

2006年口永良部島火山活動の概要

Volcanic Activity at Kuchinoerabujima Volcano in 2006

井口 正人(京都大学防災研究所)

Masato Iguchi (Sakurajima Volcano Research Center, DPRI, Kyoto University)

1. はじめに

口永良部島火山は、屋久島の西方 14km にある安山岩質の活火山島である。島の中心には新岳、古岳、野池などの中央火口丘を有する。記録に残されている噴火は新岳あるいはその東の割れ目から発生した。最古の噴火は 1841 年 5 月 23 日(天保 12 年 4 月 3 日)の噴火である。この噴火によって集落が焼失した。桜島の大正噴火の直後にも鳴動が聞かれている。口永良部島は昭和の初期に活動的であり、1931 年、1932 年、1933 年から 1934 年にかけて比較的規模の大きい噴火が発生した。特に 1933 年 12 月 24 日から翌年 1 月 11 日までの爆発では新岳南東の距離 1.9km にある七釜集落は噴石によって全滅し、死者 8 名、負傷者 26 名の被害をもたらした。その後、口永良部島火山は 1945 年にも爆発が発生した。1966 年 11 月 22 日の噴火では、新岳の北から東北東にかけて噴石が飛散し、3km の距離に達した。1980 年にも新岳の東に形成されていた割れ目から爆発が発生するなど、口永良部島は水蒸気爆発を繰り返してきた。

一方、口永良部島は離島であるために、火山観測・調査は十分行われているとはいえない。1966 年 11 月 22 日の噴火の 3 ヶ月前には地震観測が行われたが、火山性地震はほとんど観測されなかった(吉川・他, 1969)。1969 年から鹿児島県地震火山協議会による地震の連続観測が始まったが、火口からの距離が遠いために、微小火山性地震の検出が

困難であった。京都大学防災研究所桜島火山観測所(現:火山活動研究センター)は、火口近傍での連続観測の必要性を顧みて、1991 年 12 月の新岳の噴気異常を契機に、新岳火口の西方 0.4km の地点(KUC)において火山性地震の常時観測を行ってきた(京都大学防災研究所, 1992;1993;1996)。新岳山腹の地震観測点から山麓まで無線テレメータにより地震の信号を伝送し、パソコンを用いたトリガー方式により地震波形を記録した後、桜島火山観測所まで加入回線を用いて波形を伝送してきた(Iguchi, 1991)。1996 年に火山性地震が増加した際には新岳火口から 3.3km の距離にある山麓の GPS 観測室に地震計を増設した。2000 年には集中総合観測が実施され、口永良部島において観測される火山性地震は新岳直下の浅い部分で発生していることなどが明らかになった(井口・他, 2001)。

しかしながら、常設観測点が 2 点だけでは、火山性地震の震源位置も十分に把握できないため、京都大学防災研究所では 2002 年 5 月に新岳火口の北西、北および古岳に常設観測点を増設し、観測を継続してきた。1999 年の火山性地震活動の活発化以降、毎年のように地震活動が活発化する時期が現われるようになり、特に、2006 年 11 月には 330 回の火山性地震が観測された。本稿では、1992 年以降の観測結果に基づき、2006 年の火山活動の特徴について述べる。

