

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.
30_2930(SM1_U3_13)	南行	左	52.8°	2018.05.21	2019.05.20	第 1 図- A, B, C
30_2930(SM1_U3_13)	南行	左	52.9°	2019.01.14		第 2 図- A, B, C
23-2970(SM1_U2-7)	南行	右	36.1°	2018.12.10	2019.04.01	第 3 図- A, B, C

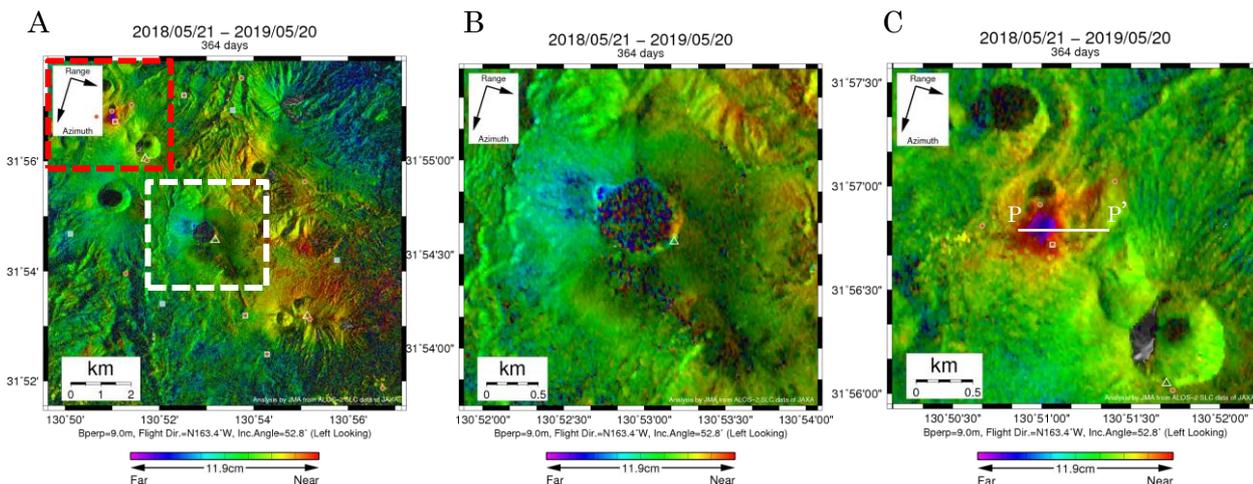
3. 解析結果

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。パス 30 の長期ペア（第 1 図-A, B, C）において、新燃岳の火口付近で噴火に伴う非干渉領域、硫黄山の西側 500m 付近で衛星視線方向短縮の位相変化が認められる。パス 30 の短期ペア（第 2 図-A, B, C）及びパス 23 のペア（第 3 図-A, B, C）においては、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。パス 30 の長期ペアにみられる硫黄山の西側 500m 付近の変動について、短期ペアでは確認できないため、この変動は停滞していると考えられる。

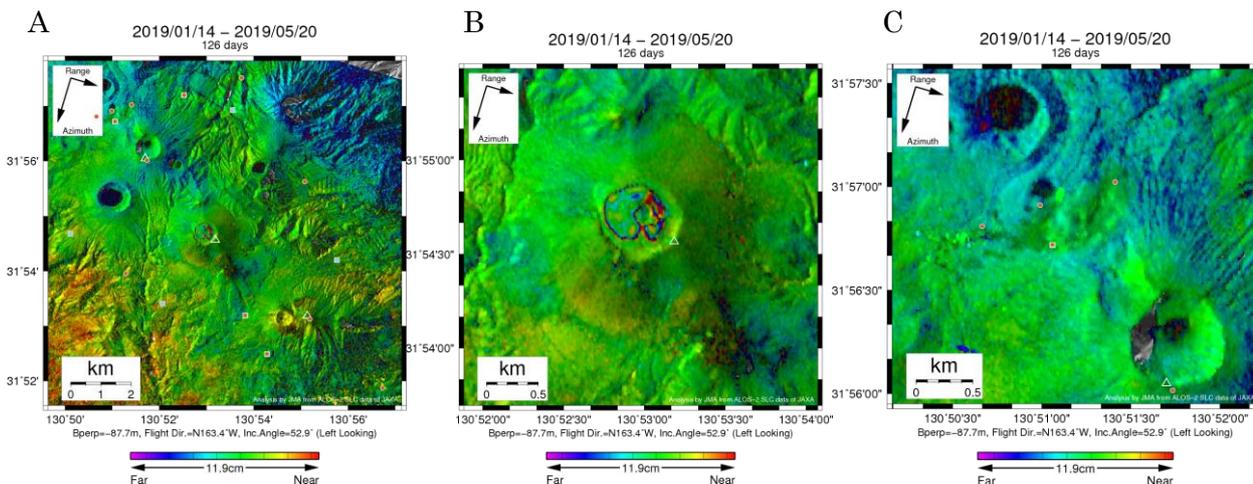
第 4 図及び第 5 図にはえびの高原（硫黄山）周辺の地表変位の時間変化を示す。硫黄山の西側 500m 付近で、2018 年 5 月頃から緩やかな視線距離短縮が認められていたが、最近では停滞している。

謝辞

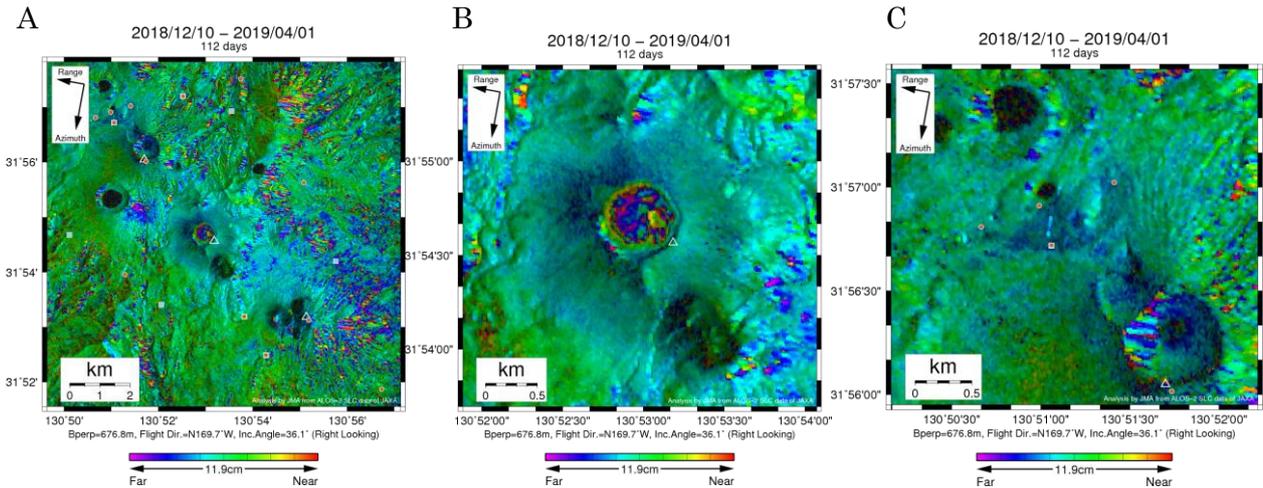
本解析で用いた PALSAR-2 データは、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験（衛星解析グループ）に基づいて、宇宙航空研究開発機構（JAXA）にて観測・提供されたものである。また、一部のデータは、PIXEL で共有しているものであり、JAXA と東京大学地震研究所の共同研究契約により JAXA から提供されたものである。PALSAR-2 に関する原初データの所有権は JAXA にある。PALSAR-2 の解析ソフトウェアは、防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発された *RINC* を使用した。また、処理の過程や結果の描画においては、国土地理院の数値地図 10m メッシュ（標高）を元にした DEHM を、地形の描画には数値地図 25000（行政界・海岸線）のデータを使用した。ここに記して御礼申し上げます。



第 1 図 パス 30 (SM1_U3-13) の長期ペア (2018/05/21-2019/05/20) による霧島山周辺の干渉解析結果 (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) で新燃岳火口付近で噴火に伴う非干渉領域が認められる。えびの高原 (硫黄山) 付近の拡大図 (C) で衛星視線方向短縮の位相変化が認められる。それ以外の地域ではノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

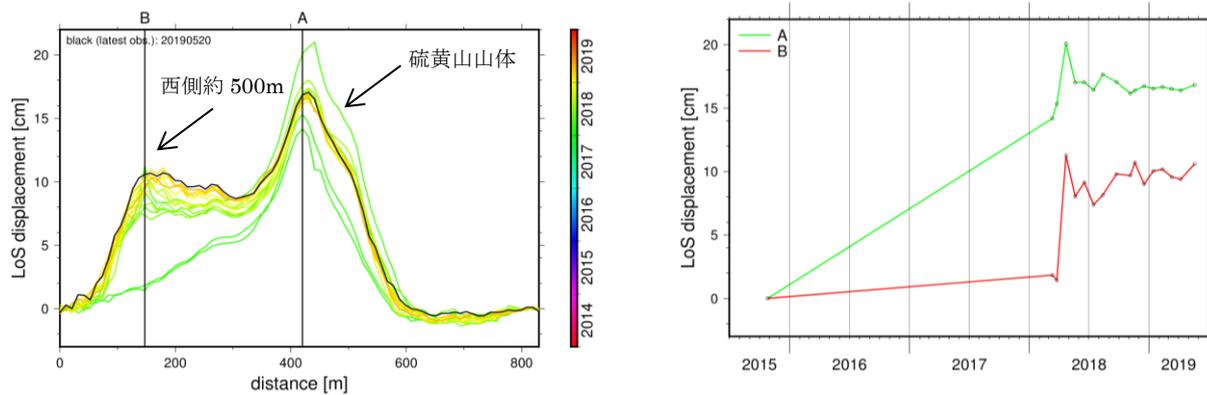


第 2 図 パス 30 (SM1_U3-13) の短期ペア (2019/01/14-2019/05/20) による霧島山周辺の干渉解析結果 (A)、新燃岳付近の拡大図 (B)、えびの高原 (硫黄山) 付近の拡大図 (C)
 凡例は第 1 図と同じ。新燃岳付近の拡大図 (B) において新燃岳火口内で視線距離短縮の位相変化が認められる。それ以外の地域ではノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。



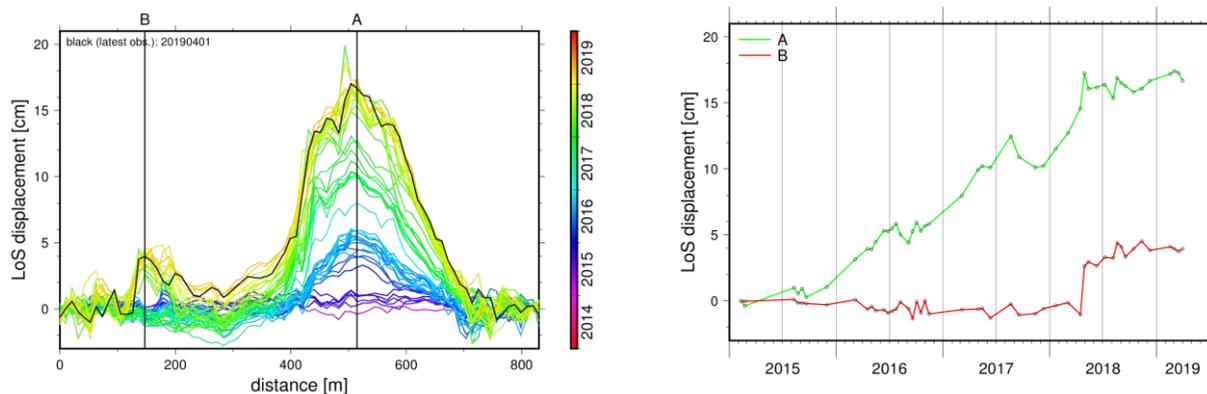
第 3 図 パス 23 (SM1_U2-7) のペア (2018/12/10-2019/04/01) による霧島山周辺の干渉解析結果 (A)、新燃岳付近の拡大図 (B)、えびの高原 (硫黄山) 付近の拡大図 (C)

凡例は第 1 図と同じ。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。それ以外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 30 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 ではノイズレベルを超えるような変化は認められない。B では 2018 年 5 月 21 日以降、視線距離が緩やかに短縮していたが、最近では停滞している。



第 5 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

凡例は第 4 図と同じ。A ではノイズレベルを超えるような変化は認められない。B では 2018 年 4 月 30 日以降、視線距離が緩やかに短縮していたが、最近では停滞している。

霧島山硫黄山周辺の湧水・湯だまりの化学組成

(2019 年 5 月 31 日現在)

- ・硫黄山西麓の湧水(A 地点)の Cl/SO_4 モル比は, 2019 年 1 月以降低下傾向が継続している.
- ・硫黄山南火口跡の湯だまり(Pa, Pb 地点)の Cl/SO_4 モル比は, 2019 年 1 月から 3 月にかけて減少し, その後, 5 月 31 日時点では枯渇が確認された.
- ・硫黄山西火口跡の湯だまり(V2 地点)の Cl/SO_4 モル比は, 2019 年 5 月中旬から下旬にかけて減少した.

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/SO_4 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. 気象研究所等では 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 月から 5 月の観測結果を報告する.

(1) 湧水：硫黄山西麓

硫黄山西麓の湧水(図 2: A 地点)の Cl/SO_4 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. 同年 4 月噴火から 2019 年 1 月にかけての期間は Cl/SO_4 モル比は 1.2~1.6 と噴火前よりも高い値で推移した. 2019 年 1 月以降は Cl/SO_4 モル比に低下傾向が認められ, 同比は 2019 年 1 月 25 日に 1.4, 3 月 4 日に 0.88, 4 月 15 日に 0.64, 5 月 31 日には 0.42 まで低下した(表 1).

(2) 噴火口跡湯だまり：硫黄山南噴火口跡/硫黄山西噴火口跡

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は, 2019 年 5 月 31 日時点で完全に枯渇し, 噴気のみを放出していた(V1, Pa, Pb 地点: 図 4-7). P 地点湯だまりの Cl/SO_4 モル比は枯渇前に低下傾向が認められ, 2019 年 1 月 25 日から同年 3 月 4 日にかけて, Pa で 1.8 から 0.9 へと半減し, Pb では 2.3 から 1.6 と低下した(表 1).

一方, 硫黄山西火口(2018 年 4 月 26 日噴火口)跡は, 2019 年 5 月 31 日の観測時点においても熱水で満たされており(図 8), その Cl/SO_4 モル比は, 2019 年 5 月 13 日に 2.5, 5 月 31 日に 1.9 と低下した(表 1).

【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 143 回火山噴火予知連絡会資料, その 1, 34-37.

【謝辞】本調査には, 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.

霧島山 (硫黄山)

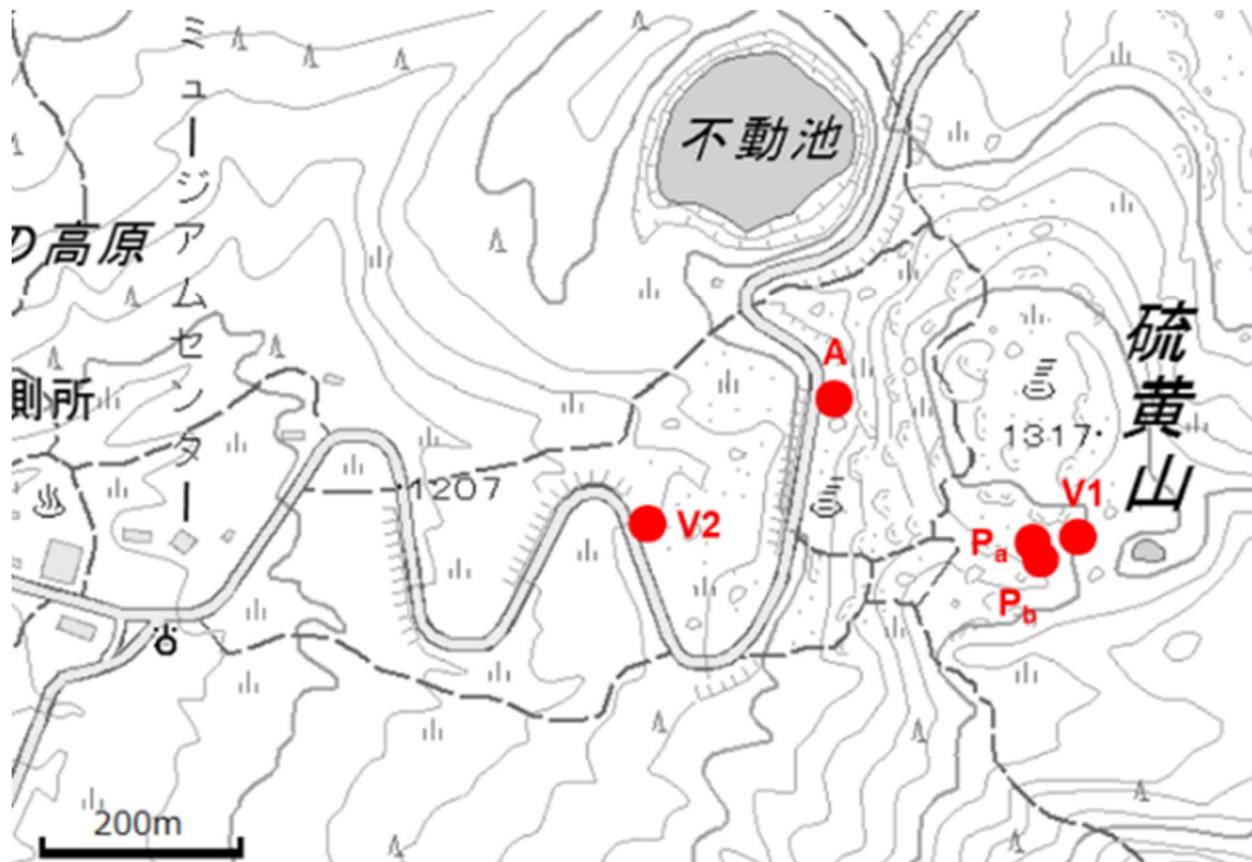


図 1. 試料採取および観測地点 (背景地図に地理院地図を使用した)

表 1. 霧島山硫黄山周辺の湧水および湯だまりの化学組成

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	2217	4224	1.42
	2019/3/4	57.8	1.82	1.14	910	2811	0.88
	2019/4/15	47.8	1.87	0.92	648	2732	0.64
	2019/5/31	56.4	1.92	0.78	382	2478	0.42
Pa: 湯だまり(硫黄山南4/19噴火口跡)	2019/1/25*	93.2	1.23	3.38	3800	5720	1.80
	2019/3/4	90.1	1.68	1.20	676	2011	0.91
Pb: 湯だまり(硫黄山南4/19噴火口跡)	2019/1/25*	94.5	0.82	7.96	10200	11800	2.34
	2019/3/4	88.7	1.35	2.62	2497	4181	1.62
V2: 湯だまり(硫黄山西4/26噴火口跡)	2019/1/25*	96.6	0.80	8.43	10100	12300	2.22
	2019/3/4	95.6	0.84	8.57	10374	12174	2.31
	2019/5/13	ND	0.89	6.85	10297	11016	2.53
	2019/5/31	95.2	1.28	3.10	3832	5508	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。

* 気象研・東海大・東大院・福岡管区气象台・鹿児島地方气象台(2019)²⁾



図 2. 硫黄山西麓 A 地点湧水

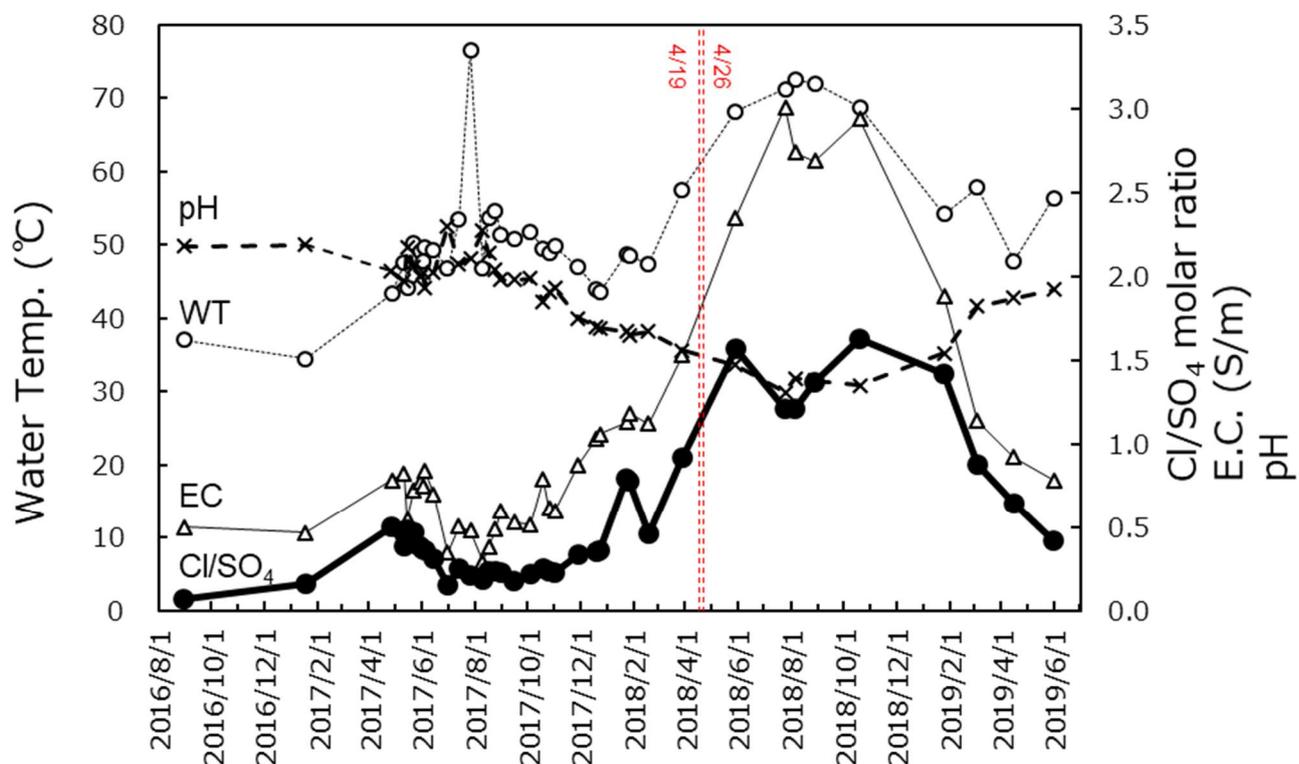


図 3. 硫黄山西麓域 A 地点湧水の水質(Cl/SO₄モル比, 電気伝導度, pH, 水温)の変化

霧島山 (硫黄山)

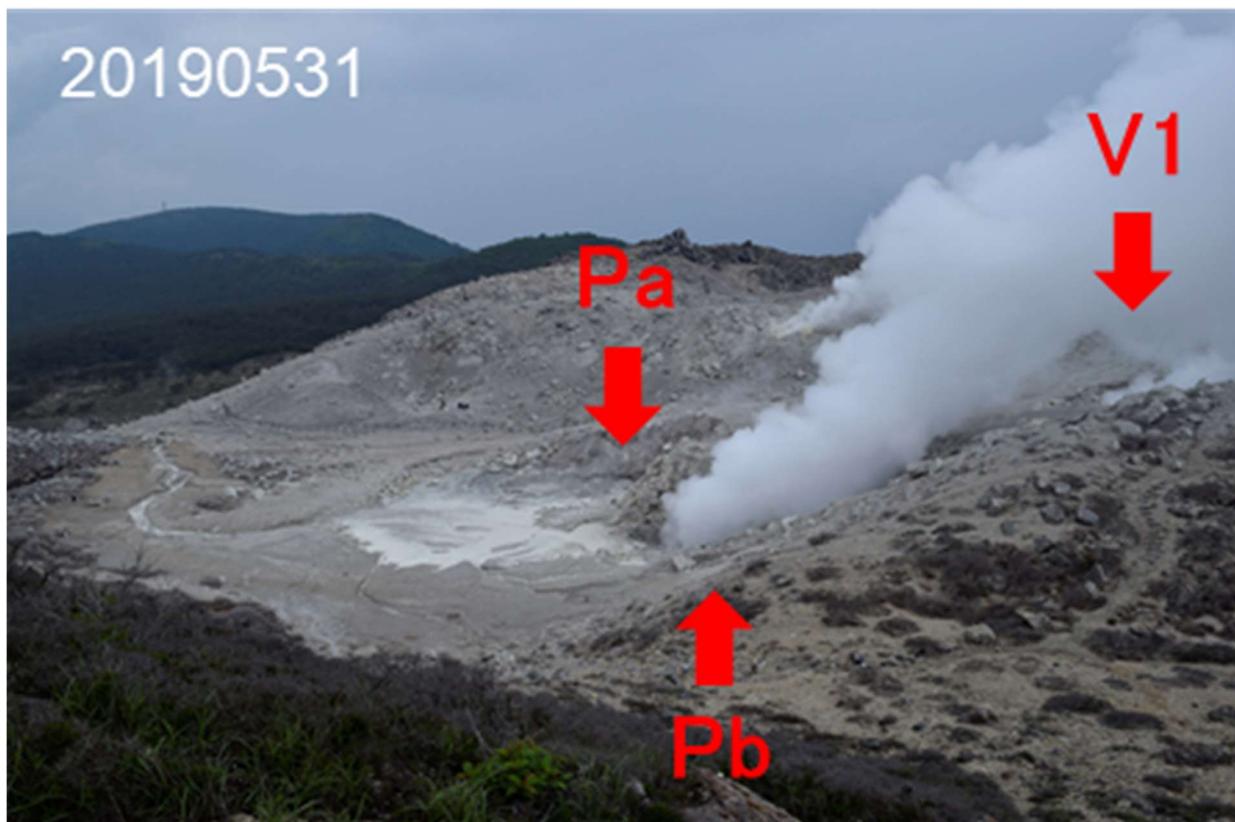


図 4. 硫黄山南火口跡(2018 年 4 月 19 日噴火口周辺)の湯だまり
(撮影時点で V1, Pa, Pb すべての湯だまりが枯渇)



図 5. 硫黄山南火口跡 V1 地点

霧島山 (硫黄山)



図 6. 硫黄山南火口跡 Pa 地点



図 7. 硫黄山南火口跡 Pb 地点

霧島山（硫黄山）

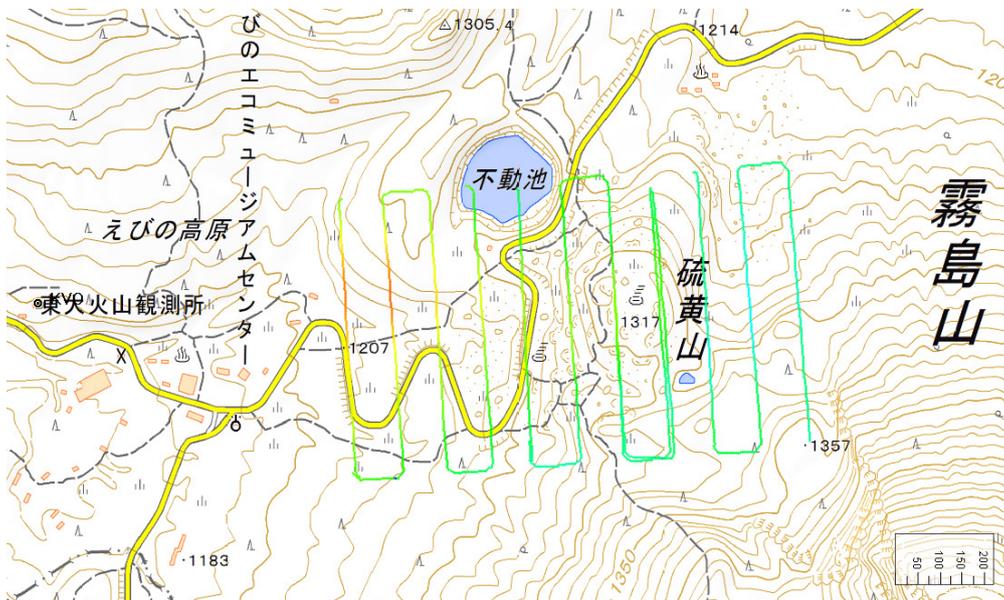
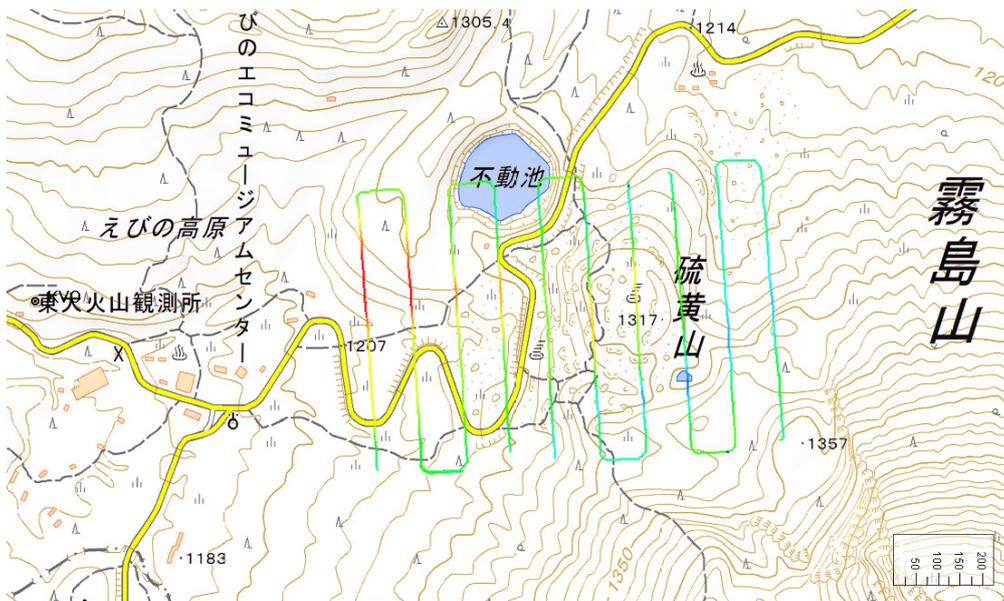


