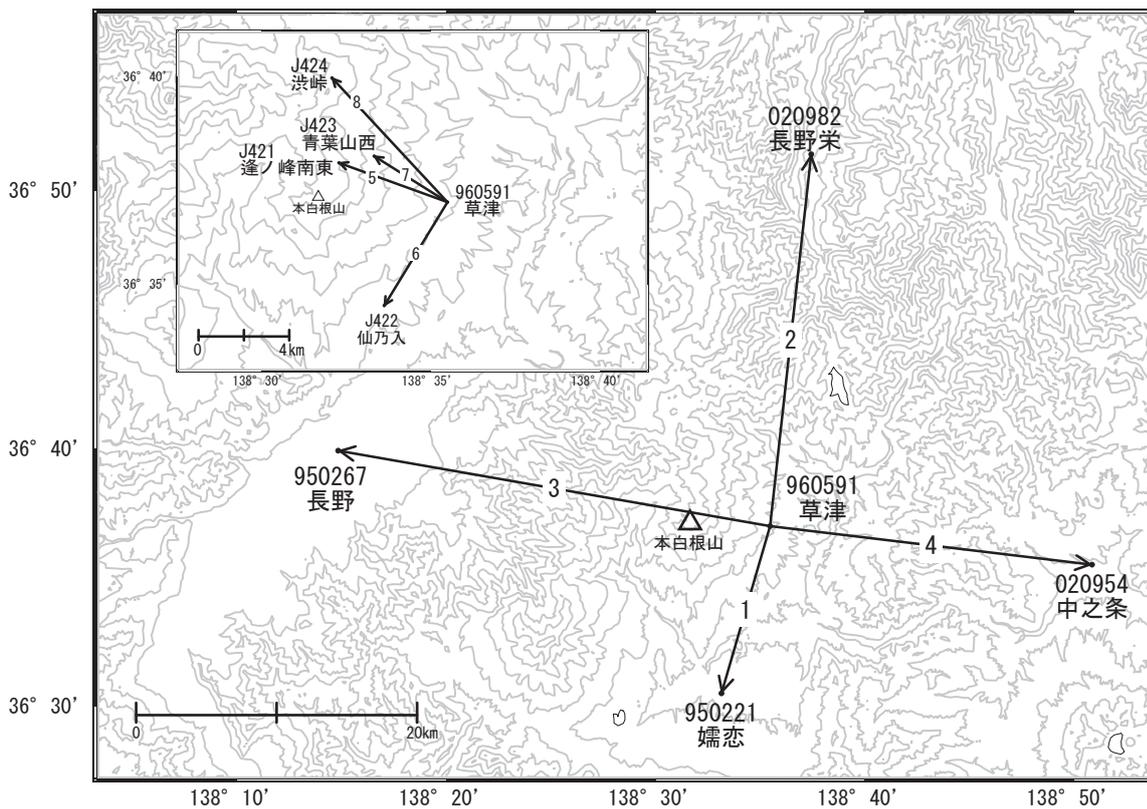


草津白根山

GNSS連続観測結果では、顕著な地殻変動は見られません。

草津白根山周辺 GNSS連続観測基線図



草津白根山周辺の各観測局情報

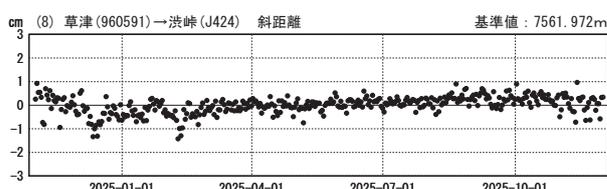
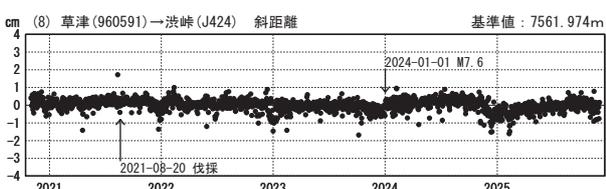
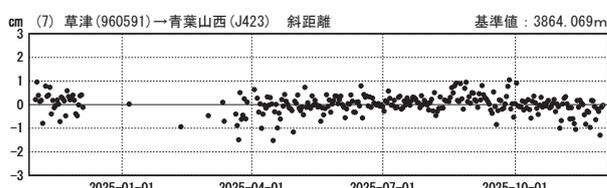
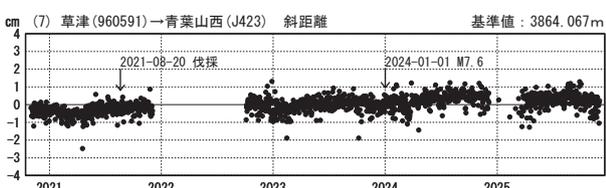
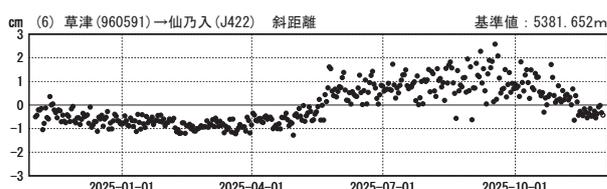
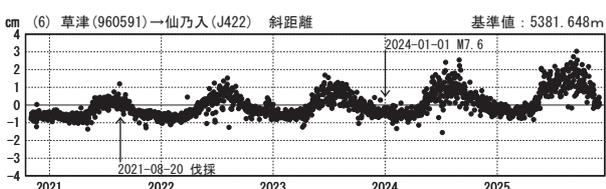
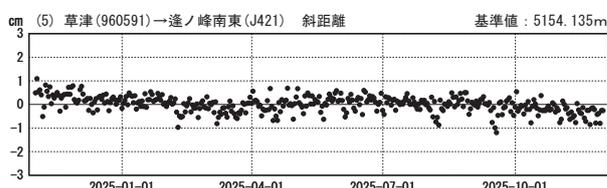
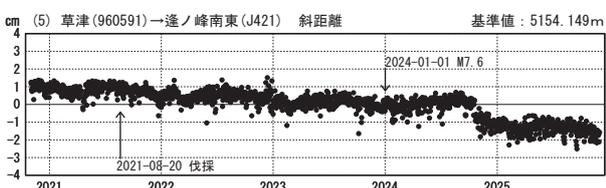
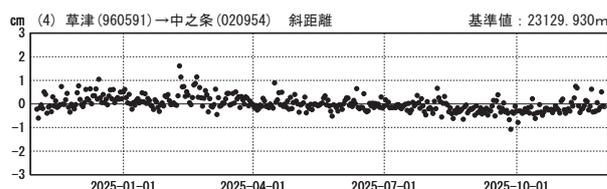
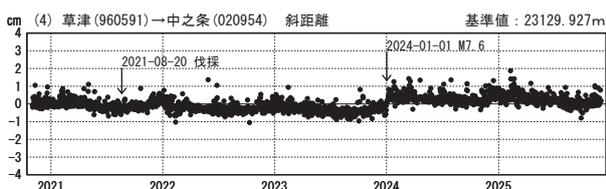
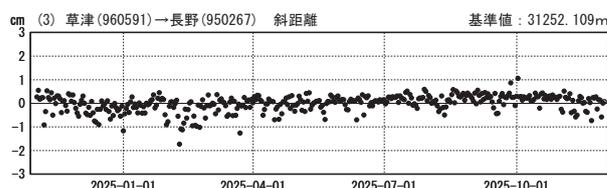
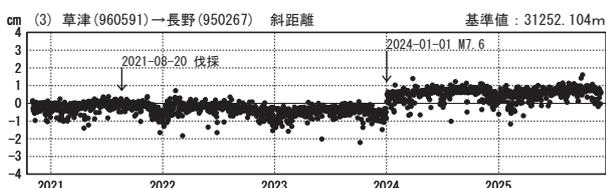
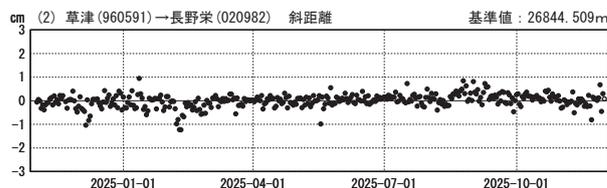
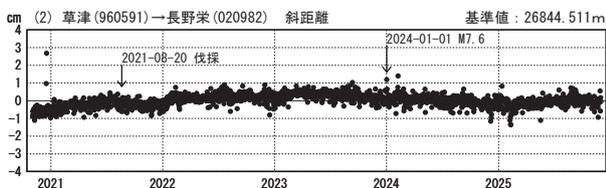
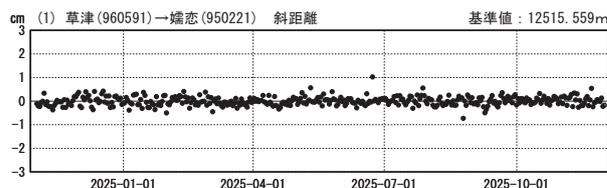
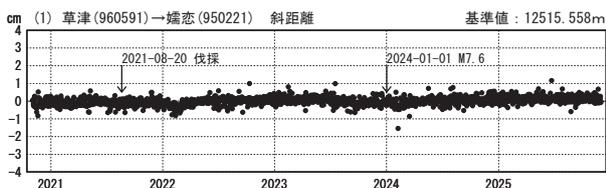
| 点番号 | 点名 | 日付 | 保守内容 |
|--------|-----|------------|---------------|
| 960591 | 草津 | 2021-08-20 | 伐採 |
| | | 2022-11-19 | アンテナ更新・受信機更新 |
| | | 2024-10-10 | レドーム開閉 |
| 950221 | 嬬恋 | 2024-10-12 | レドーム開閉 |
| 950267 | 長野 | 2020-11-25 | 二重管化 |
| | | 2020-11-26 | アンテナ更新・レドーム交換 |
| | | 2021-11-12 | 受信機更新 |
| 020954 | 中之条 | 2021-11-12 | 受信機更新 |
| | | 2024-10-13 | レドーム開閉 |
| 020982 | 長野栄 | 2024-09-15 | レドーム開閉 |
| | | 2024-11-20 | 受信機更新 |

基線変化グラフ（長期）

基線変化グラフ（短期）

期間：2020-11-01～2025-11-30 JST

期間：2024-11-01～2025-11-30 JST



●---[F5:最終解] ○---[R5:速報解]

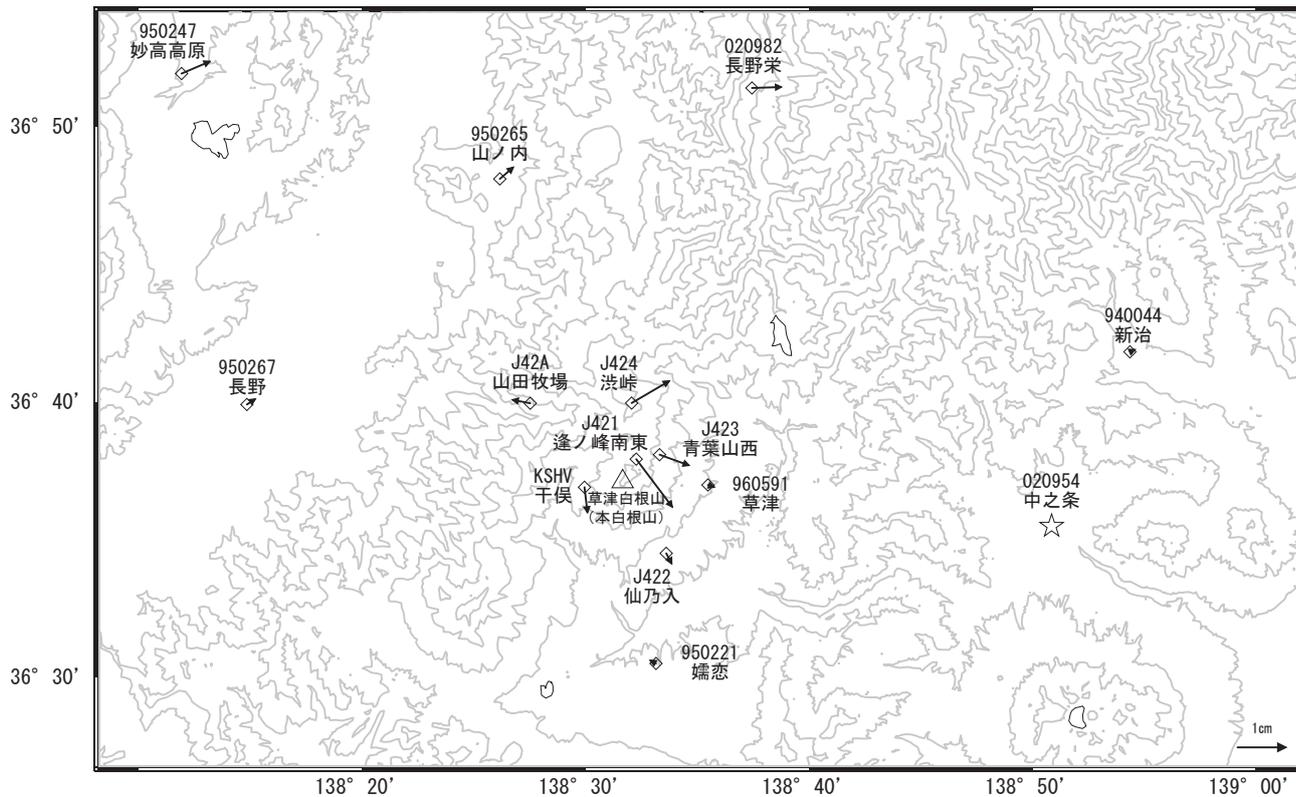
国土地理院・気象庁

※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

草津白根山

草津白根山周辺の地殻変動(水平:1年)

基準期間:2024-11-21~2024-11-30[F5:最終解]
比較期間:2025-11-21~2025-11-30[R5:速報解]

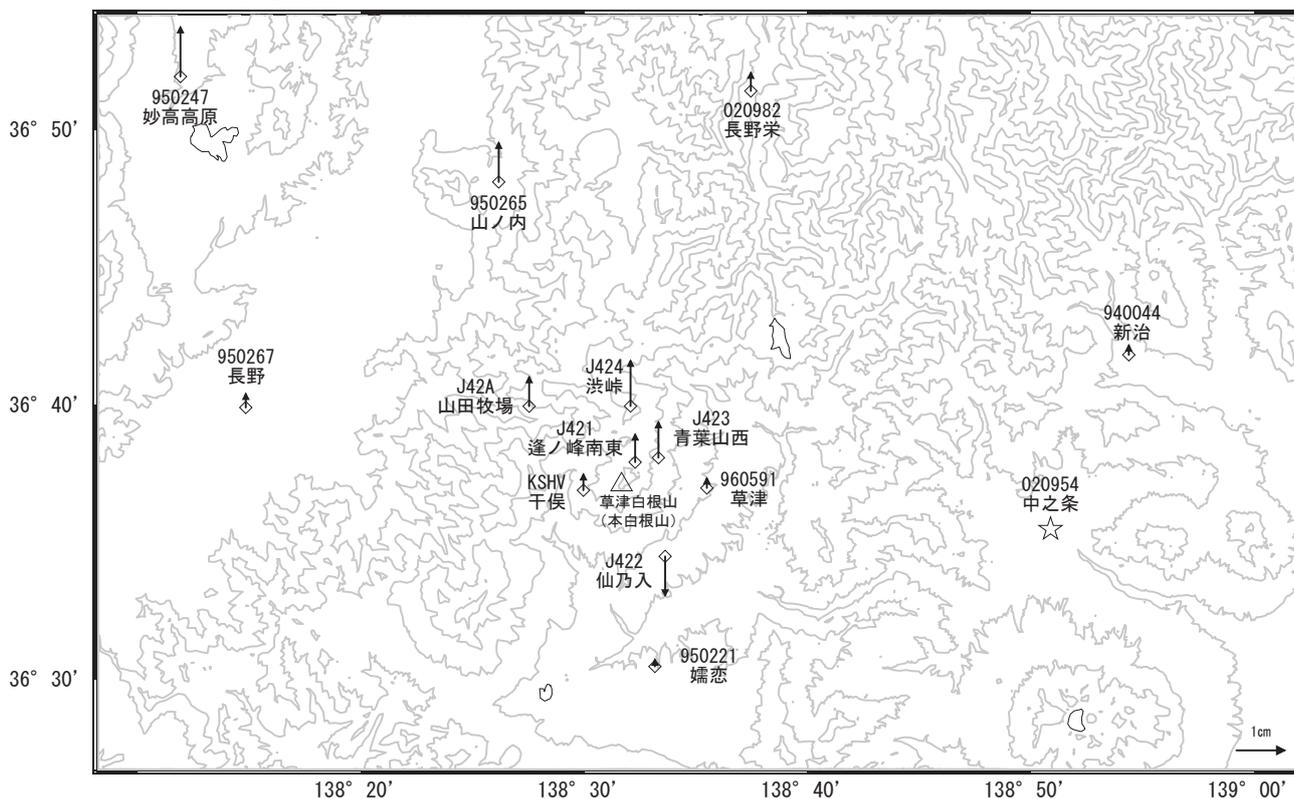


☆ 固定局:中之条(020954)

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(上下:1年)

基準期間:2024-11-21~2024-11-30[F5:最終解]
比較期間:2025-11-21~2025-11-30[R5:速報解]



☆ 固定局:中之条(020954)

