

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

桜島火山における火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測のための総合的観測研究

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(5) 火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(2) 低頻度大規模地震・火山噴火現象の解明

火山

(4) 火山現象の解明とモデル化

ア. 火山現象の定量化と解明

イ. マグマ溜まりと火道内過程のモデル化

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ウ. 火山噴火を支配するマグマ供給系・熱水系の構造の解明

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(4) 中長期的な火山活動の評価

ア. 火山噴火の長期活動の評価

イ. モニタリングによる火山活動の評価

5 計画を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

エ. 桜島大規模火山噴火

(5) 総合的研究との関連：

桜島大規模火山噴火

(6) 本課題の5か年の到達目標：

火山性流体の貫入・噴出の量やその時間変化率などに着目し、噴火先行現象、噴火発生、噴火規模・様式の変化など、先行現象から噴火終息までの一連の活動推移をモデル化する。現在のデータや試料だけでなく、過去のデータや資料・試料を解析・分析することで、大正噴火クラスの大規模噴火の事象分岐条件も含めた火山活動推移モデルの構築を進め、火山噴火予測手法の高度化をする。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

桜島の火山活動推移モデルを構築し、事象分岐条件に各観測および調査から得られるパラメータを付与し、そして予測につなげるために、前計画研究課題「桜島火山におけるマグマ活動発展過程の研究」実施の観測の継続をする。5か年通じて以下の連続観測および調査を実施する。

- ・ 桜島および南九州における稠密連続地震観測
- ・ 桜島および南九州における稠密連続GNSS観測
- ・ 桜島における地殻変動連続観測

- ・MT連続観測
- ・絶対重力計もしくは超伝導重力計による重力連続観測
- ・光学式ディストロメータを用いた火山灰連続観測
- ・温泉ガス連続観測
- ・土壌二酸化炭素放出率観測
- ・火山灰の現地サンプリング調査と岩石組成および付着ガス成分分析
- ・二酸化硫黄放出率観測

また、5か年通じて以下の繰り返し観測を実施する。

- ・重力測定（毎年10月実施）
- ・水準測量（毎年11月実施）
- ・稠密GNSS観測（毎年11月実施）

そのほか、年度毎に以下の観測を実施する。

- ・令和元年（2019年）度においては、人工地震探査を12月第一週に実施する。桜島北部において2014年と2016年実施と同じ測線（爆破6カ所）にて、南側において2013年実施と同じ測線（爆破4カ所）にて探査を実施する。
- ・令和2年（2020年）度においては、鹿児島湾においてキャンペーン海底地震観測を実施する。
- ・令和3年（2021年）度においては、これまで継続してきた絶対重力連続観測から超伝導重力連続観測へ移行する。また、鹿児島湾においてキャンペーン海底地震観測を実施する。
- ・令和4年（2022年）度においては、2019年度実施の人工地震探査と同じ測線と爆破点に人工地震探査を行い、時間変化の検出を試みる。新しく開発する小型拡散放出二酸化炭素率測定装置の設置を行う。
- ・令和5年（2023年）度においては、鹿児島湾においてキャンペーン海底地震観測を実施する。拡散放出二酸化炭素率観測を実施する。

上記は観測実施項目であるが、1980年代からの過去データおよび、大正噴火および昭和噴火の当時の資料・試料を活用して、桜島の火山活動推移モデルを構築と事象分岐条件へのパラメータを付与に役立てる。