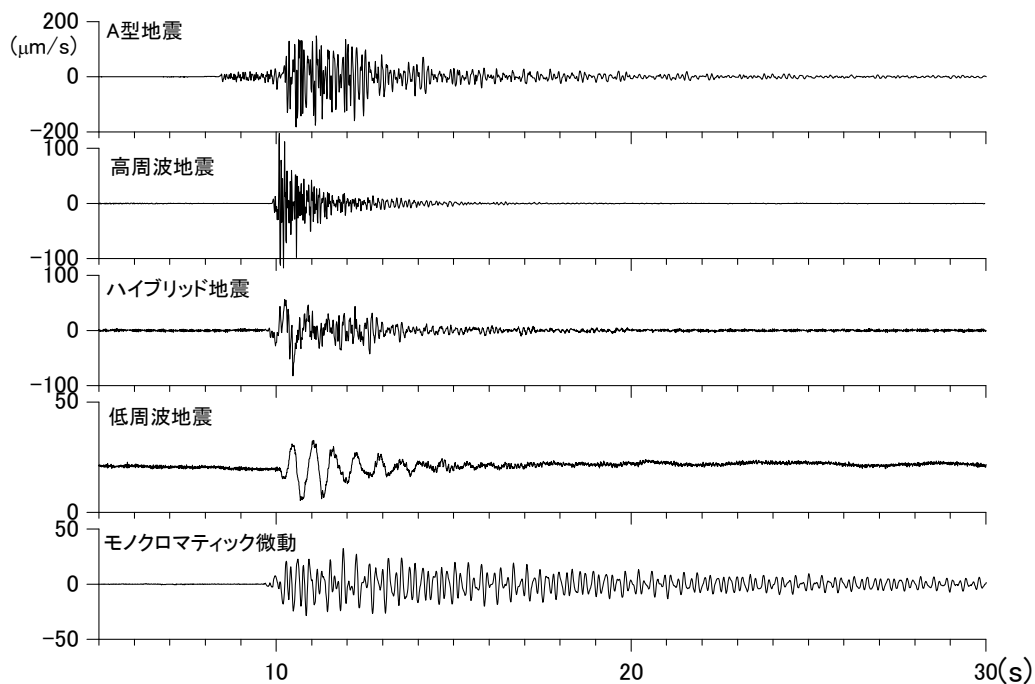


図 1. 口永良部島火山における典型的な火山性地震の波形例

2. 火山性地震の特徴

図 1 に 1992 年以降、口永良部島火山において観測された火山性地震の典型的な記録を示す。特徴的な 6 種類の火山性地震・微動が認められており、次のような特徴をもつ。

A 型地震: 構造的な局地地震に似ており、P 波および S 波の位相が明瞭である。ここでは、S-P 時間が 3 秒以下のものを A 型地震とした。

高周波地震: 5Hz 以上の高周波成分が卓越する地震であり、S-P 時間が 0.2 秒程度と短い。ため地震記象から S 波の位相の識別が困難である。数秒の間隔をおいて連発することが多い。

低周波地震: 5Hz 以下の低周波成分が卓越する地震であり、S 波の位相の識別が困難である。

ハイブリッド地震: 5Hz 以下の低周波成分に高周波成分が重畳した地震である。高周波地震と

低周波地震の両方の特徴を併せ持つものを特に、ハイブリッド地震とした。

モノクロマティック地震: 正弦波的な振動からなるコーダ部が一様にゆっくりと減衰していく地震である。浅間山火山でしばしば観測される N 型 (Sawada, 1998) あるいは T 型 (浜田・他, 1975) と呼ばれる地震に類似している。5Hz 以下の低周波成分が卓越するものと 6Hz 以上の高周波成分が卓越するものに分けられる。

高周波微動: 5Hz 以上の高周波成分が卓越する微動であり、単独で発生する場合と高周波地震のあとに継続する場合がある。

このうち、低周波地震とモノクロマティック微動は、スペクトルおよび波形の特徴から分類が容易である。いずれも新岳火口直下の海水面付近の浅い場所を震源とする地震である (Triastuty et al, 2007, 本報告)。