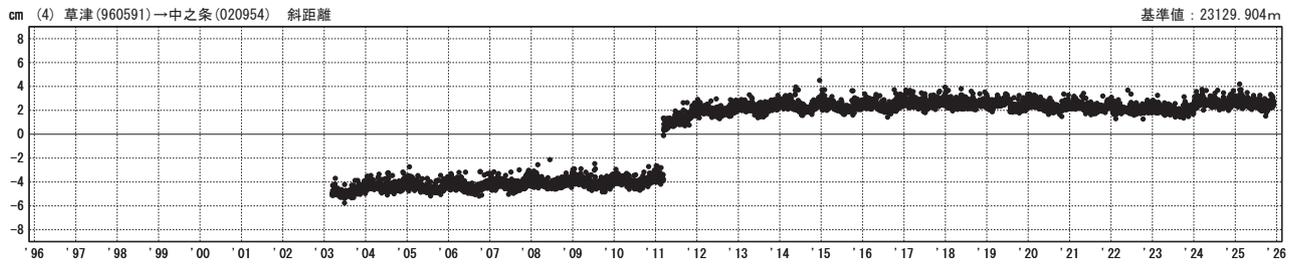
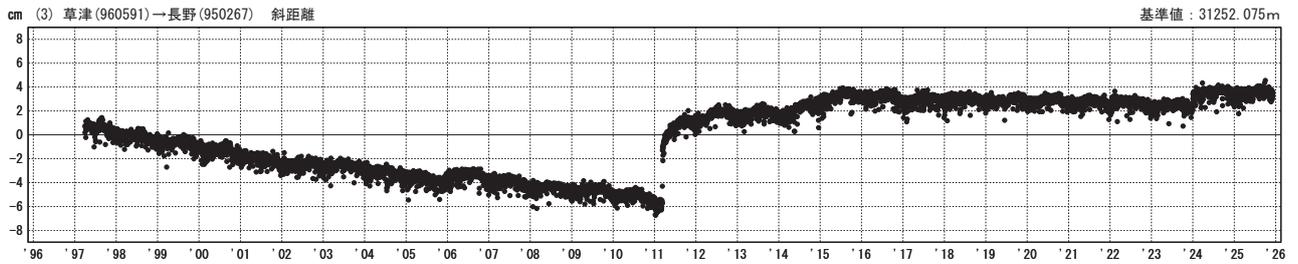
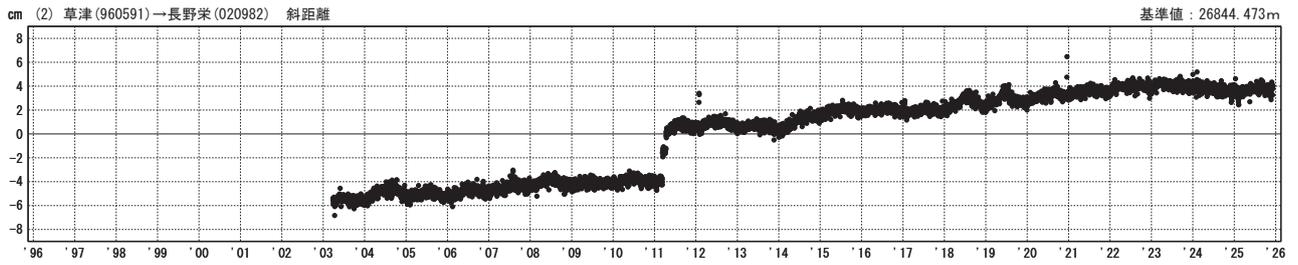
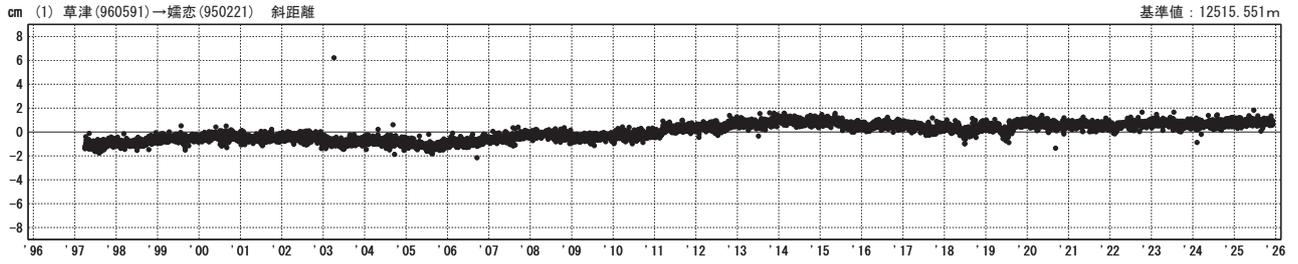
国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

※電子基準点の保守等による変動は補正済み

草津白根山

基線変化グラフ（長期）

期間：1996-01-01～2026-01-01 JST



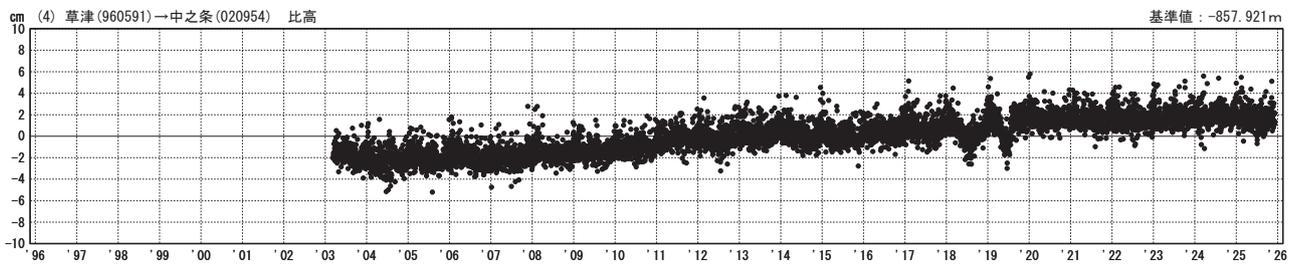
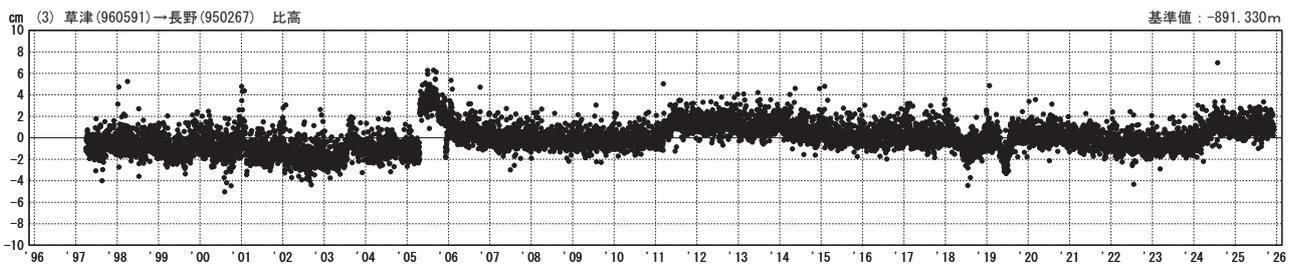
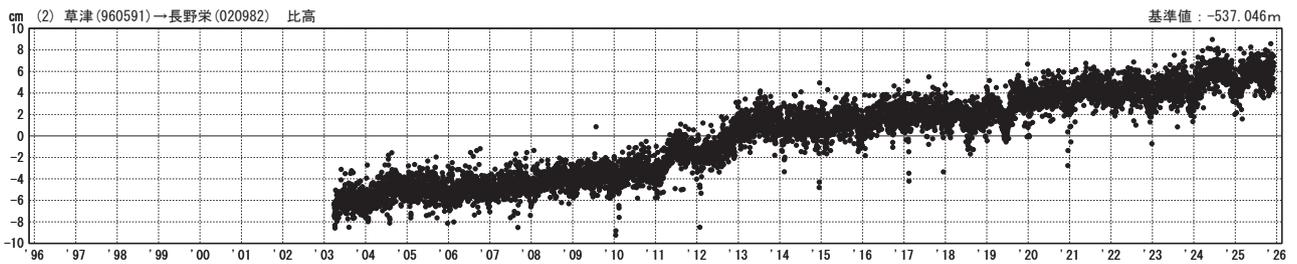
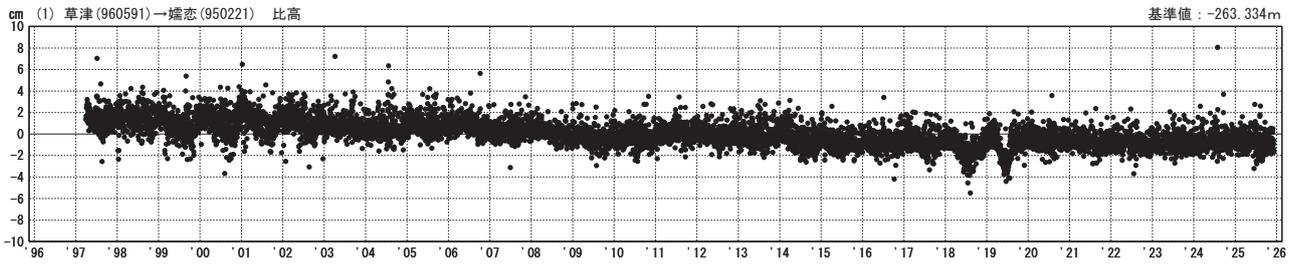
●—[F5:最終解]

国土地理院

※電子基準点の保守等による変動は補正済み

比高変化グラフ（長期）

期間：1996-01-01～2026-01-01 JST



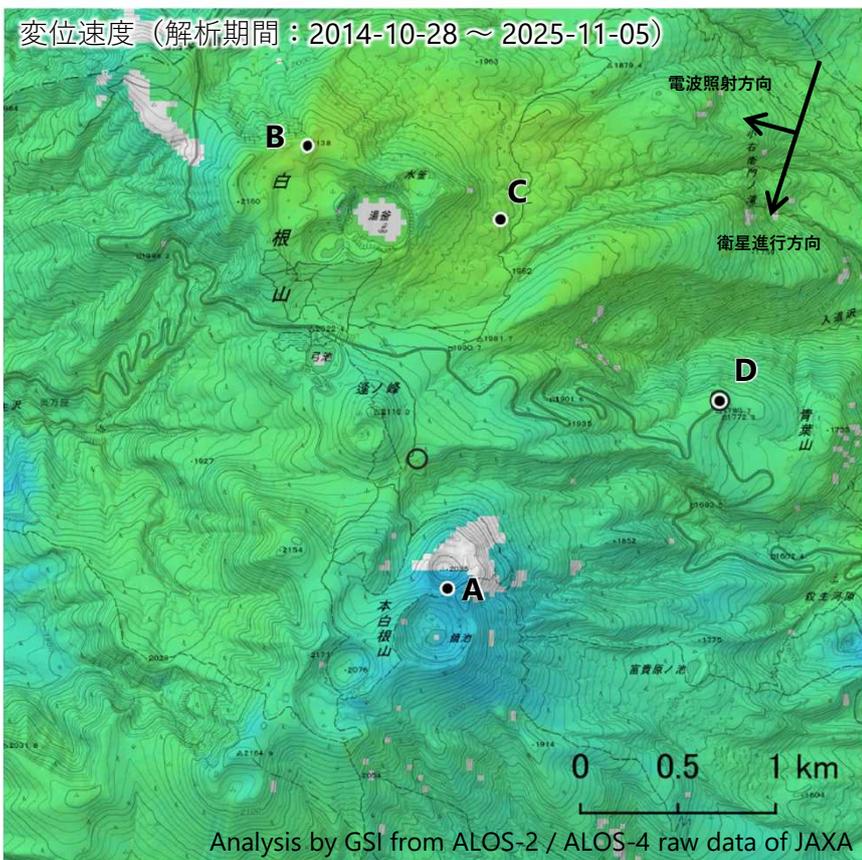
●—[F5:最終解]

国土地理院

※電子基準点の保守等による変動は補正済み

草津白根山の干渉SAR時系列解析結果（だいち2号／4号 南行）

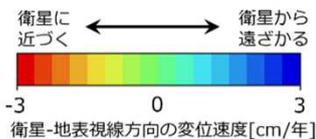
本白根山の地点A周辺において、長期的に衛星から遠ざかる変動が見られます。



| | |
|-------|-------------------------------|
| 衛星名 | だいち2号 だいち4号 |
| 観測期間 | 2014-10-28 ～ 2025-11-05 |
| 入射角 | 37.5° |
| データ数 | 41 |
| 干渉ペア数 | 332 |
| 空間分解能 | 約 30 m |

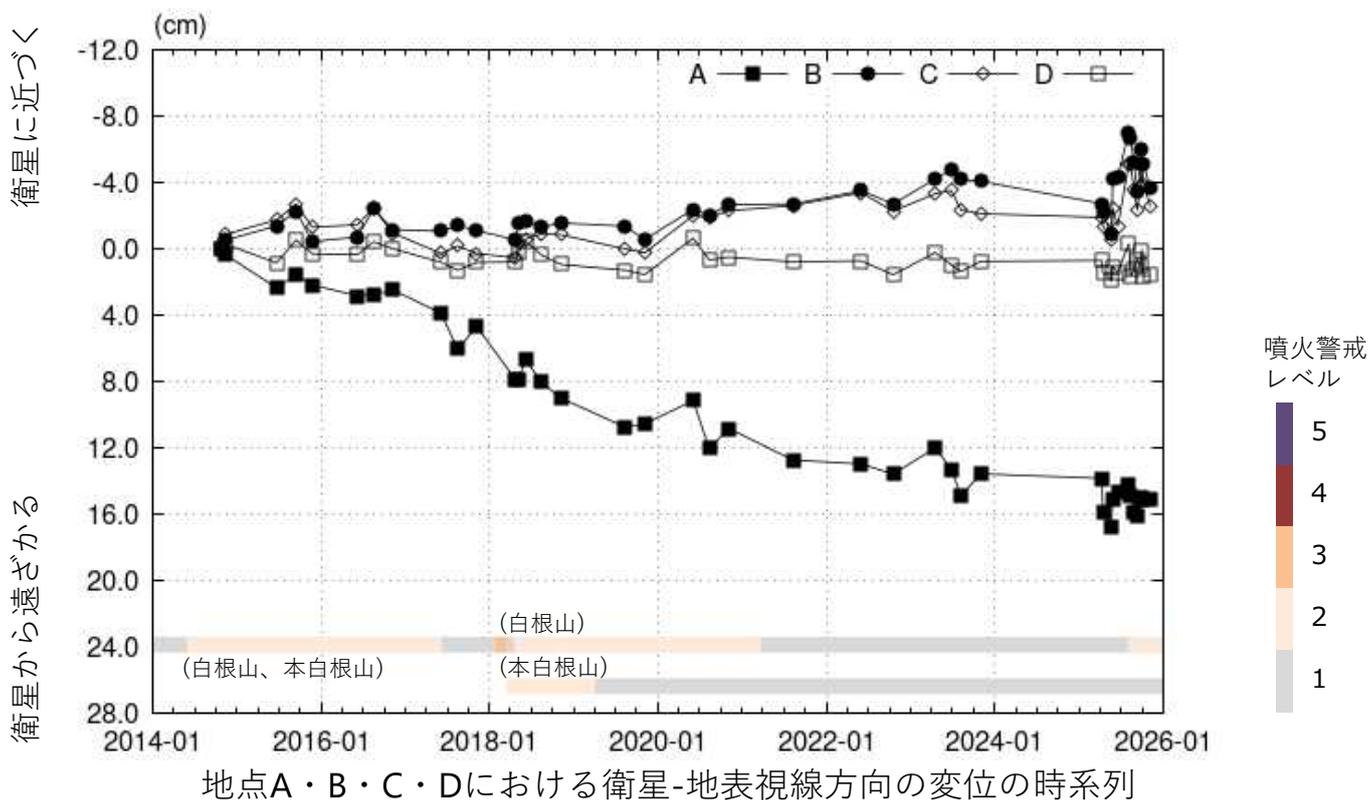
○ 国土地理院以外のGNSS観測点

参照点：
電子基準点「草津」付近



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

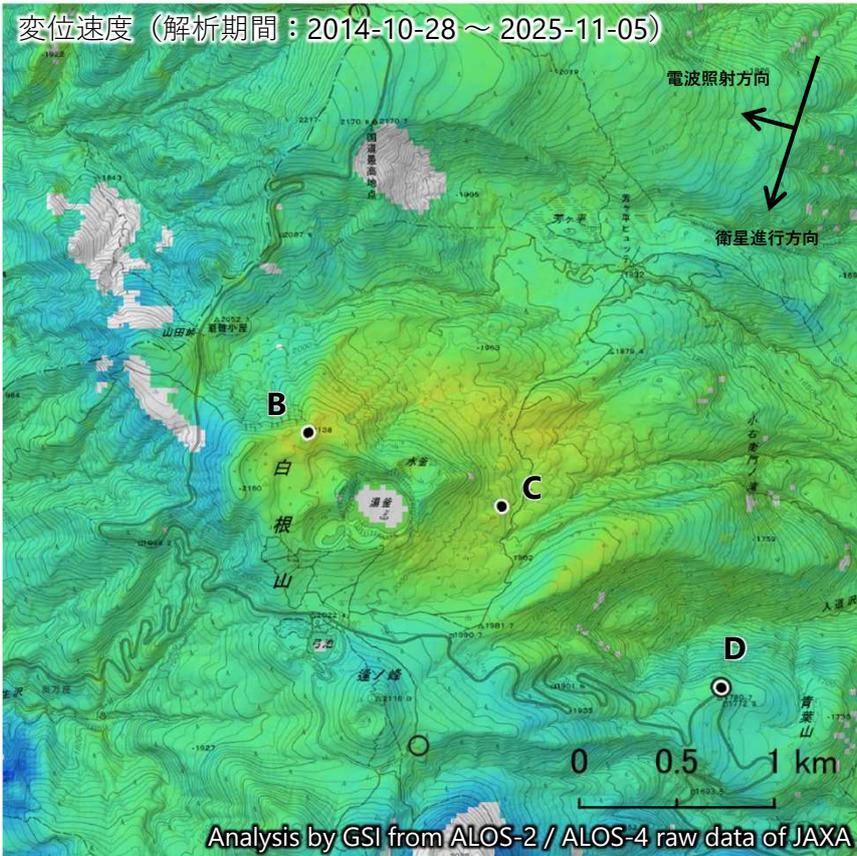


草津白根山

本解析で使用したデータは、JAXAとの協定及び火山活動衛星解析グループの活動を通して得られたものです。対流圏遅延補正には、気象庁数値予報格子点データを使用しています。

