

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が明らかにし、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は、マグマ供給系を含む地下の構造や状態の時間変化の把握によりマグマ上昇・蓄積過程と、地質学的調査研究に基づく噴火履歴の解明とマグマの発達過程を解明し、モデル化する必要がある。火山噴火準備過程研究計画では、「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」の研究を2つの柱とし、両者をあわせて考察することにより噴火現象をモデル化し、それを導入した噴火シナリオの作成に資することを目的としている。

研究成果のまとめ

A 1. マグマ上昇・蓄積過程の多様性の把握

これまでの研究により、マグマ上昇・蓄積過程には多様性があることが明確に認識された。これは地盤変動の時間変化と噴火活動との関係から以下のように大別できる。

- 1) 伊豆大島のように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で山体膨張と収縮が繰り返す活動
 - 2) 2011年霧島山新燃岳噴火のように山体膨張の開始がそのまま噴火に直結する活動
 - 3) 桜島のように山体直下のマグマの蓄積と噴火によるマグマの放出が同時に起こりマグマ蓄積はその収支バランスの上にあられる活動
- 1) 噴火活動はないが、それに先行してマグマの蓄積を表していると考えられる地盤の膨張や地震活動がある火山として最も特徴的なのは伊豆大島である。伊豆大島では約3年の周期で山体の膨張と収縮が繰り返され、長期的にみれば膨張が継続しているが、山体の膨張期にカルデラ内と周辺海域において地震活動が活発化することが知られている(東京大学地震研究所[課題番号:1413])。火山噴火準備過程部会ではその例として岩手山を取り上げた。岩手山では1998年に地震活動が活発化し、それに伴って顕著な地盤変動が観測されており、地盤変動は岩手山西部の茂木ソースの膨張とダイク貫入によるものとの解釈されている。それから10年が経過した2009年から2010年にかけて再び小規模な地盤の膨張を検出することができた。ソースの位置は1998年のダイク貫入と同じ位置であり、同じ場所にマグマが繰り返し貫入していることが示された(図1, 東北大学[課題番号:1209])。静穏と思われる火山でも繰り返しマグマの貫入が起こっていることを裏付けた。
- 2) 2011年1月の霧島新燃岳噴火に先行して約1年前から明瞭な山体の膨張が検出されていた。新燃岳を取り囲むGPSの長基線(約24km)、中基線(約4km)、短基線(約800m)の噴火前の基線長変化を詳しく調べたところ、中短基線では、2005年12月頃(マグマ噴火の約5年前)からすでに前兆的膨張があったことが明らかになった。また、長基線も2006年頃から収縮が鈍化した可能性が指摘できる。深部マグマだまりは2006年頃からマグマ蓄積を開始し、火口直下の熱水だまりの活動を励起していたとみられる(気象庁[課題番号:7019])。GEONET及び気象庁、防災科学技術研究所のGPS観測点データを統合解析した結果に基づき霧島山の噴火前、噴火時、噴火後の変動源について

モデル化した。2009年12月から2011年1月の噴火までに増加した圧力源の体積変化は約 $1.5 \times 10^7 \text{m}^3$ となった。また、噴火直後から再膨張が始まったが、時間依存インバージョン解析によって霧島山のマグマ溜まり体積変化の時間関数を求めることができた(図2, 国土地理院[課題番号:6016])。

- 3) マグマの貫入と噴火が同時に発生し、マグマ蓄積はその収支バランスの上に成り立つ火山として、桜島があげられる。桜島の噴火活動はおよそ1年ごとに消長を繰り返しているが、爆発回数が増加する時期に膨張ひずみと中央火口丘(南岳～北岳)側が隆起する傾斜変化が観測され、爆発回数が減少に向かう時期には収縮・沈降の地盤変動が観測された。火山灰放出量を考慮してマグマの供給率を見積もるとマグマ供給率が正及び負となるサイクルを1年おきに繰り返し、爆発回数が多い時期はマグマ供給率が増加し、少ない時期はマグマが過剰に放出されていることが分かる(図3, 京都大学防災研究所[課題番号:1809])。

A 2. マグマ供給率と貫入イベント発生頻度の比較

桜島では1年ごとに繰り返されるマグマ供給率の増加に加え、百年間の平均的マグマ供給率1千万 $\text{m}^3/\text{年}$ を上回る供給率が約5年ごとに現れる。1995年以降のGPS観測データでは、1998年～1999年、2004年後半～2005年初め、2009年後半～2010年初めがその時期に当たる。これは水準測量によって得られた上下変動でも捉えられている。先に述べた昭和火口の爆発活動のピークのうち最初の活動期は約5年ごとにあらわれるマグマ供給率増加期に一致する(京都大学防災研究所[課題番号:1809])。

