

第 146 回  
火山噴火予知連絡会資料

(その2の7)

焼岳

令和2年6月 24 日～30 日

# 火山噴火予知連絡会資料(その2の7)

## 目次

|         |       |
|---------|-------|
| 焼岳..... |       |
| 気象庁     | 3-20  |
| 京大防災研   | 21-36 |
| 地理院     | 37-39 |

## 焼 岳 (2020 年 5 月 31 日現在)

山頂付近の微小な地震活動が継続しており、GNSS 連続観測では山頂付近で緩やかな膨張が続いているとみられる。今期間、空振を伴う火山性地震は観測されなかった。中長期的に焼岳の火山活動は高まってきており、今後の火山活動の推移に注意が必要である。

なお、焼岳周辺では、山頂の東～北東側で地震活動が活発化しているが、これらの地震活動は、火山活動とは直接の関係はないとみている。

### ○ 概況 (2019 年 12 月～5 月 31 日)

#### ・地震活動 (図 1、図 2-④⑤、図 3、図 4、図 5)

山頂付近の微小な地震 (焼岳山頂付近の概ね海拔 0 km 以浅が震源と推定される地震) は、一日あたり数回程度と少ないながらも、地震活動は継続した。今期間、空振を伴う火山性地震は観測されなかった。

#### 【焼岳周辺の地震活動】

焼岳周辺では、4 月 22 日以降、山頂の東～北東側のやや深いところを震源とする地震活動が活発化している。この地震活動に伴い、噴気活動や山頂付近の地震活動に変化は認められず、火山活動とは直接の関係はないとみられる。焼岳周辺では、最近では 2018 年から 2019 年にかけてなど、過去にも地震活動の活発化がみられているが、地震活動の活発化に伴い、火山活動の活発化がみられたことはない。

#### ・噴気など表面現象の状況および地震活動 (図 2-①～③、図 7、図 8)

2017 年 8 月上旬に噴気を観測した黒谷火口では、噴気の高さに変化はみられないものの、2019 年夏頃から噴気が観測される日が増えている。北陸地方整備局が設置している焼岳北監視カメラ (焼岳の北北西約 4 km) では、100m 以下の弱い噴気を時々観測した。

焼岳北監視カメラによる観測では、北峰付近の噴気孔からの噴気の高さは、概ね 80 m 以下で経過した。同局設置の焼岳南西斜面監視カメラ (焼岳の西南西約 2.5 km) による観測では、岩坪谷上部の噴気孔からの噴気の高さは概ね 100m 以下で経過した。

熱赤外映像による観測では、火山活動によるとみられる顕著な温度変化は認められなかった。

#### ・地殻変動 (図 9～12)

GNSS 連続観測では、栃尾—南峰南東の観測点で基線のわずかな伸びがみられる。

傾斜計による観測では、火山活動によるとみられる変動は認められない。

この資料は気象庁のほか、北陸地方整備局、国土地理院、京都大学、名古屋大学、東京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て作成した。

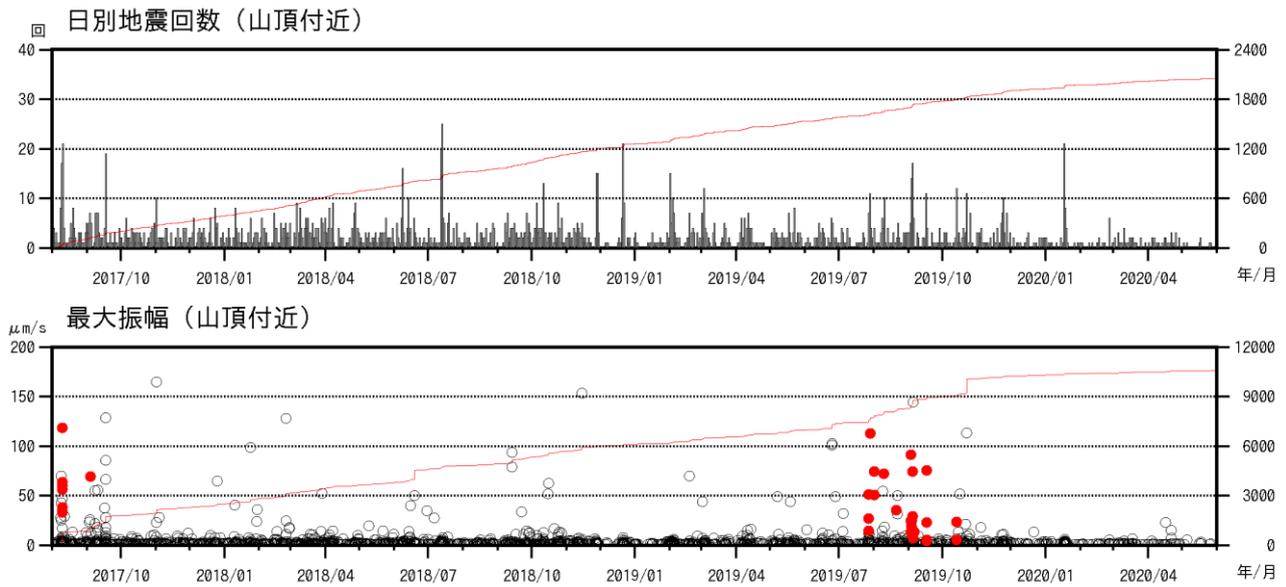


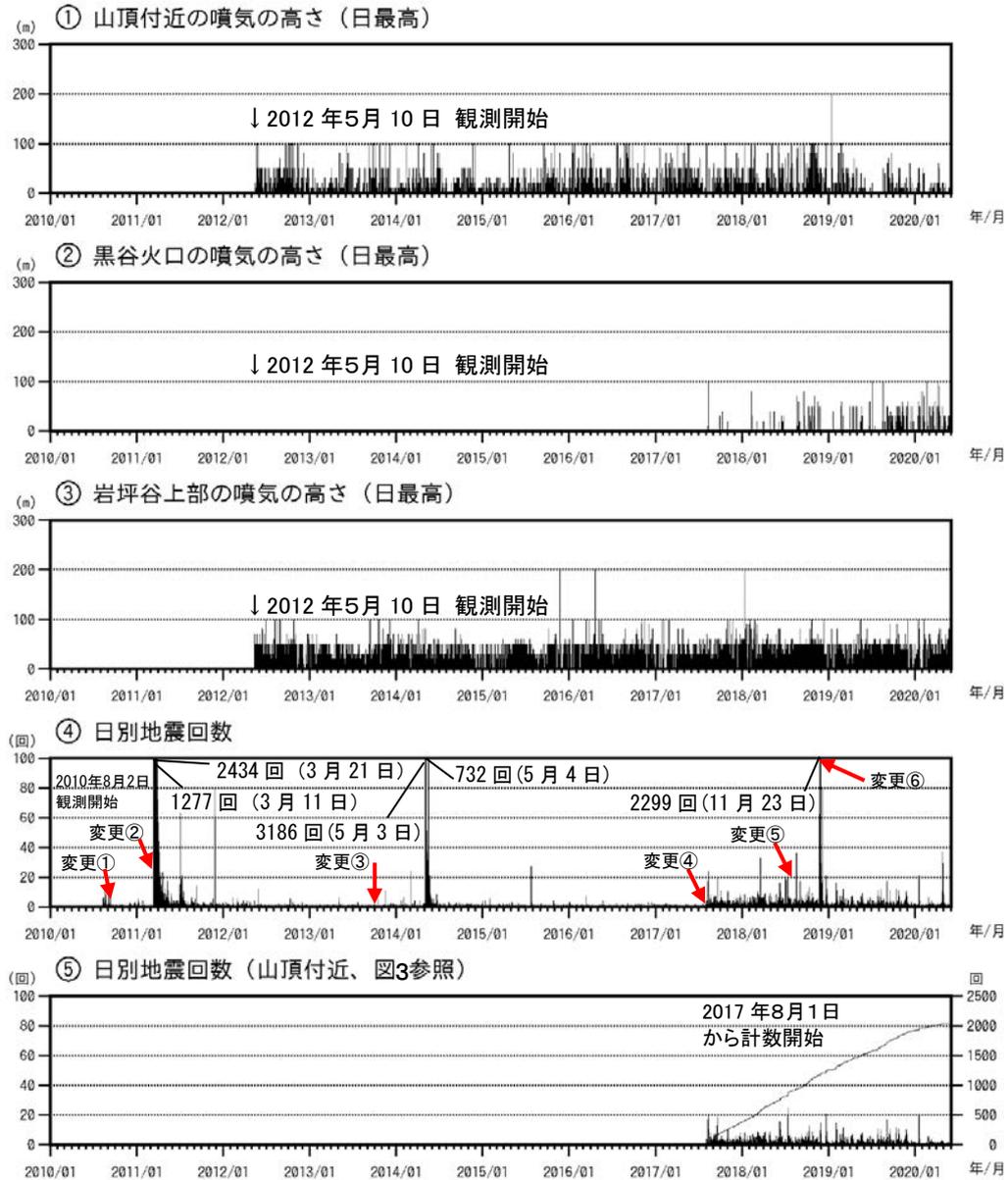
図 1 焼岳 山頂付近の地震回数、および南峰南東観測点上下動最大振幅  
(2017年8月1日～2020年5月31日)

山頂付近の地震とは、焼岳山頂付近の概ね海拔 0 km 以浅が震源と推定される地震である。この地震の概ねの発生領域は図 3 に示す。

赤色線は日別地震回数の積算（上図）及び最大振幅の積算（下図）を示す。

●：空振を伴う火山性地震

- ・ 山頂付近の微小な地震活動は、低調に経過している。
- ・ 今期間、空振を伴う火山性地震は観測されなかった。



【地震の計数基準の変遷】

| 開始                               | 2010年8月2日～2010年9月21日   | 中尾振幅 $0.5 \mu\text{m/s}$ 以上、S-P 2 秒以内  |         |           |                                  |                                    |                          |  |                           |   |                  |  |
|----------------------------------|--|--|---------|-----------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--|---------------------------|---|------------------|--|
| 変更①                              | 2010年9月22日～2011年3月10日  | 中尾振幅 $0.5 \mu\text{m/s}$ 以上、S-P 1 秒以内  |         |           |                                  |                                    |                          |  |                           |   |                  |  |
| 変更②                              | 2011年3月11日～2013年9月30日  | 中尾振幅 $3.0 \mu\text{m/s}$ 以上、S-P 1 秒以内  |         |           |                                  |                                    |                          |  |                           |   |                  |  |
| 変更③                              | 2013年10月1日～2017年7月31日  | 中尾振幅 $2.0 \mu\text{m/s}$ 以上、S-P 1 秒以内  |         |           |                                  |                                    |                          |  |                           |   |                  |  |
|                                  |  | <table border="1"> <thead> <tr> <th>山頂付近の地震</th> <th>山頂付近以外の地震</th> </tr> <tr> <th>(山頂付近が震源と推定される地震のうち、以下の基準を満たす地震)</th> <th>(山頂付近以外が震源と推定される地震のうち、以下の基準を満たす地震)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>変更④ 2017年8月1日～2018年7月31日</td> <td>中尾振幅<math>2.0 \mu\text{m/s}</math>以上及び南峰南東振幅<math>1.0 \mu\text{m/s}</math>以上、S-P 1 秒以内</td> </tr> <tr> <td>変更⑤ 2018年8月1日～2018年11月23日</td> <td>南峰南東振幅<math>1.0 \mu\text{m/s}</math>以上、S-P 1 秒以内</td> </tr> <tr> <td>変更⑥ 2018年11月24日～</td> <td>南峰南東振幅<math>30 \mu\text{m/s}</math>以上、S-P 1 秒以内</td> </tr> </tbody> </table> | 山頂付近の地震 | 山頂付近以外の地震 | (山頂付近が震源と推定される地震のうち、以下の基準を満たす地震) | (山頂付近以外が震源と推定される地震のうち、以下の基準を満たす地震) | 変更④ 2017年8月1日～2018年7月31日 | 中尾振幅 $2.0 \mu\text{m/s}$ 以上及び南峰南東振幅 $1.0 \mu\text{m/s}$ 以上、S-P 1 秒以内 | 変更⑤ 2018年8月1日～2018年11月23日 | 南峰南東振幅 $1.0 \mu\text{m/s}$ 以上、S-P 1 秒以内 | 変更⑥ 2018年11月24日～ | 南峰南東振幅 $30 \mu\text{m/s}$ 以上、S-P 1 秒以内 |
| 山頂付近の地震                          | 山頂付近以外の地震  |  |         |           |                                  |                                    |                          |  |                           |   |                  |  |
| (山頂付近が震源と推定される地震のうち、以下の基準を満たす地震) | (山頂付近以外が震源と推定される地震のうち、以下の基準を満たす地震)                                   |  |         |           |                                  |                                    |                          |  |                           |   |                  |  |
| 変更④ 2017年8月1日～2018年7月31日         | 中尾振幅 $2.0 \mu\text{m/s}$ 以上及び南峰南東振幅 $1.0 \mu\text{m/s}$ 以上、S-P 1 秒以内 |  |         |           |                                  |                                    |                          |  |                           |   |                  |  |
| 変更⑤ 2018年8月1日～2018年11月23日        | 南峰南東振幅 $1.0 \mu\text{m/s}$ 以上、S-P 1 秒以内                              |  |         |           |                                  |                                    |                          |  |                           |   |                  |  |
| 変更⑥ 2018年11月24日～                 | 南峰南東振幅 $30 \mu\text{m/s}$ 以上、S-P 1 秒以内                               |  |         |           |                                  |                                    |                          |  |                           |   |                  |  |

図 2 焼岳 噴気の高さと地震回数の推移 (2010 年 8 月 2 日～2020 年 5 月 31 日)

④2017 年 8 月 1 日以降、山頂付近の地震と山頂付近以外の地震を分けて計数しているが、④ではこれらを合計した回数を示している。図中の赤矢印は計数基準の変更を示す。

⑤山頂付近の日別地震回数 (左軸) と日別地震回数の積算 (右軸) を示す。

- ・ 黒谷火口では、噴気の高さに変化はみられないものの、2019 年夏頃から 2018 年と比較して、噴気が観測される日が増えている。その他の噴気活動に特段の変化はみられない。
- ・ 山頂付近の微小な地震の活動が継続している。
- ・ 2018年11月下旬以降、焼岳周辺やや深いところを震源とする地震活動が時々みられている。

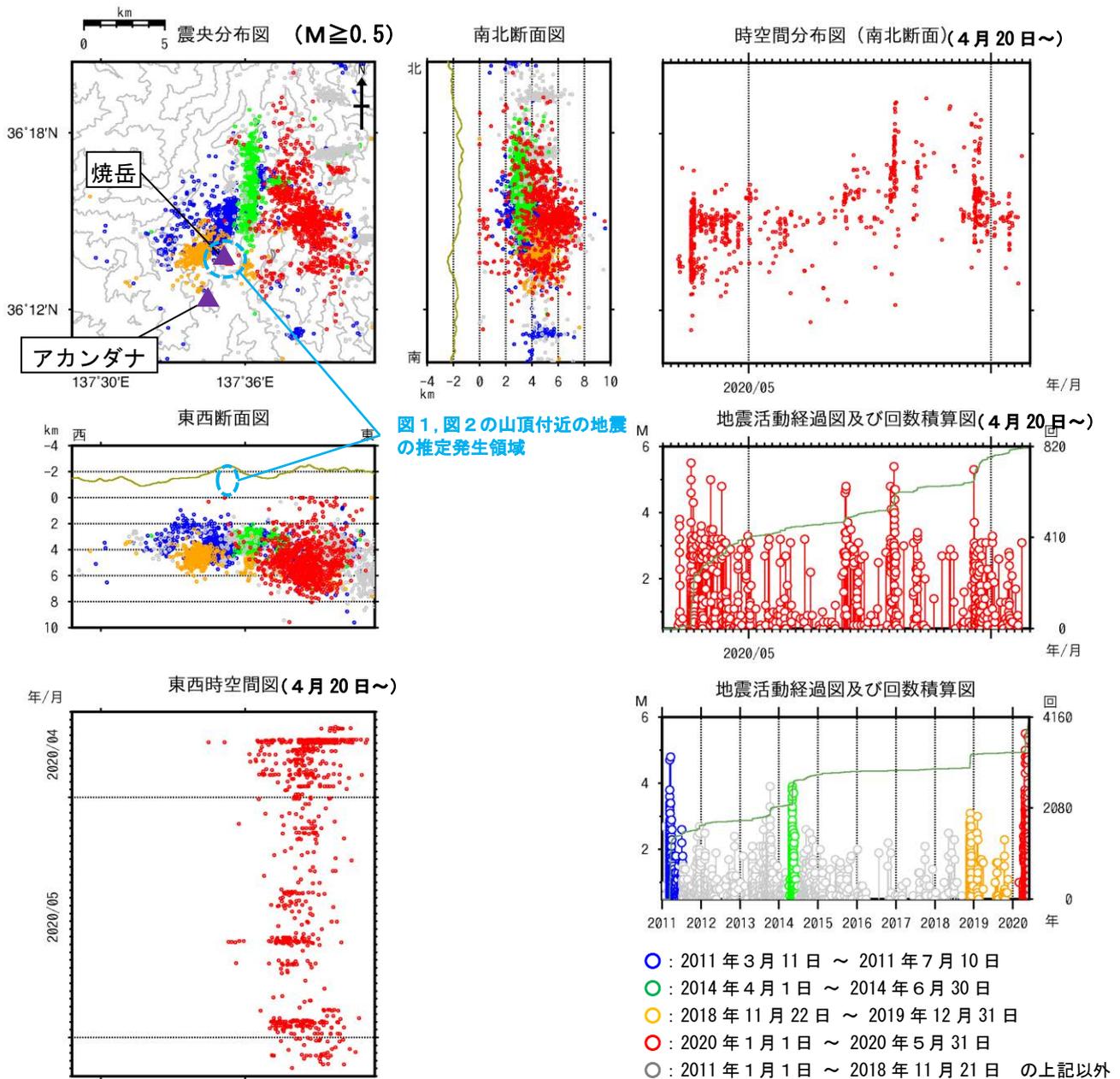


図 3 焼岳 広域地震観測網による山体及び周辺の地震活動

(2011年1月1日～2020年5月31日)

広域地震観測網により震源決定したもので、深さは全て海面以下として決定している。

図中の震源要素は一部暫定値が含まれており、後日変更することがある。

資料中のマグニチュードは一部暫定値も含まれており、後日変更することがある。

2020年4月18日以降の地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、それ以前と比較して微小な地震での震源決定数の変化(増減)がある。

- ・ 焼岳周辺では、4月22日以降、山頂の東～北東側のやや深いところを震源とする地震活動が活発化している。
- ・ 焼岳周辺では、2011年(青色)、2014年(緑色)、2018年から2019年にかけて(橙色)も、地震活動の活発化がみられた。

