

第 137 回
火山噴火予知連絡会資料

(その1の2)

口永良部島、阿蘇山

平成 29 年 2 月 14 日

火山噴火予知連絡会資料（その1の2）

目次

口永良部島.....	3
気象庁（気象研含む）	3-19
京大桜島	20-21
地理院	22-25
海保	26-27
阿蘇山.....	28
気象庁（気象研含む）	28-77
熊本大	78-80
防災科研	81-92
地理院	93-97

口永良部島 (2017年1月20日現在)

口永良部島では、2015年6月19日の噴火後、噴火は観測されていない。

火山性地震は概ね少ない状態で経過したが、前期間（2016年5月～8月）よりやや増加している。2016年9月27日に継続時間1分未満で振幅の小さな火山性微動を1回観測した。

火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、1日あたり概ね200トンとやや少ない状態で経過した。

現地調査では、火口周辺の地形や噴煙及び熱異常域の状況に特段の変化はみられなかった。

2015年5月29日と同程度の噴火が発生する可能性は低くなっているものの、火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、2014年8月の噴火前（1日あたり概ね100トン以下）よりもやや多い状態で経過していることから、引き続き噴火が発生する可能性がある。

新岳火口から概ね2kmの範囲では、噴火に伴う弾道を描いて飛散する大きな噴石及び火砕流に警戒が必要である。向江浜地区から新岳の南西にかけての火口から海岸までの範囲では、火砕流に警戒が必要である。

風下側では、火山灰だけでなく小さな噴石が風に流されて降るおそれがあるため注意が必要である。降雨時には土石流の可能性があるので注意が必要である。

○ 概況（2016年9月～2017年1月20日）

・噴煙など表面現象の状況（図1～4、図5-①、図6-1-①、図6-2-①）

口永良部島では、2015年6月19日の噴火後、噴火は観測されていない。

白色の噴煙が最高で火口縁上700mまで上がった。

期間中に実施した現地調査では、噴煙の状況に変化は見られず、赤外線熱映像装置による観測では、2015年3月頃から5月29日の噴火前に温度上昇が認められていた新岳火口西側割れ目付近の熱異常域の温度は、引き続き低下した状態で経過している。

・地震、微動の発生状況（図5-②③、図6-1-③～⑥、図6-2-③～⑦、図7～9、図13～15）

火山性地震は概ね少ない状態で経過したが、月回数で43～101回と前期間（28～32回）に比べて増加した。震源が決まった火山性地震は27個で、新岳火口付近と火口のやや東側の海拔下0～1km付近に分布した。深部低周波地震は観測されていない。

9月27日に継続時間1分未満で振幅の小さな火山性微動を1回観測した。

・火山ガスの状況（図5-⑧、図6-1-②、図6-2-②）

東京大学大学院理学系研究科、京都大学防災研究所、屋久島町及び気象庁が実施した観測では、火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、1日あたり概ね200トンとやや少ない状態で経過したが、2014年8月3日の噴火前（1日あたり概ね100トン以下）よりは多い状態が続いている。

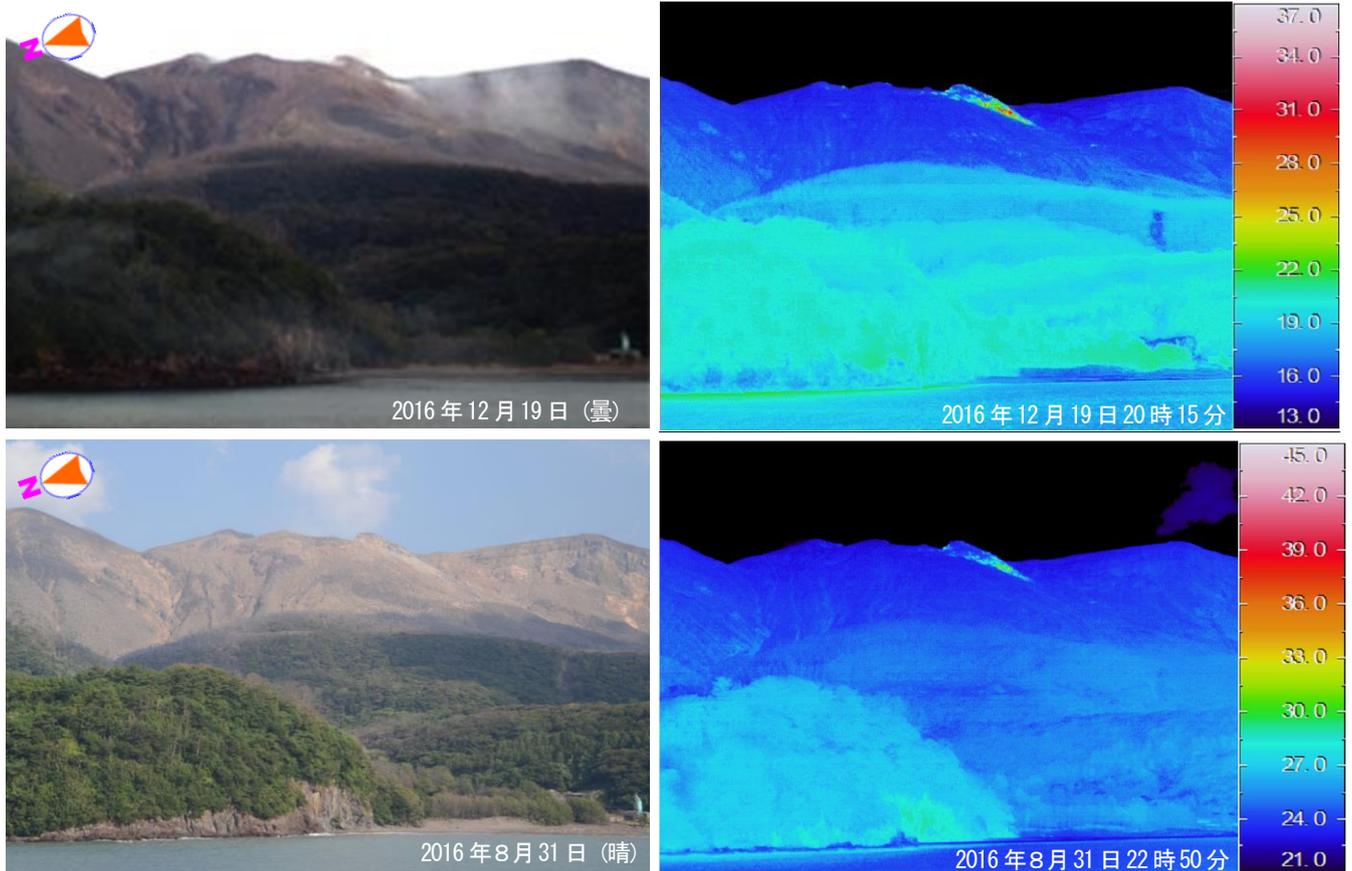
・地殻変動の状況（図5-④～⑦、図9～11）

GNSS 連続観測では、火口を挟む基線で2016年1月頃から縮みの傾向が認められていたが、今期間は横ばいとなっている。その他の山麓の基線では火山活動によると考えられる変化は認められない。

傾斜計では、火山活動によると考えられる変化は認められない。



図1 口永良部島 噴煙の状況（2016年12月4日、本村西監視カメラによる）



本村から撮影した可視画像と地表面温度分布（上図：2016年12月19日、下図：2016年8月31日）

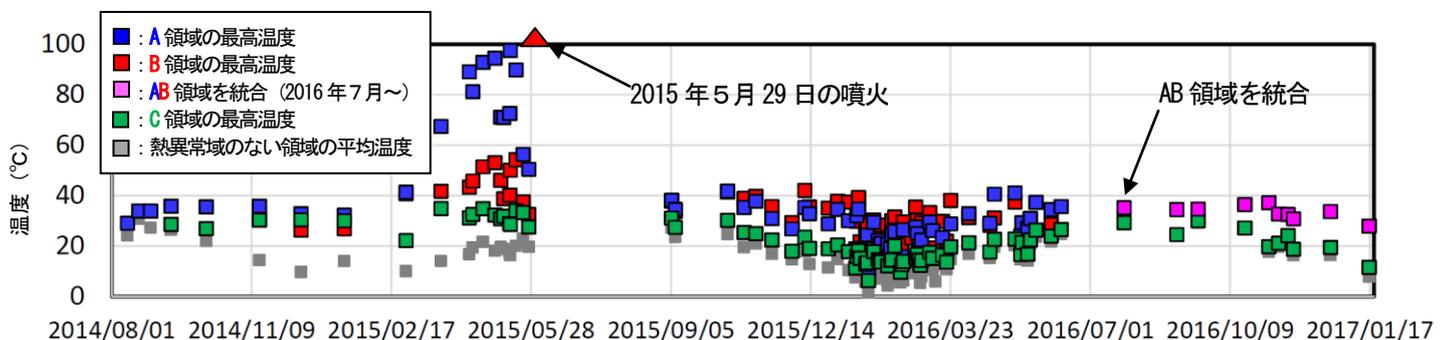
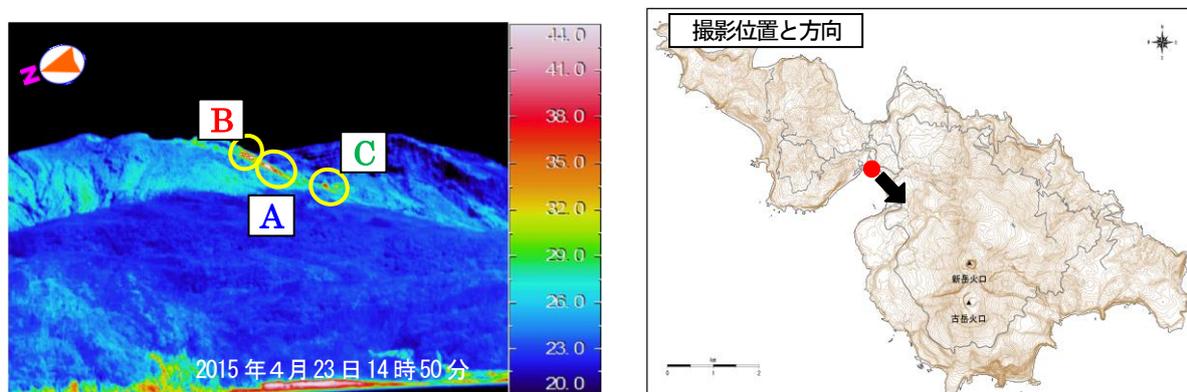
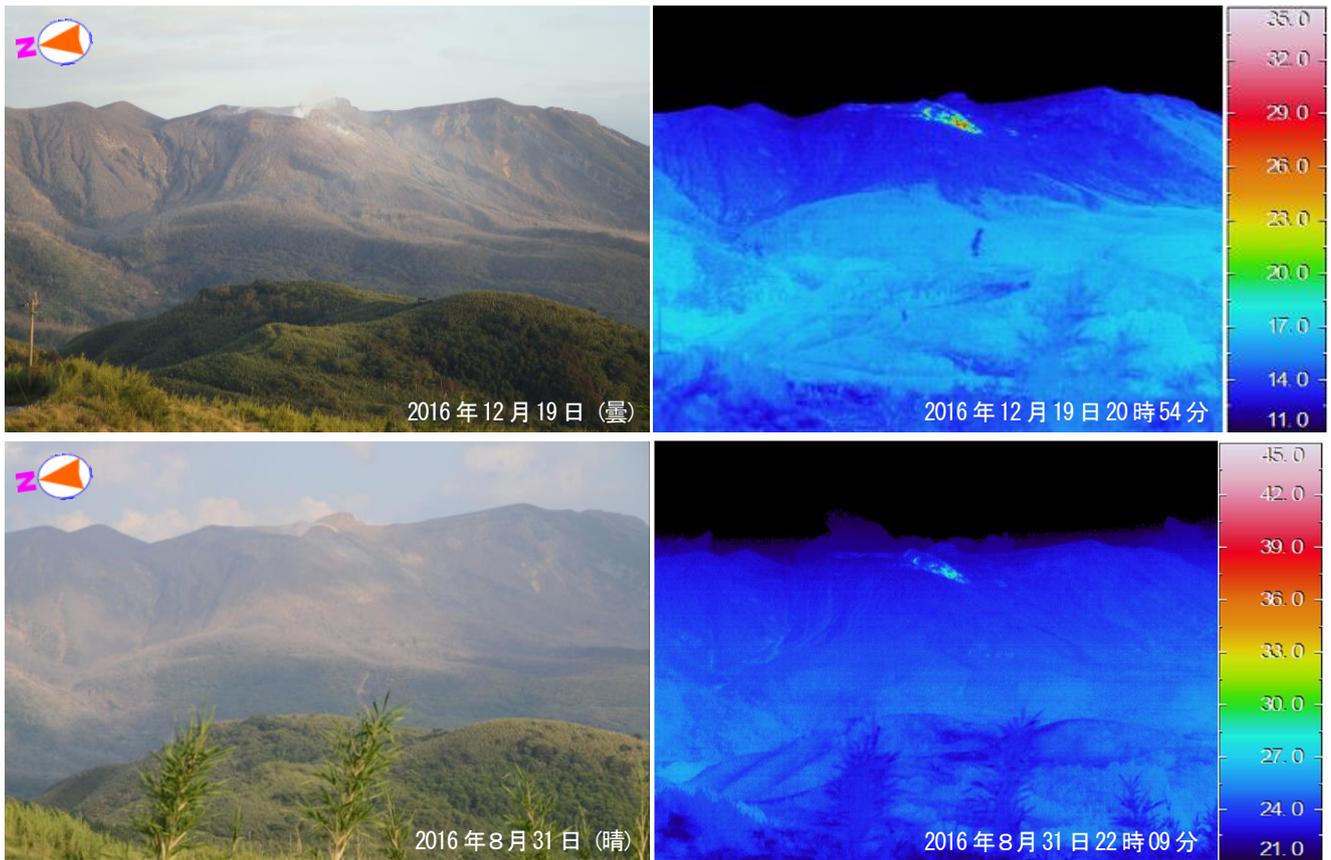


図2 口永良部島 新岳西斜面の地表面温度分布と熱異常域の温度時系列
 (2014年8月12日～2017年1月16日：本村から新岳の北西側を撮影)

2015年の3月頃から5月29日の噴火前に温度上昇が認められていた新岳火口西側割れ目付近の熱異常域の温度は、引き続き低下した状態で経過している。

この地図の作成には、国土地理院発行の『基盤地図情報』『基盤地図標高(数値標高モデル)』を使用した。



番屋ヶ峰から撮影した可視画像と熱画像（上図：2016年12月19日、下図：2016年8月31日）

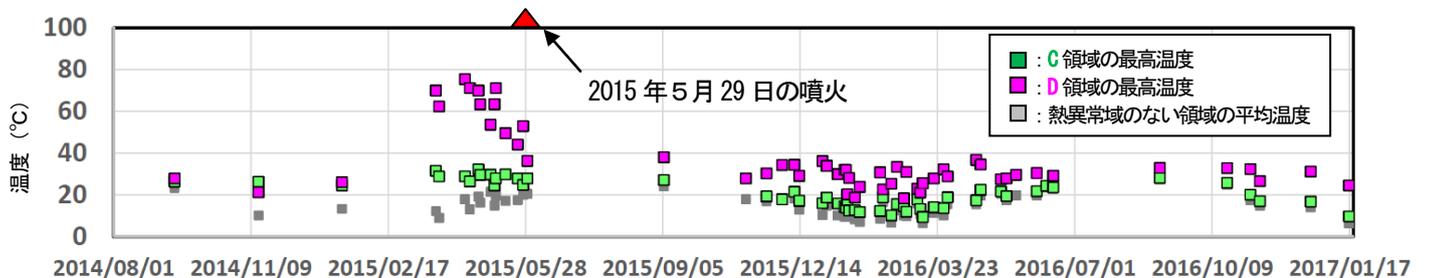
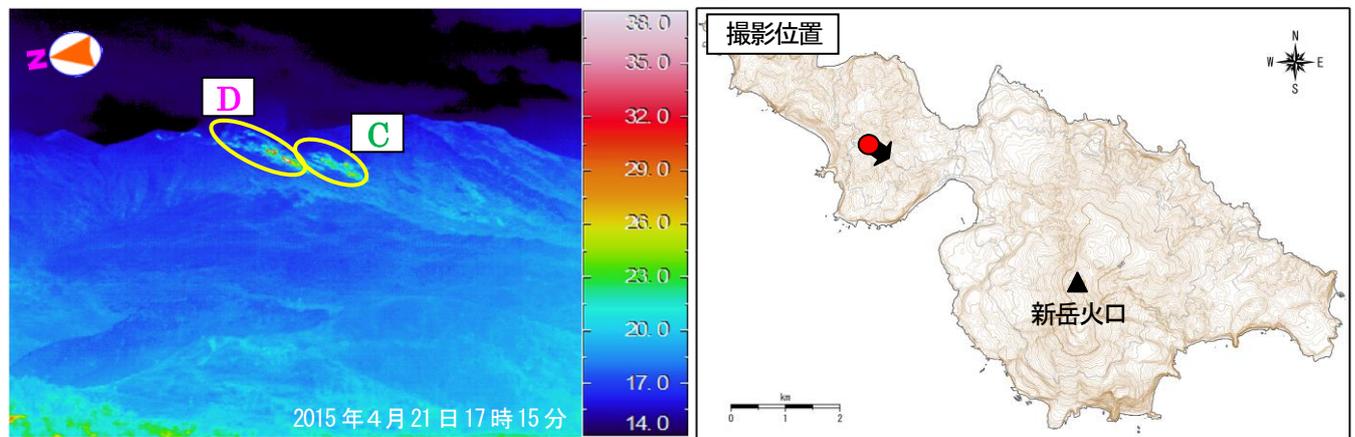
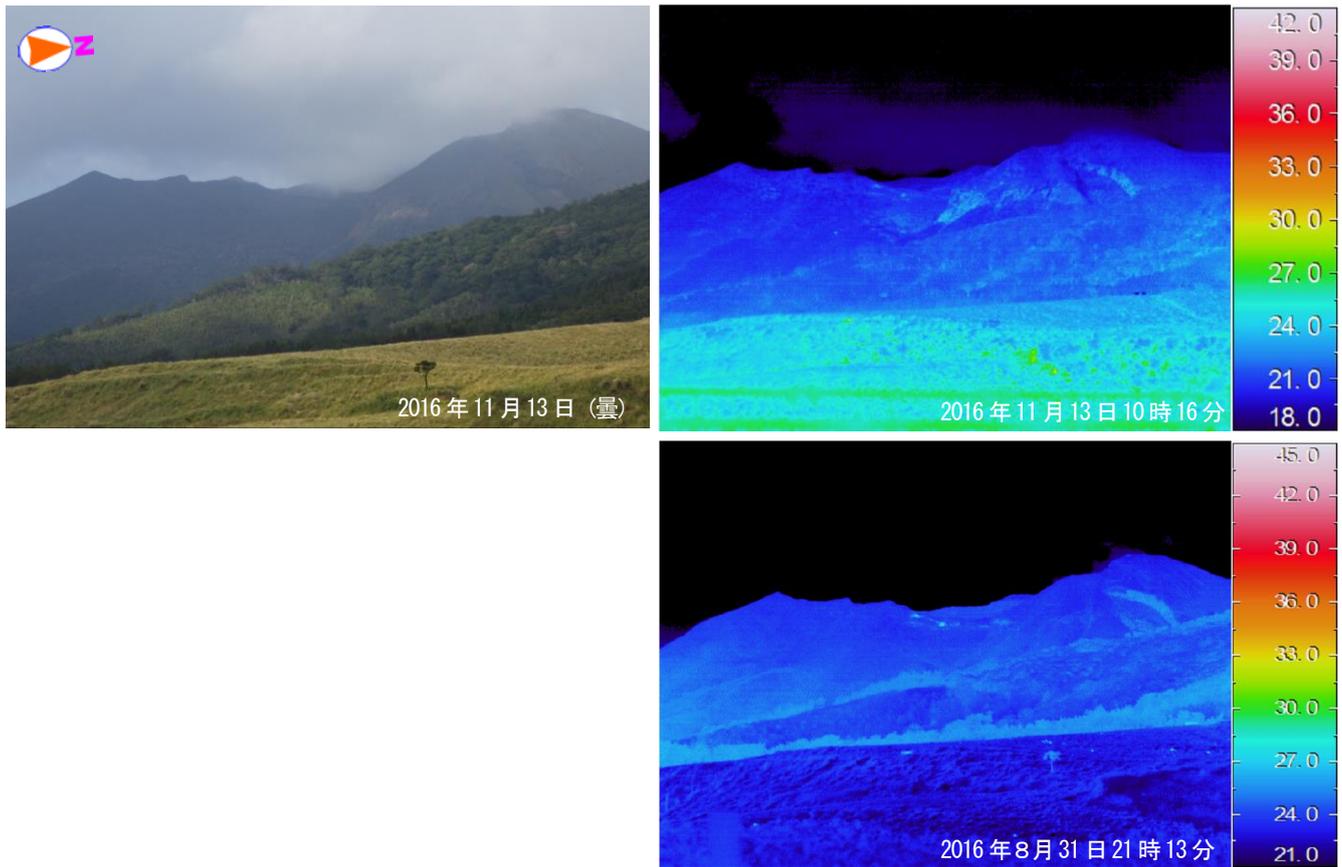


図3 口永良部島 新岳西斜面の地表面温度分布と熱異常域の温度時系列
 (2014年9月14日～2017年1月16日：番屋ヶ峰から新岳の北西側を撮影)

2015年の3月頃から5月29日の噴火前に温度上昇が認められていた新岳火口西側割れ目付近の熱異常域の温度は、引き続き低下した状態で経過している。

この地図の作成には、国土地理院発行の『基盤地図情報』『基盤地図標高（数値標高モデル）』を使用した。



湯向牧場から撮影した可視画像と熱画像（上図：2016年11月13日、下図：2016年8月31日）

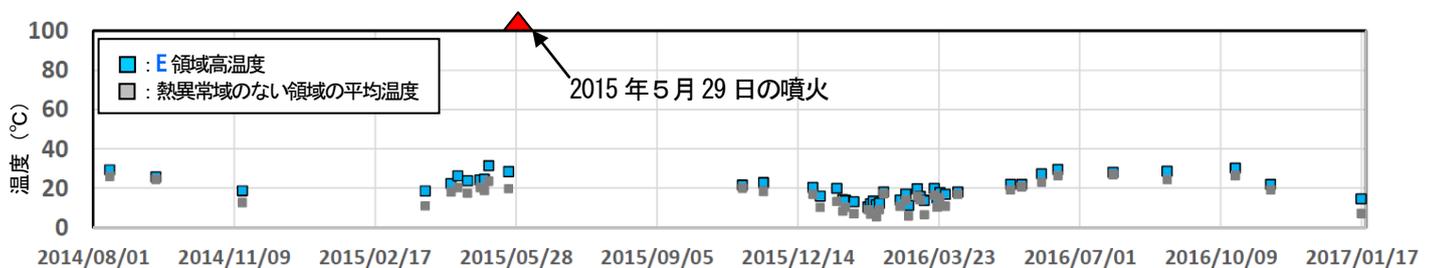
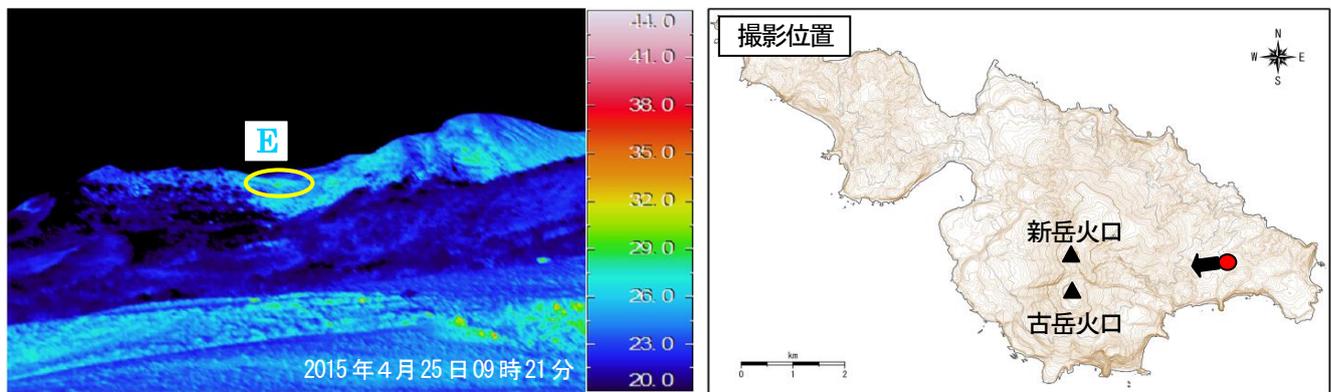


図 4 口永良部島 新岳及び古岳東斜面の地表面温度分布と熱異常域の温度時系列
 (2014年8月12日～2017年1月16日：湯向牧場から新岳の東側を撮影)

古岳火口北東側の熱異常域に特段の変化は認められない。

この地図の作成には、国土地理院発行の『基盤地図情報』『基盤地図標高（数値標高モデル）』を使用した。

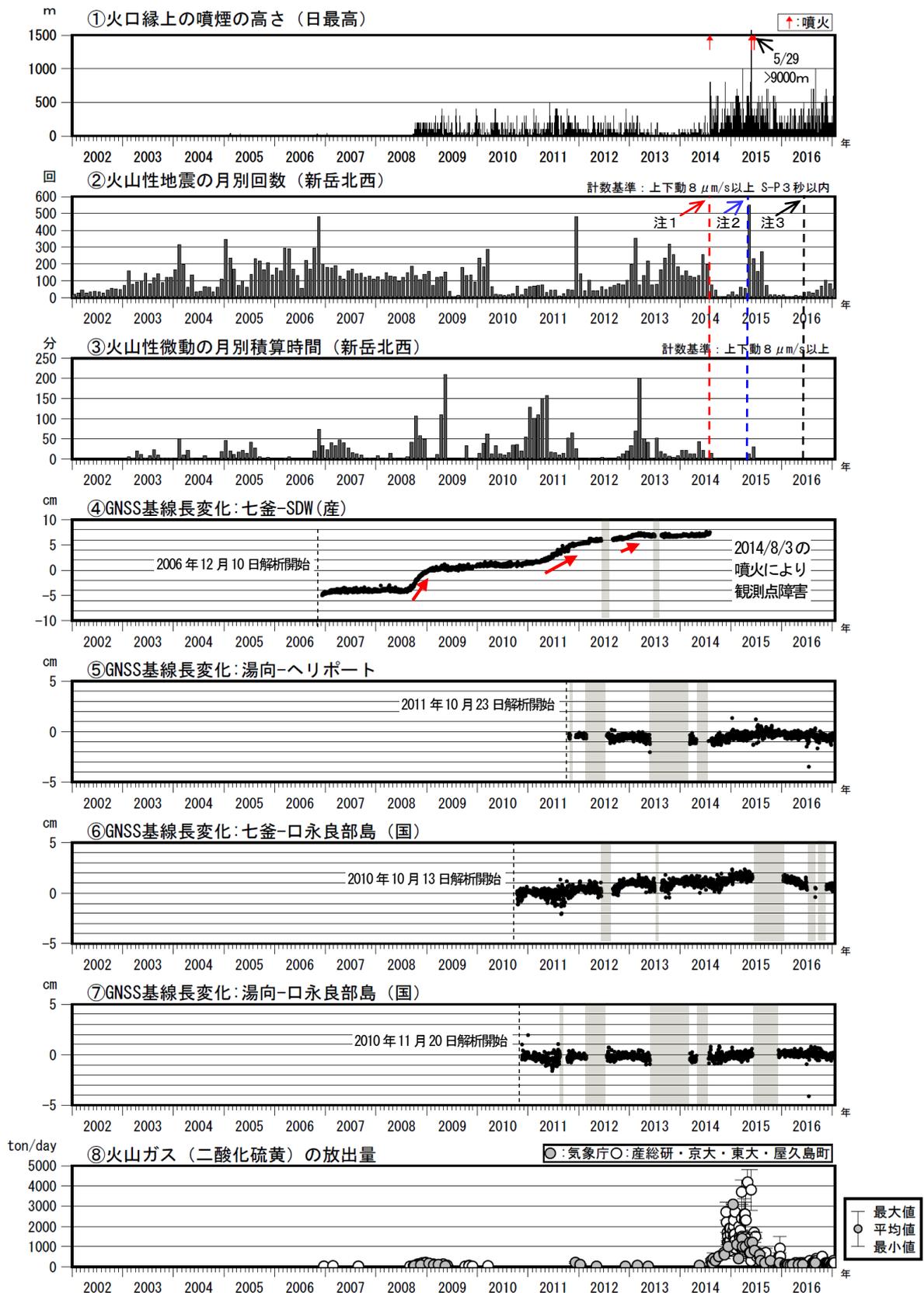


図5 口永良部島 長期の火山活動経過図 (2002年1月～2017年1月20日)

④の赤矢印は山体膨張を示すと考えられる変化を示す。

注1：2014年8月3日の噴火により火口周辺の観測点が障害となったため、噴火以降は新岳火口から約2.3kmにある新岳北東山麓観測点の上下動 $1\mu\text{m/s}$ 以上で計数しており、検知力が低下している。

注2：2015年5月23日に島内のごく浅いところを震源とする地震(震度3、M2.3：暫定値)が発生したことから、監視を強化するため、5月1日から計数基準を新岳北東山麓観測点上下動 $1\mu\text{m/s}$ 以上、または新岳西山麓観測点上下動 $3\mu\text{m/s}$ に変更している。また、2015年5月29日の噴火及びその後の停電や通信障害の間は、永迫観測点も使用して計数している。

注3：2016年6月1日からは火口近傍に野池山3観測点を設置しており、検知力が向上している。

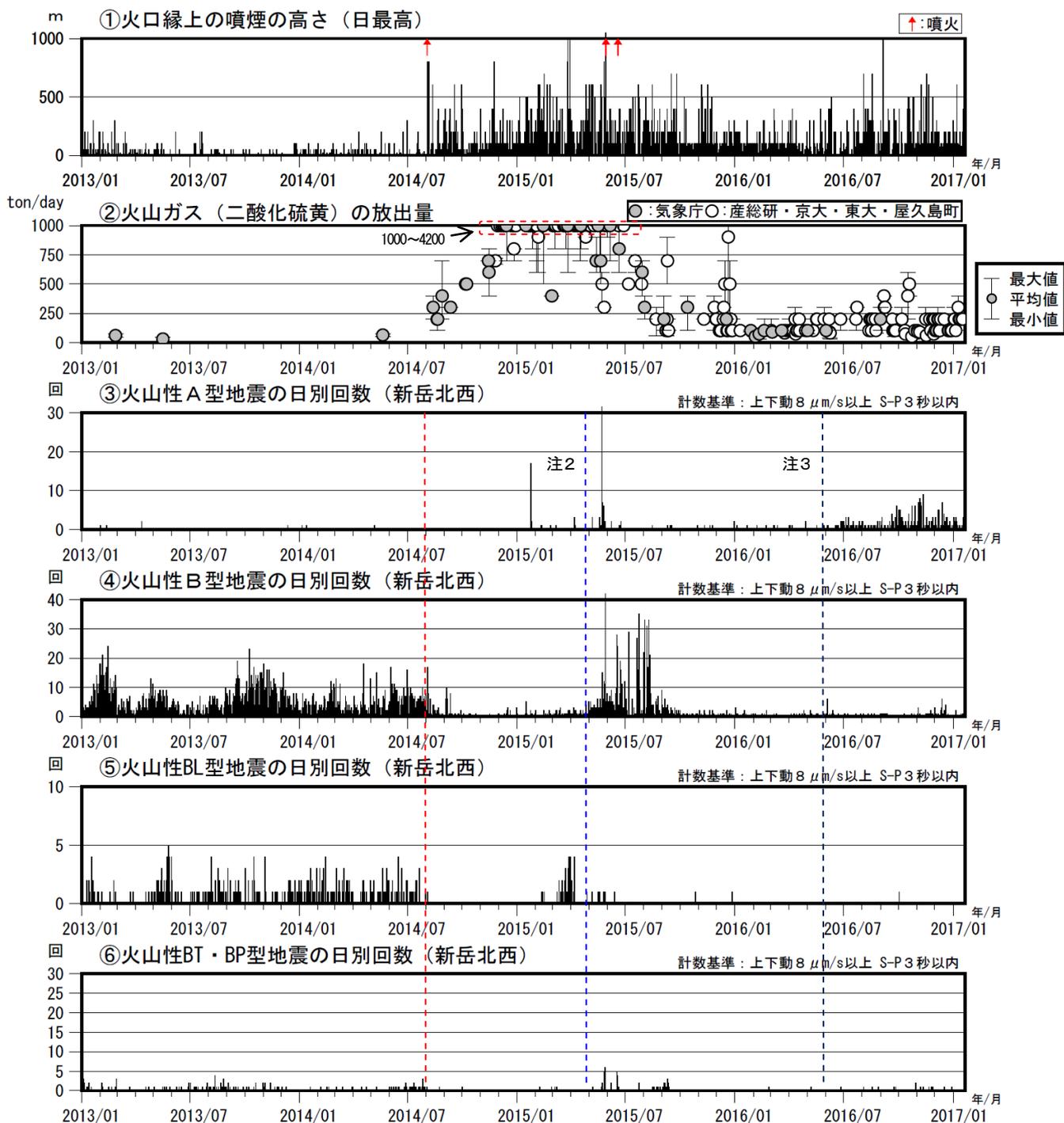


図 6-1 口永良部島 最近の火山活動経過図 (2013 年 1 月～2017 年 1 月 20 日)

- 注 1 : 2014 年 8 月 3 日の噴火により火口周辺の観測点が障害となったため、噴火以降は新岳火口から約 2.3km にある新岳北東山麓観測点の上下動 $1\mu\text{m/s}$ 以上で計数しており、検知力が低下している。
- 注 2 : 2015 年 5 月 23 日に島内のごく浅いところを震源とする地震 (震度 3、 $M2.3$: 暫定値) が発生したことから、監視を強化するため、5 月 1 日から計数基準を新岳北東山麓観測点上下動 $1\mu\text{m/s}$ 以上、または新岳西山麓観測点上下動 $3\mu\text{m/s}$ に変更している。また、2015 年 5 月 29 日の噴火及びその後の停電や通信障害の間は、永迫観測点も使用して計数している。
- 注 3 : 2016 年 6 月 1 日からは火口近傍に野池山 3 観測点を設置しており、検知力が向上している。

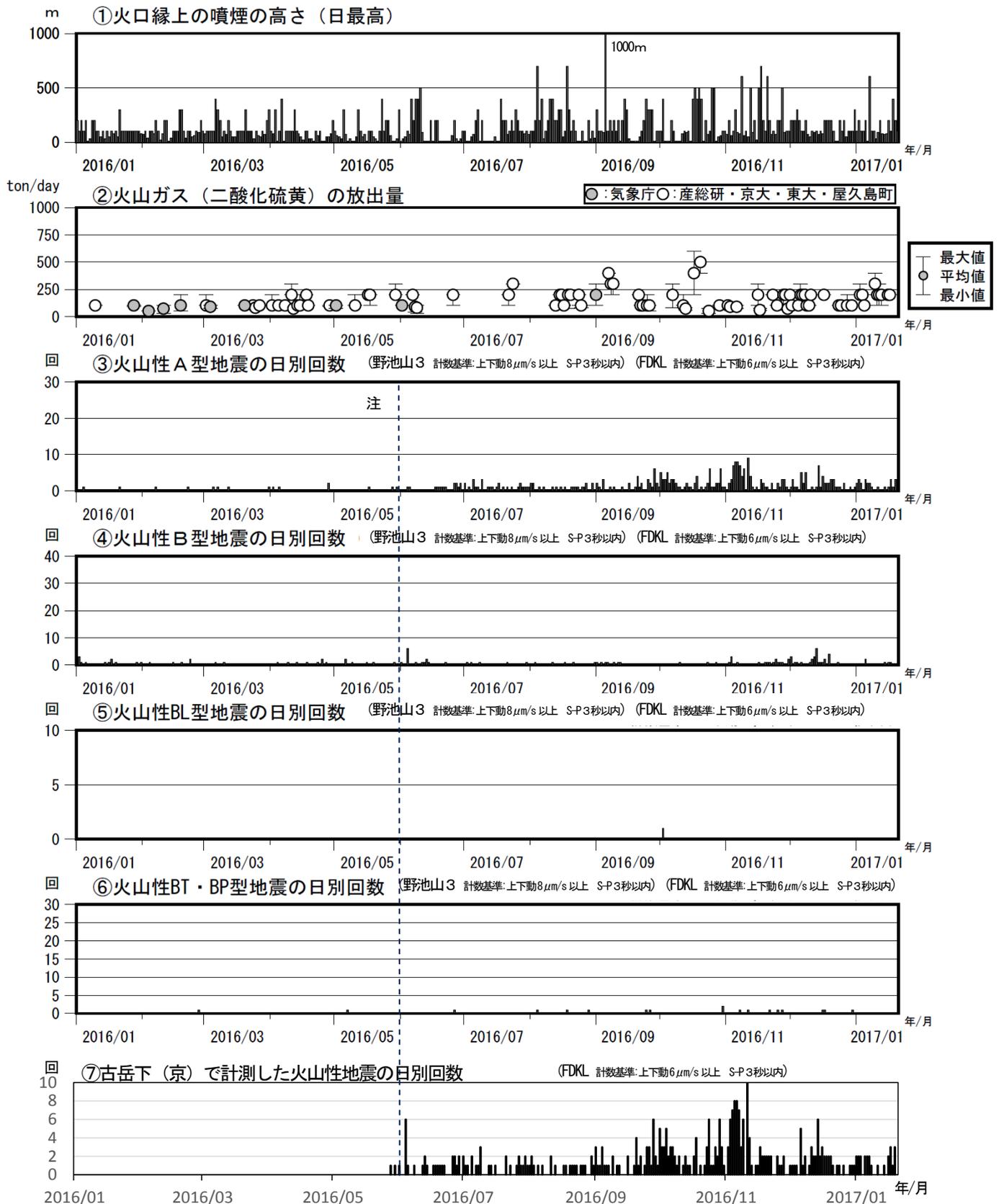


図6-2 口永良部島 最近の火山活動経過図 (2016年1月～2017年1月20日)

<2016年9月～2017年1月20日の状況>

- ・火山性地震は概ね少ない状態で経過したが、月回数で43～101回と6～8月(28～32回)に比べてやや増加した。
- ・火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、1日あたり50～500トンとやや少ない状態で経過した。

注：2016年6月1日からは火口近傍に野池山3観測点を設置しており、検知力が向上している。

(京)：京都大学 FDKLは古岳下(京)観測点のこと

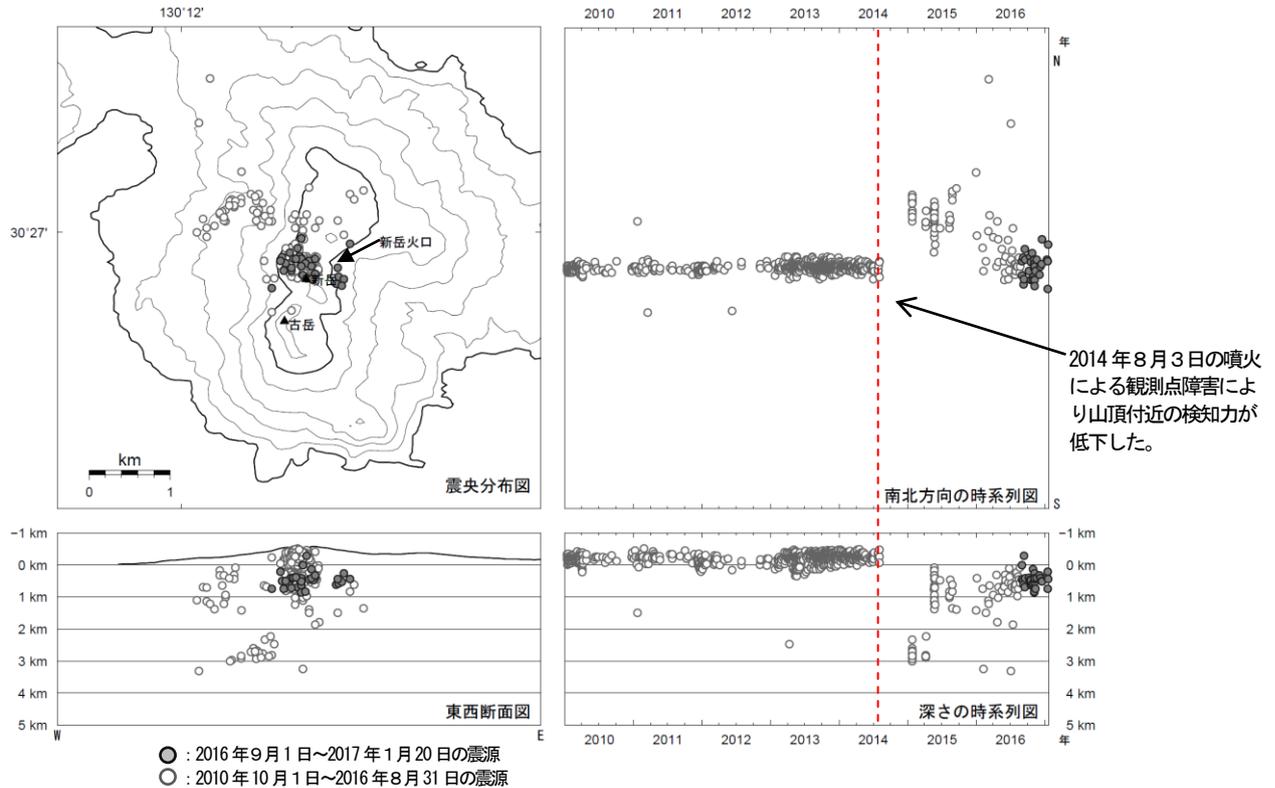


図 7 口永良部島 火山性地震の震源分布 (2010 年 1 月～2017 年 1 月 20 日)

<2016 年 9 月～2017 年 1 月 20 日の状況>

震源は主に新岳火口付近と火口のやや東側の海拔下 0～1 km 付近に分布した。

※半無限速度構造： $V_p=2.5\text{km/s}$ ($V_p/V_s=1.73$)

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。

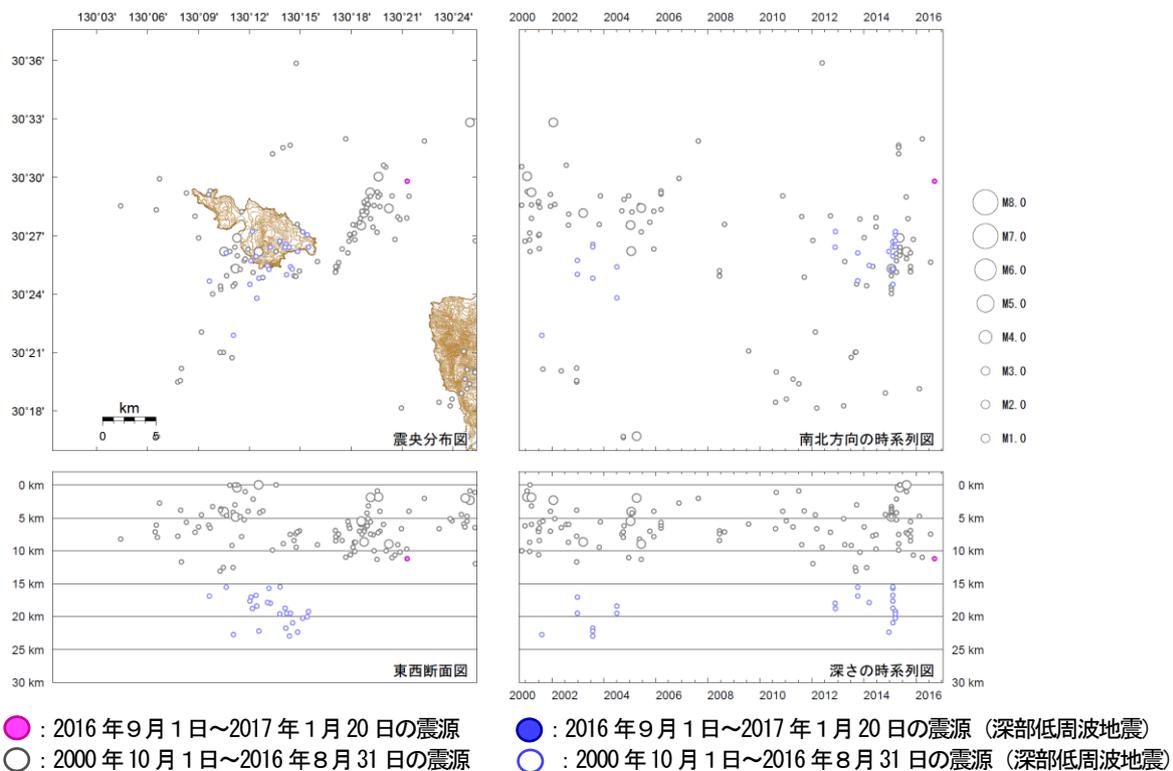


図 8 口永良部島 一元化震源による震源分布 (2000 年 10 月～2017 年 1 月 20 日)

<2016 年 9 月～2017 年 1 月 20 日の状況>

- ・震源は口永良部島の東側海域の深さ 11km 付近であった。
- ・深部低周波地震は発生しなかった。

表示している震源には、震源決定時の計算誤差の大きなものがある。
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。

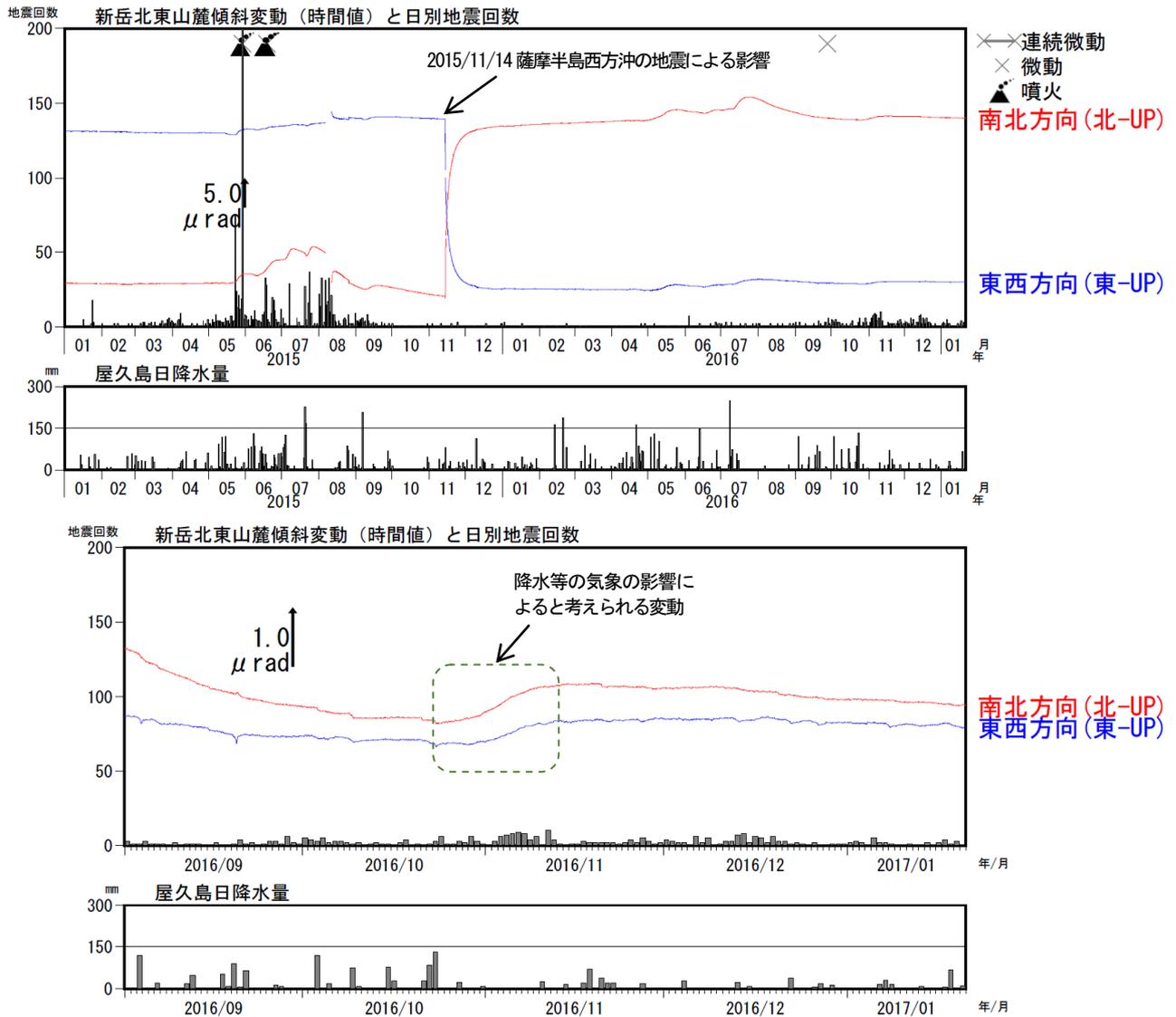


図9 口永良部島 新岳北東山麓観測点の傾斜変動

上段：2015年1月～2017年1月20日、下段：2016年9月～2017年1月20日

<2016年9月～2017年1月20日の状況>

火山活動に起因すると考えられる特段の変化は認められなかった。

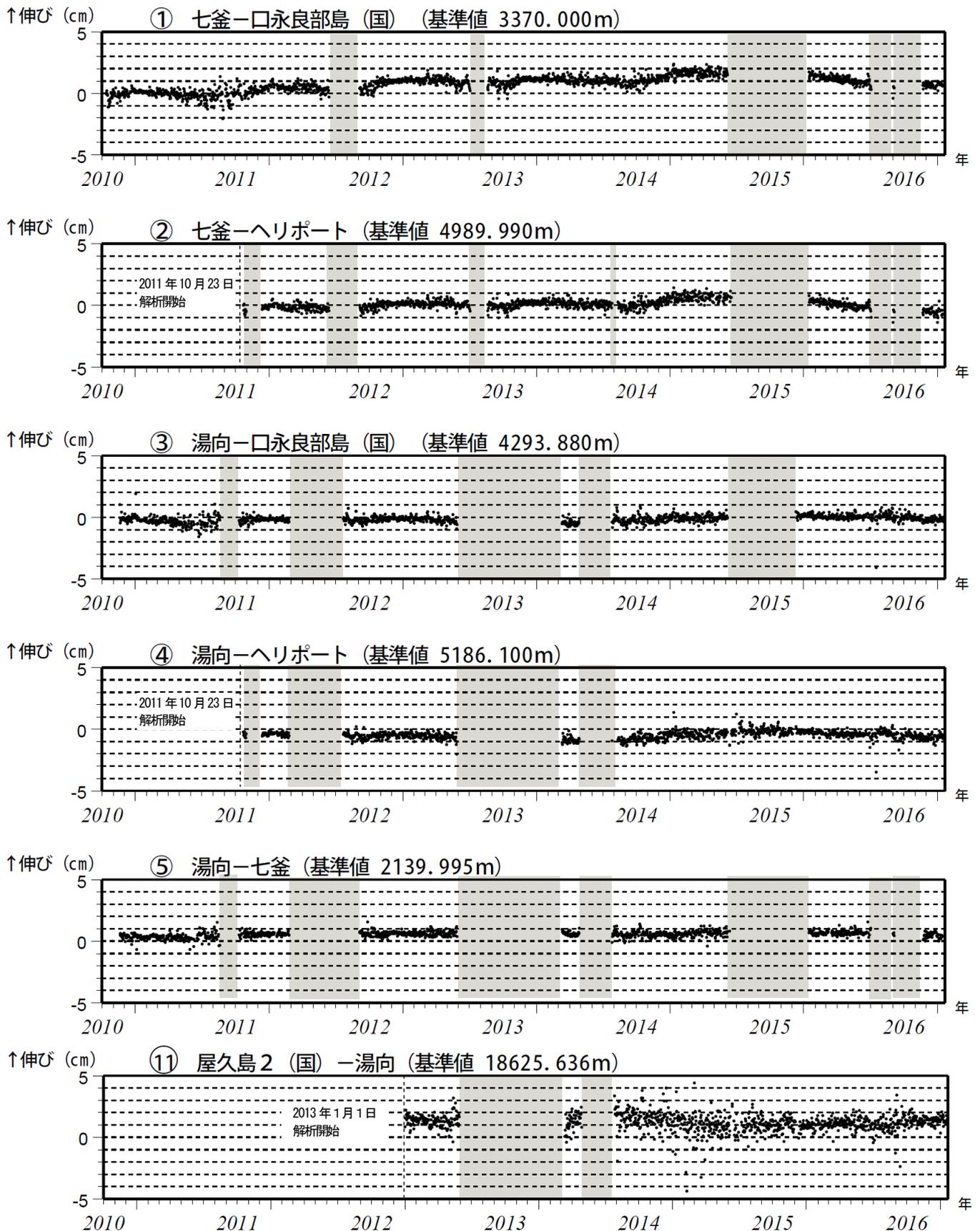


図 10 口永良部島 GNSS 連続観測による基線長変化 (2010 年 10 月～2017 年 1 月 20 日)