(8) 令和3年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

2017年11月から桜島南岳の噴火活動が活発化している。2017年11月以降の噴火活動は20日以上休止期間によって6つのEpisodeに分けられる。そのうち、2019年9月から2020年6月まで続いたEpisode5は最も噴火回数と火山灰放出量が多い。伸縮計の記録から膨張—収縮イベントの検出を行った。2017年11月以降の、膨張—収縮イベントは4180回であり、そのうち、1230回が噴煙の放出、爆発地震、空気振動から噴火と識別される事象に対応する。残りの2950回は、従来の噴火リストに挙げられていないものであるが、明瞭な膨張—収縮を伴い、火口上には白煙が目視できることから、火山ガスの放出に関連したイベントと考えられる。これを、噴火活動に伴わない膨張—収縮イベントを非噴火地盤変動イベントとして、発生頻度と地盤変動を引き起こす圧力源の体積変化量を検討したところ、Episodeの前半ではgas-richなマグマの貫入と放出が卓越するが、Episodeの進行とともに脱ガスが進行し、ash-richなマグマの貫入が卓越することが分かった（図1）。このことはEpisode前半にSO₂放出率が高く、後半には低下することと整合的である。

観測量による放出火山灰量の推定を目的に、南岳火口での噴火に伴う空気振動エネルギー（ E_1 ）と地盤変動量、放出火山灰量の関係を検証した。瞬間的なガス放出の後に火山灰が噴出する爆発イベント（ブルカノ式噴火）では、ガス放出の影響を避けるために初動到達時から5秒以降の時間窓で E_1 を計算した。各イベントの E_1 と地盤変動量の相関係数は0.73と求まり、 E_1 が観測坑道で得られる地盤変動量に概ね対応する観測量であると評価した。また、月別の全イベントの E_1 の総和と月別降下火山灰量の相関係数は0.75であり、線形回帰によって推定される変換係数（ton/J）は 2.3×10^{-5} となった（図2）。変換係数と E_1 により月別放出火山灰量を推定すると、概ね良好な結果が得られた（図2）。

2017年11月13日南岳爆発に伴う傾斜ひずみ変化から、個々の噴火に伴う地殻変動が南岳下の変動源のみならず北岳下の変動源にまで及んでいることが示された（Hotta and Iguchi, 2021）

11月に水準測量を実施し、前回測量からの1年間の地盤上下変動量を見積もった。得られた結果か

ら、桜島中央部付近において、最大約7mmの地盤沈降が生じていることが確認された(図3)。この期間、南岳直下のマグマ溜りにおいては減圧傾向であったと考えられる。また、桜島北部において地盤沈降が認められ、始良カルデラのマグマ溜りにおける増圧が顕著ではないことを示唆する。10月に相対重力観測を実施した。この重力観測データを1998年~2021年3月の重力観測データと統合して解析したところ、桜島中央部では最大4.3 microGal/yrの経年的な重力増加が継続していることが分かった(図4)。このような重力増加は1970年代~1990年代前半の南岳噴火活発期にも確認されており、この当時の重力増加は桜島中央部直下における脱ガスマグマの密度増加によって説明されている。したがって、南岳噴火活発期のような桜島直下の質量増加が現在も継続していることを示唆している。また、10月に有村観測坑道において28日間連続にて絶対重力観測を実施した。そして、2017年以降において4.5microGal/yrの有意な重力増加が検出され(図5)、相対重力にて見られた桜島中央部の重力増加と同等である。

2018年に観測した上空二酸化硫黄観測網のスペクトルの再解析をおこない桜島の二酸化硫黄放出率を求めたところ、閉塞に伴って減少するパターンだけでなく、爆発前に顕著な増減を示さないパターンや上昇してから爆発するパターンなどを検出した。

複数の観測点で記録された地震波連続記録データの相関関数にて、桜島で観測されたB型地震と連続微動を自動検出し、震源決定を行った。その結果、両者とも山頂火口下の深さ4kmまでに、また水平方向の分布は深部へ貫入したと推定されているダイクの走行に沿っていることが明らかとなった(図6)。始良カルデラ(錦江湾)において繰り返し海底地震観測を2014年度から実施しており、2020年12月8日に投入したOBSを2021年6月22日に回収し、同日再設置を行った(図7)。

以上により、始良カルデラから桜島へのマグマ移動は顕著ではないが継続しており、gas-richな噴火などにより、脱ガスが継続しているため、その分桜島直下における質量増加が進んでいると考えられる。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況

