

第 150 回 火山噴火予知連絡会資料

(その2の8)

御嶽山

令和 4 年 7 月 5 日

火山噴火予知連絡会資料(その2の8)

目次

御嶽山	
気象庁	3-12
名大	13-22
地理院	23-27
日大他	28-29

御 嶽 山 (2021 年 12 月～2022 年 6 月 4 日)

2 月 23 日に火山性地震が急増し、地獄谷付近の地盤の上昇を示唆する傾斜変動とともに火山性微動も観測された。また、2 月下旬から山体の膨張を示唆する GNSS 基線長のわずかな伸びも観測され、火山活動が活発化した。

3 月 19 日以降、火山性微動は観測されていないこと、3 月中旬以降、火山性地震の発生頻度は 2 月 23 日以前の状態まで減少したこと及び 4 月に入り、GNSS 基線長の伸びの変化は停滞していることから、火山活動は静穏化に向かっている。

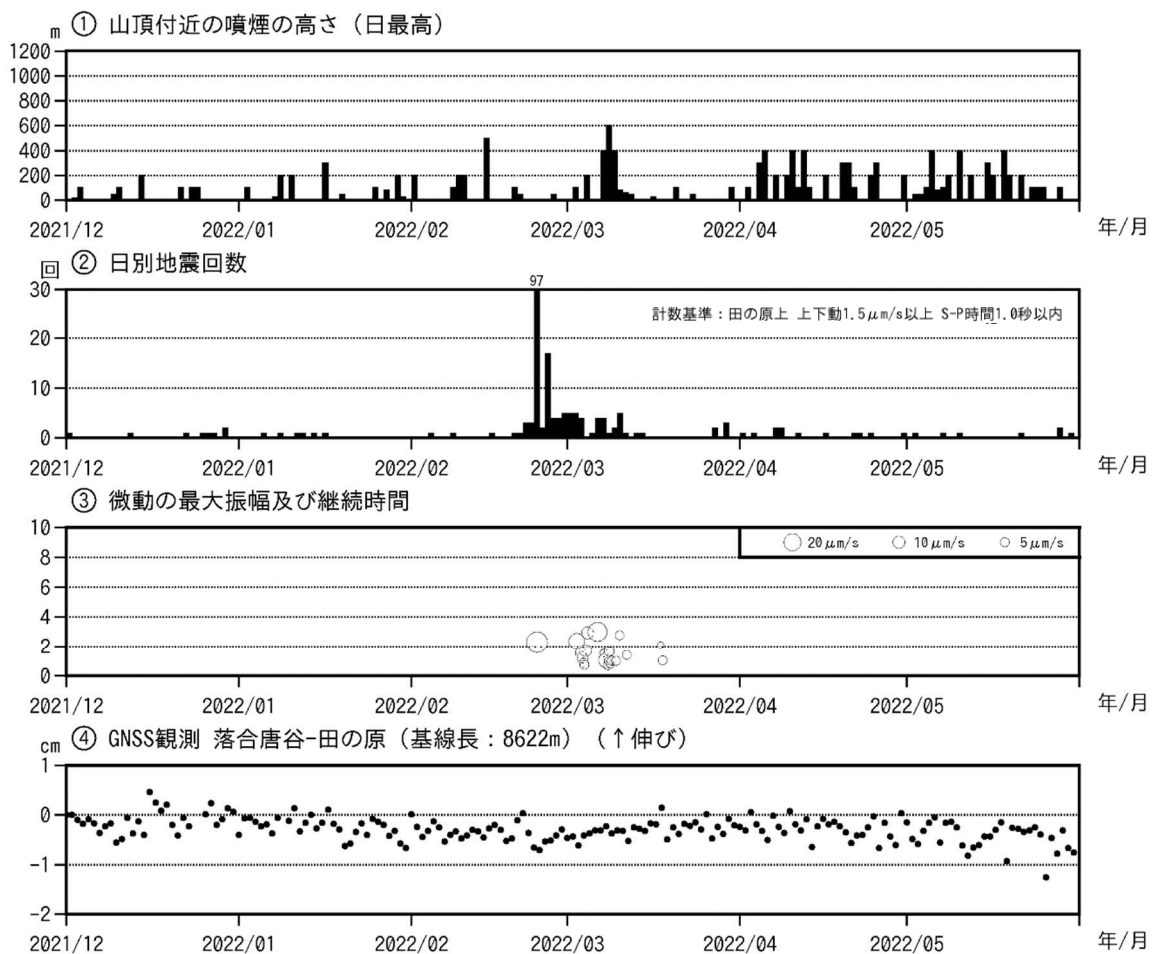


図 1 御嶽山 火山活動経過図（2021 年 12 月～2022 年 5 月 31 日）

- ・今期間、山頂付近の噴気活動に特段の変化は認められなかった。
- ・2 月 23 日に火山性地震が急増（97 回）し、3 月中旬まで増減を繰り返していた。それ以降、発生回数は減少しており、2 月 23 日以前の状態に戻っている。
- ・2 月 23 日から 3 月 18 日にかけて火山性微動が観測されたが、それ以降、観測されていない。2 月 23 日の 14 時 19 分頃に発生した火山性微動に伴い、傾斜計で変化が見られた（図 5）。
- ・GNSS 連続観測の一部の基線では、2 月下旬から山体の膨張を示唆するわずかな伸びが観測された。このような伸びの変化は、4 月に入り停滞している（図 7）。

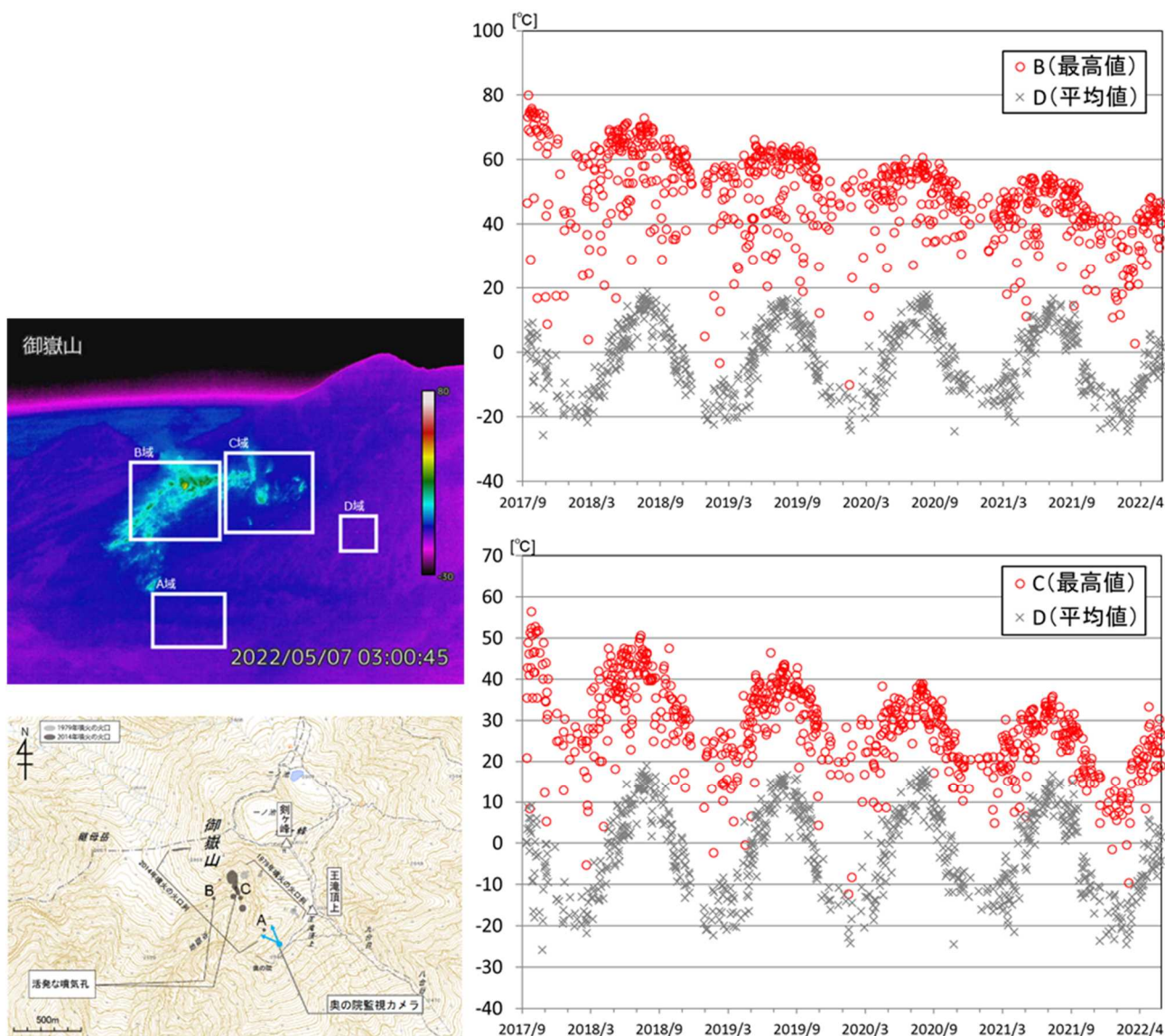
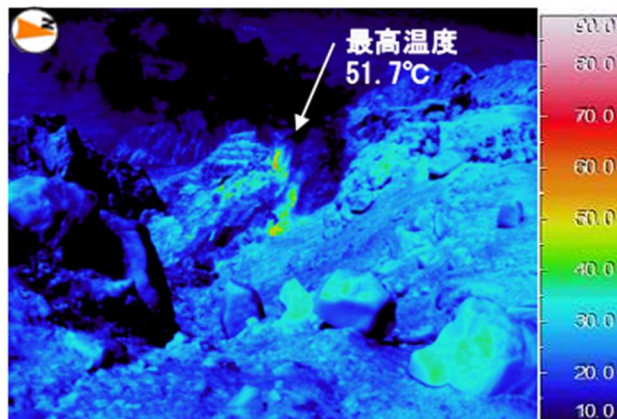


図2 御嶽山 奥の院赤外熱映像カメラによる剣ヶ峰南西側の噴気域の最高温度の推移
(2017年9月13日～2022年5月31日)とカメラ位置、カメラ画像とその解析範囲

- ・ 剣ヶ峰南西側の一部の噴気孔及びその周辺の地熱域の温度は、長期的には低下傾向がみられる。
- ・ 火山活動の高まりが見られた2月以降、地熱域の広がりまたはその温度上昇の傾向は認められていない。



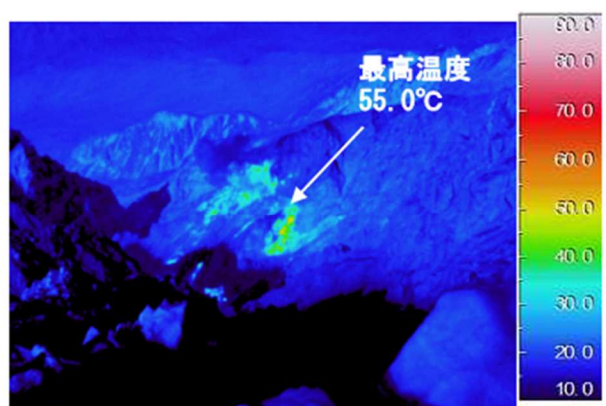
2022 年 6 月 4 日 11 時 03 分撮影
(天気：晴れ、気温：9.6℃)



2022 年 6 月 4 日 11 時 06 分撮影



2021 年 7 月 21 日 09 時 51 分撮影
(天気：晴れ、気温：12.5℃)



2021 年 7 月 21 日 07 時 30 分撮影



図 3 御嶽山 地獄谷の可視画像及び赤外熱映像による地表面温度分布

- ・ 6 月 4 日に実施した現地調査では、地獄谷で引き続き活発な噴気活動及び高温域が認められた。
- ・ 2021 年 7 月 21 日に撮影した画像と比較して、噴気活動や地熱域の分布等に特段の変化は認められない。

