによる干渉解析結果画像を示す。いずれにおいても、新燃岳火口内で位相変化がみられるが、系統的な傾向は認められない。その他の地域ではノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

謝辞

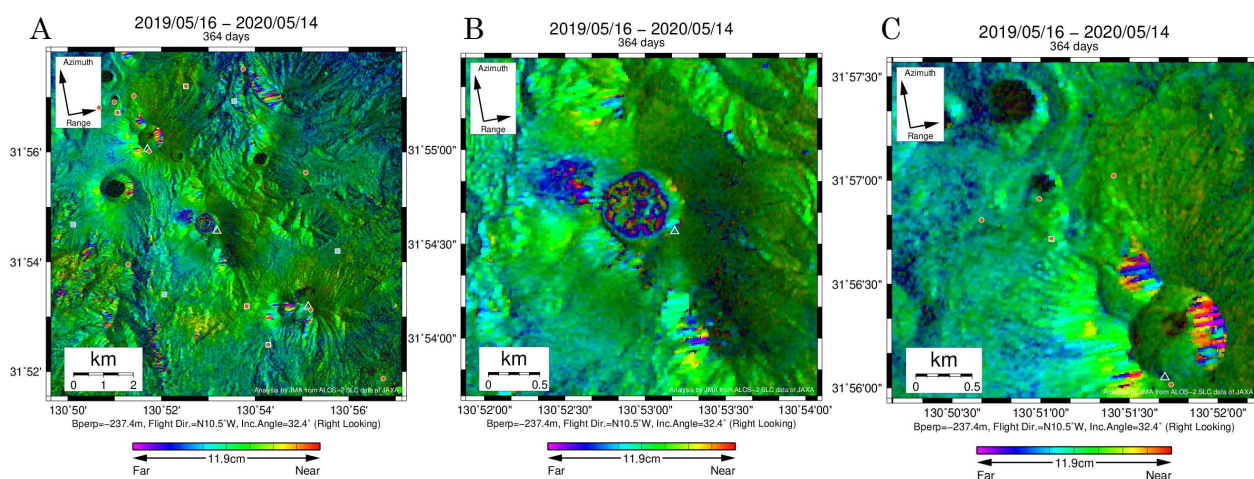
本解析で用いた PALSAR-2 データは、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験（衛星解析グループ）に基づいて、宇宙航空研究開発機構（JAXA）にて観測・提供されたものである。また、一部のデータは、PIXEL で共有しているものであり、JAXA と東京大学地震研究所の共同研究契約により JAXA から提供されたものである。PALSAR-2 に関する原初データの所有権は JAXA にある。PALSAR-2 の解析ソフトウェアは、防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発された RINC を使用した。また、処理の過程や結果の描画においては、国土地理院の数値地図 10m メッシュ（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



第 2 図 パス 30 (SM1_U3-13) による干渉解析結果



第 3 図 パス 130 (SM1_U2-6) による干渉解析結果

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

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

新燃岳付近の拡大図(B)において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。

霧島山硫黄山周辺の湧水・湯だまりの化学組成

(2020 年 4 月 22 日観測)

2020 年 4 月 22 日に霧島山(硫黄山)周辺および 2018 年 4 月噴火口跡で採取された湧水および熱水の化学組成を分析した。

(1) 硫黄山西麓の湧水(図 1: A 地点)

A 地点湧水の Cl/SO_4 モル比は 4 月 22 日時点で 0.08 であり、前回観測(3 月 17 日, 0.08)と同程度の値を維持している。 当該湧水の Cl/SO_4 モル比は、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、それ以降は減少に転じ、前報以降 0.1 以下となった(表 1, 図 2)。

(2) 硫黄山西麓の火口跡湯だまり(図 1: V2 地点)

V2 湯だまりの Cl/SO_4 モル比は 4 月 22 日時点で 0.26 と、前回観測(3 月 17 日, 0.52)から低下した。 当該湯だまりでは 2018 年 4 月の硫黄山噴火後の同年 7 月から 2019 年 11 月 8 日まで Cl/SO_4 モル比が 1.3~2.5 程度と高い値で推移した。2020 年に入ってから増減が見られるものの、2019 年以前よりも明らかに小さな値で推移している(表 1)。

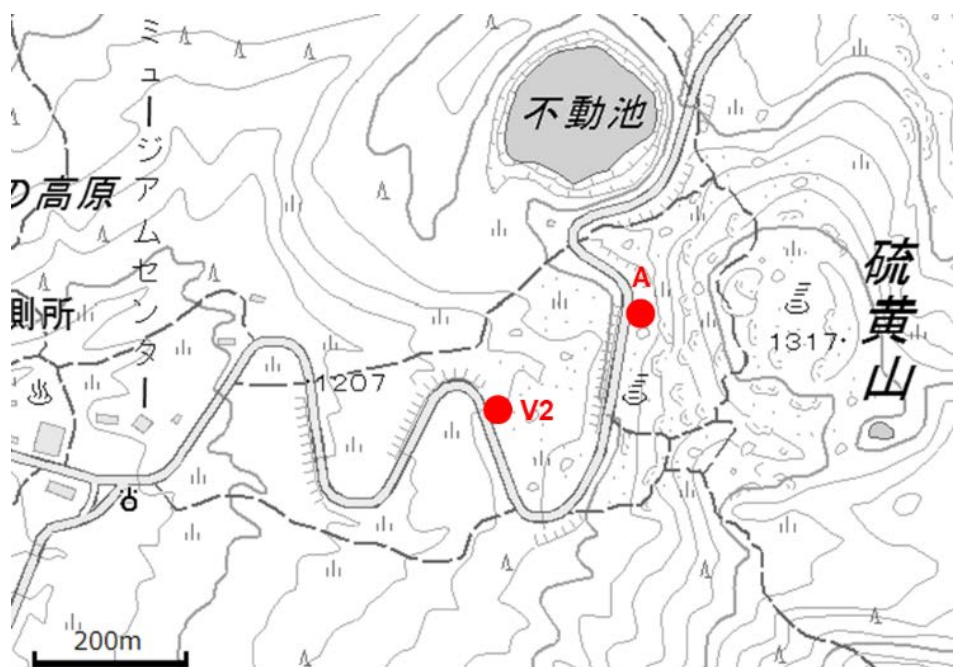


図 1. 試料採取および観測地点 (背景地図に地理院地図を使用した)

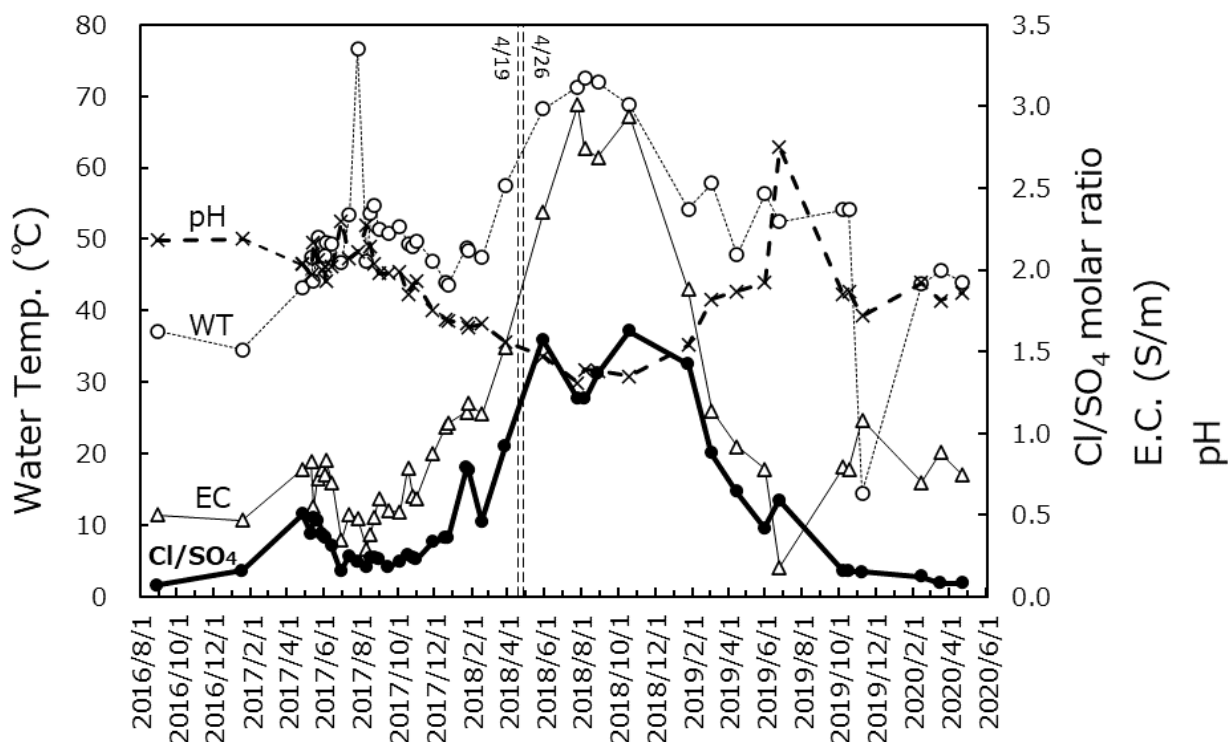
【参考文献】 [1] 気象研究所, 東海大学, 東京大学大学院, 福岡管区気象台, 鹿児島地方気象台 (2019) 第 145 回火山噴火予知連絡会資料. その 1, 草津白根山, 霧島山, 141-146.

霧島山 (硫黄山)

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 molar ratio |
|------------------------|-----------|----------|------|-------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| A: 硫黄山西麓湧水 | 2019/1/25 | 54.2 | 1.54 | 1.88 | 2220 | 4220 | 1.43 |
| | 2019/3/4 | 57.8 | 1.82 | 1.14 | 910 | 2810 | 0.88 |
| | 2019/4/15 | 47.8 | 1.87 | 0.92 | 648 | 2730 | 0.64 |
| | 2019/5/31 | 56.4 | 1.92 | 0.78 | 382 | 2480 | 0.42 |
| | 2019/6/24 | 52.5 | 2.75 | 0.18 | 118 | 543 | 0.59 |
| | 2019/10/7 | 54.1 | 1.85 | 0.79 | 147 | 2530 | 0.16 |
| | 2019/11/8 | 14.5 | 1.72 | 1.08 | 220 | 3990 | 0.15 |
| | 2020/2/14 | 43.7 | 1.92 | 0.70 | 101 | 2240 | 0.12 |
| | 2020/3/17 | 45.6 | 1.81 | 0.88 | 94.5 | 3200 | 0.08 |
| | 2020/4/22 | 44.0 | 1.86 | 0.74 | 72.6 | 2380 | 0.08 |
| V2: 湯だまり(硫黄山西4/26噴火口跡) | 2019/1/25 | 96.6 | 0.80 | 8.43 | 10100 | 12300 | 2.22 |
| | 2019/5/31 | 95.2 | 1.28 | 3.10 | 3830 | 5510 | 1.88 |
| | 2019/11/8 | 94.6 | 1.03 | 5.55 | 8260 | 9400 | 2.38 |
| | 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 |

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, Integriion)を使用した。分析値は修正する可能性があります。2020年1月以前の分析値は気象研ほか[1]から抜粋。

図 2. 硫黄山西麓域 A 地点湧水の水質(Cl/SO₄モル比, 電気伝導度, pH, 水温)の変化

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 3 月)

2020 年 3 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は、2018 年 12 月以降ほぼ停止状態であるが、2019 年 11 月～2020 年 3 月は若干の膨張が推定された。

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 3 月までに 69.6 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。この隆起は硫黄山西側の BM3040 を除いて、2018 年 12 月以降はほぼ停止状態になっている。

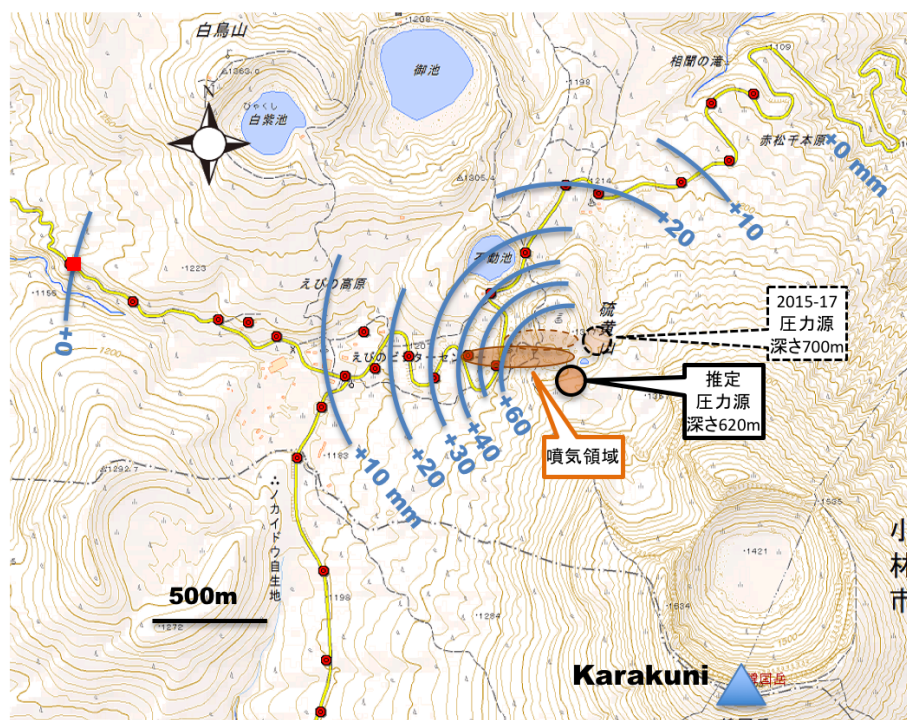
第 1 表に推定された圧力源の位置を示す。圧力源の位置は、2017 年 10 月以前は硫黄山噴気群の東側約 100 m であったが、2017 年 10 月以降は硫黄山南噴気孔の南側に存在していると考えられる。またその深さもこの地点の標高を 1300m と考えると、地表からそれぞれ、700m, 620 m となり、圧力源の位置も徐々に上昇していると考えられる。硫黄山直下では厚さ 700 m 程度の低比抵抗層(スメクタイト層と推定)が 3 次元 MT 解析で推定されており (Tsukamoto et al., 2018), これがキャップロックとなりこの直下で熱水溜まりの圧力が増加しているものと推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

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 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 月以降止まっていた。2019 年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た。

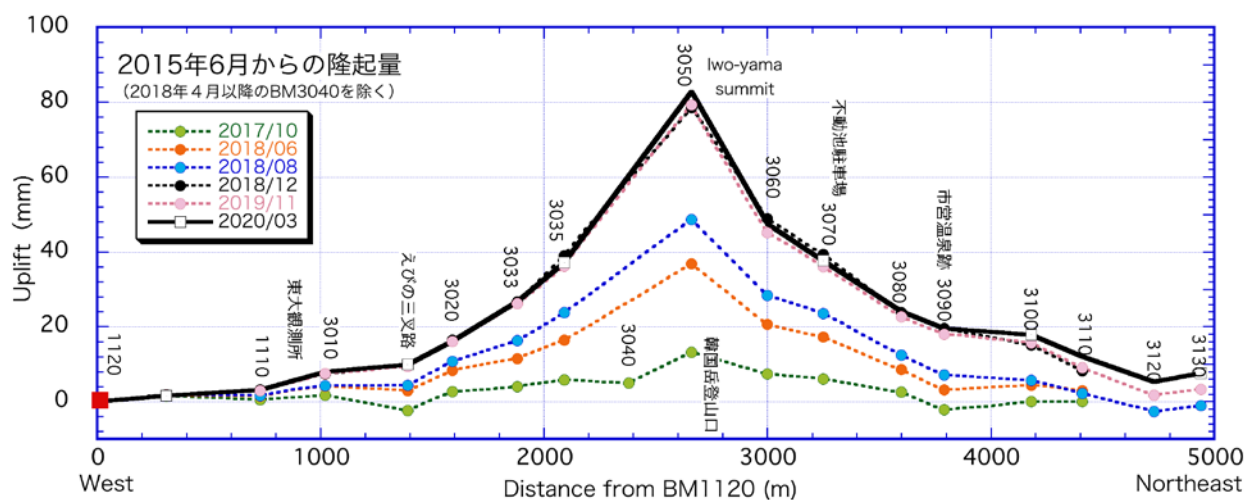
しかし 2020 年 3 月はわずかながらも圧力源の膨張傾向がみられ、地表の熱活動も温度の若干の上昇が見られることから、今後も継続的な調査が必要と考えられる。

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.



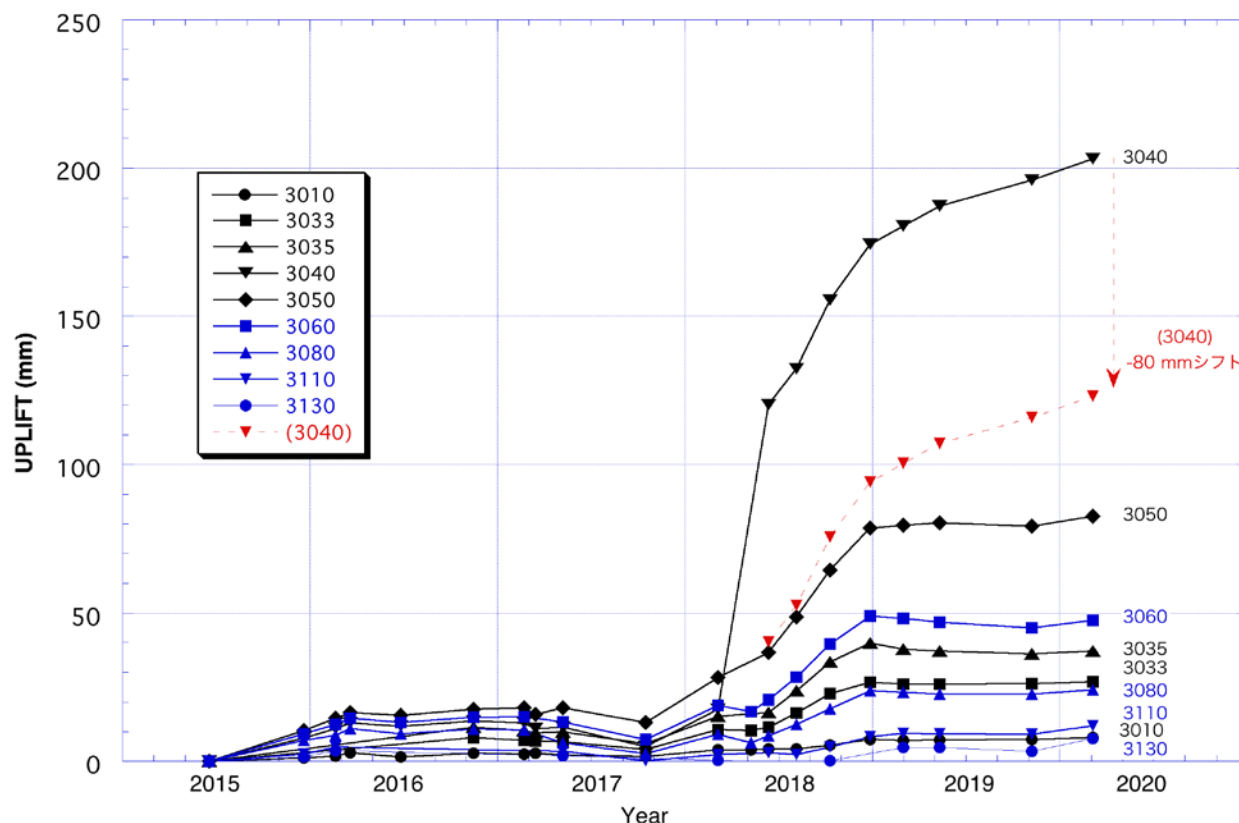
第 1 図 えびの高原～硫黄山区間の水準路線と 2017 年 10 月から 2018 年 12 月までの隆起量を示す。2018 年 4 月から活発化した噴気領域や、これまでの水準測量から推定された圧力源の水平位置も同時に示す。国土地理院電子地形図（タイル）を使用した。



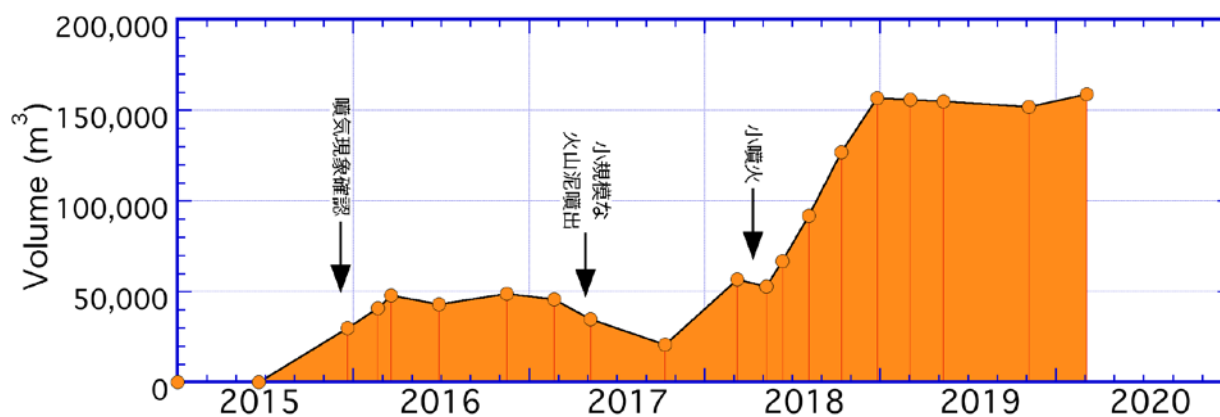
第 2 図 2017 年 10 月以降の主な水準測量結果 (BM3040 を除く)。隆起・沈降の中心は硫黄山付近の浅部と考えられる。2018 年 12 月以降の値はほとんど重なっている。

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ため, 圧力源解析では使用していない.