図 8. 硫黄山西火口跡 V2 地点

左右の 2 ヲ所から熱水が吹き上がっていた。熱水の一部は側溝から流出していた。

霧島硫黄山空中磁気測量

霧島硫黄山にて 2019 年 5 月 22 日にドローンによる空中磁気測量を実施した。全磁力分布を見ると、観測領域西側は全磁力勾配が大きく地形効果が認められるのに対し、硫黄山上空ではほとんど変化なく、磁化強度が低い、あるいは、消磁していることが示唆される。今後繰り返し観測し、消帯磁分布から熱活動の傾向を検証する予定である。



46,700nT  47,700nT

上図：対地高度 50m および 下図：対地高度 100m でのドローン航跡および全磁力分布
霧島山

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（2019年5月23日 午前7時51分～8時44分）（図1）。最高温度はえびのスカイライン脇の標高1,232 m 付近の81度であった（熱画像 A 矢印）。次が硫黄山の南側の地点の72度であった（熱画像 D 矢印）。

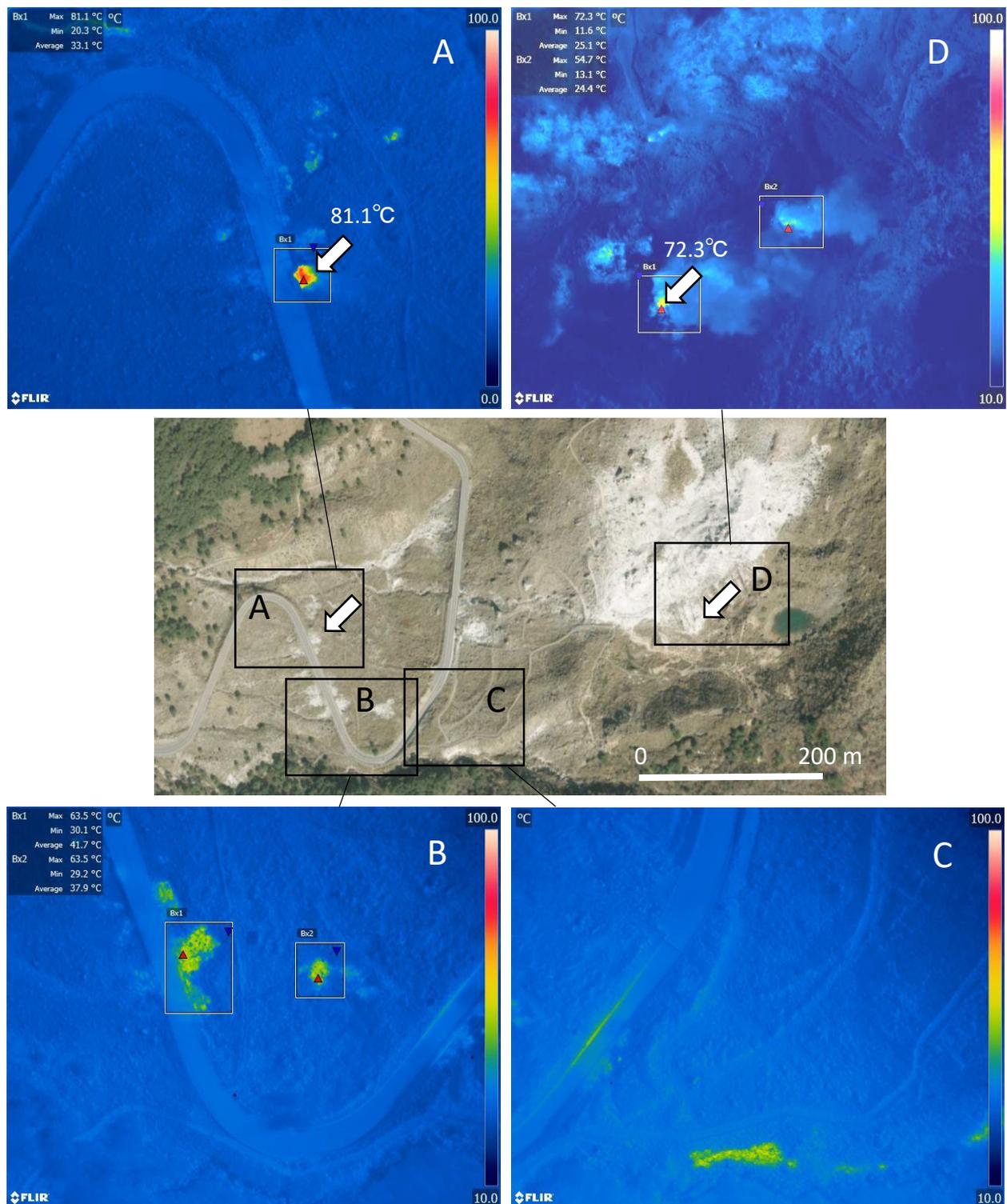


図1 主な熱異常域の赤外画像(2019年5月23日 午前7時51分～8時44分)

霧島山硫黄山噴気のヘリウム同位体比

1. 概要

2016 年 10 月から 2019 年 9 月にかけて、霧島山硫黄山の 3 地点で噴気を採取し、ヘリウム同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) を測定した。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の経時変動は、新燃岳や硫黄山の火山活動と関連がある。直近 (2018 年 10 月から 2019 年 5 月) の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比変動を詳細にみると、2 地点の噴気では減少しているが、1 地点はわずかに上昇しているため、今後も $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比変動を注意深く観測していく必要がある。

2. はじめに

ヘリウム (He) などの希ガスは、化学的に不活性であり化学反応に関与しないため、その同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) は地下深部からの移動過程で変動しにくく、起源の異なる複数の供給源からの寄与率の違いを反映している。ヘリウムの安定同位体のうち、 ^3He は地球上でほとんど生成されず、地球形成時から存在する始原的成分がほとんどを占めている一方、 ^4He では始原的成分に加えて、U や Th の放射壊変によって生成された成分 (放射壊変起源成分) も多く存在している。この始原的成分と放射壊変起源成分の寄与率の違いを反映して、大気、マントル、地殻の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は大きく異なる。大気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の絶対値 ($R_a = 1.4 \times 10^{-6}$) を基準とすると、マントルの値は 8 R_a 程度であり相対的に始原的成分に富んでいる一方で、地殻の値は 0.01 R_a 以下であり、放射壊変起源成分が卓越している。このような値の違いを利用することで、マグマ活動度が評価できると期待される^[1]。

3. 試料採取地点・分析法

図 1 に示した地点 (硫黄山の 3 つの噴気孔 : a, b, c) において、真空コック付きの鉛ガラス製容器に噴気を採取した。そして、試料の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比やヘリウム濃度とネオン濃度の比 ($^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比) を希ガス質量分析計^[2,3]を用いて測定した。

試料中のヘリウムには、地下でのガスの移動中、あるいは試料採取時に混入した大気由来のヘリウムが含まれている。このような大気起源ヘリウムの混入による $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の改変は、 $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ 比を用いて補正できる。これ以降、本報告で示す $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はすべて、大気起源ヘリウムの混入を補正している。

4. 結果・考察

図 2 に 2016 年から 2019 年にかけての硫黄山の噴気 (a, b, c) における、大気混入を補正した $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比 (Air-corrected $^3\text{He}/^4\text{He}$) の経時変化を示す。3 地点の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の経時変化は、2019 年 5 月を除いて同期しているように見え、値もおおむね一致している。 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比変動と、周辺 (新燃岳や硫黄山) の火山活動との関連についてみると、2017 年 10 月に発生した新燃岳の噴火の 2 週間前まで (2016 年 8 月 30 日から 2017 年 9 月 19 日にかけて) の 3 地点の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の平均値は、約 6.9 R_a から約 7.5 R_a へと上昇していたが、その噴火後の 2017 年 10 月 18 日から 2017 年 11 月 28 日にかけて、7.5 R_a から 7.2 R_a へ減少した。また、2018 年 3 月から 6 月にかけての新燃岳の噴火および 2018 年 4 月の硫黄山の噴火前には、2017 年 11 月 28 日の 7.2 R_a から、2018 年 3 月 28 日の 7.4 R_a へとわずかに上昇していたが、噴火活動が終息しかけている 2018 年 5 月 29 日には、7.1 R_a まで減少した。その後、2018 年 10 月 19 日には 7.5

Ra へと上昇したが、2019 年 5 月 31 日にかけてわずかに減少傾向を示している。

以上のように、硫黄山の噴気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の経時変化は、新燃岳の噴火前に増加傾向を、噴火後には減少傾向を示している。噴火の準備過程におけるマグマだまりの圧力上昇に伴い、マグマだまり起源ガスの供給量が増加すると、地殻など他の供給源からヘリウムの寄与は相対的に減少し、噴気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は上昇すると考えられる。一方、噴火に伴う大規模なガス放出によりマグマだまりの圧力が減少すると、他の供給源からヘリウムの寄与が相対的に増加し、噴気の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は減少すると考えると、上記の経時変化は説明できる。また、2018 年 5 月から 10 月の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の上昇と、2019 年 1 月 25 日にかけてのわずかな減少は、同 10 月に噴火は起こっていないものの、同 5 月には約 100 回、同 10 月には約 800 回と増加していたえびの高原周辺の地震回数が、2019 年 1 月には約 400 回へと減少したことと対応して、火山活動との関連を示していると考えられる（地震回数は気象庁ホームページ内の火山の状況に関する解説情報及び月別地震回数を参照）。

直近（2018 年 10 月から 2019 年 5 月）の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比をみると、噴気 a と b では減少しているが、噴気 c ではやや上昇している。そのため、今後も $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を継続して観測していく必要がある。

[参考文献]

- [1] Padrón, E., Pérez, N.M., Hernández, P.A., Sumino, H., Melián, G.V., Barrancos, J., Nolasco, D., Padilla, G., Dionis, S., Rodríguez, F., Hernández, I., Calvo, D., Peraza, M.D., Nagao, K., 2013. Diffusive helium emissions as a precursory sign of volcanic unrest. *Geology* 41, 539-542.
- [2] Sumino, H., Nagao, K., Notsu, K., 2001. Highly sensitive and precise measurement of helium isotopes using a mass spectrometer with double collector system, *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.* 49, 61-68.
- [3] 角野浩史, 2015. 希ガス同位体質量分析の温故知新. *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.* 63, 1-30.

[謝辞]

本報告の観測データの一部は、文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」により取得された。福岡管区気象台は安全確保のために、調査実施中に硫黄山の地震活動をモニタリングして下さいました。ここに記して心より感謝いたします。

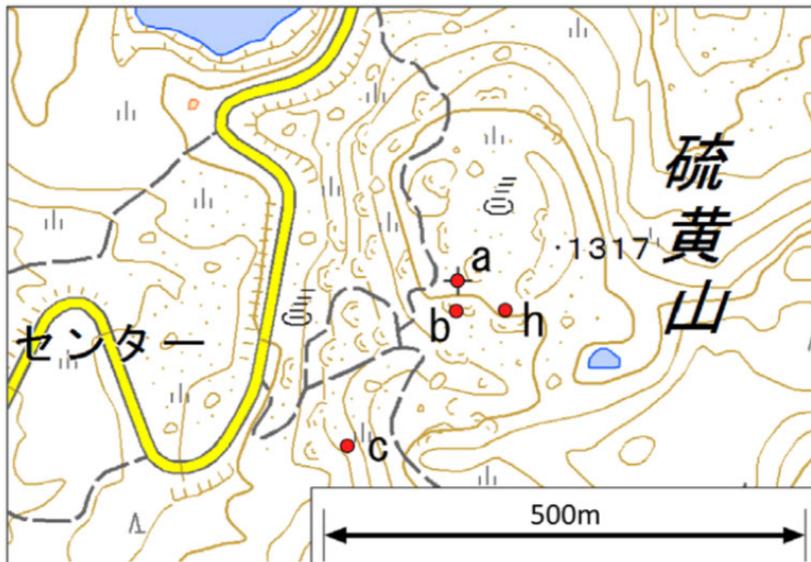


図 1. 硫黄山の噴気 a, b, c の位置（背景の地図として、国土地理院 1/25000 地形図を使用した）

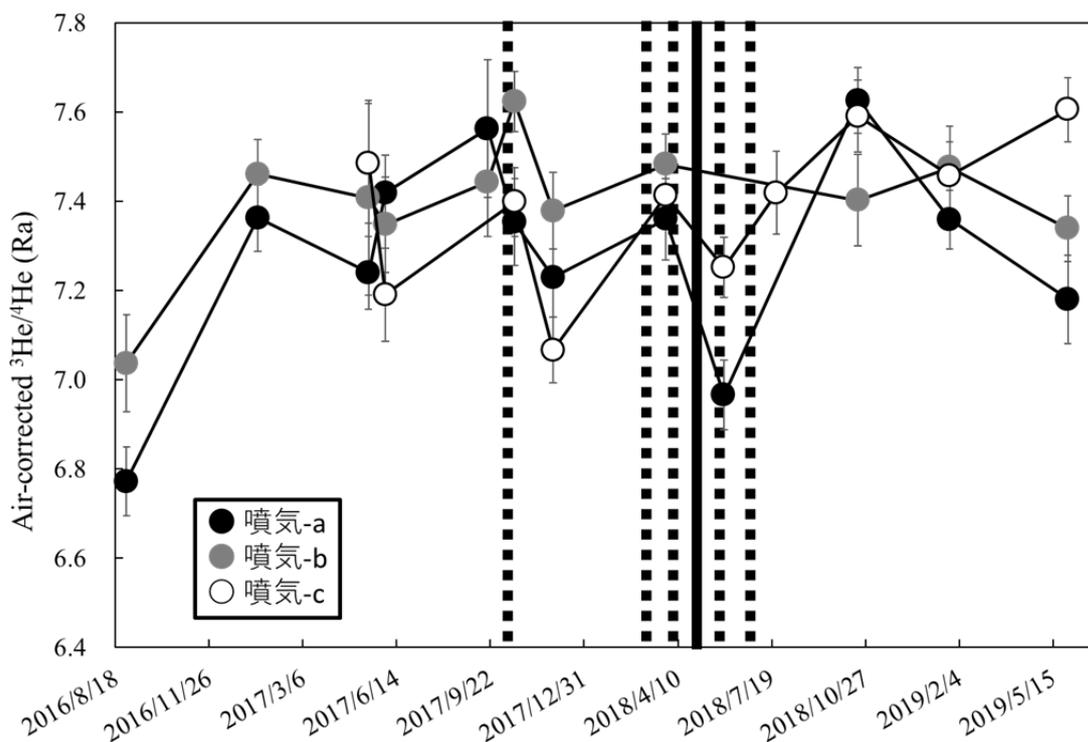


図 2. 硫黄山の噴気 (a, b, c) における $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み）の経時変化。エラーバー（ 1σ ）は、測定誤差と大気ヘリウム混入の補正に伴う誤差を含む。点線は新燃岳における噴火を、実線は硫黄山における噴火を示している。

精密水準測量で検出された霧島・硫黄山の地盤上下変動

(2015 年 6 月～2019 年 5 月)

2019 年 5 月中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 5 月までに 67.3 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 および BM3050 を除いて、2018 年 12 月以降にはほぼ停止もしくは沈降傾向に反転している。

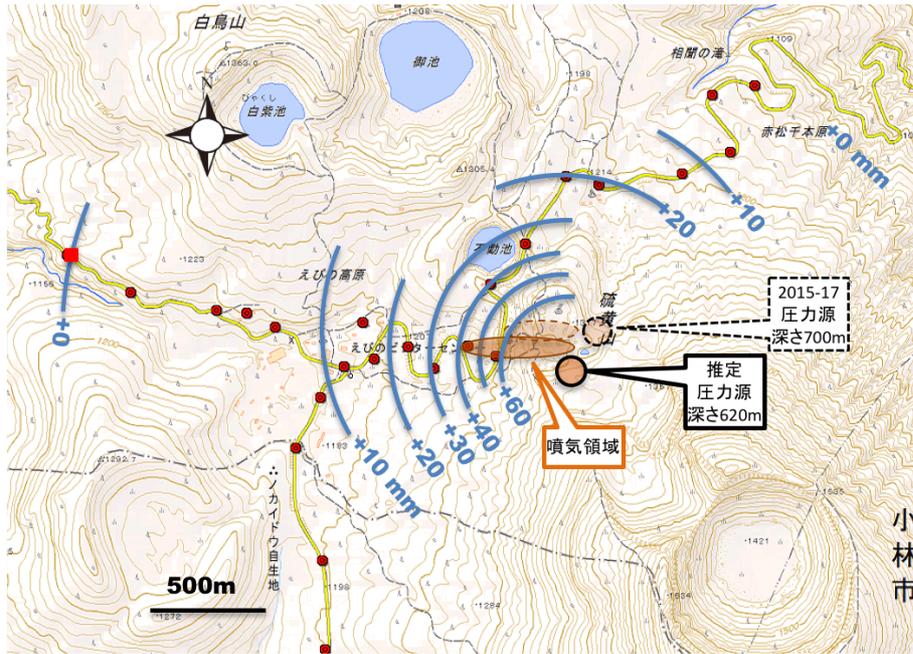
第 1 表に推定された圧力源の位置を示す。圧力源の位置は、2017 年 10 月以前は硫黄山噴気群の東側約 100 m であったが、2017 年 10 月以降は硫黄山南噴気孔の南側に存在していると考えられる。またその深さも、この地点の標高を 1300m と考えると、地表からそれぞれ、700m、620 m となり、圧力源の位置も徐々に上昇していると考えられる。硫黄山直下では厚さ 700 m 程度の低比抵抗層(スメクタイト層と推定)が 3 次元 MT 解析で推定されており(Tsukamoto et al., 2018)、これがキャップロックとなりこの直下で熱水溜まりの圧力が増加しているものと推定さ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

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 B 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 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。

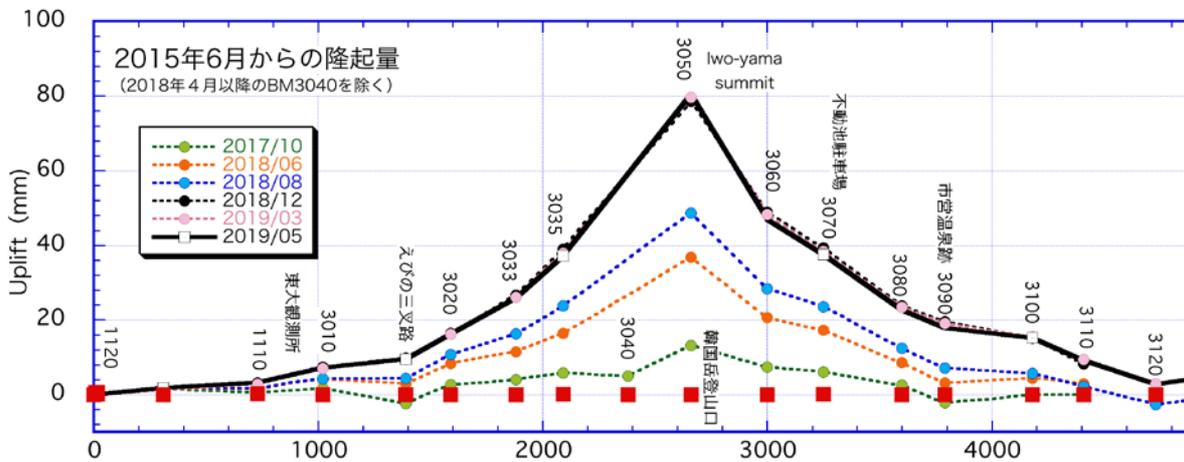
参考文献

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.

コンマの中心は噴気域



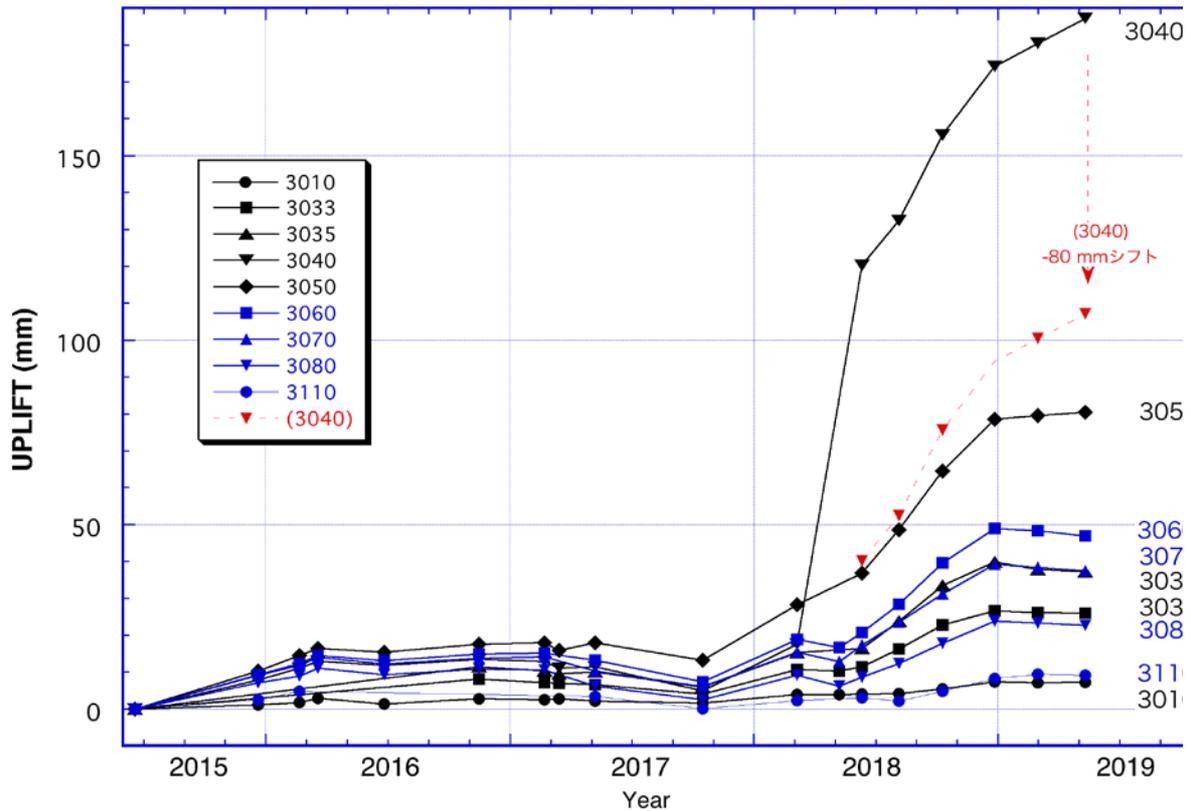
第 1 図 えびの高原～硫黄山区間の水準路線と 2017 年 10 月から 2018 年 12 月までの隆起量を示す。2018 年 4 月から活発化した噴気領域や、これまでの水準測量から推定された圧力源の水平位置も同時に示す。国土地理院電子地形図（タイル）を使用した



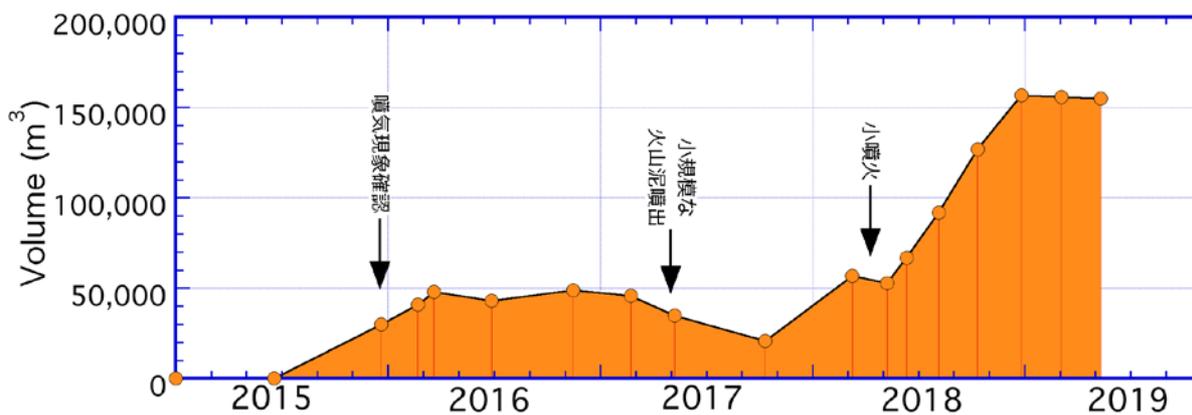
第 2 図 2017 年 10 月以降の主な水準測量結果（BM3040 を除く）。隆起・沈降の中心は硫黄山付近の浅部と考えられる。2018 年 12 月と 2019 年 3 月, 5 月の値はほとんど重なっている。

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 8 cm の隆起がみられ, その後も局所的に変化が大きいため, 圧力源解析では使用していない.



第 4 図 水準測量から推定された硫黄山下の圧力源の体積変化量.