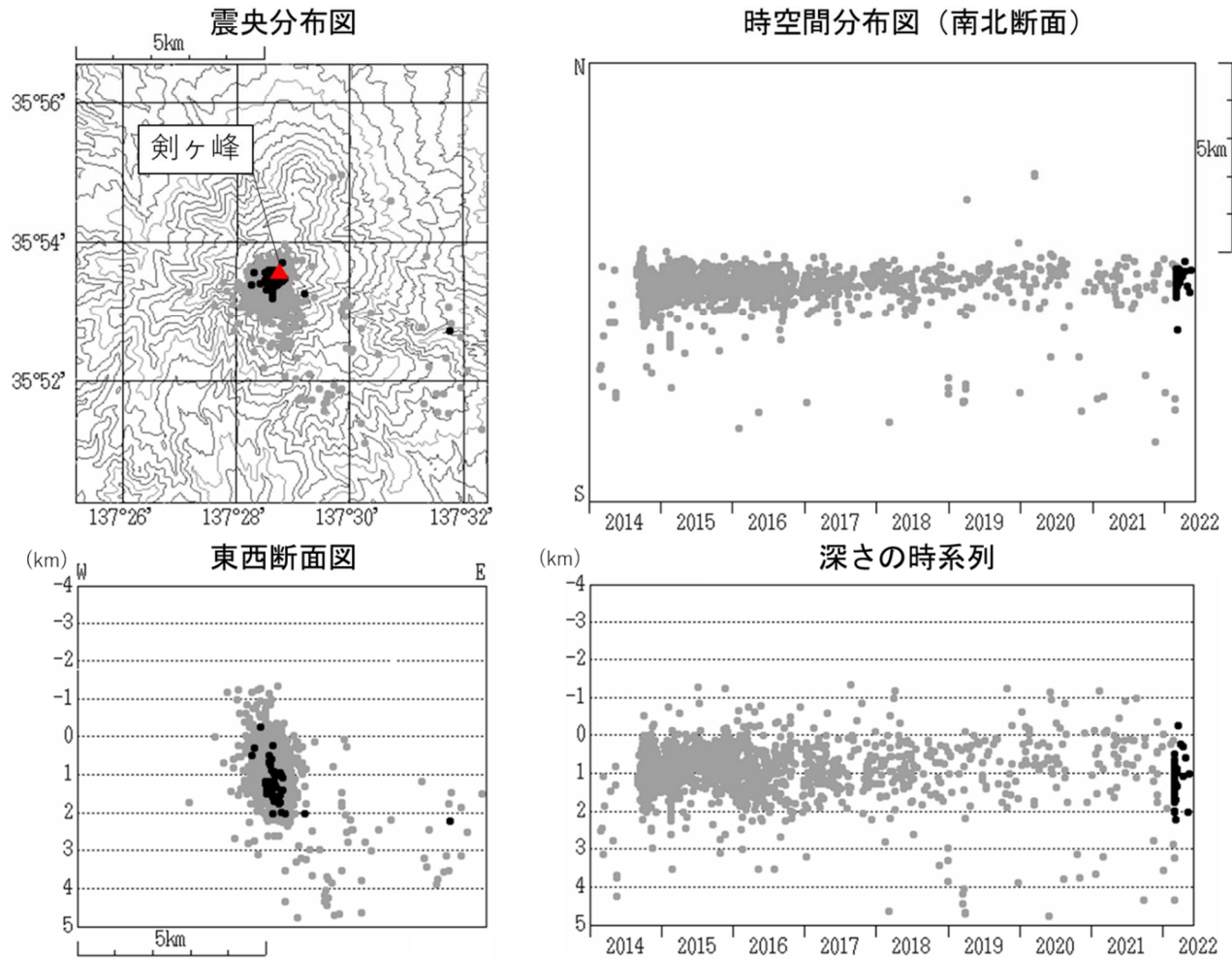


図 4 御嶽山 震源分布図 (2014 年 1 月 1 日～2022 年 5 月 31 日)

- ・ 黒丸は 2 月 23 日以降に発生した地震を示す。
- ・ 2 月 23 日以降に発生した地震の震源は、主に剣ヶ峰付近の海拔 0 km～海面下 2 km の範囲に分布する。

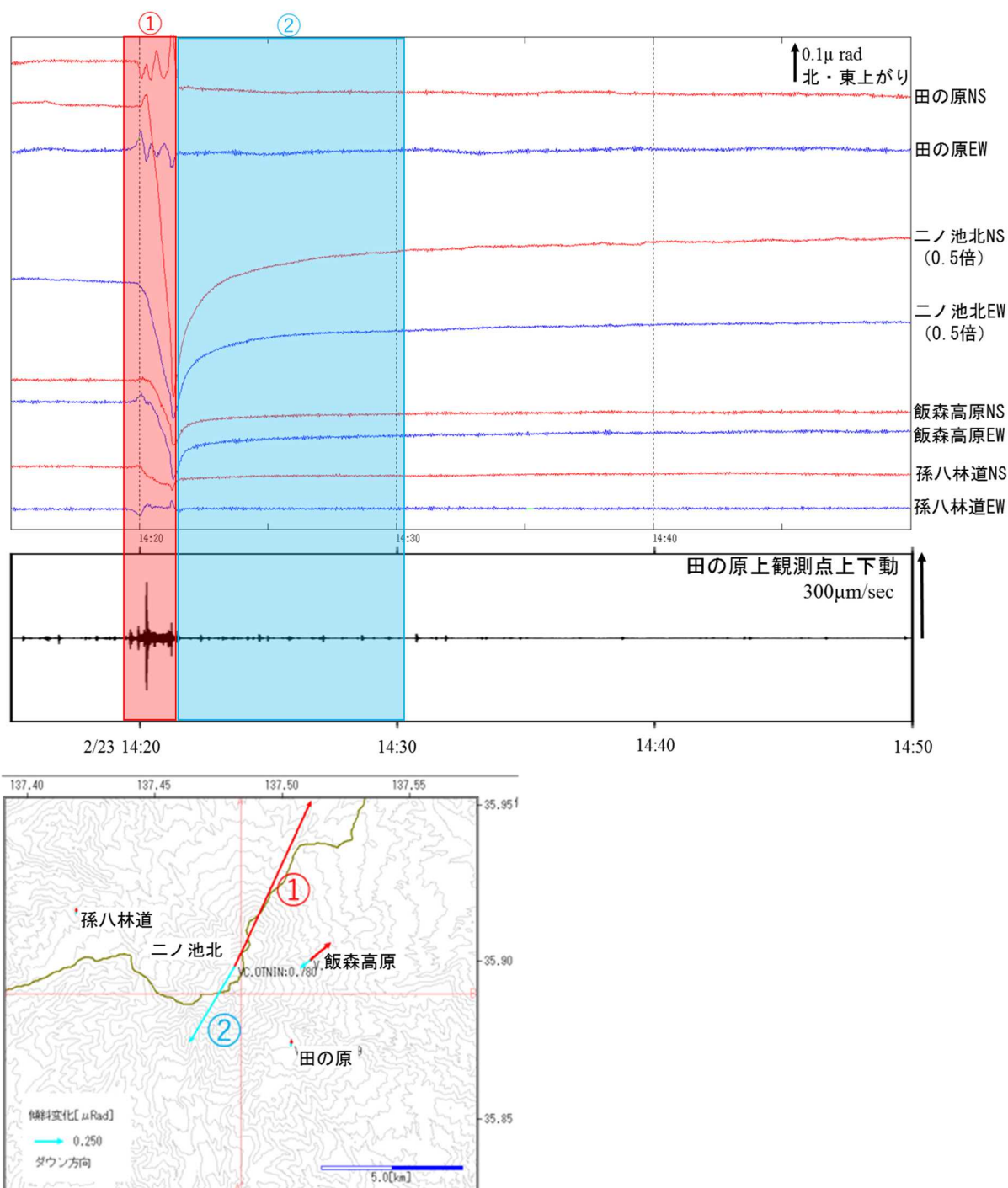


図5 御嶽山 火山性微動と傾斜変動（2022年2月23日14時15分～14時50分）

- ・ 23日14時15分頃から火山性地震の増加が始まり、14時19分頃には火山性微動とともに、二ノ池北、飯森高原、孫八林道の傾斜計で変化が見られた。
- ・ ①で示す時間帯に観測された傾斜変動は、地獄谷付近が上昇する地盤変動に対応すると考えられる。
- ・ ②で示す時間帯に観測された傾斜変動は、①で観測された傾斜変動とほぼ逆向きを示す。
- ・ 微動に伴う空振は観測されなかった。

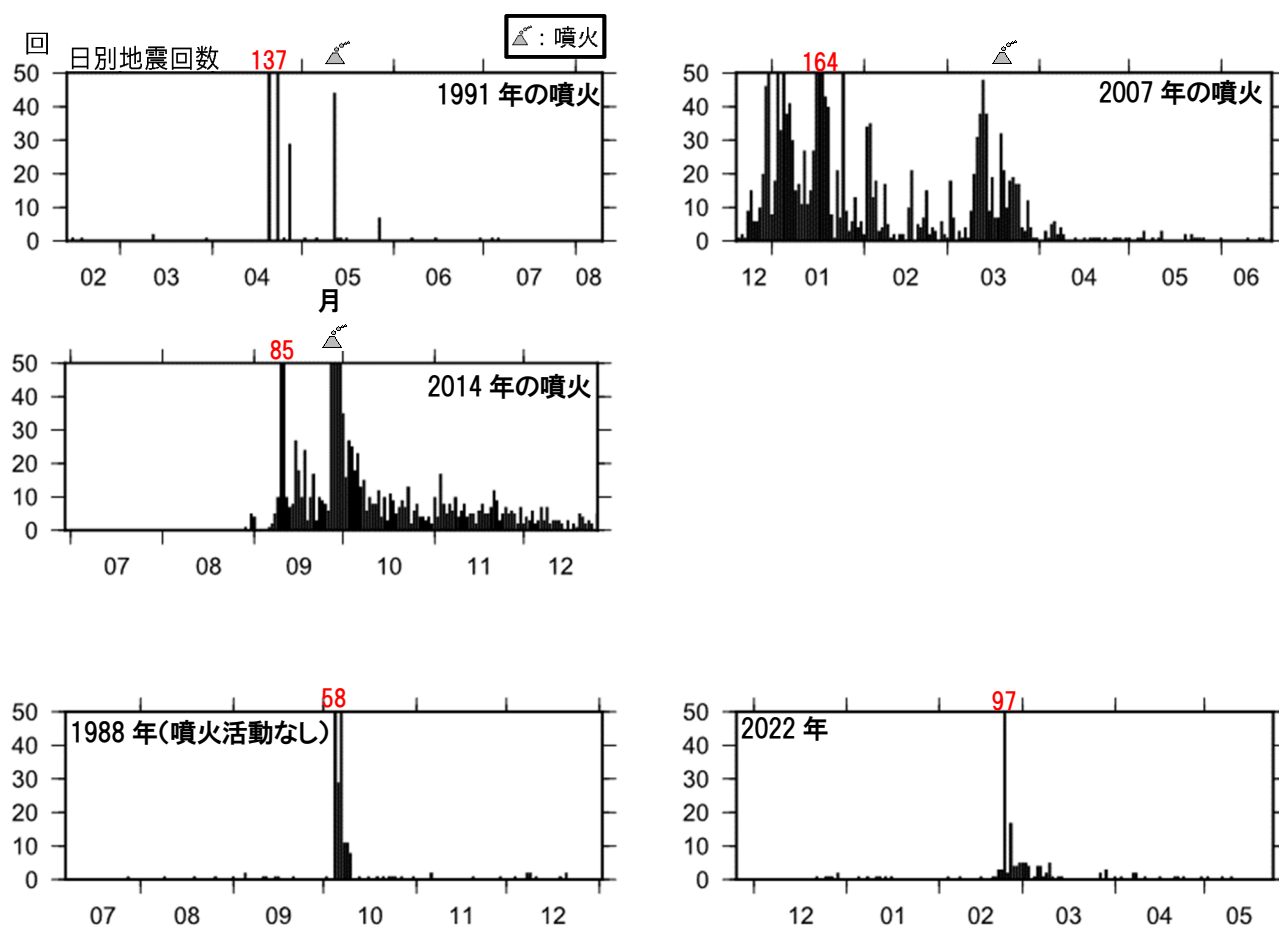


図 6 御嶽山 過去に観測された地震活動のピーク及びその前後 90 日程度の日別地震回数の推移

- ・ 1991 年及び 2007 年の噴火の発生日は特定されていないので、それぞれ 1991 年 5 月 12 日及び 2007 年 3 月 20 日を噴火の発生日としている。
- ・ 1991 年、2007 年及び 2014 年の噴火発生の約 2 週間から約 2 か月前に、地震活動のピークが出現した（赤字はピーク時の日別地震回数を示す）。
- ・ 2007 年及び 2014 年の噴火発生前の地震活動のピークから噴火の発生直前にかけて、地震回数は減少するが、地震活動の活発化以前より多い。
- ・ 1988 年 10 月 5 日にも地震回数が増加（58 回）したが、1 週間程度で 1988 年 10 月 5 日以前の回数に減少し、噴火は発生していない。
- ・ 2 月 23 日には 97 回の地震回数があったが、3 月中旬頃には 2 月 23 日以前の回数にほぼ戻っている。

