

第 147 回
火山噴火予知連絡会資料

(その1の1)

草津白根山

令和 2 年 12 月 23 日

火山噴火予知連絡会資料(その1の1)

目次

草津白根山

第5回草津白根山部会資料

気象庁	3-36
気象研	37
地磁気	38-42
東工大	43-59
防災科研	60-64
地理院	65-75
東海大	76-78
上智大	79-83

草津白根山 (2020年11月30日現在)

白根山 (湯釜付近)

湯釜付近の浅部の地震活動や膨張を示す傾斜変動に低下傾向がみられており、2018年以降、高まった火山活動は低下傾向にあると考えられる。しかしながら、わずかな傾斜変動や湯釜北側噴気地帯のガス成分の変化がみられるなど、湯釜付近の浅部の熱水活動は現在も継続していると考えられ、引き続き、小規模な水蒸気噴火が発生する可能性がある。

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

○ 概況 (2020年6月～2020年11月)

・ 地震活動 (図1-②～⑥、図2-②～⑦、図4、図5)

湯釜付近を震源とする火山性地震は増減を繰り返しながら活動が継続していたが、11月中旬頃から概ね少ない状態で経過した。

6月29日および11月12日には、振幅の小さな火山性微動を観測した。

・ 地殻変動 (図1-⑦、図1-⑧、図3、図5、図6、図7)

傾斜計による観測では、8月頃から湯釜付近の浅部の膨張を示すわずかな変動が観測されたが、2019年9月頃から観測されたような明瞭な変動は認められない。

GNSS連続観測では、2014年にみられたような浅部の膨張を示す変動は認められない。

GNSS繰り返し観測では、昨年と比較して湯釜付近の一部の基線でわずかな伸びの変化がみられた。

・ 噴煙など表面現象の状況 (図1-①、図2-①、図9～12)

奥山田監視カメラ (湯釜の北約1.5km) による観測では、湯釜北側噴気地帯の噴気は200m以下で経過した。

2020年6月から11月に実施した現地調査では、湯釜火口内の地熱域の分布に活動の高まりを示すような変化は認められなかった。また、11月24日に陸上自衛隊の協力により実施した上空からの観測でも、湯釜火口内の壁面、湯釜火口北側の斜面の地熱域の分布に大きな変化は認められなかった。

・ 噴気地帯のガス成分、及び湯釜湖水中の高温の火山ガス由来の成分濃度の状況 (図8)

湯釜火口北側噴気地帯で実施している多成分火山ガス観測装置 (Multi-GAS) による連続観測では、2020年6月頃にわずかながらCO₂/H₂S比の高まりが認められた。

湯釜湖水の成分分析では、2020年4月以降、高温の火山ガスに由来する成分濃度に明瞭な変化は認められていない。

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。

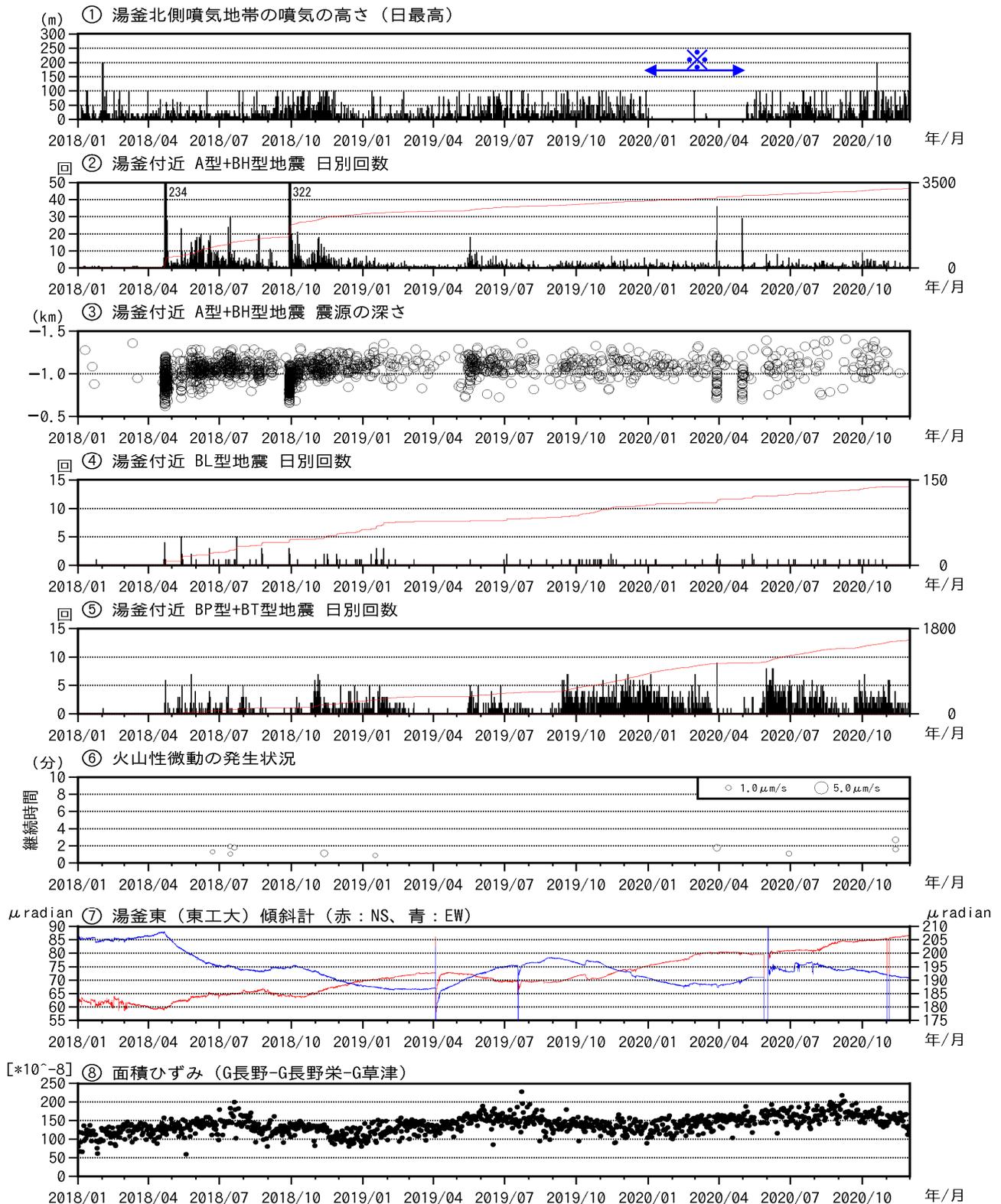


図1 草津白根山（白根山（湯釜付近））火山活動経過図（2018年1月1日～2020年11月30日）

① ※の青矢印期間（2020年1月から4月にかけて）、一部の観測機器で障害が発生しているため、100m未満の噴気については観測できていない期間がある。

- ・湯釜付近を震源とする火山性地震は増減を繰り返しながら活動が継続していたが、11月中旬頃から概ね少ない状態で経過した。発生する地震の型は、BP型・BT型地震の割合が多いが、A型・BH型地震も継続して発生した。
- ・2018年4月、9月、2020年3月、4月に観測されたような海拔1km以深の地震の発生を伴う火山性地震の急増は、今期間みられなかった。
- ・6月29日および11月12日には、振幅の小さな火山性微動を観測した。
- ・8月頃から湯釜付近の浅部の膨張を示すわずかな傾斜変動が認められていたが、9月に入って鈍化し、その後は明瞭な変動はみられない。

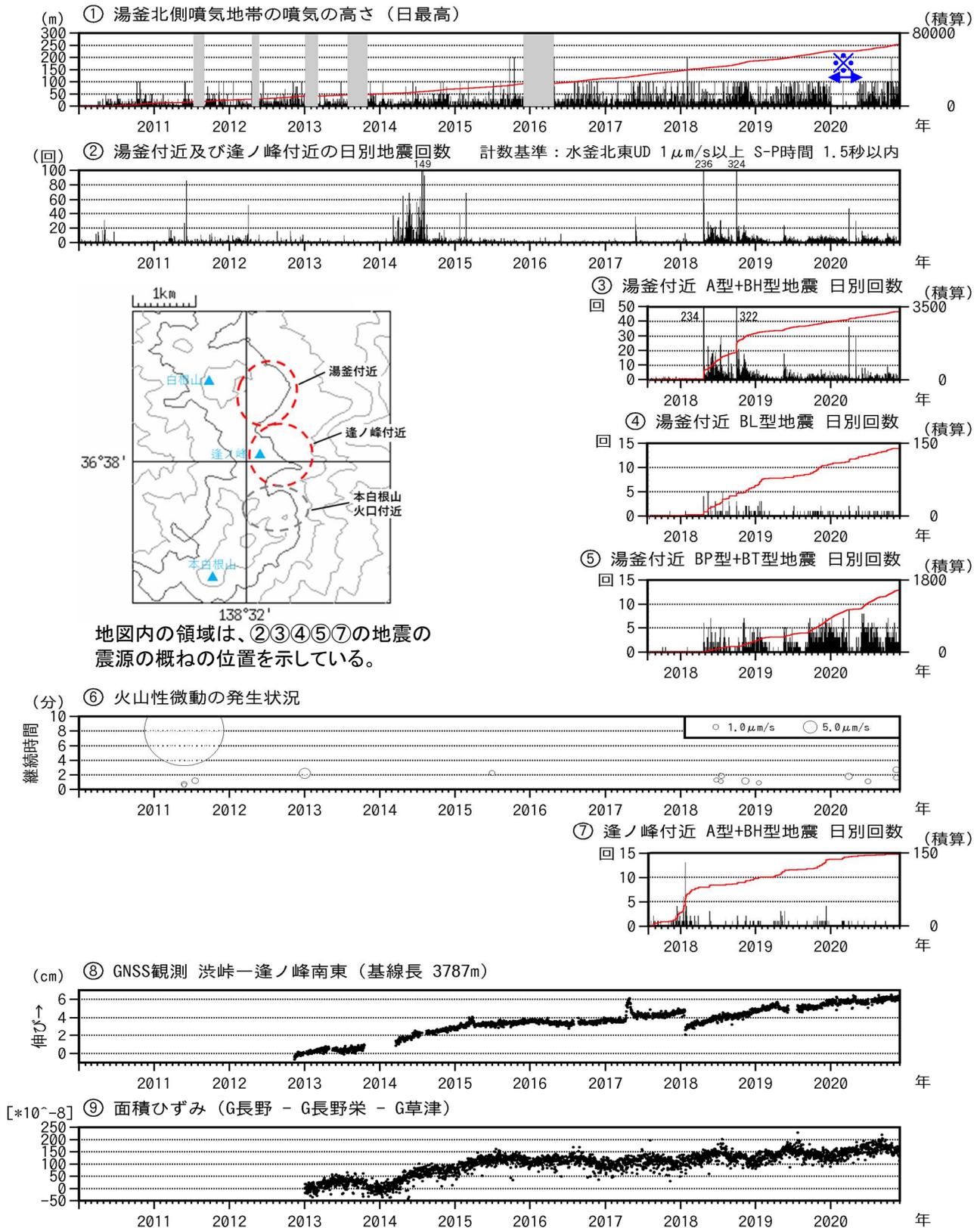


図2 草津白根山（白根山（湯釜付近））火山活動経過図（2010年1月1日～2020年11月30日）

① ※の青矢印期間（2020年1月から4月にかけて）、一部の観測機器で障害が発生しているため、100m未満の噴気については観測できていない期間がある。灰色部分は欠測を示す。赤線は積算であり、右軸で示す。

⑧ 空白部分は欠測を示す。

- ・噴気活動に高まりはみられない。
- ・湯釜付近の地震活動は継続している。逢ノ峰付近を震源とする火山性地震は、時々発生している。
- ・2018年1月以降、⑧の基線では本白根山噴火後の余効変動が見られていた。2020年1月以降、基線長の伸びは停滞している。
- ・GNSS連続観測では、火山活動によるとみられる変動は認められない。

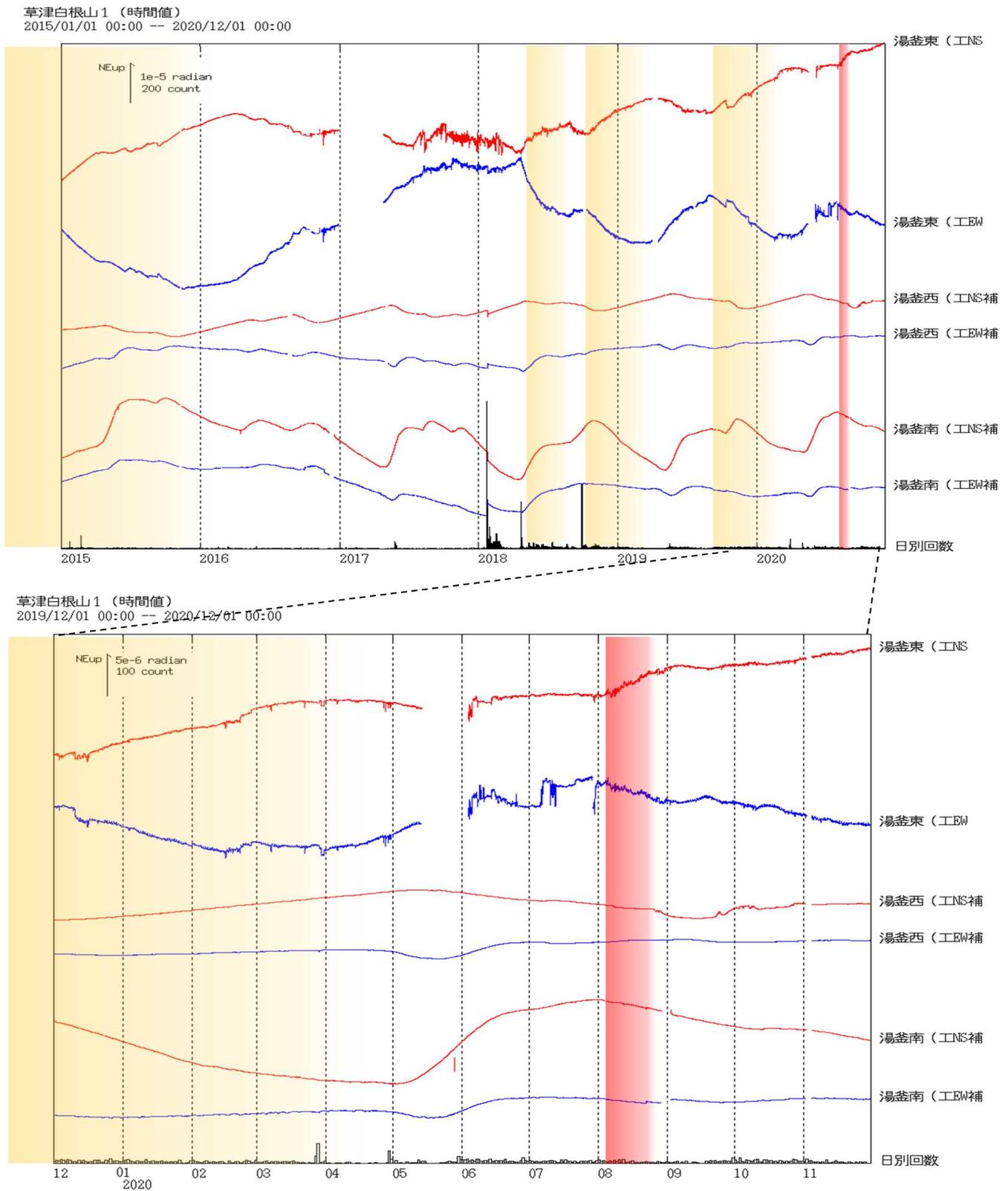


図3 草津白根山（白根山（湯釜付近））傾斜変動記録と日別地震回数

上段：2015年1月1日～2020年11月30日、下段：2019年12月1日～2020年11月30日

上段と下段で、スケールが異なることに注意。(工)は東京工業大学を表す。

データは時間平均値を使用している。地殻変動が観測された期間を、色付きでマスクしている。

- ・8月頃から湯釜浅部の膨張を示すわずかな傾斜変動が観測された(赤マスク部分)。9月に入るとその変動は鈍化し、それ以降、明瞭な変化はみられない。

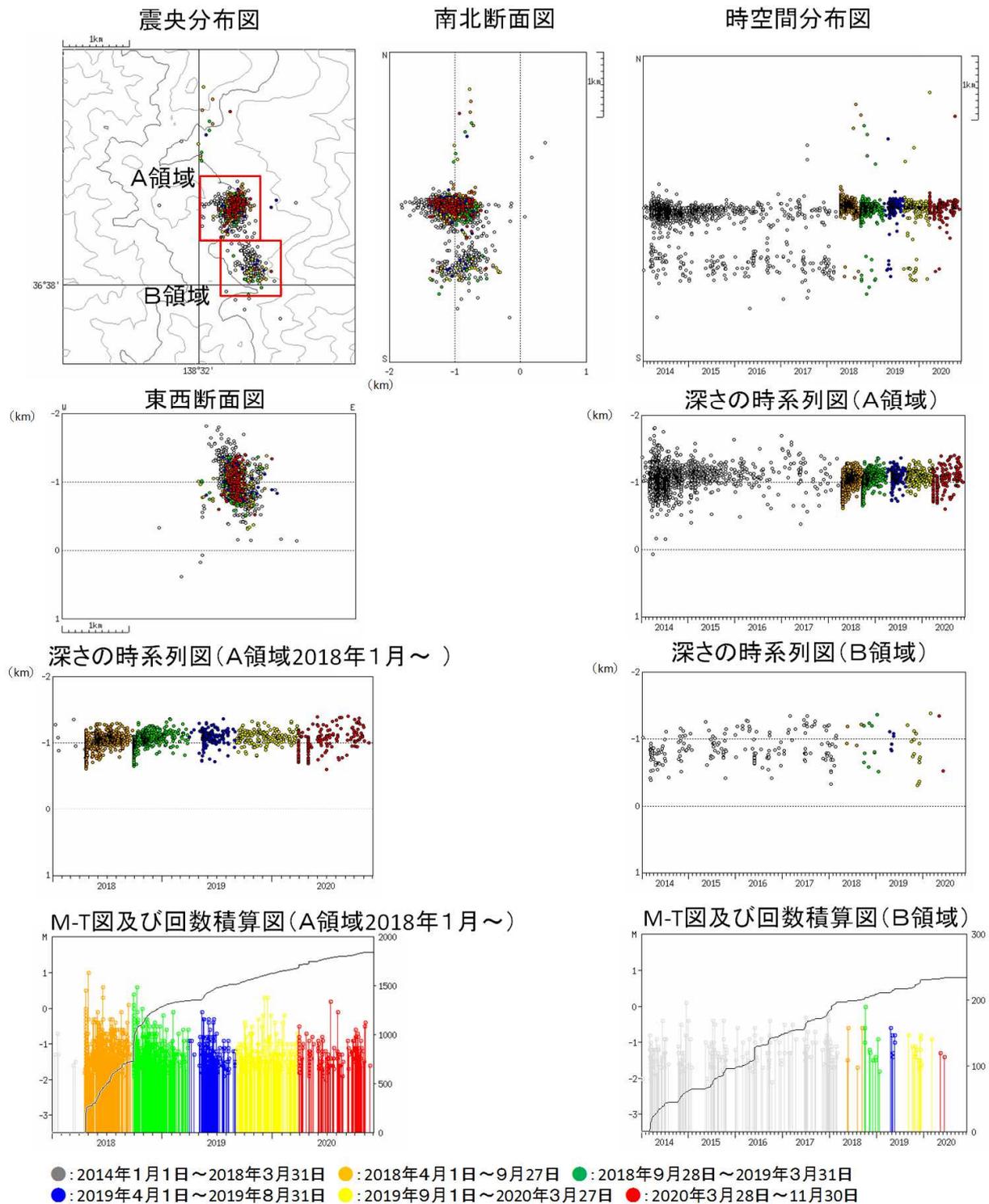


図4 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 震源分布図（2014年1月1日～2020年11月30日）

図中のマグニチュードは渡辺（1971）の式を用いている。A型とBH型地震の震源分布図である。

- ・ 湯釜付近の地震活動（A領域）は増減を繰り返しながら経過した。震源の深さは、概ね海拔1 km以浅に分布した。
- ・ 2020年3月28日から29日および4月30日の一時的な地震増加時には、震源の深さが海拔1 km以深のものも確認され、この傾向は2018年4月、9月などの地震増加時と類似していた。
- ・ 2018年4月、9月、2020年3月、4月に観測されたような海拔1 km以深の地震の発生を伴う火山性地震の急増は、今期間みられなかった。
- ・ 逢ノ峰付近（B領域）では、2017年以前に比べて地震回数は減少しているが、間欠的に地震が発生している。

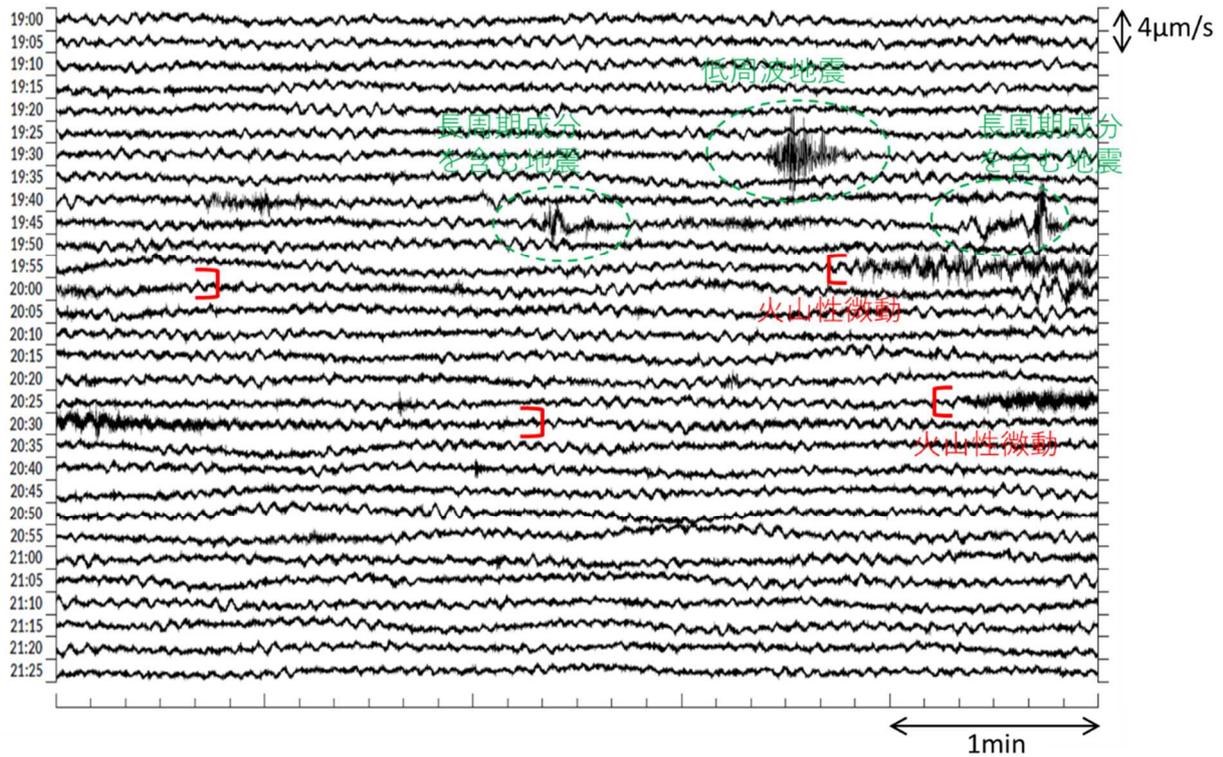


図5 - 1 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 11月12日の火山性微動発生前後の震動記録
湯釜南西観測点（広帯域地震計）の上下動成分の波形の11月12日19:00から21:30を示す。

・1回目（19:58発生）の火山性微動発生前に目立った地震の増加はないが、長周期成分を含む地震が観測された。

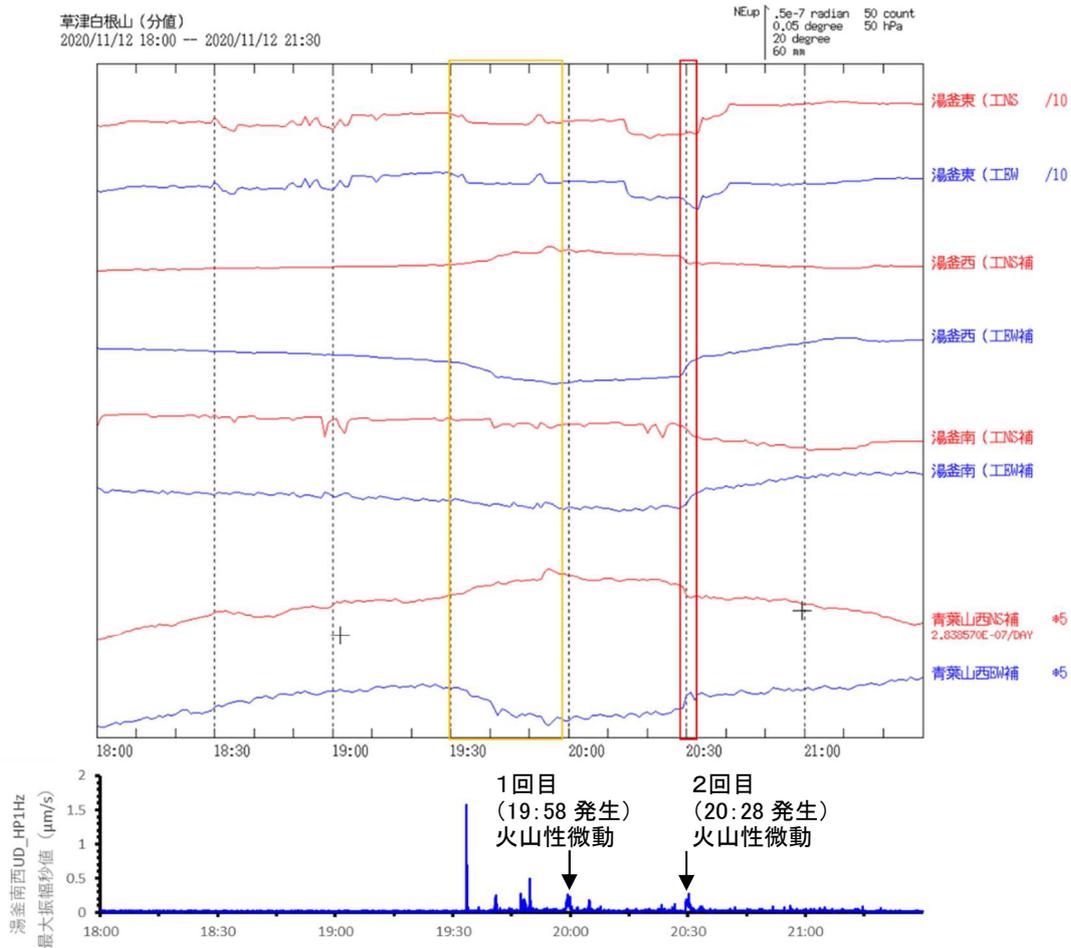


図5 - 2 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 11月12日の火山性微動発生前後の傾斜変動記録
 上段：傾斜計の記録。下段：湯釜南西の上下動成分の最大振幅秒値。青葉山西の南北成分（青葉山西NS補）は、19:00と21:00の値が同じになるように、トレンド補正した。上段の四角枠は図6 - 3に対応。

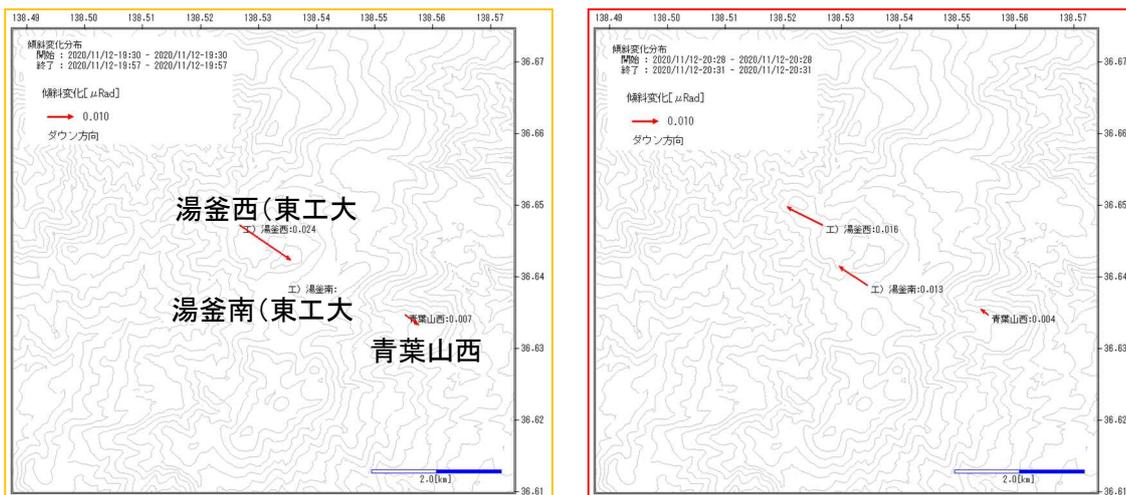


図5 - 3 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 2020年11月12日に観測された傾斜変動
 ・11月12日に発生した火山性微動の前後で、湯釜付近及び青葉山西観測点で傾斜変動を観測した。
 ・1回目の火山性微動発生前の期間（黄枠）において、湯釜から見て北西上がりの変動を観測した。
 ・2回目の火山性微動発生時（赤枠）に、湯釜から見て北西下がりの変動を観測した。
 ・上記2期間の傾斜変動量は概ね等しく、変動方向は正反対である。

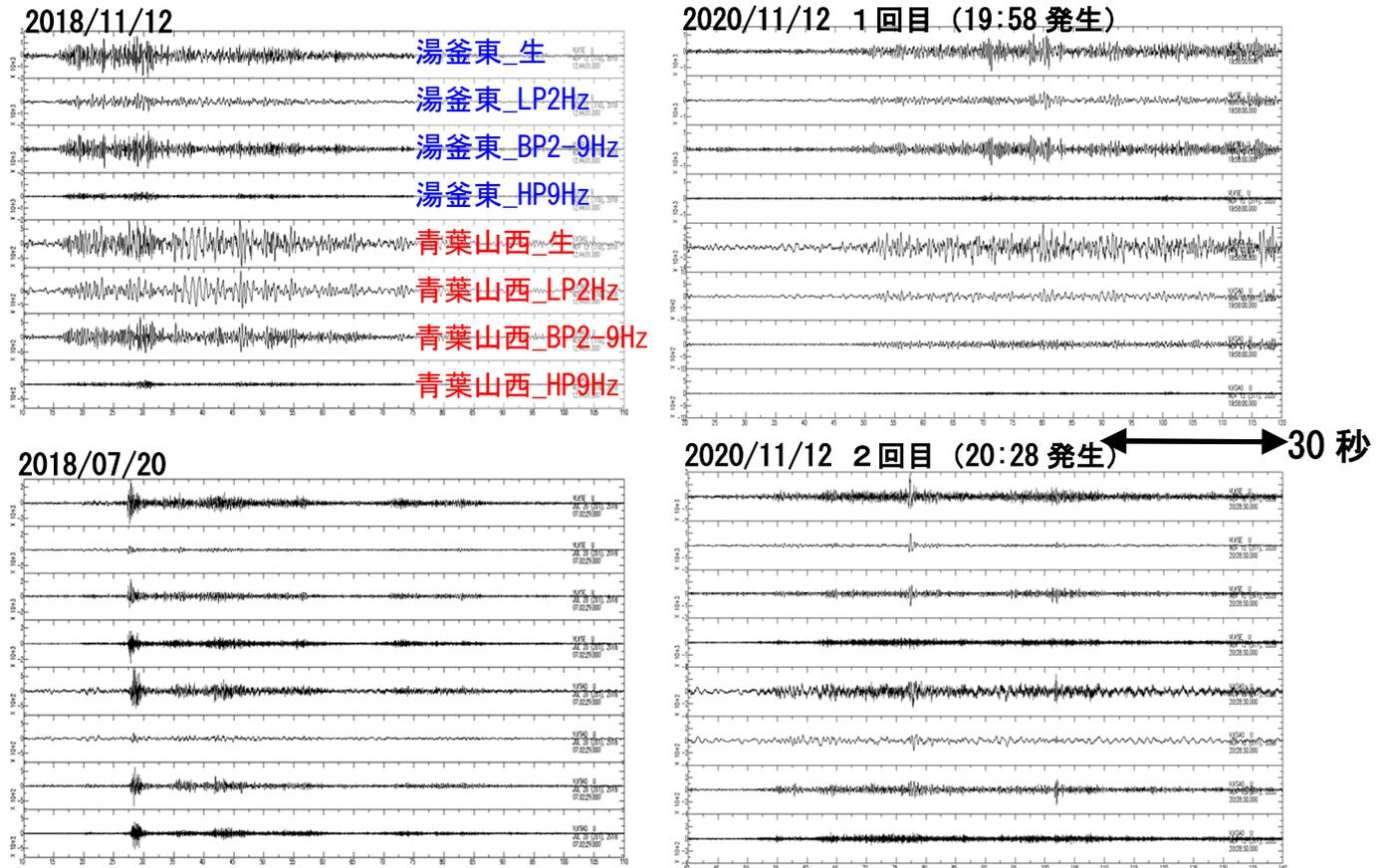
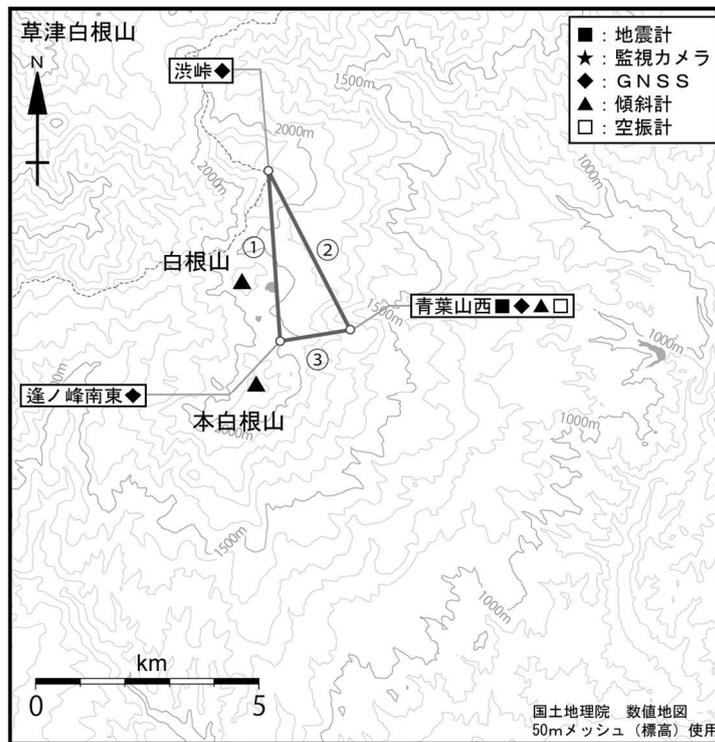
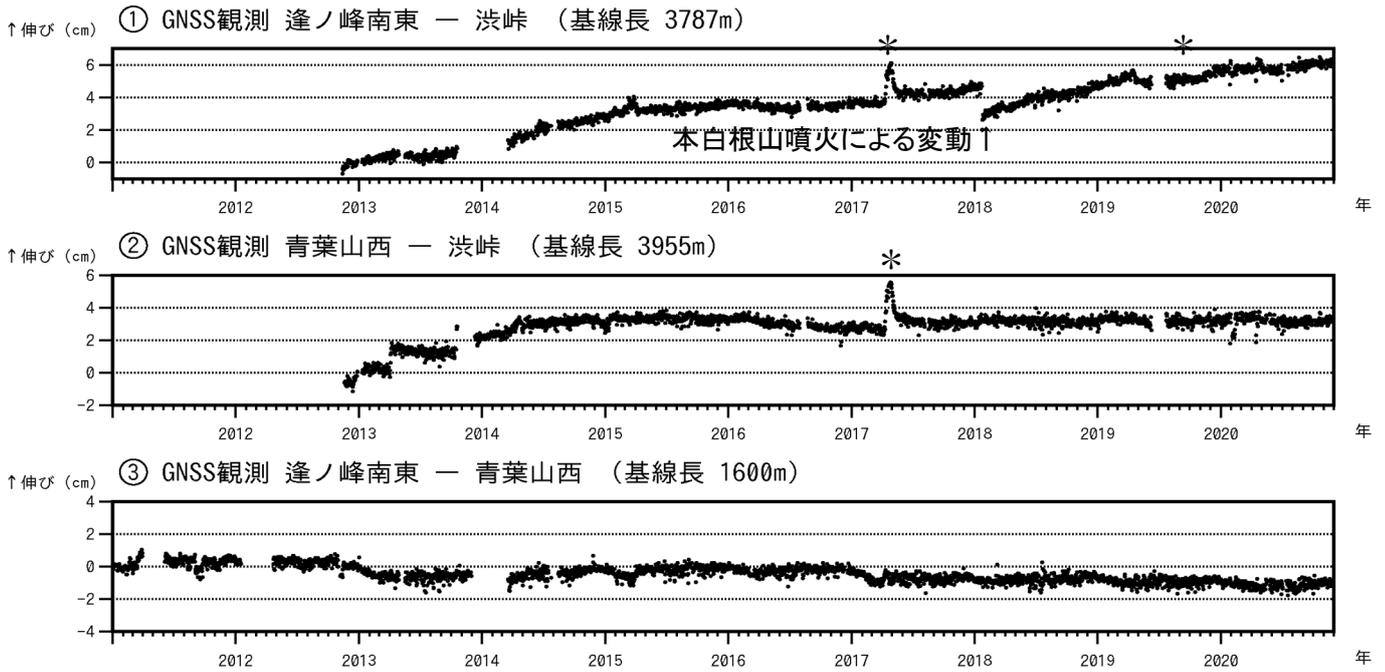


図5 - 4 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 2020年11月12日の火山性微動と過去の火山性微動の比較
表示した波形は、1から4段目が湯釜東（東工大）観測点の上下動成分の波形、5から8段目が青葉山西観
測点の上下動成分の波形で、それぞれ生波形、Lowパスフィルター2Hz波形、Bandパスフィルター2-9Hz
波形、Highパスフィルター9Hz波形である。各イベントの同一成分の縦軸スケールはそろえてある。

- ・2018年以降、火山性微動が発生した時刻付近で、湯釜から見て北西上がりの傾斜変動がみられた後、北西下がりの傾斜変動を示すパターンがしばしば観測された。ほとんどの火山性微動は、北西下がりの傾斜変動を示すタイミングで発生しているが、2018年11月12日の火山性微動は、北西上がりの傾斜変動がみられたタイミングで発生し、また高周波成分が乏しい特徴があった。

- ・2020年11月12日の19時58分に発生した火山性微動（1回目）は、2018年11月12日の火山性微動と同様に高周波成分に乏しく、また2020年11月12日20時28分に発生した火山性微動（2回目）は高周波成分に富んでいた。



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

図6 草津白根山 GNSS連続観測による基線長変化 (2011年1月1日~2020年11月30日)

2016年1月以降のデータについては、解析方法を改良している。

- ・GNSS連続観測によると、火山活動によるとみられる変動は認められない。
- ・①の基線で2018年1月以降にみられている変化は、本白根山の噴火後の収縮によるものと考えられる。2020年1月以降、基線長の伸びは停滞している。
- ・*の変動は、火山活動に起因するものではないと考えられる。

