

(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：

桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-2) 火山噴火準備過程

ア．マグマ上昇・蓄積過程

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-2) 火山噴火予測システム

ア．噴火シナリオの作成

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究の目標は、マグマの蓄積期にある桜島を対象に、多項目の 5 年にわたる長期観測に基づいてカルデラ下におけるマグマの蓄積に伴うその量の推移および桜島南岳直下へのマグマの移動の過程を把握した上で、火山体構造とその時間変化をあわせ考慮し、桜島のマグマ蓄積・移動・上昇モデルを構築し、今後起こりうる活動について予測することにある。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度

火山性地震の稠密観測を桜島および周辺南九州域において開始する（海域を含む）。GPS 連続観測点の増設を行う。また、地盤変動観測・重力測定・火山ガス放出量、噴出物の分析などの多項目観測を実施する。地震波による反射法探査を実施し、人工地震探査（平成 20 年度）の結果と比較して構造の時間変化を把握する。

平成 22 年度

火山性地震稠密観測および GPS 観測を継続し、地盤変動観測・重力測定・火山ガス放出量、噴出物の分析などの多項目観測を繰り返す。

平成 23 年度

火山性地震稠密観測および GPS 観測を継続し、地盤変動観測・重力測定・火山ガス放出量、噴出物の分析などの多項目観測を繰り返すことにより、火山体内および周辺の応力状態の分布と時間変化を把握し、マグマの蓄積・上昇モデルを構築する。また、空中磁気測量、MT 探査を実施し、平成 19 年度の結果と比較して比抵抗構造の時間変化を把握する。

平成 24 年度

火山性地震稠密観測および GPS 観測を継続し、地盤変動観測・重力測定・火山ガス放出量、噴出物の分析などの多項目観測を繰り返し、マグマの蓄積・上昇モデルの修正を行う。

平成 25 年度

トモグラフィー的手法による火山体構造探査を行い、平成 20 年度に実施予定の火山体構造探査によって得られた構造と比較し、その時間変化に基づいて、多項目観測から得られたマグマ蓄積・移動のモデルの統合化を図る。モデルに基づいて活動の評価と予測を行う。

(7) 平成 22 年度成果の概要：

2006 年 6 月に噴火活動が再開した桜島の昭和火口における噴火活動は 2009 年には 580 回の爆発と 320 万トンの火山灰放出、2010 年には 1033 回の爆発と 670 万トンの火山灰放出が観測され、長期的な活発化の傾向にある。2009 年 2 月からの 2010 年 10 月までの約 21 カ月の噴火活動期は地盤変動との対応関係から 2009 年 2 月から 9 月までの前駆活動期、10 月から 2010 年 5 月までの活動期、2010 年 6 月から 10 月までの後活動期に分けられる。前駆活動期は地盤変動が顕著ではないが、徐々に爆発回数が増加した。桜島島内の観測坑道における傾斜変化量と昭和火口からの火山灰放出量から桜島山頂下へのマグマの供給量を見積もると 6 月までは $10 \text{ 万 m}^3/\text{月}$ 以下であったが、7 月に $20 \text{ 万 m}^3/\text{月}$ と段階的に増加した。活動期では中央火口丘方向の地盤の隆起が進行し、特に 9 月 30 日からの傾斜計および伸縮計により観測される地盤の隆起・伸張が大きい。2010 年 1 月から 3 月にかけては GPS により観測される桜島島内の伸張が顕著となった。東西の基線において 1 cm 、南北の基線において約 2 cm の伸張が観測された。この変動は水準測量によって桜島北部の約 1 cm の地盤隆起として測定されている。始良カルデラ内の深さ 10 km の膨張圧力源と桜島島内の膨張圧力源により引き起こされたと考えられる。傾斜ベクトルの方向から、桜島島内の圧力源は南岳直下よりも北岳の北東から北山麓に位置するものと推定される。山体の膨張と同期して噴火活動も活発化し、火山灰放出量と地盤変動から桜島山頂下へのマグマ供給速度を見積もると、2009 年 10 月は $20 \text{ 万 m}^3/\text{月}$ であったが、2010 年 1 月～3 月は $50 \text{ 万 m}^3/\text{月}$ まで増加した。