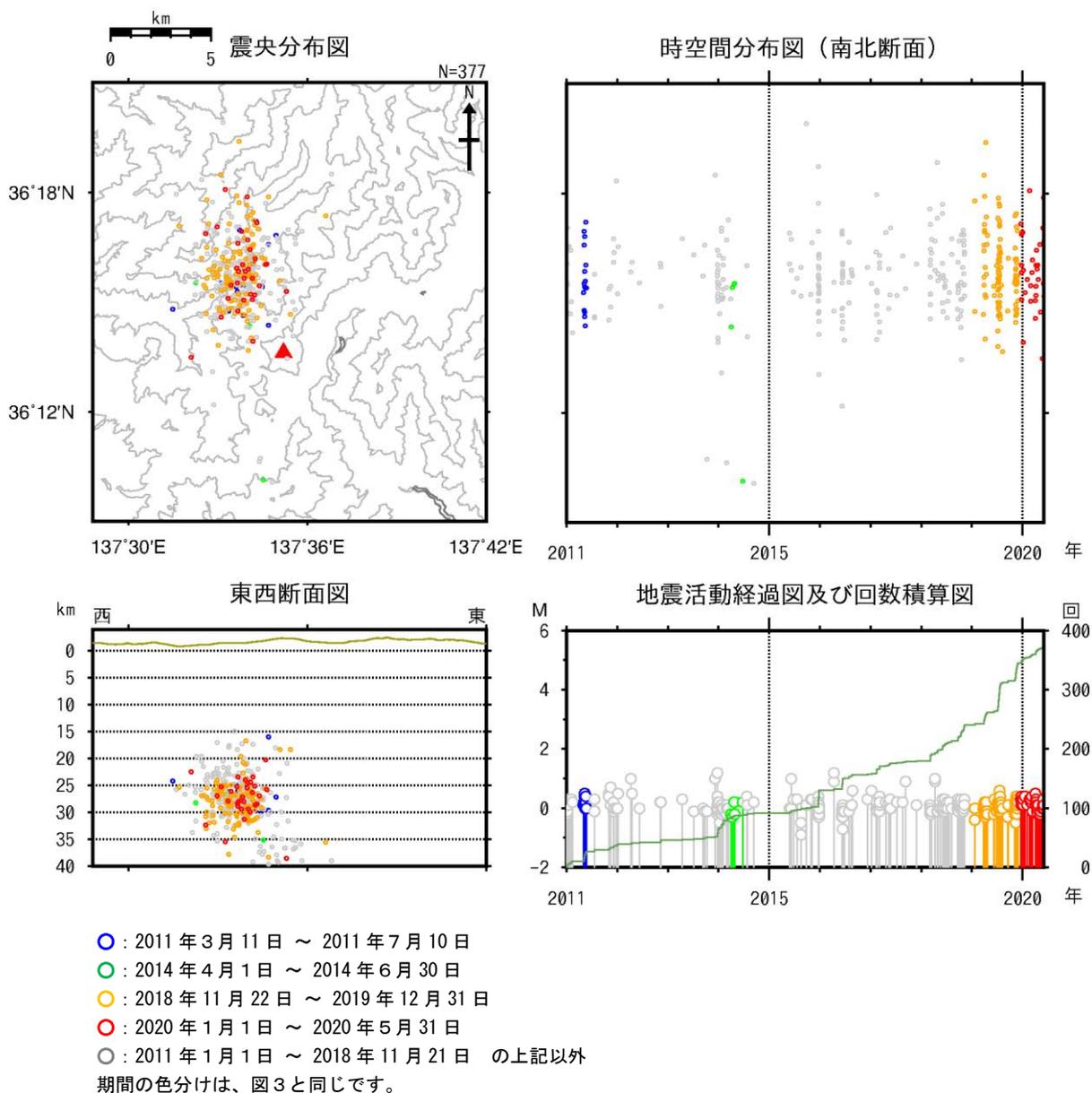


図4 焼岳 一元化震源による深部低周波地震活動 (2011年3月1日~2020年5月31日)

この地図の作成には、『国土地理院発行の数値地図 25000 (行政界・海岸線)』および『数値地図 50mメッシュ (標高)』を使用した。

マグニチュードは一部暫定値が含まれており、後日変更することがある。

深部低周波地震は、1999年9月から識別して登録を開始した。

- ・ 5月2日から3日にかけて焼岳の北西側の深い所を震源とする低周波地震がやや増加したが、この活動に伴う火山活動の活発化はみられなかった。
- ・ 過去には、図3に示したような焼岳周辺の地震活動の活発化がみられた期間付近で、深部低周波地震の発生が増加したことがある。

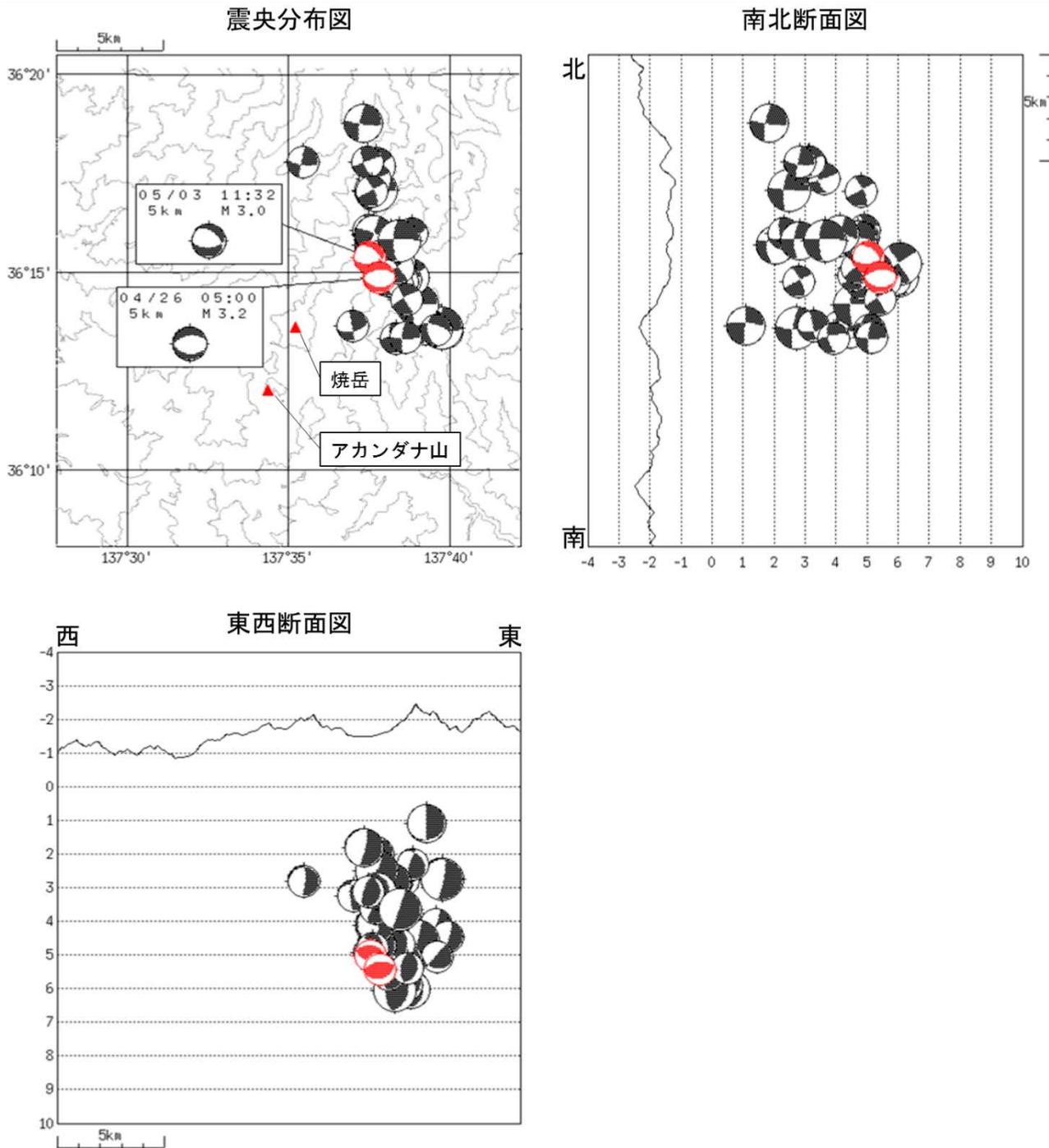


図5 焼岳 一元化震源による主な地震の発振機構解 (2020年4月20日~2020年5月31日)  
 この地図の作成には、国土地理院発行の数値地図 25000 (行政界・海岸線) および『数値地図 50mメッシュ (標高)』を使用した。  
 マグニチュードは一部暫定値が含まれており、後日変更することがある。

- ・ 4月22日以降、山頂の東~北東側のやや深いところを震源とする地震は、概ね広域応力場に対応した横ずれ断層型の地震だが、一部に正断層型の地震 (図中赤) が発生した。

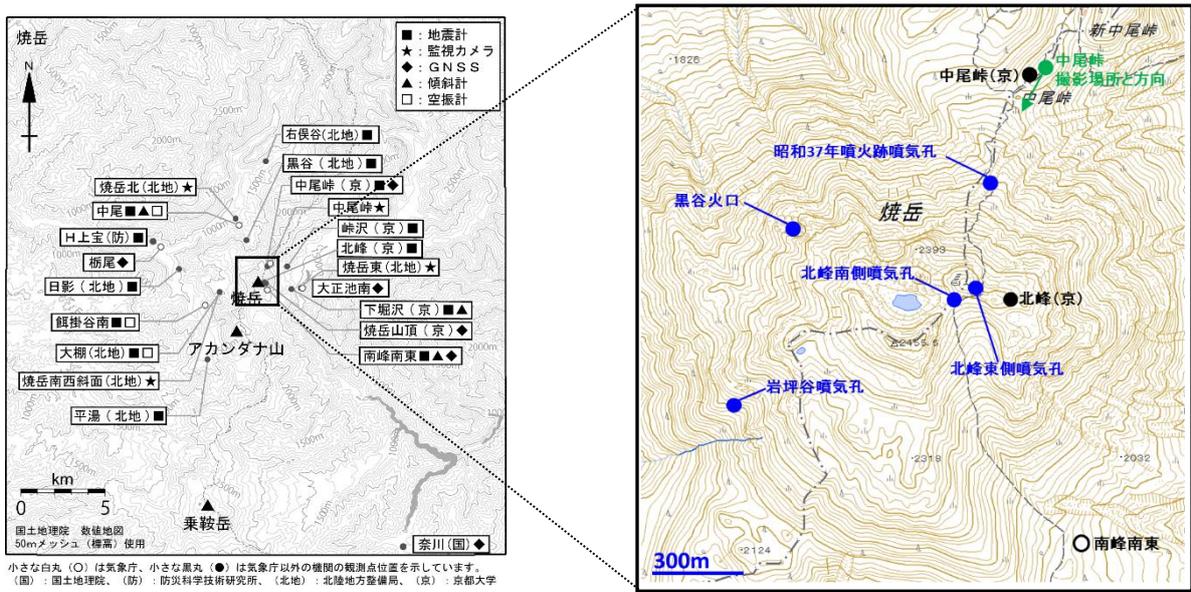


図 6 焼岳 観測点配置及び噴気孔位置

白丸 (○) は気象庁、黒丸 (●) は気象庁以外の機関の観測点位置を示す。  
 (国) : 国土地理院、(防) : 防災科学技術研究所、(北地) : 北陸地方整備局  
 この地図の作成には、国土地理院発行の『2万5千分1地形図』、『数値地図25000 (行政界・海岸線)』および『数値地図50mメッシュ (標高)』を使用した。



上左図 : 5月11日 焼岳北監視カメラ、上右図 : 5月11日 焼岳東監視カメラ、下図 : 5月23日 焼岳南西斜面監視カメラ

図 7 焼岳 山頂部及び南西斜面の状況

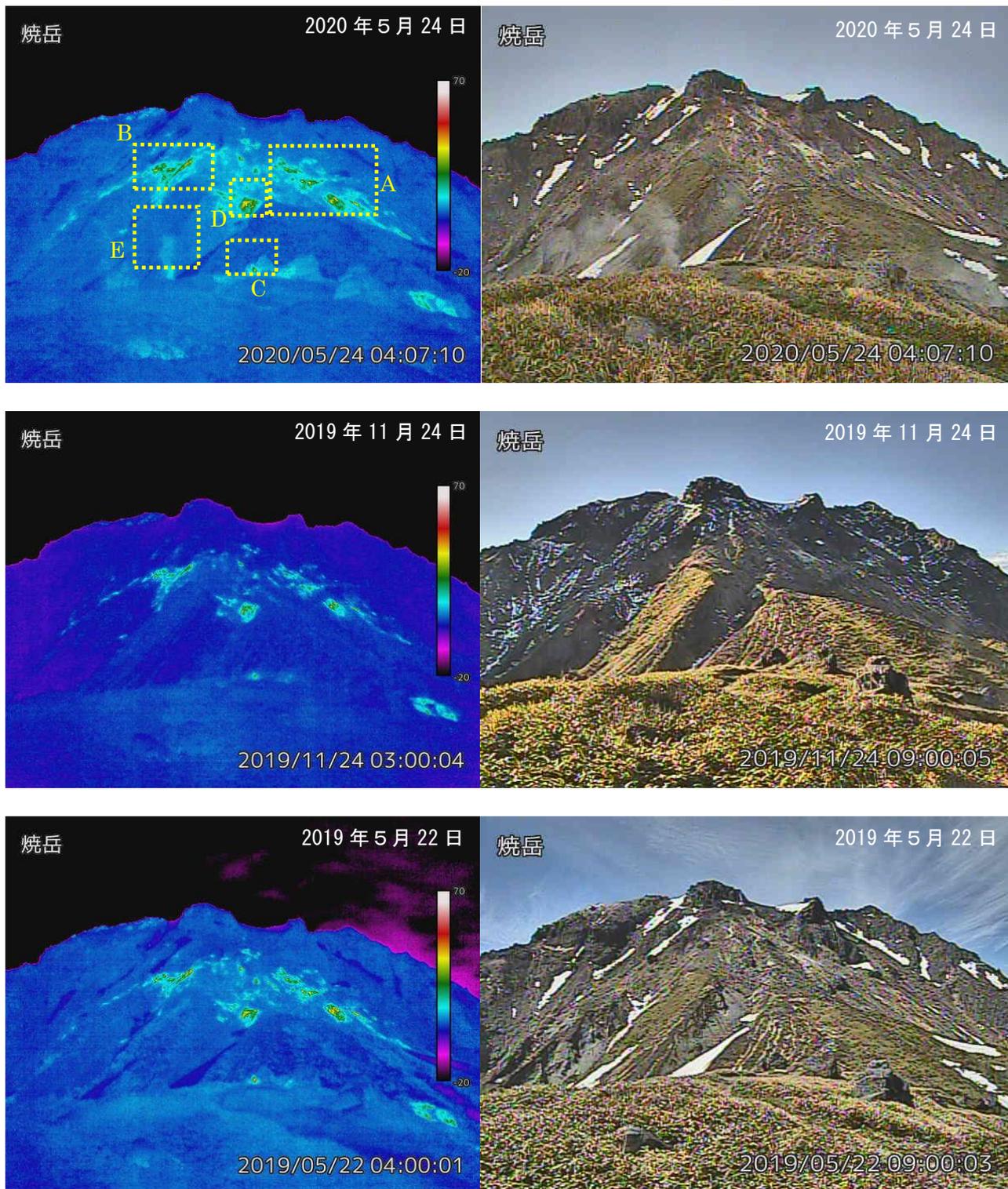


図 8 - 1 焼岳 中尾峠赤外熱映像カメラによる焼岳の北側斜面の地表面温度分布（左図）と可視画像（右図）

左上図中の領域は、図 7 - 2 の解析領域を示す。

- ・ 前期間（中段）及び前年（下段）と比較して、噴気の状態や高温域の分布に特段の変化は認められない。

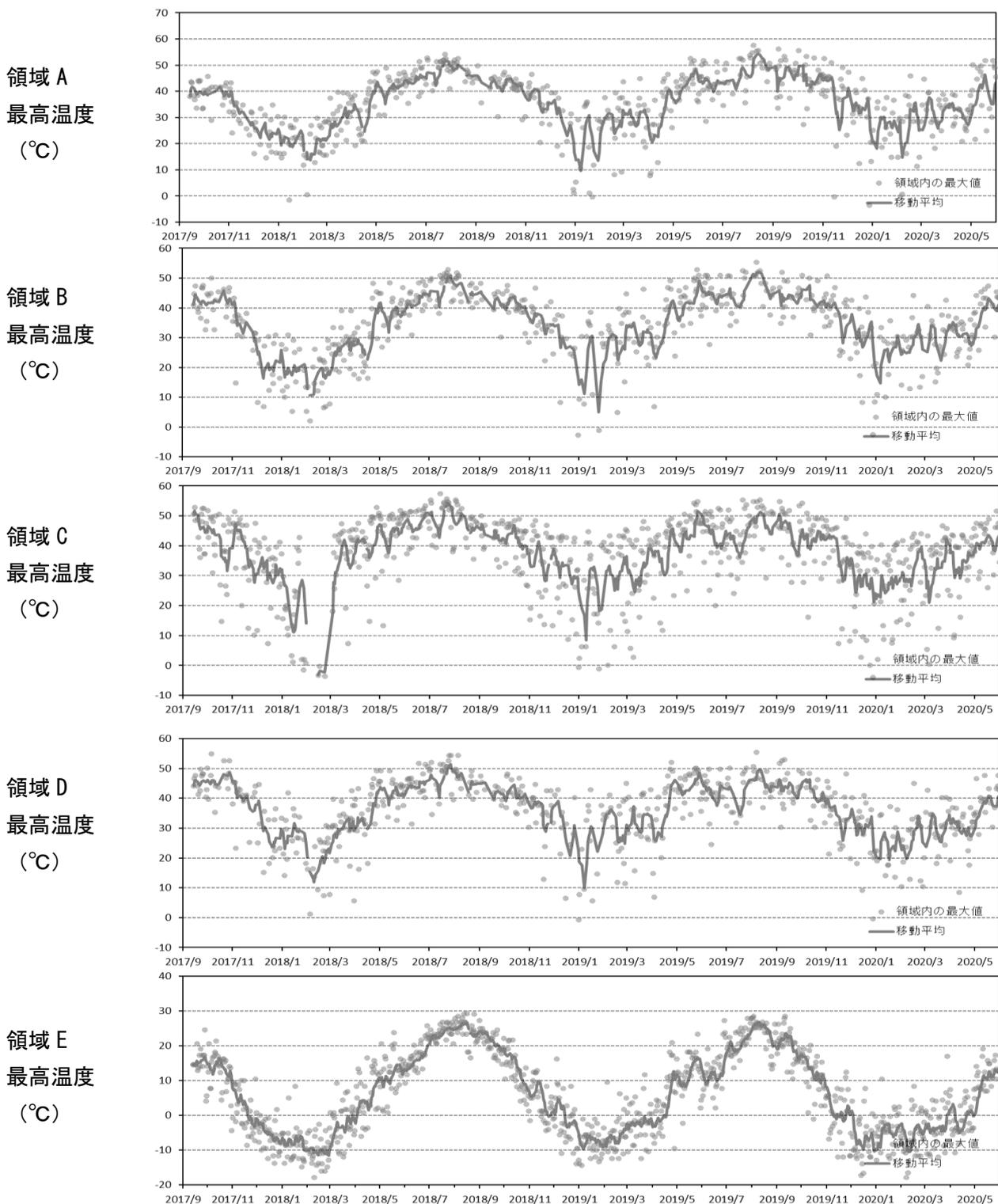


図 8-2 焼岳 中尾峠赤外熱映像カメラによる焼岳の北側斜面の地表面温度分布の推移 (2017年9月1日~2020年5月31日)

地熱兆候がないE域と地熱のみられるA, B, C, D域の最高温度の推移を示す。  
 最高温度は、日射の影響がない03時頃のデータである。実線は、前9日含む10日間移動平均を示す。  
 天候不良時は観測精度が低下するため、特に観測精度が低いデータは取り除いている。

- ・地熱がみられるA, B, C, D域の2019年12月から2020年5月にかけての最高温度の推移は、前年同月と同程度であり、焼岳の北側斜面では顕著な温度変化は認められない。

