第 149 回
火山噴火予知連絡会資料

（その2の5）

阿蘇山

令和 3 年 12 月 27 日

火山噴火予知連絡会資料（その2の5）

目次

阿蘇山 ……………………………………………………………………………………………

気象庁　3-12

気象研　13-20

京大阿蘇　21-29

防災科研　30-40

産総研　41-42

地理院　43-51

熊本大　52-58

阿 蘇 山

（2021 年６月～2021 年 11 月）

阿蘇山では、火山活動が活発な状態が続いている。

10 月 13 日より火山性微動の振幅の増大がみられ、中岳第一火口において 14 日に噴火が発生した。18 日からは微動の振幅がさらに増大し、20 日に火砕流を伴う噴火が発生した。

中岳第一火口では 10 月 21 日以降、噴火は観測されておらず、火山性微動の振幅は 11 月１日以降、時折やや大きい状態となるものの、概ね小さい状態が続いている。

一方で、火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は 10 月 14 日噴火以降、多い状態が続いており、GNSS 連続観測では深部にマグマだまりがあると考えられている草千里を挟む基線で 2021 年 10 月頃から伸びの傾向がみられている。今後も中岳第一火口の周辺に影響を及ぼす噴火が発生する可能性がある。

図１　阿蘇山　中岳第一火口内の状況　（上段：中岳第一火口の北西側から観測、中段：南西側から観測、下段：無人航空機による観測）

- ６月 18 日の火山性微動増大後、20 日に京都大学が実施した現地調査及び 21 日に実施した現地調査で、中岳第一火口内に新たな陥没孔を確認した。その後、陥没孔は徐々に拡大した。
- 191 火孔及び陥没孔の内部には湯だまりが８月頃から形成されはじめ、10 月にかけて湯だまり面の上昇を確認した。
- 噴火後に実施した無人航空機による観測では、火口底は深くなっており、湯だまりがあることを確認した。

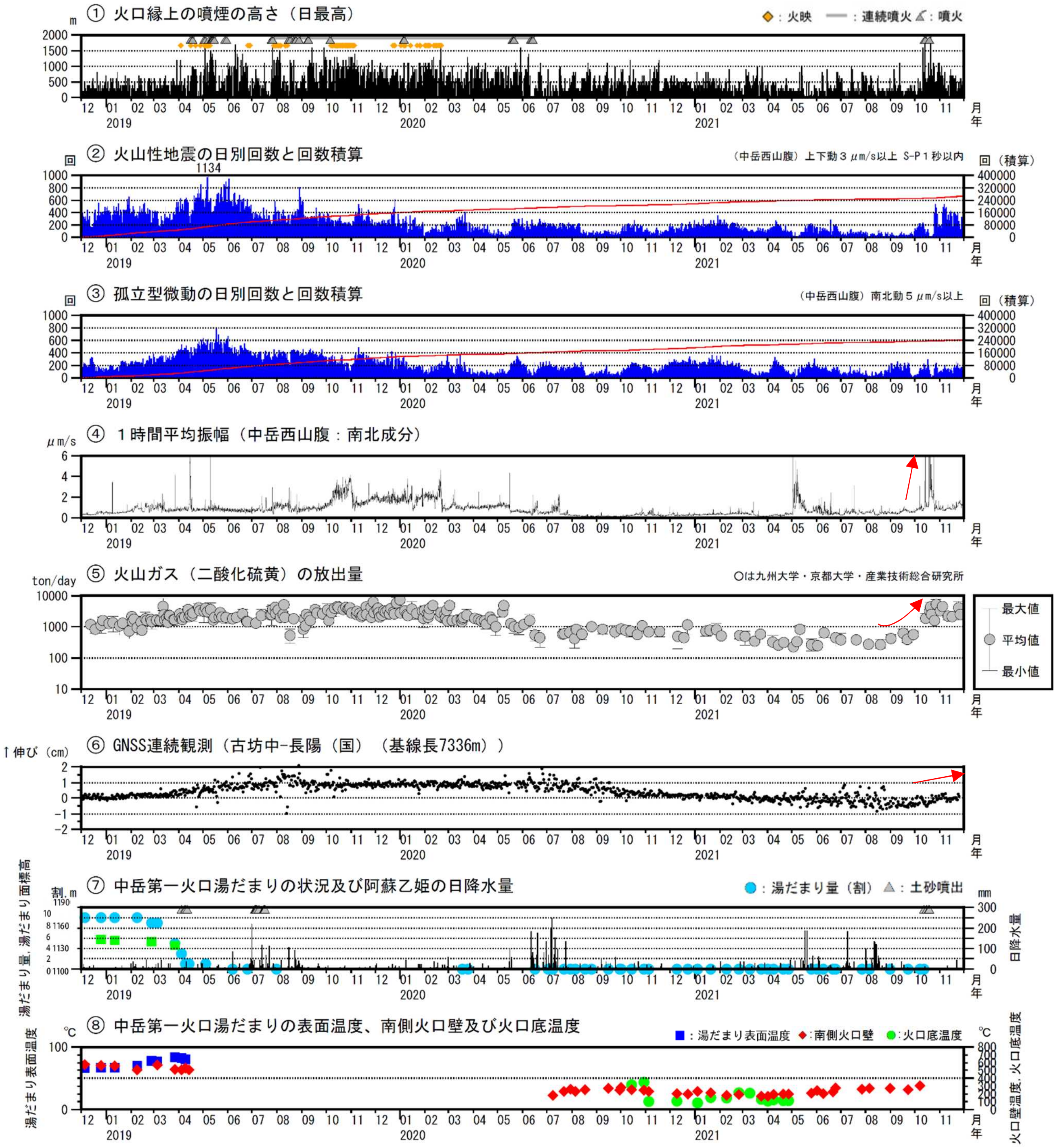


図２　阿蘇山　火山活動経過図（2018 年 12 月～2021 年 11 月 30 日）

＜2021 年６月～2021 年 11 月 30 日の状況＞

・10 月 14 日から 20 日にかけて噴火が発生した。20 日 11 時 43 分の噴火では噴煙は火口縁上 3,500mまで上がった。21 日以降、噴火は発生していない。
・火山性地震及び孤立型微動は概ね多い状態で経過した。火山性地震は 10 月頃から増加している。
・火山性微動の振幅は 10 月に入り増大した。11 月以降、振幅は概ね小さい状態となっているが、10 月の振幅増大前と比べると大きな状態で推移している。
・火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は９月まで少ない状態で経過した。10 月の噴火後からは、１日あたり 1,600～5,300 トンと多い状態で推移している。
・GNSS 連続観測では深部にマグマだまりがあると考えられている草千里を挟む基線で 2021 年 10 月頃から伸びの傾向がみられている。
・南側火口壁の最高温度は 201℃～302℃と大きな変化はみられなかった（観測は噴火前までの実施）。

湯だまり量は火口縁からの現地観測による。

図 3-1　阿蘇山　10 月 20 日 11 時 43 分の噴火の状況（10 月 20 日 11 時 43 分から草千里監視カメラをおよそ 30 秒毎に表示）

監視カメラでは、10 月 20 日 11 時 43 分の中規模な噴火に伴い、火口周辺に火砕流が流下したのを確認した。また大きな噴石が南方向に約 900m飛散した。

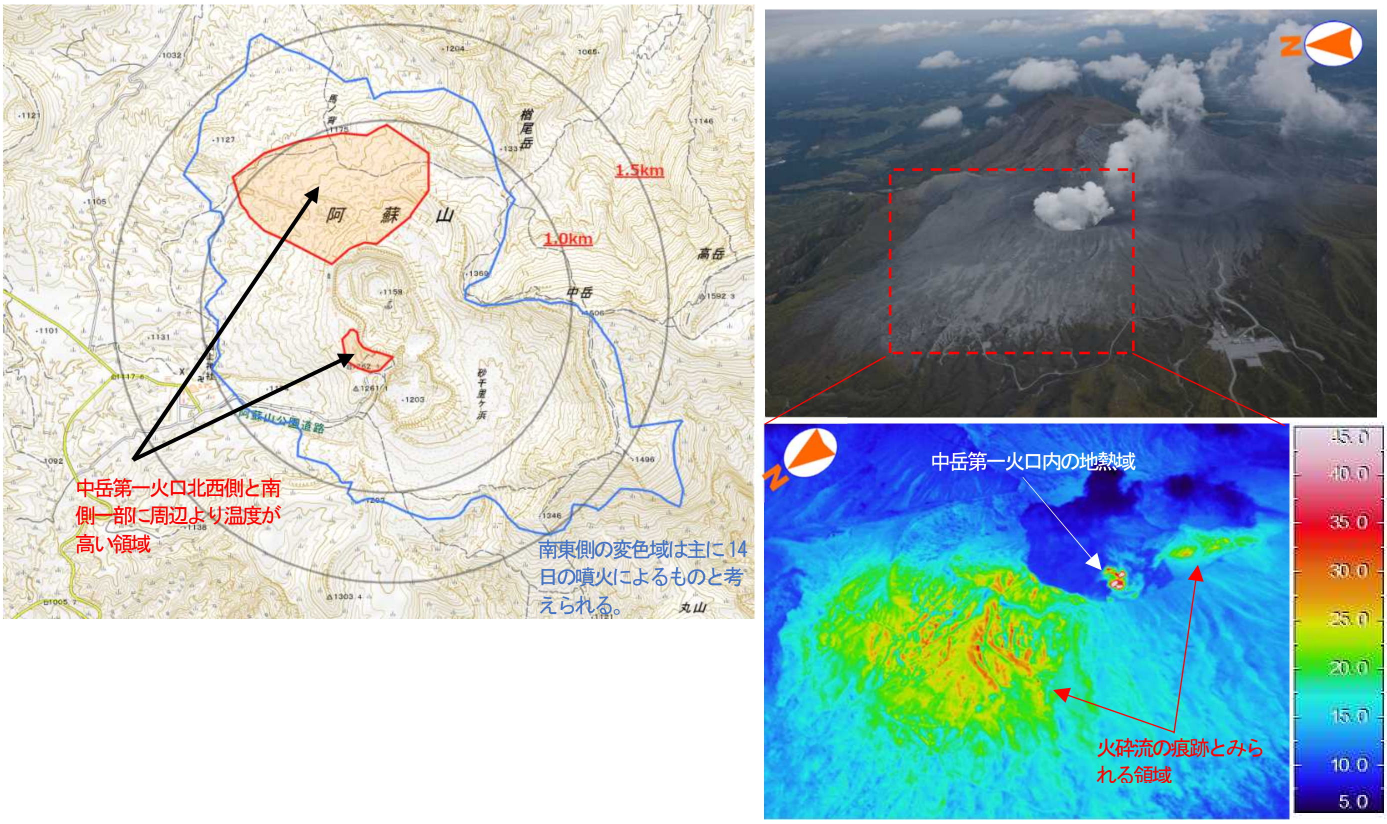


図 3-2　阿蘇山　10 月 20 日噴火後の火口周辺の変色域と周囲より温度が高い領域

10 月 20 日に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、中岳第一火口周辺で噴出の痕跡とみられる変色域（図中青線）と周囲より温度が高い領域（図中赤領域）が認められた。変色域は火口の中心から北方向に最大 1.6km及び西方向に最大 1.0km分布しており、温度が高い領域（図中赤領域）は主に火口の北西側であり南側の一部でも確認された。火砕流は主に北西側へ流下したとみられる。

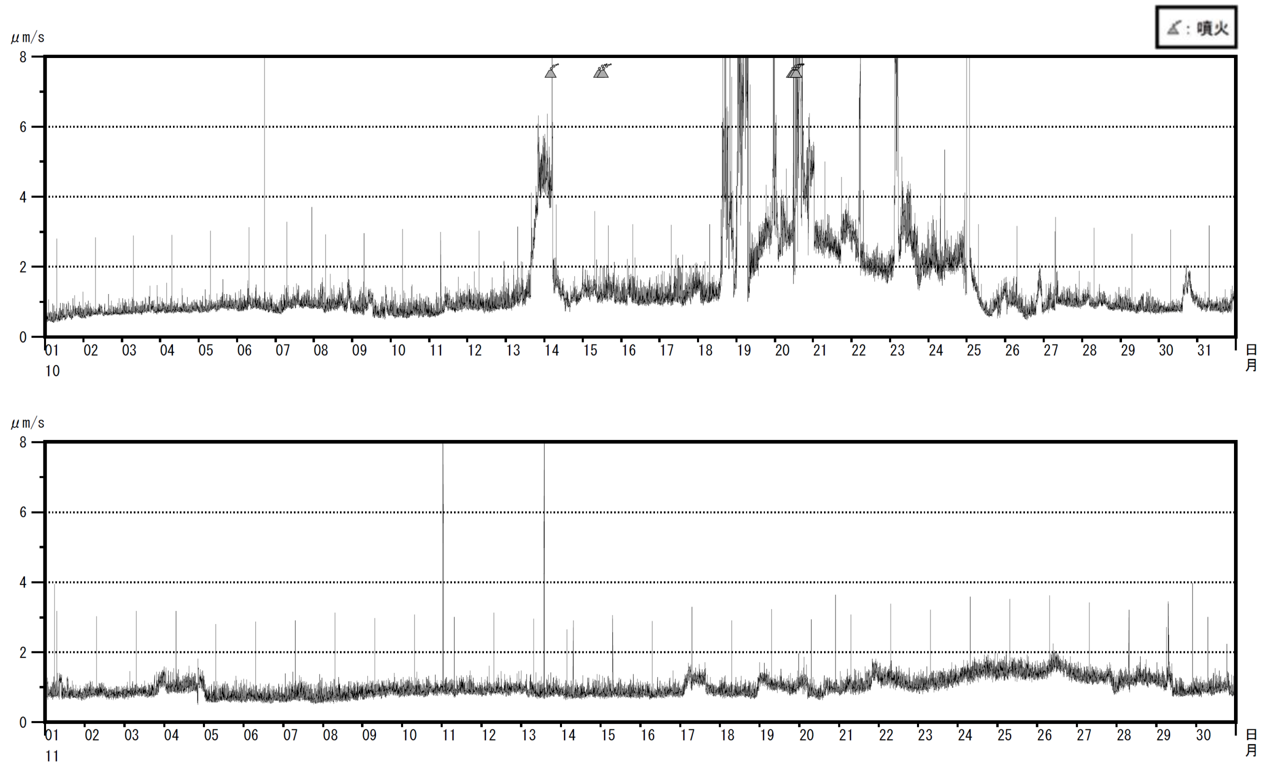


図 4-1　阿蘇山　火山性微動１分間平均振幅（中岳西山腹南北動）（2021 年 10 月～11 月）

・10 月 13 日 15 時 30 分頃から火山性微動の振幅が次第に大きくなり、14 日に噴火した。
・10 月 18 日以降、火山性微動の振幅が非常に大きな状態となり、20 日に火砕流を伴う噴火が発生した。
・火山性微動の振幅は 11 月以降、概ね小さい状態となっているが、10 月の振幅増大前と比べると大きな状態で推移している。

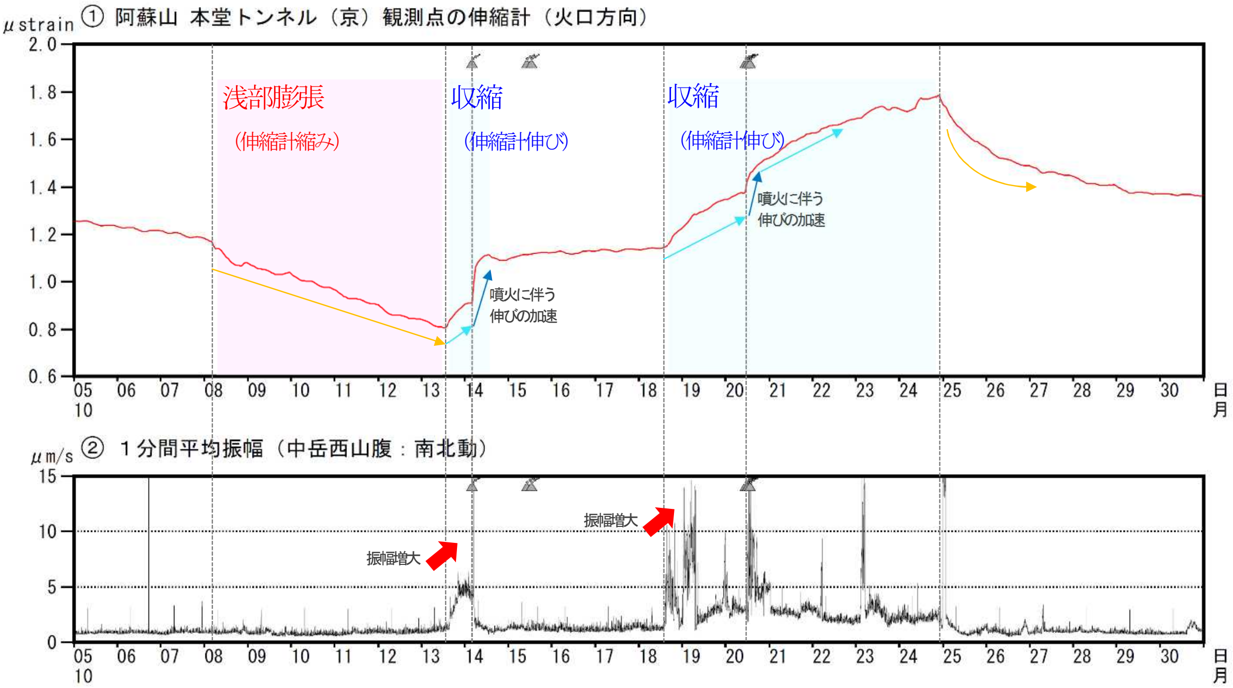
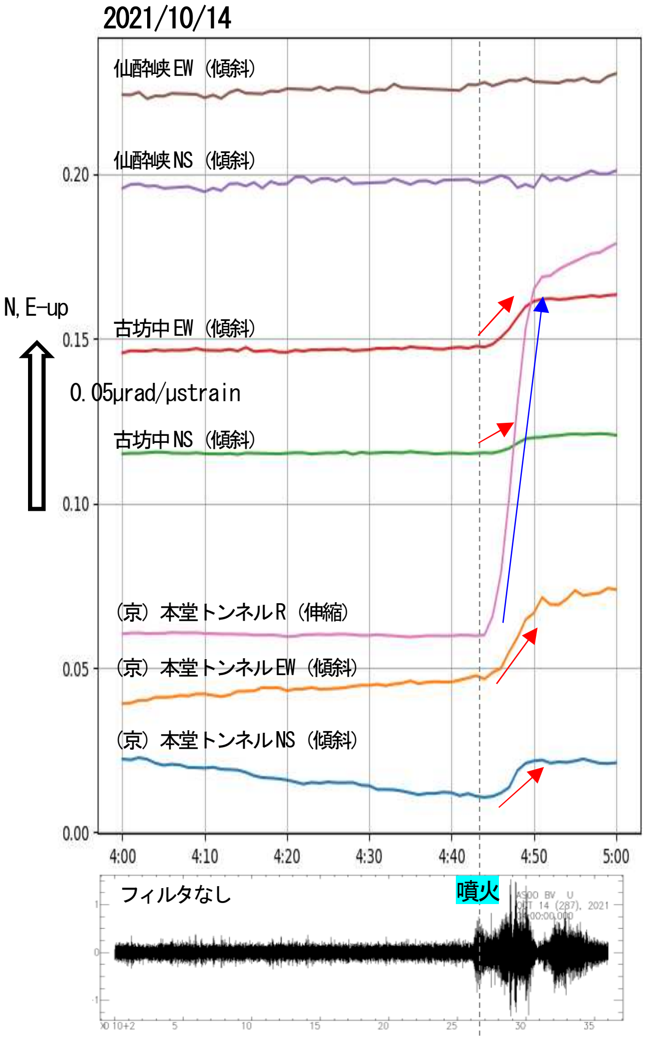
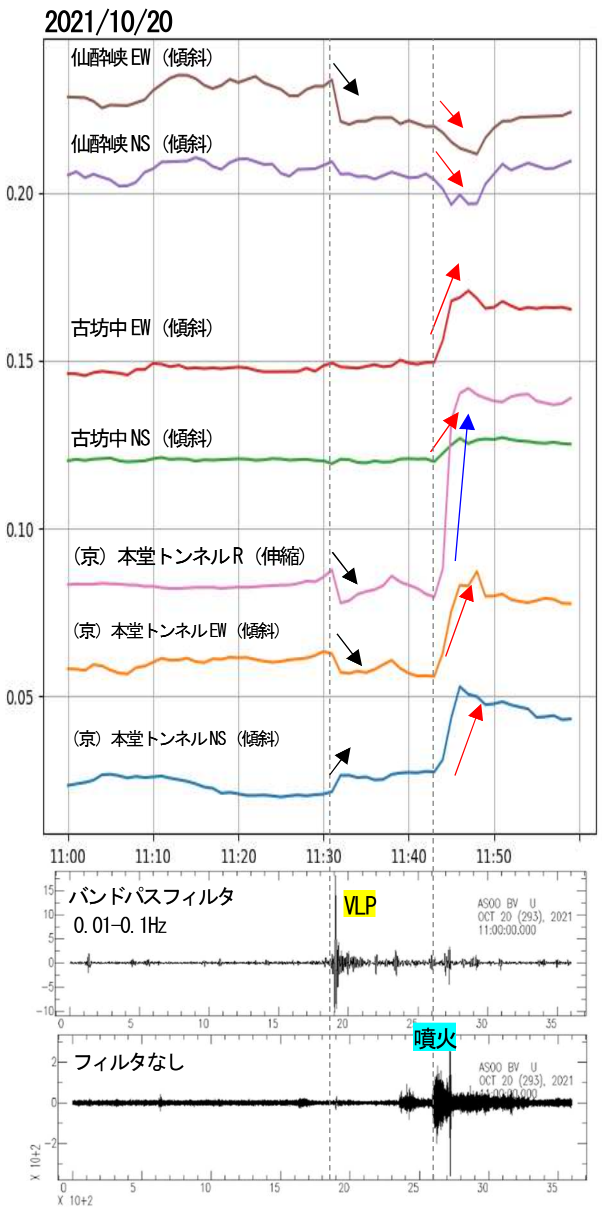
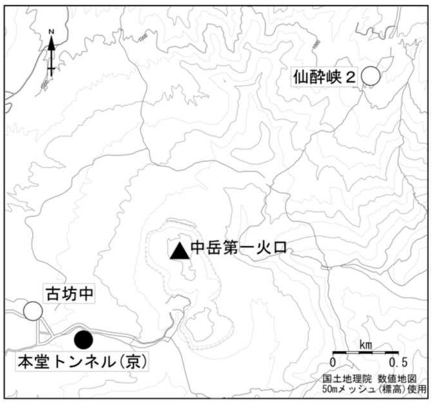


図 4-2　阿蘇山　本堂トンネル伸縮計の変動（火口方向）と火山性微動１分間平均振幅（中岳西山腹南北動）と（2021 年 10 月１日～30 日）

・伸縮計では 10 月８日頃から火口浅部の膨張と考えられる縮みの変化が観測された。
・10 月 13 日や 18 日の火山性微動の振幅の増大に伴い、伸縮計では火口浅部の収縮と考えられる伸びの変化が観測された。14 日と 20 日の噴火に伴い、伸びの変化が加速した。







○は気象庁、●は気象庁以外の機関を示す

図 5-1　阿蘇山　10 月 14 日（左図）及び 20 日（右図）噴火に伴う地殻変動

10 月 14 日 04 時 43 分及び 10 月 20 日 11 時 43 分の噴火に伴い、伸縮計ではごく浅部の収縮と考えられる伸びの変化、火口周辺の傾斜計ではやや深部の亀裂状火道が閉じることに対応すると考えられる火口方向上がりの傾斜変動が観測された。また 20 日には長周期パルスに伴う地殻変動も観測された。

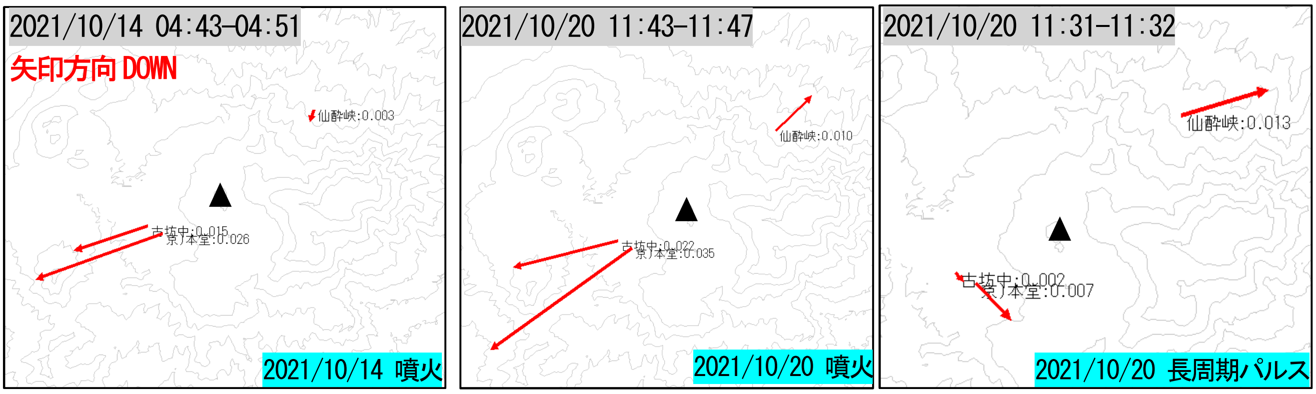
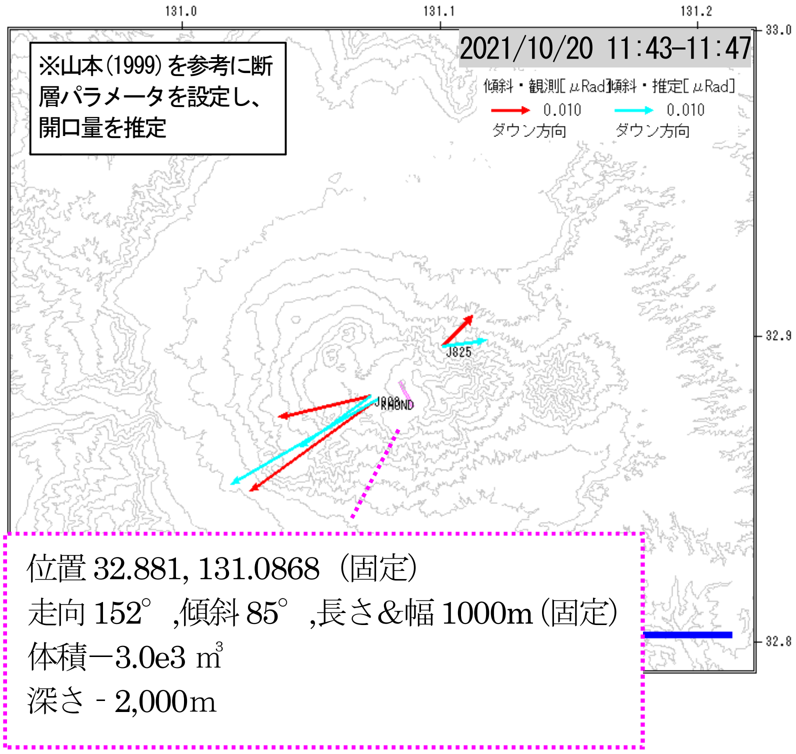


図 5-2　阿蘇山　10 月 14 日及び 20 日噴火と 20 日の長周期パルスに伴う傾斜変動

10 月 14 日 04 時 43 分及び 10 月 20 日 11 時 43 分の噴火に伴い火口方向上がりの傾斜変動が観測された。



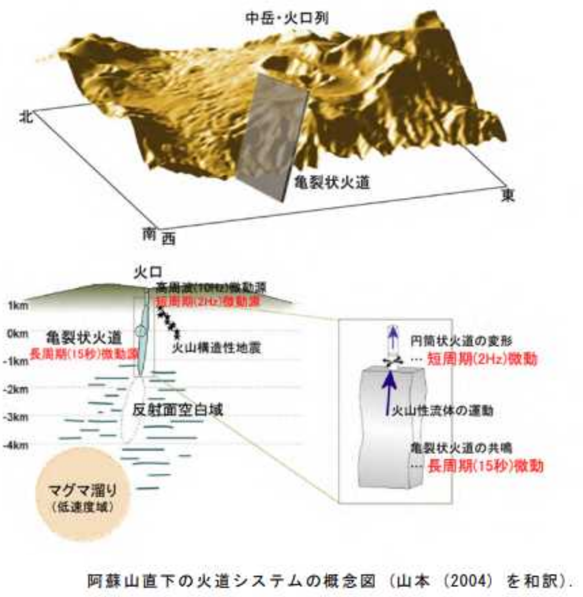
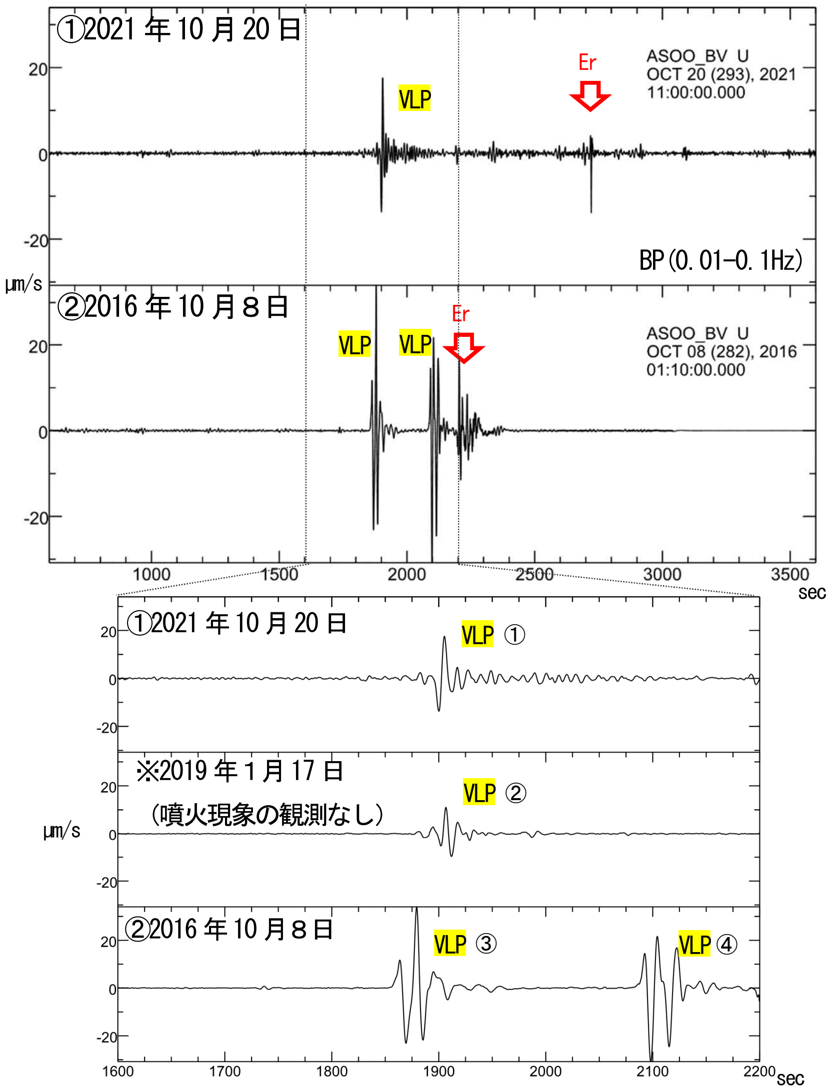