2017年以降の南岳活動期において、始良カルデラから桜島へのマグマ移動は顕著ではないが継続しており、gas-richな噴火などにより、脱ガスが継続しているため、その分桜島直下における質量増加が進んでいると解釈することにより、桜島火山の火山活動推移モデル構築に貢献した。また、2017年以降の南岳活動期では火山灰量の生産が、2016年までの昭和火口活動期に比べて少ないことから、土石流ポテンシャルの低下を指摘することで、課題DPRI12を通じて総合的研究への貢献をした。

(9) 令和3年度の成果に関連の深いもので、令和3年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :

・論文・報告書等

Hotta, K. and M. Iguchi, 2021, Tilt and strain change during the explosion at Minami-dake, Sakurajima, on November 13, 2017, Earth Planets Space, 73, 70, doi:10.1186/s40623-021-01392-6

Permana, T., T. Nishimura, H. Nakahara and N. Shapiro, 2021, Classification of volcanic tremors and earthquakes based on seismic correlation: application at Sakurajima volcano, Japan, Geophys. J. Int., 229, 1077-1097, doi:10.1093/gji/ggab517

風間卓仁・山本圭吾・大柳諒・岡田和見・大島弘光・竹中悠亮・若林環・井口正人, 2021, 桜島火山における繰り返し相対重力測定(2020年10月および2021年3月), 桜島火山における繰り返し相対重力測定(2020年10月および2021年3月), 64B, 73-85

・学会・シンポジウム等での発表

井口正人, 2021, 非噴火地盤変動による桜島火山の活動評価, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC28-04

中道治久, 2021, 2015年8月15日桜島群発火山構造的な地震の発生過程, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC28-13

常松佳恵・猿田周朔・山田大志・井口正人, 2021, 桜島火山における放出岩塊のハイスピード映像観測と数値モデル, 日本地球惑星科学連合2021年大会, MIS13-04

村松弾・相澤広記・横尾亮彦・井口正人, 2021, 桜島昭和火口のブルカノ式噴火に先行する火映変動現象の解析, 日本地球惑星科学連合2021年大会, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SVC31-07

風間卓仁・大柳諒・山本圭吾・岡田和見・大島弘光, 2021, 可搬型相対重力計の感度および器械ドリフ

トの個体差に関する考察,2021年度桜島大規模火山噴火総合研究グループ研究集会,5
風間卓仁・大柳諒・山本圭吾・岡田和見・大島弘光・井口正人,2022,桜島火山における相対重力繰り返し測定(2021年度),令和3年度京都大学防災研究所研究発表講演会,B110
山本圭吾・松島健・吉川慎・井上寛之・園田忠臣・竹中悠亮・名田彩乃・岡田和見・及川純・大柳諒・南野一樹・井上温史・西下聡一郎・工藤直樹・大倉敬宏,2022,精密水準測量による桜島火山の地盤上下変動(2020年11月~2021年11月),令和3年度京都大学防災研究所研究発表講演会,P32

(10) 令和3年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

項目: 火山: 地殻変動: 水準測量

概要: 11月に桜島島内において水準測量を実施した。参加機関は京都大学・九州大学・北海道大学・東京大学・気象庁である。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 鹿児島県鹿児島市桜島 31.593650 130.633882

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中(協議のうえ共同研究として提供可)

項目: 火山: 地殻変動: 重力測定

概要: 桜島火山周辺の重力点でキャンペーン相対重力測定を実施した。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 鹿児島県鹿児島市桜島 31.58963 130.60137

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開中(論文・データジャーナル・報告書等)

<https://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no64/ronbunB/a64b0p07.pdf>

項目: 火山: 地殻変動: 重力測定

概要: 桜島火山の有村および黒神にて、相対重力連続観測を実施した。

既存データベースとの関係:

調査・観測地域: 鹿児島県鹿児島市桜島 31.56016 130.67215

調査・観測期間: 昨年度より継続-次年度も継続予定

公開状況: 公開留保中(協議のうえ共同研究として提供可)