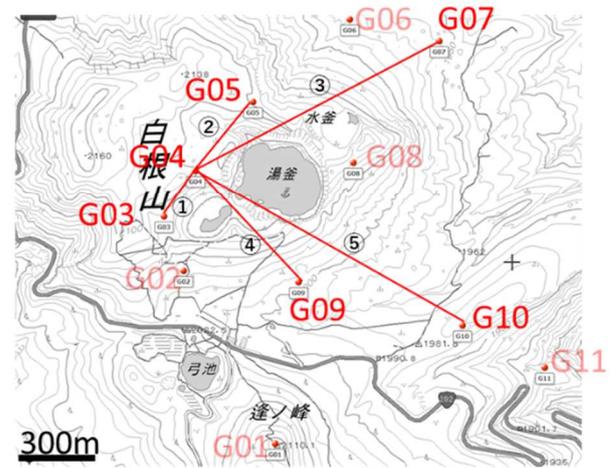
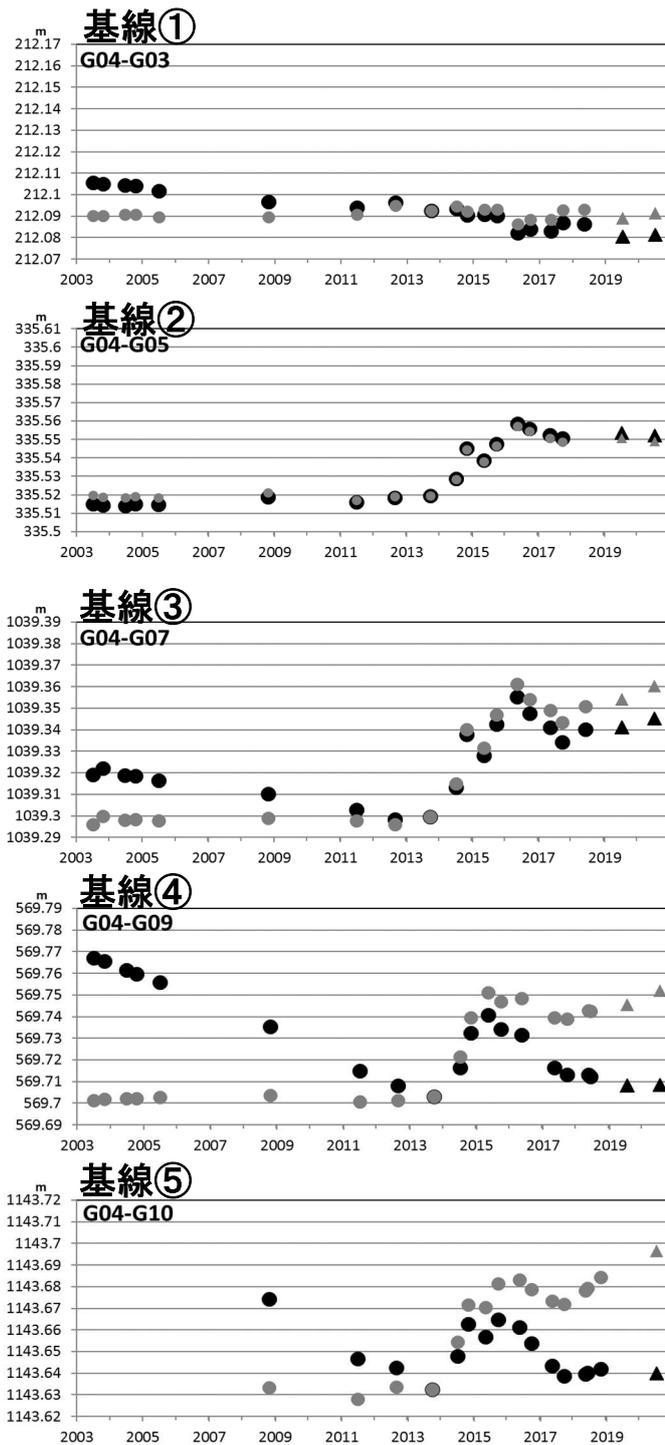


図7 草津白根山(白根山(湯釜付近)) GNSS 繰り返し観測の結果と観測点配置

プロットの色はトレンド補正の有無を、マークは受信機の違いを表す。

●:トレンド補正前(Furuno)、●:トレンド補後(Furuno)、▲:トレンド補正前(Javad)、▲:トレンド補後(Javad)。

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

・2020年7月16日～18日にかけてGNSS繰り返し観測を実施した。前年(2019年7月22日～24日)の結果と比較して、2014年に観測されたような明瞭な伸びの傾向はみえないが、③G04-G07、④G04-G09、⑤G04-G10など湯釜を挟む基線でわずかな伸びの傾向がある。

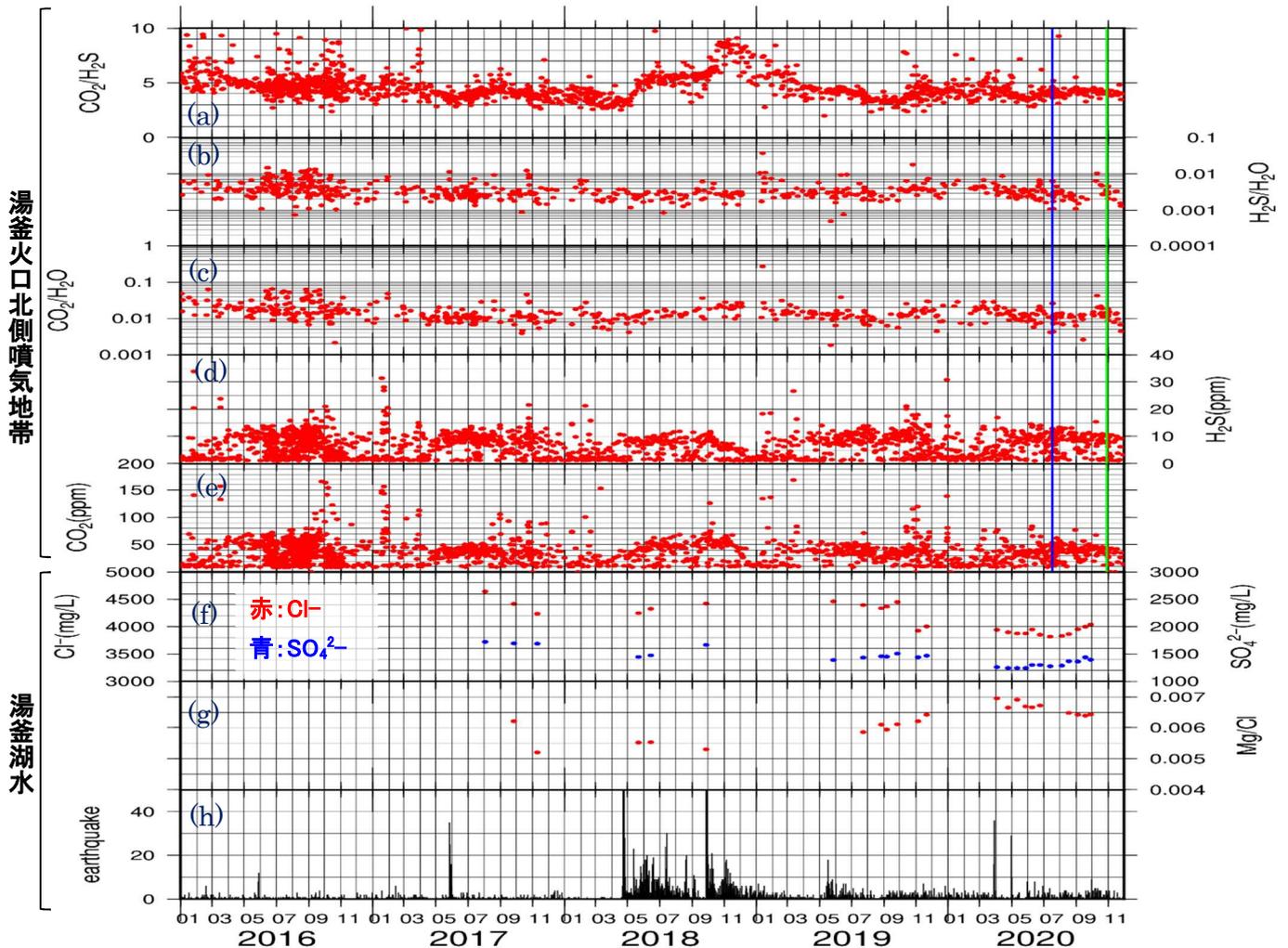


図8-1 草津白根山（白根山（湯釜付近））湯釜火口北側噴気地帯のマルチガス観測結果および湯釜湖水分析結果（2016年1月～2020年11月30日）

(a) $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比 (b) $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{O}$ 比 (c) $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 比 (d) H_2S 濃度 (e) CO_2 濃度 (f) 湯釜湖水の Cl^- 濃度および SO_4^{2-} 濃度 (g) 湯釜湖水の Mg/Cl 比 (h) 白根山（湯釜付近）日別地震回数（A型、BH型）

- ・ (a)～(e)の各濃度比は Multi-GAS による観測結果で、噴気孔 E の濃度比を反映しているものと考えられる。大気中の湿度変化等による変動が大きいので、 H_2O を含む組成比データは $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比より少ない。
- ・ 湯釜湖水の分析は、 $0.45\ \mu\text{m}$ シリンジフィルターで湖水をろ過後、 Cl^- は 500 倍、 Mg^{2+} は 50 倍に超純水で希釈したのちイオンクロマトグラフィーで分析を行った。
- ・ 青縦線、緑縦線はセンサー交換を示し、それ以降のデータは感度補正を行っていない。青縦線以前のデータは感度補正済。

【湯釜火口北側噴気地帯のマルチガス観測結果】

- ・ 2018年4月および9月に、地震活動や地殻変動に連動した $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の増加が認められた。
- ・ 2018年12月頃から減少傾向が継続していた $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は、地震がやや増加した2019年5月に停滞傾向に変化し、その後ほぼ一定で推移した。
- ・ 2018年4月および9月に比べ明瞭な変化ではないが、2019年10月頃、2020年6月頃にわずかながら $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の高まりが認められた。

【湯釜湖水分析結果】

- ・ Mg/Cl 比、 Cl^- 濃度および SO_4^{2-} 濃度は、2020年4月以降概ね横ばいで推移し、高温の火山ガスに由来する成分濃度の減少を示す明瞭な変化は認められていない。
- ・ 火山活動の高まった2018年9月前後と比較すると SO_4^{2-} 濃度に低下傾向が認められる。 Mg/Cl 比はわずかながら増加傾向が認められるが、過去に噴火・噴出現象があった際にみられたような急激な変化は認められない。

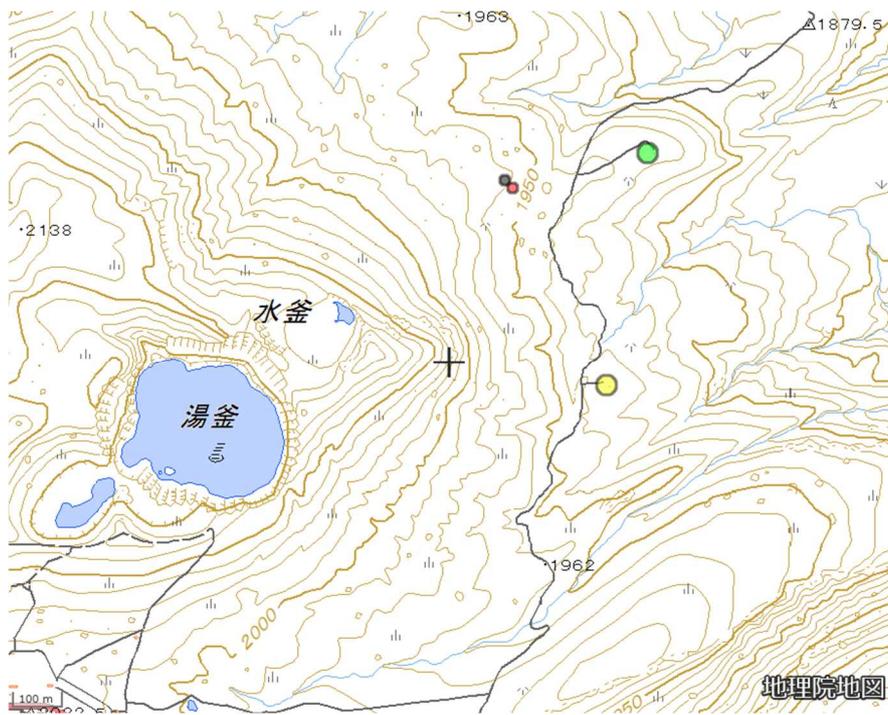


図8-2 草津白根山（白根山（湯釜付近））水釜北東噴気地帯のマルチガス観測点と噴気孔の位置
 ・灰色丸はMulti-GAS、赤丸は噴気孔E、緑丸は水釜北東観測点、黄色丸は湯釜東観測点（東工大、傾斜計）。

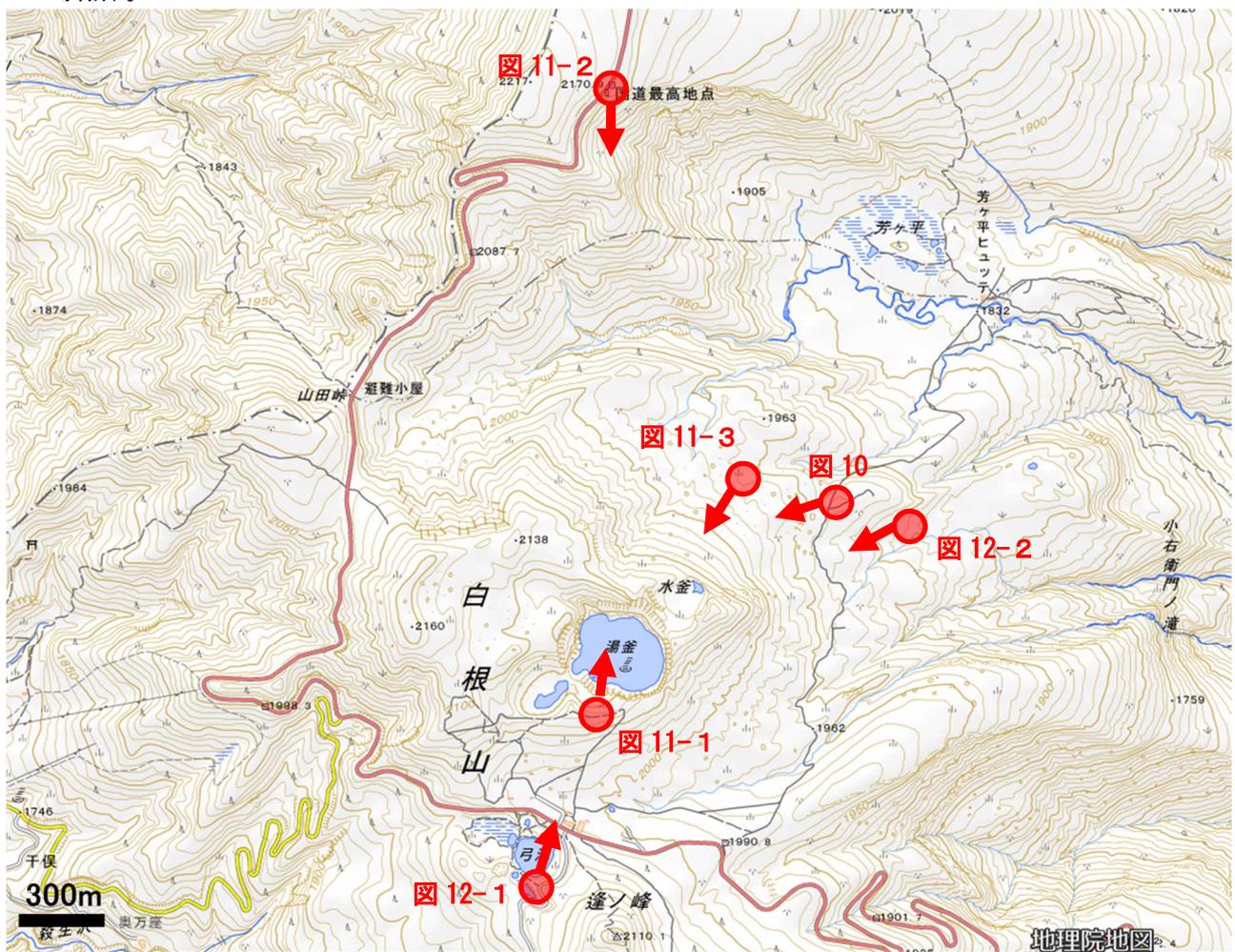


図9 草津白根山（白根山（湯釜付近））図10～図12の撮影位置と撮影方向
 図10：赤外熱映像カメラ（常時監視）、図11：現地調査、図12：上空からの観測

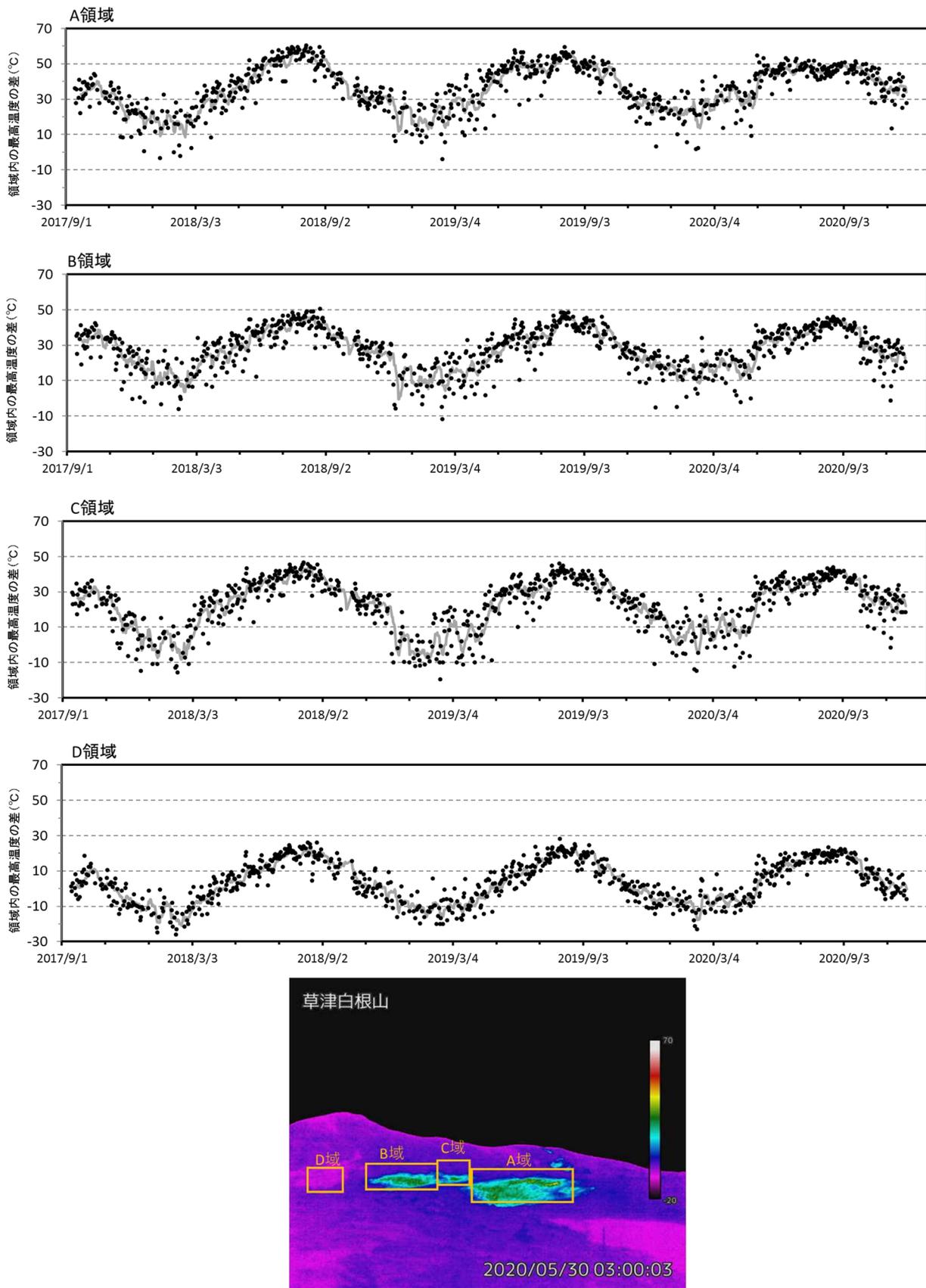


図 10 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 赤外熱映像カメラによる水釜北東噴気地帯のそれぞれの領域（A～D領域）の最高温度（2017年9月1日～2020年11月30日）
 天候不良時のデータは除去し、日射の影響のない毎03時のデータを使用している。
 実線は前10日間の移動平均を示す。

- ・それぞれの領域で前年同月と比べて最高温度の上昇は認められない。

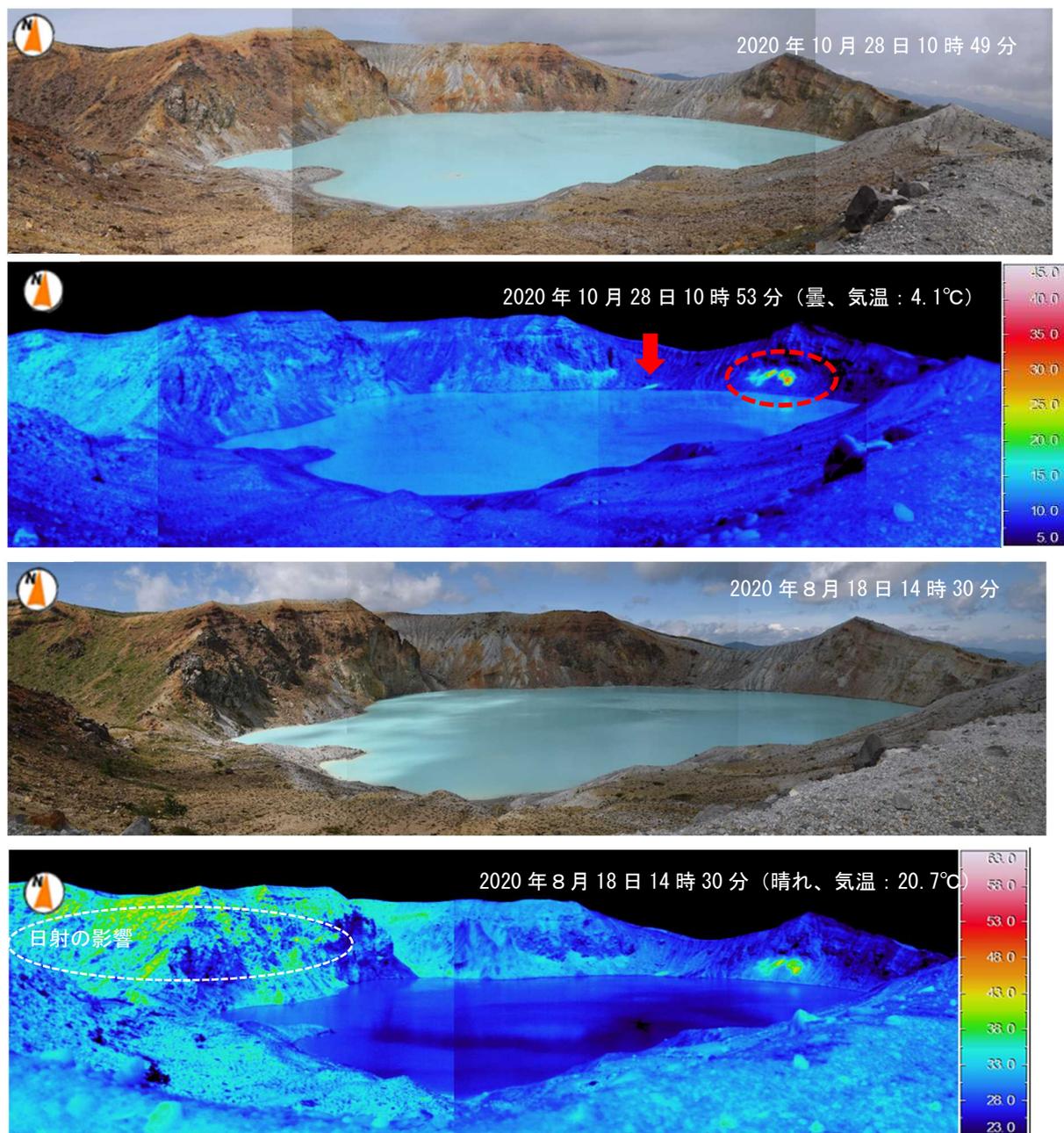


図 11-1 草津白根山 湯釜火口内の状況

1 段目、2 段目：2020 年 10 月 28 日、3 段面、4 段目：2020 年 8 月 18 日。

- ・熱映像装置による観測では、湯釜火口内北東側火口壁の地熱域（赤破線丸）、湯釜火口内北東部の地熱域（赤矢印）が引き続き認められた。

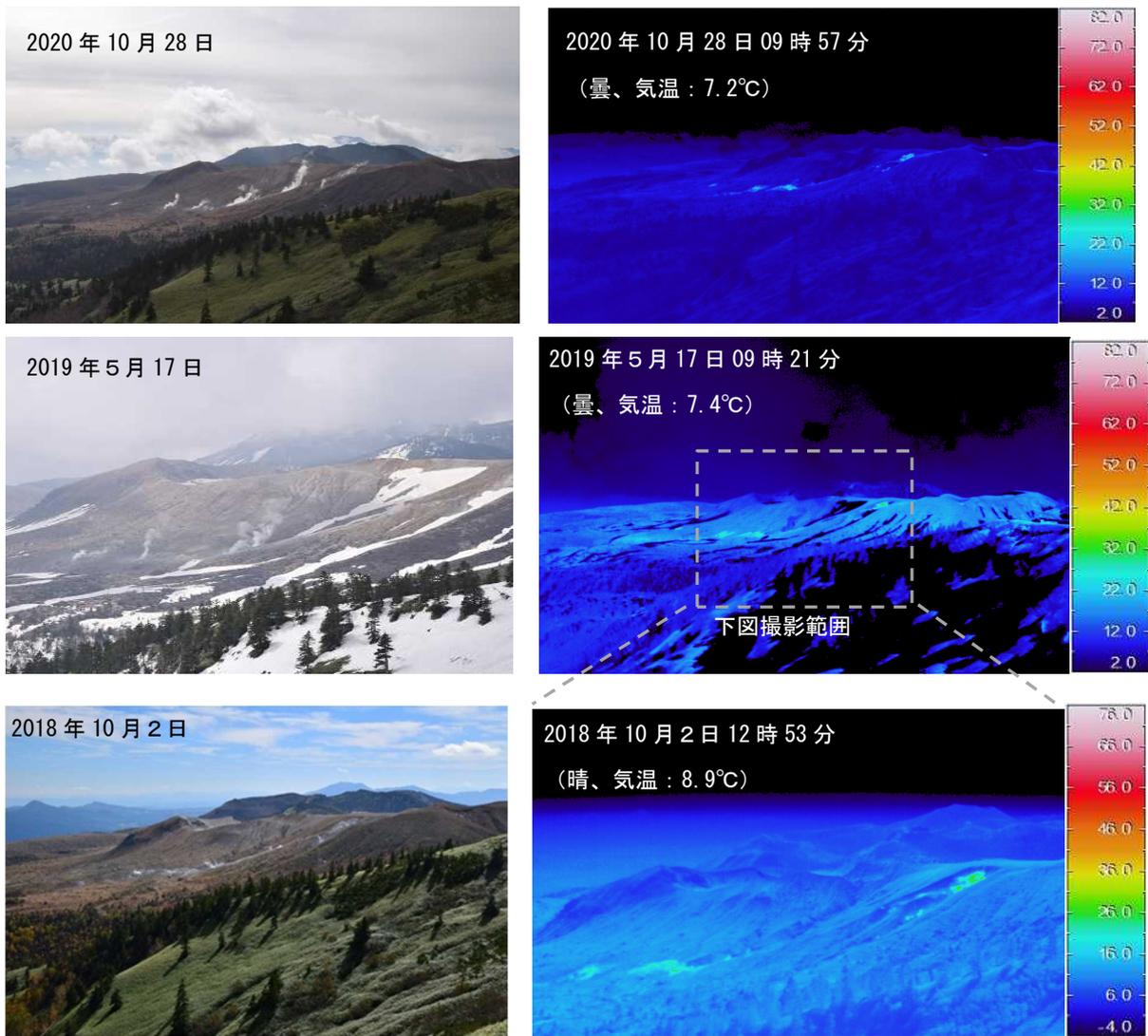


図 11 - 2 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 湯釜火口北側噴気地帯の状況

- ・ 10月14日および28日に実施した現地調査では、前回（2019年5月17日）と比較して噴気の状態や地熱域の分布に特段の変化は認められなかった。

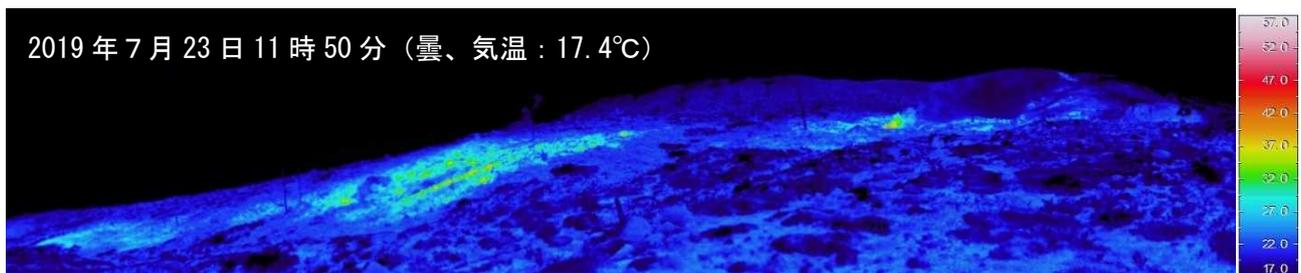
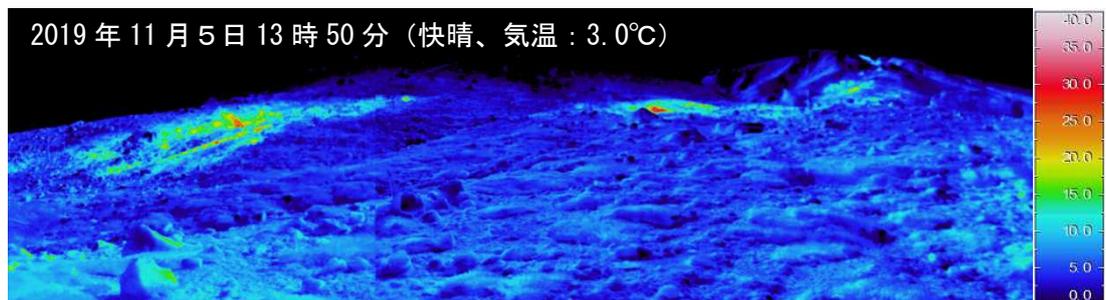
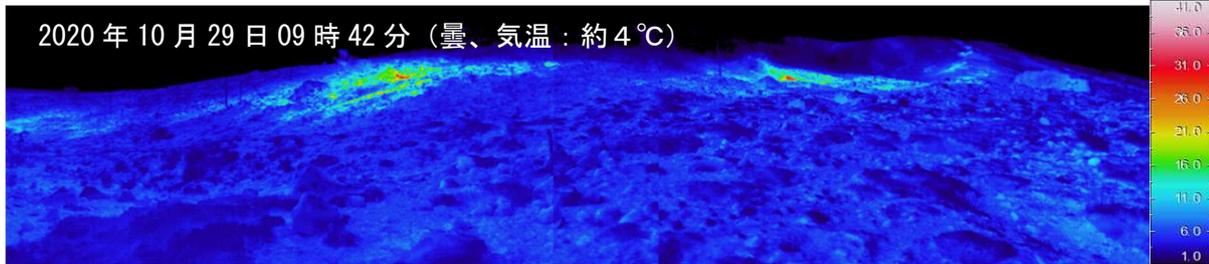
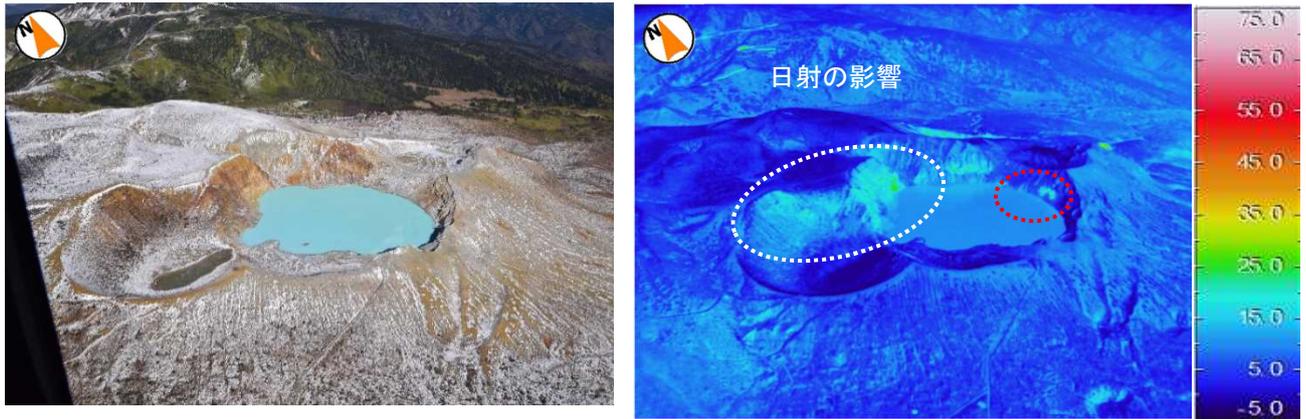
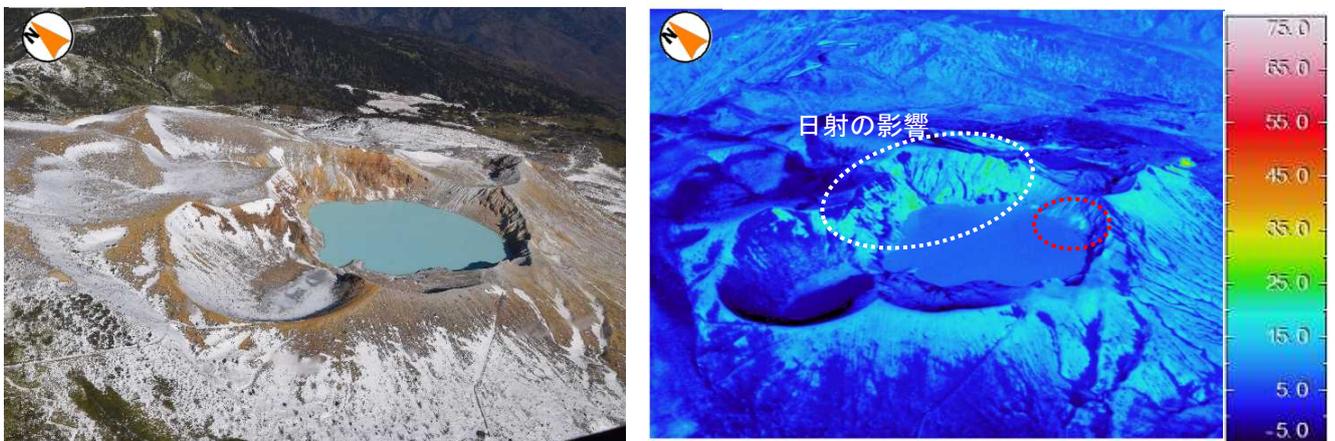


図 11 - 3 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 湯釜火口北側噴気地帯の状況

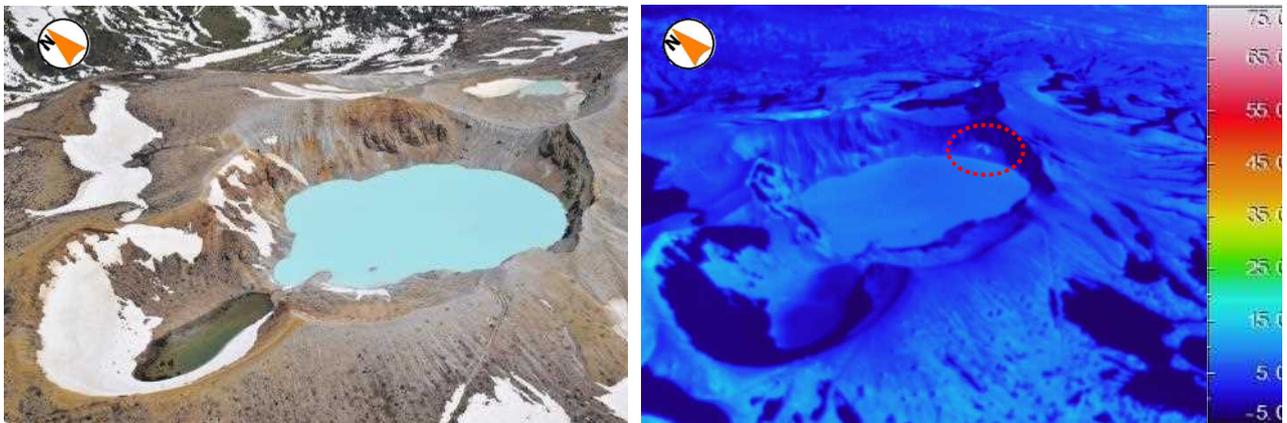
・10月29日に実施した現地調査では、前回（2019年11月5日）と比較して噴気の様相や地熱域の分布に特段の変化は認められなかった。



2020年11月24日11時23分 湯釜火口の南西 高度約2,400mから撮影 天気：快晴



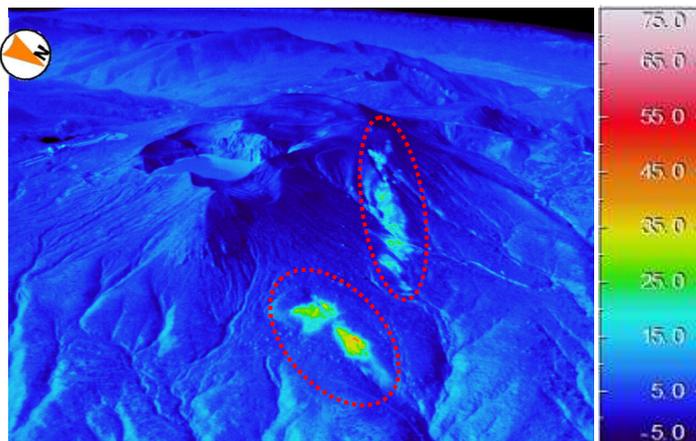
2019年12月16日11時19分 湯釜火口の南西 高度約2,500mから撮影 天気：晴れ



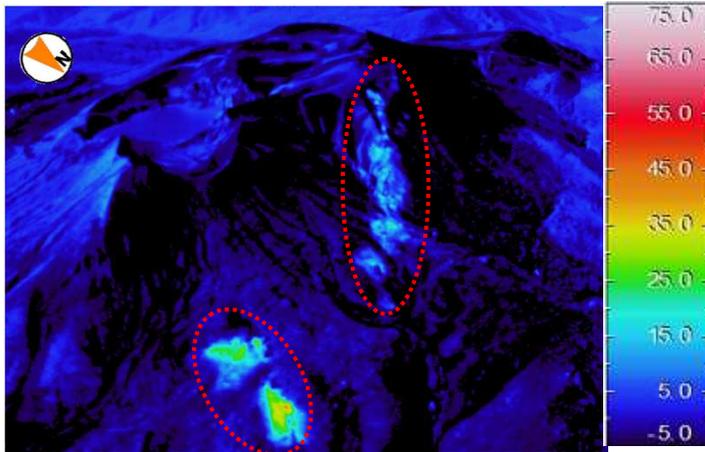
2018年4月26日10時10分 湯釜火口の南西 高度約2,500mから撮影 天気：晴れ

図12-1 草津白根山（白根山（湯釜付近））湯釜周辺の状況及び地表面温度分布

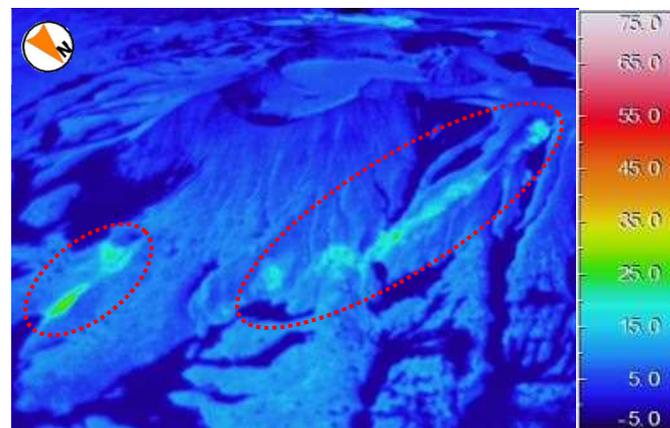
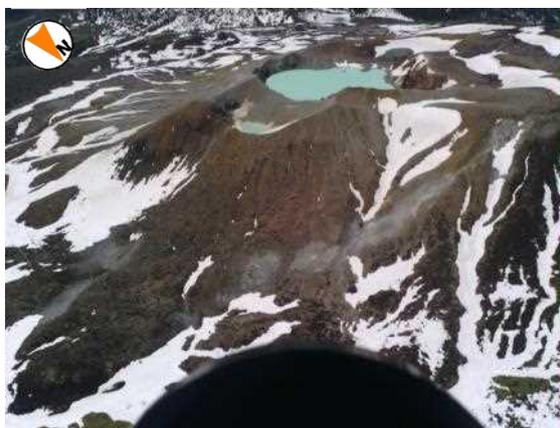
・11月24日に陸上自衛隊の協力により実施した上空からの観測では、湯釜火口内の北東側壁面に引き続き地熱域（赤破線）が確認され、前回の観測（2019年12月16日）と比較して大きな変化は認められなかった。



2020年11月24日11時27分 湯釜火口の北東 高度約2,500mから撮影 天気：快晴



2019年12月16日11時22分 湯釜火口の北東 高度約2,500mから撮影 天気：晴れ



2018年4月26日10時15分 湯釜火口の北東 高度約2,500mから撮影 天気：晴れ

図12-2 草津白根山（白根山（湯釜付近））湯釜火口北側及び北東側斜面の状況及び地表面温度分布
 ・11月24日に陸上自衛隊の協力により実施した上空からの観測では、前回の観測（2019年12月16日）と比較して湯釜火口北側及び北東側斜面の地熱域の分布（赤破線）に特段の変化は認められなかった。