図 5-3　阿蘇山　10 月 20 日の噴火に伴う傾斜変動と亀裂状火道の一部が閉じた場合のモデル推定



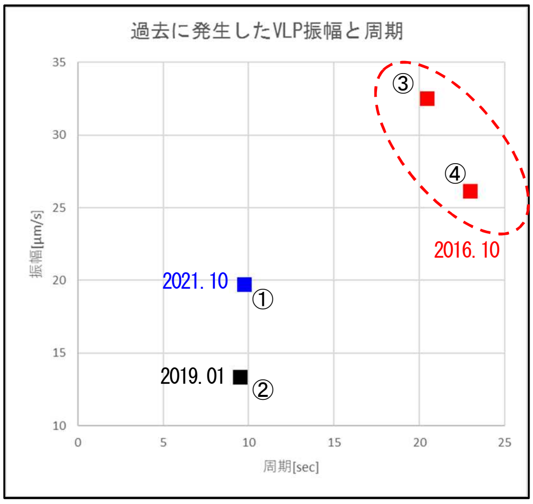


図６　阿蘇山　10 月 20 日及び過去に発生した長周期パルスの事例（古坊中観測点上下成分）

10 月 20 日の噴火 10 分前に長周期パルスが観測された。2016 年 10 月と比較して周期は短く、振幅はやや小さかった。

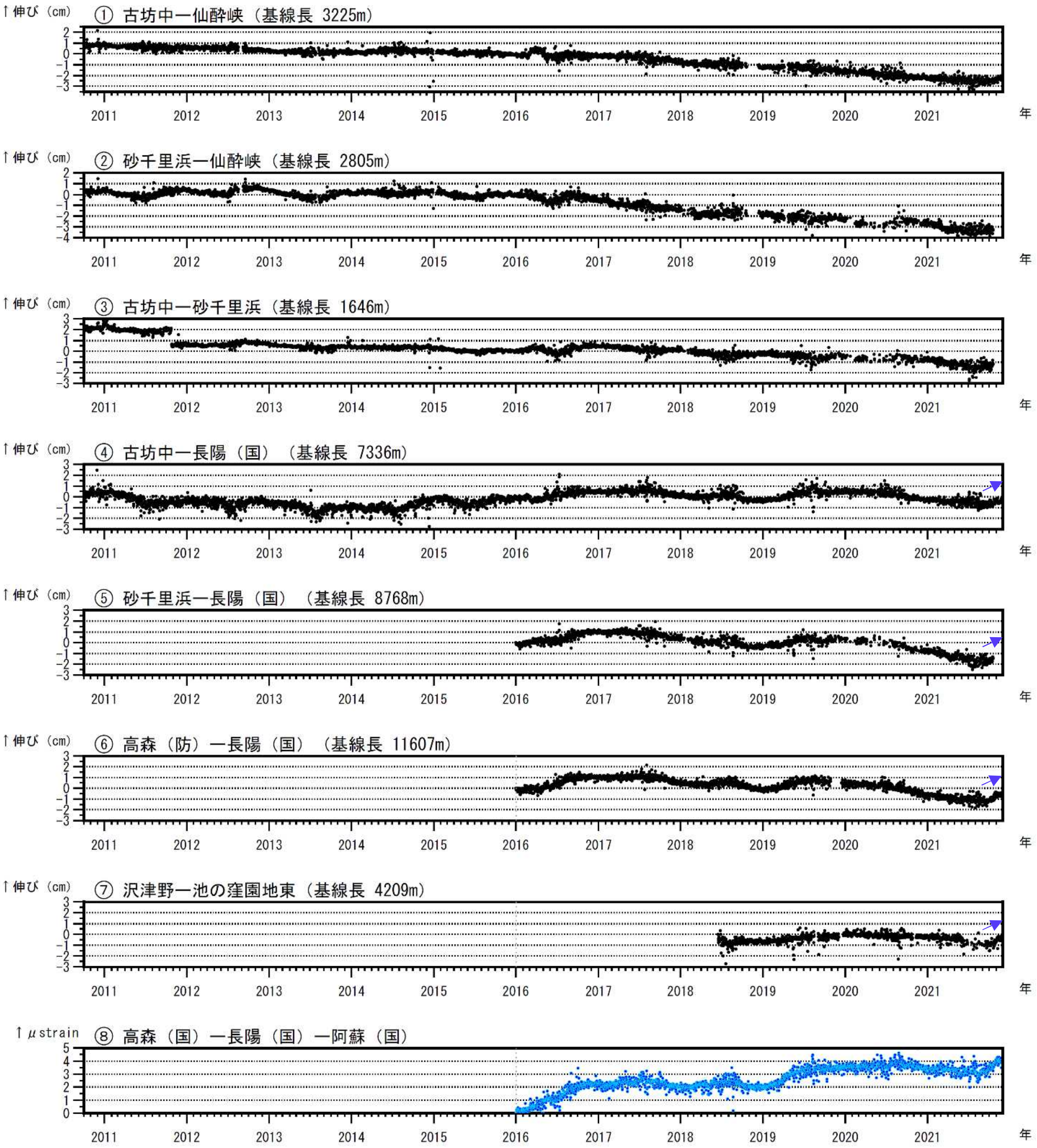
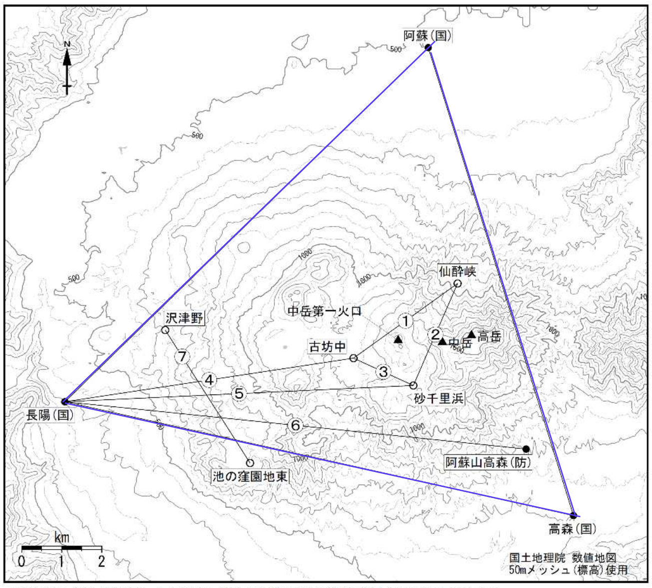


図 7-1　阿蘇山　GNSS 連続観測による基線長変化と面積ひずみ（2010 年 10 月～2021 年 11 月 30 日）

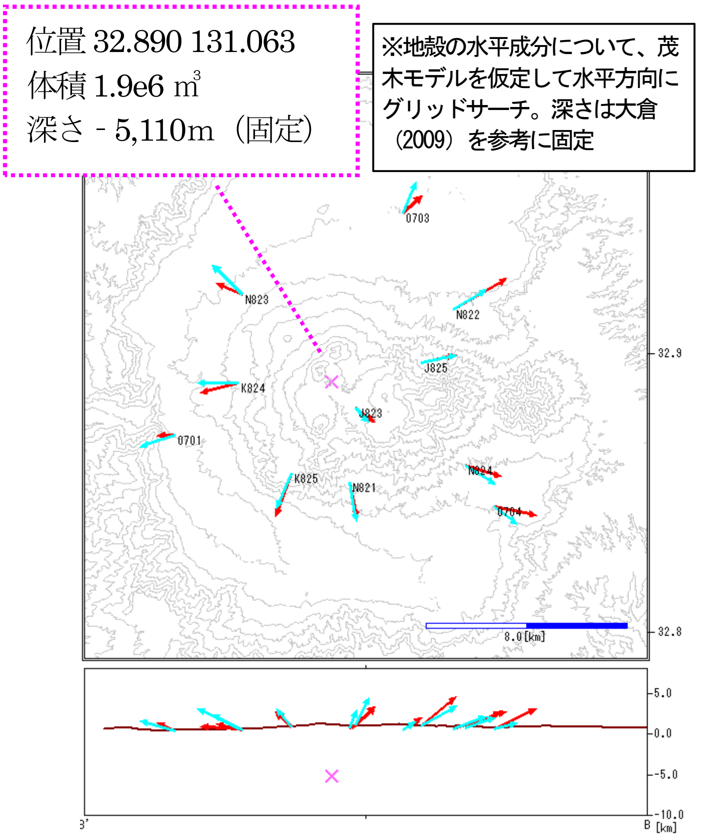
GNSS 連続観測では、深部にマグマだまりがあると考えられている草千里を挟む基線④⑤⑥や草千里近傍の基線⑦において、10 月頃から伸びが認められます（青矢印）。

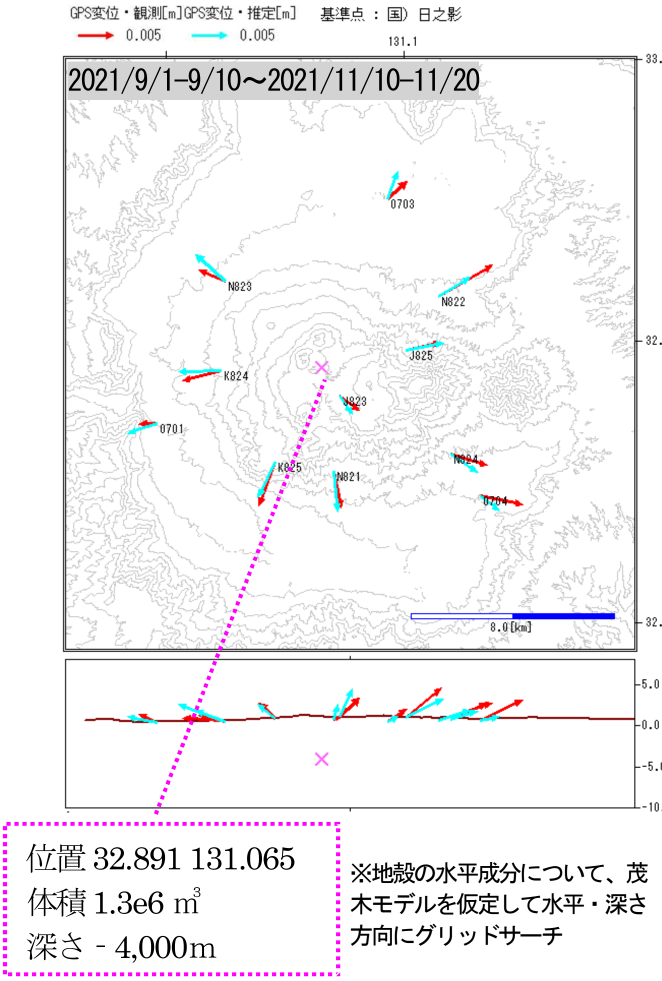
基線は図 7-2 の①～⑦に対応。⑧面積ひずみは青色の領域において計算。基線の空白部分は欠測を示している。



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ます。
(国):国土地理院

図 7-2 阿蘇山 GNSS 連続観測点と基線番号





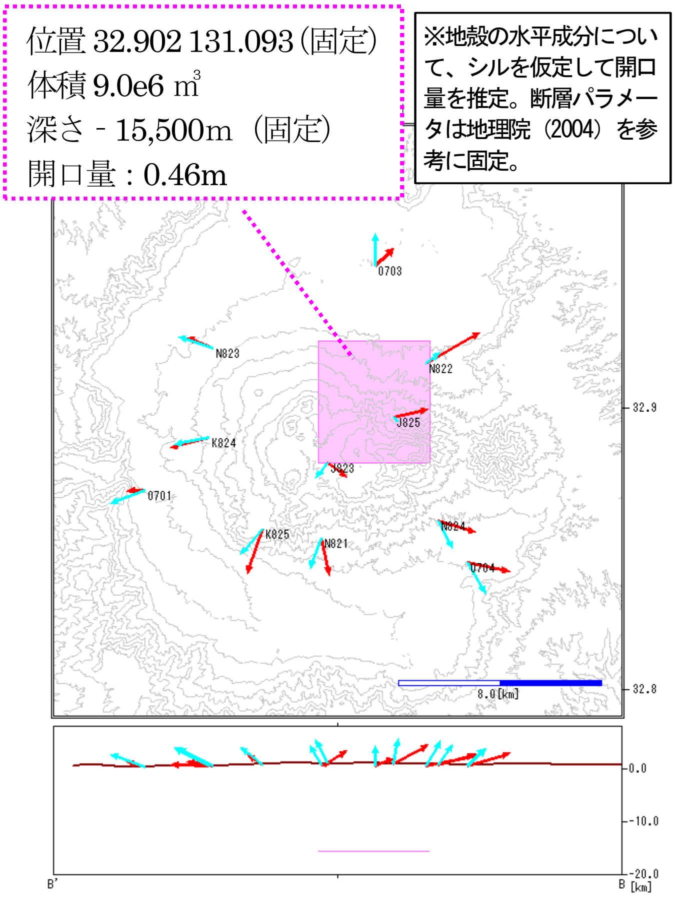


図 7-3 阿蘇山 GNSS 連続観測による変位ベクトル(2021 年９月～11 月 20 日)

阿蘇山周辺では、直近数ヶ月において広域的な変動がみとめられる。

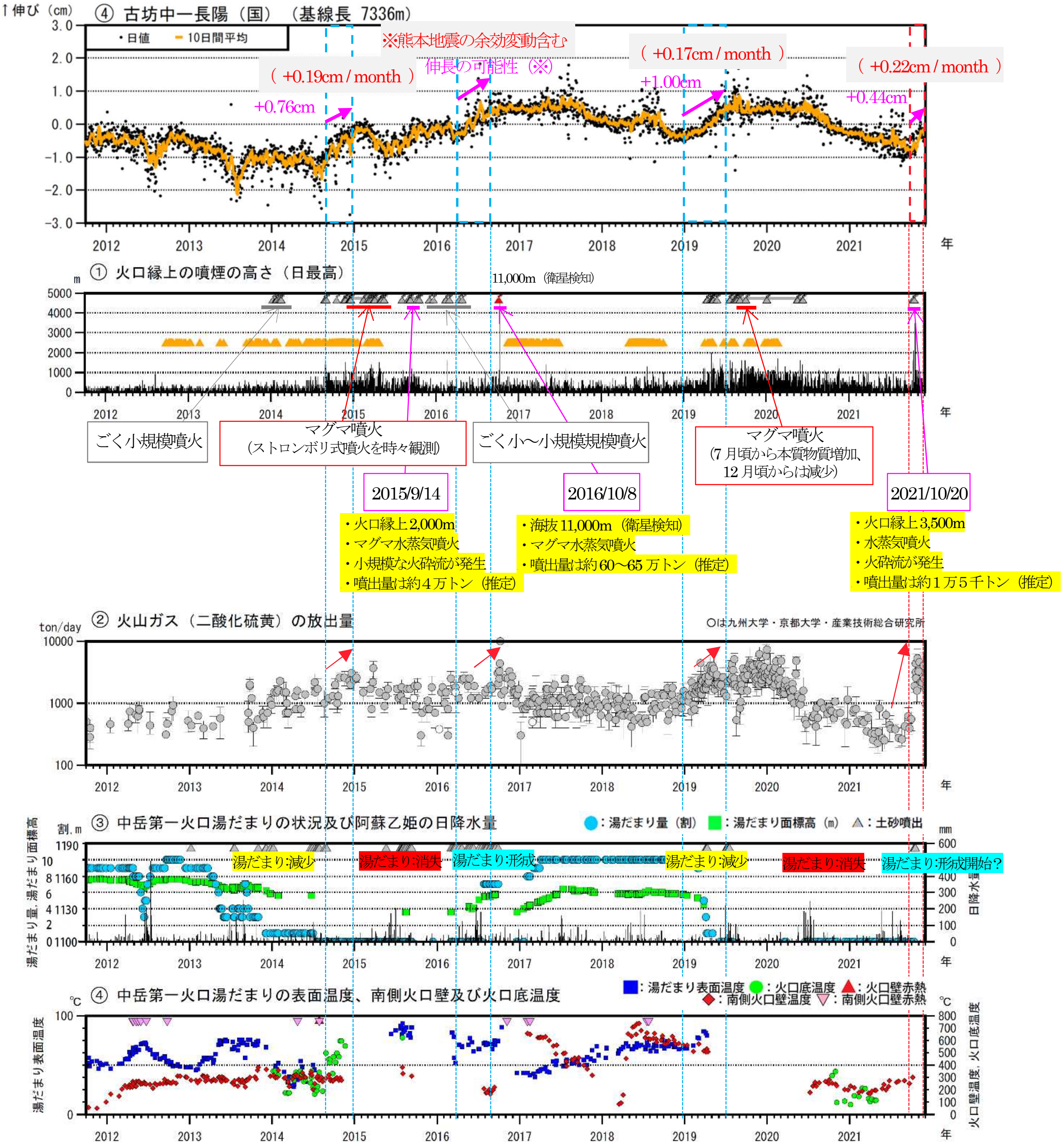


図８　阿蘇山　基線長変化と長期経過図（2011 年 10 月～2021 年 11 月 30 日）

- 草千里を挟む基線では、2014 年や 2019 年の活動でみられた伸びと同様の変化が 2021 年 10 月頃より観測されている。2016 年の変動は、深部のマグマだまりの膨張あるいは熊本地震の余効変動の可能性が考えられる。
- 2014～2015 年及び 2019 年の噴火活動ではマグマ噴火となった。
- 基線の伸長がみられた期間において、火山ガス（二酸化硫黄）放出量の増加がみられた。
- 2014～2015 年及び 2019 年の噴火活動では湯だまり量の減少と消失、2016 年の噴火活動前には湯だまりが形成された。2021 年８月頃からは 191 火孔及び陥没孔の内部には湯だまりが形成されはじめ、10 月にかけて湯だまり面の上昇を確認した。

気象庁資料に関する補足事項

１.データ利用について

・資料は気象庁のほか、以下の機関のデータも利用して作成している。

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

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

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

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

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

２.一元化震源の利用について

・2001 年 10 月以降、Hi-net の追加に伴い検知能力が向上している。
・2010 年 10 月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。
・2016 年４月１日以降の震源では、M の小さな地震は、自動処理による震源を表示している場合がある。自動処理による震源は、震源誤差の大きなものが表示されることがある。
・2020 年９月以降の震源は、地震観測点の標高を考慮する等した新手法で求められている。
・2021 年 12 月現在、次の期間の地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化（増減）が見られる。
　① 2020 年９月１日から 10 月 23 日まで、② 2021 年１月９日から３月７日まで、
　③ 2021 年４月 19 日以降

３. 地図の作成について

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

気象研究所

ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた阿蘇山の地形変化

2021 年 10 月に発生した 2 回の噴火に伴い，火口周辺において低相関度領域が検出された。特に 20 日に発生した中規模噴火では，火口の北側を中心に顕著な変化が認められた。なお，火口近傍で局所的な位相変化も検出されたが，急峻な地形の影響による可能性がある。

1. はじめに

阿蘇山では，2021 年 10 月 14 日と 20 日にそれぞれ小規模と中規模の噴火が発生した。火山 WG では，ALOS-2/PALSAR-2 による緊急観測を要請し，14 日の小規模噴火直後の夜間および 25 日の昼間に撮像された。本報告では，これらのデータおよび過去のアーカイブデータについての解析結果について報告する。

2. 解析結果

解析に使用した SM1 モードの SAR データを表 1 に，解析結果を図 1〜3 に示す。

小規模噴火のみを挟む期間の解析（北行軌道）では，噴火前後の干渉解析（図 1-D）では，噴火前のペア（図 1-A）に比べると中岳山頂火口周辺で位相変化が認められるが，周辺の位相変化を考慮すると，ノイズレベルを超えるような有意な変化とまでは言えない可能性がある。また，噴火前後の相関画像（図 1-E）では，火口の北側から北西側にかけて局所的な低相関度部分が分布しており噴火の影響と考えられるが，噴火前のペア（図 1-B）では，全体的に相関度が低くはっきりしない。さらに，加色混合法による強度画像解析（図 1-F）では，主に中岳山頂火口の東側でシアン色が強くなっており，おそらくこの部分を中心に降灰の影響があったと推察される。

小規模噴火および中規模噴火を挟む期間の解析（南行軌道）では，噴火前後の干渉解析（図 2-D）で，衛星に近づく方向の位相変化が火口周辺で検出されたが，噴火前のペア（図 2-A）においても主に火口の東側において若干の短縮位相変化が認められている。相関画像解析（図 2-E）では，噴火に伴う低下領域が北北西から南南東を長軸とした楕円形に認められる。また，同じような範囲において強度画像でも後方散乱強度の低下が認められた（図 2-F）。

2 回の噴火を挟む各ペアの相関画像を用いて Watanabe et al.（2016）の計算式による三時期相関解析をおこなった。小規模な噴火が含まれる北行軌道の解析ペアのみを用いた結果（図 3-A）では，ほとんど低相関領域は検出されなかったが，小規模噴火後から中規模噴火が含まれる期間までの解析（図 3-B）では，山頂火口の北側の領域を中心に，より低相関度領域が顕著な結果となった。また，2 回の噴火が含まれる南行軌道のみの解析結果（図 3-C）でも概ね同様の場所において，低相関度領域が検出された。なお，異なる軌道の相関画像を使用した図 3-B については，視線方向の違いによる擬似的な低相関度領域が含まれている可能性がある。

謝辞

本解析で用いた PALSAR-2 データは，火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験（衛星解析グループ）に基づいて，宇宙航空研究開発機構（JAXA）にて観測・提供されたものである。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，国土地理院発行の数値地図 10ｍメッシュ（標高）と全球ジオイドモデル EGM96(Lemoine et al. 1997)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。

表１　解析に使用したデータ

Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
130-650 (SM1)	北行	右側	35.1°	2020.05.28	2021.05.27	図 1-A,B,C, 図 3-A
				2021.05.27	2021.10.14	図 1-D,E,F, 図 3-A,B
23-2950 (SM1)	南行	右側	35.3°	2021.03.01	2021.09.13	図 2-A,B,C, 図 3-C
				2021.09.13	2021.10.25	図 3-D,E,F, 図 3-B,C

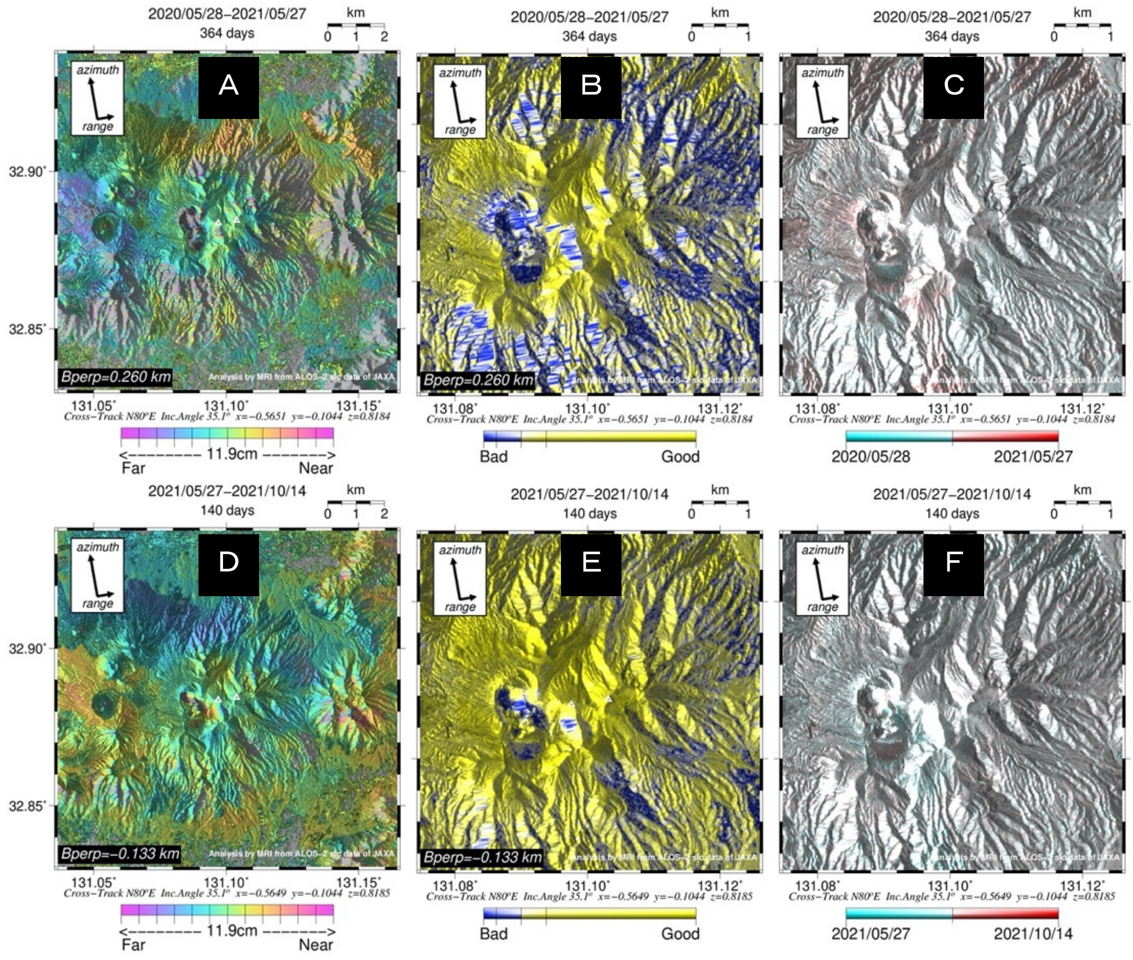


図１　path130(SM1)における解析結果（A,D：干渉画像，B,E：相関画像，C,F：強度画像）
図中の△は高岳，中岳の山頂位置を示す。噴火前後のペア（図 D）における山頂火口周辺の位相変化はノイズの可能性がある。また，同じ場所における相関度および後方散乱強度の低下は噴火の影響に伴う変化の可能性がある。干渉処理は 4×4 ルック，対流圏遅延，電離圏遅延の軽減処理を実施した。

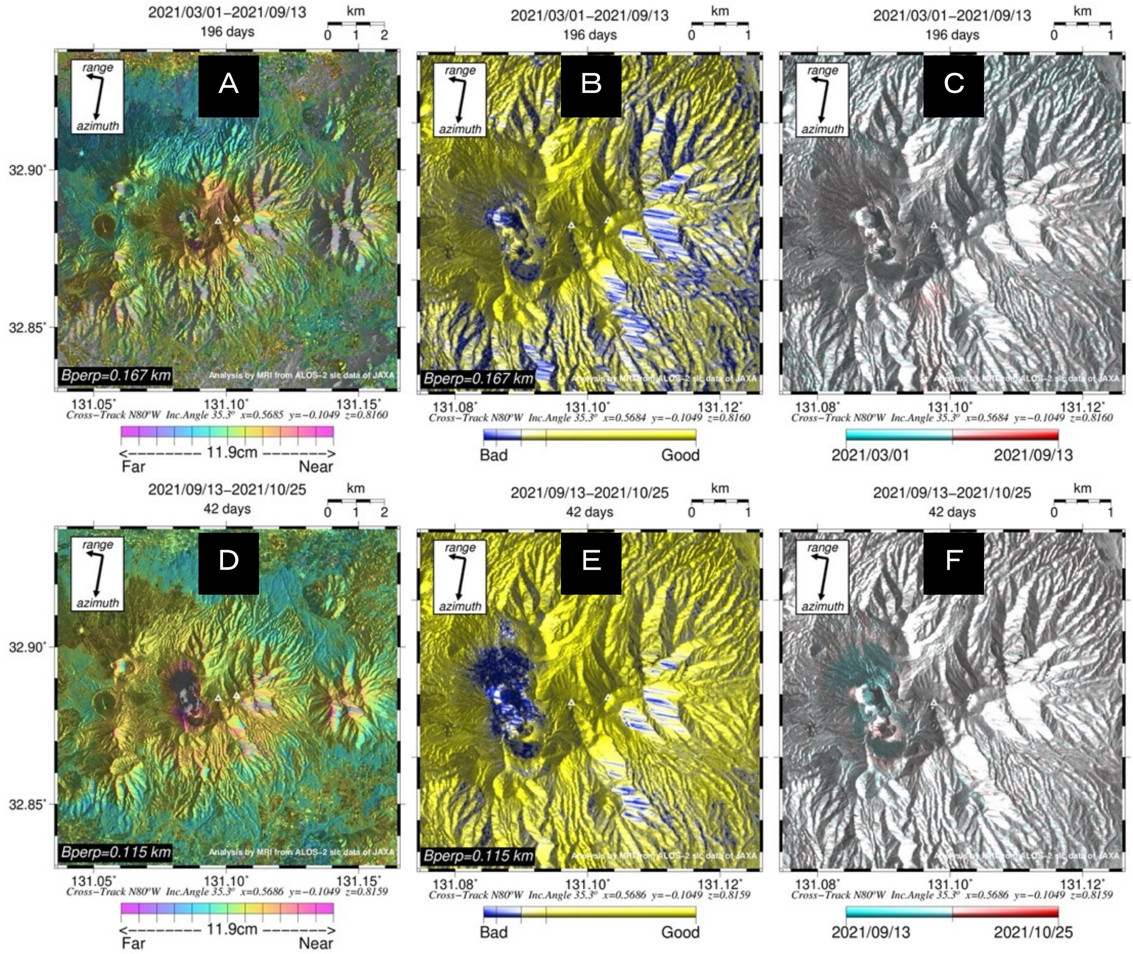


図２　path23(SM1)における解析結果（A,D：干渉画像，B,E：相関画像，C,F：強度画像）
図中の△は高岳，中岳の山頂位置を示す。噴火前後のペアにおいて山頂火口周辺で，衛星に近づく方向の位相変化が認められ，同様の場所において低相関度領域が確認できる。また，後方散乱強度の低下も認められる。干渉処理は 4×4 ルック，対流圏遅延，電離圏遅延の軽減処理を実施した。