2010 年 5 月中旬から約 2 週間の静穏期を挟んで 6 月 12 日ごろから爆発的噴火活動が再開した。この「後活動期」は地盤の沈降・収縮で特徴づけられる。6 月 15 日 17 時から 15 時間の約 $0.2 \mu \text{ rad}$ の沈降傾斜と 0.2μ ストレインの収縮に始まる沈降・収縮は 11 月中旬まで続いた。傾斜ベクトルの方向から収縮圧力源は同様に北岳の北東から北山麓に位置するものと推定される。この期間では北岳の GPS は 1 cm 以下の北向きが卓越、一方、さらに北にある二俣では南向きが卓越しており、両者の間の北岳北山腹を中心に収縮したことが推定され、傾斜ベクトルから推定される収縮圧力源と一致する。水準測量でも、桜島山頂に向かう測線においてで若干の沈降が観測されている。また、後活動期の初期（6 月中旬から 8 月初め）では桜島の南西部の深さ $2 \sim 3 \text{ km}$ において A 型地震が多発した。地震活動が活発な時期には桜島北部の沈降傾斜にくらべ南部では沈降は顕著ではなく、北部から南岳の地下にマグマが移動した結果、南西部において地震活動が活発化した可能性が指摘できる。桜島南部の絶対重力測定ではこの時期に重力値が増加し、その後、桜島南部における沈降傾斜変化量が顕著になった 8 月以降、急激な重力値の減少を示した。火山灰放出量と地盤変動量からマグマ供給速度を見積もると 8 月から 10 月までは桜島山頂下へのマグマの供給はほぼ停止、もしくは過剰に放出していた状態であった。始良カルデラ下のマグマ溜まりから桜島へのマグマの供給路が推定される桜島の東～北山麓において反射法探査を繰り返した。2008 年 10 月と 2009 年 12 月の探査によって得られたレコードセクションの間には差異が認められたが、2009 年 12 月と 2010 年 12 月では差異がほとんどみられなかった。2009 年 12 月の探査前には桜島へのマグマの供給速度が増加しつつあったが、2010 年 12 月の探査前の 4 か月は供給がほぼ停止していた状態であった。マグマの貫入による地下の状態の変化を反映しているのかもしれない。

この一連の活動期の初期段階である「前駆活動期」において桜島東部の黒神の温泉ガスの二酸化炭素濃度と水素ガス濃度が増加した。2010 年 12 月ごろから桜島の地盤は、再度隆起を・膨張を続けているが、二酸化炭素濃度もそれと同期して増加しており、一連の活動の初期段階において二酸化炭素濃

度が増加するようである．火山体内に浸透してくる火山ガスについては MT 連続観測等で比抵抗変化として確認する必要がある．

また、一連の活動期をととして、火山灰付着成分の水溶性成分の Cl/S モル比は増加を続けている．特に、次の新たな膨張が検出され始めた 2010 年 12 月には、0.5 以下で増加していた Cl/S モル比が 1 以上に急増した．南岳起源の火山灰よりも高くなっており、火山ガスの高温化が示唆される．2010 年 12 月以降の桜島山頂下へのマグマの供給量は 40 万 m^3 /月程度には増加しているが、2011 年 1 月中旬以降、爆発回数が急激に増加しており、より揮発性成分に富むマグマが上昇してきているのかも知れない．このような塩素の増加は、FTIR 分光放射計を用いた噴煙中の火山ガス HCl/SO₂ 比の測定によっても確認されている．2010 年 3 月までは昭和火口での HCl/SO₂ 比は >0.25 と ~0.1 であったが、2010 年 10 月と 12 月の測定では、昭和火口が 0.15-0.2 に上昇した．一方、南岳の HCl/SO₂ 比は減少しており、両者が近い値を示すようになってきている．

桜島における地震活動は顕著ではない．桜島昭和火口ではすでに噴火は始まっており、開放型マグマ供給路に沿って徐々にマグマ供給量が増加しているため、歪が蓄積しにくい状態と推定されるが、海底地震観測によって若尊火山周辺では火山性地震が捕捉されており、微小ながらマグマ供給路周辺で地震が発生していることが分かった．詳しい検討を要するが、自然地震と人工地震を用いた 3 次元 P 波速度構造解析では深さ 8 km 付近に始良カルデラ北東部から桜島に向かって南西方向に延びる高速度域が、また、始良カルデラ下の膨張力源が位置する場所では低速度域が検出できた．マグマの蓄積と移動に伴うひずみ変化と周辺の構造をあわせて検討していく必要がある．

