

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

令和元年 12 月 24 日

火山噴火予知連絡会資料(その1)

目次

草津白根山	3
部会提出資料	
気象庁	3-36
気象研	37
地磁気	38-44
東大	45-46
東工大	47-67
上智大	68-71
防災科研	72-76
地理院	77-81
東海大	82-85
霧島山	86
第3回霧島山部会資料	
気象庁	86-140
気象研	141-146
上智大	147-151
九大	152-166
防災科研	167-175
地理院	176-187
東海大	188-193
アジア航測	194-196
その他資料	
気象研	197-200
東大震研	201
海保	202

草津白根山 (2019年11月27日現在)

白根山(湯釜付近)

2018年9月下旬から高まった状態となっていた湯釜付近浅部の火山活動は、依然として高まった状態が継続していると考えられる。引き続き、小規模な水蒸気噴火が発生する可能性がある。

湯釜火口から概ね1kmの範囲では、噴火に伴う弾道を描いて飛散する大きな噴石に警戒が必要である。また、噴火時には、風下側では火山灰だけでなく小さな噴石が風に流されて降るため注意が必要である。

概況(2019年6月~2019年11月27日)

・地震活動(図1、図2-、図3-、図4~6)

2018年9月下旬から活発化がみられていた湯釜付近を震源とする地震活動は、消長を繰り返しており、2019年9月初旬からやや活発な状態となっている。震源は概ね海拔1km以浅で発生している。発生する地震の型は2019年5月以降、BP型及びBT型地震の割合が増加している。BL型地震の発生頻度は少ないが、6月30日に振幅の大きなBL型地震が観測されている。火山性微動は観測されていない。

・地殻変動(図1、図2-、図6~8)

2019年4月中旬以降は湯釜浅部の膨張を示す傾斜変動は認められてなかったが、9月上旬頃から再び膨張を示す傾斜変動がみられている。

GNSS 繰返し観測では、湯釜付近のほとんどの基線で縮みは認められず、湯釜付近浅部は収縮していないと考えられる。

2014~2015年と2018年にみられていた草津白根山の北西もしくは西側の深部の膨張を示唆する変化は今期間みられていない。

・噴煙など表面現象の状況(図2-、図3-、図9、図11)

奥山田監視カメラ(湯釜の北約1.5km)による観測では、湯釜北側噴気地帯の噴気は100m以下で経過している。11月5日、21日に実施した現地調査ではこれまでの観測でも確認されていた湯釜火口内北東側火口壁の地熱域の他、北側の火口壁にも地熱域が認められた。北側の火口壁で地熱域が確認されたのは、2015年9月以来。

9月25日に行ったドローンによる現地観測、および27日に行った現地観測では、湯釜湖面に灰白色の変色域を観測した。

・噴気地帯のガス成分の状況(図6、図10)

湯釜北側噴気地帯で実施している多成分火山ガス観測装置(Multi-GAS)による連続観測では、2019年5月、9月の地震増加と地殻変動に伴うCO₂/H₂S比に変化傾向がみられた。観測データの解釈の一つとして、2018年4月、9月の地震頻発と地殻変動に伴う変化と同様、深部から湯釜下の流体だまりへの火山性流体の一時的な供給増加による影響が考えられる。

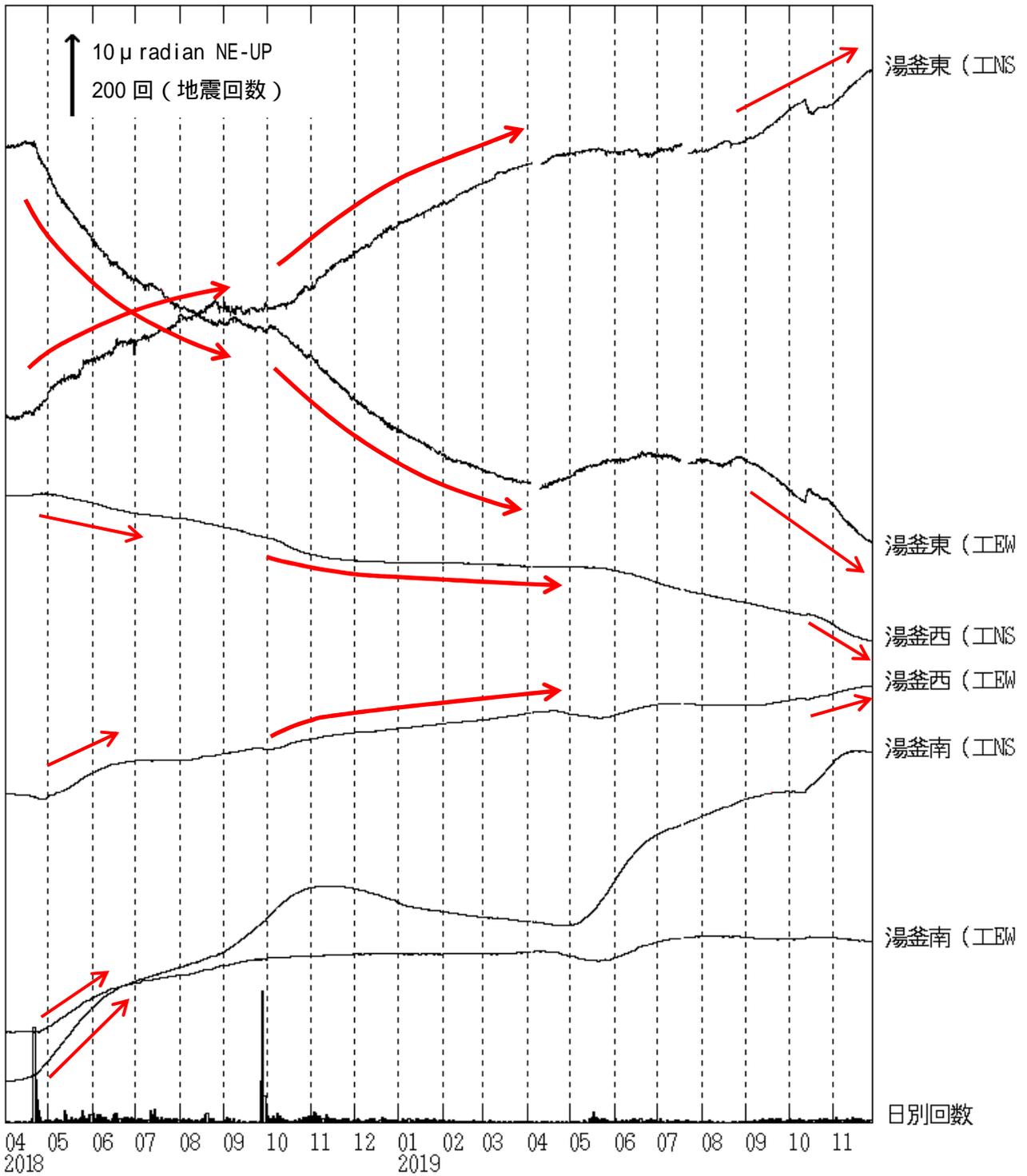


図 1 - 1 草津白根山（白根山（湯釜付近））傾斜変動記録と日別地震回数
 （2018年4月1日～2019年11月27日）

（工）：東京工業大学

- ・2019年4月中旬以降は湯釜浅部の膨張を示す傾斜変動は認められてなかったが、9月上旬頃から再び膨張を示す傾斜変動（赤矢印）がみられている。

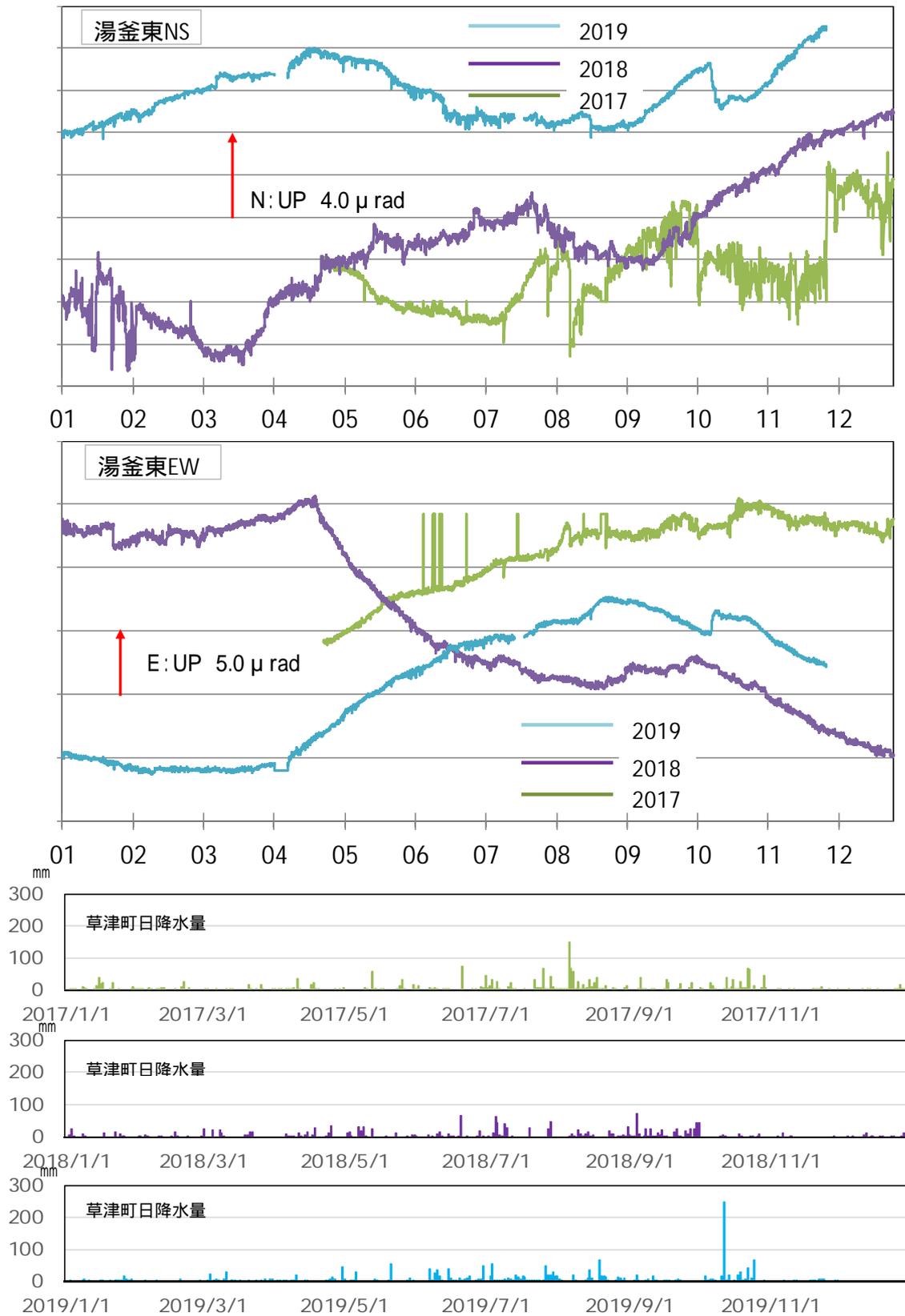


図 1 - 2 草津白根山（白根山（湯釜付近））各年の湯釜東（東工大）の傾斜変動記録
（2017年・2018年・2019年1月1日～11月30日）

2019年9月頃から季節変動を超える変化があり、湯釜付近の膨張と考えられる。

2019年4月に湯釜東（工）観測点でみられた、機器障害によるスパイク状の変化を除去している。

火山活動に変化が見られなかった2017年と比較を行った。

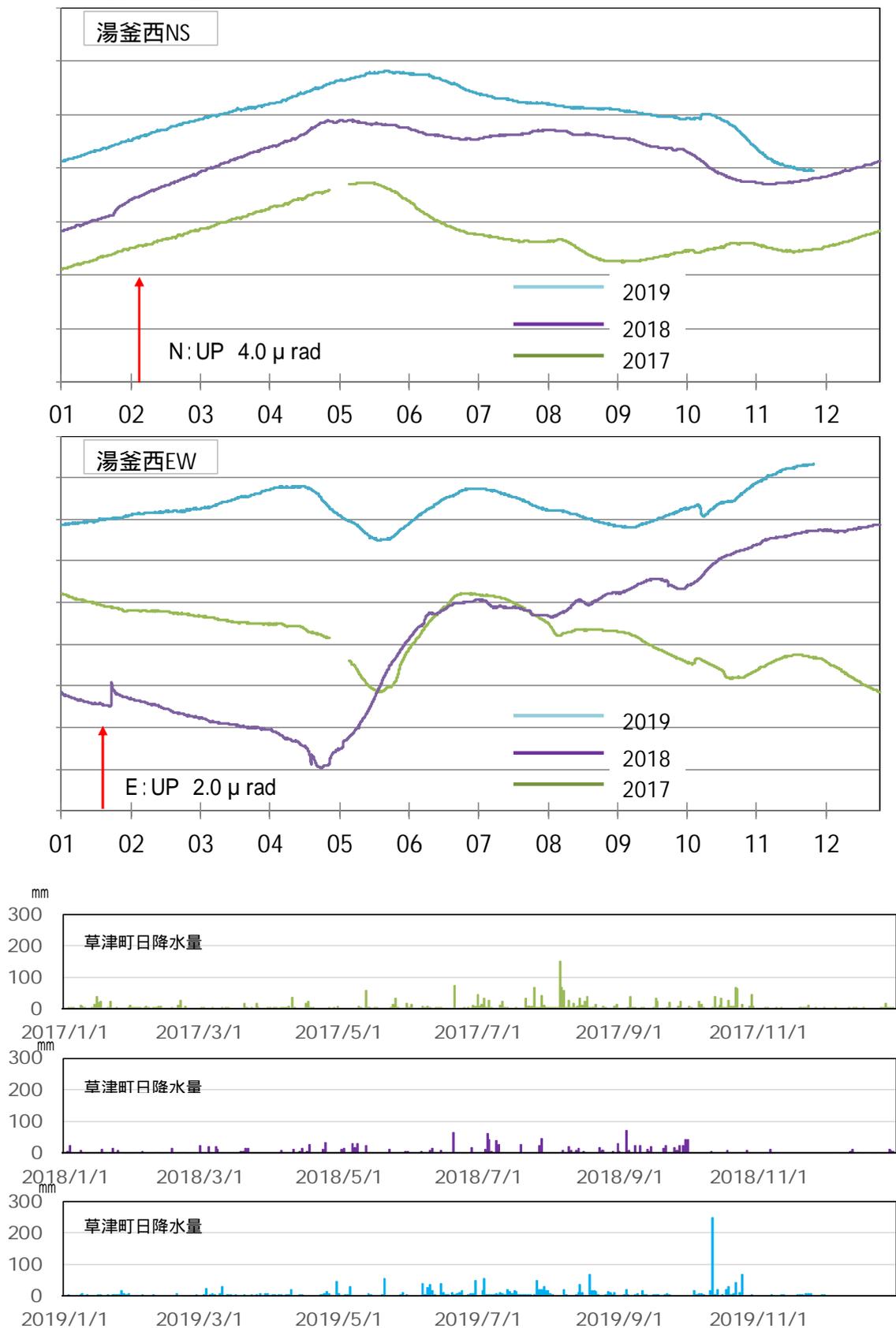


図 1 - 3 草津白根山（白根山（湯釜付近））各年の湯釜西（東工大）の傾斜変動記録
 （2017年・2018年・2019年1月1日～11月30日）

2019年9月頃から季節変動を超える変化があり、湯釜付近の膨張と考えられる。

火山活動に変化が見られなかった2017年と比較を行った。

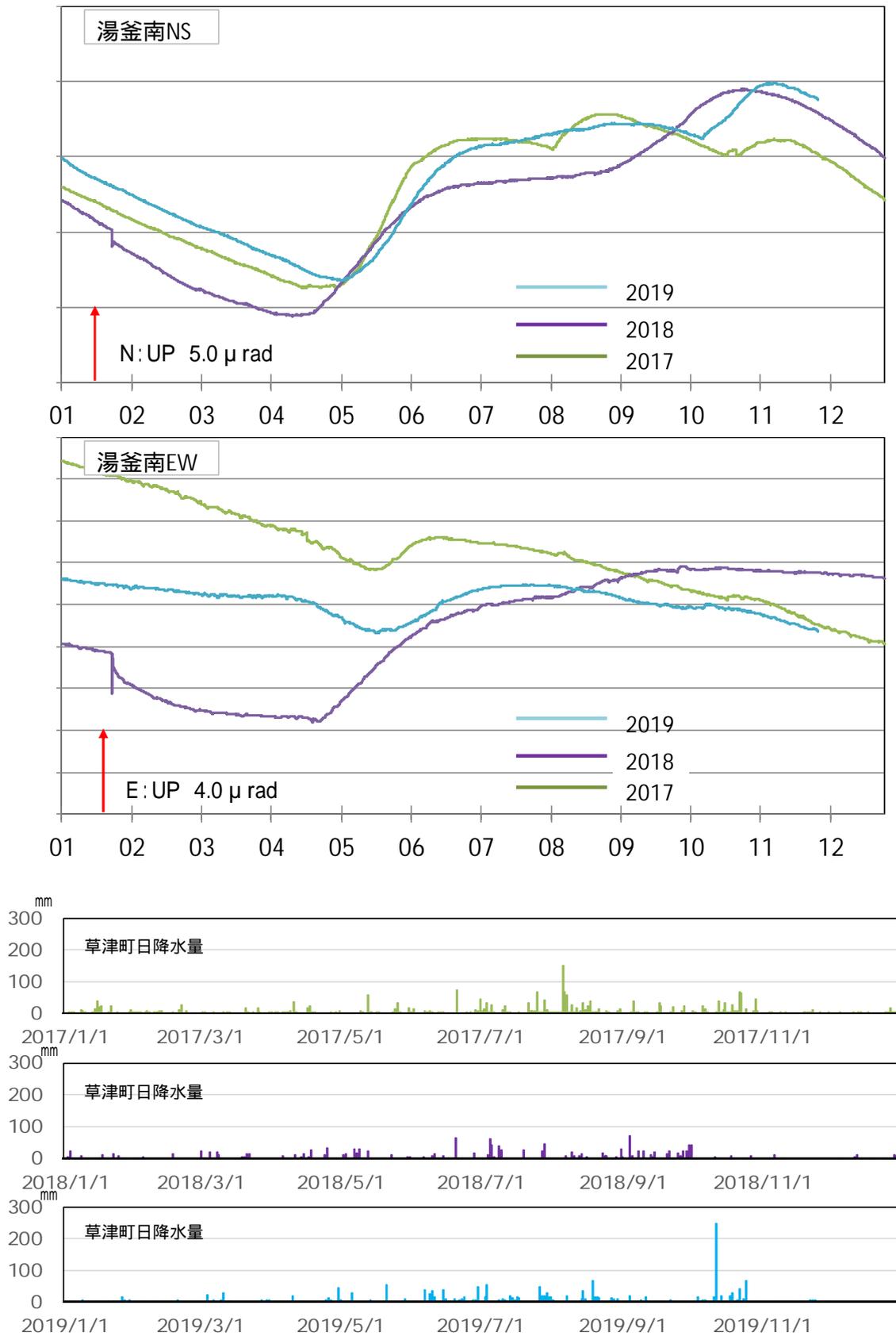
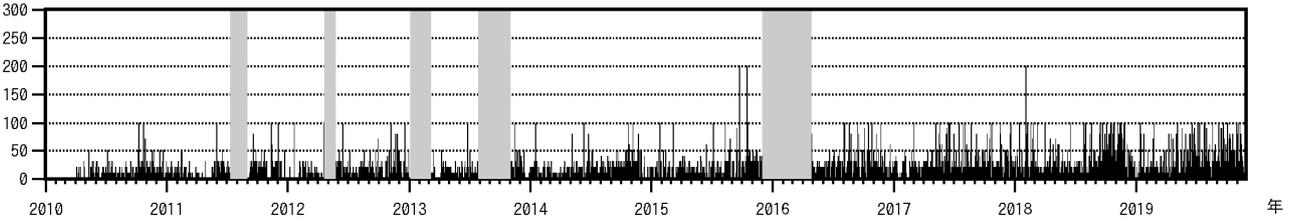


図 1 - 4 草津白根山（白根山（湯釜付近））各年の湯釜南（東工大）の傾斜変動記録
 （2017 年・2018 年・2019 年 1 月 1 日～11 月 30 日）

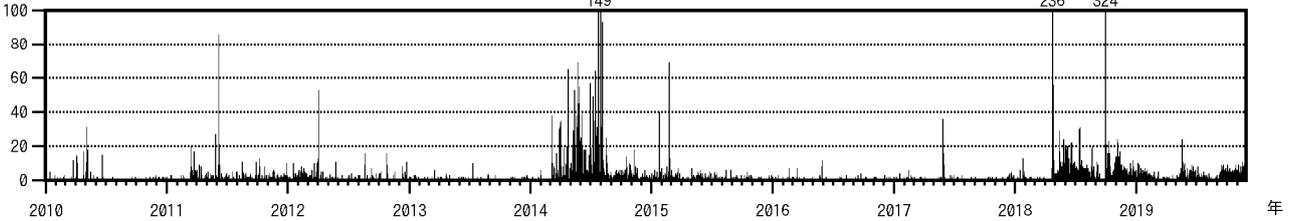
季節変動を超える変化は認められない。

火山活動に変化が見られなかった 2017 年と比較を行った。

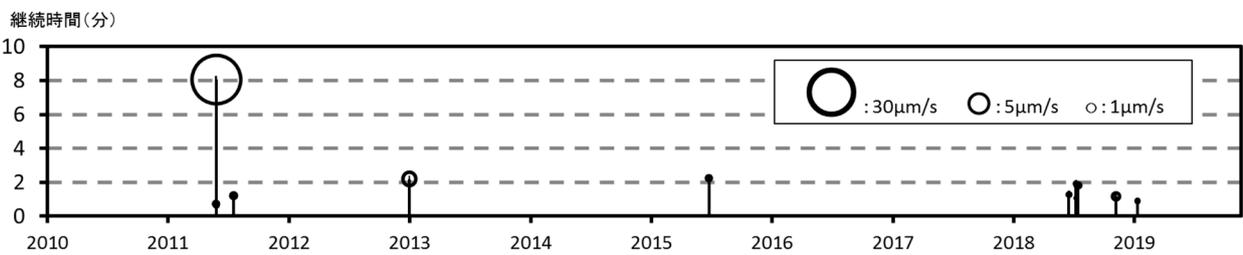
① 湯釜北側噴気地帯の噴気の高さ（日最高）



② 湯釜付近及び逢ノ峰付近の日別地震回数 計数基準：水釜北東UD 1 μ m/s以上 S-P時間 1.5秒以内



継続時間(分) ③ 火山性微動の発生状況



④ GNSS観測 渋峠—逢ノ峰南東（基線長 3787m）

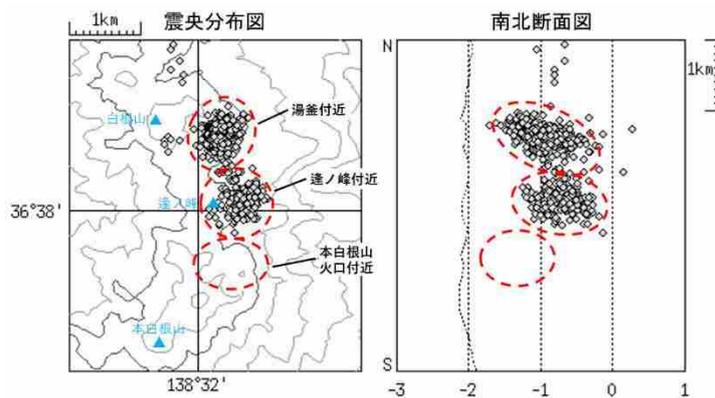
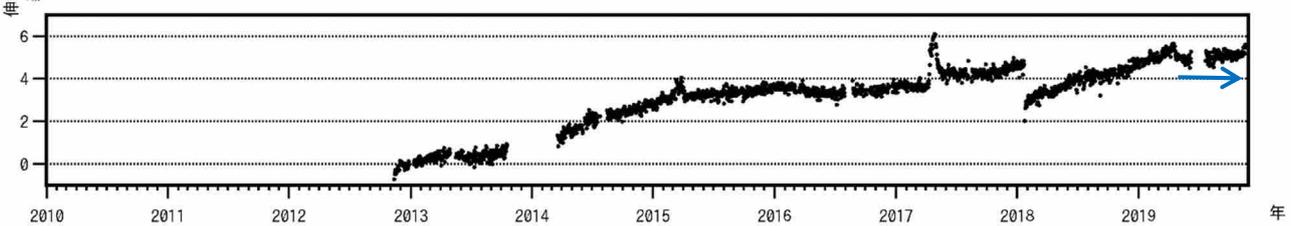


図 2 草津白根山（白根山（湯釜付近））火山活動経過図（2010年1月1日～2019年11月27日）
 の灰色部分及び の空白部分は欠測を示す。
 最下段の震源分布図は、 の地震の震源の概ねの位置を示している。
 ・ の基線では本白根山噴火後に、本白根山噴火後の余効変動が見られていたが、今期間は停滞している。基線の配置は図 7 を参照。

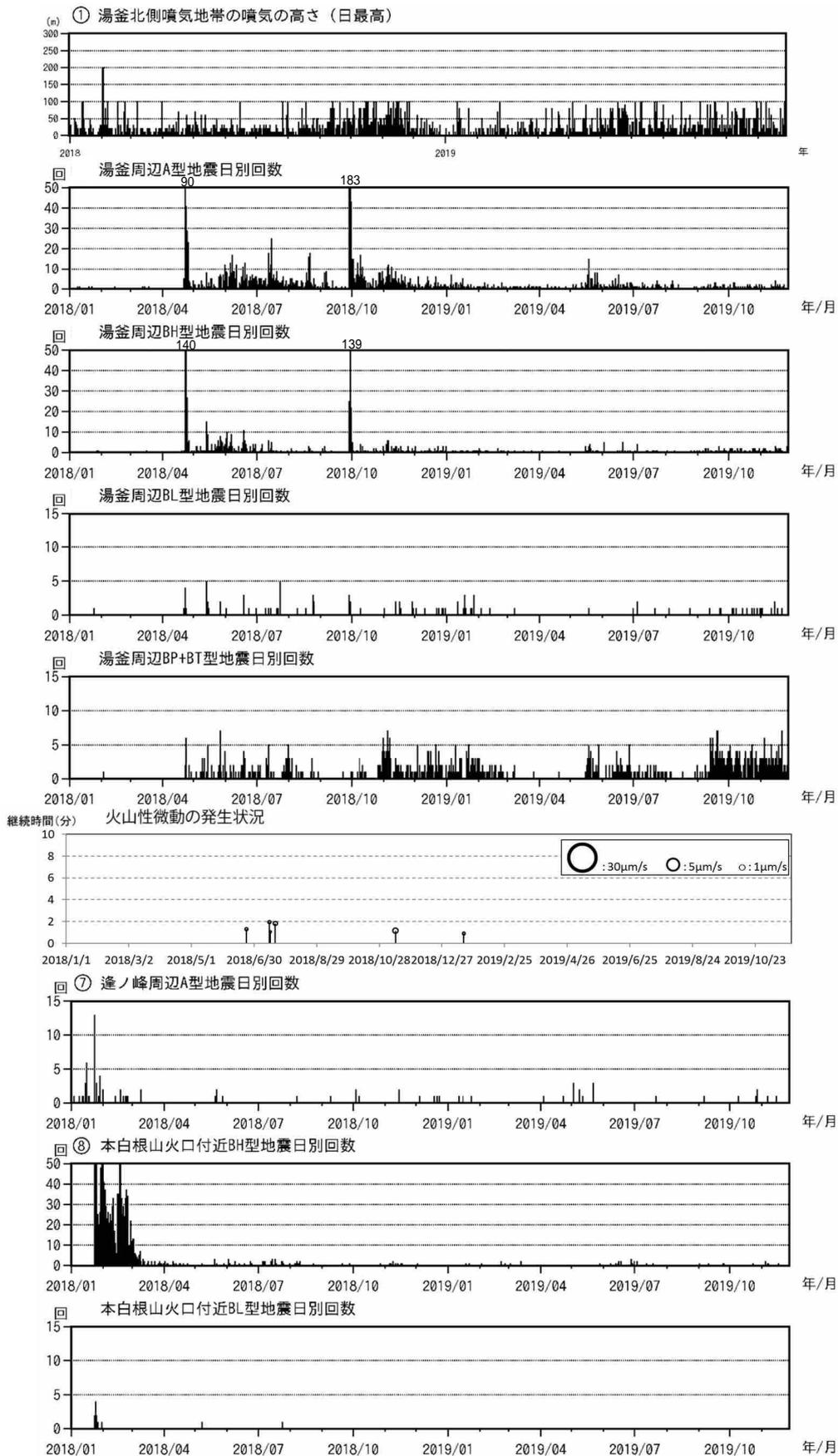


図 3 草津白根山（白根山（湯釜付近））地震日別回数（2018年1月1日～2019年11月27日）

- ・2018年9月下旬から活発化がみられていた湯釜付近を震源とする地震活動は、消長を繰り返しており、2019年9月初旬からやや活発な状態となっている。火山性微動は観測されていない。
- ・逢ノ峰付近を震源とする火山性地震は、2019年3月以降、時々発生している。
- ・本白根山火口付近を震源とする火山性地震は、2018年12月以降、少ない状態で経過している。

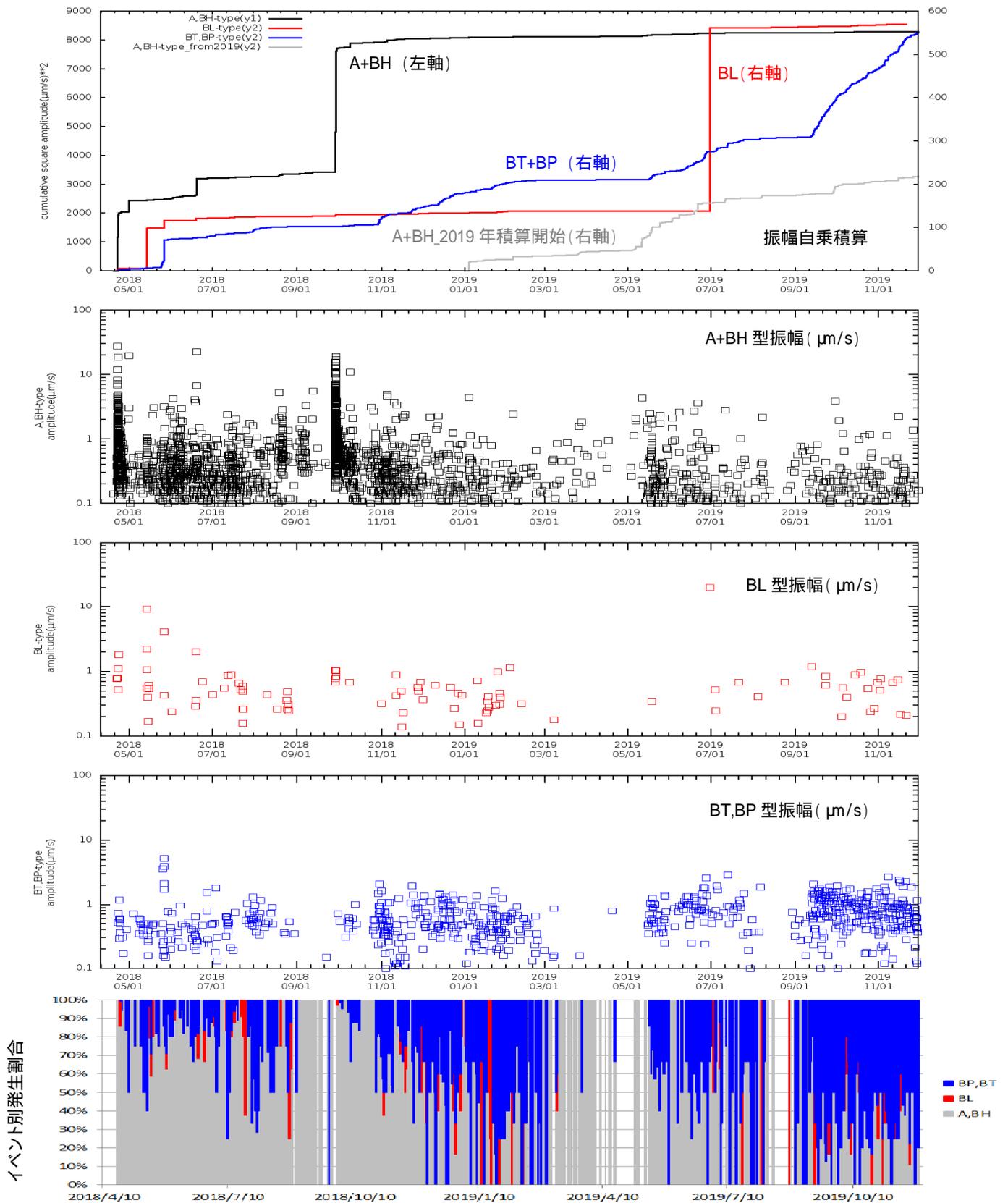


図 4 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 湯釜付近の火山性地震のタイプ別振幅自乗積算、振幅、発生割合（2018 年 4 月 10 日～2019 年 11 月 30 日）（振幅は青葉山西観測点の UD 成分を使用）

- ・ 6 月 30 日に振幅の大きな BL 型地震が観測された。
- ・ 9 月頃より、BT+BP の振幅自乗積算が増加し、イベント発生割合においても、BT+BP 型が大半を占める。
- ・ 2018 年 4 月、2018 年 9 月、2019 年 5 月と A+BH 型の振幅自乗積算が増加してから、BT+BP 型の振幅自乗積算が増加しているが、2019 年 9 月頃からの BT+BP の振幅自乗積算増加の際には、先行して A+BH 型地震の活動が活発化した様子がない。
- ・ 2018 年の活動と 2019 年を比較すると、振幅自乗積算、イベント発生割合ともに、2018 年は A+BH の活動が活発であり、2019 年は BT+BP の活動が活発である。

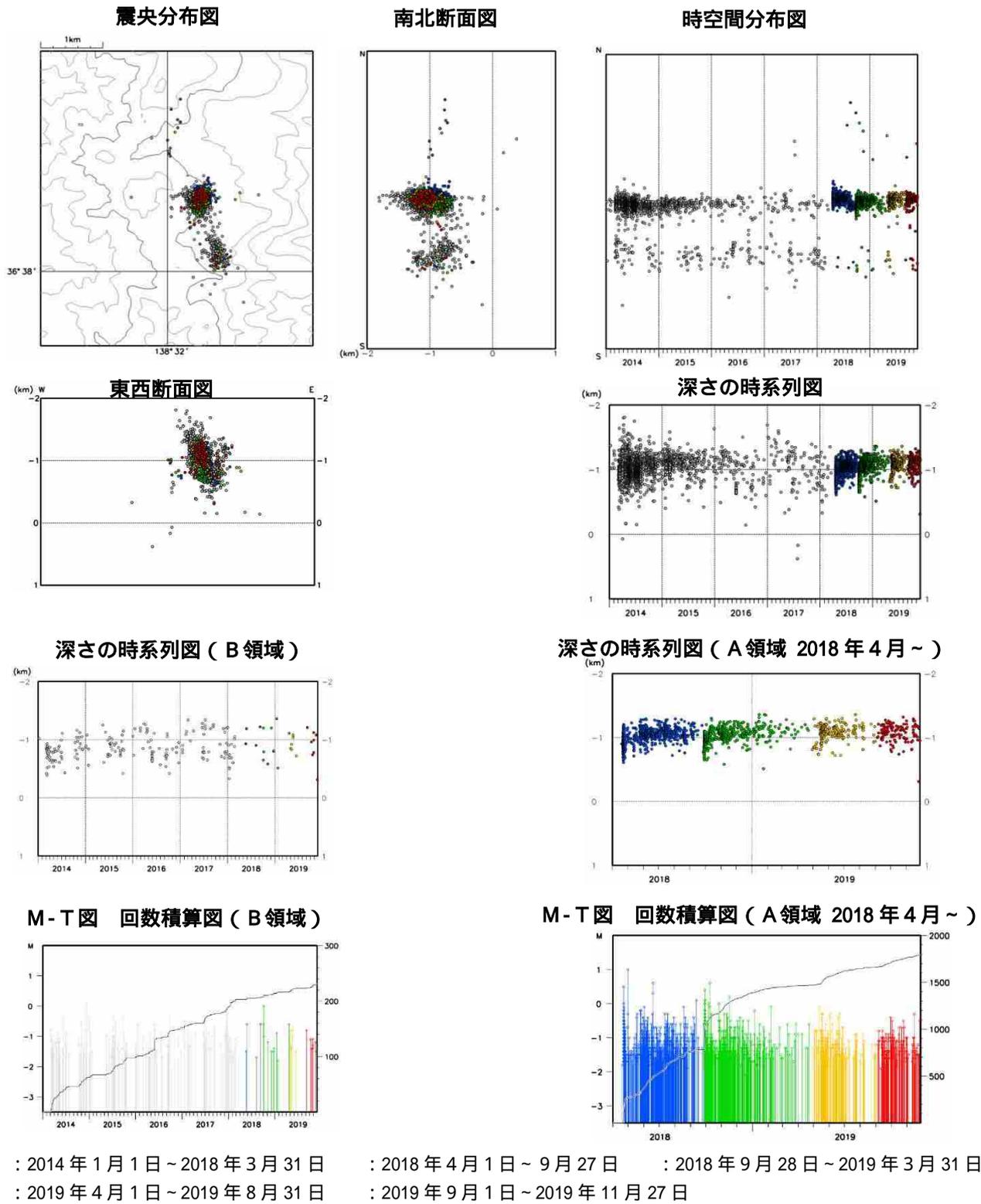


図5 草津白根山（白根山（湯釜付近））震源分布図（2014年1月1日～2019年11月27日）
 図中のマグニチュードは渡辺（1971）の式を用いている。

- ・湯釜付近の地震（A領域）は、2019年8月には減少したが9月初旬頃からやや増加し、概ね海拔1km以浅で発生するようになっている。
- ・逢ノ峰付近（B領域）では、間欠的に地震が発生している。

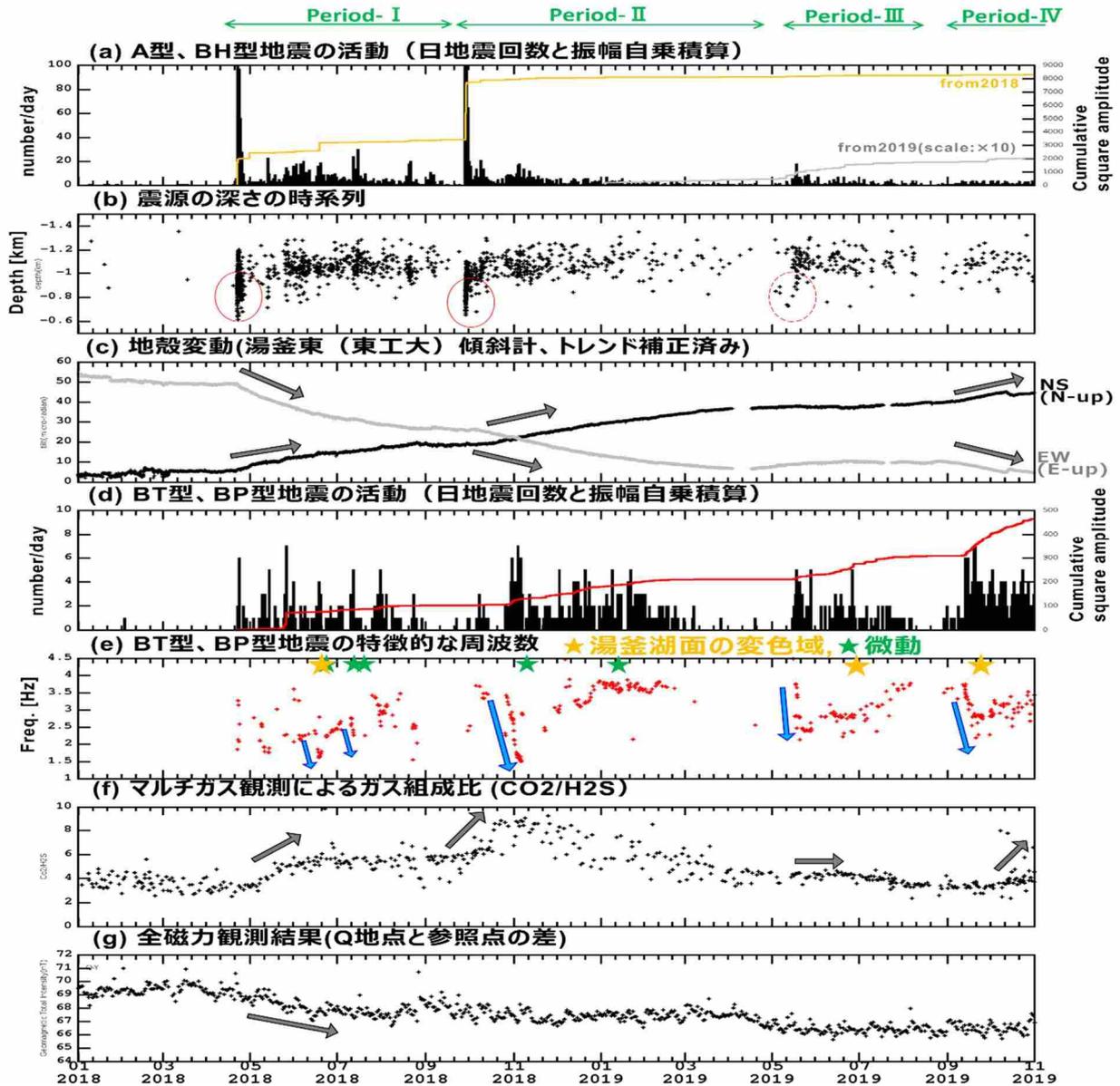
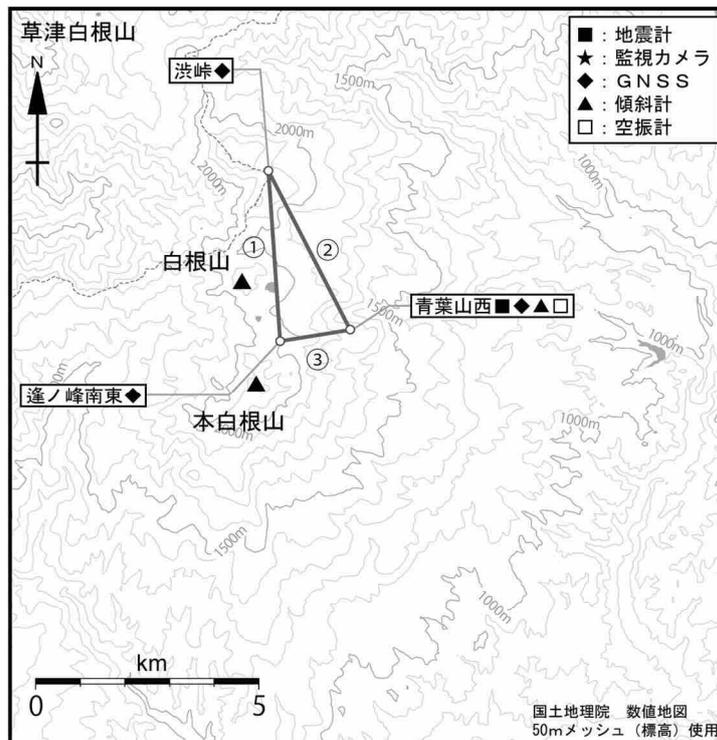
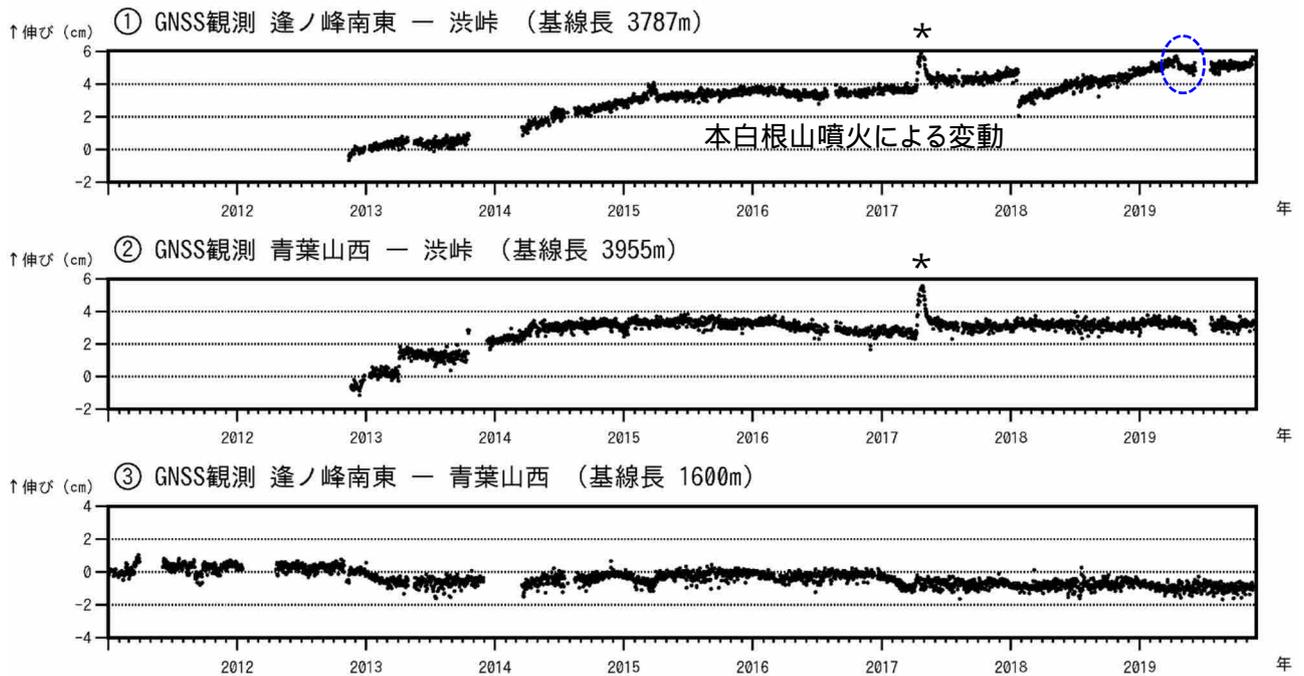


図 6 草津白根山（白根山（湯釜付近））2018 年から 2019 年における多項目観測結果の比較（2018 年 1 月 1 日～2019 年 10 月 31 日）

・地震活動もしくは地殻変動が発現を、活動の高まりの開始とし、2018 年 1 月～2019 年 10 月を 4 つの期間にわけた。4 回の期間では、似たような変動が観測されたが、その発現状況は異なる。その状況を表 1 にまとめた。

表 1 草津白根山（白根山（湯釜付近））2018 年から 2019 年における変動の比較

期間	時間									
	A型、BH型地震			地殻変動 (傾斜計)	全磁力変化	マルチガス観測によるガス組成比の変化 (CO ₂ /H ₂ S)	BT型、BP型地震		ごく浅いところの現象	
	地震回数の急増	震源が海拔1kmよりも深い地震	振幅自乗積算の増加				振幅自乗積算値の増加	特征的な周波数の変化	湯釜湖面の灰白色の変色域	火山性微動
2018/04/22～ 2018/09 中旬			大			増加				
2018/09/28～ 2019/04 下旬			大		×	増加		×		
2019/05 上旬～ 2019/08 下旬 (微小地震の増加)		?	小	?	×	トレンド変化			×	
2019/09 上旬～	×	×	極小		×	増加			×	

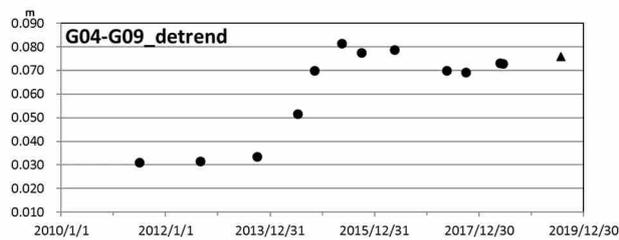
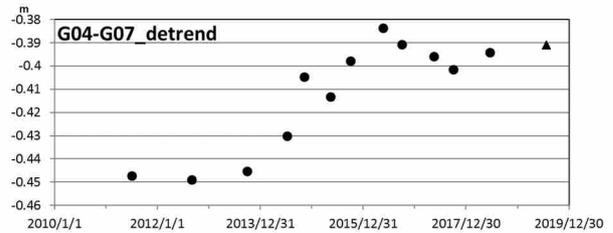
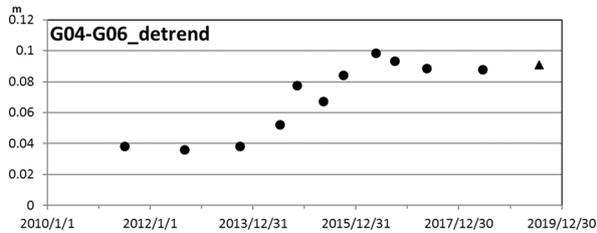
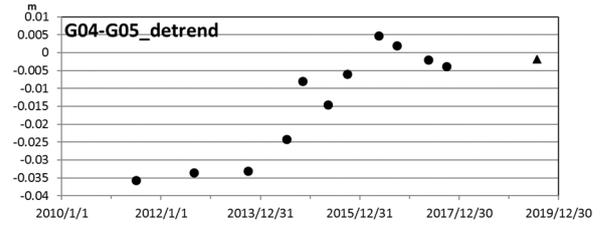
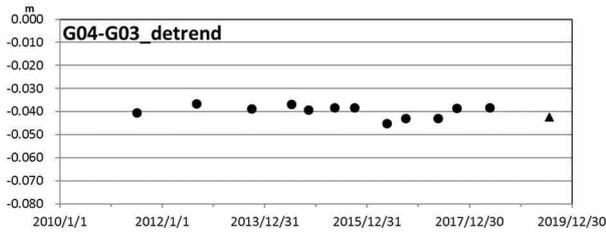


小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
(国) : 国土地理院、(防) : 防災科学技術研究所、(工) : 東京工業大学、(関地) : 関東地方整備局

図 7 草津白根山 GNSS 連続観測による基線長変化 (2011 年 1 月 1 日 ~ 2019 年 11 月 27 日)

2016 年 1 月以降のデータについては、解析方法を改良している。

- ・ の基線で 2018 年 1 月以降にみられている変化は、本白根山の噴火後の収縮によるものと考えられる。
- ・ * の変動は、火山活動に起因するものではないと考えられる。
- ・ の基線で 2019 年 4 月頃からみられている変化 (青破線) は、逢ノ峰南東観測点固有の変動であり、火山活動に起因するものでないと考えられる。



● : 2018 年 11 月観測まで Furuno 社製の GNSS 受信機
 ▲ : 2019 年 7 月観測より Javad 社製の GNSS 受信機

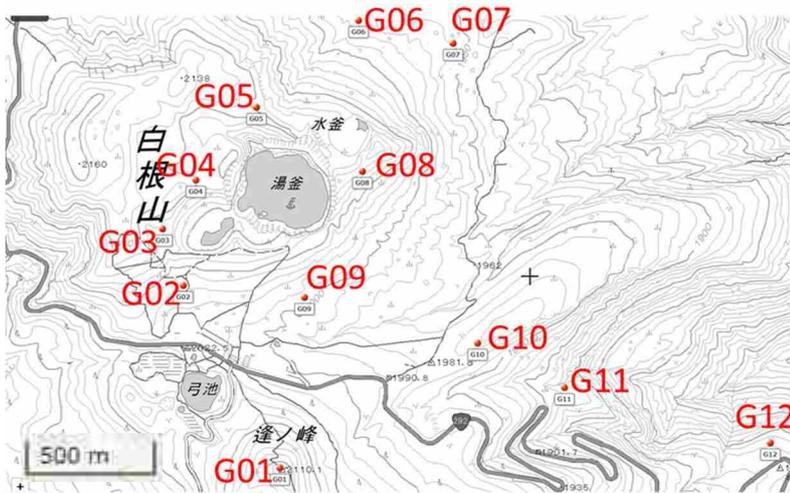


図 8 草津白根山 GNSS 繰り返し観測による基線長変化 (2011 年 7 月 2 日 ~ 2019 年 7 月 24 日)

2013 年 9 月 30 日までのデータで、トレンドを算出し、トレンド補正をしている。

2019 年 7 月 24 日の観測から GNSS 受信機を更新し、データは補正無しで連結している。

- ・ 前回観測 (2018 年 6 月) と比較すると、大きな変化は見られないが、2016 年頃よりみられる基線調が縮む方向の変動は認められない。

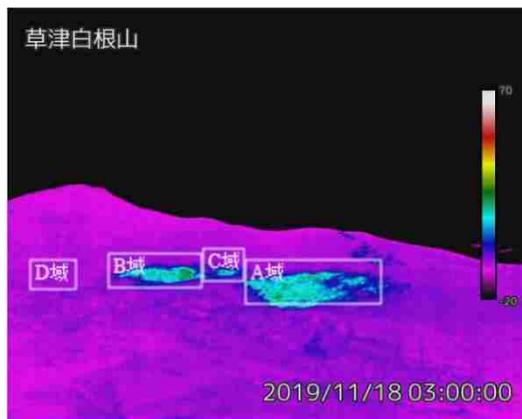
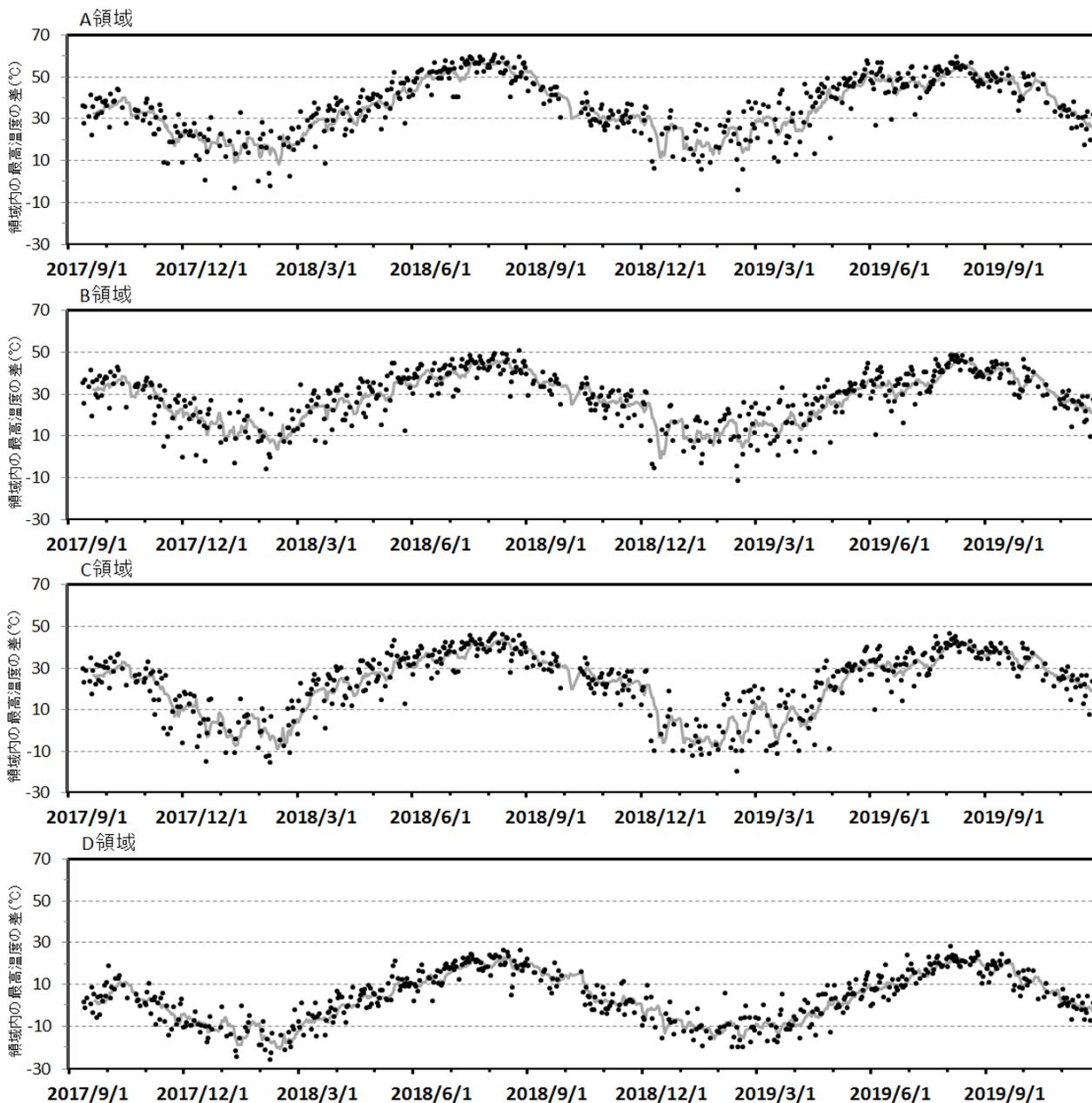
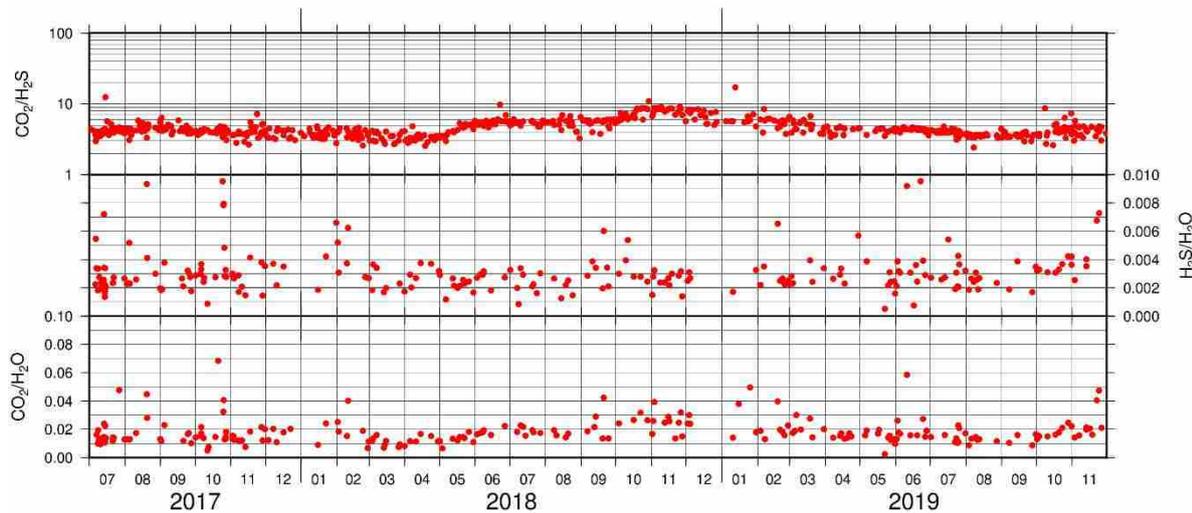
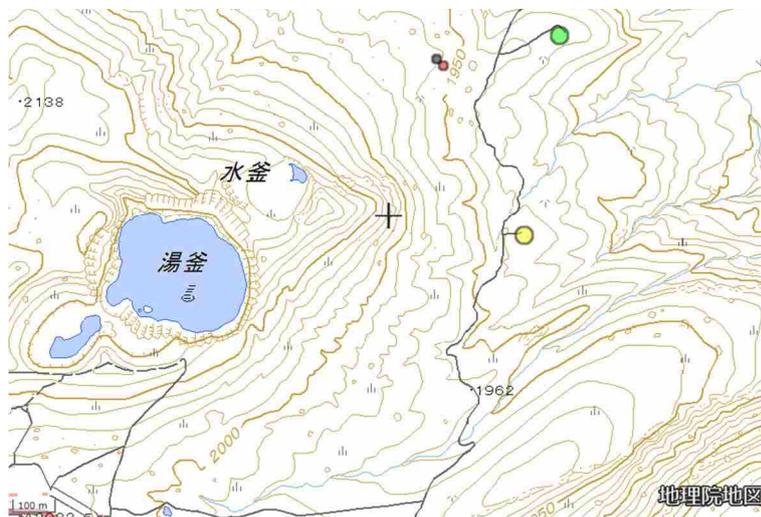


図 9 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 赤外熱映像カメラによる水釜北東噴気地帯のそれぞれの領域（A～D領域）の最高温度（2017年9月1日～2019年11月27日）
 天候不良時のデータは除去し、日射の影響のない毎03時のデータを使用している。
 実線は前10日間の移動平均を示す。
 ・2018年以降の地震活動と対応するような温度変化は認められない。



ガス組成比の時系列データ

上段：CO₂/H₂S 比 中段：H₂S/H₂O 比 下段：CO₂/H₂O 比



観測点と噴気的位置。黒丸は火山ガス観測点、緑丸は水釜北東観測点（地震回数（湯釜付近、逢ノ峰付近）計数基準点）、黄色丸は湯釜東観測点（東工大、傾斜計）

図 10 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 水釜北東噴気地帯のマルチガス観測結果
(2017年7月～2019年11月)

・観測期間中、SO₂、H₂は検出されなかった。H₂Oは大気中の湿度変化等による変動が大きいため、H₂Oを含む組成比は、CO₂/H₂S比よりもデータ数が少なくなっている。2018年12月頃からCO₂/H₂S比の減少傾向が継続していたが、2019年5月頃に停滞傾向に変化した。2019年5月18日には地震回数の一時的な増加が観測されている。CO₂/H₂S比はその後2019年9月頃までほぼ一定で推移した。2019年9月上旬頃からやや増加し、10月頃に増加傾向に転じた。その後11月にはほぼ一定の組成比となった。CO₂/H₂S比の変化要因は様々な可能性が考えられるため一義的な解釈は難しいが、地震活動と地殻変動と明示的な連動がある事から深部からの一時的な流体供給増加を反映している可能性がある。

1. 観測手法

草津白根山湯釜火口の北山麓に設置した Multi-GAS を用いて、火山ガス組成の連続観測を行った（図 1）。測定ガス種は SO₂、H₂S、H₂O、CO₂、H₂ の全 5 種類である。観測装置の近傍には噴気孔 E が存在するため、測定した火

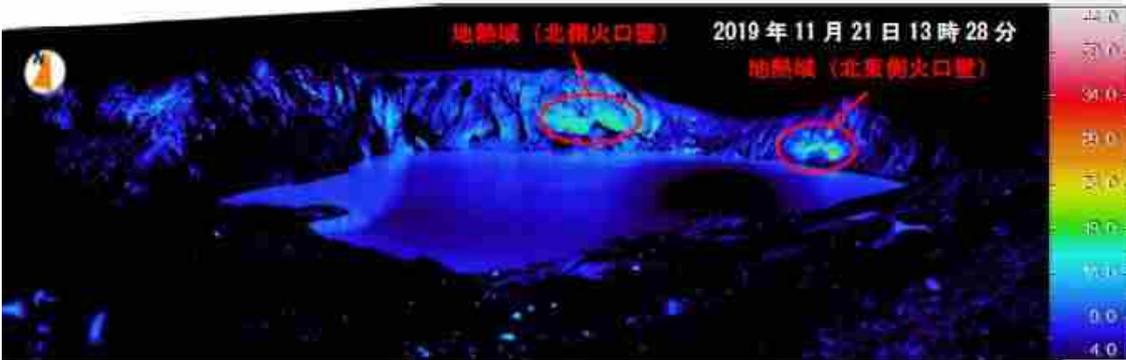
山ガス組成は噴気 E の火山ガス組成を反映していると考えられる。観測は毎日 1 回定時の実施の他、H₂S 濃度が 10ppm 以上のガスを検出した際も随時観測を行った。1 回の観測時間は 1 時間、1 日の最大観測回数は 4 回である。

2. 解析手法

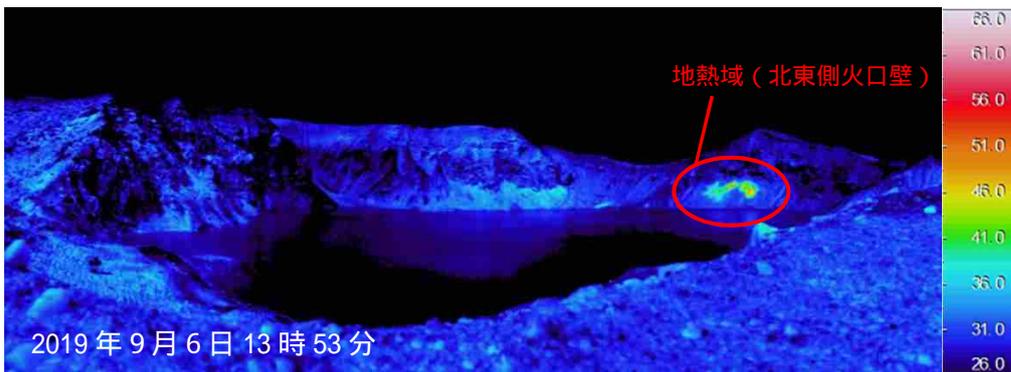
火山ガスの組成比は、各ガスの濃度時系列の相関を取り、回帰直線の傾きから算出した。また、データ選別のため決定係数が 0.6 以上かつ H₂S 濃度差が 1ppm 以上のデータを用いて CO₂/H₂S 比を計算した。また、センサーの感度変化の影響をセンサー交換時の校正の値を用いて補正した。これまでの観測で判明している Multi-GAS のセンサー感度変化の影響は、CO₂/H₂S 比の見かけの増加を示す傾向にあり、校正の値を用いて補正を行うことで見かけの変化は除去することが出来る。



図 11-1 草津白根山 図 11-2 の湯釜火口内の撮影位置 (2019 年 11 月 5 日、2019 年 11 月 21 日)



天気 快晴 気温 -1.0 °C 湿度 64 % 風速 3.7 m/s 気圧 797.8 hPa



天気 曇 気温 18.5 湿度 84 % 風速 3.4m/s 気圧 799.2 hPa

図 11-2 草津白根山 湯釜火口内の状況 (上 : 2019 年 11 月 21 日、下 : 2019 年 5 月 5 日)
熱映像装置による観測では、湯釜火口内北東側火口壁の地熱域の他、北側の火口壁にも地熱域が認められた。北側の火口壁で地熱域が確認されたのは、2015 年 9 月以来。



図 11- 3 草津白根山（白根山（湯釜付近））湯釜湖面の状況
 9月25日に実施したドローンによる観測で、湯釜湖面に灰白色の変色域を確認しました。
 同様の灰白色の変色域は、2018年6月下旬～7月上旬、2019年6月下旬にも観測されています。

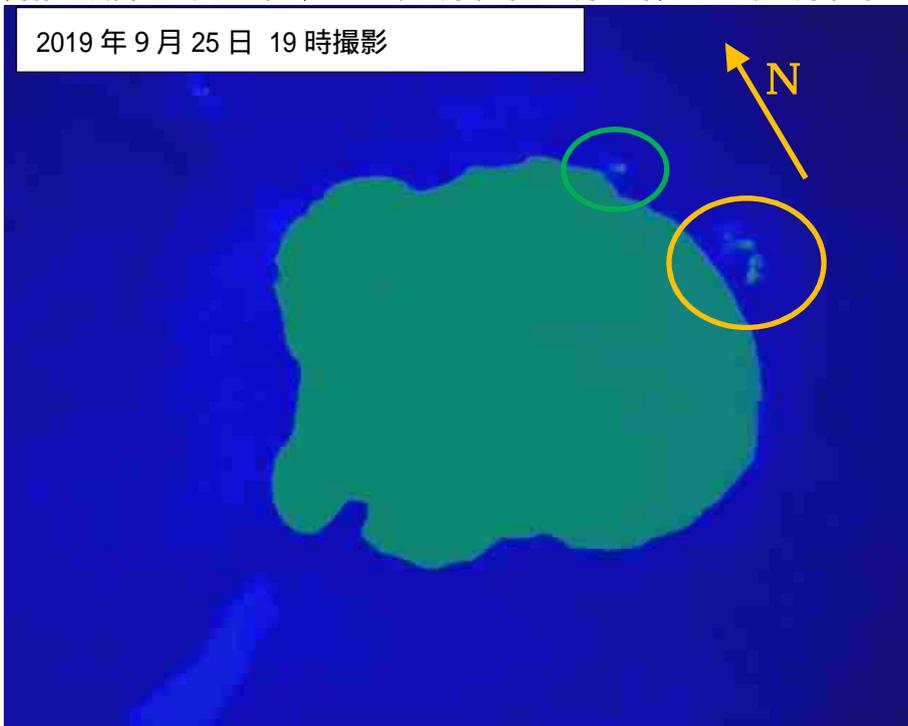


図 11- 4 草津白根山（白根山（湯釜付近））湯釜周辺の状況
 9月25日19時にドローンに搭載した熱赤外装置に撮影した画像。
 ・緑丸の地熱域が図 11- 2 の北側の火口壁、橙丸の地熱域はこれまでも確認されている

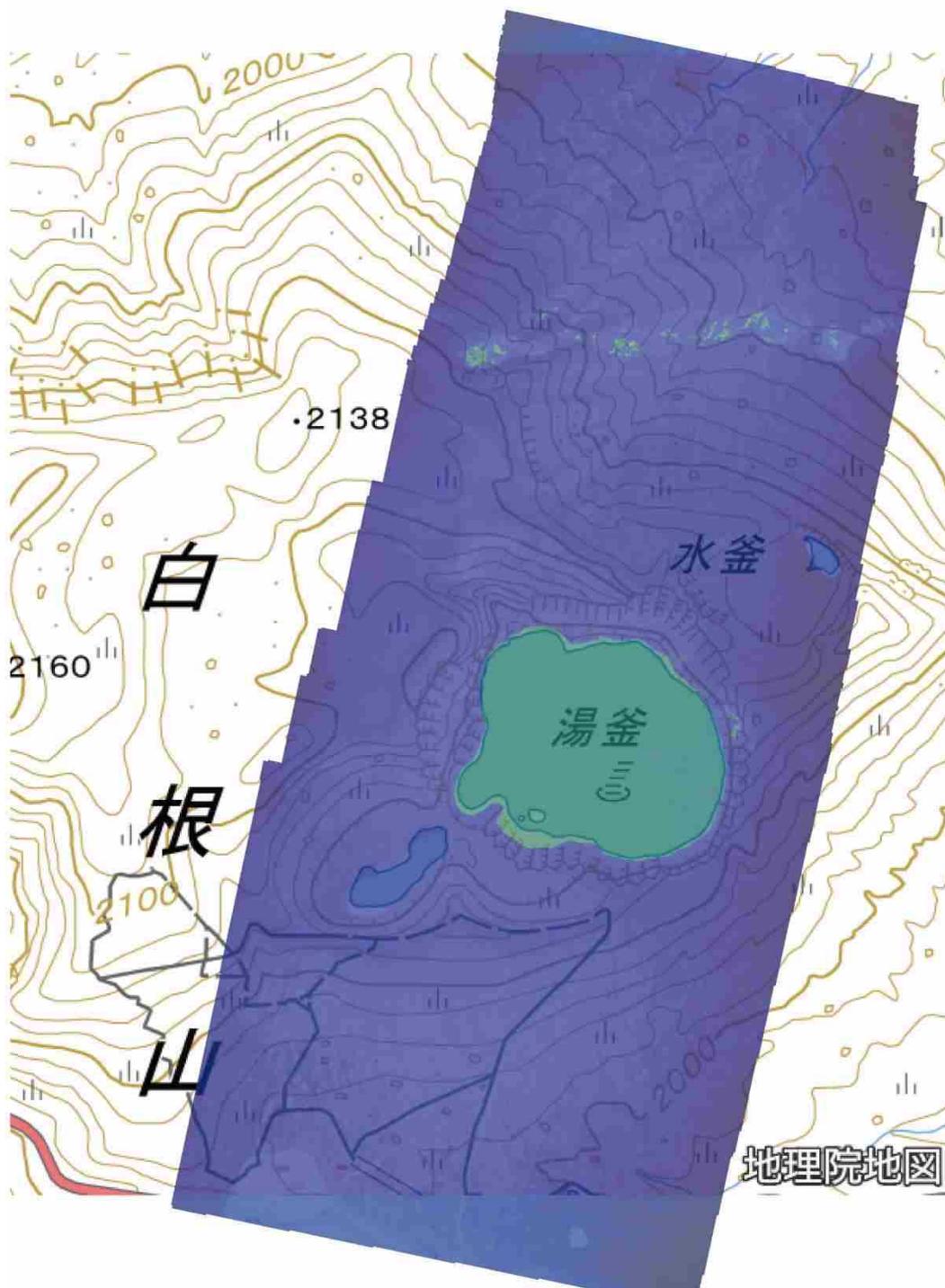


図 11-5 草津白根山（白根山（湯釜付近））湯釜周辺の状況
9月25日19時にドローンに搭載した熱赤外装置に撮影した画像。

本白根山

2018 年 1 月 23 日の噴火以降、噴火は発生していない。

2018 年 2 月下旬以降、噴気は観測されておらず、本白根山火口付近のごく浅部の地震は、2018 年 12 月以降、少ない状態で経過している。

ただし、2018 年 1 月のように突発的に噴火が発生したことを踏まえ、今後も火口付近では、突発的な噴出に注意する必要がある。

概況（2019 年 6 月～2019 年 11 月 30 日）

・地震活動（図 12、図 13）

2018 年 1 月の噴火直後に多発した本白根山火口付近ごく浅部の地震活動は徐々に低下し、2018 年 12 月以降少ない状態で経過しているが、7 月および 11 月頃、やや発生頻度が多くなっている。逢ノ峰付近を震源とする地震は、2019 年 3 月以降、時々発生している。

火山性微動は観測されていない。

・地殻変動（図 14）

GNSS 連続観測では、2018 年に入ってから、草津白根山の北西もしくは西側の深部の膨張の可能性を示唆する変化がみられていたが、10 月以降停滞している。

・噴気等の表面現象の状況（図 15）

2018 年 1 月 23 日の噴火後、鏡池北火口北側の火口列付近でごく弱い噴気が時々観測されていたが、2018 年 2 月 22 日を最後に観測されていない。9 月 26 日に実施した現地調査では、鏡池北火口北側及び西側の火口周辺には地熱域は認められず、噴気は確認されなかった。

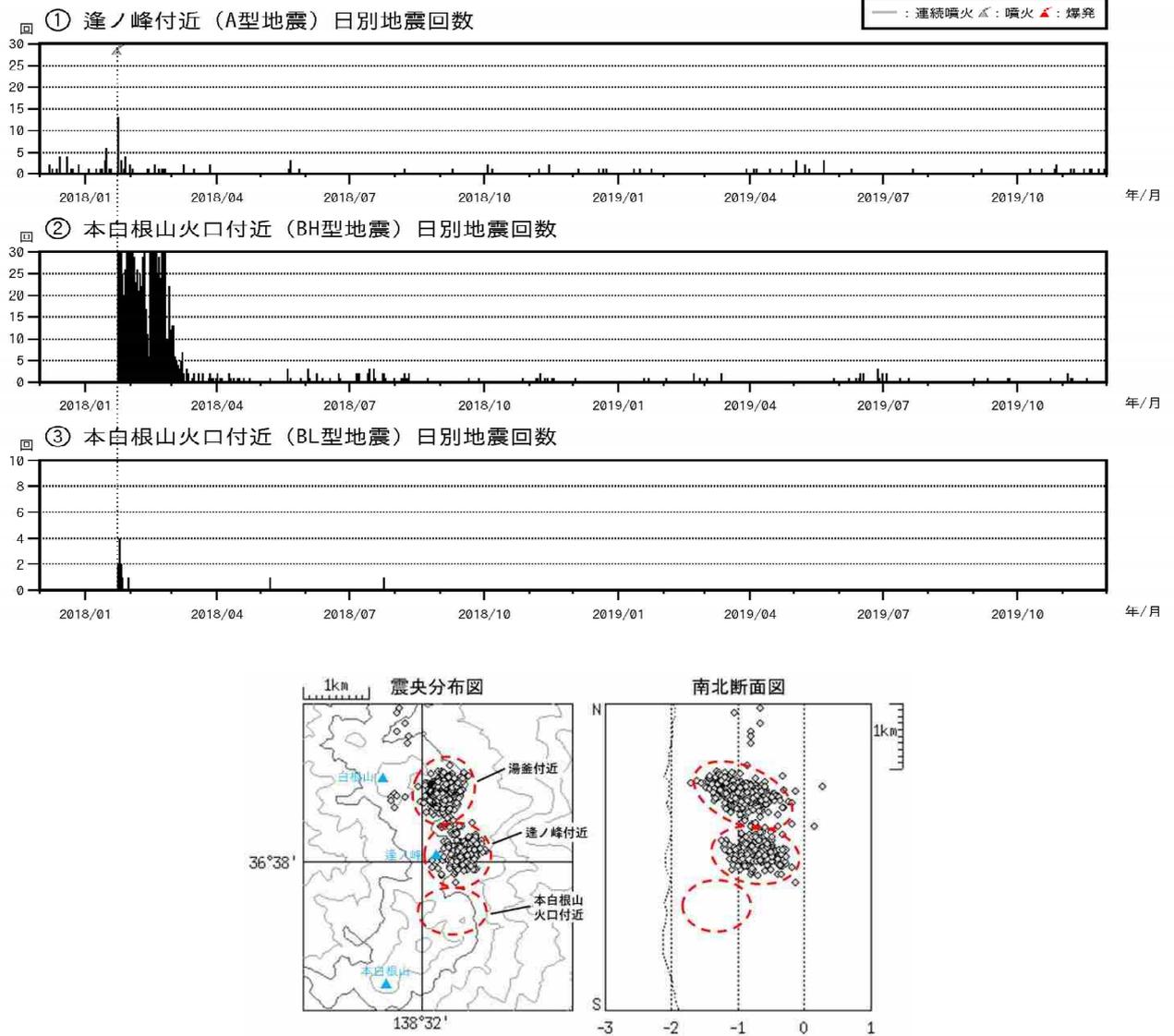


図 12 草津白根山 (本白根山) 火山性地震の活動経過 (2017 年 12 月 1 日 ~ 2019 年 11 月 30 日)
 ・逢ノ峰付近を震源とする火山性地震は、2019 年 3 月以降時々発生しており、10 月下旬以降やや回数が多い。
 ・本白根山火口付近を震源とする火山性地震は、回数は少ないものの継続的に発生しており、7 月及び 11 月頃、やや発生頻度が多い。

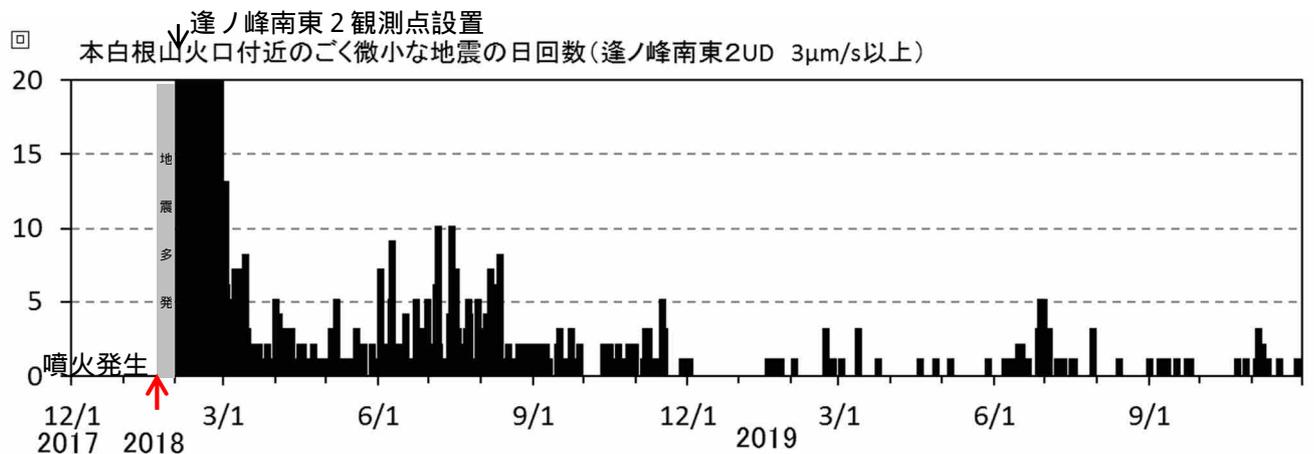
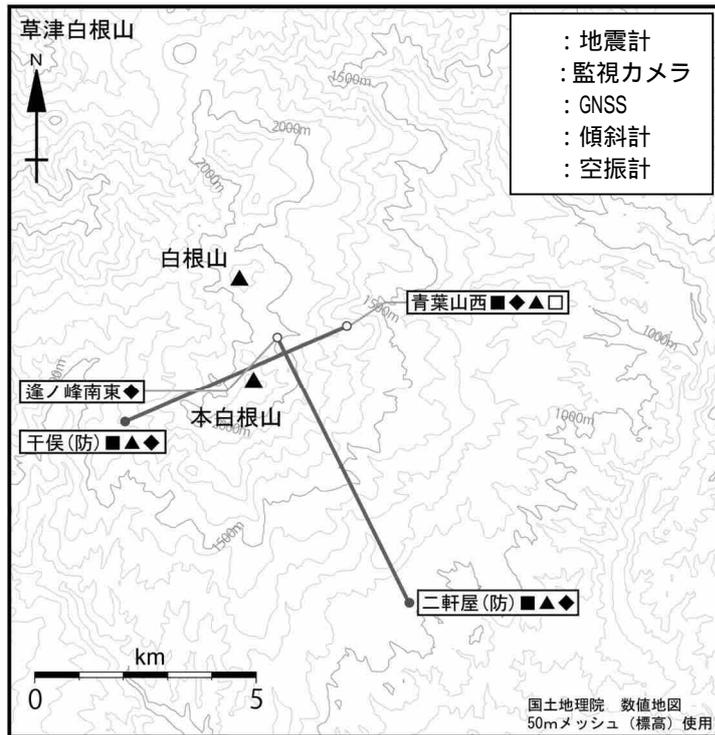
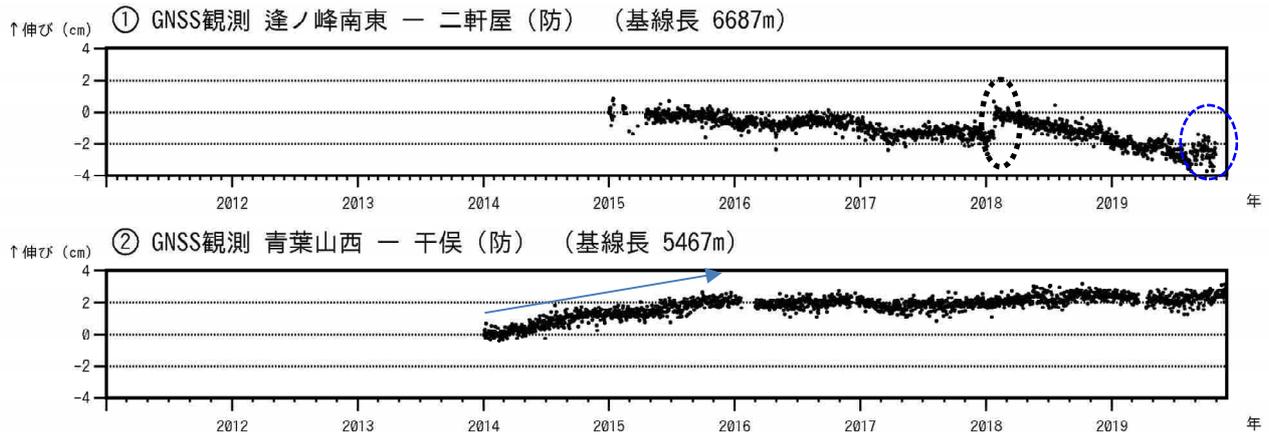


図 13 草津白根山 (本白根山) 本白根山火口付近のごく微小な地震活動 (2018 年 2 月 2 日 ~ 2019 年 11 月 30 日)
 ・ごく微小な火山性地震が時々発生している。



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、(防): 防災科学技術研究所、(工): 東京工業大学、(開地): 関東地方整備局、(町) 草津町

図 14 草津白根山 (本白根山) GNSS 連続観測による基線長変化 (2011 年 1 月 1 日 ~ 2019 年 11 月 30 日)

- ・ の基線で 2018 年 1 月の噴火に伴う変化 (黒破線) が認められる。
- ・ の基線で、2018 年 1 月以降にみられている変化は、本白根山の噴火後の収縮によるものと考えられる。
- ・ 逢ノ峰南東-二軒屋 (防) の基線では、2019 年 4 月頃よりみられている変化 (青破線) は、二軒屋 (防) 観測点の挙動 (図 19-2 参照) によるもので、火山活動による変動ではないと考えられる。
- ・ 青葉山西-干俣 (防) の基線では、2014 年に深部の膨張によると考えられる変動 (青矢印) がみられていたが、今期間は停滞している。

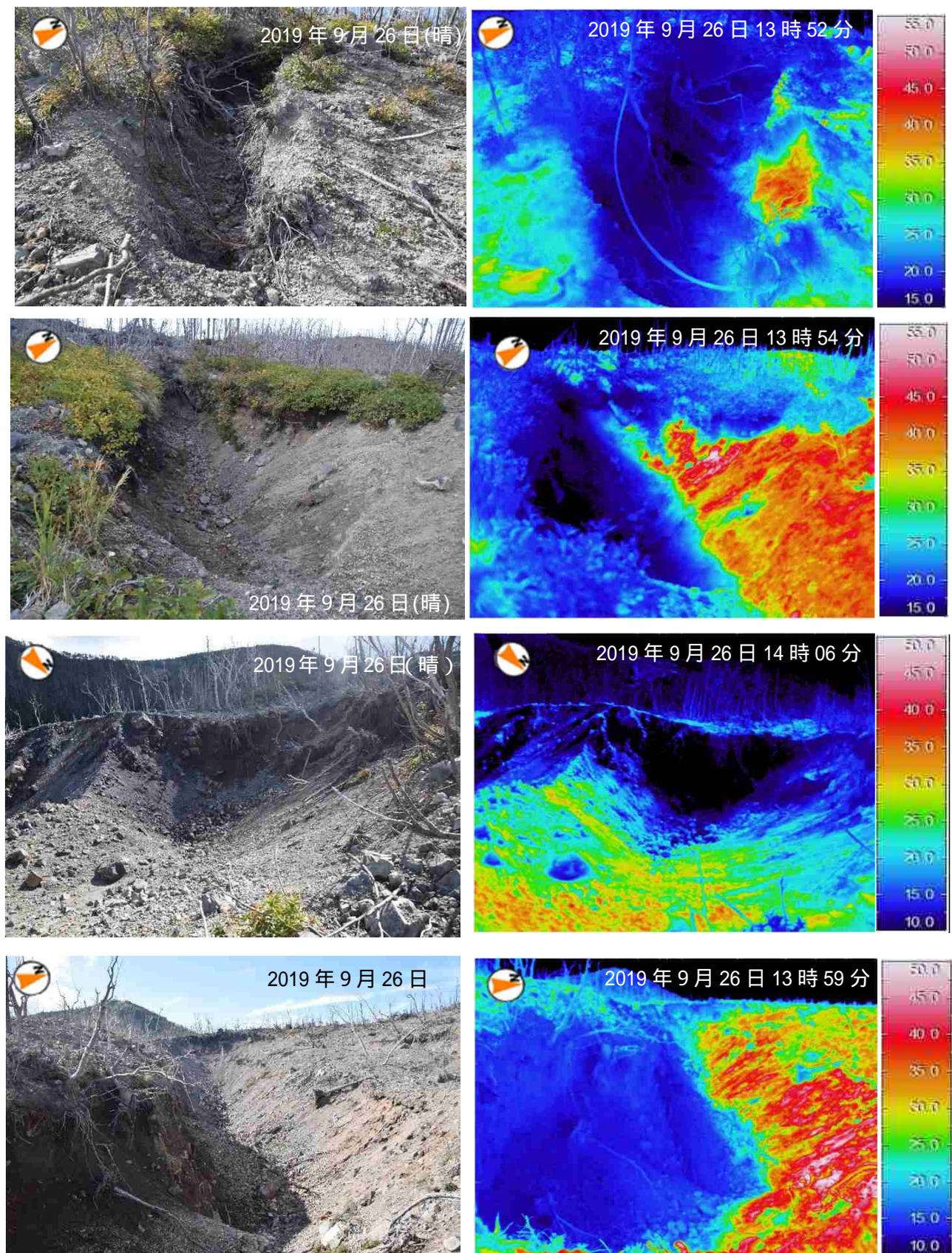


図 15 草津白根山（本白根山） 本白根山周辺の状況及び地表面温度分布
 下図の赤丸及び赤矢印は、上図の撮影位置と撮影方向を示す。
 ・鏡池北火口北側及び西側の火口周辺には地熱域は認められず、噴気は確認されなかった。

草津白根山

1982年から1983年にかけて小規模な水蒸気噴火を繰り返した湯釜付近の地震活動は1993年以降低調だったが、2002年頃から徐々に高まっており、地震多発に先行して北側噴気地帯のガス組成の変化がたびたびみられている。また、湯釜湖水の化学組成にも、高温の火山ガス由来の成分の増加がみられている。

2014年及び2018年には、湯釜付近の浅部へ火山性流体が急激に注入されることによると考えられる火山性地震の多発などがみられ、GNSS連続観測でも、草津白根山の北西～西側の深部の膨張を示唆する変化が繰り返し観測され、それらは収縮に転じていない。また、本白根山では、2018年に水蒸気噴火が発生した。

以上のように、草津白根山の火山活動は、中長期的にみると活発な状態になっており、今後、更に高まっていく可能性がある。草津白根山浅部の活動だけでなく、草津白根山の北西もしくは西側の地殻変動や周辺の地震活動にも注意していく必要がある。

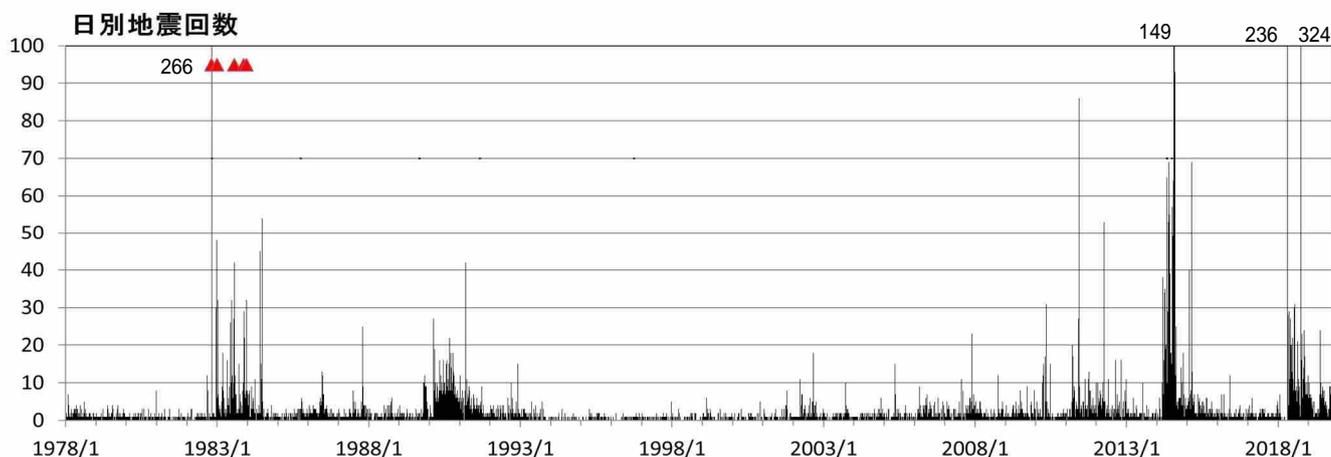


図 16 草津白根山 日別地震回数（1978年1月1日～2019年11月30日）

・地震活動は、2002年頃から徐々に高まっており、2011年以降は増減を繰り返している。

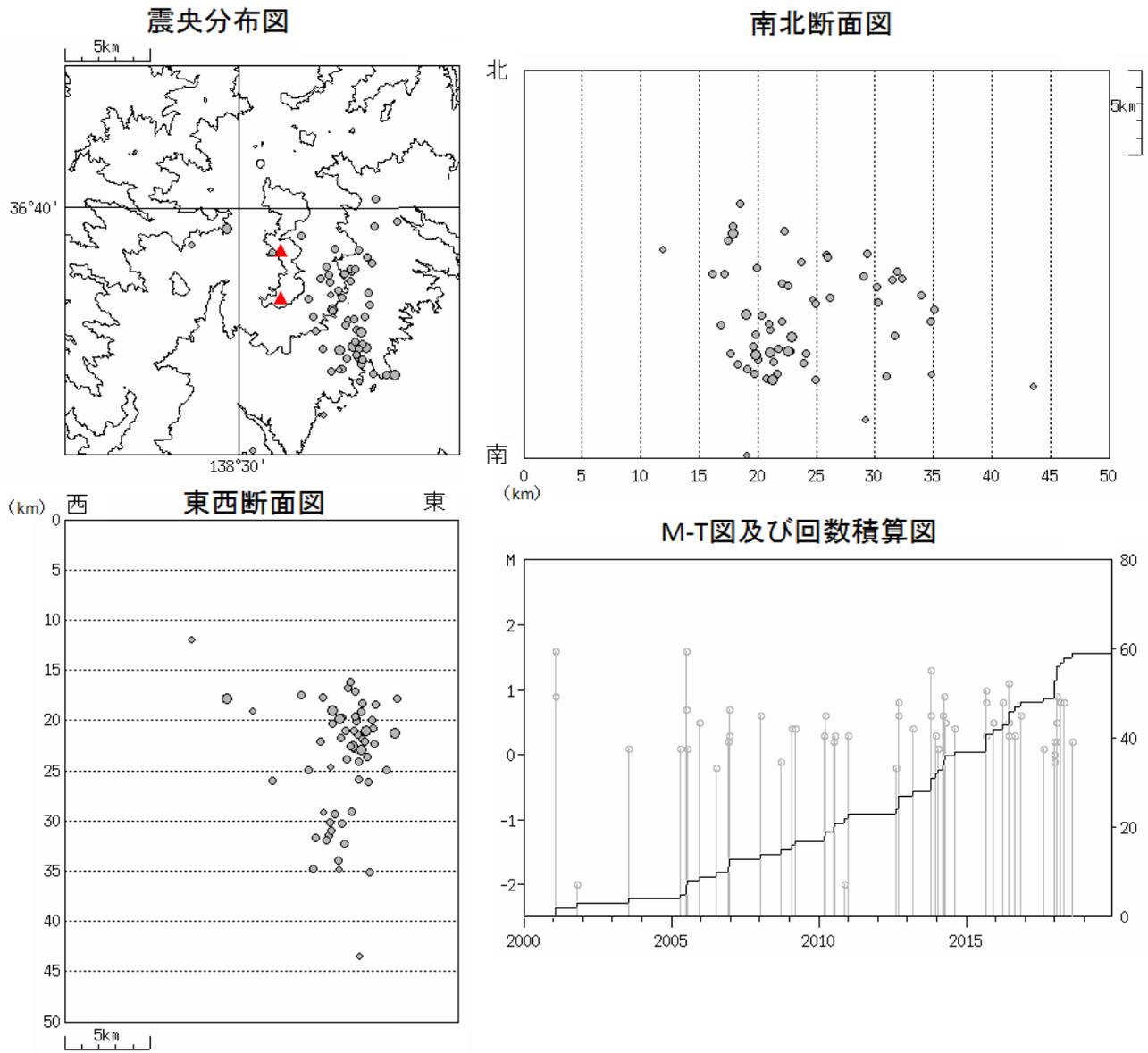


図 17 草津白根山 一元化震源による深部低周波地震活動（2000年1月1日～2019年11月30日）

- ・ 深部低周波地震は、主に草津白根山の南東側に分布している。
- ・ 最近では、2010年、2014年、2016年、2018年にまとめて発生している。

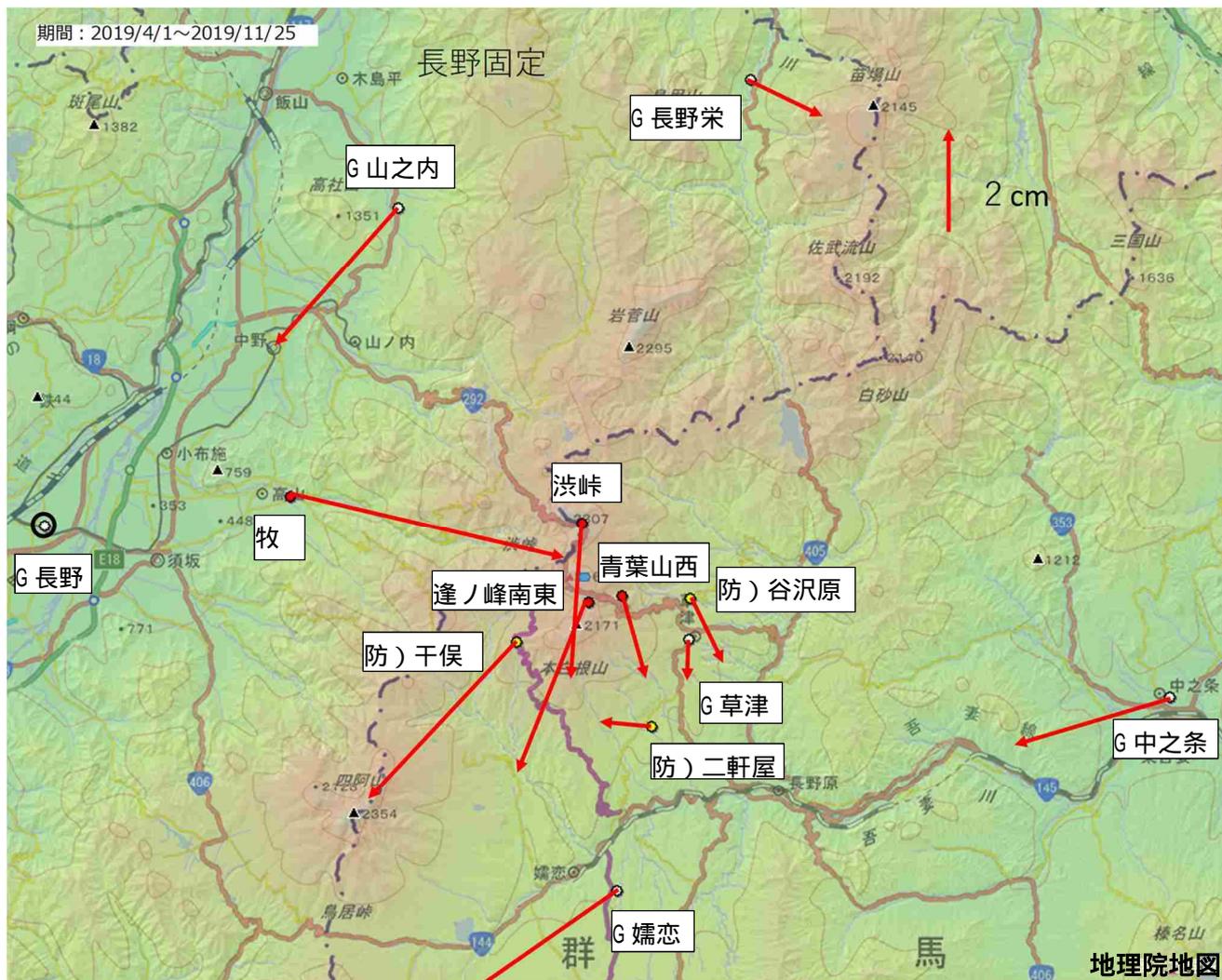


図 18-1 草津白根山 国)長野固定による広域の GNSS 連続観測による移動方向
 (2019年4月1日~2019年11月25日)
 ・2019年4月から11月までのGNSS連続観測では、湯釜西方の膨張は認められない。また、湯釜近くの観測点では、渋峠以外の観測点で湯釜付近の膨張と考えられる変動をしている。