本白根山

鏡池北火口付近の地震は2018年12月以降少ない状態で、噴気も観測されておらず、火山活動は静穏な状態で経過している。

火山活動は、現在のところ静穏な状態だが、逢ノ峰付近では時々地震が発生しており、引き続き火山活動の推移に注意する必要がある。

○概況（2020年6月～2020年11月）

・地震活動（図13、図14）

本白根山火口付近及び逢ノ峰付近を震源とする地震は、少ない状態で経過した。火山性微動は観測されていない。

・地殻変動（図15）

GNSS連続観測では、火山活動によるとみられる変動は認められません。

・噴気等の表面現象の状況（図16）

2018年2月23日以降、噴気は観測されていない。

11月24日に陸上自衛隊の協力により実施した上空からの観測では、鏡池北火口北側及び西側の火口周辺には地熱域は認められず、噴気は確認されなかった。

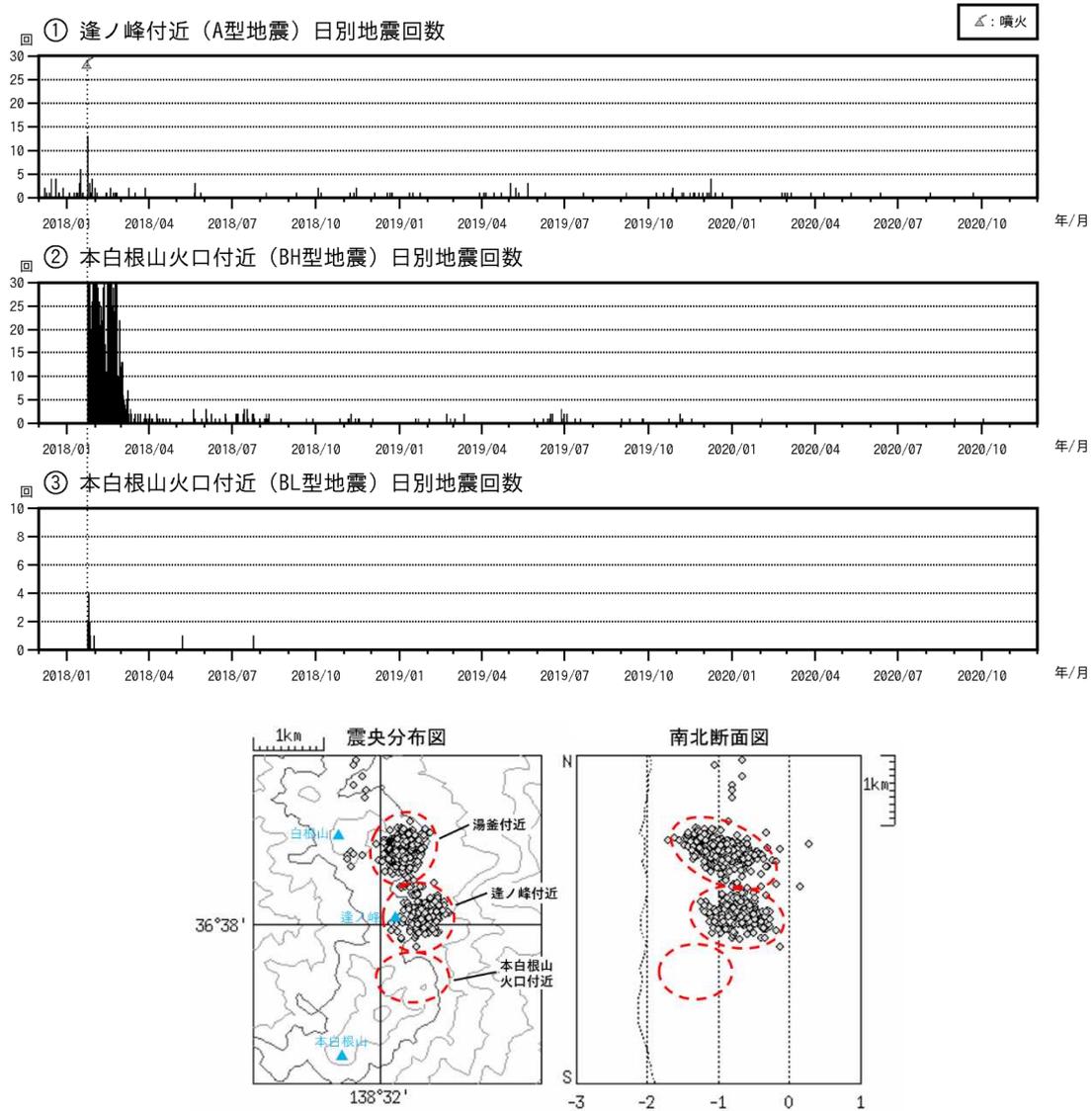


図 13 草津白根山（本白根山） 火山性地震の活動経過（2017年12月1日～2020年11月30日）

- ・ 逢ノ峰付近を震源とする火山性地震は、回数は少ないものの継続的に発生している。
- ・ 本白根山火口付近を震源とする火山性地震は、少ない状態で経過した。

↓ 逢ノ峰南東2観測点設置

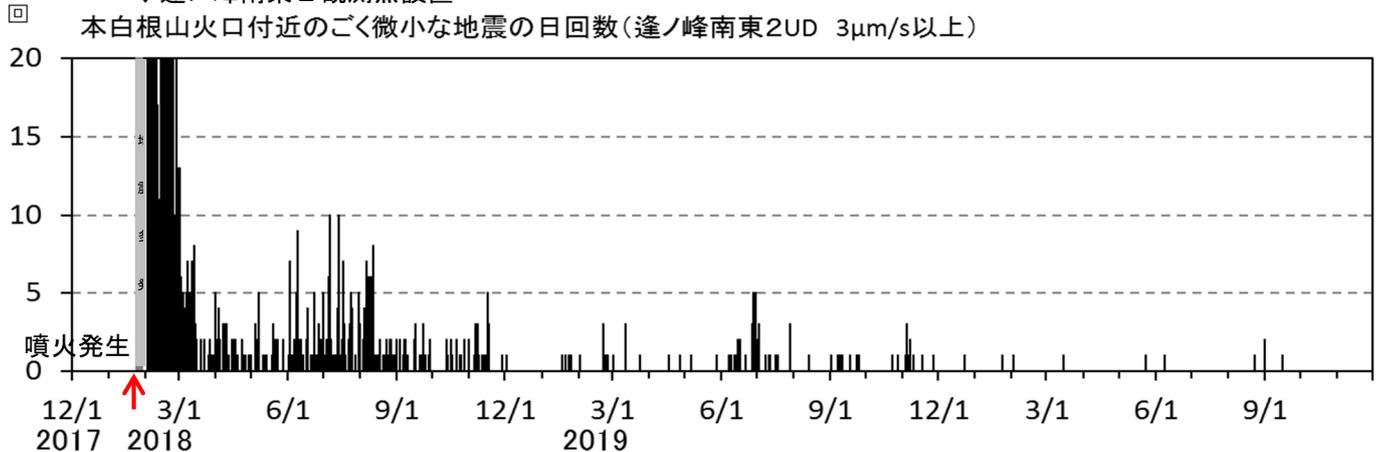
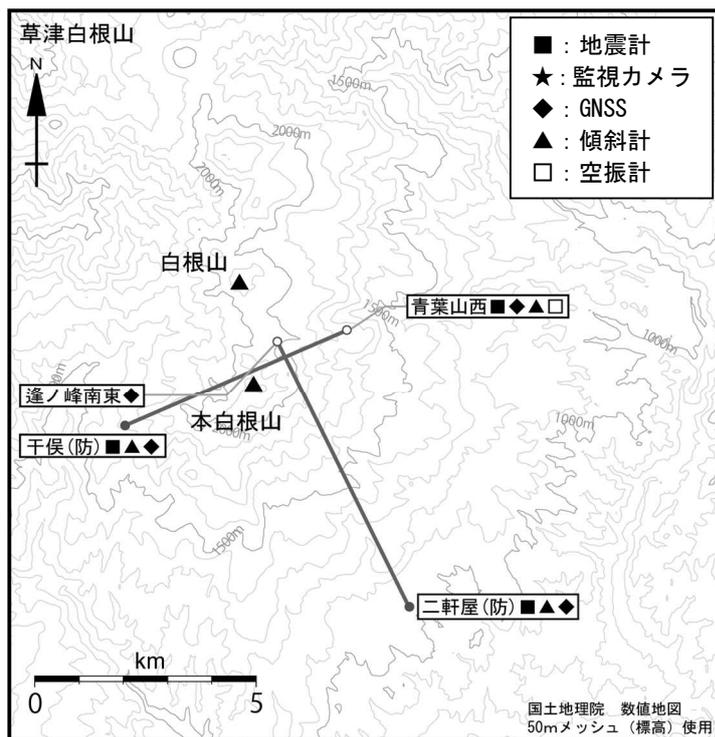
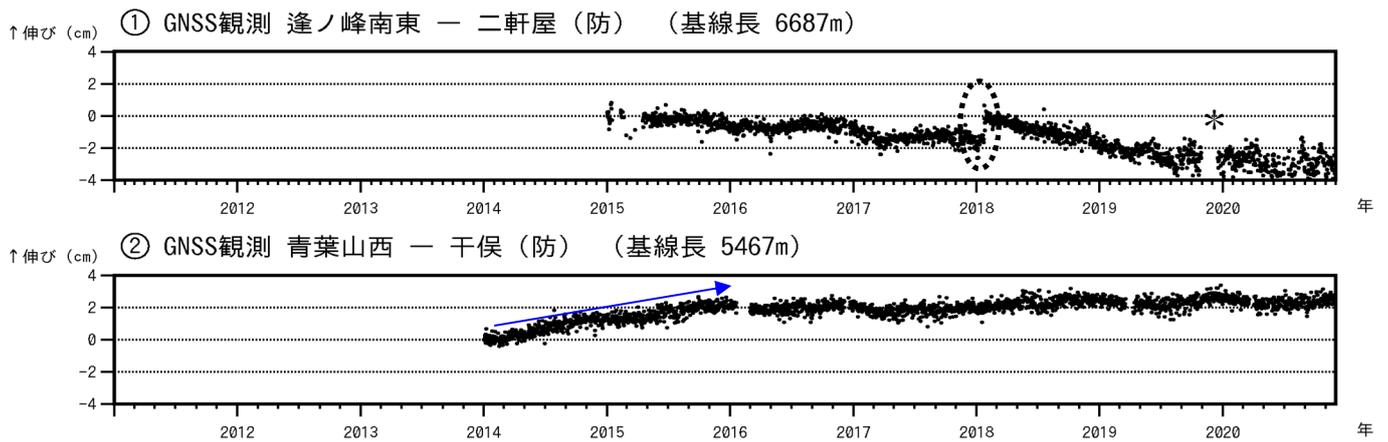


図 14 草津白根山（本白根山） 本白根山火口付近のごく微小な地震活動

（2018年2月2日～2020年11月30日）

- ・ 灰色期間は、地震が多発した期間を示す。
- ・ ごく微小な火山性地震が時々発生している。

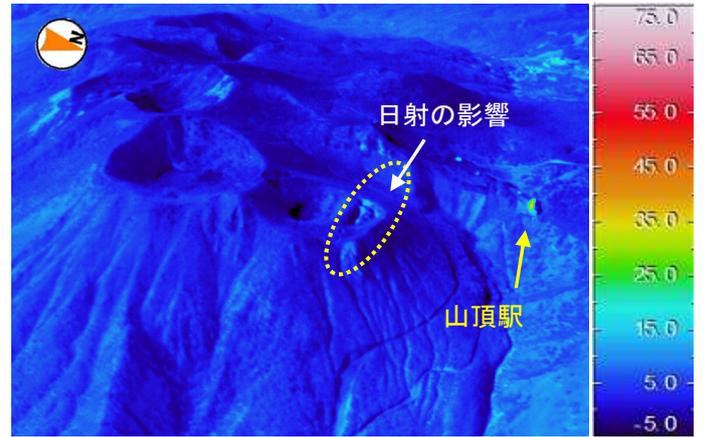


小さな白丸(○)は気象庁、小さな黒丸(●)は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
 (国): 国土地理院、(防): 防災科学技術研究所、(工): 東京工業大学、(関地): 関東地方整備局、(町) 草津町

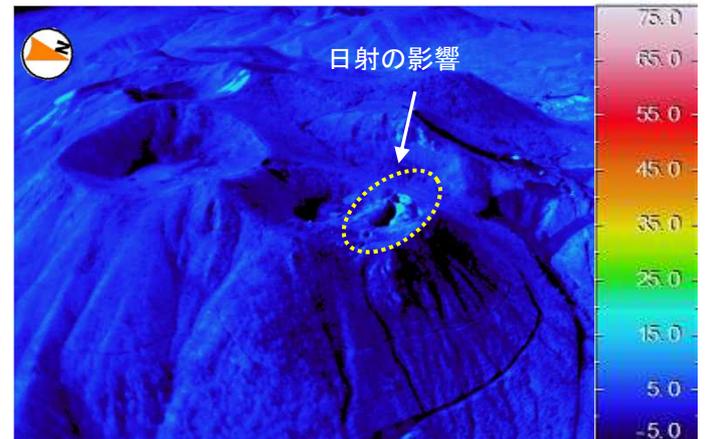
図 15 草津白根山 (本白根山) GNSS 連続観測による基線長変化

(2011年1月1日~2020年11月30日)

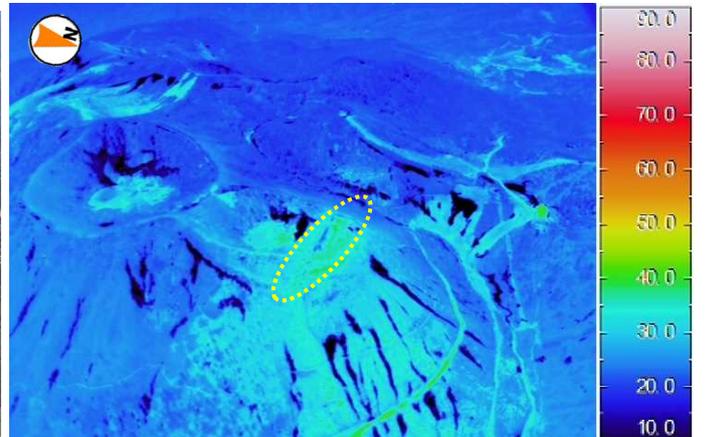
- ・①逢ノ峰南東-二軒屋 (防) の基線で 2018 年 1 月の噴火に伴う変化 (黒破線) が認められる。2018 年 1 月以降にみられている変化は、本白根山の噴火後の収縮によるものと考えられる。また、2019 年 4 月頃よりみられている変化 (※印) は、二軒屋 (防) 観測点の挙動 (図 19-2 参照) によるもので、火山活動による変動ではないと考えられる。
- ・②青葉山西-干俣 (防) の基線では、2014 年に深部の膨張によると考えられる変動 (青矢印) がみられていたが、今期間は停滞している。



① 2020年11月24日11時07分 鏡池北火口北側 高度約2,700mから撮影 天気：快晴



② 2019年12月16日11時05分 鏡池北火口北側 高度約2,500mから撮影 天気：晴れ



③ 2019年5月27日11時43分 鏡池北火口北側 高度約2,600mから撮影 天気：晴れ

図16-1 草津白根山（本白根山） 本白根山周辺の状況及び地表面温度分布

・11月24日に陸上自衛隊の協力により実施した上空からの観測では、鏡池北火口北側及び西側の火口周辺（黄破線）には地熱域は認められず、噴気は確認されなかった。

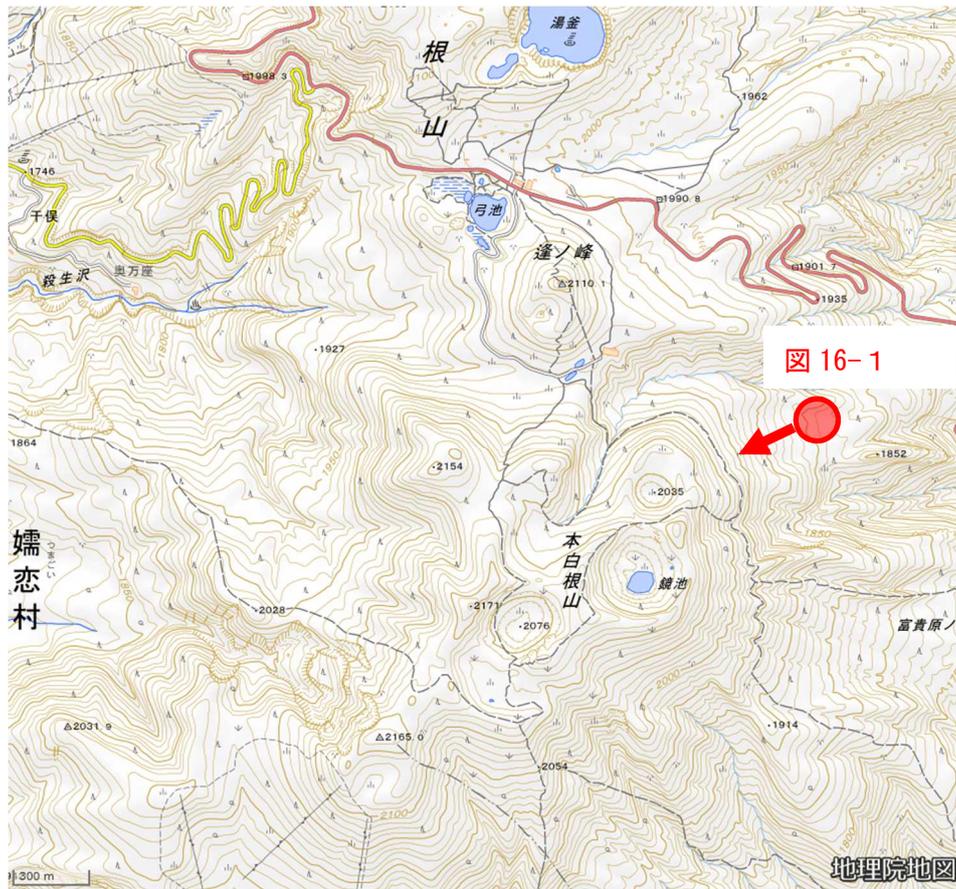


図 16-2 草津白根山（本白根山）図 16-1 の撮影位置と撮影方向

草津白根山

白根山（湯釜付近）では、1982年～1983年に小規模な水蒸気噴火が発生したほか、1989年～1991年にかけて火山活動の活発化がみられました。その後、火山活動は概ね静穏に経過していましたが、2011年に火山性微動と傾斜変動が観測され、2014年及び2018年には、湯釜付近の浅部で地震増加や膨張などがみられました。

また、2014年以降、草津白根山の北西～西側で深部の膨張を示唆する地殻変動や地震の増加が観測されたほか、2018年には本白根山で水蒸気噴火が発生しました。

以上のように、草津白根山の火山活動は中長期的には活発な状態です。草津白根山の浅部の活動だけではなく、北西から西側の深部の地殻変動や周辺の地震活動の推移にも注意が必要です。

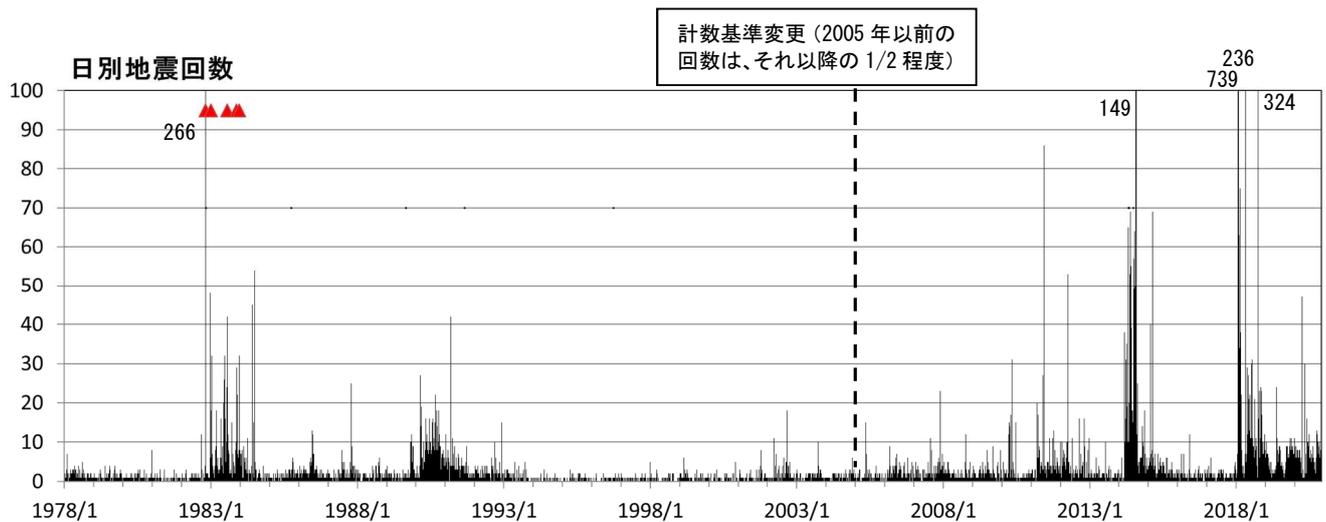


図 17 草津白根山 日別地震回数（1978年1月1日～2020年11月30日）

- ・小規模な水蒸気噴火が発生した1982年から1983年にかけての期間、および火山活動に高まりがみられた1989年から1991年にかけての期間に、地震活動に高まりがみられた。
- ・地震活動は、2002年頃から徐々に高まっており、2011年以降は増減を繰り返している。

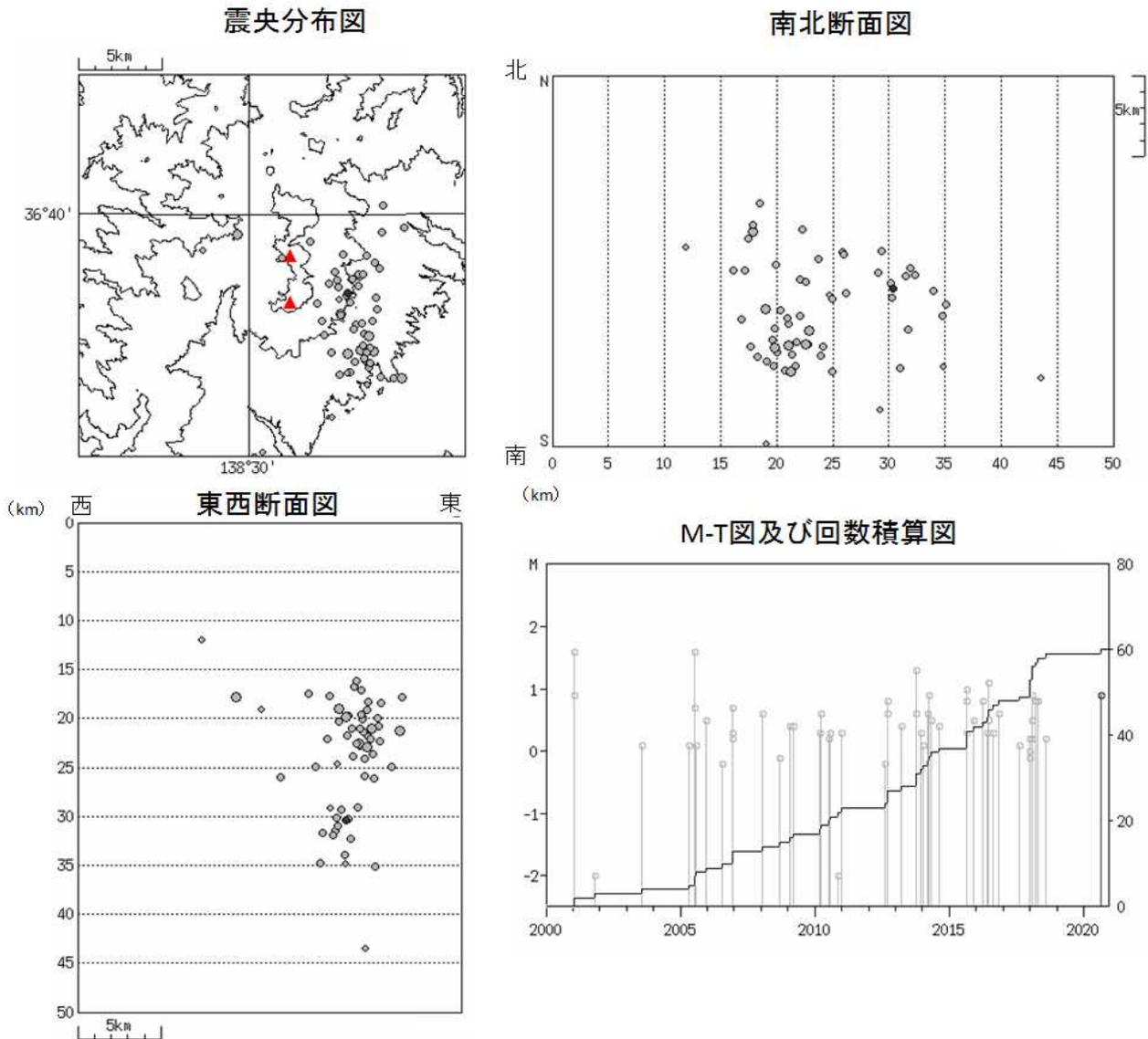


図 18 草津白根山 一元化震源による深部低周波地震活動（2000年1月1日～2020年11月30日）
 2020年11月10日現在、2020年4月18日から10月23日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化（増減）が見られます。

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

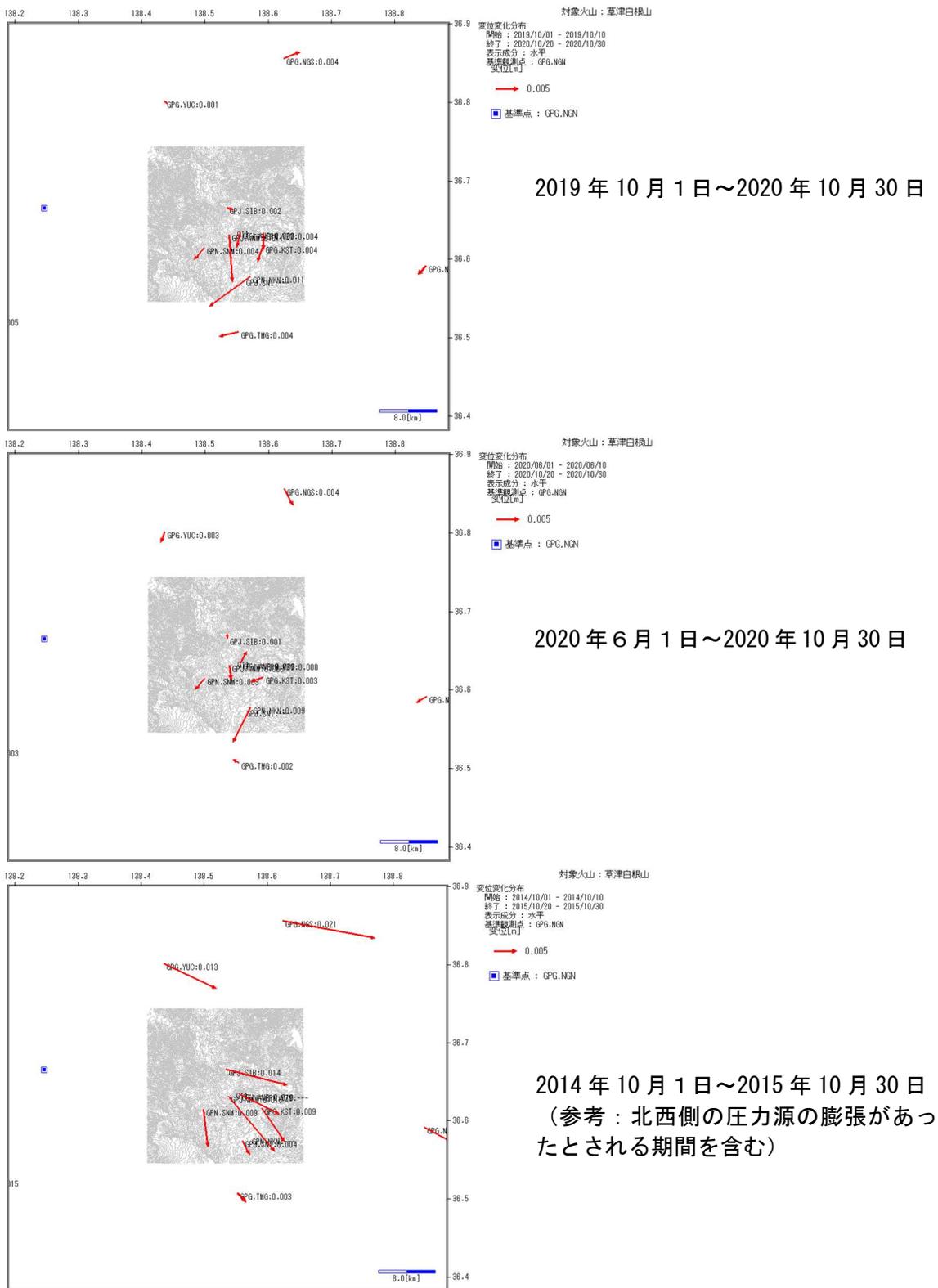


図19 草津白根山 国)長野固定による広域のGNSS連続観測結果

- ・2014年から2015年にかけて、湯釜北西側の圧力源の膨張と考えられる変動が認められた。
- ・2019年10月から2020年10月までのGNSS連続観測では、2014年から2015年にかけて観測されたような明瞭な変動は認められない。

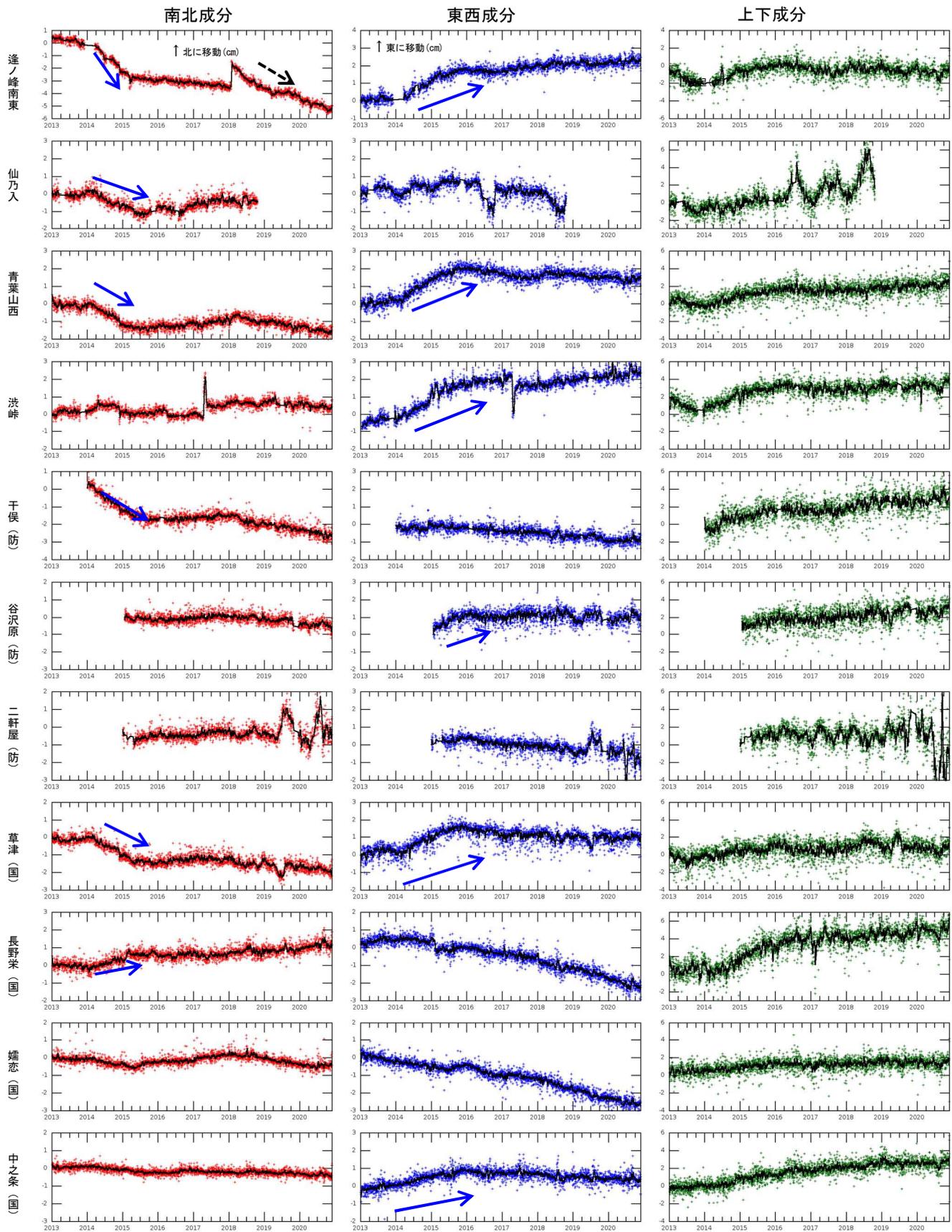


図 20 草津白根山 GNSS 各観測点の変動 (2013 年 1 月 1 日～2020 年 11 月 30 日) (長野 (国) 固定)

(国) 国土地理院 (防) 防災科学技術研究所 黒線は 10 日間の移動平均
地震やアンテナ交換等によるステップ, 季節変動, 長野栄(国)のトレンドを除去した。

嬬恋(国)は、浅間山の膨張性地殻変動の影響を受けている。

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

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

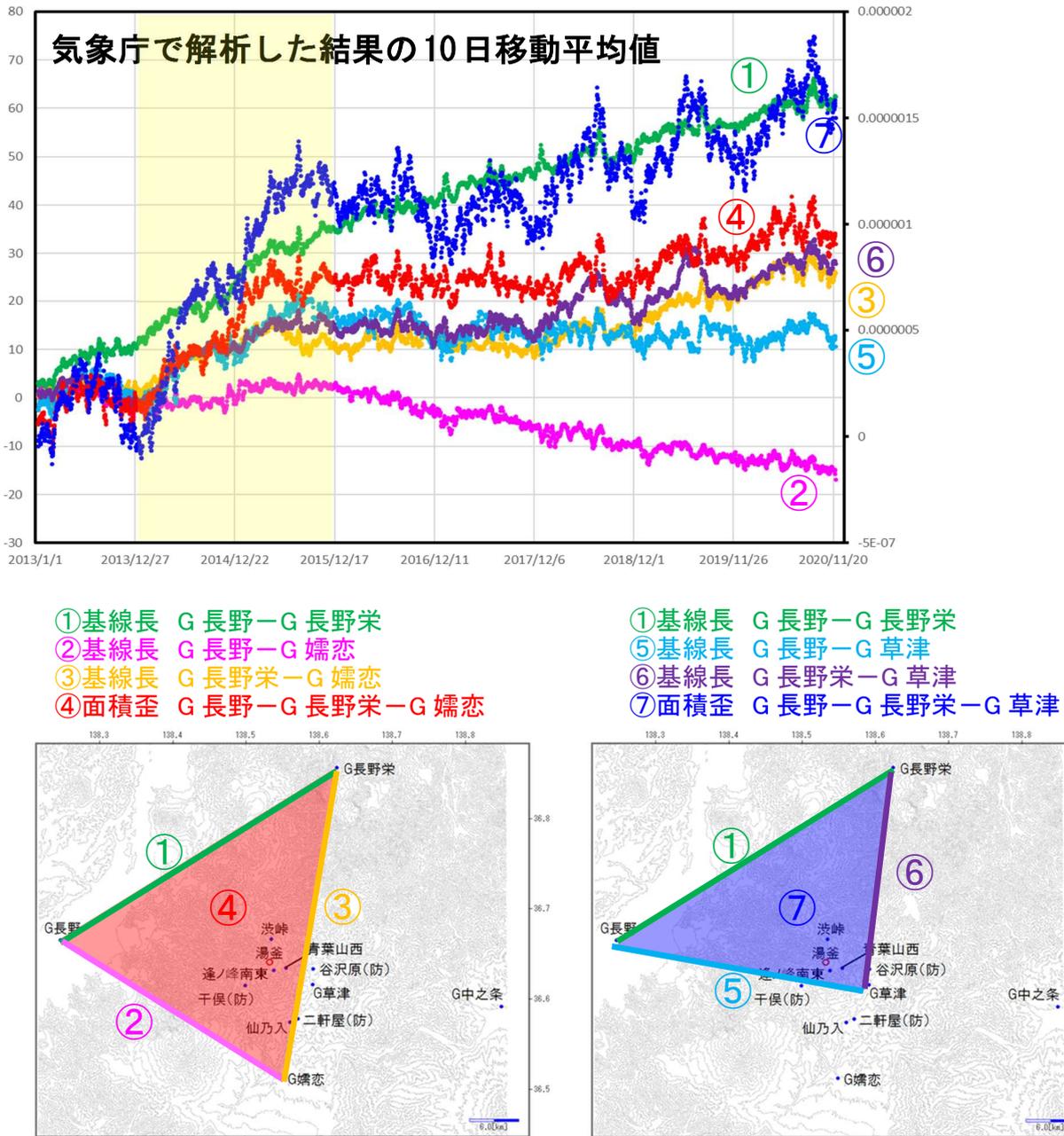


図 21 草津白根山 GNSS 連続観測の結果(2013 年1月1日～2020 年11月28日)

上段:GNSS 連測観測の結果(気象庁で解析した結果)

下段:基線・面積ひずみのペアの説明(暖色系:G 嬬恋観測点を含むペア、寒色系:G 草津観測点を含むペア)

・2014-2015 年は、南北走行、東西走行の基線とともに伸びの傾向が見られ、面積ひずみもプラス方向に変化した(上段図中の網かけ領域)。

・2018 年以降、いずれの面積ひずみのペアにおいても、わずかながらプラス方向への変化が見える。南北走行の基線③⑥では伸びの傾向がみられるが、東西走行の基線②⑤は停滞か縮みの傾向がみられる。

