



京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute
Kyoto University

防災研究推進特別事業

平成18年度

口永良部島の水蒸気爆発発生と その後の推移の予測のための実践的研究

Practical Study on Prediction of Phreatic Eruption and Its Change at Kuchinoerabujima Volcano, Japan

平成 19年 3 月

March 2007

研究代表者 井口 正人
Coordinator Masato Iguchi



口永良部島新岳南縁の噴気活動(2007年2月6日). 古岳から新岳を望む.



新岳火口底北側の噴気活動(同日). 2003年2月頃から噴気活動が目視されるようになった.

目 次

口絵写真（口永良部島火山新岳火口）

序 文 井口 正人

研究報告

- 1 2006 年口永良部島火山活動の概要
..... 井口 正人 1

- 2 Hypocenters, Spectral Analysis and Source Mechanism of Volcanic Earthquakes
at Kuchinoerabujima: High-frequency, Low-frequency and Monochromatic Events
..... Hetty Triastuty, Masato Iguchi,
Takeshi Tameguri, Tomoya Yamazaki 9

- 3 口永良部島火山の広域地震活動観測 為栗 健・井口 正人 17

- 4 口永良部島火山におけるGPS連続観測結果
..... 斎藤 英二・井口 正人 21

- 5 口永良部島火山におけるGPS 繰返し観測—1995 年～2006 年—
..... 井口 正人・斎藤 英二
鈴木 敦生 25

- 6 口永良部島火山における精密水準測量—2006 年12 月—
..... 高山 鉄朗・山崎 友也
米田 格 33

| | | | |
|----|---|-------------------------------------|----|
| 7 | 口永良部島火山の最近の地磁気変化について | 神田 径 | 37 |
| 8 | 口永良部火山の重力異常 | 駒澤 正夫・中村佳重郎 山本 圭吾・井口 正人 赤松 純平 | 41 |
| 9 | 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 | 井口 正人 | 45 |
| 10 | 口永良部島口永良部島の火山ガス観測 | 平林 順一・野上 健治 大島 弘光・井口 正人 | 51 |
| 11 | 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 | 森 健彦 | 57 |
| 12 | 口永良部島火山における火山灰採取装置の設置 | 下司 信夫・小林 哲夫 | 63 |

序 文

火山噴火の予知については、予想される噴火がマグマ性噴火である場合、ほぼその発生が事前に予測できることがこれまでの桜島、有珠山、雲仙岳、三宅島の噴火の実績から示されている。現在の噴火予知の問題点は次の2つに集約できる。1つは水蒸気爆発のように前兆現象が小さい場合、事前に予知した実績がないことである。水蒸気爆発であっても噴石が 3km ほど飛散される場合もあることから災害は必ずしも小さいとはいえない。もう1つは、三宅島 2000 年噴火において問題を指摘されたように噴火の様式とその推移の予測は容易ではないことである。

口永良部島は記録に残されている最も古い噴火である天保 12 年(1841 年)の噴火以降、数年から 30 年おきに水蒸気爆発あるいはマグマ水蒸気爆発を新岳火口およびその東側の割れ目において繰り返してきた。2000 年に始まった有珠山、三宅島の活動が終息に向かっている現在、日本で最も危険な火山と位置付けられる。最後の噴火が発生した 1980 年から 26 年が経過しており、時期的にみても次の噴火が予想されるが、最近の地球物理学的観測は、次の噴火にむけて地下活動が活発化していることを示している。すなわち地震活動は 10 年前に比べはるかに活発になっており、新岳火口周辺の地盤が最近 10 年間で 3~4cm 膨張し、火口周辺の地磁気変化は火口直下における熱の蓄積を示していることである。これらの観測事実は次の噴火に向けての準備過程が着実に進行していることを示すが、では、どこまでこの準備過程が進行すれば噴火発生に至るのかという噴火発生の時期に関する問題はいまだに解決されていない。また、最近の地質調査によれば、口永良部島ではおよそ百年毎にマグマ性噴火が発生し、溶岩流出や火砕流もそれほど遠くない過去に発生していることもわかってきた。このことは、噴火活動は水蒸気爆発により始まるかもしれないが、その後マグマ性の噴火に移行するかもしれないことを示唆しており、噴火活動推移の予測の研究がきわめて重要であることを意味する。

そこで、京都大学防災研究所平成18年度防災研究推進特別事業において「口永良部島の水蒸気爆発発生とその後の推移の予測のための実践的研究」と題する研究計画を実施した。本研究では、準備過程が進行すればどの段階で噴火発生に至るのかという閾値に関する問題を解決

するとともに水蒸気爆発発生後にマグマ性噴火に推移していく可能性とその時期および規模を推定することを目指した。そのために、従来の地球物理学的観測の高精度化し、浅部熱水溜りの圧力増加を正確に見積もった。また、データ処理の広域化を行うことにより火山深部の活動状態を調査し、深部においてマグマがどこまで上昇しているのかを把握する。このために、地球物理学、地球化学、岩石学、地質学に精通した所内外の研究者の協力を得て、総合的観測調査を行った。本研究は当初の目的には十分とはいえないが、ここにその成果をとりまとめた。

最後に、口永良部島での観測においてお世話になった鹿児島県危機管理局、同防災航空センター、上屋久町役場、口永良部島の住民の方々に御礼申し上げます。

平成 19 年 3 月

研究代表者

京都大学防災研究所火山活動研究センター

井口 正人

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。

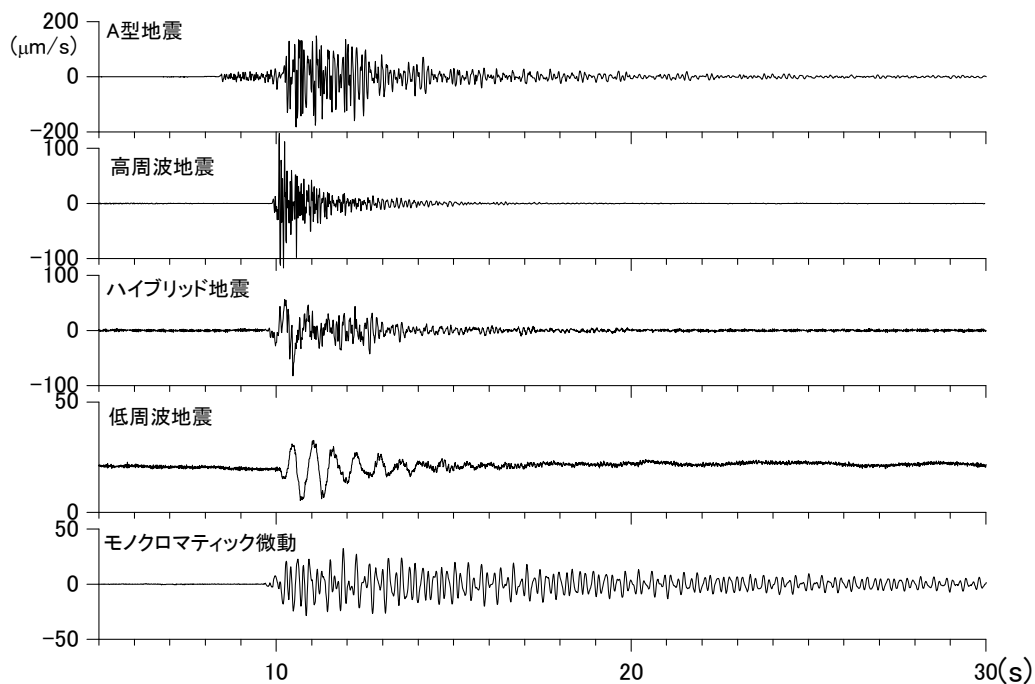


図 1. 口永良部島火山における典型的な火山性地震の波形例

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

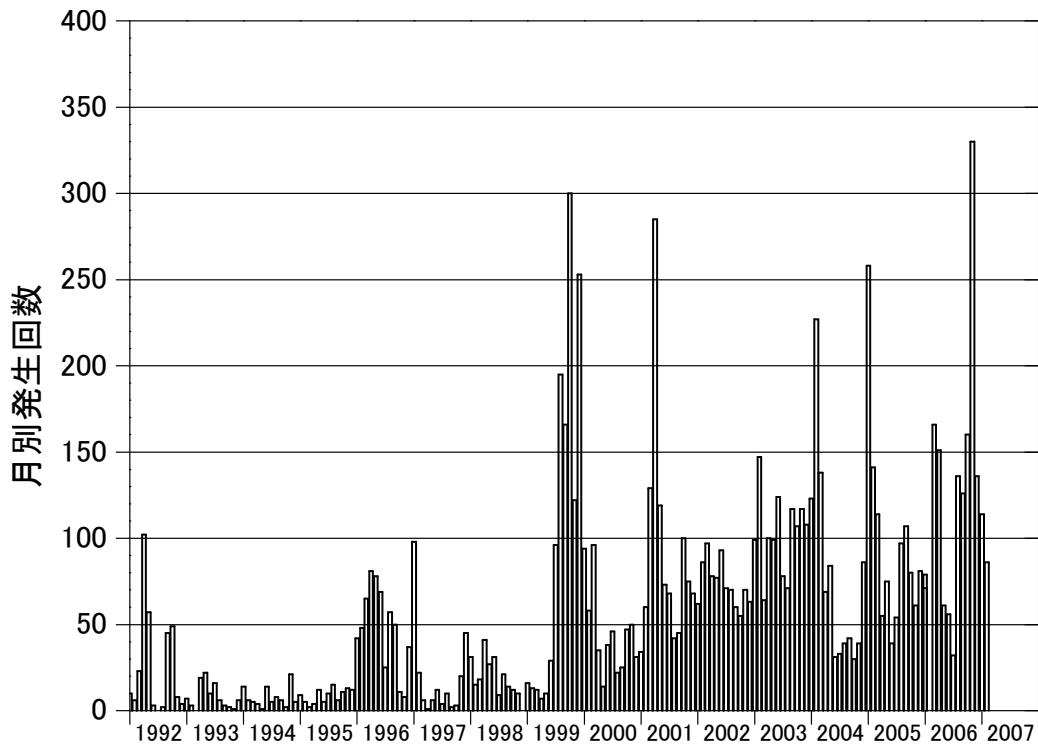


図 2. 火山性地震の月別発生頻度

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

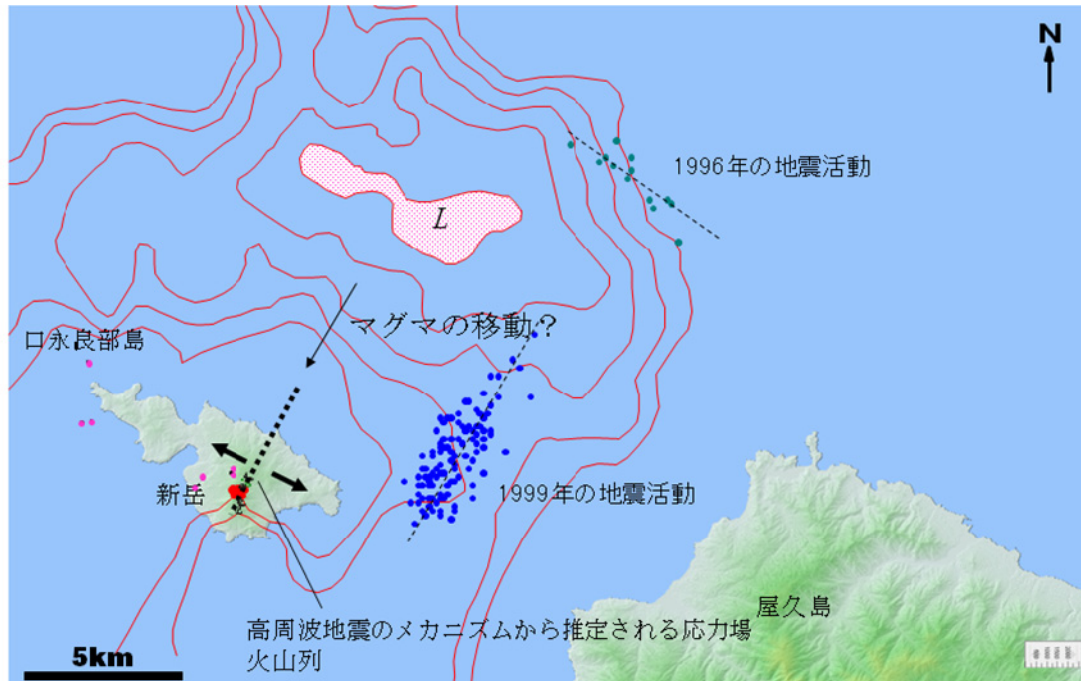


図 3 観測推定されるマグマ溜まりとその移動の可能性. L:負の重力残差. カルデラに対応すると考えられている. ● 新岳直下の高周波地震, ● A型地震, ● 1996年5月の地震, ● 1999年11月～12月の地震活動.

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.

Hypocenters, Spectral Analysis and Source Mechanism of Volcanic Earthquakes at Kuchinoerabujima: High-frequency, Low-frequency and Monochromatic Events

Hetty Triastuty, Masato IGUCHI, Takeshi TAMEGURI, Tomoya Yamazaki

Sakurajima Volcano Research Center, DPRI, Kyoto University

Synopsis

In 2006, monochromatic events characterized by slowly decaying quasi-sinusoidal coda part increased in August and September, and were followed by the increase of low-frequency (LF) events significantly in October. And then, high-frequency (HF) events increased to 450 events in November. Hypocenters of HF events located at the Shindake crater at depth of 0.0 to 0.6 km beneath the crater. LF and monochromatic events are also distributed inside the crater rim with 0.0 to 0.25 and 0.0 to 0.4 km in deep beneath the crater, respectively. HF events have a wide spectra in frequency range of 6~25Hz, meanwhile LF events dominated by lower frequency around 1~5 Hz. Monochromatic events show two patterns of spectra. First ones have a dominant frequency in range of 1~5 Hz and second ones have higher frequency around 6~15 Hz, and some subdominant peaks also appeared on the spectra. Fault plane solutions of HF events are normal fault type with WNW-ESE extension. Mechanisms of monochromatic events for high-frequency component are similarly normal fault types. LF and low-frequency monochromatic events show non double-couple mechanisms due to polarities at all stations are dilatation.

Keywords: High-frequency events, Low-frequency events, Monochromatic events, Kuchinoerabujima volcano

1. Introduction

Kuchinoerabujima volcano is located at Ryukyu Islands, South off Kyushu. The active crater is Shindake crater and the geothermal area is located at the western part of the crater. Historical records of eruption at Kuchinoerabujima started in 1841. Since then, several eruptions occurred in Shindake crater such as in 1931-1934, 1945 and 1966. The eruptions were dominated by phreatic eruptions. Last eruption was occurred at the fissure, east of the summit crater in 1980. Sometimes, the seismicity increased such as in March-June 1996, February 2004, January 2005 and November 2006. In August-December 1999 the number of volcanic earthquakes increased significantly and from that time to now, the seismicity at Kuchinoerabujima tends to be in the moderate to high level of volcanic activity.