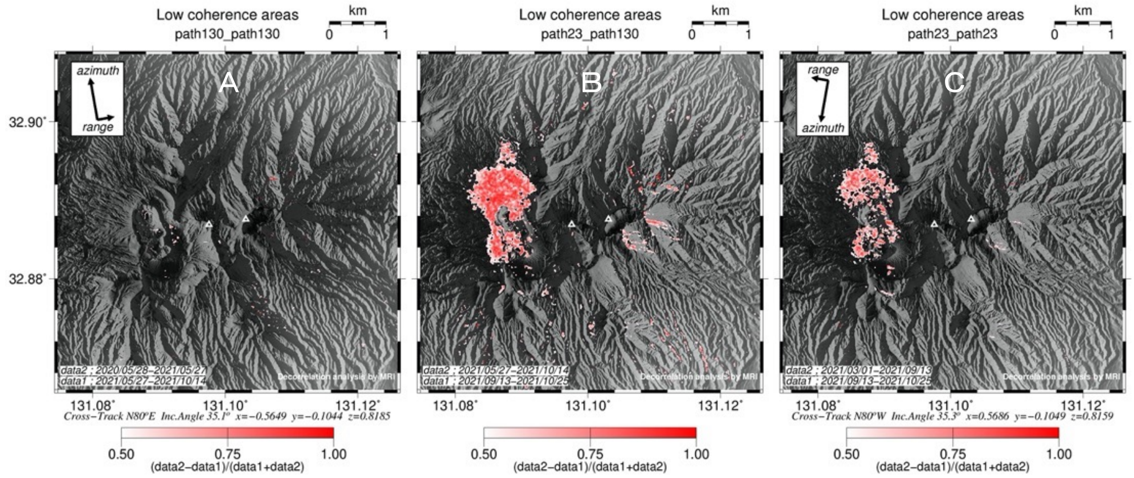


図３　三時期相関画像を用いた解析
図中の△は高岳，中岳の山頂位置を示す。10 月 14 日の小規模噴火を挟む解析では，ほとんど変化が認められないが，20 日の中規模噴火を挟む解析では，おもに山頂火口の北側で広範囲な低相関度領域が検出された。なお，図 B については，異なる軌道の相関画像を用いた解析のため，視線方向の違いによる領域も含まれている可能性がある。

気象レーダーで観測した 2021 年阿蘇山噴火に伴う噴煙・火山灰雲エコーについて

・2021 年 10 月 14 日 4 時 43 分の阿蘇山噴火（天候不良のため、噴煙状態不明）に伴う噴煙・火山灰雲エコーは，２つの気象庁一般気象レーダー（福岡・種子島）と２つの国土交通省 XRAIN（山鹿・宇城）で捉えられた．この噴火の噴煙高度は，最高で海抜約 4.4～5.0km（火口上約 3.1～3.7km）と推定される．

・2021 年 10 月 20 日 11 時 43 分の阿蘇山噴火（火口上 3.5km）に伴う噴煙・火山灰雲エコーは，２つの気象庁一般気象レーダー（福岡・広島）と１つの国土交通省 XRAIN（宇城）で捉えられた．この噴火の噴煙高度は，最高で海抜約 4.3～5.1km（火口縁上約 3.0～3.8km）と推定される．この結果は，目視（カメラ）による観測と整合的である．

・10 月 20 日の噴火に伴う噴煙エコーの偏波間相関係数ρ_{hv}が 10 月 14 日の噴火より低いことから，噴煙内部の（水物質に対する）火砕物の混在の度合いが高い可能性が考えられる．噴煙エコーの面積などからも，10 月 14 日の事例と比較して，10 月 20 日の事例の噴出物量が多かったことが示唆される．

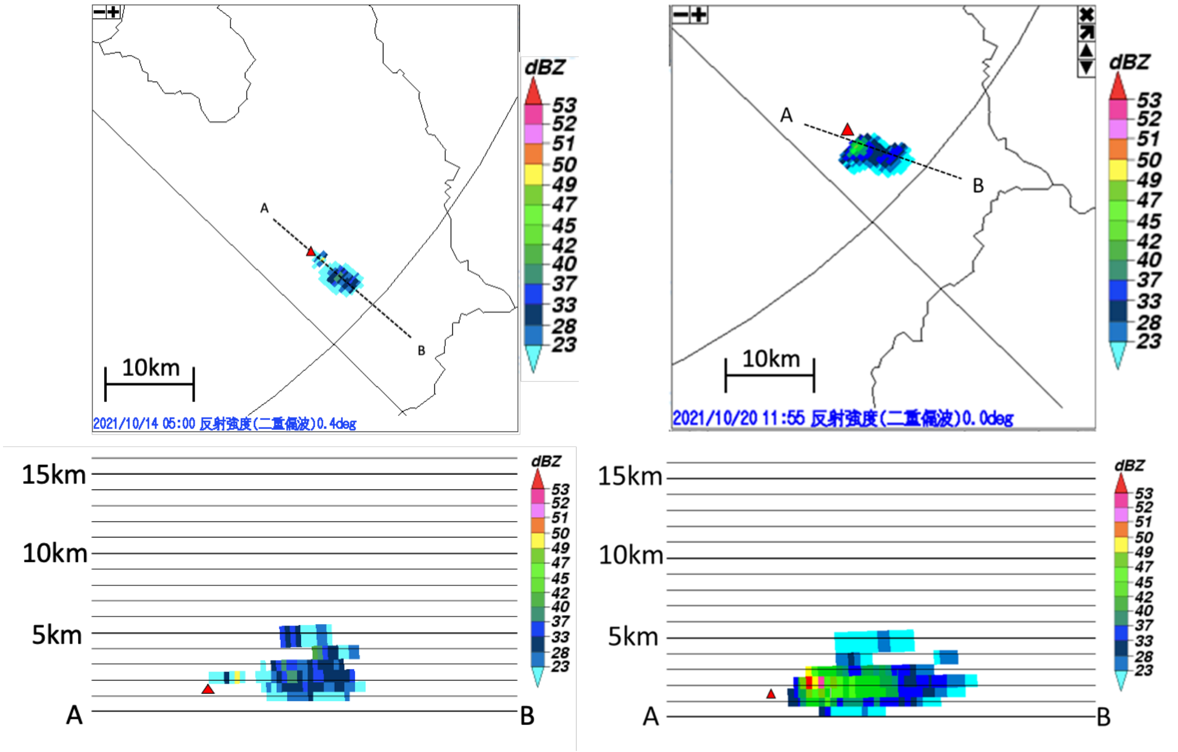


図１：2021 年 10 月 14 日 5 時の福岡レーダーによる反射強度 PPI（仰角 0.4 度・左上図）と鉛直断面（左下図）．2021 年 10 月 20 日 11 時 55 分の福岡レーダーによる反射強度 PPI（仰角 0.0 度・右上図）と鉛直断面（右下図）．赤の三角は阿蘇中岳（標高点）を表す．

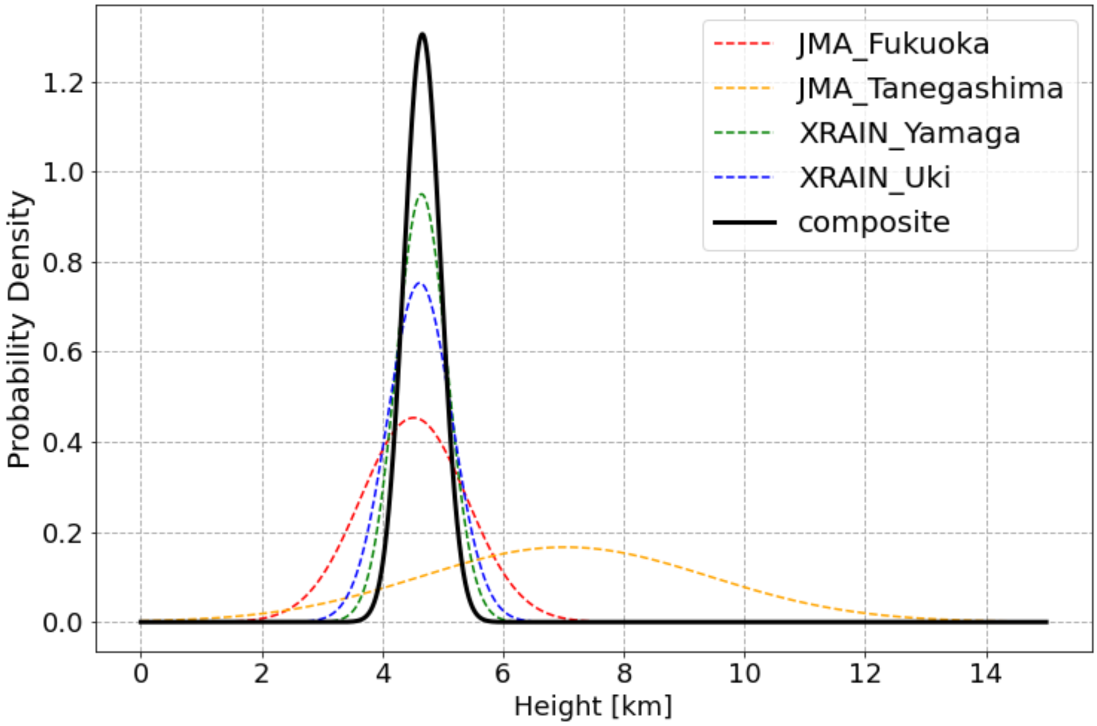


図２：噴煙高度の確率的推定結果（2021 年 10 月 14 日の事例）
推定結果（合成）は 3.4±0.3kmASL（1σ）.

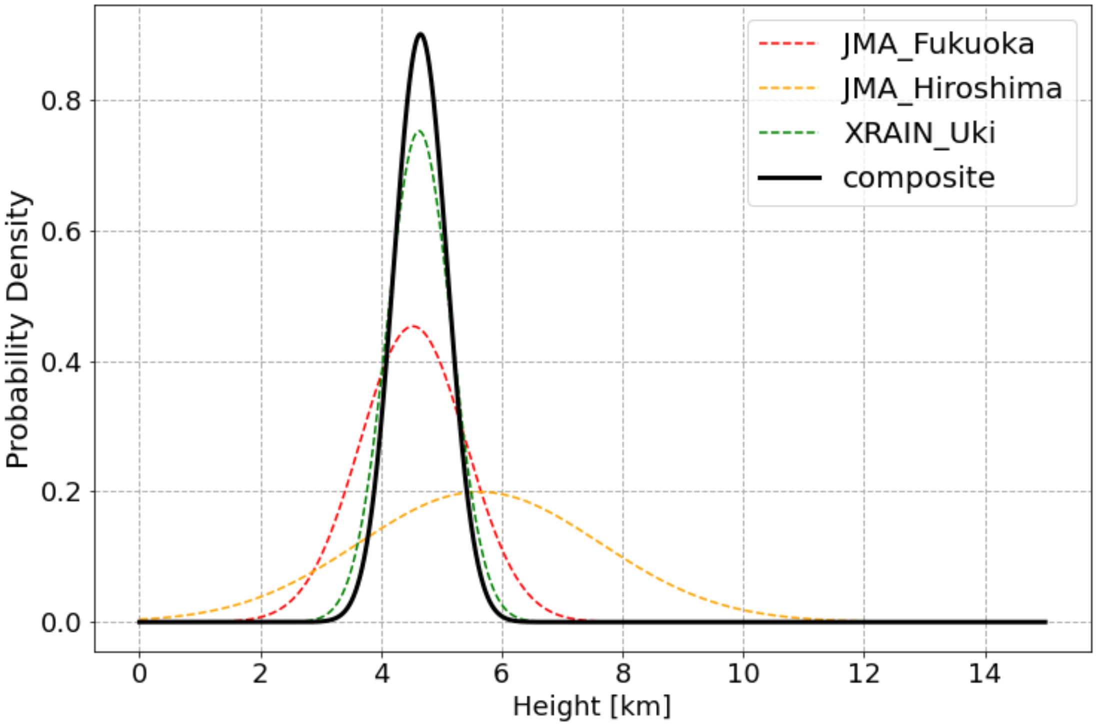


図３：噴煙高度の確率的推定結果（2021 年 10 月 20 日の事例）
推定結果（合成）は 3.4±0.4kmASL（1σ）.

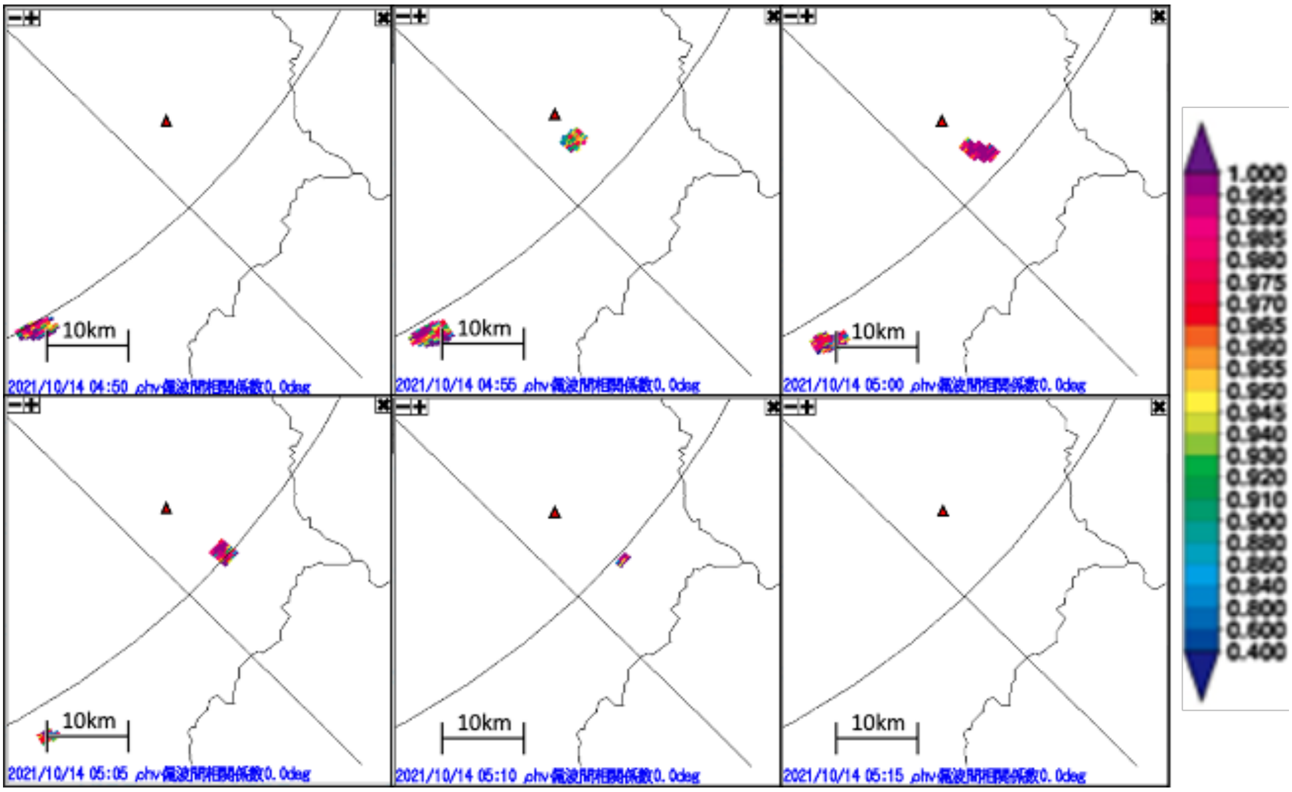


図４：2021 年 10 月 14 日 4 時 50 分～5 時 15 分の福岡レーダーによる偏波間相関係数 PPI（仰角 0.0 度）時系列．赤の三角は阿蘇中岳を表す．

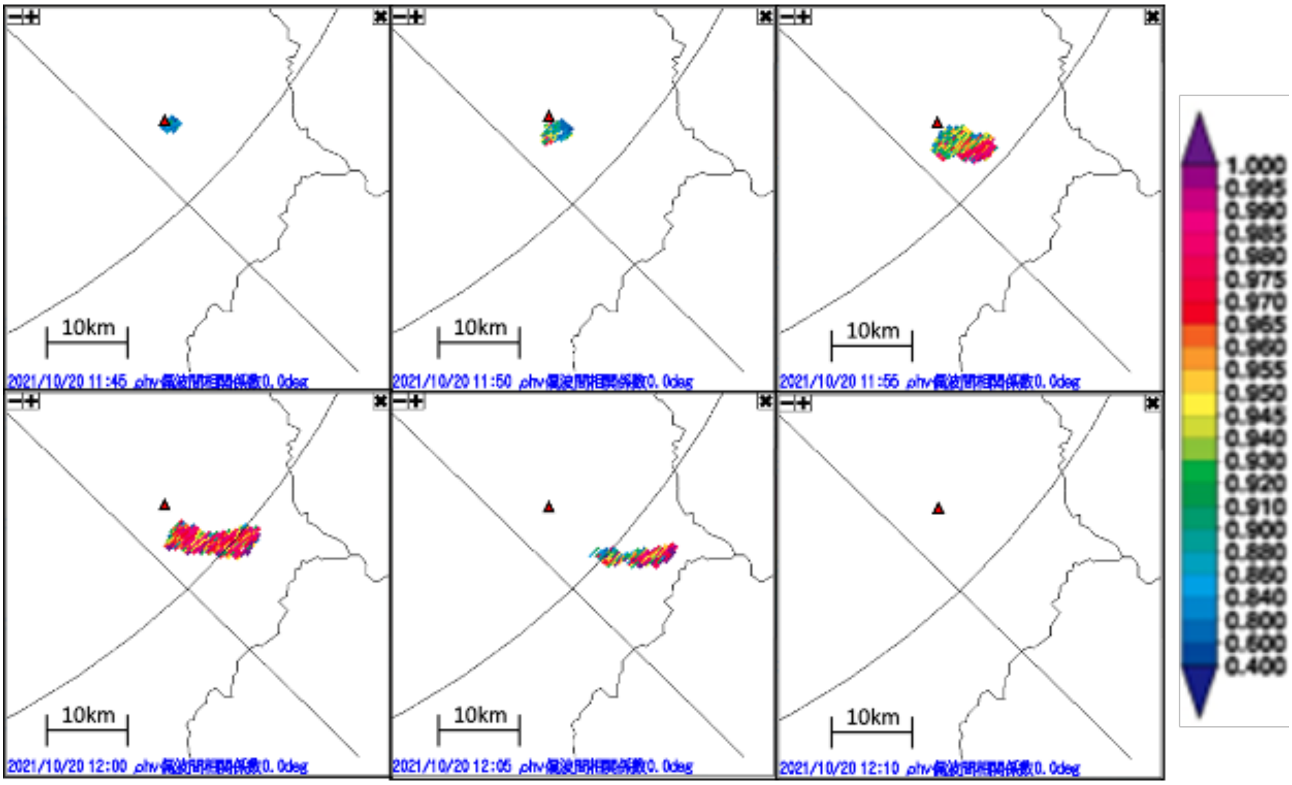


図５：2021 年 10 月 20 日 11 時 45 分～12 時 10 分の福岡レーダーによる偏波間相関係数 PPI（仰角 0.0 度）時系列．赤の三角は阿蘇中岳を表す．

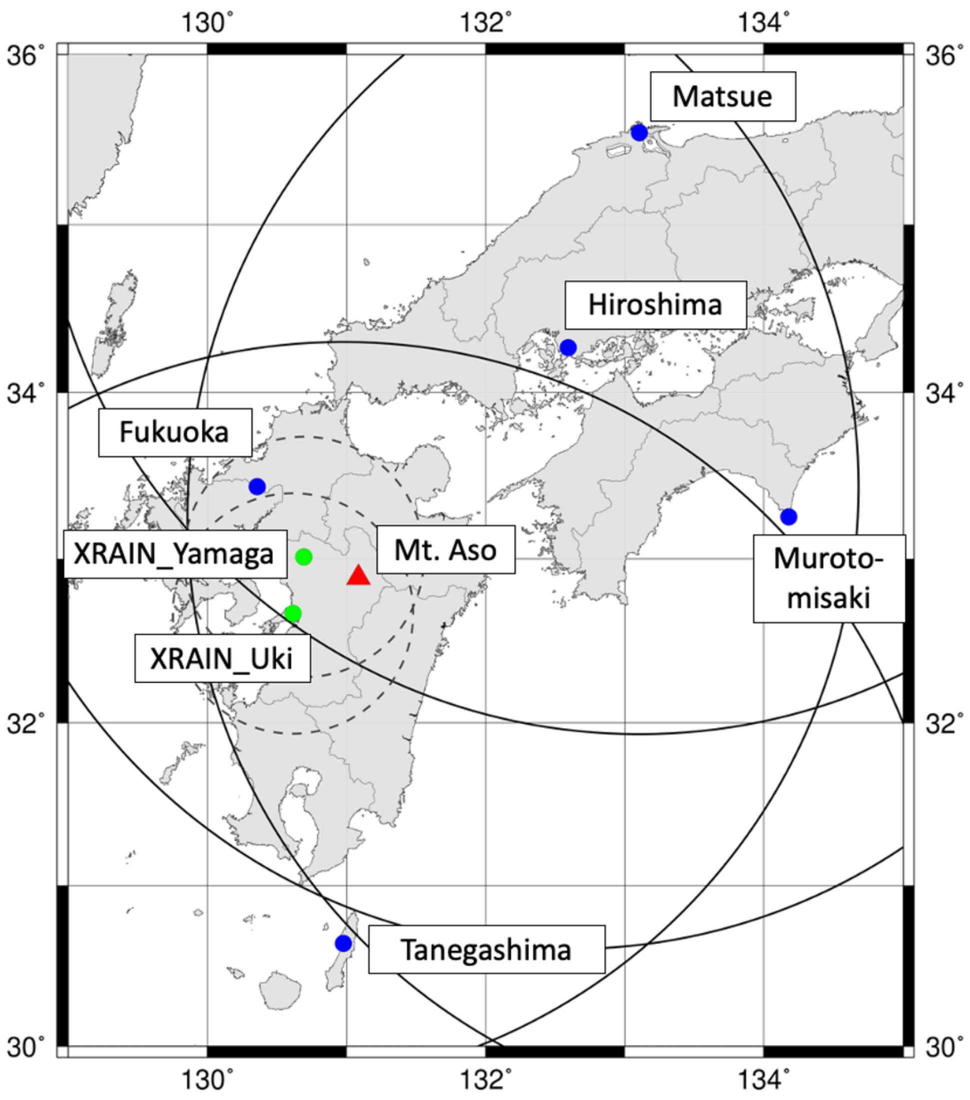


図６：阿蘇山周辺の気象レーダー配置図
同心円（黒線）は気象庁一般気象レーダー（●）から約 400km（観測範囲），
同心円（黒点線）は XRAIN（●）から約 80km（観測範囲），▲は阿蘇中岳を表す．

謝辞：

本研究では、国土交通省が提供する XRAIN データを利用した．またこのデータセットは、文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS)の下で，収集・提供されたものである．

参考文献：

Sato, E. Kusatsu-Shirane volcano eruption on January 23, 2018, observed using JMA operational weather radars. *Earth Planets Space* **73**, 117 (2021). https://doi.org/10.1186/s40623-021-01445-w

阿蘇山 2021 年 10 月 20 日噴火の広帯域地震波形記録

【概要】

- 阿蘇山 2021 年 10 月 20 日噴火に先行する準静的変位・傾斜変動が，噴火発生の約 10 分前から火口近傍の広帯域地震計によって観測された．
- 振幅の大きな長周期振動ののち，中岳第一火口列西側を指す準静的変位・傾斜が現れ，噴火に至るという推移は，2016 年 10 月 8 日等の噴火時と共通である．
- 噴火発生前後のステップ的な上下変位量から概算される火口直下浅部の噴出量・圧力変化量は，2016 年 10 月 8 日噴火の際の 1/30～1/20 程度である．

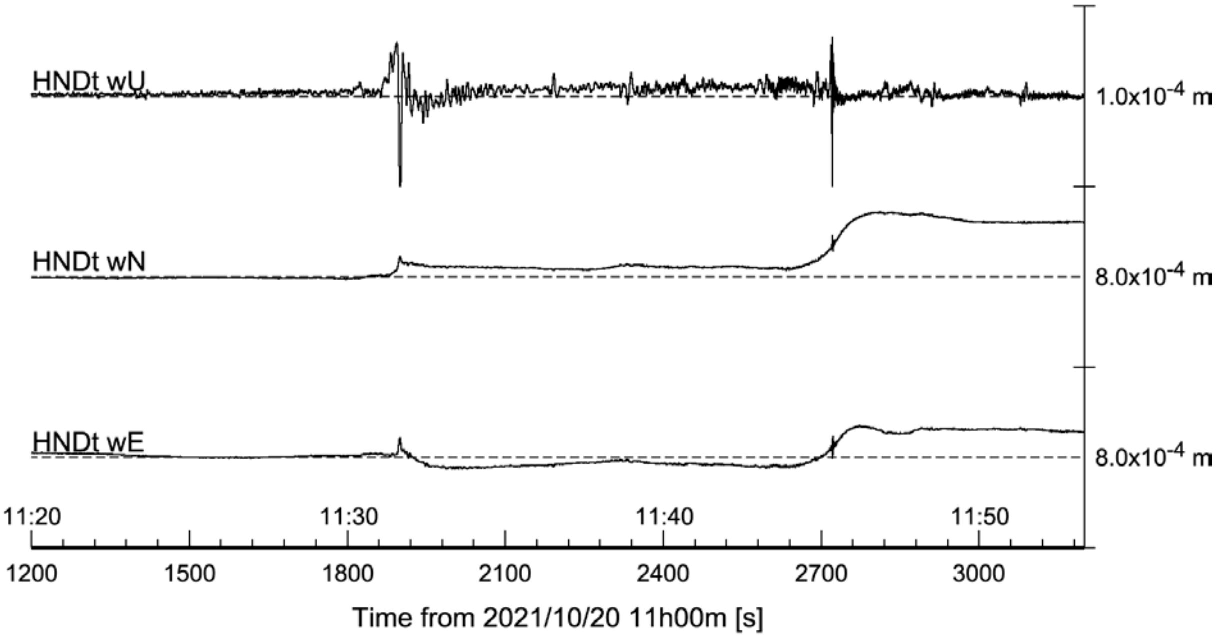


図1． 阿蘇山 2021 年 10 月 20 日噴火時の広帯域地震波形記録例．
京都大学・本堂観測坑道（中岳第一火口の南西約 1 km）における広帯域地震計の波形．速度記録を積分した変位波形を示す．wU, wN, wE は，それぞれ上下，南北，東西成分を表す．

11 時 43 分頃の噴火発生に約 10 分先行して，振幅のやや大きな長周期振動が発生し，それに引き続いて準静的変位（上下動成分参照） と 傾斜変化（水平動成分参照） が現れ，噴火発生に至っている．同様の噴火前の準静的変位・傾斜変化の推移は，京都大学・砂千里観測点の広帯域地震波形記録でも認められる．噴火の発生に伴い，上下変位のステップ的な変化も観測された．本堂観測坑道における噴火時の変位量は，1×10^{-5} m 弱と微小なものであった．

類似の噴火に伴う準静的変位及び傾斜変化は，これまでの噴火時にも見られている（図2参照）．

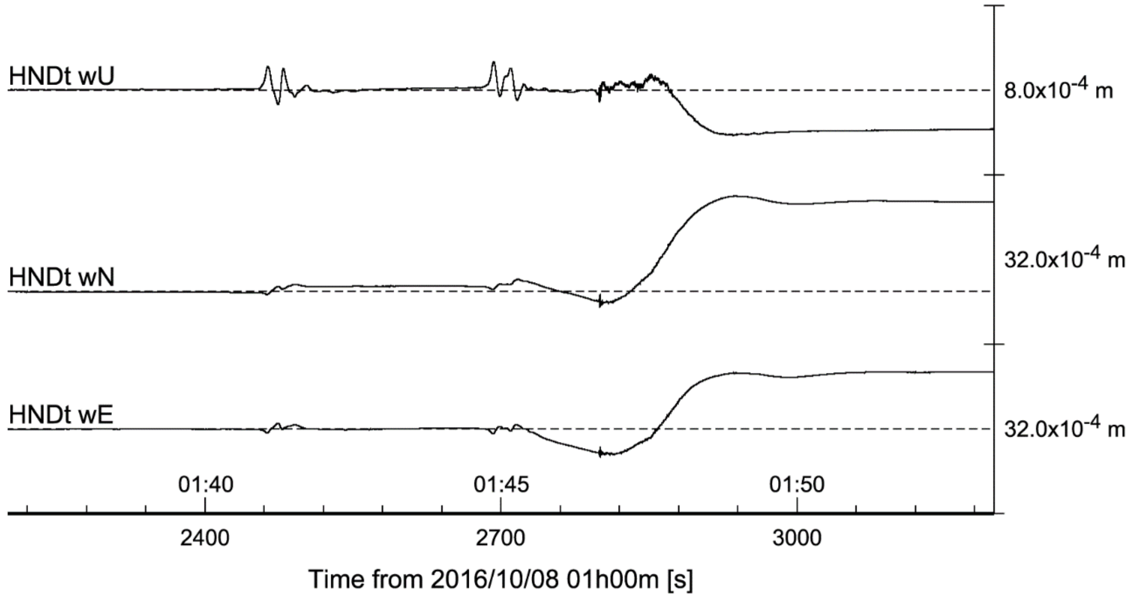


図2.　阿蘇山 2016 年 10 月 8 日噴火時の広帯域地震波形記録例.
図1と同じ京都大学・本堂観測坑道（中岳第一火口の南西約 1 km）における広帯域地震計の波形.
速度記録を積分した変位波形を示す. wU, wN, wE は, それぞれ上下, 南北, 東西成分を表す.

