

第 142 回

火山噴火予知連絡会資料

(その3)

草津白根山

平成 30 年 10 月 31 日

火山噴火予知連絡会資料（その3）

目次

草津白根山.....	3
気象庁（地磁気含む）	3-49
東工大	50-60
東大	61-64
東海大	65-71
防災科研	72-77
地理院	78-84

草 津 白 根 山

(2018 年 10 月 21 日現在)

白根山（湯釜付近）

4 月下旬から高まった状態となっていた湯釜付近浅部の活動は、9 月上旬には地震活動が低調になるなど静穏な状態に戻りつつあったが、9 月下旬に再び地震活動が活発化するなど、高まった状態となっている。今後、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 1 km 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（2018 年 6 月～2018 年 10 月 21 日）

・地震活動

4 月下旬から活発化した湯釜付近を震源とする地震活動は増減を繰り返し、6 月下旬から 7 月にかけては、規模は小さいながらも地下の熱水活動に伴うと思われる火山性微動の発生がみられた。

9 月上旬以降、地震活動は静穏な状態で経過していたが、9 月 28 日 17 時頃から、再び地震活動が活発化した。発生した地震は 4 月下旬の活動と同様に、ほとんどが A 型地震で BL 型地震もみられた。震源は 4 月下旬からみられている地震活動の震源域内の南側で、海拔 1 km よりやや深いところに分布した。30 日以降、地震は減少し、震源は海拔 1 km よりやや浅いものが多くなっている。

・地殻変動

4 月下旬から観測されていた湯釜付近浅部の膨張を示す傾斜変化は、8 月下旬にはほぼ停滞した。9 月 28 日 16 時頃から、地震活動の再活発化にやや前駆して、4 月 22 日と同様に湯釜の西側のやや深いところの膨張を示唆する傾斜変動が観測された。この傾斜変動は 28 日 17 時には反転した。10 月に入って、湯釜付近浅部の膨張を示す傾斜変動が観測されるようになっている。

GNSS 連続観測では、湯釜付近浅部の膨張を示す顕著な変動は観測されていないが、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を示唆する可能性のある変化がみられている。

・噴煙など表面現象の状況

奥山田監視カメラ（湯釜の北約 1.5 km）による観測では、湯釜北側噴気地帯の噴気は概ね 100 m で経過しており、10 月 2 日に実施した現地調査でも特段の変化は認められない。東京工業大学の監視カメラ（湯釜火口内）では、6 月下旬から 7 月上旬にかけて湯釜の中央部で灰～灰白色の変色域がみられていたが、その後、それ以前の状態に戻っている。

この資料は気象庁のほか、関東地方整備局、国土地理院、東京工業大学、東北大学、東京大学、京都大学及び国立研究開発法人防災科学技術研究所のデータを利用した。

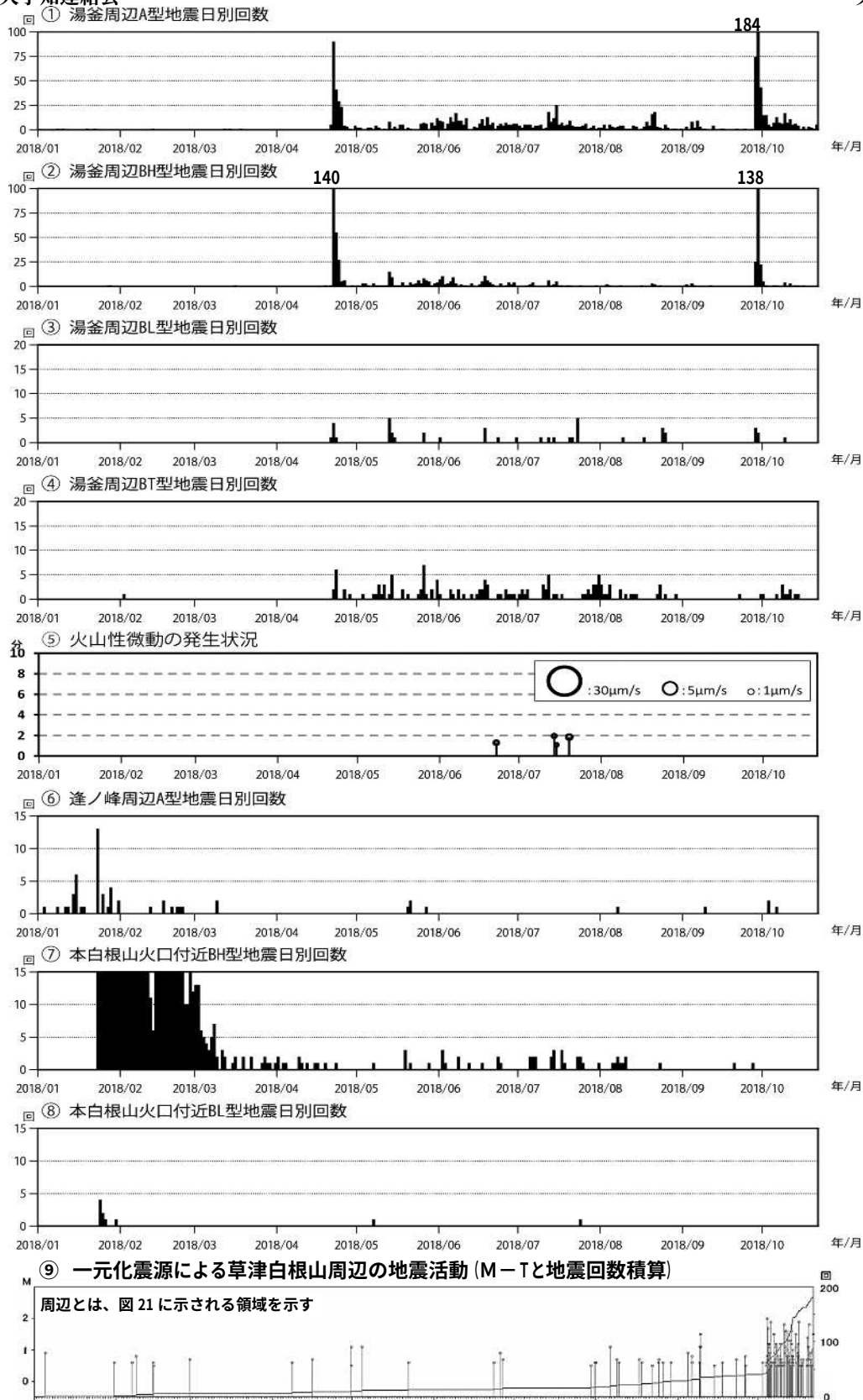


図 1 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 地震日別回数（2018 年 1 月 1 日～2018 年 10 月 21 日）

- ・ 湯釜付近を震源とする地震活動は 4 月下旬に活発化し、以降、増減を繰り返した。9 月上旬には静穏な状態となったが、9 月 28 日から地震活動が再活発化した。
- ・ 6 月下旬から 7 月にかけては、規模は小さいながらも火山性微動の発生がみられた。
- ・ 逢ノ峰付近を震源とする地震は、3 月後半から 5 月前半にかけて観測されていなかったが、5 月下旬と 8 月以降時々発生している。
- ・ 本白根山火口付近の地震活動は、6 月～8 月にその発生頻度が上がっている。

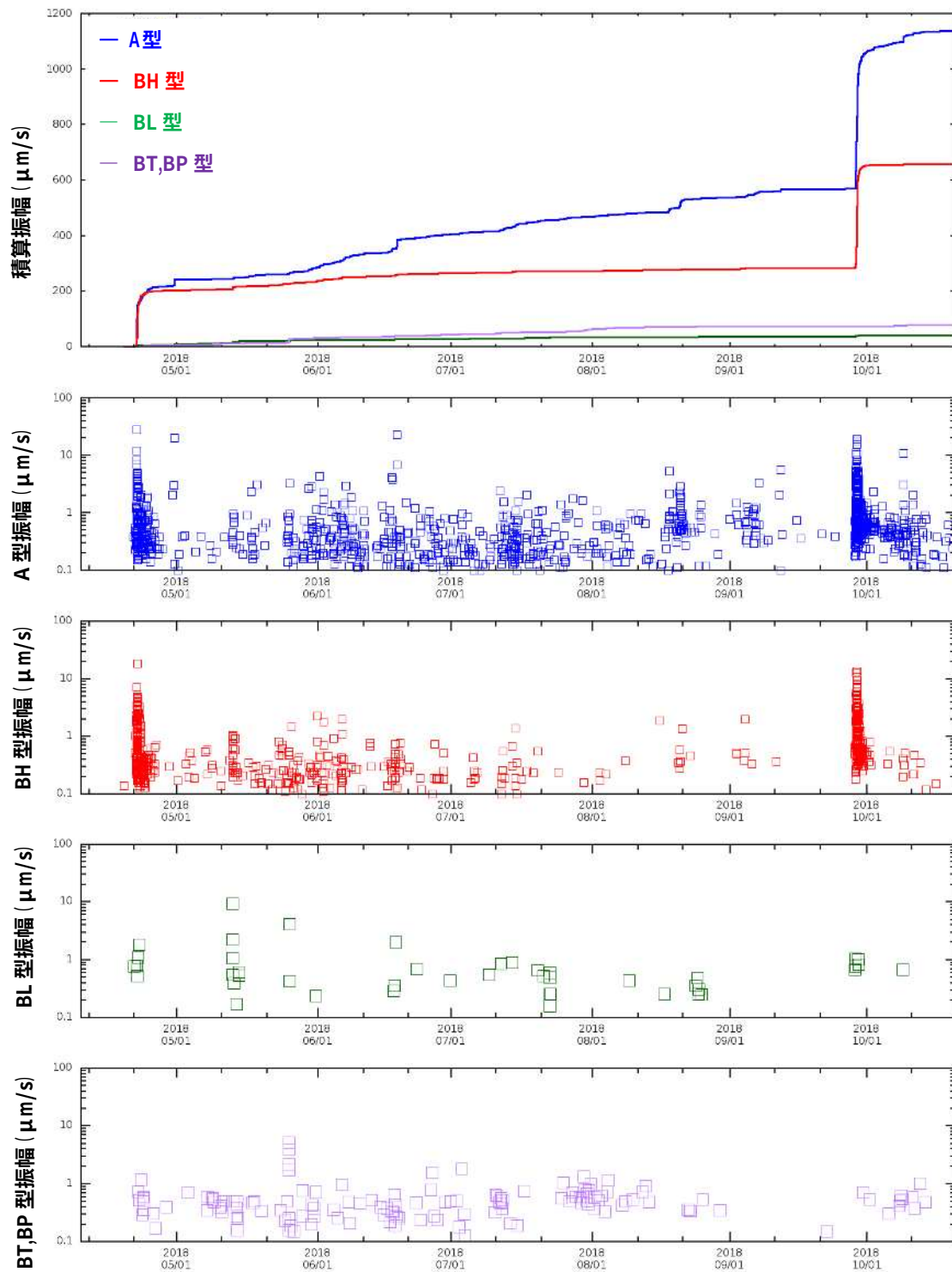


図2 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 湯釜付近の火山性地震の特別回数とその最大振幅（2018年4月10日～10月21日）（地震回数は水釜北東観測点のUD成分 $1 \mu\text{m}/\text{sec}$ 以上を計数）

- ・ 4月に活発化した地震活動は、増減を繰り返していたが、9月上旬には低調になった。
- ・ 9月28日から再び地震活動は活発化した。振幅積算を見ると、9月のほうが活動の規模はやや大きい。

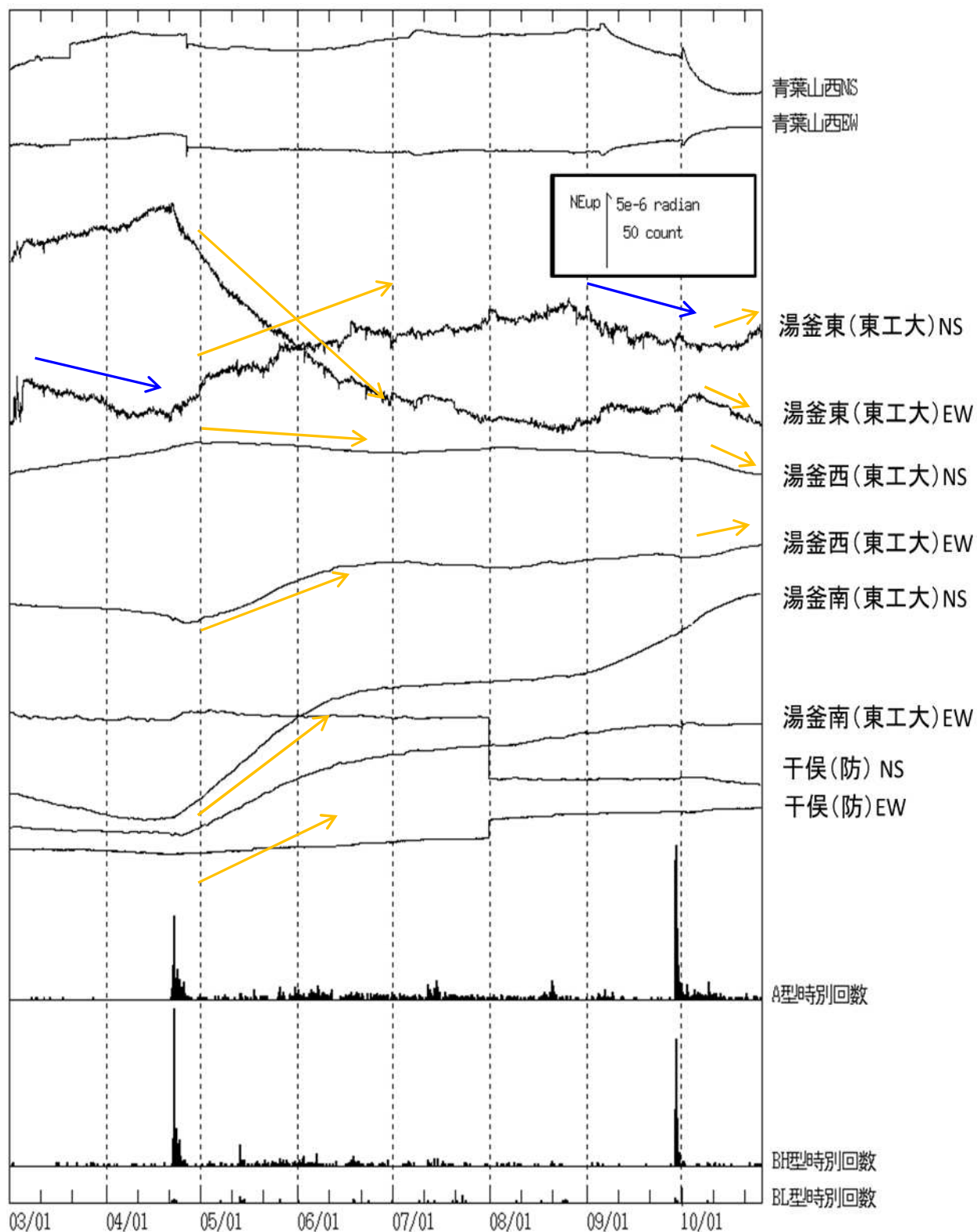


図3 草津白根山(白根山(湯釜付近)) 傾斜変動記録と特別地震回数(2018年3月1日~10月26日)

- ・ 4月22日頃より、湯釜南(東工大)で北東上がり、湯釜東(東工大)で北西上がり、湯釜西(東工大)で南東上りの変動がみられていたが、8月下旬にはほぼ停滞している。この変動は湯釜直下浅部の膨張で説明できる。
- ・ 10月に入って、再び4月からみられた変動と類似した変動が観測されている。

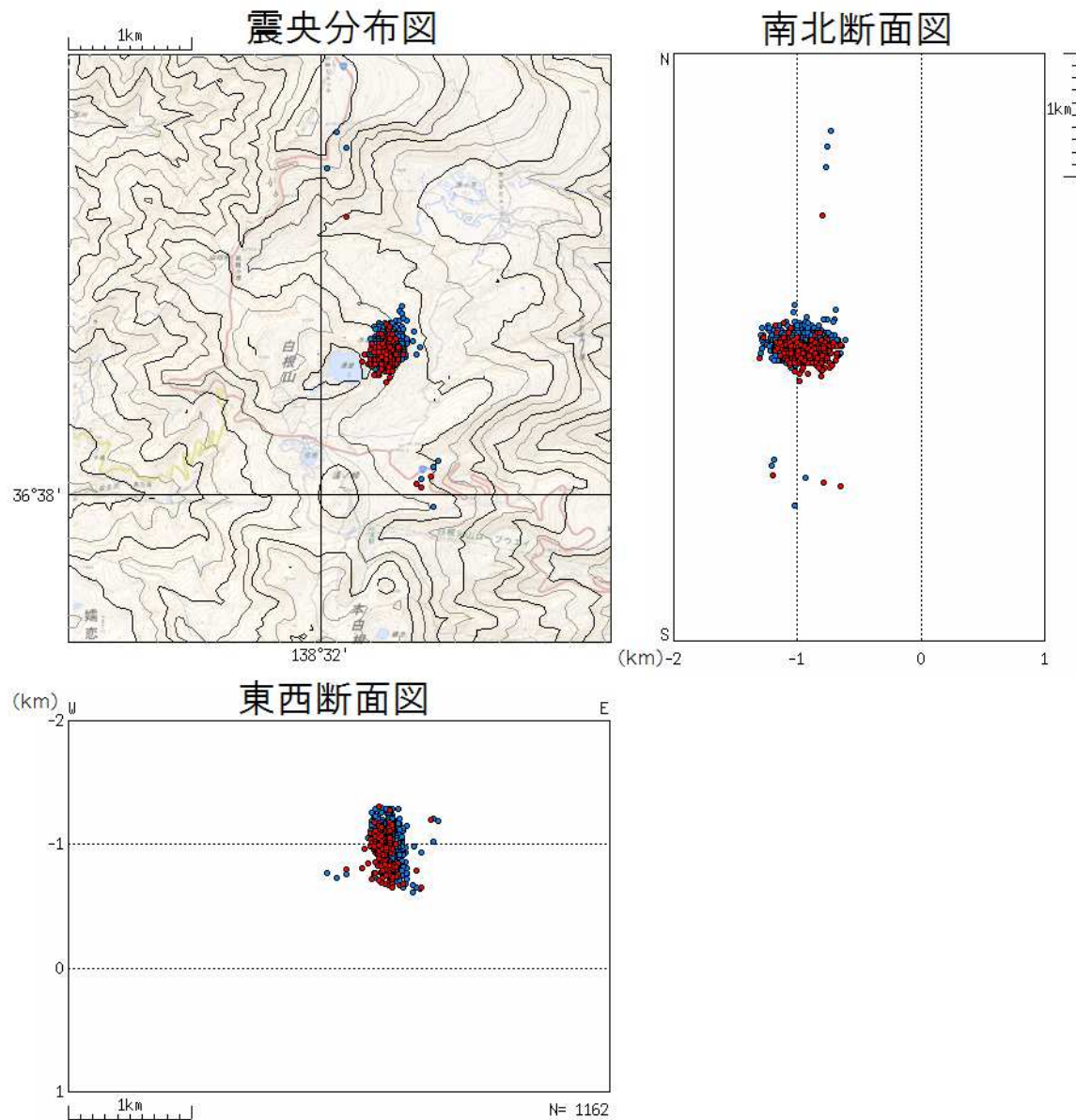


図 4-1 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 震源分布図（2018 年 4 月 1 日～2018 年 10 月 21 日）

●：4 月 1 日～8 月 31 日 ●：9 月 1 日～10 月 21 日

- ・ 2018 年 4 月から 8 月にかけては、震源は、湯釜のやや北東部に位置した。
- ・ 9 月 28 日からの震源は、4 月から 8 月にかけてのものと比べるとやや南に位置する。

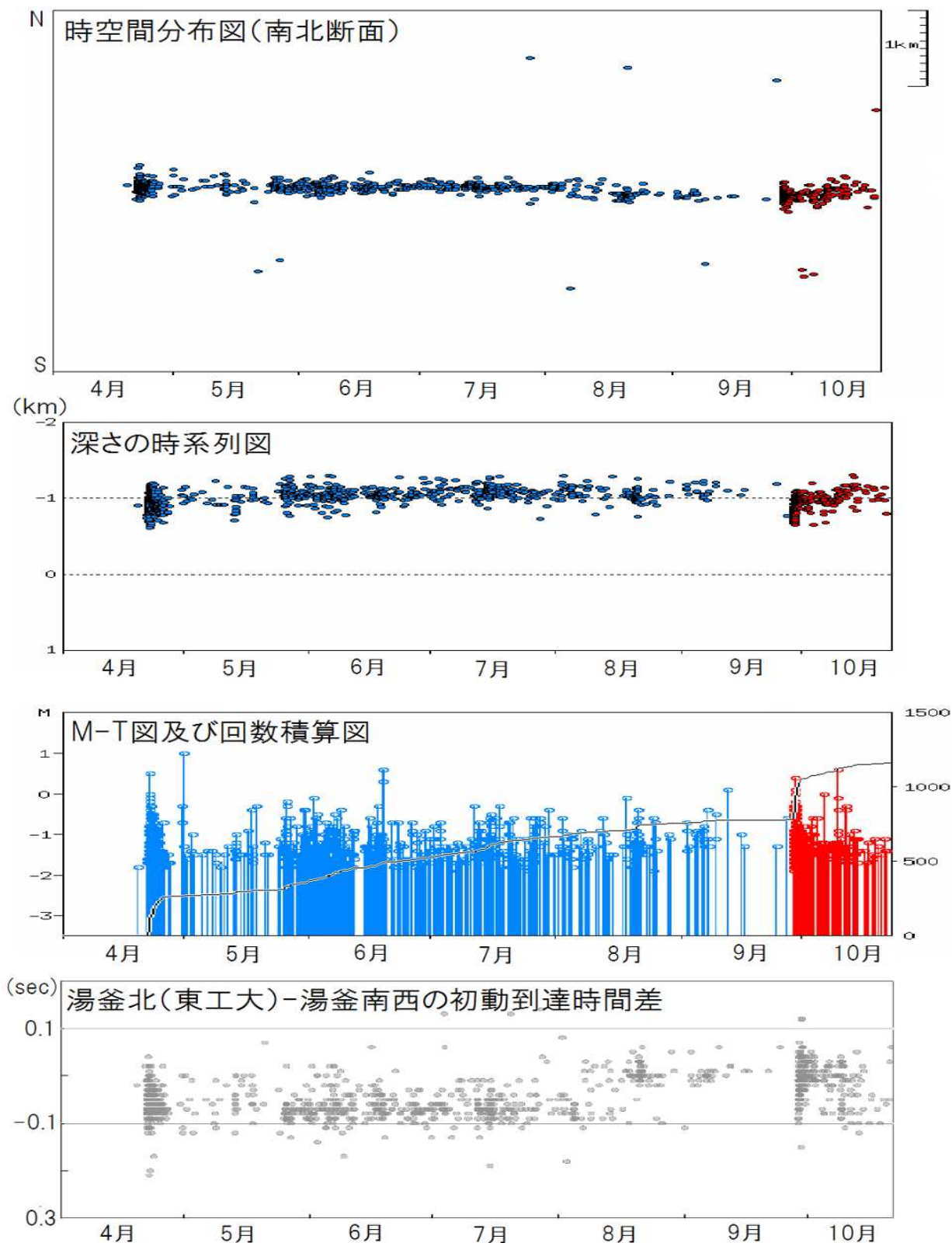


図 4-2 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 震源の時空間分布、深さの時系列、地震活動の推移、湯釜北（東工大）と湯釜南西の初動到達時間差（2018 年 4 月 1 日～10 月 21 日）
図中のマグニチュードは渡辺（1971）の式を用いている。

・ 2018 年 4 月 21 日からの地震活動の震源は、活動当初は海拔 1 km より深い地震もみられた。9 月 28 日からの震源も 4 月と同様に活動当初は、海拔 1 km より深い地震もみられた。・ 現在は、海拔 1 km より浅い震源が目立つようになっている。

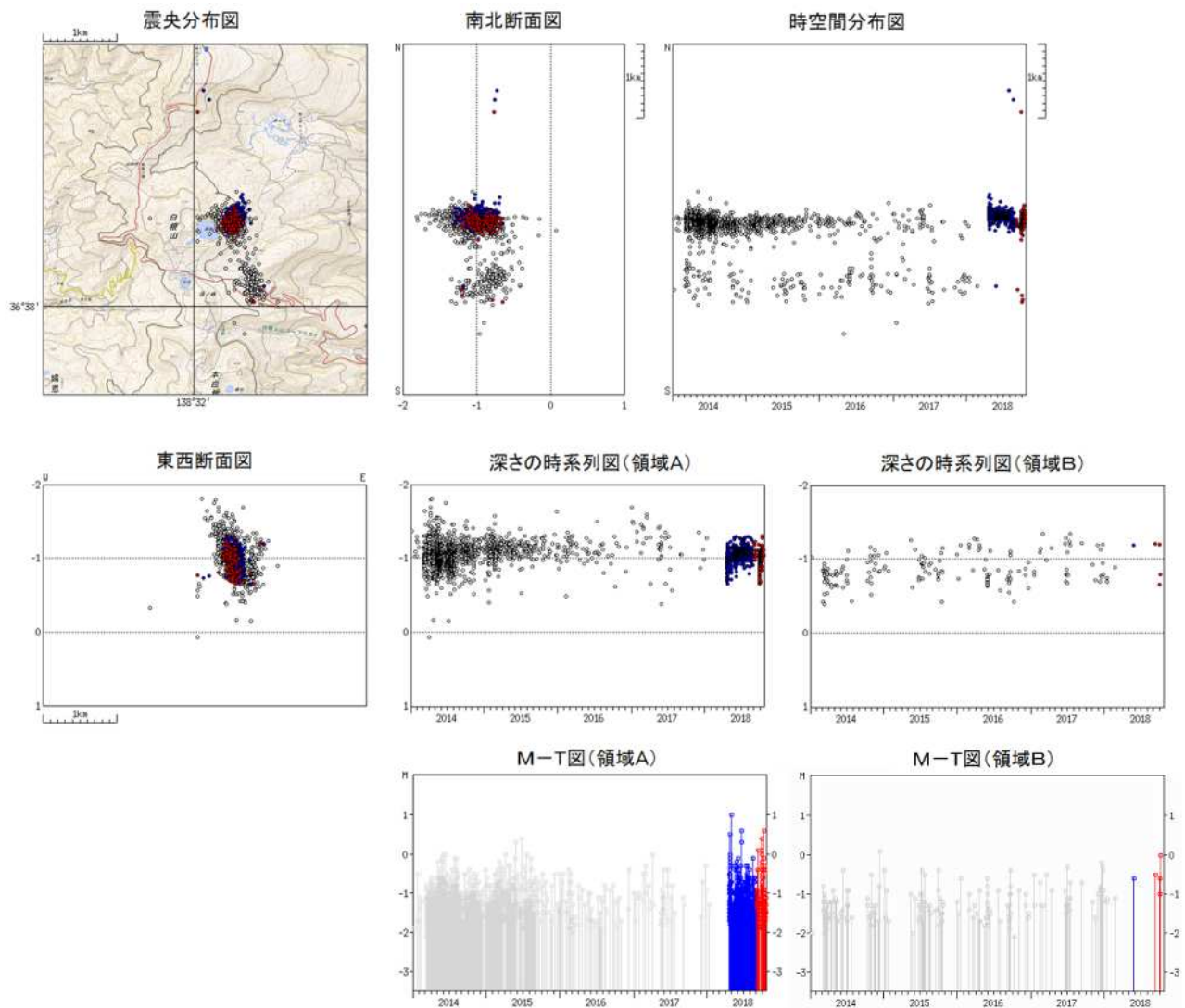


図 4-3 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 震源分布図（2014 年 1 月 1 日～2018 年 10 月 21 日）

●：2014 年 1 月 1 日～2018 年 3 月 31 日 ●：4 月 1 日～8 月 31 日 ●：9 月 1 日～10 月 21 日

図中のマグニチュードは渡辺（1971）の式を用いている。

- 2018 年の震源は、従来の震源のやや北東部に位置する。
- 2014 年の活動も同様に、2014 年 7 月頃までは海拔 1 km より深い地震もみられ、また震央もやや北寄りであったが、それ以降は海拔 1 km より浅い地震がメインでまた、震央もやや南よりになっている。

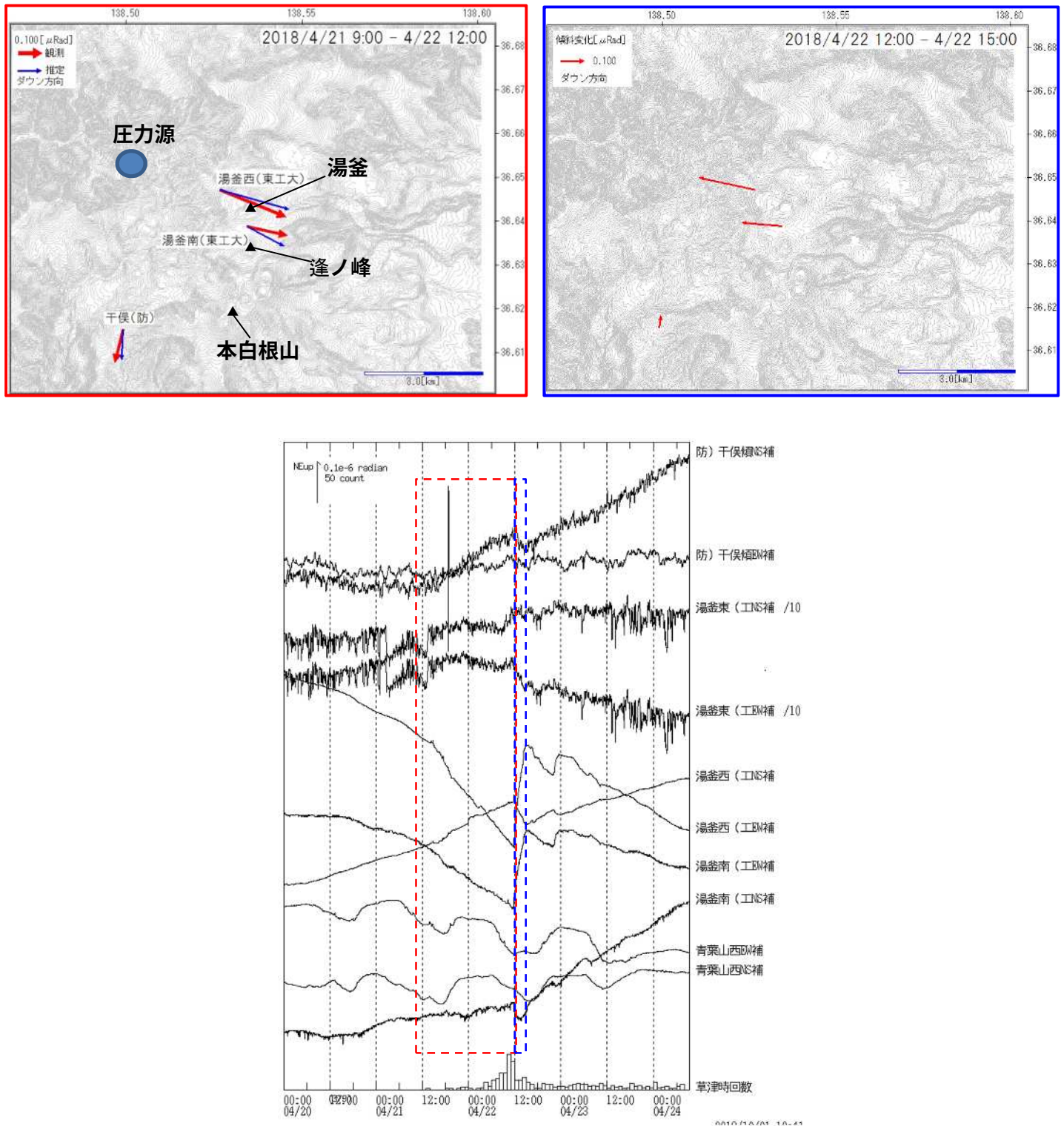


図 5 - 1 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 4 月 21 日から 22 日の傾斜変動とその変動ベクトル及び 9 月 28 日の変動（図 5 - 2）から推定した圧力源を仮定した場合の理論変動

- 地震活動の高まりとともに、湯釜の西側の膨張でも説明可能（深さ海面下約 1500m、体積変化量約 50000m³）な傾斜変動がみられだし、地震活動がピークの 4 月 22 日 12 時頃に反転している。

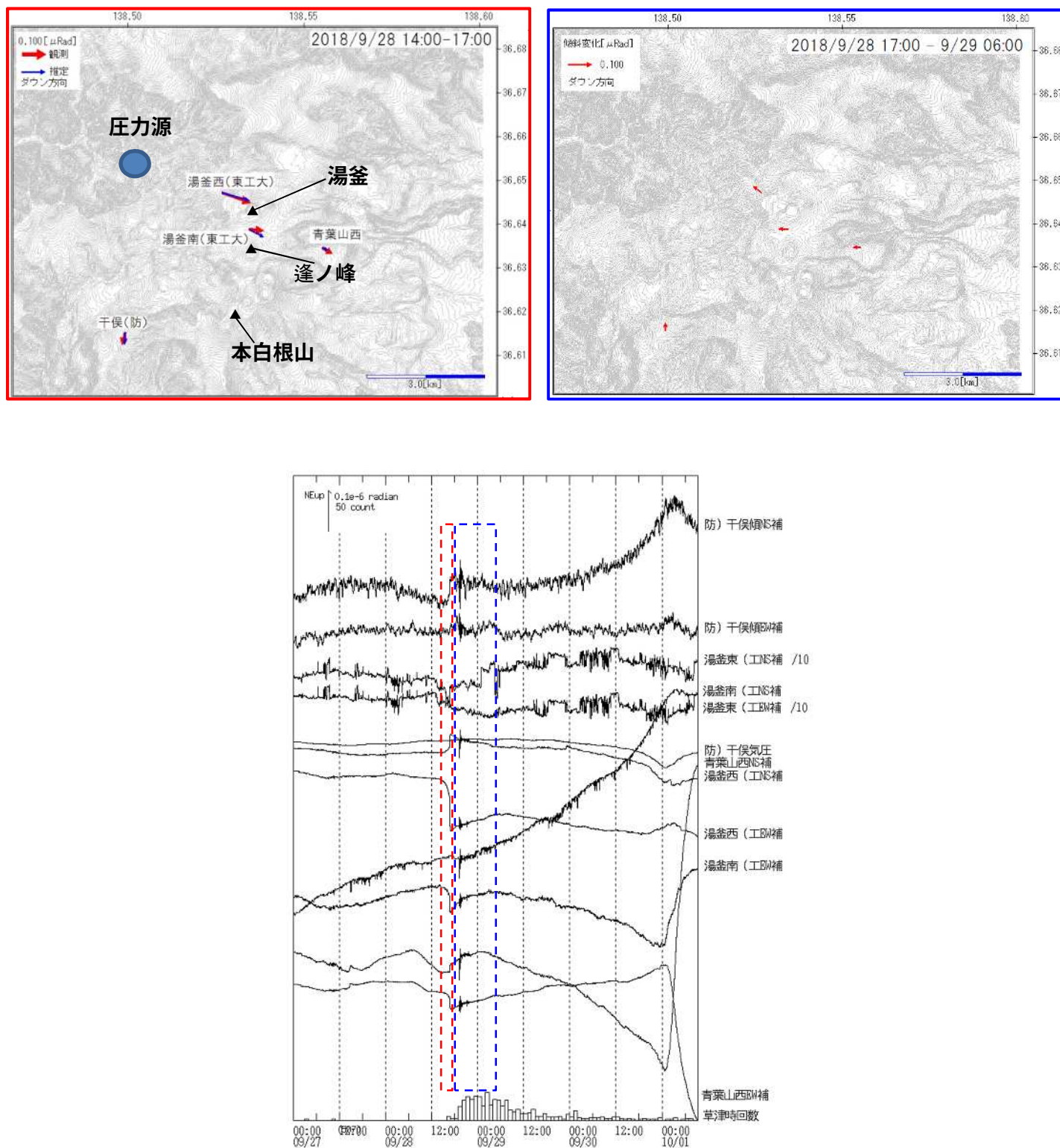
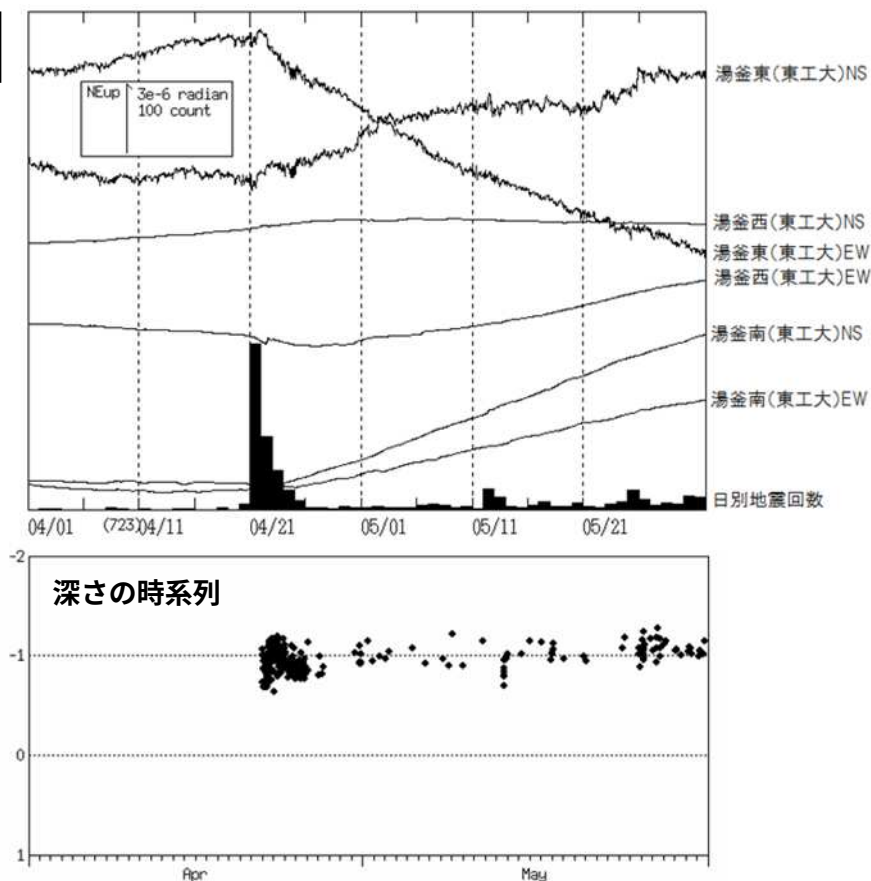


図 5-2 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 9 月 28 日から 29 日の傾斜変動とその変動ベクトル

- ・ 4 月と同様に 9 月 28 日の地震活動の再活発化にやや先行して 14 時頃から、湯釜の西側の膨張でも説明可能な傾斜変動がみられだし、地震活動がピークを迎える前の 28 日 17 時頃に反転している。
- ・ この変動は、観測点が偏っており精度は低い、茂木モデルを仮定すると、湯釜の西北西約 5 km の深さ海面下約 2000m、体積変化量約 20000m³でも説明できる。
- ・ 4 月と同様な圧力源で説明できるが、その変動量は 9 月のほうが小さい。また、膨張フェーズが 4 月は約 24 時間継続したが、9 月 3 時間程度であった。

2018 年 4 月～5 月



2018 年 9 月～11 月

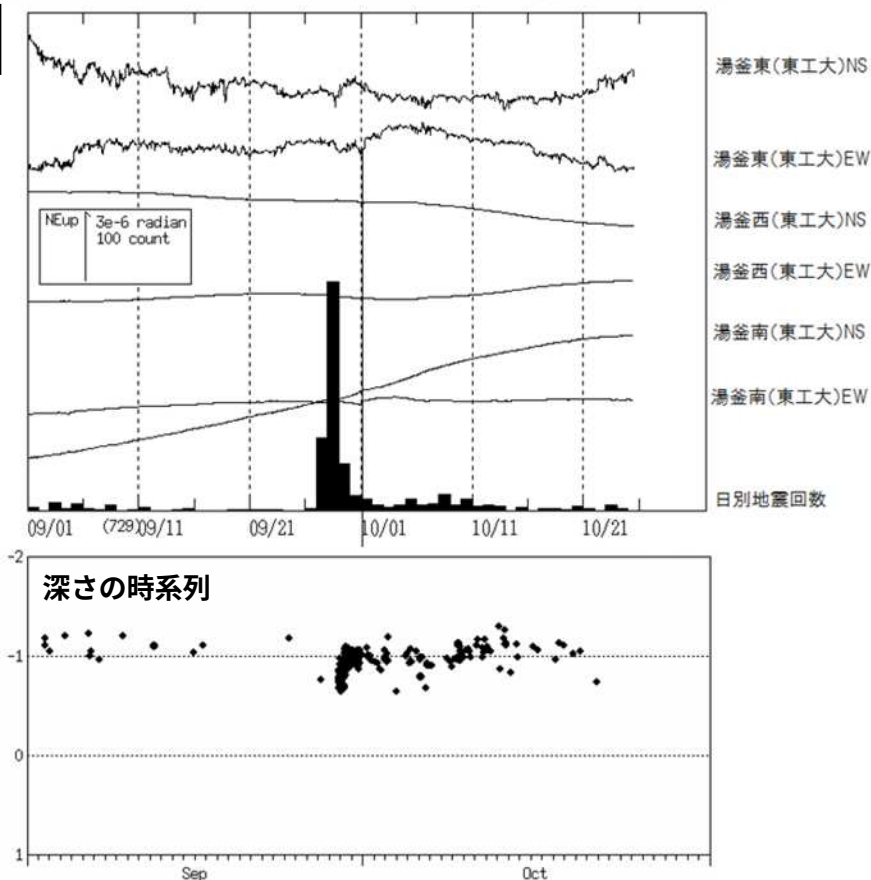


図 6 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 2018 年 4 月（上段）と 9 月（下段）の傾斜変動記録と日別地震回数、深さの時系列

- ・ 4 月、9 月ともに地震活動活発化時は、海拔 1 km より深い地震がみられる。地震回数が減少した後、海拔 1 km より浅い地震が見られるようになっている。
- ・ 4 月は、地震が急増した翌日頃から湯釜直下浅部の膨張を示す傾斜変動がみられだした。草津白根山、数日後にみられだしており、またその変動レートもやや小さくみえる。