GNSS 連続観測では、火口を挟む基線で 2016 年 1 月頃から縮みの傾向が認められていた。2016 年 7 月 4 日から 11 月 20 日まで観測点の障害により変化は不明であったが、復旧後は縮みが止まりほぼ一定となっている。その他の山麓の基線では火山活動によると考えられる変化は認められない。

これらの基線は図 11 の①～⑤⑪に対応している。灰色部分は観測点障害のため欠測を表す。

(国)：国土地理院

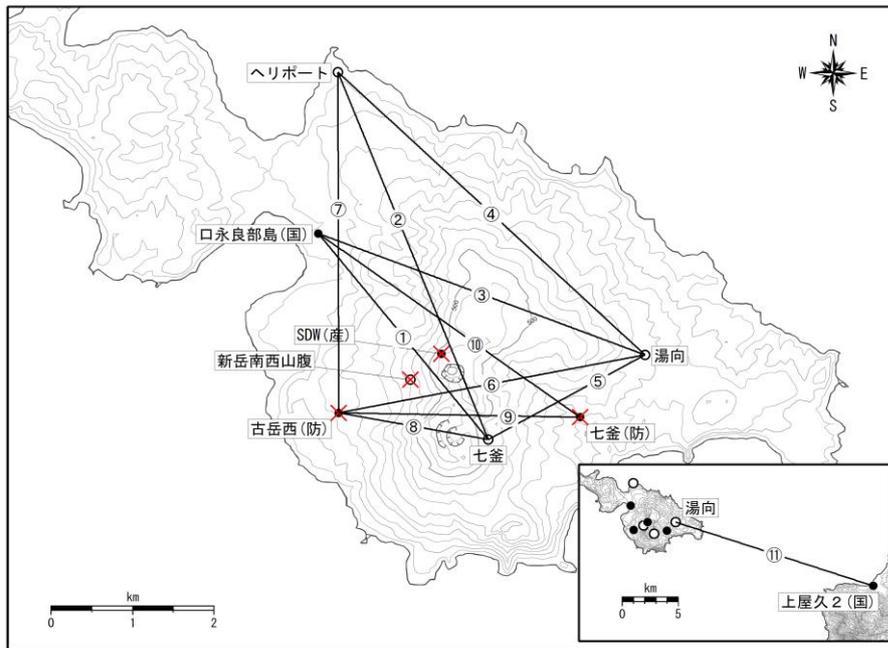


図 11 口永良部島 GNSS 連続観測基線図 (2017 年 1 月 20 日現在)

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す。
 (国) : 国土地理院、(防) : 防災科学技術研究所、(産) : 産業技術総合研究所
 図中の赤×印は、噴火や停電等により障害となった観測点を示す。

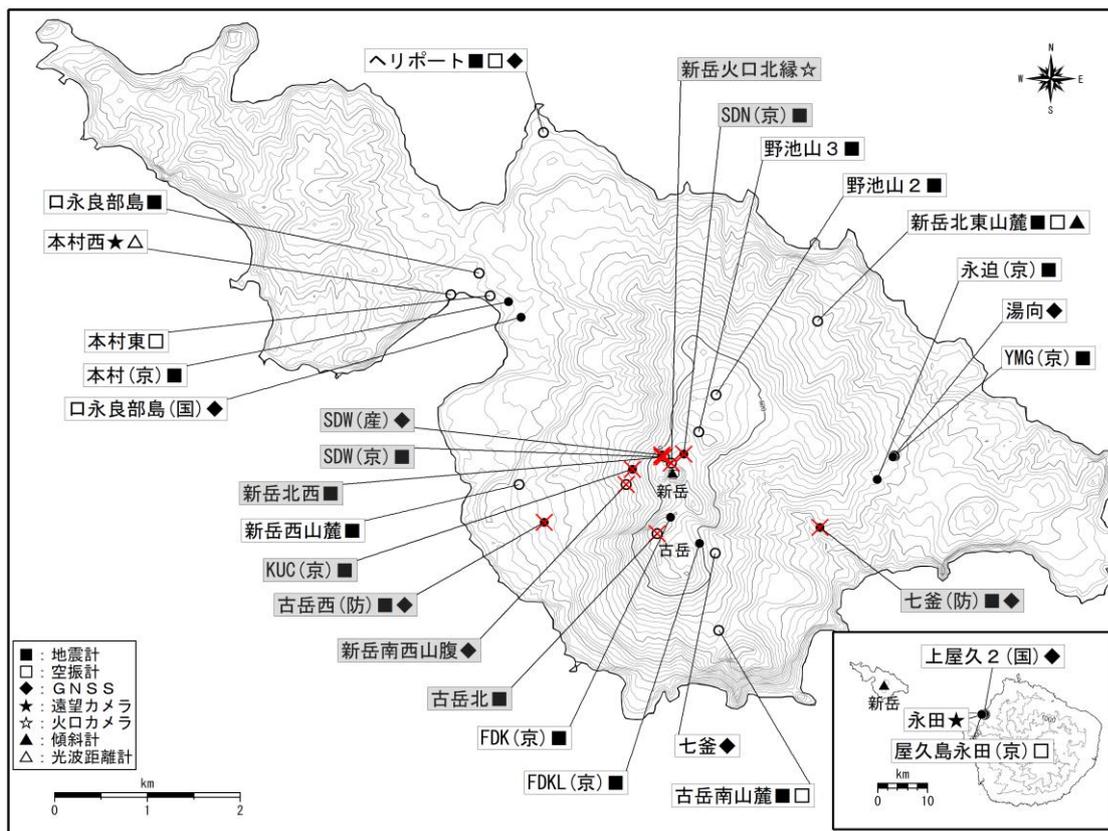


図 12 口永良部島 観測点配置図 (2017 年 1 月 20 日現在)

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す。
 (国) : 国土地理院、(京) : 京都大学、(産) : 産業技術総合研究所、(防) : 防災科学技術研究所
 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。
 図中の赤×印及び灰色の観測点名は、噴火や停電等により障害となった観測点を示す。

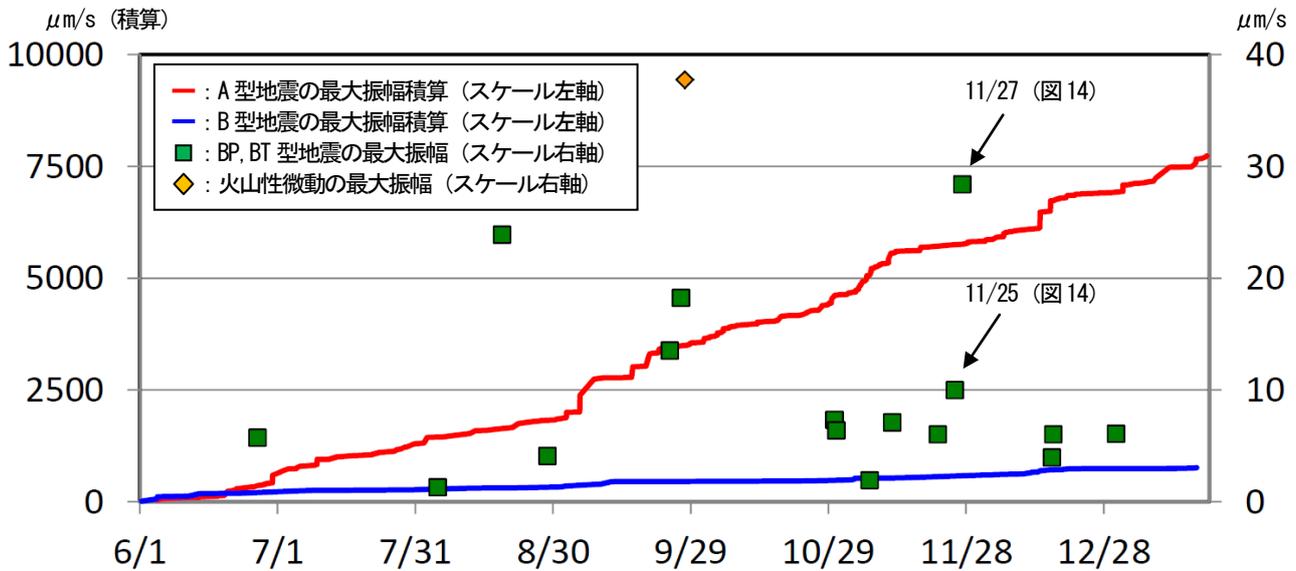


図 13 口永良部島 A, B 型地震の最大振幅積算及び BP, BT 型地震・火山性微動の最大振幅
 (2016 年 6 月 1 日～2017 年 1 月 20 日：古岳下(京)観測点 UD 成分)
 ・ A 型地震の最大振幅積算の増加率に大きな変化はみられないが、やや急になる時期がある。
 ・ B 型地震の最大振幅積算の増加率は A 型地震に比べて小さい。
 ・ BP, BT 型地震の発生頻度がやや増加している。

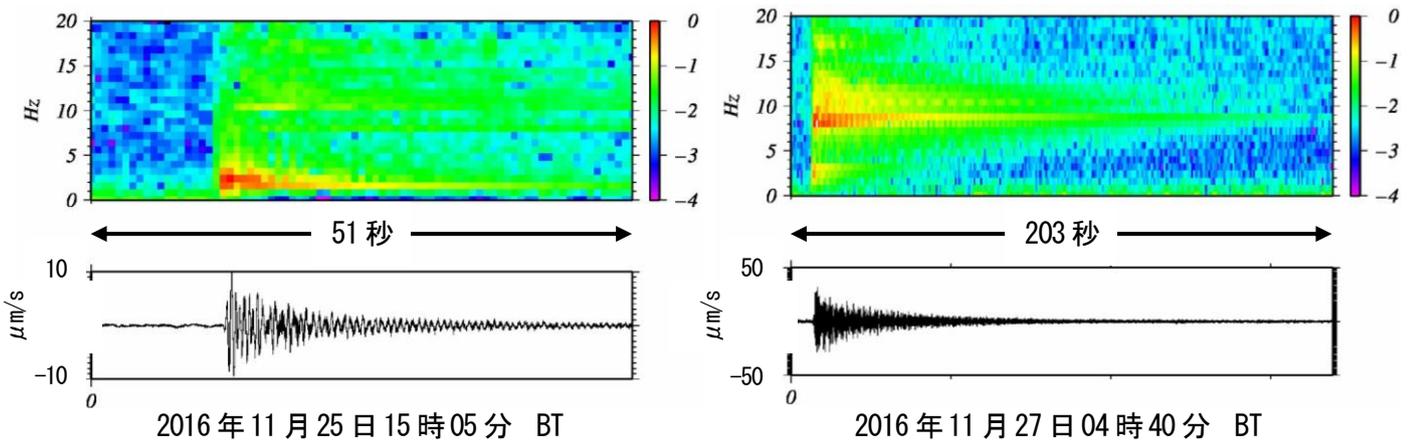


図 14 口永良部島 BT 型地震の波形とランニングスペクトル例：古岳下(京)観測点 UD 成分

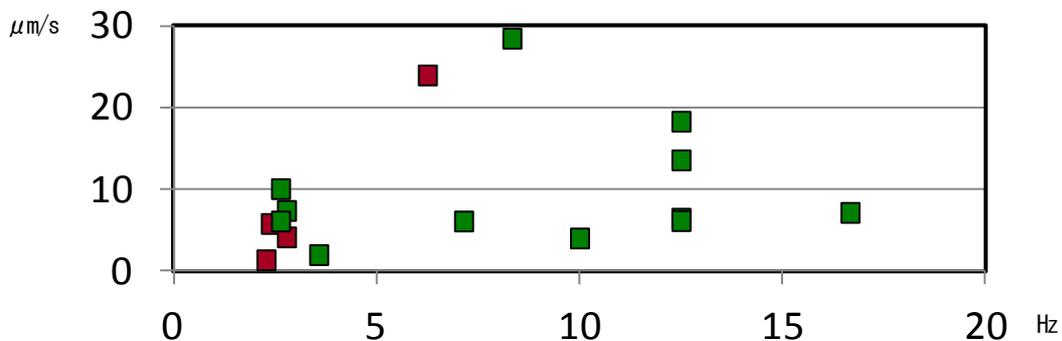


図 15 口永良部島 BP, BT 型地震の最大振幅と卓越周波数(古岳下(京)観測点 UD 成分)
 ■：2016 年 6 月～8 月 31 日 ■：9 月～2017 年 1 月 20 日
 卓越周波数 2～3Hz のやや周期の長い BP, BT 型地震は、比較的規模の小さなものが多い。
 (京)：京都大学

追加 口永良部島 2017年2月6日までの火山活動経過図

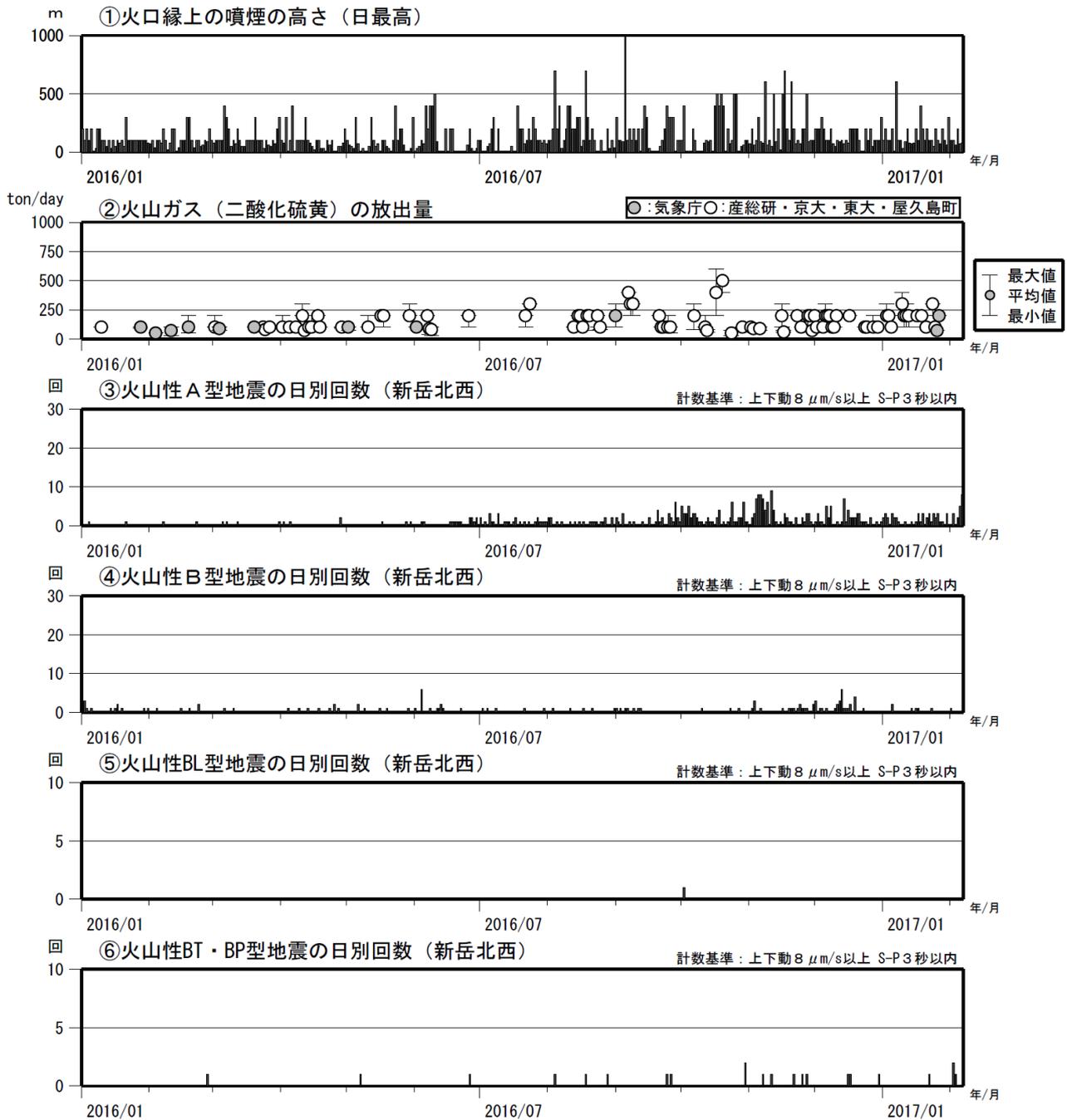


図 16 口永良部島 最近の火山活動経過図（2016年1月～2017年2月6日）

ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた 口永良部島における 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. 使用データ

表 1 干渉解析に使用したデータ

Path Frame	軌道方向	照射方向	データ 1	データ 2	図番号
131-600	北行	右	2014. 08. 19	2016. 11. 08	図 1
23-3000	南行	右	2015. 02. 09	2016. 11. 14	図 2

2. 解析結果

北行軌道及び南行軌道の長期ペアについて解析を行った。2015 年 5 月の噴火に伴う地表変化により、非干渉領域が多いが、火山活動に伴うノイズレベルを超えるような位相変化は検出されなかった。

なお、各干渉解析結果について、対流圏遅延補正などは行っていないため、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 を使用した。ここに記して御礼申し上げます。

2014/08/19–2016/11/08
812 days

気象研究所

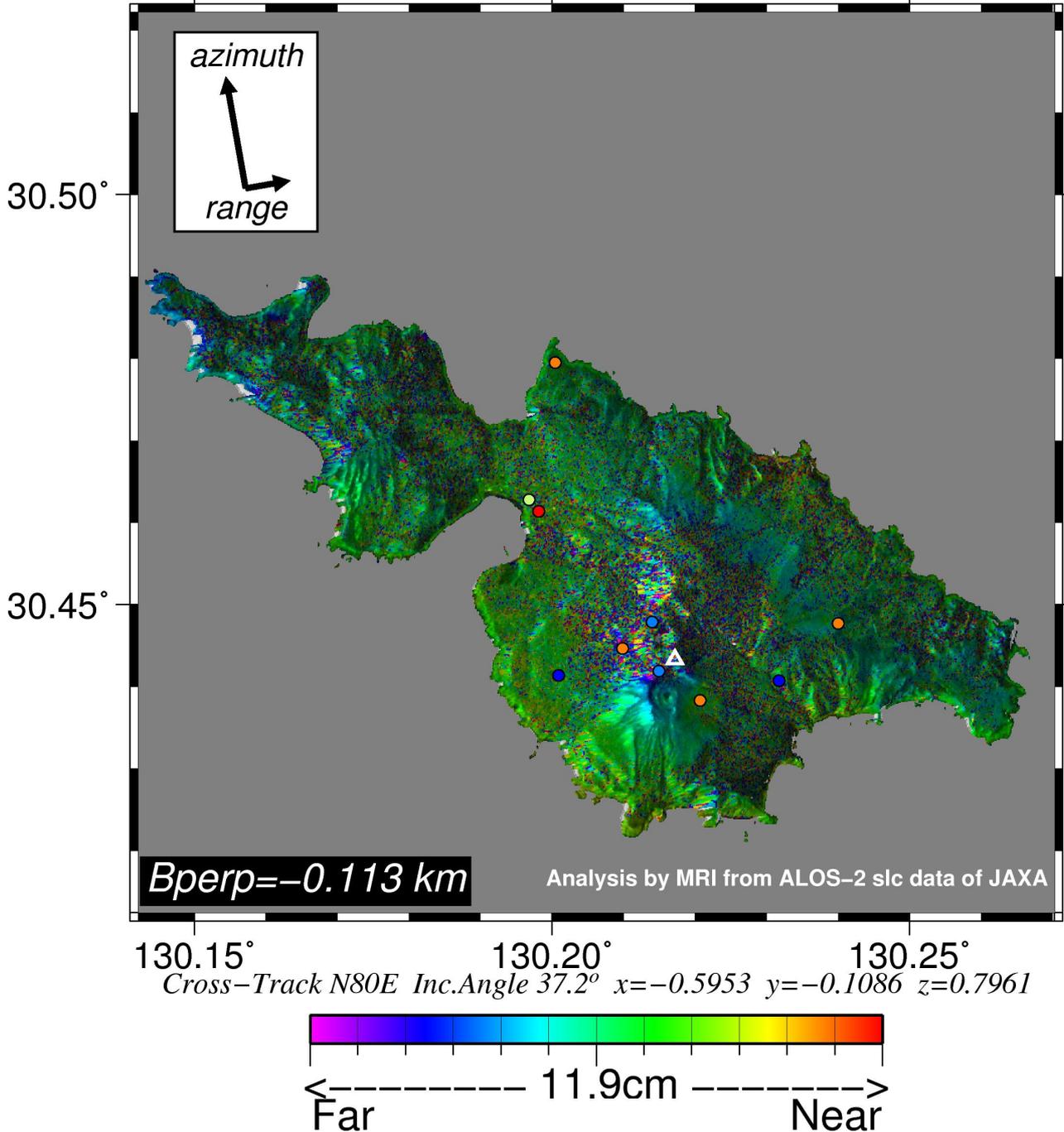
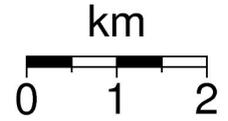


図 1 パス 131-600 の干渉解析結果

図中の丸印は GNSS 連続観測点（橙：気象庁，赤：国土地理院，水：産業総合技術研究所，青：防災科学技術研究所，黄：京都大学防災研究所）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。

2015/02/09-2016/11/14

644 days

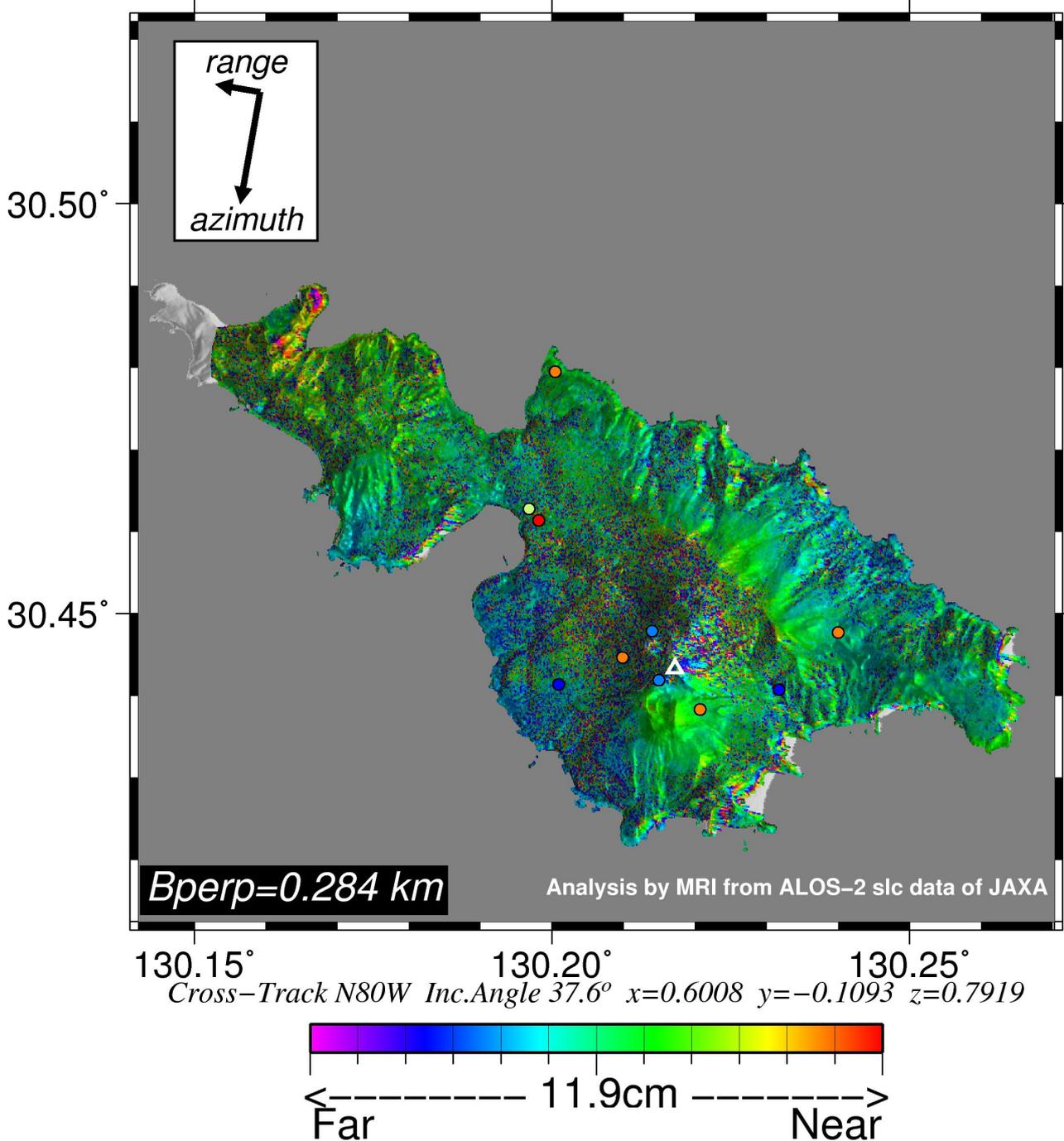
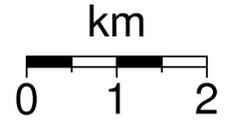
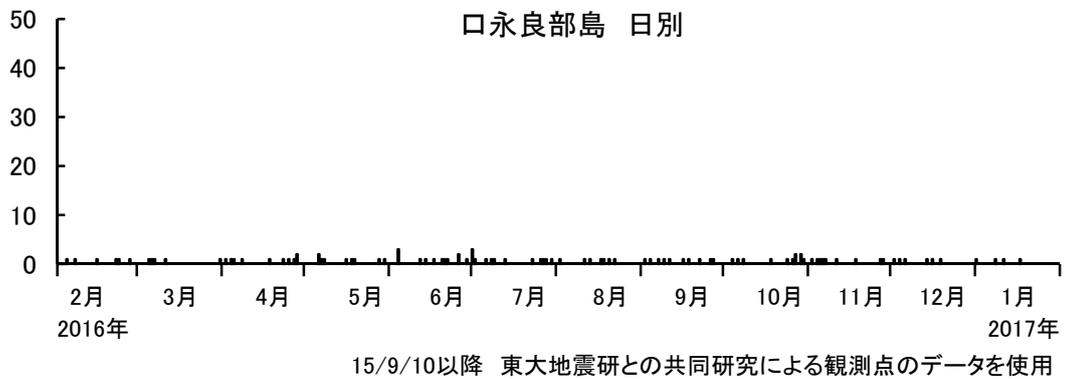
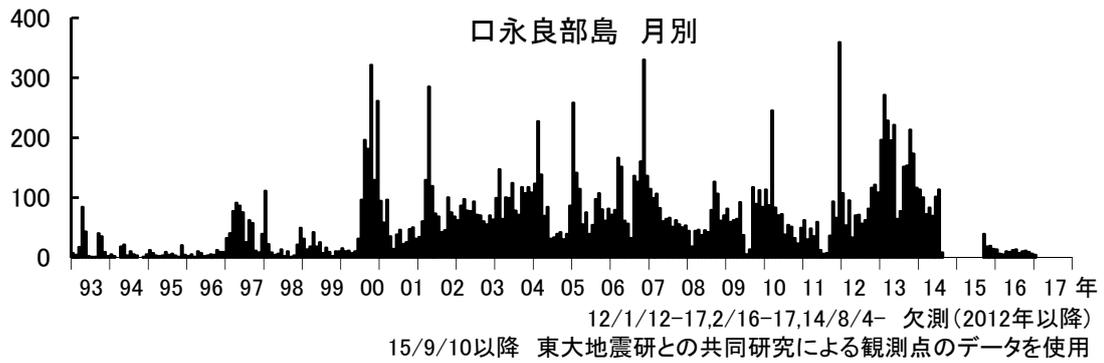


図 2 パス 23-3000 の干渉解析結果

凡例は図 1 に同じ。ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

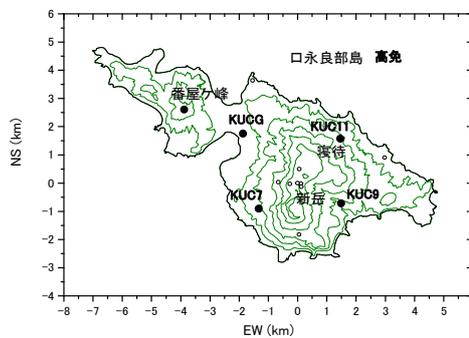
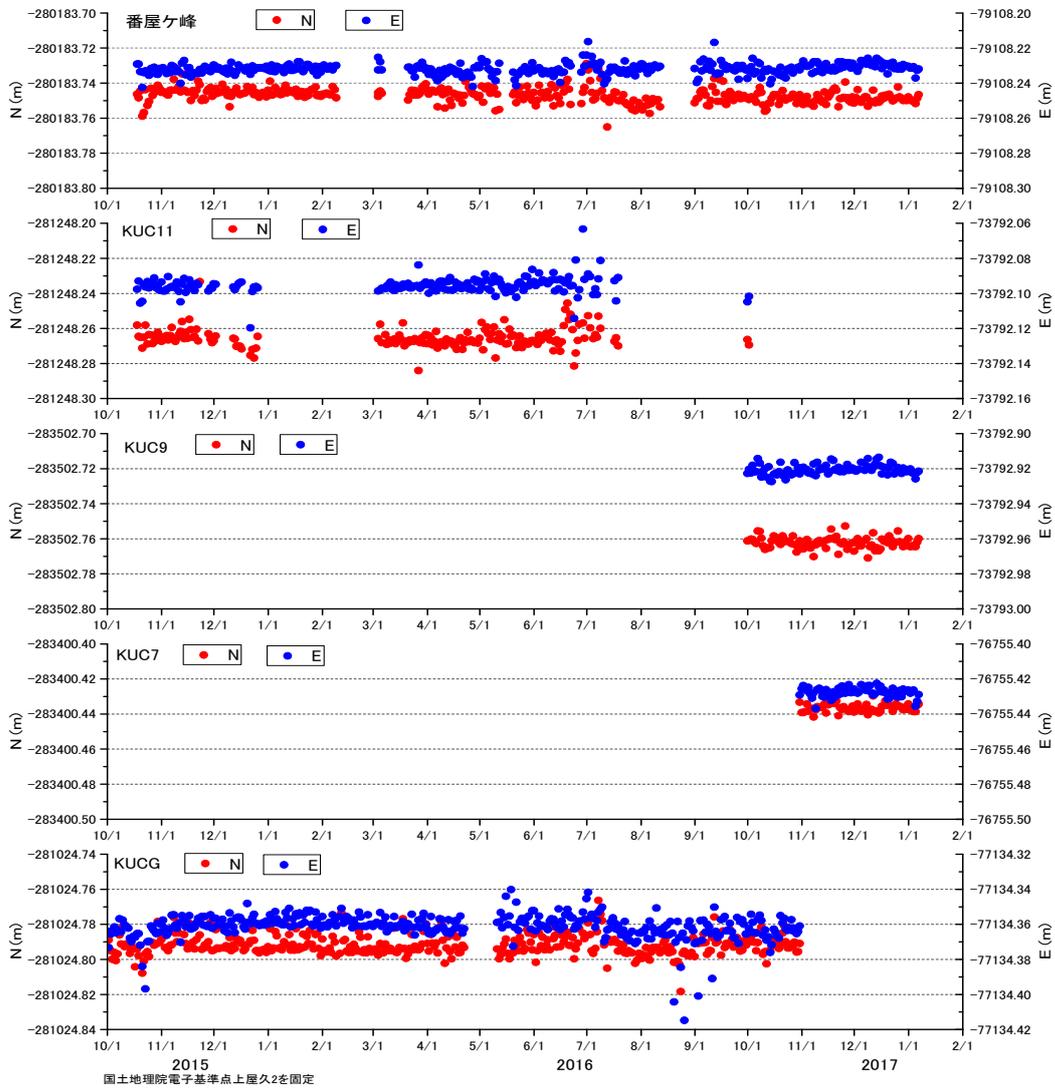
口永良部島における地震活動の推移



口永良部島における火山性地震の発生回数
(2017年1月20日まで)

口永良部島

口永良部島における水平変位

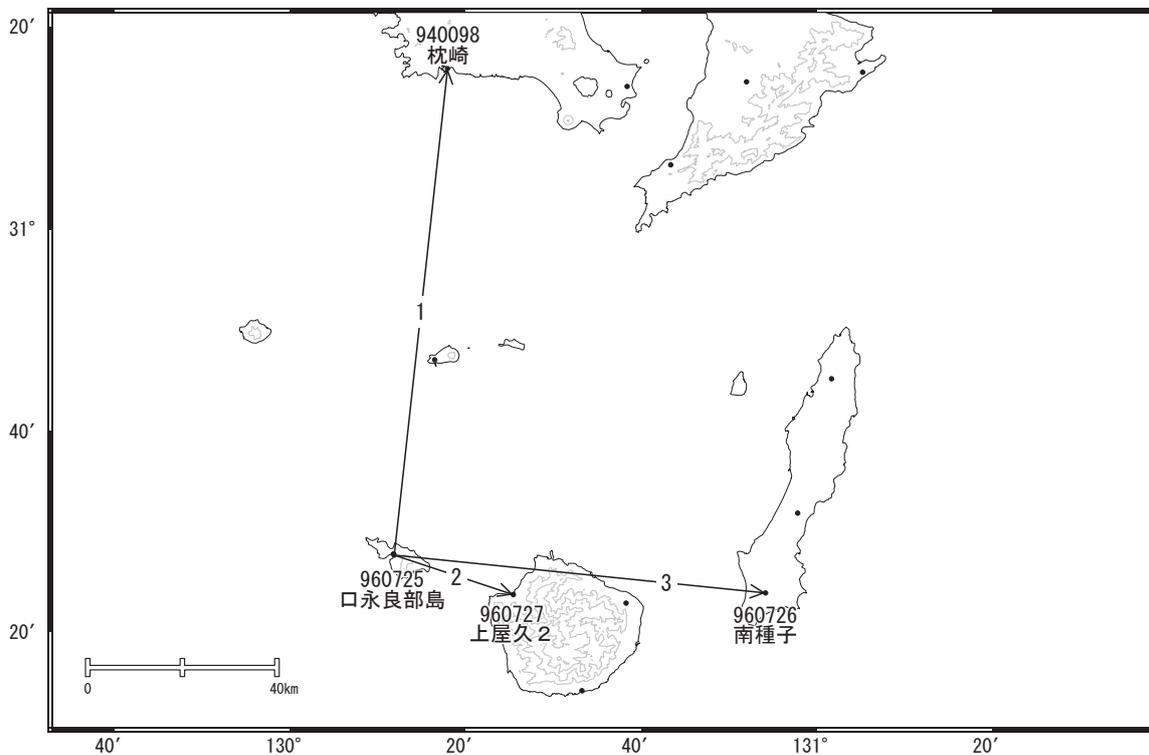


GPS 連続観測 (2017年1月20日まで)

口永良部島

顕著な地殻変動は観測されていません。

口永良部島周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(1)



口永良部島周辺の各観測局情報

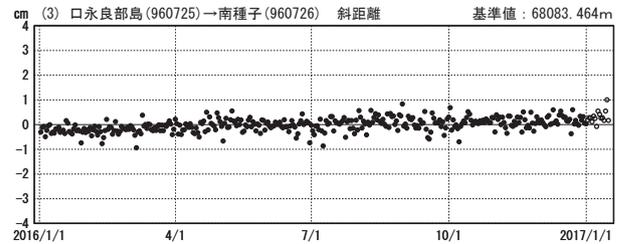
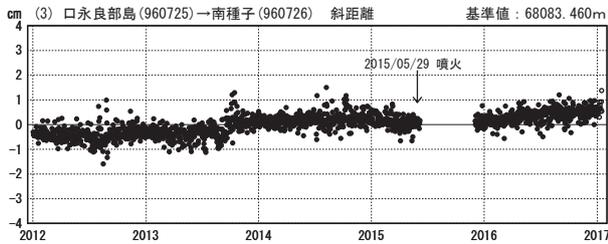
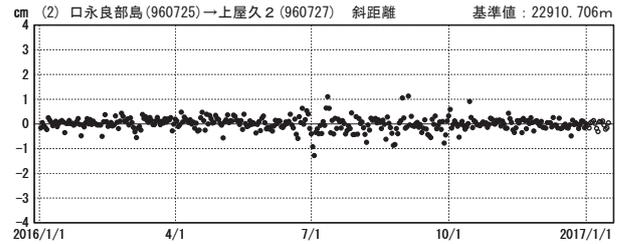
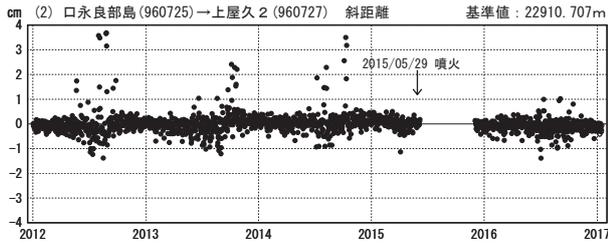
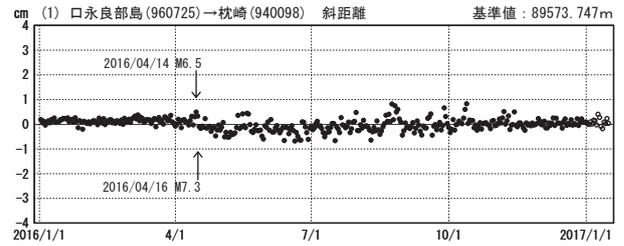
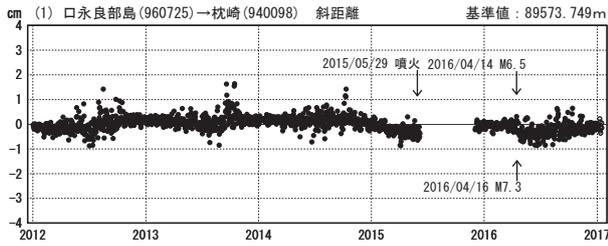
点番号	点名	日付	保守内容
940098	枕崎	20121012	アンテナ・受信機交換
		20140114	アンテナ交換
960725	口永良部島	20121012	アンテナ交換
960726	南種子	20121009	アンテナ交換
		20160712	受信機交換
960727	上屋久2	20121012	アンテナ交換

基線変化グラフ

※停電のため、2015/6/7～12/2が欠測

期間：2012/01/01～2017/01/15 JST

期間：2016/01/01～2017/01/15 JST

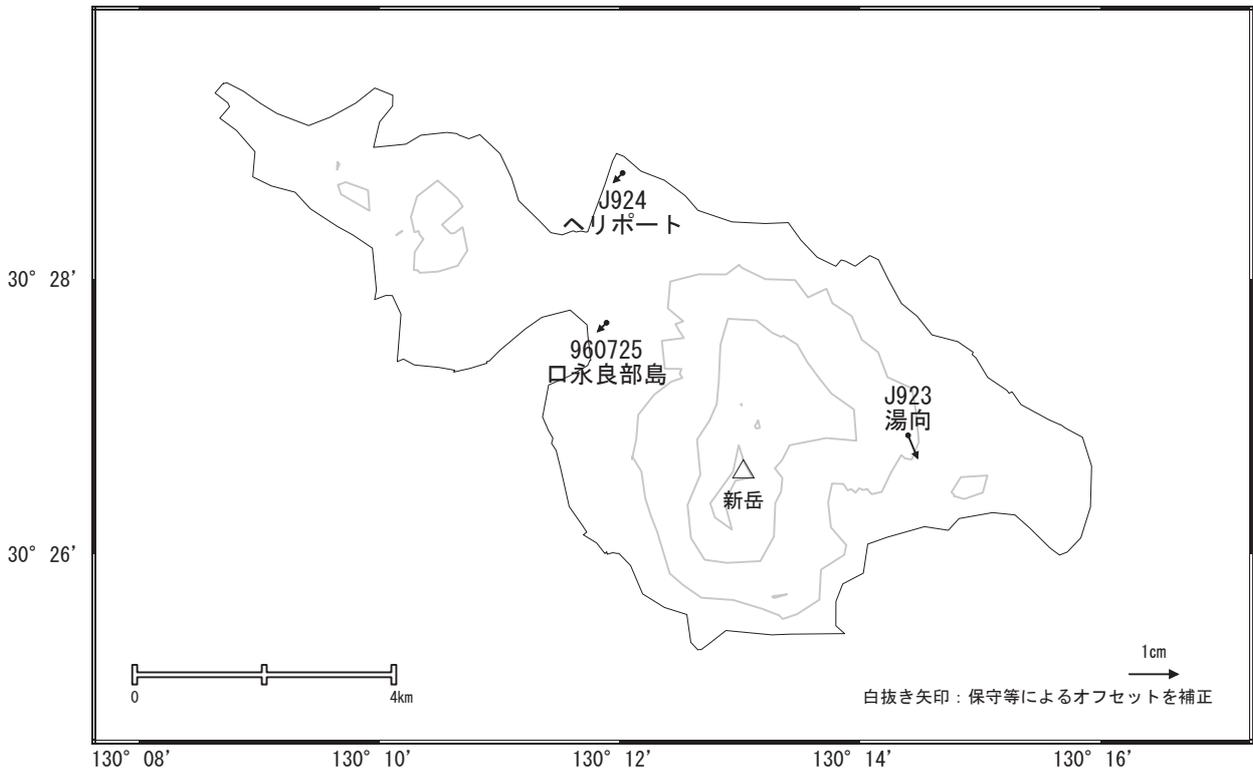


●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

国土地理院

口永良部島周辺の地殻変動(水平:3ヶ月)

基準期間：2016/09/22～2016/09/22[F3:最終解]
比較期間：2016/12/22～2016/12/24[F3:最終解]



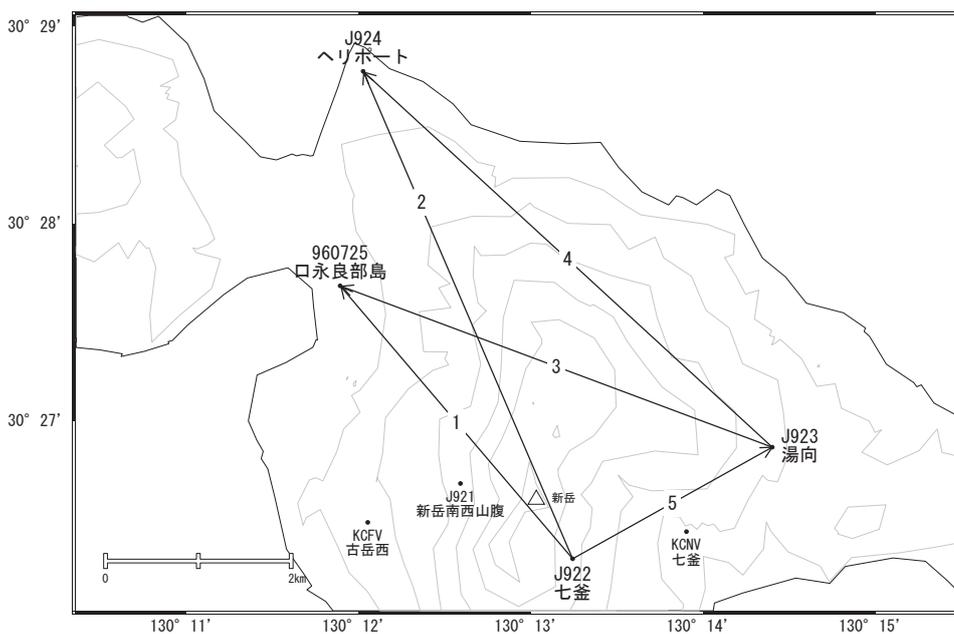
☆ 固定局：枕崎 (940098)

国土地理院・気象庁

※[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

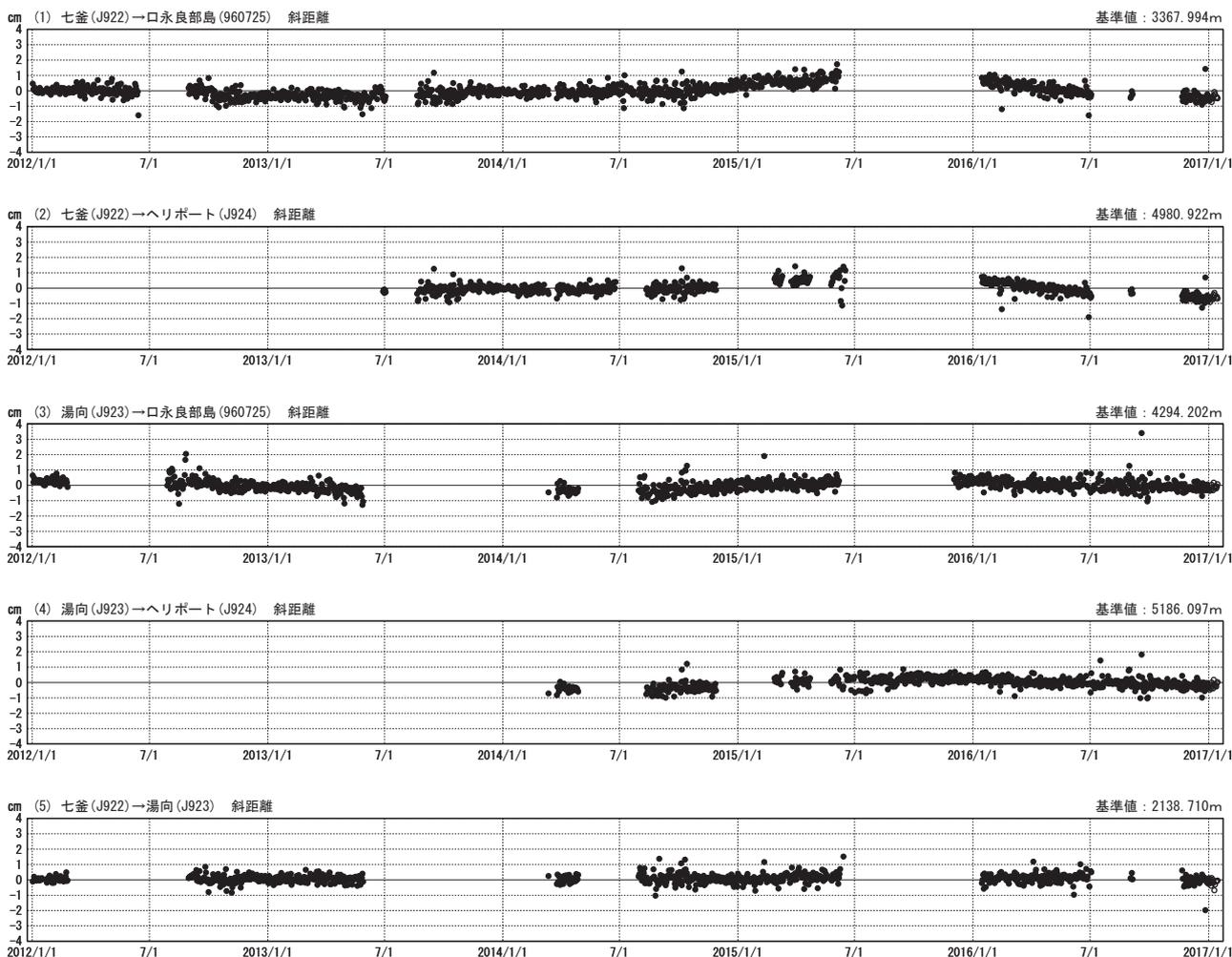
口永良部島

口永良部島周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(2)