(11) 令和4年度実施計画の概要:

地震、GNSS、伸縮、傾斜、ガス等の連続観測を行う。そして、地盤変動・地震・空振の観測量による火山灰放出様式の定量的記載をする。爆発的噴火前後の二酸化硫黄放出率変動と地球物理学的観測との比較検討を行う。10月に相対重力測定と絶対重力測定を実施し、3月に相対重力測定を実施する。そして、桜島火山における重力の長期的な時空間変化を把握し、火山内部のマグマ質量蓄積プロセスを明らかにする。また、超伝導重力計観測実施のための調査を行う。11月に水準測量と稠密GNSS観測を実施する。鹿児島湾においてキャンペーン海底地震観測を実施し、始良カルデラ周辺の地震活動を把握する。12月上旬に人工地震探査を行い、地下構造の時間変化の検出を試みる。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

中道治久(京都大学防災研究所),井口正人(京都大学防災研究所),為栗健(京都大学防災研究所),山本圭吾(京都大学防災研究所),大見士朗(京都大学防災研究所),山田大志(京都大学防災研究所)
他機関との共同研究の有無: 有
青山裕(北海道大学大学院理学研究院),中川光弘(北海道大学大学院理学研究院),西村太志(東北大学大学院理学研究科),山本希(東北大学大学院理学研究科),太田雄策(東北大学大学院理学研究科),森俊哉(東京大学大学院理学系研究科),今西祐一(東京大学地震研究所),大湊隆雄(東京大学地震研究所),野上健治(東京工業大学理学院),神田径(東京工業大学理学院),堀田耕平(富山大学都市デザイン学部),前田裕太(名古屋大学大学院環境学研究科),大倉敬宏(京都大学大学院理学研究科),横尾亮彦(京都大学大学院理学研究科),風間卓仁(京都大学大学院理学研究科),松島健(九州大学大学院理学研究院),相澤広記(九州大学大学院理学研究院),中尾茂(鹿児島大学地震火山地域防災セン

ター),八木原寛(鹿児島大学地震火山地域防災センター)

(13) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 火山活動研究センター

電話: 099-293-2058

e-mail: nakamiti@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL: <http://www.svo.dpri.kyoto-u.ac.jp/svo/>