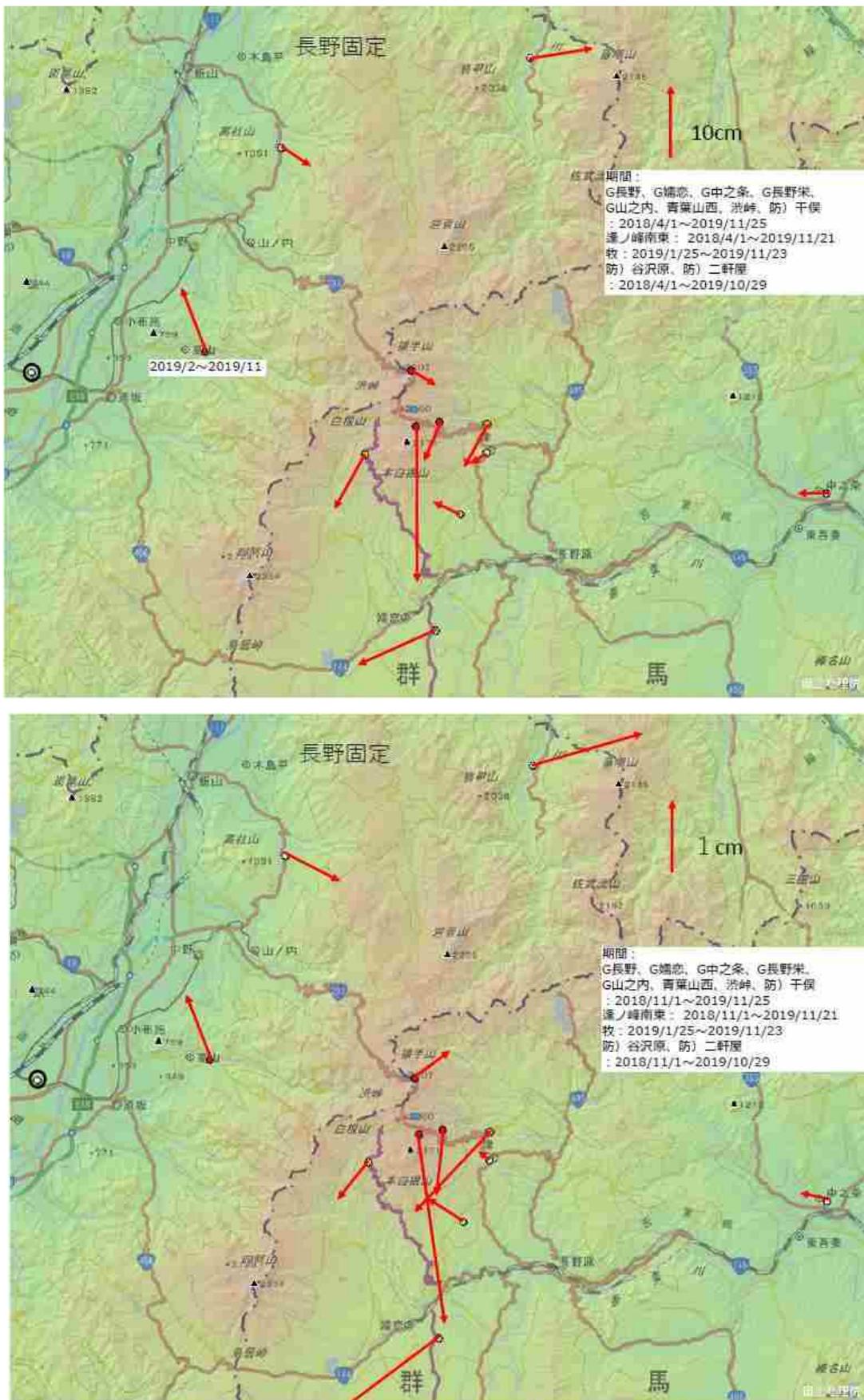


図 18-2 草津白根山 国) 長野固定による広域のGNSS連続観測による移動方向
(上: 2018年4月1日~2019年11月25日、下: 2018年11月1日~2019年11月25日)

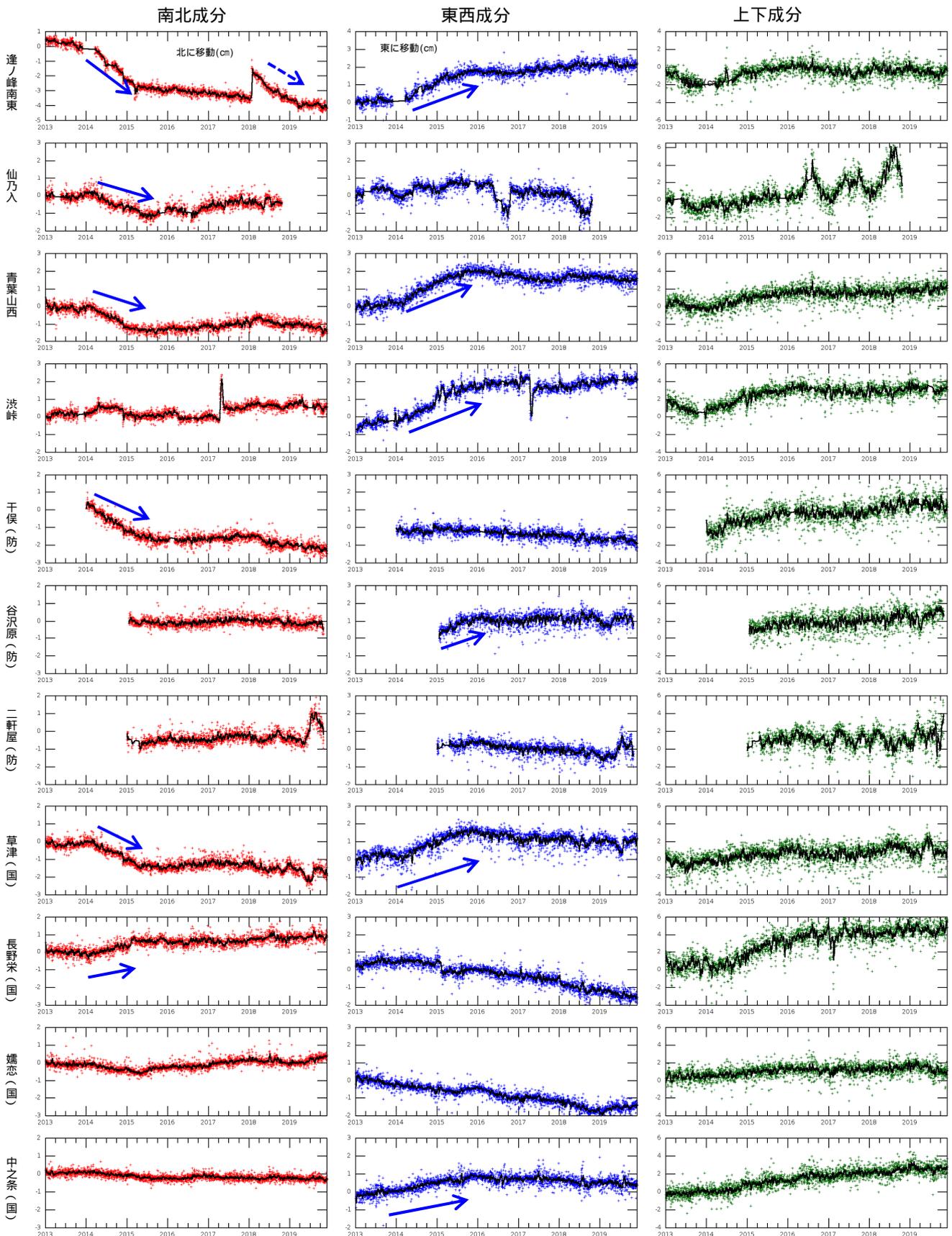


図 19- 1 草津白根山 GNSS 各観測点の変動(2013年1月1日~2019年11月30日)(長野(国)固定)

(国)国土地理院 (防)防災科学技術研究所 黒線は10日間の移動平均
地震やアンテナ交換等によるステップ, 季節変動, 長野栄(国)のトレンドを除去した。
嬭恋(国)は, 浅間山の膨張性地殻変動の影響を受けている。

逢ノ峰南東観測点では, 2018年1月以降, 本白根山噴火後の余効変動が含まれていると考えられる(青破線)。

- ・2014年から2015年にかけて, 草津白根山の北西~西側の深部の膨張を示唆する変化が観測された(図中の青矢印)が, 今期間は認められない。

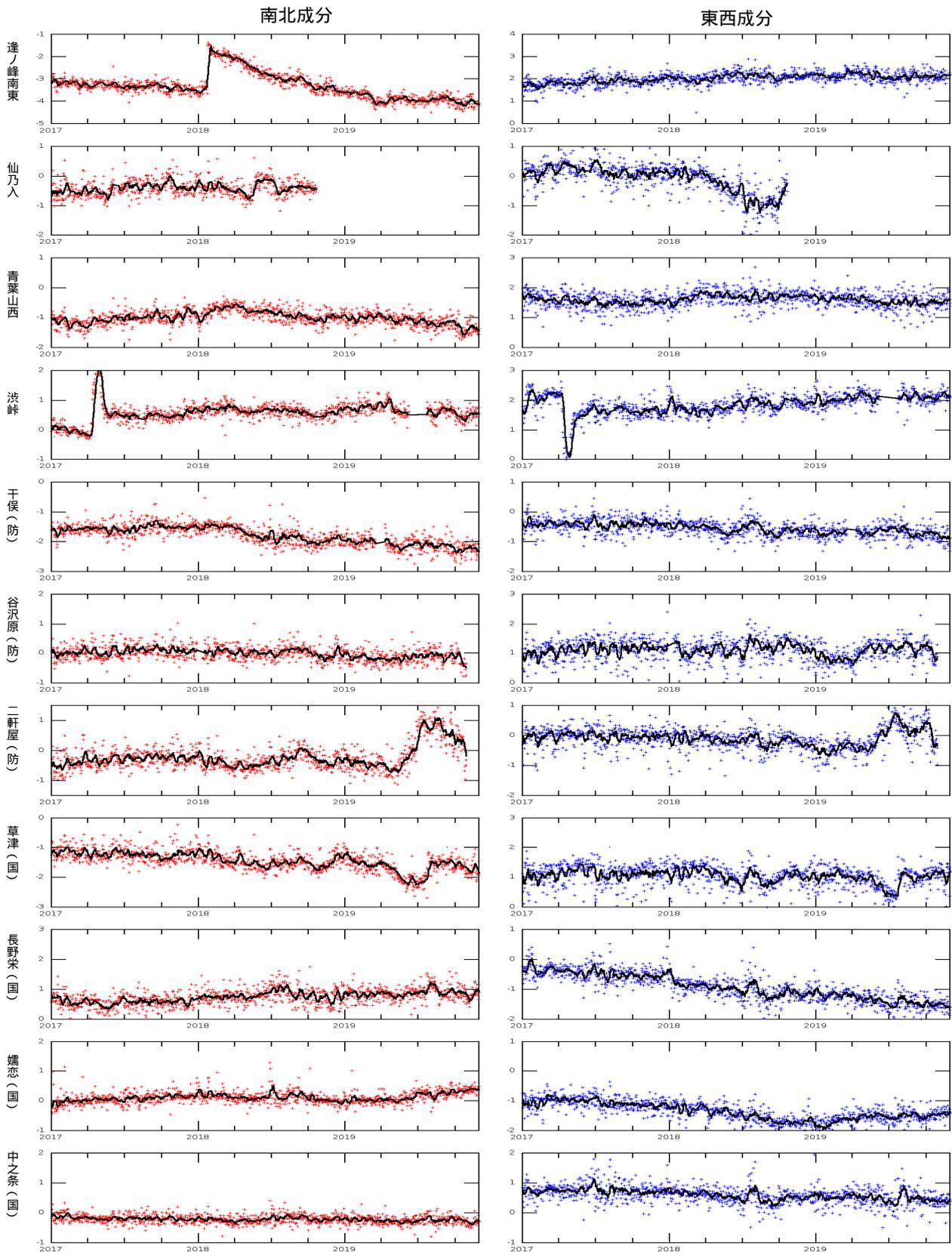


図 19-2 草津白根山 GNSS 観測による各観測点の変動 (2017 年 1 月 1 日 ~ 2019 年 11 月 30 日)
 (図 19-1 の時間軸を拡大したもの)

逢ノ峰南東観測点では、2018 年 1 月以降、本白根山噴火後の余効変動が含まれていると考えられる (青破線)。
 ・2014 年から 2015 年にかけてみられた変化と類似した変化は、今期間には認められない。

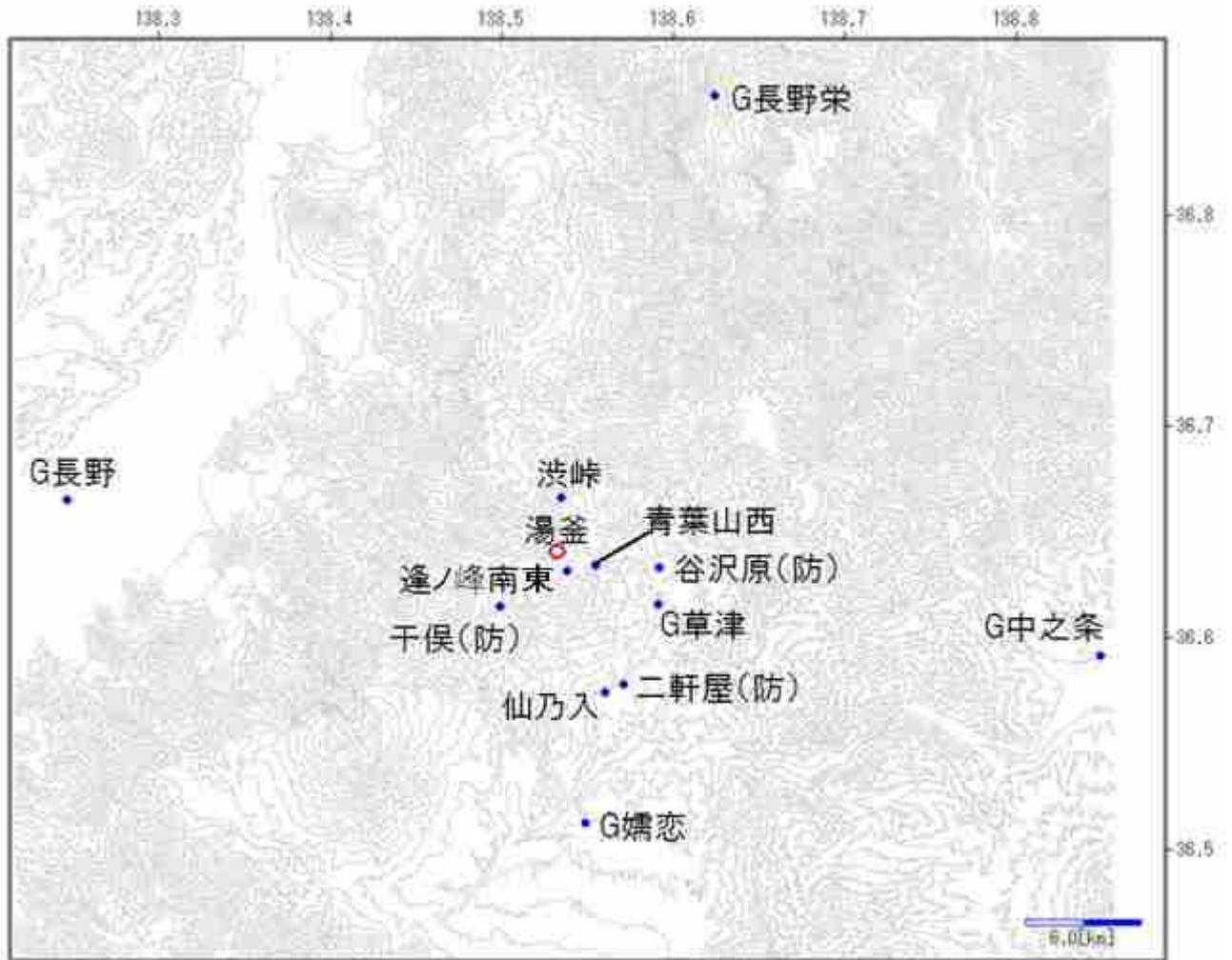


図 20 草津白根山 GNSS 観測点

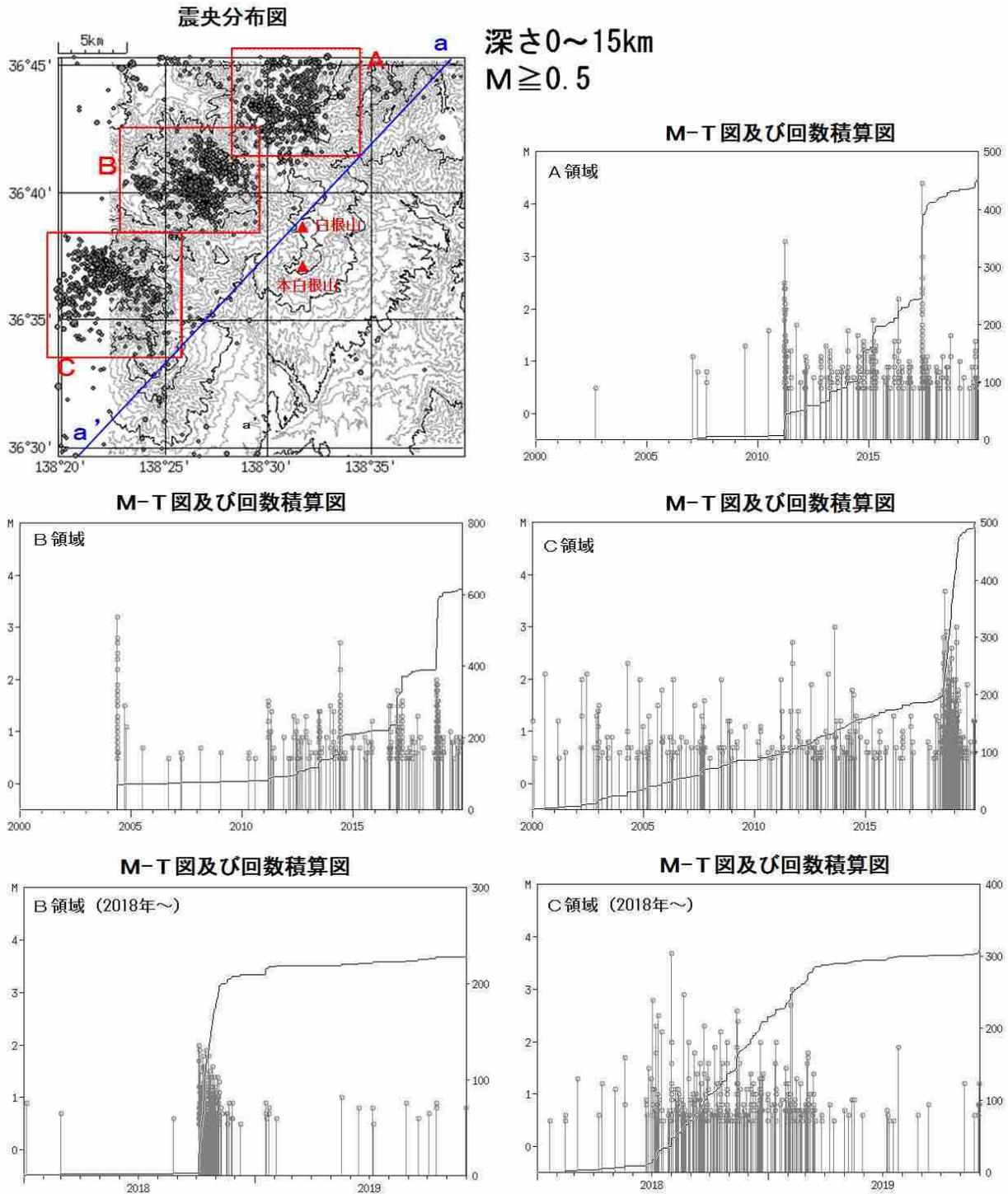


図 21 草津白根山 一元化震源による周辺の地震活動（2000年1月1日～2019年11月30日）
a-a' は図 22 の断面方向を示す

- ・2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震後、草津白根山の北西から北にかけて（A領域）の地震活動が活発化している。
- ・2018年6月頃からC領域、10月頃からB領域の地震活動が高まった。B領域は12月以降、静穏に経過しているが、C領域は減少しつつも継続している。

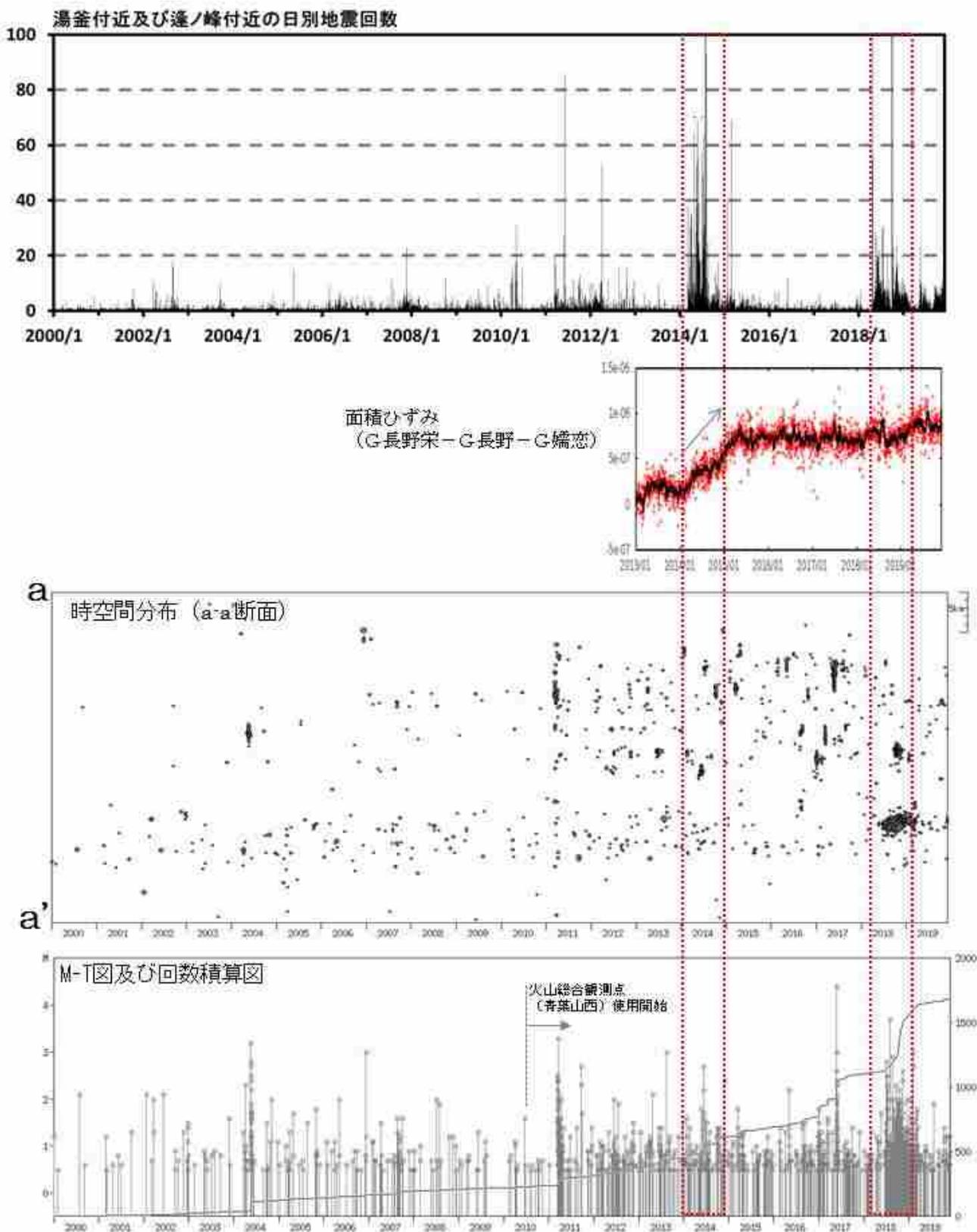
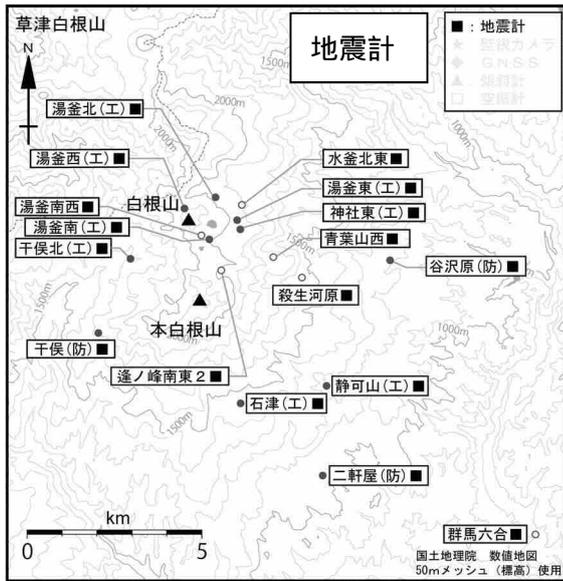
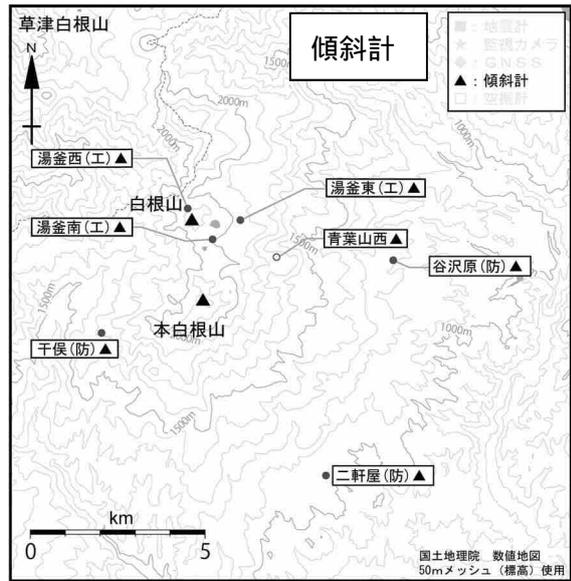


図 22 草津白根山 一元化震源による周辺の地震活動（2000 年 1 月 1 日～2019 年 11 月 30 日）

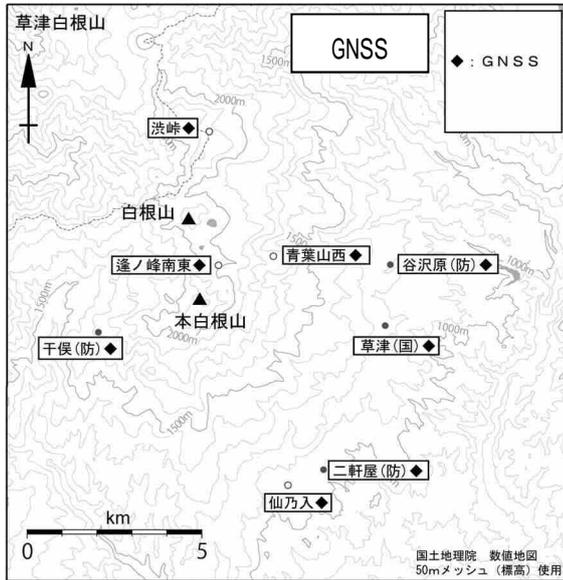
- ・2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震後、草津白根山の北西から北にかけての地震活動が活発化した。
- ・2014 年、2017 年、2018 年に北西側の地震活動の活発化がみられている。
- ・2014～2015 年、2018 年に草津白根山の北西～西側の深部の膨張を示唆する地殻変動が観測された。



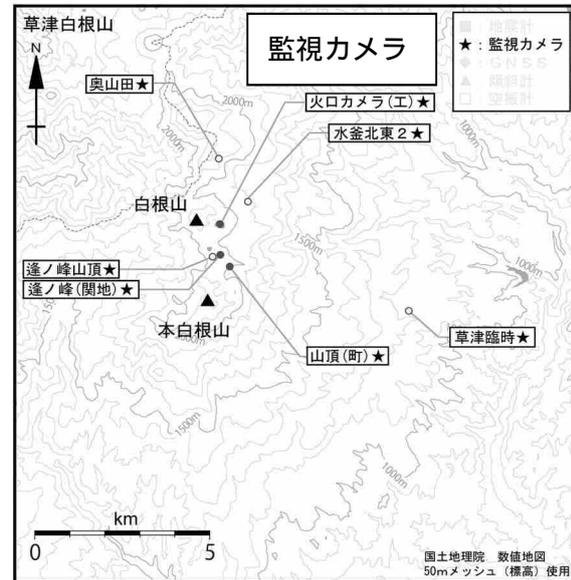
小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
 (国)：国土地理院、(防)：防災科学技術研究所、(工)：東京工業大学、(関地)：関東地方整備局



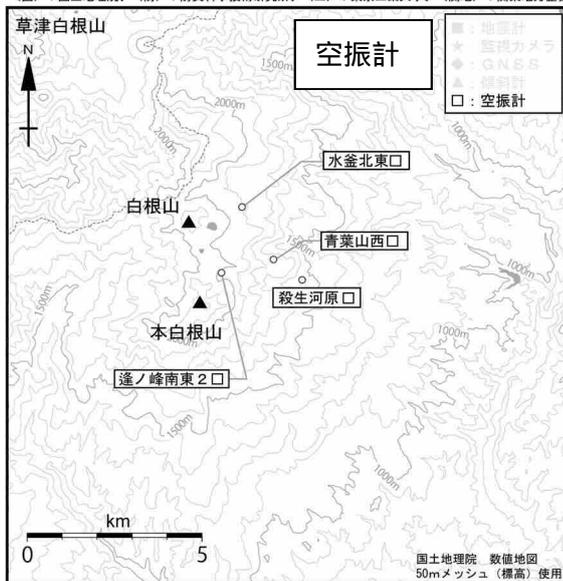
小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
 (国)：国土地理院、(防)：防災科学技術研究所、(工)：東京工業大学、(関地)：関東地方整備局



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、(防)：防災科学技術研究所、(工)：東京工業大学、(関地)：関東地方整備局



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、(防)：防災科学技術研究所、(工)：東京工業大学、(関地)：関東地方整備局



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、(防)：防災科学技術研究所、(工)：東京工業大学、(関地)：関東地方整備局

図 23 草津白根山 観測点配置図

この地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図 25000 (行政界・海岸線)』及び『数値地図 50m メッシュ (標高)』を使用した。

ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた 草津白根山における SAR 干渉解析結果

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 で撮像された草津白根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

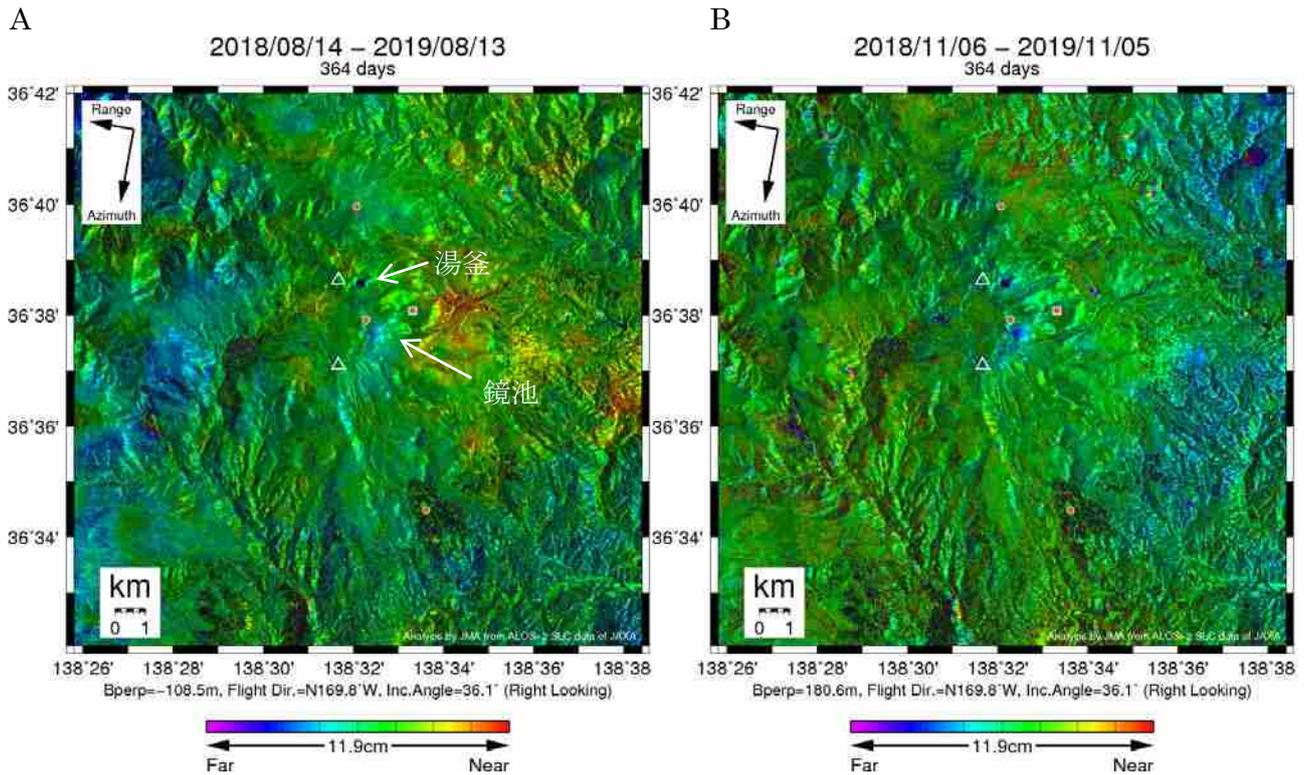
Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
19-2880(SM1_U2_7)	南行	右	36.1°	2018.08.14	2019.08.13	第 1 図-A
			36.1°	2018.11.06	2019.11.05	第 1 図-B
125-720(SM1_U2_6)	北行	右	32.4°	2019.05.19	2019.11.03	第 2 図

3. 解析結果

南行軌道の長期ペアと北行軌道の短期ペアについて解析を行った。いずれもノイズレベルを超えるような位相変化は認められなかった。

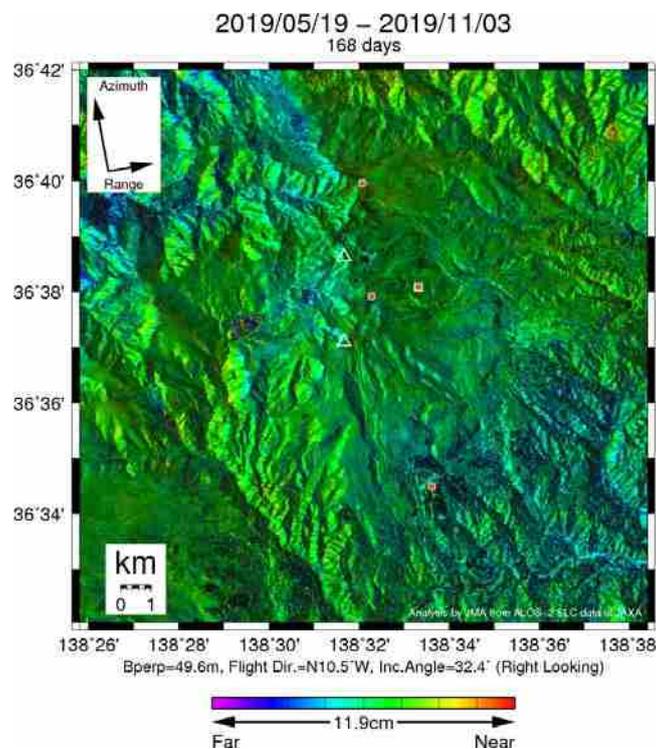
謝辞

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 19(SM1_U2_7)による草津白根山及び周辺の干渉解析結果

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。
ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。



第 2 図 パス 125(SM1_U2_6)による草津白根山及び周辺の干渉解析結果

凡例は第 1 図と同じ。
ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

湯釜湖水の化学組成 (2019年12月3日観測)

草津白根山の湯釜火口湖の南西岸(U1: 図 1)で採取した湖水の化学組成の分析結果について報告する. 2019年12月3日時点で湖水の pH は 1.09, Cl は 3920mg/L, SO₄ は 1500mg/L, Mg は 31.7mg/L であった(表 1). 湖水の Mg/Cl 比は湯釜火口で複数回の噴火が発生した 1982-83 年活動期, および湯釜火口内での突出が発生した 1996 年の前後で顕著に上昇した(Ohba et al.^[1], 図 2). 同比は本年 8 月(0.0078)から 11 月(0.0085)にかけてわずかに上昇し, 2019 年 12 月 3 日時点で 0.0081 程度となった(表 1, 図 2).



図 1. 湖水の採取位置(U1)

(背景地図に地理院地図を使用した.)

表 1. 湯釜火口湖水の化学組成 (抜粋)

Date	WT °C	pH	EC S/m	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	Mg mg/L	Mg/Cl
2019/8/26	26.0	1.06	4.21	4100	1460	31.8	0.0078
2019/10/1	25.0	1.06	4.24	4160	1550	33.4	0.0080
2019/10/16	ND	1.11	3.86	3800	1460	30.8	0.0081
2019/11/9	15.4	1.07	3.90	3850	1470	32.7	0.0085
2019/12/3	ND	1.09	4.03	3920	1500	31.7	0.0081

分析値は今後変更する場合があります. pH, ECの測定にはガラス電極および白金-白金黒電極 (HORIBA, D-74), Cl, SO₄の分析にはイオンクロマトグラフ法(Thermo, Integriion), Mg, の分析にはマイクロ波プラズマ原子発光分析装置(Agilent, 4210 MP-AES)を使用した.

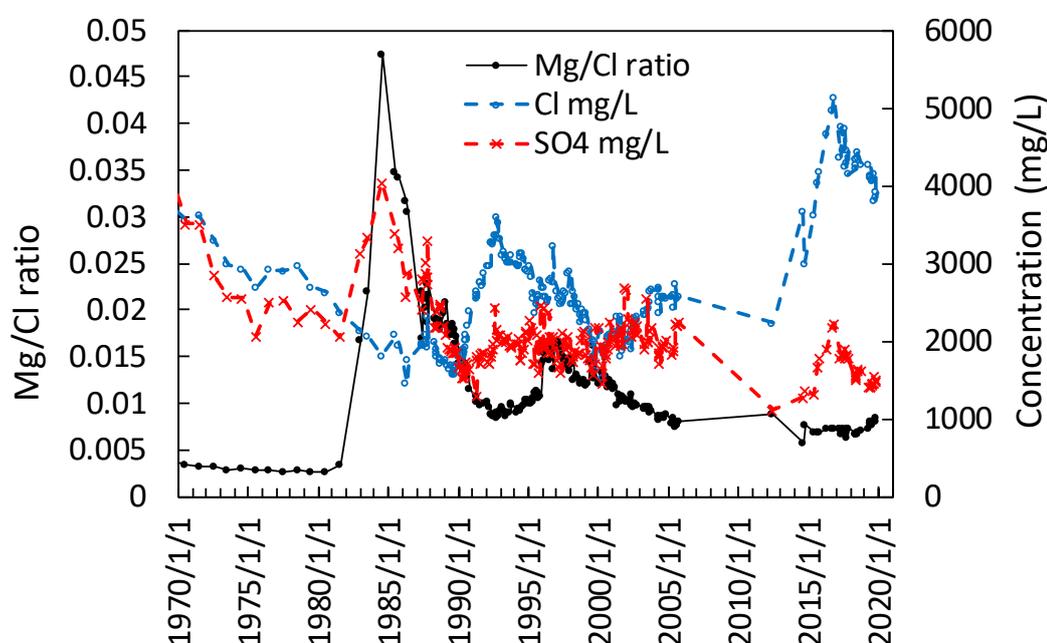


図 2. 湯釜湖水の Cl, SO₄ 濃度, および Mg/Cl 比の変化*

* 2005 年以前は Ohba et al. (2008), それ以降は東海大学, 東京工業大学, 気象研究所による採水.

参考資料 ^[1] T. Ohba, J. Hirabayashi and K. Nogami (2008) JVGR, 178, 131-144.

草津白根山（湯釜付近）における地磁気全磁力変化

全磁力連続観測で 2018 年 4 月頃からみられた湯釜周辺の温度上昇を示唆する全磁力変化は、2018 年 7 月末頃から停滞している。

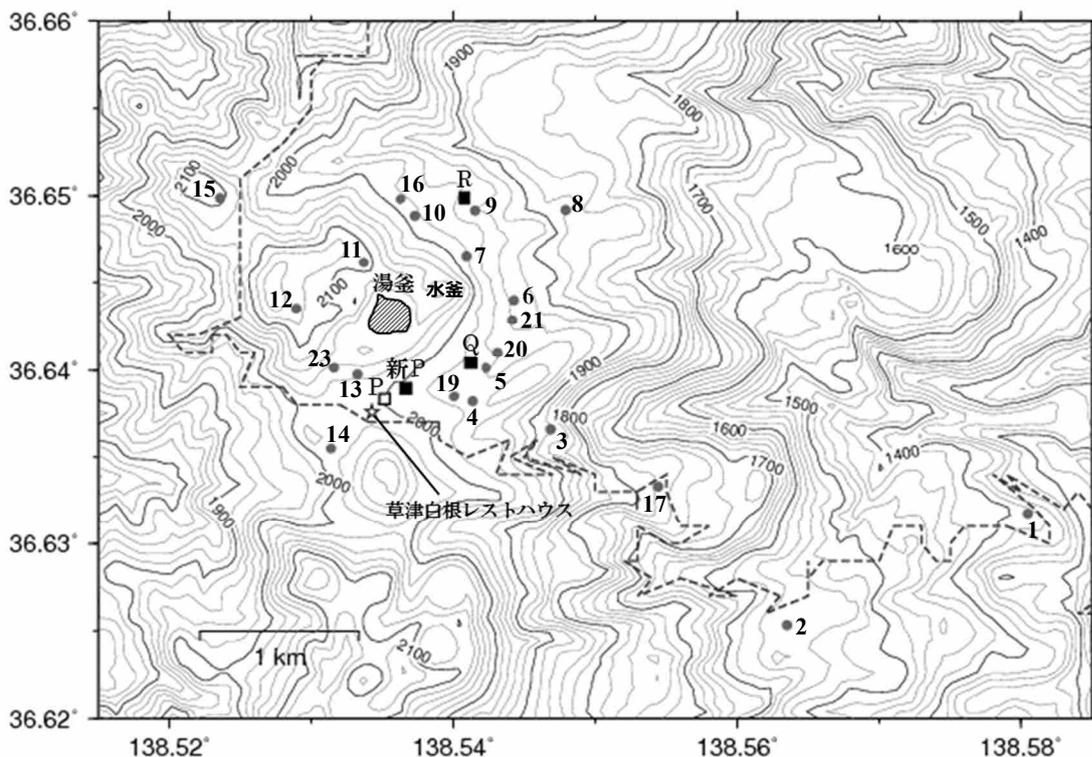
2019 年 10 月に湯釜周辺で実施した全磁力繰返し観測で、水釜付近の地下での熱消磁の発生を示唆する結果が得られており、今後の全磁力変化を注視する必要がある。

草津白根山（湯釜付近）における 2019 年 11 月までの地磁気全磁力変化について報告する。

全磁力連続観測では、2018 年 4 月下旬頃から温度上昇を示唆する消磁傾向の変化を示していたが、その変化は 2018 年 7 月末頃から停滞している。

湯釜周辺で定期的に行っている全磁力繰返し観測（2019 年 10 月実施）において、昨年 10 月以降、湯釜の東から南東側の観測点で全磁力の減少、湯釜北東側の観測点でわずかな全磁力の増加が認められた。この全磁力変化から、水釜付近の地下で熱消磁の発生が示唆された。2019 年 11 月に水釜周辺の観測点で再観測を実施した結果、一部の観測点を除き 2019 年 10 月の観測と同様の結果が得られた。

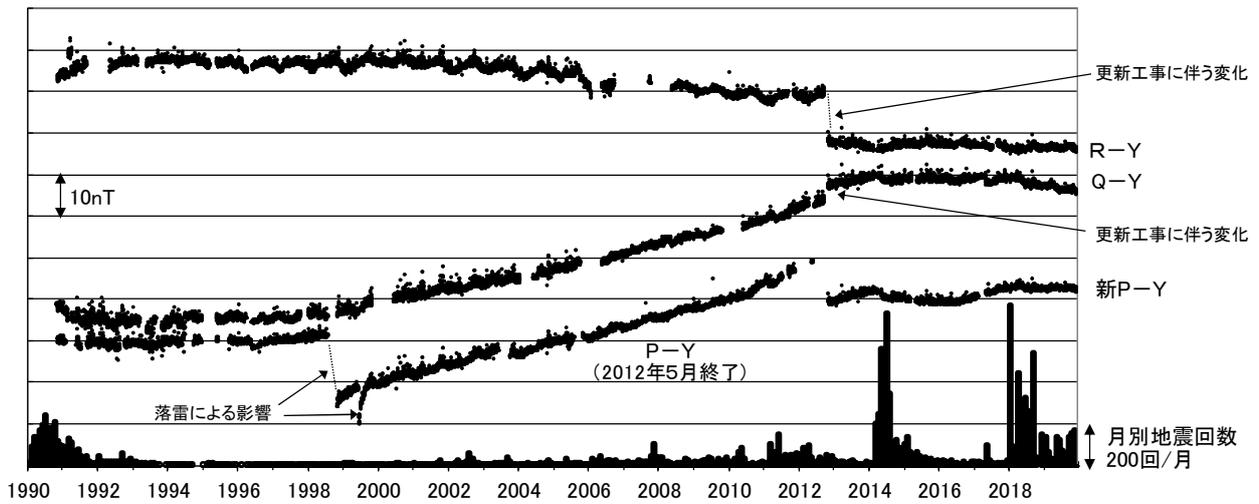
今後の全磁力変化を注視する必要がある。



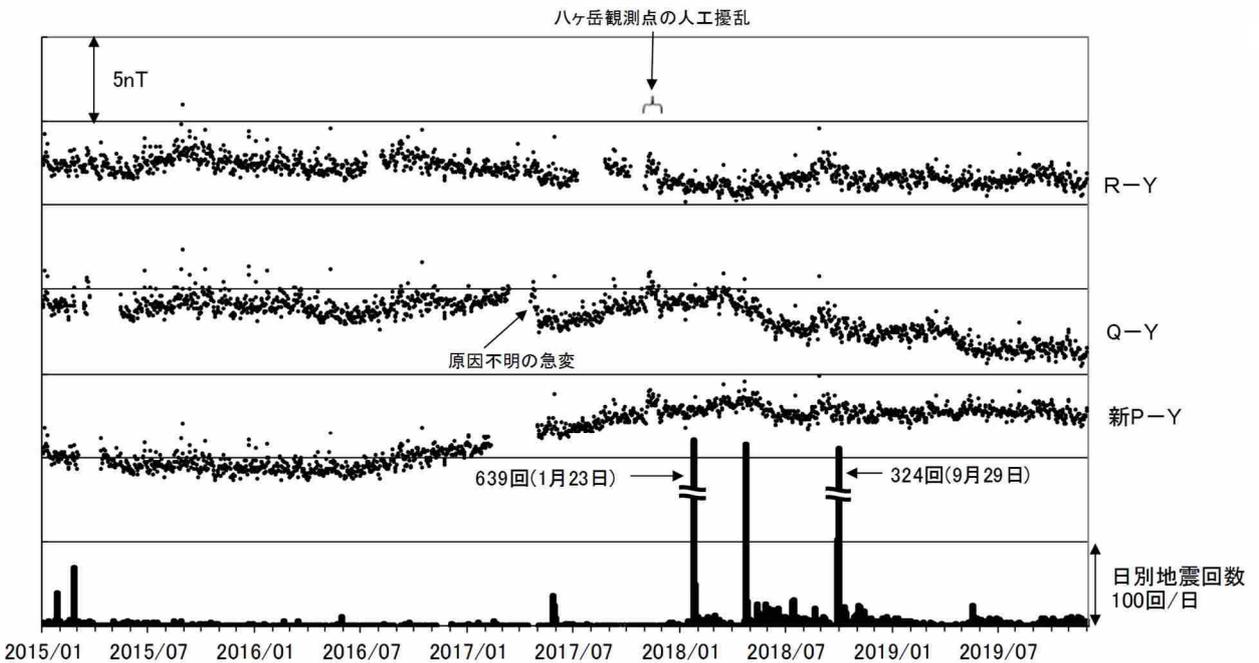
第 1 図 草津白根山の全磁力観測点配置図

- : 連続観測点 (新 P, Q, R) □ : 連続観測点 (P: 2012 年 5 月観測終了)
- : 繰返し観測点 (数字は観測点番号。本白根山の繰返し観測点は除く)

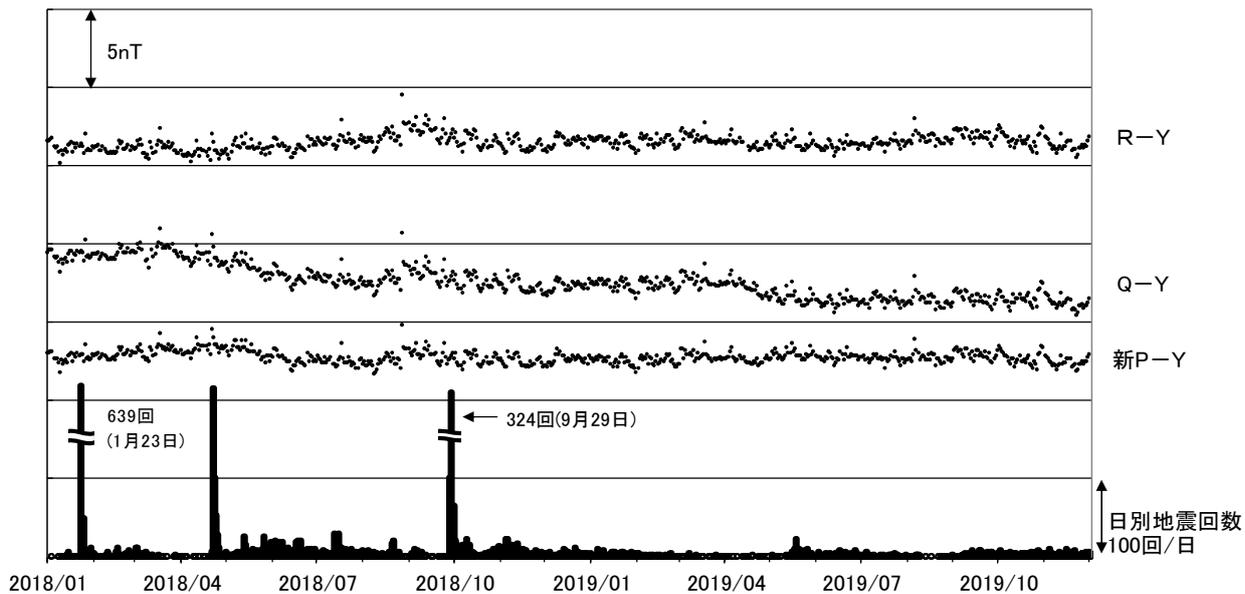
この資料の作成に当たっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の「数値地図 50m メッシュ (標高)」を使用した (承認番号平 29 情使、第 798 号)。また、道路 (破線) の記載には「国土数値情報 (道路データ) 国土交通省」を使用した。



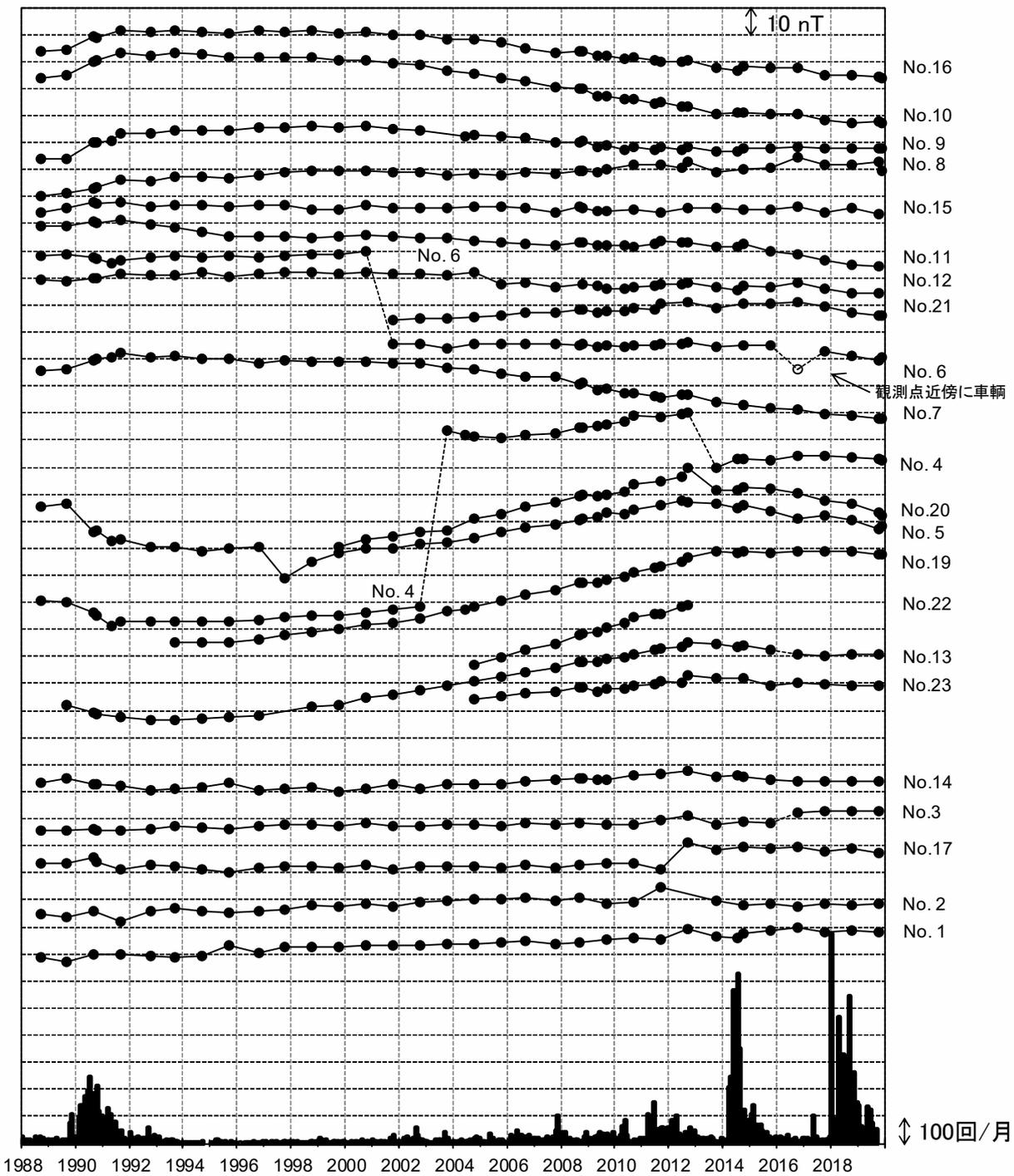
第2図 全磁力連続観測による全磁力値の変化及び月別地震回数（1990年～2019年11月30日）
 連続観測点P、Q、Rおよび新Pにおけるハヶ岳地球電磁気観測所（東京大学地震研究所）（Y）との全磁力の夜間（00:00～02:59（JST））日平均値差。図の最下段に草津白根山で観測された月別地震回数を示す（第3～4図も同様）。



第3図 全磁力連続観測による全磁力値の変化及び日別地震回数（2015年1月～2019年11月30日）

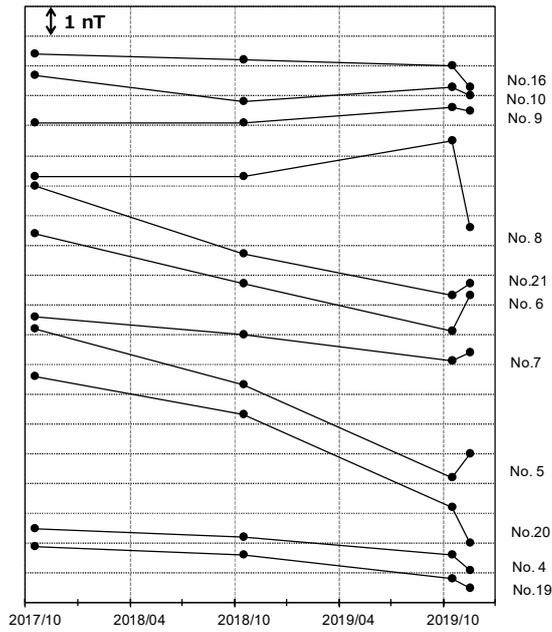


第4図 全磁力連続観測による全磁力値の変化及び日別地震回数 (2018年1月～2019年11月30日)



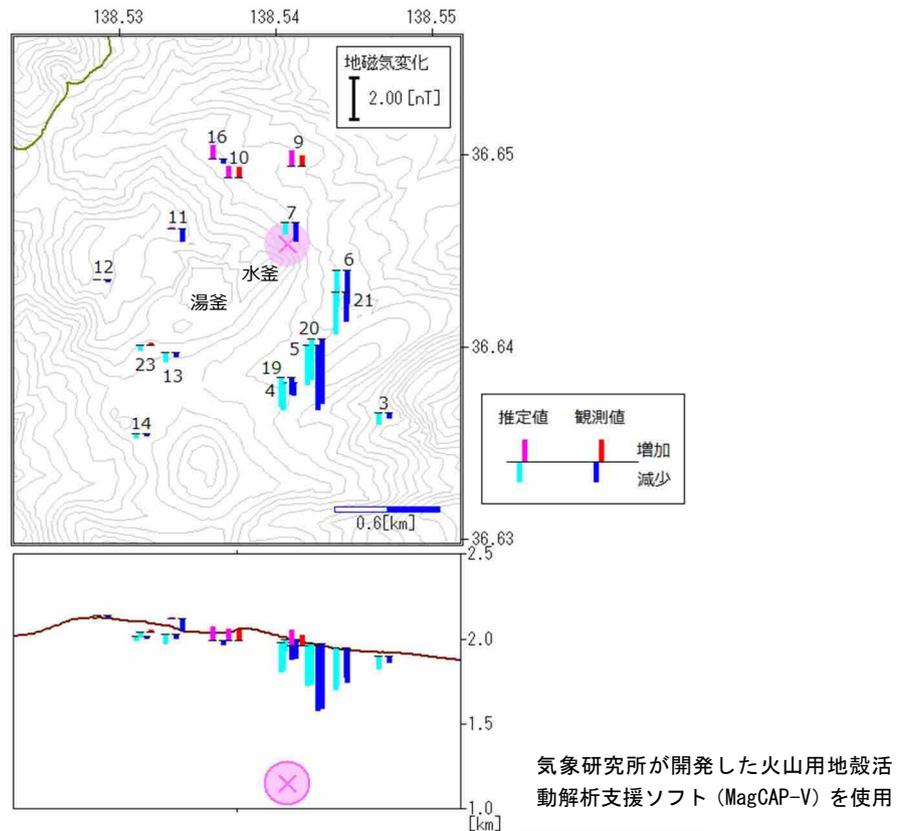
第5図 全磁力繰返し観測による全磁力値の変化（1988年9月～2019年11月）

- ・ハヶ岳地球電磁気観測所(東京大学地震研究所)で観測された全磁力値を基準としており、草津白根山とハヶ岳の地域的短周期変動の差は連続観測点Qを介して除去している。
- ・破線は周辺環境の変化によると思われるギャップを示す。
- ・最下段に草津白根山で観測された月別地震回数を示す。
- ・2019年10月の観測結果の確認のため水釜周辺の観測点を対象として2019年11月に再観測を実施(第6図参照)



第6図 全磁力繰返し観測による全磁力値の変化（2017年10月～2019年11月）

- ・2019年11月に再観測を行った水釜周辺の観測点の全磁力変化を掲載。No. 8 観測点を除き、2019年10月の観測と同様の結果が得られた。
- ・八ヶ岳地球電磁気観測所（東京大学地震研究所）で観測された全磁力値を基準としており、草津白根山と八ヶ岳の地域的短周期変動の差は連続観測点 Q を介して除去している。



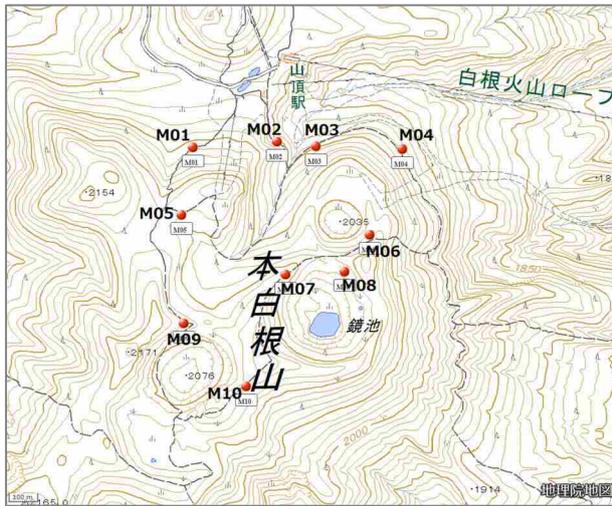
第7図 繰返し観測点における全磁力変化量および推定される熱消磁源(2018年10月～2019年10月)

- ・熱消磁を表す強度約 $1.0 \times 10^7 \text{ Am}^2$ のモーメントを持つ磁気双極子が、水釜付近の地下約 800m の位置に推定された。
- ・図中の数字は解析に使用した観測点の番号。

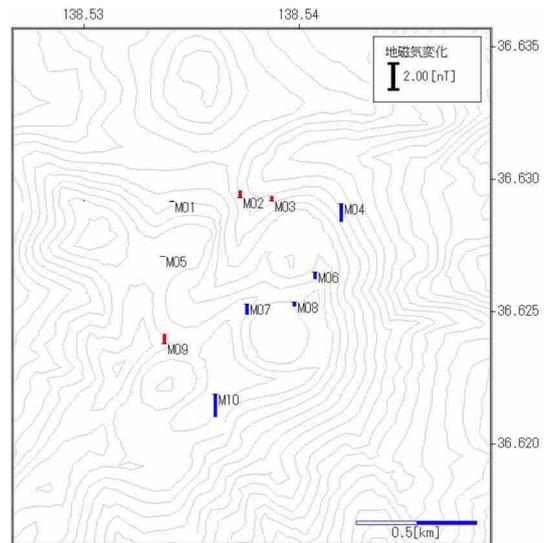
草津白根山（本白根山）における 全磁力繰返し観測および自然電位観測

1. 全磁力繰返し観測

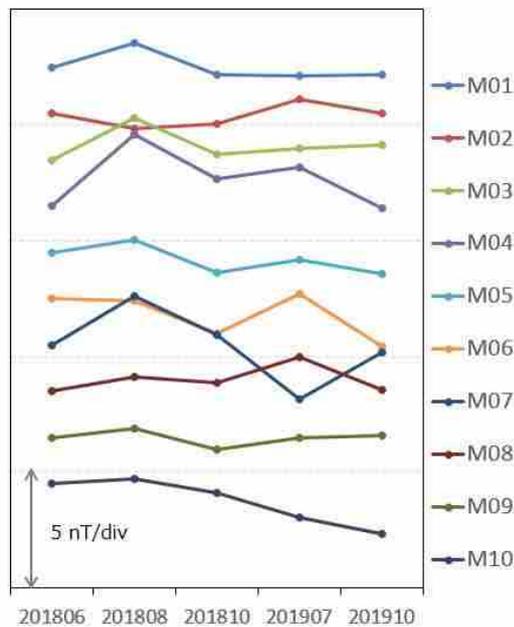
昨年度に続き、2019年7月および10月に本白根山山頂部周辺（第1図参照）で全磁力繰返し観測を実施した。熱消磁あるいは帯磁を示す有意な全磁力変化は認められず、噴火後の本白根山地下の温度に大きな変化はないものと考えられる（第2図～第3図参照）。



第1図 本白根山全磁力繰返し観測点配置図
(地理院地図に繰返し観測点を追記して掲載)



第2図 本白根山 全磁力繰返し観測による
2018年10月～2019年10月の全磁力変化
(気象研究所が開発した火山用地殻活動解析支援ソフト (MagCAP-V) を使用)

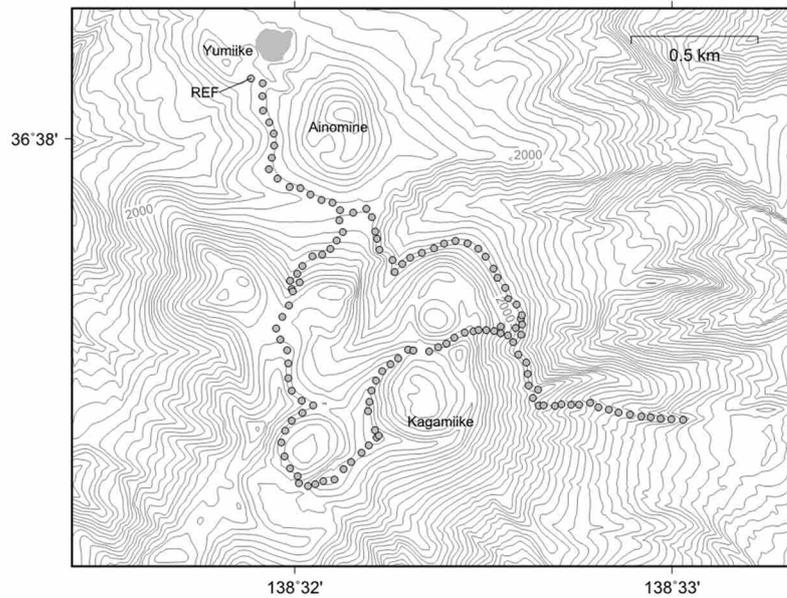


第3図 本白根山 全磁力繰返し観測による全磁力値の変化 (2018年6月～2019年10月)
・八ヶ岳地球電磁気観測所(東京大学地震研究所)で観測された全磁力値を基準とし、草津白根山と八ヶ岳の地域的短周期変動の差は連続観測点Qを介して除去

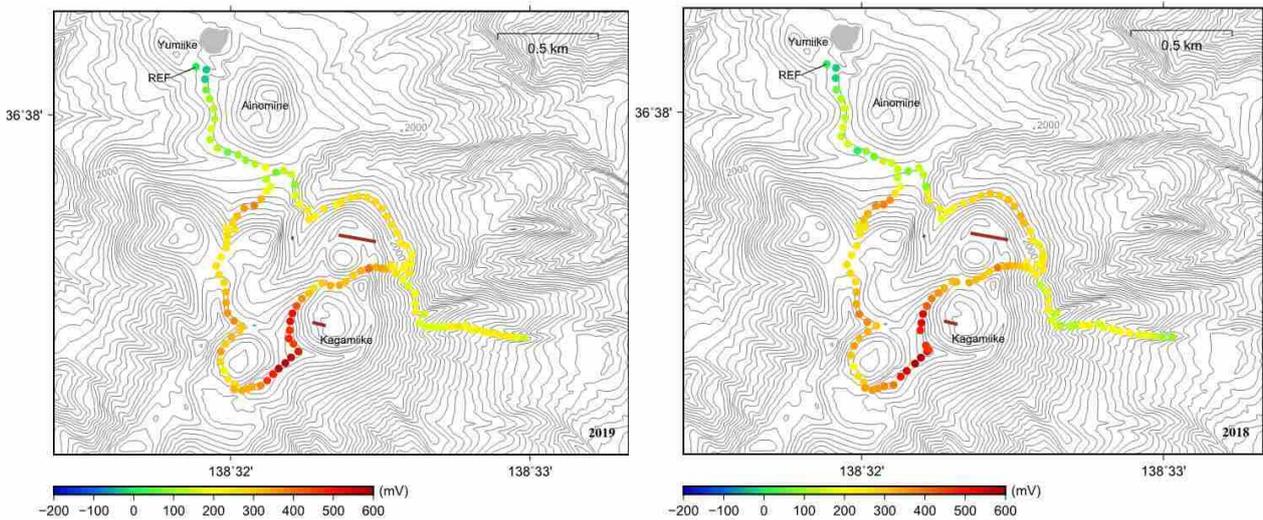
2. 自然電位観測

昨年度に続き、2019年7月に本白根山山頂部周辺で自然電位観測を実施した。この1年間に自然電位分布に大きな変化は認められず、昨年度（2018年6月～7月）の観測以降、自然電位の分布に影響を及ぼすような熱水活動の変化はみられなかったことを示唆する。

測定ルートを示す第4図に、図中REFを基準（0mV）とした相対的な電位分布を第5図に示す。



第4図 本白根山自然電位測定ルート



第5図 本白根山山頂周辺部の自然電位分布（地形効果補正後）

左：2019年7月の観測結果 右：2018年6～7月の観測結果

- ・ 図中「REF」を電位基準点としている
- ・ 地理院地図をもとに、2018年の噴火により生じた噴火口位置を茶色で示している
- ・ 観測方法（全電位法）、使用した電極の種類（銅・硫酸銅電極）、電位の測定間隔（約50m）は昨年と同様である。ただし、測定点位置は2018年と2019年で厳密に同一ではない。

草津白根山周辺の噴気・土壌ガスのヘリウム同位体比

1. 概要

2014年10月から2019年11月にかけて、草津白根山の噴気や周辺の土壌ガスを採取し、ヘリウム同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) を測定した。湯釜火口北部地熱地帯の噴気 (北側噴気) は最も高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を示し、相対的に ^3He に富む、マグマ起源の火山ガス成分が卓越している。山麓の噴気 (殺生河原噴気) では、2017年まで比較的一定した $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比がみられていたが、2018年1月の本白根山の噴火後に $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の低下とそれに続く上昇が観測され、2018年5月以降は、北側噴気と同程度の高い値を示していた。

2019年10月には、殺生河原噴気では $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比がやや下がったように見えるのに対して、北側噴気3地点では一様に $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が同年5月に比べて若干上昇した。北側噴気に近い地点 (YNE) で採取した土壌ガスの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比も、2019年9月および10月に比べて、同年11月には上昇している。

2. 試料採取地点・分析法

図1に示した地点 (湯釜火口北方山麓の地熱地帯の噴気: 北側噴気地帯の3つの噴気孔、殺生河原噴気地帯、北側噴気付近の土壌 YNE) において、真空コック付きの鉛ガラス製容器に噴気あるいは土壌ガスを採取した後、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比と $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比を希ガス質量分析計^[1,2]を用いて測定した。

試料に含まれるヘリウムには、表層付近にガスが上昇した際、あるいは試料採取時に大気から混入したヘリウムや、地下水に大気から溶け込んだヘリウムが含まれている。これらの大気起源ヘリウムの寄与率は、ヘリウムと同じ希ガスであるネオン (主として ^{20}Ne) との比 ($^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比) をもとに見積もられる。本報告中の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はすべて、大気起源ヘリウムの寄与を除いた $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比 (Air-corrected $^3\text{He}/^4\text{He}$) を、大気中 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の絶対値 ($R_A = 1.4 \times 10^{-6}$) を基準とした相対値として示している。

[参考文献]

- [1] Sumino, H., Nagao, K., Notsu, K., 2001. Highly sensitive and precise measurement of helium isotopes using a mass spectrometer with double collector system. *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.* 49, 61-68.
 [2] 角野浩史, 2015. 希ガス同位体質量分析の温故知新. *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.* 63, 1-30.

[謝辞]

本報告の観測データの一部は、文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」により取得された。



図 1. 試料を採取した地点（北側噴気 3 地点、YNE、殺生河原）の位置。湯釜火口と 2018 年 1 月の本白根山・北方山麓火口の位置も参考として示している。背景図として Google Earth を使用した。

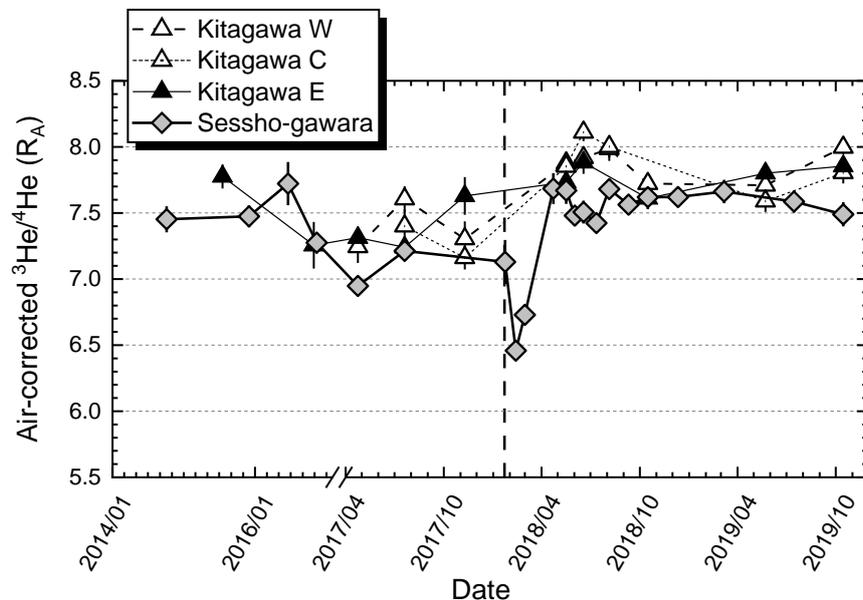


図 2. 北側噴気地帯の 3 噴気孔（西：W、中央：C、東：E）と殺生河原噴気 2014 年 10 月～2019 年 10 月の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み）。2017 年 4 月以降は時間軸を拡大して示している。誤差は 1σ で、測定誤差と大気ヘリウム混入の補正に伴う誤差を含む。縦の破線は 2018 年 1 月 23 日の本白根山の水蒸気噴火を示す。

表 1. 北側噴気付近（地点 YNE）で採取した土壌ガスの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み）

採取日	$^3\text{He}/^4\text{He}$ (R_A)
2019/9/13	6.126 ± 0.097
2019/10/20	5.990 ± 0.045
2019/11/10	7.091 ± 0.056

※大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み。誤差は 1σ で、測定誤差と大気ヘリウム混入の補正に伴う誤差を含む。

まとめ

○ 地殻変動

2019年9月以降、季節変動や降水効果とは異なる傾斜変動が観測されている。その一方で、GNSSにおいては有意な変動はない。傾斜変動が、湯釜周辺浅部の増圧など実際の火山活動に対応したもののかは議論の余地がある。

○ 震源分布

2019年9月以降、湯釜水釜境界直下の海拔1100m付近で地震発生がやや多い。2018年と比較して、2019年の震源分布に大きな変化はない。ふだんは地震活動が低調な弓池直下で、当地としては大きな地震(M=0.2)が5月11日に発生した。

○ 湯釜水温・放熱量

平年値付近で推移している。例年通り、降水のない期間は水位低下する傾向にある。

○ 地磁気

2019年1月頃から消磁傾向にある。

○ 湯釜変色

低周波地震発生直後の2019年6月30日から7月2日にかけて、風下側へと尾を引く黒灰色変色が認められた。同様の変色は同9月25日(気象庁資料)、同12月3日にも観察された。

○ 地表面温度

2019年11月2日の夜間空中赤外観測によれば、2018年4月と比較して地表面温度分布に顕著な変化はない。2018年1月23日に噴火した鏡池北火口、鏡池火口内に温度異常は認められない。

○ 湯釜湖水(他機関資料)

活動活発化の指標とされるMg/Cl比が夏以降わずかに上昇する傾向が認められる。

○ 北側噴気ガス組成比(他機関資料)

白根火砕丘北側斜面噴気での $\text{He}/(\text{He}+\text{CH}_4)$ 比は2019年5月にかけて低下したが、同年10月にかけて上昇に転じた。Heはマグマ成分であり、熱水系に対するマグマ成分の流量が増加したと考えられる。

○ He安定同位体比(他機関資料)

白根火砕丘北側斜面噴気、および水釜北東噴気付近の地中ガス分析によれば、2019年秋にかけてマグマ起源物質の関与が相対的に高まったことが示唆された。

以上

草津白根火山の地殻変動

2019年9月以降に東工大ボアホール傾斜計にて観測されている変動は、湯釜東（KSE）観測点で卓越している。同様の変動は2018年にも観測され、累積の傾斜量はKSEの東西成分で30 μm を超え、2014年傾斜変動（約70 μm 、12万 m^3 の膨張と推定）の半分程度に達する。ただし、変動が卓越するのはKSEのみで、湯釜（KSYG）などのGNSSにも対応する変動は認められない。2018年以降の傾斜変動の原因については、機器障害も含めて更に検討を要する。

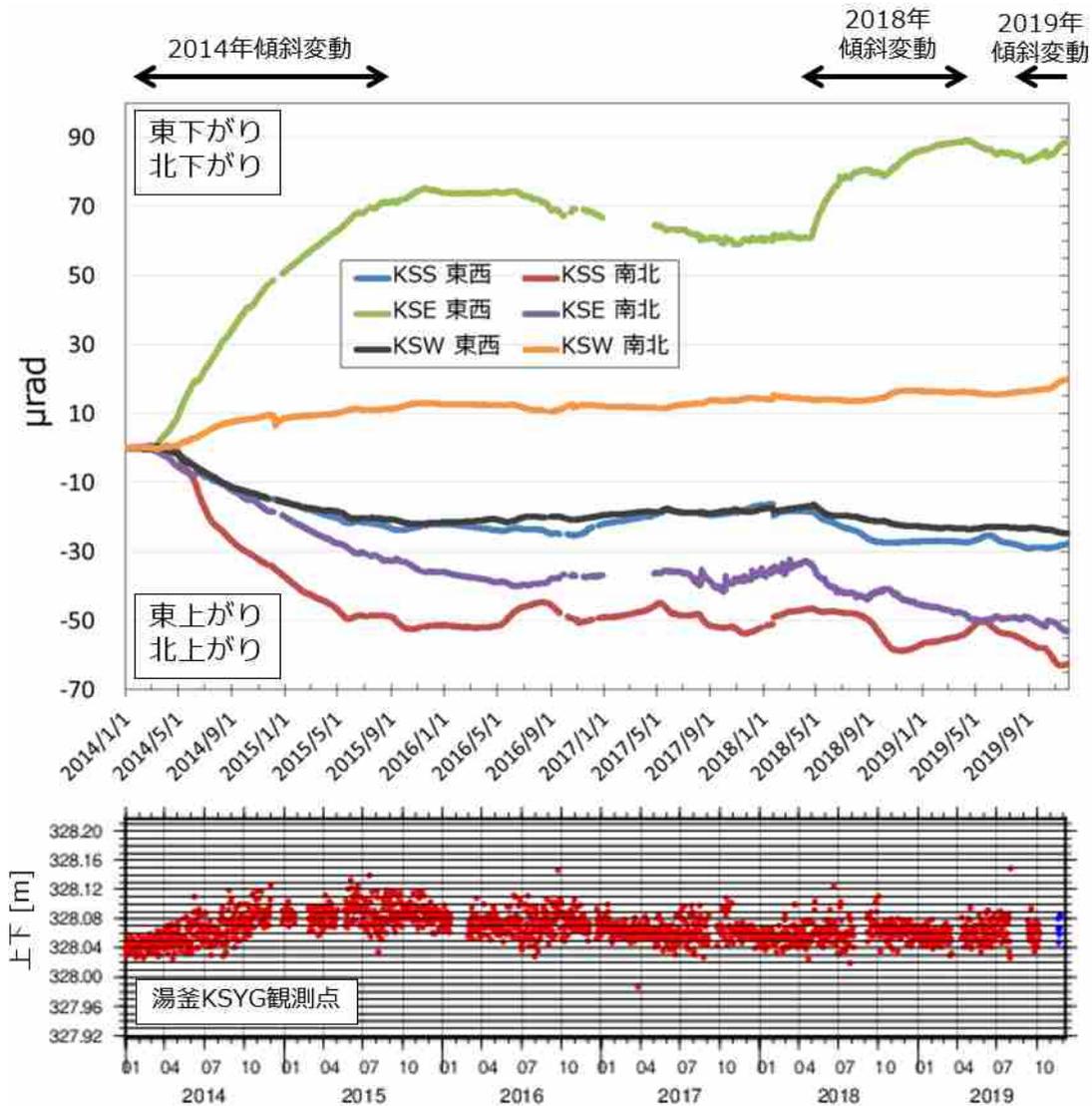


図1. (上) ボアホール型傾斜計3点の変動（季節変動・気圧応答・地震や機器障害によるステップ・潮汐を補正したもの）。2014年1月1日~2019年11月30日の日値。(下) 湯釜GNSS観測点（KSYG）における上下変動。防災科研干俣観測点から見た相対標高の変化（協力・京都大学大倉敬宏）。

2014年3月から継続していた湯釜直下の単調な膨張を示す傾斜変動は、2015年10月以降は収縮と解釈できる変動に転じた。その後、2018年4月と9月の群発地震に対応して、再び傾斜変動が観測されている。2019年9月以降は、地震活動活発化とともに、2018年と同様の傾斜変動が認められるが降水の影響が顕著である。一方、2014年に約40 mmの隆起が認められた湯釜GNSS観測点（KSYG）では、2018年以降、有意な変動は認められない。

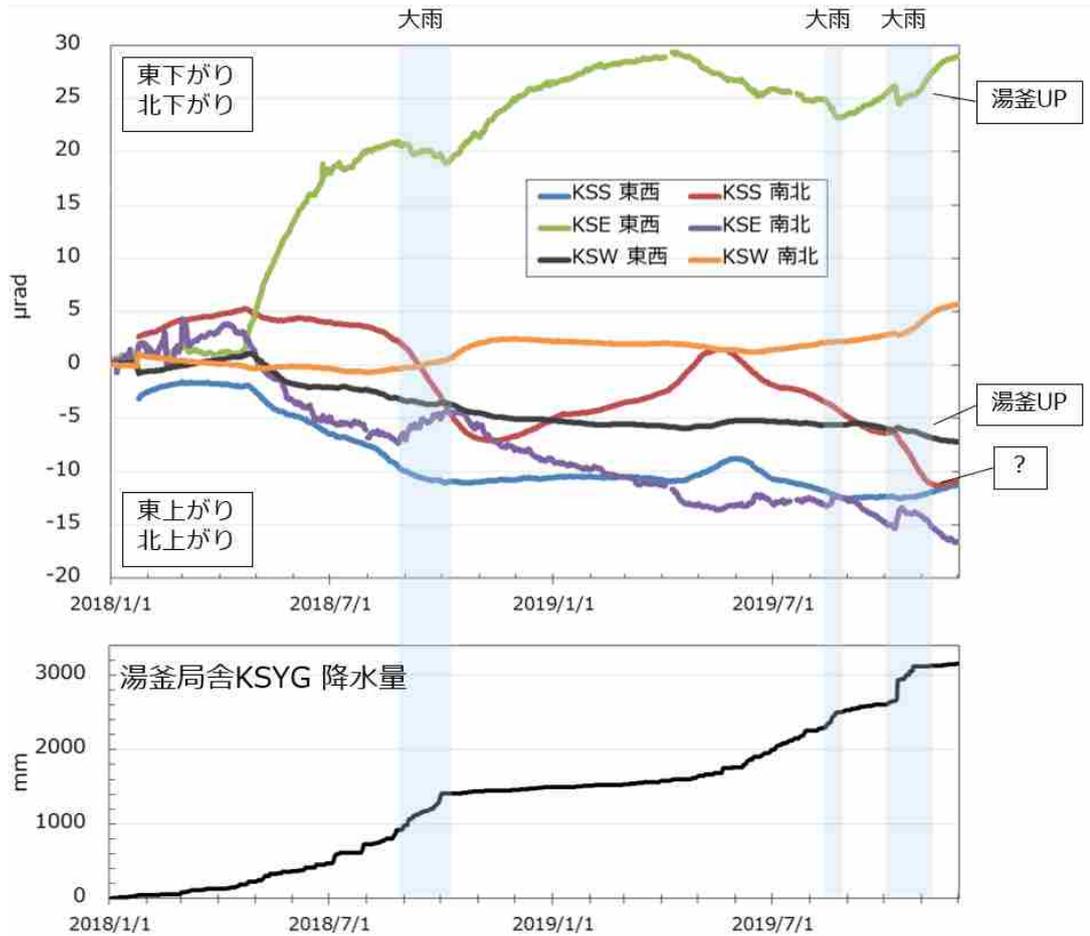


図2. (上) 図1の2018年以降2年間を拡大したもの(季節変動・気圧応答・地震や機器障害によるステップ・潮汐を補正したもの). (下) 湯釜局舎で観測した降水量の積算値で、2018年1月1日を基準としたもの.

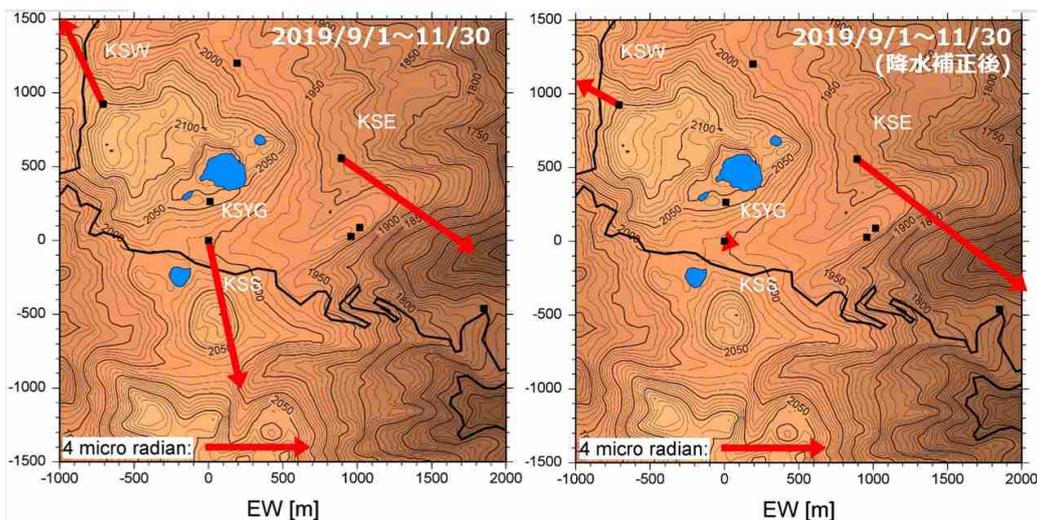


図3. 2019年9月の傾斜変動. データは図1に示したもの. (左) 季節変動補正後. (右) さらに降水補正したもの.

変動パターンは補正方法に依存する. 湯釜南 KSS は季節変動の振幅が毎年異なるほか, 大雨時には湯釜上昇の変動を示すことに注意を要する. 台風19号の影響で約1か月間にわたり傾斜変動の不連続が認められた. これを全て大雨の影響とみなして差し引くと, 右図のように湯釜東 KSE だけで卓越するパターンが得られる. 以上のように, 2014年とは対照的に2019年の傾斜データの解釈は難しい.

湯釜周辺の地震活動

2019年9月以降、とくに湯釜・水釜境界付近で地震活動が継続している。

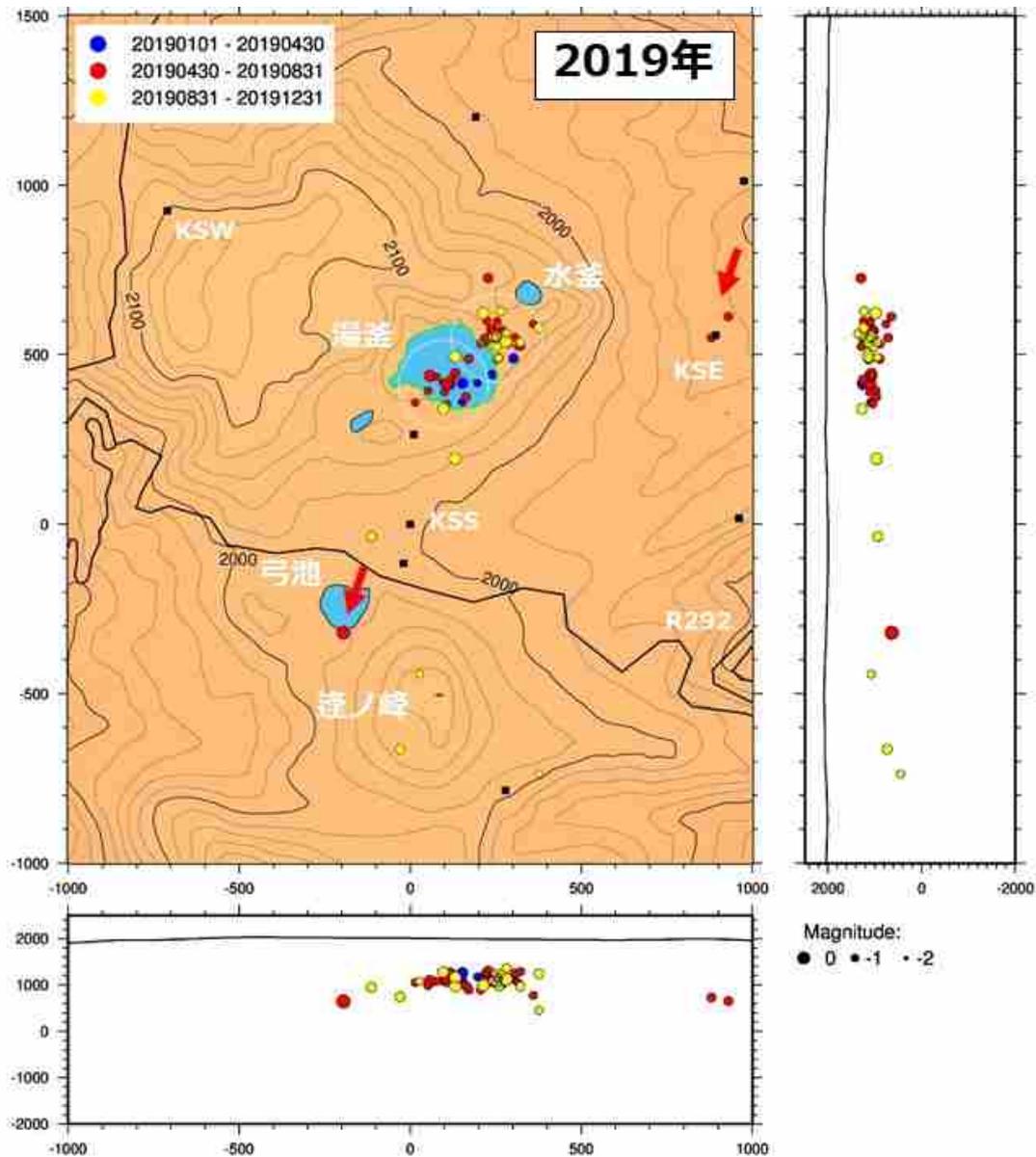


図5. 2019年の震源分布. 4ヵ月毎に色分けして表示. マグニチュードは1.6以上のみ表示. 速度構造は桑原(2017)の水平層構造を仮定. 東工大観測点においてP波4か所, S波2か所以上で検測できたもの. ただし未解析期間あり.