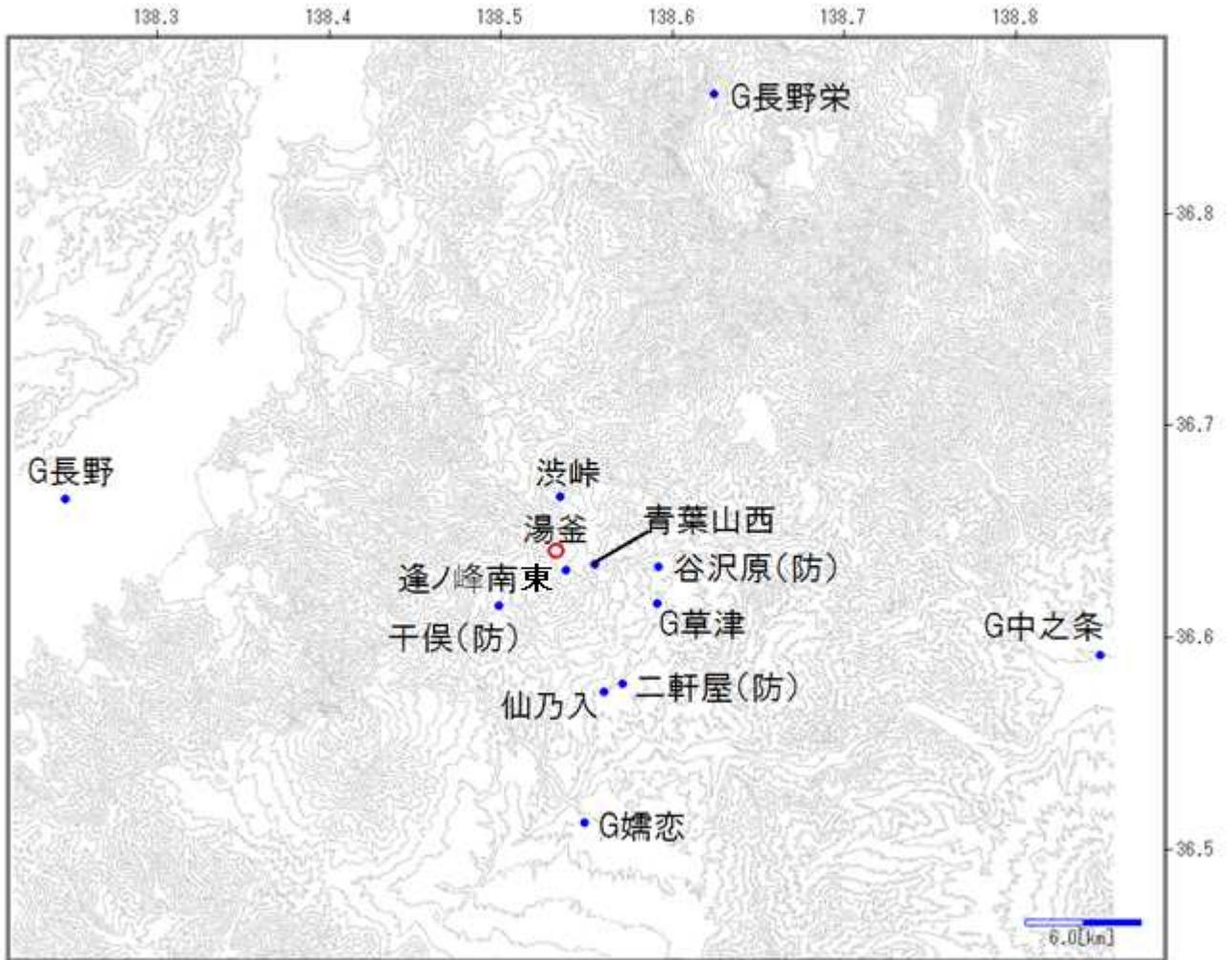


図 22 草津白根山 GNSS 観測点

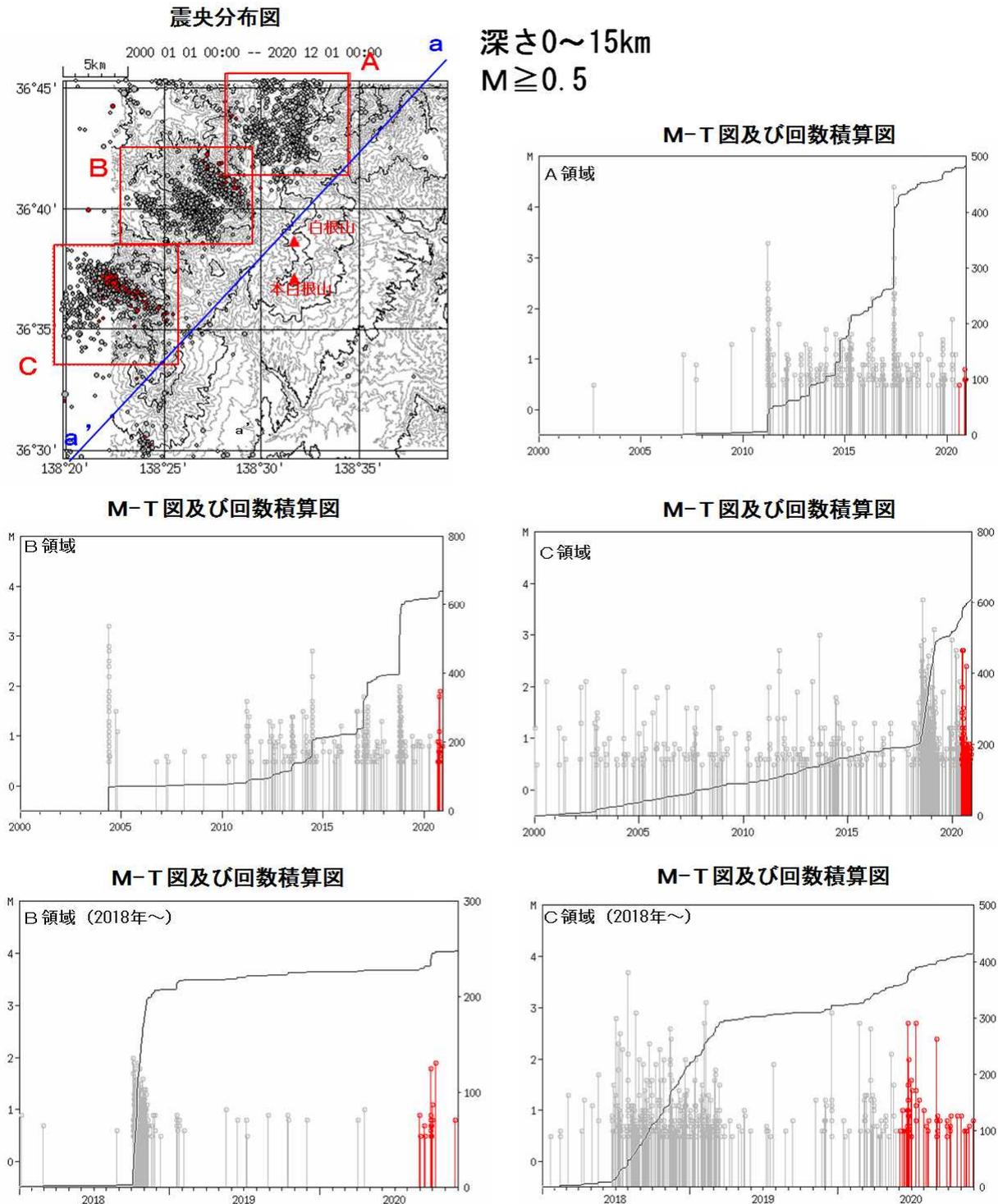


図 23 草津白根山 一元化震源による周辺の地震活動 (2000年1月1日~2020年11月30日)
a-a' は図 24 の断面方向を示す。

● : 2000年1月1日~2020年5月31日、● : 2020年6月1日~2020年11月30日

2020年11月10日現在、2020年4月18日から10月23日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化(増減)が見られます。

- ・ A領域では、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後地震活動が活発化している。
- ・ B領域では、2018年10月頃から地震活動が高まり、同年12月以降、静穏に経過していた。2020年8月下旬から10月上旬にかけて、ややまとまって発生したものの、2018年と比較すると小規模である。
- ・ C領域では、2018年6月頃から2019年3月頃まで地震活動が高まった後、低調に経過していたが、2020年3月頃以降、2018年6月以前と比べて多い状態で推移している。

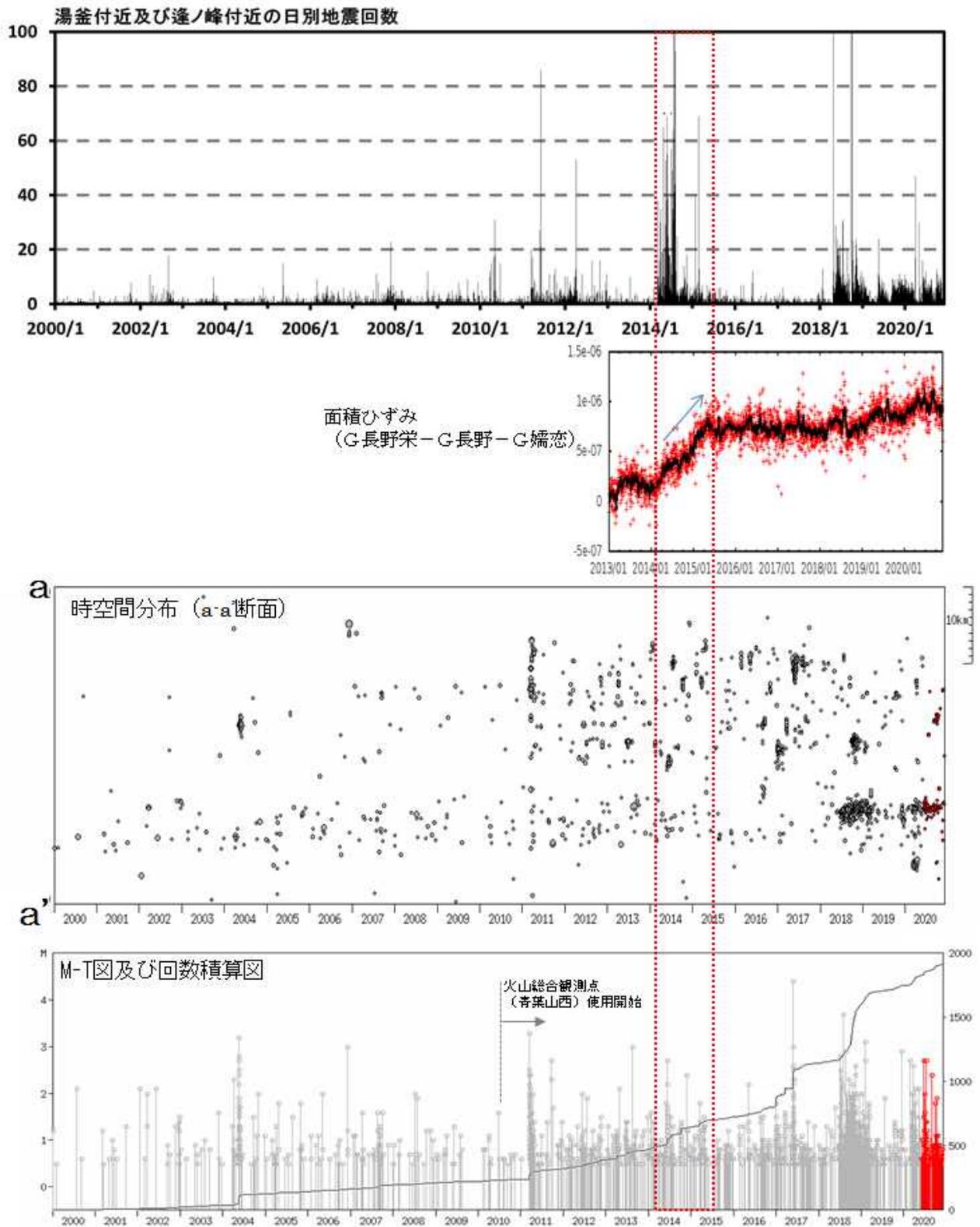


図 24 草津白根山 一元化震源による周辺の地震活動 (2000年1月1日～2020年11月30日)

- ・平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震後、草津白根山の北西～北側にかけての地震活動が活発化した。
- ・2014 年、2017 年、2018 年に北西側の地震活動の活発化がみられている。
- ・2014～2015 年に草津白根山の北西～西側の深部の膨張を示唆する地殻変動 (図中青矢印) が観測された。その後、2014～2015 年の変動と類似した明瞭な変動は、認められない。

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

ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

1. はじめに

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

2. 解析データ

解析に使用したデータを第1表に示す。

第1表 干渉解析に使用したデータ

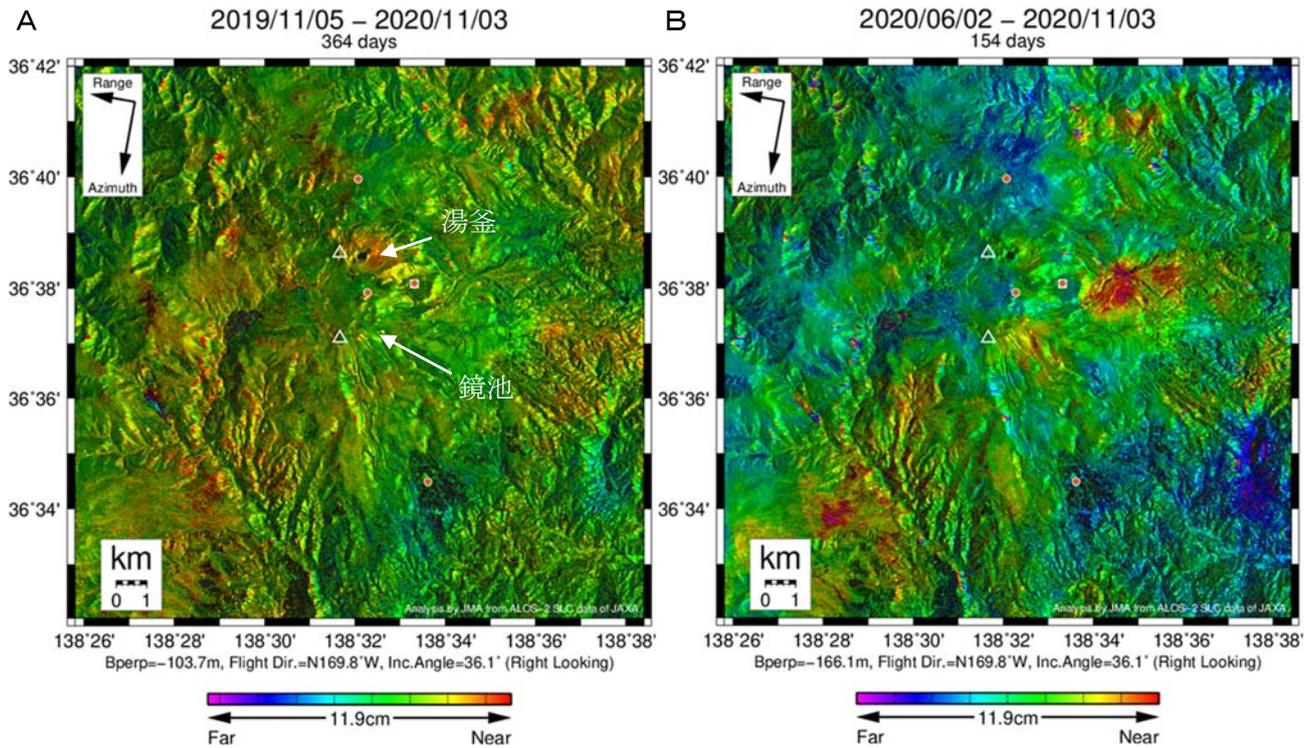
Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
19-2880 (SM1_U2-7)	南行	右	36.1°	2019. 11. 05	2020. 11. 03	第1図 - A
			36.1°	2020. 06. 02	2020. 11. 03	第1図 - B
119-760 (SM1_U3-10)	北行	左	45.8°	2019. 08. 09	2020. 10. 02	第2図

3. 解析結果

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

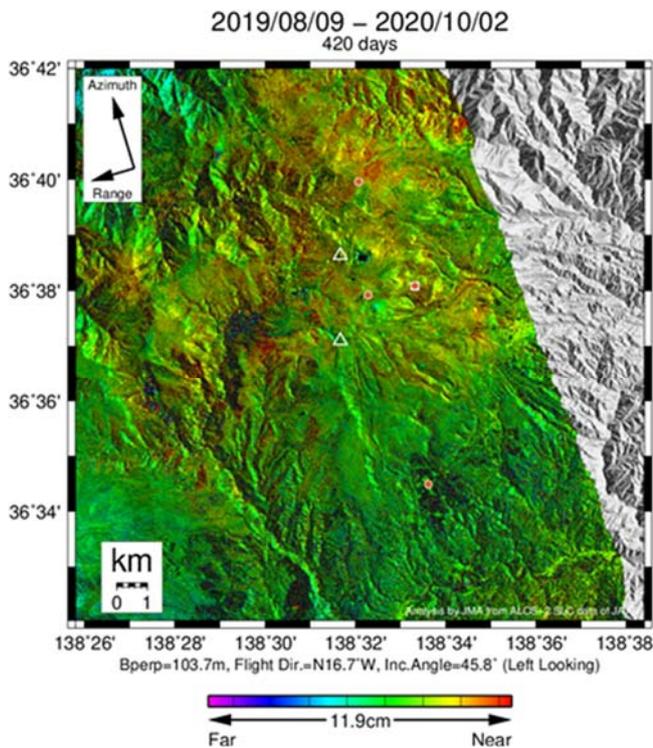
謝辞

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



第1図 パス 19 (SM1_U2-7)による草津白根山及び周辺の干渉解析結果

図中の白三角印は山頂位置を示す。丸印はGNSS観測点、四角印は傾斜観測点を示す。
ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。



第2図 パス 119 (SM1_U3-10)による草津白根山及び周辺の干渉解析結果

凡例は第1図と同じ。
ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

湯釜湖水の化学組成 (2020年11月14日観測)

2020年11月14日(13:30頃)に草津白根山の湯釜火口湖の南西岸のU1地点近傍(図1)で drone を用いて採取した湖水の化学組成を分析した(表1). なお、湯釜では同日 12:20 頃に黒色の変色域が観測されていて、今回分析した試料は変色域が消失した後に採取された湖水である。

湖水の Mg/Cl 比は湯釜火口で複数回の噴火が発生した 1982-83 年、および湯釜火口内での小規模な噴出が発生した 1989 年、1996 年の前後などで顕著に上昇したことが知られている(Ohba et al.[1], 図2). 同比は 2020 年 11 月 14 日時点で 0.0083 程度と 1982-83 年および 1996 年前後に上昇した値に比べて小さいが、2019 年の夏頃から増減を繰り返している(図2).

表 1. 湯釜火口湖水の化学組成 (抜粋)

Date	WT °C	pH	EC S/m	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	Mg mg/L	Mg/Cl
2020/11/5*	16.6	1.13	3.90	4040	1420	33.9	0.0084
2020/11/14**	N.D.	1.09	3.89	4110	1430	34.2	0.0083

*U1地点で採水. **U1地点の近傍でdroneを使用して採水.

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



図 1. 湖水の採取位置(U1)
(背景地図に地理院地図を使用した)

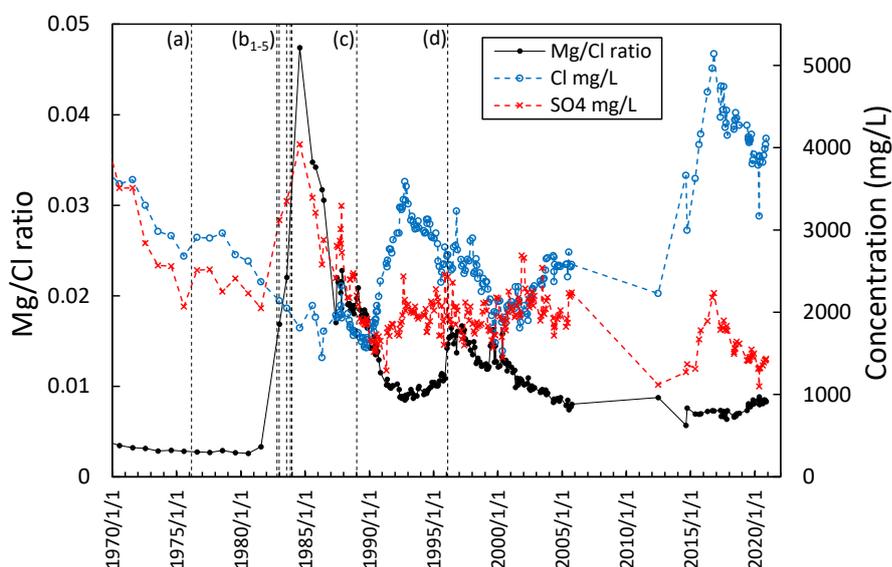


図 2. 湯釜湖水の Cl, SO₄ 濃度, および Mg/Cl 比の変化*

* 2005 年以前は Ohba et al. [1], それ以降は東海大学, 東京工業大学, 気象研究所による観測.

(a)1976 年水釜噴火, (b)1982-83 年湯釜噴火, (c)1989 年湯釜内噴出[2], (d)1996 年湯釜内突出[3].

参考資料 ^[1] T. Ohba et al (2008) JVGR, 178, 131-144. ^[2] 井田ほか(1989)地震研彙報, 64, 325-345. ^[3] 東京工業大学・草津(1996)火山予知連絡会報, 65, 29-32.

謝辞 本研究は東京大学地震研究所共同利用(2020-KOBO11)の援助を受けました.

草津白根山における地磁気全磁力変化

1. 白根山（湯釜付近）

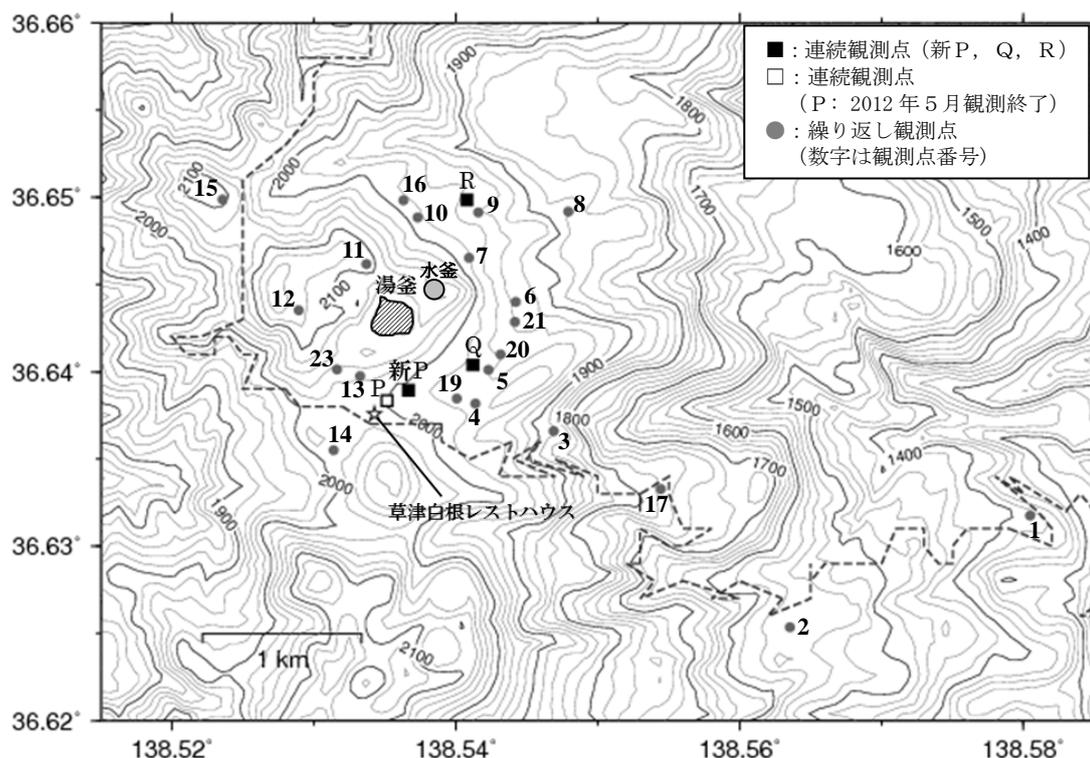
全磁力連続観測では、2018年4月から7月にかけて水釜付近地下の熱消磁を示唆する全磁力変化が観測されたが、2018年8月以降は明瞭な変化は認められていない。

一方、全磁力繰り返し観測（2019年10月～2020年10月）では、湯釜の東から南東側で全磁力の減少が観測された。

白根山（湯釜付近）における2018年から2020年11月までの全磁力観測結果について報告する。全磁力連続観測では、2018年4月から7月にかけて、水釜付近地下の熱消磁を示唆する全磁力変化（新P点およびQ点で減少、R点で増加）が観測された。しかし、それ以降は熱消磁を示すと言い切れるような明瞭な全磁力変化は認められていない（第3図～第4図参照）。

2020年10月に実施した全磁力繰り返し観測では、前回（2019年10月）の観測結果と比較して、湯釜の東から南東側の領域で全磁力の減少が観測された（第5図参照）。ただし、その変化量は小さく、その原因は不明である。

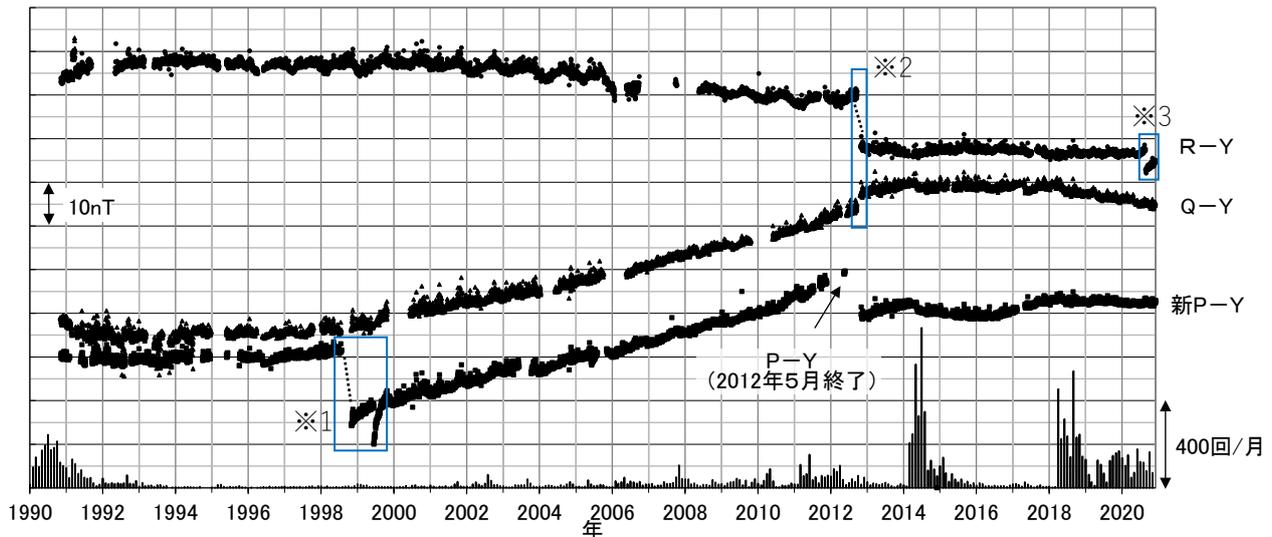
今後の熱活動の推移を把握するため、引き続き全磁力変化を注視する必要がある。



第1図 白根山（湯釜付近）における全磁力観測点配置

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

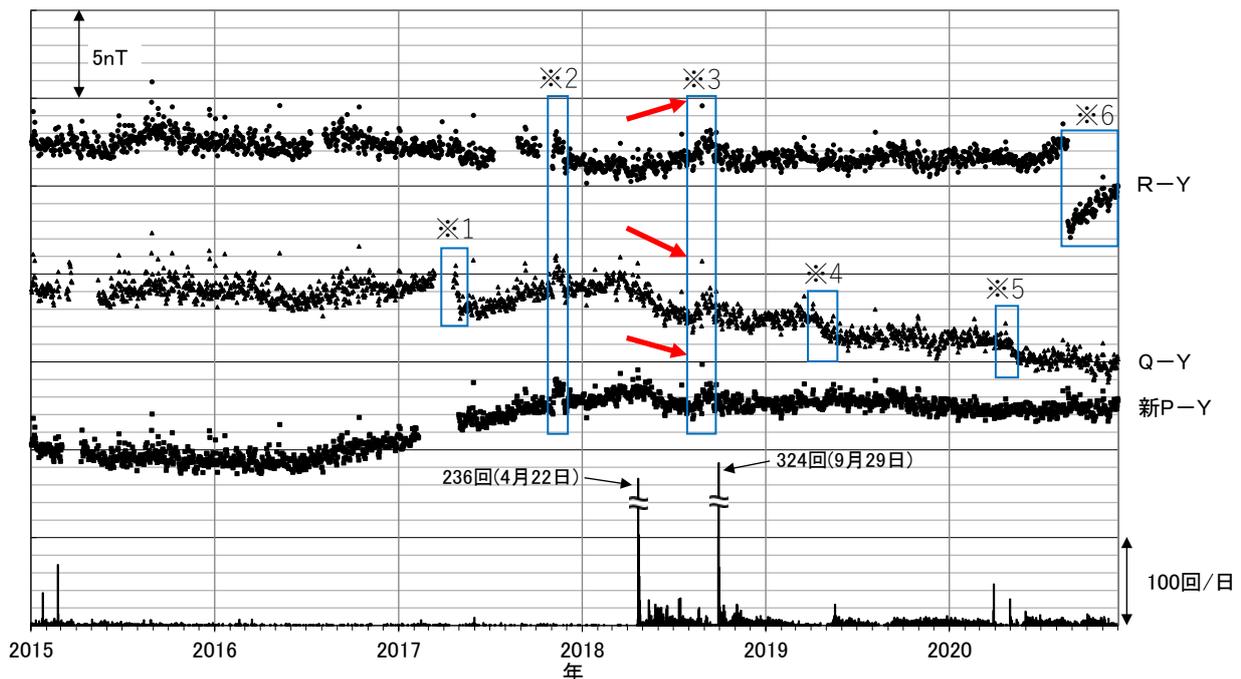
【謝辞】本資料の作成に当たっては、東京大学地震研究所共同利用(2020-D-15)における八ヶ岳地球電磁気観測所の全磁力データの提供を受けた。



第2図 白根山（湯釜付近）における全磁力連続観測結果（1990年～2020年11月30日）

連続観測点（P、Q、Rおよび新P）における東京大学地震研究所八ヶ岳地球電磁気観測所（Y）との全磁力の夜間（00:00～02:59）日平均値差。最下段は草津白根山の月別地震回数（2015年以降は湯釜付近の地震のみ）。

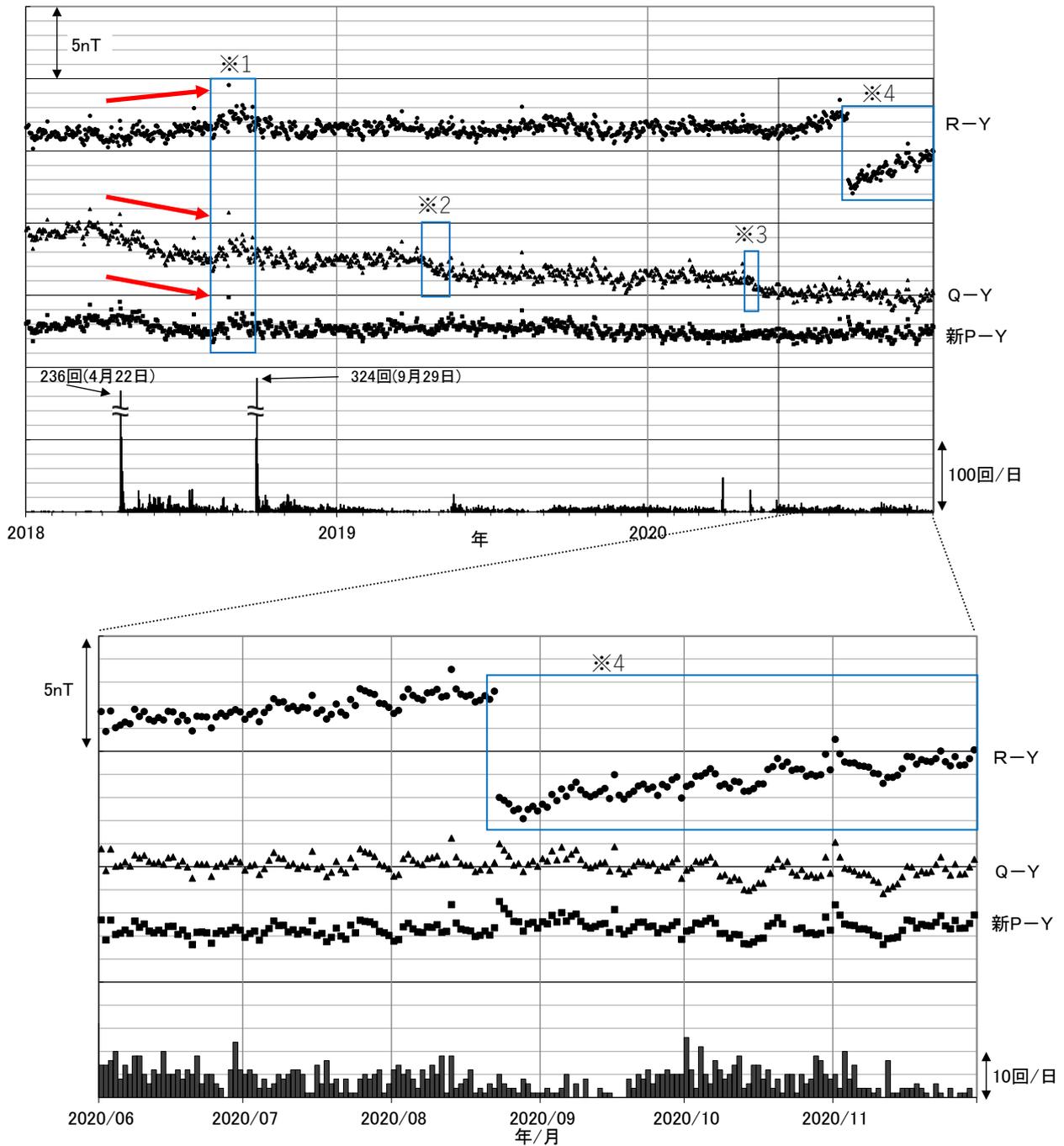
（※1）、（※3）落雷によるステップ状の変化とその後の余効変動を含む、（※2）更新工事に伴う変化



第3図 白根山（湯釜付近）における全磁力連続観測結果（2015年1月～2020年11月30日）

連続観測点（Q、Rおよび新P）における東京大学地震研究所八ヶ岳地球電磁気観測所（Y）との全磁力の夜間（00:00～02:59）日平均値差。最下段は湯釜付近の日別地震回数。赤矢印は2018年4月～7月に観測された全磁力変化（第4図も同様）。

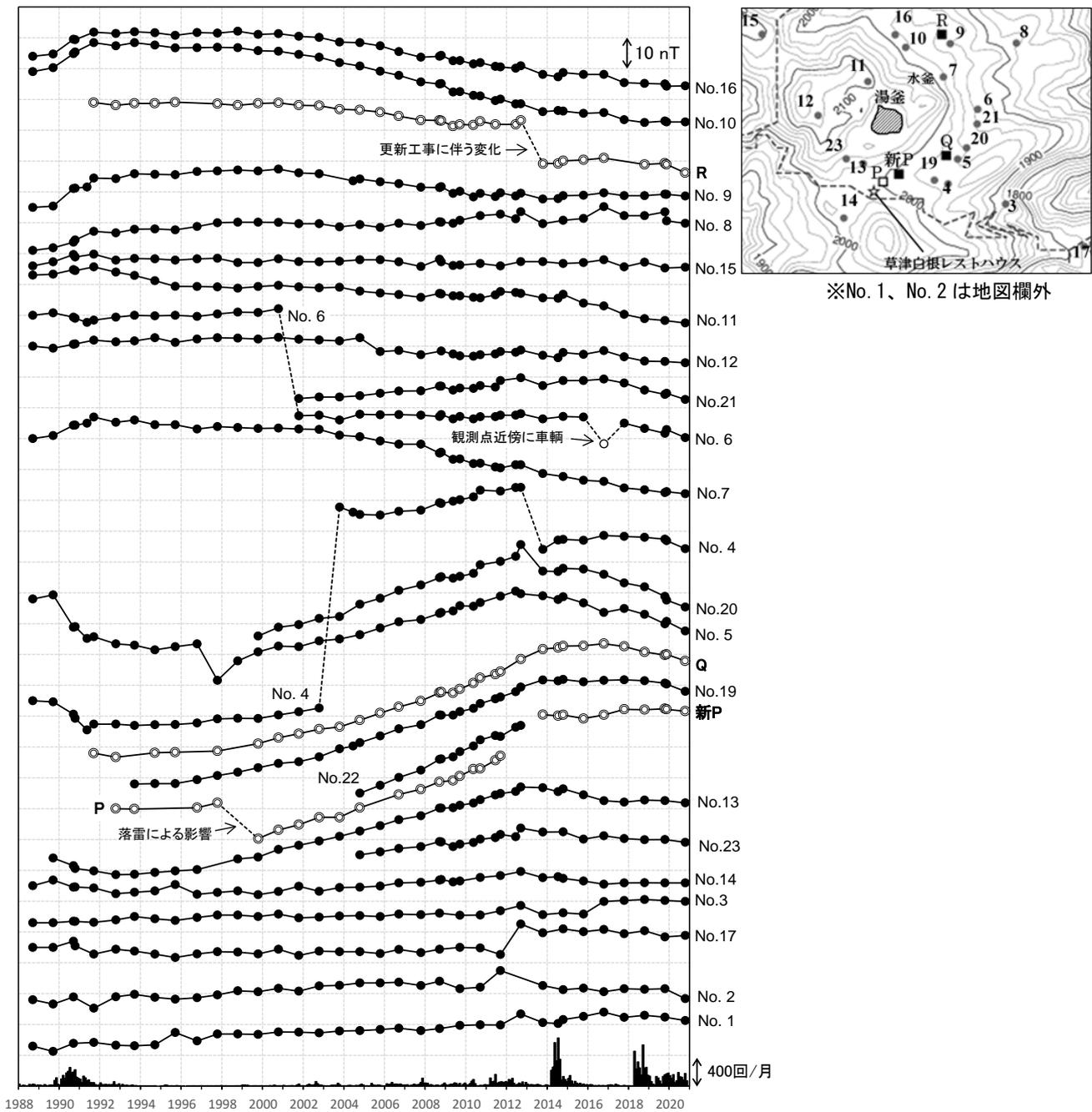
（※1）原因不明の急変、（※2）Yのみで観測された人工擾乱、（※3）2018年8月～9月に発生した磁気嵐によると考えられる変化、（※4）2019年4月中旬～5月上旬のQでの原因不明の変化（調査中）、（※5）2020年5月3日のQでの原因不明の変化（調査中）、（※6）落雷によるステップ状の変化とその後の余効変動を含む



第4図 白根山（湯釜付近）における全磁力連続観測結果（2018年1月～2020年11月30日）とその拡大図（2020年6月～2020年11月30日）

連続観測点（Q、Rおよび新P）における東京大学地震研究所八ヶ岳地球電磁気観測所（Y）との全磁力の夜間（00:00～02:59）日平均値差。最下段は湯釜付近の日別地震回数。

- （※1）2018年8月～9月に発生した磁気嵐によると考えられる変化、
- （※2）2019年4月中旬～5月上旬のQでの原因不明の変化（調査中）、
- （※3）2020年5月3日のQでの原因不明の変化（調査中）、
- （※4）落雷によるステップ状の変化とその後の余効変動を含む



第5図 白根山（湯釜付近）における全磁力繰り返し観測結果（1988年9月～2020年10月）

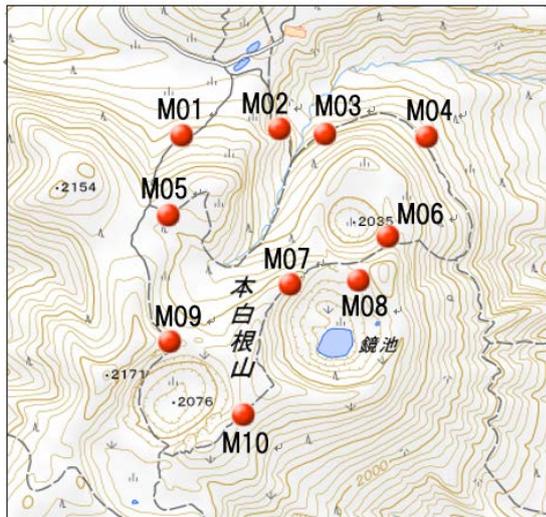
- ・ 東京大学地震研究所八ヶ岳地球電磁気観測所（Y）で観測された全磁力値を基準とし、各繰り返し観測点とYの地域的短周期変動の差は連続観測点Qを介して除去した。
- ・ 連続観測点P、Q、Rおよび新Pのデータは全磁力繰り返し観測実施日の値をプロット。
- ・ 破線は周辺環境の変化によると思われるギャップ。
- ・ 連続観測点Rの変化（2019年11月～2020年10月）は落雷による影響を含む。
- ・ 最下段は草津白根山の月別地震回数（2015年以降は湯釜付近の地震のみ）。

2. 本白根山

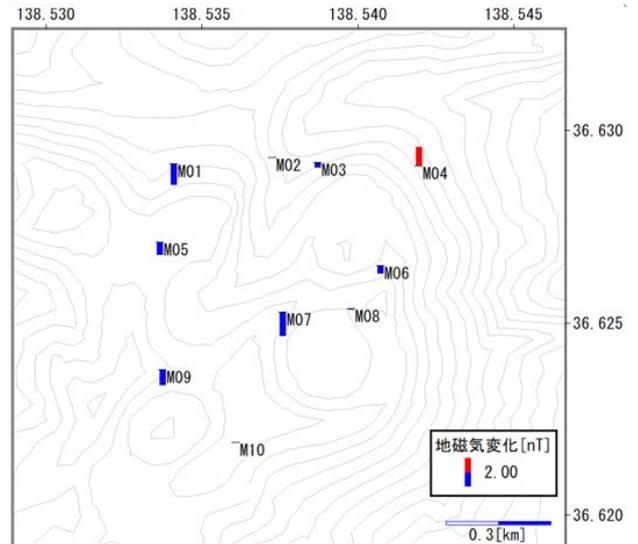
全磁力繰り返し観測（2019年10月～2020年10月）では、熱磁気効果を示唆するような全磁力変化は認められなかった。

本白根山における全磁力観測結果について報告する。

2020年10月に本白根山山頂部周辺（第1図参照）で全磁力繰り返し観測を実施した。その結果、熱磁気効果を示唆するような全磁力変化は認められなかった（第2図～第3図参照）。

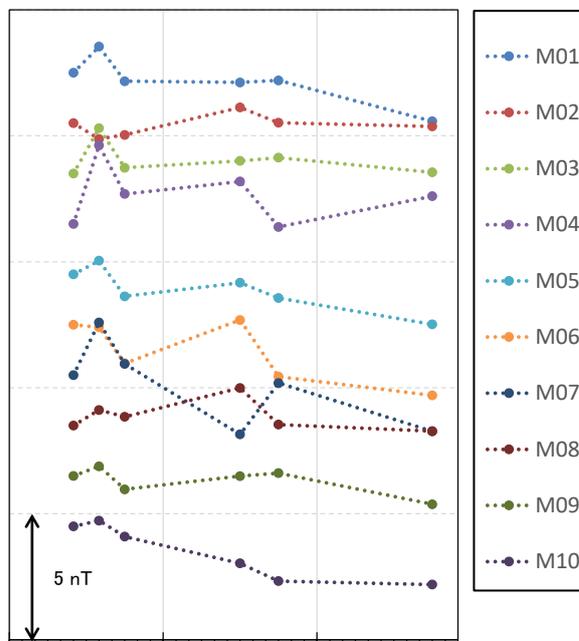


第1図 本白根山における全磁力繰り返し観測点配置（地理院地図に繰り返し観測点を追記）



第2図 本白根山における全磁力繰り返し観測結果（2019年10月～2020年10月の全磁力変化分布）

（気象研究所が開発した火山用地殻活動解析支援ソフト（MaGCAP-V）を使用）

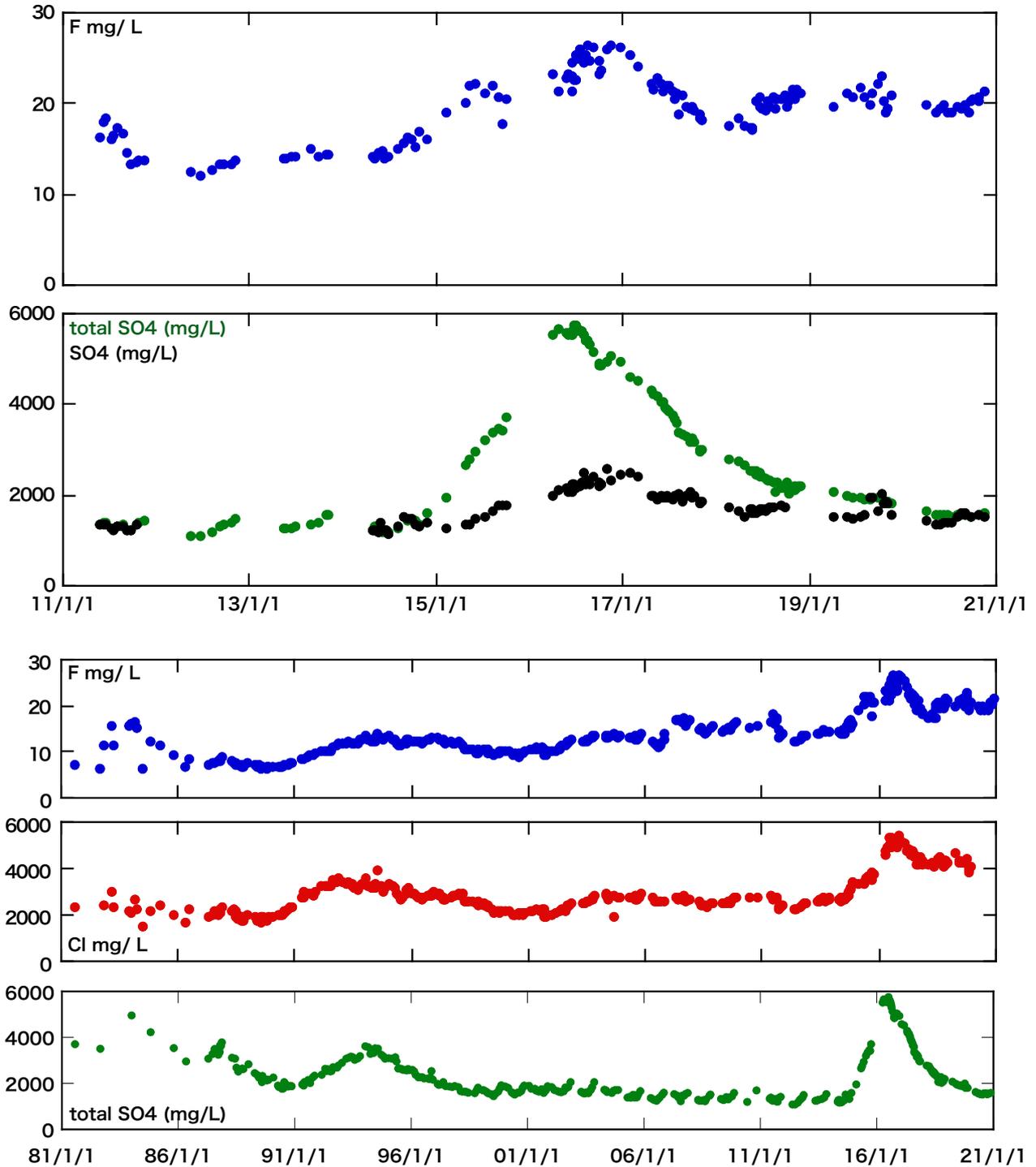


2018/1/1 2019/1/1 2020/1/1

第3図 本白根山における全磁力繰り返し観測結果（2018年6月～2020年10月）

・東京大学地震研究所八ヶ岳地球電磁気観測所（Y）で観測された全磁力値を基準とし、各繰り返し観測点とYの地域的短周期変動の差は連続観測点Qを介して除去した。

湯釜湖水の陰イオン成分の濃度変化



1. Total SO4 濃度は、ほぼ SO4 濃度に等しく、ポリチオン酸の生成はあっても僅かであるが、2014 年以前の濃度までは下がりきっておらず、若干ではあるが上昇傾向が認められる。
2. F 濃度は高い状態にあるが、更に上昇傾向がみられる。
3. 塩化物イオン濃度については、その定量法に疑義が生じたので、今後再測定を行う。

草津白根山湯釜火口湖における 2020 年 11 月 14 日湖面変色, および繰り返し空撮画像

2020 年 11 月 12 日の傾斜変動を伴う火山性微動から約 41 時間後の 14 日 12 時 20 分から数 10 分にわたり, 湯釜において黒灰色変色が本学監視カメラに記録された. このとき, Water Dome や湖面動揺, 水温変化などは観測されなかった. 同 14 時頃に実施した空撮では, この変色は消失していた. 同時刻に採取した湖水の化学成分は, 前回 11/5 と比較して大きな変化は認められなかった (気象研・他, 第 147 回資料). また, 概ね月 1 回の割合でドローンを用いた湯釜周辺の空撮を行ったが, 湖面変色などの異常は認められなかった.