基線変化グラフ

期間: 2012/01/01~2017/01/15 JST



●—[F3:最終解]

国土地理院・気象庁

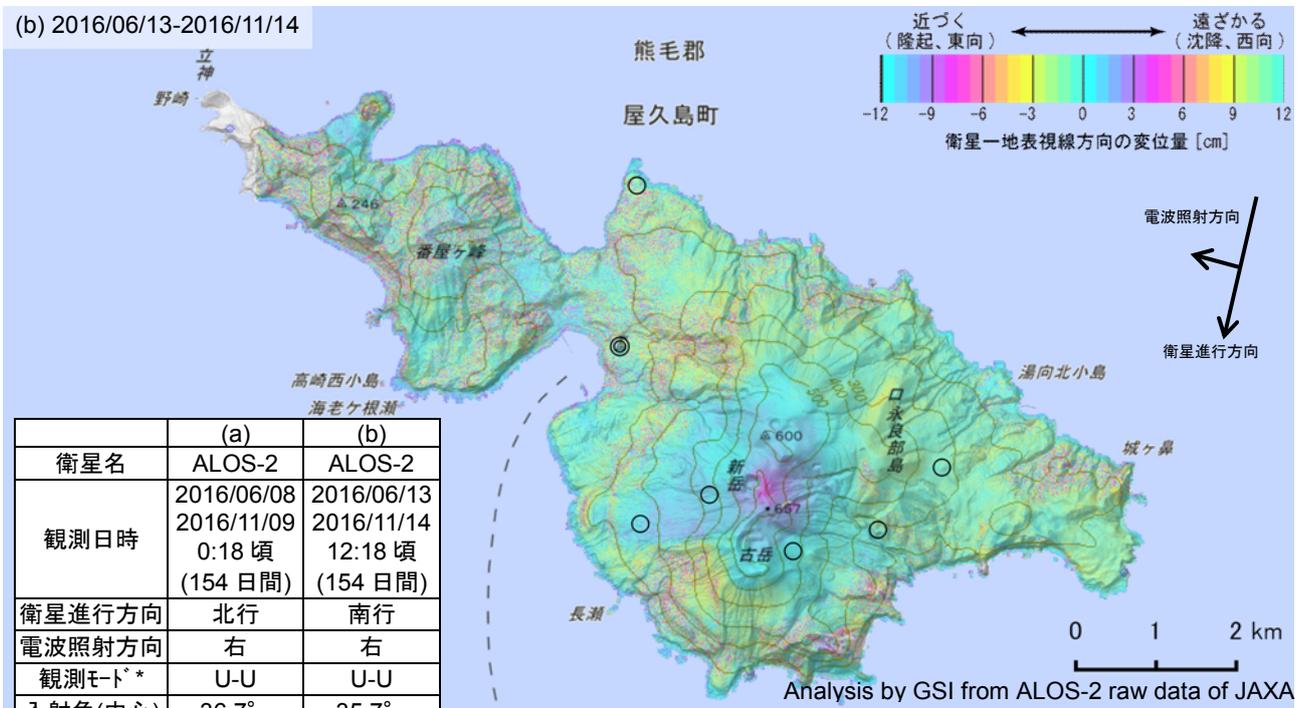
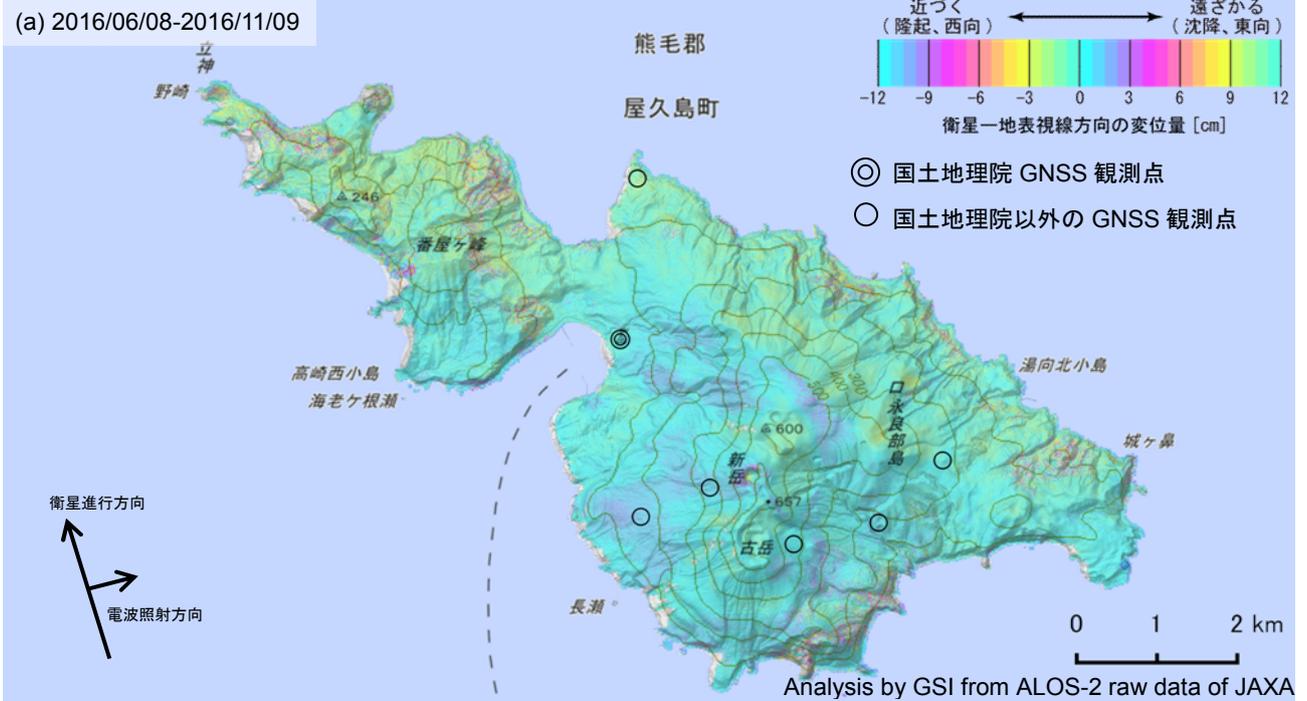
(注) 口永良部島(960725)は停電のため、2015/6/7~12/2が欠測しました。

※[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

口永良部島

口永良部島の 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ない。



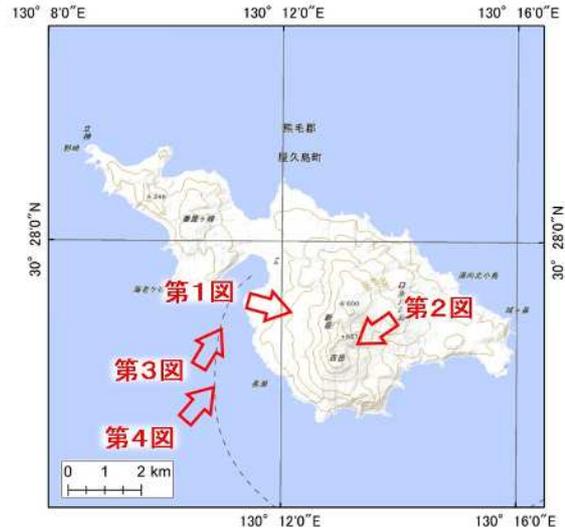
	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2016/06/08 2016/11/09 0:18 頃 (154 日間)	2016/06/13 2016/11/14 12:18 頃 (154 日間)
衛星進行方向	北行	南行
電波照射方向	右	右
観測モード*	U-U	U-U
入射角(中心)	36.7°	35.7°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+ 160 m	- 121 m

*U: 高分解能(3m)モード

背景: 地理院地図 標準地図 及び 陰影起伏画像・傾斜量画像(国土地理院作成)

口永良部島

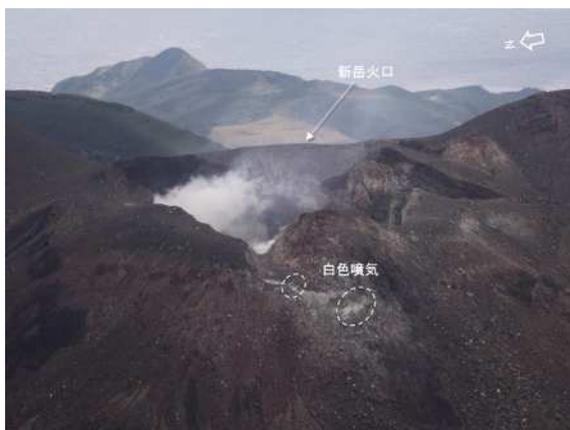
口永良部島



地形図は国土地理院 HP の地理院地図を使用した。

最近の活動について

年月日	調査機関等	活動状況
2017/ 1 / 14	海上保安庁	<p>新岳火口及び新岳火口西側の 2 カ所から白色噴気の放出を認めた(第 1 図)。また、古岳火口内の数カ所に白色噴気の放出を認めた(第 2 図)。</p> <p>口永良部港内の向江浜前面海面に幅 400m、長さ 500m で黄白色の変色水域が分布していた(第 3 図)。</p> <p>また、ニシマザキ南方約 1,000m の海岸線付近に幅 200m、長さ 300m でごく薄い黄白色の変色水域が分布していた(第 4 図)。</p>



第 1 図 新岳火口

2017 年 1 月 14 日 10:05 撮影



第 2 図 古岳火口

2017 年 1 月 14 日 10:01 撮影



第 3 図 口永良部島港の変色水域
2017 年 1 月 14 日 09:56 撮影



第 4 図 ニシマガキ南方の変色水域
2017 年 1 月 14 日 09:56 撮影

阿蘇山 (2017年2月7日現在)

中岳第一火口では、10月7日21時52分に噴火が発生し、その後10月8日01時46分に爆発的噴火が発生した。

今後も同程度の噴火が発生し、弾道を描いて飛散する大きな噴石が火口から1kmを超えて飛散する可能性があるためと判断したことから、10月8日01時55分に火口周辺警報を発表し、噴火警戒レベルを2(火口周辺規制)から3(入山規制)に引き上げた。

10月8日に気象庁機動調査班(JMA-MOT)が九州地方整備局の協力により実施した上空からの観測、及び12日に実施した現地調査で、火口周辺に大きな噴石が飛散したことを確認した。同日に実施した現地調査及び電話による聞き取り調査では、阿蘇山の北東側で多量の降灰となっていたほか、熊本県、大分県、愛媛県、香川県、岡山県で降灰を確認した。熊本大学教育学部、京都大学大学院理学研究科、産業技術総合研究所及び気象庁が実施した調査では、8日の爆発的噴火に伴う噴出物の総量は60~65万トン程度と見積もられた。

10月7日の噴火前には次の様な現象が観測された。

10月4日以降、火山性微動の振幅が概ねやや大きい状態で推移し、10月7日21時52分の噴火前まで大きな状態で経過した。23時50分頃から傾斜計で急速に火口隆起が認められ、B型地震が急増したが、爆発的噴火直前の8日01時30分頃から火山性微動の振幅が小さくなり、B型地震の発生もなくなった。

火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、10月6日までは1日あたり1,000~3,000トン程度と概ねやや多い状態で経過していたが、10月7日には1日あたり15,000トンと非常に多い状態となった。

GNSS連続観測では、2016年7月頃から草千里深部にあると考えられているマグマだまりの膨張を示す基線の伸びが認められていた。

10月8日の爆発的噴火の後、噴火は発生せず、火山性微動の振幅は概ね小さな状態で経過した。

火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、爆発的噴火後最高で1日あたり3,300トンであったが、次第に減少し、2017年1月には1日あたり1,000トン以下となった。

傾斜変動では、火山活動に伴う特段の変化は認められず、GNSS連続観測では、マグマだまりの膨張を示す基線の伸びは、11月中旬以降は停滞した。この停滞は火山ガスの減少もあわせて考えるとマグマだまりへのマグマの供給が減少しているためと考えられる。

以上により、2016年12月20日14時00分に火口周辺警報を発表し、噴火警戒レベルを3(入山規制)から2(火口周辺規制)に引き下げ、2017年2月7日に噴火予報を発表し、噴火警戒レベルを2(火口周辺規制)から1(活火山であることに留意)に引き下げた。

活火山であることから、火口内では土砂や火山灰を噴出する可能性がある。また、火口付近では火山ガスに注意が必要である。なお、地元自治体等が実施している立入規制等に留意が必要である。

概況 (2016 年 9 月 ~ 2017 年 2 月 7 日)

・2016 年 10 月 7 ~ 8 日の状況 (図 1 ~ 13、図 15 ~ 21)

火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、2016年9月までは1日あたり1,000~3,000トン程度と概ねやや多い状態で経過したが、10月8日の噴火直前の10月7日に15,000トンと急増し非常に多い状態となった。

火山性微動の振幅は概ねやや大きい状態で推移していたが、10月7日10時頃からさらに大きな状態となり、21時52分に噴火が発生した。この噴火に伴い、中岳西山腹観測点(火口から西側700m)で最大振幅118 $\mu\text{m/s}$ (東西動成分)の火山性微動を観測し、古坊中観測点で27Paの空振を観測した。

その後、23時50分頃から傾斜計で急速に火口隆起が認められ、振幅の大きなB型地震が急増し、火山性微動の振幅が不安定に変動した。8日01時30分頃から火山性微動の振幅が小さくなり、B型地震の発生もなくなった。01時41分と01時44分に長周期パルス(古坊中広帯域地震計でローパスフィルター1Hzを通した波形で周期20秒程度)が発生し、次いで01時46分の爆発的噴火が発生した。爆発的噴火時に、中岳西山腹観測点で最大振幅1,870 $\mu\text{m/s}$ (上下動成分)の地震を観測し、南阿蘇村中松で震度2を観測した。また、古坊中観測点で189Paの空振を観測した。気象衛星ひまわり8号による観測では、この爆発的噴火で噴煙が海拔高度11,000mまで上がったことが解析された。

10月8日に気象庁機動調査班(JMA-MOT)が九州地方整備局の協力により実施した上空からの観測では、噴火に伴う火山灰等による灰色の変色域は、中岳第一火口の北西側では火口から1.6km、南東側では1.0kmまでのびており、北東側ではさらに遠方までのびていた。また、火口内に灰色の湯だまりが残っていることを確認した。赤外熱映像装置による観測では、中岳第一火口の南東側1.2kmに大きな噴石と思われる温度の高い箇所が認められた。

同日に実施した現地調査及び電話による聞き取り調査では、阿蘇山の北東側約5kmの場所で降灰の量が3,800g/m²に達するなど、多量の降灰となっていたほか、熊本県、大分県、愛媛県、香川県、岡山県で降灰を確認した。また、中岳第一火口から北東側約4kmの国立阿蘇青少年交流の家で長径7cmの小さな噴石を確認したほか、北東側約20kmの大分県竹田市でも直径数mmの小さな噴石を確認した。熊本大学教育学部、京都大学大学院理学研究科、産業技術総合研究所及び気象庁が実施した調査では、8日の爆発的噴火に伴う噴出物の総量は60~65万トン程度と見積もられた。

・噴煙など表面現象の状況 (図 22 ~ 32、図 33- ~ 、図 34- ~)

10月8日の爆発的噴火の後には、噴火は観測されておらず、白色の噴煙が最高で火口縁上800mまで上がっている。

11月12日以降、夜間に高感度の監視カメラで火映を時々観測した。火映を観測したのは、2015年4月26日以来である。中岳第一火口内の火口壁の一部が赤熱し火映が発生しているものと推定される。

10月12日に実施した火口南側から南西側の現地調査では、火口中心から約700mの範囲で、8日の噴火により飛散した直径1~1.5mの大きな噴石を確認した。また、中岳第一火口内では、灰白色で高温の湯だまりを確認した。12月19日に実施した現地調査では、灰緑色の湯だまりを、2017年1月18日、2月3日に実施した現地調査では、緑色の湯だまりを確認した。いずれも土砂噴出は観測されていない。2017年1月18日の湯だまり量は12月19日の観測と比べ

て増加しており、2月3日には湯だまり量が火口底の約8割になっているのを確認した。また、中岳第一火口底南西側及び南側火口壁では、10月12日の観測以降、白色の噴気が勢いよく噴出しているのを確認している。

2月3日の赤外熱映像装置による観測では、湯だまりの表面温度は約40℃と、以前の観測（2016年4～10月：60～90℃）と比べて、低い状態であった。火口底への熱や火山ガスの供給が弱まることにより、湯だまりの対流活動が低下し、色が灰白色から緑色に変化、表面温度も低下したと推定される。南側火口壁では、2016年9月11日の観測と比べて熱異常域が拡大し、最高温度は約660℃と一部で高温となっていた。

・地震や微動の発生状況（図33- 、図34- ～ 、図35～38）

火山性微動の振幅は、10月9日以降、概ね小さな状態で経過した。

火山性地震は、10月8日の噴火直前にB型地震が増加した後、減少していたが、2017年1月13日から20日にかけて火口付近の浅いところを震源とする振幅の小さな地震が一時的に増加した。孤立型微動は、10月にかけて度々多い状態で経過したが、その後は概ね少ない状態で経過した。

火山性地震の震源は、主に中岳第一火口付近のごく浅い所から海拔下2kmと、中岳第一火口の南西から西側の海拔下0～2kmに分布した。

なお、火山性微動の振幅が大きい状態の時には、火山性地震、孤立型微動ともに、計数できていない。

・火山ガスの状況（図33- 、図34- 、図38、図39）

火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、10月8日の噴火後は11月2,100～3,300トン、12月1,000～1,700トンと次第に減少し、2017年1月以降には1日あたり1,000トン以下で阿蘇山の火山活動の静穏期に観測される量と同程度（500～1,000トン）で経過した。

・地殻変動の状況（図38～43）

GNSS連続観測では、2016年7月頃から認められていた、草千里深部にあると考えられているマグマだまりの膨張を示す基線の伸びは、11月中旬以降は停滞した。11月以降、徐々に火山ガス（二酸化硫黄）の放出量が減少してきていることもあわせて考えると、マグマだまりへのマグマの供給が減少していることが推定される。

傾斜計では、10月7日23時50分頃から火口方向の隆起が認められたが、10月8日の爆発的噴火後は、火山活動に伴う特段の変化は認められていない。

・南阿蘇村吉岡の噴気地帯の状況（図44～46）

2月1日に実施した現地調査では、前回（2016年5月31日）と同様にやや活発な噴気活動が続いていることを確認した。

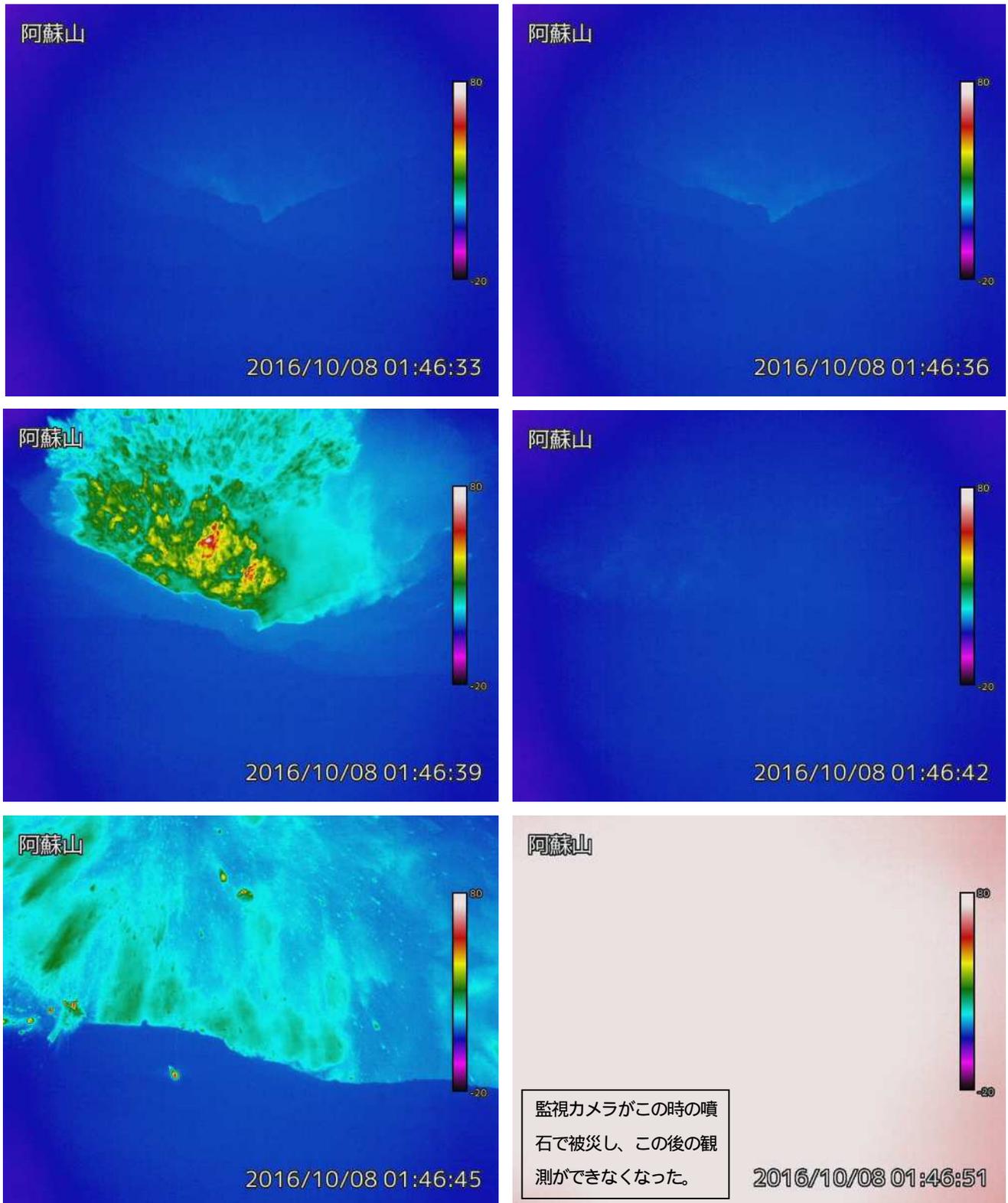


図1 阿蘇山 爆発的噴火時の第二火口南縁監視カメラの画像（中岳第一火口南側から火口内を撮影）火口から高温の物質が噴出し（46分39秒）火口縁（手前の青色部分）を越えて周囲に飛散する様子（46分45秒）が確認できた。（噴火発生前の画像、及び01時46分42秒の画像では、監視カメラの視野を噴煙が覆い温度分布が見にくくなっていると考えられる）

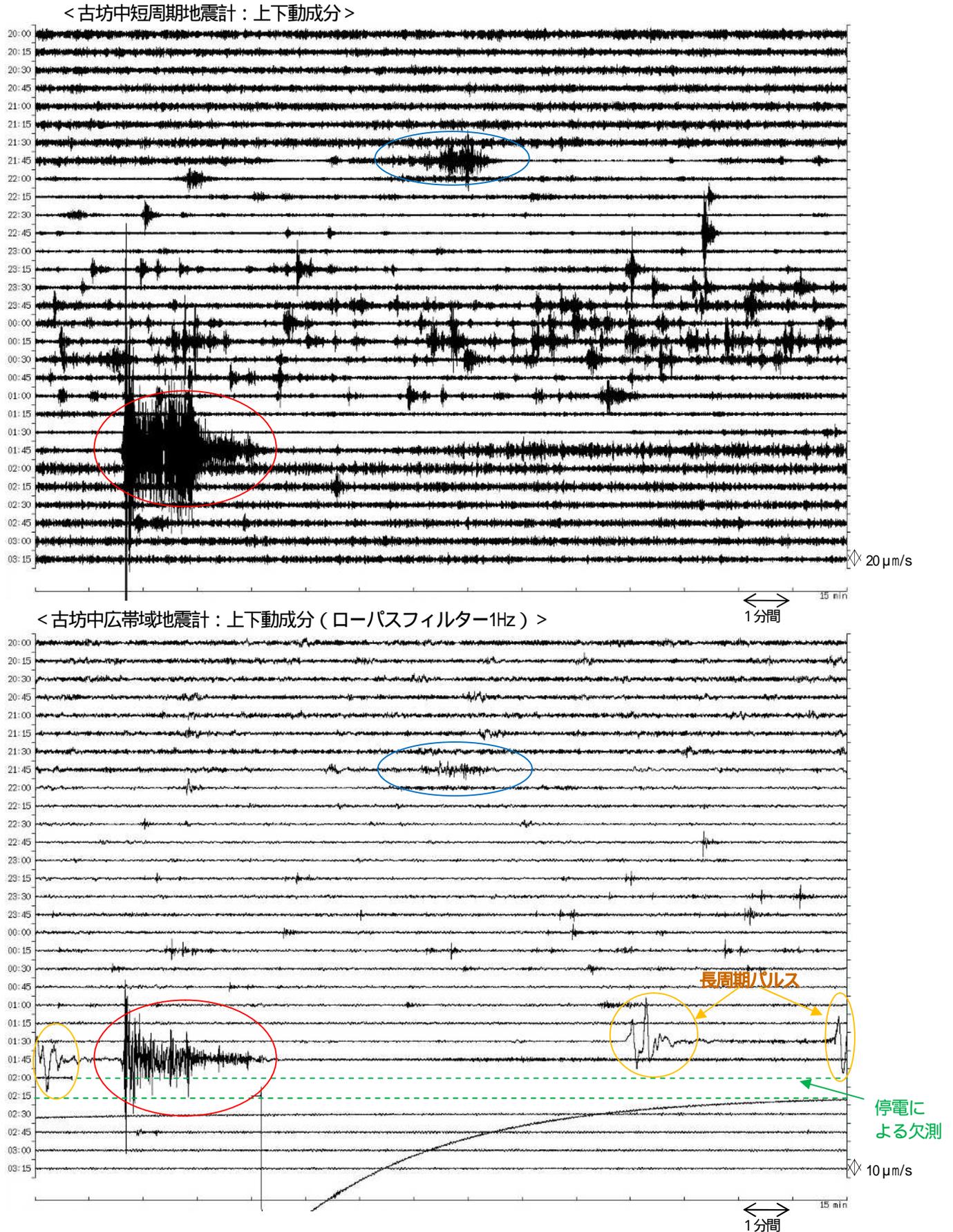


図2 阿蘇山 10月7日21時52分の噴火()及び8日01時46分の爆発的噴火の地震波形()
 (上図：古坊中短周期地震計上下動成分、下図：古坊中広帯域地震計上下動成分、2016年10月7日20時00分～10月8日03時30分)
 10月7日21時52分の噴火後から、それ以前と比較して火山性微動の振幅は小さくなったが、8日01時過ぎにかけて火山性地震が多数発生した。

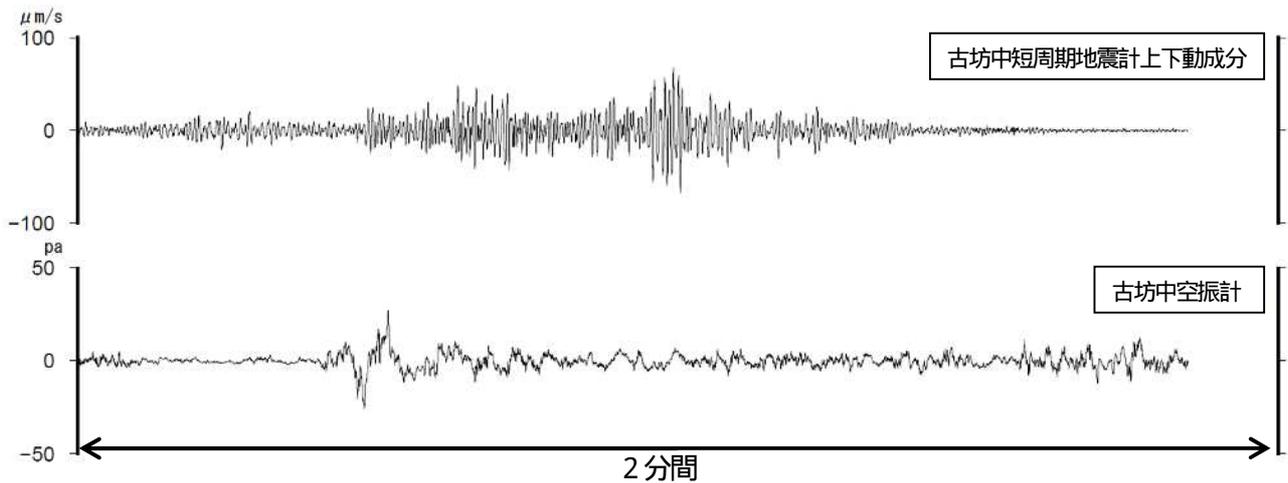


図3 阿蘇山 10月7日21時52分に発生した噴火に伴う地震波形と空振波形
 (地震波形：古坊中観測点、空振波形：古坊中観測点)
 古坊中短周期地震計上下動成分の最大振幅は63 μm/s、古坊中空振計の最大振幅は27Pa

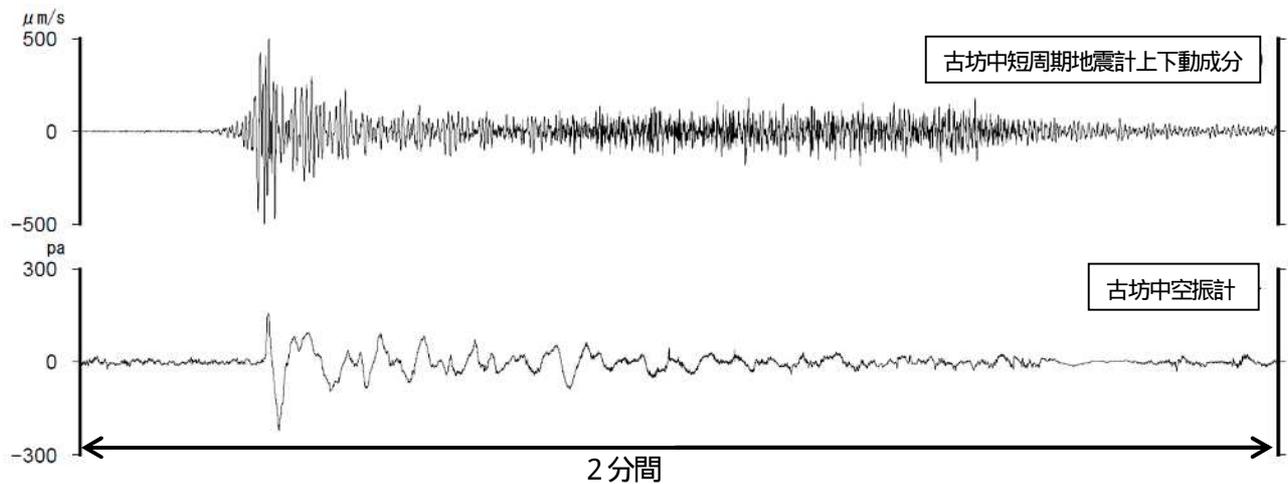


図4 阿蘇山 10月8日01時46分に発生した爆発的噴火に伴う地震波形と空振波形
 (地震波形：古坊中観測点、空振波形：古坊中観測点)
 古坊中短周期地震計上下動成分の最大振幅は471 μm/s、古坊中空振計の最大振幅は189Pa

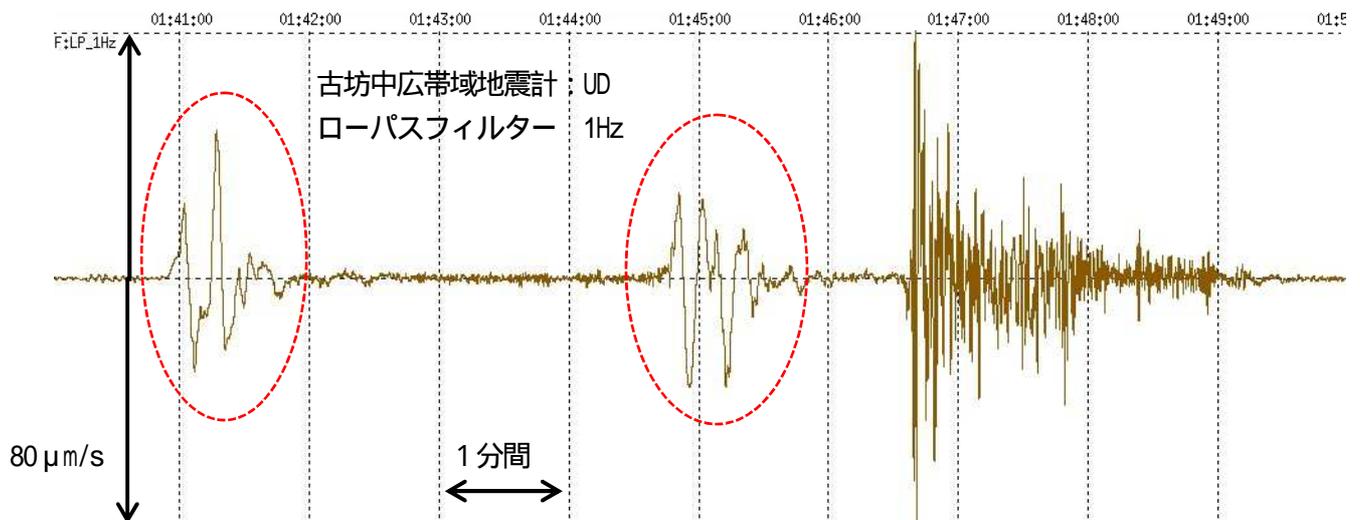


図5 阿蘇山 爆発的噴火前に発生した長周期パルスの波形 (図中の赤破線)
 (古坊中広帯域地震計上下動成分、ローパスフィルター 1 Hz、10月8日01時40分~50分)

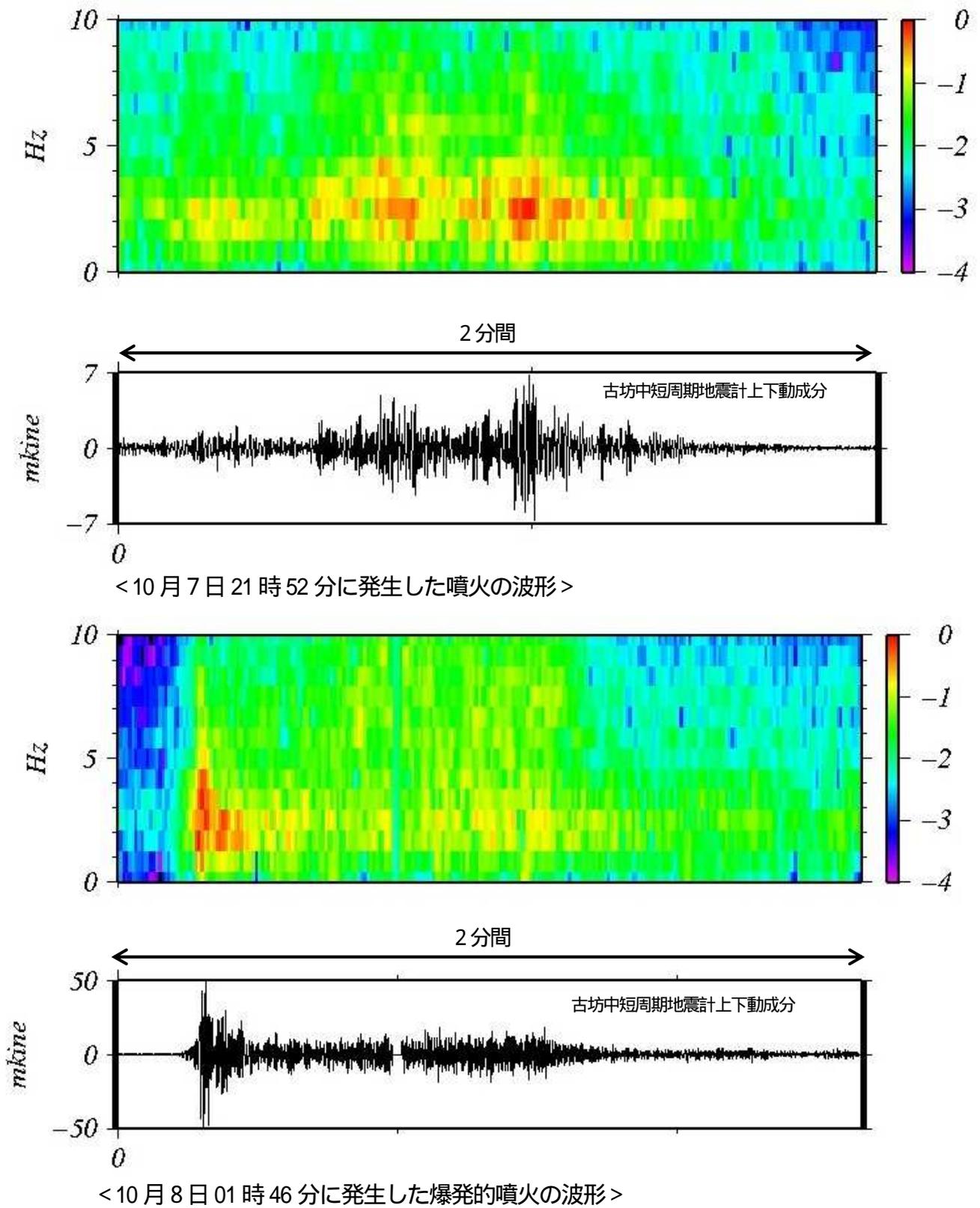


図6 阿蘇山 10月7日21時52分の噴火及び8日01時46分の爆発的噴火の地震波形のランニングスペクトル

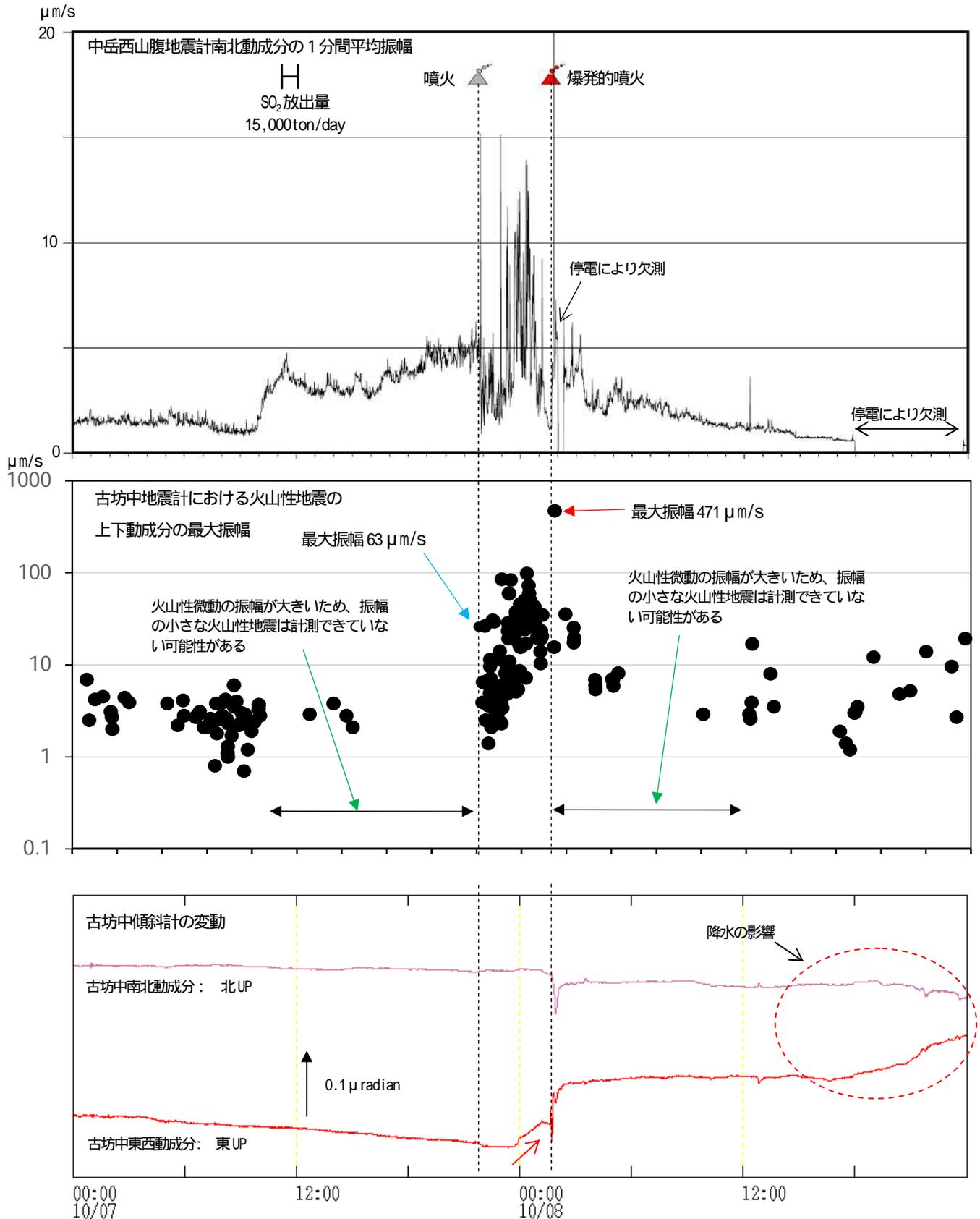


図 7 阿蘇山 中岳西山腹短周期地震計南北動成分の 1 分間平均振幅 (上段の図) 古坊中短周期地震計における火山性地震の上下動成分の最大振幅 (中段の図) 古坊中傾斜計の変動 (下段の図) (10月7日0時~10月9日0時)

- ・ 10月7日10時頃から平均振幅は大きい状態となった。
- ・ 7日の噴火後、火山性微動の振幅は次第に小さくなったが、振幅の大きなB型地震が急増し不安定に変動した。
- ・ 7日23時50分頃から傾斜計で火口方向の隆起 (図中の赤矢印) が認められた。

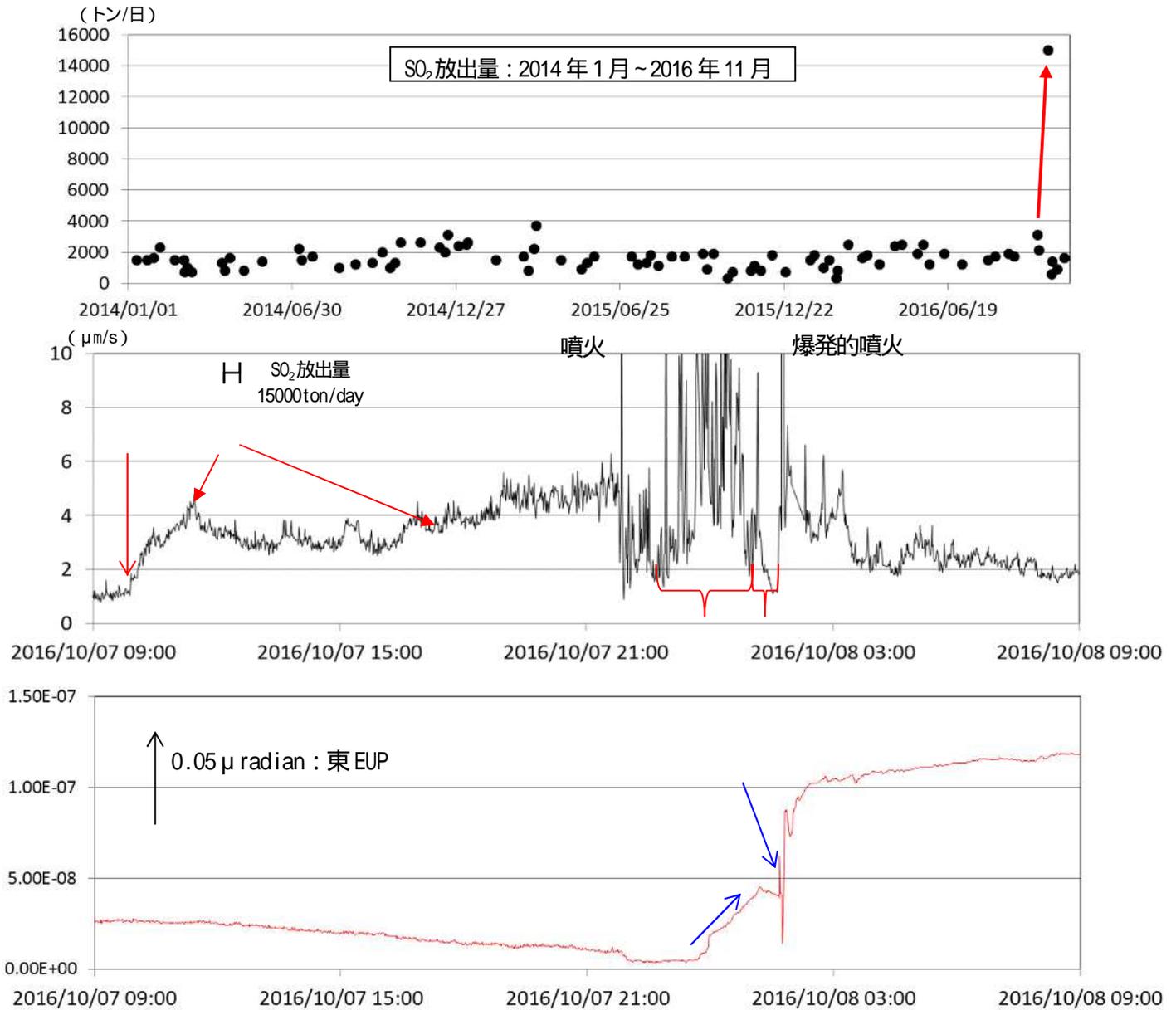


図 8 阿蘇山 10月8日の爆発的噴火前の火山活動状況

(上段) 1日あたりの二酸化硫黄放出量の図(2014年1月~2016年11月)

(中段) 中岳西山腹短周期地震計南北動成分の1分間平均振幅、(下段) 古坊中傾斜計東西成分の変動(中下段とも期間は2016年10月7日09:00~10月8日09:00)

1日あたりの二酸化硫黄放出量が9月27日(2,100トン)から10月7日15,000トンに7倍に急増。火山性微動の振幅が10月7日10時頃から急激に増大。

11時10分頃に火山性微動の振幅が中岳西山腹観測点NS成分で1分間平均振幅が火山活動の活発化を示す4μm/s以上と大きな状態で推移。

22時50分頃から8日01時10分頃までB型地震の多発により、1分間平均振幅が10μm/s程度から4μm/s程度まで不安定に変動。

23時41分から8日01時11分に古坊中傾斜計の東西成分で火口方向が隆起する0.039μradの傾斜変動

8日01時30分頃から火山性微動の振幅が小さくなり、B型地震の発生もなくなる。

01時41分と01時44分に長周期パルス(古坊中の広帯域地震計でローパスフィルター1Hzを通して周期20秒程度、39μm/s)が発生。

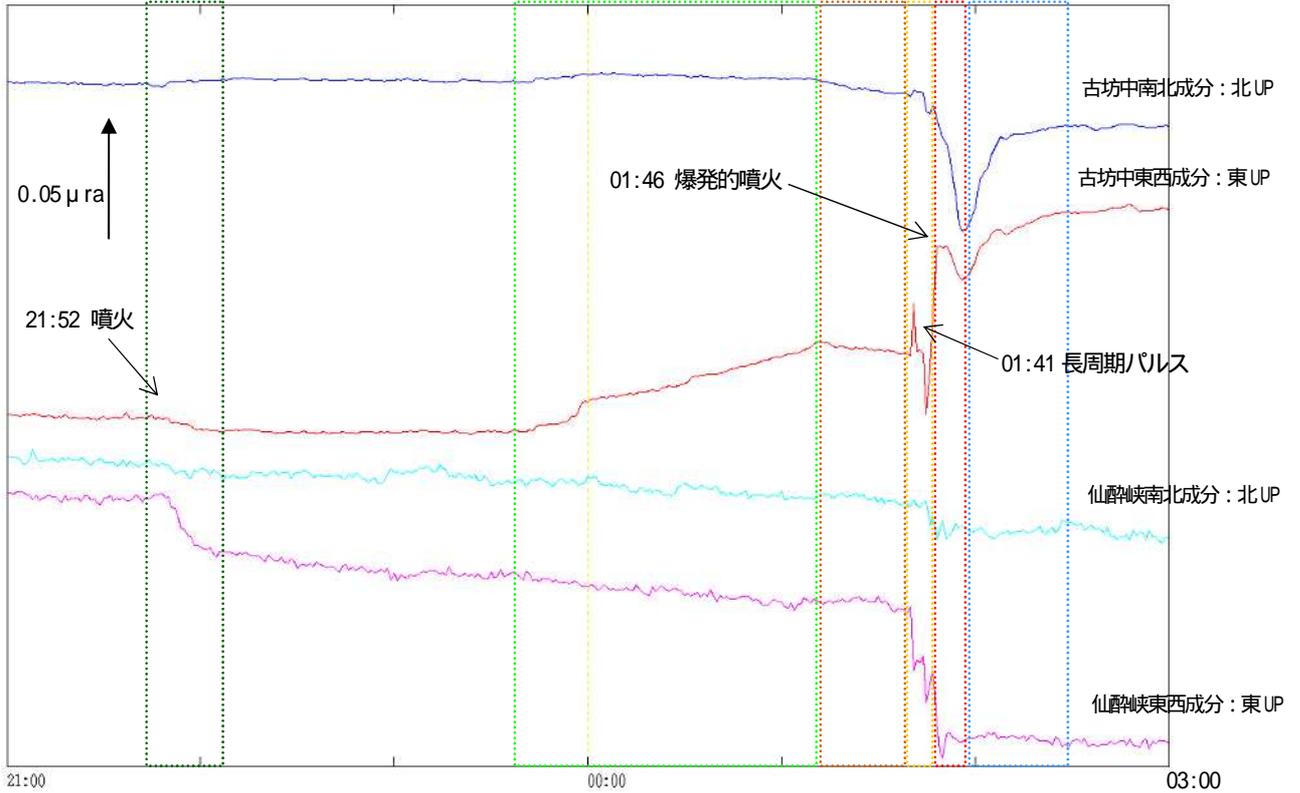


図 9 阿蘇山 古坊中及び仙酔峡観測点の傾斜変動の時系列 (10月7日 21:00~10月8日 03:00)

