

草津白根山の火山活動（2018年10月～2019年1月）

Volcanic Activity of Kusatsu-Shiranesan Volcano (October 2018 – January 2019)

気象庁地震火山部火山課
火山監視・警報センター

Volcanology Division, Japan Meteorological Agency
Volcanic Observation and Warning Center

白根山（湯釜付近）

○概況

・地震活動

2018年4月下旬からの地震活動の活発化と同様に、9月28日17時頃から草津白根山の西側のやや深部の膨張を示唆する傾斜変動とともに地震活動が再活発化した。地震増加直後の震源は海拔1kmよりやや深いところに分布したが、9月30日以降、地震は減少し、震源は海拔1kmよりやや浅いものが多くなった。地震活動は増減を繰り返しながら継続しており、11月と2019年1月には、微小な傾斜変動を伴う火山性微動が発生した。

・地殻変動

2018年10月以降、湯釜付近浅部の膨張を示す緩やかな傾斜変動が観測されている。

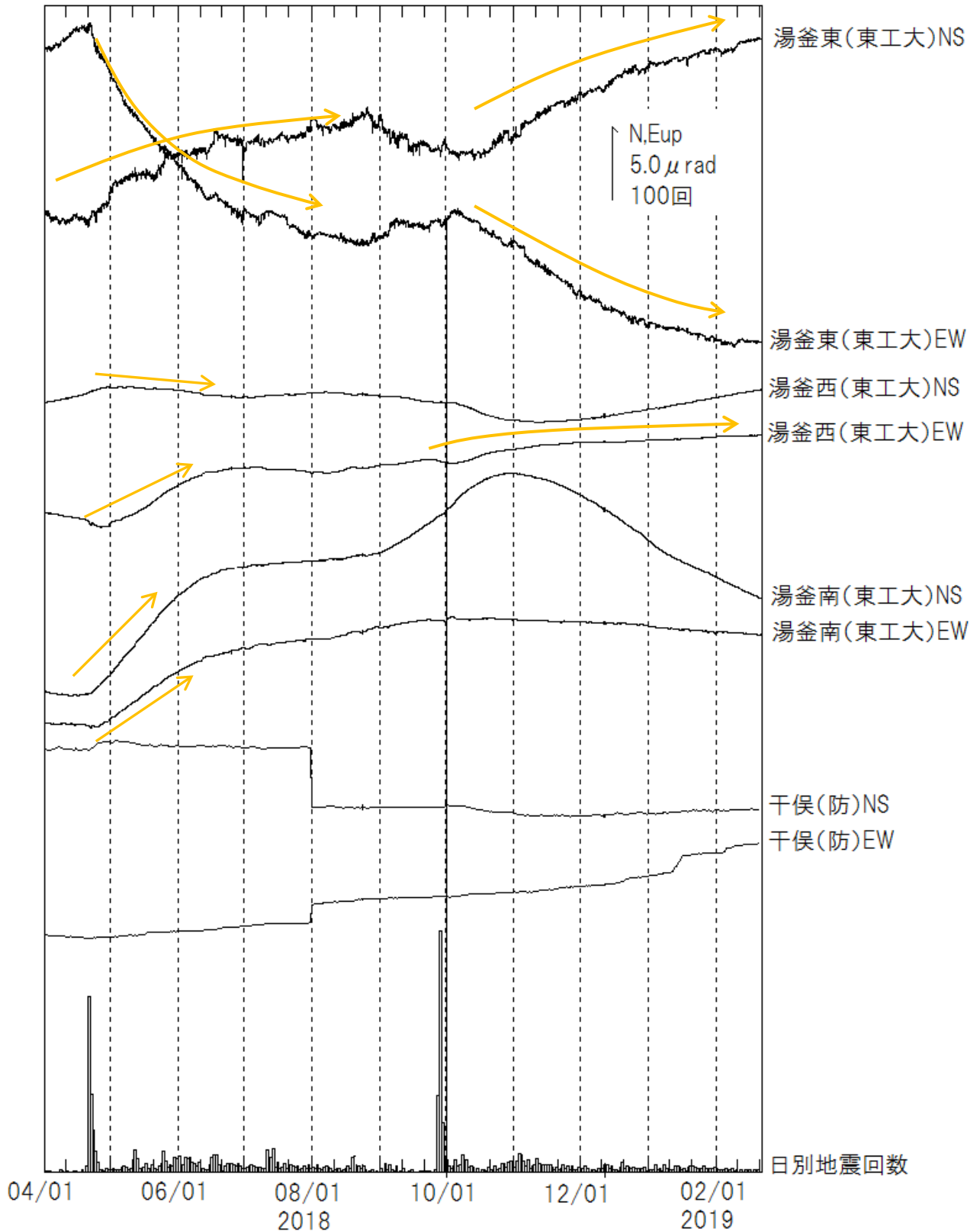
GNSS連続観測では、湯釜付近浅部の膨張を示す顕著な変動は観測されていない。

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変化がみられていたが、10月頃からは停滞している。

・噴煙など表面現象の状況

奥山田監視カメラ（湯釜の北約1.5km）による観測では、湯釜北側噴気地帯の噴気は概ね100mで経過しており、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、2018年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、このような変色域はみられていない。

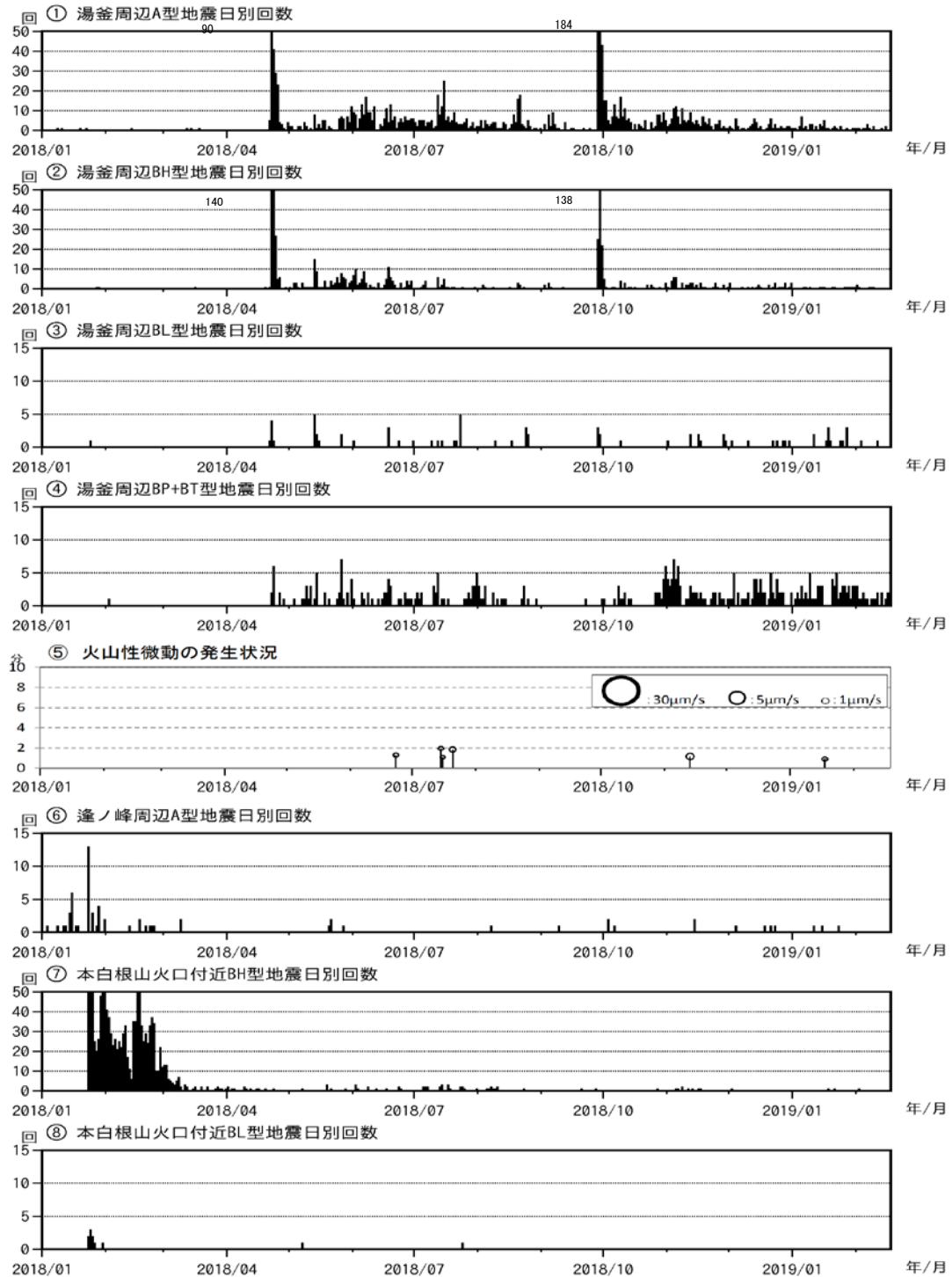
この資料は気象庁のほか、関東地方整備局、国土地理院、東京工業大学、東北大学、東京大学、京都大学及び国立研究開発法人防災科学技術研究所のデータを利用した。



第1図 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4月1日～2019年2月21日）

Fig. 1. Daily number of volcanic earthquakes and tilt-meter record transition (April 1, 2018 – February 21, 2019).

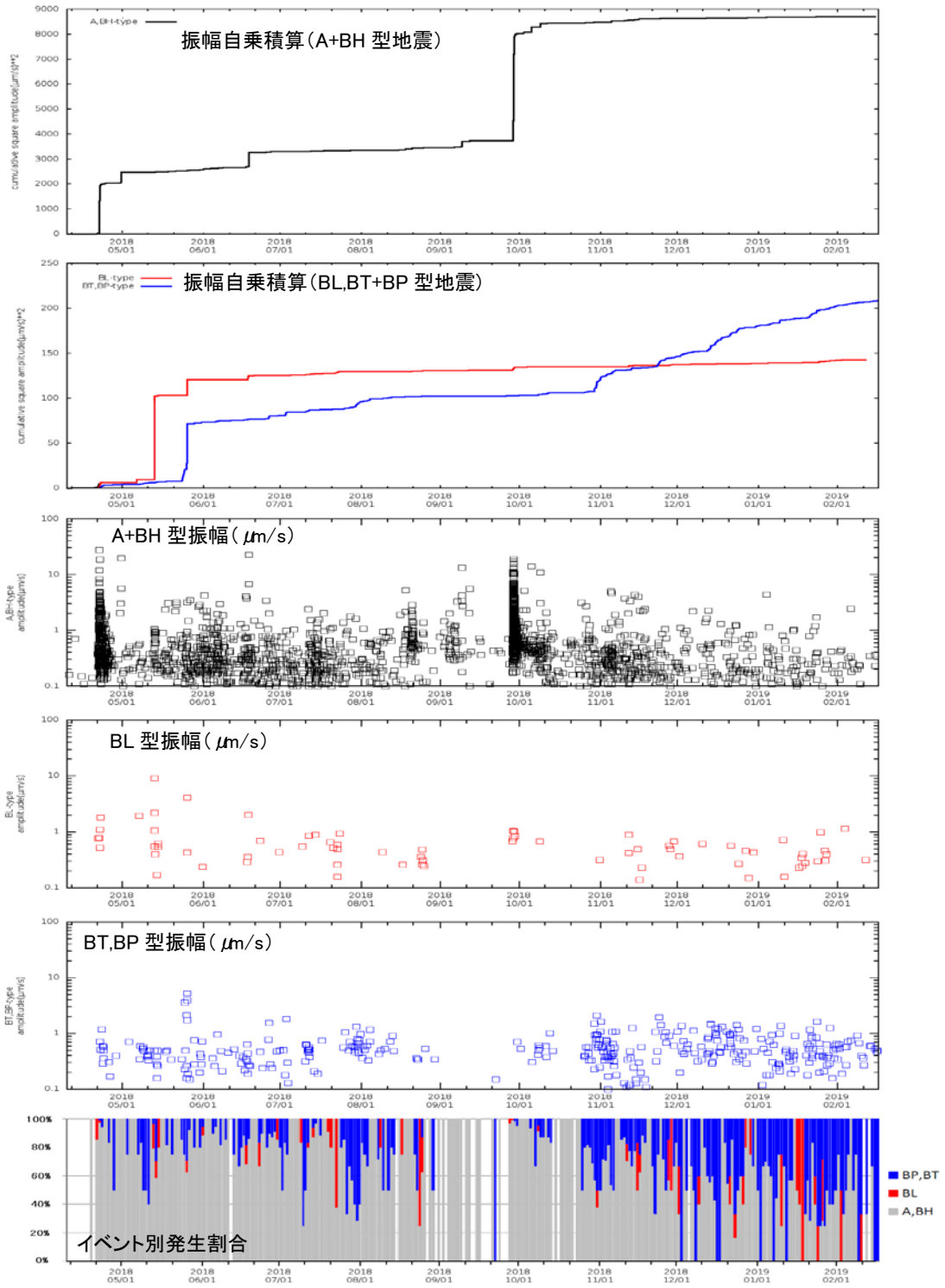
- ・ 2018年4月下旬及び9月上旬に地震が急増し、その後、湯釜直下浅部の膨張を示唆する変化（黄色矢印）がみられており、現在も継続している。



第2図 草津白根山（白根山（湯釜付近） イベントタイプ別地震日別回数（2018年1月1日～2019年2月17日）

Fig. 2. Daily number of earthquake of Yugama, Ainomine and Motoshiranesan from January 1, 2018 to February 17, 2019.

