# 第 144 回 火山噴火予知連絡会資料

(その1)

## 吾妻山、草津白根山、箱根山

## 令和元年7月2日

## 火山噴火予知連絡会資料(その1)

## 目次

吾妻山	1	
	気象庁	3–30
	地理院	31–37
草津白	℞山⋯	
	気象庁	38–72
	気象研	73–75
	地磁気	76–78
	東工大	79–87
	東大院理	₹ 88 <del>-</del> 91
	防災科研	<del>দ</del> 92–96
	地理院	97–102
	東海大	103–109
箱根山	1	
	気象庁	110–129
	気象研	130–132
	地理院	133–138
	温地研	139–156
	東海大	157–161

### 吾妻山

#### (2019年6月20日現在)

2018 年5月頃から続いていた大穴火口周辺の隆起・膨張を示す地殻変動 は、2019 年2月から4月にかけて概ね停滞し、大穴火口付近浅部の地震活 動も静穏化した。

その後、4月末頃から大穴火口付近浅部の膨張を示す地殻変動が観測され、火山性地震も多い状態で経過、火山性微動が発生するなど、再び火山活動が活発化したが、5月下旬には静穏化した。

火山ガスの組成比(二酸化硫黄/硫化水素)の高い状態は継続しており、 拡大した地熱域も引き続きみられるなど、熱活動が高まった状態は継続して いる。

大穴火口や旧火口周辺では、火山灰や高温の土砂、熱水等が突発的に噴出 する可能性があり留意する必要がある。また、火山ガスに注意が必要である。

#### 〇概況(2019年2月~6月20日)

#### ・地震活動(図1-235~8、図2~10、図16、図27~29)

大穴火口付近浅部を震源とする火山性地震は、2019年2月以降減少傾向がみられていたが、5月に入り増加した。増加した地震の震源は、初動到達時間差や観測点間の振幅比(浄土平/吾妻小富士東)から浅部を震源とする地震活動の中でも相対的に深いと考えられる。その後、5月10日以降次第に減少し、27日以降は少ない状態で経過している。短期的な傾斜変動を伴う長周期地震(周期10秒程度)、低周波地震や微小な火山性微動は断続的に発生しており、熱水活動のやや活発な状態は依然として継続していると考えられる。

2019年5月9から14日にかけて火山性微動が4回発生した。最大振幅は2~10µm/s、継続時間は20~50分程度で、これに伴い、浄土平の傾斜計および安達太良山周辺に設置した傾斜計で短期的な変化を観測した。

#### ・地殻変動(図2、図6~8、図10~15、図27~29)

浄土平観測点での傾斜観測では、2018年5月頃からみられていた大穴火口周辺の隆 起・膨張を示す変動は12月上旬頃から次第に緩やかになり、2019年2月から4月頃は概 ね停滞していたが、4月末頃から大穴火口方向上がりの傾斜変動がみられ、5月9日17 時30分頃に明瞭な傾斜変動を示した。傾斜変動はその後、9日19時50分頃から大穴火口 方向下がりに変化し、徐々に緩やかになりつつ継続していたが、6月中頃から火山活動 が静穏な時期にみられる程度の変化傾向に近づいている。周辺の他の傾斜計、GNSSの観 測ではこの活動に対応した明瞭な変化はみられない事から、変動源は、大穴火口付近直 下の浅部と推定される。

GNSS連続観測では、2018年5月頃から大穴火口を囲む基線で伸びの変化が観測されていたが、2019年2月頃から鈍化が認められ、4月頃からは概ね停滞している。

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。

#### ・火山ガスの状況(図16、27)

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。

#### 全磁力変化の状況(図17、18、27、29)

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ており、2018年9月以降、更な る高温化を示唆する全磁力変化がみられている。2019年2月頃から一部の観測点でその 変化に鈍化が認められものの、高温化を示唆する変化は引き続き観測されている。

#### ・噴気など表面現象の状況(図1-①④、図19~28)

上野寺監視カメラ及び浄土平監視カメラ(東北地方整備局)による観測では、大穴火 いっさいきょうざん ロ(一切経山南側山腹)の噴気の高さは、100m以下で経過した。また、東吾妻山山頂 監視カメラによる観測では、大穴火口北西で引き続き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月中旬頃から認められていた大穴 火口及びその周辺での地熱域の拡大傾向は、2019年1月中旬頃から概ね停滞しているが、 一部の地熱域(八幡焼南部 W-10 周辺)にて、5月中旬頃より温度上昇、地熱域の拡大を 観測している。

2月25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及び4月18日に福島県警察本部の協力により実施した上空からの観測、並びに5月7日、10日及び6月13日に実施した現地調査では、大穴火口付近及びその周辺の地熱域に大きな変化は認められず、熱活動が継続していることを確認した。



・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。

5



図2 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6月20日) ・2018年5月頃から認められていた大穴火口周辺の隆起・膨張を示す変動は、2019年2月から4月 にかけて概ね停滞したが(青矢印)、4月末頃から大穴火口方向上がりの傾斜変動がみられ(紫矢印)、 その後、大穴火口方向下がりに変化し(水色矢印)徐々に緩やかになりつつ継続していたが、6月 中頃から静穏期の変化傾向程度に近づいている。



図3 吾妻山 地震活動(2003年8月~2019年6月20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。



・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。





2 2019年5月9日23時30分~5月10日00時30分



図5 吾妻山 火山性微動のランニングスペクトル

・〔〕は火山性微動を示す。

3

・これまで観測された火山性微動と比較して特段の変化は認められない。



図6 吾妻山 火山性微動および傾斜変動(分値、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。
- ・大穴火口東南東約1kmの浄土平傾斜計で北西上がりに変動したほか、南約11kmに位置する安達太良 山沼尻山甲及び勢至平の傾斜計ではおおよそ100秒程度の遅れで北下がりの変動を観測した。
- ・このような傾斜変動は、2018年7月22日、10月7日、11月25日にも確認されている。



① 2018年11月25日03時00分~04時00分



・〔〕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。
- ・大穴火口東南東約1kmの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、南約11kmに位置する安達太良山沼尻山甲の傾斜計で北下がりの変動を観測した。