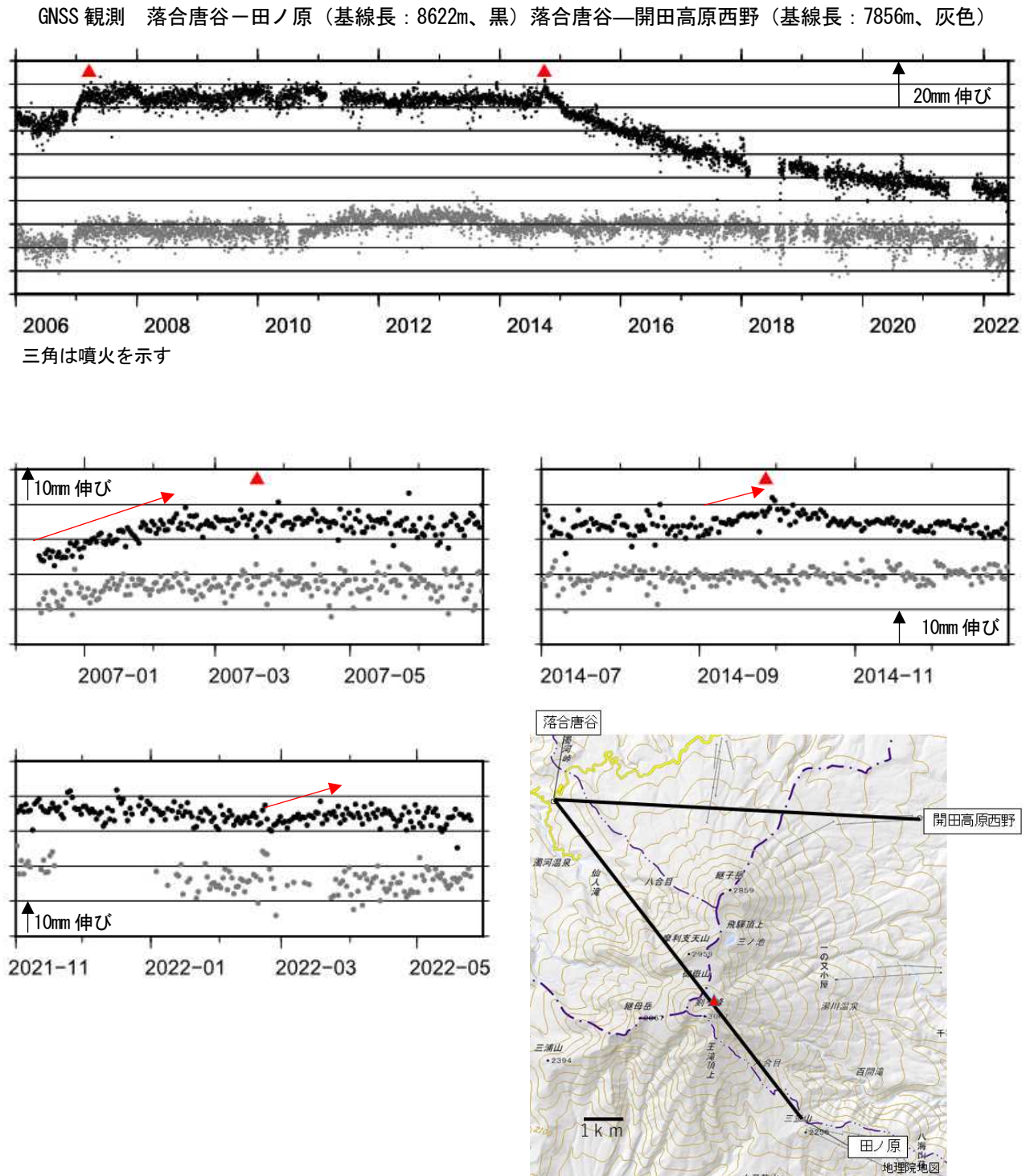


図 7 御嶽山 GNSS 基線長変動の推移

- ・ 2007 年の噴火の発生日は特定されていないので、2007 年 3 月 20 日を噴火の発生日としている。
- ・ 2007 年及び 2014 年の噴火のそれぞれ約 3 か月前及び約 1 か月前から山体の膨張を示す基線長の変化が観測された。
- ・ 2022 年 2 月の火山活動の活発に高まりに伴い、2 月下旬から 3 月下旬にかけて山体の膨張を示すわずかな基線長の変動が観測されたが、4 月に入り、この変動は停滞している。

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

ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

1. はじめに

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

2. 解析データ

解析に使用したデータを第 1 表に示す。

第 1 表 干渉解析に使用したデータ

Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
20-2890 (SM1_U2-6)	南行	右	32.3°	2021.02.14	2022.02.13	第 1 図 - A
121-740 (SM1_U2-6)	北行	左	32.5°	2021.08.16	2022.05.23	第 1 図 - B

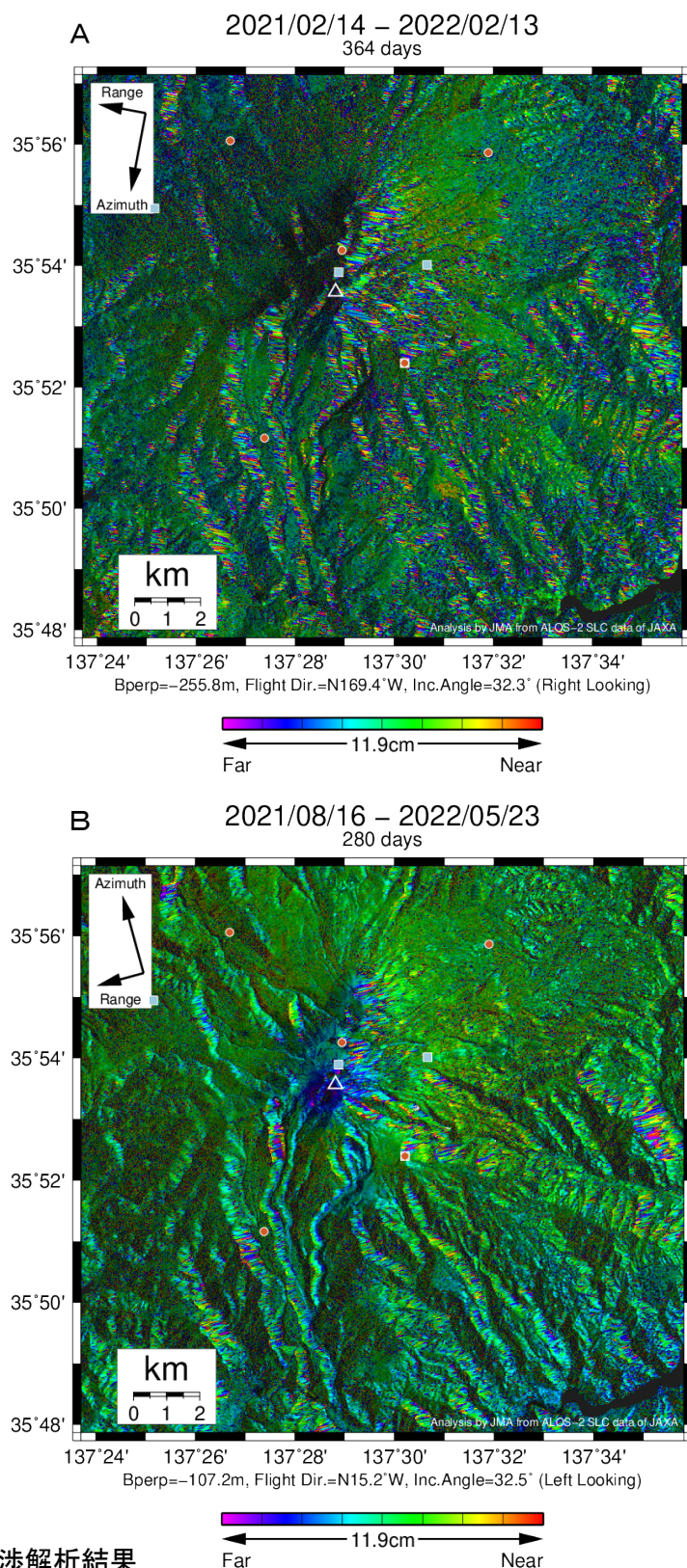
3. 解析結果

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

なお、各干渉解析結果について、電離圏遅延補正を行っていないため、ノイズが重畳している可能性がある。

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。



第 1 図 御嶽山の干渉解析結果

パス 20 (SM1_U2-6) (A) 及びパス 121 (SM1_U2-6) (B) による御嶽山の干渉解析結果

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

気象庁資料に関する補足事項

1. データ利用について

- ・資料は気象庁のほか、以下の機関のデータも利用して作成している。

北海道地方（北方領土を含む）：国土交通省北海道開発局、国土地理院、北海道大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、北海道、地方独立行政法人北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所及び公益財団法人地震予知総合研究振興会

東北地方：国土交通省東北地方整備局、国土地理院、東北大学、弘前大学、北海道大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、青森県及び公益財団法人地震予知総合研究振興会

関東・中部地方：関東地方整備局、中部地方整備局、国土地理院、東北大学、東京工業大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、長野県、新潟県、山梨県、神奈川県温泉地学研究所及び公益財団法人地震予知総合研究振興会

伊豆・小笠原地方：国土地理院、東京大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、東京都

九州地方・南西諸島：九州地方整備局大隅河川国道事務所、九州地方整備局長崎河川国道事務所（雲仙砂防管理センター）、国土地理院、九州大学、京都大学、鹿児島大学、東京大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所、国立研究開発法人産業技術総合研究所、宮崎県、鹿児島県、大分県、十島村、三島村、屋久島町、公益財団法人地震予知総合研究振興会及び阿蘇火山博物館

2. 一元化震源の利用について

- ・2001 年 10 月以降、Hi-net の追加に伴い検知能力が向上している。
- ・2010 年 10 月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。
- ・2016 年 4 月 1 日以降の震源では、M の小さな地震は、自動処理による震源を表示している場合がある。自動処理による震源は、震源誤差の大きなものが表示されることがある。
- ・2020 年 9 月以降の震源は、地震観測点の標高を考慮する等した手法で求められている。

3. 地図の作成について

- ・資料内の地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図 25000 (行政界・海岸線・地図画像)』、『数値地図 50m メッシュ (標高)』、『基盤地図情報』及び『電子地形図 (タイル)』を使用した。

御嶽山の地震活動(2021 年 9 月～2022 年 5 月)

名古屋大学では 2021 年 9 月～2022 年 5 月の地震の震源決定を行った(図 1). 2 月 23 日から 3 月頃にかけて活発な地震活動が観測された(図 1, 2).

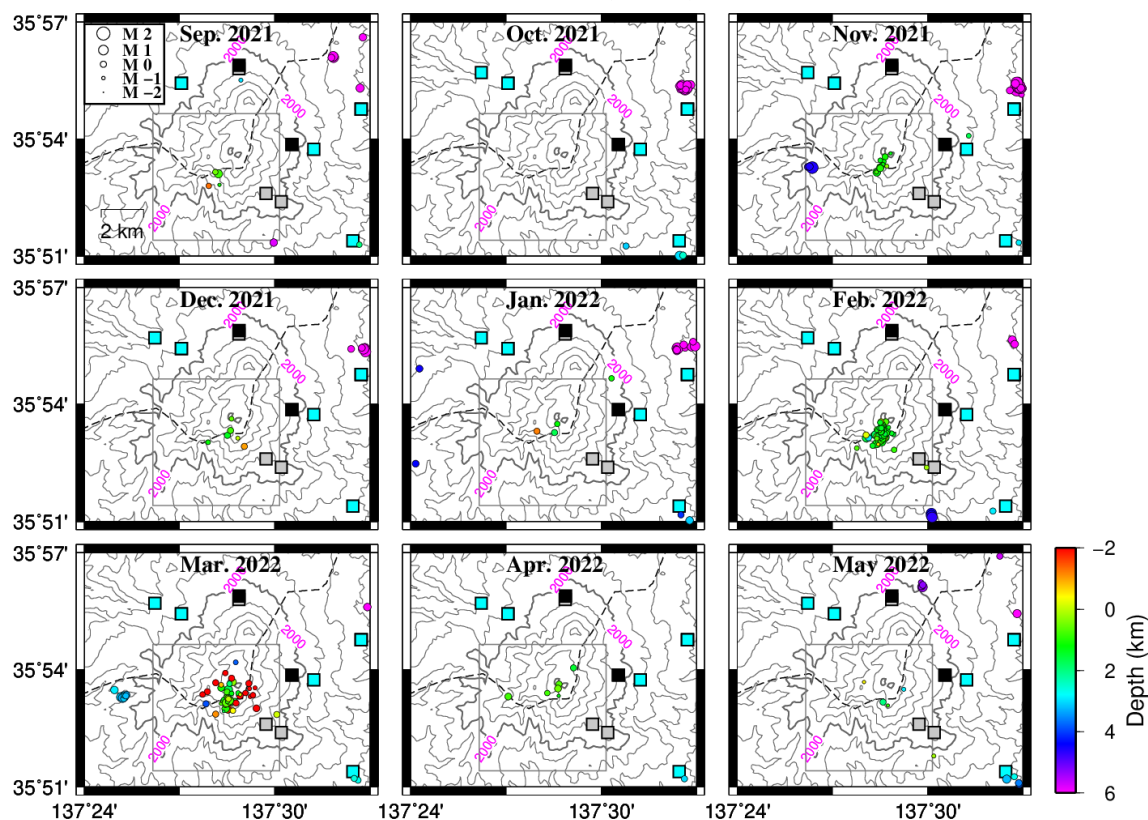


図 1. 名古屋大学で決定した御嶽山山頂域の地震の震源(2021 年 9 月～2022 年 5 月).

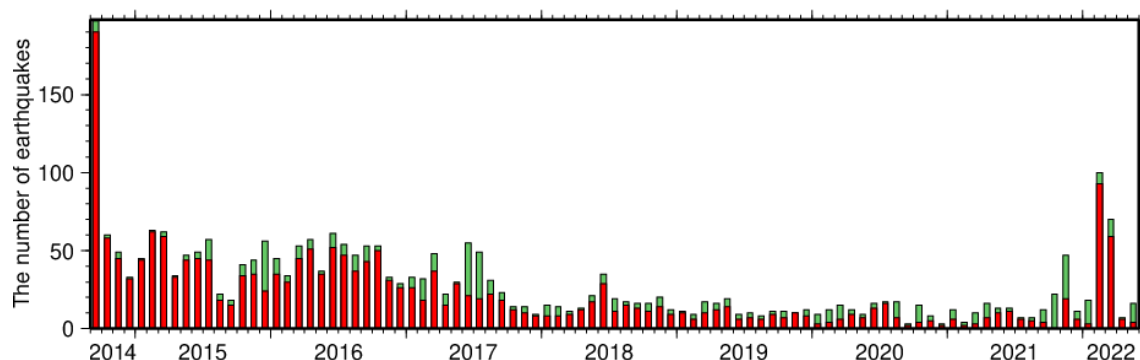


図 2. 名古屋大学で決定した月別地震回数の推移. 赤: 山頂域(図 1 の灰色枠)の地震回数, 緑: 図 1 の地図範囲全体の地震回数.