振幅のやや大きな長周期振動が 1 時 46 分頃の噴火発生に約 5 分先行して発生し, 準静的変位・傾斜変化が現れたのち, 噴火発生に至っている. 噴火発生に伴う上下変位のステップ的な変化は本堂観測坑道において 2×10^{-4} m 程度である.

両噴火に関与する火口浅部の体積変化源の位置・形状が同じであると仮定すると, 2021 年 10 月 20 日噴火による体積変化・噴出量は, 2016 年 10 月 8 日噴火の 1/30～1/20 程度と概算される.

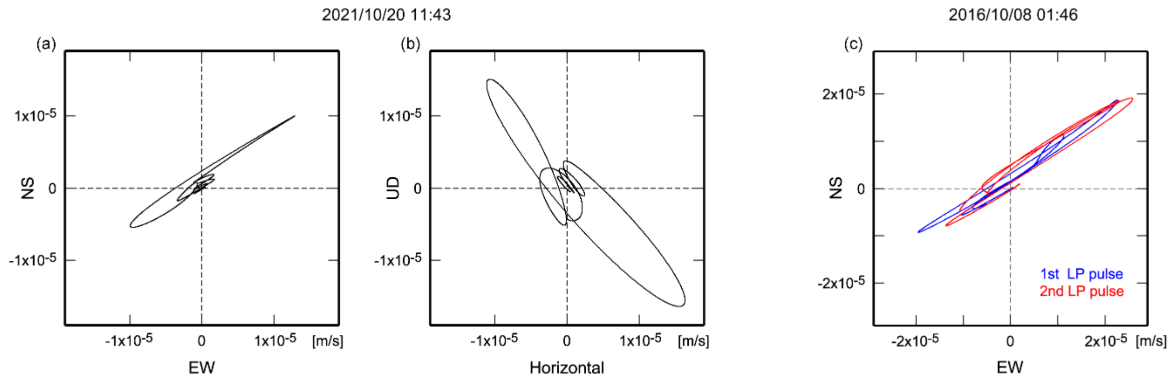


図3.　噴火に先行する長周期振動の粒子軌跡の例.
図1と同じ京都大学・本堂観測坑道（中岳第一火口の南西約 1 km）における広帯域地震計の速度波形の粒子軌跡. (a) 及び (c) は水平面内, (b) は水平面内粒子軌跡の主軸方向と鉛直方向の面内における粒子軌跡.

これらの粒子軌跡は, 静穏期の長周期微動のものと概ね一致しており, 同一の系における振動を示唆する.

阿蘇山・中岳の活動概況

草千里のマグマだまりをはさむ測線の基線長は 2020 年 6 月以降短縮をしめしていたが、2021 年 8 ~9 月に停滞した後に伸張に転じ、2021 年 10 月の噴火以降もこの傾向は変わっていない（図 1、図 7)。

中岳第一火口では 2021 年 6 月 18 日に陥没孔が生じ、同年 8 月末からその内部に湯だまりが確認されていた。そこで、ドローンにより、9 月 9 日以降の湯だまりの表面温度と標高を継続して測定（図 2）した。その結果、10 月の噴火に至る過程で湯面の標高が高くなっていたことが判った。なお、10 月 20 日の噴火後には、上述の陥没孔と 191 火孔がつながり、一つの湯だまりが形成されている（図 2、図 3)。また、この噴火後には、火口内南壁熱異常域の最高温度は上昇し 400 度に達したが、この領域からの放熱量には大きな変化は見られていない（図 4)。

地磁気全磁力連続観測の結果では、2021 年 4 月中旬から 5 月にの地下の温度上昇を示す地磁気変化が観測されていた。この変化は 2021 年 6 月以降は横ばいになっていたが、2021 年 8 月頃から地下の温度上昇を示す変化が 2021 年 10 月まで継続した（図 1,図 6)。

上述の基線長変化に対応して、長周期微動（LPT）の振幅がやや大きくなり、20121 年 10 月 14 日の噴火発生前には、LPT の発生回数が増大した（図 1,7,8,9)。

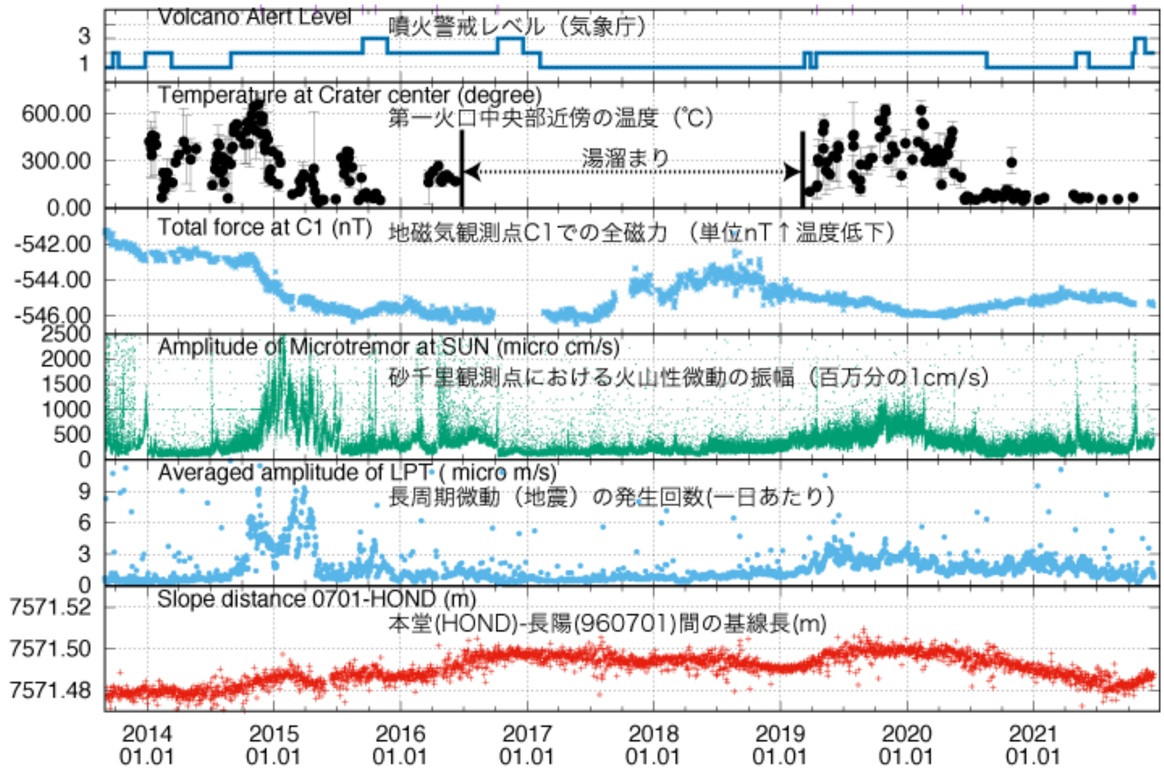


図 1. 阿蘇火山・中岳の活動に関する各種データ

期間は 2013 年 9 月 1 日から 2021 年 12 月 12 日。なお、基線長変化図には国土地理院の GPS データも使用している。

なお火口周辺域調査の多くは、阿蘇火山防災会議協議会および福岡管区気象台の協力のもと実施されている。記して感謝する。

阿蘇中岳第一火口の変遷(2020 年 8 月～2021 年 12 月)

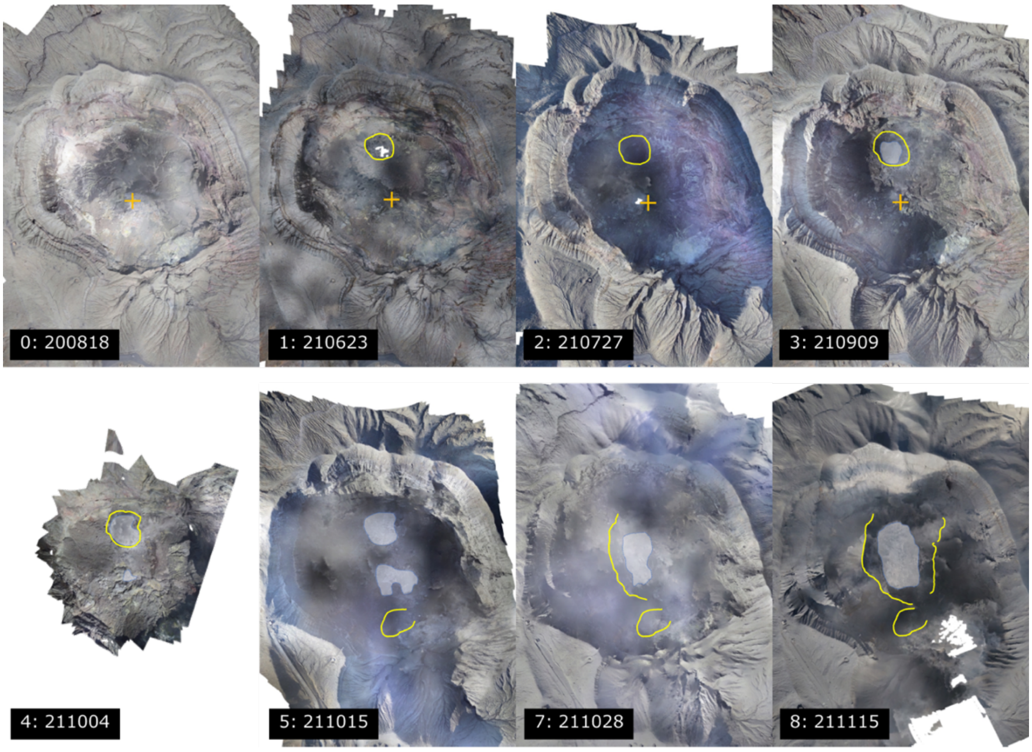


図 2. ドローン撮影画像から作成したオルソ画像の時間変化

2021 年 6 月 18 日に第一火口内北側に形成された陥没孔は直径 50 m、深さ 50 m の円柱状であった。10 月 14 日には火口内南側に長径 70 m、短径 40 m、深さ 40 m の楕円柱状の陥没孔が形成され、噴火後の 14 日 10 時には噴気の放出が確認されていた(図 3)。しかし、翌日の 15 日には噴気放出は確認できなかった。また、10 月 20 日の噴火では、火口中央部の長径 240 m、短径 140 m にわたる領域が深さ 40 m ほどえぐれたことがわかった（体積変化-4×10^5 m^3)。2021 年 9 月 9 日に北側陥没孔内にはじめてお湯が観測されたのち（湯面標高 1110 m)、水位は上昇を続け 10 月 4 日、10 月 15 日には湯面標高 1130 m ほどに達した。11 月 15 日現在の湯面標高はおよそ 1100 m である。その後湯だまりの面積は減少している。

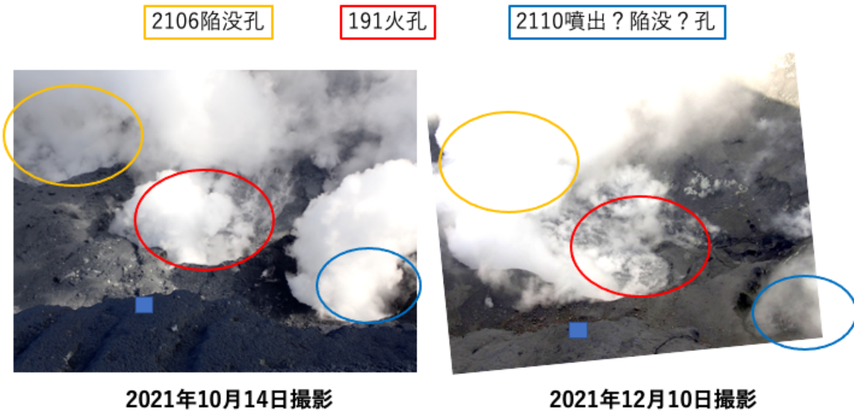


図 3.　10 月 14 日と 12 月 10 日の火口比較。火口南西側から撮影

阿蘇中岳第一火口の熱状態

2021 年 10 月 20 日の噴火以降、火口内南壁熱異常域の最高温度は上昇し 400 度に達したが、放熱量に大きな変化は認められない。北側陥没孔内にはじめてお湯が観測された 9 月 9 日以降、第一火口内の湯温は 60-80 度程度が観測されている。

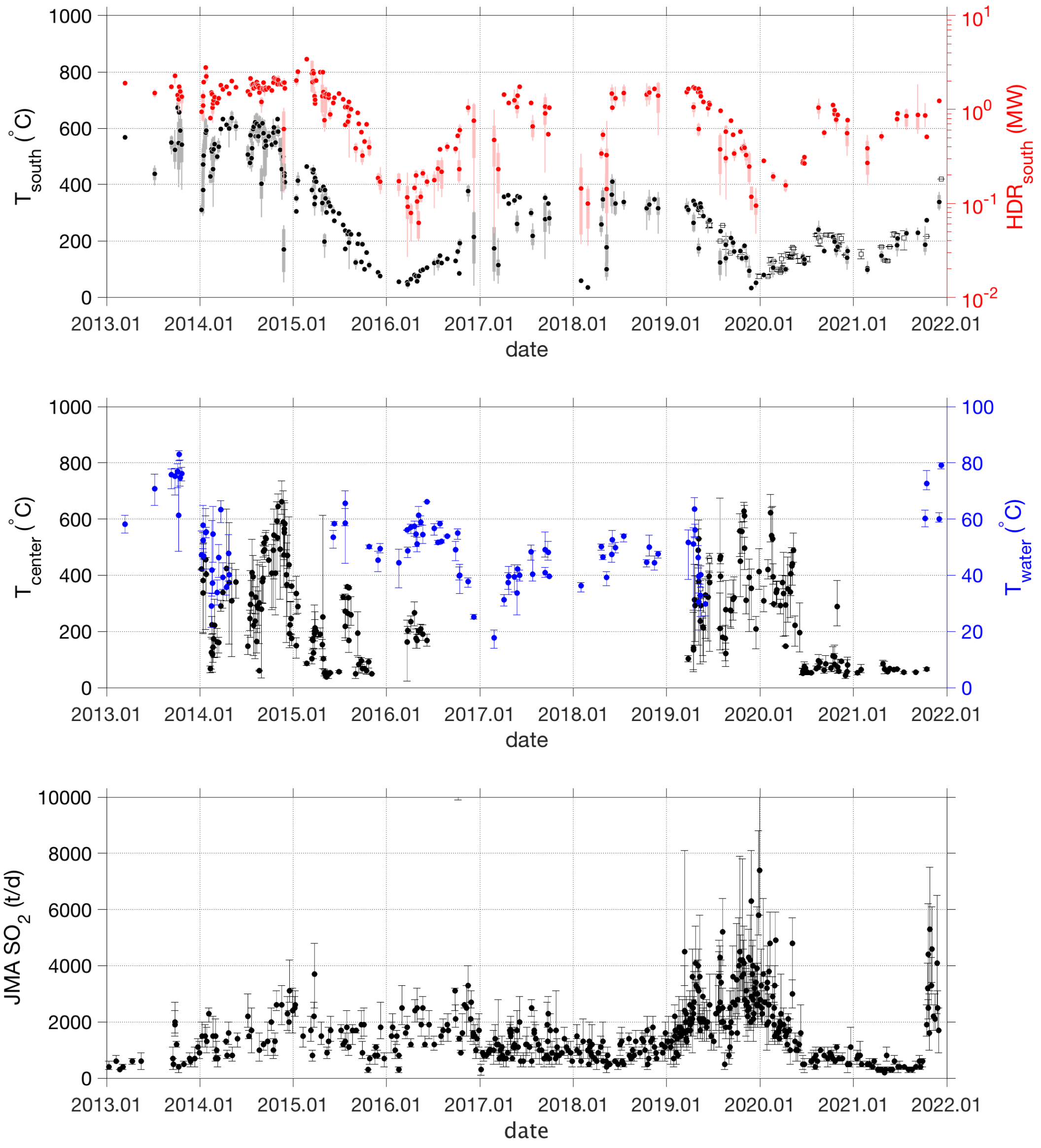


図 4.：上段：南壁の温度（黒丸、白四角）と放熱量（赤丸）、中段：火口底の火孔の温度（黒丸）と湯だまりの温度（青丸）、下段：気象庁観測による二酸化硫黄放出量。上段の黒丸は FLIR 製の熱赤外カメラで測定した値に大気補正などを施した結果の温度。赤丸はその温度分布を用いて推定した放熱量。白四角は日本アビオニクス製の熱赤外カメラでの測定値（補正なし）である。この値は放熱量推定には用いられていない。

阿蘇火山における地磁気全磁力連続観測結果（2018/07～2021/12）

図 5. 中岳火口周辺の地磁気連続観測点

阿蘇中岳火口周辺のプロトン磁力計を用いた地磁気連続観測点（図 5）で得られた、2018 年 7 月～2021 年 12 月までの地磁気全磁力時間変化を図 6 に示す。2020 年 5 月中旬以降 C3 で全磁力減少、C1、W1 で増加の、地下での冷却進行を示す時間変化が観測された。しかし 2021 年 4 月中旬から地下の温度上昇を示すセンスに変化した。この変化は 2021 年 5 月ころから一旦横ばいとなったが、2021 年 8 月頃から再び地下の温度上昇を示す変化が 2021 年 10 月まで継続していた。この間、5 月初めには微動振幅の急増、その後 10 月 13 日に小規模噴火、10 月 20 日に水蒸気噴火が発生した。こうしたことから、4 月中旬から熱供給量の増加が断続的に進行していたことが考えられる。

なお、これら 3 点の連続観測点は 10 月 20 日の噴火で被災し、それ以降のデータは欠測となっていたが、2 点の観測点は復旧済みである。しかし、噴火後の磁場変化の様子については、観測点の復旧からのデータ蓄積が不足しているため現時点では不明瞭である。

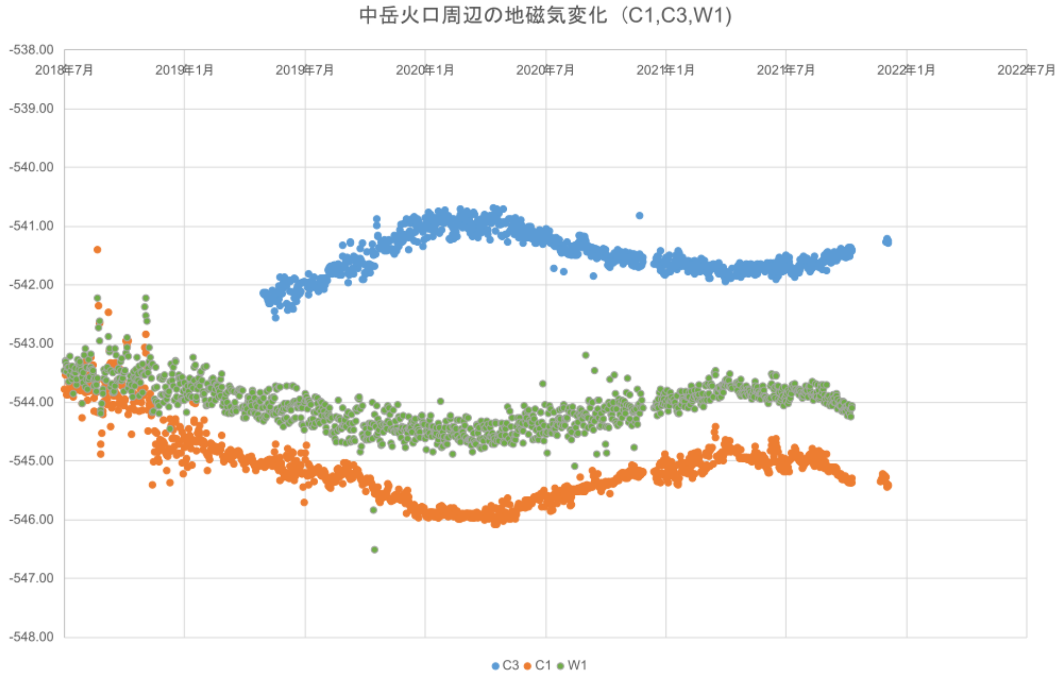


図 6.2018 年 7 月～2021 年 12 月の期間における地磁気全磁力時間変化

阿蘇山・中岳における基線長変化と微動の発生状況(2004~2021.12)

草千里のマグマだまりをはさむ測線の基線長は 2018 年 12 月半ば以降に短縮から伸びに転じ、その後に停滞とゆるやかな伸張を繰り返し、2020 年 6 月以降は明瞭な短縮が観測されていた。しかし、これらの基線長は 2021 年 8 ~9 月に停滞した後に伸張に転じ、2021 年 10 月の噴火以降もこの傾向は大きくは変わっていない。この基線長変化に対応するように、2021 年 10 月以降に、短周期微動(2Hz)および長周期微動（LPT）の振幅が微増した。

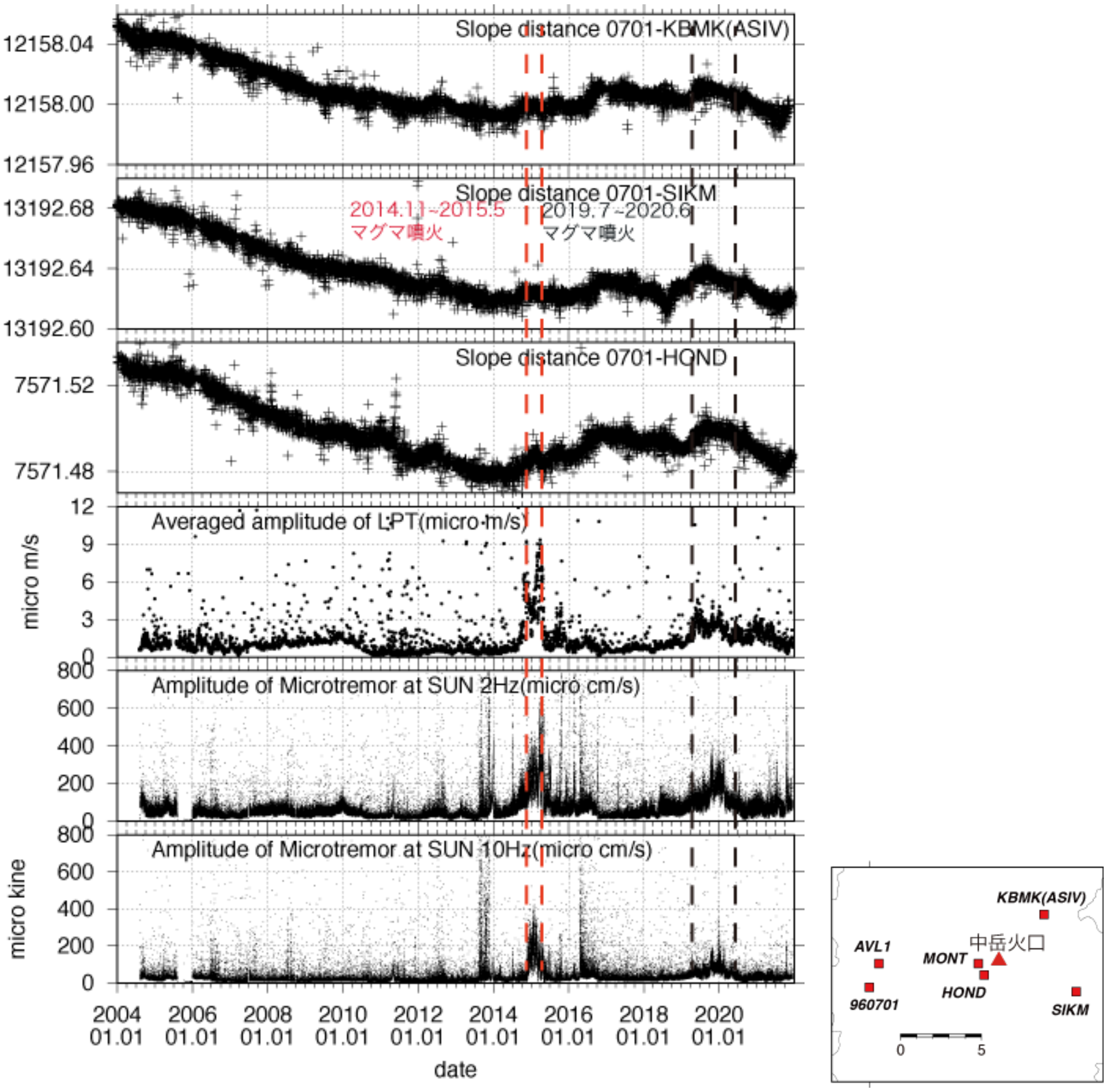


図 7. 阿蘇火山・中岳における基線長および微動と長周期地震の振幅の時間変化
期間は 2004 年 1 月 1 日から 2021 年 12 月 11 日（一部データ欠落）。熊本地震によるステップを補正。なお、基線長変化図には国土地理院および防災科技研の GPS データも使用している。

本堂観測坑道で観測された地殻変動と長周期微動（地震）の積算振幅、短周期微動の振幅

図 8 に示されているように、2021 年 6 月から継続して観測されていた伸縮計の短縮変化は 9 月下旬以降に反転している。ただし、この変化以外に、火口方向の E3 は 2021 年 10 月 14 日の噴火前に短縮が加速し、噴火直前（10 月 13 日）の微動振幅増大とともに伸張に転じた。この伸張と微動振幅の増大は 10 月 20 日の噴火前にも観測されている。また、いずれの噴火においても噴火発生に伴うひずみ変化が観測されている（E1,E3 の伸び）。

10 月 20 日の噴火後から 10 月 24 日にかけて、長周期地震の振幅増大が観測されたが、2021 年 10 月 25 日に長周期微動振幅が急減した。

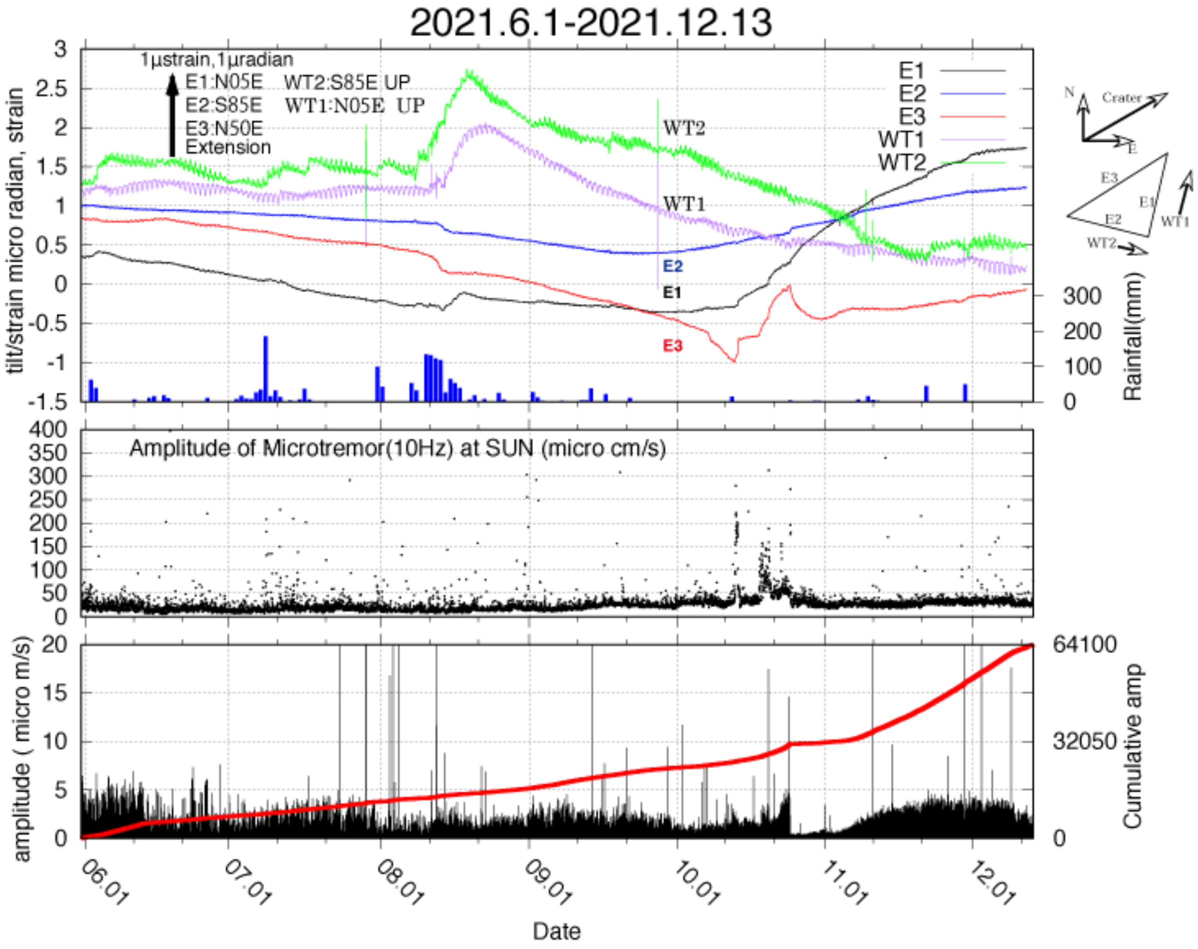


図 8. 中岳の第一火口から南西 800m に位置する本堂観測坑道に設置された、伸縮計、水管傾斜計、広帯域地震計の記録および砂千里観測点での短周期微動振幅。上段：地殻変動とアメダス阿蘇乙姫における降水量。中段：砂千里観測点での短周期微動振幅。下段：長周期微動の振幅(黒線)と積算振幅（赤線）の時系列。