図8 吾妻山 長周期地震の波形と傾斜変動の例 (2019 年 5 月 25 日 01 時 36 分 00 秒~01 時 39 分 00 秒)

・短時間での傾斜変動を伴う長周期震動や微小な火山性微動が度々発生している。





- 図 10 吾妻山 浄土平観測点における傾斜変動、地震活動(2019 年 4 月 21 日~6 月 20 日 潮汐補正済み) ・2015 年 9 月~2018 年 4 月のデータを用いてトレンド(東西: 3.3E-02 µ rad/day、南北:-0.7E-03 µ rad/day) を除去した。
  - ・浄土平観測点(大穴火口から東南東約1km)に設置している傾斜計では、4月末頃から大穴火口方向上がりの傾斜変動がみられ、9日17時30分頃から明瞭な傾斜変動となった(紫矢印)。その後、19時50分頃から大穴火口方向下がりに変化し、徐々に緩やかになりつつ継続していたが(水色矢印)、6月中頃より火山活動が静穏な時期にみられる程度の変化に近づいている。
  - ・安達太良山沼尻山甲、勢至平傾斜計(大穴火口から南約 11km)や吾妻(東)傾斜計(大穴火口から東約5 km)では同じ時間スケールの傾斜変動はみられていない。
  - \*1 4月下旬頃から融雪の影響によると考えられる北西上がりの変動がみられていた。
  - \*2 降水の影響によると考えられる変動がみられている。
  - \*3 6月18日の山形県沖の地震による変動。



- 図 11 吾妻山 浄土平傾斜計の変動量から推定される変動源の海抜高度別体積変化量と吾妻(東)傾 斜計で期待される変動量
  - ・浄土平傾斜計(センサー標高約1500m)で2019年5月1日~5月9日19時50分に観測された傾斜変動量(西上がり:4.2µrad、北上がり:0.7µrad ※トレンド除去後)を用いて、変動源の海抜高度別体積変化量を推定した(上図)。なお、変動源は球状を仮定し、水平位置は大穴火口で固定した。
    ・上図の変動源に対して期待される吾妻(東)傾斜計の変動量を下図に示した。
  - ・吾妻(東)傾斜計では、ノイズレベルを超える明瞭な傾斜変動が観測されていないことから変動源の 海抜高度は-500m 程度より浅く、体積変化量は多くとも 1E+05m3 オーダーと考えられる。





- 図 12 吾妻山 浄土平及び沼尻山甲観測点における傾斜変動 (2012 年 1 月~2019 年 6 月 20 日、時間値)
  - ・2014 年から 2015 年にかけての活動や今回(2018 年から 2019 年) の活動時に浄土平観測点では西上がりの変動がみられる(黒矢 印)。また、大穴火口から南約 11km の安達太良山沼尻山甲観測点 においても、吾妻山の活動に伴う北上がりの変動がみえている可 能性がある(黒点線矢印)。
  - ・センサー埋設深度:98m(振り子式)
  - ・グラフの灰色部分は欠測を示す。



図 13 吾妻山 GNSS 観測基線図 白丸(O)は気象庁の観測点位置を示している。 GNSS基線①~⑩は図14、15の①~⑩に対応している。



・2018 年 5 月頃から、大穴火口を囲む基線で伸びの変化が継続していたが(青矢印)、現在は概ね停滞している。 ・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は図13のGNSS基線①~②に対応している。

\*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。



・2018 年5月頃から、大穴火口を囲む基線で伸びの変化が継続していたが(青矢印)、現在は概ね停滞している。 ・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は図 13 の GNSS 基線①~⑪に対応している。

※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。

吾妻山



図 16 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 6 月 20 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<sub>2</sub>)と硫化水素(H<sub>2</sub>S)の組成比(SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>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。

※一部の高い値は、火山ガスの硫黄析出反応による影響の可能性がある。



図 18 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6月10日) ・大穴火口の北東約6km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。

- ・全磁力連続観測では、2018年9月頃から大穴火口北西地下の温度上昇や温度上昇域の拡大が更に進んでいることを示唆する全磁力値の変化(青矢印)がみられている。2019年2月頃から一部の観測点でその変化に鈍化が認められるものの(黒矢印)、高温化を示唆する変化は引き続き観測されている。
  ・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。

気象庁



- 図19 吾妻山 大穴火口周辺の噴気の状況及び地表面温度分布(3月1日)
  - ・左上図:東北地方整備局が設置している浄土平監視カメラ(大穴火口の東南東約 500m)の映像。
  - ・右上図:浄土平3監視カメラ(大穴火口の東南東約500m)の熱映像。
  - ・左下図:上野寺監視カメラ(大穴火口から東北東約14km)の映像。
  - ・右下図:東吾妻山山頂監視カメラ(大穴火口の南西約2.5km)の映像。
  - ・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100m。
  - ・桃破線で囲んだ部分が大穴火口北西の弱い噴気である。



図 20 吾妻山 大穴火口周辺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



図 22 吾妻山 監視カメラによる大穴火口付近及びその周辺の地熱域の経過 (2017 年 8 月~2019 年 6 月 20 日)

- ・①~③では、各領域(図21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。
- ④~⑦では、各領域(図21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。数値が大きいほど、地熱域の面積が拡大していることを示す。
- ・大穴火口付近(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ていたが、2019 年 1 月中旬頃から停滞している。
- ・b 領域(黄丸)で、2019年1月中旬頃から地熱域の拡大が認められる(⑦)。a 領域(白丸)で認められて いた地熱域の拡大は、3月頃から停滞している(⑥)。
- ・W-10では5月中旬頃から地熱域の温度上昇及び拡大が認められている(②、⑥)。
- ・グラフ中の点の色は図21の枠線の色に対応。



図 23 吾妻山 大穴火口付近及びその周辺の状況(左)と地表面温度分布(右)

- ・前回(5月10日)の観測と比較して、大穴火口付近及びその周辺の地熱域に大きな変化は認められず、 熱活動が継続していることを確認した。
- ・浄土平3監視カメラの熱映像データの解析で認められていた八幡焼西部、南部の地熱域(橙破線)の一部のわずかな温度上昇及び拡大は、今回の現地調査でも確認された。
- ・図中の破線の色は図20の破線の色に対応する。

