

吾妻山の火山活動（2018年10月24日～2019年2月10日）

Volcanic activity of Azumayama Volcano (October 24, 2018 - February 10, 2019)

仙台管区気象台地域火山監視・警報センター
Regional Volcanic Observation and Warning Center,
Sendai Regional Headquarters, JMA

1. 概要

2018年5月頃から大穴火口周辺の隆起・膨張を示す地殻変動が継続している。7月22日の火山性微動発生以降、地殻変動の変化率が増加するとともに、火山性微動が繰り返し発生し、大穴火口付近浅部の地震活動が活発化している。火山ガスの組成比（二酸化硫黄/硫化水素）上昇や地熱域の拡大も観測されている。火山活動の高まった状態が継続しており、今後、小規模な噴火が発生する可能性がある。

2. 地震活動（第1図-②③⑤～⑧、第2～5図、第7図、第8図、第15図、第25～27図）

大穴火口付近浅部を震源とする火山性地震は、2018年8月中旬頃から増減を繰り返しながら多い状態で経過している。11月から12月頃にかけて低周波地震が増加し、12月中旬頃からは調和型地震の割合が増えている。10月中旬以降、観測点間の振幅比（浄土平^{じょうどだいら}/吾妻小富士東）や初動到達時間差から震源がより浅くなったことが示唆される。

2018年10月から11月頃にかけて火山性微動の増加がみられた。最大振幅は2～6 $\mu\text{m/s}$ 程度で、継続時間は数分～10数分がほとんどであったが、30分を超える長い火山性微動もあった。

3. 地殻変動（第2図、第6～14図、第25～27図）

浄土平観測点での傾斜観測と山体ならびに周辺のGNSS連続観測では、大穴火口付近を中心とする山体膨張を示す変化が2018年5月頃から継続している。浄土平観測点でみられる大穴火口方向隆起の傾斜変動は、12月上旬頃からわずかな鈍化が認められるが、現在も隆起傾向を維持したまま推移している。膨張源は、大穴火口付近直下の浅部とやや深部と推定され、やや深部の体積増加率は12月以降鈍化傾向にあると考えられる。

2018年8月以降、数分から数日間まで様々な継続時間をもった傾斜イベントが継続して発生し、大穴火口付近の地下浅部で発生する長周期地震（周期10秒程度）や火山性微動・低周波地震と同期した短期的な傾斜変動も断続的に発生しており、熱水活動の活発な状態が続いていると考えられる。

4. 火山ガスの状況（第15図、第25図）

2018年7月下旬頃から火山ガスの組成比（二酸化硫黄/硫化水素）が上昇し、9月以降は高い値で推移している。深部からの高温火山ガス供給が続いていることが示唆される。

5. 全磁力変化の状況（第16～18図、第25図、第27図）

大穴火口周辺に設置している全磁力観測装置による観測では、観測を開始した2015年11月以降、大穴火口北西の地下浅部での熱消磁が継続し、2018年9月以降、更に進んでいることが示唆され、大穴火口付近の地下浅部が引き続き高温化していると考えられる。

6. 噴気など表面現象の状況（第1図-①④、第19～27図）

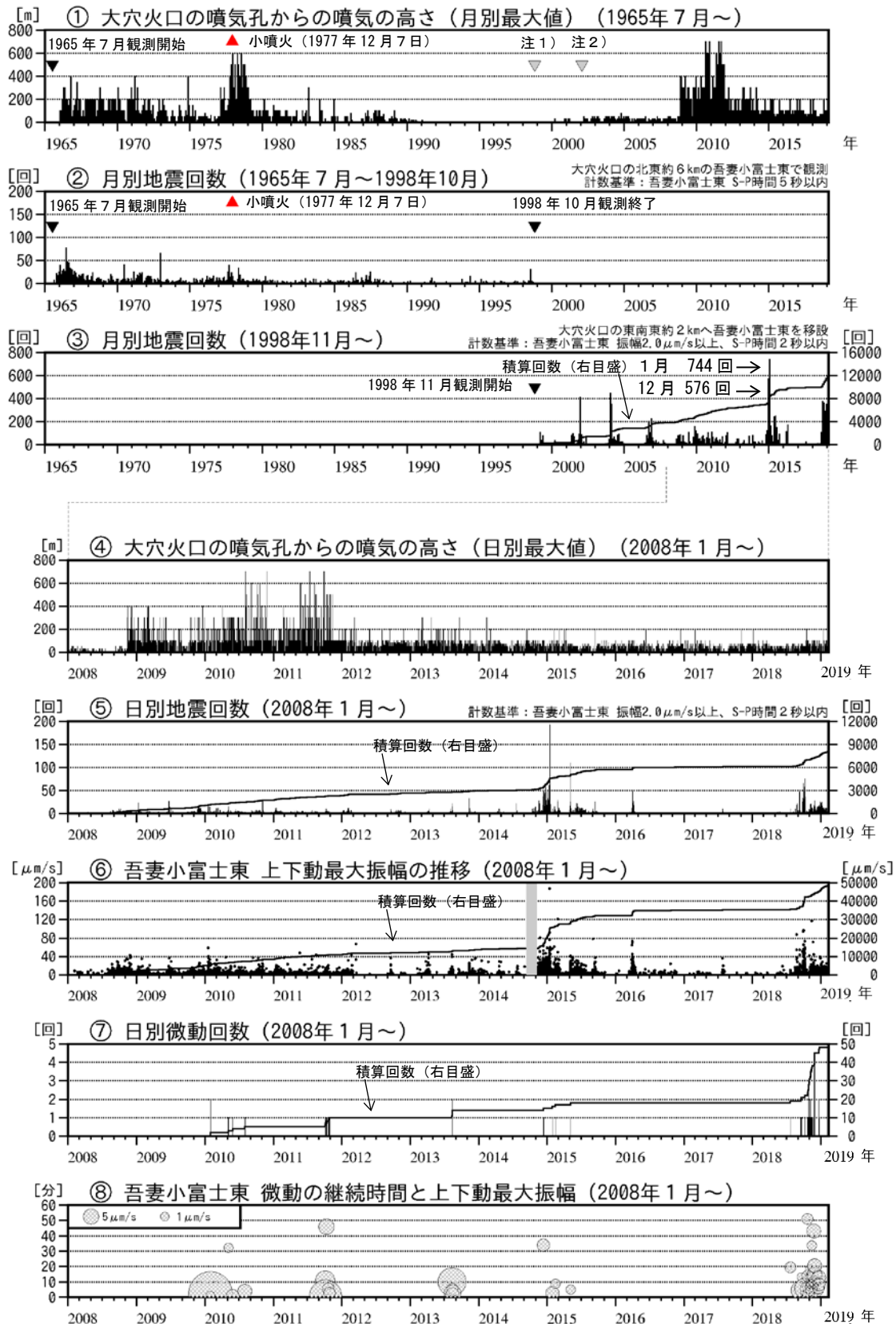
^{かみのでら}上野寺に設置している監視カメラ及び東北地方整備局が設置している浄土平監視カメラによる観測では、大穴火口（一切^{いっさい}経山^{きょうざん}南側山腹）の噴気の高さは1月13日に一時的に200mを観測したが、その他の期間は100m以下で経過した。また、東吾妻山山頂に設置している監視カメラ（2018年10月26日運用開始）による観測では、大穴火口北西で弱い噴気が認められた。

浄土平3監視カメラの熱映像データでは、2018年10月中旬頃から大穴火口及びその周辺で地熱域の拡大が認められる。

* 2019年3月29日受付

1月10日に陸上自衛隊東北方面隊の協力により実施した上空からの観測では、引き続き大穴火口とその周辺に地熱域が認められた。また、大穴火口から高さ約50mの噴気を観測し、大穴火口北西では弱い噴気を確認した。前回(2018年10月22日)の上空からの観測で拡大がみられた地熱域は今回も認められたが、さらなる地熱域の拡大はみられなかった。

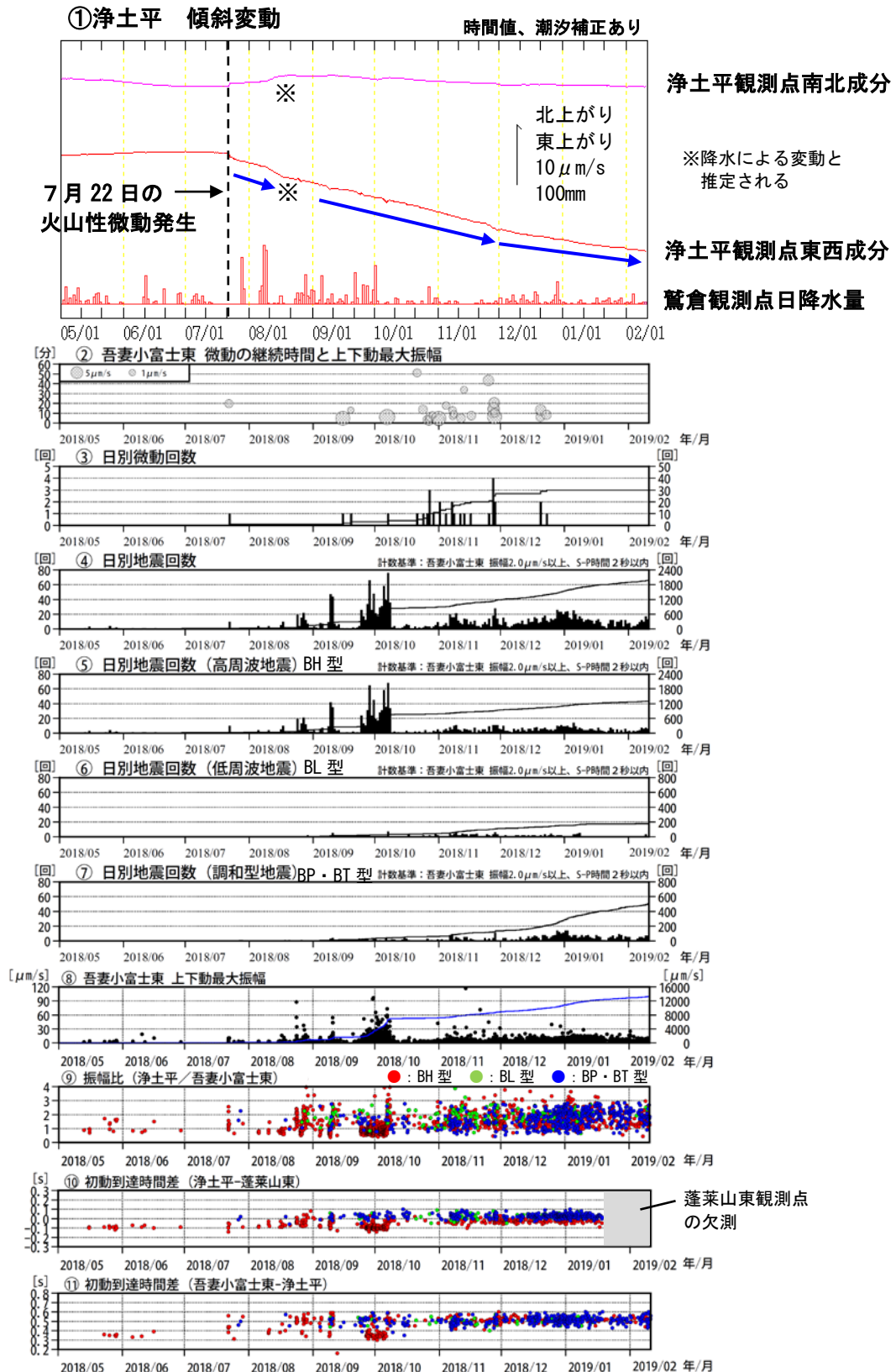
この資料は気象庁のほか、国土交通省東北地方整備局、国土地理院、東北大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、公益財団法人地震予知総合研究振興会のデータを利用して作成した。



第1図 吾妻山 火山活動経過図（1965年7月～2019年2月10日）

- ・注1）1998年以前は福島地方気象台（大穴火口の東北東約20km）からの目視観測で、1998年からは監視カメラ（大穴火口の東北東約14km）による観測である。
- ・注2）2002年2月以前は定時（09時、15時）及び随時観測による高さ、2002年3月以後は全ての時間で観測したデータによる高さ。