桜島において1年あるいは5年周期のマグマ貫入速度の増加は、岩手山で10年ぶりにマグマ貫入が検出されたこと(東北大学[課題番号:1209])と比べるとかなり頻度が高く、桜島の最近百年間の噴火活動度の高さとマグマ供給率の速さを反映している。

B. 物質科学的解析に基づくマグマ供給系の変化

クリチェフスコイ火山、十勝岳、有珠山、羊蹄山、蔵王山、伊豆大島、桜島で調査を行い、火山の形成年代史とマグマ供給系の発達過程が明らかになりつつあるが、直接的な予知にとって最も重要な成果は桜島におけるマグマ供給系の変遷過程が明らかにになったことである。文明及び安永噴火は2端成分マグマ混合によるマグマが噴出したが、大正噴火以降は、それに加え、玄武岩質マグマが関与する3端成分マグマ混合が起こっていることがわかった。南岳爆発期、2006年以降の昭和火口爆発期においても玄武岩質マグマが間歇的に混合し、玄武岩質マグマの混合比率が増加したときに噴火活動は活動的となる(図4)。3端成分マグマ混合は大正噴火以降だけでなく、天平宝治の噴火でも同様であったが、少なくとも20世紀になってから現在までの活動では、玄武岩質マグマが関与を始め、その貫入が噴火の規模と頻度をコントロールしていることが指摘できる(北海道大学[課題番号:1004])。

C. 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

桜島において地盤変動観測と降灰量から求められるマグマ供給率が大きい貫入期と負となる放出期を繰り返していることは、物質科学的データとも整合的である。火山灰付着成分の水溶性成分のC1/Sモル比はマグマ供給率が大きい貫入期、特にその初期において大きい値をとり、高温のマグマが供給されたことが示唆される。また、 SO_2 の放出量は貫入期において増加している。また、黒神観測井の温泉ガス中の CO_2 濃度は貫入期に増加する(図3, 京都大学防災研究所[課題番号:1809])。さらに、貫入期においては噴出物の分析から玄武岩質マグマが関与した SiO_2 の少ないマグマが供給されていることが指摘できる(図4, 北海道大学[課題番号:1004])。

また、桜島において2009年後半からの活動期に先行して黒神観測井の水素ガス濃度が著しく高くな

ったが、水素ガス濃度の増加は5年ごとに現れる大きいマグマ供給率の増加と対応しているようにみえる。草津白根山の湯釜火口壁の噴気ガスには水素ガス濃度が増加しており（東京工業大学 [課題番号：1602]）、今後水素ガス濃度の変化にも注目していく必要がある。

これまでの課題と今後の展望

マグマ蓄積に多様性はあるものの上記 1)～3)にいくつかの共通性が指摘できる。1つは短期的な山体の収縮があったとしても膨張量は収縮量を上回っており、長期的には膨張が続くことである（典型的には伊豆大島、桜島の例）。2つ目はマグマ貫入イベントは繰り返し発生する、あるいは段階的に進行することである。1)と3)の違いは噴火活動にすでに至っているかどうかの違いであり、マグマ蓄積が繰り返し起こっていることに違いはない。2)はマグマ蓄積イベントの繰り返しが休止期を挟まない、あるいは挟んでも極めて短い場合である。

マグマ蓄積あるいは貫入イベントが繰り返し発生するとすれば、1つのイベントをとらえただけでは、火山噴火準備過程にあることは言えても、それを現実的な予知予測に結び付けることは難しい。閉塞型火道系をもつ火山の場合、すなわち、噴火活動の静穏期にあるが地下での火山性地震の発生や山体の膨張が見られる火山では、火山噴火準備過程を①マグマ蓄積系の形成過程、②マグマ上昇による火道形成過程、③噴火直前過程に分けて考える必要がある。予知のためには異なる火山のマグマ蓄積の多様性のメカニズムの理解よりも、個々の火山における現在の火山噴火準備過程がどの段階にあるかの判断がより重要である。