2010 年 5 月中旬から約 2 週間の静穏期を挟んで 6 月 12 日ごろから爆発的噴火活動が再開した．この「後活動期」は地盤の沈降・収縮で特徴づけられる．6 月 15 日 17 時から 15 時間の約 0.2 μrad の沈降傾斜と 0.2 μstrain の収縮に始まる沈降・収縮は 11 月中旬まで続いた．傾斜ベクトルの方向から収縮圧力源は同様に北岳の北東から北山麓に位置するものと推定される．この期間では北岳の GPS は 1cm 以下の北向きが卓越、一方、さらに北にある二俣では南向きが卓越しており、両者の間の北岳北山腹を中心に収縮したことが推定され、傾斜ベクトルから推定される収縮圧力源と一致する．水準測量でも、桜島山頂に向かう測線において若干の沈降が観測されている．また、後活動期の初期（6 月中旬から 8 月初め）では桜島の南西部の深さ 2~3km において A 型地震が多発した．地震活動が活発な時期には桜島北部の沈降傾斜にくらべ南部では沈降は顕著ではなく、北部から南岳の地下にマグマが移動した結果、南西部において地震活動が活発化した可能性が指摘できる．桜島南部の絶対重力測定ではこの時期に重力値が増加し、その後、桜島南部における沈降傾斜変化量が顕著になった 8 月以降、急激な重力値の減少を示した．火山灰放出量と地盤変動量からマグマ供給速度を見積もると 8 月から 10 月までは桜島山頂下へのマグマの供給はほぼ停止、もしくは過剰に放出していた状態であった．始良カルデラ下のマグマ溜まりから桜島へのマグマの供給路が推定される桜島の東~北山麓において反射法探査を繰り返した．2008 年 10 月と 2009 年 12 月の探査によって得られたレコードセクションの間には差異が認められたが、2009 年 12 月と 2010 年 12 月では差異がほとんどみられなかった．2009 年 12 月の探査前には桜島へのマグマの供給速度が増加しつつあったが、2010 年 12 月の探査前の 4 か月は供給がほぼ停止していた状態であった．マグマの貫入による地下の状態の変化を反映しているのかもしれない．

この一連の活動期の初期段階である「前駆活動期」において桜島東部の黒神の温泉ガスの二酸化炭素濃度と水素ガス濃度が増加した．2011 年 12 月ごろから桜島の地盤は、再度隆起を・膨張を続けているが、二酸化炭素濃度もそれと同期して増加しており、一連の活動の初期段階において二酸化炭素濃度が増加するようである．火山体内に浸透してくる火山ガスについては MT 連続観測等で比抵抗変化として確認する必要がある．

また、一連の活動期をととして、火山灰付着成分の水溶性成分の Cl/S モル比は増加を続けている．特に、次の新たな膨張が検出され始めた 2011 年 12 月には、0.5 以下で増加していた Cl/S モル比が 1 以上に急増した．南岳起源の火山灰よりも高くなっており、火山ガスの高温化が示唆される．2011 年 12 月以降の桜島山頂下へのマグマの供給量は 40 万 m^3 /月程度には増加しているが、2011 年 1 月中旬以

降，爆発回数が急激に増加しており，より揮発性成分に富むマグマが上昇してきているのかも知れない．このような塩素の増加は，FTIR 分光放射計を用いた噴煙中の火山ガス HCl/SO₂ 比の測定によっても確認されている．2010 年 3 月までは昭和火口での HCl/SO₂ 比は >0.25 と ~0.1 であったが，2010 年 10 月と 12 月の測定では，昭和火口が 0.15-0.2 に上昇した．一方，南岳の HCl/SO₂ 比は減少しており，両者が近い値を示すようになってきている．

桜島における地震活動は顕著ではない．桜島昭和火口ではすでに噴火は始まっており，開放型マグマ供給路に沿って徐々にマグマ供給量が増加しているため，歪が蓄積しにくい状態と推定されるが，海底地震観測によって若尊火山周辺では火山性地震が捕捉されており，微小ながらマグマ供給路周辺で地震が発生していることが分かった．詳しい検討を要するが，自然地震と人工地震を用いた 3 次元 P 波速度構造解析では深さ 8 km 付近に始良カルデラ北東部から桜島に向かって南西方向に延びる高速度域が，また，始良カルデラ下の膨張力源が位置する場所では低速度域が検出できた．マグマの蓄積と移動に伴うひずみ変化と周辺の構造をあわせて検討していく必要がある．