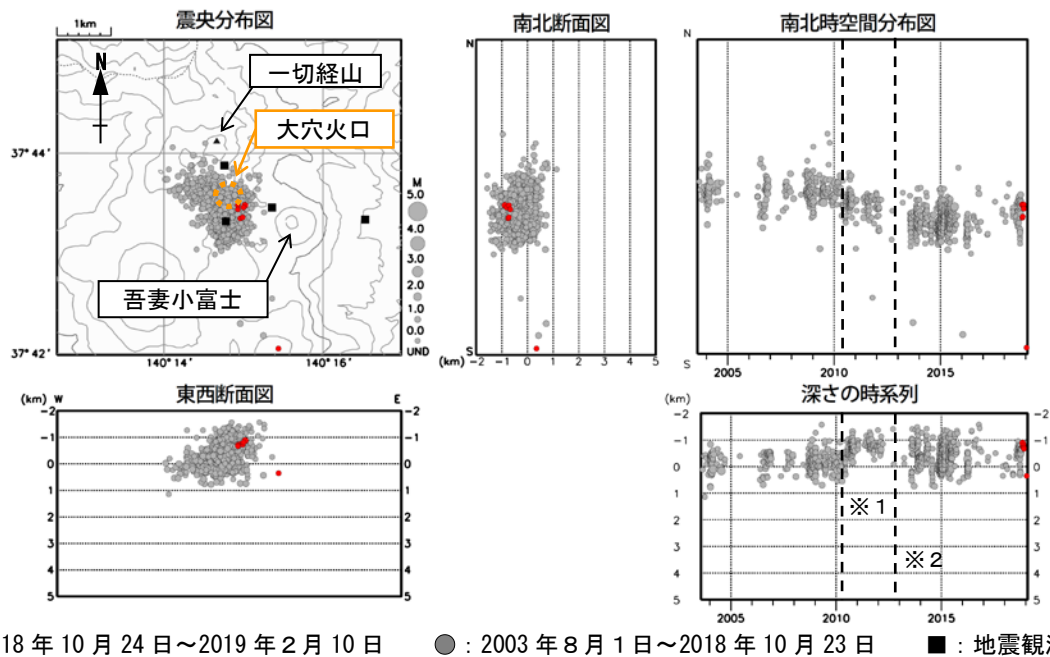
Fig. 1. Volcanic activity of Azumayama (July 1965 - February 10, 2019).



第2図 吾妻山 傾斜変動と火山性地震タイプ別地震活動経過図（2018年5月～2019年2月10日）

- ・2018年12月上旬頃から大穴火口方向隆起の傾斜変動の変動率が7月以降の定常的な変動率よりもわずかに鈍化している（青矢印）。
- ・10月中旬以降、観測点間の振幅比（浄土平/吾妻小富士東）の大きな地震がみられるようになり、初動到達時間差の傾向にも変化がみられ、これらから震源が浅くなったことが示唆される。

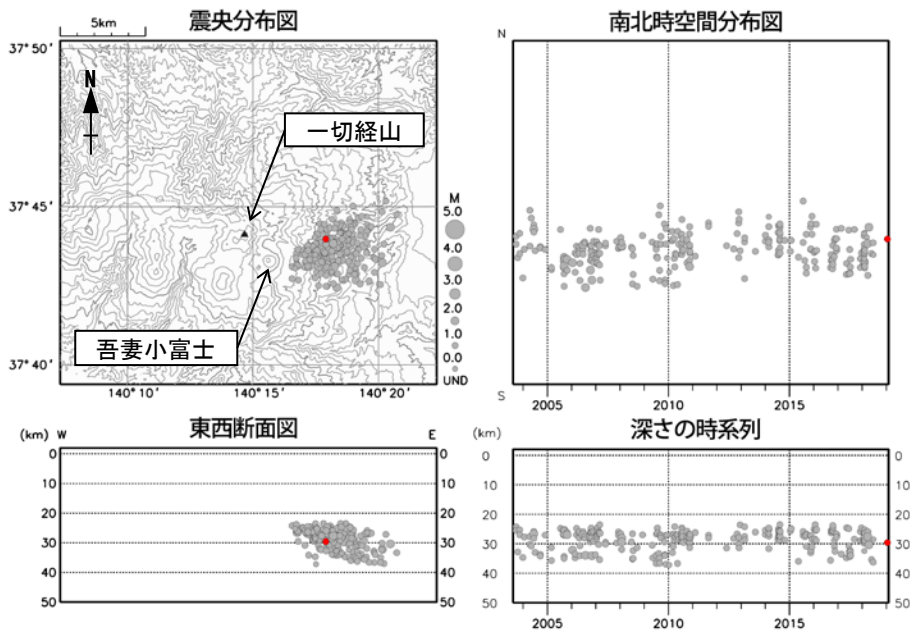
Fig. 2. Volcanic activity of Azumayama (May 2018 - February 10, 2019).



第3図 吾妻山 地震活動 (2003年8月～2019年2月10日)

- ・表示条件：相数7相以上
 - ・震源計算には“hypomh(Hirata and Matsu’ura, 1987)”を使用している。
 - ・2010年2月24日～6月29日の震源は、吾妻小富士東の地震計のテレメータ装置の時刻校正に不具合があったため、機器の内部温度で時刻補正値を求め吾妻小富士東の検測値を補正した。
 - ・この地図の作成には、国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。
- ※1 2010年9月1日から浄土平観測点を震源計算に使用しているため、震源がそれ以前より浅く求まっている。
- ※2 2012年12月1日以降、観測点の移設更新の影響により、震源がやや南側に分布する傾向がみられる。

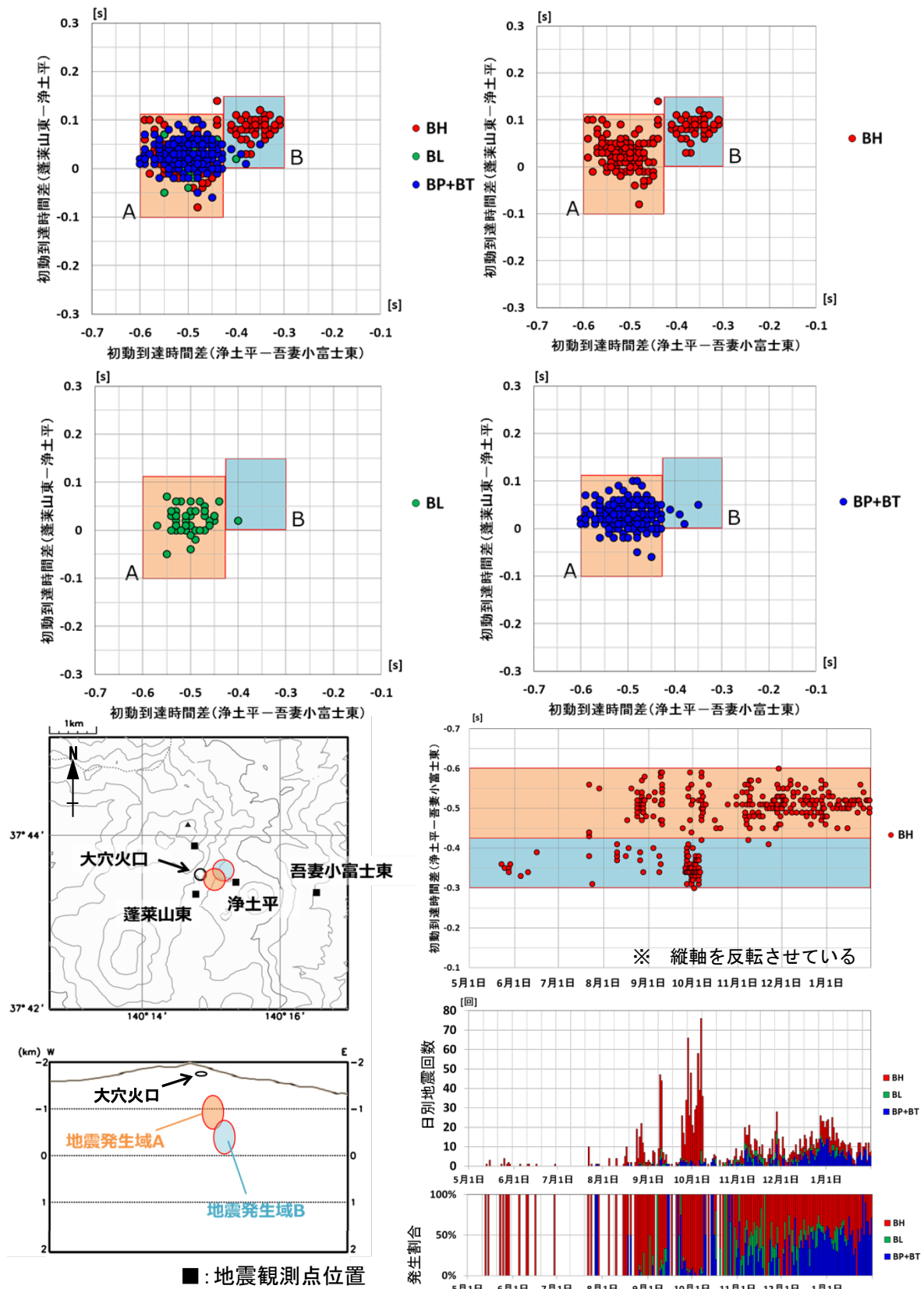
Fig. 3. Hypocenter distribution in Azumayama (August 2003 - February 10, 2019).



第4図 吾妻山 一元化震源による深部低周波地震活動 (2003年8月～2019年2月10日)

- ・この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。
- ・表示している震源には、震源決定時の計算誤差の大きなものが表示されることがある。

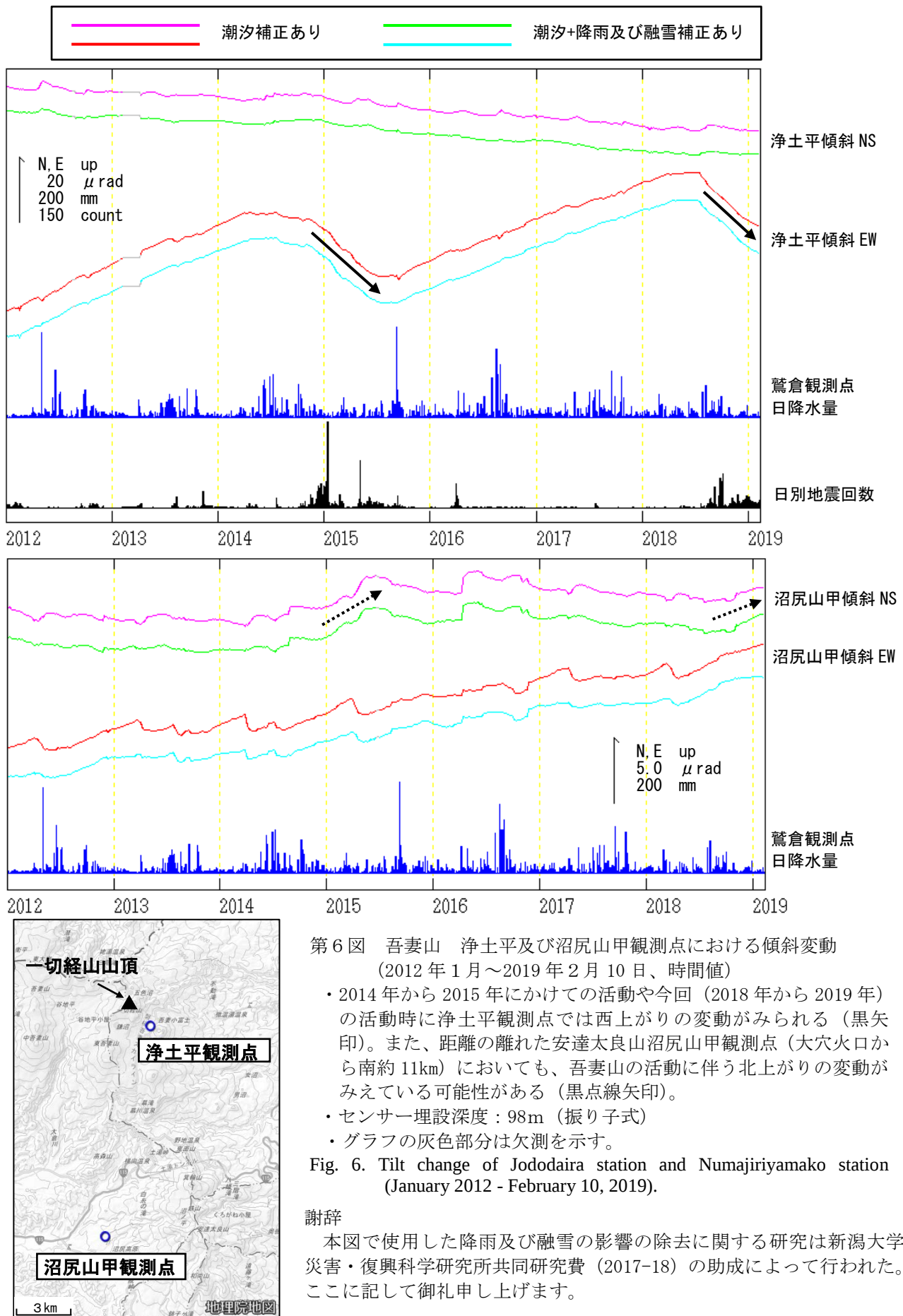
Fig. 4. Hypocenter distribution of deep low-frequency earthquakes determined by a regional seismic network (August 2003 - February 10, 2019).