To monitor the seismic activity of Kuchinoerabujima volcano, Sakurajima Volcano Research Center (SVRC) has built a seismic network, which is consisting of three broadband seismometers and three short-period seismometer of 1 Hz around the volcano (Figure 1). The data is telemetered to SVRC by telephone lines. To cover the eastern part of the volcano, since the beginning of September 2006, two temporary seismic stations have been installed at east and southeast part of the volcano (Figure 2). These seismic

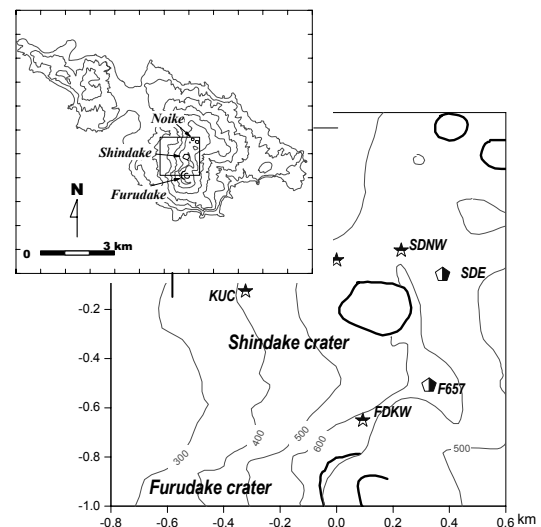


Figure 1 Seismic network at Kuchinoerabujima; stars and pentagons indicate permanent and temporary stations, respectively.

stations have been equipped with short period (1 Hz) 3 components seismometer. The data has been sampled

with a frequency of 100 Hz for horizontal components and 200 Hz for vertical component by data loggers (DATAMARK LS-7000XT)

Volcanic earthquakes of Kuchinoerabujima volcano can be classified into (Yamamoto et al., 1997; Iguchi et al., 2001):

1. A-type: P and S-waves can be identified clearly and spectra with dominant frequency 8~10 Hz.
2. High-frequency type (HF): S-wave can not be recognized clearly, has spectra with frequency of 6~30 Hz.
3. Low-frequency type (LF): S-wave can not be recognized clearly, dominated by lower frequency around 2~4 Hz and some subdominant frequency peaks appeared.
4. Monochromatic event: showing slowly decaying quasi-sinusoidal coda part, having 2 patterns of spectra i.e. with low dominant frequency and high dominant frequency, also showing several peaks of subdominant frequency.

Example of waveform of volcanic earthquakes at Kuchinoerabujima, which are analyzed in this study, can be seen in figure 2.

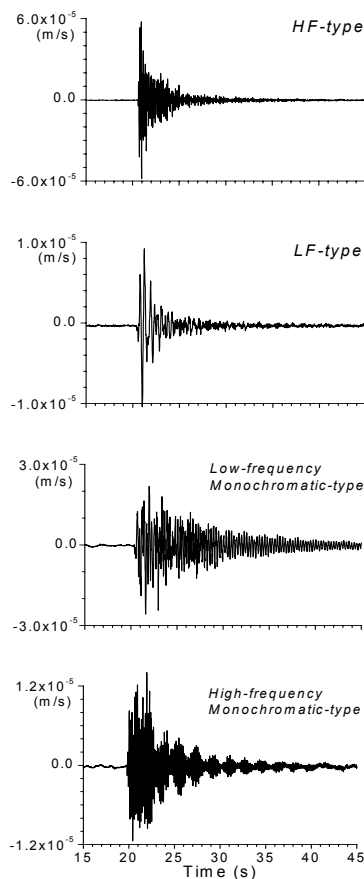


Figure 2. Waveforms of volcanic earthquakes at Kuchinoerabujima.

The seismicity at Kuchinoerabujima is dominated by HF events. Monochromatic event, for the first time was observed in March 1996, following the occurrences of A-type, LF-type and HF-type events in January 1996. During 2006, the seismicity at Kuchinoerabujima kept

high level. HF events dominated the seismicity (Figure 3). In August and September, number of monochromatic events reached 115 and 75, respectively. After that, the number of LF events increased significantly in October and about 55 events occurred in several days. And then, in November HF events reached 450 events.

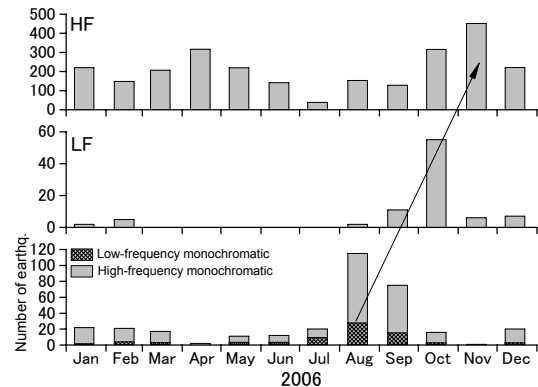


Figure 3. Monthly number of volcanic earthquakes at Kuchinoerabujima volcano in 2006.

Yamamoto et al. (1997) observed the monochromatic events, which were recorded in May-June 1996. They analyzed that the monochromatic events might not be generated by shear faulting mechanism, because polarities of P-wave first motions were dilatational at all the stations. This pattern was similar to LF events. The other study was done by Iguchi et al. (2001) suggested that repetition of HF events, which were generated by normal fault mechanism, was a trigger of monochromatic events that occurred in November 2000 to March 2001. In this study, hypocenter and source mechanism of HF, LF and monochromatic events recorded in 2006 will be analyzed and the results will be compared to the previous studies (Yamamoto et al., 1997; Iguchi et al., 2001).

2. Analysis

2.1. Hypocenter

Hypocenter is calculated by using WIN software. For the input is used P-wave arrival time, a reference point, coordinate of seismic stations and assuming a homogeneous half space of V_p is 2.1 km/s (Yamamoto et al., 1997 and Iguchi et al., 2001). In the calculation only t_p is used, due to $t_s - t_p$ is too small ≤ 0.2 s.

Figure 4 shows hypocenter calculation using 4 permanent stations and data from January - August and October - November 2006. Hypocenters of HF events are located at the crater with the depth of 0.0 to 0.6 km below the crater (Figure 4a). LF events are located at the crater with the depth of focus between 0.0-0.25 km below the crater (Figure 4b) and monochromatic events (Figure 4c) is located at depth of 0.0-0.4 km below the crater. Those three types of volcanic earthquakes are located at the same region. These results reveal that hypocenters of volcanic earthquakes in 2006 are

shallower than the previous studies which were done by Yamamoto et al. (1997) and Iguchi et al. (2001).

Figure 5 shows hypocenter calculation using 4 stations and 6 stations (including 2 temporary stations). Recorded data in September and December are used in

the calculation. Comparing both results show that the hypocenters are distributed at the crater with depth of hypocenter calculation for 6 stations deeper up to 0.08 km than calculation for 4 stations.

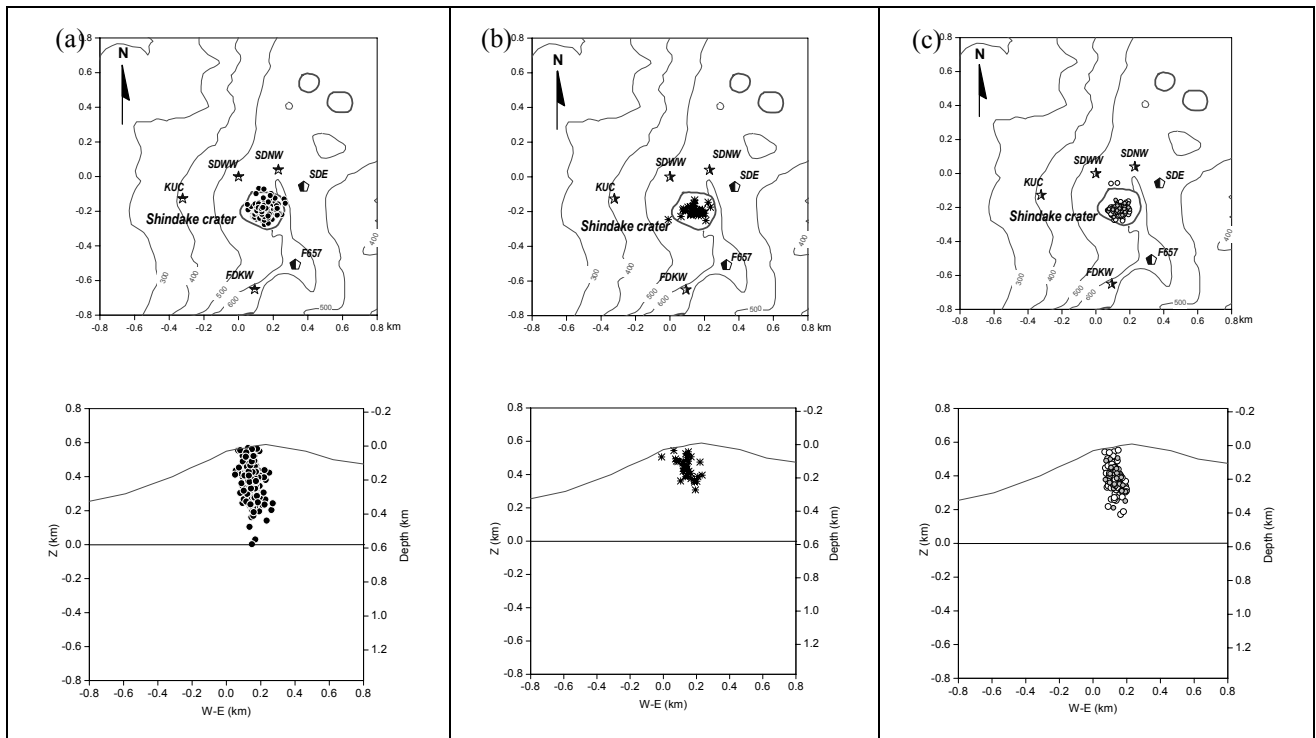


Figure 4. Hypocenter distribution of (a) HF events, (b) LF events and (c) Monochromatic events, grey and open circles indicate low-frequency and high-frequency monochromatic events, respectively.

2.2. Spectra Analysis

Spectral analysis is done by applying FFT algorithm on 10.24 s waveform start from the onset of HF type-, LF-type and monochromatic events. HF events show wide spectra with a dominant frequency around 6~25 Hz. Example of HF event can be seen in figure 6. Spectra of LF events have dominant frequency in range of 1~5 Hz. In figure 7, the dominant peak is about of 1.7 Hz.

Monochromatic events show 2 patterns of spectra, first pattern having a peak dominated by low frequency around 1~5 Hz, and the second pattern has dominant frequency in range of 6~15 Hz. On spectra of monochromatic events, several peaks of subdominant frequency can be identified. Figure 8a shows spectra of monochromatic event that have dominant frequency at 3.6 Hz, and subdominant peaks at 1.4, 6.7 and higher than 10 Hz. Figure 8b shows the dominant frequency at 13.3 Hz and subdominant peaks at 6.3, 12 and 16.4 Hz.

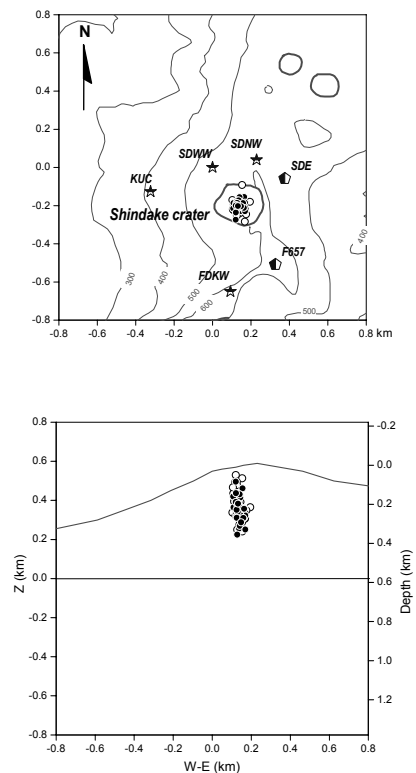


Figure 5. Hypocenter distribution using 4 stations (open circles) and 6 stations (solid circles).

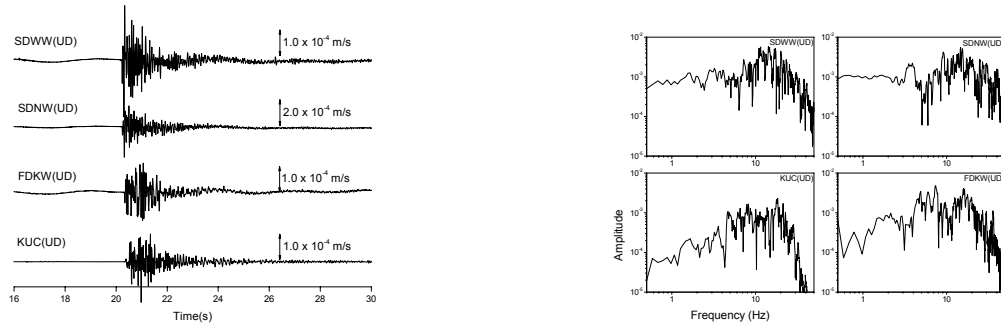


Figure 6. Waveform and spectra of HF event, recorded at 16:35:21, February 27

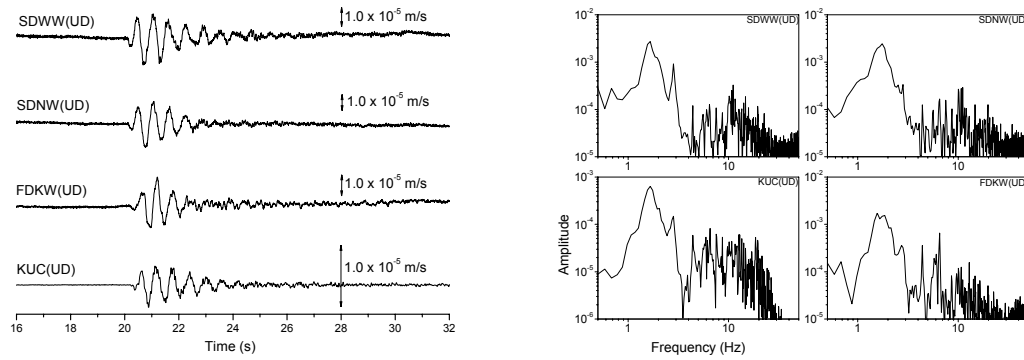


Figure 7. Waveform and spectra of LF event, recorded at 15:20:23, October 9.