※日射の影響により、裸地等では表面温度が高めに表示されている。



図 24 吾妻山 上空から撮影した大穴火口付近及びその周辺の状況(左)と地表面温度分布(右) ・大穴火口付近及びその周辺の地熱域に大きな変化は認められなかった。

・図中の破線の色は図20の破線の色に対応する。

・2019 年 4 月 18 日は福島県警察本部、2019 年 2 月 25 日及び 2018 年 10 月 22 日は陸上自衛隊東北方 面隊の協力により撮影した。

※日射の影響により、裸地等では表面温度が高めに表示されている。



図 25 吾妻山 大穴火口付近及びその周辺の状況(下段)と地表面温度分布(上段)

・大穴火口付近及びその周辺(赤丸、桃破線、赤破線)では 2018 年 10 月中旬頃から拡大が認められて いた地熱域が引き続き確認された。

・図中の破線の色は図20の破線の色に対応。

※日射の影響により、裸地等では表面温度が高めに表示されている。



- ・グラフ中の点の色は上図の枠線の色に対応。
  - ・①~③では、各領域(上図の枠線)の最高温度と非地熱域(黒枠)の平均温度との差を示す。
  - ・④~⑦では、各領域(上図の枠線)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。
    数値が大きいほど、地熱域の面積が拡大していることを示す。
  - ・大穴火口では 2011 年以降、地熱域の拡大傾向がみられる (赤破線)。
  - ・大穴火口付近(緑丸、赤丸、桃丸及び青丸)及び大穴火口北西(橙丸)では2019年5月の現地調査 で地熱域の温度上昇及び拡大が認められていた。
  - ・W-10では5月中旬頃から地熱域の温度上昇及び拡大が認められている(③、⑥)。



図 27 吾妻山 まとめの火山活動経過図(2011年1月~2019年6月20日)

・青矢印は火山活動による変化を示す。火山ガスの組成比(二酸化硫黄/硫化水素)の高い状態は継続しており、拡大した地熱域も引き続きみられるなど、熱活動が高まった状態は継続していると考えられる。



- 図 28 吾妻山 2014 年から 2015 年にかけての火山活動との比較
  - ・図 27 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 が多くなっている。
  - ・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を除去している。



図 29 吾妻山 各観測から得られた発生領域や変動源の分布



図 30 吾妻山 観測点配置図

白丸(〇)は気象庁観測点位置、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、(防):防災科学技術研究所

## ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた 吾妻山における SAR 干渉解析結果

2018 年 12 月以降は、ノイズレベルを超えるような位相変化は認めらない。

#### 1. はじめに

ALOS-2/PALSAR-2 で撮像された吾妻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.
	北行	右	50.6°	2018.06.08	2019.05.10	第1図
126-740(SM1_U3_12)				2018.06.08	2018.12.07	第2図-A
				2018.12.07	2019.05.10	第2図-B

#### 3. 解析結果

北行軌道(パス126)で、2018年6月8日-2019年5月10日(第1図)のペアにおいて 大穴火口付近で衛星視線方向短縮の位相変化が認められる。その最大の変位量は約9 cmで ある。2018年6月8日-2018年12月7日(第2図-A)のペアにおいては同様の位相変化が みられる。一方で、2018年12月7日-2019年5月10日(第2図-B)のペアではノイズレ ベルを超えるような位相変化は認められない。2018年10月-11月にかけて火山活動に伴う 地殻変動が急速に進行したと推定されているが、2018年12月以降、その変動は停滞して いる。

謝辞

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

吾妻山







第2図 パス126 (SM1\_U3-12) による吾妻山周辺の干渉解析結果(半年ごと) A では大穴火口周辺で最大で約9 cmの衛星視線方向短縮の位相変化が認められるが、B ではではノ イズレベルを超えるような変動は認められない。

### 吾妻山

吾妻山周辺で見られていた膨張を示す地殻変動は、2019年4月頃にはやや 鈍化しましたが、継続しています。



吾妻山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
940040	山都	20150214	アンテナ交換
		20190201	受信機交換
950198	米沢	20151008	伐採
960559	猪苗代2	20150813	受信機交換
		20161214	受信機交換
020936	福島2	20161213	受信機交換
07S067	S吾妻小富士	20141031	伐採
		20150609	受信機交換
		20151016	受信機交換
950200	福島	20171030	受信機交換
950180	七ヶ宿	20150722	受信機交換

		-	
点番号	点名	日付	保守内容
020937	北塩原	20171030	受信機交換
960560	二本松	20181205	受信機交換
020938	福島東和	20161213	受信機交換
950202	猪苗代1	20150406	アンテナ交換
020939	会津高田	20161214	受信機交換
		20180725	受信機交換
020940	福島郡山3	20161215	受信機交換
960561	福島郡山2	20160222	受信機交換
010845	福島郡山1A	20151127	アンテナ交換
		20180604	受信機交換
		20181116	受信機交換

#### 吾妻山周辺GEONET (電子基準点等) による連続観測基線図

#### 国土地理院・気象庁

基線変化グラフ(長期)





吾妻山周辺GEONET (電子基準点等)による連続観測基線図(2)

#### 第144回火山噴火予知連絡会

1次トレンド・年周成分除去後グラフ(斜距離)(短期)

1次トレンド・年周成分除去後グラフ(斜距離)(長期) 期間: 2014/05/01~2019/06/10 JST



●----[F3:最終解] O----[R3:速報解]

国土地理院・気象庁

#### 第144回火山噴火予知連絡会

1次トレンド・年周成分除去後グラフ(比高)(短期)

期間: 2018/05/01~2019/06/10 JST 計算期間: 2017/01/01~2018/01/01

1次トレンド·年周成分除去後グラフ(比高)(長期) <sup>期間: 2014/05/01~2019/06/10 JST</sup>



●----[F3:最終解] O----[R3:速報解]

国土地理院・気象庁



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

計算期間:2017/01/01~2018/01/01

国土地理院・気象庁

吾妻山周辺の地殻変動(水平:1年) ー次トレンド除去

☆ 固定局:七ヶ宿(950180)