地下の圧力源の推定には, 気象研究所の火山用地殻変動解析ソフトウェアのMaGCAP-Vを使用した. 本研究の一部は, 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 5 月 測量作業 内田和也・清水 洋・千葉慶太・松島 健・村松 弾・岩佐優一・手操佳子・千馬竜太郎・山下裕亮・福井海世

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る。2018年3月～12月に膨張が進行し(第143回火山噴火予知連絡会資料,九州大学),2018年4月噴火以降も硫黄山周辺の火山活動活発化が懸念された。今期間では2019年3月に硫黄山南火口のY2a火口湯だまりから活発な噴湯現象を確認したが、5月には硫黄山南火口の湯だまりの消失を確認した。噴気孔M8では113.5℃の温度(2018年12月25～28日調査)を観測したが、2019年2月以降低下しつつある。それ以外でもほぼ同じ温度が維持されているか低下傾向にある。硫黄山南・西火口及びその周辺では、2018年12月より後の噴気・熱水温度は安定もしくは低下しつつある。

1. 硫黄山南火口

Y2火口湯だまりでは2018年12月に水位上昇したが、2019年2月、3月は水位が低下し、その後ほぼ消失した。Y3火口湯だまりは2018年12月に水位低下、2019年2月頃に消失しその後湯だまりは見られない。

- ・Y2a火口では、2019年3月には湯だまり内から高さ5mを超える噴湯が認められ、活発な活動が継続していたが5月11日には湯だまりが消失していた(図2,3)。Y2b火口の水温は92.3℃(2019/2/12)、93.7℃(3/2)と上昇したが、湯だまり量減少に伴う水温上昇の可能性が考えられる(図1,8)。
- ・Y3火口は2019年2月12日にドライアップによる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3,5月も同じ状態が続いていた(図4)。
- ・湯だまりY2a・b火口から湧出した熱水が泥水として下流の赤子川に流れ出すこともあったが、2019年3,5月には水位が低下し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孔でも弱い噴気と熱水溜まりが認められた。

- ・W4孔の湯だまりでは、95.7℃, pH 1.4(2019/2/12)、93.7℃, pH 1.5(3/2)、95.3℃, pH 1.1(5/11)とほぼ安定した水温であった(図1,8)。
- ・W4孔の湯だまりは、2018年12月25日、2019年2月12日に引き続き、3月2日、5月11日の調査でも泥水を赤子川に流出させていた。W4孔は拡大し、道路の浸食が進み舗装、側溝が落下していた(図5)。舗装落下部付近の深さは約1.4mであった。

3. 硫黄山噴気帯及び湧水

- ・硫黄山山頂域の噴気帯の定点観測では、噴気孔A～I等は大きな変化がなかった(図1,6)。
- ・川湯3(K3)湧水では、水温が62.4℃(2018/12/25)、57.7℃(2019/2/12)、59.6℃(3/2)、50.2℃(5/11)と低下傾向にある(図1,8)。
- ・硫黄山の西方斜面の噴気孔M8は、113.5℃(2018/12/25)の温度を記録し活発な噴気孔に成長したが、97.8℃(2019/2/12)、96.7℃(3/5)、97.8℃(5/11)と低下した(図7)。

4. その他

- ・旧市営露天風呂での湧水温度観測の結果, 水温 24.5°C, pH 2.2 (2018/12/25)であった. 3月の水温 25.3°C, pH 2.1 (2019/3/2), 5月の水温 23.7°C, pH 2.2 (5/11)であり, 水温, pHともに火山性流体の関与が認められるが, 低下傾向となる(図1).
- ・硫黄山東火口(旧火口)では10月まで池ができていたが, 2018年12月~2019年3月は水が涸れていた. 硫黄山東麓から旧市営露天風呂方向に向かう湧水群も湧水量が減少し, 小雨期における硫黄山周辺の地下水位低下が推定される.

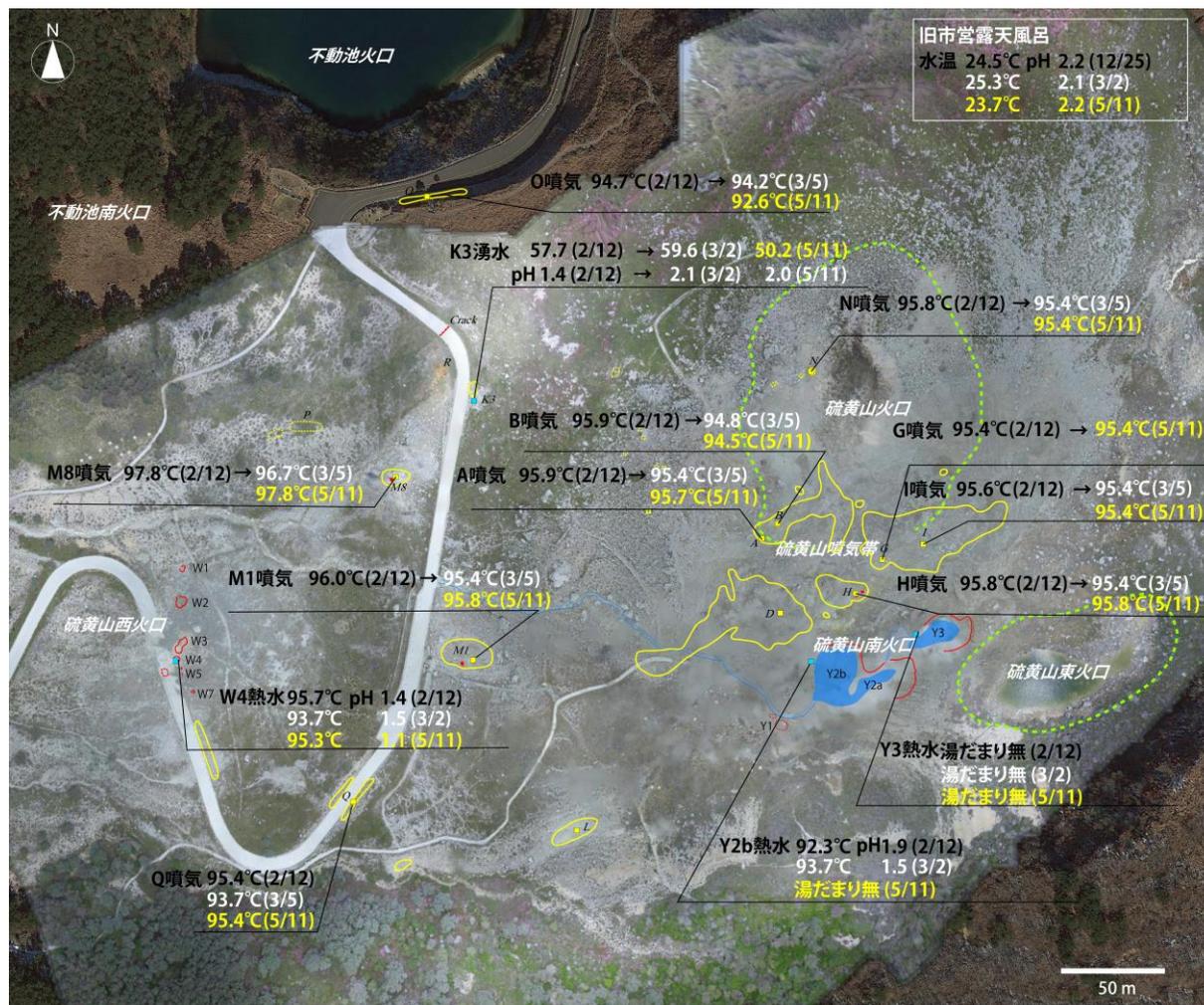


図1 硫黄山南・西火口周辺の噴気及び熱水の観測結果

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.

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」における緊急調査の援助を受けた. ここに記して感謝する.

【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.

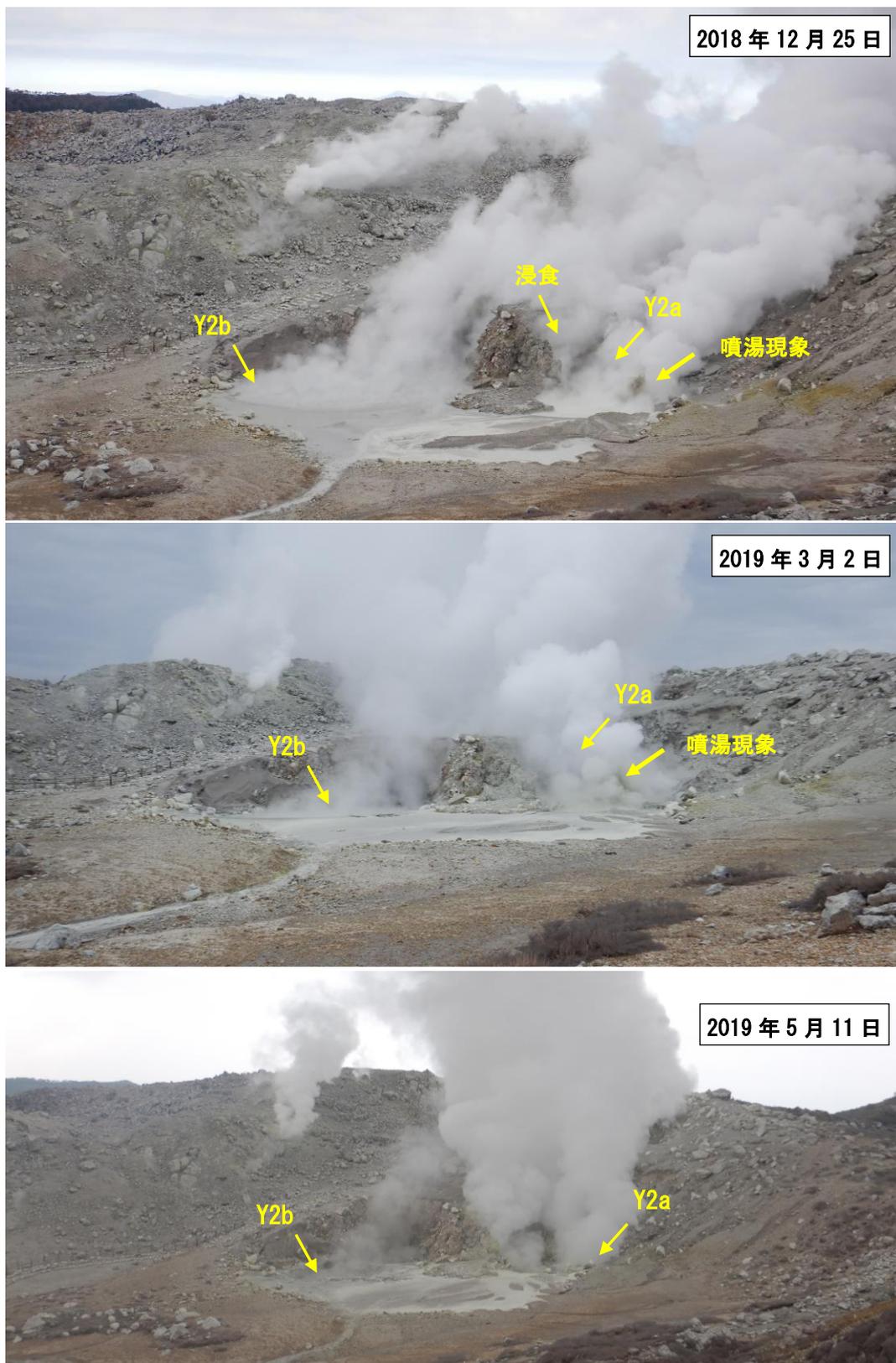


図2 硫黄山南火口（Y2a, b火口）の熱水活動

上：Y2a から高さ数 m 以上の活発な噴湯，Y2a, Y2b から泥水が下流へ流出していた。Y2a の火口壁の一部が崩れていた。中：Y2a から高さ 5m を超える噴湯が見られた。Y2b は水位低下が見られたが、湯だまりは形成されていた。下：Y2a, Y2b とともに湯だまりの消失を確認した。

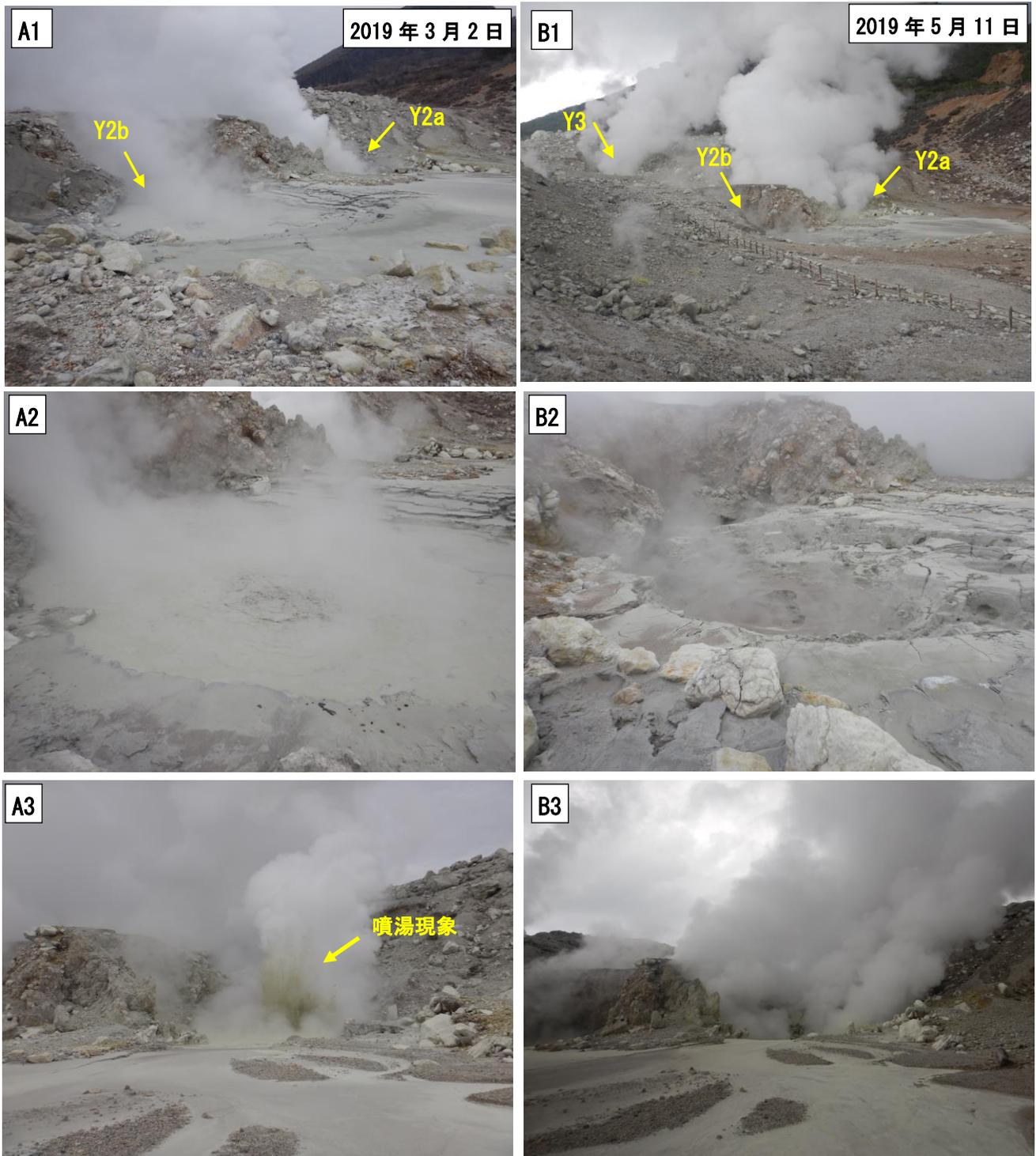


図3 硫黄山南火口 (Y2a, b) の地熱活動 (左 : 3月2日, 右 : 5月11日)
A1: 硫黄山南火口 (Y2b, Y2a), A2: Y2b火口の噴湯. A3: Y2a火口の高さ5mを超える噴湯.
B1: 硫黄山南火口 (Y2b, Y2a, Y3). B2: Y2b火口, 湯だまりは消失. B3: Y2a火口湯だまりは消失.

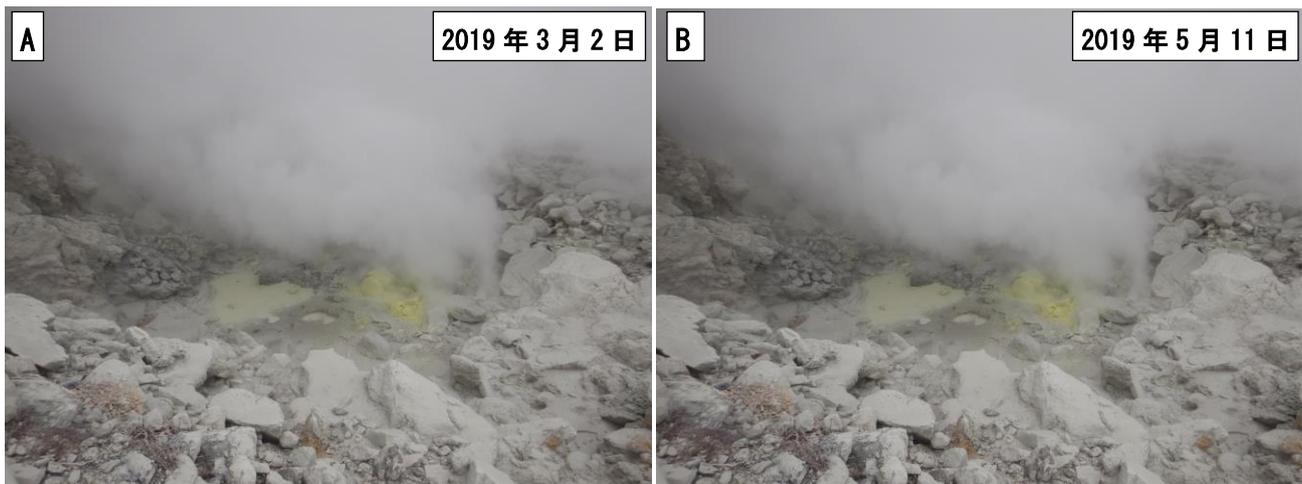


図4 硫黄山南火口 (Y3) の地熱活動 (左: 3月2日, 右: 5月11日)

A: Y3 の噴気, 僅かな湯だまりが見られる. B: Y3 の噴気, 3月と比べほとんど変化はない.

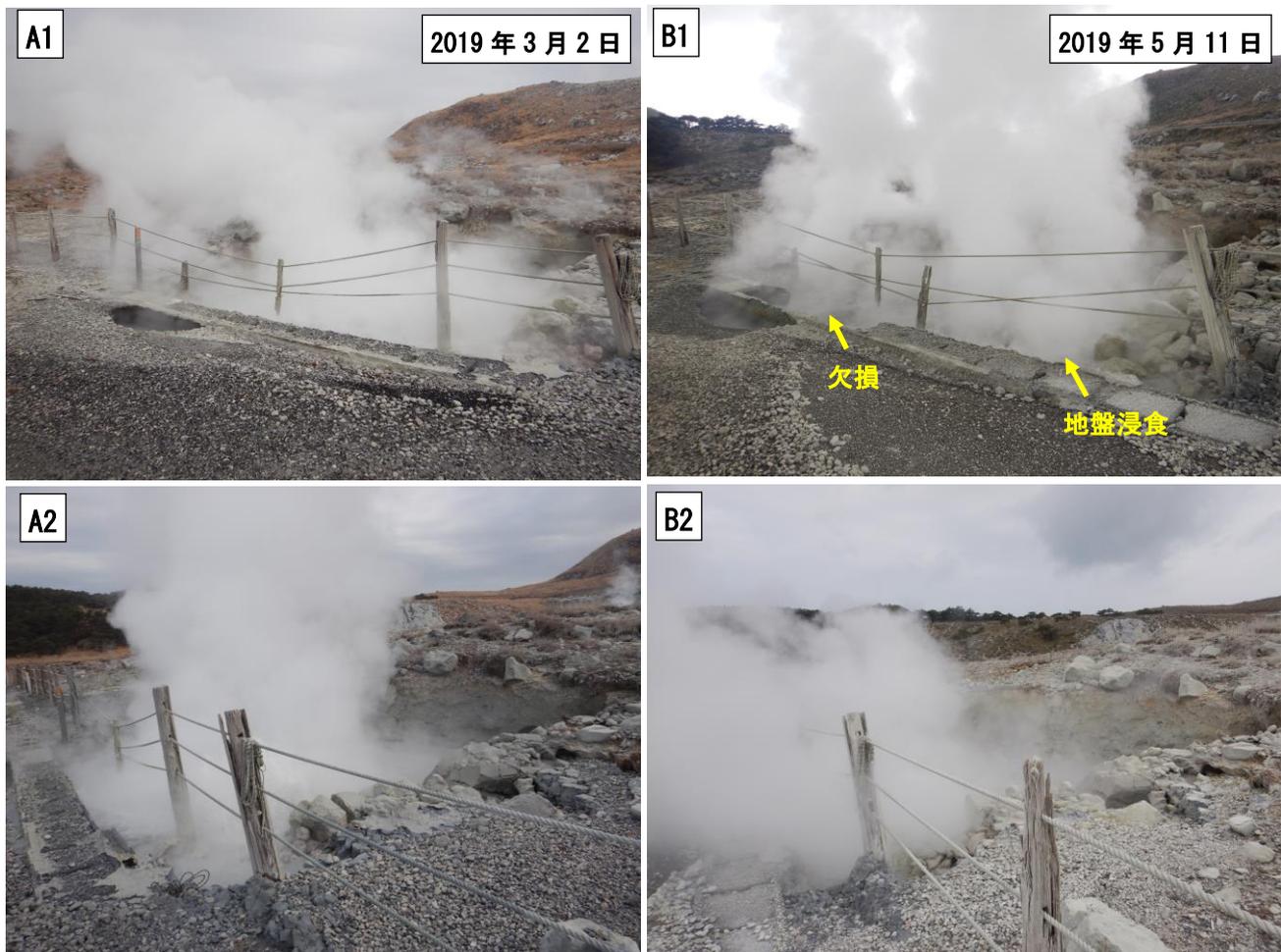
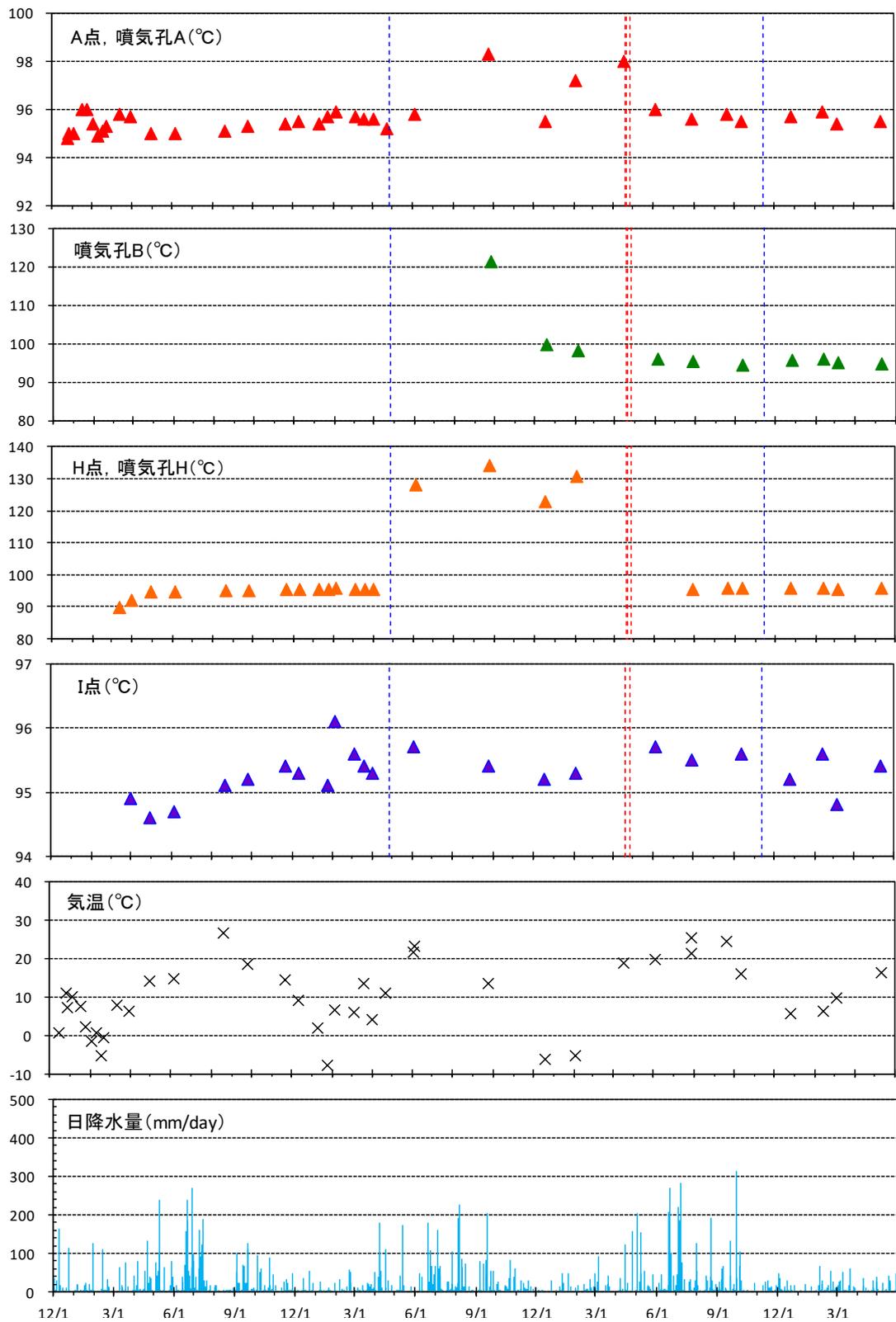


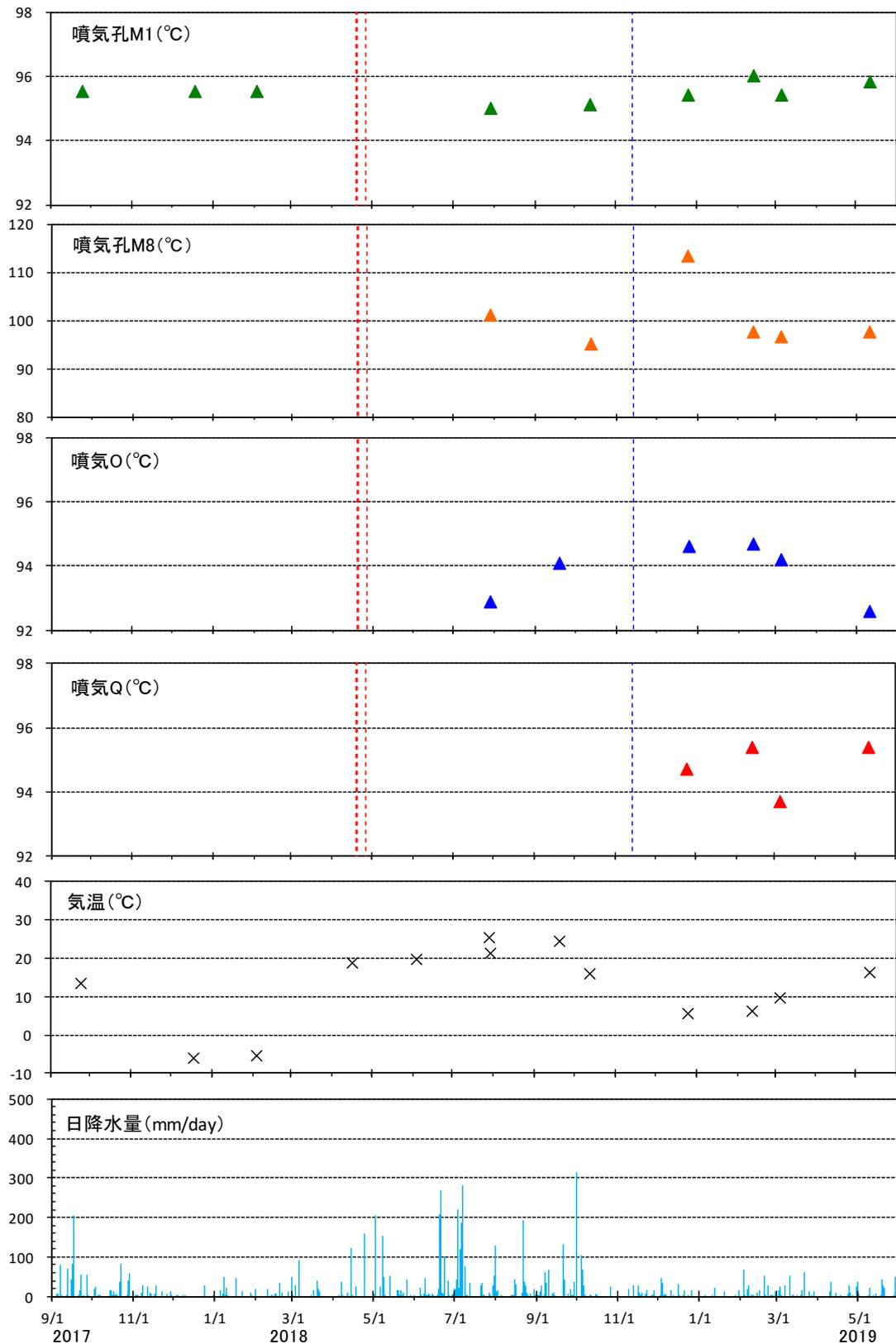
図5 硫黄山西火口 (W4孔) の地熱活動 (左: 3月2日, 右: 5月11日)

A1: W4孔湯だまりが道路を侵食し陥没が生じていた. 陥没部の深さは約1.4m. A2: W4孔の様子.
B1: W4孔湯だまりが道路側に拡大し側溝の一部が欠損. 右中杭付近の地盤が浸食される. B2: W4孔の様子.



