

2 (2) (2-2) 火山噴火準備過程

「火山噴火準備過程」計画推進部会長 井口正人
(京都大学防災研究所)

火山噴火予知研究の目標は、噴火の時期、場所、規模、様式及び推移を予測することであるが、活動的で数多くの噴火履歴があり、多項目観測や各種調査が実施されている幾つかの火山であっても、観測と経験則により異常の原因が推定できる段階にとどまっている。これを、「現象を支配する物理法則を明らかにし、観測結果を当てはめて、将来の予測ができる段階」に引き上げるために、火山噴火準備過程計画推進部会では、「ア．マグマ上昇・蓄積過程」と「イ．噴火履歴とマグマの発達過程」の解明を2つの柱とした。前者では、マグマ供給系を含む地下の構造や状態とそれらの時間変化を把握することに重点を置き、後者では様々な時間スケールでの火山活動過程を解明するための地質学的調査・研究を行った。両者をあわせて考察することによりマグマ蓄積過程をモデル化し、噴火シナリオの作成に役立てることを目指した。

研究成果のまとめ

ア． マグマ上昇・蓄積過程

(1) マグマ上昇・蓄積過程の多様性の把握

マグマ上昇・蓄積過程に対応する地盤変動様式には多様性があり、平成21年度～25年度までの5年間の知見を加えると、次のように大別されよう。[1] 1回のマグマ上昇・蓄積過程（貫入イベント）の開始がそのまま主噴火に直結する活動（例：2011年霧島山新燃岳噴火；気象庁〔課題番号：7019〕、国土地理院〔課題番号：6016〕）。[2] 1回のマグマ貫入イベントが噴火活動に直結しなかった活動（例：1998年の岩手山；東北大学〔課題番号：1209〕）。[3] 地震活動や地殻変動以外の噴火の兆候を示す現象が観測されていない静穏期にある火山において、マグマ貫入イベントが繰り返し起こり、山体の膨張と収縮が交互に現れる活動（例：伊豆大島；気象庁〔課題番号：7019〕、国土地理院〔課題番号：6016〕、浅間山；気象庁〔課題番号：7019〕）。[4] マグマ貫入イベントが繰り返し起こり、山体直下へのマグマの貫入と噴火によるマグマの放出の収支バランスの上に地盤変動が現れる活動（例：現在の桜島；京都大学防災研究所〔1809〕）。

[1] 2011年1月の準プリニー式噴火に先だって2008年から水蒸気爆発が繰り返されたが、それに先行して山頂部では、2005年12月頃から2007年中頃まで山体が膨張し、その後は収縮に転じた後、2009年12月には、その後の準プリニー式噴火に直結するマグマ貫入イベントに至った（気象庁〔課題番号：7019〕）。マグマ貫入イベントに先行するプロセスとして注目できる。

[2] 岩手山でも、1998年のマグマ貫入イベントに先行して、岩手山山腹・山麓地域が収縮する地盤変動が検出されている（東北大学〔課題番号：1209〕）。圧力源の同定には至っていないが、1998年のマグマ貫入イベントに先行するマグマの動きを反映したものと考えられる。

[3] 伊豆大島では、1990年代からカルデラ内と周辺海域の地震活動に連動する膨張とそれに続く収縮が、1～2年周期で繰り返され、膨張が収縮よりも優勢であるので、長期

的には膨張のトレンドにあるとされてきた。ところが、2010年以降、膨張量が収縮量とバランスした結果、長期的な膨張のトレンドも停止した状態にあり、マグマの蓄積量が増加していないことがわかった(気象庁[課題番号:7019]、国土地理院[課題番号:6016])。また、1~2年周期で繰り返される最近の膨張・収縮は体積ひずみ計でも観測されるが、1986年噴火以前の体積ひずみ計の記録に遡ったところ、最近繰り返される膨張・収縮の振幅の2倍の大きさで、噴火の3年ほど前から膨張・収縮が繰り返されていたことが判明した(図1; 気象庁 [課題番号:7019])。伊豆大島は次の噴火に向けての準備過程にあると考えられるが、地盤変動パターンの様式と変動振幅の変化は噴火に近づいていることの判断基準として重要な情報が得られたことになる。

[4]桜島においては、マグマ貫入イベントが繰り返され長期的なマグマ蓄積が進行していることにおいて伊豆大島と同様である。従来、桜島のマグマ供給系は南岳爆発活動最盛期、すなわちマグマ放出期(1970~1980年代)の沈降変動のパターンから始良カルデラ下の主マグマ溜まりと南岳下の副マグマ溜まりからなるとされてきたが、マグマの貫入期においては北岳下のマグマ溜まりが膨張することが明らかとなった(図2)。2012年7月24日には南岳で噴煙高度5000m以上、30万トンの火山灰が放出される爆発が発生した。これに前駆して21時間前から隆起・膨張が捉えられた。体積増加量は $1 \times 10^5 \text{m}^3$ であり、昭和火口爆発に前駆する地盤変動の体積変化量の $10^3 \sim 10^4 \text{m}^3$ よりも1桁以上大きい。このことは、前駆する地盤変動を励起する圧力源の体積変化量とその速度がその後に発生する噴火の規模を判断するために指標となることを意味する(京都大学防災研究所[課題番号:1809])。