一方、高周波地震と A 型地震はどちらも高周波成

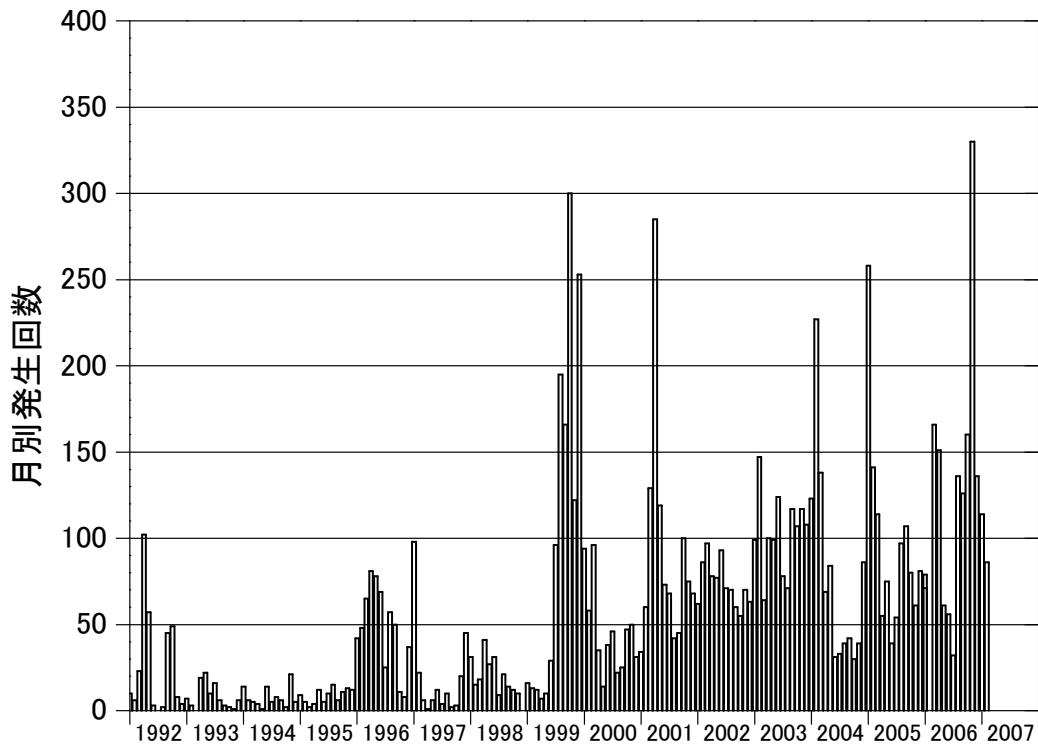


図 2. 火山性地震の月別発生頻度

分が卓越し、高周波地震は数秒の時間間隔において連続的に発生することがあるため、1 点の記録だけからは、A 型地震の P 相、S 相なのか、高周波地震の連発なのか判断が困難な場合がある。高周波地震の S-P 時間は 0.2 秒程度できわめて短い A 型地震では 1~3 秒であり、その震源位置に明らかな違いがある。2002 年以降、多点地震観測を実施することによりその震源が精密に決定できるようになった。高周波地震は新岳火口内の海水準よりも浅い場所において発生するが (Triastuty et al., 2007, 本報告)、A 型地震は口永良部島新岳の北西山麓や島の西側において発生し、その深さも 3~4km 程度と深い (為栗・井口, 2007, 本報告)。また、1996 年と 1999 年には口永良部島と屋久島間の海域において地震が多発した。

高周波地震は東西方向に伸長軸をもつ正断層型であることも分かってきた (Triastuty et al., 2007, 本報告)。

3. 地震活動の推移

図 2 に KUC 観測点において最大振幅が $10 \mu\text{m/s}$ 以上の火山性地震について月別頻度を示す。これらの地震のほとんどが高周波地震である。1999 年 7 月以前は火山性地震の発生頻度は少なく、発生頻度が 50 を超えたのは、1992 年 4・5 月、1996 年 3 月から 6 月・8 月、1997 年 1 月にすぎない。1999 年 7 月以降、火山性地震の活動が活発化していることがみてとれる。1999 年 10 月には 300 回の火山性地震が観測された。それ以降、ほぼ毎年のように地震活動の活発な時期が現れるようになり、2001 年 4 月、2003 年 2 月、2004 年 2 月、2005 年 1 月にはそれぞれ 285 回、147 回、227 回、258 回の火山性地震が観測された。

2006 年にはいっても 3 月には 166 回、4 月には 151 回の地震が発生したが、その後火山性地震の発生頻度は減少し、7 月の発生回数は 32 回であった。ところが 8 月ごろからモノクロマティック地震が頻

繁に発生するようになり、10月には低周波地震も発生するようになった(Hetty et al., 2007, 本報告)。更に11月には高周波地震が頻発し330回に達した。11月2日には42回の地震が発生した。それ以降、減少傾向にあるが、依然として高い活動のレベルにあることには変わらない。1999年7月以降、火山性地震の活動期が波状的に繰り返され、しかもより活動的になっていることがいえる。

4. 地盤変動

火山性地震活動の活発化に伴い、地盤の膨張も進行していることが明らかになった。井口・他(2002)は1995年・1996年と1999年のGPS観測から得られた水平変位から新岳を中心に地盤が膨張したことを見出した。地盤が膨張した時期については繰り返し観測からは分からないが、2004年4月に産業技術総合研究所と京都大学防災研究所により開始されたGPS連続観測では、2005年1月から5月までの火口周辺の地盤の膨張に対応する新岳北西の観測点の北西方向への変位は火山性地震の活動期に対応することが明らかになった(斎藤・井口, 2006)。さらに2006年9月からも同様な変動が観測されるようになり、2007年1月現在も膨張が進行している(斎藤・井口, 2007, 本報告)。これも火山性地震の活動期に対応している。さらに注目すべきことは、1995年・1996年～1999年までの地盤変動の圧力源は海水面以下のやや深い場所にあったのに対し、2005年の膨張期では新岳直下の深さ300m、2006年では深さ100m程度とより浅い場所に圧力源の位置が移動していることがわかる(井口・他, 2007, 本報告書)。