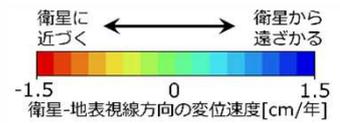
草津白根山の干渉SAR時系列解析結果（だいち2号／4号 南行）

（参考）湯釜周辺 ※カラースケール変更



○ 国土地理院以外のGNSS観測点

参照点：
電子基準点「草津」付近

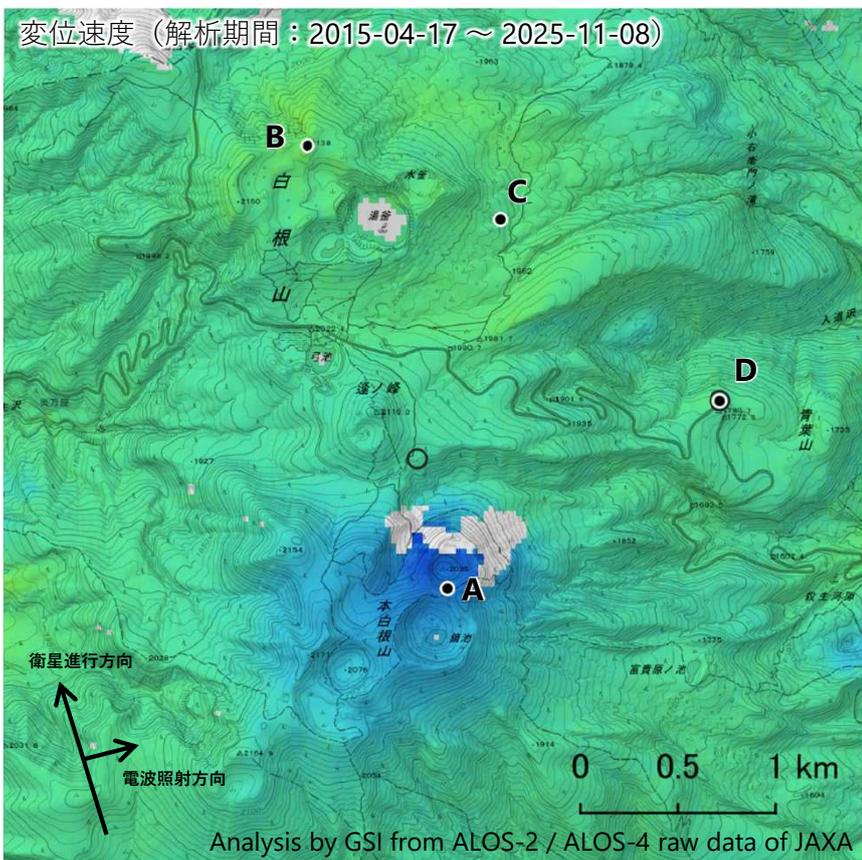


背景：地理院地図 標準地図
陰影起伏図・傾斜量図

干渉SAR時系列解析手法：SBAS法

草津白根山の干渉SAR時系列解析結果（だいち2号／4号北行）

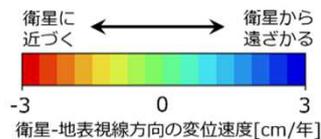
本白根山の地点A周辺において、長期的に衛星から遠ざかる変動が見られます。



| | |
|-------|-------------------------------|
| 衛星名 | だいち2号 だいち4号 |
| 観測期間 | 2015-04-17 ～ 2025-11-08 |
| 入射角 | 42.6° |
| データ数 | 21 |
| 干渉ペア数 | 87 |
| 空間分解能 | 約 30 m |

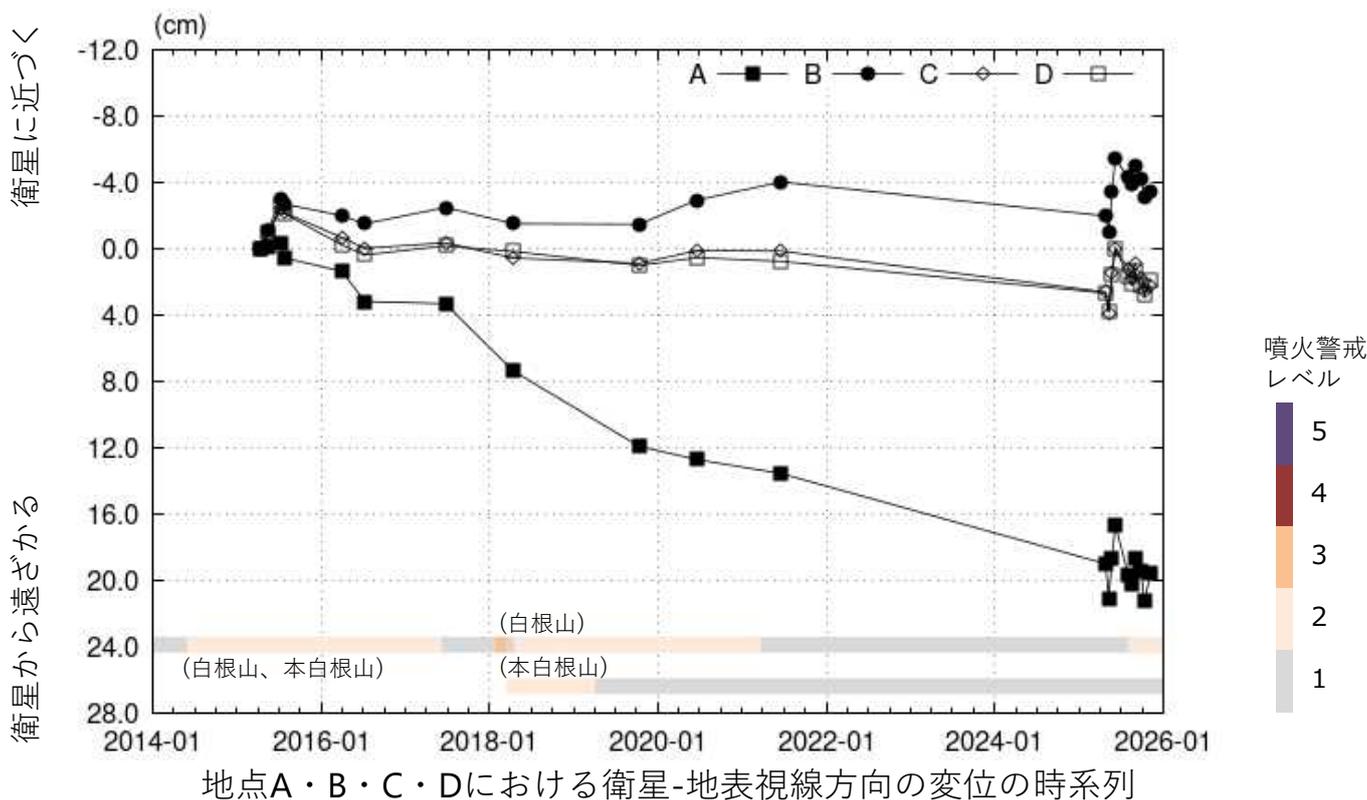
○ 国土地理院以外のGNSS観測点

参照点：
電子基準点「草津」付近



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

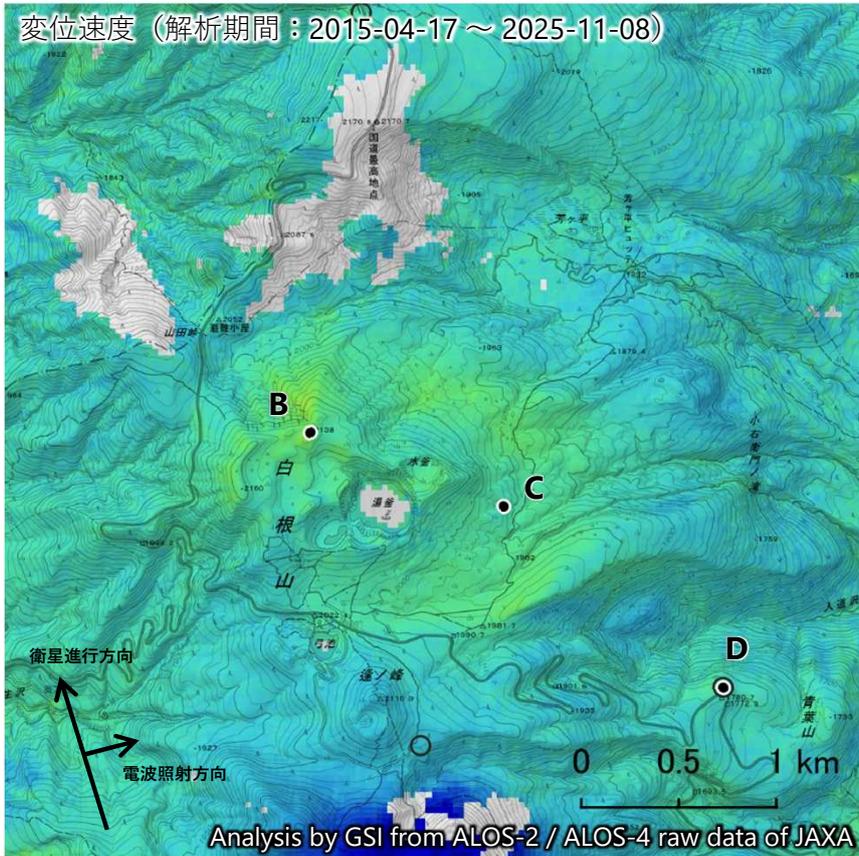


草津白根山

本解析で使用したデータは、JAXAとの協定及び火山活動衛星解析グループの活動を通して得られたものです。対流圏遅延補正には、気象庁数値予報格子点データを使用しています。

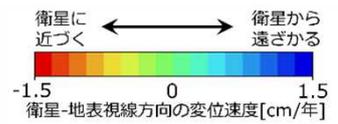
草津白根山の干渉SAR時系列解析結果（だいち2号／4号北行）

（参考）湯釜周辺 ※カラースケール変更



○ 国土地理院以外のGNSS観測点

参照点：
電子基準点「草津」付近



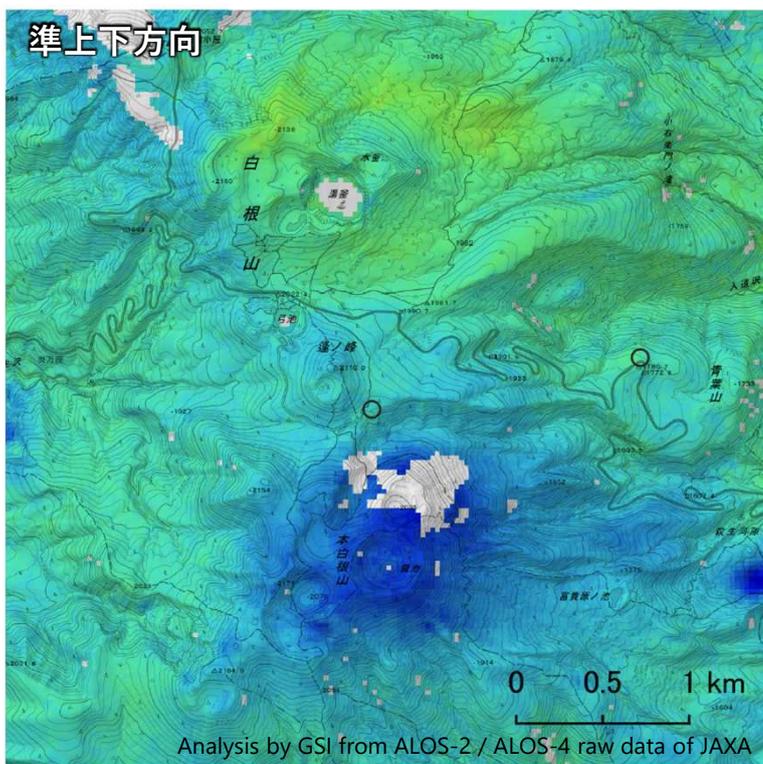
背景：地理院地図 標準地図
陰影起伏図・傾斜量図

干渉SAR時系列解析手法：SBAS法

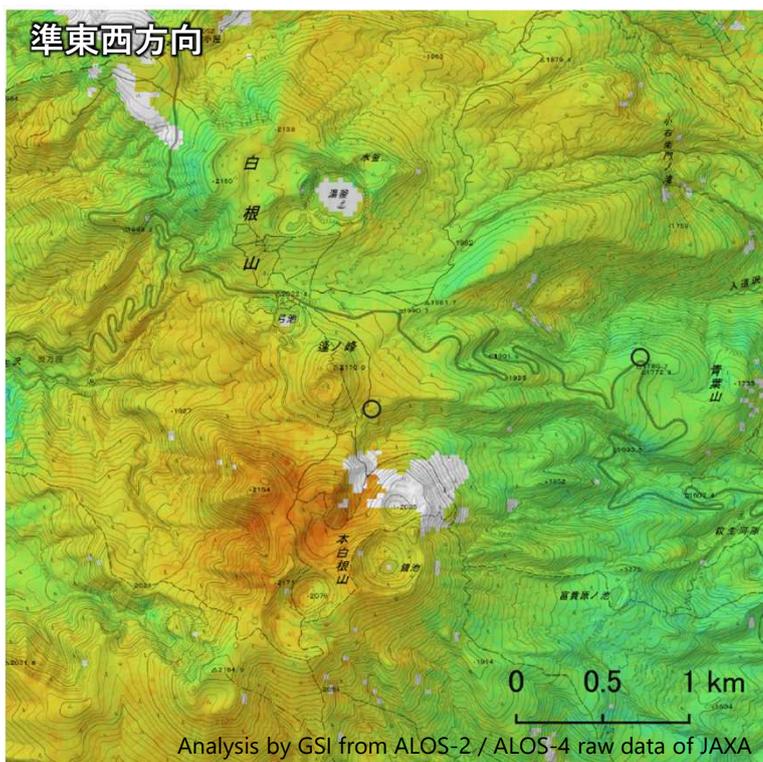
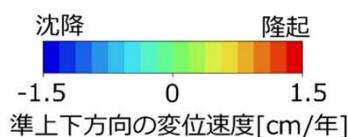
草津白根山の2.5次元解析結果（2021年～2025年）

本白根山において、沈降が見られます。また、本白根山西側において、東向きの変動が見られます。

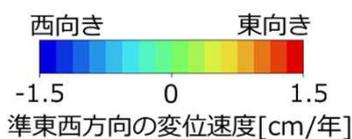
解析ペア：2021-08-10～2025-11-05（東→西）、2021-06-18～2025-11-08（西→東）



○ 国土地理院以外のGNSS観測点
参照点：電子基準点「草津」付近



○ 国土地理院以外のGNSS観測点
参照点：電子基準点「草津」付近



背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

草津白根山

本解析で使用したデータは、JAXAとの協定及び火山活動衛星解析グループの活動を通して得られたものです。対流圏遅延補正には、気象庁数値予報格子点データを使用しています。

草津白根山の2.5次元解析結果（2021年～2025年）

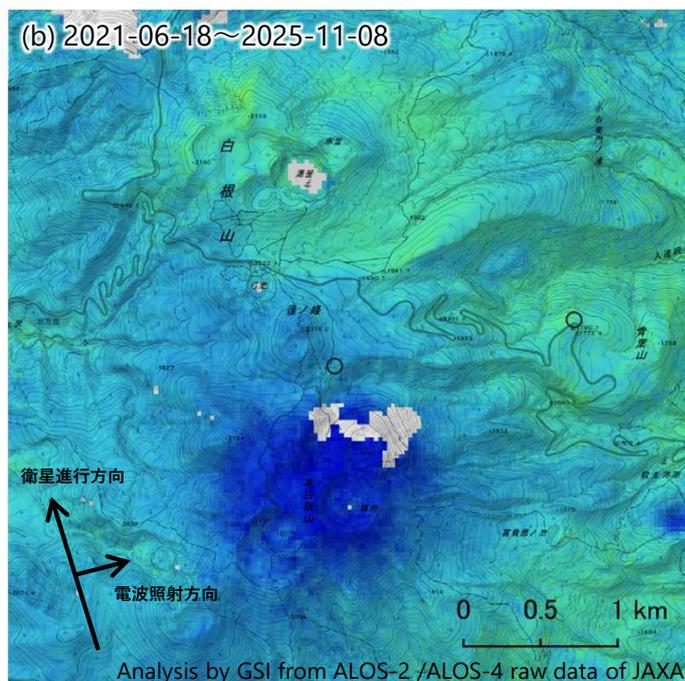
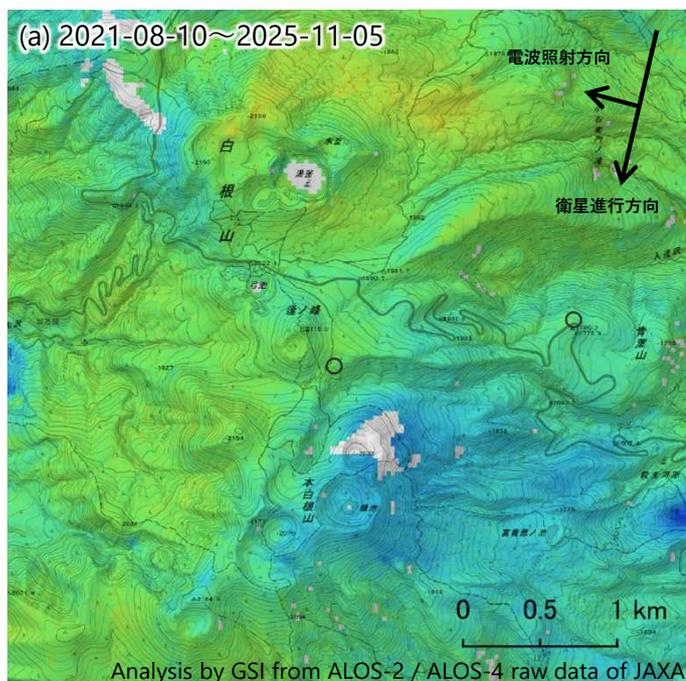
| 衛星名 | だいち2号 だいち4号 | だいち2号 だいち4号 |
|-----------------|--|--|
| 観測日*1 計算期間*2 | 2014-10-28～2025-11-05 (a) 2021-08-10～2025-11-05 | 2015-04-17～2025-11-08 (b) 2021-06-18～2025-11-08 |
| 衛星進行方向 | 南行 | 北行 |
| 電波照射方向 | 右(西) | 右(東) |
| 入射角 | 37.5° | 42.6° |
| 空間分解能 | 約 30 m | 約 30 m |

*1 観測日：SBAS法に使用した期間

*2 計算期間：変位を計算した期間

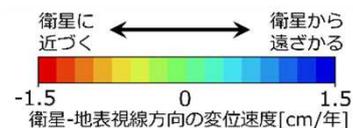
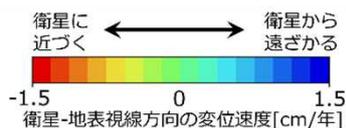
南行軌道の変位速度