(2) 地下構造と火山活動

桜島においては様々な火山体構造調査が行われた(京都大学防災研究所[課題番号:1809])。広帯域MT観測から得られる3次元比抵抗構造では北岳の下3~5kmの深さに顕著な低比抵抗部分が認められ、これは地盤変動観測により求められた圧力源の位置と一致しており、北岳の下のマグマ溜りを見ている可能性が高い。毎年繰り返してきた反射法地震探査では反射面の不明瞭化が(図3)、また空中磁気測量では火口周辺への噴出物の堆積に伴う磁化の獲得を除去した場合の磁化強度の減少が2007年と2011年の間で検出された。それぞれ、マグマの北岳下への貫入の繰り返しおよび昭和火口下での蓄熱と解釈される。

一方、深部構造については、中国地方(三瓶火山と大山火山)および九州地方(霧島、桜島)や東アジア(長白山)、北米大陸内火山(Yellowstone)を対象とした高精度地震波トモグラフィ解析が行われ、火山深部の地下構造の多様性が明らかになるとともに、得られた深部構造と火山の位置関係からマグマ上昇機構が検討された(東北大学[課題番号:1209])

(3) 水蒸気爆発発生場における変動

水蒸気爆発発生場のモデルフィールドである草津白根山では、火山性流体の組成変動の観測と地磁気連続観測を実施した。過去に採取された湯釜湖水試料のフッ化物イオンと塩化物イオン濃度(F/C1)比を検討したところ、水蒸気爆発が繰り返された1982年~1983年にF/C1比が大きく増加したことが明らかとなった(図4)。また、2008年の湯釜火

口内北東部における噴気帯出現に先行してF/C1比が増加しており、それ以降、高温の火山ガスが供給され続けていることが示唆される。一方、地磁気全磁力の連続観測は地下浅部の熱的状态が冷却過程にあることを示しているが、火山ガスをトラップする低透水性かつ低比抵抗である粘土キャップ(Smectite)の重要性に鑑み、Volcano-Loop という人工磁場を用いる観測法を草津白根山に適用し、粘土キャップの変化を抽出する観測を始めた(東京工業大学[課題番号:1602])。水蒸気爆発発生場、特に、湖水がある場所では湖水の水温や水位のモニタリングが必須であり、湖水のパラメータと火山性微動活動が同期して変化することが阿蘇山で示された(東京工業大学[課題番号:1604])

イ. 噴火履歴とマグマの発達過程

樽前山、十勝岳、有珠山、北海道駒ヶ岳、蔵王山、伊豆大島、桜島(北海道大学[課題番号:1004])、那須岳(公募研究[課題番号:2914])、雌阿寒岳(公募研究[課題番号:2917])、草津白根山(公募研究[課題番号:2919])において噴火史および噴火推移と物質科学解析によるマグマ系変遷の解明が進んだ。北海道駒ヶ岳においては、マグマ溜まりの上位に無斑晶の苦鉄質マグマ、下位に結晶に富んだ珪長質マグマが組成的に逆成層しており、1694年噴火では苦鉄質マグマの新たな注入なしにこの逆成層マグマ溜まりから噴火した可能性が高いことが明らかにされた。これは、噴火の引き金を考える上で重要な指摘である(北海道大学[課題番号:1004])。また、桜島の先歴史時代の降下火砕物について、物質科学的解析を行った結果、約21000年前から約11000年前までの長い休止期間中にマグマ混合の一方の端成分マグマである珪長質マグマの性質が大きく変化したことが明らかになった(図5)(北海道大学[課題番号:1004])。さらに、那須岳においては最新のマグマ噴火である1408~1410年噴火について詳細な噴火履歴が明らかになるとともに、ブルカノ式噴火活動中にマグマの組成が変化したことなど、詳細なマグマ系変遷の推移が明らかとなった(公募研究[課題番号:2914])。これらの結果は、次のマグマ活動の様式の推定の可能性を示すとともに、長期の休止期を経た場合の予測の難しさを意味する。

●地球物理学的データと物質科学的データのリンクと時間変化の同期

桜島において約1年周期で繰り返される、マグマ供給率が大きい貫入期と供給が低下している放出期の地盤変動等の地球物理学的観測データの変化は、噴出物分析による物質科学的データとも整合的である。マグマ供給率が大きい貫入期に、火山灰付着成分の水溶性成分のC1/Sモル比、火口からのSO₂放出率、温泉ガス中のCO₂濃度は増加し(京都大学防災研究所[課題番号:1809])、噴出物の火山ガラス中のSiO₂量が減少する(北海道大学[課題番号:1004])。

桜島の噴火活動は2009年後半から激化し、地盤変動観測からはそれと同時にマグマの供給率が桜島の100年間の活動の平均的なレベルまで増加した。2009年には様々な物質科学的パラメータが同時に変化している。2009年後半からの噴火活動の激化に前駆して温泉ガス中のH₂、CO₂濃度の急激な増加が観測された。また、噴出物の火山ガラス中のSiO₂量が減少し、玄武岩質マグマの関与が高まったことが示された(北海道大学[課題番号:1004])。さらに、火山灰付着成分の水溶性成分のC1/Sモル比、火口からのSO₂放出率が増加した(京都大学防災研究所[課題番号:1809])。