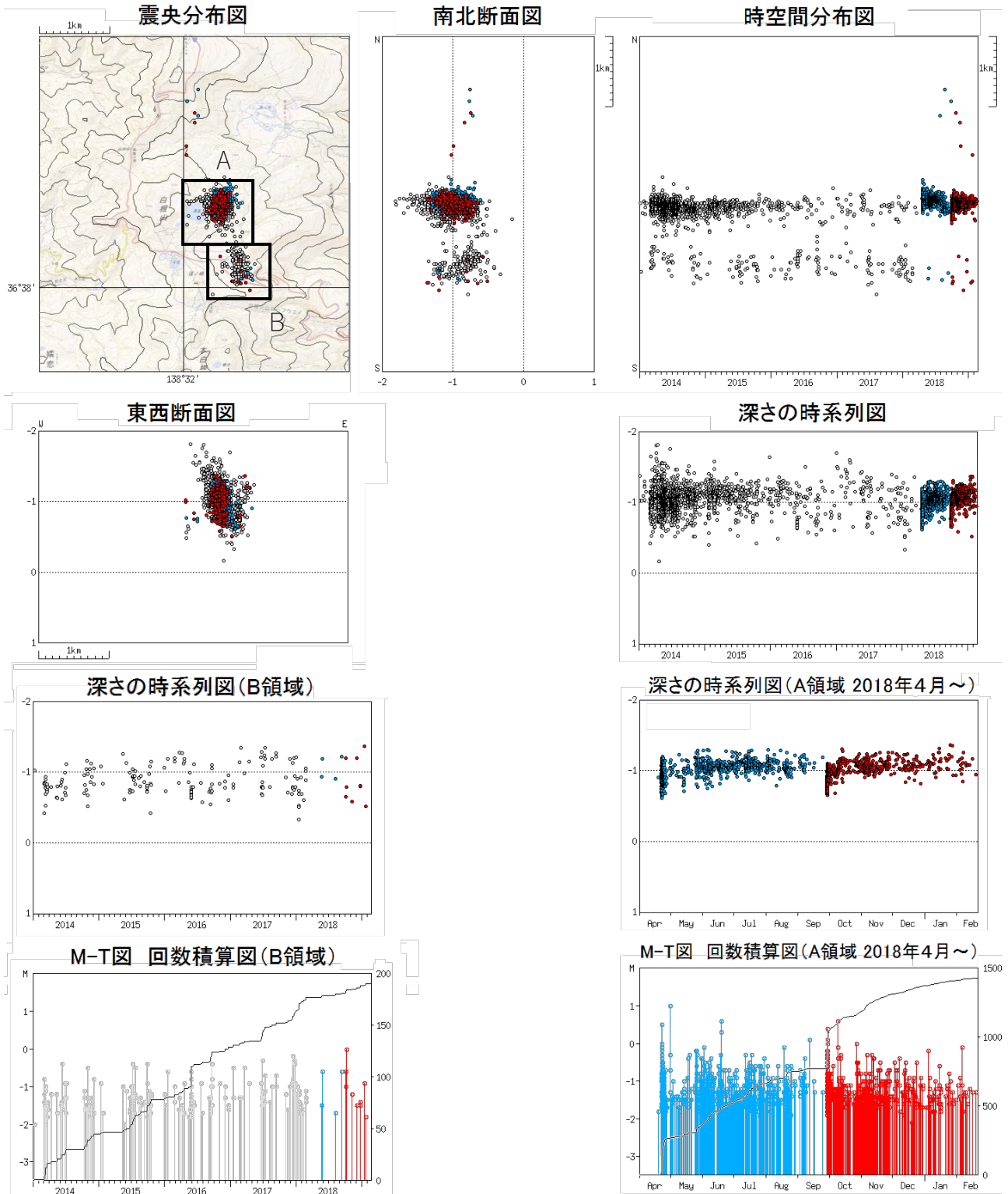
- ・湯釜付近を震源とする地震活動は、2018年9月下旬に再活発化し、増減を繰り返しながら徐々に低調となってきた。また、2018年11月と2019年1月に振幅の小さな火山性微動が発生した。
- ・逢ノ峰付近を震源とする火山性地震は、2018年8月以降、時々発生している。
- ・本白根山火口付近を震源とする火山性地震は、6月から8月にかけてと10月下旬から11月下旬にかけて発生頻度の高まりがみられたものの、徐々に減少し、12月以降、ほとんど観測されていない



第3図 草津白根山(白根山(湯釜付近)) 湯釜付近の火山性地震のタイプ別自乗積算、振幅、発生割合(2018年4月10日~2019年2月17日)(振幅は青葉山西観測点のUD成分を使用)

Fig. 3. Amplitudes and cumulative squared amplitudes of A/BH-type, BL-type and BP/BT-type earthquakes and ratio of each earthquakes from April 10, 2018 to February 17, 2019.

- 地震急増時はA及びBH型地震が目立つが、その後は、BT型、BP型地震が多くみられるようになっている。



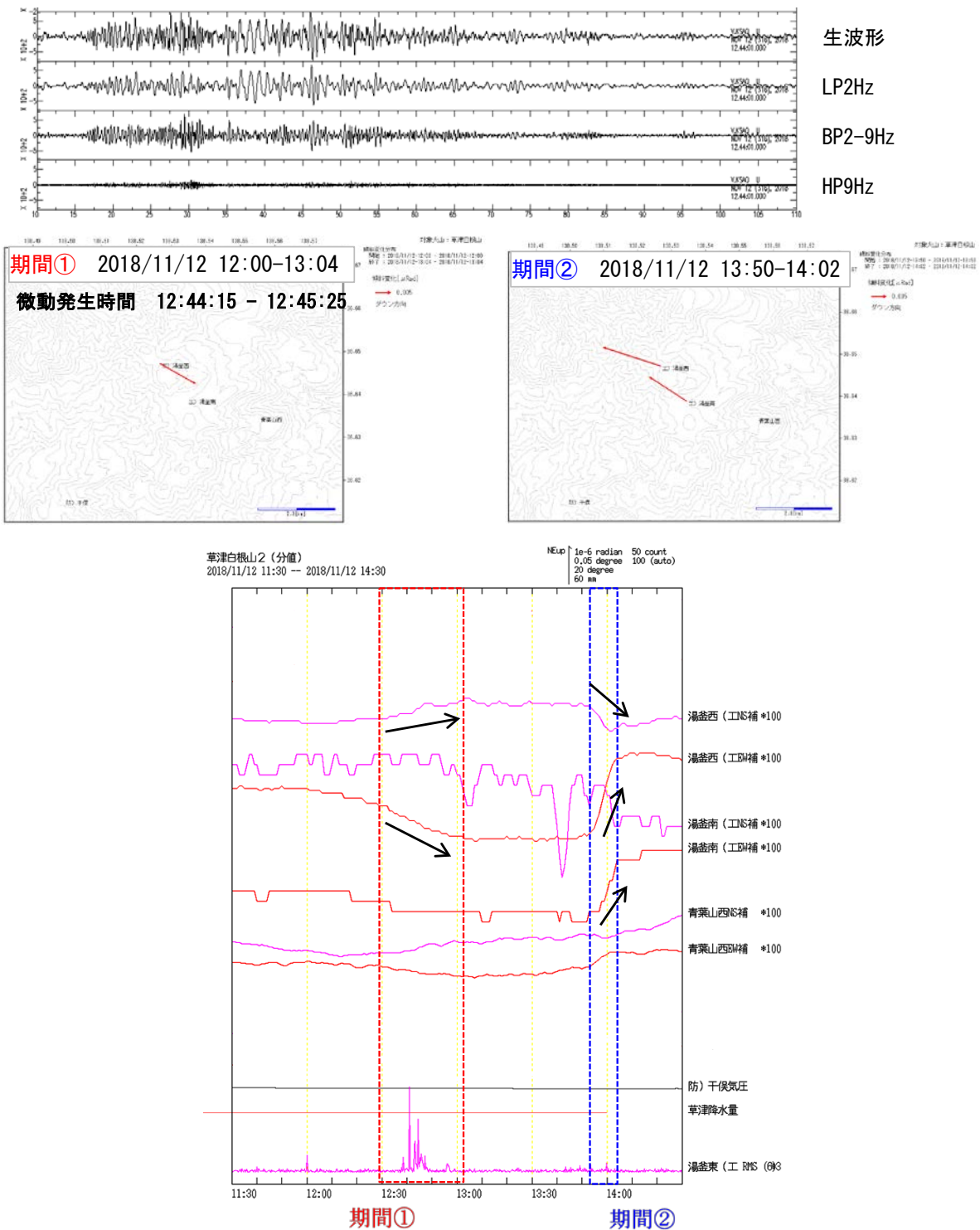
● : 2014年1月1日～2018年3月31日 ● : 2018年4月1日～9月27日 ● : 2018年9月28日～2019年2月20日
 第4図 草津白根山（白根山（湯釜付近））震源分布図（2014年1月1日～2019年2月20日）

Fig. 4. Hypocenter distribution of volcanic earthquakes around Yugama (April 1, 2018 – February 20, 2019).

図中のマグニチュードは渡辺（1971）の式を用いている。

- ・ 湯釜付近の地震（A領域）は、地震の急増時は海拔1km以深のものもみられるが、その後は概ね海拔1km以浅で発生するようになっている。
- ・ 逢ノ峰付近（B領域）では、間歇的に地震が発生しており、その起こり方に変化はない。

青葉山西 UD



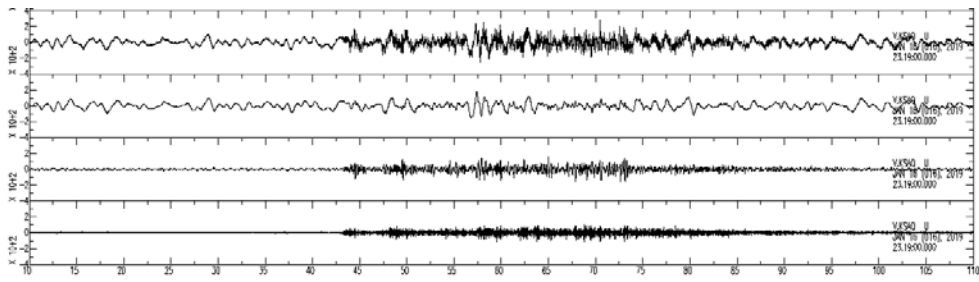
第5-1図 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 2018年11月12日に発生した火山性微動と傾斜変動

Fig. 5-1. Tremor waveform, tilt changes and displacement vector observed on November 11, 2018.

- ・ 火山性微動の発生（期間①内）時に、湯釜の北西方向上がりの微小の傾斜変動（期間①）がみられ、その後、湯釜の北西下がりの傾斜変動（期間②）がみられた。
- ・ 2018年6月以降みられた火山性微動は、ほとんどが湯釜の北西方向下がりのおきにみられている。
- ・ この火山性微動は2018年6月～7月にかけて観測された山性微動に比べ、高周波成分が少ない特徴がある。

草津白根山

青葉山西UD



生波形

LP2Hz

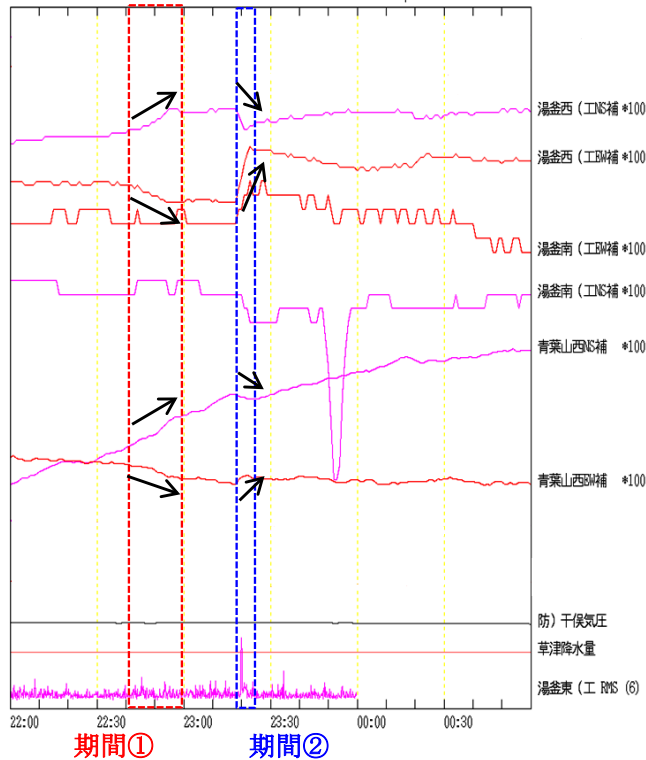
BP2-9Hz

HP9Hz



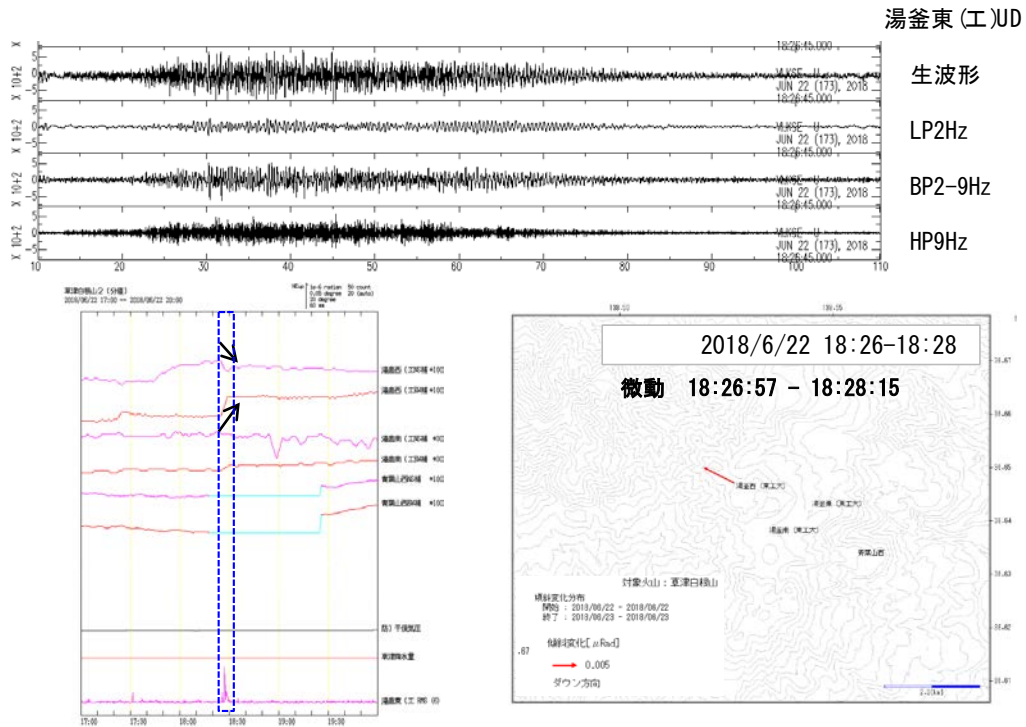
草津白根山2 (分値)
2019/01/16 22:00 -- 2019/01/17 01:00