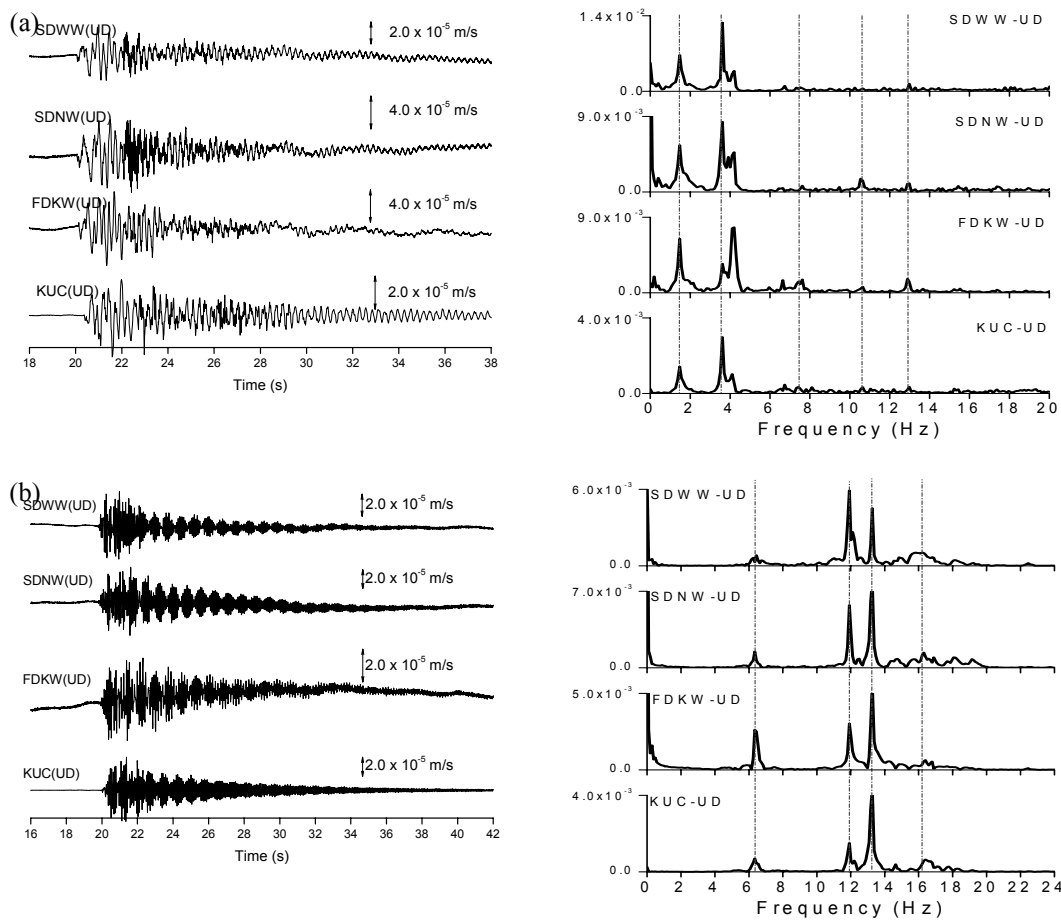


Figure 8. Waveform and spectra of monochromatic events, recorded (a) at 02:47:05, February 24 and (b) at 03:48:22, June 11.

2.3. Source Mechanism

In this section, fault plane solution will be obtained by assuming double-couple (DC) mechanism due to polarity of dilatational and compressional of P-wave first motions are mixed. Fault plane solutions of HF events are dominated by normal fault types with T-axis toward to WNW-ESE direction and P-axis nearly vertical (Figure 9). These results are similar to a previous study done by Iguchi et al. (2001). HF events occurred in November 2000 – March 2001 were also generated by normal fault type with east-west extension.

Due to only 4-6 stations used in this study, focal mechanism of HF events during period 2006 is compared to the HF events recorded during the research of subsurface seismic structure of Kuchinoerabujima

volcano in November 2004. In the 2004's research, 79 temporary stations were deployed on Kuchinoerabujima Island. Polarity distribution of P-wave first motion which can be identified is shown in figure 10. Those HF events in November 2004 were generated by normal fault type with T-axis tend to WNW-ESE direction and P-axis nearly vertical. In figure 10, two HF events recorded in November 11, 2004 were located at southern part of the crater with a depth about of 0.11-0.14 km below sea level deeper than HF events which occurred in 2006. In the hypocenter and focal mechanism determination, velocity structure resulting from active seismic survey at Kuchinoerabujima (Yamamoto et al., 2005) was used.

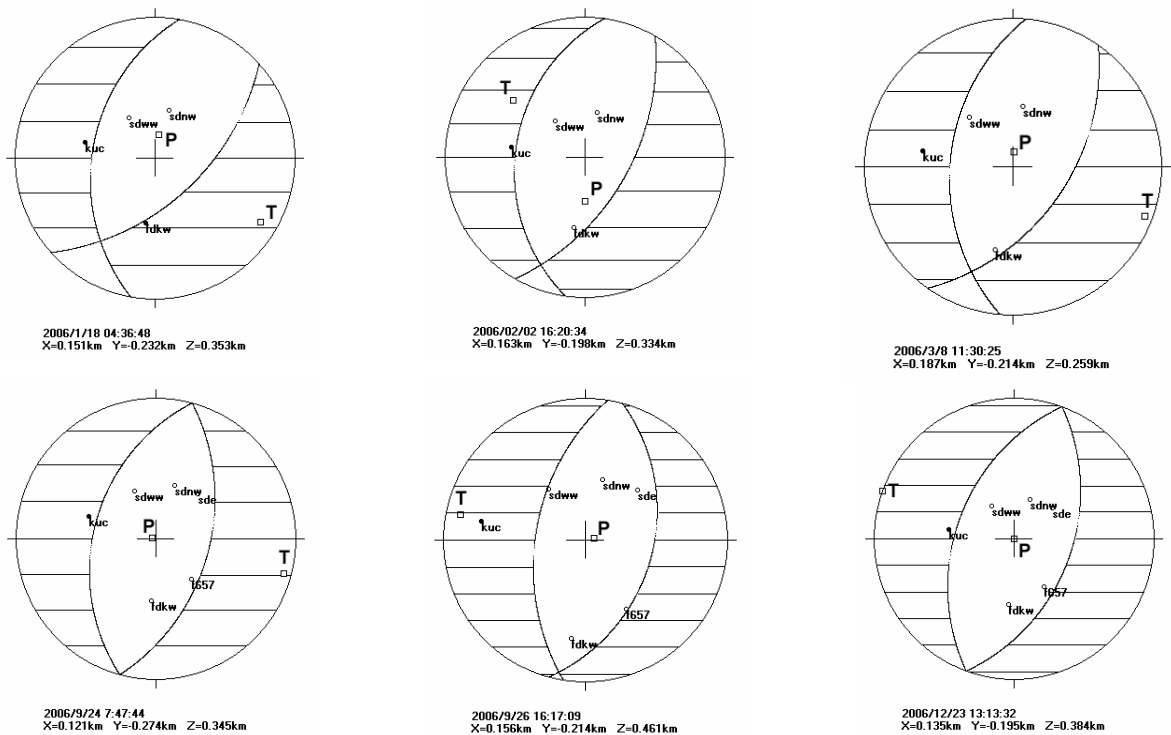


Figure 9. Focal mechanism of HF event in period year 2006 using 4 stations (above) and 6 stations (below)

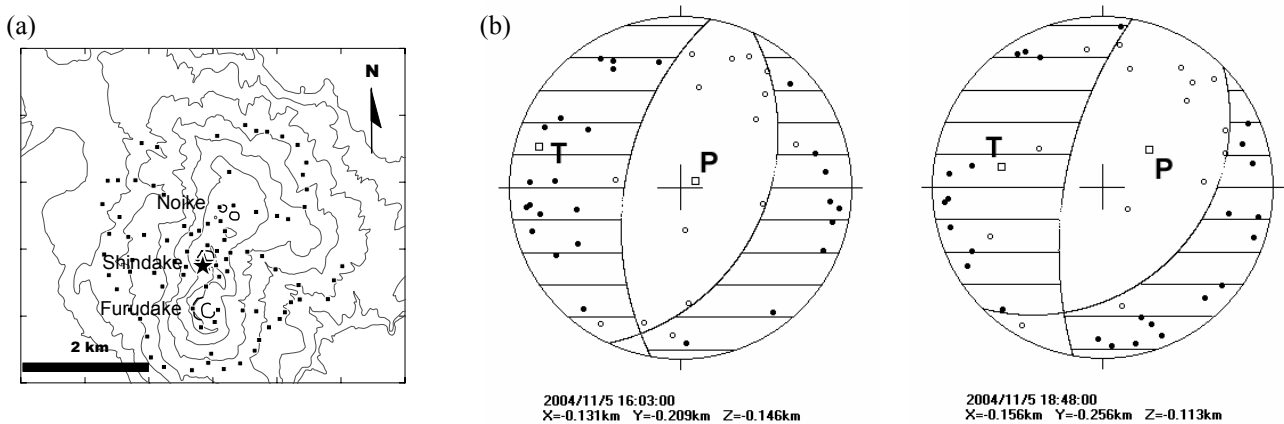


Figure 10. (a) Location of seismic stations (solid square) and hypocenters (solid stars). (b) Focal mechanisms of two HF events on November 11, 2004, plotted on the upper hemisphere of focal sphere. Solid and open circles indicate compressional and dilatational components, respectively.

Since all polarities of LF events are dilatational components, the fault plane solution could not be obtained (Figure 11). The other method, such as moment tensor analysis could be used to determine the mechanism of LF events.

Monochromatic events at Kuchinoerabujima reveal some mechanisms. Solution for monochromatic events, which have low frequency component, could not be determined since all of the polarities are dilatational components and those are similar to LF events mechanisms (Figure 12a and b). These results are similar to the previous study which was done by Yamamoto et al. (1997) that showed both LF and low-frequency monochromatic events may not be generated by double-couple mechanisms due to all the polarities

are dilatation at all the stations. These results are similar to study by Yamamoto et al. (1997) that inferred LF and low-frequency monochromatic events may not be generated by double-couple mechanisms. Otherwise, fault plane solutions for the monochromatic events that have high-frequency component could be obtained. The solutions of such events are similar to HF event mechanisms that can be seen in figure 12c and d. Those high-frequency monochromatic events are generated by normal fault type mechanism with T-axes tend to WNW-ESE direction and P axes nearly vertical. Iguchi et al. (2001) suggested the initial part of monochromatic events which have high-frequency component were reflected by repetition of high-frequency events which were generated by normal fault mechanism.

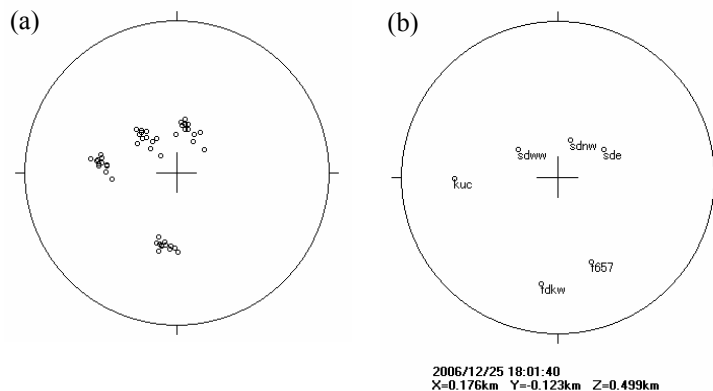


Figure 11. (a) Composite polarities of 12 LF events for 4 stations and (b) Polarities of LF events for 6 stations, recorded at 18:01:40 on December 25.

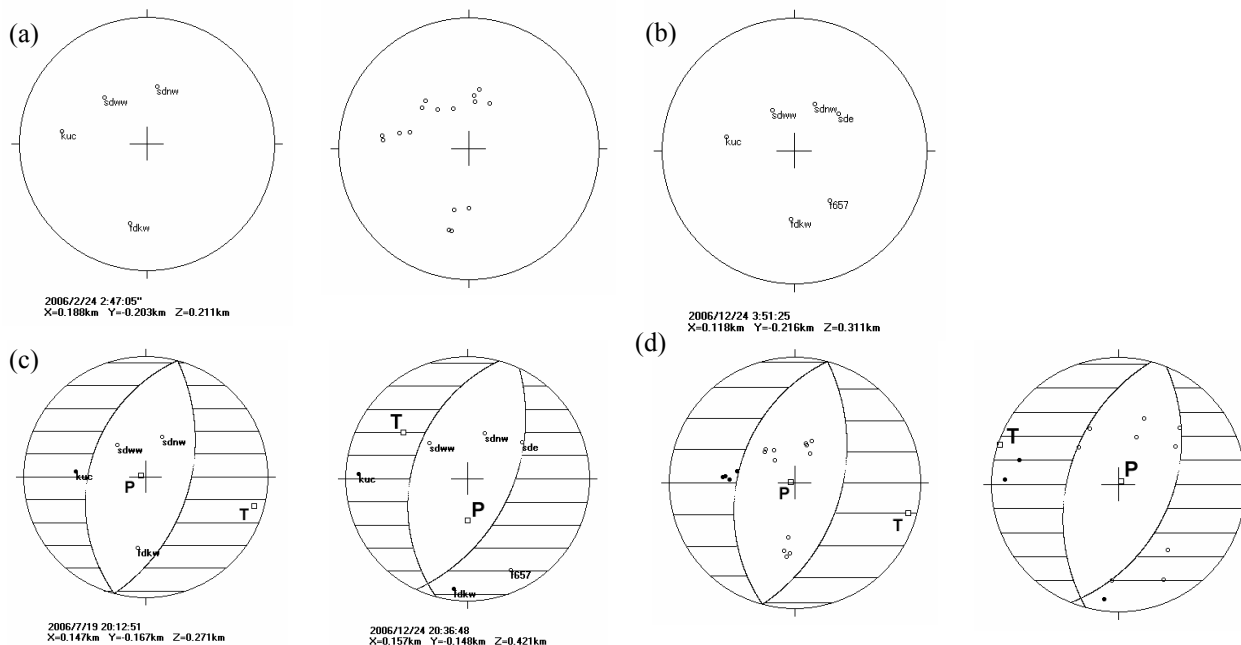


Figure 12. (a) Polarities and composite of low-frequency monochromatic events for 4 stations (b) Polarities of low-frequency monochromatic events for 6 stations. (c) Focal mechanism and (d) Composite of high-frequency monochromatic events for 4 and 6 stations.

Acknowledgements

We are grateful to Dr Keigo Yamamoto for the useful discussion. We thank to Dr. Wataru Kanda for a help in

installing the seismic stations at Kuchinoerabujima volcano.

