

第 146 回 火山噴火予知連絡会資料

(その4)
追加資料

令和2年6月 24 日～30 日

火山噴火予知連絡会資料(その4)

目次

浅間山	3
気象庁	3-10
東大震研	11
地理院	12-13
西之島	14
東大震研	14
産総研	15-16
鶴見岳・伽藍岳	17
気象庁	17-18
桜島	19
気象研	19-24
薩摩硫黄島	25
気象庁	25

浅間山 (2020 年 6 月 25 日現在)

浅間山では、6 月 20 日頃から浅間山の西側での膨張を示すと考えられる傾斜変動が継続し、また、山体浅部を震源とする火山性地震が増加している。25 日に実施した観測では、火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は 1 日あたり 1,000 トンを観測した。

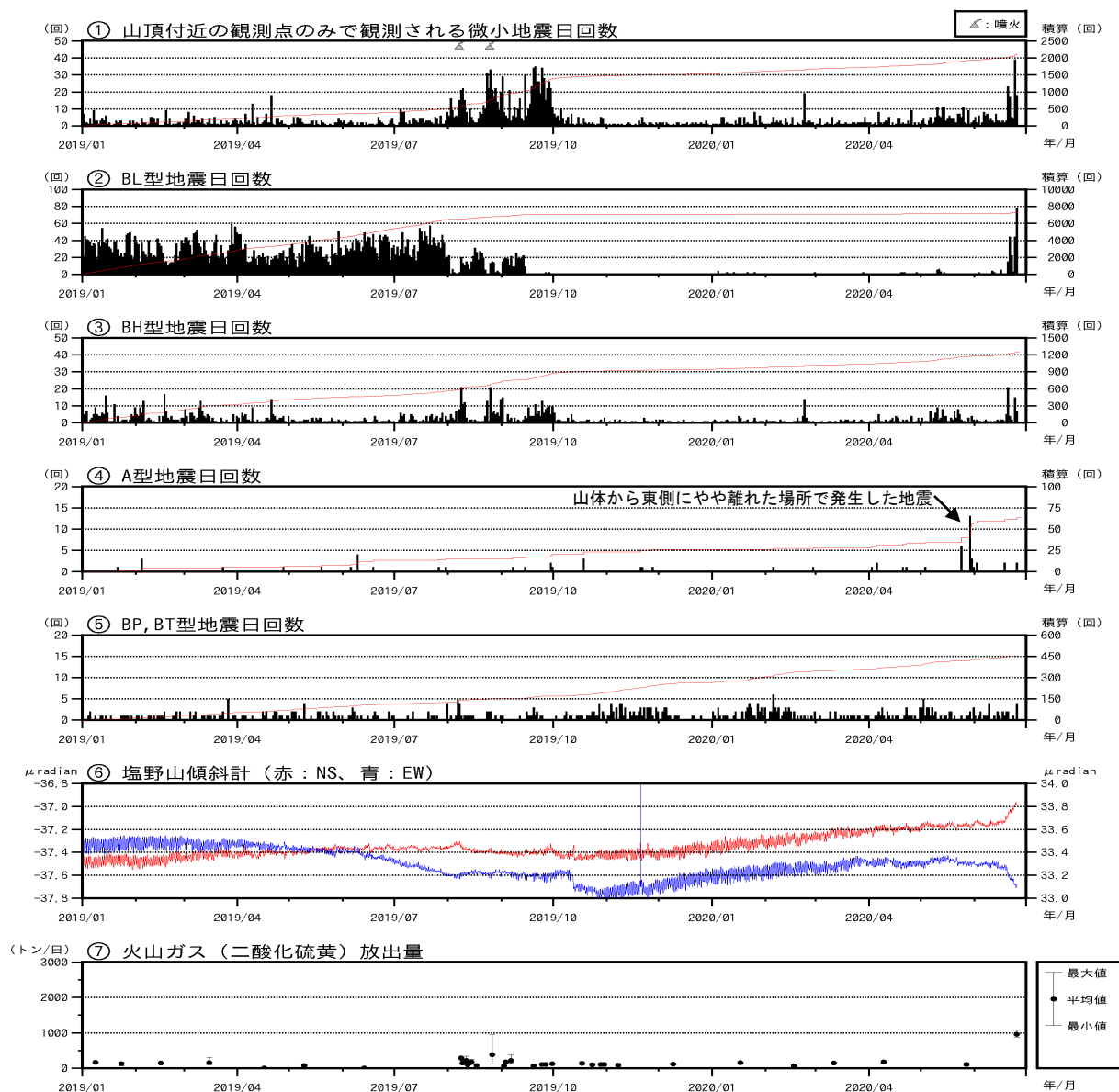


図 1 浅間山 火山性地震の発生状況、傾斜変動及び火山ガス放出量

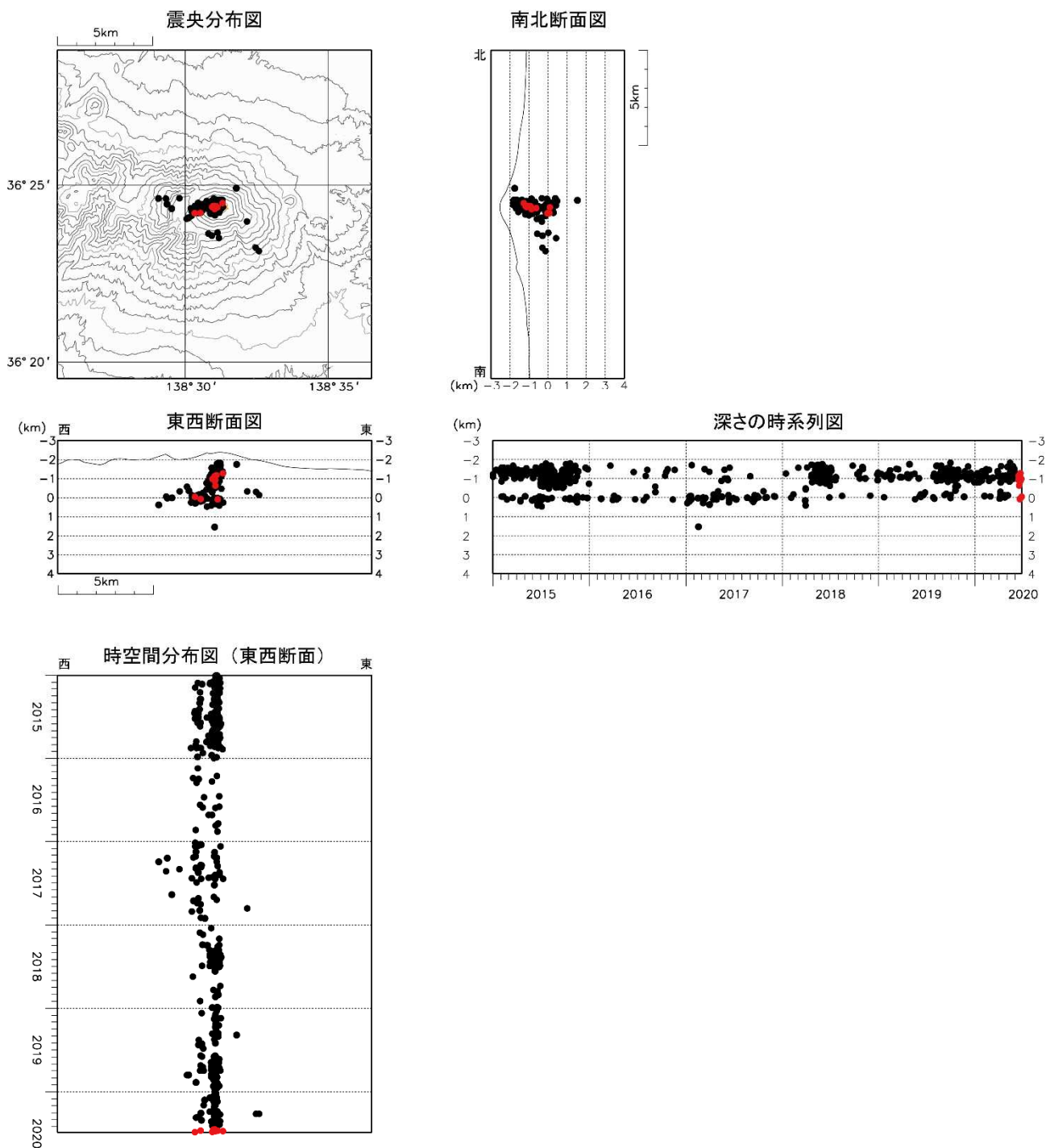
(2019 年 1 月 1 日～2020 年 6 月 25 日)

①に示す微小地震とは、②および③並びに図 4 の⑤～⑧で示す火山性地震よりも振幅が小さく、振幅が計数基準（石尊観測点で最大振幅 $0.1 \mu\text{m}$ 以上、S-P 時間 3 秒以内）未滿かつ前掛西観測点の上下動成分が $0.5 \mu\text{m/s}$ 以上の地震。赤色線は積算回数を表し、右縦軸で示している。

- ・ 20 日以降、山体浅部を震源とする火山性地震が増加した。
- ・ 山頂の南側に設置した傾斜計において、20 日頃から浅間山西側での膨張を示すと考えられる傾斜変動が継続している。
- ・ 25 日に実施した観測では、火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は 1 日あたり 1,000 トンを観測した。

この資料は気象庁のほか、関東地方整備局、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、長野県のデータを利用して作成した。

浅間山



● : 2015 年 1 月 1 日～2020 年 5 月 31 日 ● : 2020 年 6 月 1 日～6 月 25 日 12 時 00 分

図 2 浅間山 火山性地震の震源分布 (2015 年 1 月 1 日～2020 年 6 月 25 日 12 時 00 分)

条件 : 緯度経度計算誤差 0.2 分以内、震源時計算誤差 0.2 秒以内、観測点数 6 点以上。

東京大学地震研究所の観測点も使用

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。

- ・火山性地震の震源は、概ね従来からみられている山頂直下の海拔 1～2 km 付近と山頂のやや西側の海拔 0 km 付近に分布した。

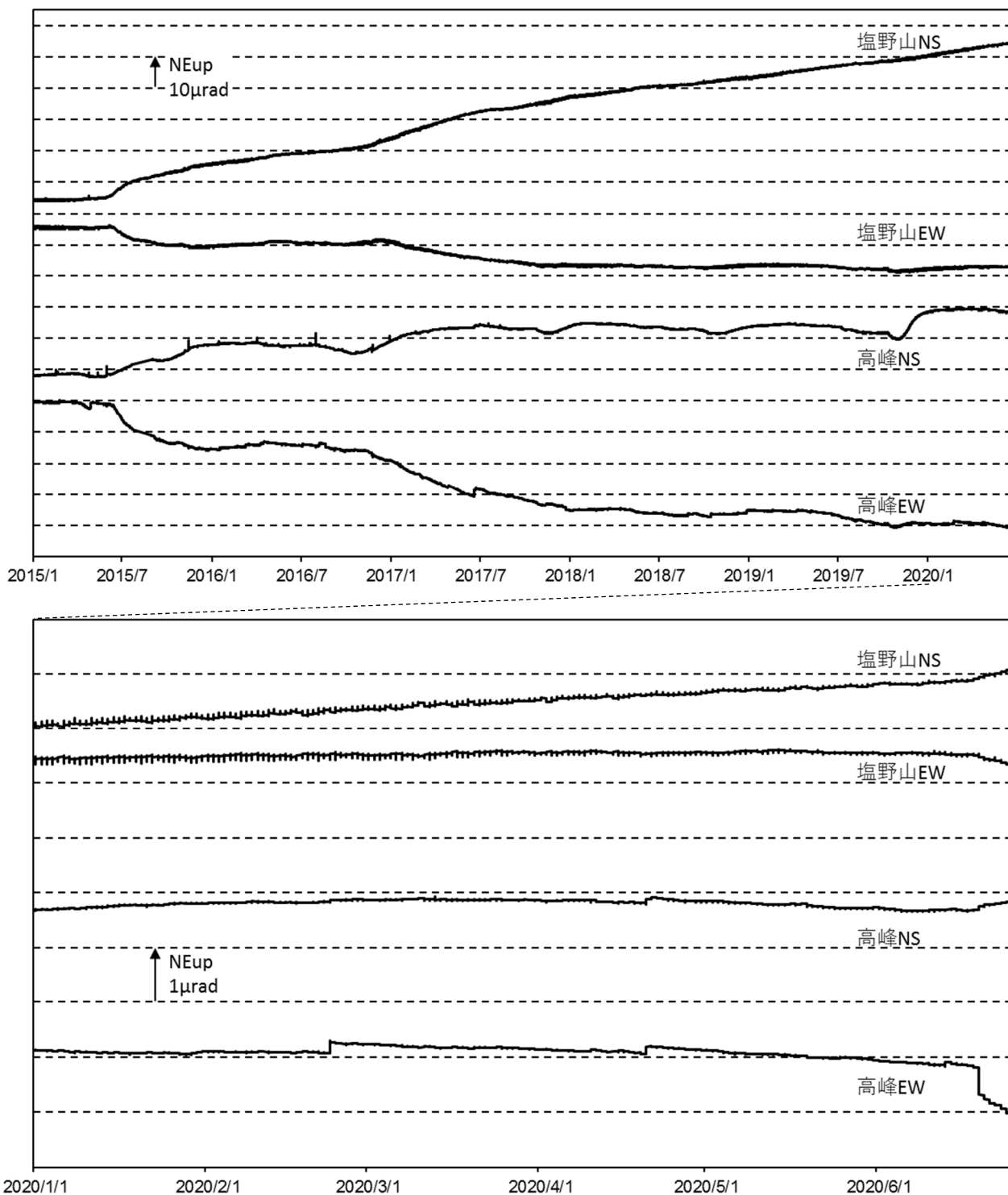


図3 浅間山 傾斜データ (2015 年 1 月 1 日～2020 年 6 月 25 日 12 時 00 分)