火道が開口型となっている火山でも基本は同様であり、①マグマ蓄積系の発達過程、②マグマ上昇量増加による火道発達過程、③更に規模の大きい噴火直前過程に置き換えればよいが、火道の開口率や既存火道の大きさに対するマグマの貫入量の比などを考慮する必要がある。

次に、①の開始、①から②へ、②から③への移行、すなわち①から③への火山噴火準備過程の発展過程を理解、モデル化が問題となる。後に述べるように②から③への移行の問題は防災システムを有効に機能させるために極めて重要である。多くの火山が次の噴火に向けてマグマ蓄積系の形成過程にあると考えられるが、地下構造の精査とその時間発展を調査するための火山体の構造探査を行い、マグマの蓄積系への供給率やその時間変化の多様性が構造に起因するものかどうかを確かめる必要がある。マグマ蓄積系周辺の構造だけでなく、より深部の構造がマグマ供給率を決めている可能性もある。一方で、5カ年計画の短い研究機関の間に個々の火山における火山噴火準備過程の発展過程を理解することは不可能である。マグマ蓄積の多様性はマグマ供給系周辺の環境に依存するという考え方とは別に、一見多様に見えるマグマ蓄積は火山噴火準備過程の発展過程段階の違いを示すものという考え方に立ち多くの火山の発展過程の研究から、発展過程の法則を見出す研究も必要であろう。

○マグマの発達過程の研究の推進

これまでの研究で多くの火山における形成年代史やマグマの発達過程が明らかにされつつある。マグマの発達過程がいくつかの火山において示されたことは、マグマは常に進化しており、将来において過去と同様の噴火を繰り返さない可能性を示唆する。予知という観点からみれば、過去の噴火履歴を未来にもってこるだけでは不十分である。マグマの性質は噴火様式と直結しており、予知研究としてはマグマの発達予測の研究として進めるべきである。噴火シナリオは基本的に過去の噴火履歴に依存しているが、マグマの発達予測をなすことにより、噴火シナリオをより高度なものにすることが可能である。

○地球物理学的観測研究と物質科学的研究の融合

マグマの発達過程は複数の端成分マグマの混合により説明されているが、マグマの発達予測の研究としては、端成分マグマの実態を明らかにするとともに、定性的マグマ混合から定量的マグマ混合の研究へと進めるべきである。桜島においては20世紀以降、玄武岩質マグマの長期的関与の割合の増加と短期的な玄武岩質マグマの注入による噴火活動の活発化が指摘されている。玄武岩質マグマの貫入により噴火活動が活発化するのであれば、予知研究としては、他方の端成分である安山岩質マグマの貯留場所、玄武岩質マグマの貫入場所とともに玄武岩質マグマの貫入量を把握し、マグマの混合比を推定することが必要となる。逆に物質科学から見た混合比から玄武岩質マグマの貫入量を推定することも必要である。監視観測からみると玄武岩質マグマの貫入を検出できるのかどうか問題となる。

これまでの噴火史に基づき階段ダイヤグラムを作ることにより、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。構築によるマグマ供給速度を基準として、地盤変動観測に基づく現在のマグマ供給速度からみてどの段階にあるのか、少なくとも2010年段階での霧島新燃岳のマグマの供給率は $10^7\text{m}^3/\text{年}$ を超えており、かなり大きい。

○部会の統合

これまでの火山噴火前兆現象の把握の実績から見て、③噴火直前過程にあることはマグマ性噴火の場合、かなりの割合で把握できる。ところが噴火直前の過程にあっても、噴火の発生時刻を事前に予測することはかなり難しいし、避難等の防災対策を行う十分な時間を確保するためには、特に直前段階に至るその前段階の把握が極めて重要である。すなわち、いよいよ噴火警戒レベル4、5に上がる段階に入って来たかどうかという判断である。2010年10月26日の17時に発生したインドネシア・メラピ火山の爆発的噴火では25日の朝に警報レベルが4（気象庁レベルの4、5に相当）に上げられ、山頂から10km以内の住民7万人が避難することに成功した。事前避難が成功した背景には、現地で意思決定がなされたことや噴火発生までに2日の昼間の時間があったことがあげられるが、最大の要因は10月21日に警報レベルが3に上げられ、最終段階に近づいたことが周辺の自治体と住民に周知されたことであり、③に上がるべき②の段階の把握が極めて重要であることを意味する。現建議に基づけば、①マグマ蓄積系の形成過程は火山噴火準備過程で、③噴火直前過程は火山噴火過程で扱われるが、火山噴火直前時の②マグマ上昇による火道形成過程の把握は、防災システムを有効に機能させるために極めて重要であるにもかかわらず、1998年の岩手山における噴火危機を除いて、その時点で②の過程にあるという認識に多くの火山で乏しい。もともと、①から③を経て噴火に至る過程はシームレスに進行するものであり、部会を分けてまでも研究を進める根拠に乏しい。また、火山噴火推移の複雑性と多様性は以前から指摘されていることで、現在の建議においても火山噴火過程で取り扱われている。しかし、噴火推移よりも噴火発生前の方がより複雑で多様であり、しかも地下の情報しかないのでその解明はより難しい。マグマ蓄積の開始から噴火発生を経て、終息に至るまでの一連の火山活動過程について研究を進めるべきと考える。第7次火山噴火予知計画以前では一体として研究を進めてきたはずのものである。