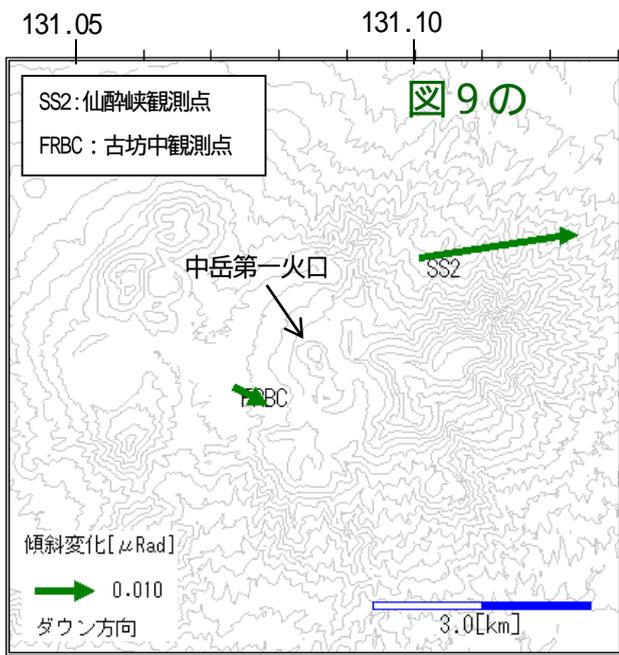


図 10-1 阿蘇山 傾斜変動ベクトル
(10/7 21:48~22:18)

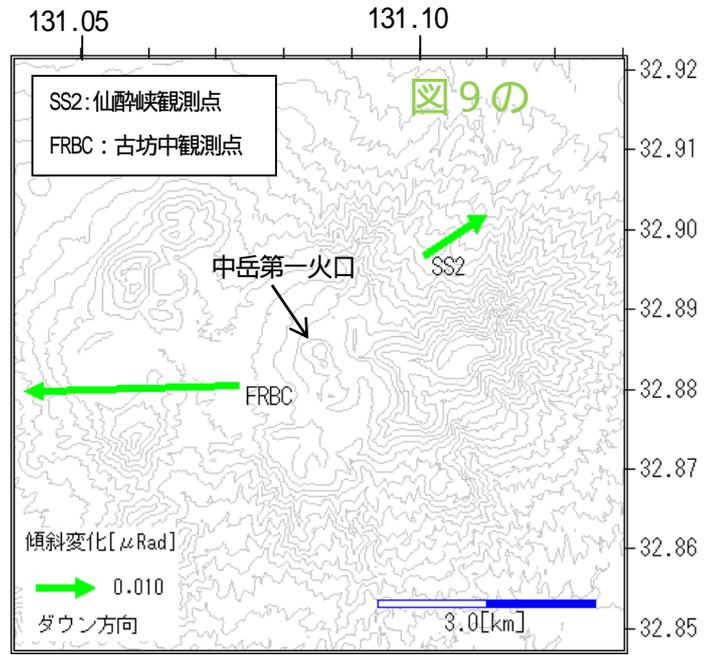


図 10-2 阿蘇山 傾斜変動ベクトル
(10/7 23:40~10/8 01:11)

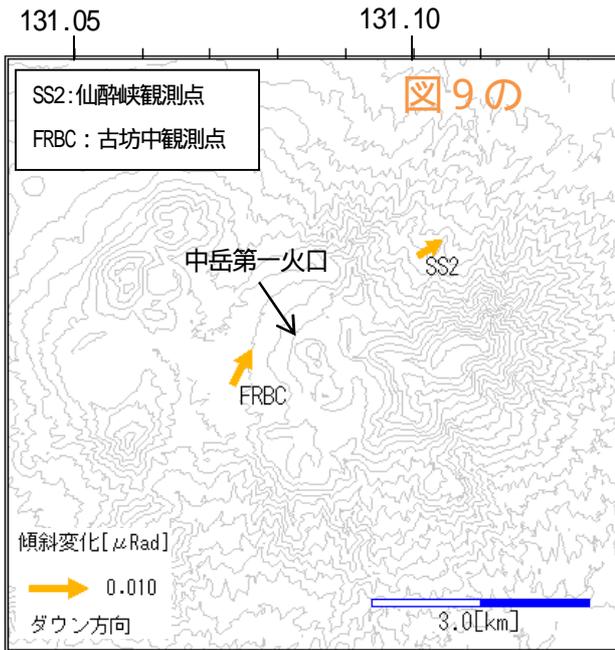


図 10-3 阿蘇山 傾斜変動ベクトル
(10/8 01:11~01:39)

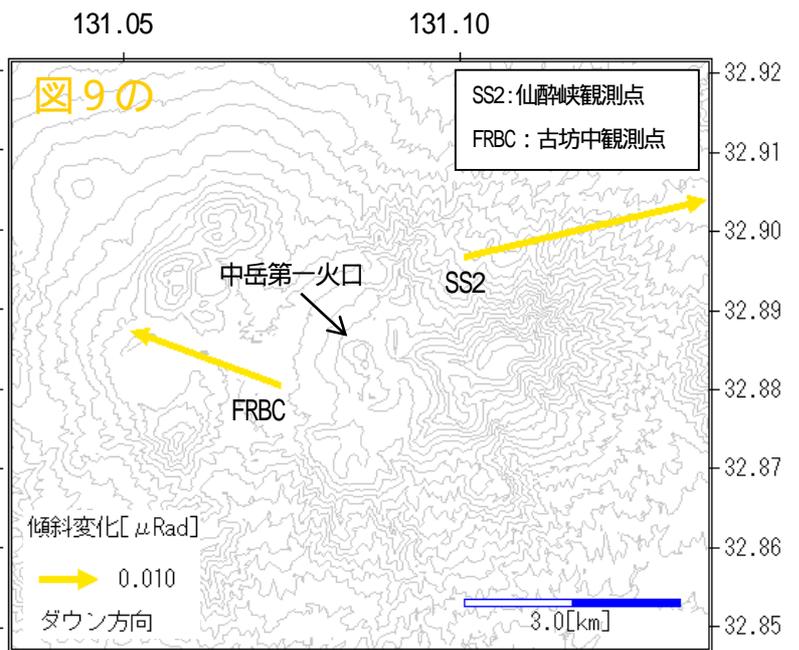


図 10-4 阿蘇山 傾斜変動ベクトル
(10/8 01:39~01:48)

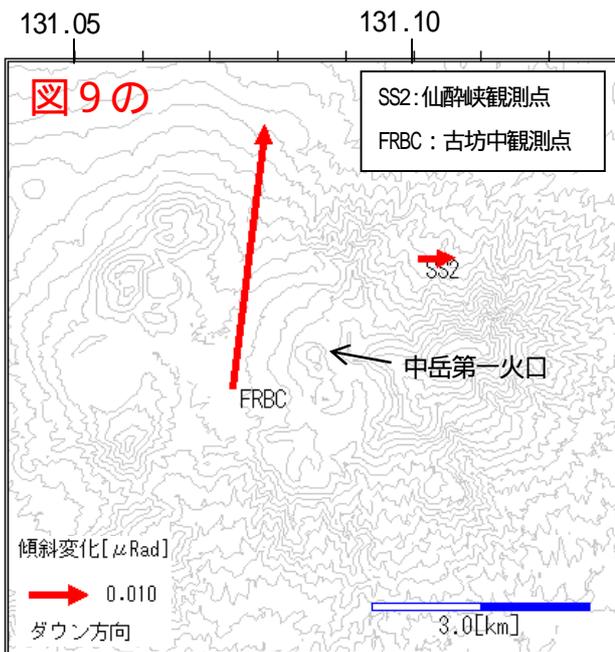


図 10-5 阿蘇山 傾斜変動ベクトル
(10/8 01:48~01:56)

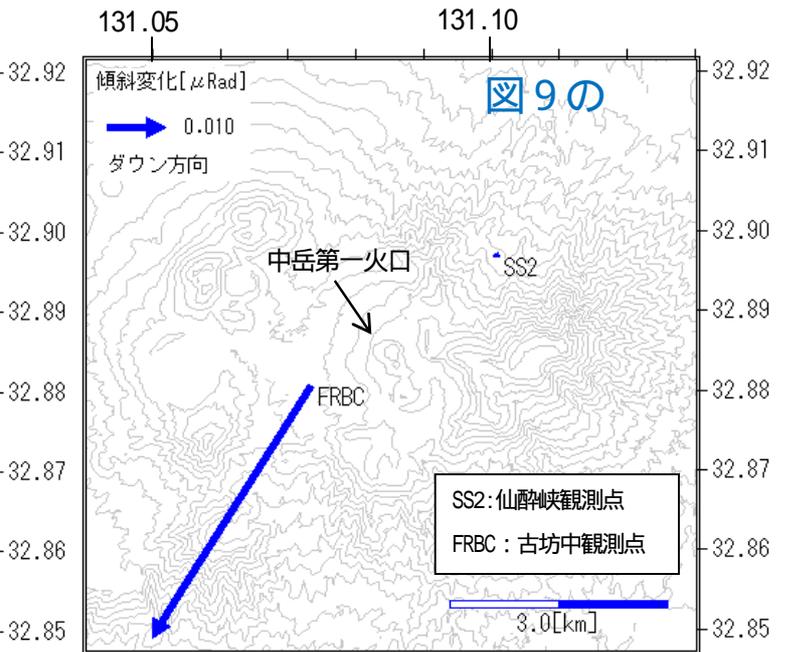


図 10-6 阿蘇山 傾斜変動ベクトル
(10/8 01:56~02:26)

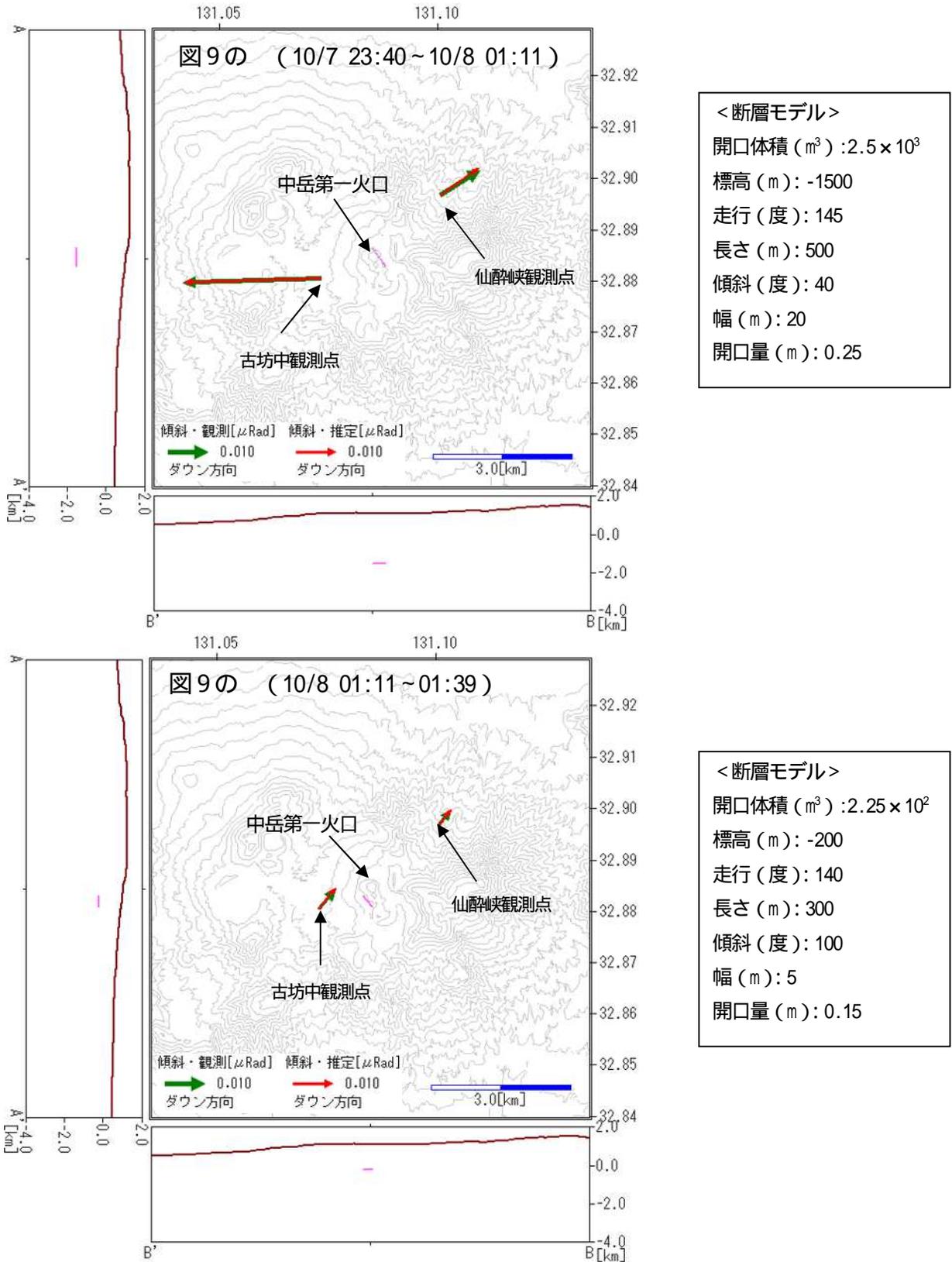
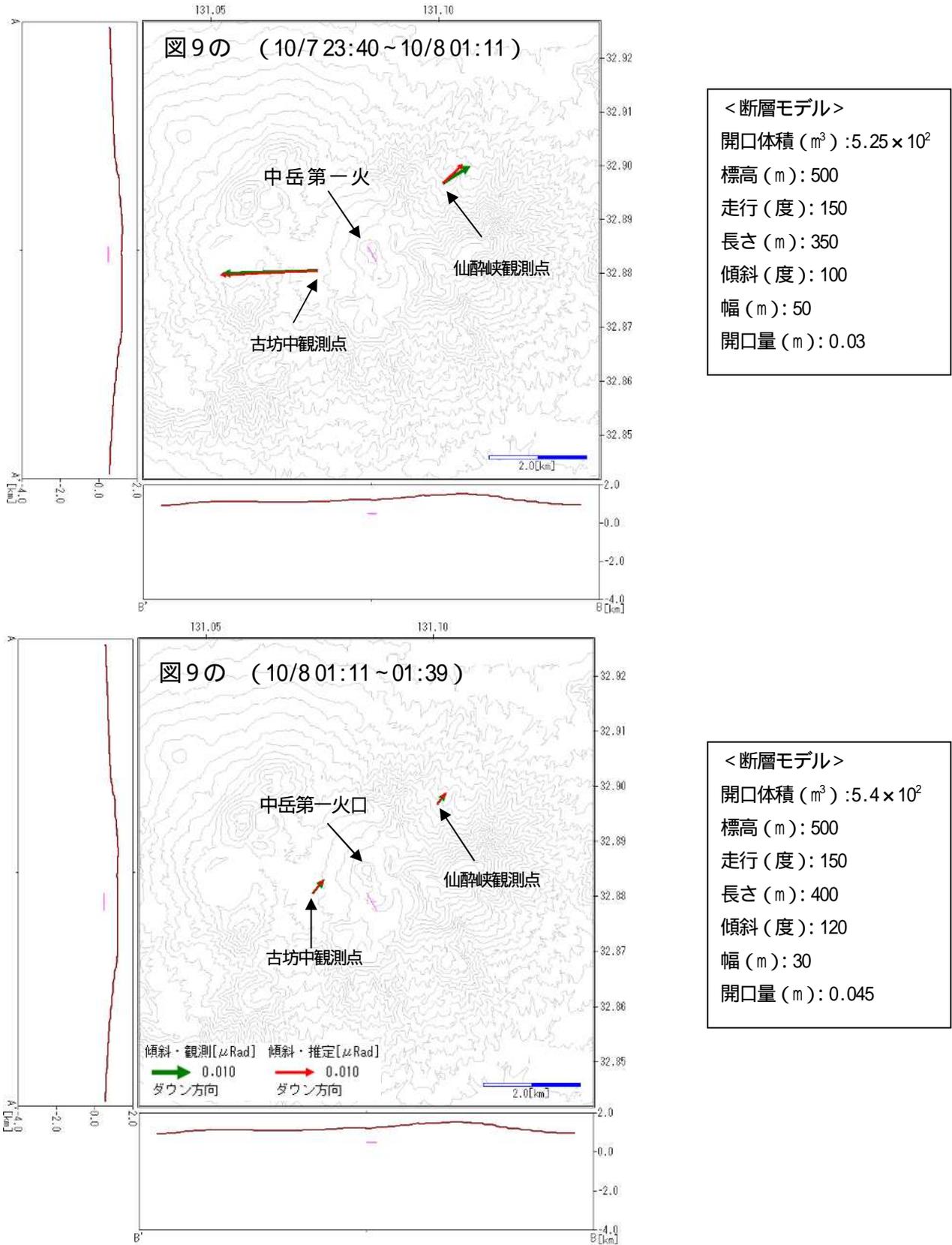


図 11 阿蘇山 10月8日01時46分の爆発的噴火前の傾斜変化の圧力源推定値(断層モデル)
 (上図: 10/7 23:40~10/8 01:11、下図: 10/8 01:11~01:39)

2 期間に分けて、グリッドサーチで中岳第 1 火口の下で圧力原を探索したところ、最初に標高 -1500m 付近、噴火直前に標高-200m 付近に、それぞれ観測値と理論値の差が最小となる開口圧力源(断層モデル)を選択できた。ただし図 14 の火道システム(山本 2008)を参考に 2 台の傾斜計の残差で選択した解である。

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。



<断層モデル>
 開口体積 (m³): 5.4 × 10²
 標高 (m): 500
 走行 (度): 150
 長さ (m): 400
 傾斜 (度): 120
 幅 (m): 30
 開口量 (m): 0.045

図 12 阿蘇山 参考：図 11 の別の計算例（標高 500m、走行 150 度で固定）

（上図：10/7 23:40 ~ 10/8 01:11、下図：10/8 01:11 ~ 01:39）

深さを標高 500m、走行を 150 度で固定して、2 期間でグリッドサーチで圧力源を推定すると、最初に中岳第一火口付近、噴火直前に中岳第四火口付近に、開口圧力源（ピンク線）が求まった。解の任意性を示す例。

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。

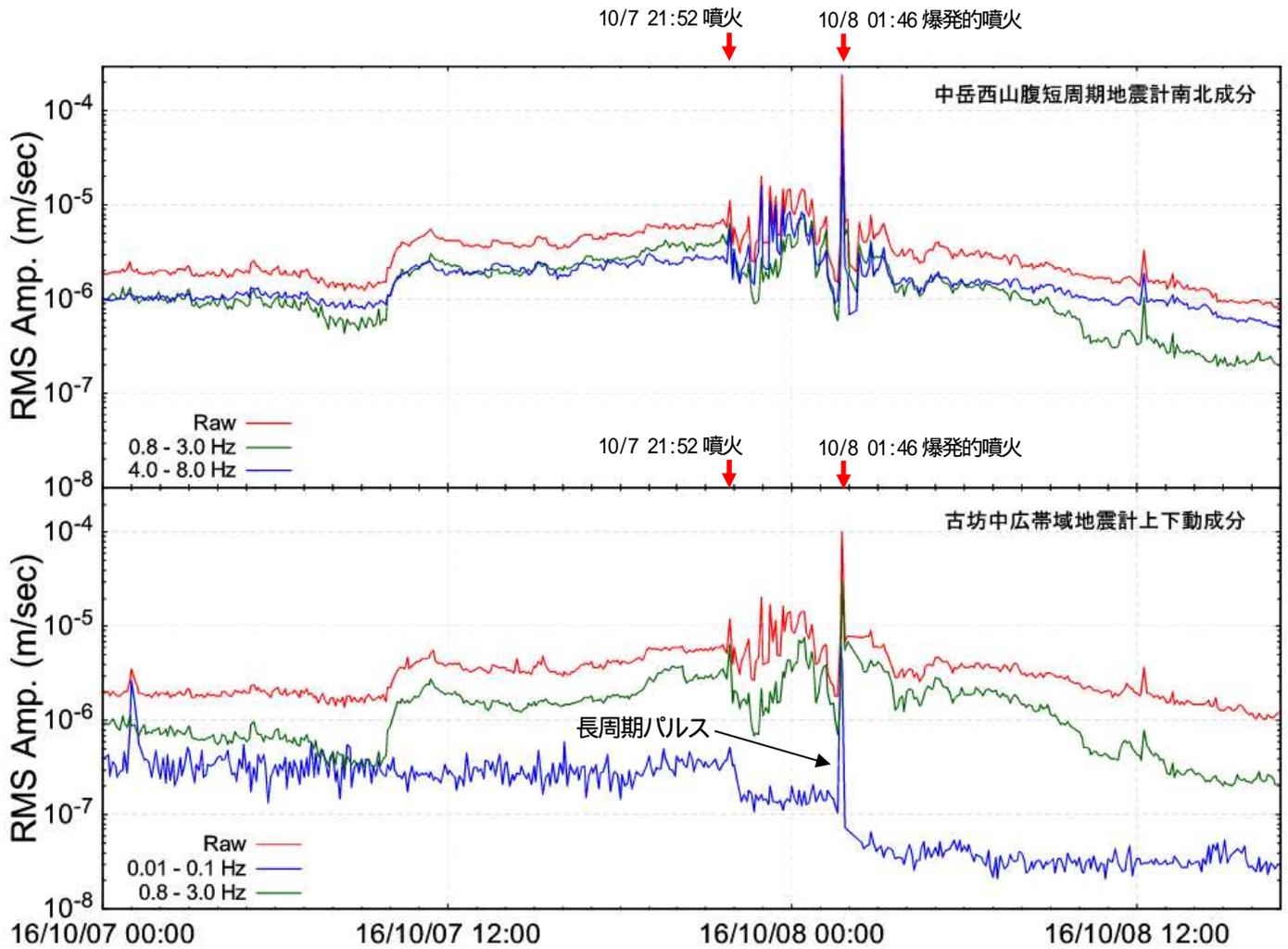


図 13 阿蘇山 各周波数帯域における火山性微動の RMS 振幅 (5 分間) 変化

(上図：中岳西山腹短周期地震計南北動成分、下図：古坊中広帯域地震計上下動成分、10 月 7 日 0 時 ~ 10 月 9 日 0 時)

- ・ 10 月 7 日 10 時頃からの微動振幅レベル増加は、0.8-3.0Hz 帯域が顕著であるが、0.01-0.1Hz 帯域はそれほど変化していない。
- ・ 10 月 7 日の噴火後、0.01-0.1Hz 帯域の振幅レベルは落ちていた。
- ・ 0.8-3.0Hz は 10 月 7 日の噴火後、一時的に低下するが、23 時ごろから増加の傾向を示していた。
- ・ 10/8 の 1 時前後から爆発直前まで低下していた。
- ・ 爆発的噴火後は、各周波数帯域の微動振幅は次第に低下した。

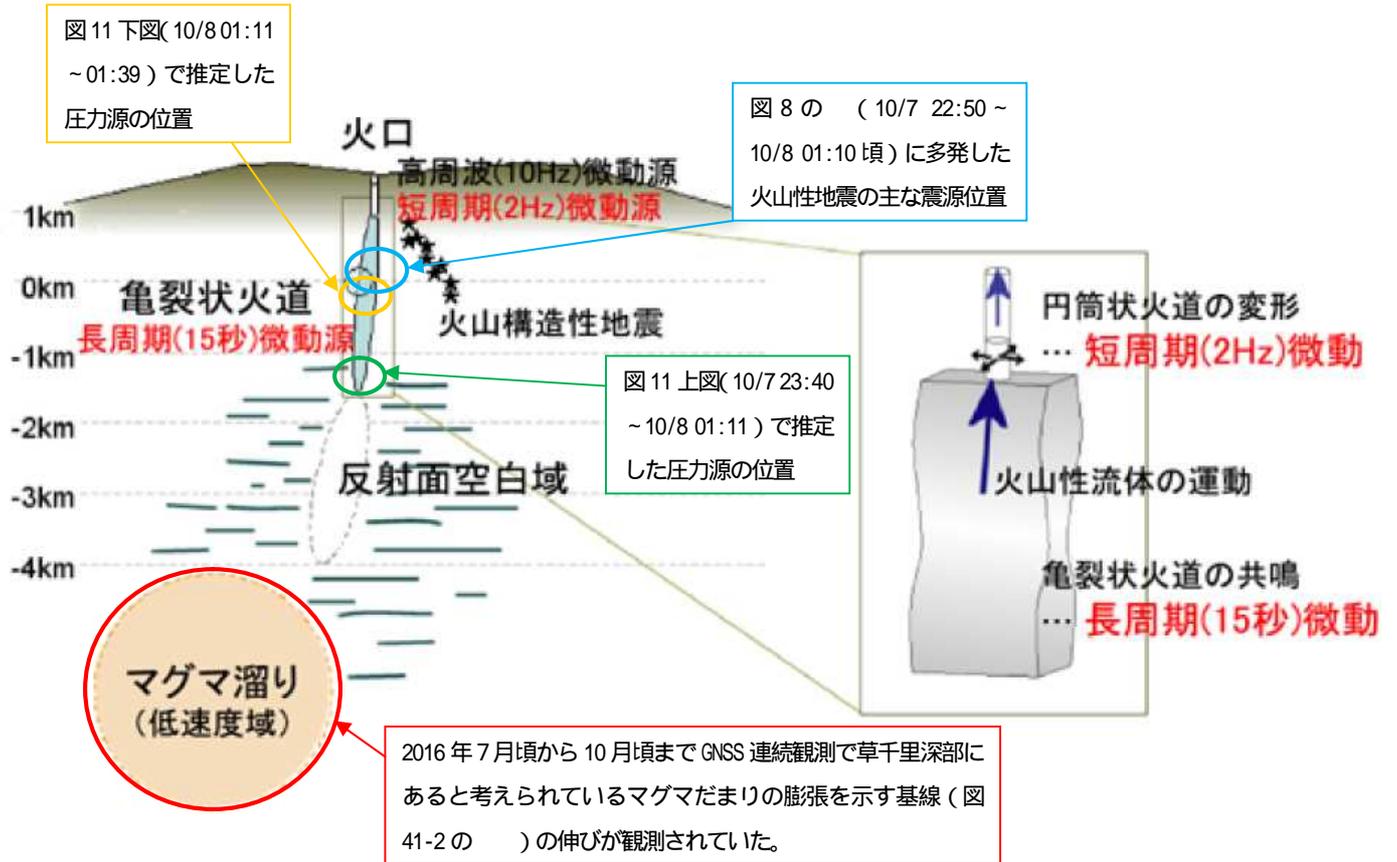


図 14 阿蘇山の火道システムの概念図(山本(2004)を和訳し加筆)

中岳では本格的なマグマ噴火時以外にも、山体の緩やかな膨張が GNSS で観測されたり二酸化硫黄の放出量が増加する等の火山活動の高まりがみられたりするときには、水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火がしばしば発生している。

2016 年 10 月 7 ~ 8 日の噴火事例では、噴火の数か月前から GNSS でゆっくりとした山体膨張を示す変化が見られ、噴火の前日には二酸化硫黄放出量が急激に増加した。また、噴火の数時間前には火山性微動振幅が徐々に増大、7 日 21 時 52 分の噴火後に中岳火口下の増圧を示唆する傾斜変動が検知され、B 型地震が多発し、平均振幅が不安定に変動した。さらに、爆発的噴火直前には長周期パルスが観測された。

この事例を参考に、以下のように閾値を設定し、これらに類似した現象が複数観測された場合には、噴火警戒レベルを 3 に引き上げることとした。

火山ガス(二酸化硫黄)の 1 日あたりの放出量が概ね 2,000 トンを超えて急激に増加傾向(2 ~ 3 倍程度)
 火山性微動の急激な振幅増大(中岳西山腹観測点 NS 成分で 1 分平均振幅 $4 \mu\text{m/s}$ 以上)または震動振幅の不安定な変化

火口直下の増圧を示す急速な地殻変動(概ね $0.02 \mu\text{rad/h}$ 以上の傾斜変化等)

長周期パルス(周期 20 秒程度。広帯域地震計: $30 \mu\text{m/s}$ 程度、傾斜計: $0.3 \mu\text{rad}$ 程度)の発生



図15 阿蘇山 中岳第一火口周辺の変色域

噴火に伴う火山灰等による灰色の変色域は、中岳第一火口の北西側で1.6kmまで、南東側で1.0kmまでのびていて、北東側にはさらに遠方までのびていた。

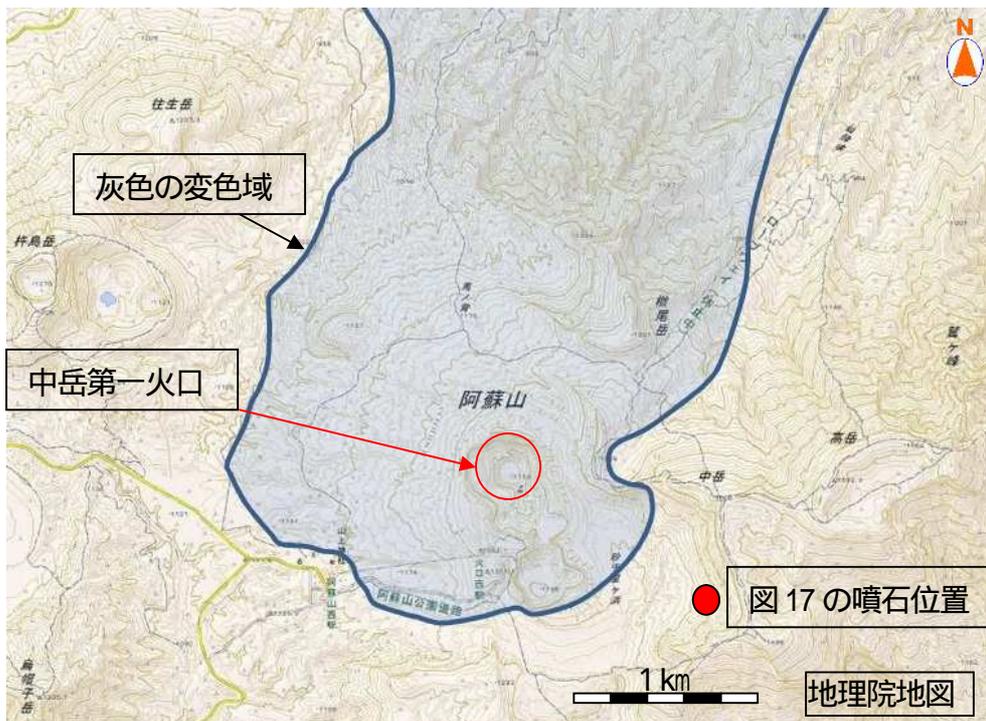


図16 阿蘇山 火口周辺の変色域(10月8日)

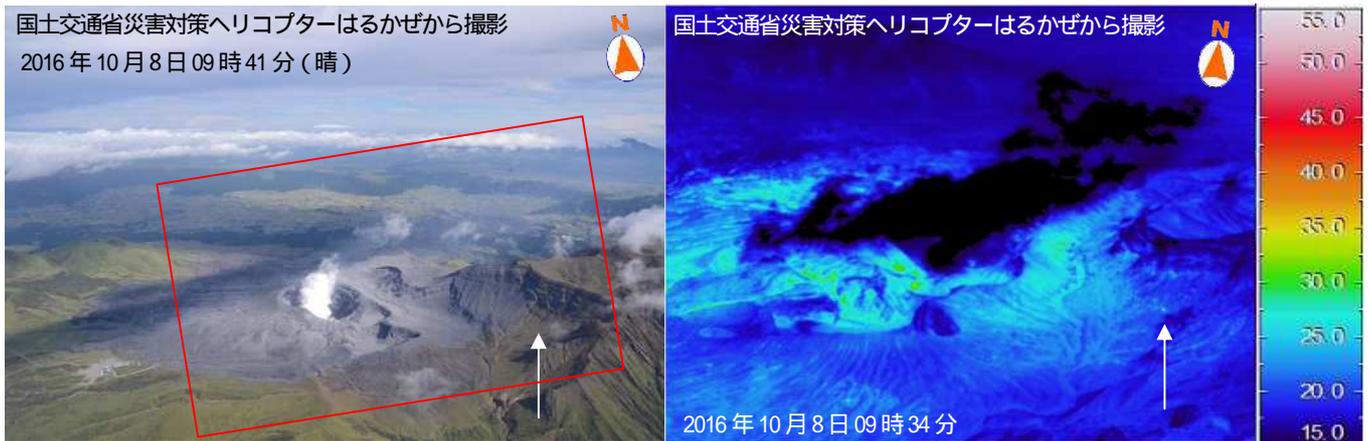


図17 阿蘇山 大きな噴石の飛散地点（10月8日撮影）

中岳第一火口の南東側1.2kmで、赤外熱映像装置により大きな噴石と思われる温度の高い箇所（白矢印）が認められた。赤枠は右図の範囲

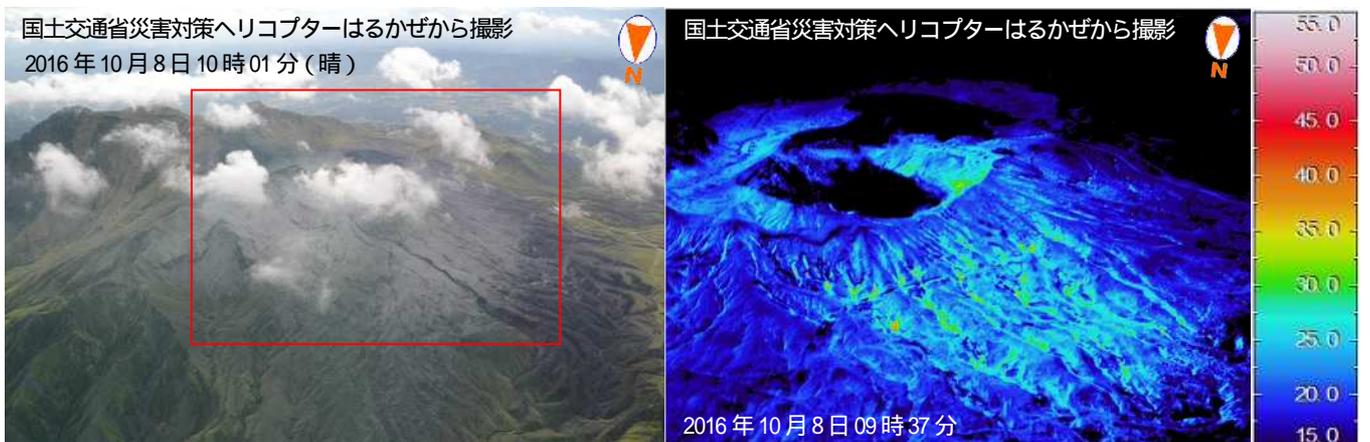


図18 阿蘇山 中岳第一火口北側からの状況（10月8日撮影）

変色域では日射の影響を超えるような温度の高い領域を確認できなかった。赤枠は右図の範囲



図19 阿蘇山 中岳第一火口内の状況

火口内では、灰色の湯だまりを確認した。



図 20 阿蘇山 10月7、8日の噴火に伴う降灰等の状況（10月8日撮影）

上段左：いこいのむら駅（中岳第一火口から北側約6km） 上段上：阿蘇市役所（中岳第一火口から北東側約8km）
 下段：国立阿蘇青少年交流の家（中岳第一火口から北東側約4km）

10月8日に実施した現地調査では、中岳第一火口から北東側約4kmの国立阿蘇青少年交流の家で長径7cmの小さな噴石を確認したほか、中岳第一火口の北から北東にかけて降灰を確認した。

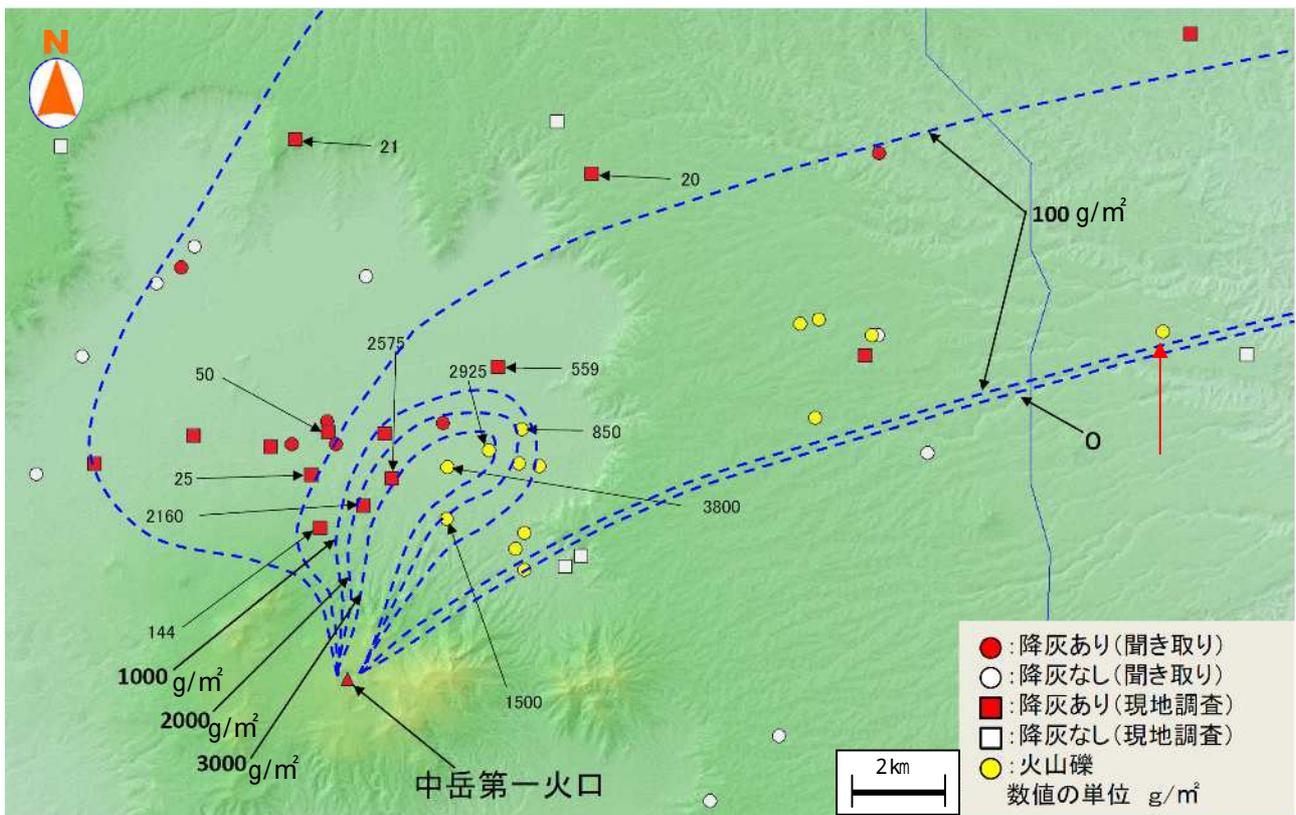


図 21-1 阿蘇山 10月7日、8日の噴火に伴う降灰量分布図（狭域）

小さな噴石（火山礫）は、阿蘇山の北東側約20kmの大分県竹田市（赤矢印）まで達した。
 下図の青破線は降灰の量の範囲を示している。

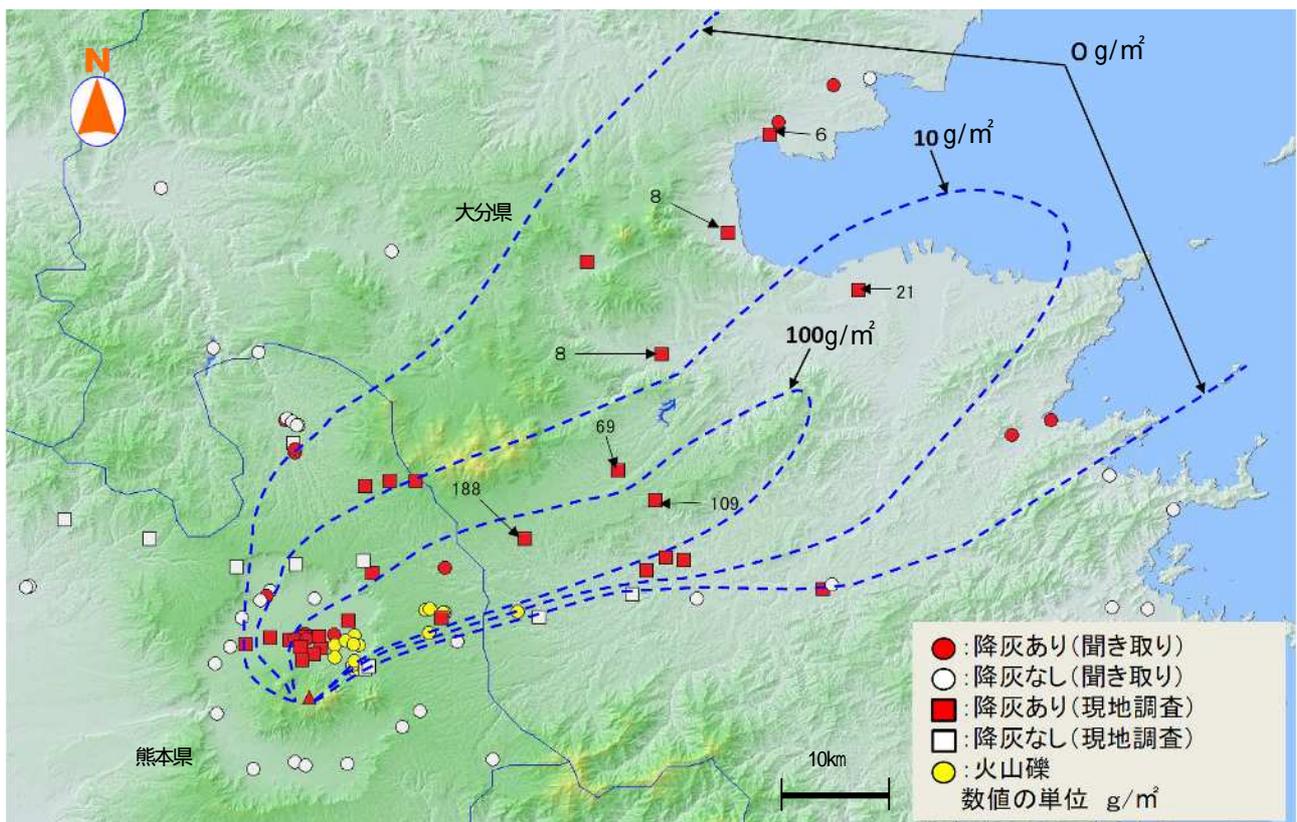
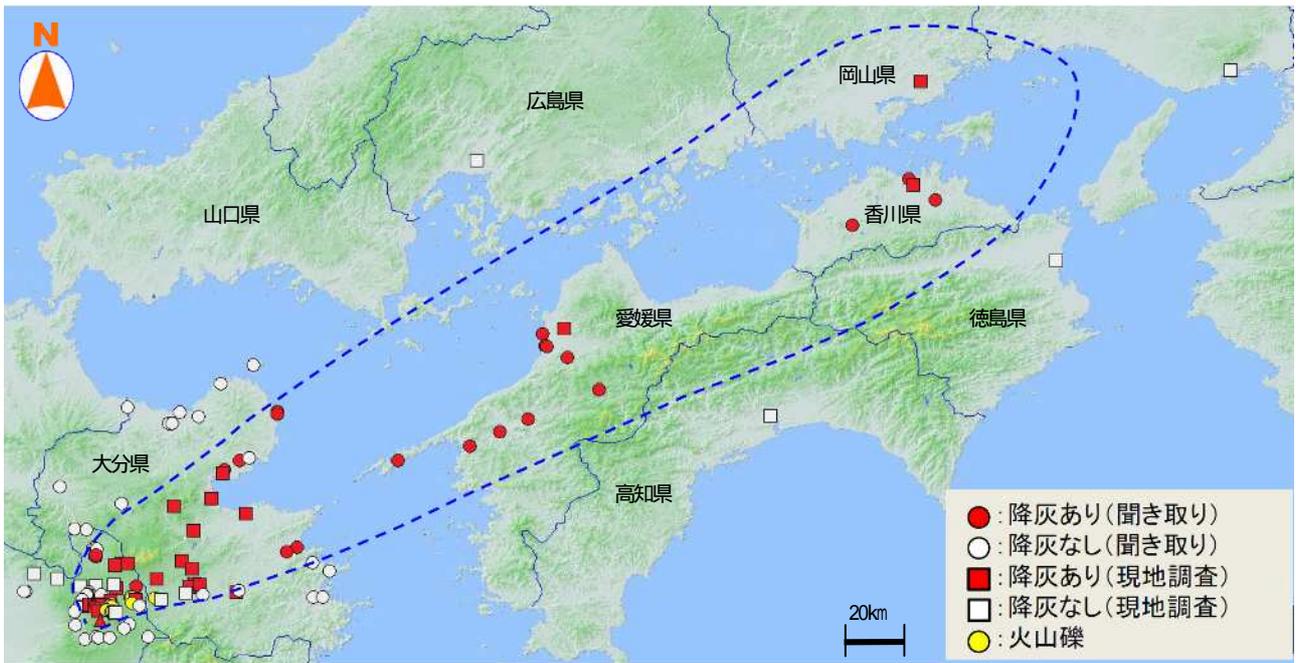


図 21-2 阿蘇山 10月7日、8日の噴火に伴う降灰量分布図（広域）

- ・降灰は、阿蘇山の北東側にあたる熊本県、大分県、愛媛県、香川県、岡山県で確認した。
 - ・火口周辺については10月7日の噴火による降灰も含まれているとみられる。
- 上図の青破線は降灰の範囲を示しています。下図の青破線は降灰の量の範囲を示している。



図 22 阿蘇山 中岳第一火口南側の状況 (10月12日)
火口南側から南西側の火口中心から約700mの範囲では、直径1~1.5mの大きな噴石が飛散しているのを確認した。



大きな噴石 直径約1m、高さ約0.9m



大きな噴石 直径約1m (下部は埋没)



大きな噴石 直径約1.5m (下部は埋没)



大きな噴石 直径約1.5m (下部は埋没)

図 23 阿蘇山 中岳第一火口付近の噴石の状況 (10月12日)



図 24 阿蘇山 中岳第一火口南西側に飛散した大きな噴石(赤矢印)の状況(10月12日)
 昭和8年の噴火時に飛散した大きな噴石(直径約3m 黄矢印)と比較すると直径数mはあると考えられる。

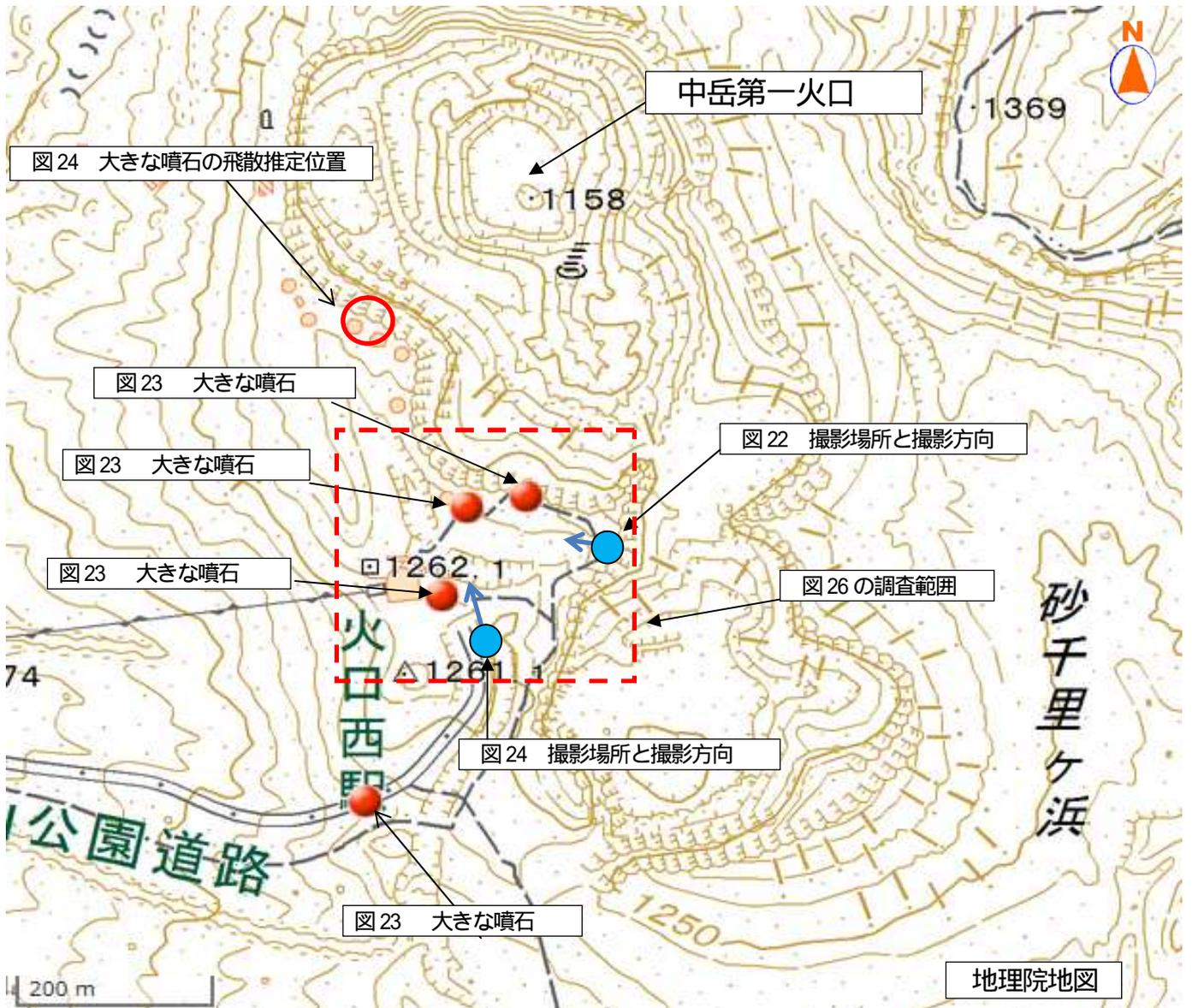


図 25 阿蘇山 噴石位置、写真撮影方向(10月12日)