湯釜南側, 湯釜・水釜境界付近の2つの震源クラスタが認められ, 2019年9月以降は後者で発生する地震が多い. 震源の深さは海拔1100m(地表下900m)付近で従来と比較して変化はない. 当地で発生する地震のマグニチュードは, ほぼ全てがマイナスである. ただし, 定常的な活動が認められない弓池付近で2019/5/11にM=0.2, 5/6には湯釜東KSE観測点直下でM=-0.8の地震が2回発生した.

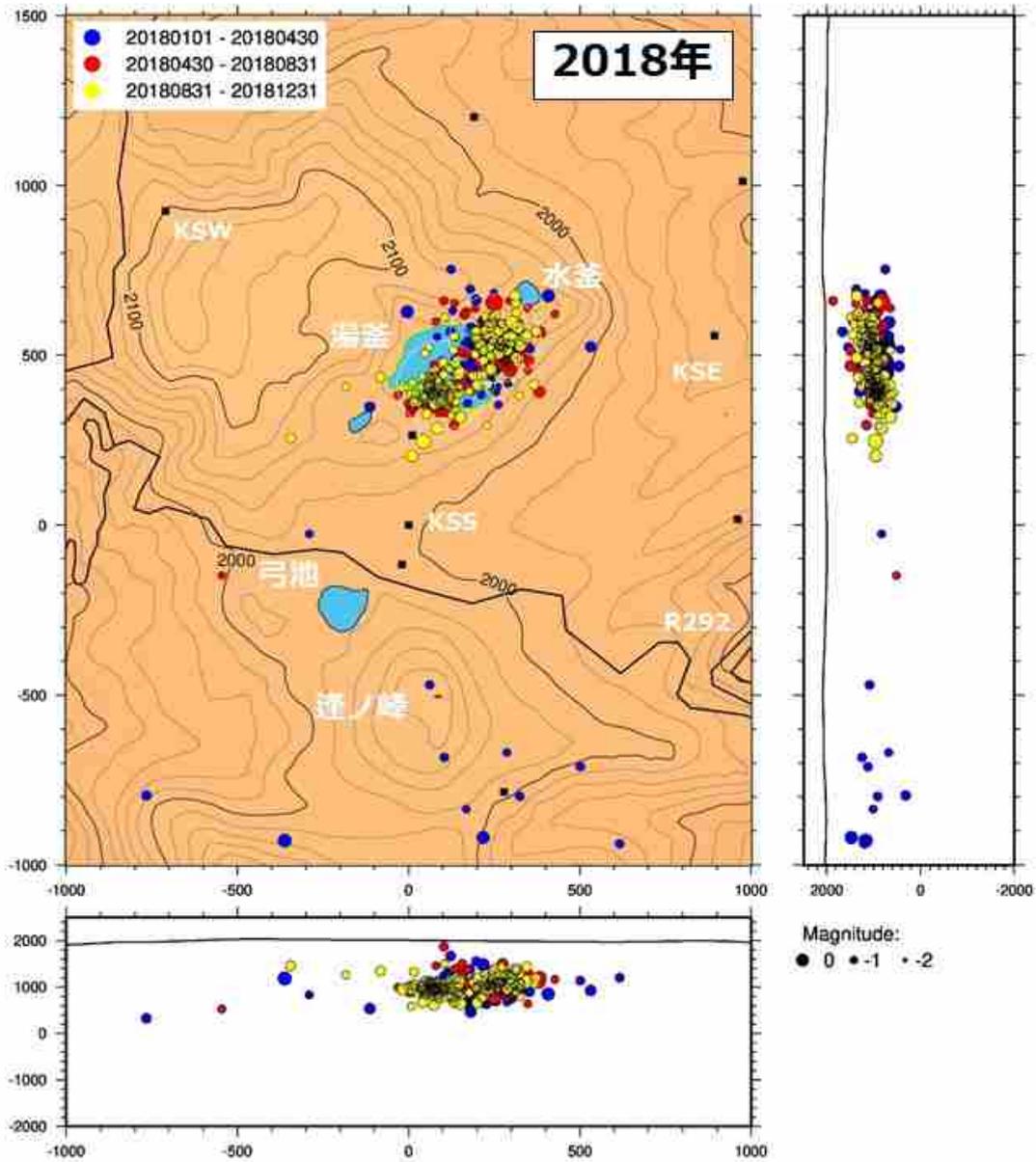


図5. 2018年の震源分布. 4ヵ月毎に色分けして表示. マグニチュードは1.6以上のみ表示. 速度構造は桑原(2017)の水平層構造を仮定. 東工大観測点においてP波4か所, S波2か所以上で検測できたもの. ただし未解析期間あり.

湯釜火口湖の熱活動

2019年以降、湯釜火口湖水温および湖放熱量は平年値付近で推移している。

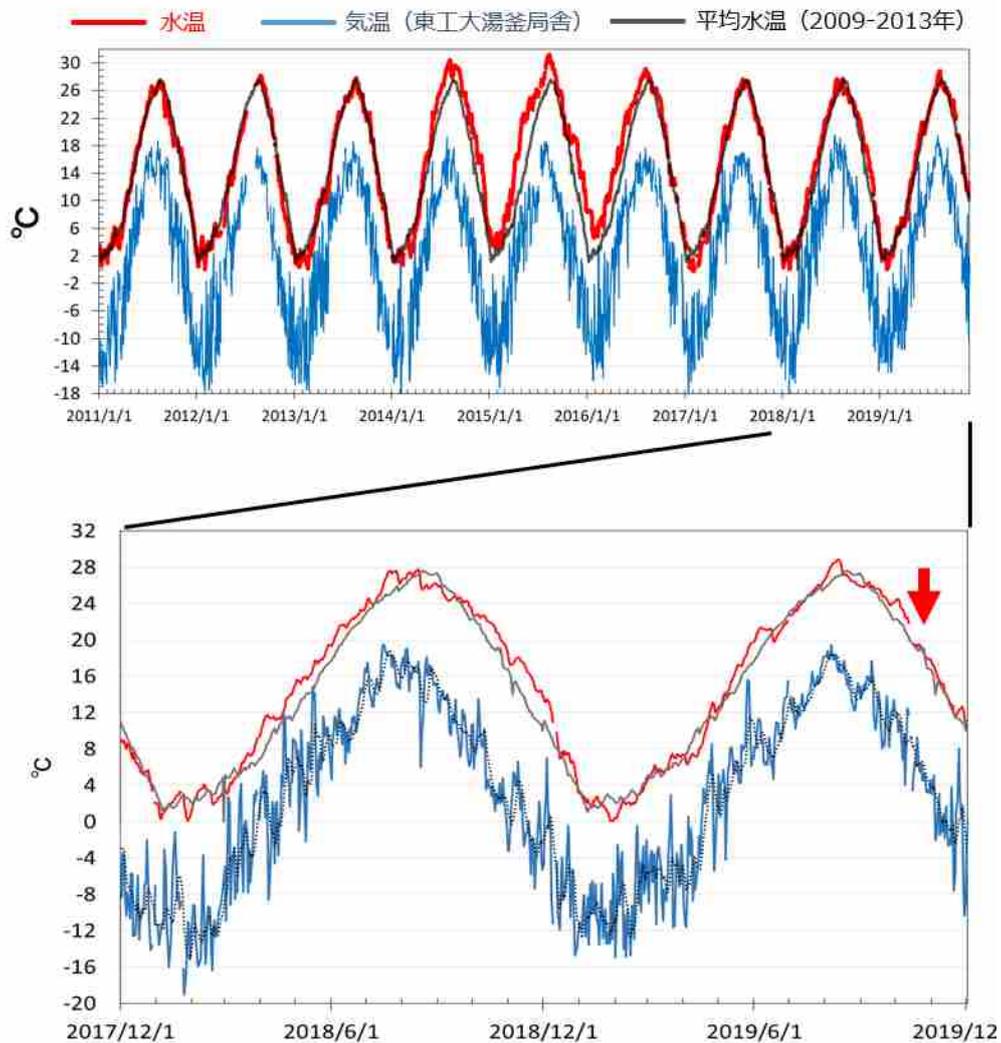


図6. 湯釜火口湖の水温。赤線：実際に観測された水温，灰色線：2009～13年に測定された毎年同一日の水温を平均し、各日付について表示したもの。青色：湯釜局舎で測定された気温。従来の水温計は台風1919号通過時（赤矢印）に障害が発生した。2019年10月15日以降は、2016年にはほぼ同一場所に設置した水温計を参照している。新センサの出力値は、旧センサと比べて平均0.3℃低い（2017年1月1日から2019年10月12日までの日平均値に基づく）

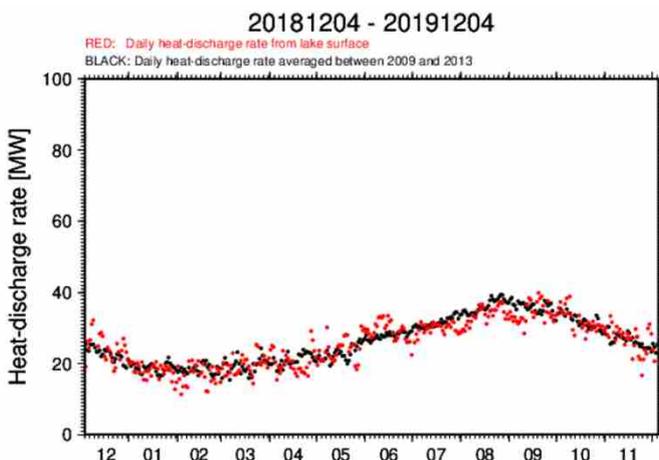


図7. 湖面放熱量。黒が平年値，赤が観測に基づく計算値。解析に使用したのは、湯釜局舎付近の気温と湯釜南岸での水温である。湿度、気圧、風速は代表的な一定値を仮定している。

2014年5月以降、湯釜水温は平年よりも数℃高い状態であったが、2016年8月以降は平年値付近で推移してきた。放熱量も平年値前後で推移し、2014年～2016年にかけて認められた放熱量の増加（通常の1.5倍）は認められない。

湯釜火口湖における黒灰色変色

2019年6月30日から7月2日にかけて、湯釜火口内で顕著な黒灰色の変色が認められた。ここで変色とは、黒灰色に加えて、風下側に尾を引くような特徴を有するものを呼ぶ。同12月3日にも、黒灰色変色が湖岸から観察できた。



図8. 2019年7月1日の湖面変色。変色が始まったのは、東工大湯釜カメラにより6月30日であることが分かる。同様の変色は、2018年6月下旬から7月9日頃にかけても観察されている（第142回予知連絡会，東工大資料）。





図9. ドローンから撮影した2019年の湖面. 11月3日は軽飛行機から, 12月3日は火口南展望台付近から撮影した. 風下側へ尾を引くような変色は7月1, 2日, および12月3日に認められた.

(謝辞) 撮影に用いたドローンは文部科学省次世代火山研究推進事業により整備されました. 飛行は白根レストハウス周辺から目視内にて行い, 国有林野における飛行については事前に林野庁へ届出ました(吾妻森林管理署第25号接受).

草津白根山の地表面温度分布

前回（2018年4月28日夜間実施）と比較して顕著な変化は認められない。

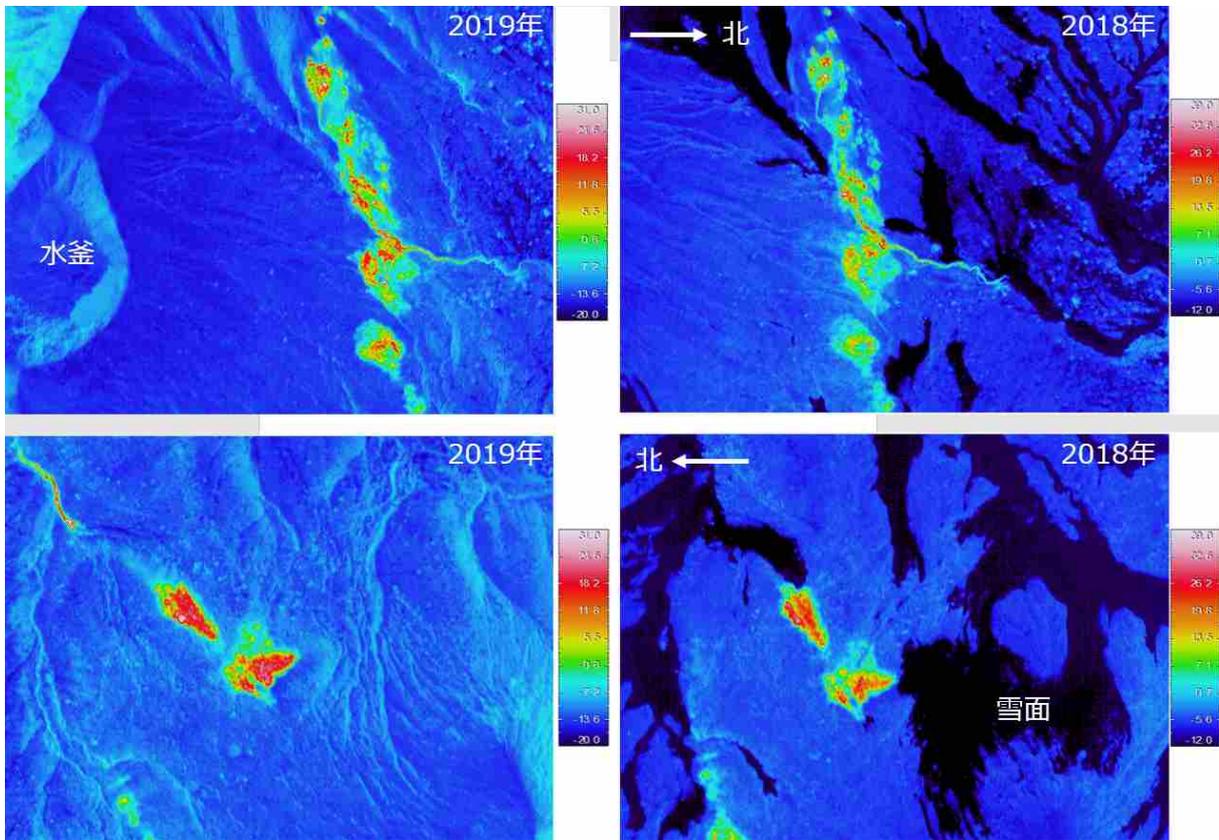


図10. 白根火砕丘北側斜面噴気域の熱赤外画像。(左) 2019年11月2日, (右) 2018年4月28日.

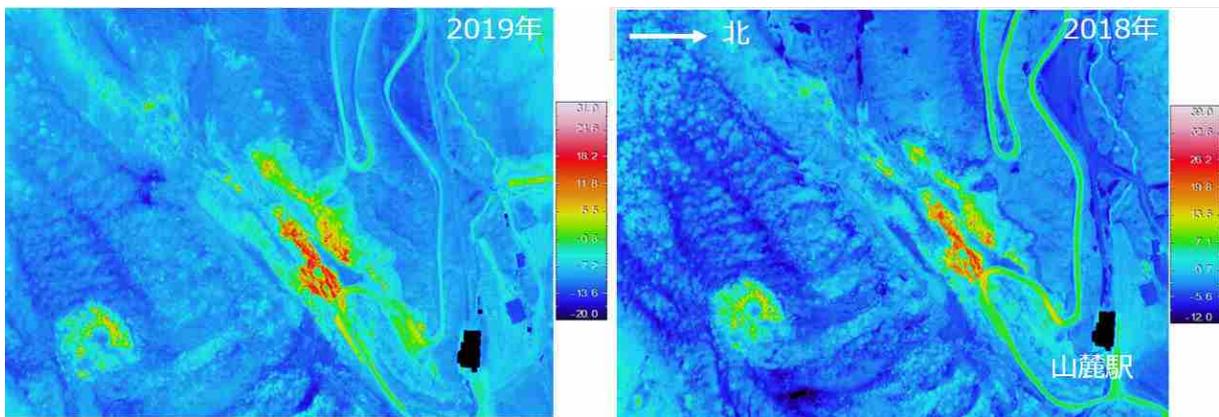


図11. 殺生河原。(左) 2019年11月2日, (右) 2018年4月28日.

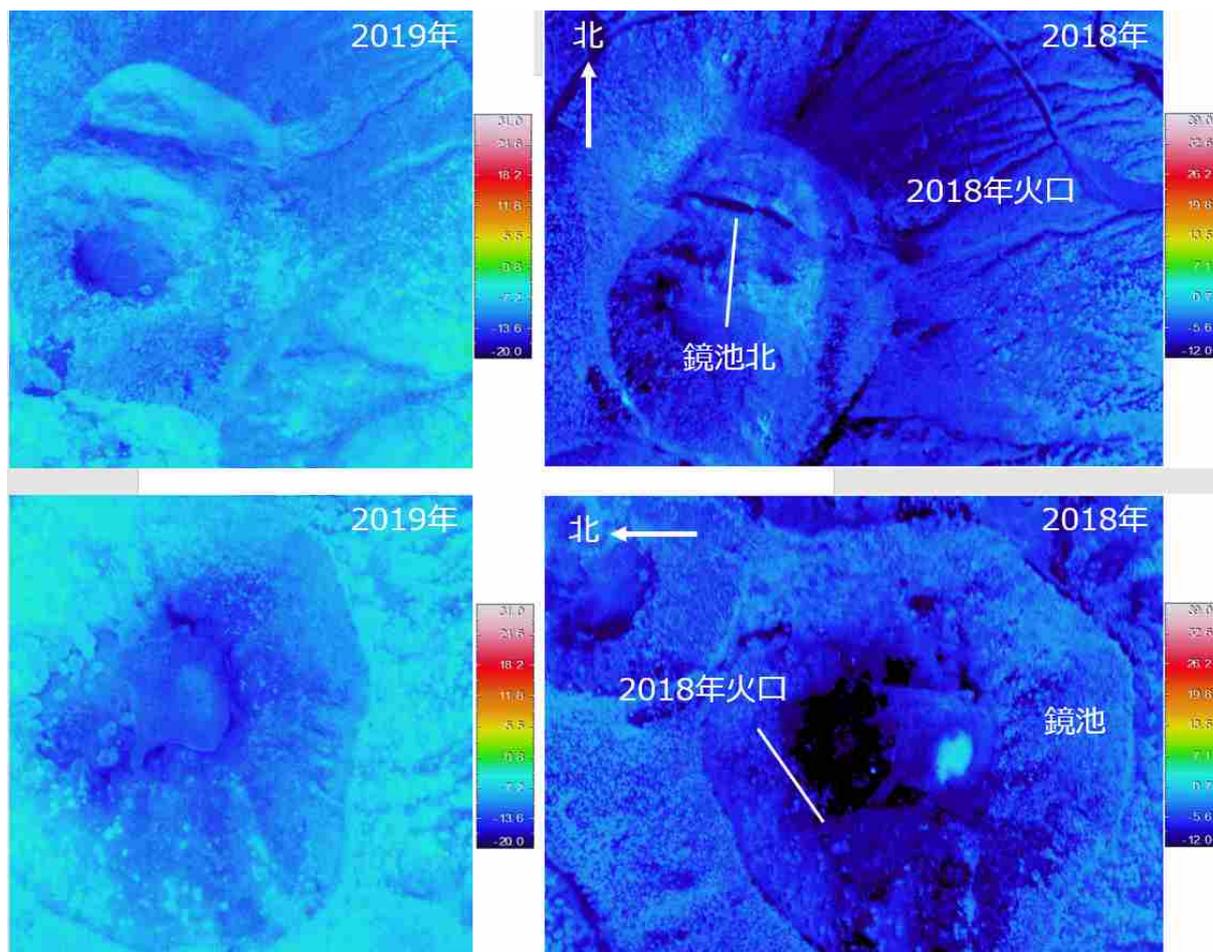
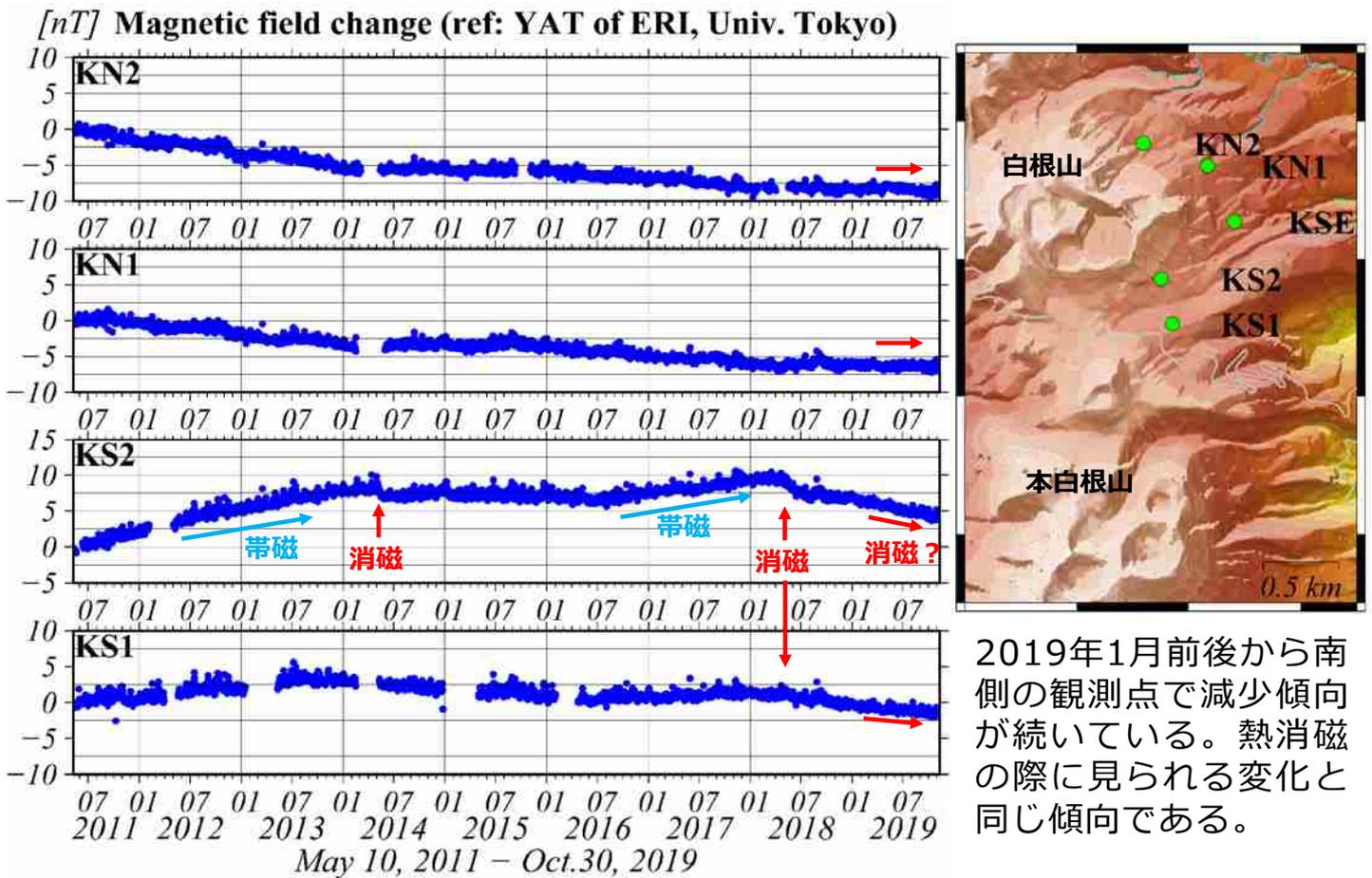


図12. 鏡池北, 鏡池火口. (左) 2019年11月2日, (右) 2018年4月28日.

2019年11月2日に軽飛行機を用いて実施の夜間空中赤外観測によれば、2018年4月28日と比較して地表面温度分布に顕著な変化はない。2018年1月23日に噴火した鏡池北火口、鏡池火口内の地表面に温度異常は認められない。

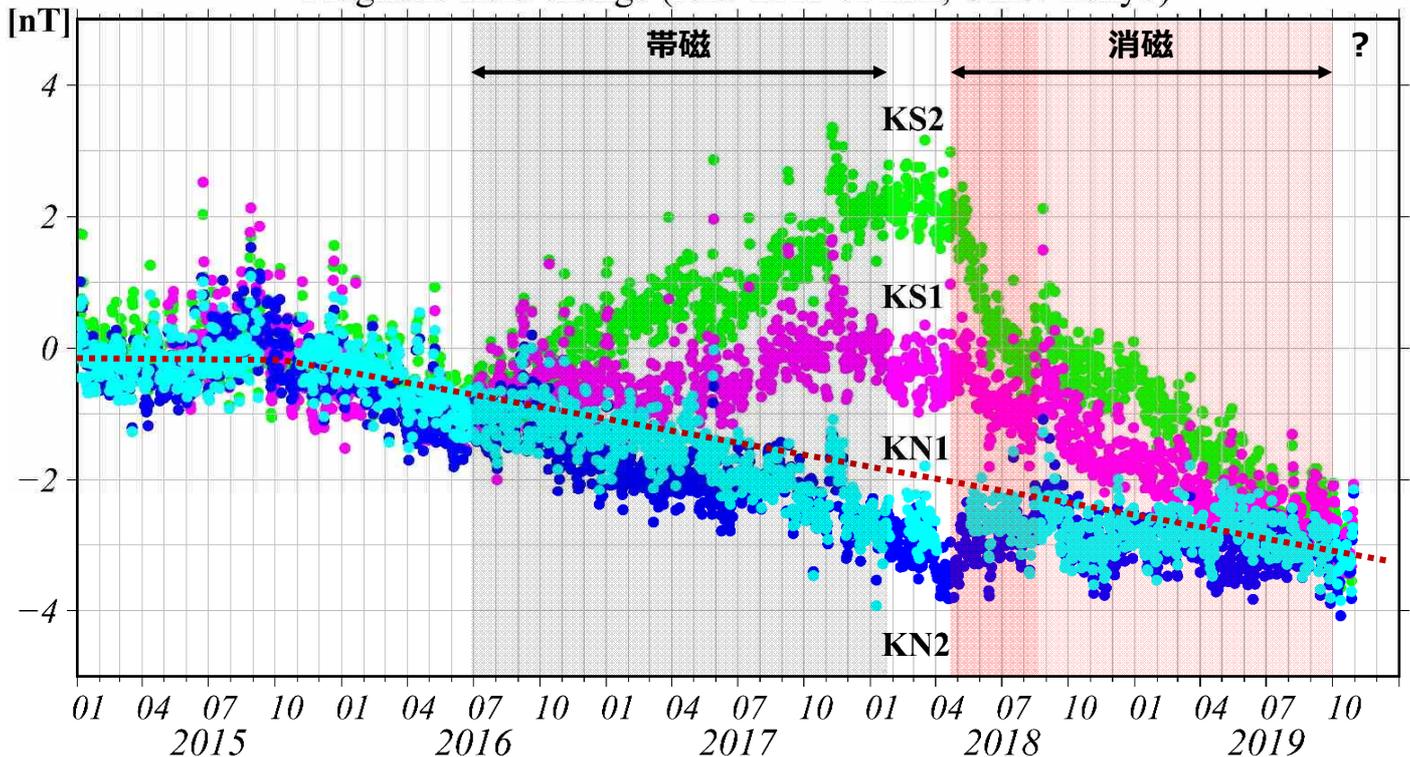
以上

八ヶ岳に対する草津白根山周辺の地磁気変化 (2011年5月～2019年10月30日)



八ヶ岳に対する草津白根山周辺の地磁気変化 (2015年1月～2019年10月30日)

Magnetic field change (ref.: YAT of ERI, Univ. Tokyo)



2015年秋頃から全観測点で全磁力差は減少トレンドにあり、火山起源の変動が重なっているように見える。全磁力の単純差による見掛けの変化ではなく、2018年4月以降の消磁傾向が続いていると考えられる。2015年以降の変動量は、現在4観測点ともほぼ同じなので、2016年夏以降に帯磁した分は解消されている。今後の推移を見守る必要がある。

火山ガス及び湯釜湖水成分の変動について

1. 火山ガス組成の変化

- a) 北側噴気 H₂S%の低下が起きているのはいずれも 1976 年の水釜噴火、1982~1983 年の湯釜噴火、1990 年からの活動期、2014 年からの活動期、2018 年本白根山噴火に対応している。SO₂%の減少も対応している場合もあるが、必ずしも明瞭ではない。2018 年から 2019 年には H₂S%の上昇が僅かに認められているが、2019 年秋には再び低下傾向を示している。
- b) 水釜北噴気 H₂S%の低下は 2014 年からの活動期、2018 年本白根山噴火に対応している。H₂S%の変化は北側噴気と明瞭に同期している。

2. 湯釜湖水の陰イオン濃度の変化

- a) ハロゲン (F, Cl) の濃度変化 F と Cl の濃度増減パターンは非常に良く似ている。2014 年からの活動期には濃度上昇が顕著であったが、2017 年には明瞭に濃度が低下した。2018 年以降に再び上昇傾向が顕著となり、現在も高い状態で推移している。
- b) 硫黄オキシ酸の濃度変化 2014 年からの活動期には SO₄ 濃度も上昇が認められているが、ポリチオン酸等を含めた硫黄オキシ酸全量 (total SO₄) の上昇が極めて顕著であった。現在は硫黄オキシ酸全量の濃度と SO₄ 濃度はほぼ一致している。

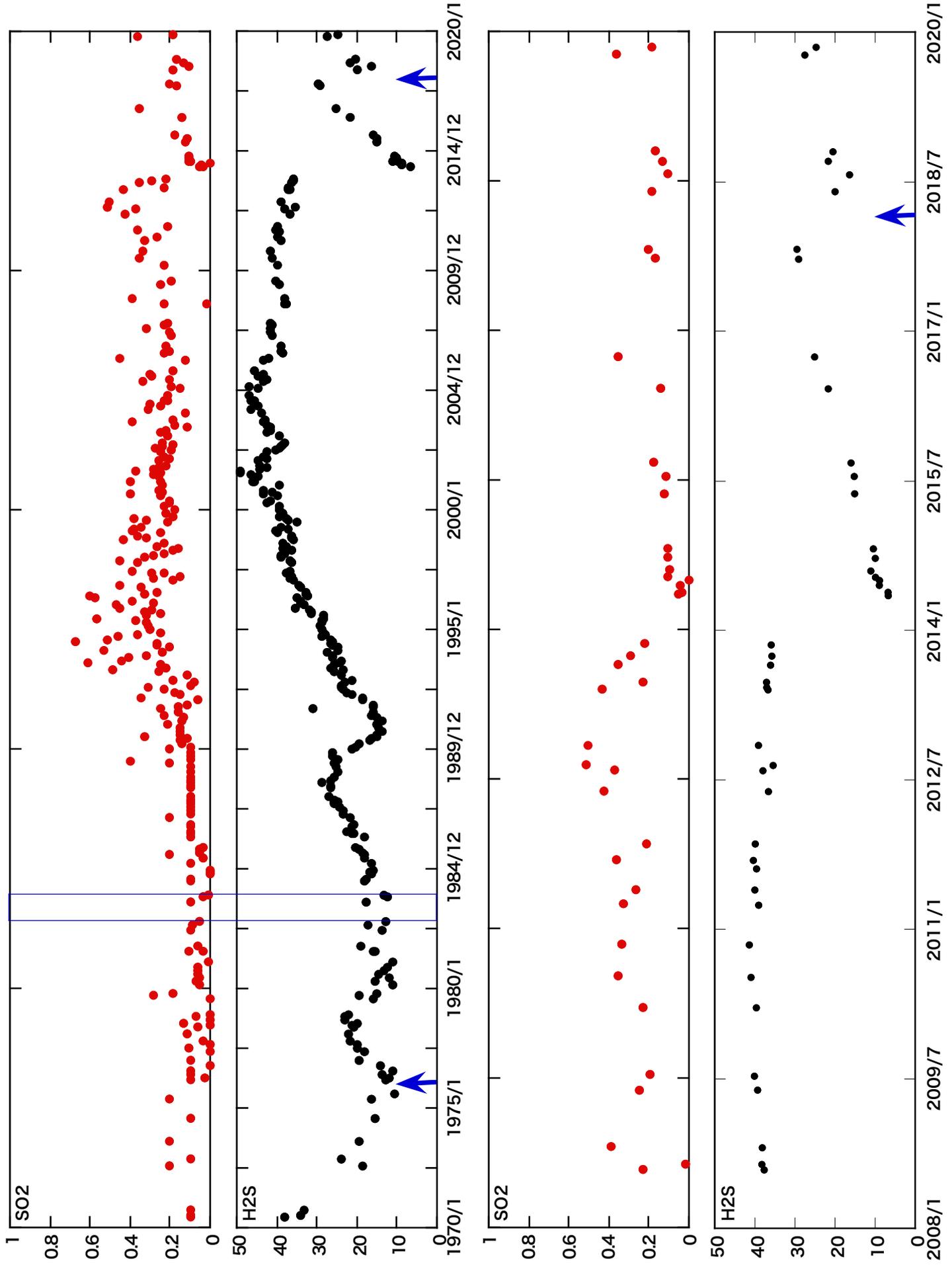
3. 火山ガス組成と湯釜湖水の陰イオン濃度の変化

H₂S%の低下傾向がみられたときには、その後にハロゲンの濃度上昇が必ず起きている。1990 年の活動期と 2014 年からの活動期では、硫黄オキシ酸全量の濃度変化は似ているが、1990 年からの活動期には硫黄オキシ酸全量の濃度と SO₄ 濃度はほぼ一致しており、2014 年からの活動期とは大きく異なっている。

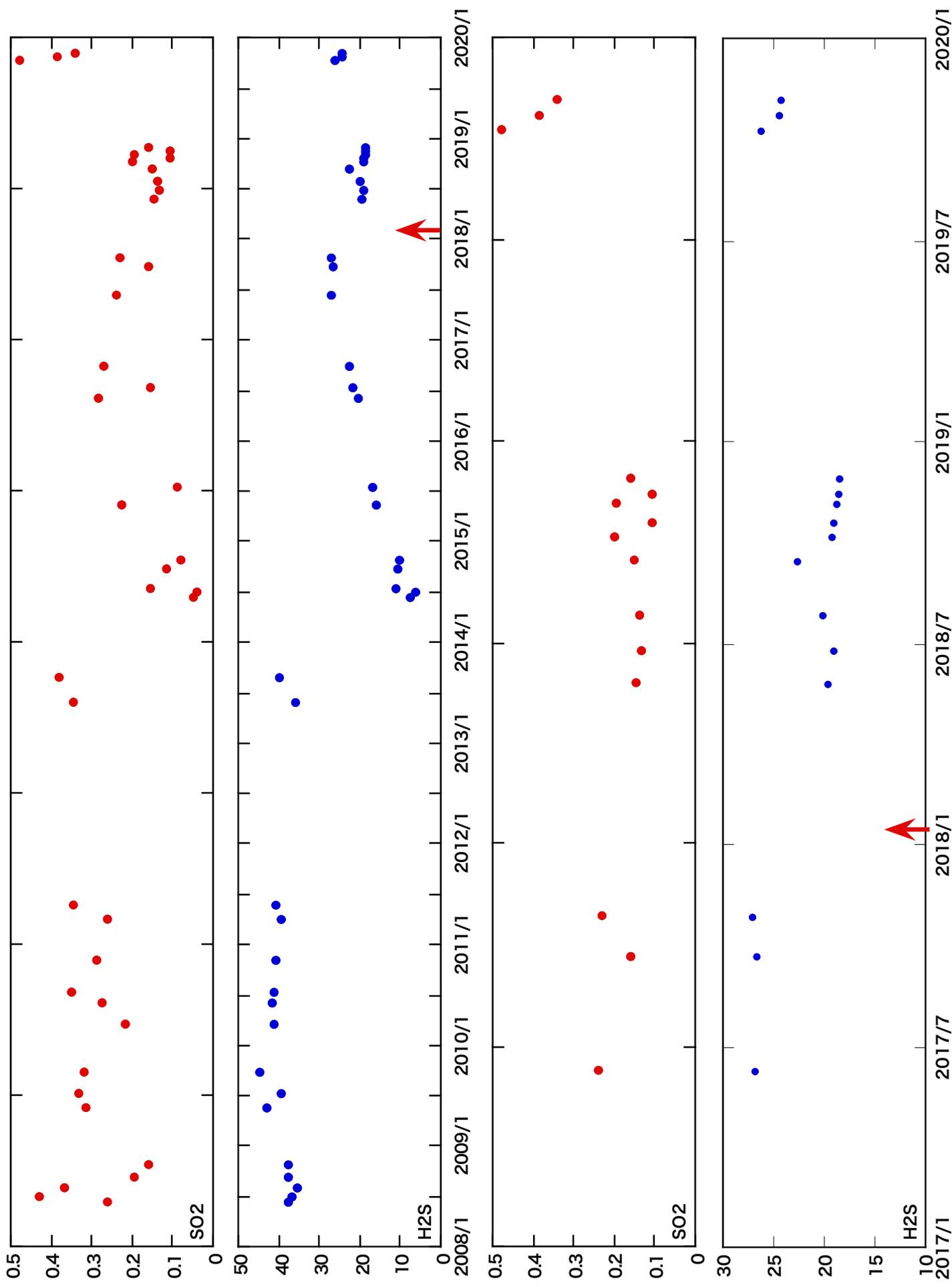
4. まとめ

湯釜湖水の陰イオン成分濃度及び北側噴気帯のガス組成変化から、2017 年には高温の流体の寄与が減っていたが、2018 年以降増加に転じ、この変化は 2014 年からの活動期に比べると小さいが現在も継続していることを示している。

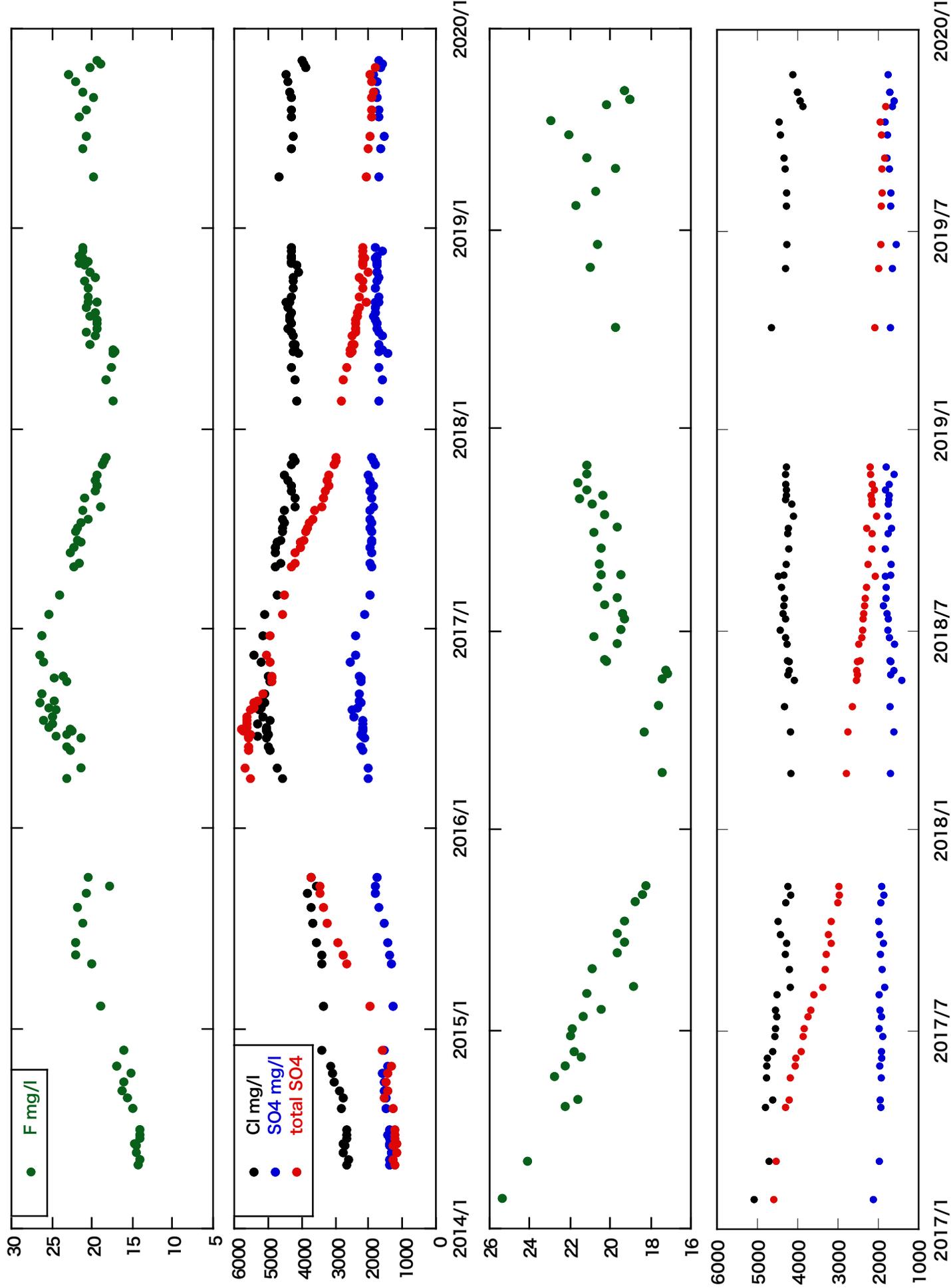
北側噴気



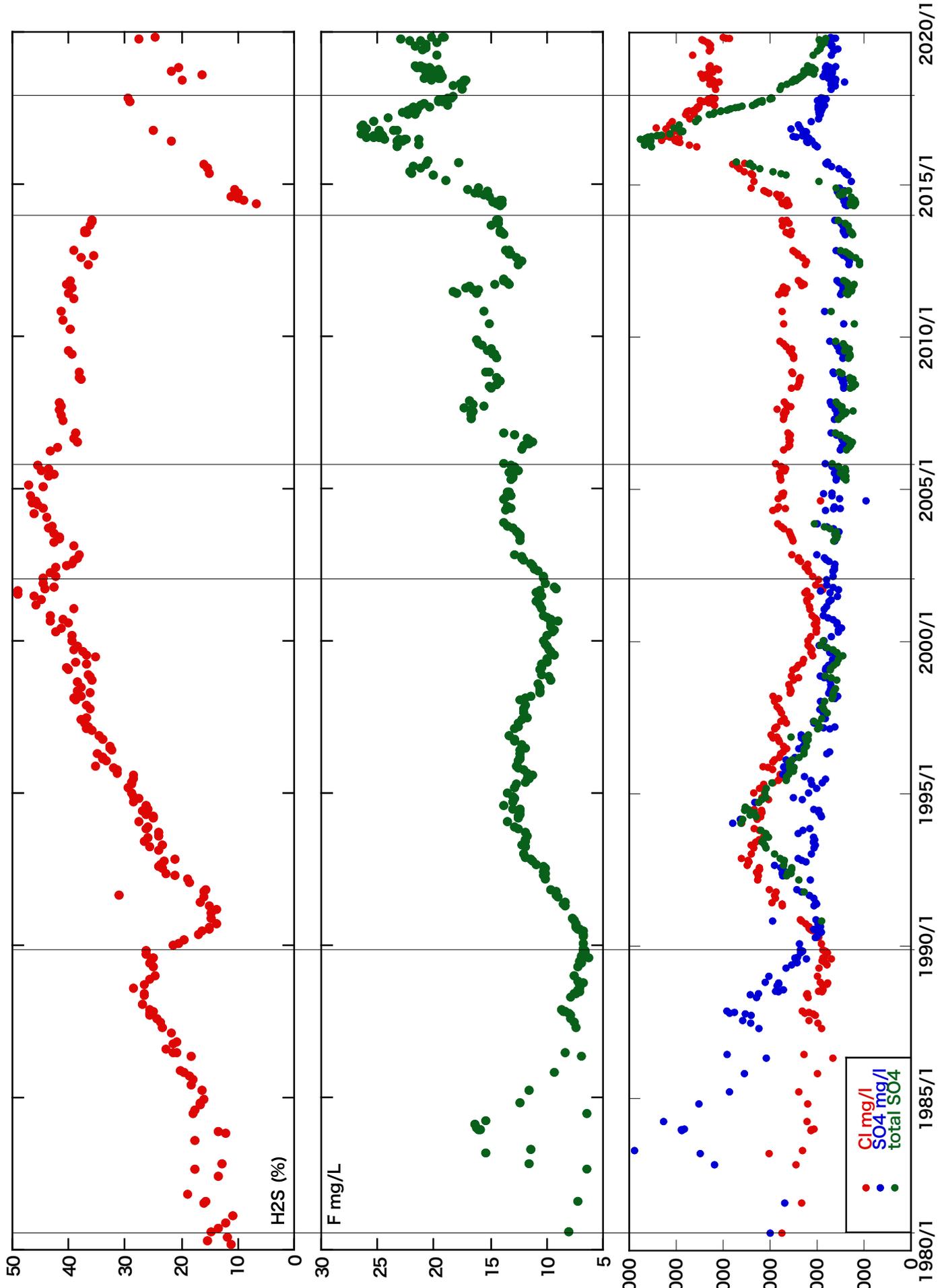
水釜北噴気



湯釜湖水

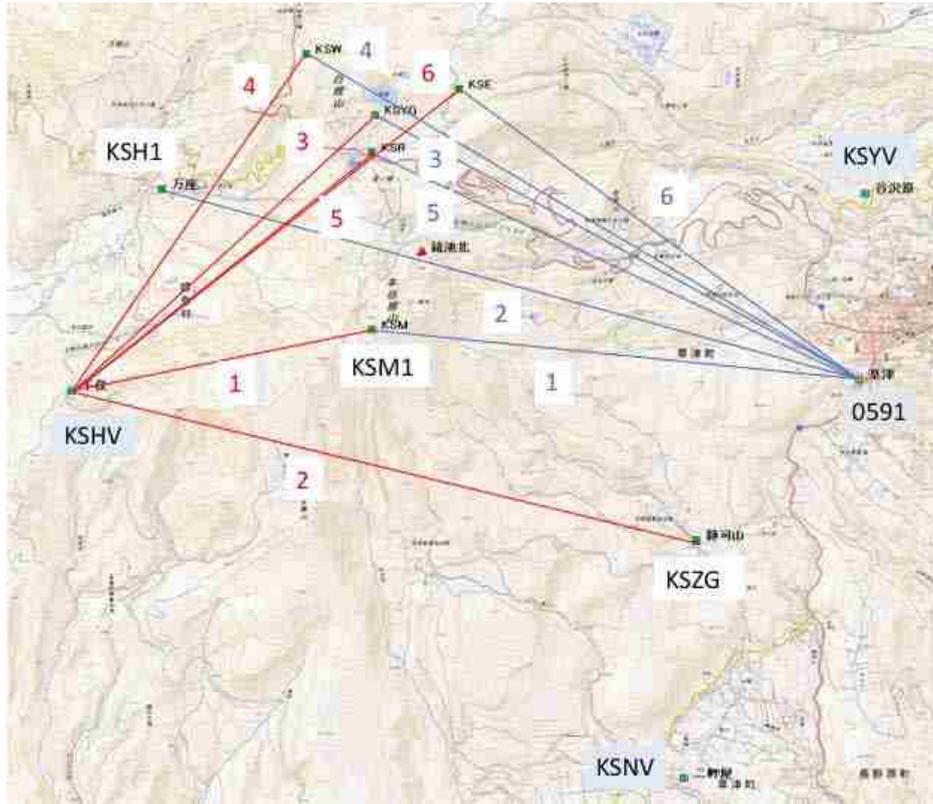


湖水組成十北側噴気

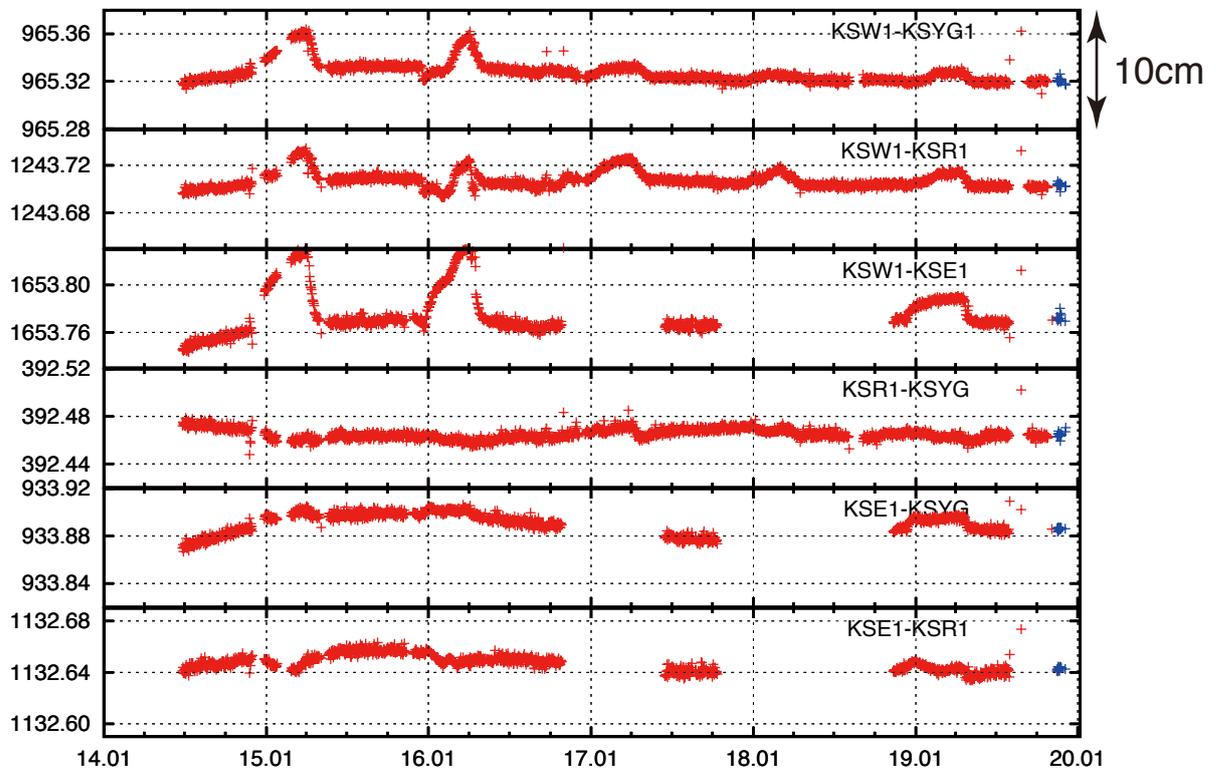


草津白根山および周辺域におけるGPS観測

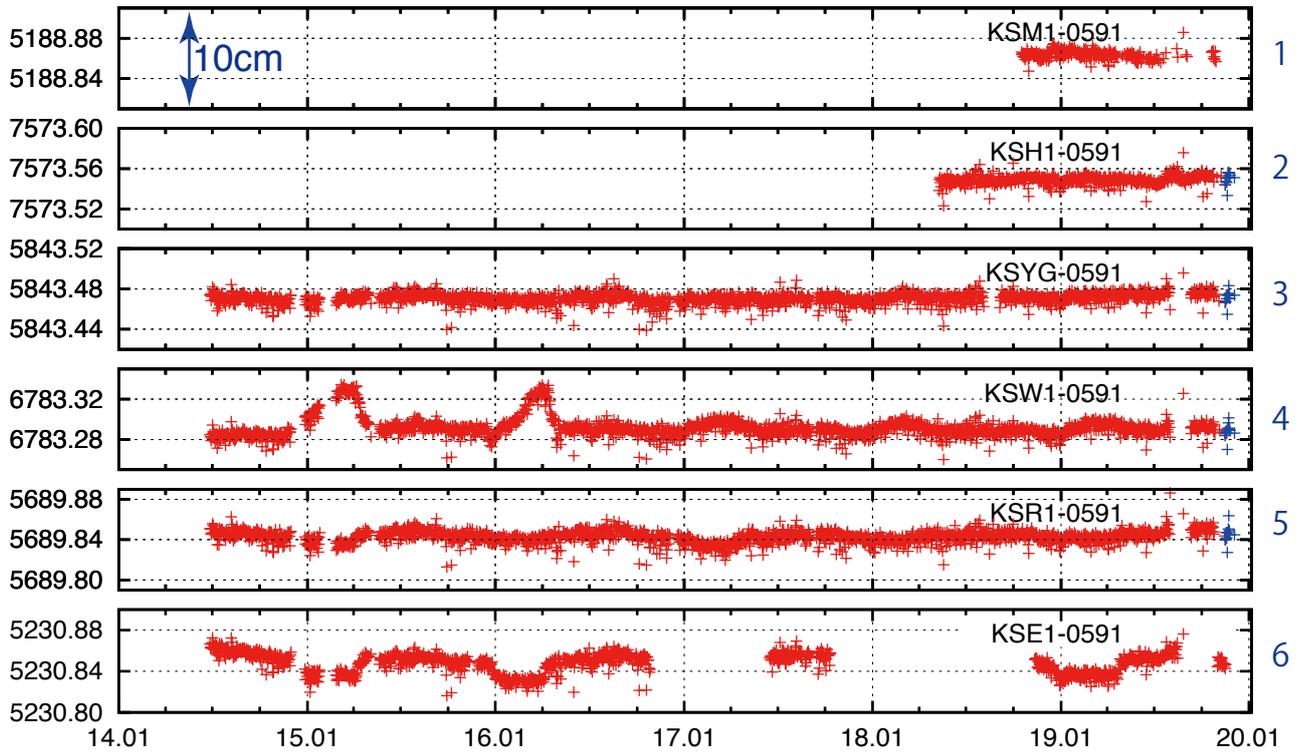
本期間、火山活動にともなう地殻変動は検出されていない



GNSS 連続観測点、基線の分布
国土地理院地形図およびカシミール3Dを用いて作図

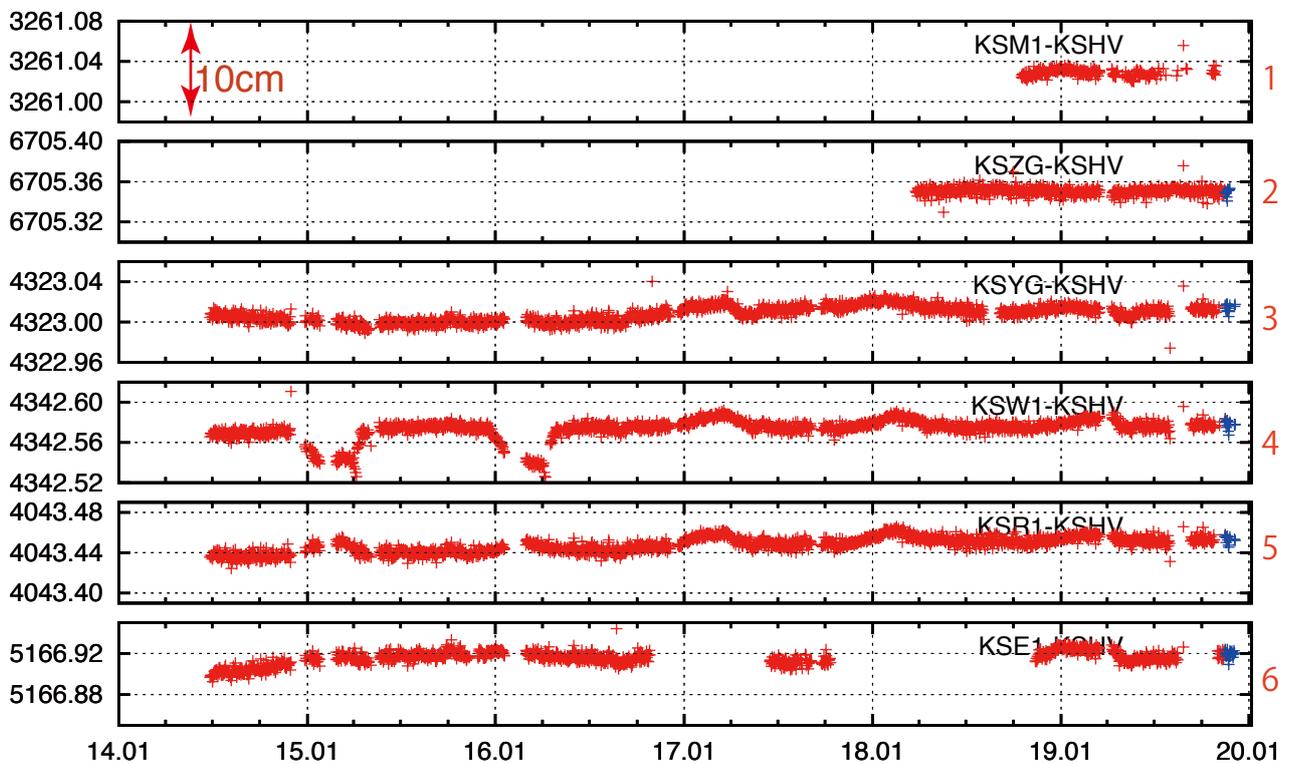


湯釜近傍観測点間の基線長変化 (2014.1.1~2019.12.5)



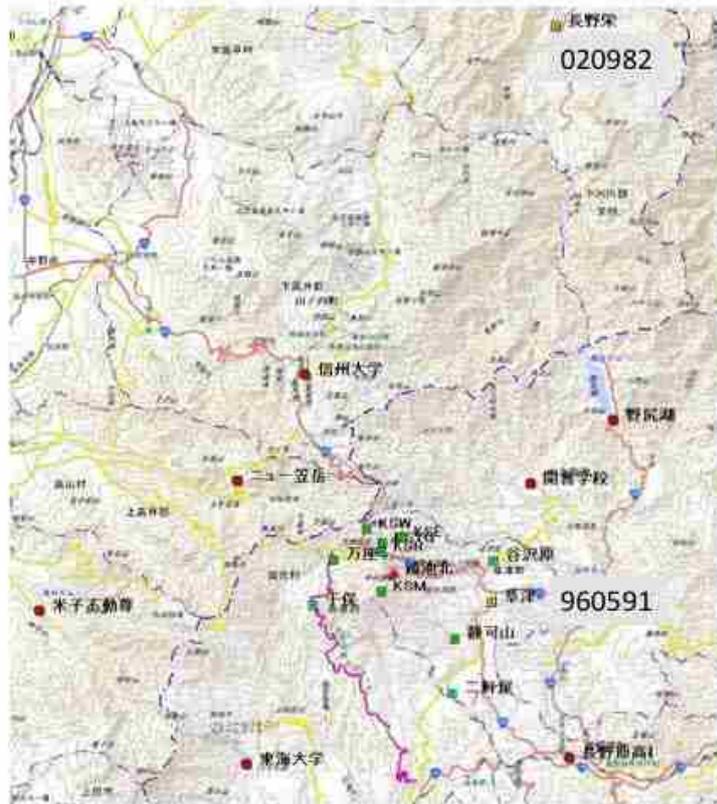
国土地理院・草津 (960591) に対する基線長変化 (2014.1.1~2019.12.5)

GEONET データを利用した

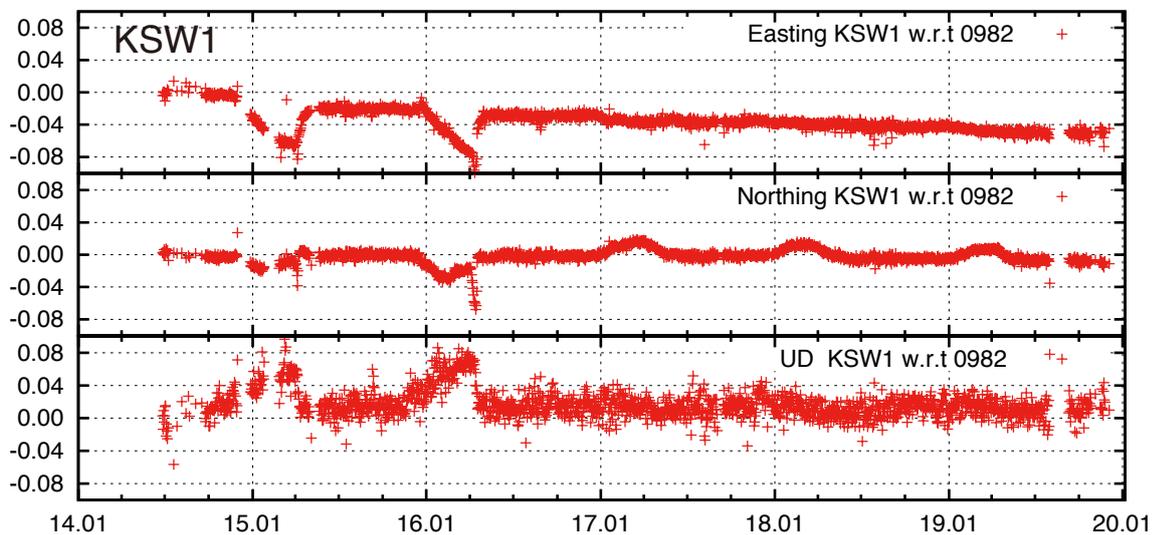
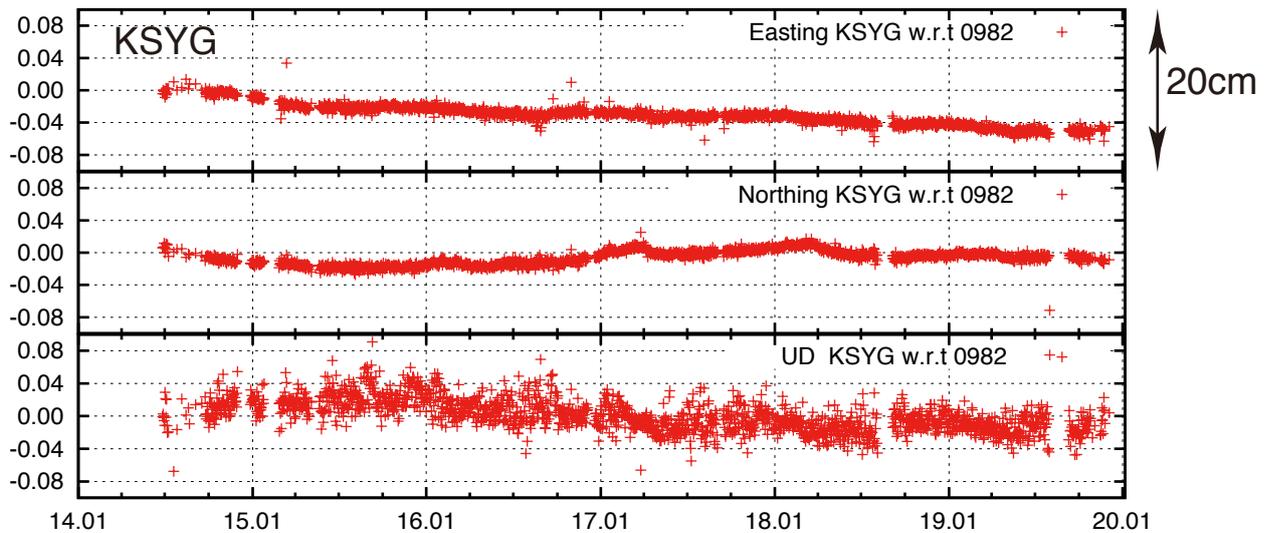


防災科技研・干俣 (KSHV) に対する基線長変化 (2014.1.1~2019.12.5)

V-NET データを利用した

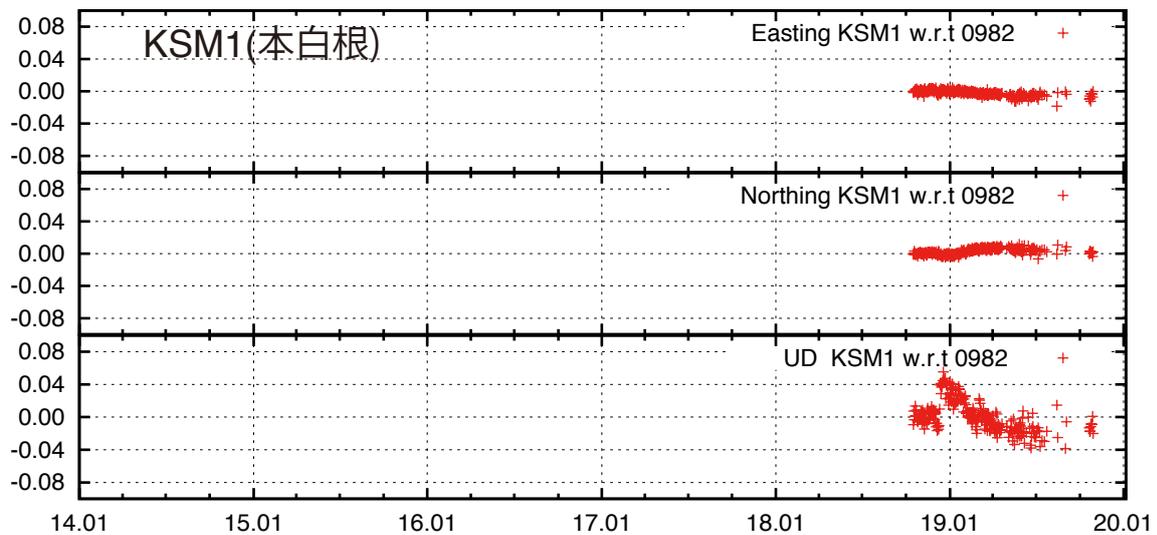
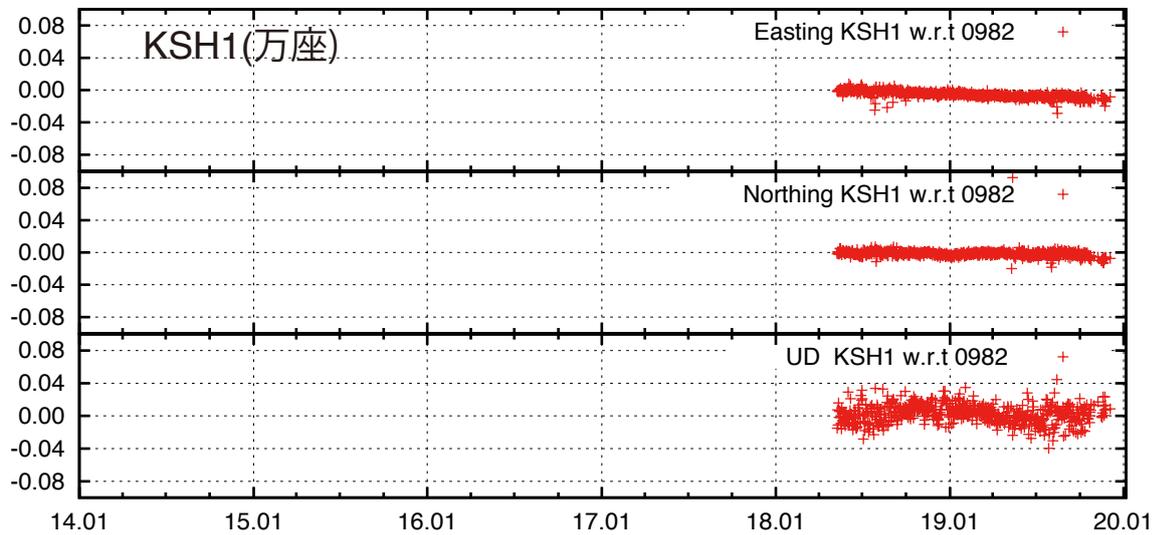
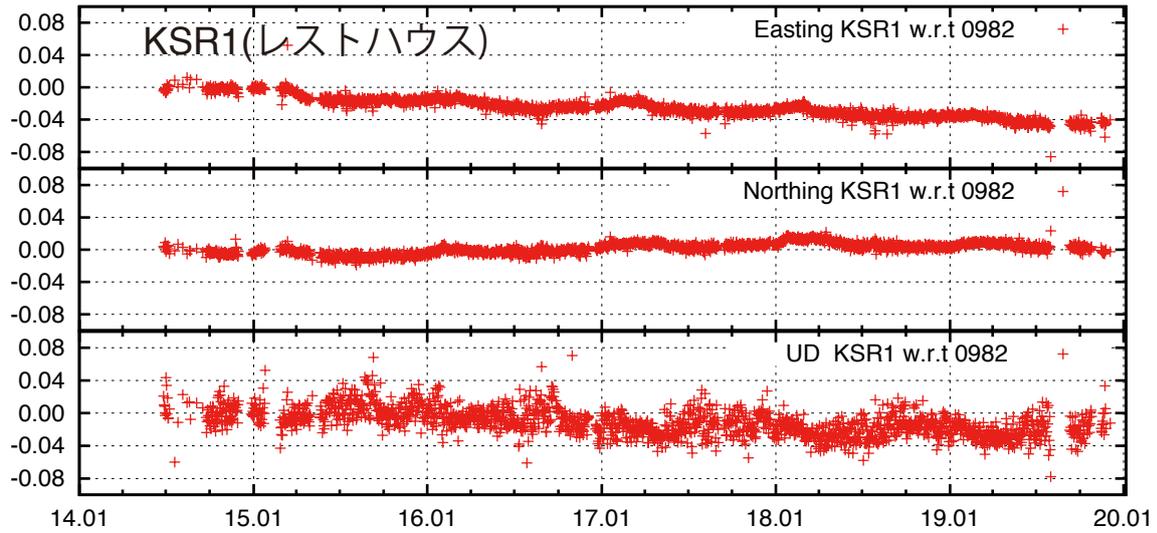


GNSS 観測点分布図 (赤丸: キャンペーン)
 国土地理院地形図およびカシミール3Dを用いて作図



国土地理院・長野栄 (020982) を基準とした相対変位
 (2014.1.1~2019.12.5) GEONET データを利用した

草津白根山



国土地理院・長野栄 (020982) を基準とした相対変位
(2014.1.1~2019.12.5) GEONET データを利用した

草津白根山の火口湖湯釜および草津温泉の組成変化について

草津白根山の「湯釜」湖水および草津温泉の主要源泉「草津湯畑源泉」,「万代鉱源泉」の組成変化について報告する。本報告時点での直近の試料水採取日は、湯釜については2019年10月28日、草津湯畑源泉および万代鉱源泉については2019年11月12日である。

1. 湯釜の組成変化について

- 湯釜湖水の組成変化を図1~4に示す。

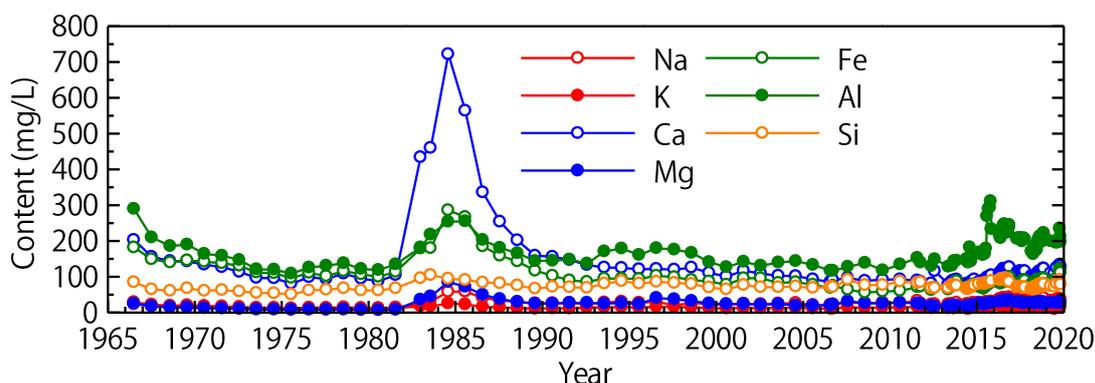


図1 湯釜の陽イオンおよびSi濃度の長期経年変化

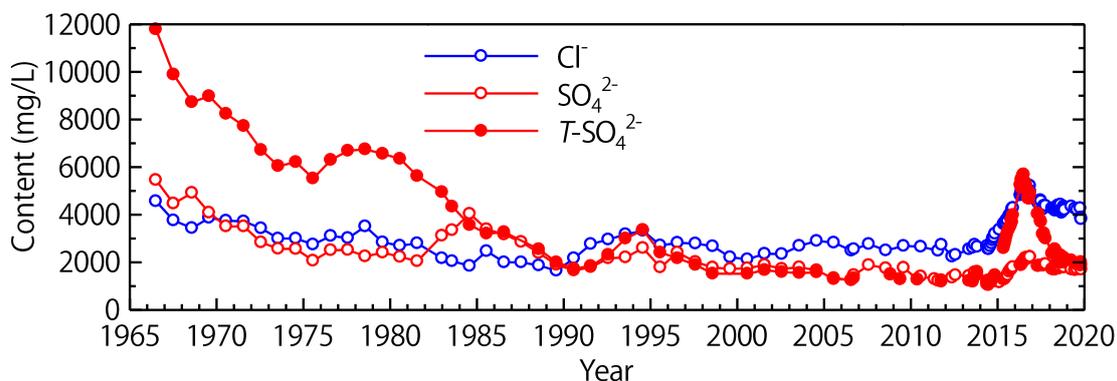


図2 湯釜の陰イオン濃度の長期経年変化

SO_4^{2-} は硫酸イオンの溶存濃度であり、 $T-SO_4^{2-}$ は、湖水中の全溶存硫黄化学種が全て硫酸イオンであったと仮定した場合の硫酸イオンとして濃度（全硫酸イオン濃度）を示す。

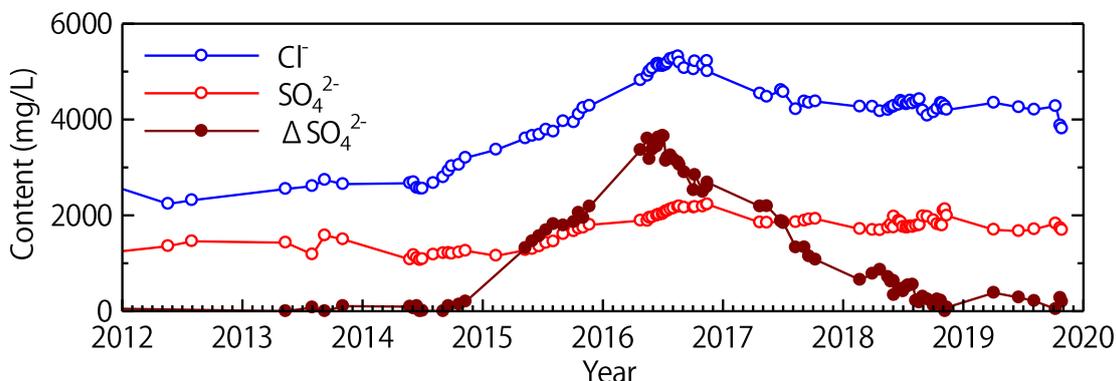


図3 湯釜における2012年以降の溶存陰イオン濃度の推移
 ΔSO_4^{2-} は図2における $T\text{-SO}_4^{2-}$ 濃度と SO_4^{2-} 濃度との差分であり、
 ポリチオン酸イオン ($\text{S}_x\text{O}_6^{2-}$) の濃度に相当すると考えられる。

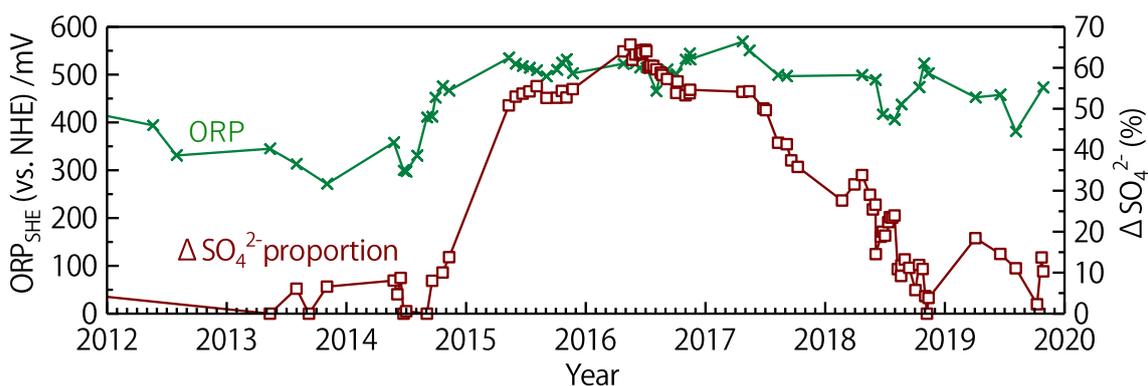


図4 湯釜における2012年以降の湖水のORP（酸化還元電位）と
 ΔSO_4^{2-} proportion ($T\text{-SO}_4^{2-}$ に占める ΔSO_4^{2-} の割合) の推移

近年の湯釜湖水の水質変化（図3および図4）から、湯釜周辺での火山活動がきわめて活発であったと思われる2015年から2016年にかけて、 ΔSO_4^{2-} 濃度および全硫酸イオン濃度に占める ΔSO_4^{2-} の割合は大きな高まりを見せていた。その後、 ΔSO_4^{2-} 濃度は低下し、2018年の終わりにはほとんど ΔSO_4^{2-} が検出されない状態になったが、2019年には再び ΔSO_4^{2-} の増加が見られ、我々の分析結果からは2019年10月末においても湖水には ΔSO_4^{2-} が検出される状況にある。また、湯釜湖水の酸化還元電位は2014年の半ばから、 ΔSO_4^{2-} 濃度の上昇に伴って上昇しており、2019年10月末においても比較的高い電位を保っている。以上のことから、湯釜湖底から湖水に供給される火山ガスは未だ $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の高い状態にあり、火山活動としては一定のレベルを保ち続けていると考えられる。

2. 草津湯畑源泉および万代鉱源泉の組成変化について

- 草津湯畑源泉の組成変化を図5, 6に示す.

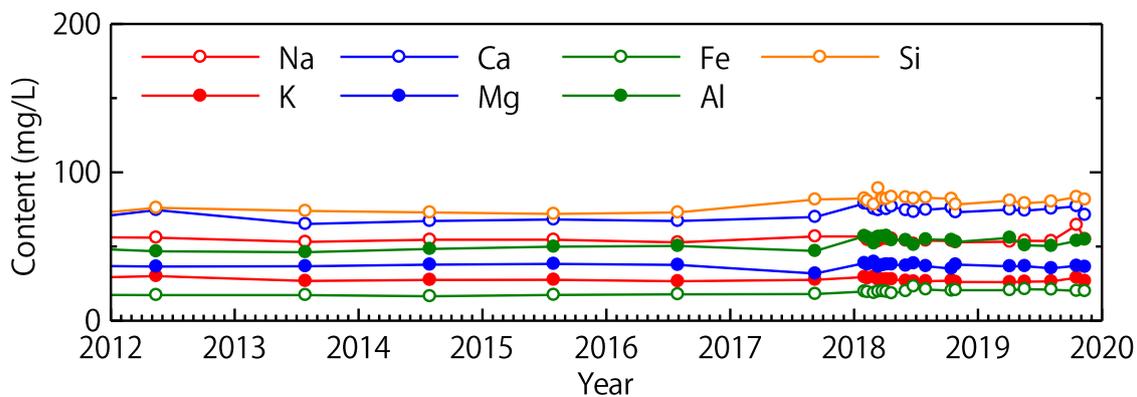


図5 草津湯畑源泉における2012年以降の陽イオンおよびSi濃度の推移

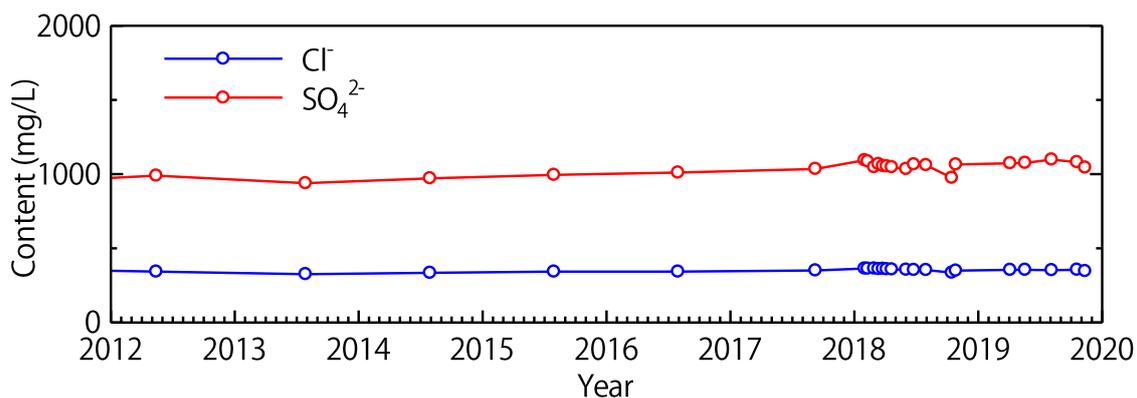


図6 草津湯畑源泉における2012年以降の陰イオン濃度の推移

草津湯畑では、2017年から2018年初頭にかけて若干の溶存成分濃度の上昇が見られた。特にMg, Ca, Al, Siの濃度上昇は明瞭である。また、同時期に硫酸イオン濃度の若干の上昇も見られる。この濃度上昇は時期的には本白根山の噴火と一致するため、火山活動の影響を受けてものである可能性がある。このときに濃度上昇した成分についてはその後低下することなく、現在までやや高い濃度を保持している。

- 万代鉱源泉の組成変化を図7, 8に示す.