成果リスト

Aizawa, K., W. Kanda, Y. Ogawa, M. Iguchi, A. Yokoo, H. Yakiwara, T. Sugano, 2011, Temporal changes in electrical resistivity at Sakurajima volcano from continuous magnetotelluric observations. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 199, 165-175.

相澤広記・小山崇夫・長谷英彰・上嶋誠, 2011, MT 連続観測による桜島地下浅部の比抵抗変化(2), 課

- 題番号1809, 「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22年度報告書, 61-66.
- 安藤 忍, 2011, ALOSデータを用いたInSAR 解析により捉えられた2010 年Eyjafjallajokull 火山噴火に伴う地殻変動, 測地学会誌, 57, 49-59.
- 伴 雅雄, 2011, 活火山のマグマ供給系進化に関する岩石学的研究の進展—噴出物の高分解時間変化からの知見—. 地質学雑誌, 117, 310-328.
- Ban, M., 2011, Origin of Quaternary Low-K Basalts in Rear Arc Side of NE Japan. In: West J.P. (ed.) Basalt:Types, Petrology and Uses: Nova Scientific Publishers, 95-113.
- 伴 雅雄, 2011, 日本の活火山(15) 蔵王山. 砂防と治水, 44(4), 81-82.
- Ban, M., S. Hirofumi, O. Ishizuka, and N. Iwata, 2012, Petrologic study of explosive pyroclastic eruption stage in Shirataka volcano, NE Japan: Synchronized eruption of multiple magma chambers. In: Al-Juboury A.I.(ed.) Petrology - New Perspectives and Applications: InTech - Open Access Publisher, 57-72.
- Cheng, B., D. Zhao, and G. Zhang, 2011, Seismic tomography and anisotropy in the source area of the 2008 Iwate-Miyagi earthquake (M 7.2), Phys. Earth Planet. Inter., 184, 172-185.
- 長谷川健・中川光弘・岸本博志, 2011, 北海道東部カルデラ火山群の大規模火砕噴火史, 月刊地球, 33, No.22, 726-734.
- Hasegawa, T., M. Nakagawa, M. Yoshimoto, Y. Ishizuka, W. Hirose, S. Seki, V. Ponomareva, and R. Alexander, 2011, Tephrostratigraphy and petrological study of Chikurachki and Fuss volcanoes, western Paramushir Island, northern Kurile Islands: Evaluation of Holocene eruptive activity and temporal change of magma system. Quaternary International, 246, 278-297.
- 長谷川健・中川光弘・伊藤順一・山元孝広, 2011, 北海道東部, 釧路地域に分布する第四系の年代: 高分解能テフラ層序に基づく対比と編年, 地質学雑誌, 117, 686-699.
- Huang, Z., D. Zhao, and L. Wang, 2011, Seismic heterogeneity and anisotropy of the Honshu arc from the Japan Trench to the Japan Sea, Geophys. J. Int., 184, 1428-1444.
- 井口正人・太田雄策・植木貞人・為栗健・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫, 2011, 2010 年桜島火山活動を考える, 京都大学防災研究所年報, 54B, 171-183.
- 井口正人, 2011, 桜島火山の噴火活動—2010 年6 月～2011 年7 月—, 課題番号1809, 「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22 年度報告書, 1-8.
- 井口正人・他5 名, 2011, 桜島昭和火口噴火開始以降のGPS 観測 (2010 年～2011 年), 課題番号1809, 「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22 年度報告書, 35-42.
- 井口正人・平林順一, 2011, 桜島・黒神における温泉ガス濃度 (2010 年～2011 年), 課題番号1809, 「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22 年度報告書, 67-70.
- 神田徑・小山崇夫・小川康雄・山脇輝夫・寺田曉彦・Songkhun Boonchaisuk, 草津白根山における地殻連続観測, 日本火山学会秋季大会予稿集, 134, 2011.
- 国土地理院, 2011, 桜島の茂木ソースの位置と体積変化量, 火山噴火予知連絡会会報, 106, 190-195.
- 国土地理院, 2011, 桜島の茂木ソースの位置と体積変化量, 火山噴火予知連絡会会報, 107, 198-203.
- 国土地理院, 2011, 霧島山周辺の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, 106, 154-161.
- 国土地理院, 2011, 霧島山周辺の地殻変動, 火山噴火予知連絡会会報, 107, 167-174.
- 森 俊哉, 2011, 昭和火口と南岳火口の火山ガスHCl/SO₂ 比の推移, 課題番号1809, 「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22年度報告書, 71-76.