データは時間平均値を使用している。データは長期にわたるトレンドを補正している。

下段は上段に比べて縦軸を拡大している。

- ・ 6 月 20 日頃から塩野山観測点で浅間山西側での膨張を示すと考えられる傾斜変動が認められる。この変動は深部からのマグマ上昇を示す地殻変動の可能性もある。また、(防) 高峰 観測点でも同じ頃から傾斜計のデータに変動がみられる。
- ・ 過去には、2015 年 6 月上旬頃からと、2016 年 12 月から 2018 年 1 月にかけて山頂西側のやや深いところが膨張源と考えられる緩やかな変化が見られた。これは深部からのマグマ上昇を示す地殻変動と考えられている。

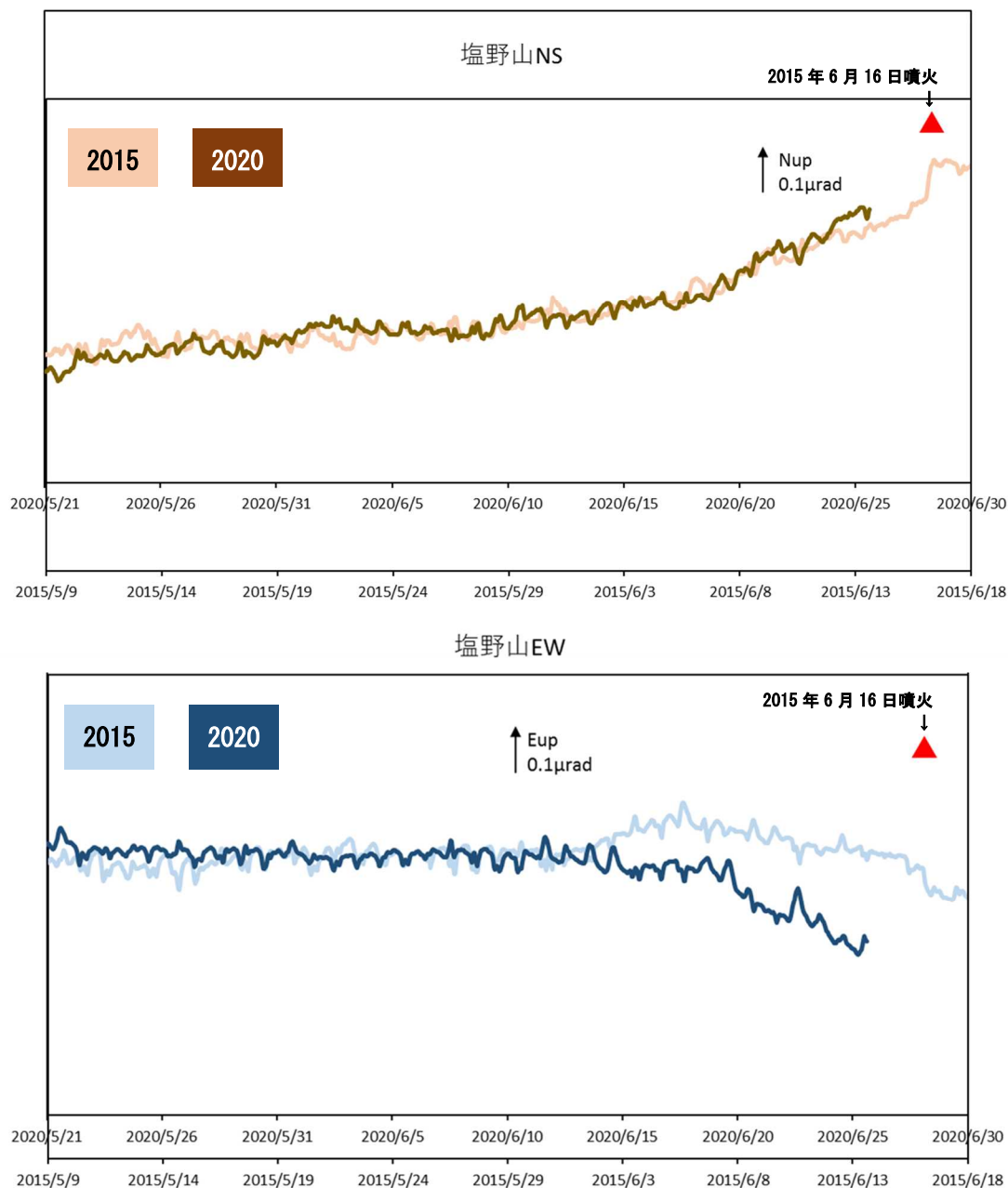


図 4 浅間山 傾斜計の変動レートの過去との比較（塩野山観測点）

塩野山傾斜計の変動レートについて、2015 年 6 月 16 日に発生した小規模な噴火の前の変動レートと比較した。

上図：南北成分（縦軸正方向が北上がり）

桃色：2015 年 5 月 9 日から 6 月 17 日 茶色：2020 年 5 月 21 日から 6 月 25 日 12 時 00 分

下図：東西成分（縦軸正方向が東上がり）

水色：2015 年 5 月 9 日から 6 月 17 日 青色：2020 年 5 月 21 日から 6 月 25 日 12 時 00 分

・ 6 月 20 日頃からみられる傾斜変動は、2015 年 6 月 16 日に発生した小規模な噴火の前の変動レートと同程度で推移している。

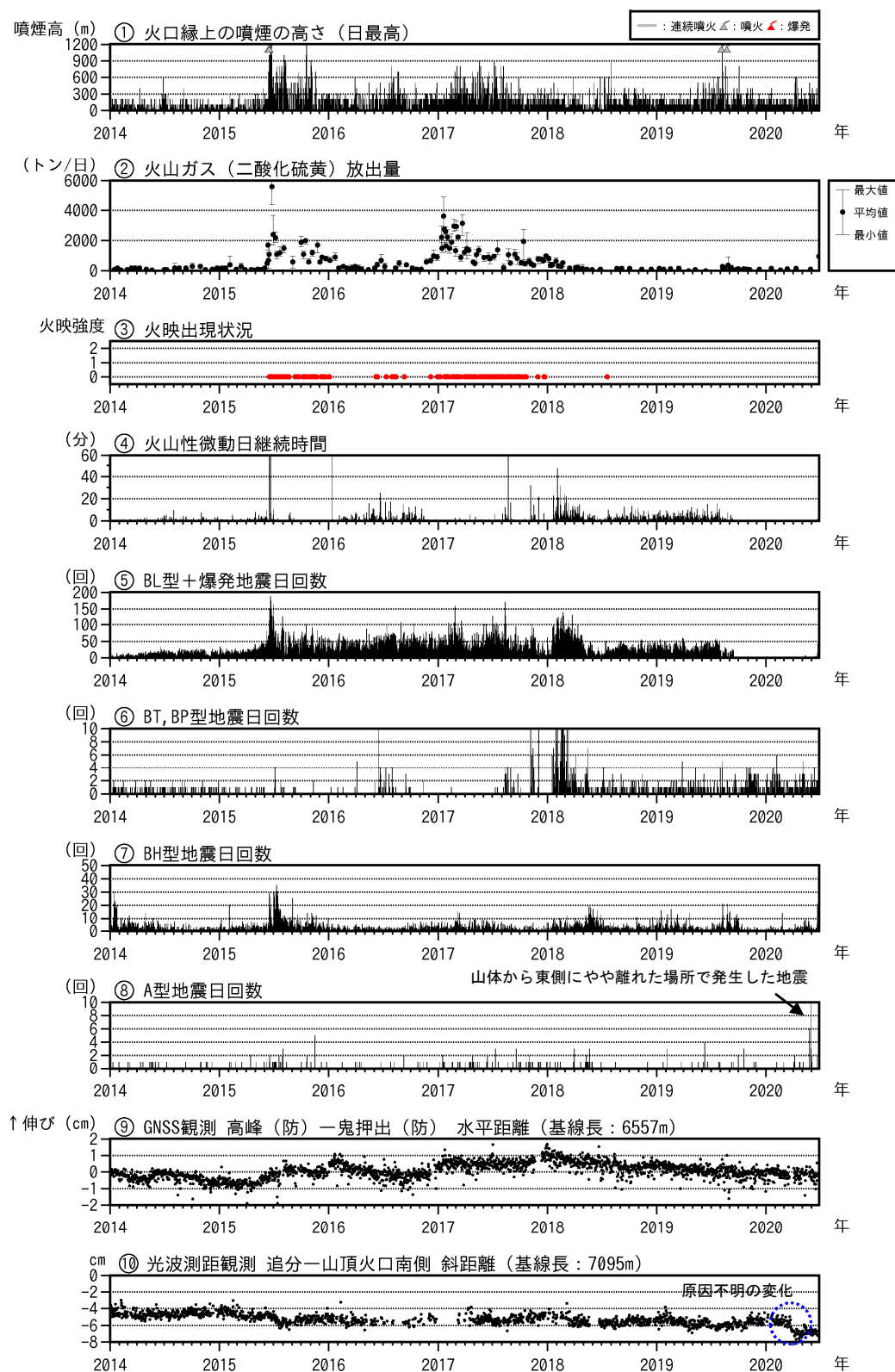


図5 浅間山 火山活動経過図 (2014年1月1日~2020年6月25日)

計数基準は石尊観測点で最大振幅 $0.1\mu\text{m}$ 以上、S-P時間3秒以内。

③ 赤印は火映を示します。強度については、以下のとおり。

0 : 肉眼では確認できず、高感度の監視カメラでのみ確認できる程度 1 : 肉眼でようやく認められる程度
2 : 肉眼で明らかに認められる程度 3 : 肉眼で非常に明るい色で異常に感じる程度

⑨ 2016年1月に、解析方法を変更。(防) : 国立研究開発法人防災科学技術研究所

- ・ 20日頃から山体浅部を震源とする火山性地震が増加している。
- ・ 火山性微動は20日に2回発生したが、それ以降観測されていない。

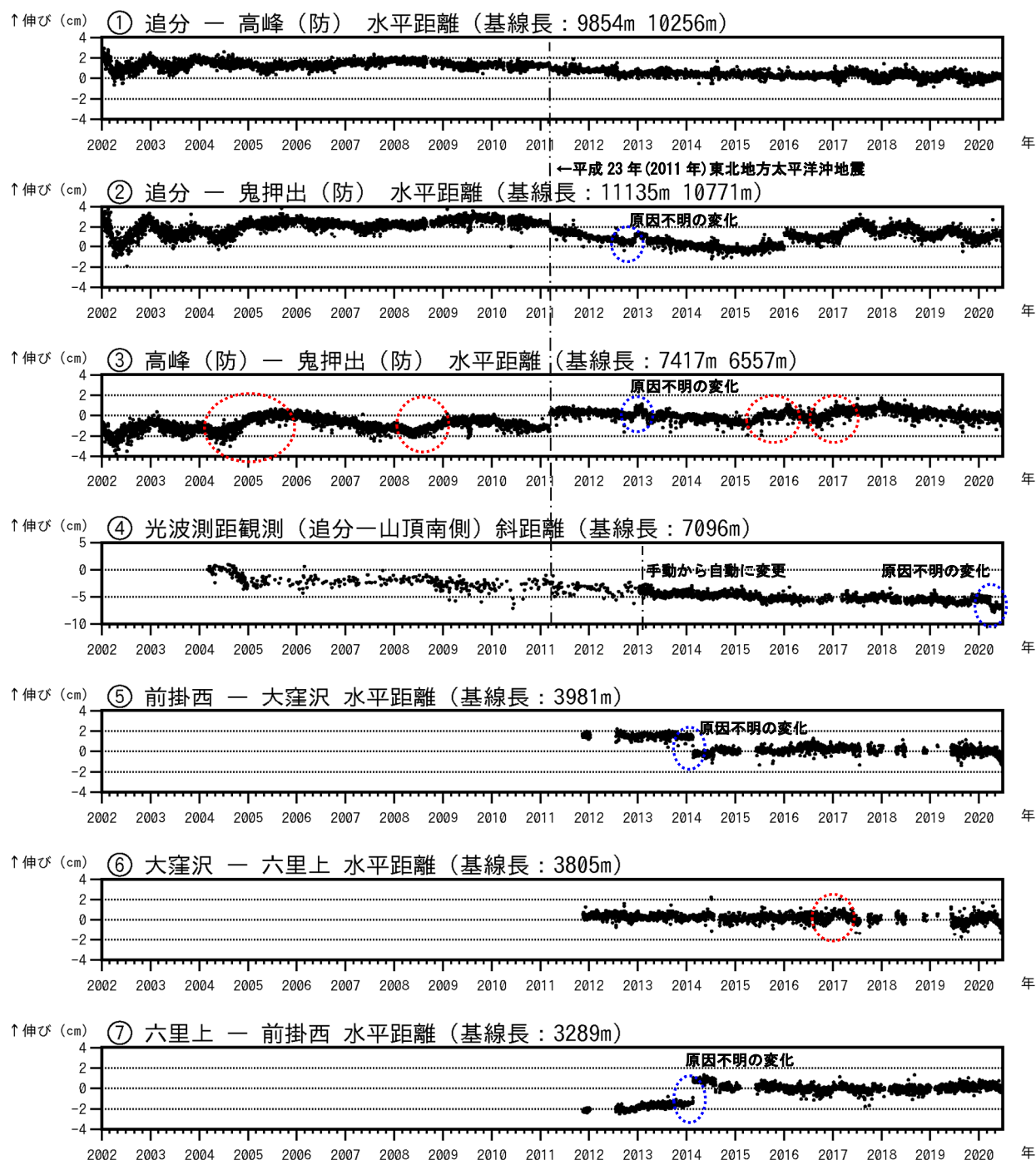


図 6—1 浅間山 GNSS 連続観測及び光波測距観測の結果

(2002 年 1 月 1 日～2020 年 6 月 23 日)