12:20:00



12:24:00



12:27:00



12:30:00



12:33:00



12:36:00



12:39:00



12:42:00



12:55:20

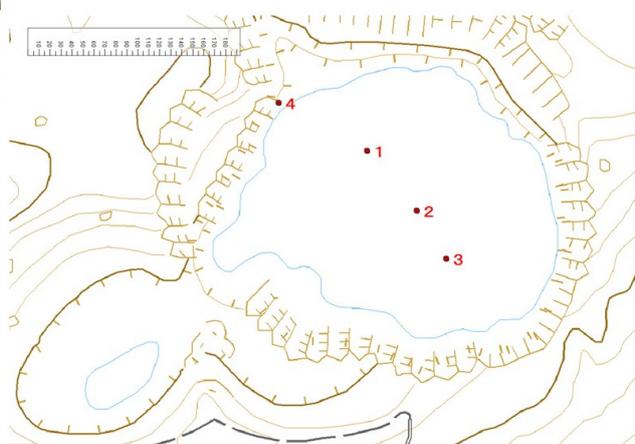


図1. 2020年11月14日12時20分頃の黒灰色変色を3分毎に示す。同12日19時半頃に発生した傾斜変動を伴う火山性微動から約41時間後、従来の湖底噴出口（地図におけるNO2）付近で黒灰色変色が始まり、同心円状に広がる様子が撮影された。この変色は一時的であり、1時間以内に消失した。Water Domeなどの湖面動揺や水温変化は観測されず、浮遊物の増加なども認められなかった。同14時頃に採取した湖水の化学成分（下表）に、同月5日の湖水試料と比較して大きな変化は認められなかった。これらの特徴から、今回の変色は、2018-2019年に繰り返し観察された黒灰色変色のごく小規模な事象と思われる。

なお、地図におけるNO1~4は2018年7月に黒灰色変色が認められた場所で、従来からこの付近の湖底にて湖底湧出が知られている。ここで地形図は国土地理院WEBサービスから引用した。

Date	WT °C	pH	EC S/m	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	Mg mg/L	Mg/Cl
2020/11/5*	16.6	1.13	3.90	4040	1420	33.9	0.0084
2020/11/14**	N.D.	1.09	3.89	4110	1430	34.2	0.0083

*U1地点で採水。 **U1地点の近傍でdroneを使用して採水。

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

*成分分析表は気象研・他の予知連資料 (2020.11.16) から引用しました..

草津白根山

図2. 湯釜南方の対地 150 m 前後から北方向に見る湯釜湖面. 2020/4/3, 5/8, 5/28, 6/2, 7/2, 8/18, 9/17, 11/5 および 11/14 に撮影.





ドローン飛行は山上において目視内にて行い、事前に吾妻森林管理署へ届け出た。また、草津町総務課のご協力頂いた。撮影に用いたドローンは、文部科学省次世代火山研究推進事業により整備された。

以上

草津白根山

草津白根火山・湯釜周辺の地殻変動

傾斜変動を 2014-2016 年の第 1 期, 2018-2020 年の第 2 期に分けて考えると, どちらも大局的には水釜直下の海拔 1000 m 前後における緩やかな圧力増加の進行と理解できる. ただし, 第 2 期の変動は複雑で, より短期の非等方的圧力変動, あるいは複数の力源が示唆される.

第 2 期は, A, B, および C を認識できる. KSE では, 第 2 期 C の変動が 2020 年 11 月においても継続しているように見える. ただし, その他の観測点の変動は僅かで, 各点における季節変動の変動幅に近い. 地殻変動が進行しているとしても, 現在は検出可能な限界に近い程度である.

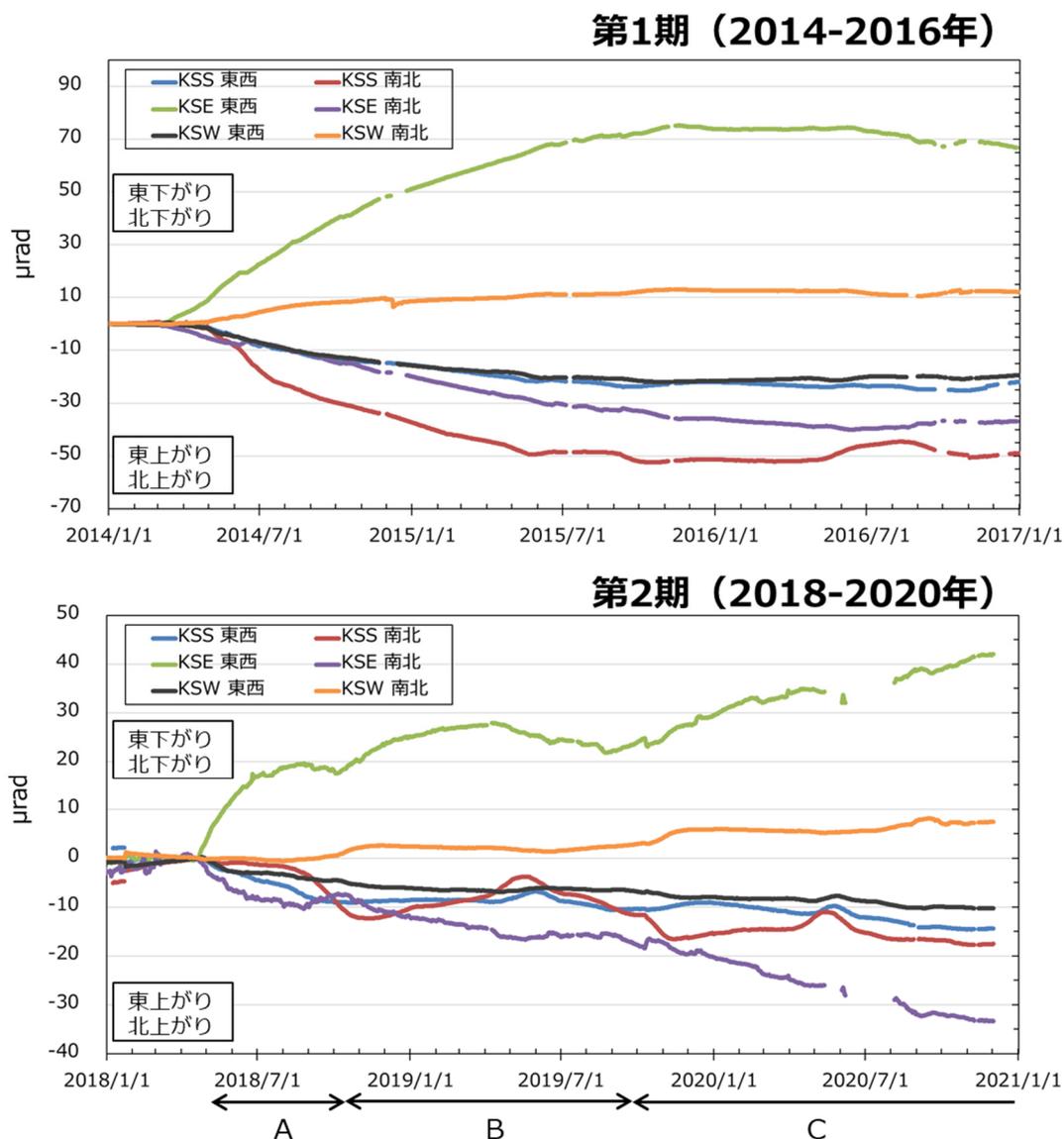


図 1. (上) 2014 年 1 月 1 日~2017 年 1 月 1 日, (下) 2018 年 1 月 1 日~2021 年 1 月 1 日の, それぞれ 3 年間の変動. ここに示したのは, 東工大ポアホール型傾斜計 3 点のデータである (季節変動・気圧応答・地震や機器障害によるステップ・潮汐を補正したもの). 縦軸の幅が異なることに注意. 2018 年以降の KSS 南北成分は複雑に変動しており, これは水釜直下における単一の等方圧力源では説明できない. ただし, 長期的に見れば, 2014 年に観測された水釜直下における緩やかな圧力増加が, 規模を小さくして 2018 年以降も進行したものと考えられる. 2018 年以降の変動は更に 3 つ (A~C) 期に分割でき, 変動速度は徐々に緩やかになっている.

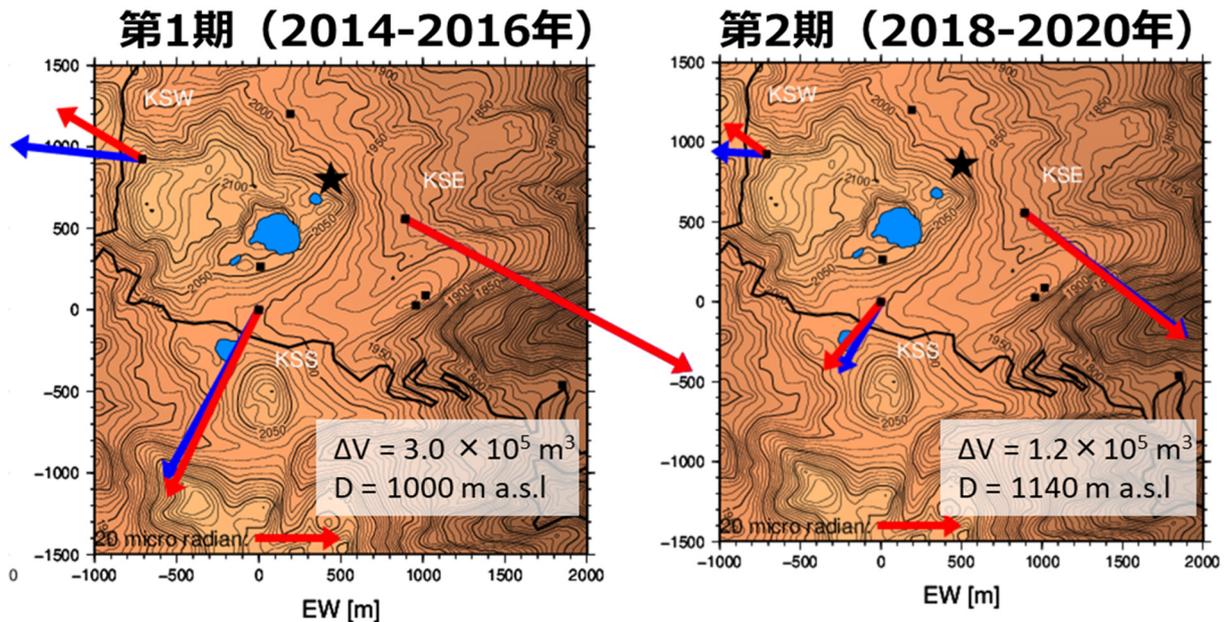


図2. 等方力源を仮定した場合の力源モデル. 位置および膨張体積をグリッドサーチで求めた. (左) 図1の第1期2014-2016年, (右) 第2期2018-2020年. ここで ΔV は膨張体積, D は力源も深さ.

図1における変動開始日を基準とした期間最終日までの相対傾斜変化量を説明する等方力源モデルを図2に示す. 両期のどちらも, 水釜火口周辺直下 1000 m 付近に力源を置くことで概ね傾斜変動を説明できる. 2018-2020年の体積増加量は, 2014-2016年の約 1/3 である.

2018年以降の第2期では, 第1期とよく似た流体蓄積が, 規模を小さくして, 概略3回繰り返されたと考えられる. これに対応した地震活動に消長が認められる. また, 2018年以降に観測されている湯釜南 KSS の傾斜変化は複雑である. 力源の非等方性であるとか, あるいは水釜直下の緩慢膨張とは別に圧力源が存在する等が考えられる.

湯釜火口湖の熱活動

水温の年周期的な変動傾向に大きな変化は認められない。降水の少ない期間における水位変化率は約 -40 cm/month (11月6-20日の差分, 同期間の湯釜局舎での降水量は5 mm) と実測され, これは, 静穏期における降水の少ない時期の典型値 -40 ~ -50 cm/month に相当する。すなわち, 現在の湖底からの熱および質量供給率は, 静穏期のそれと同じである。

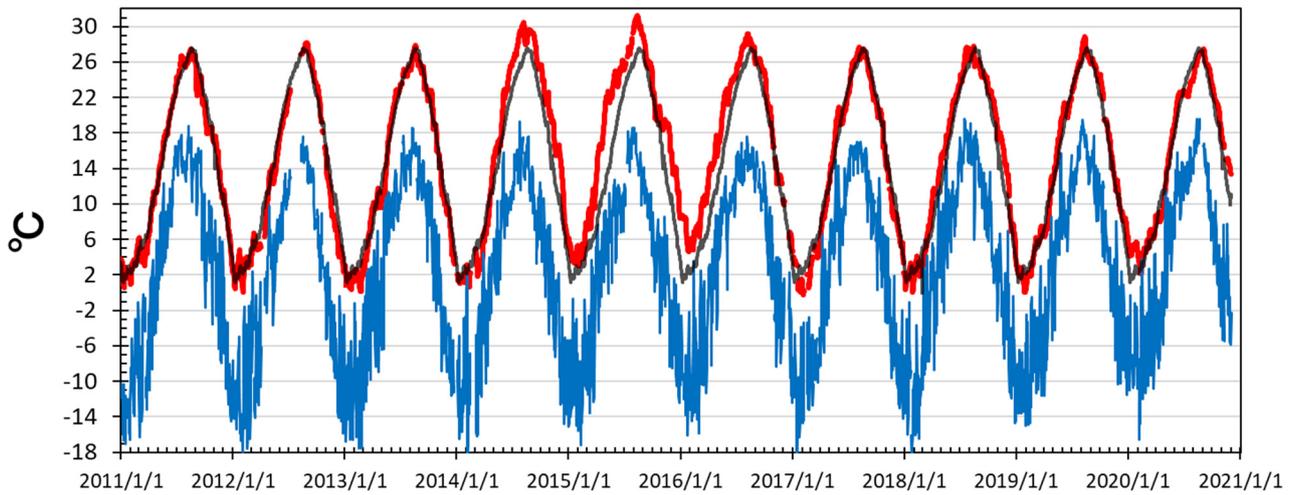


図 3. 湯釜火口湖の水温. 赤線：実際に観測された水温, 灰色線：2009～13年に測定された毎年同一日の水温を平均し, 各日付について表示したもの. 青色：湯釜局舎で測定された気温. 従来の水温計は台風 1919 号通過時 (赤矢印) に障害が発生した. 2019年10月15日以降は, 2016年にほぼ同一場所に設置した水温計を参照している. 新センサの出力値は, 旧センサと比べて平均 0.3°C 低い (2017年1月1日から2019年10月12日までの日平均値に基づく). 2014年5月以降, 湯釜水温は平年よりも数°C 高い状態であったが, 2016年8月以降は平年値付近で推移している。

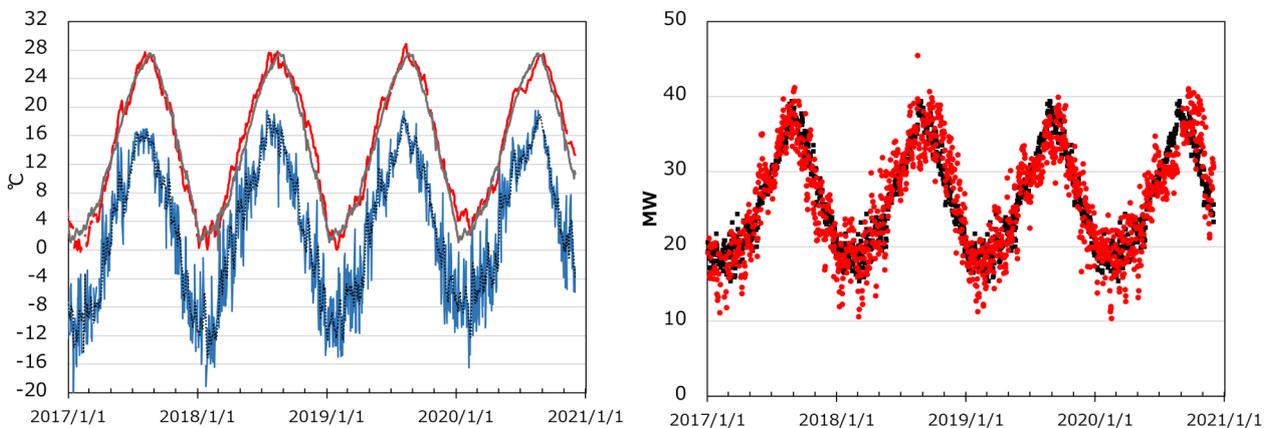


図 4. 2017年以降の (左) 水温および (右) 湖面放熱量. 黒が平年値, 赤が観測に基づく計算値. 解析に使用したのは, 湯釜局舎付近の気温と湯釜南岸での水温である. 湿度, 気圧, 風速は代表的な一定値を仮定している (Terada et al., 2008).

草津白根山西方の地震・温泉活動

震源は北東～南西方向に不連続に配列し、その南西延長は松代群発地震震源域に相当する一方、草津白根山周辺の地震活動とは空間的に連続しない。高山村付近の活動は2019年前半までに衰えたが、山ノ内町湯田中や志賀高原では地震活動が継続しており、地元住民によれば、ひきつづき地鳴りが聴こえるとのことである(11月現在)。温泉分析の結果、本地域の温泉はグリーンタフ型と考えられ、草津白根山周辺温泉水とは明瞭に異なる成因である。また、震源域に近い温泉のひとつでは、2019年夏頃をピークとして成分濃度が2割程度増加し、2020年にかけて元に戻る変化が認められた。以上のことから、今回の地震活動に深部流体の上昇が関係していると思われる。2020年度はYMBJおよびSGKGをテレメータ化し、2020年11月にはSGKKを現地収録方式で設置した。今後、志賀火山周辺の地震活動の現状把握、および震源決定を試みる。

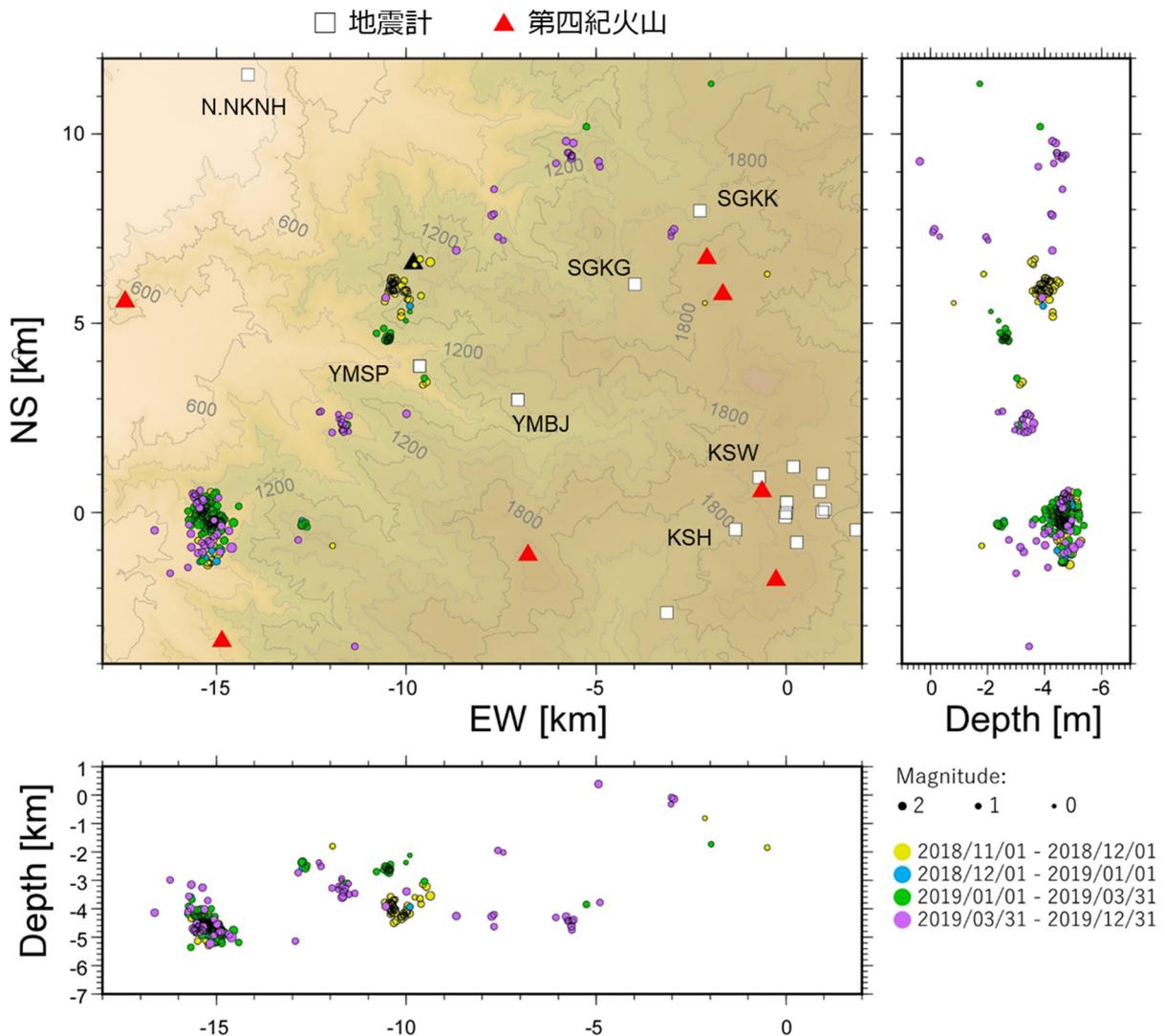


図. 2018年9月頃に始まった草津白根山西方における地鳴りを伴う群発地震(例えば142回, 143回東工大資料など)について、本学臨時観測点を併せて震源再決定を行った。今回は2019年末までの結果を示す。一部現地収録のため、2020年は次回予知連にて報告する。気象庁一元化震源カタログから、草津白根山定常点においてトリガされたイベントについて手動検測し、HYPOMHにより震源決定した。

謝辞:地震観測は、東北大学のはじめとして、防災科学技術研究所、北海道大学、京都大学および東京大学地震研究所のご支援を頂きました。温泉分析は、気象研究所、東海大学、および東京大学総文のご協力によります。作図には国土地理院数値地形図を使用しました。臨時観測点の一部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。

草津白根山

草津白根山湯釜周辺の3次元比抵抗構造

草津白根山湯釜火口周辺で、既を取得されていたMT/AMT観測データを解析し、深度3kmまでの比抵抗構造を解析した。観測点は、91点に及び、湯釜を中心とする2kmx2kmの範囲におよそ200mおきに配置されている(図1c)。解析では湯釜火口周辺のグリッド状の観測点に加えて、既存の西北西—東南東の観測データも取り込んである。解析方法の詳細は、Tseng et al(2020)を参照。

低透水性粘土キャップ(C1)が釣鐘状に解析された(図2,3)。その頂部の直下に2014年の山体膨張源(X)が解析された。Takahashi & Fujii(2014)による過去の消磁・帯磁イベントのダイポールも低透水性粘土キャップ(C1)の直下に存在している。地震活動もほとんどがC1にシールされてその下方で発生している。釣鐘状の粘土キャップの軸対象性は1400mで失われている。2014年の活動ではキャップ内あるいはその西側の縁部で地震が発生している。海拔500mより深部に湯釜を南東端として北西につながる低比抵抗異常

(C3)が出現し、この上面が微小地震の下限深度と調和的である。これは高塩濃度の超臨界流体リザーバーであると解釈できる。流体リザーバーはシリカでシールされているが、深部からのマグマ起源のガス供給による圧力の上昇によって一部が破壊されて、流体を上部に放出すると考えられる。

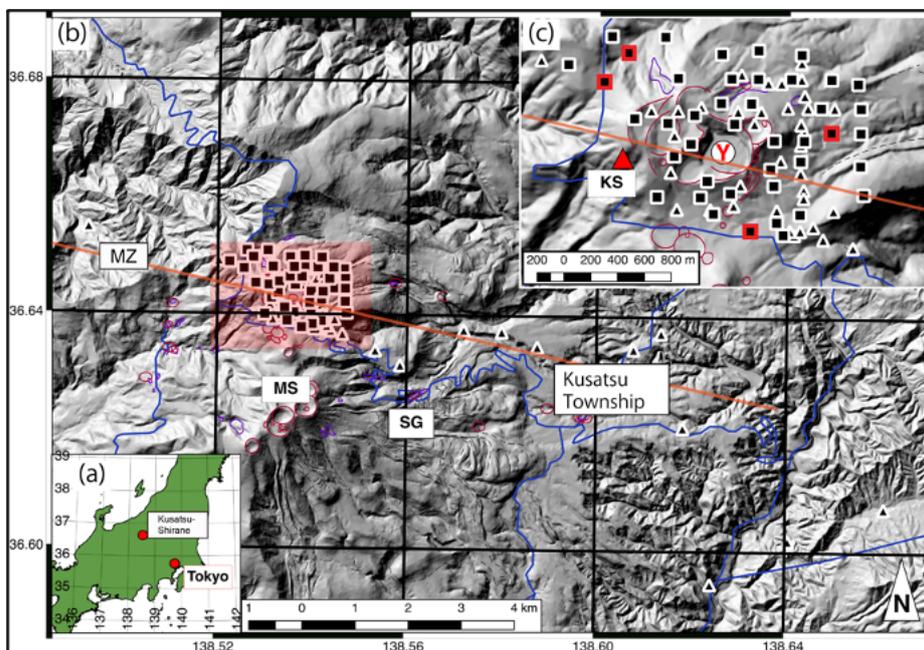


図1：草津白根山（湯釜付近）の観測点分布。図1Cは湯釜周辺のズーム。

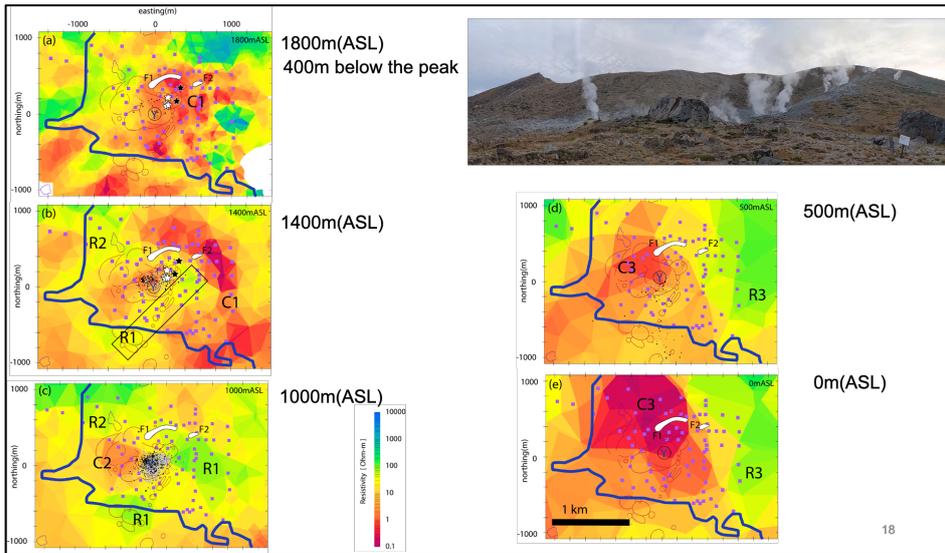


図2 標高1800m, 1400m, 1000m, 500m, 0mの比抵抗分布図。図中の太線は国道292号。

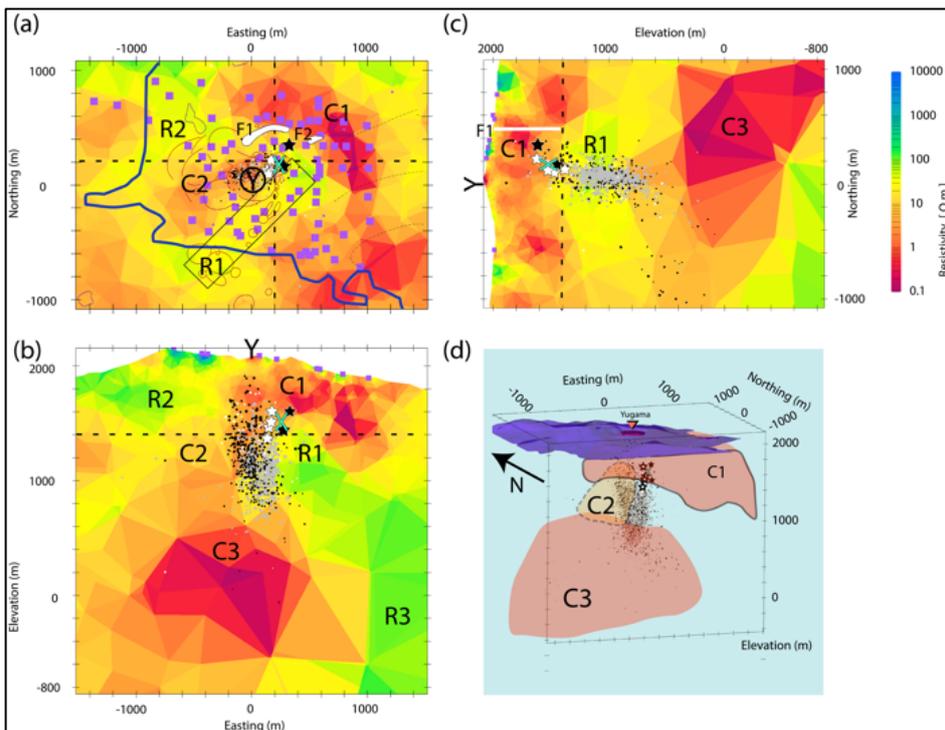
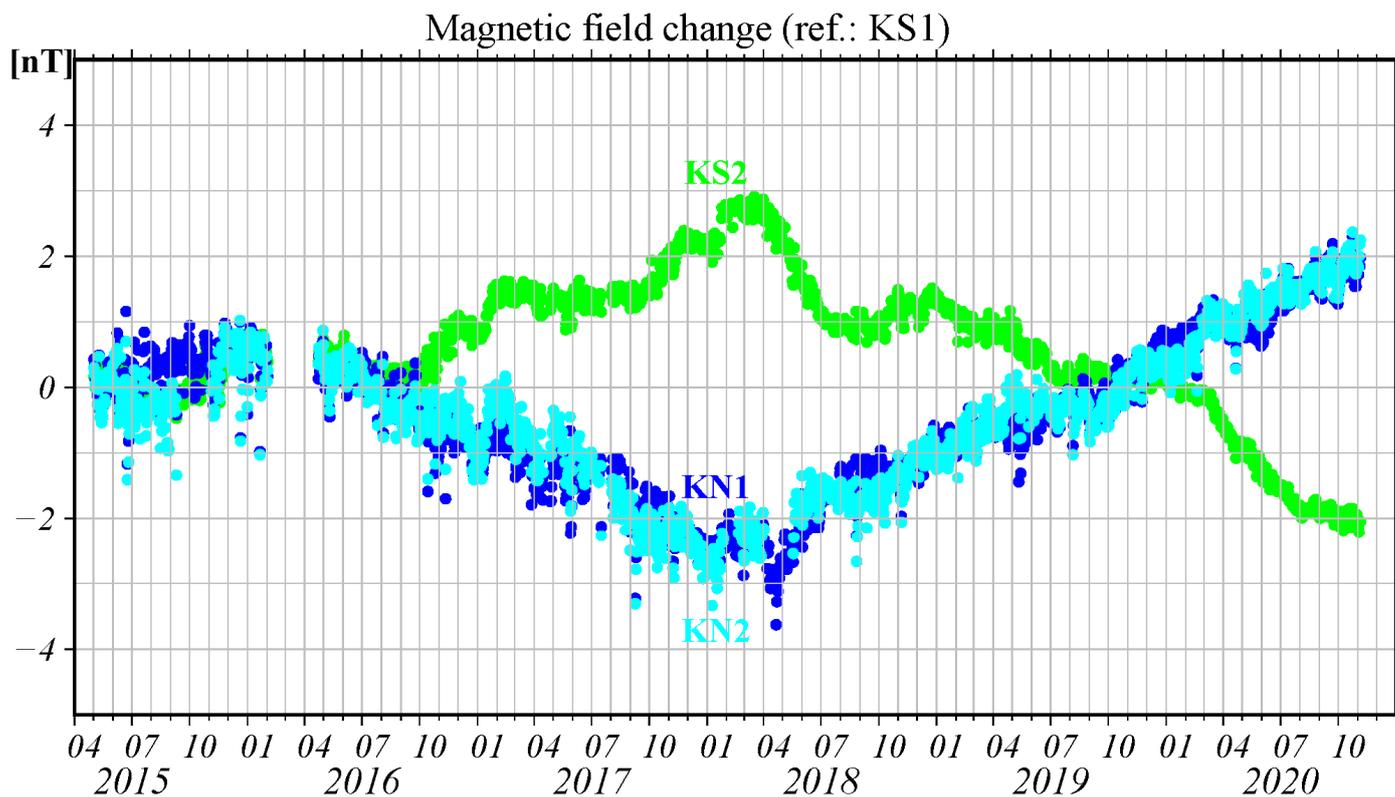


図3 (a) 標高1400mの比抵抗分布と湯釜北東を通る(b)東西断面と(c)南北断面。(d) 南西から見た3次元構造。2014年の膨張源X, Takahashi & Fujii (2014) の消磁源・帯磁源を黒星・白星、2013年8月から2014年2月の震源を白点、2014年3月から2014年5月を黒点、2014年6月から2019年2月を灰色点で示す。

参考文献 : Tseng et al. (2020, EPS, doi.org/10.1186/s40623-020-01283-2), Takahashi & Fujii (2014, JVGR, doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.08.014)

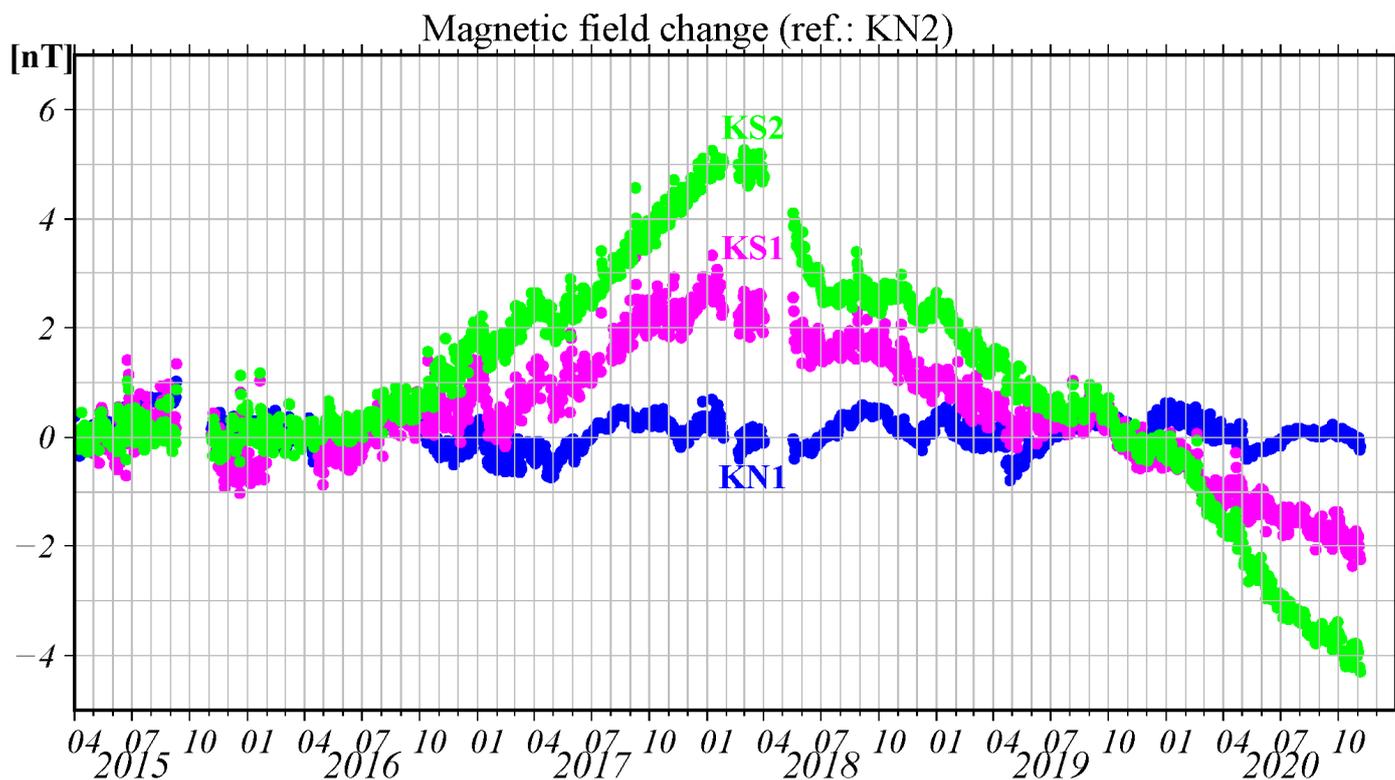
第147回火山噴火予知連絡会

KS1に対する他3観測点の地磁気変化（2015年4月～2020年11月5日）



一番南にあるKS1を基準にした変動を見ると、同じ南側のKS2と北側2点の変動は2018年4月ごろを境に逆の動きをしている。KS2は2020年7月から変動速度が小さくなった。