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6 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7 硫黄山噴気帯西域の噴気温度測定結果 (位置は図1参照)

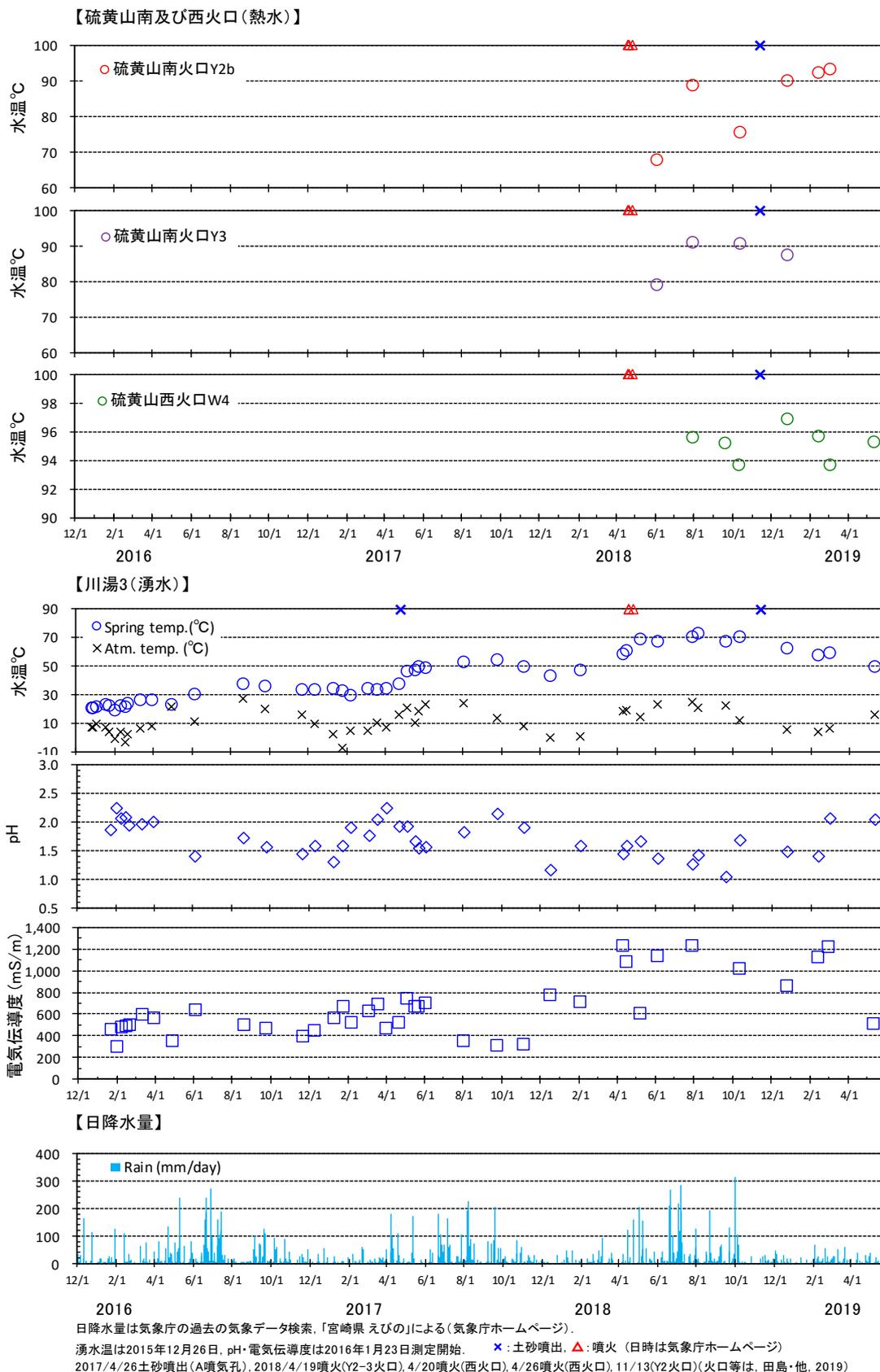


図8 硫黄山周辺の湧水の測定結果(位置は図1参照)

硫黄山周辺の熱水・湧水の化学組成について

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日に引き続いて、2019年3月2日、および5月17-18日に採取した。この10ヶ月余りをはさんだ期間の化学組成・安定同位体比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。

図1にこれらの採取地点の位置を示す。

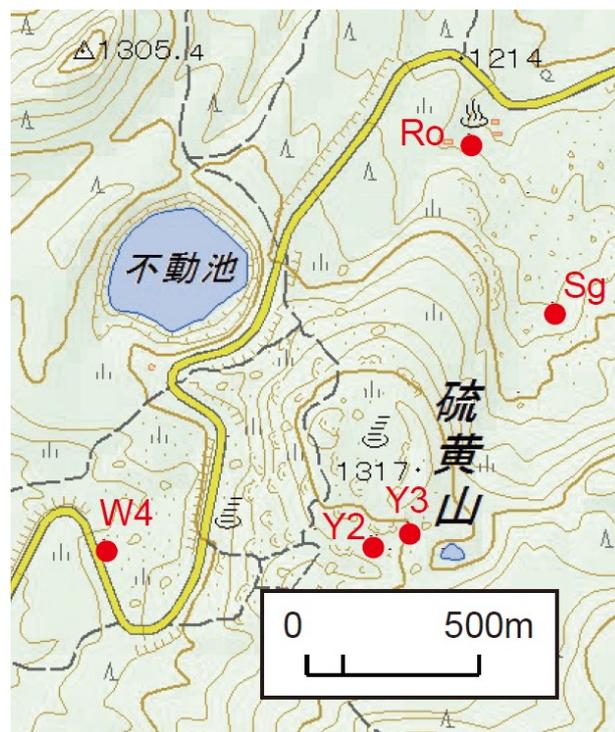


図1 試料採取地点（国土地理院の地図「電子国土web」に追記）

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、九州大学で分析した値を報告する。誤差はそれぞれ±5%程度である。水温、pH、EC（電気伝導度）については採水時の測定値である。

*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を試料採取地点ごとに表 1 に示す。

表 1. 南火口湯だまり Y2 の化学組成の経時変動

採取日	水温 (°C)	pH	EC (S/cm)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Si (mg/L)	Cl/SO ₄ モル比
2018/07/28	80.5	1.18	86.6	2740	508	476	462	8720	16800	470	1.40
2018/10/12	69.4	2.10	9.4	255	16	79	91	918	2080	125	1.20
2018/12/27	82.4	1.30	60.2	2960	495	370	435	9410	12400	220	2.06
2019/3/2	93.3	2.05	10.5	300	76	65	68	1810	2870	241	1.71

表 2. 南火口湯だまり Y3 の化学組成の経時変動

採取日	水温 (°C)	pH	EC (S/cm)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Si (mg/L)	Cl/SO ₄ モル比
2018/07/28	91.3	1.10	93.7	2830	500	484	490	9070	17300	439	1.42
2018/10/12	96.0	1.55	40.9	2120	295	319	370	5730	6770	337	2.29
2018/12/27	88.9	1.67	39.2	495	79	126	169	2380	9490	163	0.68

表 3. 西火口湯だまり W4 の化学組成の経時変動

採取地点	水温 (°C)	pH	EC (S/cm)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Si (mg/L)	Cl/SO ₄ モル比
2018/07/29	94.5	1.47	51.5	1990	335	786	602	6750	13600	397	1.34
2018/10/12	97.0	1.33	59.5	2950	468	566	574	8270	11300	465	1.97
2018/12/26	97.2	1.33	59.5	3150	592	703	557	9670	12900	396	2.03
2019/3/2	93.7	1.49	72.2	3260	601	696	671	11000	14500	326	2.05
2019/5/17	96.2	1.28	54.0	2870	518	882	790	9250	10500	279	2.39

表 4. 旧市営露天風呂 Ro の化学組成の経時変動

採取地点	水温 (°C)	pH	EC (S/cm)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Si (mg/L)	Cl/SO ₄ モル比
2018/07/29	26.3	1.83	9.5	165	50	73	144	564	2550	63	0.60
2018/10/12	21.4	2.19	5.3	110	25	45	90	420	1250	58	0.91
2018/12/27	26.0	2.08	8.4	243	52	101	179	420	1250	58	0.90
2019/3/2	25.3	2.13	7.4	228	47	97	162	841	2210	58	1.03
2019/5/18	23.4	2.11	5.3	147	25	56	122	390	1230	48	0.86

表5. 湿地帯の湧水池 Sg の化学組成の経時変動

採取地点	水温 (°C)	pH	EC (S/cm)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Si (mg/L)	Cl/SO ₄ モル比
2018/07/28	16.5	3.65	1.0	23	<5	15	37	85	261	45	0.88
2018/10/12	18.8	3.38	9.7	30	8	17	37	57	240	48	0.65
2019/3/2	17.3	3.54	0.99	34	7.6	18	42	120	273	45	1.19
2019/5/17	16.2	3.41	0.81	24	5.4	12	32	57	210	40	0.74

3. 結果の解釈

南火口の湯だまりでは、2018 年 12 月以降に噴気孔が水面上にあらわれるなど水位の低下が観察されている。そのため採水ができる場所が限られており、温度や化学組成の変動にはこうした影響がある可能性が高い。西火口の湯だまり W4 は水位の変動の影響を受けないためか、安定して 90°C 以上の熱水が見られている。W4 における熱水の化学組成の経時変動を見ると Si 濃度がだんだんと低下していることと、Cl/SO₄ 比がだんだんと上昇していることが目につく。この変動が、長期的なものか、今後の観察をもう少し続けたい。

霧島・硫黄山における MT 連続観測

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

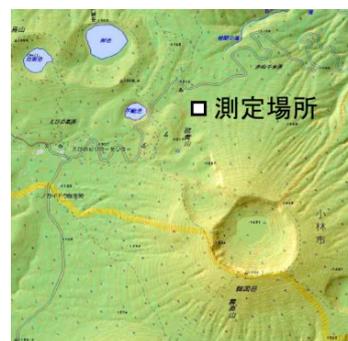


図1 広帯域 MT 連続観測点位置

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

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

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

気象庁によると、硫黄山周辺の全磁力観測では、2016 年 2 月の観測開始以降、噴気帯北側が増加、噴気帯南側が減少の傾向が継続的に見られ、硫黄山周辺の地下の熱消磁領域の拡大が示唆されているが、深さ数十 m 程度の粘土層の上にある地下水層の広域的な高温化で全磁力の変化が説明できるかもしれない。

この観測データの一部は文部科学省次世代火山研究推進事業により取得された。

気象庁えびの観測点の雨量を使用させていただいた。

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

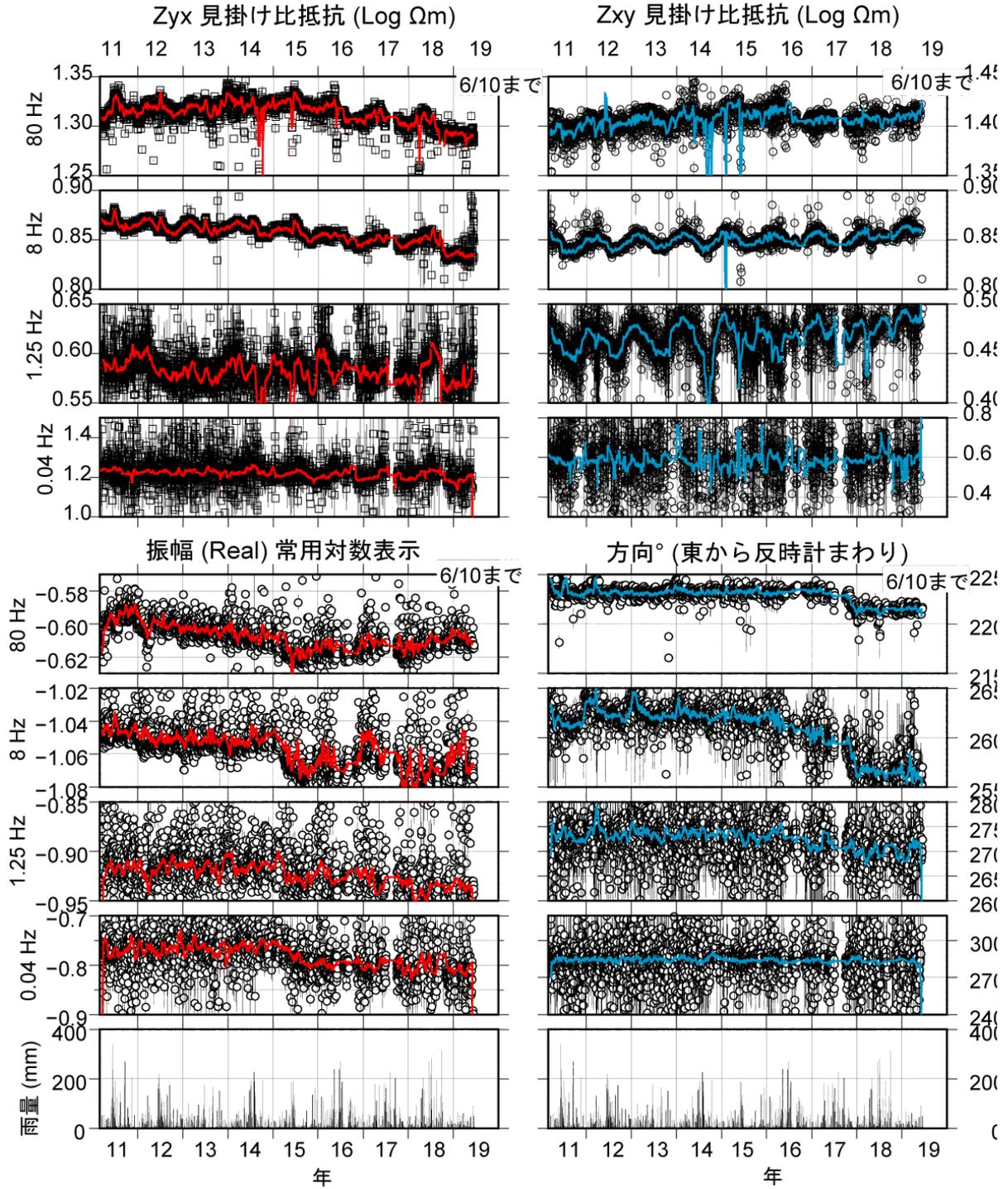


図 2 見掛け比抵抗(上段)、およびインダクションベクトル実部 (下段) の1日値

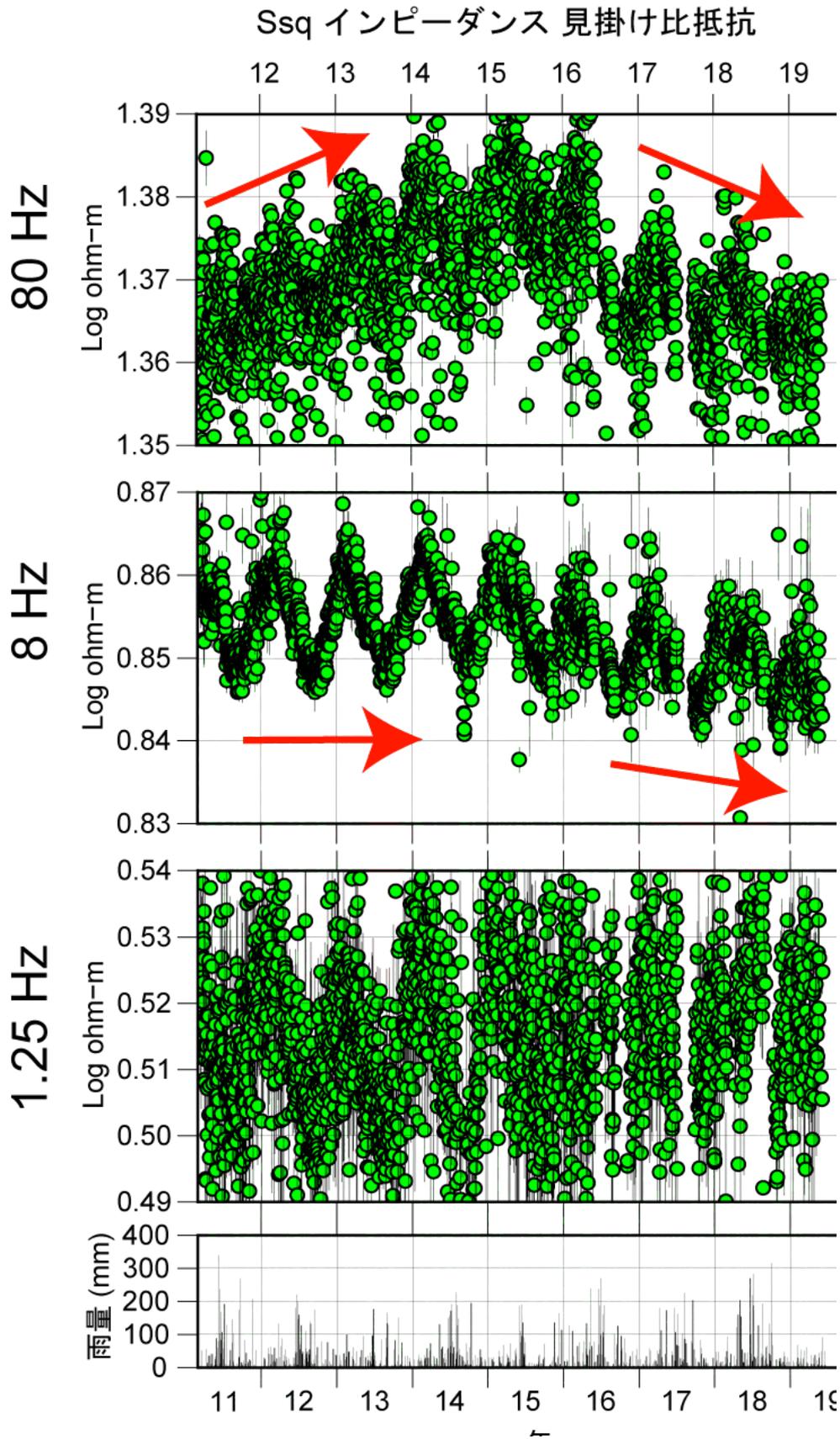
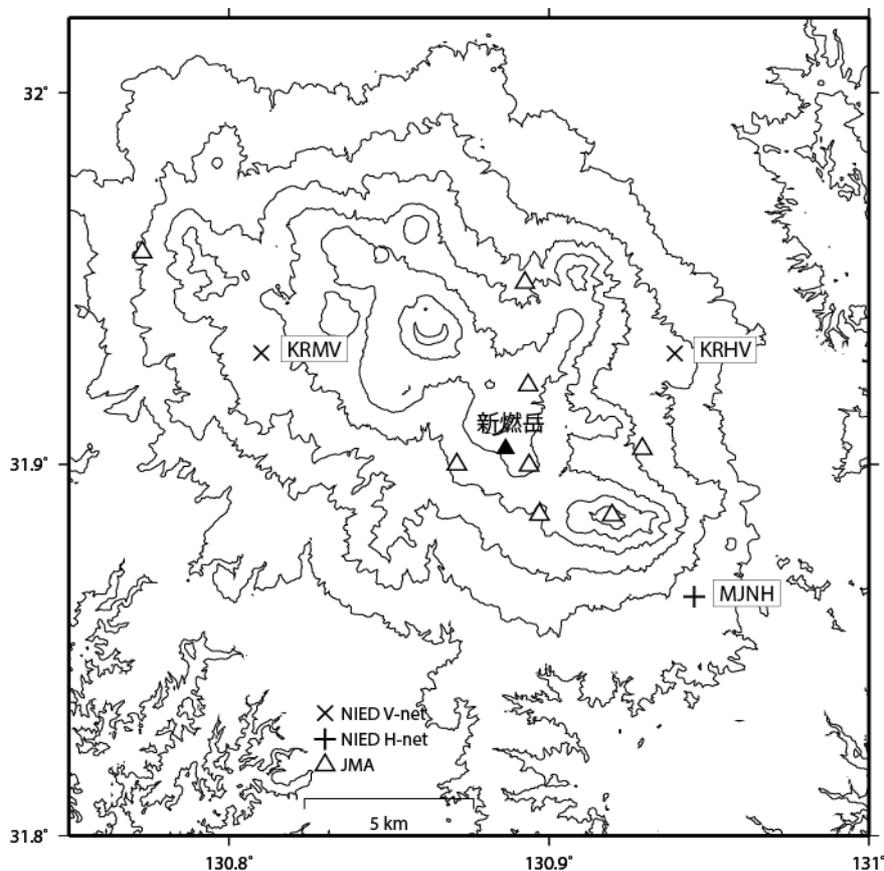


図 3 各周波数におけるインピーダンス4成分の2乗和の平方根 (Ssq)

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

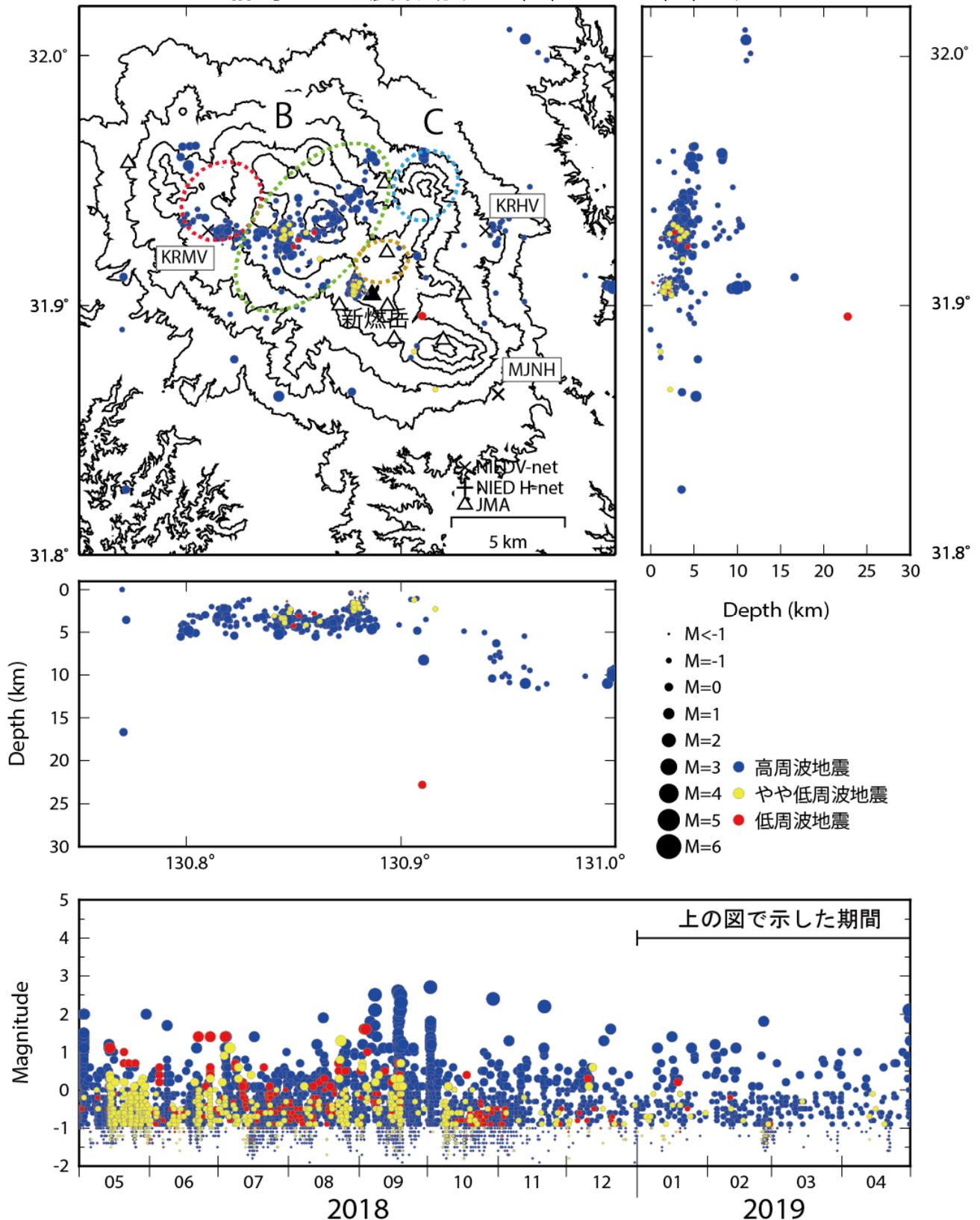
○ 地震活動

2019年1月～5月の期間中、低調に推移した。

○ 地殻変動

2019年1月～5月の期間中、火山活動に伴うと考えられる傾斜変動やGNSS観測点間の基線長の変化は見られない。

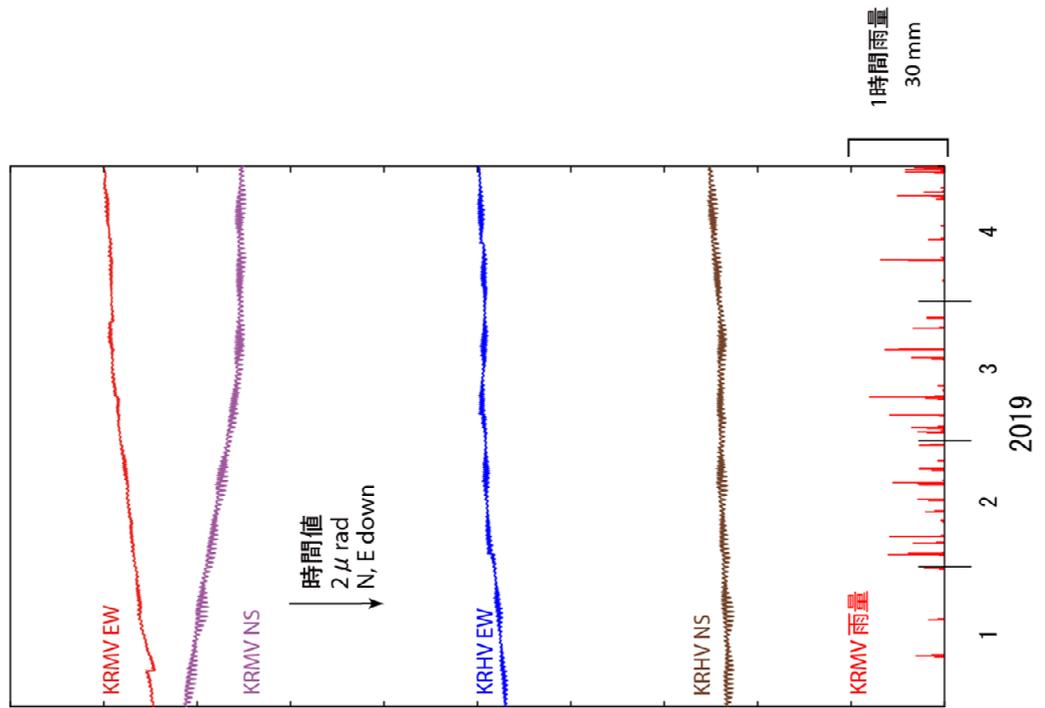
霧島山の地震活動(2019/1/1- 2019/4/30)



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

霧島山の傾斜変動 (2019/1/1 ~ 2019/4/30)



霧島山の傾斜変動 (2010/5/1 ~ 2019/4/30)