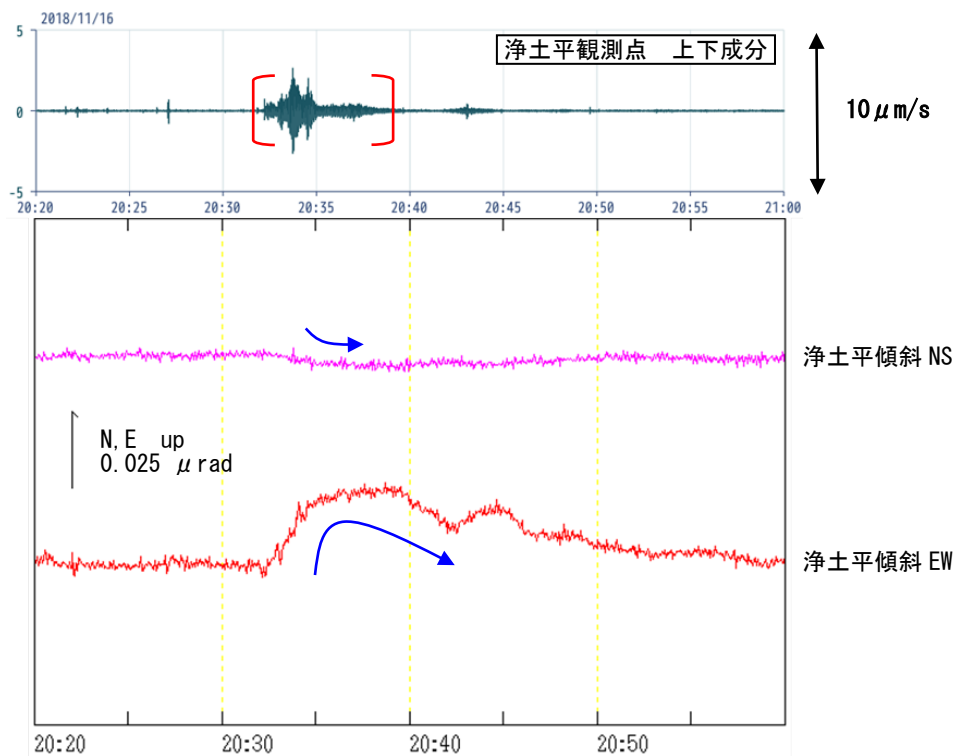
第5図 吾妻山 火山性地震タイプ別初動到達時間差比較 (2018年5月～2019年1月31日)

- 地震発生域Aではすべてのタイプの地震が発生している。
- 地震発生域Bで発生している地震の多くはBH型で、2018年10月上旬以降、活動は低調である。
- 地図の地震発生域A、Bは、初動到達時間差や近傍の観測点のみを使用した震源計算から推定されるおおよその発生域を示す。

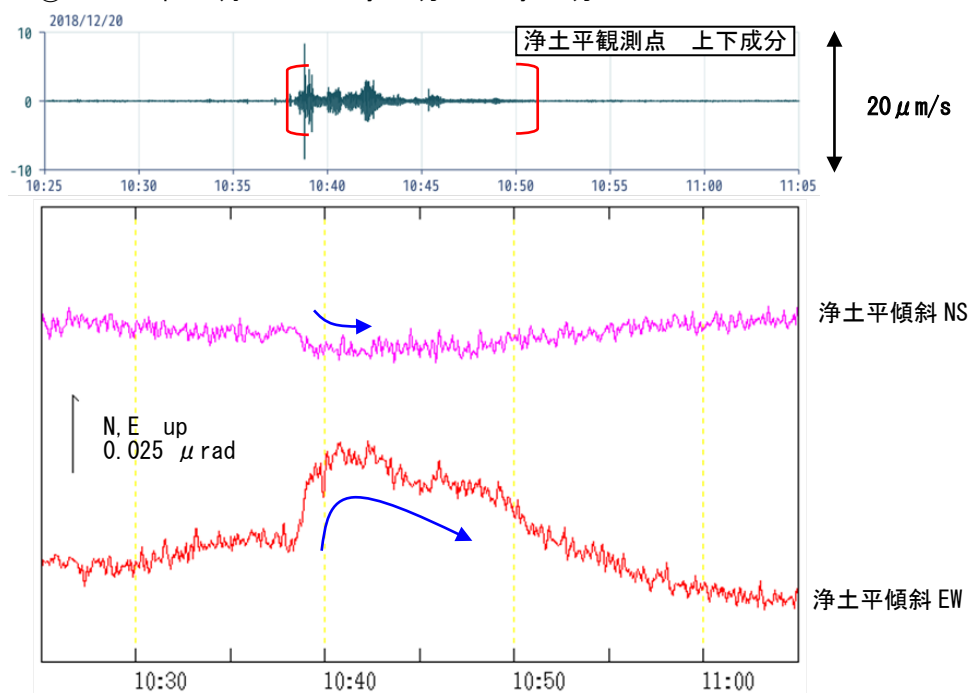
Fig. 5. P-wave arrival time difference between volcanic earthquake types (May 2018 - January 31, 2019).



① 2018年11月16日20時20分～21時00分



② 2018年12月20日10時25分～11時05分

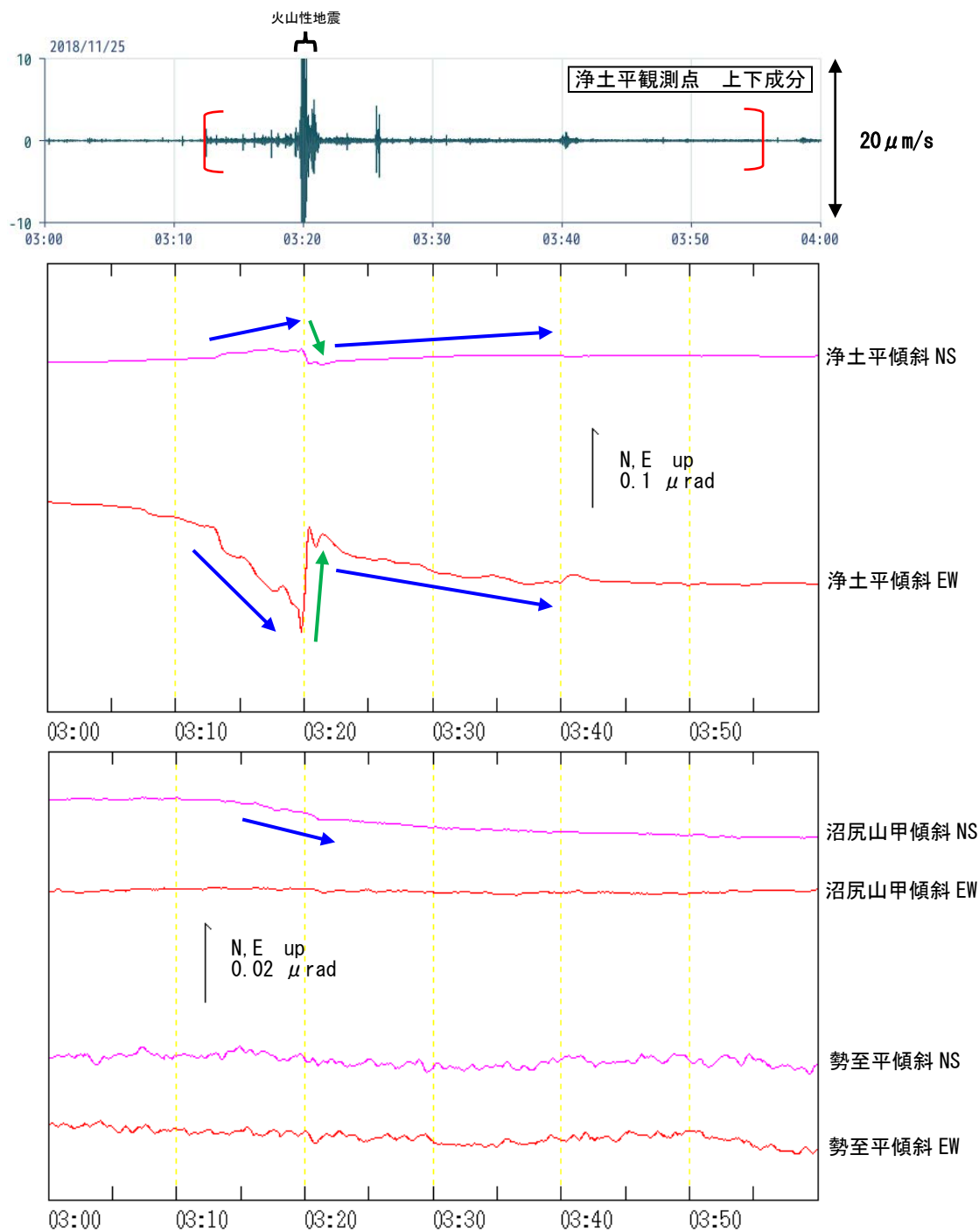


第7図 吾妻山 火山性微動波形および傾斜変動（秒値、潮汐補正済み）

- ・ [] は火山性微動を示す。
- ・ 青矢印は、火山性微動の発生前後に観測された傾斜変動を示す。
- ・ 2018年5月以降の活動と比較して、火山性微動の発生前後に観測される傾斜変動に大きな変化はみられない（第8図のような事例を除く）。

Fig. 7. Volcanic tremors and tilt change.

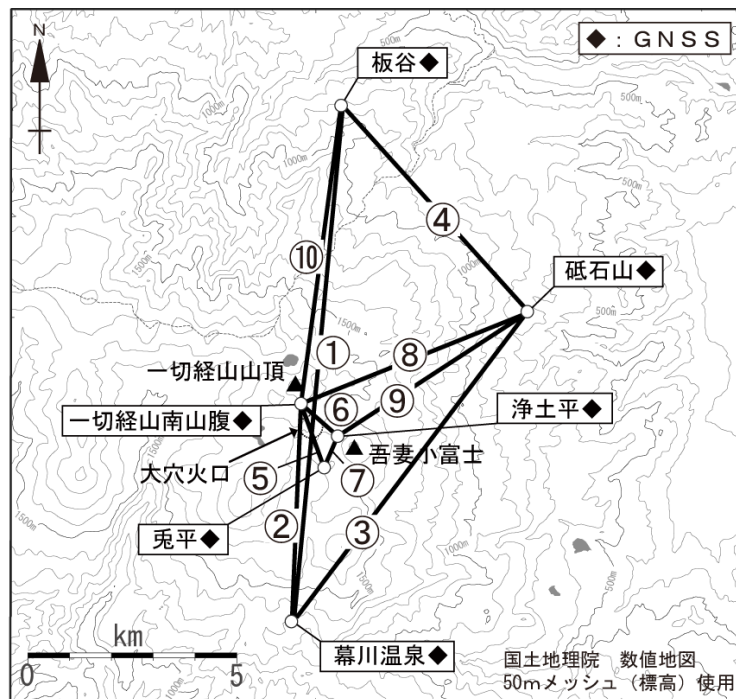
① 2018 年 11 月 25 日 03 時 00 分～04 時 00 分



第 8 図 吾妻山 火山性微動波形および傾斜変動 (30 秒移動平均、潮汐補正済み)

- ・ [] は火山性微動を示す。
- ・ 青矢印は、火山性微動の発生前後に観測された傾斜変動を示す。
- ・ 緑矢印は、火山性微動発生中に発生した火山性地震による変動と考えられる。
- ・ 浄土平傾斜計で北西あるいは西北西上がりに変動したほか、距離の離れた安達太良山沼尻山甲 (大穴火口から南約 11km) の傾斜計でも変動を観測した。
- ・ 沼尻山甲傾斜計の変化は、吾妻山付近が沈降する向きとなっている。
- ・ このような傾斜変動は、2018 年 7 月 22 日、10 月 7 日にも確認されている。

Fig. 8. Volcanic tremor and tilt change.