北行軌道の変位速度



○ 国土地理院以外のGNSS観測点
参照点：電子基準点「草津」付近

○ 国土地理院以外のGNSS観測点
参照点：電子基準点「草津」付近

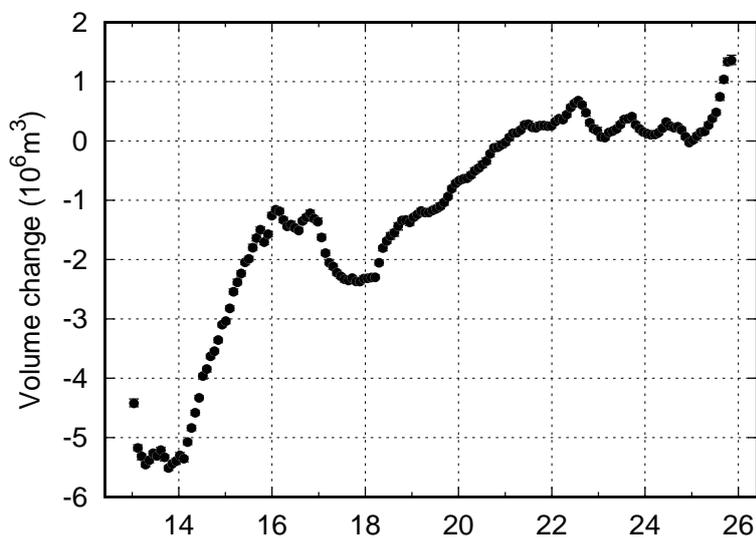
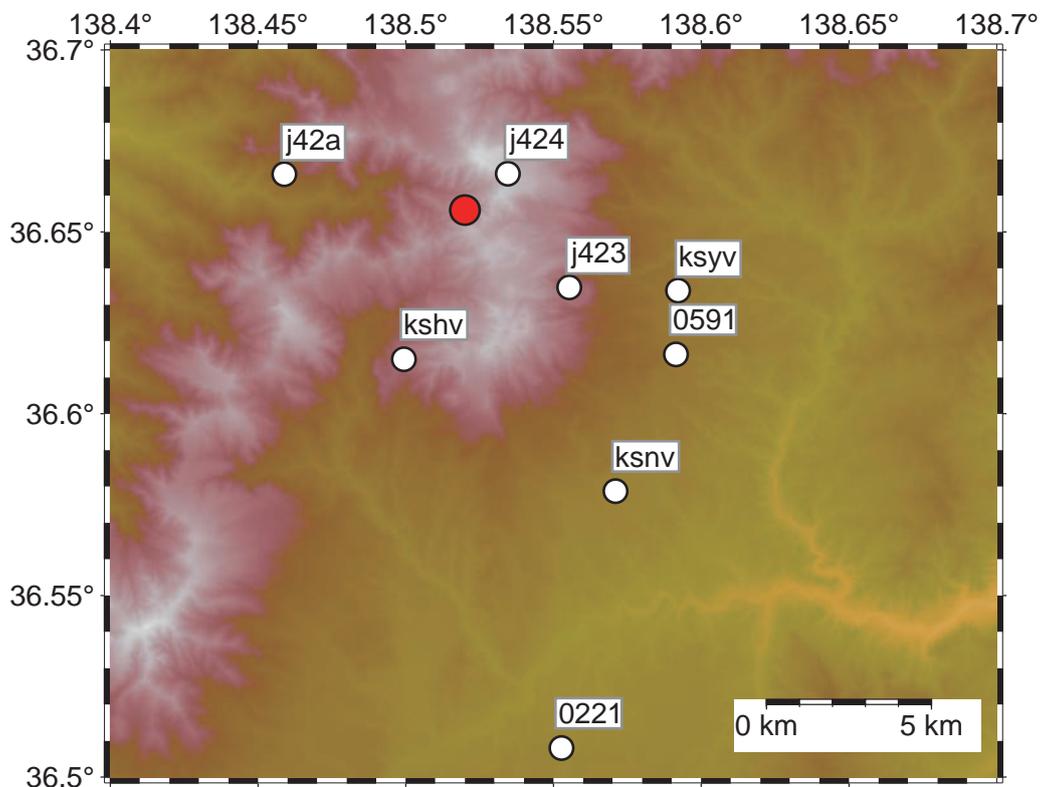


背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

草津白根山

本解析で使用したデータは、JAXAとの協定及び火山活動衛星解析グループの活動を通して得られたものです。対流圏遅延補正には、気象庁数値予報格子点データを使用しています。

草津白根山の地殻変動力源の位置と体積変化



力源 (Munekane 2021)

| | Type | Longitude [deg] | Latitude [deg] | Depth [km; bsl] | a [m] | Axis ratio | Strike [deg] | Plunge [deg] |
|------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-----------|---------------|-----------------|-----------------|
| No.1 | Spheroid (Oblate) | 138.52 | 36.656 | 4.3 | 10 | 201.9 | 40.1 | 84.8 |

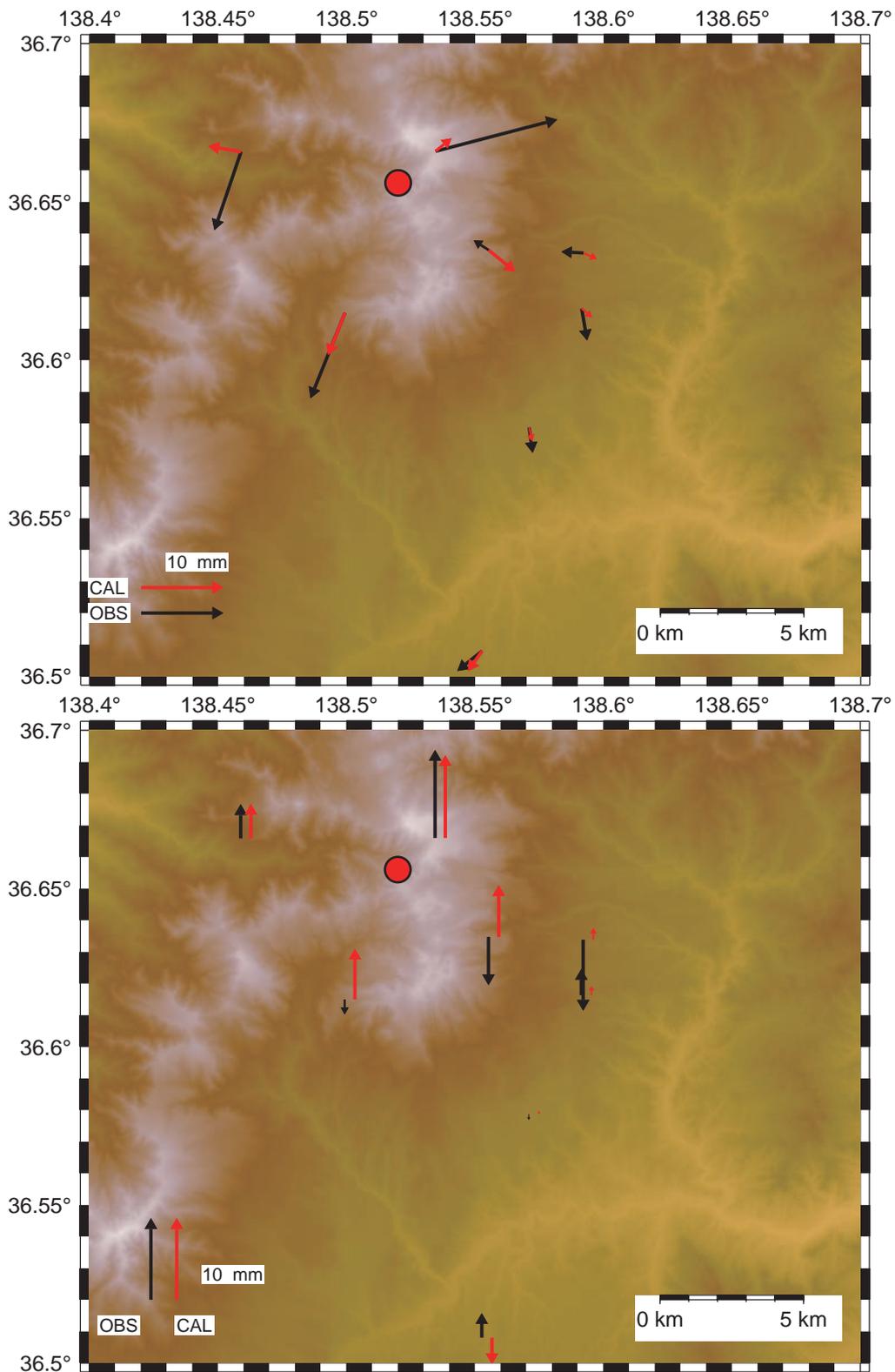
太字は固定値

第 1 図 カルマンフィルター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（白丸）と地殻変動力源の位置（赤丸）
 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

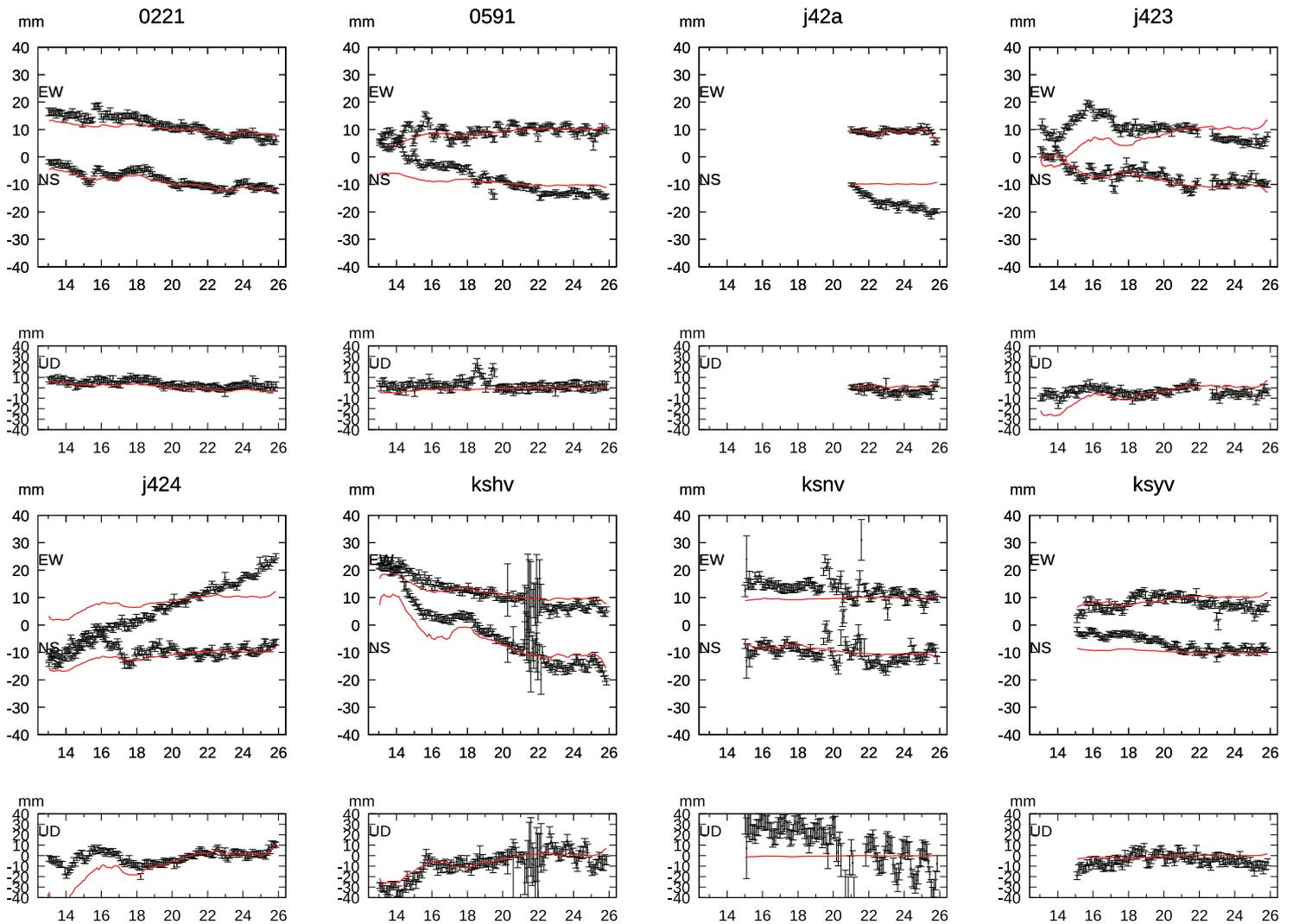
草津白根山の地殻変動（観測値と計算値）

2021-2-4/2025-11-10



第 2 図 観測値と計算値の比較
上段：水平変動、下段：上下変動

草津白根山



- * 固定局 中之条 (020954)
- * 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は補正済
- * 時系列は 30 日平均, 誤差は 1 sigma
- * 使用データ: 2013-01-01-2025-11-25 (F5 解 + R5 解)