2010 年 10 月及び 2016 年 1 月以降のデータについては、解析方法を変更している。

(防) は国立研究開発法人防災科学技術研究所の観測機器を示す。

①～⑦ それぞれ図 7 の①～⑦に対応している。空白部分は欠測を示す。

①② 追分観測点は、2016 年 12 月に移設しており、その後、基線長に年周変化が見られています。

③ 2002 年 1 月 1 日～2012 年 7 月 31 日 気象庁の高峰—鬼押出観測点間の水平距離。

2012 年 8 月 1 日～ 防災科学技術研究所の高峰—鬼押出観測点間の水平距離。

④ 気象補正処理は高木・他 (2010) による。

- ・③⑥の基線の赤破線の期間に、山頂西側のやや深いところが膨張源と考えられるわずかな伸びの変化が見られた。これは深部からのマグマ上昇を示す地殻変動と考えられている。
- ・GNSS 連続観測及び光波測距観測では深部からのマグマ上昇を示す明瞭な地殻変動は認められない。

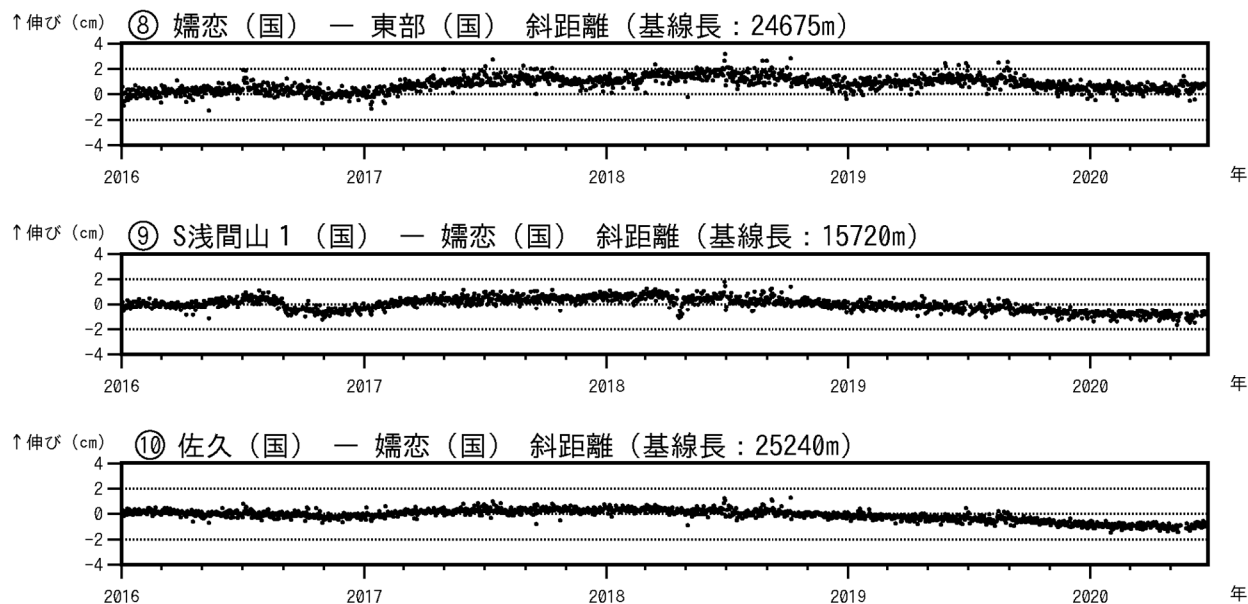


図 6—2 浅間山 GNSS 連続観測結果(2016 年 1 月 1 日～2020 年 6 月 23 日)