(14) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名: 中道治久

所属: 京都大学防災研究所火山活動研究センター

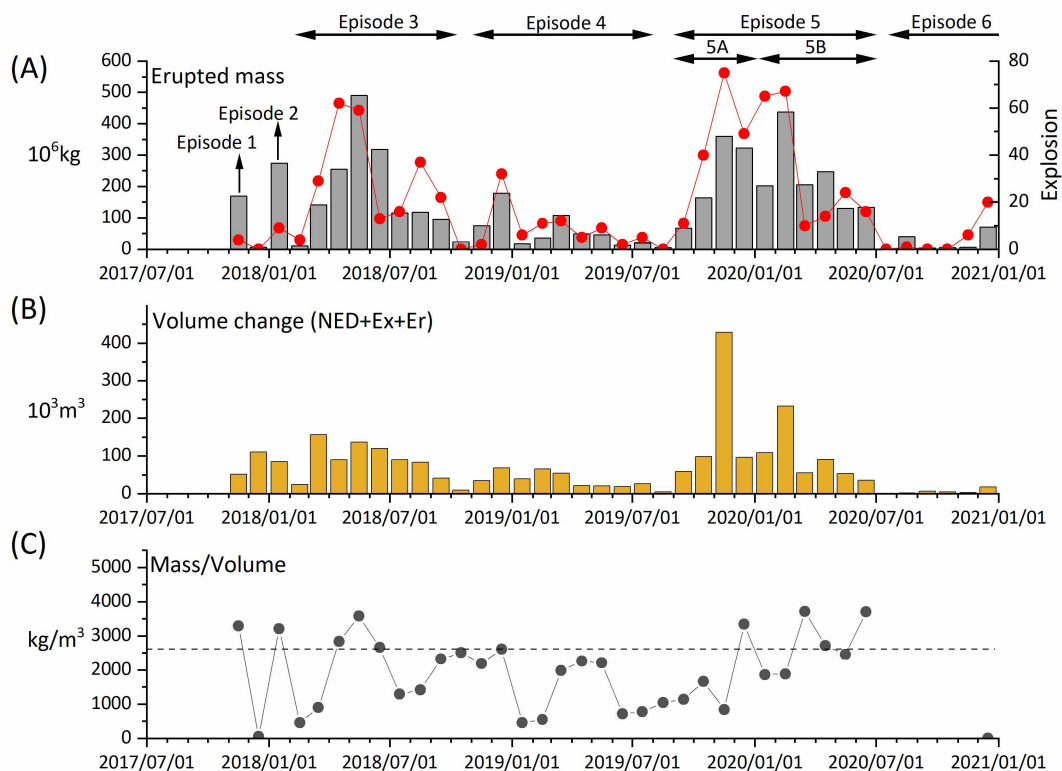


図 1

圧力源の体積変化と火山灰質量との比較。(A) 月毎の火山灰質量(灰色バー)と月毎の爆発回数(赤点)。(B) 噴火と非噴火地盤変動イベントによる圧力源の体積変化の月積算値。(C) 月毎の圧力源の体積変化に対する火山灰質量の比。

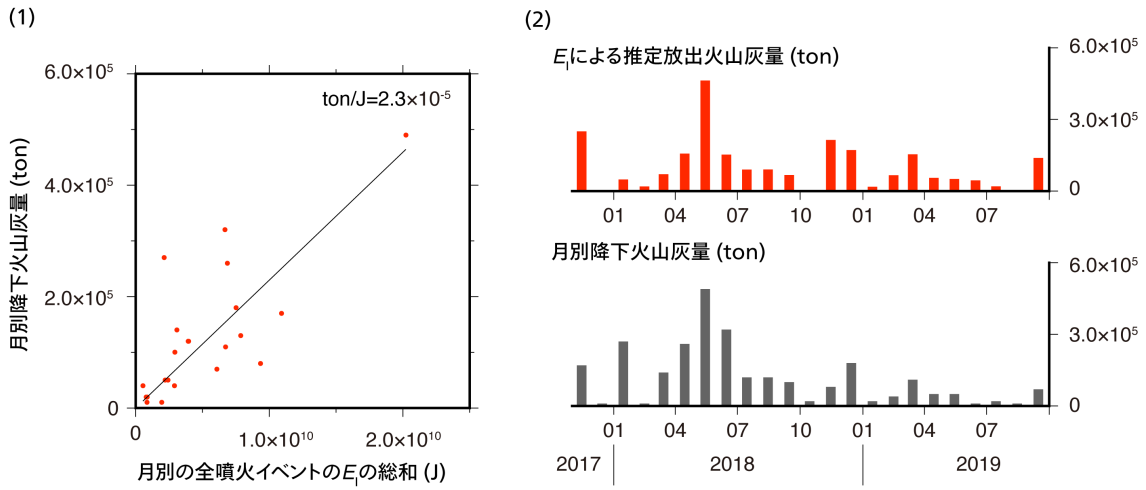


図2
 (1) 月別の全噴火イベントの空気振動エネルギー (E_1) の総和と月別降下火山灰量の比較。(2) 月別降下火山灰量推定の時系列。

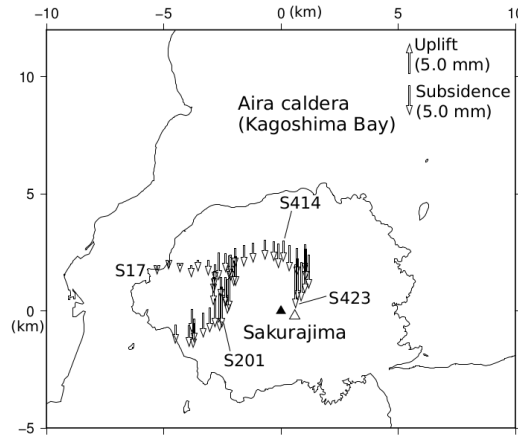


図3
 桜島西岸のS.17を基準点とした、2020年11月～2021年11月の期間の各水準点における地盤上下変動量。黒三角および白三角は、それぞれ南岳火口および昭和火口の位置を示す。