- (8) 平成 22 年度の成果に関連の深いもので、平成 22 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
- 筒井智樹・井口正人・為栗 健・上田義浩・大島弘光・植木貞人・大湊隆雄・及川 純・市原美恵・野上健治・中道治久・大倉敬宏・清水 洋・宮町宏樹・八木原 寛・前川徳光・堀川信一郎・吉川 慎・園田忠臣・平野舟一郎・末峯宏一・林 幹太・加藤幸司・長尾 潤・池亀孝光・松末伸一・五藤大仁・河野太亮・築田高広・田中窓香・渡辺竜一・長岡優・前原祐樹・吉田沙由美・小林由実・栢橋志郎, 2010, 桜島火山における反復地震探査(一回目), 京都大学防災研究所年報 第 53 号 B, 241-259.
- 井口正人・横尾亮彦・為栗 健, 2010, 桜島昭和火口噴火の規模について, 京都大学防災研究所年報, 第 53 号 B, 233-240 .
- 山本圭吾・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫・大倉敬宏・吉川慎・井上寛之・松島健・内田和也, 2010, 桜島火山周辺における水準測量(2009 年 11 月および 2010 年 4 月), 京都大学防災研究所年報, 第 53 号 B, 227-232 .
- Aizawa, K., Yokoo, A., Kanda, W., Ogawa, Y. and Iguchi, M., (2010, Magnetotelluric Pulses Generated by Volcanic Lightning at Sakurajima Volcano, Japan, Geophys. Res. Lett., VOL. 37, L17301, doi: 10.1029/2010GL044208.
- Aizawa, K., Kanda, W., Ogawa, Y., Iguchi, M., Yokoo, A., Yakiwara H., Sugano, T., 2011, Temporal changes in electrical resistivity at Sakurajima volcano from continuous magnetotelluric observations, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 199, 165-175.
- 井口正人, 2010, 桜島火山の噴火活動—2009 年 2 月～2010 年 5 月—「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 1-8.
- 筒井智樹・他 35 名, 2010, 桜島火山における反復地震探査(2009 年観測)「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 9-28.
- 為栗 健・井口正人・寺石 眞弘・大倉敬宏・園田忠臣, 2010, 桜島火山における震源再決定と自然地震観測「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 29-33.
- 八木原 寛・平野舟一郎・宮町宏樹・高山鐵朗・市川信夫・為栗 健・井口正人, 2010, 鹿児島湾の桜島火山周辺海域における海底地震観測「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 35-39.
- 山本圭吾・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫・大倉敬宏・吉川 慎・井上寛之・松島 健・内田和也, 2010, 桜島火山周辺における水準測量(2009 年 11 月および 2010 年 4 月)「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 41-46.
- 井口正人・植木貞人・太田雄策・中尾茂・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫, 2010, 桜島昭和火口噴火開始以降の GPS 観測「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」

太田雄策・植木貞人・井口正人, 2010, 桜島火山山腹における GPS 連続観測点の増設 (2009 年度)「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 55-58.

山本圭吾・他 11 名, 2010, 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定 (2009 年 10 月)「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 59-63.

大久保修平・菅野貴之・風間卓仁・山本圭吾・井口正人・田中愛幸・孫文科・高山鐵朗・坂守・松本滋夫, 2010, 桜島火山における絶対重力観測「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 65-71.

相澤広記・神田径・小川康雄・井口正人・横尾亮彦・八木原寛・菅野貴之, 2010, MT 連続観測による桜島地下浅部の比抵抗変化「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 73-80.

井口正人・平林順一, 2010, 桜島・黒神における温泉ガス濃度「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 81-85.

森 俊哉, 2010, 遠隔 FT-IR 測定による昭和火口と南岳火口の火山ガス HCl/SO₂ 比「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 87-92.

嶋野岳人・横尾亮彦・井口正人・味喜大介, 2010, 粒径に着目した桜島昭和火口噴出物による活動評価指標の検討「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 93-96.