NEup 1s-6 radian 50 count
0.05 degree 20 (auto)
60 mm



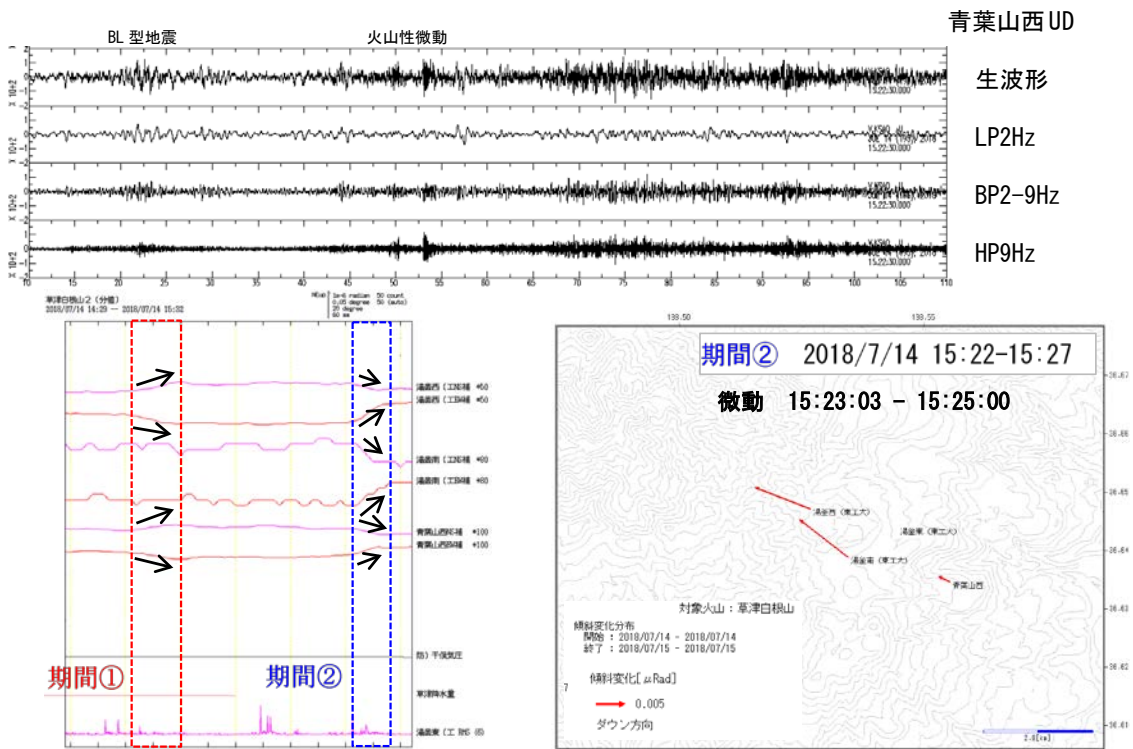
第5-2図 草津白根山 (白根山 (湯釜付近)) 2019年1月16日に発生した火山性微動と傾斜変動
Fig. 5-2. Tremor waveform, tilt changes and displacement vector observed on January 16, 2019.

- 火山性微動の発生 (期間②内) の前に、湯釜の北西方向上がりの微小の傾斜変動 (期間①) がみられ、その後、湯釜の北西下がりの傾斜変動 (期間②) がみられた。



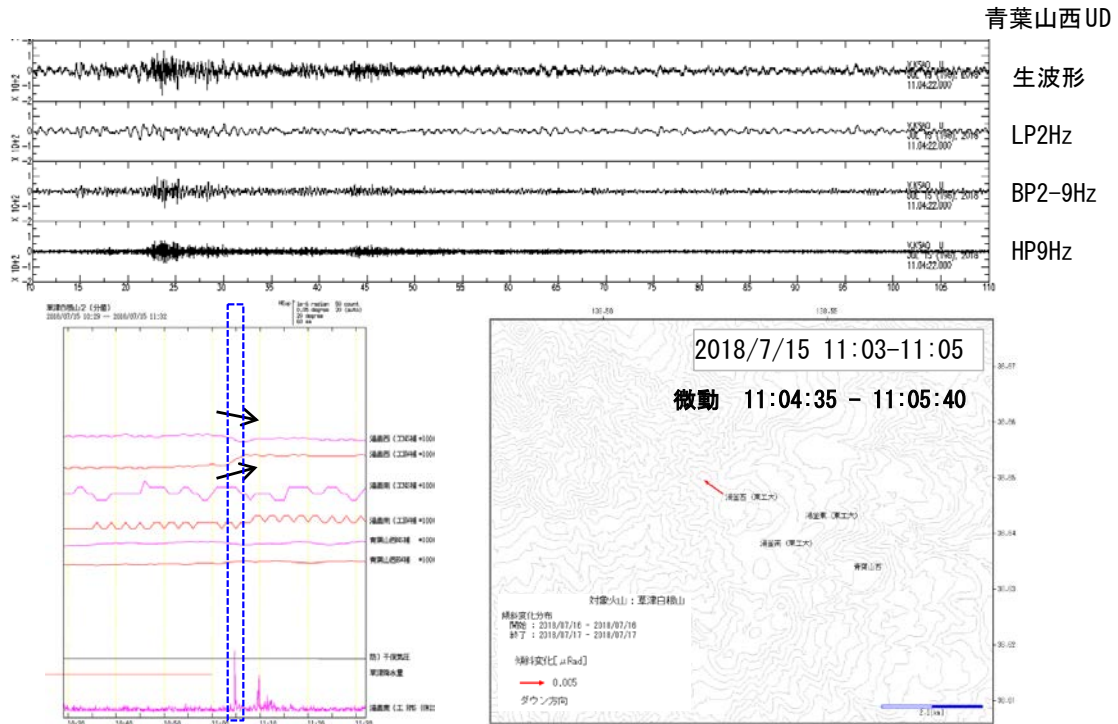
第5-3図 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 2018年6月22日に発生した火山性微動と傾斜変動
 Fig. 5-3. Tremor waveform, tilt changes and displacement vector observed on June 22, 2018.

- 火山性微動は湯釜の北西方向下がりの期間で発生している。



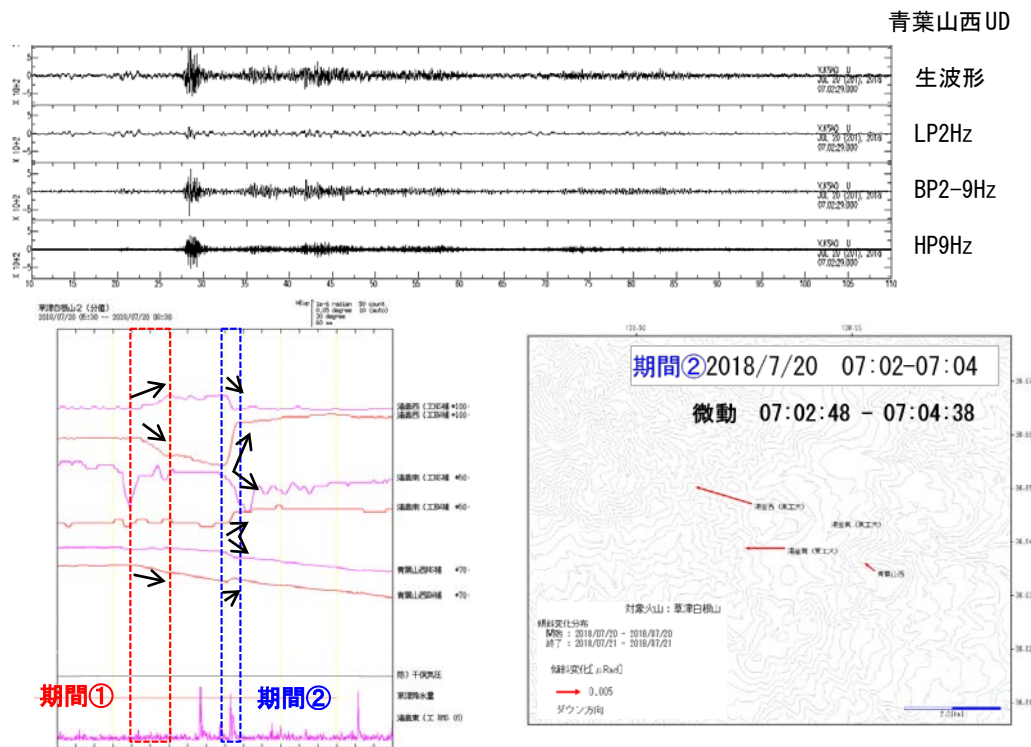
第5-4図 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 2018年7月14日に発生した火山性微動と傾斜変動
 Fig. 5-4. Tremor waveform, tilt changes and displacement vector observed on July 14, 2018.

- 火山性微動は湯釜の北西方向下がりの期間で発生している。



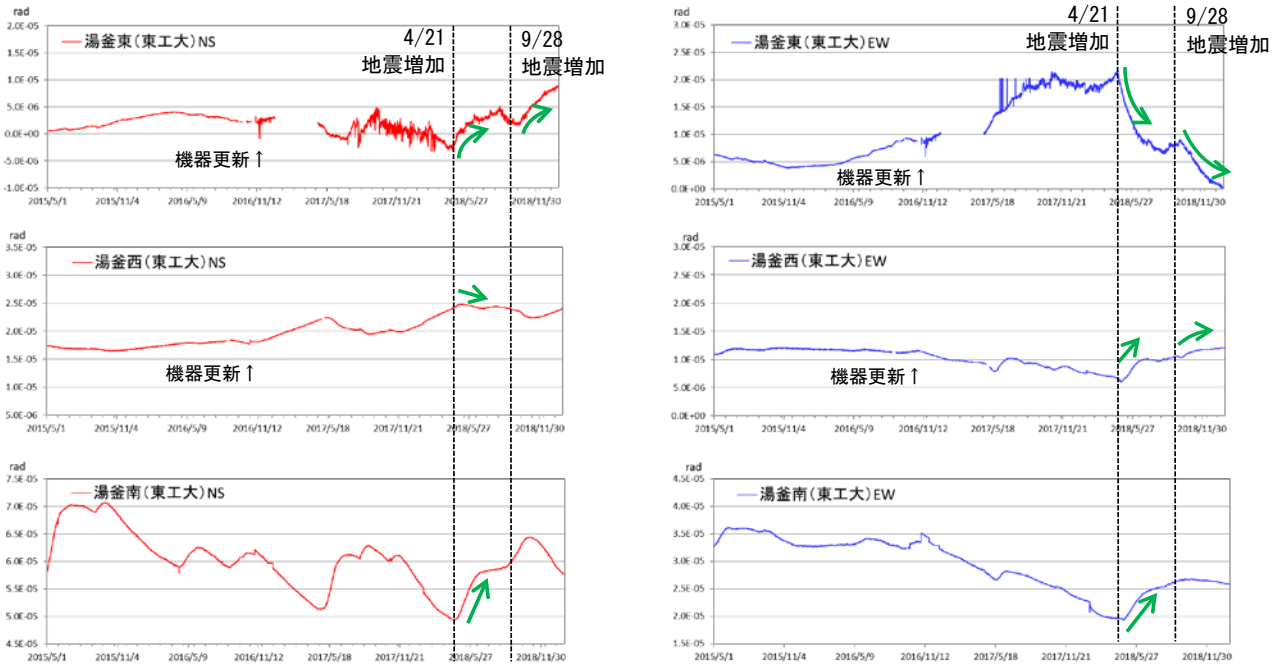
第5-5図 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 2018年7月15日に発生した火山性微動と傾斜変動
 Fig. 5-5. Tremor waveform, tilt changes and displacement vector observed on July 15, 2018.

・火山性微動は湯釜の北西方向下がりの期間で発生している。

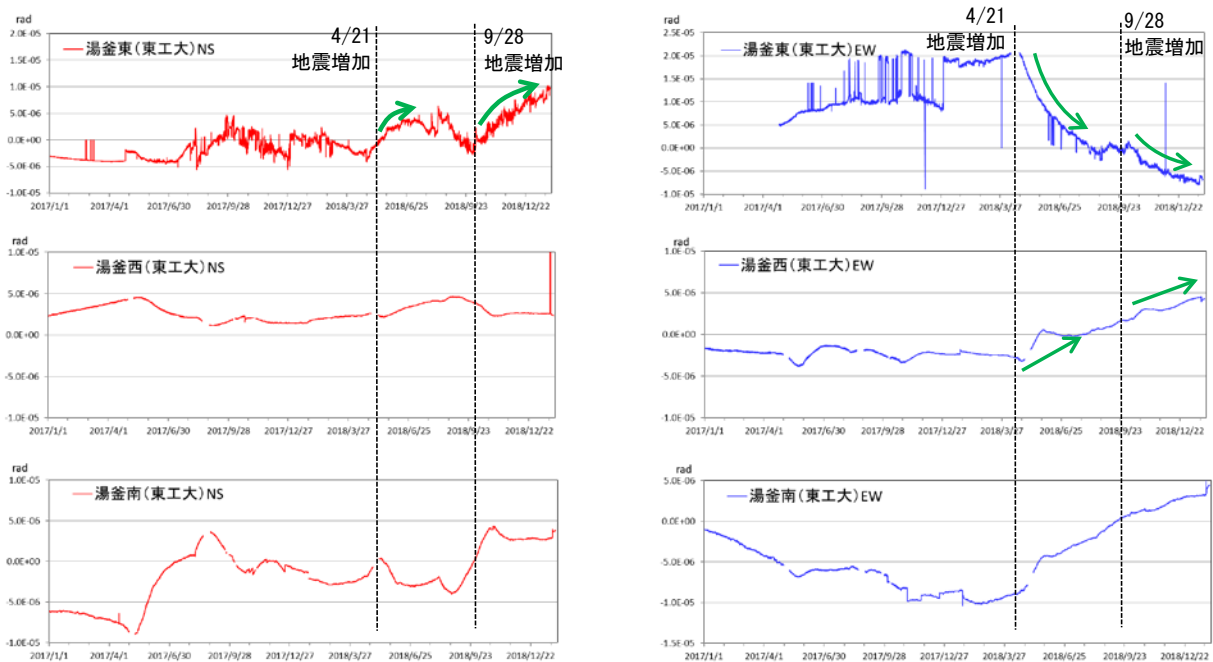


第5-6図 草津白根山（白根山（湯釜付近）） 2018年7月20日に発生した火山性微動と傾斜変動
 Fig. 5-6. Tremor waveform, tilt changes and displacement vector observed on July 20, 2018.