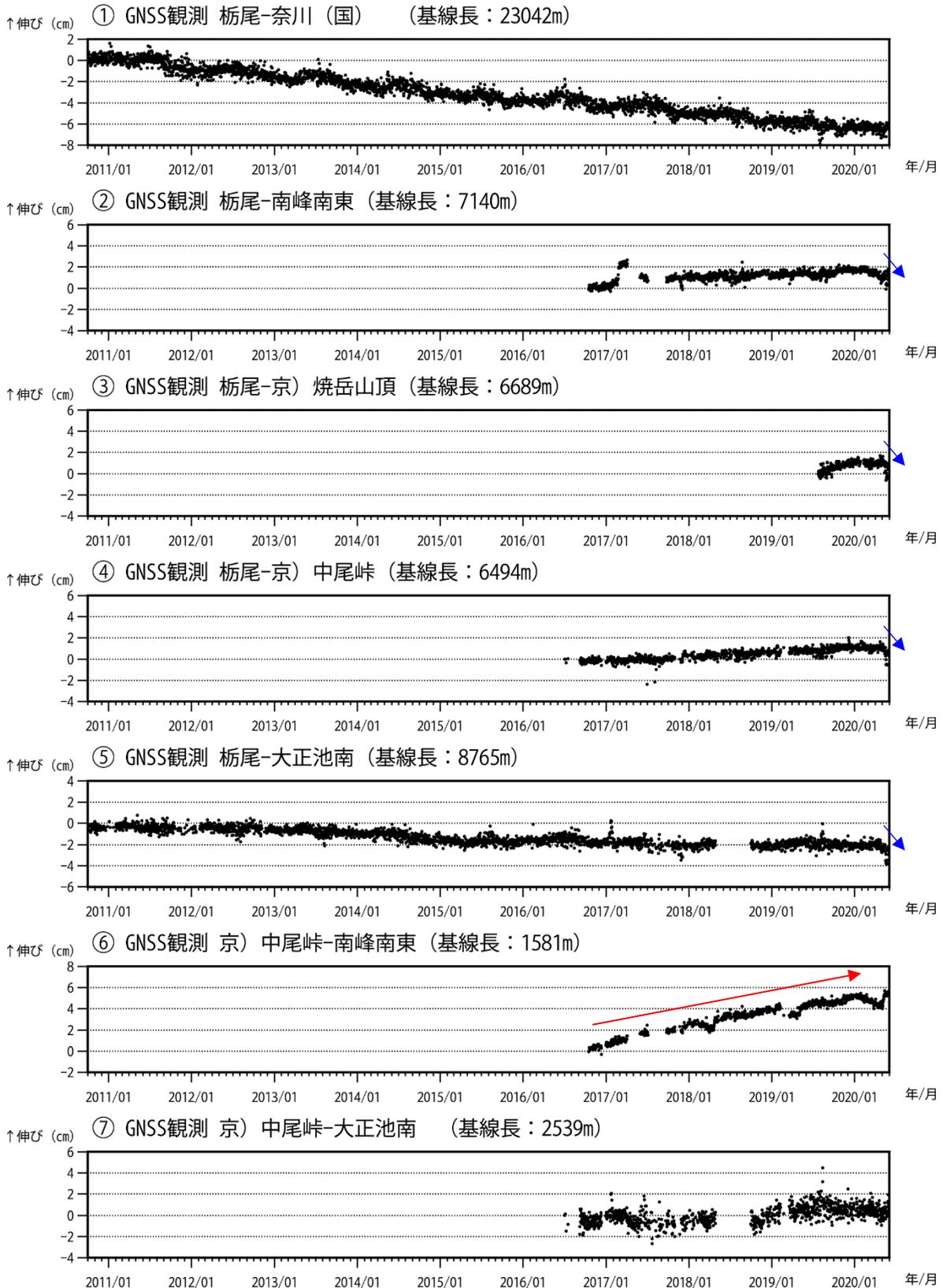


図 9 焼岳 GNSS 連続観測による基線長変化 (2010 年 10 月 1 日～2020 年 5 月 31 日)

①～⑦は図 11 の GNSS 基線①～⑦に対応している。グラフの空白部分は欠測を示す。

(国) : 国土地理院、(京) : 京都大学

- ・ GNSS 連続観測では、⑥の基線で伸びがみられ (赤矢印)、山頂付近で緩やかな膨張が続いているとみられる。
- ・ ②～⑤で 2020 年 5 月下旬に縮みの傾向がみられる (青矢印)。

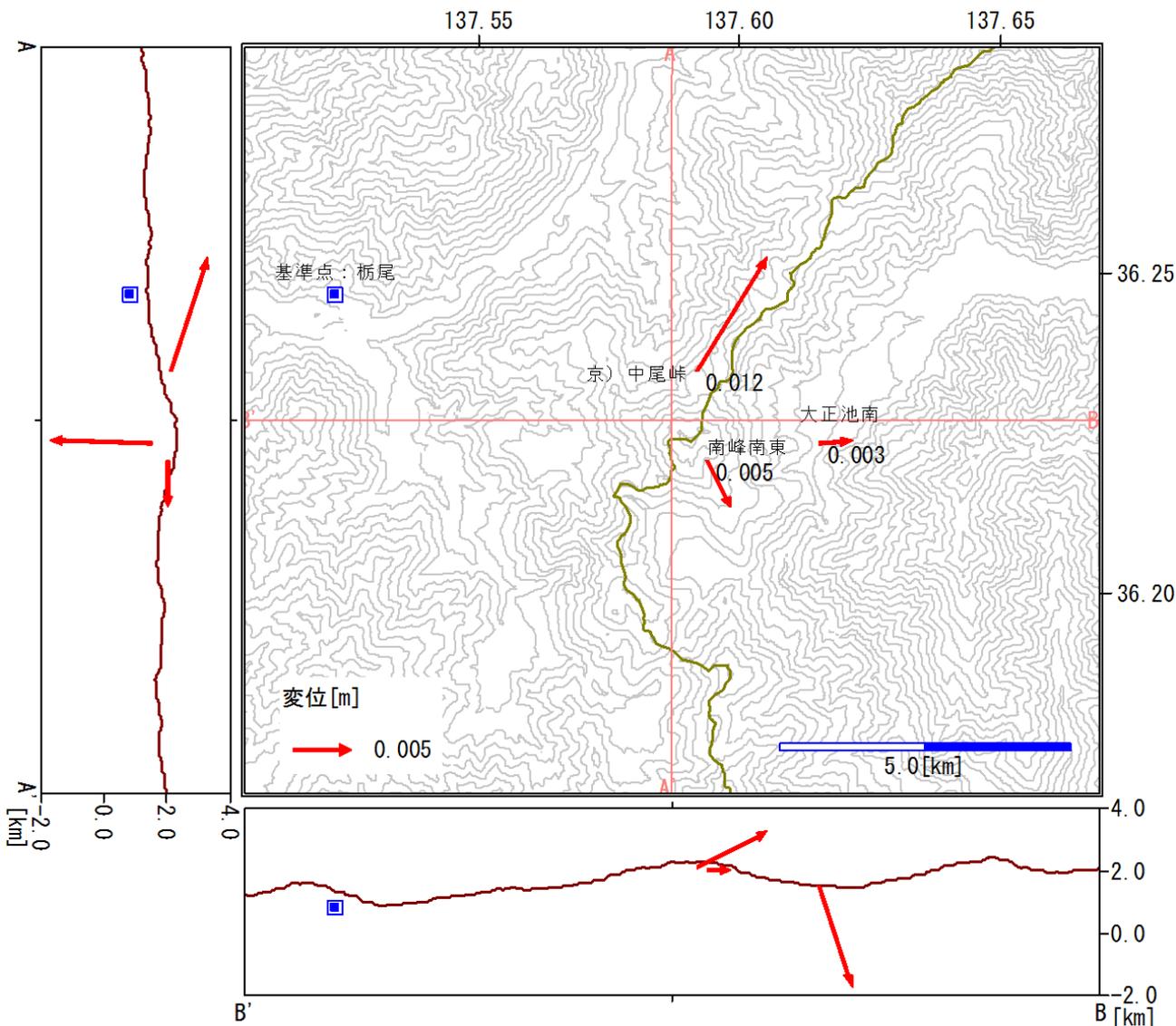


図 10 焼岳 GNSS 連続観測による移動方向 (2019 年 1 月 1 日~2020 年 1 月 1 日)

京) : 京都大学

- ・ 山頂付近の膨張を示唆する変動がみられる。

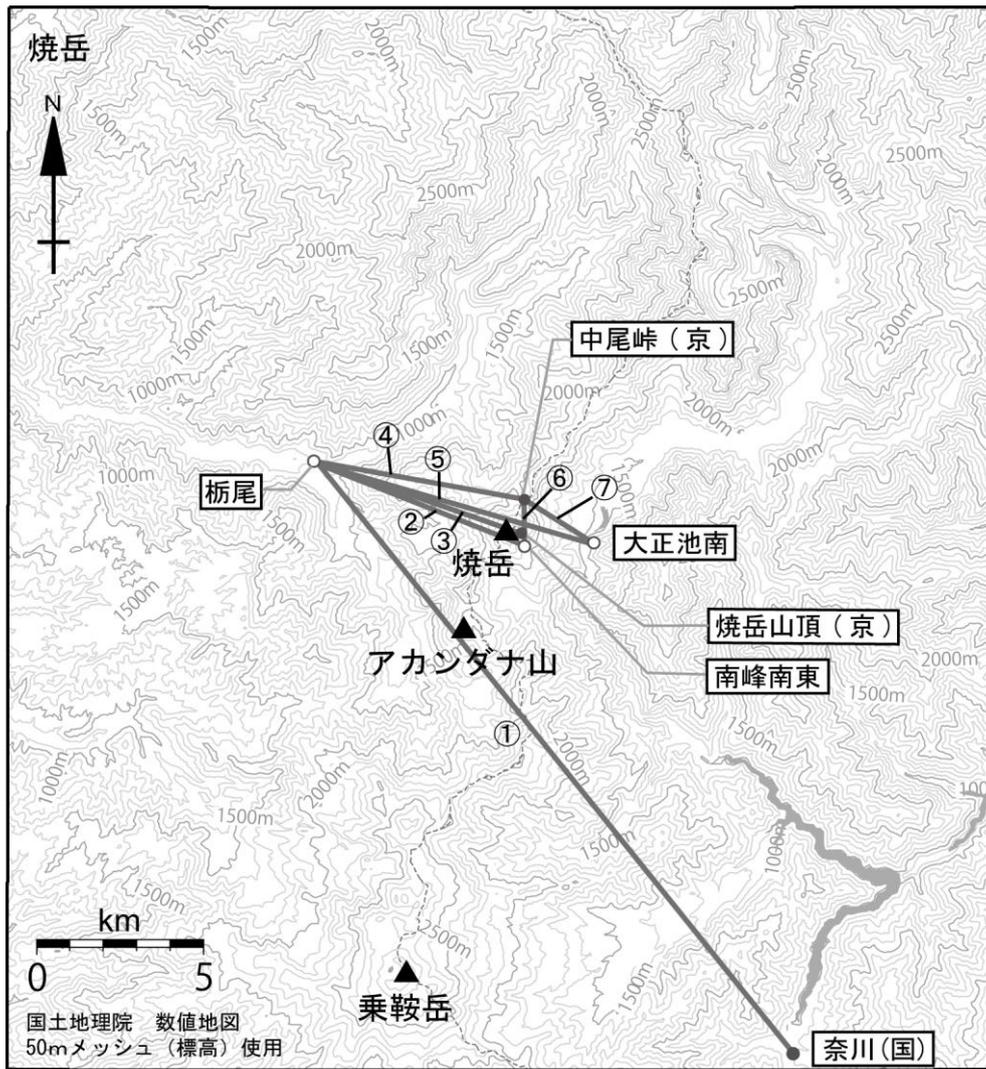


図 11 焼岳 GNSS 連続観測点配置

白丸 (○) は気象庁、黒丸 (●) は気象庁以外の機関の観測点位置を示す。

①～⑦は図 9 の GNSS 基線①～⑦に対応している。

(国) : 国土地理院、(防) : 防災科学技術研究所、(北地) : 北陸地方整備局

この地図の作成には、国土地理院発行の『2万5千分1地形図』、『数値地図25000 (行政界・海岸線)』および『数値地図50mメッシュ (標高)』を使用した。

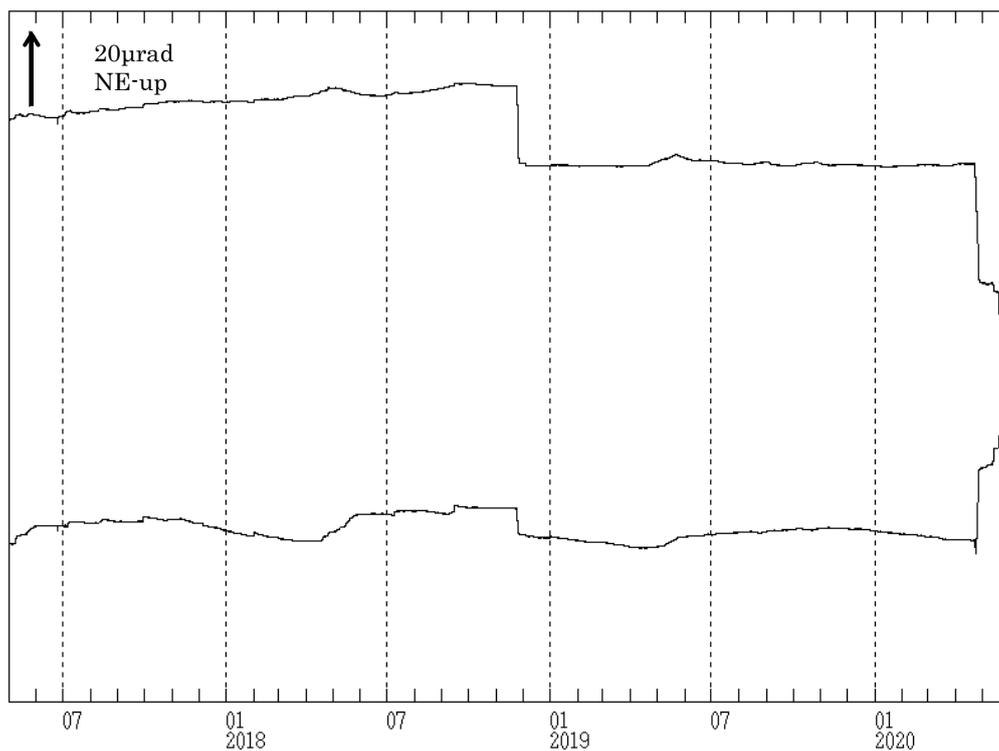


図12 焼岳 南峰南東観測点 傾斜計による傾斜変動（2010年10月1日～2020年5月31日）

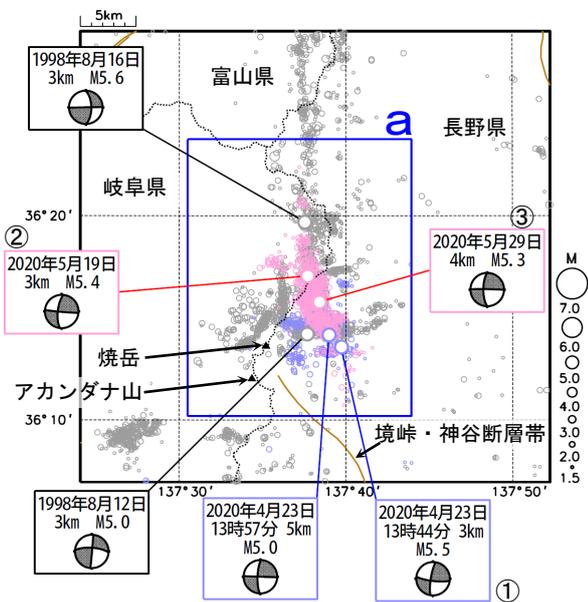
- ・ 傾斜計による観測では、火山活動によるとみられる変動は認められない。
- ・ 2018年11月、2020年4月、5月のステップ状の変動は焼岳周辺の地震に伴うものである。

## 長野・岐阜県境付近（長野県中部、岐阜県飛騨地方）の地震活動

長野・岐阜県境付近（長野県中部、岐阜県飛騨地方）では、2020年4月22日からM3.0を超える地震が増加した。4月23日13時44分に深さ3kmでM5.5の地震（図中の吹き出し①）、5月19日13時13分に深さ3kmでM5.4の地震（図中の吹き出し②）、同29日19時05分に深さ4kmでM5.3の地震が発生した（図中の吹き出し③）（いずれも最大震度4）のをはじめ、4月22日から5月31日にかけて最大震度1以上を観測する地震が169回（最大震度4：3回、最大震度3：12回、最大震度2：32回、最大震度1：122回）発生した。これらの地震活動は地殻内で発生した。上述の3つの地震の発震機構は、いずれも北西-南東方向に圧力軸を持つ横ずれ断層型である。

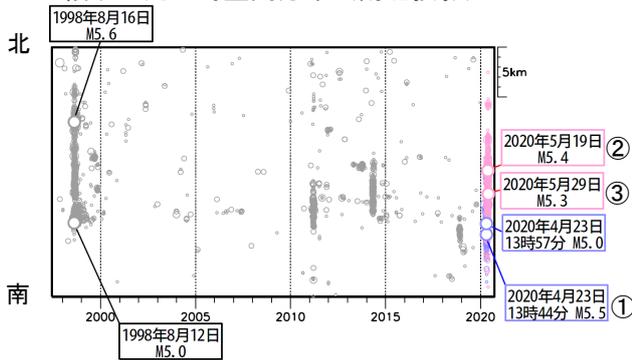
1997年10月以降の活動をみると、領域aでは、1998年8月12日にM5.0の地震（最大震度5弱）が発生し、その4日後の8月16日にM5.6の地震（最大震度4）が発生するなど、活発な地震活動が続いた。

震央分布図  
（1997年10月1日～2020年5月31日、  
深さ0～30km、M≥1.5）  
2020年4月の地震を薄青、5月の地震を薄赤で表示

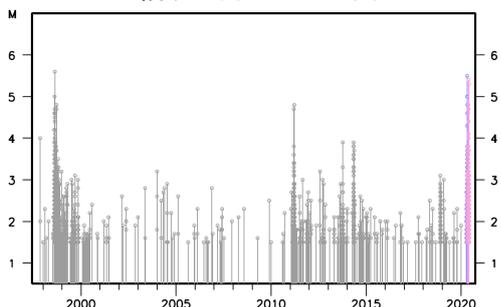


茶線は地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。

領域a内の時空間分布（南北投影）



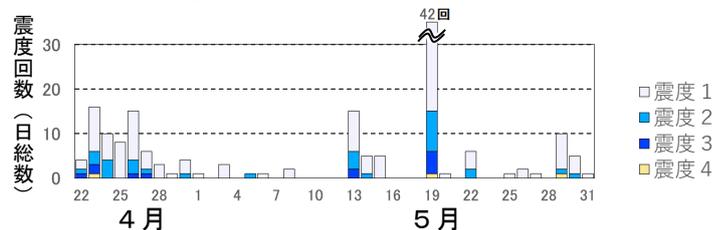
領域a内のM-T図



日別震度別回数表  
（2020年4月22日～5月31日）

| 月日   | 震度1 | 震度2 | 震度3 | 震度4 | 合計  |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 4/22 | 2   | 1   | 1   | 0   | 4   |
| 4/23 | 10  | 3   | 2   | 1   | 16  |
| 4/24 | 6   | 4   | 0   | 0   | 10  |
| 4/25 | 8   | 0   | 0   | 0   | 8   |
| 4/26 | 11  | 3   | 1   | 0   | 15  |
| 4/27 | 4   | 1   | 1   | 0   | 6   |
| 4/28 | 3   | 0   | 0   | 0   | 3   |
| 4/29 | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 4/30 | 3   | 1   | 0   | 0   | 4   |
| 5/1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 5/2  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/3  | 3   | 0   | 0   | 0   | 3   |
| 5/4  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/5  | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   |
| 5/6  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 5/7  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/8  | 2   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| 5/9  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/10 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/11 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/12 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/13 | 9   | 4   | 2   | 0   | 15  |
| 5/14 | 4   | 1   | 0   | 0   | 5   |
| 5/15 | 5   | 0   | 0   | 0   | 5   |
| 5/16 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/17 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/18 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/19 | 27  | 9   | 5   | 1   | 42  |
| 5/20 | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 5/21 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/22 | 4   | 2   | 0   | 0   | 6   |
| 5/23 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/24 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/25 | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 5/26 | 2   | 0   | 0   | 0   | 2   |
| 5/27 | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 5/28 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 5/29 | 8   | 1   | 0   | 1   | 10  |
| 5/30 | 4   | 1   | 0   | 0   | 5   |
| 5/31 | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   |
| 合計   | 122 | 32  | 12  | 3   | 169 |