5. 熱活動

地震活動の活発化および地盤の膨張に連動して熱活動も活発化している。口永良部島の新岳の東側の割れ目の南の端、および西側から南の火口縁

にかけて多数の噴気が存在する(口絵参照)。神田・他(2001)は2000年8月から衛星通信を利用した全磁力測定を開始し、新岳火口直下で熱消磁が火山性地震活動の活発化に連動して進行していることを指摘している(神田・藤井, 2003)。新岳火口内でも噴気が確認されはじめた2003年には熱消磁を示す全磁力変化がさらに進み、高温流体の新岳火口浅部への移動と解釈した。2006年9月ごろからGPS連続観測によって新岳火口付近の地盤の膨張が観測され始めたがこれと同期して熱消磁を示す全磁力変化が再度繰り返されている(神田, 2007, 本報告)。全磁力測定から推定される新岳火口浅部における温度上昇に伴い、噴気活動の活発化が目視され、地表面温度が上昇していることが観測されている。2001年には新岳火口底では噴気がみられなかったが(井口・鍵山, 2002)、2003年2月ごろから目視できるようになり(口絵参照)、熱赤外映像観測により温度異常域が確認された。また、西側から南側縁の噴気地帯でも温度異常域が拡大しているのが観測された。地盤の膨張や全磁力変化は2006年9月から検出され始めているが、2006年10月に実施された空中赤外熱映像観測でも新岳、火口底および南西側の熱異常域がさらに進んでいることが観測されている(井口, 2007, 本報告)。平林・他(2007, 本報告)は新岳の南側の噴気地帯において噴気温度の連続観測を行っているが、92℃まで低下していた温度が2006年8月ごろから急激な上昇に転じ、9月には98℃まで達したことを報告しており、地表付近の温度上昇・熱異常域の拡大も地盤の膨張が始まった時期に進行したことがわかる。

6. 2006年火山活動の評価

口永良部島において2007年3月時点では火山性地震の発生回数は減少傾向にあり、まだ、噴火に至っていないことから2006年の火山活動の活発化は、1999年7月から毎年のように繰り返されてきた活

動の高まりの 1 つであると一応解釈できる。しかしながら、一連の活動の高まりの中で、火山性地震活動、地盤変動、熱活動、火山ガスのデータが最も高いレベルにあり、次の点には特に注目すべきである。

1) モノクロマティック地震および低周波地震活動
口永良部島では 1996 年、1999 年の地震活動の活動期の初期にもモノクロマティック地震や低周波地震が観測されており(井口, 2002), 2006 年の活動でも同様に火山性地震活動のピークであった 11 月に先行してモノクロマティック地震は 8 月、低周波地震は 10 月を中心として多数観測された。これらのタイプの地震回数は 1996 年、1999 年よりもはるかに多い。モノクロマティック地震や低周波地震が火山性流体の動態と関連していることは従来から他の多くの火山において指摘されており(例えば, Aoyama and Takeo, 2001), 活動の初期にこれらの地震が多数発生したことは、多量の火山性流体が浅部まで上昇してきたとみるべきである。

2) 圧力源の浅部への移動

GPS 繰り返し観測によれば、水平変動がみられる領域が明らかに新岳火口周辺に集中してきていることが分かる。2006 年の地盤変動を引き起こした圧力源の深さを井口・斎藤(2007, 本報告)は 130m と見積もっており、圧力源が極浅部まで移動してきていることは間違いない。この膨張は火山性流体が極浅部まで上昇してきたことによるものと解釈できる。同じ時期に熱消磁を示す全磁力変化が進んだこと(神田, 2007, 本報告)はこの流体が高温であることを示す。

3) 噴気ガスの組成変化

平林・他(2007, 本報告)は、新岳火口周辺の噴気ガスを繰り返し採取し、分析を行っているが、2006 年 9 月の時点で火口の南の噴気の SO_2 濃度が明らかに上昇している。このことは、南山麓からの SO_2 放出量測定によっても 40ton/日と測定できるほどまでになっている(森, 2007, 本報告)ことからわかる。また、2005 年 2 月ごろからあらわれているが、火山活