その後の噴火活動の継続した2010年以降は、温泉ガス中の H_2 、 CO_2 濃度は減少し（京都大学防災研究所 [課題番号：1809]）、噴出物の分析により認められる玄武岩質マグマの関与はその程度を弱めている（北海道大学 [課題番号：1004]）。一方、火山灰付着成分水溶性成分のCl/Sモル比および SO_2 放出量は長期的に増加傾向にある。これは、高温のマグマが浅部まで上昇し、しかもその量が増加していることを意味する。また、2013年9月の爆発による噴出物の中に発見された火道角礫岩（北海道大学，2013）は火道の拡大を意味し、個々の噴火に伴う地盤変動量の増加及び噴煙高度の増加は噴火活動が継続したことによる火道の拡大を反映していることが示唆される。

これまでの課題と今後の展望

建議に記述されている火山噴火準備過程の実施内容は、ア．マグマ上昇・蓄積過程においては「多項目観測によるマグマの上昇・蓄積過程の把握」であり、その多様性が把握された段階で観測研究を実施した火山においてはほぼ達成されていると言ってよい。また、「水蒸気爆発発生場における火山流体の分布や状態、及びそれらの変動」について草津白根火山において流体の分布と状態は把握されている。また、イ．噴火履歴とマグマの発達過程においても実施内容は「噴火の規則性の理解、噴火様式の時間変化」、また、「マグマ混合や分化過程などの解明」であり、調査研究を実施した有珠山、伊豆大島、桜島などの火山においてはマグマ溜まりの化学的変遷が明らかになってきている。建議に記述されている目標のうち、研究の進行が最も遅れているのは「マグマの蓄積過程の多様性の要因の解明」である。その原因の1つは、マグマの蓄積場の状態を十分把握しきれないことによる。また、マグマの蓄積は場の状態だけでなく、さらに深部から上昇してくると考えられるマグマの貫入速度に依存するが、蓄積場よりも深い場所のマグマの移動については検知できていないのが実情である。もう1つの原因は、噴火準備過程は噴火過程に比べその継続時間ははるかに長く、5年間の研究期間では、準備過程の全容を把握しきれないことにある。例えば、1998年岩手山のマグマ貫入イベントは一度だけ検出され、噴火に至ってはいないが、伊豆大島のように繰り返されるマグマ貫入イベントの1つを捉えたにすぎないかもしれないし、2011年霧島新燃岳噴火に先行するマグマ貫入イベントもそれ以前に何度も繰り返されていた可能性がある。質の良いデータを長期にわたって蓄積していく段階にある。

マグマ蓄積あるいは貫入イベントは多くの火山で検知されており、現状の火山噴火予知研究の課題は、現在発生しているマグマ貫入イベントが火山噴火発生に結びつくものなのかどうか、火山噴火に結びつくイベントだとすれば、いつ噴火発生の直前過程に移行し、そして噴火するか、また、その規模はどの程度であるかである。伊豆大島では1-2年周期の膨張と収縮が繰り返され、長期的に膨張のトレンドにあり、マグマの蓄積が進行していると考えられる。2009年以降、昭和火口の小規模爆発が頻発し、長期的な噴火活動期にある桜島においてもマグマの蓄積過程の推移と主噴火に至っていない状況からみると依然として噴火準備過程にある。2011年に発生した霧島新燃岳噴火では、GPS観測により、1年前から山体の膨張が検知されたが、地盤変動率がほぼ一定の割合で膨張が進行し、直前の地震活動の顕著な活発化もなかったため事前発生予測に至らなかった。長期的なマグマの蓄積を検知していても、実戦で利用可能な技術としてはいまだに直前

の地震活動の活発化に依存しているのが実情である。一方、2011年の霧島新燃岳噴火に見られるように、地震活動の活発化は常に期待できるわけではなく、その規模や発生様式、地震の種類は多様であり、しかも直前過程である地震活動期間が短く、その活発化を捉えた段階では、避難完了のための予知はすでに手遅れである場合もありうる。したがって、噴火準備過程を長期的なマグマ蓄積過程と直前の短期的な過程（群発地震等の異常現象がある場合もある）とすれば、マグマ蓄積過程における変動様式からその後の噴火の発生の有無や規模を予測できる研究が必要である。

その解決策の1つがマグマの蓄積率の把握である。これまで研究されてきた噴火史に基づき、噴出量の累積の時間的増加を表す階段ダイアグラムを作成することにより、マグマの平均的な噴出率がわかる。一方、地盤変動観測からはマグマの蓄積率が求められる。階段ダイアグラムから得られるマグマ噴出率を基準として、地盤変動観測に基づく現在のマグマ蓄積率が過去の噴火史の中でどの段階にあるのかを評価することができる。少なくとも、2010年段階での霧島新燃岳のマグマの蓄積率は $10^7\text{m}^3/\text{年}$ を超えた状態が1年間継続しており、この蓄積率は始良カルデラへのマグマの平均的な蓄積率を超え、日本でこれまでに観測により知られている蓄積率と比べてかなり大きいと判断できる。