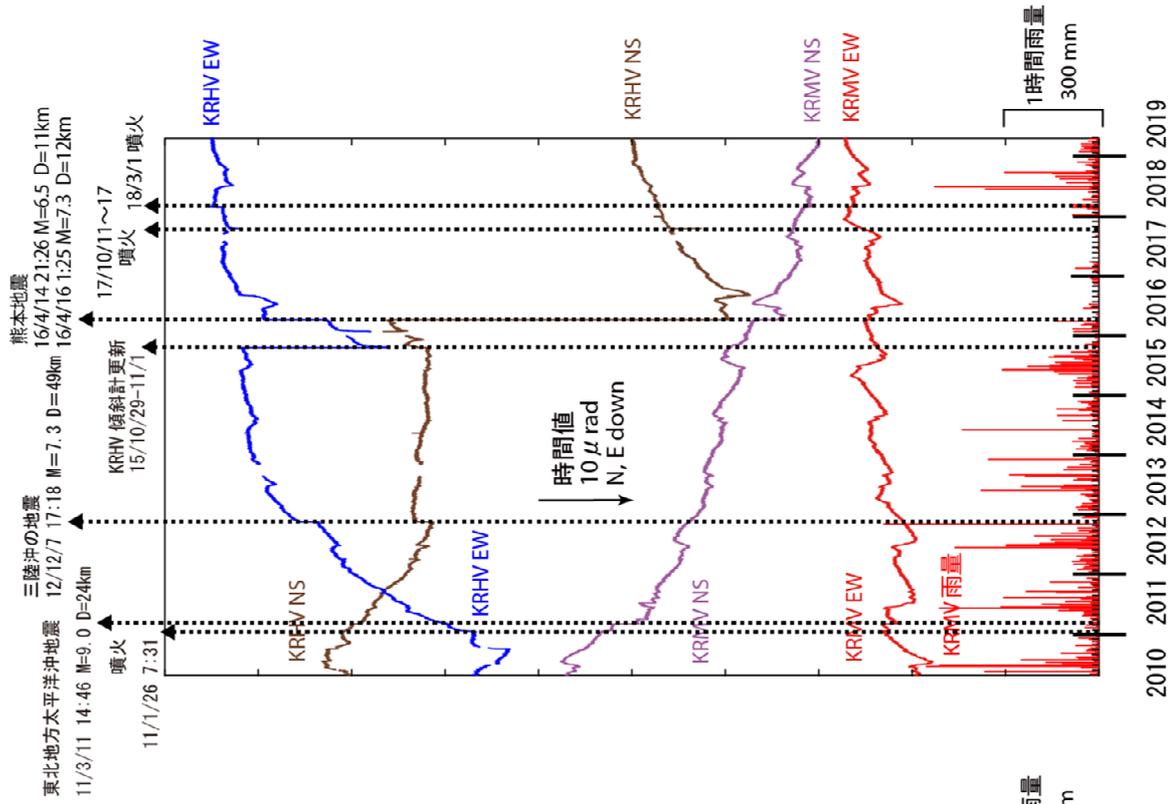


図 2 霧島山の傾斜変動

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
2010/4/1~2019/4/30

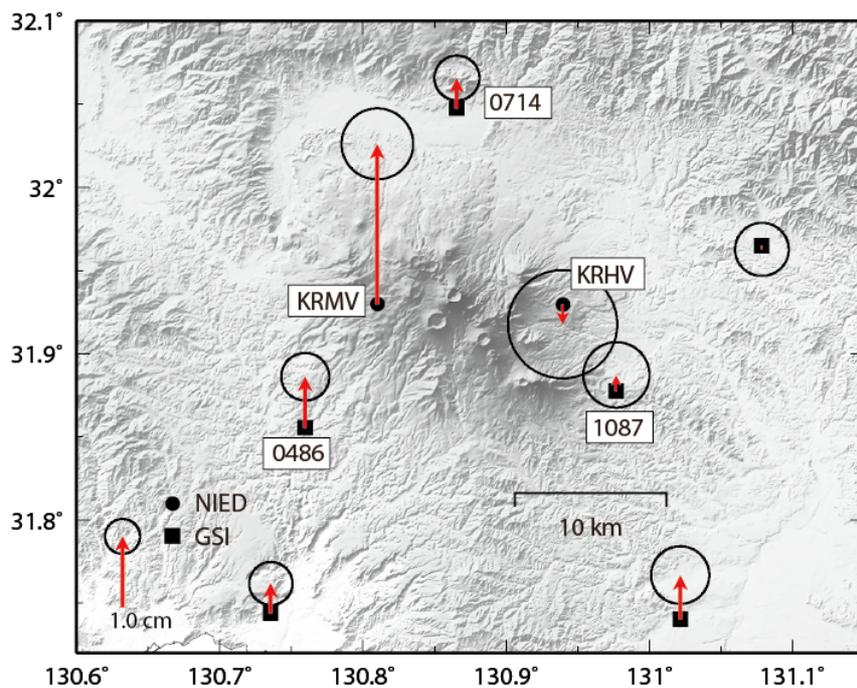
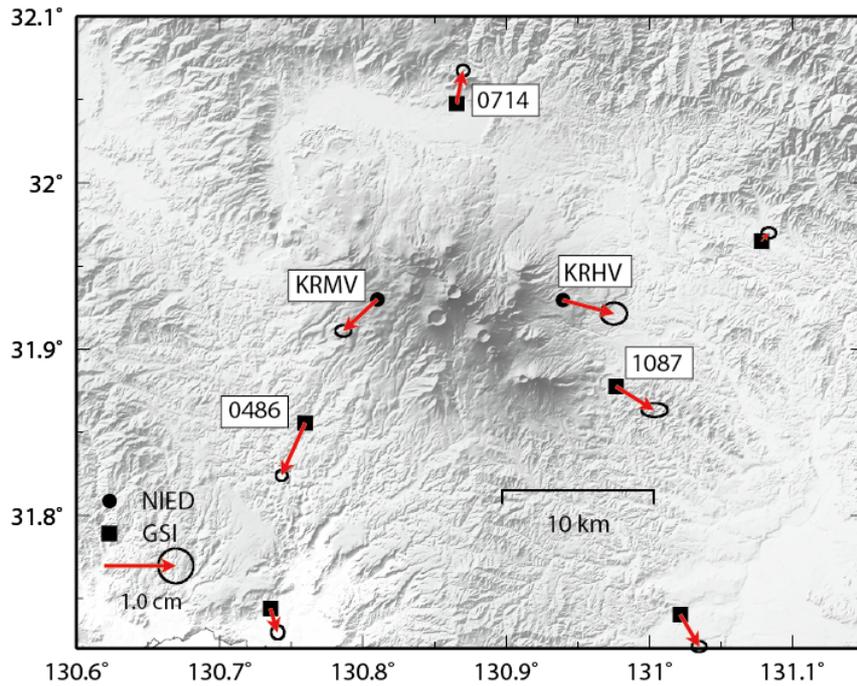
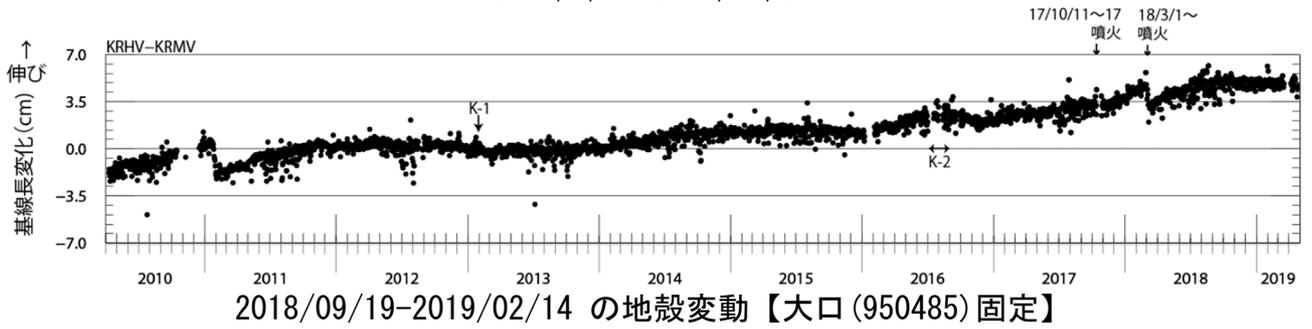


図 3 霧島山 GNSS 解析結果. (上段：水平成分、下段：上下成分)

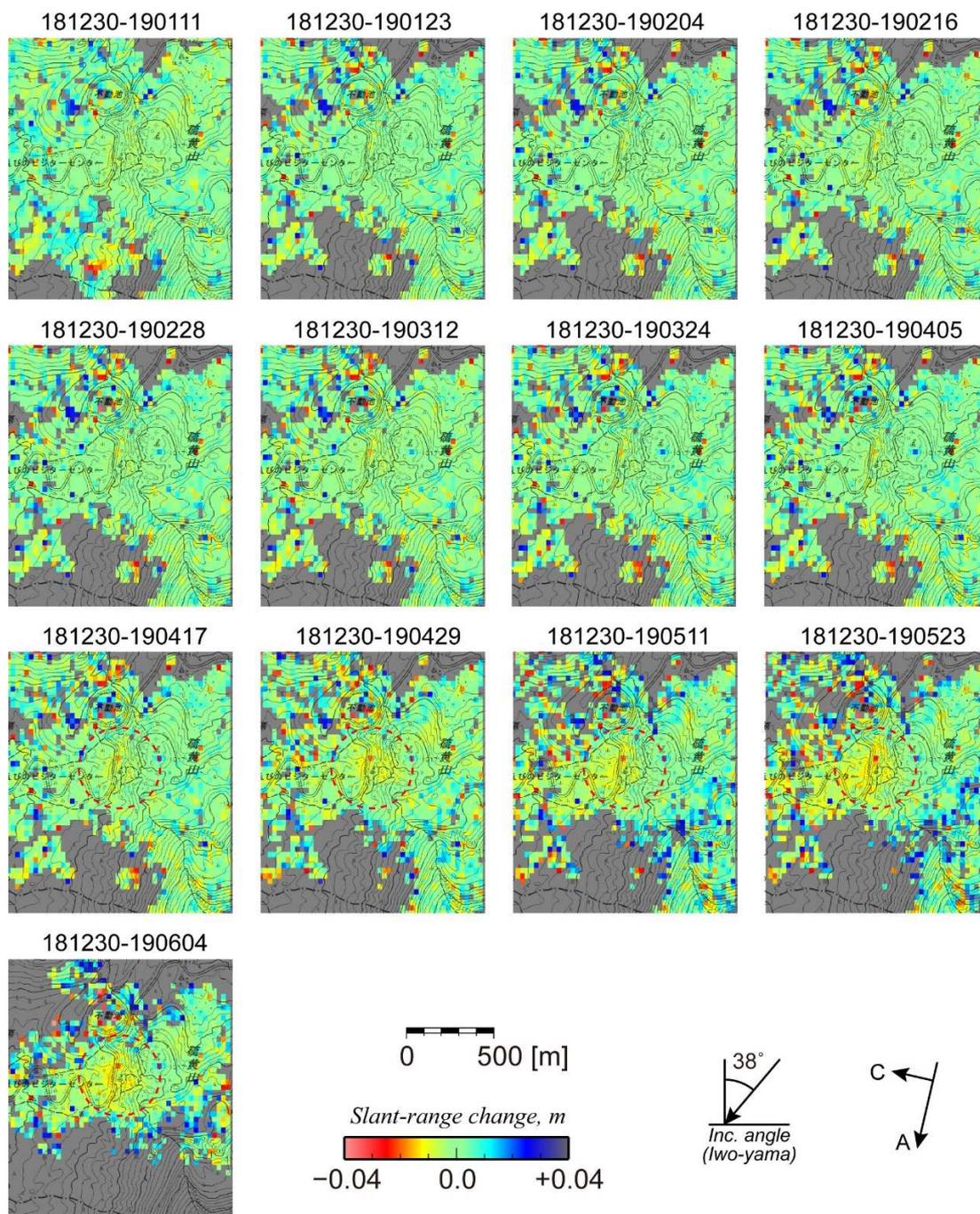
表1 GNSS観測履歴

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

SAR 干渉解析による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。硫黄山西山腹にわずかなスラントレンジ短縮がみられる。

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。

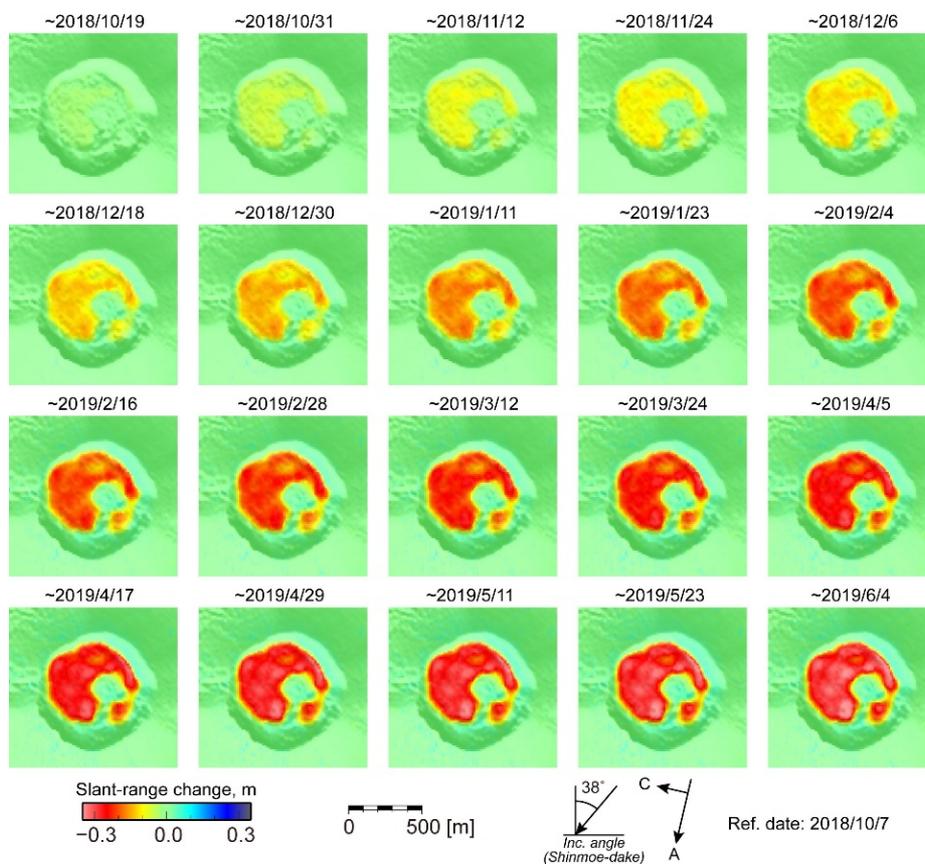


第 1 図. Sentinel-1 の SAR データから求めた、新燃岳火口周辺の 2018 年 12 月 30 日からのスラントレンジ変化。赤破線で示す領域において、わずかなスラントレンジ短縮変化が見られた。

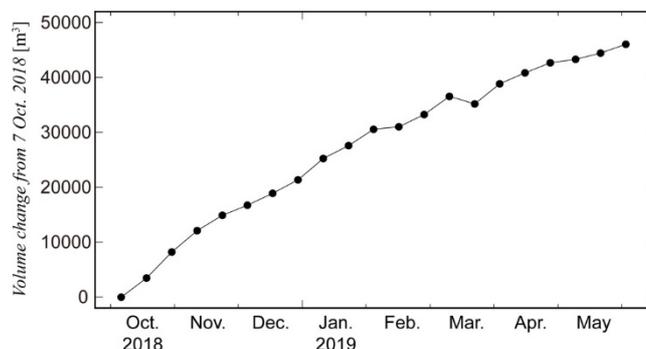
SAR 干渉解析による新燃岳火口内変形

新燃岳火口内の変形を調査するため、Sentinel-1 データを用いた SAR 干渉解析を実施した。火口内においては、溶岩の膨張を示すスラントレンジ短縮変化が継続している(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。体積増加率は、時間の経過とともに緩やかに減少しているように見える。

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



第 1 図. Sentinel-1 の SAR データから求めた、新燃岳火口周辺の 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。

霧島硫黄山火山ガス組成変化（2019 年 6 月 18 日まで）

霧島硫黄山 H 噴気孔近傍で、Multi-GAS を用いた火山ガス組成連続観測を実施している（図 1）。6 月以降の連続観測結果では、 SO_2 濃度および $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の急増が認められる（図 2）。同様の変化は、2018 年 4 月の噴火前にも認められている。

ただし、5 月 16 日の現地観測では、従来は湯だまりであった Pa、Pb、V1 のお湯がほとんどなくなっており、ガスのみを放出する状況に変化していた。観測されたガス濃度や組成の変化が、地下からの供給の変化ではなく、地表の湯だまりの状況の変化に起因する可能性もある。

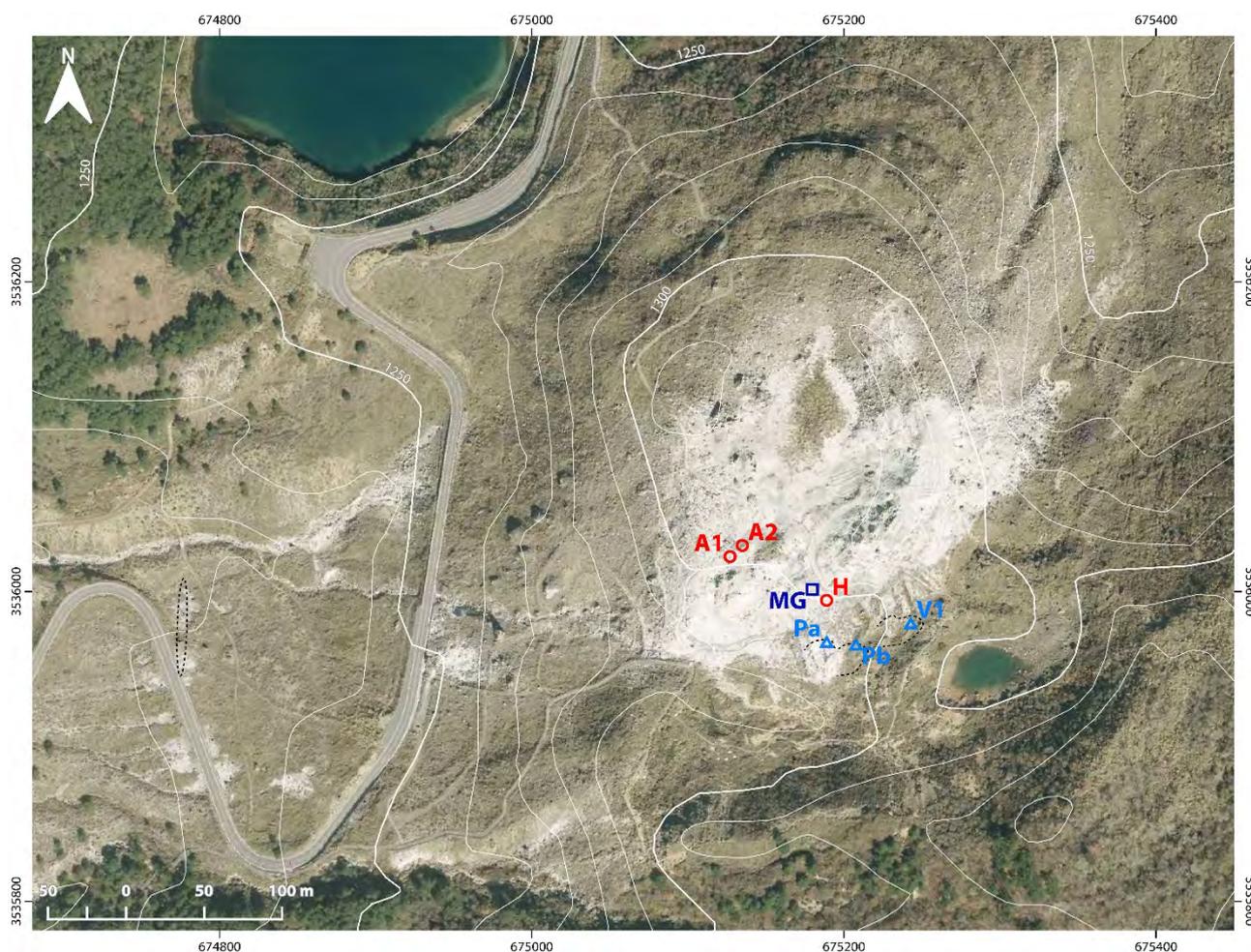


図 1 霧島硫黄山観測点配置図。MG は連続観測点，H，A1，A2，Pa，Pb，V1 はそれぞれ噴気孔および湯だまりに対応する。背景には、国土地理院の空中写真および数値標高モデル 10m メッシュ（火山標高）を使用した。

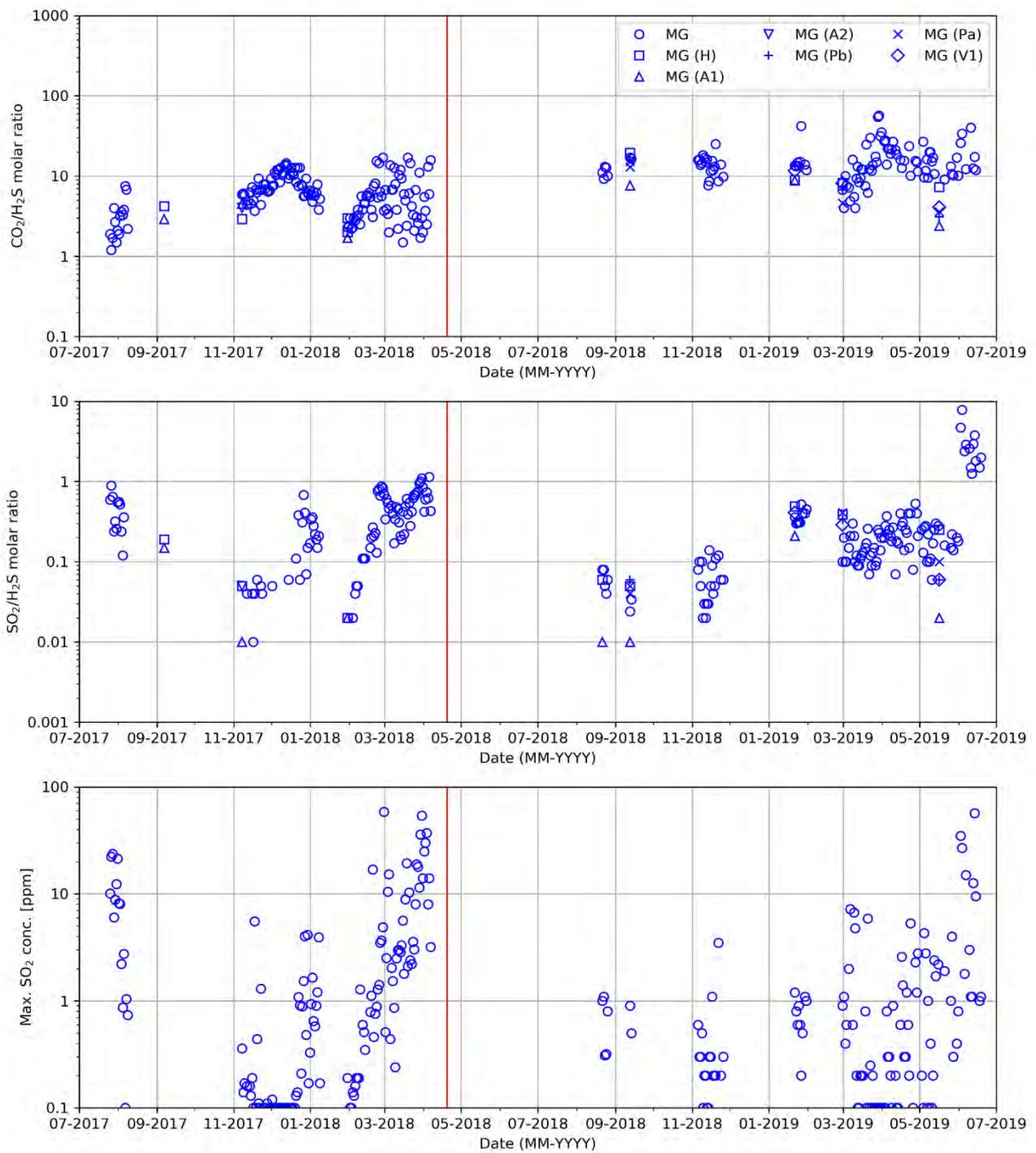
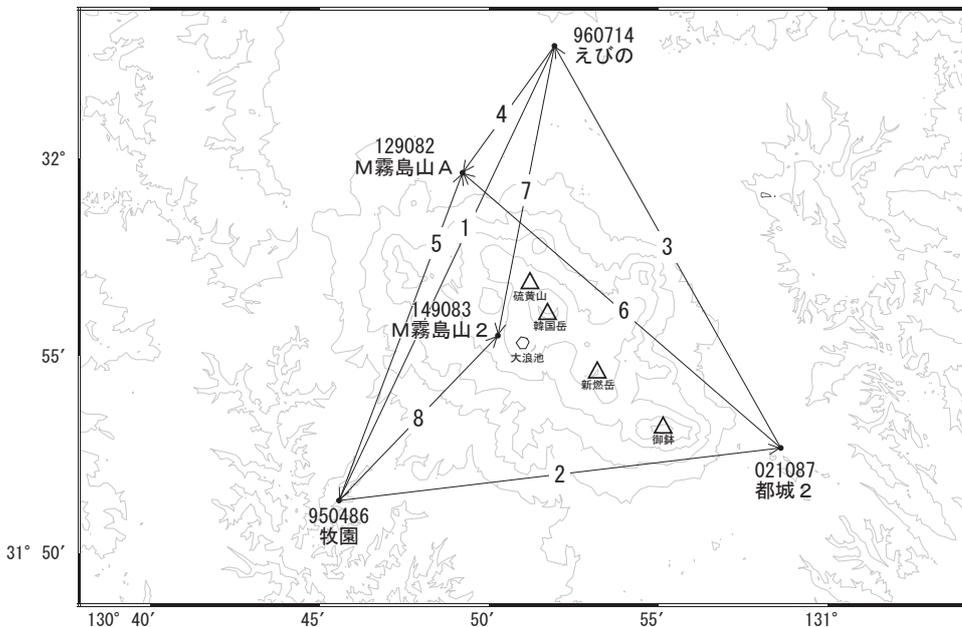


図2 霧島硫黄山火山ガス組成観測結果。順に、上) $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比, 中) $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比, 下) SO_2 濃度最大値。凡例のうち、丸印は連続観測結果, それ以外のシンボルは現地観測結果 (各噴気孔および湯だまりの値) に対応する。赤の縦線は2018年4月19日の噴火に対応する。

霧島山

霧島山を挟む基線での伸びは2019年2月以降停滞しています。

霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(1)



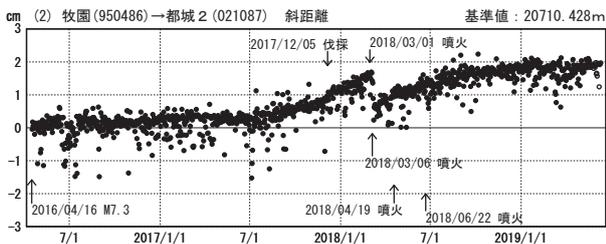
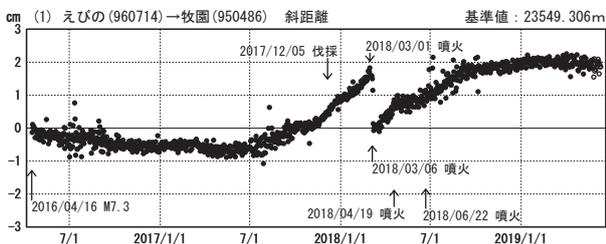
霧島山周辺の各観測局情報

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	20140814	伐採
021087	都城2	20140616	受信機交換
		20140717	受信機交換

点番号	点名	日付	保守内容
129082	M霧島山A	20140514	受信機交換
		20141021	受信機交換
		20150909	受信機交換
149083	M霧島山2	20141021	新設
		20150909	受信機交換

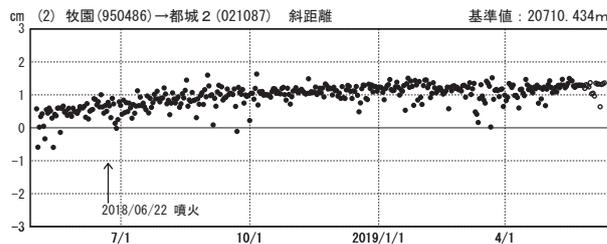
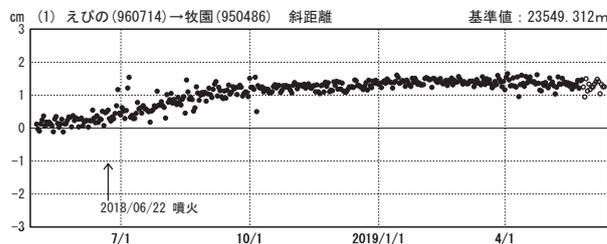
基線変化グラフ (長期)

期間: 2016/04/16~2019/06/10 JST



基線変化グラフ (短期)