- 中川光弘・松本亜希子・宮坂瑞穂・富樫泰子・井口正人, 2011, 桜島火山の噴火活動様式とマグマ供給系の20世紀からの変化とその意義. 課題番号1809, 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22年度報告書), 85-94.
- Nakagawa, M., N. Hiraga, and R. Furukawa, 2011, Formation of a zoned magma chamber and its temporal evolution during the historic eruptive activity of Tarumai Volcano, Japan: Petrological implications for a long-term forecast of eruptive activity of an active volcano. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 205, 1-16.
- 野上健治・他5名, 2011, 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その2. 課題番号1809, 「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22年度報告書, 81-84.
- 及川輝樹・星野安治・山田和芳・伴 雅雄・奥野充, 2011, 火山噴火を高時間分解能に記録するもの一年輪, 年縞, 腐植土壌—. *地質学雑誌*, 117, XIII-XIV.
- 大久保修平・他8名, 2011, 桜島火山における絶対重力観測(2), 課題番号1809, 「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22年度報告書, 55-60.
- 太田雄策・植木貞人・出町知嗣・井口正人, 2011, 桜島火山山腹におけるGPS連続観測および予備的な解析結果(2010年度), 課題番号1809, 「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22年度報告書, 43-48.
- 嶋野岳人・井口正人, 2011, 桜島昭和火口噴出物の石基ガラス組成連続変化とひずみ変動の比較, 課題番号1809, 「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22年度報告書, 77-80.
- Takebe, Y., and M. Ban, 2011, Temporal change of geologic features in the pyroclastic surge dominated deposits of the Komakusadaira pyroclastics in Zao volcano, NE Japan. *International Journal of Geology*, 5, 1-13.
- 寺田暁彦・青山 裕・野上健治・山脇輝夫・齋藤政城, 草津白根山で2011年5月27日に観測された山性微動を伴う地殻変動?傾斜変動から示唆される浅部流体輸送過程. *日本火山学会秋季大会予稿集*, 44, 2011.
- Tomiya, N., K. Koike, M. Iguchi, and M. Omura, 2011, Analysis of topographic change at Mount Sakurajima, South Kyushu, Japan, using JERS-1 SAR interferometry. *Geoinformatics*, 22, 17-24.
- 津久井雅志, 2011, 浅間火山天明噴火:遠隔地の史料から明らかになった降灰分布と活動推移. *火山*, 56, 65-87.
- 津久井雅志, 2011, 史料にもとづく桜島火山1779年安永噴火の降灰分布. *火山*, 56, 89-94
- 筒井智樹・今井幹浩・對馬和希・八木直史・井口正人・為栗健, 2011, 桜島火山北東部の表層地震反射構造, *火山*, 56, 201-212.
- 筒井智樹・他37名, 2011, 桜島火山における反復地震探査(2010年観測), *京都大学防災研究所年報*, 54B, 195-208.
- 筒井智樹・他19名, 2011, 桜島火山における反復地震探査(2010年観測), 課題番号1809, 「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22年度報告書, 9-22.
- 上澤真平・中川光弘・江草匡倫, 2011, 南西北海道, 羊蹄火山の完新世噴火史の再検討. *火山*, 56, 51-63.
- 八木原寛・他6名, 2011, 桜島火山の周辺海域における繰り返し海底地震観測, 課題番号1809, 「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22年度報告書, 23-28.
- 山本圭吾・他10名, 2011, 桜島火山周辺における水準測量(2010年11月), 課題番号1809, 「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22年度報告書, 29-34.
- 山本圭吾・他13名, 2011, 桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定(2010年9月および10月),

課題番号1809, 「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22年度報告書, 49-54.