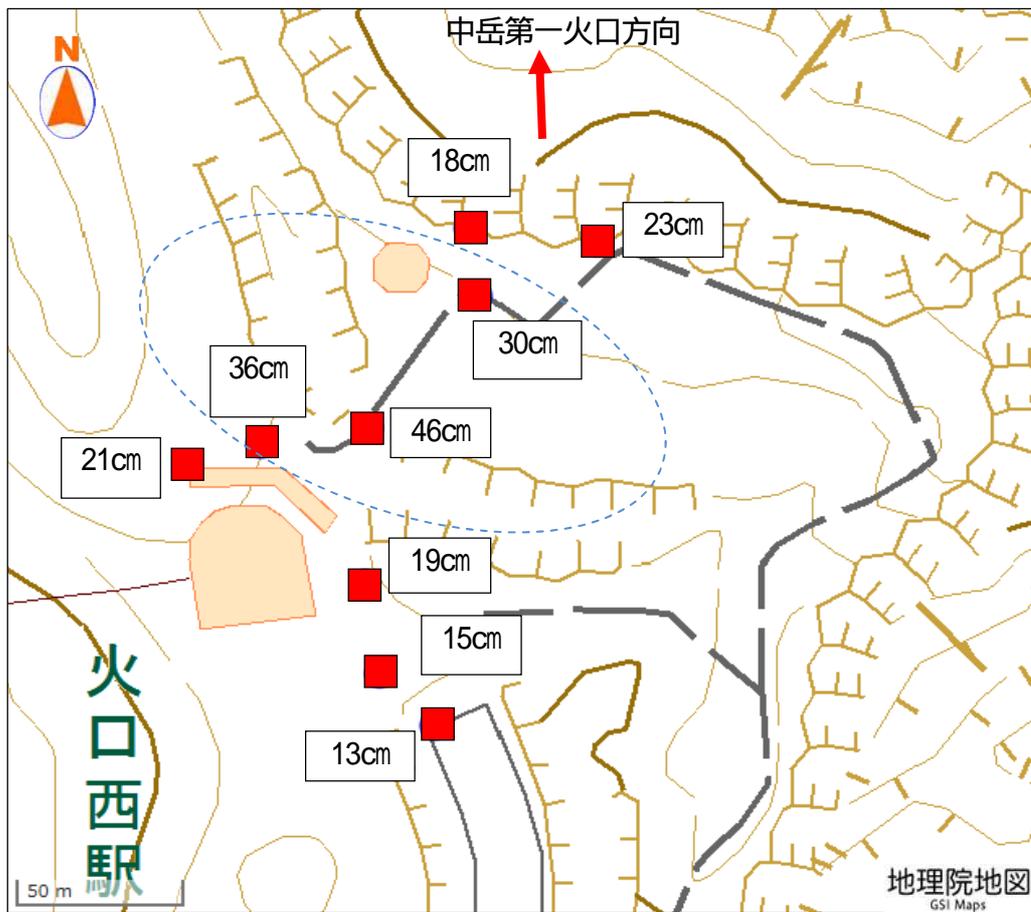


図 26 阿蘇山 中岳第一火口周辺の火山灰の堆積状況 (10月12日)

数値は図中の の場所に堆積した火山灰の厚さを示す。

図中の青破線の範囲は、火口南西側の丘や建築物 (図中の赤枠) の影響で吹き溜まりができて周囲よりも深く堆積している可能性が考えられる。

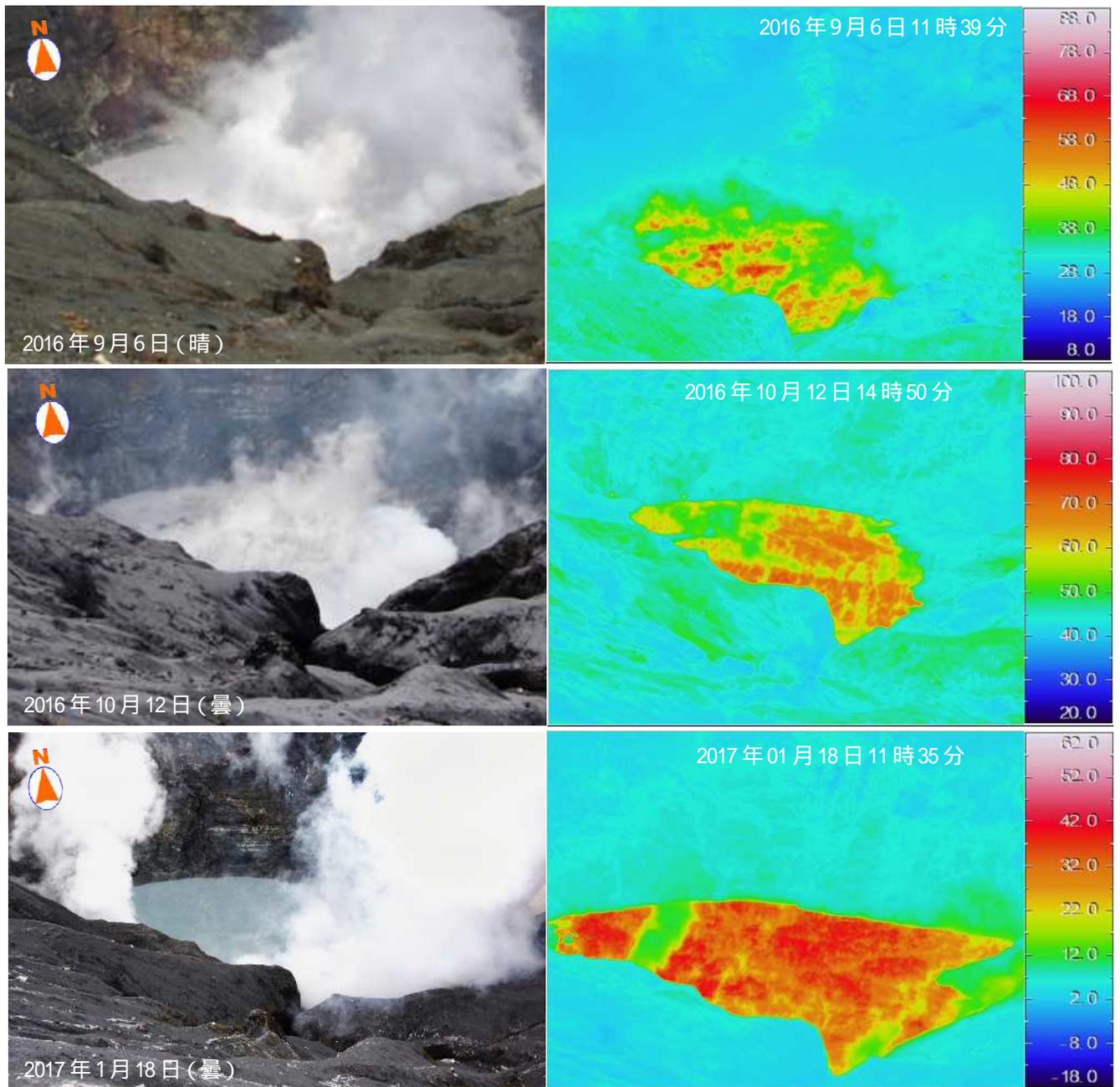


図27 阿蘇山 中岳第一火口の状況と赤外熱映像装置による地表面温度分布(中岳第一火口南側から撮影)

<2017年1月18日の状況>

中岳第一火口内では、10月12日の観測と比べて、湯だまり量は増加し、湯だまりの表面温度も明らかに低下していた。



図 28 阿蘇山 中岳第一火口の状況（中岳第一火口南側から撮影）

- ・中岳第一火口底南西側及び南側火口壁で噴気が勢いよく噴出していた。
- ・湯だまりの色は中岳第一火口内に灰白色から緑色に変化していた。

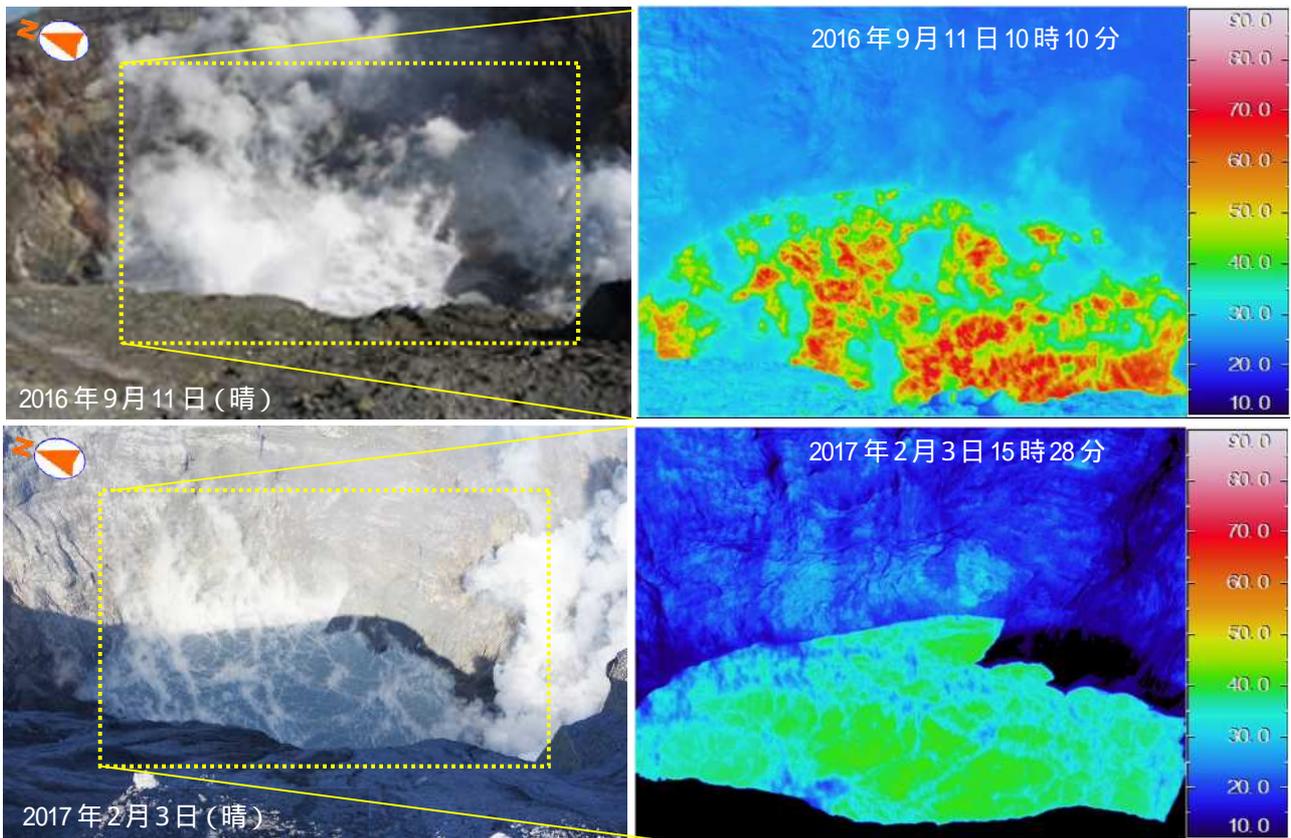


図 29 阿蘇山 中岳第一火口の状況と赤外熱映像装置による地表面温度分布（中岳第一火口南西側から撮影）

湯だまりの表面温度は約 40 と、以前の観測（2016 年 4 ~ 10 月：60 ~ 90 ）と比べて、低い状態であった。

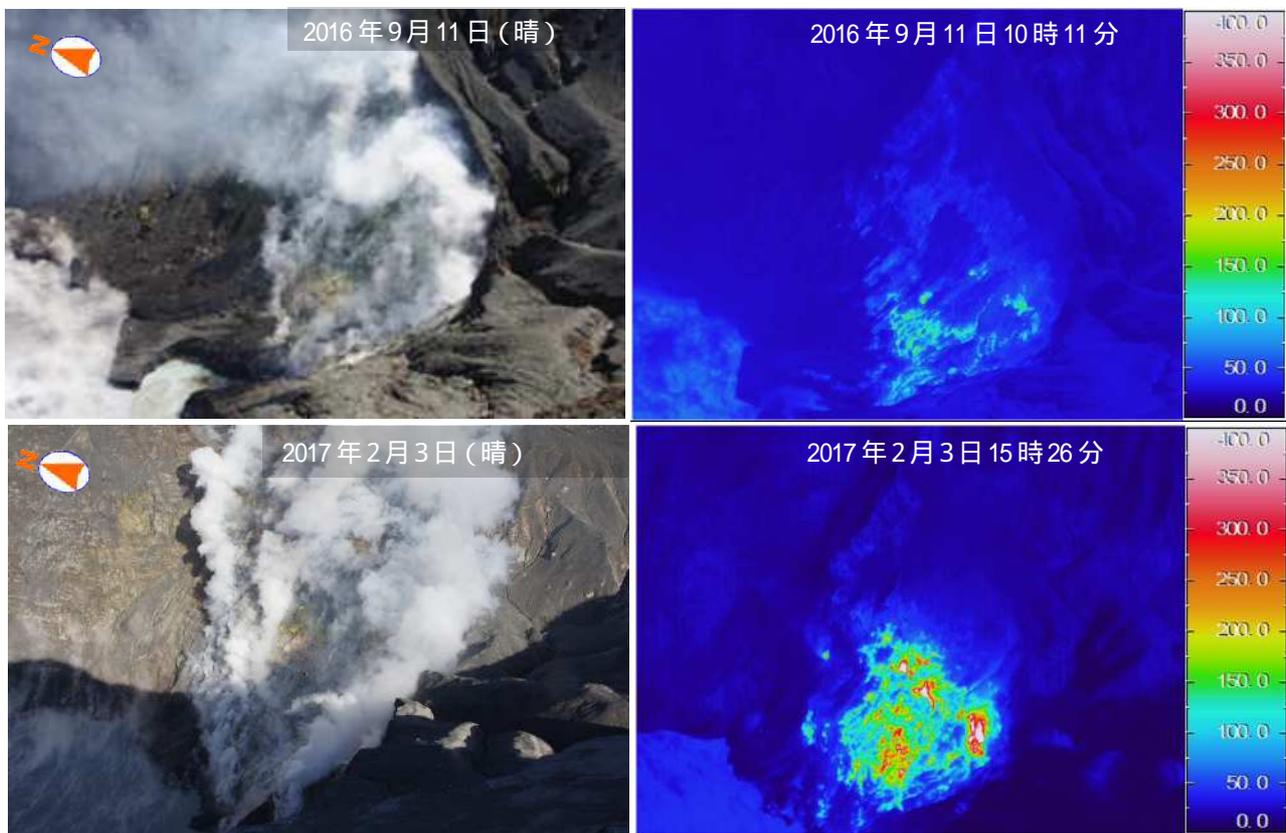


図 30 阿蘇山 中岳第一火口南側火口壁の温度分布（中岳第一火口南西側から撮影）

南側火口壁では、2016 年 9 月 11 日の観測と比べて、熱異常域が拡大し、最高温度は約 660 と一部で高温となっていた。



図 31 阿蘇山 噴煙の状況（12月19日、草千里監視カメラによる）



図 32 阿蘇山 火映の状況（12月18日、草千里監視カメラによる）
11月12日以降、時々夜間に高感度の監視カメラで火映を観測した。

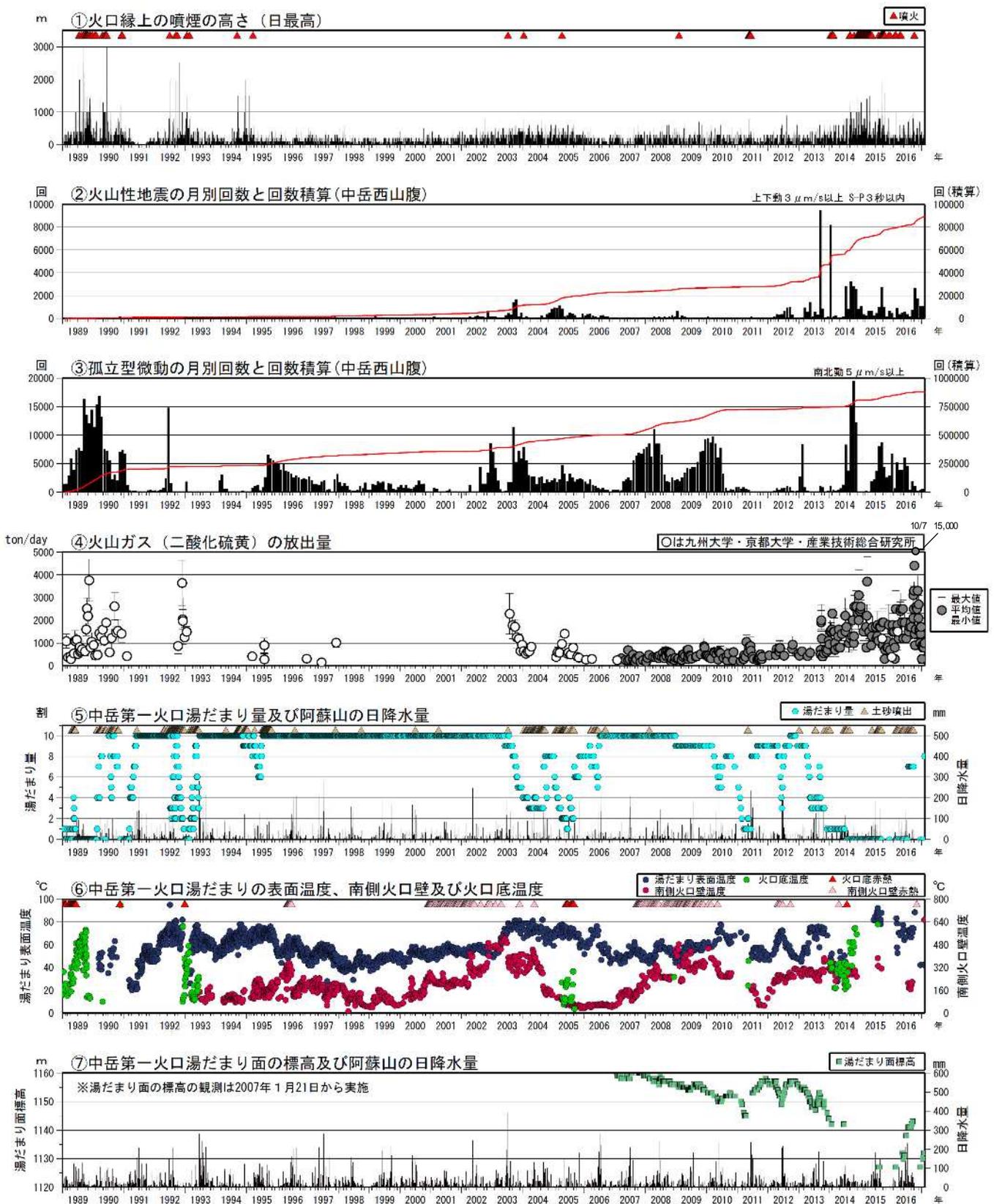


図 33 阿蘇山 火山活動経過図 (1989 年 1 月 ~ 2017 年 2 月 6 日)

2002 年 3 月 1 日から検測対象を変位波形から速度波形に変更した。

と の赤線は回数の積算を示している。

の湯だまり温度等は赤外放射温度計で計測していたが、2015 年 6 月から赤外熱映像装置により計測している。

湯だまり量は、量を確認できた場合のみ表示し、1 割に満たない場合は 0 割としている。

阿蘇山の降水量は 2015 年 9 月 14 日から 12 月 16 日にかけてと 2016 年 10 月 8 日から 2017 年 1 月 18 日にかけて欠測している。

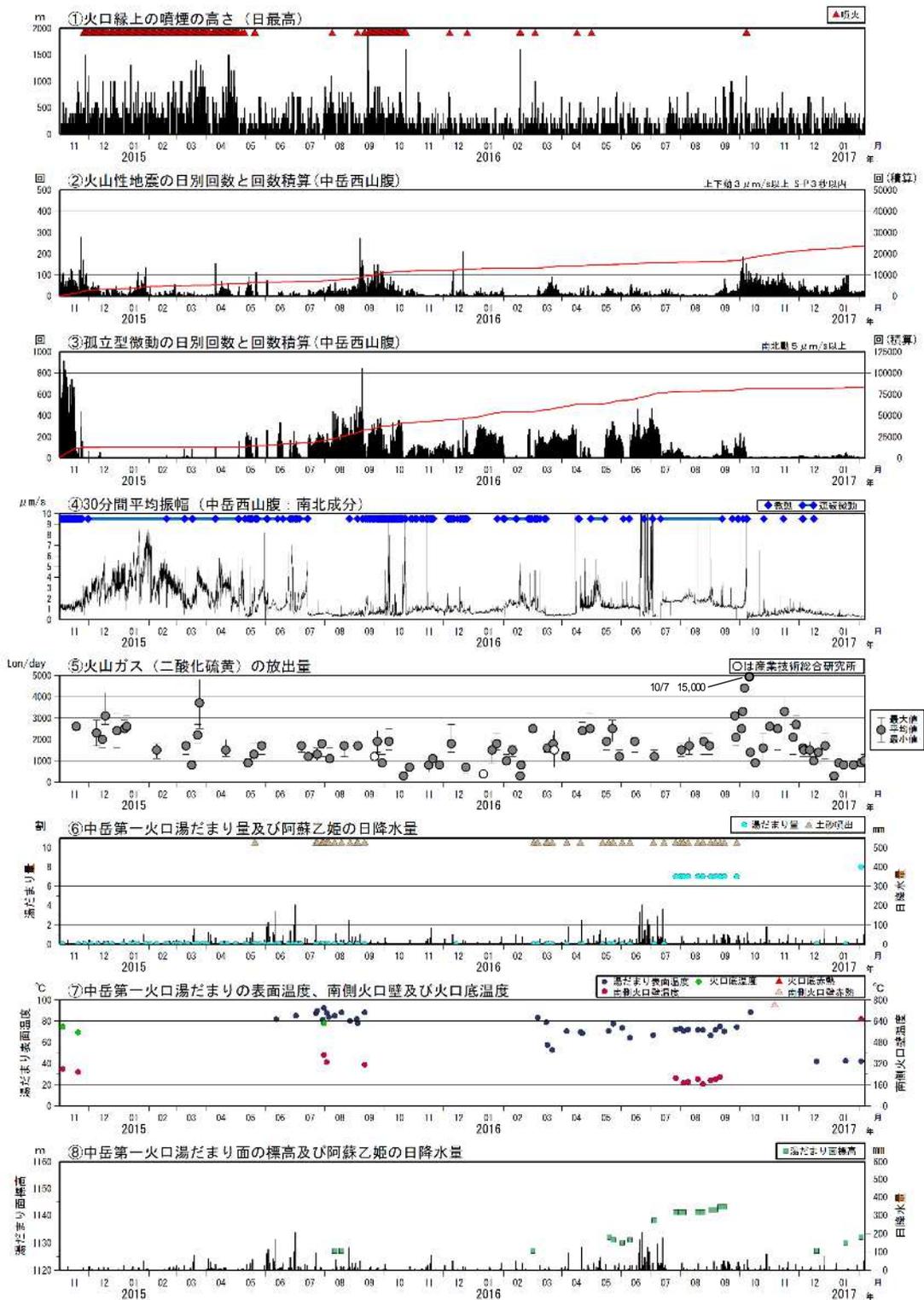


図 34 阿蘇山 火山活動経過図 (2014 年 11 月～2017 年 2 月 6 日)

<2016年9月～2017年2月6日の状況>

- ・火山性微動の振幅は、概ね大きい状態で経過したが、10月7日の噴火前にさらに大きな状態となった。10月8日の噴火後は概ね小さい状態で経過した。
- ・火山性地震は、2016年10月8日の噴火直前にB型地震が増加した後、減少していたが、2017年1月13日から20日にかけて火口付近の浅いところを震源とする振幅の小さな地震が一時的に増加した。
- ・火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、10月8日の噴火後は11月2,100～3,300トン、12月1,000～1,700トンと次第に減少し、2017年1月以降には1日あたり1,000トン以下で阿蘇山の火山活動の静穏期に観測される量と同程度(500～1,000トン)で経過した。

と の赤線は回数の積算を示しています。

火山性微動の振幅が大きい状態では、火山性地震、孤立型微動の回数は計数できなくなっています。

の湯だまり温度等は赤外放射温度計で計測していましたが、2015年6月から赤外熱映像装置により計測しています。阿蘇山の降水量は、2016年10月8日から2017年1月18日にかけて欠測しています。

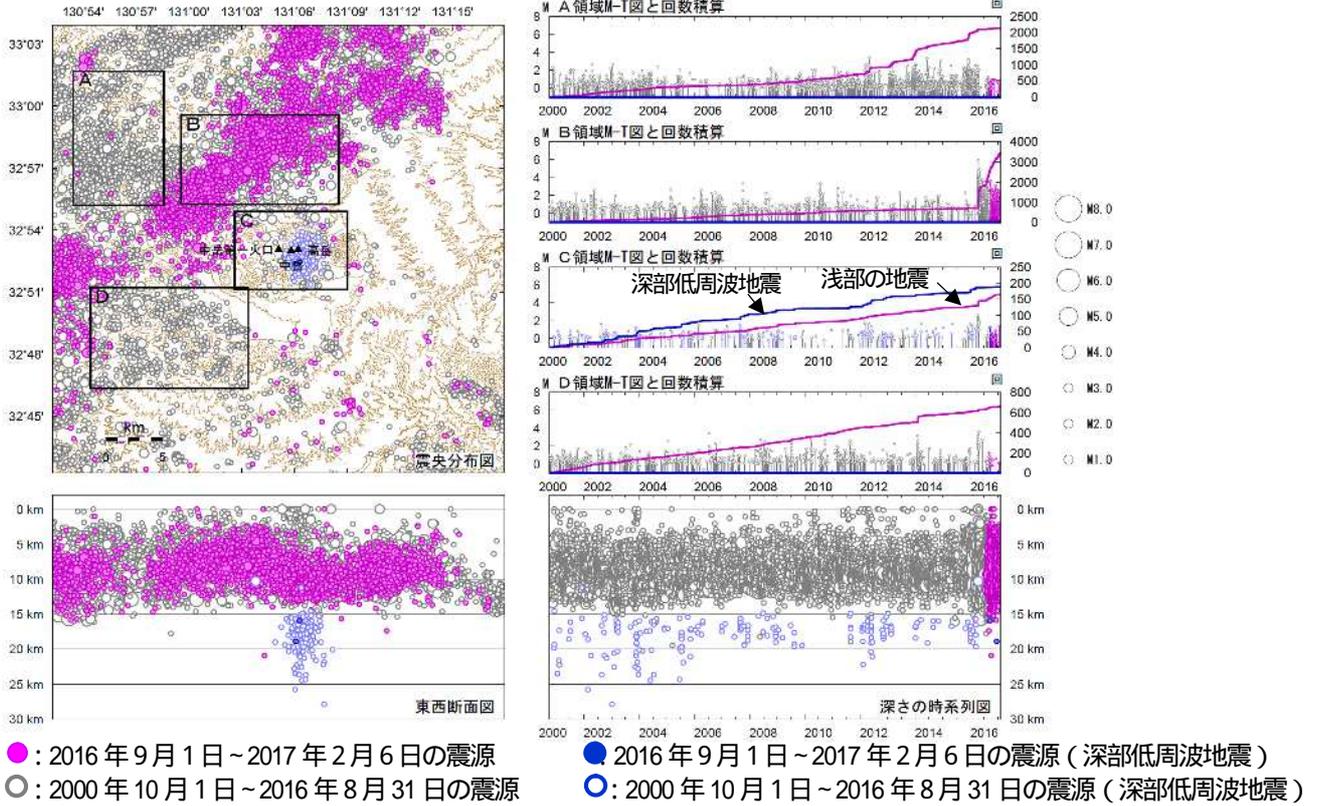


図 35 阿蘇山 一元化による震源分布図 (2000 年 10 月 ~ 2017 年 2 月 6 日)

火山の周辺領域で「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震」の一連の地震が継続した。

表示している震源には、震源決定時の計算誤差の大きなものがある。
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。

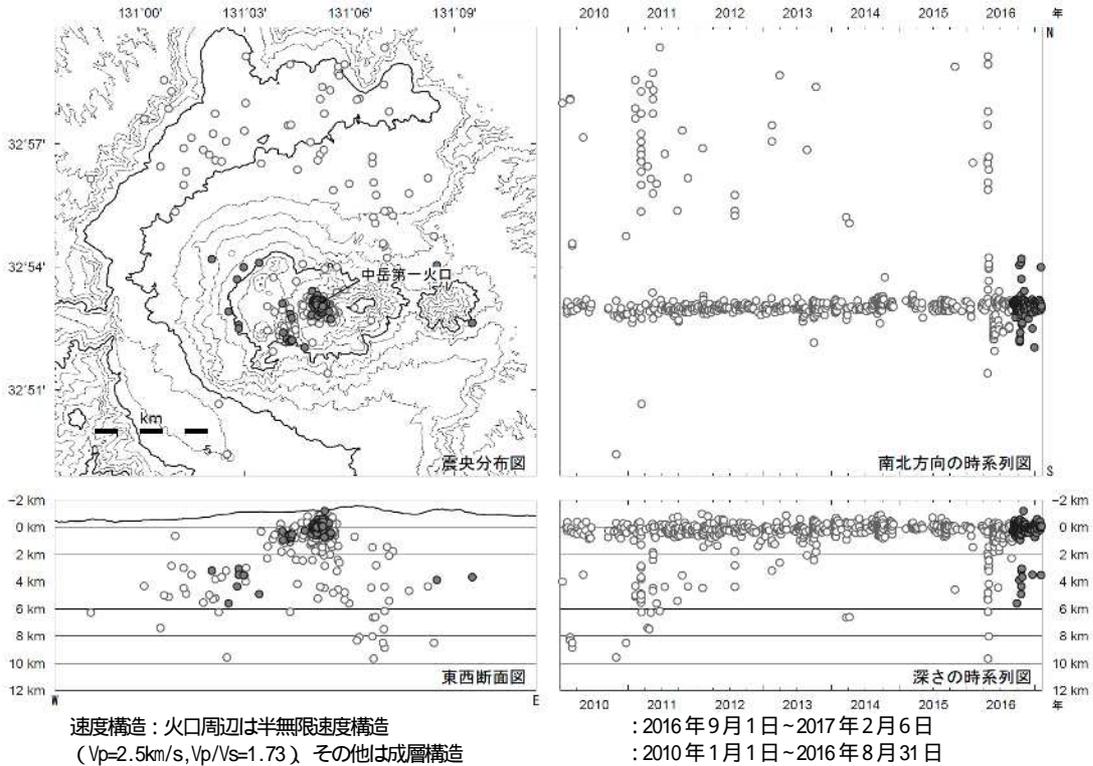


図 36 阿蘇山 震源分布図 (2010 年 1 月 ~ 2017 年 2 月 6 日)

<2016 年 9 月 ~ 2017 年 2 月 6 日の状況>

火山性地震の震源は、主に中岳第一火口付近のごく浅い所から海拔下 2 km と、中岳第一火口の南西から西側の海拔下 0 ~ 2 km に分布した。

この地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図 50mメッシュ (標高)』を使用した。

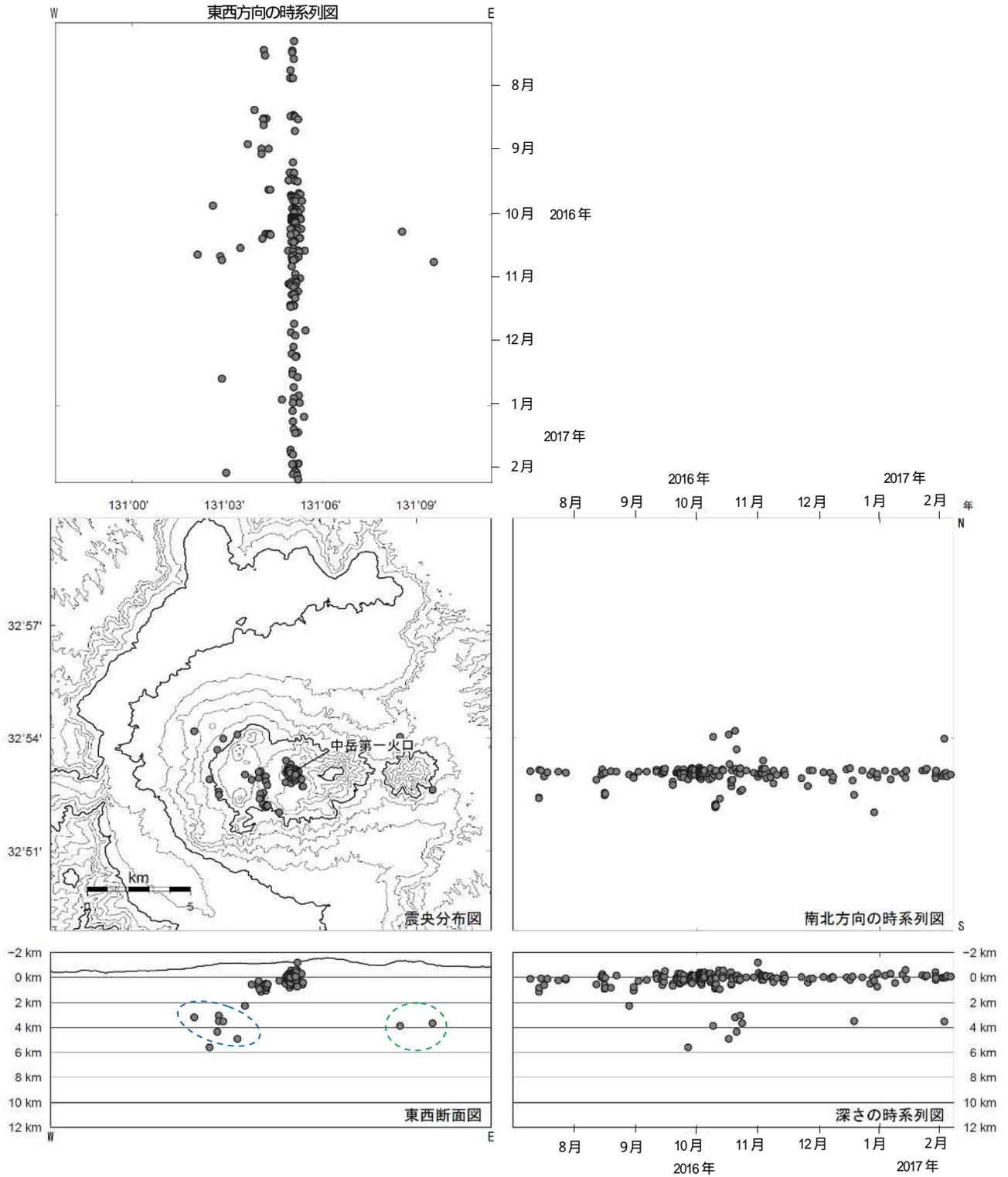


図 37 阿蘇山 震源分布図 (2016 年 7 月 1 日 ~ 2017 年 2 月 6 日)

- ・火山性地震の震源は、主に中岳第一火口付近のごく浅い所から海拔下 2 km と、中岳第一火口の南西から西側の海拔下 0 ~ 2 km に分布した。
- ・10 月 8 日の爆発的噴火後は、時々、草千里周辺の海拔下 3 ~ 5 km 付近 (図中の青破線) や根子岳周辺 (図中の緑破線) の海拔下 4 km 付近に分布した。

この地図の作成には、国土地理院発行の『数値地図 50mメッシュ (標高)』を使用した。

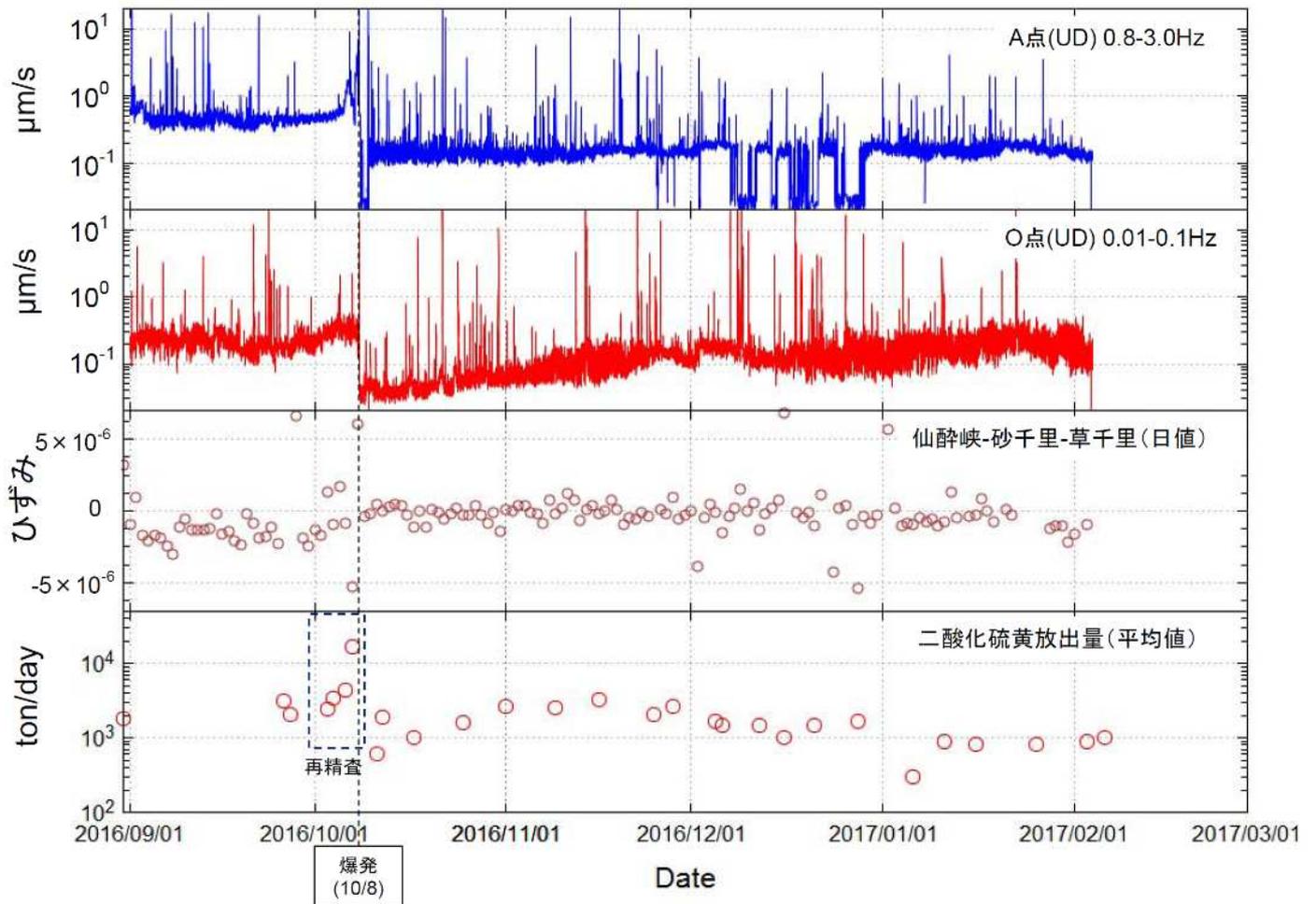


図 38 阿蘇山 RMS 振幅 (5 分間) 変化と面積ひずみ、二酸化硫黄放出量の時系列変化 (2016 年 9 月 1 日 ~ 2017 年 2 月 6 日)

- ・RMS 振幅値は長周期(0.01-0.1Hz)が 10 月 8 日の爆発的噴火前のレベルに戻りつつある。ただし、0.8-3.0Hz 帯域では爆発的噴火前の状態に戻る傾向は見られない。
- ・10 月 7 日の噴火前には 0.8-3.0Hz 帯域の方が長周期よりも鮮明に振幅増加の変化が現れていた。
- ・二酸化硫黄放出量は再精査によって、噴火前(10 月に入ってから)の増加傾向が明らかになった。
- ・10 月は二酸化硫黄放出量の増加と RMS 振幅増加、浅い領域の膨張傾向が連動して変化している。

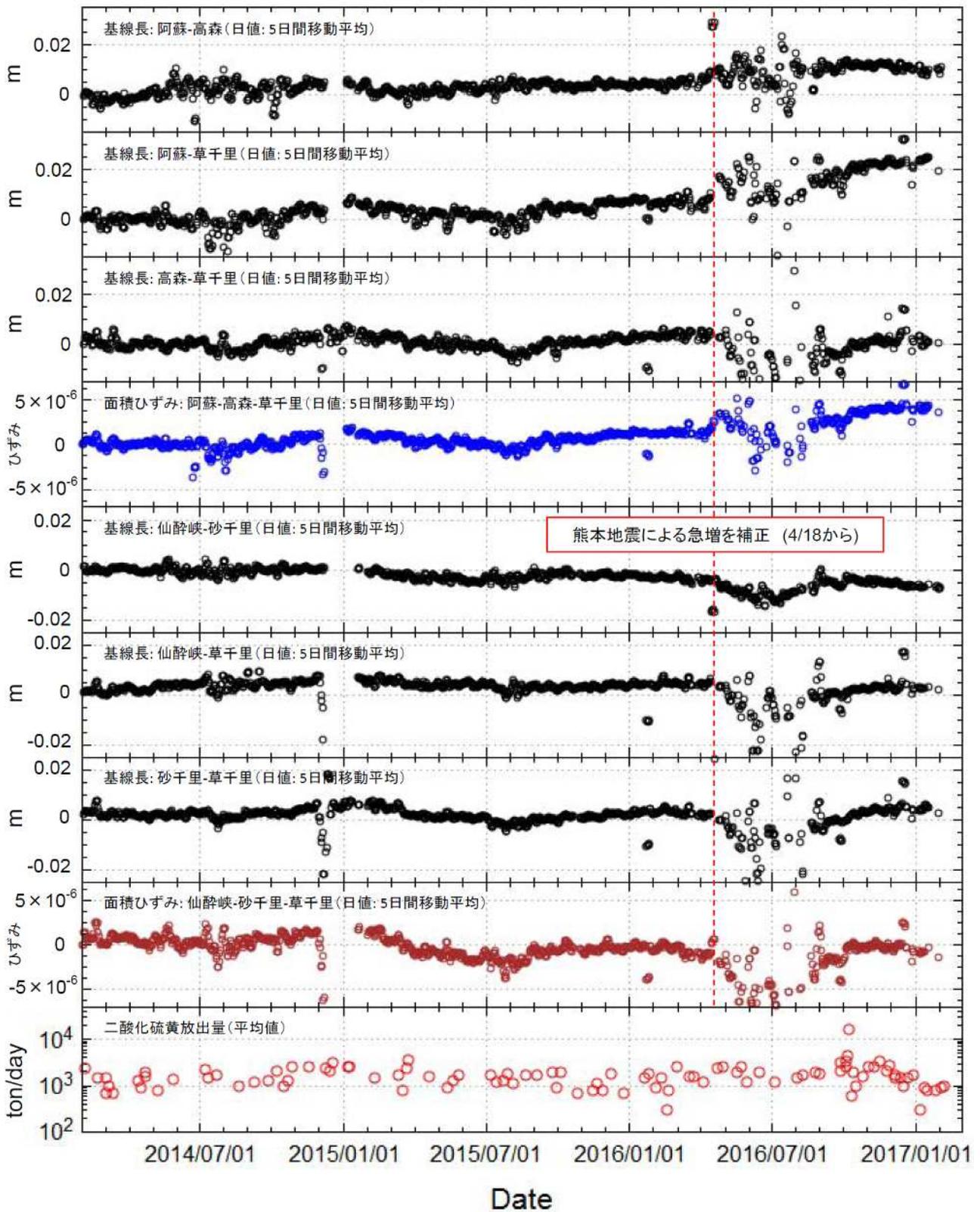


図 39 阿蘇山 面積ひずみと二酸化硫黄放出量の時系列変化 (2014 年 2 月 1 日 ~ 2017 年 2 月 6 日)
 2016 年 12 月以降、二酸化硫黄放出量の減少傾向が見られるものの、面積ひずみ (阿蘇-高森-草千里) には明瞭な収縮傾向は見られない。また、マグマを消費するステージ (完全なる活動低下) に移行していないと考えられる。

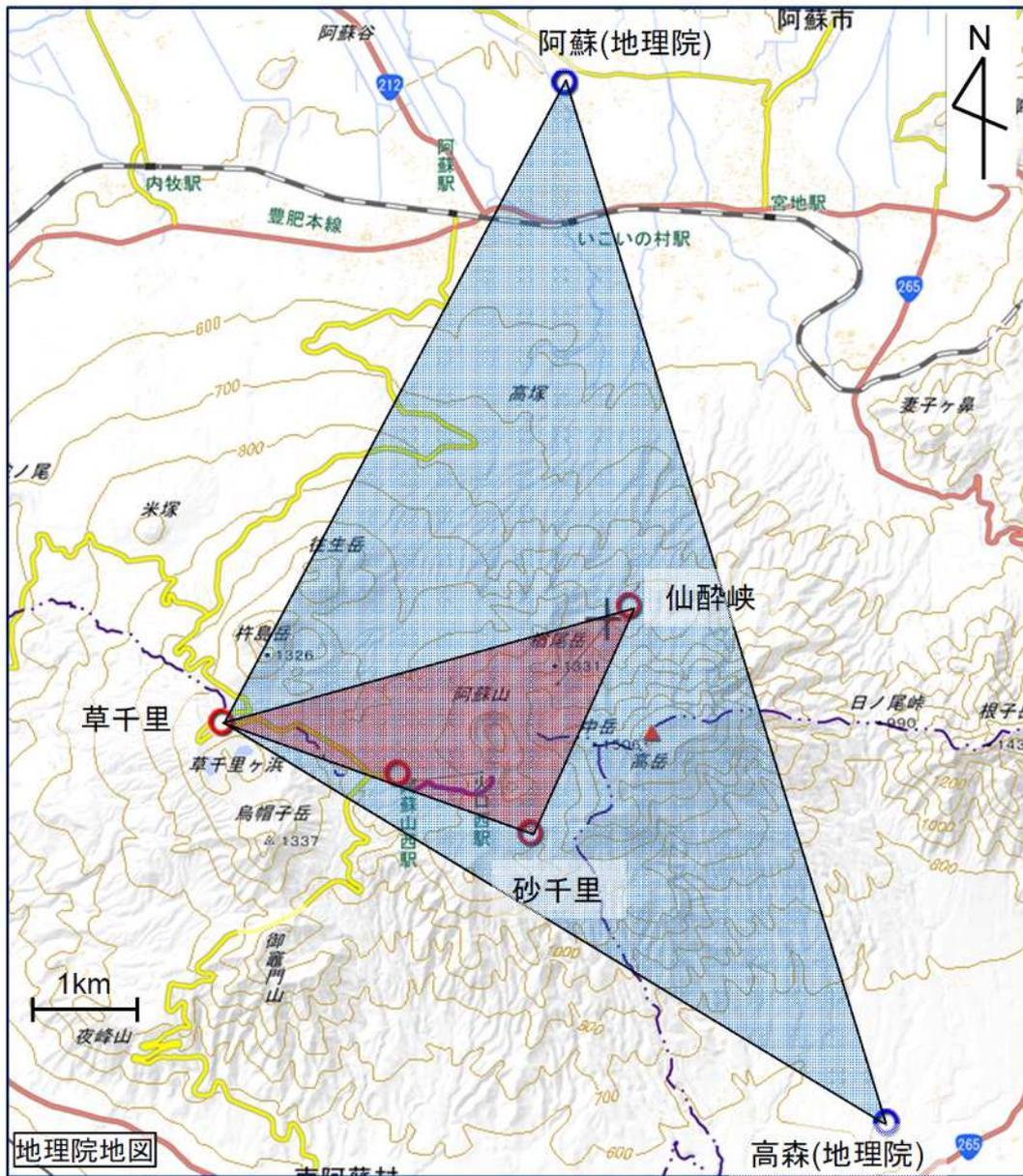


図 40 阿蘇山 図 38 と図 39 の阿蘇山面積ひずみの算出範囲

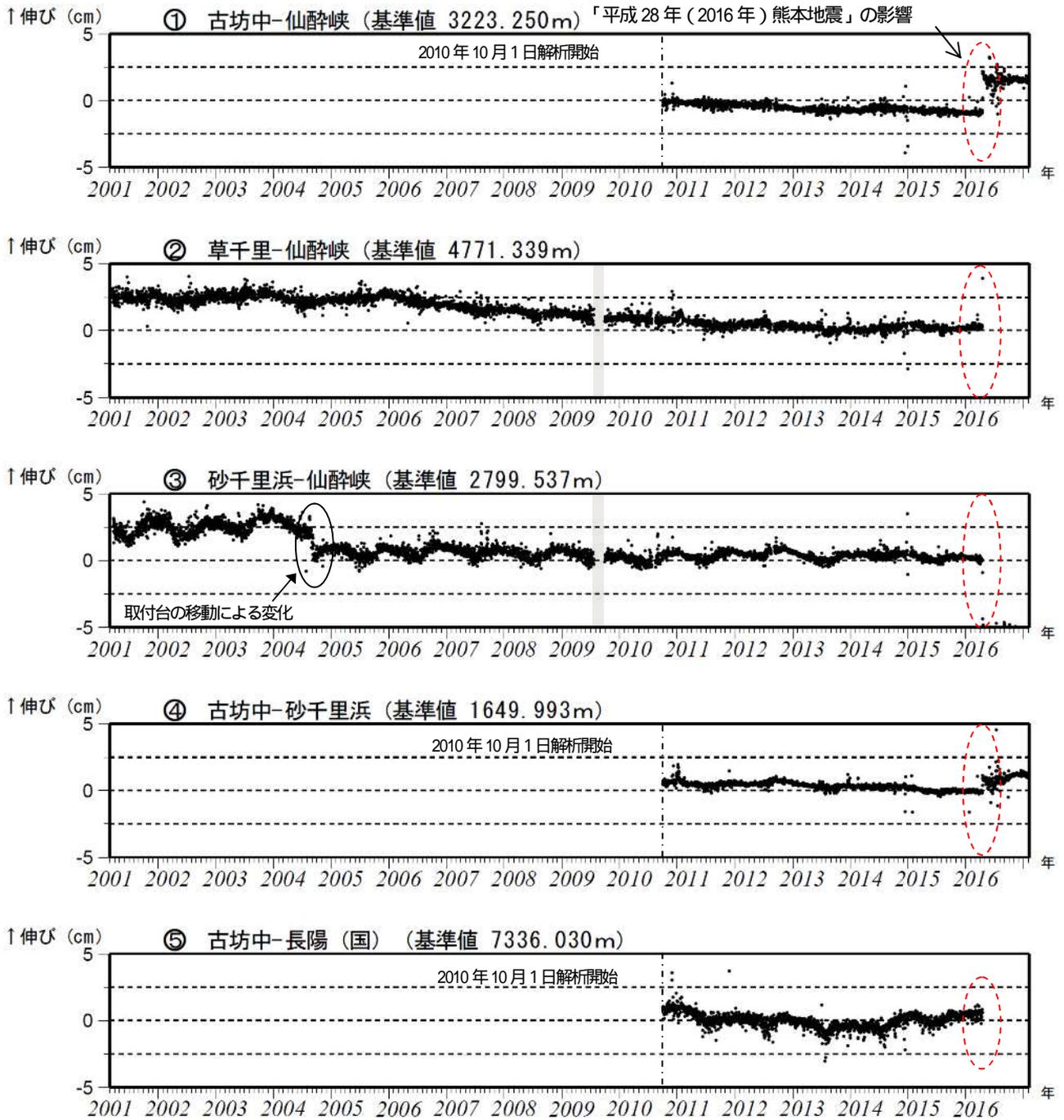


図 41-1 阿蘇山 GNSS 観測による基線長変化 (2001 年 3 月 15 日 ~ 2017 年 2 月 6 日)