(国)：国土地理院

⑧、⑨は図 7 の⑧⑨にそれぞれ対応している。

⑧、⑨の空白部分は欠測を示す。

- ・GNSS 連続観測では深部からのマグマ上昇を示す明瞭な地殻変動は認められない。

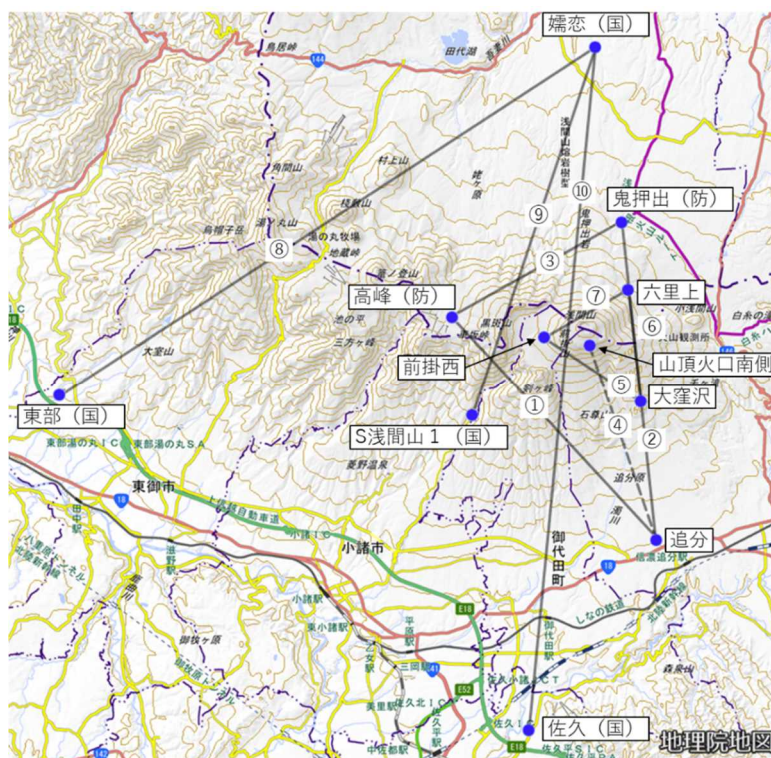


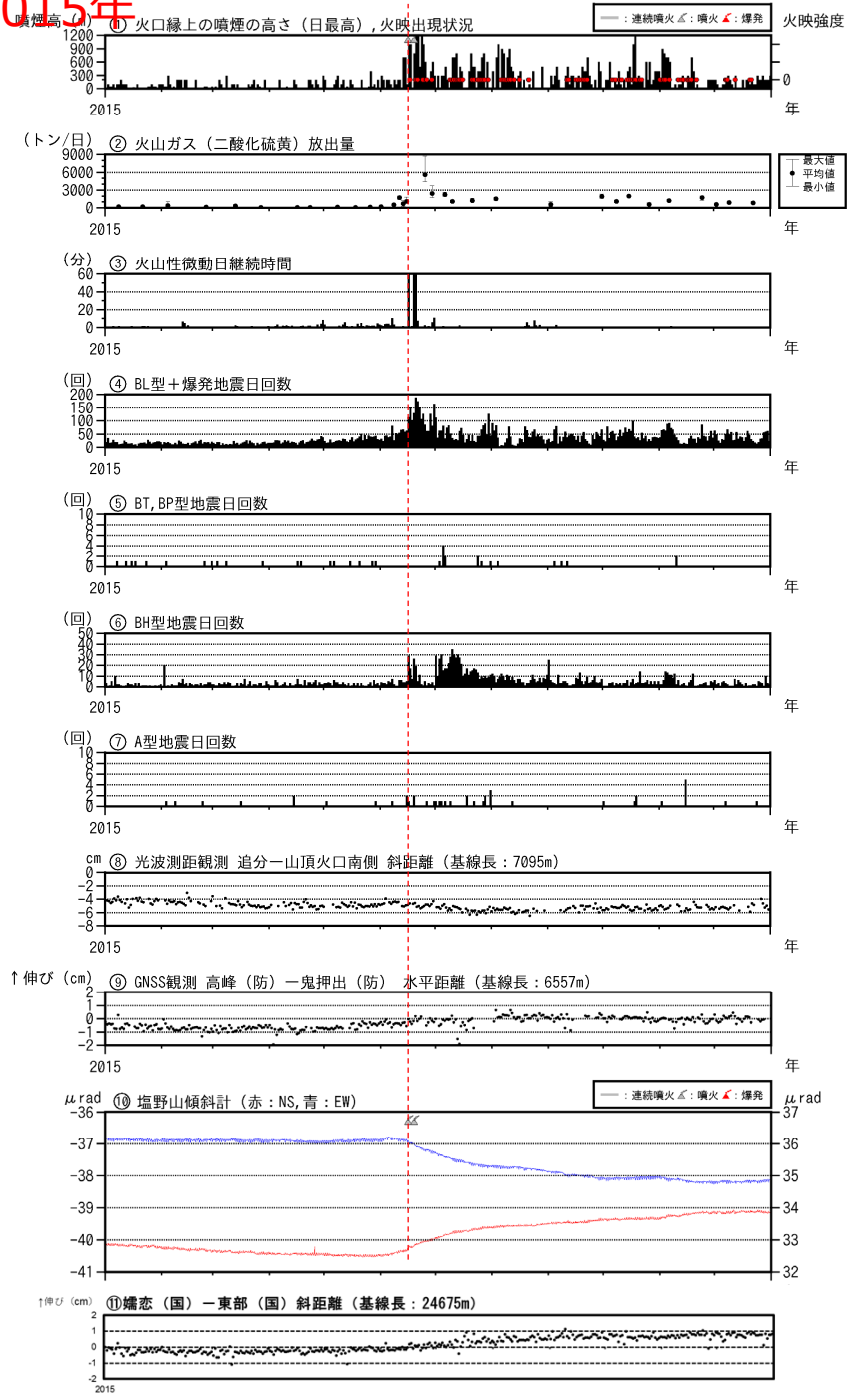
図 7 浅間山 地殻変動連続観測点配置図

(防)：国立研究開発法人防災科学技術研究所、(国)：国土地理院

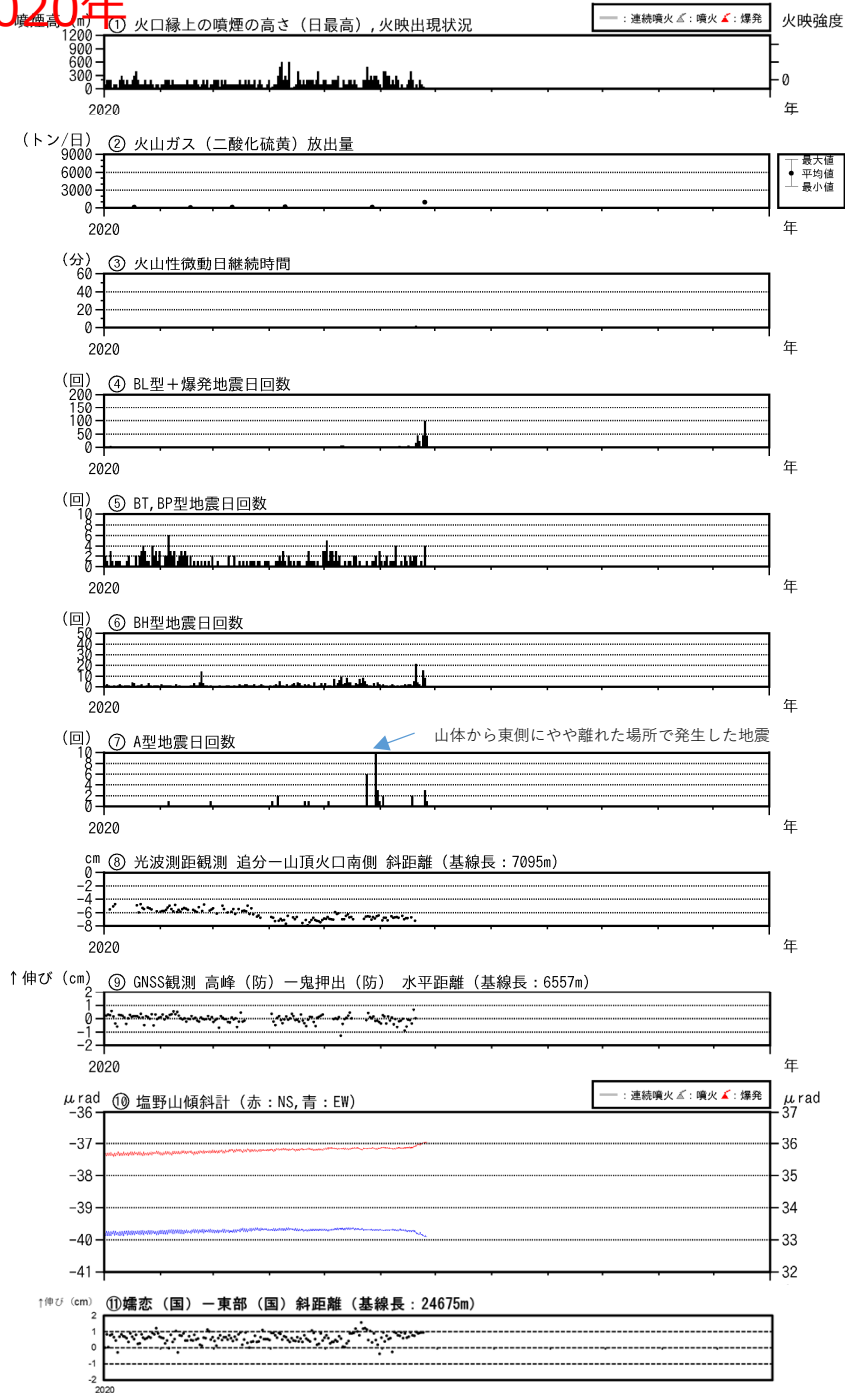
GNSS 基線③は図 5 の⑨に対応している。また、GNSS 基線①～③及び⑤～⑨は図 6 の①～③及び⑤～⑩にそれぞれ対応している。

光波測距測線④は図 5 の⑩、図 6 の④に対応している。

2015年



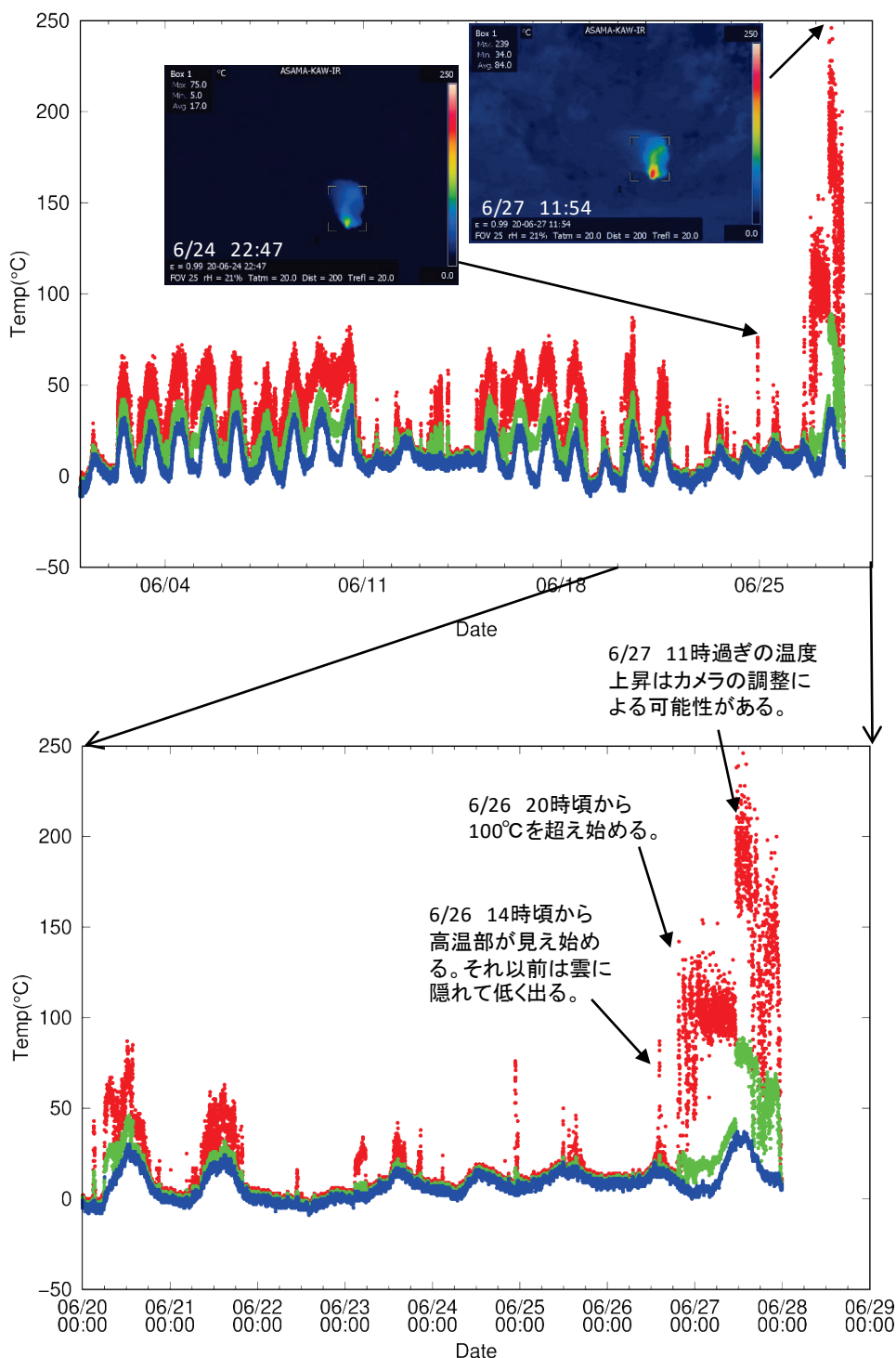
2020年



浅間山火口底の熱赤外画像

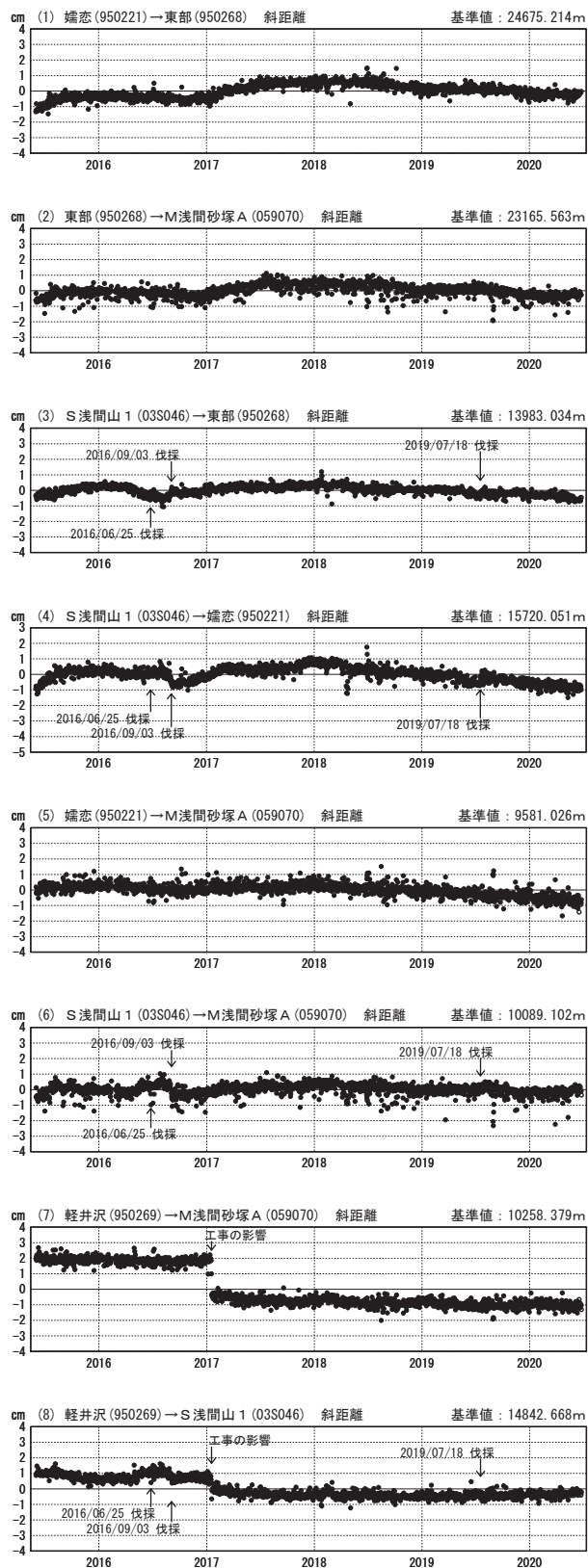
浅間山火口西観測点に設置された赤外カメラの画像による、火口底中央火孔付近の最高温度(赤)、平均温度(緑)、および最低温度(青)。雲による視程不良の際は低い温度を示す。上図は2020年6月1日から6月28日、下図は2020年6月20日から6月28日までの温度変化。6/22-6/26は視程不良の時間帯が多いが6/26 14時頃から高温部が明瞭に見え始める。6/26 20時頃から100℃を超えその状態がしばらく続く。6/27 11時過ぎ以降最高温度と平均温度が不連続的に上昇しているが、この温度上昇はカメラの設定を調整したことによる影響の可能性がある。6/27午後以降はやや温度が下がった。

上図の2つの赤外画像は6/24と6/27それぞれの最高温度が得られた時間帯のもの。6/27は火口全体が高温になっているのではなく高温のガスが細く噴き出しているように見える。



基線変化グラフ（長期）

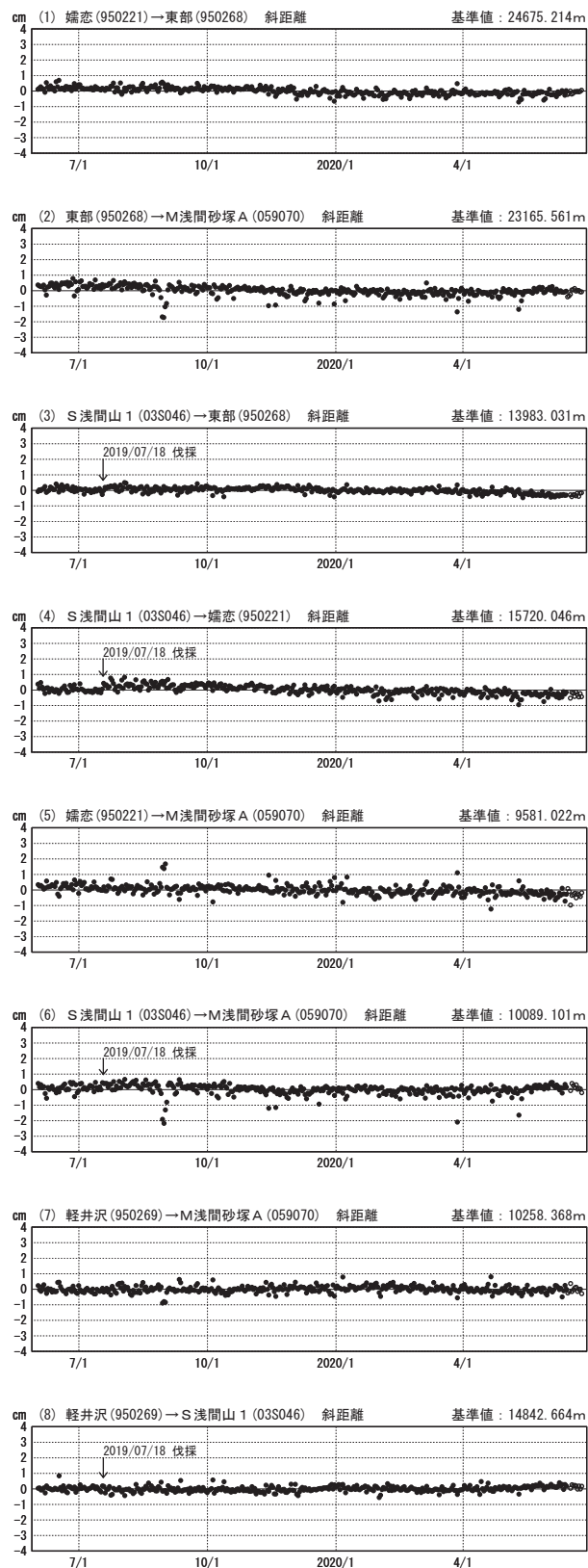
期間：2015/06/01～2020/06/24 JST



●---[F3:最終解] ○---[R3:速報解]