・火山性微動は湯釜の北西方向下がりの期間で発生している。



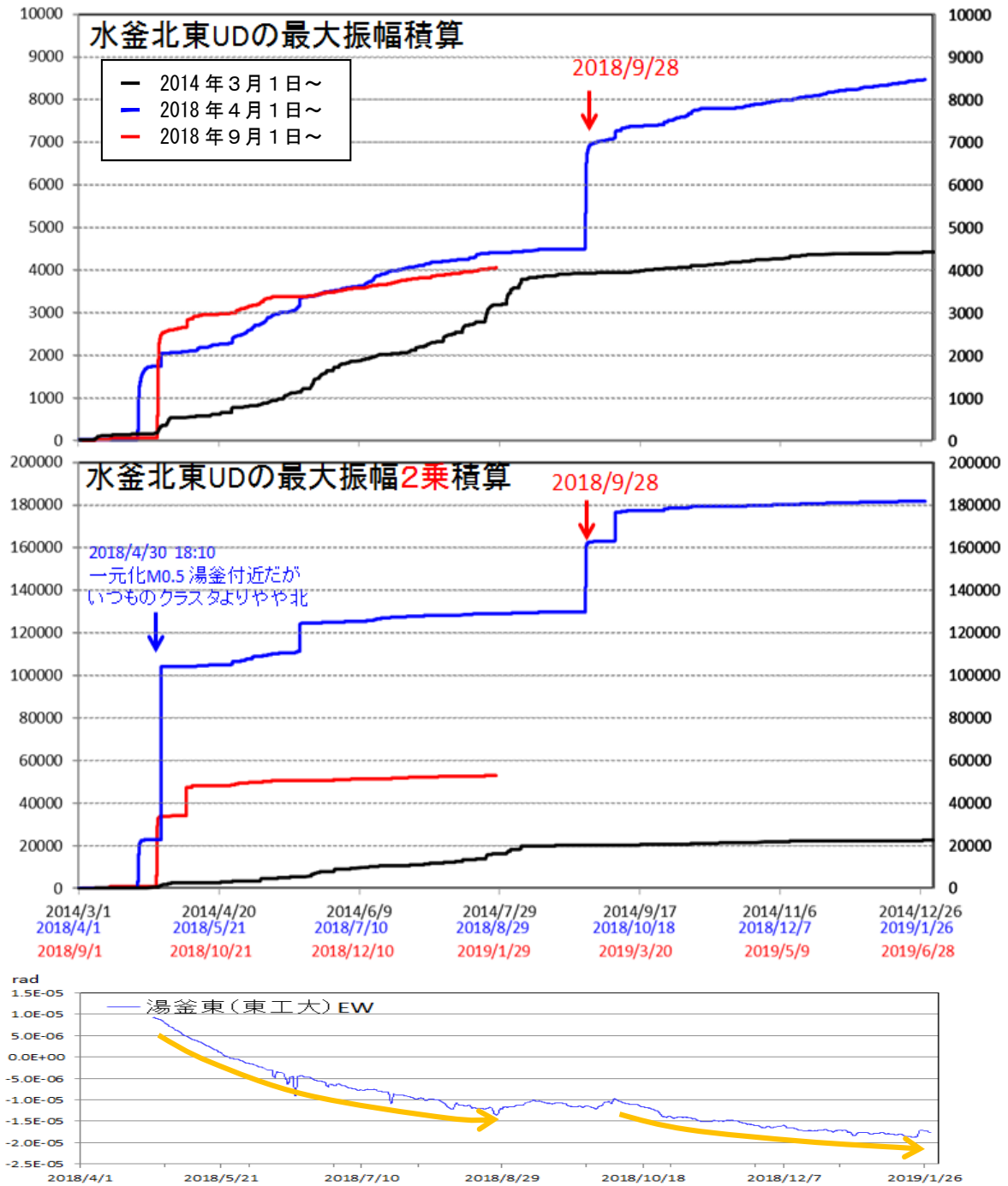
第6図 草津白根山（白根山（湯釜付近））過去3年の傾斜記録（2015年5月1日～2019年1月28日）
 Fig. 6. Tilt meter records from May 1, 2015 to January 28, 2019.



第7図 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～2019年1月28日）
 Fig. 7. Tilt meter records corrected for seasonal changes from January 1, 2017 to January 28, 2019.

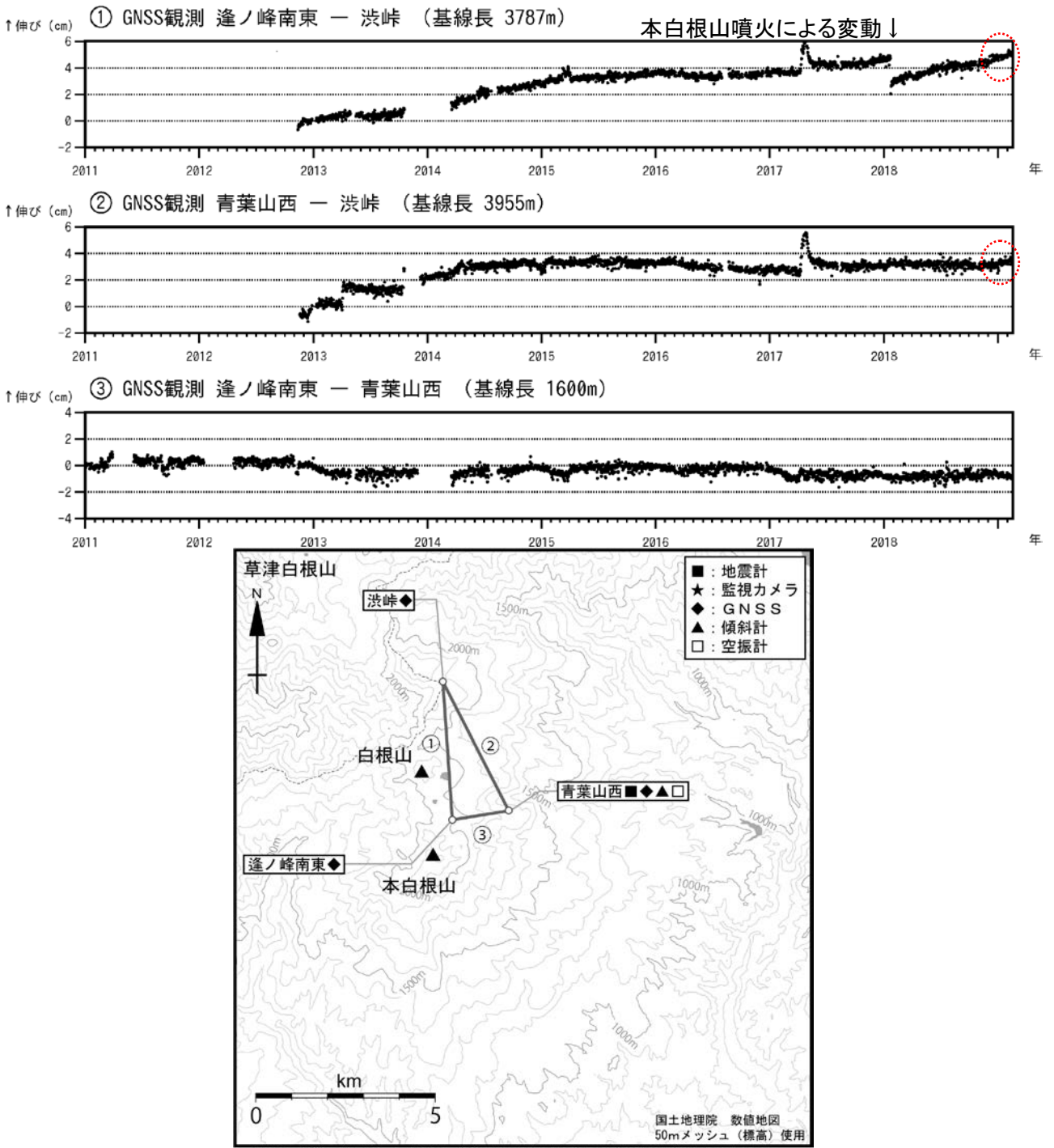
2018年4月の地震増加以前は火山活動による変化がなく、また毎年同様の季節変動があると仮定し、前1年前の値と差分をとることにより、季節変動を補正した。

- ・2018年9月下旬の地震急増以降、湯釜直下の膨張を示す傾斜変動が観測されている。



第8図 草津白根山（白根山（湯釜付近））2014年と2018年の地震活動の比較、及び2018年の傾斜変動
 Fig. 8. The comparison of 2014 and 2018 seismic activity by cumulative squared amplitudes of volcanic earthquake, and tilt meter records in 2018.

- ・2018年の地震活動は2014年の地震活動に比べ、地震活動が急激に活発化している。

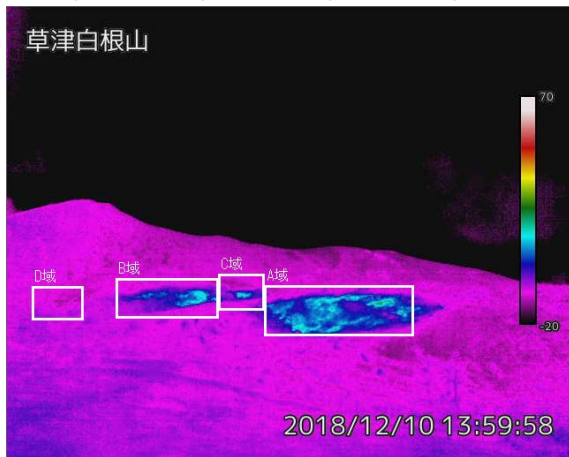
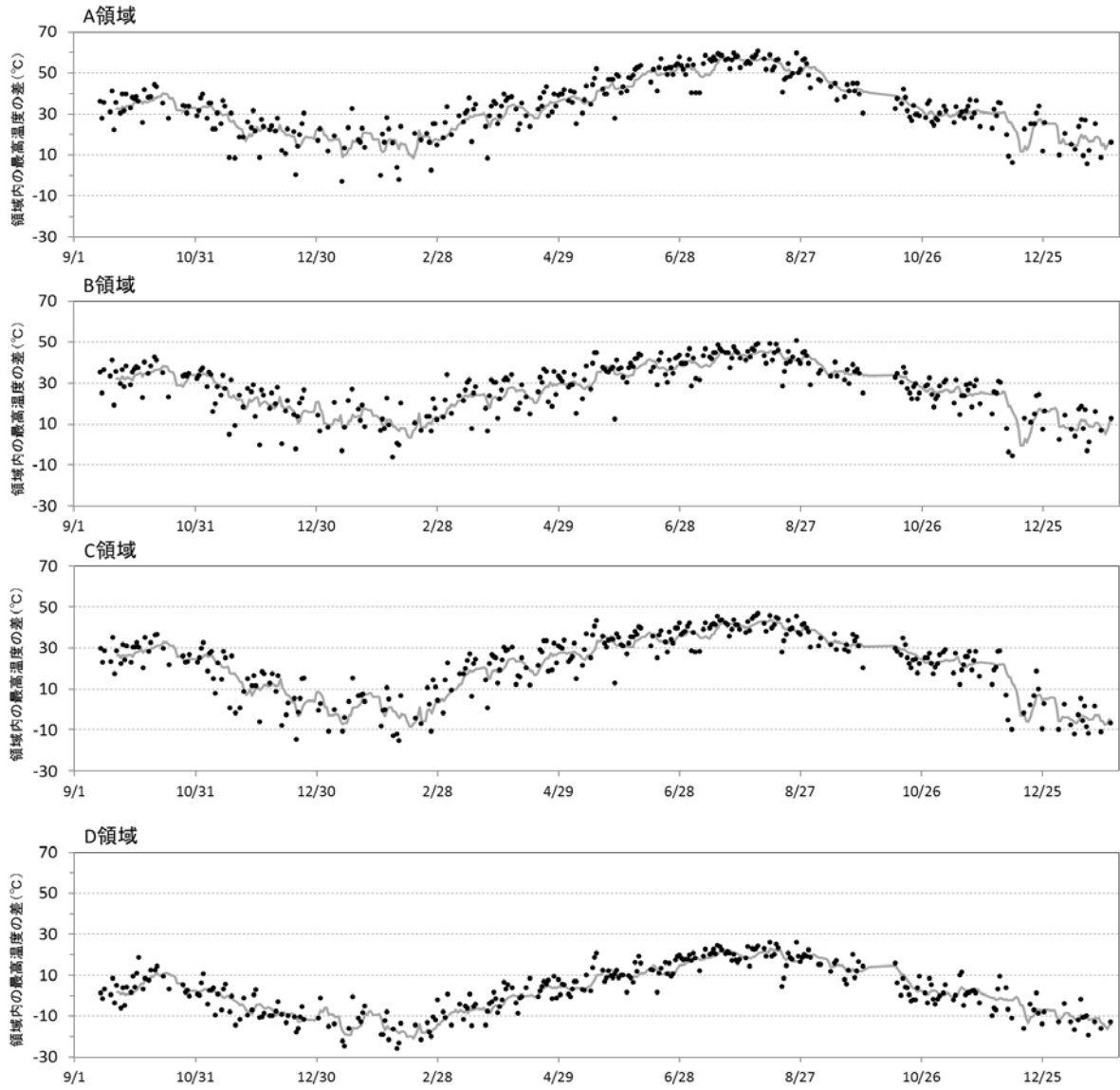


小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
 (国): 国土地理院、(防): 防災科学技術研究所、(工): 東京工業大学、(関地): 関東地方整備局

第9図 草津白根山（白根山（湯釜付近））GNSS連続観測による基線長変化（2011年1月1日～2019年2月17日）

Fig. 9. Baseline length changes by GNSS continuous analysis (January 1, 2011 - February 17, 2018).