References

- Iguchi, M., Yamamoto, K., Takayama, T., Maekawa, T., Nishimura, T., Hashino, H., Yakiwara, H., and Hirano, S., 2001. Characteristic of volcanic earthquakes at Kuchierabujima volcano, Geophysical and Geochemical Joint Observation 2000. Ann. Dist. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ. Japan, 44 B-1, 317-326 (in Japanese, abstract in English).
- Yamamoto, K., Iguchi, M., Takayama, T., and Ishihara, K., 1997. Increase in seismic activity in 1996 at Kuchierabujima volcano. Ann. Dist. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ. Japan, 40 B, 39-47 (in Japanese, abstract in English).
- Yamamoto, K., Iguchi, M., Hashimoto, T., Tsutsui, T., Tanaka, S., Aoki, Y., Onizawa, S., Watanabe, T., Shimizu, H., Ohkura, T., Miyamachi, H., Yakiwara, H., and Hiramatsu, H., 2005. Analysis of seismic velocity structure using the data of 2004 Kuchierabujima volcano active seismic survey. Joint Meeting for Japan Earth and Planetary Science, V055-P028 (Poster).

口永良部島火山における 火山性地震の震源分布，スペクトルおよび震源メカニズムについて —高周波地震，低周波地震，モノクロマティック地震—

ヘッティ トウリアストウティ・井口 正人
為栗 健・山崎 友也

京都大学防災研究所火山活動研究センター

要旨

口永良部島火山では2006年8月ごろからモノクロマティック地震と呼ばれる正弦波的な振動からなる長いコーダ部分をもつ地震が頻繁に現われるようになった。この活動は9月ごろまで続いた，引き続き10月には低周波地震が発生するようになった。更に11月には高周波地震が頻発し，450回を記録した。京都大学防災研究所では新岳周辺の常設の4観測点に加え，臨時観測点を火口の東側に増設することにより，周辺の震源位置，スペクトル，震源メカニズムを調べたところ次の知見が得られた。(1)これら3種類の地震の震央はいずれも新岳の火口内にあり，深さは600m以下と浅い。特に，低周波地震の震源の深さは200m以下と極めて浅い場所に求まった。(2)高周波地震は6-25Hzの高周波側の広い周波数帯域を示す。一方，低周波地震のスペクトルでは1-5Hzの間に卓越したピークがみられ，副次的なピークも検出できた。モノクロマティック地震では3個以上のピークが見られる。ピークの周波数範囲から2種類に分類できる。低周波型モノクロマティック地震ではピーク周波数は1-5Hzの範囲にあるが，高周波型モノクロマティック地震では6-15Hzの高周波側にピークがみられる。(3)高周波地震および高周波型モノクロマティック地震では初動は押しであるものと引きであるものが混在するため，4象限型の押し引き分布をもつダブルカップルのメカニズムを仮定するのが妥当である。これらのタイプではすべて西北西-東南東に伸張軸をもつ正断層型のメカニズムが得られた。一方，低周波地震および低周波型モノクロマティック地震では初動がすべて引きであり，4象限型の節線を引くことが困難である。収縮震源によって励起されていると考えられる。

口永良部島火山の広域地震活動 Seismic activities around Kuchinoerabujima volcano

為栗 健・井口正人 (京都大学防災研究所)

T. Tameguri and M. Iguchi (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

1. はじめに

口永良部島火山は屋久島の西方約15kmに位置する安山岩質の成層火山である。新岳山頂付近で頻繁に水蒸気爆発が繰り返されてきた。1980年以降、噴火は発生していないが、様々な地球物理学的観測からここ数年、火山活動の活発化を示すデータが得られている。1996年、1999年および2001年以降、新岳山頂直下において毎年のように火山性地震活動の活発化が見られる。1996年、1999年では山頂直下の地震活動の活発とほぼ同じ時期に口永良部島と屋久島の海峡付近で地震が多発した。

20世紀において発生した噴火は水蒸気爆発もしくはマグマ水蒸気爆発であるが、過去にはブルカノ式噴火(下司・小林, 2006)や溶岩流出(味喜・他, 2002)が起こったことが知られている。水蒸気爆発後のマグマ性噴火への移行など、地下にマグマが貫入する場合には山体およびその周辺地域で地震が活発化すると考えられ、地震活動から火山活動の活発化についての予測を行うためには、火山周辺の広域地震活動を把握しておく必要がある。

本稿では口永良部島内の多点地震観測網が整備された2004年以降の火山体と周辺地域で発生した地震活動および1996年以降の口永良部島と屋久島の海峡付近で発生した地震活動について報告する。

2. 震源決定

図1に火山活動研究センターによって設置されている口永良部島火山周辺の地震観測点を示す。口永良部島内においては、新岳山頂火口周辺の4観測点(KUC, SDWW, SDNW, FDKW)、山体周辺の2観測点(KUCG, YMG)において連続地震観測を行っている。また、屋久島(YAK)、薩摩硫黄島(IWO)においても常時地震観測を行っている。これらの観測点の座標を表1に示す。

新岳山体で発生した地震については島内6観測点のP波、S波到達時を用いて震源決定を行った。口永良部島周辺で発生した地震については島内観測点に屋久島、硫黄島観測点の読み取り値を加えて震源決定を行った。口永良部島火山における人工地震探査では、ショット点近傍の見かけP波速度は表層を

覆っている溶岩流や火砕物などによって大きく異なり、1.87~3.03km/sの値となっている(井口・他, 2005)が、本報告では表層のP波速度を2.1km/sと仮定して震源決定を行った。また、山本・他(1997)および井口・他(2005)によると、震央距離2-4kmにおいて3.3km/s前後の見かけP波速度が得られているため、第2層のP波速度を3.5km/sと仮定した。震源決定に使用した速度構造を図2に示す。

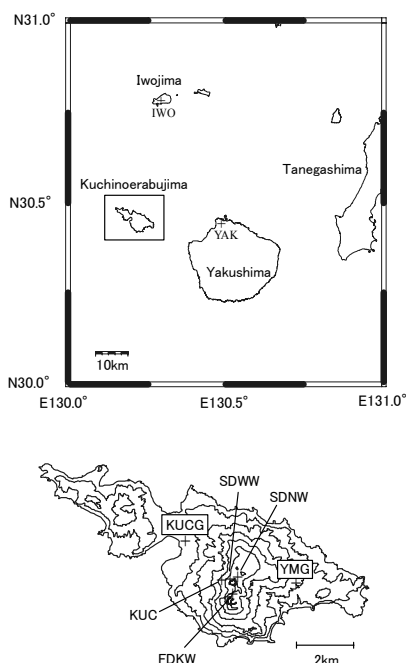


図1. 口永良部島火山の位置と地震観測点配置図。

表1. 観測点の緯度、経度、高さ。

| Station | Latitude | Longitude | Height (m) |
|---------|----------|-----------|------------|
| KUC | 30.44297 | 130.21292 | 408 |
| SDWW | 30.44411 | 130.21628 | 550 |
| SDNW | 30.44447 | 130.21867 | 577 |
| FDKW | 30.43825 | 130.21725 | 613 |
| KUCG | 30.45926 | 130.19897 | 36 |
| YMG | 30.44408 | 130.24225 | 239 |
| YAK | 30.44135 | 130.48281 | 205 |
| IWO | 30.78967 | 130.29481 | 100 |

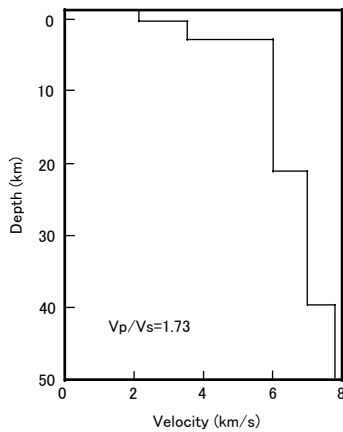


図2. 震源決定に使用したP波速度構造. $V_p/V_s=1.73$ を仮定した.

3. 震源位置と地震活動

口永良部島火山で発生する地震は大きく分けて3つの領域に見られる. それぞれの震源位置と活動について報告する.

3-1. 山体

山体で発生した地震について図3に示す. 2005年1月および12月に地震が群発した. 1月20日~21日に6個の地震が発生し, そのうち2個について震源決定された. 震源は新岳火口北西約0.8kmの深さ3km付近であった. また, 12月6日に12個の地震が発生し, そのうち2個について震源決定された. 震源は新岳火口の西側2km付近, 深さは約4.5kmであった. 2004年および2006年には山体において地震は発生していない. 地震リストを表2に示す.

3-2. 口永良部島周辺

口永良部島周辺では2006年3月に島の北西領域, 同年11月に島の北側で地震が発生している(図3). 島の北西領域では3月14日~18日に4個の地震が発生し, そのうち3個の地震について震源決定された. 震源は島の北西端付近, 深さ約3kmであった. また同年11月21日に島の北側3km, 深さ1.5km付近で地震が発生した. 地震リストを表2に示す.

3-3. 口永良部島と屋久島の海峡付近

図4に口永良部島と屋久島の海峡で発生した地震の震源分布を示す. この地震については福岡管区気象台および鹿児島地方気象台発表の震源位置を参照している. 1996年5月30日~6月1日, 1999年12月~2000年1月, 2000年5月, 同年7月に地震が群発している. 2001年以降も散発的に地震が発生していたが, 2006年はその領域で地震は発生していない. 震源の深さは10km以浅であった.

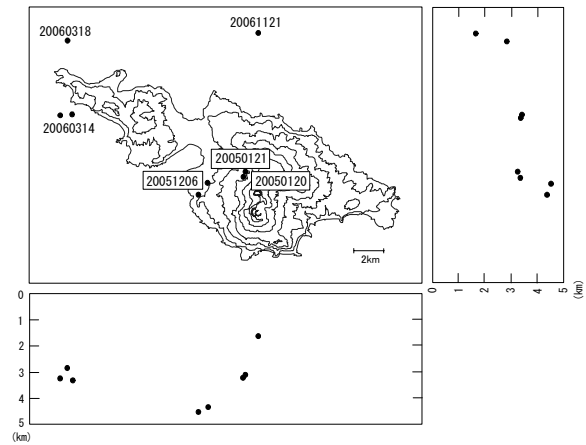


図3. 口永良部島火山の山体と近傍で発生した地震の震源分布.

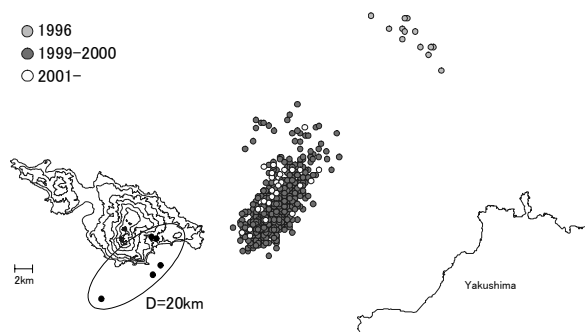


図4. 口永良部島と屋久島の海峡付近で発生した地震の震源分布. 口永良部島の東部および南部で発生した深さ20km付近の地震を円で囲んでいる

3-4. その他

福岡管区気象台および鹿児島地方気象台発表の震源情報によると2002年~2004年に口永良部島の東部から南部の深さ20km前後で5個の地震が報告されている(図4).

4. 考察

4-1. 山体および口永良部島周辺の地震と火山性地震活動との関係

2005年1月~2月は新岳火口直下浅部で発生する火山性地震が増加した. また2006年3月~4月にも火口直下浅部の火山性地震が増加している. 山体で発生した2005年1月の地震, 島の北西端付近で発生した2006年3月の地震と山頂直下浅部の火山性地震は連動している可能性が高い. 今後, 山体および島の周辺で地震が発生した際には山頂付近の火山性地震の発生状況に注意する必要がある.

4.2 口永良部島と屋久島の海峡における地震の発生状況

1996年と1999年～2000年に口永良部島と屋久島の海峡付近で地震が群発した。同時期に、山頂火口直下における火山性地震も増加している。また、1995/1996年から2000年までのGPS観測によって新岳火口の東0.5km、海面下0.5kmの位置で体積増加を表す変動が観測されている(井口・他、2002)。口永良部島火山の火山活動活発化の兆候は1999年の地震活動以降顕著になってきており、この海峡における地震は口永良部島における火山活動に伴う応力場の変化によって発生している可能性もある。この付近の地震の発生状況も口永良部島周辺の地震と同様に注意する必要がある。

2001年以降の海峡付近の地震は1999年～2000年の震源域と同じ領域で発生しているが、徐々に減少し、2006年には地震は発生していない。

4.3 島の北西領域の地震について

図5に2005年3月に島の北西端付近で発生した地震について、島内6観測点の読み取り値のみを用いて震源決定を行った結果をプロットしている。島内6観測点のデータで決定された震源の方が東に位置する。両者の震源位置の違いは、遠方の屋久島、硫黄島観測点の読み取り値を使用するにあたり、仮定している速度構造に問題があるものと思われる。また、この島の北西端の地震が島内の地震観測網の外側にあるためでもある。山体の地震が島の西側で発生していること(図3)を含めて考慮すると、口永良部島火山周辺の地震について震源決定精度をあげるためには、島の北西付近に地震観測点を増設する必要がある。

5. まとめ

口永良部島火山の山体および周辺で発生する地震について震源決定と地震活動の発生状況について調査を行った。

1. 2005年以降、新岳山体西部～北西部および口永良部島の北西部の深さ3～4km付近で地震が発生しており、山頂直下の火山性地震活動と関連している。
2. 山体および島の直近の地震はおもに口永良部島の西側で発生している。
3. 口永良部島と屋久島の海峡の地震は1996年、1999～2000年に群発した。この領域の地震活動も口永良部島火山の活動と関連していると思われる。

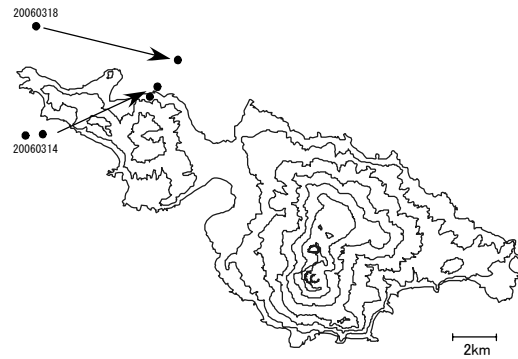


図5. 北西端で発生した地震について、口永良部島内の6観測点のデータで震源決定を行った時の震源分布。

謝辞

地震観測点の設置のために鹿児島県消防防災課、上屋久町役場および上屋久町役場口永良部島出張所の川東久志氏には多くの便宜を図っていただいた。また、観測点の維持に火山活動研究センターのスタッフにご協力いただいた。福岡管区气象台および鹿児島地方气象台発表による「鹿児島県の地震活動概況」に記載されている震源リストを使用させていただいた。

参考文献

- 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, pp.1-20.
- 井口正人・山本圭吾・味喜大介・高山鉄朗・寺石眞弘・園田保美・鬼澤真也・八木原寛・平野舟一郎, 口永良部島火山における地盤変動:(2002) 薩摩硫黄島火山・口永良部島火山の集中総合観測 平成12年8月～平成13年3月, pp. 99-108.
- 井口正人・山本圭吾・橋本武志・筒井智樹・田中聡・鬼澤真也・青木陽介・渡辺俊樹・大倉敬宏・清水洋・八木原寛・宮町宏樹・平松秀行・為栗健・高山鉄朗・福嶋麻沙代・Hetty TRIASTUTY・石原和弘・大島弘光・鈴木敦生・前川徳光・梶井達矢・渡辺義明・萩原庸平・野上健治・及川光弘・平林順一・辻浩・平田安廣・奥田隆・伊藤拓・吉川慎・井上寛之・池田さや香・堀美緒・斎藤政城・平野舟一郎・上釜友大・井口元治・竹下孝弘・森健彦:(2005)口永良部島火山における人工地震探査一探査の概要と初動の走時について一, 京都大学防災研究所年報, 第48号B, pp. 39-47.
- 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.