基線変化グラフ（短期）

期間：2019/06/01～2020/06/24 JST



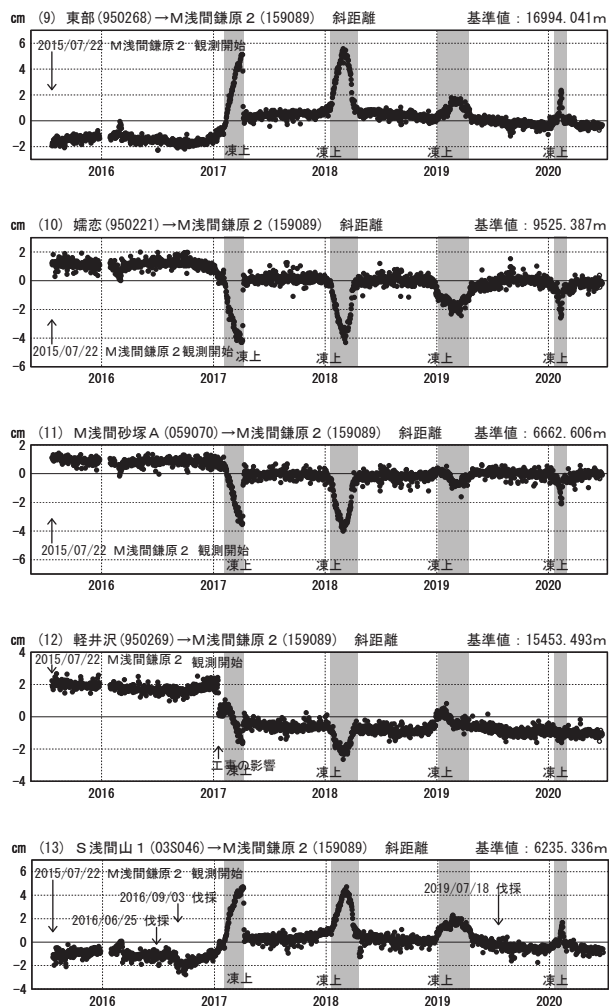
国土地理院

※[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

浅間山

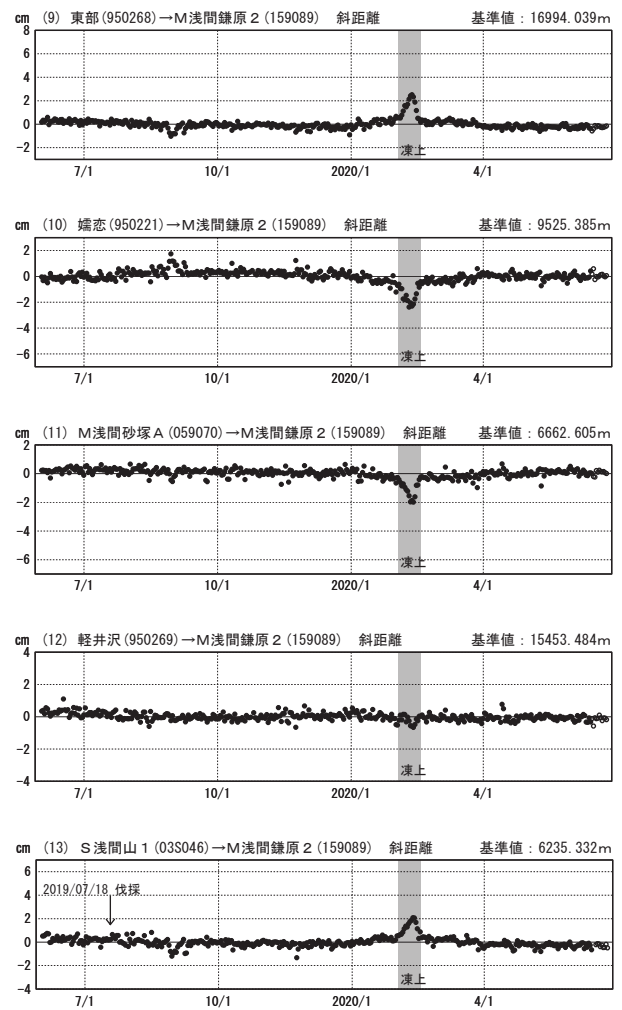
基線変化グラフ（長期）

期間：2015/06/01～2020/06/24 JST



基線変化グラフ（短期）

期間：2019/06/01～2020/06/24 JST



国土地理院

（注）「M浅間鎌原2」について

- ・2017年2月4日頃から見られる急激な変動は、凍上（土壌の凍結による地面の隆起）による装置の傾斜が原因です。
- ・2018年1月22日頃から見られる急激な変動は、凍上（土壌の凍結による地面の隆起）による装置の傾斜が原因です。
- ・2019年1月1日頃から見られる急激な変動は、凍上（土壌の凍結による地面の隆起）による装置の傾斜が原因です。
- ・2020年2月1日頃から見られる急激な変動は、凍上（土壌の凍結による地面の隆起）による装置の傾斜が原因です。

※[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

浅間山

ひまわり8号による西之島2019-20年噴火の観測 (10)

2019年12月5日から始まった溶岩の噴出活動は、熱異常がほぼ一定で高い状態が2ヶ月に渡って続いた(S2)後、2020年2月以降低下傾向を示す(S3)ようになった(図1)。3月~4月中旬にかけて熱異常がやや低い状態が続いた(S4)が、4月中旬より増加傾向を示すようになり(S5)、6月11日以降急激に上昇しこれまでいない高レベルとなっている。低粘性溶岩の噴出的噴火において、夜間ひまわり1.6- μ mバンドの熱異常(輝度値)と噴出率の間には正の相関関係が認められ(図2)、熱異常の時間変化は基本的には噴出率の変化を示していると考えられる。

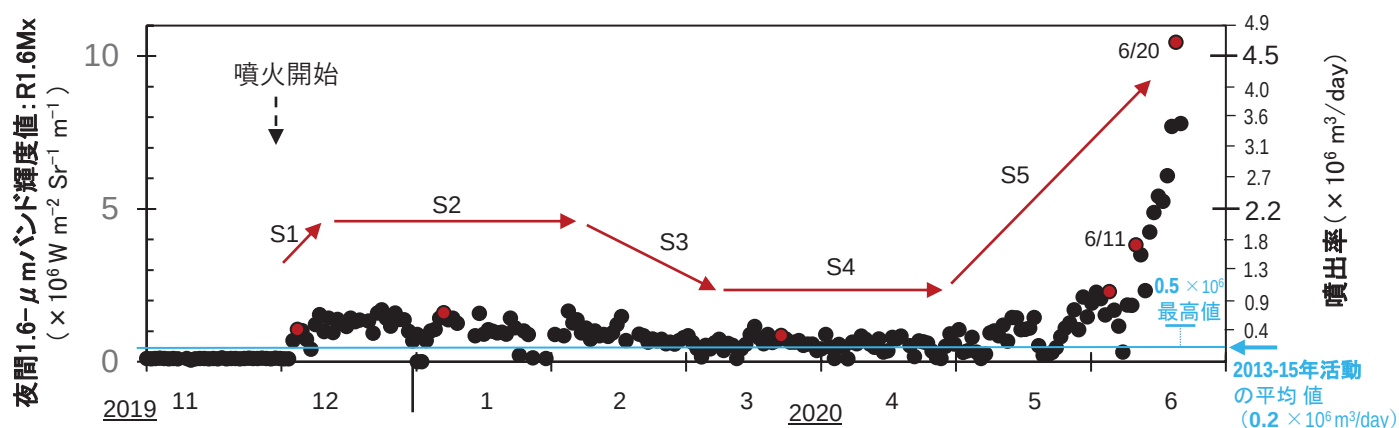


図1. 夜間ひまわり8号1.6- μ m赤外画像による熱異常(R1.6Mx)の時間変化(2019年11月1日~2020年6月14日 UTC)。放射率は0.95、大気透過率は0.9とし、太陽眩光補正はKaneko et al.(2018)に従った。

ラウン2015年噴火と西之島2017年噴火のデータから、溶岩噴出率(Effusion rate: $\times 10^6$ m³/day)の夜間1.6- μ mバンド輝度値(R1.6 Mx: $\times 10^6$ W m⁻² Sr⁻¹ m⁻¹)による回帰式を求めると、

$$\text{Effusion rate} = 0.45 * \text{R1.6 Mx} - 0.03 \quad (1)$$

となる(図2)。

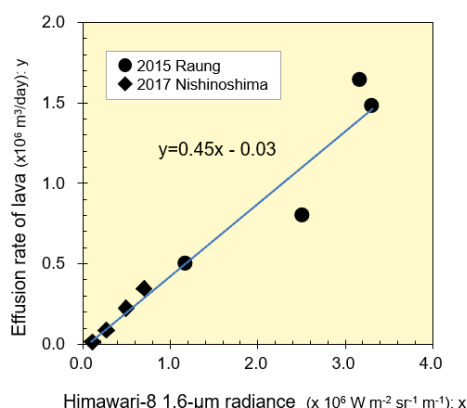


図2. 夜間ひまわり8号1.6- μ mバンド輝度値と溶岩噴出率の関係(暫定版)

(1) 式から噴出率は以下のように推定される(図1の赤丸の日時)。

ステージ	年月日	噴出率 ($\times 10^6$ m ³ /day)	輝度値 ($\times 10^6$ W m ⁻² Sr ⁻¹ m ⁻¹)
S1	2019年12月5日	0.45	1.06
S2	2020年1月7日	0.69	1.60
S4	3月23日	0.36	0.86
S5	6月5日	1.00	2.29
S5	6月11日	1.69	3.82
S5	6月20日	4.65 (外挿値)	10.4

2019-20年活動は、一連の西之島の活動の中で、きわめて噴出率が高いという特徴をもつ。とりわけ6月20日は、2013-15年活動平均値(0.2 $\times 10^6$ m³/day, 図1 青線)の約20倍高い噴出率となっている可能性がある。

一方、日変化を見ると、熱異常のレベルはほぼ一定であることから、日スケールでは、6月20日も含め、ほぼ一定のレベルの連続的な溶岩噴出が続いていることが推定される。

(2020年6月23日)

西之島

TROPOMI による西之島の二酸化硫黄放出率観測

欧州宇宙機関（ESA）の人工衛星 Sentinel-5 Precursor に搭載のセンサー TROPOMI（Tropospheric Monitoring Instrument）によって 2020 年 6 月に観測された二酸化硫黄（以下、SO₂）の Level-2 プロダクトを用いて、西之島からの SO₂ 放出率の解析を行った。解析対象は、6 月 1～22 日のうち、雲などによる影響の少ない 10 日分とした。その結果（表 1）、6 月上旬には平均で 1000 ton/day ほどだった値が、6 月中旬に入り急増し、平均で 6500 ton/day となった。そのうち、6 月 19 日には 13,000 ton/day と、三宅島 2000 年噴火や霧島新燃岳 2018 年噴火の溶岩噴出期に匹敵するような非常に大きな値が観測されている。この 6 月 19 日の SO₂ 鉛直カラム量の空間分布からは（図 1A）、西之島から北北東に 1000 km 程度の距離まで噴煙が確認できる。この空間分布を西之島近傍で拡大すると（図 1B）、気象衛星ひまわり 8 号の可視画像および火山灰検出用合成画像（図 1C, D）に見られる火山灰雲と位置、形状ともに大まかに一致している。なお、SO₂ 放出率の算出には、噴煙高度や風速等の仮定が含まれており（詳細は本稿末尾に記載）、今後誤差を含め精査する必要がある。

表 1 西之島の 2020 年 6 月の SO₂ 放出率（暫定値）

日付	風速 (m/s)	SO ₂ 放出率 (ton/day)
2020/6/4	10	330
2020/6/5	9	950
2020/6/7	11	1100
2020/6/8	8	1400
2020/6/12	8	8800
2020/6/13	5	3200
2020/6/14	5	4000
2020/6/15	10	4900
2020/6/16	10	4800
2020/6/19	14	13000
平均 (6/4～6/8)		950
平均 (6/12～19)		6500
平均 (全体)		4200