期間: 2018/05/01~2019/06/10 JST



●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

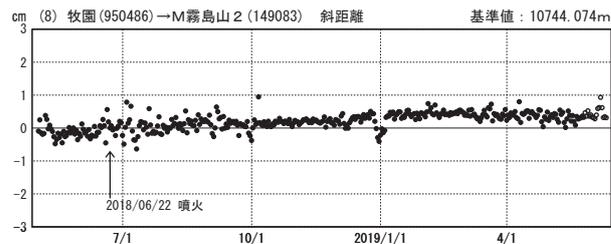
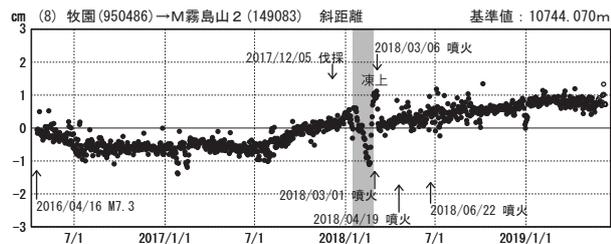
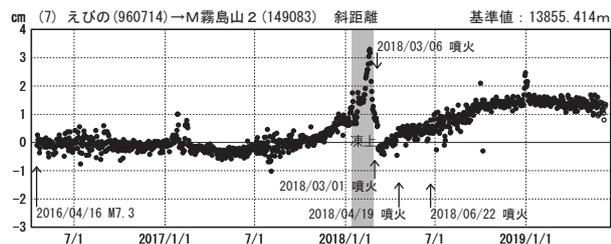
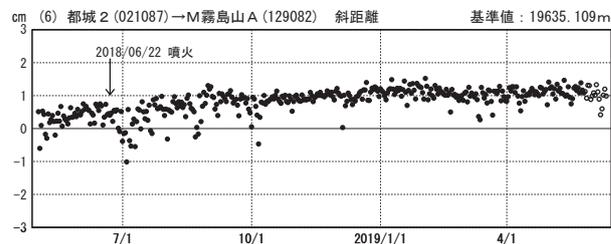
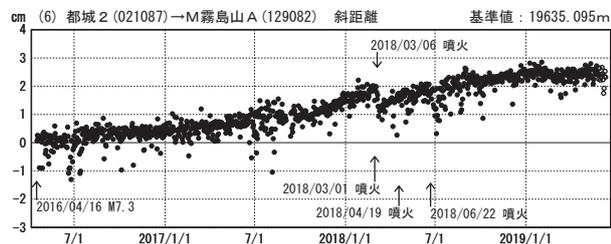
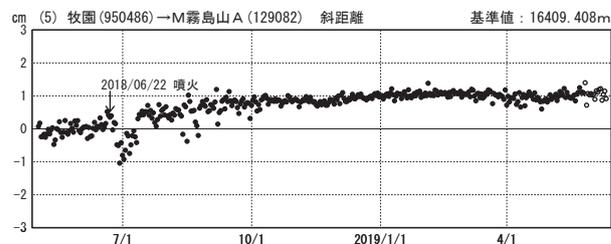
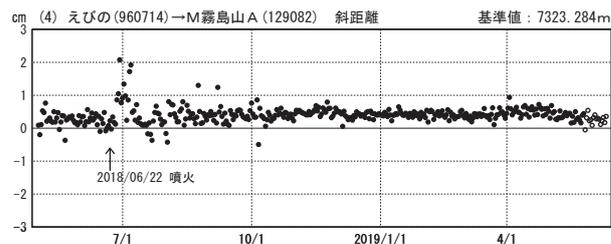
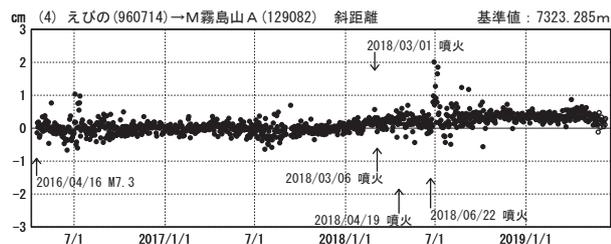
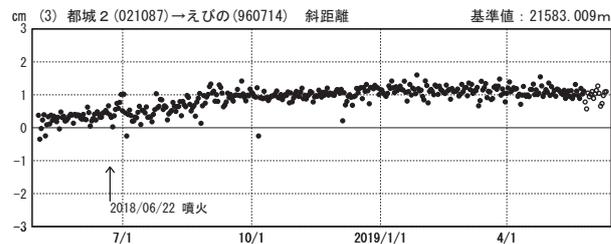
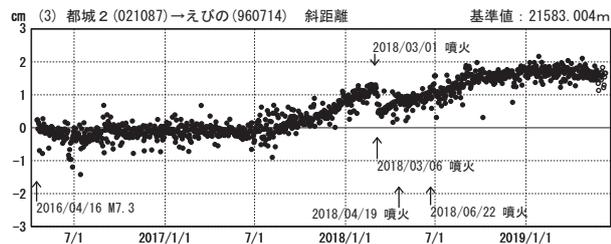
※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

基線変化グラフ (長期)

期間: 2016/04/16~2019/06/10 JST

基線変化グラフ (短期)

期間: 2018/05/01~2019/06/10 JST



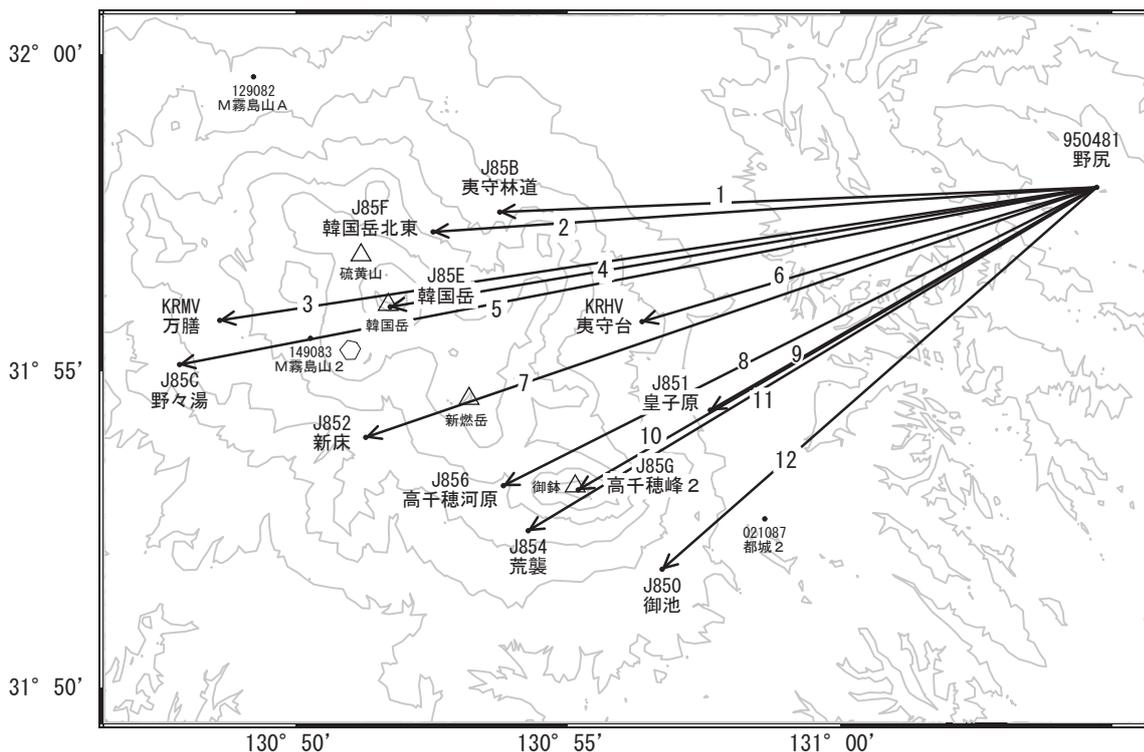
●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

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)

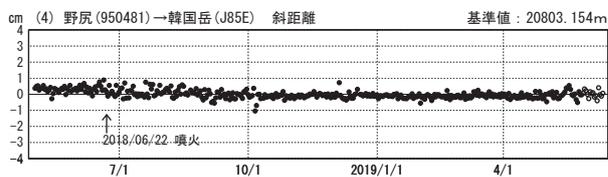
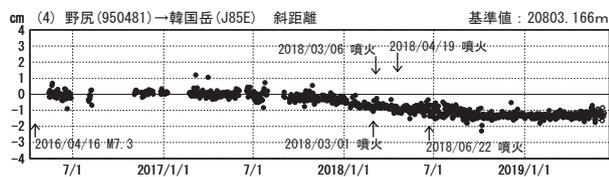
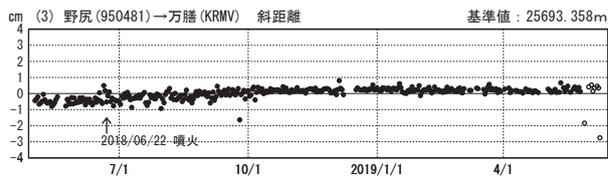
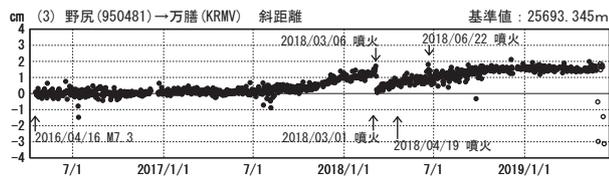
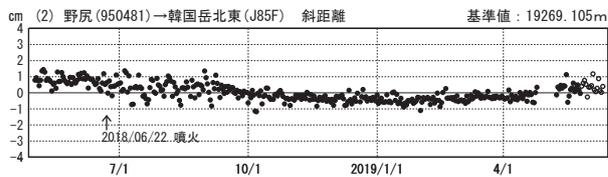
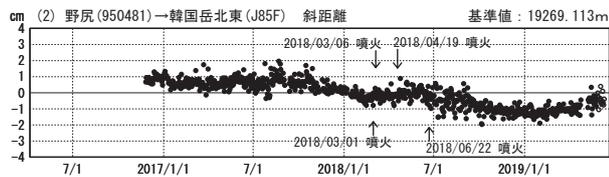
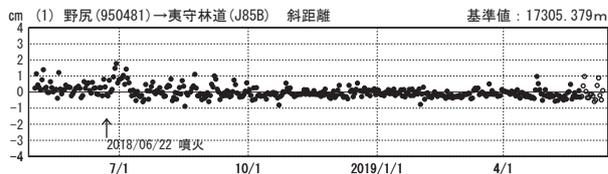
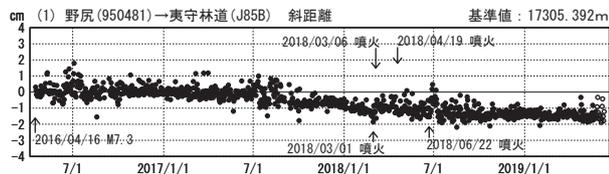


基線変化グラフ(長期)

期間: 2016/04/16~2019/06/10 JST

基線変化グラフ(短期)

期間: 2018/05/01~2019/06/10 JST

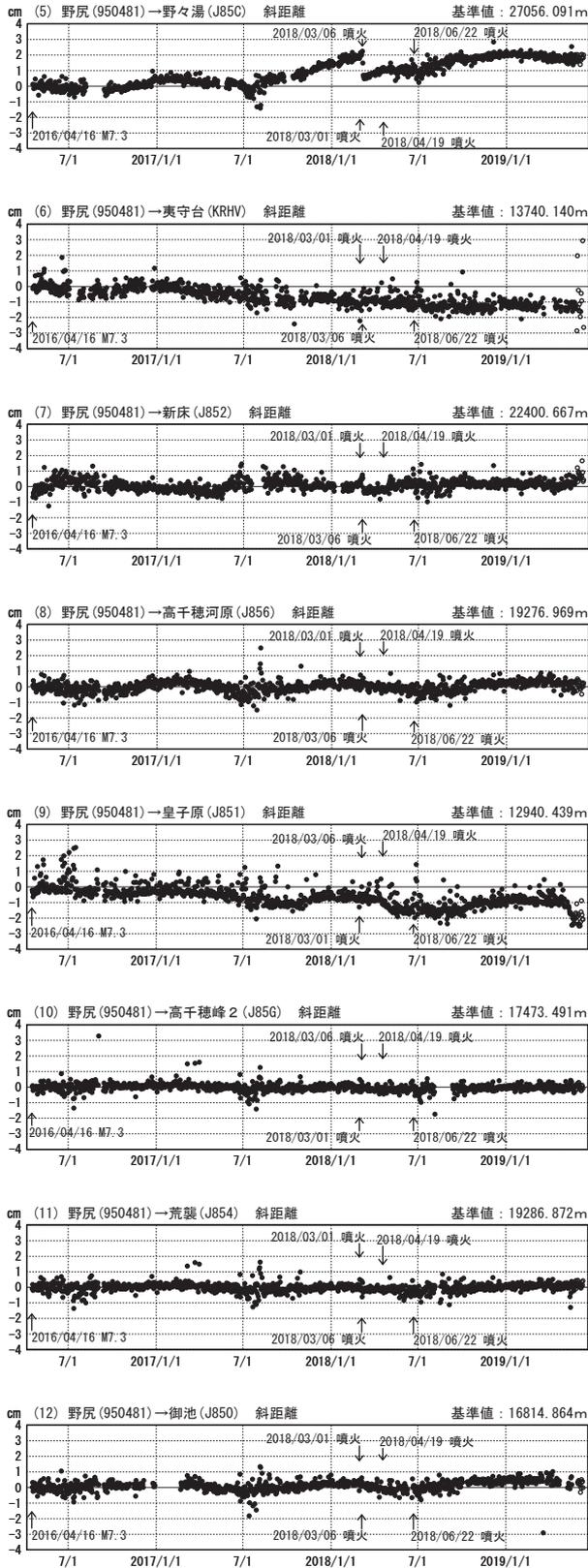


●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

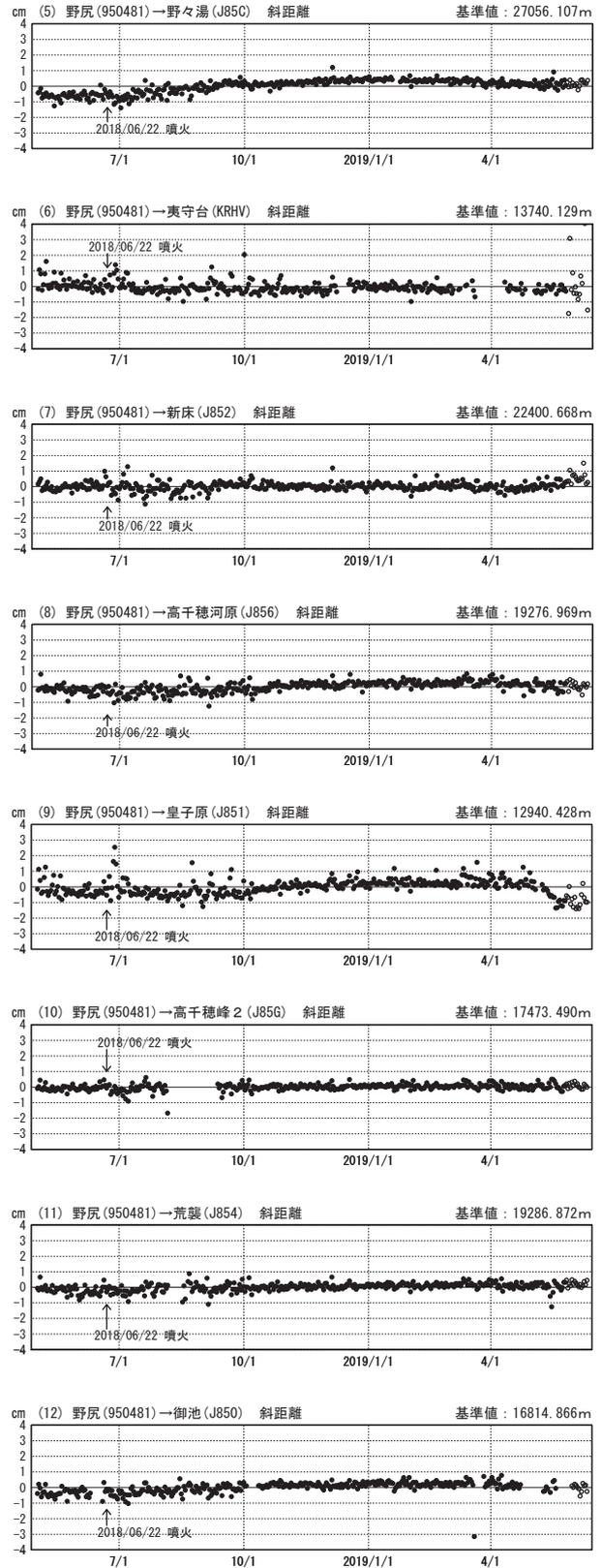
基線変化グラフ（長期）

期間：2016/04/16~2019/06/10 JST



基線変化グラフ（短期）

期間：2018/05/01~2019/06/10 JST

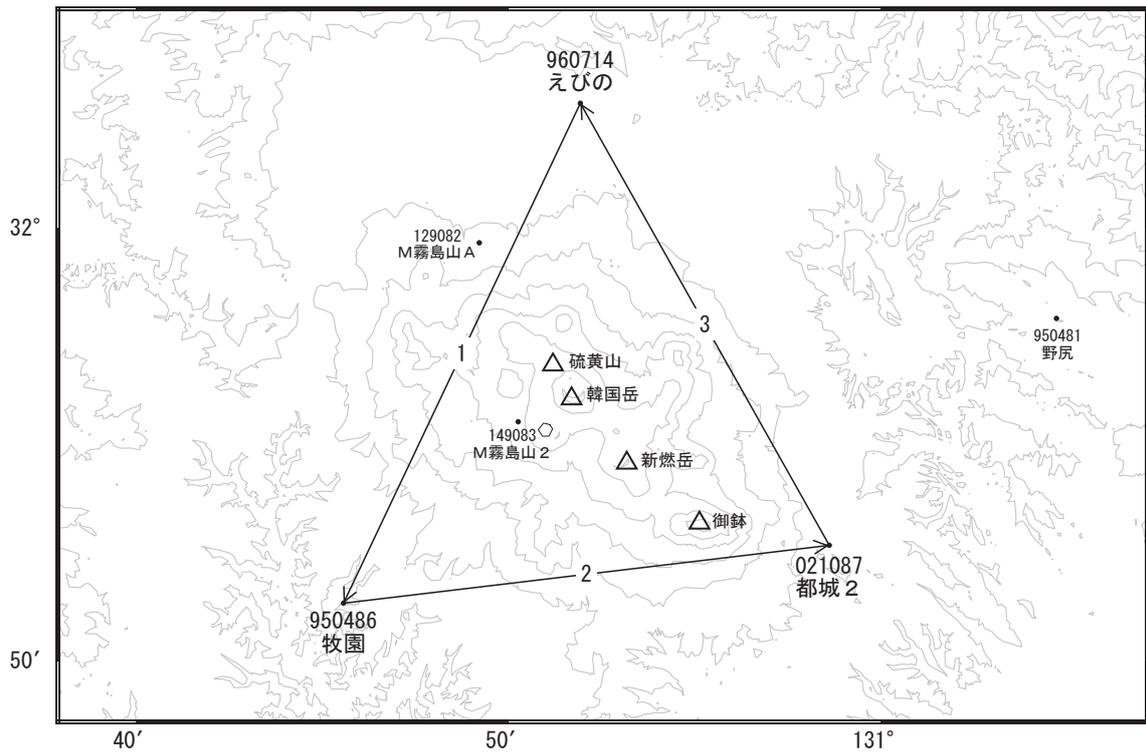


国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

※[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

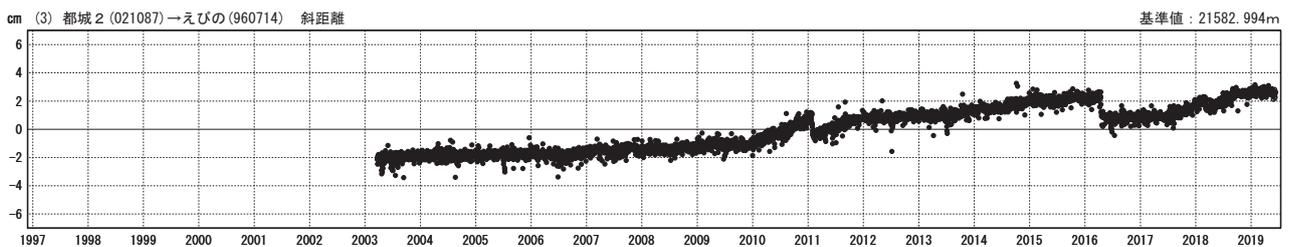
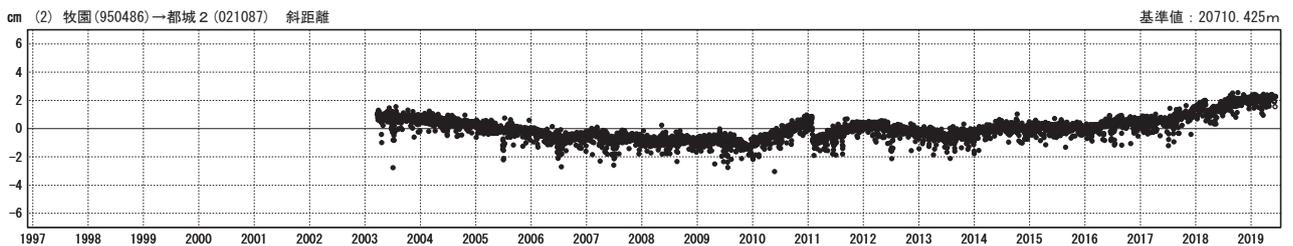
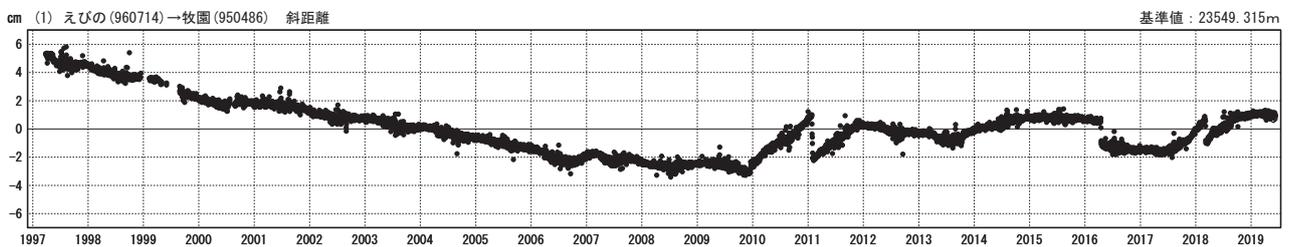
霧島山

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: 1997/01/01~2019/06/10 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

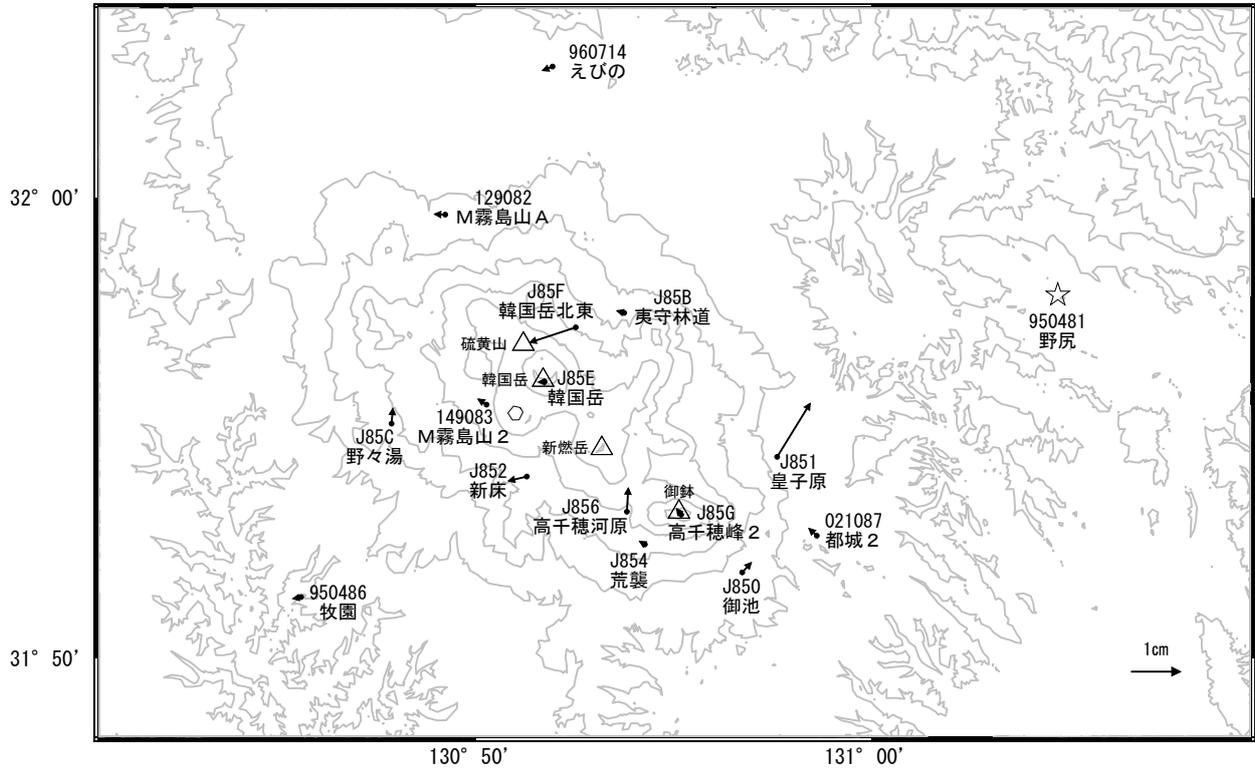
国土地理院

※[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:2019/03/01~2019/03/10[F3:最終解]
比較期間:2019/06/01~2019/06/10[R3:速報解]

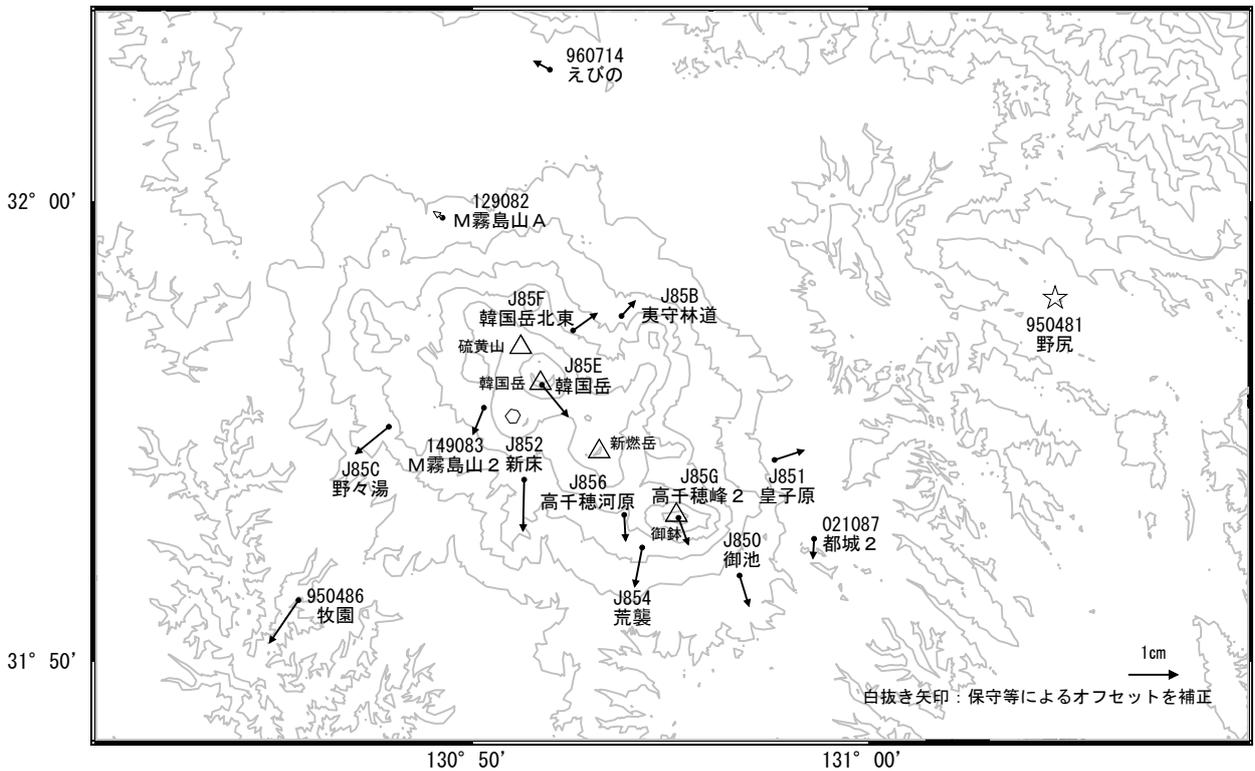


☆ 固定局:野尻(950481)