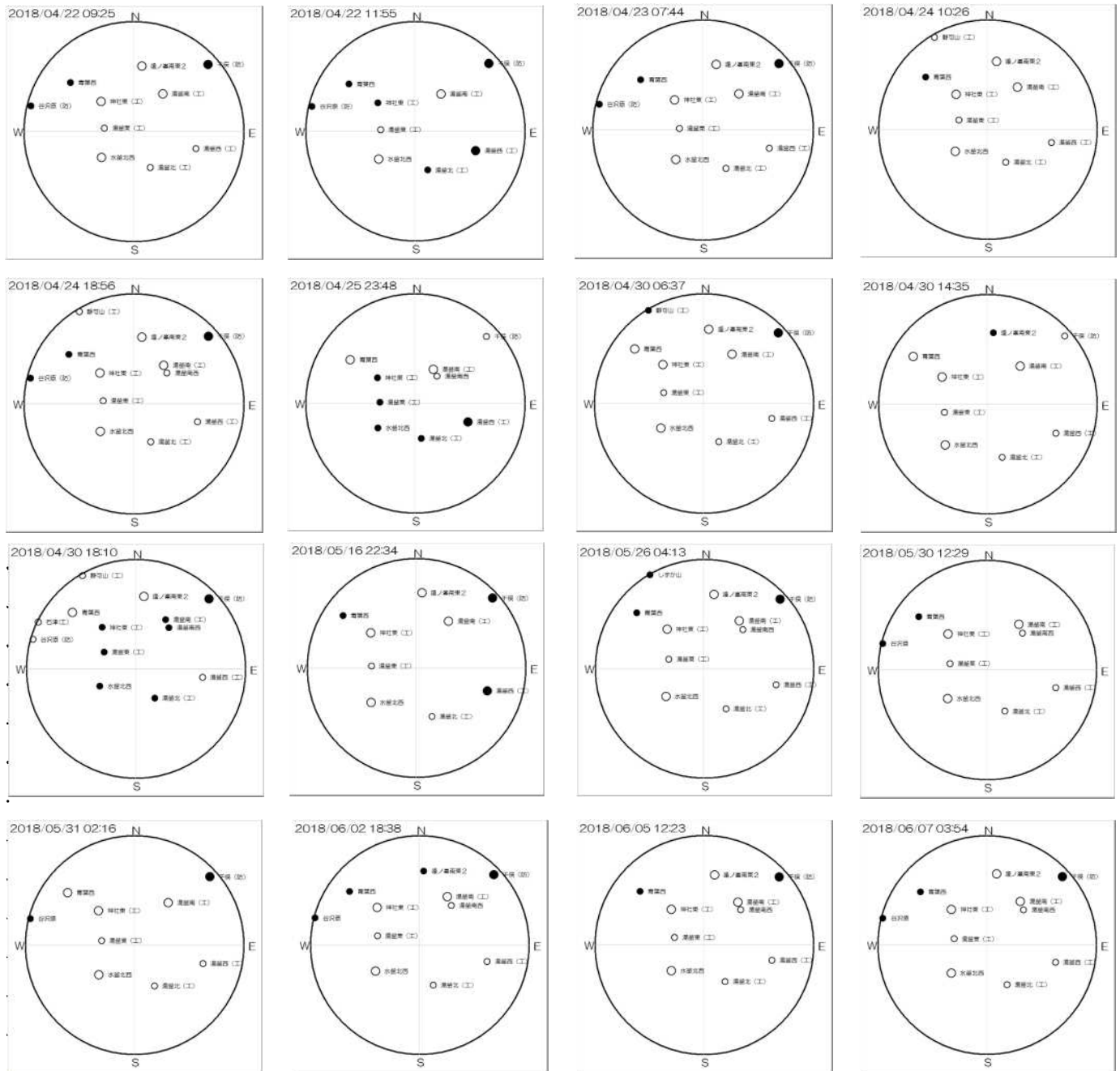


図 7-1 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 初動押し引き分布（下半球投影 2018 年 4 月～6 月）

・ 4 月から 6 月にかけての地震は、ほとんどは正断層でも説明できるタイプである。

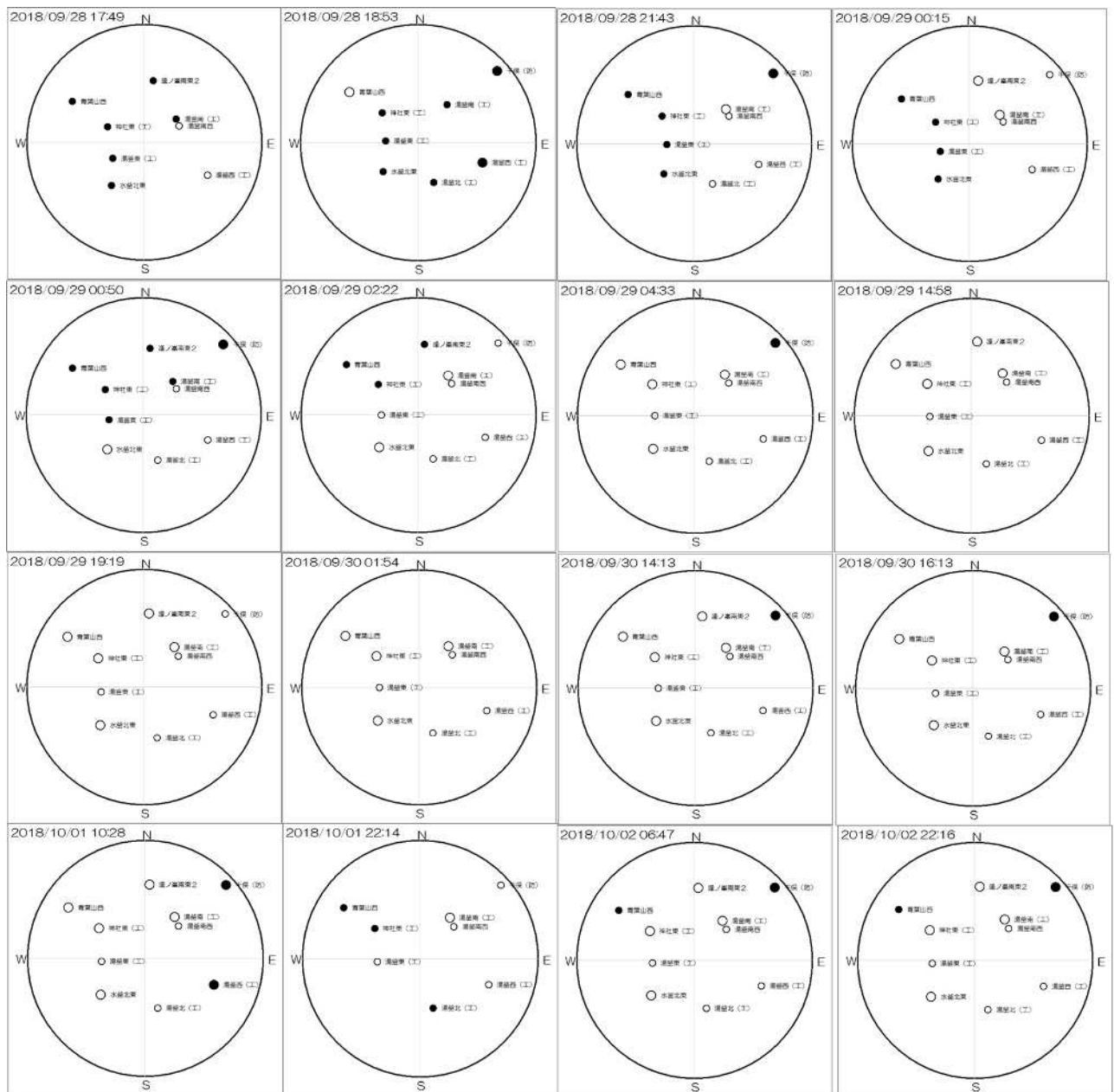


図 7-2 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 初動押し引き分布（下半球投影 2018 年 9 月 28 日～）

- ・ 9 月 28 日の再活発化当初は、初動が押しの地震が目立ったが、9 月 29 日に入ると、従来と同様の正断層でも説明できるタイプがほとんどになった。

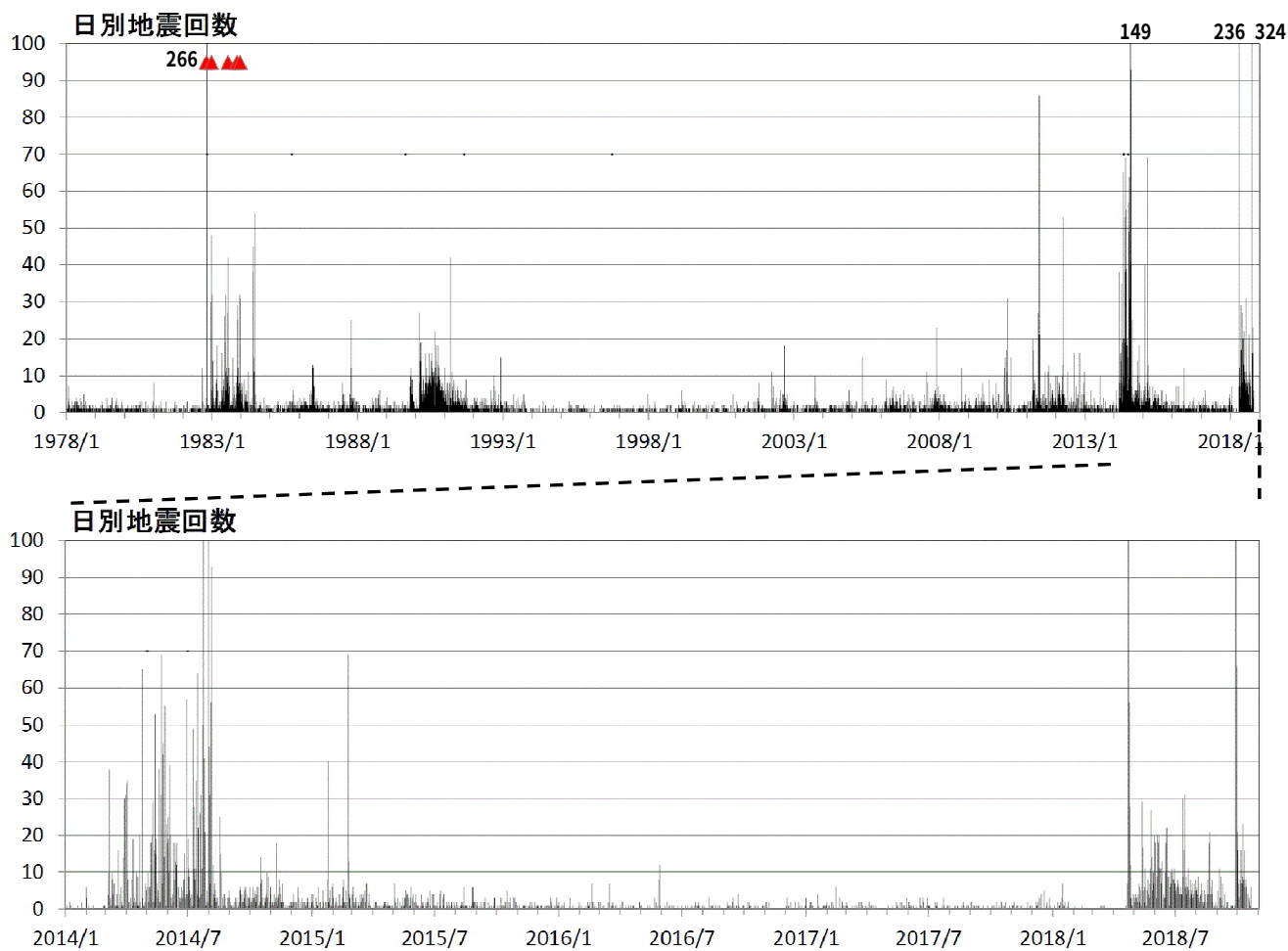
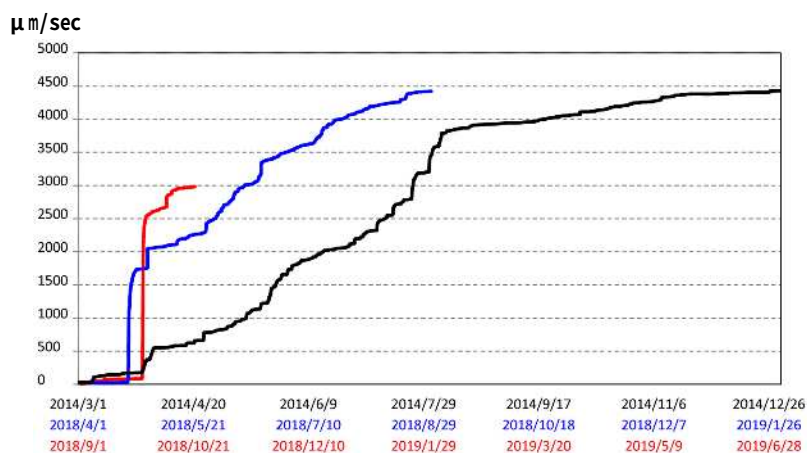


図 8 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 日別地震回数（1978 年 1 月 1 日～2018 年 10 月 21 日）

・草津白根山の地震活動は、1995 年頃から比較的静穏に経過していたが、熱活動の高まりがみられた 2008 年頃から高まり、2011 年以降は増減を頻繁に繰り返している。



—：2014 年 4 月 1 日～2014 年 12 月 31 日 —：2018 年 4 月 1 日～8 月 31 日 —：2018 年 9 月 1 日～10 月 21 日

図 9 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 2018 年の地震活動と 2014 年の地震活動（水釜北東 UD の最大振幅の積算）の比較

・2014 年の地震活動に比べて、2018 年の地震活動は当初から急激に地震活動が活発化している。

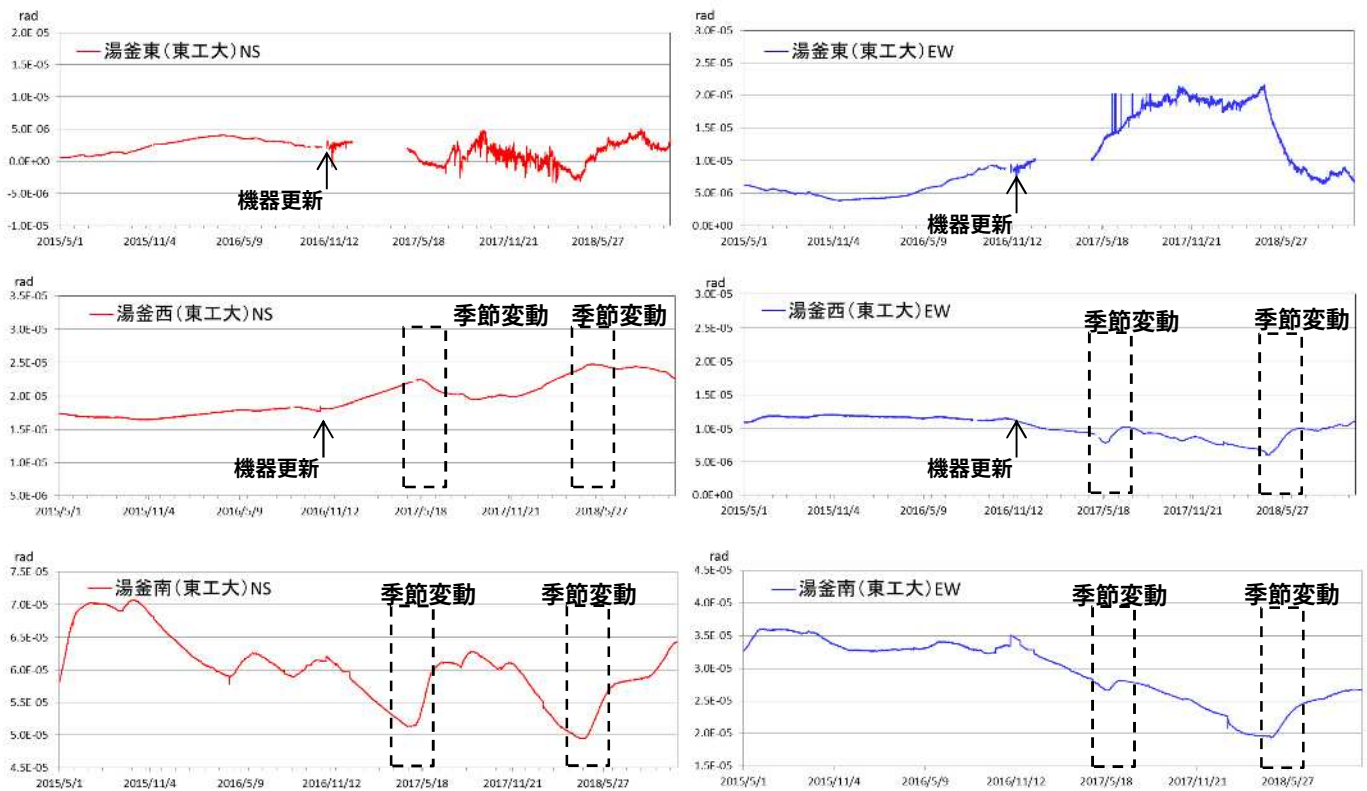


図 10 草津白根山（白根山（湯釜付近））過去3年の傾斜記録（2015年5月1日～2018年10月21日）

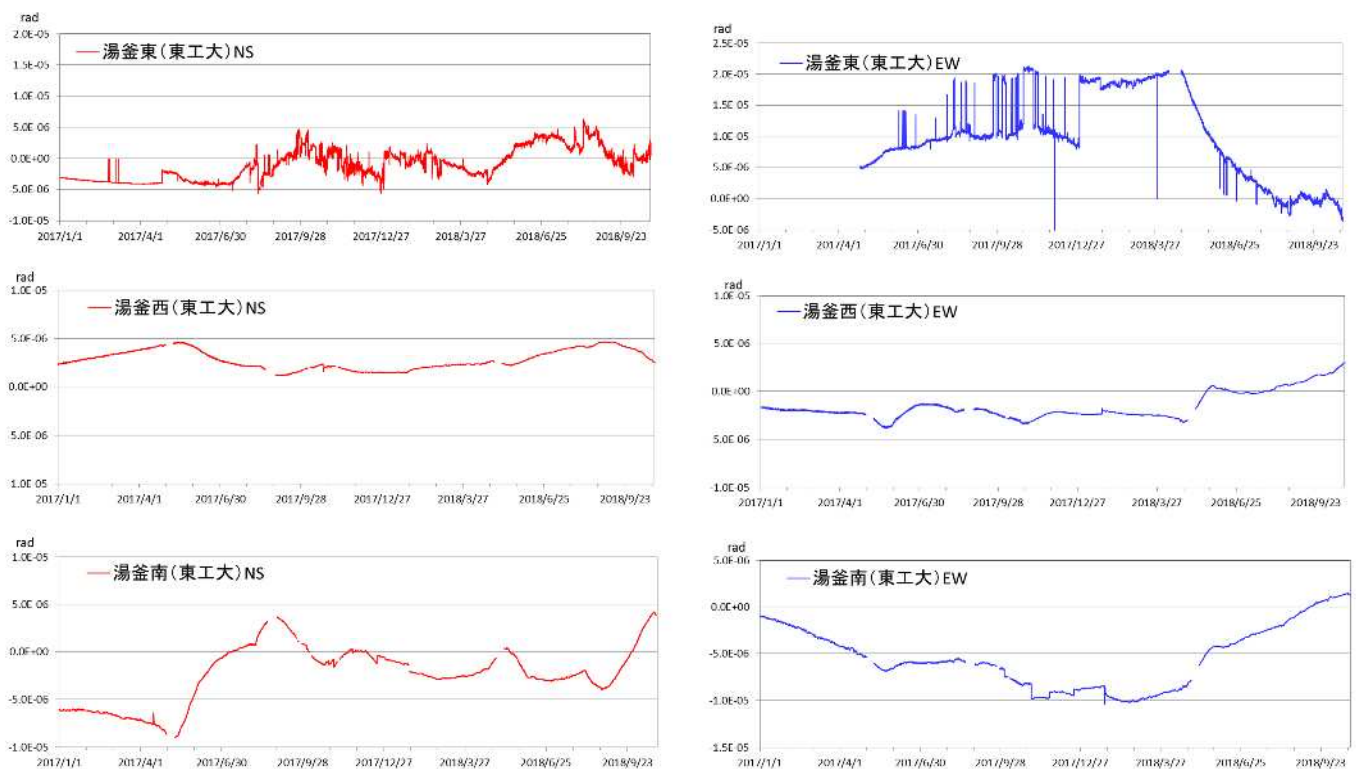


図 11 草津白根山（白根山（湯釜付近））季節変動を補正した傾斜記録（2017年1月1日～2018年10月26日10時）

・2018年4月の地震増加以前は火山活動による変化がなく、また毎年同様の季節変動があると仮定し、前1年前の値と差分をとることにより、季節変動を補正した。

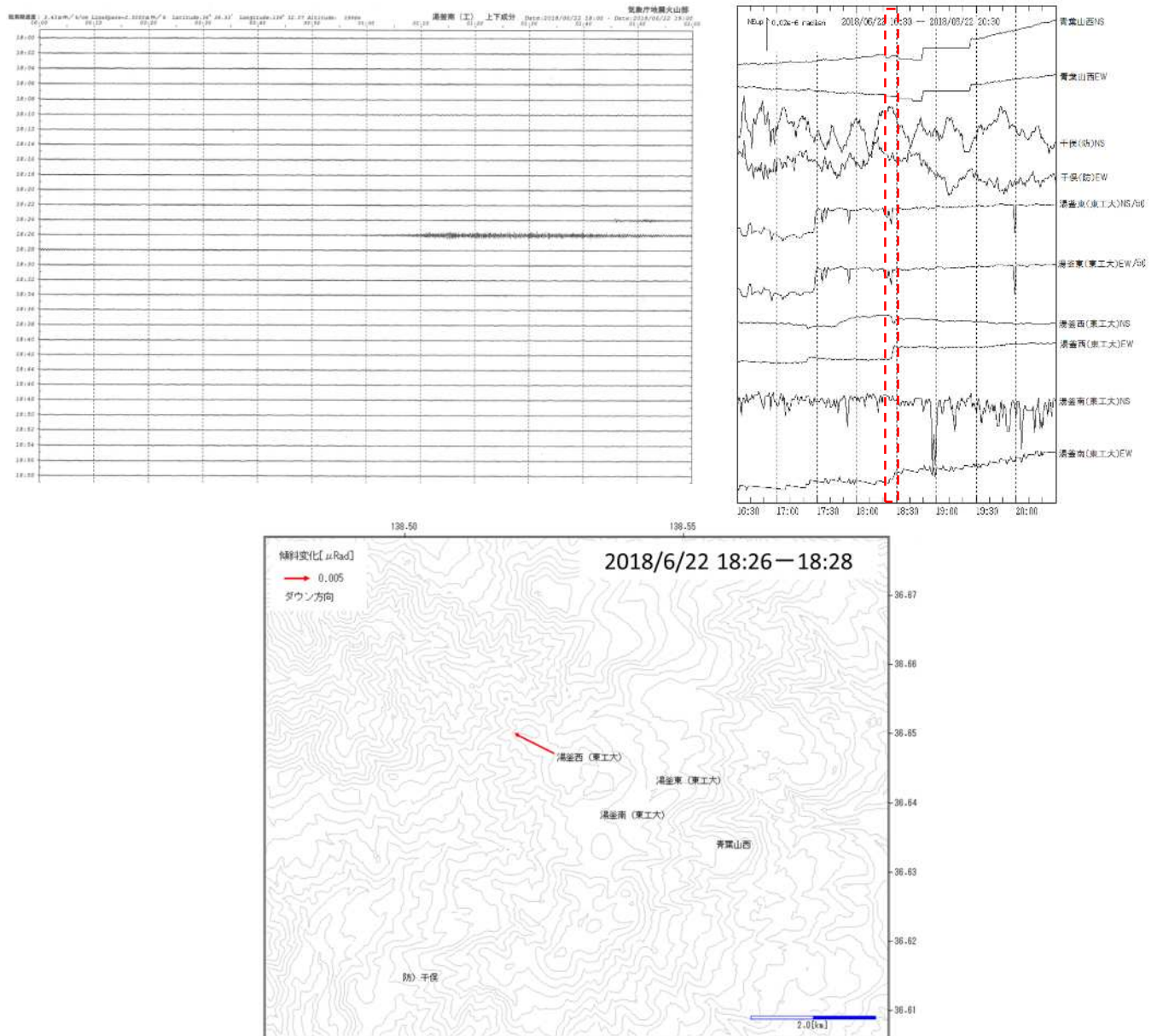


図 12-1 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 6 月 22 日の火山性微動と傾斜変動（赤枠部分）と変動ベクトル

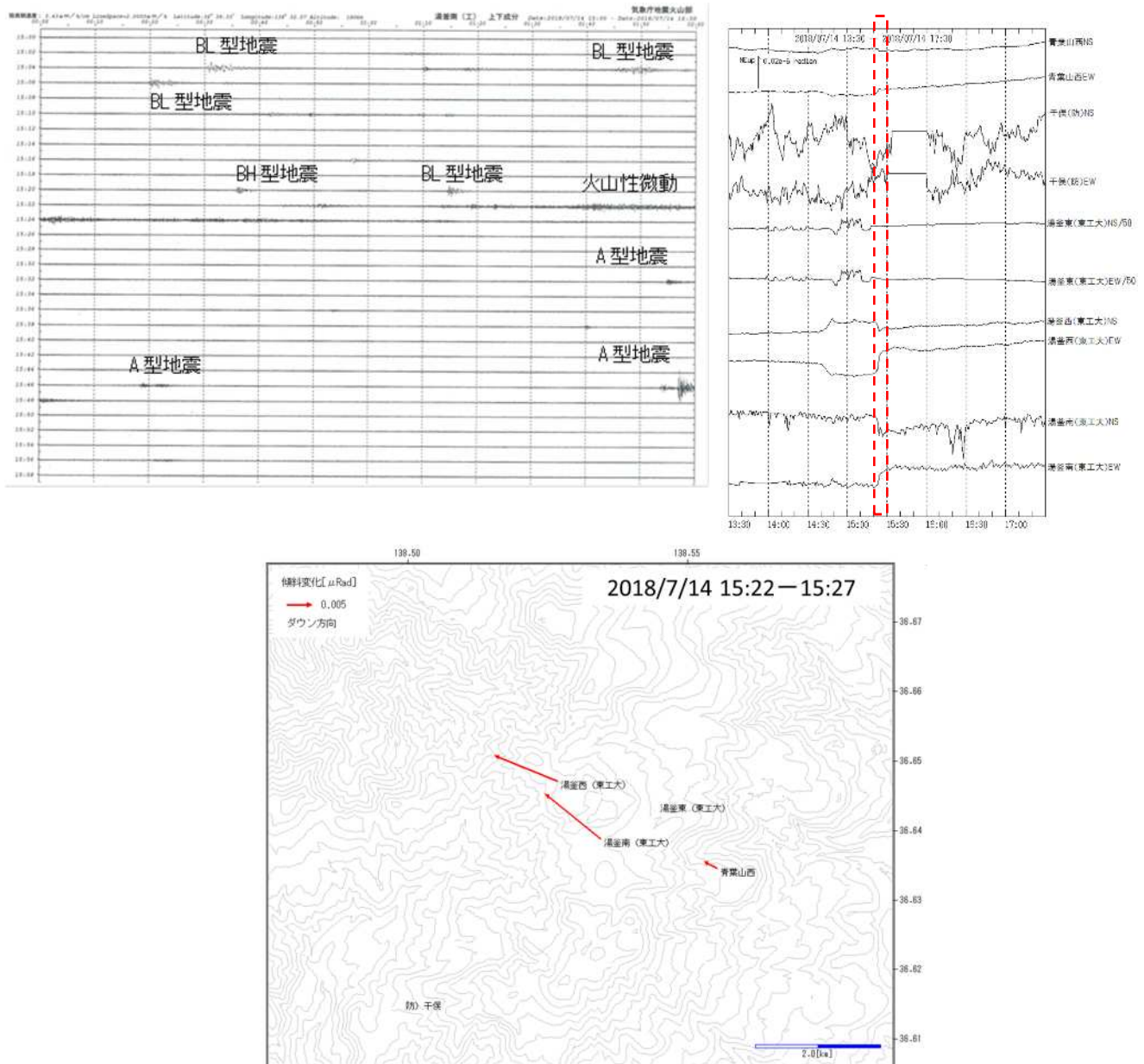
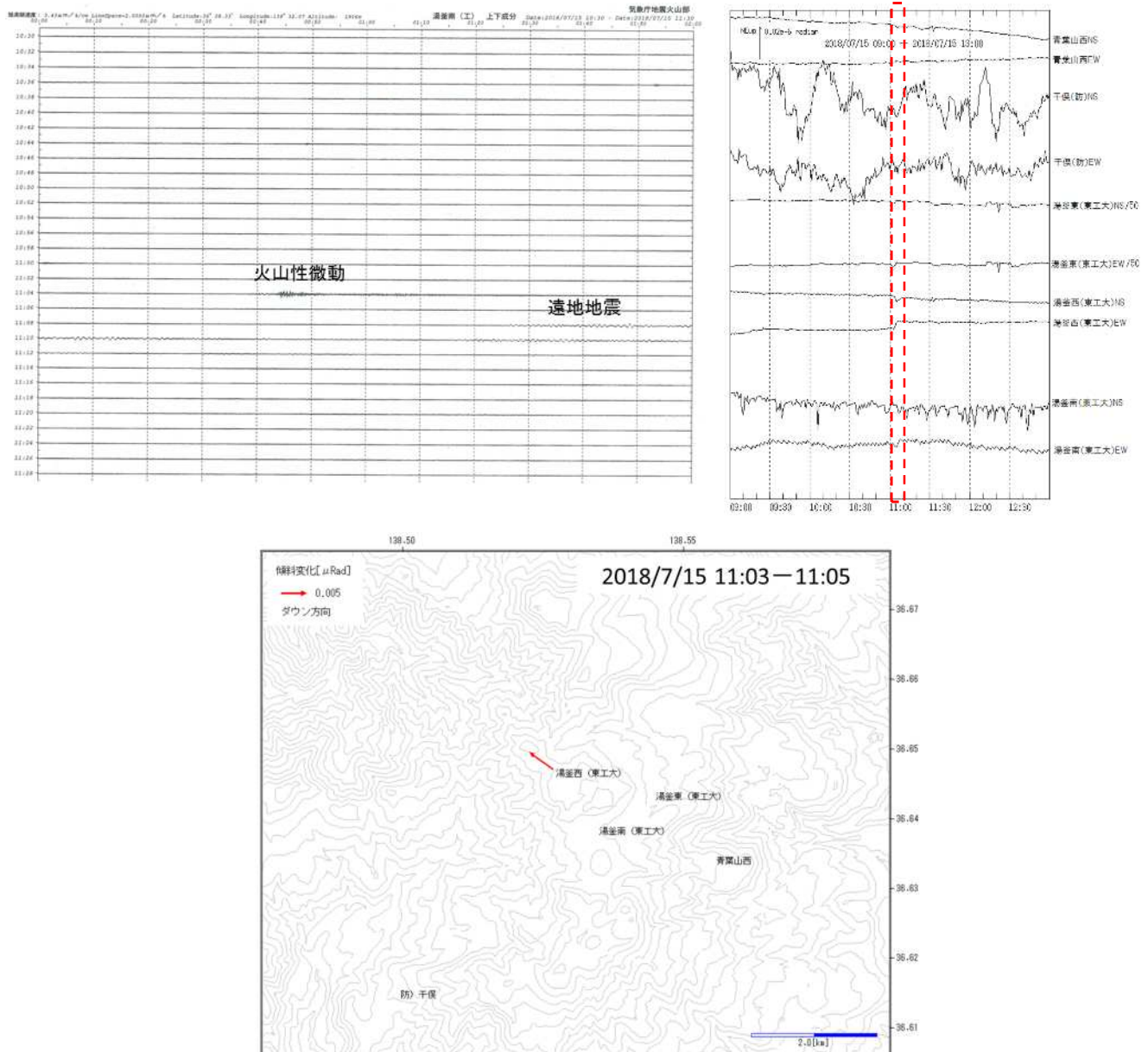


図 12-2 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 7 月 14 日の火山性微動と傾斜変動（赤枠部分）と変動ベクトル



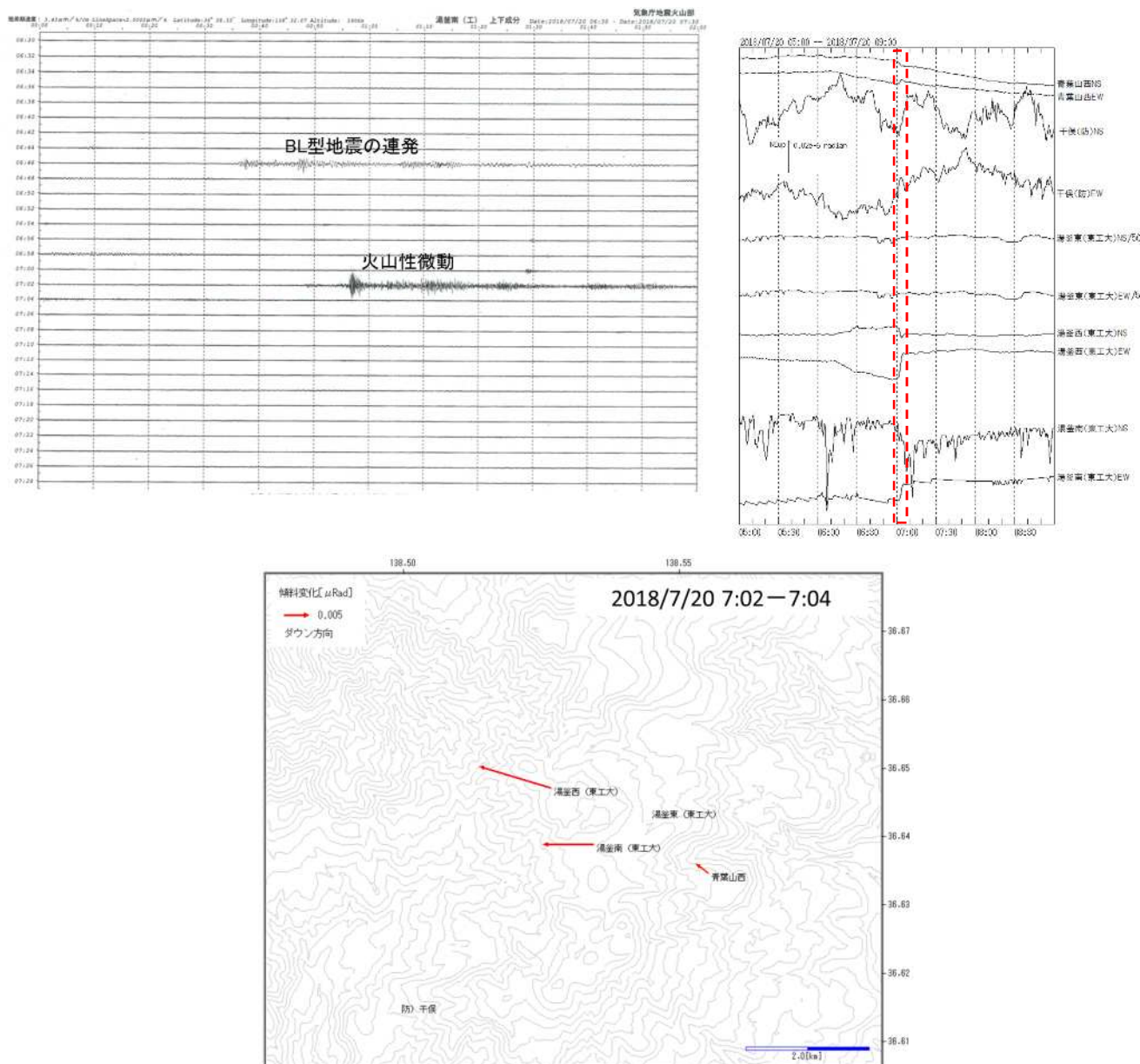
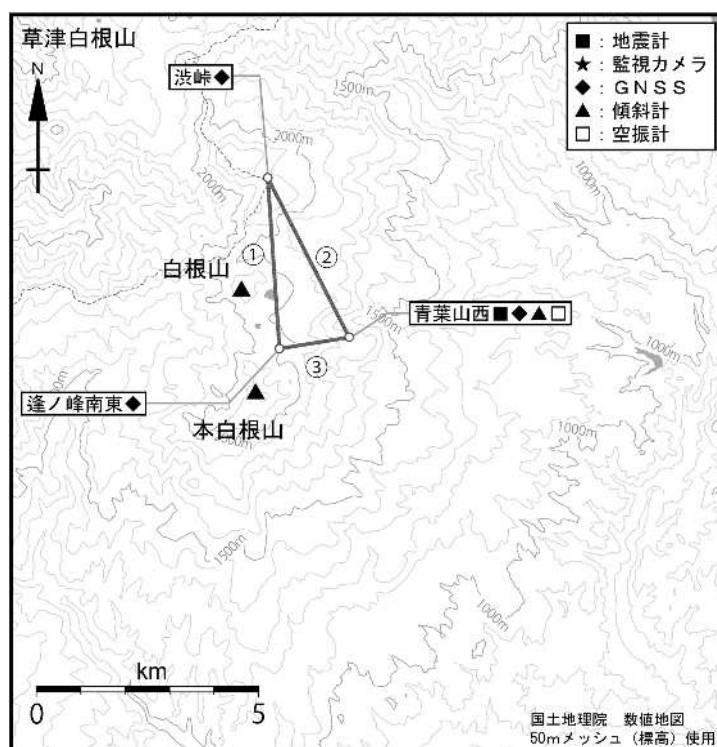
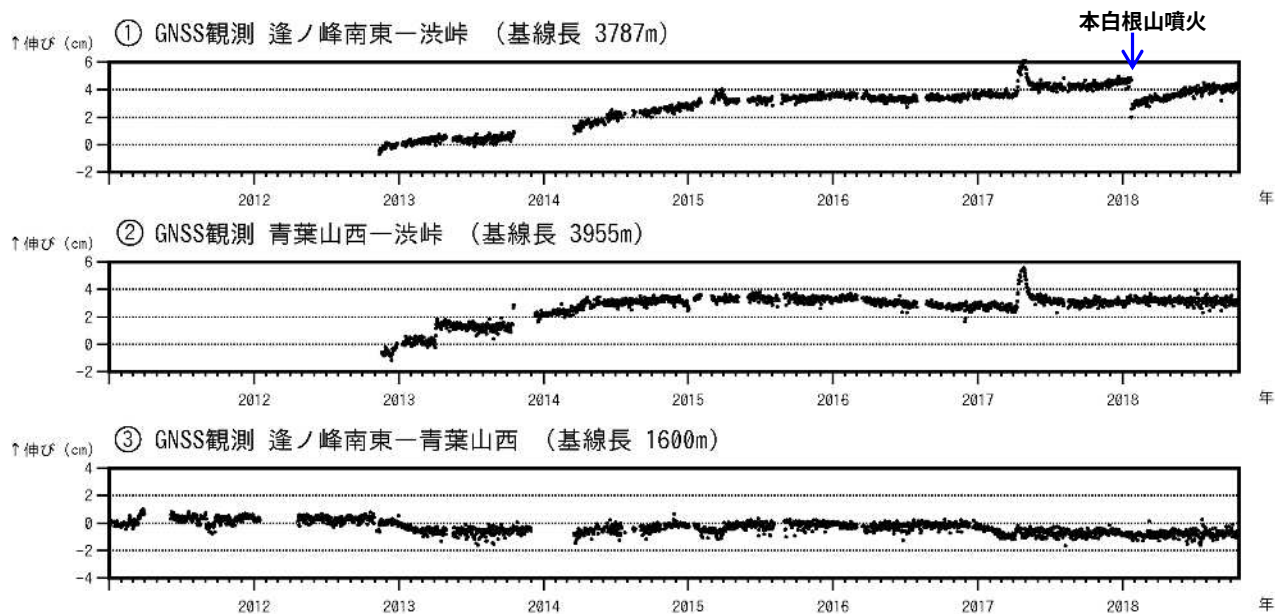


図 12-4 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 7 月 20 日の火山性微動と傾斜変動（赤枠部分）と変動ベクトル

- 6 月から 7 月にかけて、継続時間は短く、振幅も小さいながらも火山性微動が 4 回観測された。これらの火山性微動は、ごくわずかながらも傾斜変動も伴った。
- この傾斜変動源については、変動量が小さく、また一部の観測点のみでしか観測されていないので、圧力源の推定は難しいが、比較的変動量の大きい 7 月 20 日（図 12-4）をみると、図 5 の地震活動に伴った傾斜変動（図 5 の青破線期間）と類似している。



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、(関地): 関東地方整備局

図 13 草津白根山 GNSS 連続観測による基線長変化 (2011 年 1 月 1 日～2018 年 10 月 21 日)

・湯釜付近の GNSS 基線長には 2018 年の火山活動活発化に伴うような顕著な変動は認められない。

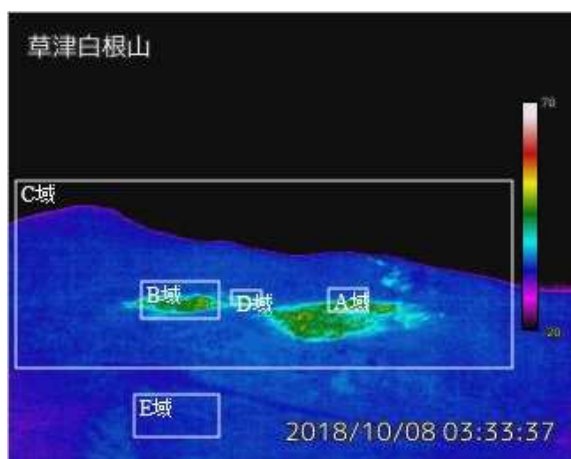
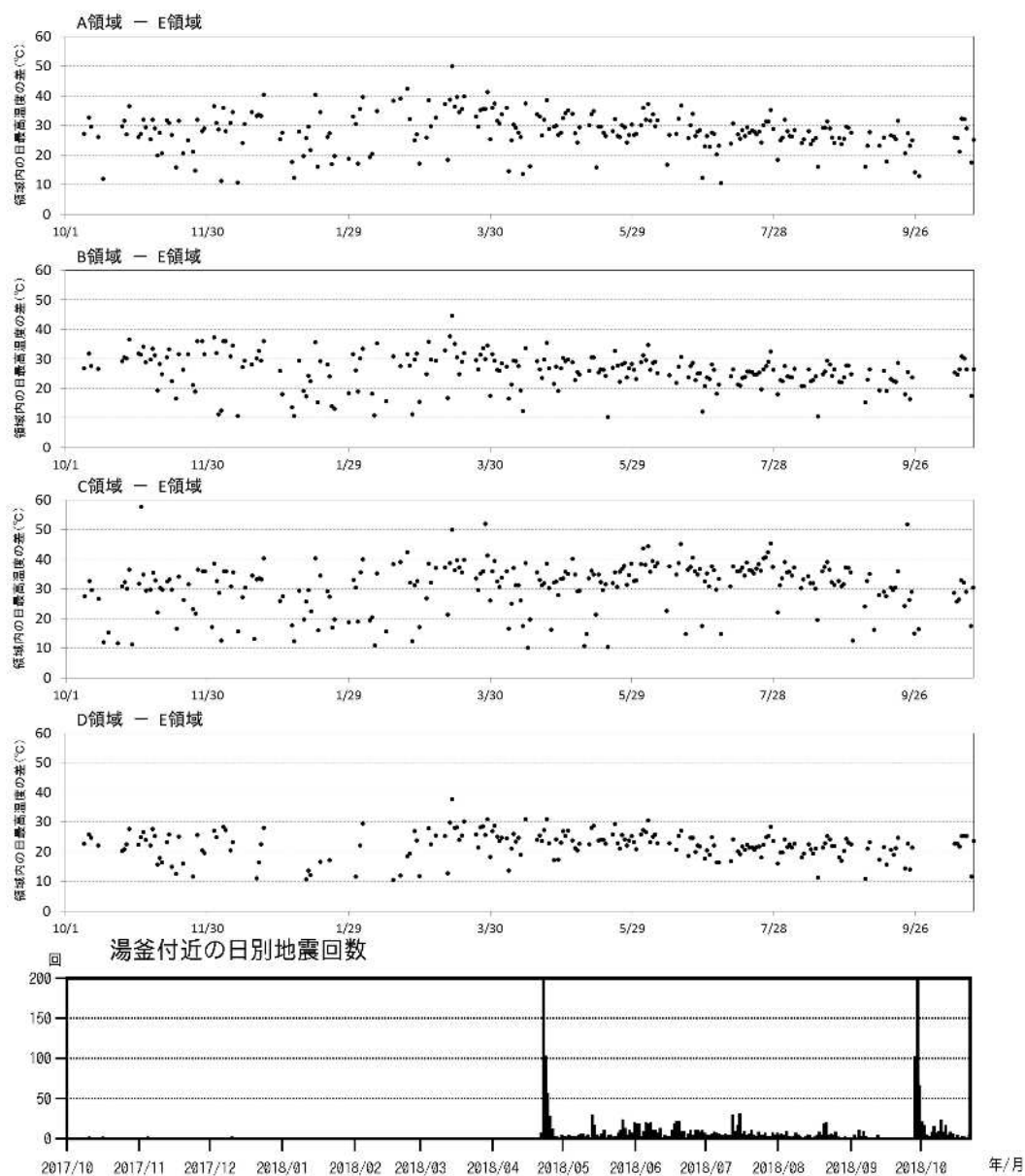