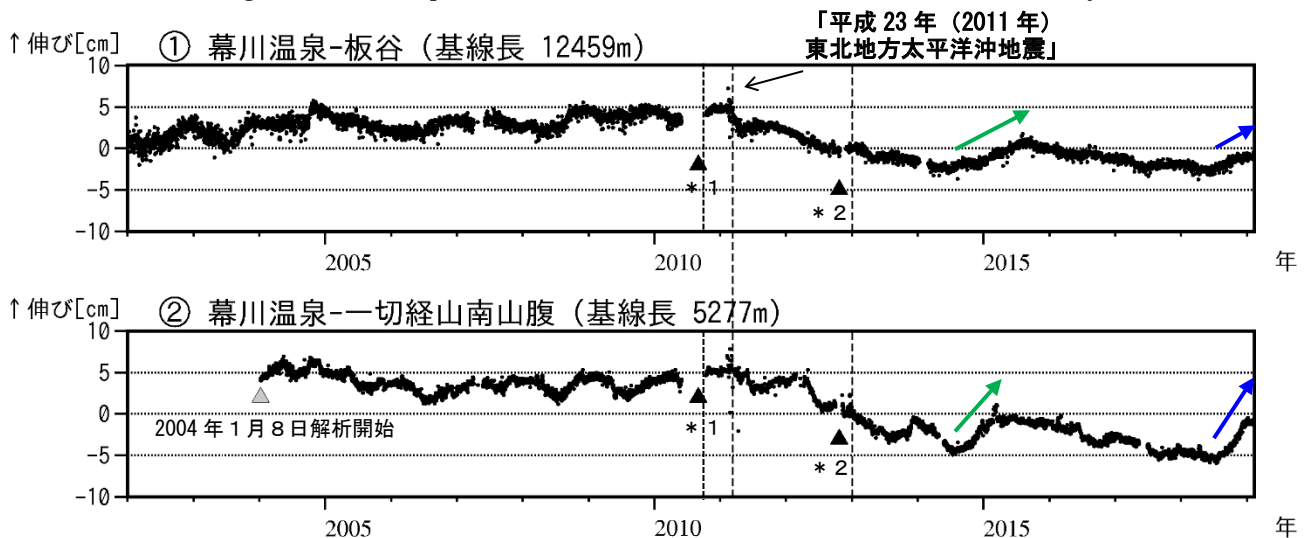


第9図 吾妻山 GNSS 観測基線図

小さな白丸 (○) は気象庁の観測点位置を示している。

GNSS基線①～⑩は第10図、第11図の①～⑩に対応している。

Fig. 9. Location map of continuous GNSS observation sites around the Azumayama.

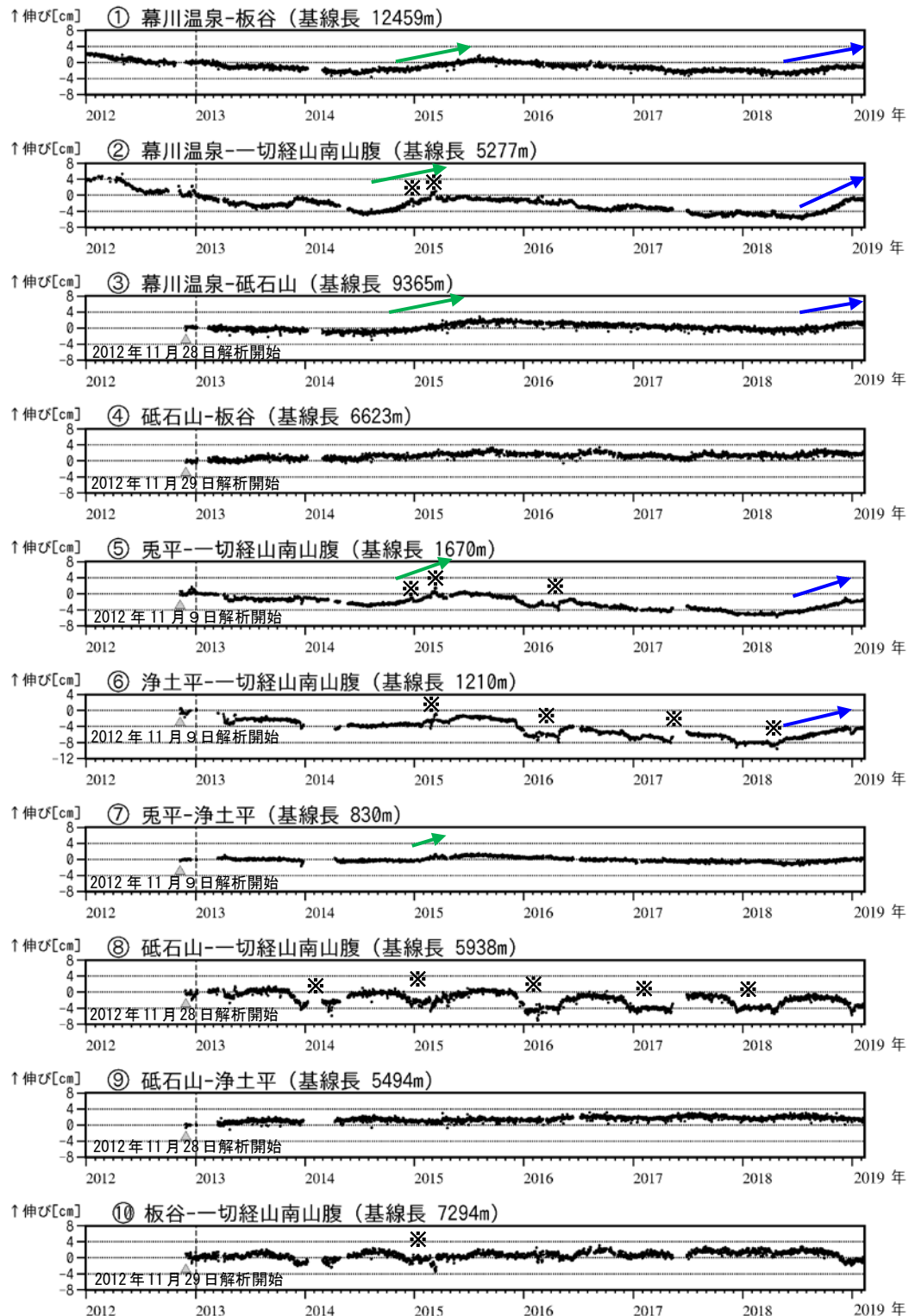


第10図 吾妻山 GNSS 基線長変化図 (2002年1月～2019年2月10日)

- ・2018年5月頃から、大穴火口を囲む基線で伸びの変化が認められる (青矢印)。
- ・2014年から2015年の活動活発化の際にも同様の変化がみられている (緑矢印)。
- ・2010年10月以降のデータについては解析方法を改良し、対流圏補正と電離層補正を行っている。
- ・2013年1月以降のデータの解析方法については、使用暦 (IGU 暦→IGS 暦もしくは IGR 暦)、セッション長 (3時間→24時間) 等の変更を行っている。
- ・2011年3月11日から2014年頃にかけての変動は、「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」による影響であり、火山活動によるものではないと考えられる。
- ・2011年3月11日の「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」に伴うステップを補正している。
- ・①～②は第9図のGNSS基線①～②に対応している。
- ・グラフの空白部分は欠測を表す。

* 1 : 幕川温泉観測点の機器更新 * 2 : 板谷観測点と一切経山南山腹観測点の機器更新

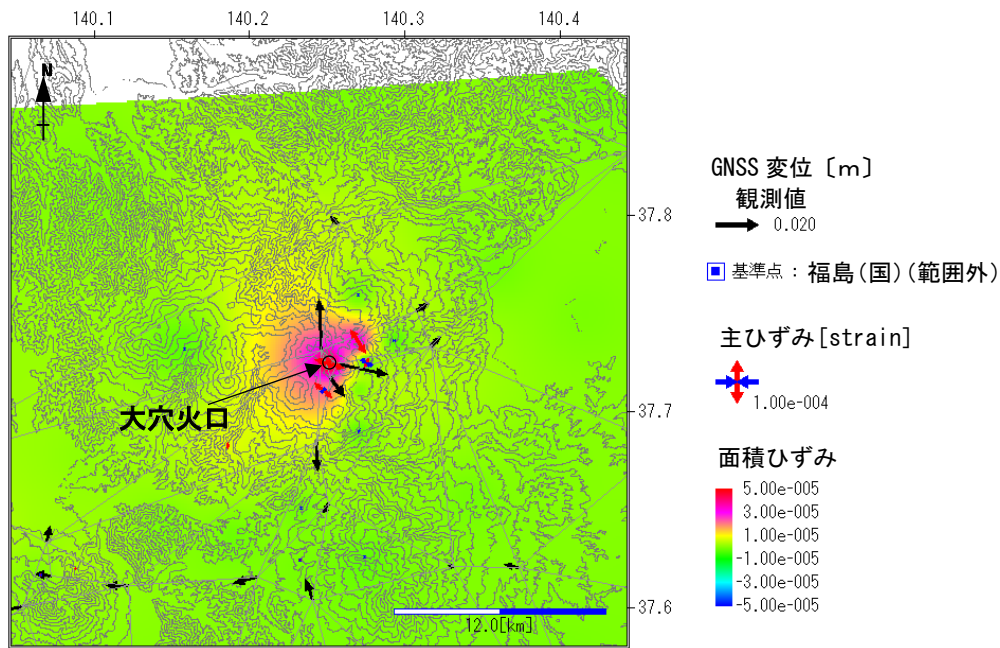
Fig. 10. Baseline length change by continuous GNSS analysis (January 2002 - February 10, 2019).



第11図 吾妻山 GNSS 基線長変化図 (2012年1月～2019年2月10日)

- ・2018年5月頃から、大穴火口を囲む基線で伸びの変化が認められる (青矢印)。
 - ・2014年から2015年の活動活発化の際にも同様の変化がみられている (緑矢印)。
 - ・2013年1月以降のデータの解析方法については、使用暦 (IGU 暦→IGS 暦もしくは IGR 暦)、セッション長 (3時間→24時間) 等の変更を行っている。
 - ・①～⑩は第9図の GNSS 基線①～⑩に対応している。
 - ・グラフの空白部分は欠測を示す。
- ※冬期には、原因不明の局地的な変動がみられることがあり、凍上やアンテナへの着雪等の可能性が考えられる。

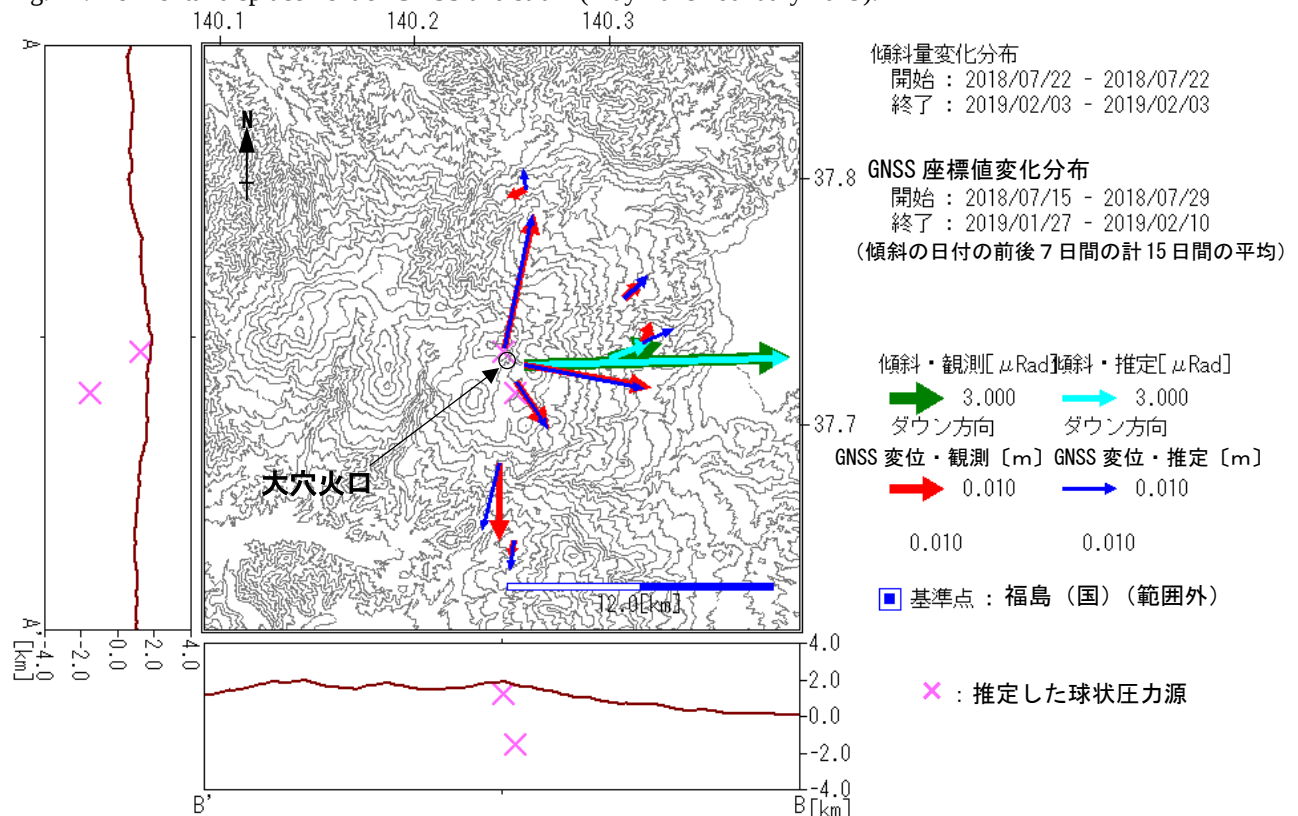
Fig. 11. Baseline length change by continuous GNSS analysis (January 2012 - February 10, 2018).