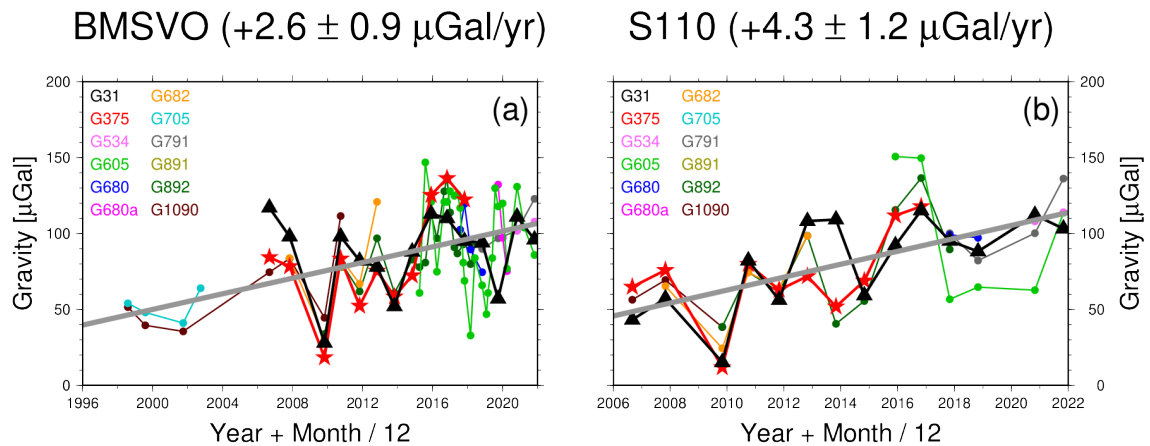


図4

(a) ハルタ山の重力点BMSVOにおける1998年～2021年の重力変化。(b) 大正噴火火口至近の重力点S110における2006年～2021年の重力変化。

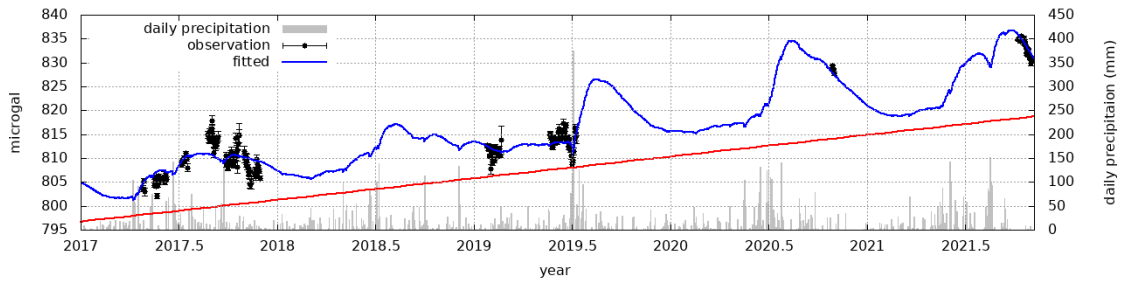


図5

黒丸は絶対重力値（単位：マイクロガル）。赤線は回帰分析によって推定された重力増加傾向、青線は雨水による引力効果を加味したモデルを表す。