50' 。 020936 福島 2 J324 板谷 J329 砥石山 4 J327 / △浄土平 075067 = 書妻山 は328 東平 \$吾妻小富士 AN AN 950200 福島 40′ J331 J347 960560 西磐梯 2 960559 J346 原 本松. 猪苗代2 大道東 140° 10' 20′ 30'

第144回火山噴火予知連絡会

計算期間:2017/01/01~2018/01/01
国土地理院

## 吾妻山の SAR 干渉解析結果について

## 判読)(b)では、大穴火口周辺で膨張とみられる衛星に近づく変動が見られます。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2018/12/07	2018/09/18
	2019/05/10	2019/05/14
	23:45 頃	23:31 頃
	(154 日間)	(238 日間)
衛星進行方向	北行	北行
電波照射方向	右	右
観測モード*	U-U	U-U
入射角(中心)	51.5°	33.7°
偏波	НН	НН
垂直基線長	+ 51m	+ 132m
*11. 古八韶牝(2m)エ ビ		

\*U: 高分解能(3m)モード

#### O 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 吾妻山

気象庁

# 草津白根山 (2019年6月10日現在)

## 白根山(湯釜付近)

2018 年9月下旬から高まった状態となっていた湯釜付近浅部の火山活動は、 依然として高まった状態が継続していると考えられる。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(2019年2月~2019年6月10日)

#### ・地震活動

2018年9月下旬から再活発化がみられた湯釜付近を震源とする地震活動は、2019年 3月には低調になったが、5月中旬からやや活発な状態となっている。震源は2018年 4月下旬や9月下旬にみられた地震活動の震源域と変わらないものの、深さは地震増 加時には海抜1km以深のものもみられたが、その後は概ね海抜1km以浅で発生するよ うになっている。発生する地震の型はA型地震が多いが、2019年5月以降、BP型及び BT型地震の割合が増加している。火山性微動は観測されていない。

#### ・地殻変動

2018年10月上旬から、湯釜付近浅部の膨張を示唆する緩やかな傾斜変動が観測されていた。2019年4月中旬頃から季節変動と考えられる火山起因ではない変化がみられ、季節変動を超える変化は認められないが、2019年5月18日の地震増加時には、湯釜の北西方向がわずかに隆起・沈降する変動が一時的にみられた。

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、2014~2015 年と 2018 年にみられていた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は今期間みられていない。

#### ・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 100m以下で経過しており、5月17日に実施した現地調査及び、5月27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、2019年4月以降、湯釜の中央部で灰〜灰白色の 変色域がみられており、湖水量の増加が認められる。

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1-1 草津白根山(白根山(湯釜付近)) 傾斜変動記録と時別地震回数

(工):東京工業大学

(2018年4月1日~2019年6月20日)

・2018 年 10 月上旬から、2018 年 4 月下旬からと同様の湯釜直下浅部の膨張を示唆する変化(赤矢印)が みられていた。2019 年 4 月中旬頃から季節変動と考えられる変化がみられるが、季節変動を超える変 化は認められない。





図 1-2 草津白根山(白根山(湯釜付近)) 各年の湯釜東(東工大)の傾斜変動記録 (2017 年・2018 年・2019 年 1 月 1 日~6 月 10 日)

2019 年4月中旬頃から季節変動と考えられる変化がみられ、季節変動を超える変化は認められない。 ※2019 年4月に湯釜東(工)観測点でみられた、機器障害によるスパイク状の変化を除去している。

気象庁





図 1-3 草津白根山(白根山(湯釜付近)) 各年の湯釜西(東工大)の傾斜変動記録 (2017 年・2018 年・2019 年 1 月 1 日~6 月 10 日)

2019 年 4 月中旬頃から季節変動と考えられる変化がみられ、季節変動を超える変化は認められない。





図 1-4 草津白根山(白根山(湯釜付近)) 各年の湯釜南(東工大)の傾斜変動記録 (2017 年・2018 年・2019 年 1 月 1 日~6 月 10 日) 2019 年 4 月中旬頃から季節変動と考えられる変化がみられ、季節変動を超える変化は認められない。

42

気象庁



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~2019年6月19日) ①の灰色部分及び④の空白部分は欠測を示す。 最下段の震源分布図は、②の地震の震源の概ねの位置を示している。

・④の基線では 2018 年 7 月頃からわずかな伸びの変化がみられていたが、2018 年 10 月以降、停滞して いる。基線の配置は図 18 を参照。

気象庁



- 図3 草津白根山(白根山(湯釜付近)) 地震日別回数(2018年1月1日~2019年6月19日)
  2018年9月下旬から活発化がみられていた湯釜付近を震源とする地震活動は、2019年3月には 低調になり、静穏な状態に戻りつつあったが、5月中旬からやや活発な状態となっている。火山 性微動は観測されていない。
  - ・ 逢ノ峰付近を震源とする火山性地震は、2019年3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 12 月以降、少ない状態で経過している。 草津白根山



図 4 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ブ別振幅自乗積算、振 幅、発生割合(2018 年 4 月 10 日~2019 年 6 月 19 日)(振幅は青葉山西観測点の UD 成分を 使用)

・2019 年3月頃から BP 型、BT 型地震が少なくなっていたが、5月中旬の地震増加後は、BP 型、BT 型 地震が多くみられるようになっている。



- ●:2019年2月1日~2019年6月19日
- 図5 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6月19日) 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、2019年3月頃から減少傾向にあったが、5月中旬頃から増加して いる。地震の増加時は海抜1km以深のものもみられるが、その後は概ね海抜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、間欠的に地震が発生しており、その起こり方に変化はない。

第144回火山噴火予知連絡会



<sup>・</sup>火山性地震の多発時(概ね5月18日07時~19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。



図7 草津白根山 GNSS 連続観測による基線長変化(2011年1月1日~2019年6月19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。

・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。

- ・\*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。
- ・①の基線で2019年4月頃からみられている変化(青破線)は、逢ノ峰南東観測点固有の変動であり、火山 活動に起因するものでないと考えられる。