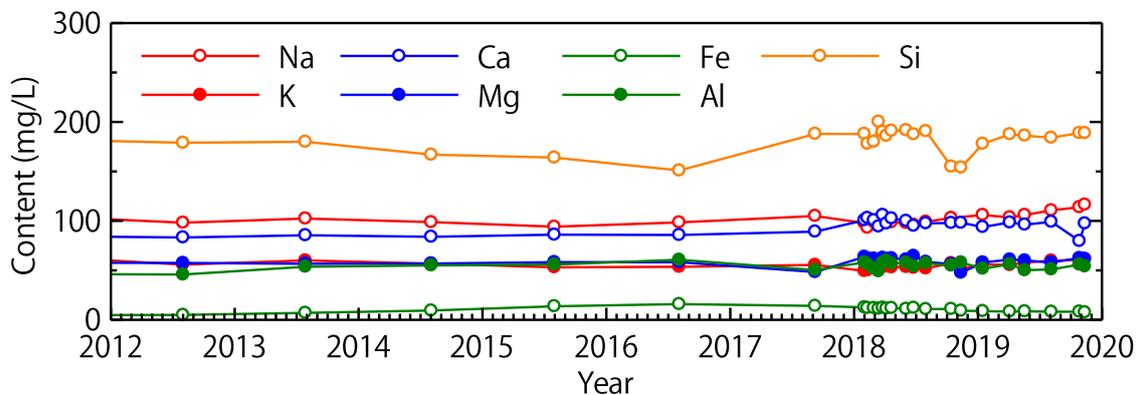


図7 万代鉱源泉における2012年以降の陽イオンおよびSi濃度の推移

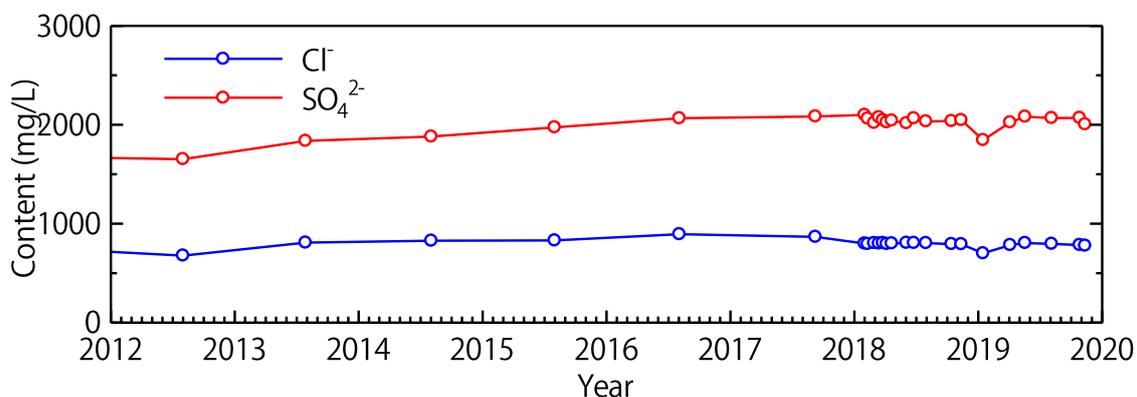


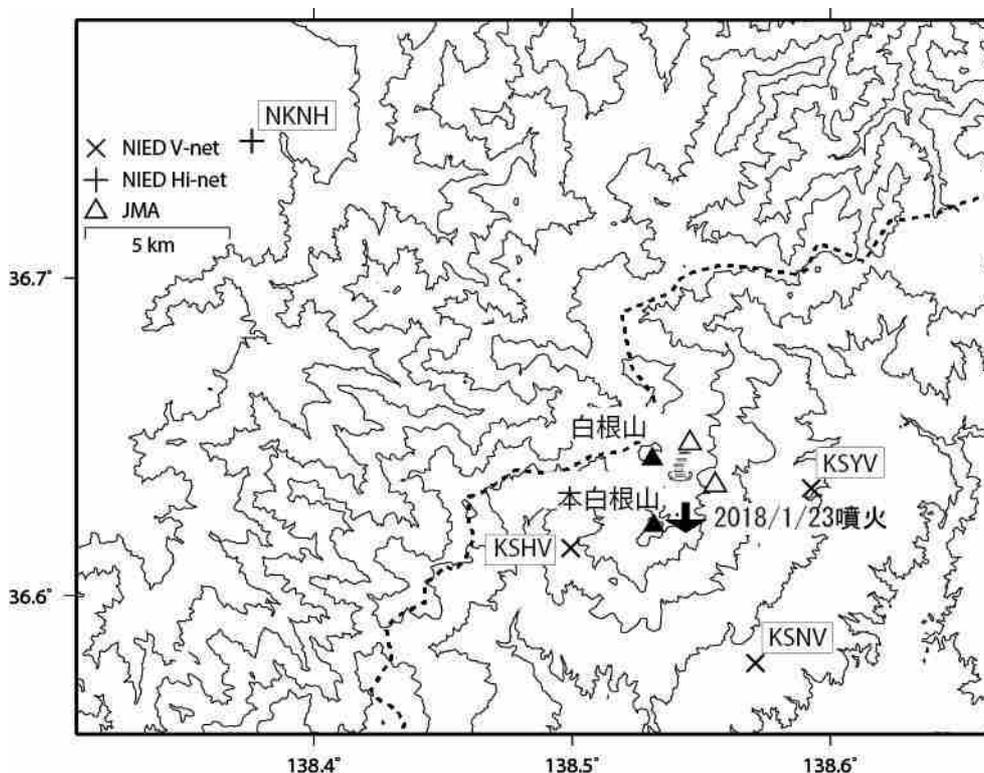
図8 万代鉱源泉における2012年以降の陰イオン濃度の推移

万代鉱源泉の水質変動は草津湯畑源泉と同様である。2017年から2018年初頭にかけてMg, Ca, Alが濃度上昇し、Siについては2017年から濃度上昇した。Si濃度は2018年末に低下したものの、2019年に入ってから再びやや高い値で推移している。2018年に濃度上昇した成分はそのままやや高い濃度を現在まで保持しており、2019年後半になって再び濃度上昇傾向を示している可能性がある。

まとめ

湯釜湖水の組成変動からは、2019年10月時点において湯釜周辺の熱水活動は平時に戻ってはおらず、やや高い活動状態にあることを示唆している。一方、草津温泉の源泉には、2018年1月の本白根山の噴火に関係すると思われるような濃度上昇が認められた後、上昇した成分濃度は低下しておらず、さらに2019年後半になってさらに濃度上昇傾向を示す成分もあることから、源泉のリザーバーについても未だ活発化した火山活動の影響を受け続けているように見ることが可能である。

草津白根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。

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

資料概要

○ 地殻変動

図 1 は傾斜計設置以降の変動記録、図 2 は GNSS の解析結果である。KSHV と KSNV に西下がりの傾斜変動がみられるが、火山活動との関連は不明である。

草津白根山の傾斜変動 (2012/4/1~2019/9/30)

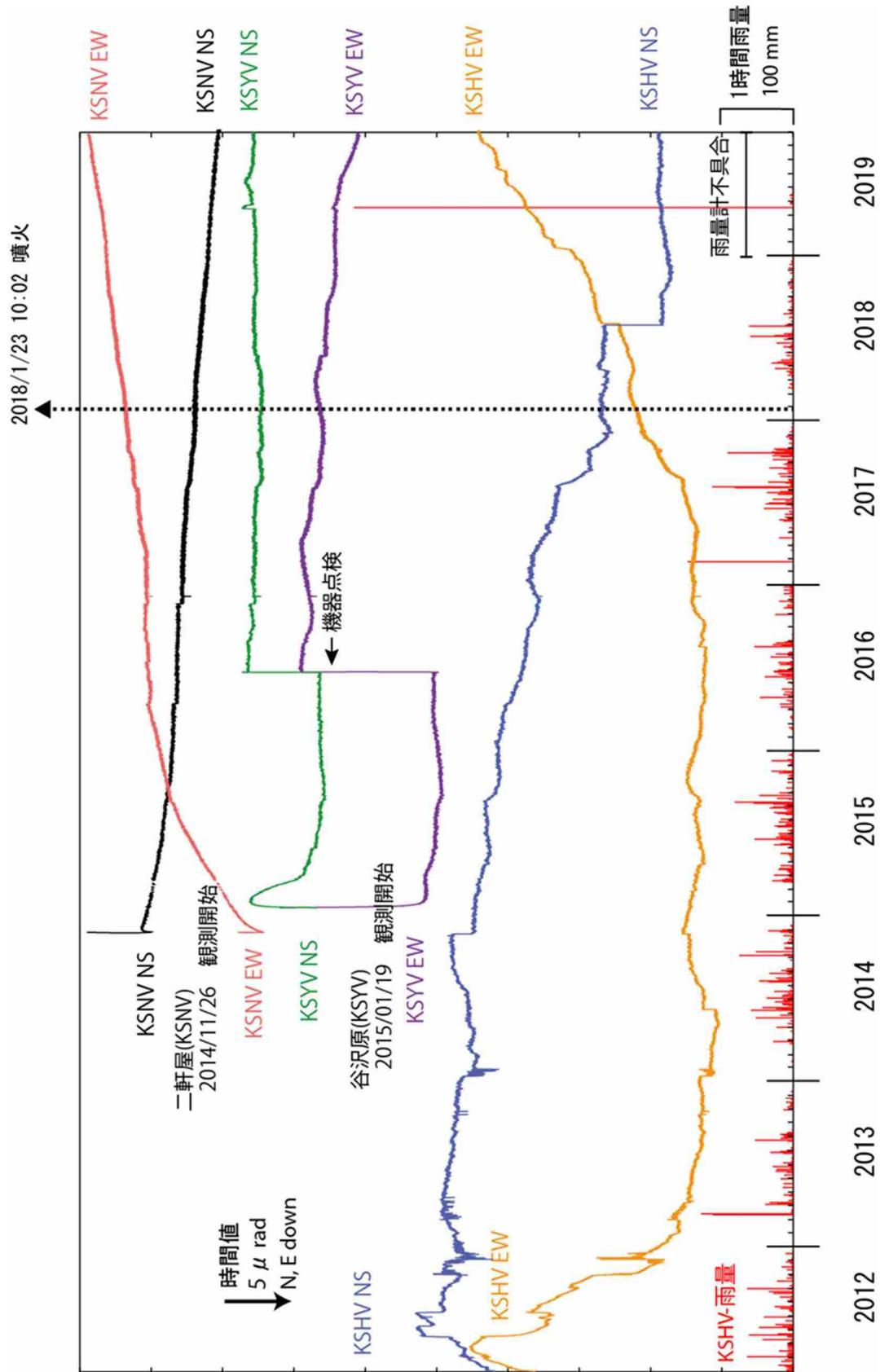


図1 草津白根山の傾斜変動

防災科学技術研究所 GNSS 観測点及び国土地理院 GEONET で得られた、
2018年10月1日-2019年9月30日の地殻変動【長野栄(0982)固定】

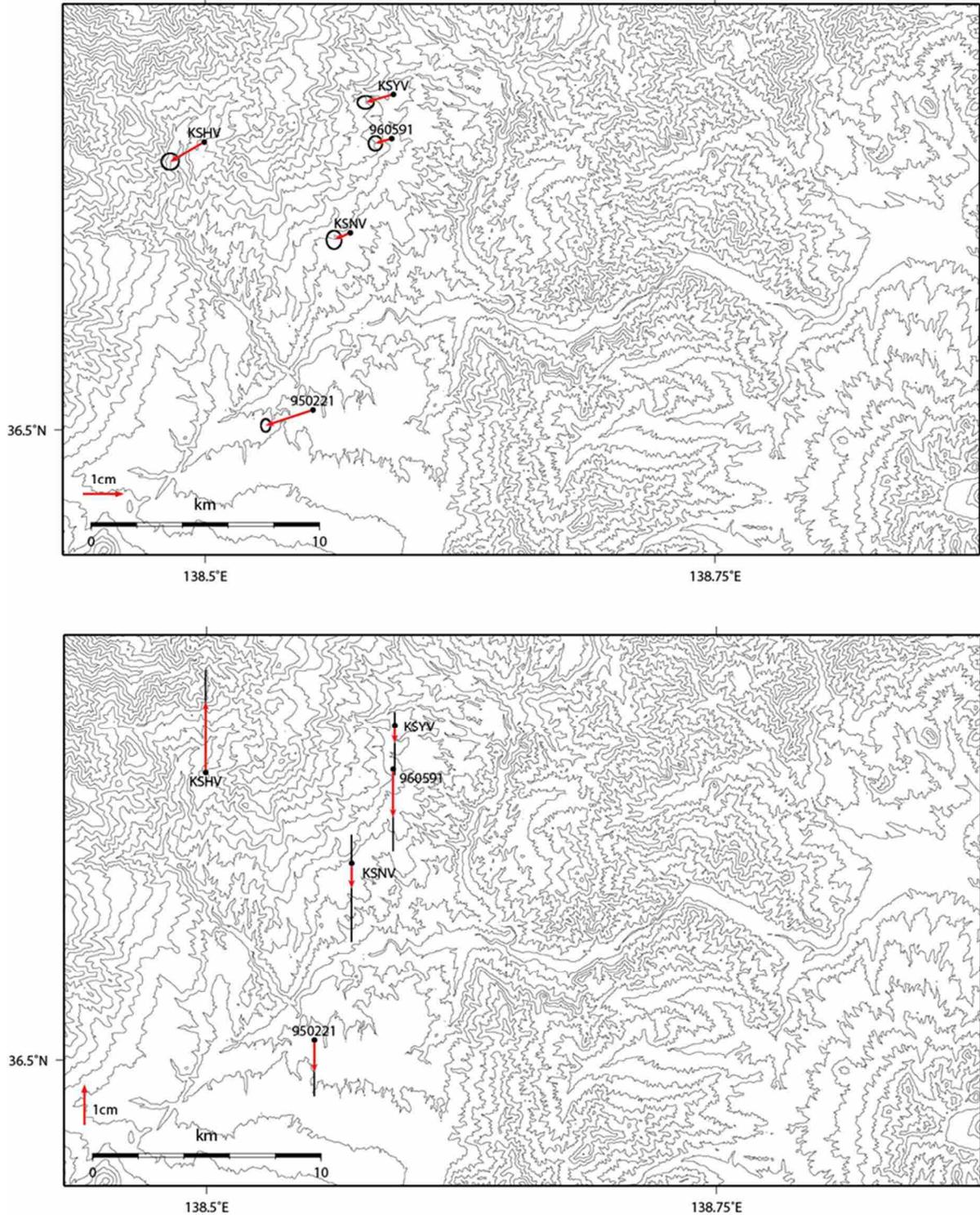


図2 草津白根山周辺 V-net 及び国土地理院 GEONET 観測点における GNSS 解析結果
(上段：水平成分、下段：上下成分)

2018/1/23 10:02 噴火

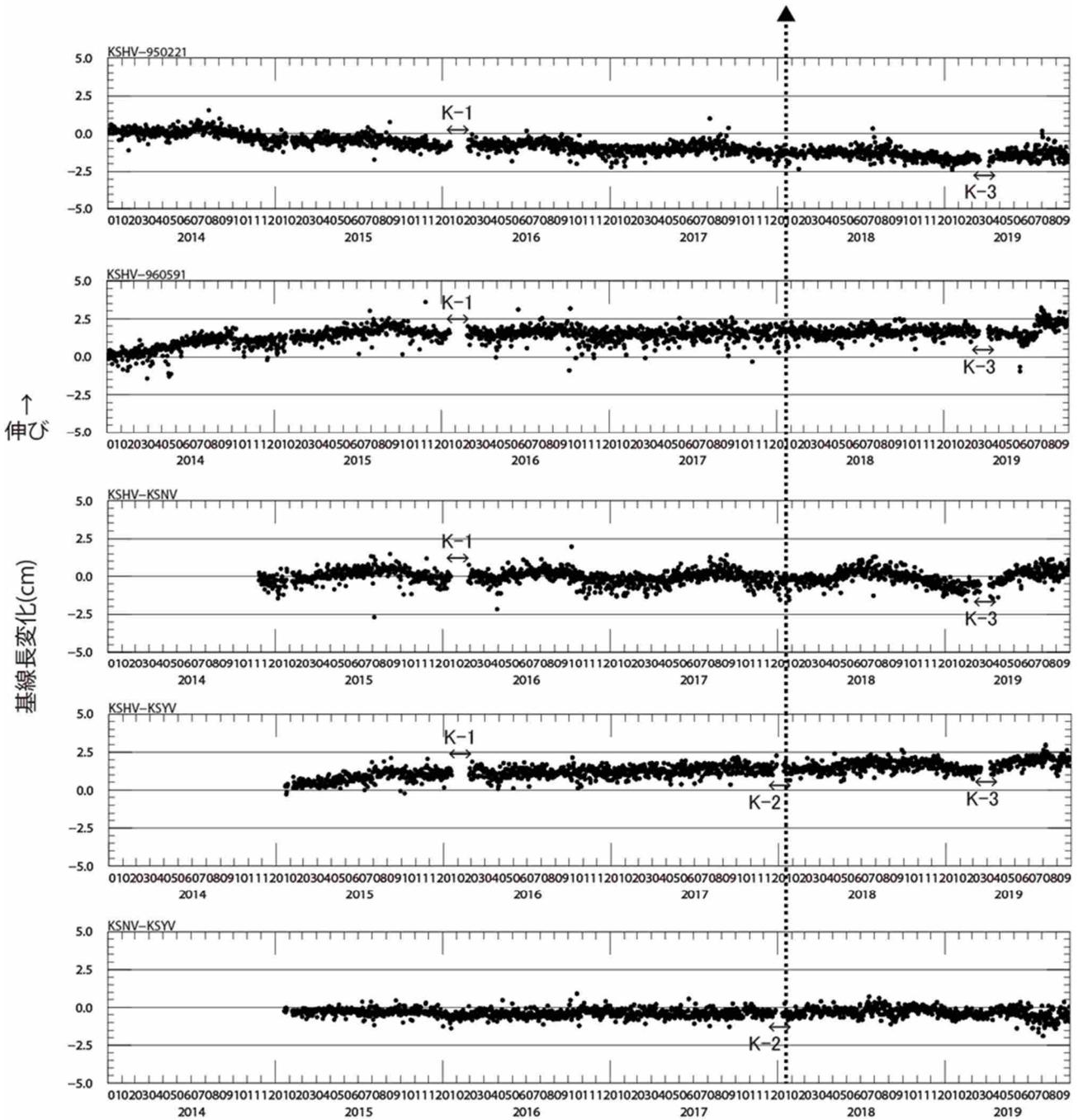


図3 防災科研3観測点と、KSHV-GEONET草津観測点(0591)、KSHV-GEONET孺恋観測点(0221)の基線長変化(2014/1/1~2019/9/30)

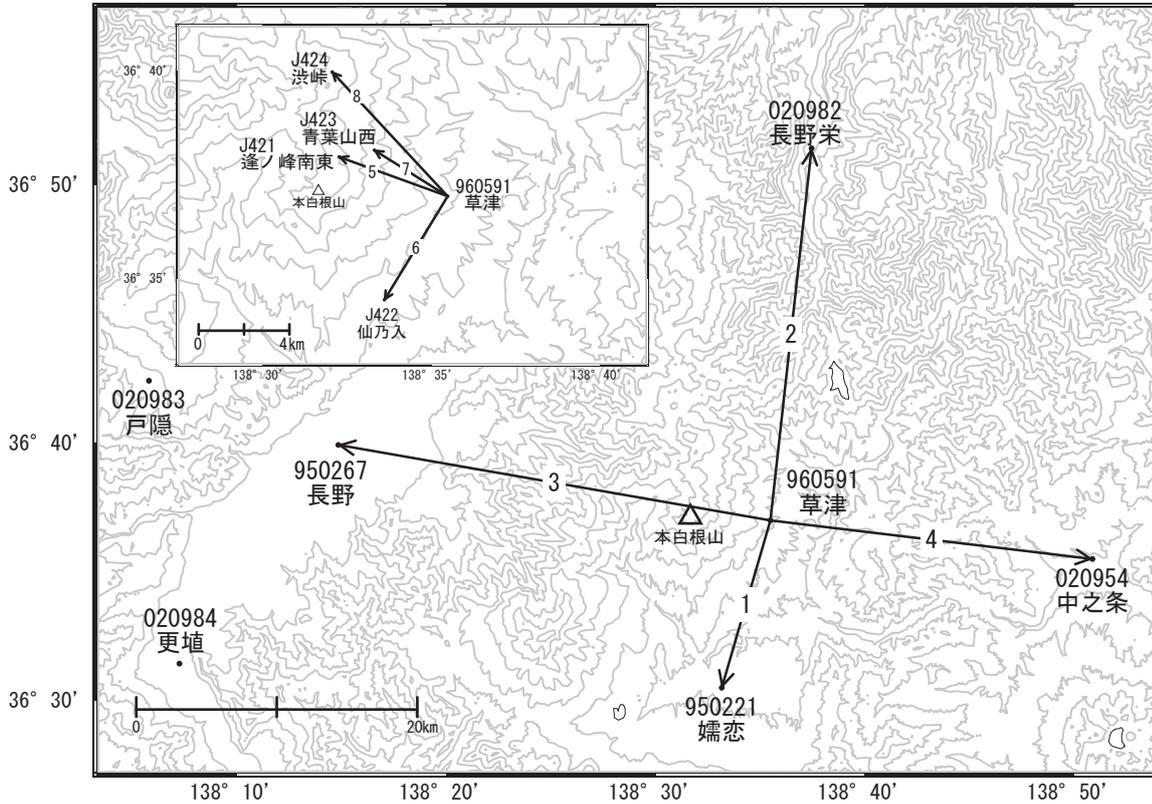
表1 GNSS観測履歴

観測点番号	観測点名	図中記号	日付	保守内容
	草津白根山干俣 (KSHV)		2012/3/26	2周波観測開始
		K-1	2016/1/20~2/13	機器異常による欠測
		K-3	2019/3/20-4/7	機器異常による欠測
	草津白根山二軒屋 (KSNV)		2014/11/25	2周波観測開始
			2015/1/15~ 2015/4/17	通信回線不調
			2015/1/19	2周波観測開始
	草津白根山谷沢原 (KSYV)		2017/12/29~ 2018/1/12	機器異常による欠測

草津白根山

顕著な地殻変動は観測されていません。

草津白根山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図



草津白根山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
960591	草津	20150617	受信機交換
		20190725	伐採
020982	長野栄	20150201	アンテナ交換
		20191018	受信機交換
950221	孺恋	20191025	受信機交換

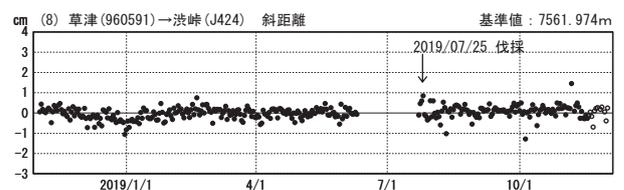
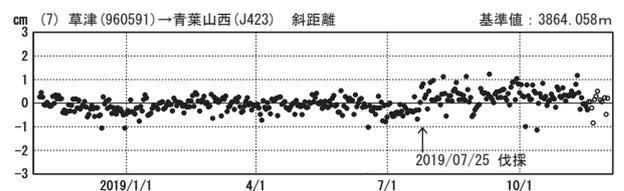
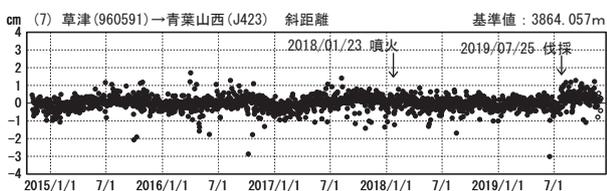
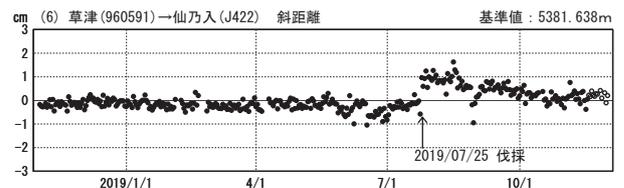
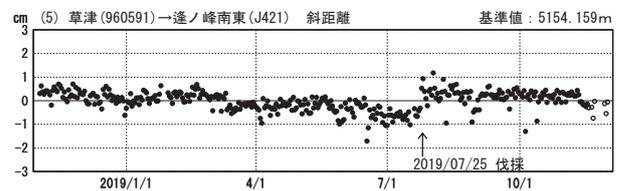
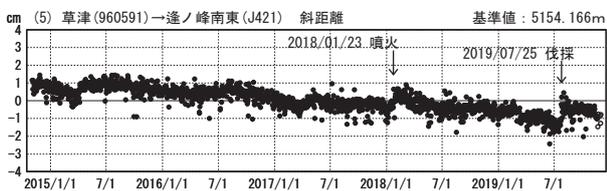
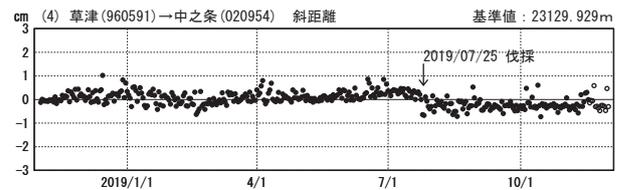
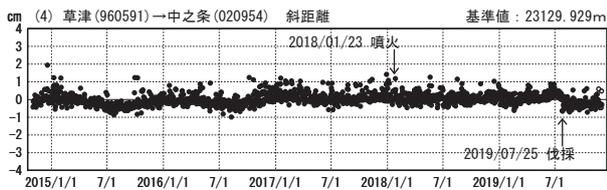
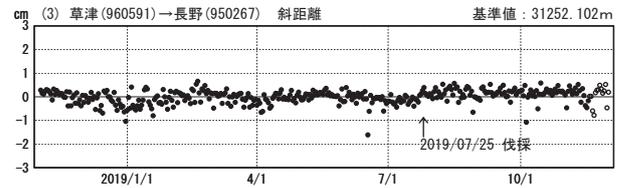
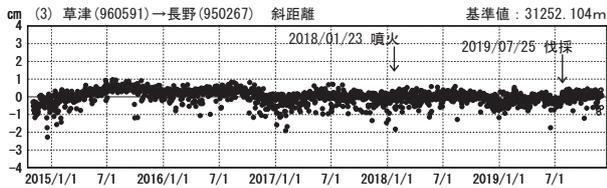
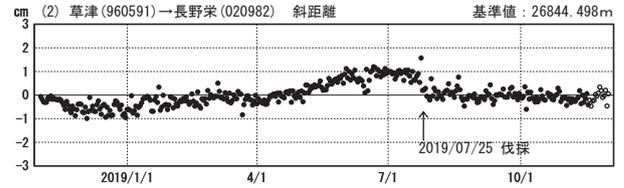
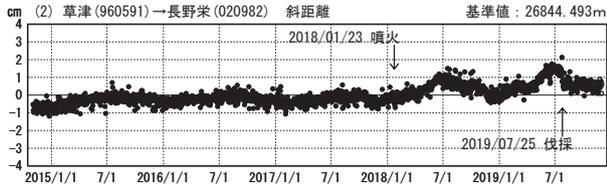
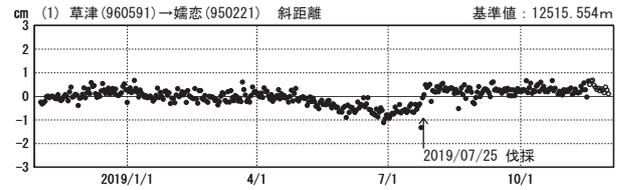
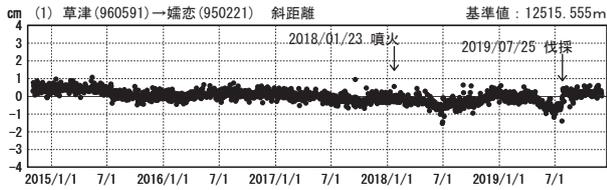
第 1 4 5 回火山噴火予知連絡会

基線変化グラフ（長期）

期間：2014/11/01~2019/11/30 JST

基線変化グラフ（短期）

期間：2018/11/01~2019/11/30 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

国土地理院・気象庁

※[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

草津白根山

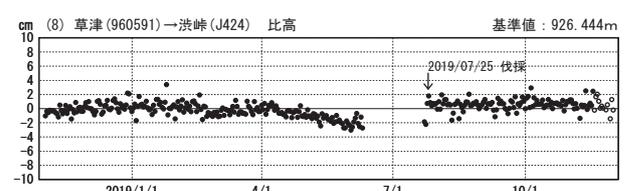
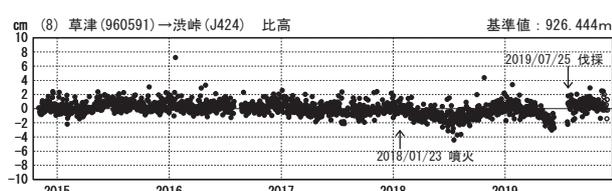
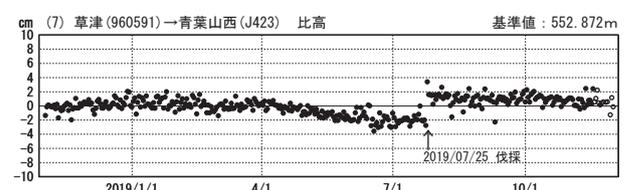
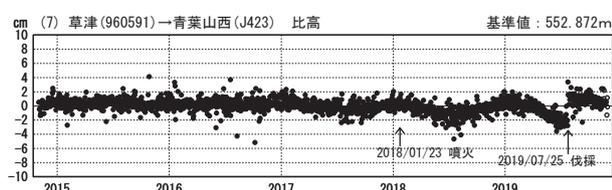
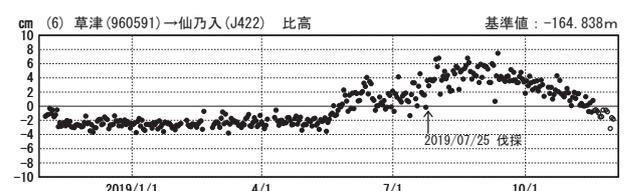
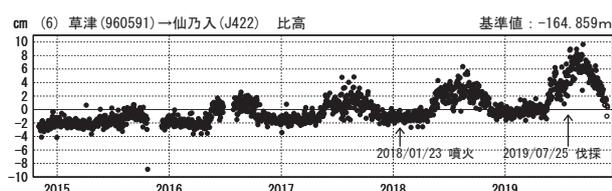
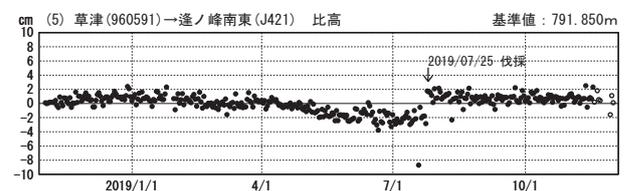
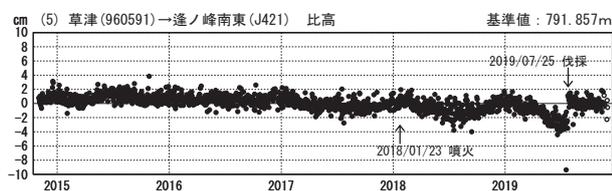
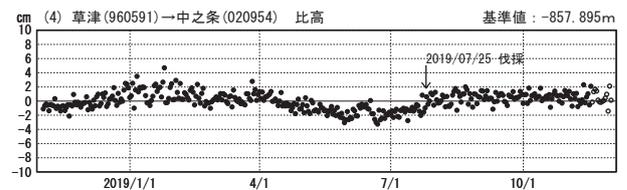
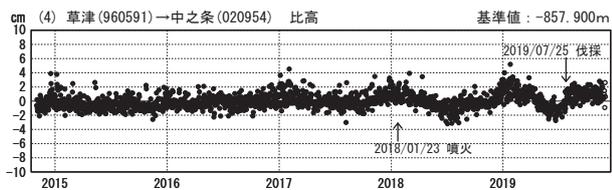
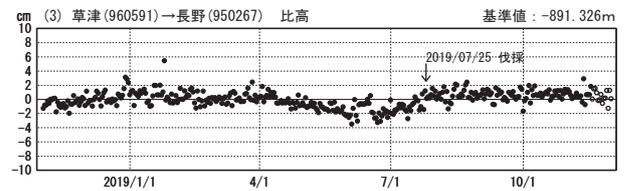
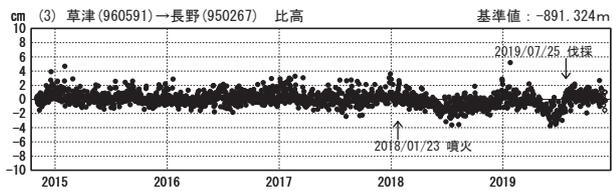
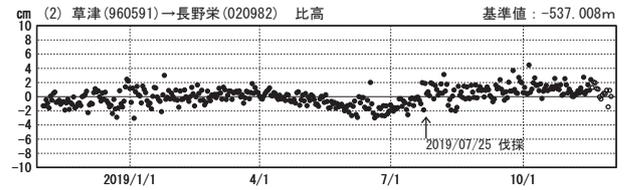
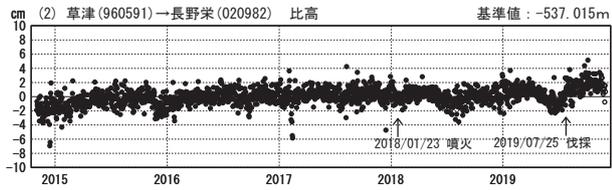
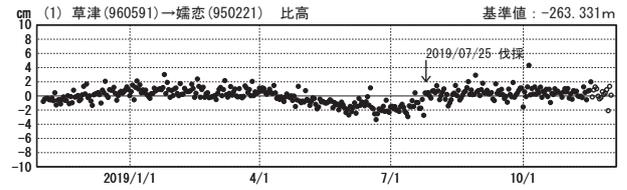
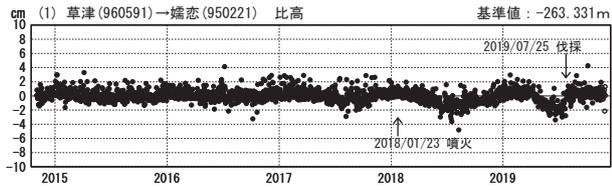
第 1 4 5 回火山噴火予知連絡会

比高変化グラフ（長期）

期間：2014/11/01~2019/11/30 JST

比高変化グラフ（短期）

期間：2018/11/01~2019/11/30 JST



●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

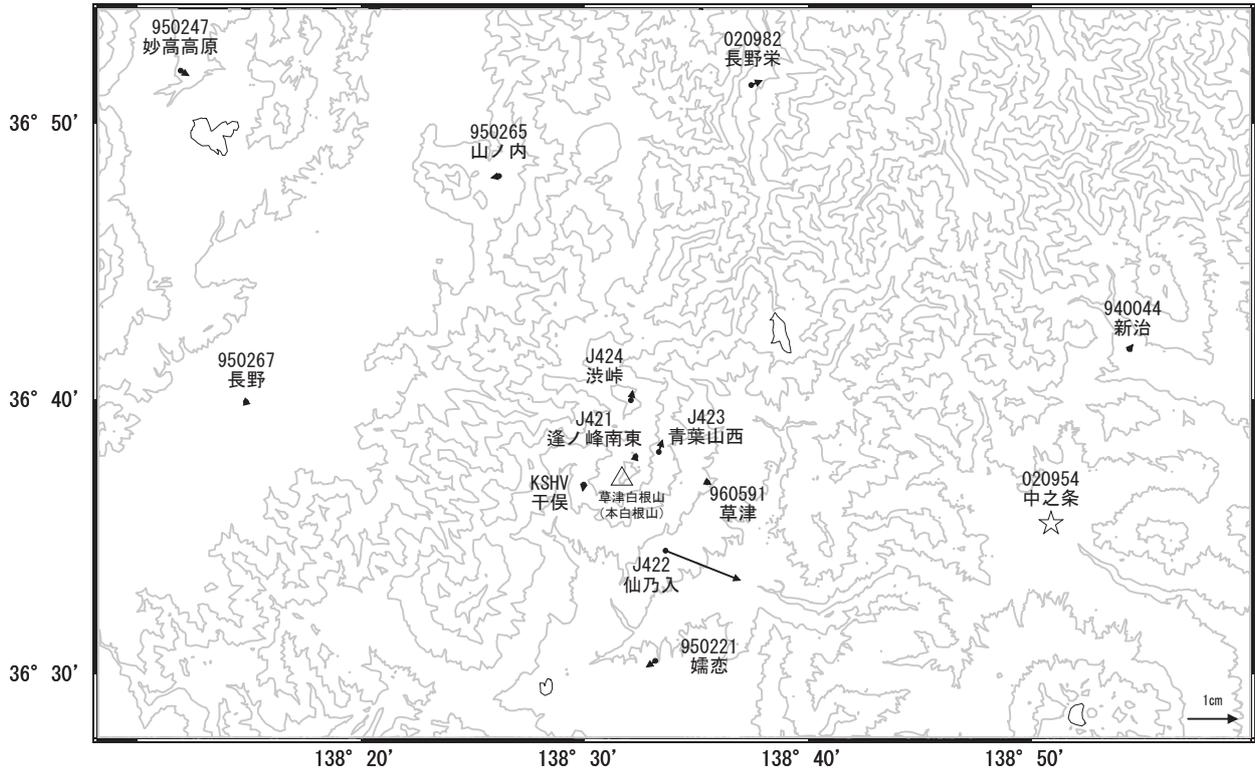
国土地理院・気象庁

※[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

草津白根山

草津白根山周辺の地殻変動(水平:3か月)

基準期間:2019/08/21~2019/08/30[F3:最終解]
比較期間:2019/11/21~2019/11/30[R3:速報解]

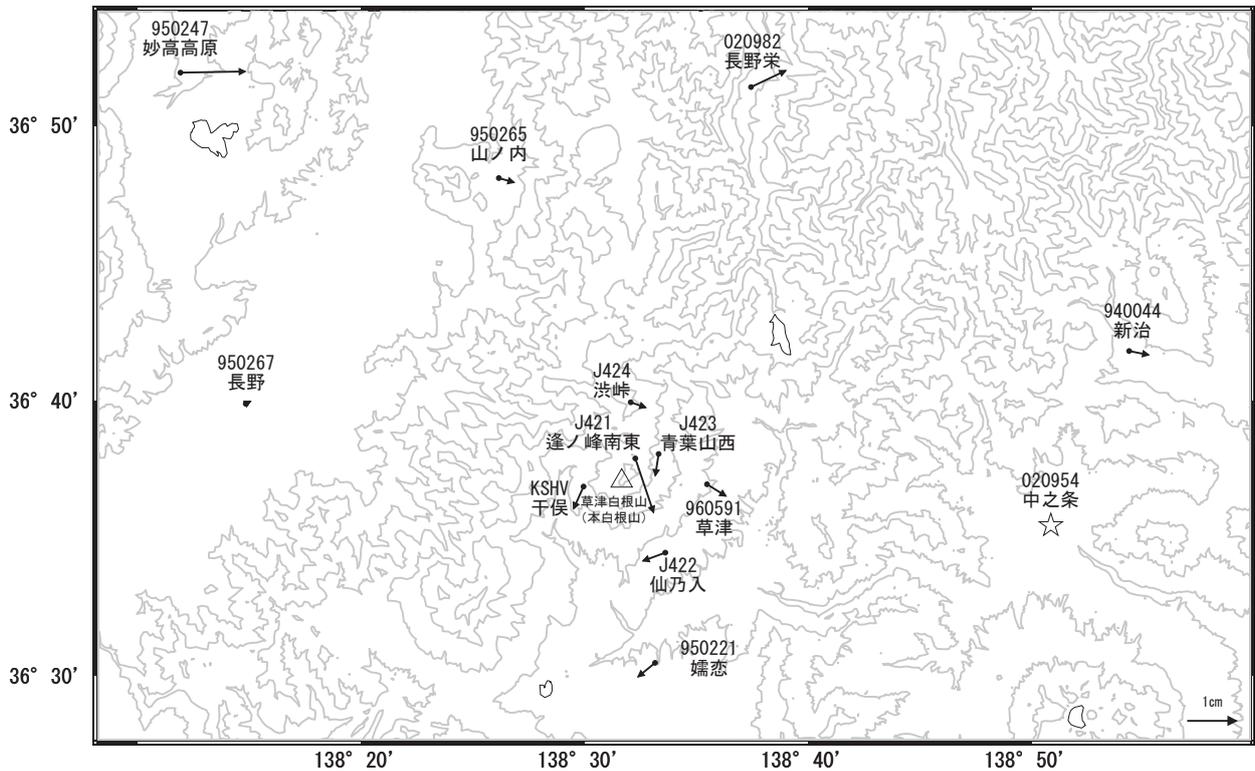


☆ 固定局:中之条(020954)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

草津白根山周辺の地殻変動(水平:1年)

基準期間:2018/11/21~2018/11/30[F3:最終解]
比較期間:2019/11/21~2019/11/30[R3:速報解]



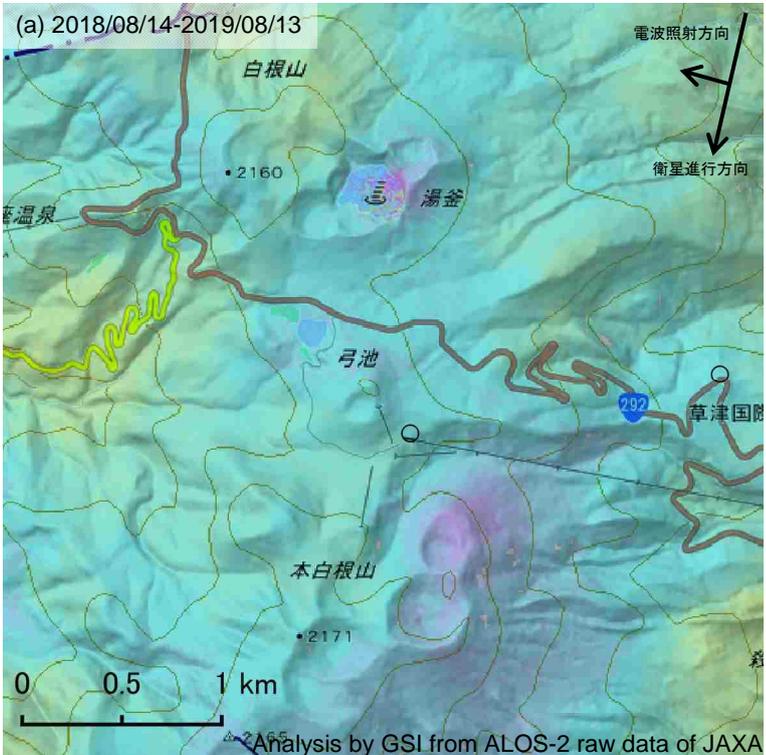
☆ 固定局:中之条(020954)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

草津白根山

草津白根山の SAR 干渉解析結果について

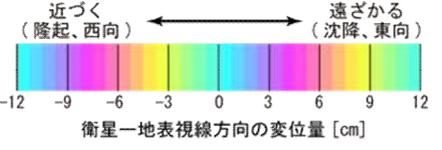
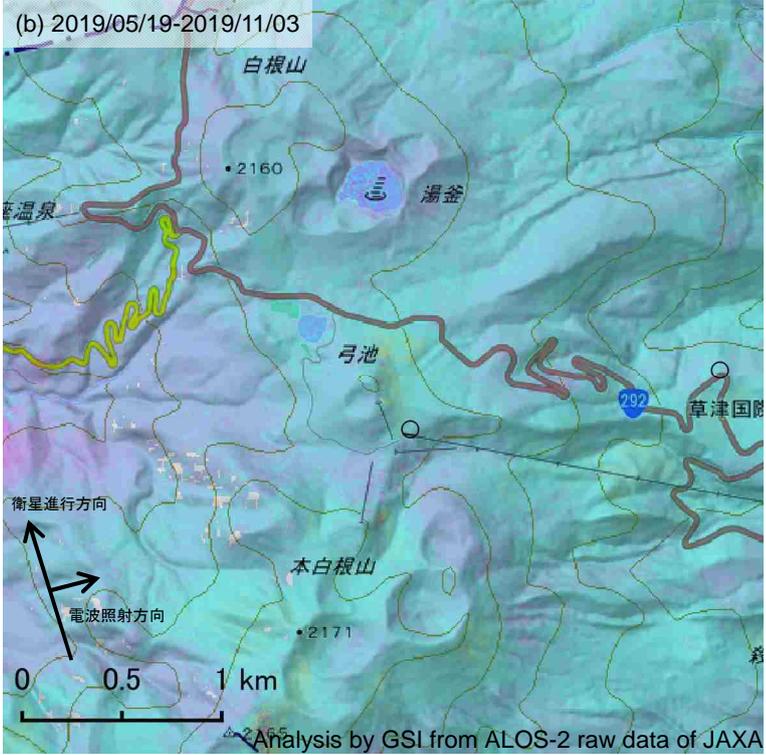
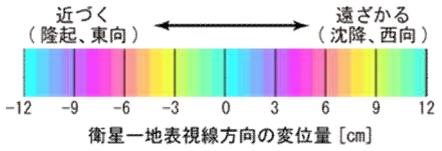
判読) ノイズレベルを超える変動は見られません。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2018/08/14 2019/08/13 11:50 頃 (364 日間)	2019/05/19 2019/11/03 23:38 頃 (168 日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右	右
観測モード*	U-U	U-U
入射角	37.5°	32.3°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 102 m	+ 50 m

*U: 高分解能(3m)モード

○ 国土地理院以外の GNSSS 観測点



背景: 地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

草津白根山

草津白根山噴気の化学組成・安定同位体比(2014年7月～2019年10月)

Chemical composition and stable isotope ratio of the fumarolic gases sampled at Kusatsu-Shirane volcano, Japan (July 2014 to Oct 2019)

1. 概要

2014年7月から2019年10月にかけて、草津白根山で繰り返し噴気を採取・分析した。白根山山頂北側の地熱地帯で採取された3つの噴気で、 $\text{He}/(\text{He}+\text{CH}_4)$ 比は2018年10月から2019年5月にかけて低下したが、その後は2019年10月にかけて上昇に転じた。Heはマグマ成分であり、2019年5月から10月にかけて湯釜直下の熱水系に対するマグマ成分の流量が増加し、火山性地震を引き起こしていると考えられる。

2. 噴気の採取・分析

草津白根山の湯釜火口の北山麓に広がる地熱地帯において、図1に示す3つの噴気孔W, C, Eで噴気を採取した。また東山麓の殺生河原(S)と西山麓の万座干俣(M)でも噴気を採取分析した。これらの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を封入しておいた。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。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。噴気の化学分析は主に、小沢の方法[1]に従った。

3. 結果・考察

表1に2018年6月から2019年10月にかけて採取した噴気の化学組成、 H_2O の安定同位体比、見かけ平衡温度(AET)を示す。噴気W, C, Eについて、 H_2O を除いた噴気成分(=ドライガス)中の H_2S 濃度は、2014年7月に10%前後であったが、その後、2017年11月に20%を超える極大値に達した。(図2)。2018年5月には全ての噴気で H_2S 濃度は18~19%に低下し10月まで低い値を維持したが2019年5月には上昇に転じ、その後は横ばい傾向にある。既存の研究[2]によると、草津白根山では、ドライガスの H_2S 濃度が10%程度に低下すると火山活動が活発化し、噴火の可能性が高まる。図2に示される変化は2019年5月頃までは火山活動が沈静化していたが、その後、活動の傾向が変化しつつあることを示唆している。検知管による現場測定では、噴気W, C, Eで、2019年5月から10月かけて $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は緩やかな低下傾向にある(図3)。噴気SとMで2019年8月に $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比が上昇したが、10月には低下した。

図4に $\text{He}/(\text{He}+\text{CH}_4)$ 比の変化を示す。2014年から2017年11月にかけて1から0に近い値まで減少したが、その後、上昇に転じ、WとC噴気では2018年6月に極大値に達した。E噴気では8月に極大に達し、全ての噴気で、2018年10月には急激に低下し、低下傾向は2019年5月まで続いたが、2019年8月には噴気W, C, Eで急激に増加した。その後、噴気W, Cでは10月にさらに上昇したが、噴気Eでは逆

に低下した。Heはマグマに由来する成分、CH₄は熱水系に由来する成分であり、図4の変動は、2019年5月以降に、湯釜直下に存在する熱水溜りに対し、マグマ成分の流量が増大したことを意味している。図4では、He/(He+CH₄)比の増大と地震回数に良い相関が見られ、マグマ成分の熱水系に対する流量の増加が白根山において火山性地震を引き起こしていると推定される。

5. 文献

- [1] 小沢竹二郎 (1968) 地球化学におけるガス分析法 (I). 分析化学, 17, 395-405.
- [2]. J. Oosaka et al. (1980) Variation of chemical compositions in volcanic gases and waters at Kusatsu-Shirane volcano and its activity in 1976. Bull. Volcanol., 43, 207-216.

表 1. 草津白根山噴気の化学組成, 安定同位体比, 見かけ平衡温度 (AET)

Location	Date	Temp °C	CO ₂ /H ₂ S test-tube	H ₂ O %	CO ₂ %	H ₂ S %	SO ₂ %	R-gas %	R-gas						δ D _{SMOW} ‰	δ ¹⁸ O _{SMOW} ‰	AET °C
									He %	H ₂ %	O ₂ %	N ₂ %	CH ₄ %	Ar %			
W	2018/6/19	94.8	7.08	97.1	2.42	0.430	0.00163	0.0113	0.251	0.223	0.058	99.1	0.0482	0.367	-70	-7.6	153
W	2018/8/6	94.6	5.82	97.7	1.89	0.401	0.00114	0.0097	0.209	0.229	0.045	99.2	0.0568	0.251	-73	-8.0	147
W	2018/10/17	94.8	4.79	97.3	2.16	0.518	0.00371	0.0248	0.056	0.108	0.038	99.5	0.0425	0.238	-74	-8.4	161
W	2019/5/24	94.7	4.06	97.5	1.87	0.608	0.00487	0.0210	0.058	0.171	0.025	99.4	0.0748	0.262	-79	-9.9	170
W	2019/8/5	94	3.83	98.1	1.39	0.454	0.00450	0.0104	0.139	0.249	0.174	99.1	0.0954	0.229	-90	-11.7	162
W	2019/10/16	94.3	3.81	98.2	1.38	0.430	0.00162	0.0082	0.189	0.317	0.536	98.7	0.0346	0.243	-80	-9.9	154
C	2018/6/19	94.0	5.95	97.6	2.00	0.431	0.00054	0.0104	0.222	0.158	0.0737	99.3	0.0418	0.198	-109	-15.1	133
C	2018/8/6	94.5	5.36	97.8	1.78	0.407	0.00107	0.0114	0.165	0.165	0.0336	99.2	0.0422	0.375	-107	-14.6	142
C	2018/10/17	94.0	5.25	97.5	2.00	0.436	0.00205	0.0275	0.050	0.069	0.0689	99.5	0.0281	0.309	-110	-14.7	147
C	2019/5/24	94.3	4.31	97.5	1.95	0.560	0.0052	0.0236	0.055	0.090	0.0184	99.6	0.0489	0.230	-120	-18.8	156
C	2019/8/5	93.9	3.73	98.2	1.33	0.420	0.00467	0.0111	0.132	0.147	0.0781	99.4	0.0572	0.214	-108	-15.3	151
C	2019/10/16	94.0	3.66	98.1	1.45	0.457	0.00244	0.0094	0.167	0.169	0.2360	99.2	0.0324	0.220	-109	-15.8	144
E	2018/6/19	94.0	6.25	98.1	1.63	0.300	0.00123	0.0111	0.154	0.495	0.0561	98.9	0.0756	0.277	-77	-8.4	175
E	2018/8/6	93.9	6.38	98.2	1.53	0.277	0.00227	0.0109	0.135	0.432	0.0551	99.0	0.0550	0.277	-77	-8.3	177
E	2018/10/17	93.6	6.25	98.0	1.64	0.291	0.00192	0.0206	0.060	0.255	0.0712	99.4	0.0570	0.202	-79	-8.8	179
E	2019/5/24	94.5	4.70	98.4	1.31	0.303	0.00304	0.0167	0.056	0.331	0.0071	99.3	0.0743	0.243	-99	-14.1	184
E	2019/8/5	93.8	4.46	98.6	1.13	0.295	0.00247	0.0124	0.086	0.388	0.1656	99.0	0.0636	0.325	-90	-11.7	178
E	2019/10/16	93.2	4.36	98.6	1.09	0.284	0.00174	0.0106	0.098	0.438	0.4715	98.6	0.0933	0.312	-88	-12.7	174

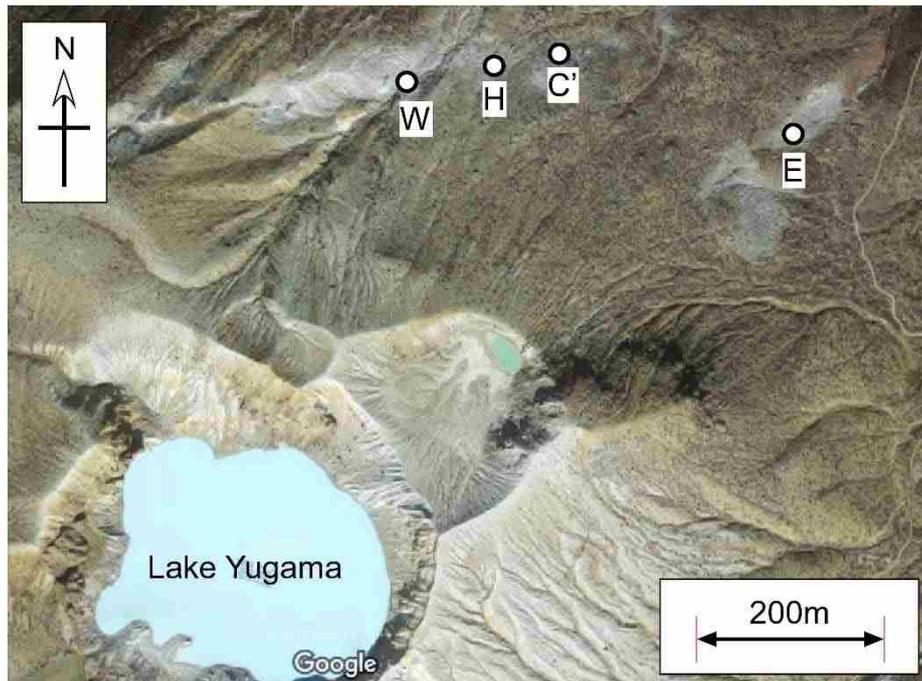


図 1. 草津白根山山頂北側山麓噴気 W, C', E の位置. H は新たに生じた陥没孔 (背景図として, GoogleMap を使用した)

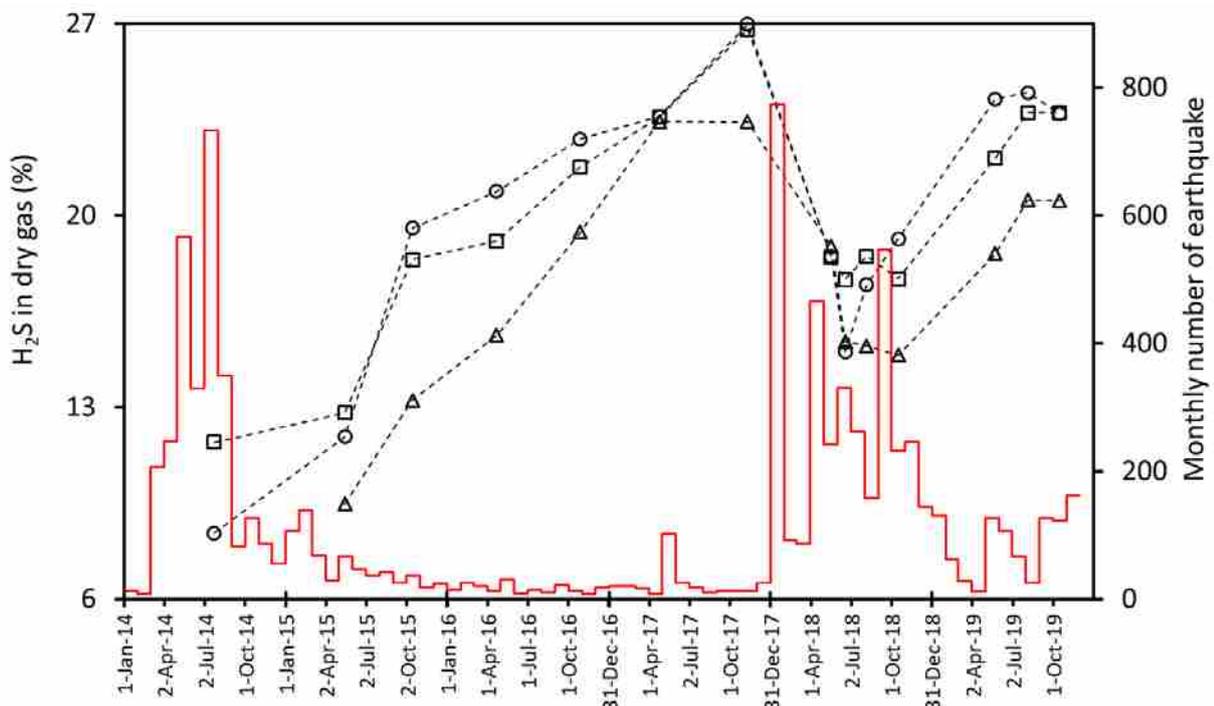


図 2. H₂O を除いた成分 (Dry gas) 中における H₂S 濃度の変化 (○ : W, □ : C, △ : E). 月別地震回数 (白根山近傍) は気象庁の観測に基づく. 2018 年 1 月の地震は主に本白根山で発生した.

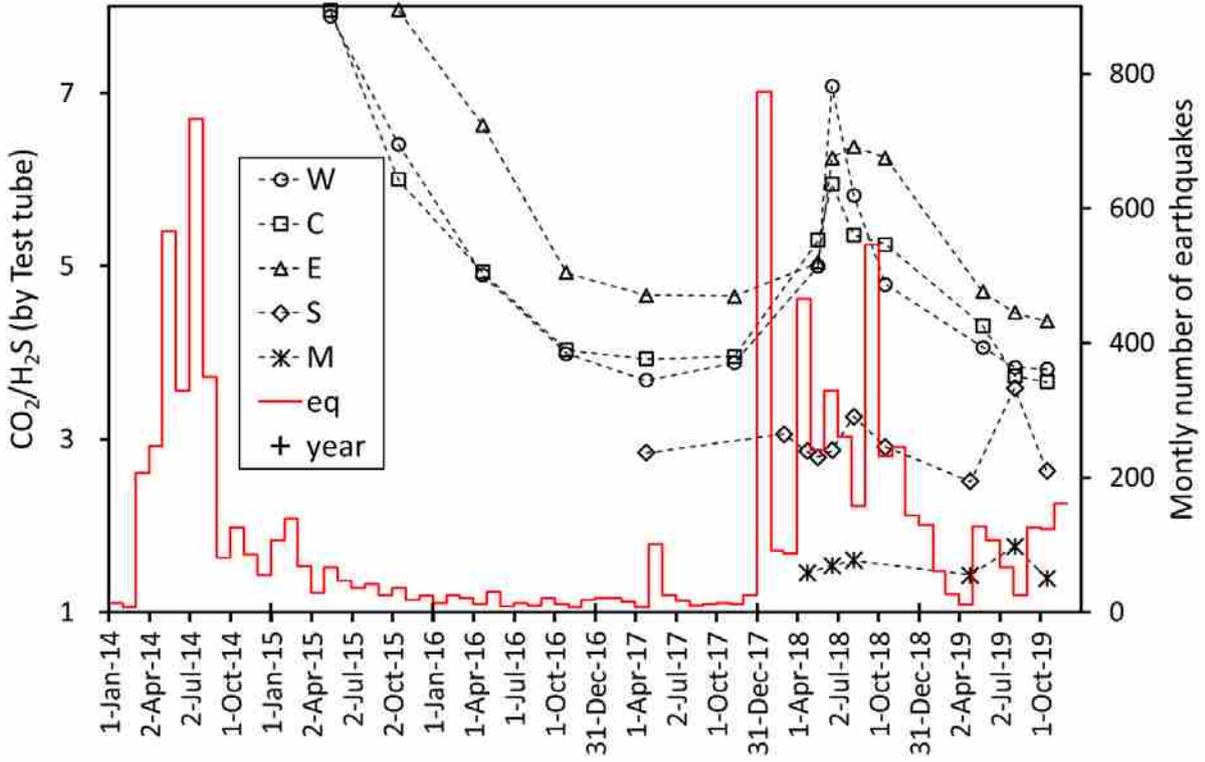


図3. CO₂/H₂S比の時間変化（検知管による現場測定）（○：W，□：C，△：E）．月別地震回数は気象庁の観測に基づく．

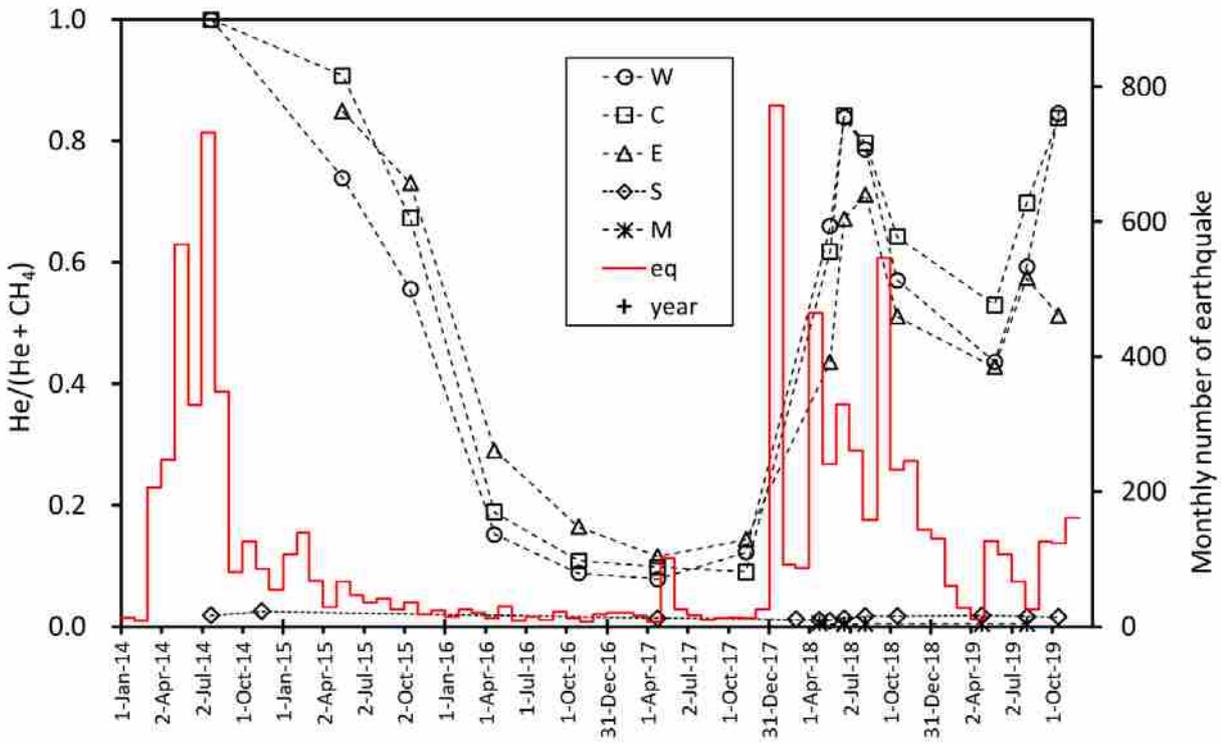


図4. He/(He+CH₄)比の時間変化（○：W，□：C，△：E）．月別地震回数は気象庁の観測に基づく．

霧島山

(2019年11月20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6月～11月20日)

・ 噴煙など表面現象の状況 (図1～6、図7-1-①②、図7-2-①)

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50～300m程度で経過した。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。

繰り返し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。硫黄山周辺の噴気地帯で地熱域を確認した。

硫黄山周辺の沢の水は、引き続き白濁した状態が続いているが、その濁りは薄くなってきている。

・ 地震や微動の発生状況 (図7-1-③⑤⑥⑦、図7-2-②③、図8)

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、引き続き発生しているが少ない状態である。

硫黄山近傍に設置している「霧島硫黄山2」観測点の振幅は、噴火開始前よりも大きな状態で経過していたが、2019年4月頃から振幅が小さくなっている。この振幅の大きさの増減は、噴気活動や熱水の流出に伴うものと考えられる。

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概ね少ない状態である。

・ 地殻変動の状況 (図7-1-④、図7-2-⑤、図9、図11、図12)

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るが、その変動の傾向は2019年4月頃から鈍化している。

・ **火山ガスの状況（図7-2-④）**

2019年9月5日に実施した現地調査では、火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、1日あたり10トン未満（前回2018年7月25日、10トン未満）と少ない状態であった。

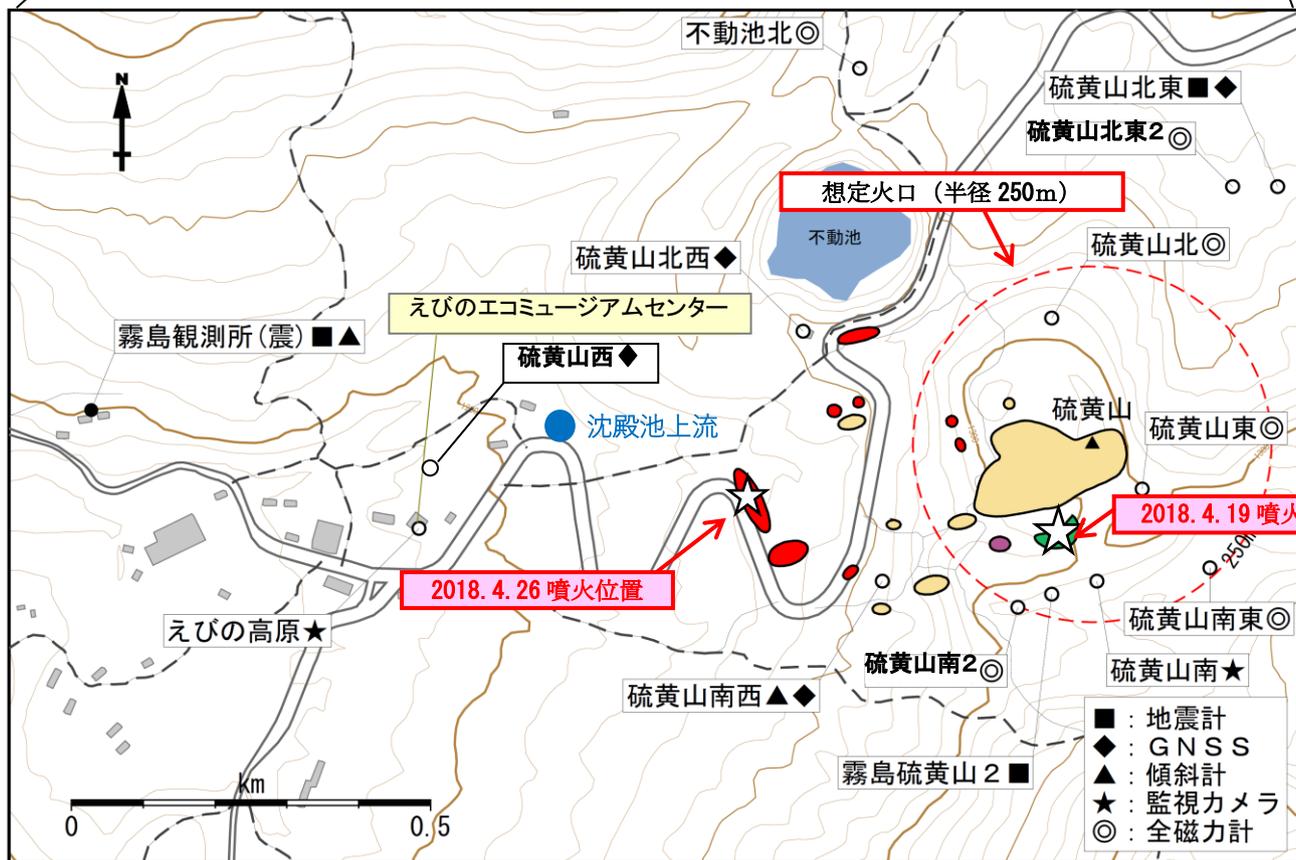
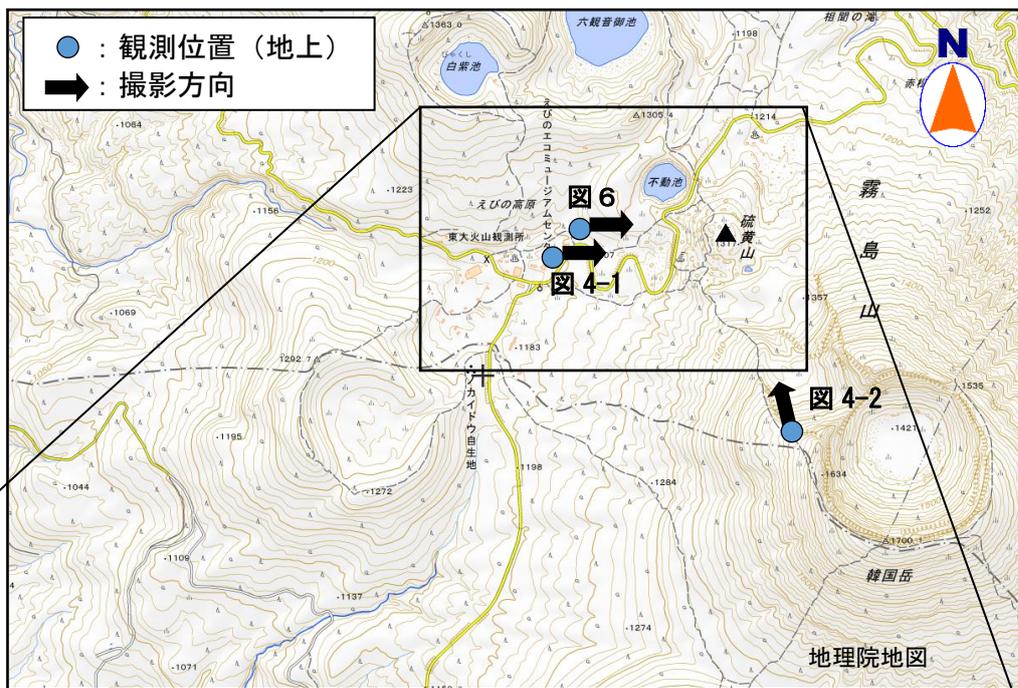


図1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 図4、図6の観測位置及び観測方向（上段）、及び噴火位置、主な噴気地帯及び地熱域（下段）

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
（9月12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 50～300m程度で経過した。
- ・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
（9月12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。

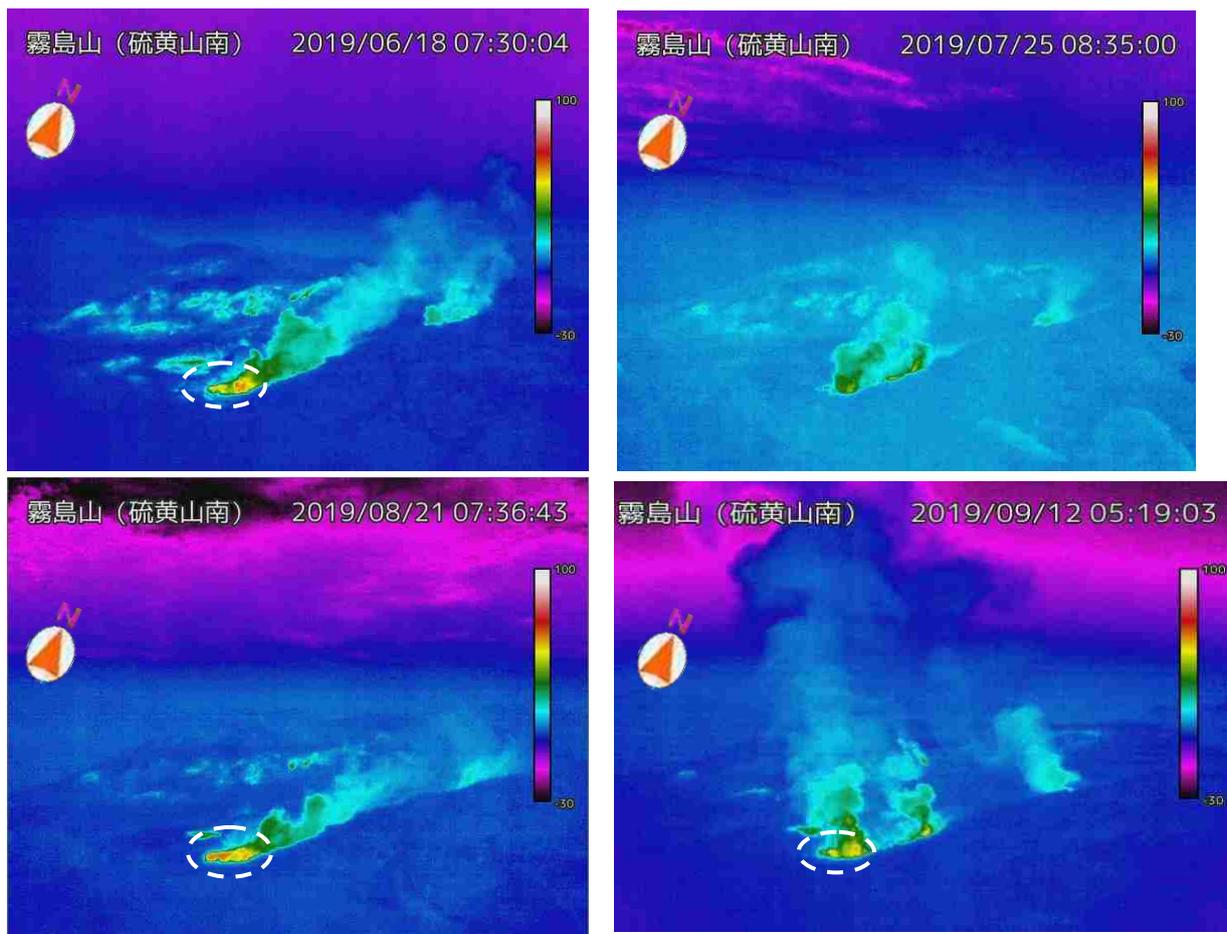


図 2-3 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山南側の湯だまりの状況
（硫黄山南監視カメラ（赤外熱映像）による）

硫黄山の南側の高温の湯だまり（白破線）は、まとまった降水の後に拡大しその後縮小する様子を時々観測している。

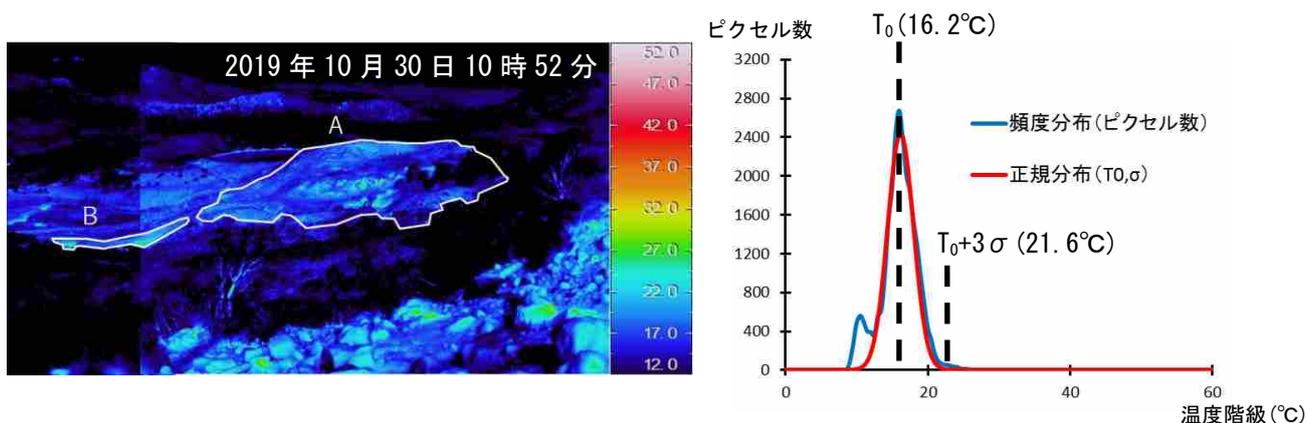


図 3-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 図 3-2 に示した硫黄山の放熱率算出の解析領域と温度分布の例（2019年10月30日10時52分）

- ・ 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。
- ・ $T_0+3\sigma$ 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。

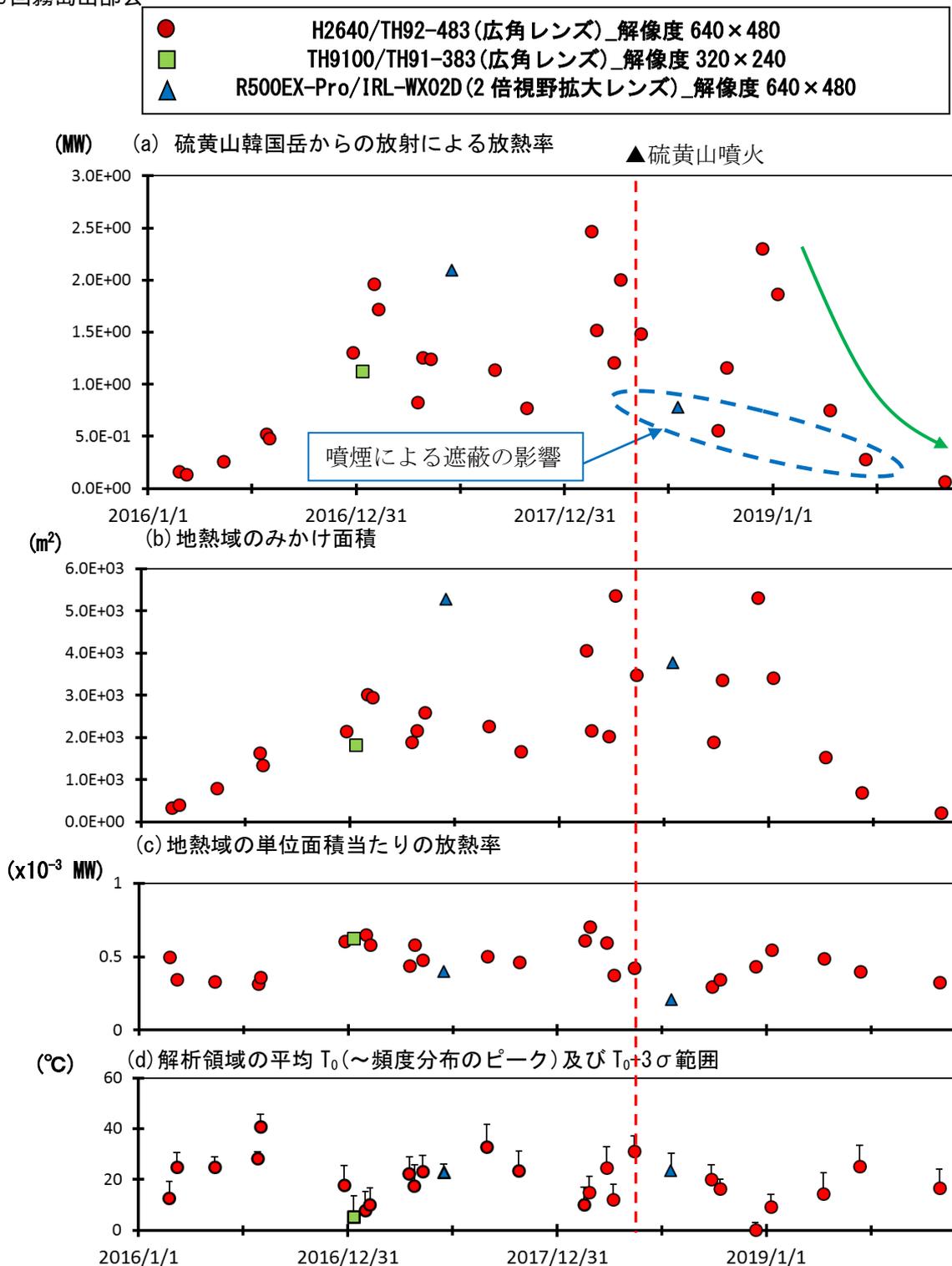


図 3-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 地表面温度分布より算出した硫黄山の放熱率の推移（値を観測日ごとに平均）（2016年1月～2019年10月）

図 3-1 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、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。

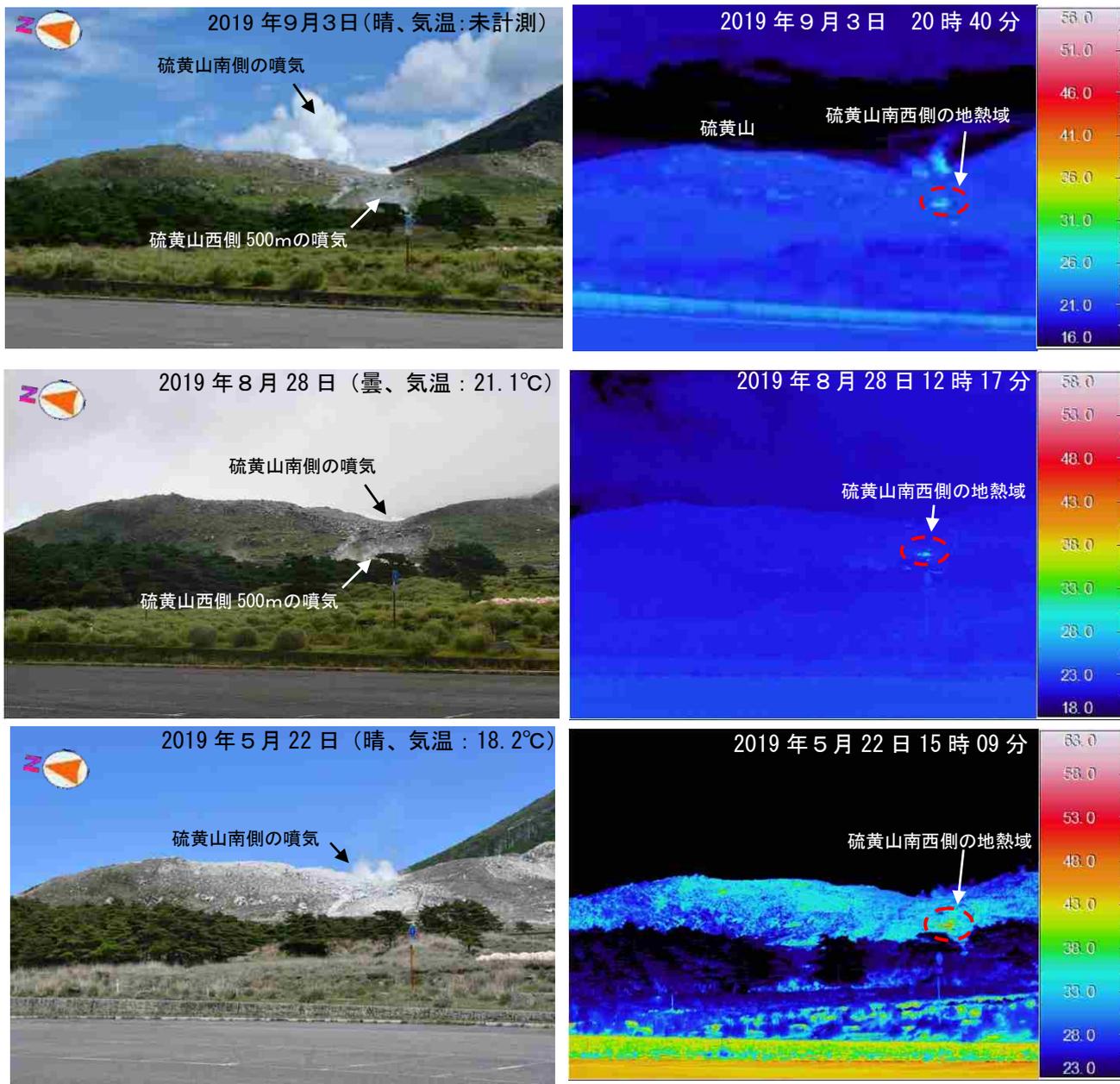


図 4-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山の状況

- ・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る。
- ・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。

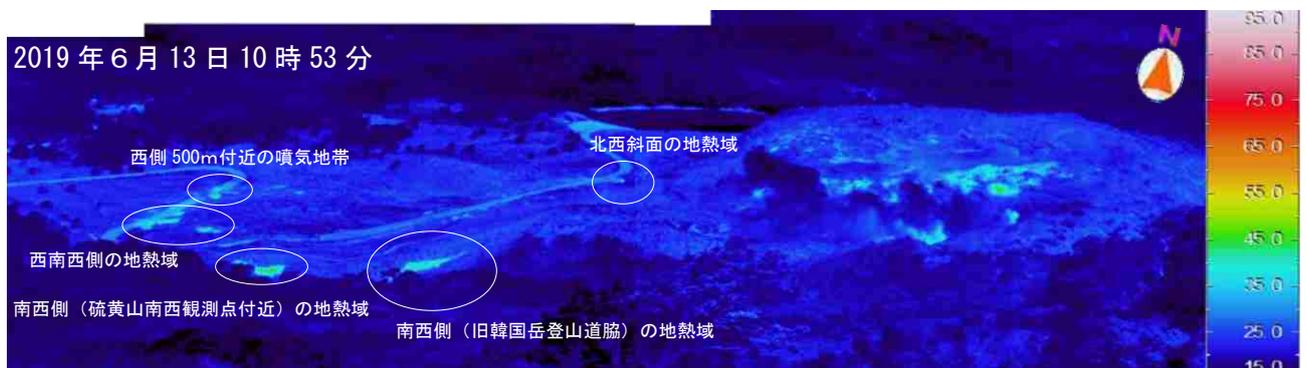
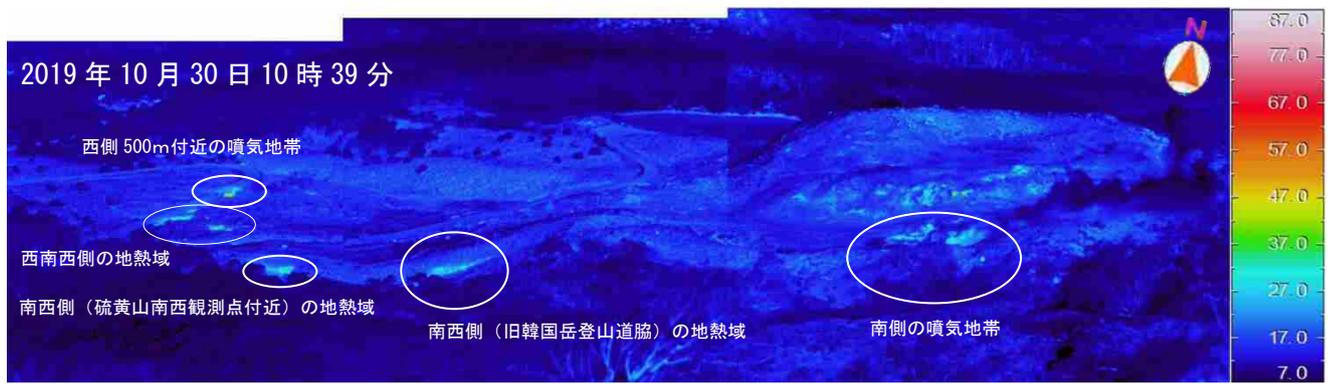


図4-2 霧島山(えびの高原(硫黄山)周辺) 硫黄山及びその周辺の状況

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 5-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山の南側の状況
（上段：11月10日、下段左：10月25日、下段右：3月26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。

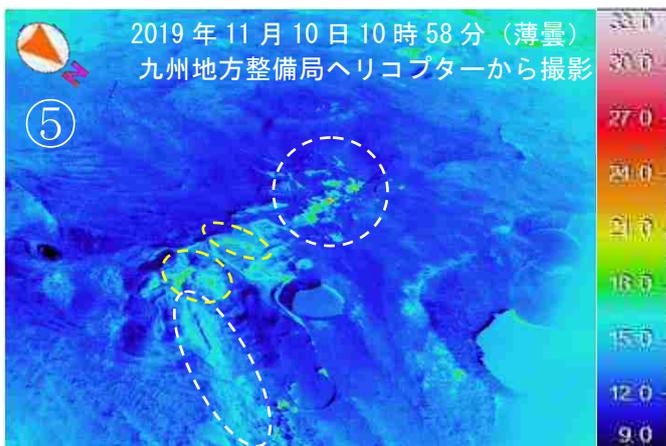


図 5-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山の北側の状況（11月10日）
（左：可視画像、右：赤外画像）

硫黄山とその周辺で地熱域が認められた（黄破線内）。
白破線内は日射による影響と考えられる。

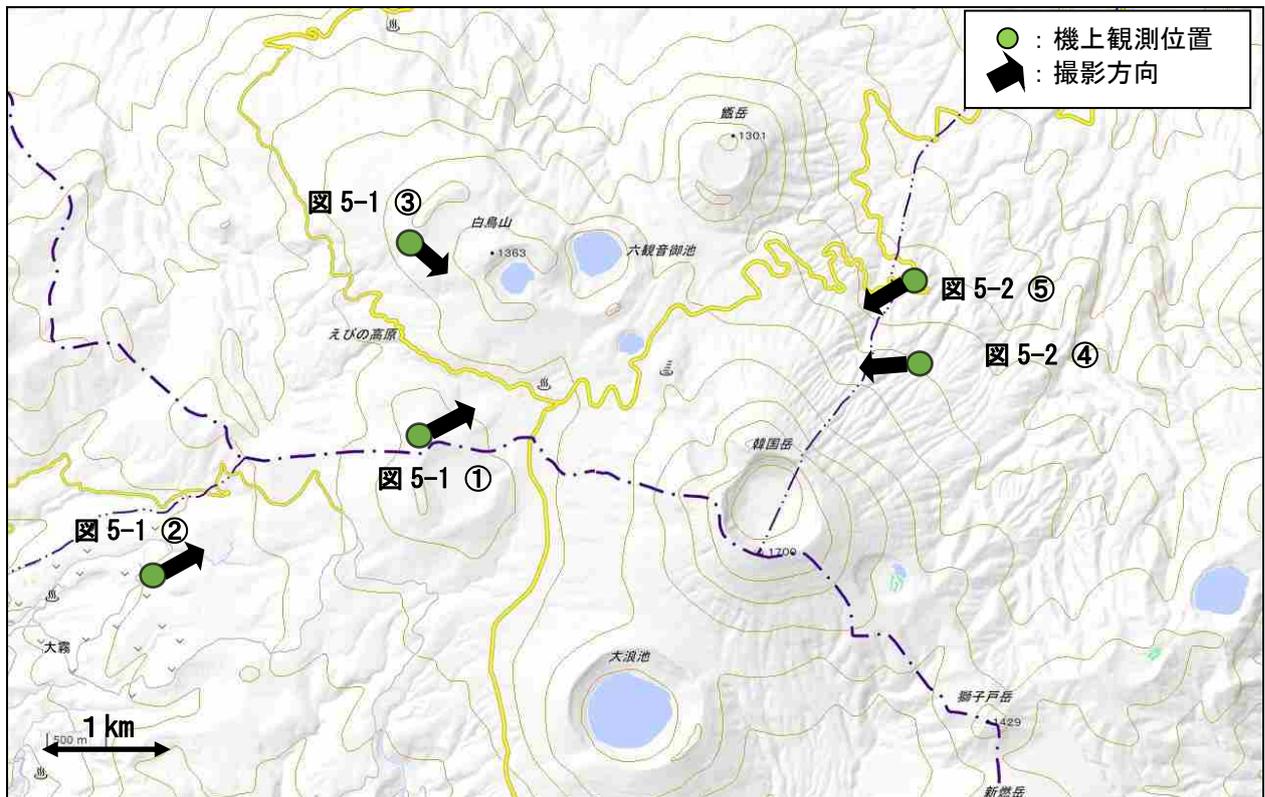


図 5-3 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 機上観測位置及び撮影方向

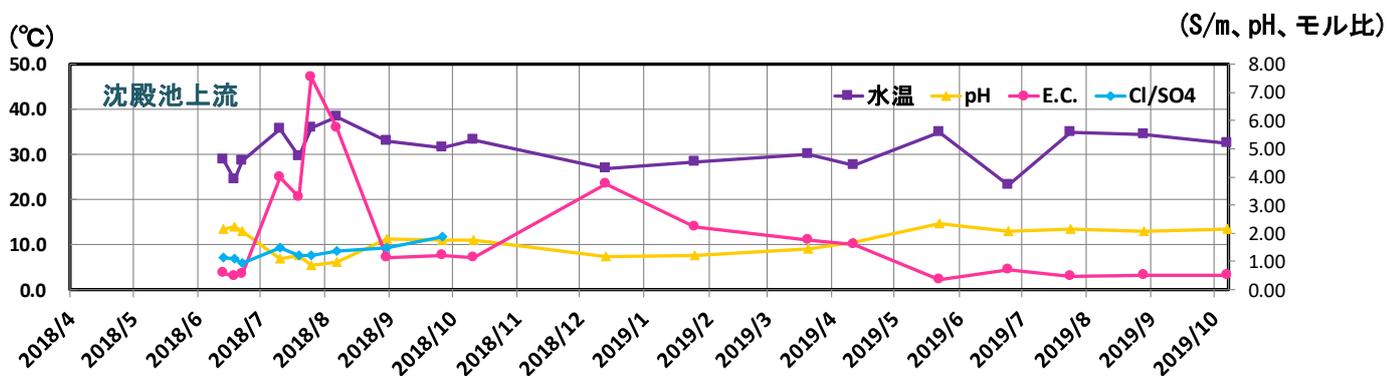


図6 えびの高原（硫黄山）周辺 沈殿池上流の様子

- ・硫黄山周辺の沢の水は、引き続き白濁した状態が続いているが、概ね濁りが少ない状態であった。
- ・水素イオン濃度や電気伝導度は、特段の変化は認められなかった。

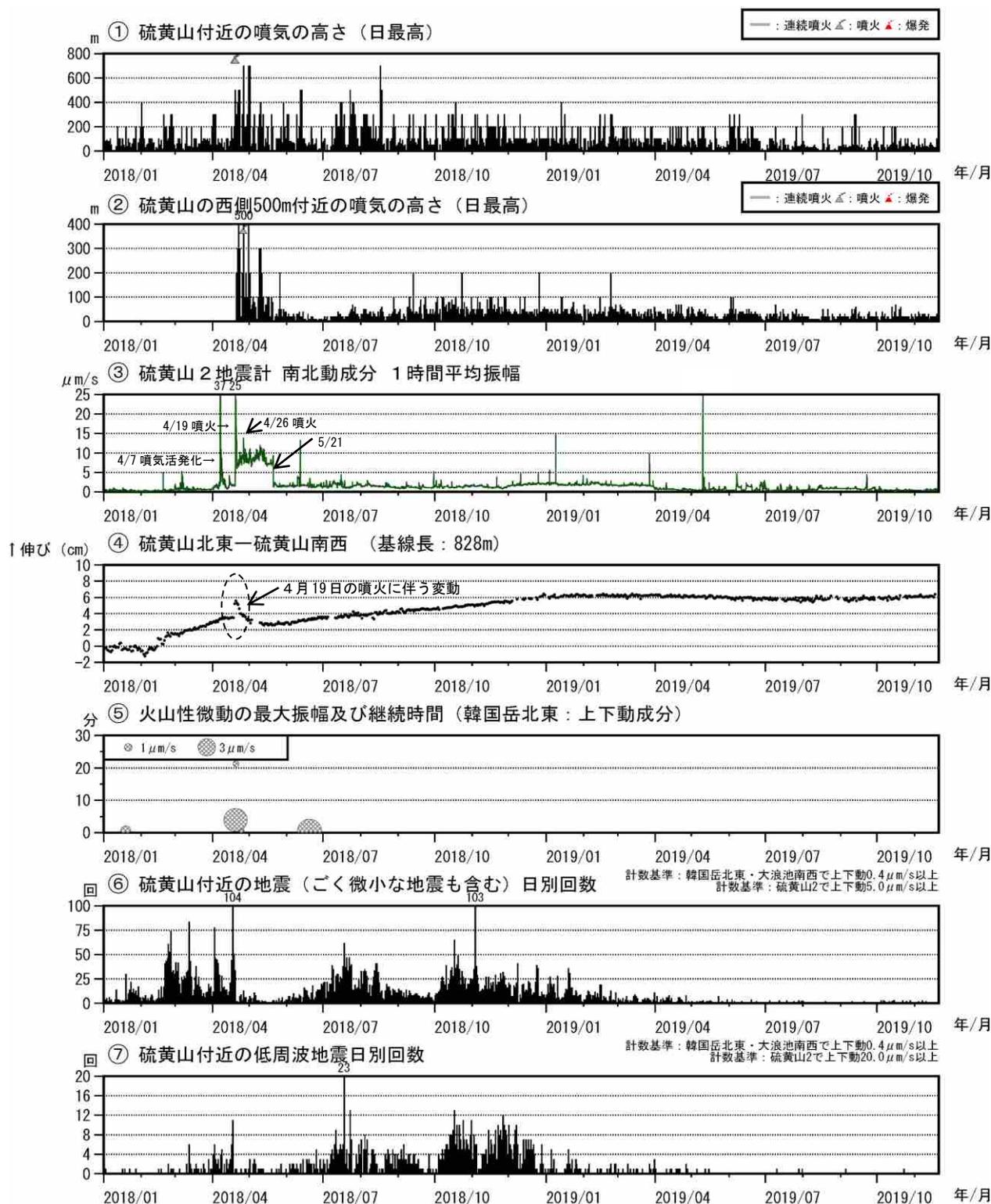


図 7-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺）火山活動経過図
(2018年1月～2019年11月20日)

- ・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。
- ・硫黄山近傍に設置している地震計では、活発な噴気活動により振幅の大きな状態が続いていたが、4 月初め頃から小さくなっている。5 月以降時折みられる振幅の高まりは、硫黄山南側の湯だまりの消長に伴うものと考えられる。
- ・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。

※④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。

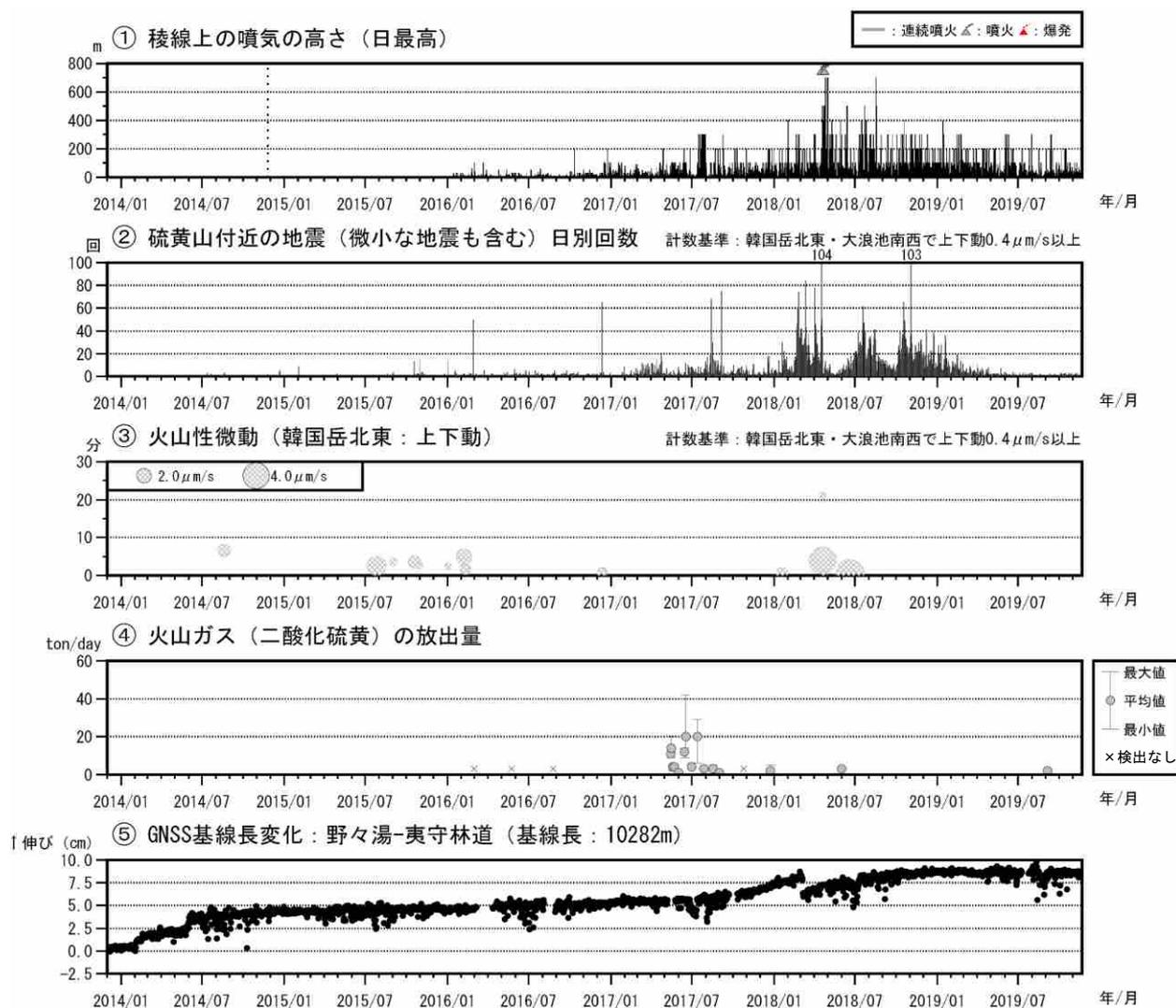


図 7-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 火山活動経過図
 (2013年12月～2019年11月20日)

※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③のグラフには掲載していない。

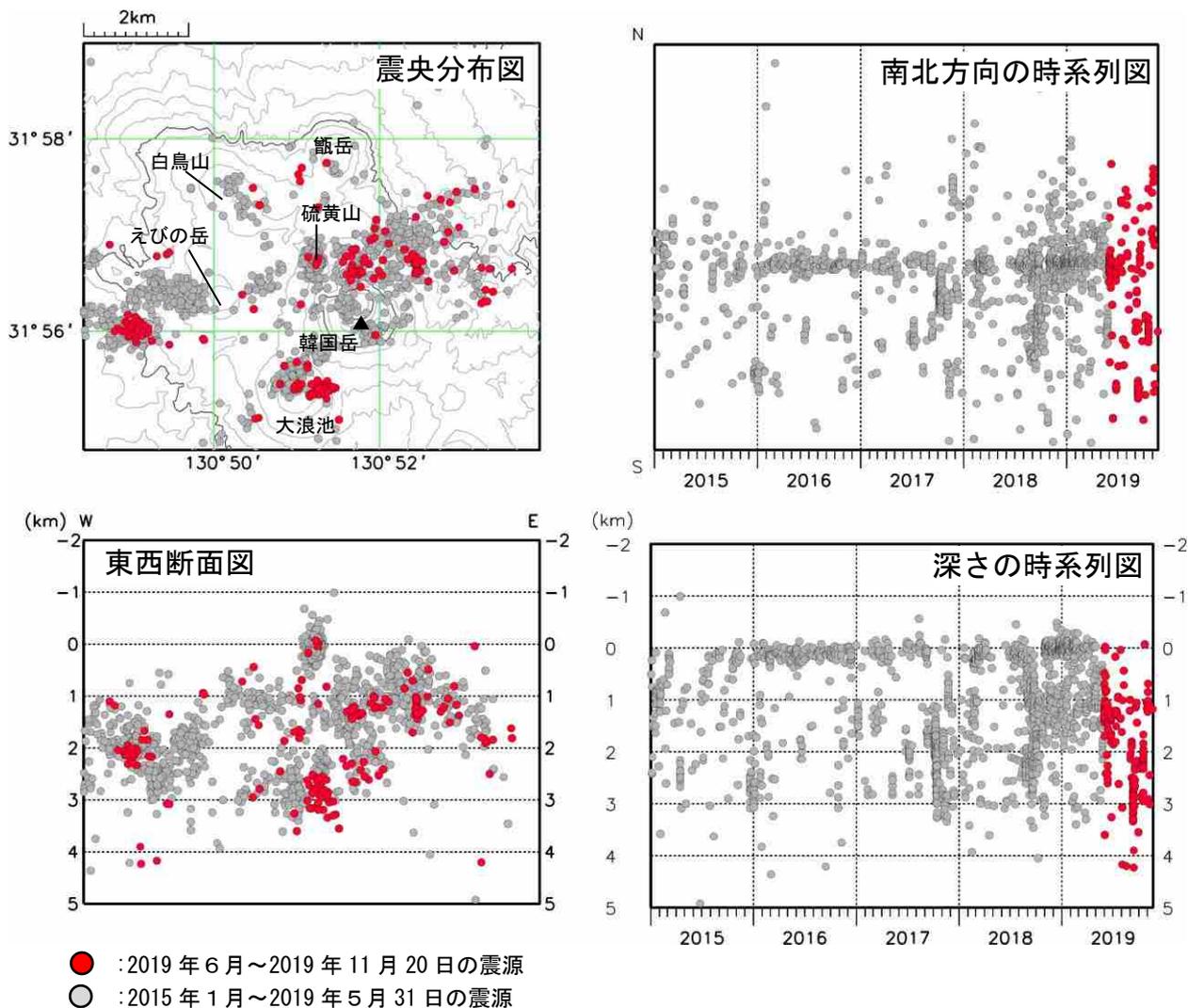


図8 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 震源分布図（2015年1月～2019年11月20日）

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 付近及び大浪池近傍の深さ2～4 km 付近に分布した。

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。

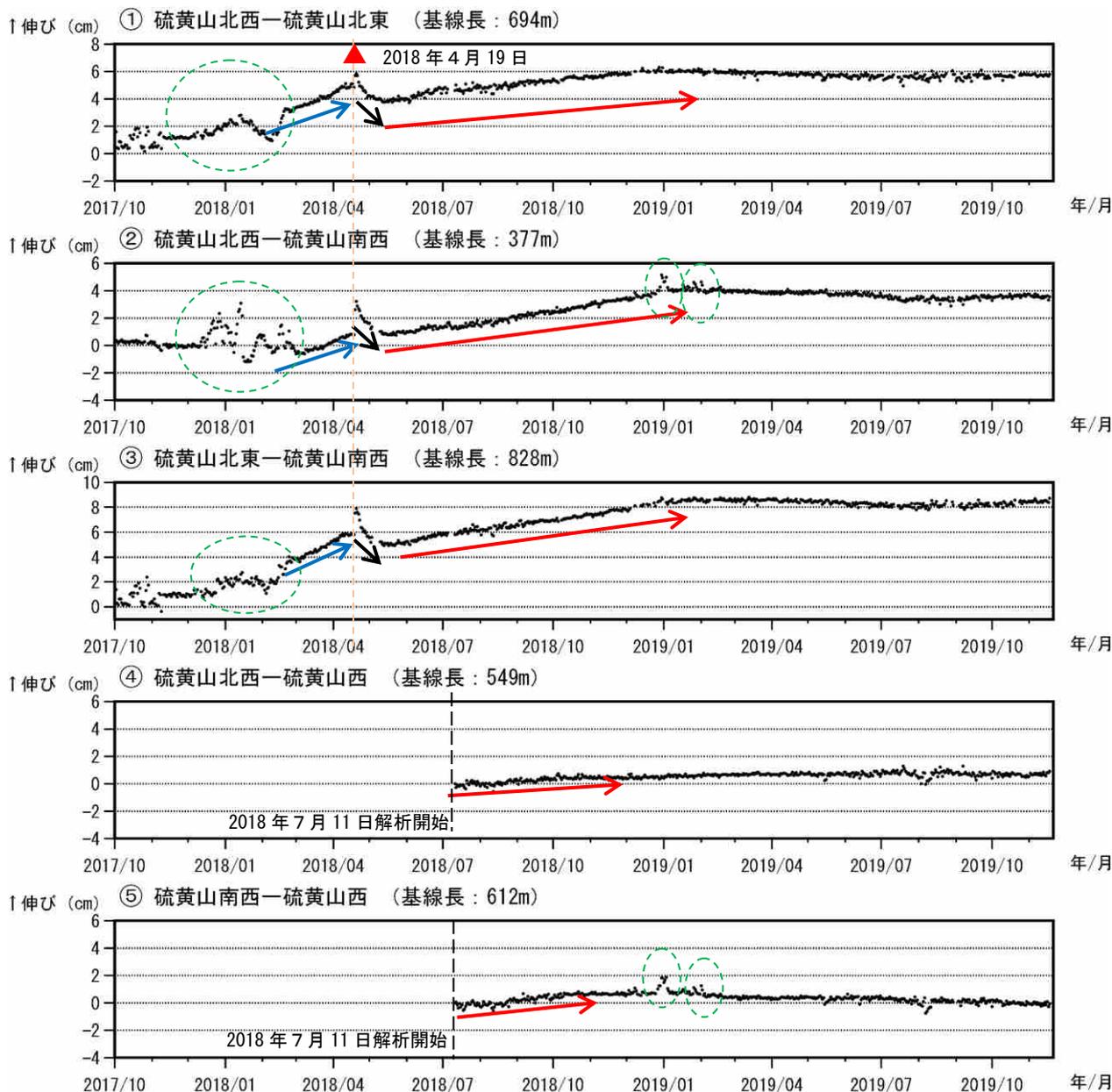


図9 霧島山(えびの高原(硫黄山)周辺) GNSS連続観測による基線長変化 (2017年10月～2019年11月20日)