日別震度別震度回数（4月22日～5月31日）

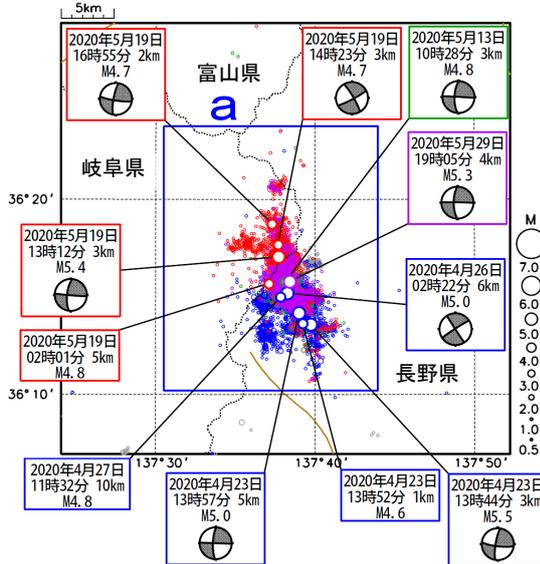


今回の地震活動の推移をみると、4月9日から19日にかけて震度1以上の揺れを伴わない、まとまった地震活動があり、その後、22日から今回の一連の活動の南の領域でM3.0以上の地震を含む活動があった。震央分布は、5月13日にはM4.8の地震（最大震度3）、また、5月19日にはM5.4の地震など、徐々に北側に広がった。5月29日のM5.3の地震の発生後の地震の震央分布は、5月13日～18日にかけての震央分布に近い分布となっている。

震央分布図

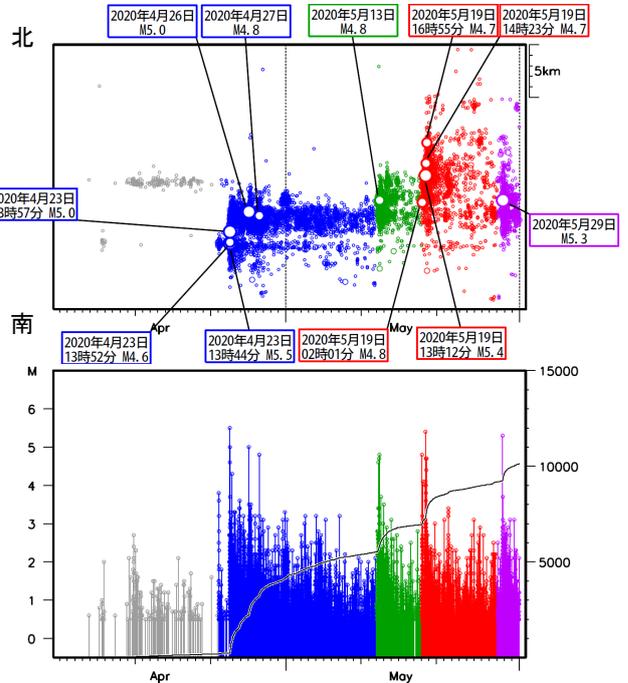
(2020年4月1日～5月31日、深さ0～30km、M≥0.5)

灰：4/1～18、青：4/19～5/12、緑：5/13～18、赤：5/19～28  
紫：5/29～31

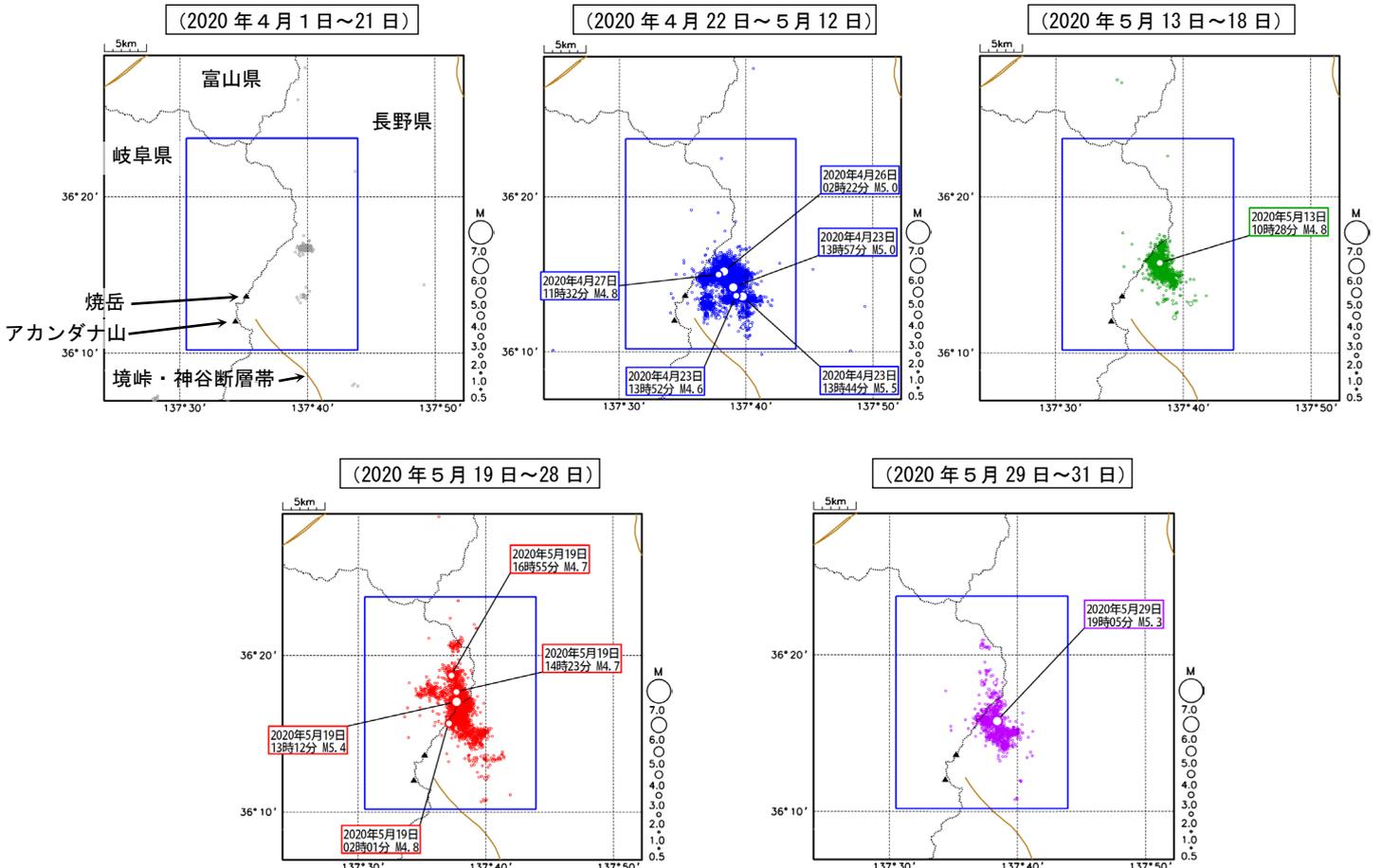


吹き出しはM4.5以上、且つ最大震度3以上の地震。  
茶線は地震調査研究推進本部の長期評価による活断層を示す。

左図領域 a の時空間分布図（南北投影）（上）、  
及び、M-T図と回数積算図（下）

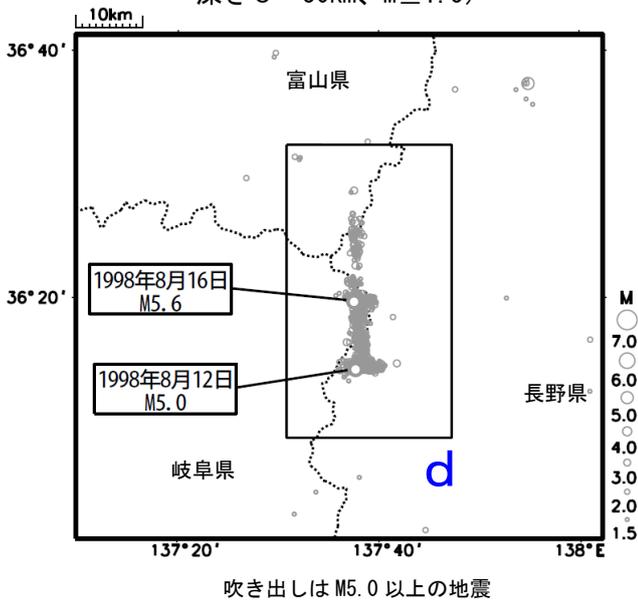


期間毎の震央分布図（深さ0～30km、M≥0.5）

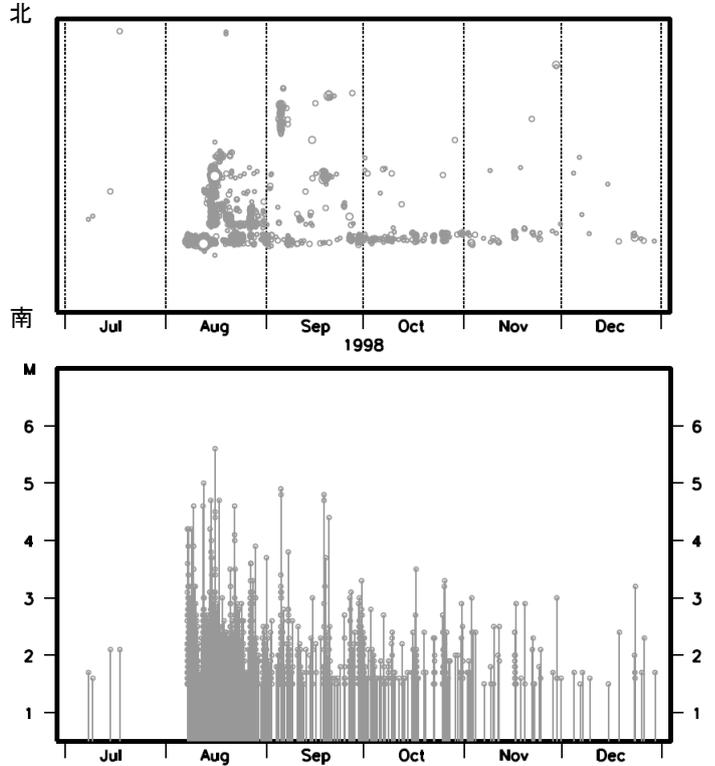


今回の地震活動と 1998 年の地震活動を比較してみると、いずれの活動も最初期の活動後、震源分布は北に広がりを見せている。但し、今回の活動は6月1日現在で、1998年の地震活動ほどには北に広がっていない。また、どちらの年の地震活動も活動が始まって以降、まとまった活動が何度かみられる。

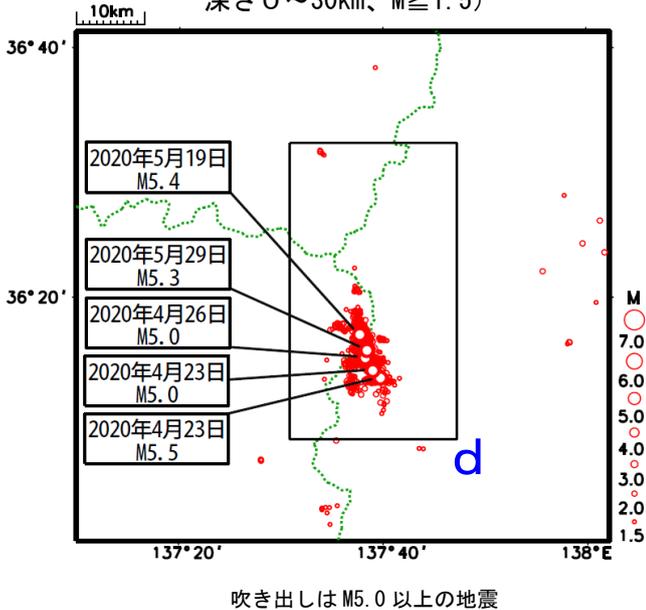
1998年の地震活動の震央分布図  
(1998年7月1日~12月31日、  
深さ0~30km、 $M \geq 1.5$ )



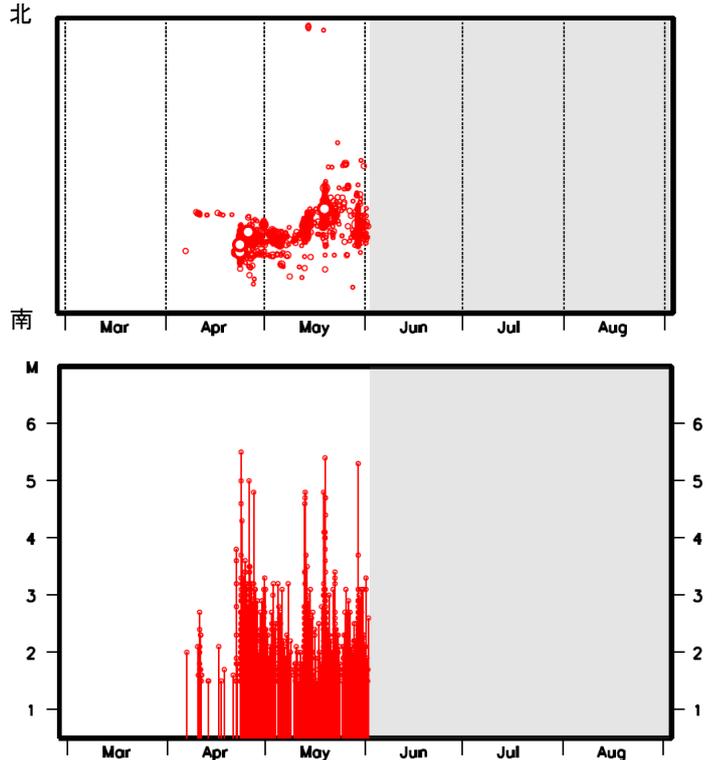
左図領域 d の時空間分布図 (南北投影) (上)、  
及び、M-T 図 (下)



2020年の地震活動の震央分布図  
(2020年3月1日~6月1日、  
深さ0~30km、 $M \geq 1.5$ )



左図領域 d の時空間分布図 (南北投影) (上)、  
及び、M-T 図 (下)



## ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた 焼岳における 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 で撮像された焼岳・アカンダナ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

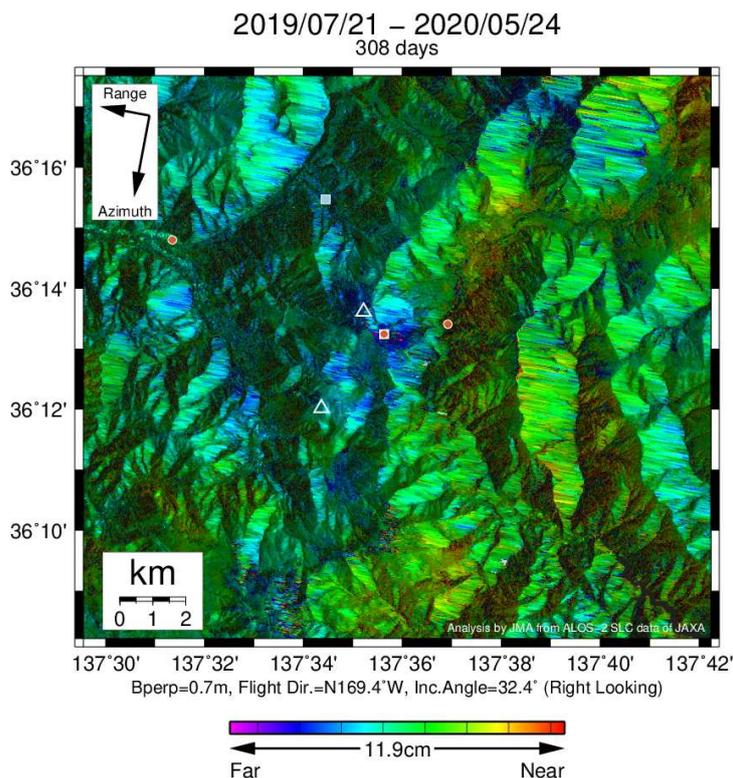
| Path-Frame         | Orbit | Looking | Inc. angle | Earliest Scene | Latest Scene | Figure No. |
|--------------------|-------|---------|------------|----------------|--------------|------------|
| 20-2880 (SM1_U2-6) | 南行    | 右       | 32.4°      | 2019.07.21     | 2020.05.24   | 第 1 図      |
| 126-710 (SM1_U2-7) | 北行    | 右       | 36.2°      | 2019.05.24     | 2020.05.22   | 第 2 図      |

### 3. 解析結果

南行軌道、北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かった。

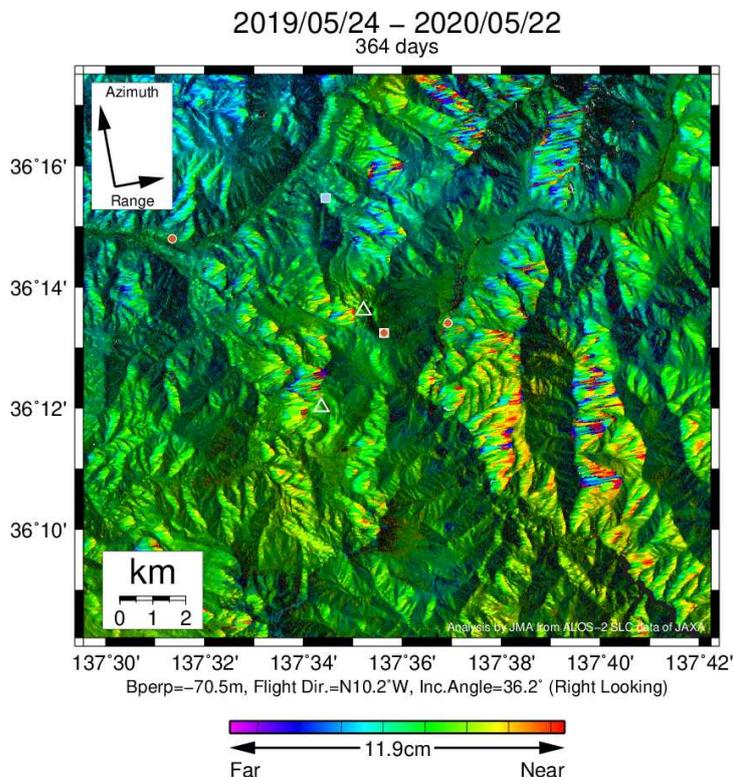
#### 謝辞

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 焼岳及び周辺の長期ペアによる干渉解析結果

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。



第 2 図 焼岳及び周辺の短期ペアによる干渉解析結果

凡例は第 1 図と同じ。  
ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

§ 今回の報告の概要:

2020年6月半ばまでの各観測項目の解析結果の概要を示す。図1は焼岳近傍の観測点の分布を示す。

**傾斜計データ:** 上高地下堀沢 (DP.SMHZ) の2020年4月の岐阜県飛騨・長野県中部地方の地震活動の開始直前までの記録を示す。DP.SMHZの記録には顕著な年周変動が見られる。

**温度データ:** 焼岳山頂 (DP.YKEP) の精密地中温度計データ、および、同じく焼岳山頂 (DP.YKEP)、焼岳中尾峠 (DP.NKOT)、上高地峠沢 (DP.KKHZ) に設置された気泡型傾斜計による温度記録を示す。気泡型傾斜計の示す温度は計測ピット内部の気温である。