- ・ 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。
- ・ ①②の基線で2018年11月頃より伸びの変化（図中赤破線）がみられるが、渋峠観測点の局所的な変動の可能性はある。



第10図 草津白根山（白根山（湯釜付近））赤外熱映像カメラによる水釜北東噴気地帯のそれぞれの領域（A～D領域）の最高温度（2017年9月1日～2019年1月31日）

Fig. 10. Ground temperature by thermal images, in northeastern geothermal area of Mizugama crater (September 1, 2017 – January 31, 20189).

天候不良時のデータは除去し、日射の影響のない毎03時のデータを使用している。実線は前10日間の移動平均を示す。

・2018年の地震活動と対応するような温度変化は認められない。

草津白根山（湯釜）の火山活動に対応した火山ガス組成変化

草津白根山（湯釜）にて多成分火山ガス観測装置 (Multi-GAS) による連続観測を行い、地震頻発と地殻変動に伴う $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の増加を捉えた。これらの観測結果の解釈の一つとして、深部から湯釜下の流体溜まりへの火山性流体の供給が考えられる。

1. 観測手法

草津白根山湯釜火口の北山麓に設置した Multi-GAS を用いて、火山ガス組成の連続観測を行った（図 11）。測定ガス種は SO_2 、 H_2S 、 H_2O 、 CO_2 、 H_2 の全 5 種類である。観測装置の近傍には噴気孔 E が存在するため、測定した火山ガス組成は噴気 E の火山ガス組成を反映していると考えられる。観測は毎日 1 回定時の実施の他、 H_2S 濃度が 10ppm 以上のガスを検出した際も随時観測を行った。1 回の観測時間は 1 時間、1 日の最大観測回数は 4 回である。

2. 解析手法

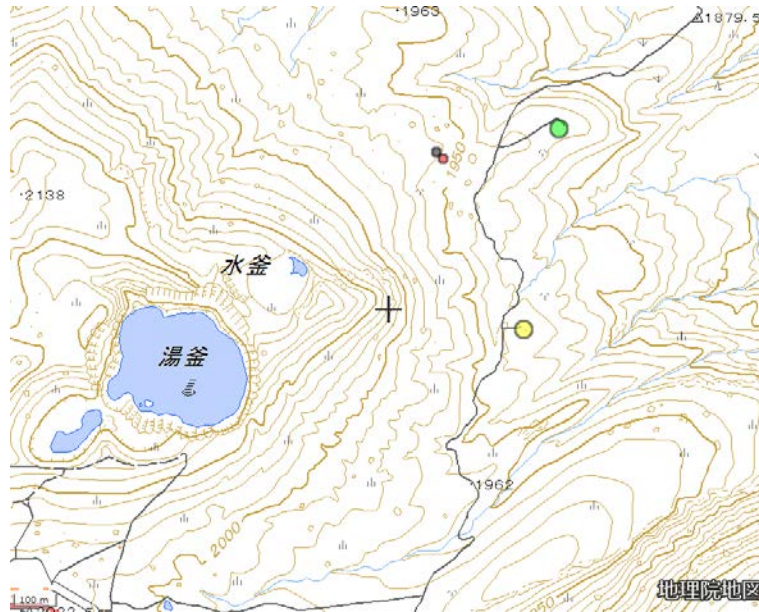
火山ガスの組成比は、各ガスの濃度時系列の相関を取り、回帰直線の傾きから算出した。また、データ選別のため決定係数が 0.6 以上かつ H_2S 濃度差が 1ppm 以上のデータを用いて $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比を計算した。また、センサーの感度変化の影響をセンサー交換時の校正の値を用いて補正した。Multi-GAS で観測した $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比と 2018 年 6 月 19 日、8 月 6 日、10 月 17 日に実施された噴気 E の検知管・ガスサンプリングの結果^[1]は整合的であるため、Multi-GAS で観測した $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の変化はセンサー感度変化等ではなく噴気自体の火山ガス組成の変化と考えられる。

3. 結果

図 12 に観測された $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の時系列を示す。観測期間中、 SO_2 、 H_2 は検出されなかった。 H_2O は大気中の湿度変化等による変動が大きく、相関による組成の計算が困難であった。2018 年 4 月 22 日に A 型・BH 型地震の頻発が観測され、その後、傾斜計応答による火山浅部の膨張と $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の増加が観測された（図 12）。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は地震頻発前後で 4 程度から 6 程度へと増加した。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比はその後 2018 年 9 月頃まで一定で推移した。類似した火山ガス組成・地震活動・傾斜計応答の変化は 2018 年 9 月から 10 月にかけても観測され、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は 6 程度から 9 程度まで増加した。観測期間中、 SO_2 および H_2 は検出されなかった。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の変化要因は様々な可能性が考えられるため一義的な解釈は難しいが、地震活動と地殻変動と明示的な連動がある事から深部からの流体供給を反映している可能性がある。

4. 引用文献

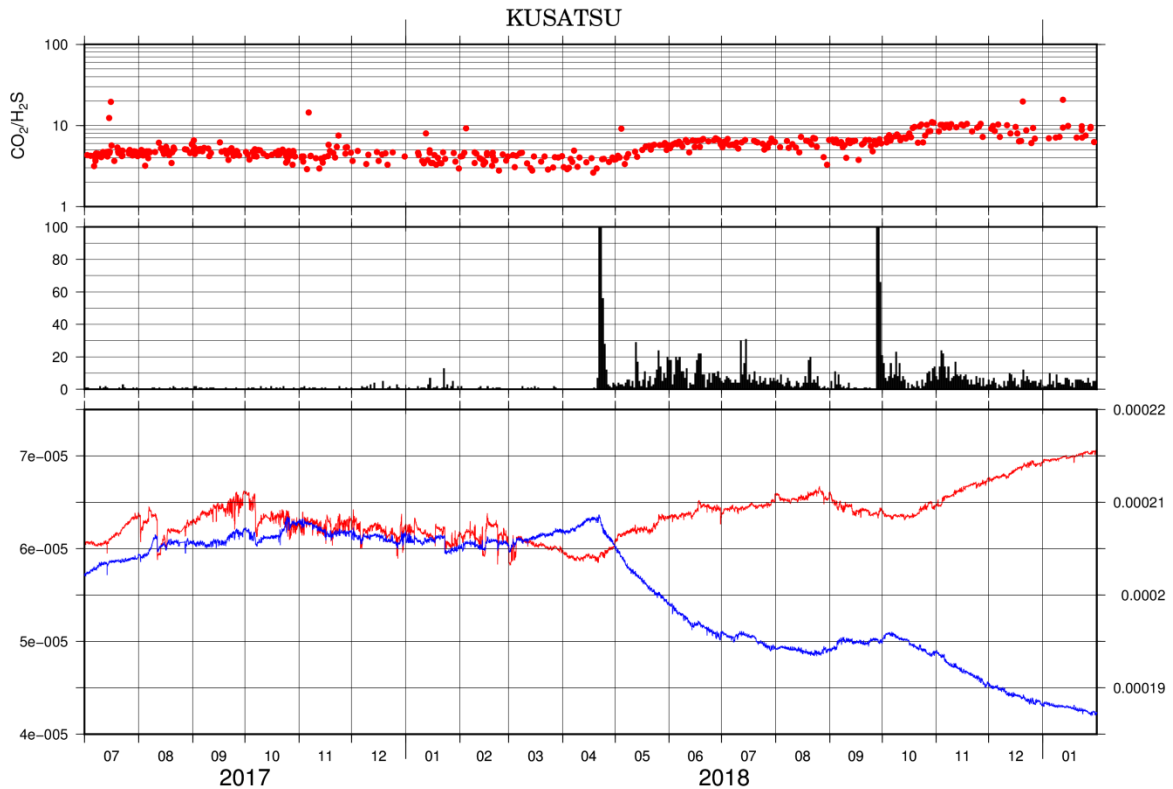
[1] 東海大・気象研・東京大学大学院・東工大、草津白根山噴気の化学組成・安定同位体比（2014 年 7 月～2018 年 10 月）、第 142 回火山噴火予知連絡会資料



第11図 草津白根山（白根山（湯釜付近））観測点と噴気の位置

Fig. 11. Location map of fumaroles and observation sites.

黒丸は火山ガス観測点、緑丸は水釜北東観測点（地震回数（湯釜付近、逢ノ峰付近）計数基準点）、黄色丸は湯釜東観測点（東工大、傾斜計）。地図の描画に国土地理院の電子地形図を複製した。



第12図 草津白根山（白根山（湯釜付近））火山ガス比（CO₂/H₂S）、地震回数、傾斜変化

Fig. 12. Ratio of volcanic gases, daily number of volcanic earthquakes, tilt changes.

上段：CO₂/H₂S比の変化。中段：A型・BH型地震の発生回数。下段：湯釜東観測点（東工大）の傾斜計応答。赤線が南北成分（主軸）、青線が東西成分（副軸）を示す。

本白根山

○概況

・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、2018年6月から8月にかけてと10月下旬から11月下旬にかけて発生頻度に高まりがみられたが、12月以降ほとんど観測されていない。

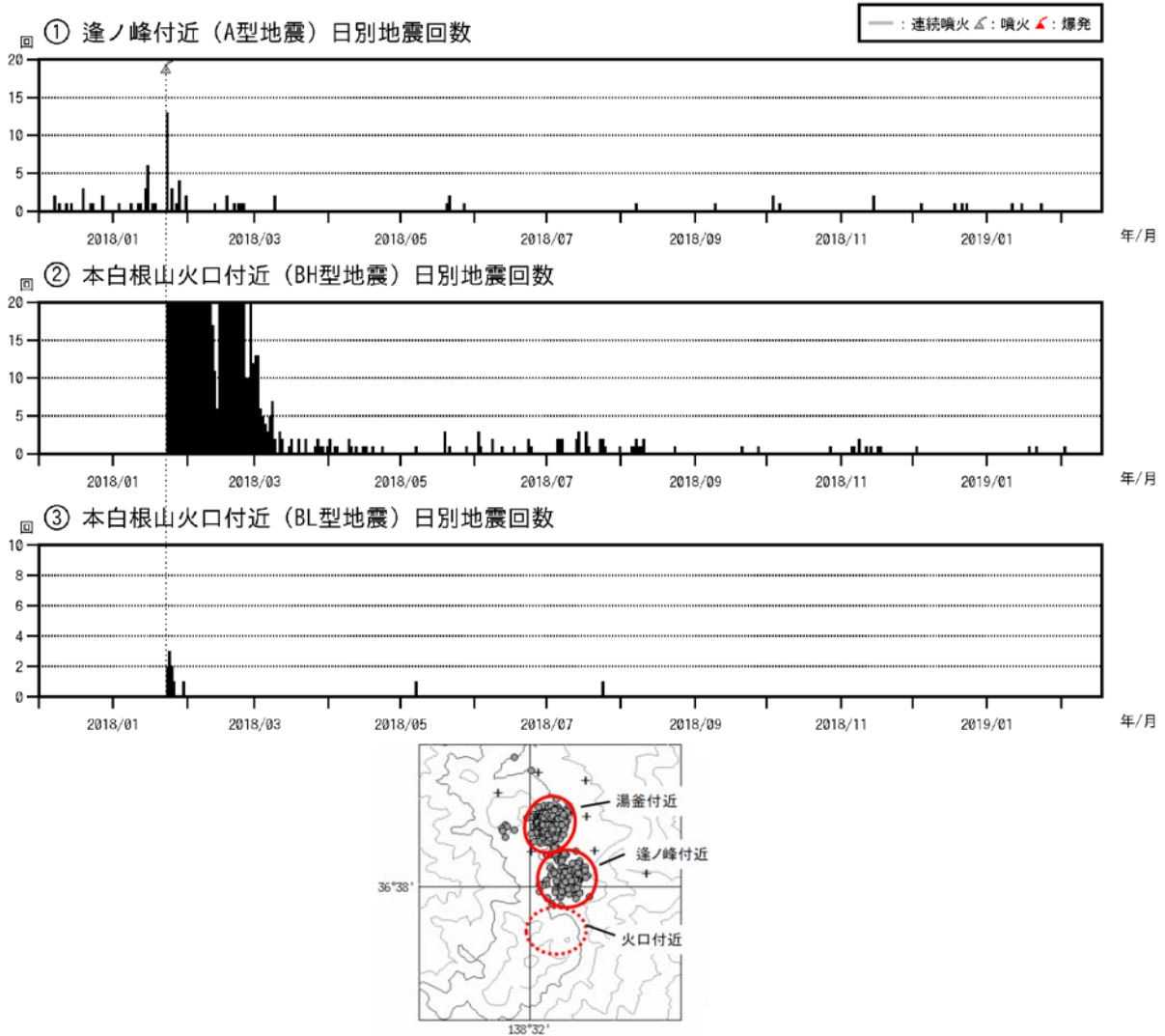
逢ノ峰付近を震源とする地震は、3月後半から5月前半にかけて観測されていなかったが、5月下旬と8月以降に時々発生している。

・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

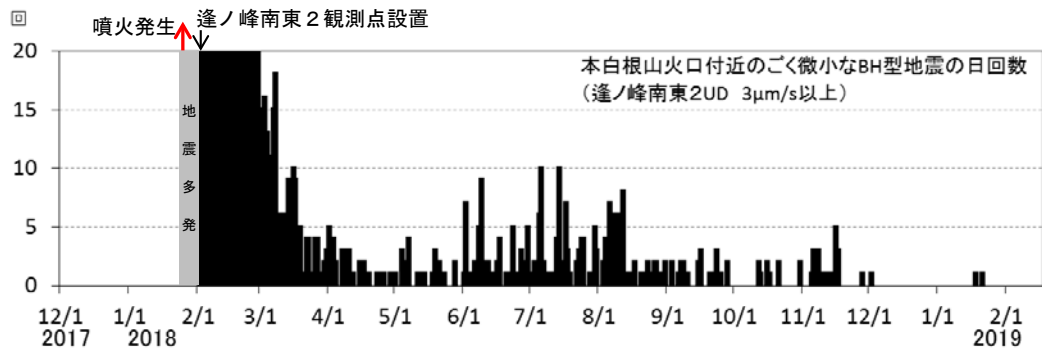
GNSS連続観測では、2018年に入ってから、草津白根山の北西もしくは西側深部の膨張の可能性を示唆する変化がみられているが、本白根山をはさむ基線に特段の変化は認められない。



第13図 草津白根山（本白根山） 火山性地震の活動経過（2017年12月1日～2019年2月17日）

Fig. 13. Daily number of earthquake of Motoshiranesan from December 1, 2017 to February 17, 2019.