第 3 図 地殻変動計算値 (赤実線) と観測値 (黒点) の比較

草津白根山

概要：最近5年間のGNSSデータには、顕著な変化は見られない。

● GNSS 観測

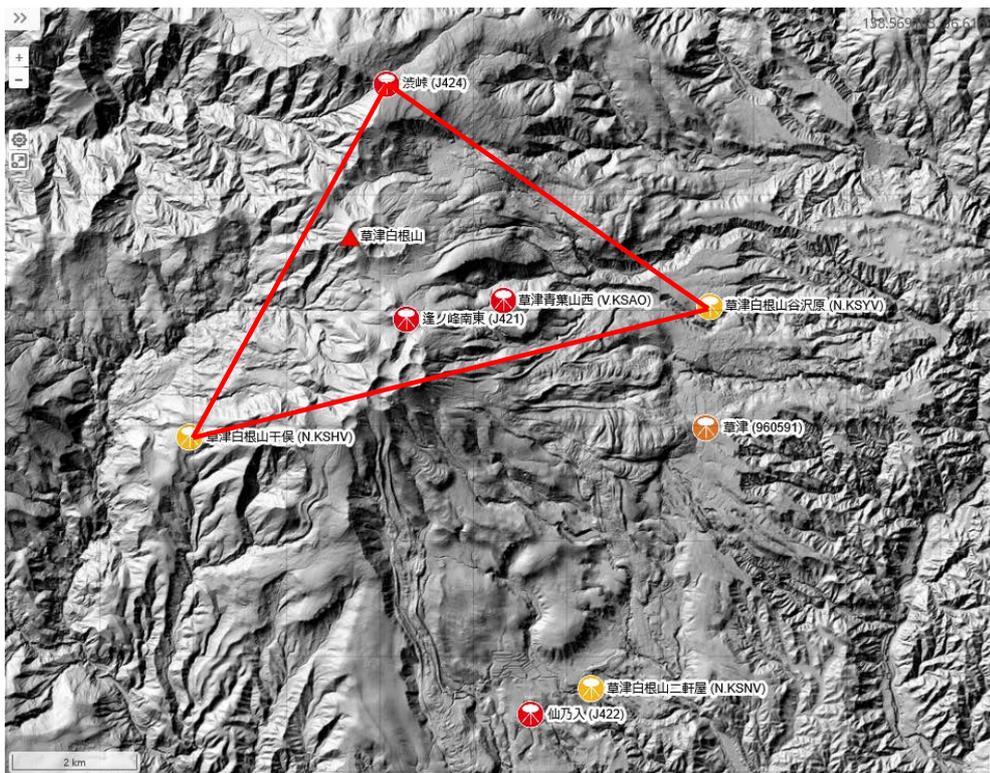


図1 GNSS観測点基線図。黄色：防災科研、赤：気象庁、オレンジ：国土地理院の観測点。

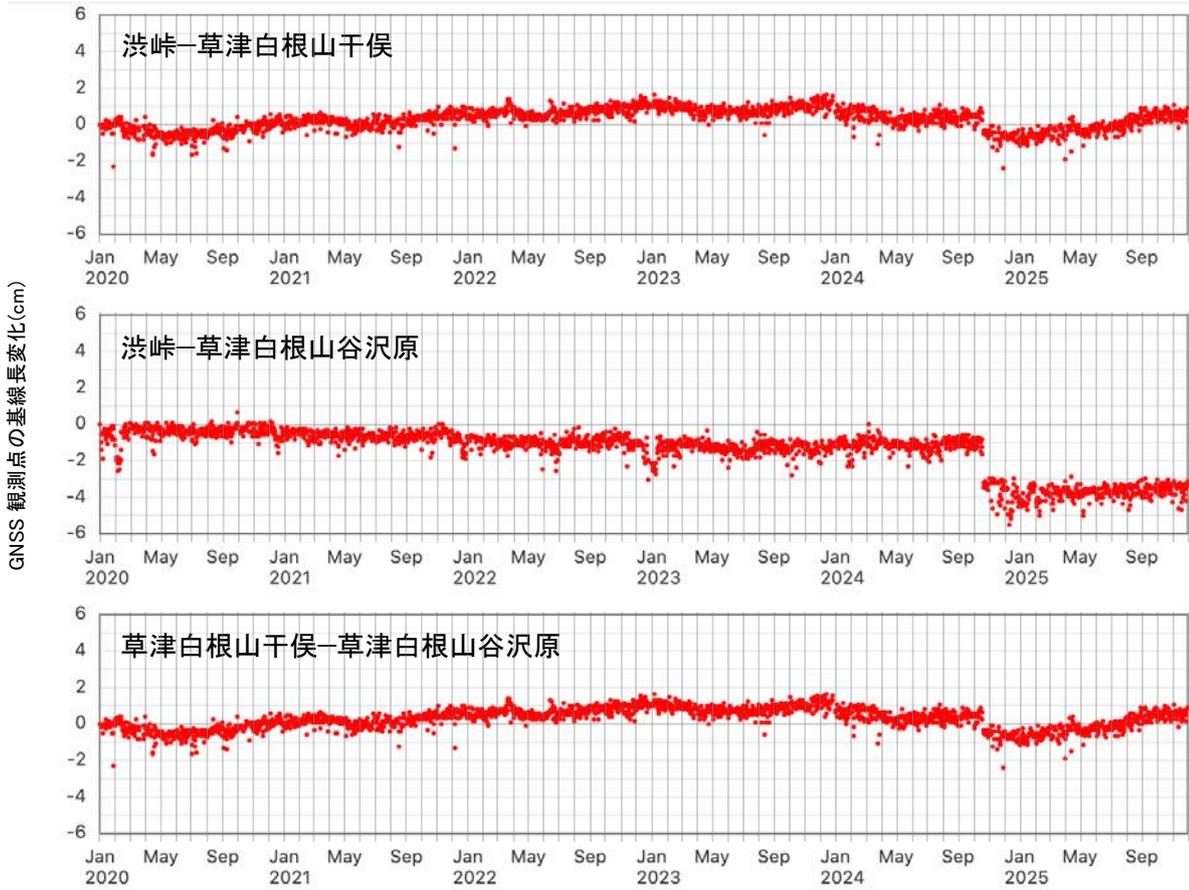


図2 GNSS 観測点間の過去5年間の基線長変化

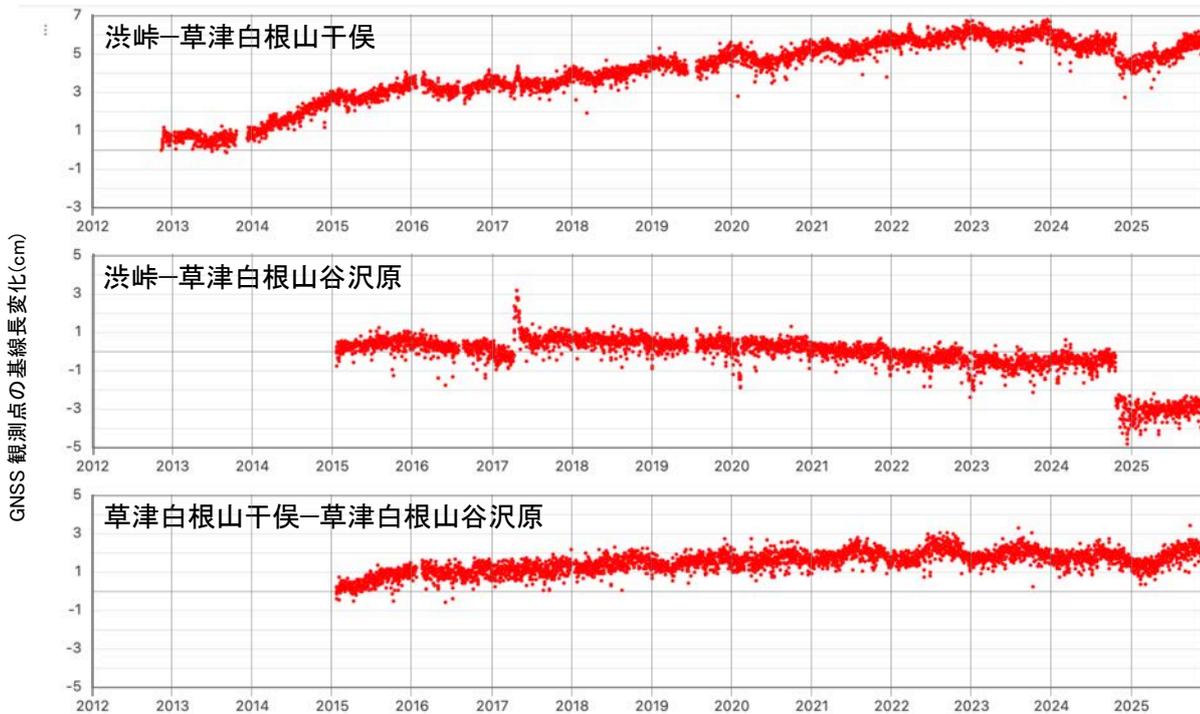


図3 GNSS 観測点間の過去13年間の基線長変化

● 観測点配置図

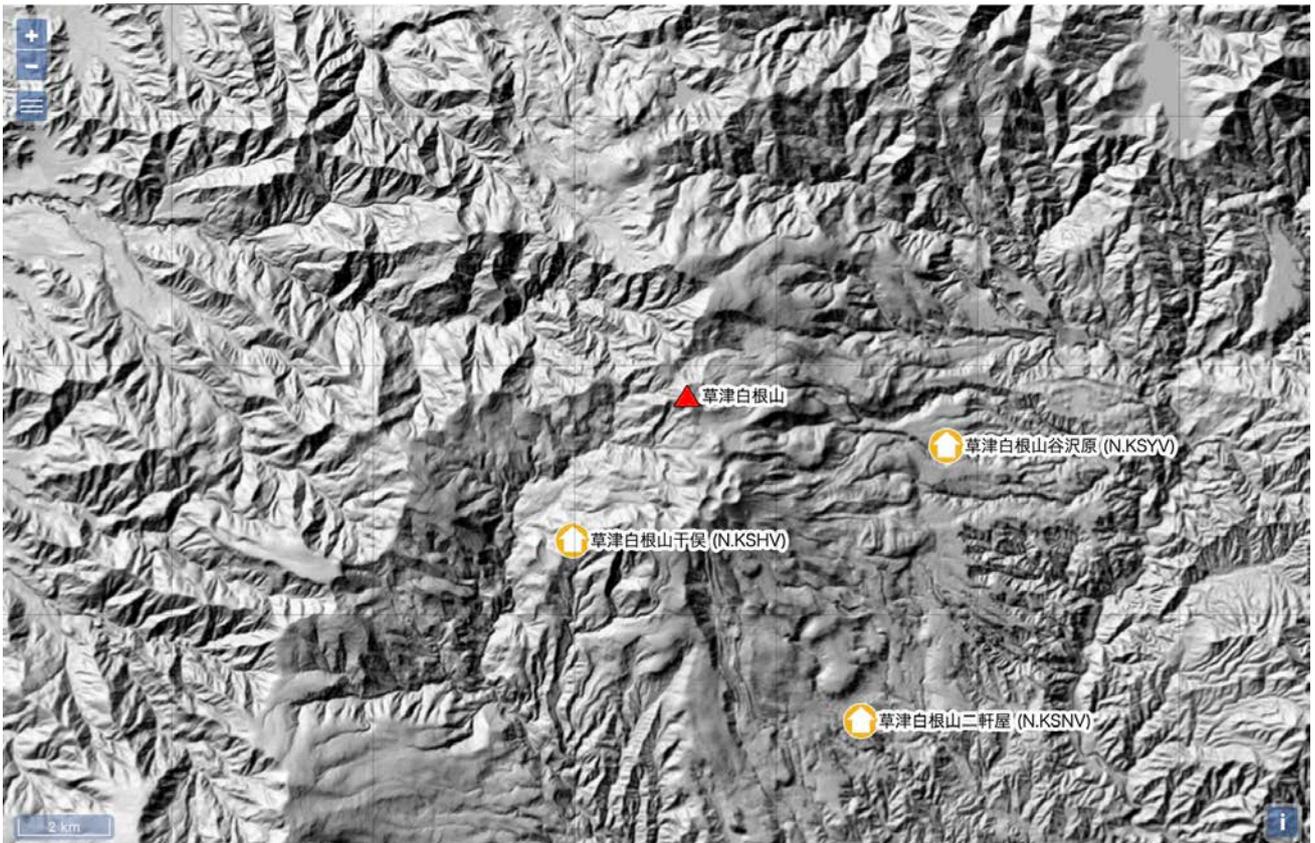


図4 観測点配置図 国土地理院の地理院タイル（陰影起伏図）を使用。

| 観測点名 | コード | 提供者 | 火山 | 緯度(N) | 経度(E) | 地表標高(m) | 観測項目 |
|----------|--------|--------|-------|----------|-----------|---------|------|
| 草津白根山二軒屋 | N.KSNV | 防災科研火山 | 草津白根山 | 36.57869 | 138.57097 | 1045 | |
| 草津白根山千俣 | N.KSHV | 防災科研火山 | 草津白根山 | 36.61494 | 138.49939 | 1718 | |
| 草津白根山谷沢原 | N.KSYV | 防災科研火山 | 草津白根山 | 36.6339 | 138.59224 | 1256 | |

| | | | |
|----------|------|------------|-----------|
| 地震計 | 温度計 | ガス濃度計・火山ガス | 岩石コア |
| 広帯域計 | 磁力計 | 写真・遠望カメラ | 多項目 |
| 傾斜計 | 雨量計 | 空塵計 | 観測項目なし |
| 気圧計・微気圧計 | GNSS | ディストロメーター | レーダー・ライダー |
| 温泉水分析 | | | |

観測項目

草津白根山の傾斜変化および地磁気変化

- 傾斜変動解析からは、2025年7月頃から変動率が高まったものの、10月から変動が緩やかになり、12月中旬以降は一部を除きほぼ停滞しています（図1，図2）。
- 地磁気変動解析からは、2025年初め頃からの消磁傾向が継続していますが、北側の観測点では変化が止まった可能性があります（図3，図4）。

傾斜変動観測（その1）

2024年5月に始まった緩やかな変動は、2025年7月頃から変動率が増加するとともに地震活動も高まった。その後、2025年10月から変動が緩やかとなり、2026年12月中旬以降はKSE南北成分以外はほぼ停滞している。

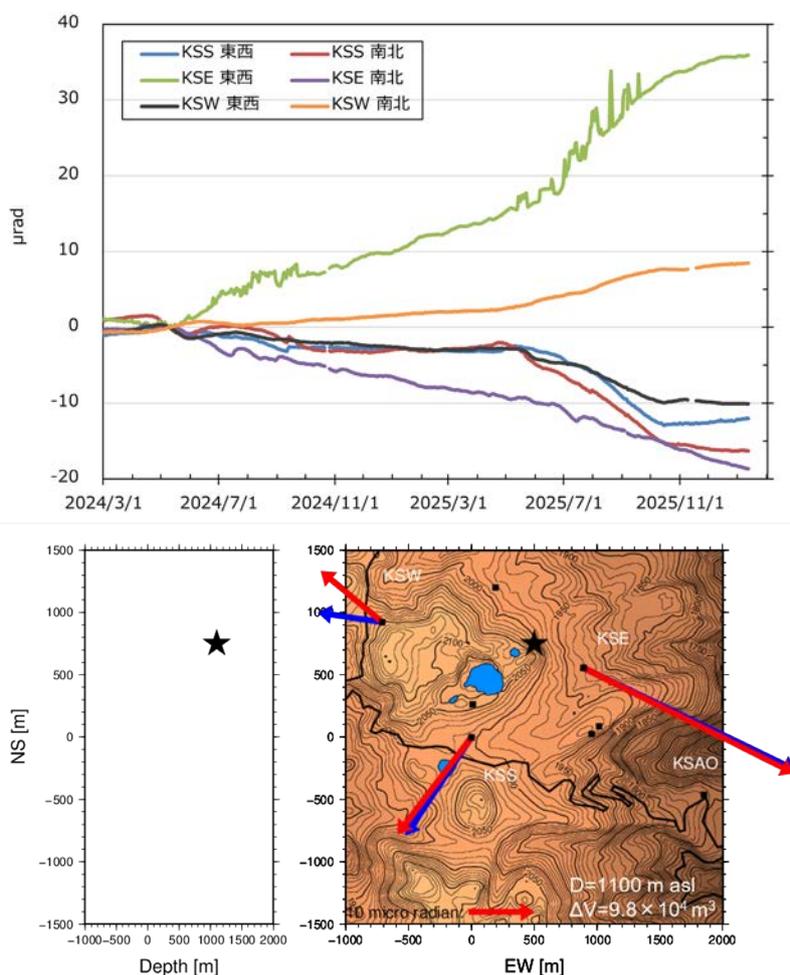


図1：上図：2024年3月1日～2026年1月10日までの傾斜変動。下図：傾斜変動を説明する力源の位置（★）。力源は、2014～2016年の変動（Ⅰ期）や2018～2021年の変動（Ⅱ期）と同様に水釜火口周辺の深さ1100 m（海拔）付近に求まる。体積増加量は $9.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ で、これはⅠ期やⅡ期の概ね 2/3 に相当する。赤矢印が観測量で、青矢印がモデルによる推定値。解析は、2024年5月10日～2025年12月23日までの累積変動（Ⅲ期、年周的変動補正済み）に対して、等方力源を仮定することで行った。地図の作成にあたっては、国土地理院発行の「数値地図10mメッシュ（火山標高）」を使用した。

傾斜変動観測（その2）

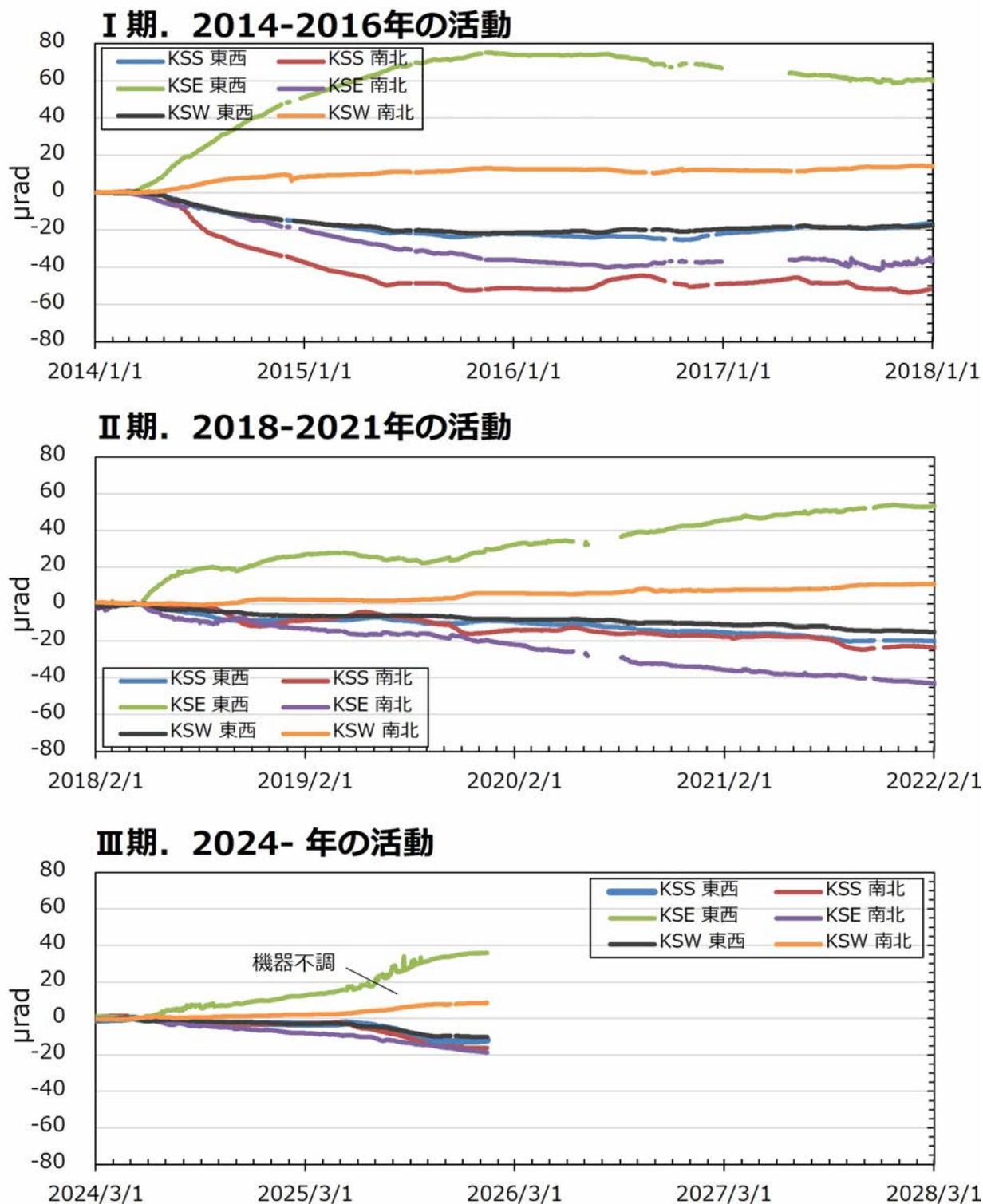


図2：過去2回の活動（I，II）および2024年以降の活動（III）の比較。いずれも年周の変動や遠地地震等による step 的変動を補正している。KSE 東西成分は6-9月にかけて装置に起因する顕著なノイズが認められる（2026年1月10日まで）。

地磁気観測

2022年夏頃からの着磁傾向（山体の冷却を示唆する傾向）が継続していたが、2025年2月頃から消磁傾向（山体の加熱を示唆する傾向）に変化した。2025年10月末時点では北側の観測点で増加傾向が停滞しているように見える。

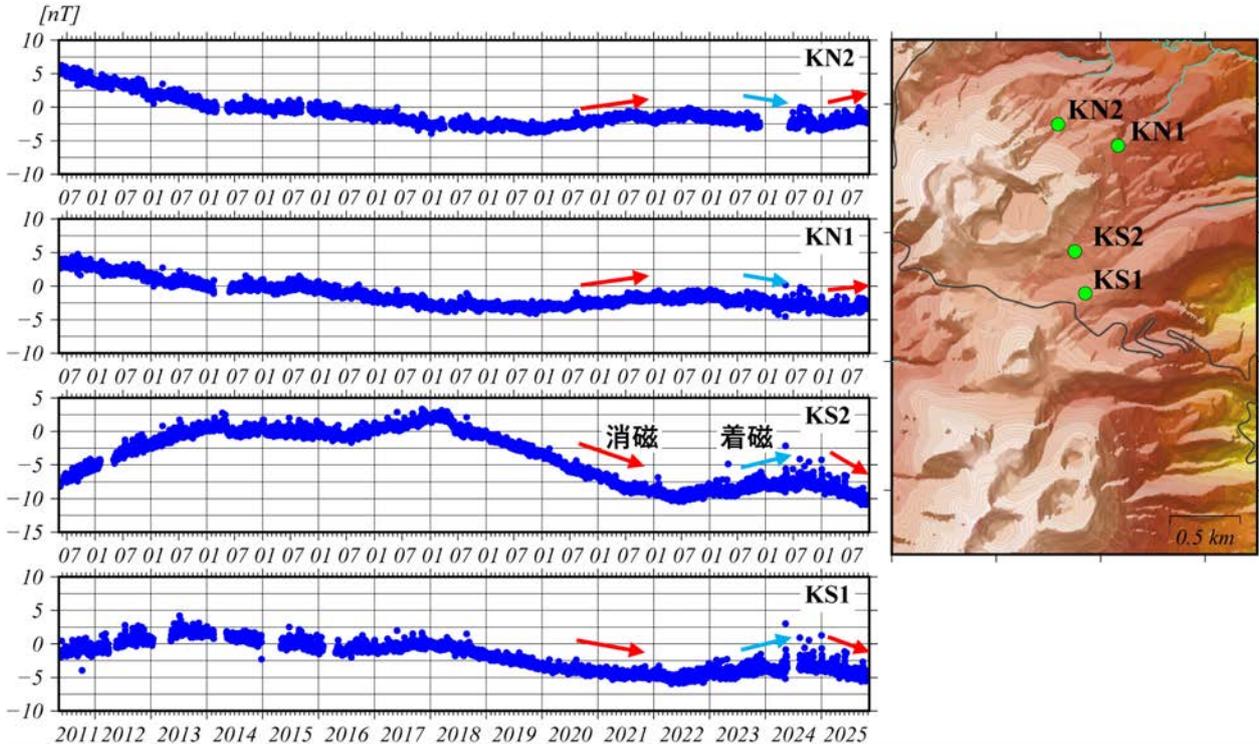


図3：草津白根山湯釜火口周辺の地磁気変化（2011年5月11日～2025年10月31日）。参照点として八ヶ岳地球電磁気観測所（東京大学地震研究所）のデータを使用した。地図の作成にあたっては、国土地理院発行の「数値地図10mメッシュ（火山標高）」を使用した。