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月頃から停滞あるいはわずかに収縮している。

これらの基線は図10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。

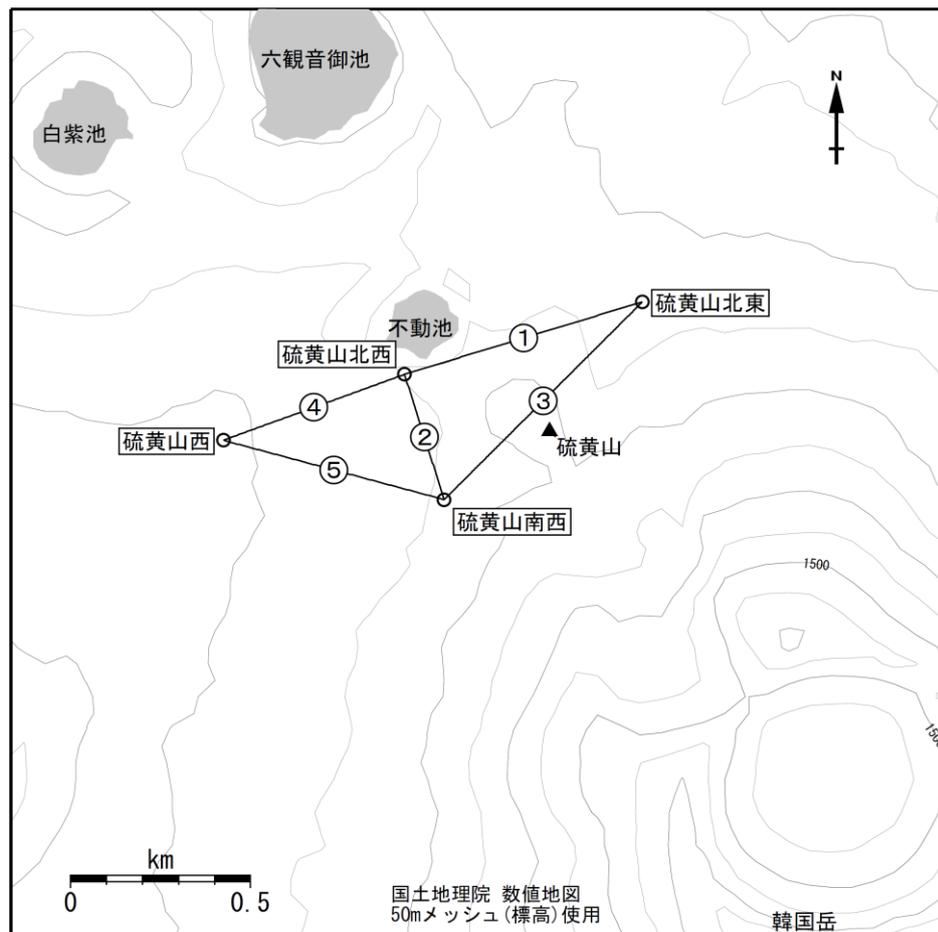


図10 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 硫黄山周辺のGNSS観測点基線図

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。

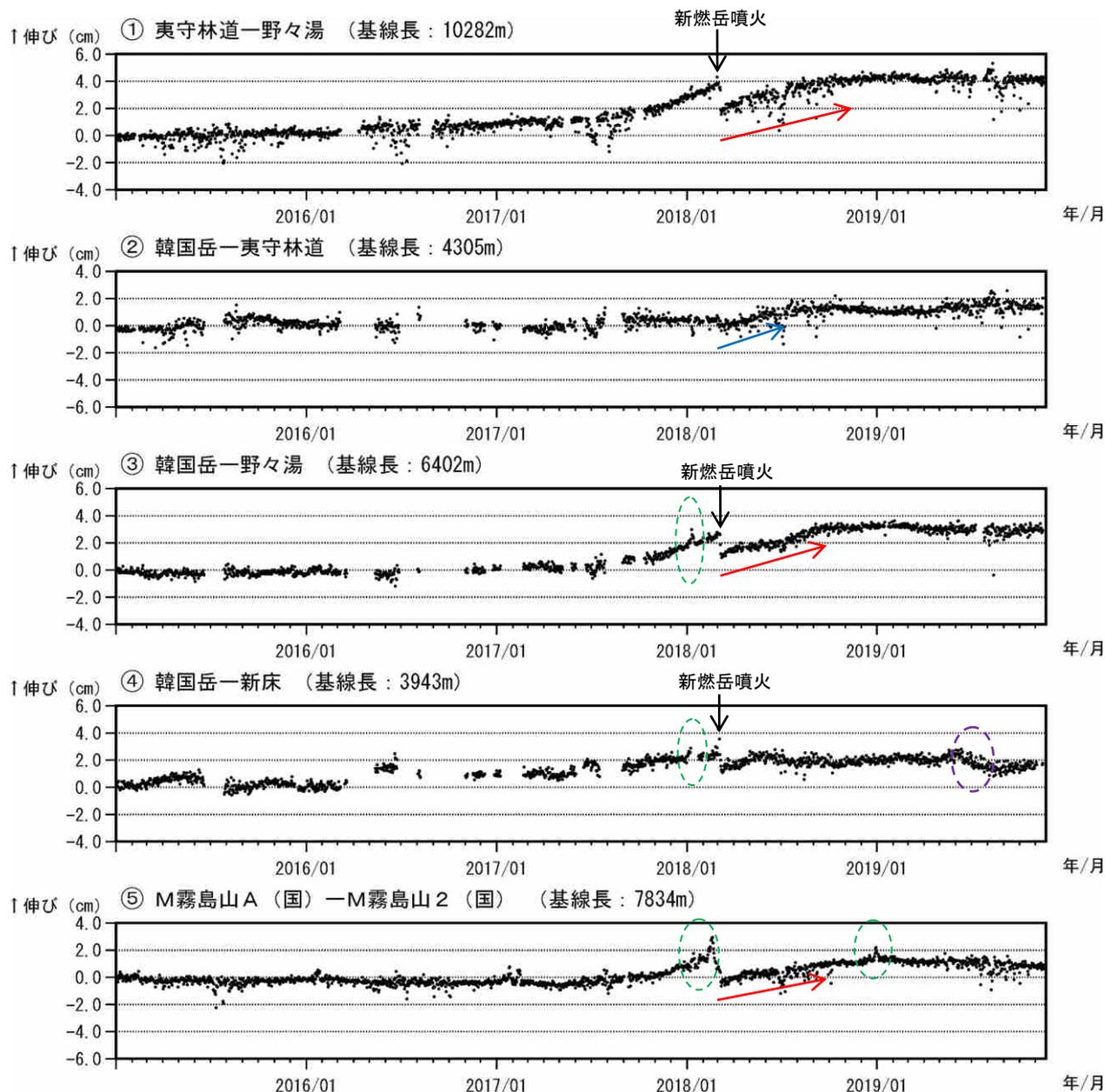


図 11-1 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） GNSS 連続観測による基線長変化（2015 年 1 月～2019 年 11 月 20 日）

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）での硫黄山付近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 12 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。

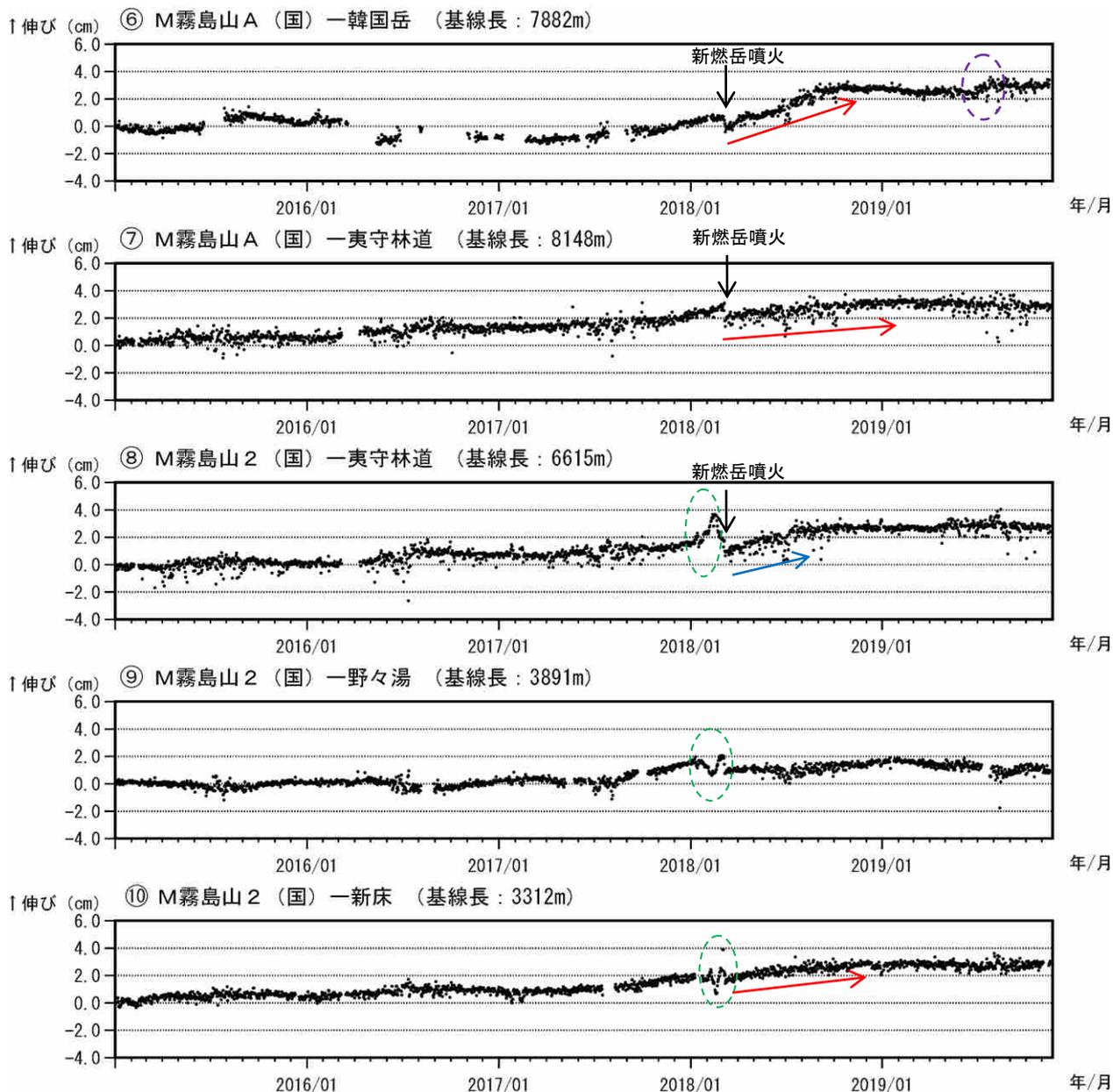


図 11-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） GNSS 連続観測による基線長変化
 （2015年1月～2019年11月20日）

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）及び、えびの高原周辺の基線（⑧）での硫黄山付近の膨張を示すと考えられる基線の伸び（青矢印）はそれぞれ 2019 年 2 月頃から停滞している。

これらの基線は図 12 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

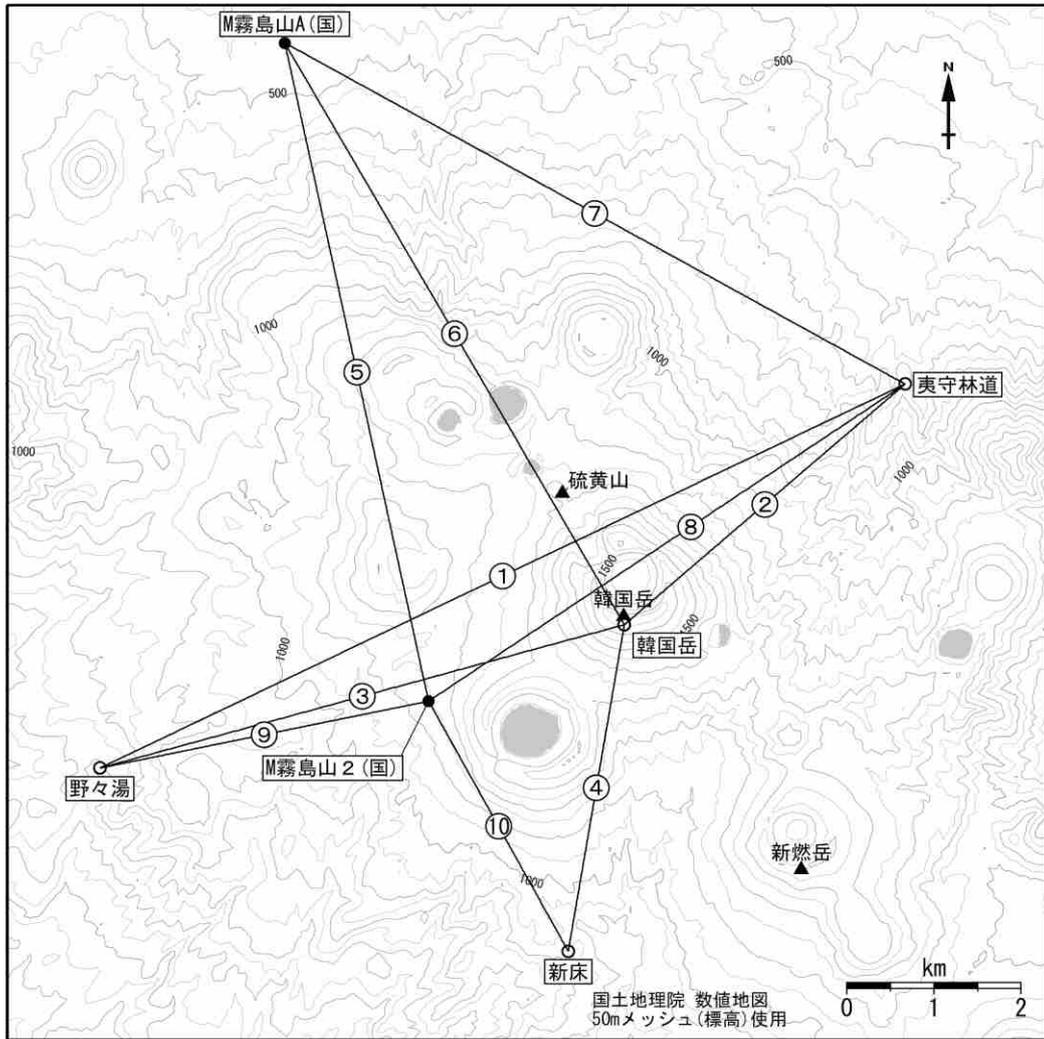


図 12 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） GNSS 観測点基線図

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 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。

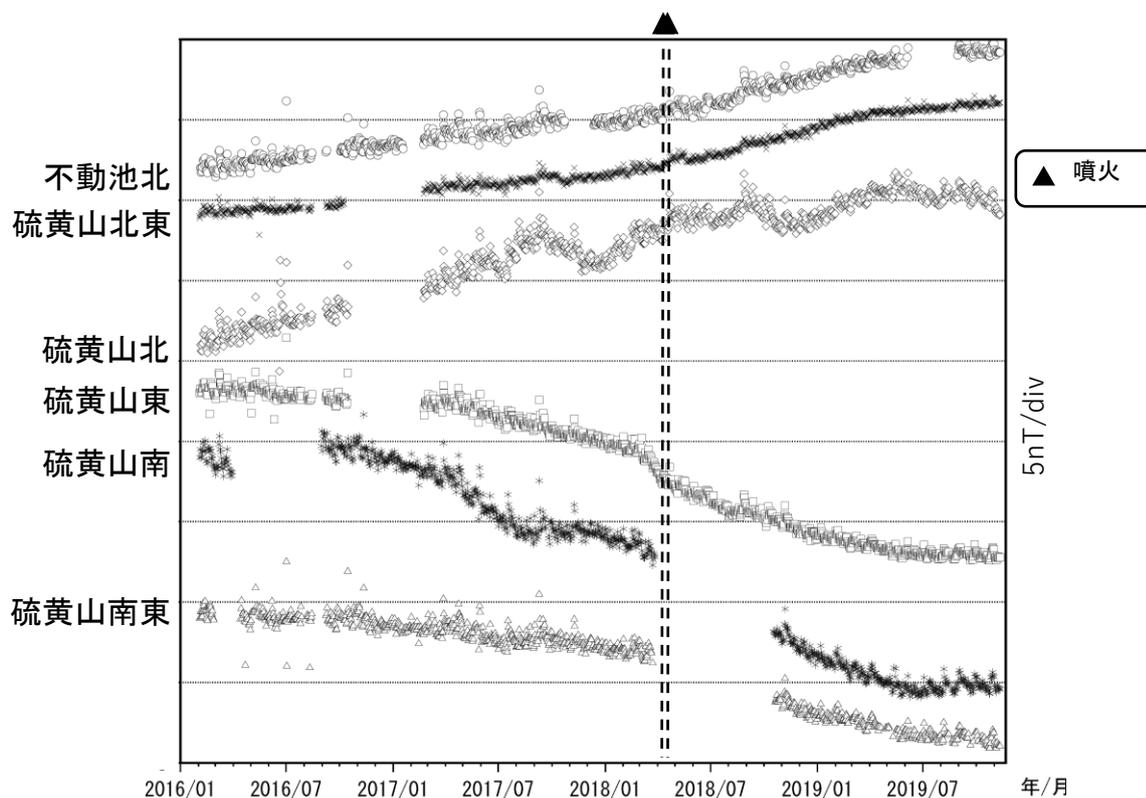


図 13-2 霧島山（えびの高原（硫黄山）周辺） 全磁力連続観測点で観測された全磁力変動（2016年2月～2019年11月20日）

- ・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～2019年11月20日）

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。

火山性地震は少ない状態で経過していたが、11月17日～18日にかけて火口直下を震源とする地震が増加した。

火山ガス（二酸化硫黄）は、検出限界未満で推移している。

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（2019年6月～11月20日）

・噴煙など表面現象の状況（図1～6、図8-1-①⑤、図8-2-①）

新燃岳では2018年6月28日以降、噴火は観測されていない。

遠望観測では、白色の噴煙の高さは火口縁上概ね200m以下で経過した。火口西側斜面の割れ目付近の噴気は7月16日以降観測されていない。

新湯温泉付近及び韓国岳からの現地調査では、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、これまでの観測と比べ特段の変化は認められなかった。また、流下した溶岩の上部、火口西側斜面の割れ目付近及び割れ目下方でも地熱域が認められた。

10月25日に海上自衛隊第1航空群の、11月10日に九州地方整備局の協力により実施した上空からの観測では、新燃岳の火口内は引き続き溶岩で覆われており、火口内の中心部及び縁辺部の一部で白色の噴煙が上がっているのを確認した。

・地震や微動の発生状況（図7、図8-1-②③⑥⑦、図8-2-③～⑤、図8-3）

新燃岳火口直下を震源とする火山性地震は、少ない状態で経過していたが、11月17日から18日にかけて火口直下を震源とする地震が増加した。BL型地震は2019年10月以降時々発生した。また、BP型及びBT型地震が時々発生した。

地震回数は6月10回、7月4回、8月6回、9月6回、10月21回、11月58回（18日現在）で、震源は新燃岳火口直下のごく浅いところ及び新燃岳火口の北東側1.5km付近の深さ3km付近に分布した。

火山性微動は2018年10月24日以降観測されていない。

・地殻変動の状況（図8-2-⑥、図9、図10）

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。



図1 霧島山（新燃岳） 噴煙の状況（9月19日、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。
- ・ 火口西側斜面の割れ目付近の噴気は、7月16日以降観測されていない。

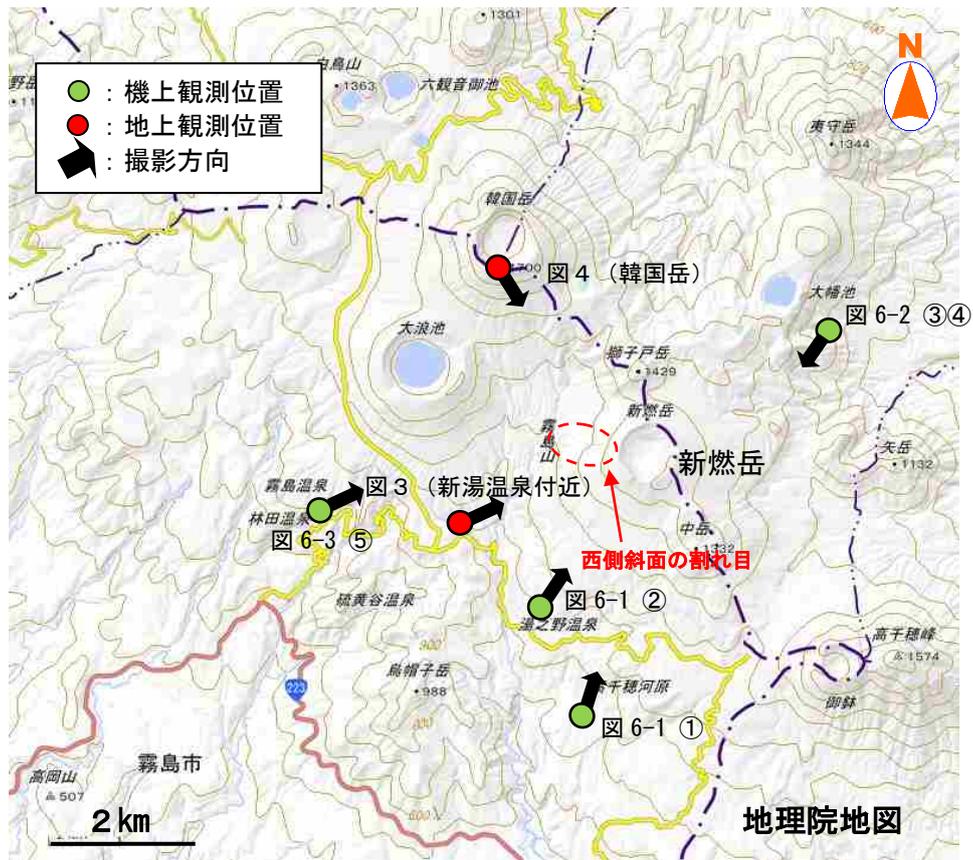


図2 霧島山（新燃岳） 観測位置及び撮影方向

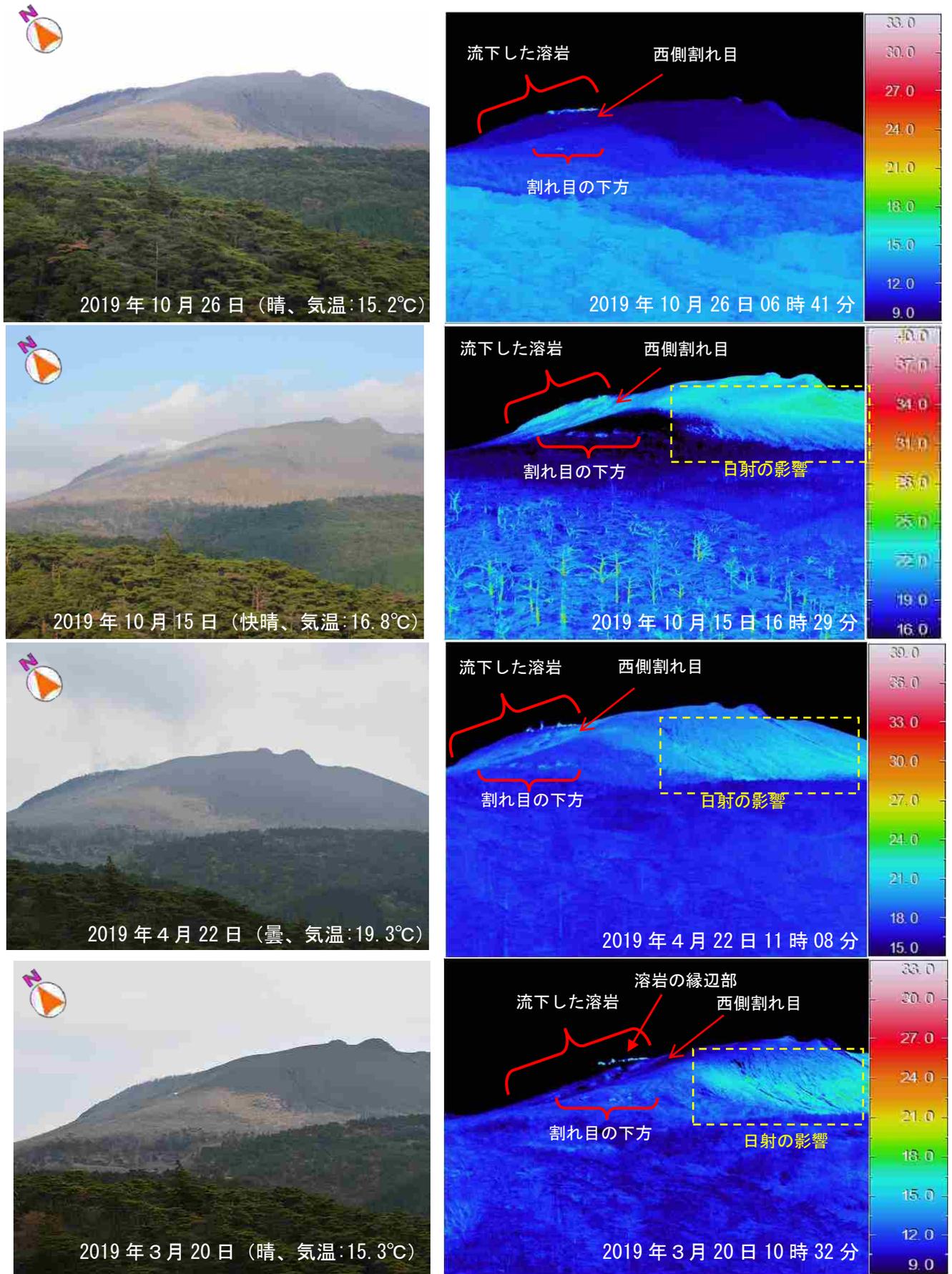


図3 霧島山（新燃岳） 新燃岳南西側の状況（新湯温泉付近から観測）
 火口内を覆う溶岩の縁辺部及び火口西側斜面の割れ目の下方では引き続き地熱域を確認した。
 また、溶岩の縁辺部では引き続き噴気を確認した。
 ※2015年11月以降、西側斜面の割れ目の下方で弱い地熱域を観測している。

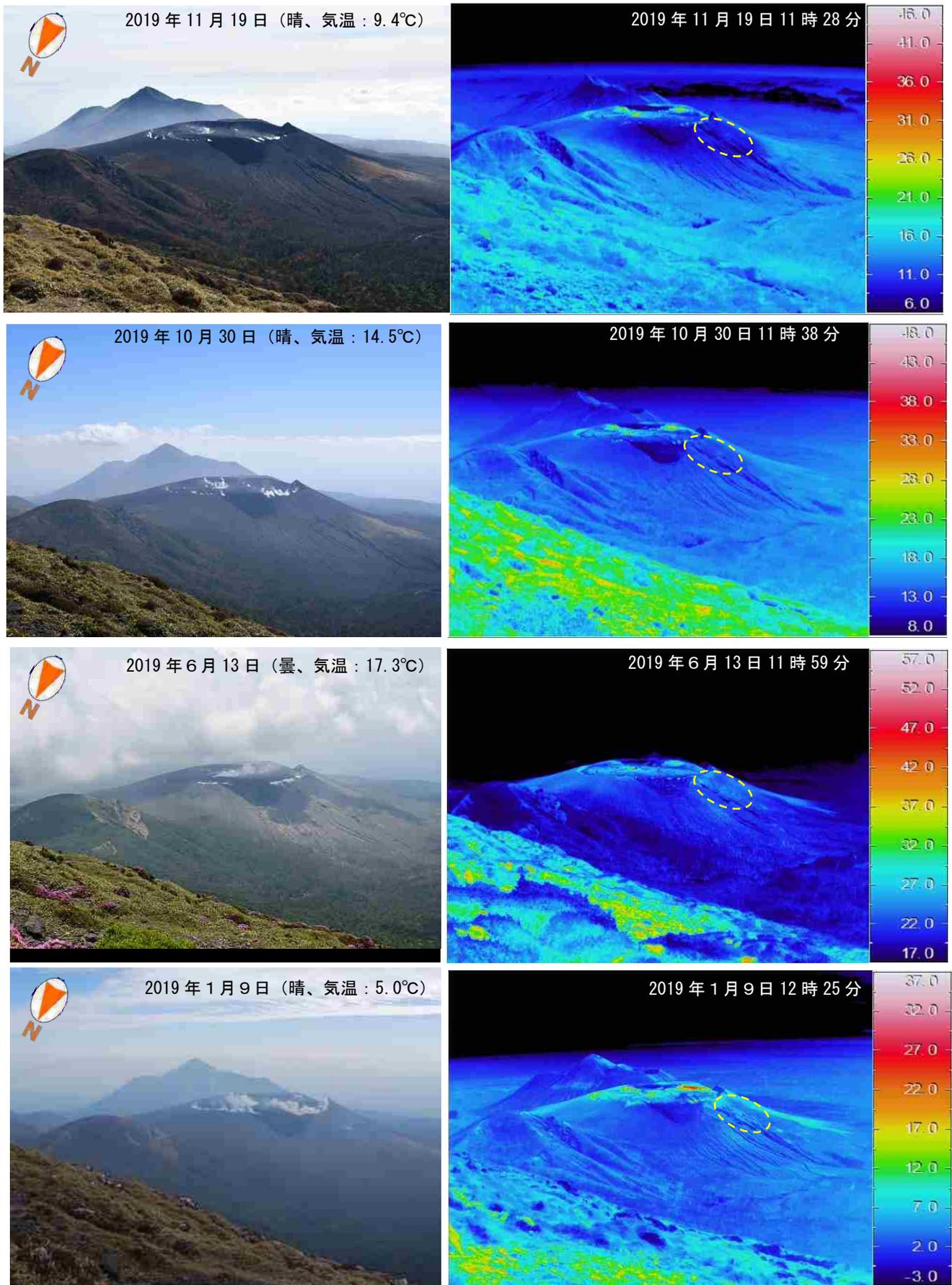


図4 霧島山（新燃岳） 火口内及び西側斜面の状況（韓国岳から観測）
 ※ 図の説明は次ページに掲載している。

図4の説明

- ・ 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。
- ・ 火口西側斜面の割れ目付近（黄破線内）ではこれまで地熱域を確認していたが、10月30日以降の観測では地熱域は不明瞭であった。

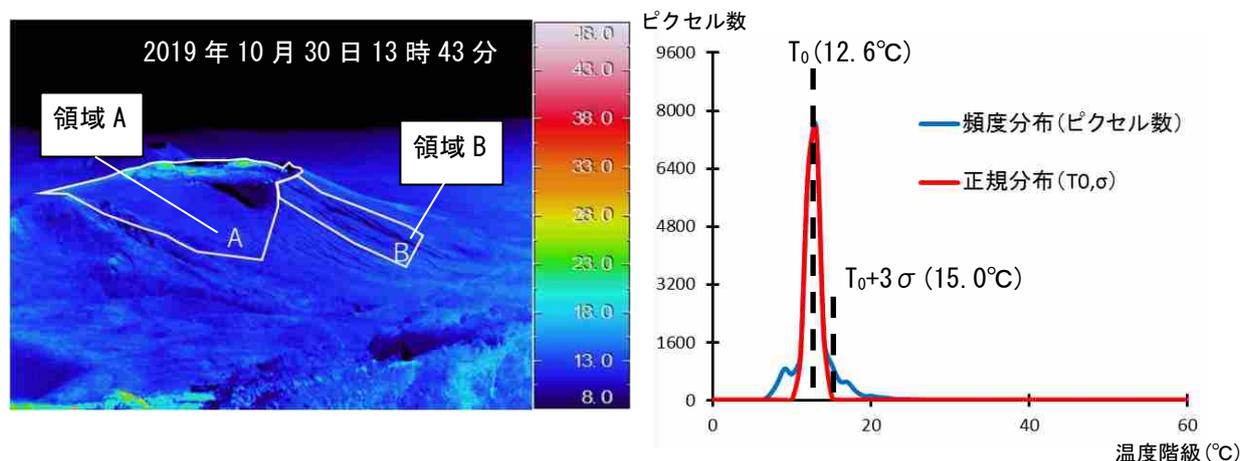


図5-1 霧島山（新燃岳） 図5-2に示した新燃岳の放熱率算出の解析領域と温度分布の例（2019年10月30日13時43分）

- ・ 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。

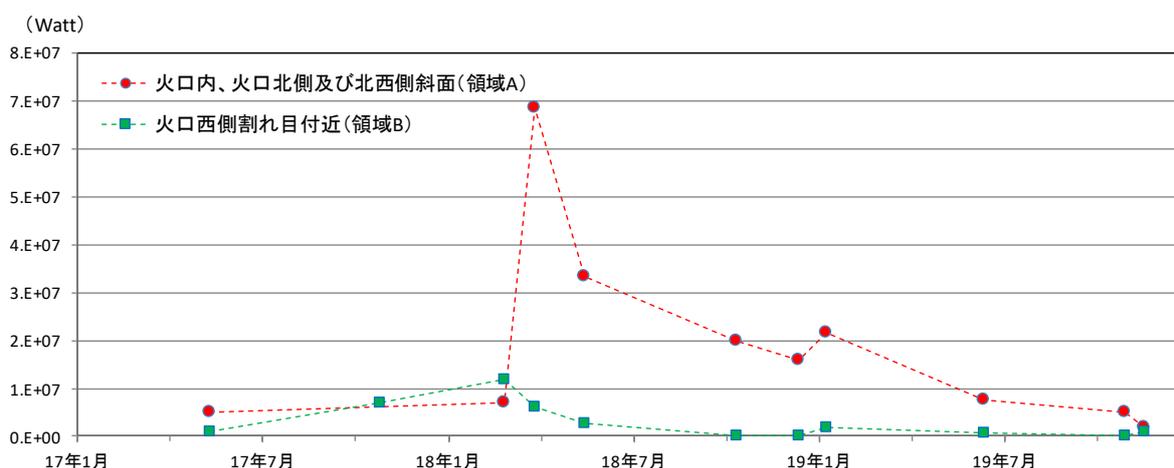


図5-2 霧島山（新燃岳） 地表面温度分布より算出した新燃岳の放熱率の推移（値を観測日ごとに平均）（2017年5月11日～2019年11月19日）

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。

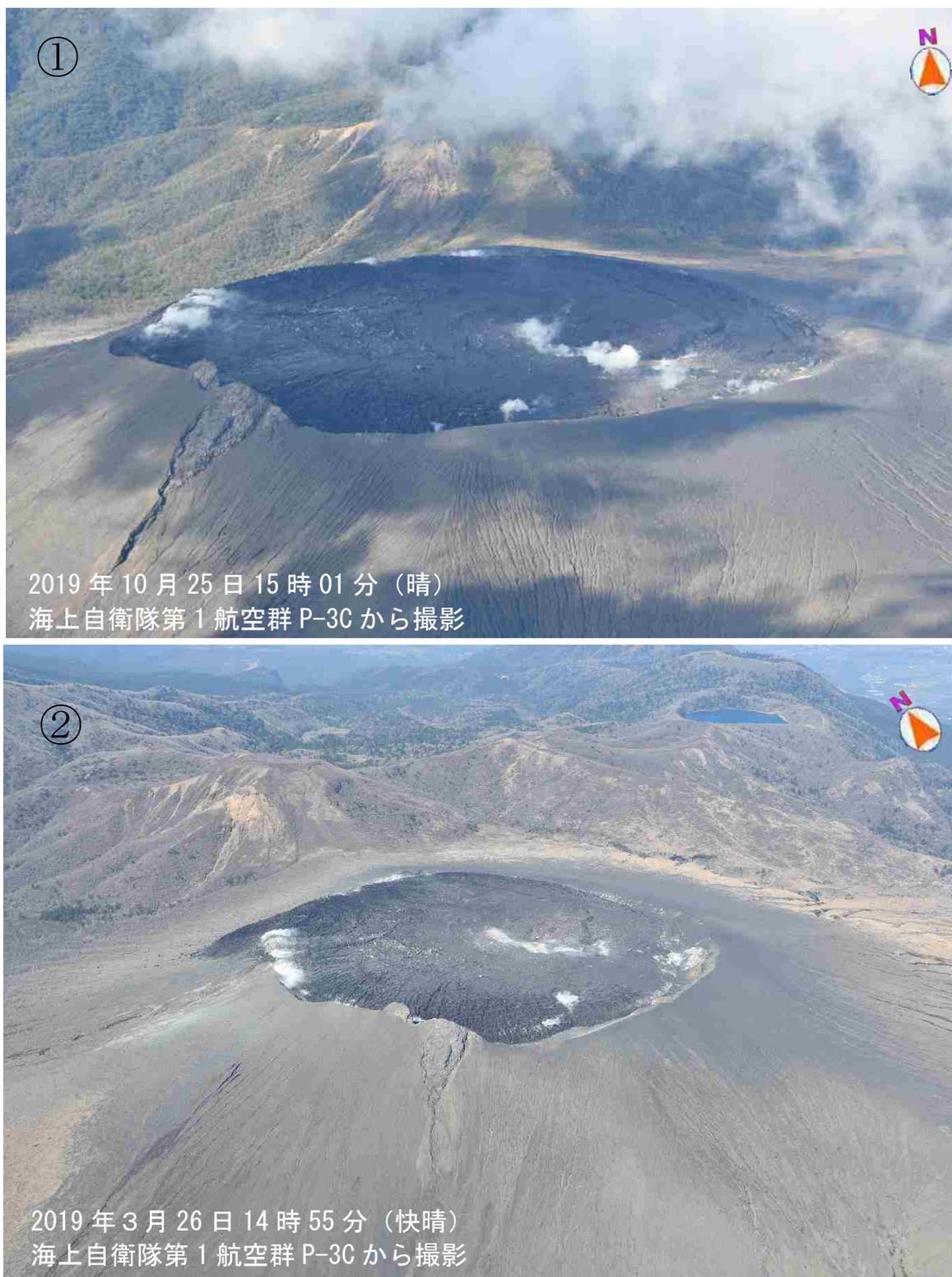


図 6-1 霧島山（新燃岳） 新燃岳火口周辺および西側斜面の状況

(① : 2019年10月25日、② : 2018年3月26日)

- ・ 10月25日に実施した観測では、火口内を覆う溶岩や火口の北西側から流下した溶岩の状況に特段の変化は認められなかった。
- ・ 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。

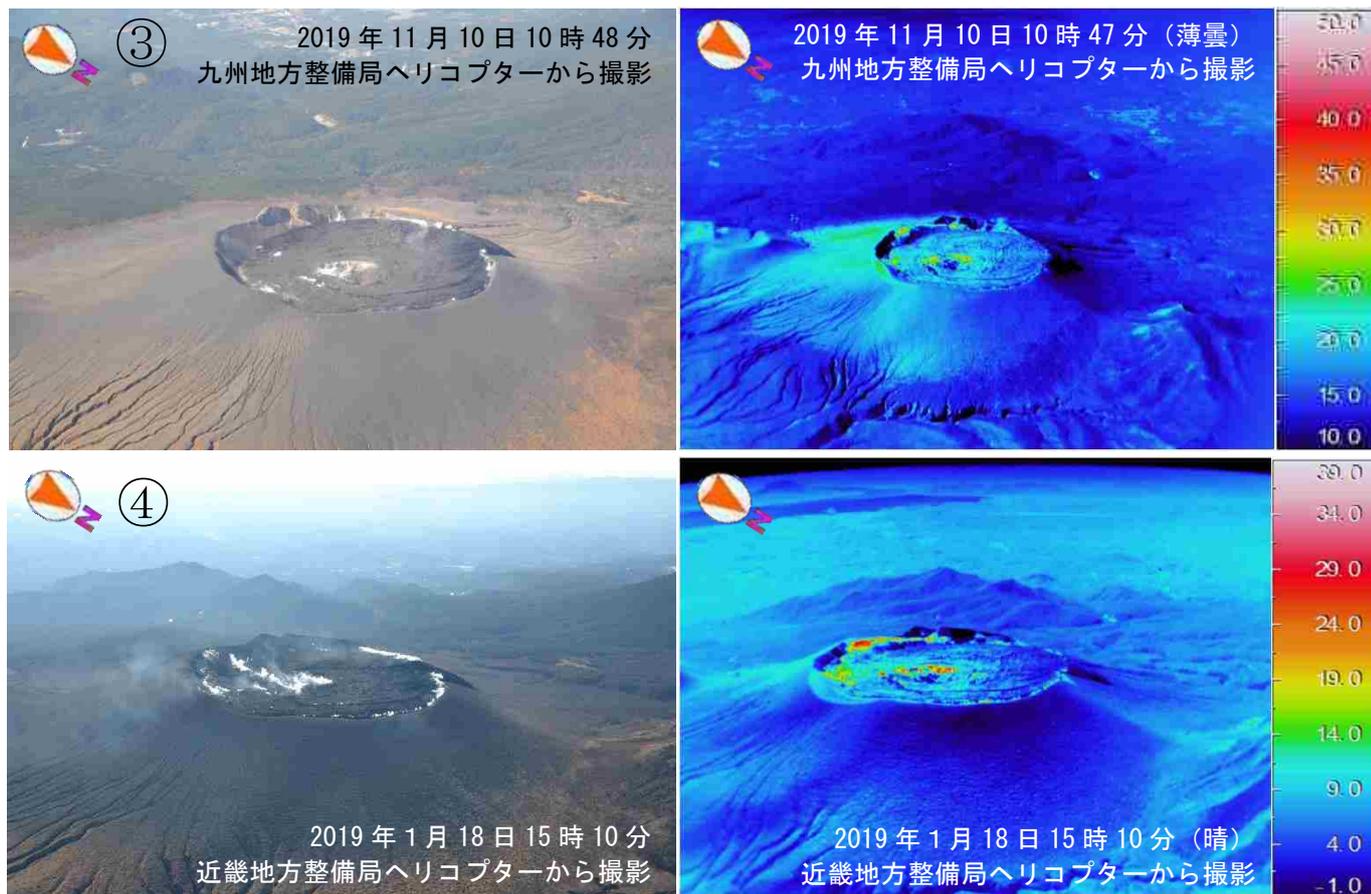


図6-2 霧島山(新燃岳) 新燃岳火口内の状況

- ・新燃岳火口内では中央部と火口縁辺部の複数個所でごく弱い噴気が上がっているのを確認した。
- ・火口中央部と南側火口縁辺部付近で地熱域を確認した。2019年1月18日の観測と比較して、地熱域の分布に特段の変化は認められない。

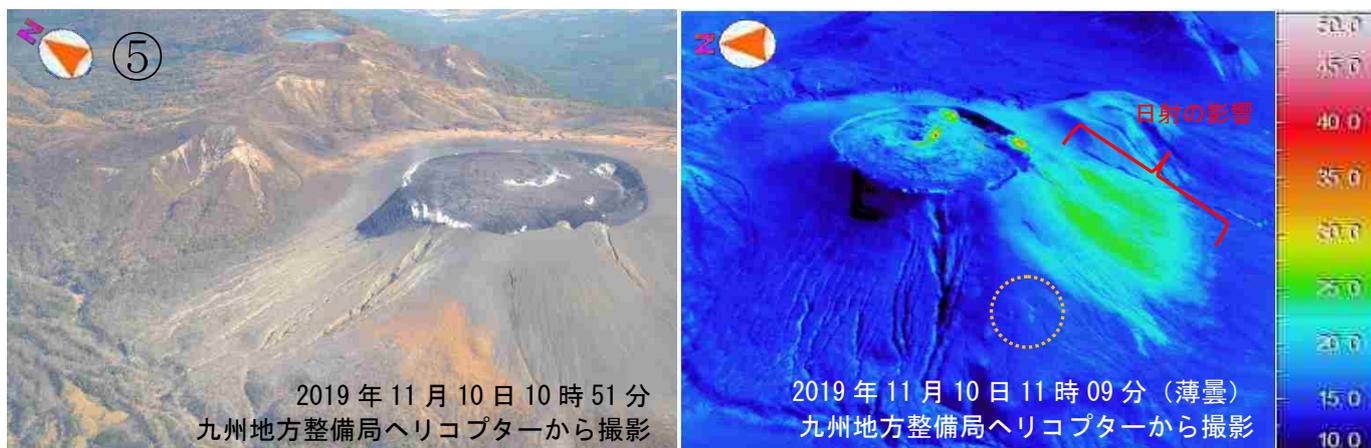


図6-3 霧島山(新燃岳) 新燃岳西側斜面の状況

- ・新燃岳西側斜面の割れ目では地熱域は認められなかった。
- ・割れ目の下方(橙色破線)で地熱域を確認した。

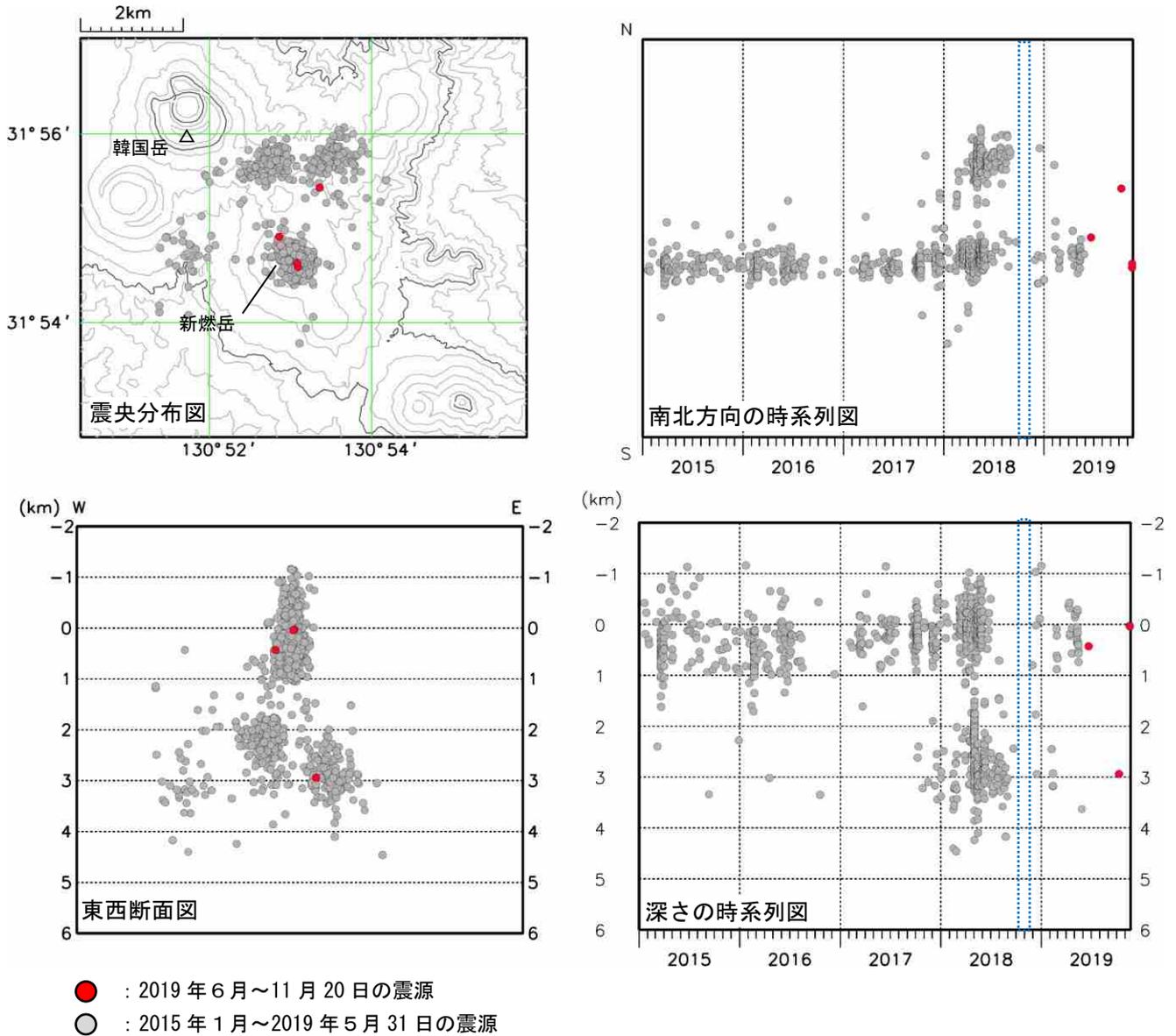


図7 霧島山（新燃岳） 震源分布図（2015年1月～2019年11月20日）

<2019年6月～2019年11月20日の状況>

震源は、新燃岳火口直下のごく浅いところ及び新燃岳火口の北東側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。

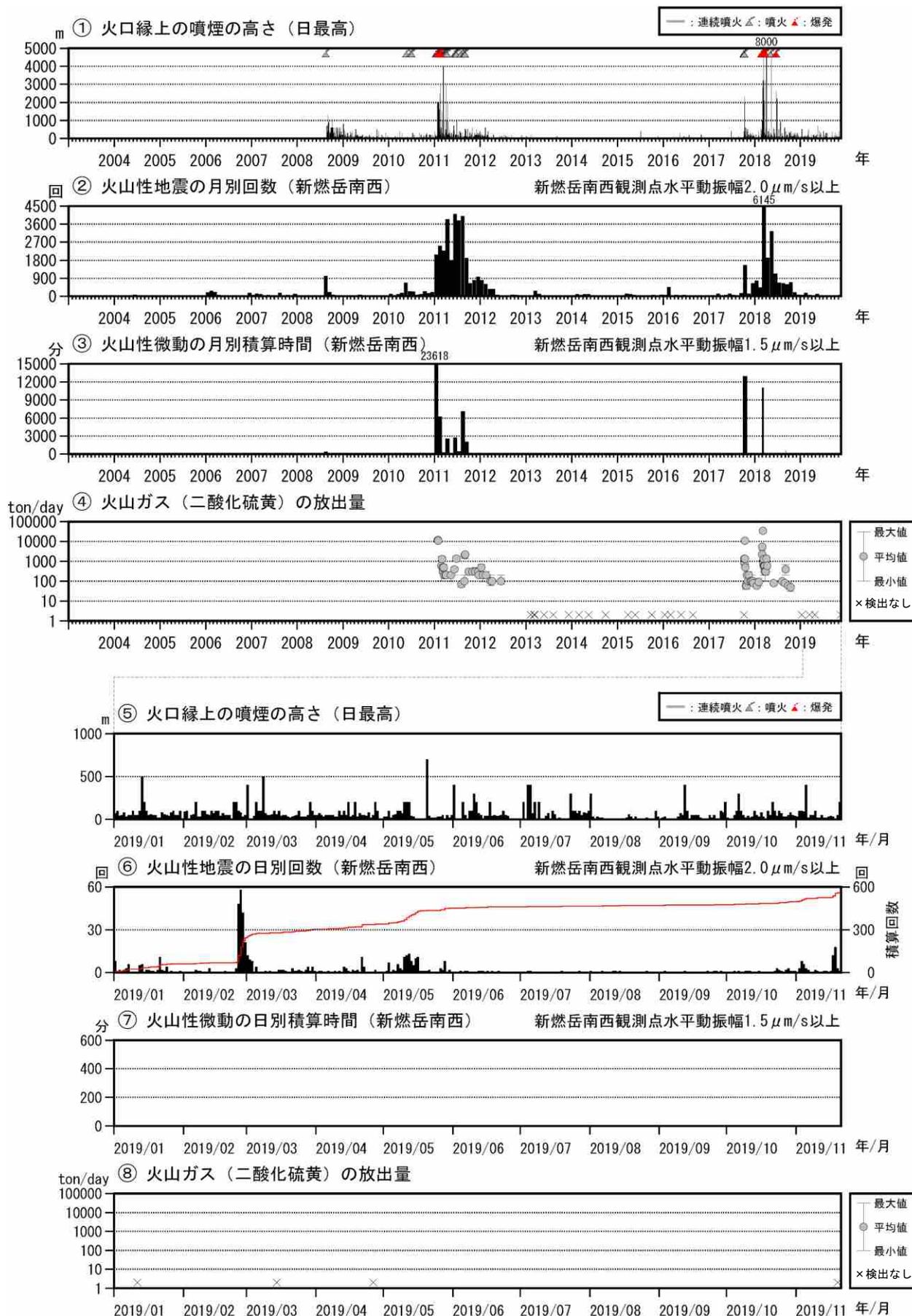


図 8-1 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2003 年 1 月～2019 年 11 月 20 日）

⑥の赤線は、地震の回数の積算を示す。

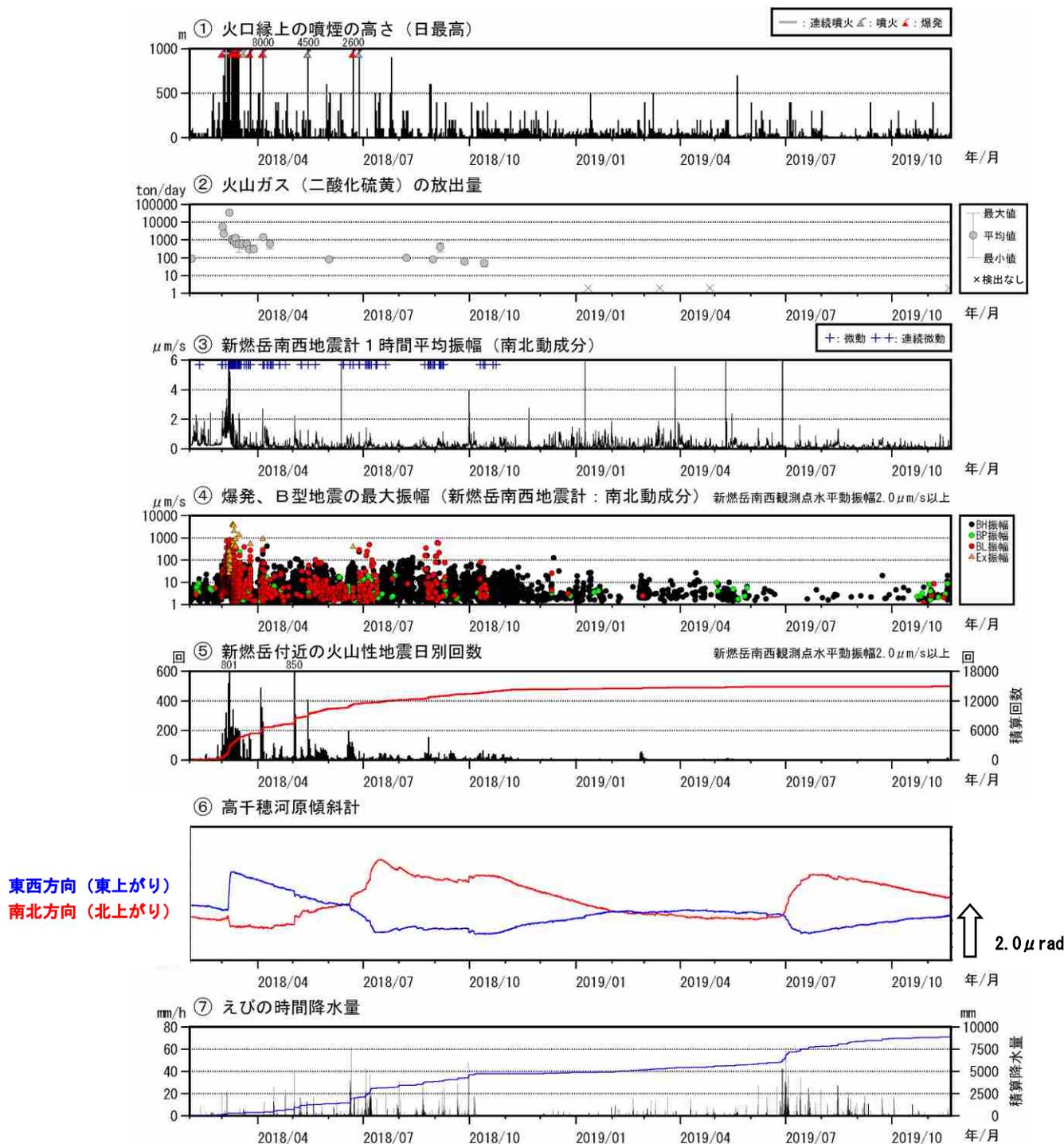


図 8-2 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2018年2月～2019年11月20日）

<2019年6月～11月20日の状況>

- ・ 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、検出限界未満で経過している。
- ・ 火山性地震は、少ない状態で経過していたが、11月17日～18日にかけて増加した。BL型地震は2019年9月以降時々発生した。
- ・ 火山性微動は、2018年10月24日以降観測されていない。

④火山性微動の振幅が大きい状態では、振幅の小さな火山性地震の回数は計数できていない。

⑤の赤線は、地震の回数の積算を示す。

⑥2018年6月下旬から7月下旬にかけてまとまった降水があったため、高千穂河原観測点の傾斜計では、同期間にその影響と考えられる変動がみられている。

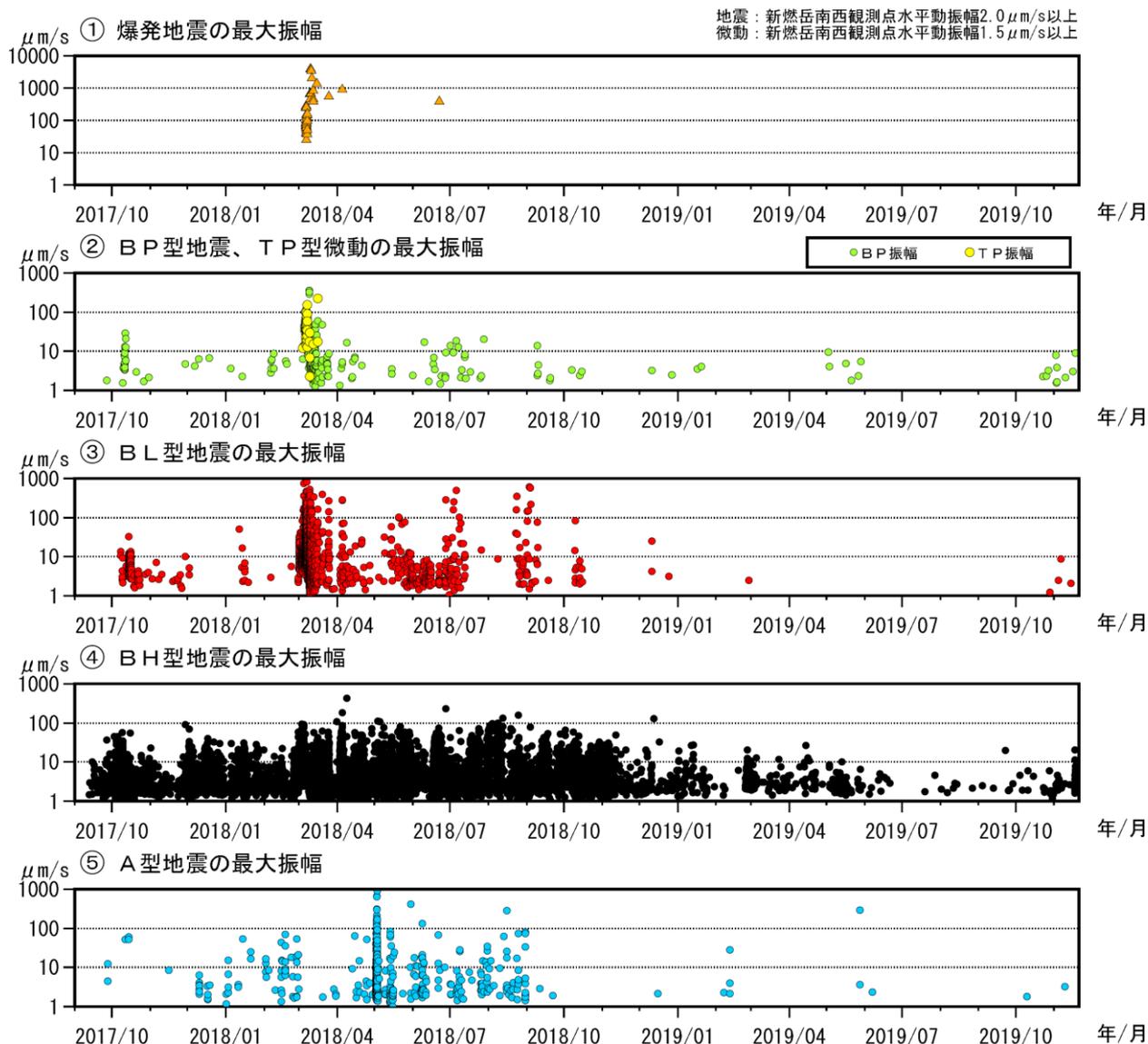


図 8-3 霧島山（新燃岳） 火山活動経過図（2017年9月～2019年11月20日）

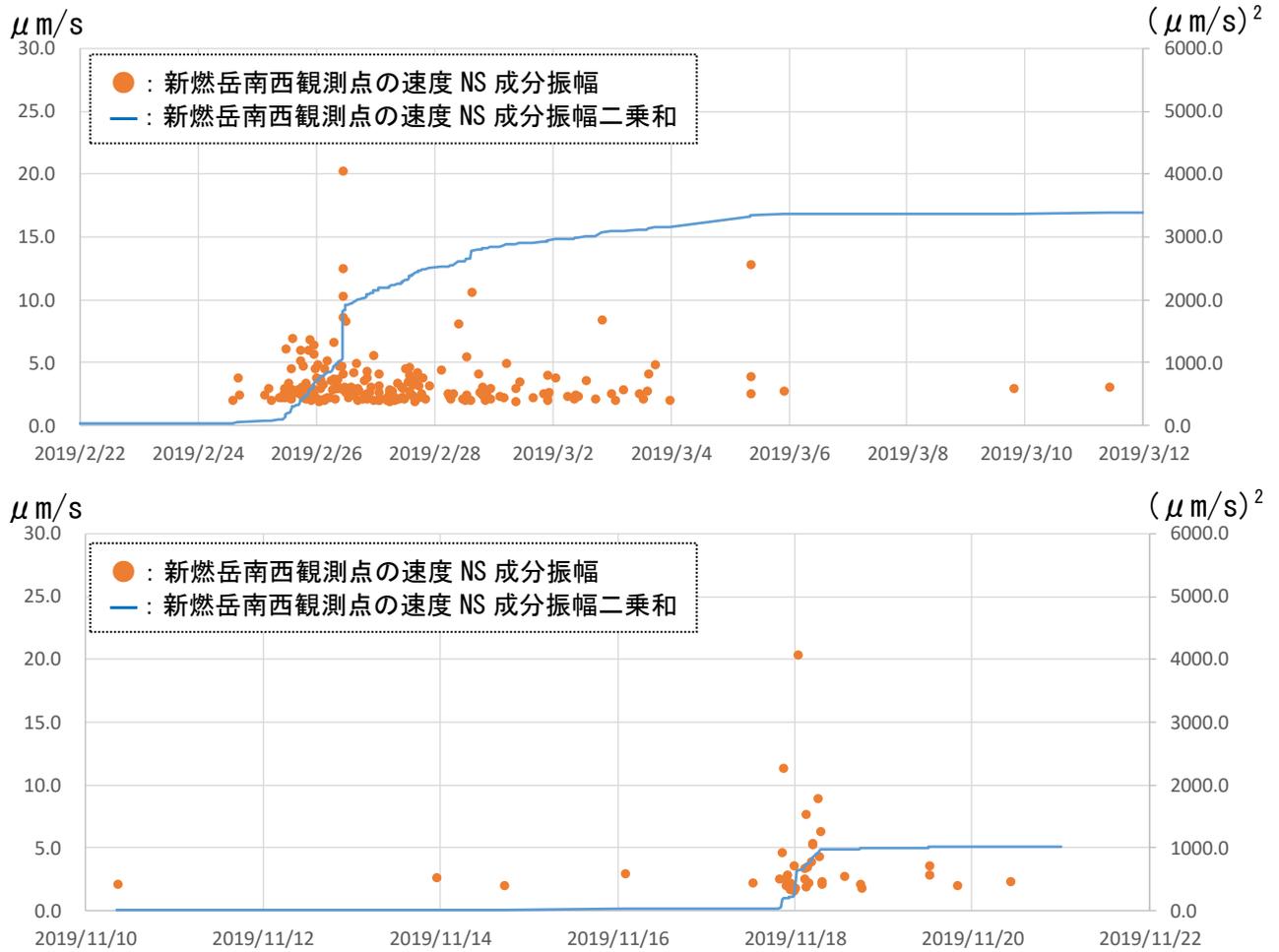


図 8-4 霧島山（新燃岳） 2019 年における火山性地震増加時の地震活動推移
（上段：2 月 22 日～3 月 11 日、下段：11 月 10 日～20 日）

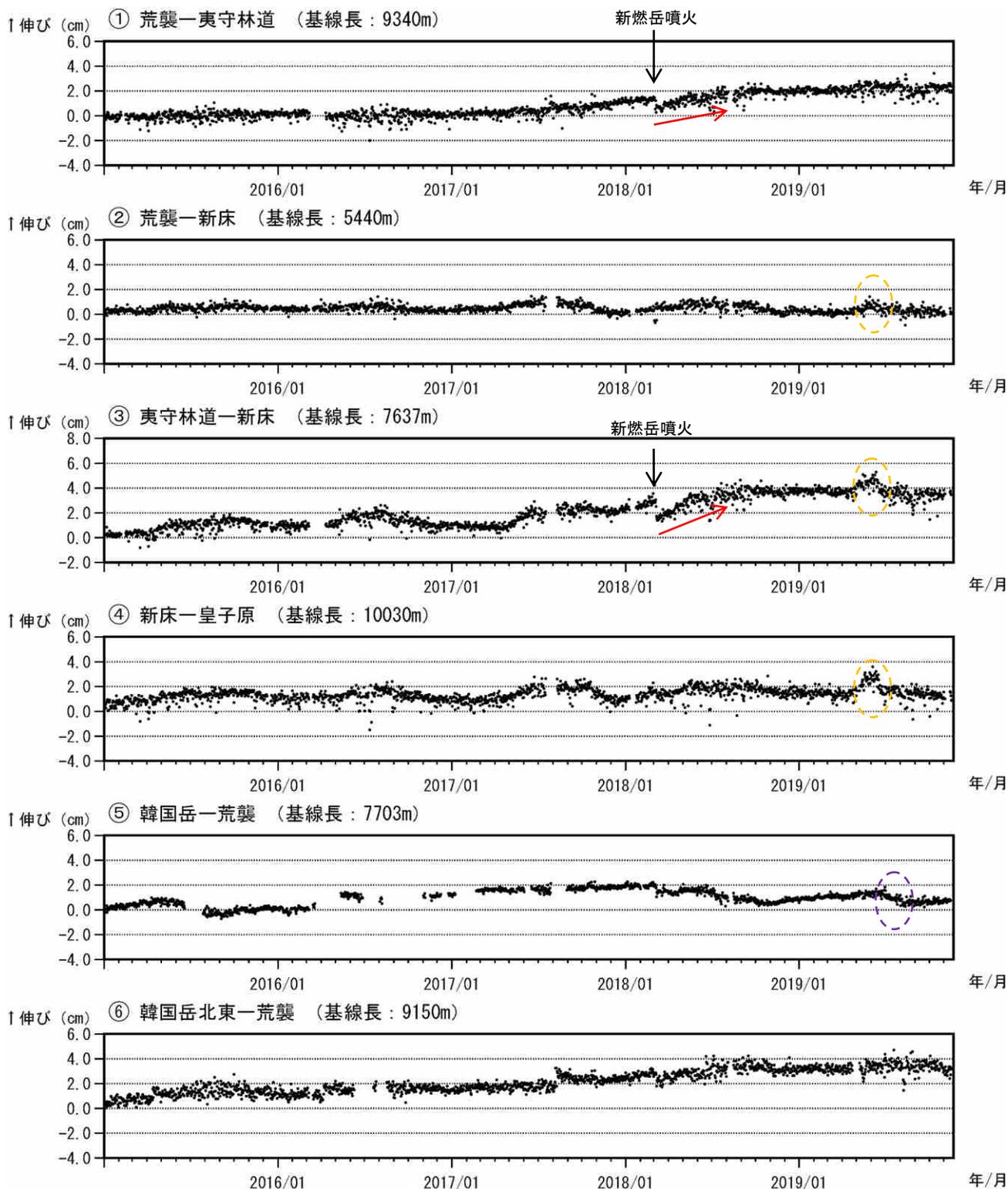


図 9-1 霧島山 (新燃岳) GNSS 連続観測による基線長変化 (2015年1月～2019年11月20日)

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 10 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。

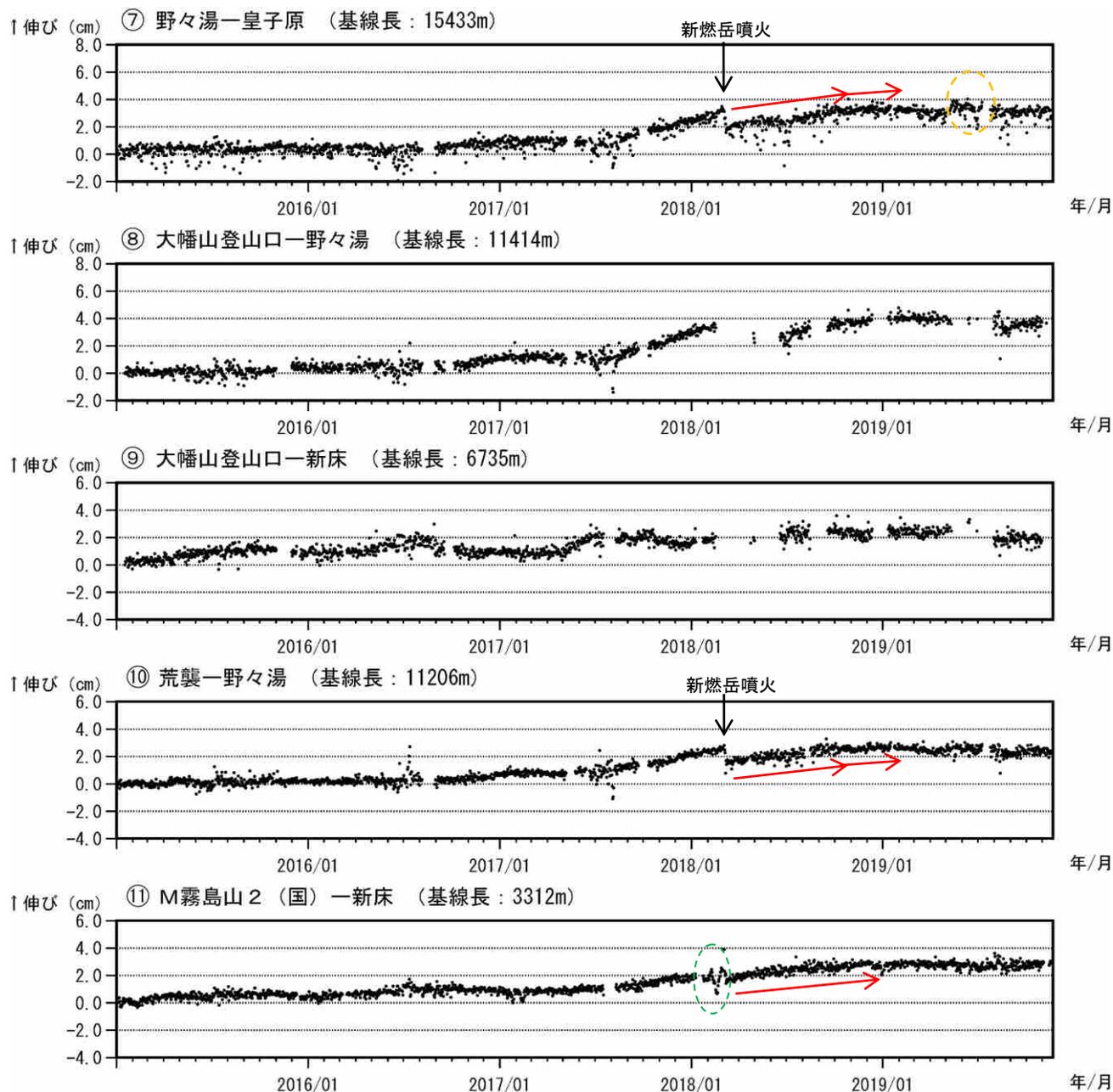


図 9-2 霧島山（新燃岳） GNSS 連続観測による基線長変化
(2015年1月～2019年11月20日)

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 10 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

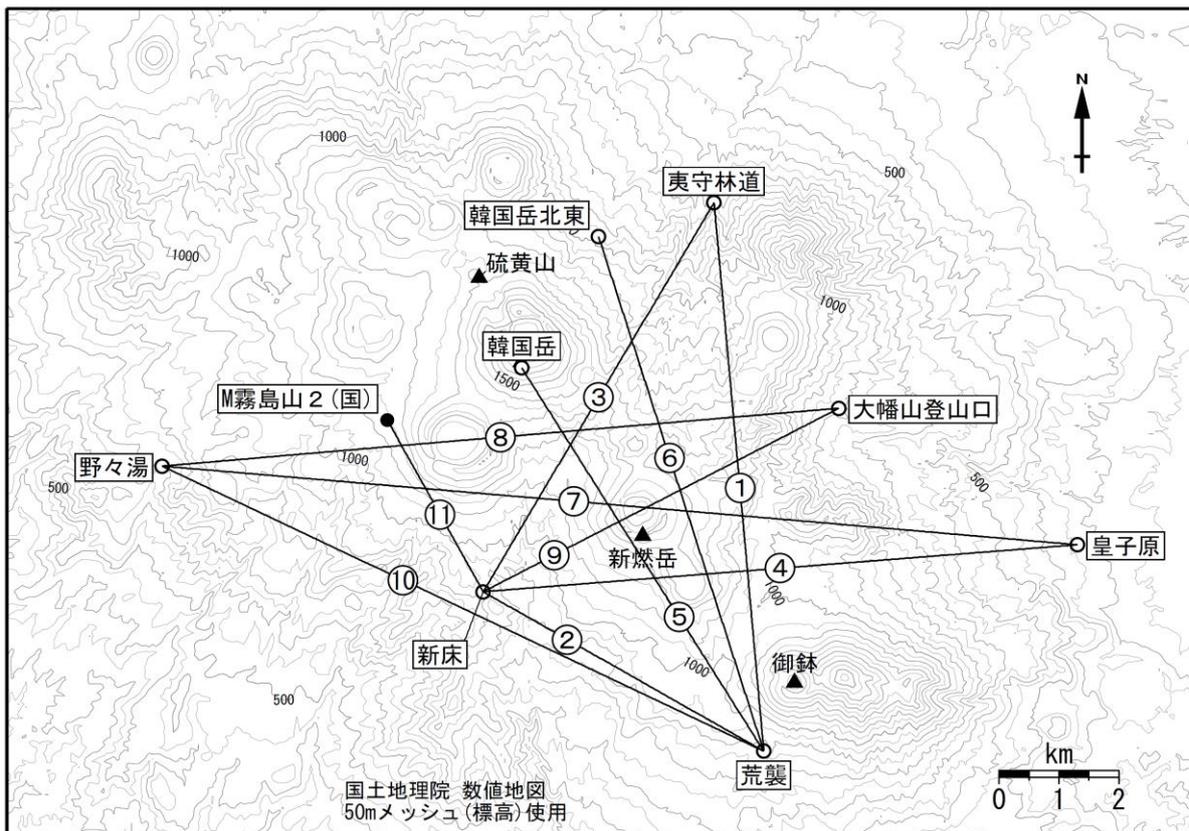


図 10 霧島山（新燃岳） GNSS 観測点基線図

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。

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6月～11月20日）

- ・ 噴煙など表面現象の状況（図1～3、図4-①）
 火口縁を越える噴煙は観測されなかった。
 10月25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4-②～⑤、図5）
 火山性地震は、少ない状態で経過した。今期間は、震源が精度よく求まった火山性地震はなかった。
 火山性微動は観測されていない。
- ・ 地殻変動の状況（図6～8）
 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。

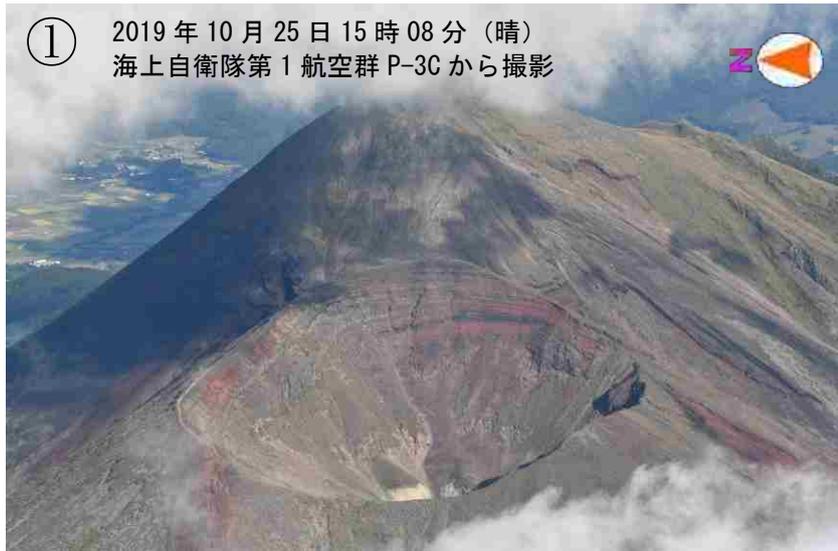


図2 霧島山(御鉢) 御鉢の火口内及び火口周辺の状況
(①: 2019年10月25日、②: 2019年3月26日、③: 2018年10月22日)

10月25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。

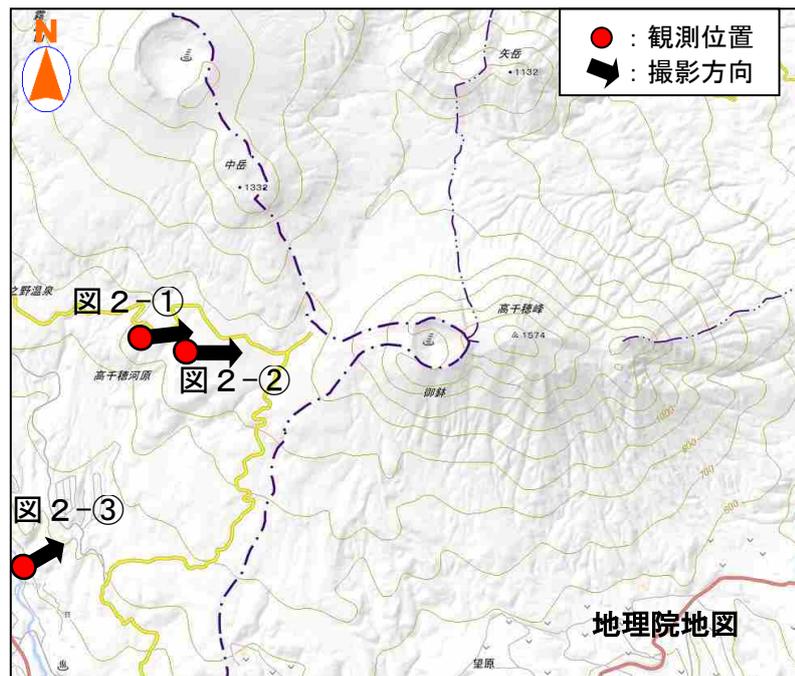


図3 霧島山(御鉢) 観測位置及び撮影方向

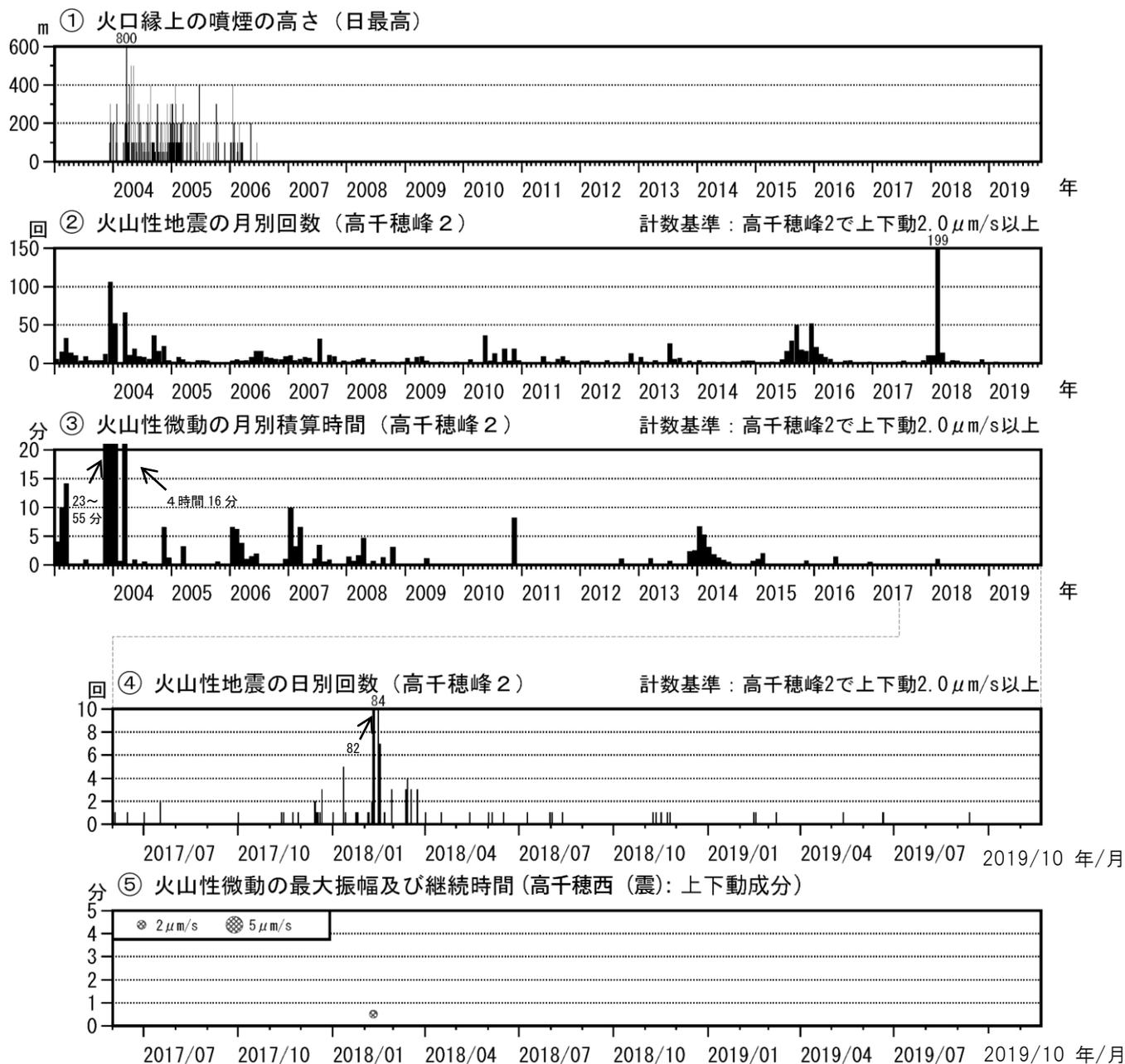


図4 霧島山（御鉢） 火山活動経過図（2003年1月～2019年11月20日）

<2019年6月～2019年11月20日の状況>

- ・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。

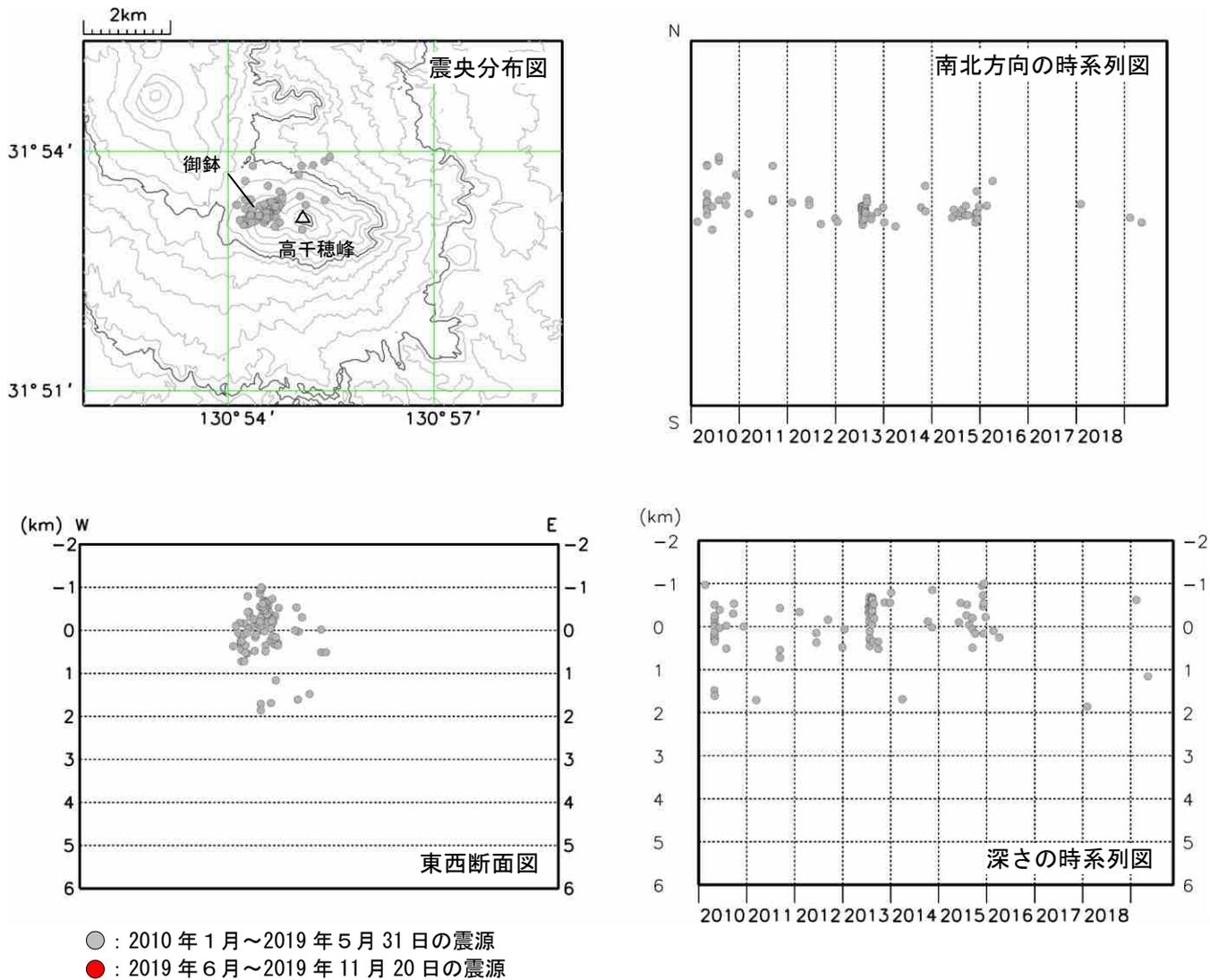


図5 霧島山（御鉢） 震源分布図（2010年1月～2019年11月20日）

<2019年6月～2019年11月20日の活動状況>

精度よく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。

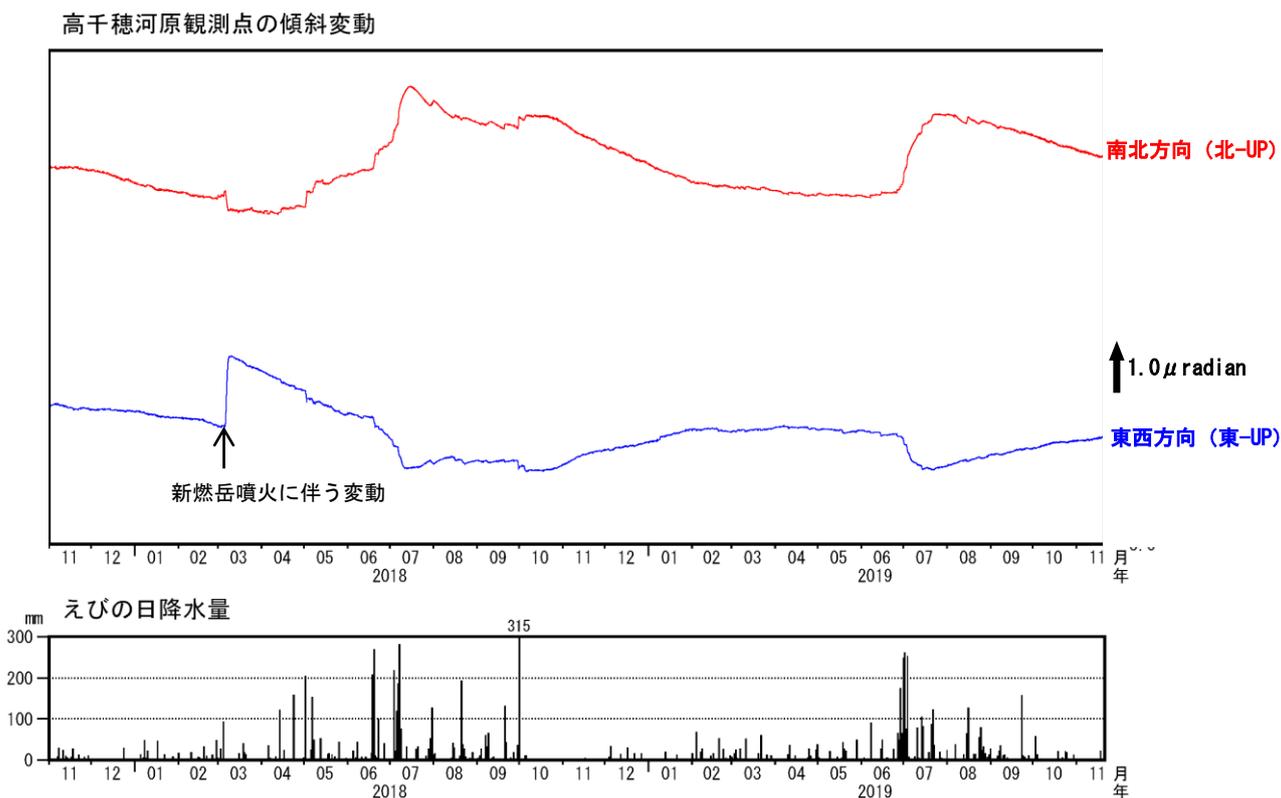
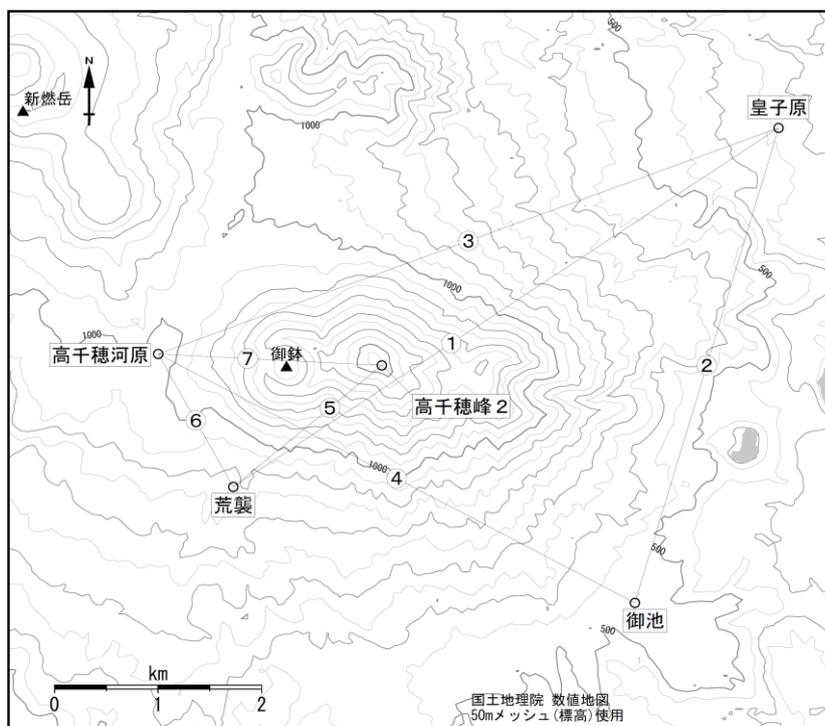


図6 霧島山（御鉢） 高千穂河原傾斜計の変化（2017年6月～2019年11月20日）

<2019年6月～2019年11月20日の状況>

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7 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。

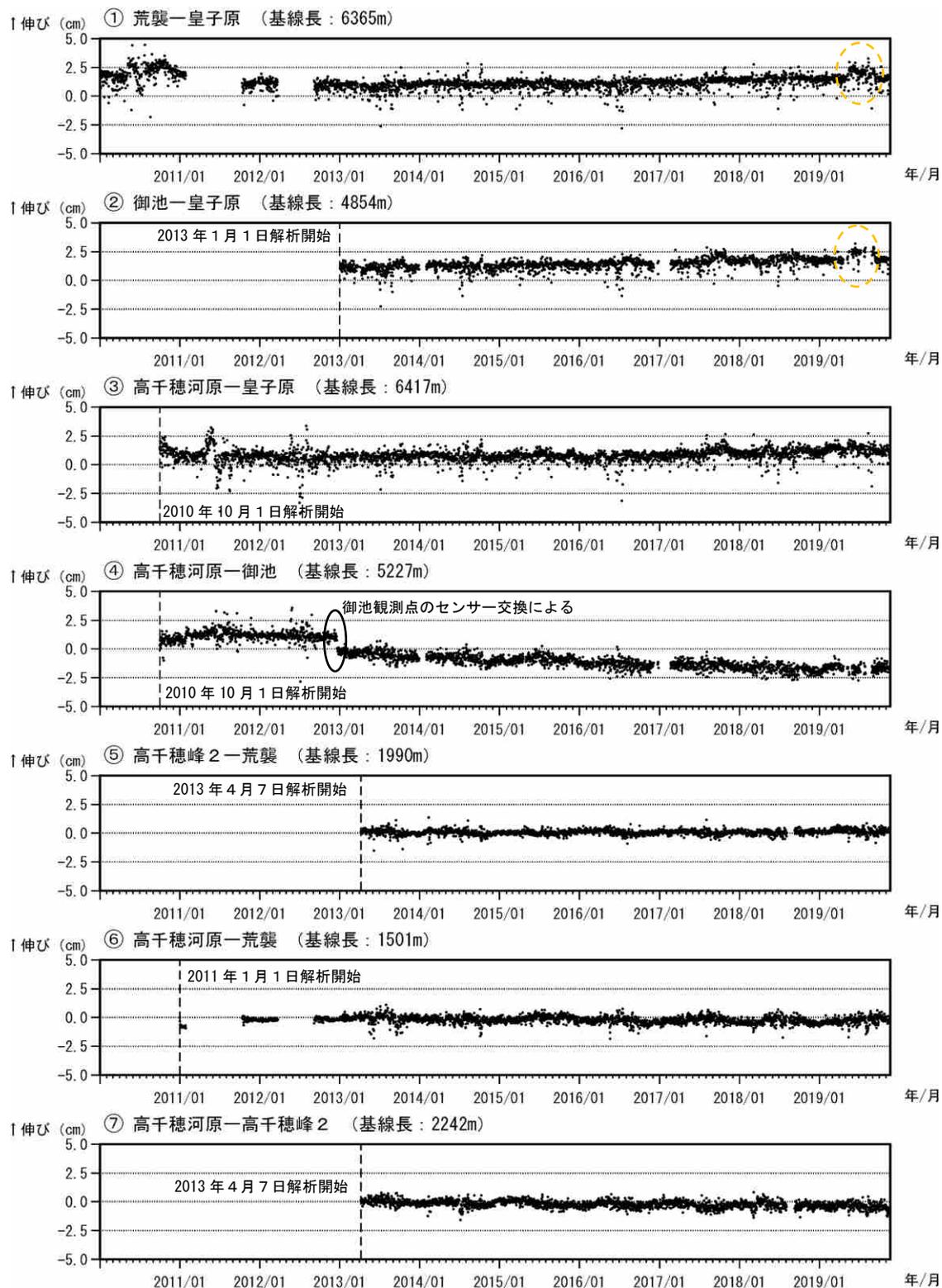


図8 霧島山(御鉢) GNSS連続観測による基線長変化 (2010年1月~2019年11月20日)