2017年4月30日09時34分

大白根山火ロカメラ



2018年4月26日10時10分



2019年4月18日10時04分



日根山火口力×



2018年5月27日10時10分



2019年5月27日13時30分

図8 草津白根山 湯釜湖水量変化図(2017年4月~2019年5月)

・湯釜の湖水面から見えている岩(上段左図の白矢印)が、2019年5月下旬時点ではほぼ見えない状態となっている。図9で示すように浸食等により岩の形状が変化しているものの、湯釜湖水量が増加していると思われる。
 ※2017年4月30日時点の岩の大きさを赤破線で表している。





2019年5月27日13時30分



図9 草津白根山 湯釜火口内の状況(2019年2月及び2019年5月)

・湯釜の湖水面から見えている岩(上段左図の白矢印)の形状が、浸食等により変化しているこ とが確認できる。

50

※下段の画像は、2019年2月及び5月の画像(上段)を重ね合わせている。

気象庁



図 10 草津白根山(白根山(湯釜付近)) 湯釜の北側の状況 ・前回(2018 年 10 月 2 日)と比較して噴気の状況や地熱域の分布に特段の変化は認められなかった。



図 11 草津白根山(白根山(湯釜付近)) 湯釜周辺図 ・赤丸及び赤矢印は、図 10 の撮影位置と撮影方向を示す。

第144回火山噴火予知連絡会



- 図 12 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
  - ・5月27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、湯釜火口内の北側壁面に引き続き
    地熱域を確認した。
  - ・地熱域の分布は、前回の観測(2018 年 4 月 26 日)と比較して大きな変化は認められなかった(赤破線)。

第144回火山噴火予知連絡会



図 13 草津白根山(白根山(湯釜付近)) 水釜火口北側及び北東側斜面の状況及び地表面温度分布 ・5月 27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(2018年4月 26日) と比較して、水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。



図 14 草津白根山(白根山(湯釜付近)) 湯釜周辺図 ・赤丸及び赤矢印は、図 12 及び図 13 の撮影位置と撮影方向を示す。





図 15 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6月11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。

・2018年以降の地震活動と対応するような温度変化は認められない。

### 本白根山

2018年1月23日の噴火以降、噴火は発生していない。 2018年2月下旬以降、噴気は観測されておらず、本白根山火口付近のご く浅部の地震は、2018年12月以降、少ない状態で経過している。 ただし、2018年1月のように突発的に噴火が発生したことを踏まえ、今 後も火口付近では、突発的な噴出に注意する必要がある。

## 〇概況(2019年2月~2019年6月10日)

#### ·地震活動

2018年1月の噴火直後に多発した本白根山火口付近ごく浅部の地震活動は徐々に低下し、2018年12月以降、少ない状態で経過している。逢ノ峰付近を震源とする地震は、2019年3月以降、時々発生している。

火山性微動は観測されていない。

#### · 地殼変動

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の深部の膨張の可能性を示唆する変化がみられていたが、10 月以降停滞している。

#### ・噴気等の表面現象の状況

2018年1月23日の噴火後、鏡池北火口北側の火口列付近でごく弱い噴気が時々観 測されていたが、2018年2月22日を最後に観測されていない。5月27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特段の変化は認められない。



図 16 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 6 月 19 日) ・逢ノ峰付近を震源とする火山性地震は、2019 年 3 月以降時々発生している。

-2

-3

0

-1

138°32

・本白根山火口付近を震源とする火山性地震は、2019年1月から3月にかけて、及び5月下旬以降 時々発生している。



・ごく微小な火山性地震も時々発生している。

気象庁



図 18 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~2019年6月19日)

- ・①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。
- ・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。
- ・逢ノ峰南東-二軒屋(防)の基線では、2019年4月頃よりみられている変化(青破線)は、二軒屋(防) 観測点の挙動(図 23-2 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。
- ・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) がみられていたが、2018 年 10 月頃から停滞している。

#### 第144回火山噴火予知連絡会





図 19 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 ※下図の赤丸及び赤矢印は、上図の撮影位置と撮影方向を示す。 ・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。

### 草津白根山

1982年から1983年にかけて小規模な水蒸気噴火を繰り返した湯釜付近の 地震活動は1993年以降低調だったが、2002年頃から徐々に高まっており、 地震多発に先行して北側噴気地帯のガス組成の変化がたびたびみられてい る。また、湯釜湖水の化学組成にも、高温の火山ガス由来の成分の増加がみ られている。

2014年及び2018年には、湯釜付近の浅部へ火山性流体が急激に注入され ることによると考えられる火山性地震の多発などがみられ、GNSS連続観測 でも、草津白根山の北西~西側の深部の膨張を示唆する変化が繰り返し観 測され、それらは収縮に転じていない。また、本白根山では、2018年に水蒸 気噴火が発生した。

以上のように、草津白根山の火山活動は、中長期的にみると活発な状態 になっており、今後、更に高まっていく可能性がある。草津白根山浅部の活 動だけではなく、草津白根山の北西もしくは西側の地殻変動や周辺の地震 活動にも注意していく必要がある。







図 21 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6月10日)

- ・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 22-1 草津白根山 広域の GNSS 連続観測による面積歪(2014 年 1 月 1 日~2019 年 6 月 10 日) ※5 日間の移動平均を使用した。

- ・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(青破線)が みられていたが、その後同様の変化はみられていない。
- ・2016年の変動はG山之内の変化が影響しており、火山活動に起因するものではない。



図 22-2 草津白根山 広域の面積歪(図 22-1)で使用した GNSS 観測点の南北、東西、上下の変動 (2014 年 1 月 1 日~2019 年 6 月 10 日)

63

※水上2観測点を固定点とした。

草津白根山













2014/1/1 2015/1/1 2016/1/1 2017/1/1 2018/1/1 2019/1/1 図 22-3 草津白根山 広域の面積歪(図 22-1)で使用した GNSS 観測点の南北、東西、上下の変動 (2014年1月1日~2019年6月10日)

(mm)

※戸隠観測点を固定点とした。

気象庁

第144回火山噴火予知連絡会



- 図 23-1 草津白根山 GNSS 各観測点の変動(2013 年 1 月 1 日~2019 年 6 月 10 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、本白根山噴火後の余効変動が含まれていると考えられる(青破線)。
- ・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)。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。