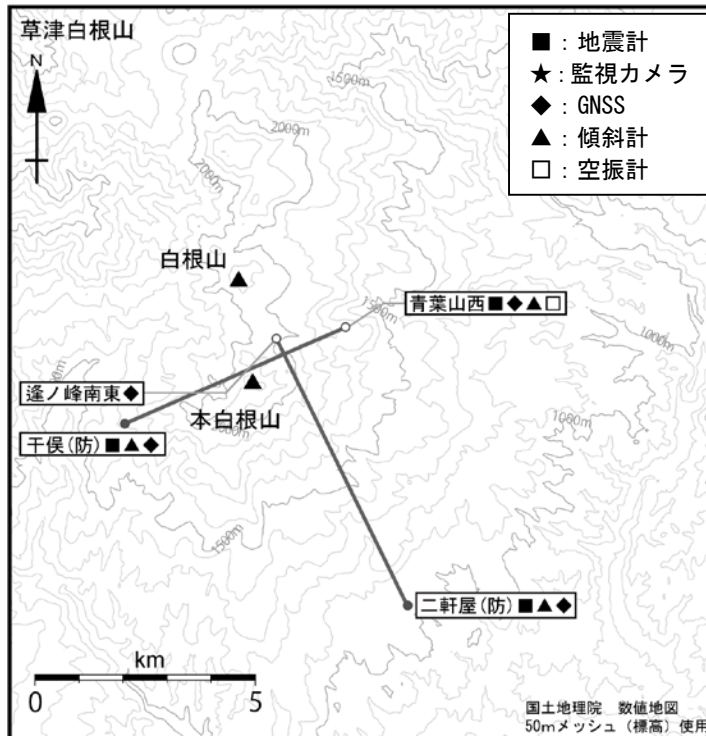
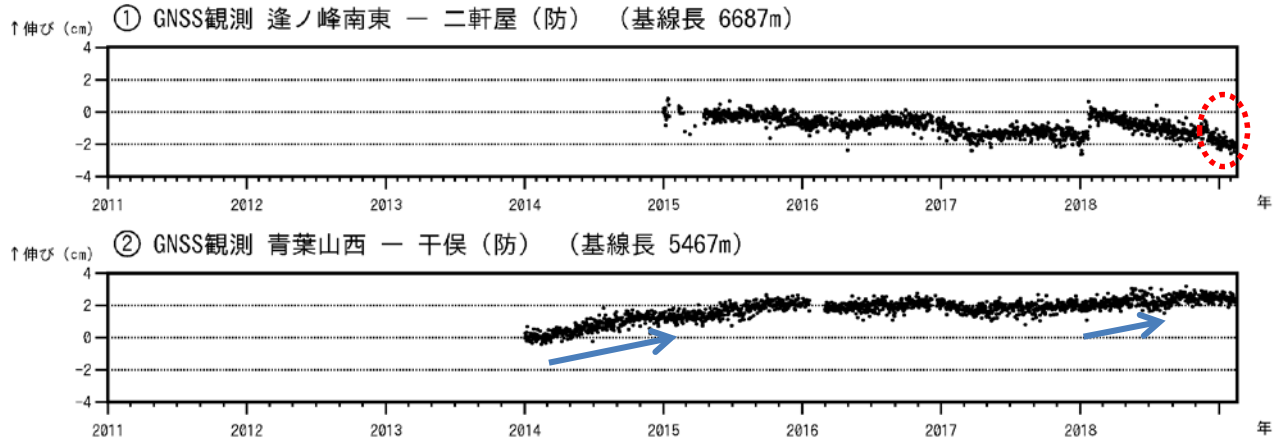
- ・ 逢ノ峰付近を震源とする火山性地震は、2018年8月以降時々発生している。
- ・ 本白根山火口付近を震源とする火山性地震は、2018年10月下旬から11月下旬にかけて発生頻度に高まりがみられた。12月以降は地震の発生はほとんど観測されていない。



第14図 草津白根山（本白根山） 本白根山火口付近のごく微小な地震活動（2018年2月2日～2019年2月17日）

Fig. 14. Daily number of earthquake including those with small amplitude of Motoshiranesan from February 2, 2018 to February 17, 2019.

- ・ ごく微小な火山性地震も2018年12月以降ほとんど観測されていない。

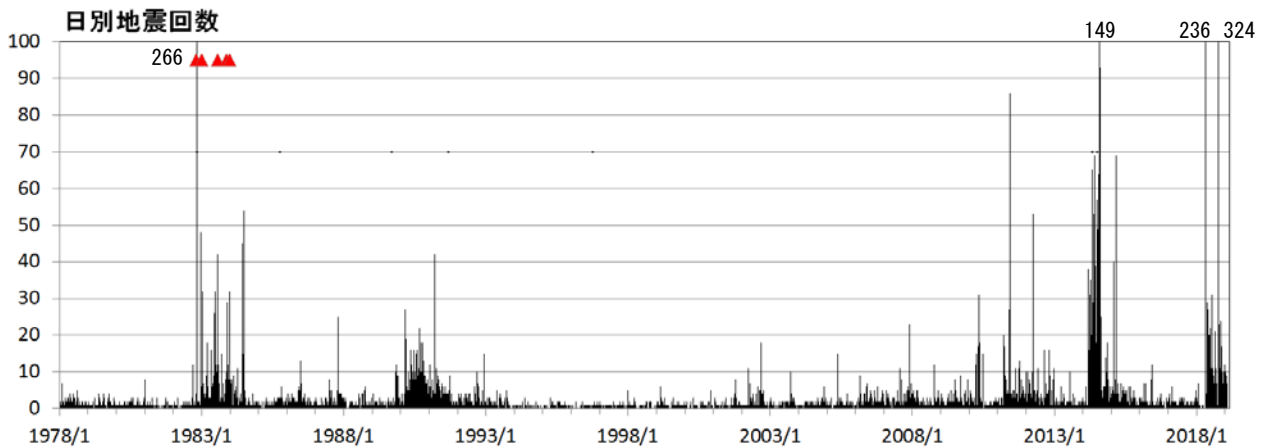


小さな白丸(○)は気象庁、小さな黒丸(●)は気象庁以外の機関の観測点位置を示しています。
 (国): 国土地理院、(防): 防災科学技術研究所、(工): 東京工業大学、(関地): 関東地方整備局、(町) 草津町

第15図 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~2018年2月17日)
 Fig. 15. Baseline length changes by GNSS continuous analysis (January 1, 2011 - February 17, 2018).

- ・ 逢ノ峰南東-二軒屋(防)の基線では、2018年末頃より縮みの変化(赤破線)がみられている。これは二軒屋(防)観測点の挙動によるもので、火山活動による変動ではないと考えられる。
- ・ 青葉山西-干俣(防)の基線では、2014年と2018年に深部の膨張によると考えられる変動(青矢印)がみられる。

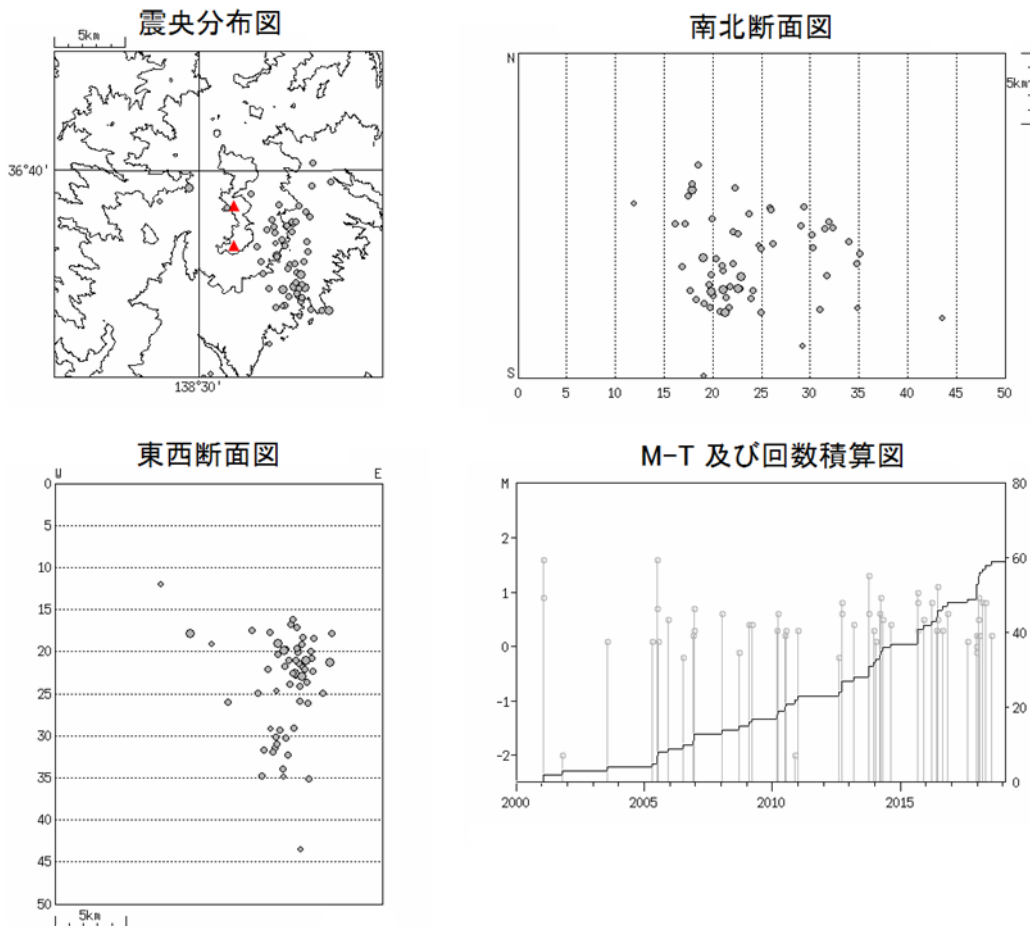
草津白根山



第16図 草津白根山 日別地震回数 (1978年1月1日～2019年2月17日)

Fig. 16. Daily number of volcanic earthquakes from January 1, 1978 to February 17, 2019).

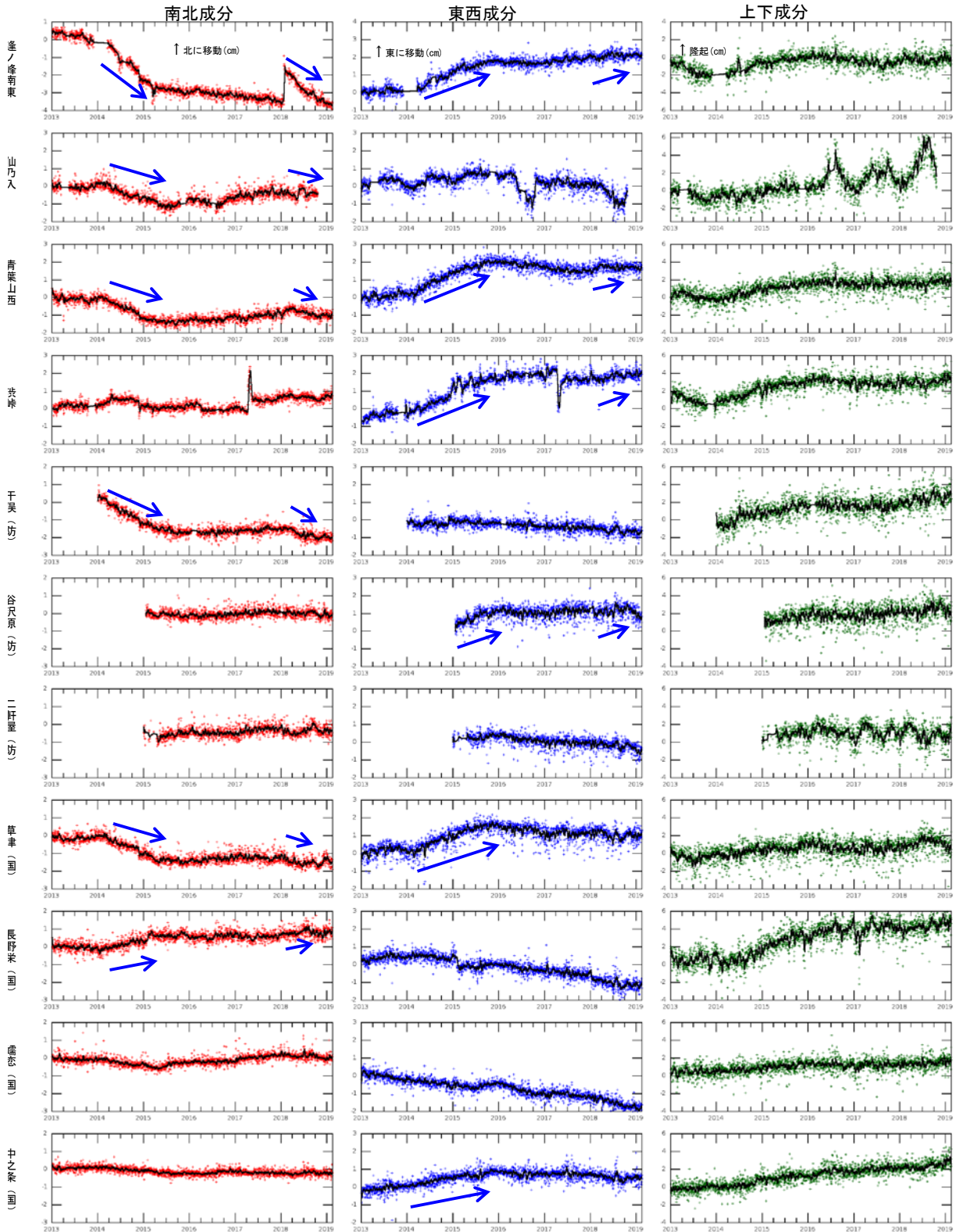
- ・地震活動は、2002年頃から徐々に高まっており、2011年以降は増減を繰り返している。



第17図 草津白根山 一元化震源による深部低周波地震活動 (2000年1月1日～2019年1月31日)

Fig. 17. Hypocenter distribution of the deep low-frequency earthquakes around Kusatsu-Shiranesan from January 1, 2000 to January 31, 2019 (JMA catalogue).