図 14 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 赤外熱映像カメラによる水釜北東噴気地帯のそれぞれの領域（A～D 領域）の日最高温度と地熱兆候がない領域（E 領域）の日最高温度の差（2017 年 10 月 1 日～2018 年 10 月 21 日）

・ 2018 年の地震増加前後で、水釜北東噴気地帯の噴気温度に顕著な変化は認められない。

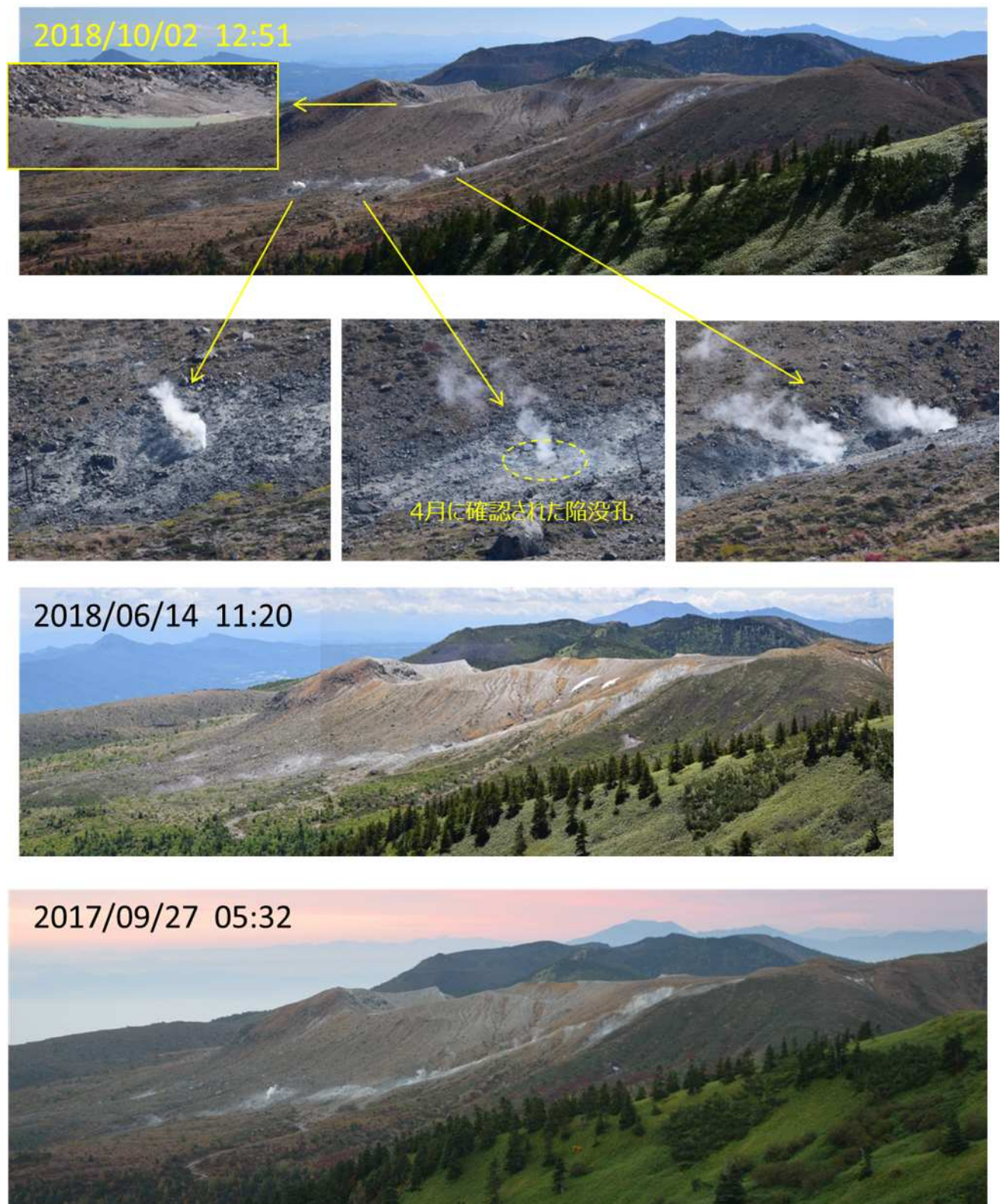


図 15 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 湯釜北側噴気地帯の状況

- ・湯釜北側噴気地帯の噴気の場所や勢いに特段の変化は認められない。

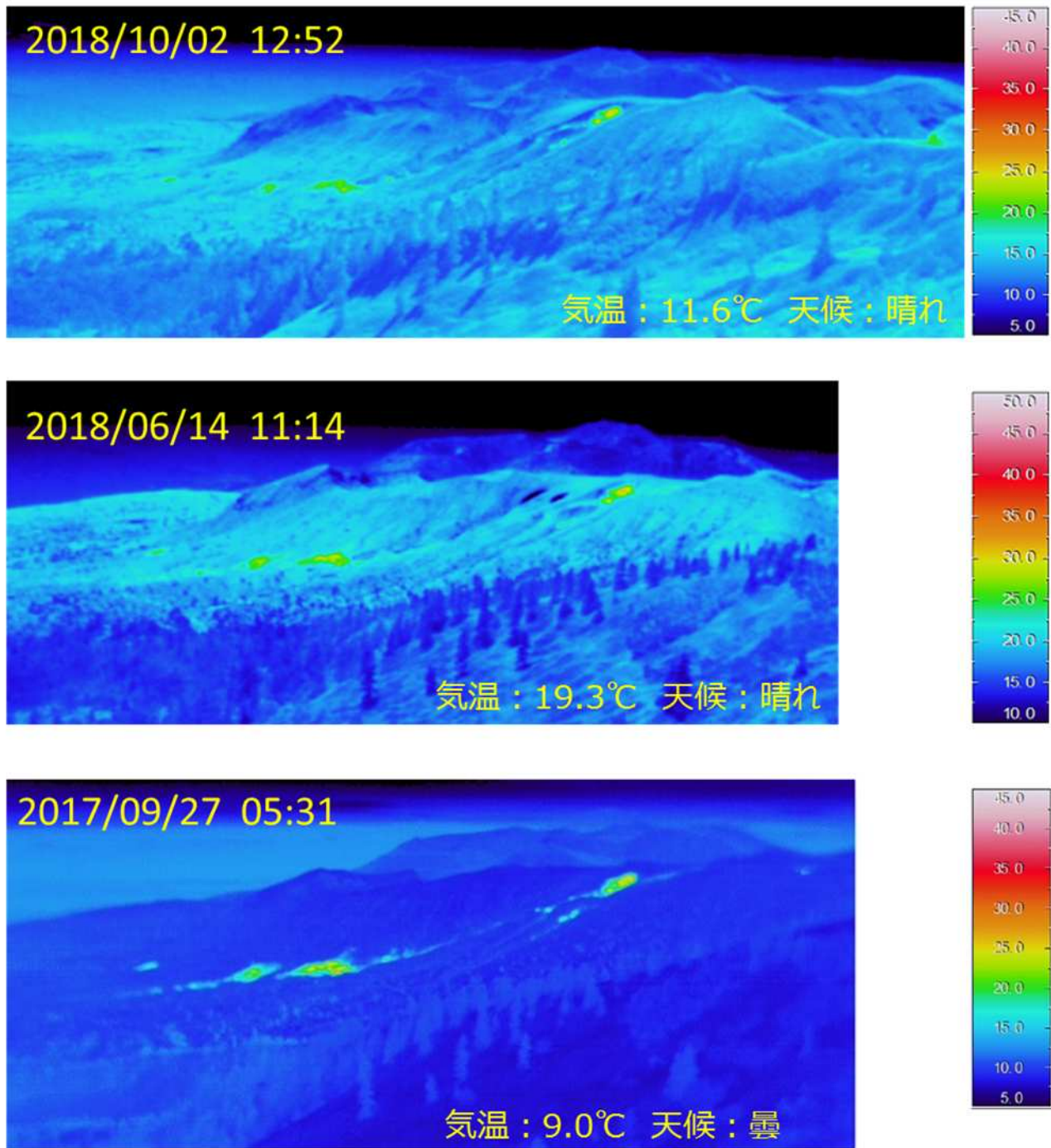


図 16 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 湯釜北側噴気地帯の状況

- ・北側噴気地帯の地熱域の分布に特段の変化は認められない。

本白根山

1 月 23 日の噴火以降、噴火は発生していない。

本白根山火口付近ごく浅部の地震活動は、6 月から 8 月にかけて発生頻度が高まるなど、活動は継続している。また、逢ノ峰付近の地震も時々が発生するなど、火山活動が再び活発化する可能性は否定できない。当面は火山活動の推移に注意する必要がある。

○概況（2018 年 6 月～2018 年 10 月 21 日）

・地震活動

噴火直後に多発した本白根山火口付近ごく浅部を震源とする微小な火山性地震（BH 型地震）は 5 月頃まで徐々に減少していたが、6 月から 8 月にかけて発生頻度が高まるなど、地震活動は継続している。

逢ノ峰付近を震源とする地震は、3 月後半から 5 月前半にかけて観測されていなかったが、5 月下旬と 8 月以降に時々発生している。

・噴気等の表面現象の状況

噴火後、鏡池北火口北側の火口列付近で、ごく弱い噴気がときどき観測されたが、2 月 22 日を最後に観測されていない。

・地殻変動

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深部の膨張の可能性を示唆する変化がみられているが、本白根山をはさむ基線に特段の変化は認められない。

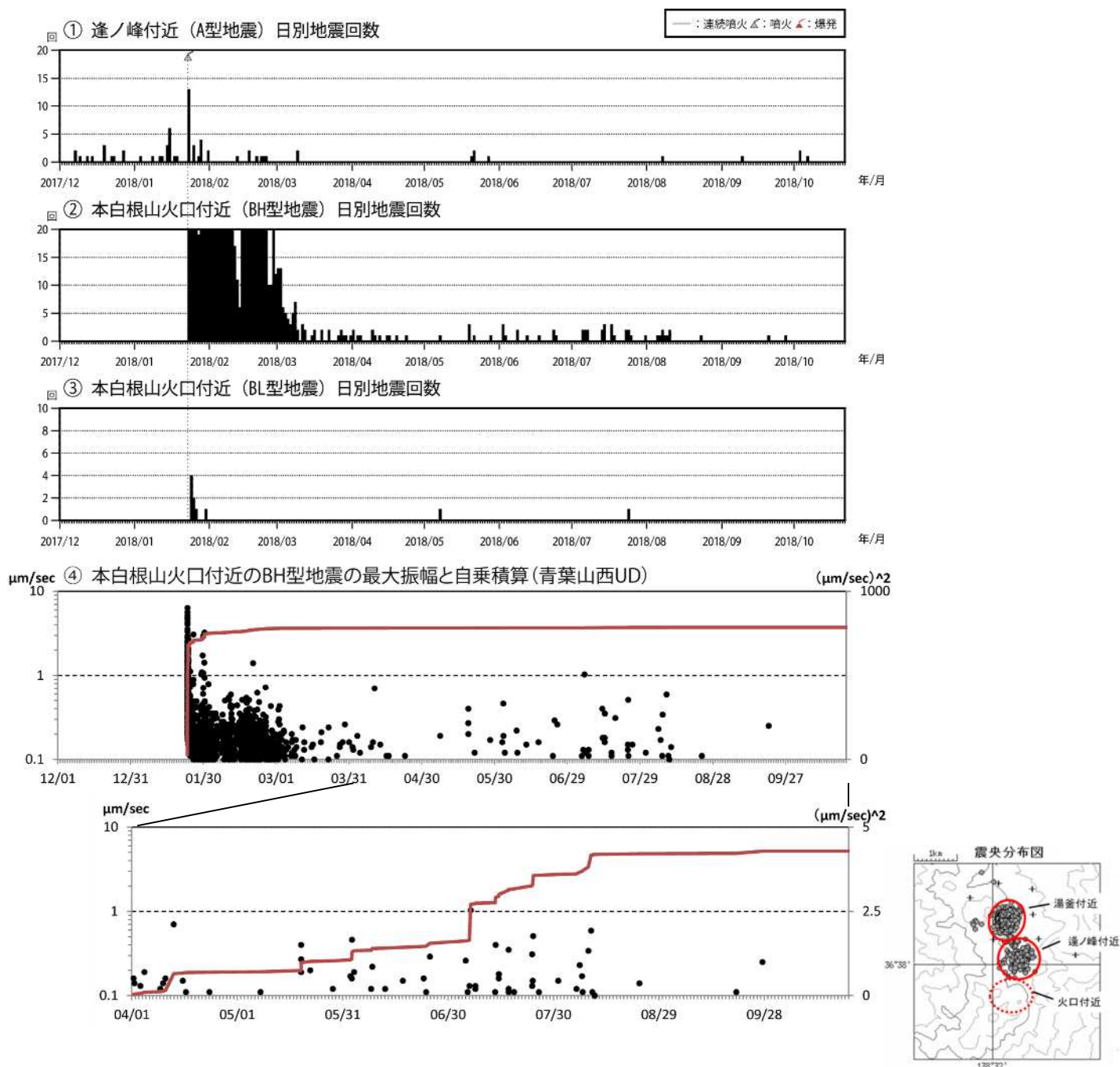


図 17 草津白根山 (本白根山) 火山性地震の活動経過 (2018 年 1 月 1 日～10 月 21 日)

- ・噴火直後に活発化した本白根山火口付近ごく浅部の地震活動は、3月頃には減少したが、6月から8月にかけて、その発生頻度が高まるなど、活動は続いている。
- ・逢ノ峰付近を震源とする地震は、3月後半から5月前半にかけて観測されていなかったが、5月下旬と8月以降に時々発生している。

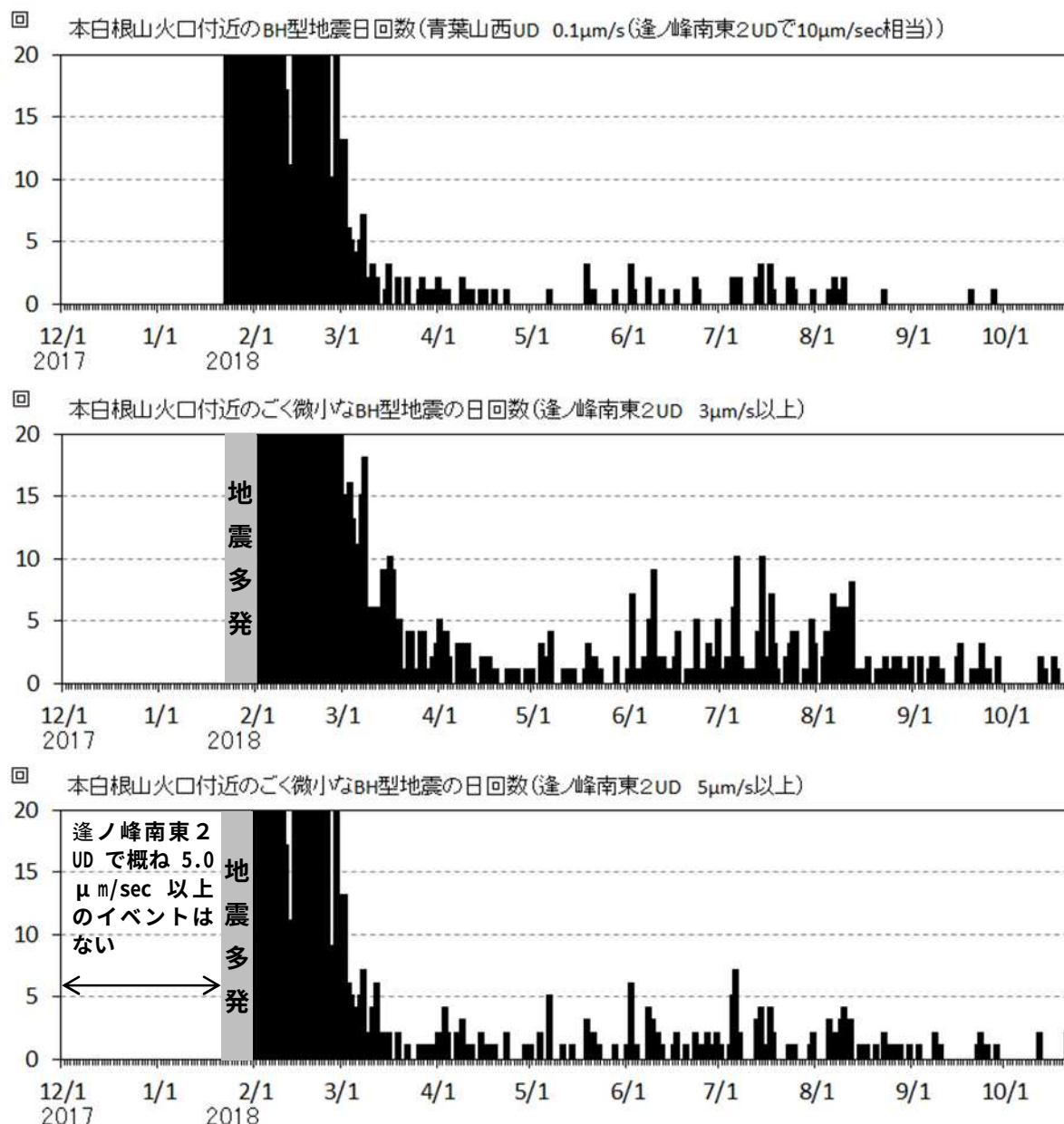


図 18 草津白根山(本白根山) 本白根山火口付近の地震活動(2017 年 12 月 1 日~2018 年 10 月 21 日)
(上段: 青葉山西 UD で 0.1 μ m/sec (逢ノ峰南東 2 UD で 10 μ m/sec 相当) 以上、中段: 逢ノ峰南東 2 UD
で 3 μ m/sec 以上、下段: 逢ノ峰南東 2 UD で 5 μ m/sec 以上)

- ・ 噴火直後に活発化した本白根山火口付近ごく浅部の地震は、3 月頃には減少したが、6 月から 8 月にかけてその発生頻度が高まり、9 月もごく微小な地震が発生しており、活動は続いている。
- ・ ごく微小な火山性地震(逢ノ峰南東 2 観測点 UD で 3 μ m/s 以上)は、引き続き発生している。
- ・ 逢ノ峰南東 2 観測点設置前の本白根山付近の微小地震の発生状況を湯釜南(東工大)観測点などのデータから推定した。湯釜南(東工大)の検知力は概ね 0.1 μ m/sec であり、この値は逢ノ峰南東 2 観測点に換算すると約 5 μ m/sec となる。1 月 23 日噴火発生前の期間は、湯釜南(東工大)観測点で本白根山火口付近を震源と推定される地震は検知されなかった。つまり、逢ノ峰南東 2 観測点で少なくとも 5 μ m/sec 以上となる規模の地震は発生していない可能性が高い。

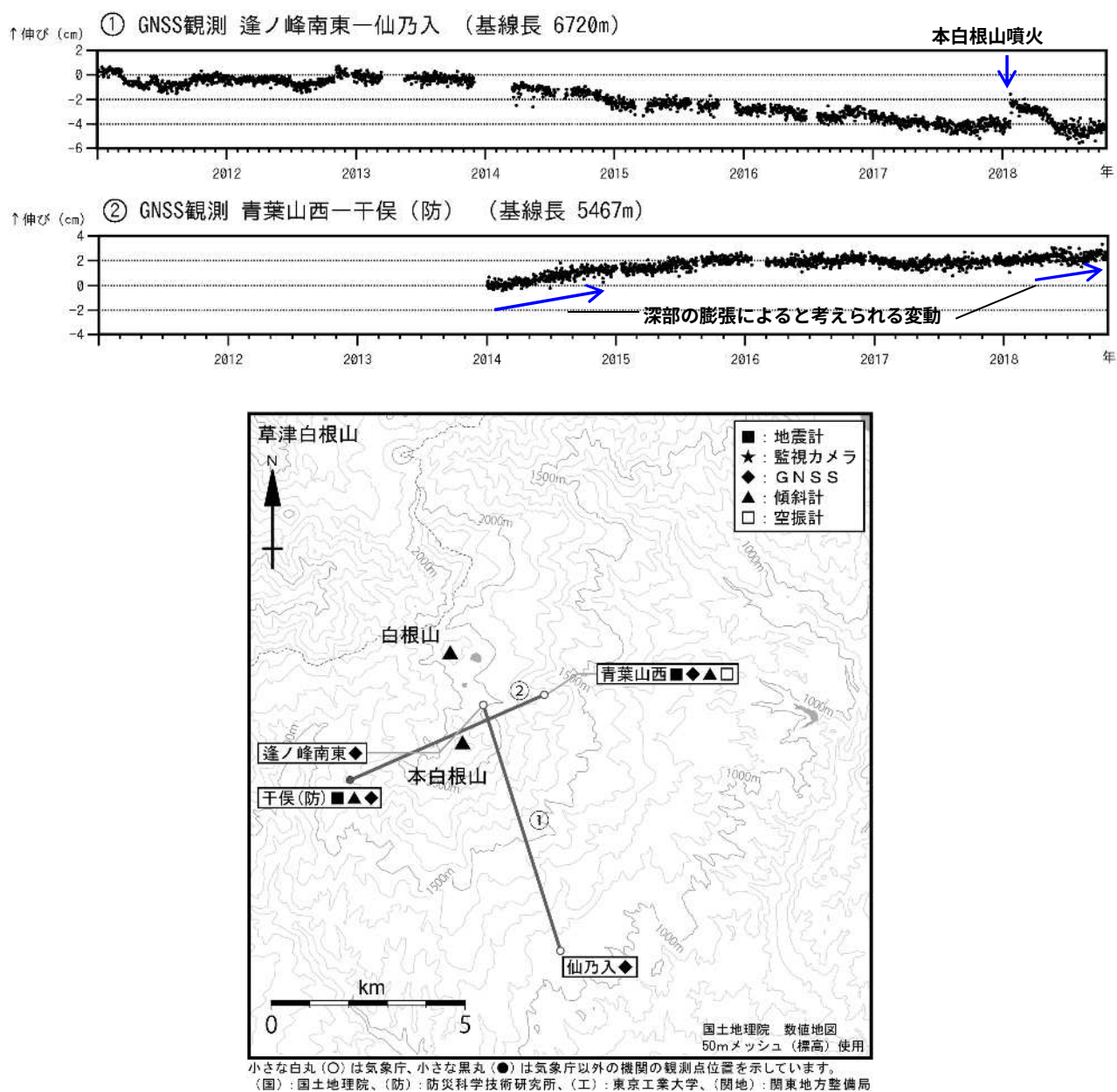


図 19 草津白根山 GNSS 連続観測による基線長変化 (2011 年 1 月 1 日～2018 年 10 月 21 日)

- 本白根山を挟む基線では、本白根山の膨張または収縮を示唆する変動は認められない。
- 逢ノ峰南東-仙乃入の基線では、逢ノ峰南東観測点の長期的な南向きの動きが認められている。
- 青葉山西-干俣(防)の基線では、2014 年と 2018 年に深部の膨張によると考えられる変動がみられる。

草津白根山

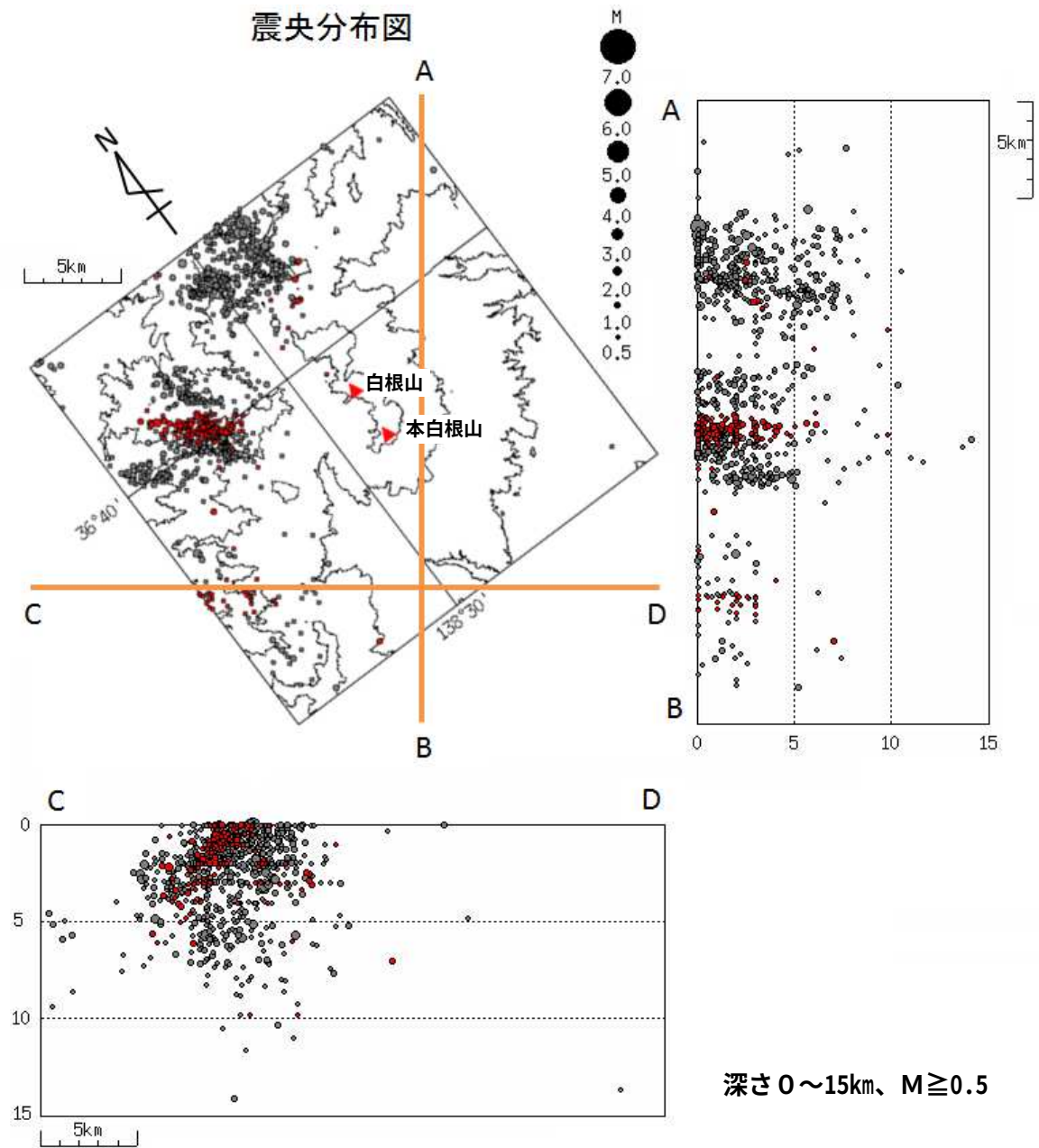


図 20 草津白根山 一元化震源による周辺の地震活動 (2008 年 1 月 1 日~2018 年 10 月 21 日)

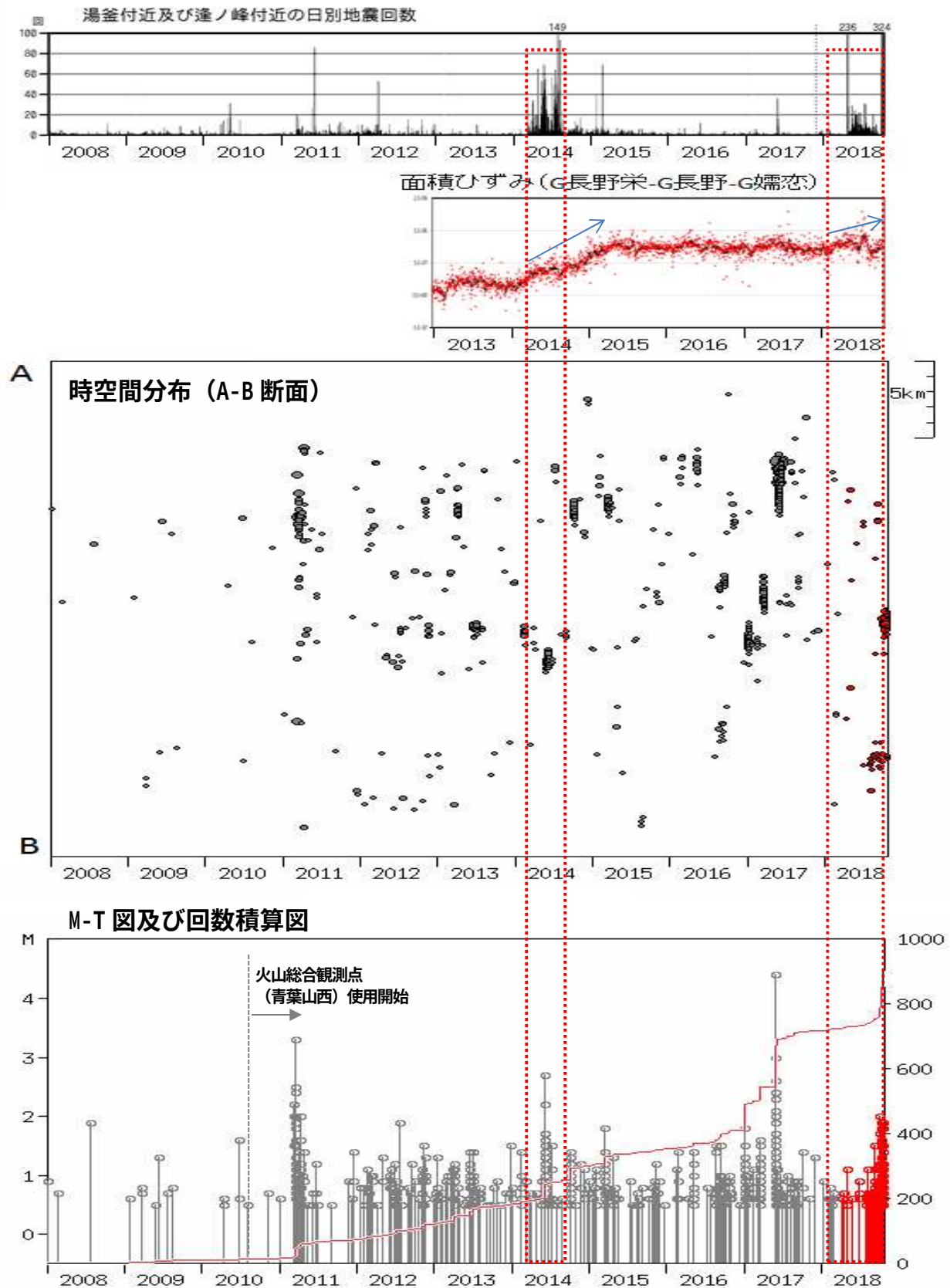


図 21 草津白根山 一元化震源による周辺の地震活動 (2008 年 1 月 1 日~2018 年 10 月 21 日)

- ・ 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ている。
- ・ 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。

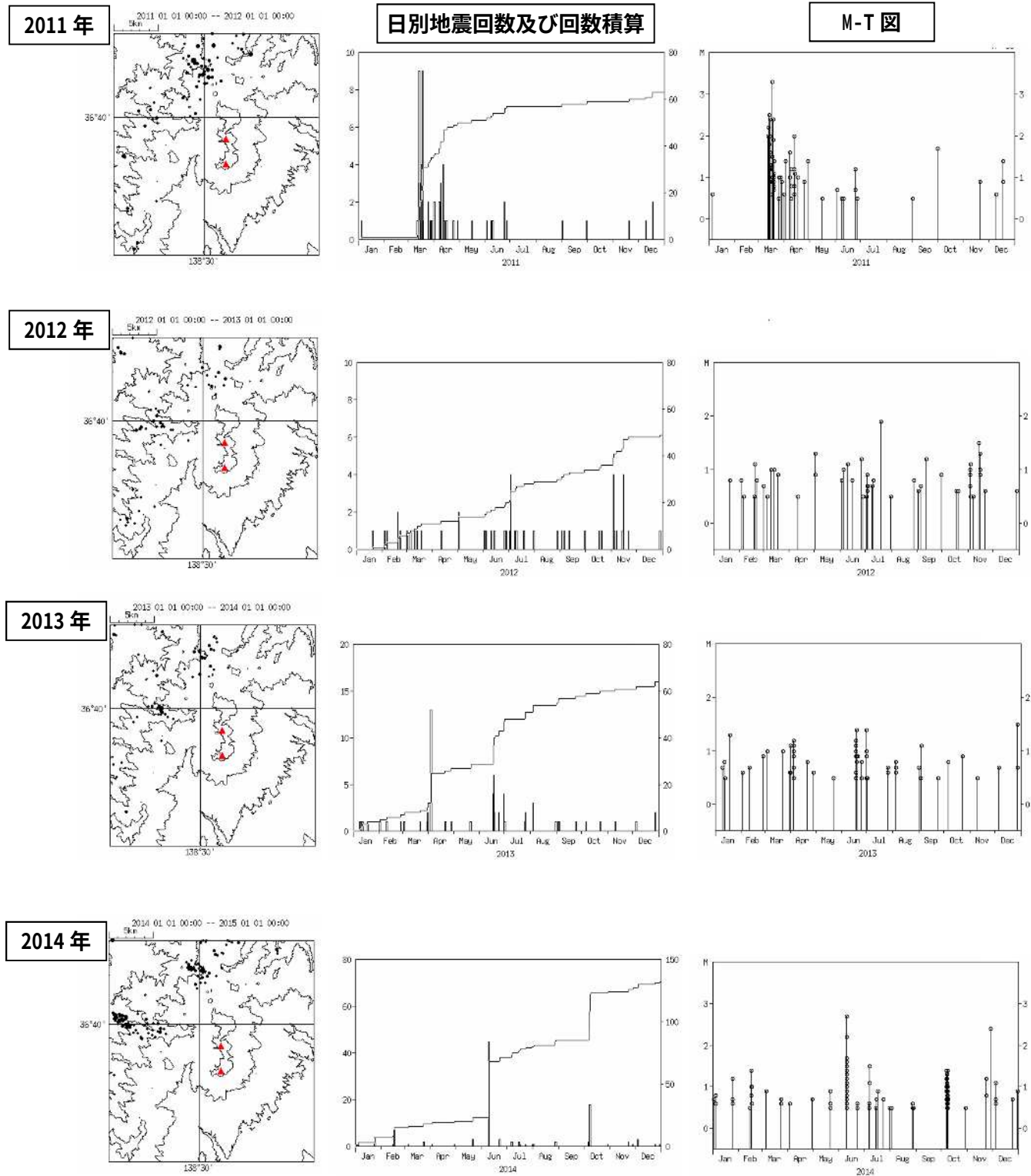


図 22-1 草津白根山 一元化震源による周辺の地震活動

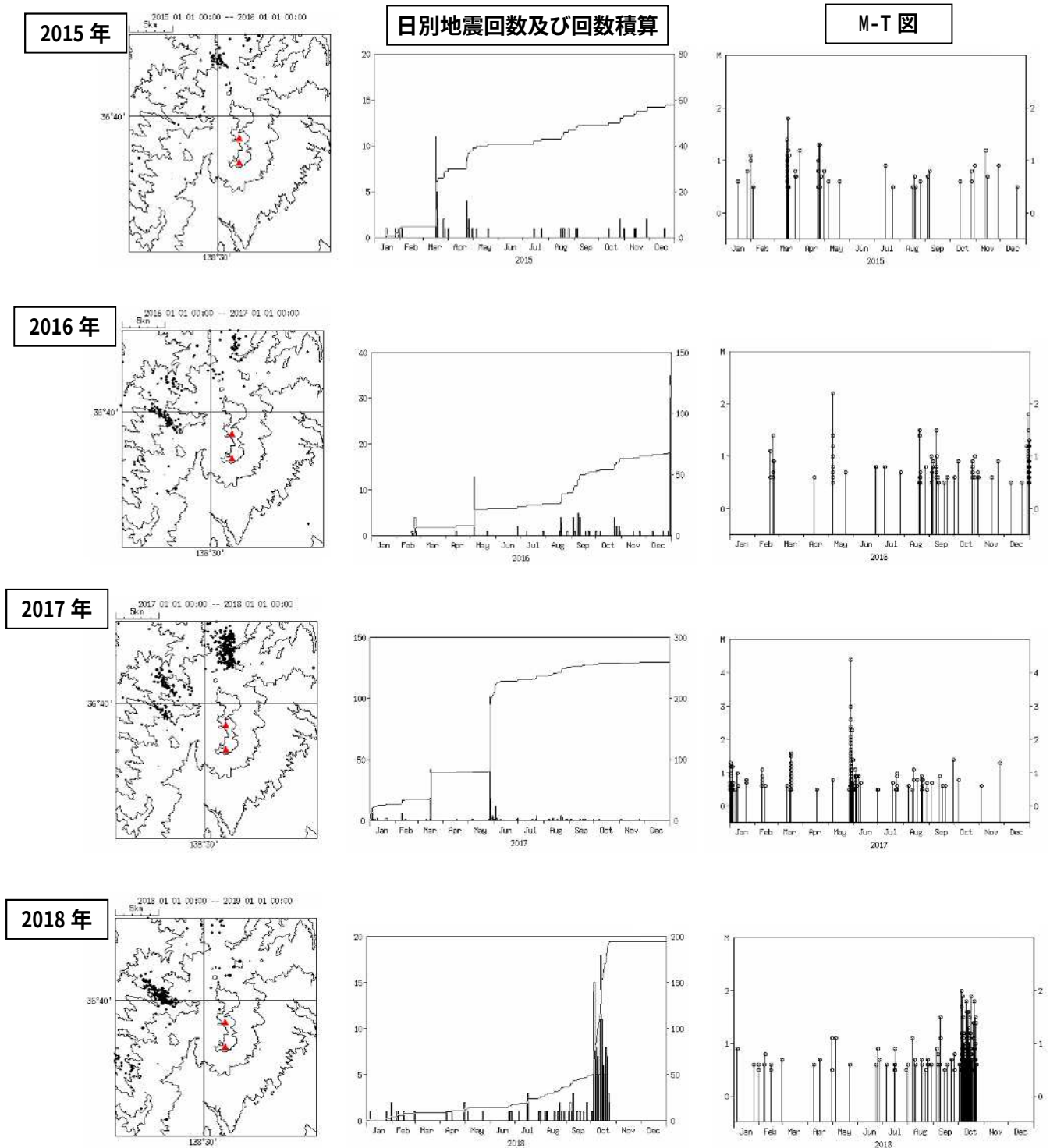


図 22-2 草津白根山 一元化震源による周辺の地震活動

- 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 年、2018 年には湯釜の活動活発化と深部の膨張が観測されている。2017 年は、5 月に M4.4 の地震の後、余震が続いた。草津白根山の活動は比較的静穏で深部の膨張もみられていない。

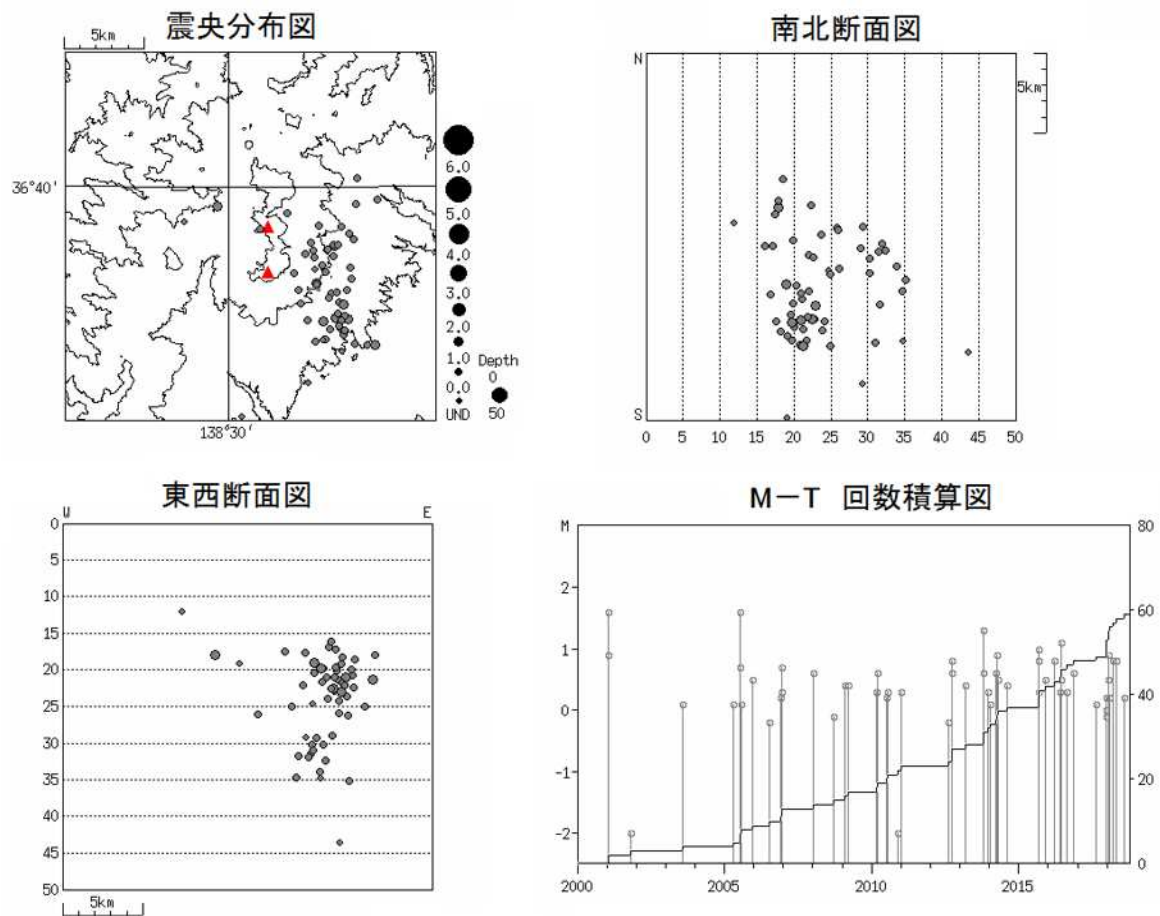


図 23 草津白根山 一元化震源による深部低周波地震活動（2000 年 1 月 1 日～2018 年 10 月 21 日）

- ・ 深部低周波地震は、草津白根山の東山麓に分布している。
- ・ 最近では、2010 年、2014 年、2016 年、2018 年にまとまって発生している。

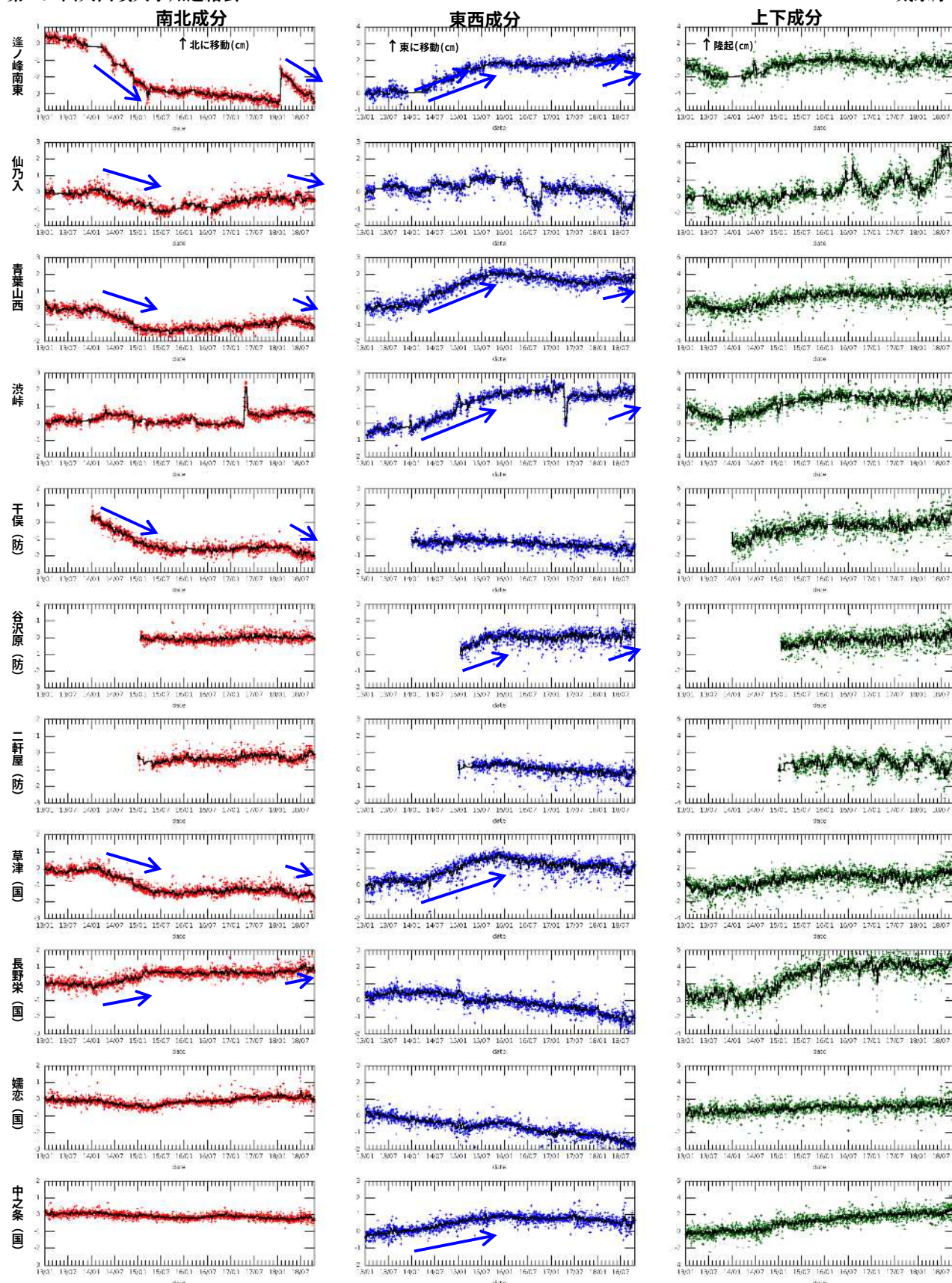


図 24-1 草津白根山 GNSS 各観測点の変動 (2013 年 1 月 1 日～2018 年 10 月 21 日) (長野(国) 固定)
(国) 国土地理院 (防) 防災科学技術研究所 黒線は 10 日間の移動平均