国土地理院・気象庁

霧島山周辺の地殻変動(水平:1年)

基準期間:2018/06/01~2018/06/10[F3:最終解]
比較期間:2019/06/01~2019/06/10[R3:速報解]



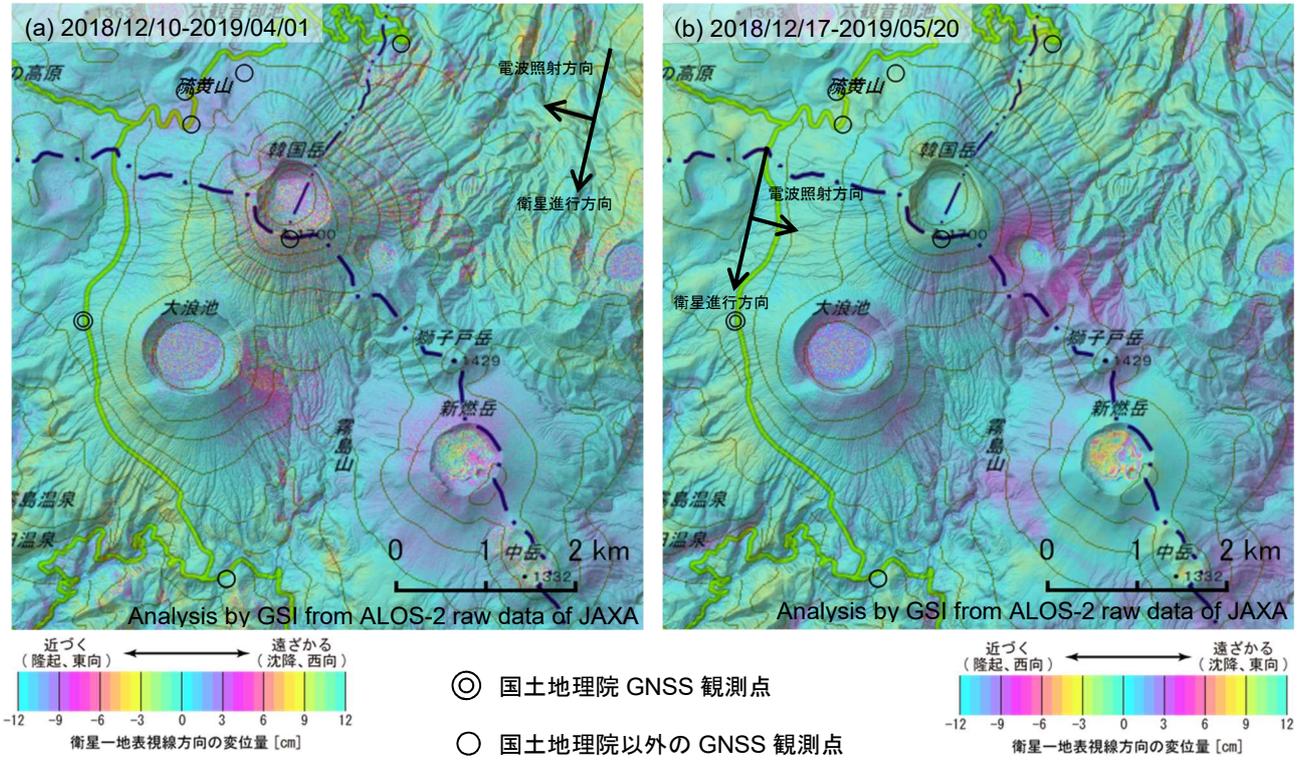
☆ 固定局:野尻(950481)

国土地理院・気象庁

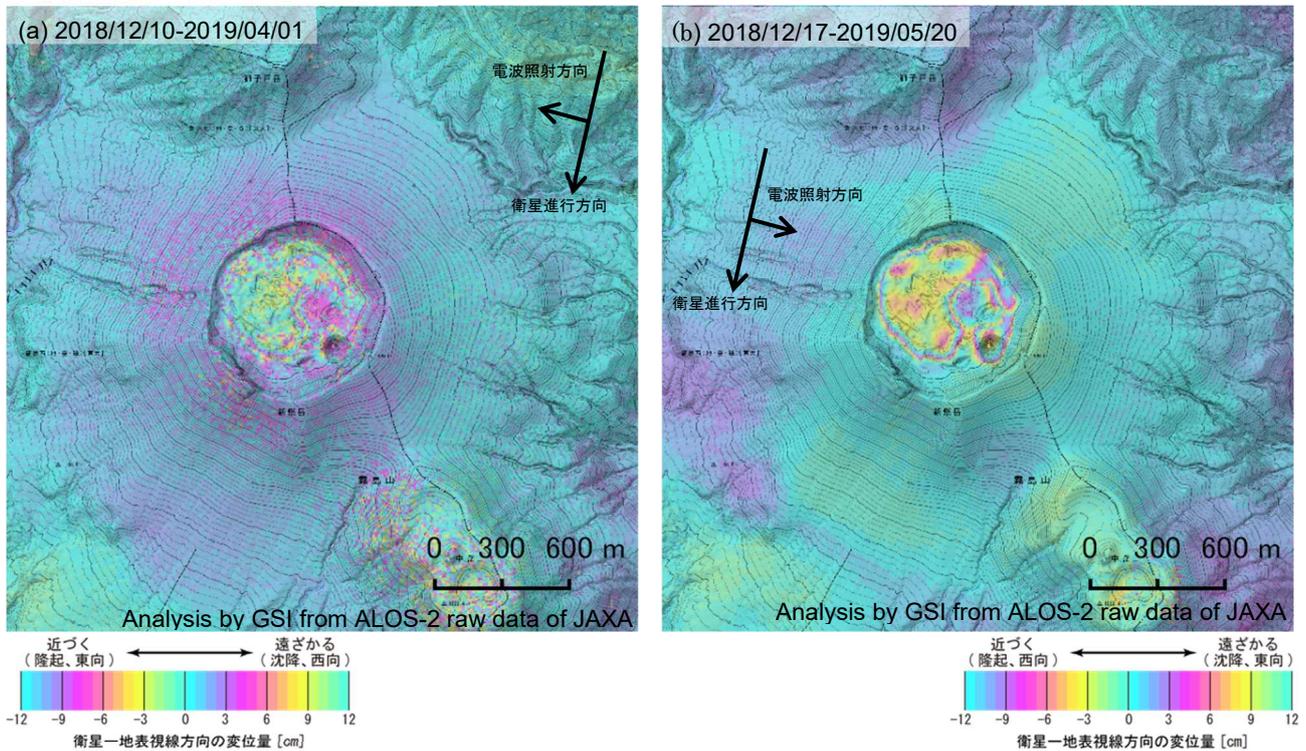
霧島山

霧島山の SAR 干渉解析結果について

判読) 新燃岳火口内で膨張とみられる衛星に近づく変動が見られます。



【新燃岳の拡大図】



背景：地理院地図 標準地図 (拡大図は火山基本図)・陰影起伏図・傾斜量図

本解析で使用したデータは、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

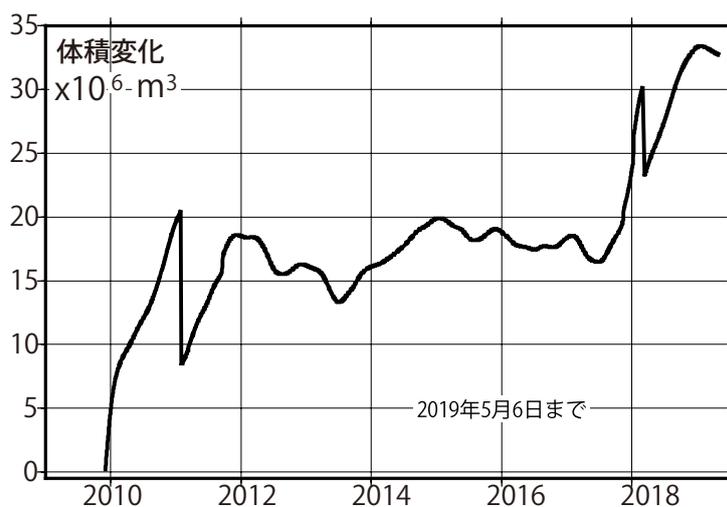
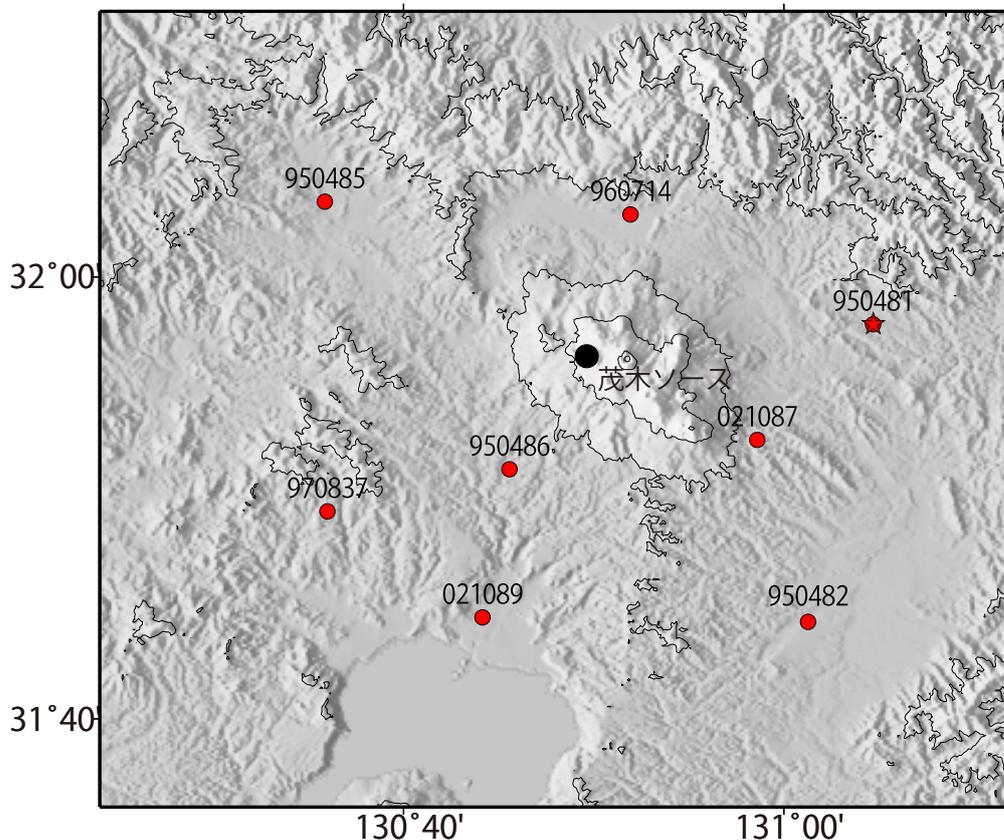
霧島山

	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2018/12/10 2019/04/01 12:19 頃 (112 日間)	2018/12/17 2019/05/20 13:07 (154 日間)
衛星進行方向	南行	南行
電波照射方向	右	左
観測モード*	U-U	U-U
入射角	35.5°	53.2°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+ 679 m	- 192 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

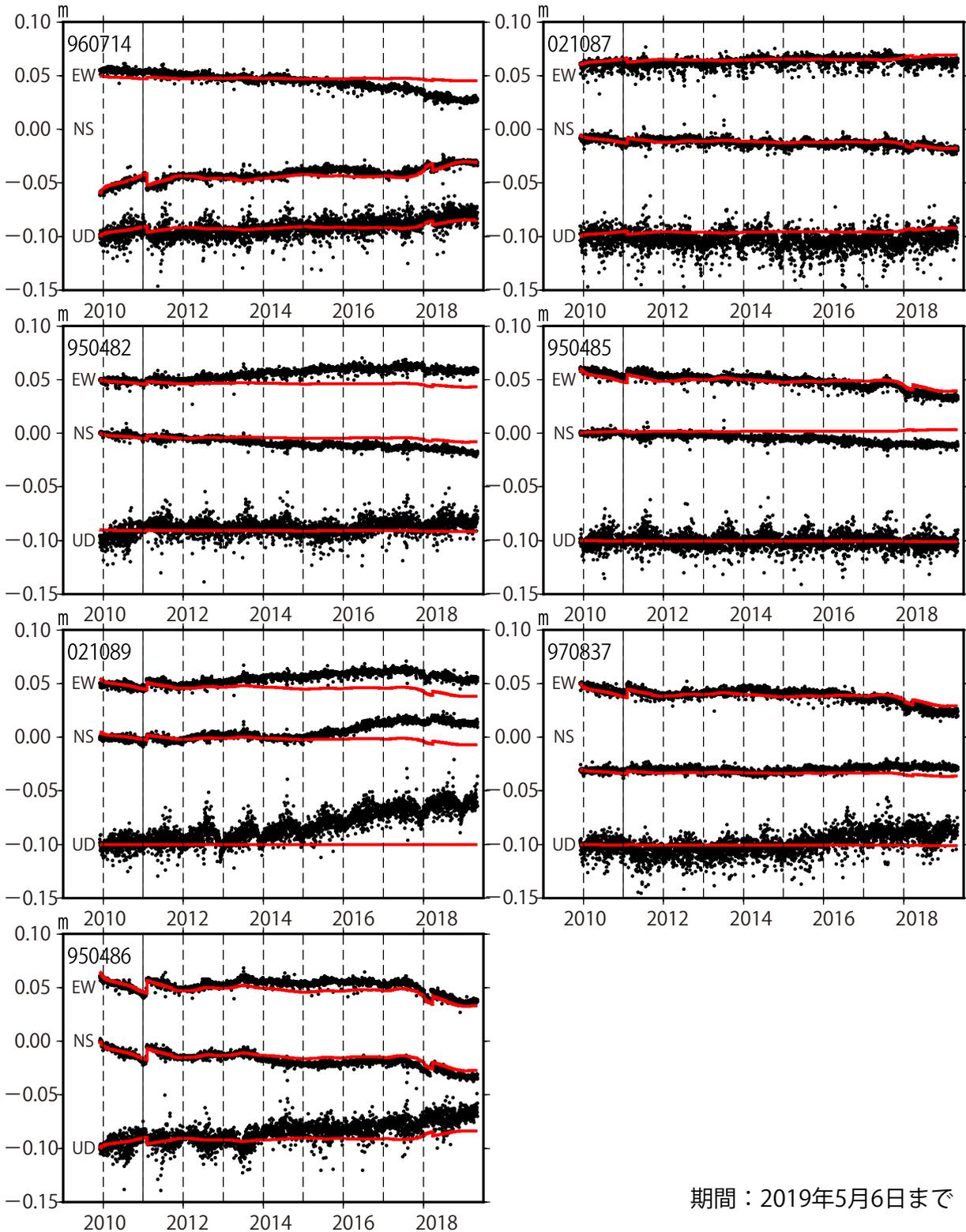
時間依存のインバージョン解析



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.

*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

霧島山

2019年6月20日

上智大学

えびの高原の地表熱活動と湧水温度について

えびの高原における2019年5月15日現在での地表面での熱活動と湧水の水温変化（2016年11月～2019年5月）について報告する。県道1号沿いの熱活動域および湧水採取地点を図1に示した。

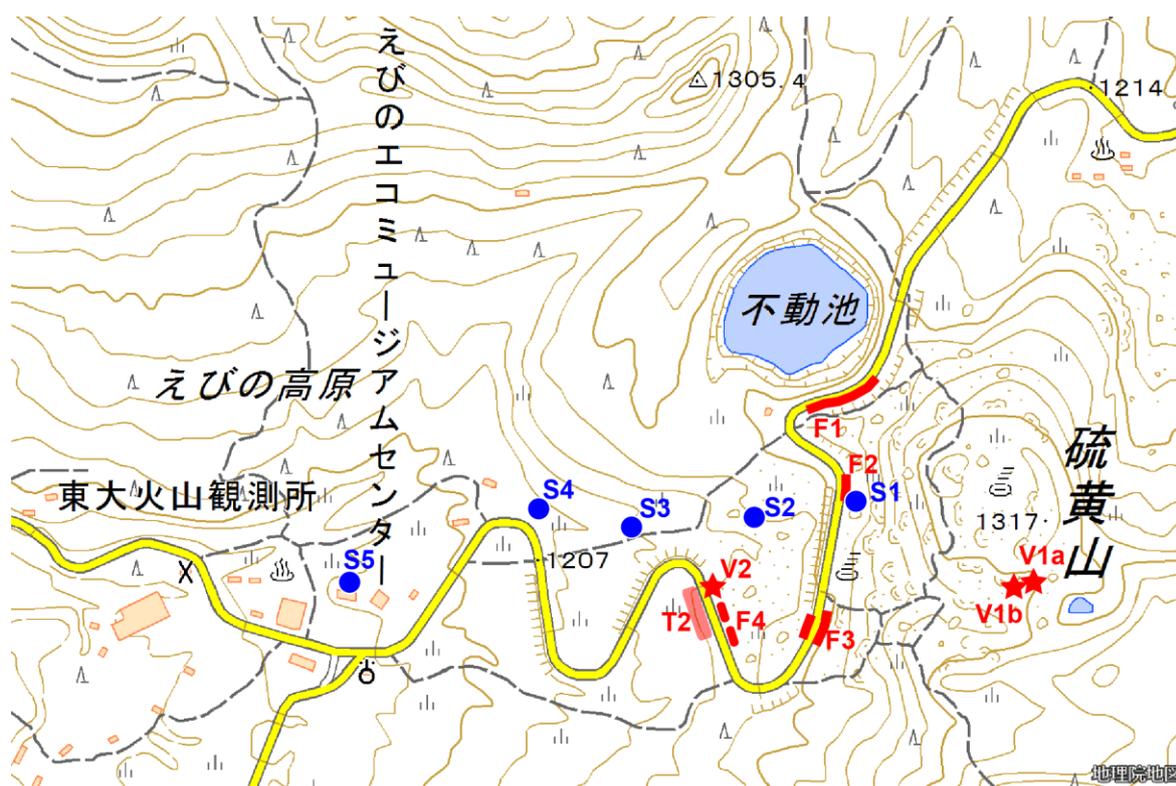


図1 湧水の採取地点（えびの高原内）（地理院地図「電子国土 web」を使用した）
S1～S5 は湧水の位置を示し，V1a, b は硫黄山南湯だまり，V2 は硫黄山西火孔である。
F1～F4 は噴気，T2 は熱異常が見られる場所を示す（本文参照）。

1. えびの高原の熱活動について

図1におけるF1～F4は、県道1号沿いに2019年5月15日現在において見られる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であり、F2は県道東側の窪地の道路際に位置する弱い噴気である。一方、F4は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日に測温では最高温度95℃を越えている。

図1に示した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り、2019年5月15日の調査において、噴気は見られないものの、複数点で局所的に地表下5～30cmにおいて95℃以上の地温を観測した。今後、噴気活動に移行する可能性がある。なお、2019年4月7日の調査の際にはそのような温度異常は確認できなかった。

2. えびの高原の湧水の水温変化について

湧水の水温変化を図2に示した。湧水S5を除く湧水S1～S4は2017年から温度上昇傾向を示していたが、湧水S1については2018年秋以降、明らかに温度低下の傾向に転じた。一方でS3、S4については、2019年に入って温度上昇は見られなくなったものの、明瞭な温度低下は認められない。なお、湧水S2は2018年秋以降、湧出を確認していない。また、S5は「足湯の駅」で足湯として利用されている源泉である。

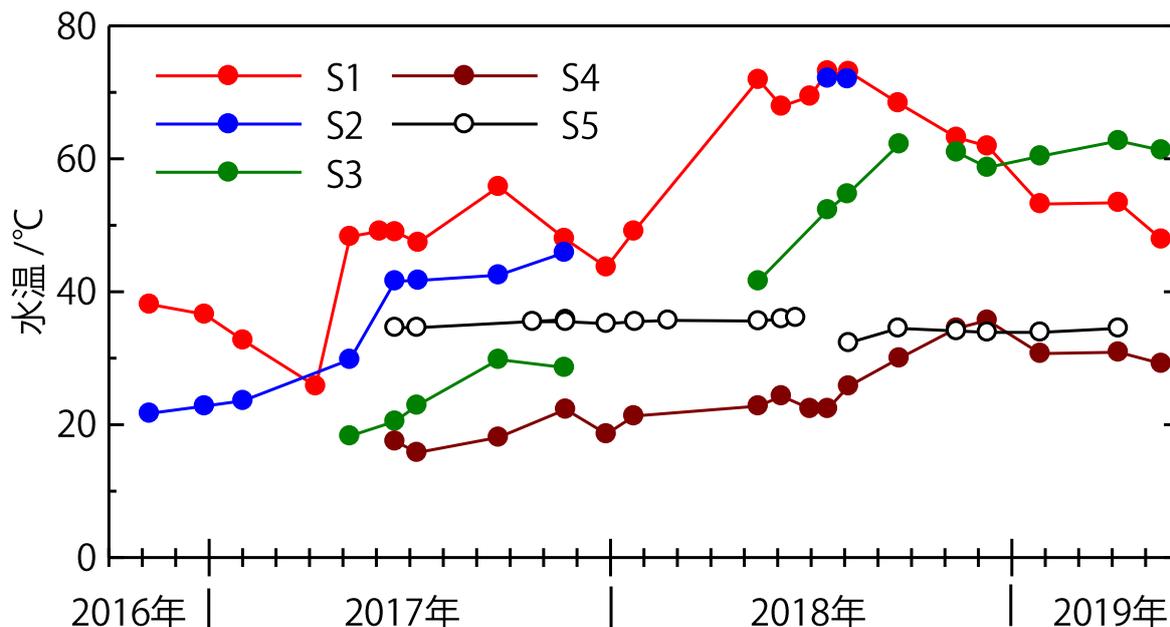


図2 湧水S1～S5の水温変化

まとめ

えびの高原の湧水では、2019年5月現在、硫黄山に近い湧水S1の水温低下は明らかなものの、その西側のえびの高原中央部沢沿いに点在する湧水には明らかな温度低下は見られておらず、えびの高原内では一定の熱供給量は維持されているものと思われる。ただし、2019年5月における湧水の湧出量はきわめて小さくなっており、地下水位の低下が認められる。

硫黄山西火孔の周辺の地表面熱活動は依然として活発であり、熱異常範囲を広げつつあるように思われる。

以上

霧島硫黄山噴気の化学組成および安定同位体比(2019年5月31日)

Chemical composition and isotopic ratios of the fumarolic gases at Iwoyama volcano, Kirishima, Japan (30th May 2019)

1. 概要

霧島硫黄山では、噴気の H_2/H_2O 比、 SO_2/H_2S 比、見かけ平衡温度、および H_2O の安定同位体比が 2018 年 4 月の噴火に先立ち明瞭に上昇した。2019 年 5 月 31 日に採取した噴気では、これらの指標はすべて低いレベルにあり、現時点で噴火の可能性は低いと考えられる。

2. 噴気の採取・分析

硫黄山では、図 1 に示す噴気孔 a, b, 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。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。

3. 結果・考察

表 1 に噴気の詳細分析結果を示す。噴気の H_2/H_2O 比と SO_2/H_2S 比の時間変化をそれぞれ図 2, 3 に示す。3 つの噴気孔で、これらの比は 2018 年 4 月の小噴火の直前である 3 月 28 日に上昇している。また、これらの比は 2017 年 5 月 15 日にも高い値を示していた。2017 年 5 月に噴火は発生していないが、圧力が非常に強い噴気が図 1 の h 地点に出現した。2019 年 5 月に H_2/H_2O 比、 SO_2/H_2S 比は比較的低い値に落ち着いている。図 4 に、以下の反応に関する見かけ平衡温度 (AET) を示す。



AET は圧力に依存する。図 4 に用いた AET は熱水系に想定される圧力を仮定して計算した。AET は 2018 年 3 月 28 日にすべての噴気孔で上昇したが、2019 年 5 月には 300°C 前後の低い値まで低下した。噴火直前に AET が上昇したことは、熱水系の温度上昇と噴火が関係していたことを示唆する。図 5 に H_2O の酸素同位体比の時間変化を示す。噴気 a, b では 2018 年 3 月 28 日に極大値に到達していた。噴気 c も同日に比較的高い値を示した。酸素同位体比は、マグマ起源 H_2O の熱水系における比率を反映しており、高いほどマグマ起源の H_2O の比率が高い。AET の時間変化と噴火の関係を考え合わせると、2018 年 4 月噴火の直前に、マグマから脱ガスした火山ガスが大量に浅部熱水系に注入され、熱水系の温度が上昇し噴火に至ったと推定される。霧島硫黄山において、噴気の H_2/H_2O 比、 SO_2/H_2S 比、AET および H_2O の安定同位体比は、噴火の前兆指標と考えられる。2019 年 5 月において、これらの指標はすべて低いレベルにあり、現時点で噴火の可能性は低いと考えられる。

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B3）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	2.1391	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-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

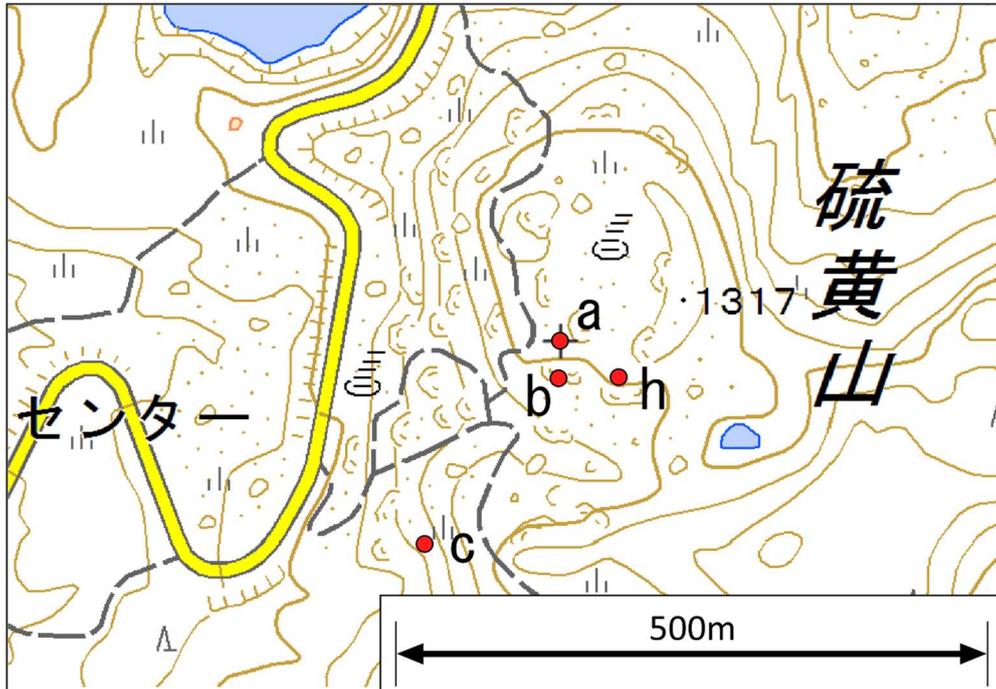


図 1. 硫黄山噴気 a, b, c の位置 (背景の地図として, 国土地理院 1/25000 地形図を使用した. h は 2017 年 5 月に出現した高噴出圧力の噴気孔)