一方、マグマの蓄積率だけからではその後に発生する噴火の規模等を予測することが困難な場合もある。図6は、桜島昭和火口噴火に前後する地盤変動を観測坑道におけるひずみ記録により示したものであるが、12時半ごろから膨張を示し、20:20の爆発発生後には比較的規模の大きい噴火が発生した後は収縮し、12時半ごろのひずみレベルに戻っている。問題は20:20以前の3回の爆発であり、いずれも噴火の発生前には膨張を示しているが、爆発発生後には直前の膨張開始時点のレベルには戻らず、膨張量に比べ収縮量が小さい。20:20の爆発に先行するひずみ変化は先行する3回の爆発に前駆するひずみ変化と大差はない。直前の前兆ひずみ変化量だけで予測すれば、前3回の爆発では爆発規模の予測が過大になるし、20:20の爆発では過小評価になる。この例では膨張開始時点のひずみ量が分かっているので、蓄積されたひずみをすべて開放しない噴火であっても最大規模の噴火が起こるとすれば、どの程度のひずみが開放されるのかは予測可能であるが、膨張開始点が分からない場合は、噴火の規模予測ができないことになる。時間と規模のスケールは数十年、数百年以上の時間間隔で発生する噴火とは大きく異なるが、数十年以上の間隔で発生する火山噴火に至る準備過程の縮図がここにある可能性もあり、膨張開始点が分からない場合でも、限られた変動パターン（地盤変動だけでなく多項目の）から爆発規模を予測する研究が必要である。

成果リスト

安藤忍, 2013, ALOS「だいち」により観測された霧島山新燃岳山頂火口の変化について, 駿震時報, 77, 99-112.

Ban, M., T. Ohba, A. Fujinawa, 2013, B01: Active Volcanoes in Northeast Japan, 2013 IAVCEI Field Trip Guide. Bull. Volcanol. Soc. Jpn. 58, B1-1-34 (CD BOOK).

伴雅雄, 2013, 蔵王火山. 日本地質学会巡検案内書. 地質雑, 119, 補遺, 120-133.

Ban, M., et al., (in press) Petrologic characteristics of the newest stage in Azuma volcano group, Northeast Japan. International Journal of Eruptive History and

Informatics.

- 福井敬一・寺田暁彦, 2013, 霧島山新燃岳2011年2月の脱ガス活動, 験震時報, 印刷中.
- Hasegawa, T., M. Nakagawa, and H. Kishimoto, 2013, Calderas and active volcanoes in central to eastern Hokkaido, 2013 IAVCEI Field Trip Guide. Bull. Volcanol. Soc. Jpn., 58, A1-1-34 (CD BOOK).
- 林信太郎・伴雅雄・大場司, 2013, 鳥海山1800-1804年噴火におけるマグマ性の爆発的噴火活動. 歴史地震, 28, 85-90.
- 堀田耕平・大倉敬宏・井口正人, 2013, 1999年南岳山頂噴火活動および2006年昭和火口噴火活動再開に先行する桜島火山の地盤変動源について, 京都大学防災研究所年報, 56B, 197-206.
- 井口正人, 2013, 噴火微動を用いた火山灰放出量のモニタリング手法, 京都大学防災研究所年報, 56B, 221-226.
- 井口正人, 2013, 桜島火山の噴火活動—2012年7月～2013年6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24年度分報告書, 1-8.
- 井口正人・平林順一, 2013, 桜島・黒神における温泉ガス濃度(2012年・2013年), 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24年度分報告書, 71-74.
- 井口正人・太田雄策・中尾茂・園田忠臣・高山鉄朗・市川信夫・堀田耕平, 2013, 桜島昭和火口噴火開始以降のGPS観測(2011年～2012年), 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24年度分報告書, 49-54.
- 地震火山研究部, 2013, マグマ活動の定量的把握技術の開発とそれに基づく火山活動度判定の高度化に関する研究, 気象研究所技術報告, 69, 179p.
- Kazahaya, R., T. Mori, and K. Yamamoto, 2013, Separate Quantification of Volcanic Gas Fluxes from Showa and Minamidake Craters at Sakurajima Volcano, Japan. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 58, 183-189.
- 気象研究所・気象庁, 2013, 伊豆大島の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, 112 (印刷準備中).
- 気象研究所・気象庁, 2013, 伊豆大島の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, 116 (印刷準備中).
- 気象庁, 2013, SAR干渉解析を用いた火山活動評価への利用の検討, 火山活動の評価及び噴火活動の把握に関する共同研究 成果報告書 (印刷準備中).
- 気象庁, 2013, 熱活動, 噴気活動の把握, 噴出物調査への利用調査, 火山活動の評価及び噴火活動の把握に関する共同研究 成果報告書 (印刷準備中).
- Kobayashi, T., M. Okuno and T. Tameguri, 2013, Kirishima, Sakurajima volcanoes and their source calderas in southern Kyushu. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 58, B5-1-16 (CD BOOK).
- Kobayashi, T., R. Imura and M. Okuno, 2013, A Guidebook for Mid-Conference Field Trip, IAVCEI 2013 Scientific Assembly, 1-19.2
- 小林哲夫・味喜大介・佐々木寿・井口正人・山元孝広・宇都浩三(編), 2013, 桜島火山地質図1:25,000. 地質調査総合センター, 1-8.
- 国土地理院, 2013, 伊豆大島の地殻変動, 第126回火山噴火予知連絡会資料.
- 国土地理院, 2013, 伊豆大島の地殻変動, 第127回火山噴火予知連絡会資料.