2021 年 10 月の E3 および微動の発生様式を示したものが図 9 である。E3 の伸びとともに長周期微動の活発化（積算振幅曲線の傾き増大）が観測されている。また、2021 年 10 月 21 日の噴火発生の約 10 分前に大振幅の長周期微動が発生した（図 9 の黒丸）。この長周期地震の振幅はきわめて大きく、Kawakatsu et al. (2000)の LPP（長周期パルス）に対応するものである可能性が高い。

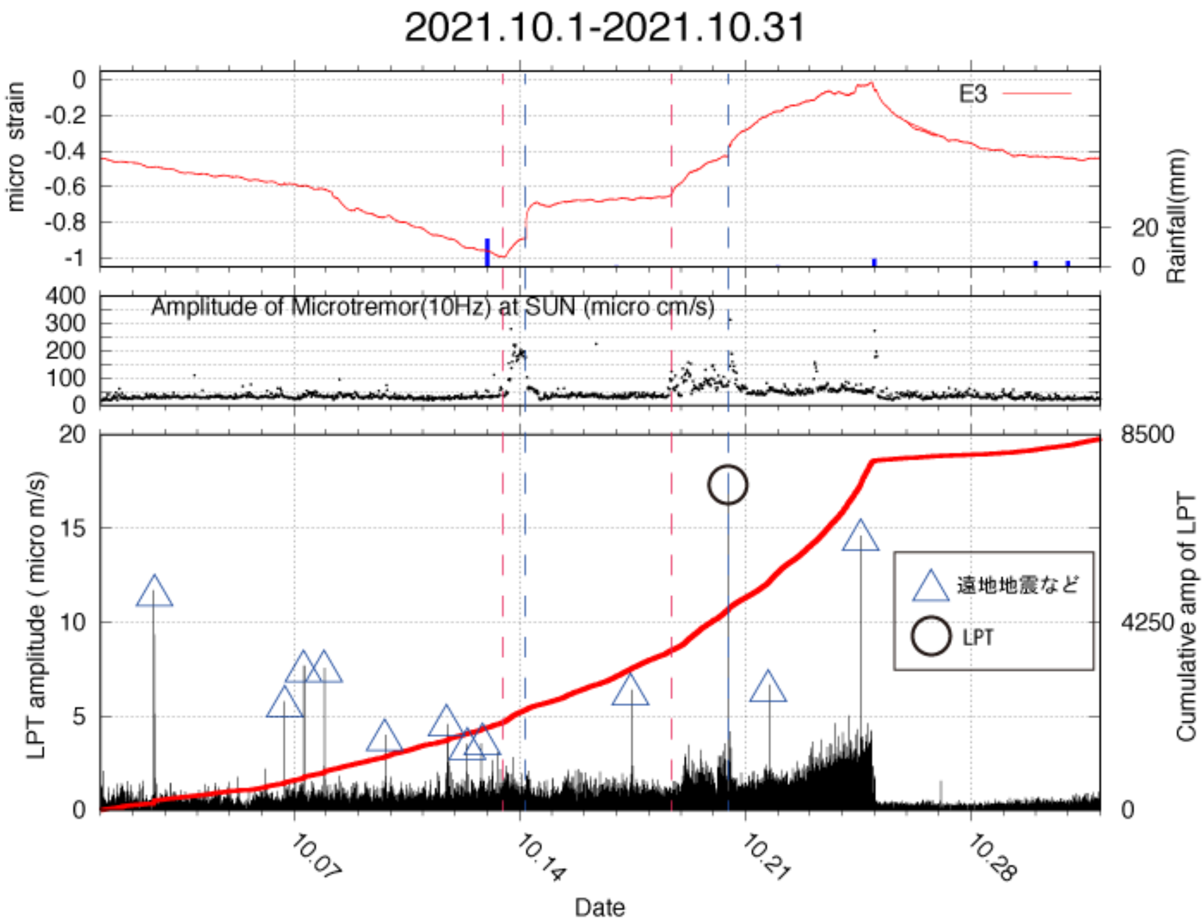
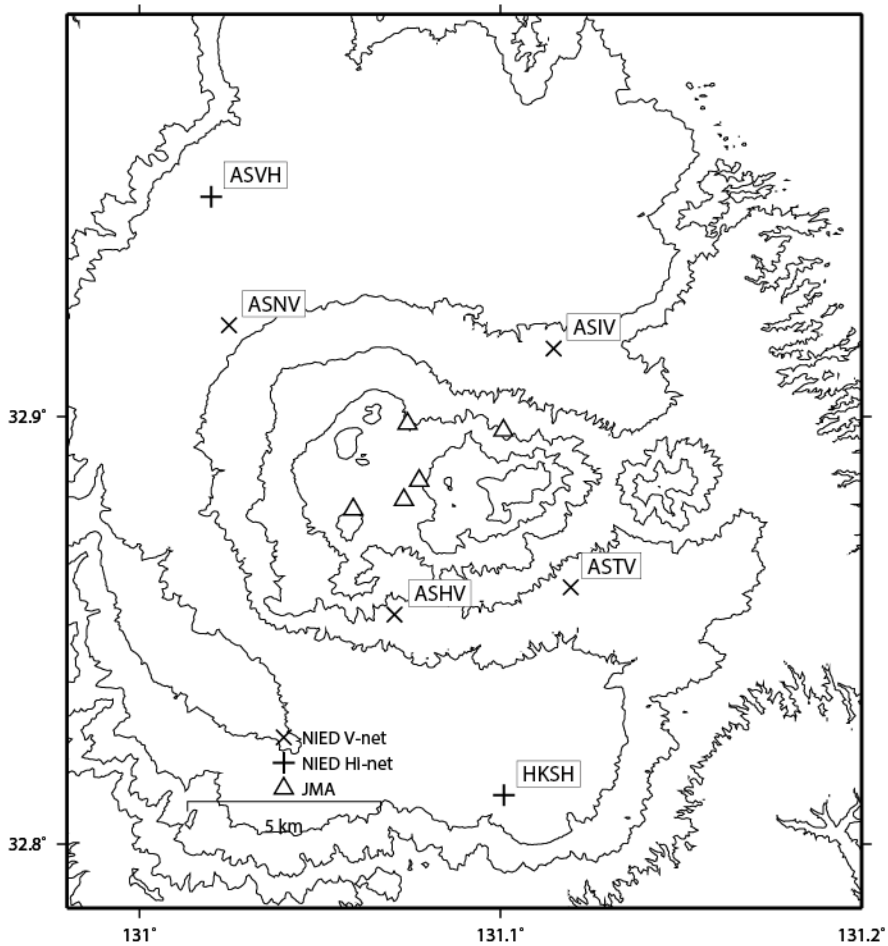


図 9. 中岳の第一火口から南西 800m に位置する本堂観測坑道に設置された、伸縮計,広帯域地震計の記録および砂千里観測点での短周期微動振幅。上段：地殻変動とアメダス阿蘇乙姫における降水量。中段：砂千里観測点での短周期微動振幅(10Zh)。下段：長周期微動の振幅(黒線)と積算振幅（赤線）の時系列。赤点線は E3 の急激な伸びを表しており、これとほぼ同期して、長周期地震の積算振幅も増大している。青点線は噴火発生時である。なお、2021 年 10 月 21 日の噴火発生の約 10 分前に大振幅の長周期微動が発生しており（黒丸)、その振幅はこの噴火前に観測された長周期地震の振幅の 4 倍以上である。

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

阿蘇山中岳を挟む GNSS 観測点間において 2020 年 4 月頃から基線長の短縮がみられたが、2021 年 8 月頃から伸びがみられる（図１）。この GNSS に見られる変動は、草千里直下の変動源の膨張で説明できる（図２）。傾斜計記録（図３）において、火山活動によると考えられる明瞭な変動は認められない。阿蘇山で発生している超長周期地震の活動は、2020 年 4 月頃から低下傾向にある（図４）。

阿蘇山中岳を挟む GNSS 観測点間の基線長変化

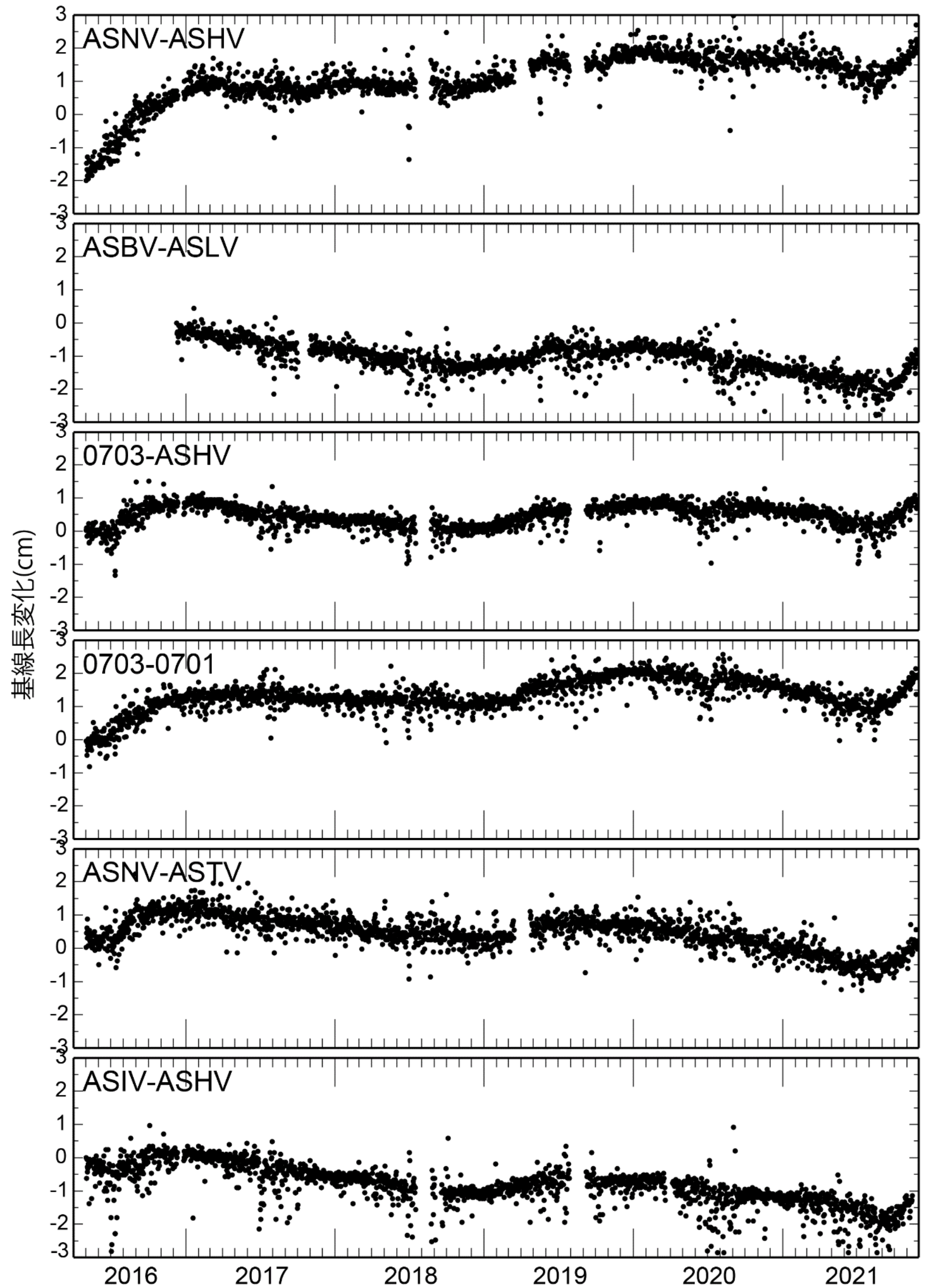


図 1 GNSS 観測点間の基線長変化。
2016 年 5 月 1 日～2021 年 11 月 30 日

0701、0703 は国土地理院 GEONET 観測点。本解析には国土地理院のデータを使用した。

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,
2021 年 8 月 1 日-11 月 28 日の地殻変動【清和（0466）固定】

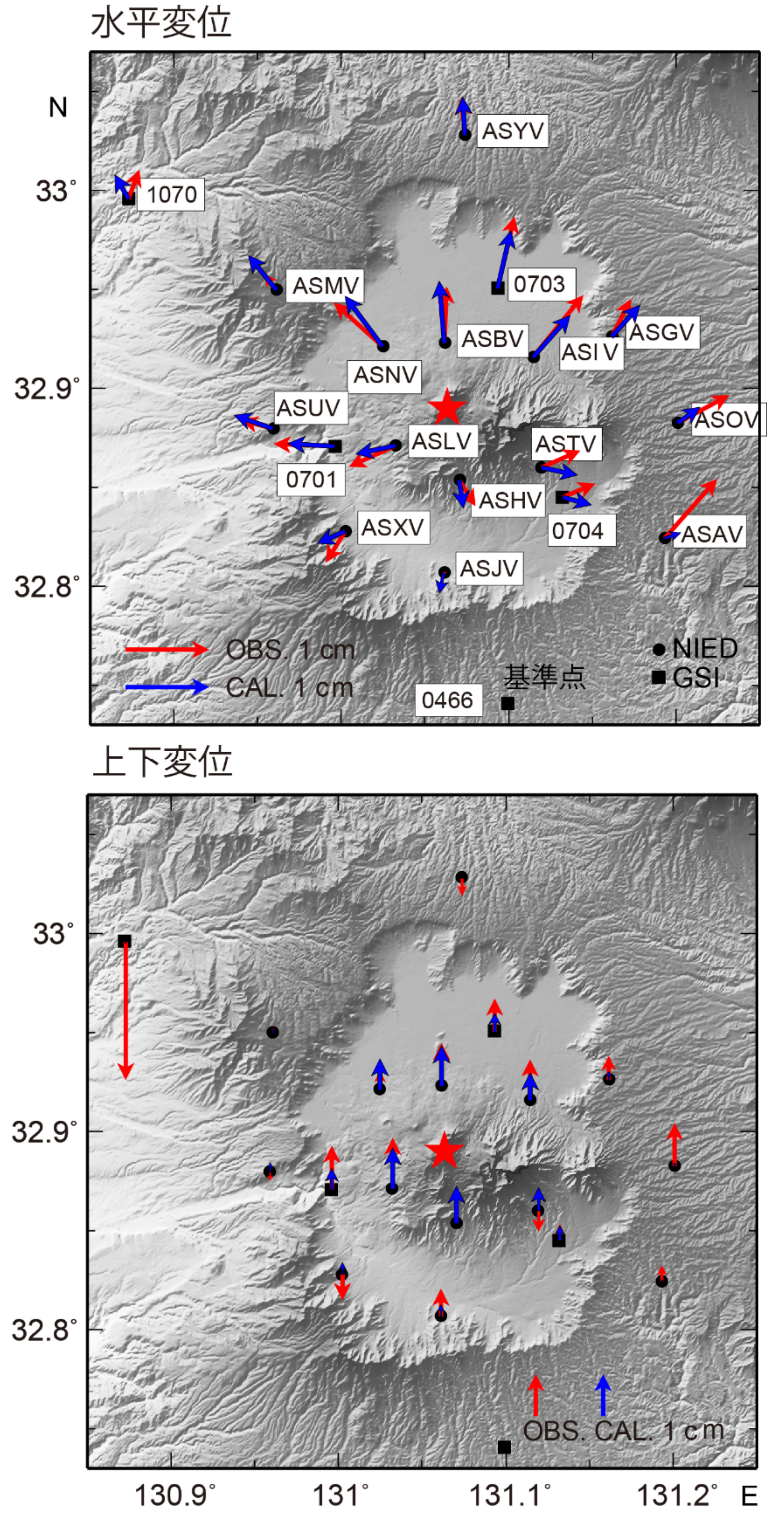


図 2　阿蘇山周辺 V-net 観測点及び国土地理院 GEONET 観測点の GNSS 解析結果。
（上段：水平成分、下段：上下成分）

赤い矢印は、阿蘇山周辺 V-net 観測点及び国土地理院 GEONET 観測点の GNSS 解析結果。2020 年 9 月から 2021 年 8 月までの各点の速度を引いている。青い矢印は、データから推定した茂木モデル（赤い星印）による理論値。深さ 7.3km、膨張量 3．3 百万m³。本解析には国土地理院のデータを使用した。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。

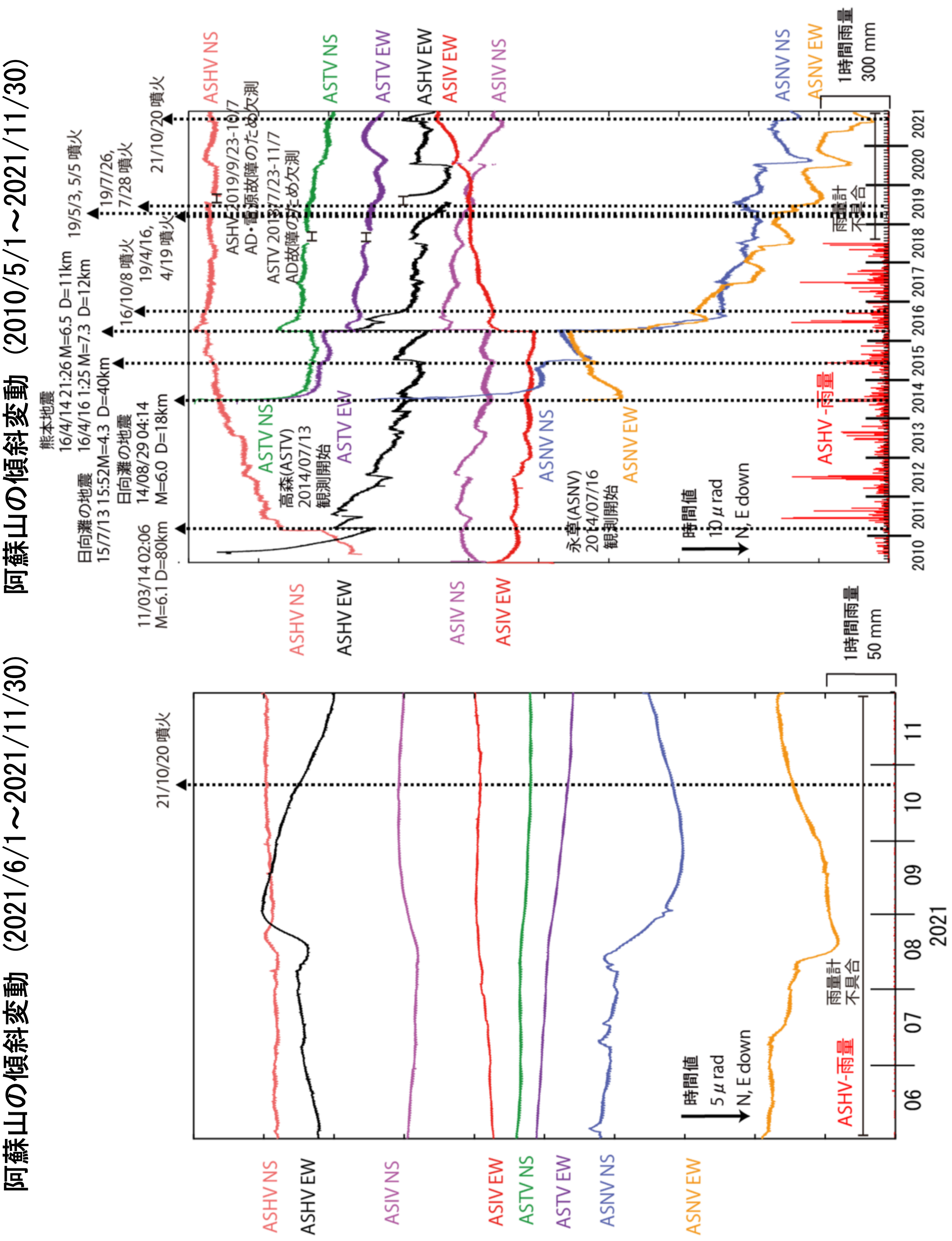

阿蘇山の傾斜変動（2010/5/1～2021/11/30）
阿蘇山の傾斜変動（2021/6/1～2021/11/30）
ASHV NS
ASHV EW
ASIV NS
ASIV EW
ASTV NS
ASTV EW
ASNV NS
ASNV EW
ASHV-雨量
1時間雨量
300 mm
50 mm
時間値
10 μ rad
5 μ rad
N, E down
21/10/20 噴火
雨量計
不具合
2021

図 3　阿蘇山の傾斜変動

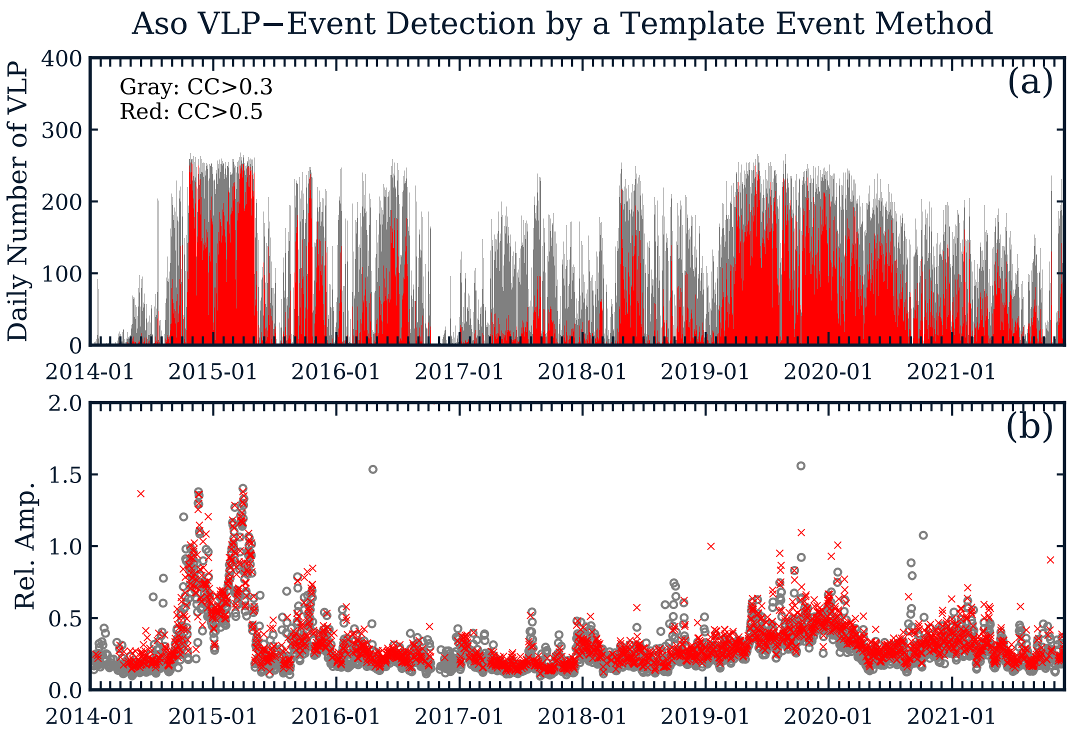


図 4　(a) 1 日ごとの超長周期イベント数。(b) テンプレートイベントと各イベントの振幅比の時間変化。最大振幅を利用。
2014 年 1 月 1 日～2021 年 11 月 30 日

阿蘇山

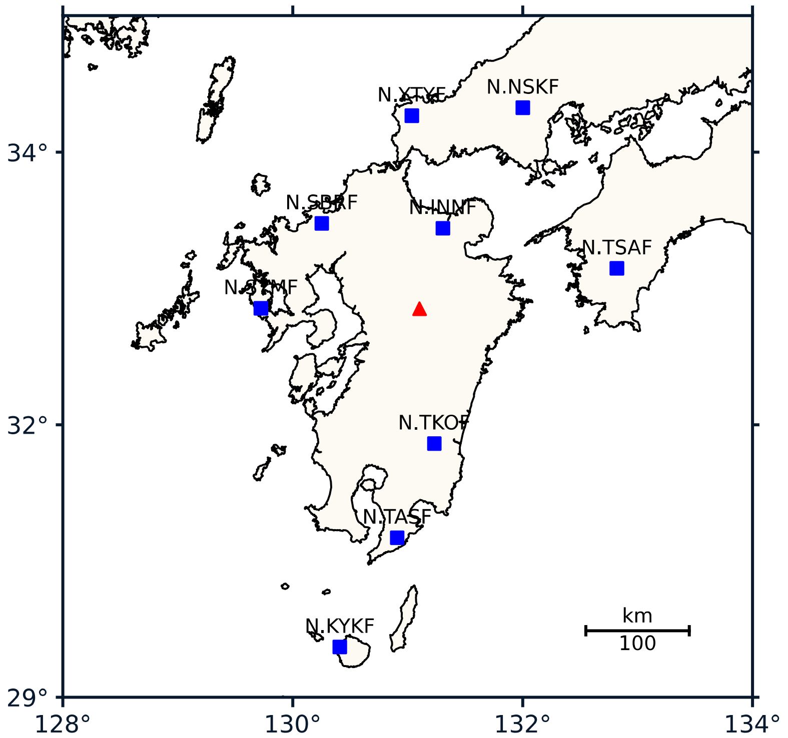


図 5　超長周期イベントの解析に使用した防災科研 F-net の観測点配置

2021 年 10 月 14 日および 2021 年 10 月 20 日に阿蘇山で発生した噴火に関する PALSAR-2 緊急観測データの解析結果

2021 年 10 月 14 日に阿蘇山で発生した噴火に関して、防災利用実証実験火山 WG を通じてだいち 2 号の PALSAR-2 による緊急観測が 2021 年 10 月 15 日に実施された。また、2021 年 10 月 20 日に阿蘇山で発生した噴火に関して、だいち 2 号の PALSAR-2 による緊急観測が 2021 年 10 月 21 日と 2021 年 10 月 25 日に実施された。これらのデータを用いた SAR 解析により得られた結果を報告する。

解析したデータペアの諸元

データペア1:　衛星・軌道・観測方向:だいち2号(ALOS-2)・北行軌道・右方向視
センサー・観測モード:PALSAR-2・SM1
観測日:2021 年 5 月 28 日 0:11(JST) － 2021 年 10 月 15 日 0:11(JST)

データペア2:　衛星・軌道・観測方向:だいち2号(ALOS-2)・北行軌道・左方向視
センサー・観測モード:PALSAR-2・SM1
観測日:2020 年 11 月 5 日 23:23(JST) － 2021 年 10 月 21 日 23:23(JST)

データペア3:　衛星・軌道・観測方向:だいち2号(ALOS-2)・南行軌道・右方向視
センサー・観測モード:PALSAR-2・SM1
観測日:2021 年 9 月 13 日 12:18(JST) － 2021 年 10 月 25 日 12:18(JST)

観測結果

地殻変動:　ノイズレベルを超える有意な地殻変動を示す位相変化は見られない(図 1)。

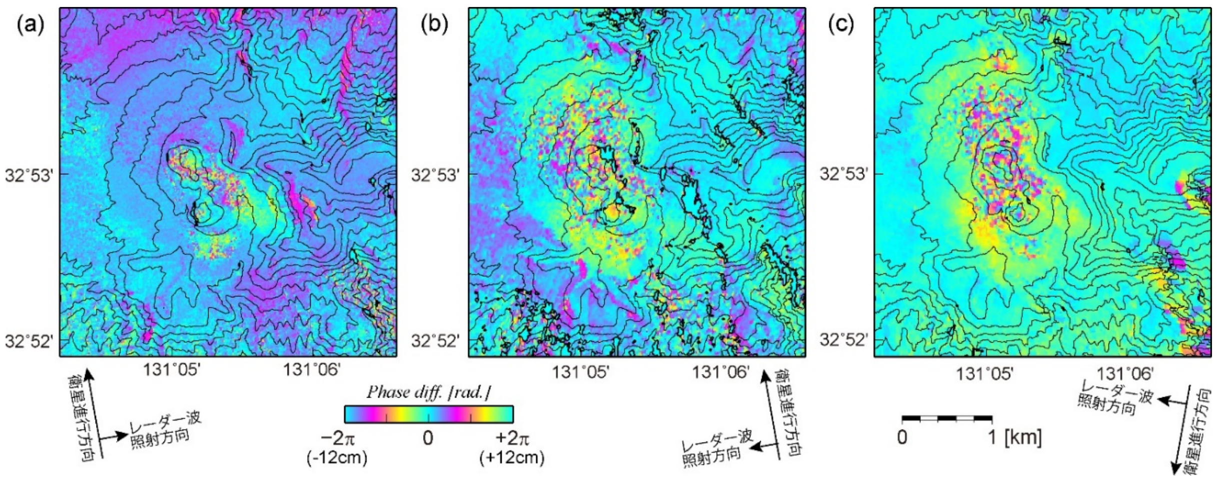
コヒーレンス:　降灰に起因すると考えられる干渉度劣化が見られる。

データペア1については 2017 年 2 月 23 日と 2017 年 6 月 1 日のペアから得られたコヒーレンスの比から、非定常のコヒーレンス成分を推定した(4時期コヒーレンス法)。この解析結果を図 2(a)に示す。阿蘇山中岳火口から南東方向の約 700m の範囲において、顕著なコヒーレンス低下域が見られた。これは、2021 年 10 月 14 日の噴火による降灰により、レーダー波散乱の変化に起因すると推測される。小澤・藤田(火山学会、2020)の解析と同様と仮定すると、-0.8 のコヒーレンス低下量は、おおよそ 2-3cm の降灰厚のコンターに相当するが、データペア1については、-0.8 を超える明瞭なコヒーレンス低下は見られなかった。