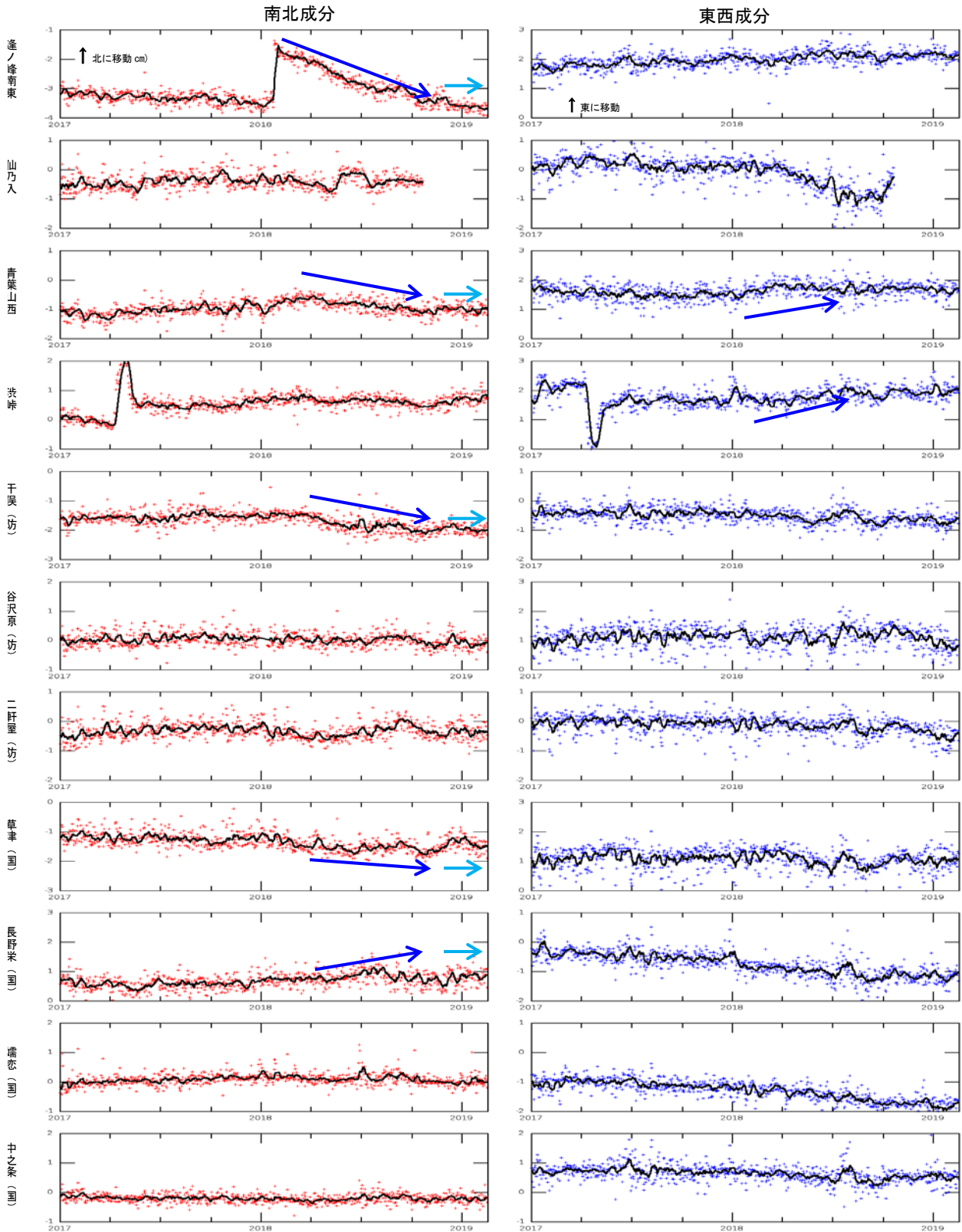
- ・深部低周波地震は、草津白根山の東山麓に分布している。
- ・最近では、2010年、2014年、2016年、2018年にまとまって発生している。



第18-1図 草津白根山 GNSS各観測点の変動(2013年1月1日~2019年1月29日)(長野(国)固定)
 Fig. 18-1. Results of GNSS continuous observations from January 1, 2013 to January 29, 2019.

(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(国)のトレンドを除去した。
 嬭恋(国)は, 浅間山の膨張性地殻変動の影響を受けている。

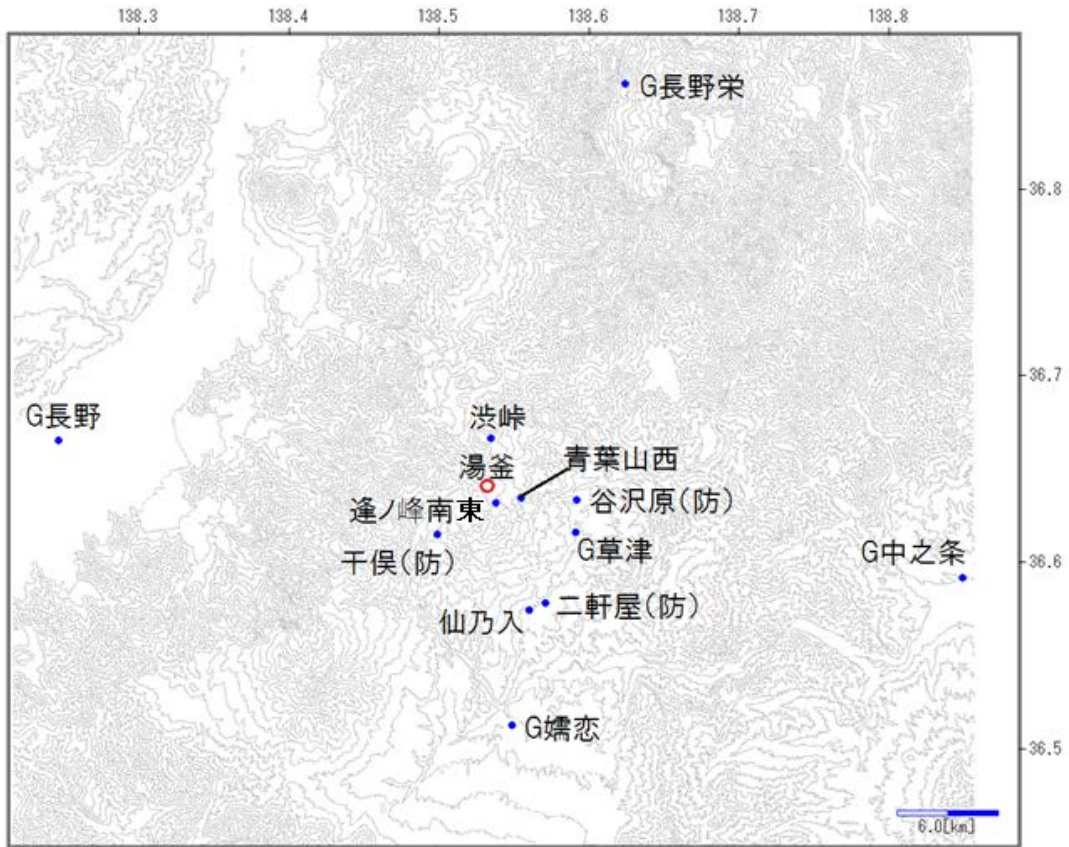
- 2014年から2015年にかけて、草津白根山の北西～西側の深部の膨張を示唆する変化が観測された(図中の青矢印)。それと類似した変化が2018年に入ってから、幾つかの観測点で確認できる。



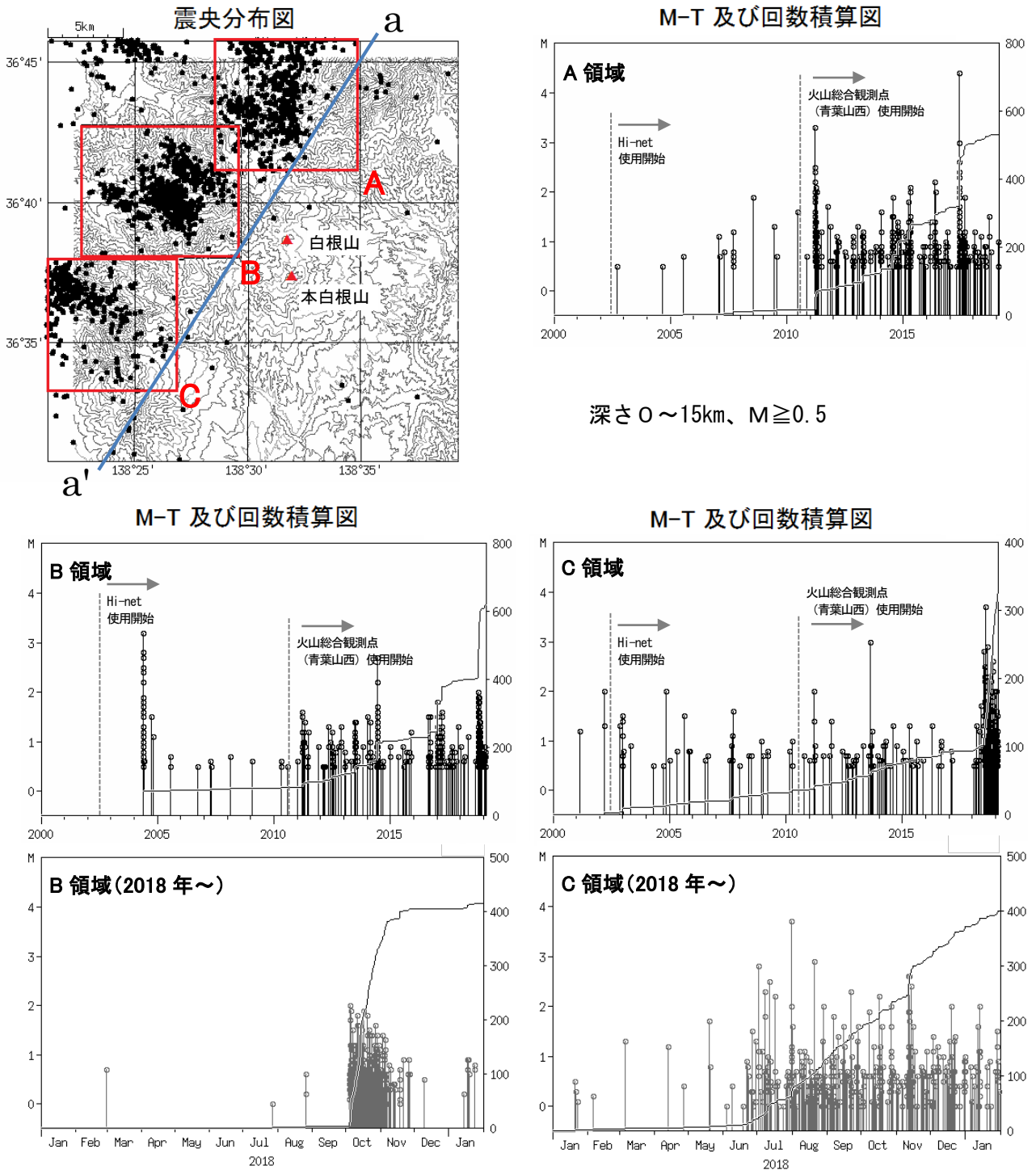
第18-2図 草津白根山 GNSS各観測点の変動(2017年1月1日~2019年2月17日)(長野(国)固定)
第18-1図の時間軸を拡大。

Fig.18-2. Results of GNSS continuous observations from January 1, 2017 to February 17, 2019.