第 12 図 吾妻山 GNSS 変位及びひずみの状況 (2018 年 5 月～2019 年 1 月)

- ・大穴火口付近に放射状の変位が認められ、周辺では 10^{-5} のオーダーの主ひずみ及び面積ひずみが認められる。
- ・面積ひずみは、三角網の重心位置の座標と値から 100m 間隔の格子点の値を内挿し示している。
- ・一切経山南山腹観測点の 2019 年 1 月のデータは凍上の影響を補正している。

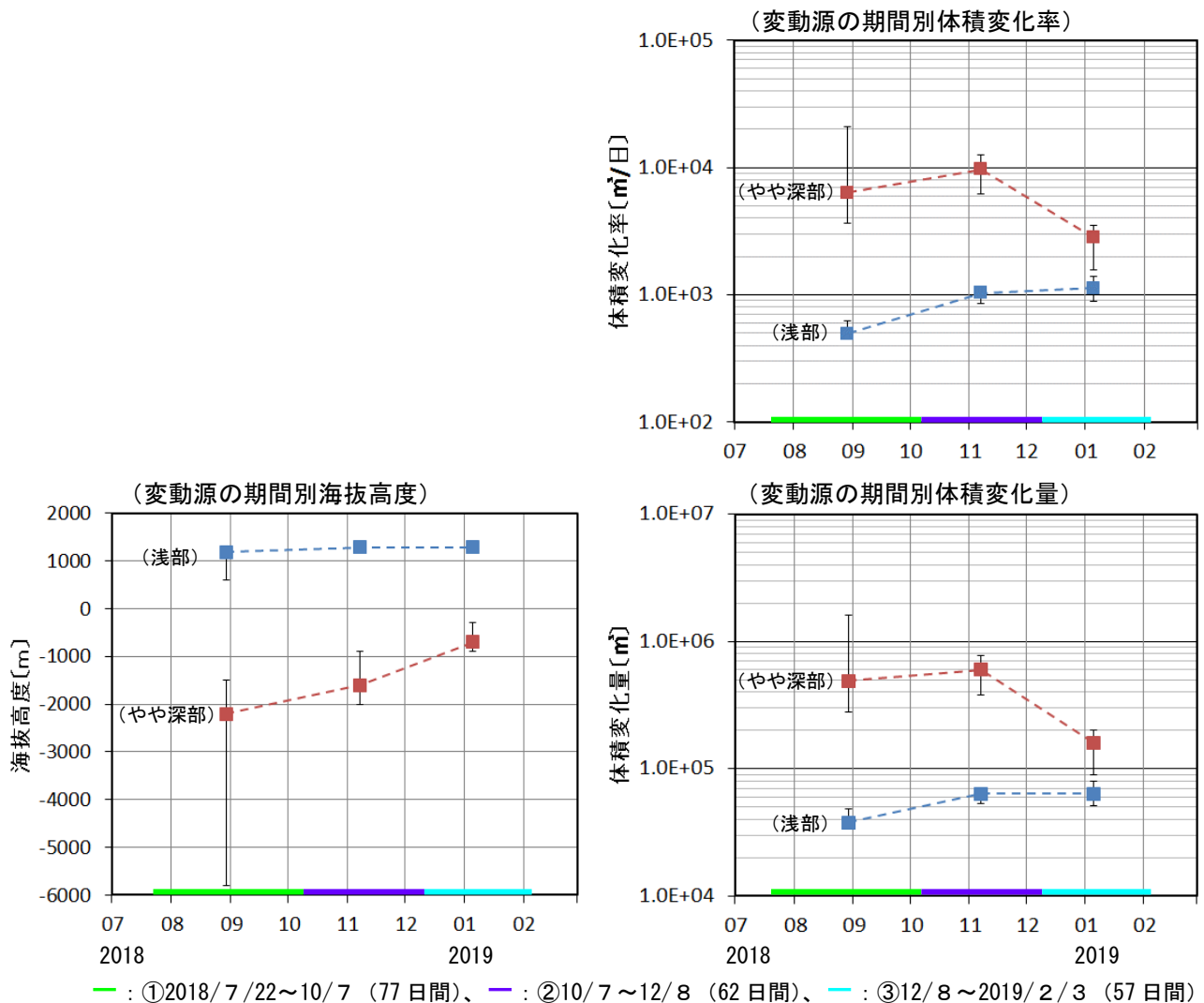
Fig. 12. Horizontal displacement of GNSS and strain (May 2018 - January 2019).



第 13 図 吾妻山 GNSS 及び傾斜計による変動源推定 (2018 年 7 月 22 日～2019 年 2 月 3 日)

- ・GNSS の水平変位及び傾斜変動から 2 つの球状圧力源を仮定して求めた変動源は以下のとおり。
浅部: 海拔高度 1200m、体積変化量 $1.6 \times 10^5 \text{ m}^3$ 、体積変化率 $8.2 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{日}$
やや深部: 海拔高度 -1500m、体積変化量 $1.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、体積変化率 $5.6 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{日}$
- ・一切経山南山腹観測点の 2019 年 1 月以降のデータは凍上の影響を補正している。

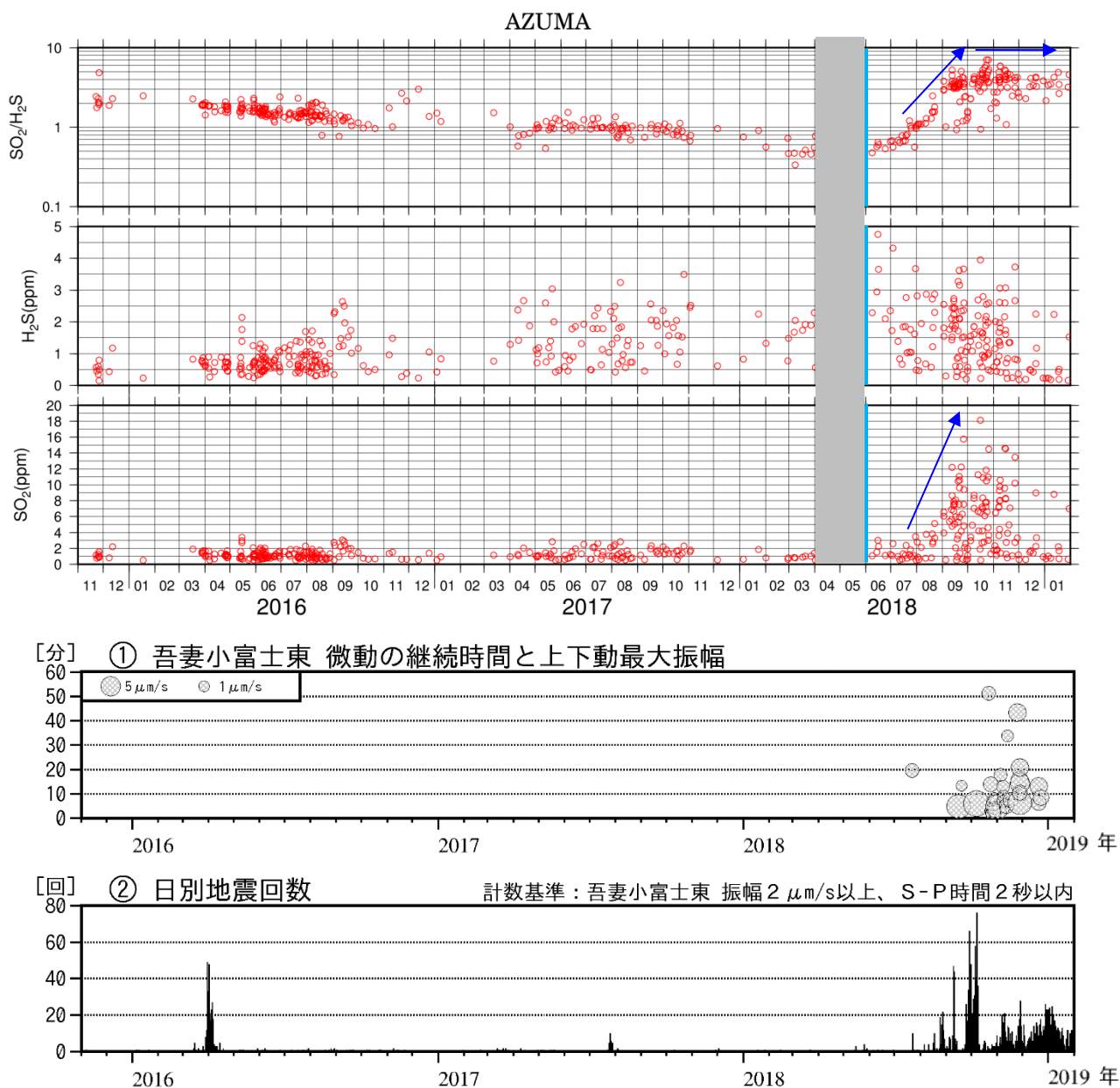
Fig. 13. Source models estimated from horizontal displacement of GNSS and tilt change (July 22, 2018 – February 3, 2019).



第14図 吾妻山 GNSS 及び傾斜計による期間別変動源推定 (2018年7月22日~2019年2月3日)

- ・第13図の期間を3つに区切って推定した結果、直近期間(③)のやや深部の変動源の体積増加率に鈍化傾向がみられた。
- ・左図のエラーバーは、計算値と観測値との残差2乗和が最適値の2倍以内に収まる範囲を示し、右上下図のエラーバーは、左図のエラーに対応する体積変化量の範囲を示す。エラーバーがマーカーの下に隠れている場合がある。
- ・球状圧力源の場合、一般に変動源が浅く推定されると体積変化量が小さく推定されるが、変動源の海拔高度について②期間のやや深部のエラーバーの上限と③期間の同エラーバーの下限が共に-900mでほぼ同じであるのに対し、それに対応する体積増加率が②→③で1/2程度減少している。これは②→③で、やや深部の海拔高度を-900mに固定した場合でも体積増加率が減少することを示しており、推定したモデルを前提とすると体積増加率の減少は確からしいと考えられる。
- ・GNSSでは、示した日付の±7日の計15日間の平均を使用している。
- ・一切経山南山腹観測点の2019年1月以降のデータは凍上の影響を補正して推定した。

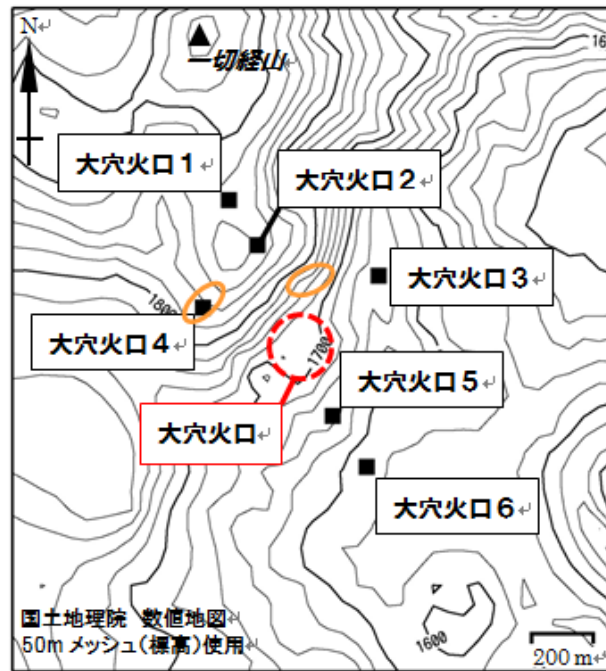
Fig. 14. Source models estimated from horizontal displacement of GNSS and tilt change (July 22, 2018 – February 3, 2019).