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, 第40号B-1, pp. 39-47.

表2. 口永良部島火山の山体と近傍で発生した地震のリスト.

| Date | Origin time | Latitude | Longitude | Depth (km) |
|---------------|--------------|----------|-----------|------------|
| 20 Jan., 2005 | 22:20:25.974 | 30.44789 | 130.21244 | 3.36 |
| 21 Jan., 2005 | 00:26:01.658 | 30.45066 | 130.21324 | 3.23 |
| 21 Jan., 2005 | 00:26 | - | - | - |
| 21 Jan., 2005 | 00:29 | - | - | - |
| 21 Jan., 2005 | 01:52 | - | - | - |
| 21 Jan., 2005 | 02:09 | - | - | - |
| 06 Dec., 2005 | 13:45:05.670 | 30.44573 | 130.19981 | 4.61 |
| 06 Dec., 2005 | 13:52 | - | - | - |
| 06 Dec., 2005 | 14:25 | - | - | - |
| 06 Dec., 2005 | 14:25 | - | - | - |
| 06 Dec., 2005 | 14:27:07.032 | 30.44224 | 130.19729 | 4.37 |
| 06 Dec., 2005 | 14:33 | - | - | - |
| 06 Dec., 2005 | 14:38 | - | - | - |
| 06 Dec., 2005 | 16:33 | - | - | - |
| 06 Dec., 2005 | 16:34 | - | - | - |
| 06 Dec., 2005 | 17:36 | - | - | - |
| 06 Dec., 2005 | 18:05 | - | - | - |
| 06 Dec., 2005 | 19:30 | - | - | - |
| 14 Mar., 2006 | 07:54:42.695 | 30.46948 | 130.14827 | 3.19 |
| 14 Mar., 2006 | 08:44:17.447 | 30.46973 | 130.15087 | 3.24 |
| 15 Mar., 2006 | 21:14 | - | - | - |
| 18 Mar., 2006 | 01:13:28.900 | 30.49778 | 130.14995 | 2.84 |
| 21 Nov., 2006 | 21:57:40.669 | 30.50141 | 130.21618 | 1.64 |

震源決定された地震については発震時と震源位置を記載している.

口永良部島火山におけるGPS連続観測結果

-2004年4月～2006年12月-

GPS monitoring results at Kuchinoerabujima volcano

-April 2004 to December 2006-

齋藤英二(産業技術総合研究所 地質調査情報センター)

井口正人(京都大学防災研究所付属 火山活動研究センター)

E. Saito (Geological Survey of Japan, AIST)

M. Iguchi (Sakurajima Volcano Research Center, DPRI, Kyoto Univ.)

1. はじめに

口永良部島火山では、1990年代後半頃より群発地震活動が目立ち始め、盛衰を繰り返しながら増加傾向をたどっている。また、井口ほか(2002)により山体膨張も捉えられ、火山活動としては明らかに活発化してきている。井口ほか(2002)の数年を隔てた繰り返しGPS観測は、複数の群発地震活動を挟んでおり、山体膨張が地震活動と同時に発生したかどうかはわからなかった。この関係を調べるためには、地盤変動の連続的な観測が必要であり、2004年4月からGPSの連続観測を実施している。2005年6月までの結果は、齋藤・井口(2006)で報告しており、2005年初頭に地震活動と同期した地盤変動を始めて捉え、両者が密接な関係にあることを示した。

本報では、その後の推移と、2006年9月頃から再び山頂部で始まった変動の特徴を述べる。また、今後の同様の観測の参考のため、山体膨張を捉える際に問題となった事柄を整理した。

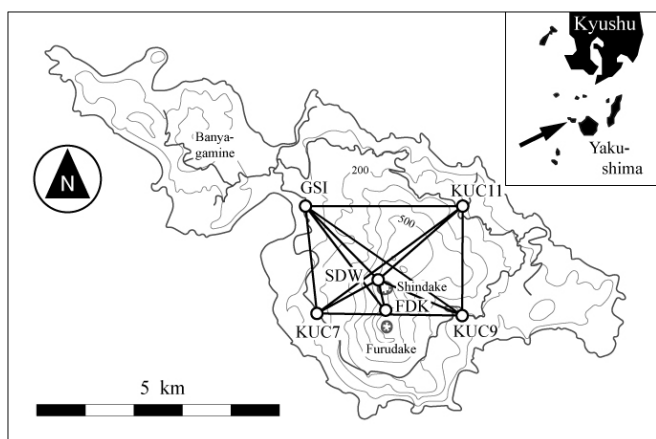


Fig. 1 口永良部島のGPS配点および基線配置

2. 観測の方法

GPSの配点状況をFig. 1に示す。GSIと称した観測点は国土地理院の電子基準点97025番であり、それ以外が所期目

的で設置した観測点である。GPS受信機は古野電気(株)製MG2110型1周波GPSセンサーを使用した。このうち、山頂部のSDWとFDKは、携帯電話を利用してダイヤルアップでデータ回収しており、インターネット経由で観測データを入力できるGSIと組み合わせて山頂部の変動を調べている。なお、FDKは2006年9月12日から観測を開始したが、通信状況が悪く、十分にデータ回収できていない。

山麓のKUC7とKUC9およびKUC11は、データロガー方式で観測しており、適宜人力でデータ回収している。なお、KUC11は、2006年9月のデータ回収以後、故障のためデータ取得できていない。

基線解析結果の上下成分には齋藤・井口(2006)の方法で気象補正した。気象要素は、GSIに近い京都大学防災研究所のテレメータ室外壁に設置したVaisala気象計による気温と相対湿度のデータを用いた。観測データは、一時的にデータロガー蓄積され、ダイヤルアップで回収している。

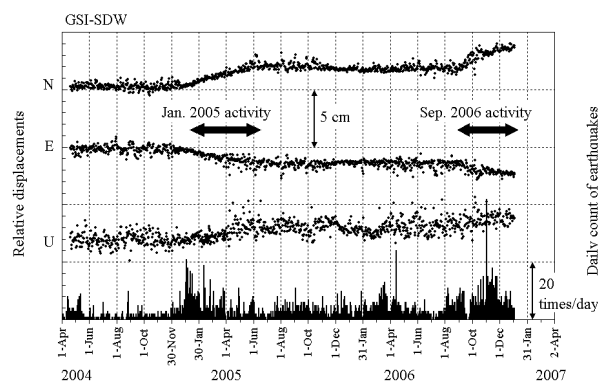


Fig. 2 GSIに対するSDWの相対変化と火山性地震の日別発生回数の時系列。Nは北成分、Eは東成分、Uは隆起を表す。

3. 結果

3.1 山頂部の変動

GSIに対するSDWの全期間の3成分の累積変位を、火山性地震の日別発生回数の時系列と共にFig. 2に示す。

2005年1～6月頃(以後、2005年1月の活動)と2006年9月～

2007年1月現在まで(以後、2006年9月の活動)の2回の明瞭な変化が見取れる。SDWの変位は、データ回収がなされれば、山麓の4点の何れからも調べられるが、そのうち最も明瞭なKUC7からの変位軌跡をFig. 3に示す。傾向を見易くするために5日移動平均の線も加えてある。主たる変位方向は概ねN30° W(以下、主変位方向と呼ぶ)であることがわかる。KUC7-SDWの基線方位はN60° Eであり、主変位方向と90° の関係にある。Fig. 3の軌跡中には、明らかに基線方位とほぼ等しい方向線上への振れが記録されており、振れの時間幅から判断して見掛けの変位の可能性が高い。GSIやKUC9からSDWの方位は、主変位方向あるいはそれと180° 隔てた向きに近いため、KUC7からと比較して分解能を低くなったものと考えられる。

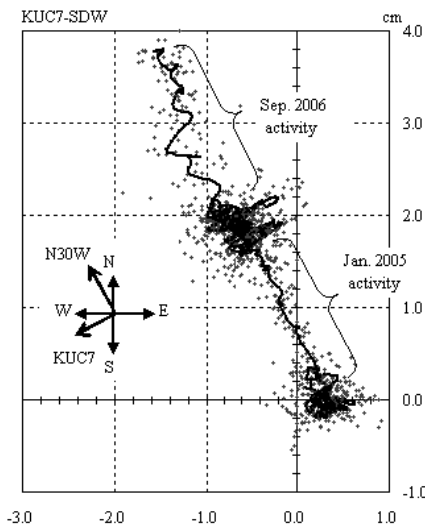


Fig. 3 KUC7に対するSDWの変位軌跡
線は5日移動平均。変位方向は概ねN30° Wで、観測基線方位に対してほぼ90° の関係にある。

Fig. 3の水平2成分の変位を、主変位方向とそれに直交する方向に投影したときの主変位成分には、このような誤差の影響は少なくなることが期待された。Fig. 4の上を示した水平成分はその結果であり、膨張と停滞の推移が明瞭である。図中のA~Dは主な変化点である。2005年1月の活動については、急な変動の開始点は2005年1月(B)で、GSI-SDWの結果とも一致するが、微小な膨張兆候は2004年夏頃(A)から認められる。変動の終わりの時期も、GSIからでは6月頃になるが、KUC7からでは2005年10月頃(C)まで続いている。この違いの解釈として、斎藤・井口(2006)は、KUC7の微小な南変位中に2005年1月の活動が加わればよいとしたが、原因については、報告時点において、測定期間が短いためにはっきりしなかった。KUC7に対するSDWの

上下変位成分の相対変化(Fig. 4の下)と対比すると、A~Cまでの水平成分の膨張変動と隆起がほぼ対応しており、KUC7の微小な南変位と隆起は一連の山体膨張を捉えたものと考えられる。すなわち、2005年1月の急激な膨張変動の数ヶ月前から、GPS観測で捉えられるレベルの山体膨張が始まっていたことになる。

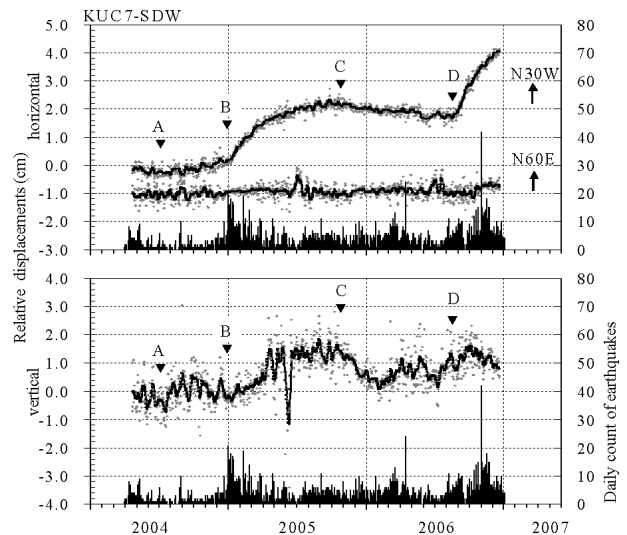


Fig. 4 KUC7に対する相対3成分の時系列変化
上: 東西, 南北の水平2成分を、主変位方向であるN30°Wとそれに直交する方向に投影した。

2005年10月(C)以降、2006年9月の活動直前(D)までの水平成分は、緩やかに収縮し、それまでの変位を5mm程度戻した。この間、上下成分では、2006年2月までに約1cmの明瞭な沈降を示し、その後、大局的には緩やかな隆起に移行した。この隆起期間には、2006年3~4月と2006年7月~2006年9月の大きく2回の群発地震活動の高まりがあったが、上下成分の変化はそれと同期しているようにも見える。

3.2 2005年1月と2006年9月の活動の特徴

2005年1月の活動時は、地震は変動の始まりと同時にピークを迎え、変位の進行と共に低下した。それに対して2006年9月の活動では、変動の初期に際立った地震活動のピークが現れず、地震計数がされない期間すらあった。2回の活動の初期2週間の最大変動速度を比較すると、2005年1月の活動では5mm/月であったが、2006年9月の活動のそれは11mm/月であり、活動の初期に関しては、2006年9月の活動の方が、より「静かに動き易い」状態と推定される。この違いは、2006年9月の活動の初期では、2005年初頭の地震活動等によって形成された破壊面を利用して変動が進行したためと考えられる。

2006年9月の活動中の11月中頃に地震が多発した。この

出来事は、新たな破壊面の形成を示唆している。膨張速度は、その後鈍化しており、破壊面の形成により圧力の一部が解放されたことに対応しているのかもしれない。このようにして考えると、次の活動の最初には、地震数の顕著な立ち上がりは期待できず、膨張変動が突然始まることが予想される。地盤変動の常時監視は益々重要であろう。

3.3 山麓の変動

斎藤・井口(2006)の報告時点においては、山麓の微小な変化が、地盤変動によるものか、測定手法に関わる原因によるものかの判別が困難であった。現時点においても微小変化の原因は明らかでないが、累積しているものについては、地盤変動と判断される。

KUC11は前述したように2006年9月から故障しており、それ以前のデータについても徐々に劣化した可能性があり、現在検証中のため、ここではGSI-KUC7-KUC9間の相対変位で見ている(Fig. 5)。