- 国土地理院, 2013, 桜島の地殻変動, 第126 回火山噴火予知連絡会資料.
- 国土地理院, 2013, 桜島の地殻変動, 第127 回火山噴火予知連絡会資料.
- 小杉安由美・中川光弘・清野寛子, 2013, 西南北海道, 更新世渡島小島火山の地質と岩石学的特徴. 地質学雑誌, 119, 743-758.
- Kuritani, T., J.-I. Kimura, E. Ohtani, H. Miyamoto and K. Furuyama, 2013, Transition zone origin of potassic basalts from Wudalianchi volcano, northeast China. *Lithos* 156-159, 1-12.
- Kuritani, T., T. Yoshida, J.-I. Kimura, Y. Hirahara and T. Takahashi, 2014, Water content of primitive low-K tholeiitic basalt magma from Iwate Volcano, NE Japan Arc: implications for differentiation mechanism of frontal-arc basalt magmas. *Mineralogy and Petrology* 108, 1-11.
- Kuritani, T., et al., 2014, Primary melt from Sannome-gata volcano, NE Japan arc: constraints on generation conditions of rear-arc magmas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, in press.
- Matsumoto, A., M. Nakagawa, M. Miyasaka, and M. Iguchi, 2013, Temporal variations of the petrological features of the juvenile materials since 2006 from Showa crater, Sakurajima volcano, Kyushu, Japan, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 58, 191-212.
- 味喜大介・小林哲夫 (印刷中) 古地磁気測定による溶岩の年代推定－桜島および南九州の火山－. 月刊地球, 号外62.
- Miyabuchi, Y., D. Hanada, H. Niimi and T. Kobayashi, 2013, Stratigraphy, grain-size and component characteristics of the 2011 Shimodeake eruption deposits, Kirishima Volcano, Japan. *Jour. Volcanol, Geotherm. Res.*, 258, 31-46.
- Miyamachi, H., et al., 2013, Shallow velocity structure beneath the Aira caldera and Sakurajima volcano as inferred from refraction analysis of the seismic experiment in 2008. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 58, 227-237.
- 宮坂瑞穂・中川光弘・吉本充宏・小林哲夫・奥野充, 2013, 桜島火山におけるマグマ供給系の変化－始良カルデラ形成噴火以降のテフラ噴出物からの解析－, 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24年度分報告書, 95-104.
- 森 俊哉, 2013, 昭和火口と南岳火口の火山ガスHCl/SO₂ 比の推移(3), 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24 年度分報告書, 75-80.
- 野上健治・他, 2013, 桜島昭和火口における噴火活動と地球化学的観測研究－火山灰水溶性成分及びガス放出量による噴火活動評価, 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24年度分報告書, 89-94.
- 中川光弘・長谷川健・松本亜希子, 2014, 北海道東部, 阿寒～屈斜路火山群の成り立ち: 小型カルデラが複合した大型カルデラの形成. *岩波科学*, 84, 97-102.
- 奥野充・高島勲・長岡信治・鮎沢潤・稲永康平・今里博・大淵真吾・葺本信太郎・兼田大道・小林哲夫, 2013, 九重火山中西部の熱ルミネッセンス年代. 月刊地球, 号外62, 32-36.
- 大久保修平・山本圭吾・田中愛幸・井口正人・今西祐一・渡邊篤志・坂守, 2013, 桜島火山における絶対重力観測(4), 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24年度分報告書, 65-70.
- Okuno, M., et al., 2013, AMS radiocarbon dating of wood trunks in the pumiceous deposits

- of the Kikai-Akahoya eruption in Yakushima Island, SW Japan. Nucl. Instr. Meth. Phys., B, 294, 602-605.
- 太田雄策・井口正人・植木貞人・出町知嗣, 2013, GNSSデータにもとづく噴煙柱検知方法の開発(序報)ー2012年7月24日桜島南岳火口における爆発的噴火への適用事例ー, 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24年度分報告書, 55-58.
- Shibata, T., et al., 2013, Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic constraints on the origin and magmatic evolution of Quaternary lavas of Sakurajima volcano, southern Kyushu island, Japan. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 58, 43-58.
- 嶋野岳人・下司信夫・小林哲夫(編), 2013, 諏訪之瀬島火山地質図1:25,000. 地質調査総合センター, 1-8.
- Shimano, T., et al., 2013, Development of an automatic volcanic ash sampling apparatus for active volcanoes, Bull. Volcanol., 75, 773, doi:10.1007/s00445-013-0773-7.
- Takahashi, M., et al., 2013, Temporal variation for magmatic chemistry of the Sakurajima volcano and Aira caldera region, southern Kyushu, southwest Japan since 61 ka and its implications for the evolution of magma chamber system. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 58, 19-42.
- Takahashi, R. and Nakagawa, M., 2013, Formation of a compositionally reverse zoned magma chamber; Petrology of the AD 1640 and 1694 eruptions of Hokkaido-Komagatake Volcano, Japan. Jour. Petrol., 54, 815-838.
- 為栗健・井口正人, 2013, 桜島火山昭和火口の噴火に伴う前駆地震の特徴, 京都大学防災研究所年報, 56B, 181-186.
- Terada, Y. Miyabuchi and T. Ohba, 2013, A Guide for the Field Trip to Aso Volcano, CVL8 Workshop, 25-28 July 2013, at Aso Volcano, Japan, 16p.
- 東京工業大学(寺田暁彦), 弥陀ヶ原火山・地獄谷における空中赤外観測: 総放熱量の推定, 火山噴火予知連絡会会報, 印刷中
- 津久井雅志, 2013, 有珠火山噴火史料集, 140p.
- 筒井智樹・他, 2013, 桜島火山における反復地震探査(2012年観測), 京都大学防災研究所年報, 56B, 207-220.
- 八木原寛・他, 2013, 鹿児島湾奥部海域の繰り返し海底地震観測による桜島火山周辺の地震活動と上部地殻3次元地震波速度モデルとの比較, 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24年度分報告書, 15-24.
- 山本圭吾・大島弘光・前川徳光・植木貞人・及川純・園田忠臣・大久保修平・田中愛幸・今西祐一・渡邊篤志・坂守・風間卓仁, 2013, 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定(2012年10月および11月), 平成24年度分報告書, 59-64.
- 山本圭吾・他, 2013, 水準測量によって測定された桜島火山周辺域の地盤上下変動ー2012年11月および12月測量の結果ー, 京都大学防災研究所年報, 56B, 187-196.
- Zhao, D. and Y. Tian, 2013, Changbai intraplate volcanism and deep earthquakes in East Asia: a possible link?, Geophys. J. Int., 195, 706-724, doi:10.1093/gji/ggt289.