- ・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。
- ・嬬恋(国)は、浅間山の膨張性地殻変動の影響を受けている。

・2014 年から 2015 年にかけて発生した草津白根山の北西の深部膨張による変化 (図中の青矢印) と類似した変化が 2018 年に入ってから, 幾つかの観測点で確認できる。

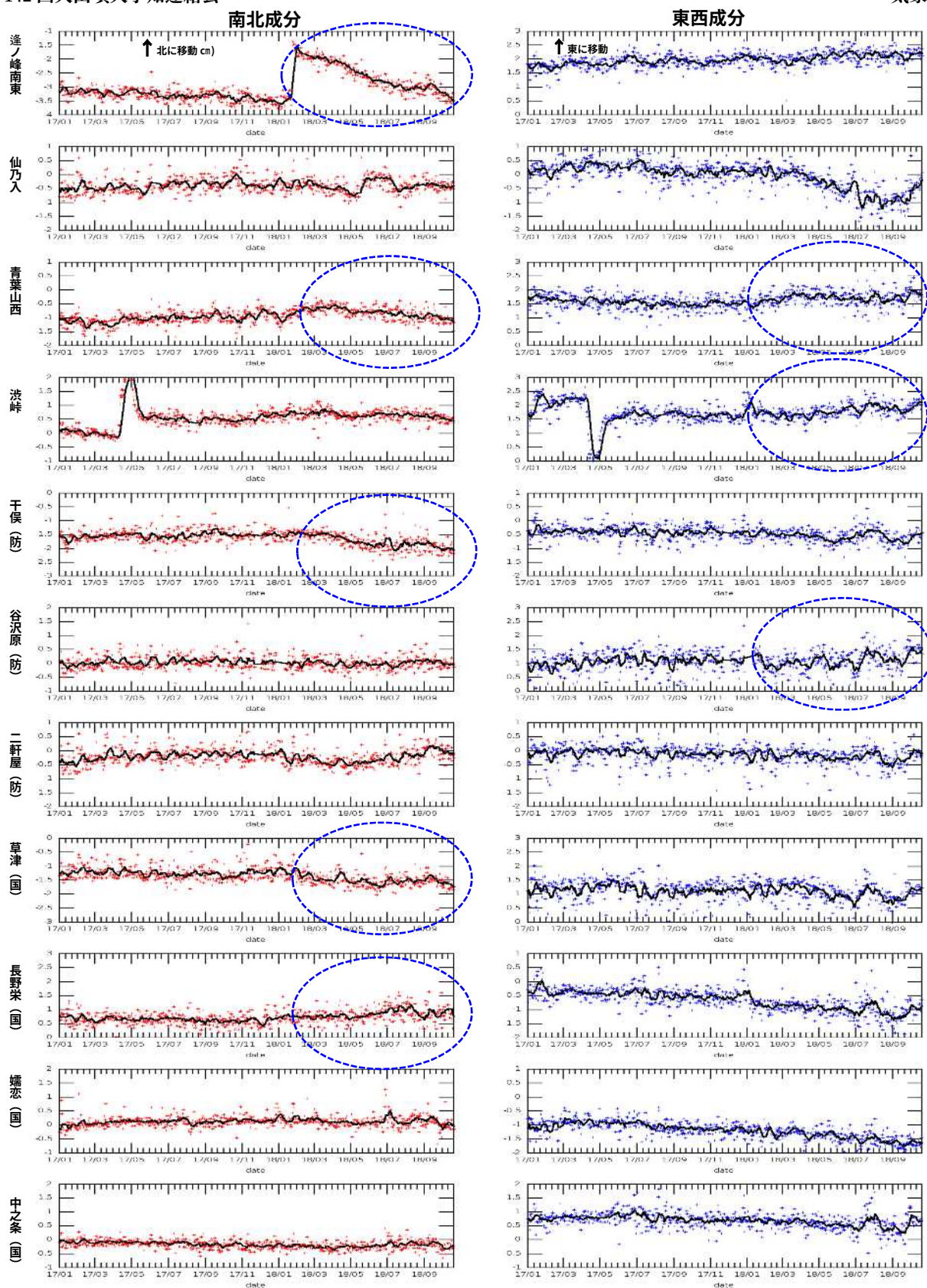


図 24-2 草津白根山 GNSS 観測による各観測点の変動 (2017 年 1 月 1 日～2018 年 10 月 21 日)

・図 24-1 の時間軸を拡大したもの

2014 年から 2015 年にかけて発生した草津白根山の北西の深部膨張による変化（図中の青矢印）と類似した変化が 2018 年に入ってから幾つかの観測点で見られている。この変動は、7 月頃にやや鈍化しものの継続している（青丸）。

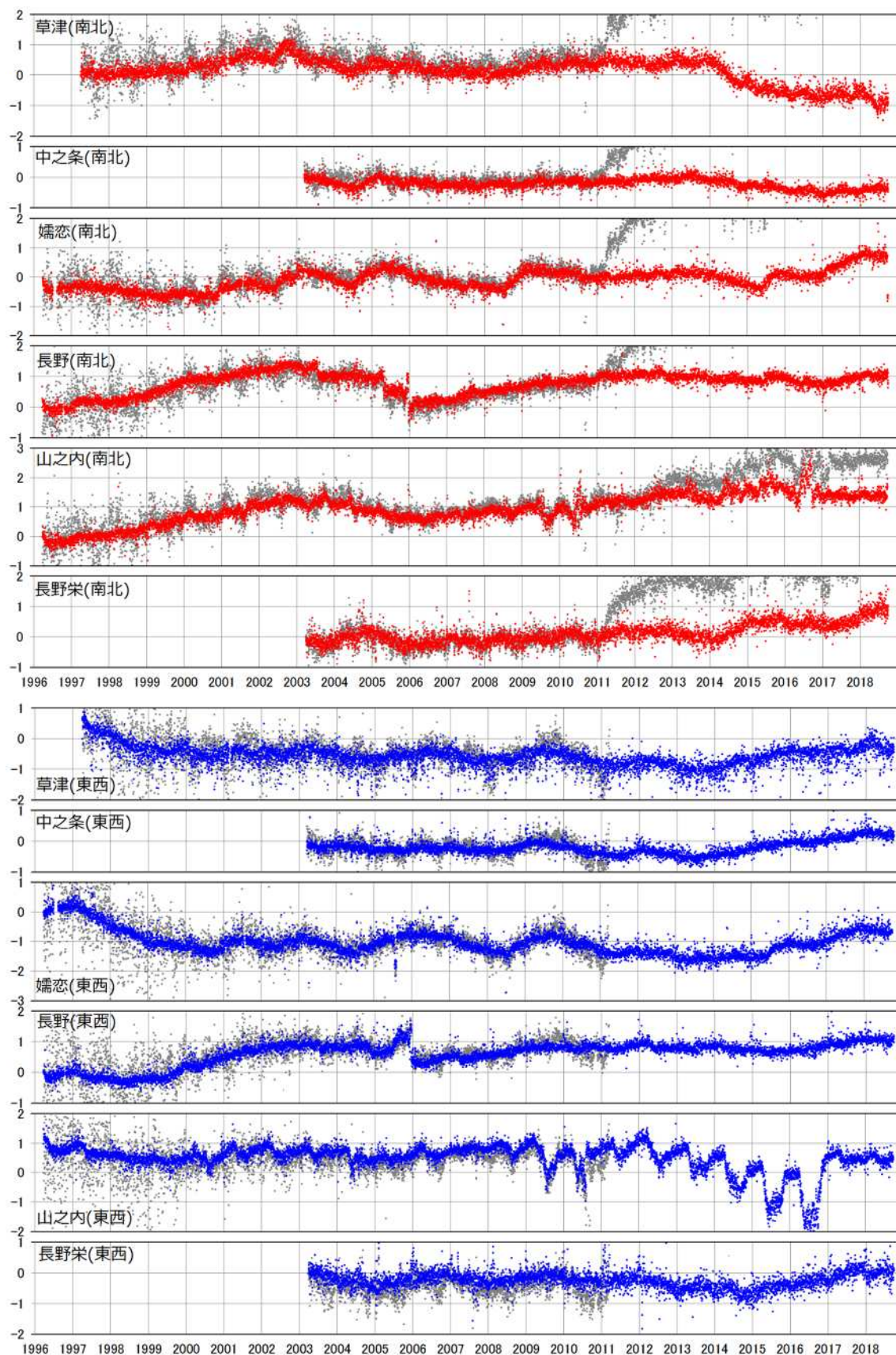


図 25 草津白根山 草津白根山周辺の国土地理院 GEONET 日座標値 (F3 解) の水平変位 (単位: cm)

※ 灰色は地震等によるステップ及びトレンド除去を行ったデータ、赤丸及び青丸は各種処理（地震によるステップ、トレンド、季節変動、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震の余効変動、共通成分の除去）を行ったデータを示す。南北成分は北向き、東西成分は東向きの変位を正とする。

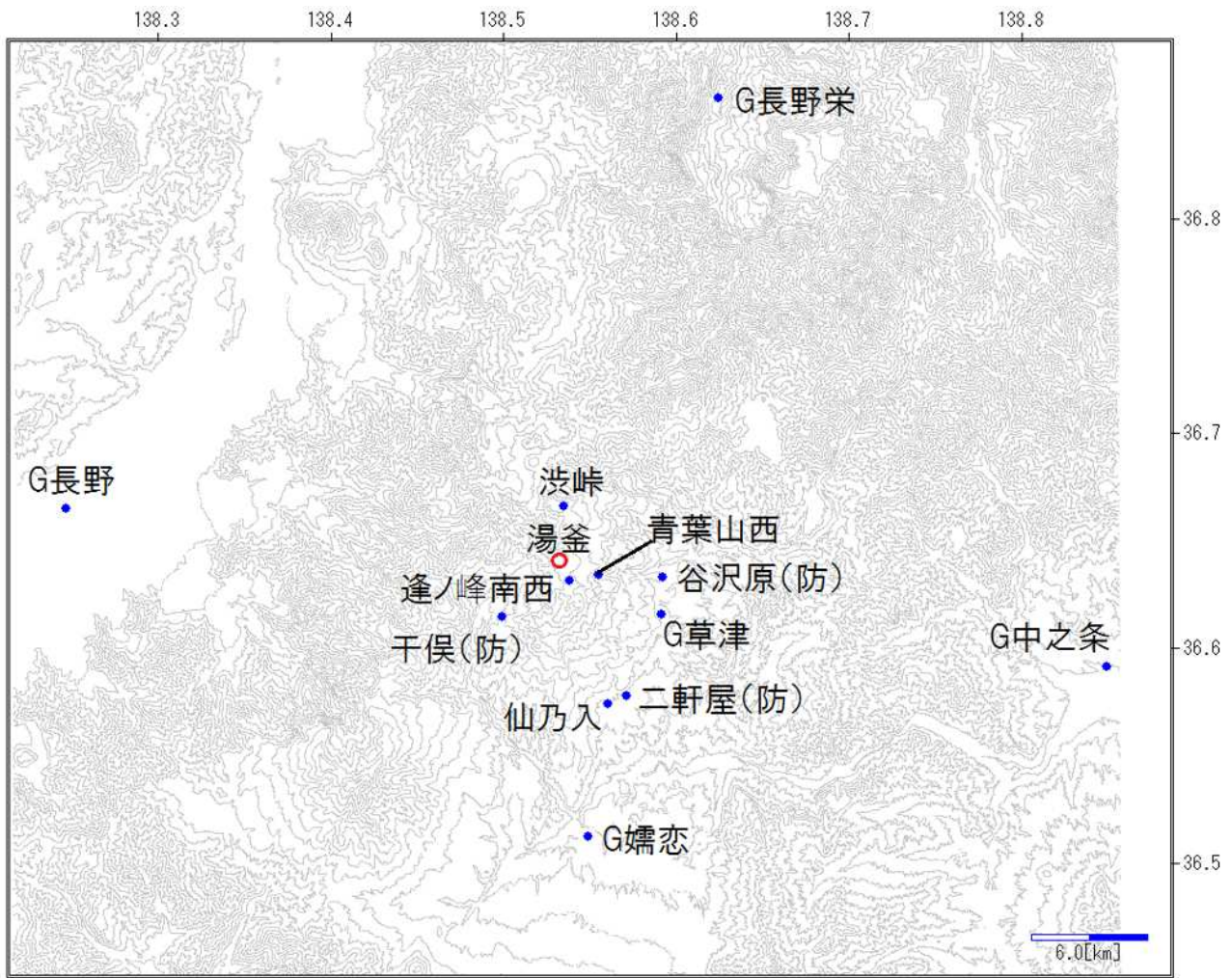


図 26 草津白根山 GNSS 観測点

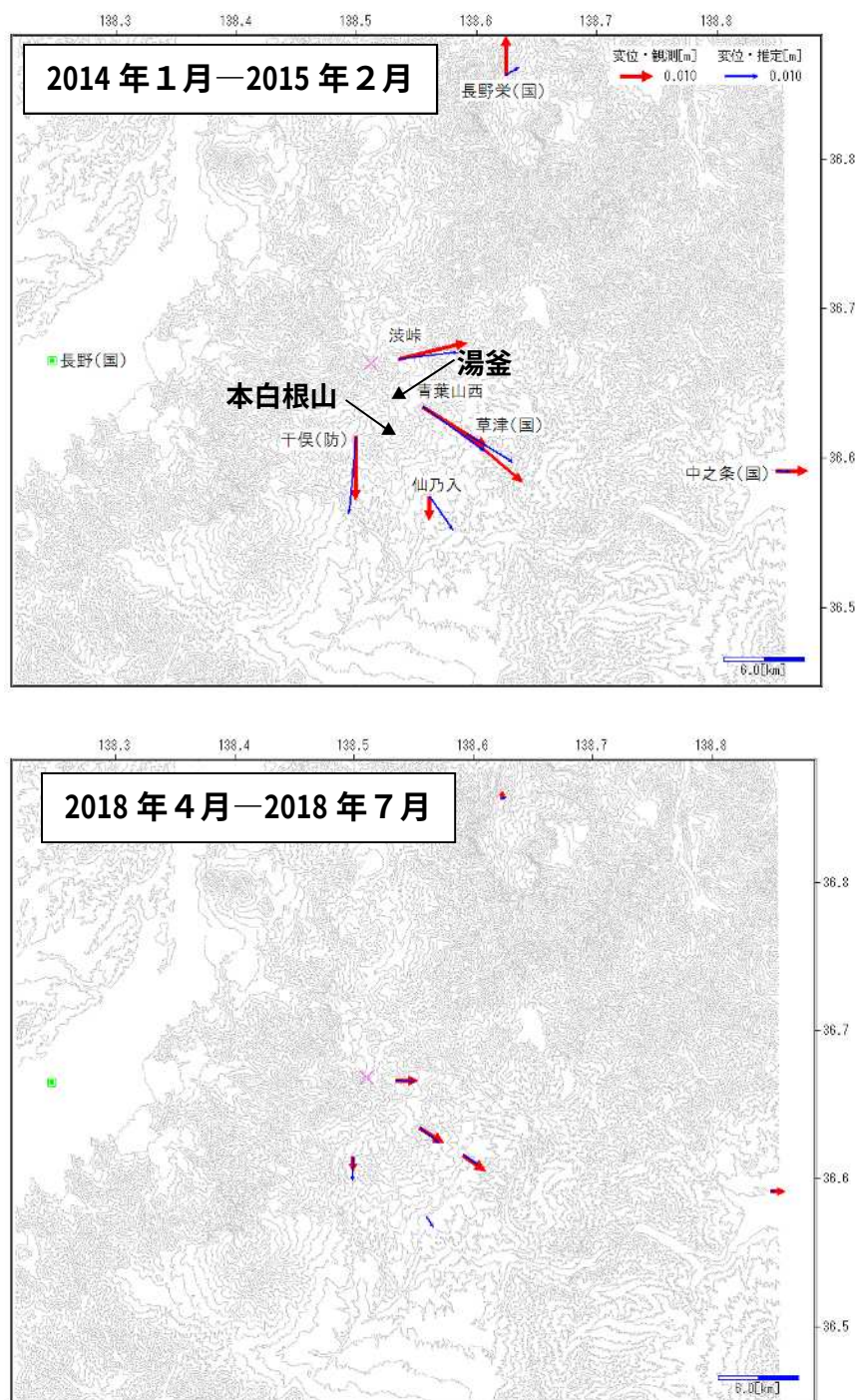
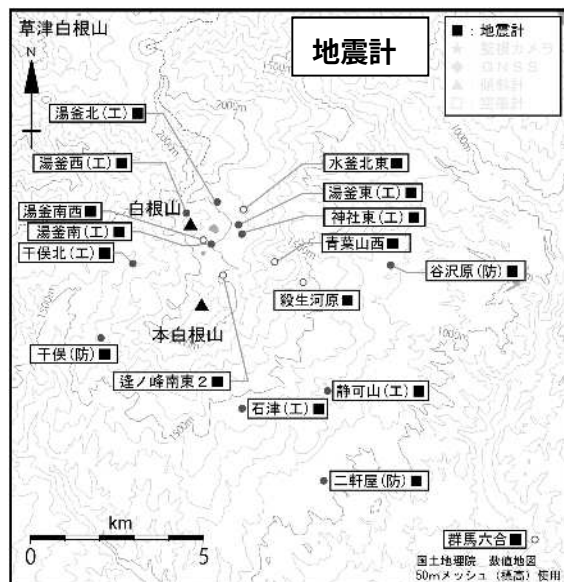
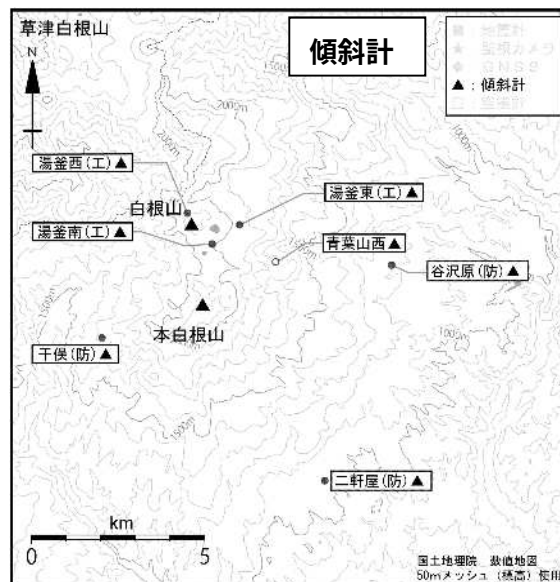


図 27 草津白根山 図 24 の広域の GNSS 観測でとられた変動ベクトルと理論ベクトル（上段：2014 年、下段 2018 年）

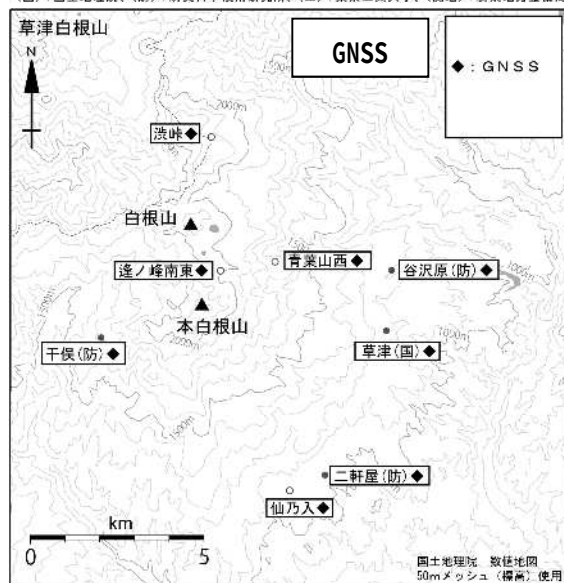
- GNSS 変動ベクトルの向きは、2014 年及び 2018 年で類似しているが、変動量は 2014 年のほうが大きい。
- 茂木モデルを仮定し、圧力源を推定した。なお、西側の観測点が少ないため推定精度は低い。圧力源の位置はいずれも湯釜の北西約 3 km の海面下 4 km 付近に求まった。体積変化量は、2014 年が約 7 万 m^3 、2018 年は約 3 万 m^3 となった。
- 2018 年 4 月と 9 月の地震急増時みられた傾斜変動源（図 5）と水平位置はほぼ同じである。深さは傾斜変動源が約 2 km に対し、GNSS の変動源は約 4 km とやや深い。



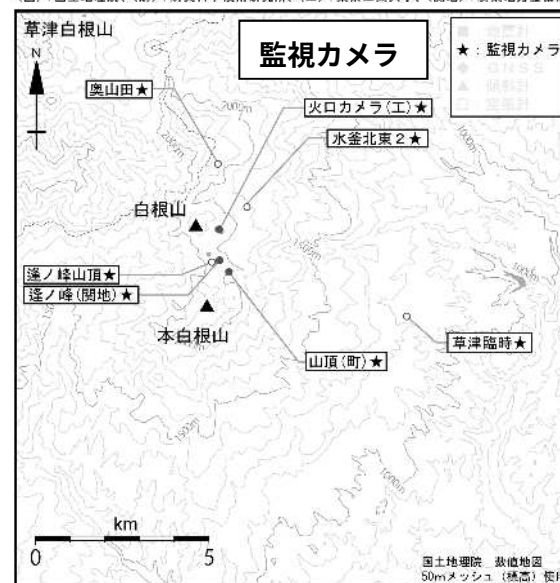
小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
 (国)：国土地理院、(防)：防災科学技術研究所、(工)：東京工業大学、(関地)：関東地方整備局



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28 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

長期ペアでは鏡池付近において衛星視線方向伸長の位相変化が認められる。短期ペア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。

表 1 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 °	2017.08.15	2018.08.14	第 1 図-A
				2018.06.05	2018.08.14	第 2 図
125-720(SM2_FP6_4)	北行	右	31.1 °	2017.08.27	2018.08.26	第 1 図-B

3. 解析結果

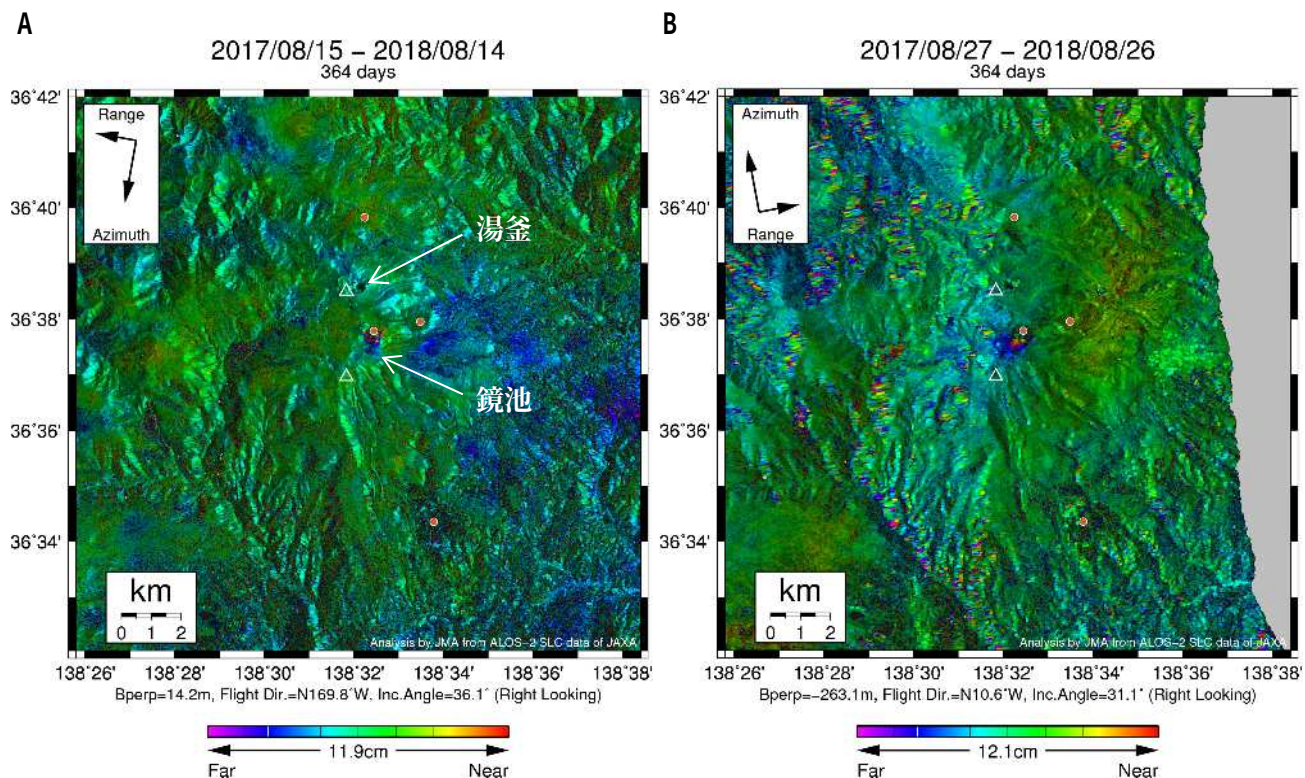
長期ペア（2017 年 8 月 15 日-2018 年 8 月 14 日と 2017 年 8 月 27 日-2018 年 8 月 26 日）では、鏡池付近において衛星視線方向伸長の位相変化が認められる。

短期ペア（2018 年 6 月 5 日-2018 年 8 月 14 日）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。

なお、各干渉解析結果について、対流圏遅延補正などを行っていないため、ノイズが重畳している可能性がある。

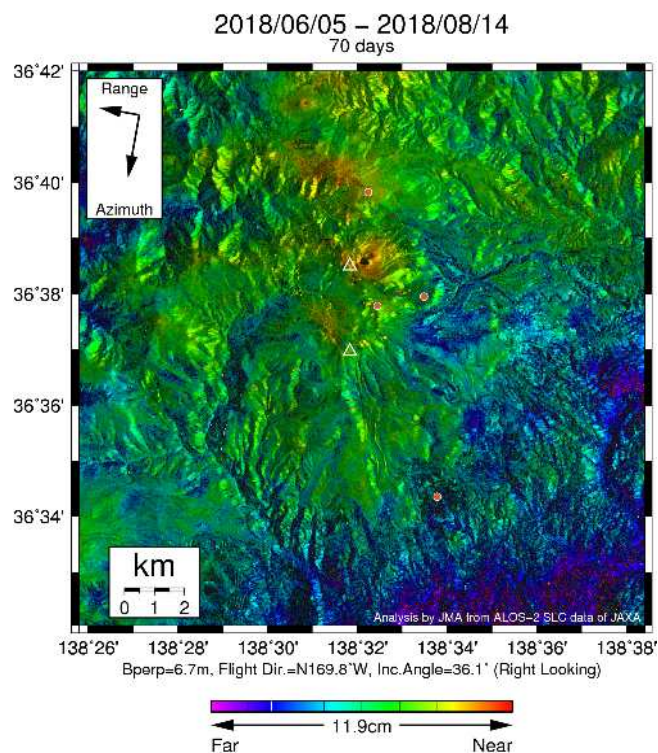
謝辞

本解析で用いた PALSAR-2 データは、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験（衛星解析グループ）に基づいて、宇宙航空研究開発機構（JAXA）にて観測・提供されたものである。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 を使用した。ここに記して御礼申し上げます。



第 1 図 草津白根山周辺の長期ペアによる干渉解析結果

図中の白三角印は山頂位置を示す。丸印は GNSS 観測点を示す。鏡池付近において衛星視線方向伸長の位相変化が認められる。



第 2 図 草津白根山周辺の短期ペアによる干渉解析結果

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。

草津白根山における地磁気全磁力変化

湯釜周辺では、2018 年 4 月頃から温度上昇を示唆する全磁力変化を示していたが、その変化は 7 月末頃から停滞している。

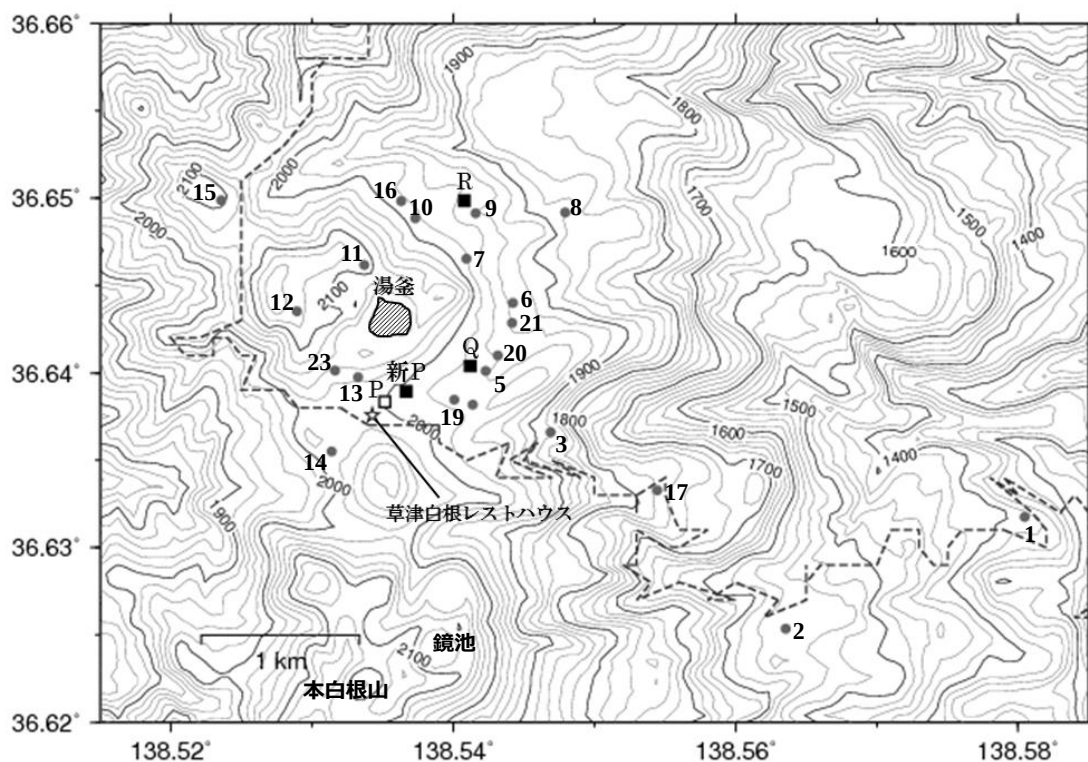
草津白根山（湯釜付近）における 2018 年 10 月までの地磁気全磁力変化について報告する。

2014 年 5 月から 6 月の湯釜近傍地下の温度上昇を示唆する変化は 2014 年 7 月以降停滞し、2016 年夏頃から温度下降を示す変化が継続していた。

2018 年に入り、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 7 月末頃から停滞している。

10 月に実施した湯釜周辺における全磁力繰返し観測（前回 2017 年 10 月）では、湯釜近傍地下の温度上昇を示唆する変化は認められなかった。

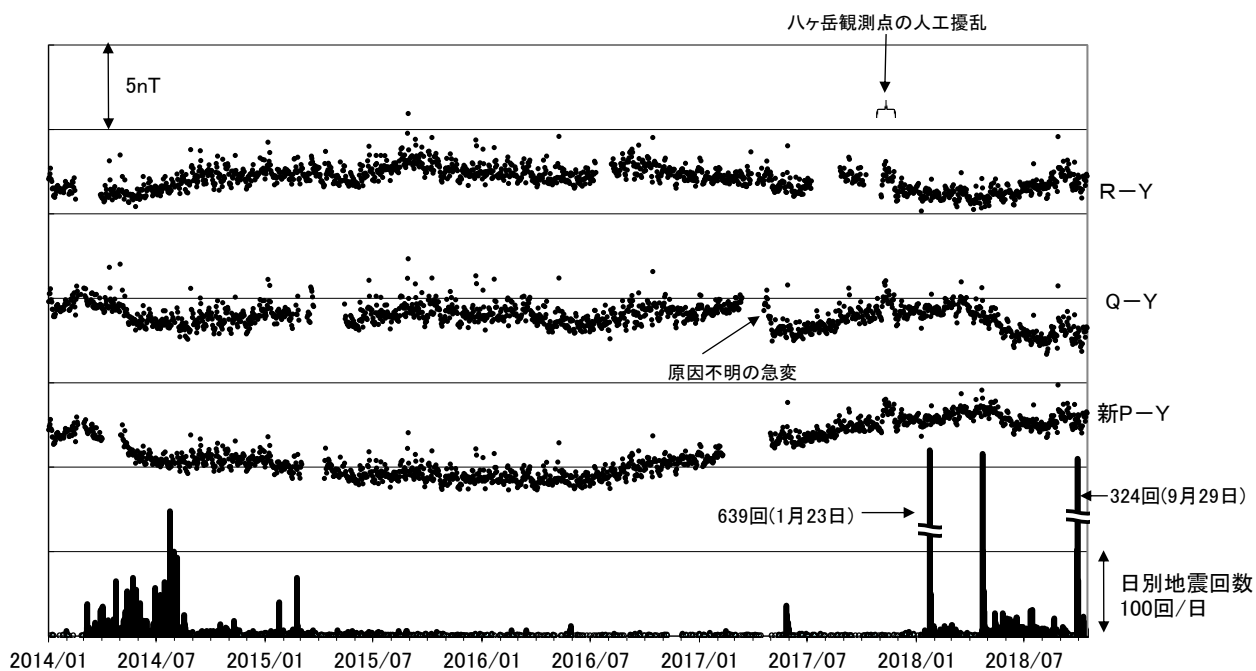
第 1 図に草津白根山における全磁力連続観測点および全磁力繰返し観測点の配置図を、第 2 図～第 4 図に、八ヶ岳地球電磁気観測所（東京大学地震研究所、草津白根山から南方約 62 km）で観測された全磁力値を基準とした全磁力連続観測点および繰返し観測点の全磁力変化を示す。



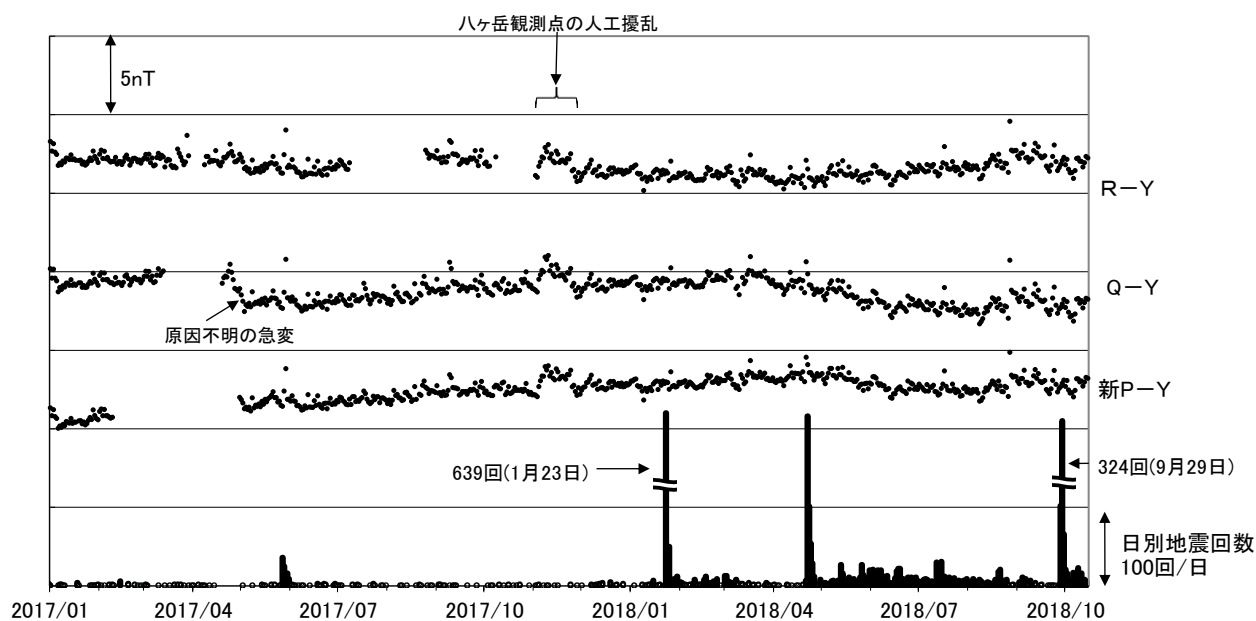
第 1 図 草津白根山の全磁力観測点配置図

- : 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）

資料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）」（承認番号平 29 情使、第 798 号）および同院の地理院地図、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

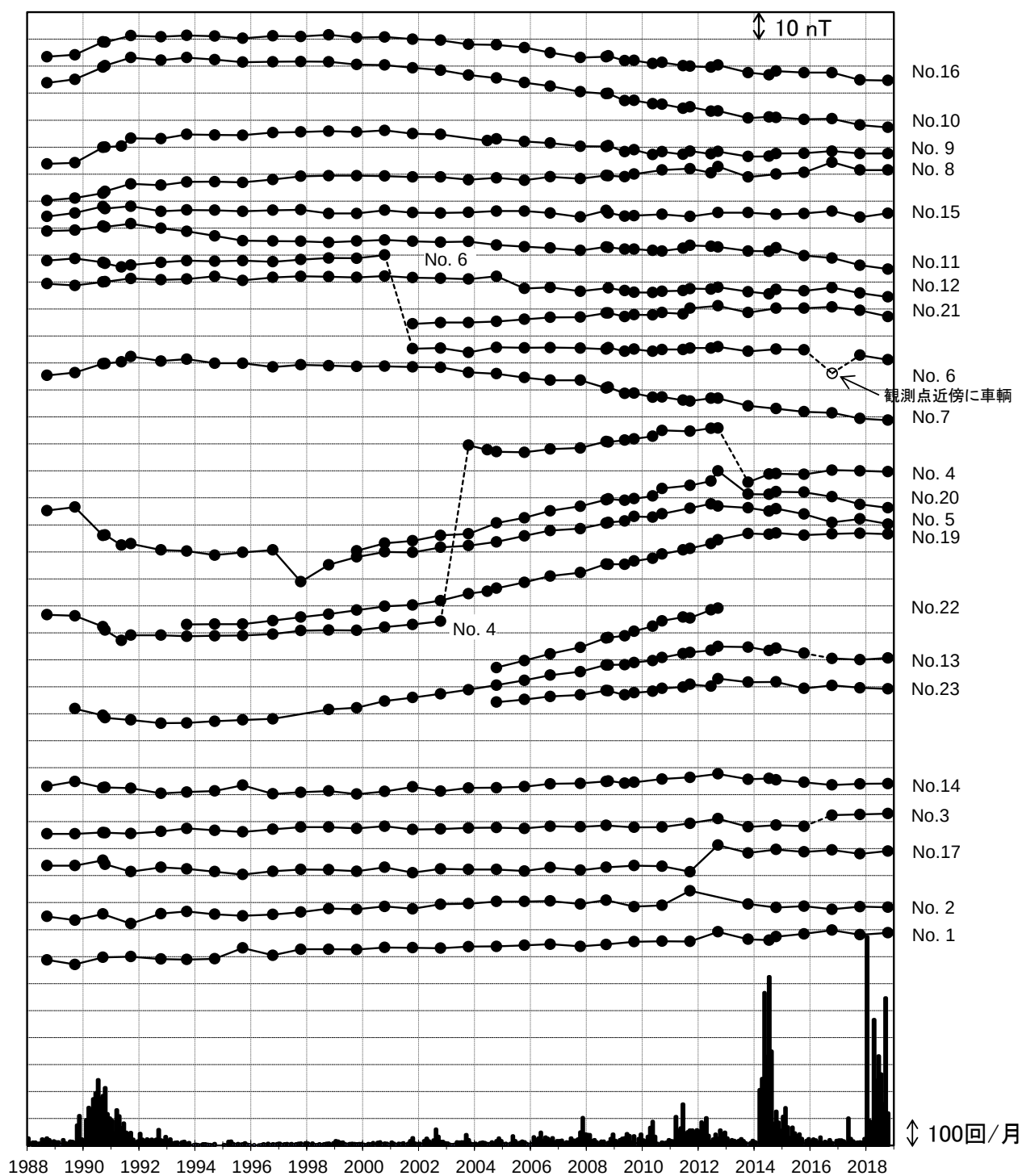


第 2 図 全磁力連続観測による全磁力値の変化及び日別地震回数（2014 年 1 月～2018 年 10 月 15 日）



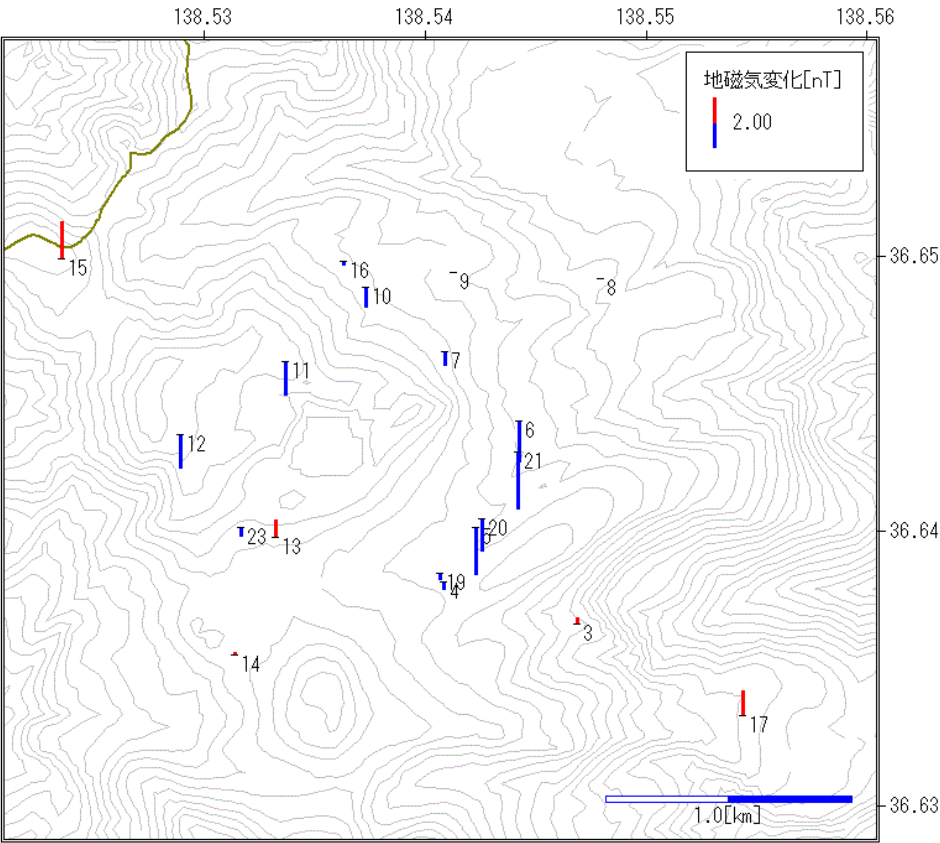
第 3 図 全磁力連続観測による全磁力値の変化及び日別地震回数（2017 年 1 月～2018 年 10 月 15 日）