第15図 吾妻山 火山ガス及び火山性微動・地震の状況 (2015年11月～2019年1月31日)

- ・大穴火口の北西に設置している火山ガス観測装置による観測では、2018年7月下旬頃から噴気に含まれる二酸化硫黄 (SO_2) と硫化水素 (H_2S) の組成比 ($\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$) が上昇し、9月頃以降高い値を維持している。深部からの高温火山ガス供給が続いていることが示唆される。
- ・2018年6月5日にセンサー交換を実施 (水色線)。それ以前のデータは校正結果を用いてセンサー感度の補正をしている。センサー交換以降のデータは補正をしていないため、今後補正の結果値が変わる場合がある。
- ・灰色部分は欠測を表す。

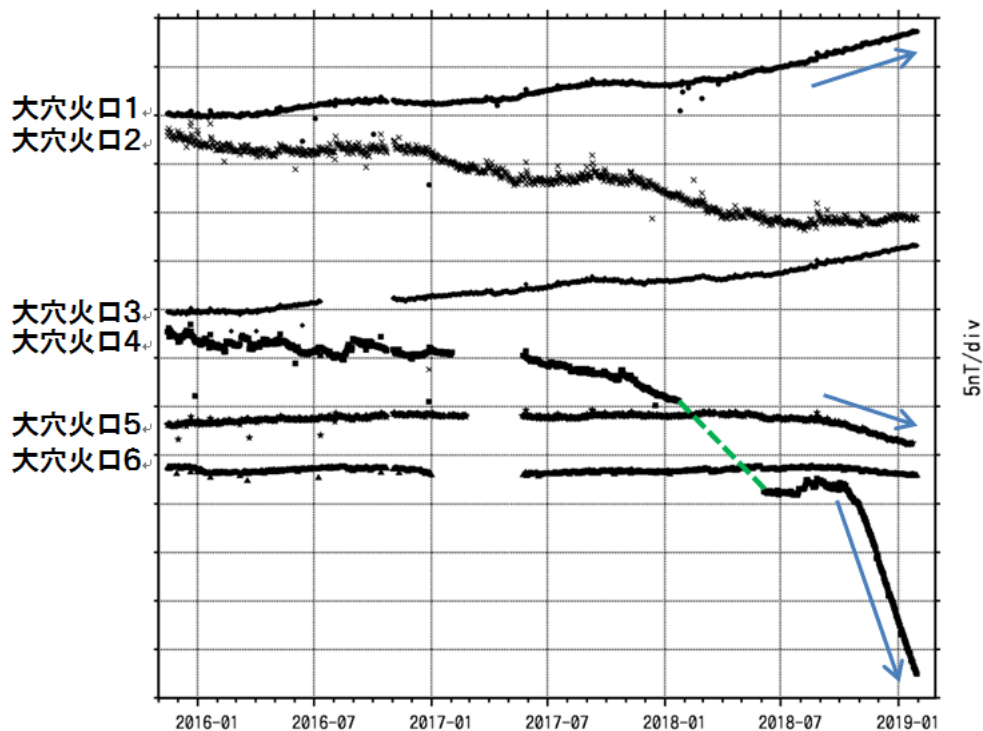
Fig. 15. Volcanic gas activity and seismicity of Azumayama (November 2015 – January 31, 2019).



第 16 図 吾妻山 全磁力連続観測点配置図 (黒四角)

- ・赤破線で示す領域は大穴火口を示す。
- ・橙色で示す領域は地熱域を示す。

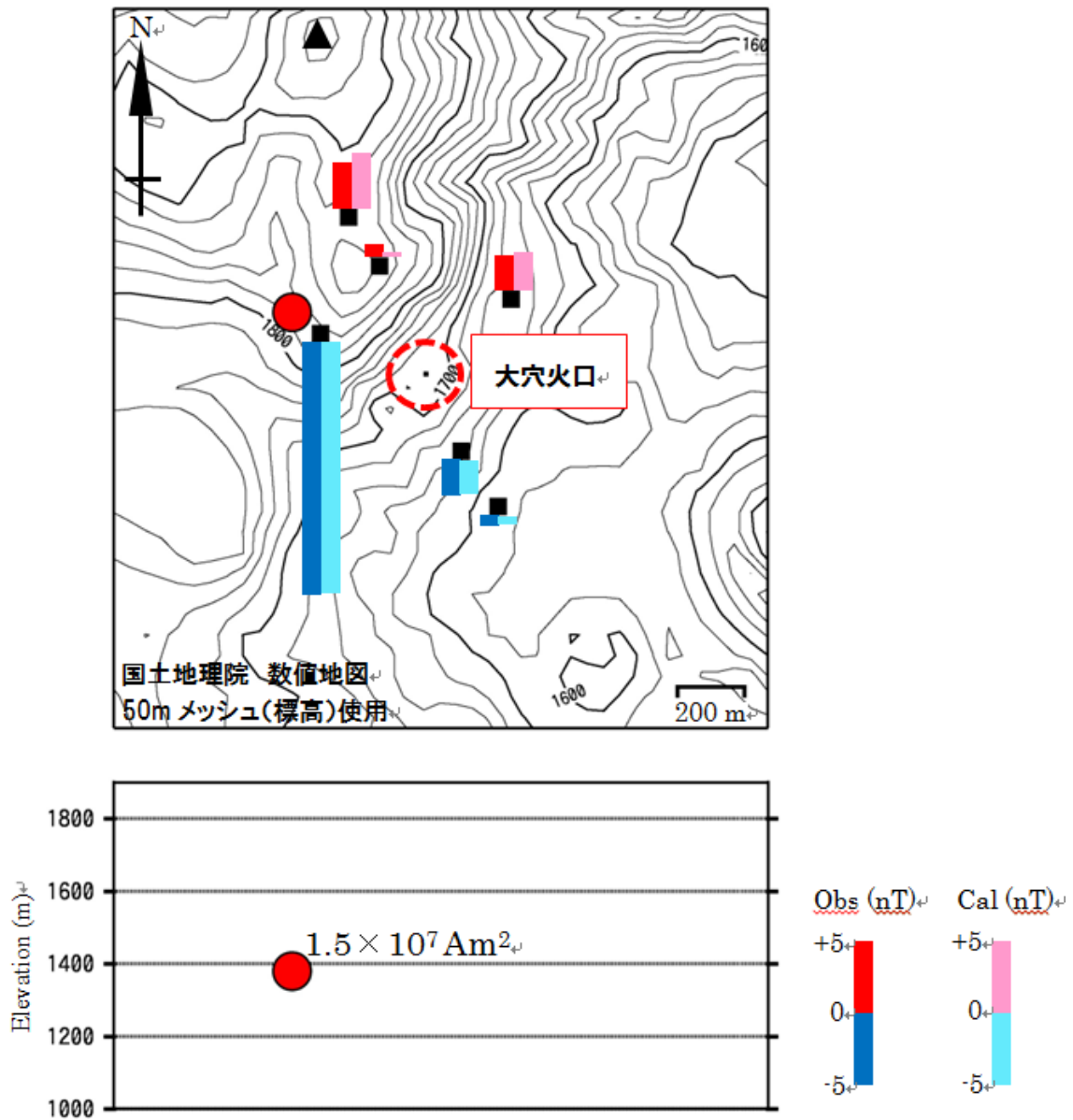
Fig. 16. Location map of continuous total geomagnetic intensity observation sites.



第 17 図 吾妻山 全磁力連続観測点で観測された全磁力変動 (2015 年 11 月～2019 年 1 月 31 日)

- ・大穴火口の北東約 6 km にある参照点で観測された全磁力値を基準とした場合の 00:00 から 02:59 (JST) での日平均値を示す。
- ・2018 年 9 月以降、観測点大穴火口 1 では全磁力の増加の速度が大きくなっている一方、観測開始以降ほとんど変動が見られなかった観測点大穴火口 5 で全磁力の減少傾向が目立ってきた。
- ・2018 年 10 月以降、観測点大穴火口 4 では全磁力の急激な減少が観測されている。
- ・緑破線で示す観測点大穴火口 4 における全磁力変動は、磁力計検出器を再設置したことによる人為的な変動を示す。

Fig. 17. Total geomagnetic intensity change by continuous observation (November 2015 - January 31, 2019).



第18図 吾妻山 2018年8月～2019年1月の期間に観測された全磁力変化を説明するために推定された等価磁気双極子モデル

- ・熱消磁を表す強度 $1.5 \times 10^7 \text{ Am}^2$ のモーメントを持つ磁気双極子が、大穴火口北西の地熱域付近の地下約450mの位置に推定された。

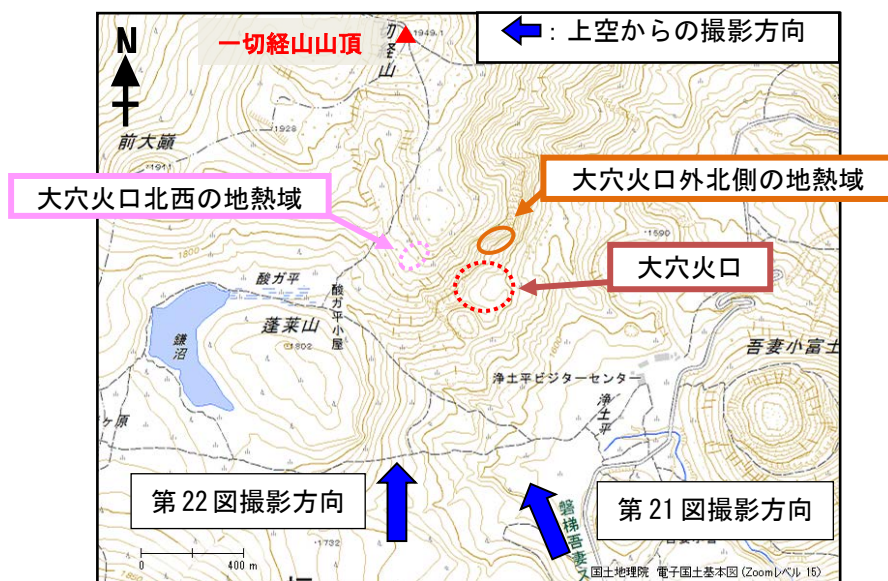
Fig. 18. Magnetic dipole source model estimated from total geomagnetic intensity change (August 2018 - January 2019).



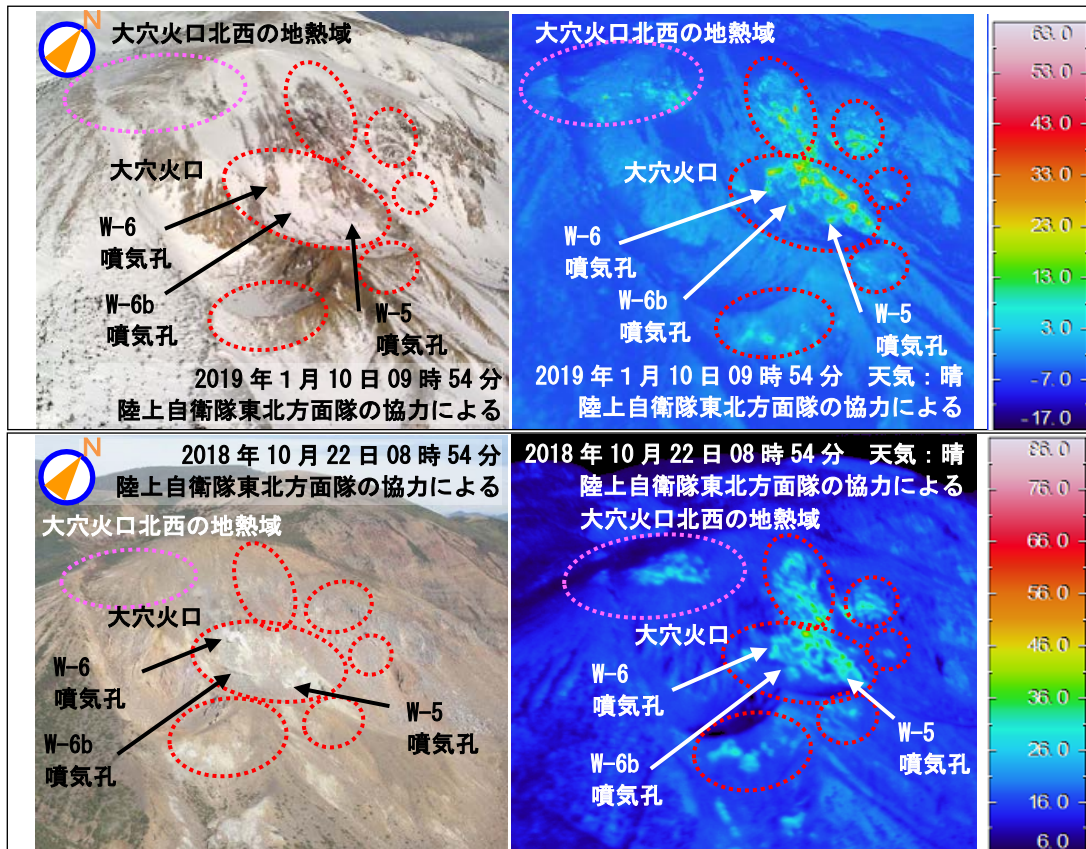
第 19 図 吾妻山 大穴火口周辺の噴気の状況及び地表面温度分布

- ・左上図：大穴火口の東南東約 500m に設置されている浄土平監視カメラ（東北地方整備局）の映像（1 月 13 日 10 時 50 分頃）。
- ・右上図：大穴火口の東南東約 500m に設置されている浄土平 3 監視カメラの熱映像（1 月 13 日）。
- ・左下図：福島市上野寺（大穴火口から東北東約 14km）に設置している監視カメラの映像（1 月 13 日）。
- ・右下図：大穴火口の南西約 2.5km に設置されている東吾妻山山頂監視カメラの映像（12 月 22 日）。
- ・赤丸で囲んだ部分が大穴火口北西側火口壁の噴気で、この時観測された噴気の高さは 200m。
- ・桃破線で囲んだ部分が大穴火口北西の弱い噴気である。

Fig. 19. Visible and thermal images of Azumayama.