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変化量.

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」「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」および東京大学地震研究所共同研究プログラムの援助を受けた. ここに記して感謝する.

*2020 年 3 月 測量作業 内田和也・松島 健・岩佐優一・渡部陽奈・唐 懌塵・吉永光樹・及川 純
これまでの測量参加機関: 九州大学・京都大学・北海道大学・日本大学・東京大学・気象庁

硫黄山南・西火口及び周辺の地熱・熱水活動

硫黄山南・西火口及びその周辺では、2018年4月噴火以降活発な噴気活動・噴湯現象が生じていたが、2018年12月以降は噴気・熱水温度は安定/低下しその傾向は2019年12月頃まで続いた。本調査期間中の2020年3月には、山頂域噴気H, G, 西域噴気M1, M8で沸点を超える噴気温度を観測した。W4湯だまりでは水温は安定しているが、Y2a, Y2b湯だまりでは水温変化が大きい。硫黄山西山麓のK3湧水地点では2019年に温度低下/枯渇を確認したが、2020年2月に再湧出し2~3月は水温が47℃を超えた。以上のように、硫黄山南・西火口周辺では地熱活動の極わずかな高まりが認められるが、Y2での水温変化が大きくなり極浅所の熱水環境に変化が生じている可能性が考えられる。ドローン調査で川湯1のやや上流に温水湧出を確認し、温度の高い地下水域が硫黄山の西側に広がっている可能性が考えられる。

1. 硫黄山南火口

Y2火口湯だまりは2019年5月に消失、8月に再出現し、その後水位が回復した。Y3火口湯だまりは2019年2月頃にほぼ消失しその後湯だまりは見られない。

- ・Y2a火口湯だまりは、2019年5月に消失し、8~12月に湯だまりの再出現・水位上昇と噴湯を確認した。2020年2~5月は水位が上昇し活発な噴湯が生じていた(図3)。
- ・Y3火口は2019年5月の湯だまり消失後、火山ガス放出が継続していた(図4)。噴気温は、2020年5月23日は102.2℃と沸点(標高1300mの沸点約96℃)より高かった(図1, 6)。
- ・硫黄山東火口には2020年2月24日、3月5日、5月23日いずれの調査時も溜まり水が存在していた。

2. 硫黄山西火口

硫黄山西火口では、W4孔の湯だまりで噴湯が認められた。

- ・W4孔湯だまりでは、水温が95~97℃とほぼ安定している(図1, 5)。5月23日は、水位低下により湯だまりが見られなくなり、水位の変動が生じている(図4)。
- ・W4孔湯だまりは、2018年12~2019年11月の調査時に泥水を流出させていたが、2019年12月13日には流出がなく2020年2月24日も流出はなかった。なお、W4孔の道路の浸食は2019年11月に0.5m程の拡大を確認したが、その後は大きな変化はない(図4)。

3. 硫黄山噴気帯及び湧水

- ・硫黄山山頂域噴気帯の定点観測では、2020年3月5日に噴気G, Hで沸点を超える温度が観測され、その後もやや高い温度を維持している(図1, 6)。
- ・噴気孔M8は、96℃前後でほぼ安定していたが、97.5℃(3/5)、98.7(5/23)と沸点より高い温度を観測した(図6)。
- ・川湯3(K3)湧水では、2018年12月以降水温が低下し、2019年12月の湧水消失後2020年2月24日に再湧出し、その後水温は38~47℃であったが、5月23日は52.6℃となった(図1, 5)。
- ・旧市営露天風呂では水温の低下が見られたが、2020年5月はやや上昇した(図1)。

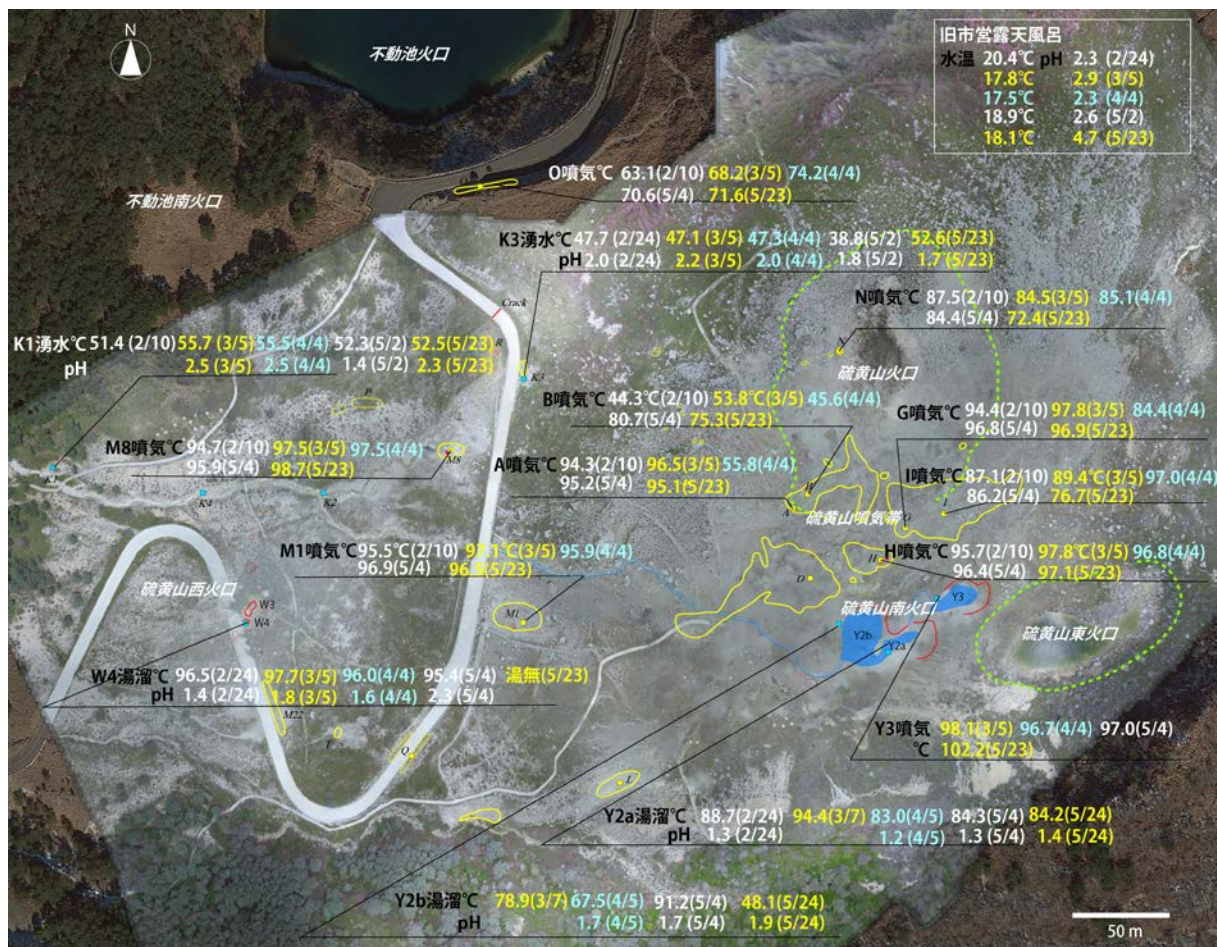


図1 硫黄山南・西火口周辺の噴気及び熱水の観測結果

基図はドローン撮影より図化し、色調の異なる外側は Google Earth (Google Earth © 2018 ZENRIN 2018) による。緑破線：旧火口地形。黄線：噴気域。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、田島・他（2019）に基づく。

- ・川湯1(K1)湧水付近では2019年8月頃湧出した温水（水温56.1℃, pH 2.5; 2019/11/7）を確認し、2020年の水温は51~56℃となった（図1, 6）。

4. その他

2020年5月23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に硫黄山西麓の地熱地帯の映像を示す。熱画像は同時に撮影されている可視画像に透過率60%で重ねて表示し、位置の特定をしやすいようにしている。図2-1, 2は最近湧出が見つかった赤子川内の湧水の写真であり、K-1, K-4の他にも湧出があることがわかる。図2-3, 4はさらに上流の県道がまたぐ付近の地熱異常域を示す。M8では泥水溜まりが見られるが、直接赤子川には流出していないことが分かる。図2-5はW4湯溜まり部分の拡大図である。隣のW3孔内には地熱徴候がみられないが、北側の縁に地熱徴候があるので、空洞等の存在が懸念される。図2-6はW4湯溜まりの南東側の領域であるが、M22の地熱異常のほか、これまで報告がなかった地熱異常域（Tと命名）があることが分かった。今後現地調査を行う予定である。

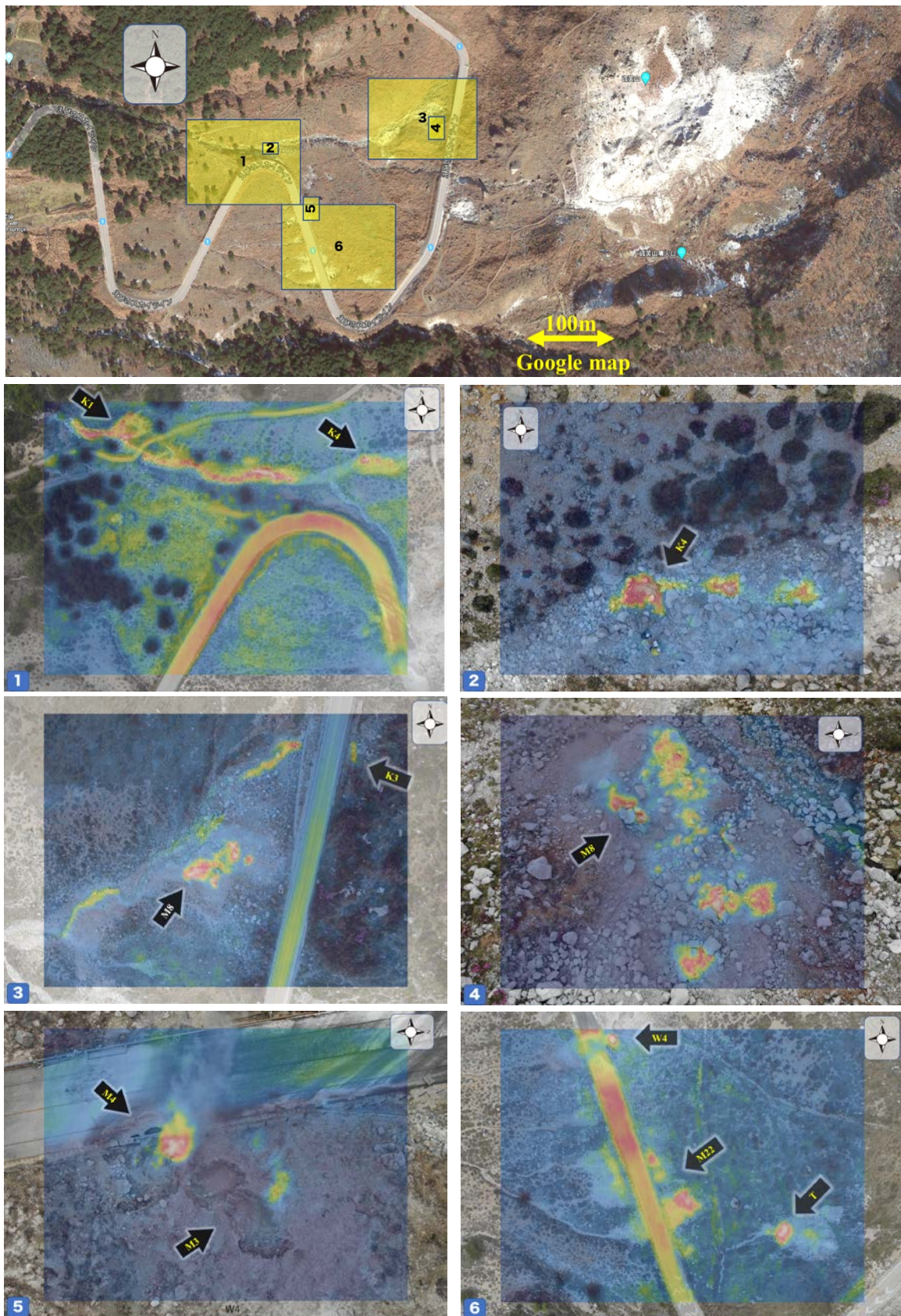


図2 硫黄山西域の地熱活動

1 県道北側赤子川に認められる温水湧出箇所(K-1, K-4). 2. K4 の拡大図. 3. K3~M8 の地熱異常域 4. M8 の拡大図. 5. W4 湯溜まりの拡大図 6. W4 の南東側の地熱異常域.

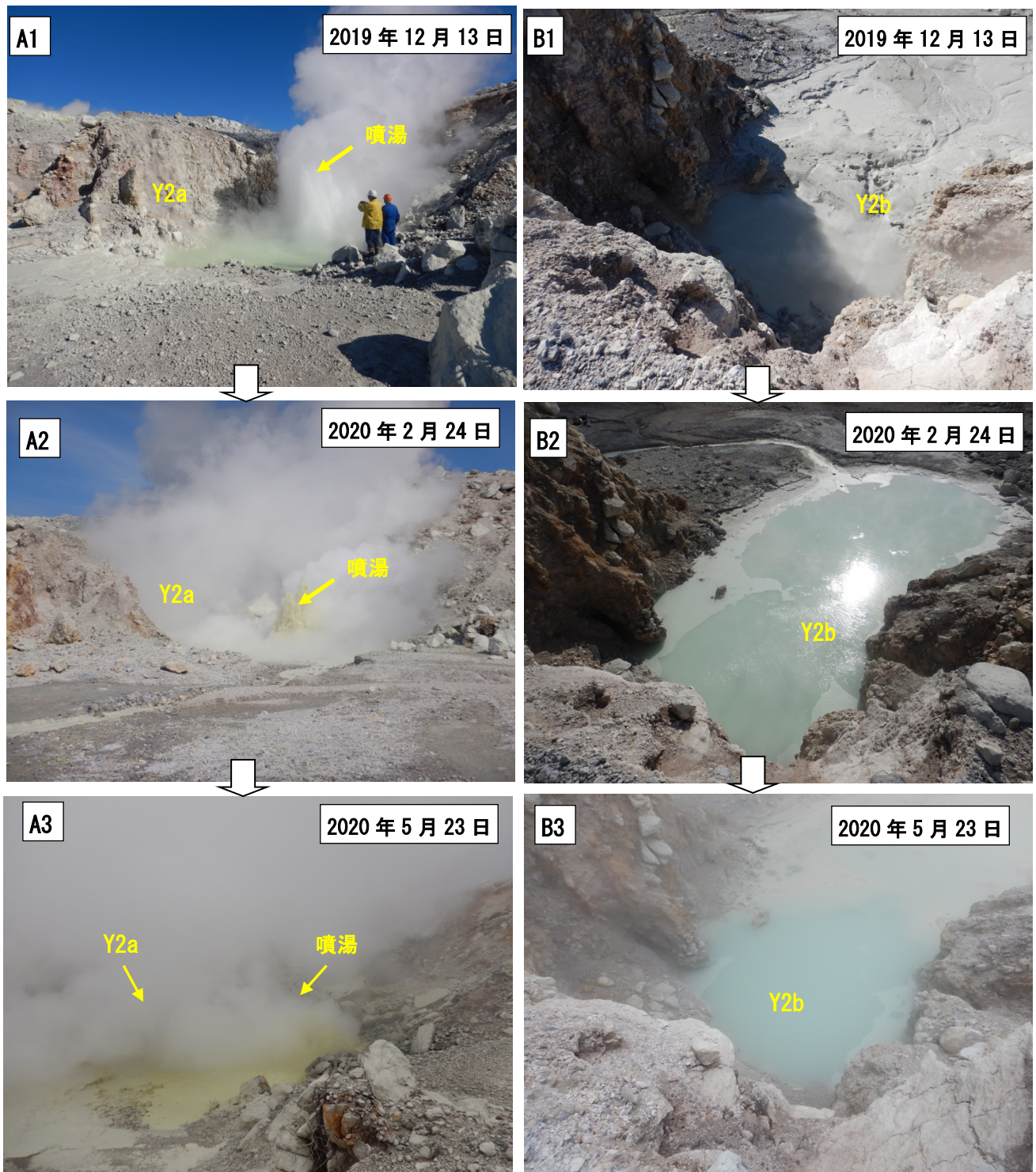


図3 硫黄山南火口 (Y2a, b) の地熱活動

A: Y2a火口湯だまりと噴湯現象. A1) 2019年12月に水位が上昇した. A2) 2020年2月には高さ2~3mに達する噴湯が見られた. A3) 2020年5月23日の噴湯 (高さ2~3 m).
B: Y2b火口湯だまり. B1) 2019年12月13日の湯だまり. 2019年5月に消失した湯だまりが8月に再出現した. B2) 2020年2月は水位が上昇した. B3) 2020年5月23日の湯だまり.