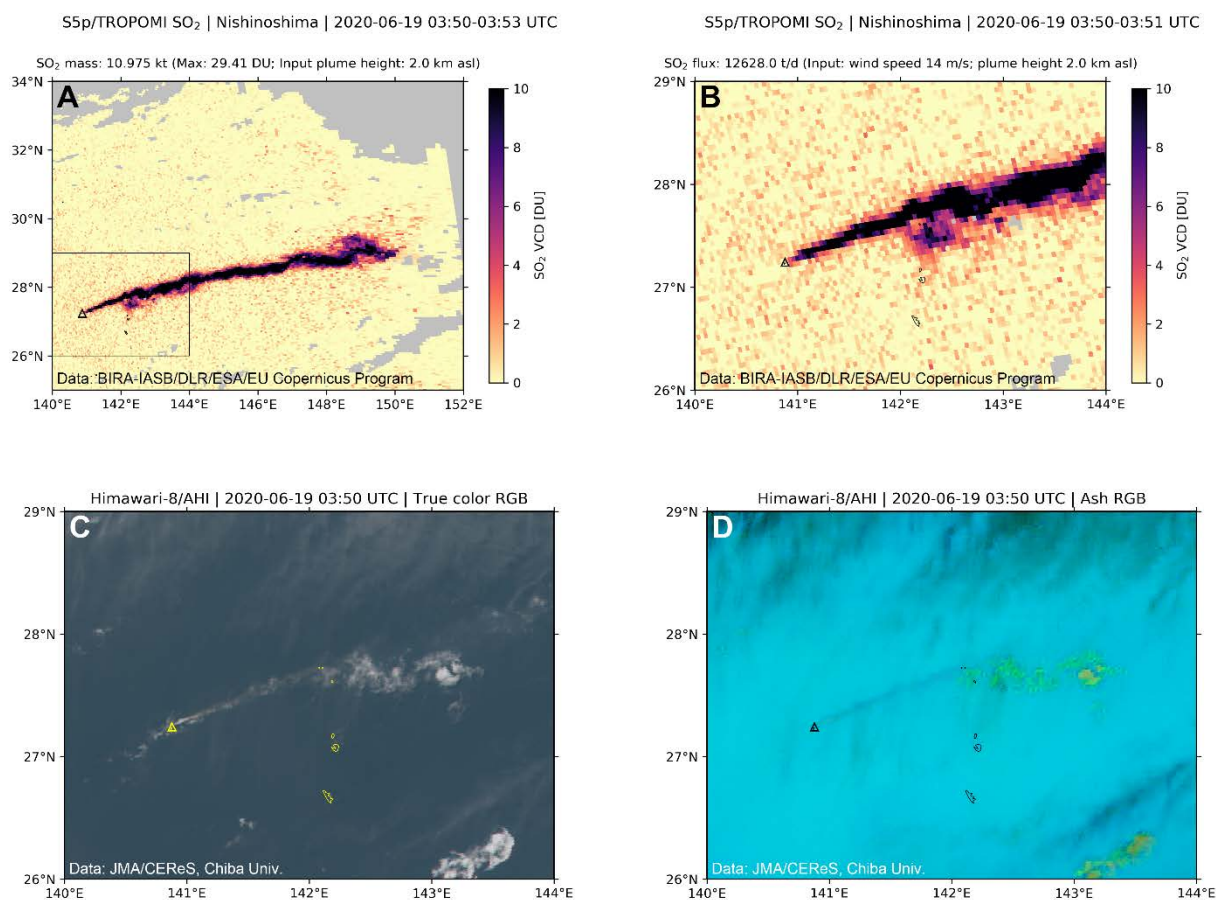


図 1 2020 年 6 月 19 日の (A) TROPOMI による SO₂ 鉛直カラム量の空間分布と、(B) その西之島周辺での拡大図、(C) ひまわり 8 号の可視画像および (D) 火山灰検出用合成画像。図中の三角が西之島の位置を示す。図 1A の四角は、図 1B, C, D の範囲を示す。

方法 解析には、Theys *et al.* (2019, *Sci. Rep.*) に従い、Level-2 プロダクトの各ピクセルのうち、雲の割合 0.5 以下、太陽天頂角 70 度以下、swath の両端 20 ピクセル以外の条件に該当し、かつ鉛直カラム量が 1 ドブソン単位 ($2.858 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2$) 以上のピクセルのみ抽出して使用した。また、噴煙高度が海拔 2 km であると仮定した。そして、観測時の風速に基づき、噴煙の移動距離が 6 時間以内の距離に該当するピクセルの鉛直カラム量と各ピクセルの面積から、観測 6 時間前から放出された SO₂ の総量を求め、時間幅 (6 時間) で割ることで放出率に換算した。ただし、大気中での SO₂ の消失は無視している。

風速は、TROPOMI の観測時刻までの 1 時間における、ひまわり 8 号の可視画像に見られる噴煙の特徴点の移動距離から算出した。また、気象庁による父島でのゾンデ観測で得られた風速と比較し、おおむね一致することを確認した。

謝辞 TROPOMI データは EU Copernicus Program により Copernicus Open Access Hub で公開されている Level-2 オフラインデータを使用した。ひまわり 8 号データは、風速の算出には宇宙航空研究開発機構 (JAXA) ひまわり モニタを、図示には千葉大学環境リモートセンシング研究センターの精密幾何補正済データ (Yamamoto *et al.*, 2020, *Remote Sens.*) を利用した。

鶴見岳・伽藍岳 (2020 年 6 月 29 日現在)

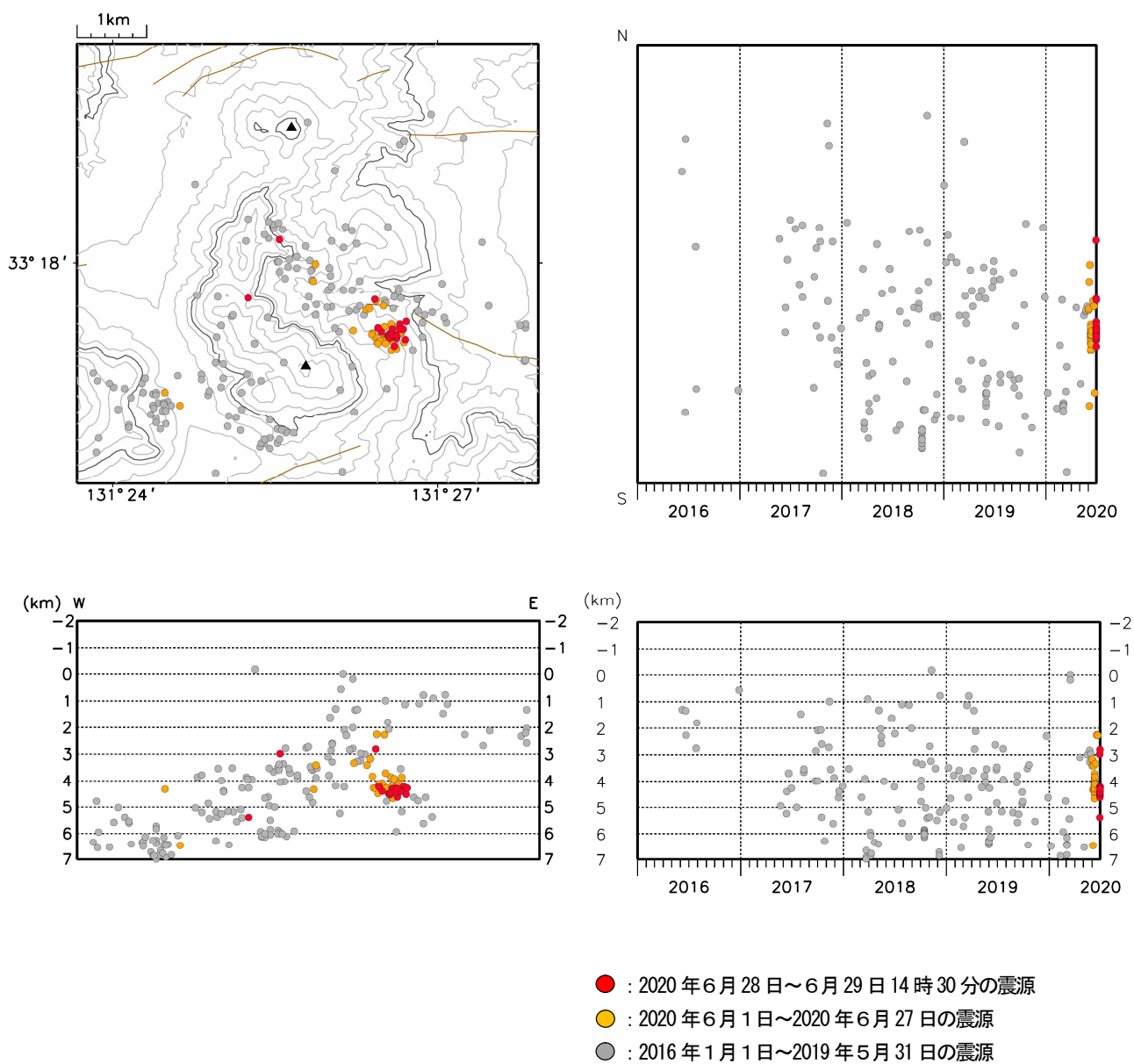


図 1 鶴見岳・伽藍岳周辺 震源分布図 (鶴見岳・伽藍岳付近の地震)

2016 年 1 月～2020 年 6 月 29 日 14 時 30 分)

鶴見岳山頂の東 1 km 付近の深さ約 4 km を震源とする地震が 6 月 28 日から一時的に増加している。6 月 9 日から 10 日にも同様の場所で地震の一時的な増加がみられた。

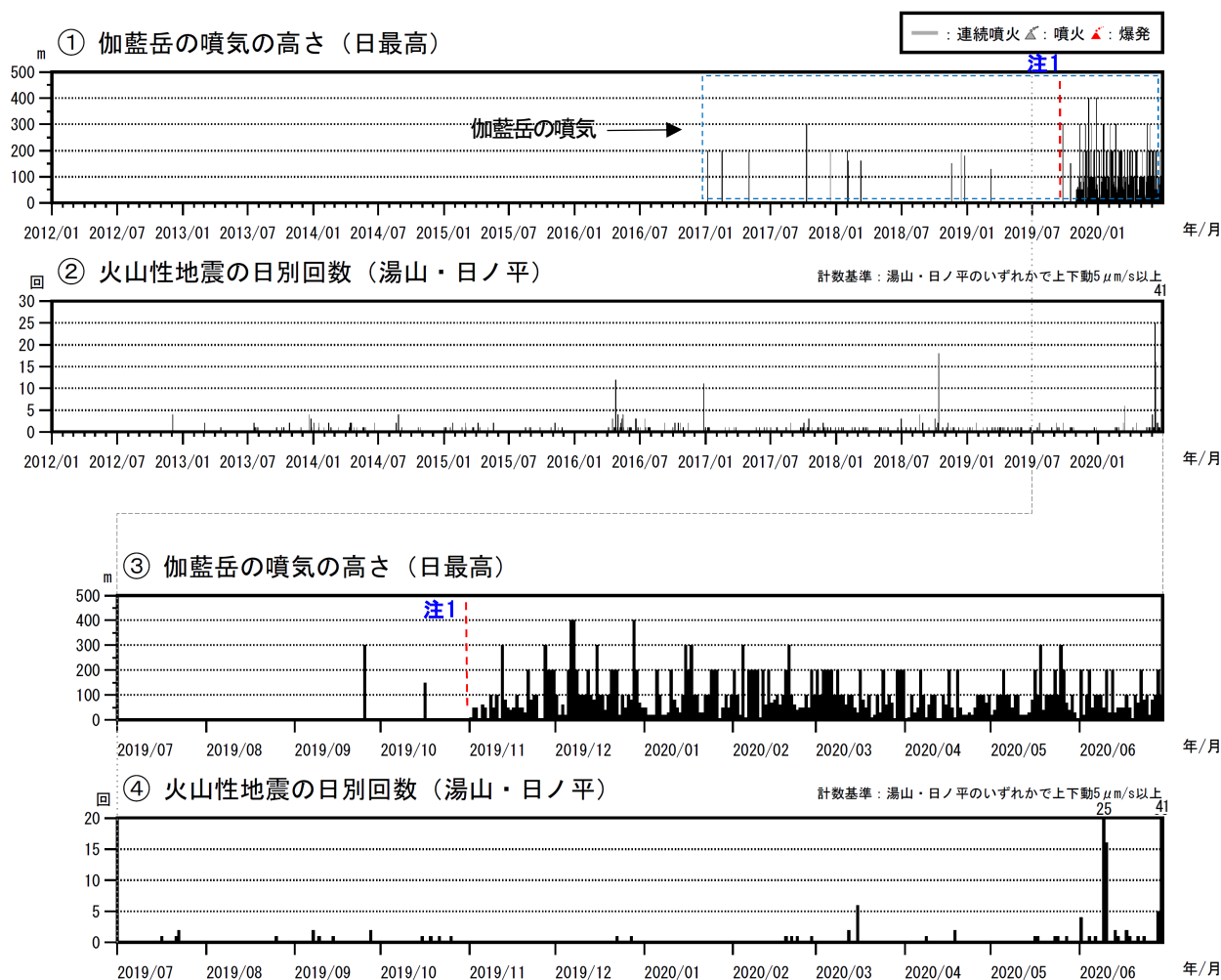


図2 鶴見岳・伽藍岳 火山活動経過図（2012年1月～2020年6月29日14時30分）

- ・ 鶴見岳では、期間を通して噴気は認められなかった。
- ・ 鶴見岳山頂の東1km 付近の深さ約4km を震源とする地震が6月28日から一時的に増加している。

注1：

伽藍岳では、2019年11月から塚原無田監視カメラによる噴気の観測を開始した。10月までは、伽藍岳の噴気の高さは、稜線上からの高さを表していたが、11月以降は噴気地帯からの高さに換算している。（10月までの値に、稜線までの標高差100mを追加）。また、塚原無田監視カメラ設置に伴い11月以降、（稜線よりも低い）高さ100m未満の噴気も観測している。