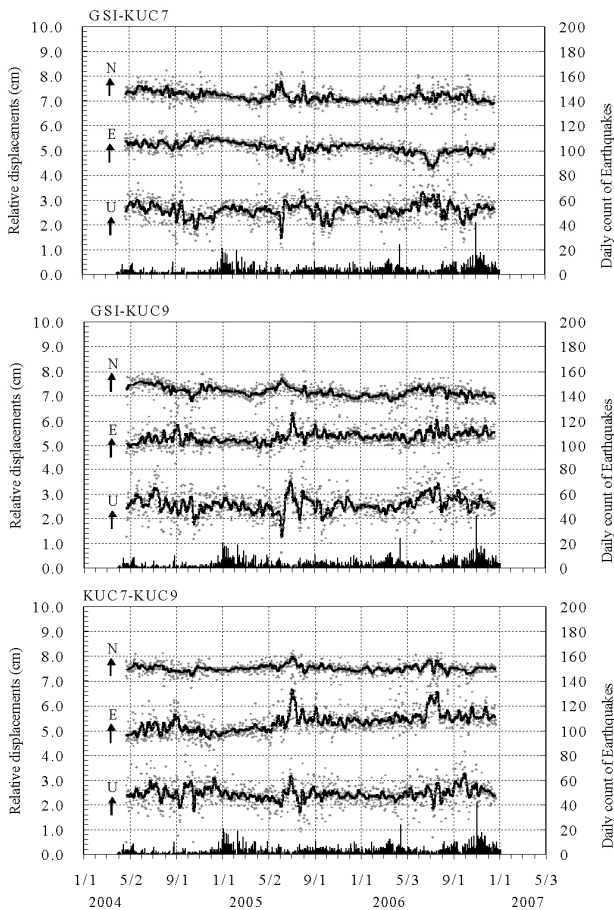


Fig. 5 GSI-KUC7-KUC9間の相対変位の時系列

どの結果にも6~8月頃に乱れがあることと、それ以外の時

期においても、微小ながら数ヶ月程度の時間幅の変化や、突然ずれるような変化が認められる。これらの変化の原因はわからないが、1年の単位で比較すると、累積成分が認められる。1年間の中で比較的データが安定して得られた12月中旬の1週間分を取り出して平均を求め、2004年から2006年までの2年間、2区間の傾向を比較した。ベクトルで表現するとFig. 6のようになる。変位量は数mm以内で大きくはないが、共に山体膨張と考えて矛盾のない方向に変位している。変位量は、2004年12月から1年間の方が、翌年より大きい。このことは、活動推移を考える上で重要である。

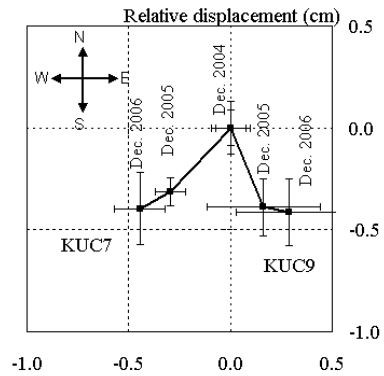


Fig. 6 GSIを基準とした、KUC7とKUC9の2004年12月から1年毎の変位ベクトル。

4. 今後の課題

突発的な爆発噴火として特徴付けられる口永良部島火山の活動評価において、連続的な地盤変動観測の有効性が示されたが、実際にデータを取得・解析し、また、情報を関係者間で共有するに際して、いくつかの問題があった。技術的には既に確立済みで、投資のみによるものを除くと、以下が列挙される。

1. 測定誤差・変動速度との関わりにおいて生ずる変動把握までの時間差の問題

GPSのリアルタイム処理技術は既に確立しているが、測定精度が著しく改善されて誤差が小さくなるか、変動速度が測定誤差を大きく上回らない限り、変動検知を迅速にすることは困難である。口永良部島での2回の顕著な変動においては、変動を確信するまでに約2週間を要している。これまでのところ最初の2週間内で噴火に至っていないが、次の活動も同様の時間があるかどうかは誰にもわからない。この時間差を小さくするためには、別の高精度な地盤変動観測手法を併用することが有効であろう。

2. 地盤変動以外の要因による見かけ変化の影響の問題

2006年9月の活動において、数日で変化する成分が、急激な山体膨張や収縮と見誤る例が何回か発生した。その原因の少なくとも一部は、大きな基線比高に関わる気象条件

の影響らしい。より適切な変動判別には、基線方向と変動方向との関係を考慮することが望ましく、口永良部島での具体的対応としては、KUC7のテレメータ化して変動監視に用いるのが良いかもしれない。

3. 予期せぬ変化への対応

2006年9月の活動の始まりは、顕著な地震増加を伴わなかったことは既に述べた。地震計数は、活動の盛衰の目安として用いられるので、地震計数がゼロの期間を含む一見活発に見えない時期に変動が顕著に進行したことは、予想外であった。過去に例のない出来事に備えることの困難さを再認識した。

5. まとめ

口永良部島の新岳を中心に2004年4月からGPSによる連続観測を実施した結果、

1. 新岳山頂部の観測点において、2005年1月と2006年9月にそれぞれ膨張変動を検出した。
2. 2006年9月の活動の初期の変動速度は、2005年1月のそれより大きい。
3. 2005年1月の活動は、急激な地震増加とともに始まったが、2006年9月の活動では、地震活動のピークは変動開始から約2ヶ月後であった。
4. 2と3の結果から、2006年9月の活動の初期は既存の破壊面を利用して変動し、後半で新たな破壊面を形成したと考えられる。次回の活動も地震数の顕著な増加なし急激な変動で始まる可能性がある。
5. 南麓の最近2年間の1年毎の変動傾向を調べたところ、膨張が認められたが、その割合は鈍化している。
6. 変動監視の視点では、気象条件の急変や基線配置と変動方向との関係において、膨張の判断を惑わす場合があることがわかった。

謝辞

本観測は、主に京都大学一般共同研究(16G-11)と京都大学防災研究所平成18年度特別事業「口永良部島の水蒸気爆発発生とその後の推移の予測のための実践的研究」の経費を使用しました。GSI点は、国土地理院GEONETデータを利用しました。現地収録データの回収に際して京都大学防災研究所の為栗 健氏に、山麓の気象観測機器の調整には、産業技術総合研究所の駒澤正夫氏と下司信夫氏に、観測全般の調整には産業技術総合研究所の篠原宏志にそれぞれお世話になりました。記して感謝します。

参考文献

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, 51-1. P.21-30.

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・鬼沢真也・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言動—1995年～2001年—, 京都大学防災研究所年報, 45B, p.601-608.

口永良部島火山における GPS 繰返し観測

—1995 年～2006 年—

井口正人・斎藤英二・鈴木敦生

* 京都大学防災研究所, **産業技術総合研究所, ***北海道大学大学院理学研究科

Repeated GPS Measurements at Kuchinoerabujima volcano during the Period from 1995 to 2006

Masato Iguchi*, Eiji Saito** and Atsuo Suzuki***

* *Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*

** *Geological Survey of Japan, AIST*, *** *Graduate School of Science, Hokkaido 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である。記録に残されている最古の噴火は 1841 年である。1933 年から 1934 年にかけては死者 8 名、負傷者 26 名の被害を伴う比較的規模の大きい噴火が発生した。その後、1945 年には新岳東側の割れ目から、1966 年には新岳の火口内から、また 1980 年には、1945 年の噴火と同様に東側の割れ目から水蒸気爆発が発生した。1991 年 12 月には、新岳からの噴煙異常が目視され、それを機に京都大学防災研究所附属火山活動研究センターは、新岳火口の西方 0.4km の地点において火山性地震の観測を行ってきた。1995 年以前は、火山性地震の発生頻度は 20 回/月であったが、1996 年 3～6 月には約 80 回/月と活発化した。1997 年以降、地震活動はしばらく静穏化した。1999 年 8 月ごろから再び活発化し、10 月には 320 回の火山性地震が発生した。それ以降、火山性地震の活動は活発な状態が続き、2003 年 2 月、2004 年 2 月、2005 年 1 月にはそれぞれ、147, 227, 258 回の火山性地震

が発生した。

京都大学防災研究所では、1980 年の噴火後に測量用の基準点を数点設置したが、地盤変動観測を強化するために 1995 年に新岳を取り囲むように GPS の基準点を設置し、GPS 観測を繰り返してきた。2000 年の集中総合観測において実施した GPS 観測では、新岳を中心とする地盤の膨張的水平変動が検出され、1999 年の火山性地震活動の活発化と関連があるものと推定されている(井口, 2002)。2004 年には産業技術総合研究所と京都大学防災研究所が新岳の北西縁を含む島内 4 箇所に GPS 連続観測点を設置し、2005 年 1 月～6 月の火山性地震の活動期に同期した火口周辺の地盤の膨張を示唆する北西方向への変位を検出した(斎藤・井口, 2006)。

口永良部島では 2006 年 7 月に火山性地震の発生回数が 44 回まで減少したが、8 月に入りモノクロマティック地震が頻繁に発生するようになった(Triasututy et al., 2007, 本報告)。さらに 9 月に入り、新岳北西縁の観測点において 2005 年 1 月～6 月と同様な北西方向への変動が始まった(斎

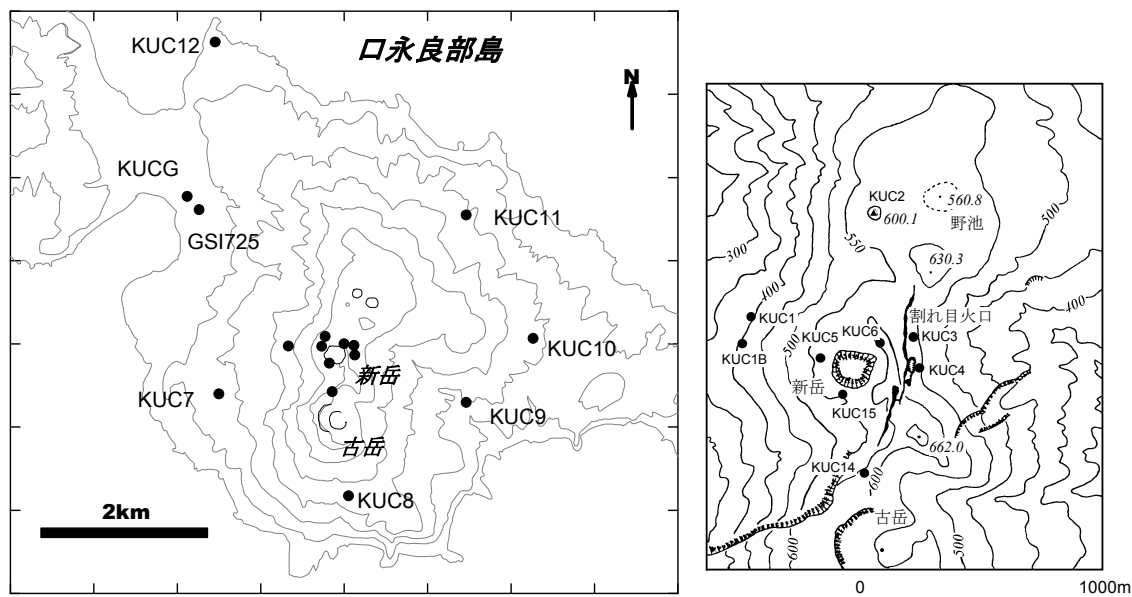


図1. 口永良部島におけるGPSおよび水準測定のベンチマーク配置図. 黒丸はGPSのベンチマーク, KUC7からKUC12までの曲線は水準測量路線を表す. KUCGはGPS連続観測点である. 右図に破線で囲んだ範囲の拡大図を示す. 山頂火口周辺にはKUC1~6が設置されている. KUC2は一等三角点である.

藤・井口, 2007, 本報告). 地盤変動の進行とともに火山性地震の発生回数も増加し, 11月には450回の火山性地震が観測された. GPS連続観測によって, 地盤変動が火山性地震活動の活発化と同期していることが明らかとなったが, 観測点数が不足しているためその力源の位置の同定には至っていない. 本報告では, 1995年以降繰り返してきたGPS観測のデータを用いて, 地盤変動を引き起こした力源の位置を求めるとともにその体積変化量を見積もった.

2. 観測

図1に示すように1995年8月にGPS観測の基準点を新岳の火口周辺に6点(KUC1~6), 新岳・古岳の山麓に6点(KUC7~12)設置した. KUC2は1等三角点である. また, 新岳の山麓にはGPS連続観測点KUCGがある. 2004年4月には基準点をピラーに変更するとともに, 2006年1

月には古岳(KUC14)と新岳南西側の噴気地帯(KUC15)に基準点を増設した. GPS観測は, これまでに1995年8月, 1996年3月, 5月, 8月, 1999年9月, 2000年12月, 2001年12月, 2004年3/4月, 2005年2月, 2006年1月, 2006年12月/2007年2月の11回のキャンペーンを実施した. 2006年12月/2007年2月の観測では, 12月21日から23日までKUC7~12およびKUC1の, 2月6日, 7日にKUC1~6およびKUC7, 9, 11, 14, 15の測定を行った. 測定時間は山麓部では48時間, 山頂部は2時間で, サンプル間隔は15秒とした. 使用したGPS受信機は, Leica SR399およびSR520である. 基線解析にはSKI-Pro2.5Jを使用した. 基線解析の基準とした観測点はKUCGであり, 以下の座標を用いた.