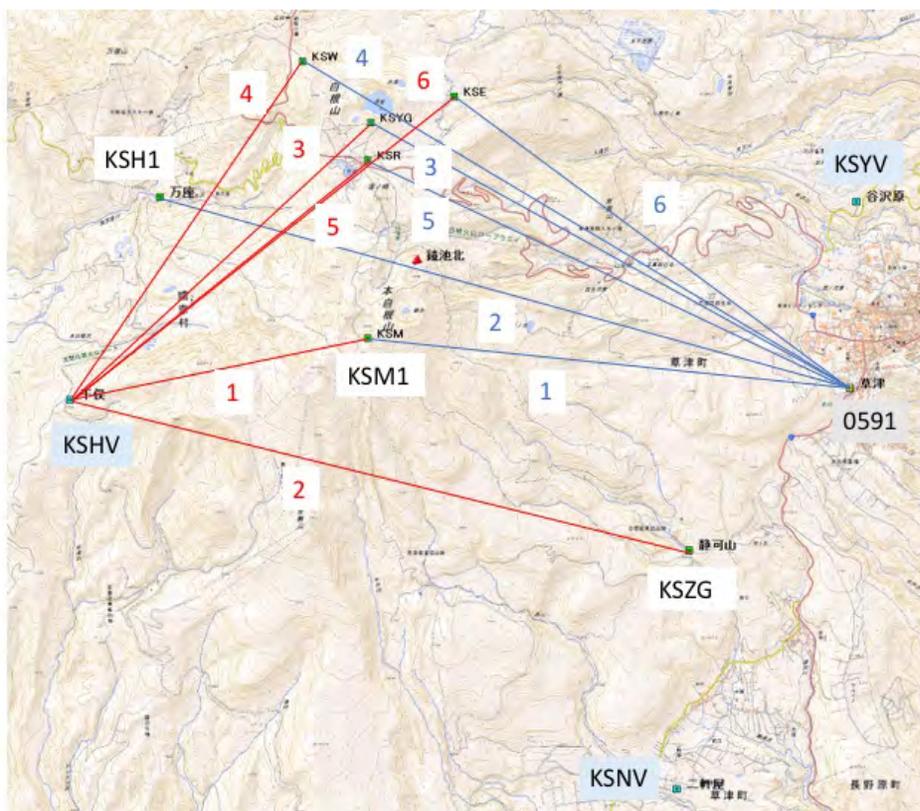
KN2に対する他3観測点の地磁気変化（2015年4月～2020年11月5日）



一番北にあるKN2を基準にした変動を見ると、南側の2点の変動は帯磁から消磁への明瞭な変化が見て取れるが、北側のKN1では、1nT以下の年周変動以外は見られない。

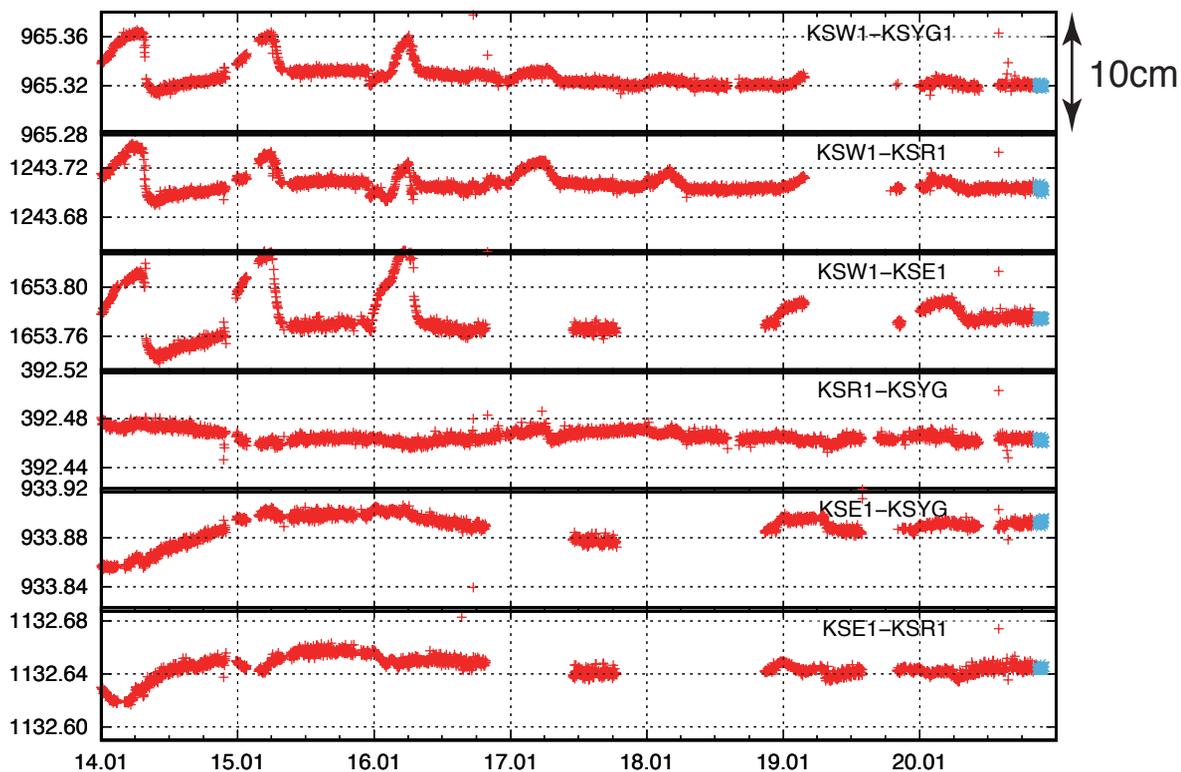
草津白根山および周辺域におけるGNSS観測

本期間、火山活動にともなう地殻変動は検出されていない

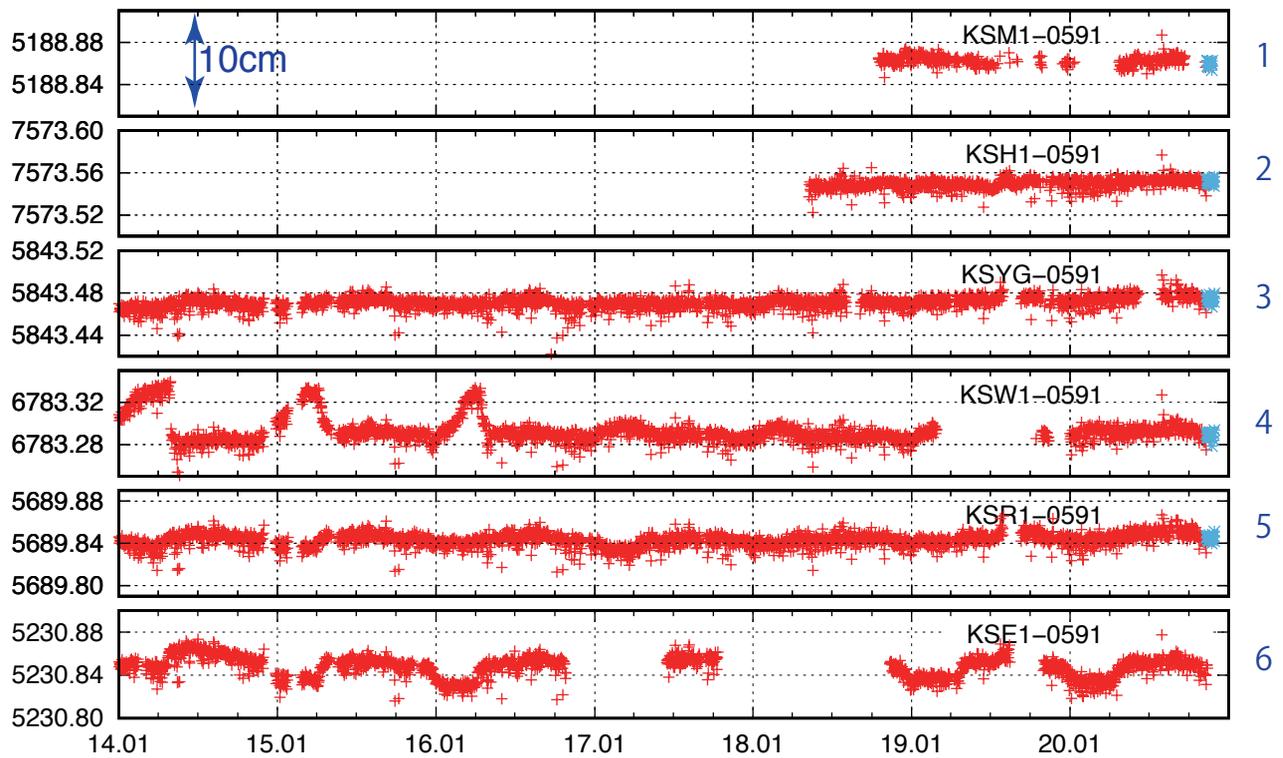


GNSS 連続観測点、基線の分布

国土地理院地形図およびカシミール3Dを用いて作図

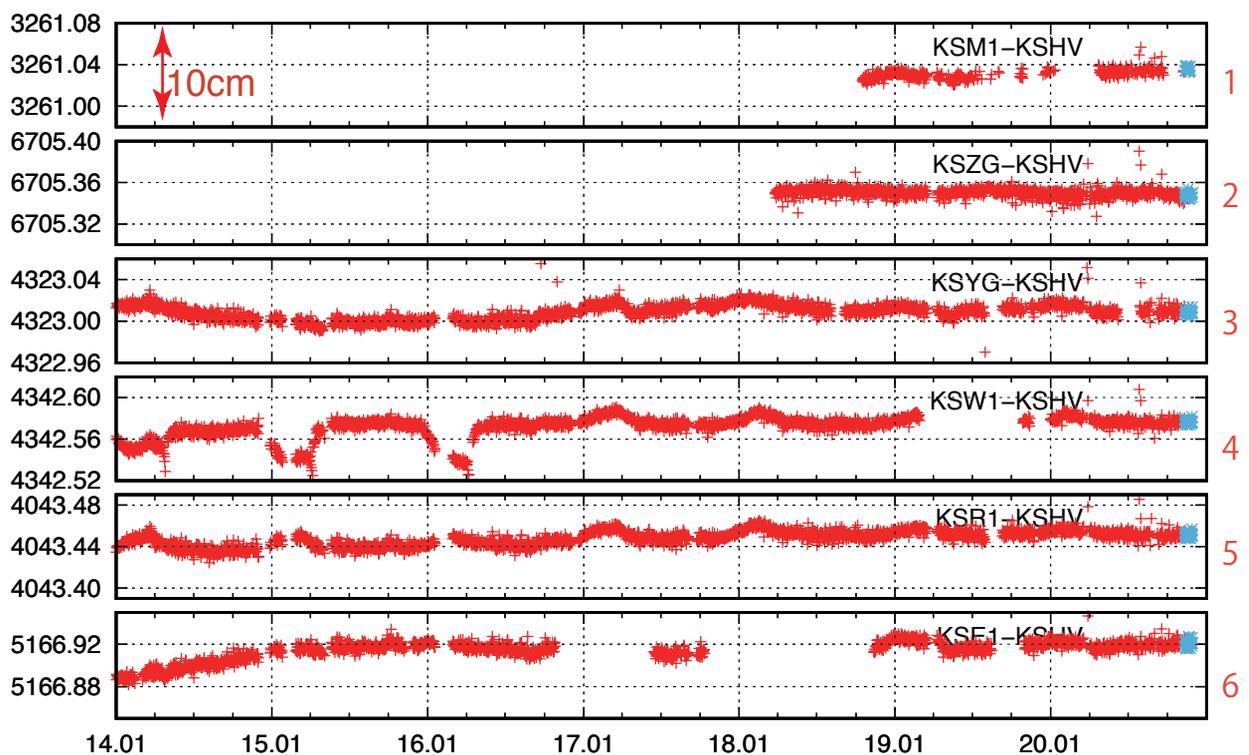


湯釜近傍観測点間の基線長変化 (2014.1.1~2020.11.30)



国土地理院・草津 (960591) に対する基線長変化 (2014.1.1~2020.11.30)

GEONET データを利用した

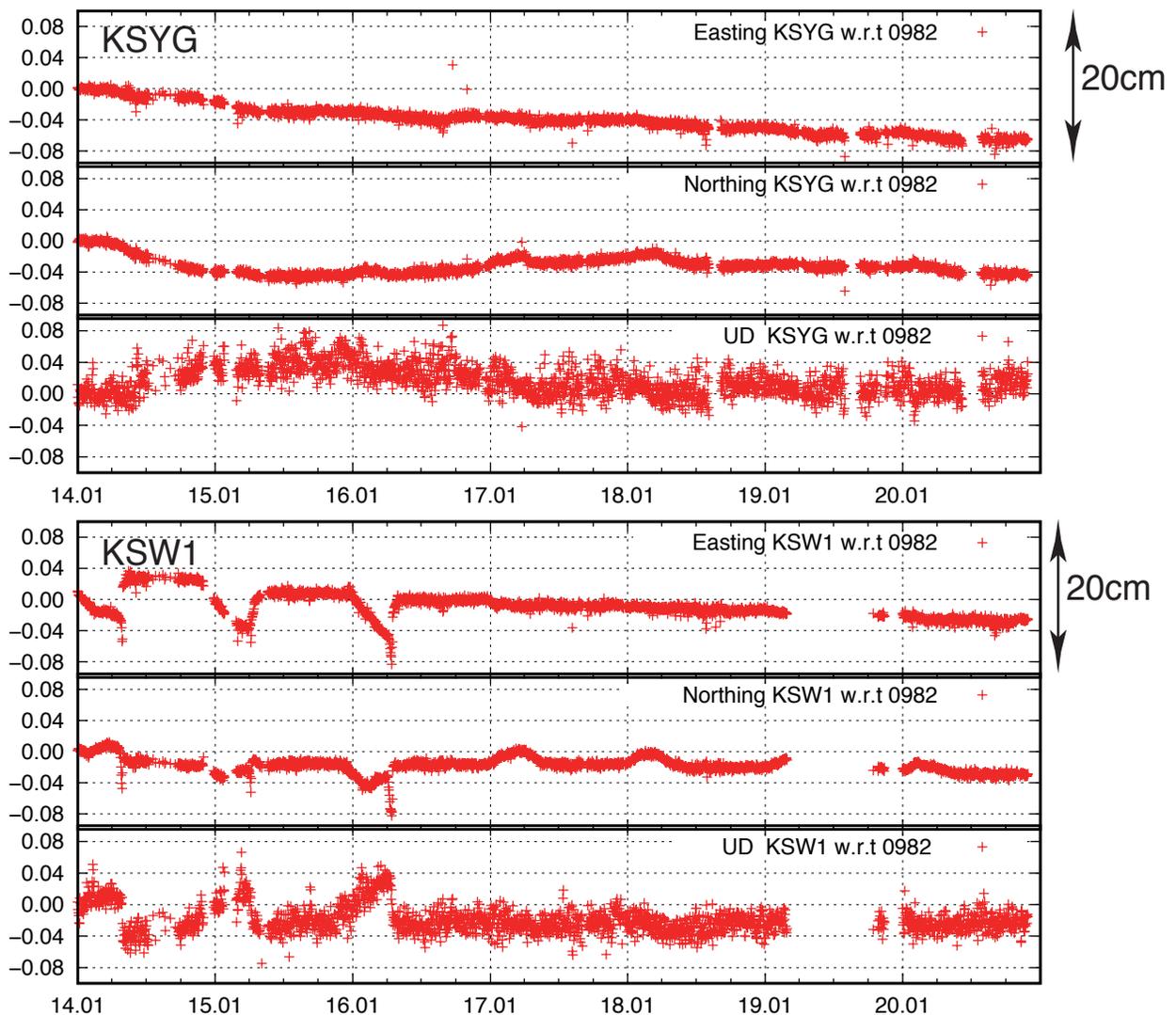


防災科技研・干俣 (KSHV) に対する基線長変化 (2014.1.1~2020.11.30)

V-NET データを利用した

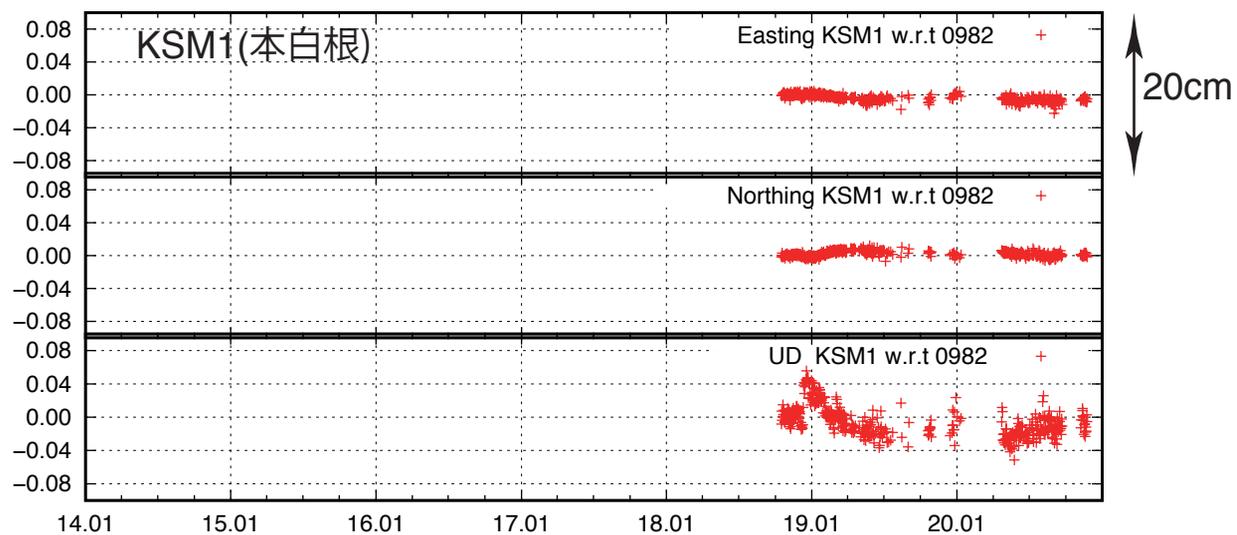
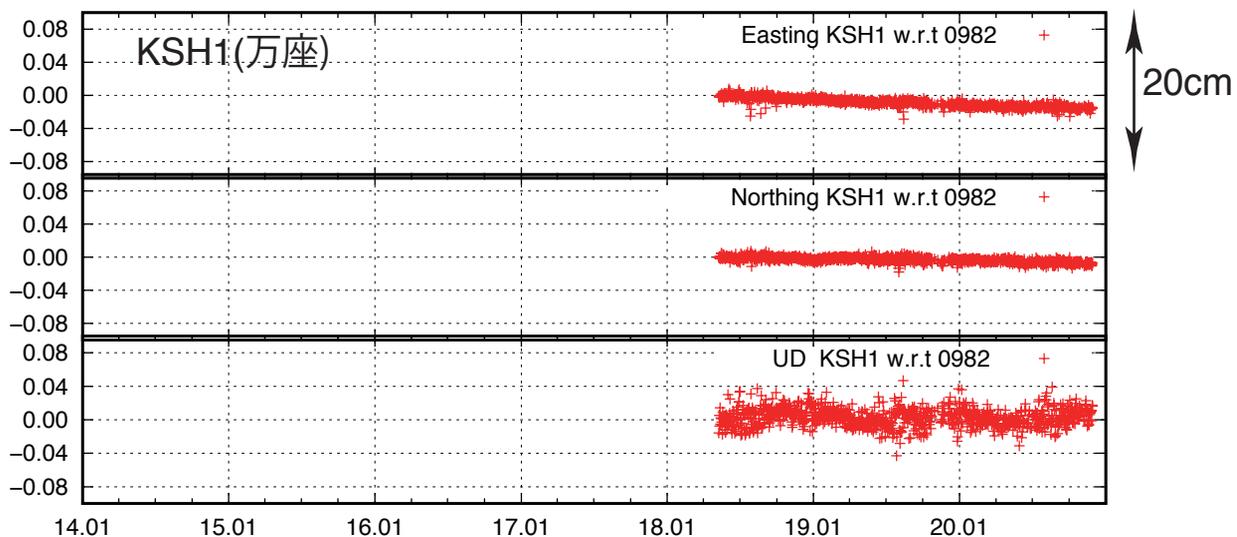
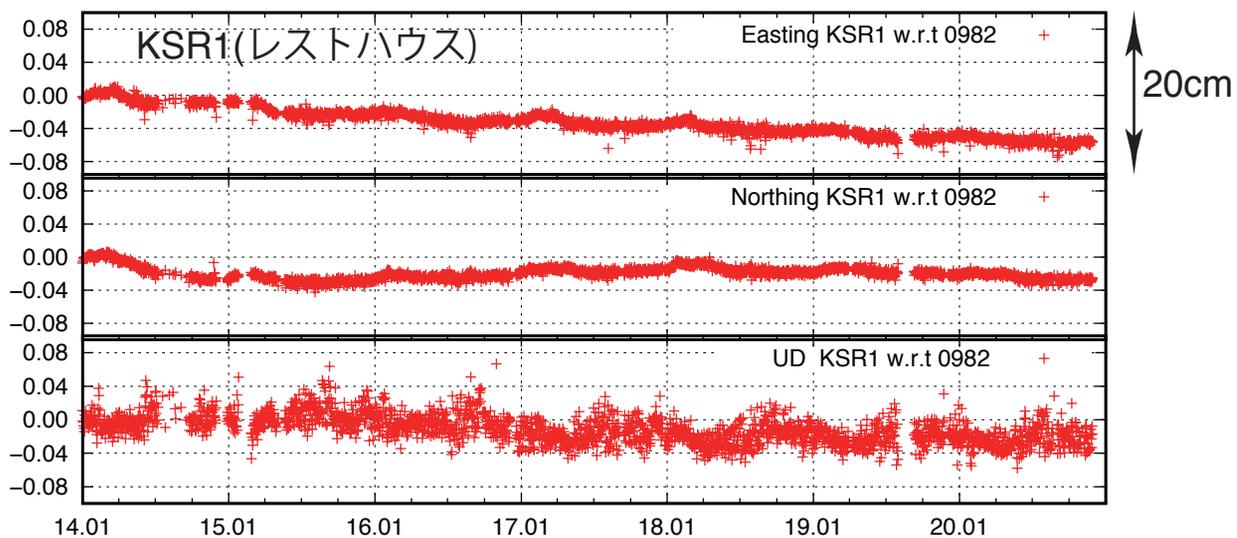


GNSS 観測点分布図 (赤丸: キャンペーン)
 国土地理院地形図およびカシミール3Dを用いて作図



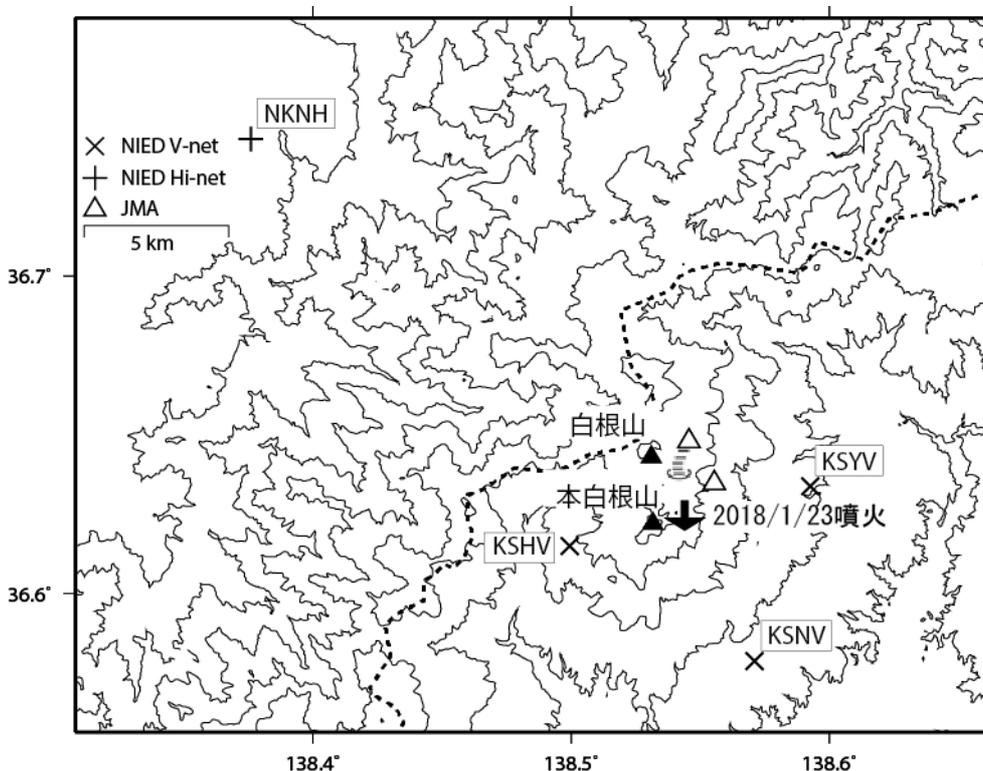
国土地理院・長野栄 (020982) を基準とした相対変位
 (2014.1.1~2020.11.13) GEONET データを利用した

草津白根山



国土地理院・長野栄 (020982) を基準とした相対変位
(2014.1.1~2020.11.13) GEONET データを利用した

草津白根山の火山活動について



この地図の作成にあたっては、国土地理院発行の
数値地図 50mメッシュ（標高）を使用した。

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

資料概要

○ 地殻変動

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

草津白根山の傾斜変動 (2012/4/1~2020/10/15)

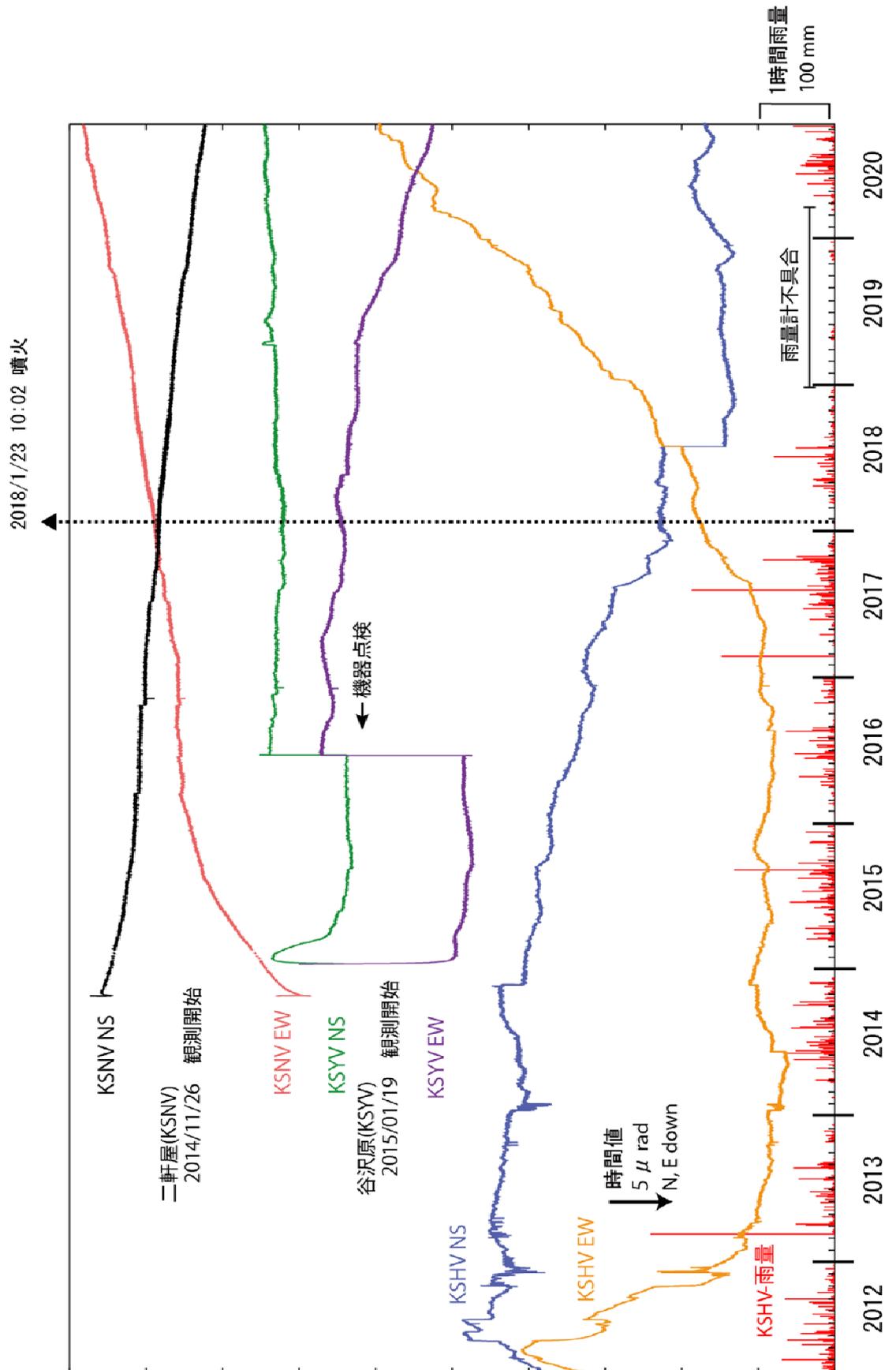


図1 草津白根山の傾斜変動

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、
2019年10月1日-2020年9月30日の地殻変動【長野栄(0982)固定】

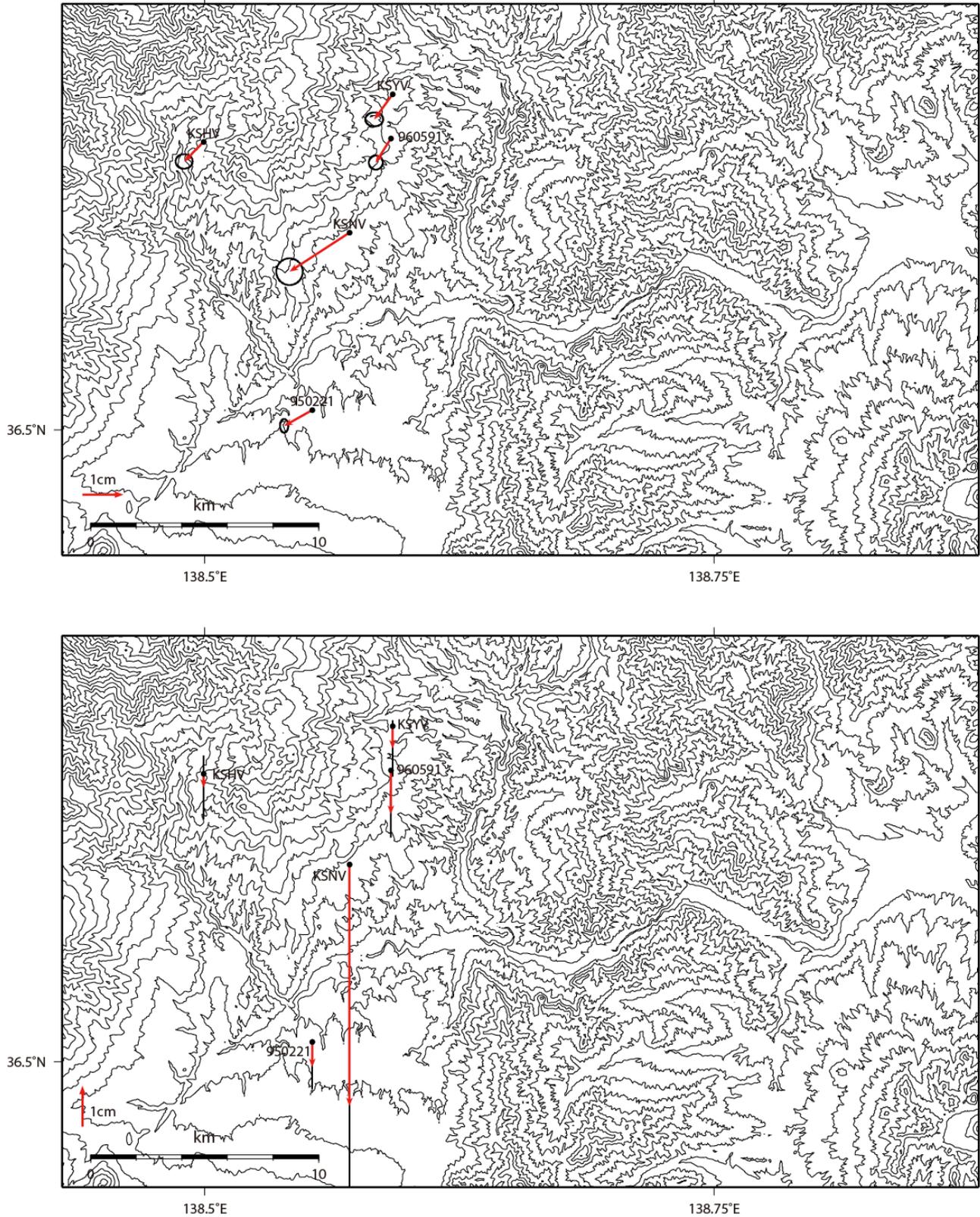


図2 草津白根山周辺 V-net 及び国土地理院 GEONET 観測点における GNSS 解析結果
(上段：水平成分、下段：上下成分)

草津白根山

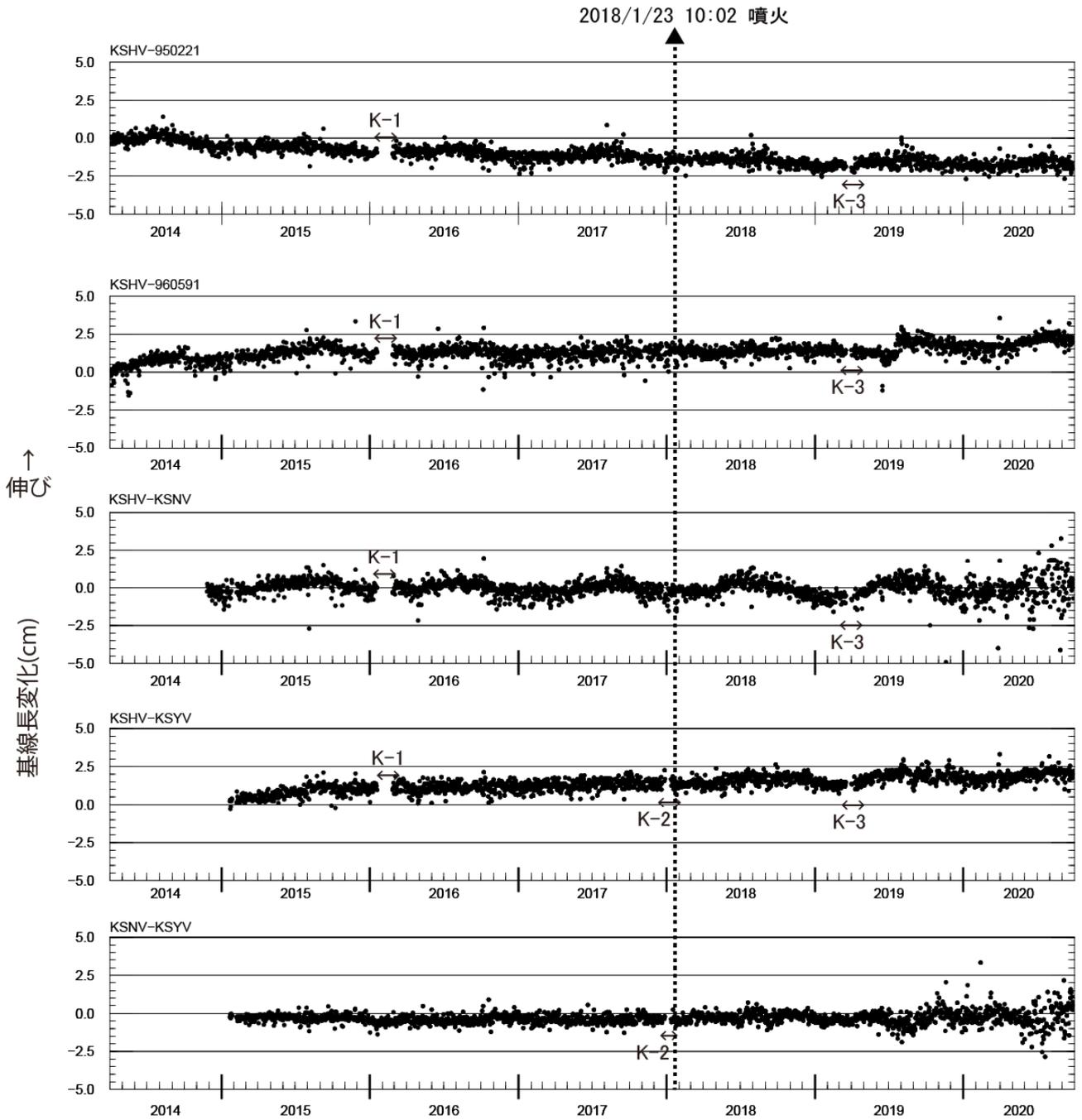


図3 防災科研3観測点と、KSHV-GEONET草津観測点(0591)、KSHV-GEONET孺恋観測点(0221)の基線長変化(2014/1/1~2020/10/15)

表1 GNSS観測履歴

観測点番号	観測点名	図中記号	日付	保守内容
	草津白根山干俣 (KSHV)		2012/3/26	2周波観測開始
		K-1	2016/1/20~2/13	機器異常による欠測
		K-3	2019/3/20-4/7	機器異常による欠測
		K-4	2020/03/20-3/25	サーバ更新に伴う欠測
	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
		K-2	2017/12/29~ 2018/1/12	機器異常による欠測

草津白根山周辺の地殻変動 Crustal Deformations around Kusatsu-Shiranesan Volcano

第1図から第4図は、草津白根山周辺のGNSS観測結果である。

第1図上段に基線の配置を、下段に各観測点の保守履歴を示した。

第2図は、第1図に示した基線の基線長変化グラフであり、左列は最近約5年間（2015年11月～2020年11月）の時系列、右列は最近約1年間（2019年11月～2020年11月）の時系列である。第3図は、第2図と同じ基線、期間の比高変化グラフである。

第4図は、草津白根山周辺の電子基準点、気象庁のGNSS観測点の統合解析から得られた水平変動ベクトル図であり、「中之条」を固定局としている。第4図上段に最近3か月間（2020年8月～2020年11月）を、下段に最近1年間（2019年11月～2020年11月）を示した。

GNSS観測結果からは、顕著な地殻変動は観測されていない。

第5図は、「だいち2号」のSAR干渉解析結果である。長期の2018年8月～2020年8月のペア(b)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みられる。

第6図および7図は「だいち2号」の干渉SAR時系列解析結果である。

第6図は、2014年10月～2020年11月の変位速度である。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る。

第7図は、各地点における変動の時系列データである。第6図で衛星から遠ざかる変動が見られた地点(A)においては、2018年1月の本白根山噴火以前より同様の変動が見られており、噴火後に変動が加速している。

第8～9図はGNSS観測から推定した草津白根山の地殻変動力源の位置と体積変化である。解析に使用するGNSS観測点の一部は浅間山の活動の影響を受けるため、今回の解析では浅間山地域との同時解析を行った。