2月23日～3月頃の地震活動((要約))

2月23日から3月上旬頃にかけて山頂域の地震活動が活発化した。震源はやや深めであり、前駆的な地震活動も見られた。傾斜変動、超長周期地震、微動を伴う活動も発生し、震源時間関数は1分程度をかけた膨張とそれに続く収縮(収縮量<膨張量)を示した。

震源分布と地震活動

名古屋大学では定常観測網による震源決定に加え、山頂試験観測点(10地点)を加えた震源決定も実施している。山頂試験観測点を加えた震源は3つの深さにクラスタ状に分布するが(図3 枠線)、今年2月23日以降の地震(赤)は一番深いクラスタで発生したものが多い(図3, 4)。また、2月23日14時20分頃に発生した最大の地震(M1.2)の震源は今回の一連の活動の中では浅めであった(図3, 4)。活発な地震活動は3月上旬頃まで続き、山頂試験観測が開始された2017年11月以降で最大の活動であった(図5)。今回の活動は2020年秋頃から深めの地震(海拔下0-2 km)が長期的に増加する中で発生し、2月22日頃に前駆的な地震活動も見られた(図4, 5)。

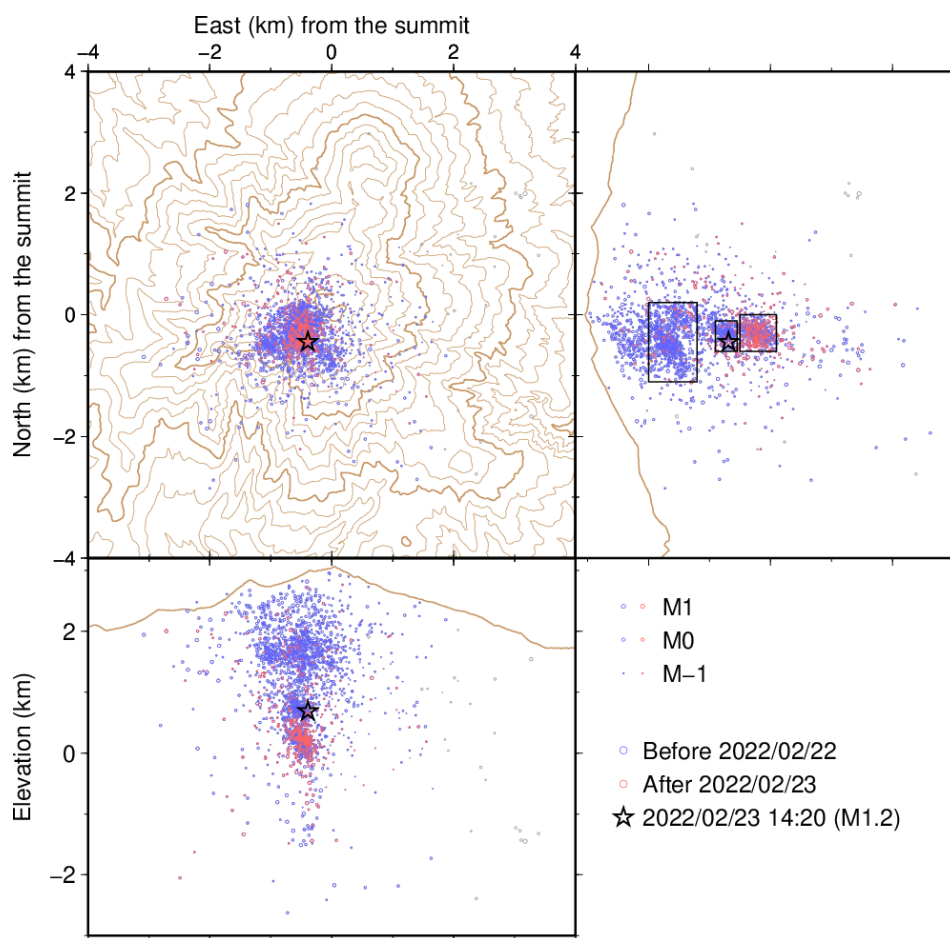


図3. 名古屋大学で山頂試験観測データを加えて決定した震源分布(2017年11月～2022年5月)。2月23日以降の震源を赤で、2月23日14:20頃の最大地震の震源を☆で示す。

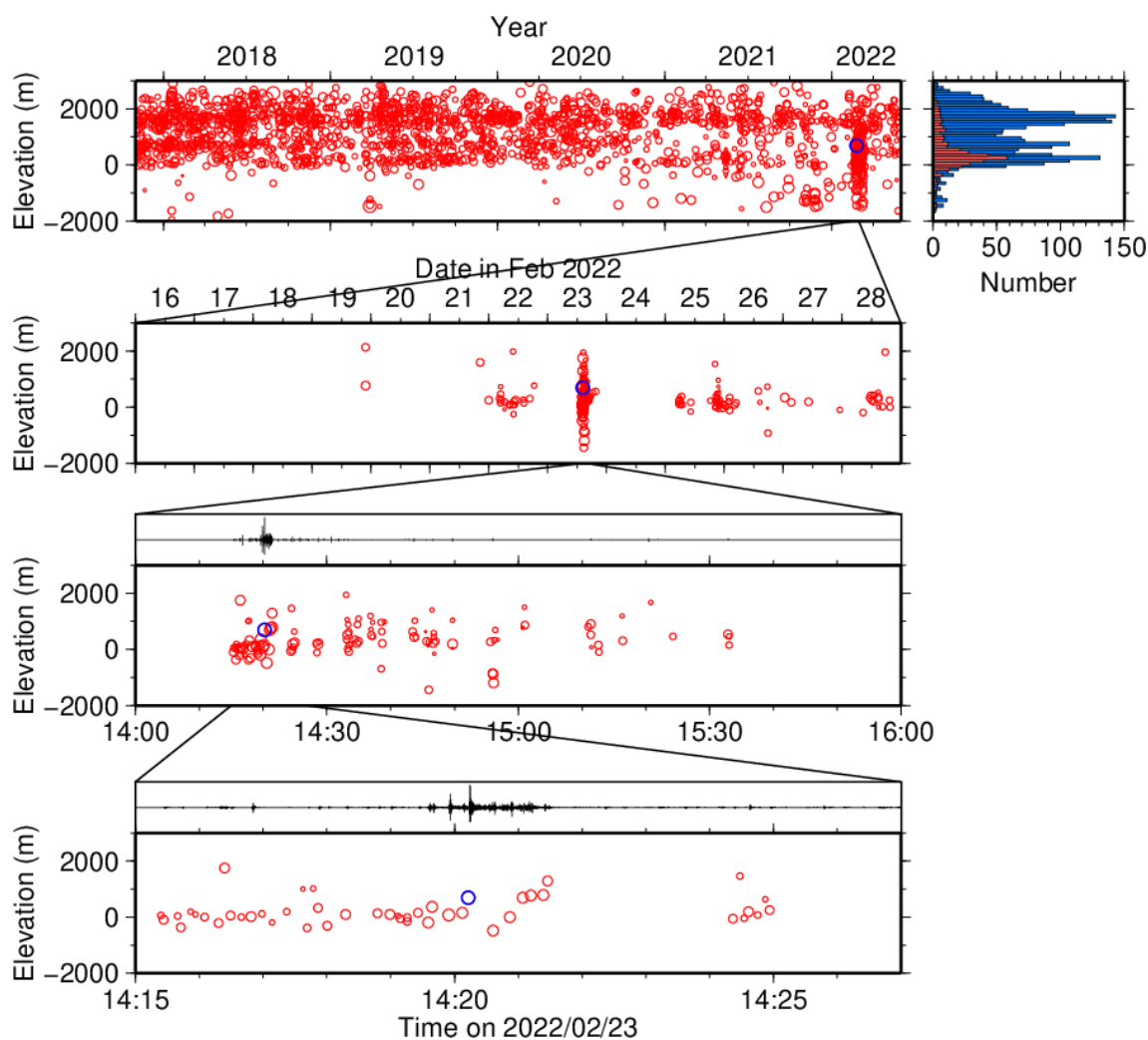


図 4. 震源の標高の推移. 2 月 23 日に発生した最大地震を青で示す. 名大剣ヶ峰観測点の波形を上段に示す. 最上段右図は標高別の地震数(青: 全期間, 赤: 2022 年 2 月 23 日以降)を表す.

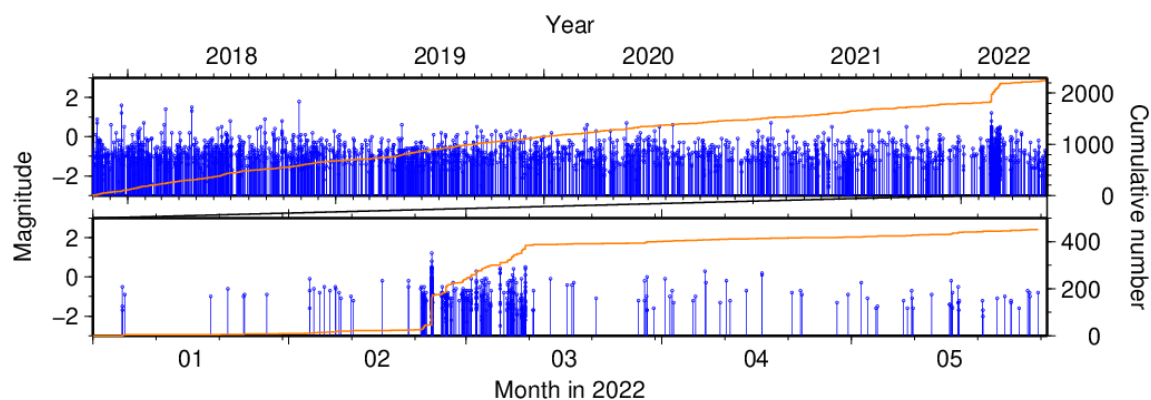


図 5. 名古屋大学で山頂試験観測データを加えて決定した地震活動の MT 図(青)と累積地震数(橙). 2022 年以降の活動の拡大図を下段に示す.

MatchedFilter 法でみた今回の地震活動

2006 年 12 月から 2022 年 3 月までに起きた地震の中から精度よく決められた 226 地震を template 地震として、2022 年 2 月から 3 月の地震活動を調べた。図 6a に template 地震の分布、図 6bc に MatchedFilter 法の解析結果を示す。震源決定では一番深いクラスタで発生したものが多かったが、それより浅いところでも規模の小さい地震が発生していた(図 6b)。また 2 月 13 日頃から深さ 30km 付近での地震活動がやや活発になっていたこともわかる(図 6c)。

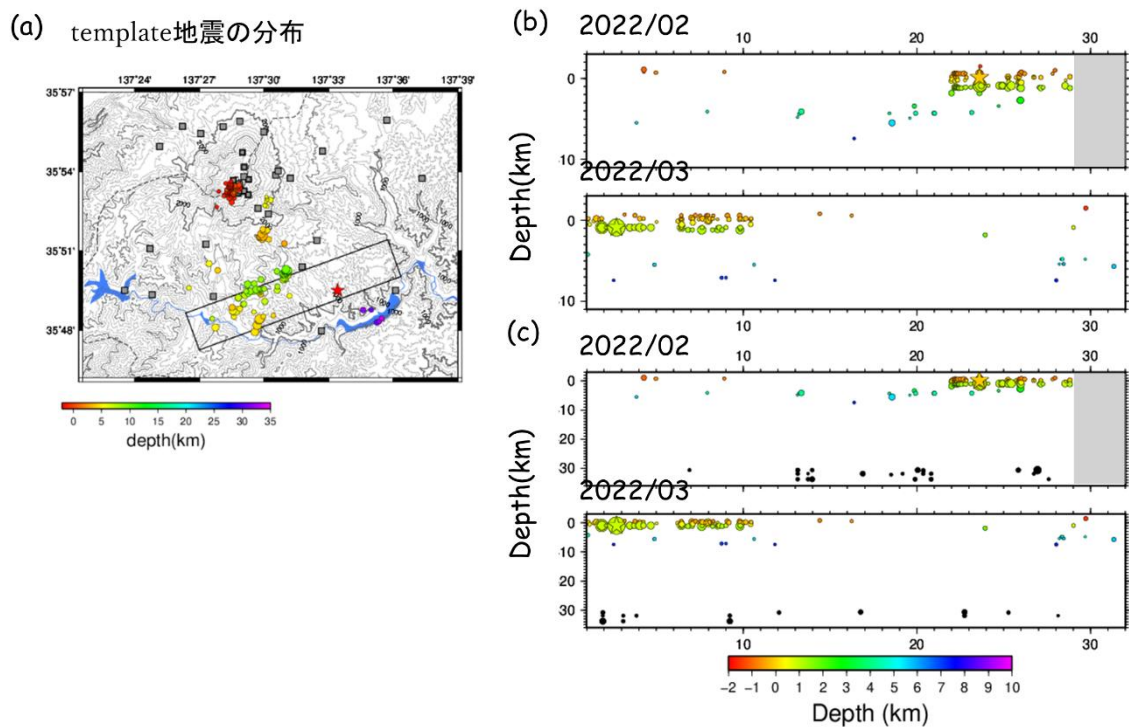


図 6. MatchedFilter 法解析による 2022 年 2 月から 3 月にかけての地震活動。色は深さを示す。(a) template 地震の分布、(b) 10km 以浅の地震活動、(c) 30km 以浅の地震活動。★はテンプレート地震、○のサイズは相関の大きさを示す。