野上健治・井口正人・味喜大介・為栗 健・山本圭吾・園田忠臣, 2010「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 21 年度分報告書, 97-100.

火山性地震稠密観測および GPS 観測を継続し、地盤変動観測・重力測定・火山ガス放出量、噴出物の分析などの多項目観測を繰り返すことにより、火山体内および周辺の応力状態の分布と時間変化を把握し、マグマの蓄積・上昇モデルを構築する。また、空中磁気測量、MT 探査と反射法地震探査を実施し、空中磁気測量、MT 探査については平成 19 年度の結果と比較して比抵抗構造の時間変化を把握するとともに反射法探査については平成 22 年度の反射断面構造と比較することにより、桜島の地下の構造変化からマグマの移動・上昇過程を明らかにする。

鹿児島大学理学部 宮町宏樹 (")

部署等名：京都大学防災研究所火山活動研究センター

電話：099-293-2058

e-mail：iguchi@svo.dpri.kyoto-u.ac.jp

URL：http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/kazan/default.html

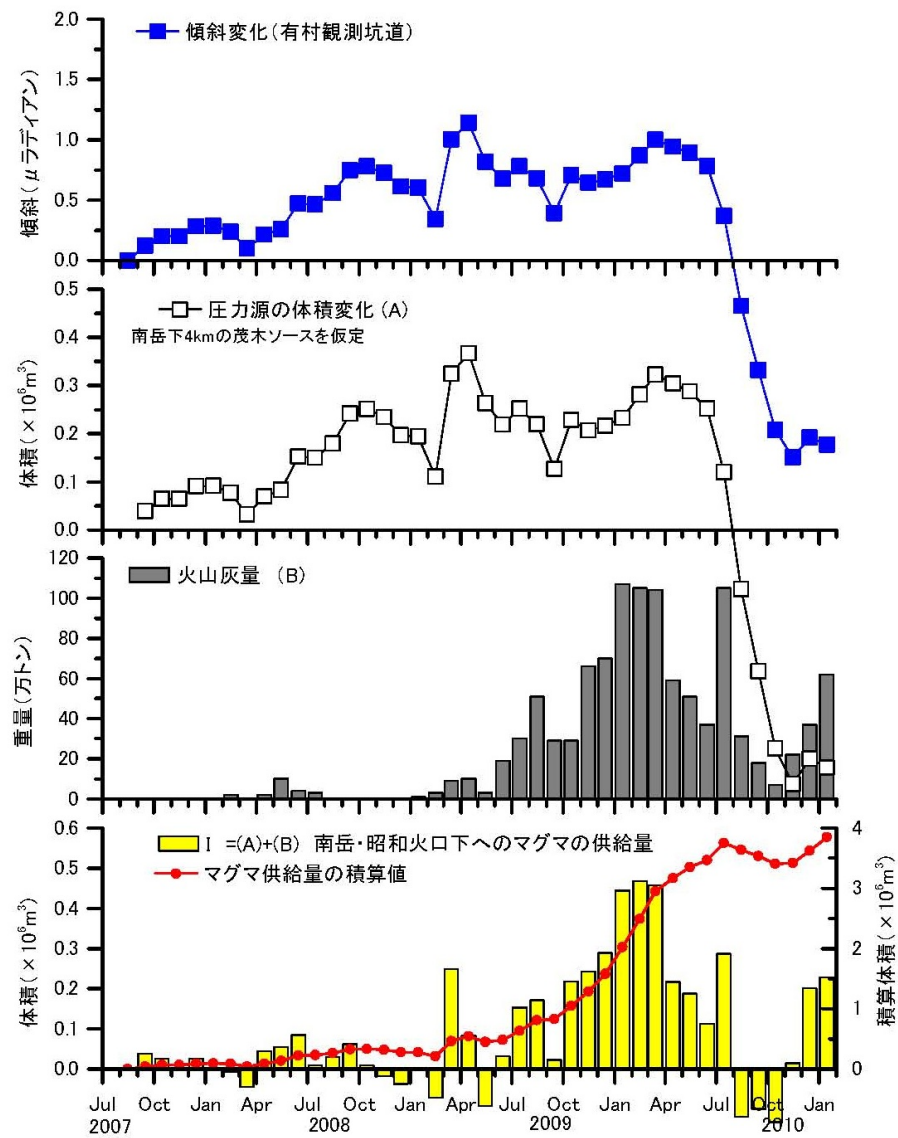


図1 桜島山頂下へのマグマ供給量

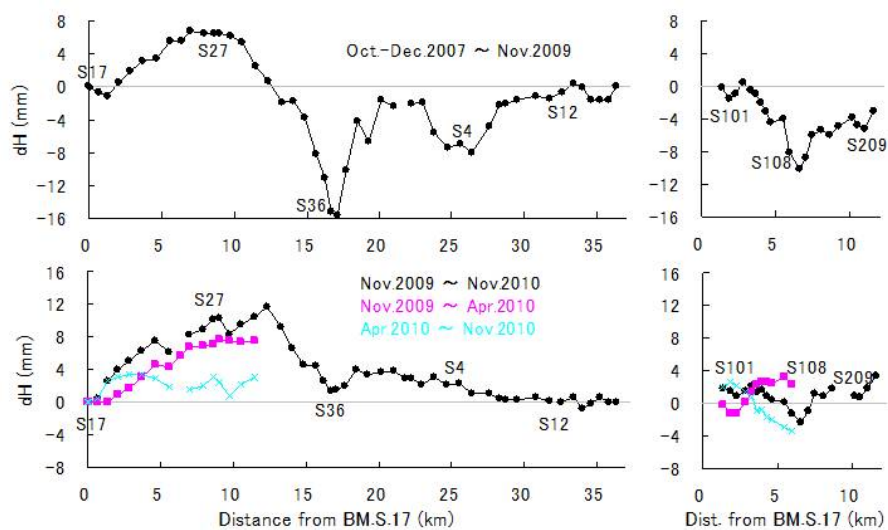