**GNSSデータ:** 焼岳西側山麓の柘尾観測点 (TCHO、京大・名大・北大の共同運用) と、焼岳中尾峠 (DP.NKOT) や焼岳山頂 (DP.YKEP) との間の基線長等の解析結果を示す。2020年4月から発生した長野県中部・岐阜県飛騨地方の群発地震の活動中の2020年5月中旬より、基準としたTCHOに対してDP.NKOT およびDP.YKEPの双方に顕著な地殻変動が検出された。これに関する解析結果は別途資料に示す。

**磁力計データ:** 焼岳山頂 (DP.YKEP)、焼岳中尾峠 (DP.NKOT)、上高地下堀沢 (DP.SMHZ) のプロトン磁力計データの全磁力および相互の差分値の解析を行った。参照点は東大地震研・ハヶ岳地球電磁気観測所 (YAT) である。各点の全磁力値は単調増加を示している。また、焼岳中尾峠 (DP.NKOT) と他点の差分値には年周変動的な変化が認められる。ハヶ岳 (YAT) に対する焼岳山頂 (DP.YKEP) の差分値には顕著な時間変化は認められない。

**温泉ガスデータ:** CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S比のモニタを行っているが、データのばらつきが大きく、2020年4月からの地震活動に連動する変化は認めがたい。

**2020年5月中旬からの地殻変動:** 2020年4月からの地震活動は、Mjma5.0以上の地震を5個含む活発なものであるが、GNSSで観測された地殻変動は、地震の断層運動による地殻変動の寄与だけでは観測された変動量を説明できないことがわかった。観測された地殻変動には地下での体積変化を伴う膨張または非地震性すべりも寄与していることが考えられたため、開口断層を仮定して変動源のパラメタを推定した。その結果によれば、北西～南東方向のほぼ鉛直な開口断層 (体積変化量  $2.4 \sim 2.5 \times 10^6 \text{m}^3$ ) により、変動量を説明することができる。InSARデータの解析においては、2014年から2019年までの5年間に焼岳北東斜面の膨張が認められるが、2020年の地震活動の前後のデータの解析では顕著な変動は認められない。

**謝辞:** 長野県松本建設事務所から松本市安曇中の湯の温泉ガスの観測データの提供を受けています。また、雨量データについて気象庁の柘尾観測点のアメダスデータを参照させていただきました。また、東京大学地震研究所ハヶ岳地球電磁気観測所には参照磁場として全磁力データを提供いただきました。InSAR解析に使用したALOS-2/PALSAR-2画像の所有権・著作権は、宇宙航空研究開発機構にあります。また、これらの画像は国土地理院地震SAR解析WGの活動の一環として、提供されました。それぞれ、記して感謝を申し上げます。

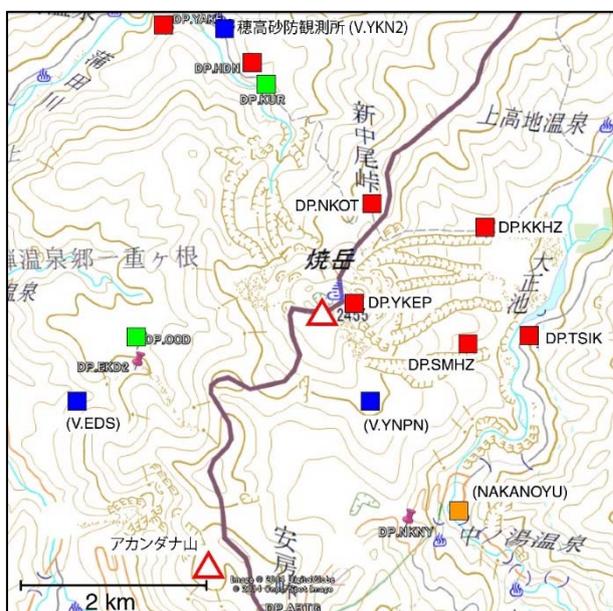


図1 : 観測点分布 (2019年4月現在)

それぞれ、■北陸地整・神通砂防、■気象庁、■京大、の観測点を示す。

焼岳山頂 (DP.YKEP)、焼岳中尾峠 (DP.NKOT)、上高地下堀沢 (DP.SMHZ) は平成26年度文科省予算で構築された点、上高地峠沢 (DP.KKHZ)、上高地防災情報センター (DP.TSIK) は平成25年度から27年度にかけて国交省予算で整備した観測点である。DP.KKHZ、DP.SMHZ、DP.TSIKの3点は北陸地整・松本砂防事務所の敷地を借用している。

■は、長野県松本建設事務所が松本市安曇中の湯にて温泉ガスのモニタリングを行っている点を示す。

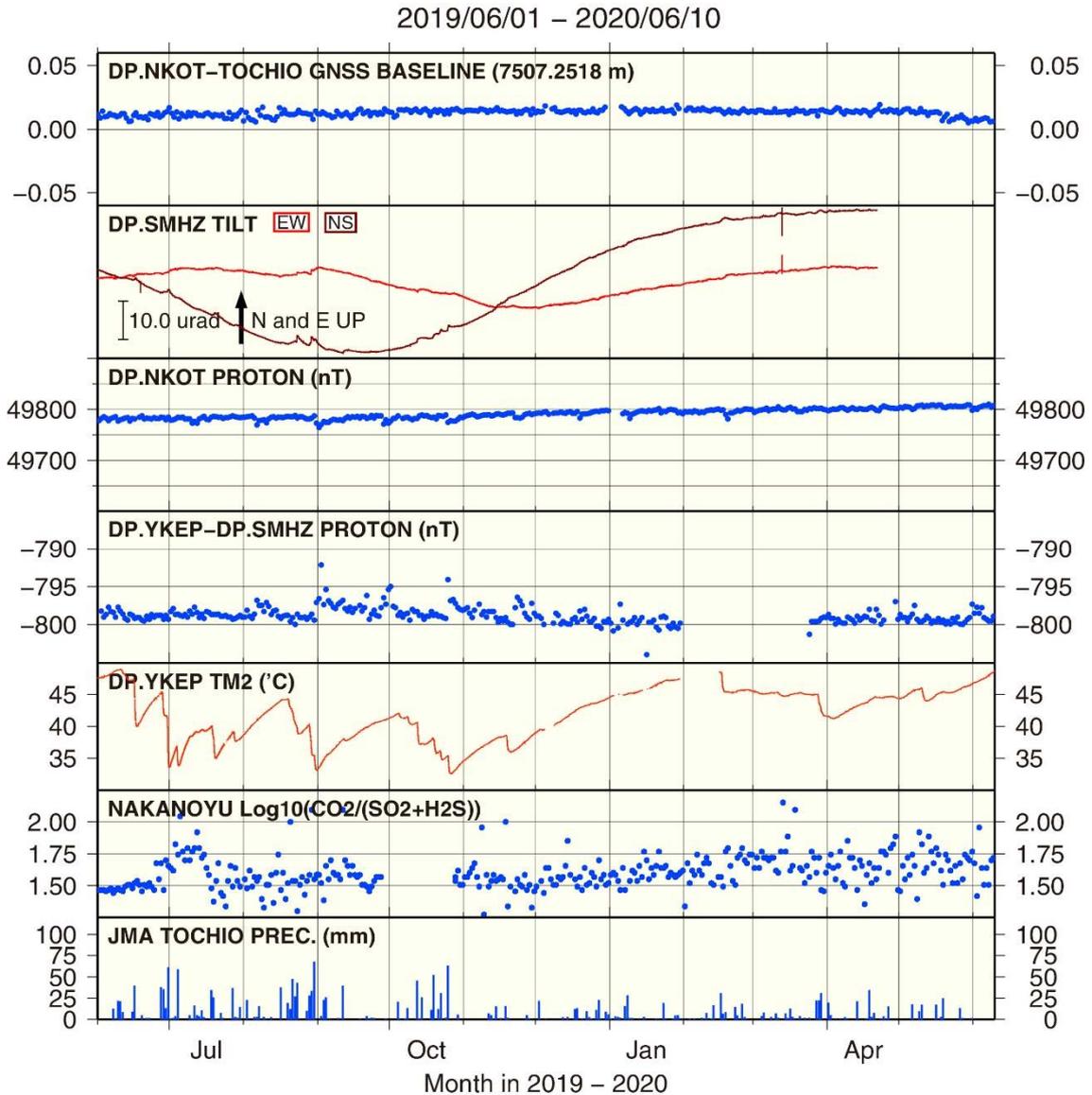


図2a : 2019年6月1日から2020年6月上旬までの1年間の主な観測結果の時系列

上から、DP.NKOT(京大・焼岳中尾峠)－TCHO(TOCHIO、栃尾)のGNSS基線長、DP.SMHZ(京大・上高地下堀沢)の傾斜計、DP.NKOT(京大・焼岳中尾峠)の全磁力の絶対値、およびDP.SMHZ(京大・上高地下堀沢)に対するDP.YKEP(京大・焼岳山頂)の全磁力の差分値、DP.YKEP(京大・焼岳山頂)の精密地中温度計の各記録。下から2段目は、長野県松本建設事務所による安曇中の湯の温泉ガス観測データのうち、二酸化炭素と硫化水素の比を示す。また、最下段に参考のため気象庁の栃尾観測点のアメダスによる日別降水量の記録を示す。DP.SMHZの傾斜計については2020年4月21日までのデータを示す。

焼岳

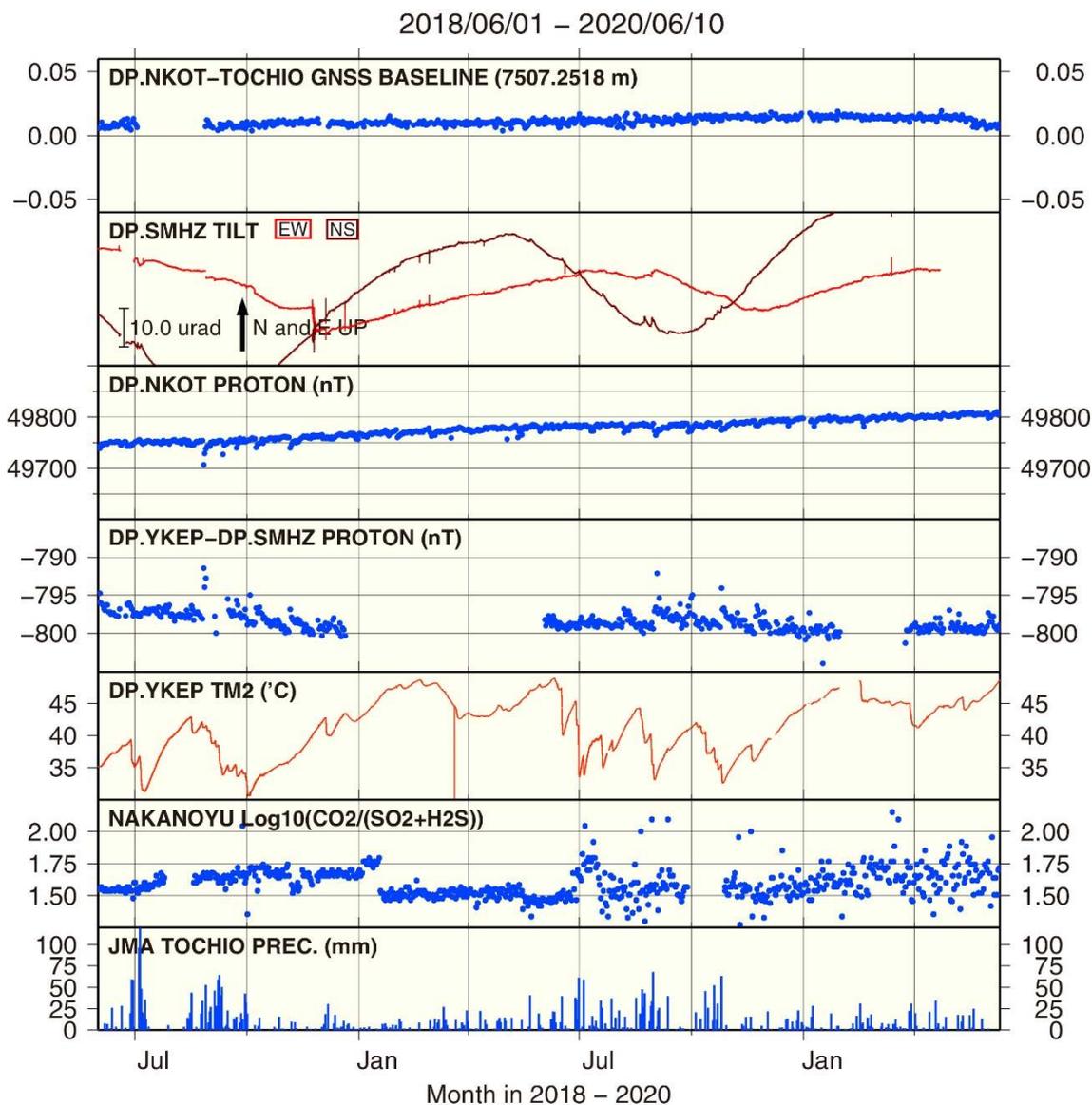


図2b : 2018年6月1日から2020年6月10日までの約2年間の主な観測結果の時系列

上から、DP.NKOT(京大・焼岳中尾峠)－TCHO(TOCHIO、栃尾)のGNSS基線長、DP.SMHZ(京大・上高地地下堀沢)の傾斜計、DP.NKOT(京大・焼岳中尾峠)の全磁力の絶対値、およびDP.SMHZ(京大・上高地地下堀沢)に対するDP.YKEP(京大・焼岳山頂)の全磁力の差分値、DP.YKEP(京大・焼岳山頂)の精密地中温度計の各記録。下から2段目は、長野県松本建設事務所による安曇中の湯の温泉ガス観測データのうち、二酸化炭素と硫化水素の比を示す。また、最下段に参考のため気象庁の栃尾観測点のアメダスによる日別降水量の記録を示す。DP.SMHZの傾斜計については2020年4月21日までのデータを示す。

焼岳

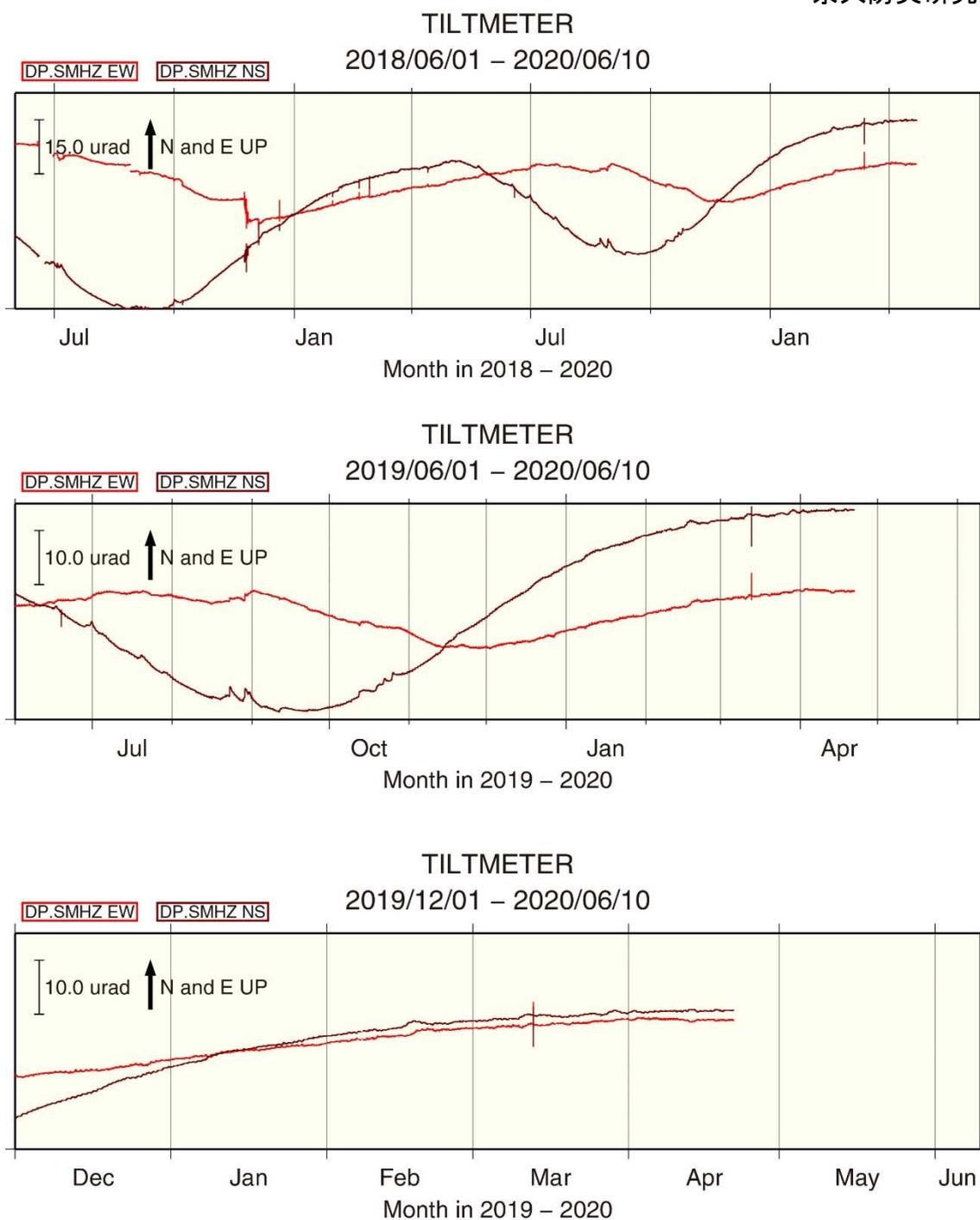


図3 : DP.SMHZ(上高地下堀沢)のポアホール型傾斜計(約10mの孔底に設置)の記録

上段は2018年6月から2020年6月上旬までの上高地下堀沢(DP.SMHZ)の2年間の記録、中段は2019年6月からの1年間、下段は2019年12月からの半年間の記録。DP.SMHZの記録には明瞭な年周変動がみられる。2020年4月の地震活動の開始直前までのデータを示す。