山脇輝夫・青山 裕・寺田暁彦・野上健治, 草津白根山における広帯域地震観測, 日本火山学会秋季大会予稿集, 137, 2011.

吉田友香・舟越実・西田誠・近江克也・高木朗充・安藤忍, 2012, GPS 観測で捉えられた吾妻山の地殻変動. 駿震時報, 印刷中.

鬼澤真也, 2012, 伊豆大島火山の地殻変動. 火山噴火予知連絡会会報, 109, 印刷中.

鬼澤真也, 2012, 霧島山(新燃岳)の地殻変動. 火山噴火予知連絡会会報, 109, 印刷中.

鬼澤真也, 2012, 伊豆大島火山の地殻変動. 火山噴火予知連絡会会報, 110, 印刷中.

Zhao, D., Z. Huang, N. Umino, A. Hasegawa, T. Yoshida, 2011, Seismic imaging of the Amur-Okhotsk plate boundary zone in the Japan Sea, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 188, 82-95.

Zhao, D., W. Wei, Y. Nishizono, and H. Inakura, 2011, Low-frequency earthquakes and tomography in western Japan Asia: Insight into fluid and magmatic activity, *J. Asian Earth Sci.*, 42, 1381-1393.

Zhao, D., S. Yu, and E. Ohtani, 2011, East Asia: Seismotectonics, magmatism and mantle dynamics, *J. Asian Earth Sci.*, 40, 689-709.

(図掲載の際の書式)

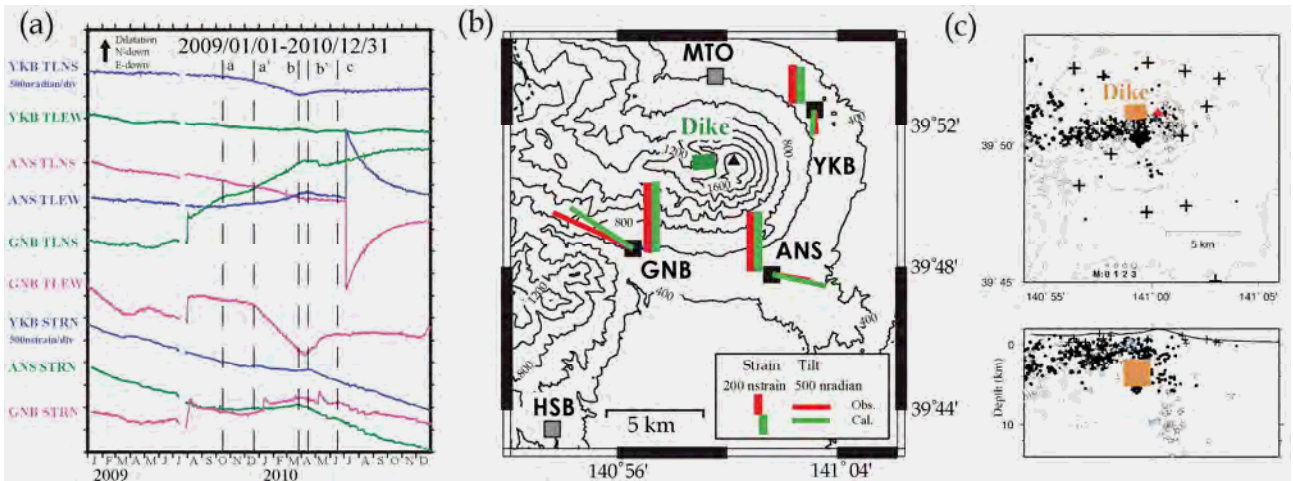


図1. 岩手火山で観測された短期傾斜・ひずみ変動。(a)2009年～2010年の傾斜・ひずみ記録, (b)前期(2009年10月～2010年3月)の傾斜・ひずみ変動観測値(赤印)とダイクモデルから求めた計算値(緑印)の空間分布, ならびに, (c)ダイクモデルと1998年活動の震源分布. ダイクは, 1998年活動域の直下に位置し, マグマの貫入を示唆する.