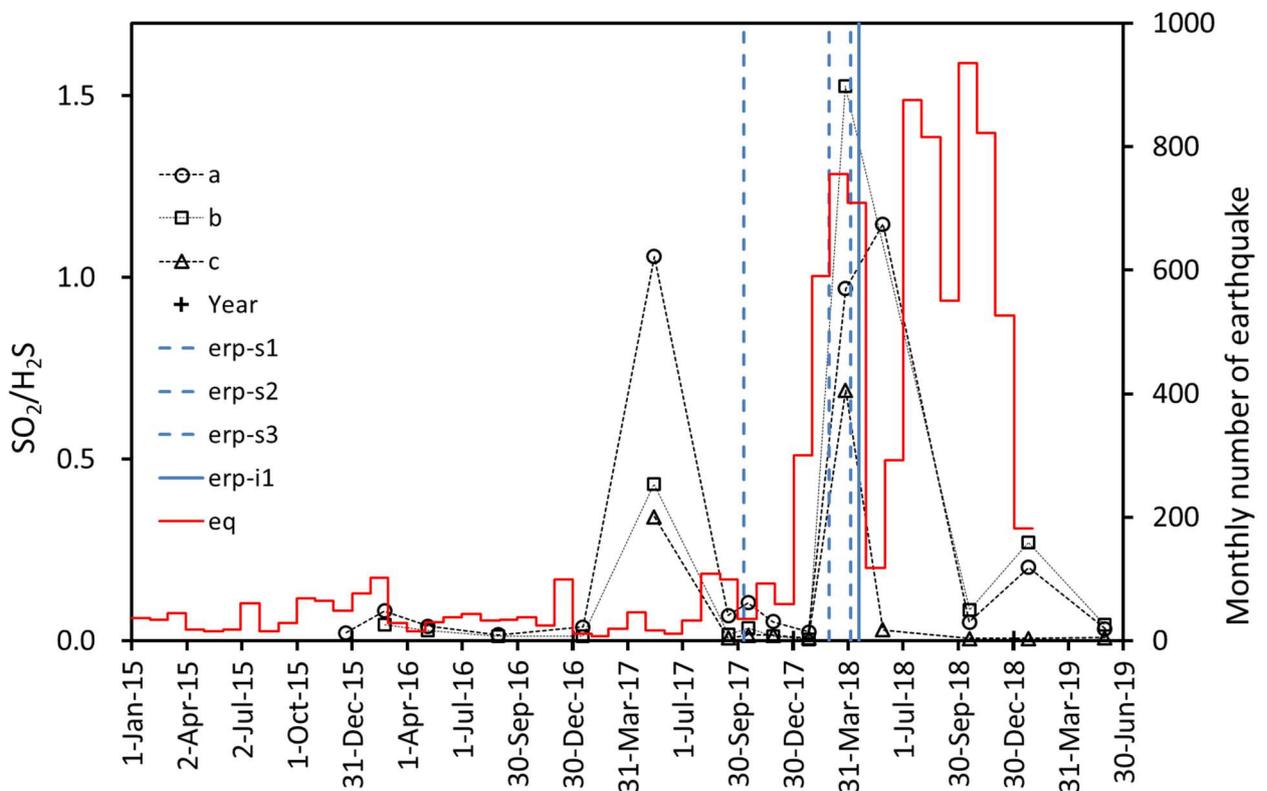


図 2. SO₂/H₂S 比の時間変化 (赤線は気象庁による月別地震回数, 青の実線は硫黄山における小噴火, 青破線は新燃岳における噴火を示す)

霧島硫黄山

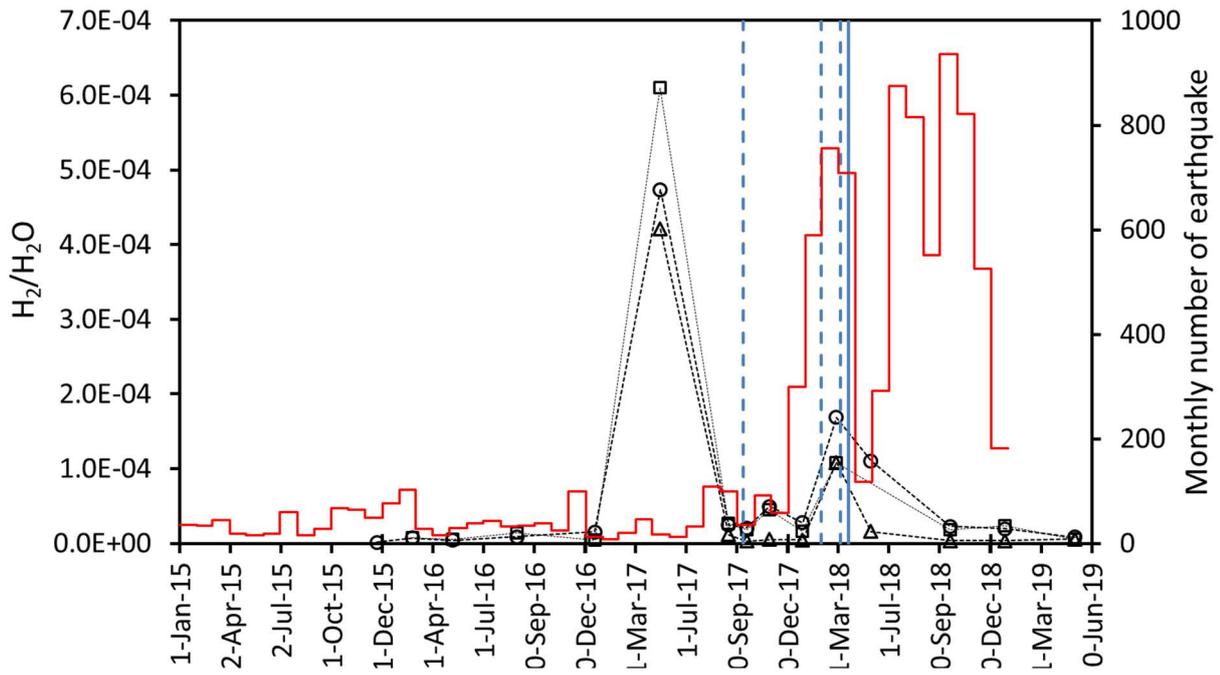


図 3. H₂/H₂O 比の時間変化

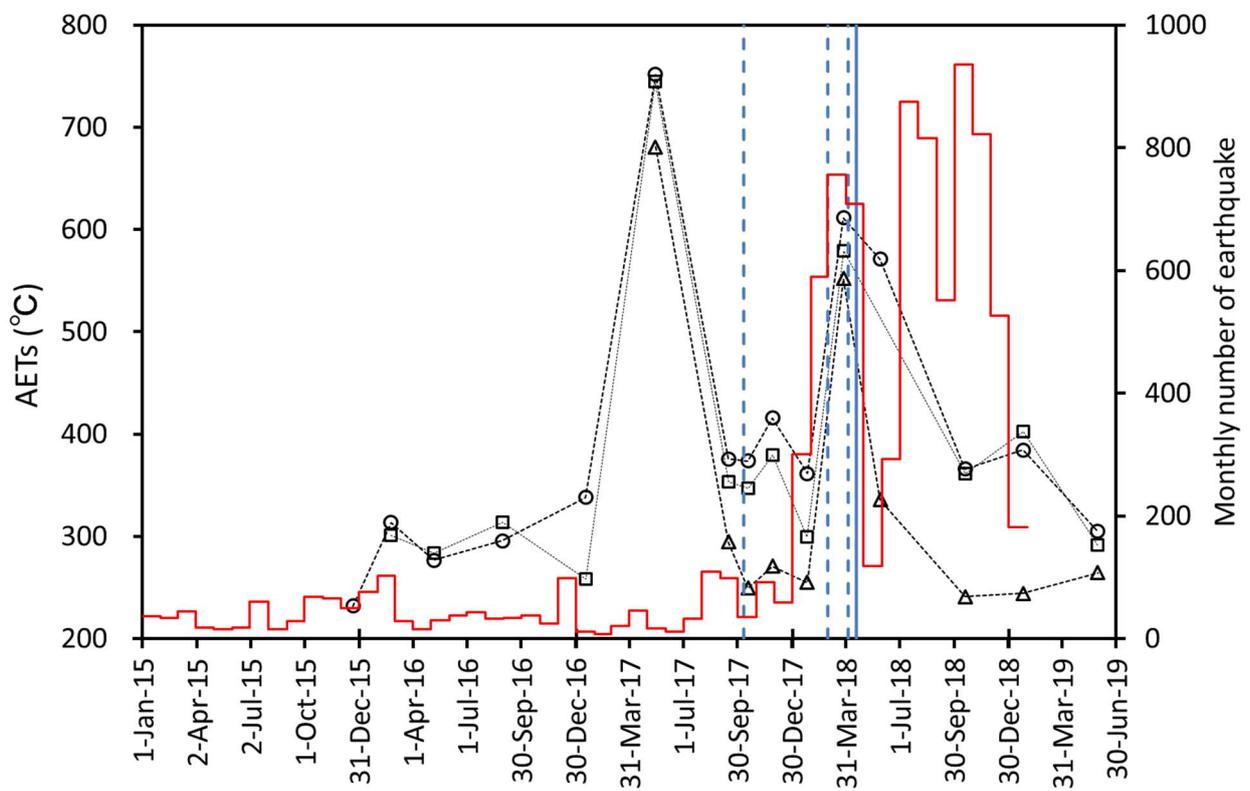


図 4. 見かけ平衡温度 (AET) の時間変化

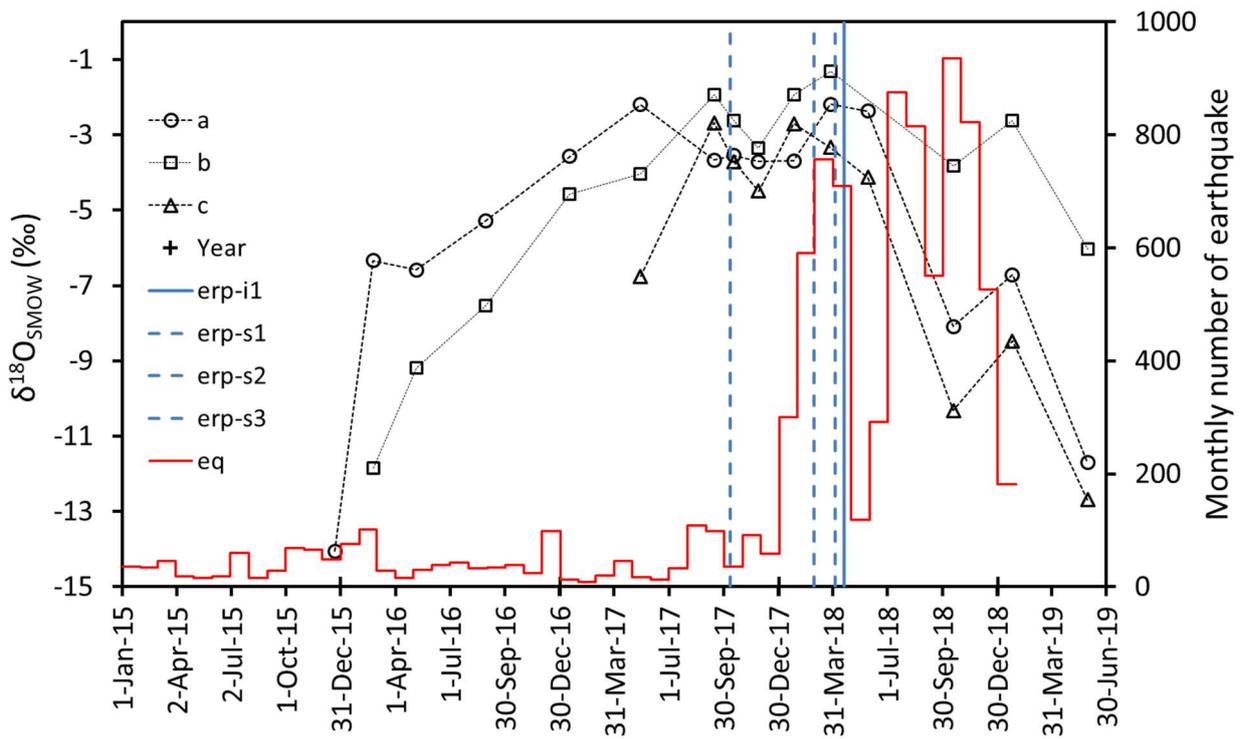


図 5. H₂O 酸素同位体比の時間変化

霧島火山

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

長期的な変動（図2、図3）としては、2011年1月末の噴火後にも継続していたマグマ蓄積は2011年11月頃一旦停止したが、2013年10月頃より再開し、2014年9月頃に一旦停止した。2017年2月ごろから一部の基線長の伸びが見られはじめ、2017年10月の噴火に至った。その後すぐに基線長の伸長が再開し、2018年3月上旬の噴火の際に収縮した。その後2018年9月上旬から停滞している。

図4、図5に2017年1月から2019年6月までの拡大図を示す。2018年9月上旬から停滞しているように見える。しかし、KKCD-KRS、KKCD-KRSP（どちらも図4）の新燃岳の直上を通る基線では速度は遅いものの伸長しているように見える。

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

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

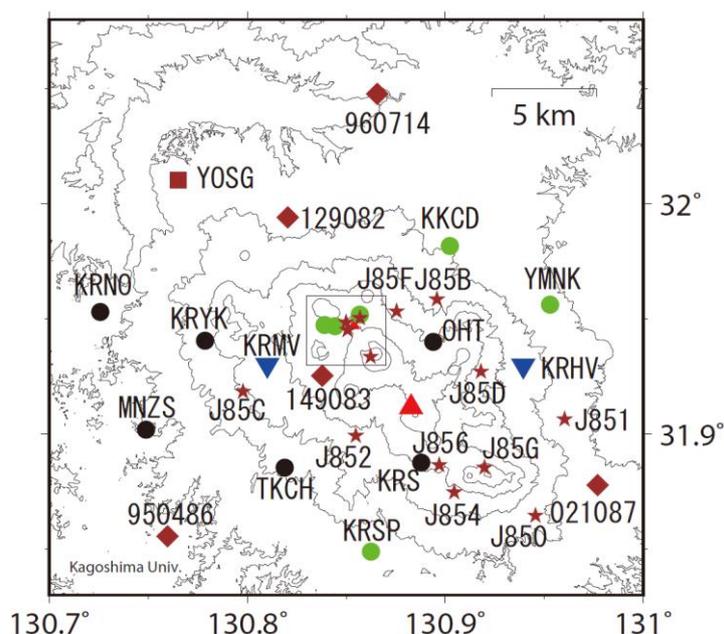


図1. 霧島山（新燃岳）周辺のGNSS観測網。

霧島火山

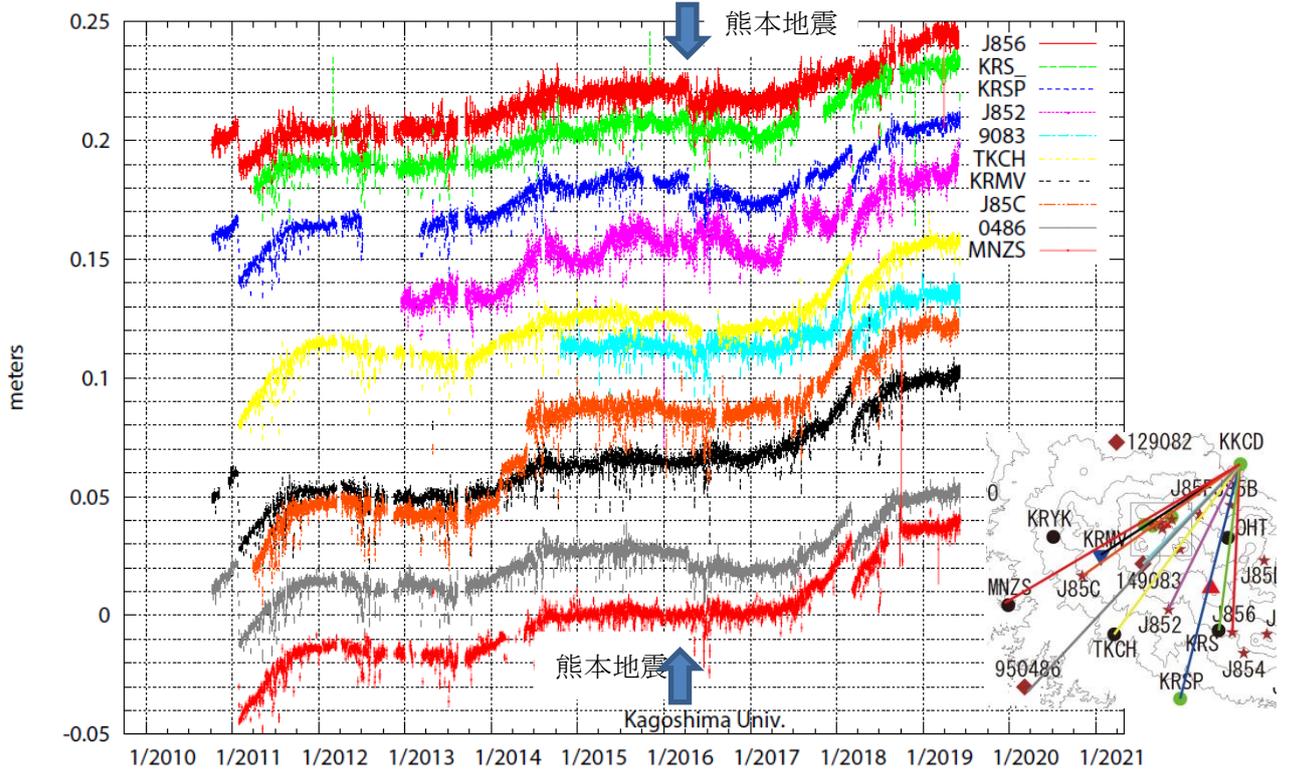


図 2. 霧島山（新燃岳）をはさむ基線の基線長の時間変化（2010 年 10 月～2019 年 6 月）. 基準点は KKCD 観測点

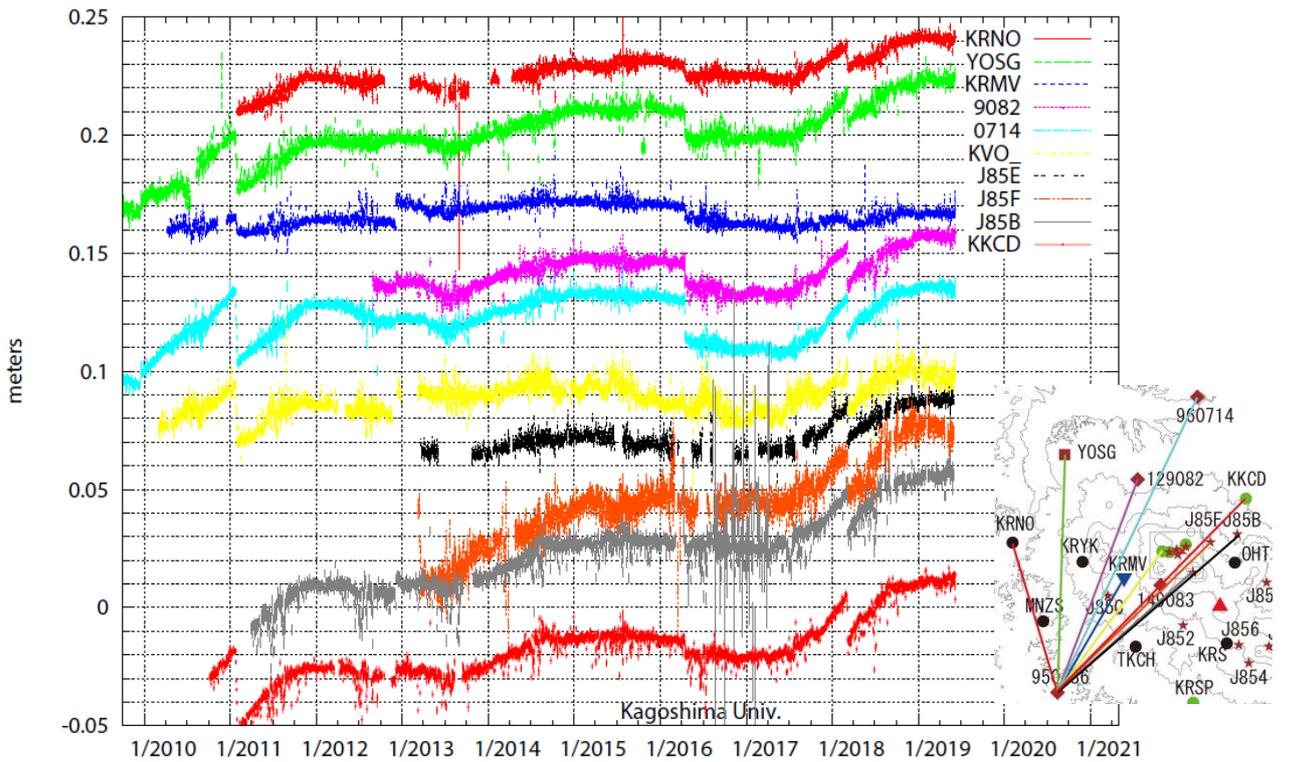


図 3. 霧島山（新燃岳）をはさむ基線の基線長の時間変化（2009 年 10 月～2019 年 6 月）. 基準点は 950486（GEONET）観測点

霧島火山

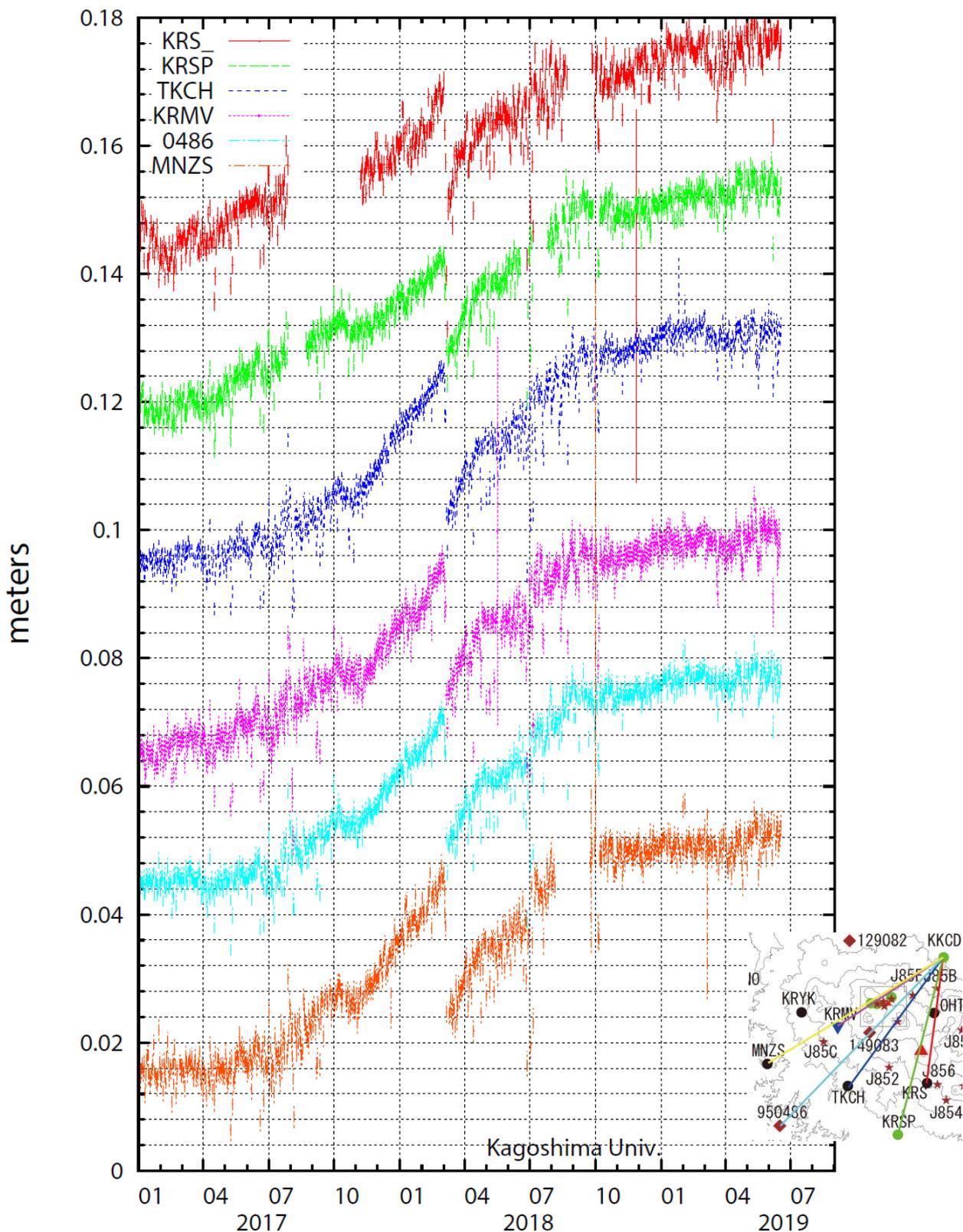


図 4. 2011 年新燃岳噴火時のマグマソースをはさむ基線の基線長変化 (2017 年 1 月～2019 年 6 月). 2019 年 6 月 9 日～6 月 17 日は速報暦による解析結果を示す. 基準点は KKCD 観測点.

霧島火山

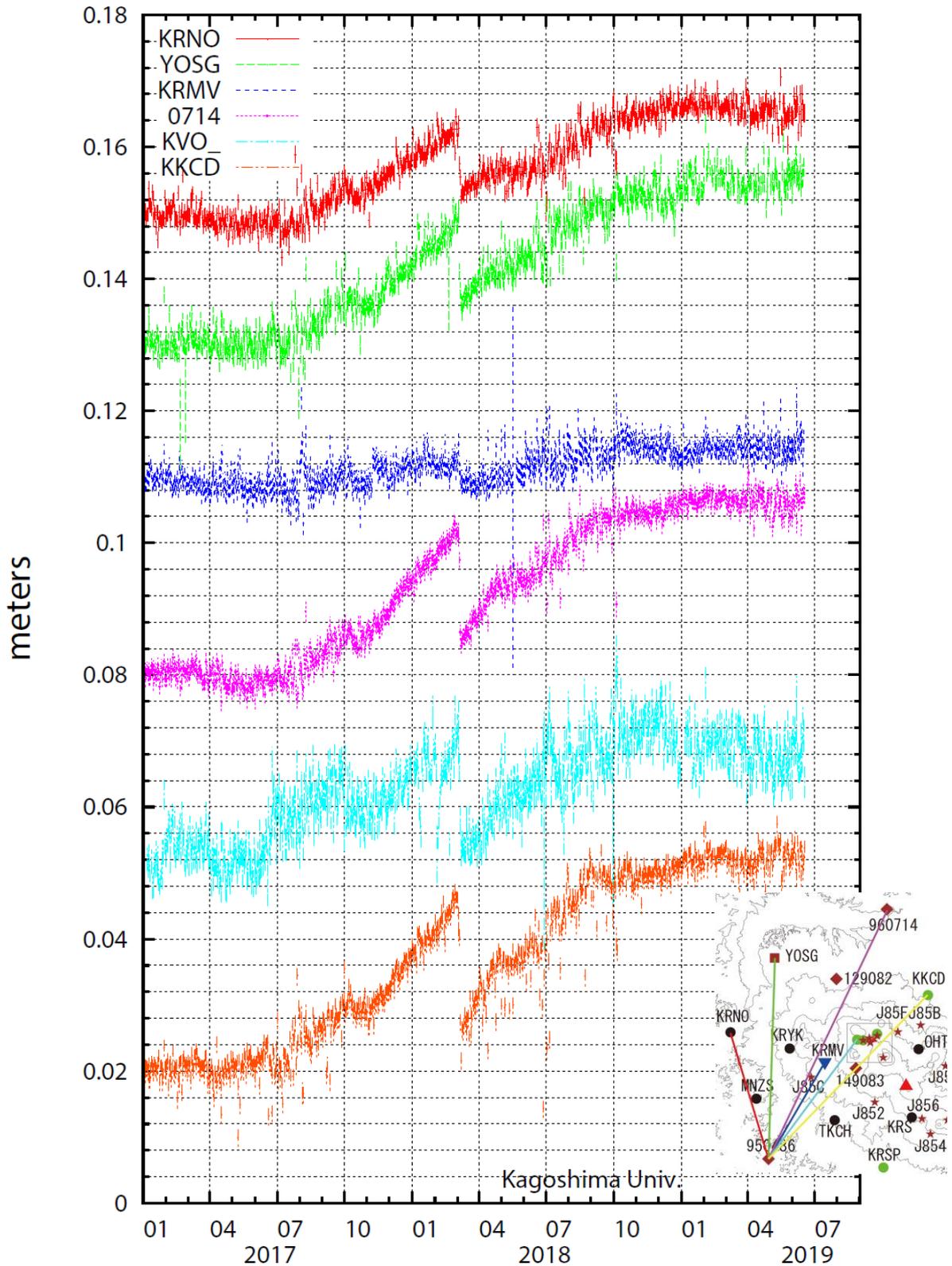


図 5. 2011 年新燃岳噴火時のマグマソースをはさむ基線の基線長変化 (2017 年 1 月～2019 年 2 月). 2019 年 2 月 10 日～2 月 18 日は速報暦による解析結果を示す. 基準点は 950486 (GEONET) 観測点.