第 2 図、第 3 図とも、連続観測点 P、Q、R および新 P におけるハケ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日別地震回数を示す。



第 4 図 全磁力繰返し観測による全磁力値の変化（1988 年 9 月～2018 年 10 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。



第 5 図 全磁力繰返し観測による 2017 年 10 月と 2018 年 10 月の全磁力変化量

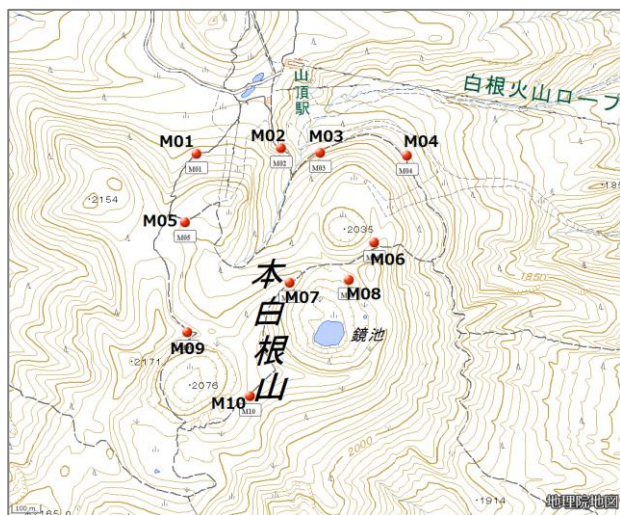
○本白根山における全磁力繰返し観測および自然電位観測

本白根山の地下の熱活動の状況を把握するため、全磁力繰返し観測点を 10 点設置し、繰返し観測を実施した（6 月、8 月および 10 月）。また、本白根山地下における熱水活動の状況を推定するため、自然電位観測を実施した（6 月 30 日～7 月 2 日）。

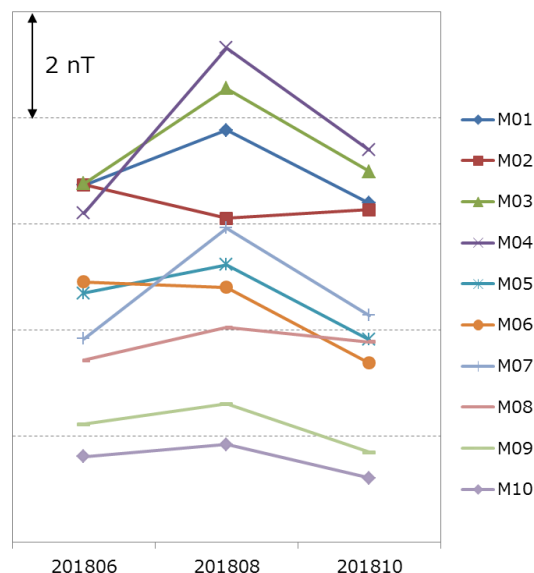
1. 全磁力繰返し観測

第 6 図に本白根山における全磁力繰返し観測点、第 7 図～第 8 図に八ヶ岳地球電磁気観測所（東京大学地震研究所、草津白根山から南方約 62 km）で観測された全磁力値を基準とした繰返し観測点の全磁力変化を示す。

2018 年 6 月から 10 月にかけての全磁力繰返し観測では、地下の温度上昇・低下を示唆する変化は認められなかった。

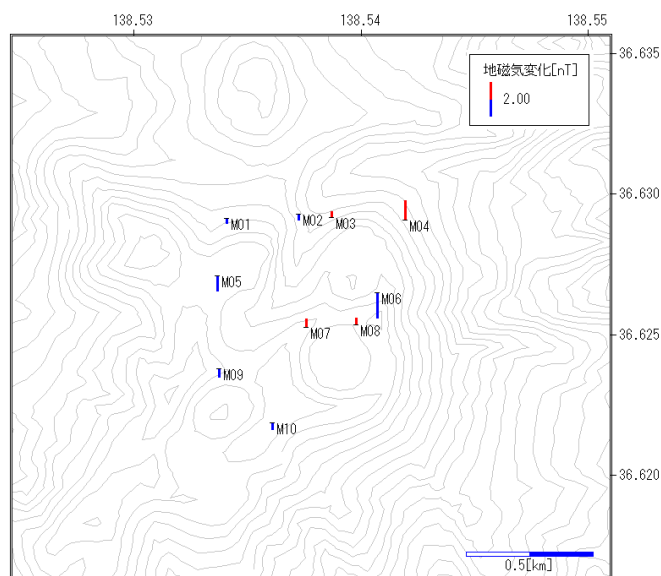


第 6 図 本白根山 全磁力繰返し観測点配置図



第 7 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～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
- ・2018 年 8 月は、外部磁場の擾乱の影響が含まれている

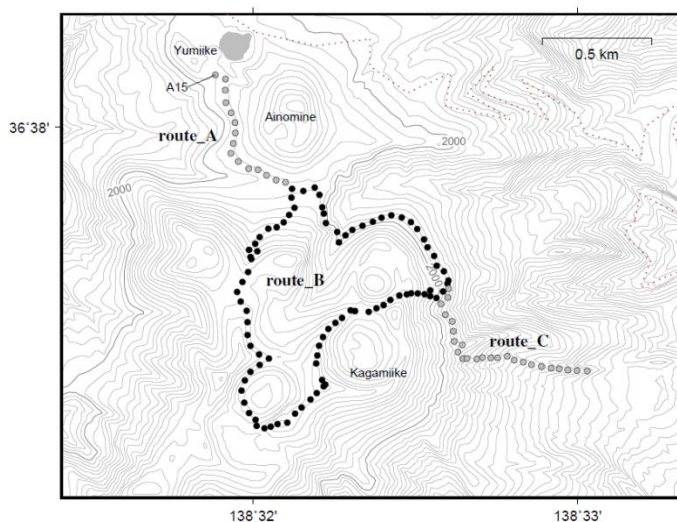


第 8 図 本白根山全磁力繰返し観測における 2018 年 6 月～2018 年 10 月の全磁力値変化量 (単位 : nT)

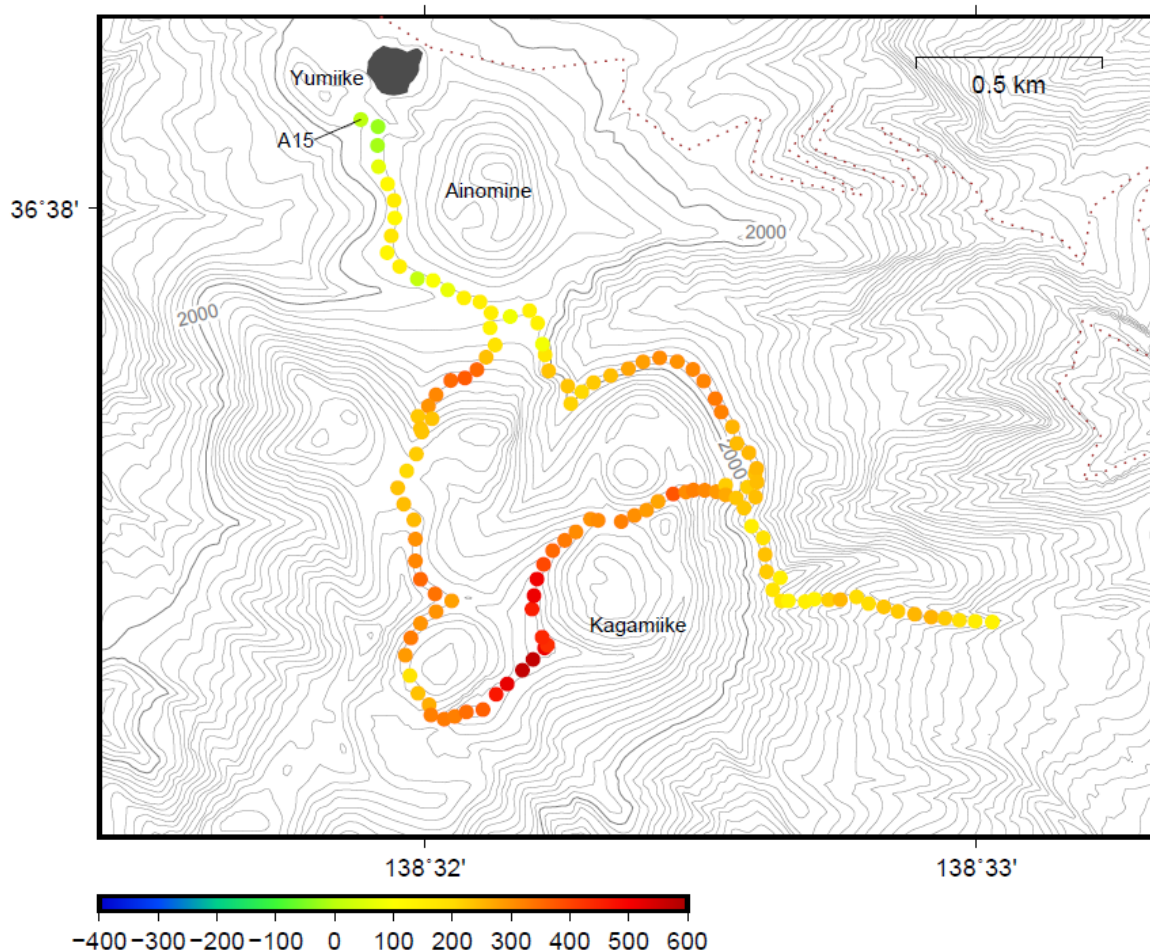
2. 自然電位観測

第 9 図に本白根山における自然電位観測の測定点プロット図、第 10 図に弓池近傍の測定点 (A15) を電位ゼロとした場合の各測定点の相対電位プロット図を示す。

本白根山周辺では、鏡池火砕丘西側で高い電位が認められたほか、鏡池北火砕丘の南北などで相対的に高い電位が認められた。



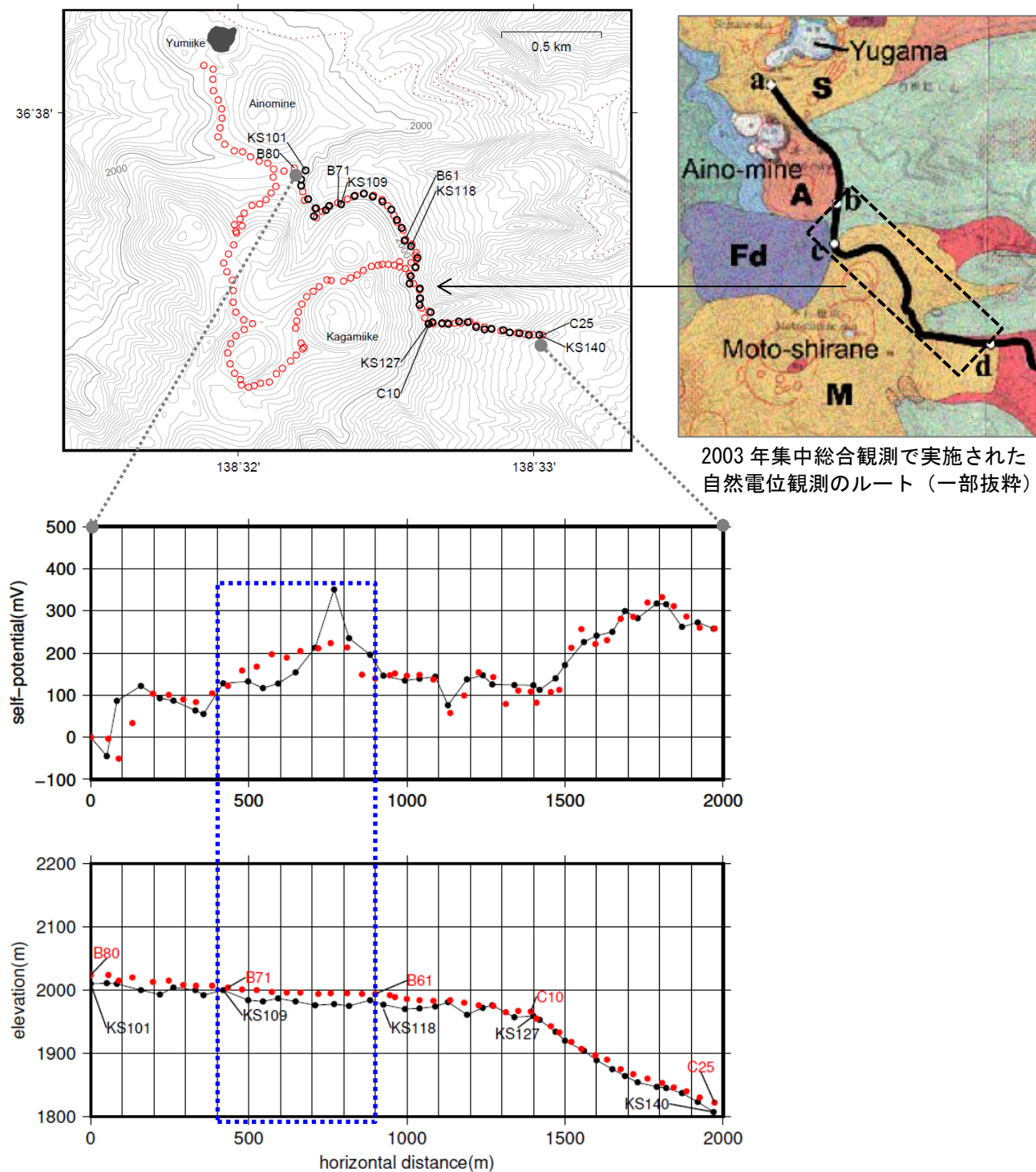
第 9 図 本白根山 自然電位観測測定点



第 10 図 弓池付近の A15 を基準 (電位ゼロ) とした電位分布 (単位: mV)

標高差による流動電位 (標高相関) を補正するため、標高と電位に線形の負相関があった routeC (第 9 図参照) のデータから求めた標高相関の係数を他の測定ルートにも適用し、標高相関補正を行った結果を示している。

また、ロープウェイ山頂駅付近から鏡池北火砕丘・鏡池の周縁を経て殺生河原方面へ至る測線において、2003 年に草津白根山火山集中総合観測で実施された同一ルートでの自然電位観測結果との比較を行った。第 11 図に結果を示す。



第 11 図 2003 年集中総合観測結果との比較

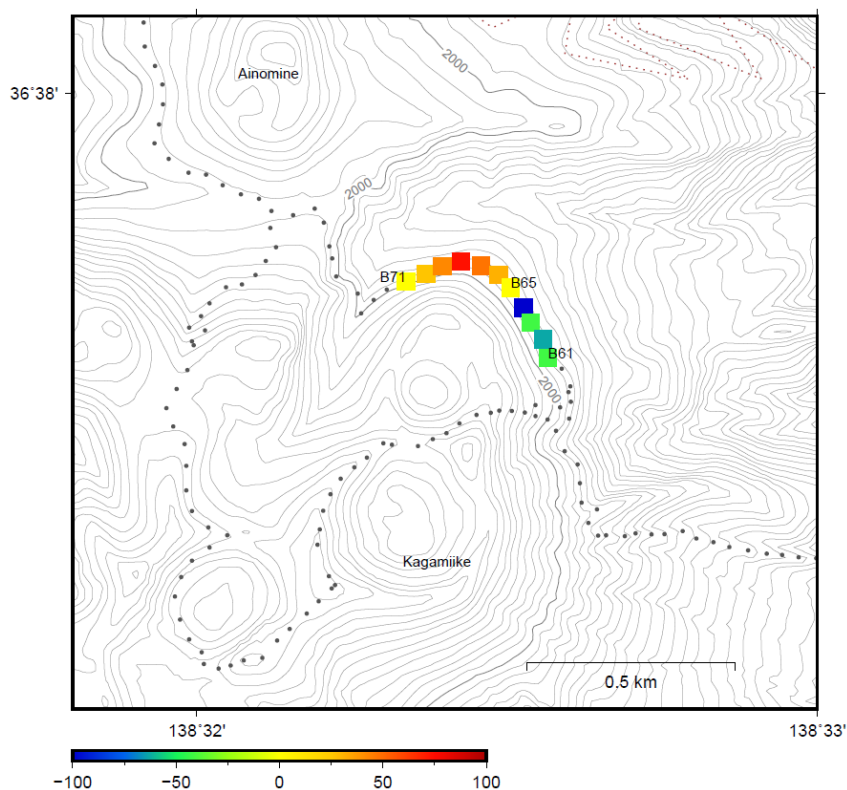
赤：2018 年の測定点 黒：2003 年集中総合観測での測定点（b～c～d 間）

上段：各基準点からの水平距離と相対電位のプロット 下段：各基準点からの水平距離と標高のプロット

- ・2003 年集中総合観測結果は KS101、2018 年のプロットは、KS101 に最も近い B80 を基準点とした
- ・各基準点からの水平距離は国土地理院の地理院地図の計測機能を用いて概算
- ・標高は 2003 年、2018 年とも観測時に携帯したハンディ型 GPS により取得

基準点 (B80 および KS101) からの水平距離が 900m 以上にある測定領域では、2003 年集中総合観測時の電位分布とほぼ同様の傾向を示し、当時とほとんど変化がみられないことがわかった。

一方、鏡池北火砕丘噴火口の北～北東側に対応する、基準点からの水平距離が 400m～900m の範囲の測定領域では、2003 年集中総合観測の結果と比べて $\pm 100\text{mV}$ 程度の変化が認められた (第 12 図)。



第 12 図 2003 年集中総合観測結果との電位差

基準点からの水平距離が 400m～900m の範囲の測定点を対象にプロット (単位 : mV)

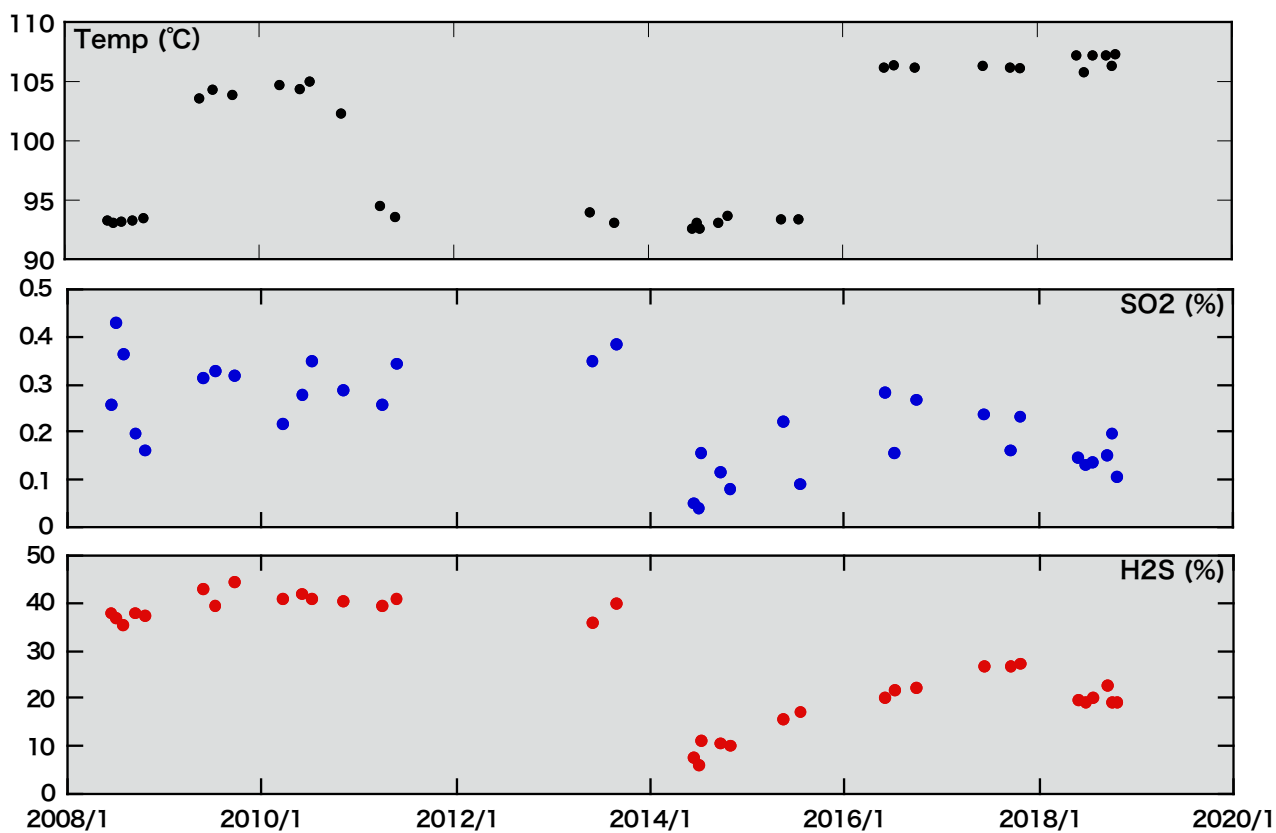
参考資料 :

橋本武志・茂木 透・西田泰典・小川康雄・平林順一ほか, 2004, 草津白根火山における高密度電気探査・自然電位調査, 第 4 回草津白根火山集中総合観測報告書, 133-142

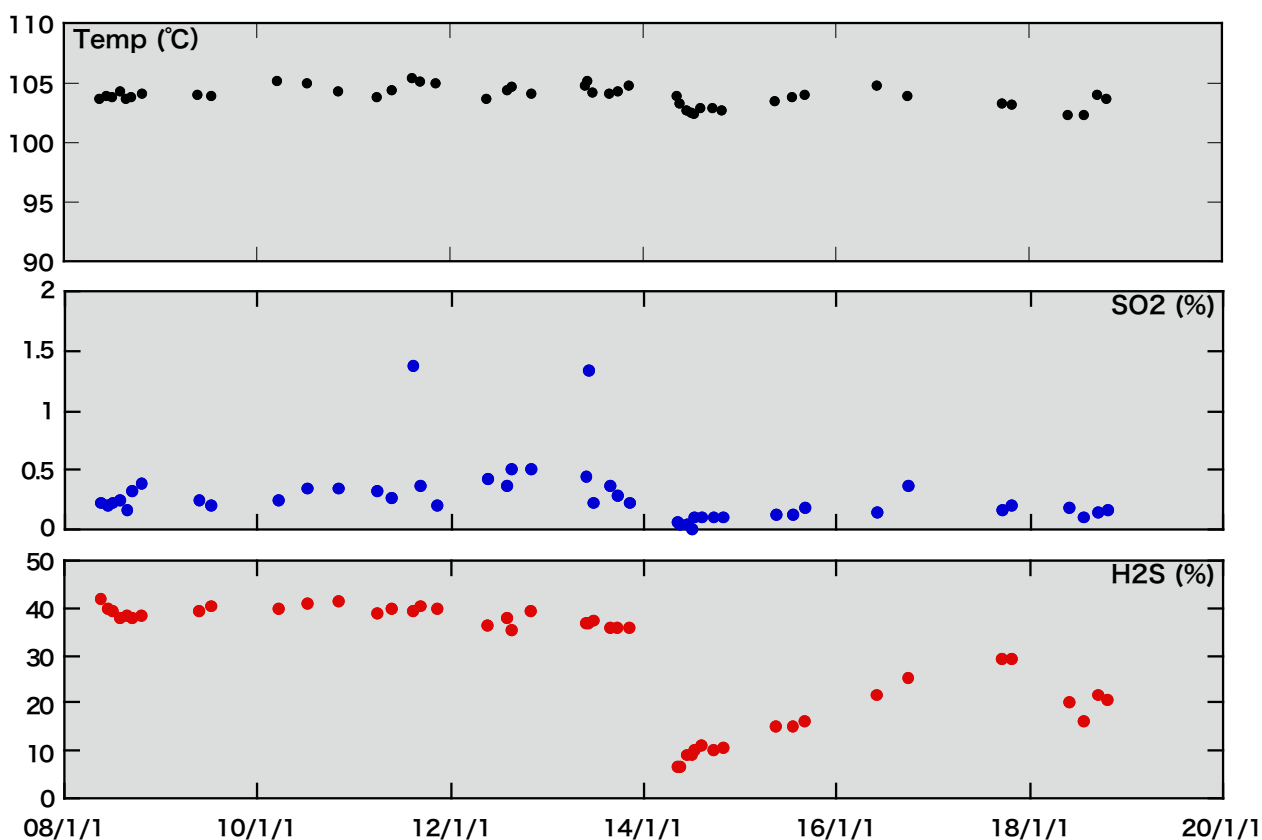
謝辞 :

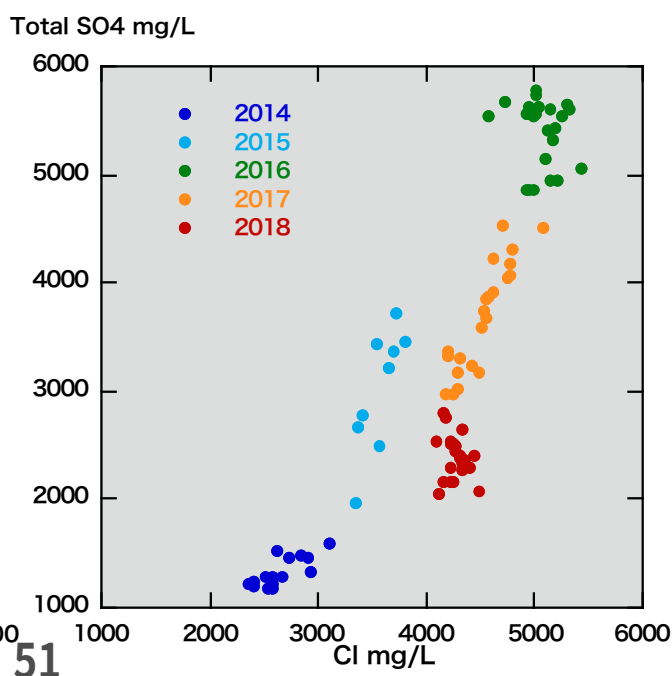
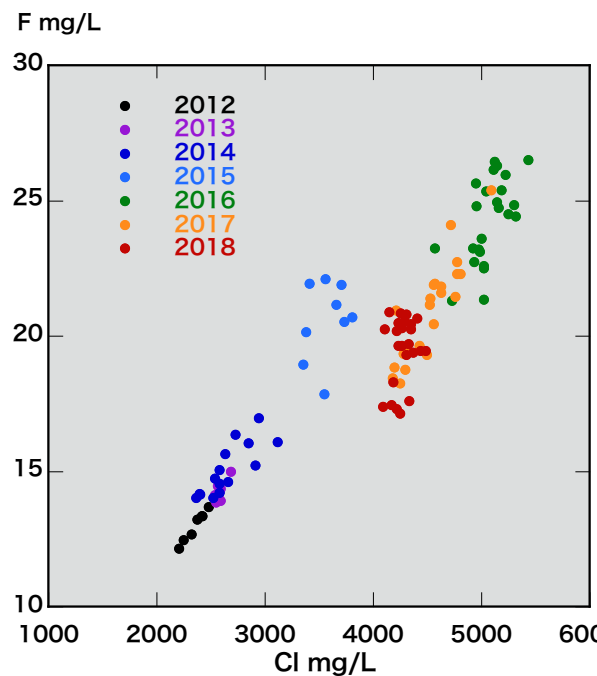
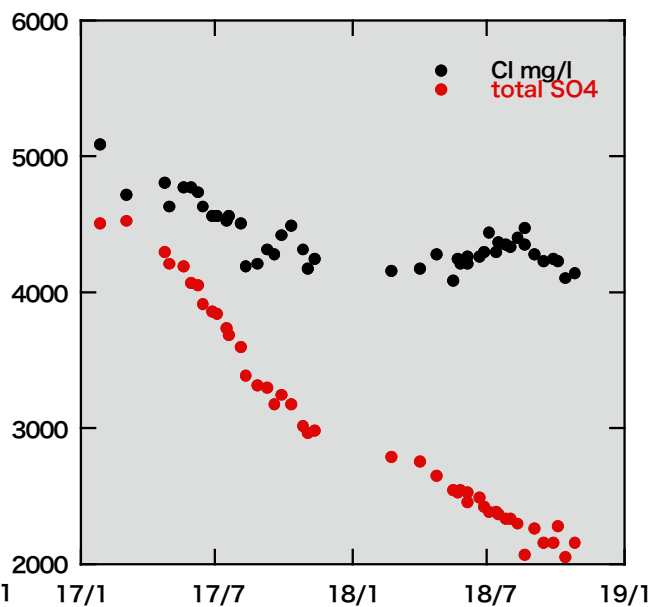
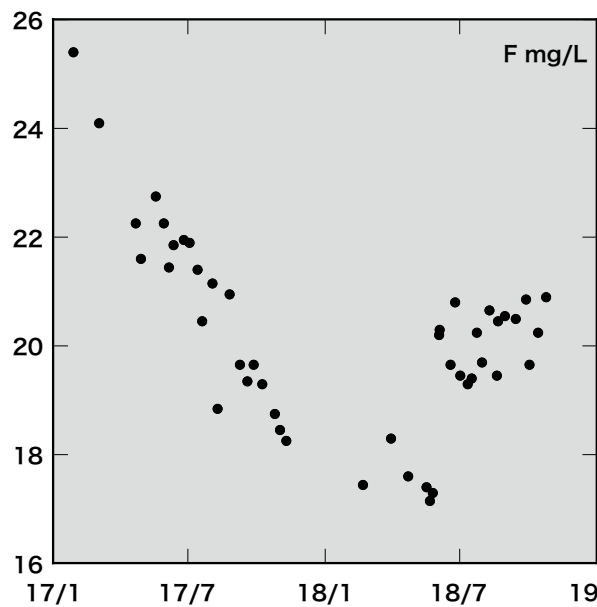
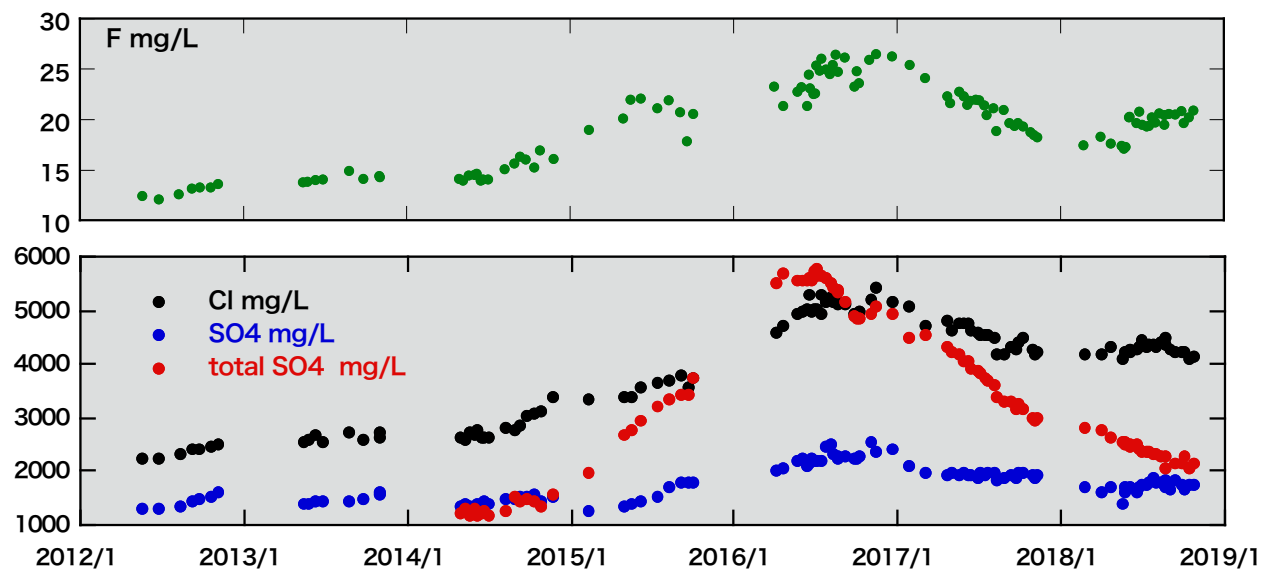
資料作成にあたり、北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター橋本教授より、草津白根火山集中総合観測での自然電位観測データを提供いただきました。

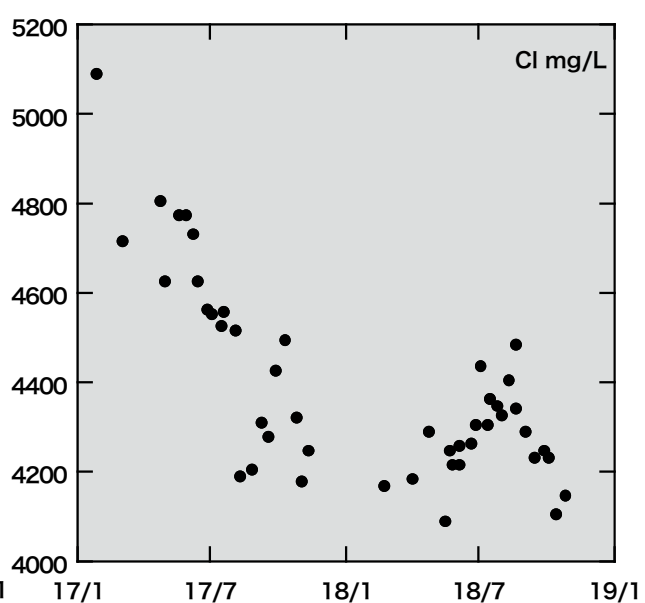
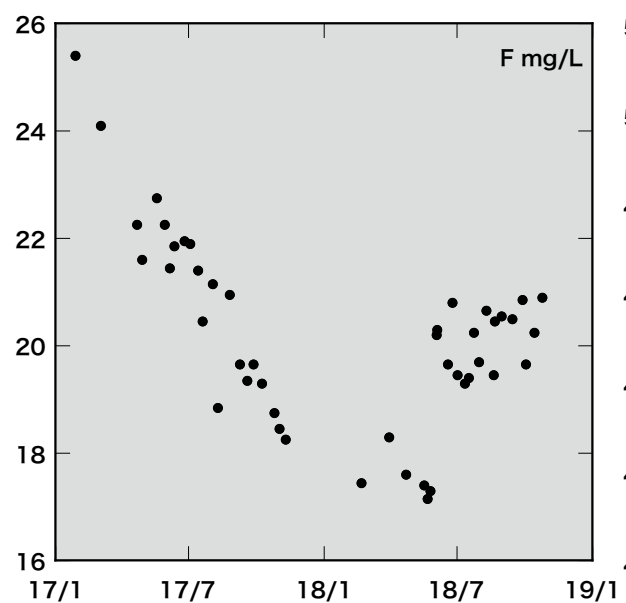
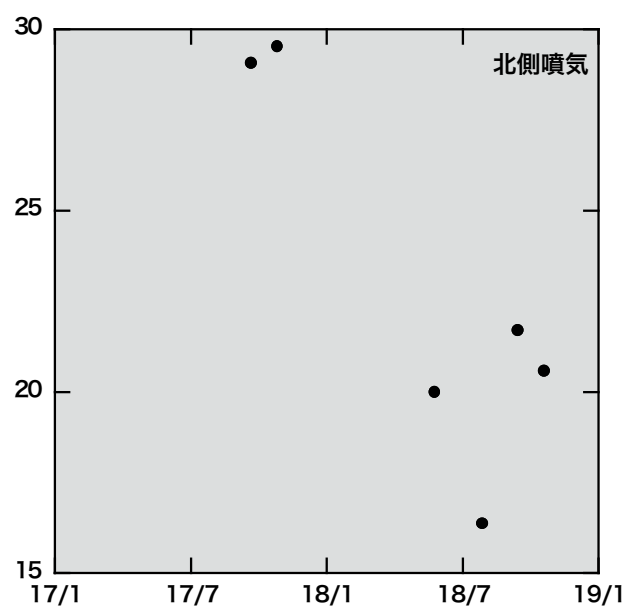
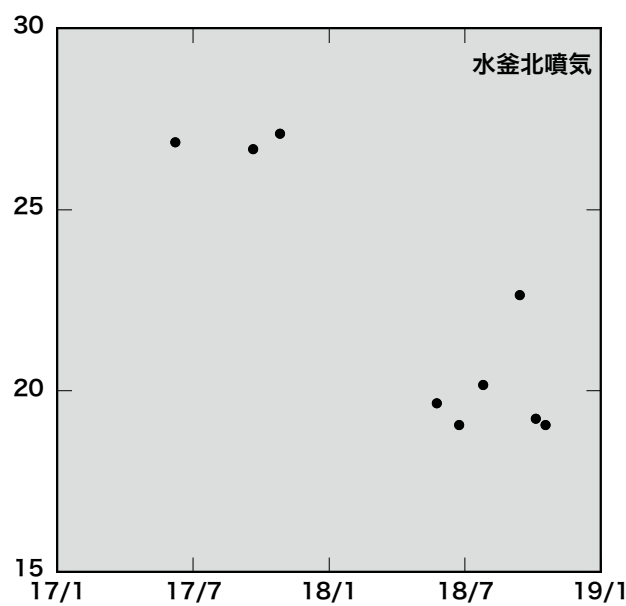
水釜北噴気



北側噴気







草津白根火山の地殻変動・熱活動

2018年10月4日頃から、2014年と同様の湯釜付近の増圧を示す緩やかな傾斜変動が認められる。10月23日までの変動量は、湯釜東（KSE）と湯釜南（KSS）の両点で、それぞれ $2 \mu\text{rad}$ 前後である。変動が非等方的なため任意性が高いが、茂木モデル、クラックモデルのいずれを仮定しても膨張量は $8,000\text{--}9,000 \text{ m}^3$ 前後、膨張率 $400\text{--}500 \text{ m}^3/\text{day}$ の値が試算される。膨張率は2014年5月頃に湯釜周辺で解析された値に相当する。

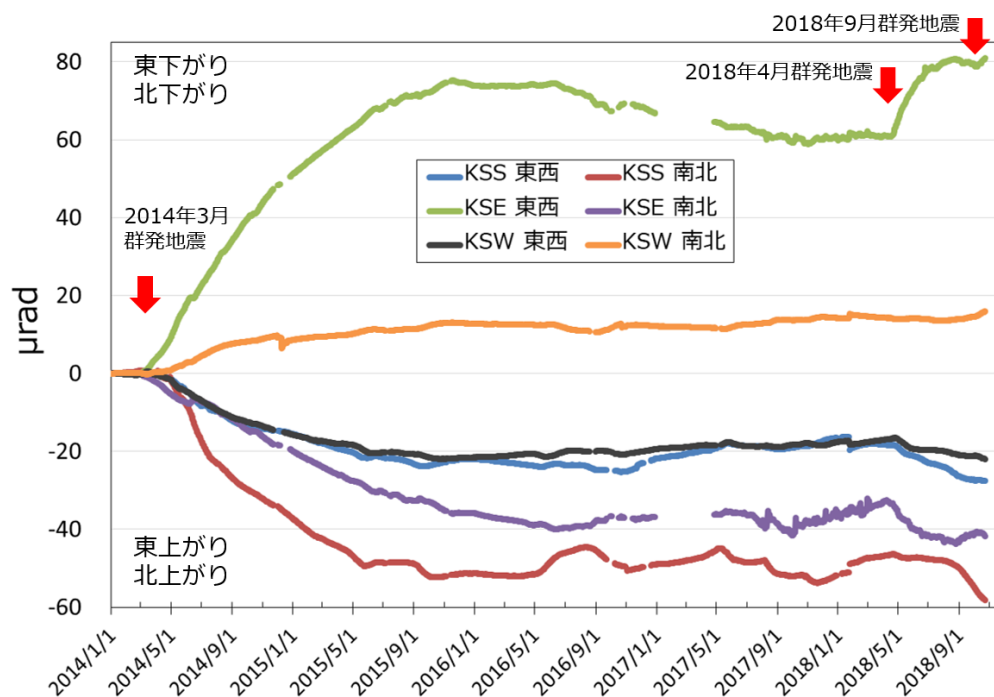


図1. 東工大ボアホール型傾斜計3点の変動（2014年1月1日～2018年10月23日）。ここに示したのは、長期トレンド・気圧応答・潮汐のほか、長野県北部地震およびセンサ交換に伴うステップの変動などを補正した値である。