- ・2014年から2015年にかけてみられた変化と類似した変化(図中の青矢印)が2018年に入ってから幾つかの観測点で見られていたが、10月頃から停滞している。



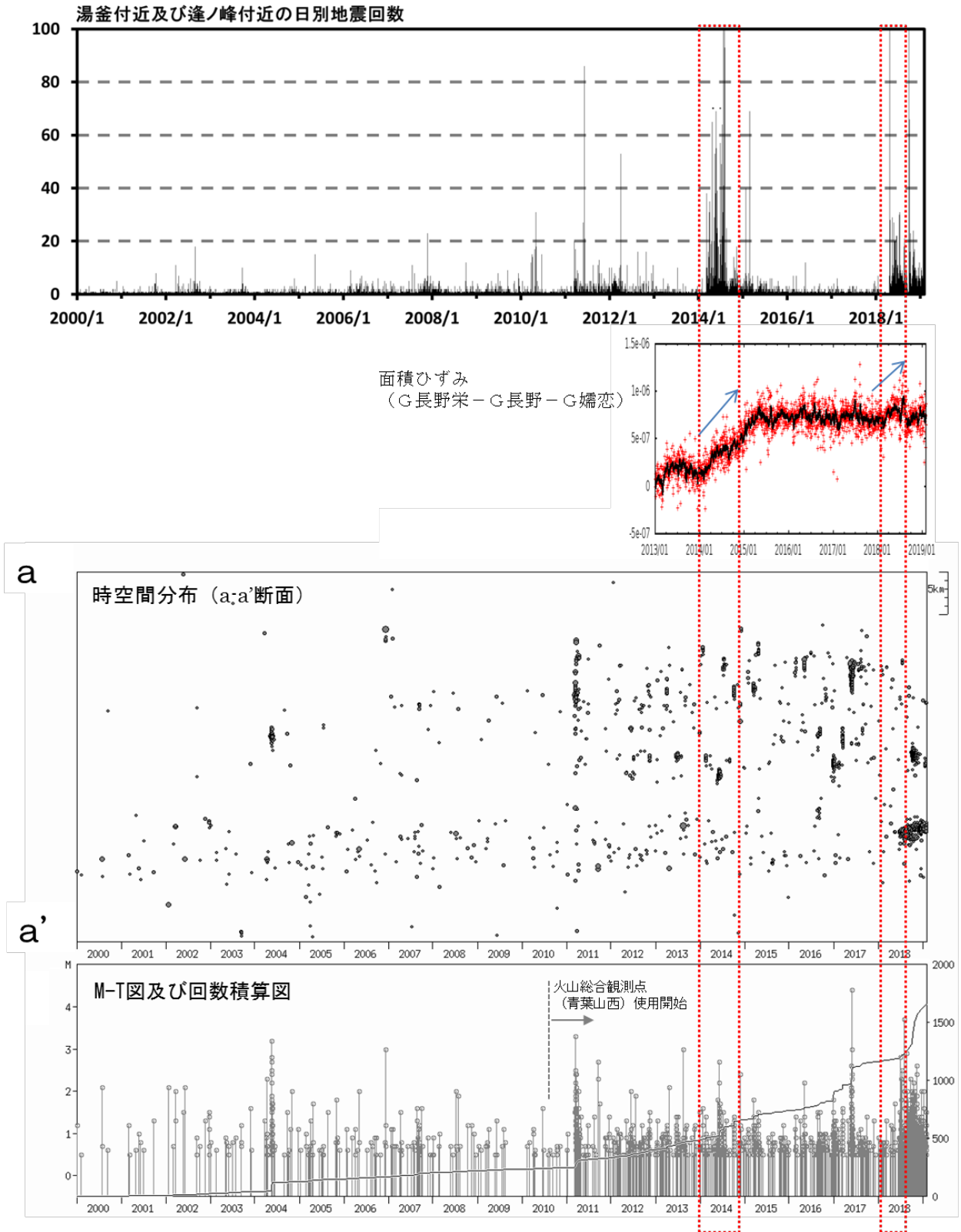
第19図 草津白根山 GNSS観測点
Fig. 19. Location map of GNSS observation sites.



第20図 草津白根山 一元化震源による周辺の地震活動(2000年1月1日~2019年1月31日)
 Fig. 20. Hypocenter distribution around Kusatsu-Shiranesan from January 1, 2000 to January 31, 2019 (JMA catalogue).

a-a' は図21の断面方向を示す

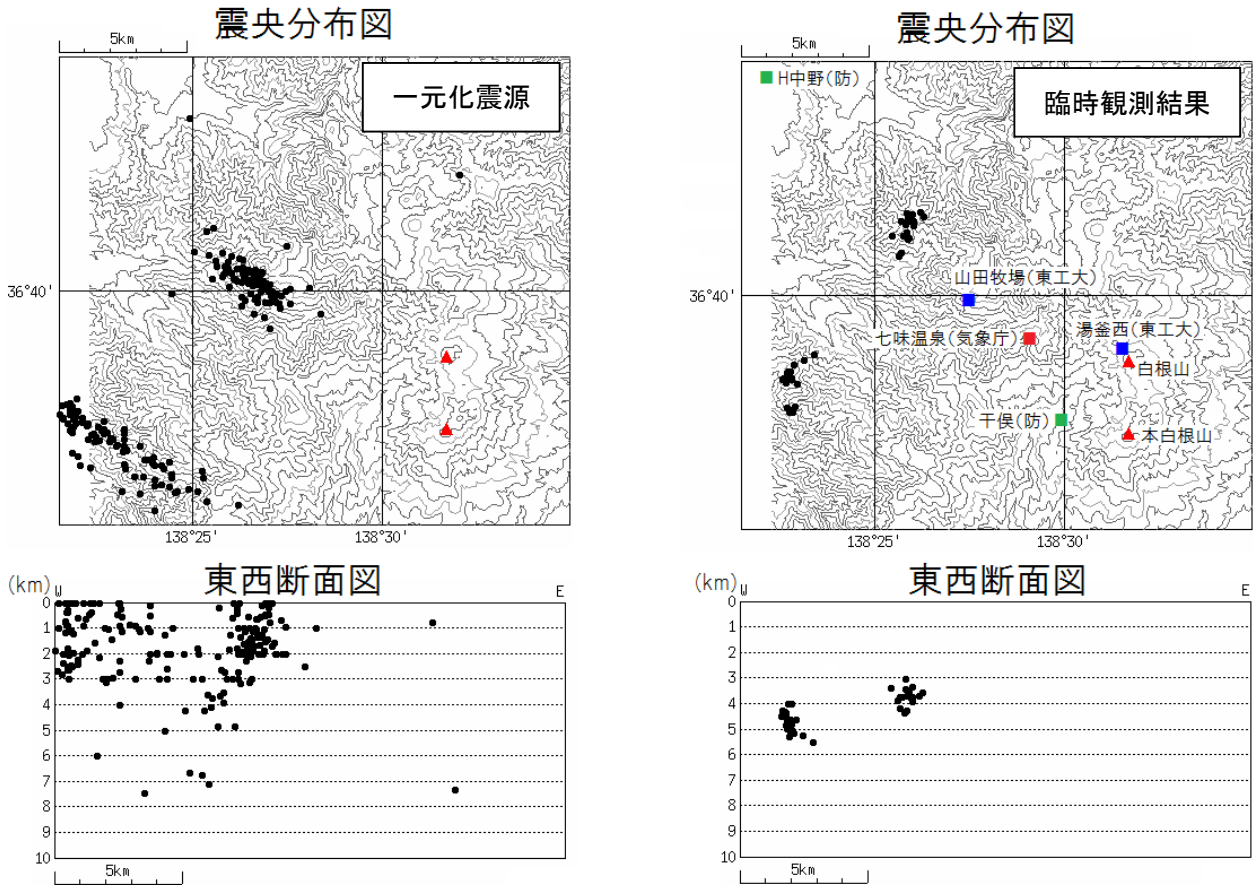
- 2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震後、草津白根山の北西から北にかけての地震活動が活発化している。
- 2018年6月頃からC領域、10月頃からB領域の地震活動が高まった。B領域は12月以降、静穏に経過しているが、C領域は減少しつつも継続している。



第21図 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～2019年2月6日)

Fig. 21. Seismicity around Kusatsu-Shiranesan from January 1, 2008 to February 6, 2019 (JMA catalogue).

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

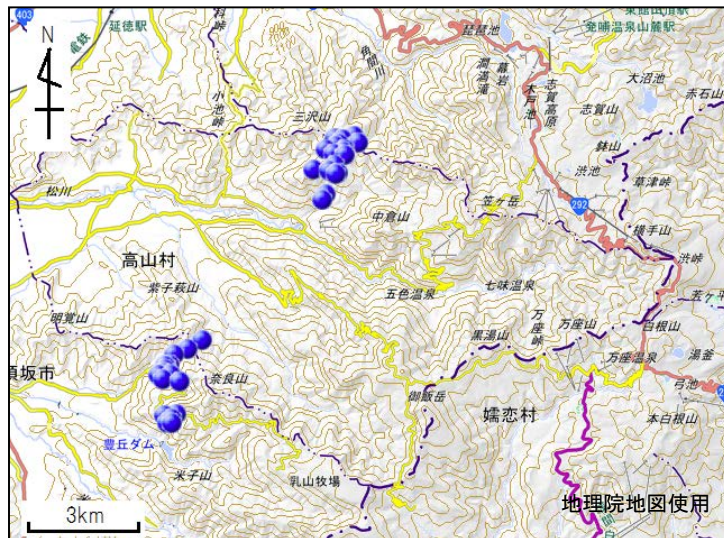


第22図 草津白根山 草津白根山の北西及び西側の震源分布 (2018年10月27日～12月7日)

Fig. 22. Hypocenter distribution around Kusatsu-Shiranesan from October 27, 2018 to December 7, 2018.

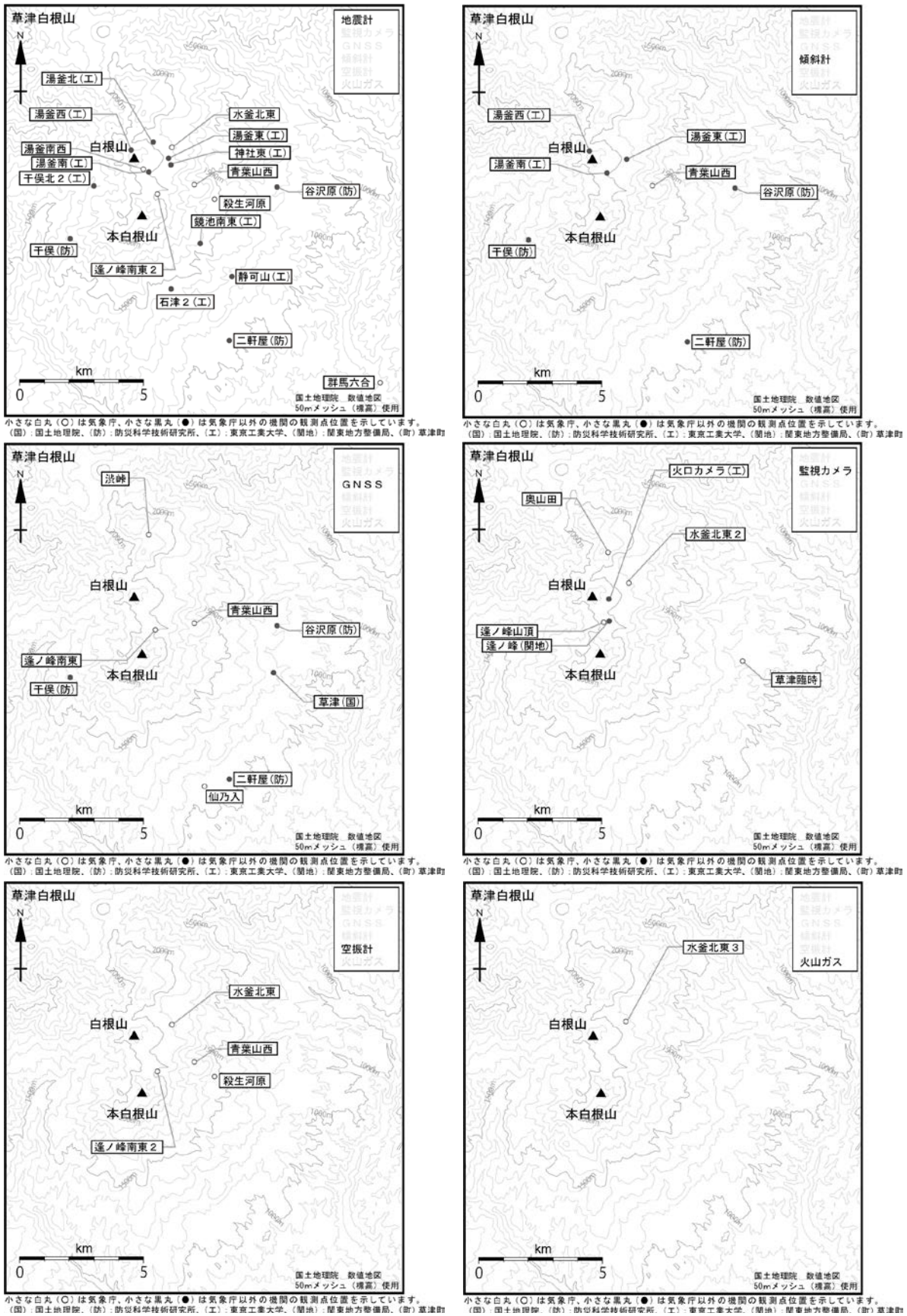
右図は震源計算に用いた観測点を合わせて表示している。なお、震源計算に当たっては、東工大の観測点及び防災科学技術研究所の観測点のデータも使用させていただいた。

- ・ 2018年以降みられている草津白根山の北西側の地震活動の詳細な震源を調査するために、七味温泉付近に現地収録の地震観測点を設置した。
- ・ 一元化震源では、北西側及び西側いずれのクラスターも北西-南東の直線状に分布しているが、臨時観測結果では、比較的狭い領域に震源が集中している。



第23図 草津白根山 臨時観測による震央分布 (第22図の右の震央を地理院地図にプロットしたもの)

Fig. 23. Hypocenter distribution used by temporary seismograph observation from October 27, 2018 to December 7, 2018.



第28図 草津白根山 観測点配置図

Fig. 28. Location map of observation sites.

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。