これらの基線は図 42 の ~ に対応している。
 2010 年 10 月以降のデータについては、電離層の影響を補正する等、解析方法を改良している。
 灰色部分は障害のため欠測を示している。
 仙酔峡観測点と草千里観測点は 2014 年 2 月の機器更新により受信機の位置を変更したが、以前の基準値に合うように調整している。
 2016 年 4 月 16 日以降の 草千里-仙酔峡、 砂千里浜-仙酔峡及び 古坊中-長陽(国)の基線は変動が大きく表示されていない。
 (国): 国土地理院

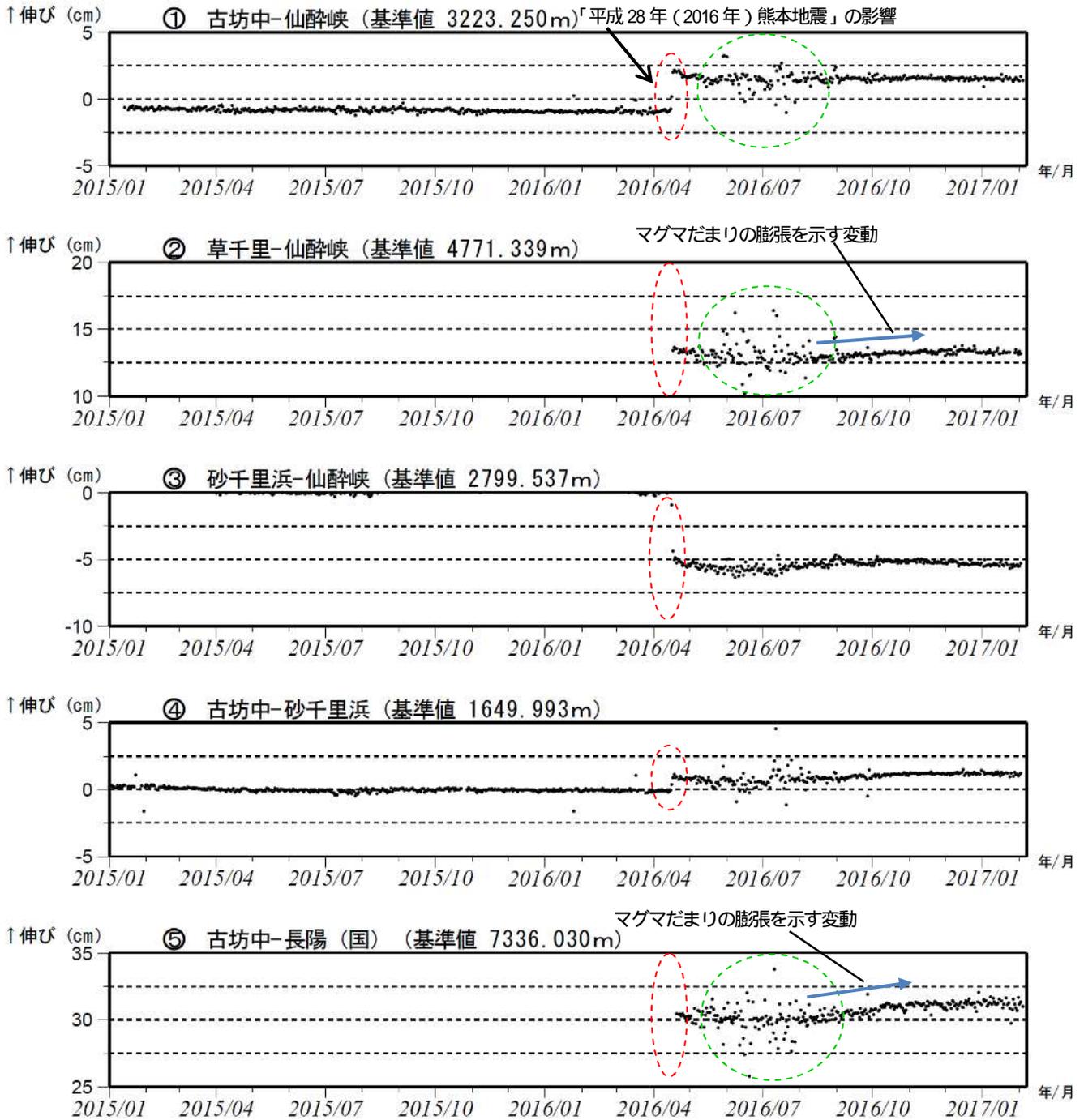


図 41-2 阿蘇山 GNSS 観測による基線長変化 (2015 年 1 月 ~ 2017 年 2 月 6 日)

GNSS 連続観測では、草千里深部にあると考えられているマグマだまりの膨張を示す基線の伸びが 7 月頃から認められたが、11 月中旬以降は停滞した。

これらの基線は図 42 の ~ に対応している。

平成 28 年 (2016 年) 熊本地震の影響による変動が大きかった 草千里-仙酔峡、砂千里浜-仙酔峡及び

古坊中-長陽(国)の基線については、2016 年 4 月 16 日以降の状況を表示している。

緑色破線部分は気象の影響による乱れと考えられる。

(国): 国土地理院

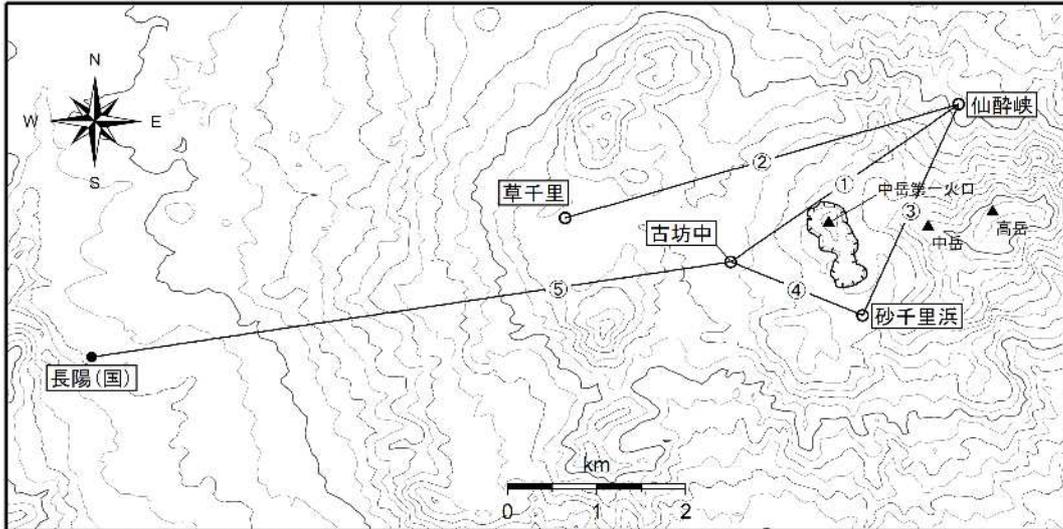


図 42 阿蘇山 GNSS 連続観測点と基線番号

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す。
 (国): 国土地理院
 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。

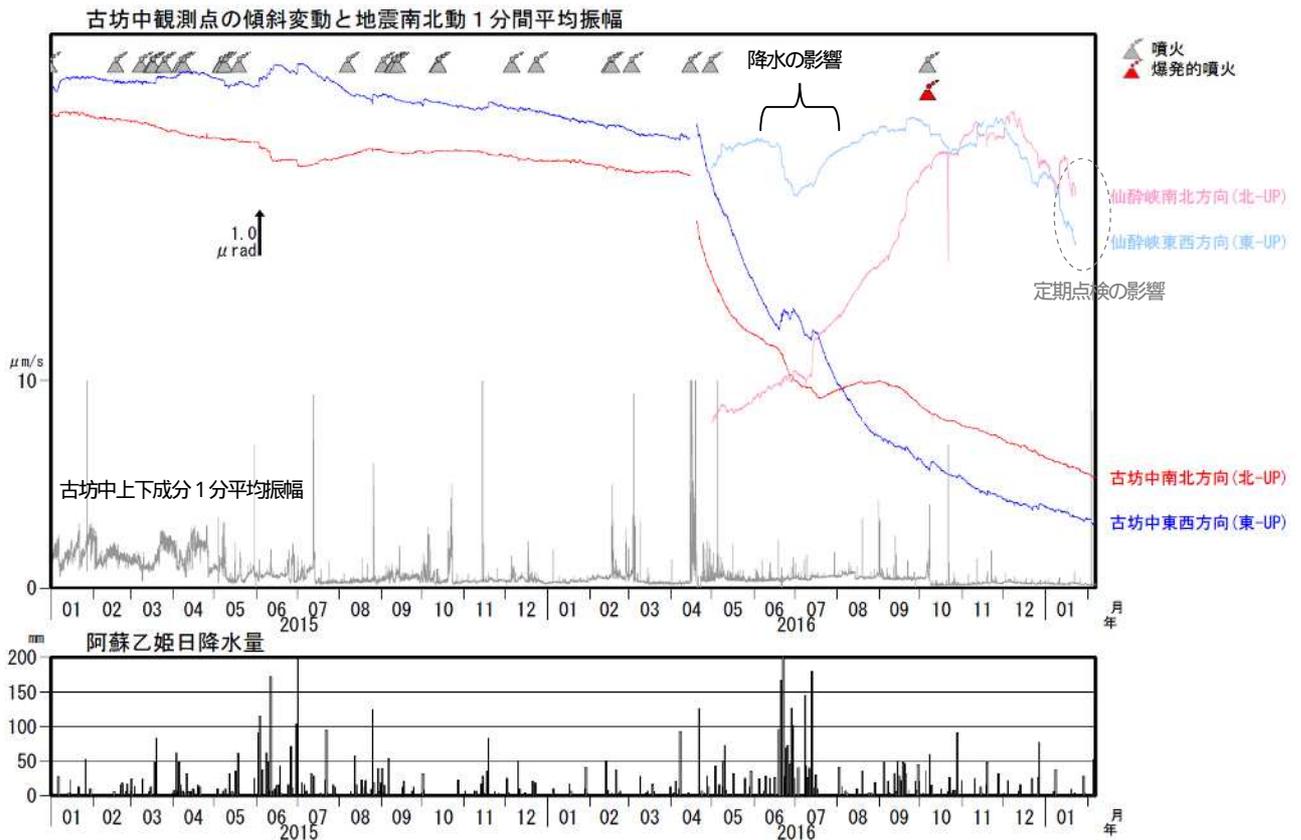


図 43-1 阿蘇山 傾斜変動 (2015 年 1 月 ~ 2017 年 2 月 6 日、時間値、潮汐補正済み)
 傾斜計では、火山活動に起因すると考えられる特段の変動は認められなかった。

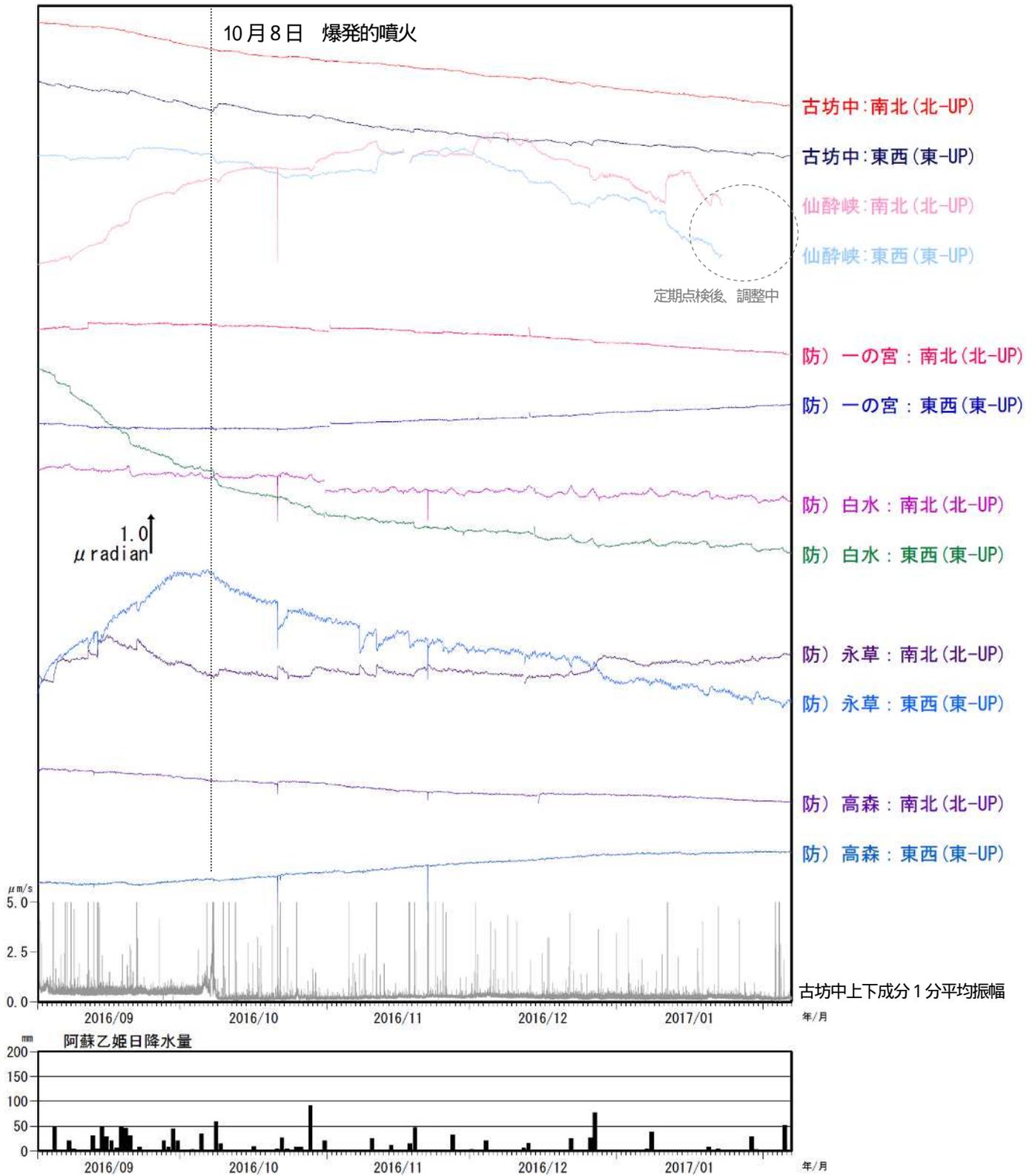


図 43-2 阿蘇山 傾斜変動 (2016年9月~2017年2月6日、時間値、潮汐補正済み)

傾斜計では、火山活動に起因すると考えられる特段の変動は認められなかった。

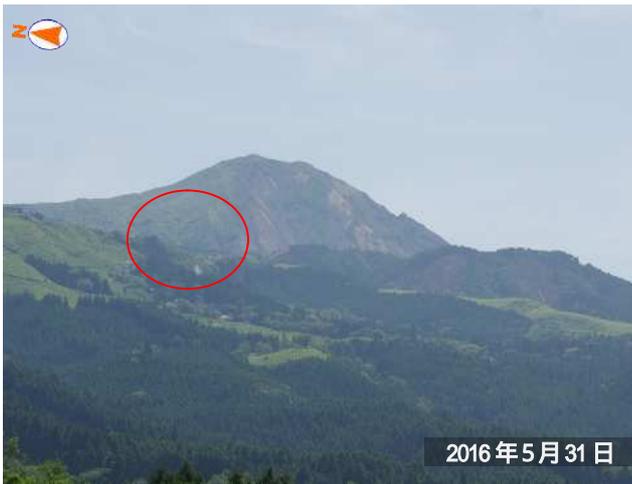


図44 阿蘇山 南阿蘇村吉岡の噴気（赤丸内）(南阿蘇村長陽からの遠望観測)
 前回（2016年5月31日）と同様に白色の噴気を確認した。



図45 阿蘇山 南阿蘇村吉岡噴気地帯の状況（噴気地帯を南西側から撮影）
 前回（2016年5月31日）と同様にやや活発な噴気活動が続いていることを確認した。

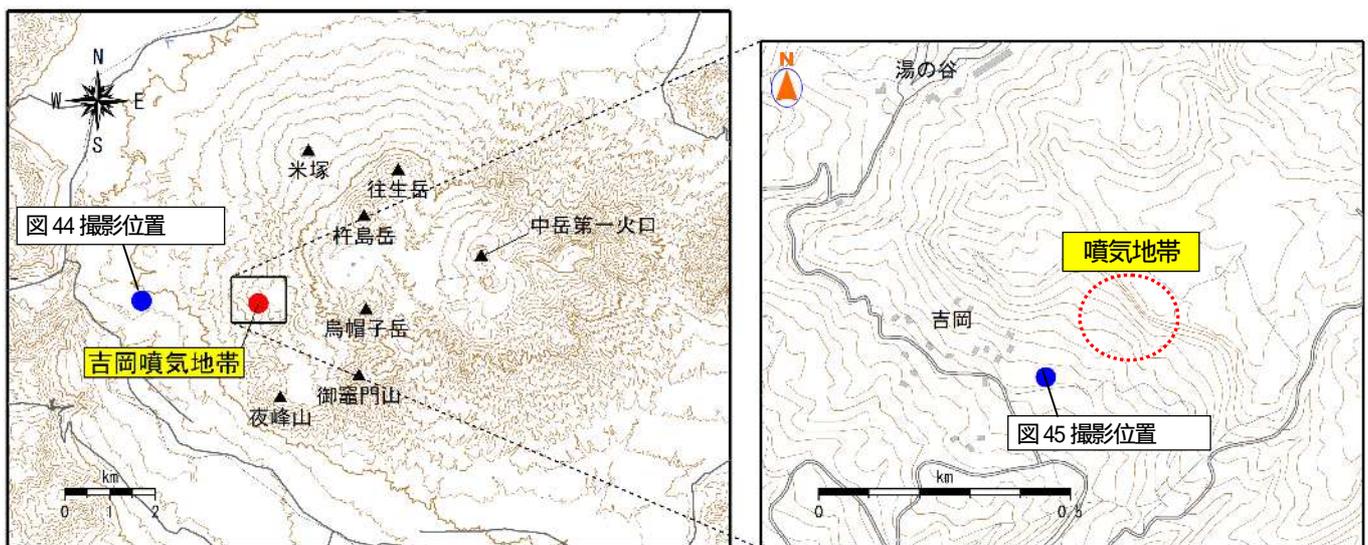


図46 阿蘇山 南阿蘇村吉岡の噴気地帯位置図

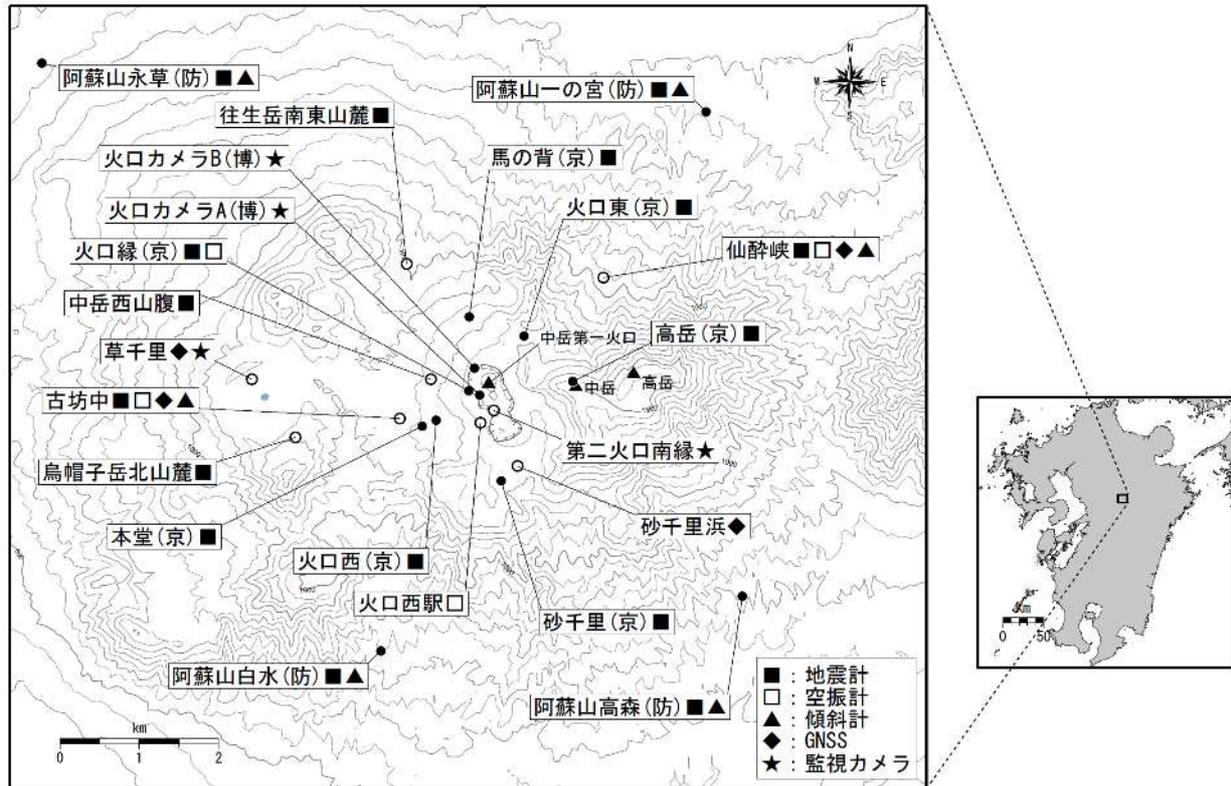


図 47 阿蘇山 観測点配置図

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す。

(京)：京都大学、(博)：阿蘇火山博物館、(防)：防災科学技術研究所

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。

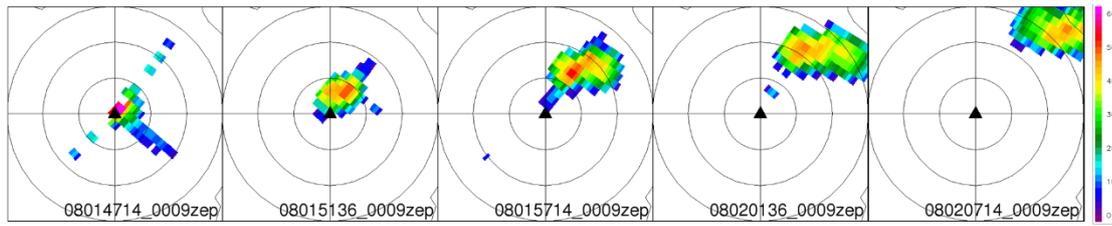
平成28年12月1日から第二火口南縁観測点の監視カメラ及び仙酔峡観測点の傾斜計の運用を開始した。

2016 年 10 月 8 日阿蘇山噴火時における 気象レーダーによる噴煙観測結果

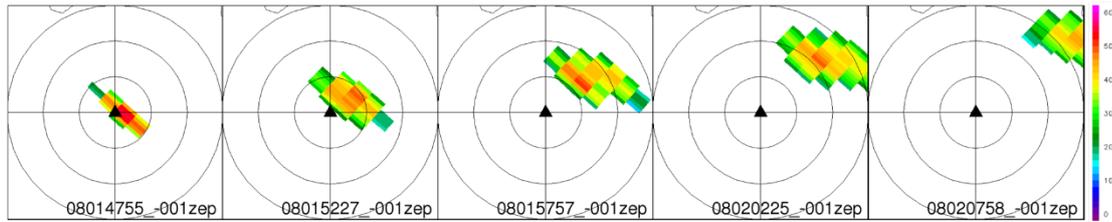
気象レーダーによる観測結果から、以下のことが分かった。

- 阿蘇山の噴火に伴う噴煙エコーは、5つの気象庁一般気象レーダー（福岡、広島、種子島、室戸岬、松江）で捉えられた。
- 気象レーダーによる観測から、噴煙高度は海拔約 12,000 m（火口縁上約 10,500 m） ± 687 m（ 1σ ）と推定される。なお、推定には1時50分～2時10分の20分間のデータを用いた（佐藤・他（2016）の方法に基づく）。
- 火山灰雲エコーは東北東へと流れ、8日4時30分頃には阿蘇山から200 km以上離れた高知県上空に到達した後、土佐湾付近で不明瞭となった。
- 気象レーダーによる噴煙高度と爆発微動の継続時間から、噴出物量は20万～100万トンと推定される（福井・他（2016）の方法に基づく）。

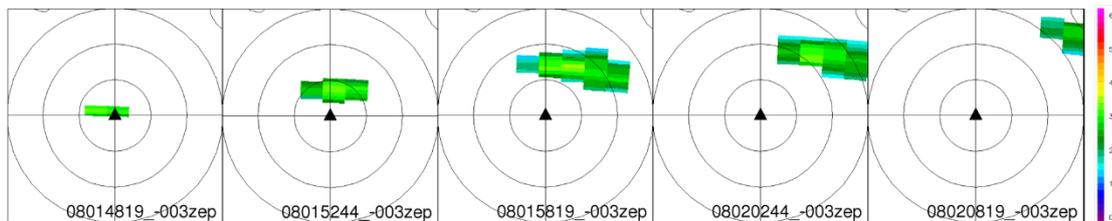
福岡レーダー 0.9° (91km)



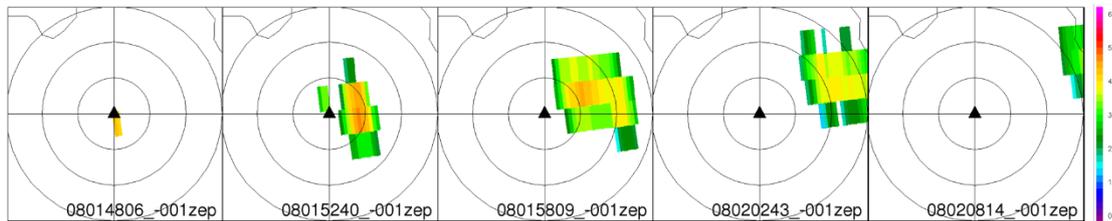
広島レーダー -0.1° (208km)



種子島レーダー -0.3° (249km)



室戸岬レーダー -0.1° (292km)



松江レーダー -0.4° (348km)

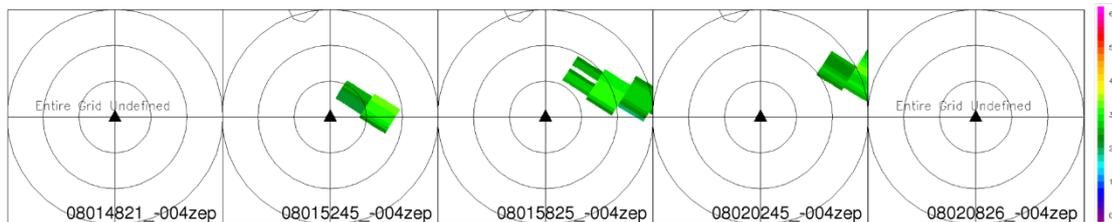


図 1 : 2016 年 10 月 8 日阿蘇山噴火後から 2 時 10 分までの気象庁一般気象レーダーによる反射強度 PPI 観測例

(カッコ内の数字はレーダーサイトから阿蘇山中岳第一火口 (▲) までの距離。
同心円は、中岳第一火口から 5km、10km、15km。)

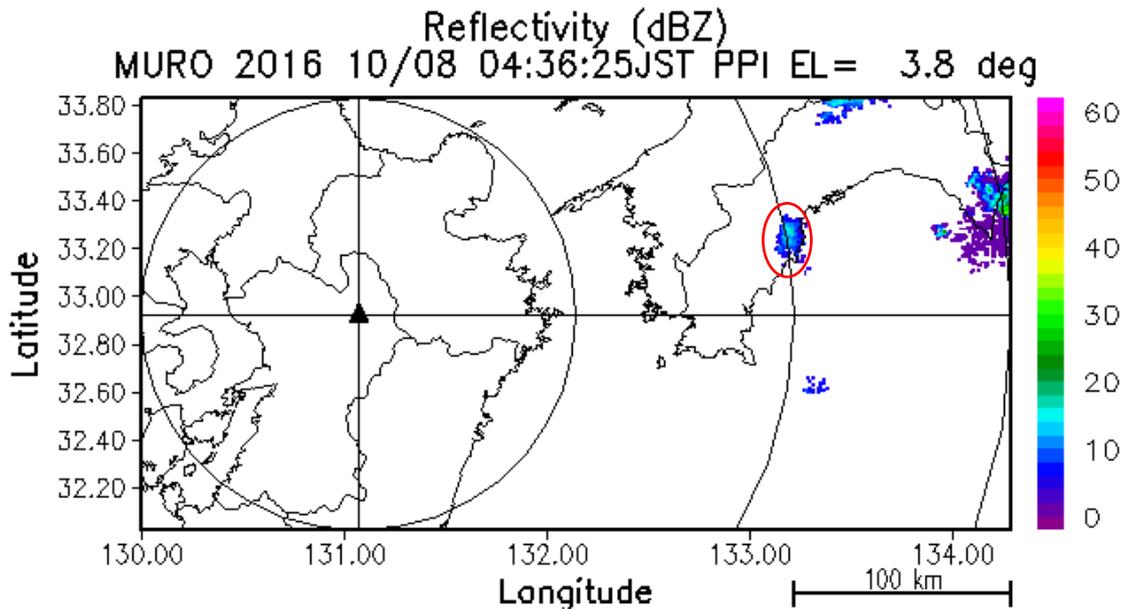


図 2 : 2016 年 10 月 8 日 4 時 36 分の室戸岬レーダー (仰角 3.8°) による反射強度 PPI (赤丸が噴煙エコー。同心円は中岳第一火口 (▲) から 100km、200km、300km。)

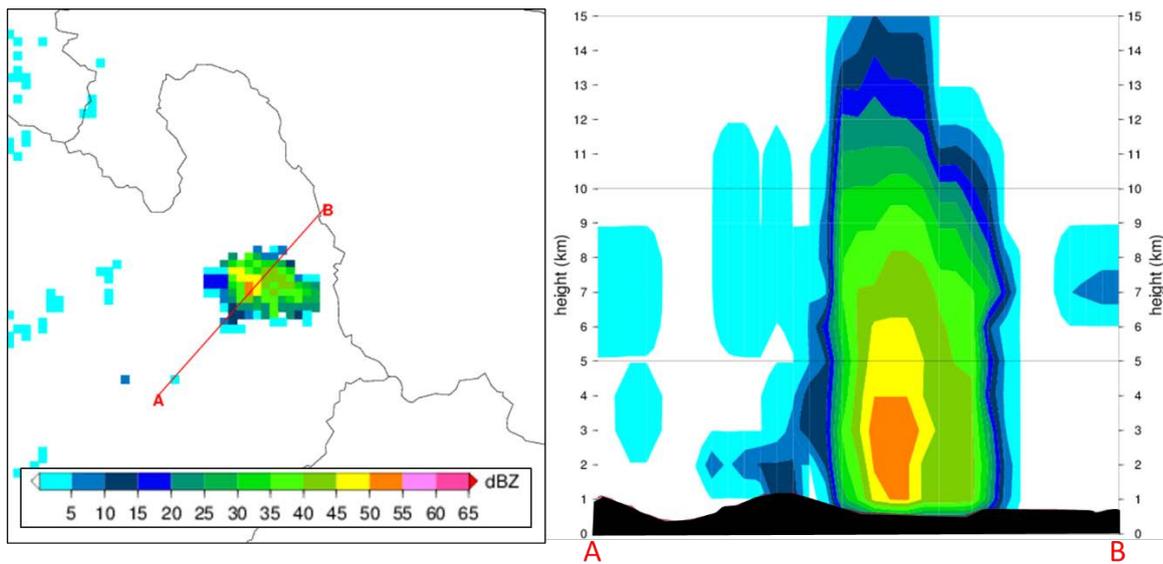


図 3 : 2016 年 10 月 8 日 2 時 00 分における反射強度 CAPPI (3km) と断面図
※CAPPI データ (合成) を補正せずを用いており、右図のエコー頂は過大となっている可能性があることに注意が必要である。

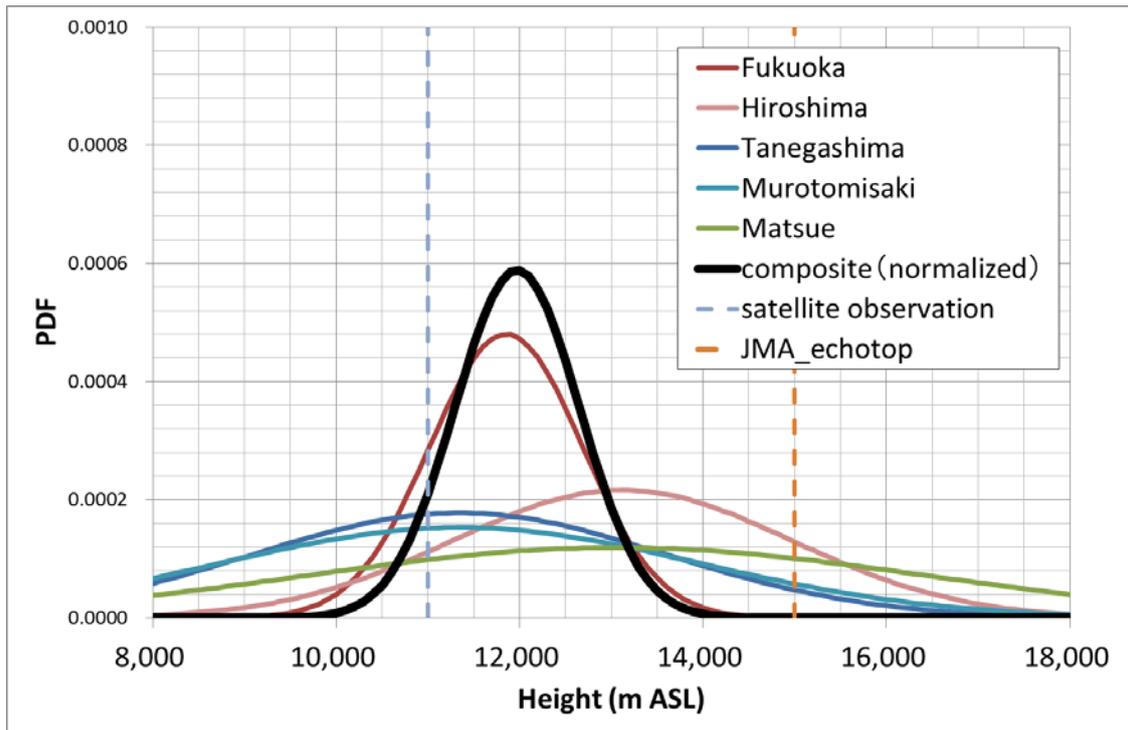


図 4：気象レーダーによる噴煙高度の確率的推定結果
 (黒線、8 日 01 時 50 分～02 時 10 分、阿蘇山周辺)
 横軸は海拔高度 (m)、縦軸は確率密度。佐藤・他 (2016) の方法に基づく。

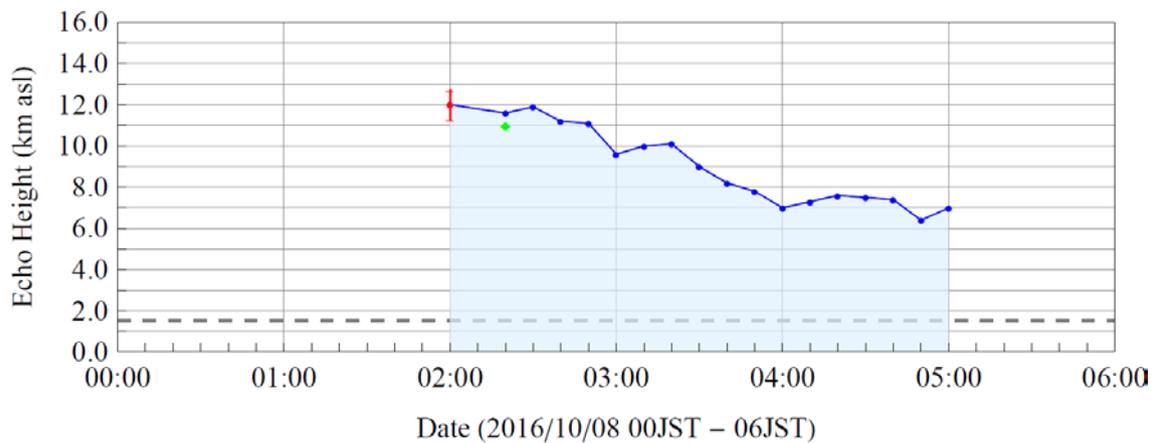


図 5：阿蘇山の噴火に伴う気象庁レーダーエコー頂高度 (合成) の推移 (青点)
 (点線は阿蘇中岳の標高、赤点とエラーバーは推定結果、緑点は気象衛星による観測)
 ※図の青点は火山灰雲全体を対象としている。エコー頂高度 (合成) プロダクトのデータをそのまま用いているため、過大となっている可能性があることに注意が必要である。

用語の説明：

σ ：標準偏差。正規分布を仮定した場合、 $\pm 1\sigma$ が 68.3%、 $\pm 2\sigma$ が 95.4%、 $\pm 3\sigma$ が 99.7%の確率に相当する。

PPI：Plan Position Indicator の略。単一のレーダーによる特定仰角の観測結果。

CAPPI：Constant Altitude PPI の略。複数（もしくは単一の）レーダーによる特定高度の解析結果。

参考文献：

福井敬一，佐藤英一，新堀敏基，石井憲介（2016）レーダーエコー頂高度からの噴出物総量の推定．日本地球惑星科学連合 2016 年大会, SVC47-33.

佐藤英一，福井敬一，新堀敏基，石井憲介，高木朗充，菅井明，黒木英州，真木雅之（2016）気象レーダー網を用いた噴煙高度の確率的推定手法について．日本気象学会大会講演予稿集, 109, 259.

2016 年 10 月 8 日阿蘇山噴火で放出された二酸化硫黄ガスの 気象衛星ひまわり 8 号による観測結果

静止気象衛星ひまわり 8 号（以下、ひまわり 8 号）によって、2016 年 10 月 8 日 1 時 46 分（JST）の阿蘇山の噴火に伴い大気中に放出された二酸化硫黄ガス（以下、SO₂）が検出された。

衛星データ解析では、ひまわり 8 号がもつ 16 の観測バンドのうち、火山灰や SO₂、雲に感度を持つ 3 種類のバンドの観測データを利用して、火山灰や火山起源の SO₂ を検出できることが示唆される画像合成手法（以下、Ash RGB）を用いた。この Ash RGB 画像によって、今回の阿蘇山の噴火で大気中に放出された SO₂ が、南北に広がりながら東進していく様子が確認できた。

噴火によって大気中に放出された SO₂ は、上空の風に流され南北に広がりながら東進し、四国上空（図 1 中）を通過した後、紀伊半島～紀伊半島沖の上空（図 1 右）、関東沖～伊豆諸島の上空（図略）を通過していた。

全球移流拡散モデル（JMA-GATM）によるシミュレーション結果と比較すると、ひまわり 8 号で観測された SO₂ は海拔 7 km から 13～14 km 付近に浮遊していたと推測される（図 2）。

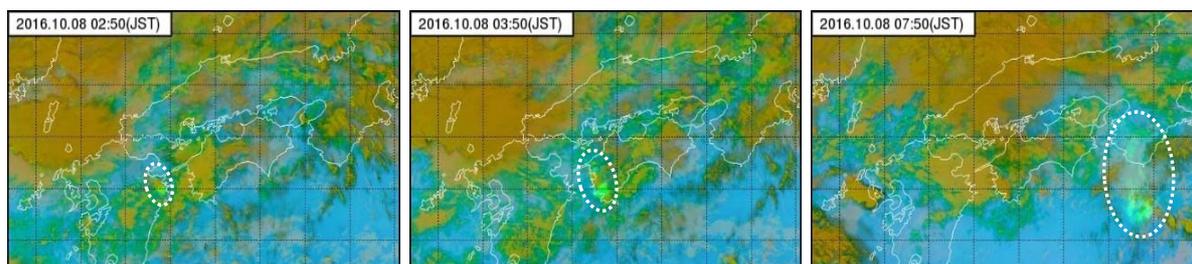


図 1：静止気象衛星ひまわり 8 号で捉えた SO₂。バンド 15 (12.4 μm) とバンド 13 (10.4 μm) の輝度温度差を赤、バンド 13 (10.4 μm) とバンド 11 (8.6 μm) の輝度温度差を緑、バンド 13 (10.4 μm) の輝度温度を青として配色したもの（Ash RGB）。緑色に配色される部分が SO₂ の領域と推測される。白い点線で囲まれた領域の緑色部分が噴火により大気中に放出された SO₂ に対応すると考えられる。

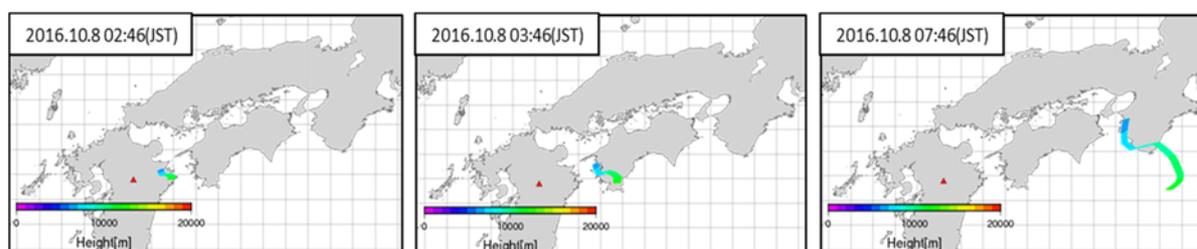


図 2：移流拡散モデルによるシミュレーション結果。噴火時刻（10 月 8 日 1 時 46 分）に、阿蘇山上空の海拔 7～13 km に重力落下がほぼ無視できる大きさの粒子を配置させた予測結果。カラーバーは粒子の高度 [m] を示す。なお、予測に必要な大気場には気象庁全球モデル（GSM）の予報値を用いた。

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

一部のペアにおいて山頂付近で視線距離伸長の位相変化が認められるが、気象ノイズによる位相変化である可能性は否定できない。

1. 使用データ

表 1 干渉解析に使用したデータ

Path Frame	軌道方向	照射方向	データ 1	データ 2	図番号
23-2950	南行	右	2015. 02. 09	2016. 11. 14	図 1
			2016. 05. 02	2016. 11. 14	図 2
130-650	北行	右	2014. 08. 28	2016. 11. 17	図 1
			2016. 06. 16	2016. 11. 17	図 3
			2016. 10. 20	2016. 11. 17	図 4

2. 解析結果

北行軌道・南行軌道の長期ペア、熊本地震後のペア及び 2016 年 10 月 8 日の爆発的噴火後の北行軌道ペアについて解析を行った。期間に熊本地震を含むペアでは、地震に伴う地殻変動により火山活動に伴う位相変化は分離できない。爆発的噴火を含むペアでは、降灰によると考えられる非干渉領域が確認でき、北行軌道ペアにおいては山頂付近で視線距離伸長（最大 4 cm）の位相変化が認められるが、気象ノイズによる位相変化の可能性は否定できない。爆発的噴火後のペアではノイズレベルを超えるような位相変化は検出されなかった。

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 を使用した。ここに記して御礼申し上げます。

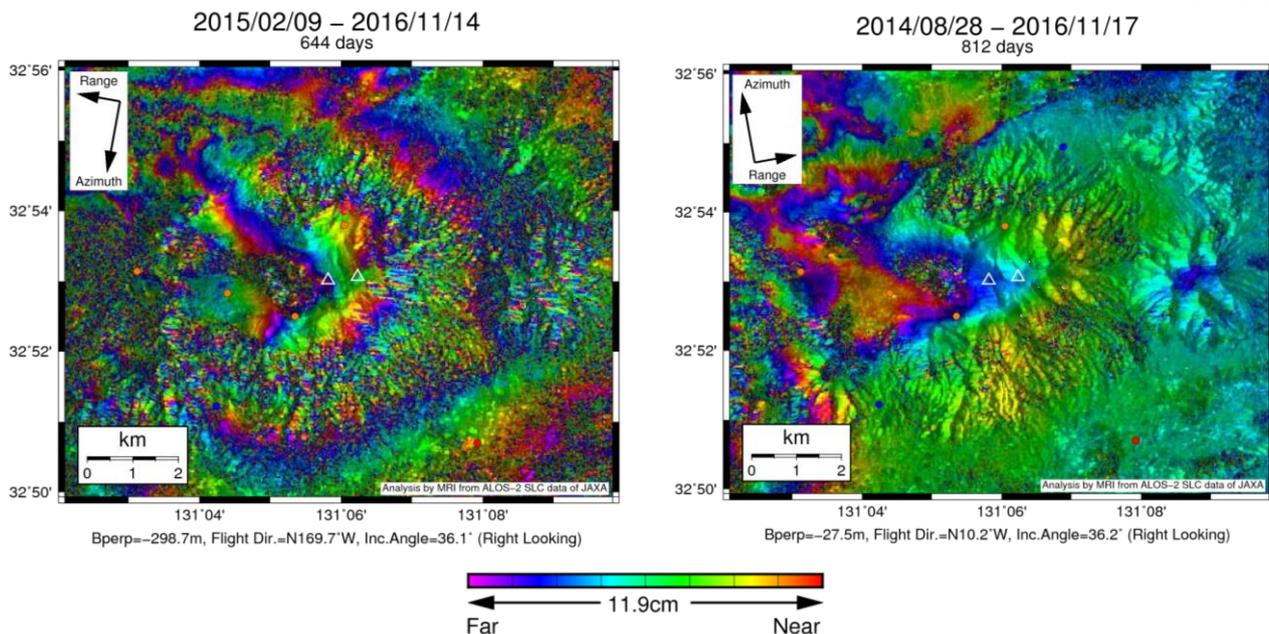


図 1 長期ペアの干渉解析結果（左：パス 23-2950、右：130-650）
 図中の丸印は GNSS 連続観測点（橙：気象庁，赤：国土地理院，青：防災科学技術研究所）を示す。
 熊本地震に伴う地殻変動による位相変化が支配的である。