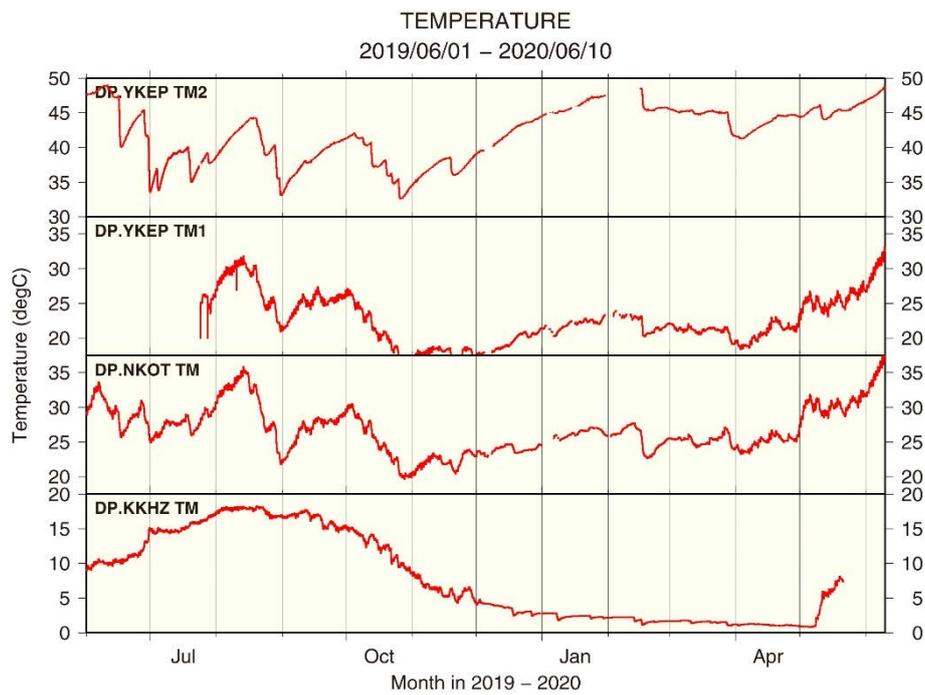
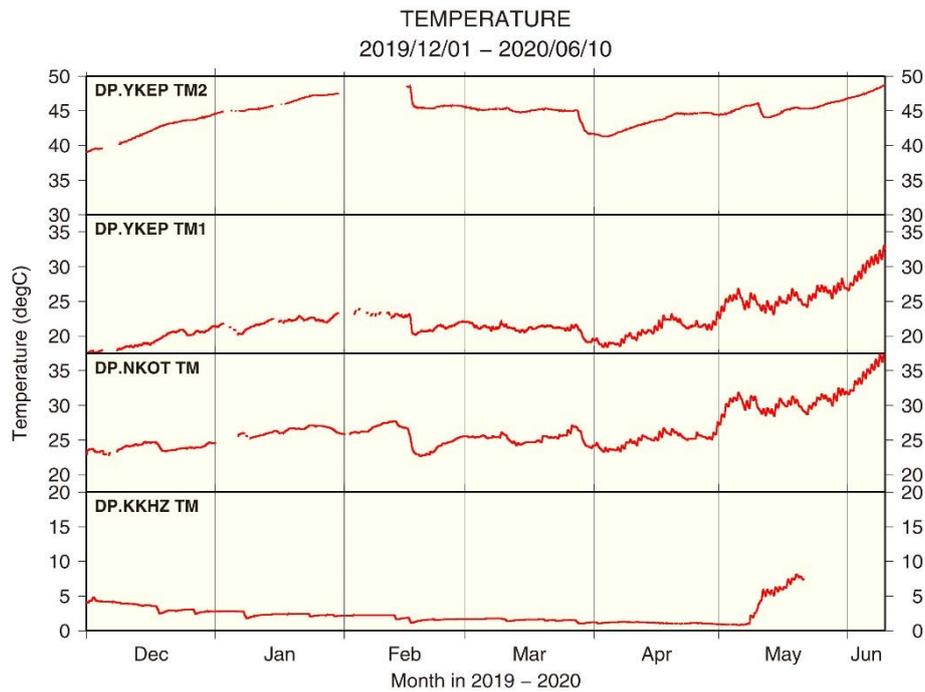


図4 : DPYKEP(焼岳山頂)の精密地中温度計の観測記録 (DP.YKEP TM2)、および、同じくDP.YKEP (TM1)、およびDP.NKOT(焼岳中尾峠)、DP.KKHZ(上高地峠沢)の気泡型傾斜計の内蔵温度計によるピット内温度の観測記録

上段は2019年12月から2020年6月上旬までの半年間、下段は2019年6月から2020年6月半ばまでの1年間の記録。

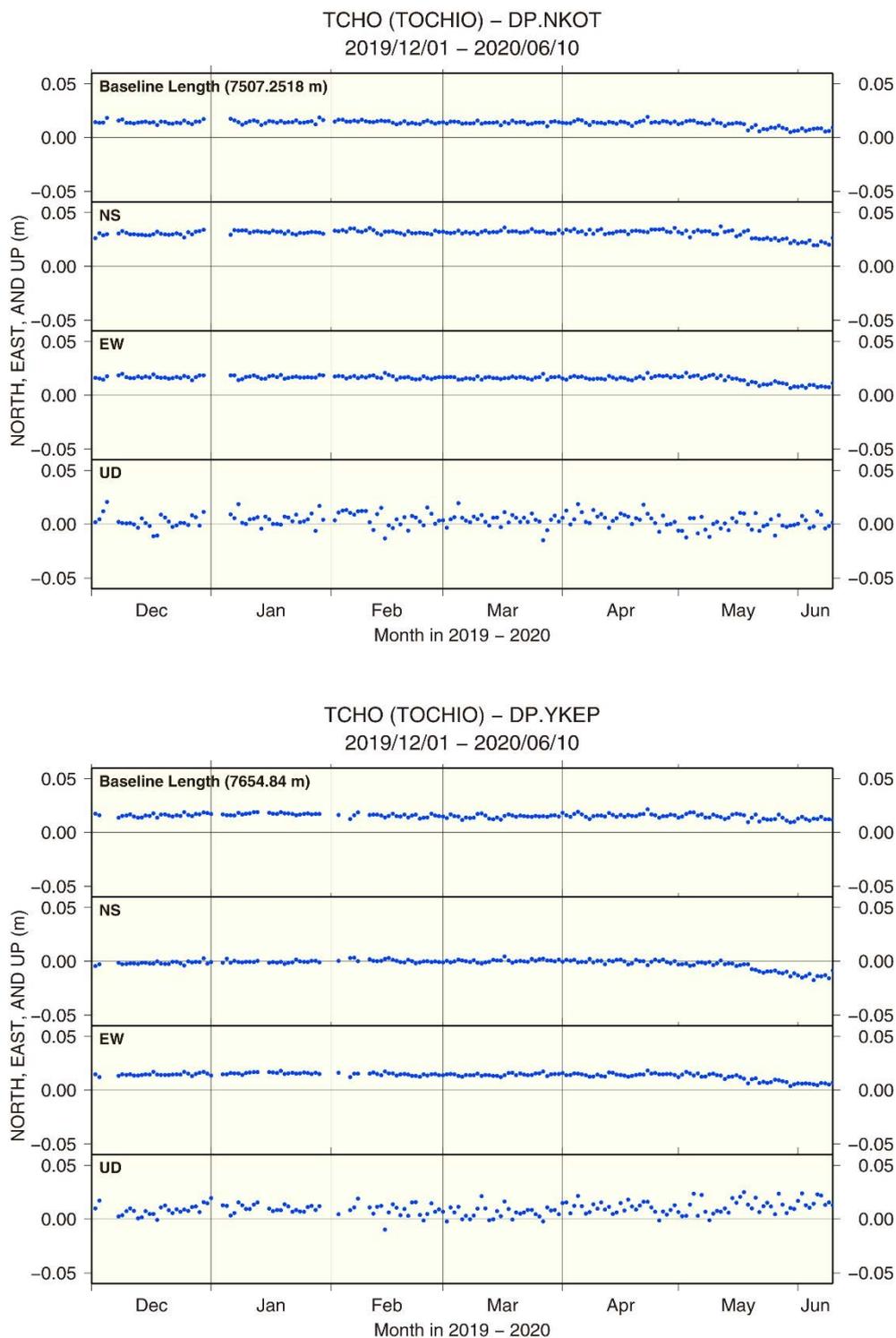


図5a : (上)DP.NKOT(焼岳中尾峠)のGNSSデータの解析結果。(下)DP.YKEP(焼岳山頂)のGNSSデータの解析結果。いずれも、西側山麓の栃尾にて京都大学・名古屋大学が共同運用を行っている点(TCHO)に対する、2019年12月から約半年間の変位。DP.YKEPは2019年7月に観測を開始した。

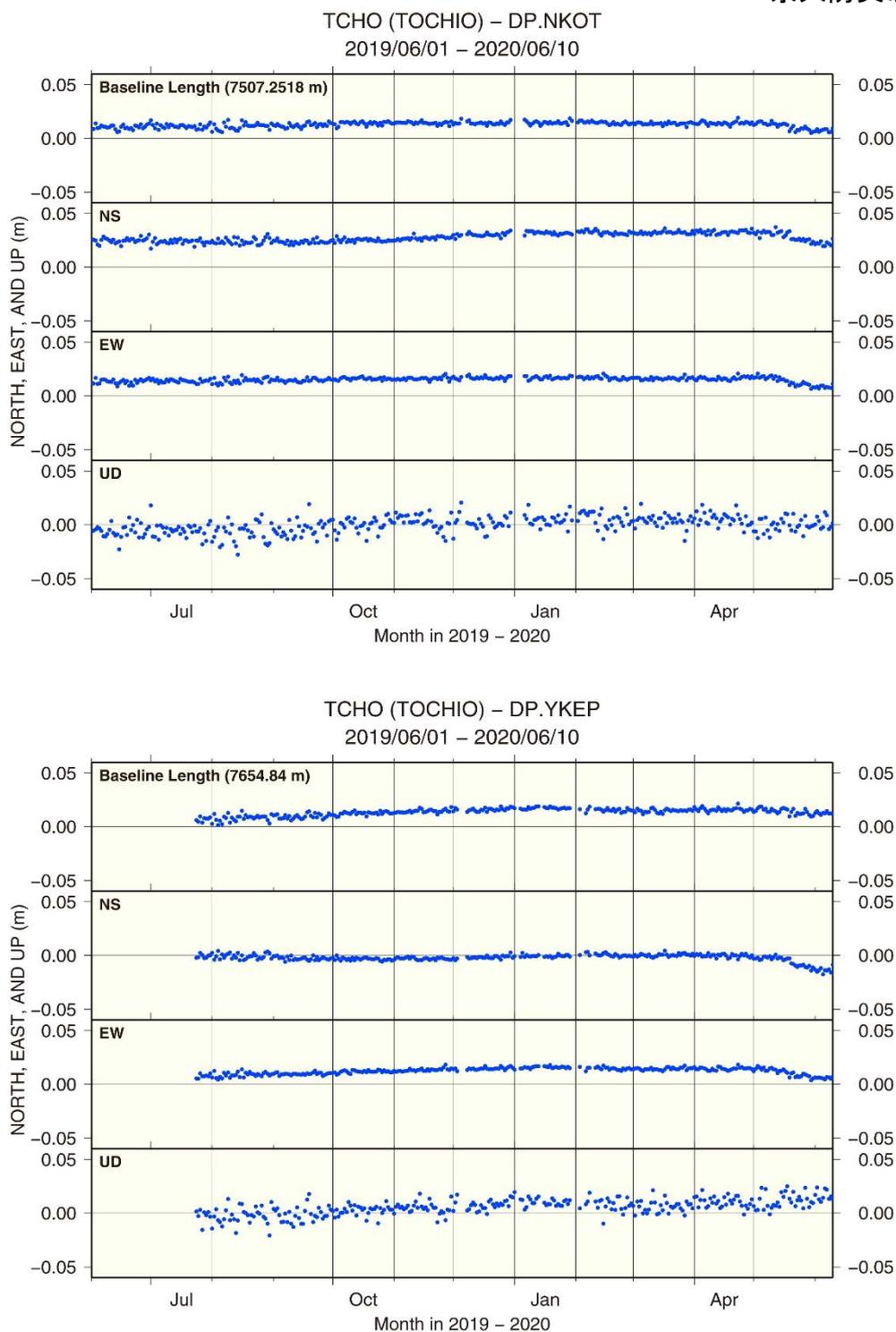


図5b : (上)DP.NKOT(焼岳中尾峠)のGNSSデータの解析結果。(下)DP.YKEP(焼岳山頂)のGNSSデータの解析結果。いずれも、西側山麓の栃尾にて京都大学・名古屋大学が共同運用を行っている点(TCHO)に対する、2019年6月からの約1年間の変位。DP.YKEPは2019年7月に観測を開始した。

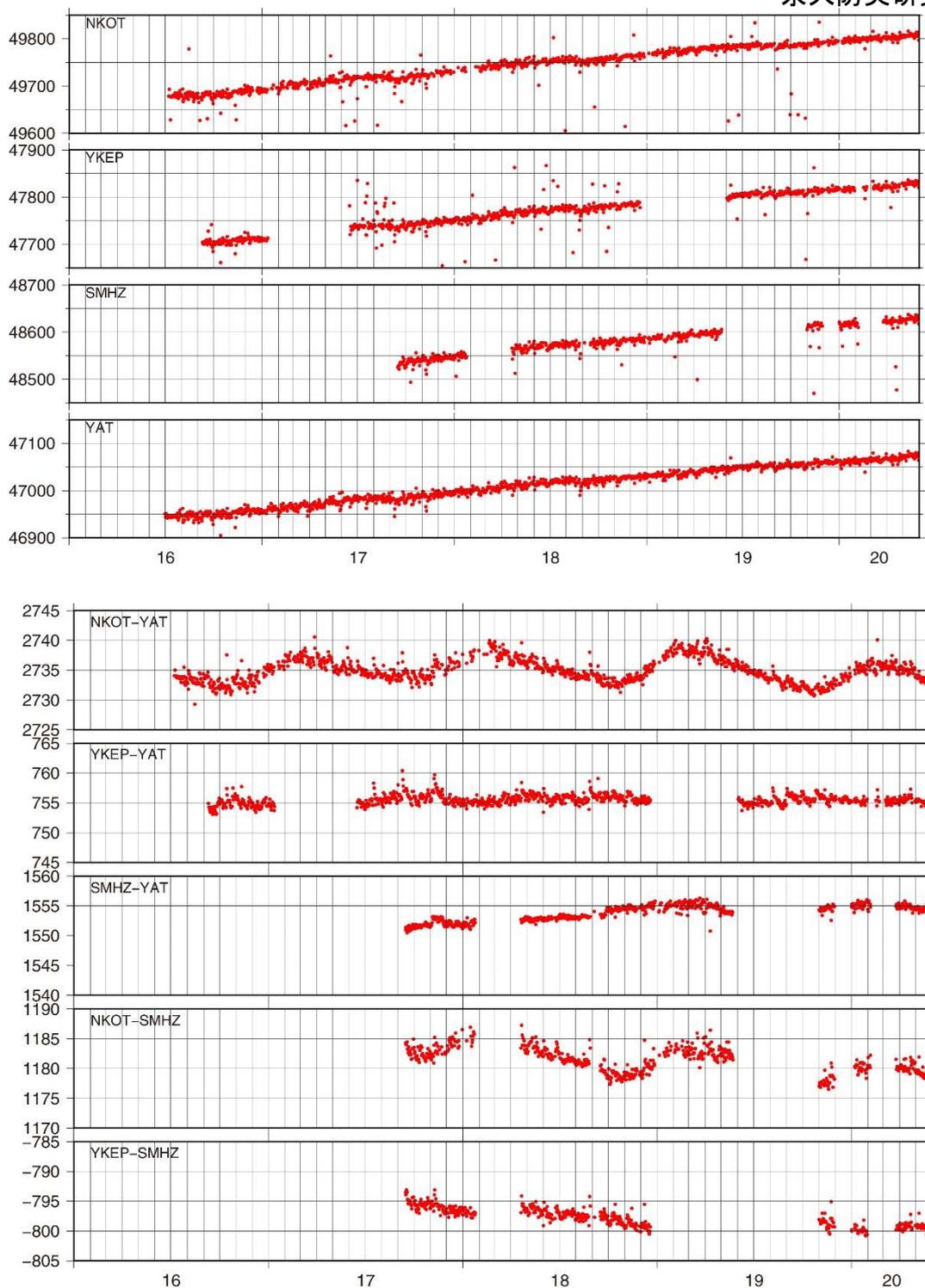


図6 : NKOT(焼岳中尾峠)、YKEP(焼岳山頂)、SMHZ(上高地下堀沢)、および参照点としたYAT(東大地震研八ヶ岳地球電磁気観測所)における全磁力(上)およびYAT・SMHZとの地点差(夜間値中央値)(下)。2016年の観測開始から、2020年5月末までの状況を示す。YKEPならびにNKOTにおいて、年周変化を除く顕著な時間変化は認められない。(解析担当: 吉村令慧)。

焼岳

## 焼岳周辺(飛騨山脈)の群発地震に伴う地殻変動

2020年4月22日から、長野県中部・岐阜県飛騨地方の飛騨山脈において活発な地震活動が始まった。焼岳周辺では、その北東斜面が緩やかに膨張していることがここ数年のInSARによる解析で明らかになっている(たとえば、気象庁、第143回連絡会資料)。そのため、まず、今回の地震活動の活発化以前の地殻変動をInSARで解析した。2019年9月と2014年9月の5年間のペア(南行軌道)での解析を行ったところ、既報に見られる北東斜面の膨張が認められた(図7a)。地震活動の活発化後の2020年5月中旬からGNSS観測点で有意な地殻変動が観測されたため、あらためてこの期間を含むペアでの解析を試みた。使用データは2020年2月15日と同5月22日のペア(北行軌道)である。しかしながら、GNSSには顕著な変動が見られるにもかかわらず、InSARでは変動の検出は困難であった(図7b)(解析担当:橋本学)。

そのため、GNSSデータを用いて、その変動源を求めることを試みた。2020年4月22日から始まった地震活動に伴い、焼岳周辺に設置されたGNSS観測点において、5月中旬から有意な地殻変動が観測されている。地震活動(気象庁一元化震源)を参考に期間を分けた水平変位分布のスナップショットを図8に示す。地殻変動が最も顕著だったのは5月18日から5月下旬までであり、群発地震の震源域から遠ざかるような変動(図8d)が観測された。ただ、それ以前にもわずかな変動が見られ、変動パターンは5月18日以降とは異なっている。群発地震は $M_{JMA} 5.0$ 以上の地震が5月29日までに5回発生するなど非常に活発な活動であったため、地震の断層運動による地殻変動の寄与を計算したのが図9である。5月10-12日の前後で2つの期間に分け、F-netメカニズム解(Best double-couple)に基づく点震源を用いて半無限弾性体での地表面での変位を計算した。変位のパターンは観測値と概ね整合的であるが、その振幅は多くの観測点で半分以下であった。そのため、観測された地殻変動には、地下での体積変化を伴う膨張または非地震性すべりも寄与していると考えられる。

そこで、開口断層を仮定してHasegawa and Matsu'ura (1987)の非線形インバージョン手法を用いて、変動源のパラメータを推定したのが図10~12である。インバージョンのデータには、観測変位から図9に示した地震による計算変位量を差し引いたものを用いた。前半(図10)は、西北西-東南東走向のほぼ鉛直な開口断層(体積変化量 $3.3 \times 10^6 \text{m}^3$ )が推定された。後半は、1つの変動源を仮定した場合(図11)と2つの変動源(図12)を仮定した場合で位置が若干異なるが、いずれも北西-南東走向のほぼ鉛直な開口断層(体積変化量 $2.4 \sim 2.5 \times 10^6 \text{m}^3$ )で観測された地殻変動を説明できる(解析担当:西村卓也)。