2月23日14時20分頃のイベント

2月23日14時20分頃に微動を伴う傾斜変動と群発地震が発生した(図7). 同イベントに伴う傾斜変動は広帯域地震計の水平成分にも見られ(図7b), 概ね放射状で山頂の2観測点で大きい(図8a). 広帯域地震計と傾斜計を組み合わせた波形インバージョン(等方ソース仮定)により, 地獄谷直下にソースが推定され(図8b), おおよそ1分程度をかけて膨張した後

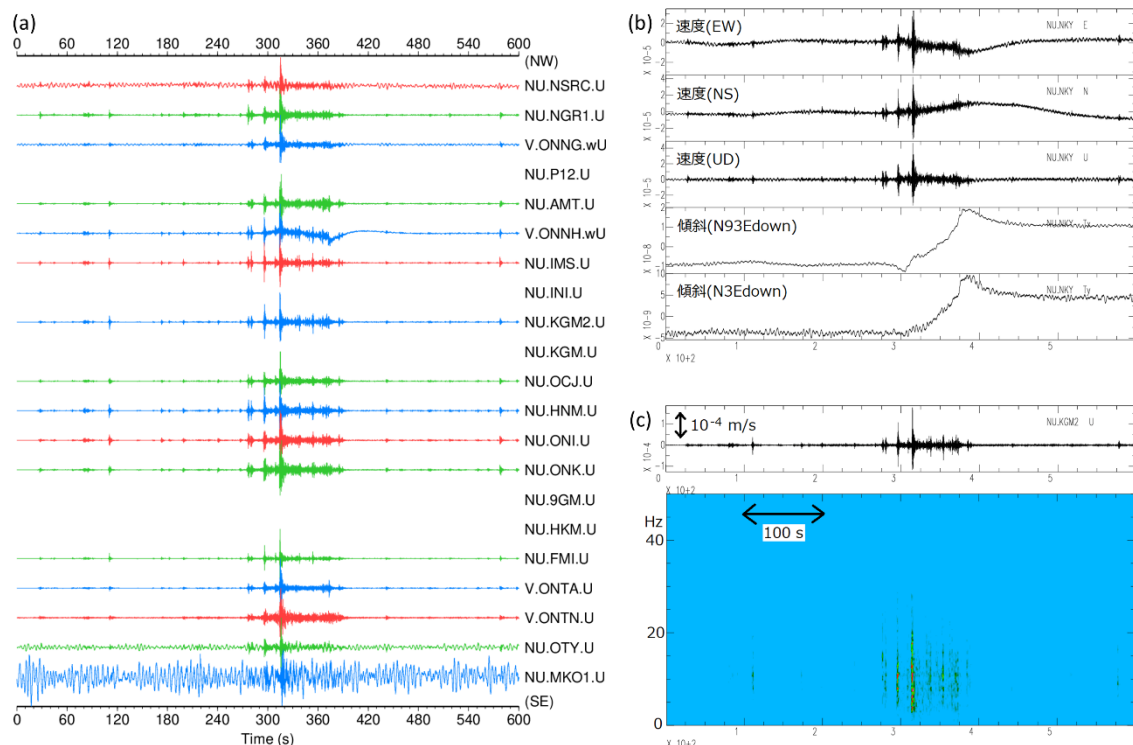


図7. 波形記録(2月23日14:15~14:25). (a) 上下動波形. 北西(濁河)から山頂域を通して南東(牧尾)へ概ね地理順に並べてあり, 図の中央が山頂域である. (b) 名大中の湯観測点における広帯域地震計と傾斜計の記録. (c) 名大剣ヶ峰観測点(1 Hz 計)の速度波形とスペクトル.

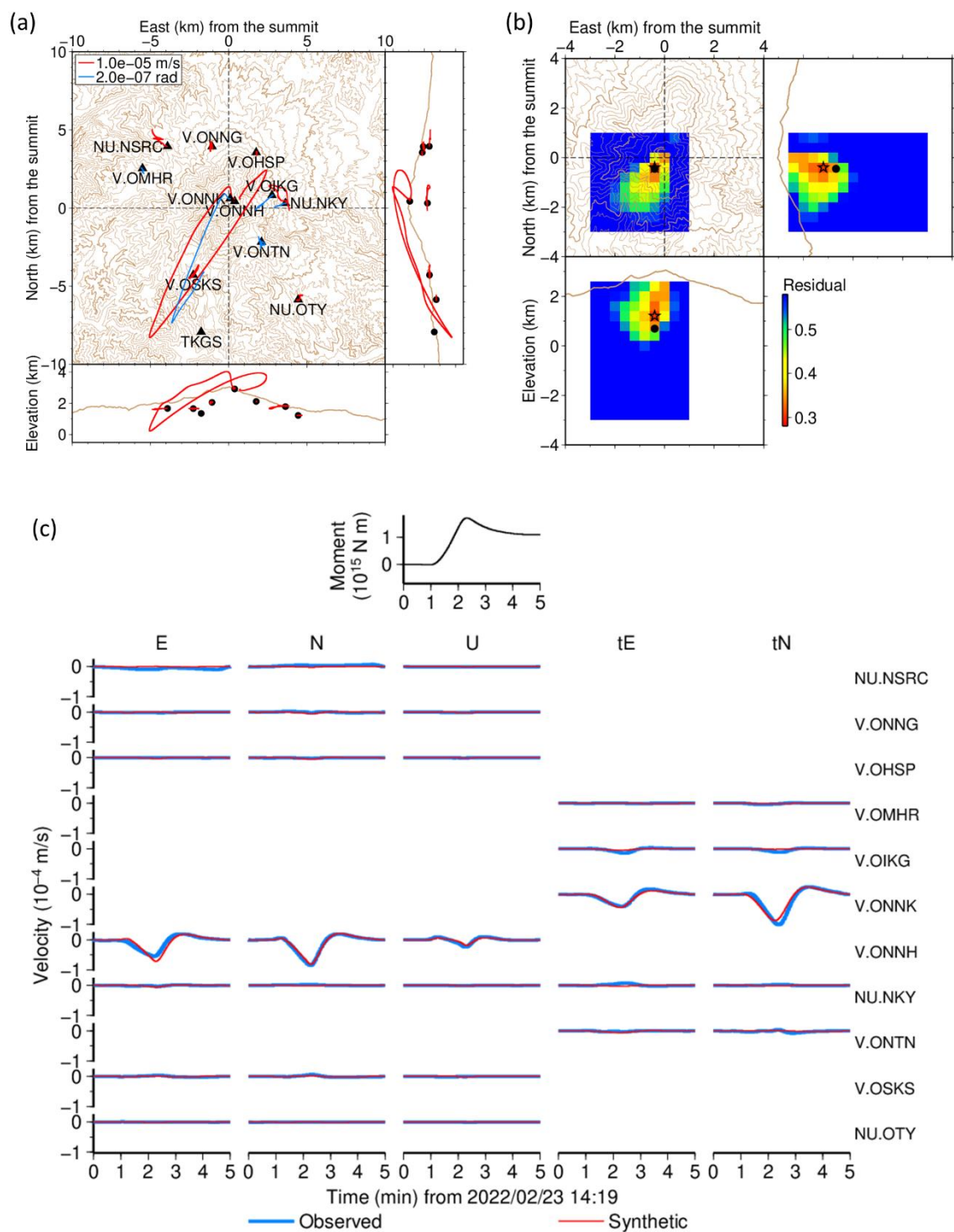


図 8. ソースの推定(2月23日14時20分頃のイベント). (a) 広帯域地震計(赤)と傾斜計(青)の粒子軌跡(図7と同じ時間窓, ローパス20秒). (b) 波形インバージョン(等方ソース仮定)で得られた残差分布. 最適解を☆で, 対応する最大地震の初動による震源位置を●で示す. (c) 波形インバージョン(等方ソース仮定)で得られた震源時間関数(最上段)および観測波形(青)と合成波形(赤)の比較.

2月24日～25日の低周波気味の地震

2月24日から25日にかけて低周波気味の地震が3回観測された(図9).

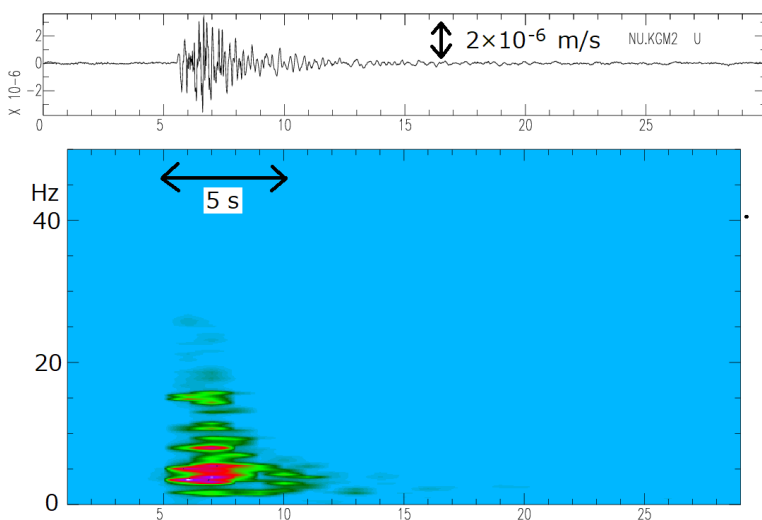


図9. 名大剣ヶ峰観測点の速度波形とスペクトル(2月24日17:53:20-17:53:50).

3月上旬頃の微動

3月上旬頃を中心に、超長周期(VLP)イベントと傾斜変動を伴う微動が複数回観測された(図10～12). 振幅は2月23日より1桁小さく(図7, 11), 粒子軌跡と波形インバージョン結果は2月23日と類似のパターンを示すが、震源時間関数の振幅は1桁小さく、膨張の継続時間もやや短くなる(図12).

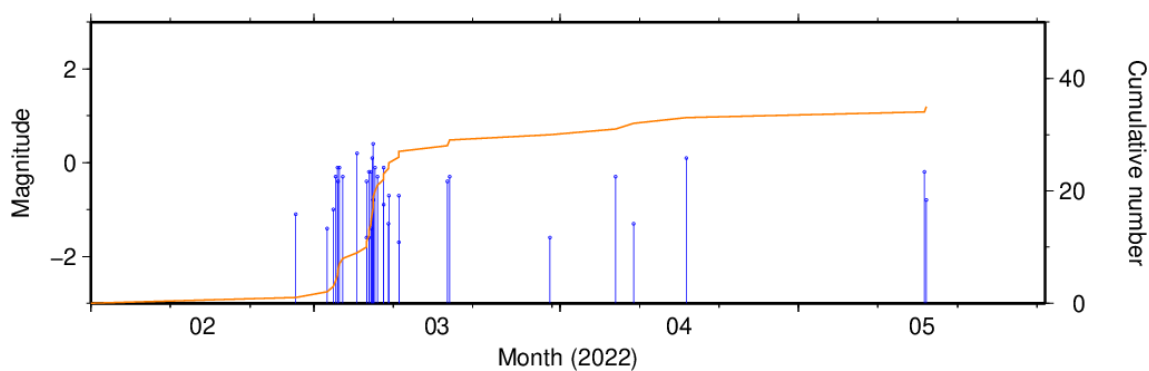


図10. 名古屋大学で今年2月以降に検出した微動のMT図(青)と累積数(橙).

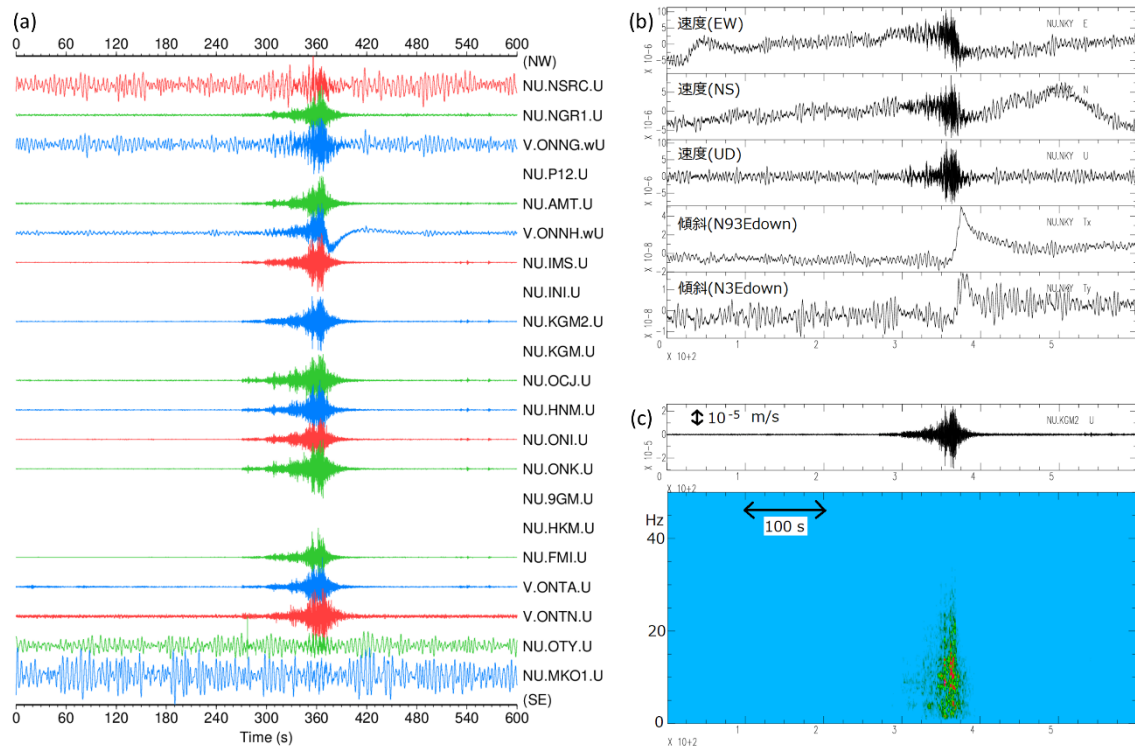


図 11. 波形記録(3 月 6 日 10:30~10:40). (a) 上下動波形. 北西(濁河)から山頂域を通して南東(牧尾)へ概ね地理順に並べてあり, 図の中央が山頂域である. (b) 名大中の湯観測点における広帯域地震計と傾斜計の記録. (c) 名大剣ヶ峰観測点(1 Hz 計)の速度波形とスペクトル.