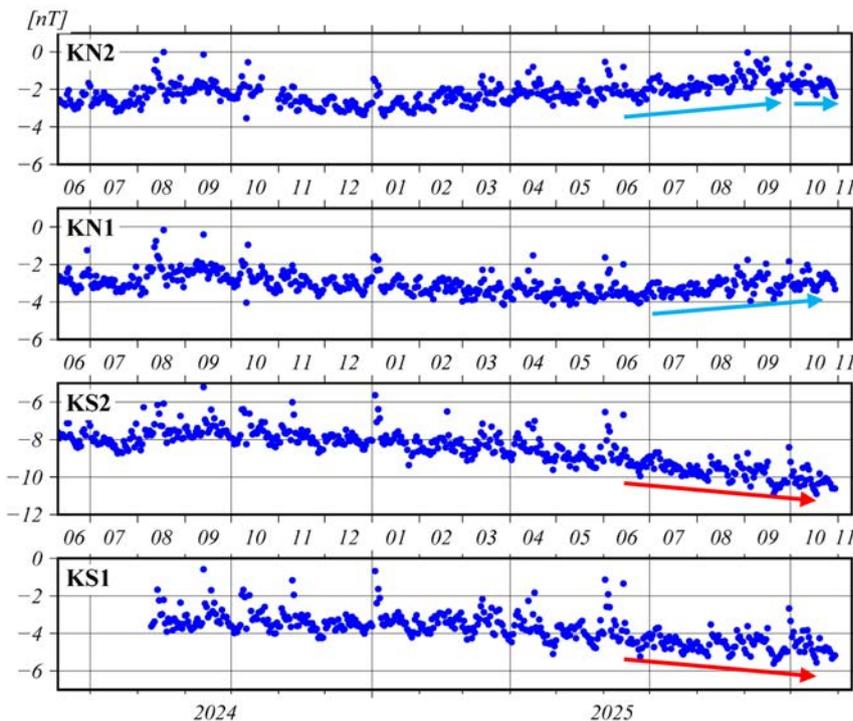


図4：草津白根山湯釜火口周辺の地磁気変化（2024年6月10日～2025年10月31日）。冬季閉鎖により11月以降のデータは未回収。今回の変動は、これまでと異なり、湯釜北側観測点の変動が目立っていたが、KN2の変動は10月に入り停滞しているように見える。

草津白根山

その他の観測・解析結果

2025年9月6日火山性微動前後の傾斜変動解析（その1）

9月6日に発生した火山性微動前後の傾斜変動を波形の特徴から4つのフェーズに分割し、それぞれクラックモデル力源を求めた。

複雑かつ観測点数が少ないため、最適モデルの決定は難しい。そこで、湯釜火口外側南斜面の海拔 0 km（深クラック）と、浅部の海拔 1700 m 前後（浅クラック）の2枚で解釈を試みた（図6）。Phase 1（9/3~6）は深クラックの緩やかな開口である。9/6の微動発生時（Phase 2）では浅クラックがやや急激に開口、9/7~10（Phase 4）は、再び深クラックの緩やかな開口。Phase 3は両者のハイブリッドかも知れない。Phase 2では、やや遠い青葉山や干俣で傾斜変動が記録されていることから、このとき深クラックも急激に開口したのかも知れない。ただし、傾斜値の取り方も含めて任意性が強く、引きつづき検討が必要である。

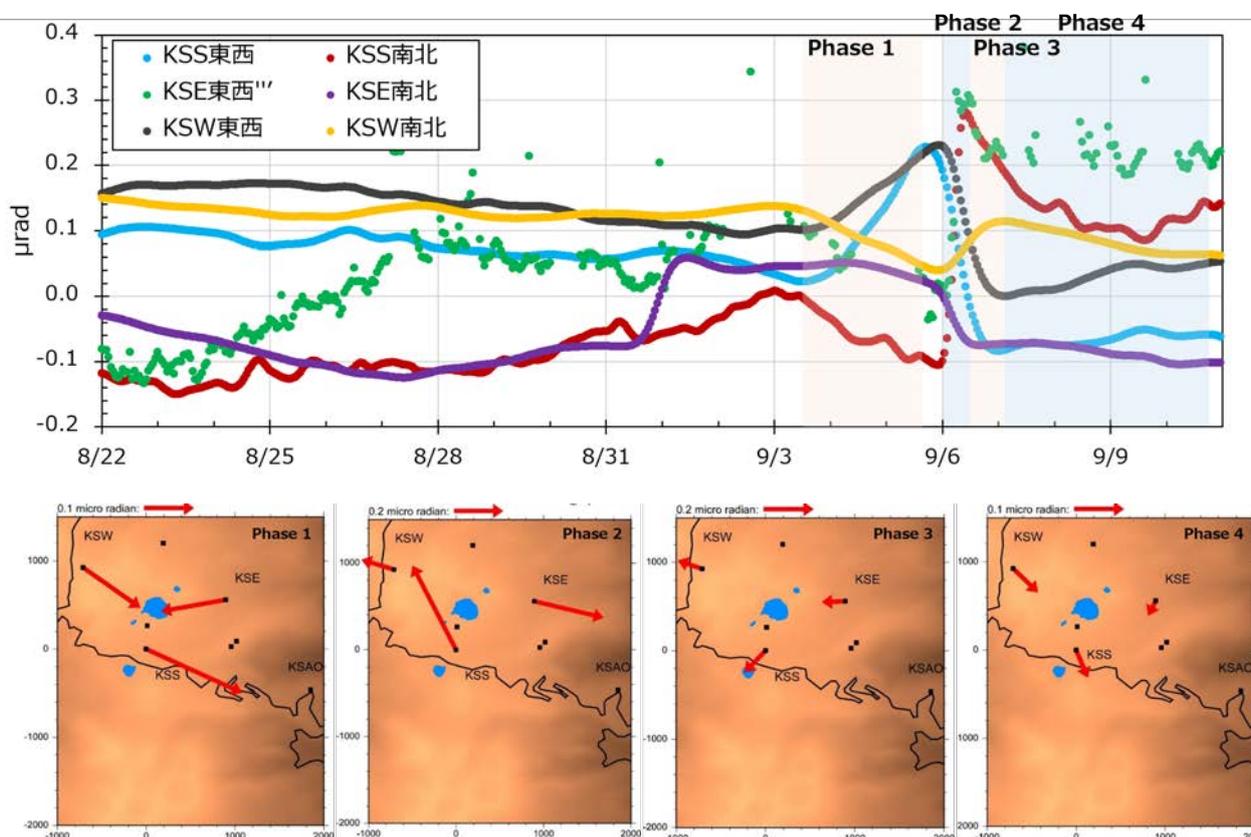


図5：上図：潮汐補正後の時間値について、年周の変動と湯釜浅部膨張を除いた傾斜変動。不規則なトビが含まれるKSE東西成分の潮汐補正は、KSWの潮汐パラメータを援用した。下図：9月3日~10日の傾斜変動を4つのフェーズに分割した。Phase 1：9月3日13:00~9月5日18:00（KSS東西の反転までとした）。Phase 2：9月6日00:00~11:00（微動発生時を含む。3時と5時前後の2回のstepがあるが、ここでは区別しない。変動の大半は5時台イベントであるが、本図で特にKSW東西は過小）。Phase 3：9月6日11:00~9月7日02:00（KSS南北の反転~他成分の鈍化）。Phase 4：9月7日02:00~9月10日20:00（緩やかな変動）。

2025年9月6日火山性微動前後の傾斜変動解析（その2）

Phase 1（微動前3日間）の傾斜ベクトルは、Phase 2（微動発生時）には概ね反転した。このパターンは、湯釜火口の南外側において、異なる深度の鉛直クラックが開口したことで概ね説明できる。Phase 3 は Phase 1 と似ており、両者は同様の力源と思われる。

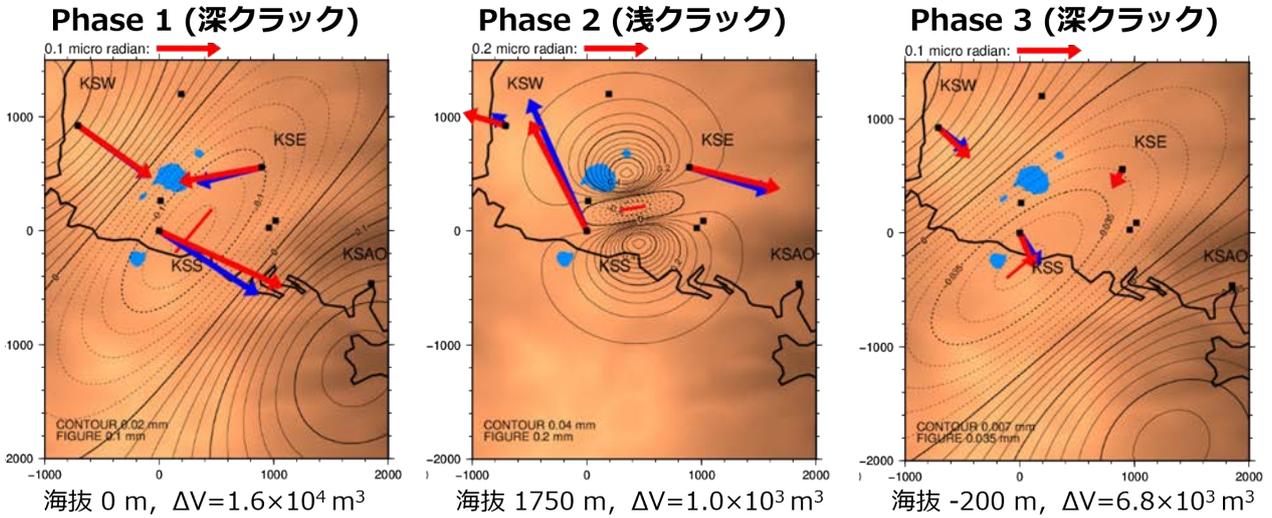


図6：力源解析結果。1枚の鉛直開口クラックを仮定し、位置、開口量、走向、長さについてグリッドサーチで最適解を求めた（重みなし）。Phase 1 は別解（図7）もあり、また Phase 2 は KSW をよく説明できていないこと、傾斜変動値の捉え方に任意性が含まれることから、さらに検討を要する。

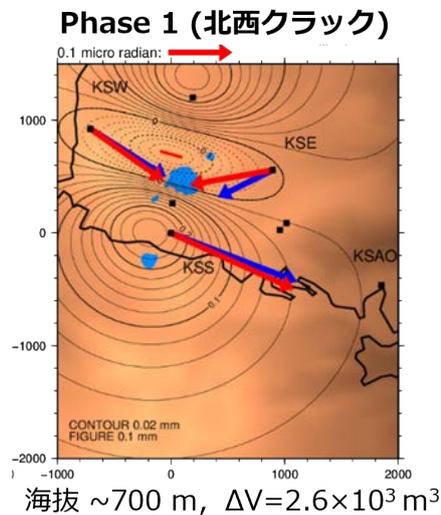


図7：Phase 1 の別解。残差はやや増えるが、傾斜パターンを概ね再現可。

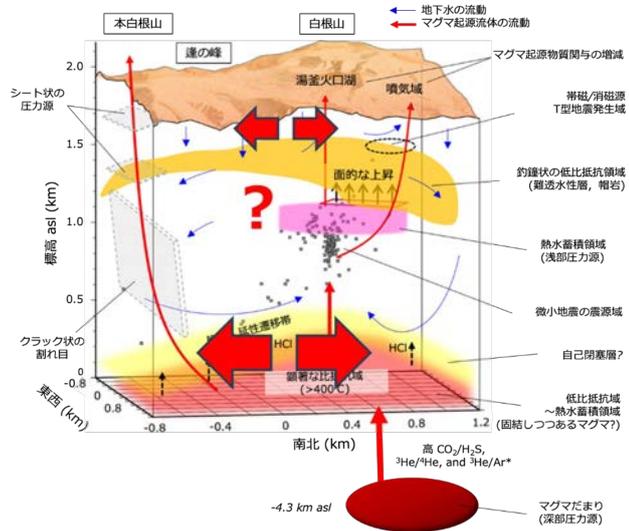


図8：深クラックの深度は、諸観測事実から想定しているBD境界に相当する。今回はBD境界の一部が破壊し、浅部への一時的かつ少量の流体上昇が進行した可能性がある。

湯釜湖底から噴出する塩化物イオン濃度の推定

2025年9月以降、湖水 Cl⁻ 濃度は上昇傾向に転じた。同年9-11月の濃度変化傾向から推定した、湖底噴出している流体の推定 Cl⁻ 濃度は約 6000 ppm であり、2016年以降としては大きな値である。

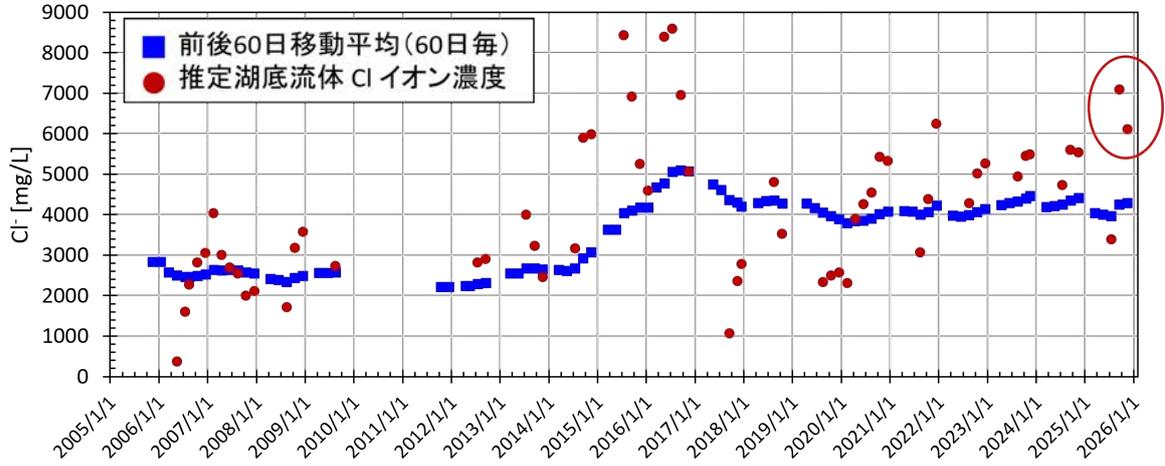


図9：いくつかの仮定に基づき、濃度および濃度変化率から湖底噴出流体の濃度を推定した (Terada et al., 2021)。2021年以降、湖底噴出流体の濃度は 5000 ppm 前後で推移してきた。2025年春～夏は 3000 ppm へ低下したものの、同年9月以降は 6000–7000 ppm と、2016年以降としては大きな値が推定された (赤円)。これら推定された Cl⁻ 濃度は、海拔 0 km の想定される、固結しつつあるマグマだまり縁辺の self-sealing zone 周辺の環境を反映して変動していると思われる (Ohba et al., 2008)。

参考：成分分析結果 (気象研・他, 2025.11.28 報告資料)

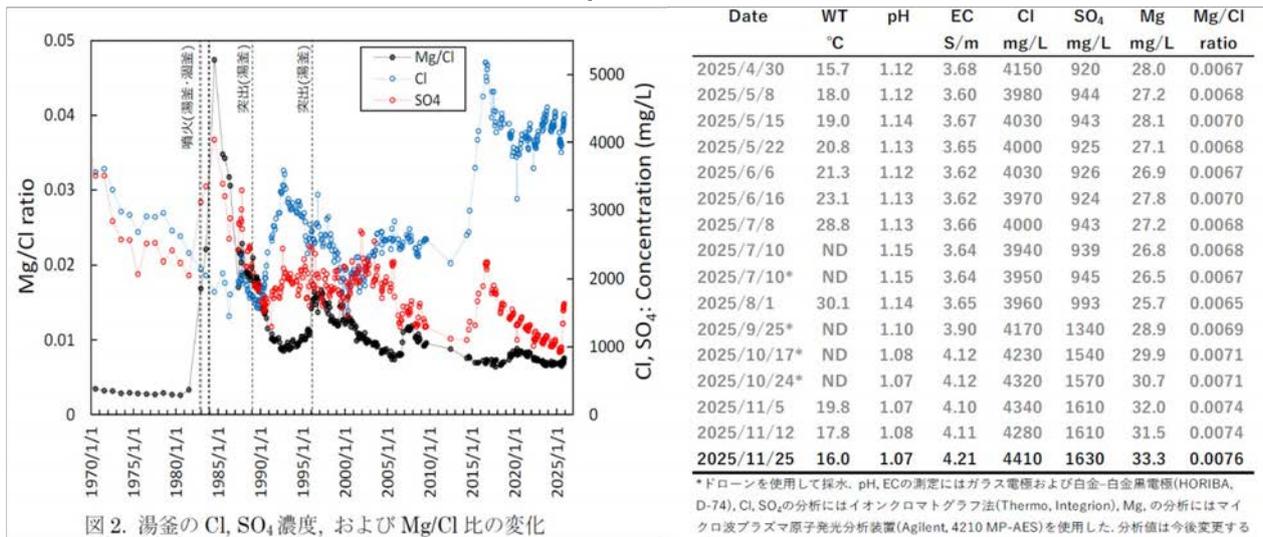


図2. 湯釜の Cl, SO₄ 濃度, および Mg/Cl 比の変化

湯釜湖水の変色（黒灰変色：2025年9月～12月）

2025年9月以降、黒灰色の変色を droneport（全自動型無人ドローンシステム）により観察した。10月は顕著な変色が断続的に観察さて、11月下旬にかけて衰退した、11月下旬以降、ふたたび変色が安定して観察されてた。変色域内外の水質が同じであることから、変色は湖底湧出口からの固形物の噴出に対応すると思われる。