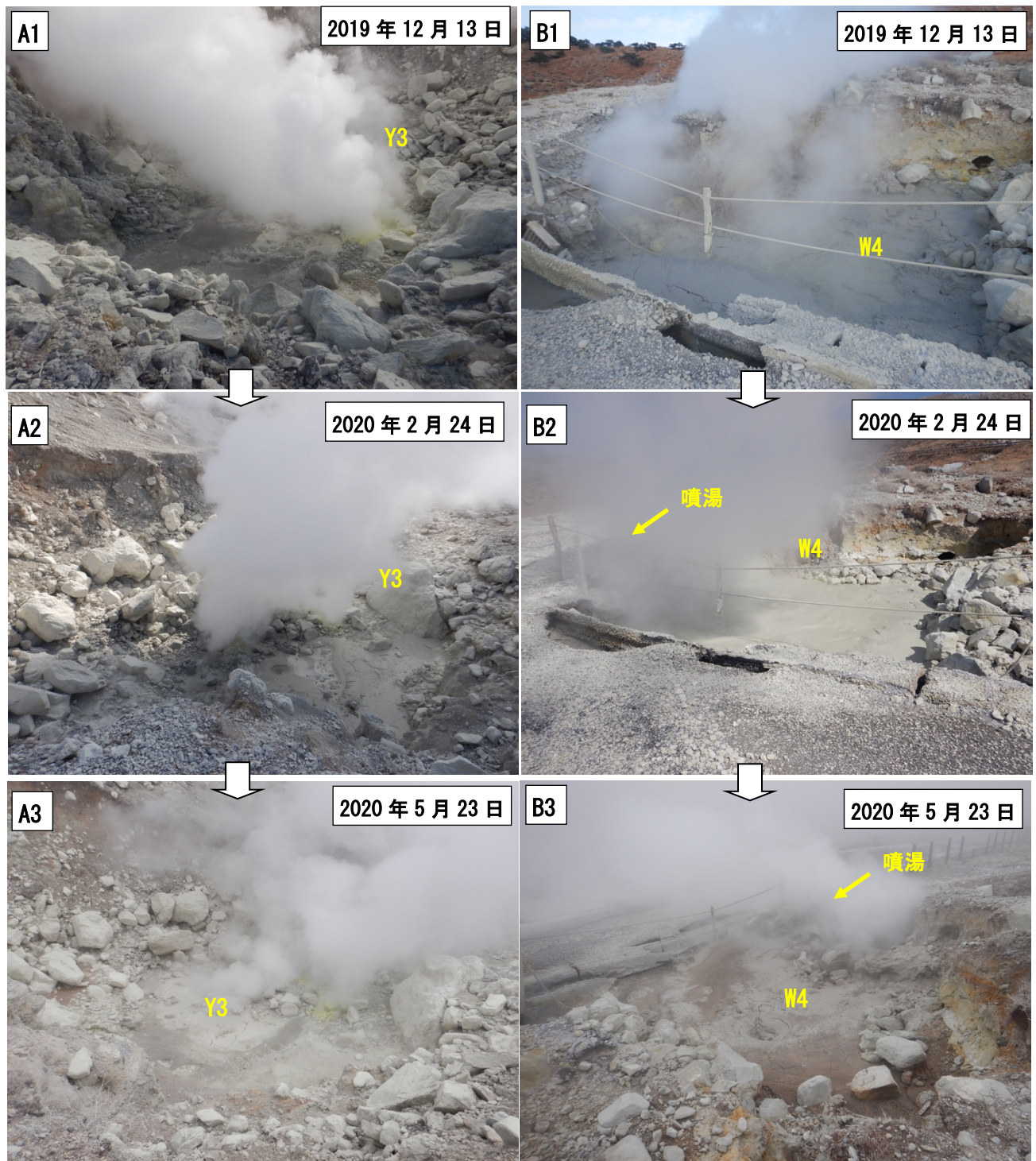


図4 硫黄山南・西火口 (Y3, W4) の地熱活動

- A: Y3の噴気状況。湯だまりはない。A1)～A3) これらの調査時に大きな変化は認められない。噴気温度は98.1℃ (2020年3月5日), 102.2℃ (2020年5月23日)。
- B: W4孔湯だまり。大きさは道路沿い (7m) × 道路直交 (7～5.5m)。B1) 12月は泥水状の噴湯が生じていたが、水位低下により側溝からの流出はない。側溝縁から水面までの高さは-80 cmである。B2) 2020年2月は水位が回復したが、湯だまりの色が薄い色に変化した。B3) 水位低下により、火口底が現れる。側溝縁から底面までの高さは-40 cmであり、堆積が進行した。

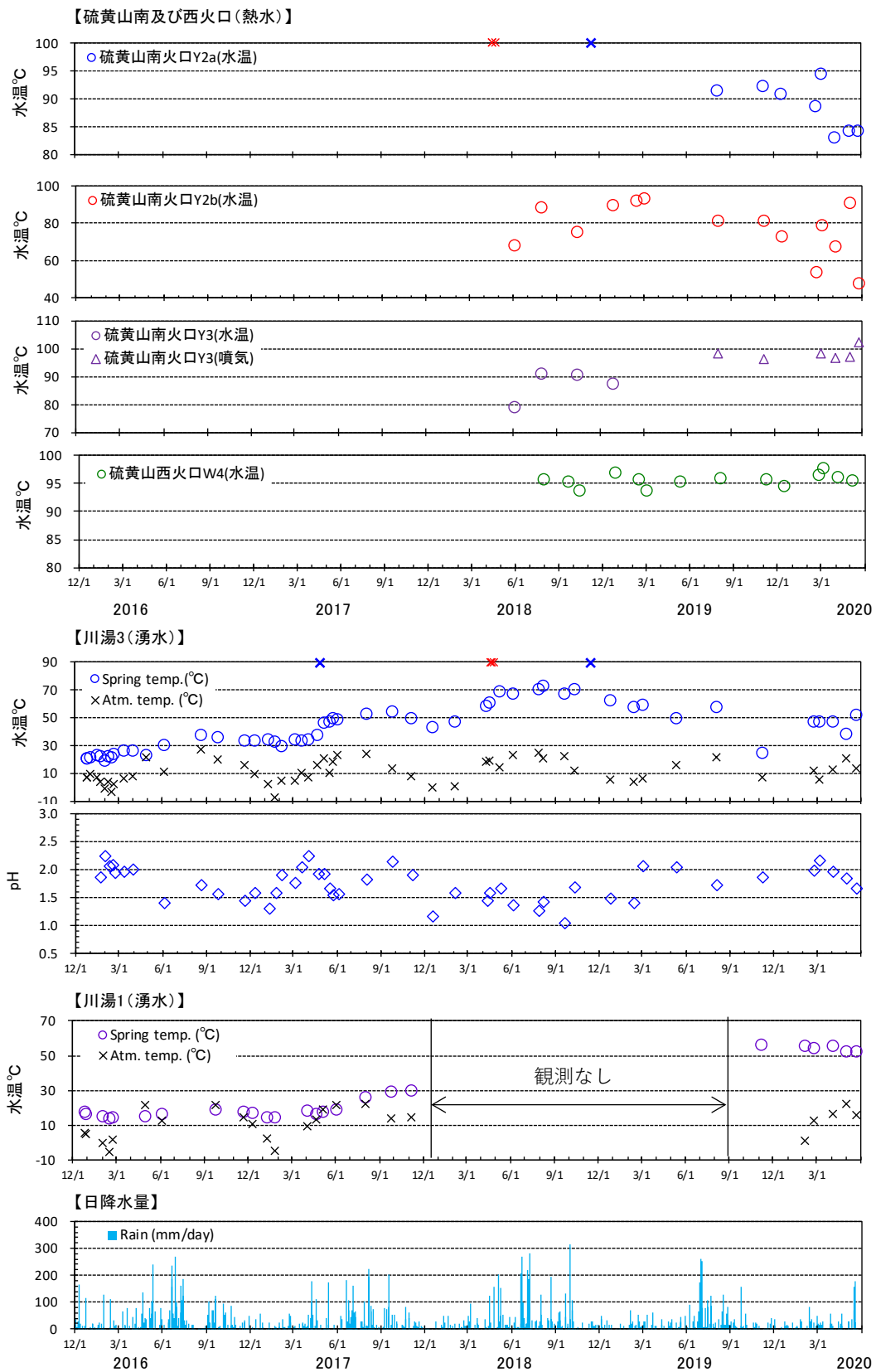


図5 硫黄山周辺の湯だまり・湧水の測定結果(位置は図1参照)

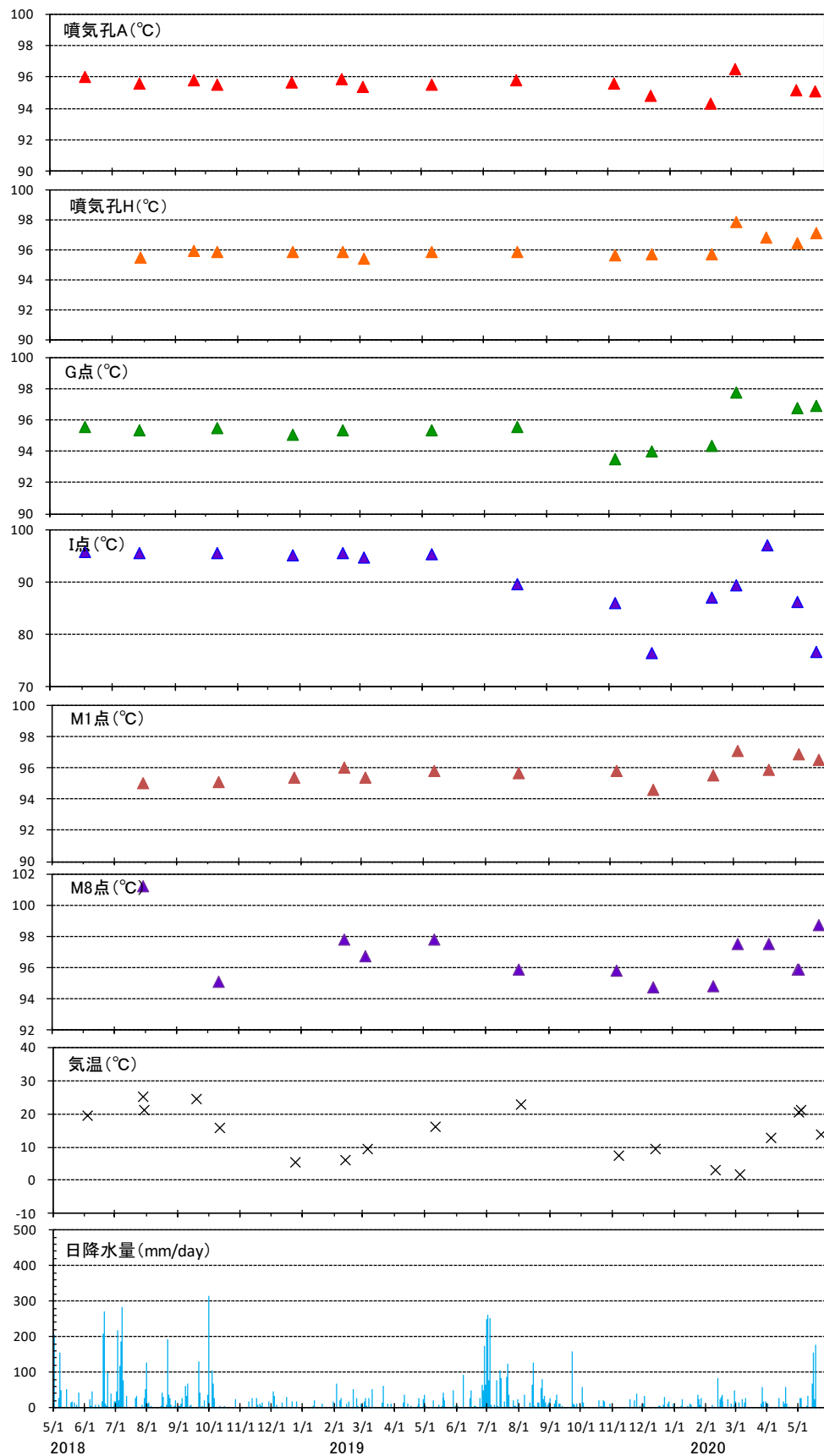


図6 硫黄山噴気帯の噴気温度測定結果 (位置は図1 参照)

硫黄山周辺の熱水・湧水の化学組成の経時変動について

硫黄山周辺の温泉水、湧水を対象に、2018 年 7 月末から 1 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。その結果から $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比の低下傾向が見られる。この低下傾向は硫黄山の山頂部から始まって次第に山麓部に広がっており、マグマ活動の衰退を反映していると考えられる。

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 Y2, Y3 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、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大きく変動することがあり、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、2019 年 3 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 | 2019/8/3 | 91.0 | 1.81 | N.D. | 220 | 4700 | 0.13 | 0.11 |
| | 2019/11/8 | 89.3 | 1.56 | N.D. | 66 | 4640 | 0.04 | 0.037 |
| | 2019/12/13 | 73.1 | 1.11 | N.D. | 180 | 10800 | 0.05 | 0.043 |
| | 2020/2/24 | 88.7 | 1.27 | 3.3 | 197 | 11700 | 0.05 | 0.043 |
| | 2020/4/4 | 83.0 | 1.23 | 3.1 | 89 | 10150 | 0.02 | 0.023 |
| | 2020/5/23 | N.D. | 1.48 | 1.8 | 113 | 7510 | 0.04 | 0.039 |
| 南火口湯だまりY2b | 2019/3/2 | 93.3 | 2.05 | 1.1 | 1810 | 2870 | 1.71 | 0.63 |
| | 2019/8/3 | 79.9 | 1.68 | N.D. | n.a. | 2840 | - | - |
| | 2019/11/8 | 74.8 | 1.36 | N.D. | 44 | 1450 | 0.08 | 0.075 |
| | 2019/12/13 | 81.6 | 1.22 | N.D. | n.a. | 6710 | - | - |
| | 2020/2/24 | 53.9 | 1.36 | 2.0 | 78 | 5450 | 0.04 | 0.037 |
| | 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 |
| 南火口湯だまりY3 | 2019/11/8 | 93.2 | 1.83 | 0.5 | 32 | 2670 | 0.03 | 0.031 |
| 西火口湯だまりW4 | 2019/3/2 | 93.7 | 1.49 | 7.2 | 11000 | 14500 | 2.05 | 0.67 |
| | 2019/5/17 | 96.2 | 1.28 | 5.4 | 9250 | 10500 | 2.39 | 0.71 |
| | 2019/8/3 | 95.9 | 1.35 | N.D. | 6870 | 8520 | 2.18 | 0.69 |
| | 2019/11/7 | 95.6 | 1.19 | N.D. | 8240 | 9580 | 2.33 | 0.70 |
| | 2019/12/13 | 94.4 | 1.26 | N.D. | 5890 | 10260 | 1.55 | 0.61 |
| | 2020/2/24 | 96.5 | 1.42 | 2.0 | 586 | 5070 | 0.31 | 0.24 |
| | 2020/4/4 | 93.2 | 1.67 | 1.3 | 405 | 3870 | 0.28 | 0.22 |
| | 2020/6/1 | 97.4 | N.D. | N.D. | 89 | 1260 | 0.19 | 0.16 |
| 旧市営露天風呂Ro | 2019/3/2 | 25.3 | 2.13 | 0.85 | 841 | 2210 | 1.03 | 0.51 |
| | 2019/5/18 | 23.4 | 2.11 | 0.54 | 390 | 1230 | 0.86 | 0.46 |
| | 2019/8/3 | 22.6 | 2.29 | N.D. | 42 | 890 | 0.13 | 0.11 |
| | 2019/11/9 | 21.7 | 2.12 | N.D. | 34 | 640 | 0.14 | 0.13 |
| | 2020/2/24 | 20.4 | 2.33 | 0.18 | 25 | 500 | 0.14 | 0.12 |
| | 2020/4/4 | 18.4 | 2.24 | 0.18 | 25 | 500 | 0.13 | 0.12 |
| | 2020/5/23 | 17.5 | 2.75 | 0.11 | 15 | 282 | 0.14 | 0.13 |
| 湿地帯(緑色池)Sg | 2019/3/2 | 17.3 | 3.54 | 0.10 | 120 | 273 | 1.19 | 0.54 |
| | 2019/5/17 | 16.2 | 3.41 | 0.08 | 57 | 210 | 0.74 | 0.43 |
| | 2019/8/3 | 16.0 | 3.52 | N.D. | 29 | 225 | 0.34 | 0.26 |
| | 2020/4/4 | 14.9 | 3.44 | 0.06 | 13 | 226 | 0.16 | 0.14 |

N. D. : 機器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.

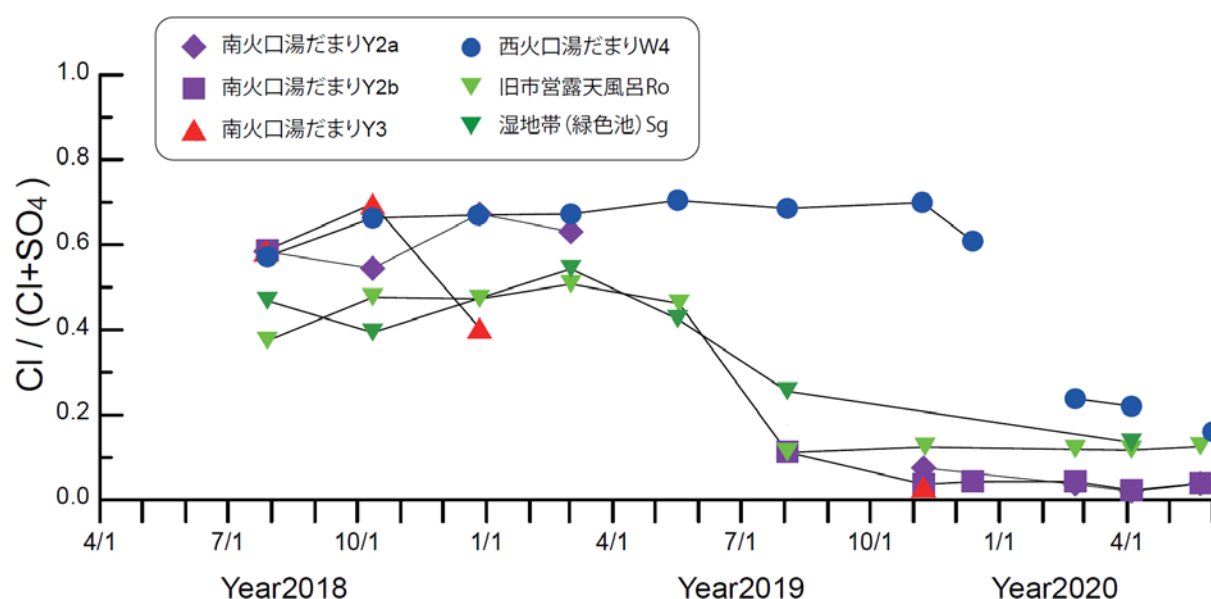


図2 霧島硫黄山周辺の湯だまりおよび湧水の温泉水の $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比（モル比）の経時変動
（南火口の湯だまりは2019年の夏季に、西火口の湯だまりは2020年冬季に水位低下によって試料採取ができなかった時がある）

3. 結果の解釈

いずれの温泉／湧水においても、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明瞭に見られた。最も初期に $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比の低下が見られたのは南火口湯だまり Y3 で、2018 年の冬季に低下の端緒が見られている。南火口の湯だまり Y2 では、2019 年夏季に水位低下があった前後で、 $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比が 0.6 前後から 0.11 以下に顕著に低下した。硫黄山北側の旧市営露天風呂温泉水 Ro と湿地帯の緑色池の湧水 Sg も、ほぼ同じ 2019 年夏季に $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比が小幅ながら低下した。この $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比が低下する傾向がもっとも遅れて見られたのは西火口の湯だまり W4 で、2019 年の年末から始まった。このあと、W4 の湯だまりの水位が著しく低くなる現象が何回か観察されているが、 $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比は 0.1 から 0.3 の範囲にある（なお 6 月 1 日は Cl 濃度も SO_4 濃度も低かったが、前日の雨による水位の急増を反映している可能性が高い）。