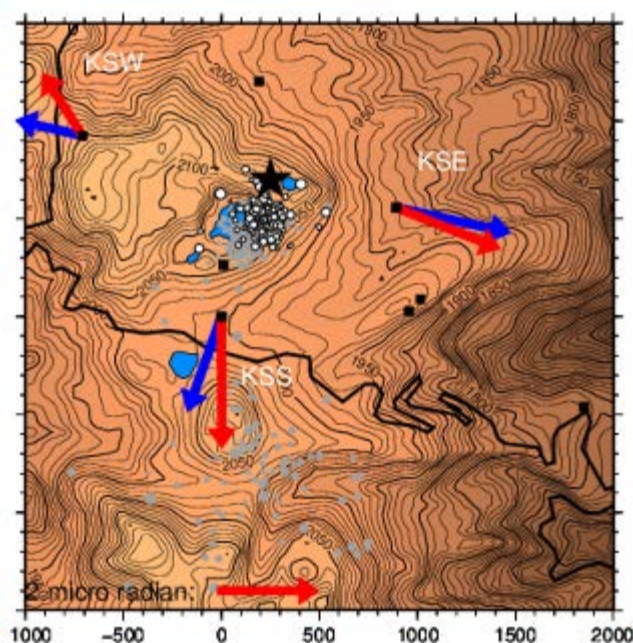


図2. 変動ベクトル（赤），および等方力源モデルでの計算例（青）。KSEとKSSの傾斜ベクトルは、必ずしも湯釜を向かない。KSWと併せて見ると非等方的な変動と言える。今回の力源位置を、2014年変動源として推定された水平位置に固定すると、力源深度は $1,080\text{m}$ 、膨張量は $8,000 \text{ m}^3$ ($420 \text{ m}^3/\text{day}$) と試算される。クラックモデルは任意性が高いが、同様に膨張量は $9,000 \text{ m}^3$ ($470 \text{ m}^3/\text{day}$) と試算できる。

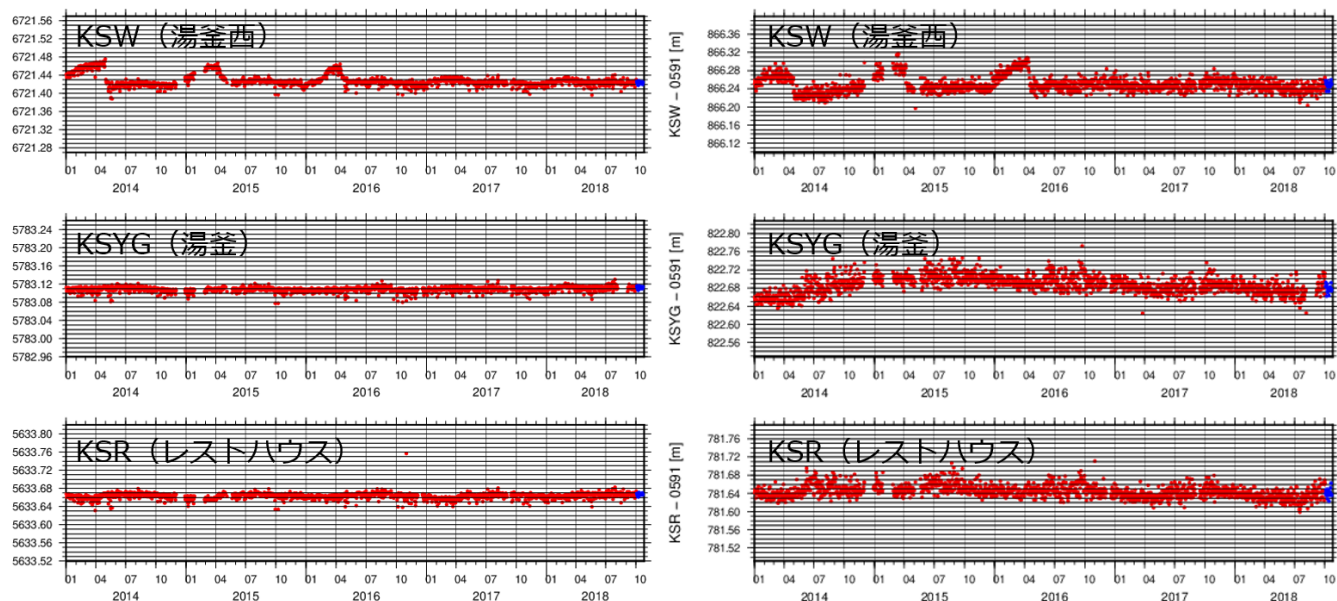


図3. 湯釜周辺のGNSSデータ. 防災科学技術研究所・干俣観測点からの（左）相対水平距離，（右）相対高度。

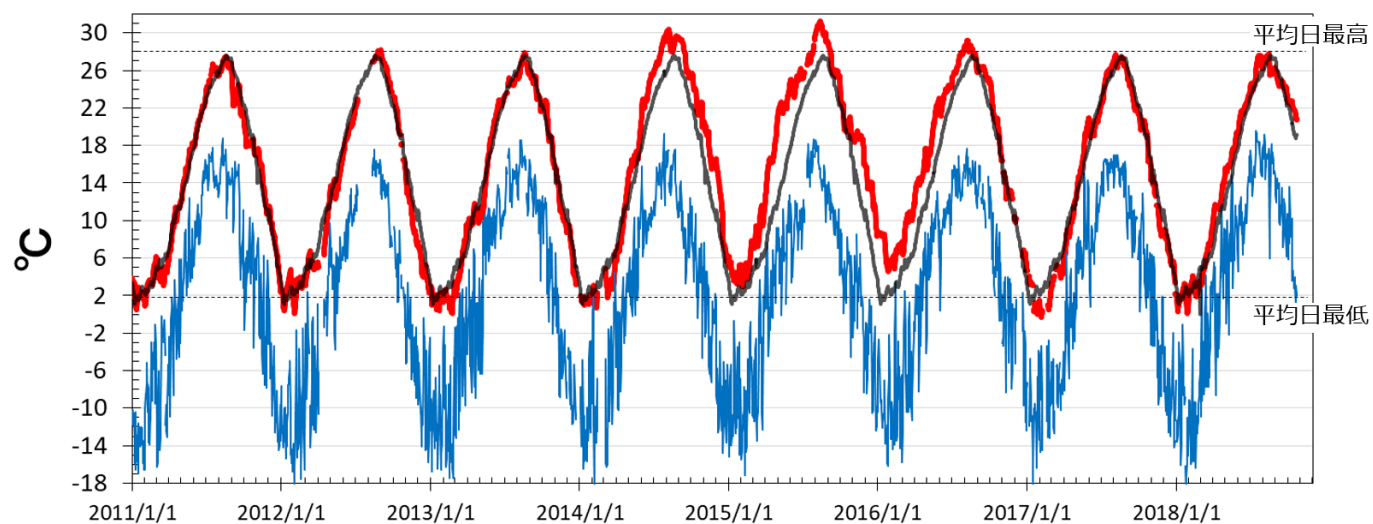


図4. 湯釜火口湖の水温. 赤線：実際に観測された水温，灰色線：2009～13年に測定された毎年同一日の水温を平均し，各日付について表示したもの．青色：湯釜局舎で測定された気温．2014年5月以降，湯釜水温は平年よりも数℃高い状態であったが，2016年8月以降は平年値付近で推移している．2018年10月からやや高く見え，湖面放熱量もやや高めに算出されるが，見極めにはなお時間を要する。

草津白根火山・湯釜火口湖の変色

2018年6月下旬から7月にかけて、湯釜火口湖の複数個所で黒灰色の変色域が認められた。変色「2」の先端部の直径は約 20 m で、風下側に 100 m 以上続く。東工大が湯釜火口内に設置した監視カメラによれば、「1」「2」に対応する変色が6月21日頃には認識できる。ドローンを用いた観測によれば、これら変色は6月25日が最も顕著で、その後は日とともに色が薄くなり、7月9日はほとんど認識できなくなった。その一方、通常よりもやや多量の浮遊硫黄が認められるようになった。8月以降、このような変色は認められていない。

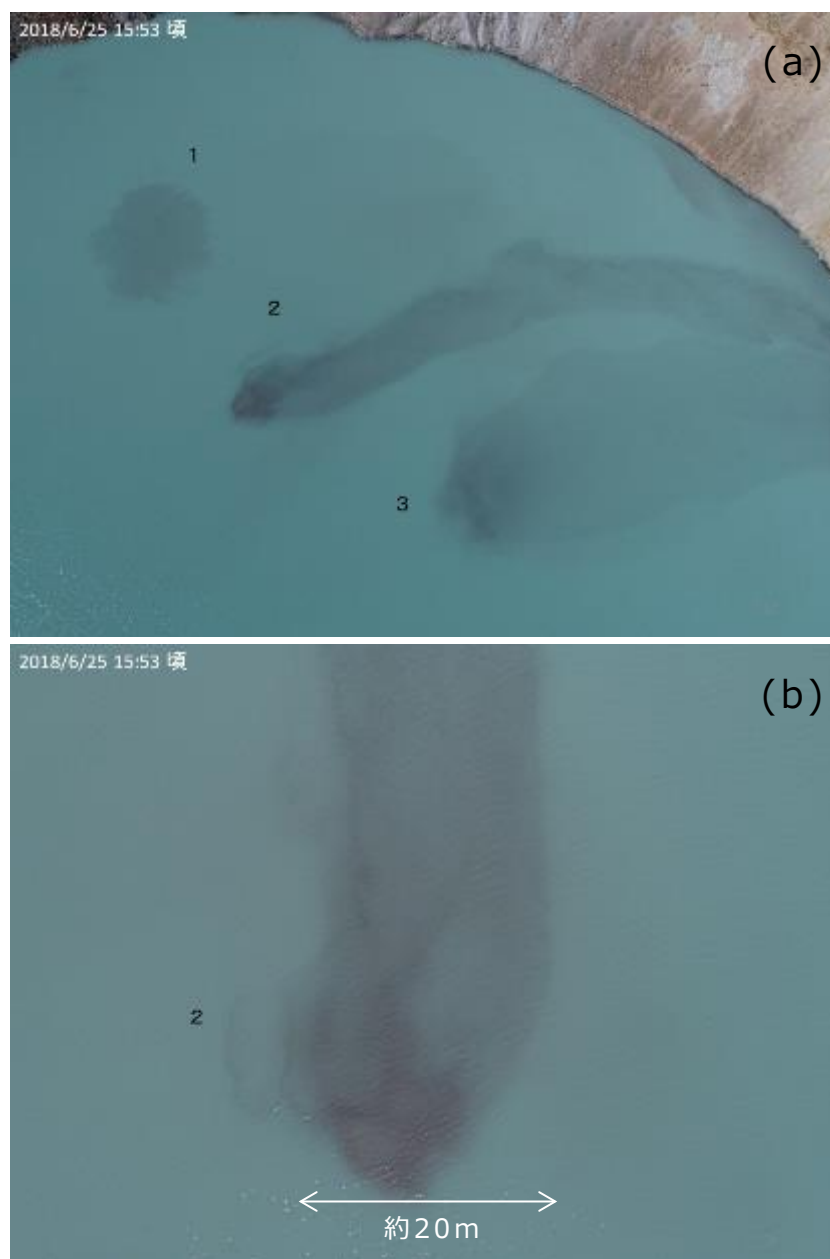


図1. 2018年6月25日. 従来から認められる湖底湧出口付近で最も色が濃く、風下方向へ移流とともに幅を変えることなく薄くなる. このことから、何らかの懸濁物質が湖底湧出流体に混入して湖面付近まで上昇し、その後、比較的短時間で湖底へ沈殿していると思われる.

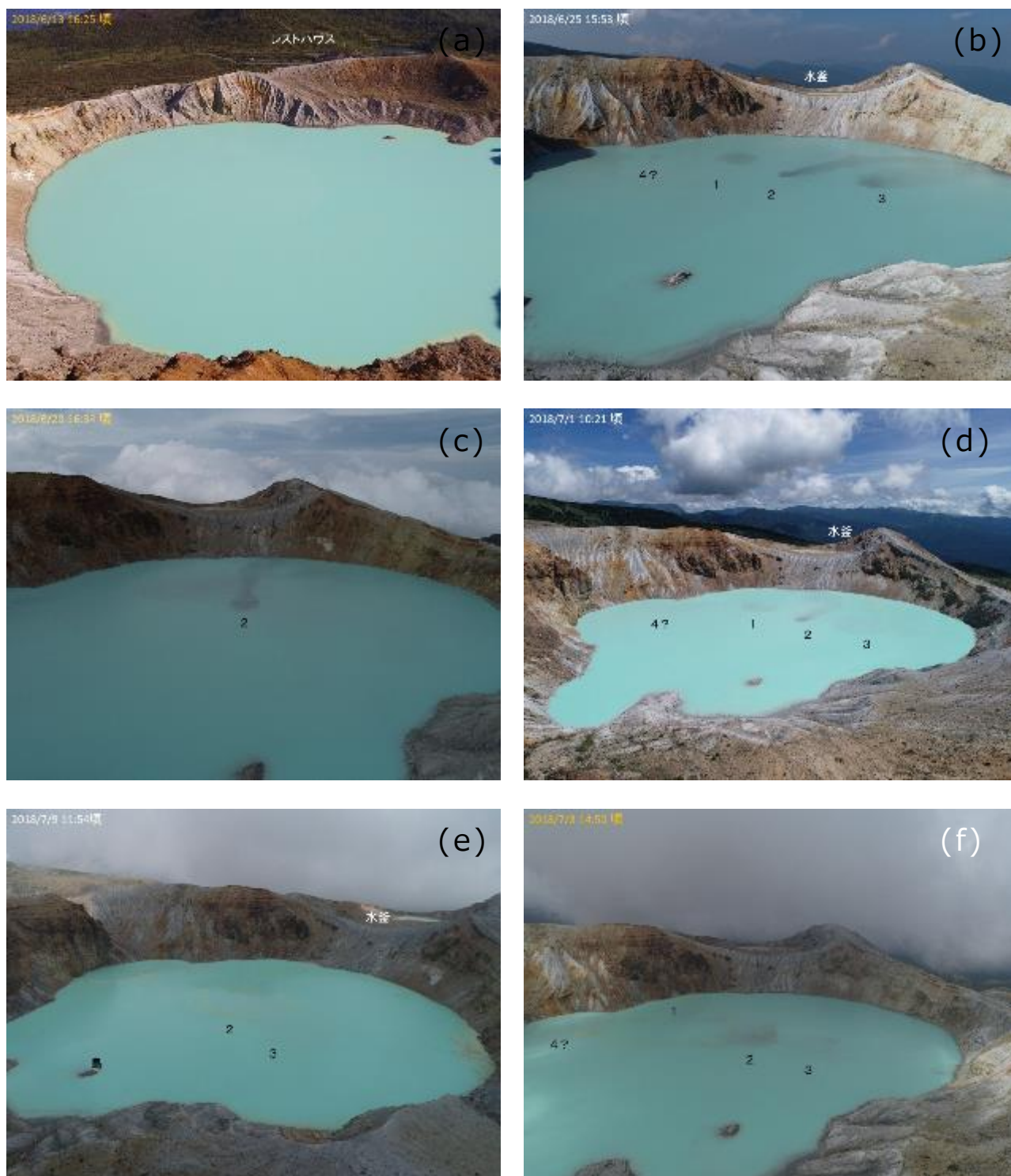
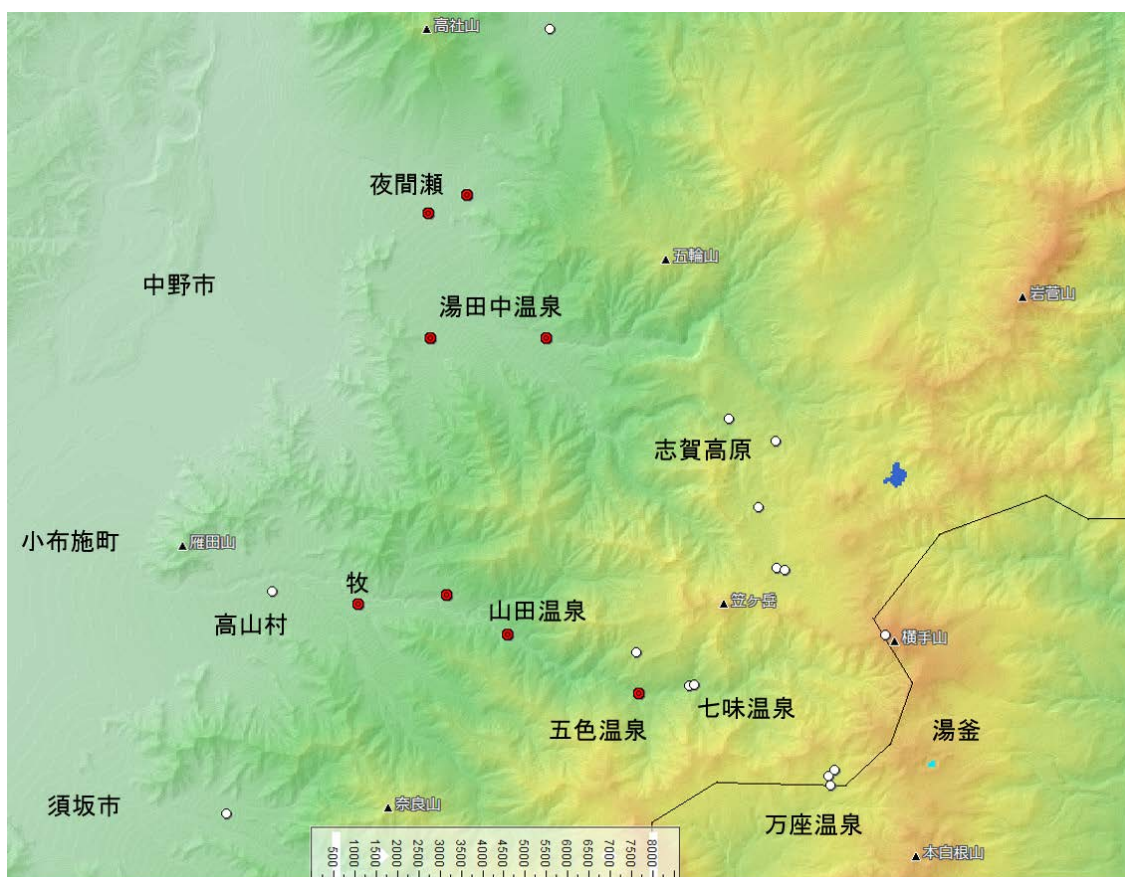


図2. 変色の時系列. 湖の長径は約300m. (a)2018年6月13日の画像, 変色なし. (b)同25日, (c)同28日, (d)同7月1日, (e)同3日, (f)2018年7月9日. 2018年6月25日の変色が最も明瞭であった. 7月3日の各変色域の色が薄く, 尾を引かなくなり, さらに7月9日は変色が不明瞭となった. 「2」「3」は風下側に尾を引くように変色域が延びる特徴があり, それは7月1日まで認められた. 「1」「3」は時間変動が比較的大きいように見える.

(謝辞) 各画像は文部科学省次世代火山研究推進事業により整備されたドローンにより取得された.

草津白根山西方での地鳴り

2018年9月25日頃から長野県山ノ内町および高山村の一部で、微小地震に伴い地鳴りが繰り返し聴こえている。10月12日に約30カ所で聞き取りした結果、10 km 程度の範囲で地鳴りが聴こえていることが分かった。その一方で、草津白根山に近い志賀高原、七味温泉、万座温泉で地鳴りの報告は得られなかった。

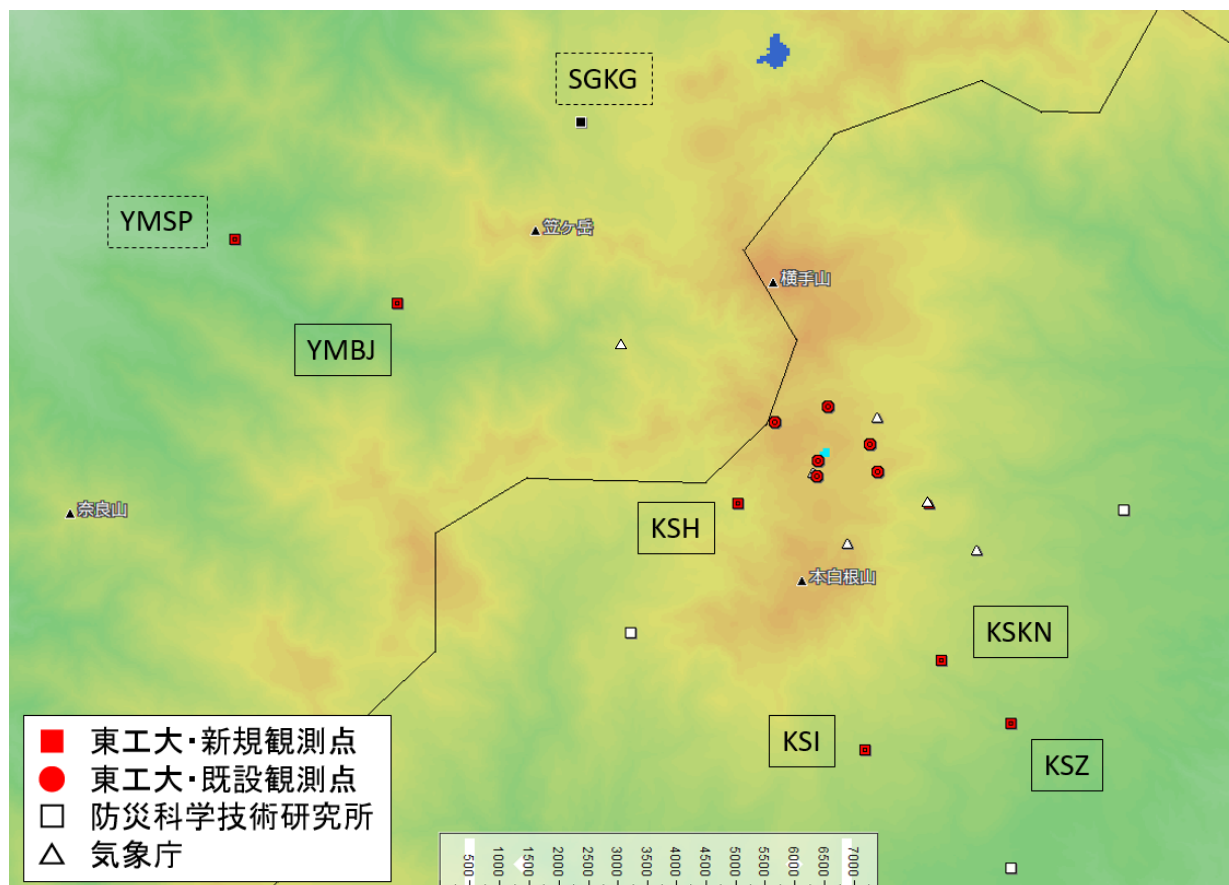


図．山ノ内町および高山村への通報内容（7カ所）に加え、10月12日午前中に電話で聞き取りした内容（20カ所）をまとめた。質問は「ここ1-2週間に当地で地鳴りを聞いた、または当地において地鳴りがしたという話を聞いたことが有るか」として、「はい」を赤丸、「いいえ」を白丸で表示した。作図には国土地理院数値地形図およびカシミール3Dを使用した。

（経緯）山ノ内町から10月11日に「町内の広範囲で地鳴りが聴こえる」との問い合わせがあった。有感地震を伴う場合と、地鳴りのみの場合があるとのことである。12日に高山村役場へ問い合わせたところ、やはり地鳴りの通報が近年になく多いとのことであった。12日午前中に周辺20カ所に対して電話にて聞き取りを行った結果、高山村では松川溪谷沿い（牧～五色温泉）で顕著な地鳴りが聴こえる一方、そこから1-2 km 程度の七味温泉や山田牧場では、揺れを感じるものの地鳴りは聴こえないとのことである。高山村の可聴域は中新世～鮮新世の固い花崗岩類が広く露出している。山ノ内町の可聴域は扇状地であり、その東側に花崗岩が露出している。志賀高原や草津町、万座など孺恋村では地鳴りの報告が得られない。東工大では、五色温泉において地鳴りを聴き、その際に付近を震源とする地震が発生していることを確認した。

東京工業大学の地震観測点整備状況（報告）

今春の草津部会で示した計画の通り，本白根山を取り囲む4ヵ所に地震観測点を整備した（科研費による）．7月以降の草津白根山西方での地震活発化に対応して，長野県側の3ヵ所に地震観測点を設置または準備中である（文部科学省次世代火山研究推進事業）．



図．東京工業大学の地震観測点配置図．いずれも2Hz地震計で，YMSPとSGKGはオフラインである．ここで，SGKGとKSHは11月上旬に稼働開始予定である．今後，長野側に更に2-3ヵ所程度の臨時観測点を整備する（次世代火山研究推進事業）．観測機材準備や現地作業にあたり，東北大学のはじめとして，北海道大学，秋田大学，気象研究所および防災科学技術研究所からご支援を頂きました．ここに記して厚く御礼申し上げます．作図には国土地理院数値地形図およびカシミール3Dを使用しました．

表．2018年1月の本白根山噴火後に整備した東工大の地震観測点リスト．データの気象庁への分岐を準備中である．

コード	名称	緯度	経度	標高	備考
KSZ	静可山	36.60104	138.57093	1275	1.28 設置
KSI	石津	36.60067	138.53740	1560	1.29 設置， 5.27 移設
KSH	干俣北	36.63488	138.51968	1810	1.29 設置， 11.9 移設完了見込
KSKN	鏡池南東	36.61059	138.55785	1585	10.13 設置
YMBJ	奥山田東	36.66573	138.45555	1447	10.23 設置
YMSP	奥山田	36.67365	138.42656	984	10.22 設置
SGKG	笠越				11月設置予定

表万座・2014年噴気周辺の空撮

2014年噴気域（湯釜から5km，本白根から3km）について，最近，立ち枯れや噴気が目立つとの問い合わせがあった．そこでドローンによる空撮を2018年10月3日に実施したが，噴気や硫黄付着は確認できなかった．また，この周辺数100メートルの範囲を上空から目視する限り，他に噴気や植生枯死域は認められなかった．

概要

- ・ 日時：2018年10月3日10:20～11:30
- ・ 項目：可視画像撮影（斜め，垂直）
- ・ 方法：枯死域から南西へ約 400 m 離れた道路（万座ハイウェイ）の路肩に三角コーンを置いて離着陸場とした．ドローンは DJI Phantom 4 Pro を使い，1回のみ約17分間飛行させた．ドローンによる撮影は今回が初めてであり，今後，時間をおいて再び撮影することで時間変化の有無を検討する．また，噴気が高く上がるなどの明らかな異常があれば，地表面温度や火山ガス組成など追加観測を実施する．

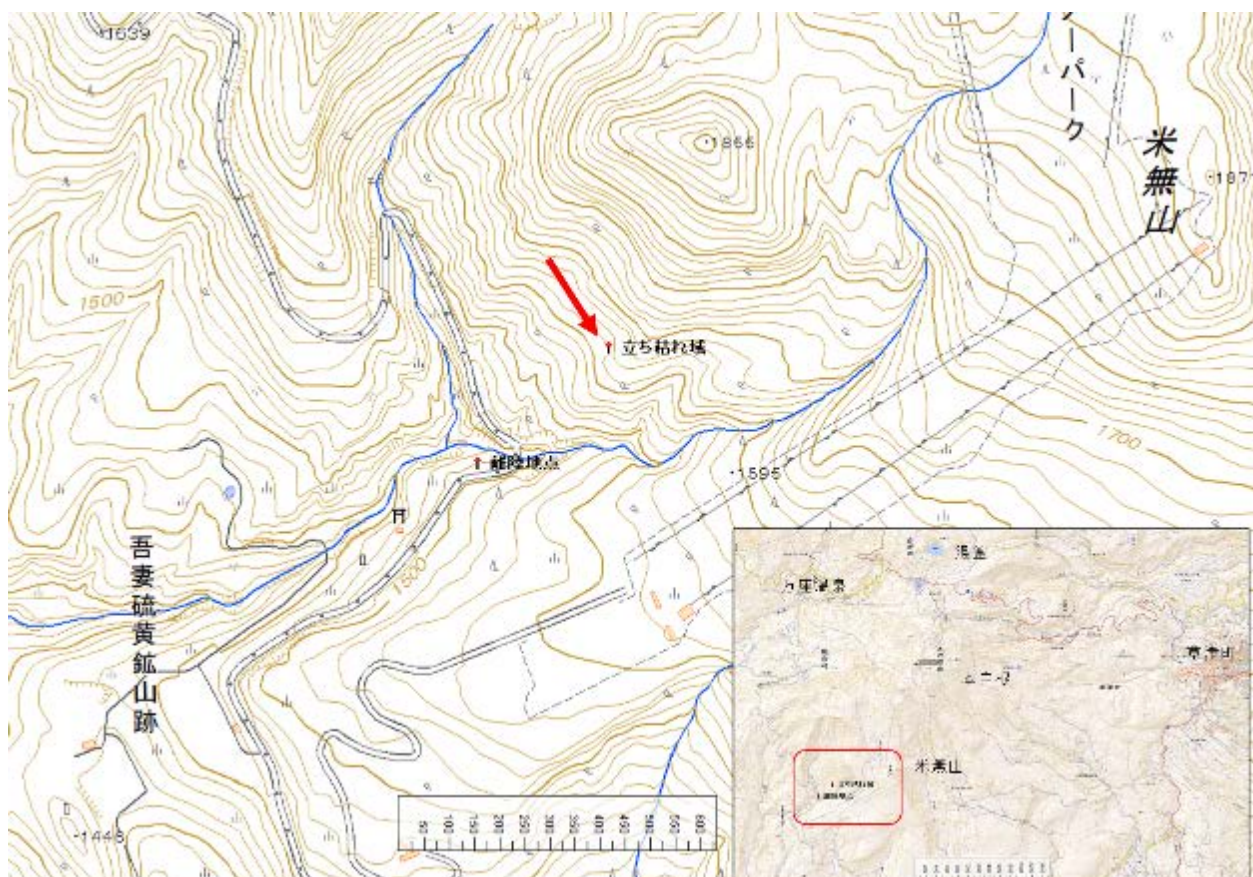


図1. 位置図．国土地理院地形図を使用した．

謝辞：草津白根火山周辺での目視外飛行については，国土交通省航空局および吾妻森林管理署から許可を得ています．万座ハイウェイ管理者には万座温泉観光協会を通じて，道路脇を離着陸場として使用することについて承諾を頂きました．環境省万座保護官事務所には，本件調査について事前連絡のうえで実施しました．ご協力いただいた皆様に厚く御礼申し上げます．使用し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．



2014年噴気孔の位置(概略)

図2. 南西方向から.



垂直画像

約60m

図3. 垂直画像. 画面上が北に対応する. 黒っぽく見えるものは影.

草津白根山周辺の噴気・温泉水遊離ガスのヘリウム同位体比

1. 概要

2014 年 10 月から 2018 年 9 月にかけて、草津白根山の噴気や周辺の温泉遊離ガスを採取し、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) は全地点で最も高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比を、観測期間を通してほぼ一定して示している。これは相対的に ^3He に富む、マグマ起源の火山ガス成分が北側噴気で卓越していることを意味する。東山麓の殺生河原噴気地帯と草津湯畑温泉では、2017 年まで一定した $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が観測されていたが、2018 年 1 月の本白根山の噴火からそれぞれ 3 週間後と 3 ヶ月後に $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が一旦減少した後に上昇に転じ、2018 年 5 月から 8 月にかけて北側噴気に迫る高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が観測された。2018 年 3 月から観測を開始した西山麓の万座干俣噴気地帯と万座湯畑温泉でも $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の上昇は見られ、2018 年 6 月～8 月に最高値に達した。2018 年 9 月時点で、草津湯畑・万座湯畑では $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が減少に転じたように見えるが、北側噴気と殺生河原、万座干俣では依然として高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が観測されている。

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、草津湯畑温泉、万座干俣噴気地帯、万座湯畑温泉) 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温泉遊離ガス (バブルガス) 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 (主として ^4He) 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。本報告で示す $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はすべて、大気起源ヘリウムの寄与を除いた $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比であり、大気中ヘリウムの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比 ($R_A = 1.4 \times 10^{-6}$) を基準として表している。なお北側噴気と殺生河原、草津湯畑、万座湯畑の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は、1994 年^[3]あるいは 2001 年^[4]時のデータが報告されている。

3. 結果・考察

図 2 に噴気 (北側噴気、殺生河原、万座干俣)、図 3 に温泉遊離ガス (草津湯畑、万座湯畑) の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の経時変化を示す。温泉遊離ガスには地下水に溶け込んだ大気起源ヘリウムの寄与が大きく、大気の混入を除去した $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が精度よく求められていない。

北側噴気は全地点中で最も高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比 ($7.2 \sim 8.1 R_A$) を、細かい変動はあるものの全期間を通して一定して示している。1994 年の報告値 ($8.1 R_A$) もこの範囲に入る。本白根山の噴火後数ヶ月間は、立入規制により試料が採取できなかったためその間の変動の有無は不明であるが、2018 年 5 月以降は 3 つの噴気孔ともに $7.7 R_A$ を超え、これまでの最高値である $8.1 R_A$ に及ぶ高い水準を一定して示している。これは ^3He に相対的に富むマントル起源のヘリウム ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が $8 R_A$ 程度) を含み、相対的に ^4He に富む基盤岩や古い地下水中のヘリウム ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が $0.02 R_A$ 程度) の影響を受けていないマグマから放出された火山ガス成分が、北側噴気で常に卓越していることを意味している。

殺生河原では、北側噴気に次いで高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（6.9～7.7 R_A ）が、2014 年 10 月から 2017 年 7 月にかけて見られていた。1994 年の報告値（7.5 R_A ）もこの範囲に入る。本白根山の噴火の翌日（1 月 24 日）に試料が採取されているが、その $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は 7.1 R_A と、それまでの観測とほぼ等しかった。しかしその 3 週間後（2 月 13 日）にはそれまでの範囲を逸脱して低い値（6.4 R_A ）を示した。以後は上昇に転じ、2018 年 4 月以降は 2018 年 1 月以前と同様かやや高い値（7.4～7.7 R_A ）で推移している。

万座干俣では 2018 年 3 月から観測を開始したが、当初 6.2 R_A であった $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比はその後上昇し、2018 年 6 月から 9 月まで、殺生河原と同程度の値（7.1～7.7 R_A ）で推移している。

草津湯畑では前述の通り $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が精度よく求められていないが、2014 年 10 月～2018 年 2 月には概ね一定の値（6.5～6.9 R_A ）を示していた。2018 年 4 月から 6 月にかけて 6.0 R_A まで減少したが、7 月には上昇し、8 月まで北側噴気・殺生河原噴気に近い高い値（平均 7.5 R_A ）が観測された。その後 9 月には 7.0 R_A と、若干低くなっているように見える。1994 年の報告値（6.4 R_A ）は 2014 年 10 月～2018 年 2 月の範囲（6.5～6.9 R_A ）に入るが、2001 年には高い値（7.7 R_A ）も報告されており、2018 年以降見られているような変動が、2001 年前後にもあったかは定かでない。

万座湯畑でも同様に精度のよい測定結果は得られておらず、また測定点が少ないものの、2018 年 5 月（6.9 R_A ）と 6 月（6.8 R_A ）に比べ、7 月には高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（7.7 R_A ）が観測された。一方 9 月には 6.7 R_A と、5 月・6 月と同程度に戻ったように見える。2001 年の報告値（7.0 R_A ）もこの水準に近い。

総じて 2017 年までは、1994 年あるいは 2001 年時と比較して $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比にほとんど変化はなく（2001 年の草津湯畑を除く）、2014 年 3 月から 9 月にかけて継続していた群発地震の事後に対応した変動は見られていない。

一方、殺生河原と草津湯畑でそれぞれ 2018 年 2 月と 4 月～6 月に観測された $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の低下は、本白根山の噴火に応答して起こった可能性がある。万座干俣では噴火以前の値が不明であるが、近傍の万座空吹噴気（2018 年現在、噴気活動が弱いために試料は採取していない）で 1994 年に 8.0 R_A と報告されているため、やはり 2018 年 3 月の時点ですでに、 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比がそれ以前より低下していた可能性が高い。これらの地点で従前よりも $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が低くなるには、北側噴気に代表される高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（8 R_A 程度）をもつ火山ガス成分に加わっていた、6 R_A より低い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比をもつ火山ガス成分の寄与が増加しなければならない。この成分が何から供給され、どのようにして本白根山の噴火と対応して寄与率が増加したかは、今後の研究の課題である。しかしその供給源からの距離の違いを反映した時間差をもって、殺生河原、万座干俣、草津湯畑の順に $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の低下が観測された可能性は示唆される。

湯釜付近では 2018 年 4 月以降火山性地震の活動が活発化している（気象庁火山活動解説資料）。これと時期を合わせて、北側噴気と殺生河原では従前の最高値に近い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が継続して観測されており、やや遅れて万座干俣、さらに遅れて草津湯畑と万座湯畑で同様に高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が観測されるようになっている。これらは高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比をもつマグマ起源の火山ガス成分の寄与が、全地点において支配的になっていることを意味している。2014 年の群発地震の直後には、高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比をもつ火山ガス成分の寄与率の増加の痕跡は観測されていなかったことから、現在の活動は 2014 年時よりも高いマグマ起源ガスの放出率を伴っている可能性が考えられ、2018 年 9 月時点でいくつかの地点（草津湯畑、万座湯畑）でその寄与は下がり始めているように見えるものの、今後も注意深く観測を継続する必要がある。

[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.
- [3] Sano, Y., Hirabayashi, J., Ohba, T., Gamo, T., 1994. Carbon and helium isotopic ratios at Kusatsu-Shirane volcano, Japan. Applied Geochemistry 9, 371-377.
- [4] Ohwada, M., 2003. Behavior of volatiles in volcanic hydrothermal systems inferred from noble gas abundances and isotopic ratios, Department of Chemistry, Graduate School of Science and Engineering. Ph. D. thesis, Tokyo Institute of Technology, p. 129.

[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. 試料を採取した噴気地帯（北側噴気、殺生河原、万座干俣）と温泉（草津湯畑、万座湯畑）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。

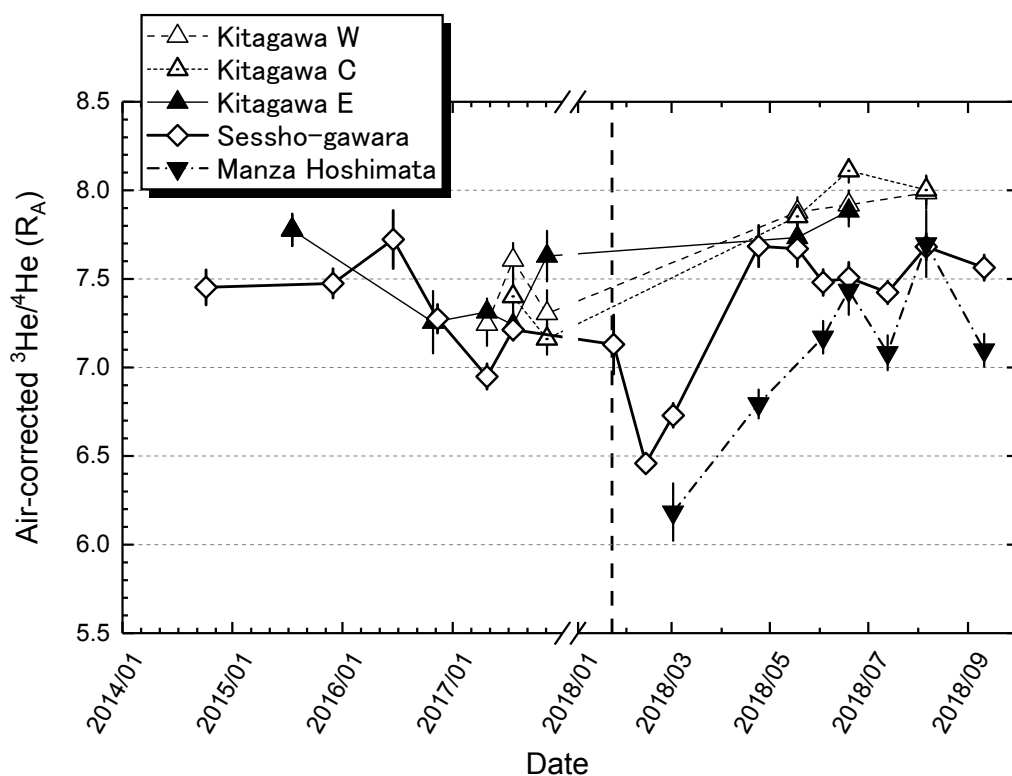


図 2. 北側噴気地帯の 3 噴気孔（西：W、中央：C、東：E）、殺生河原噴気、万座干俣噴気の 2014 年 10 月～2018 年 9 月の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み）。2018 年 1 月以降は時間軸を拡大して示している。誤差は 1σ で、測定誤差と大気ヘリウム混入の補正に伴う誤差を含む。縦の破線は 2018 年 1 月 23 日の本白根山の水蒸気噴火を示す。

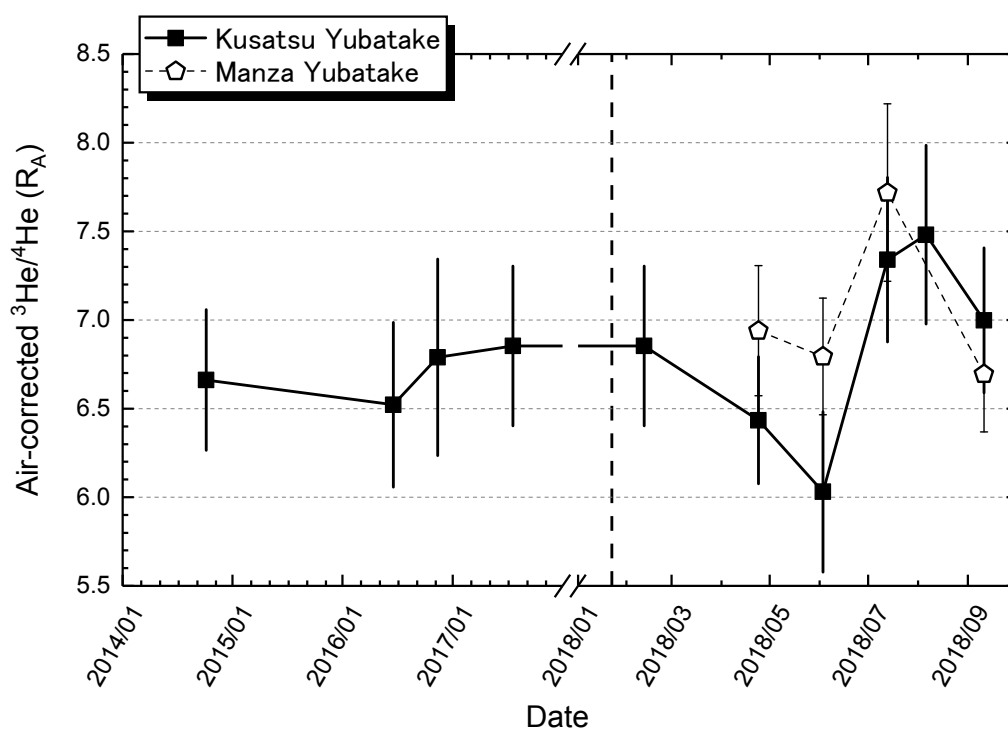


図 3. 草津湯畑温泉と万座湯畑温泉の 2014 年 10 月～2018 年 9 月の $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比（大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み）。2018 年 1 月以降は時間軸を拡大して示している。誤差は 1σ で、測定誤差と大気ヘリウム混入の補正に伴う誤差を含む。縦の破線は 2018 年 1 月 23 日の本白根山の水蒸気噴火を示す。

草津白根山噴気の化学組成・安定同位体比(2014 年 7 月～ 2018 年 10 月)

Chemical composition and stable isotope ratio of the fumarolic gases sampled at Kusatsu-Shirane volcano, Japan (July 2014 to October 2018)

1. 概要

2014 年 7 月から 2018 年 10 月にかけて、草津白根山湯釜火口北部地熱地帯の三か所で、繰り返し噴気採取・分析した。3 つの噴気で $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比は 2017 年 11 月まで低下傾向を示したが、2018 年 5 月から 6 月にかけて上昇に転じた。8 月に入ると $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比は減少あるいは横ばい傾向に変化した。 $\text{He}/(\text{He}+\text{CH}_4)$ 比は、2014 年 7 月から 2015 年 10 月まで大きかったが、その後急速に減少した。 $\text{He}/(\text{He}+\text{CH}_4)$ 比は 2017 年 11 月まで小さい値を示したが、2018 年 5 月に上昇に転じたものの、この傾向は長続きせず、2018 年 8 月以降減少した。 CO_2 や He はマグマ成分であり、2017 年 11 月から 2018 年 6 月までの期間内で、湯釜直下の熱水系に対するマグマ成分の流量が増加したが、その後、流量は減少したことを示している。

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 で噴気採取した。噴気孔の緯度・経度を表 1 に示す。2017 年 11 月まで C 噴気を継続して採取していたが、2018 年 5 月に噴気の放出が止まっていたので、北方に 27m 程度離れた C' 噴気で採取を行った。これらの噴気採取するために、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 2 に 2018 年 6 月から 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。噴気の温度は観測期間を通じて水の沸点程度であった。AET は火山ガスの成分間で以下の化学反応、



が平衡に到達する温度で、浅部熱水系の温度を反映すると考えられている。AET はガスの圧力に依存するので、本報告では、圧力として AET における飽和水蒸気圧を用いた。

噴気 W, C 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、増加し、2017 年 11 月には 25%を超えた (図 2)。しかし 2018 年 5 月には全ての噴

気で H_2S 濃度は 18~19% に低下した。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、2017 年 11 月まで噴火の可能性が低下していたが、2018 年 5 月には、その傾向は逆転したことを示唆する。しかし、 H_2S 濃度の低下傾向はその後、2018 年 8 月には早くも歯止めがかかった。検知管による現場測定の結果 (図 3) では、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は、W 噴気では 2018 年 10 月にかけてさらに低下し、C と E 噴気では 6 月から 8 月にかけて横ばいであり、少なくとも 2018 年 10 月まで H_2S 濃度の低下傾向は起きていないと判断される。

図 4, 5 にそれぞれ $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比、 $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ 比の変化を示す。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比は 2017 年 11 月まで一貫して低下し、2018 年 5 月に上昇したが、 $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ 比は変動を伴うものの安定している。ドライガスの主成分は CO_2 と H_2S である。図 2 のドライガス中の H_2S 濃度変化は、 CO_2 濃度の変化が原因であると考えられる。

図 6 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た。 He はマグマ成分、 CH_4 は熱水系成分であり、図 6 の変動は、2017 年 11 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。この流量増加は、2018 年 8 月以降に解消したと推定される。

噴気 W と C' の見かけ平衡温度 (AET) は 2018 年に入りわずかに低下傾向にあるが、E の AET は安定している (図 7)。図 8 および図 9 で、噴気 C' の H_2O の水素・酸素同位体比は 2018 年に入り、2017 年 11 月の値から大きく低下したが、他の二つの噴気については、2017 年 11 月から大きな変化はみられない。噴気 C' は小さな噴気孔であり、放出量が低いので、地表近くで火山ガスが冷却をうけて、水蒸気の部分的な凝縮が発生し、同位体比が低下したと考えられる。

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. Ohsaka 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. 採取・分析を行った噴気孔の位置

Table 1. Location of fumaroles used for monitoring

Fumarole	Latitude	Longitude
W	N 36d 38m 52.3s	E 138d 32m 15.6s
C	N 36d 38m 52.4s	E 138d 32m 22.6s
C'	N 36d 38m 53.29s	E 138d 32m 22.55s
E	N 36d 38m 50.5s	E 138d 32m 33.0s

表 2. 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)

Table 2. Chemical and isotopic composition of fumarolic gases sampled at Kusatsu-Shirane volcano, Japan with the apparent temperature calculated based on chemical composition.