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7の①~⑤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（2019年6月～11月20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、韓国岳北東側で6月1日に21回、韓国岳付近で9月17日に18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。また、韓国岳付近では浅い所を震源とする低周波地震を9月10日に1回観測した。

6月13日及び10月30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。

・ 大浪池付近及び南西側

大浪池付近及び南西側の地震は時々発生し、9月10日は38回と一時的にやや多い状態となった。

6月13日及び10月30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。

・ 新燃岳の北側2km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。

・ 新燃岳の北東側2.5km付近（大幡山付近）

大幡山付近の地震は、10月に1回観測した。

10月30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。

・ えびの岳付近

えびの岳付近（硫黄山から南西約3km）の地震は、2018年10月以降、観測されていない。

・ 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。10月17日に一時的に地震が増加し活動がやや活発になった。

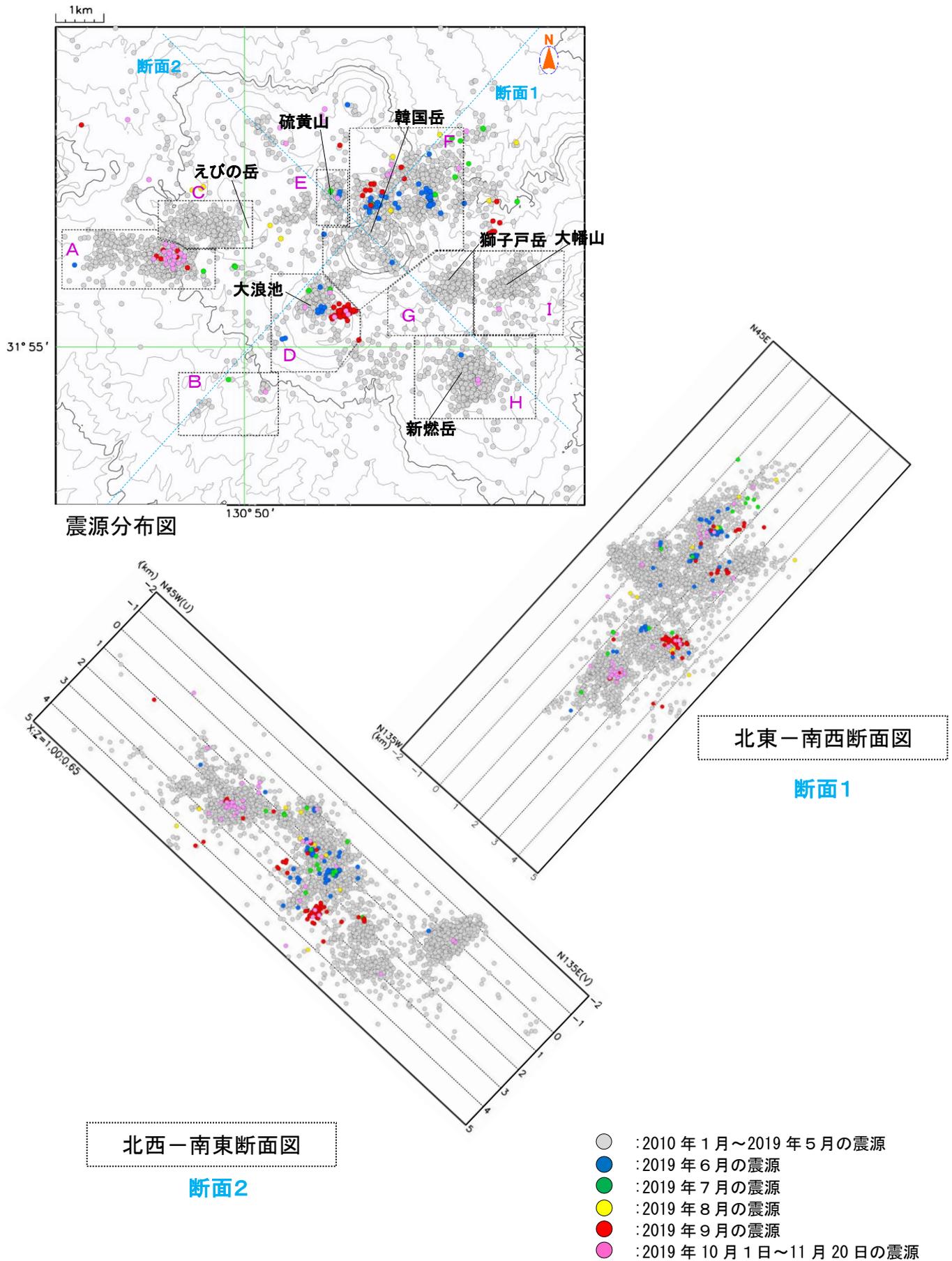


図1 霧島山 霧島山の震源分布図 (2018年1月～2019年11月20日)

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。

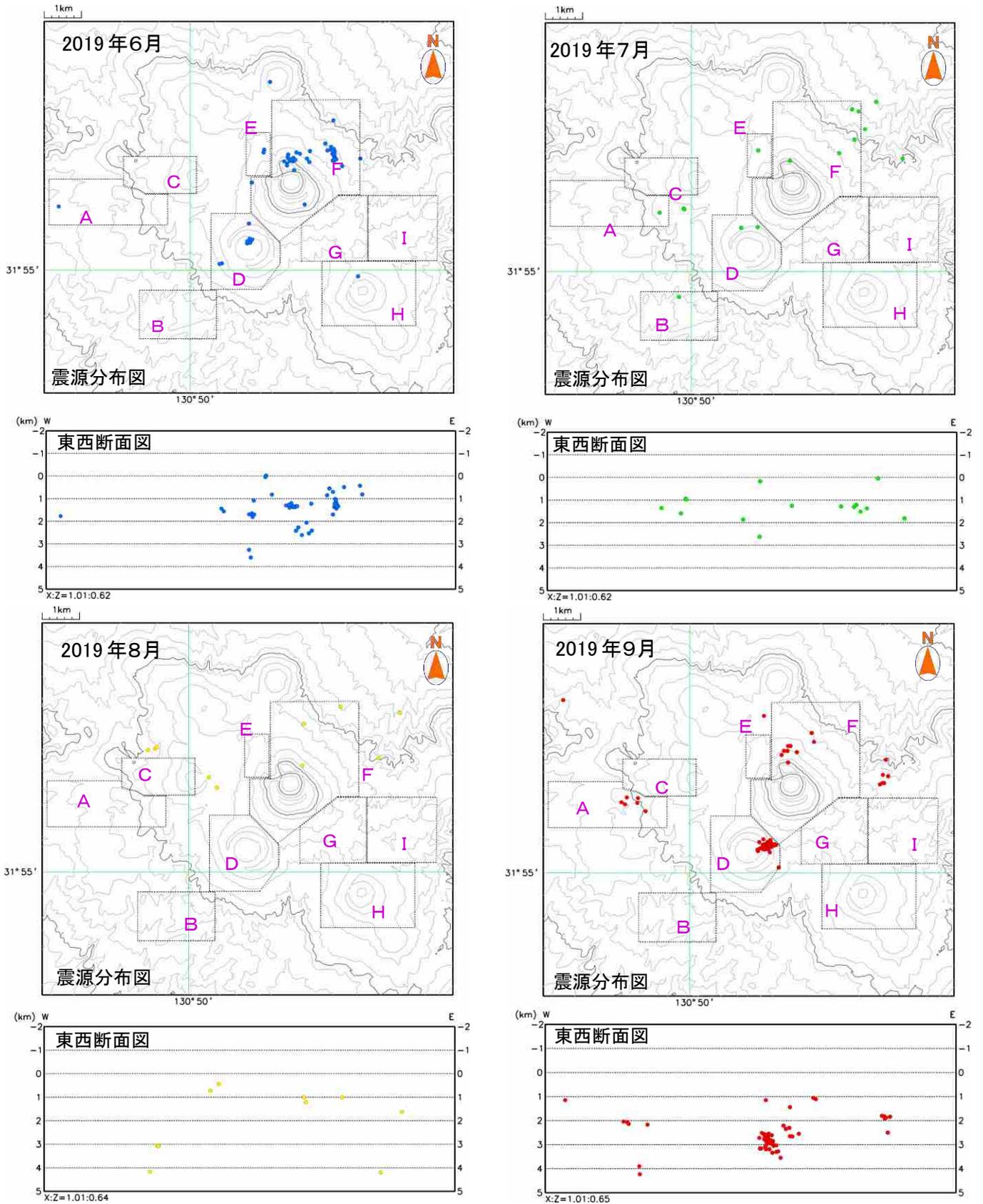


図 2-1 霧島山 霧島山の月毎の震源分布図

(左上：2019年6月、右上：2019年7月、左下：2019年8月、右下：2019年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。

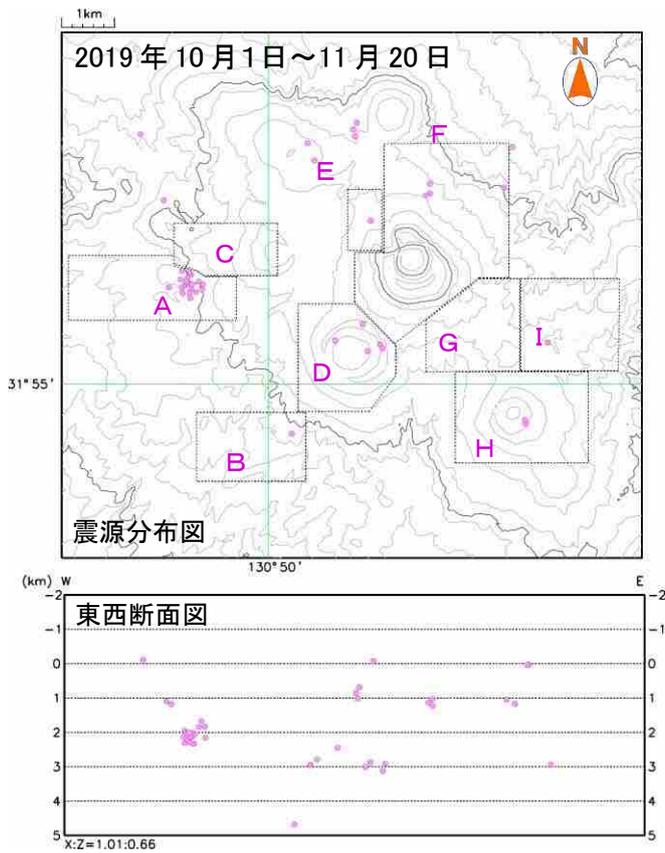


図 2-2 霧島山 霧島山の月毎の震源分布図 (2019 年 10 月 1 日～11 月 20 日)

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。

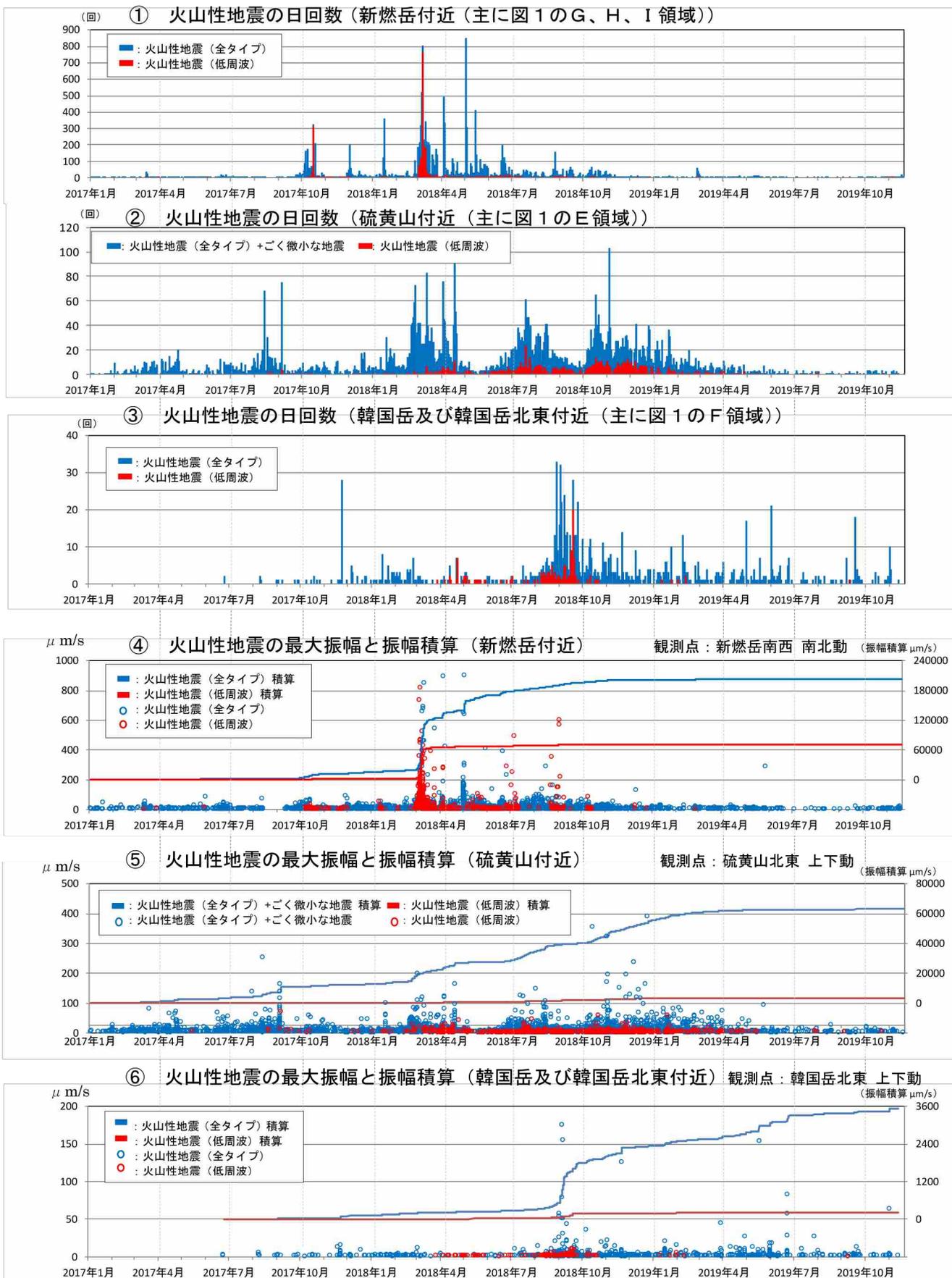


図3 霧島山 新燃岳、硫黄山、韓国岳及び韓国岳北東付近を震源とする火山性地震の活動経過図（2017年1月～2019年11月20日）



図4 霧島山（広域） 観測位置及び撮影方向

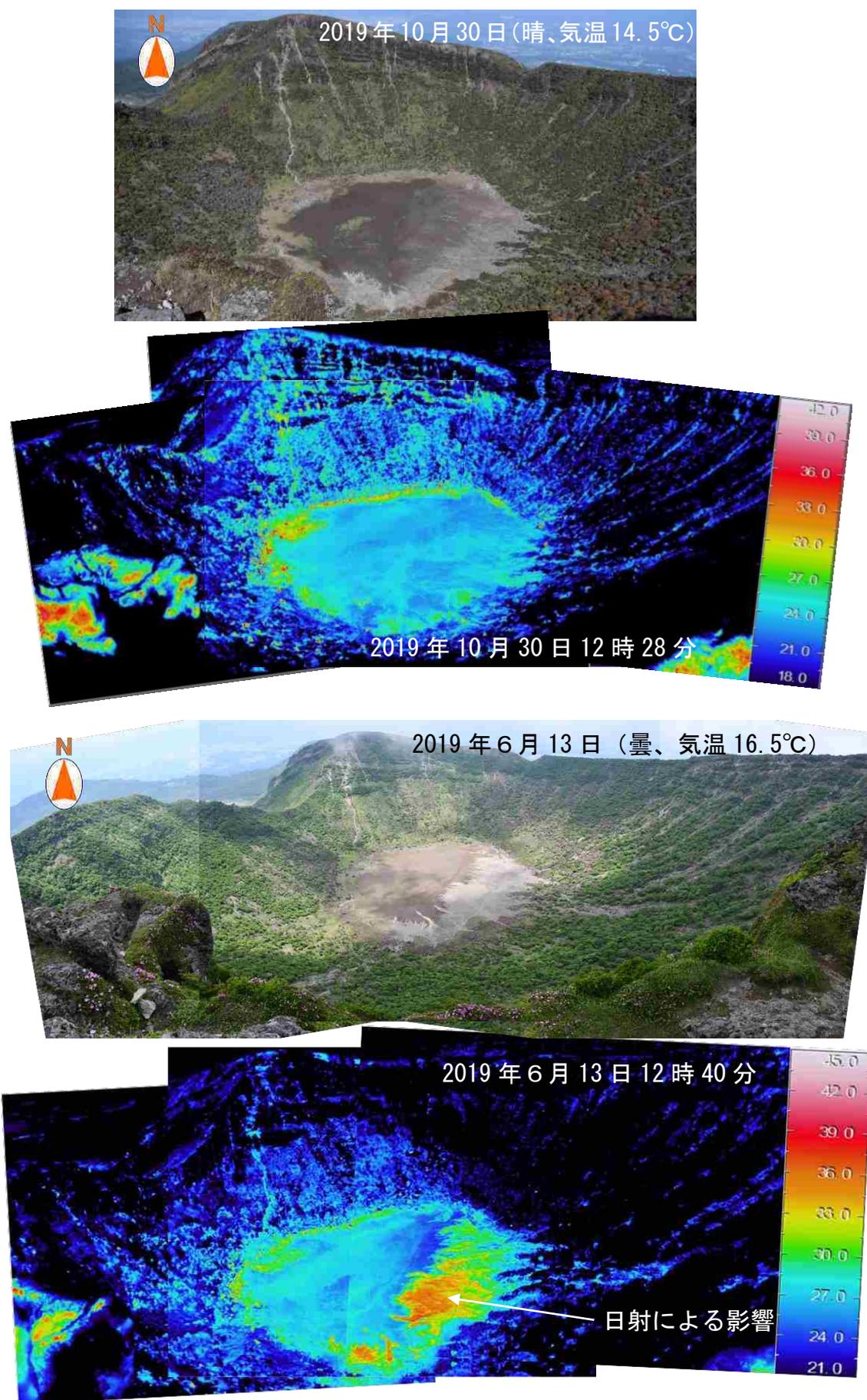


図5 霧島山 韓国岳火口の状況(韓国岳から観測)
火口内に噴気や地熱域は認められなかった。

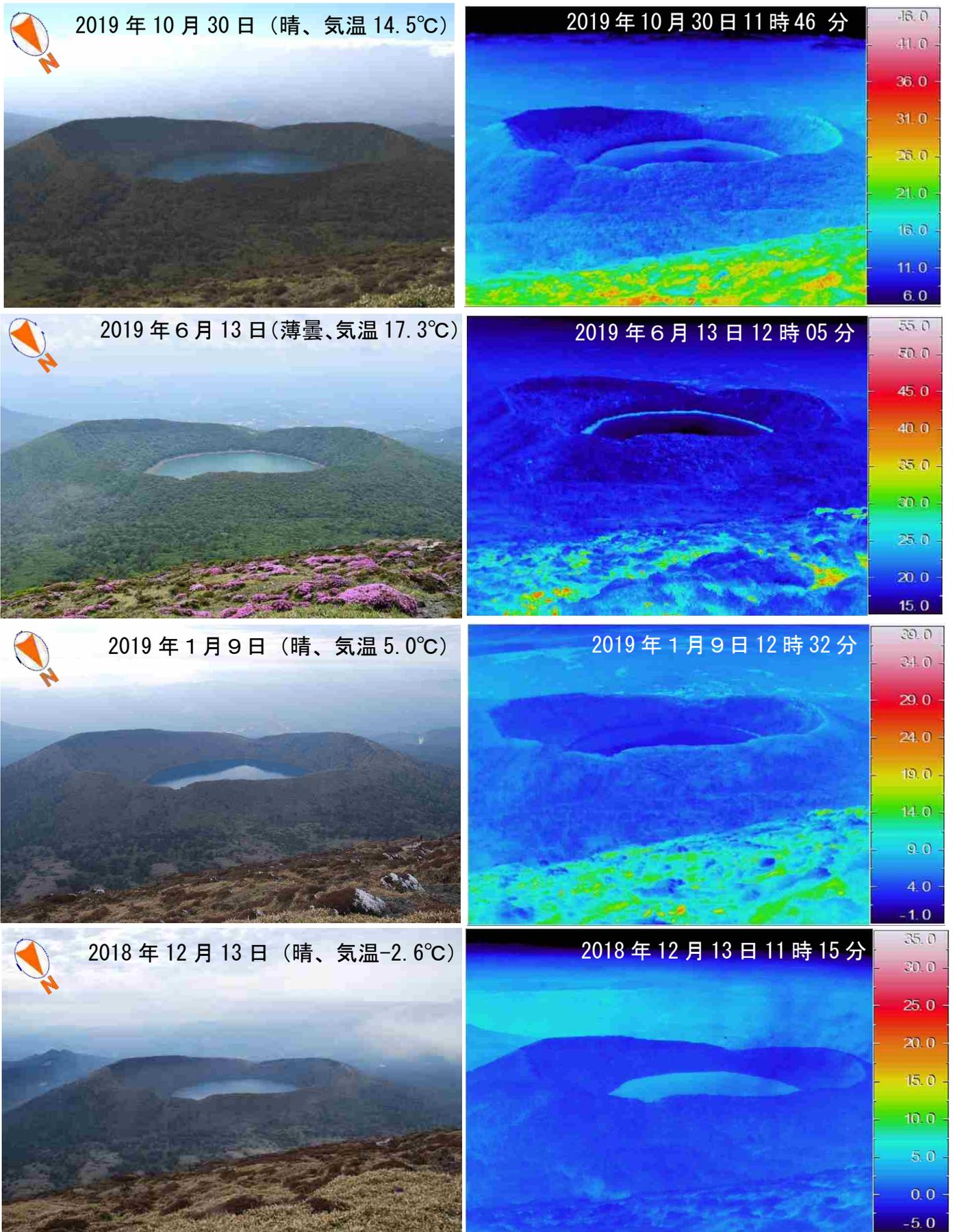


図6 霧島山 大浪池の状況 (韓国岳から観測)
 大浪池周辺に噴気や地熱域は認められなかった。

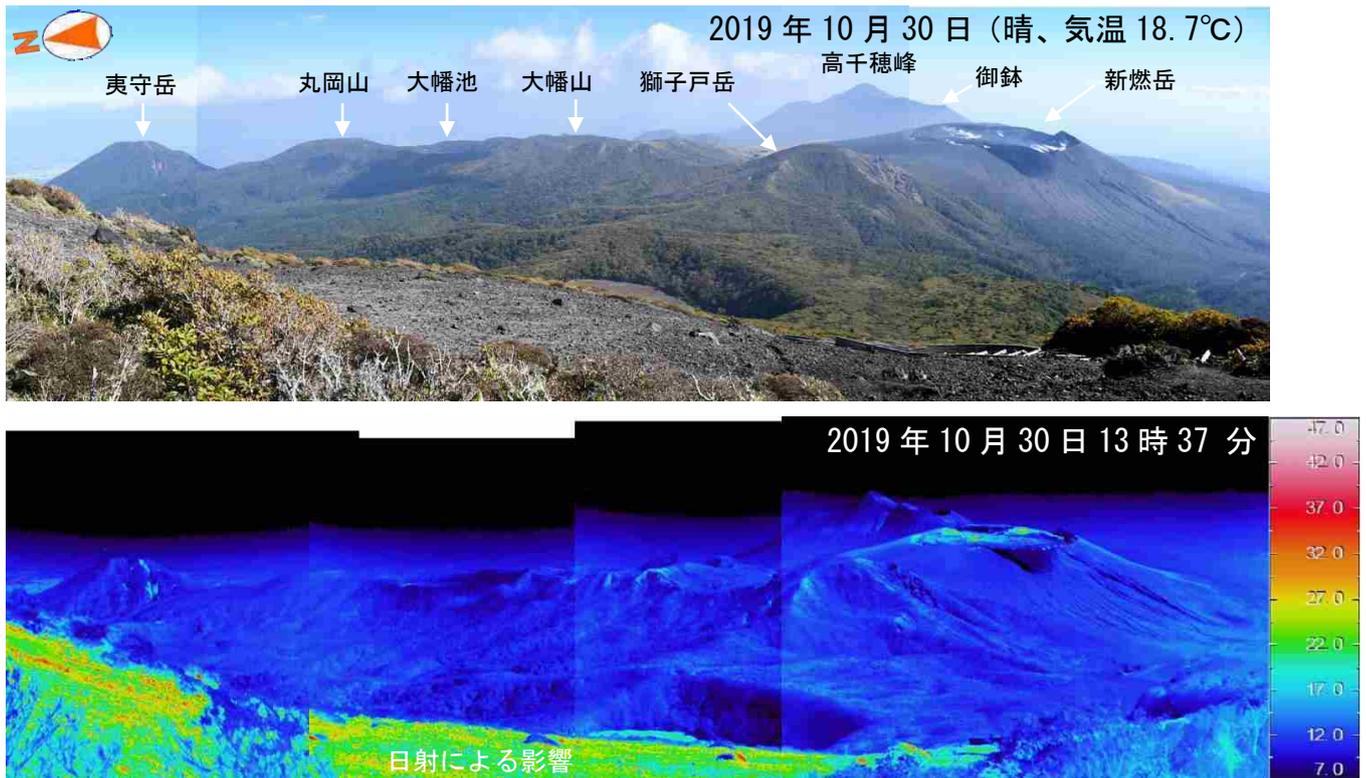


図7 霧島山 夷守岳-丸岡山-大幡池-大幡山-獅子戸岳-高千穂峰-御鉢-新燃岳の状況
(韓国岳から観測)

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

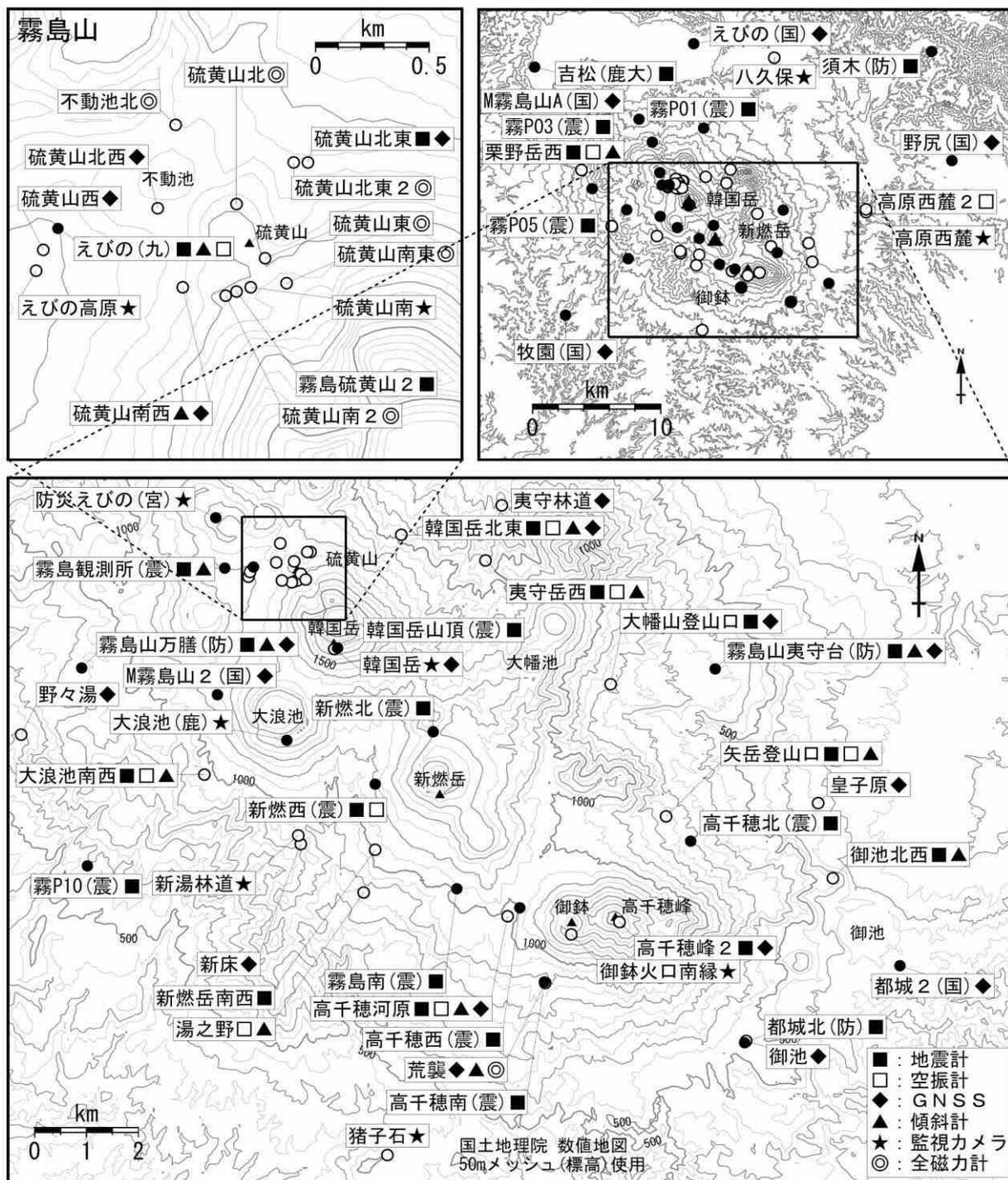


図8 霧島山 観測点配置図

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

新燃岳火口内で視線距離短縮の位相変化が認められる。その他の地域ではノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

1. はじめに

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

2. 解析データ

解析に使用したデータを第1表に示す。

第1表 干渉解析に使用したデータ

Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
23_2970(SM1_U2_7)	南行	右	36.1°	2019.02.18	2019.11.11	第1図-A, B, C
30_2930(SM1_U3_13)	南行	左	52.8°	2019.04.08	2019.11.18	第2図-A, B, C
131-620(SM1_U2-9)	北行	右	42.9°	2019.03.12	2019.07.02	第3図-A, B, C

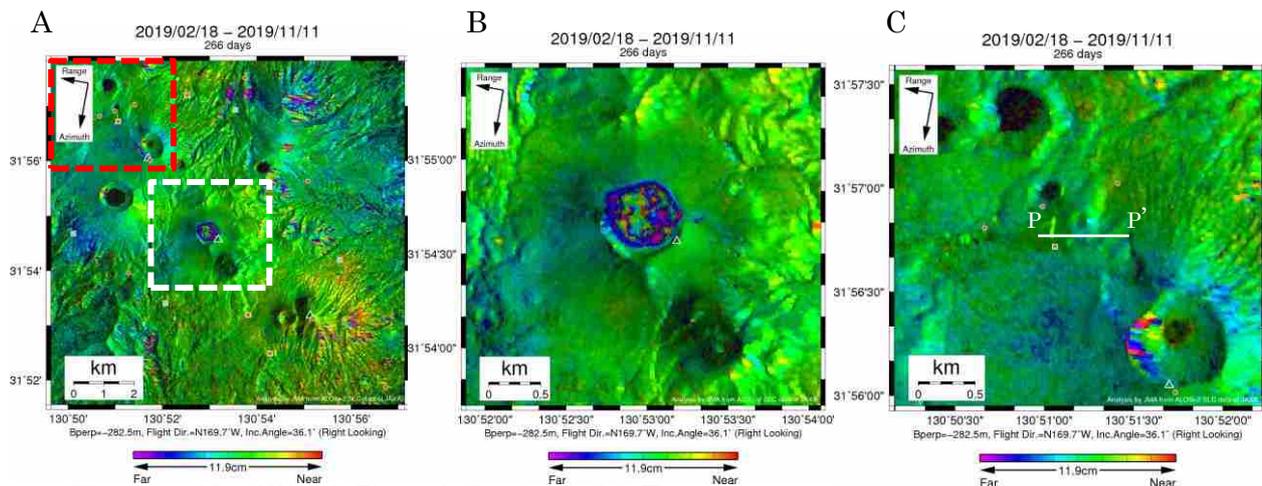
3. 解析結果

第1図、第2図及び第3図に霧島山周辺の干渉画像を示す。いずれにおいても、新燃岳火口内で視線距離短縮の位相変化が認められる。その他の地域ではノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

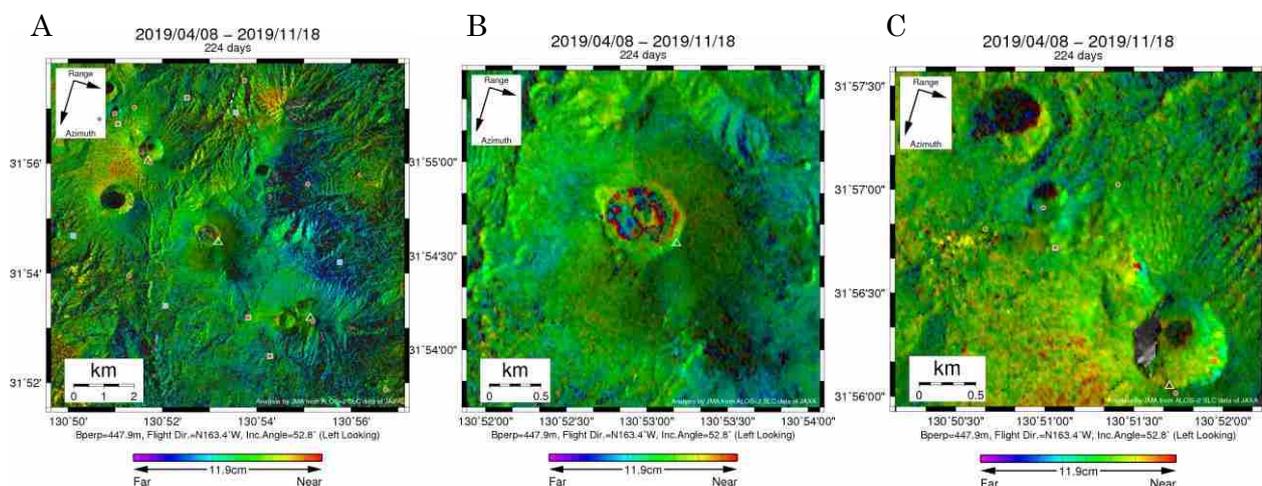
第4図及び第5図にはえびの高原（硫黄山）周辺の地表変位の時間変化を示す。2019年の観測では、ノイズレベルを超えるような変動は認められない。

謝辞

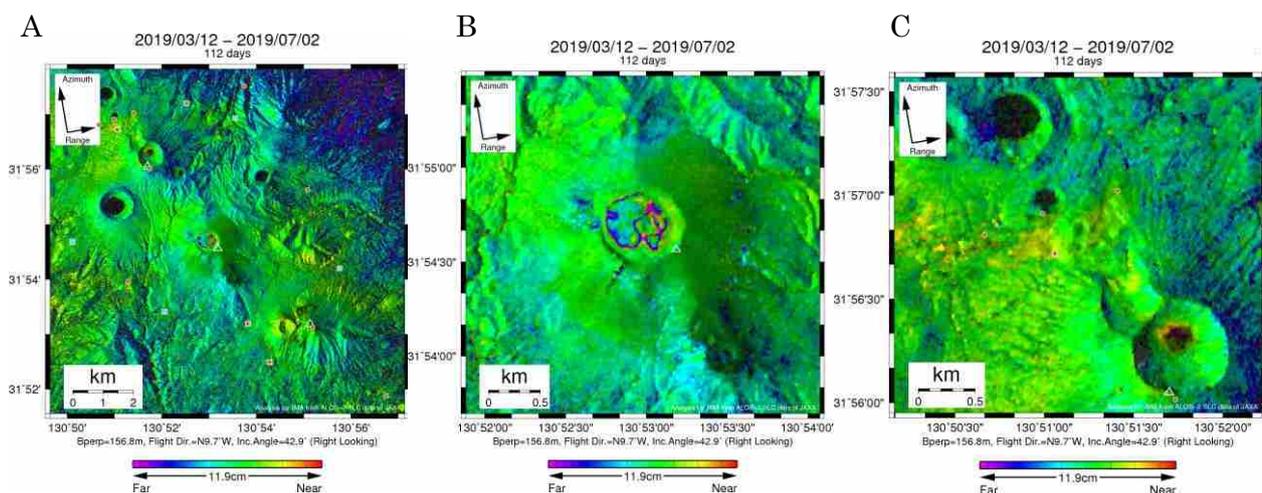
本解析で用いた PALSAR-2 データは、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験（衛星解析グループ）に基づいて、宇宙航空研究開発機構（JAXA）にて観測・提供されたものである。また、一部のデータは、PIXEL で共有しているものであり、JAXA と東京大学地震研究所の共同研究契約により JAXA から提供されたものである。PALSAR-2 に関する原初データの所有権は JAXA にある。PALSAR-2 の解析ソフトウェアは、防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発された *RINC* を使用した。また、処理の過程や結果の描画においては、国土地理院の数値地図 10m メッシ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



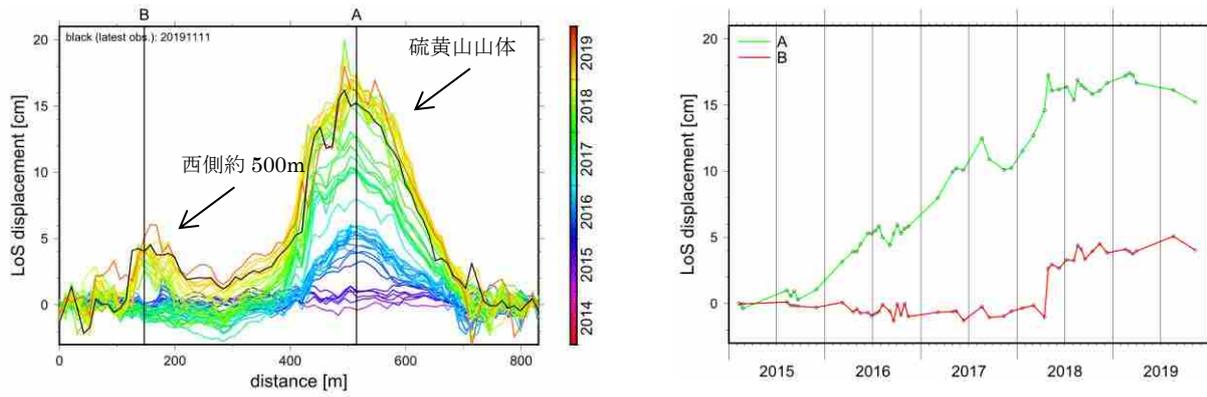
第2図 パス 30 (SM1_U3-13) による干渉解析結果



第3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)、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。

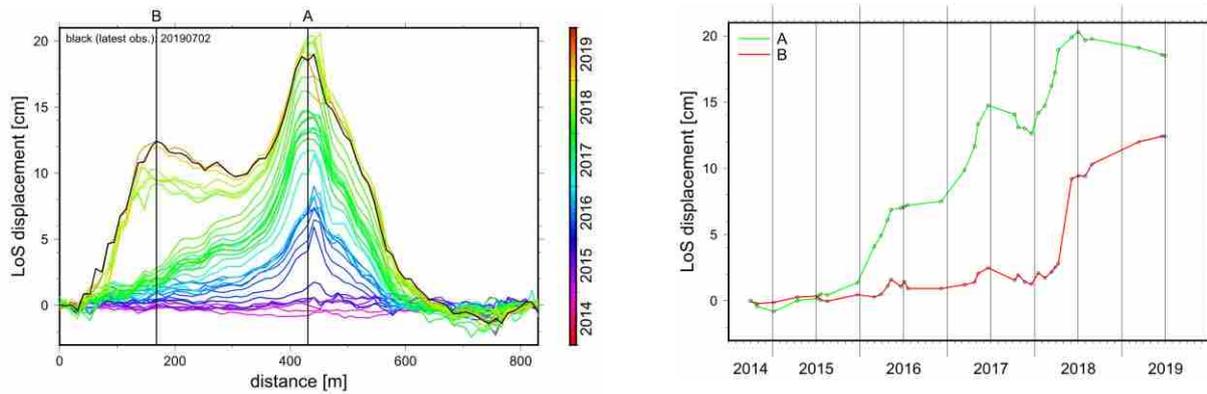
新燃岳付近の拡大図 (B) において新燃岳火口内で視線距離短縮の位相変化が認められる。その他の地域ではノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。



第4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においても、2019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。



第5図 パス 131 を用いたえびの高原（硫黄山）付近の地表変位の時間変化

凡例は第4図と同じ。

A、Bにおいても、2019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

(2019年11月8日現在)

- ・硫黄山山頂域周辺の湧水(A), 火口跡湯だまり(Pa, Pb)では2019年1月以降に水量が減少あるいは枯渇/再出現を繰り返しており, Cl/SO₄モル比は本年1月以降に顕著に低下した.
- ・硫黄山西麓の火口跡湯だまり(V2)では本年11月8日観測時点で明瞭な水量の減少は認められない. また, 西火口跡湯だまりのCl/SO₄モル比には低下傾向は認められず, 硫黄山山頂域周辺の湧水や火口跡湯だまりよりも明瞭に高い値を維持している.

一般に, 火山活動の活発化に伴って火山ガスの温度が上昇すると, 火山ガスに含まれる塩素と硫黄の比率(Cl/S比)は増大することが知られおり(例えば, 小坂ほか, 1998)^[1], 火山周辺の湧水等に含まれる火山ガス由来と考えられる塩化物イオンと硫酸イオンの比率(Cl/SO₄モル比)も, 火山活動の盛衰に応じて変化すると期待される. 気象研究所ほかでは2016年8月以降, 図1に示す霧島山硫黄山周辺の湧水や湯だまりの化学組成を分析しており, 本報告では主に2019年1月以降(最新の観測は11月8日)の観測結果を報告する.

(1) 硫黄山山頂域周辺の湧水・火口跡湯だまり

硫黄山西麓の湧水(図2: A地点)のCl/SO₄モル比は(図3), 調査を開始した2016年8月時点では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月にかけての期間は1.2~1.6と噴火前よりも高い値で推移した. 2019年1月以降, Cl/SO₄モル比は明瞭に低下傾向を示し, 2019年1月25日に1.4だった同比は本年11月8日時点で0.15まで低下した(表1, 図3). なお, 当該地点の湧水は本年11月8日調査時点で湧出が停止しており, 湧出口周辺の岩石の隙間に取り残された湧水とみられる水たまりが残されているだけだった(図2b). 湧出停止時期は不明である.

硫黄山南火口(2018年4月19日噴火口)跡に生じていた湯だまり(図1; V1, Pa, Pb)は, 本年5月31日時点で完全に枯渇して噴気のみを放出していたが(気象研究所ほか, 2019)^[2], 11月8日にはPaおよびPb湯だまりで再び熱水が湛えられているのが確認された(図6, 7). 本年1月25日時点でPaおよびPb湯だまりのCl/SO₄モル比はそれぞれ1.8および2.3程度であったが, 本年11月8日時点では同比はPaで0.00, Pbで0.05程度と明瞭に減少した(表1).

(2) 硫黄山西麓の火口跡湯だまり

11月8日時点で硫黄山西麓の噴火口跡(図2: V2, 2018年4月26日噴火口跡)は, 前回観測(2019年5月31日)と同様に熱水で満たされていた(図8). 同地点のCl/SO₄モル比は本年1月以降も増減を繰り返していて低下傾向は認められず, 本年1月25日時点で2.22程度であったCl/SO₄モル比は11月8日時点で2.38と, 硫黄山頂域周辺の湧水や火口跡の湯だまりよりも明瞭に高い値を維持している(表1).

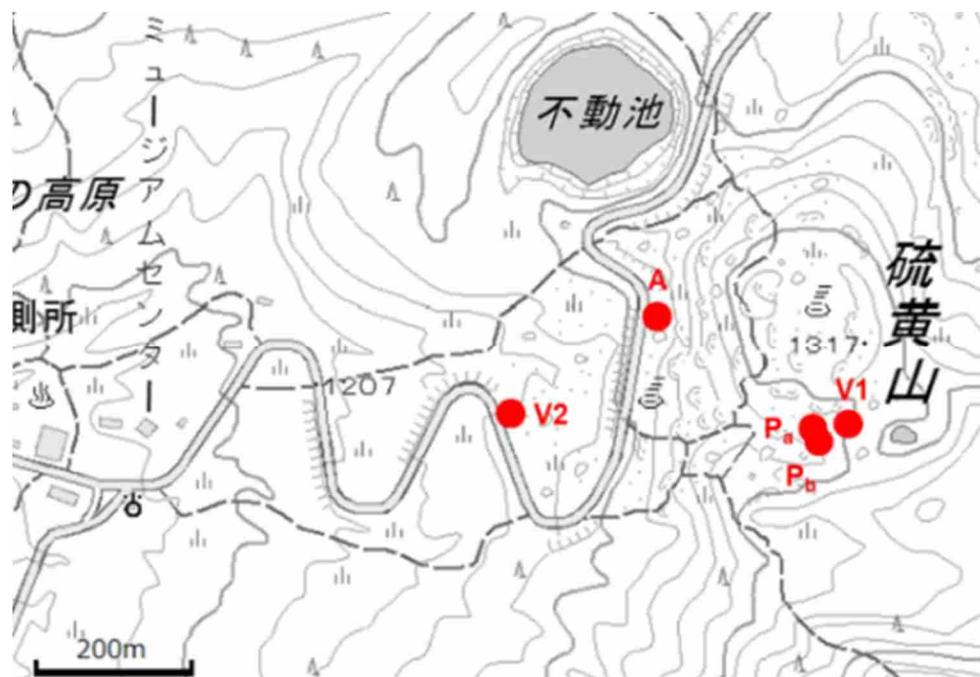


図 1. 試料採取および観測地点 (背景地図に地理院地図を使用した)

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 (2019年1月以降のみ抜粋)

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
Pa: 湯だまり(硫黄山南4/19噴火口跡)	2019/11/8	14.5	1.72	1.08	220	3990	0.15
	2019/1/25	93.2	1.23	3.38	3800	5720	1.80
	2019/3/4	90.1	1.68	1.20	676	2010	0.91
Pb: 湯だまり(硫黄山南4/19噴火口跡)	2019/11/8	78.4	1.29	2.35	1.5	4780	0.00
	2019/1/25	94.5	0.82	7.96	10200	11800	2.34
	2019/3/4	88.7	1.35	2.62	2500	4180	1.62
V2: 湯だまり(硫黄山西4/26噴火口跡)	2019/11/8	89.2	1.34	2.11	77.2	4460	0.05
	2019/1/25	96.6	0.80	8.43	10100	12300	2.22
	2019/3/4	95.6	0.84	8.57	10400	12200	2.31
	2019/5/13	ND	0.89	6.85	10300	11000	2.54
	2019/5/31	95.2	1.28	3.10	3830	5510	1.88
V1: 湯だまり(硫黄山南4/19噴火口跡)	2019/11/8	94.6	1.03	5.55	8260	9400	2.38
	2019/5/31	95.2	1.28	3.10	3830	5510	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, Integriion)を使用した. 分析値は修正することがあります.



図2. 硫黄山西麓 A 地点湧水. a は全景, b は赤矢印部分の拡大写真.

2019年11月8日時点で湧出は停止していたが、湧出口付近の岩石の隙間には取り残されたみられる湧水が溜まっていた.

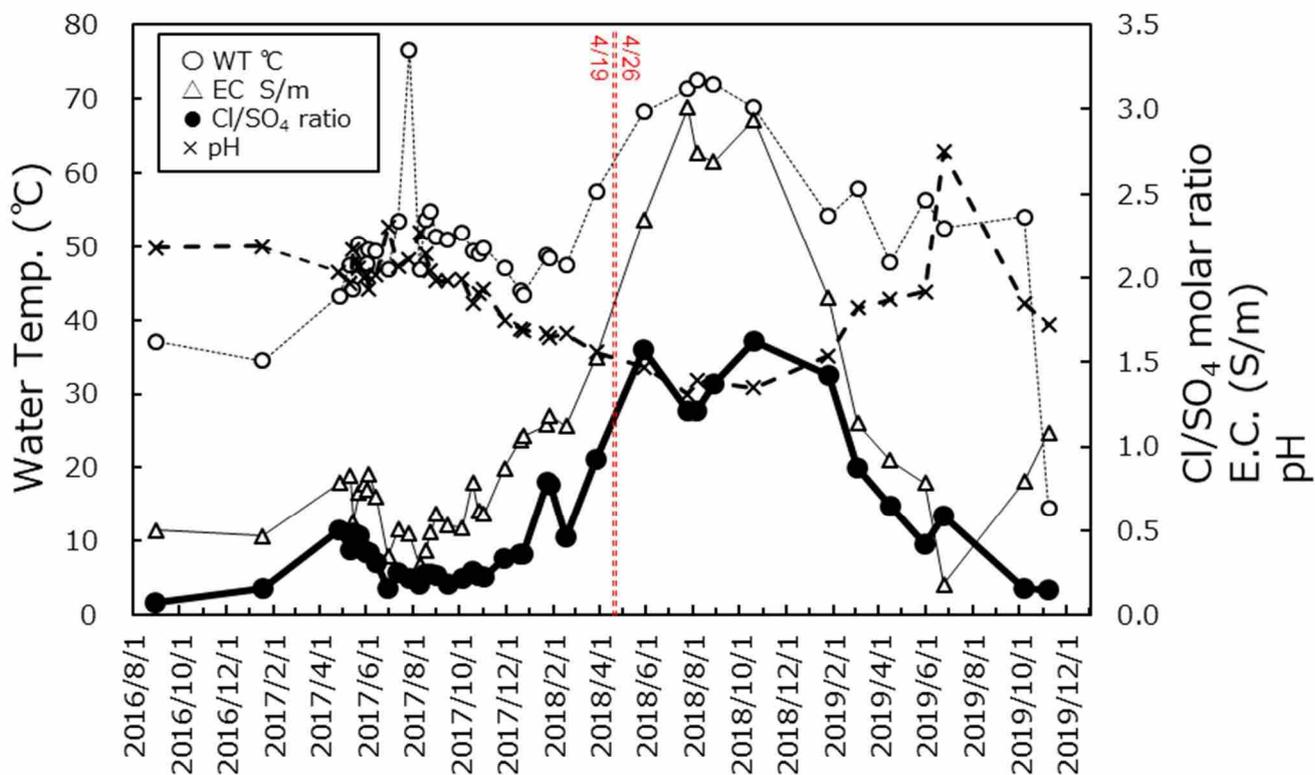


図3. 硫黄山西麓域 A 地点湧水の水質(Cl/SO₄モル比, 電気伝導度, pH, 水温)の変化

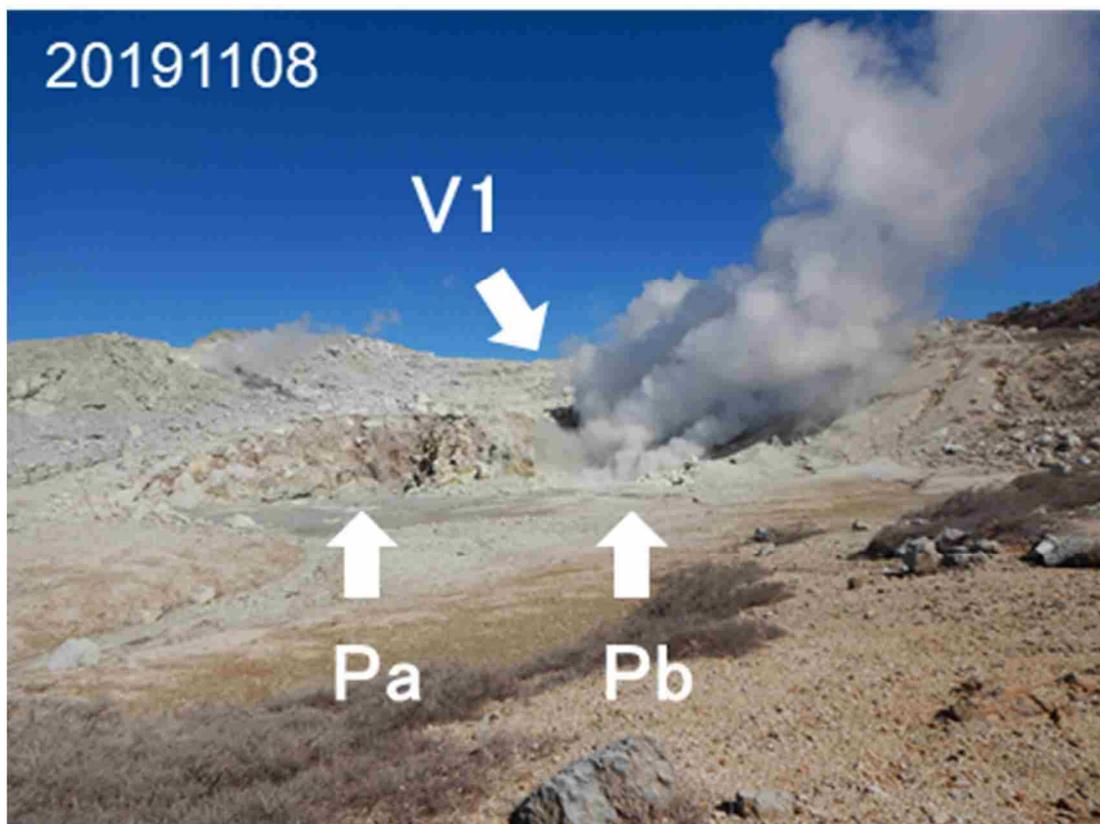


图 4. 硫黄山南火口跡



图 5. 硫黄山南火口跡 V1 地点



図 6. 硫黄山南火口跡 Pa 地点



図 7. 硫黄山南火口跡 Pb 地点



図 8. 硫黄山西火口跡 V2 地点

【参考文献】 [1] 小坂丈予, 野上健治, 平林順一 (1998) 火山, 43, 25-31. [2] 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 (2019) 第144回火山噴火予知連絡会資料. その 2-3(霧島山②), 122-127.

【謝辞】 本調査の一部には, 文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」の研究費を使用しました. 記して感謝申し上げます.

2019年11月26日

上智大学

霧島硫黄山・えびの高原の地表熱活動と湧水組成について

霧島硫黄山・えびの高原において上智大学が実施したこれまでの地表熱活動および湧水調査の結果について報告する。本報告時点での直近の現地調査は2019年10月7日～10月8日に実施された。本報告に関わる硫黄山・えびの高原における湧水採水地点ならびに熱活動域を図1に示す。

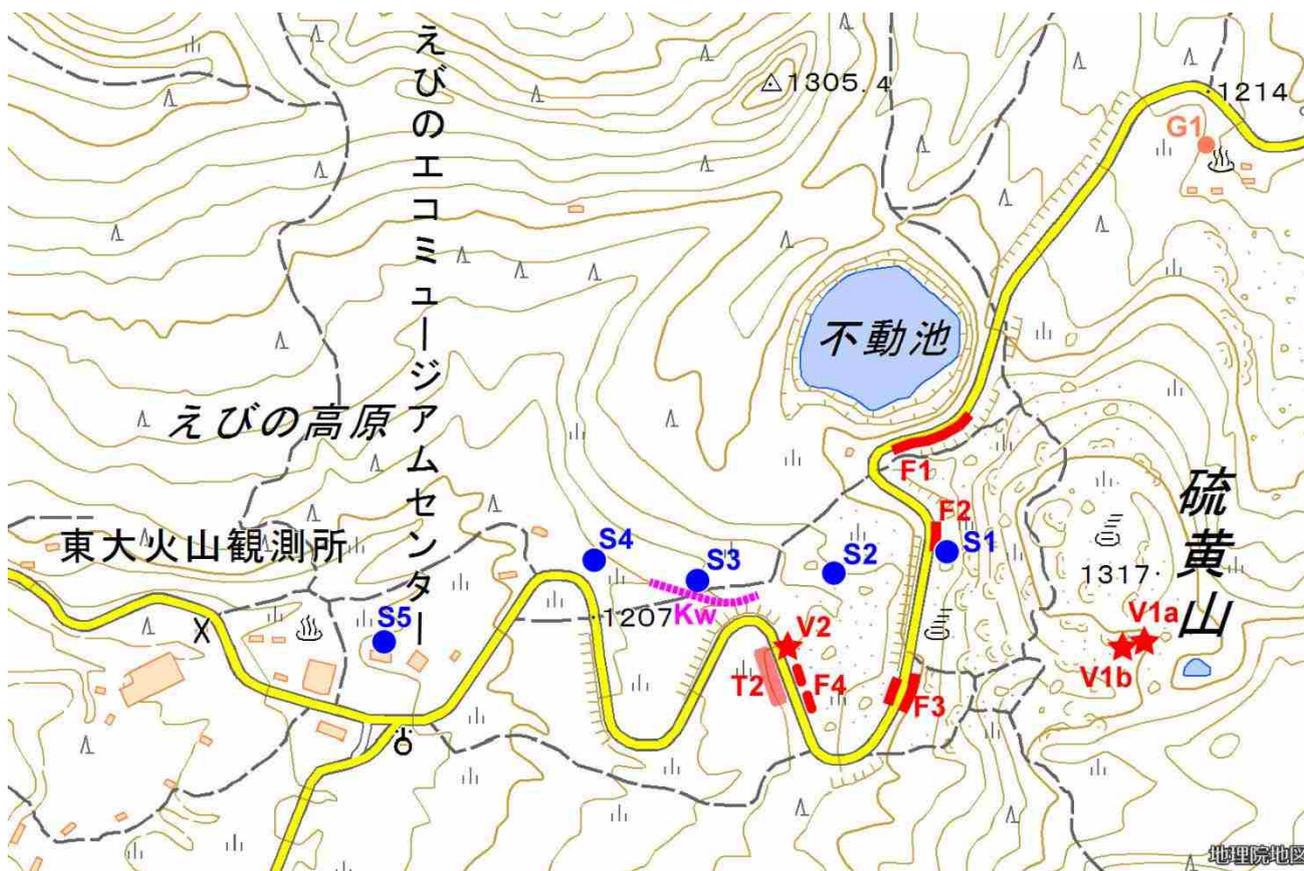


図1 湧水の採取地点（えびの高原内）（地理院地図「電子国土 web」を使用した）

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。

F1～F4 は噴気活動を，T2 は熱異常を，G1 は硫化水素ガスの放散を確認した場所を示す(本文参照)。

Kw は赤子川上流に河岸および河床から湧水を確認した大凡の範囲を示す(本文参照)。

1. えびの高原の噴気・熱活動について

図1におけるF1～F4は、これまでに県道1号沿いで確認されていた小規模な噴気活動の位置を示している。F1, F3は県道の法面からの弱い噴気、F2は県道東側の窪地の道路際に位置する弱い噴気、F4は道路脇地表面に位置する弱く小規模な噴気孔である。F1～F4の何れも2019年5月15日の測温で噴気温度として最高95℃程度を確認していたが、2019年10月8日時点では、F1は75℃前後、F2およびF3は噴気が消失して地温22℃であり、熱活動の低下が明らかである。

図1におけるT2の領域は、硫黄山西火孔(V2)の県道を挟んで向かい側の裸地に確認した熱異常域である。2019年4月7日の調査の際には温度異常は確認できなかったが、2019年5月15日に噴気は見られないものの、複数点で地表下5~30cmにおいて95℃以上の地温を観測した。その後、10月8日における調査では熱異常は明らかに弱まっており、確認された最高温度は約20cm深において80℃であった。

図1に示したG1は、えびの市営露天風呂直下の沢沿いにおいて硫化水素ガスの地表面放散が確認された地点である。熱異常は確認されないが草木の立ち枯れが見られる(図2)。硫化水素放散現象がいつ頃から始まったのかは定かではないが、2019年6月25日時点で地表面において15ppm前後、地表1mで1~2ppmの大気中H₂S濃度を確認したが、10月7日の調査ではH₂S放散は確認できなかった。



図2 えびの市営露天風呂付近のH₂S地表放散地点(G1)の様子(2019年10月7日撮影)

2. 硫黄山における湯だまり・熱水・湧水の水質変化について

図3~図9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。また、湧水Kwは赤子川上流のS3付近において2019年6月に新たに確認された河床からの湧水である。この湧水は一帯の河床左岸側各所から湧出している。

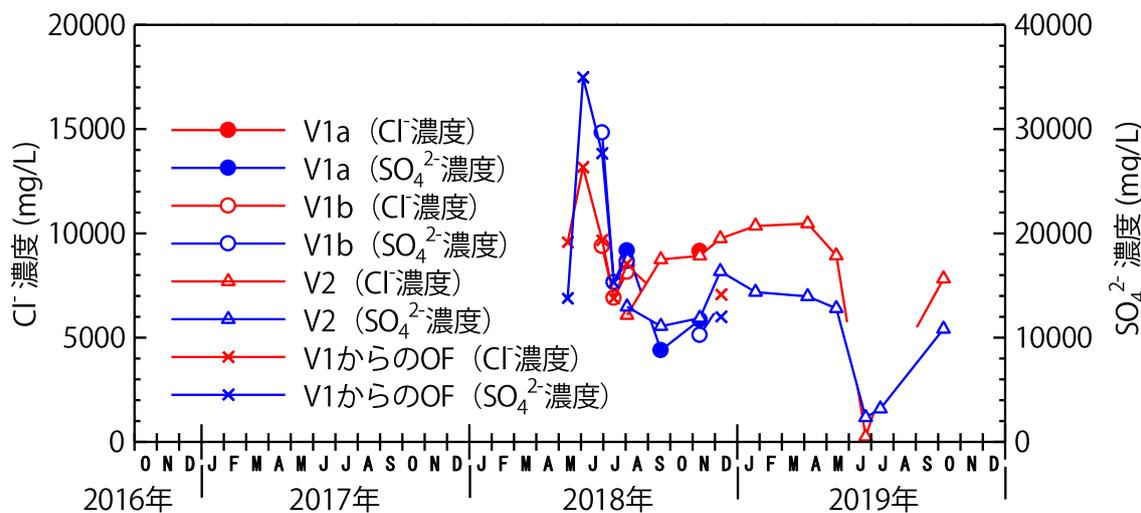


図3 湯だまり・熱水のCl⁻, SO₄²⁻濃度の推移

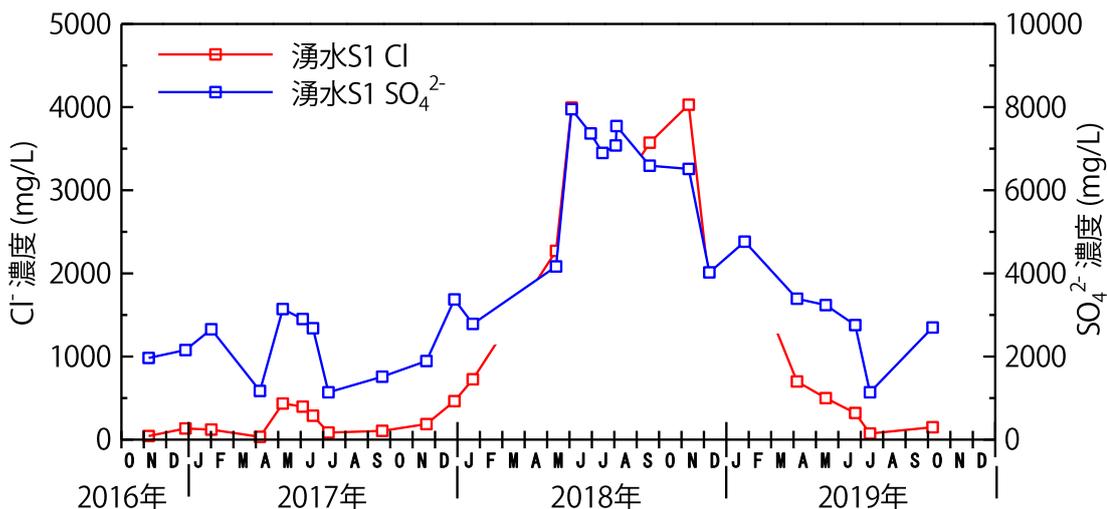


図4 湧水S1のCl⁻, SO₄²⁻濃度の推移

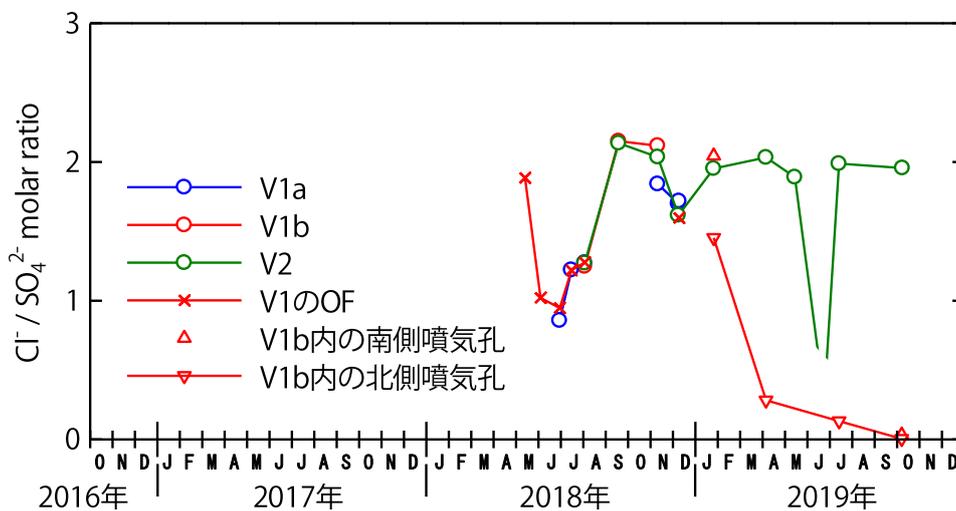


図5 湯だまり・熱水のCl⁻/SO₄²⁻モル比の推移

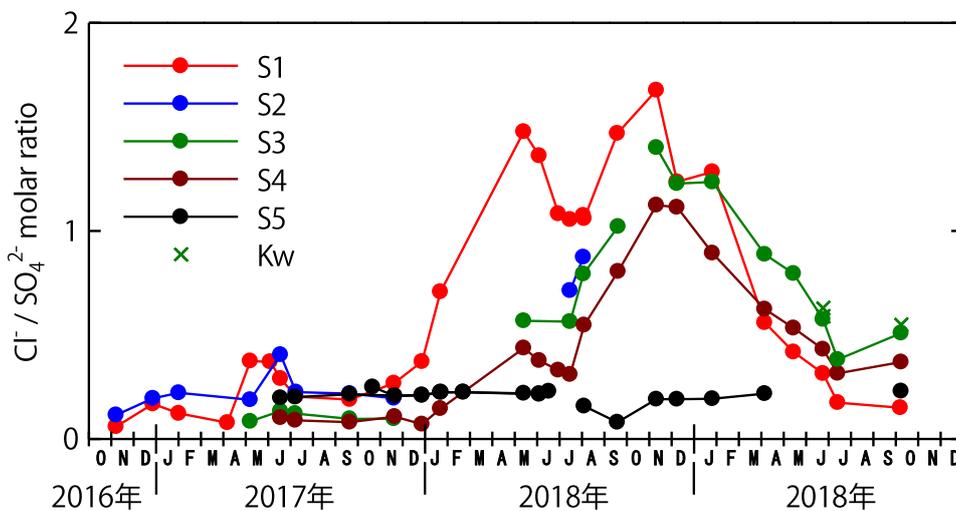


図6 湧水S1~S5およびKwのCl⁻/SO₄²⁻モル比の推移

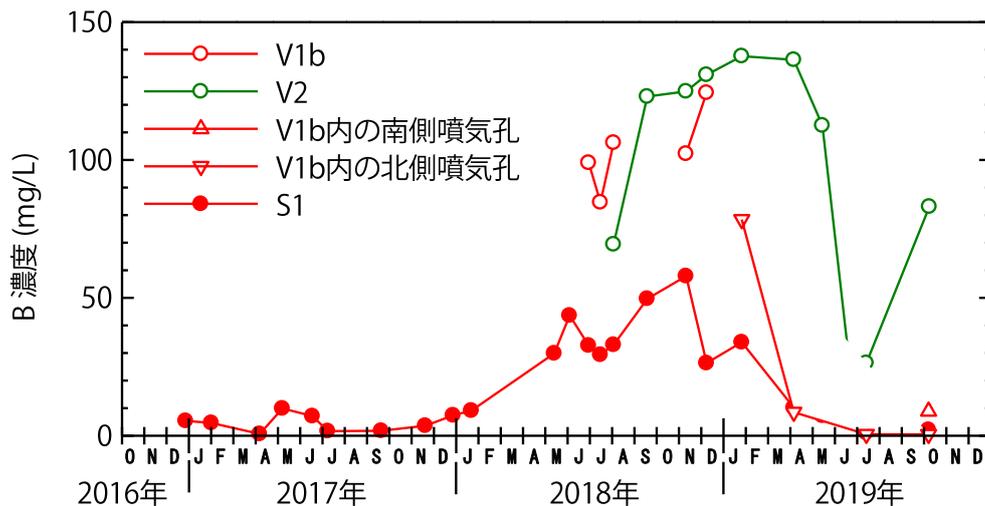


図7 湯だまり・熱水・湧水 S1 のホウ素濃度の推移

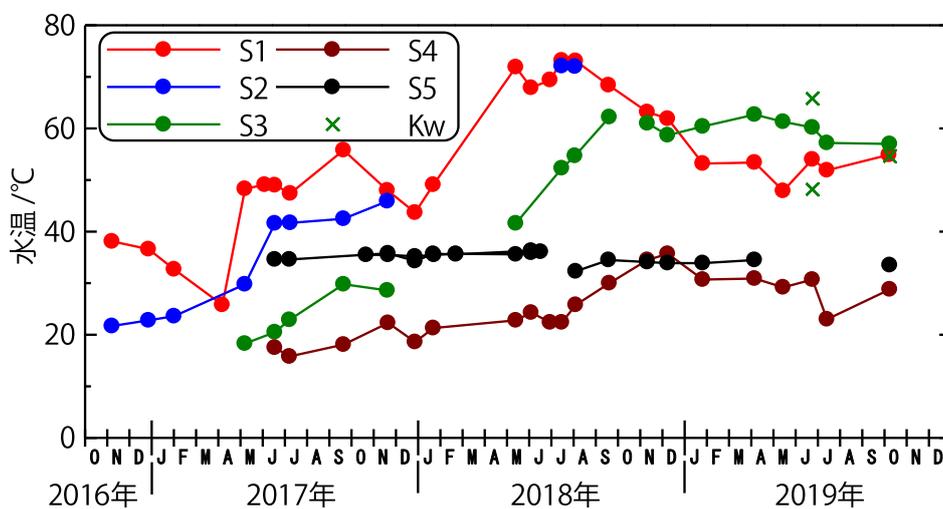


図8 湧水 S1~S5 および Kw の水温変化

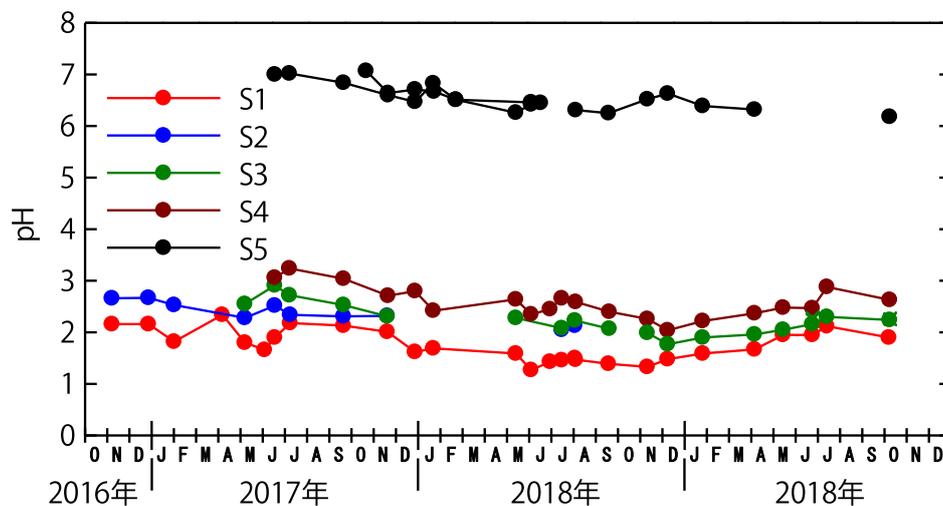


図9 湧水 S1~S5 および Kw の pH 変化

湯だまり・熱水・湧水の Cl^- , SO_4^{2-} 濃度, $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ モル比, ホウ素濃度の変動は良い一致を示しており, 硫黄山の活動レベルを知る良い指標となる. 硫黄山の活動は全体的には 2018 年の 11 月頃をピークとして, その後は低下傾向となったと考えられるが, 硫黄山の山体周辺と硫黄山西側(えびの高原)とでは状況がやや異なる. 硫黄山山体周辺では 2019 年に入って硫黄山南湯だまりがほぼ消失し, 硫黄山南湯だまり(V1b)や湧水 S1 の Cl^- , SO_4^{2-} 濃度, $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ モル比, ホウ素濃度が低下するなど明らかな活動の低下が認められる一方, えびの高原側では, 硫黄山西火孔の熱水(V2)の Cl^- , SO_4^{2-} 濃度, $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ モル比, ホウ素濃度の推移から 2019 年 6 月~7 月には一時的に活動が低調となっていたことが窺えるものの, その後, それらは再び高い値に戻っており, 硫黄山西火孔への深部からの火山性流体の供給は継続されていることが示される.

えびの高原内の湧水 S3, S4 の $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ モル比は硫黄山南湯だまり (V1b) と同様に, 2019 年に入り 7 月頃まで低下傾向にあったが, その間, 水温や pH にはそれほど大きな変化はなく, 6 月には湧水 S3 近傍の河床に S3 とほぼ同等の水質を示す新たな河床湧水 Kw が確認された. その後, 10 月には硫黄山西火孔熱水 (V2) の変化に伴うように湧水 S3, S4 の $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ モル比の上昇が認められている.

まとめ

2019 年 10 月現在, 硫黄山山体周辺では硫黄山南湯だまりが消失し, 近傍の湧水の組成の変化からも火山活動の低下が認められるが, 硫黄山西方では状況がやや異なり, 硫黄山西火孔の化学組成から未だ深部熱水の供給が継続的に行われていることが窺われる. また, えびの高原内の湧水においてもその水質は火山活動静穏時の状態には戻っていない.

以上のことから, 硫黄山全体としての火山活動は 2019 年に入ってから低下基調にあると判断されるものの, 局所的には深部熱水の供給も継続していると考えられ, 引き続き活動状況の推移を注意深く見守る必要があると考えられる.

以上

(上智大学・木川田喜一)

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~2019年11月)

2019年11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、2017年10月以降膨張を続けていたが、2018年12月以降の膨張はほぼ停止状態であると推定される。

九大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とも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ている。

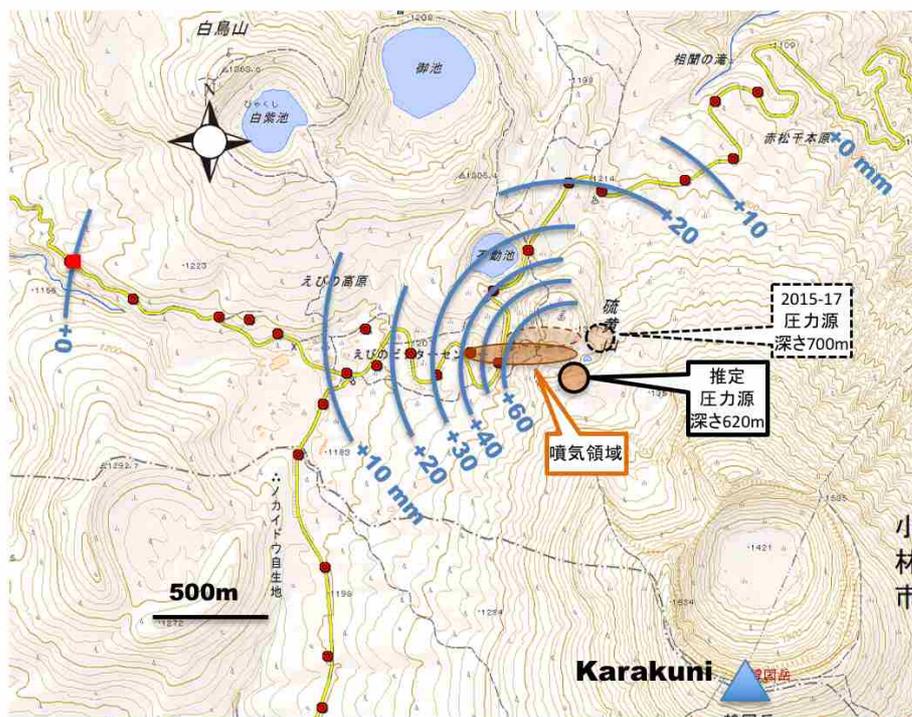
2017年10月以降の主な水準測量結果を第2図に示す。また主な水準点における隆起量の時間変化を第3図に示す。いずれも2015年6月および、測線の西端のBM1120を基準としている。再隆起が始まった2017年10月以降の隆起量を図1の等値線で示す。硫黄山山頂に近いBM3050で2019年11月までに66.1 mmの隆起が見られる。隆起中心も2017年5月以前よりは、南西側に移動しており、地表の噴気領域の移動と調和的である。この隆起は硫黄山西側のBM3040を除いて、2018年12月以降にほぼ停止もしくは沈降傾向に反転している。

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。

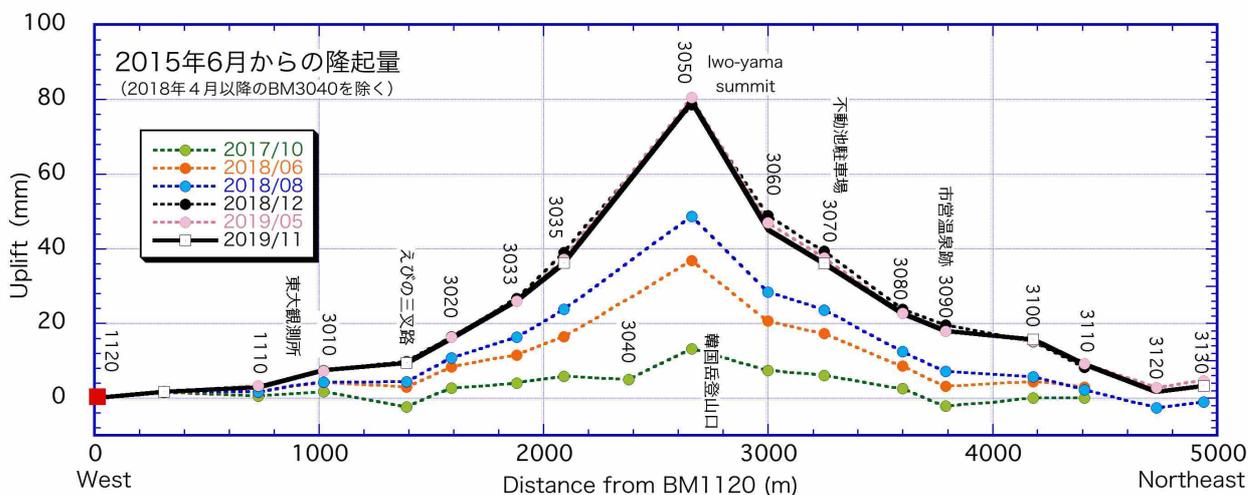
第4図に水準測量から推定された硫黄山下の圧力源の体積変化量を示す。このとき、圧力源の位置は第1表の場所に固定し、体積変化量のみを変化させて最適値を求めている。2015年6月を基準とした体積増加量は、2018年12月では15.7万 m^3 、2019年3月15.6万 m^3 、5月15.5万 m^3 、11月15.2万 m^3 と推定された。2017年10月以降は2018年4月の小噴火直後の一時的な体積減を除いて、地下圧力源の膨張が続いていたが、2018年12月以降は膨張が止まり、若干の収縮傾向となっていることがわかる。この時期は特に大きな地上現象の変化はなく、熱水湧水量や水蒸気量も安定していることから、地表噴出増加による体積減は考えにくく、地下深部から圧力源への熱水の供給が衰えつつある可能性が示唆される。

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.



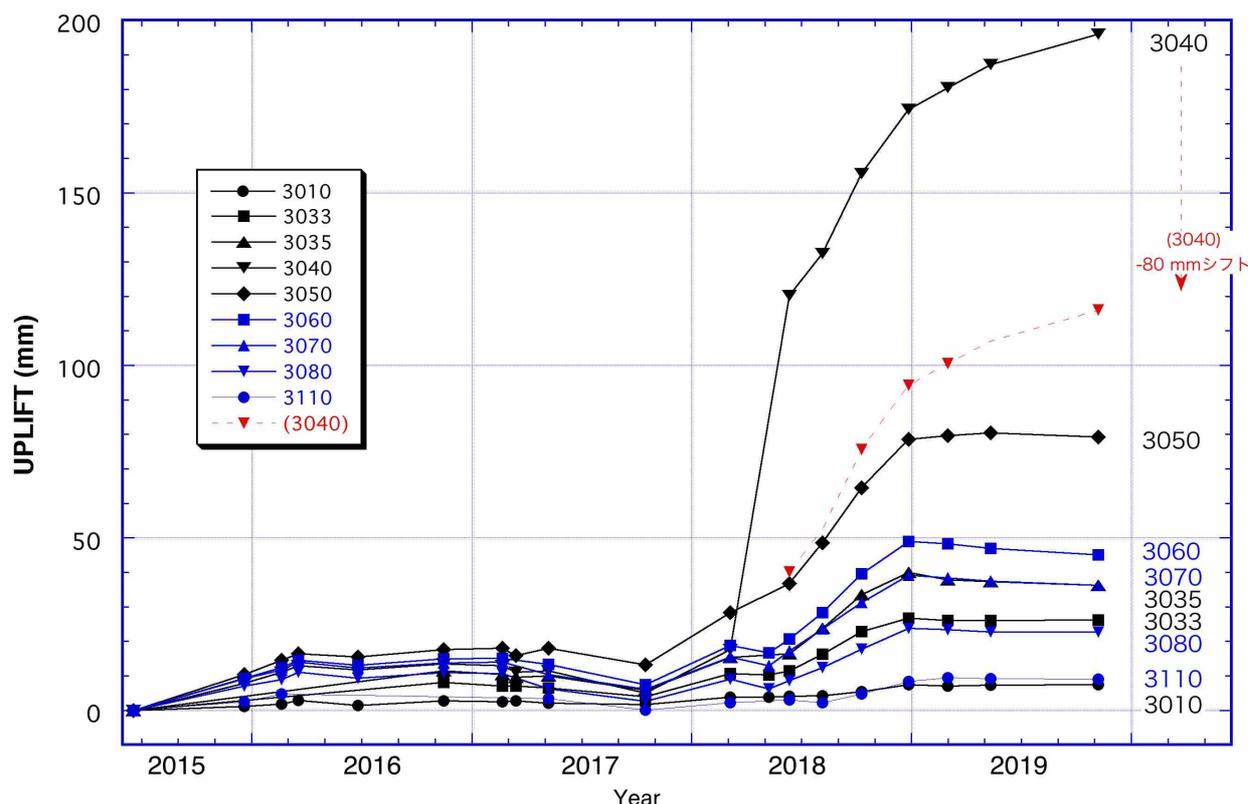
第1図 えびの高原～硫黄山区間の水準路線と2017年10月から2018年12月までの隆起量を示す。2018年4月から活発化した噴気領域や、これまでの水準測量から推定された圧力源の水平位置も同時に示す。国土地理院電子地形図（タイル）を使用した



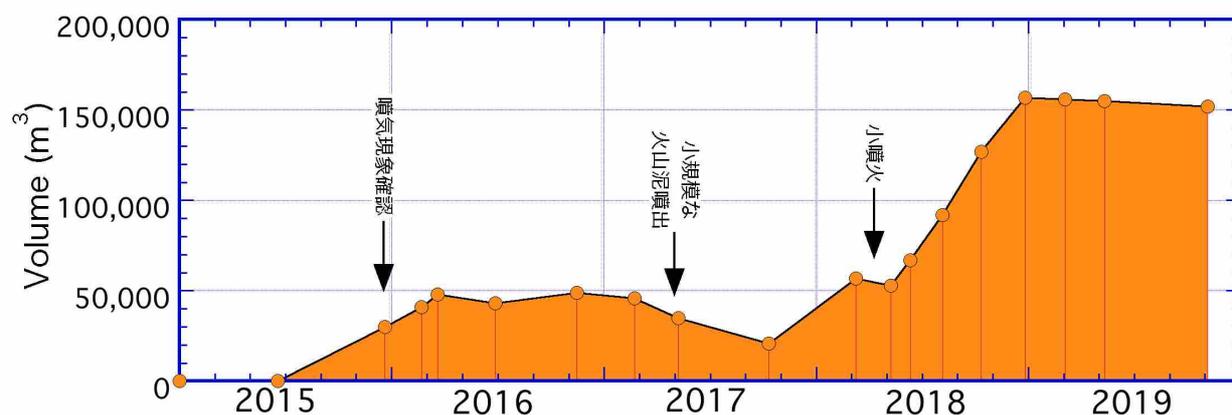
第2図 2017年10月以降の主な水準測量結果（BM3040を除く）。隆起・沈降の中心は硫黄山付近の浅部と考えられる。2018年12月以降の値はほとんど重なっている。

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, 多くの観測点で停止, もしくは若干の沈降が見られる. 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8cm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」「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.

*2019年11月 測量作業 内田和也・松島 健・村松 弾・岩佐優一・安仁屋 智・大須賀啓士
 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・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・噴湯現象が継続していたが、2018年12月以降は噴気・熱水温度は安定もしくは低下している。本調査期間中に硫黄山南火口のY2a火口湯だまりの噴湯現象を確認したが、Y2b火口では水温が低下していた。2018年4月以降活発な熱水湧出・噴湯をしていた硫黄山西火口のW4孔湯だまりは、水温に大きな変化がないものの、12月は水位が低下し赤子川への泥水流出が止まっていた。それ以外でも温度の低下傾向にある噴気が複数箇所認められ、硫黄山西山麓の川湯3湧水地点では2018年4月以降70°Cを越えていた水温が25.0°C(11/7)に低下し、12月13日には湧出が止まっていた。

1. 硫黄山南火口

Y2火口湯だまりでは2019年2月、3月に水位が低下し5月には消失したが、8月に再出現を確認した。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火口湯だまりでは、2018～2019年にかけて活発な噴湯現象が認められたが、2019年5月に湯だまりが消失し、8～11月に湯だまりの再出現と弱い噴湯、12月に水位上昇と噴湯を確認した(図3, 4)。Y2b火口の水温は消失前が93.7°C(2019/3/2)であったが、再出現後は81.6°C(8/3), 81.4°C(11/7), 73.1°C(12/13)と低下した(図1, 10)。湯だまりの再出現は、梅雨頃からの降水による影響と推定される。
- ・Y3火口は2019年2月～5月に湯だまりの消失と噴気孔からの火山ガス放出を確認し、2019年8, 11, 12月も同じ状態が続いていた(図4)。噴気温は、98.3°C(8/3), 96.1(11/7)であり、8月は沸点より高温であるが11月は沸点(標高1300mの沸点約96°C)に近づきつつある。
- ・Y2a・b火口の湯だまりから熱水が泥水として赤子川に流れ出すこともあったが、2019年3月以降は本調査期間を含め調査時に流出は見られなかった。

2. 硫黄山西火口

硫黄山西火口では、W4孔の湯だまりで活発な噴湯が認められた(図5)。W3孔では、5月まで見えていた弱い噴気と湯だまりが見えなくなった。

- ・W4孔湯だまりでは、95.3°C, pH 1.1(2019/5/11), 95.9°C, pH 1.0(8/3), 95.6°C, pH 0.9(11/8), 94.4°C, pH 1.3(12/13)と、ほぼ安定した状態が続いている(図1, 10)。
- ・W4孔湯だまりは、2018年12～2019年5月調査に泥水を赤子川に流出させており、8月、11月にも流出を確認したが、12月13日には水位が低下し流出がなかった。なお、道路側への浸食の様子はほぼ変わらなかったが、11月にW4孔は北西に0.5m以上拡大した(図5)。

3. 硫黄山噴気帯及び湧水

- ・川湯3(K3)湧水では、水温が低下傾向にあり、50.2°C(2019/5/11)に比べ、58.2°C(8/3), 25.0°C(11/7)と低下傾向は継続し、12月に湧水は枯れていた(図1, 10)。今回の測定では、湧水量が極端に減少もしくは枯れており、湧水点周辺の地下水位低下が疑われる。

*田島靖久・松島 健・石橋純一郎・益田晴恵・前野 深

- ・硫黄山山頂域噴気帯の定点観測では、噴気孔 B, I, G に温度低下が認められる (図 1, 8).
- ・噴気孔 M8 は, 97.8°C (2019/2/12), 96.7°C (3/5), 97.8°C (5/11), 95.9°C (8/3), 95.8°C (11/7), 94.7°C (12/13) とほぼ安定している (図 9). なお, M8 噴気孔では, 5/11 に 97.8°C を計測した噴気個所では, 11/8 に陥没孔が形成されその中から熱泥水が湧出していた (図 6).

4. その他

- ・旧市営露天風呂での湧水温度観測の結果, 水温 23.7°C, pH 2.2 (2019/5/11) に比べ, 8 月の水温 21.6°C, pH 2.7 (8/3), 11 月の水温 21.7°C, pH 2.1 (11/8), 12 月の水温 18.5°C (12/13) であり, 水温の低下傾向は続く (図 1).
- ・K1 湧水付近 (第 134~140 回火山噴火予知連絡会資料, 東京大学地震研究所) では温水湧出 (水温 56.1°C, pH 2.5; 11/7) が生じていた (図 7). エコミュージアムセンターへの聞き取りでは 8 月頃から温水湧出が生じていたとのことである.



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. 黄四角: 噴気観測定点, 青四角: 水温観測定点. 硫黄山南火口及び西火口の位置や名称は, 田島・他 (2019) に基づく.

【文献】

田島靖久・中田節也・長井雅史・前野 深・渡邊篤志 (2019) 霧島火山群, えびの高原硫黄山の 2018 年 4 月の小噴火, 火山, 64.

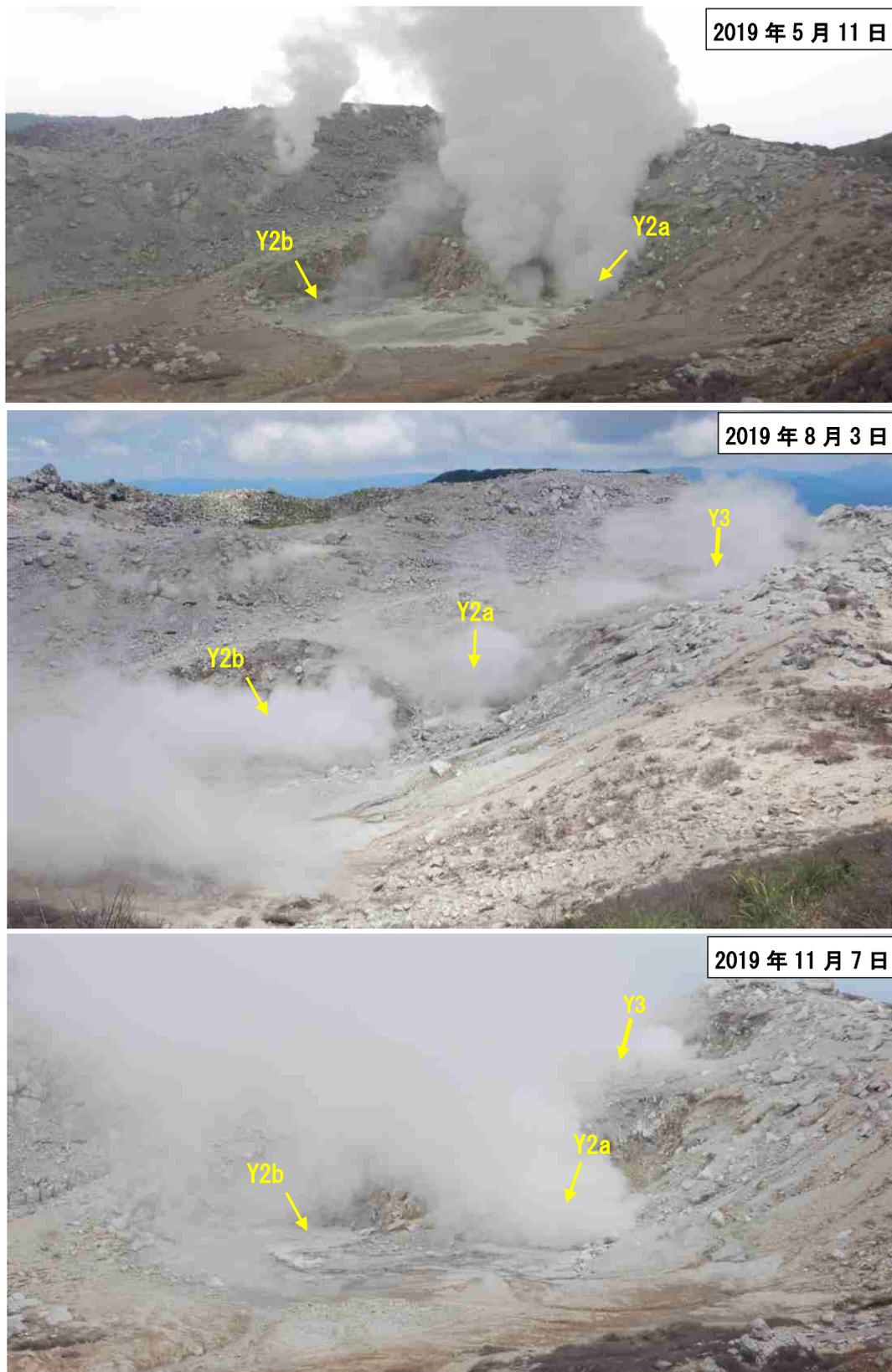


図2 硫黄山南火口の熱水活動

上: Y2a, Y2b とも湯だまりの消失を確認した. 中: Y2a, Y2b には湯だまりが再出現し, Y2a では弱い噴湯が見られた. 下: Y2a, Y2b の湯だまりは8月と比べ変化がなく, Y2a では弱い噴湯が生じていた.