第8図に地殻変動力源の位置と体積変化を示す。湯釜の北3km弱の海拔上1.2km付近に力源が推定されている（力源1）。力源1の体積変化は最近鈍化している。

第9図に、推定された各観測点の地殻変動（計算値）と観測値を比較した時系列グラフを示す。このモデルから推定した計算値は比較的良好に再現されている。

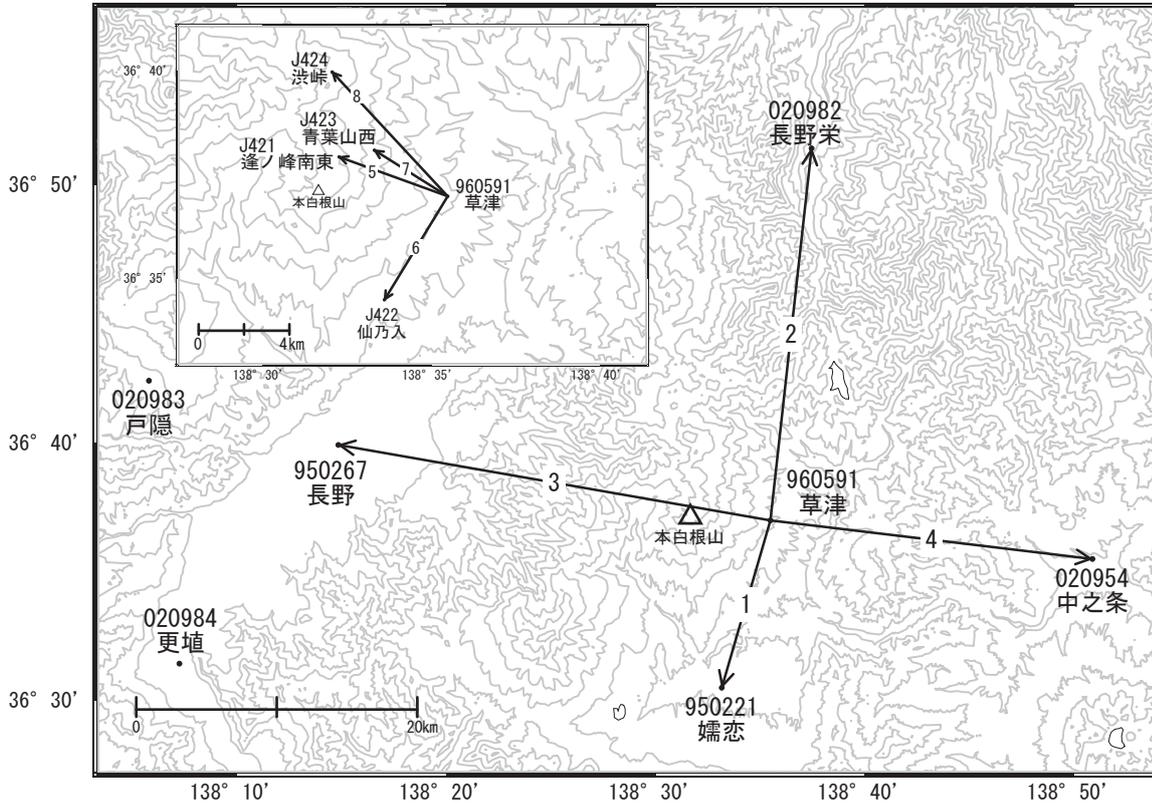
謝辞

ここで使用した「だいち2号」の原初データの所有権は、JAXAにあります。これらのデータは、「だいち2号」に関する国土地理院とJAXAの間の協定に基づき提供されました。

草津白根山

顕著な地殻変動は観測されていません。

草津白根山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図



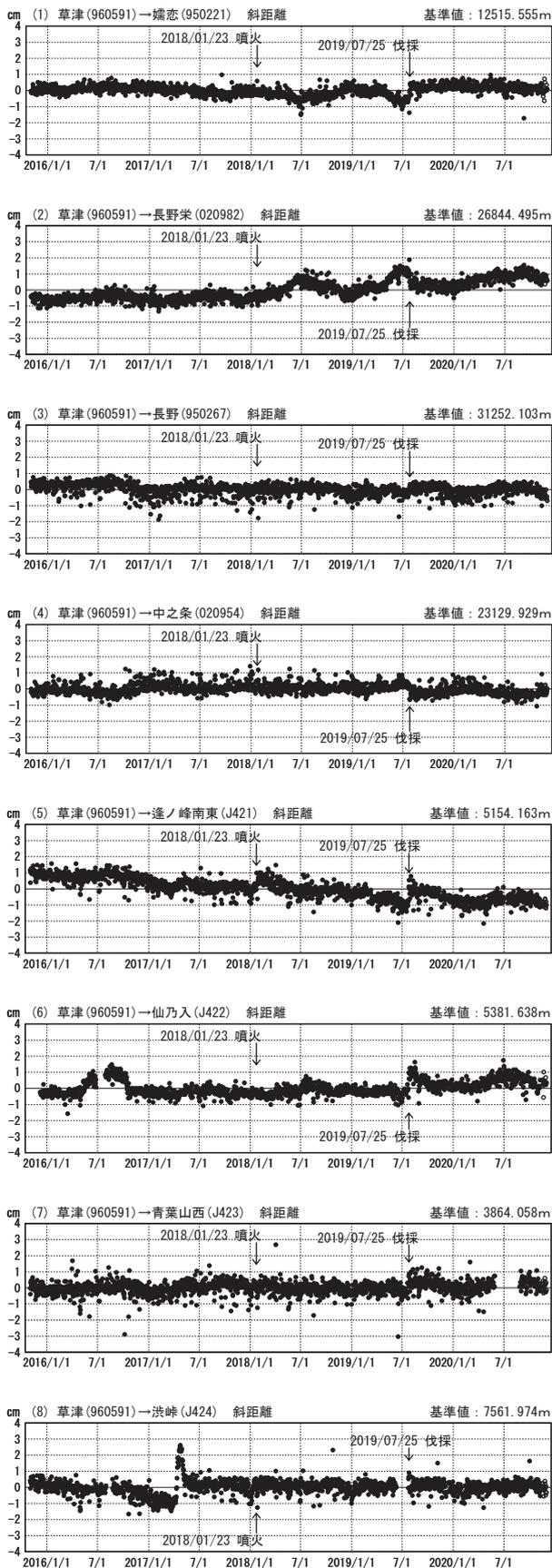
草津白根山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
960591	草津	20190725	伐採
020982	長野栄	20191018	受信機交換
950221	孺恋	20191025	受信機交換
950267	長野	20201125	二重管化

第1図 草津白根山周辺のGNSS連続観測基線図(上段)と観測局の保守履歴(下段)

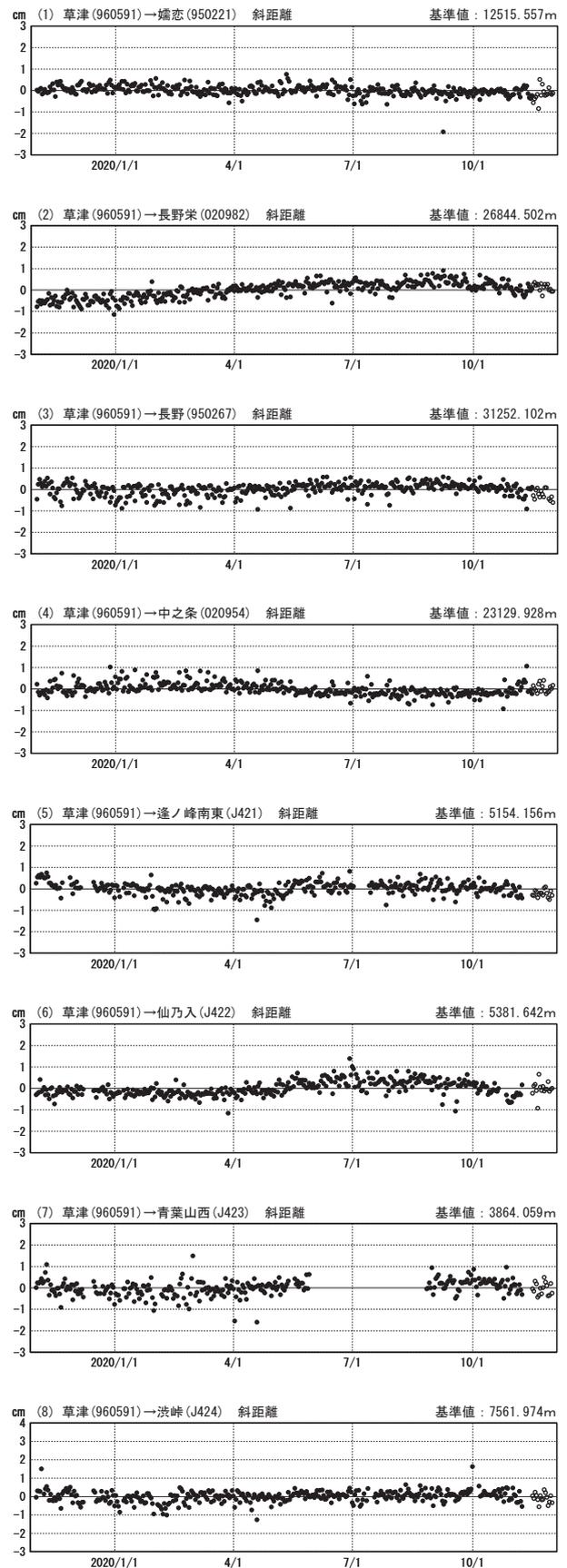
基線変化グラフ（長期）

期間：2015/11/01～2020/11/30 JST



基線変化グラフ（短期）

期間：2019/11/01～2020/11/30 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

国土地理院・気象庁

※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

第2図 草津白根山周辺のGNSS連続観測による基線長変化グラフ
 (左列：2015年11月～2020年11月、右列：2019年11月～2020年11月)

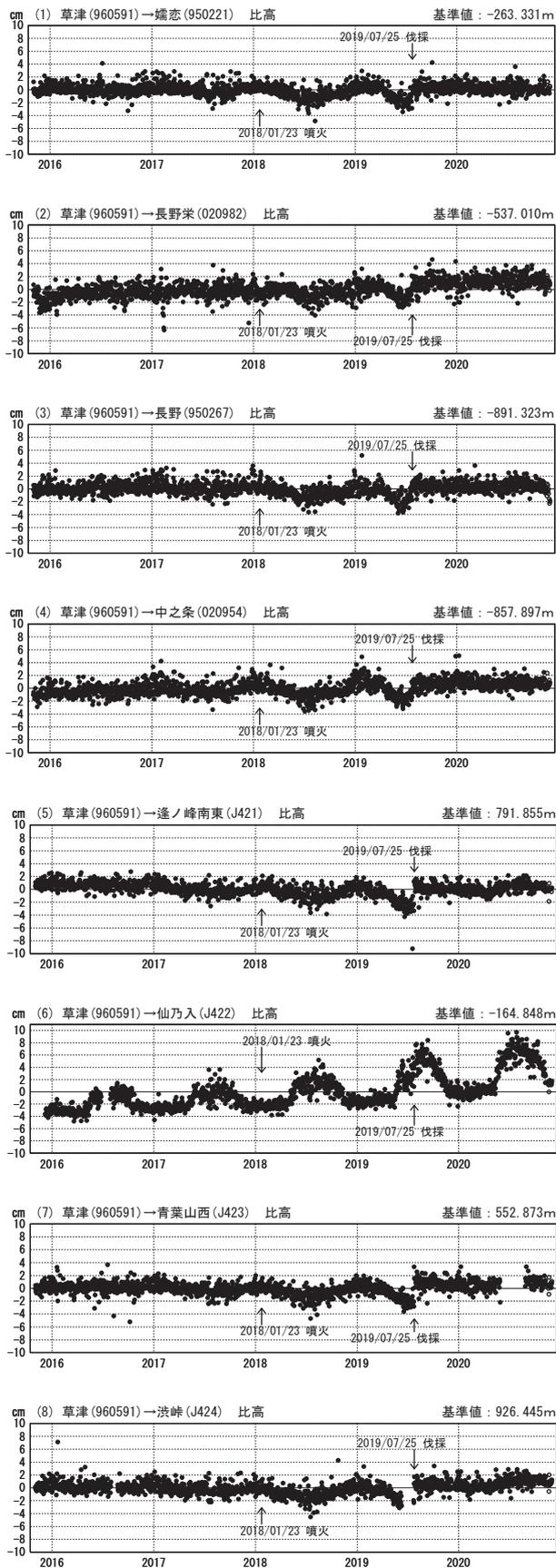
草津白根山

第147回火山噴火予知連絡会

国土地理院・気象庁

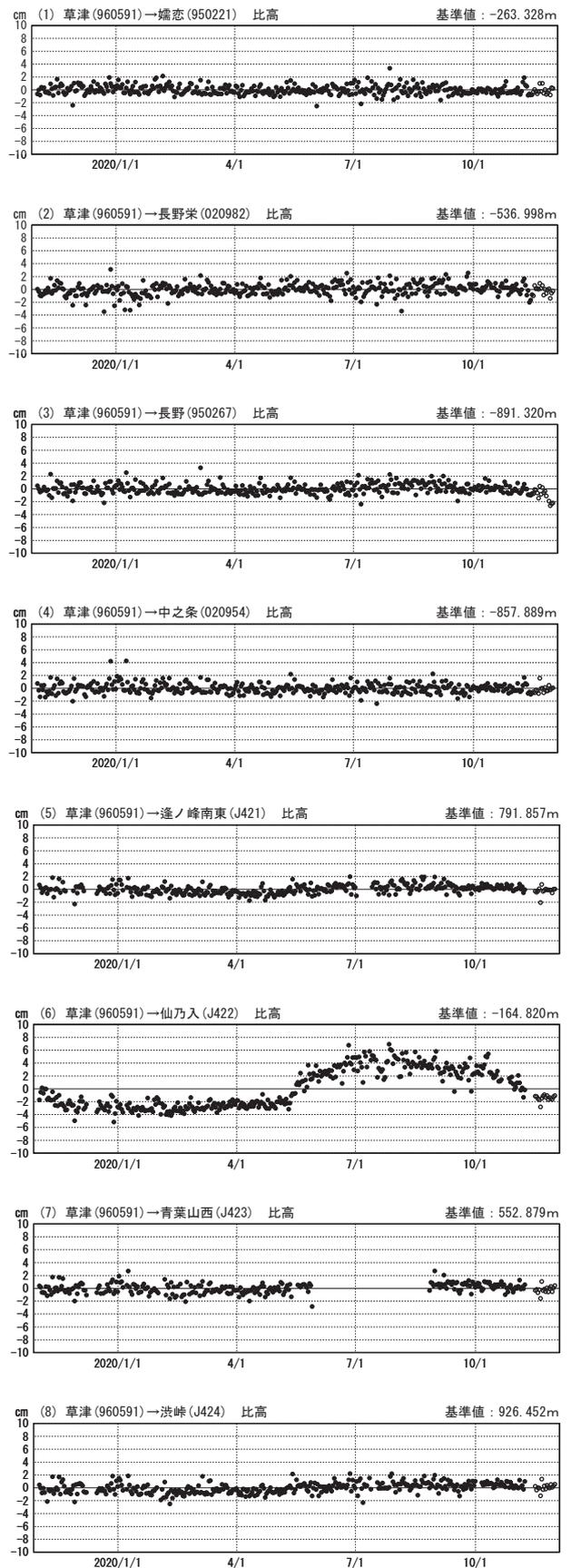
比高変化グラフ（長期）

期間：2015/11/01~2020/11/30 JST



比高変化グラフ（短期）

期間：2019/11/01~2020/11/30 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

国土地理院・気象庁

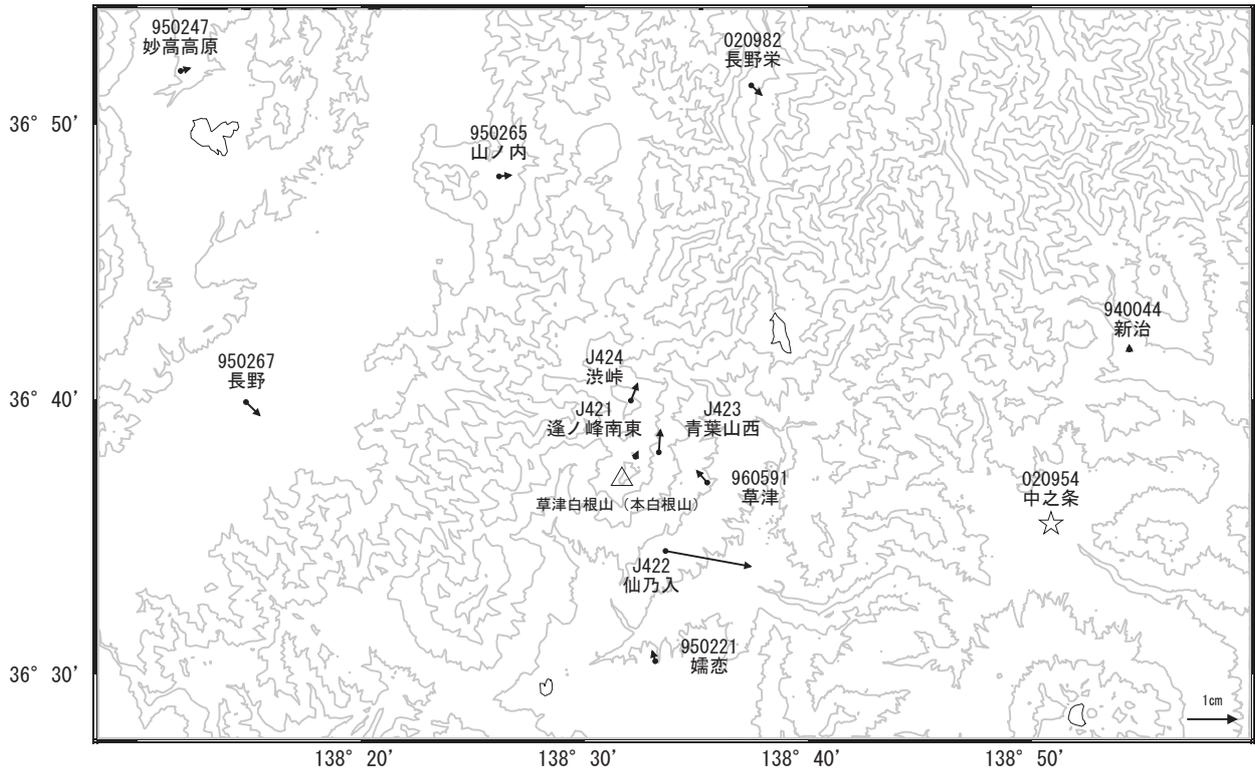
※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

第3図 草津白根山周辺のGNSS連続観測による比高変化グラフ
(左列：2015年11月～2020年11月、右列：2019年11月～2020年11月)

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

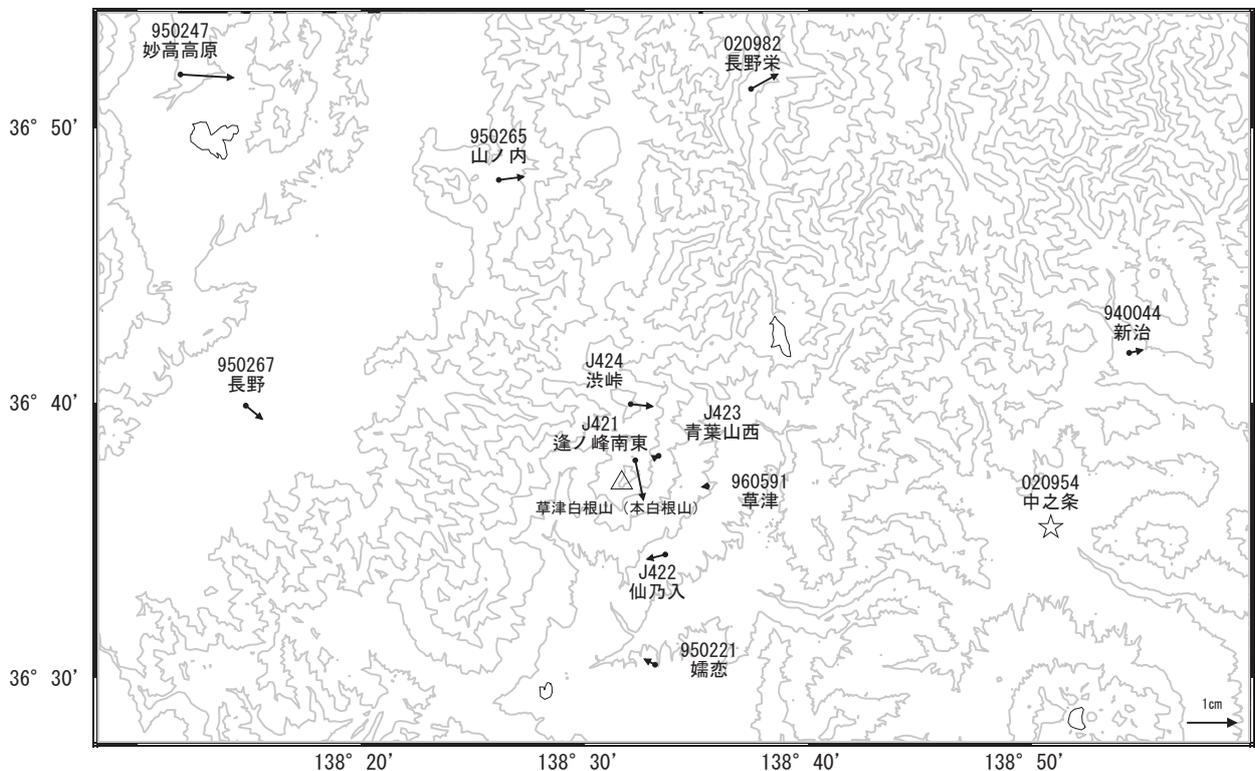


☆ 固定局:中之条(020954)

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



☆ 固定局:中之条(020954)

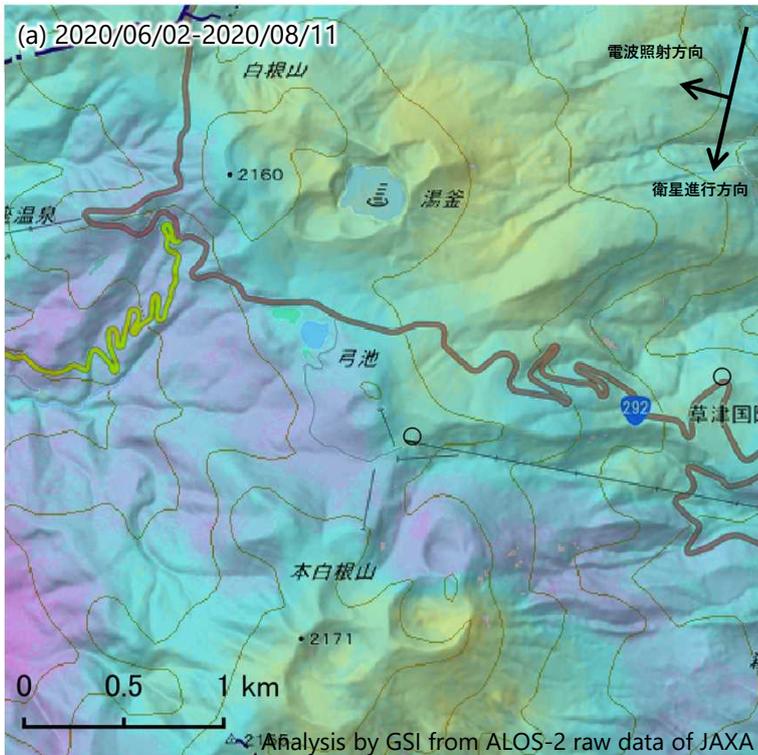
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

第4図 草津白根山周辺の電子基準点・気象庁GNSS観測点の統合解析による水平変動ベクトル図
(上段:2020年8月~2020年11月、下段:2019年11月~2020年11月)

草津白根山

草津白根山のSAR干渉解析結果について

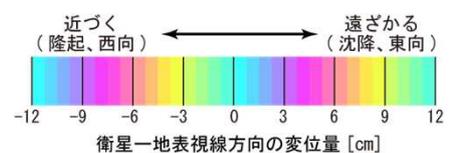
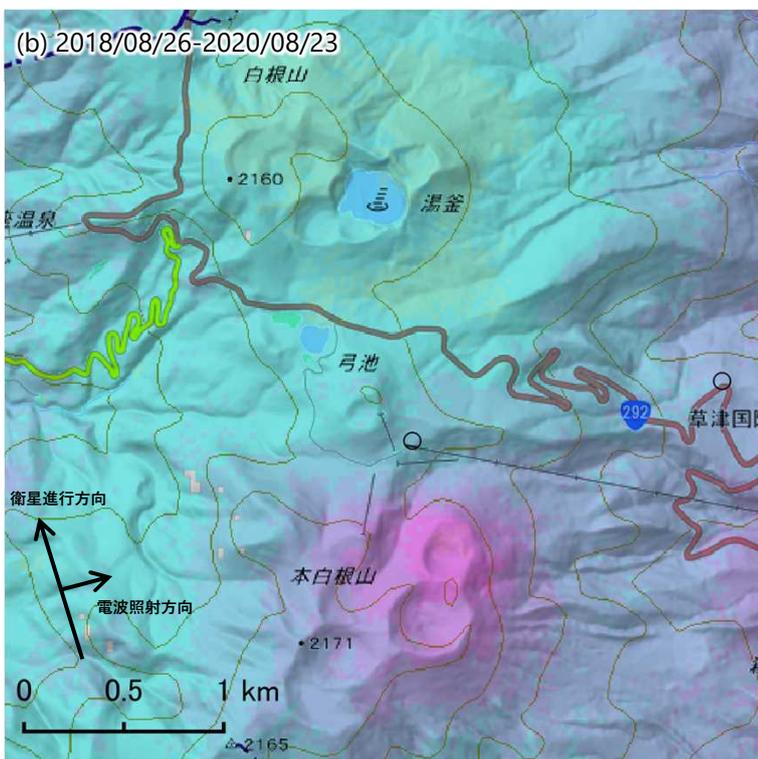
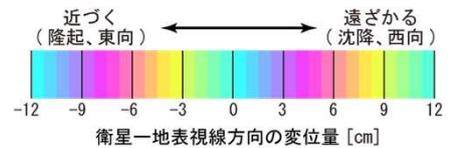
長期の(b)では、本白根山周辺で収縮とみられる衛星から遠ざかる変動が見られます。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/06/02 2020/08/11 11:50頃 (70日間)	2018/08/26 2020/08/23 23:38頃 (728日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	H-H
入射角	37.5°	32.3°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 124m	+ 120m

* 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

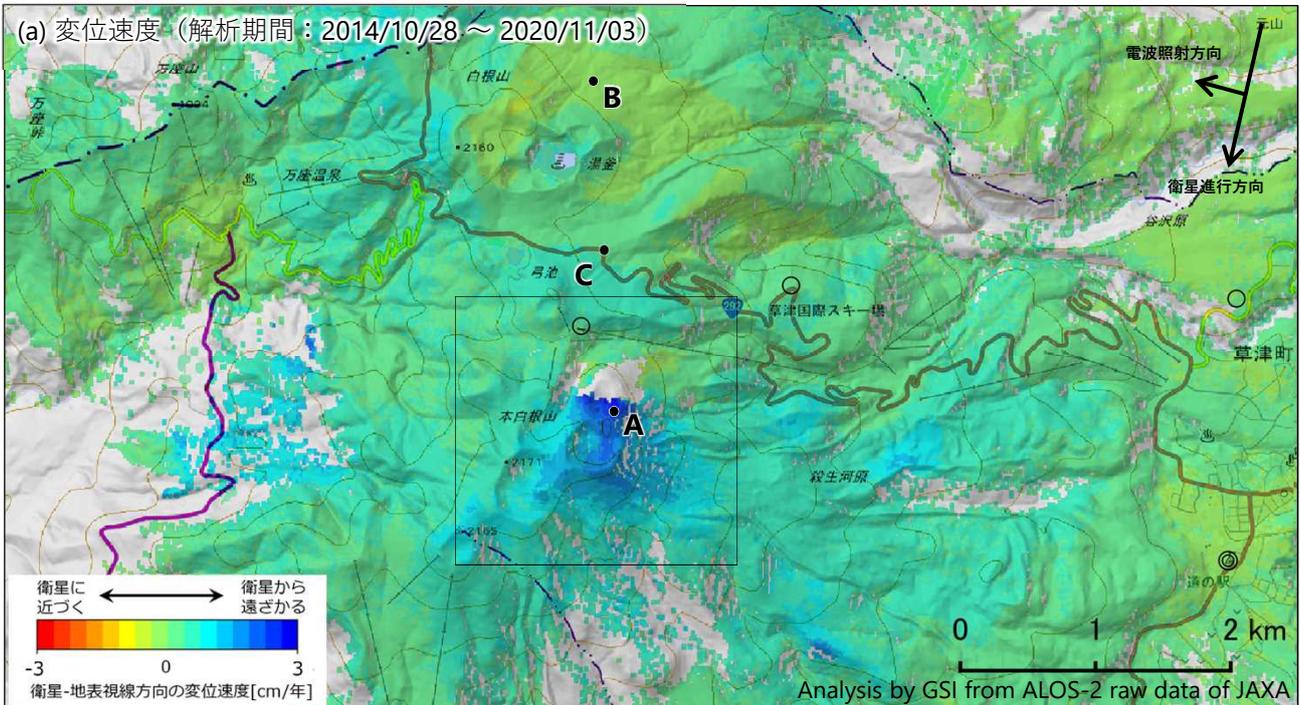


Analysis by GSI from ALOS-2 raw data of JAXA

背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

第5図 「だいち2号」 PALSAR-2による草津白根山周辺地域の解析結果

草津白根山の干渉SAR時系列解析結果



背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

干渉SAR時系列解析手法：SBAS法

※参照点は電子基準点「草津」付近

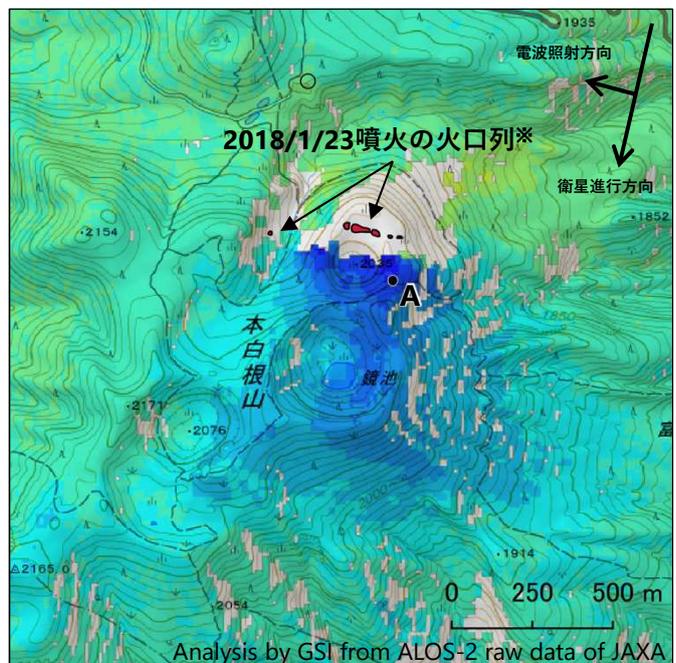
◎ 国土地理院GNSS観測点

○ 国土地理院以外のGNSS観測点

	(a)
衛星名	ALOS-2
観測期間	2014/10/28 ～ 2020/11/03 (2198日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U-U
入射角	37.5°
偏波	HH
データ数	21
干渉ペア数	85

* U：高分解能(3m)モード

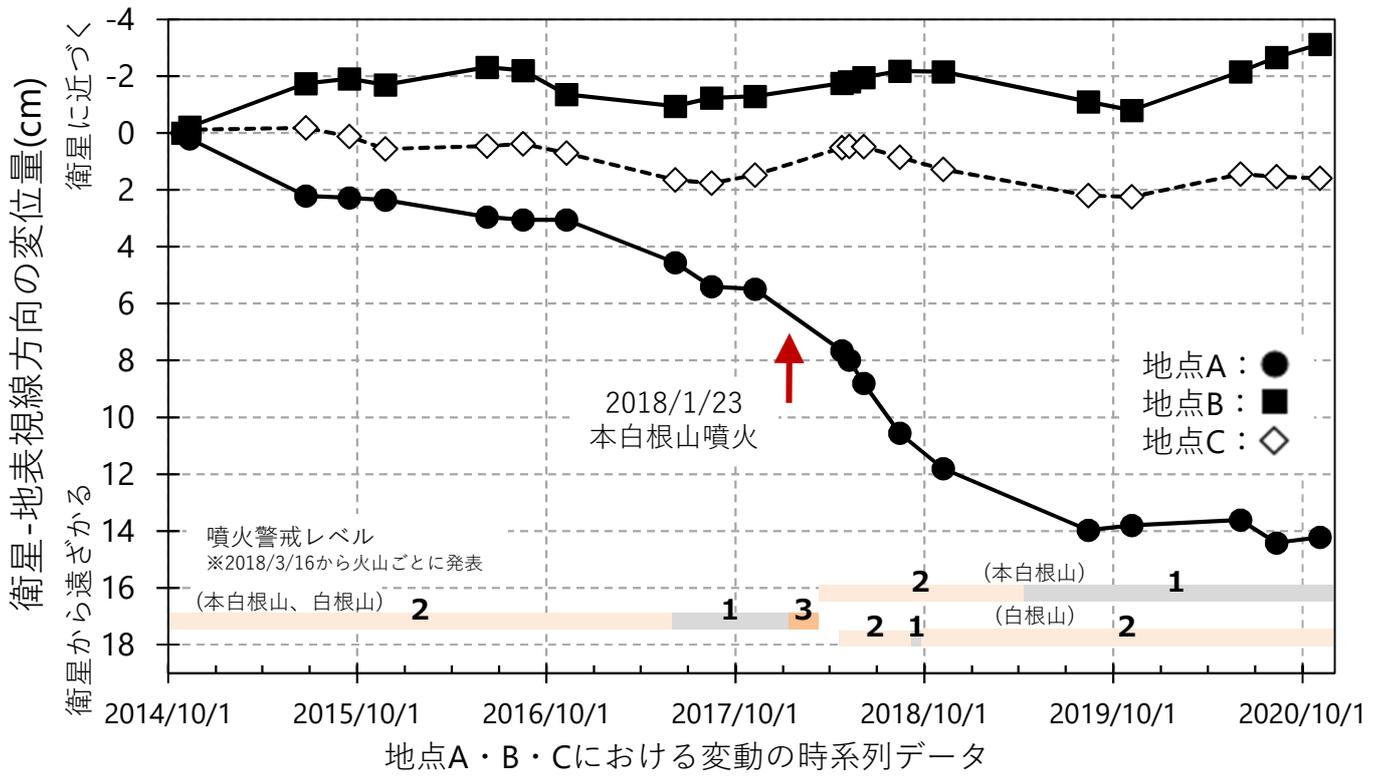
【本白根山拡大図】



※SAR強度画像に基づいて推定

本解析で使用したデータの一部は、火山噴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。

第6図 「だいち2号」PALSAR-2による草津白根山周辺地域の干渉SAR時系列解析結果

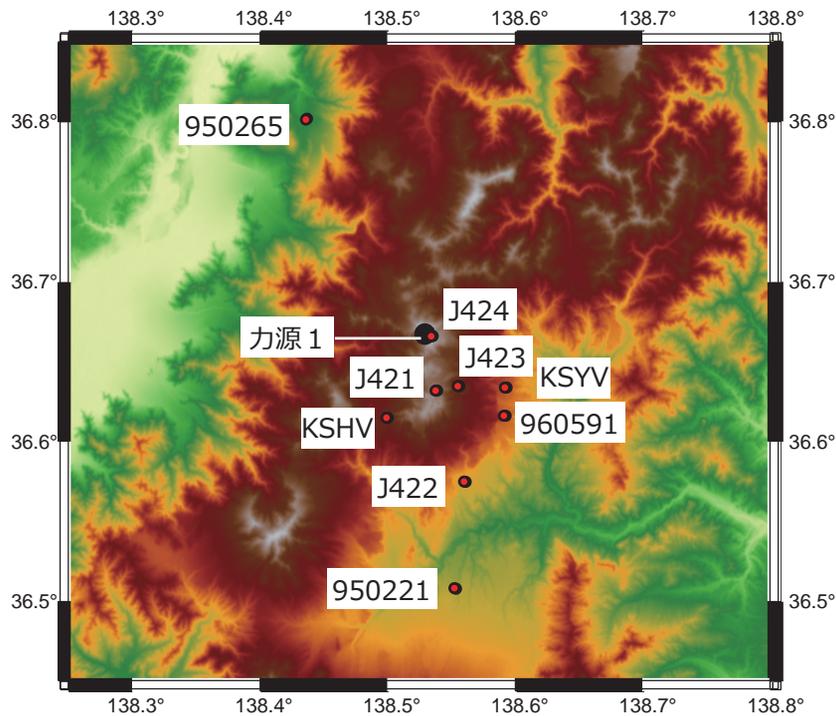


本解析で使用したデータの一部は、火山噴予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

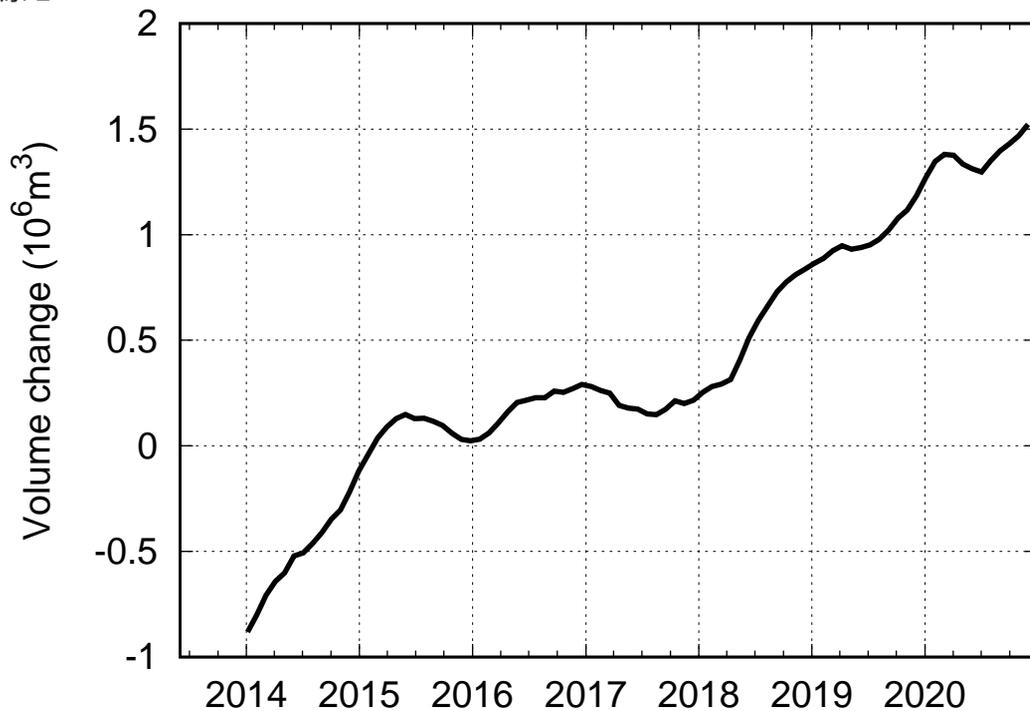
第7図 「だいち2号」PALSAR-2による草津白根山周辺地域の干渉SAR時系列解析結果

草津白根山の地殻変動力源の位置と体積変化

力源 1 の体積変化は最近鈍化している



力源 1



力源 1 : 回転楕円体 : 緯度 36.667°、経度 138.528°、深さ -1.2km
 * 使用データ : 2014/01/01-2020/12/2

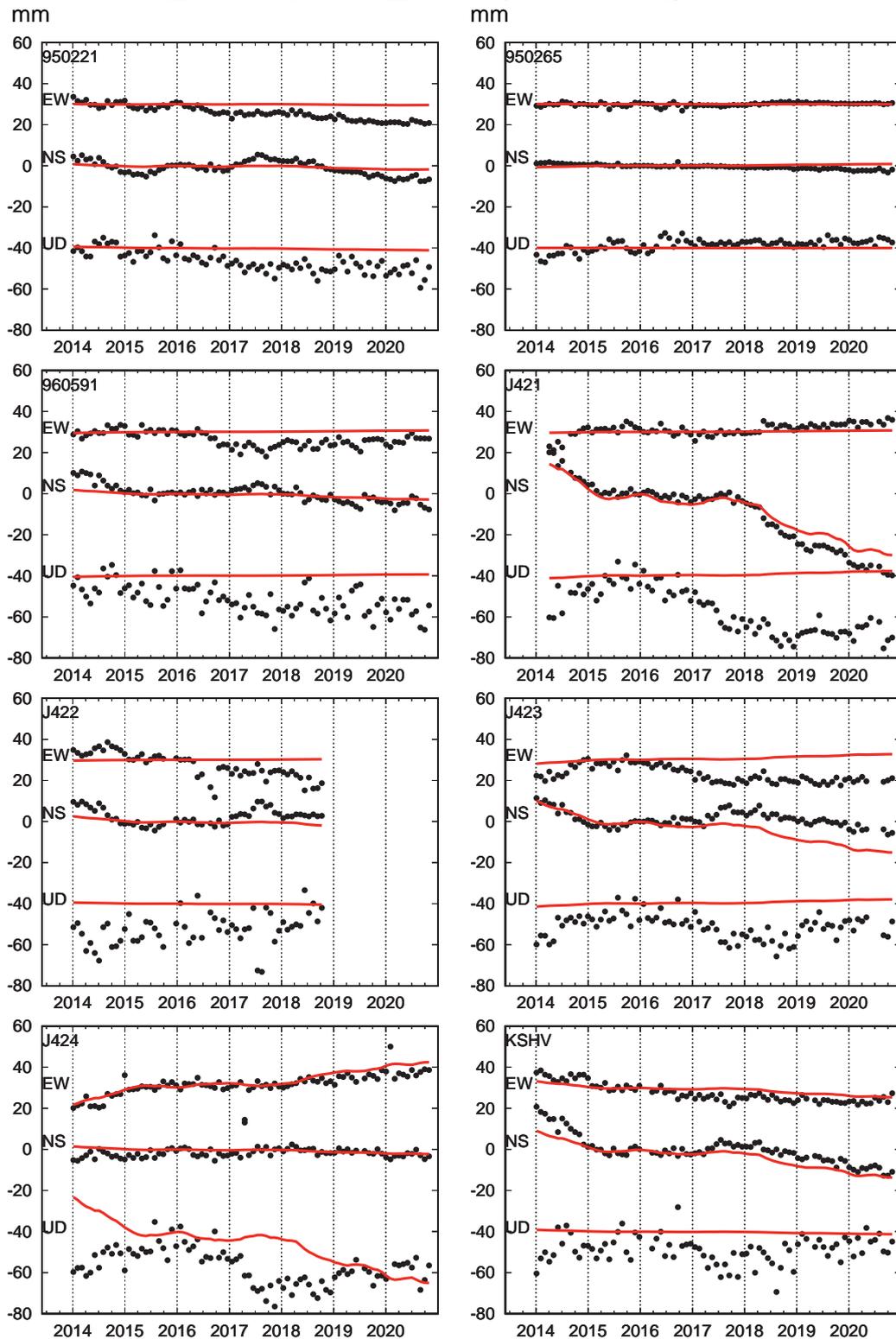
第 8 図 線形インバージョンによる草津白根山の地殻変動力源の体積変化推定

上段 : 推定に用いた観測点 (赤点) と地殻変動力源の位置 (黒丸)