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						0.057	0.109	0.038	99.8	0.0426				
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						0.051	0.069	0.0691	99.8	0.0282				
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						0.060	0.255	0.0713	99.6	0.0572				

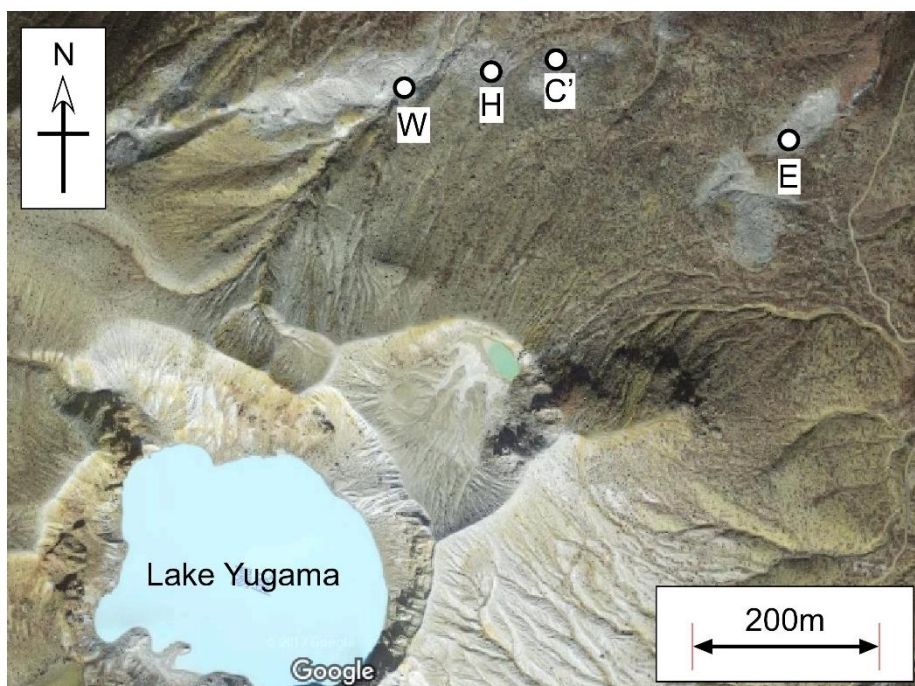


図 1. 草津白根山山頂北側山麓噴気 W, C', E の位置. H は新たに生じた陥没孔 (背景図として, GoogleMap を使用した) Fig.1. Location of fumaroles W, C' and E on the north flank of Kusatsu-Shirane volcano. H is a newly formed hole with boiling water. (GoogleMap was used for the background)

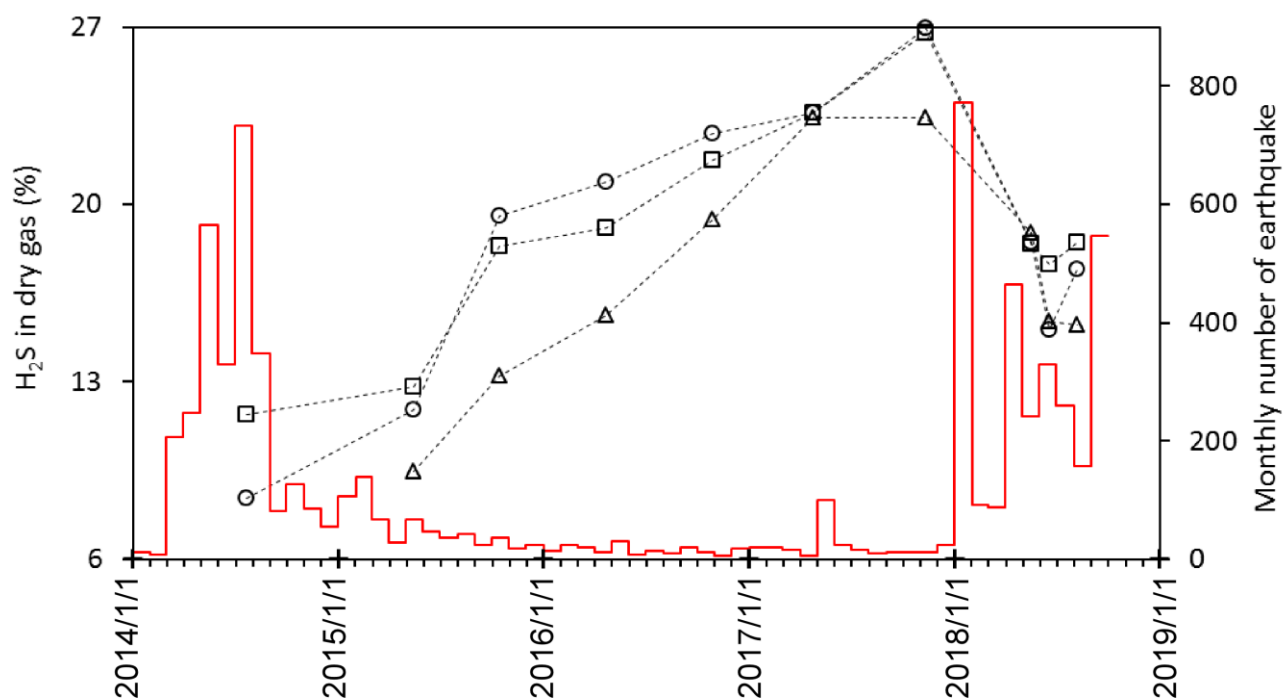


図 2. H_2O を除いた成分 (Dry gas) 中における H_2S 濃度の変化 (○ : W, □ : C, △ : E). 月別地震回数は気象庁の観測に基づく.

Fig. 2. Change of the H_2S concentration in the components excluding H_2O (dry gas)

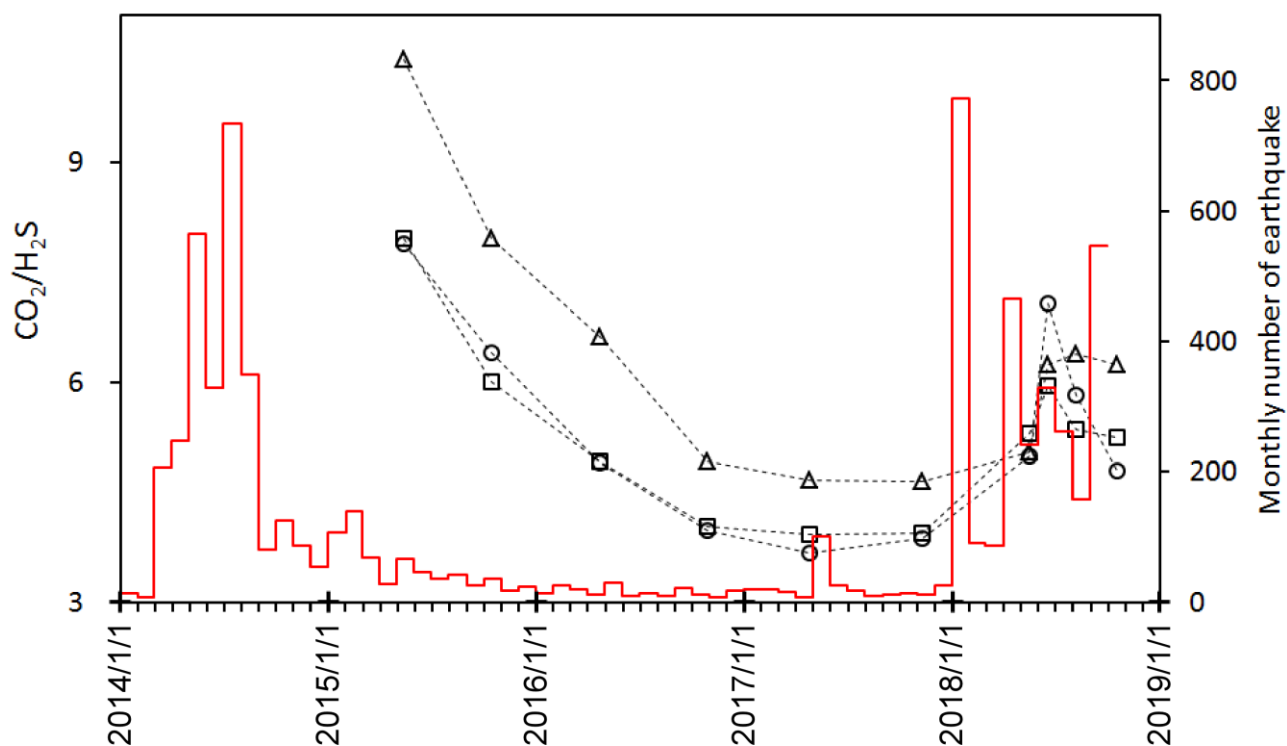


図 3. $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の時間変化 (検知管による現場測定) (○ : W, □ : C, △ : E). 月別地震回数は気象庁の観測に基づく.

Fig. 3. Change in the $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ ratio measured by use of test-tube.

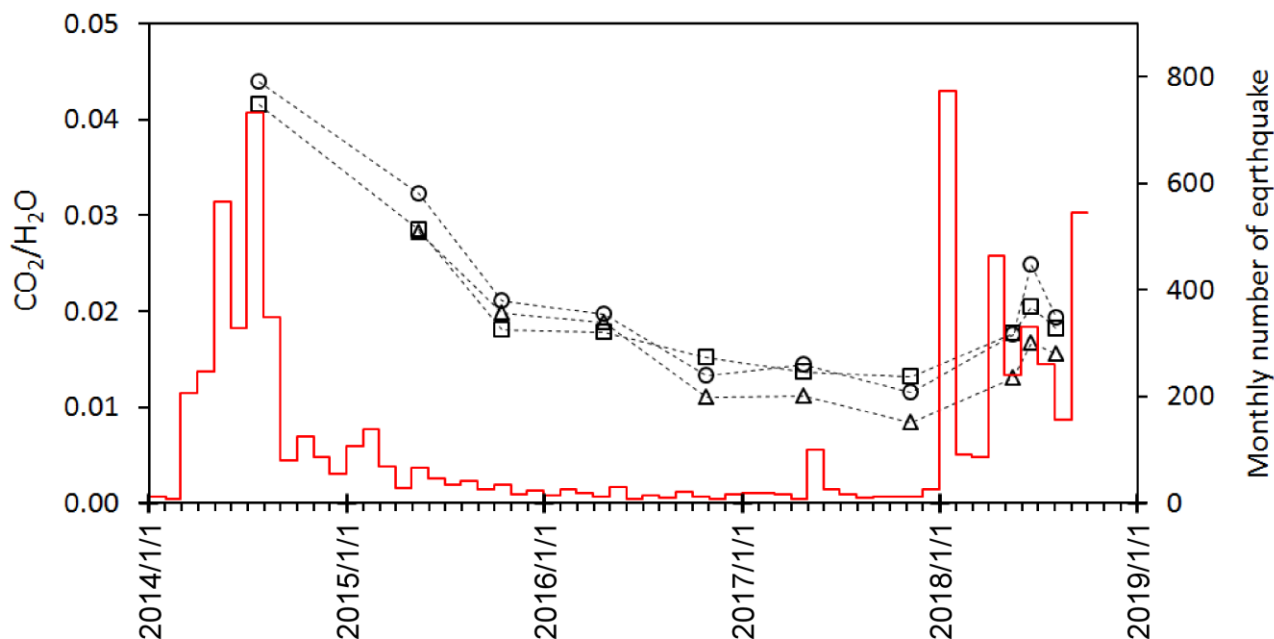


図 4. $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比の時間変化 (○ : W, □ : C, △ : E). 月別地震回数は気象庁の観測に基づく.

Fig. 4. Change in the $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ ratio of fumarolic gases

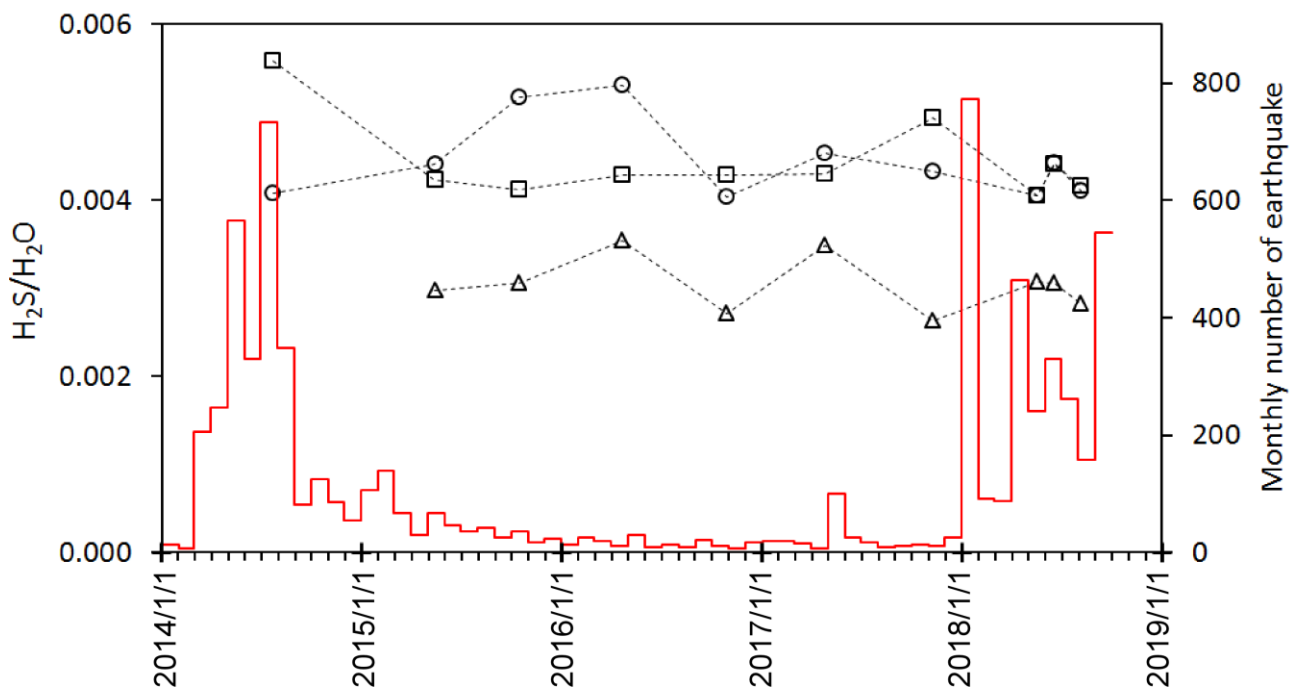


図 5. $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ 比の時間変化 (○ : W, □ : C, △ : E). 月別地震回数は気象庁の観測に基づく.

Fig. 5. Change in the $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ ratio of fumarolic gases

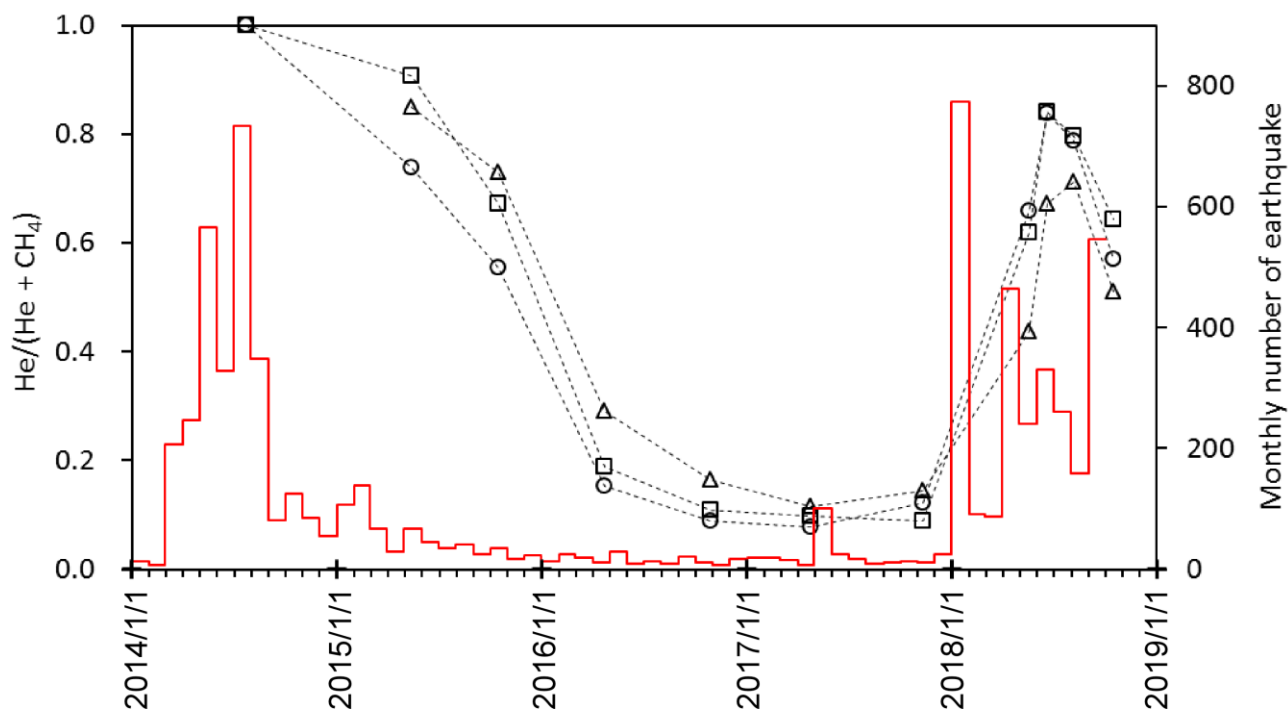


図 6. $\text{He}/(\text{He}+\text{CH}_4)$ 比の時間変化 (○ : W, □ : C, △ : E). 月別地震回数は気象庁の観測に基づく.

Fig. 6. Change in the $\text{He}/(\text{He}+\text{CH}_4)$ ratio of fumarolic gases

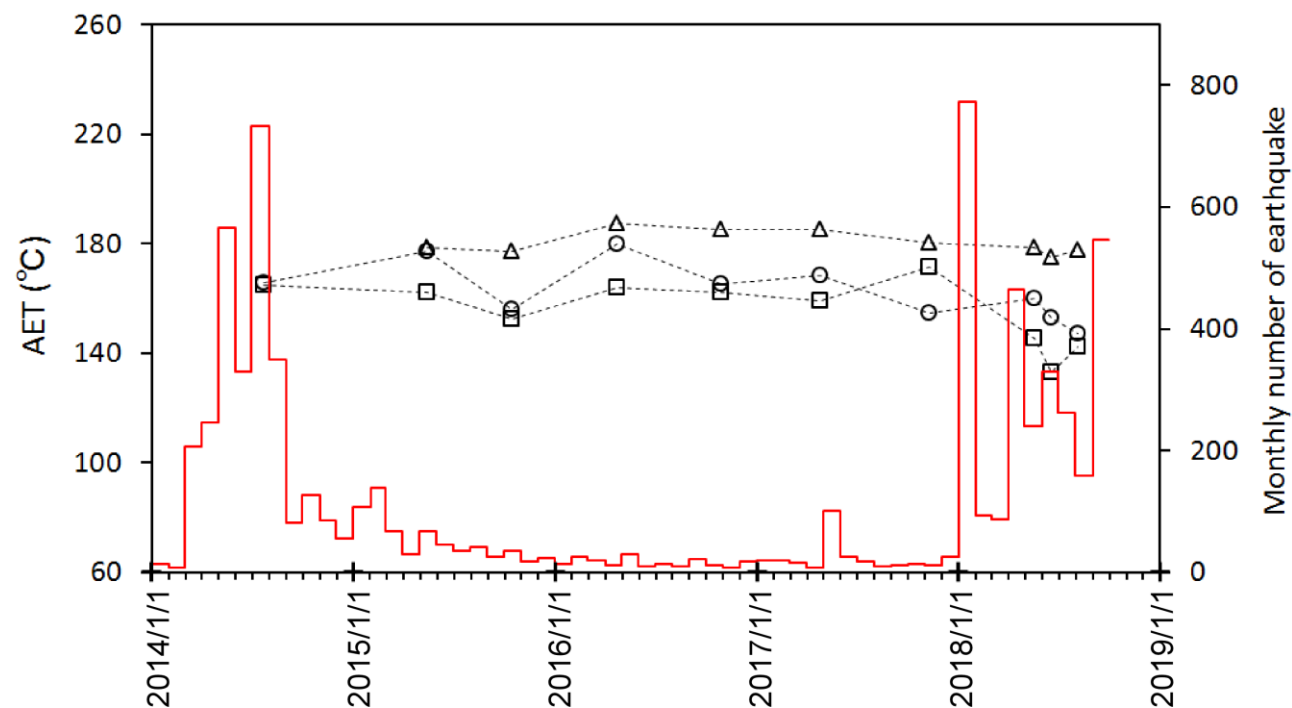


図 7. 見かけ平衡温度 (AET) の変化 (○ : W, □ : C, △ : E). 月別地震回数は気象庁の観測に基づく.

Fig. 7. Changes in the apparent equilibrium temperature (AET)

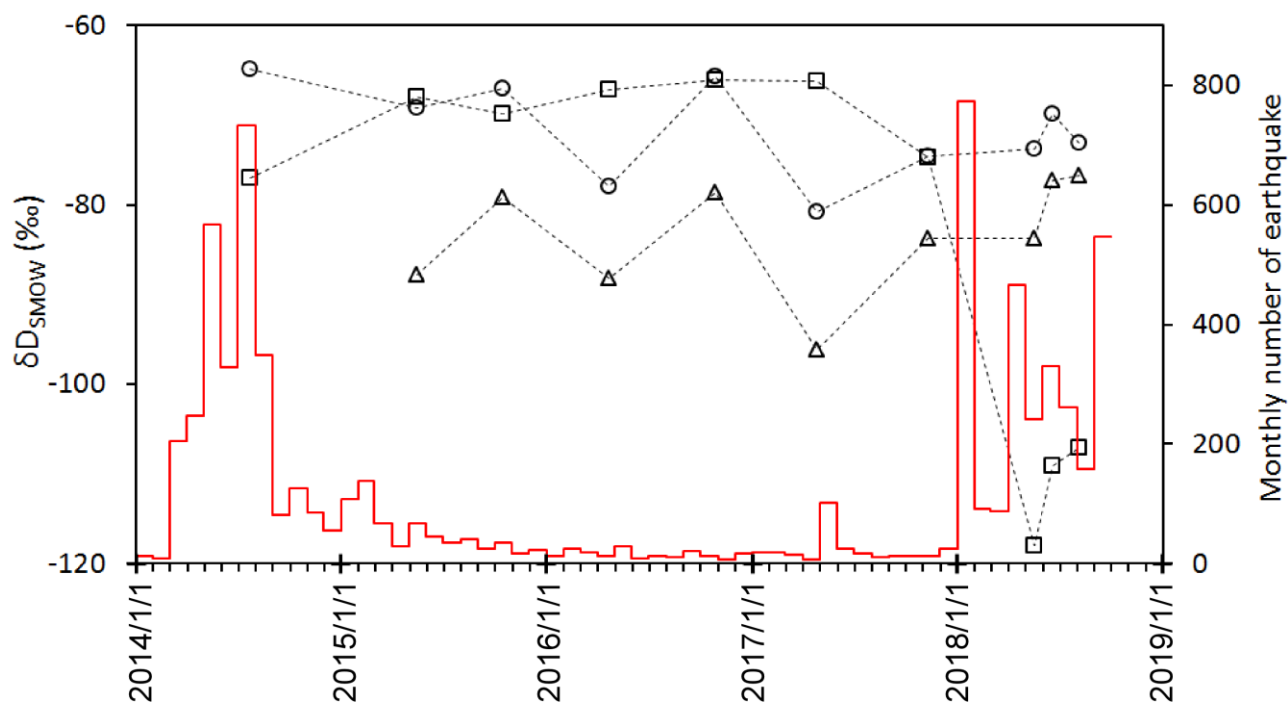


図 8. H_2O の水素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) の変化 (○ : W, □ : C, △ : E). 月別地震回数は気象庁の観測に基づく.

Fig. 8. Changes in the hydrogen isotope ratio of H_2O in fumarolic gases

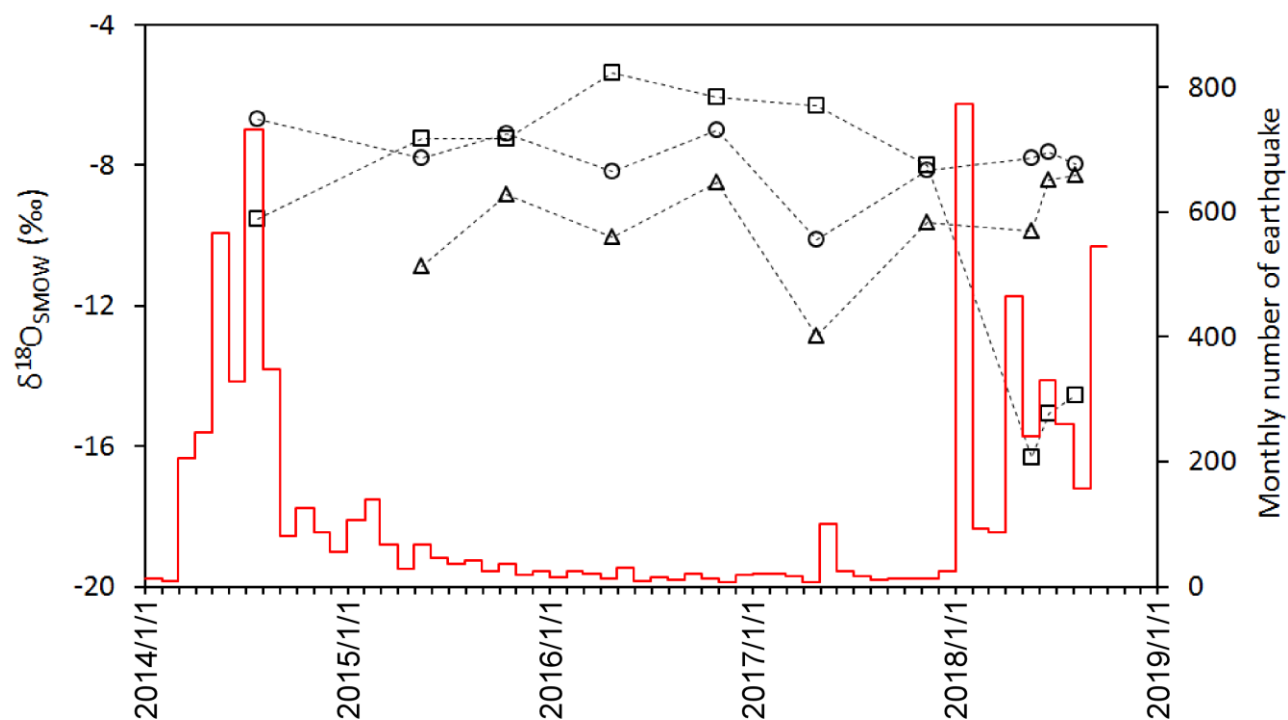
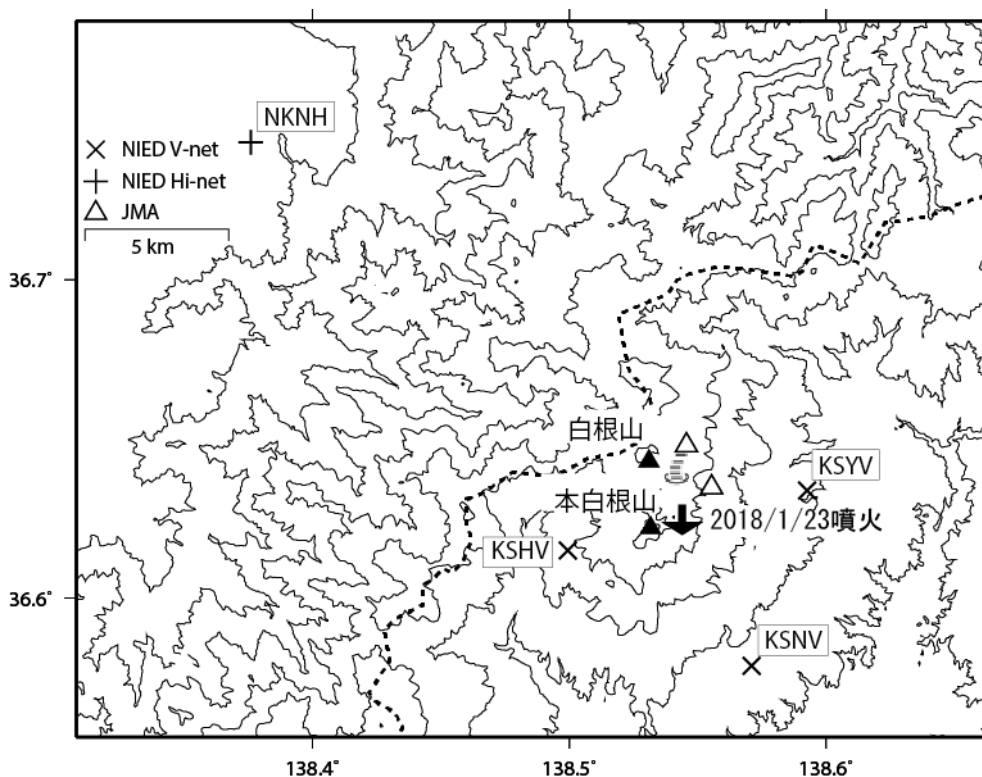


図 9. H_2O の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) の変化 (○ : W, □ : C, △ : E). 月別地震回数は気象庁の観測に基づく.

Fig. 9. Changes in the oxygen isotope ratio of H_2O in fumarolic gases

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

2018 年 1 月 23 日 10 時 02 分に噴火が発生した。噴火後に明瞭な変動は認められない。なお、KSHV の傾斜計変動に記録されたオフセットは、7 月 31 日長野県北部で発生した地震（M3.7）によるものと考えられる。

草津白根山の傾斜変動 (2012/4/1～2018/08/24)

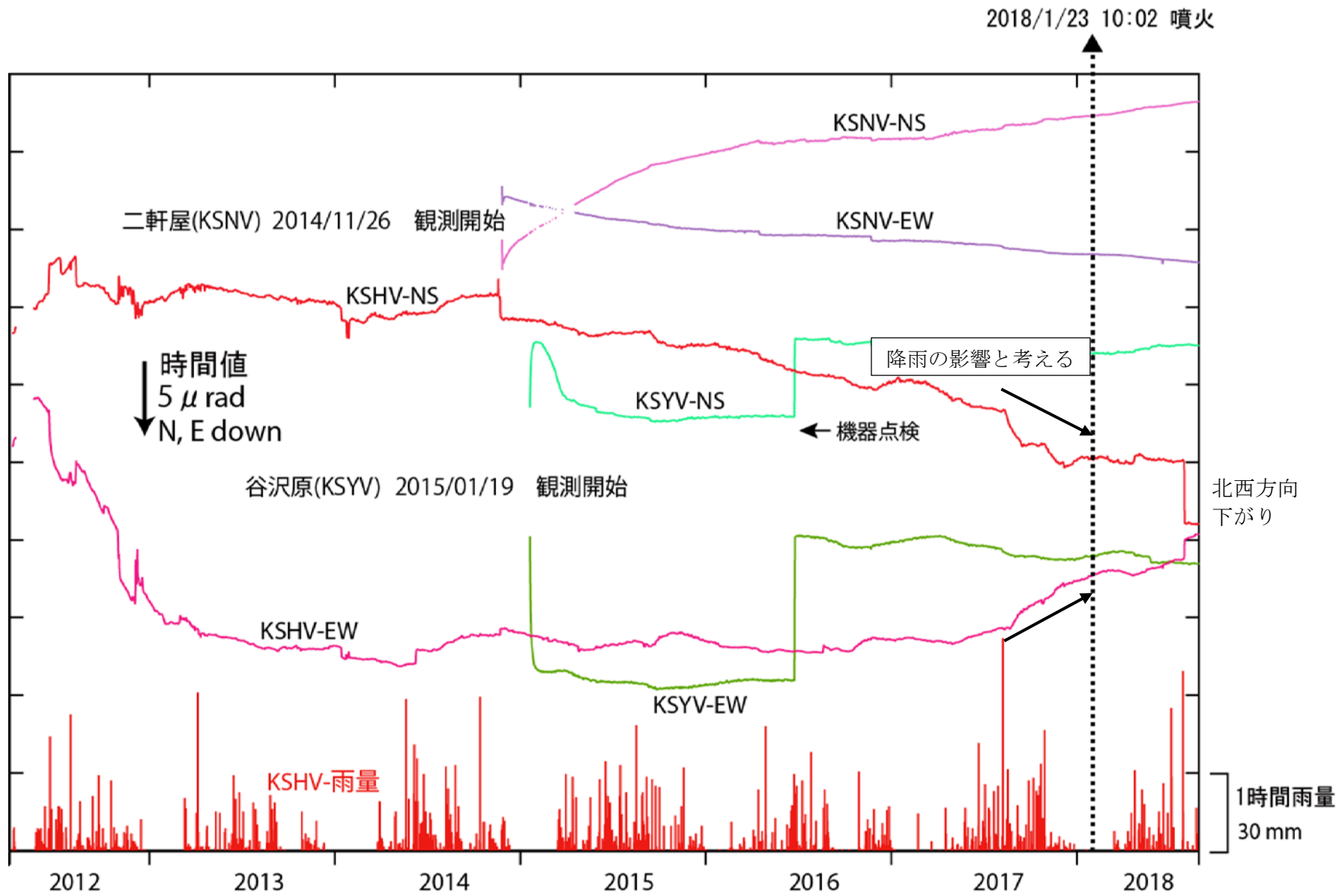


図1 草津白根山の傾斜変動

なお、8月25日～31日まで、システム更新のためデータ非表示になっている。

草津白根山

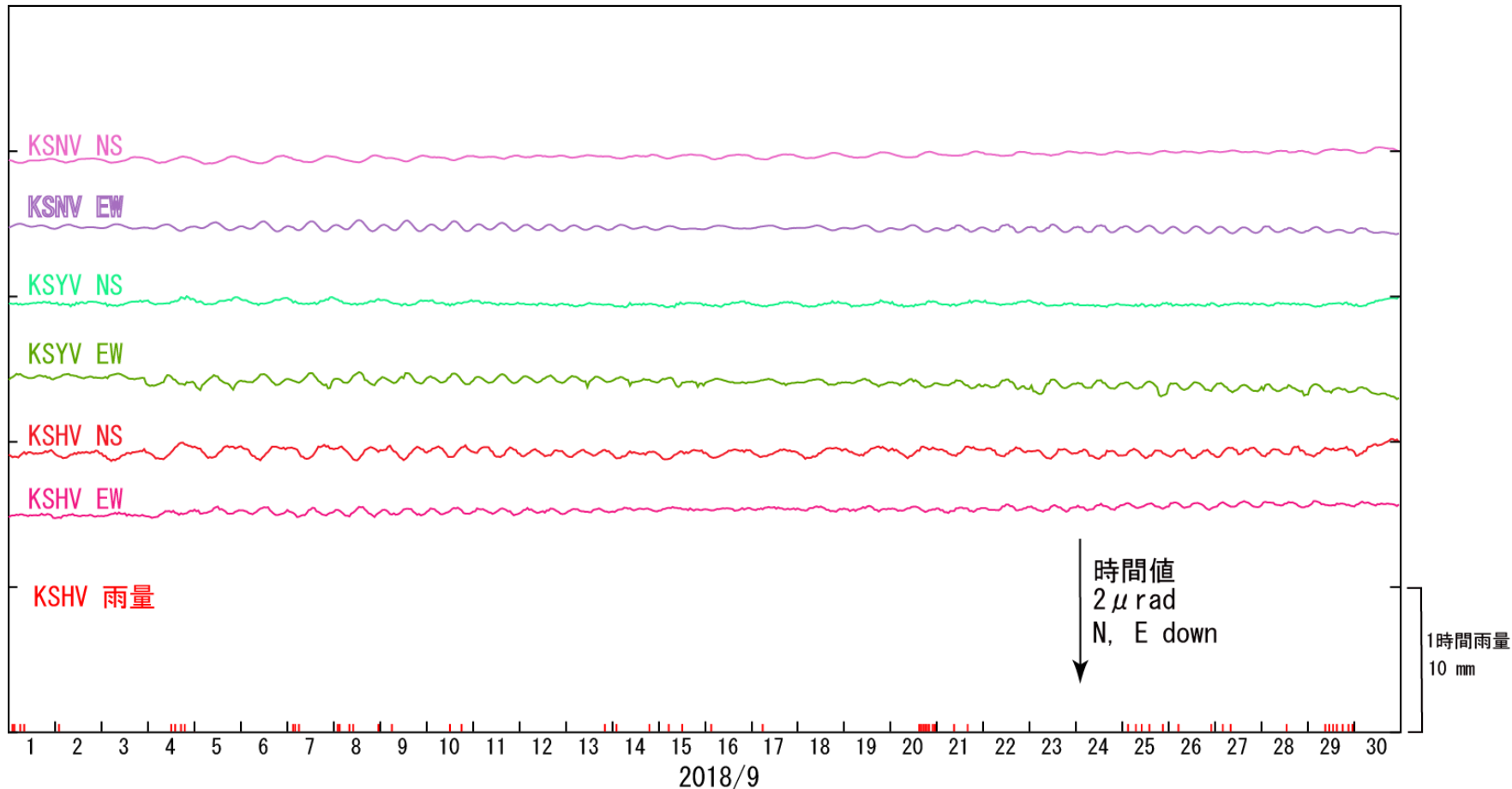


図 2 草津白根山の傾斜変動 (2018 年 9 月)

草津白根山

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 04 月 30 日－2018 年 09 月 19 日の地殻変動【長野栄 (0982) 固定】