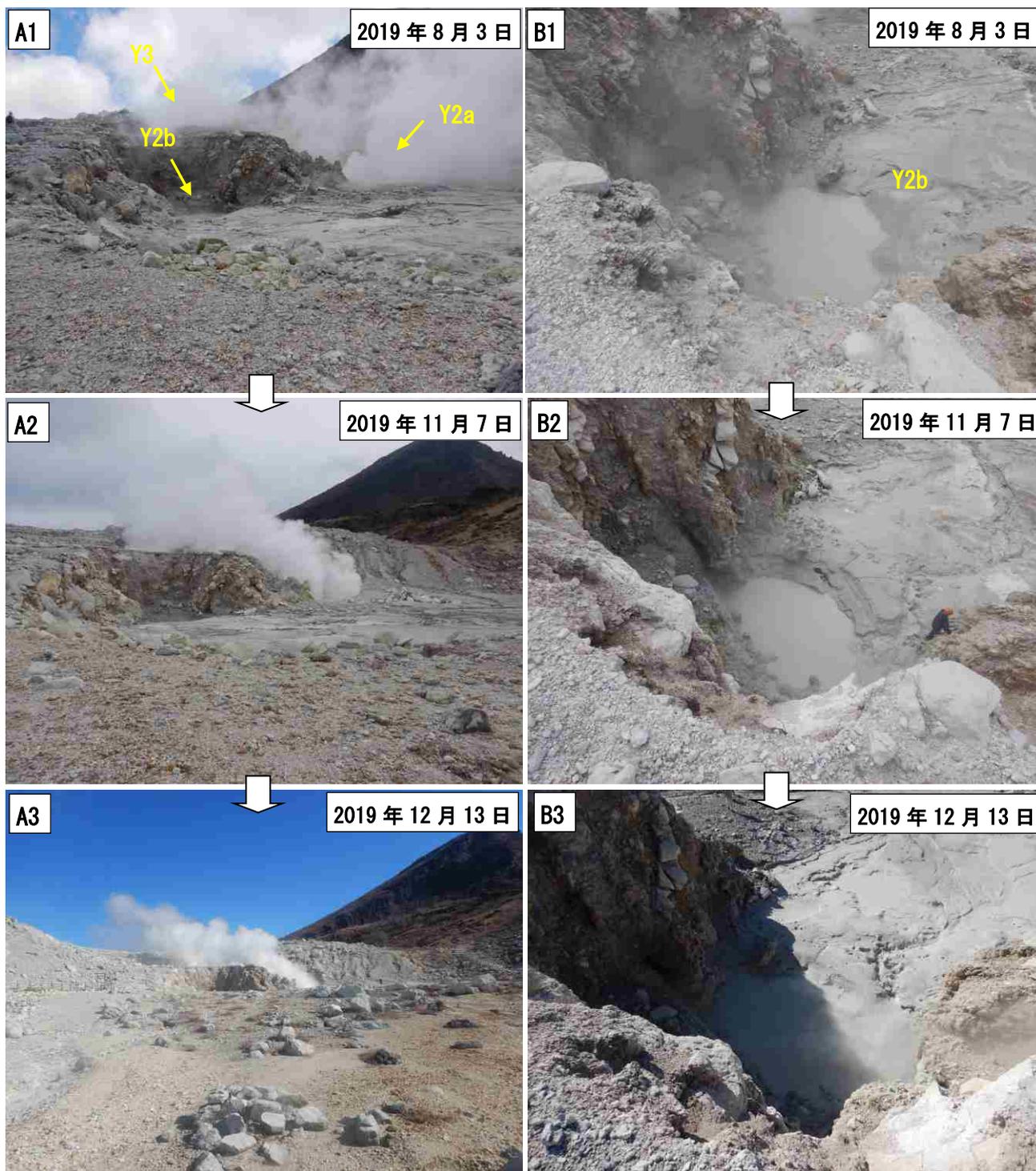


図3 硫黄山南火口 (Y2a, b) の地熱活動

A: 硫黄山南火口 (Y2a, Y2b). Y2a, Y2bからの熱水の流出はない.

B: Y2b火口の湯だまり. 5月に消失した湯だまりが再出現し, 8月, 11月調査時に大きな変化はないが, 12月はやや水位が上昇した.

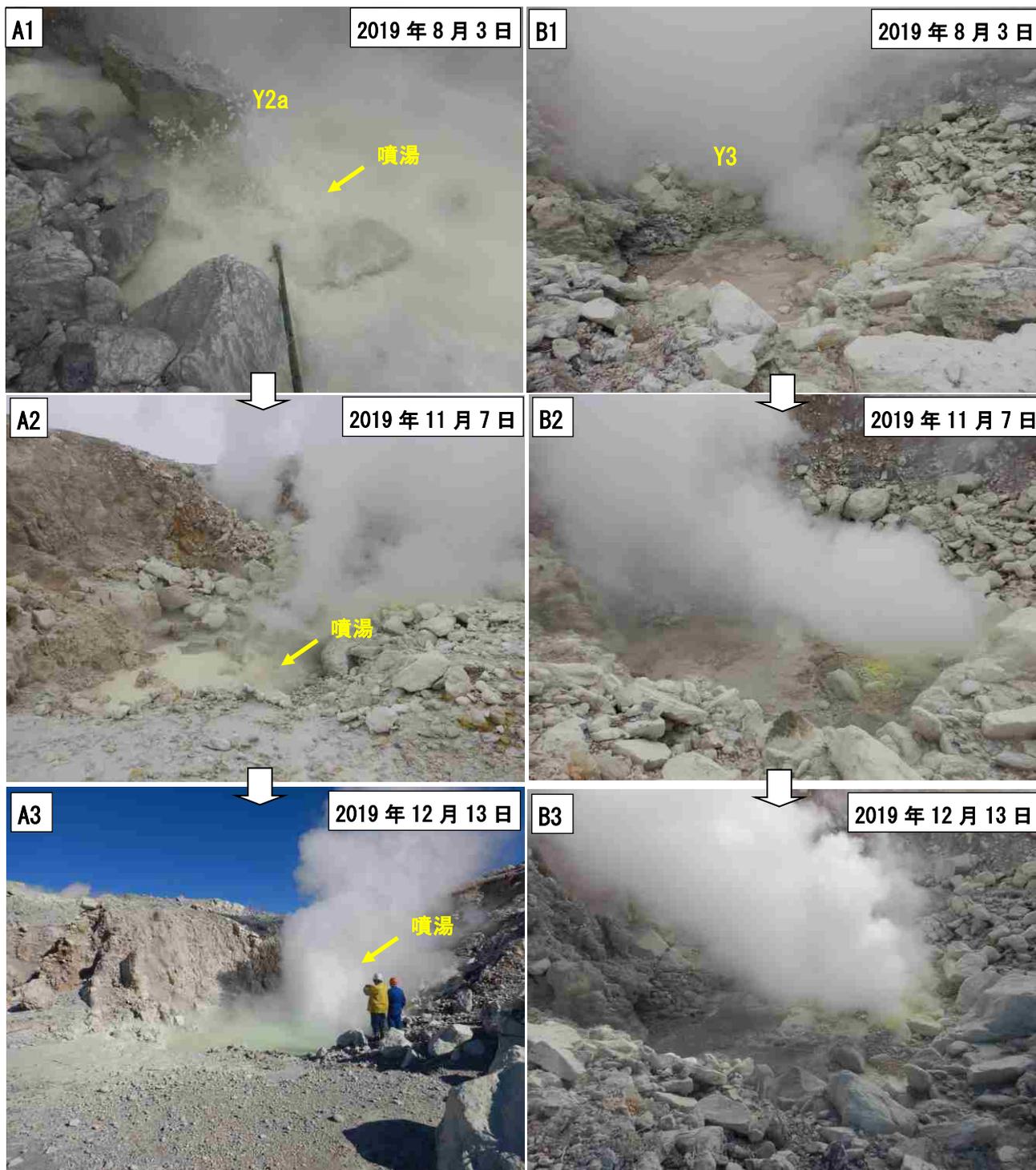


図4 硫黄山南火口 (Y3) の地熱活動

- A: Y2a火口と噴湯現象. 8月, 11月調査時にY2a火口から弱い噴湯が認められた. 12月には水位が上昇しており, 高さ2~3mに達する噴湯が見られた.
- B: Y3の噴気状況. 湯だまりはない. これらの調査時に大きな変化は認められない.

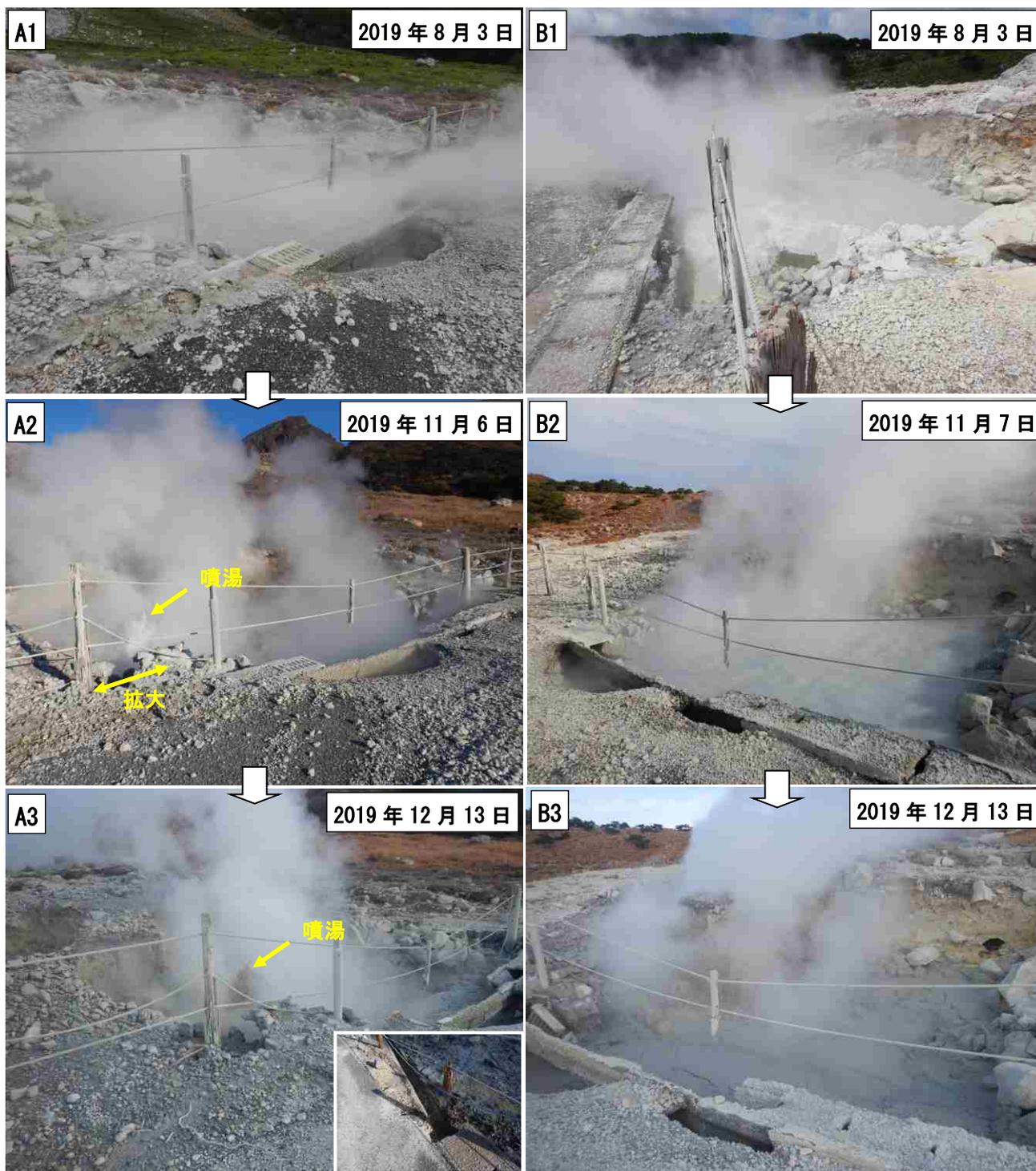


図5 硫黄山西火口（W4孔）の地熱活動

- A: W4孔湯だまり. 11月にW4孔の北西側への拡大が認められ, 湧出箇所が北西に偏る. W4孔の大きさは道路沿い(7m)×道路直交(7~5.5m)である. 12月は泥水状の噴湯が生じていた. また, 水位低下により側溝からの流出はない.
- B: 南東側から見たW4孔湯だまり. 11月は湧出箇所が北西に偏り, 12月には明らかな水位低下が生じた. 12月は側溝縁から水面までの高さは-80 cmである.



図6 M8噴気孔の地熱活動 (左: 5月, 右: 11月)

A: 5月に高温の噴気が生じた箇所では, 11月に陥没孔が見られ熱水が湧出していた. 全体の孔の大きさは直径 2×2 m. 5月11日測定時の噴気の最高温度は 97.8°C , 11月7日の熱水の最高温度は 95.1°C .

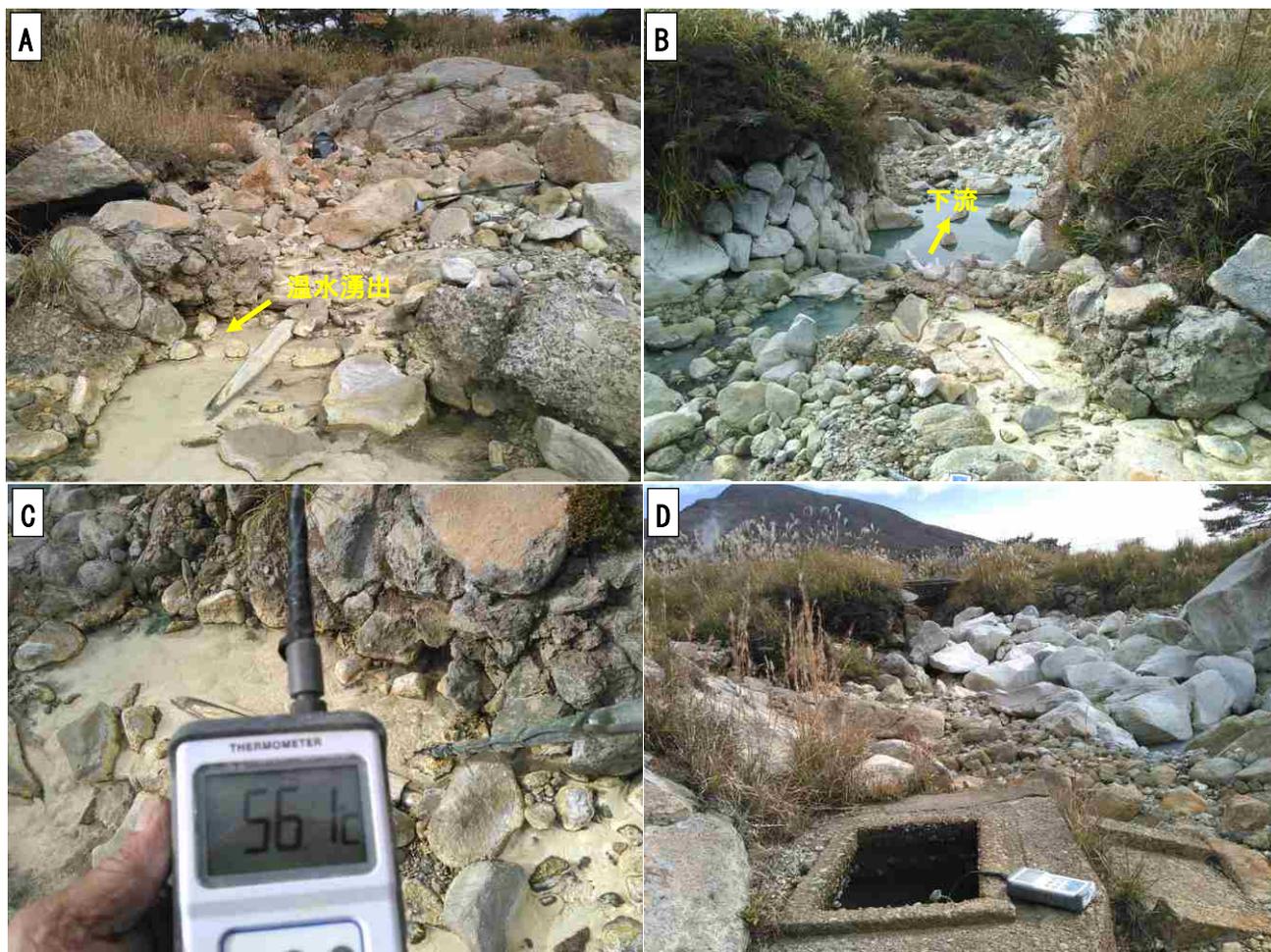
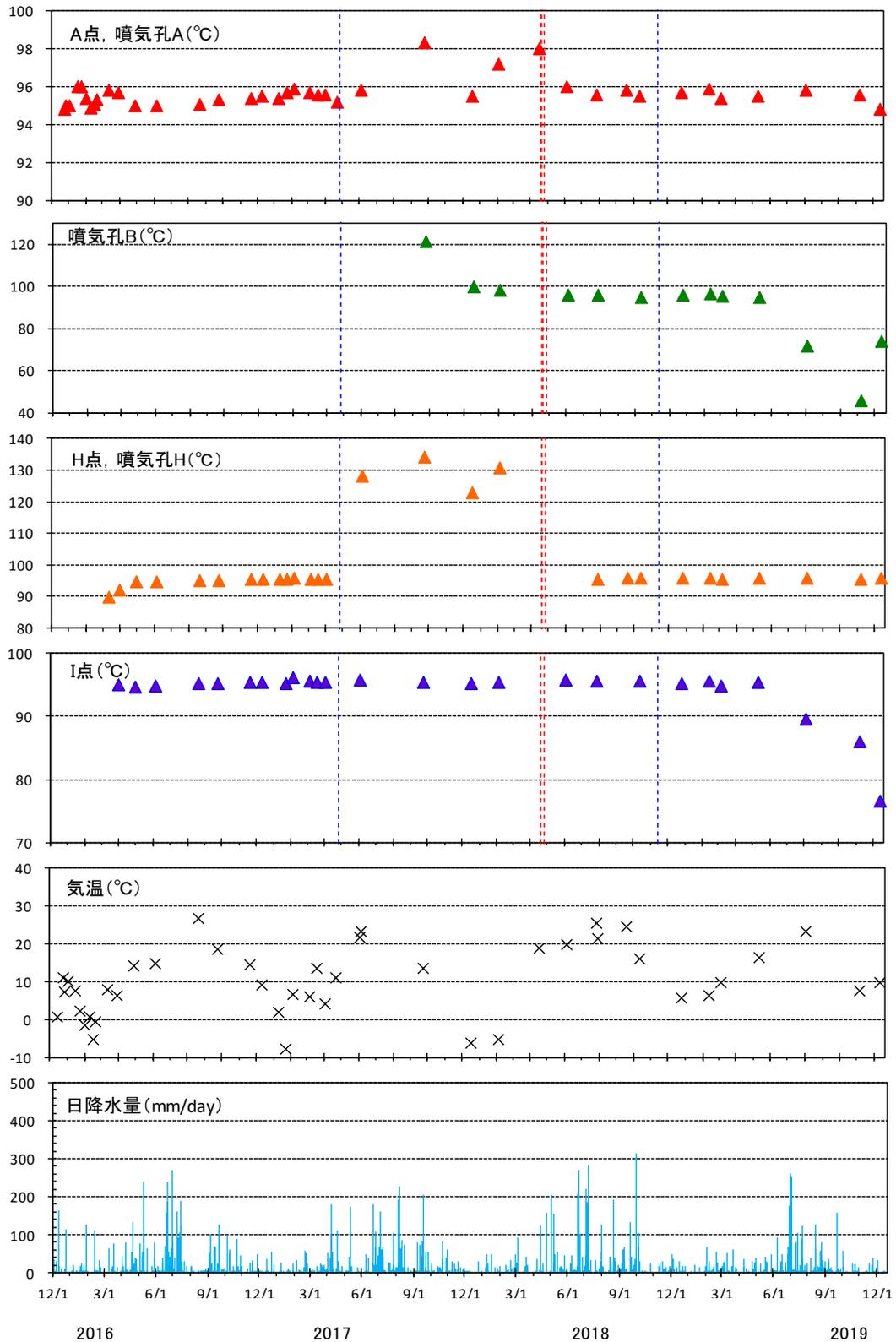


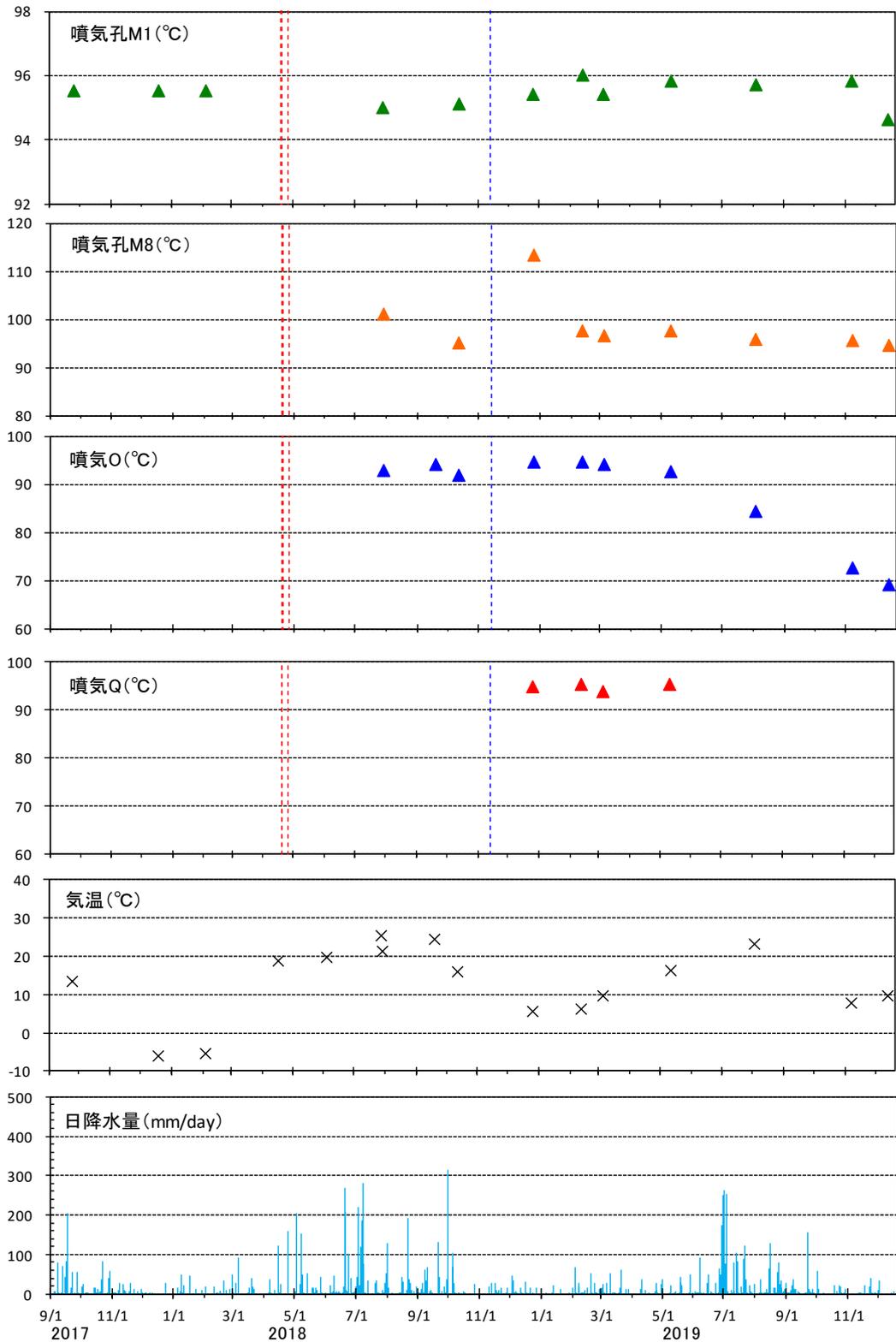
図7 K1湧水付近での温水湧出状況 (2019年11月7日)

A: 温水の湧出状況, 矢印付近から湧出. B: 温水の赤子川への流下状況. C: 温水の測定温度 (水温: 56.1°C , pH 2.5) D: K1 湧水付近に設置された升中の温水測定 (水温 57.4°C). 計測・撮影: 古園俊男氏.



2016 2017 2018 2019
 日降水量は気象庁の過去の気象データ検索「宮崎県 えびの」、青破線: 土砂噴出, 赤破線: 噴火(気象庁ホームページ).
 2017/4/26土砂噴出(A噴気孔), 2018/4/19噴火(Y2-3火口), 4/20噴火(西火口), 4/26噴火(西火口), 11/13(Y2火口)(火口等は, 田島・他, 2019)

図 8 硫黄山噴気帯山頂域の噴気温度測定結果 (位置は図 1 参照)



日降水量は気象庁の過去の気象データ検索「宮崎県 えびの」、青破線: 土砂噴出, 赤破線: 噴火(気象庁ホームページ).
2017/4/26土砂噴出(A噴気孔), 2018/4/19噴火(Y2-3火口), 4/20噴火(西火口), 4/26噴火(西火口), 11/13(Y2火口)(火口等は, 田島・他, 2019)

図 9 硫黄山噴気帯西域の噴気温度測定結果 (位置は図 1 参照)

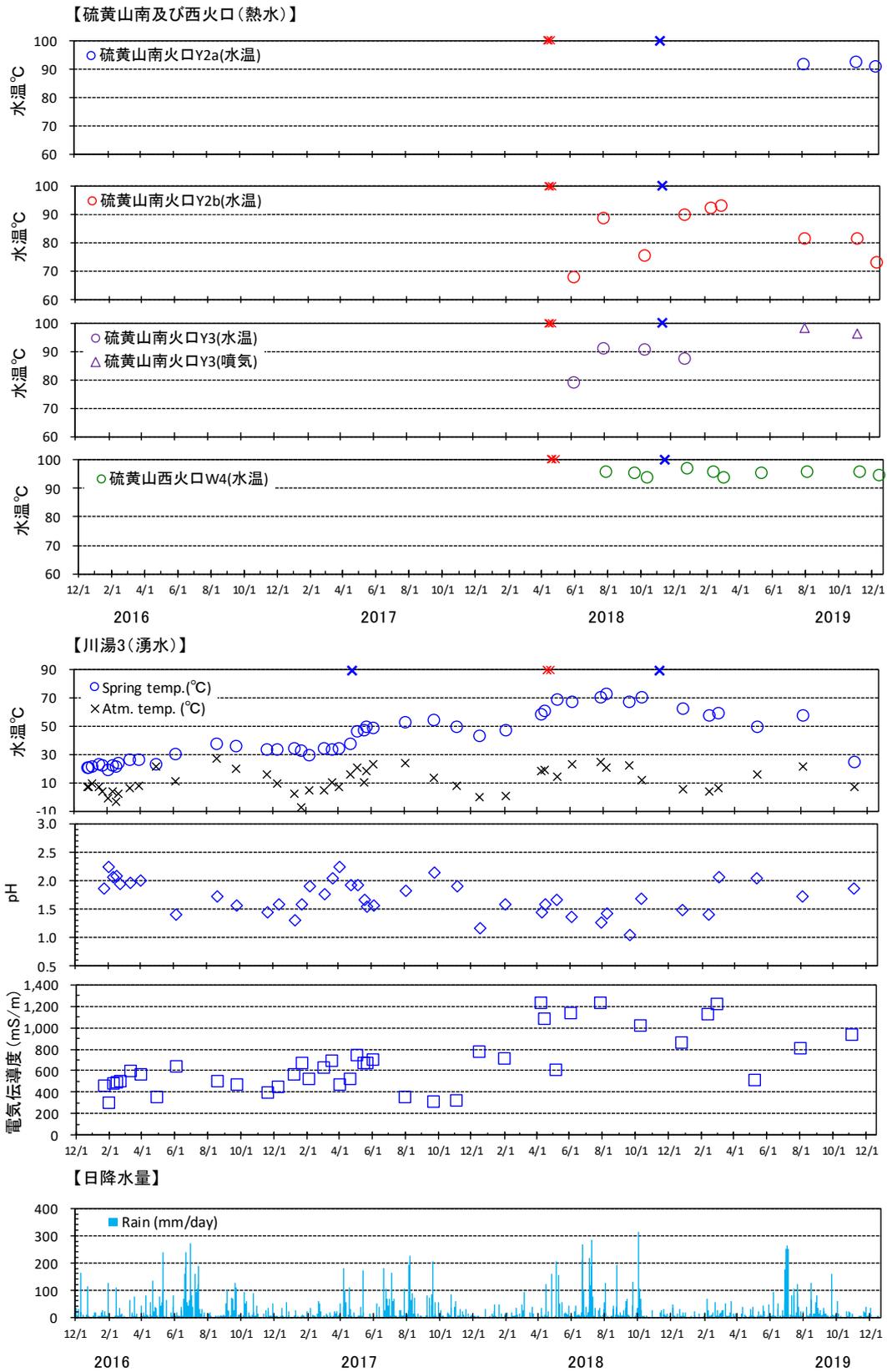


図 10 硫黄山周辺の湯だまり・湧水の測定結果 (位置は図 1 参照)

2019年11月25日 九州大学、大阪市立大学*

硫黄山周辺の熱水・湧水の化学組成の経時変動について

2018年4月の噴火以後に形成された湯だまりを中心に、硫黄山周辺の温泉水、湧水を、2018年7月28-29日、10月12日、12月26-27日、2019年3月2日、5月17-18日、に引き続き8月3日および11月7-8日に採取した。この1年余りの期間の化学組成の経時変化について報告する。

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た。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2つの湯だまり、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。ただし南火口群の湯だまりについては、水位低下のために2019年になってから採取できないことが多い。また Y2 の湯だまりについては、なるべく両方の湯だまりから採取するようにしている。図1にこれらの採取地点の位置を示す。

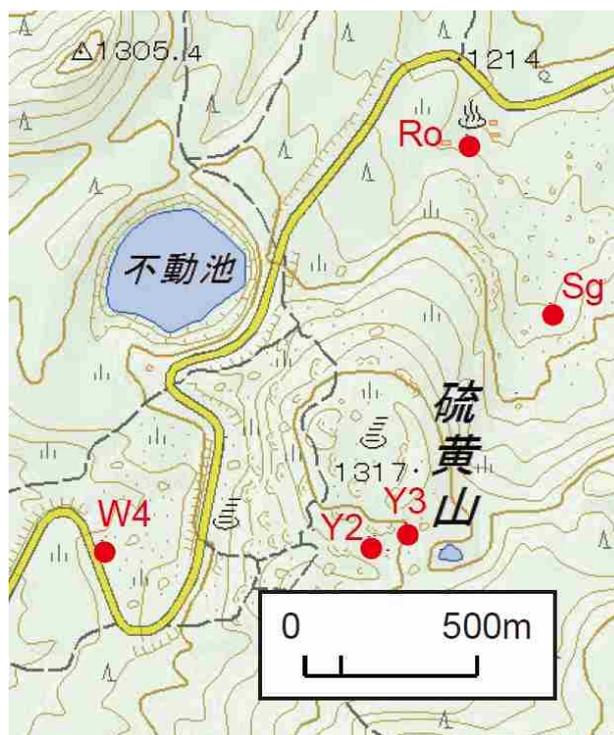


図1 試料採取地点（国土地理院の地図「電子国土 web」に追記）

化学組成については、陽イオン (Na, K, Mg, Ca) と Si を ICP 発光分析法により、陰イオン (Cl, SO₄) 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。また水温, pH, EC (電気伝導度) は採水時にそれぞれに計測機器を用いて現場測定を行なった。

*石橋純一郎・益田晴恵

2. 分析結果

熱水、温泉水、湧水の化学分析の結果から、pH および Cl/SO₄ 比の経時変動を図 2 に示す。冬季の水位低下の影響を受けずに試料採取ができた南火口群 Y2 湯だまり，西火口群 W4 湯だまり，硫黄山北側の旧市営露天風呂の源泉の 3 地点のデータを示した。

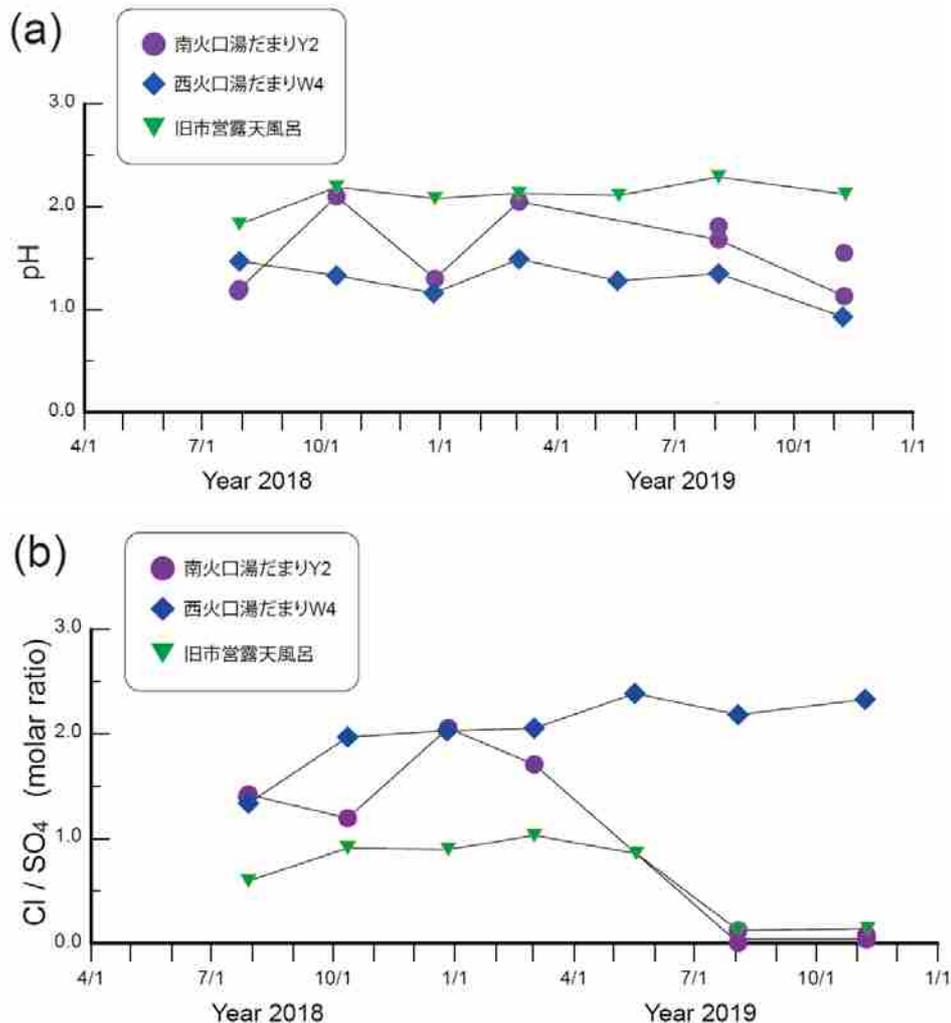


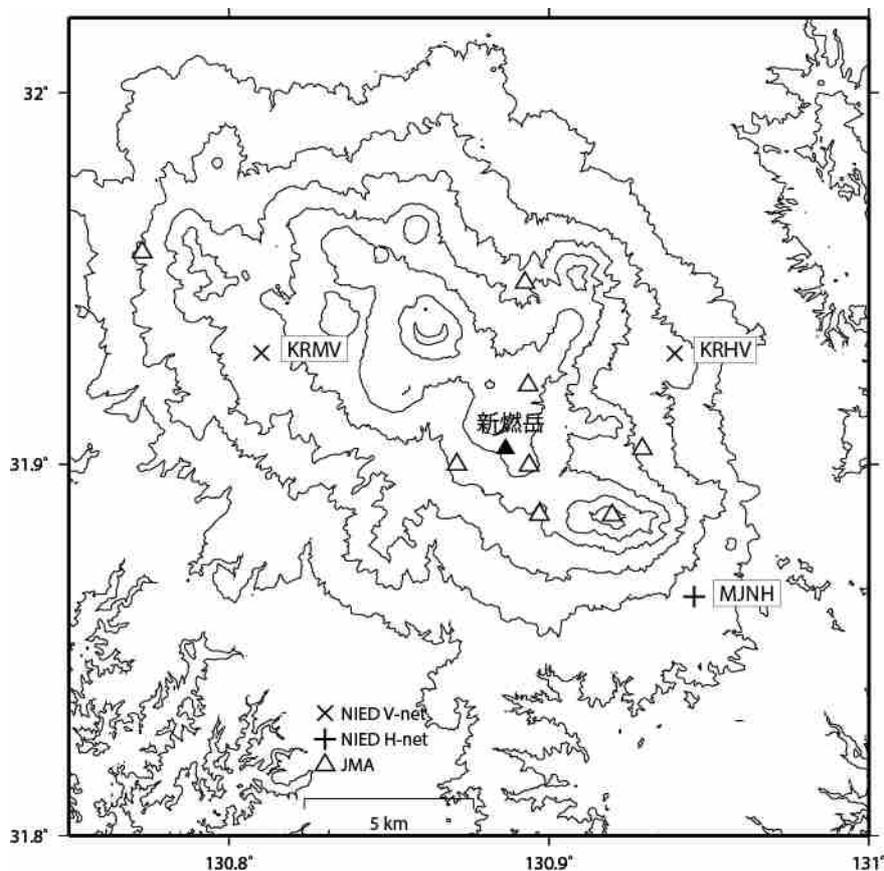
図 2 温泉水の(a)pH と(b)Cl/SO₄ 比の経時変動

- 南火口湯だまり Y2 (2019 年 8 月と 11 月は Y2a と Y2b の両者から採取分析した),
- ◆ 西火口湯だまり W4, ▼ 旧市営露天風呂

3. 結果の解釈

2019 年夏以降に Cl/SO₄ 比の顕著な減少が、南火口湯だまり Y2 と旧市営露天風呂の温泉水に見られた。Cl 濃度、SO₄ 濃度ともに減少しており、特に Cl 濃度は 2018 年の値に比べて 1/10 から 1/100 に減少している。この結果から、硫黄山山頂周辺の湯だまりへの火山性揮発物質の寄与が少なくなっていると考えられる。しかし、温泉水の pH にはそれほど大きな変動がないことから、影響が全くなくなったわけではない。これに対して西火口湯だまり W4 では、溶存化学成分の顕著な経時変動は見られていない (図に示していないが陽イオンの濃度についても大きな変動はない)。泉温も沸点に近い温度を保ったままであり、引き続き観測を続けたい。

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

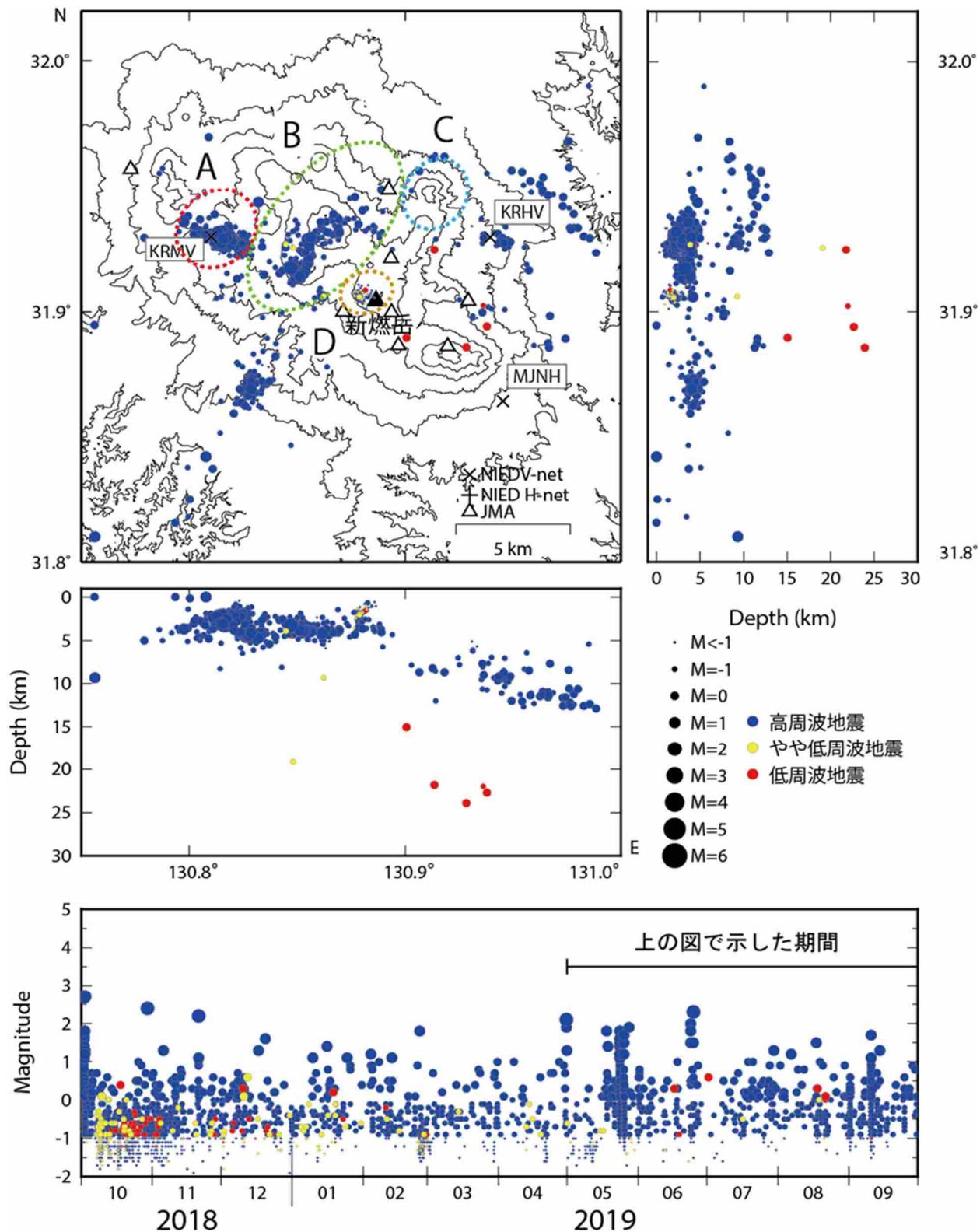
○ 地震活動

2019年5月から9月30日の震源分布を図1に示した。5月23-26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、降雨によると思われる傾斜変動は観測されているが、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。

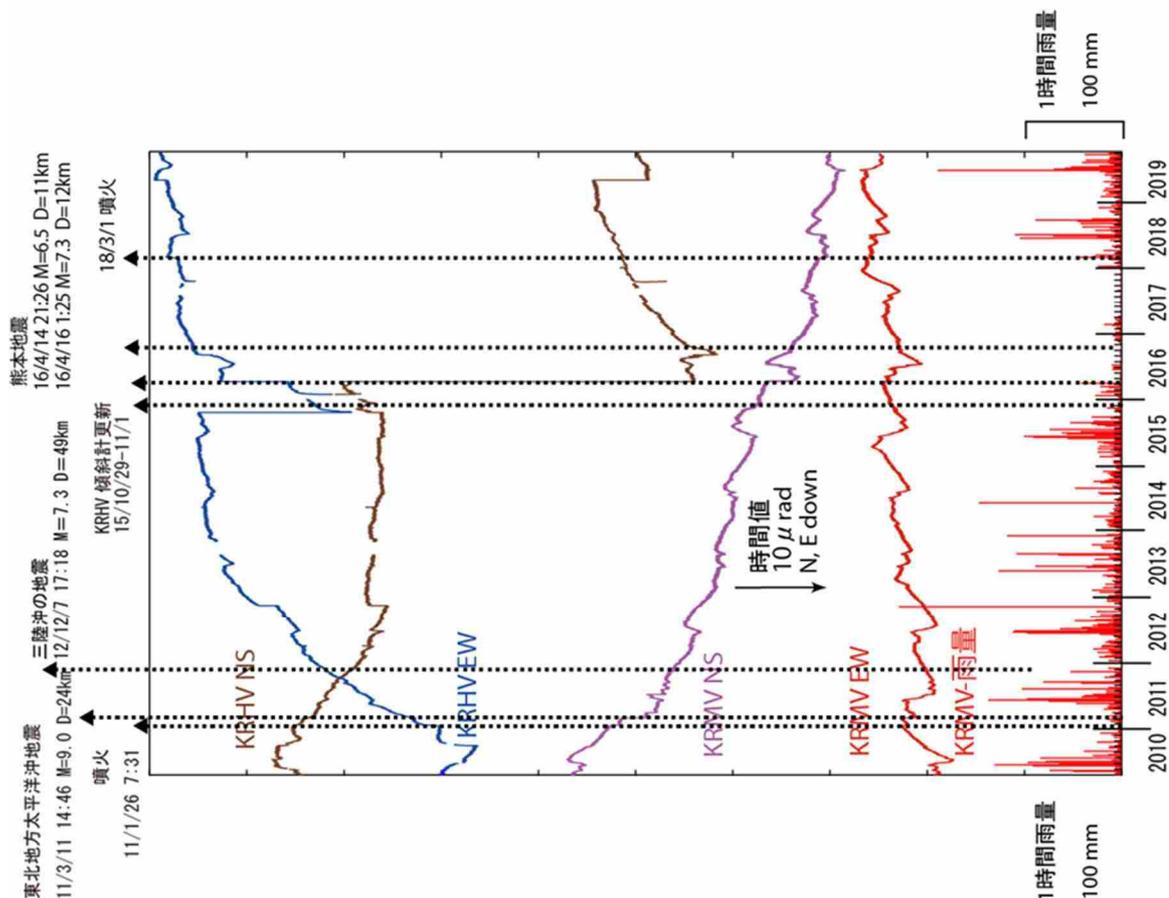
霧島山の地震活動(2019/05/01 - 2019/09/30)



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(2019/05/01 - 2019/09/30)

霧島山の傾斜変動 (2010/05/01 ~ 2019/09/30)



霧島山の傾斜変動 (2019/05/01 ~ 2019/09/30)

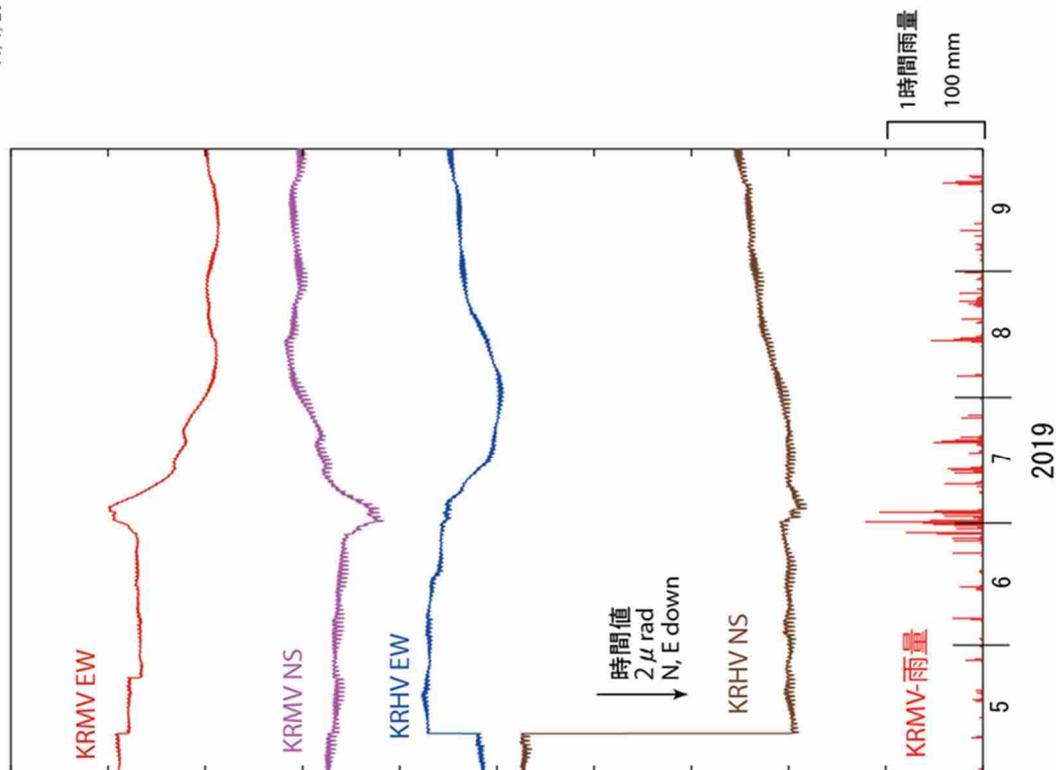
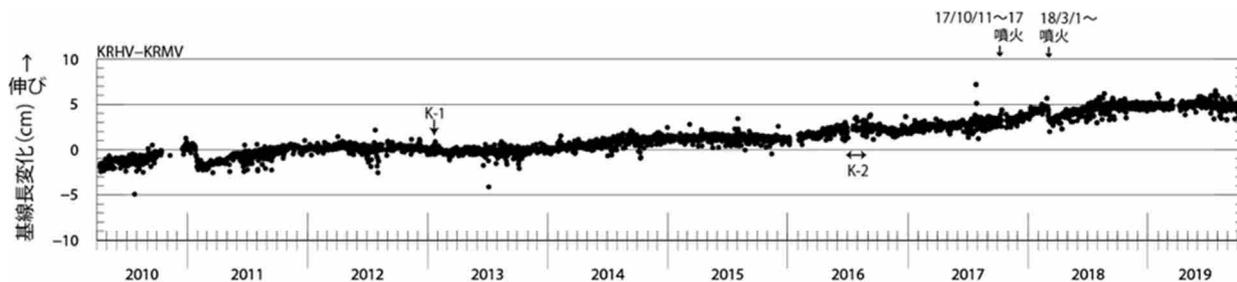


図2 霧島山の傾斜変動

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
2010/4/1~2019/09/30



2018/10/01-2019/09/30 の地殻変動【大口 (950485) 固定】

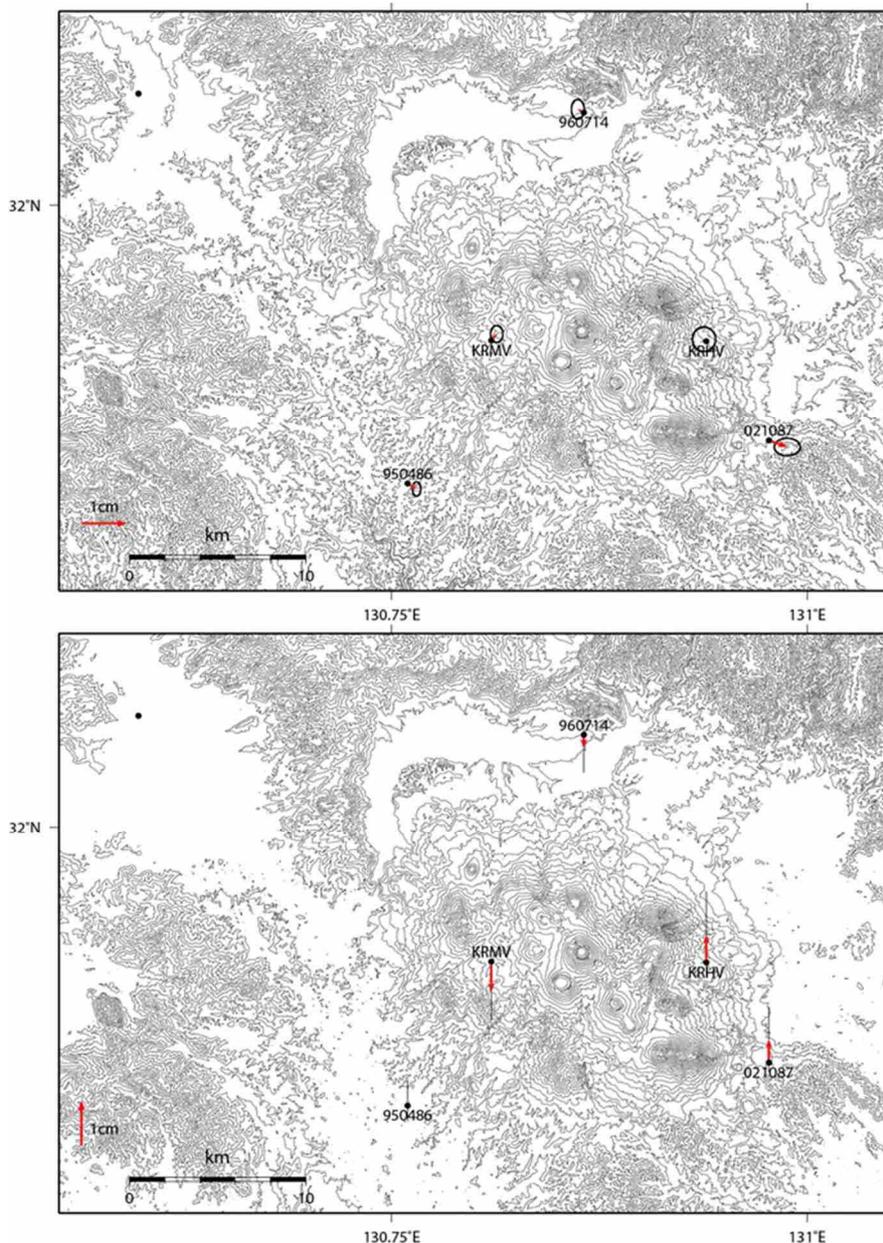


図3 霧島山 GNSS 解析結果. ※ベクトル図は速報暦使用
(上段：水平成分、下段：上下成分)

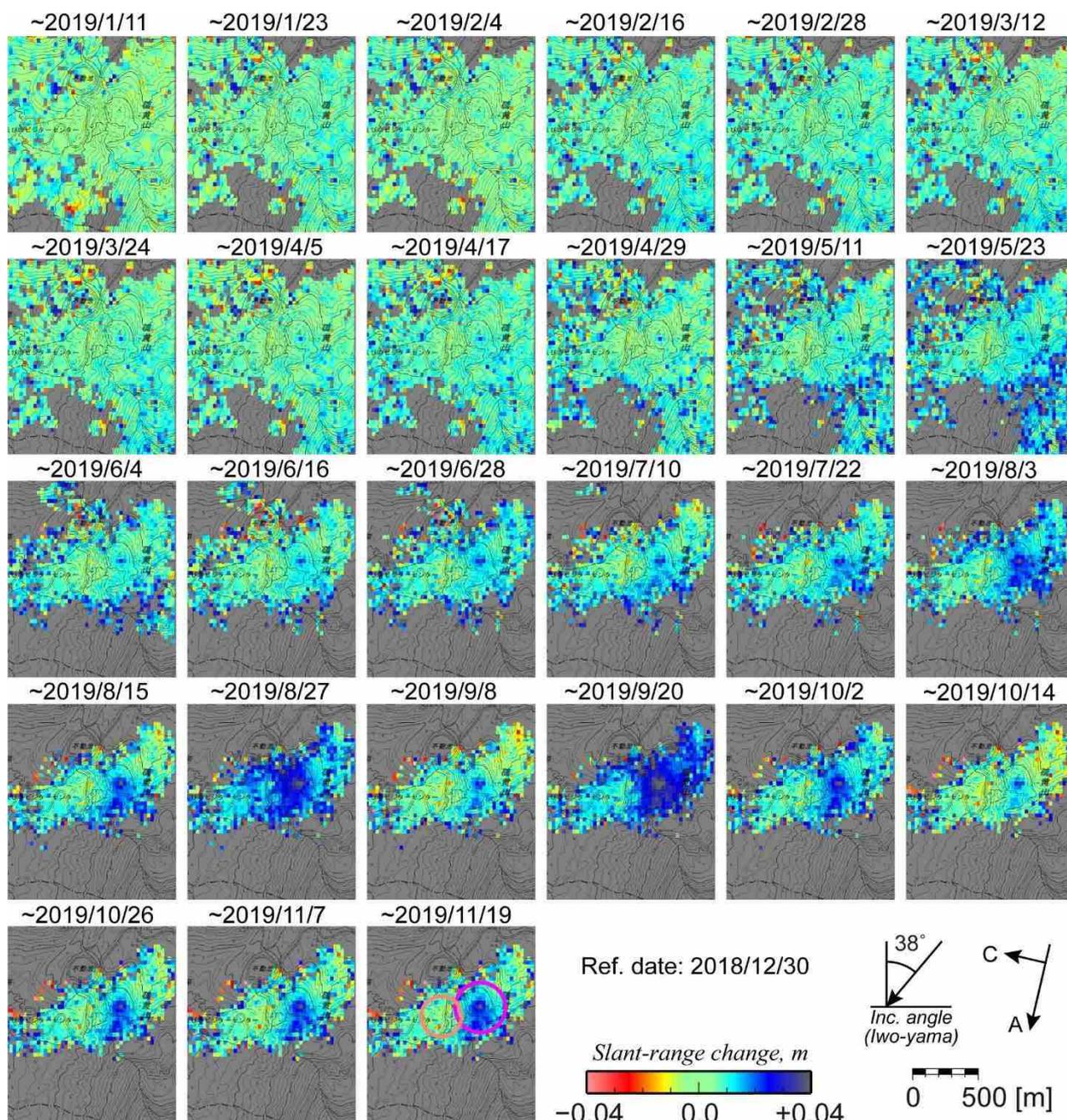
表1 GNSS観測履歴

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)	K-1	2010/4/10	2周波観測開始
			2013/2/14	アンテナ台改善作業
			2016/7/3~7/19 2016/8/1~8/10 2016/9/18~9/29	通信断による欠測
	霧島山万膳 (KRMV)	K-1	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
			2013/2/15	アンテナ台改善作業

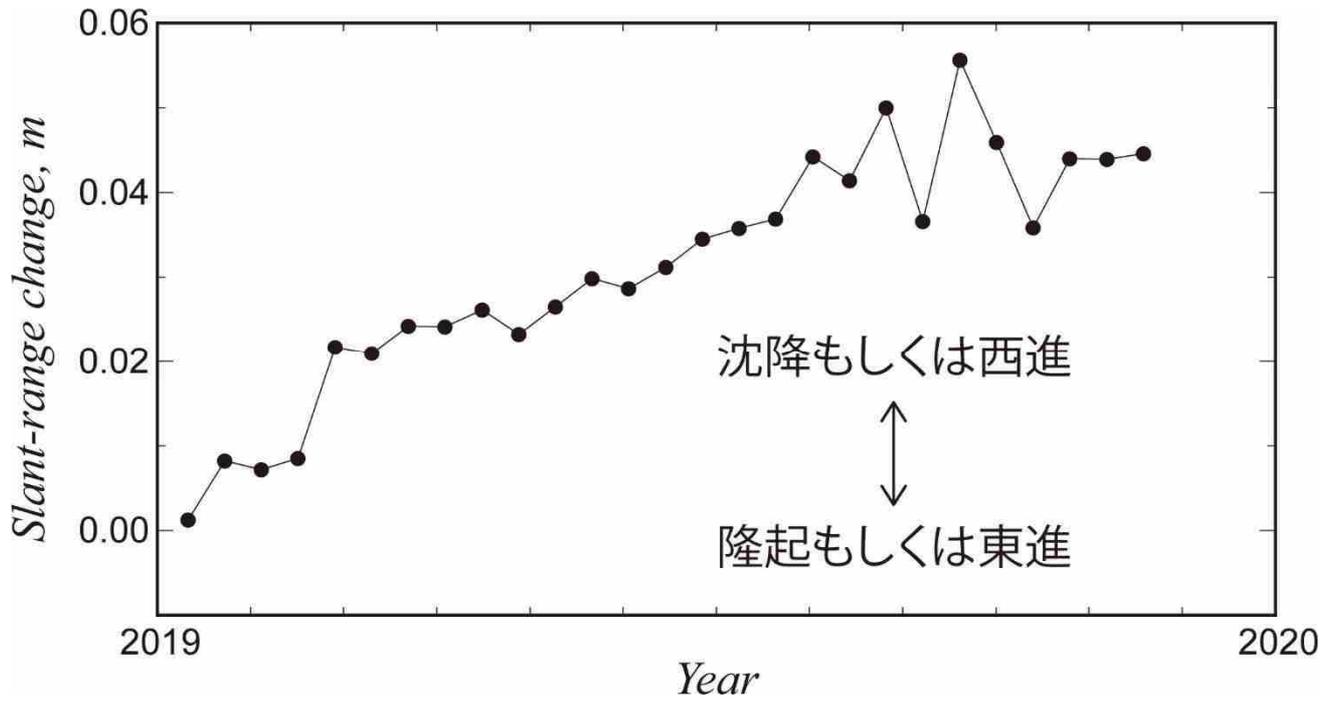
SAR 干渉解析による硫黄山周辺の地表変形

硫黄山周辺の地表変動を調査するため、Sentinel-1 データを用いた SAR 干渉解析を実施した。硫黄山山頂付近で有意なスラントレンジ伸長(沈降もしくは西進)が見られる。南西山腹ではわずかなスラントレンジ短縮(隆起もしくは東進)が見られるが、SAR 干渉法の検出限界と同程度であり、誤差の可能性も考えられる。

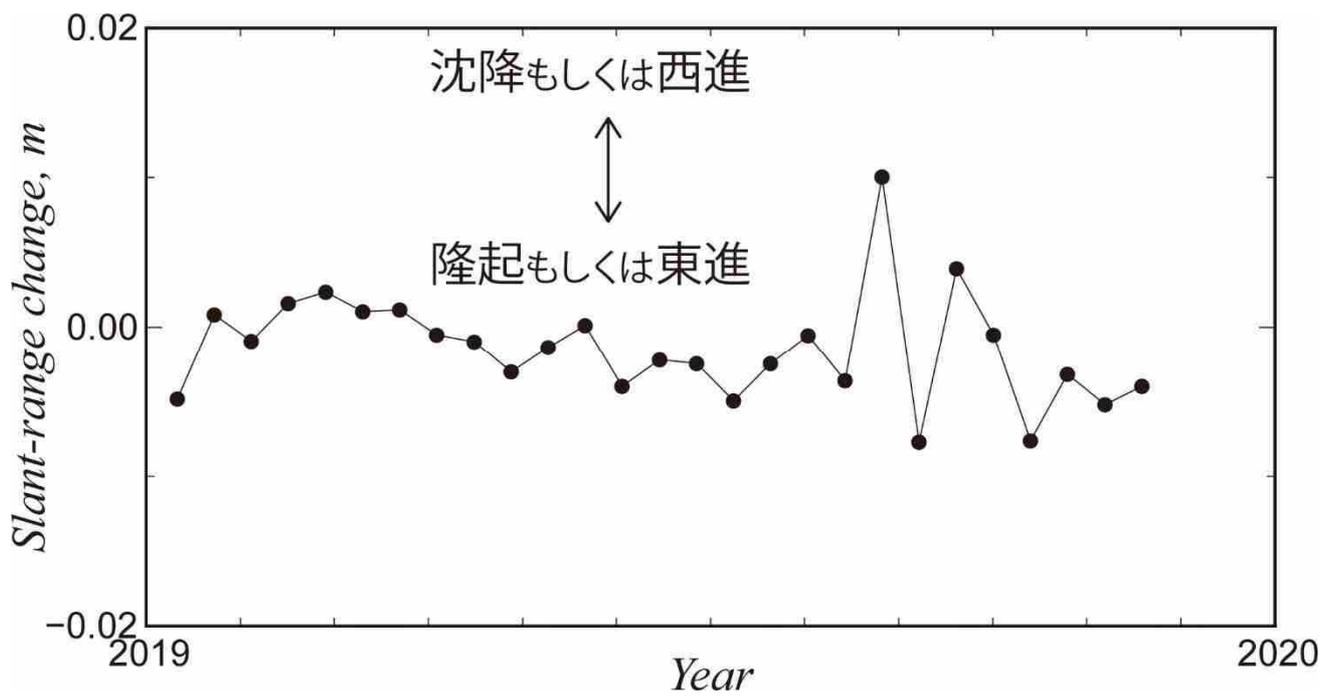
謝辞. 本解析で使用した Sentinel-1 データは Copernicus Open Access Hub を通じて提供されたものである。Sentinel-1 データの所有権は欧州宇宙機関が有する。解析および描画においては、国土地理院の基盤地図情報 10m メッシュ DEM を使用した。



第1図. Sentinel-1 の SAR データから求めた、硫黄山周辺の2018年12月30日からのスラントレンジ変化。紫丸で示す領域においてスラントレンジ伸長、橙丸で示す領域でスラントレンジ短縮の変化が見られた。



第2図. 第1図の紫丸中心におけるスラントレンジ変化時系列。

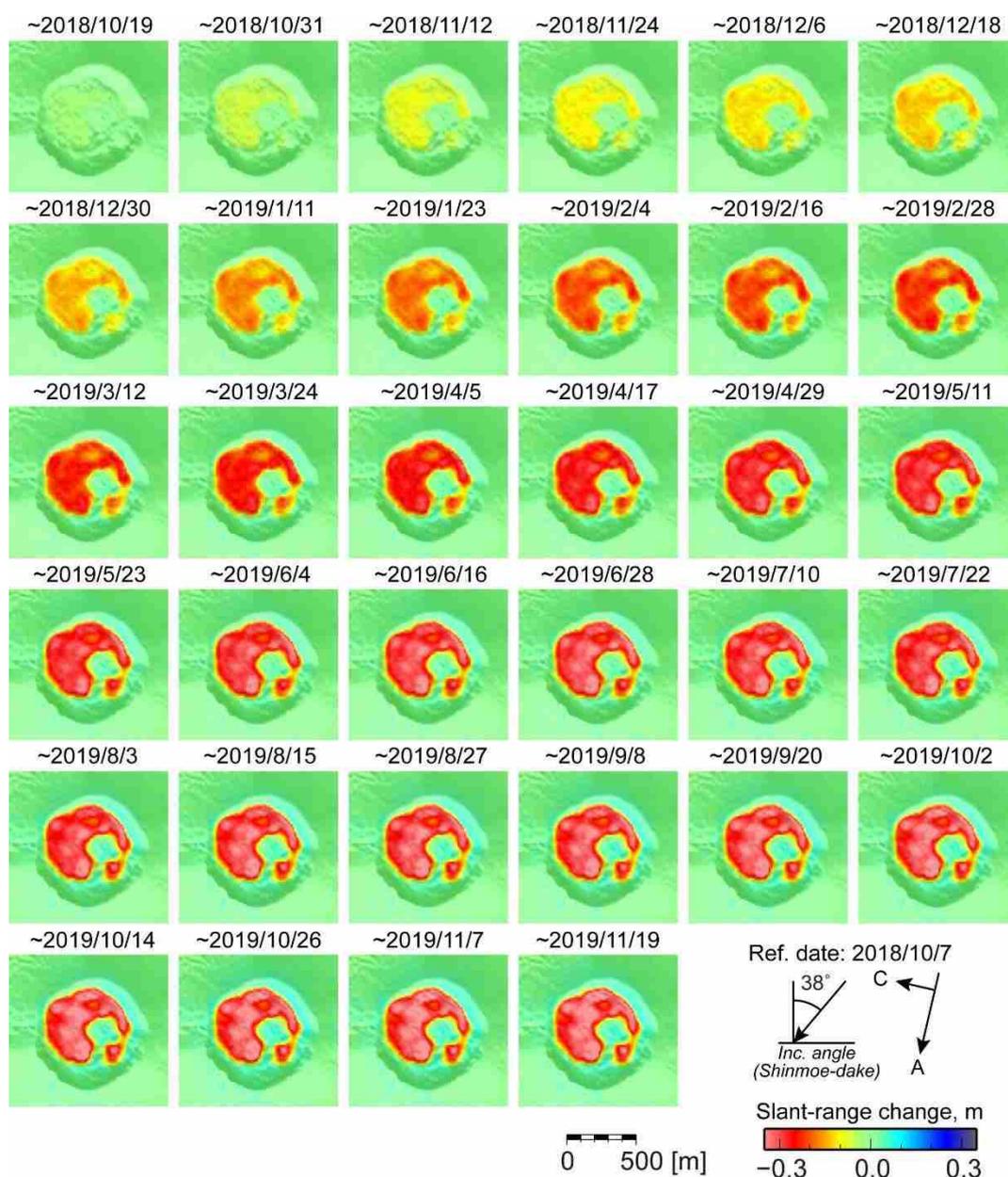


第3図. 第1図の橙丸中心におけるスラントレンジ変化時系列。

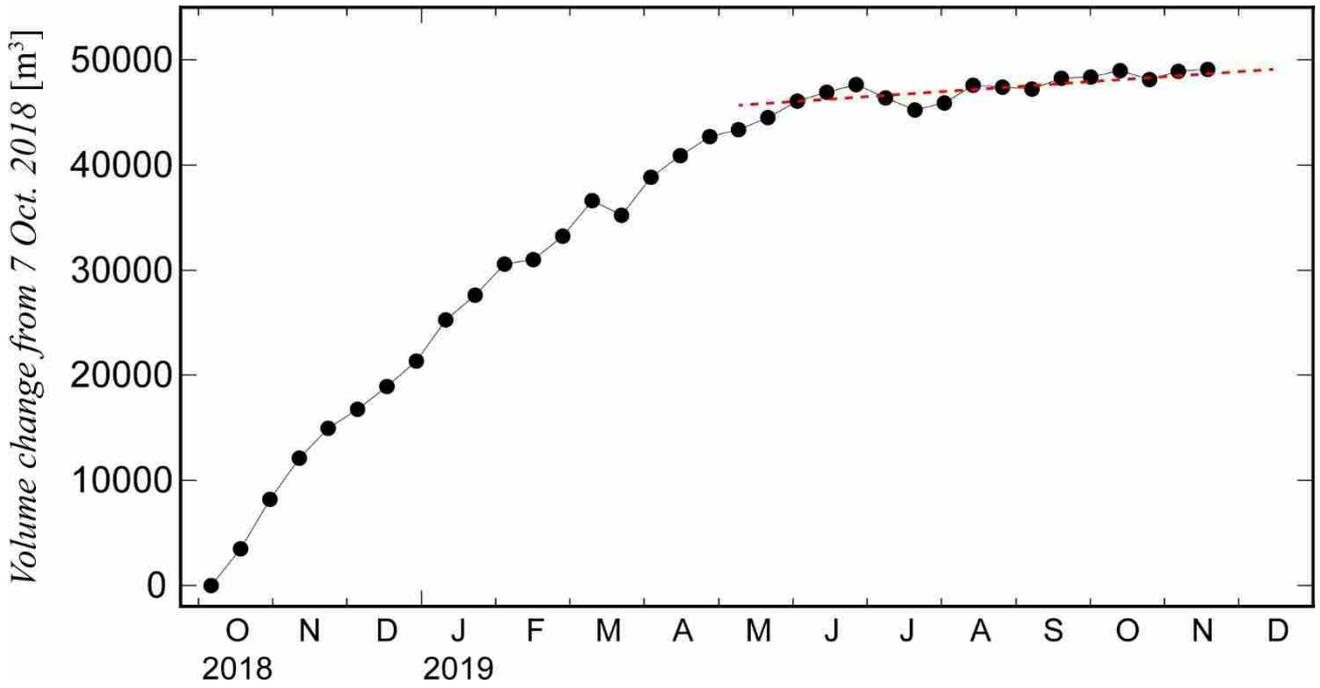
SAR 干渉解析による新燃岳火口内変形

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。これまで、火口内に見られていた溶岩の膨張を示すスラントレンジ短縮変化は減速傾向にある(第 1 図)。このスラントレンジ短縮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 6 月以降の平均的な体積増加率は $18\text{m}^3/\text{day}$ と求めた。

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 2018 年 10 月 7 日からのスラントレンジ変化。

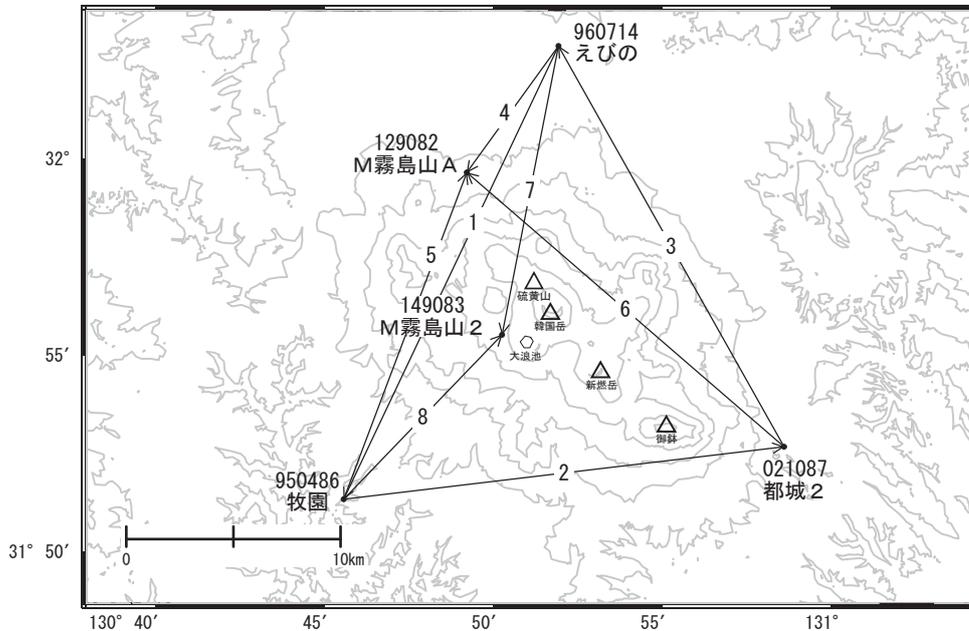


第2図. Sentinel-1 の解析結果(第1図)において得られたスラントレンジ変化は、すべて上下変位に起因すると仮定して求めた体積変化量の時系列。赤破線は2019年6月以降の体積変化量に直線近似した直線(18m³/day)を示す。

霧島山

霧島山を挟む基線では2019年10月頃にわずかな伸びの傾向が見られましたが、11月頃から鈍化しています。

霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(1)



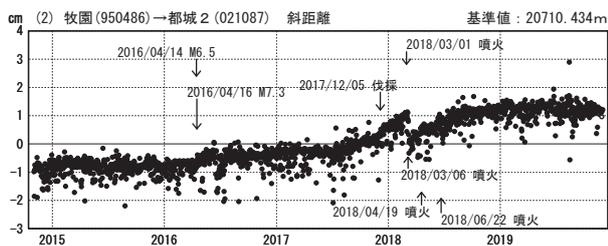
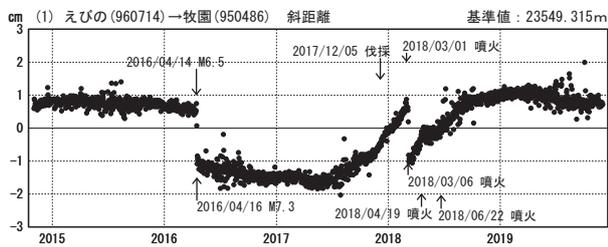
霧島山周辺の各観測局情報

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

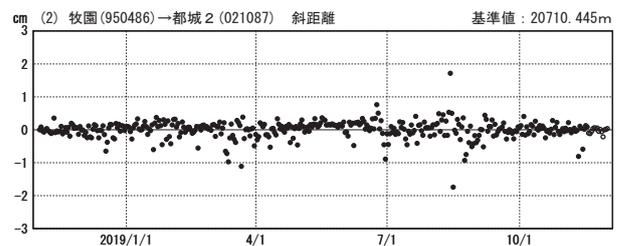
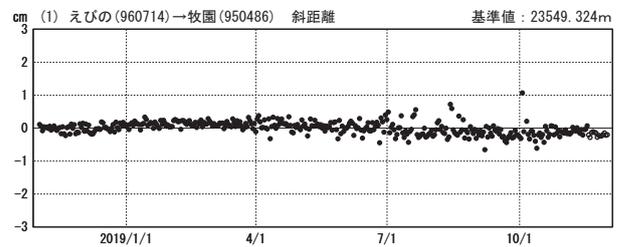
基線変化グラフ(長期)

期間: 2014/11/01~2019/11/30 JST



基線変化グラフ(短期)

期間: 2018/11/01~2019/11/30 JST

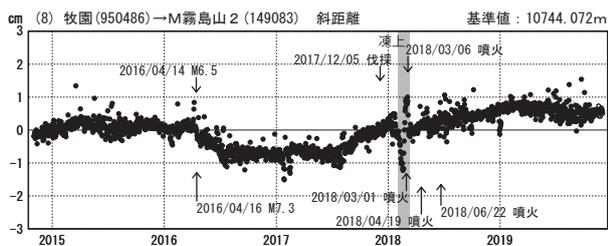
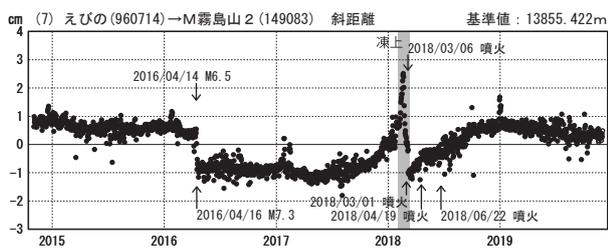
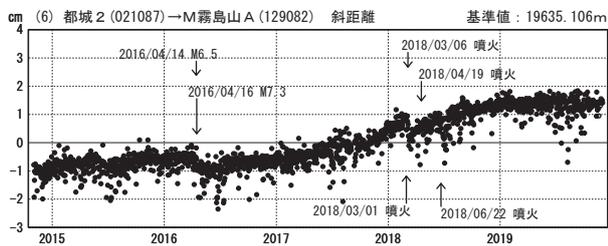
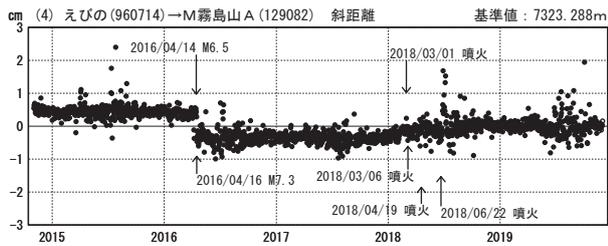
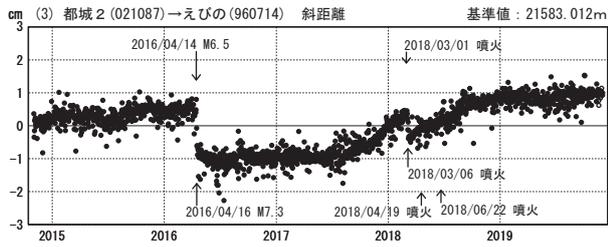


●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

※[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

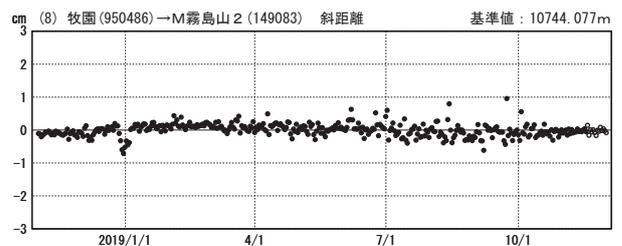
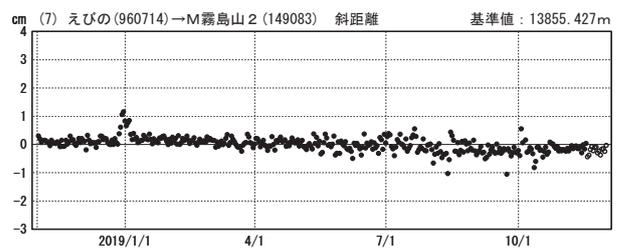
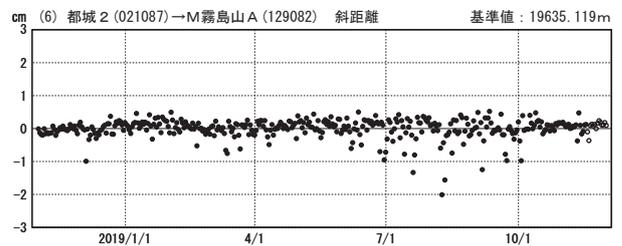
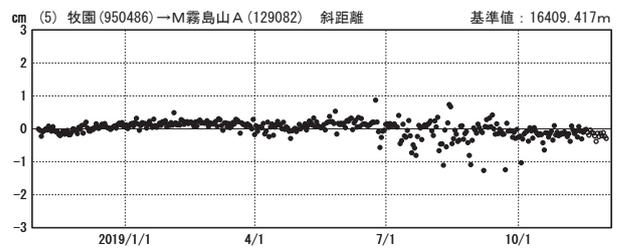
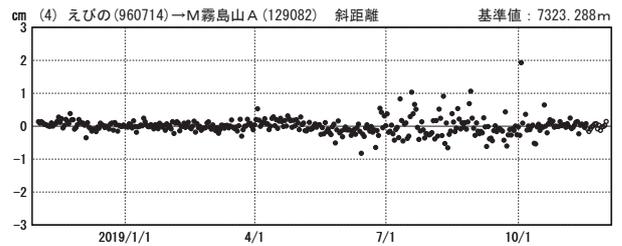
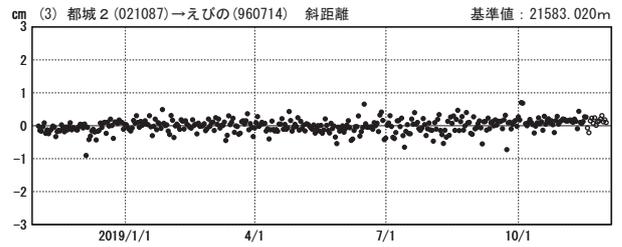
基線変化グラフ (長期)

期間: 2014/11/01~2019/11/30 JST



基線変化グラフ (短期)

期間: 2018/11/01~2019/11/30 JST



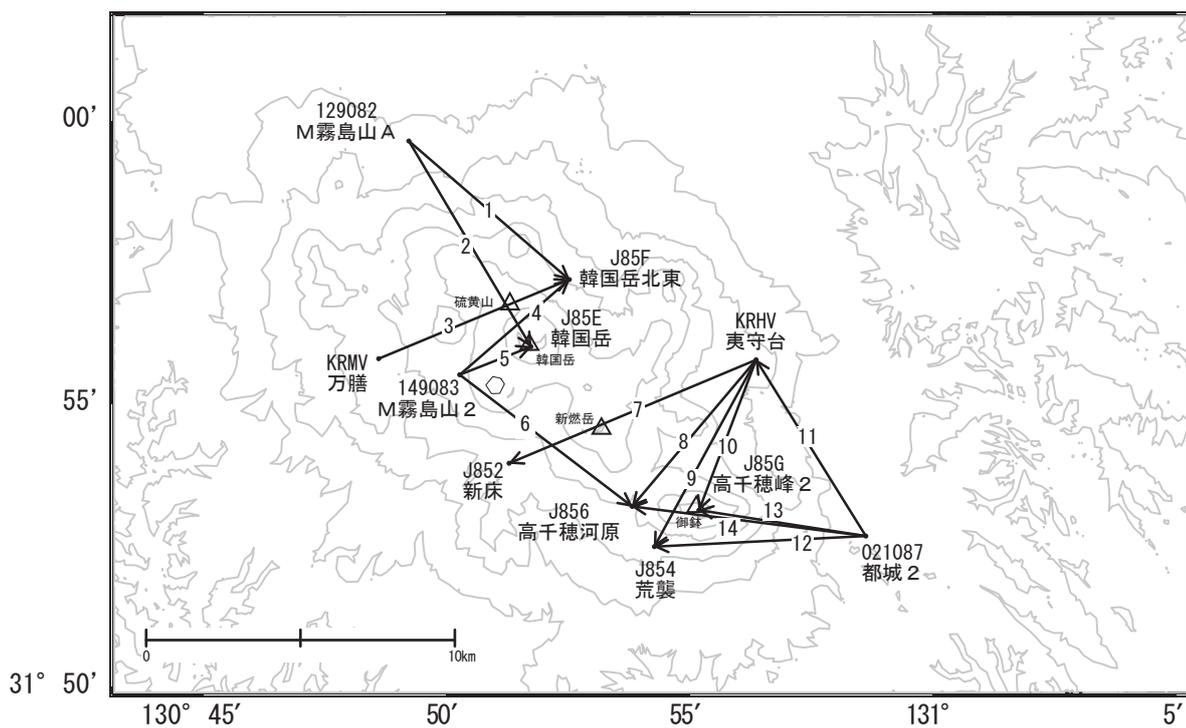
●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

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

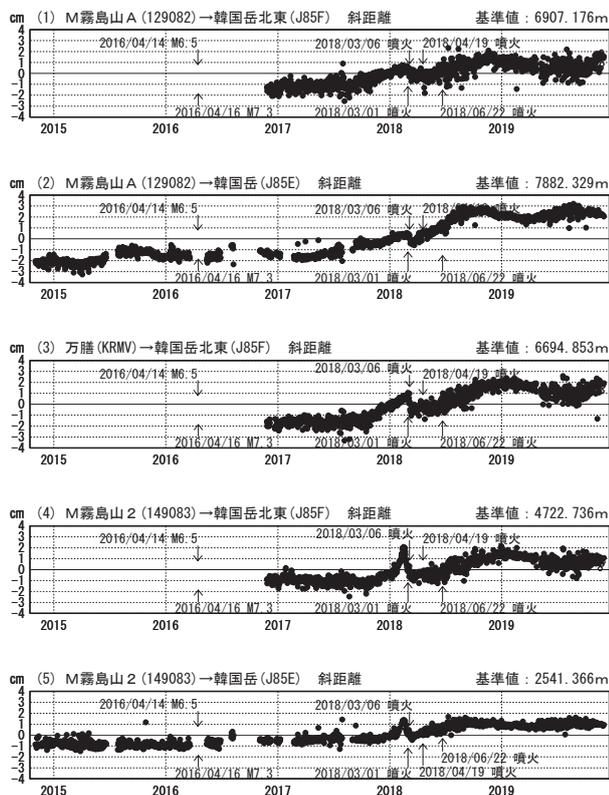
霧島山

霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(2)



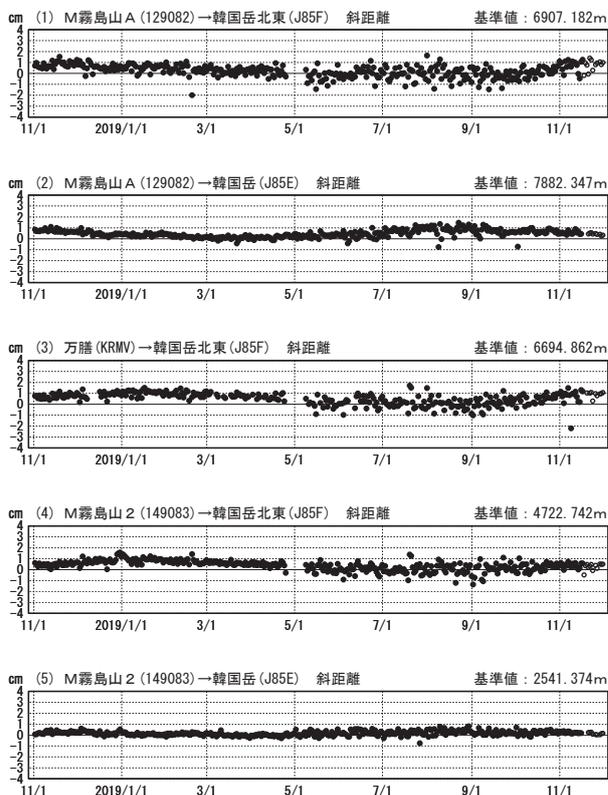
基線変化グラフ (長期)

期間: 2014/11/01~2019/11/30 JST



基線変化グラフ (短期)

期間: 2018/11/01~2019/11/30 JST



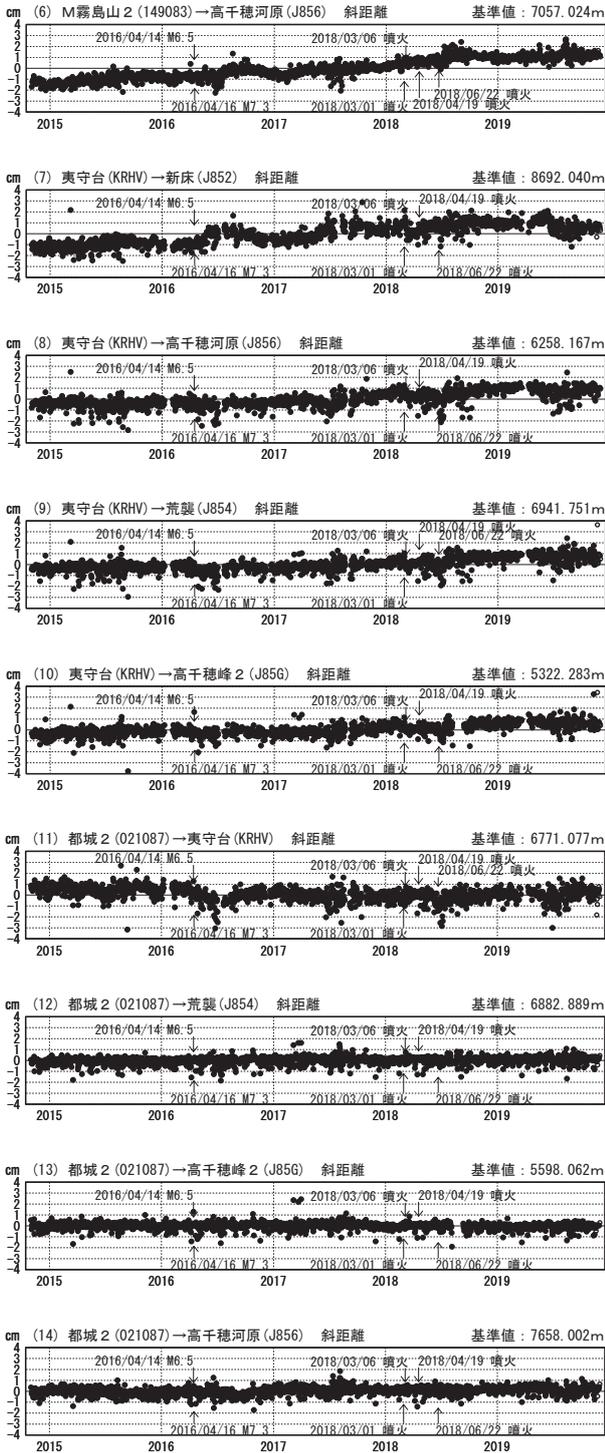
●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

霧島山

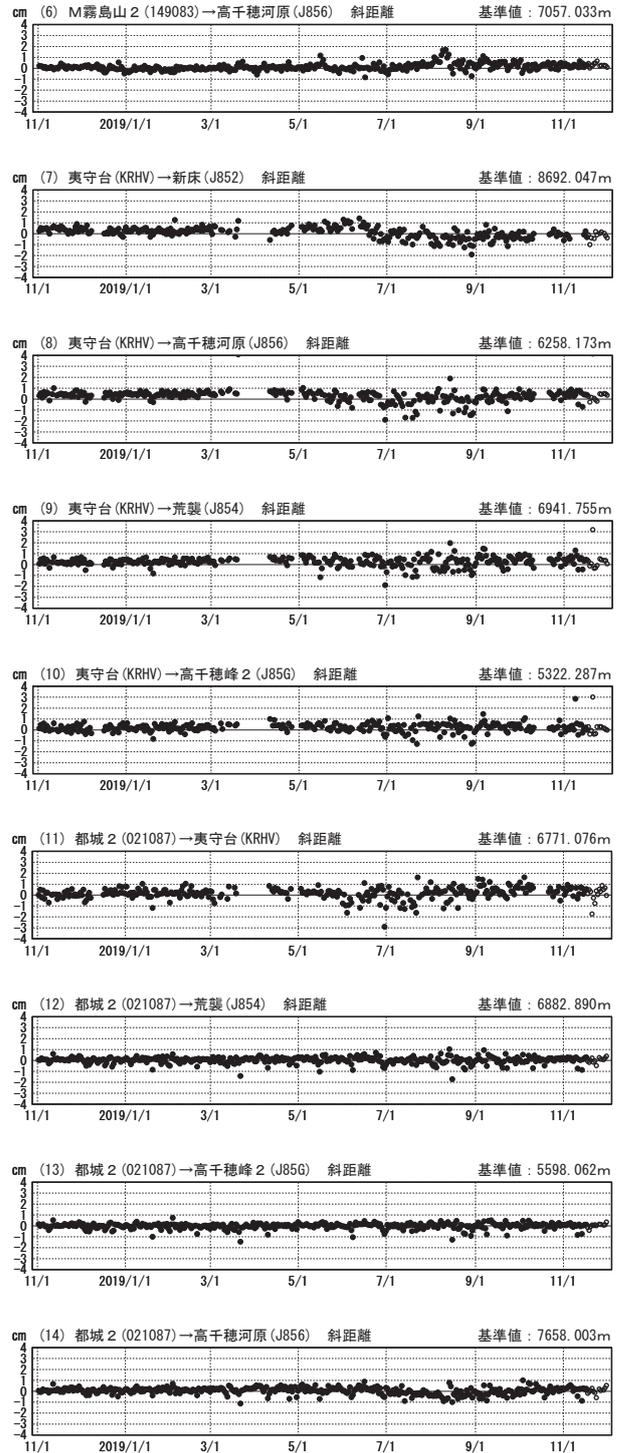
基線変化グラフ（長期）

期間：2014/11/01～2019/11/30 JST



基線変化グラフ（短期）

期間：2018/11/01～2019/11/30 JST



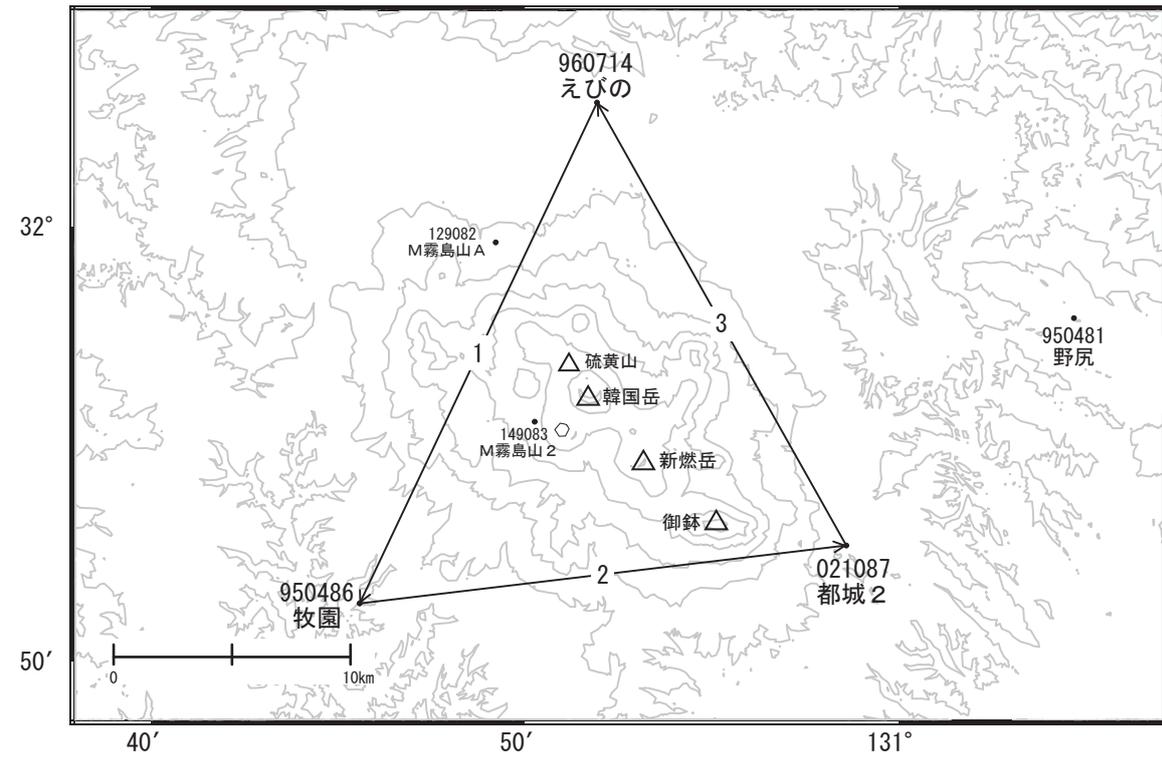
●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