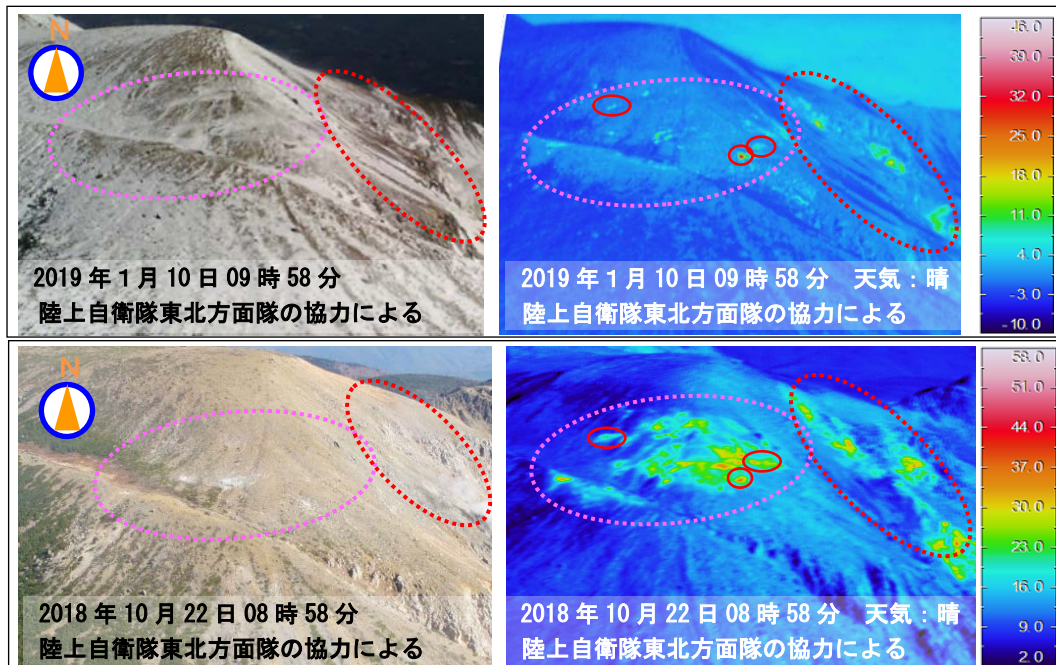


第 20 図 吾妻山 大穴火口付近の噴気と地熱域の分布及び写真と地表面温度分布撮影方向
Fig. 20. Location map of geothermal area and observation sites of Azumayama.



第 21 図 吾妻山 上空から撮影した大穴火口及びその周辺の状況と地表面温度分布
・大穴火口とその周辺の地熱域の拡大はみられなかった。

Fig. 21. Visible and thermal images of Oana crater.

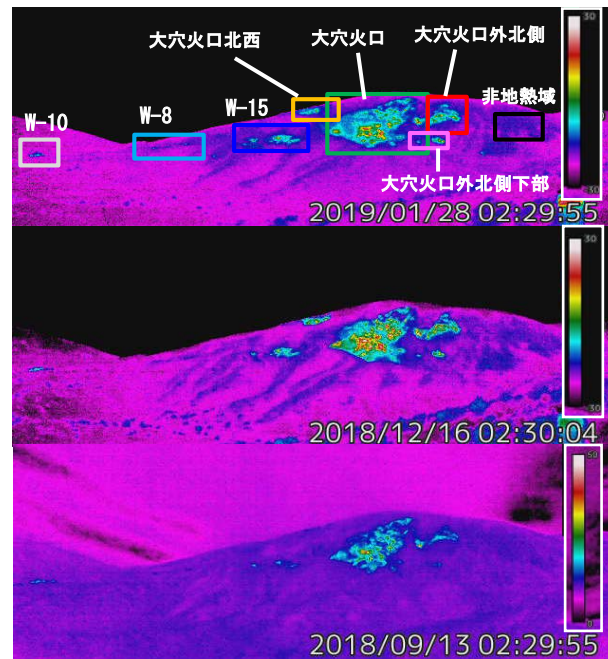


第 22 図 吾妻山 上空南側から撮影した大穴火口北西の状況と地表面温度分布

- ・大穴火口北西では地熱域が縮小しているようにみえるが、気象条件や積雪の影響を受けている可能性がある。
- ・2018 年 10 月 22 日の観測で拡大が認められた地熱域（赤丸）は 1 月 10 日も認められており、地熱活動は継続している。

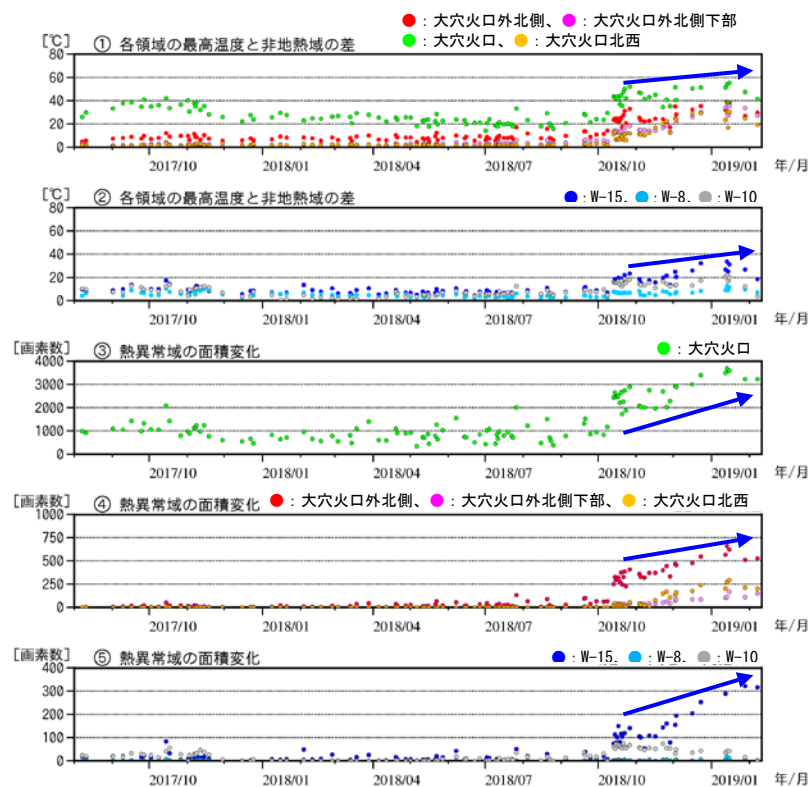
※赤破線は大穴火口周辺の地熱域。

Fig. 22. Visible and thermal images of the northwest of Oana crater.



第23図 吾妻山 浄土平3監視カメラ（熱映像）による大穴火口周辺の地熱域の状況
 ・大穴火口周辺（緑枠、赤枠、桃枠及び青枠）及び大穴火口北西（橙枠）で2018年10月中旬頃から地熱域の拡大が認められた。

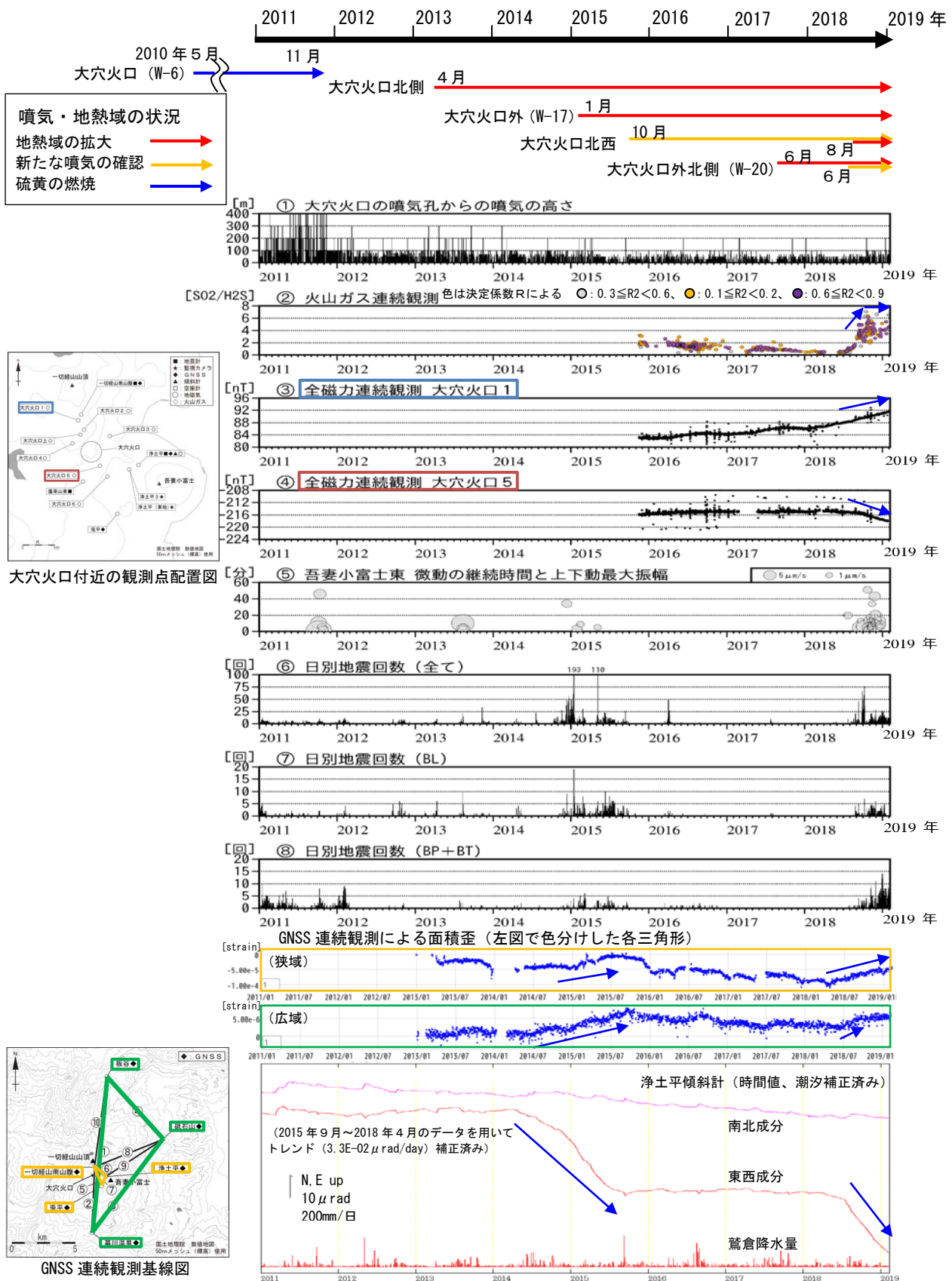
Fig. 23. Thermal images of Oana crater.