この $\text{Cl} / (\text{Cl} + \text{SO}_4)$ 比の低下の直接の要因については現在のところはっきりしないが、Cl も SO_4 もマグマ由来成分であることを考えると、マグマ活動の衰退を反映していると考えるのが妥当であろう。もしそうであるならば、この化学組成の変化が、硫黄山山頂に近い湯だまりから始まり、遠く離れた湧水や温泉で遅れて観測されたという結果は興味深い。また、現在の化学組成が定常状態であるかどうかを確認するためにももう少し観測を続ける必要がある。

霧島・硫黄山における MT 連続観測

2011 年 3 月より硫黄山の北東麓約 400m において電場 2 成分、磁場 3 成分の広帯域 MT 連続観測を実施している（図 1）。観測された時系列データから、電場－磁場 応答関数を 1 日ごとに決定した（図 2）。色つき実線は 2 週間の移動平均値を示す。1 次元構造を仮定すると、80Hz は数 10m、8Hz は 300m、1.25Hz は 500m、0.04Hz は 3000m の深さにおおよそ対応する。最下段に気象庁えびの観測点雨量を示す。

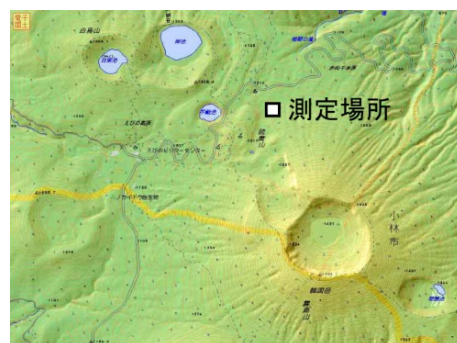


図1 広帯域 MT 連続観測点位置

観測点の側方方向に感度が高いインダクションベクトル振幅（図 2 下段）では、8Hz より短周期のインダクションベクトルの向きが 2017 年 10 月末ごろから数度ほど北向きに変化した。低比抵抗である粘土層（Tsukamoto et al., 2018, GRL）が火口直下で部分的に高比抵抗化したとすると説明可能な変化である。

2018 年 4 月の小規模水蒸気噴火以降は見掛け比抵抗、インダクションベクトルとも安定して推移しており、硫黄山直下の比抵抗構造には大きな変化がないと推測される。

2016 年以降、Zyx の見掛け比抵抗が穏やかに減少している。これをもう少し見るために、インピーダンス 4 成分の 2 乗和の平方根（Ssq）を計算した（図 3）。これを見ると、わずか（Log₁₀ スケールで 0.02 程度なので 5%程度）であるが、2016 年ごろから 80Hz、8Hz の Ssq が全体的に減少続けている。さらに 80Hz のほうが 8Hz より変化が大きいことも考えて、粘土層上面付近の帯水層（深さ数十 m 程度）が、熱水の混入により低比抵抗化、高温化をしているような解釈ができるかもしれない。5%程度の変化なので、温度だけで説明しようとする数℃程度の高温化でも説明可能な変化量である。

この観測データの一部は文部科学省次世代火山研究推進事業により取得された。

気象庁えびの観測点の雨量を使用させていただいた。

地図の作成には国土地理院数値地図 50000（地図画像）および 50m メッシュ（標高）、カシミール 3D を使用した。

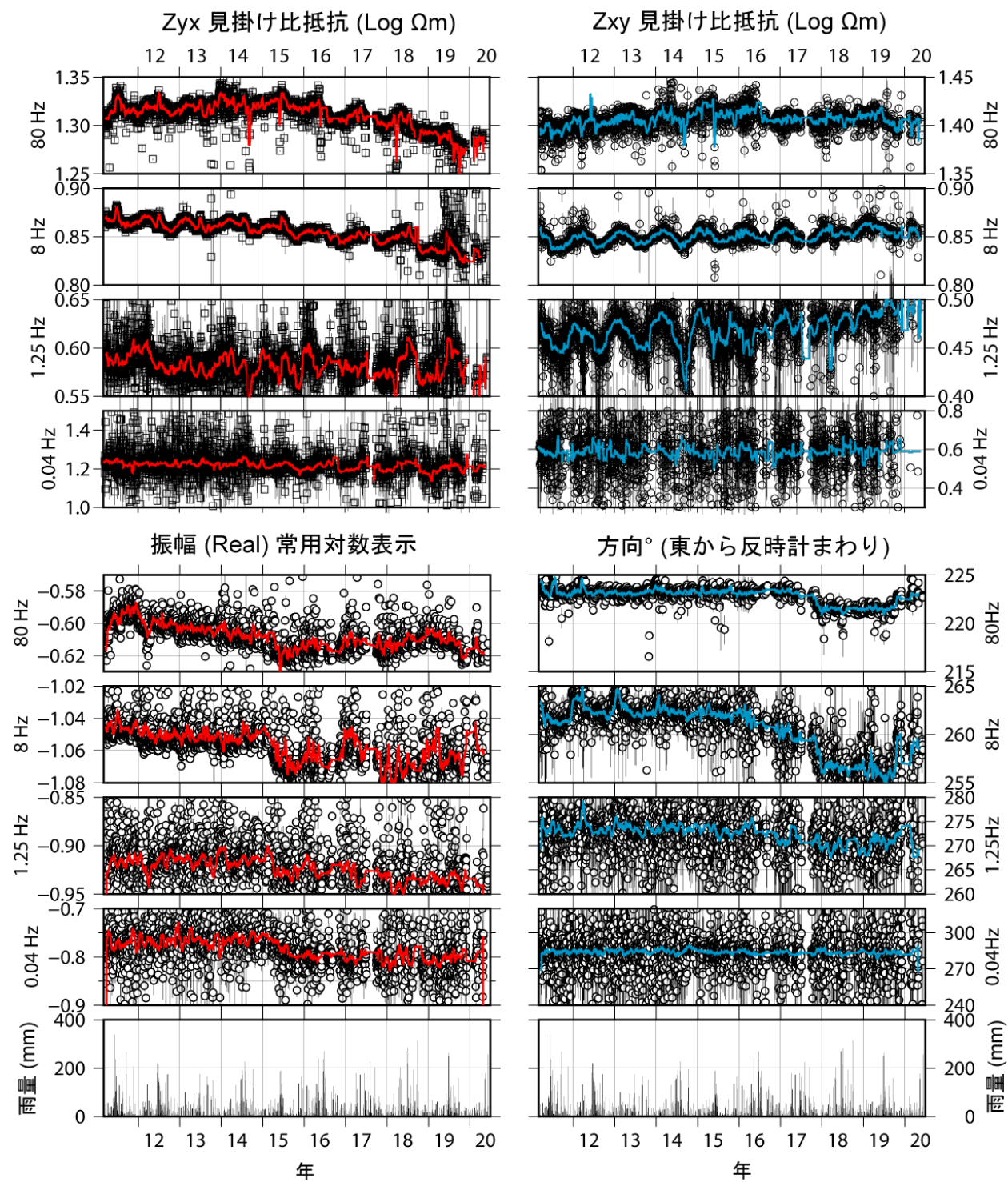
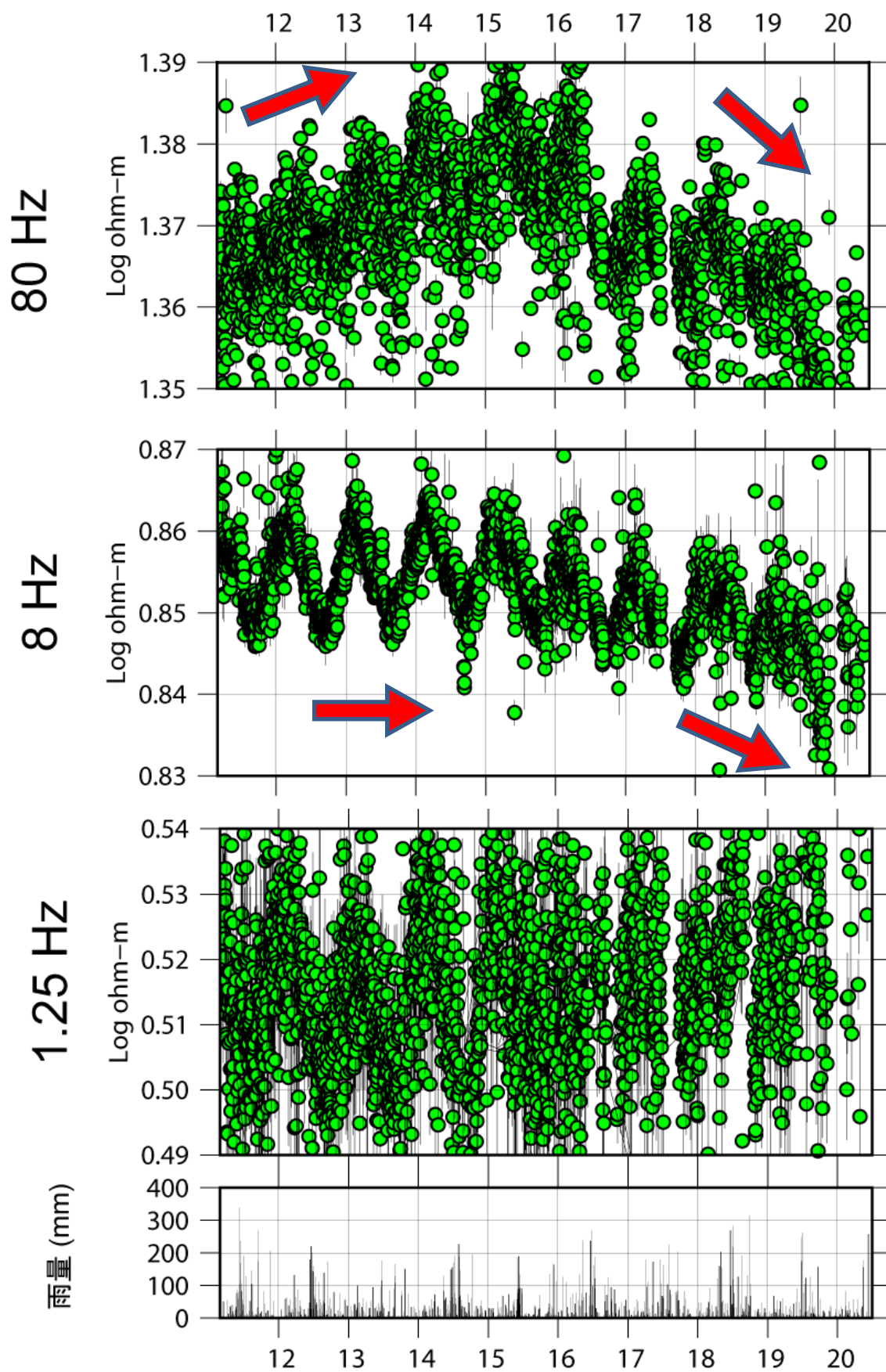
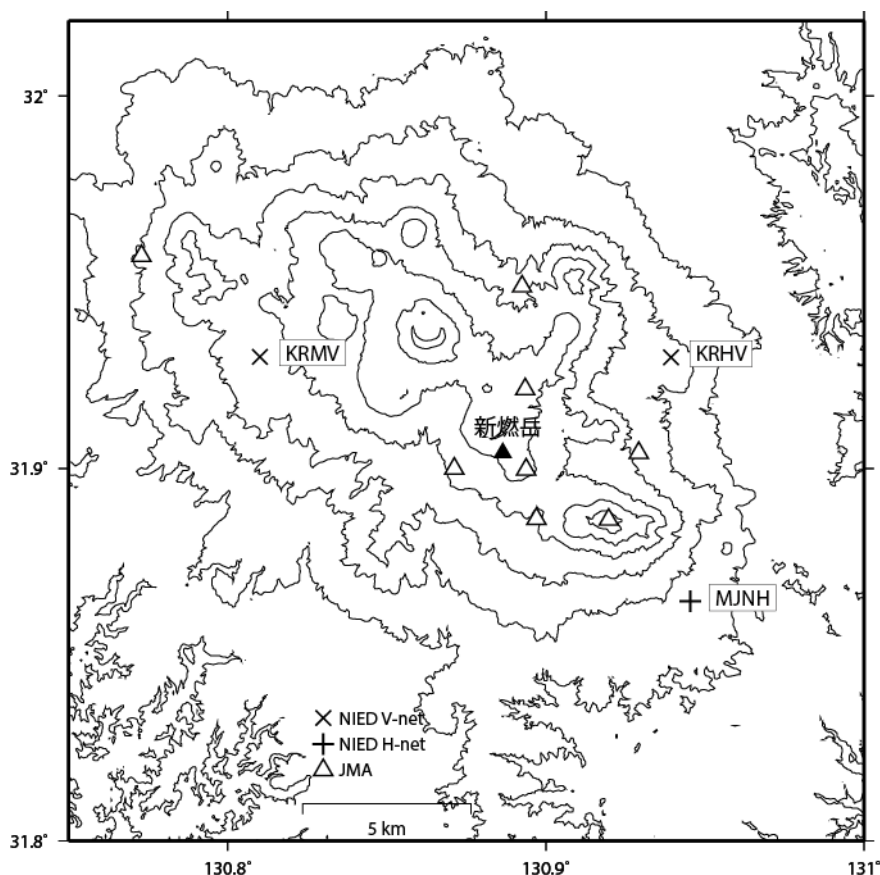


図 2 見掛け比抵抗(上段)、およびインダクションベクトル実部 (下段) の1日値

図 3 各周波数におけるインピーダンス4成分の2乗和の平方根 (S_{sq})

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

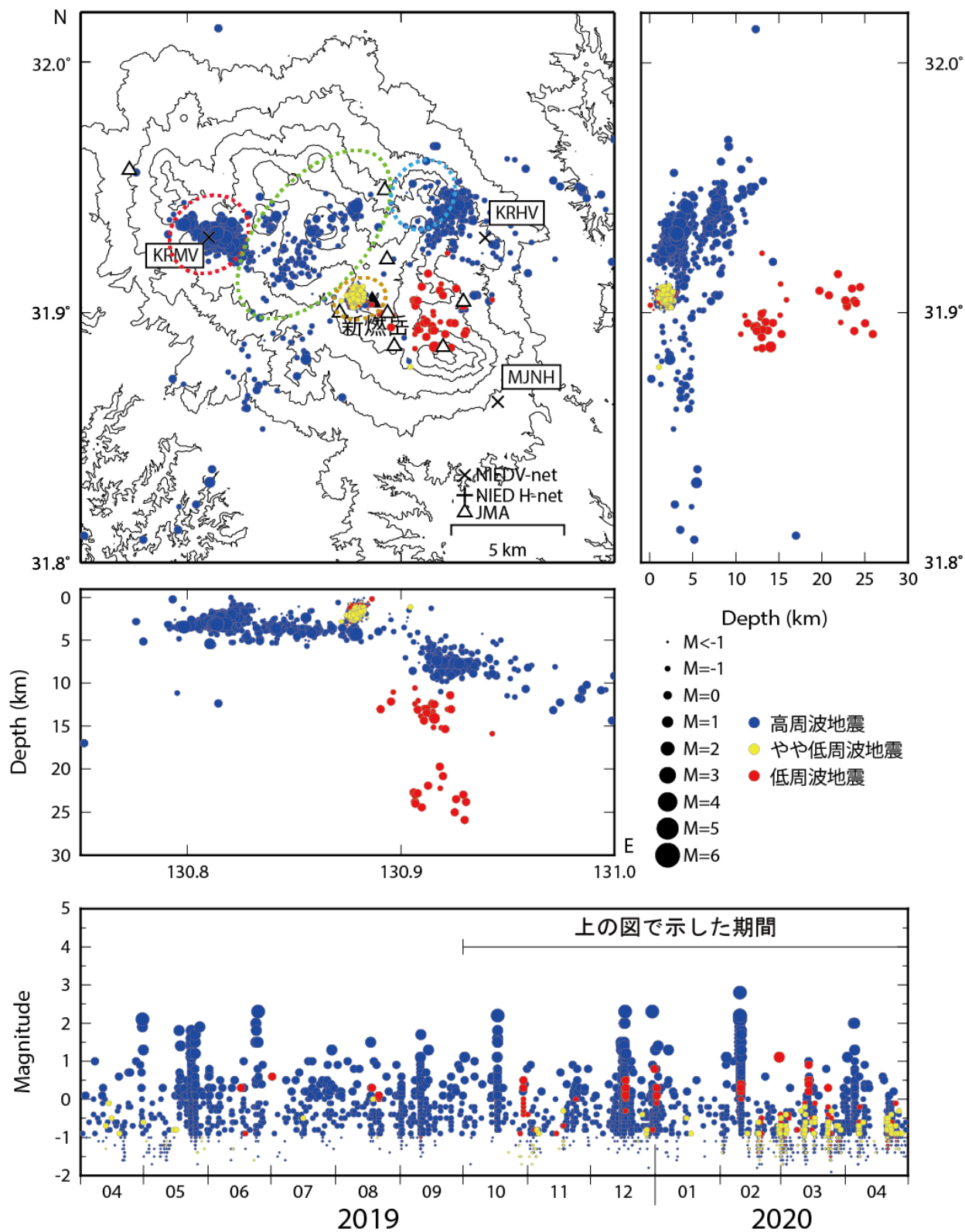
○ 地震活動

2019年10月から2020年4月30日にかけての震源分布を図1に示した。2019年12月16-18日、2020年2月10-11日にAの領域で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(2019/10/01 - 2020/04/30)



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(2019/10/01 - 2020/04/30)

霧島山の傾斜変動 (2010/05/01 ~ 2020/04/30)

霧島山の傾斜変動 (2019/10/01 ~ 2020/04/30)