図2 桜島の上下変動

左：桜島一周道路路線（S17:桜島西部の基準点，S27：北部），右：桜島ハルタ山登山路線（S108 がハルタ山で，最も山頂に近い）

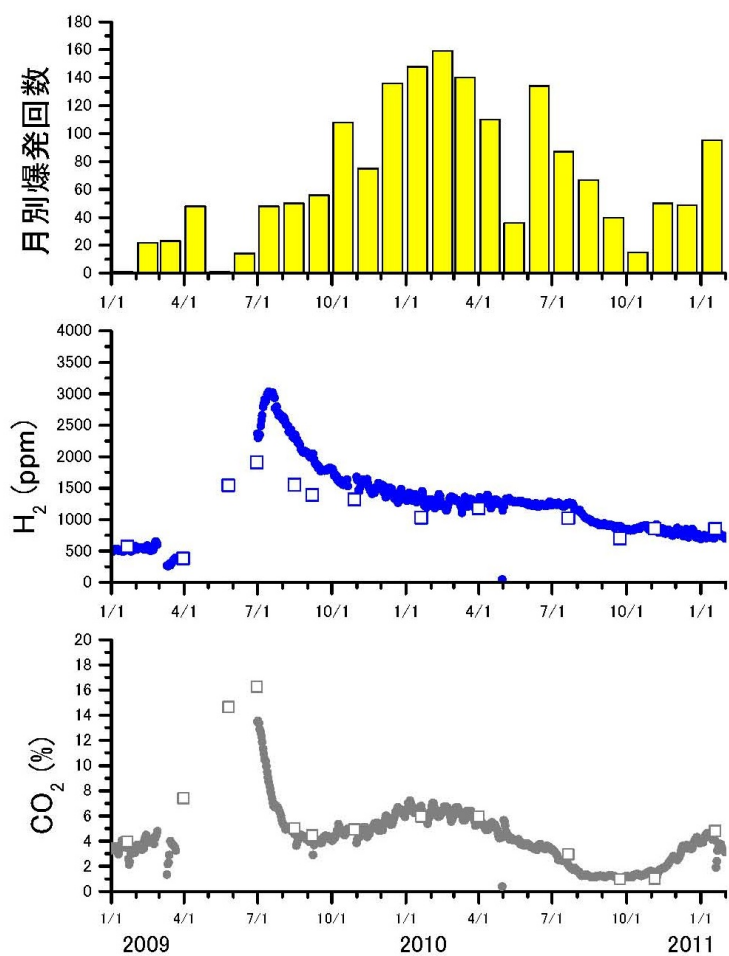


図3 桜島東部の黒神観測井における温泉ガスの濃度変化

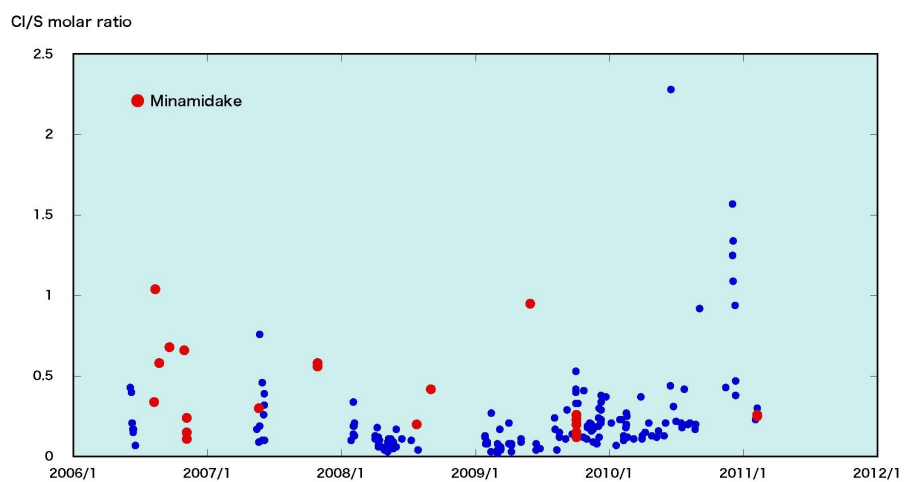


図4 火山灰付着水溶性 Cl/S モル比の時間変化
青：昭和火口から放出された火山灰，赤：昭和火口

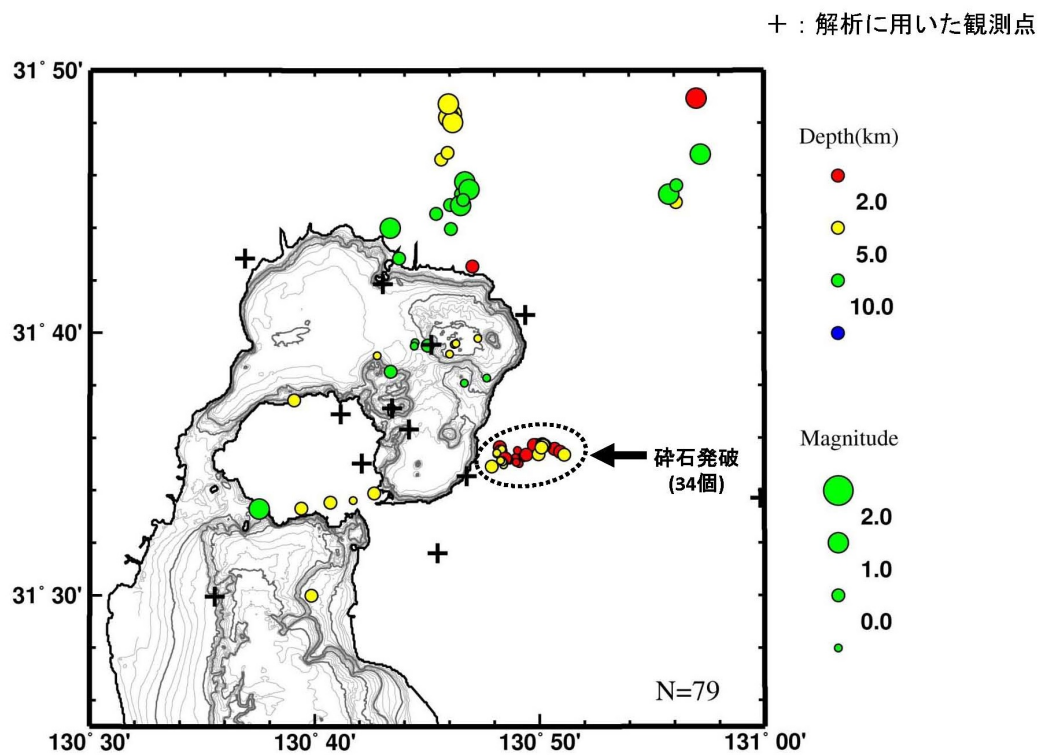


図5 海底地震計を用いて決定された地震の震源分布