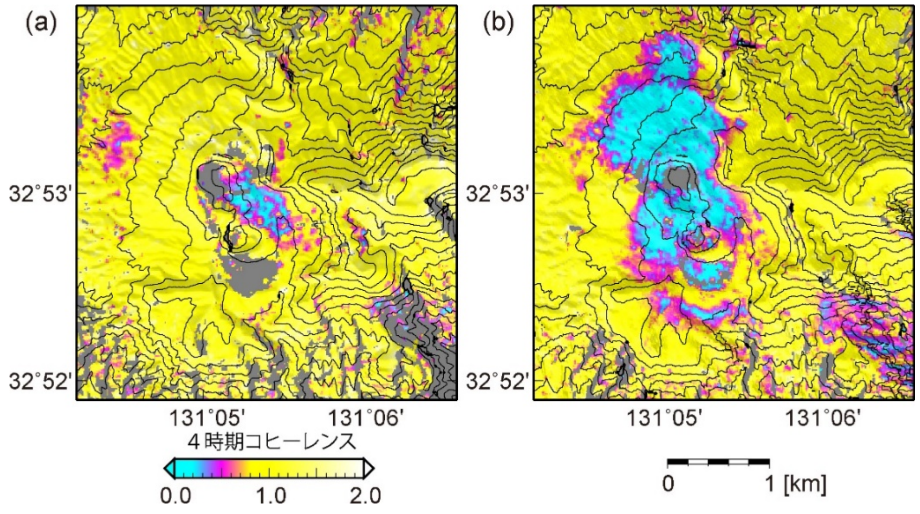
データペア2については適当なデータペアがなかったため、4時期コヒーレンス解析は行っていない。

データペア3については、2018 年 8 月 6 日と 2018 年 10 月 15 日の観測ペアから得られたコヒーレンスを用いて、4時期コヒーレンス法を適用した(図 2(b))。阿蘇山中岳火口周辺において顕著なコヒーレンス低下域が見られた。これは、2021 年 10 月 14 日と 2021 年 10 月 20 日の噴火による降灰により生じた、レーダー波散乱の変化に起因すると推測される。特に、図 3 に示す赤線においては、おおよそ 2-3cm の降灰厚に相当する-0.8 のコヒーレンス低下が得られた。

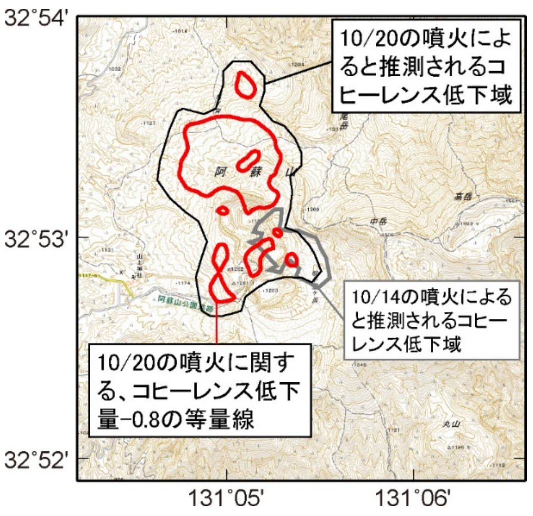
謝辞. 本解析では、第 2 期戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」の研究開発課題「衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術の開発」において構築したシステムを用いた。使用した PALSAR-2 データは、防災利用実証実験火山 WG を通じて提供されたものである。PALSAR-2 データの所有権は宇宙航空研究開発機構が有する。解析および描画においては、国土地理院の基盤地図情報 10m メッシュ DEM および地理院地図を使用した。



第 **1** 図　SAR 干渉解析結果　(a)データペア１ (b)データペア２ (c)データペア３



第 **2** 図　4 時期コヒーレンス解析結果　(a)データペア１ (b)データペア３



第 **3** 図　顕著なコヒーレンス低下が見られた領域。灰色線と黒線は、データペア1およびデータペア3の4時期コヒーレンス解析結果について目視で判読した、顕著なコヒーレンス低下域。赤線は、データペア3の4時期コヒーレンス結果におけるコヒーレンス低下量-0.8 の等量線を示す。

防災科学技術研究所
京都大学火山研究センター

阿蘇山 2021 年 10 月 20 日噴火の火山灰試料の観察結果

阿蘇山中岳の 2021 年 10 月 20 日噴火噴出物について、顕微鏡観察及びＸ線回折実験を行なった。その結果、噴出物のほとんどが熱水変質帯を構成していた既存物質であったと判断されるので、噴火は水蒸気爆発であった可能性が高い。

○観察試料

観察には降雨前の 20 日夜に高森町の南阿蘇ビジターセンター（火口の南東約 7㎞）で防災科研が採取した試料（高森試料）を主に使用した。ただし電子顕微鏡観察には噴火直後に本堂トンネル観測点（火口の南西約 1㎞）で京都大学火山研究センターが採取した試料（本堂試料）を使用した。

○顕微鏡観察

洗浄した直径約 250-500μｍの火山灰粒子について実体顕微鏡を用いて観察した。ガラス質岩片については代表的な粒子について走査型電子顕微鏡を用いて電子画像も観察した。その結果以下のような粒子が識別された。

１．変質岩片（約 80%）

白色や淡灰色、淡赤色を呈し、二次的鉱物が多量に生じて原岩不明な岩石片や微細鉱物の集合体からなる。白色のものは脆く凝結したような組織の粒子が多く認められる。黄鉄鉱と考えられる金色の不透明鉱物の集合体粒子や、自然硫黄粒子と考えられる淡黄色樹脂状の粒子も少量存在する。

２．石質溶岩片（約 1%）、結晶片（約 8%）

灰白色、黒灰色などのほとんど変質していない様々な火山岩片や、単斜輝石、斜方輝石、斜長石等の結晶片を含む。

３．ガラス質岩片（約 11%）

褐色透明や黒色やや不透明なガラスで、ブロック状、スコリア状など様々な形態をしている。大部分の粒子には何らかの変質の痕跡（表面に融食ピットが形成されている、凹部を二次鉱物が充填している、ガラスが脱色しているなど）が生じている。実体顕微鏡下で新鮮な表面のみからなる褐色ガラス質岩片は少量（1%以下）であり、電子画像においても融食ピットがほぼ確認されないもの（図２）の割合はさらに小さい。

○X 線回折実験

鏡下で識別が難しい鉱物の存在を確認するため粉末 X 線回折実験を行なった。不定位試料測定および水ひによって分離した細粒粒子（<2μｍ）による定方位試料測定の結果から、スメクタイト・カオリン鉱物・イライト・自然硫黄・黄鉄鉱・ミョウバン石・無水石膏・石膏・クリストバライト・長石（斜長石）等に由来するとみられるピークが検出された（図３）。このような鉱物組み合わせは主に酸性の熱水変質帯に由来すると考えると説明できる。

以上の特徴から、今回の噴出物は熱水変質帯を構成していた既存物質が大部分を占めていると判断されるので噴火は水蒸気爆発であった可能性が高い。ほぼ変質を受けていない新鮮なガラス質岩片の存在は噴火にマグマの関与があった可能性を示すが、その割合はごく少量であることから、関与があったとしてもごく限定的であったと考えられる。

謝辞：高森の試料は降灰データ共有チームによる降灰調査時に採取したものであり、熊本大学宮縁育夫教授には火山灰の堆積状況について現地で直接ご教示していただいた。阿蘇火山防災会議協議会には本堂試料を提供していただいた。以上の方々に御礼申し上げる。

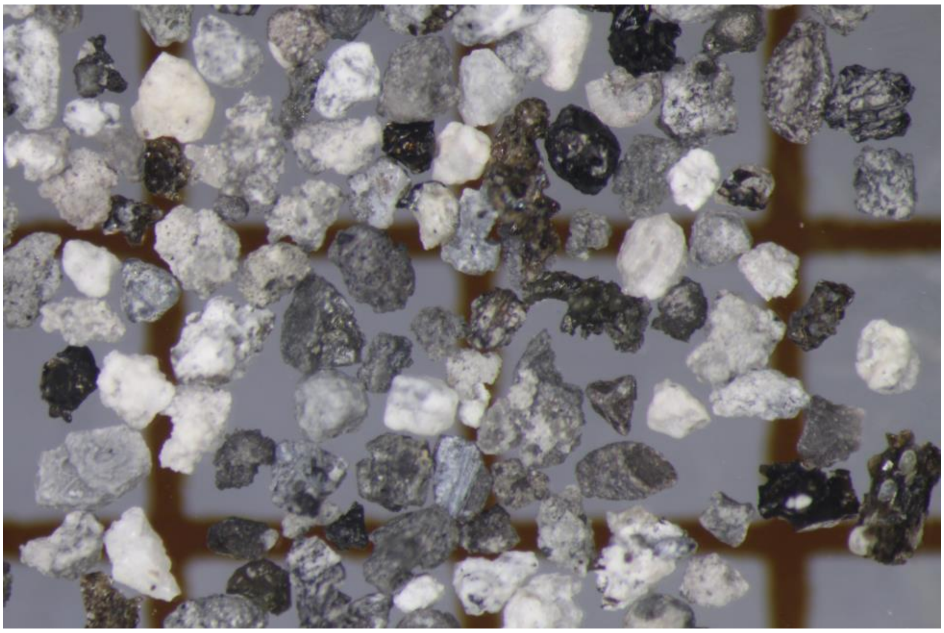
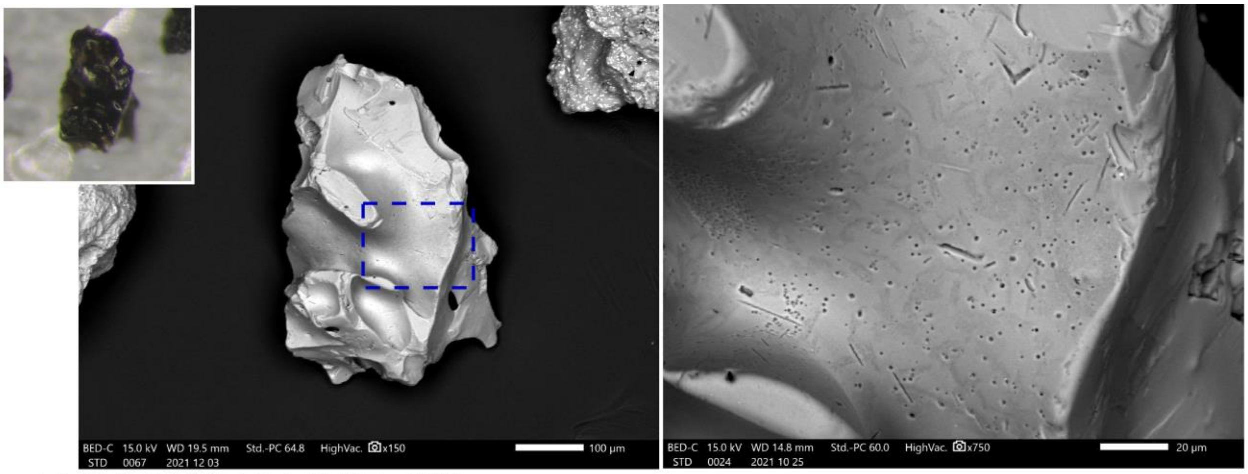
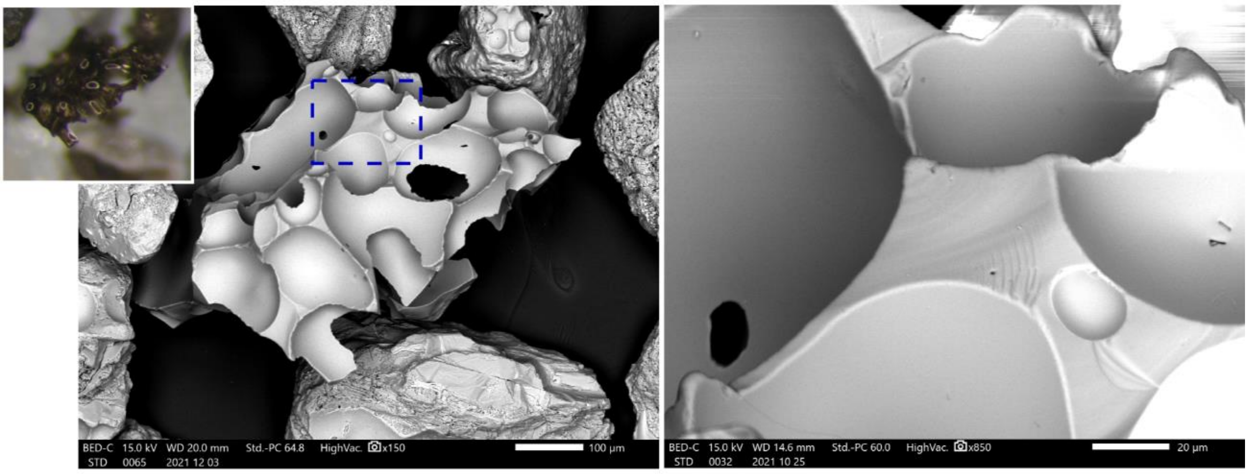


図１　2021 年 10 月 20 日噴出物の構成粒子の顕微鏡写真(高森試料)
背景の格子の間隔は２mm。

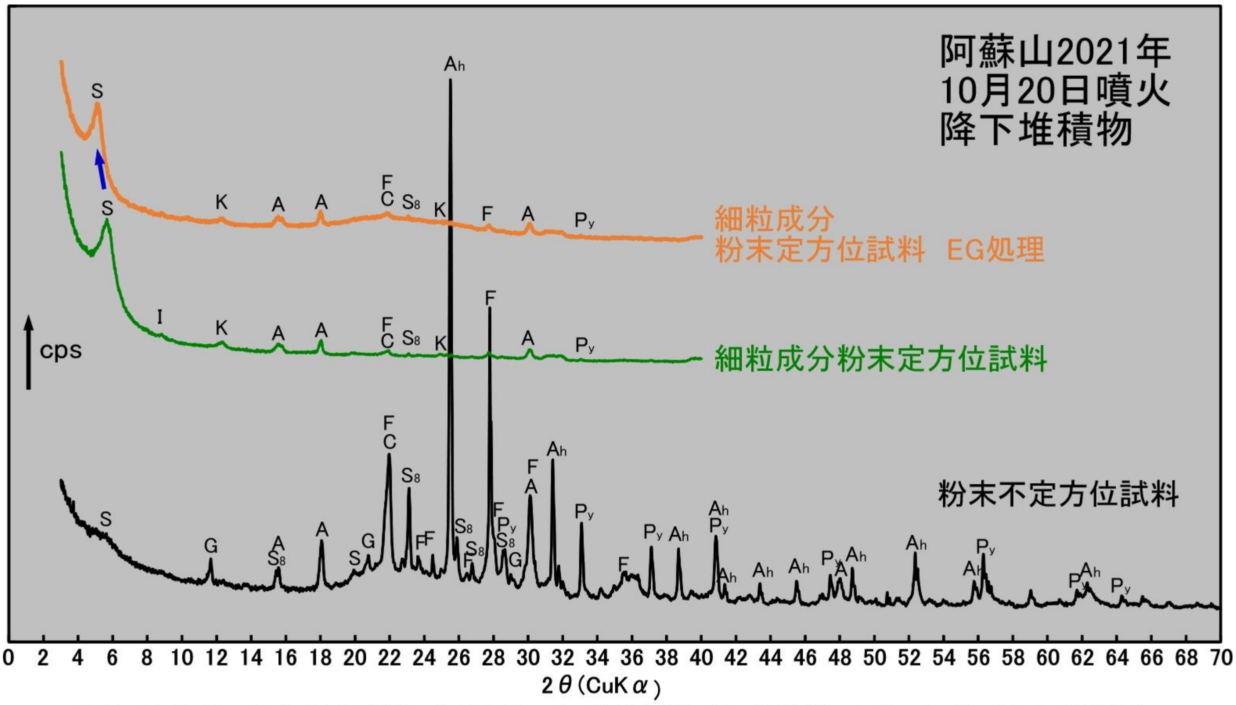


A. 融食ピットが認められるガラス岩片



B. 融食ピットがほぼ認められないガラス岩片

図２　比較的新鮮なガラス岩片の反射電子像(本堂試料)
B. の融食ピットが認められない粒子はごく少数である。



S:スメクタイト　K:カオリン鉱物　I:イライト　S8:自然硫黄　Py:黄鉄鉱　A:ミョウバン石　Ah:硬石膏
G:石膏　C:クリストバライト　F:長石

図３　2021 年 10 月 20 日噴火噴出物(高森試料)の X 線回折パターン図

2021 年 10 月阿蘇中岳噴出物の構成粒子の特徴

2021 年 10 月 14 日および 10 月 20 日の阿蘇中岳噴出物構成粒子は熱水変質岩片がその大半を占める。マグマ物質と考えられる新鮮なガラス質粒子はほとんど含まれない。10 月 14 日および 20 日噴出物の特徴が共通することから、両噴火は類似した活動と考えられる。

10 月 14 日および 10 月 20 日噴出物の構成粒子は、いずれもそのほとんどの構成粒子は灰色～白色に熱水変質した岩片からなる。散在する褐色発泡ガラス片のほとんどには、その表面に溶解により生じたと考えられるピット状の孔が多数分布し、また粒子表面に二次鉱物が析出している。このことから、これらの褐色発泡ガラス粒子は今回の噴火で噴出したマグマ粒子ではなく、以前の噴出物に含まれていたガラス質粒子が火口底で長時間熱水と反応した粒子と考えられる。

10 月 14 日および 20 日の噴出物は、いずれも中岳火口直下の熱水変質した火口底堆積物や火口底を構成する岩石が破砕・噴出したものと考えられる。構成物粒子に顕著な違いがみられないことから、10 月 14 日噴火および 10 月 20 日噴火は類似した活動と考えられる。

観察に用いた試料は、10 月 14 日試料は気象庁阿蘇火山防災連絡事務所、10 月 20 日試料は京都大学火山研究センター及び産業技術総合研究所によって採取されたものである。10 月 14 日試料は火口近傍の降下火山灰、10 月 20 日噴出物は、火口近傍の火砕流堆積物、火口近傍の降下火山灰、およびやや遠方の降下火山灰試料を観察した。

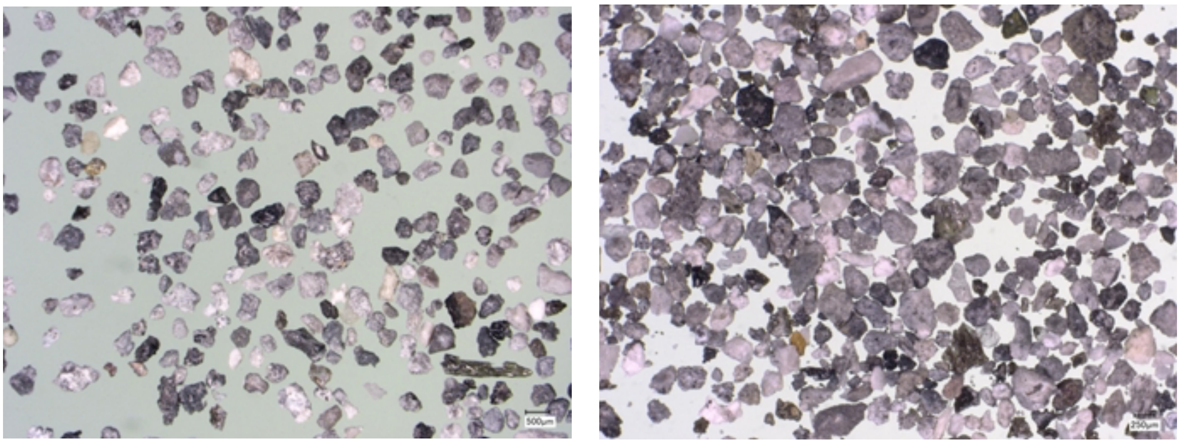


図 1　10 月 14 日火山灰構成粒子（左）。10 月 20 日火砕流堆積物の構成粒子（右）。いずれの噴出物構成粒子もその大多数が灰色～白色の熱水変質岩片からなる。

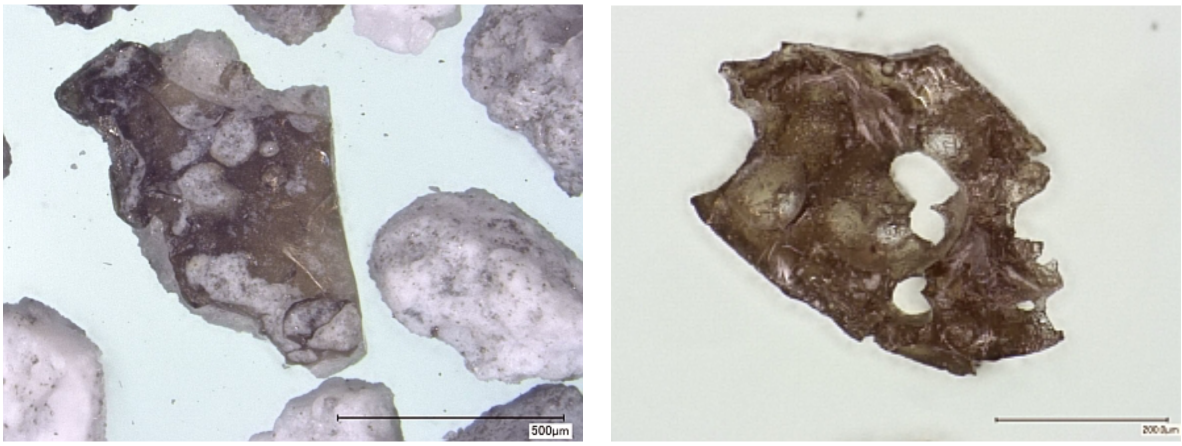


図 2　10 月 14 日火山灰構成粒子に含まれる褐色発泡ガラス粒子（左）。粒子空隙が白色の二次鉱物で充填されている。10 月 20 日火山灰構成粒子に含まれる褐色発泡ガラス粒子（右）。表面にピットが発達している。

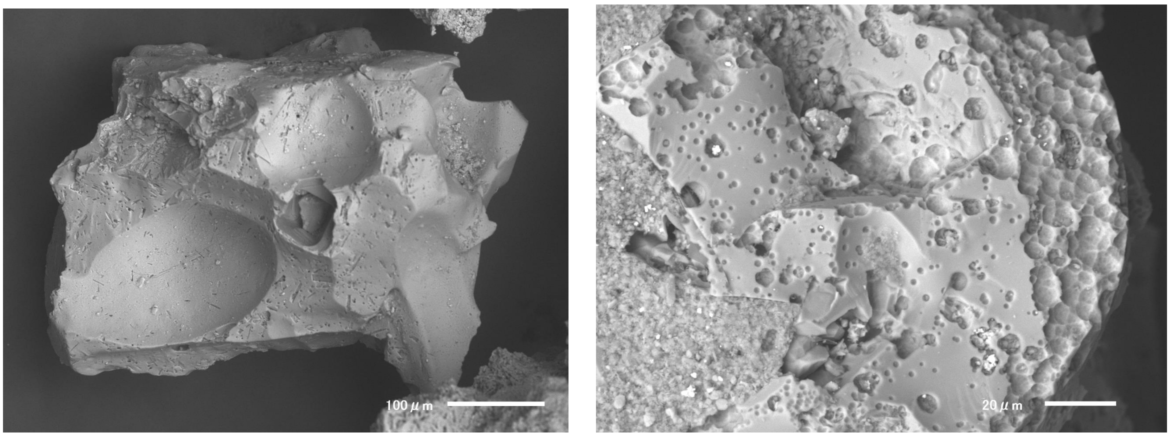


図 3　10 月 20 日降下火山灰中の褐色発泡ガラス粒子に表面にみられる溶解組織

阿蘇山の地殻変動

Crustal Deformations of Asosan Volcano

国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

第１図から第４図は、阿蘇山周辺の GNSS 連続観測結果である。

第１図の上段に基線の配置を、第１図の下段には、各観測局の保守履歴を示した。第２図および第３図は、それぞれ第１図上段に示した基線の基線長変化グラフで、左列は最近約５年間（2016 年 11 月～2021 年 12 月３日）、右列は最近約１年間（2020 年 11 月～2021 年 12 月３日）の時系列である。阿蘇山を取り囲む基線では、2021 年９月頃から伸びが見られる。

第４図は、電子基準点および気象庁の GNSS 観測点の統合解析から得られた水平変動ベクトル図であり、「北方」を固定局としている。第４図上段に最近３か月間（2021 年８月～2021 年 11 月）を、下段に最近１年間（2020 年 11 月～2021 年 11 月）を示した。顕著な地殻変動は観測されていない。

第５図は、「だいち２号」のSAR干渉解析結果である。５月～10月15日のペア(a)では、ノイズレベルを超える変動は見られない。９月～10月25日のペア(b)では、中岳の火口周辺に、10月20日の噴火に伴う火山噴出物によるものとみられる非干渉領域が見られる。

第６図は、「だいち２号」干渉SAR時系列解析結果である。第６図上段は2016年４月～2021年３月の変位速度である。第６図下段は、各地点における変動の時系列データである。中岳第一火口の地点A及び草千里の地点Bを含む広い範囲で、衛星から遠ざかる変動が見られる。

第７図は、阿蘇山の最近３ヶ月（2021年8月～2021年11月）の地殻変動から推定した地殻変動力源である。中岳の北北西約３km、深さ約４kmに球状圧力源が推定されている。このモデルから推定した計算値は観測値を比較的よく再現している。