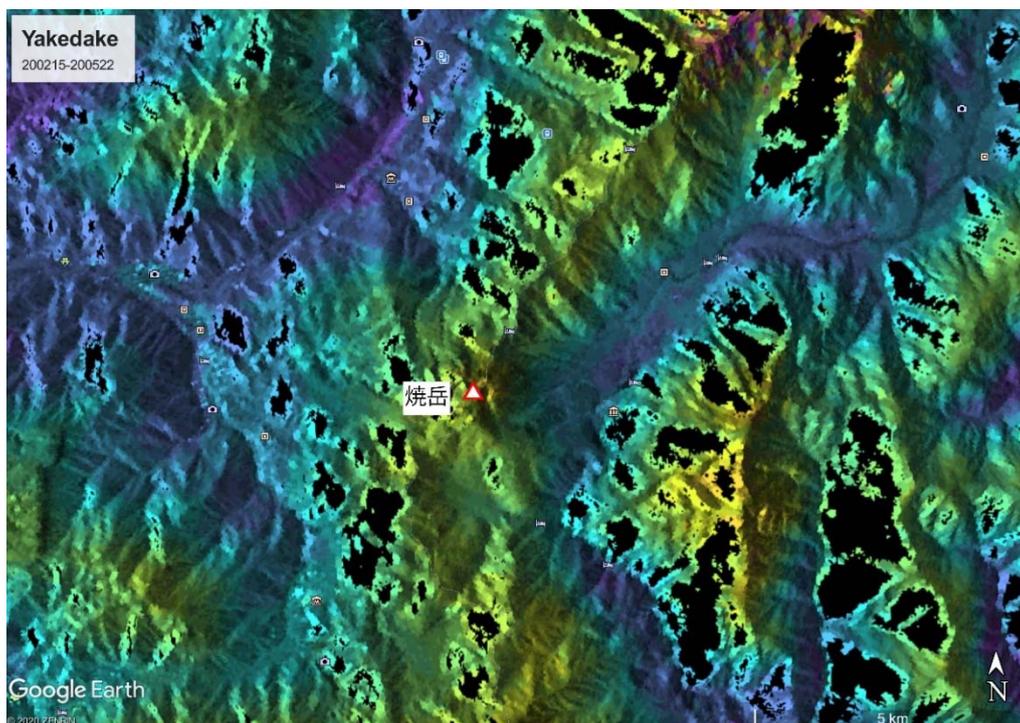
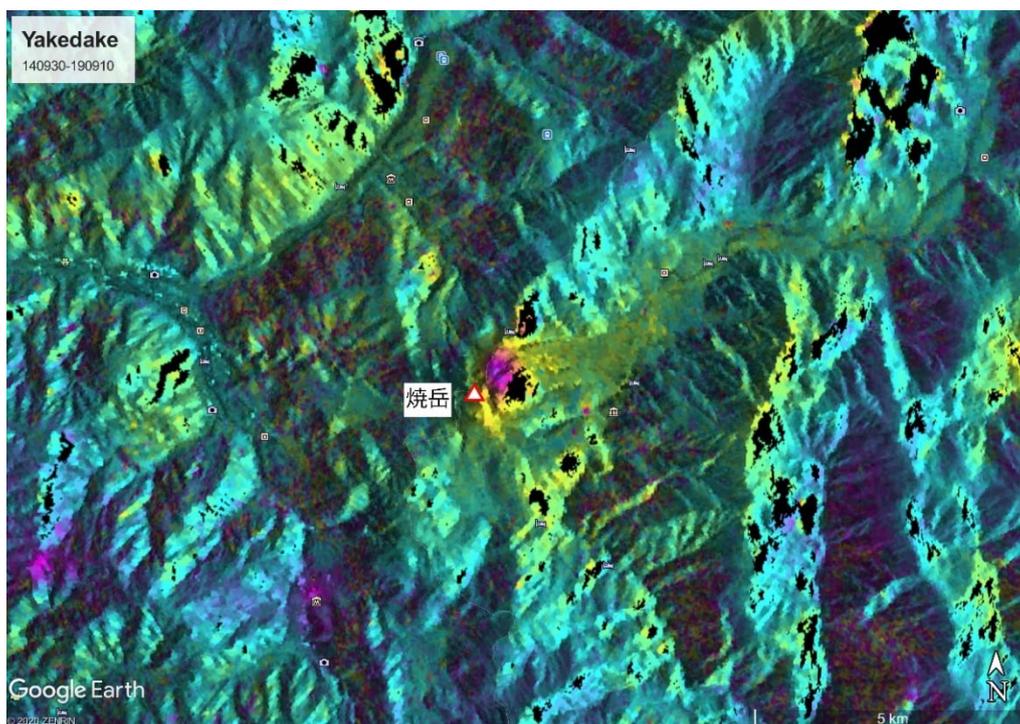


図7: InSARによる焼岳周辺の地殻変動

図7a(上) ALOS-2の2014年9月30日と2019年9月10日の画像(南行軌道)を使用。

焼岳北東斜面に顕著な膨張が見られる

図7b(下)地震活動発生前後の2020年2月15日と5月22日の画像(北行軌道)による解析。

顕著な変動は認められない

ALOS-2/PALSAR-2画像について:

ALOS-2/PALSAR-2画像の所有権・著作権は、宇宙航空研究開発機構にあります。

また、これらの画像は国土地理院地震SAR解析WGの活動の一環として、提供されました。

焼岳

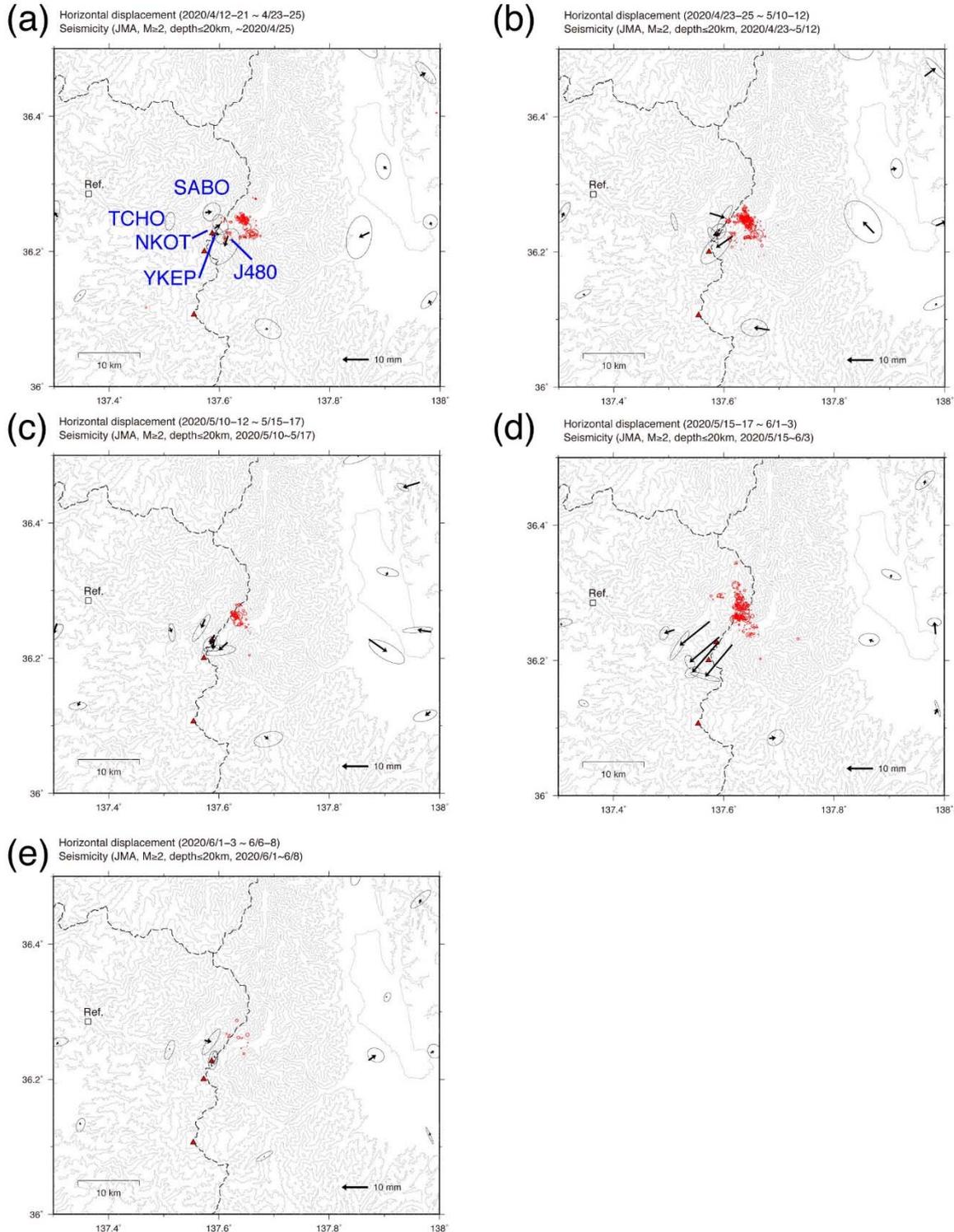


図8: GNSS連続観測点で観測された水平地殻変動。地震活動を参考に以下の各期間での水平地殻変動を矢印で表示した。参照点はGEONET上宝(960618、Refと表示)。(a)4/12-21~4/23-25、(b)4/23-25~5/10-12、(c)5/10-12~5/10-17、(d)5/15-17~6/1-3、(e)6/1-3~6/6-8。なお、NKOT、YKEPは京大防災研、SABO、TCHOは、京大防災研・名大・北大の共同研究、それ以外は国土地理院による観測点。

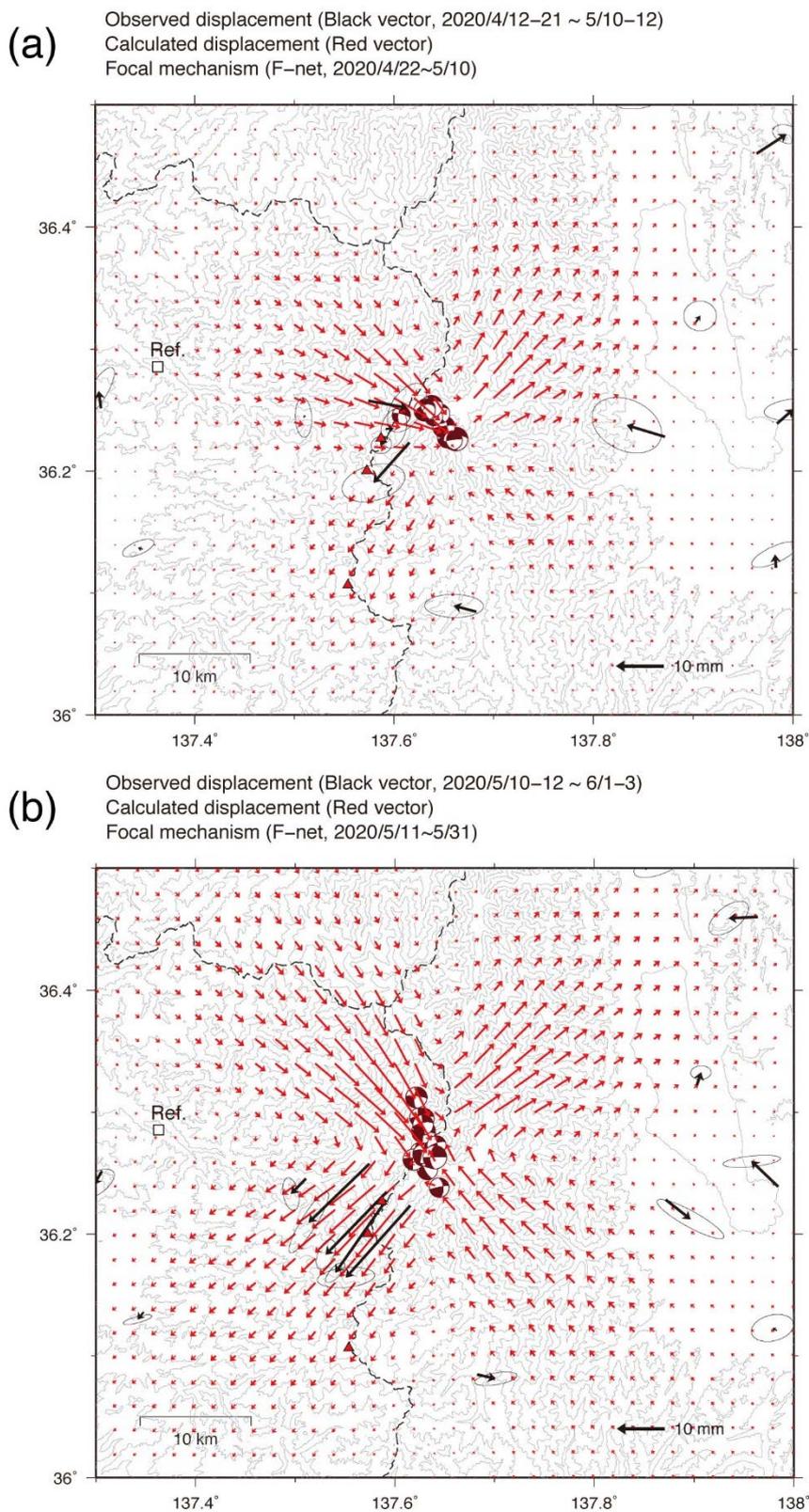


図9: 2期間に分けた場合の水平地殻変動。黒矢印が観測値で参照点はGEONET上宝(960618、Refと表示)。赤矢印は、F-netのメカニズム解(Best Double Couple解)を用いて半無限弾性体中の点震源により計算した地表地殻変動。  
 (a) 4/12-21~5/10-12、(b) 5/10-12~6/1-3

Estimated parameters: 36.230°N 137.661°E D1.5km Length 3.3km Width 4.1km Strike 295° Dip 83° Open 0.24m  
Volume change  $3.3 \times 10^6 \text{m}^3$

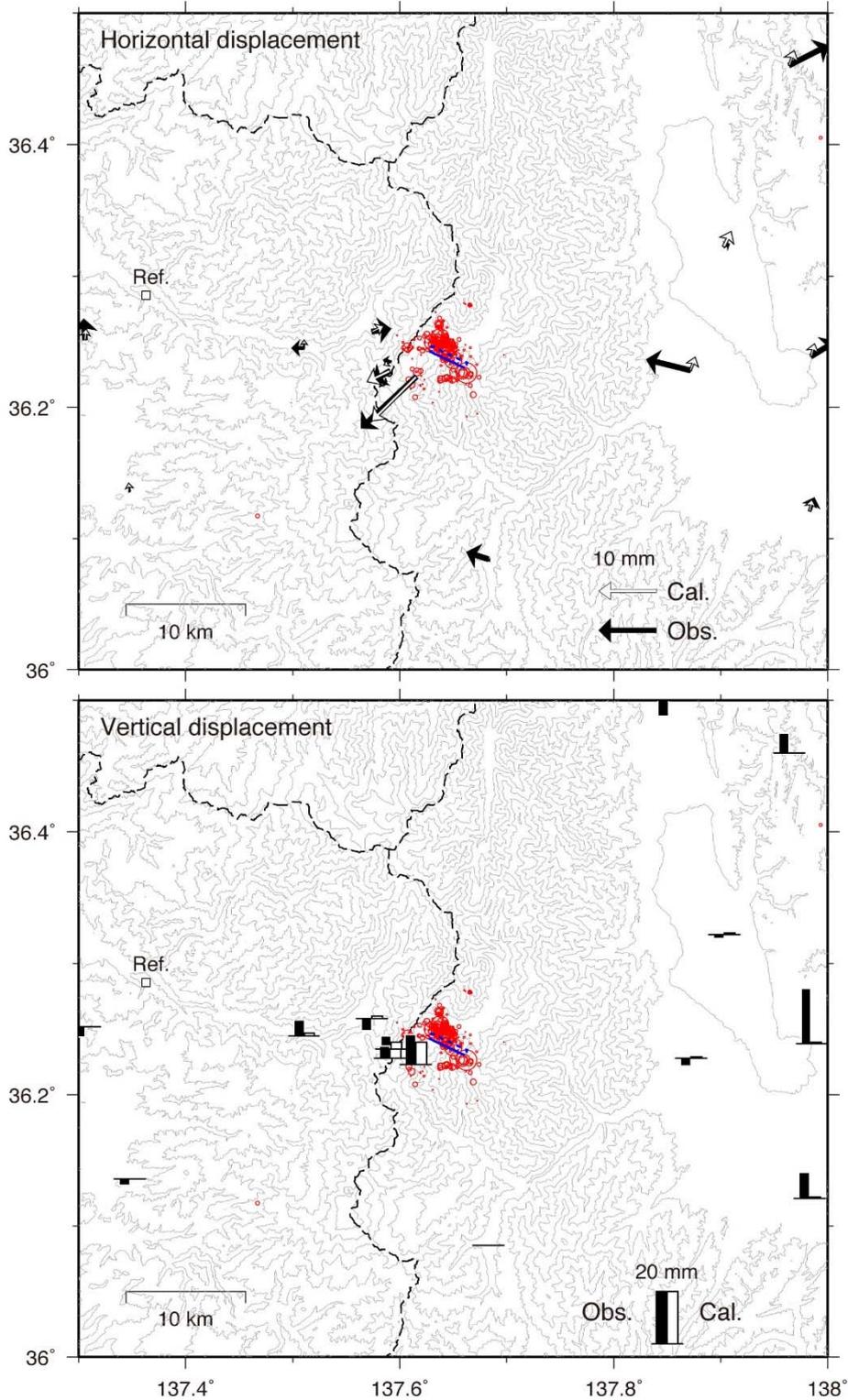


図10: F-netのメカニズム解 (Best Double Couple解) を用いて地震の影響を補正した地殻変動(4/12-21~5/10-12)とインバージョンによって推定された矩形開口断層モデル。

焼岳

Estimated parameters: 36.242°N 137.661°E D0.9km Length 7.2km Width 3.0km Strike 304° Dip 77° Open 0.11m  
 Volume change  $2.4 \times 10^6 \text{m}^3$

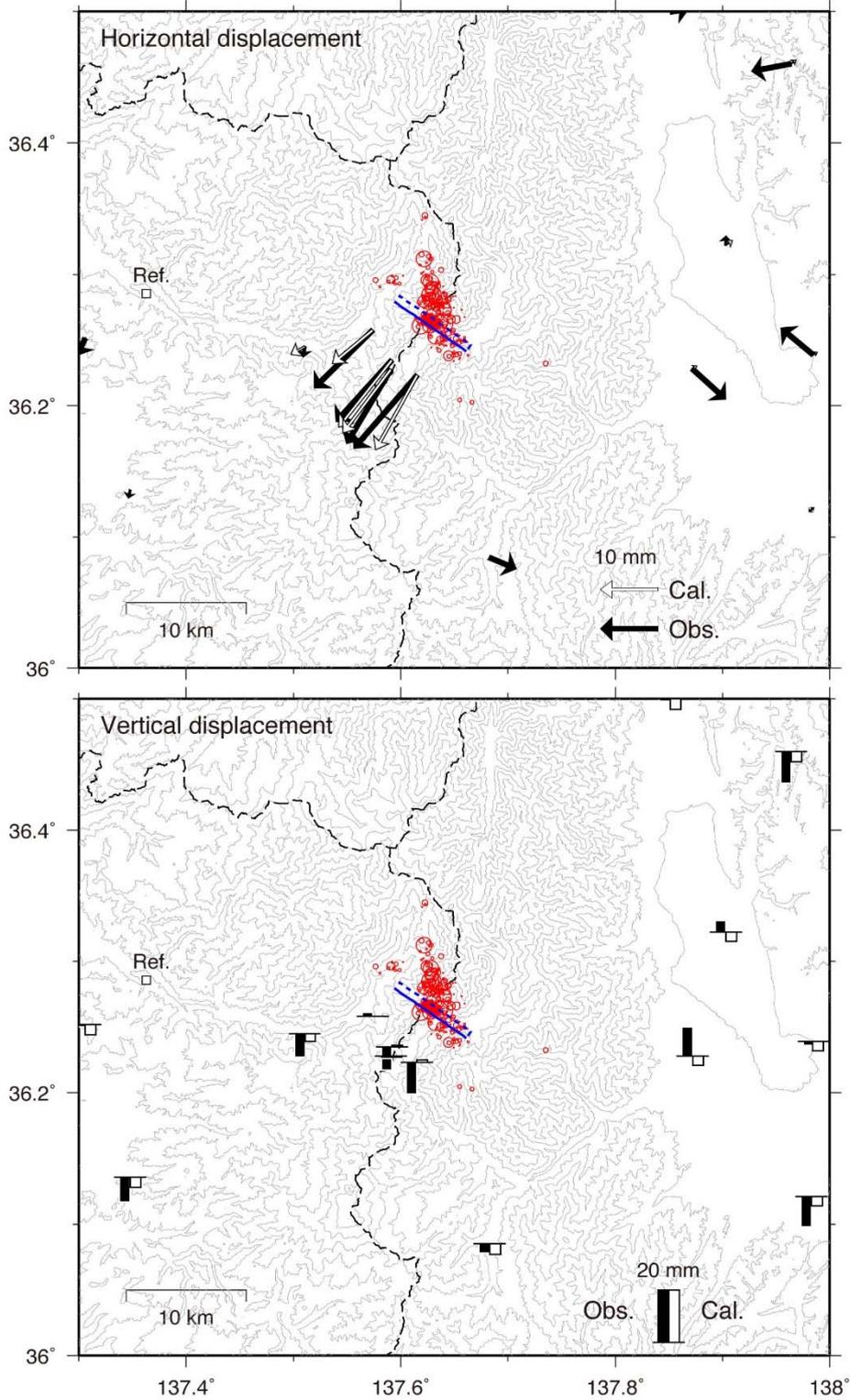


図11: F-netのメカニズム解(Best Double Couple解)を用いて地震の影響を補正した地殻変動(5/10-12~6/1-3)とインバージョンによって推定された矩形開口断層モデル。