緯度 $30^{\circ} 27' 46.18787''$ N
 経度 $130^{\circ} 11' 48.27582''$ E
 標高 69.3755m

水平変位ベクトル(1995年8月/1996年3月~2001年12月)

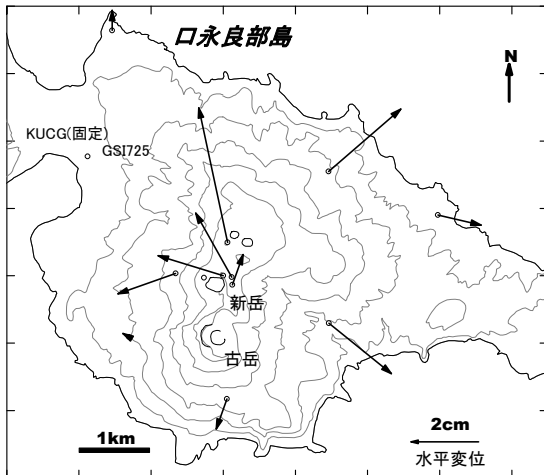


図 2. 1995 年/1996 年から 2000 年までの水平変位ベクトル。

水平変位ベクトル(2005年2月~2006年1月)

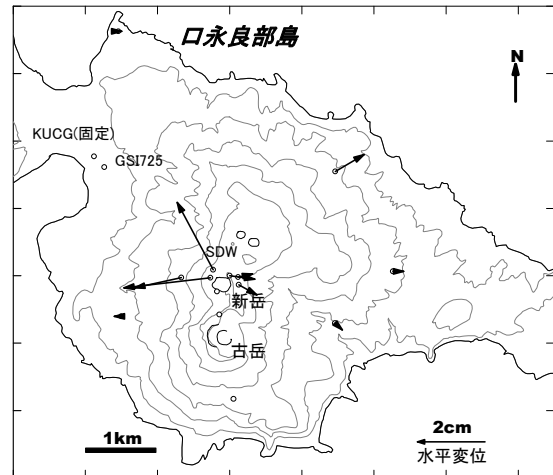


図 4. 2005 年 2 月から 2006 年 1 月までの水平変位ベクトル。

水平変位ベクトル(2004年3月~2005年2月)

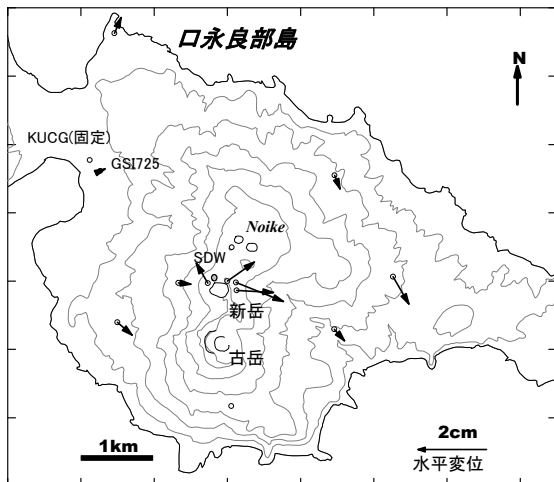


図 3. 2004 年 3 月から 2005 年 2 月までの水平変位ベクトル。

水平変位ベクトル(2006年1月~2006年12月/2007年2月)

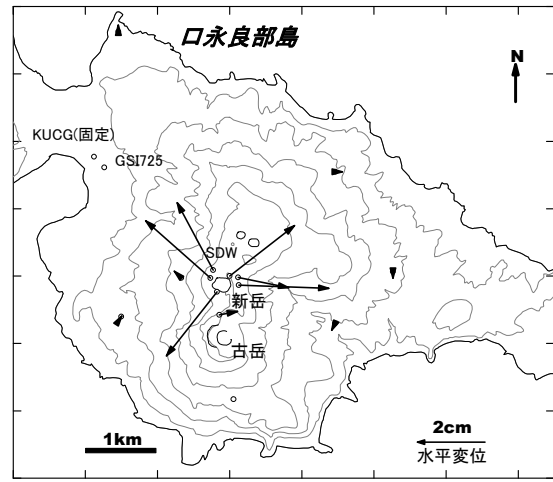


図 5. 2006 年 1 月から 2006 年 12 月/2007 年 2 月までの水平変位ベクトル。

3. 結果

図 2 に 1995/96 年から 2000 年までの各基準点における水平変位ベクトルを、連続観測点 KUCG を基準にして示した。山麓部の観測点は 1996 年 3 月、山頂火口周辺の観測点は 1995 年 8 月の測定値からの変位である。山頂部の観測点では、2-4cm の変位が、山麓部では、1-3cm の変位が検出された。新岳火口付近を中心とするほぼ放

射状の水平変位パターンが認められる。

図 3 に 2004 年 3 月から 2005 年 2 月までの期間の水平変位ベクトルを示した。山頂部では火口を中心とした放射状の変位パターンがみられるものの、山麓部では系統的な変動はみられない。

図 4 に 2005 年 2 月から 2006 年 1 月までの水平変位ベクトルを示す。同様に新岳の火口を中心とする放射状の変動パターンが検出される。山麓部でも放射状のパターンは見出すことができる

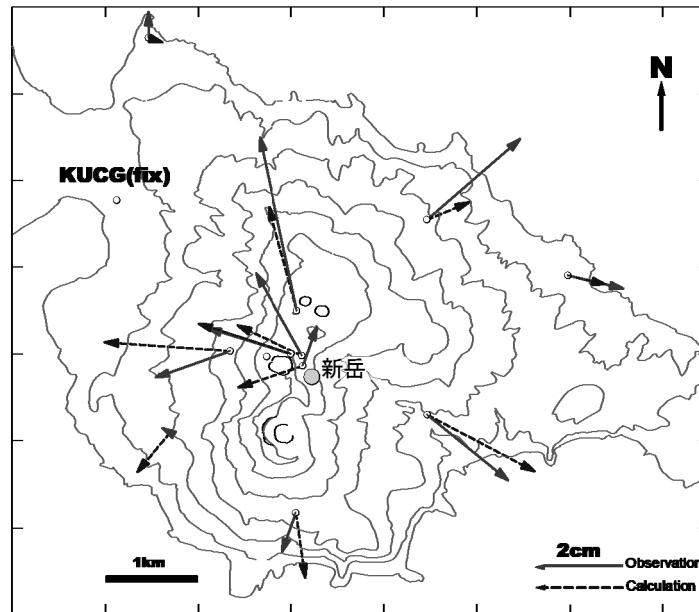


図 6. 茂木モデルを仮定して求めた圧力源の位置。灰色の丸で示した。水平変位ベクトルの実線は 1995 年/1996 年から 2000 年までの観測値、破線は観測値を最もよく説明する理論値を表し、KUCG を基準として示した。

が、山頂部の KUC5 や SDW で 2cm を超える変動があるのに対し、山麓部では 1cm 以下と小さい。

図 5 に 2006 年 1 月から 2006 年 12 月/2007 年 2 月までの水平変位ベクトルを示す。山麓部の観測点の変位は 2006 年 12 月の山頂部の観測点の変位は 2007 年 2 月の測定に基づくものである。この期間では新岳火口周辺の基準点における放射状の変動パターンが非常に明瞭になっており、どの方位に対しても 2cm を超える変動が観測された。火口から離れると急に変動が小さくなり、新岳火口中心から 0.5km の距離にある KUC1 では 0.3cm であった。山麓部では更に小さくなり、水平変位は 0.2cm 以下と計算され、ほとんど変動がないのに等しい。

4. 地盤変動の圧力源の検討

茂木モデルを適用して、圧力源の位置と体積変化を求めた。Mogi(1958)によれば、地殻を半無限弾性体と仮定すると、地下にある半径 a の球状

圧力源内部の静水圧変化 P による地表面のラディアル方向の水平変動量 Δd および上下変動量 Δh は次のように表される。

$$\Delta d = K \frac{d}{(f^2 + d^2)^{3/2}} \quad (1)$$

$$\Delta h = K \frac{f}{(f^2 + d^2)^{3/2}} \quad (2)$$

ここで、

$$K = \frac{3a^3 P}{4\mu} \quad (3)$$

であり、 $\mu(=\lambda)$ はラメの定数、 f は球状圧力源の深さ、 d は圧力源直上からの水平距離である。

圧力源の位置は新岳火口縁の KUC6 から東西 ± 5 km、南北 ± 5 km、深さ -0.5 km \sim 5km の範囲をグリッドサーチし、測定値と理論値の最小二乗誤差が最小になる場所を求めた。KUCG を不動としたときの 1995/96 年から 2000 年までの水平変位ベクトルの測定値とそれを最もよく説明する理論値を比較して図 6 に示した。圧力源は新岳火口の

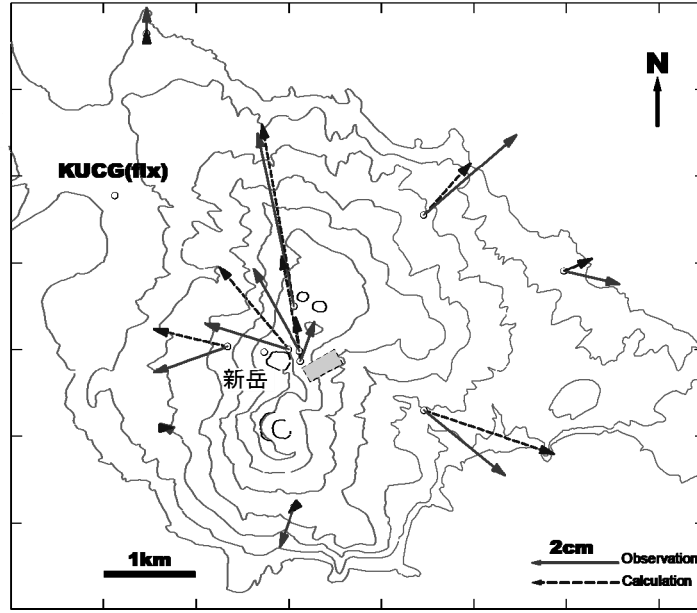


図 6. 開口割れ目モデルを仮定して求めた圧力源の位置。灰色の四角で示した。水平変位ベクトルの実線は1995年/1996年から2000年までの観測値，破線は観測値を最もよく説明する理論値を表し，KUCGを基準として示した。

東約 500m, 深さ海面下 100m(火口下深さ 600m)ときわめて浅い場所に求められた。また，体積変化量は 17 万 m^3 と計算された。水平変位ベクトルの理論値は，おおむね測定値と一致しているが，圧力源近傍の点 KUC4 でベクトルの方向が異なっていること，また，西南西山麓の KUC7 では，測定値に比べて理論値が大きく，また，逆に北北東山麓の KUC11 では測定値にくらべ理論値が小さいなど，いくつかの食い違いが見られる。

新岳の東には南北に走行する長さ 700~800m の割れ目が存在し，1945 年および 1980 年にはこの割れ目から噴火が発生している。そこで，開口割れ目モデルでも圧力源の位置および体積変化量を検討してみた。長さ $2L$ ，幅 W の割れ目が x 方向に $-L$ から $+L$ に存在するとき，割れ目の開口に伴う変位量は以下のように表される (Okada, 1985)。記号 $f(\xi, \eta)$ を次のように定義すると，

$$f(\xi, \eta) \equiv f(x+L, p) - f(x+L, p-W) - f(x-L, p) + f(x-L, p-W)$$

地表における変位は以下のように表される。

$$u_z = \left\| \begin{aligned} & \frac{C_1}{2\pi} \left[\frac{\tilde{y}q}{S(S+\xi)} - I_5 \sin^2 \delta \right. \\ & \left. + \cos \delta \left\{ \frac{\xi q}{S(S+\xi)} - \text{Arc tan} \frac{\xi \eta}{qS} \right\} \right] \end{aligned} \right\|$$

$$u_x = \left\| \frac{C_1}{2\pi} \left[\frac{q^2}{S(S+\eta)} - I_3 \sin^2 \delta \right] \right\|$$

$$u_y = \left\| \begin{aligned} & \frac{C_1}{2\pi} \left[\frac{-\tilde{d}q}{S(S+\xi)} - I_1 \sin^2 \delta \right. \\ & \left. - \sin \delta \left\{ \frac{\xi q}{S(S+\eta)} - \text{Arc tan} \frac{\xi \eta}{qS} \right\} \right] \end{aligned} \right\|$$

ここで，

$$I_1 \equiv \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[\frac{-1}{\cos \delta} \frac{\xi}{S + \tilde{d}} \right] - \frac{\sin \delta}{\cos \delta} I_5$$

$$I_3 \equiv \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[\frac{1}{\cos \delta} \frac{\tilde{y}}{S + \tilde{d}} - \ln(S + \eta) \right]$$

$$+ \frac{\sin \delta}{\cos^2 \delta} \left\{ \ln(S + \tilde{d}) - \sin \delta \ln(S + \eta) \right\}$$

$$I_5 \equiv \frac{\mu}{\lambda + \mu} \frac{2}{\cos \delta} \times \text{Arctan} \left\{ \frac{\eta(X + q \cos \delta) + X(S + X) \sin \delta}{\xi(S + X) \cos \delta} \right\}$$

また、 δ は割れ目の水平からのdip角、 d は深さ、 C_1 は開口量である。ただし、dip角 δ が $\pm 90^\circ$ の時は、

$$I_1 \equiv -\frac{\mu \xi q}{2(\lambda + \mu)(S + \tilde{d})^2}$$

$$I_3 \equiv \frac{\mu}{2(\lambda + \mu)} \left[\frac{\eta}{S + \tilde{d}} + \frac{\tilde{y}q}{(S + \tilde{d})^2} - \ln(S + \eta) \right]$$

$$I_5 \equiv -\frac{\mu \xi \sin \delta}{(\lambda + \mu)(S + \tilde{d})}$$

となる。また、

$$p \equiv y \cos \delta + d \sin \delta$$

$$q \equiv y \sin \delta - d \cos \delta$$

$$\tilde{y} \equiv \eta \cos \delta + q \sin \delta$$

$$\tilde{d} \equiv \eta \sin \delta - q \cos \delta$$

$$S \equiv \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + q^2}$$

$$X \equiv \sqrt{\xi^2 + q^2}$$

である。

茂木モデルの場合と同じ範囲についてグリッドサーチを行った。また、開口割れ目の方位角、dip角についてもグリッドサーチを行った。新岳東方の割れ目は地表では長さ 700~800m、幅 1~2m であるが、水平変位ベクトルがおおむね新岳火口から放射状のパターンを持っているので、開口割れ目の長さを 700m とすると水平変位ベクトルを説明できない。そこで、長さ、幅とも 100m とした。図 6 に開口割れ目モデルに基づく理論水平変位ベクトルを測定値と比較して示した。開口割れ目の位

置は茂木モデルの等方圧力源と同様に新岳火口の東約 500m に求まった。また、深さは、海面下 500m となった。開口割れ目の Strike の方向は N330° が得られ、走行はほぼ南北方向である。Dip 角は 25° と低角で西から東に傾斜する。この場合の開口割れ目における体積増加は 41 万 m³ となった。

同様に 2005 年 2 月から 2006 年 1 月までの期間について、グリッドサーチにより圧力源の位置を求めた。圧力源の水平位置は新岳火口の中にあり、その深さは海面上 200m 火口からの深さは 300m と求まった。この深さは斎藤・井口 (2006) が新岳北西縁の観測点の上下成分を含めた 3 次元変動ベクトルの方位から推定した深さとほぼ同じである。体積変化量は 24,000 m³ と計算された。

2006 年 1 月から 2006 年 12 月/2007 年 2 月までの期間については、力源の水平位置は新岳火口内にあることは明らかである。一方、深さについては、新岳火口中心から 0.5km しかはなれていない KUC1 でも 0.3cm の水平変位しか求められなかったので力源の深さは極めて浅いことが推定できる。計算上の深さはほぼ地表面となる。GPS 繰返し測定の誤差を考慮し、KUC1 の変位を 0.5cm とすると深さ 130m、体積変化量は 6200 m³ と求められる。2005 年 2 月から 2006 年 1 月までの期間の地盤変動を引き起こした力源の深さ 300m を仮定すると KUC1 の水平変動は 1.2cm と予測されるが、そのような変動は検出されておらず、2006 年 1 月から 2006 年 12 月/2007 年 2 月までの期間の地盤変動の力源は 2005 年 2 月から 2006 年 1 月のそれに比べて明らかに浅くなっている。

5. まとめ

- 1) GPS 測量によって、1995/96 年から 2000

年までに、新岳付近を中心とする放射状のベクトルをもつ水平変位パターンが検出された。変動量は新岳火口付近で 2-4cm, 山麓において 1-3cm であった。

- 2) 2004 年以降では、新岳火口周辺に変動が徐々に集中する傾向がみられる。特に、2006 年 1 月から 2006 年 12 月/2007 年 2 月までの期間では、新岳火口を中心とする 2cm 以上の放射状の水平変動パターンが火口周辺では見られるのに対し、0.5km 離れた場所では測定誤差以下の変化であった。
- 3) 茂木モデルを仮定して力源の位置を求めると新岳直下に求まる。その深さは 1995/96 年から 2000 年の期間では 600m, 2005 年 2 月から 2006 年 1 月までの期間では 300m, 2006 年 1 月から 2006 年 12 月/2007 年 2 月までの期間では 130m と徐々に浅くなる傾向が認められた。

謝 辞

京都大学防災研究所石原和弘教授には、本研究においてご助言いただきました。口永良部島火山の集中総合観測を実施するにあたり、鹿児島県総務部消防防災課、上屋久町役場および同口永良部島出張所にご協力をいただきました。記してお礼申し上げます。また、これまでの測量は、江頭庸夫、西 潔、味喜大介、福嶋麻沙代、Muhamad Hendrasto, Subandryo, Agus Solihin の各氏の協力によって行われてきた。GPS 受信機は北海道大学大学院理学研究科の大島弘光助教授と京都大学大学院理学研究科の大倉敬宏助教授より拝借した。あわせて御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 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, 第 45 号 B, 601-608.
- Mogi, K.(1958) : Relations between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surface around them, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. of Tokyo, 36, 99-134.
- Okada, Y. (1985): Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bull. Seis. Soc. Am., 75, 1135-1154.
- 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—2004 年 4 月～2006 年 12 月—(本報告).
- Triastuty, H., Iguchi, M., Tameguri, T. and Yamazaki, T. (2007) Hypocenters, spectral analysis and source mechanism of volcanic earthquakes at Kuchinoerabujima: high-frequency, low-frequency and monochromatic events (in this issue).