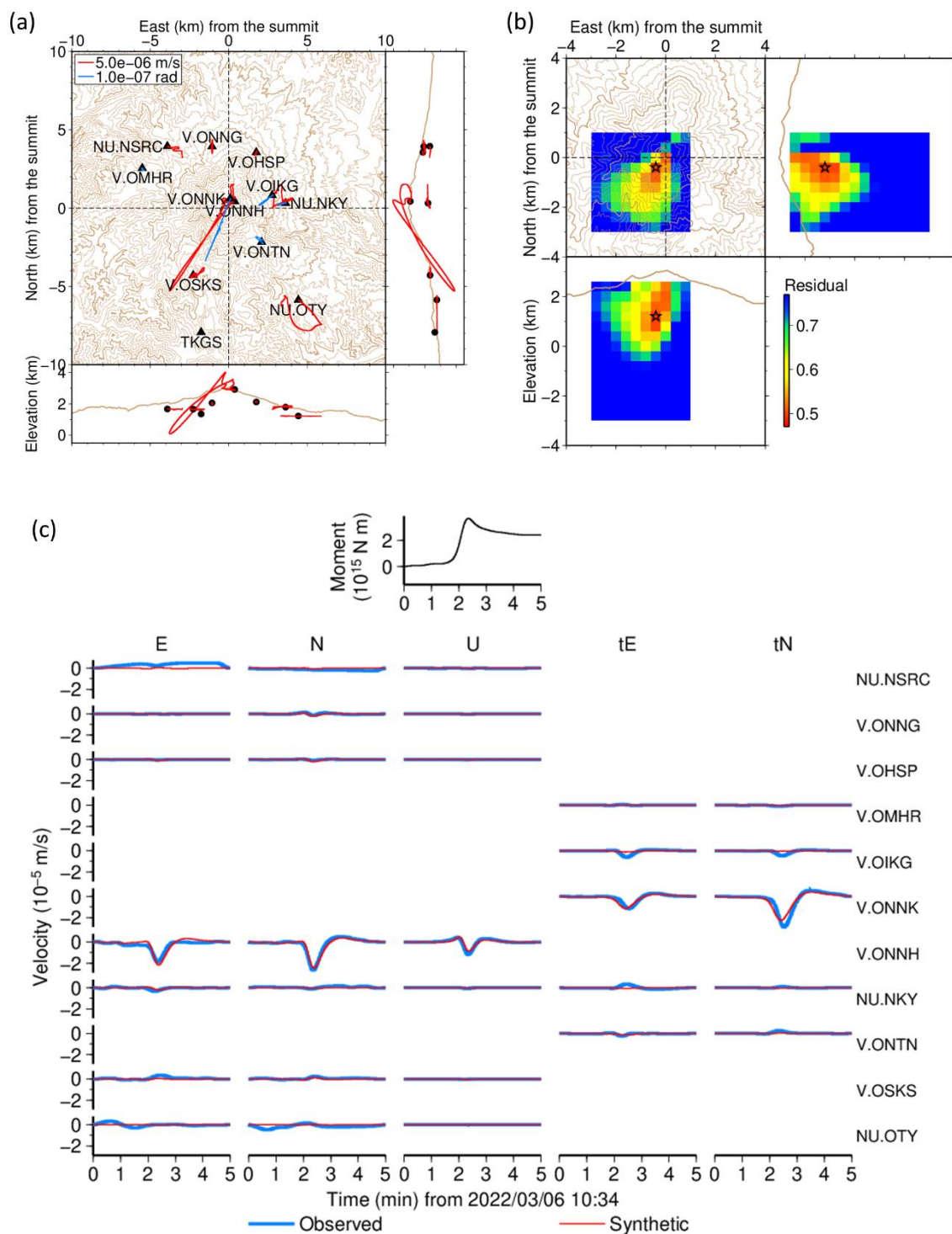


図 12. ソースの推定(3月6日10時35分頃のイベント). (a) 広帯域地震計(赤)と傾斜計(青)の粒子軌跡(図11と同じ時間窓, ローパス20秒). (b) 波形インバージョン(等方ソース仮定)で得られた残差分布. 最適解を☆で示す. (c) 波形インバージョン(等方ソース仮定)で得られた震源時間関数(最上段)および観測波形(青)と合成波形(赤)の比較.

過去の活動との比較

2月23日、3月6日の傾斜変動の震源時間関数は2014年噴火前と比較して継続時間、振幅スケールともに小さい(図13)。今回の活動のソース位置は2014年噴火直前の膨張源や噴火後の収縮源と比較してやや深いと思われる(図14)。2007年の変動源とは有意差は見られない。

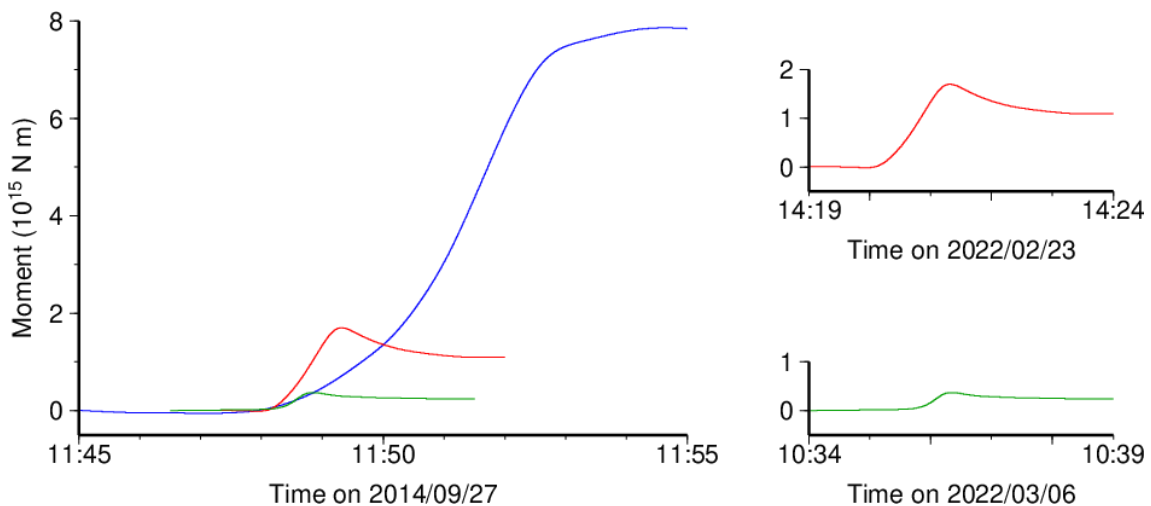


図13. 傾斜変動の震源時間関数の比較。青：2014年噴火前。赤：2月23日のイベント。緑：3月6日のイベント。横軸・縦軸スケールを共通にしており、左図に3つの震源時間関数を重ねて示している。

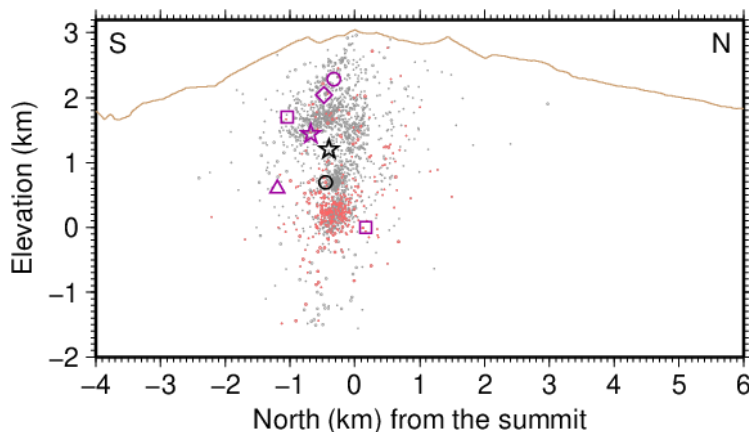


図14. 地震活動(灰色：2022/2/22以前，赤：2022/2/23以降)と2月23日の最大地震の震源(黒○)，波形インバージョンによるセントロイド(黒☆)。震源とセントロイドの差異は残差分布の広がり(図8b)の範囲内と思われる。過去の活動ソースを紫で表しており以下の通り。△：2007年1月の超長周期地震ソース(Nakamichi et al., 2009)。□：2007年噴火前の膨張源(Takagi and Onizawa, 2016)。☆：2014年噴火開始直前450秒間の傾斜変動源(Maeda et al., 2017)。◇：2014年噴火開始25秒前の超長周期地震ソース(Maeda et al., 2015)。○：2014年噴火後の収縮源(Narita and Murakami, 2018)。

御嶽山の地殻変動

Crustal Deformations of Ontakesan Volcano

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

第1図から第3図は、御嶽山周辺のGNSS連続観測結果である。

第1図の上段に基線の配置を、第1図の下段には、各観測局の保守履歴を示した。第2図は、第1図上段に示した基線の基線長変化グラフで、左列は最近約5年間（2017年5月～2022年5月15日）、右列は最近約1年間（2021年5月～2022年5月15日）の時系列である。「三岳」－「王滝」等の基線で2022年2月頃から2022年4月頃にかけて伸びが見られる。

第3図は、電子基準点および気象庁のGNSS観測点の統合解析から得られた水平変動ベクトル図であり、「白鳥」を固定局としている。第3図上段に最近3か月間（2022年2月～5月）を、下段に最近1年間（2021年5月～2022年5月）を示した。顕著な地殻変動は観測されていない。