動指標となる H_2 ガス濃度や $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ モル比も上昇している。

2006 年の活動の高まりは次のような過程であったと推定される。8 月にはモノクロマティック地震が多数発生したことから火山性流体が上昇し始めた。9 月に入るとその供給量が増加し、地盤の膨張が急激に進行し、全磁力変化として現れるようになった。また、モノクロマティック地震や低周波地震が多数発生した。11 月には高周波地震が多数発生しているが、その一方で、地盤の膨張率は低下した。高周波地震はその発震機構からみて岩石の破壊によって生じると考えられるが、火山流体の上昇に伴う圧力の増加によって周辺の岩石が破壊され始め、その破砕領域の間隙や従来からあった噴気への通路を通して火山ガスの一部がリークし始め、圧力が急激に上昇しなかったと考えれば、急激に膨張しなかったことを解釈できる。12 月に実施された SO_2 放出量の測定は口永良部島では初めてのことであり、いつから SO_2 放出量が増加したかは明らかではないが、その時点で口永良部島火山から放出されている火山ガスの総量は日量約 3,200ton(森, 2007, 本報告)と推定されており、火山ガスの放出により圧力増加が緩和され 2006 年の時点では噴火に至らなかったと思われる。しかしながら、火山流体の上昇に伴う圧力変動源の上昇は新岳火口の極浅部に至っており、次の活動の高まりにおいても耐えきれぬ保証はどこにもない。

7. 活動の推移予測

これまで述べてきたようにすべての観測結果が火山活動の活発化を示しており、近い将来噴火する可能性が極めて高い。1980 年の噴火は、新岳東側の割れ目で発生した小規模なマグマ水蒸気爆発であったが(京都大学防災研究所・他, 1981), 20 世紀には 2 回のブルカノ式噴火が発生しているとされており(下司・小林, 2006), また、新岳溶岩は 8 世紀ま

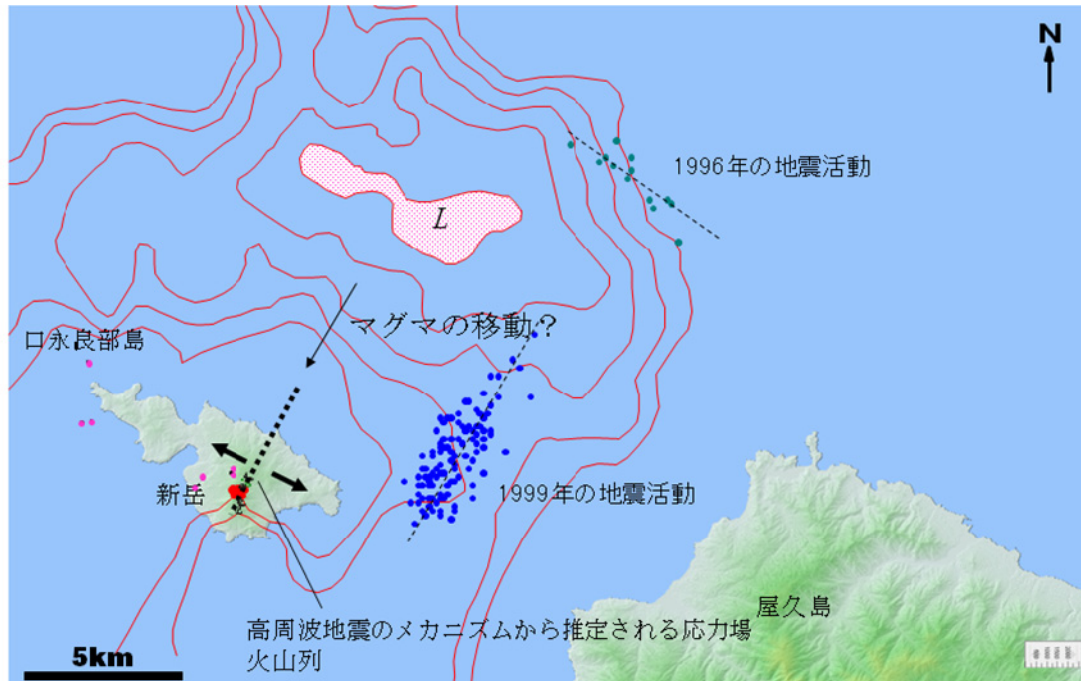


図 3 観測推定されるマグマ溜まりとその移動の可能性. L:負の重力残差. カルデラに対応すると考えられている. ● 新岳直下の高周波地震, ● A型地震, ● 1996年5月の地震, ● 1999年11月～12月の地震活動.