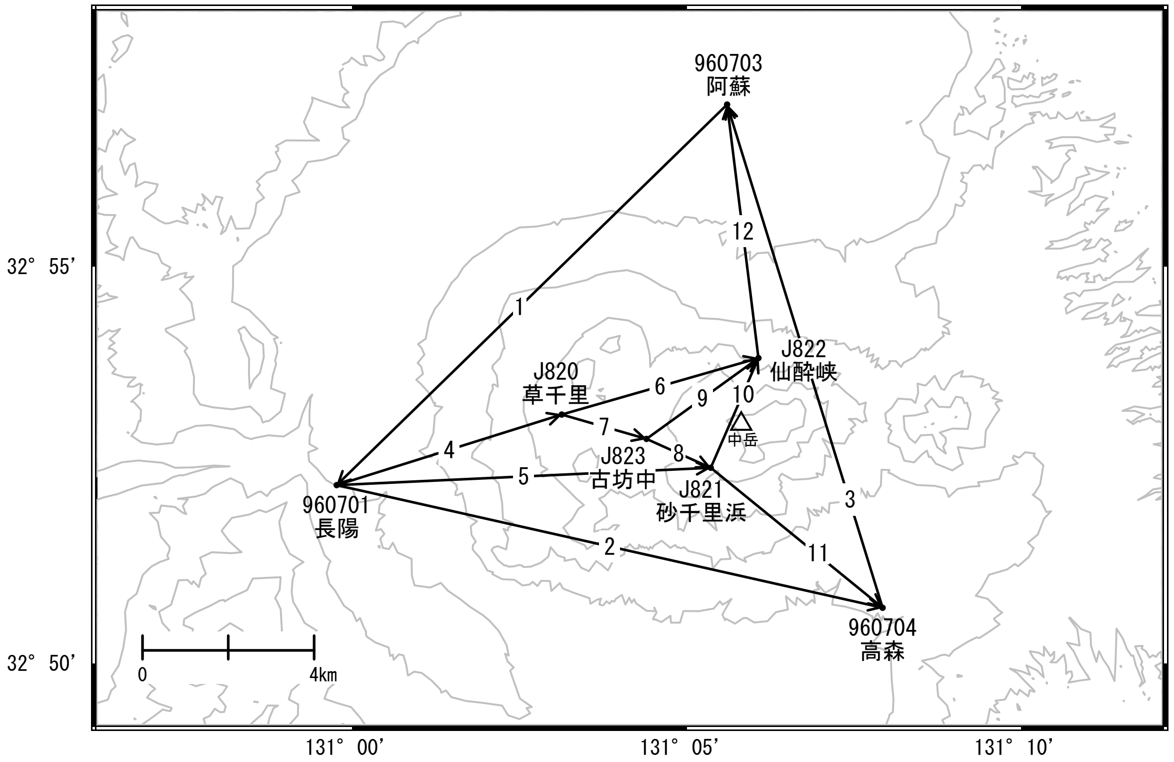
謝辞

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。

阿蘇山

阿蘇山を取り囲む基線で2021年９月頃から伸びが見られます。

阿蘇山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図



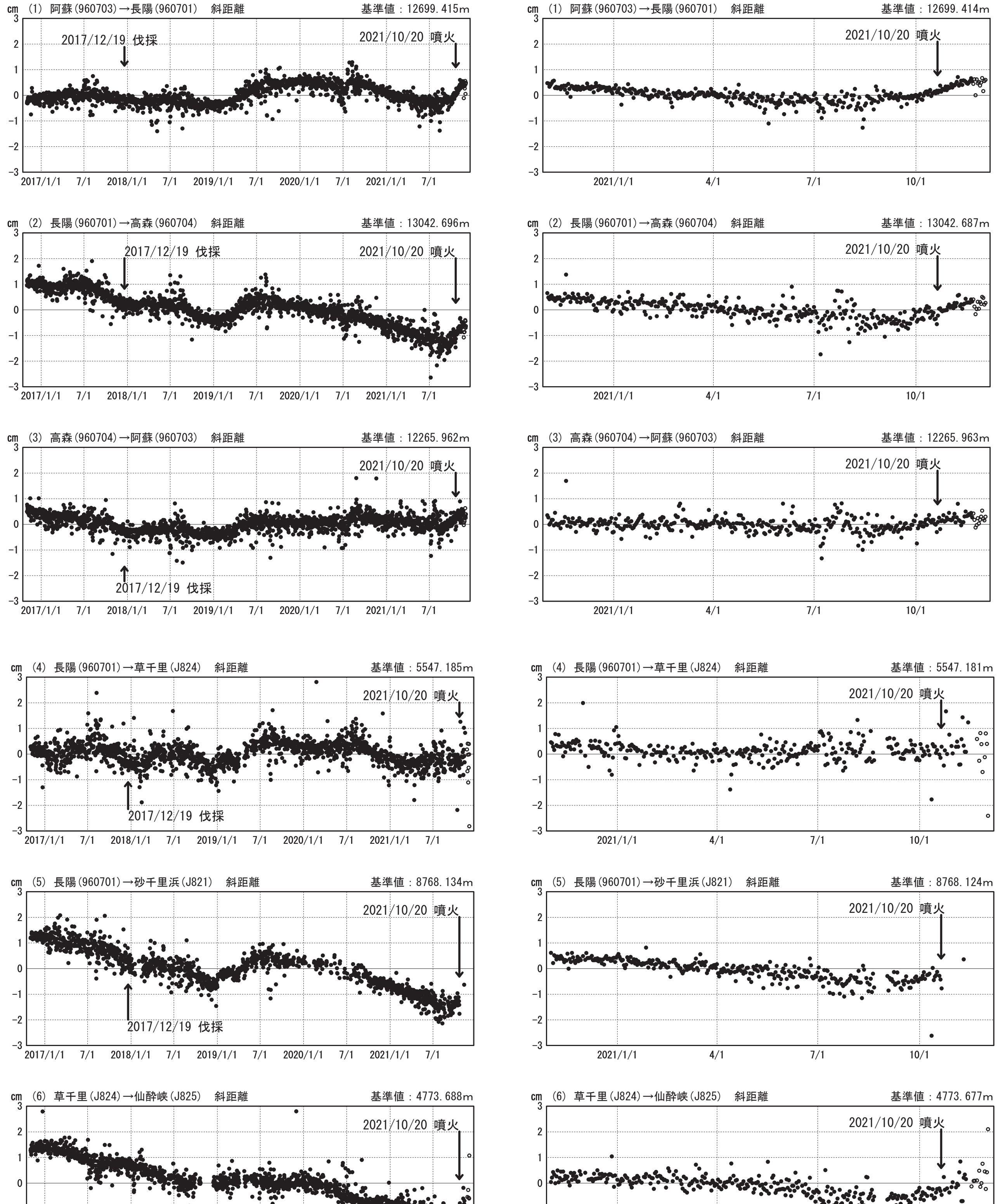
阿蘇山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
960701	長陽	20171219	伐採
		20181219	受信機交換
960703	阿蘇	20171219	伐採
		20191128	受信機交換
960704	高森	20170115	受信機交換

第１図　阿蘇山のGNSS連続解析基線図（上段）、観測局の保守履歴（下段）

基線変化グラフ（長期）
期間: 2016/11/01～2021/12/03 JST

基線変化グラフ（短期）
期間: 2020/11/01～2021/12/03 JST



●---[F5:最終解]　○---[R5:速報解]　　　　国土地理院・気象庁

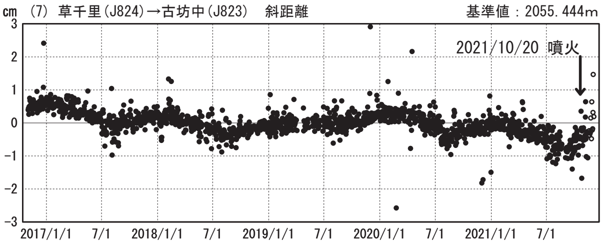
（注）平成28年熊本地震の影響を受けています。
※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

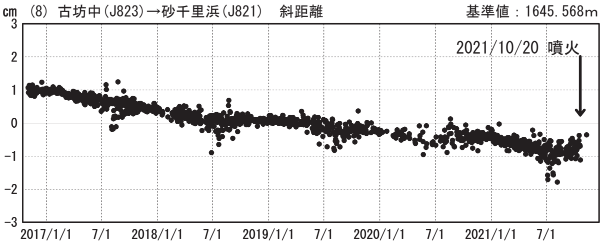
第２図　阿蘇山周辺のGNSS連続解析基線図による基線変化グラフ
（左列：2016年11月～2021年12月３日、右列：2020年11月～2021年12月３日）

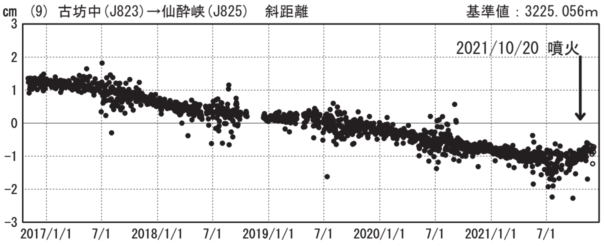
阿蘇山

基線変化グラフ（長期）

期間: 2016/11/01～2021/12/03 JST

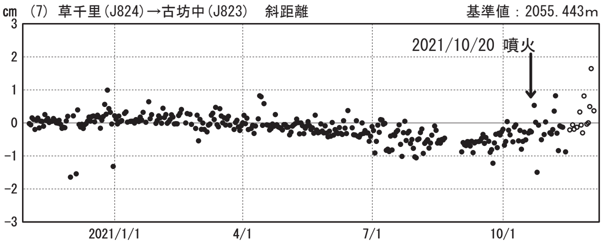


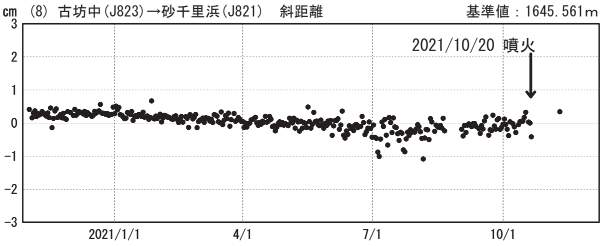


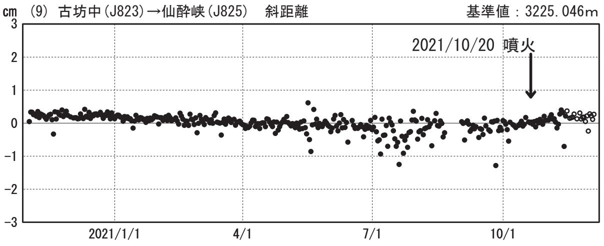


基線変化グラフ（短期）

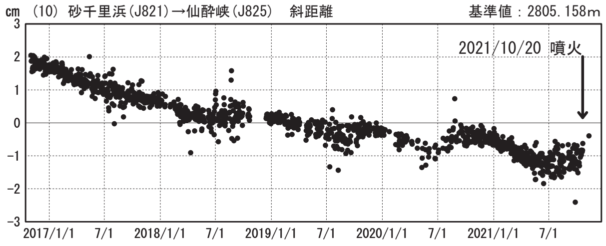
期間: 2020/11/01～2021/12/03 JST

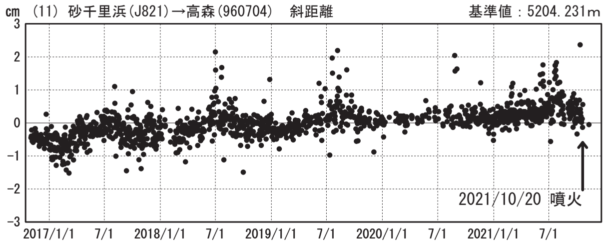


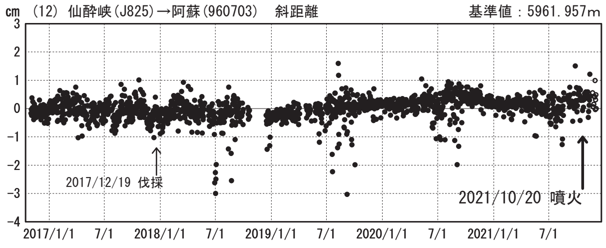




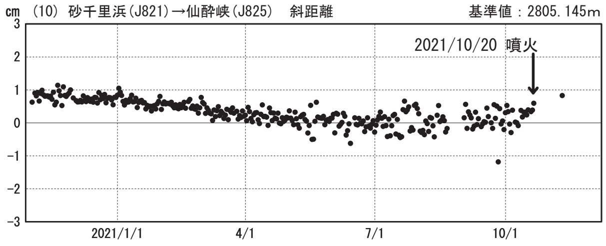
期間: 2016/11/01～2021/12/03 JST

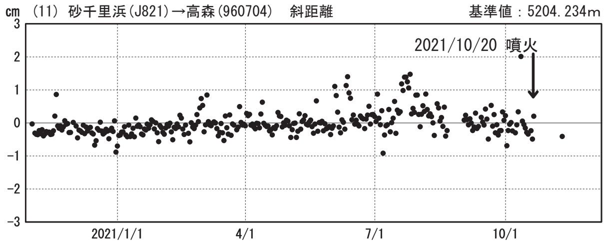


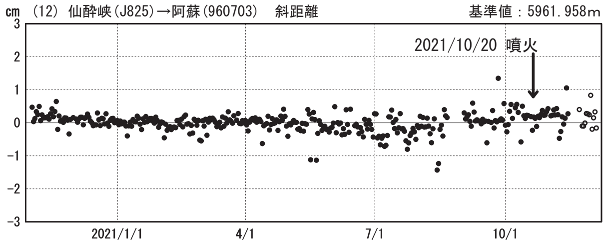




期間: 2020/11/01～2021/12/03 JST







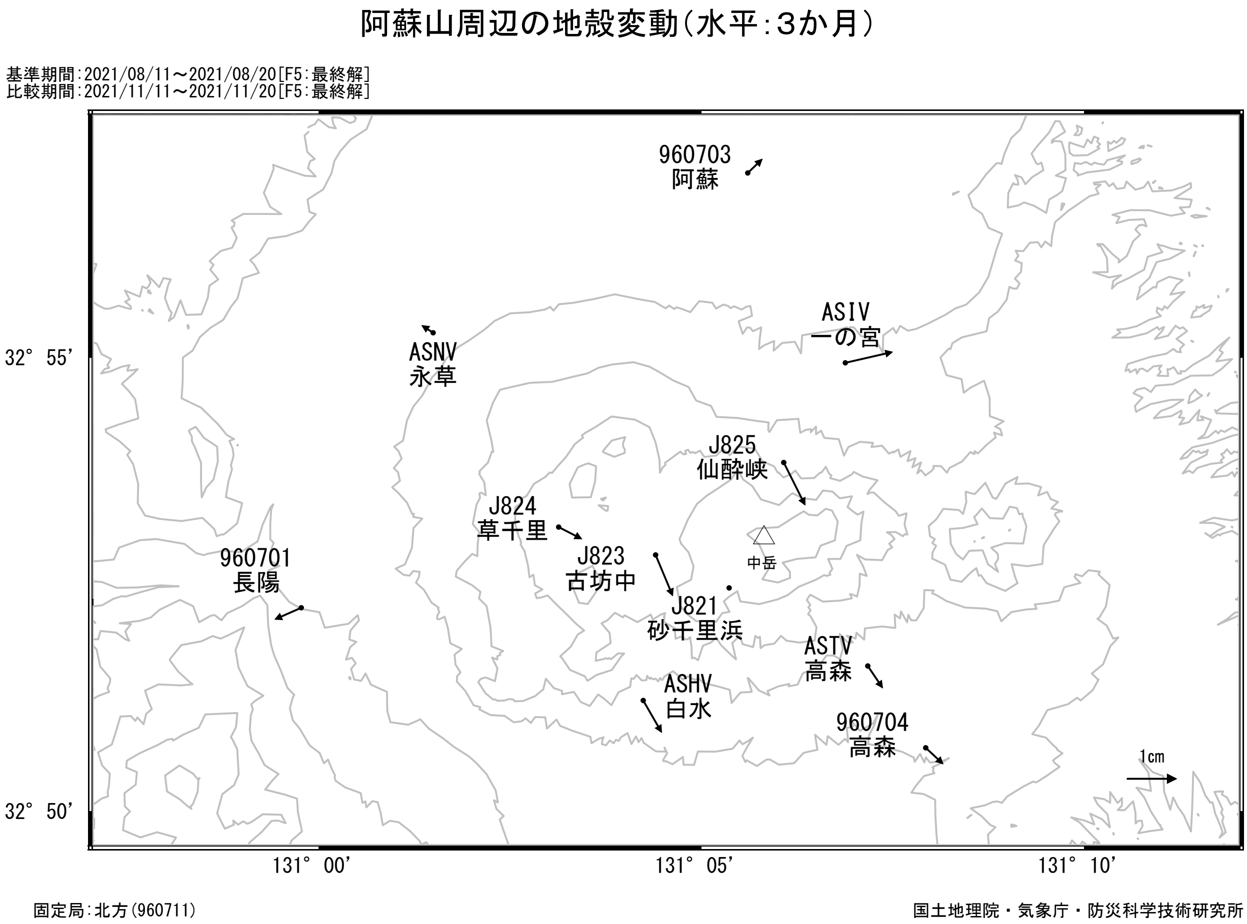
●---[F5:最終解]　○---[R5:速報解]　　国土地理院・気象庁

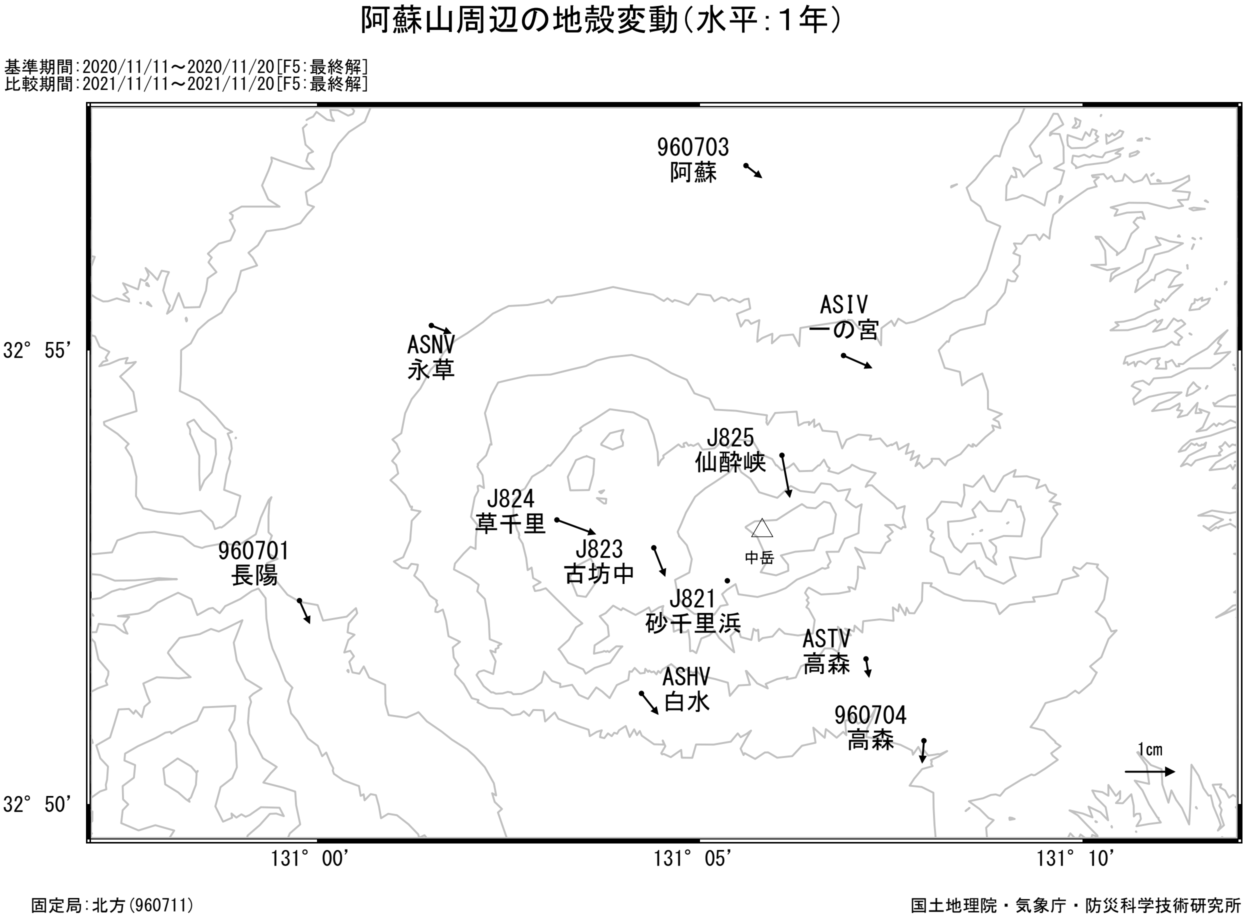
（注）平成28年熊本地震の影響を受けています。

※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

第３図　阿蘇山周辺のGNSS連続観測による基線変化グラフ
（左列：2016年11月～2021年12月３日、右列：2020年11月～2021年12月３日）

阿蘇山

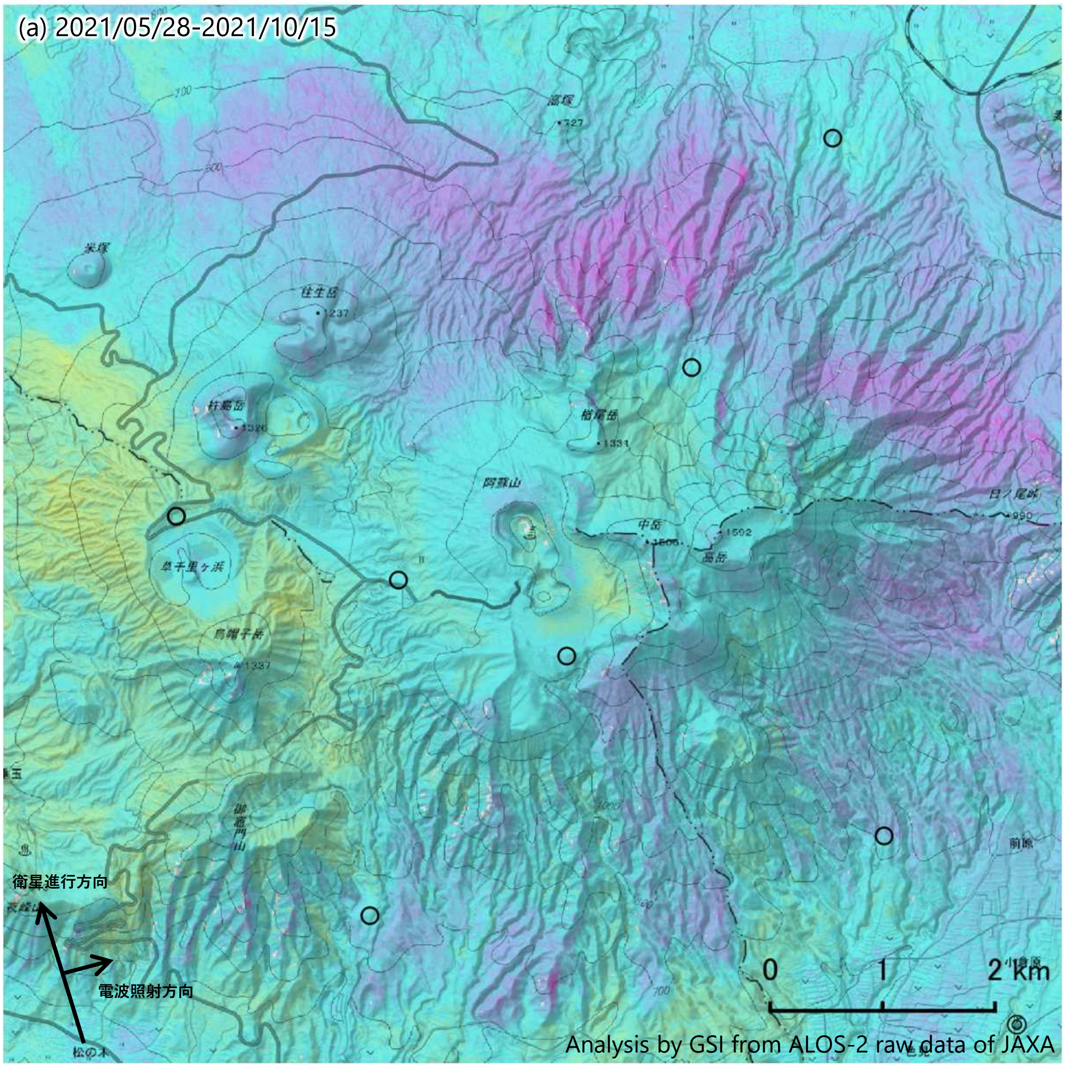




第４図　阿蘇山周辺の電子基準点・気象庁・防災科学技術研究所GNSS観測点の統合解析による
水平変動ベクトル図（上段：2021年８月～2021年11月、下段：2020年11月～2021年11月）　　阿蘇山

阿蘇山のSAR干渉解析結果について(1)

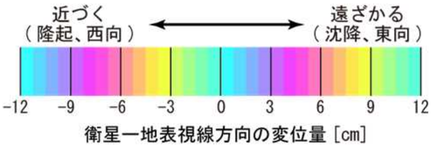
ノイズレベルを超える変動は見られません。



	(a)
衛星名	ALOS-2
観測日時	2021/05/28 2021/10/15 0:12頃 (140日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右(東)
観測モード*	U-U
入射角	35.1°
偏波	HH
垂直基線長	+ 133m

*　U：高分解能(3m)モード

◎　国土地理院GNSS観測点
○　国土地理院以外のGNSS観測点



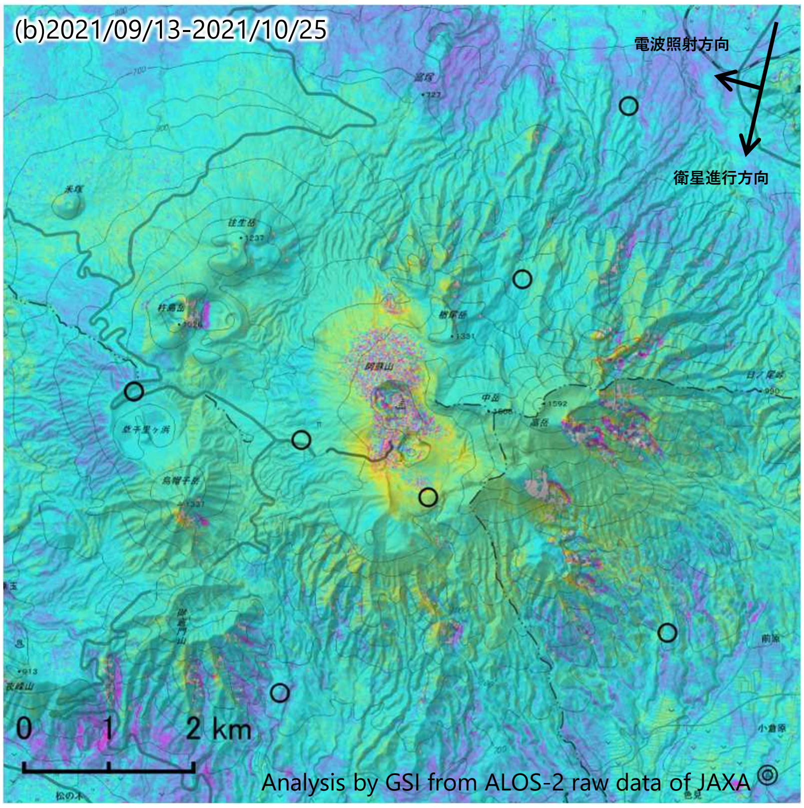
背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

第５図　「だいち２号」PALSAR-2による阿蘇山周辺地域の解析結果

阿蘇山

阿蘇山のSAR干渉解析結果について(2)

中岳の火口周辺に、10月20日の噴火に伴う火山噴出物によるものとみられる非干渉領域が見られます。

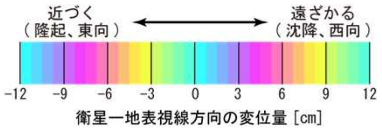


	(b)
衛星名	ALOS-2
観測日時	2021/09/13 2021/10/25 12:19頃 (42日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U-U
入射角	35.3°
偏波	HH
垂直基線長	- 116 m

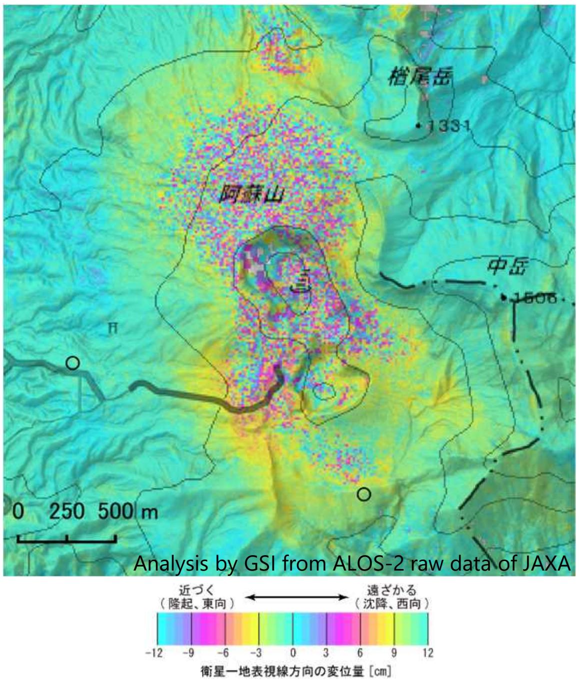
* U：高分解能(3m)モード

◎ 国土地理院GNSS観測点

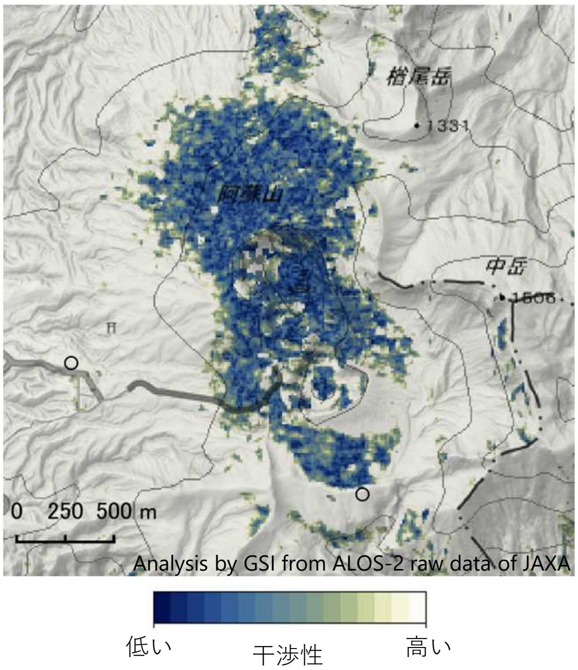
○ 国土地理院以外のGNSS観測点



火口周辺の拡大図



干渉性



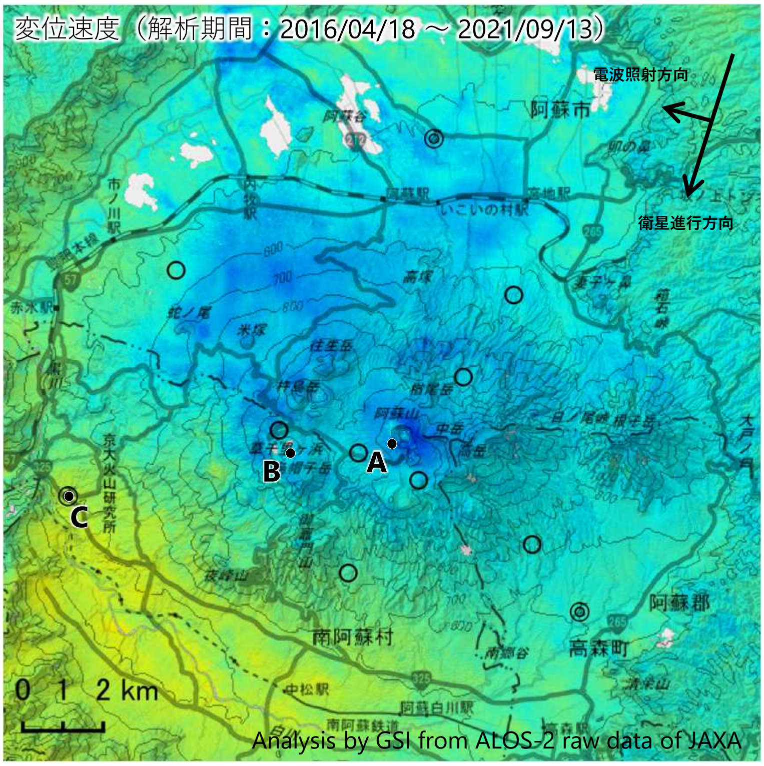
背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