第4図は、「だいち2号」のSAR干渉解析結果である。ノイズレベルを超える変動は見られない。

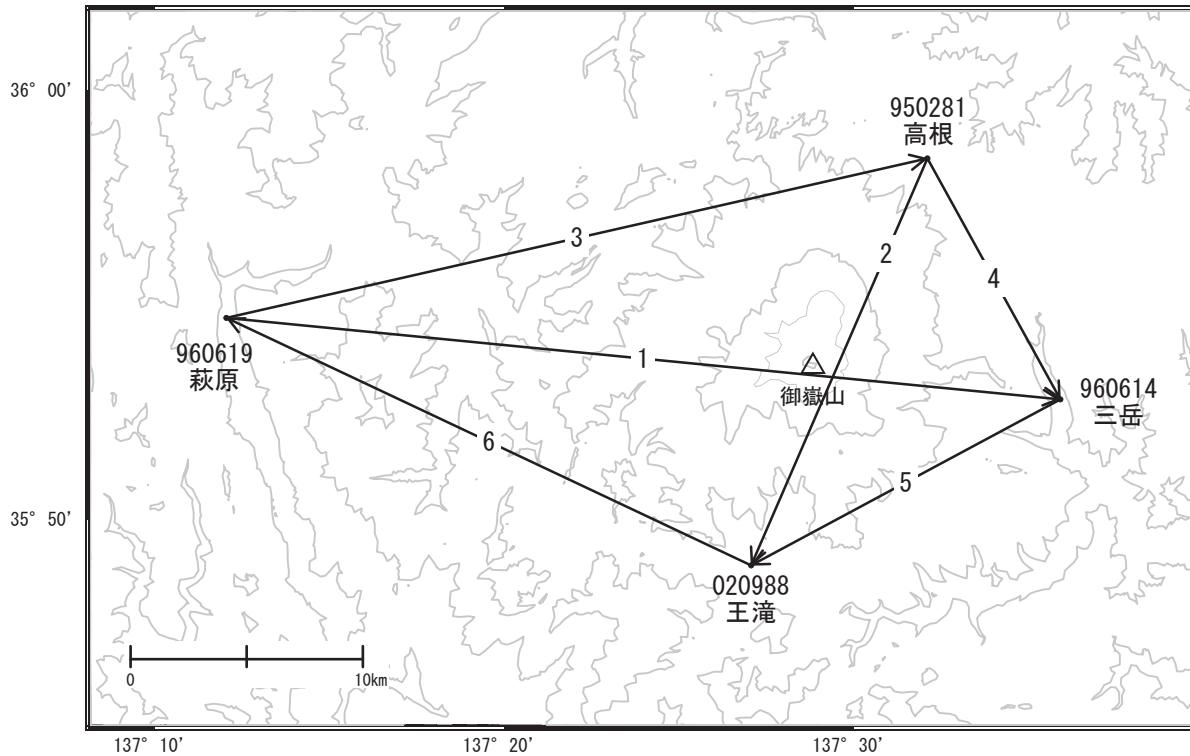
謝辞

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

御嶽山

「三岳」－「王滝」等の基線で2022年2月頃から2022年4月頃にかけて伸びが見られます。

御嶽山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図



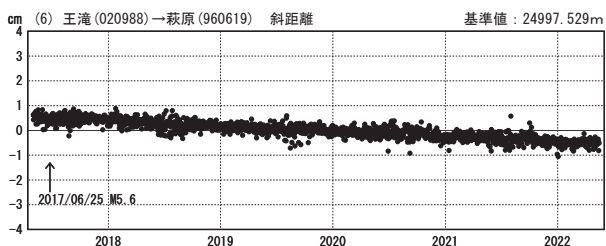
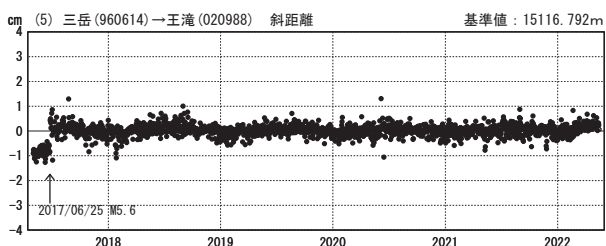
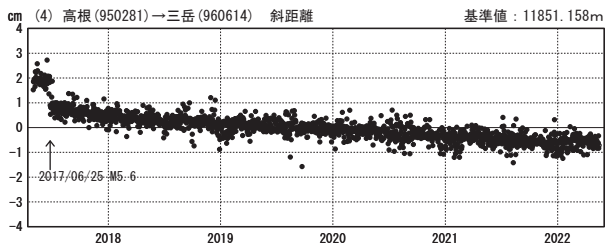
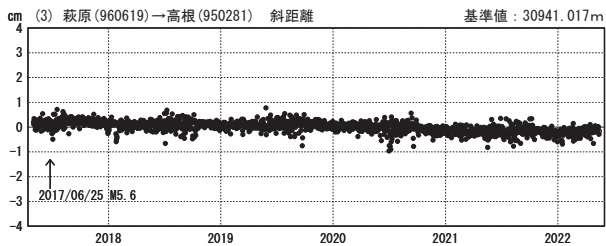
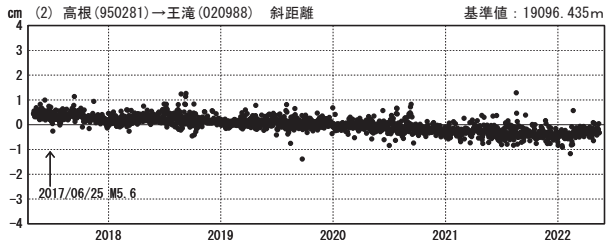
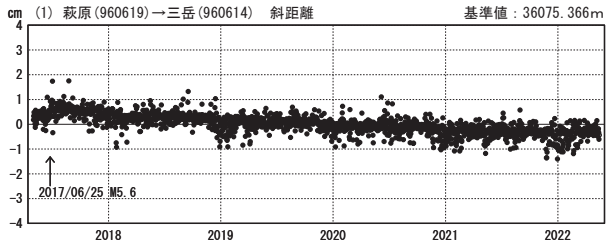
御嶽山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
020988	王滝	20191010	受信機交換
950281	高根	20211111	受信機交換

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

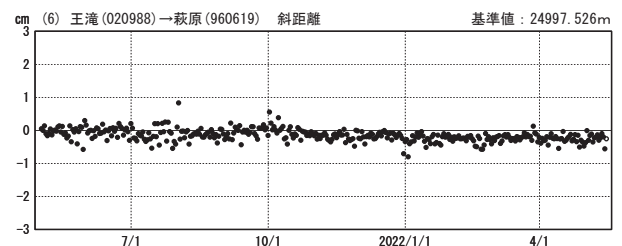
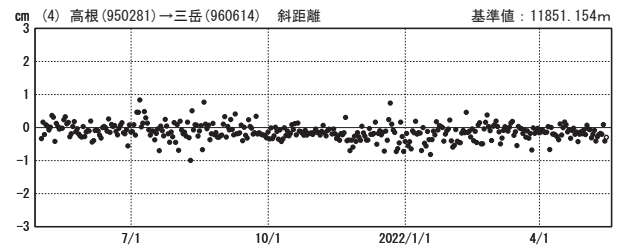
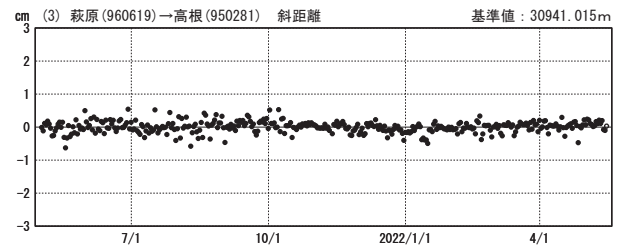
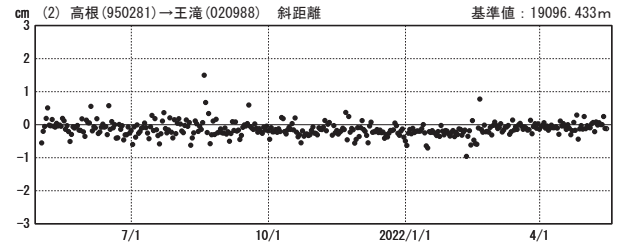
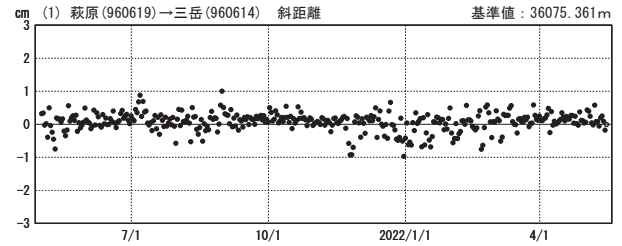
基線変化グラフ（長期）

期間：2017/05/01～2022/05/15 JST



基線変化グラフ（短期）

期間：2021/05/01～2022/05/15 JST



●---[F5:最終解] ○---[R5:速報解]

国土地理院

※[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

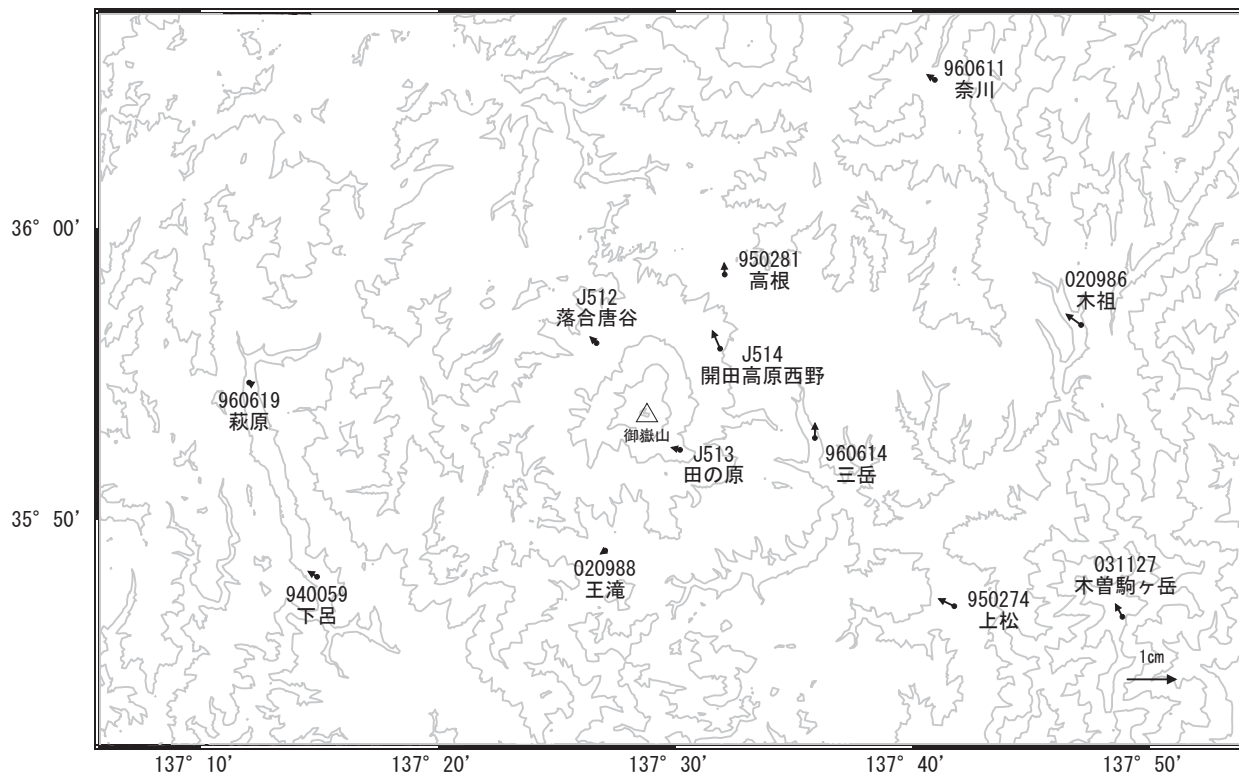
第2図 御嶽山周辺のGNSS連続観測による基線変化グラフ

（左列：2017年5月～2022年5月、右列：2021年5月～2022年5月）

御嶽山

御嶽山周辺の地殻変動(水平:3か月)

基準期間:2022/02/06~2022/02/15[F5:最終解]
比較期間:2022/05/06~2022/05/15[R5:速報解]

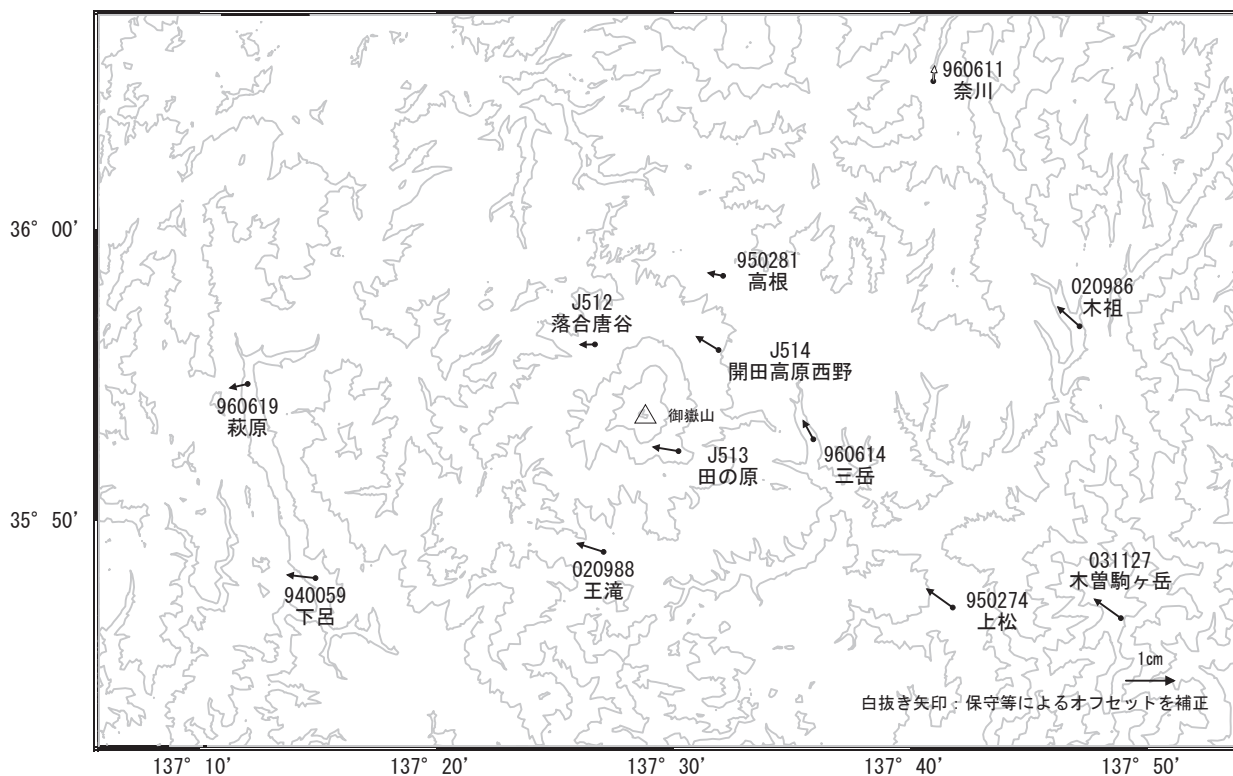


☆ 固定局:白鳥(950282)

国土地理院・気象庁

御嶽山周辺の地殻変動(水平:1年間)

基準期間:2021/05/06~2021/05/15[F5:最終解]
比較期間:2022/05/06~2022/05/15[R5:速報解]



☆ 固定局:白鳥(950282)