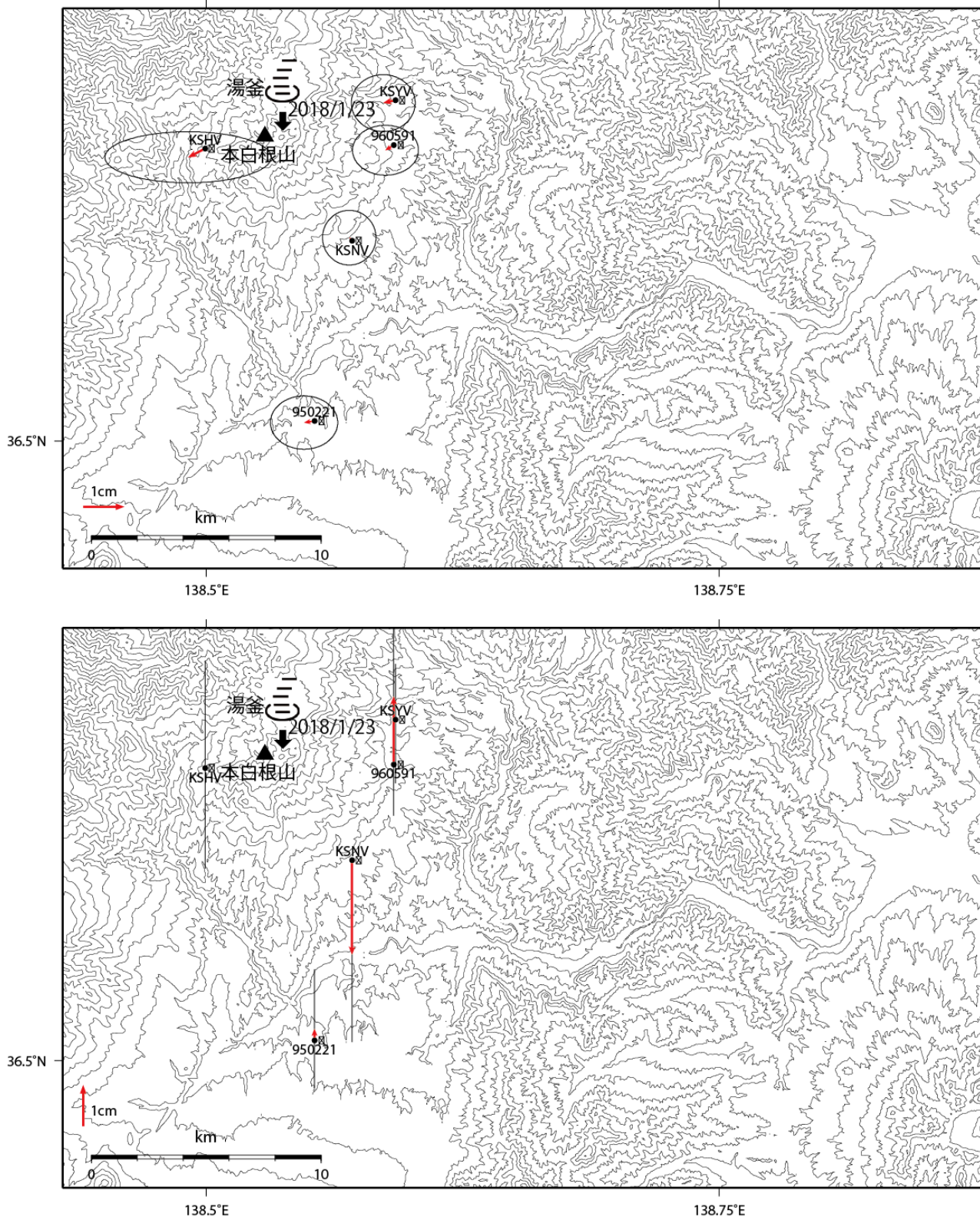


図 3 草津白根山周辺 V-net 及び国土地理院 GEONET 観測点における GNSS 解析結果

2018/1/23 10:02 噴火

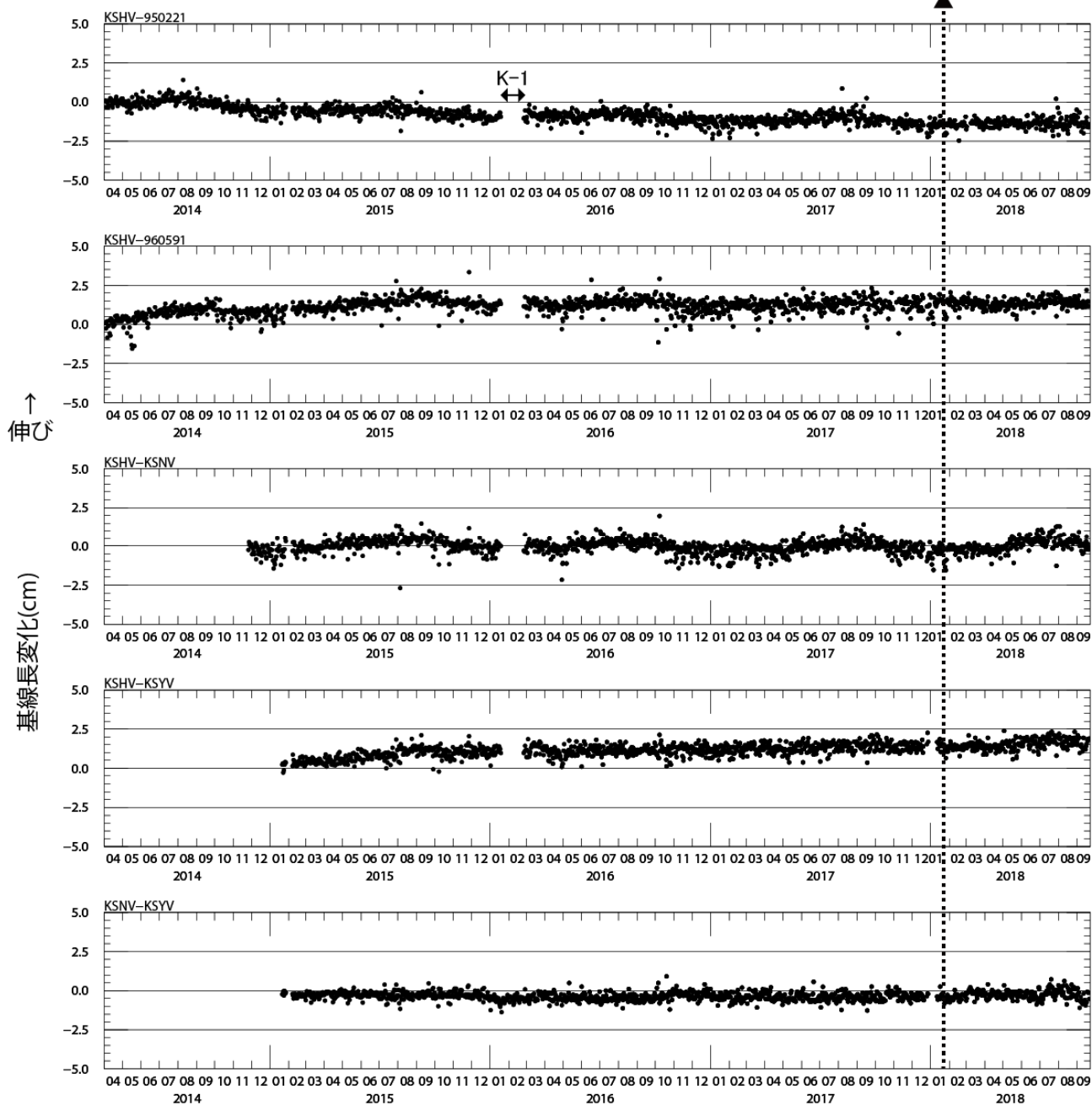


図 4 防災科研 3 観測点と、KSHV-GEONET 草津観測点 (0591)、KSHV-GEONET 孺恋観測点 (0221) の基線長変化 (2014/04/01~2018/09/22)

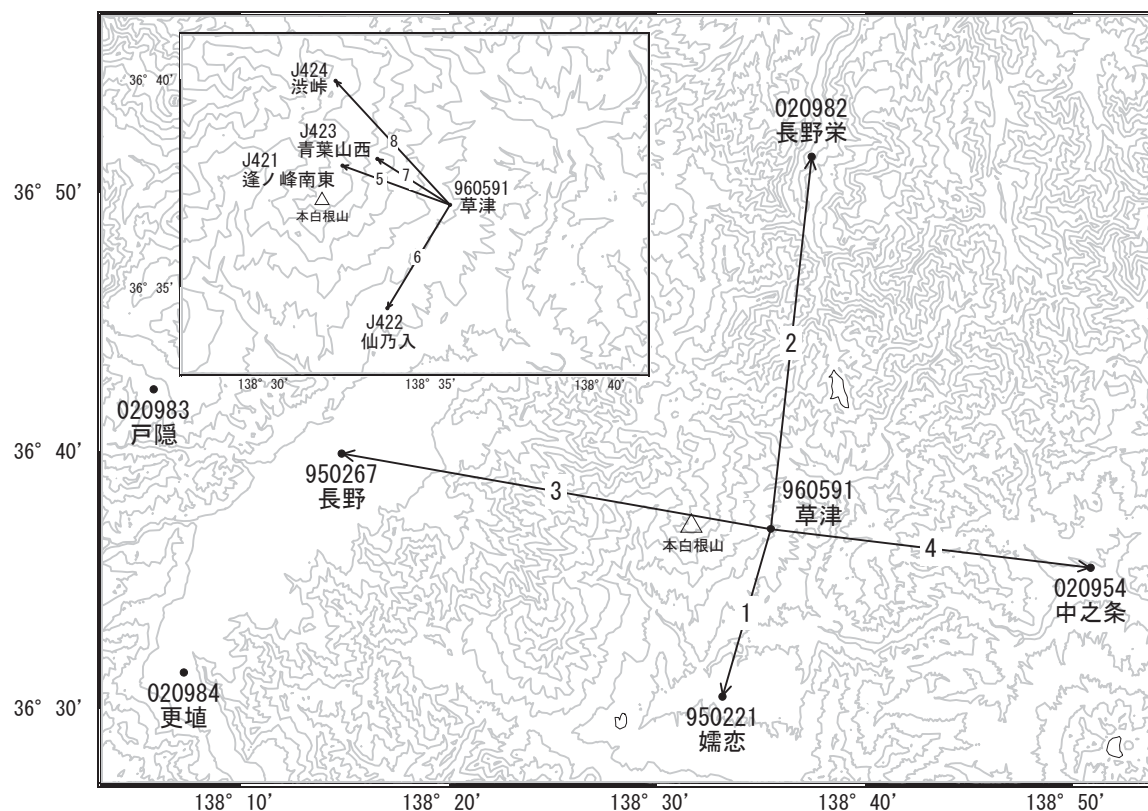
表1 GNSS観測履歴

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
			2016/1/20～2/13	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
	草津白根山谷沢原 (KSYV)		2015/1/19	2周波観測開始
			2017/12/29～ 2018/1/12	機器異常による欠測

草津白根山

2018年4月頃から見られた、「草津」-「長野栄」の基線での伸びは2018年7月頃から鈍化しています。

草津白根山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図

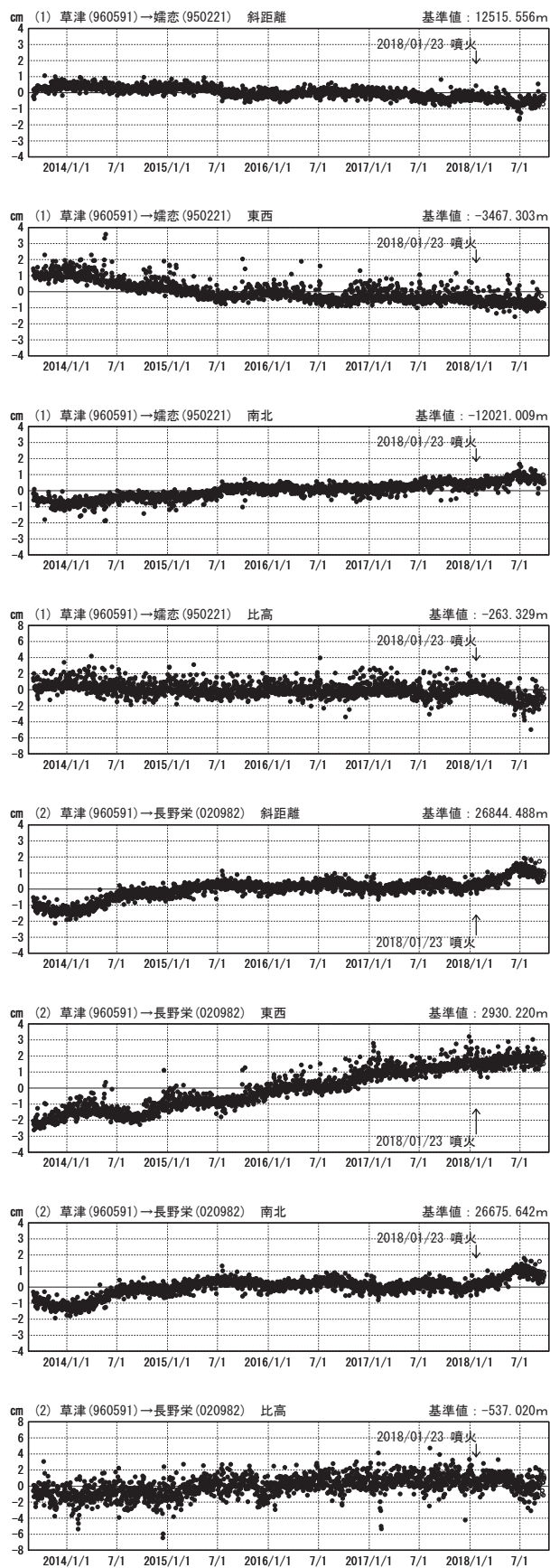


草津白根山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
960591	草津	20150617	受信機交換
020982	長野栄	20150201	アンテナ交換

成分変化グラフ（長期）

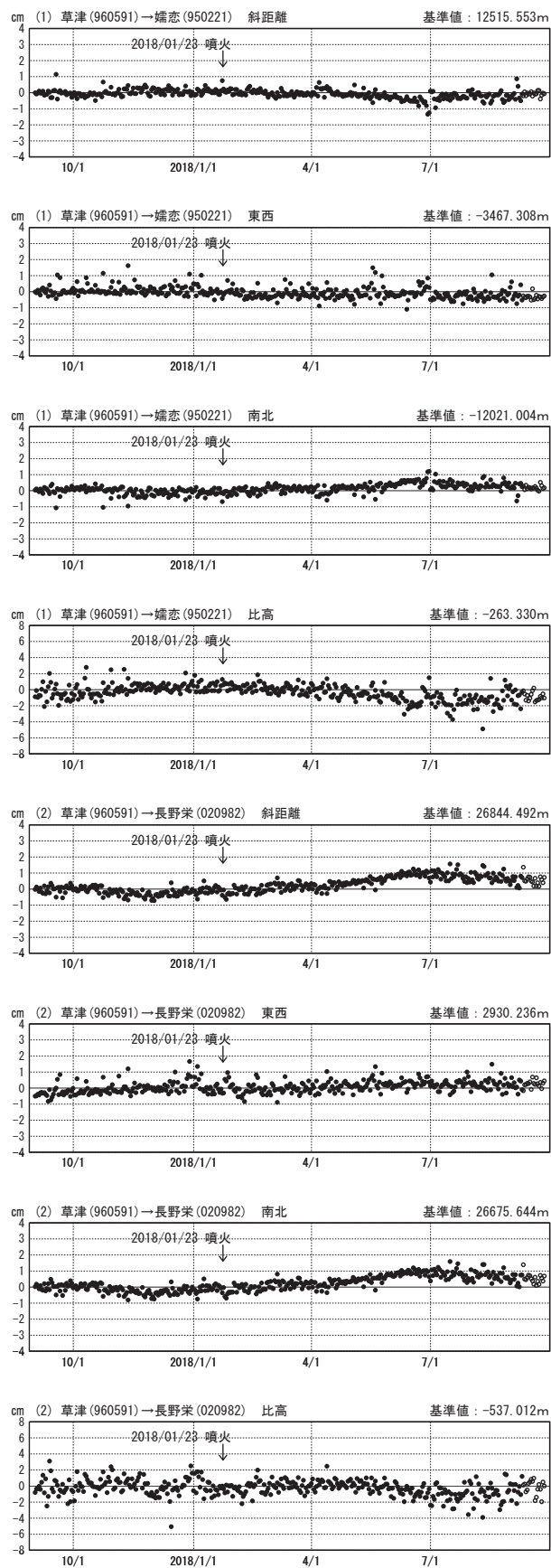
期間：2013/09/01～2018/09/26 JST



●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

成分変化グラフ（短期）

期間：2017/09/01～2018/09/26 JST



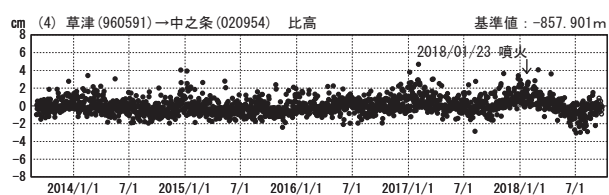
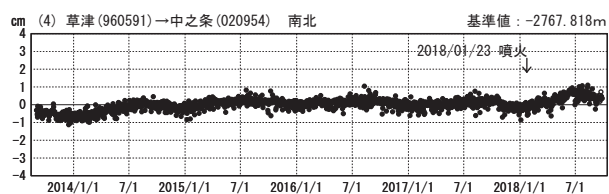
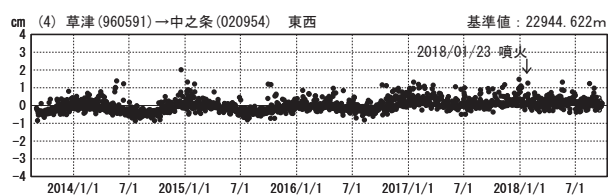
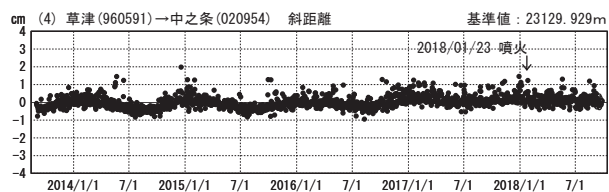
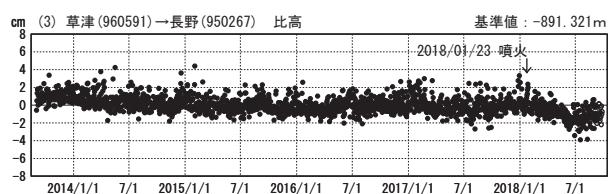
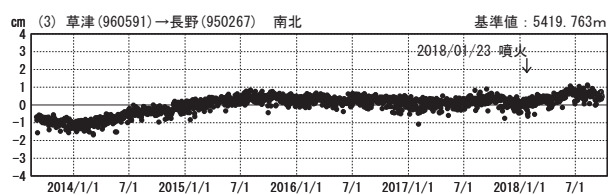
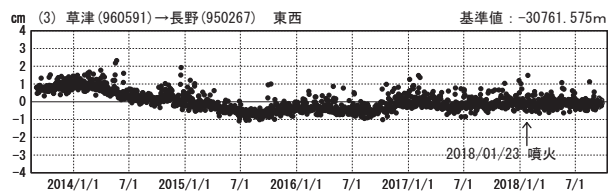
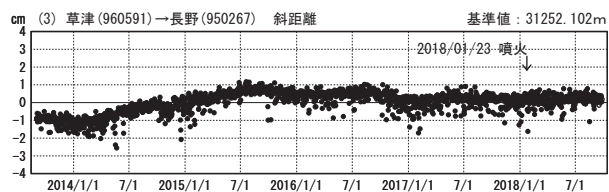
国土地理院・気象庁

※[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

成分変化グラフ（長期）

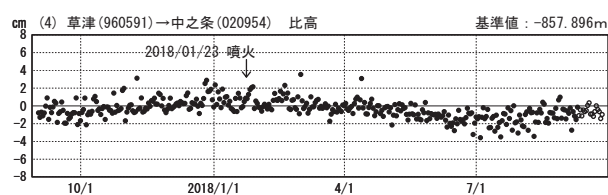
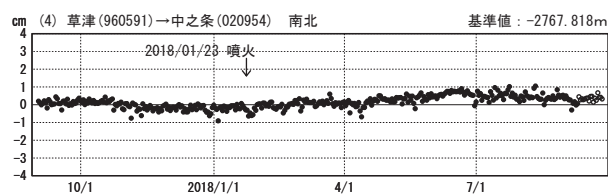
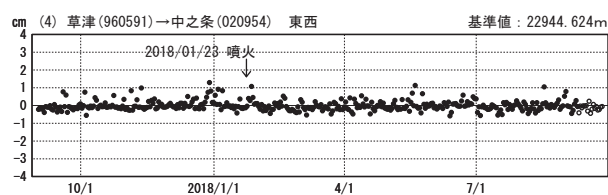
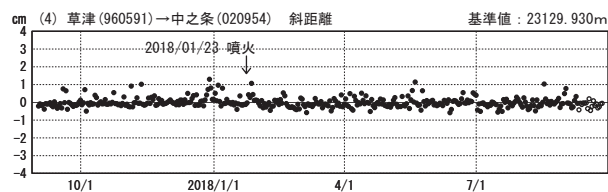
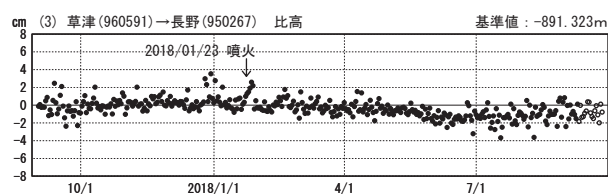
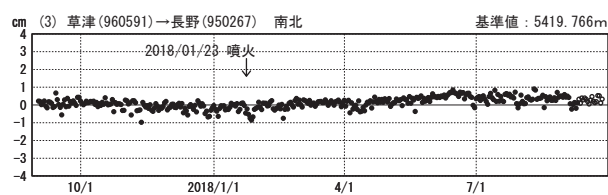
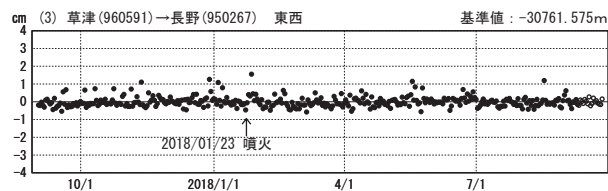
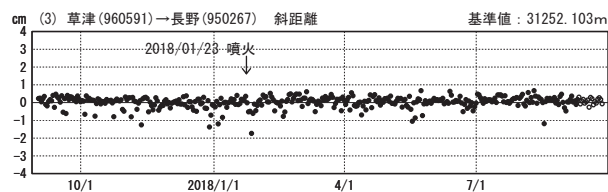
期間：2013/09/01～2018/09/26 JST



●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

成分変化グラフ（短期）

期間：2017/09/01～2018/09/26 JST



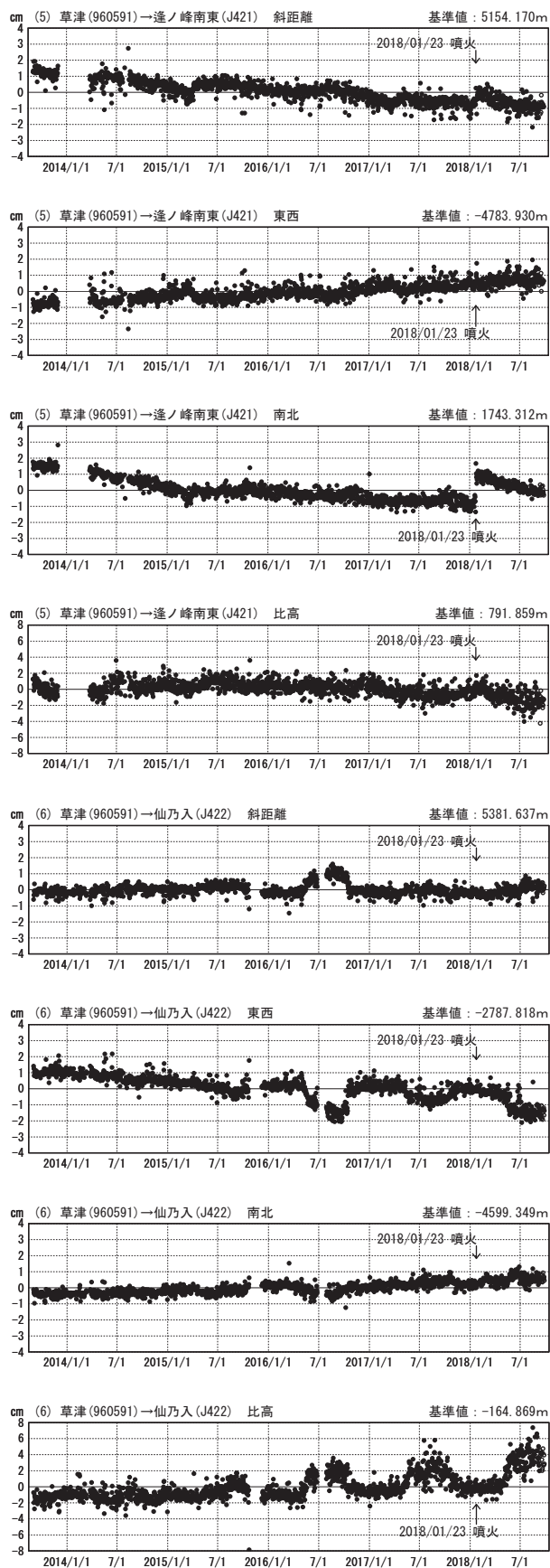
国土地理院・気象庁

※[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

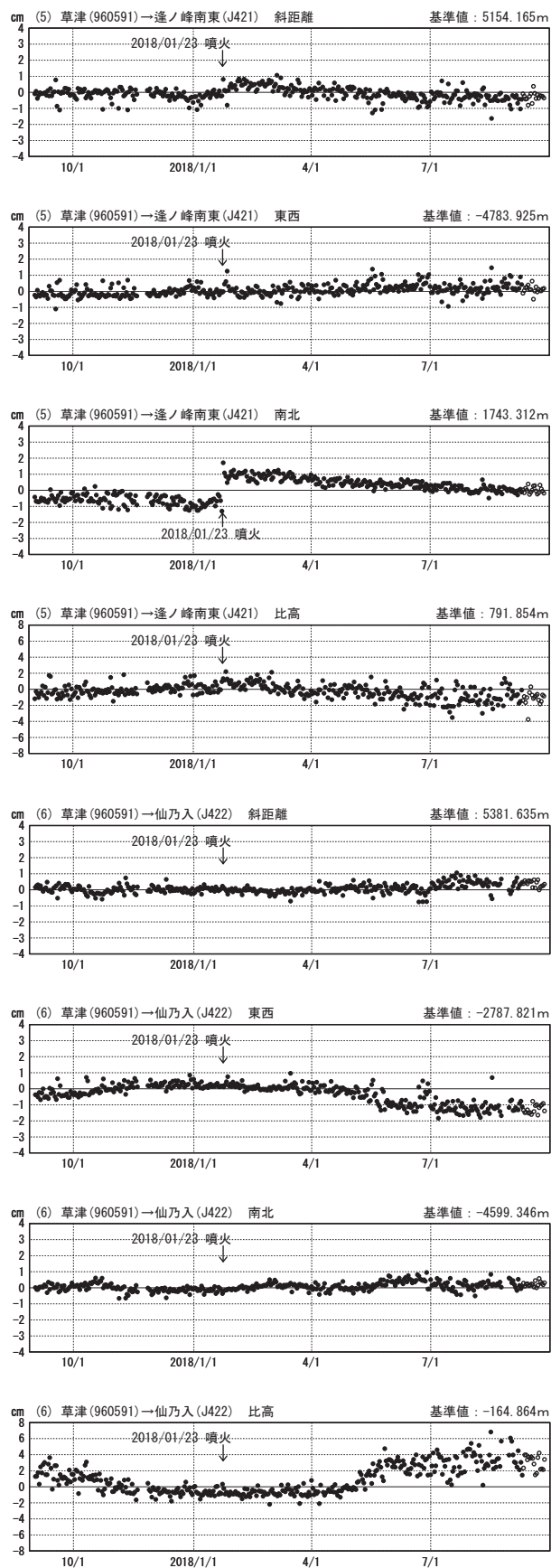
成分変化グラフ（長期）

期間：2013/09/01～2018/09/26 JST



成分変化グラフ（短期）

期間：2017/09/01～2018/09/26 JST

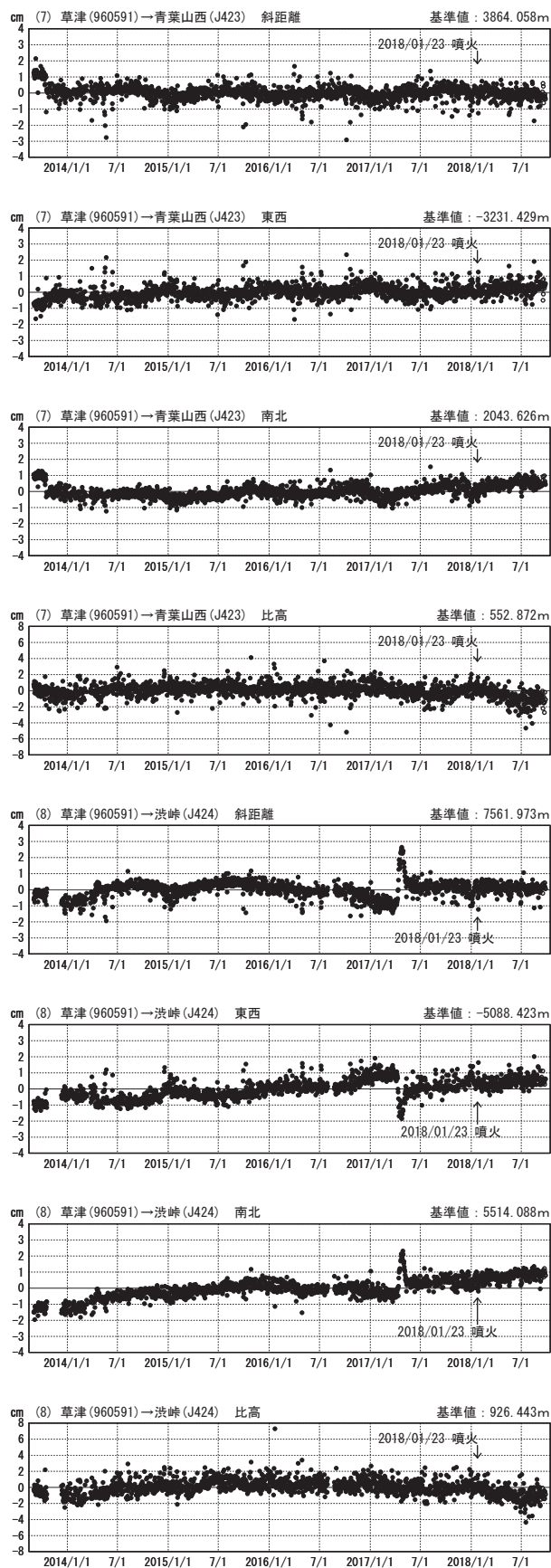


※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

草津白根山

成分変化グラフ（長期）

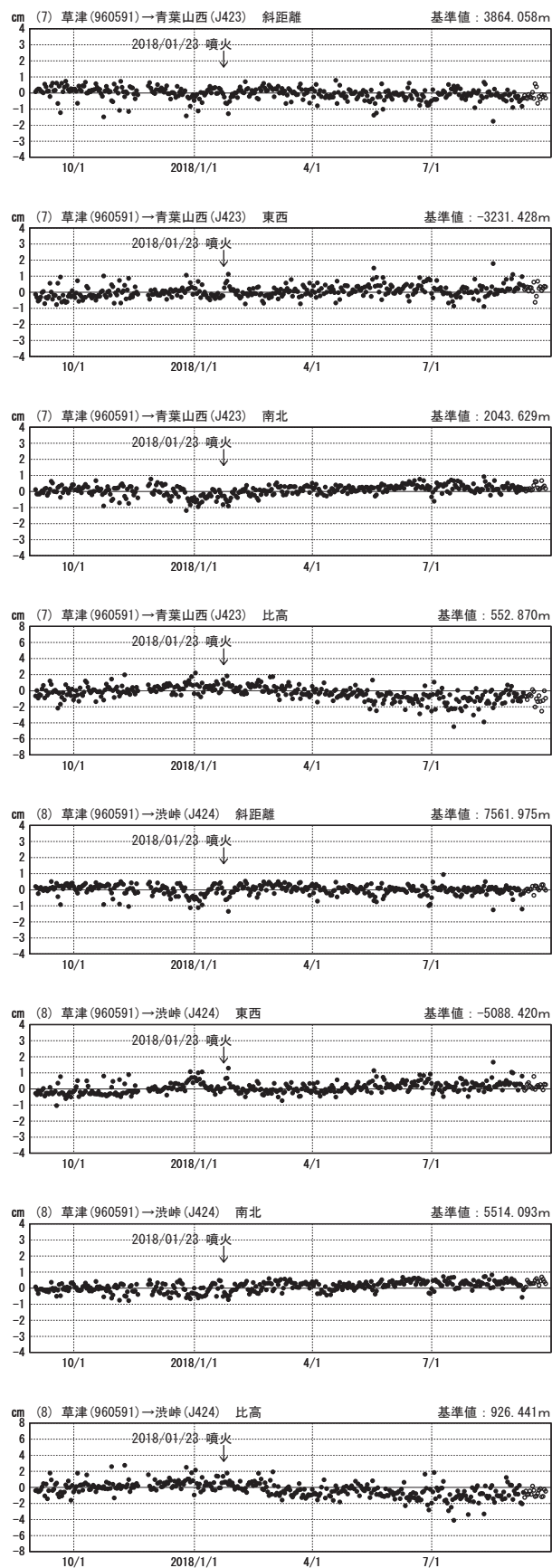
期間：2013/09/01～2018/09/26 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

成分変化グラフ（短期）

期間：2017/09/01～2018/09/26 JST



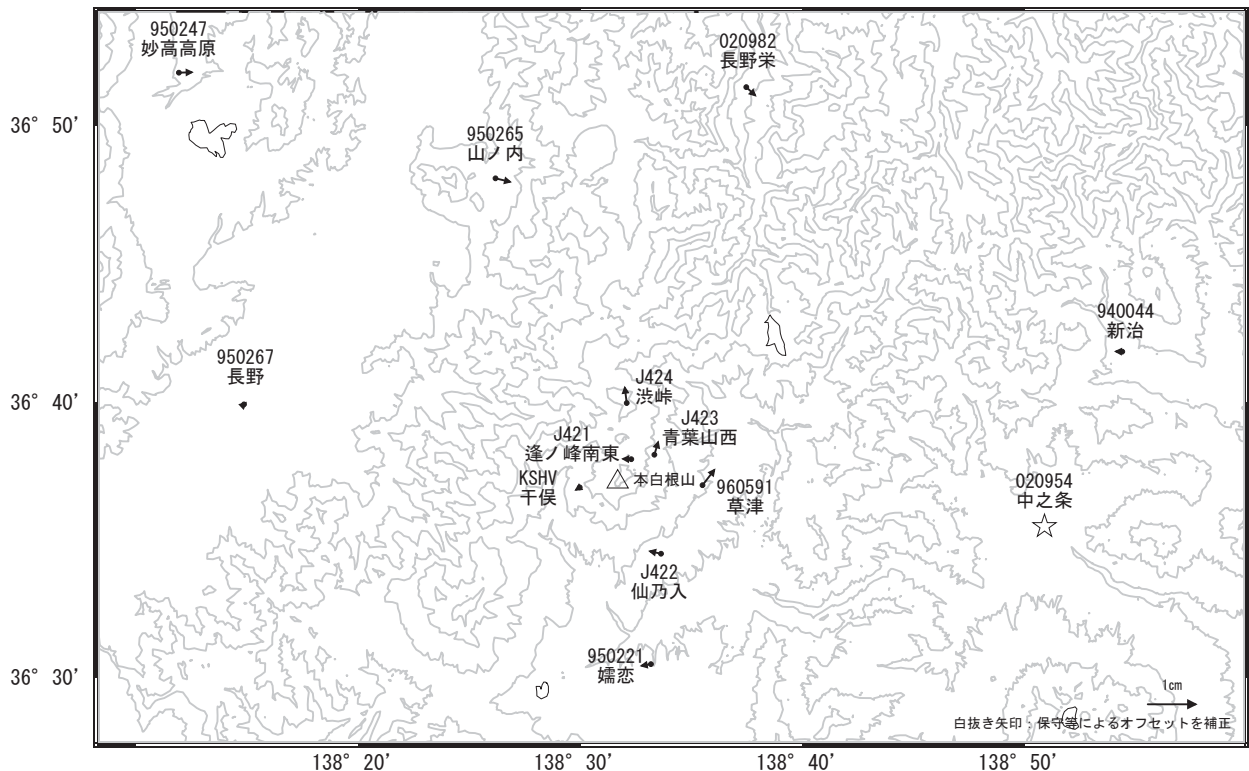
国土地理院・気象庁

※[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:2018/06/17~2018/06/26[F3:最終解]
比較期間:2018/09/17~2018/09/26[R3:速報解]

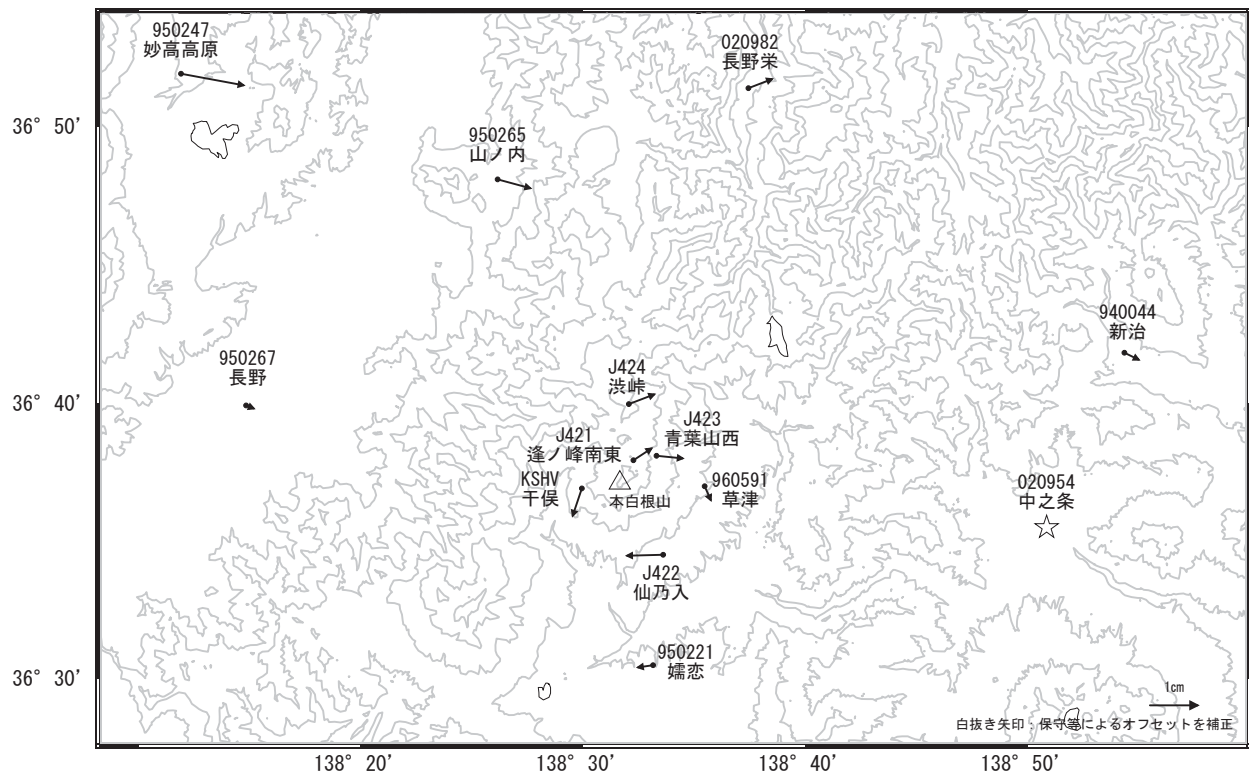


☆ 固定局:中之条 (020954)

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:2017/09/17~2017/09/26[F3:最終解]
比較期間:2018/09/17~2018/09/26[R3:速報解]



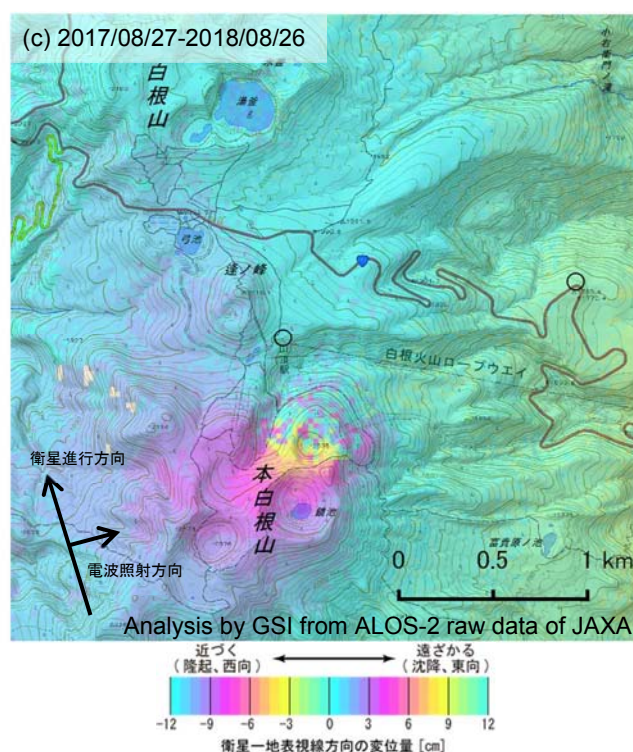
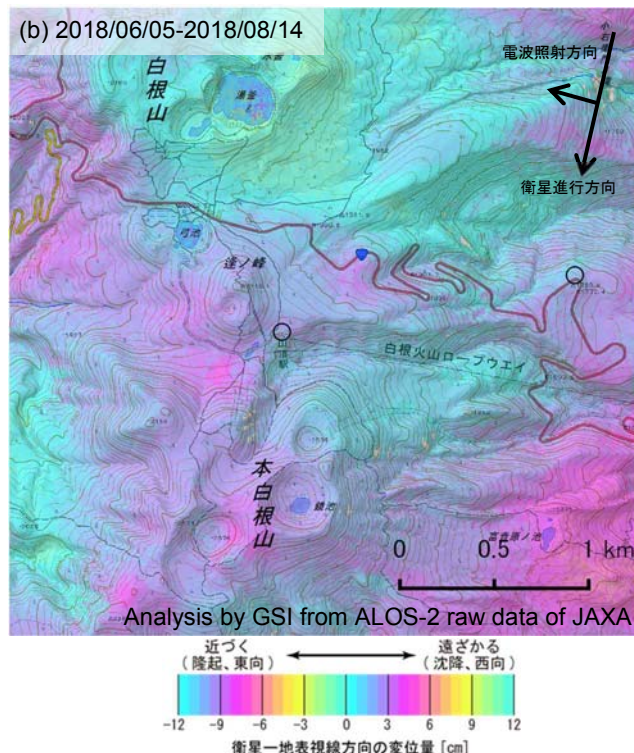
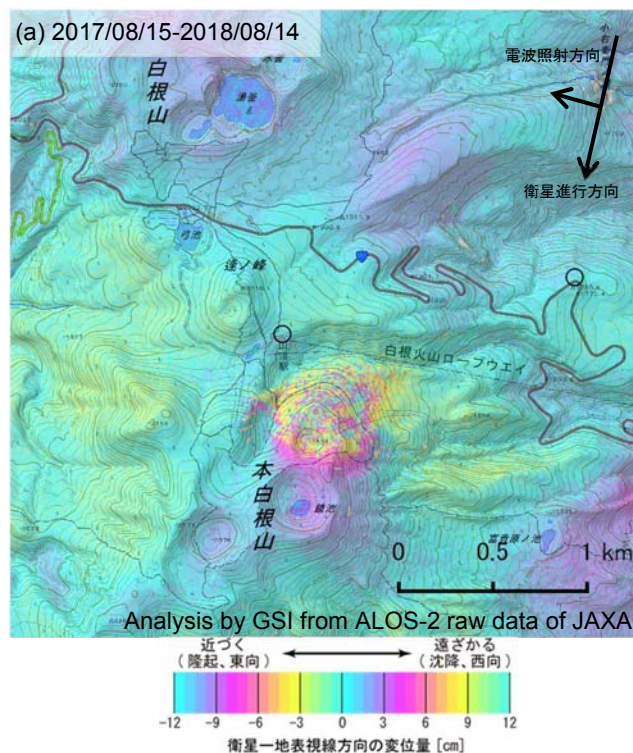
☆ 固定局:中之条 (020954)

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) 長期の(a)、(c)では、本白根山周辺で、収縮とみられる衛星から遠ざかる変動が見られます。また、(a)では、鏡池北火口の北側で火砕物の影響とみられる非干渉領域が見られます。短期の(b)では、ノイズレベルを超える変動は見られません。



	(a)	(b)	(c)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2017/08/15 2018/08/14 11:50 頃 (364 日間)	2018/06/05 2018/08/14 11:50 頃 (70 日間)	2017/08/27 2018/08/26 23:38 頃 (364 日間)
衛星進行方向	南行	南行	北行
電波照射方向	右	右	右
観測モード*	U-U	U-U	H-H
入射角(中心)	37.5°	37.5°	32.3°
偏波	HH	HH	HH
垂直基線長	+11 m	+5 m	-263m

*U: 高分解能(3m)モード

H: 高分解能(6m)モード

○ 国土地理院以外の GNSS 観測点

背景: 地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

草津白根山