### 図 23-2 草津白根山 GNSS 観測による各観測点の変動(2017 年 1 月 1 日~2019 年 6 月 10 日) (図 23-1 の時間軸を拡大したもの)

逢ノ峰南東観測点では、2018年1月以降、本白根山噴火後の余効変動が含まれていると考えられる(青破線)。 ・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みられていたが、10月頃から停滞している。



図 24 草津白根山 GNSS 観測点



図 25 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6月10日) a-a' は図 26 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(A 領域)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。



図 26 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6月10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、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。



草津白根山

## 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

Volcanic gas composition changes with seismic swarms and ground deformation at Kusatsu volcano

#### 気象庁地震火山部火山課・気象研究所

Volcanic Division, Japan Meteorological Agency Meteorological Research Institute

#### 1. 概要

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 00/HS 比の増加を捉えた。一方、HS/H0 比は観測期間中明示的な変化はなかった。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。

#### 2. 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1)。測定 ガス種は SO<sub>2</sub>, HS、HO、OO2, H2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、HS 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。

#### 3. 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HS濃度差が1ppm以上のデータを用いての少HS比及びHS/H0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 00/HS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<sup>11</sup>は整合的であるため、 2018年10月までのMulti-GASで観測した 00/HS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。それ以降の観測データについてはセンサー応答感度変化の影響が補正出来ていないため、HS 濃度を過小評価(00/HS比を過大評価、HS/H0比を過小評価)している可能性がある。

#### 4. 結果

図2に観測された火山ガス組成の時系列を示す。観測期間中、S0、Liは検出されなかった。2018年4月22日にA型・H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00,HS比の増加が観測された(図2)。00,HS比は2018年4月及び9月の地震頻発前後で増加した。一方で、HS/H0比は観測期間中、明示的な変化はみとめられなかった。センサーの感度変化の影響を考慮すると、2018年11月頃から00,HS比は一定もしくは減少傾向と考えられる。00,HS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。

#### 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1図 観測点と噴気の位置

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使用した。

Fig. 1. Location map of Multi-GAS (●), Mizugama-hokuto(●) and Yugama-higashi(●) observation stations and fumarole(●).



第2図 上段: 00/HS 比の変化、上中段: HS/H0 比の変化、下中段: 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。

#### $Fig 2. CO_2/H_2S \ ratio, H_2S/H_2O \ ratio, Daily number of earthquake (A-type and BH-type) of Yugama \ and \ tilt-meter record \ transition.$
# ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた 草津白根山周辺における SAR 干渉解析

2018年1月の噴火を挟むペアで、鏡池付近において衛星視線方向の距離伸長が検出されたが、 直近のペアでは、ノイズレベルを超えるような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を用いた干渉解析結果について 報告する。

#### 2. 解析結果

解析に使用したデータを第1表に示す。南行軌道(第1図)では、2018年1月の噴火を 挟むペアで、鏡池付近における衛星視線方向の距離伸長の変化が認められる。また、湯釜 の東側で距離短縮が認められるが、直近のペアでは、特段の変化はない。北行軌道(第2, 3図)でも、2018年1月の噴火を挟むペアで、鏡池付近において距離伸長の変化が認めら れるが、湯釜付近の距離短縮は認められない。なお、直近ペアは積雪期を含むため、干渉 度が悪く位相変化は不明である(第2図右)。

なお、各干渉解析結果については、電離圏遅延補正および対流圏遅延補正を行った。

#### 謝辞

本解析で用いた PALSAR-2 データの一部は、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 で所有しているものであり、 JAXA と東京大学地震研究所と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、干渉処理の過程 や結果の描画においては、国土地理院発行の 10m メッシュ(標高)を元にした楕円体高(DEHM) を使用し、地図の描画には GMT を用いた。関係各位におかれては、ここに記して御礼申し 上げます。

Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
19-2880	南行	右	37.5°	2017.11.07	2018.11.06	第1図
(SM1_U2-7)				2018.08.14		
125-720	北行	右	32.3°	2016.06.05	2019.05.19	第2図
(SM1_U2-6)				2019.02.10		
125-720	北行	右	32.3°	2016.08.28	2017.08.27	· 第 3 図
(SM2_FP6-4)				2017.08.27	2018.08.26	

第1表 干渉解析に使用したデータ



第1図 path19(SM1\_U2-7)による干渉解析結果(左:噴火を挟むペア,右:直近ペア) 図中の白三角は山頂を示す。また、丸はGNSS(橙:気象庁、黄:東工大、青:防災科学技術研究所)、 下三角は傾斜計(カラーはGNSSに同じ)の観測点位置を示す。左図で2018年1月に発生した鏡池 付近での噴火に伴う距離伸長と湯釜の東側で距離短縮が認められる。



図中の凡例は第1図と同じ。左図で2018年1月に発生した鏡池付近での噴火に伴う距離伸長が認められる。



図中の凡例は第1図と同じ。右図で2018年1月に発生した鏡池付近での噴火に伴う距離伸長が認められる。

# 草津白根山(湯釜付近)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 2018 年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2019年5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2018年7月末頃から停滞している。

第1図に草津白根山における全磁力連続観測点の配置図を、第2図~第3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 連続観測点の全磁力変化を示す。



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。



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(1990年~2019年6月17日) 連続観測点 P、Q、R および新 P における八ヶ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3~ 4図も同様)。



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(2014年1月~2019年6月17日)



第4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~2019年6月17日) 2019年4月下旬から5月上旬にかけ、Q点で約1nTの減少が認められるが、局所的な磁場変化と考えら れる。

# 草津白根山および周辺域におけるGNSS観測







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





# 草津白根山

### 白根山(湯釜付近)

1. 湯釜湖水中の陰イオン成分濃度の経年変化

1968年以降のフッ化イオン濃度、塩化物イオン、硫酸イオン、全硫酸イオン濃度、2012 年以降のこれらの経年変化を示した(図1)。

長いスパンでみると濃度の上昇が何度も起きている。特に、1982~1983年の湯釜噴火時、 1990年以降の地震群発時、2014年からの湯釜直下の膨張時が顕著である。いずれもフッ化 物イオンと塩化物イオン濃度の変化は極めて明瞭であり、これは高温の火山性流体が湯釜 直下にあると考えられる熱水系へ流入した事を示しており、これによって火山活動が活発 になったと言える。