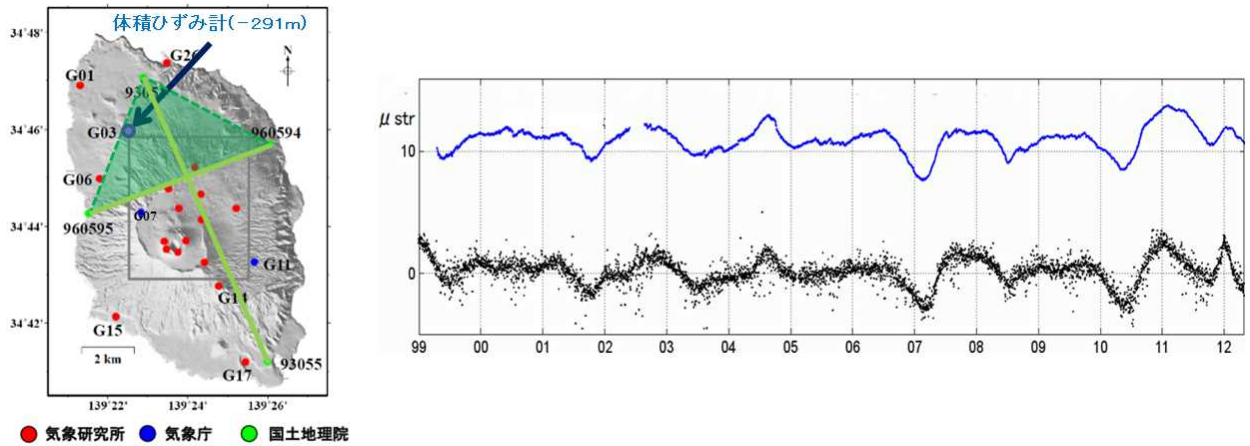


図 1. 体積ひずみ計データと GNSS (GSI) による面積ひずみの比較 (1999 年～2012 年 4 月)

(左) 伊豆大島における気象庁の体積ひずみ計と国土地理院 (GSI) の GNSS, およびその他の観測点の配置を示す。

(右) 1999 年から 2012 年にかけての体積ひずみ計 (気圧および温度補正) および GNSS による面積ひずみの時系列。青色が体積ひずみ計のデータを表す。経年的なトレンドを除去するためハイパスフィルタ (カットオフ 3 年, ゼロ位相) で処理し, 遠地地震波による広域ひずみへの校正係数と, 地表を仮定した面積ひずみへの変換係数を乗じてある。黒色が GNSS によって求められた, 左図の緑色の三角形の面積ひずみを表す。体積ひずみ計と同じハイパスフィルタで処理した。顕著に見られる周期 1～2 年程度の変動パターンについて, 両者は良く一致している。ボアホールひずみ計はドリフトの評価が困難なことから長期的なデータの解析には不向きと考えられるが, 少なくとも 2～3 年の周期帯までは解析に有用であることが明らかになった。