図2. 時間依存インバージョン解析による霧島山のマグマ溜まり体積変化(国土地理院[課題番号:6016])

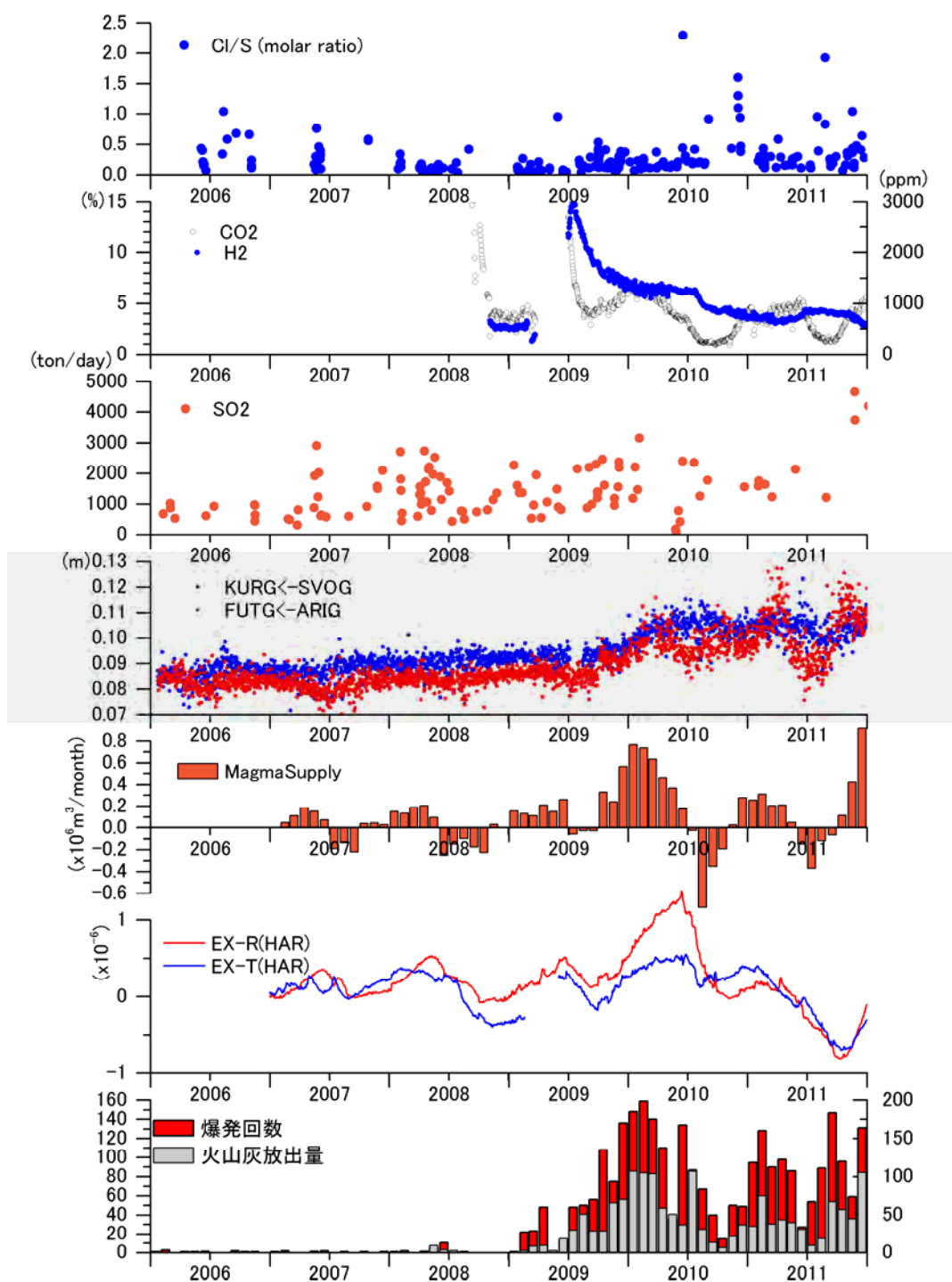


図3. 桜島火山における多項目観測の時系列変化（京都大学防災研究所 [課題番号：1809]）。1段目：火山灰付着性水溶性成分のCl/Sモル比，2段目：黒神観測井における温泉ガスの二酸化炭素及び水素ガス濃度，3段目：二酸化硫黄放出率，4段目：GPS観測による東西方向（KURG-SVOG）及び南北方向（FUTG-ARIG）の基線長水平成分の変化，5段目：桜島山頂下へのマグマ供給量，6段目：ハルタ山観測坑道におけるひずみ変化（EX1：伸縮計火口方向，EX2：伸縮計直交方向），7段目：月別爆発回数及び火山灰放出量（万トン）