2018年以降、全硫酸の濃度は大きく変化していないが、フッ化物イオンと塩化物イオン 濃度は上昇傾向にあり、高温の火山性流体が新たに熱水系に入っていると考えられる。



#### 図1 草津白根山 湯釜湖水中の陰イオン成分濃度(1968年~2018年) 最新のサンプルは 2018年11月28日。

1段目 1968年以降のフッ化イオン濃度

2段目 1968年以降の塩化物イオン、硫酸イオン、全硫酸イオン濃度

3段目 2012年以降のフッ化イオン濃度

4段目 2012年以降の塩化物イオン、硫酸イオン、全硫酸イオン濃度

83

2. 湯釜湖水中の陰イオン成分濃度と北側噴気の H2S 濃度の経年変化

北側噴気の H2S 濃度もこれまで濃度の減少が何度も起きている。これに対応して、減少 した後に湖水の陰イオン濃度の上昇が始まっている。これは火山性流体が熱水系に流入し た後に S02 と H2S が化学反応を起こしたために噴気中の H2S 濃度が著しく減少し、湖水中 の全硫酸濃度が上昇したものと考えられる。H2S の変化に比べて湖水の変化が遅いのは、 移動速度が極端に違うことに起因するものである。H2S の濃度変化と湖水の陰イオン成分 濃度の変化は火山活動の重要な指標であるといえる。



図 2 湯釜湖水中の陰イオン成分濃度と北側噴気の H2S 濃度(1980 年~2019 年) 最新のサンプルは 2019 年 5 月 28 日。

- 上 北側噴気の H2S 濃度(ドライガス中の割合)
- 下 湯釜湖水中の陰イオン成分濃度

#### 草津白根火山の地殻変動および湯釜火口湖の様子

2014年3月から継続していた湯釜直下の単調な膨張を示す傾斜変動は、2015年10月以降は収縮を示す 変動へ転じた.その後、2018年4月と9月の群発地震に対応するように、再び湯釜付近の膨張を示唆する 傾斜変動が観測された.この傾斜変動は、2019年4月以降6月にかけて不明瞭となっている.また、湯釜 周辺のGNSSにも顕著な変動は認められない(別紙).なお、湯釜水温および湯釜周辺の空撮画像を検討し たが、昨年と比較して大きな変化は認められないが、2016年と比較して水位が1m程度上昇している.



図 1. 東工大ボアホール型傾斜計 3 箇所の変動(季節変動・気圧応答・長野県北部地震時ステップ・潮汐を補正した). (a) 2014年1月1日~2019年2月19日の日値.(b) 2018年1月1日以降の拡大表示.2019年4月以降も僅かな傾斜変動が認められるもの,それ以前と比較して不明瞭である..

20

0

06 07

08

09 10

2018

11



01

12

02

03 04

2019

05 06

であったが、2016年8月以降は平年値付近で推 移してきた. その後, 顕著な群発地震が発生した 2018年4月前後,および10月前後の水温はやや 高く見えるが、2014年頃のように顕著ではない. (b) 2019年6月18日から過去1年における日平 均の湖面放熱率 (Terada et al., 2008). 2018 年 10~11 月の放熱率は平年値よりも若干高い値が 算出された、これは群発地震に対応するのかも知 れない. それ以後は、平年値付近で推移している.



ドローンによる湯釜空撮.(a)2018 年 8 月 21 日,(b)2019 年 5 月 23 日. 湖面上に見える島状の地形はほぼ湖面下 図3. に没したが、その主たる原因は浸食である.現地で撮影された2016年頃の写真と比較すると、水位上昇量は約1m程 度と考えられる(最大水深は約30m). なお,水温上昇を伴わない水位上昇は,湖底噴出流体の流量増大を反映してい る可能性がある (Terada and Hashimoto, 2017).



87

## 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 2019 年 5 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 (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>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<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比を示し、相対的に<sup>3</sup>He に富む、マグマ起源の火山ガス成分が卓越している。山麓のいくつかの噴気や 温泉では、2017 年まで比較的一定した <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比がみられていたが、2018 年 1 月の本白根山の噴火後に <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比の低下とそれに続く上昇が観測され、2018 年 5 月から 8 月にかけてそれぞれ最高値を示した。 2018 年 9 月以降は、湯釜火口からやや離れた地点では 2017 年以前と同程度の <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比に戻ったが、 北側噴気と東山麓の殺生河原噴気地帯では、依然として高い <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比が観測されている。

#### 2. はじめに

ヘリウム (He) などの希ガスは、化学的に不活性であり化学反応に関与しないため、その同位体比 (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比) は地下深部からの移動過程で変動しにくく、起源の異なる複数の供給源からの寄与率の 違いを反映している。ヘリウムの安定同位体のうち、<sup>3</sup>He は地球上でほとんど生成されず、地球形成時 から存在する始原的成分がほとんどを占めている一方、<sup>4</sup>He では始原的成分に加えて、U や Th の放射壊 変によって生成された成分 (放射壊変起源成分) も多く存在している。この始原的成分と放射壊変起源 成分の寄与率の違いを反映して、大気、マントル、地殻の <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比は大きく異なる。大気の <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比の絶対値 ( $R_A = 1.4 \times 10^{-6}$ )を基準とすると、マントルの値は 8  $R_A$  程度であり相対的に始原的成分に富 んでいる一方で、地殻の値は 0.02  $R_A$  以下であり、放射壊変起源成分が卓越している。このような値の 違いを利用することで、マグマ活動度が評価できると期待される<sup>[1]</sup>。

#### 3. 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を採取した後、<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比と<sup>4</sup>He/<sup>20</sup>Ne 比を希ガス質量分析計<sup>[2,3]</sup>を用いて 測定した。