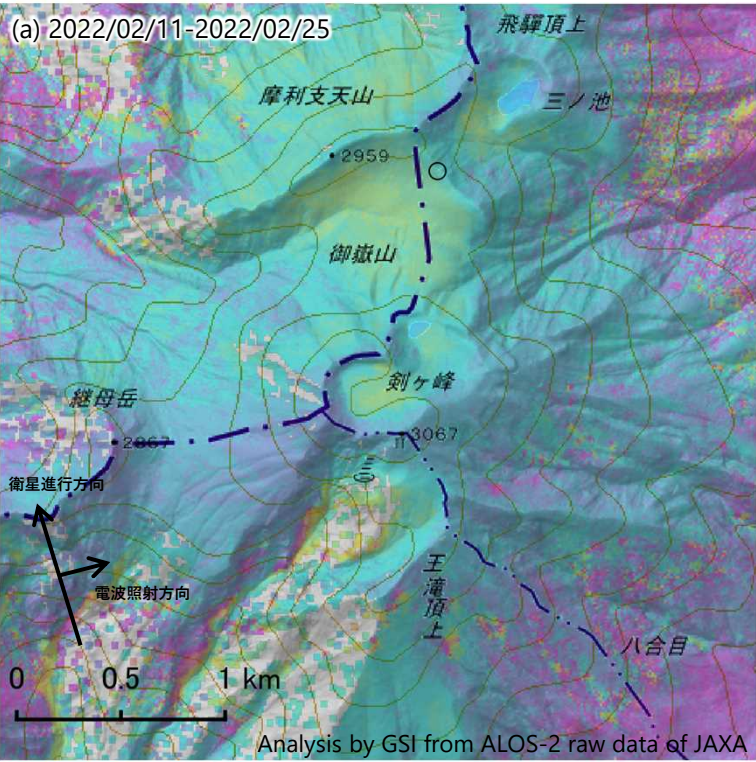
国土地理院・気象庁

第3図 御嶽山周辺の電子基準点・気象庁・防災科学技術研究所GNSS観測点の統合解析による水平変動ベクトル図(上段:2022年2月~5月、下段:2021年5月~2022年5月)

御嶽山

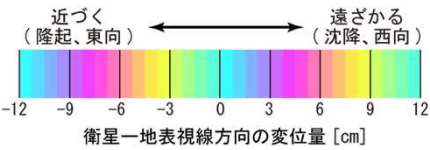
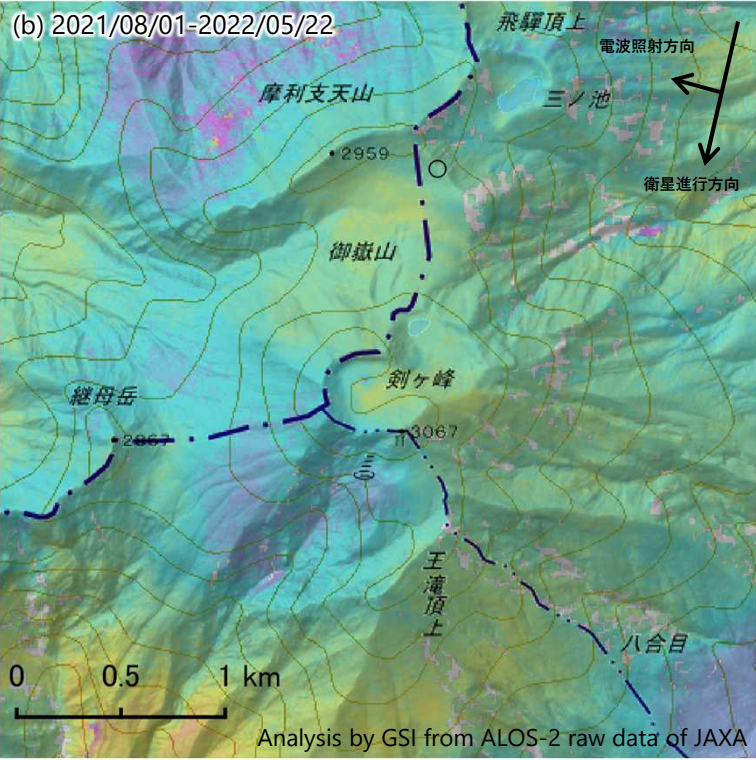
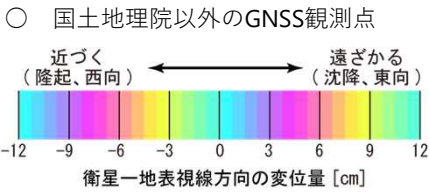
御嶽山のSAR干渉解析結果について

ノイズレベルを超える変動は見られません。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2022/02/11 2022/02/25 23:45頃 (14日間)	2021/08/01 2022/05/22 11:57頃 (294日間)
衛星進行方向	北行	南行
電波照射方向	右(東)	右(西)
観測モード*	U-U	U-U
入射角	35.7°	32.1°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+ 137m	- 123m

* U：高分解能(3m)モード



背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

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

御嶽山

第4図 「だいち2号」PALSAR-2による御嶽山周辺地域の解析結果

精密水準測量による御嶽山の上下変動（2021 年 5 月～6 月 - 2022 年 5 月）（速報）

日本大学・名古屋大学・東京大学・気象庁

御嶽山東山麓に設置された水準路線の測量を 2021 年 5 月 7 日～14 日に実施し、前回 2021 年 5 月 9 日～6 月 11 日に行った測量との比較から約 1 年間の上下変動を検出した。

ロープウェイ路線・中の湯路線・千本松路線では、顕著な山頂側沈降の傾向が見られた。最も山頂に近い水準点 BM510 の沈降量は、BM16 を基準として約 7 mm であった（図 1・2）。前回 2019 年～2021 年の期間は、ロープウェイ路線の中間地点から中の湯路線にかけて隆起の傾向がみられたが、今回 2021-2022 の期間では沈降に転じた。

ロープウェイ路線、中の湯路線の主要水準点の上下変動時系列を図 3 に、2018 年からの積算変動を図 5 示す。ロープウェイ路線・中の湯路線において 2016 年～2019 年まで沈降が継続し、2019～2021 年には隆起となったが、2021-2022 で再び沈降となった。

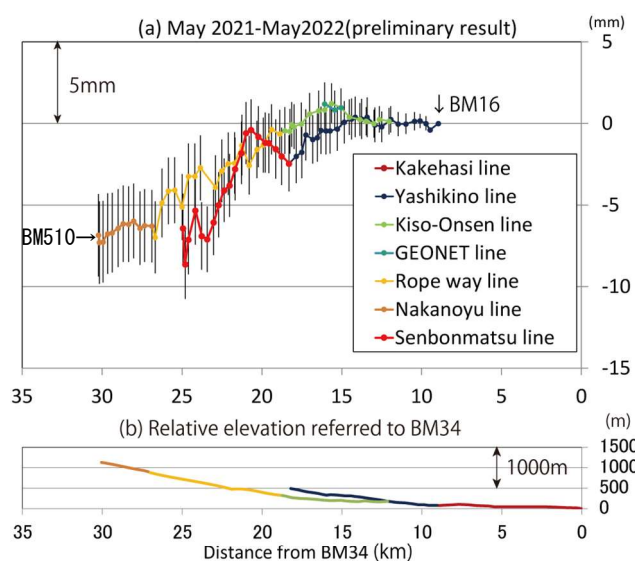


図 1. (a)御嶽山における 2021 年から 2022 年の上下変動。(b)路線の比高。変動は BM16 を不動と仮定。

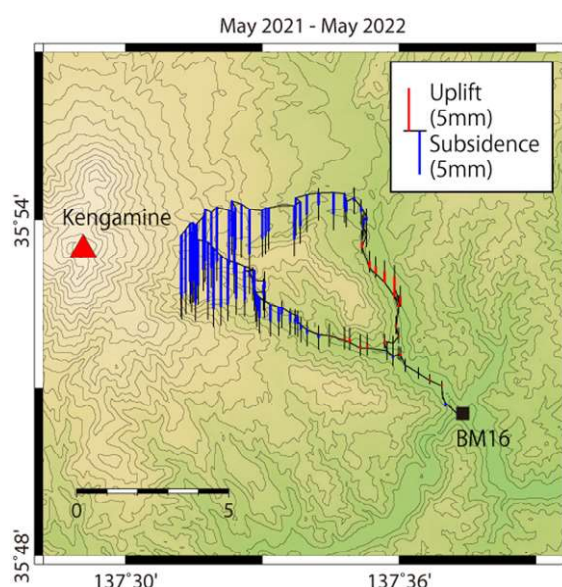


図 2. 2021 年 5 月～2022 年 5 月の上下変動

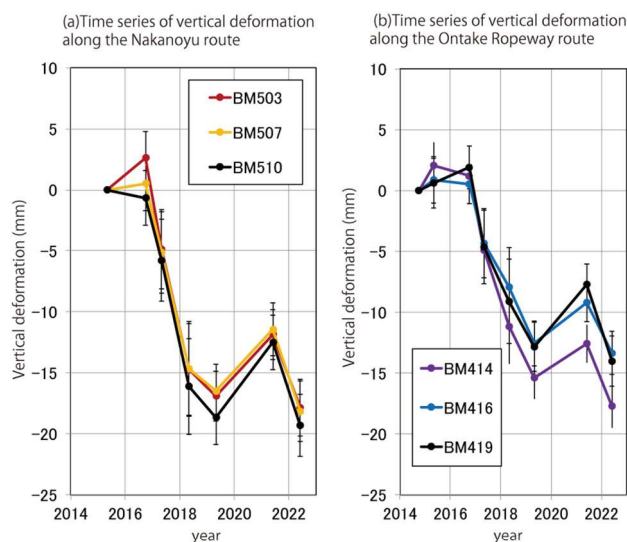


図 3. (a)中の湯路線（2015-2021 と (b)御嶽ロープウェイ路線（2014 -2021）の上下変動の時系列。固定点は BM16。水準点の位置は図 4 参照。

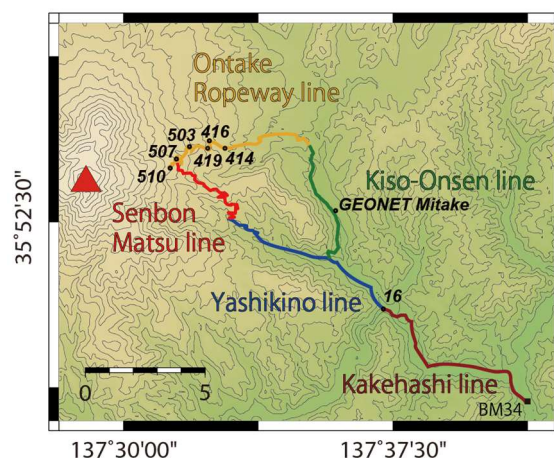


図 4. 棧路線（路線距離 9km）、屋敷野路線（同 9 km）・木曽温泉路線（同 7 km）・御嶽ロープウェイ・中の湯路線（同 11 km）と主要な水準点の位置。

測量担当者（2022 年 5 月）村瀬雅之（日大）、前田裕太、金幸隆、堀川信一郎、松廣健二郎、竹脇聡（名大）、及川純（東大）、手操佳子、百合本岳、山田 晋也（気象庁）、木股文昭

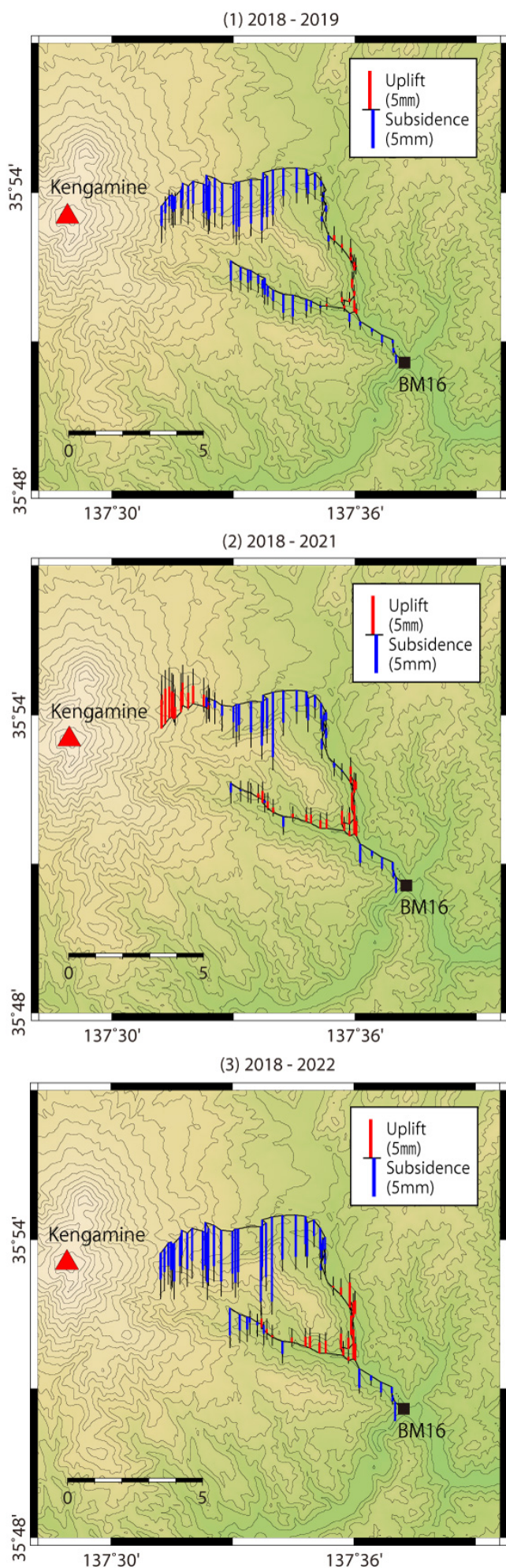


図 5. 2018 年からの積算上下変動。2017 年 6 月 25 日の M5.6 地震の影響が屋敷野路線・木曾温泉路線の上下変動に見られることから、地震の影響を避けるため、2018 年以降の積算図とした。(1)2018 年 4 月-2019 年 9 月、(2)2018 年 4 月—2021 年 4 月、(3)2018 年 4 月—2021 年 4 月の上下変動。固定点は BM16。