下段 : 推定された地殻変動力源の体積の時間変化

草津白根山

草津白根山周辺の観測点の座標時系列（黒丸）と計算値（赤線）



* 固定局 020954（中之条）

* EW, NS, UD は東西、南北、上下成分を表す

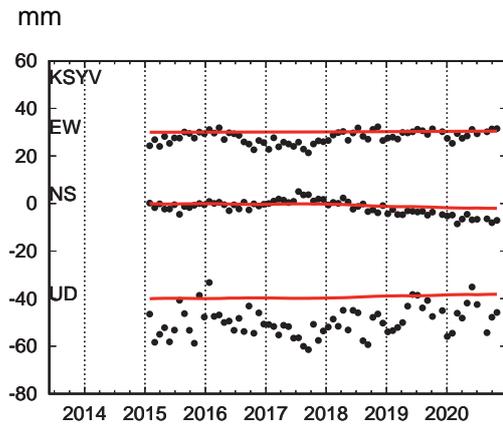
* 電子基準点の保守等による変動、周期成分、テクトニックな成分は補正済

* 時系列は 30 日平均

第 9 図 推定された力源による地殻変動計算値（赤実線）と観測値（黒点）の比較

草津白根山

草津白根山周辺の観測点の座標時系列（黒丸）と計算値（赤線）



- * 固定局 020954（中之条）
- * EW, NS, UD は東西、南北、上下成分を表す
- * 電子基準点の保守等による変動、周期成分、テクトニックな成分は補正済
- * 時系列は 30 日平均

第 9 図つづき 推定された力源による地殻変動計算値（赤実線）と観測値（黒点）の比較

草津白根山噴気の化学組成（2014年7月～2020年10月）

Chemical composition of the fumarolic gases sampled at Kusatsu-Shirane volcano, Japan (July 2014 to October 2020)

1. 概要

2014年7月から2020年10月にかけて、草津白根山で繰り返し噴気を採取・分析した。白根山山頂北側の地熱地帯で採取された3つの噴気で、2020年6月から8月にかけてドライガス中の H_2S 濃度の急激な低下、 $\text{He}/\text{H}_2\text{S}$ 比および $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の急激な上昇が見られたが、この傾向は2020年8月から10月にかけて反転した。これらの変化から、湯釜直下に存在する熱水溜りに対し供給されるマグマ成分の流量は低下傾向にあると推定される。

2. 噴気の採取・分析

草津白根山の湯釜火口の北山麓に広がる地熱地帯において、図1に示す3つの噴気孔W、C、Eで噴気を採取した。また東山麓の殺生河原（S）と西山麓の万座干保（M）でも噴気を採取分析した。これらの噴気を採取するために、金属チタン管を噴気孔に差し込み、管と孔の隙間を砂などで注意深く塞いだ。次にチタン管にゴム管を接続し、ゴム管の出口を真空ガラス瓶のコックに接続した。真空ガラス瓶にはあらかじめ高濃度のアルカリ性水溶液（KOH）20mlを封入しておいた。コックを慎重に開けることにより火山ガスをアルカリ性水溶液に吸収させた。安定同位体比の測定のために噴気を水冷したガラス二重管に通し、凝縮水を採取した。噴気の化学分析は主に、小沢の方法[1]に従った。

3. 結果・考察

噴気W、C、Eについて、 H_2O を除いた噴気成分（＝ドライガス）中の H_2S 濃度は、2017年11月に22%を超える値に達した後（図2）、2018年5月には全ての噴気で H_2S 濃度は18～19%以下に低下し10月まで低い値を維持したが2020年6月に向けて再び上昇した。2020年6月から8月にかけて急激な低下が起きたが、その傾向は維持されず、2020年8月から10月にかけて上昇した。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、現時点で火山活動が活発化する傾向にないことを示唆する。

図3に $\text{He}/\text{H}_2\text{S}$ 比の変化を示す。2019年5月から10月にかけて上昇し、これは2019年9月から始まった地震活動の活発化に対応していると考えられる。 $\text{He}/\text{H}_2\text{S}$ 比は2020年6月には、2019年5月のレベルまで低下したが、2020年6月から8月にかけて急激に上昇した。その傾向は維持されず、2020年8月から10月にかけて低下した。 He はマグマに由来する成分、 H_2S は熱水系に由来する成分であり、図3の変動は、2020年8月から10月にかけて、湯釜直下に存在する熱水溜りに対し、マグマ成分の流量は低下傾向にあることを意味している。

$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の時間変化（図4）は $\text{He}/\text{H}_2\text{S}$ 比の時間変化に相似するが、変動幅が比較的小さい。たとえば、2019年5月から10月にかけて $\text{He}/\text{H}_2\text{S}$ 比は明確に上昇しているが、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は噴気W、Cで横ばいであり、噴気Eではむしろ低下している。 CO_2 はマグマに由来する成分に加え熱水系に由来する成分も

含むので、 CO_2/H_2S 比と He/H_2S 比で時間変化に相違が起きていると考えられる。

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. Oosaka et al. (1980) Variation of chemical compositions in volcanic gases and waters at Kusatsu-Shirane volcano and its activity in 1976. Bull. Volcanol., 43, 207-216.

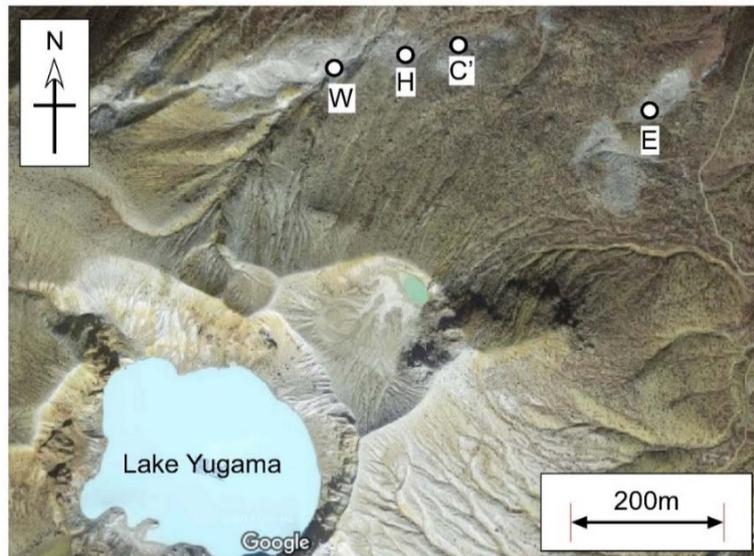


図1. 草津白根山山頂北側山麓噴気 W, C', E の位置. H は新たに生じた陥没孔（背景図として, GoogleMap を使用した）

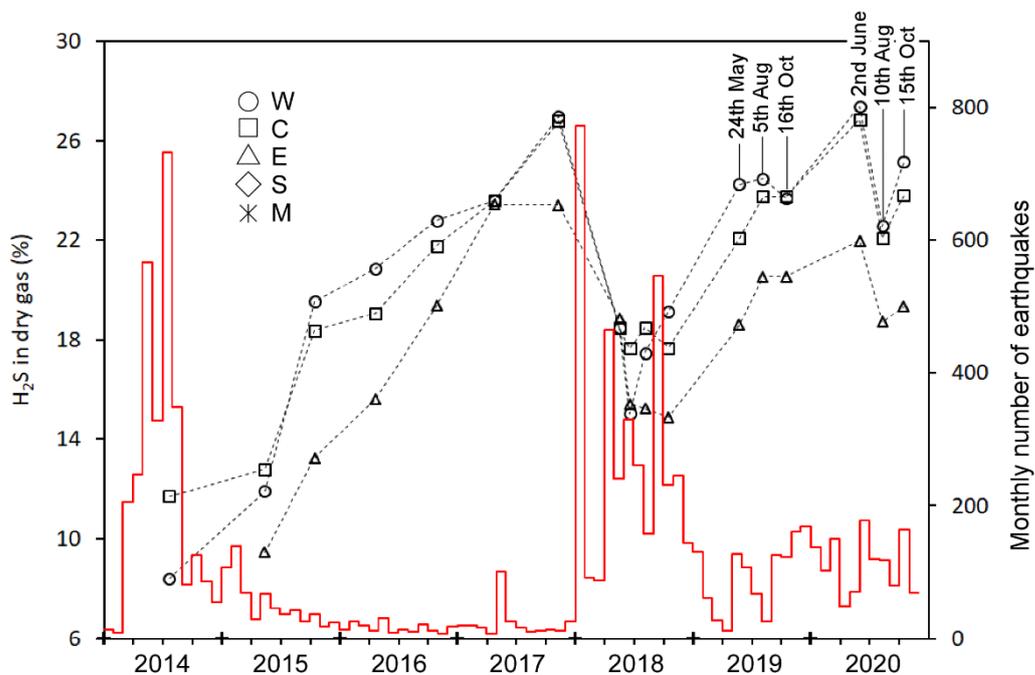


図2. H_2O を除いた成分 (=ドライガス) における H_2S 濃度の変化. 月別地震回数 (白根山近傍) は気象庁の観測に基づく. 2018年1月の地震は主に本白根山で発生した.

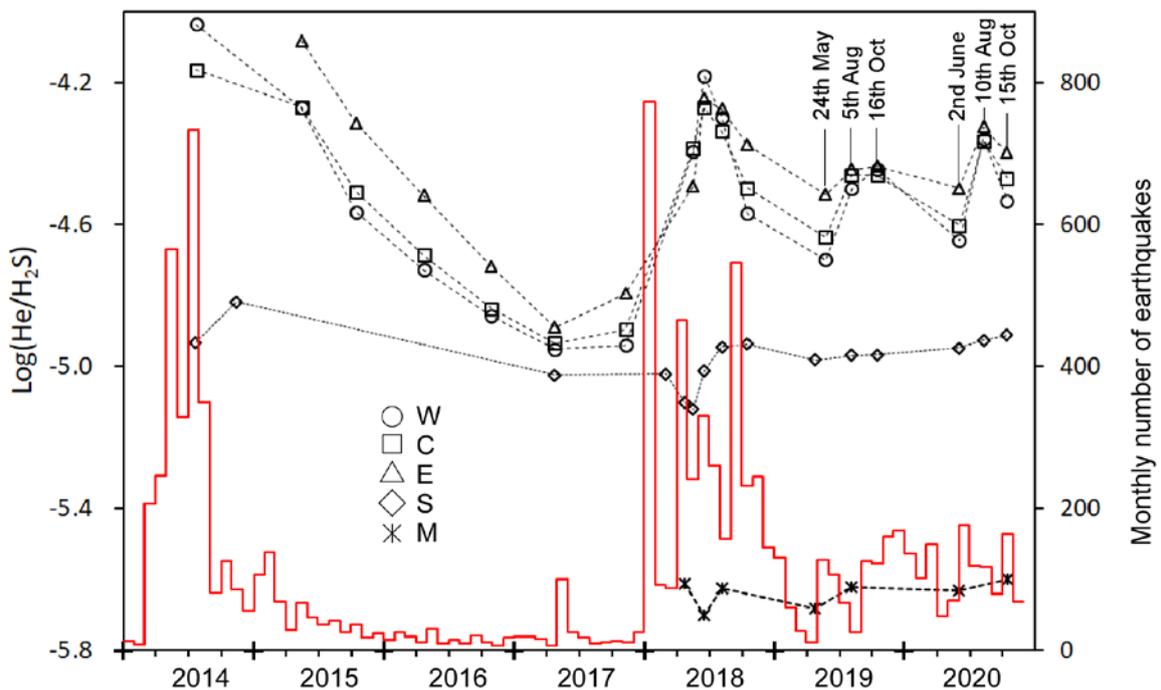


図3. He/H₂S比の時間変化. 月別地震回数は気象庁の観測に基づく.

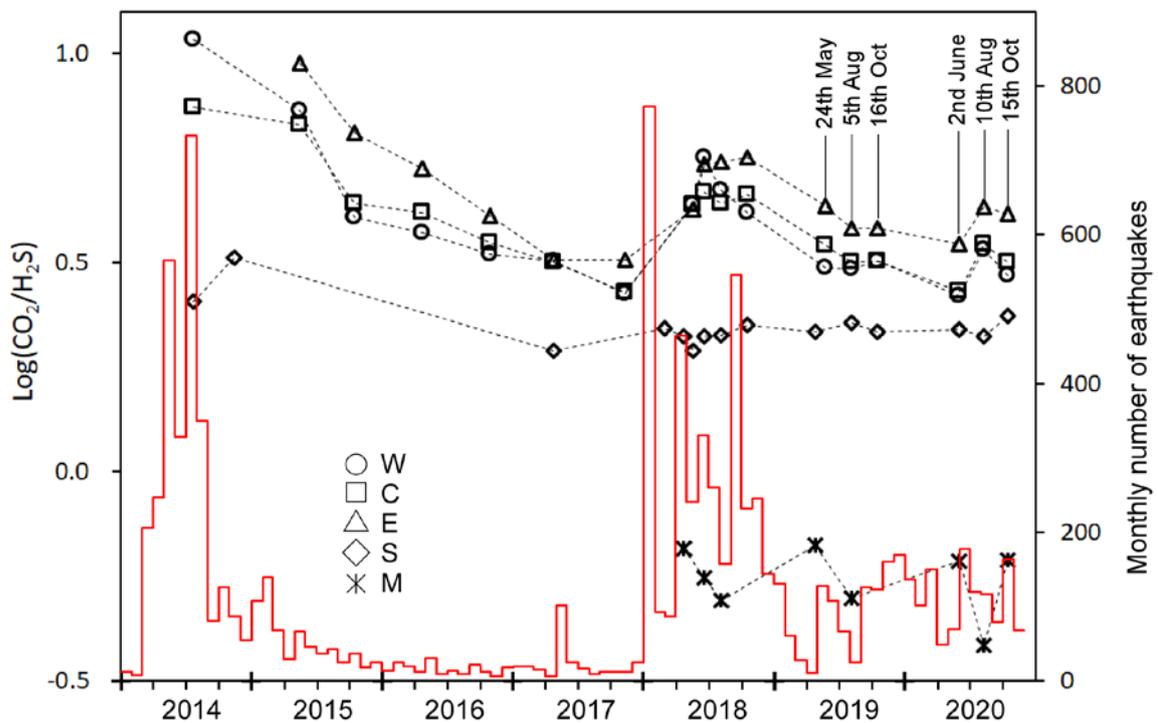


図4. CO₂/H₂S比の時間変化. 月別地震回数は気象庁の観測に基づく.

湯釜および万代鉱源泉の水質変化(1965年~2020年)について

1. 湯釜湖水の組成変化

1.1 長期的変化

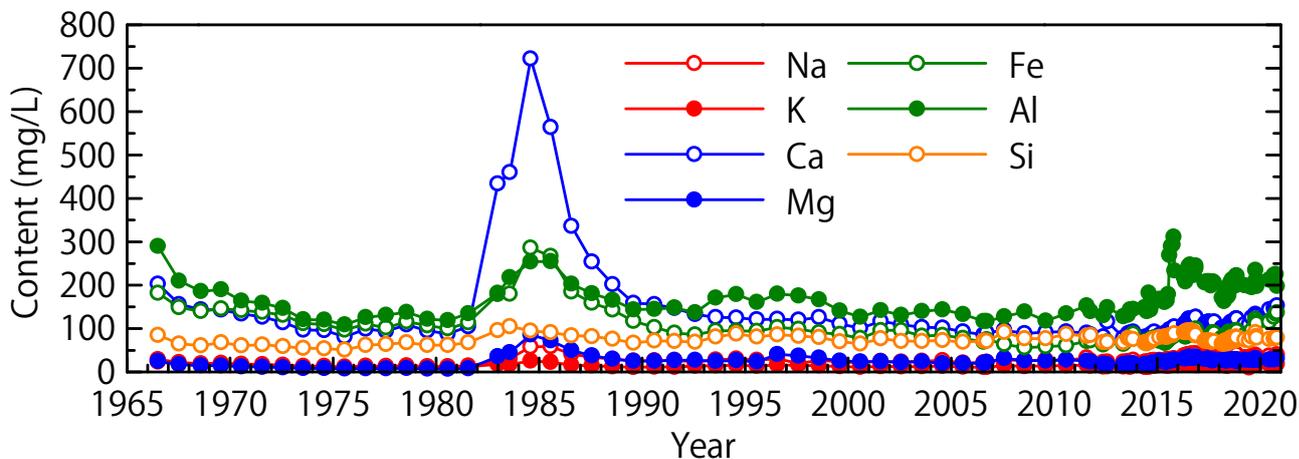


図1 湯釜の陽イオンおよびケイ素の濃度変化

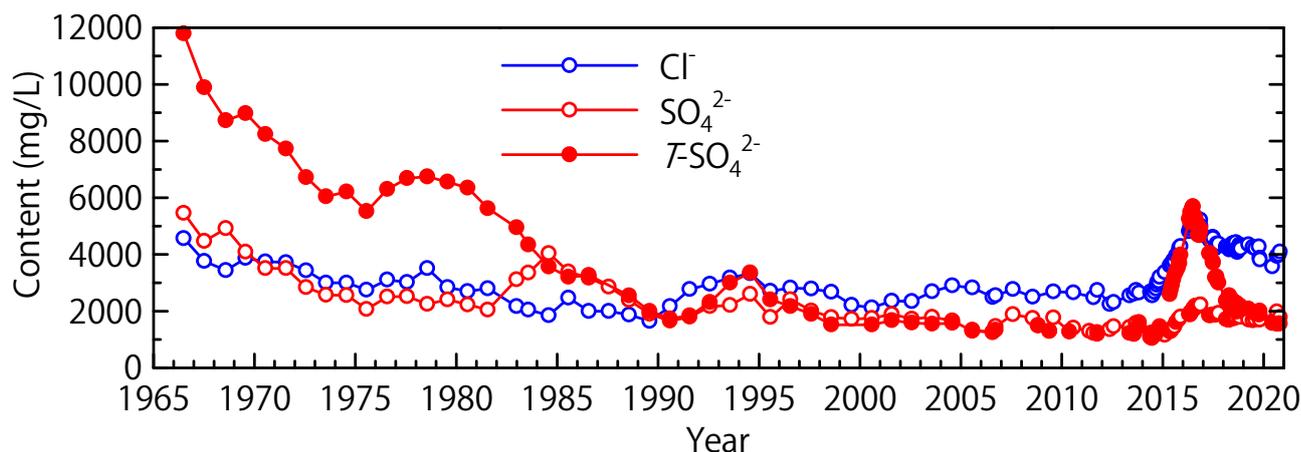


図2 湯釜の陰イオンの濃度変化

- 1960年初頭まで湯釜内で硫黄鉱山が操業し、1982~83年の噴火活動において湖底火孔から高塩濃度の流体が湖水に大量供給されたと考えられるため、1990年以前とそれ以後とは、湯釜の湖水環境は大きく異なっている可能性がある。そのため、近年の水質変化と1970年代~1980年代の水質変化を直接比較することは難しい。
- 湯釜湖水では、Cl濃度、T-SO₄濃度(全溶存硫黄化学種濃度)、ΔSO₄割合(全溶存硫黄化学種濃度に占めるポリチオン酸の割合)、Al濃度が火山活動評価の指標として有用と考えられる。

1.2 2012年以降の変化

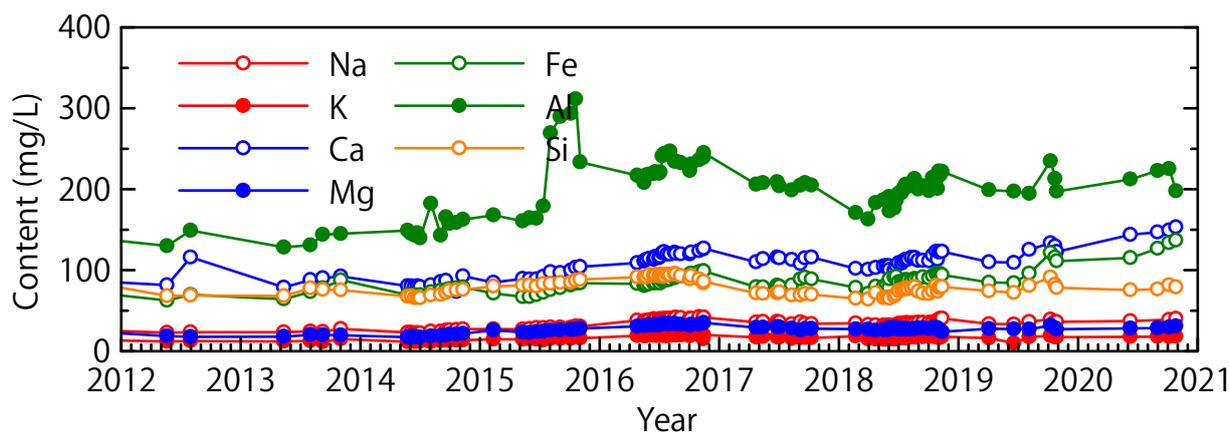


図3 2012年以降の湯釜の陽イオンおよびケイ素の濃度変化

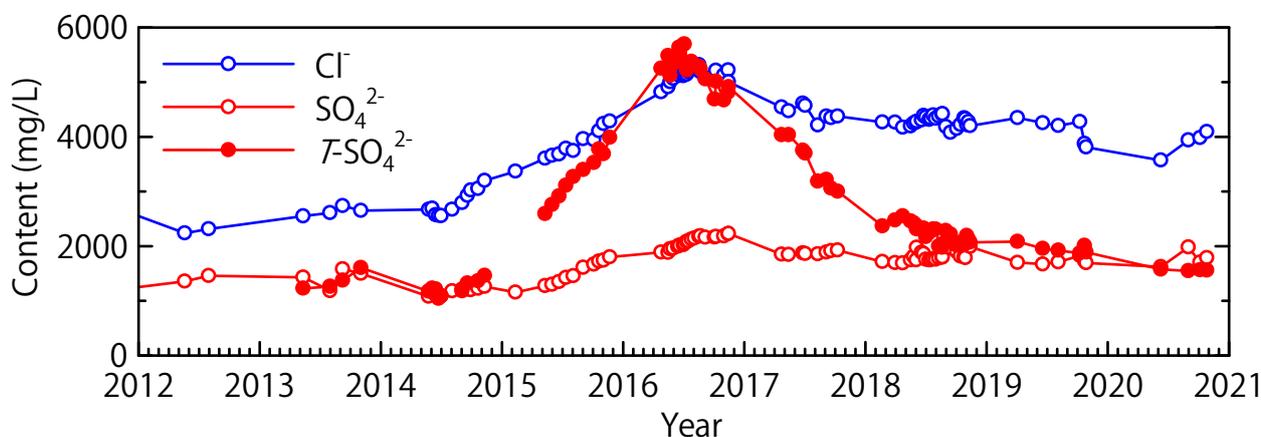


図4 2012年以降の湯釜の陰イオンの濃度変化

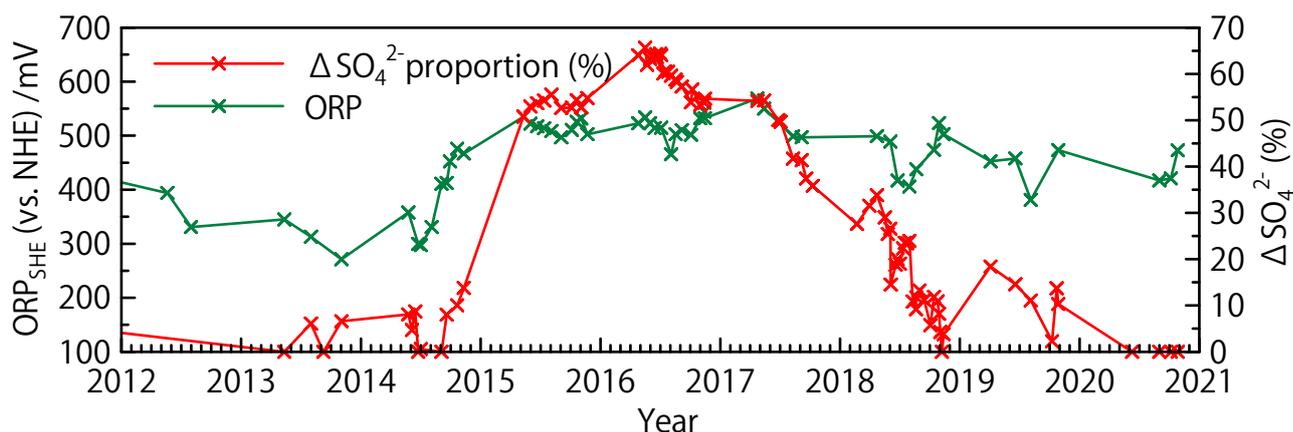


図5 2012年以降の湯釜の ΔSO_4^{2-} 割合と酸化還元電位の変化

- 湯釜湖水の ORP (酸化還元電位) の変化は、湖底噴気の SO_2/H_2S 比の変化を反映し、ポリチオン酸イオンの生成/分解を支配していると想定される。2020年に入ってポリチオン酸イオンの生成は抑えられていると思われるが、ORP は未だ高い値となっている。

2. 万代鉱源泉の組成変化

2.1 長期的変化

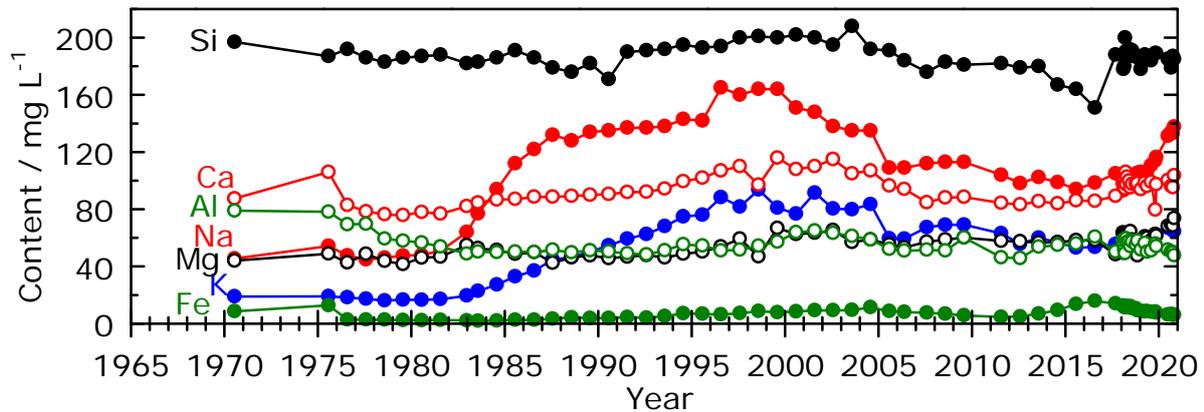


図6 万代鉱源泉の陽イオンおよびケイ素の濃度変化

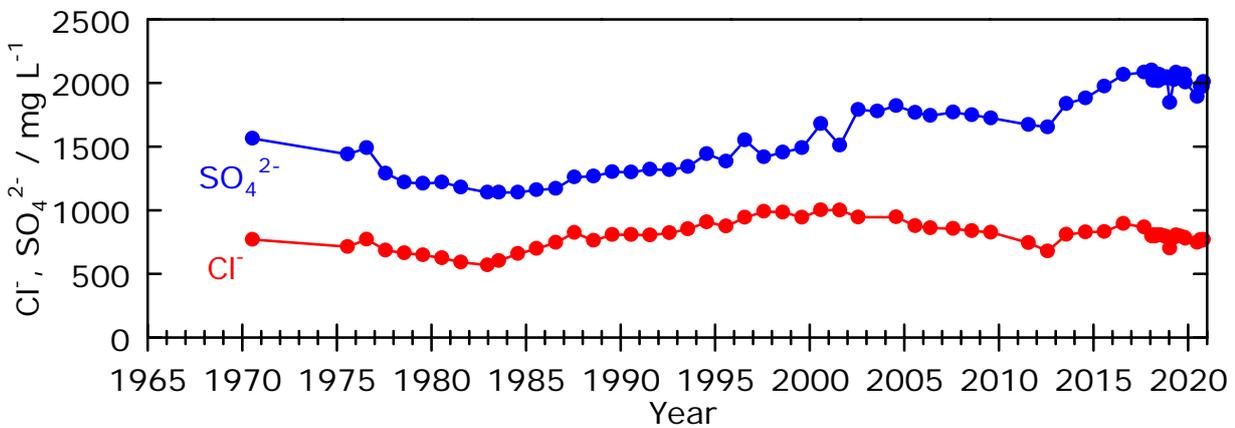


図7 万代鉱源泉の陰イオンの濃度変化

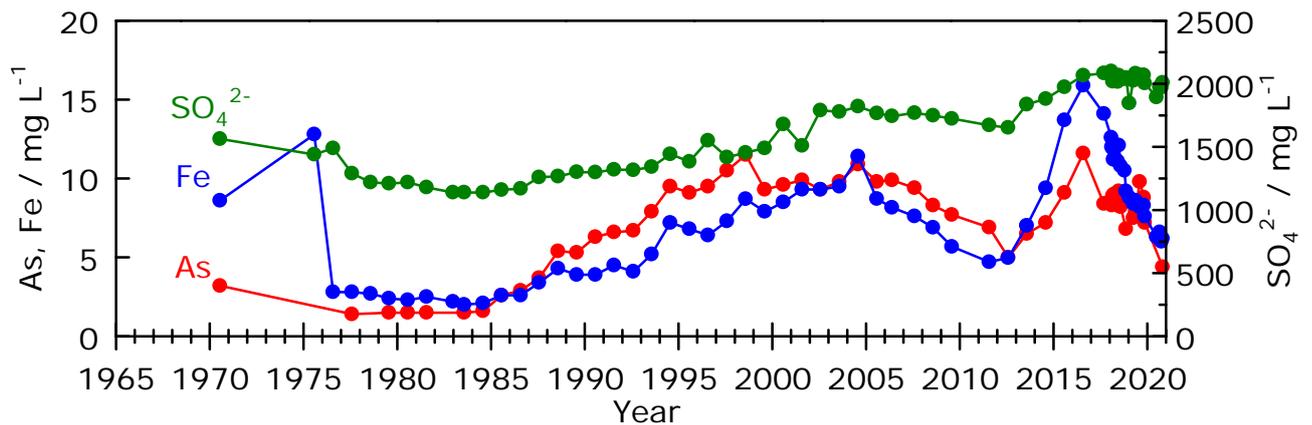


図8 万代鉱源泉の鉄イオン，硫酸イオン，ひ素の濃度変化

- 1980年代半ば以降に見られたのと同様の成分濃度上昇が2010年代半ばから見られる。

2.2 2012年以降の変化

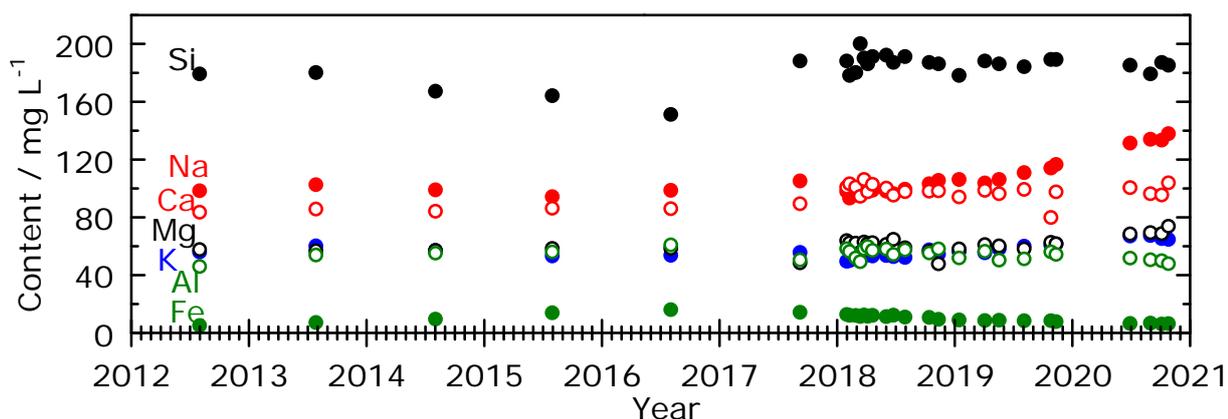


図9 2012年以降の万代鉱源泉の陽イオンおよびケイ素の濃度変化

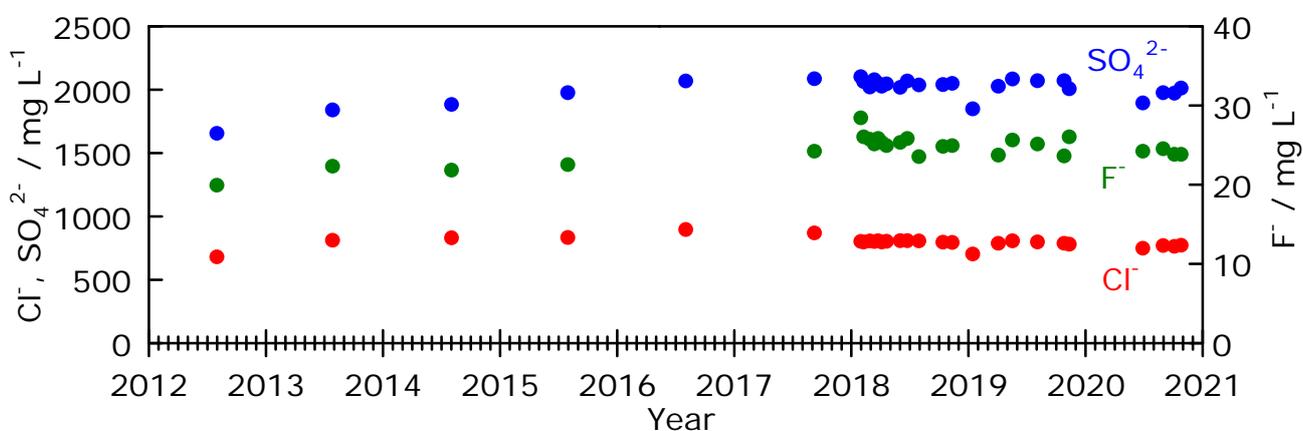


図10 2012年以降の万代鉱源泉の陰イオンの濃度変化

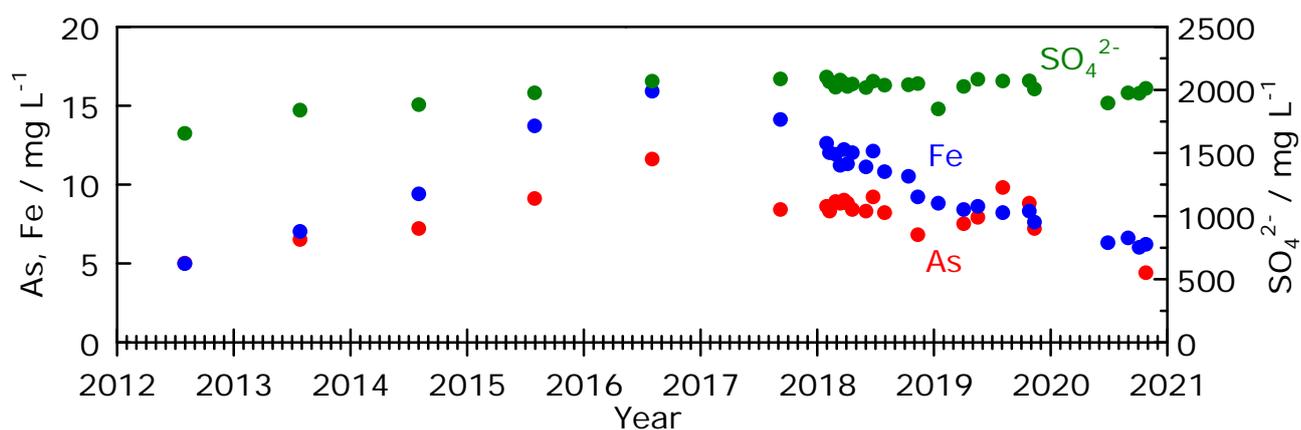


図11 万代鉱源泉の鉄イオン、硫酸イオン、ひ素の濃度変化

- 2018年の本白根山噴火に際して、F濃度に上昇があったように見える。
- 2018年の本白根山噴火の前年に、Si濃度の顕著な上昇が見られる。
- 2012年頃より、Fe、Asの明瞭な濃度上昇が見られたが、2018年の本白根山噴火の前から濃度低下に転じた。

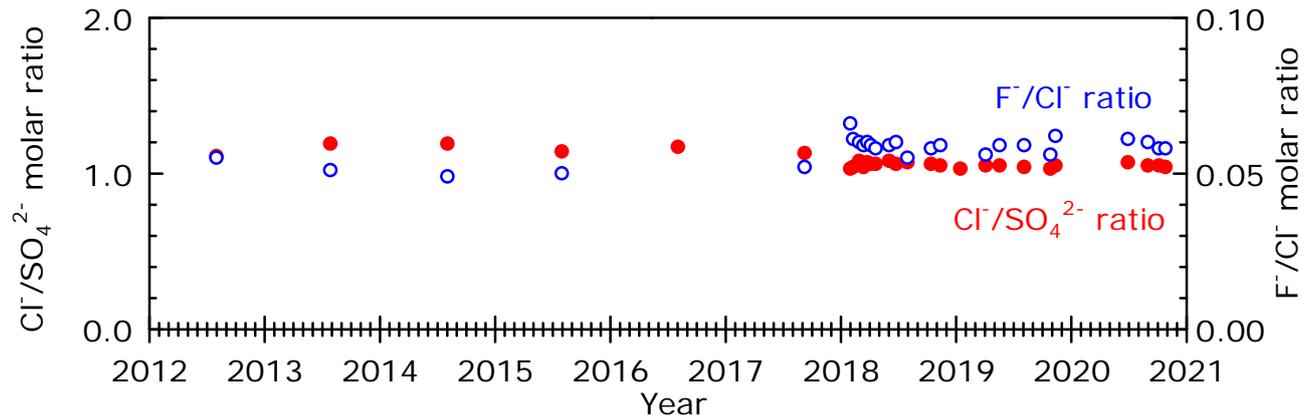


図 12 2012 年以降の陰イオン濃度モル比の変化

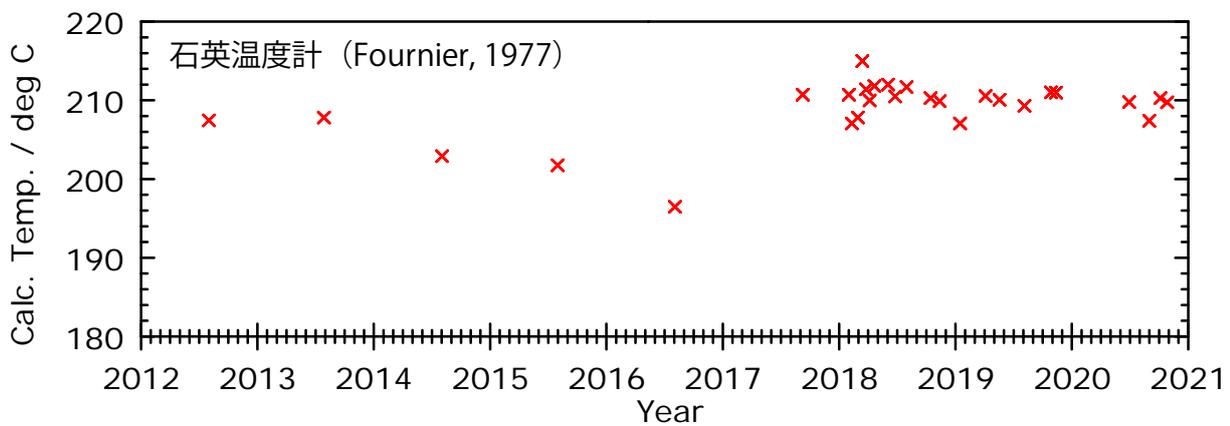


図 13 2012 年以降の石英温度計に基づく推定リザーバー温度の変化

- 2018 年の本白根山噴火時, F/Cl 比の上昇が見られる. 現在も F/Cl 比は噴火前より高い.
- 石英温度計による推定リザーバー温度も, 噴火前年に上昇した後, 現在まで高いまま保たれている.

以上