気象レーダーで観測した 2020 年 6 月 4 日桜島噴火 に伴う噴煙・火山灰雲エコーについて

- ・ 気象庁一般気象レーダー（種子島・福岡・広島・名瀬・室戸岬）によって、2020 年 6 月 4 日 2 時 59 分の桜島噴火（監視カメラによる噴煙高度：火口上 1,500m 以上）に伴う噴煙・火山灰雲エコーが捉えられた。
- ・ 本事例の噴煙高度は、最高で海拔約 8,910~10,630m（火口上約 7,850~9,570m）と推定された（Sato *et al.*(2018)の方法に基づく、 $\pm 1\sigma$ の範囲）。

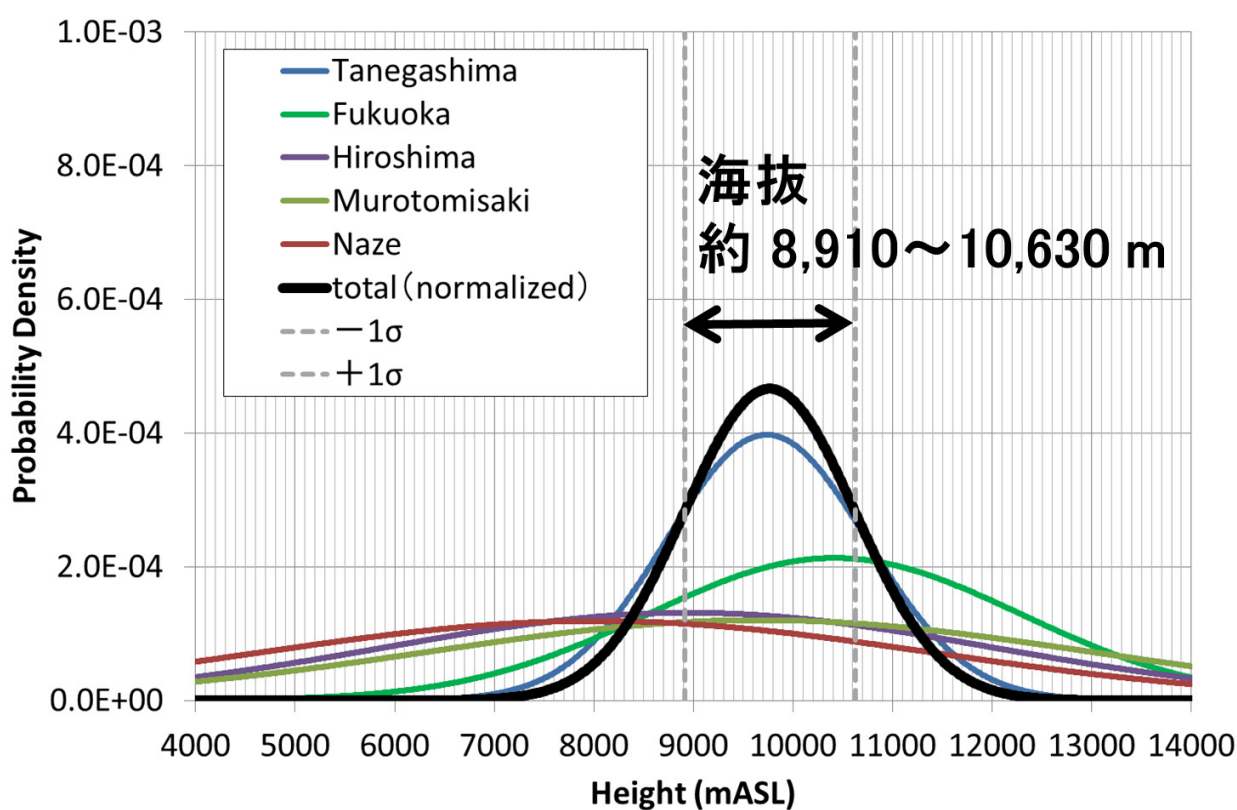


図 1：気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定結果

2020 年 6 月 4 日 3 時 00 分～20 分（JST）のデータを用いた。灰色の点線は $\pm 1\sigma$ を表す。

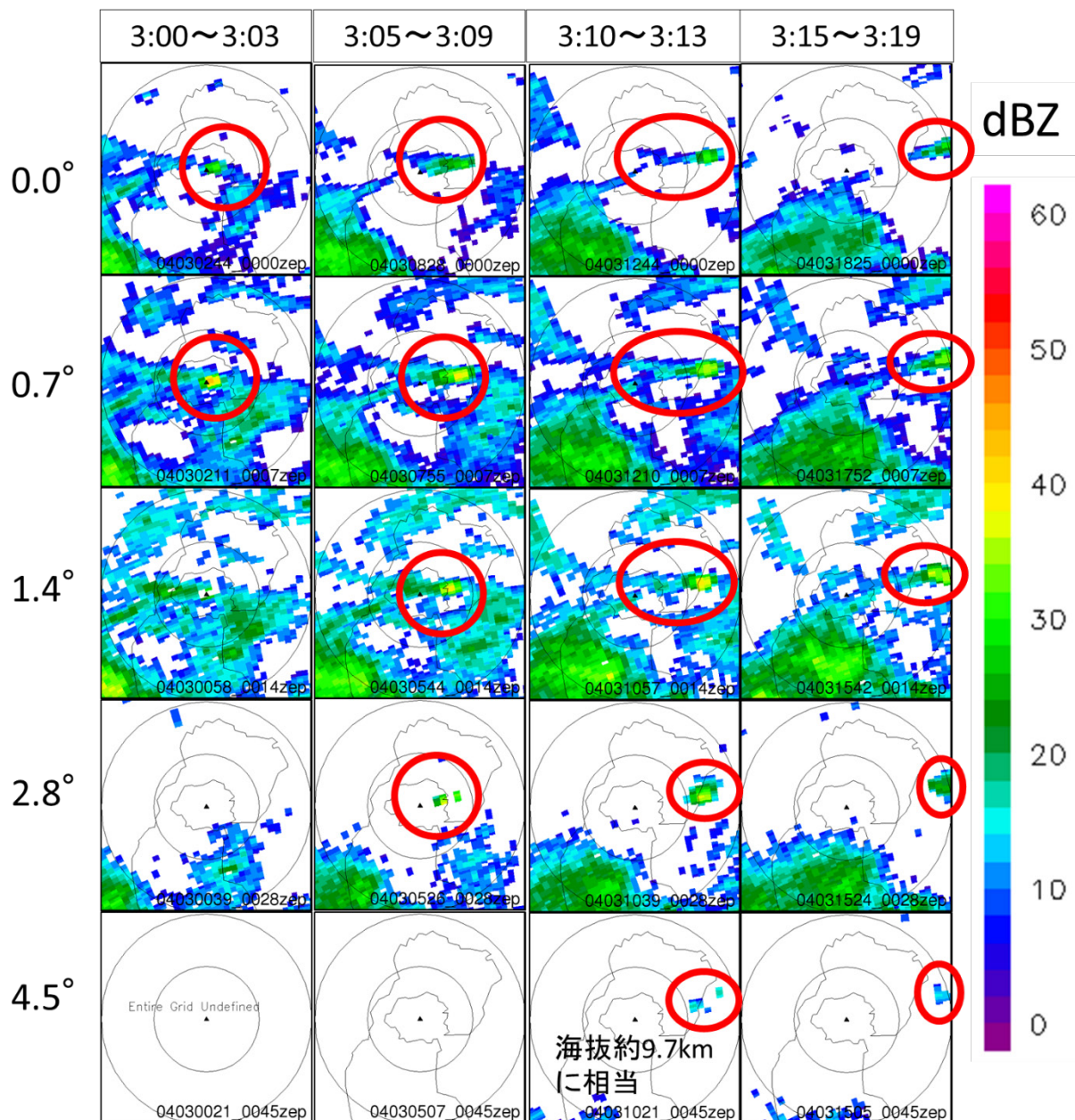


図 2 : 2020 年 6 月 4 日 3 時 00 分～19 分 (JST) の種子島レーダーによる反射強度
噴煙・火山灰雲と考えられるエコーを赤丸で囲った。同心円 (黒線) は火口 (▲) から約 10km,
20km を示す。図は、左側から右側に向かって時間が進むように描画している。

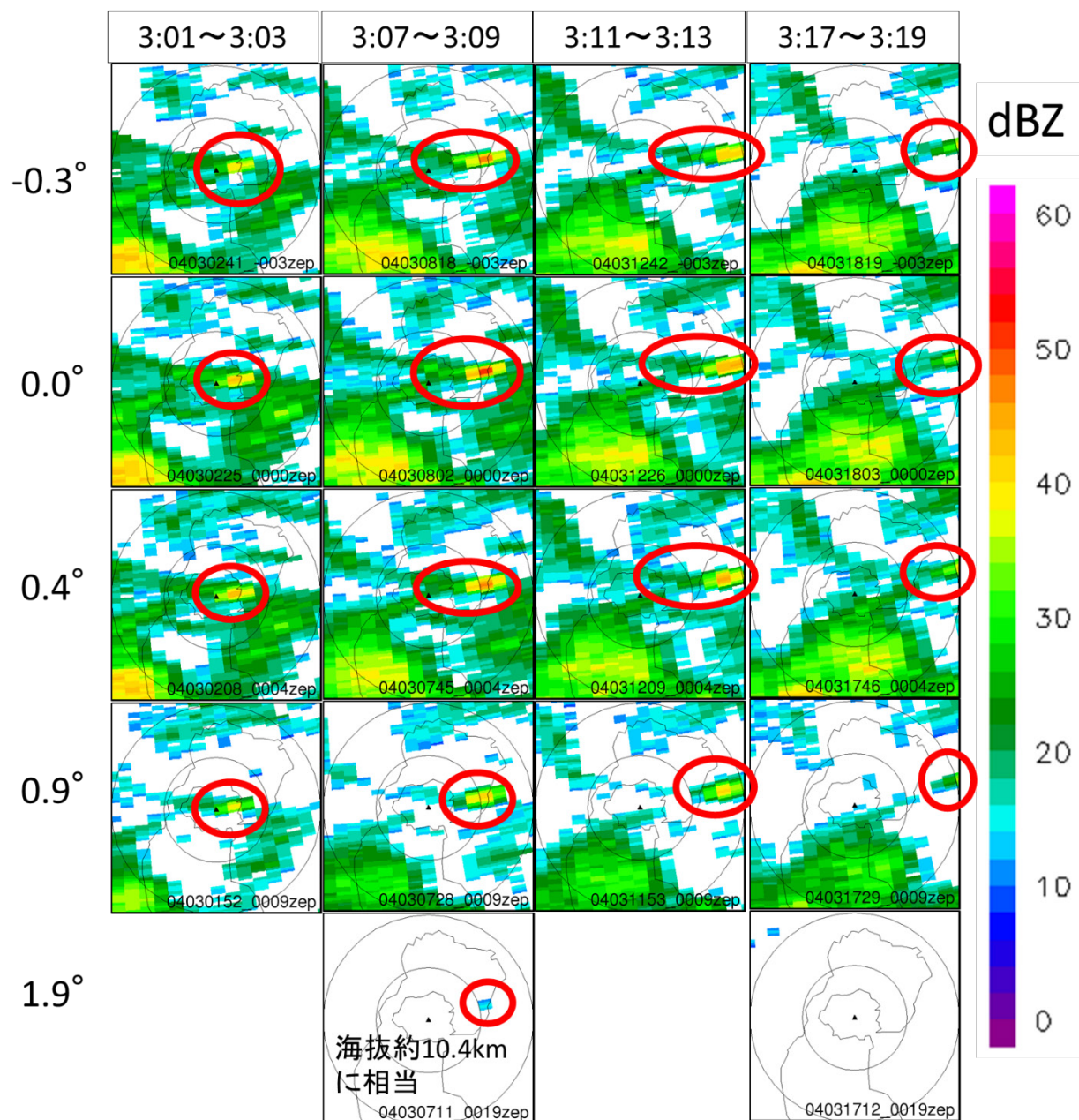


図 3 : 2020 年 6 月 4 日 3 時 01 分～19 分 (JST) の福岡レーダーによる反射強度
噴煙・火山灰雲と考えられるエコーを赤丸で囲った。同心円 (黒線) は火口 (▲) から約 10km,
20km を示す。図は、左側から右側に向かって時間が進むように描画している。