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

第５図つづき　「だいち２号」PALSAR-2による阿蘇山周辺地域の解析結果

阿蘇山の干渉SAR時系列解析結果（南行）

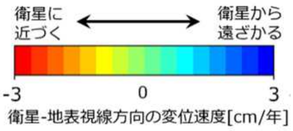
中岳第一火口の地点A及び草千里の地点Bを含む広い範囲に、衛星から遠ざかる変動が見られます。



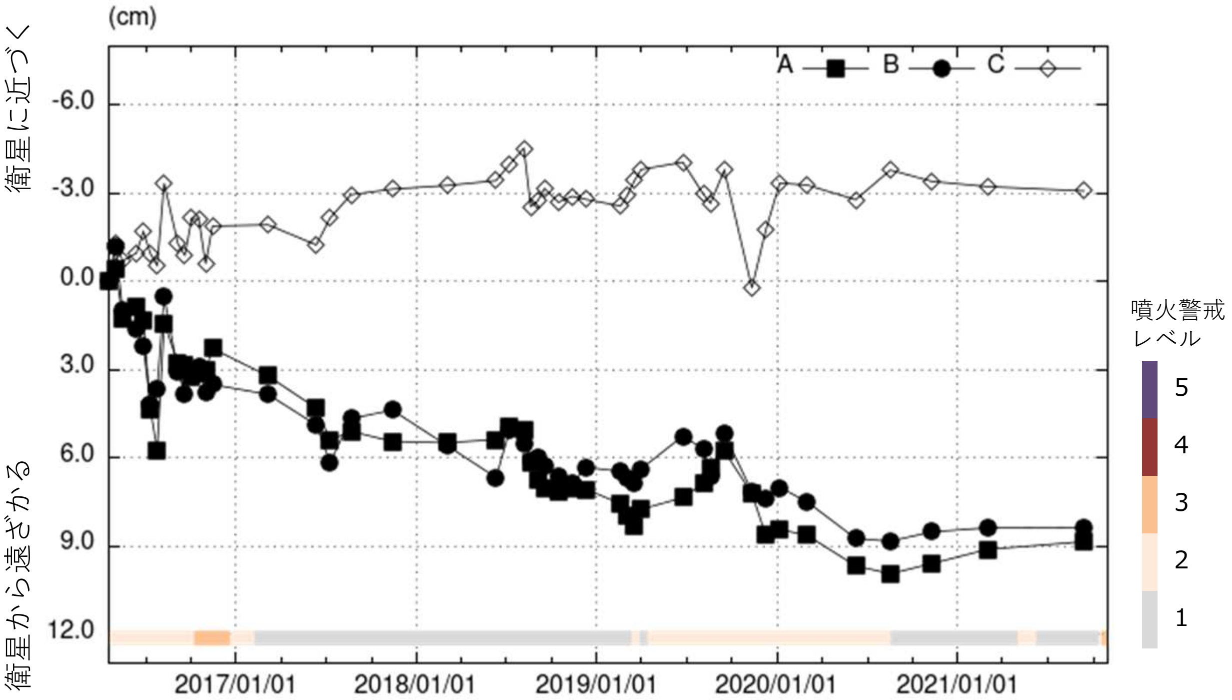
衛星名	ALOS-2
観測期間	2016/04/18 ～ 2021/09/13 (1974日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U
入射角	35.3°
偏波	HH
データ数	46
干渉ペア数	183

* U：高分解能(3m)モード

◎ 国土地理院GNSS観測点
○ 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　※参照点は電子基準点「清和」付近
干渉SAR時系列解析手法：SBAS法



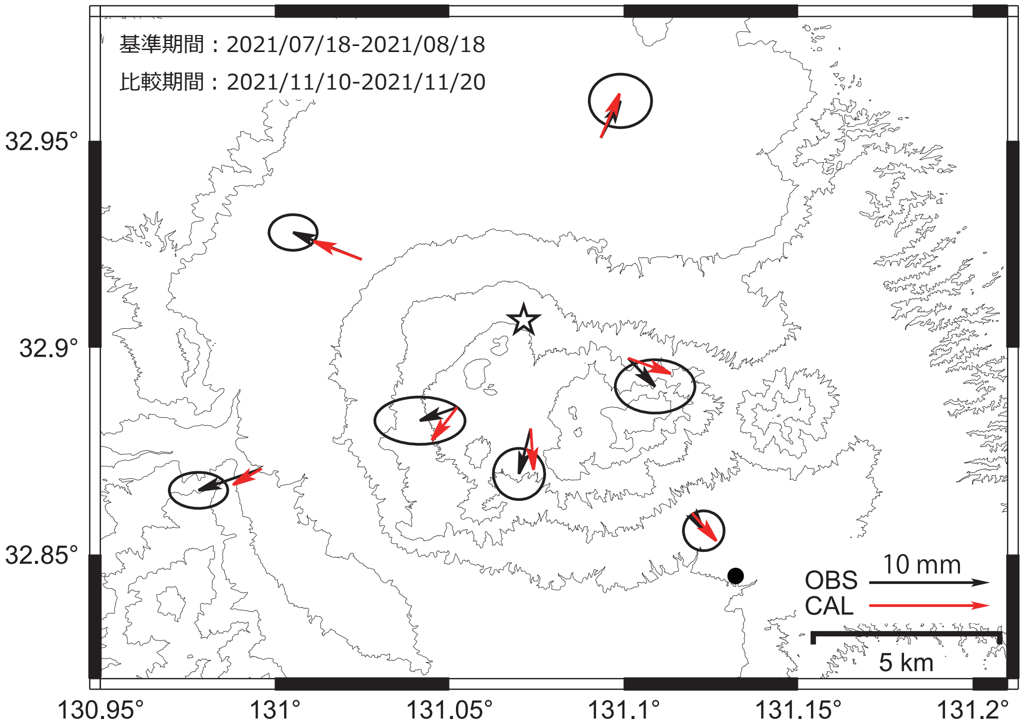
地点A・B・Cにおける衛星-地表視線方向の変位の時系列

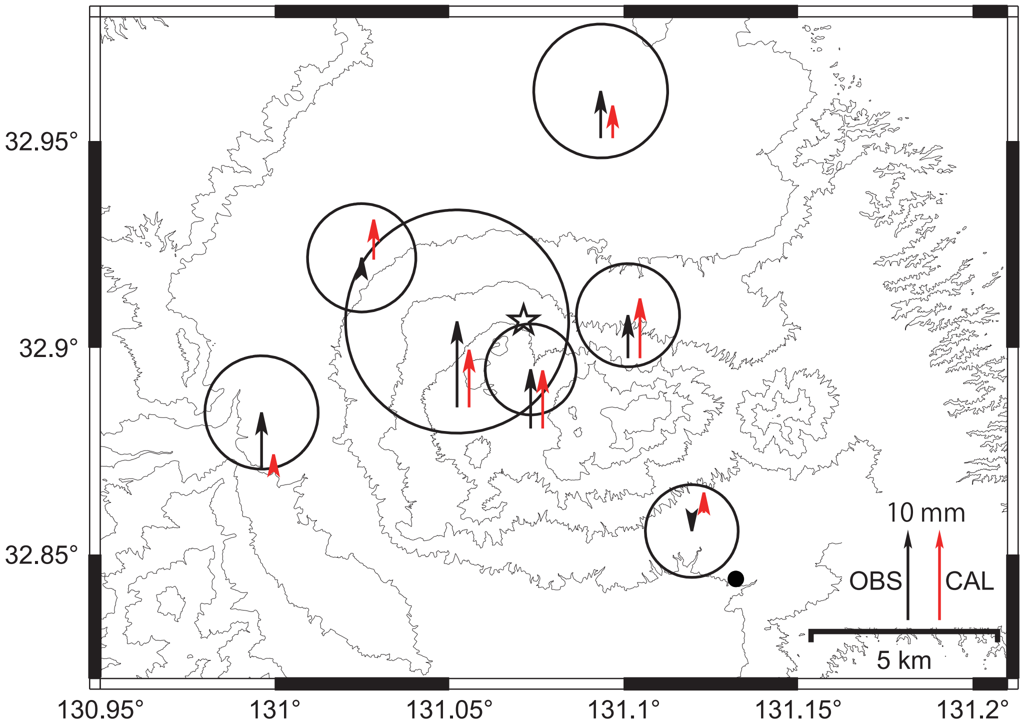
本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

第６図　阿蘇山の干渉SAR時系列解析結果
（上段）変位速度の分布（2016年４月～2021年９月）
（下段）変動の時系列データ（2016年４月～2021年９月）

阿蘇山

阿蘇山の地殻変動力源 (2021 年 8 月～ 11 月)





力源：球：緯度　32.907±0.006°、経度　131.070±0.010°、深さ 4.2±2.0km

体積変化　1.1±0.9 (10^6m^3)

固定点：高森 (960704)

【電子基準点日々の座標値（F5：最終解）を使用】

第 7 図 阿蘇山の地殻変動力源 (2021 年 8 月～ 11 月)（推定力源：星印）

阿蘇火山中岳 2021 年 10 月 14 日噴出物の分布と特徴

熊本大学くまもと水循環・減災研究教育センター
京都大学火山研究センター

阿蘇火山中岳第 1 火口では，2021 年 10 月 20 日噴火に先行して 10 月 14 日 4 時 43 分頃にも噴火が発生した．その噴火では同火口近傍域に噴石が放出されるとともに，阿蘇カルデラ内を中心に火山灰を飛散させた．現地調査を実施した結果，中岳第 1 火口西北西～南西縁で径 30～70 cm 程度の噴石が認められ，降下火山灰は同火口から南東方向に主軸をもって分布しており，その総量は 2,500 トン程度と概算された．

1. はじめに

阿蘇火山中岳第 1 火口において 2021 年 10 月 20 日 11 時 43 分に火砕流と噴石を伴う噴火が起こった（福岡管区気象台 10 月 20 日 13 時および 21 時発表の火山活動解説資料）．また，その噴火に先行して 10 月 14 日 4 時 43 分頃にも噴火が発生し，熊本県高森町・大分県竹田市・宮崎県高千穂町の一部で降灰

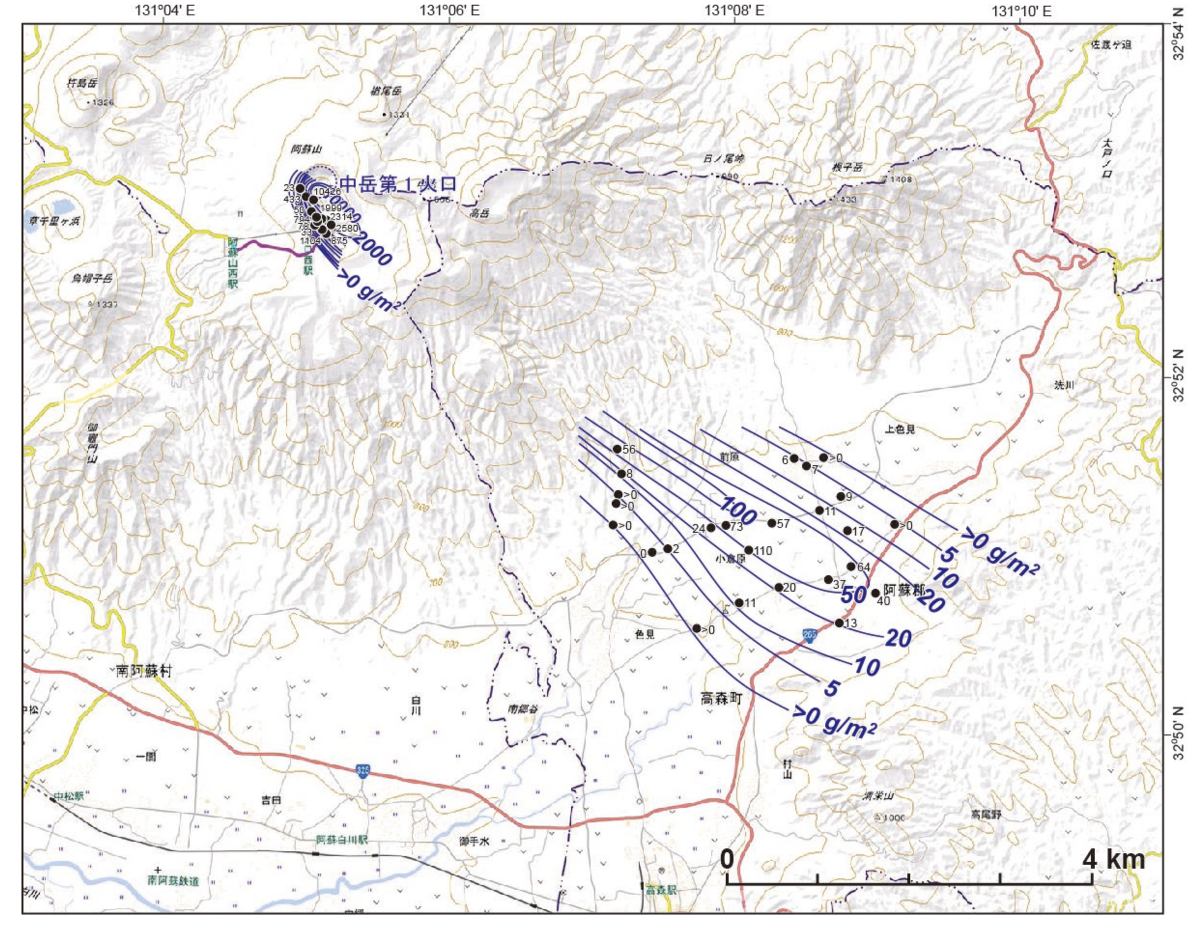


図 1　阿蘇火山中岳第 1 火口における 2021 年 10 月 14 日噴火に伴う火山灰の分布（単位 g/m²）．地理院地図レベル 14 を使用．

が確認されている（福岡管区気象台10月14日16時30分発表の火山活動解説資料）．筆者らは，この10月14日噴火発生直後に火口周辺域や阿蘇カルデラ南東部において噴出物の分布・堆積状況を調査したので，その結果を報告する．

2.　火山灰の分布状況

筆者らは10月14日9時半～18時頃に中岳火口近傍域12地点と火口から南東方にあたる阿蘇カルデラ内（南郷谷）の18地点において建物や道路などの人工物上から定面積試料を採取することができた．定面積で採取した試料は，熊本大学に持ち帰って質量を測定し，1 m^2当たりの質量に換算した．2021年10月14日噴火に伴う火山灰の分布状況を図1に示す．

今回の噴出物は中岳第1火口から南東方向に主軸をもって分布していた．気象庁による調査でも宮崎県高千穂町付近まで降灰が確認できてされており，阿蘇カルデラ南東部での分布傾向と調和的である．

中岳火口近傍域では第1火口南西縁の地点で厚さ1 cm以下の火山灰の堆積が観察され，堆積量は約10 kg/m^2であった．また第2火口南縁付近で800～2500 g/m^2程度の火山灰が堆積していた．

阿蘇カルデラ南半分の南郷谷内で火山灰が最も多かったのは，中岳第1火口南東約6 kmの地点であり，100 g/m^2程度の堆積量であった．その他の地点では5～70 g/m^2前後の火山灰の堆積が観察された．

3.　火山灰の噴出量

得られた降灰量データから5, 10, 20, 50, 100，500，1000，2000，10000 g/m^2の9本の等質量線を描くことができた．火山灰の各等質量線が囲む面積と質量との関係から．降下した火山灰の量は2,500トン程度と概算された．

4.　火口近傍域における噴出物の堆積状況

今回の噴火において特筆すべき点は，噴石が放出されたことである．10月14日午前の現地調査では，中岳第1火口西北西縁から第2火口南縁にかけて多数の噴石が存在することと中岳第1火口中心から450 m程度の範囲にまで噴石が達していることがわかった（図2）．最大のものは70×32×31 cmで，第1火口南西側で認められ，火口中心からの距離は約300 mであった．すべての噴石の大きさを計測したわけではないが，中岳第1火口西北西～南西縁には長径 30～70 cm 程度の噴石が多数観察された（図 3）．この地域における噴石の密度は10 m四方に2～5個程度であった．

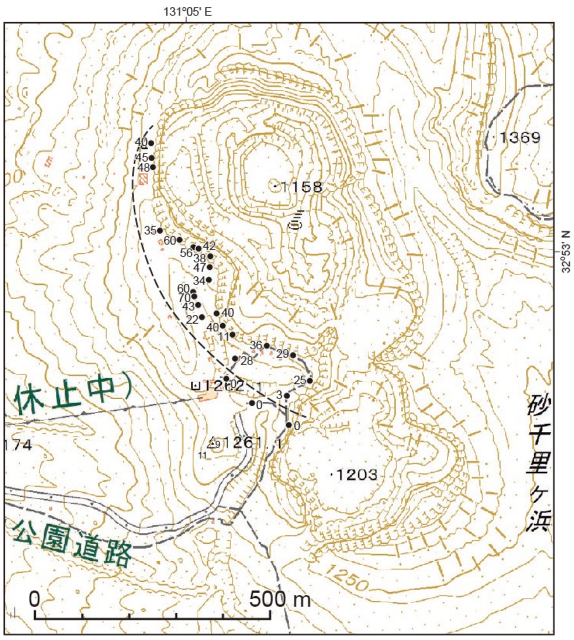


図2　2021年10月14日噴火で放出された噴石の大きさ（長径）の分布（地理院地図レベル 15 を使用）．破線は噴石の分布範囲の限界（西南西～南端）を示す．

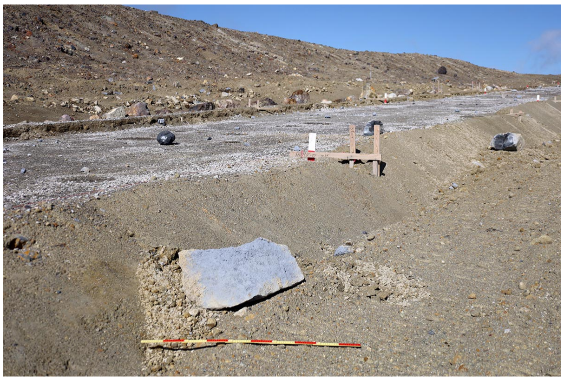


図 3　中岳第 1 火口南西側縁で観察された噴石（写真中央下付近は最大の噴石，長径 70 cm）．

噴石はすべて玄武岩質安山岩質の類質岩片であり，新しいマグマに由来するような岩石ではないと考えられる．また，第 1 火口西～南西側縁の噴石はインパクトクレーター（最大径 1.3 m）を形成しているものが多数発見されたが，2016 年 10 月 8 日噴火時のように，噴石周囲の火山灰が赤褐色に焼かれたような形跡は認められなかった．このことから噴石はそれほど高温ではなかったと推定される．

中岳火口近傍域には厚さ 1 cm 以下の降下火山灰が観察されたが，10 月 14 日午前の調査時に第 1 火口西～南西側縁と第 2 火口南側縁とでは火山灰の産状が異なっていた．まず第 1 火口西～南西側縁の火山灰は暗灰色を呈して，水分を含んだ状態で堆積していた（図 4）．噴石によって形成されたインパクトクレーターを観察すると，その内部に火山灰が存在するものと存在しないものがあり，湿った火山灰の噴出は少なくとも 2 回あったことが伺える．インパクトクレーター内に火山灰が認められる場合，第 1 火口中心方向ではなく，北方から吹き付けたような産状を示していた．

図 5　中岳第 2 火口南縁における降下火山灰．

一方，第 2 火口南側縁の火山灰は 1～3 mm 程度の厚さで，凝集はしているものの，現地調査時には乾燥した状態であった（図 5）．

5.　遠方域における火山灰の特徴

阿蘇カルデラ南東部における中岳 10 月 14 日噴出物は，全体として灰色～灰白色を呈し，道路の路面や人工物上に明瞭に認められた．その堆積物は，わずかに礫画分を含むが，砂

図 4　中岳第 1 火口南西縁に堆積する火山灰（阿蘇火山博物館火口カメラ上）．

図 6　遠方域における火山灰の堆積状況（中岳第 1 火口東南東 5.9 km 地点）

サイズ以下の粒子を主体とする火山灰であった．大部分の調査地点では，数 mm 程度の大きさに凝集した粒子が認められるとともに，降灰域の構造物には，火山灰が泥雨（径 1 cm 以下）として降下した状況も観察できた（図 6）．

6. おわりに

本報では，2021 年 10 月 14 日噴火直後の現地調査結果から，同噴火に伴う火山灰の分布状況など噴出物の特徴について述べた．10 月 14 日の噴出物量は 10 月 20 日のそれよりも一桁少ないものであった，しかし，10 月 14 日の噴火でも多数の噴石が放出されており，中岳第 1 火口中心から 450 m 程度の範囲にまで達していることがわかった．このことから，10 月 14 日噴火は 10 月 20 日よりも規模は小さいものの，爆発的なものであったと筆者らは考えている．現在，火山灰の構成物の観察を進めており，その結果については別途報告する．

謝辞

阿蘇火山防災会議協議会には火口周辺域の現地調査を実施する際にご配慮いただいた．また気象庁による現地調査および聞き取り調査の結果は，阿蘇カルデラ内の降灰調査時に非常に参考になった．心から感謝いたします．

阿蘇火山中岳 2021 年 10 月 20 日噴火に伴う火山灰の分布と量

熊本大学・防災科学技術研究所・産業技術総合研究所

阿蘇火山中岳第 1 火口における 2021 年 10 月 20 日噴火に伴う降下火山灰について現地調査を実施した．今回の火山灰は中岳第 1 火口から南東方向に主軸をもって飛散しており，阿蘇カルデラ南東部だけでなく，約 30 km 離れた宮崎県高千穂町付近まで観察することができ，分布面積は約 400 km^{2}に及ぶことがわかった．そして降下火山灰の量は 15,000 トン程度と概算された．

1.　はじめに

阿蘇火山中岳第 1 火口において 2021 年 10 月 20 日 11 時 43 分に噴火が発生し，火口周辺に火砕流が流下するとともに，噴煙が火口縁上 3,500m まで上昇し，同火口南東方にあたる熊本県高森町・山都町，宮崎県高千穂町・五ヶ瀬町の一部で降灰が確認された（福岡管区気象台 10 月 20 日 13 時および 21 時発表の火山活動解説資料）．筆者らはこの噴火に伴う火山灰の分布状況を調査して噴出

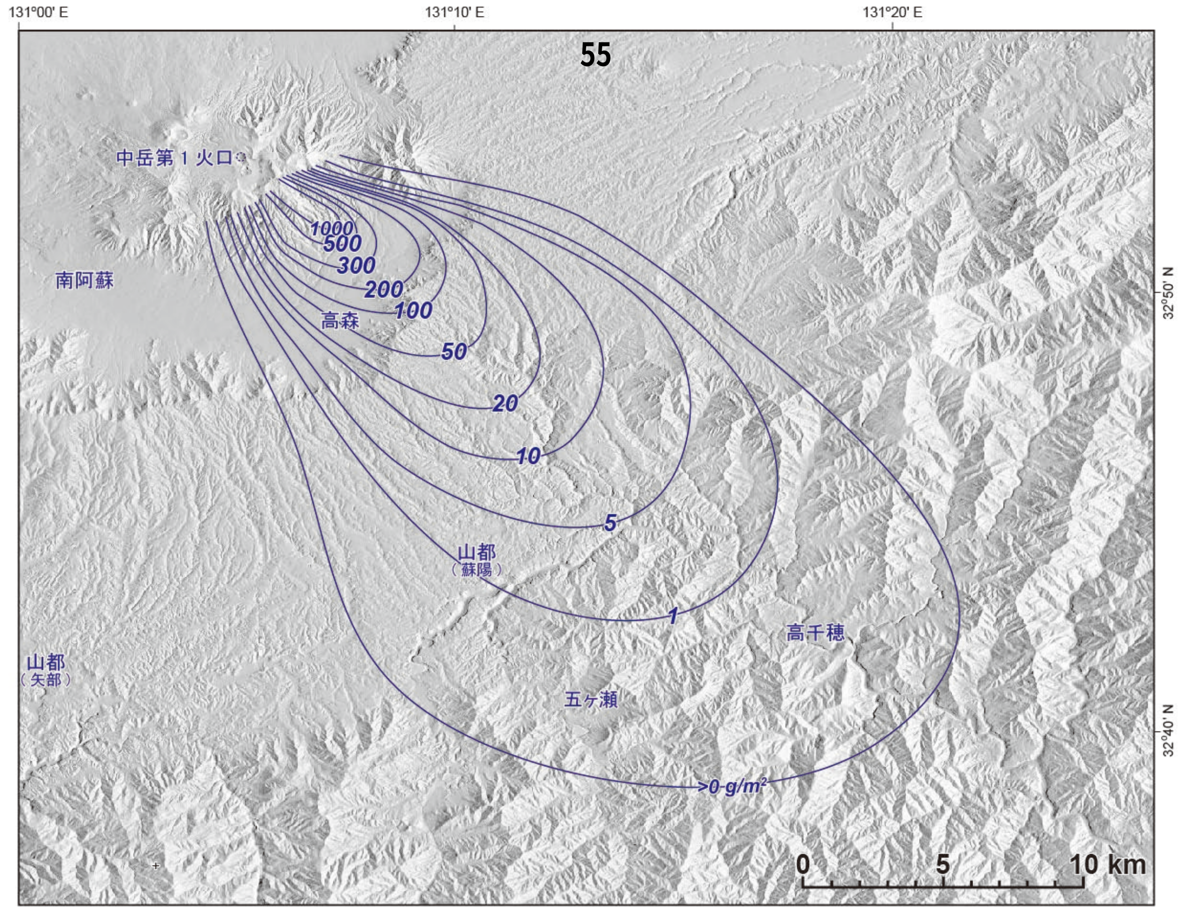


図 1　阿蘇火山中岳における 2021 年 10 月 20 日噴火に伴う火山灰の分布（単位 g/m^2）．陰影図は国土地理院 10 m メッシュ標高データ（DEM）を使用してカシミール 3D で作成した．気象庁による降灰調査結果も参考にして等質量線を描いた．

物量について検討した. 阿蘇カルデラ内のデータを中心とした調査結果を10月25日に速報したが, 今回はカルデラ外で得られたデータも含めた火山灰の分布状況を報告する.

2.　火山灰の分布状況

筆者らは10月20日16時～22日10時頃に, 中岳第 1 火口縁から南東方の熊本県高森町・南阿蘇村, さらに遠方にあたる山都町, 宮崎県高千穂町・五ヶ瀬町にかけての地域で噴出物の分布状況を調査した. まずは火山灰の有無を確認し, 阿蘇カルデラ内の 46 地点およびカルデラ外の 18 箇所において道路や構造物などの人工物上から定面積試料を採取することができた. 定面積で採取した試料は持ち帰って質量を測定し, 1 m^{2}当たりの質量に換算した. 2021 年 10 月 20 日噴火に伴う火山灰の分布状況を図 1 に示す.

今回の火山灰は中岳第1火口から南東方向に主軸をもって飛散しており, 阿蘇カルデラ南東部だけでなく, 約 30 km 離れた宮崎県高千穂町付近まで観察することができ, 分布面積は約 400 km^{2}に及ぶことがわかった. このことは気象庁による聞き取り調査の結果とも調和している.

調査地点のなかで火山灰が最も多かったのは高岳南南東麓にあたる地点（中岳第 1 火口南東 4.2 km）であり, 1.3 kg/m^{2}程度の堆積量で, 厚さにして約 1 mm であった. また南東側カルデラ壁直下付近では, 200 g/m^{2}前後の火山灰の堆積が認められた.

阿蘇カルデラ外での火山灰の堆積量は, 中岳第 1 火口から 10 km 程度離れた地域で 10～40 g/m^2, 20 km 以遠の地域では 1 g/m^{2}以下であった.

3.　火山灰の噴出量

得られた降灰量データから 1, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 g/m^{2}の 10 本の等質量線を描くことができた. 火山灰の各等質量線が囲む面積と質量との関係から. 降下した火山灰の量は 15,000 トン程度と概算され, カルデラ内のデータに基づく算出結果とほぼ同じ値であった. 今回はより多量の火山灰が存在すると考えられる火口から 4 km 以内の地域での調査が行えていないため, 15,000 トンという火山灰の量は実際の噴出物量の下限に近い値かもしれない. なお, この火山灰の量には火口周辺域の火砕流堆積物の量は含まれていない.

4.　火山灰の堆積状況

阿蘇カルデラ南東部で観察された中岳 10 月 20 日噴出物は, 全体として灰色を呈し, 0.25 mm 以下の粒子を主体とする細粒火山灰である. カルデラ内の大部分の調査地点では, 径 1～2 mm 程度の大きさに凝集した粒子が顕著に認められた（図 2）. また, 降灰域に駐車されていた自動車や構造物には, 火山灰が泥雨として降下した状況も観察できた.

図 2 中岳 10 月 20 日火山灰の堆積状況（中岳第 1 火口南東 4.2 km 地点で 20 日 17 時 40 分撮影）

筆者らが阿蘇カルデラ外で降灰調査を実施できたのは 10 月 21 日朝からである. 噴火から 1 日程度経過していることもあって風などで失われつつある状況ではあったが, 人工物上に少量の火山灰を観察することがで

きた（図 3）.

図 3 中岳第 1 火口南東約 12 km 地点での火山灰の堆積状況（10 月 21 日 14 時撮影）．波板の窪みに火山灰が堆積している．

5. おわりに

本報では, 阿蘇カルデラ内外での降灰調査結果から 2021 年 10 月 20 日中岳噴火に伴う火山灰の分布状況と量について述べた.

筆者らが概算した 15,000 トンという火山灰の量は実際の噴出物量よりもかなり少ない可能性はある．しかし，今回報告した値は実測のデータにもとづく算出結果であることをご理解いただきたい.

内閣府「降灰調査データ共有化スキーム」に基づく気象庁からの迅速な情報提供は, 筆者らによる現地調査やとりまとめの際に非常に参考になった．心から感謝いたします.