試料に含まれるヘリウムには、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<sup>20</sup>Ne)との比(<sup>4</sup>He/<sup>20</sup>Ne 比)をもとに見積もら れる。本報告で示す<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比はすべて、大気起源ヘリウムの寄与を除いた<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比(Air-corrected <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He)である。なお北側噴気と殺生河原、草津湯畑、万座湯畑の<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比は、1994 年<sup>[4]</sup>あるいは 2001 年<sup>[5]</sup>時のデータが報告されている。

#### 4. 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<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>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へリウムの寄与が大きく、大気の

混入を除去した<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>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<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比(7.2~8.1 R<sub>A</sub>)を、全観測期間を通して示している。1994年の報告値(8.1 R<sub>A</sub>)もこの範囲に入る。これは<sup>3</sup>He に相対的に富むマントル起源のヘリウムを含み、 <sup>4</sup>He に富む基盤岩や古い地下水中のヘリウム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。本白根山の噴火後数ヶ月間の変動の有無は不明であるが、2016年~2017年は7.2~7.6 R<sub>A</sub>程度で推移していた3つの噴気孔が、2018年5月以降はやや高い7.6~8.1 R<sub>A</sub>という値を示している。

殺生河原では 2017 年まで、北側噴気に次いで高い <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比(6.9~7.7 R<sub>A</sub>) が見られていた。1994 年の報告値(7.5 R<sub>A</sub>)もこの範囲に入る。本白根山の噴火の翌日(1月24日)の <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比は 7.1 R<sub>A</sub> 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<sub>A</sub>)を示した。以後は上昇に転じ、2017 年以前と同様かやや高い値(7.4~7.7 R<sub>A</sub>)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<sub>A</sub> であった <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比はその後上昇し、2018 年 8 月に最高値(7.7 R<sub>A</sub>)を示した後、現在はやや低い 7.1 R<sub>A</sub> 程度で推移している。

草津湯畑では前述の通り<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比が精度よく求められていないが、2018 年 2 月までは概ね一定の値 (6.5~6.9 R<sub>A</sub>)を示していた。2018 年 4 月から 6 月にかけて 6.0 R<sub>A</sub> まで減少したが、7 月には上昇し、 8 月にかけて北側噴気・殺生河原噴気に迫る高い値(平均 7.5 R<sub>A</sub>)が観測された。その後 2018 年 9 月以 降は 7.0 ~7.2 R<sub>A</sub>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<sub>A</sub>)は 2014 年 10 月~ 2018 年 2 月の範囲(6.5~6.9 R<sub>A</sub>)に入るが、2001 年には高い値(7.7 R<sub>A</sub>)も報告されている。

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 と 6 月には、2001 年の報告値(7.0  $R_A$ )に近い  ${}^{3}$ He/ ${}^{4}$ He 比(6.8~6.9  $R_A$ )が観測されていた。しかし 7 月と 10 月にはやや高い値(7.5~7.7  $R_A$ )が観測されている。

総じて 2017 年までは、1994 年あるいは 2001 年時と比較して <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比に大きな変化はなく、2014 年 3 月から 9 月にかけて継続していた群発地震に対応した変動は見られなかった。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 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比の低下は、本白根山の噴火に応答し ていた可能性がある。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<sub>A</sub> と報告されているため、やはり 2018 年 3 月の時点ですでに、<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比が低下していた可能性が高い。これらの地点で従前よりも <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比が低くなるには、北側噴気に代表される高い <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比(8 R<sub>A</sub>程度)をもつ火山ガス成分に加わって いた、6 R<sub>A</sub> より低い <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比をもつ成分の寄与が増加する必要がある。この成分の供給源は現時点で は不明であるが、それ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 <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比の低下が観測された可能性が示唆される。

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<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比が観測されており、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<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比が観測されている。これら は高い<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>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たこと を意味している。2014 年の群発地震の後には、<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比の変動は観測されていなかったことから、2018 年以降の活動は 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る。2018 年9月以降にいくつかの地点(万座干俣・草津湯畑・万座湯畑)ではマグマ起源成分の寄与率がやや下

### がったように見えるものの、北側噴気と殺生河原では依然として大きく、今後も注意深く観測を継続す る必要がある。

[参考文献]

- [1] Padrón, E., Pérez, N.M., Hernández, P.A., Sumino, H., Melián, G.V., Barrancos, J., Nolasco, D., Padilla, G., Dionis, S., Rodríguez, F., Hernández, I., Calvo, D., Peraza, M.D., Nagao, K., 2013. Diffusive helium emissions as a precursory sign of volcanic unrest. Geology 41, 539-542.
- [2] Sumino, H., Nagao, K., Notsu, K., 2001. Highly sensitive and precise measurement of helium isotopes using a mass spectrometer with double collector system. J. Mass Spectrom. Soc. Jpn. 49, 61-68.
- [3] 角野浩史, 2015. 希ガス同位体質量分析の温故知新. J. Mass Spectrom. Soc. Jpn. 63, 1-30.
- [4] Sano, Y., Hirabayashi, J., Ohba, T., Gamo, T., 1994. Carbon and helium isotopic ratios at Kusatsu-Shirane volcano, Japan. Applied Geochemistry 9, 371-377.
- [5] 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~2019 年 5 月の<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比(大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み)。2017 年 4 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~2019 年 3 月の<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He 比(大気起源ヘリウムの混入の効果は補正済み)。2017 年 4 月以降は時間軸を拡大して示している。誤差は 1g 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、また GNSS によると KSHV に南向きの水平変動がみられるが、どちらも 火山活動との関連は不明である。



図1 草津白根山の傾斜変動

草津白根山

93

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 5 月 1 日-2019 年 4 月 30 日の地殻変動【中之条(0954) 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)





図3 防災科研3観測点と、KSHV-GEONET 草津観測点(0591)、KSHV-GEONET 嬬恋観測点(0221) の基線長変化(2014/1/1~2019/4/30)

#### 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
	黄油石用山工但		2012/3/26	2周波観測開始
	早洋白根山十侠 (KSHV)	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
	节决方把小一打官		2014/11/25	2周波観測開始
	早洋日根山—軒座 (KSNV)		2015/1/15~	语信问组本词
			2015/4/17	通信但稼个詞
	甘油白田山公江西		2015/1/19	2周波観測開始
		K-2	2017/12/29~	機器異常による欠測
			2018/1/12	