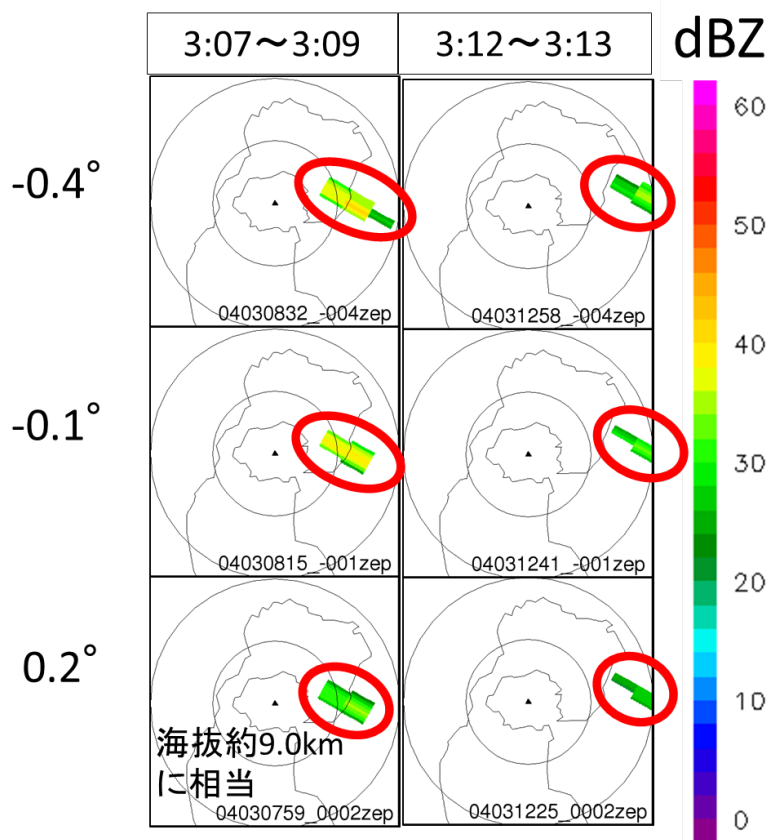


図 4 : 2020 年 6 月 4 日 3 時 07 分～13 分 (JST) の広島レーダーによる反射強度
噴煙・火山灰雲と考えられるエコーを赤丸で囲った。同心円 (黒線) は火口 (▲) から約 10km,
20km を示す。図は、左側から右側に向かって時間が進むように描画している。

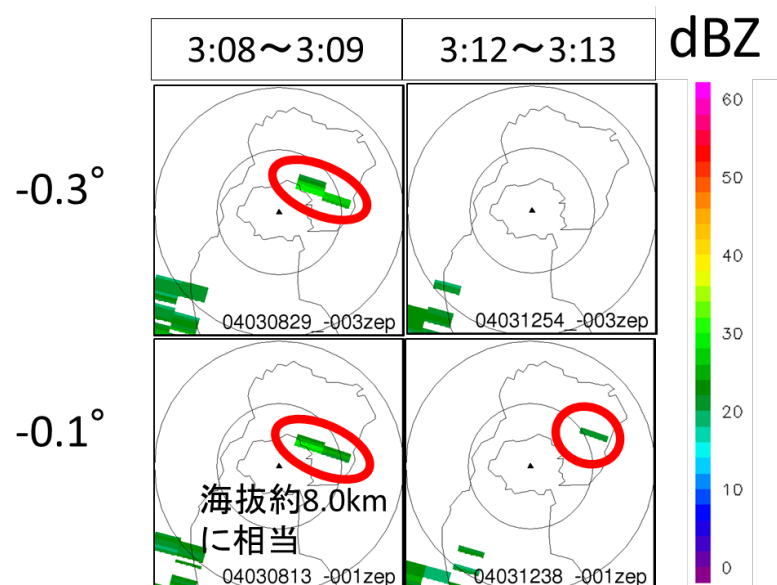


図 5 : 2020 年 6 月 4 日 3 時 08 分～13 分 (JST) の名瀬レーダーによる反射強度
噴煙・火山灰雲と考えられるエコーを赤丸で囲った。同心円 (黒線) は火口 (▲) から約 10km,
20km を示す。図は、左側から右側に向かって時間が進むように描画している。

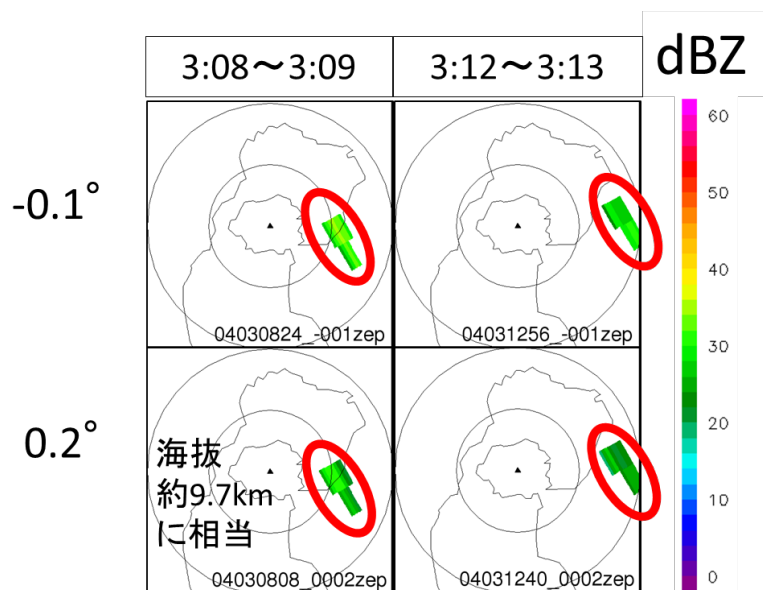


図 6 : 2020 年 6 月 4 日 3 時 08 分～13 分 (JST) の室戸岬レーダーによる反射強度
噴煙・火山灰雲と考えられるエコーを赤丸で囲った。同心円 (黒線) は火口 (▲) から約 10km,
20km を示す。図は、左側から右側に向かって時間が進むように描画している。

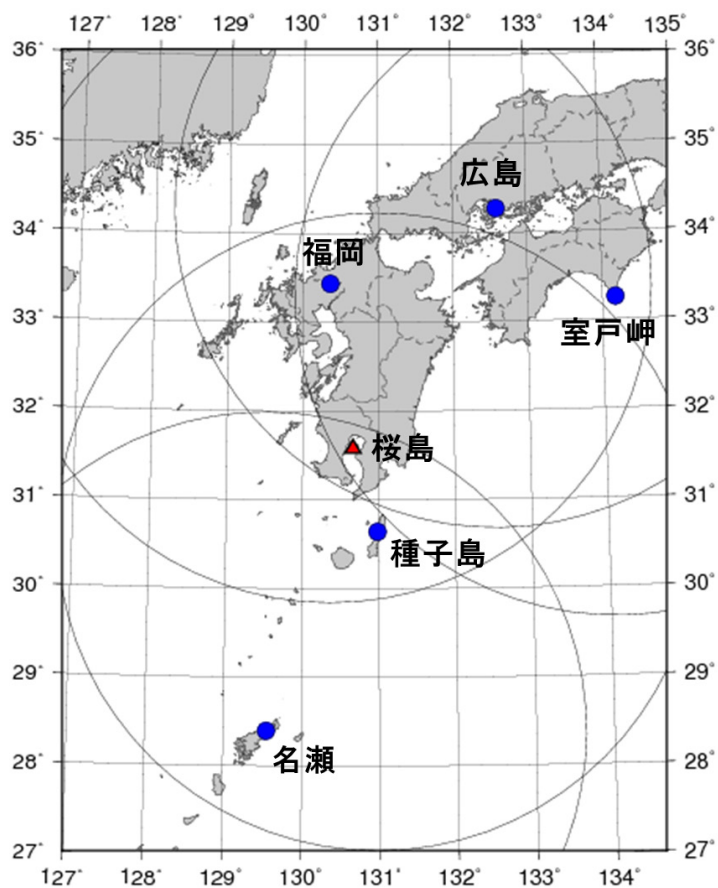


図 7 : 噴火を捉えた気象レーダーの配置図
同心円 (黒線) はレーダー (●) から約 400km (観測範囲) を, ▲は桜島を示す。

注意事項：

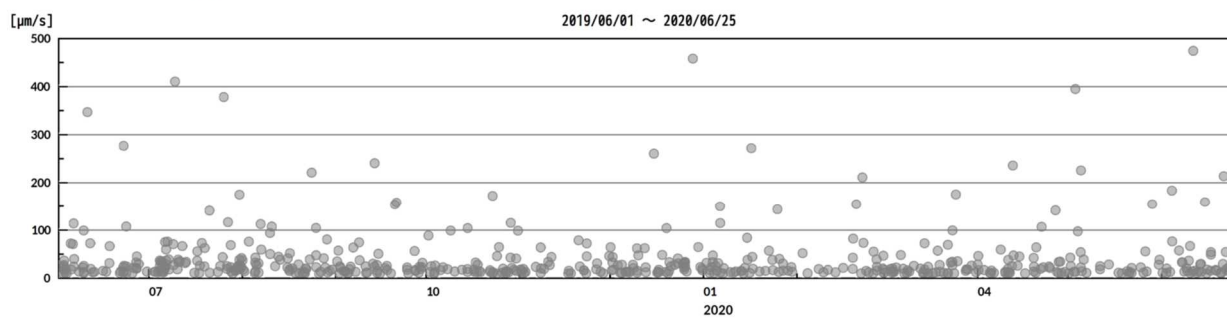
図法の限界により一部図が歪んでいるが，結果には影響しない。

エコー高度の精査や気象（降水）エコーとの区別など，更なる解析が必要．ビーム高度は，等価地球半径を地球半径の $4/3$ 倍と近似して計算した．大気の屈折率とビーム幅による誤差，低仰角では観測値が地形除去処理の影響を受けることに注意．現状では，噴煙エコーと局所的な気象（降水）エコーとの明瞭な区別は出来ない．

参考文献：

Sato, E., Fukui, K. and Shimbori, T. Aso volcano eruption on October 8, 2016, observed by weather radars. *Earth Planets Space* 70, 105 (2018). <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0879-4>

薩摩硫黄島 最大振幅（展望台東 短周期速度 上下成分）



薩摩硫黄島 S-P時間（展望台東 短周期速度 上下成分）

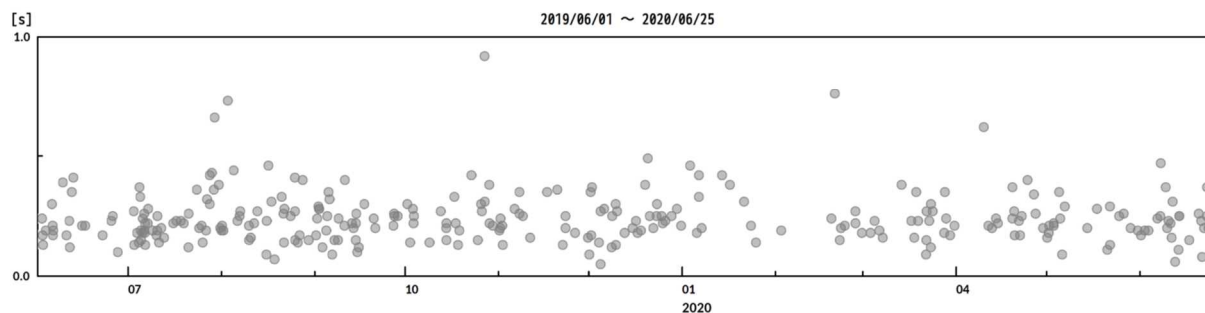


図 1 薩摩硫黄島 展望台東観測点 上下成分（上図）、S-P時間（下図）
2019 年 6 月 1 日～2020 年 6 月 25 日

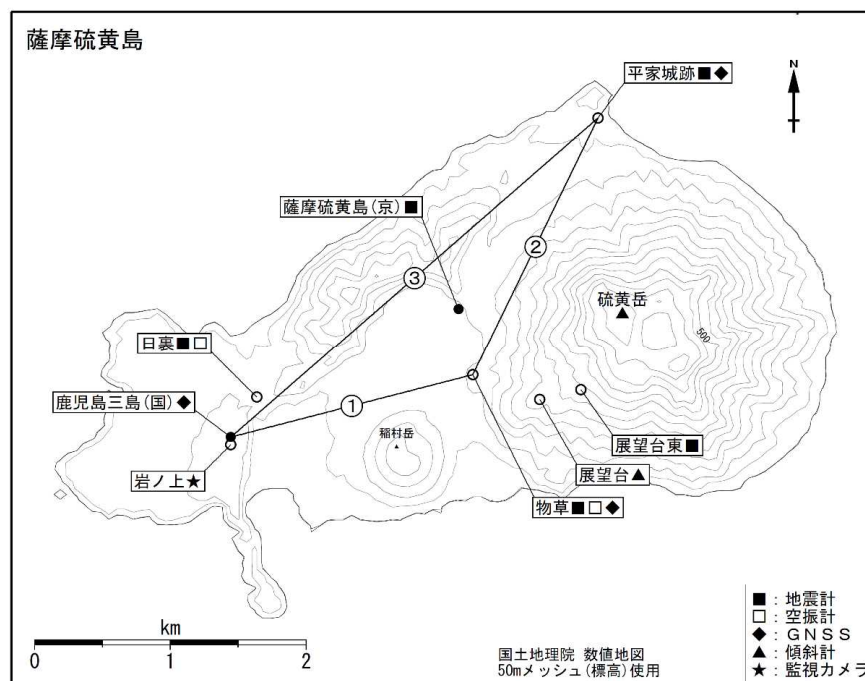


図 2 薩摩硫黄島 観測点配置図

小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の機関の観測点位置を示している。
(京) : 京都大学、(国) : 国土地理院