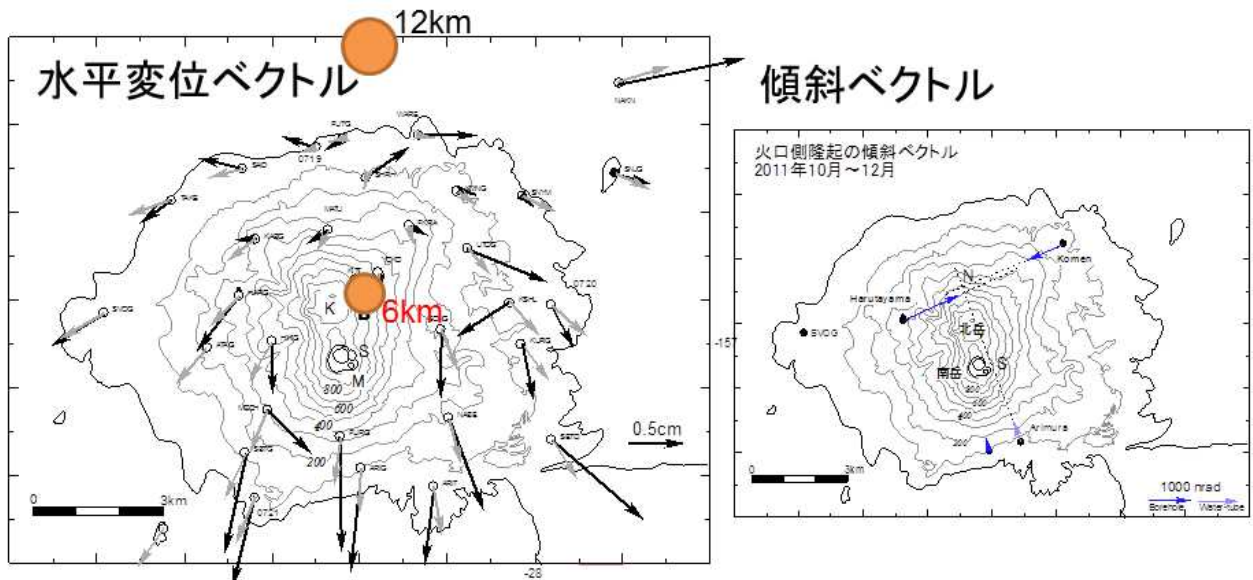


図 2. 昭和火口噴火活動活発期の初期における始良カルデラおよび桜島地盤変動 (水平変動) と圧力源 (茂木モデル・2 圧力源) の位置

(左) 2009 年 11 月から 2010 年 4 月までの桜島島内における水平変位ベクトルと圧力源の推定。始良カルデラ中央部の圧力源に加え, 北岳下の深さ 6km にも圧力源が推定された。

(右) 傾斜ベクトル

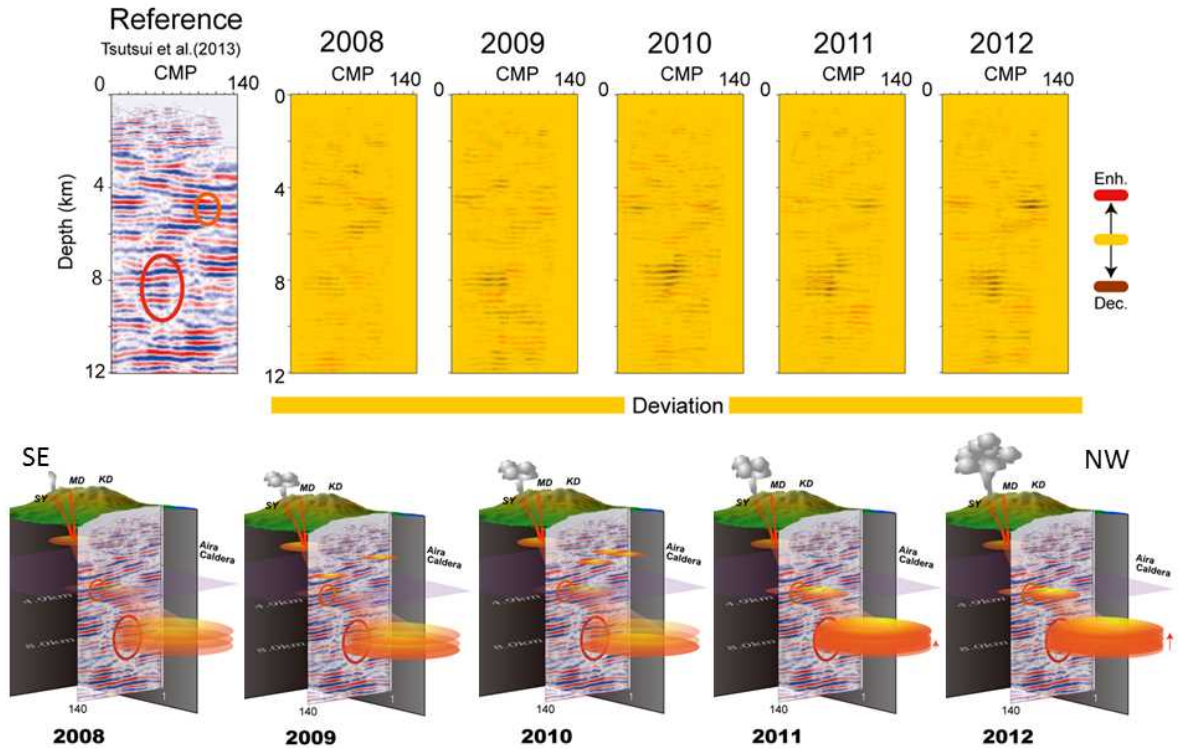


図 3. 2008 年から 2013 年における桜島北部の地震波反射断面の時間変化。

この間の平均的な断面図から偏差によって上段に示す。また、その解釈を下に模式図として示す。赤い円盤はマグマに見立てた負極性反射体を表し、反射強度を反射体の透明度（透明＝弱い、不透明＝強い）で表現した。2009 年から 2010 年にかけて、8km 深でマグマの貯留が進むとともに、浅部へのガス浸入が発生すると推定される。2011 年以降は 8km 深の反射面の上昇が認められるとともに、4.9km 深の不連続面付近にマグマの注入が進行している可能性が指摘される。