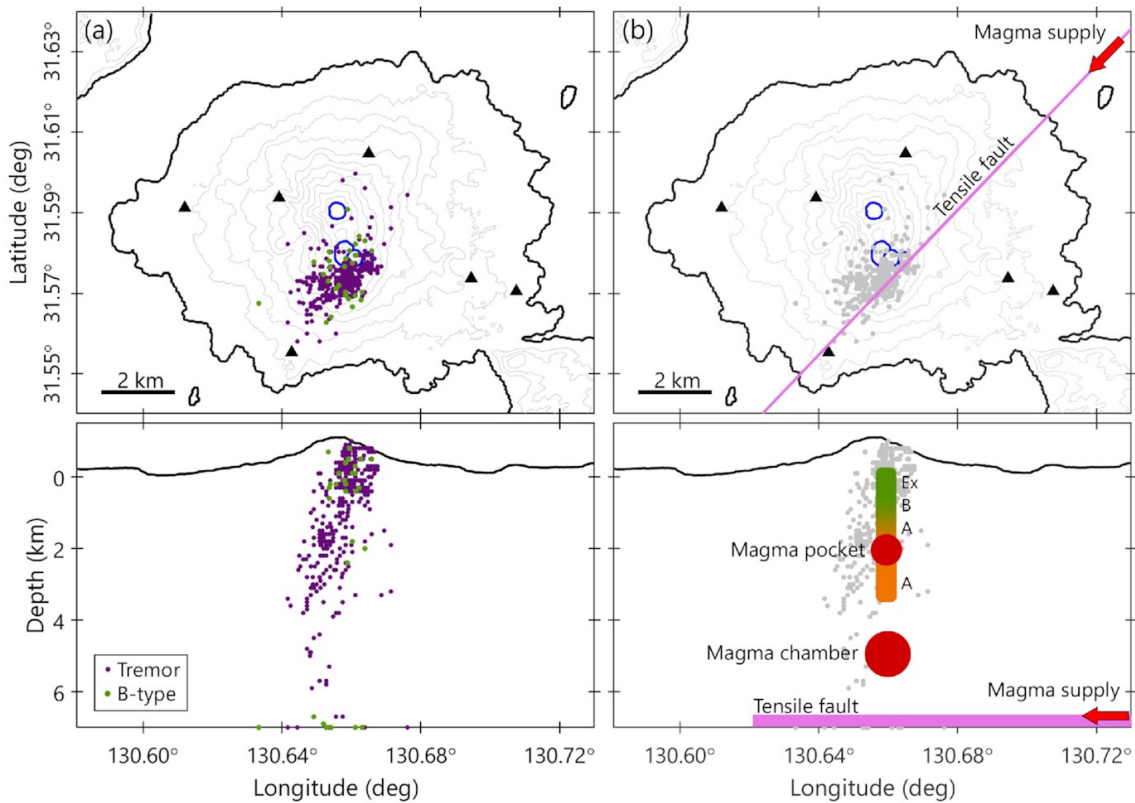


図6

(a)地震波の相互相関関数を利用したCCF-based-SSA 法をもとに火山性微動とB型地震の震源決定結果

(Permana et al., 2021)。 (b)震源分布と過去の研究から得られた震源および地盤変動源との比較。

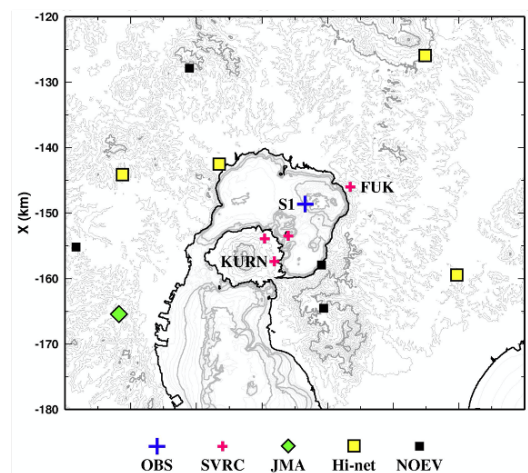


図7

始良カルデラ（錦江湾）における海底地震観測。図中の青+印（S1）が海底地震計（OBS）の設置場所である。