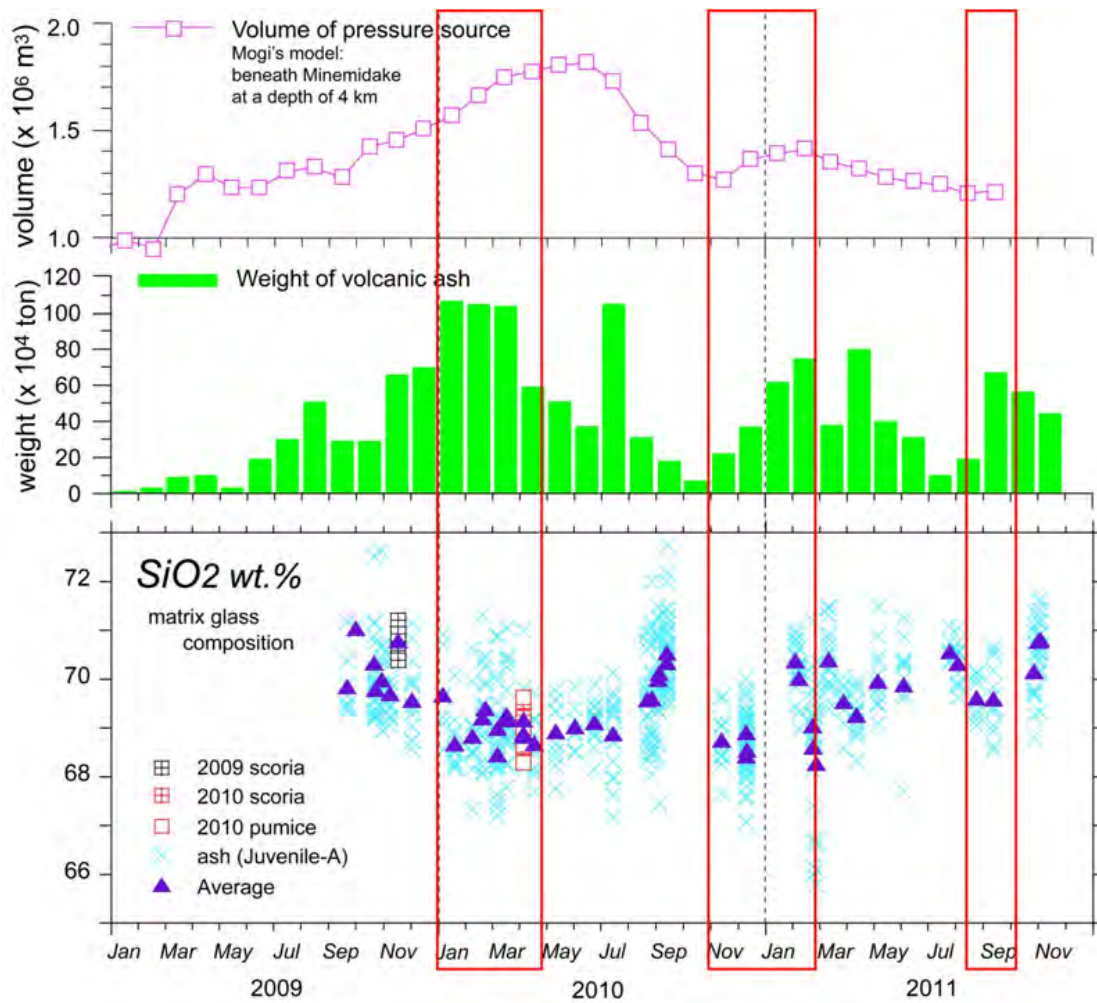


図4. 桜島火山2009年～2011年の地球物理学的観測データとマグマ組成の時間変化の関係（北海道大学〔課題番号：1004〕）. (上)膨張圧力源の体積変化：南岳地下4kmの茂木ソースを想定，(中)月別火山灰放出量，(下)本質物の石基ガラス組成 SiO_2 量. 赤枠の時期が活動度が上昇した時期で，その時期にはガラスは SiO_2 が乏しくなり，玄武岩質マグマの混合比が増加していると考えられる。