焼岳

Estimated parameters:

Fault #1: 36.239°N 137.654°E D1.0km Length 3.4km Width 4.0km Strike 307° Dip 83° Open 0.04m

Fault #2: 36.272°N 137.642°E D1.0km Length 3.0km Width 2.8km Strike 304° Dip 81° Open 0.24m

Total volume change  $2.5 \times 10^9 \text{m}^3$

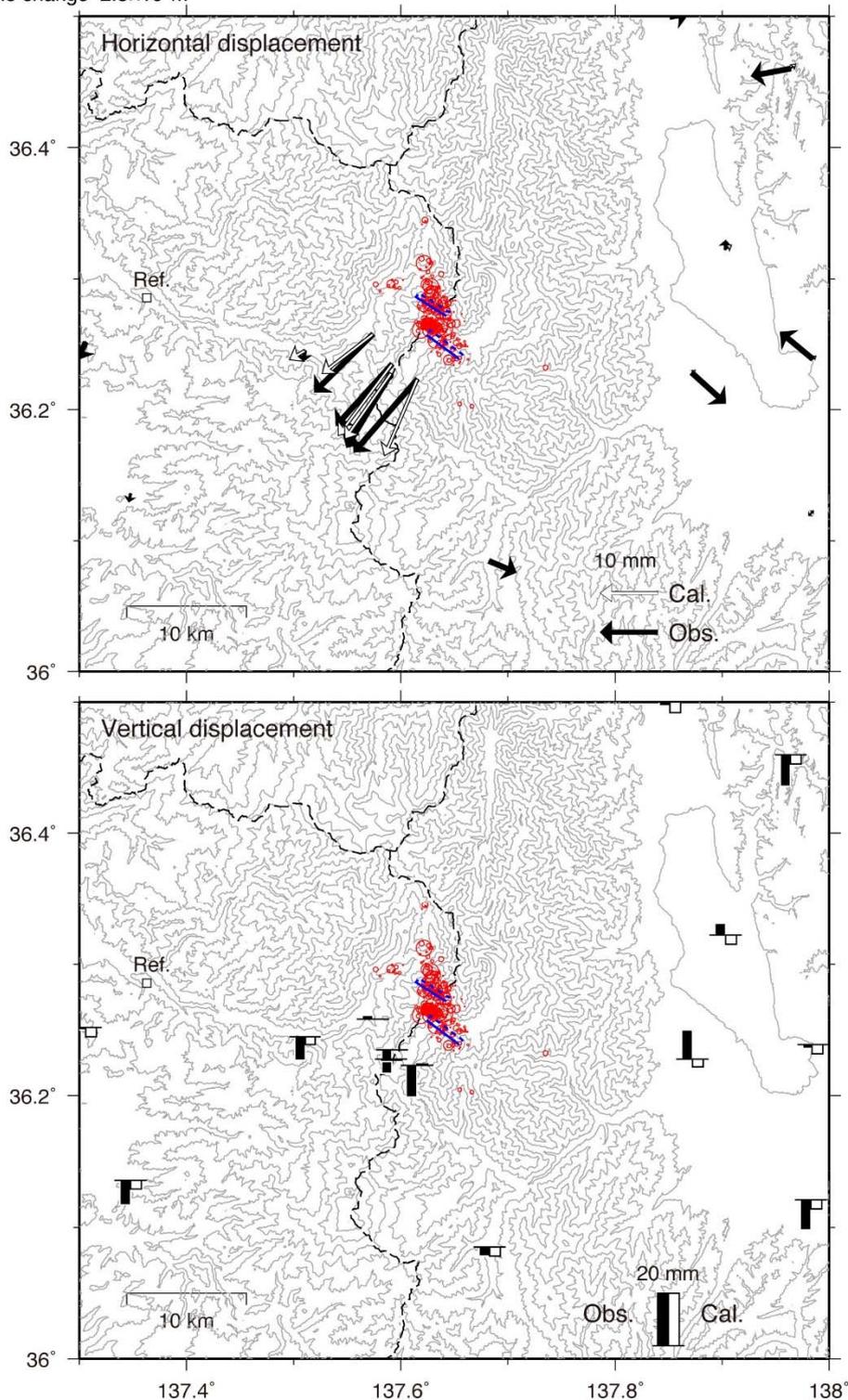


図12: F-netのメカニズム解(Best Double Couple解)を用いて地震の影響を補正した地殻変動(5/10-12~6/1-3)とインバージョンによって推定された矩形開口断層モデル。2枚の断層を仮定したモデル。

焼岳

**推定された開口断層に関する考察:** 図13は、図12に示された開口断層の位置と、F-netにより求められた、2020年4月23日から5月31日までの主だった地震の発震機構解の分布である。Fault#1の周辺に発生した地震の発震機構解にはNon Double Couple 成分が大きな、開口断層に調和的な地震が多く見られており、今回の解析の妥当性を示すものと考えられる。ただし、図13にみられる長野県側の地震(破線が主稜線の位置で岐阜・長野両県の県境を示す)は大部分が5月18日までの地震であるのに対し、GNSSによる地殻変動が観測されたのは5月18日前後からであり、両者が時間的に整合的でない点は今後の検討課題である。また、変動域の東側にGNSS観測点がないことからモデルを拘束しづらい部分があり、検証のための新規観測点も必要と考えられる。

当地域を含む飛騨山脈南部は従前から群発地震活動の活発な地域であり、これまでに、1990年、1993年、1998年、2011年、2014年、2018年などに活発な群発地震活動の記録がある。このうち、1998年の活動は、京都大学が当地域で地震観測を開始した1970年代後半以降では最大の活動であった。今回の2020年の活動は、(1) 1998年の震源域に重なるように発生した、(2) 飛騨山脈の主稜線を跨ぐように震源域が拡大した、の2点で特異であり1998年の活動に類似している。1998年の地震活動以降、今回の活動までにこのような例はない。また、直近の2018年の群発地震活動では、すでに現在と同様のGNSS観測網は稼働していたが顕著な地殻変動は検出されなかった。このようなことから類推すると、当地域で発生する群発地震は、大部分は地殻変動等を伴わないが、主稜線を跨ぐような規模の大きな地震活動ではダイク貫入イベント等を伴う可能性があり、今回の2020年の活動だけではなく、1998年の活動もその一つであった可能性がある。前者のような地殻変動を伴わない群発地震の発生メカニズムの考察は今後の課題である。

今回のイベントに伴う、焼岳の熱活動等の変化は現状では認められていないが、近傍でダイク貫入イベントが発生するような規模の大きな群発地震活動が発生する場合には、従前よりも注意深く火山活動を監視する必要があるものと考えられる。単純な比較は避けるべきではあるが、焼岳と今回の開口断層の位置関係を他火山と比較すると、阿蘇ではカルデラ内部で、桜島では島内でダイク貫入イベントが発生していることに相当する(文責:大見士朗)。

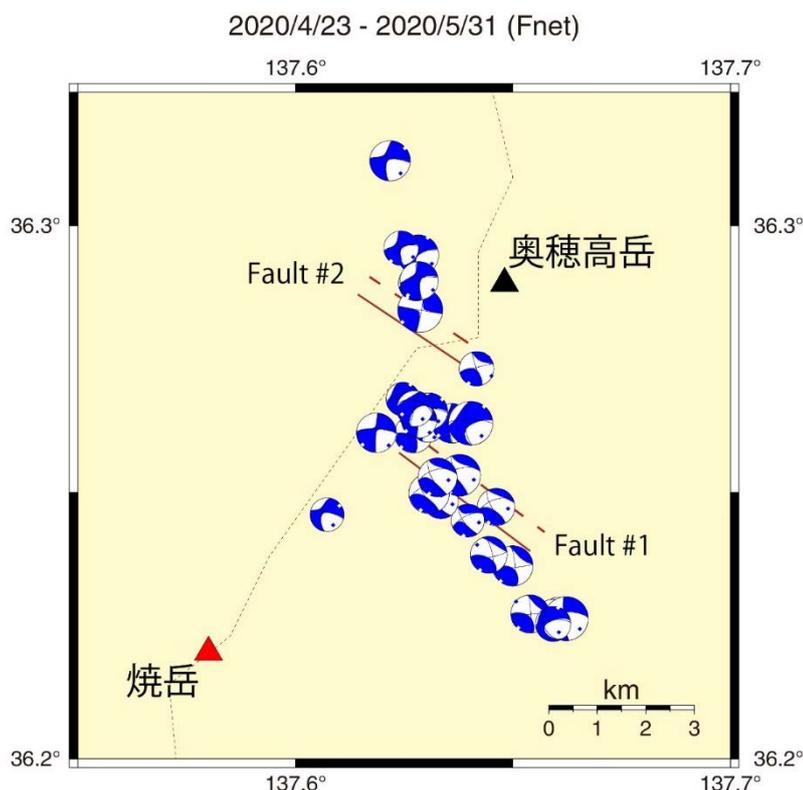


図13: F-netによって決められた2020年4月23日から5月31日までの地震の発震機構解の分布に、図12に示された開口断層の位置を重ねたもの

## 焼岳の地殻変動 Crustal Deformations around Yakedake Volcano

国土地理院  
Geospatial Information Authority of Japan

第1図は、焼岳周辺のGNSS連続観測結果である。

第1図上段に基線の配置を示した。第1図下段は、第1図上段で示した基線の基線長変化グラフであり、左列は最近5年間（2015年5月～2020年5月）の時系列、右列は最近約1年間（2019年5月～2020年5月）の時系列である。GNSS連続観測結果からは顕著な地殻変動は観測されていない。

第2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。

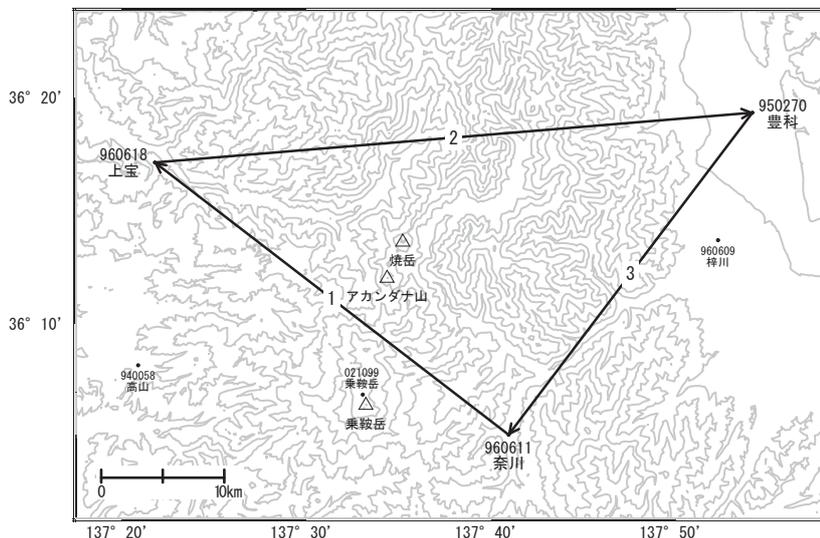
### 謝辞

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。

# 焼岳・アカンダナ山

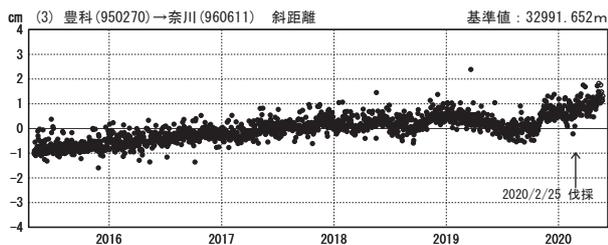
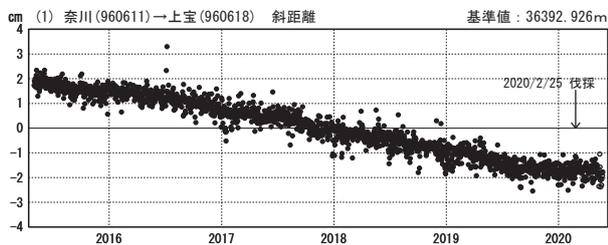
G N S S 連続観測結果には特段の変化は見られません。

焼岳・アカンダナ山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図



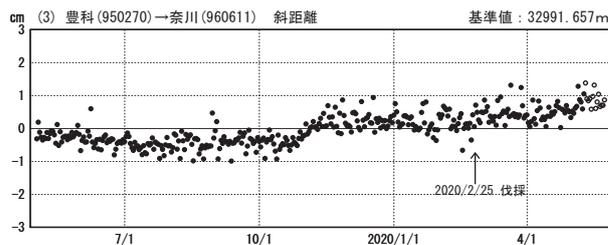
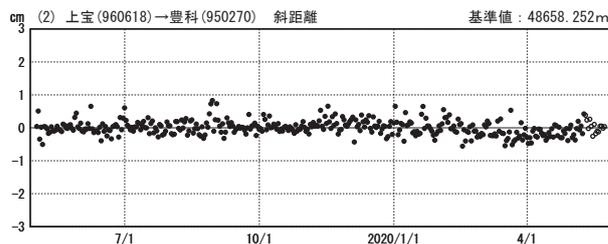
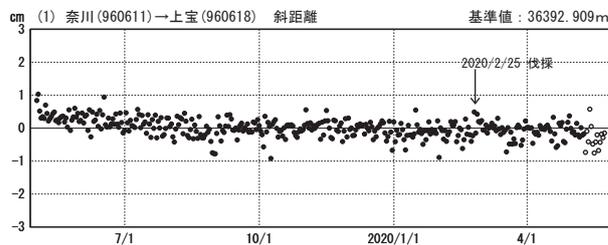
基線変化グラフ (長期)

期間: 2015/05/01~2020/05/23 JST



基線変化グラフ (短期)

期間: 2019/05/01~2020/05/23 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

国土地理院

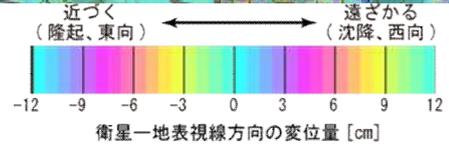
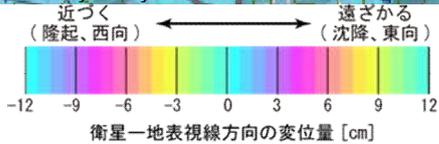
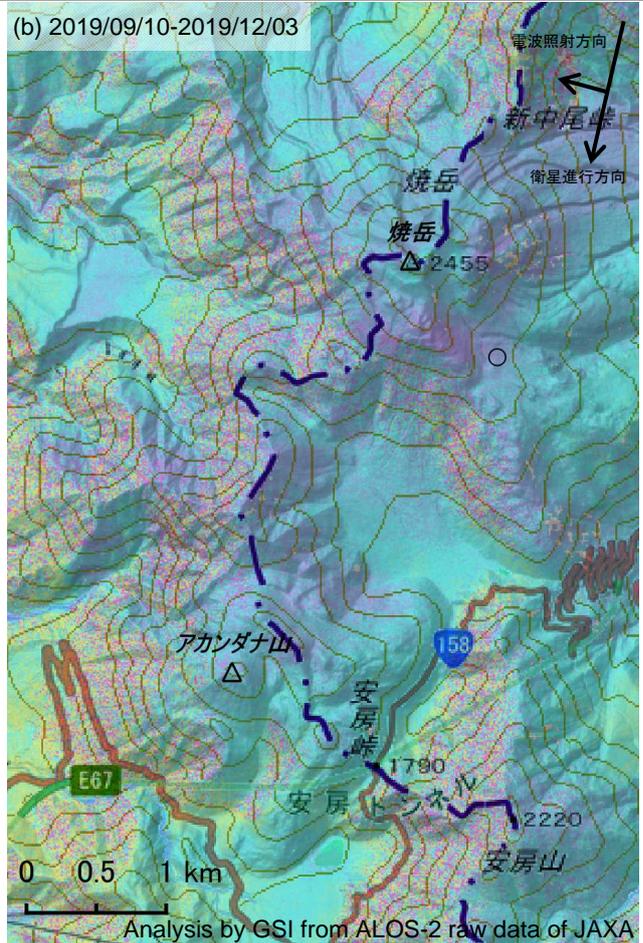
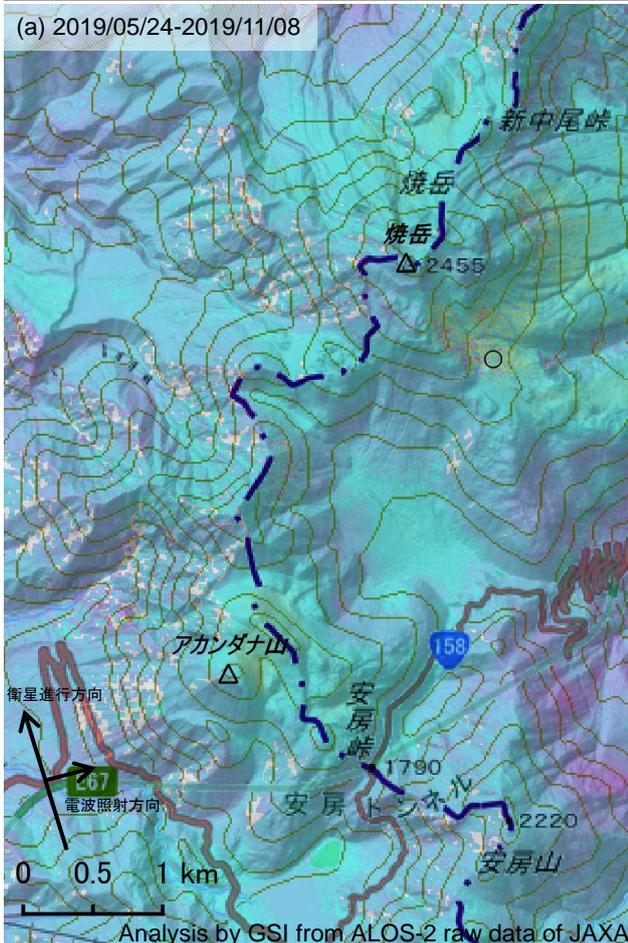
※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

第1図 焼岳周辺のGNSS連続観測基線図(上段)、基線変化グラフ(下段)

焼岳・アカンダナ山

焼岳・アカンダナ山の SAR 干渉解析結果について

判読) 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                | 2019/05/24<br>2019/11/08<br>23:45 頃<br>(168 日間) | 2019/09/10<br>2019/12/03<br>11:50 頃<br>(84 日間) |
| 衛星進行方向              | 北行  | 南行   |
| 電波照射方向              | 右   | 右  |
| 観測モード <sup>*1</sup> | U-U   | U-U  |
| 入射角 <sup>*2</sup>   | 36.7°   | 42.3°  |
| 偏波                  | HH  | HH   |
| 垂直基線長               | +105 m  | -84 m  |

\*1U: 高分解能(3m)モード

\*2 焼岳における入射角

○ 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

第2図 「だいち2号」 PALSAR-2による焼岳周辺地域の解析結果

焼岳・アカンダナ山