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

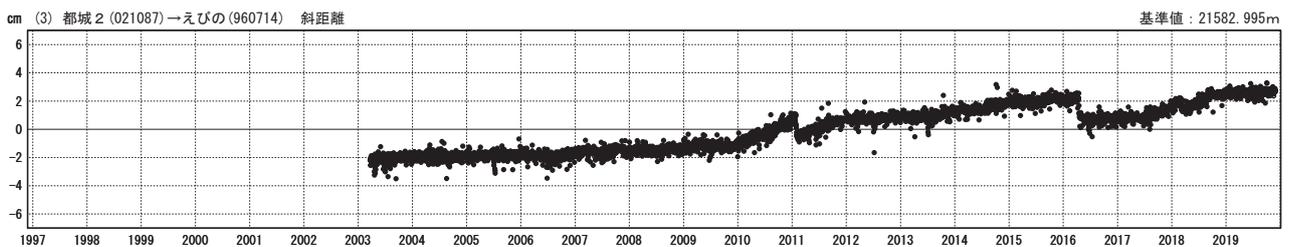
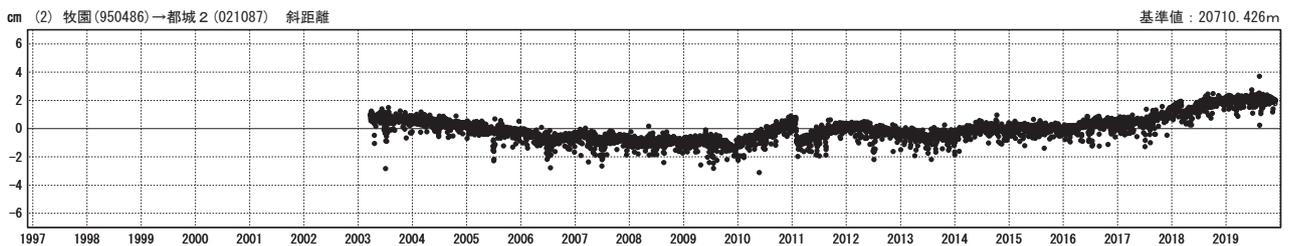
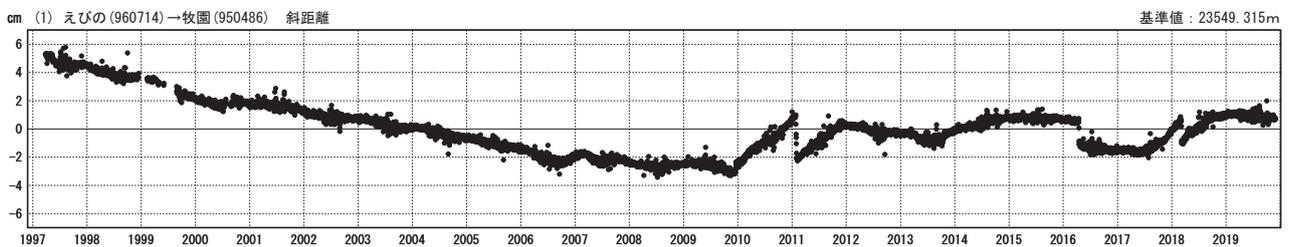
霧島山

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: 1997/01/01~2019/11/30 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

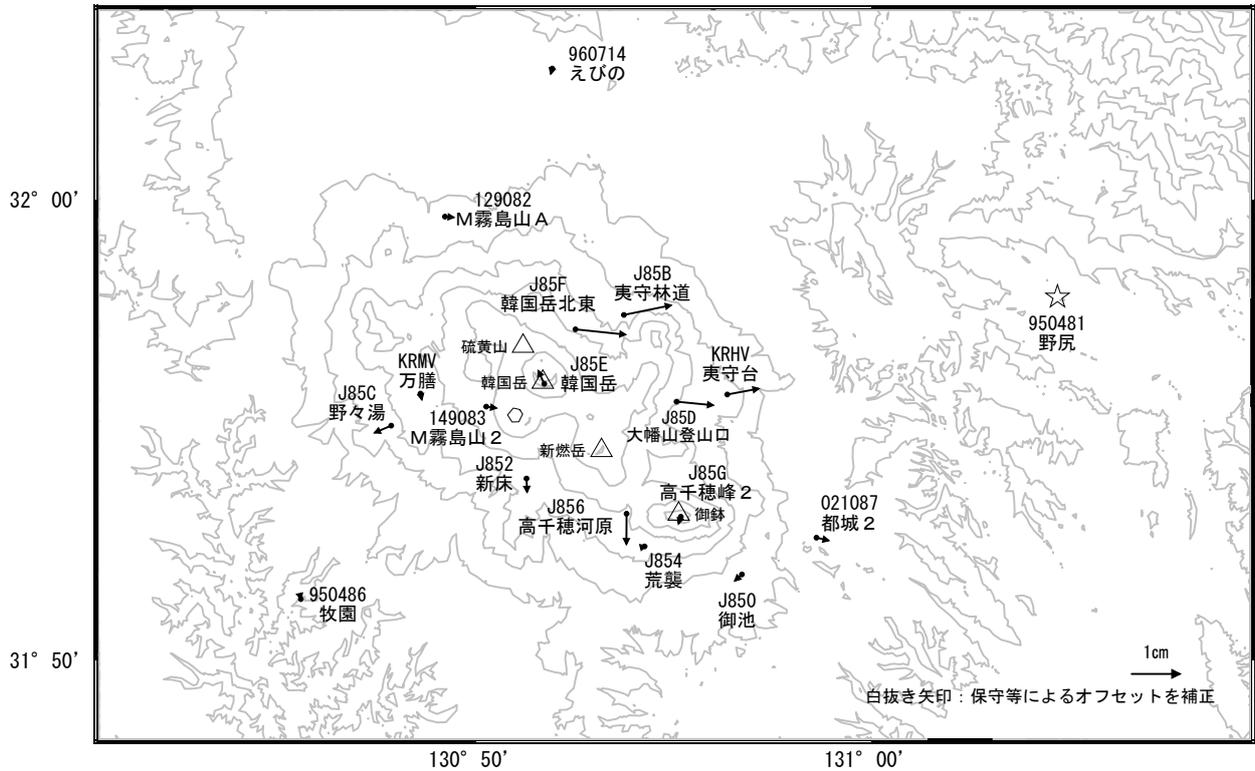
国土地理院

※[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

霧島山

霧島山周辺の地殻変動(水平:3か月)

基準期間:2019/08/21~2019/08/30[F3:最終解]
比較期間:2019/11/21~2019/11/30[R3:速報解]

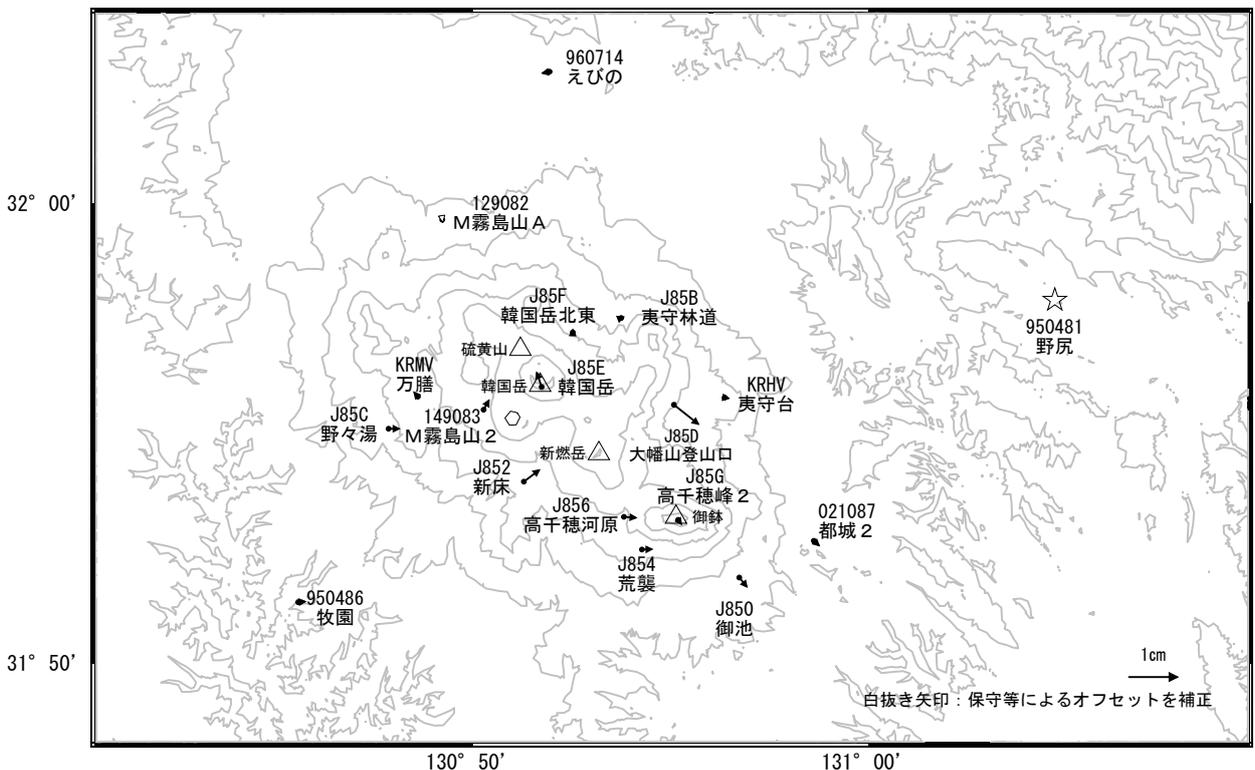


☆ 固定局:野尻(950481)

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:2018/11/21~2018/11/30[F3:最終解]
比較期間:2019/11/21~2019/11/30[R3:速報解]

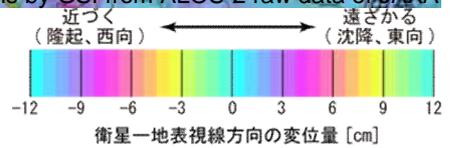
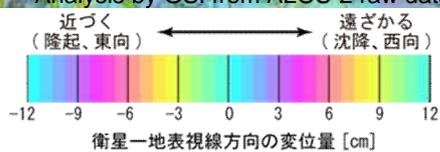
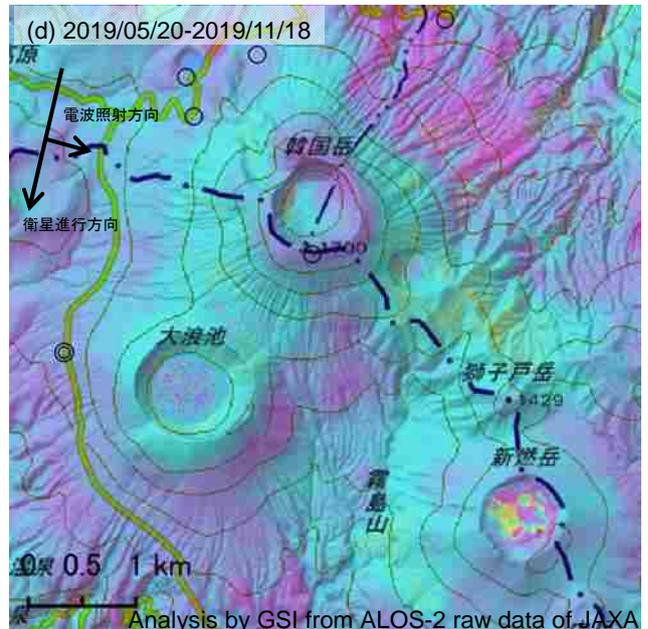
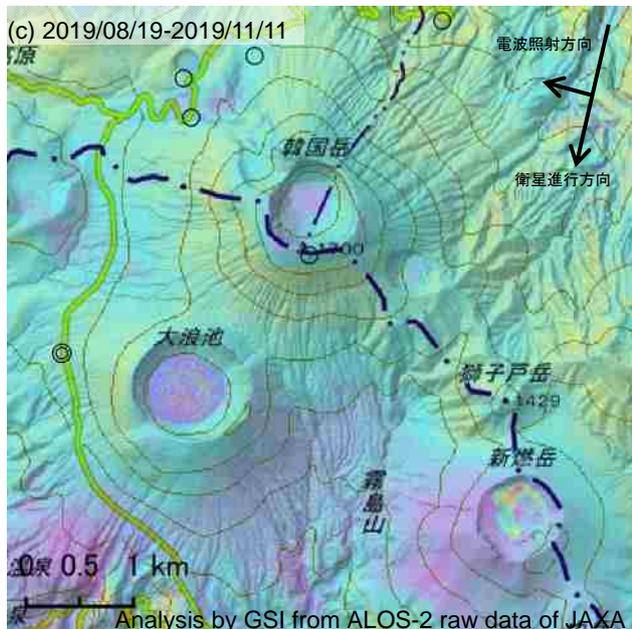
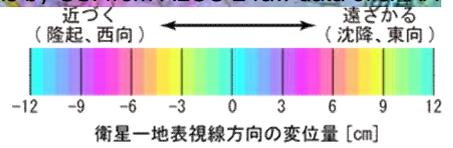
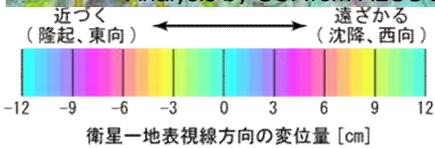
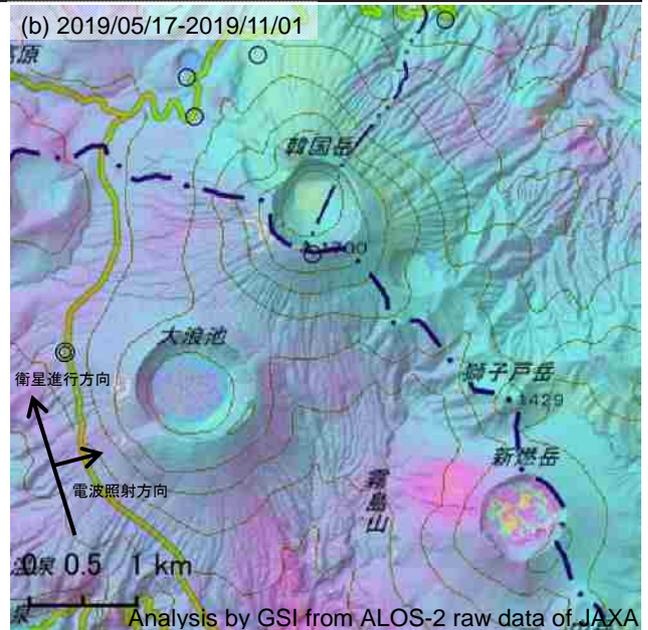
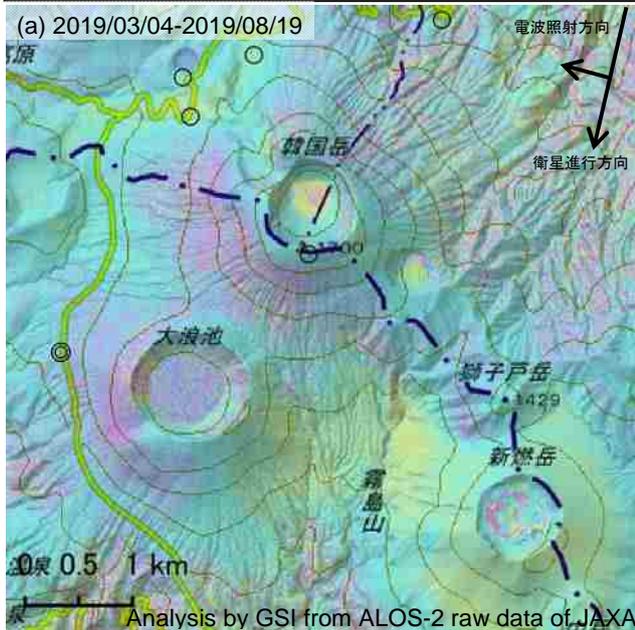


☆ 固定局:野尻(950481)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

霧島山の SAR 干渉解析結果について

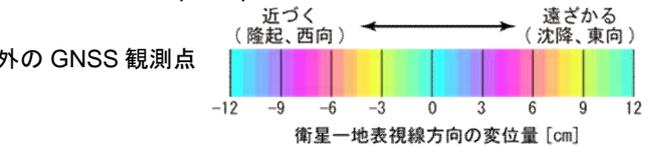
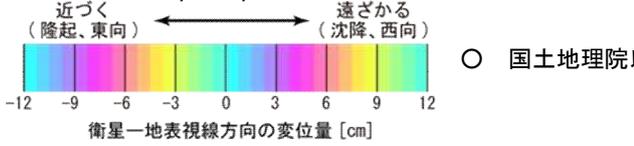
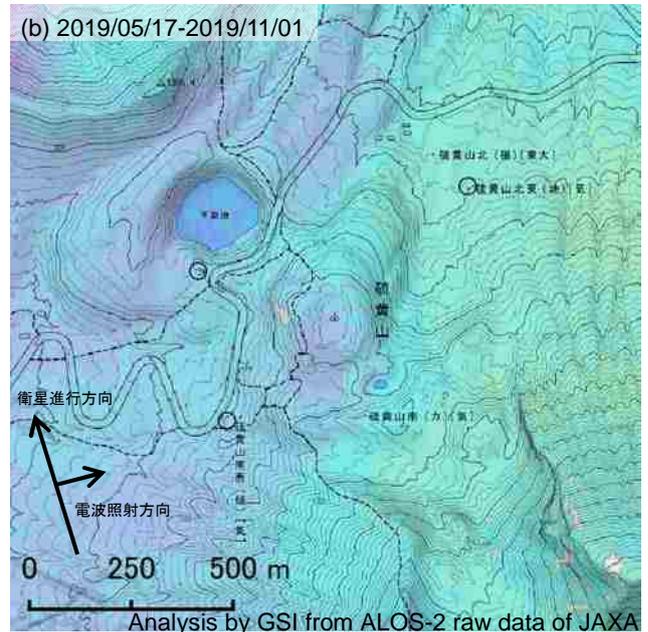
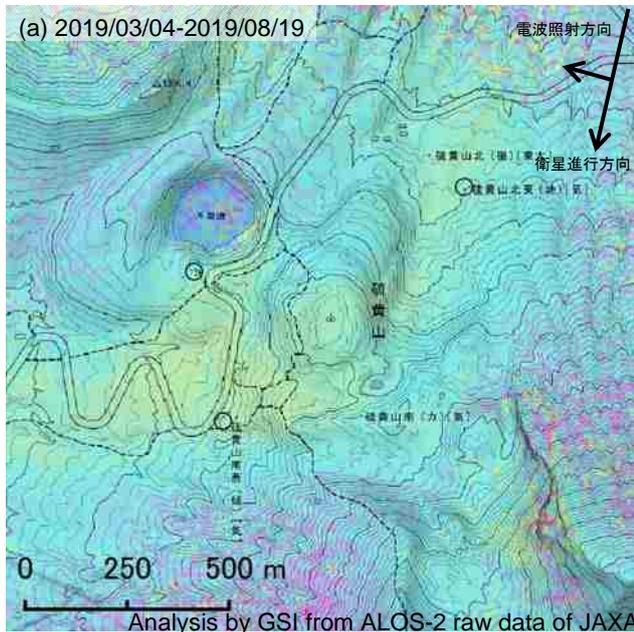
判読) 新燃岳では、火口内で複雑な変動が見られます。



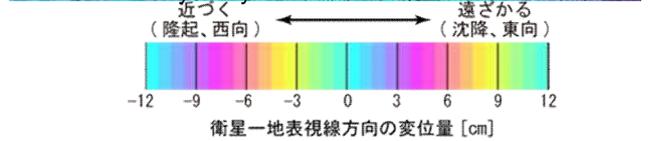
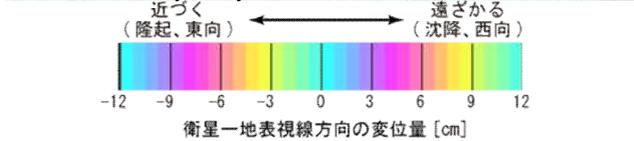
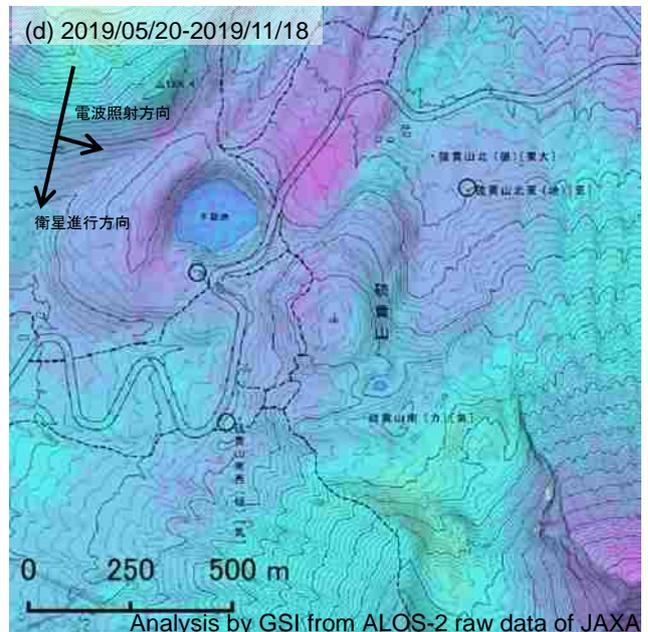
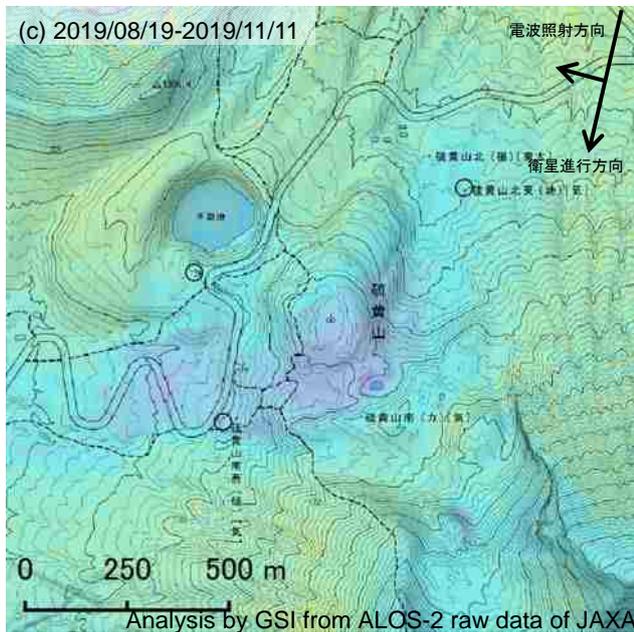
背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

霧島山

【硫黄山の拡大図】



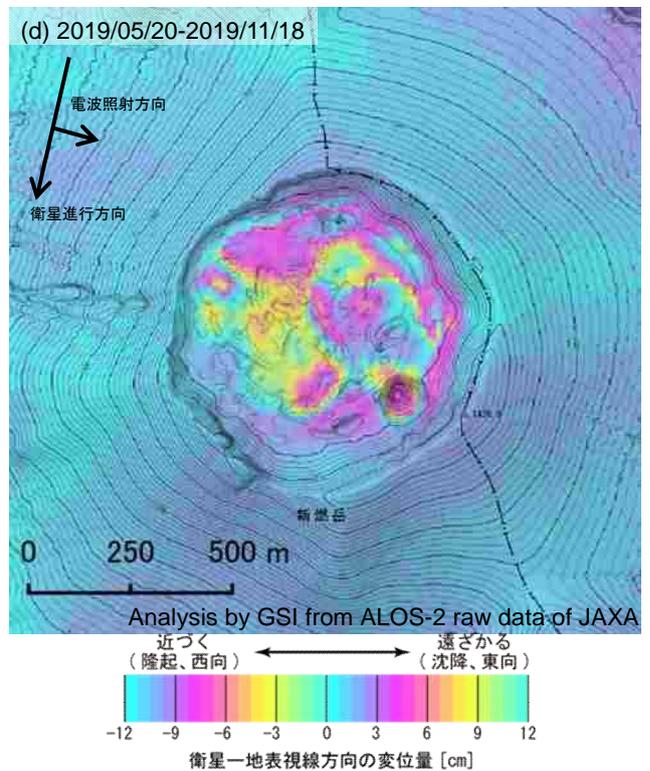
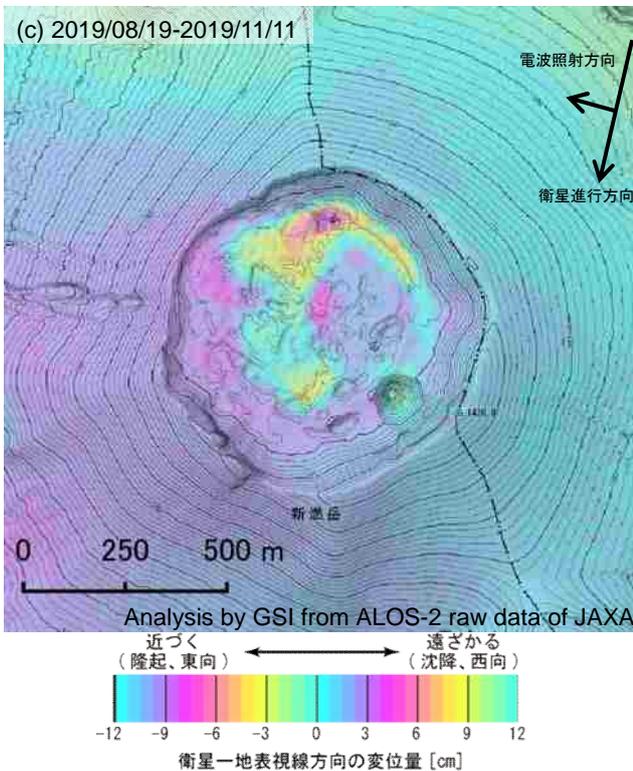
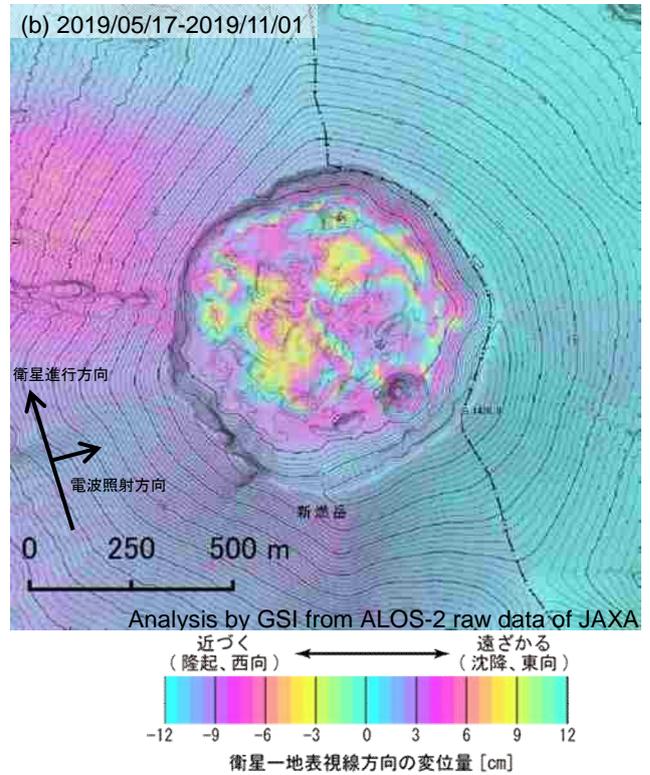
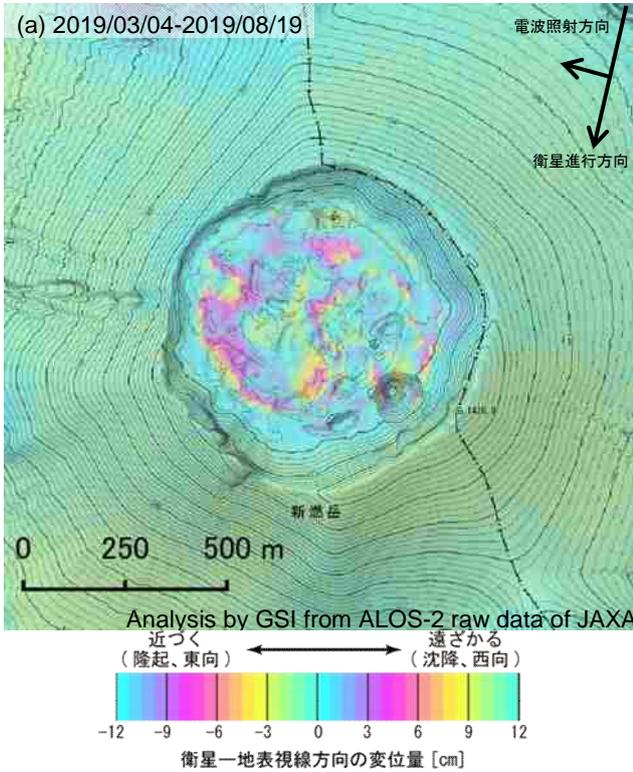
○ 国土地理院以外のGNSS観測点



背景：地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

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

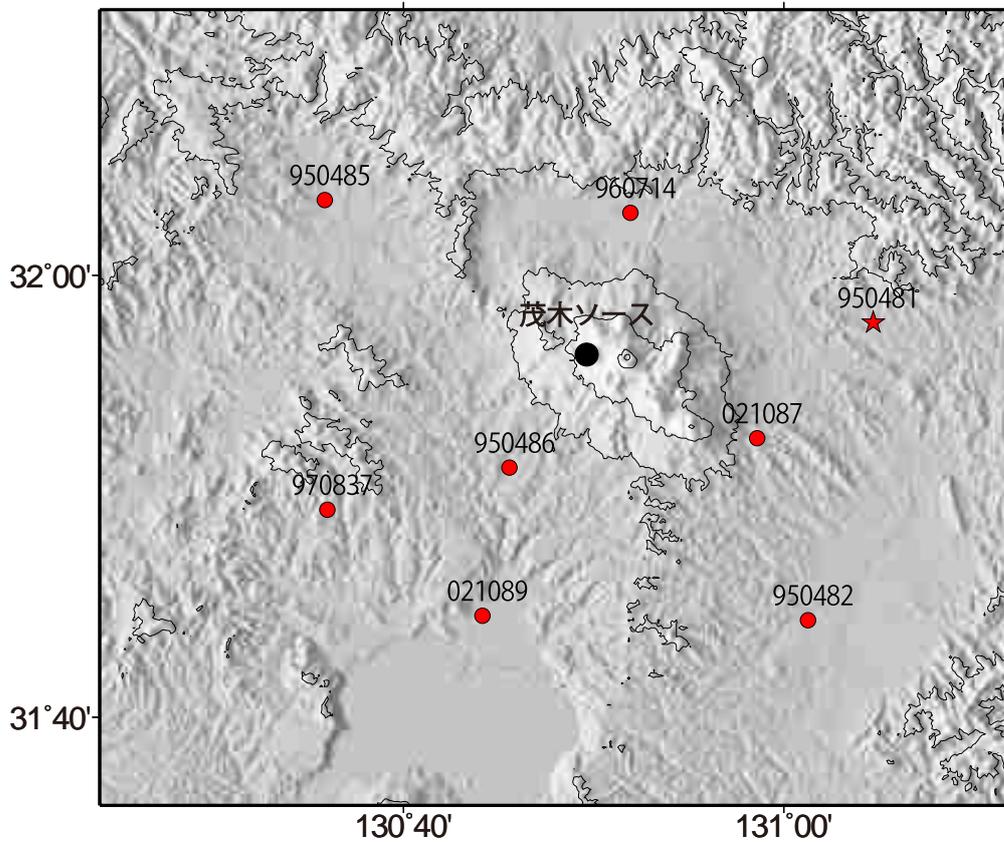
霧島山

	(a)	(b)	(c)	(d)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2019/03/04 2019/08/19 12:19 頃 (168 日間)	2019/05/17 2019/11/01 0:12 頃 (168 日間)	2019/08/19 2019/11/11 12:19 頃 (84 日間)	2019/05/20 2019/11/18 13:07 頃 (182 日間)
衛星進行方向	南行	北行	南行	南行
電波照射方向	右	右	右	左
観測モード*	U-U	U-U	U-U	U-U
入射角	35.5°	32.1°	35.5°	52.8°
偏波	HH	HH	HH	HH
垂直基線長	- 451 m	- 82 m	- 84 m	+ 262 m

*U: 高分解能(3m)モード

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

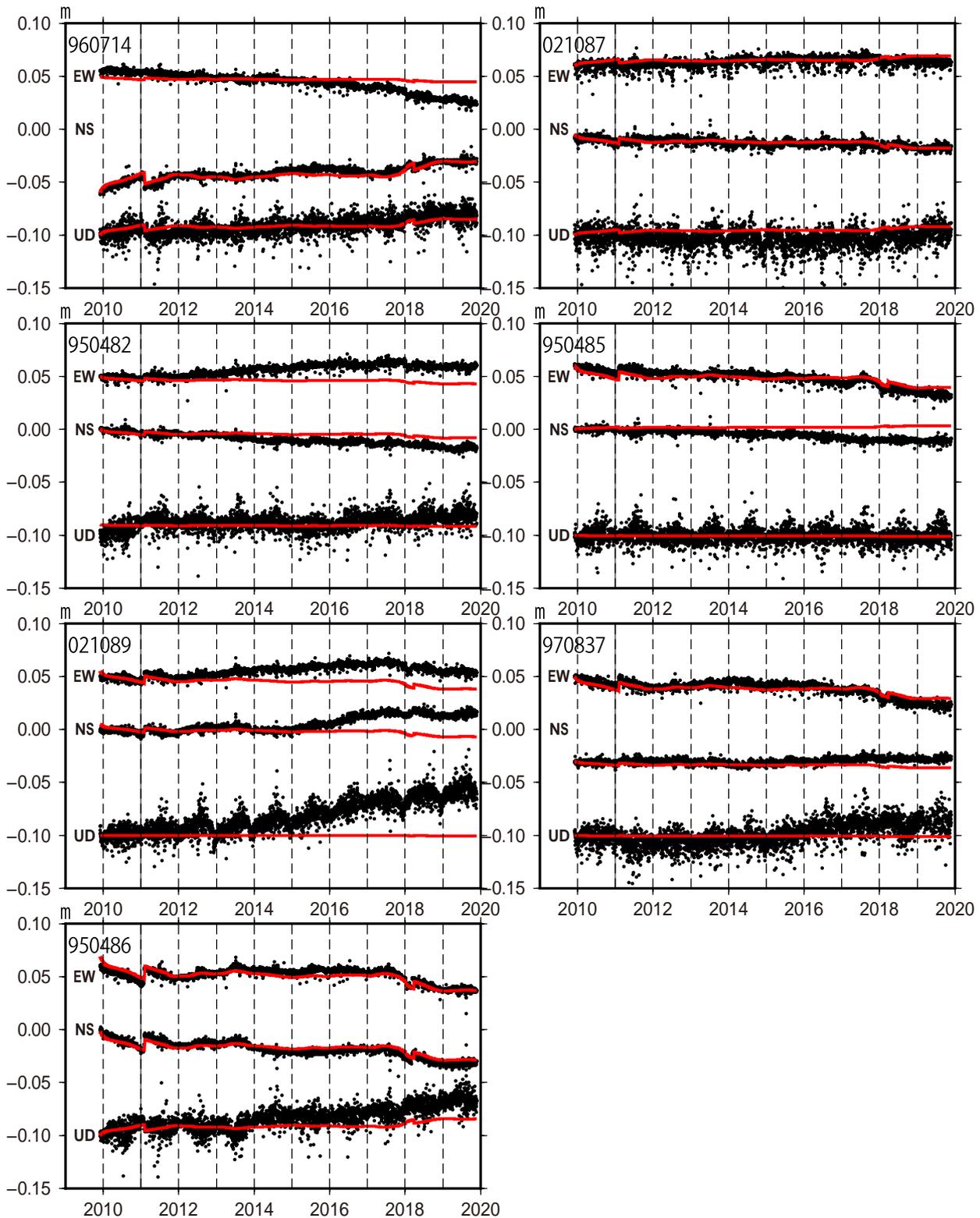


茂木ソース：緯度 31.947° 経度 130.83° 深さ 7.4km

*電子基準点の保守等による変動は補正済

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950481. 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

*熊本地震の変動は補正済み

霧島硫黄山噴気の化学組成および安定同位体比(2019年11月8日)

Chemical composition and isotopic ratios of the fumarolic gases at Iwoyama volcano, Kirishima, Japan (8th Nov. 2019)

1. 概要

霧島硫黄山では2019年11月に噴気 H₂O の安定同位体比が、かつてないほど低下し、噴気には空気成分の混入が認められた。これらは、マグマ起源成分の放出流量が著しく低下したことを示唆している。採取した二つの噴気の一つでは2019年5月に比べて SO₂/H₂S 比の上昇が見られたが、別の噴気では SO₂/H₂S 比は上昇しなかった。2017年5月と2018年3月に起きた火山活動活発化の際にはこれらの噴気では同時に SO₂/H₂S 比が上昇している。

2. 噴気の採取・分析

硫黄山の山頂付近の図1に示す噴気孔 a と c で噴気を採取した。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。噴気 b は出口温度が 80°C 程度で、空気混入の恐れがあるため、採取を行わなかった。噴気 a と c についても、アルカリ液に吸収されない成分 (R-gas 成分) が多く含まれ、十分な量の試料が真空瓶に採取できなかった。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、SO₂ と H₂S の分別定量のための採取を行った。

3. 結果

2019年11月8日の観察によると、硫黄山山頂において噴気の放出量は全体的に2019年5月に比べて減少しているように見えた。表1に噴気の実験結果を示す。噴気 a と c には R-gas 成分が多く含まれ、十分な量の火山ガスを真空瓶に吸引できず、H₂O の量に大きな誤差が含まれている可能性がある。このため、今回の分析結果については、H₂O を含まない成分比と安定同位体比に限って議論する。

噴気 SO₂/H₂S 比の時間変化を図2に示す。噴気 a の SO₂/H₂S 比は2019年5月から11月にかけて上昇している。噴気 c については、同期間で低い値にとどまっている。噴気 CO₂/H₂S 比の時間変化を図3に示す。噴気 a では、2019年5月から11月にかけて僅かに上昇し、噴気 c では明確に上昇している。噴気 H₂O 酸素同位体比の時間変化を図4に示す。噴気 a, c でこれまでで最も低い値となった。図5に噴気 He-N₂-Ar 三成分図を示す。2019年11月に採取した噴気 a と c は、空気の組成比とほぼ一致している。図6に噴気 H₂O の水素・酸素安定同位体比を示す。2019年11月に採取した噴気 a と c の同位体比はこれまでで最もマグマ起源成分 (Magmatic Gas) から遠ざかり、局地天水線 (Local Meteoric Water) の左側に位置している。

4. 考察

噴気の $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は、圧力の高い噴気が出現した 2017 年 5 月と小噴火直前であった 2018 年 3 月に噴気 a, b, c で同時に上昇しており、霧島硫黄山では、 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は火山活動活発化に先立ち上昇する可能性が高い。一方で、2019 年 1 月に噴気 a, b で $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比が上昇したものの噴気 c では上昇が見られなかった。2019 年 11 月では、噴気 a で上昇がみられるものの噴気 c では上昇が起きておらず、2019 年 1 月の変化と類似しているため、2019 年 11 月の直後に火山活動の活発化が起きる可能性は低いと考えられる。2019 年 11 月に採取した噴気 a と c には空気の混入が認められる。しかし噴気 a の N_2/O_2 比は空気の値よりもはるかに高い 37 であり、採取の際に噴気口付近で空気が単純に混ざったとは考えにくい。2019 年 11 月には、地殻を上昇する火山ガスの流量が減少し、地表直下の通気帯 (Vadose zone) で空気の混入が起きた可能性が高い。通気帯に侵入した空気は岩石との反応で O_2 が失われ、 N_2 に富んだ空気が噴気に混入したと考えられる。2019 年 11 月に採取した噴気 H_2O の同位体比はこれまでで最も低い値を示した。その値は局地天水の左側に位置するため、地下浅部を循環する天水の一部が蒸発し、その蒸気が噴気に混入した可能性を示唆する。また、噴気 H_2O 同位体比の分布は、水の気液平衡分別の傾きに近い。水が気液平衡に有る場合、液相に D や ^{18}O が濃集する。液相と気相を結ぶ線の傾きは、温度に依存する。観測された噴気同位体比の分布の傾きは、気液平衡が $100^\circ\text{C}\sim 150^\circ\text{C}$ の場合の傾きと整合的であり、地下浅部で火山ガスの水蒸気が一部、 $100^\circ\text{C}\sim 150^\circ\text{C}$ の温度で凝縮し失われた可能性がある。いずれにせよ、同位体比の低下は、マグマ起源成分の寄与が低下したことを意味しており、2019 年 11 月においてマグマ起源成分の放出流量は顕著に低下していると考えられる。

5. 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. 噴気の化学組成, 安定同位体比, 見かけ平衡温度 (AET)

Location	Date	Temp °C	H2O %	CO2 %	H2S %	SO2 %	R-gas %	R-gas						δD_{SMOW} ‰	$\delta^{18}O_{SMOW}$ ‰	AET °C
								He %	H2 %	O2 %	N2 %	CH4 %	Ar %			
硫黄山-a	2015/12/22	97.2	98.4	1.42	0.119	0.0027	0.0333	0.0627	0.520	0.0436	98.5	0.120	0.796	-91	-14.1	232
硫黄山-a	2016/2/24	97.2	98.2	1.65	0.104	0.0085	0.0259	0.0896	2.861	0.0351	96.5	0.082	0.421	-52	-6.3	313
硫黄山-a	2016/5/6	95.3	97.8	2.02	0.146	0.0059	0.0208	0.0922	2.07	0.0241	96.8	0.099	0.919	-57	-6.6	277
硫黄山-a	2016/8/30	96.9	98.3	1.42	0.298	0.0049	0.0141	0.0868	6.21	0.0662	93.2	0.117	0.336	-41	-5.3	296
硫黄山-a	2017/1/17	96.4	99.2	0.65	0.176	0.0067	0.0069	0.0619	22.5	0.0327	77.0	0.087	0.309	-43	-3.6	338
硫黄山-a	2017/5/15	96.5	98.8	0.66	0.218	0.2303	0.0557	0.0098	84.0	0.0000	15.9	0.016	0.047	-42	-2.2	752
硫黄山-a	2017/9/15	106.0	99.1	0.54	0.308	0.0215	0.0096	0.0578	25.2	0.0123	74.2	0.080	0.435	-48	-3.7	376
硫黄山-a	2017/10/18	96.0	99.0	0.87	0.142	0.0149	0.0105	0.0663	19.4	0.4526	79.7	0.052	0.329	-48	-3.5	374
硫黄山-a	2017/11/28	95.9	99.1	0.70	0.197	0.0103	0.0164	0.0489	29.9	0.0266	69.7	0.047	0.301	-49	-3.7	416
硫黄山-a	2018/1/26	96.8	98.9	0.78	0.323	0.0077	0.0130	0.0587	20.9	0.0580	78.5	0.035	0.426	-48	-3.7	361
硫黄山-a	2018/3/28	96.2	98.5	0.91	0.299	0.2901	0.0271	0.0362	61.3	0.1363	38.4	0.024	0.132	-46	-2.2	611
硫黄山-a	2018/5/29	96.7	99.6	0.29	0.037	0.0421	0.0144	0.0178	76.1	0.0332	23.6	0.014	0.146	-45	-2.4	571
硫黄山-a	2018/10/19	95.6	98.3	1.58	0.082	0.0042	0.0185	0.0686	12.2	0.0376	87.3	0.066	0.334	-69	-8.1	366
硫黄山-a	2019/1/25	96.1	99.4	0.49	0.051	0.0103	0.0139	0.0274	14.1	2.14	82.9	0.033	0.737	-64	-6.7	385
硫黄山-a	2019/5/31	96.0	99.3	0.59	0.085	0.0029	0.0191	0.0403	4.42	0.0577	94.7	0.018	0.785	-84	-11.7	305
硫黄山-a	2019/11/8	94.1	94.3	0.93	0.128	0.0419	4.5979	0.0006	0.02	2.58	96.2	0.000	1.235	-93	-14.6	363
硫黄山-b	2016/2/24	96.2	98.3	1.58	0.096	0.0042	0.0284	0.0763	2.48	0.0546	96.8	0.064	0.558	-78	-11.9	301
硫黄山-b	2016/5/6	95.2	97.3	2.49	0.172	0.0051	0.0259	0.0925	2.12	0.0356	96.9	0.101	0.742	-67	-9.2	283
硫黄山-b	2016/8/30	95.2	97.5	2.08	0.433	0.0055	0.0225	0.0851	6.12	0.0517	93.3	0.123	0.362	-56	-7.5	314
硫黄山-b	2017/1/17	97.0	99.3	0.55	0.160	0.0019	0.0051	0.0798	8.36	0.0782	91.0	0.106	0.334	-46	-4.6	258
硫黄山-b	2017/5/15	96.6	98.9	0.79	0.158	0.0680	0.0739	0.0139	81.7	0.0000	18.2	0.021	0.046	-46	-4.0	745
硫黄山-b	2017/9/15	96.4	99.3	0.40	0.262	0.0043	0.0092	0.0498	29.4	0.0567	70.1	0.080	0.396	-44	-1.9	353
硫黄山-b	2017/10/18	96.0	99.0	0.82	0.127	0.0045	0.0108	0.0699	17.1	0.0609	82.5	0.041	0.290	-45	-2.6	347
硫黄山-b	2017/11/28	96.0	98.5	1.19	0.245	0.0033	0.0225	0.0580	19.8	0.0340	79.7	0.047	0.372	-47	-3.4	380
硫黄山-b	2018/1/26	96.4	99.1	0.64	0.259	0.0008	0.0121	0.0608	13.7	0.0489	85.6	0.040	0.487	-44	-1.9	300
硫黄山-b	2018/3/28	97.7	99.2	0.61	0.056	0.0863	0.0178	0.0392	60.4	0.0315	39.4	0.040	0.121	-40	-1.3	579
硫黄山-b	2018/10/19	96.8	98.4	1.51	0.066	0.0056	0.0161	0.0731	11.0	0.2033	88.4	0.067	0.292	-51	-3.8	361
硫黄山-b	2019/1/25	95.0	99.3	0.63	0.054	0.0146	0.0094	0.0524	25.0	0.1764	74.4	0.048	0.324	-46	-2.6	403
硫黄山-b	2019/5/31	96.0	99.4	0.47	0.065	0.0029	0.0137	0.0430	4.24	0.0251	95.0	0.034	0.702	-60	-6.0	291
硫黄山-c	2017/5/15	95.2	99.0	0.80	0.108	0.0367	0.0552	0.0207	75.4	0.0000	24.5	0.025	0.075	-57	-6.8	681
硫黄山-c	2017/9/15	96.1	99.5	0.30	0.211	0.0015	0.0071	0.0588	16.0	0.0261	83.3	0.093	0.518	-44	-2.7	295
硫黄山-c	2017/10/18	96.2	99.0	0.90	0.130	0.0020	0.0115	0.0651	2.73	0.0224	96.6	0.049	0.582	-48	-3.7	250
硫黄山-c	2017/11/28	95.8	98.6	1.16	0.251	0.0040	0.0196	0.0676	2.64	0.0390	96.7	0.073	0.460	-51	-4.5	271
硫黄山-c	2018/1/26	95.7	99.0	0.72	0.256	0.0020	0.0119	0.0667	3.81	0.0533	95.5	0.033	0.539	-44	-2.7	255
硫黄山-c	2018/3/28	97.0	99.1	0.74	0.061	0.0420	0.0198	0.0411	54.5	0.0701	45.2	0.051	0.163	-46	-3.3	552
硫黄山-c	2018/5/29	96.1	99.0	0.82	0.137	0.0041	0.0122	0.0503	13.1	0.0278	86.0	0.057	0.802	-50	-4.1	336
硫黄山-c	2018/10/19	94.8	94.4	5.20	0.287	0.0018	0.0658	0.0828	0.491	0.0578	98.7	0.102	0.545	-73	-10.3	241
硫黄山-c	2019/1/25	97.6	97.3	2.38	0.256	0.0017	0.0211	0.0779	1.67	0.0488	97.5	0.118	0.579	-65	-8.5	244
硫黄山-c	2019/5/31	94.7	98.4	1.25	0.284	0.0024	0.0293	0.0575	1.86	0.0120	97.0	0.105	0.988	-80	-12.7	264
硫黄山-c	2019/11/8	94.0	73.3	16.1	1.91	0.0251	8.68	0.0018	0.02	17.2	81.8	0.004	0.989	-93	-16.0	353

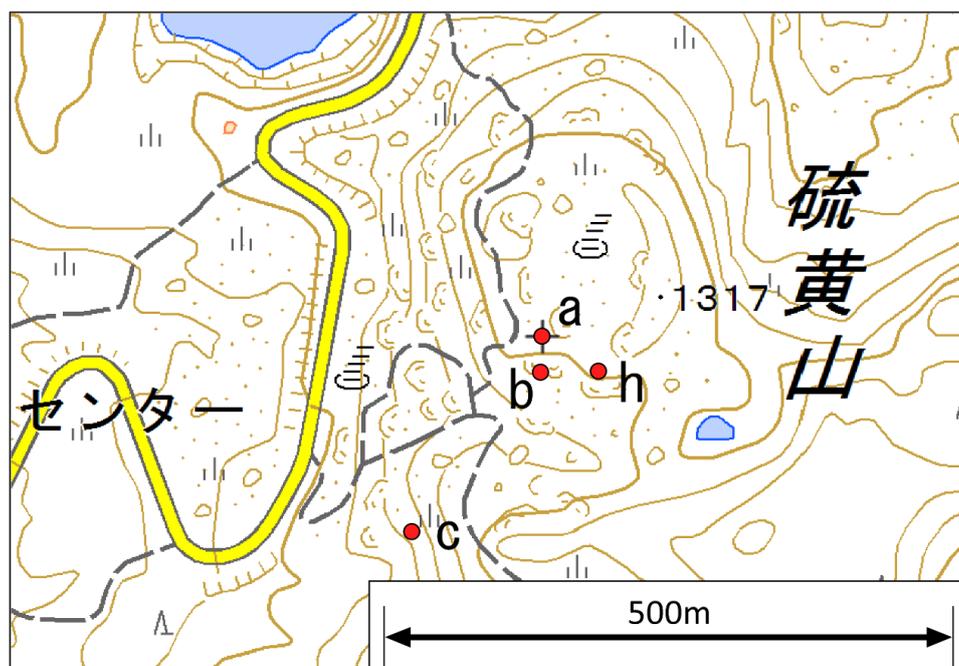


図 1. 硫黄山噴気 a, b, c の位置 (背景の地図として, 国土地理院 1/25000 地形図を使用した. h は 2017 年 5 月に出現した高噴出圧力の噴気孔)

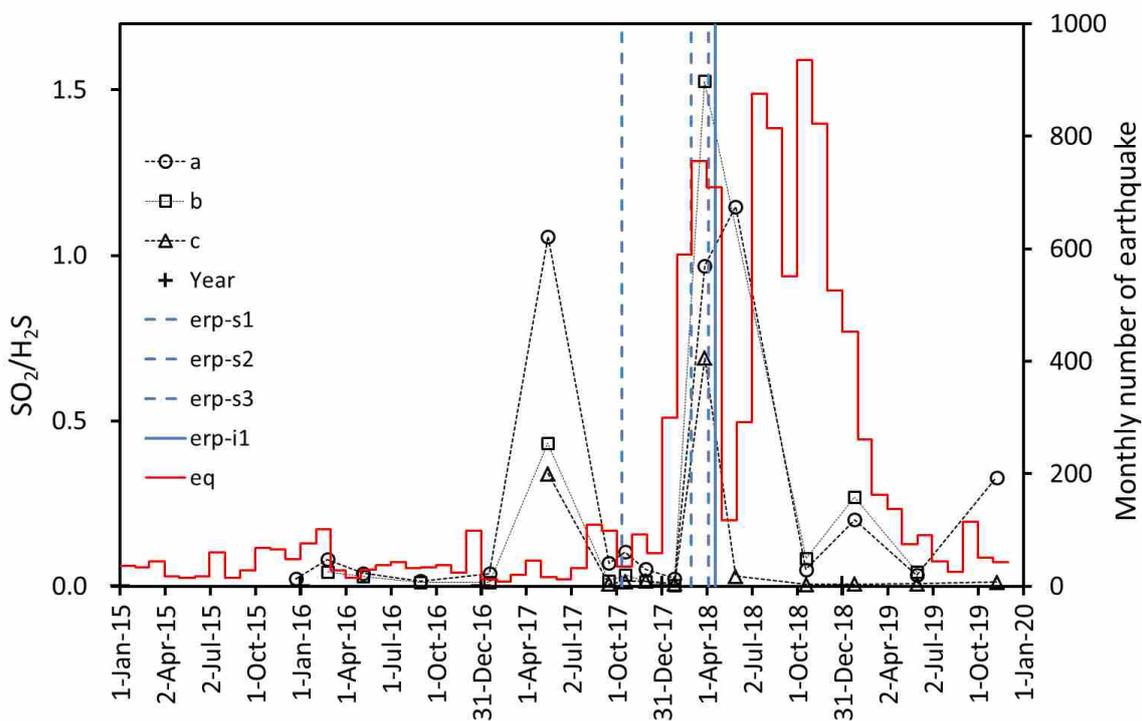


図 2. SO_2/H_2S 比の時間変化 (赤線は気象庁による月別地震回数, 青の実線は硫黄山における小噴火, 青破線は新燃岳における噴火を示す)

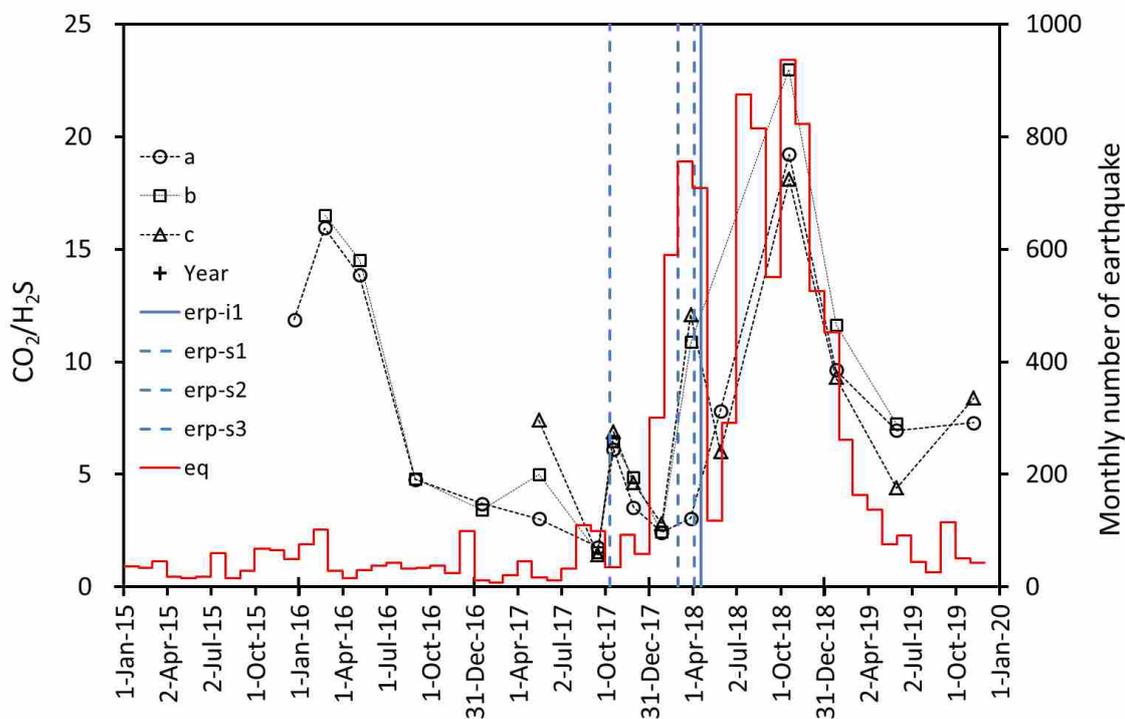


図 3. CO_2/H_2S 比の時間変化

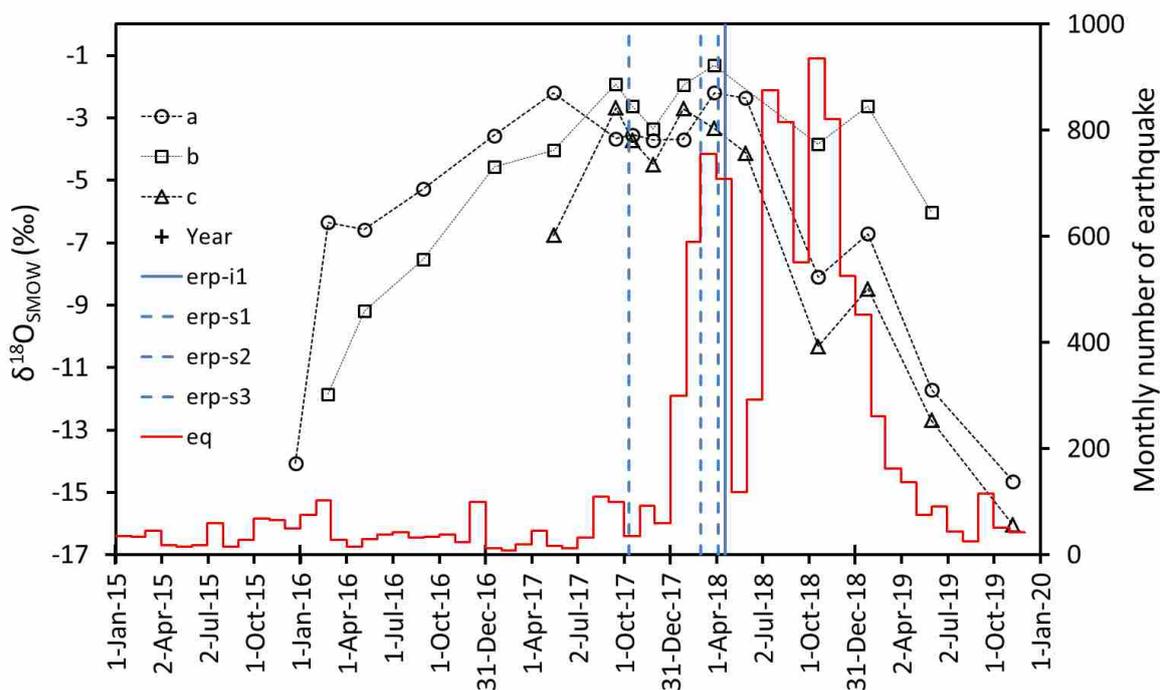


図 4. H₂O 酸素同位体比の時間変化

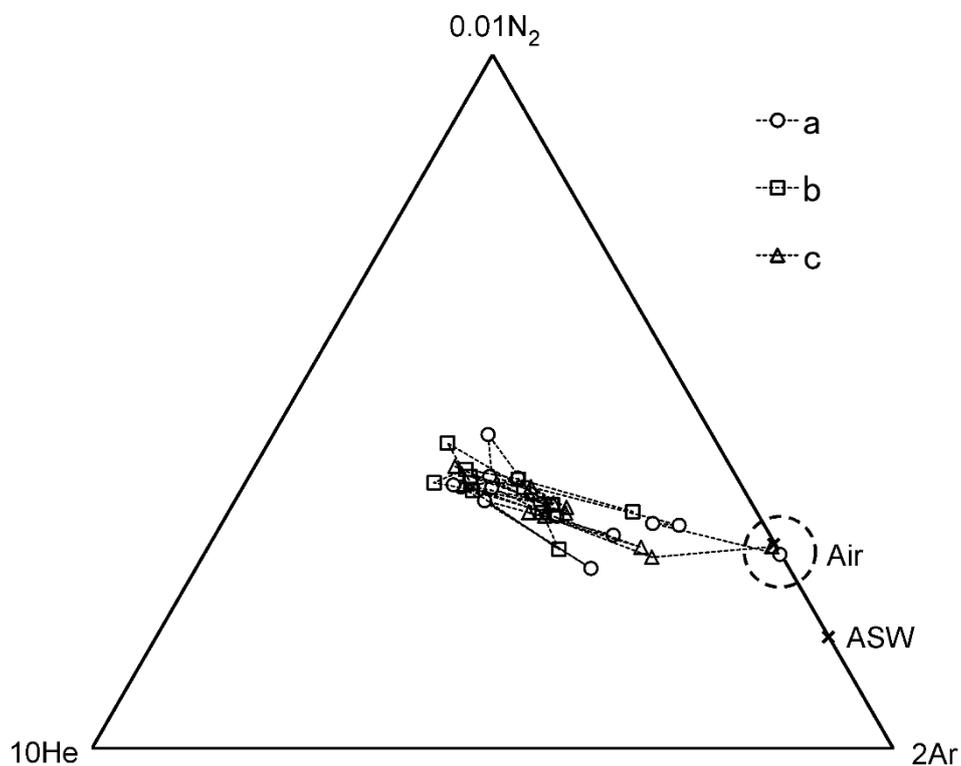


図 5. He-N₂-Ar 三成分比. 破線の丸は, 2019 年 11 月のデータを示す.

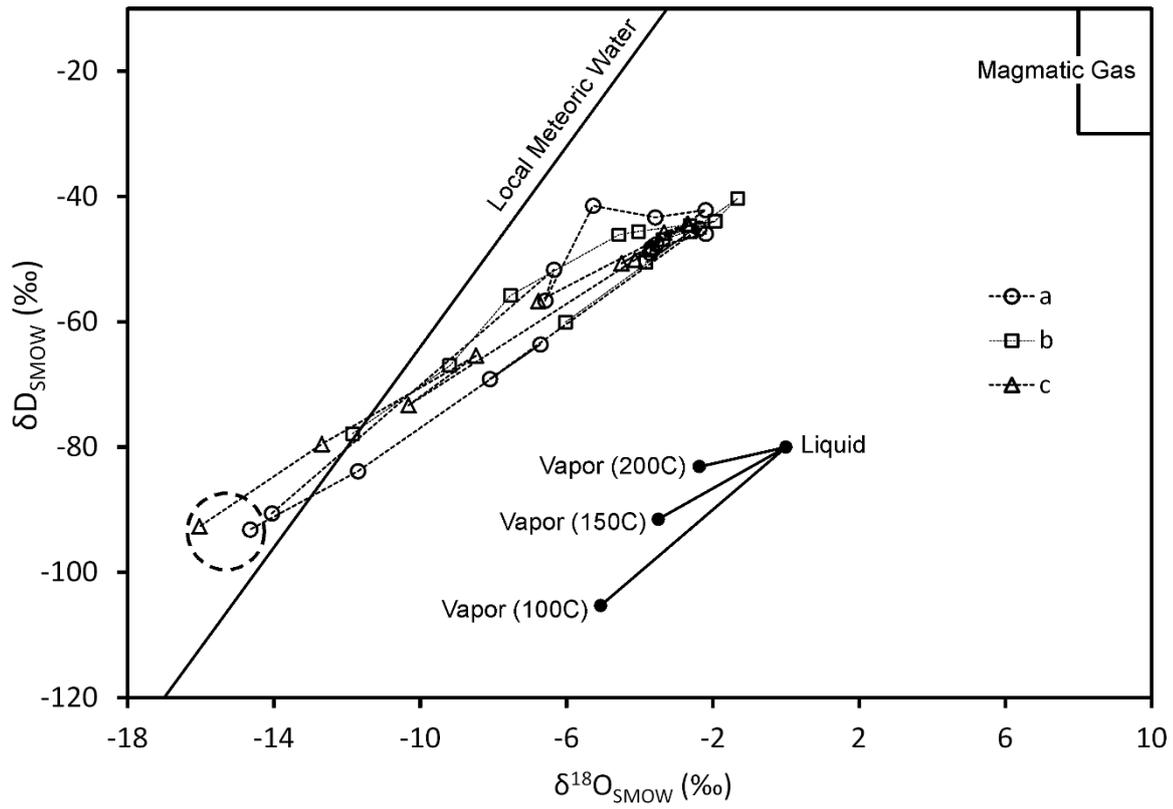


図6. 噴気に含まれる H₂O の安定同位体比. 破線の丸は, 2019 年 11 月のデータを示す.

航空レーザ計測データを用いた霧島山（新燃岳）の火口の地形変化量

2019年12月3日

アジア航測株式会社

- ・ 2018年12月に行われた新燃岳の航空レーザ計測データを基に、赤色立体地図を作成して地形判読を行うとともに、過去の計測結果と比較し、地形変化量を検討した。

1.概要

新燃岳 2018年噴火後、これまでに行われた地形計測は、火口上空の飛行が危険なため、火口外上空のヘリから撮影した斜め写真をもとに SfM/MVS 法で求められたものであった。噴火継続中で噴気の影響も強く、一部誤差の大きい部分もあった。

2018年12月に宮崎河川国道事務所により、新燃岳火口上空を飛行して、航空レーザ計測が行われた。今回、この結果と噴火前の 2012 年の航空レーザ計測結果を比較して地形変化量を求めたところ、約 1,496 万 m^3 であった。

航空レーザ計測データの使用を許可していただいた宮崎河川国道事務所に感謝する。

2.計測結果

航空レーザ計測により取得された、1m メッシュの地形データから、赤色立体地図を作成した。



図1 2018年12月15日の航空レーザ計測データによる赤色立体地図

白線で囲った範囲が地形変化量の集計範囲

霧島山（新燃岳）

3.地形変化の検討

高度段彩図と赤色立体地図を重ね、地形変化を検討した。図2と図3から、火口内蓄積溶岩の中央部に2つの円形の小火口と、一列の火口列が生じたことがわかる。北側の小火口は、直径100m、深さ30mで、南の小火口は直径70m、深さ20mである。火口列は、ほぼ南北方向に伸びるが、北ほど小さくなる。火口外の溶岩流は北西に約10m前進している。背後の蓄積溶岩表面の亀裂は拡大し、新燃岳火口の周辺の放射状のガリーは深くなり、上流側に伸長している。

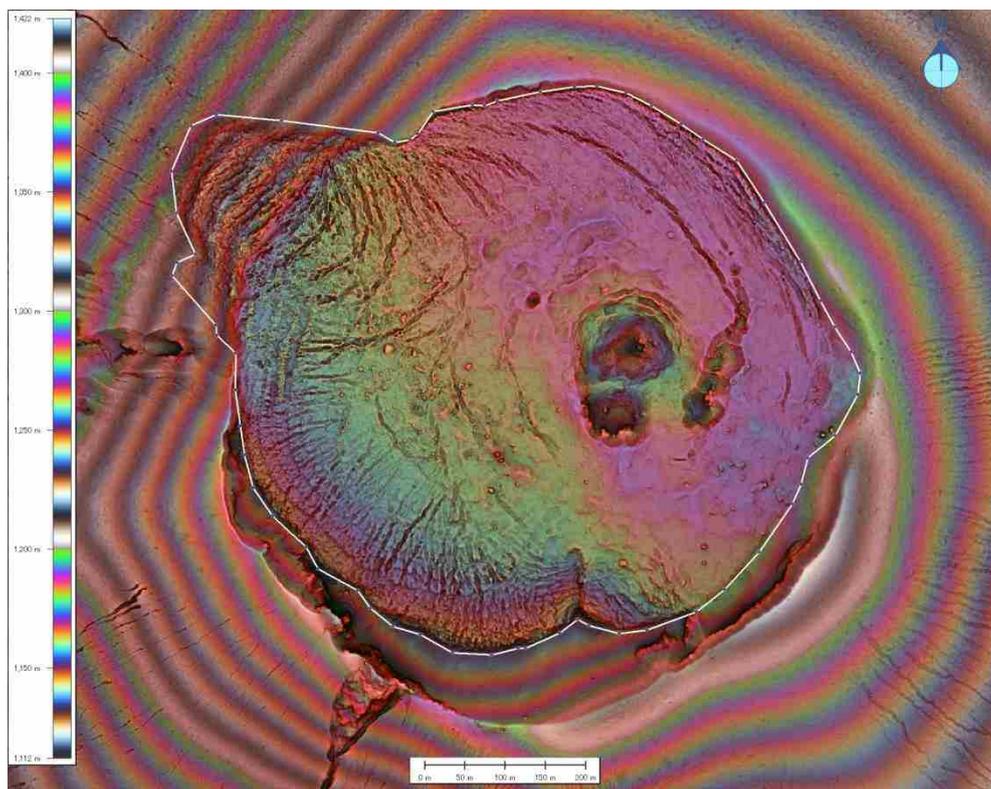


図2 2018年12月15日の航空レーザ計測データによる高度段彩図

データ提供：宮崎河川国道事務所

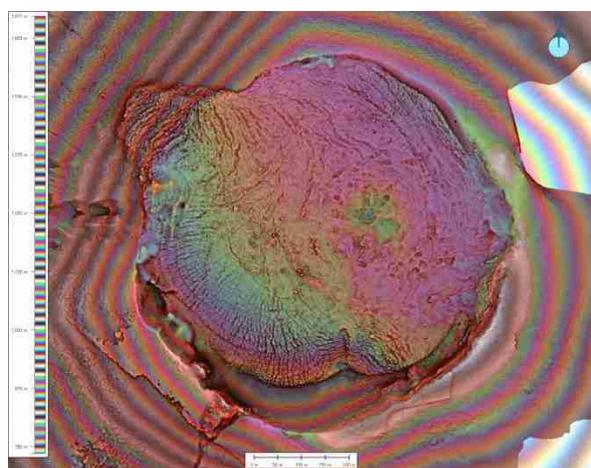


図3 2018年3月31日のSfM/MVS計測

産総研の及川氏が撮影した写真を使用*

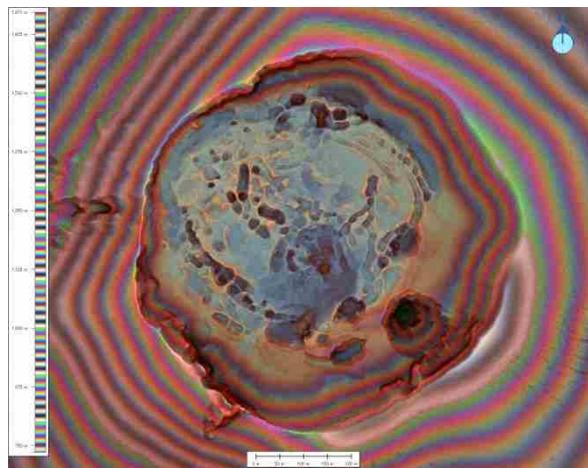


図4 2012年の航空レーザ計測

データ提供：宮崎河川国道事務所

霧島山（新燃岳）

2018年3月の計測と2018年12月の計測の差分結果を図4に示す。火口内蓄積溶岩中央部の火口は水色になり火口形成に伴い、マイナスとなっている。体積は20万 m^3 である。なお、火口内蓄積溶岩の周囲に見られる、マイナス部分は、2018年3月の計測の際の噴気の影響である。火口内蓄積溶岩の北縁部のマイナスは、2018年3月の測定誤差によるものであろう。

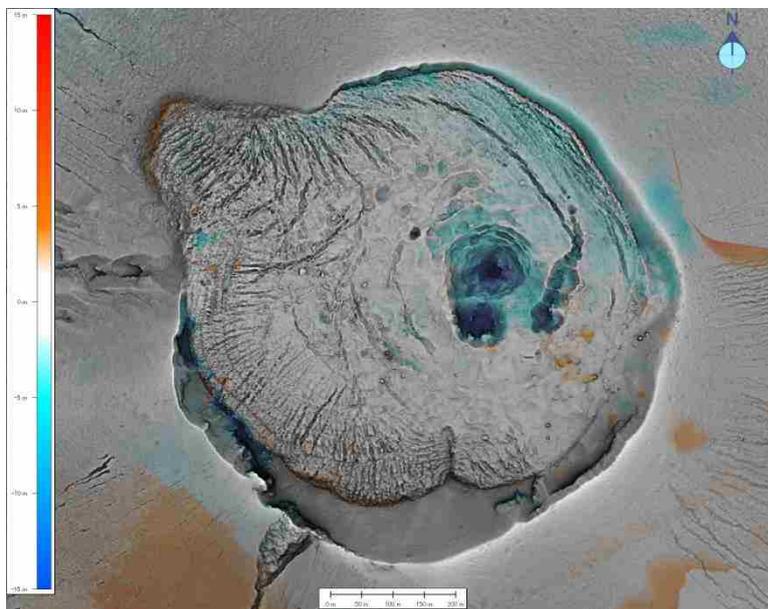


図4 2018年3月～2018年12月の地形変化量分布

3. まとめ

2018年噴火によって、新燃岳火口内に溶岩が蓄積され、その一部が北西方向に溢れ出した。今回の2018年12月と2012年の航空レーザ計測データと比較することで、火口付近の噴出量を求めることができた(図5)。火口の周囲の周辺の地形は極めてよく一致した。地形差分から求められた、火口付近の地形変化量は1,496万 m^3 であった。この量は、2018年3月の計測時とほとんど変化がない。

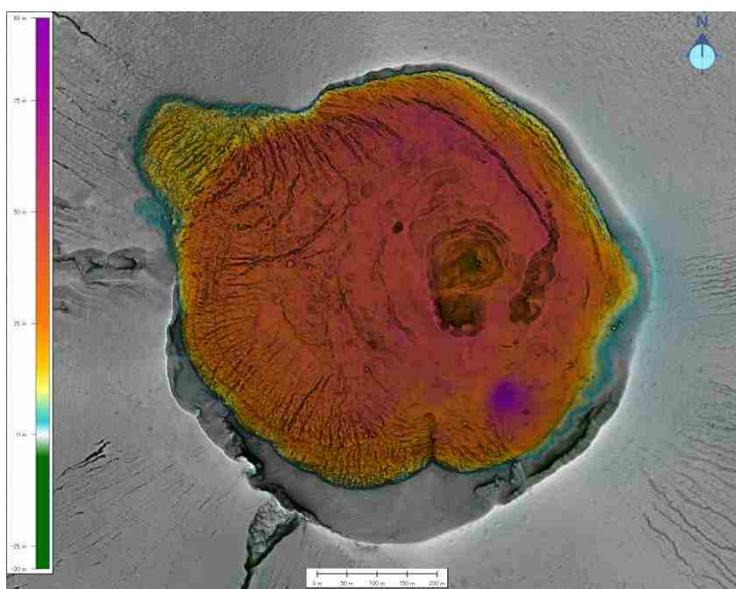


図5 2012年～2018年12月の地形変化量分布

COSMO-SkyMed の強度画像を用いた 霧島新燃岳火口内の地表面変化

2017 年 10 月の噴火以降、火口内で変化が見られ、2018 年 3 月の噴火により、火口内における溶岩蓄積及び溢流が確認された。また、4 月以降は火口内中央部に新たな凹みが確認された。

1. はじめに

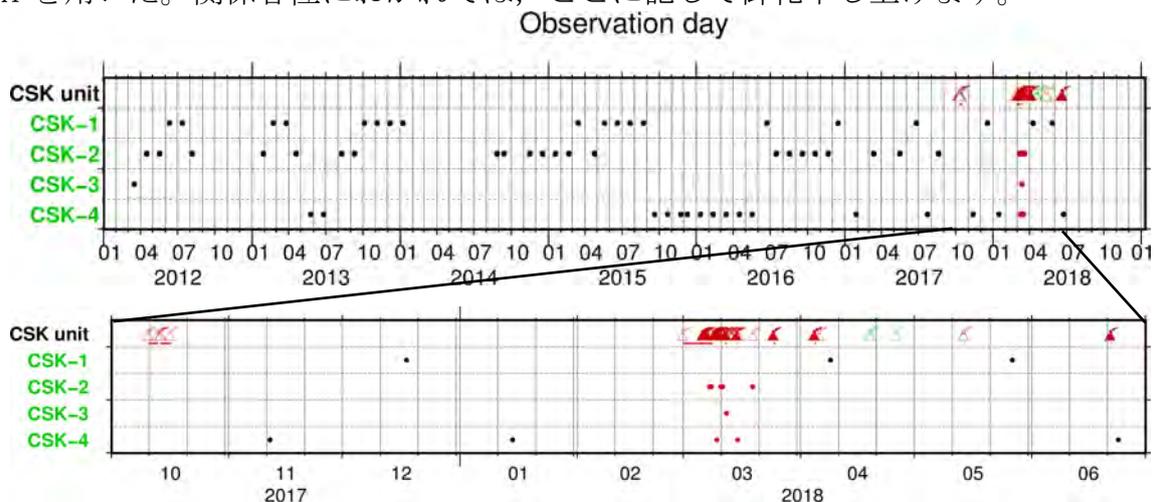
COSMO-SkyMed 衛星は、イタリア宇宙庁 (ASI) が運用している中心周波数 9.6GHz (X バンド) の小型地球観測衛星 (SAR) で、軌道高度約 620km において 4 機体制で運用されている (2007~2010 年に順次打ち上げ)。この度、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と ASI の協定に基づいて、2012 年 3 月から 2018 年 6 月分の地上分解能 3m の HIMAGE モードのデータが提供されたため、2018 年 3 月の噴火時に緊急提供された SPOTLIGHT2 モードのデータと合わせて、新燃岳火口内の地表面変化の詳細について報告する。

2. 解析結果

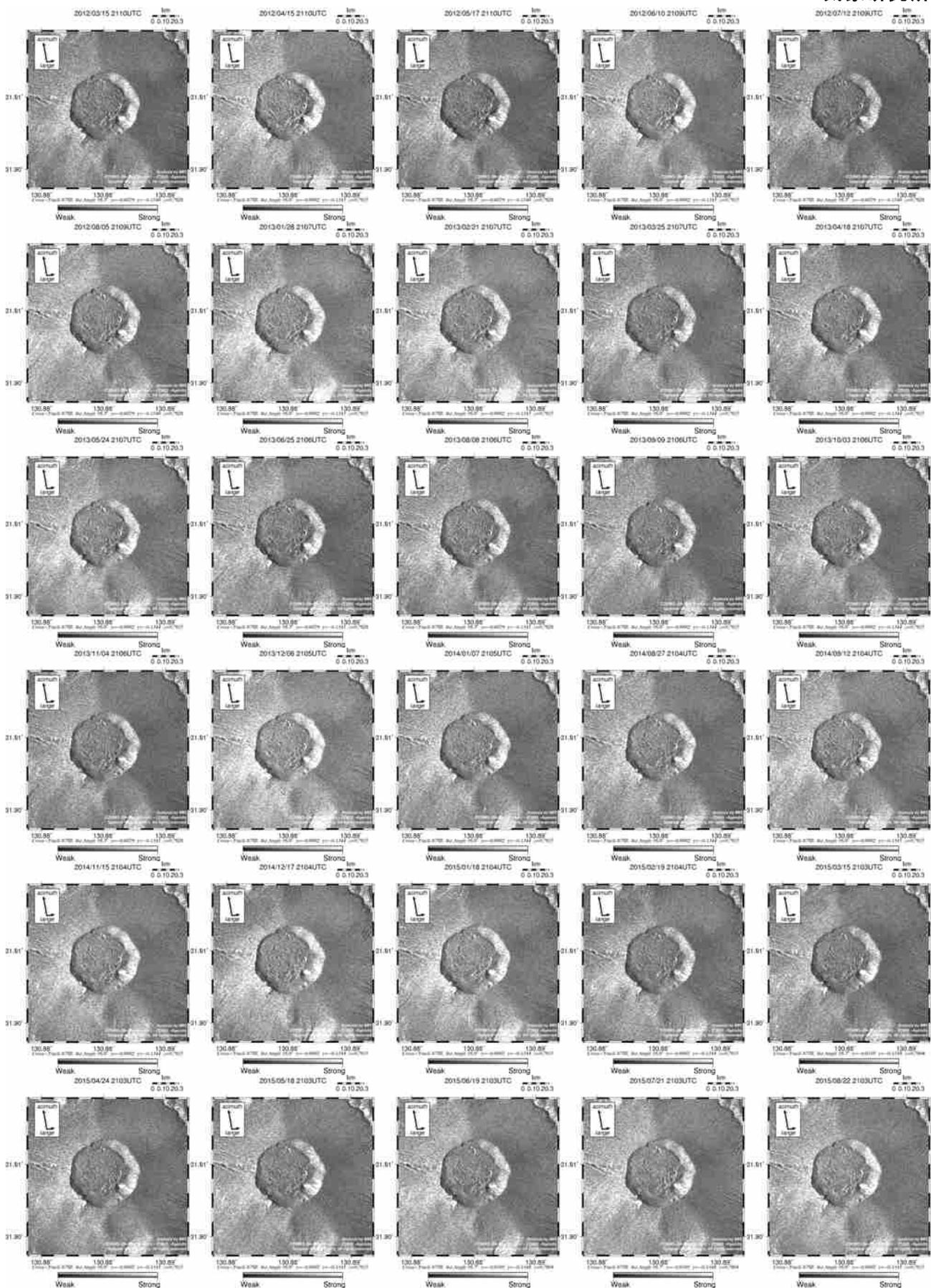
2017 年 8 月までの強度画像では、新燃岳火口内の変化はほとんど見られないが、2017 年 10 月の噴火により、火口内では凹凸が目立つようになった (第 2 図黄枠)。2018 年 3 月の噴火により、噴出した溶岩で火口内が埋められ、北西縁から溢流している様子が確認できる (第 2 図赤枠)。また、4 月以降は、火口中央部に新たな凹みが確認された (第 2 図緑枠)。

謝辞

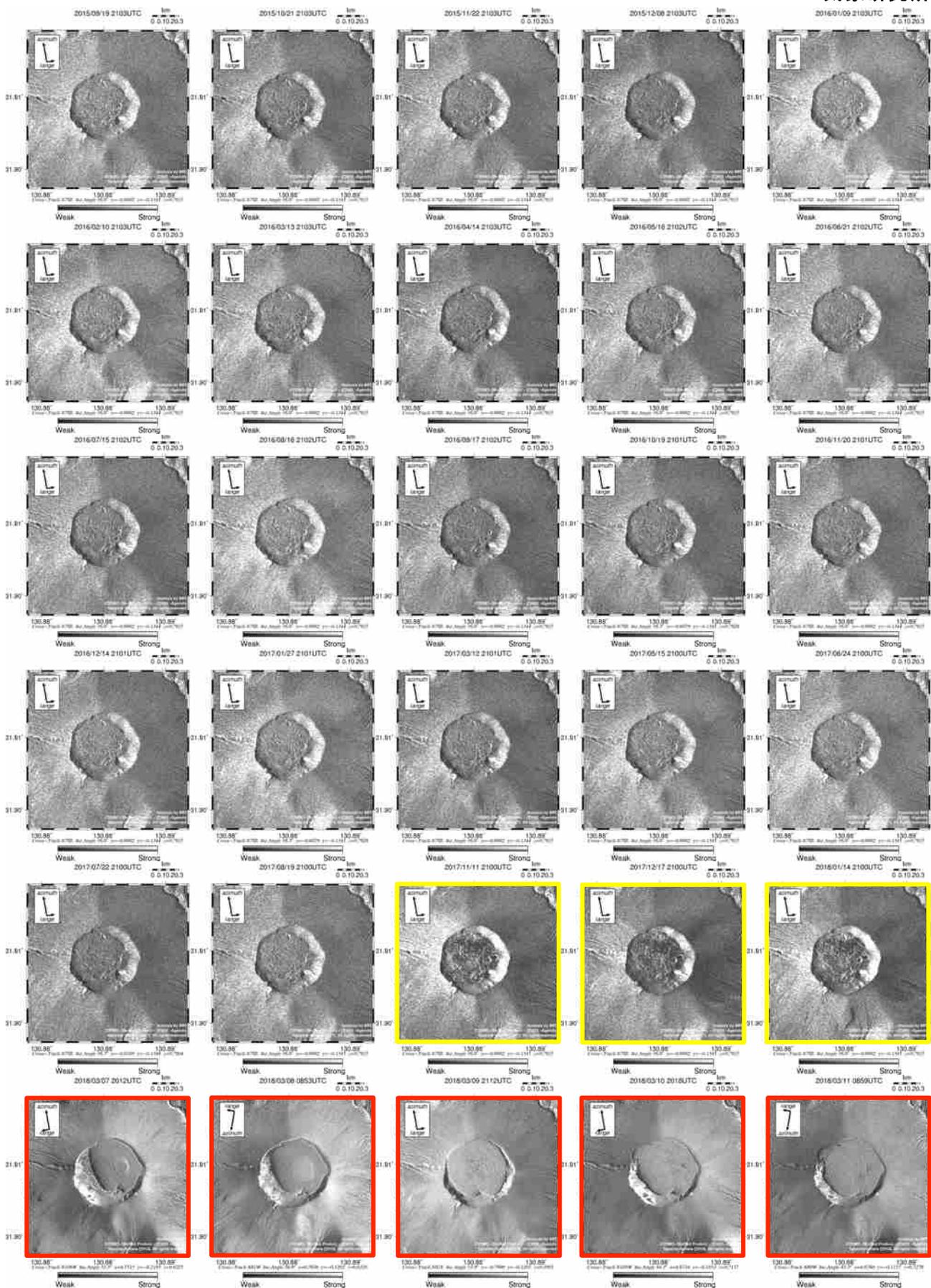
本解析で用いた COSMO-SkyMed データは、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験 (衛星解析グループ) に基づき、JAXA 経由にて ASI から観測・提供されたものである。COSMO-SkyMed に関する原初データの所有権は ASI にある。COSMO-SkyMed の解析については、Gamma®を使用した。また、処理の過程や結果の描画においては、国土地理院発行の 10m メッシュ (標高) を元にした楕円体高 (DEHM) を使用し、地図の描画には GMT を用いた。関係各位におかれては、ここに記して御礼申し上げます。



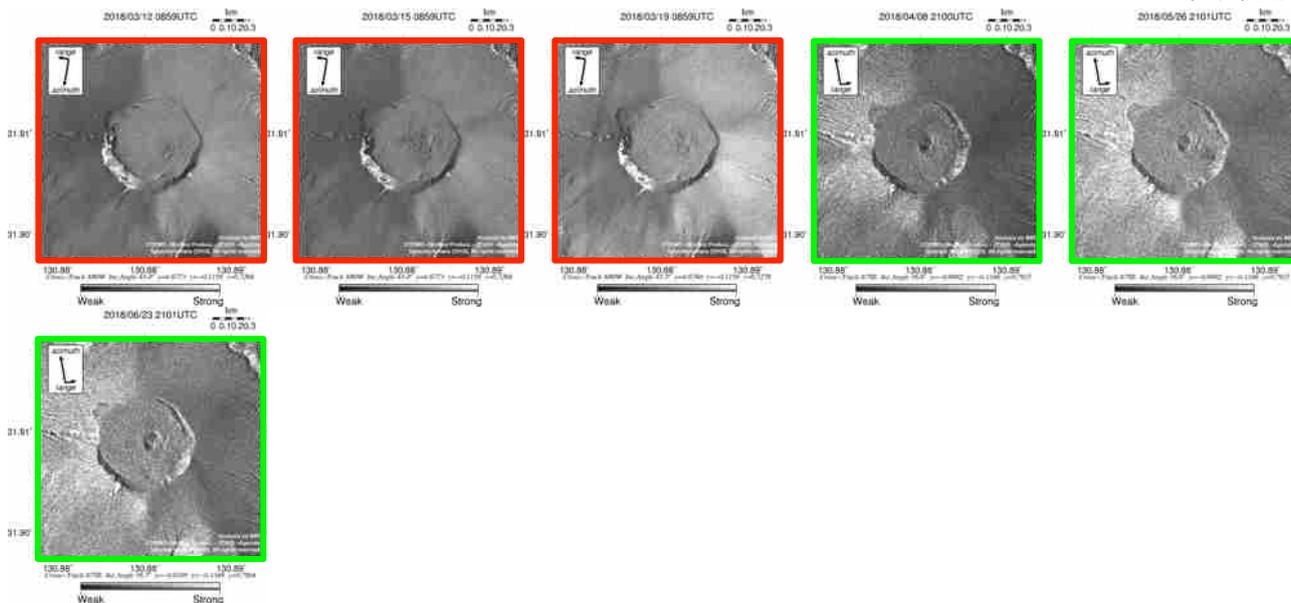
第 1 図 撮像日と噴火の時系列 (丸印：撮像日 (黒：HIMAGE, 赤丸：SPOTLIGHT2), 赤噴火マーク：新燃岳の噴火 (塗りつぶしは爆発噴火), 緑噴火マーク：硫黄山の噴火)



第 2 図 COSMO-SkyMed による強度画像解析結果(1) (2012. 3~2015. 8)



第 2 図 COSMO-SkyMed による強度画像解析結果(2) (2015. 9~2018. 3)



第 2 図 COSMO-SkyMed による強度画像解析結果(3) (2018. 3~2018. 6)

2018 年 3 月 (赤枠) は SPOTLIGHT2 モード, それ以外は, HIMAGE モードによる解析結果。
黄枠は 2017 年 10 月噴火の影響による火口内の凹凸。赤枠は 2018 年 3 月噴火による溶岩蓄積及び溢流 (視線方向に注意)。緑枠は火口内中央部に新たに出現した凹み。

霧島-硫黄山の赤外観測

霧島硫黄山の赤外観測をドローン搭載の赤外カメラによって行った（第2回：2019年12月5日午前8時51分～9時14分）．最高温度はえびのスカイライン脇の標高1,232 m 付近の76度であった（範囲AのV-1）．前回の観測（第1回：2019年5月23日）と比べ，熱異常域の分布に大きな変化はない（図1）．一方，測定温度は今回の方が系統的に数度～数10度低い値を示す（外気温の影響も考えられ，活動の変化を捉えるには，長期的な変化傾向を検討する必要がある）．

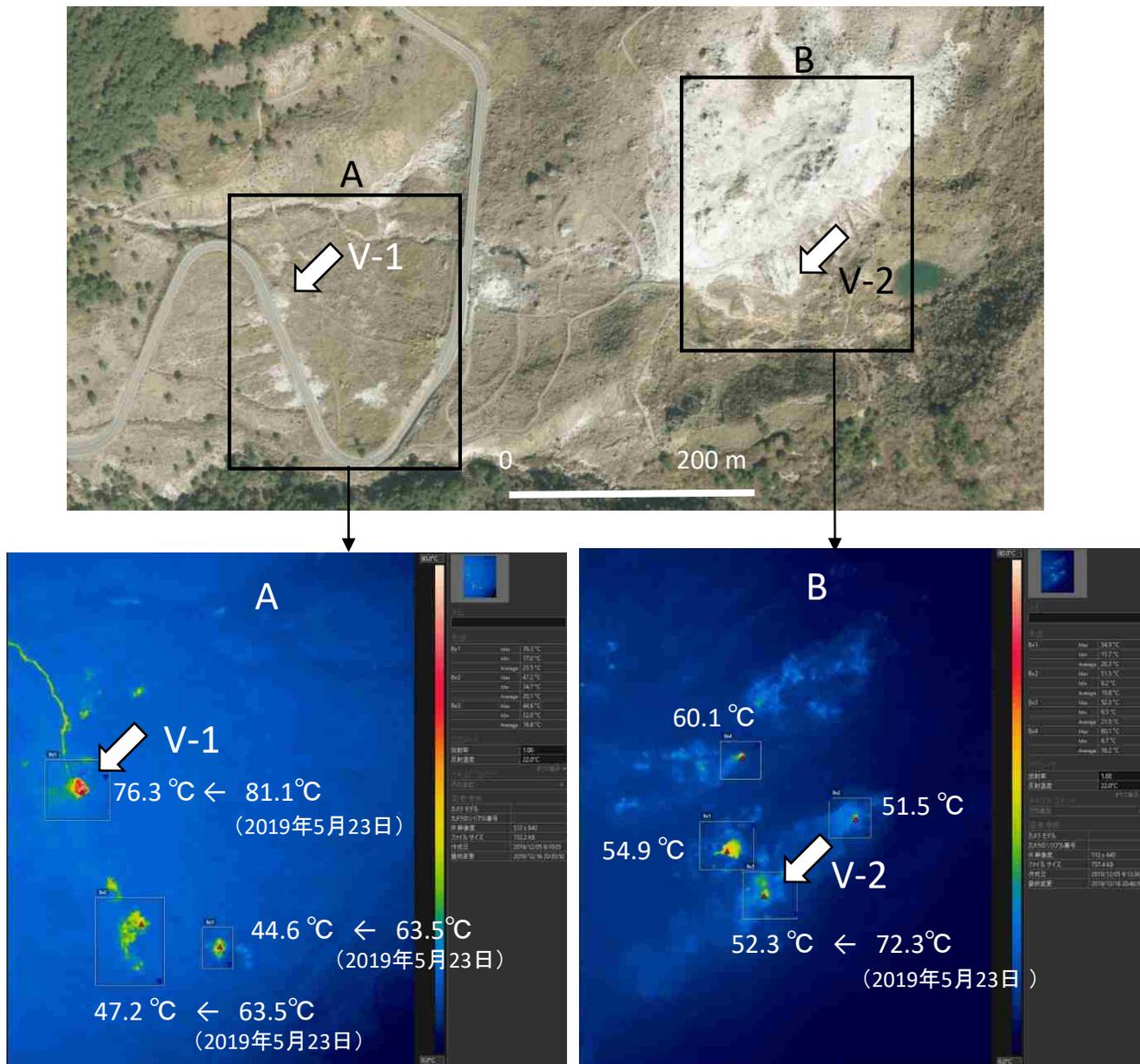


図1 測定範囲と赤外画像(2019年12月5日 午前8時51分～9時14分)

霧島山



地形図は国土院の電子地形図（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
2019/11/25	第十管区 海上保安本部	新燃岳火口に白色の噴気が認められた（第 1 図、第 2 図）。 硫黄山（えびの高原周辺）噴気域は、雲に覆われており視認できなかった。 御鉢火口（高千穂峰）からの噴気は認められなかった。



第 1 図 霧島山 新燃岳火口
2019 年 11 月 25 日 13:07 撮影



第 2 図 霧島山 新燃岳火口（熱画像）
2019 年 11 月 25 日 13:04 撮影