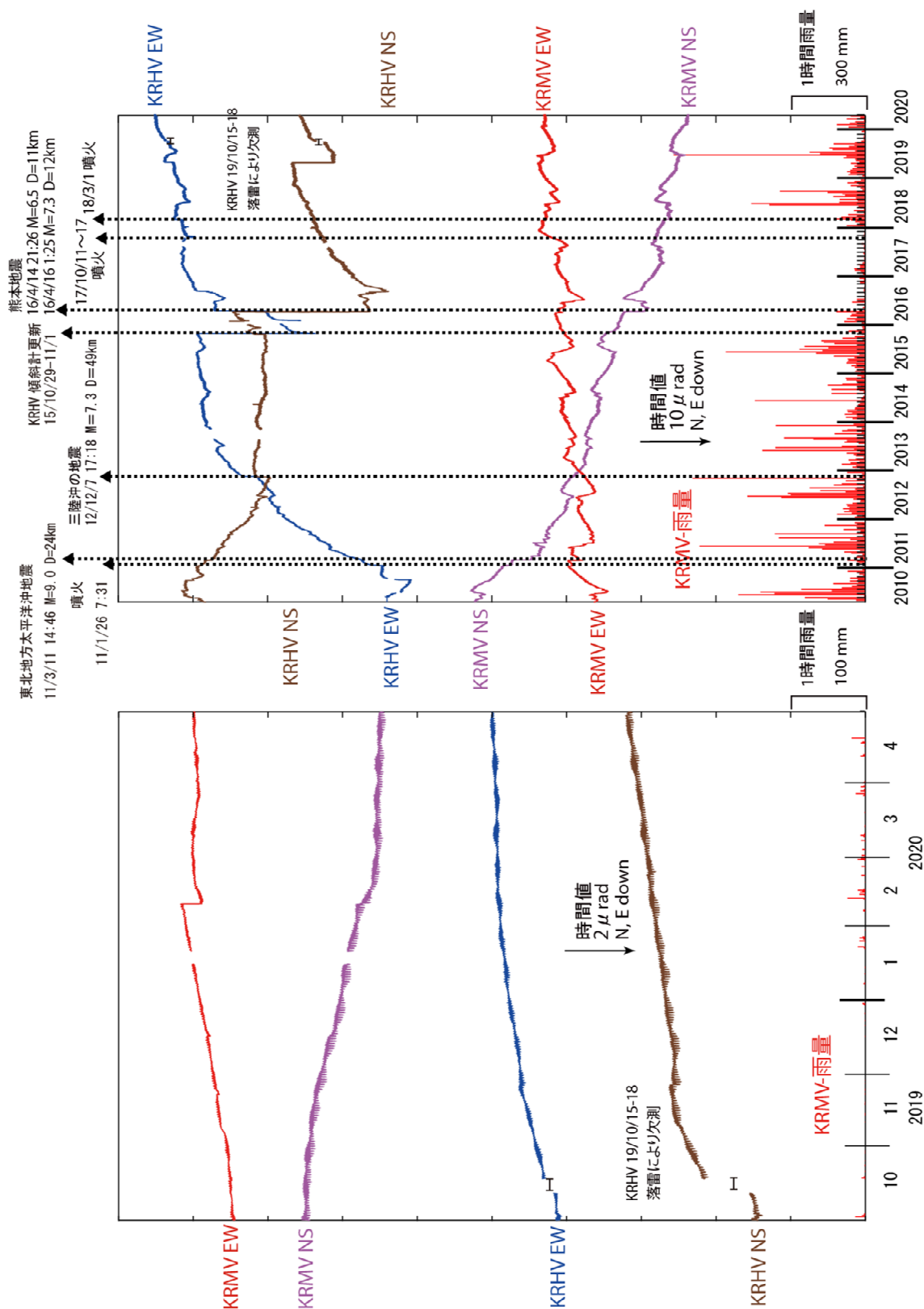
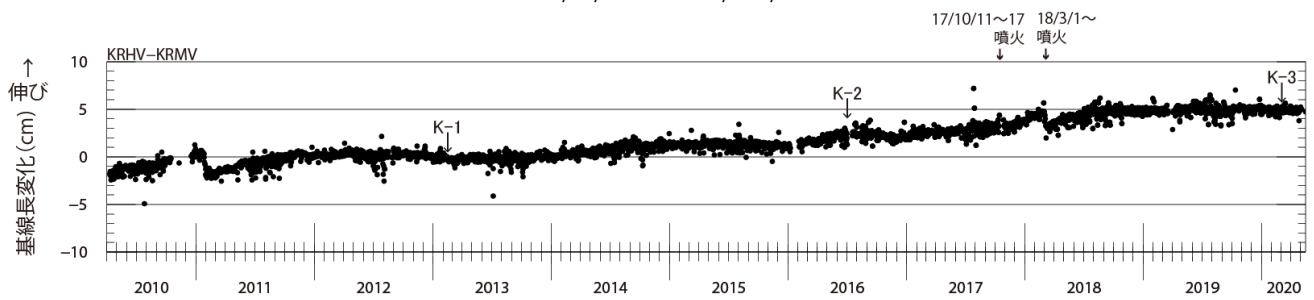


図2 霧島山の傾斜変動

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
2010/4/1～2020/05/15



2019/5/1-2020/04/30 の地殻変動【大口 (950485) 固定】

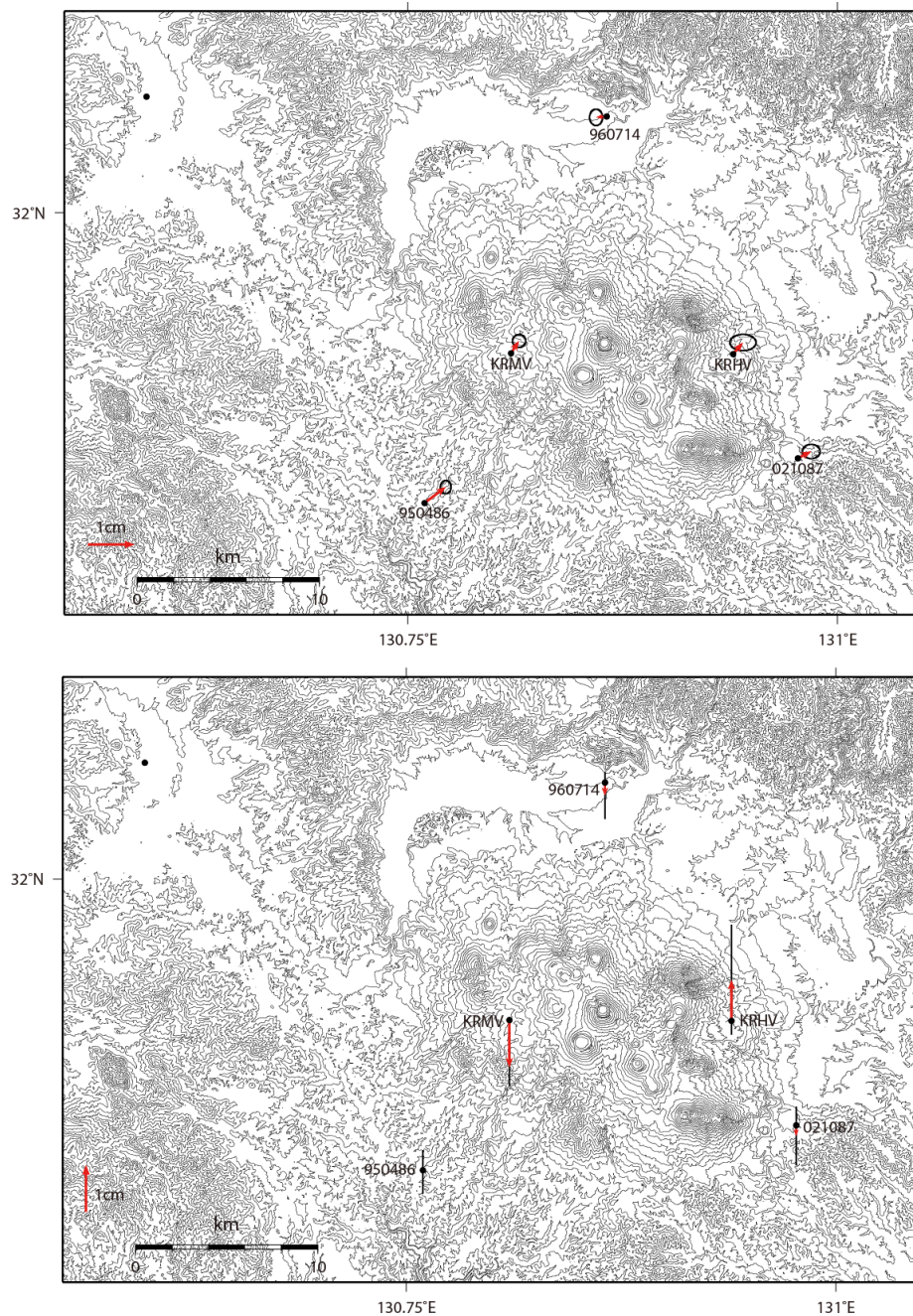


図3 霧島山 GNSS 解析結果. ※ベクトル図は速報暦使用

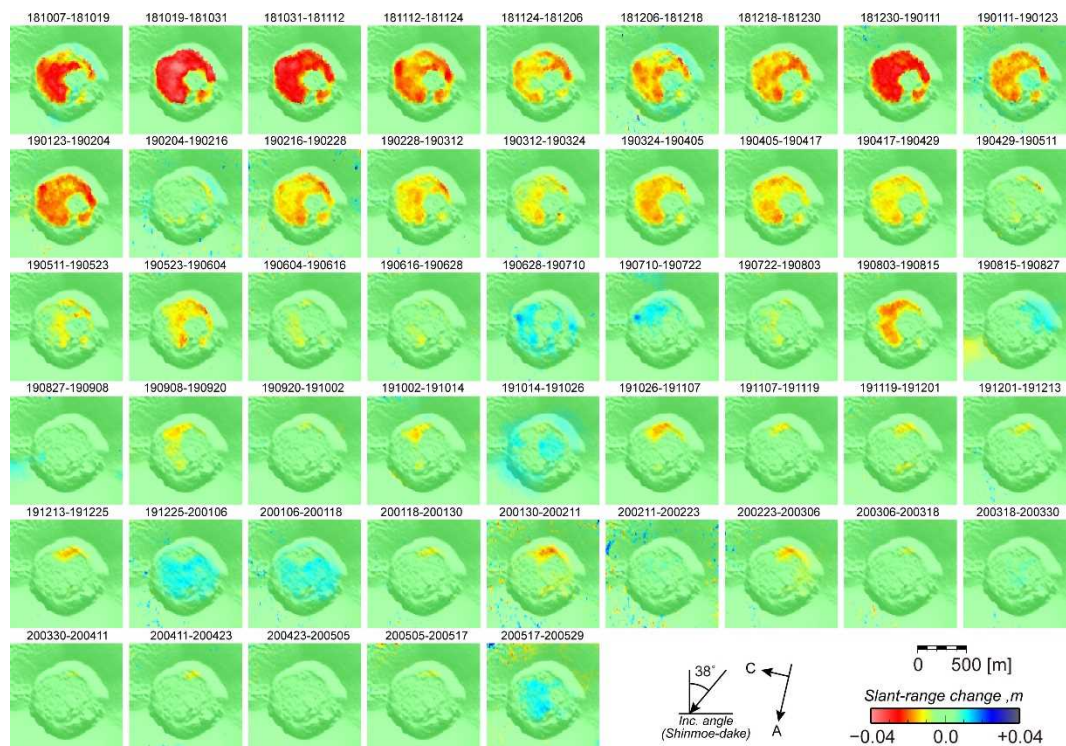
表1 GNSS観測履歴

| 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 |

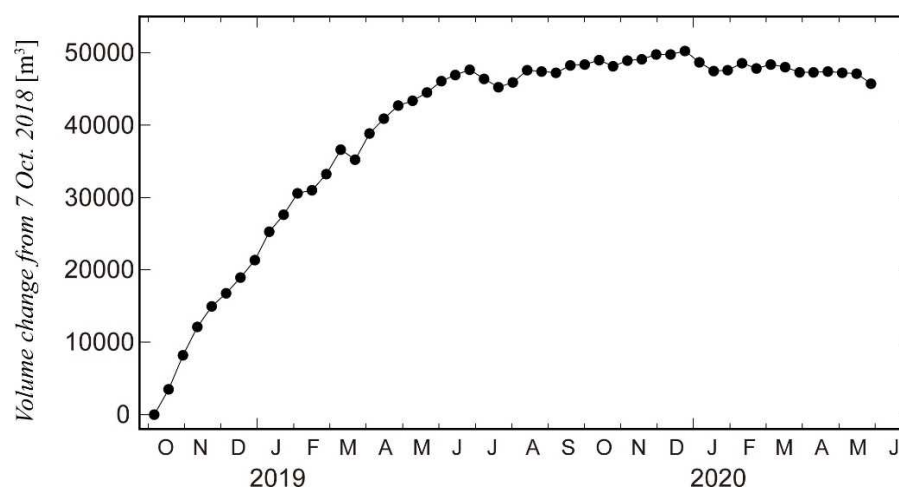
SAR 干渉解析による新燃岳火口内変形

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。火口内に、顕著な地表変形は見られない(第 1 図)。SAR 干渉解析から得られるスラントレンジ変化が上下変位のみによると仮定して求めた 2018 年 10 月 7 日からの体積変化量を第 2 図に示す。2019 年夏頃以降に、顕著な体積変化は見られない。

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。



第 2 図. Sentinel-1 の解析結果(第 1 図)において得られたスラントレンジ変化は、すべて上下変位に起因すると仮定して求めた体積変化量の時系列。

霧島硫黄山における火山ガス組成連続観測結果（2020 年 1 月まで）

霧島硫黄山 H 噴気孔近傍（図 1）での，Multi-GAS による火山ガス組成連続観測結果を報告する（図 2）。2019 年 6 月に急増した $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比および SO_2 濃度日最大値は，ともに低下傾向にあり，2019 年春ごろの値と同程度まで回復した。これは，硫黄山下の熱水系への高温火山ガス供給率の低下を示唆する（森田ほか, 2019, 火山学会講演予稿集）。なお，1 月末より連続観測は停止しており，今夏中の復旧を予定している。

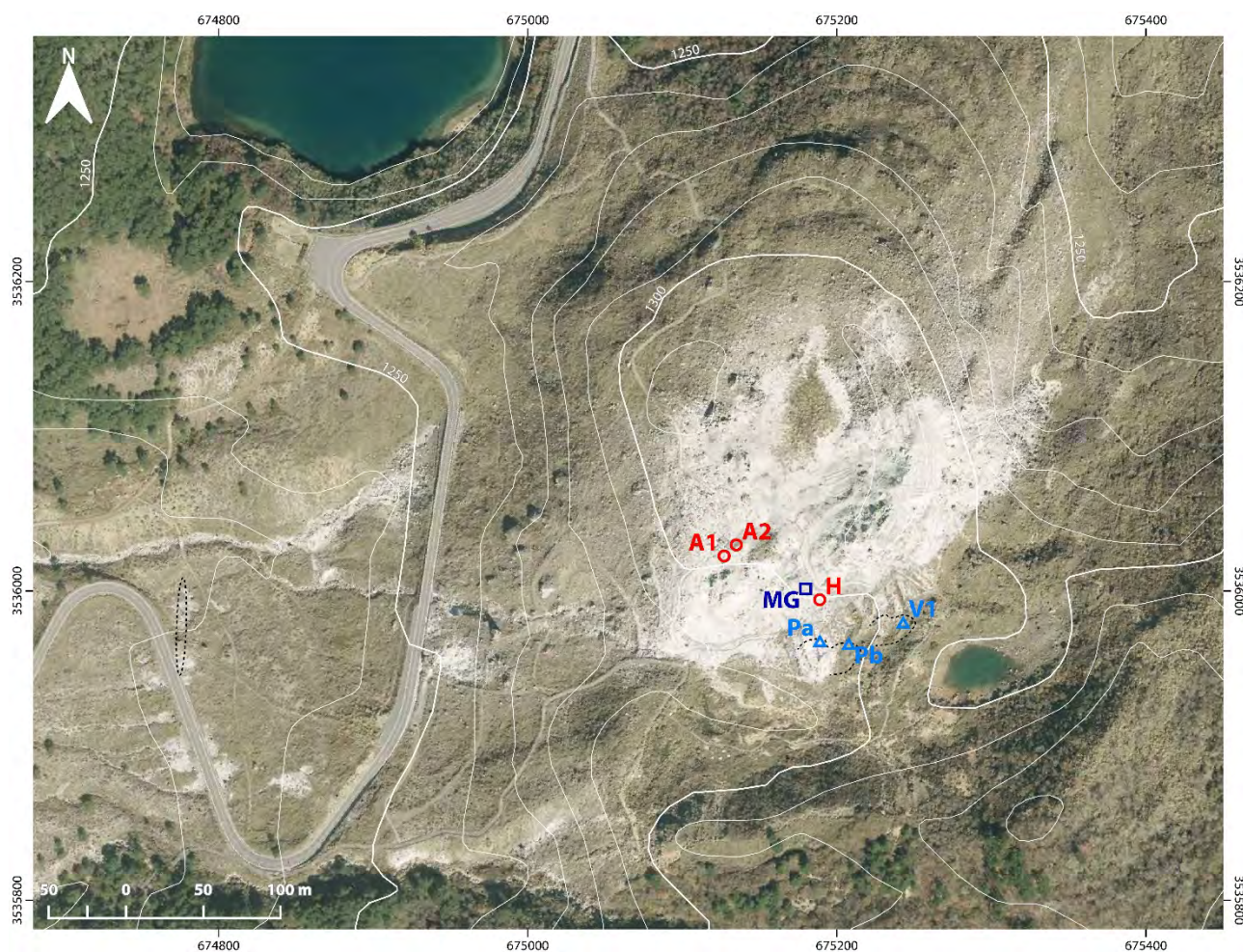


図 1 霧島硫黄山観測点および噴気孔・湯だまりの配置図。MG は連続観測点，H, A1, A2, Pa, Pb, V1 はそれぞれ噴気孔・湯だまりに対応する。背景には，国土地理院の空中写真および数値標高モデル 10m メッシュ（火山標高）を使用した。

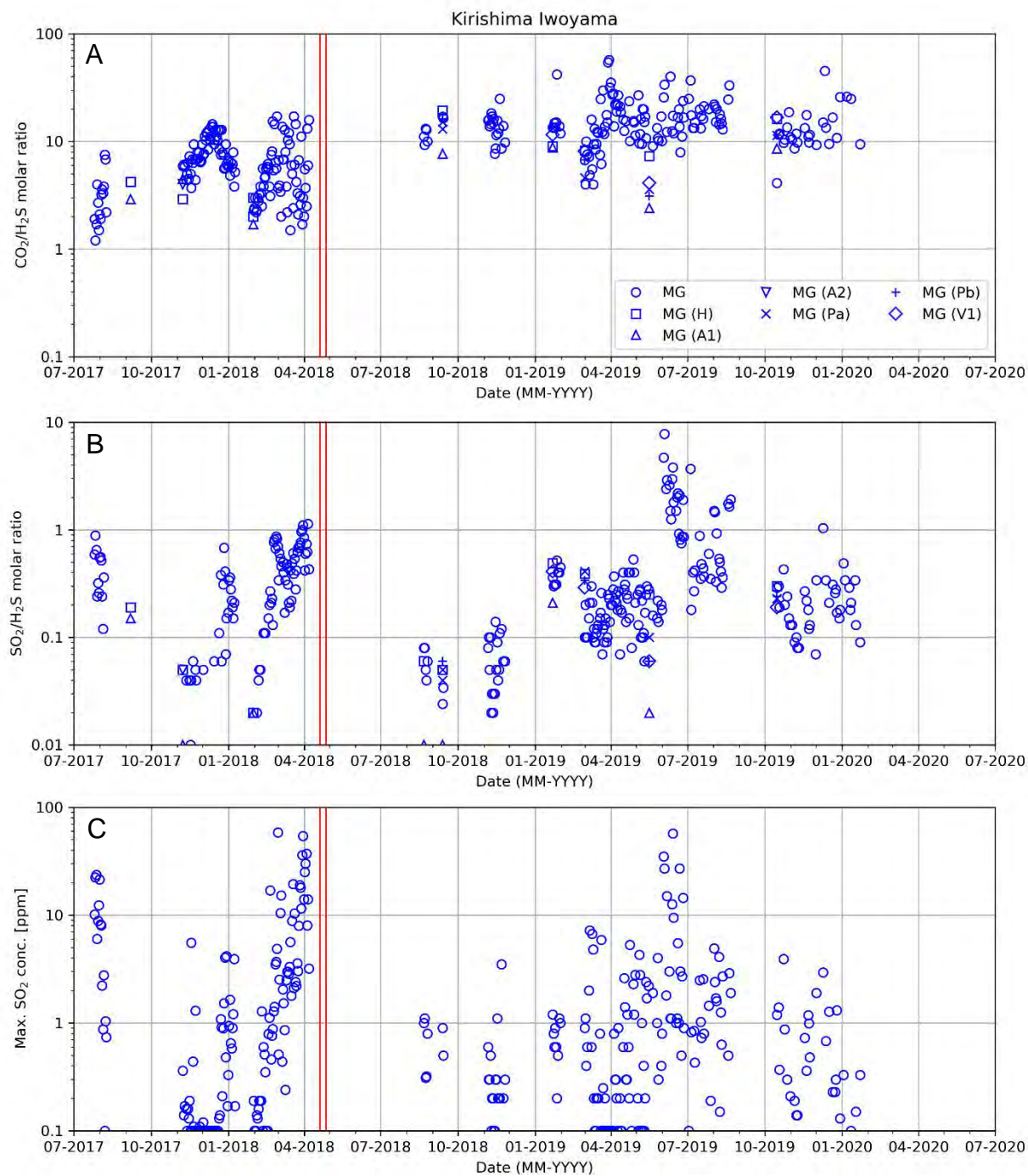


図2 霧島硫黄山火山ガス組成観測結果。それぞれ、A) $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比, B) $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比, C) SO_2 濃度日最大値を示す。凡例のうち、丸印は連続観測結果、それ以外は現地観測結果（各噴気孔・湯だまりでの値）に対応する。赤の縦線は2018年4月噴火を示す。