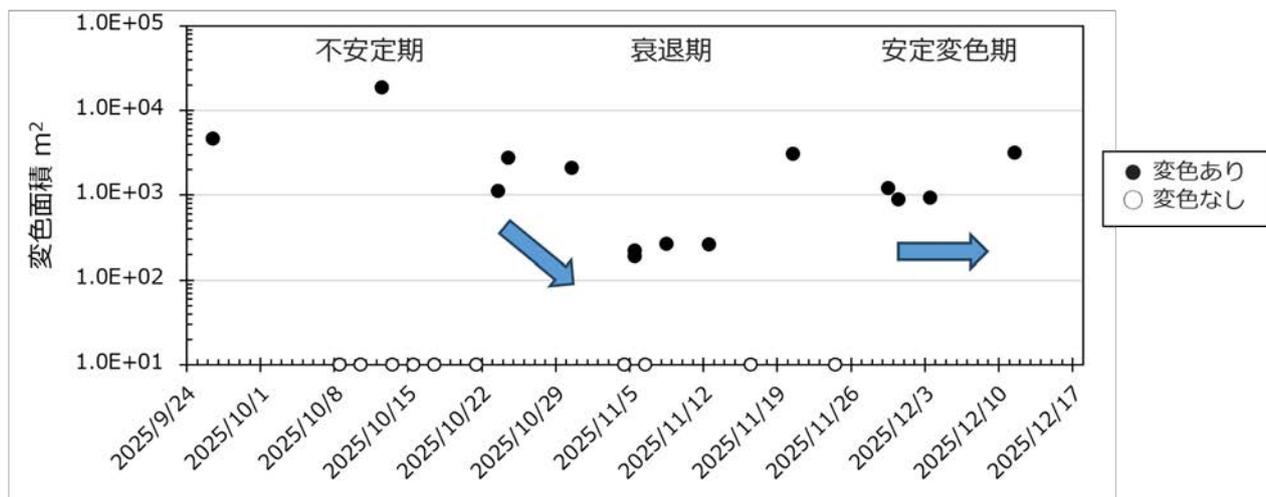


図 10：黒灰色変色を Percentil 法に基づき抽出し、その面積を数値標高モデルを用いて計測した。火山性微動が発生した 2025 年 9-10 月には顕著な変色・変色のない状態が繰り返された後、衰退した。11 月中旬以降は、同様の規模の変色が安定して観察された。



図 11：(a)-(c) 代表的な変色例。(d) 白根山の東 1 km に設置した Droneport システム。

湯釜湖水の変色（湖面の白濁：2025年7月）

2025年7月9日14時30分頃から黄色～茶色の湖面変色を認識。大雨による土砂流入も考えられるが、詳細不明。10日9-10時に空撮したが、通常と大きな違いはない。浮遊硫黄は多くなかった。白濁および定点U1にて、同日にドローンで採水したが、その湖水組成に顕著な変化が認められなかった。

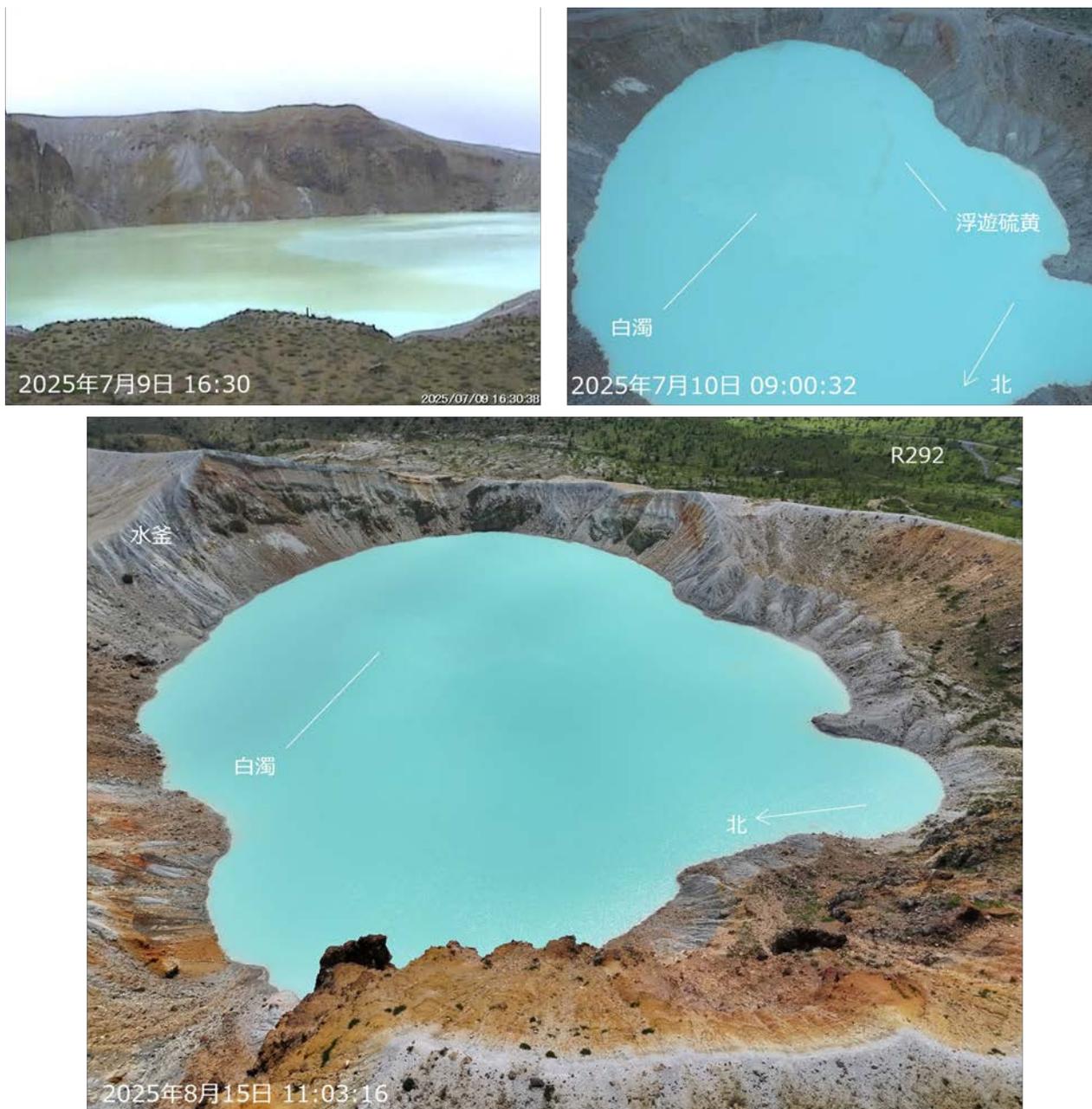
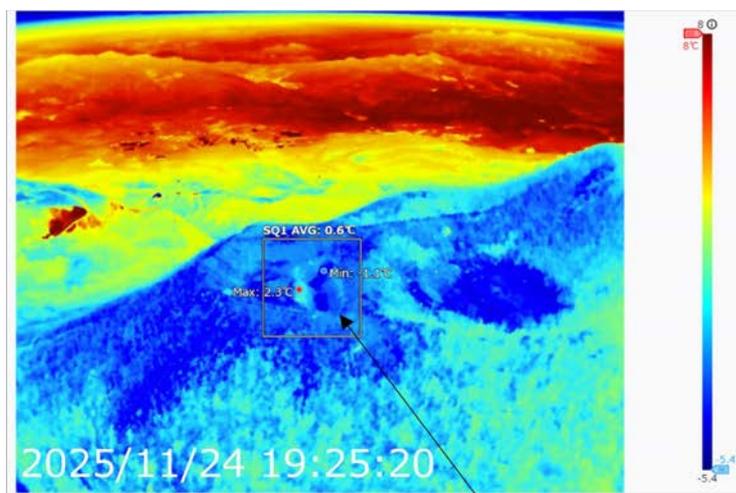


図12：湖面の白濁（2025年7月9日16：30、7月10日09：00、8月15日11：03撮影）。

本白根山の夜間空中赤外線観測

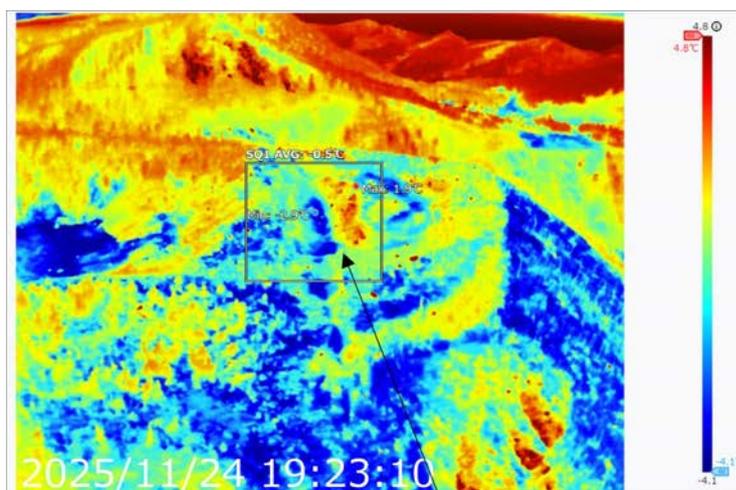
本白根山 2018 年主火口内，およびその周辺に高温域は認められなかった。



最低-1.1°C，最高2.3°C，平均0.6°C



本白根山西側から東方をのぞむ（赤外線画像と同一視線で別日に撮影した可視画像）



最低-2.9°C，最高1.9°C，平均1.9°C



本白根山東側から西方をのぞむ（赤外線画像と同一視線で別日に撮影した可視画像）

図 13：2025 年 11 月 24 日 19 時 30 分頃に夜間空中赤外線観測を全自動型ドローン（Droneport）により遠隔実施した。

草津白根山および周辺域のGNSSデータ解析

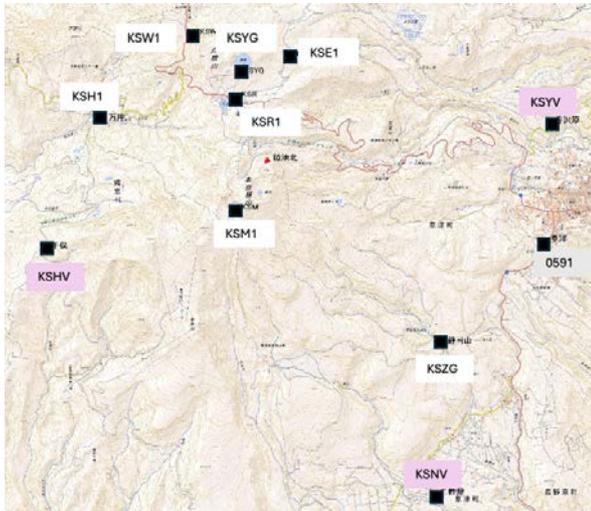


図1 観測点分布図（白地：科学大、灰地：国土地理院、ピンク地：防災科技研）

草津白根山周辺の東京科学大、国土地理院、防災科学技術研究所のGNSS観測点（図1）の2025年12月14日までのデータをGipsy-2.0により解析した。

解析ストラテジは、PPP with Ambiguity Resolutionであり、大気マッピング関数にはGMFを、海洋潮汐荷重モデルにはFES2014を用い、IGS20準拠の日々の座標値を求めている。なお、電離層遅延の高次補正は行っていない。

得られた座標値から湯釜周辺の観測点間やKSNVと湯釜周辺の基線長変化をもとめたのが図2である。

2014年から2016年に観測された基線長変化は湯釜近傍浅部での膨張に由来すると考えられている。それと同じような変化が2025年（図2の赤丸）にもとらえられているが、最近はその変化量に鈍化傾向がみられている。

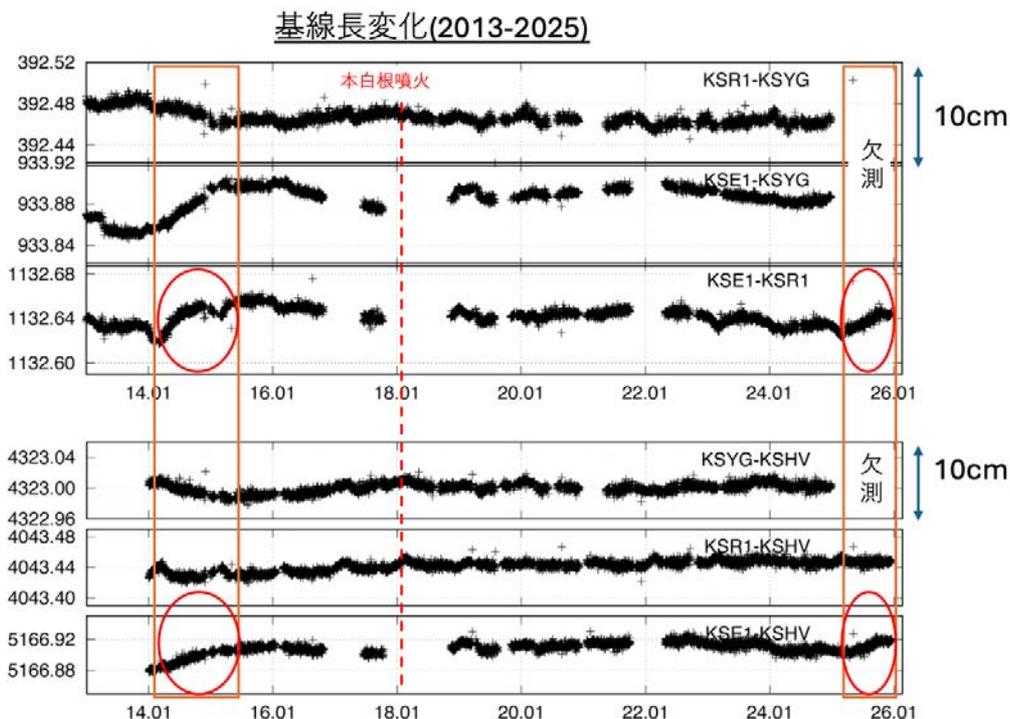


図2 基線長変化図：2014-2016の変動の変動の特徴はKSR1-KSYGの短縮であり、湯釜近傍の浅部における膨張に起因する。2025年以降、KSYGが欠測状態ではあるが、赤丸のように他基線で2014-2016と同様の基線長変化がとらえられている。ただし、この変動は鈍化傾向にある。

草津白根山の地球化学的調査研究（2025年12月）

東海大学・気象研究所・東京科学大学

要旨

草津白根山では、2024年6月頃から火山性地震が頻発し、同年8月には白根山北側山麓で火山ガスの $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比が上昇した。一方でこの時期に、火口湖水の $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4^{2-}$ 濃度は安定していた。2025年7月に火口湖水に変色が観測され、8月に Cl 、 SO_4^{2-} 濃度が上昇し始め、11月まで濃度の上昇傾向は継続している。湖水の Mg/Cl 比は、2025年9月頃から上昇し始め11月まで上昇傾向が継続している。以上の観測結果は、2024年6月頃から白根山の浅部熱水系に供給されるマグマ性ガス流量が増加し、2025年8月頃いわゆるシーリングゾーンの破壊が起き、湖水の化学組成に変化をもたらしたと解釈される。

観測結果

図1に地球化学的観測を行った地点を示す。火山ガスの採取を地点(W)で行い、火口湖湯釜(Yg)で湖水の採取を行った。図2に1970年から2025年までの火山ガス $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比、湖水 $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4^{2-}$ 濃度、湖水pH、湖水 Mg/Cl 比を示す。図2には、これらの変化に加えて、気象庁の観測に基づく三ヶ月毎の地震回数の変化も示されている。

火山ガスの $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は、1976年の水釜火口における水蒸気噴火、1982, 83年の湯釜火口における水蒸気噴火、2018年の本白根山鏡池火口における水蒸気噴火に同期して上昇した(図2a)。これらの複数の水蒸気噴火に伴い、湯釜湖水の Cl 濃度には顕著な上昇は観測されなかった(図2b)。火山ガスの $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は、1990年と2014年に火山性地震が頻発した時期に上昇したが水蒸気噴火は発生しなかった。一方で、1990年と2014年の地震頻発期に、 Cl 濃度の急激な上昇と、pHの低下が観測された(図2b)。

図3に、2014年から2025年までの変動を示す。2024年6月頃から火山性地震の回数が増加し2024年8月の観測で $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の上昇が観測された。その後、 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比は停滞したが、ふたたび、2025年5月から8月にかけて上昇した。2025年7月に湖水表面に変色域が出現した(Yaguchi et al., 2025)。その直後の2025年8月頃から湖水の $\text{Cl} \cdot \text{SO}_4^{2-}$ 濃度が上昇し始め、11月まで上昇傾向は継続している(図3b)。湖水の Mg/Cl 比は、2025年9月頃から上昇し始め、11月まで上昇傾向が継続している(図3c)。

観測結果の解釈

図4aに白根山のマグマ熱水系の構造を模式的に示す(Ohba et al., 2025)。地表下約2kmの深度に、部分的に固結したマグマ(pM)が存在している(Terada et al., 2025)。pMは高温のplasticな岩体(P)に覆われている。さらにPを取り囲むシーリングゾーン(Sz3)が存在し、マグマ性流体の流れを制限していると考えられる。シーリングゾーンは、地殻内に発生した亀裂であり、マグマ性流体が亀裂を流れる際にシリカなどの二次鉱物が晶出することにより、マグマ性流体の流れを制限すると考えられる。2024