2016/05/02 – 2016/11/14
196 days

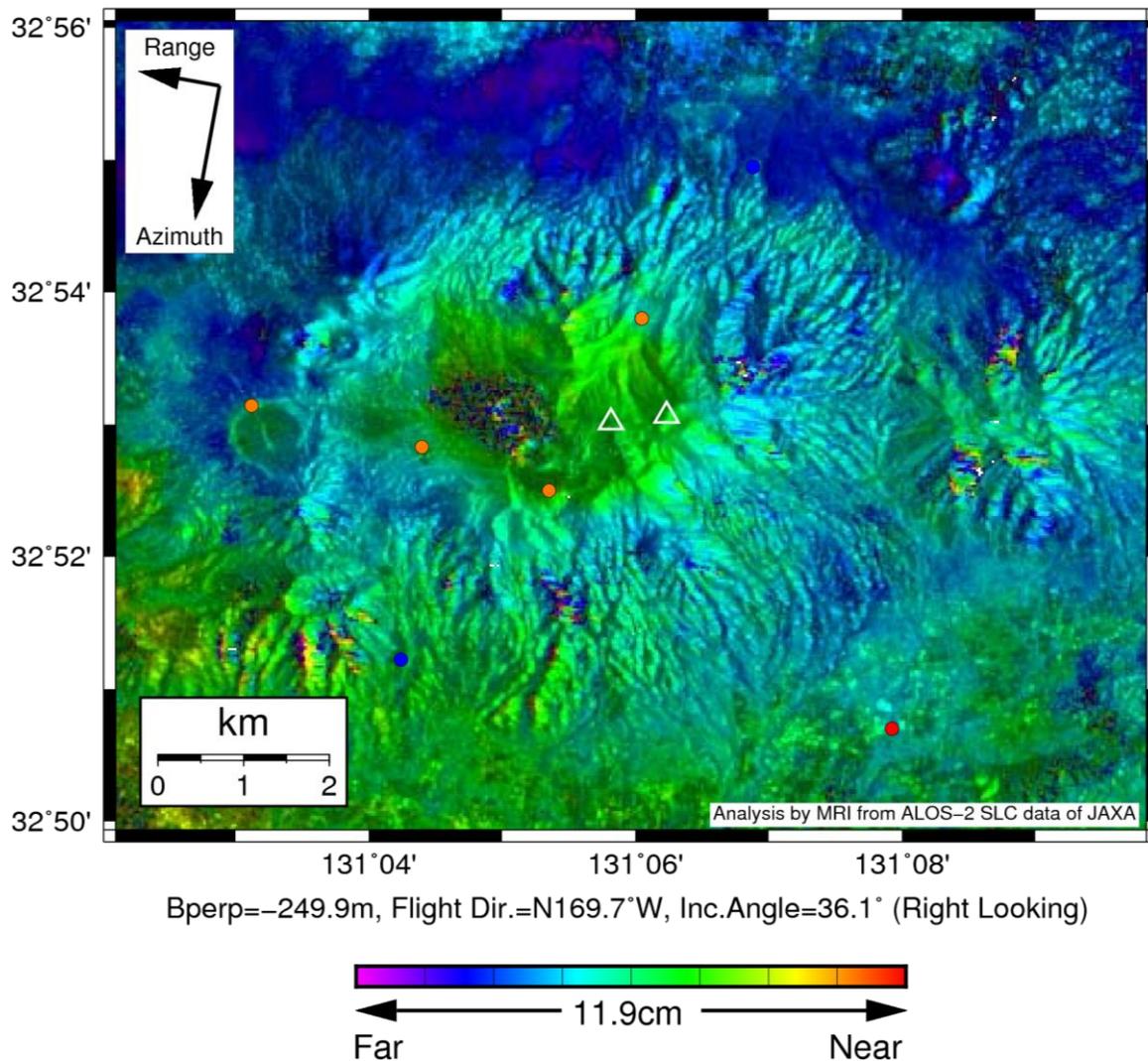


図 2 パス 23-2950 の干渉解析結果

凡例は図 1 に同じ。ノイズレベルを超える位相変化は認められない。また中岳火口からその西部にかけて、降灰によると考えられる非干渉領域が認められる。

2016/06/16 – 2016/11/17
154 days

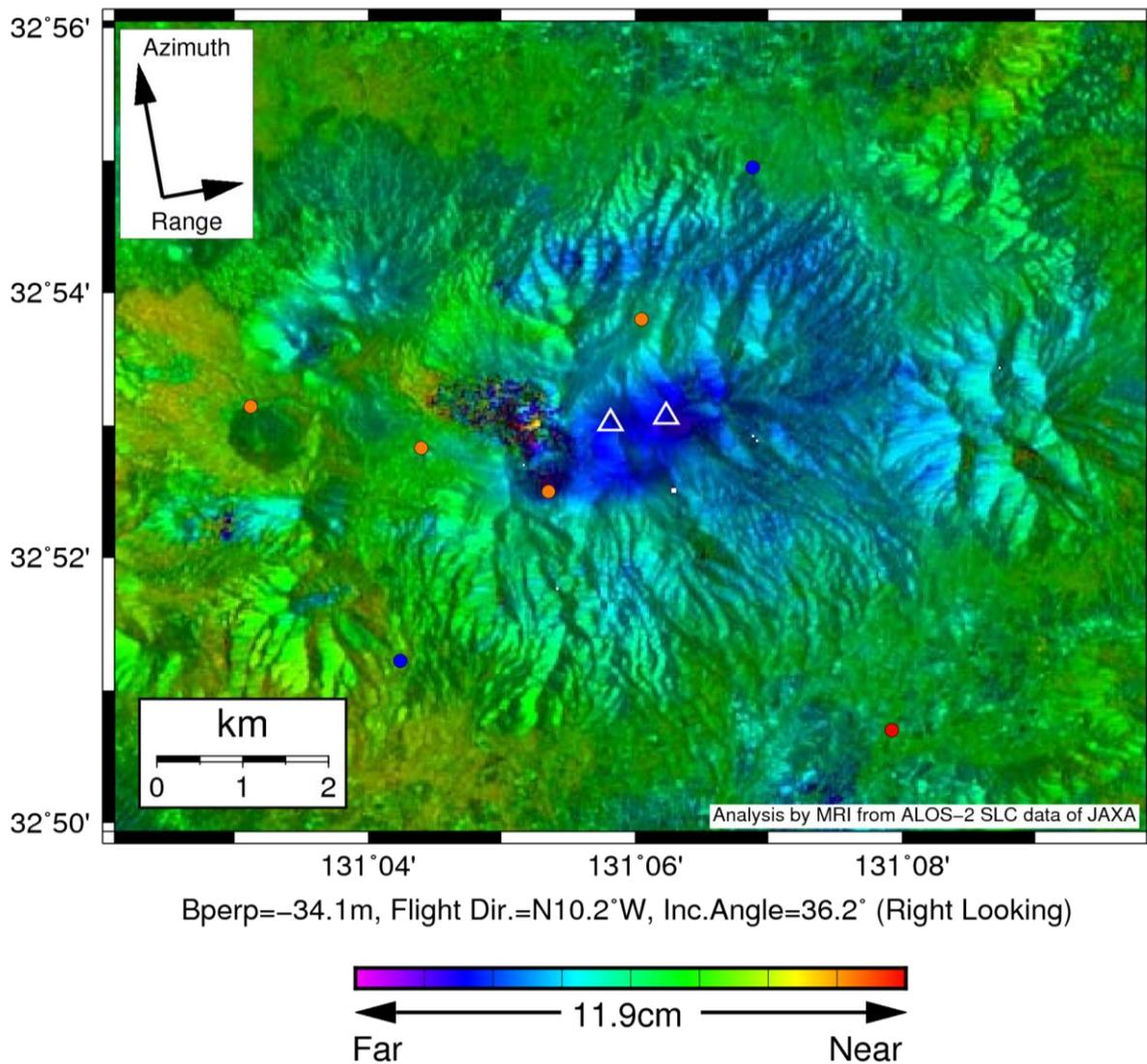


図 3 パス 130-650 の干渉解析結果

凡例は図 1 に同じ。山頂付近において視線距離伸長（最大約 4cm）の位相変化が認められる。また中岳火口からその西部にかけて、降灰によると考えられる非干渉領域が認められる。

2016/10/20 – 2016/11/17
28 days

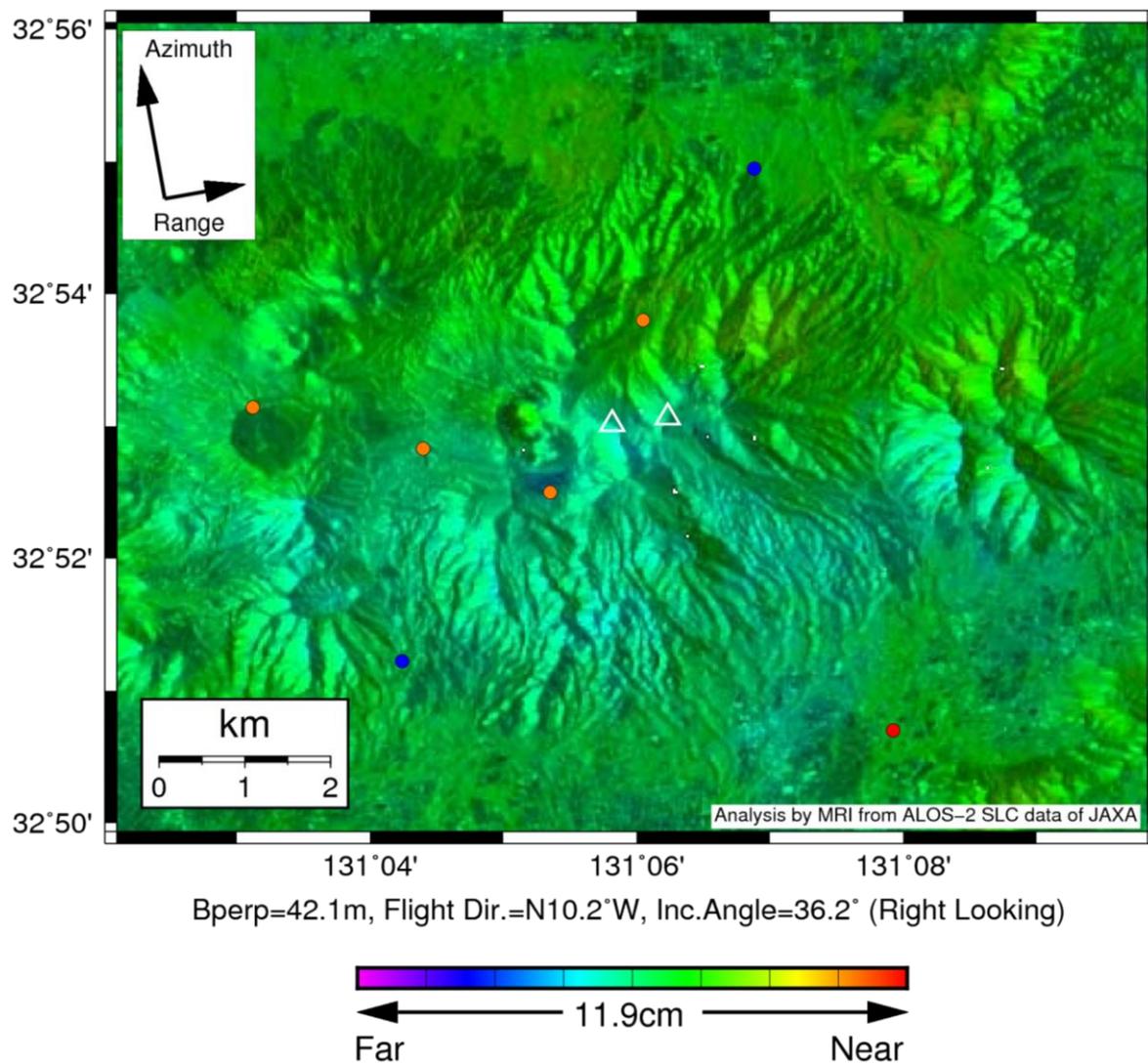


図 4 パス 130-650 の干渉解析結果

凡例は図 1 に同じ。ノイズレベルを超える位相変化は認められない。

阿蘇火山中岳 2016年10月8日噴火に伴う降灰量（修正版）

熊本大学教育学部*・産業技術総合研究所
 防災科学技術研究所・立正大学地球環境科学部
 京都大学火山研究センター・気象庁福岡管区気象台

阿蘇火山中岳における2016年10月8日01時46分噴火に伴う噴出物について、大分県内など遠方域での調査結果を加えて、降灰分布図を作成した。10月8日火山灰は、中岳火口から北東―東北東方向に主軸をもって分布しており、火口から2 km 以遠の噴出物量は18万トン程度と概算された。一方、上空からの観察で推定される火口近傍域の堆積物量は約45万トンと見積もられており、今回の噴出物の総量は60～65万トン程度と推定される。

1. 2016年10月8日火山灰の分布

阿蘇火山中岳では2016年10月8日01時

46分に爆発的噴火が発生し、その噴煙が高度1万mにまで達し、熊本県・大分県・愛

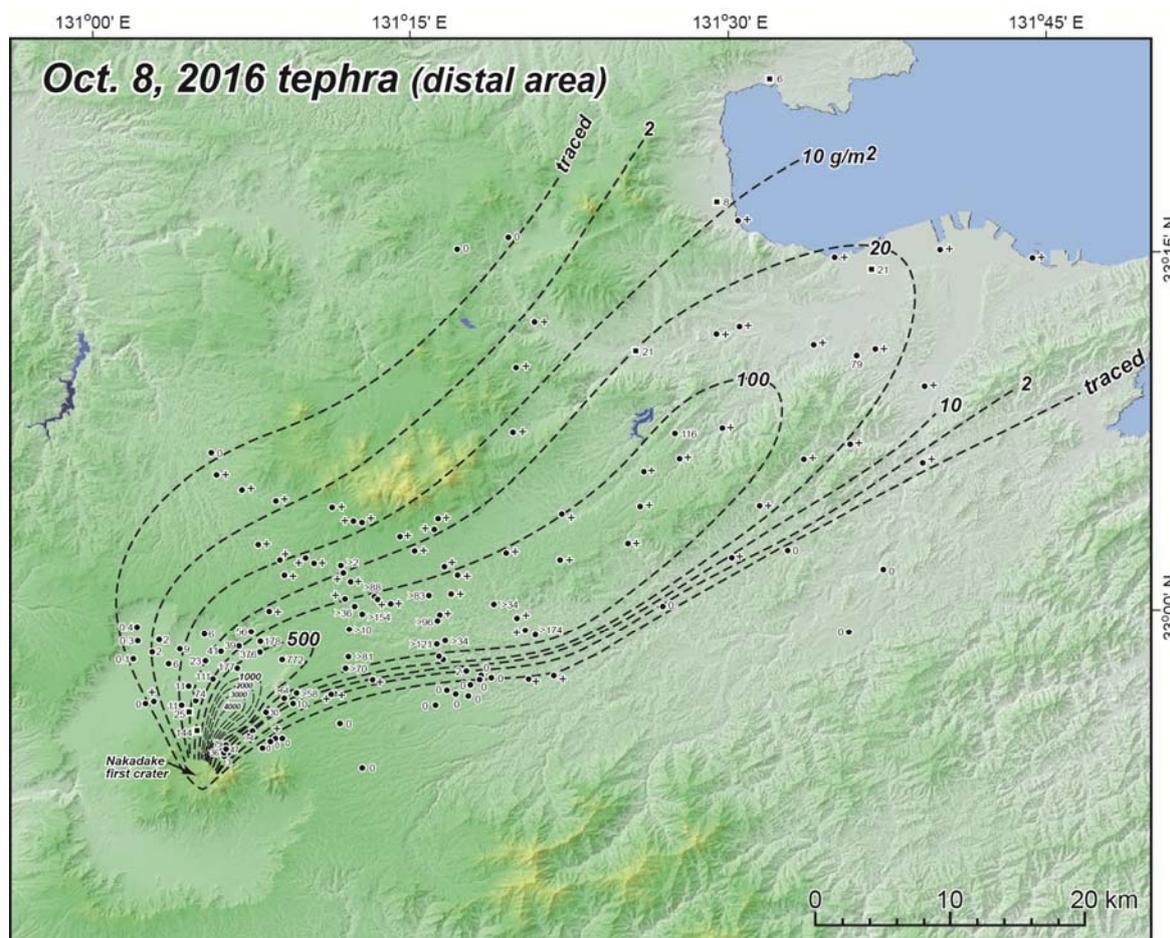


図1 阿蘇火山中岳における2016年10月8日01時46分噴出物の分布（単位 g/m²）。火山灰と火山礫を合わせた分布を示す。■は気象庁によるデータ（2016年10月の火山活動解説資料）、+ は火山灰を確認したが、重量を計測できなかった地点を示している。

*連絡先：宮縁育夫（熊本大学教育学部，miyabuchi@gmail.com）

媛県・香川県の広範囲で降灰が確認された（福岡管区気象台 10 月 8 日 20 時発表の火山活動解説資料）。筆者らはこの噴火発生直後から阿蘇カルデラ内において噴出物の分布調査を行い、火口から 2 km 以遠の降灰量は 6 万トン程度と速報した（10 月 12 日の調査速報）。しかし、その値には大分県など遠方域の降灰状況が考慮されていなかった。

そこで、産業技術総合研究所等による 10 月 9 日～11 日にかけての現地調査結果を加えて、阿蘇カルデラから大分県にかけての降灰分布図を描き直した（図 1）。ただし、堆積した火山灰が 10 月 8 日夕方から翌朝にかけての降雨によって流失・再移動したため、多くの地点では定量的な計測ができなかった（図 1 の+印）。そのため、測定データのうち降雨により失われた部分が多いと思わ

れるデータについては最小値（>付き）で示した。

10 月 8 日火山灰は中岳第 1 火口から北北西から東北東方向に分布している。阿蘇カルデラ内では、中岳第 1 火口から北東方向へ伸びる分布主軸が認められるが、カルデラ縁より遠方では分布主軸が徐々に東方向へと変化しており、さらに大分県竹田市付近からは再び主軸が北東方向へと変化している。500 g/m² 以上の降灰域はほぼ阿蘇カルデラ内に限られるが、100 g/m² の降灰域は大分市南東部付近にまで達する非常に広い範囲に及ぶことがわかった。

また、今回の噴火では火口から 2 km を越える地域においても火山礫（直径 2～64 mm）、一部火山岩塊（直径 64 mm 以上）の飛散が認められることは、前回の報告でも述べた。

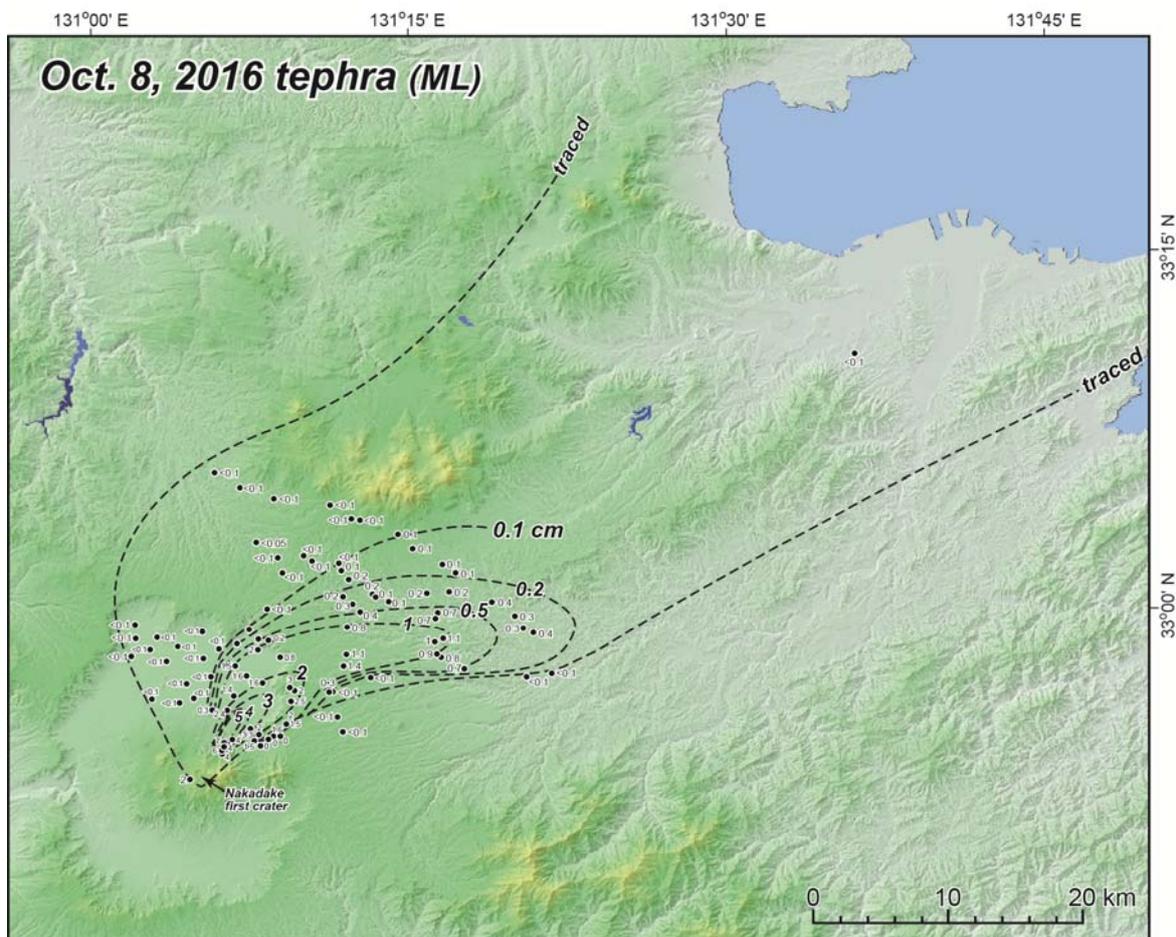


図 2 阿蘇火山中岳における 2016 年 10 月 8 日噴出物の最大粒径分布（単位 cm）。

本報では大分県南東部でのデータを加えて、最大粒径（ML: 各地点における最大粒子 3 個の長径平均値）分布を図 2 に示す。火山礫は中岳火口から北北東から東北東方向にかけて分布している。最大粒径の分布主軸は、堆積量分布の主軸よりも東寄りになっており、カルデラ外では東方向の主軸をもつことがわかる。このように、降灰量と最大粒径分布の主軸の方向が異なることが 10 月 8 日未明の中岳第 1 火口噴火の特徴である。

2. 降灰量の計算結果

今回描き直した 10 月 8 日噴出物分布図(図 1) をもとに、火山灰および火山礫の各等質量線が囲む面積と質量との関係を求めて、噴出物量の計算を行った。10 月 8 日火山灰は微量ながら香川県にまで分布することが報告されており（福岡管区気象台 10 月の火山活動解説資料）、分布の限界は長さ 300 km、幅 30 km 程度の範囲と仮定した結果、降灰量は約 18 万トンと概算された。これに前報で推定した火口近傍域の堆積物量（約 45 万トン; 上空からの観察による推定）を加えると、10 月 8 日噴出物の総量は 60～65 万トン程度となる。

10 月 8 日噴出物の量は、1979 年 9 月 6 日の爆発的噴火による火山灰（約 40 万トン; 小野ほか, 1979）と 1990 年 4 月 20 日のマグマ水蒸気爆発の火山灰（約 90～120 万トン; 渡辺, 1991）の量との中間程度の値であると考えられる。

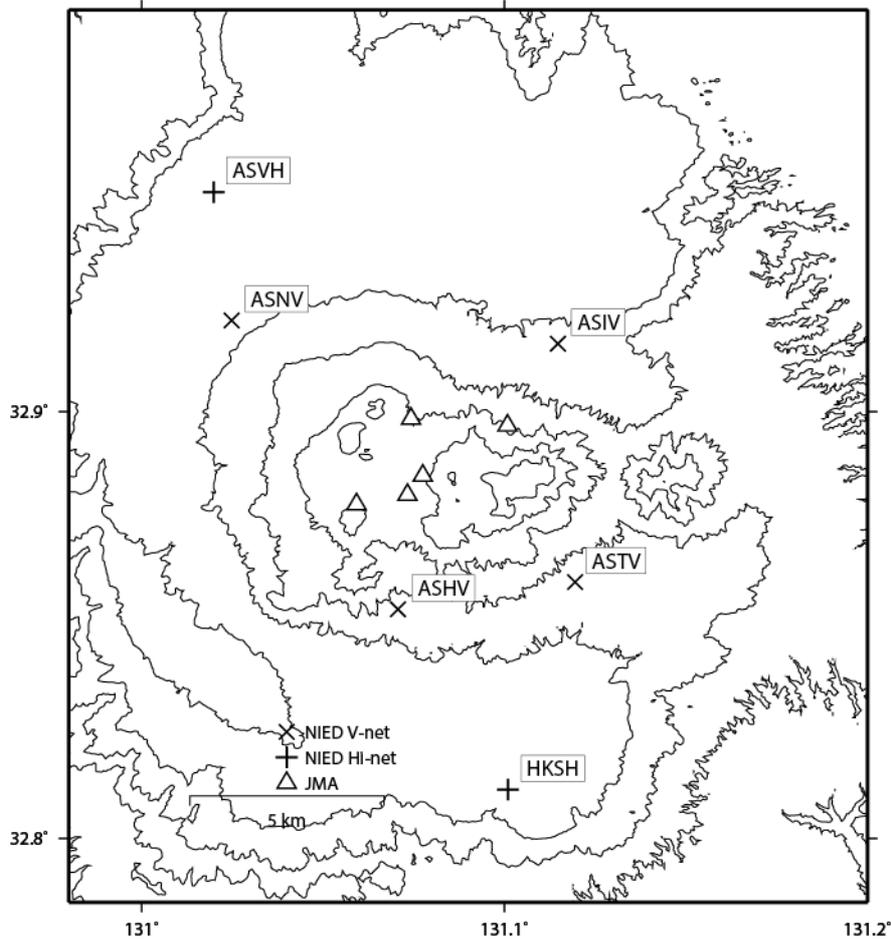
謝辞

豊後大野市教育委員会の豊田徹士氏には大分市での火山灰試料（定面積）を提供していただいた。また、大分県生活環境部の恒賀健太郎氏には、大分県内の降灰状況についてご教示いただいた。心から感謝いたします。

引用文献

- 小野晃司・下川浩一・渡辺一徳（1979）阿蘇火山の爆発－1979 年 9 月 6 日－。地質ニュース, 304, 54-59.
- 渡辺一徳（1991）阿蘇火山中岳の火山活動。熊本地学会誌, 98, 2-13.

阿蘇山の火山活動について



この地図の作成にあたっては、国土地理院発行の数値地図 50mメッシュ（標高）を使用した。

ASIV=地震計（短周期・広帯域）、傾斜計、気圧計、温度計、雨量計、GNSS
 ASHV=地震計（短周期・広帯域）、傾斜計、気圧計、温度計、雨量計、GNSS
 ASNV=地震計（短周期・広帯域）、傾斜計、気圧計、温度計、雨量計、GNSS
 ASTV=地震計（短周期・広帯域）、傾斜計、気圧計、温度計、雨量計、GNSS

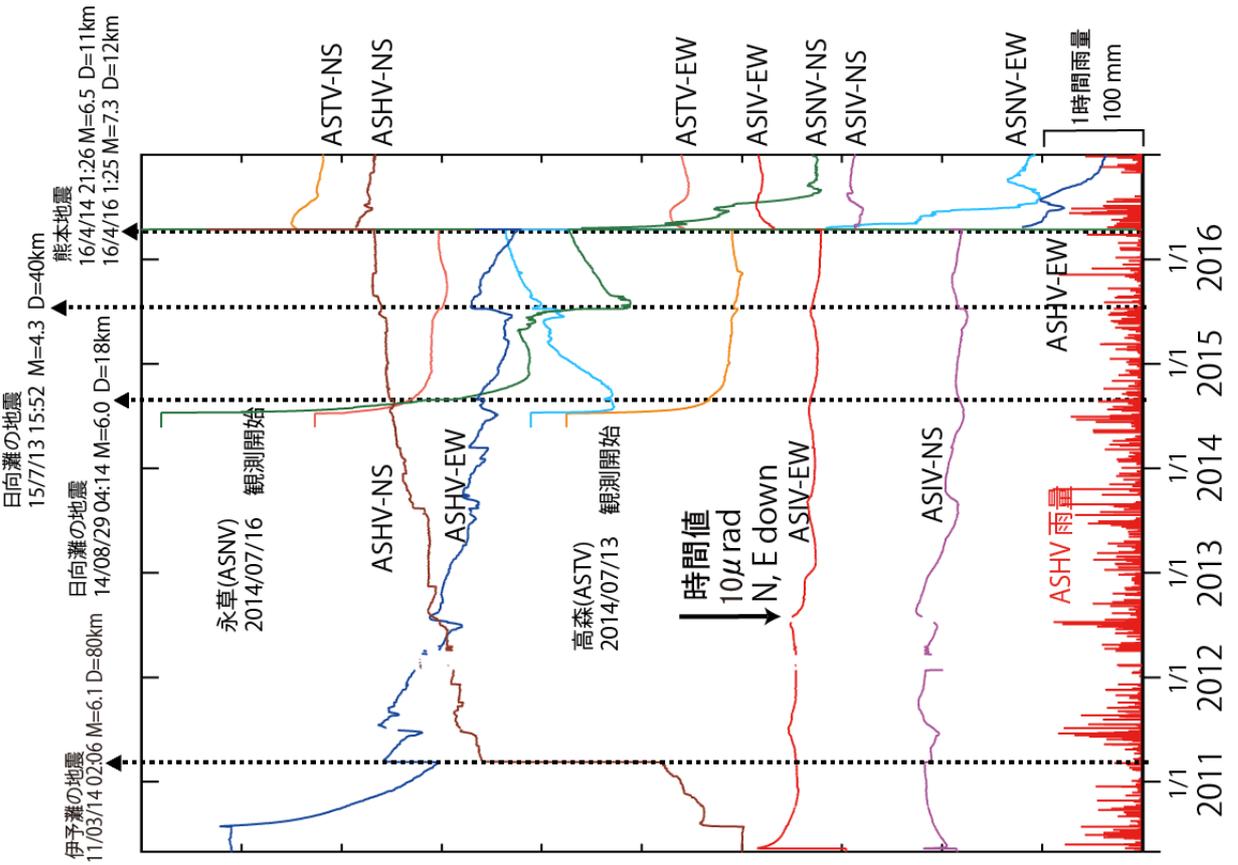
資料概要

○ 地震活動と地殻変動

2016年10月8日、阿蘇山中岳第一火口で噴火が発生した。短周期地震計の平均振幅値においては、10月4日頃から値が大きくなり始めた。その後、低下と増大を繰り返した後、噴火に至った。

傾斜計記録においては、熊本地震による余効変動の影響もあるが、噴火前には明瞭な傾斜変化は認められない。GNSS観測においても、噴火の直前後において明瞭な基線長変化は認められない。また、白水—永草間や永草—高森間の基線長変化においては、噴火に関わらず伸びの変化が継続している。

阿蘇山の傾斜変動 (2010/5/1 ~ 2016/12/31)



阿蘇山の傾斜変動 (2016/05/01 ~ 2017/01/04)

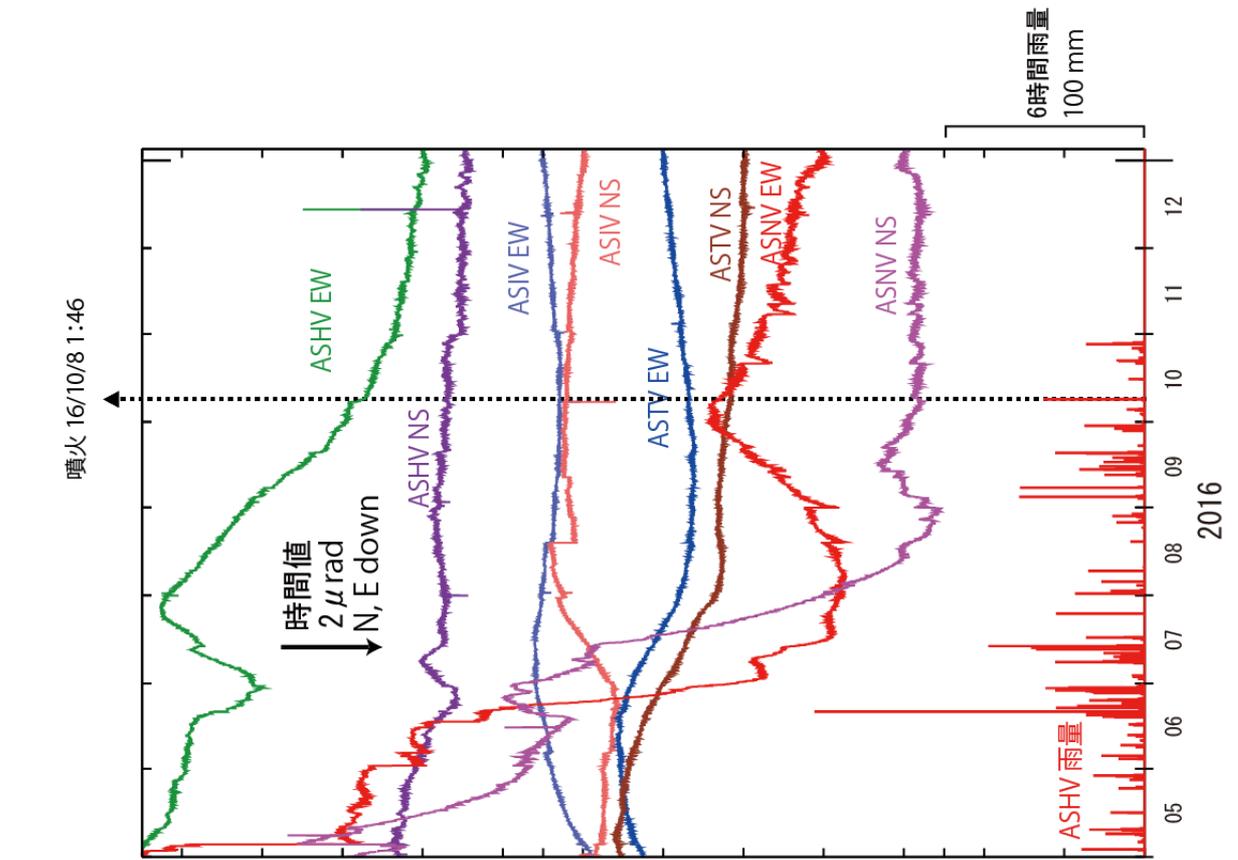


図 1 阿蘇山の傾斜変動 ※ASHV 雨量は 11 月のテレメータ変更の影響で一部表示がおかしくなっています

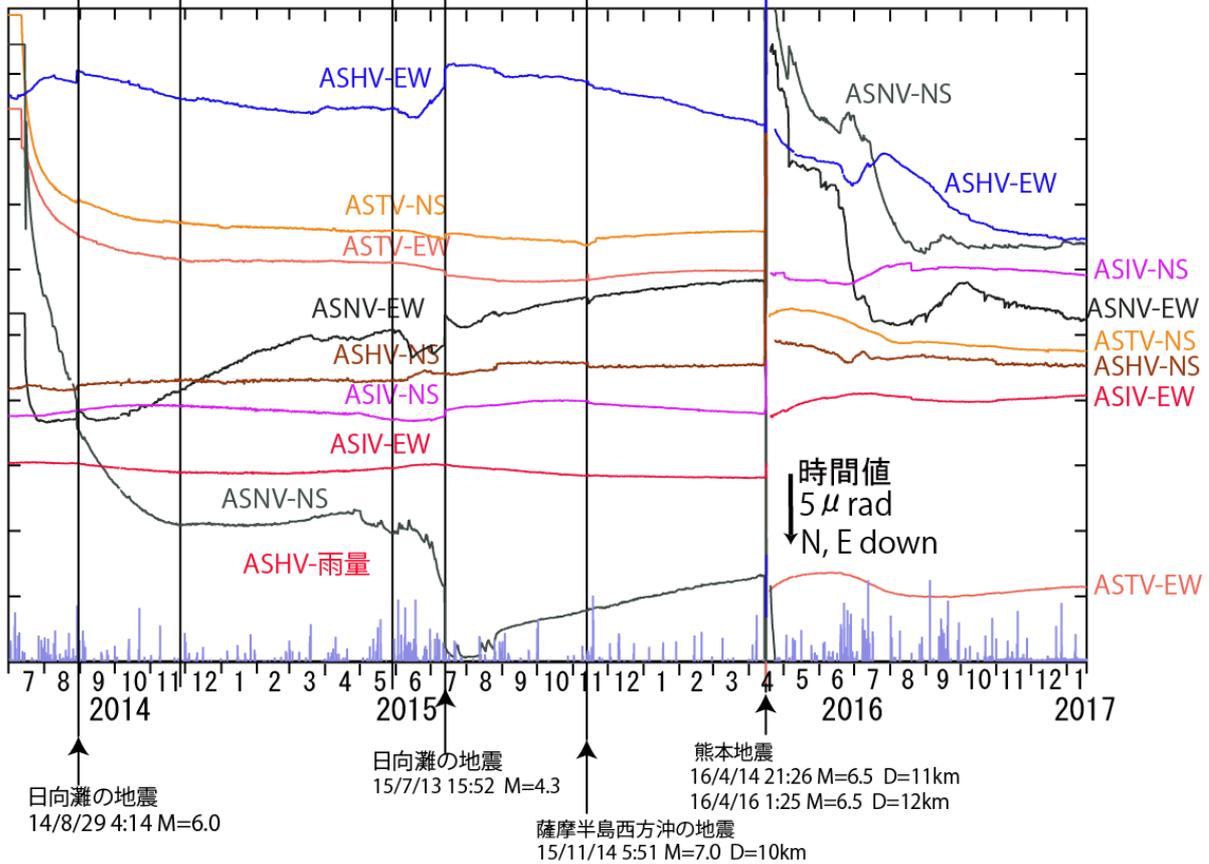
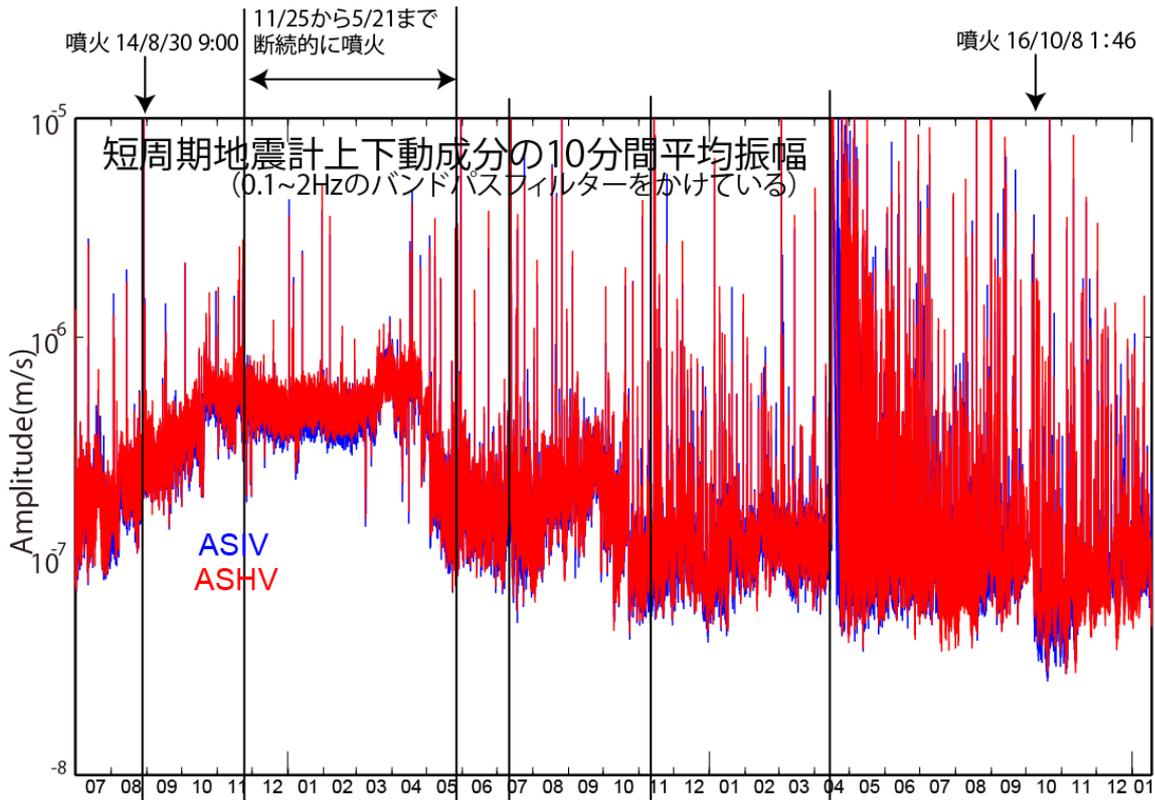


図 2 (上) 阿蘇山一の宮観測点 (ASIV) と白水観測点 (ASHV) の短周期地震計上下動成分の 10 分間平均振幅

図 3 (下) 阿蘇山の 4 観測点の傾斜変動 (1 分値)

防災科学技術研究所 GNSS 観測点及び国土地理院 GEONET で得られた、
2016 年 7 月 28 日-2016 年 12 月 8 日の地殻変動【都城 (0482) 固定】

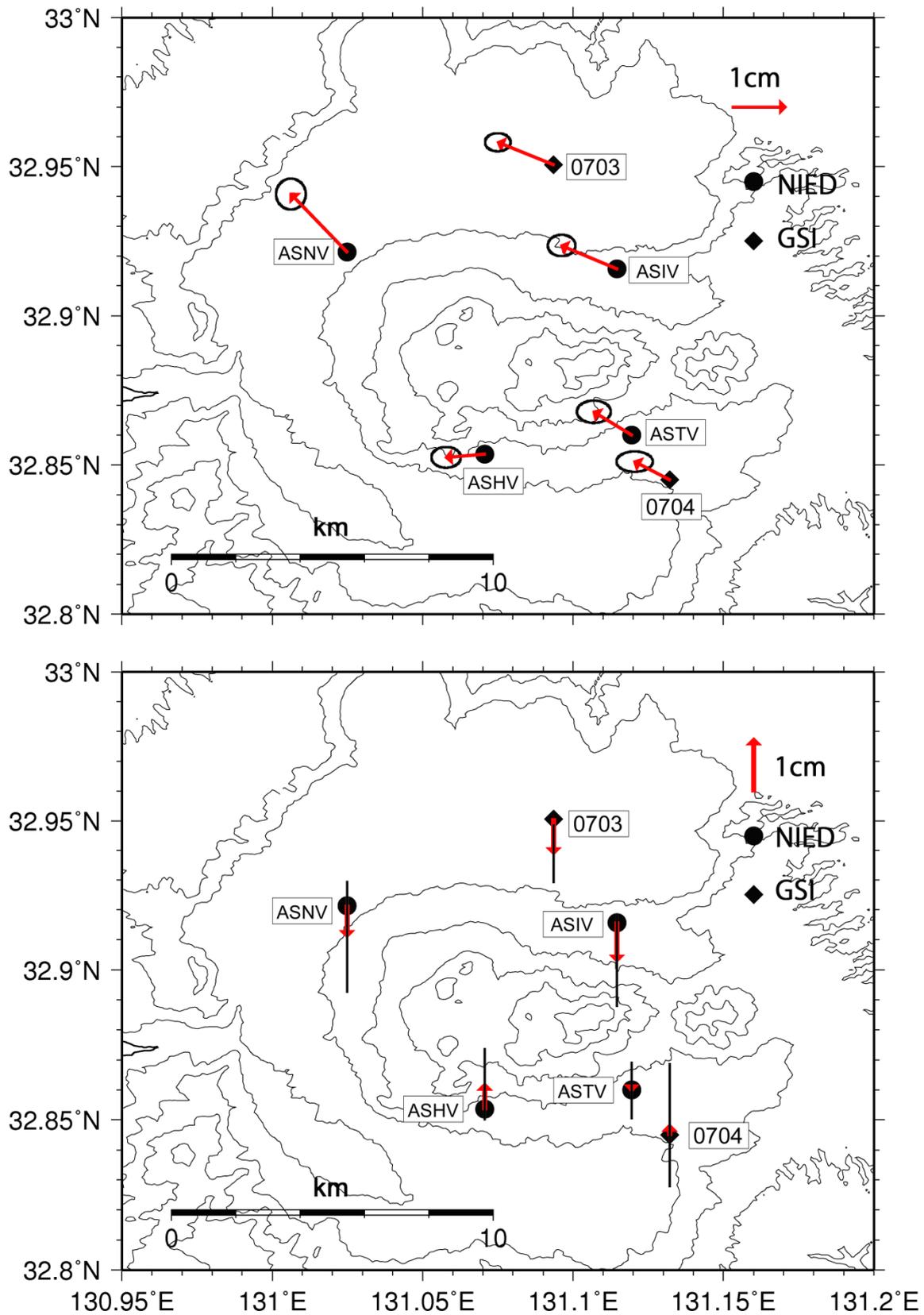


図 4 阿蘇山の GNSS 解析結果.

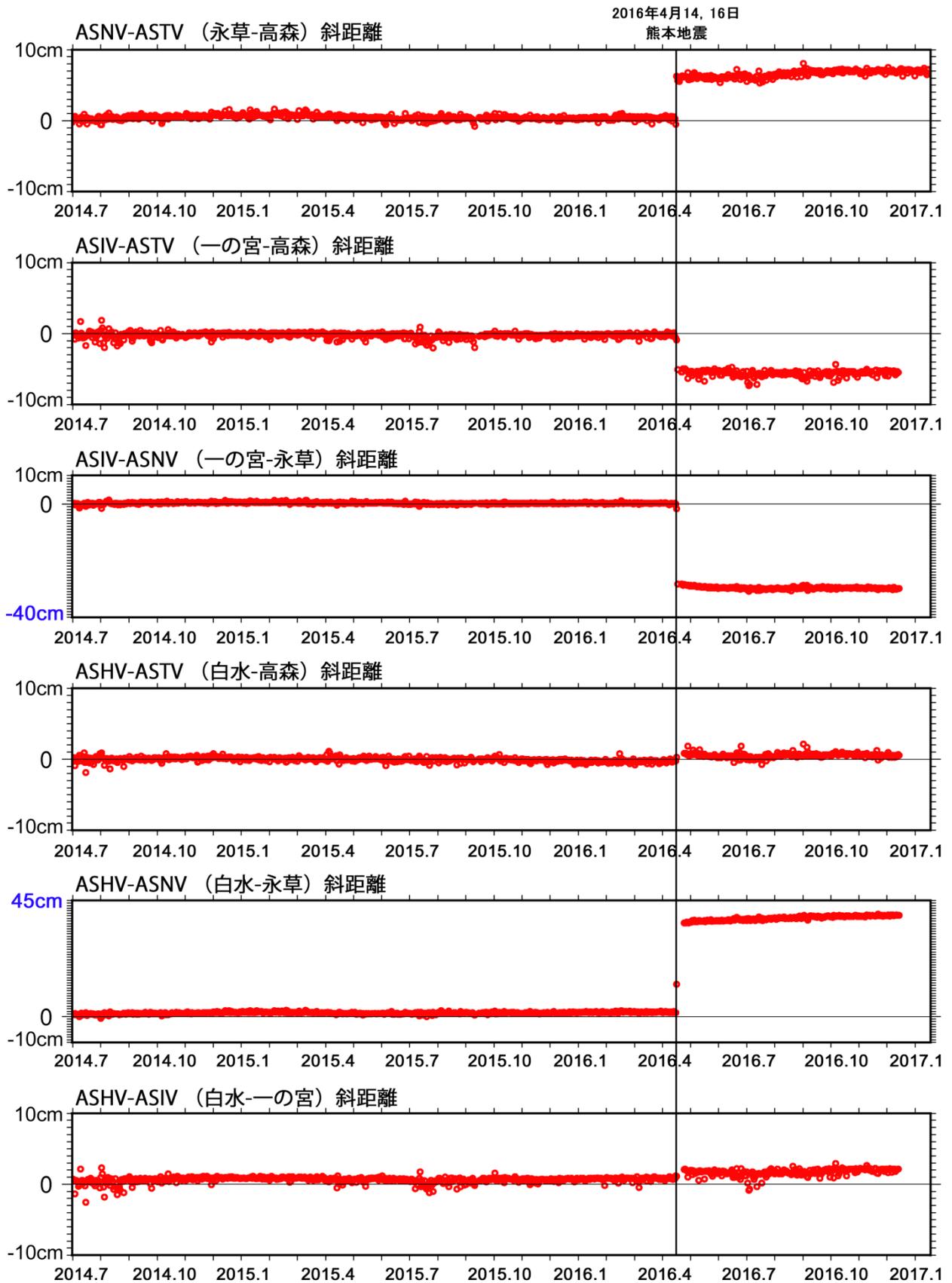


図 5 防災科研観測点 4 点（白水，一の宮，永草，高森）間の基線長変化. 2016 年 4 月 14 日と 16 日に発生した熊本地震の影響で一部基線長に大きなステップが見られる.

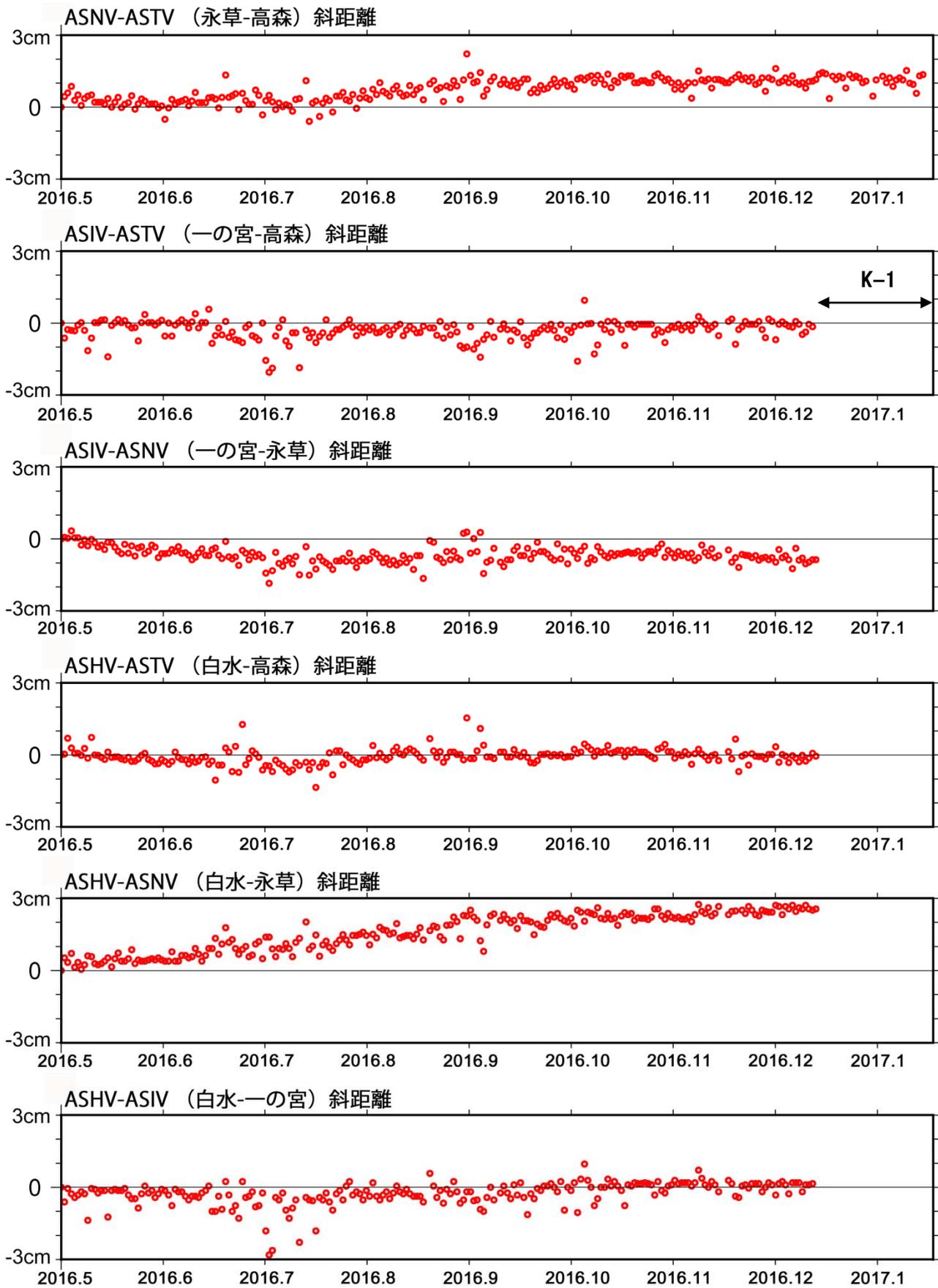


図 6 熊本地震発生後（2016 年 5 月 1 日以降）の基線長変化. 白水-永草間に 2016 年 6 月中旬以降基線長の伸びが見られる.