霧島山周辺の地殻変動

Crustal Deformations around Kirishima Volcano

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

第 1 図から第 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 5 月～2020 年 6 月）の時系列、右列は最近約 1 年間（2019 年 5 月～2020 年 6 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 5 月～2020 年 5 月）の時系列、右列は最近約 1 年間（2019 年 5 月～2020 年 5 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 5 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 2 月～2020 年 5 月）を、下段に最近 1 年間（2019 年 5 月～2020 年 5 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 9 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 図に硫黄山の拡大図を、第 9 図に新燃岳の拡大図を示す。2019 年 12 月までの約 5 か月間の変化を示す第 7 図(a)には、新燃岳の北西斜面に衛星から遠ざかる変動が見られる。第 9 図には、新燃岳の火口内の北側に衛星に近づく変動がみられる。

第 10 図は、GNSS 観測データに基づき、時間依存のインバージョン手法により霧島地域の変動源を茂木ソースと仮定して体積の増減を時系列的に推定した結果である。解析に使用する GNSS 観測点の一部は、桜島の活動の影響を受けるため、今回の解析では桜島地域との同時解析を行った。第 10 図上段は推定に用いた観測点の配置と変動源の位置図で、下段は推定された体積変化の時系列である。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 11 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。

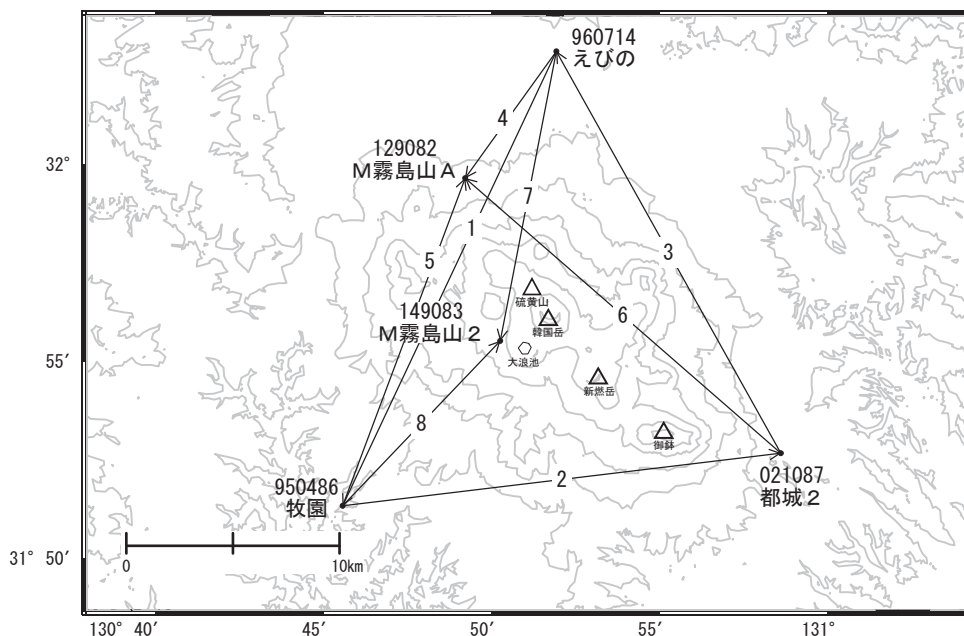
謝辞

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)



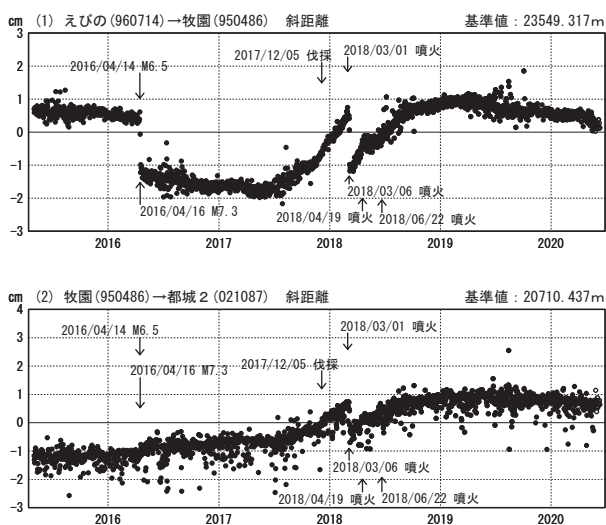
霧島山周辺の各観測局情報

| 点番号 | 点名 | 日付 | 保守内容 |
|--------|-----|----------|-------|
| 950486 | 牧園 | 20150622 | 受信機交換 |
| | | 20171205 | 伐採 |
| 960714 | えびの | 20191004 | 受信機交換 |

| 点番号 | 点名 | 日付 | 保守内容 |
|--------|-------|----------|-------|
| 129082 | M霧島山A | 20150909 | 受信機交換 |
| 149083 | M霧島山2 | 20150909 | 受信機交換 |

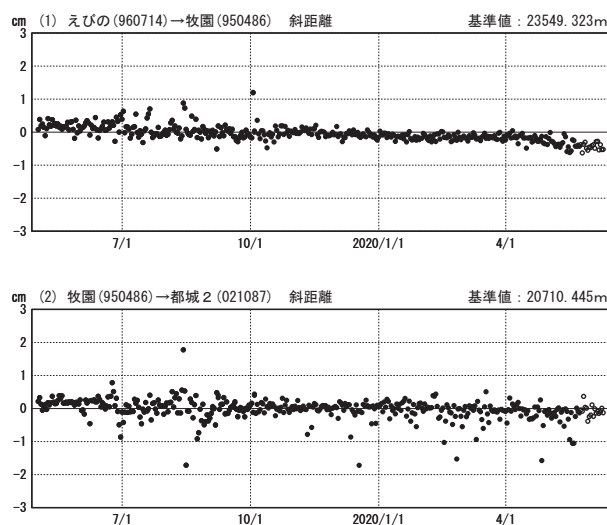
基線変化グラフ(長期)

期間: 2015/05/01~2020/06/09 JST



基線変化グラフ(短期)

期間: 2019/05/01~2020/06/09 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

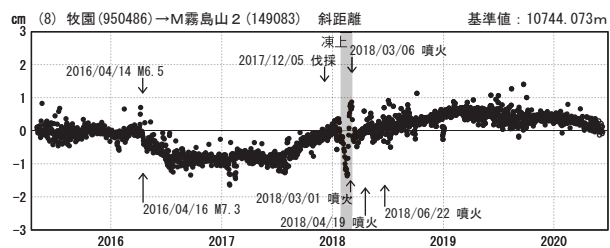
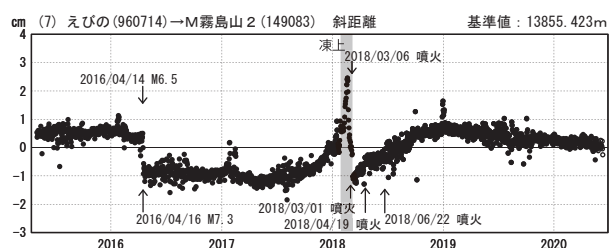
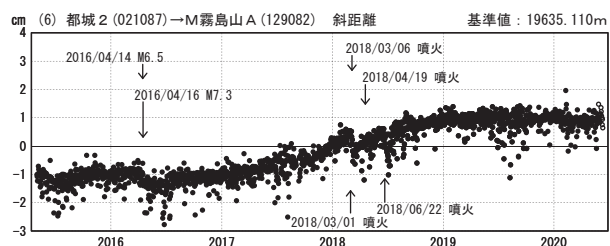
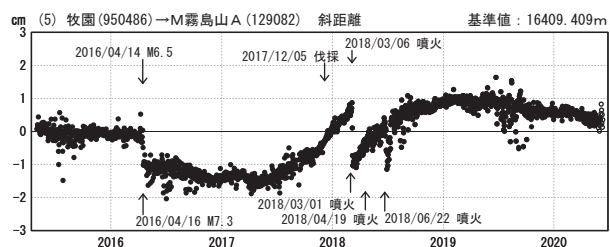
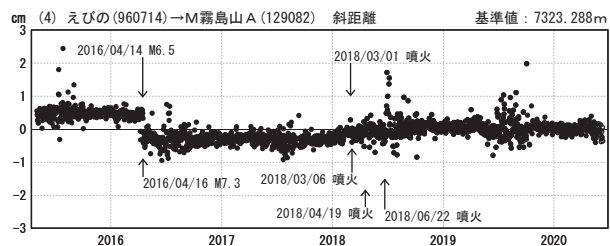
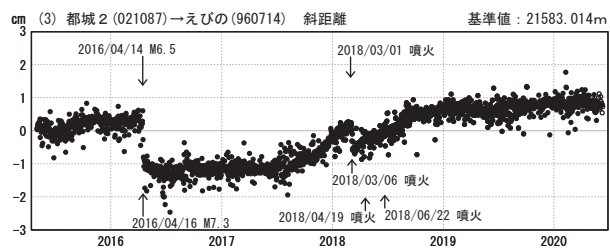
国土地理院

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(下段)、
基線変化グラフ(下段 左列: 2015年5月~2020年6月、右列: 2019年5月~2020年6月)

霧島山

基線変化グラフ（長期）

期間：2015/05/01～2020/06/09 JST

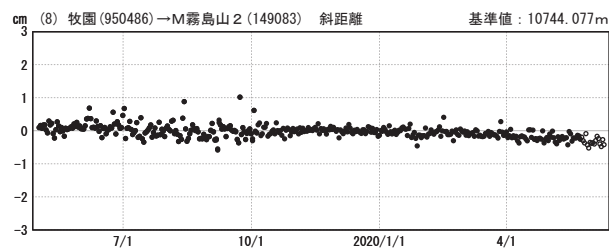
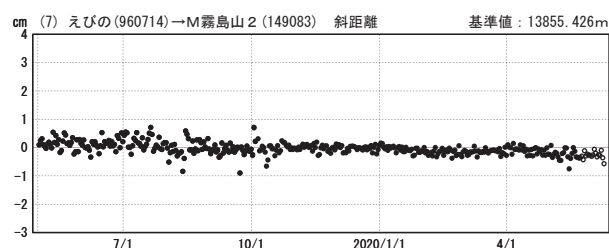
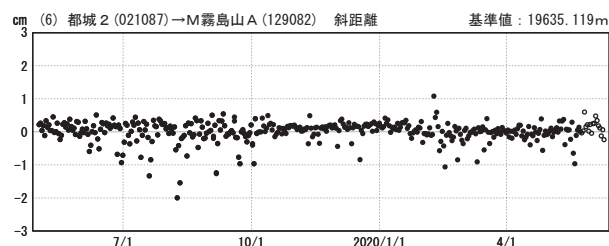
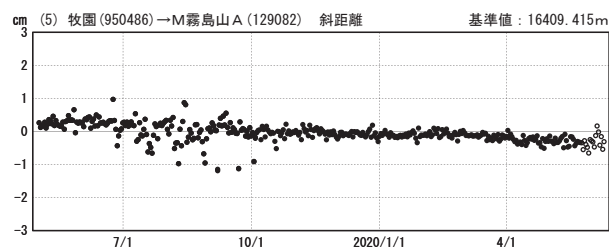
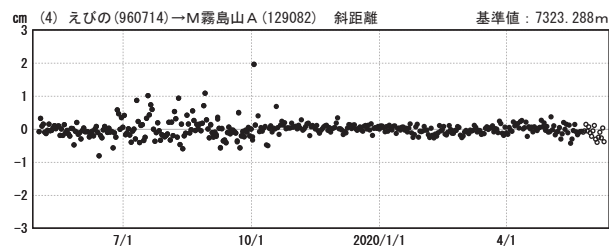
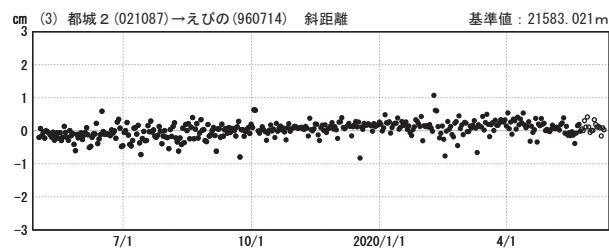


●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

国土地理院

基線変化グラフ（短期）

期間：2019/05/01～2020/06/09 JST

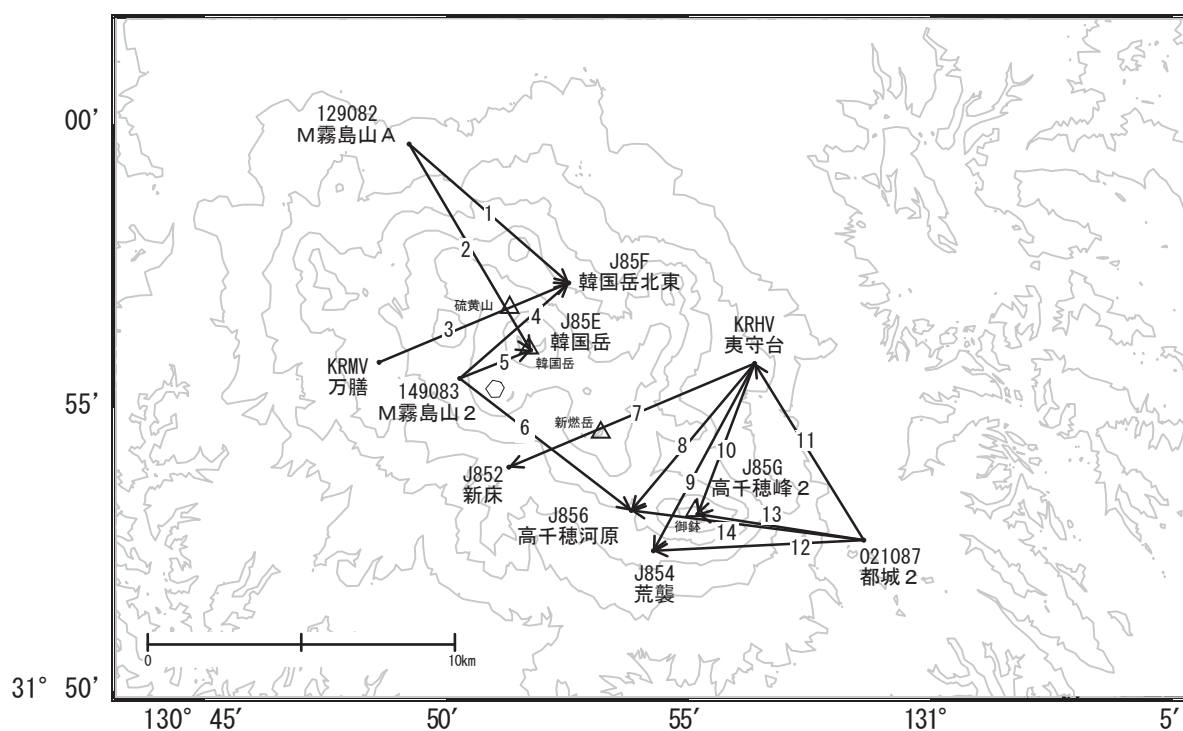


※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

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5月～2020年6月、右列：2019年5月～2020年6月)

霧島山

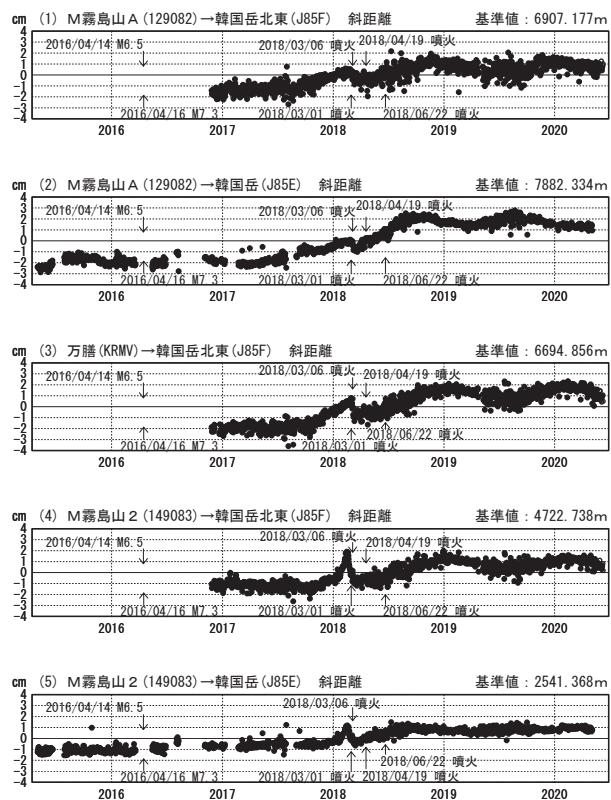
霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(2)



霧島山周辺の各観測局情報

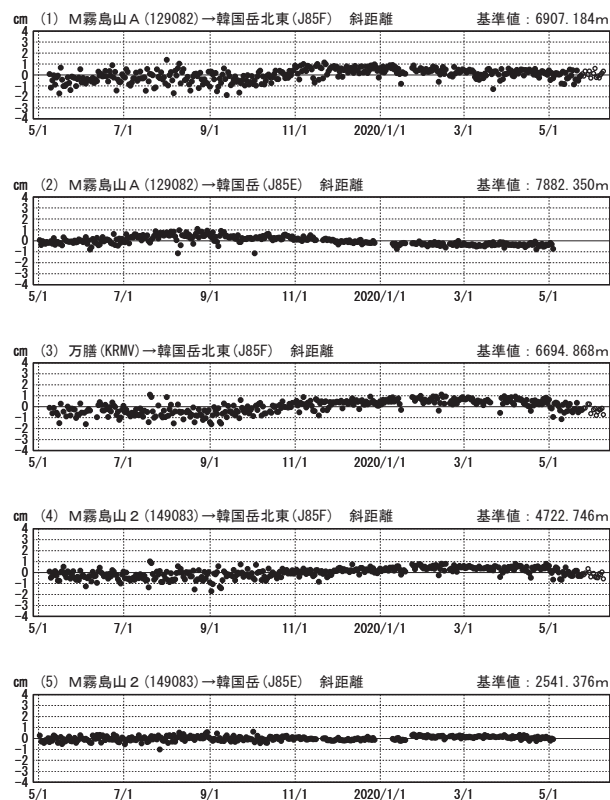
基線変化グラフ (長期)

期間: 2015/05/01~2020/06/09 JST



基線変化グラフ (短期)