年6月頃から地震回数が増加し、火山ガスのCO₂/H₂S比が上昇したのは、浅部熱水系に供給されるマグマ性ガスの流量が増加したことを意味している。この流量増加の原因として、部分的に固結したマグマ(pM)に貫入した揮発性成分に富むマフィックなマグマ(図4bの mM)、あるいは、シーリングゾーン内に蓄積されたマグマ性ガスの圧力上昇が考えられる。

2025年7月頃から地下水がシーリングゾーン内に侵入し始め、シーリングゾーン内の高温岩体(図4cの P)からエンタルピーを奪い、高温岩体に残存していたClやSがそれぞれHClやSO₂として地下水起源の水蒸気に抽出され、湯釜湖水に供給されたため、湖水Cl⁻・SO₄²⁻濃度の上昇、pHの低下が起きたと考えられる(図3b)。同様な変化は2014年に起きたシーリングゾーンの破壊でも観測されている(図3b)。2025年8月に始まったCl⁻・SO₄²⁻濃度の上昇とほぼ同期して湖水のMg/Cl比の上昇が開始した。これに対し、1990年と2014年に起きたシーリングゾーンの破壊ではMg/Cl比の上昇は起きていない(図2c、3c)。湖水に含まれるMg²⁺は白根山の山体とその地下を構成する安山岩に由来する。地下水起源の水蒸気がシーリングゾーン内に侵入する際に、高温岩体に含まれるMgは気体のMgCl₂として抽出されると考えられる(Mandon et al., 2024)。もし地下水の気化が不十分で液相が存在すると水岩石相互作用(Water-Rock interaction)が起きて、MgはMg²⁺イオンとして液相に効率的に分配し、湯釜に供給される流体のMg/Cl比は上昇するだろう。2025年7月に始まったシーリングゾーンの破壊では、水岩石相互作用が起きていたと考えられる(図4c)。

参考文献

Mandon, C. L., Kaasalainen, H., Calabrese, S., Shock, E. L., Prapaipong, P., Tassi, F., Gunnarsson, I., Gunnarsson-Robin, J., Stefansson, A. (2024) Trace element transport by volcanic gases at Vulcano (Sicily, Italy) – Speciation, deposition and fluxes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 458:108235. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108235>

Ohba, T., Yaguchi, M. (2025). Volcanic Activity Cycles of the Kusatsu-Shirane Volcano, Japan Revealed by the Geochemical Monitoring of Lake Water in the Yugama Crater and Adjacent Fumarolic Gases. In: Ohba, T., Terada, A. (eds) *Kusatsu-Shirane Volcano. Active Volcanoes of the World*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-86137-6_3

Terada, A., Aoyama, H., Yamada, T., Yamamoto, M. (2025) Geophysical Observations of Kusatsu-Shirane Volcano: Conceptual Model of the Hydrothermal System as a Site of Phreatic Eruptions. In: Ohba, T., Terada, A. (eds) *Kusatsu-Shirane Volcano. Active Volcanoes of the World*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-86137-6_8

Yaguchi, M., Terada, A., Ohba, T. (2025) Can volcanic activation be identified from the geochemistry of surface discolored water in the active crater lake Yugama at Kusatsu-Shirane volcano, Japan? — Example from July 2025. *J. Hot Spring Sci.*, 75 (in Press)

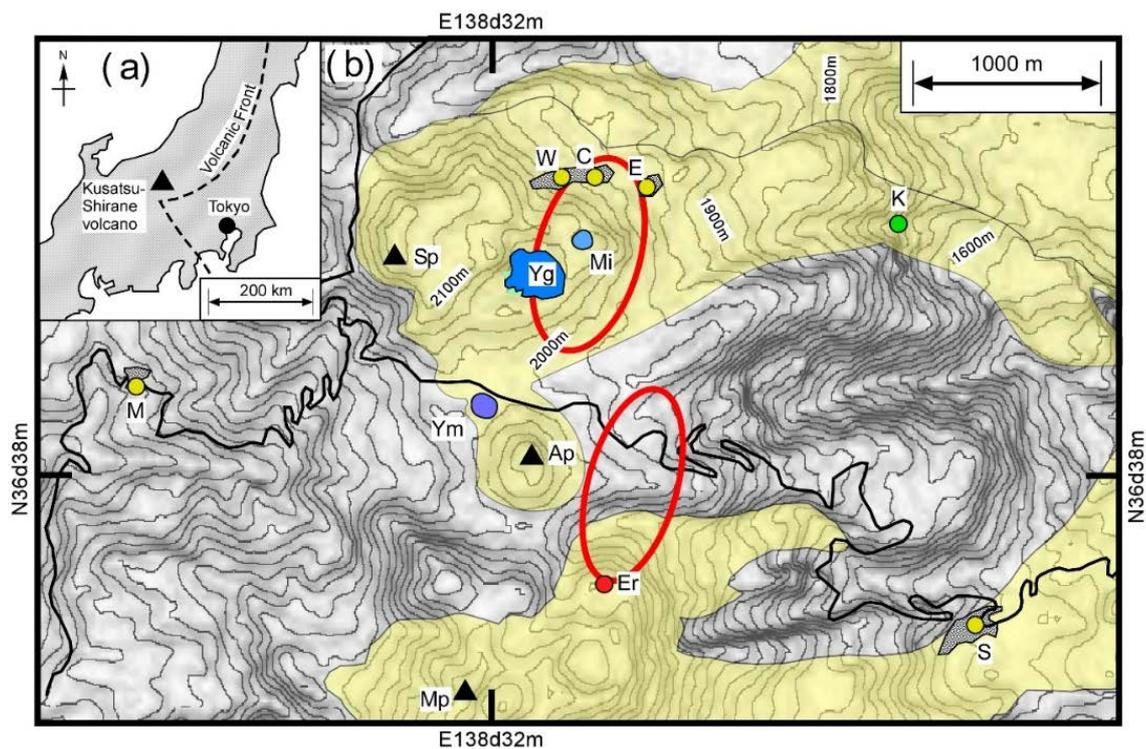


図1. 草津白根山における観測地点。火口湖湯釜 (Yg) で湖水の採取が行われた。噴気孔 (W) で火山ガスの採取が行われた。Er は 2018 年の噴火口。赤の楕円は、火山性地震の震源域を示す。黄色の領域は 16000 年前よりも若い火山噴出物の分布領域を示す。

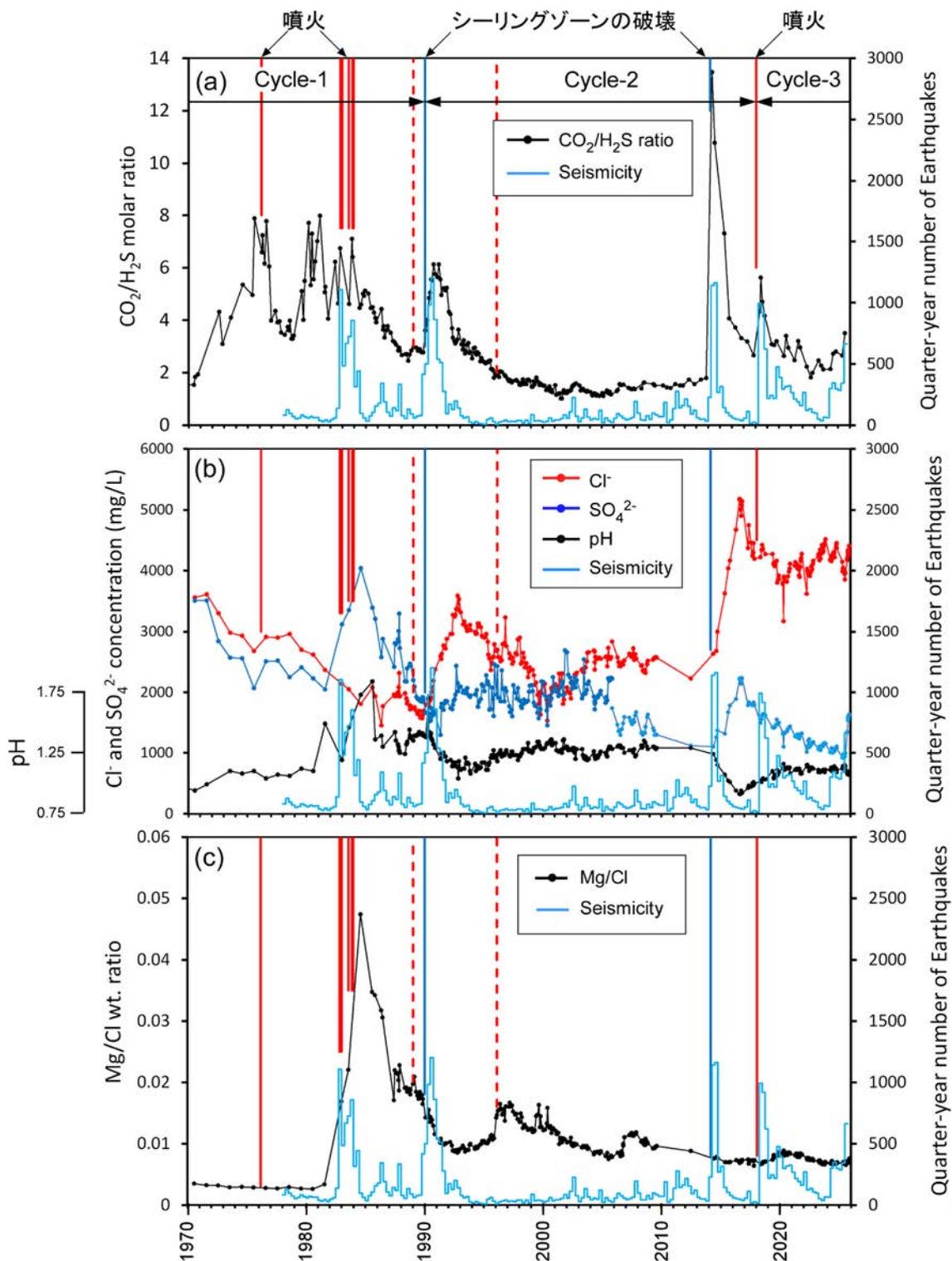


図2. (a) 火山ガス $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の変化。(b) 湯釜湖水の Cl^- 濃度、 SO_4^{2-} 濃度、pH の変化。(c) 湯釜湖水の Mg/Cl 比の変化。赤色縦実線は、噴火を示す。青色縦実線はシーリングゾーンの破壊を示す。赤縦破線は、湯釜湖水の突出現象を示す。青のヒストグラムは、気象庁の観測に基づく三ヶ月毎の地震回数を示す。

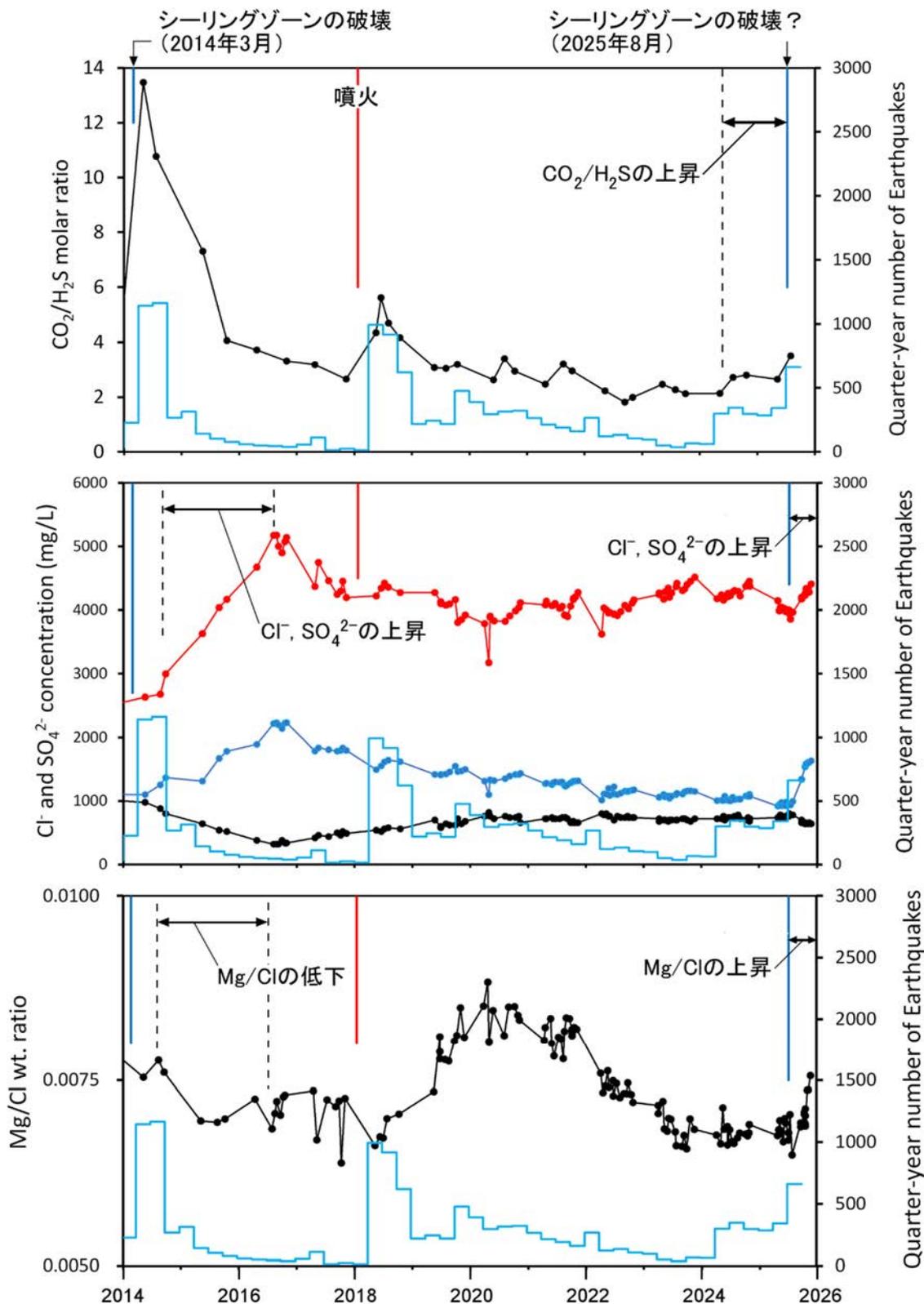


図3. (a) 火山ガス $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比の変化。(b) 湯釜湖水の $\text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-}$ 濃度、pH の変化。(c) 湯釜湖水の Mg/Cl 比の変化。赤色縦実線は、噴火を示す。青色縦実線はシーリングゾーンの破壊を示す。青のヒストグラムは、気象庁の観測に基づく三ヶ月毎の地震回数を示す。

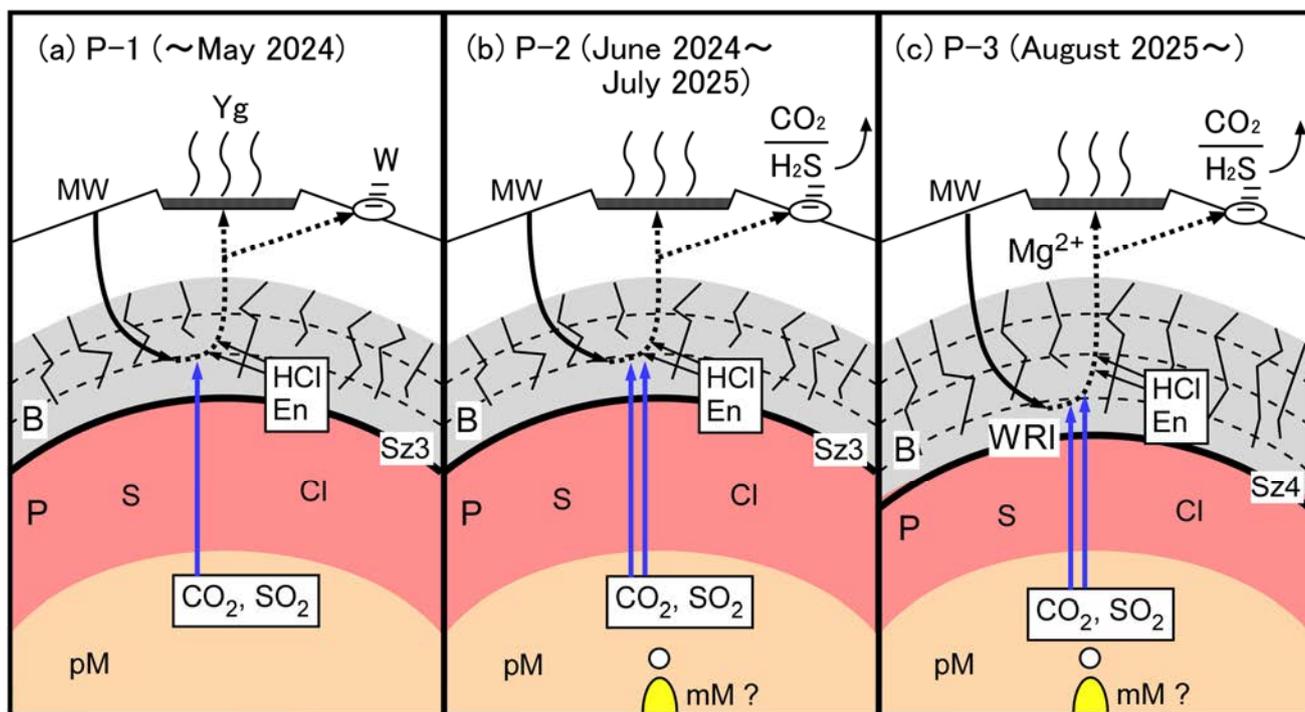


図4. 草津白根山におけるマグマ熱水系の模式図。(a) 2024年5月までの状態。(b) 2024年6月~2025年7月までの状態。(c) 2025年8月以降の状態。Yg: 火口湖湯釜、W: 噴気、MW: 天水起源地下水、B: Brittleな高温岩体、Sz3, 4: シーリングゾーン、P: Plasticな高温岩体、pM: 部分的に固結したマグマ、mM: Mafic magma、En: エンタルピー、WRI: Water-Rock Interaction