第24図 吾妻山 監視カメラによる大穴火口周辺の地熱域の経過（2017年8月～2019年2月7日）

- ・①及び②では、各領域（第23図の枠線）の最高温度と非地熱域（黒枠）の平均温度との差を示す。
- ・③、④及び⑤では、各領域（第23図の枠線）毎に非地熱域の平均温度より5℃以上高い領域の画素数を示す。数値が大きいくほど、熱異常域の面積が拡大していることを示す。
- ・大穴火口周辺（緑丸、赤丸、桃丸及び青丸）及び大穴火口北西（橙丸）で2018年10月中旬頃から地熱域の温度上昇及び拡大が認められる。
- ・グラフ中の点の色は第23図の枠線の色に対応。

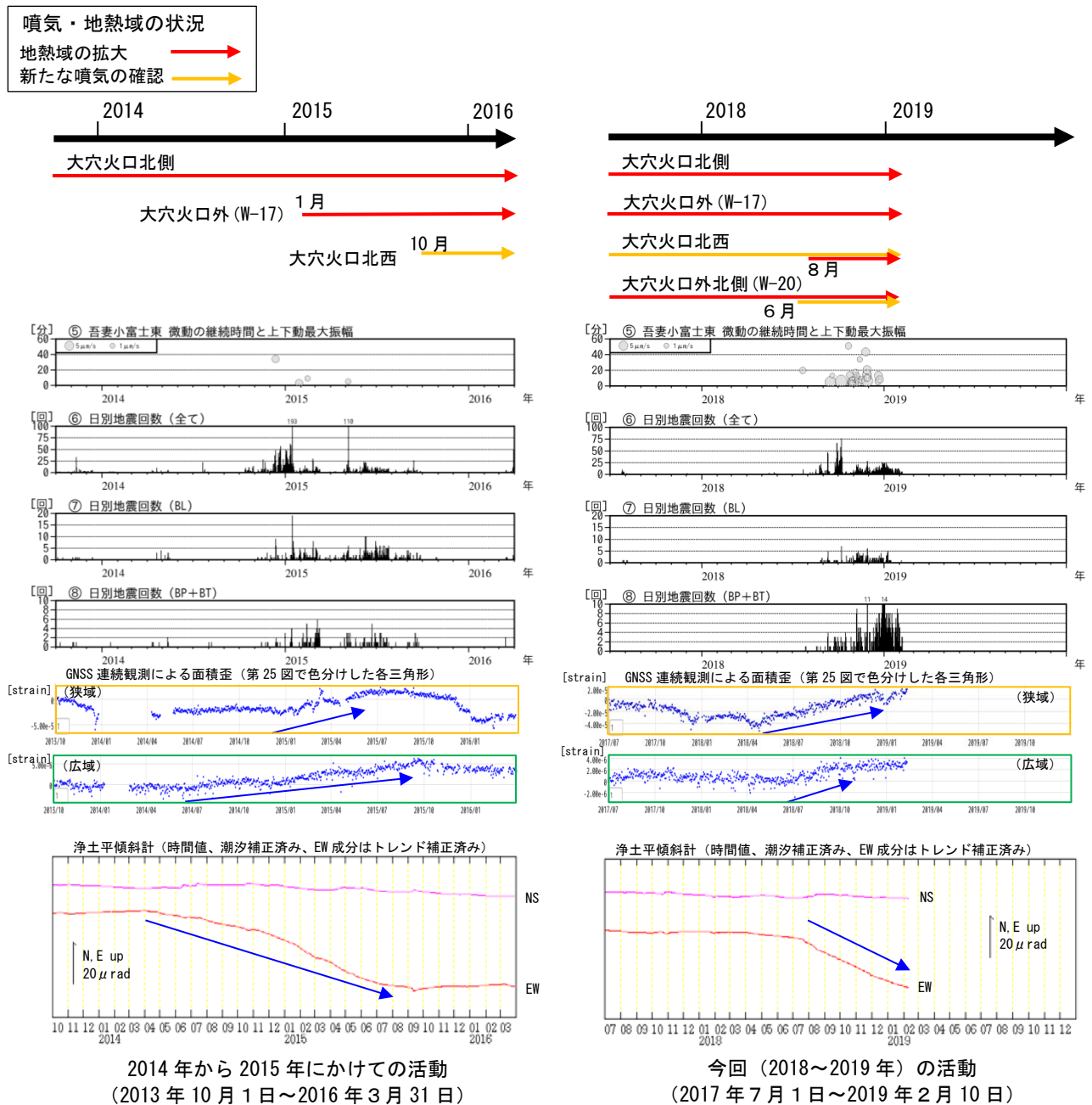
Fig. 24. Thermal activity of Oana crater (August 2017 - February 7, 2019).



第25図 吾妻山 まとめの火山活動経過図 (2011年1月~2019年2月10日)

・青矢印は火山活動による変化を示す。観測されている現象がどれも火山活動が活発な状態を示すことから、火山活動が高まった状態はしばらく継続すると考えられる。

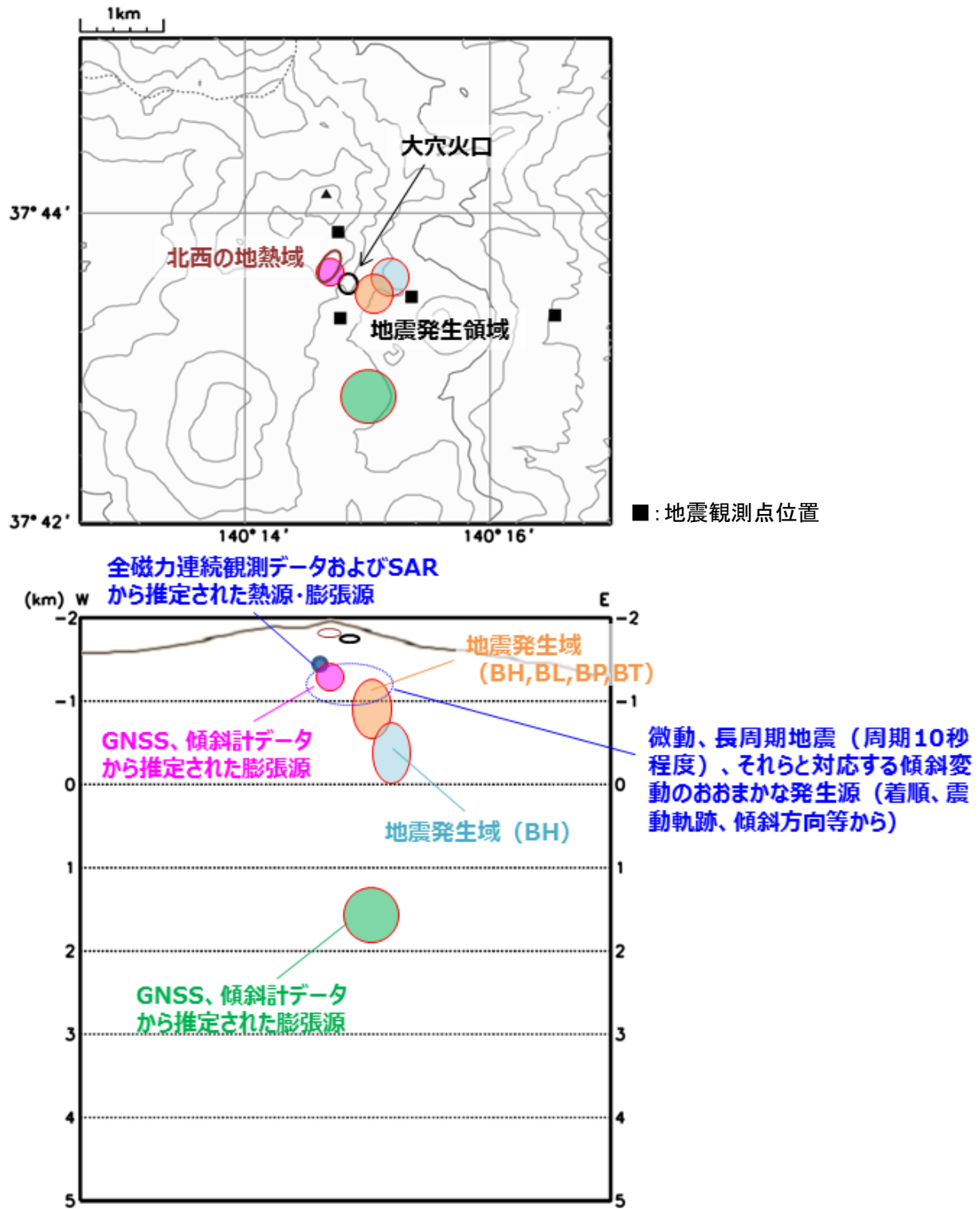
Fig. 25. Volcanic activity of Azumayama (January 2011 - February 10, 2019).



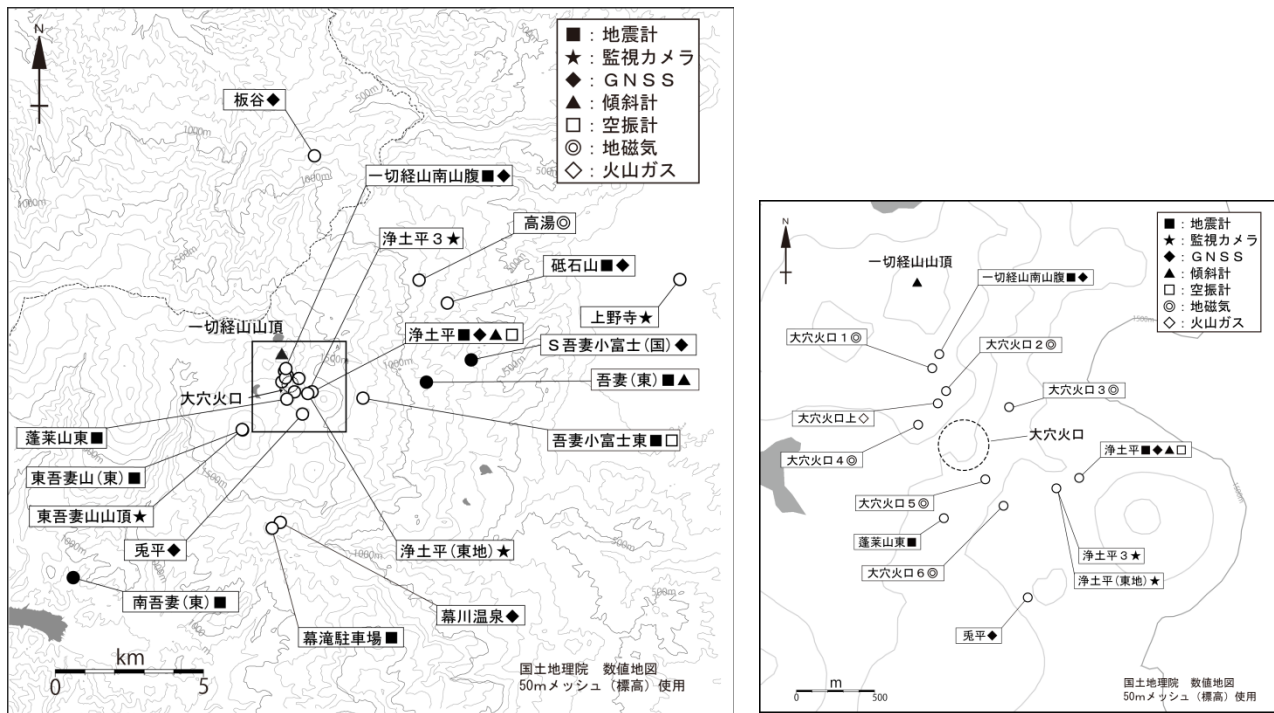
第 26 図 吾妻山 2014 年から 2015 年にかけての火山活動との比較

- ・第 25 図で示した観測項目から抜粋して示している。
- ・いずれも、大穴火口付近の隆起・膨張を示す地殻変動が継続しているなか、火山性微動が繰り返し発生し、大穴火口付近浅部の地震活動が活発化している。
- ・2014 年から 2015 年にかけての活動と比較して、火山性微動及び調和型 (BP 型及び BT 型) 地震の回数が増えている。
- ・浄土平観測点の傾斜計では、2015 年 9 月～2018 年 4 月のデータを用いてトレンド ($3.3 \times 10^{-2} \mu \text{rad/day}$) を除去している。

Fig. 26. Comparison between the recent activity and the 2014-2015 activity.



第 27 図 吾妻山 各観測から得られた発生領域や変動源の分布
Fig. 27. Sources estimated from each observation.



第28図 吾妻山 観測点配置図

小さな白丸（○）は気象庁観測点位置、小さな黒丸（●）は気象庁以外の機関の観測点位置を示す。
左図の四角囲みは右図の表示範囲を示す。

（東地）：東北地方整備局 （国）国土地理院 （東）：東北大学

※東吾妻山山頂：2018年10月26日運用開始。

Fig. 28. Location map of observation sites in Azumayama Volcano.