期間: 2019/05/01~2020/06/09 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

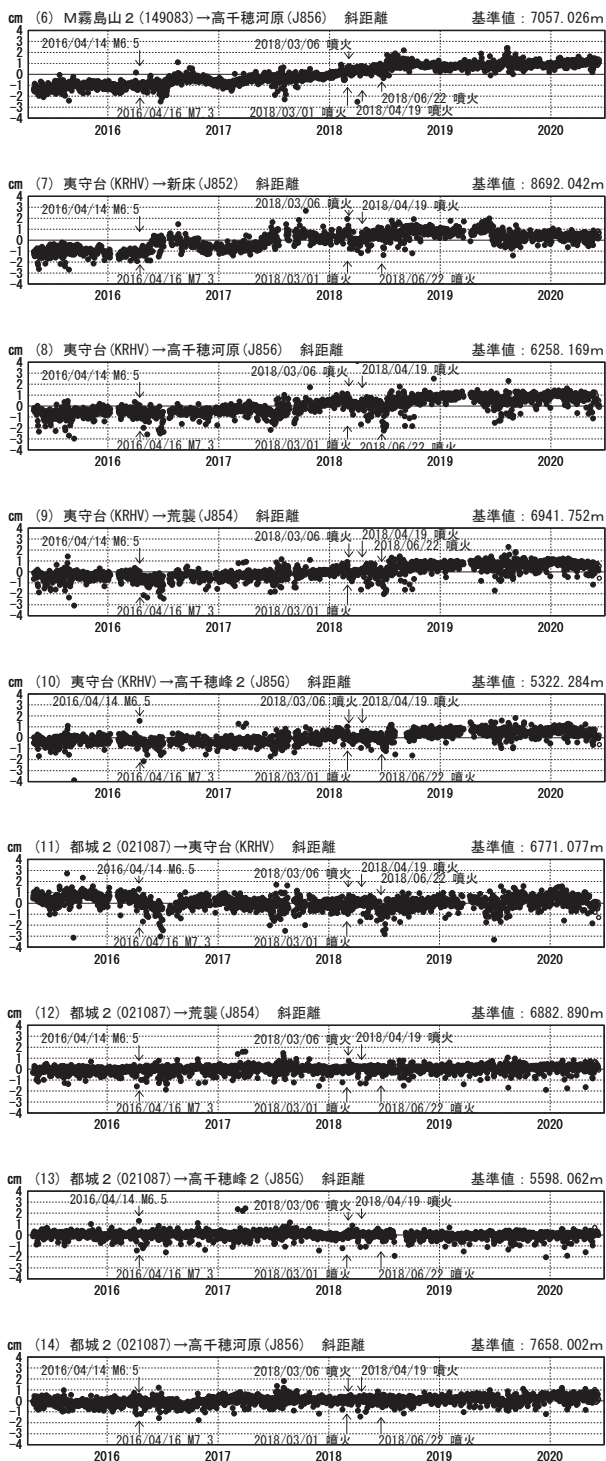
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

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5月~2020年6月、右列: 2019年5月~2020年6月)

霧島山

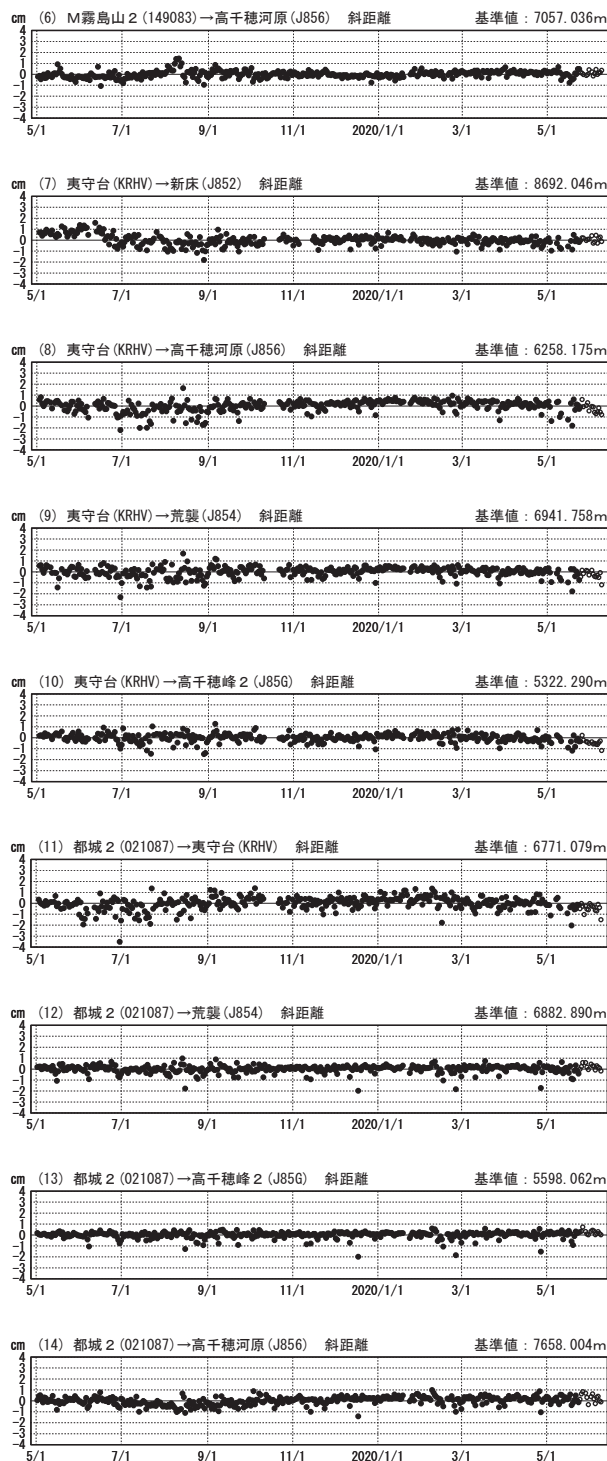
基線変化グラフ（長期）

期間：2015/05/01～2020/06/09 JST



基線変化グラフ（短期）

期間：2019/05/01～2020/06/09 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

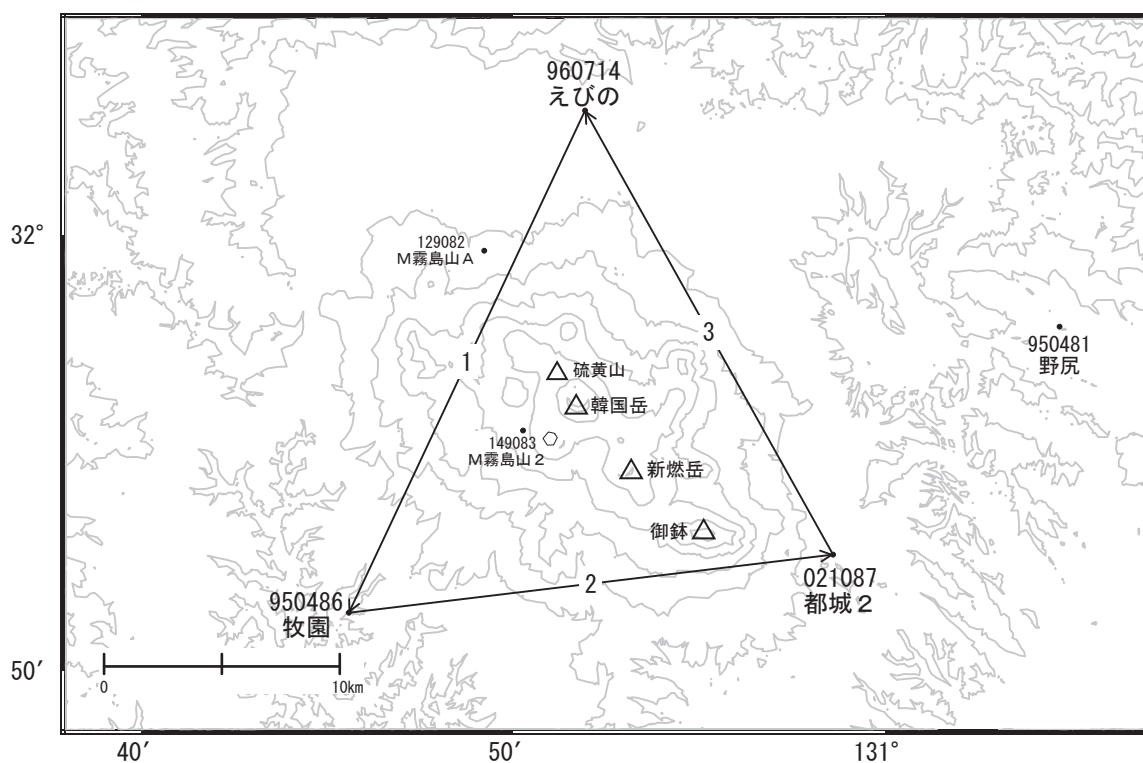
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

※[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5月～2020年6月、右列：2019年5月～2020年6月)

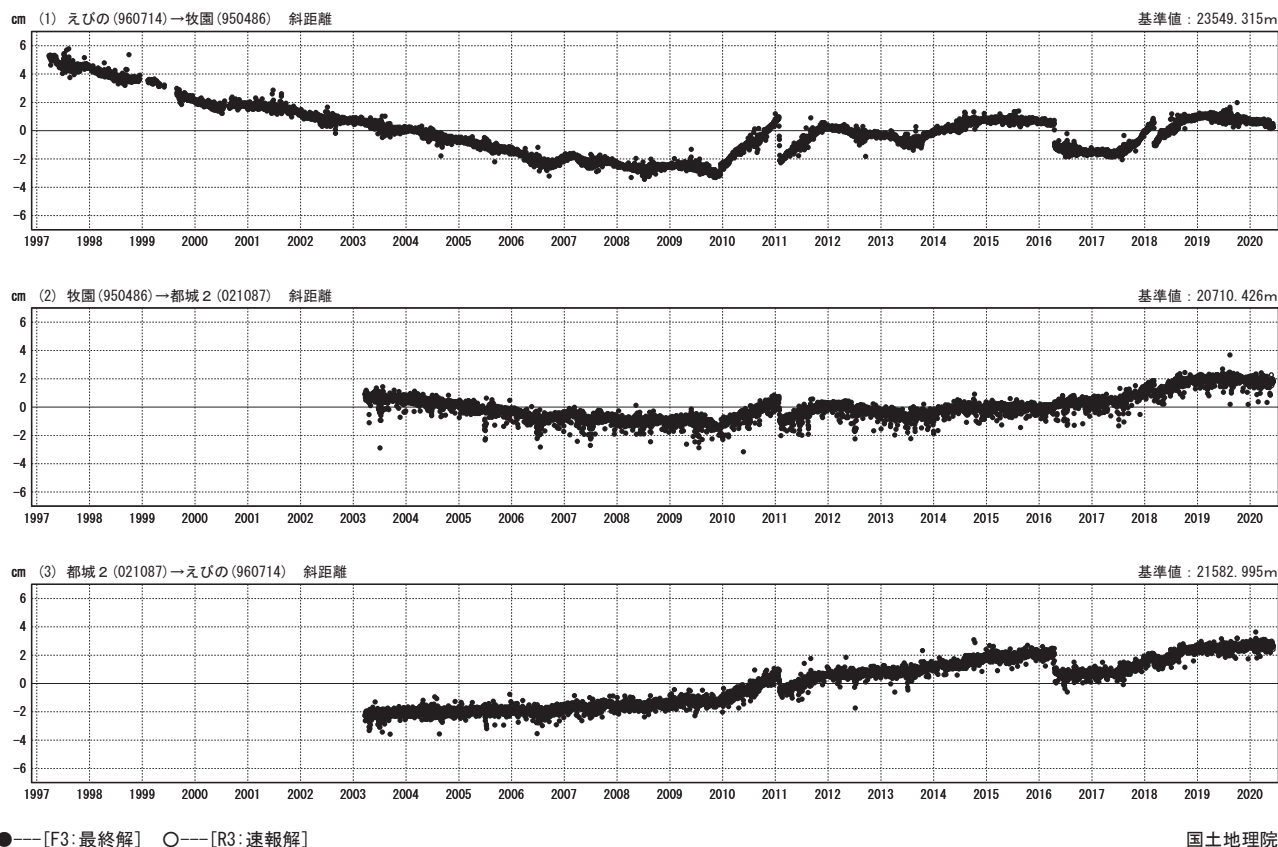
霧島山

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：1997/01/01～2020/06/09 JST



国土地理院

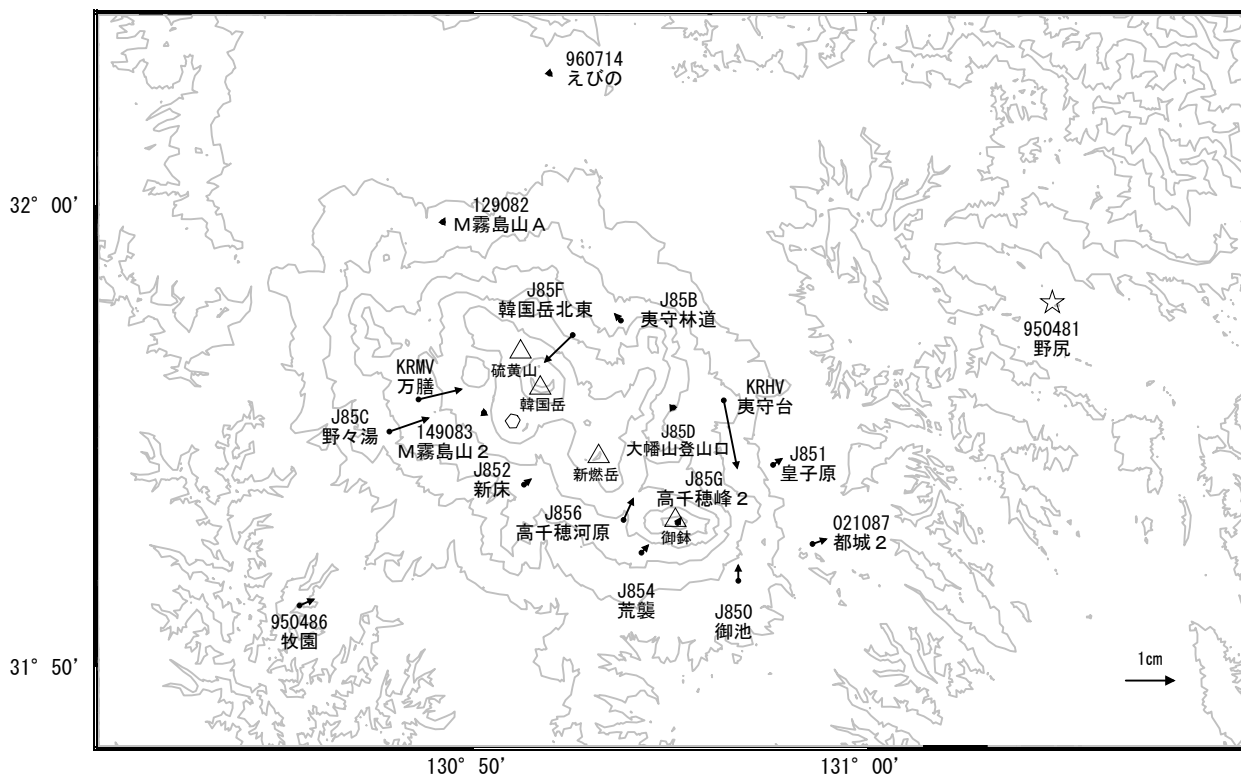
※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

第6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6月)

霧島山

霧島山周辺の地殻変動(水平:3か月)

基準期間:2020/02/29~2020/03/09[F3:最終解]
比較期間:2020/05/31~2020/06/09[R3:速報解]

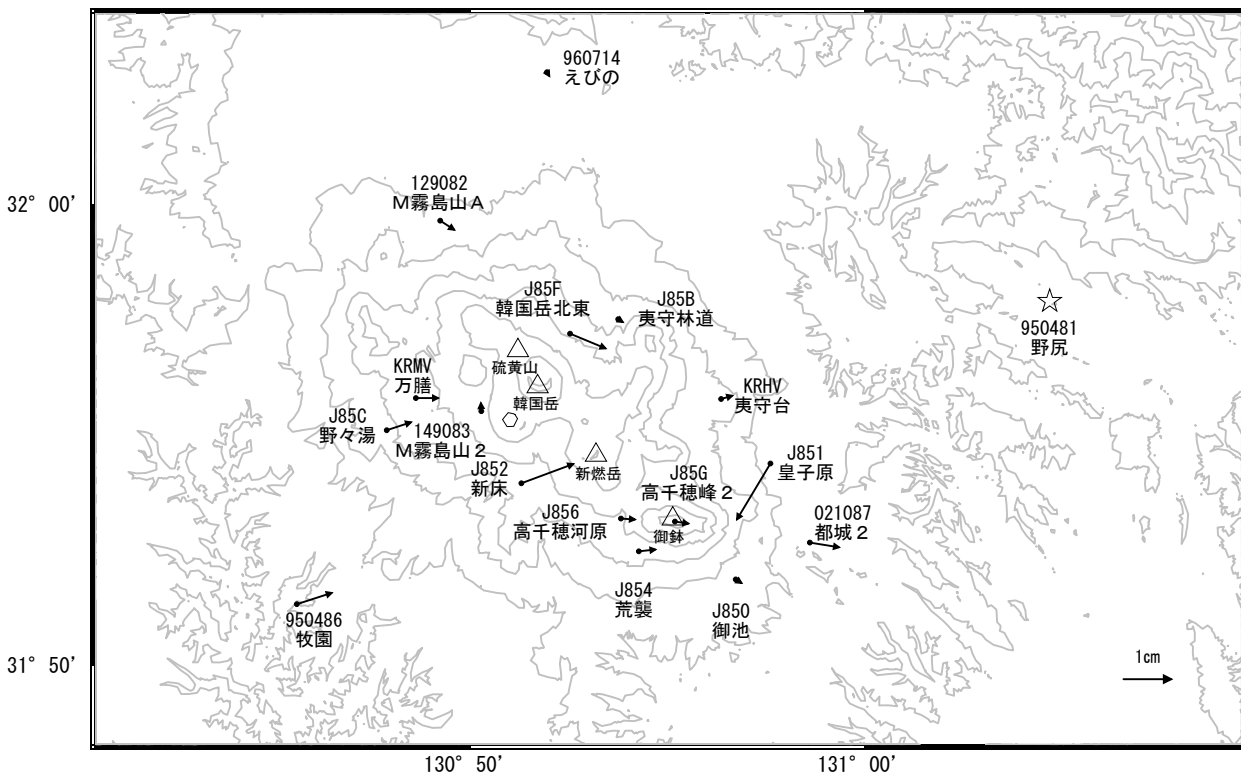


☆ 固定局:野尻(950481)

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:2019/05/31~2019/06/09[F3:最終解]
比較期間:2020/05/31~2020/06/09[R3:速報解]



☆ 固定局:野尻(950481)