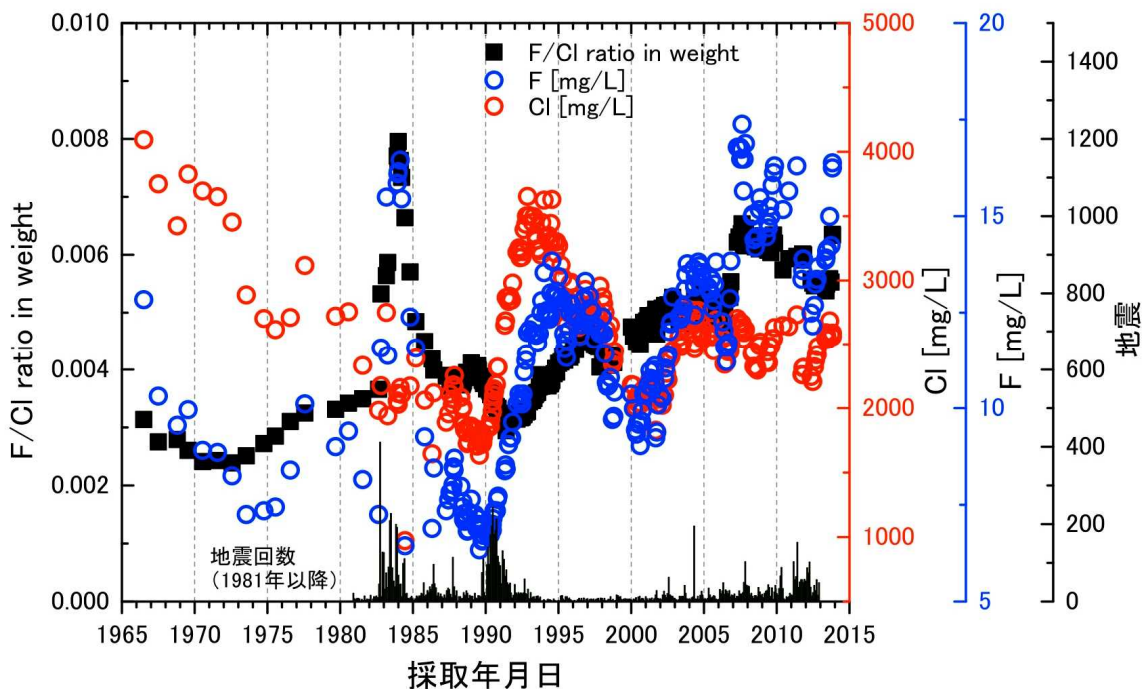


図 4. 草津白根山の湯釜火口湖水中の塩化物イオン及びフッ化物イオン濃度の時間変化。

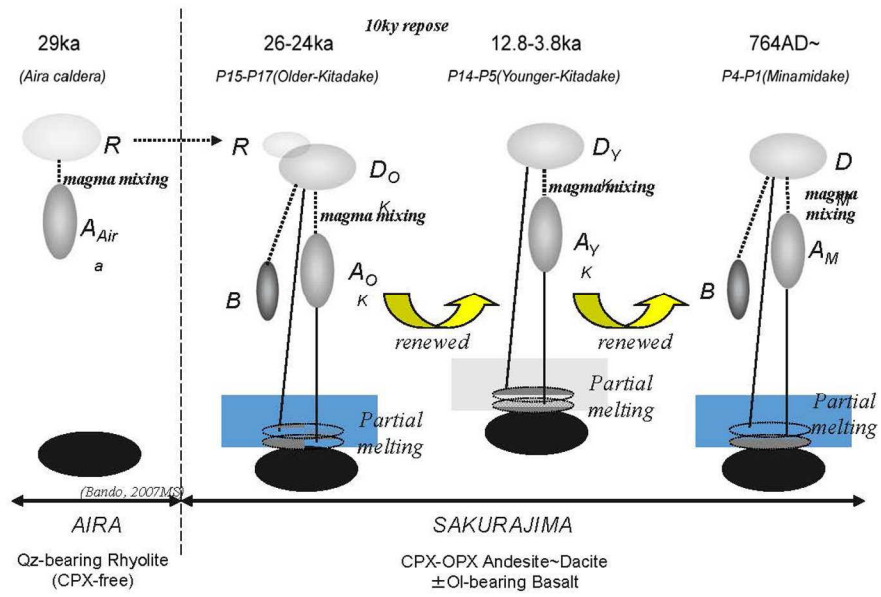


図 5. 桜島火山のマグマ供給系の長期進化モデル。

R：流紋岩質マグマ，D：デイサイト質マグマ，A：安山岩質マグマ，B：玄武岩質マグマ。2.6 万年間にマグマ供給系は 2 回更新された。



図 6. 爆発的噴火に前駆するひずみ変化（火口と直交方向）。矢印は爆発の発生を示す。