表1 GNSS観測履歴

観測点番号	観測点名	図中記号	日付	保守内容
	阿蘇山白水 (ASHV)		2010/4/7	2周波観測開始
			2012/7/16	アンテナ故障
			2012/10/18	新アンテナ設置(GrAnt-G3T)
			2013/2/13	修理済みアンテナに交換、アンテナ台交換作業
			2013/8/1	アンテナ故障
			2013/8/28	新アンテナ設置(RingAnt-DM→GrAnt-G3)
			2013/8/28	アンテナ交換
			K-1	2016/12/13～
	阿蘇山一の宮 (ASIV)	K-1	2010/4/6	2周波観測開始
			2013/2/13	アンテナ台交換作業
			2016/12/12～	通信断
	阿蘇山永草 (ASNV)		2014/5/23	2周波観測開始
	阿蘇山高森 (ASTV)		2014/4/25	2周波観測開始

基盤的火山観測網 (V-net) で観測された 2016 年 10 月 8 日阿蘇山噴火

2016 年 10 月 8 日に阿蘇山で発生した噴火に関連して、阿蘇山の 4 か所に設置した火山観測施設にて、噴火前の前駆的な火山性微動や、噴火に伴う地震動、空振などが観測された。

- 図 1 阿蘇山一の宮観測点 (ASIV) と白水観測点 (ASHV) の短周期地震計上下動成分の 10 分間平均振幅。10 月 4 日頃から火山性微動が活発になり平均振幅が増大し、振幅の低下が時々発生した後、8 日 1:46 に噴火が発生した。
- 図 2 噴火が発生した時間帯である 2016 年 10 月 8 日午前 1 時台の白水火山観測施設 (ASHV) の地震波形記録。1:46 に噴火による地震動が観測されている。
- 図 3 阿蘇山の 4 か所の火山観測施設の 2016 年 10 月 8 日午前 1 時台の地震計記録。4 か所で、噴火が発生した 1:46 に最大振幅の地震動が観測された。
- 図 4 噴火が発生した時間帯の阿蘇山一の宮観測点 (ASIV) と白水観測点 (ASHV) の気圧計データ。1:46 頃に 1.8hPa 程度の気圧変化が観測された。噴火に伴う空振によるものと考えられる。なお、この気圧変化は、2015 年 9 月 14 日に発生した噴火による気圧変化 (0.1hPa) よりもかなり大きく、9 月 14 日噴火の前には微弱な気圧変化が観測されたが今回は観測されていない (参考図)。
- 図 5 阿蘇山の 4 か所の火山観測施設の傾斜計データ (2016 年 10 月 1 日～9 日 11:00)。火山活動に関連する傾斜変動は観測されていない。

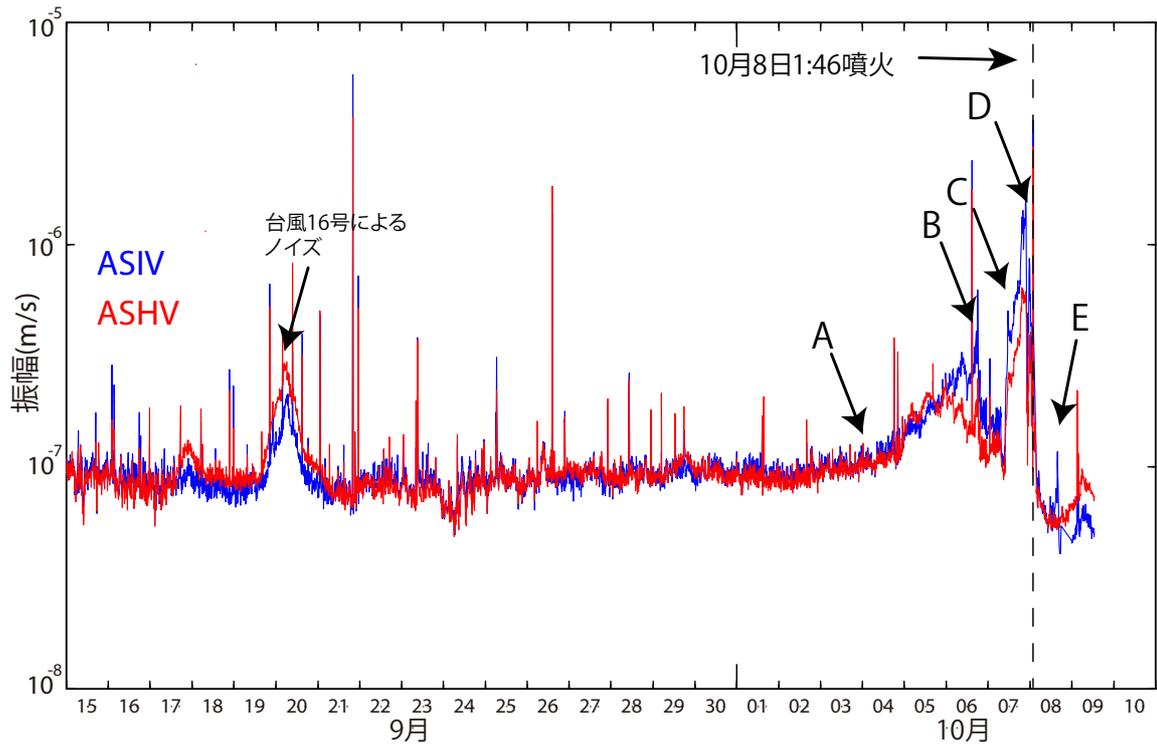


図 1 阿蘇山一の宮観測点(ASIV)と白水観測点(ASHV)の短周期地震計上下動成分の 10 分間平均振幅 (9月15日～10月9日、0.1～2Hz のバンドパスフィルターをかけている)。10月4日頃から火山性微動が活発化したことにより地震動の平均振幅が徐々に大きくなった (A)。6日19時頃に平均振幅はいったん低下し (B)、7日の10時頃に再び大きくなり (C)、同日21時頃に平均振幅が最大となった後、再び振幅が急低下した (D)。その後、8日1:46に噴火が発生した。

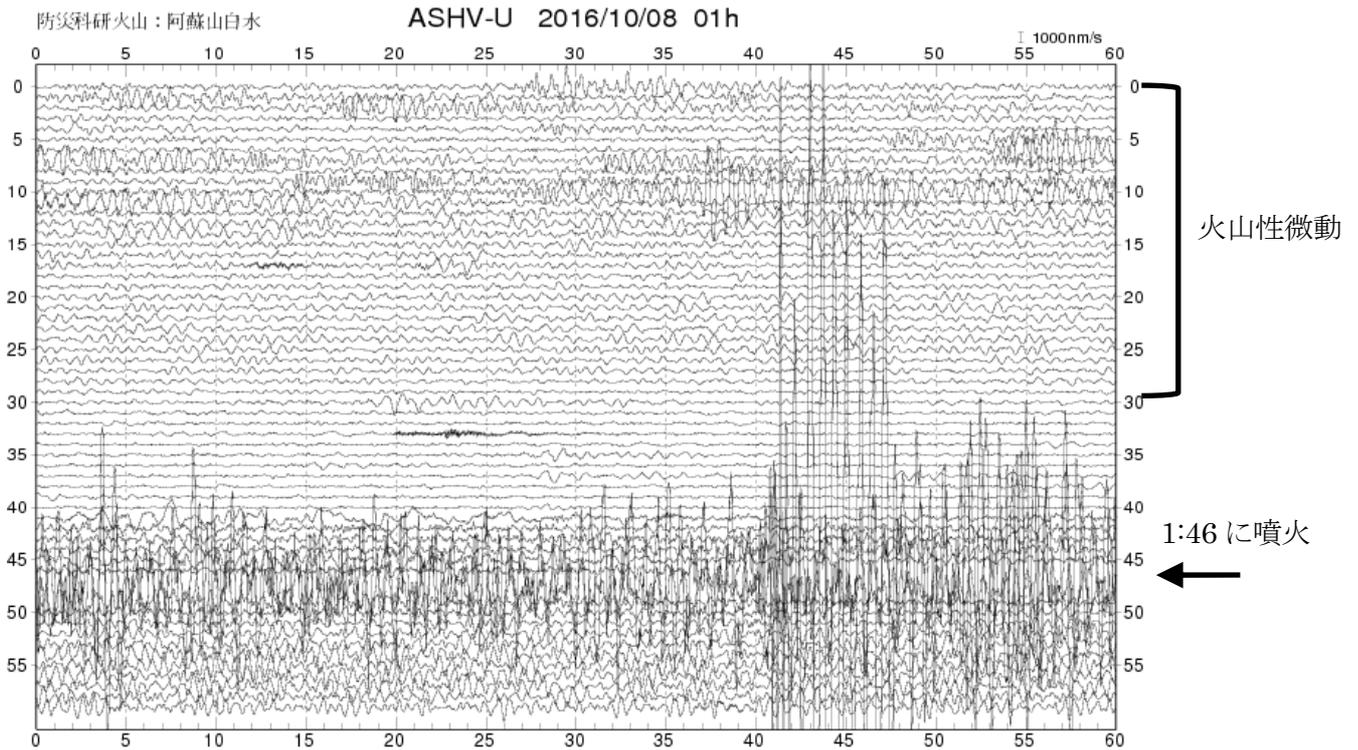


図 2 噴火前後の阿蘇山白水火山観測施設(ASHV)の1時間の地震計記録(2016年10月8日午前1時台)。

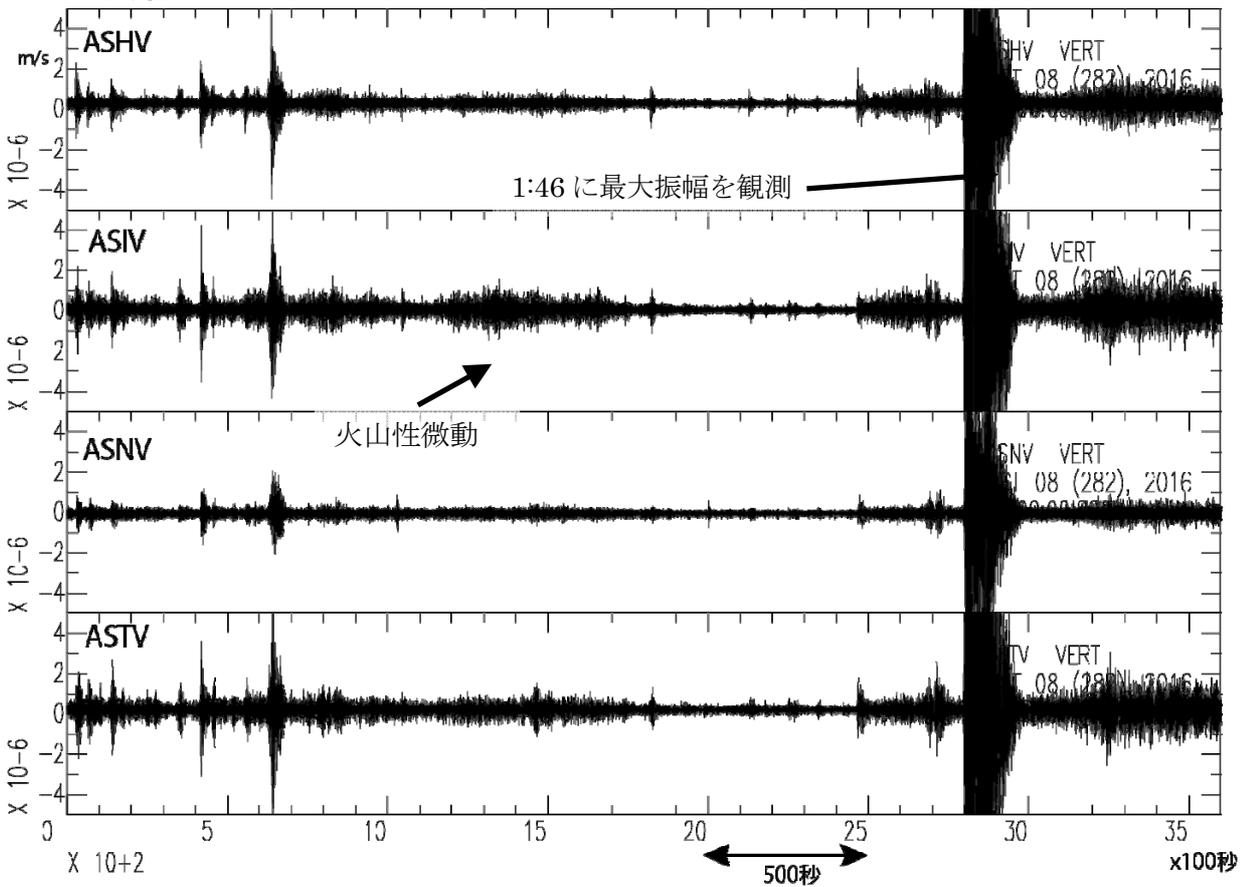


図 3 阿蘇山の4か所の火山観測施設の1時間の地震計記録(2016年10月8日午前1時台)。4か所で、噴火が発生した1:46に最大振幅の地震動が観測された。

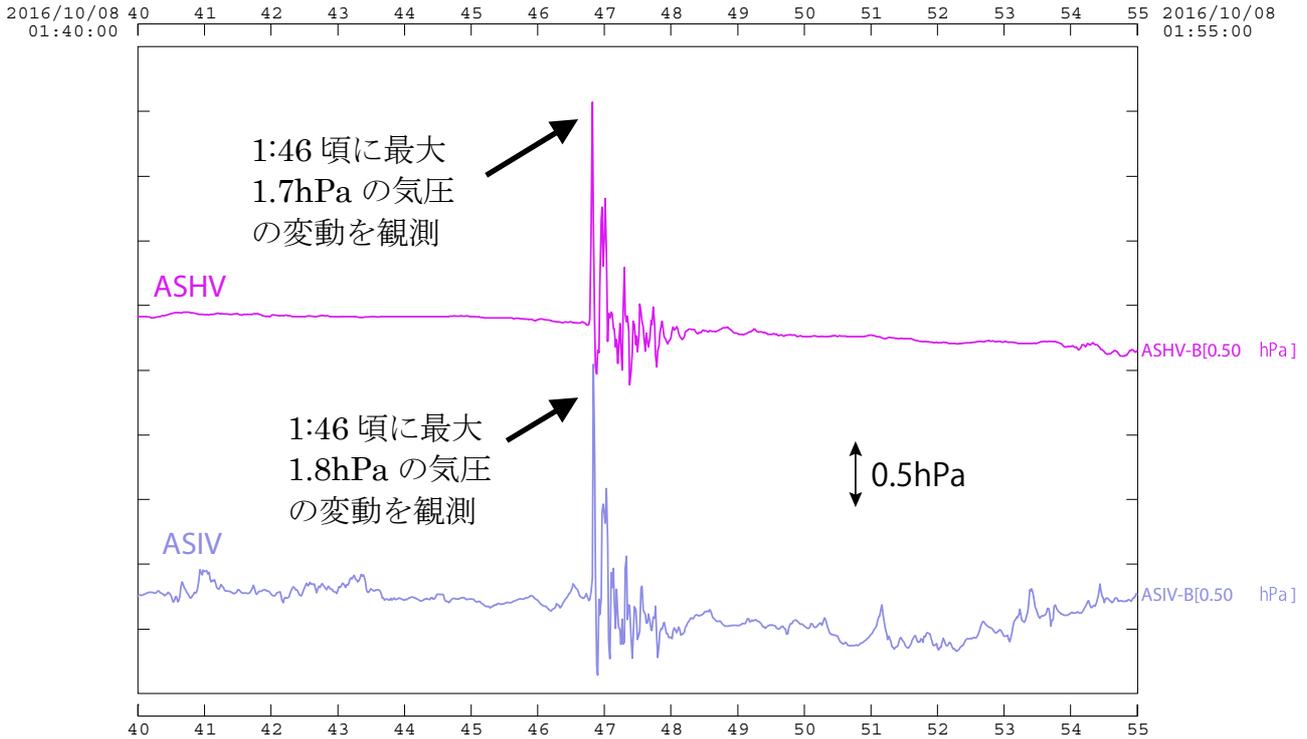
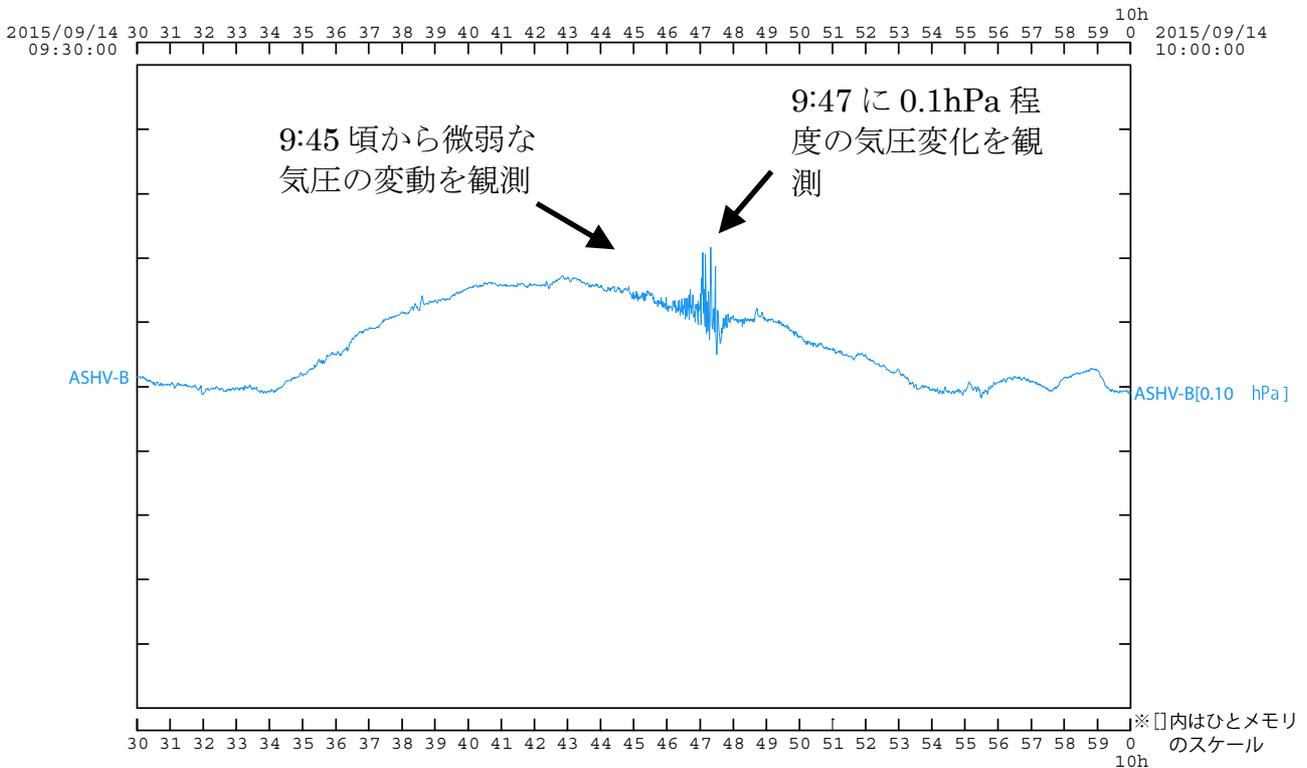


図 4 阿蘇山一の宮観測点(ASIV)と白水観測点(ASHV)の気圧計データ (2016年10月8日1:40~1:55)。1:46頃に1.8hPa程度の気圧変化が観測された。噴火に伴う空振によるものと考えられる。

参考 2015年9月14日に発生した噴火に伴う気圧変化



参考図 阿蘇山白水火山観測施設(ASHV)の気圧計データ (2015年9月14日9:30~10:00)。

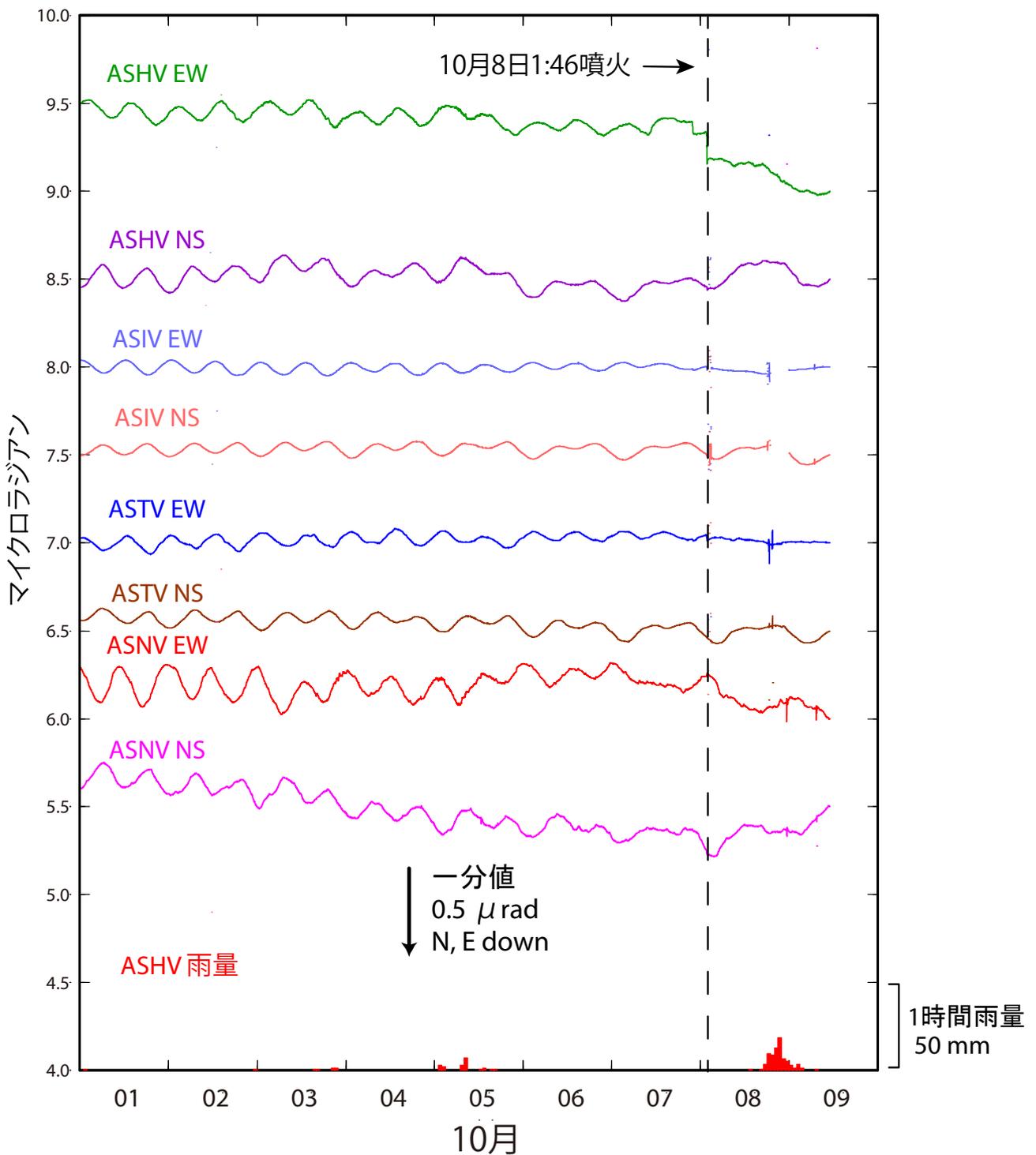
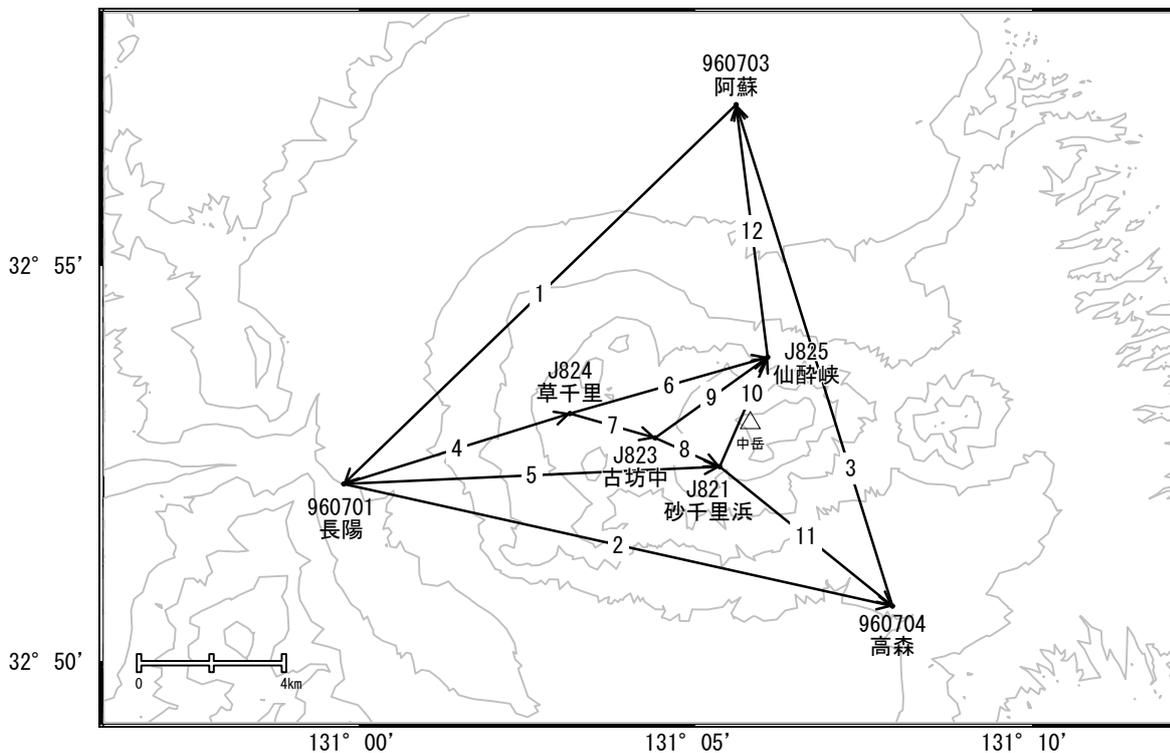


図5 阿蘇山の4か所の火山観測施設の傾斜計データ(2016年10月1日~9日11:00)。噴火が発生した1:46にASHV観測点EW成分にステップ状の変化がみられるが、地震動によるノイズと考えられる。その他に火山活動に関連する傾斜変動は観測されていない。

阿蘇山

2016年10月8日の噴火に伴う短期的な地殻変動は観測されていません。2016年7月頃から、「長陽」-「阿蘇」、「長陽」-「高森」の基線で伸びの傾向が認められていましたが、11月頃から停滞しています。

阿蘇山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(1)

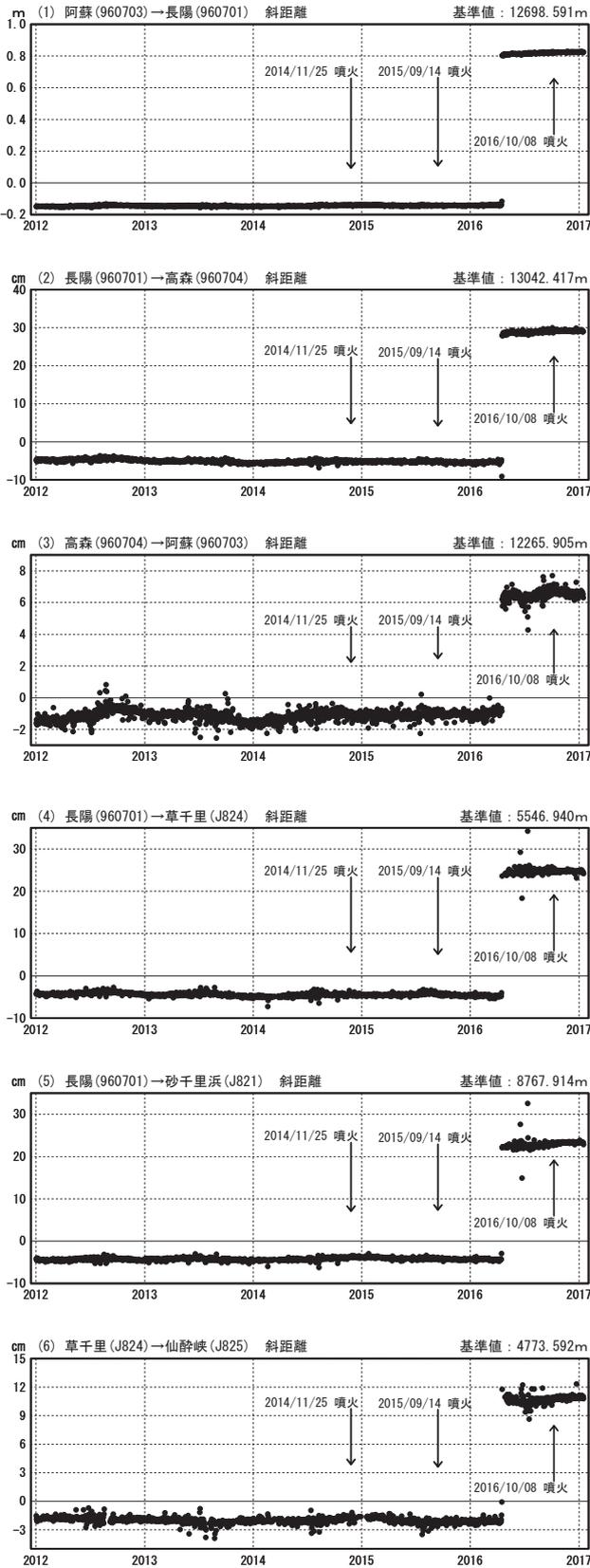


阿蘇山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
960701	長陽	20120307	伐採
		20120824	アンテナ・受信機交換
		20150609	アンテナ交換
960703	阿蘇	20120824	アンテナ・受信機交換
		20140626	伐採
960704	高森	2012年3月頃	伐採
		20121211	アンテナ交換
		20170115	受信機交換

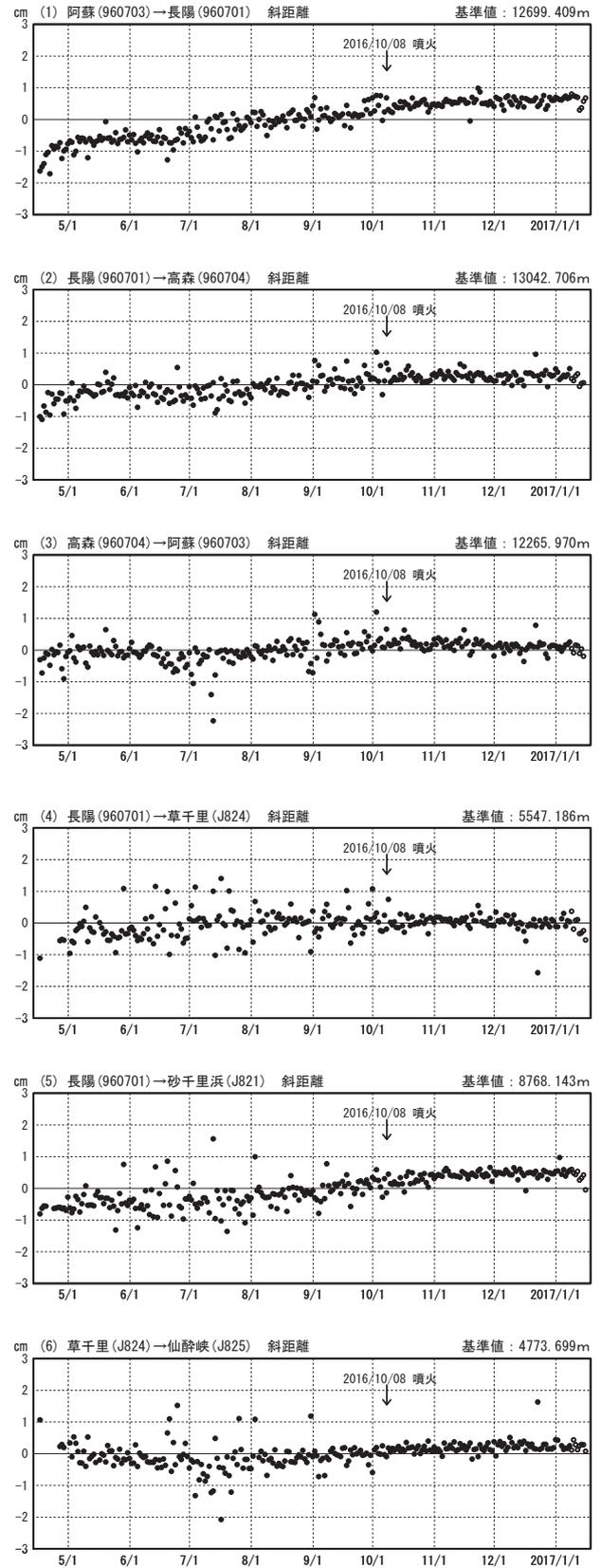
基線変化グラフ

期間：2012/01/01～2017/01/15 JST



基線変化グラフ

期間：2016/04/16～2017/01/15 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

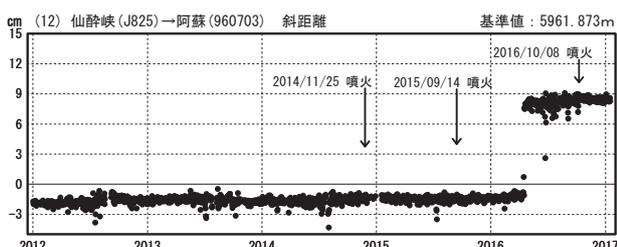
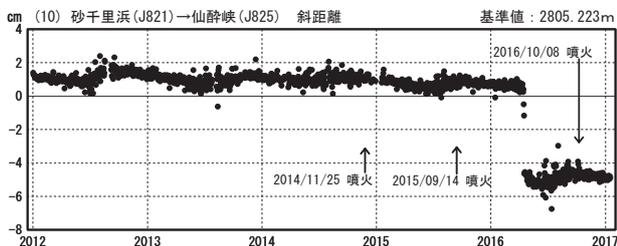
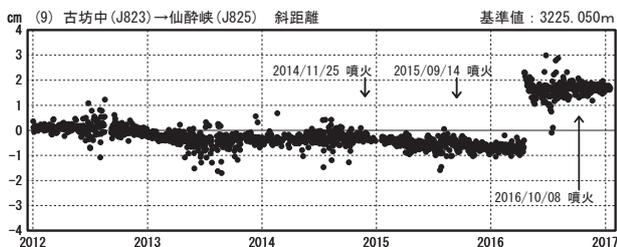
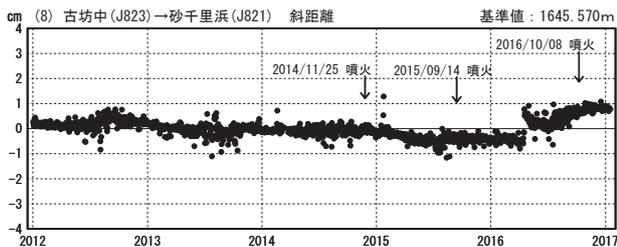
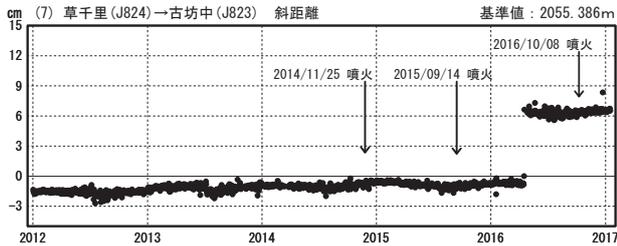
国土地理院・気象庁

(注) 平成28年熊本地震の影響を受けています。
 ※[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

阿蘇山

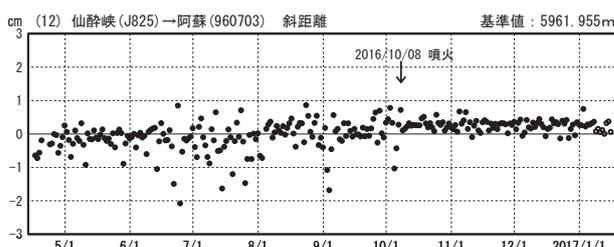
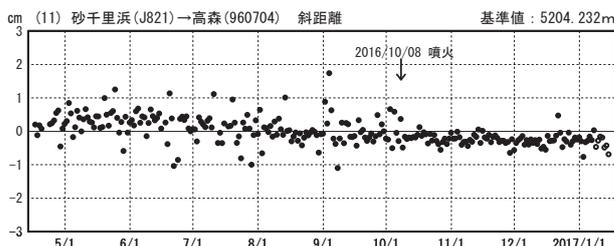
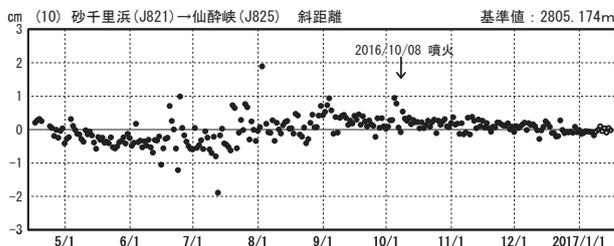
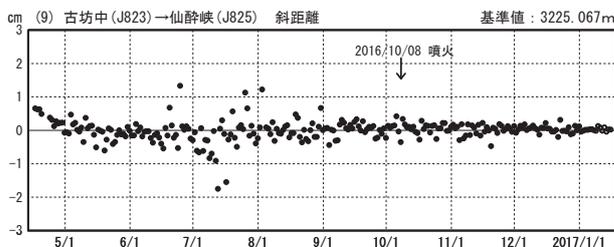
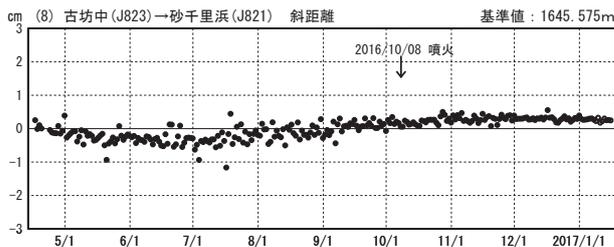
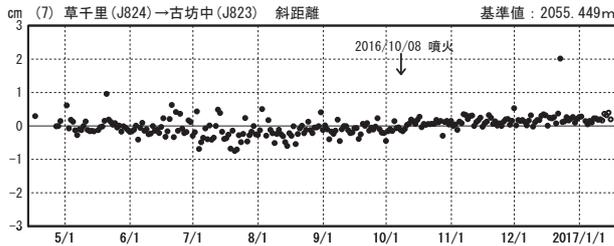
基線変化グラフ

期間：2012/01/01～2017/01/15 JST



基線変化グラフ

期間：2016/04/16～2017/01/15 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

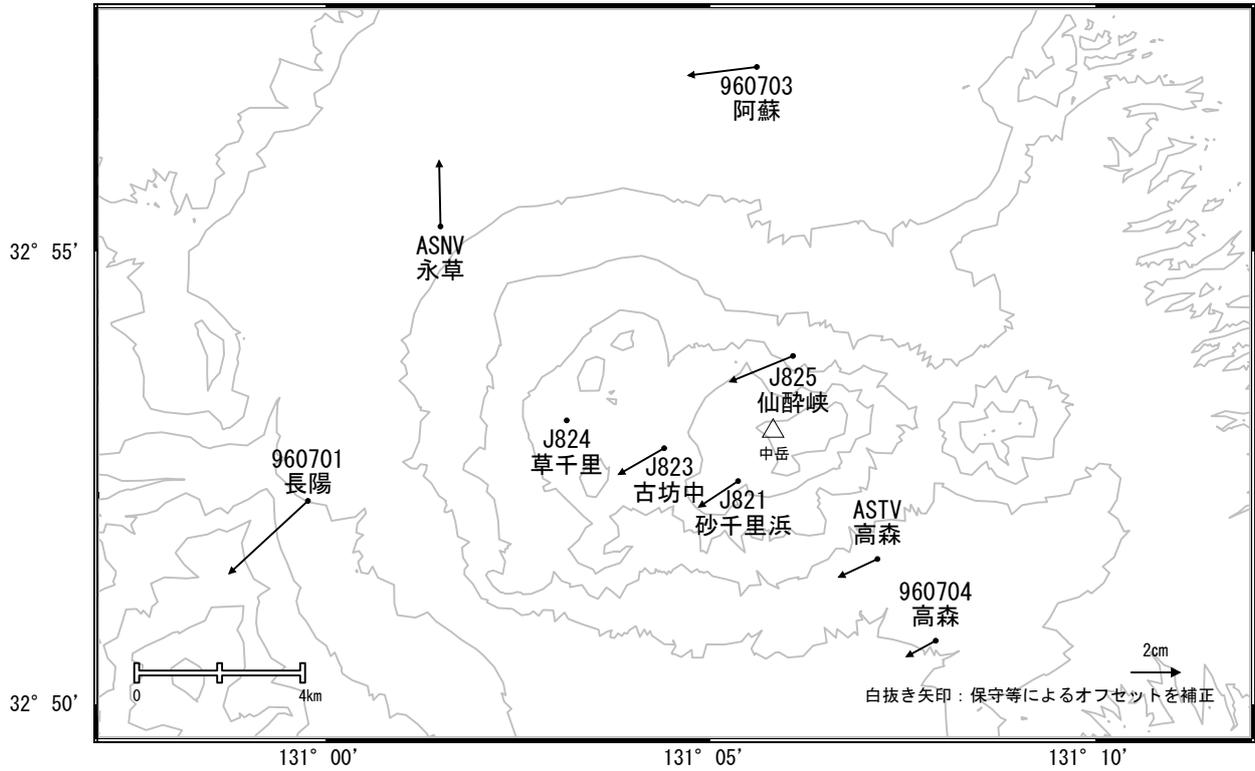
国土地理院・気象庁

(注) 平成28年熊本地震の影響を受けています。
 ※[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

阿蘇山

阿蘇山周辺の地殻変動(水平:地震後)

基準期間:2016/04/17~2016/04/17[F3:最終解]
比較期間:2016/12/22~2016/12/31[F3:最終解]

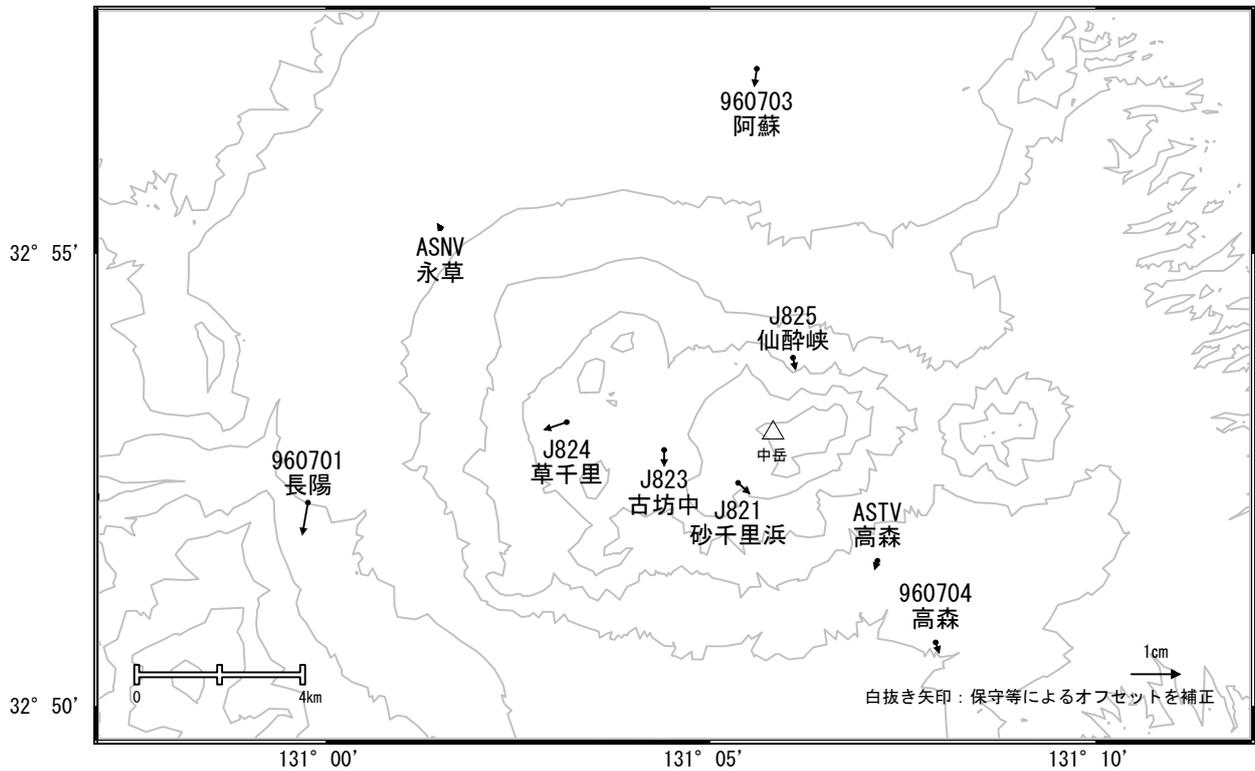


☆ 固定局:北方(960711)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

阿蘇山周辺の地殻変動(水平:3ヶ月)

基準期間:2016/09/22~2016/10/01[F3:最終解]
比較期間:2016/12/22~2016/12/31[F3:最終解]



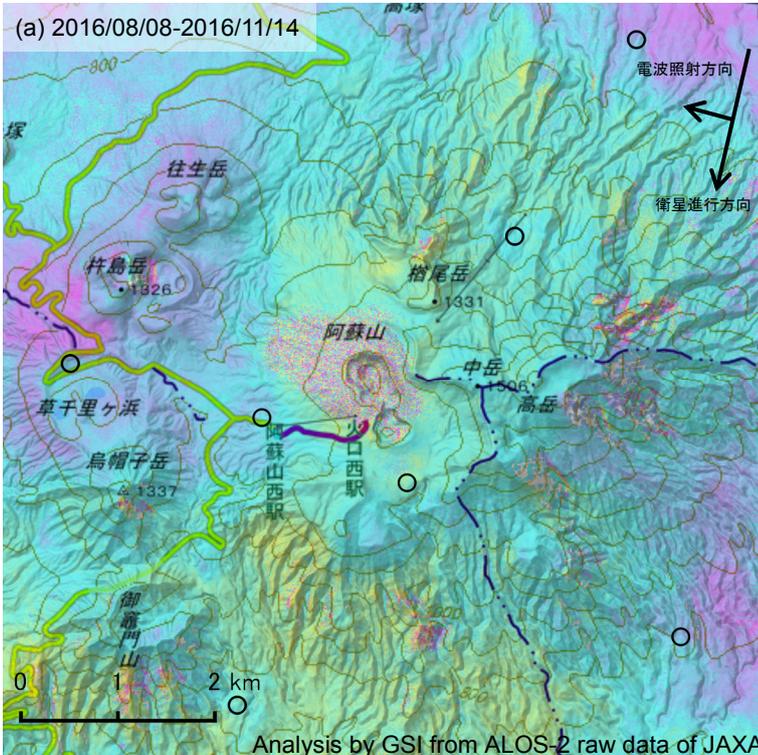
☆ 固定局:北方(960711)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

阿蘇山

阿蘇山の SAR 干渉解析結果について

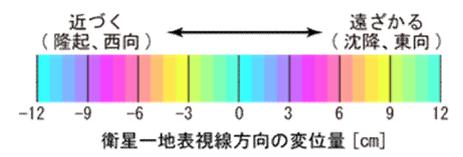
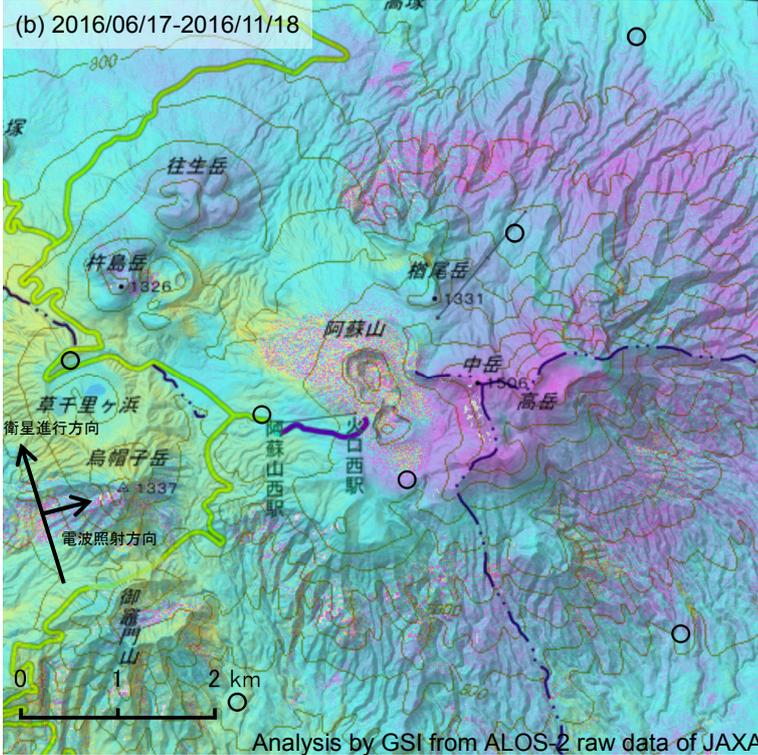
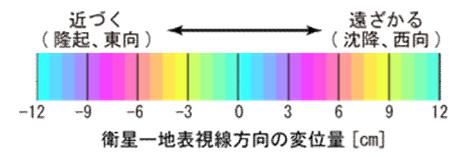
判読) ノイズレベルを超える変動は見られない。中岳第一火口周辺の非干渉領域は降灰によるものと考えられる。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2016/08/08 2016/11/14 12:18 頃 (98 日間)	2016/06/17 2016/11/18 0:11 頃 (154 日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右	右
観測モード*	U-U	U-U
入射角(中心)	36.3°	36.3°
偏波	HH	HH
垂直基線長	-154 m	-33 m

*U: 高分解能(3m)モード

○ 国土地理院以外の GNSS 観測点



背景：地理院地図 標準地図 及び 陰影起伏画像・傾斜量画像(国土地理院作成)

阿蘇山