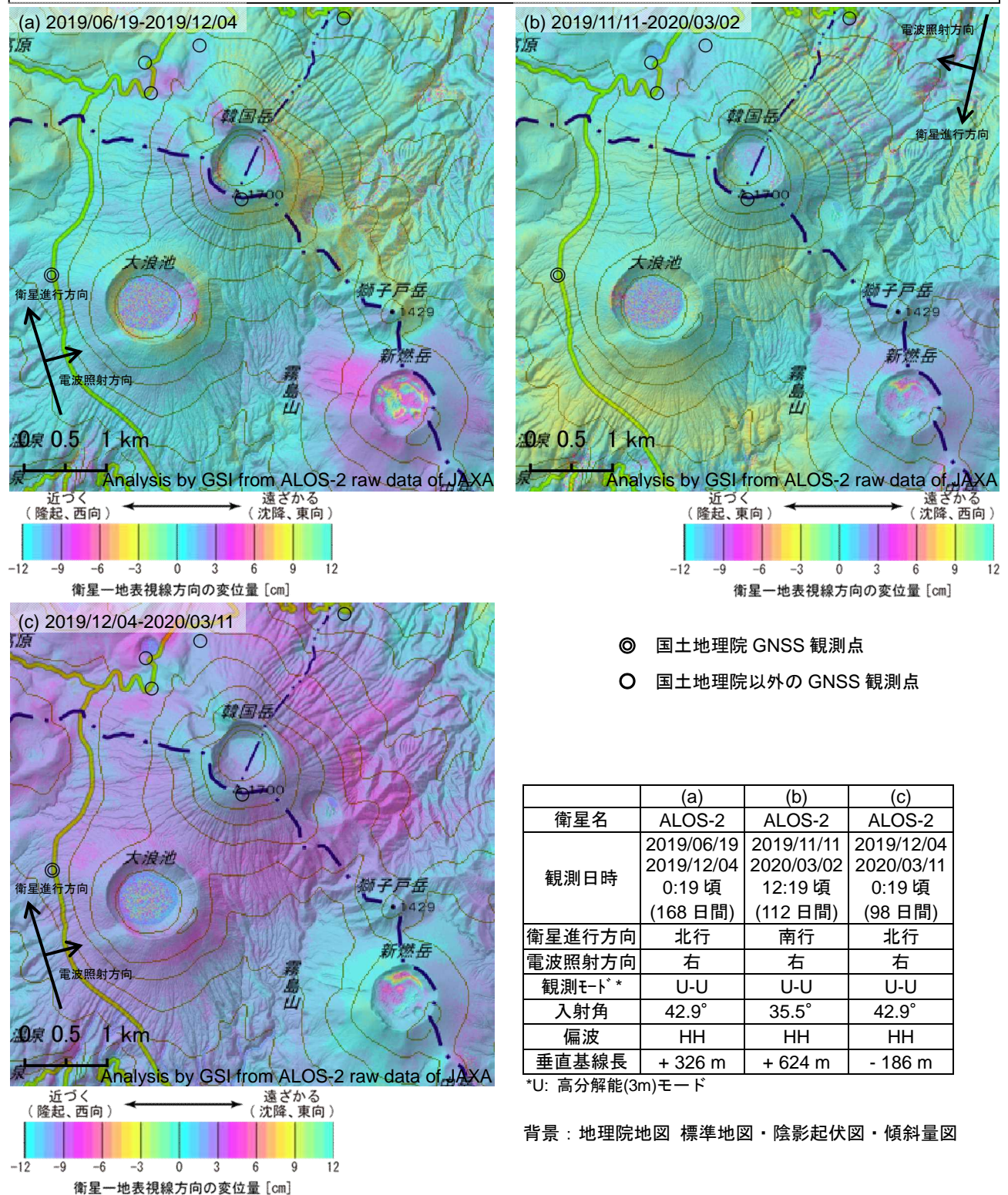
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

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2月~2020年6月、下段:2019年5月~2020年6月) 霧島山

霧島山の SAR 干渉解析結果について

判読) 新燃岳では、火口内北側で衛星に近づく変動が見られます。

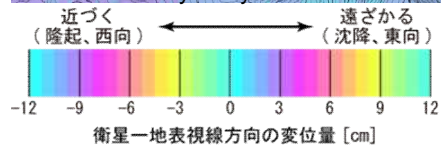
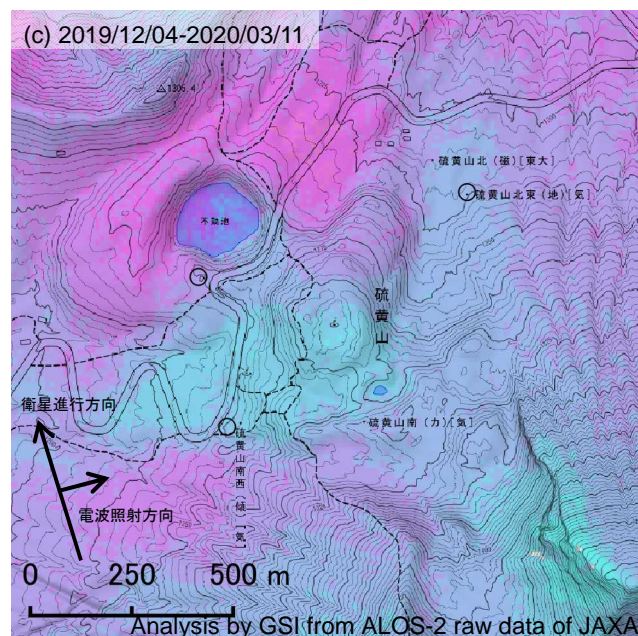
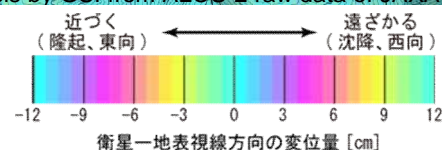
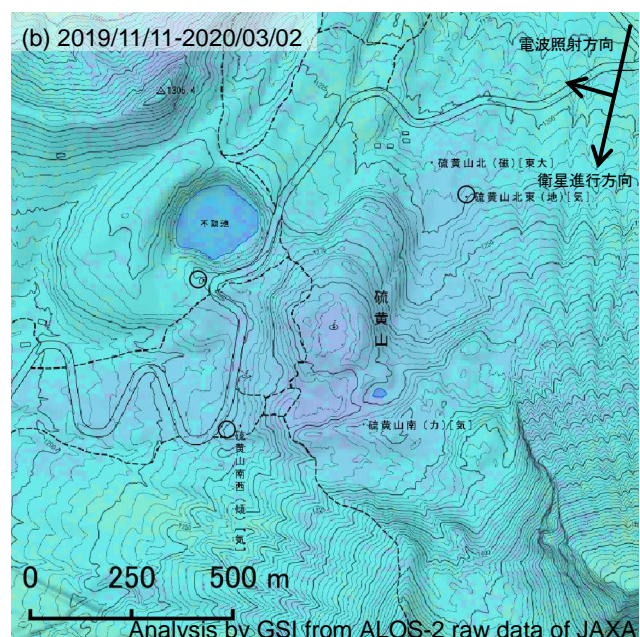
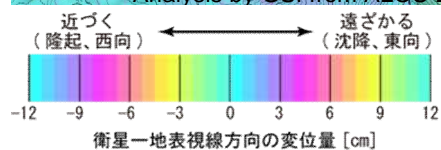
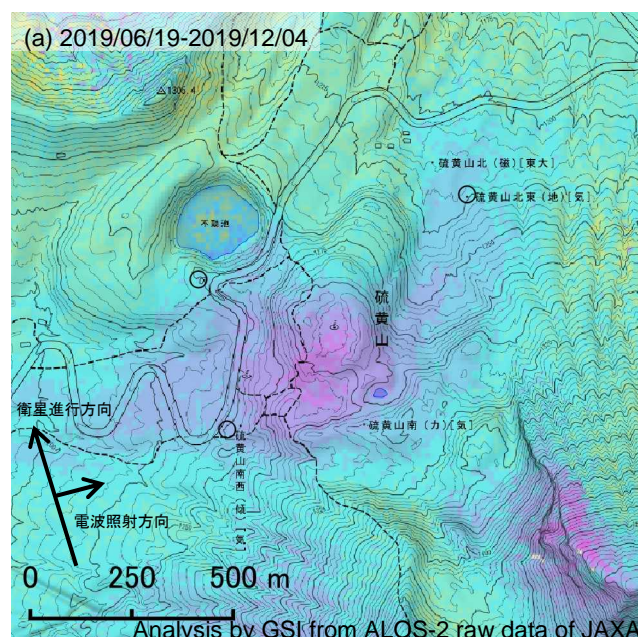
(a) では、新燃岳北西斜面で衛星から遠ざかる変動が見られます。



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)

霧島山

【硫黄山の拡大図】



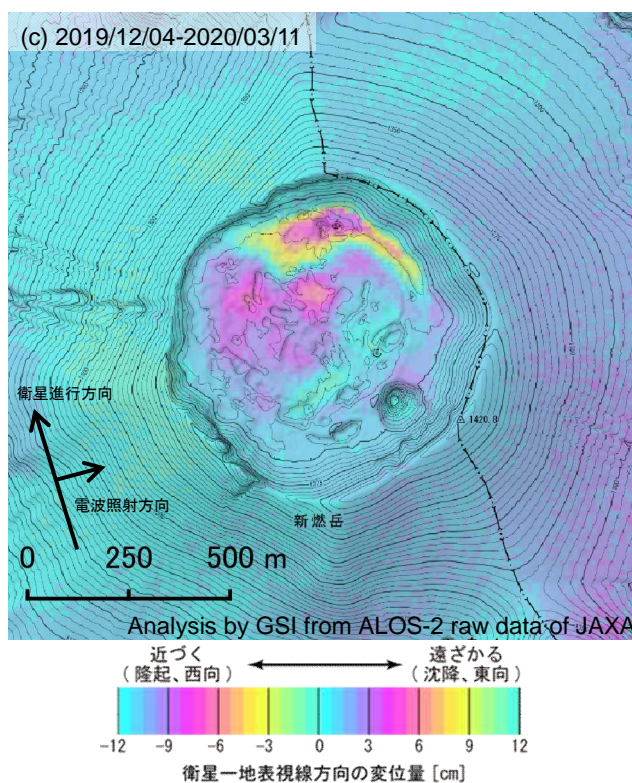
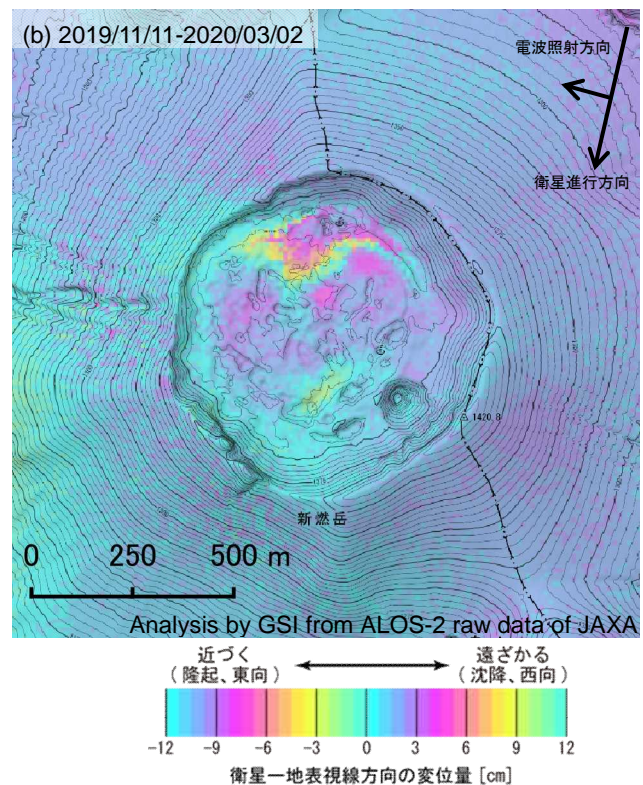
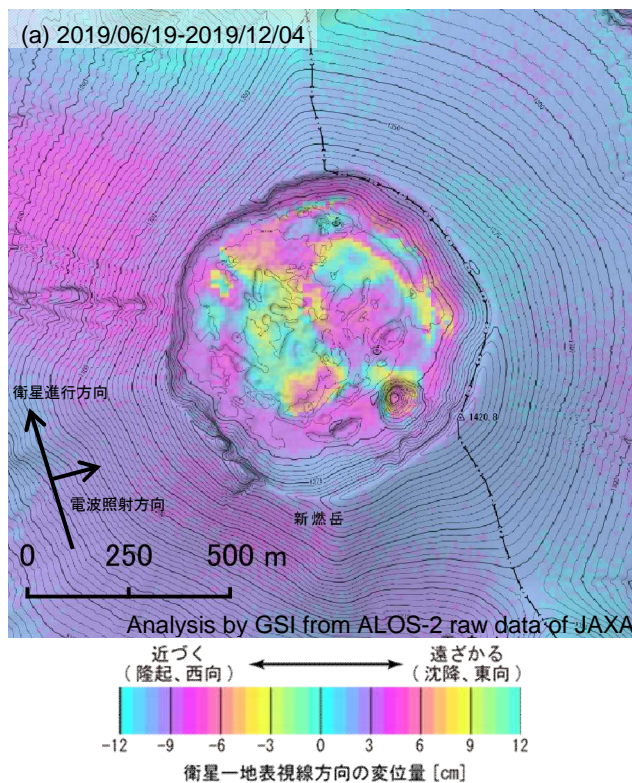
○ 国土地理院以外の GNSS 観測点

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

【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

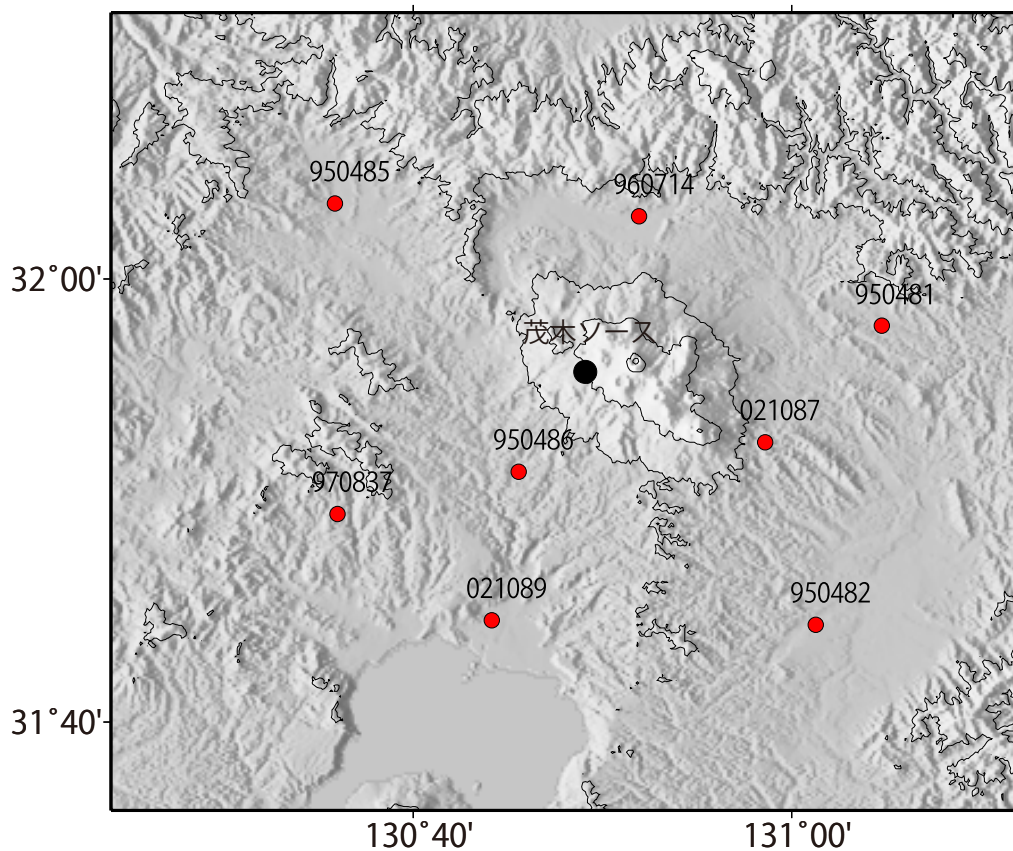
第9図 「だいち2号」PALSAR-2による霧島山周辺地域の解析結果（3）

霧島山

霧島地域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

桜島同時解析



固定局: 桶脇 (970836)

茂木ソース: 緯度 31.93° 経度 130.82° 深さ 7.6km

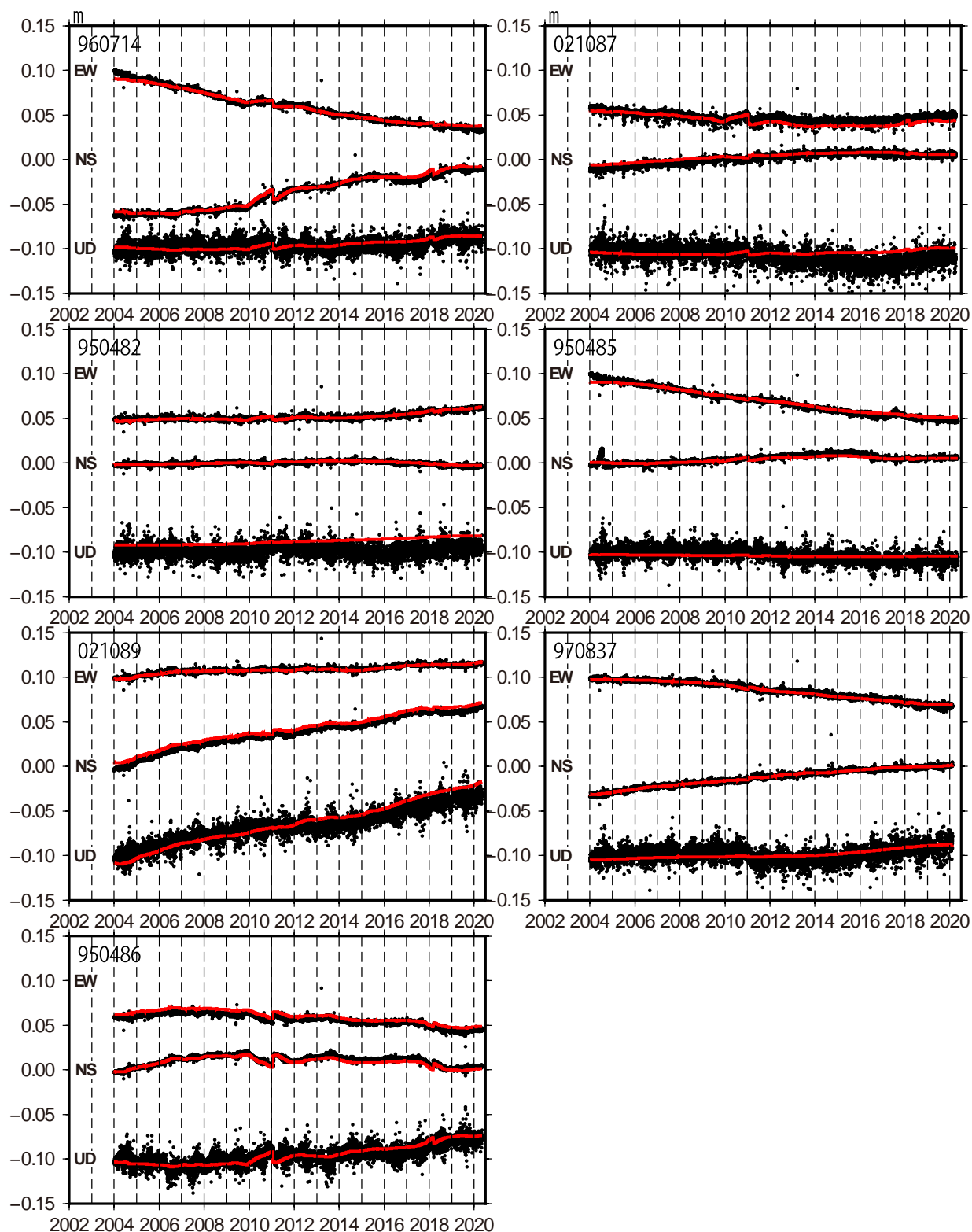
*電子基準点の保守等による変動は補正済

第10図 時間依存インバージョンの手法による霧島山地域の変動源の体積変化推定
 (上段: 推定に用いた観測点 (赤点) 配置と茂木ソース (黒丸) の位置、
 下段: 推定された茂木ソース体積の時間変化)

霧島山

霧島地域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はそれぞれ東西、南北、上下成分を示す。各成分について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

*熊本地震の変動は補正済み

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

霧島山