たは 11 世紀ごろ噴出したと推定されている(味喜・他, 2002)ことから, 仮に次の噴火が水蒸気爆発で始まるにしてもその後, マグマ性噴火に移行する可能性は十分あると考えられる. また, 最近の観測によってもマグマが新岳の地下に存在すると考えられるいくつかのデータが得られている. (1)平林・他(2007, 本報告)は新岳西側および南側の噴気ガスにはマグマ由来の高温のガスに特徴的な CO ガスが含まれていることを指摘している. 噴気ガス温度が 100°C 前後と低く, HCl ガスが含まれていないことからマグマはまだ, 火山体内の地下水よりも深い場所にあると推定しているが, 注目すべき分析結果である. (2)新岳の西側山麓の水準測量によって新岳火口方向に近い点では 2005 年 9 月から 2006 年 12 月までの間に最大 3~4mm 程度の隆起が検出されている(高山・他, 2007, 本報告). GPS 観測から推定される圧力源の位置と変動の強度から見積もられる西側山麓における上下変動量は水準測量でも検出できる

量ではなく, 更に深い場所にも圧力源が存在すると考えざるを得ない. 2005 年 1 月には新岳の北西山麓, 同 12 月には西山麓, 2006 年 3 月には新岳から北西へ 7km 離れた, いずれも深さ 3~4km の場所で A 型地震が発生しており(為栗・井口, 2007, 本報告), これらはマグマの貫入を示唆するものかもしれない.

最後に, マグマ溜まりについて考察してみる. 駒澤・他(2007, 本報告)は重力の残差分布から口永良部島の北側にある負の重力残差はカルデラに対応し, 口永良部島はカルデラの南壁に位置すると考えた. 口永良部島のマグマ溜まりについては全くわかっていないのが実情ではあるが, もし存在するとすれば, 重力残差分布からカルデラとされた領域が最も可能性のある場所に思われる(図 3). 1996 年 5 月および 1999 年 11 月下旬から 12 月にかけての口永良部島北東海域における地震活動はこの領域の北および東側に位置する. これらの地震活動は新岳

直下の火山性地震活動の活発化とほぼ同じ時期であり、距離はやや離れているものの、マグマあるいは熱水流体・火山ガスなどを媒介としてお互いに関連し合っている可能性も否定できない。

新岳直下の高周波地震の発震機構は一樣に東南東—西北西に伸長軸をもつ正断層型であることから、口永良部島は東南東—西北西の伸長場にあると考えられる。口永良部島島内における重力探査によって野池、新岳、古岳などの中央火口丘に沿った負の重力残差が検出されている(駒澤・他, 2007, 本報告)。野池、新岳、古岳は東南東—西北西の伸長場において北北東から南南西へむけて形成された火山列と考えることができる。口永良部島周辺においても東南東—西北西の伸長場にあるすれば、北北東—南南西方向の割れ目が形成されやすく口永良部島北部のカルデラ下のマグマ溜まりから南南西方向へマグマがダイク状に貫入してきたとも考えることもできる。1999年以降、新岳火口直下の地震活動がそれ以前と比較して明らかに活発していること、1999年にはマグマ溜まりの可能性のあるカルデラ東方において地震活動が多発したこと、1999年の活動を含む期間のGPS観測から推定される圧力源が海水面よりも深い場所にあったことからマグマの貫入は1999年ごろから始まったと考えるのが最も妥当であろう。

参 考 文 献

Aoyama, H. and Takeo, M. (2001) Wave properties and focal mechanisms of N-type earthquakes at Asama volcano, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 105, 163-182.

浜田信生・神宮博・生本光二(1975)減衰の遅い終期微動を伴う火山性地震について, *火山*, 21, 167-183.

Hetty Triastuty, Masato Iguchi, Takeshi Tameguri and Tomoya Yamazaki (2007) Hypocenters,

spectral analysis and source mechanism of volcanic earthquakes at Kuchinoerabujima: high-frequency, low-frequency and monochromatic events (in this issue).

下司信夫・小林哲夫(2006)鹿児島県口永良部島火山最近3万年間の噴火活動, *火山*, 51, 1-20.

平林順一・野上健治・大島弘光・井口正人(2007)口永良部島の火山ガス観測(本報告).

Iguchi, M. (1991) Geophysical Data Collection Using an Interactive Personal Computer System (part 1) -Experimental Monitoring at Suwanosejima Volcano-, *Bull. Volcanol. Soc. Jpn.*, 36, 335-343.

井口正人(2002)口永良部島火山における火山活動—1992年～2000年—, 薩摩硫黄島火山・口永良部島火山の集中総合観測, 77-84.

井口正人(2007)空中赤外熱測定による口永良部島新岳周辺の地熱異常域変化の検出(本報告).

井口正人・鍵山恒臣(2002)口永良部島火山における空中赤外熱測定, 薩摩硫黄島火山・口永良部島火山の集中総合観測, 137-142.

井口正人・斎藤英二・鈴木敦生(2007)口永良部島火山におけるGPS繰返し観測—1995年～2006年—(本報告).

井口正人・山本圭吾・高山鉄朗・前川徳光・西村太志・橋野弘憲・八木原寛・平野舟一郎(2001)口永良部島火山における火山性地震観測—2000年集中総合観測—, 京都大学防災研究所年報, 44B, 53-58.

井口正人・山本圭吾・味喜大介・高山鉄朗・寺石真弘・園田保美・藤木繁男・鬼澤真也・鈴木敦生・八木原寛・平野舟一郎(2002)口永良部島火山における最近の地盤変動—1995年～2001年—, 京都大学防災研究所年報, 45 B, 601-608.

神田 径(2007)口永良部島火山の最近の地磁気変化について(本報告).

神田 径・藤井郁子 (2003) カルマンフィルターによ

- る火山性磁場変動検出の試み, 京都大学防災研究所年報, 46 B, 797-803.
- 神田 径・田中良和・宇津木充・井口正人・石原和弘 (2001) 衛星通信を利用した口永良部島火山における地磁気全磁力連続観測, 京都大学防災研究所年報, 44 B-1, 327-332.
- 駒澤正夫・中村佳重郎・山本圭吾・井口正人・赤松純平(2007)口永良部火山の重力異常(本報告).
- 京都大学防災研究所(1992)薩南諸島における火山活動(1991年1月～1992年5月), 火山噴火予知連絡会会報, 53, 101-107.
- 京都大学防災研究所(1995)薩南諸島における火山活動(1992年6月～1995年5月), 火山噴火予知連絡会会報, 62, 62-64.
- 京都大学防災研究所(1996)薩南諸島における火山活動(1995年5月～1996年5月) — 口永良部島火山の地震活動の活発化 —, 火山噴火予知連絡会会報, 65, 123-127.
- 京都大学防災研究所・東京工業大学工学部・鹿児島大学理学部(1981)1980年(9月28日)の口永良部島新岳の噴火(概報), 火山噴火予知連絡会会報, 20, 1-9.
- 味喜大介・井口正人・江頭庸夫・Agus Solihin(2002)口永良部島新岳の溶岩流の古地磁気学的年代推定, 薩摩硫黄島火山・口永良部島火山の集中総合観測, 159-168.
- 森 健彦(2007)口永良部島火山におけるCOMPUSSを用いた二酸化硫黄放出率の測定(本報告).
- 斎藤英二・井口正人(2006)口永良部島火山におけるGPS連続観測による気象要素を加味した3次元変位検出, 火山, 51, 21-30.
- 斎藤英二・井口正人(2007)口永良部島火山におけるGPS連続観測結果(本報告).
- Sawada, M. (1998) The source mechanism of B-type and explosion earthquakes and the origin of N-type earthquakes observed at Asama volcano, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 73, 155-265.
- 高山鉄朗・山崎友也・米田 格(2007)口永良部島火山における精密水準測量—2006年12月—(本報告).
- 為栗 健・井口正人(2007)口永良部島火山の広域地震活動観測(本報告).
- 山本圭吾・井口正人・高山鉄朗・石原和弘(1997)1996年口永良部島火山の地震活動の活発化について, 京都大学防災研究所年報, 40B-1, 39-47.
- 吉川圭三・江頭庸夫・西潔(1968)口永良部島の地球物理学的調査, 京都大学防災研究所年報, 11A, 133-140.