口永良部島火山における精密水準測量 —2006年12月—

高山 鐵朗・山崎 友也・米田 格
京都大学防災研究所技術室

Precise Leveling Measurement at Kuchinoerabujima Volcano in December 2006

Tetsuro Takayama, Tomoya Yamazaki and Itaru Yoneda
Division of Technical Affairs, DPRI, Kyoto University

1. はじめに

口永良部島では1980年9月に水蒸気爆発が発生してから26年間噴火が発生していない。記録に残されている1841年以降の活動履歴に基づけば、噴火は数年から30年程度の間隔で発生していることから、次の噴火が懸念される場所である。京都大学防災研究所では1991年12月から新岳火口の西0.4kmの地点において火山性地震の連続観測を行っている。1996年3月ごろから口永良部島火山において火山性地震活動が活発化した。それ以前に水準点は設置されてはいたが、測量路線の長さが不十分であったため、この活動期を契機として京都大学防災研究所は同島の中央部に位置する新岳の西側山麓から北西部の折崎に至る約7.4kmの水準測量路線を設置した。これまでの観測により地盤変動源は新岳直下の浅い場所にあると推定されているので(井口・他, 2002), 大きな上下変動は期待できないが、0.5cm~1cm程度の精度であるGPS繰返し観測に比べ、水準測量ではより精度の高い測定が可能である。1999年8月から12月の地震活動が活発化した時期を含む2000年11月の測定では、新岳方向の地盤の隆起傾向が検出されている(井口・他, 2002)。

口永良部島では1999年7月以降、地震活動の活発になる時期が繰返し現われているが、2006年の地震活動は特に顕著であり、11月には450回の火山性地震が観測された(Triastuty et al., 2007, 本報告)。また、新岳火口の北西側に設置したGPS連続観測

点では、火口の膨張を示す北西方向への水平変位が9月から12月にかけて検出されている(斎藤・井口, 2007, 本報告)。一方、GPS観測では観測精度を上回るような上下変動は検出されていないので上下変動の検出を目的として水準測量を実施した。本稿では、その結果について簡単に述べる。

2. 測量の概要

2006年12月19日から23日にかけて口永良部島火山で精密水準測量を実施した。測量路線は北部のKUC12から集落のあるGPS連続観測点KUCG(水準測量水準点としてはKC101)を経てKUC7に至る延べ約7.4kmで、1996年5月に設置した路線である。図1に水準点の位置と路線を示す。これまでに、1996年5月、8月、1999年9月、2000年11月および2001年12月、および、2005年9月(2等水準測量, 国土地理院実施)においてこの路線で測量が実施され、今回で7回目となる。

使用した測量器材は自動読取デジタルレベル(Wild NA3003)およびインバールバーコード標尺(Wild GPCL3)であり、測量の精度は1等水準測量許容誤差 $2.5\sqrt{L}$ mm以内に収まる平均二乗誤差 ± 0.26 mm/kmであった。測量作業には前回に引き続き防災研究所技術室観測班の3名があたった。

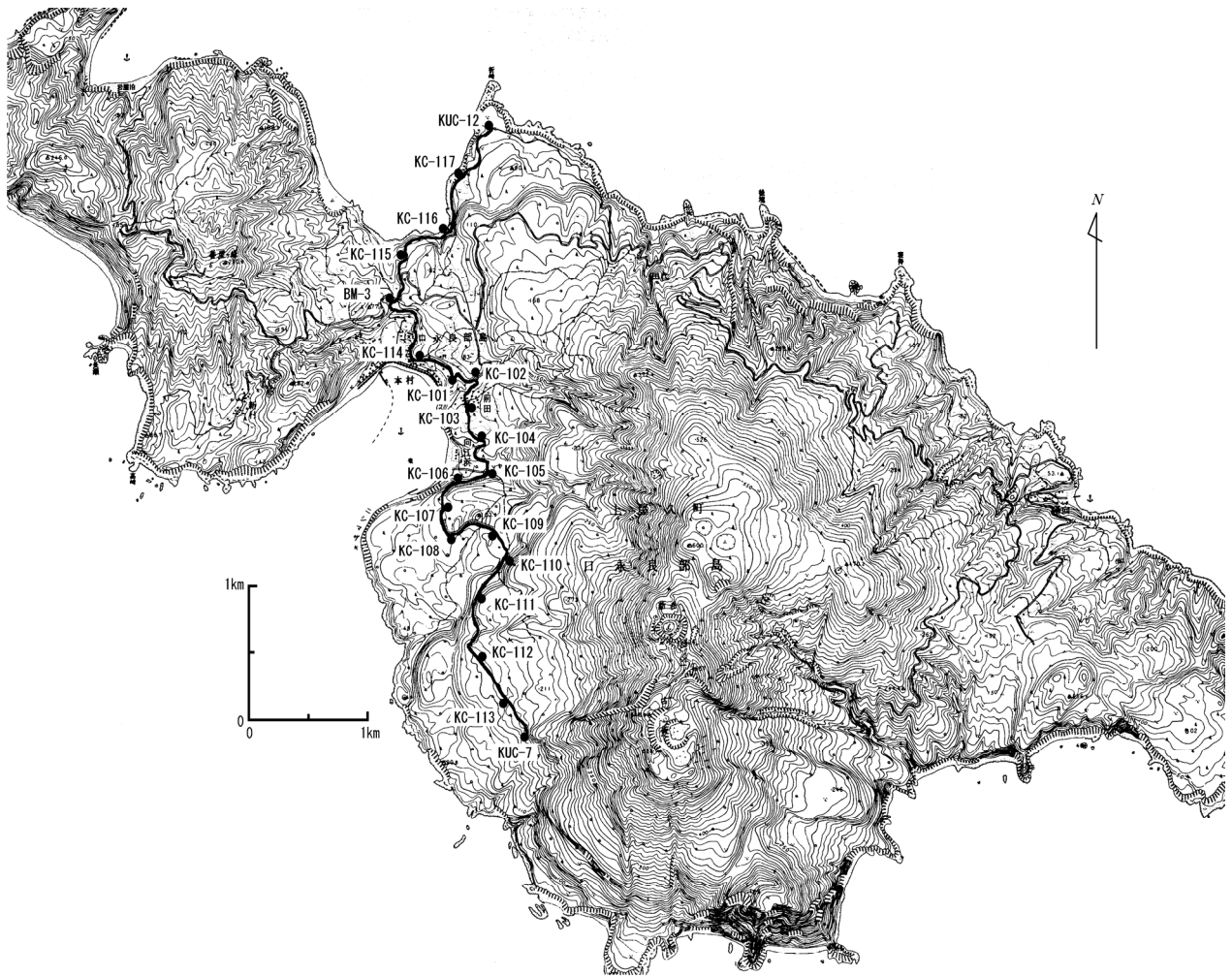


図 1. 口永良部島火山の水準測量路線

3. 結果

今回実施した測量結果と過去 6 回の測量結果を表 1 にまとめて示した. KC101 を基準とする相対値で示した. 水準点は道路沿いに設置してあるため, 道路拡張工事で移設を余儀なくされた点や, 水準点埋設標柱を建てているにもかかわらず事故によって壊されて新設(改埋)した点もあった.

図 2 に KC101 を基準とする相対上下変動量を測定期間ごとに示した. 経年的に KC102 は上昇し, KUC7 は沈降しており, この 2 つの水準点における変動は火山活動以外の水準点近傍の動きを反映していると考えられる. この 2 つの水準点を除けば, 2005 年 9 月までの測量ではほぼ $-2\text{mm} \sim +1\text{mm}$ の変動に収まっている. 2006 年 12 月の測量では 2005 年 9 月からの相対値として, KC103 よりも新岳火口側では地盤の上昇が認められ, しかも新岳に近づくにつれて上下変動が大きくなる傾向が顕著に認められた. 測量

路線の南端の KUC7 では $+3.5\text{mm}$ に達した. 系統的な上下変動が検出できたのは 1996 年に測量を開始して初めてのことである.

4. 考察

水準測量路線が口永良部島島内の一部にしかないとともに, 今回の測量により検出された変動の源を上下変動だけから特定することは難しいが, 路線の南にいくほど隆起量が大きくなることから, 新岳などの中央火口丘を中心とした地盤の膨張によって, 上下変動が引き起こされた可能性が高い. GPS 連続観測では, 新岳北西の観測点において新岳火口の膨張を示す北西方向の水平変位が 9 月のはじめから急激に現われ, 12 月ごろまで続いたことから(斎藤・井口, 2007, 本報告), 今回検出された隆起もこの期間に起こった可能性が高い.

表 1. KC101 を基準とする相対標高値

| | | BM Height (m) | | | | | | |
|---------|------------|---------------|----------|-------------|-------------|-------------|----------|-----------|
| BM Code | Dist. (km) | May.96 | Aug.96 | Sep.99 | Nov.2000 | Dec.2001 | Sep.2005 | Dec.2006 |
| | | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) GSI | (7) |
| KUC12 | -2.999 | -6.9640 | -6.9647 | -6.96913 | -6.96973 | -6.97216 | -6.9766 | -6.98153 |
| KC117 | -2.377 | -9.9988 | -9.9983 | -9.99914 | -9.99820 | -9.99725 | -9.9971 | -9.99751 |
| KC116 | -1.925 | -25.3979 | -25.3974 | -25.39987 | -25.39892 | -25.39895 | -25.3995 | -25.40009 |
| KC115 | -1.489 | 4.6500 | 4.6499 | 4.64805 | 4.64859 | 4.64908 | 4.6487 | 4.64853 |
| BM3 | -1.086 | 11.5024 | 11.5031 | 11.50201 | * 11.65735 | 11.65821 | 11.6571 | 11.65583 |
| KC114 | -0.364 | -17.1970 | -17.1968 | -17.19818 | -17.19799 | -17.19775 | -17.1978 | -17.19745 |
| KC101 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.00000 | | 0.00000 |
| KC102 | 0.419 | 13.6766 | 13.6762 | 13.68321 | 13.68644 | 13.68863 | 13.6939 | 13.69503 |
| KC103 | 0.719 | 26.8769 | 26.8765 | 26.87610 | 26.87625 | 26.87591 | 26.8758 | 26.87607 |
| KC104 | 0.938 | 21.4133 | 21.4128 | 21.41230 | 21.41152 | 21.41130 | 21.4106 | 21.41048 |
| KC105 | 1.403 | -4.9473 | -4.9476 | -4.94814 | -4.94814 | -4.94782 | -4.9474 | -4.94671 |
| KC106 | 1.608 | 13.5814 | 13.5798 | 13.57813 | 13.57707 | 13.57714 | 13.5768 | 13.57791 |
| KC107 | 1.916 | 33.7675 | 33.7668 | 33.76190 | 33.76239 | 33.76213 | 33.7630 | 33.76598 |
| KC108 | 2.150 | 41.6879 | 41.6870 | 41.68418 | 41.68408 | 41.68293 | 41.6830 | 41.68602 |
| KC109 | 2.521 | 59.7428 | 59.7423 | 59.73956 | 59.73817 | 59.73688 | 59.7369 | 59.74022 |
| KC110 | 2.803 | 72.5140 | 72.5133 | 72.51083 | 72.50951 | 72.50841 | 72.5070 | 72.51035 |
| KC111 | 3.307 | 93.6253 | 93.6246 | * 92.90674 | 92.90475 | 92.90361 | 92.9009 | 92.90337 |
| KC112 | 3.668 | 111.4415 | 111.4407 | * 111.19626 | 111.19463 | 111.19295 | 111.1913 | 111.19399 |
| KC113 | 4.119 | 128.5858 | 128.5847 | 128.58307 | * 128.58312 | 128.58077 | 128.5788 | 128.58188 |
| KUC7 | 4.495 | 143.9932 | 143.9920 | 143.99241 | 143.99181 | * 144.15417 | 144.1525 | 144.15605 |

* 改埋した水準点

謝辞

測量の実施について上屋久町役場口永良部島出張所の川東久志さんに便宜を図っていただいた。また、過去の測量作業に参加したのは以下の方々である。山本圭吾・江頭庸夫・井口正人・味喜大介(防災研究所火山活動研究センター)、藤木繁男(防災研究所技術室)、八木原寛・平野舟一郎(鹿児島大学 理学部)、鈴木敦生(北海道大学大学院理学研究科)、Muhamad Hendrasto・Agus Solihin(インドネシア火山地質災害防災局)。

参考文献

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, 第45号 B, 601-608.

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—2004年4月～2006年12月—. 本報告.

Triastuty, H., Iguchi, M., Tameguri, T. and Yamazaki, T. (2007) Hypocenters, spectral analysis and source mechanism of volcanic earthquakes at Kuchinoerabujima: high-frequency, low-frequency and monochromatic events (in this issue).

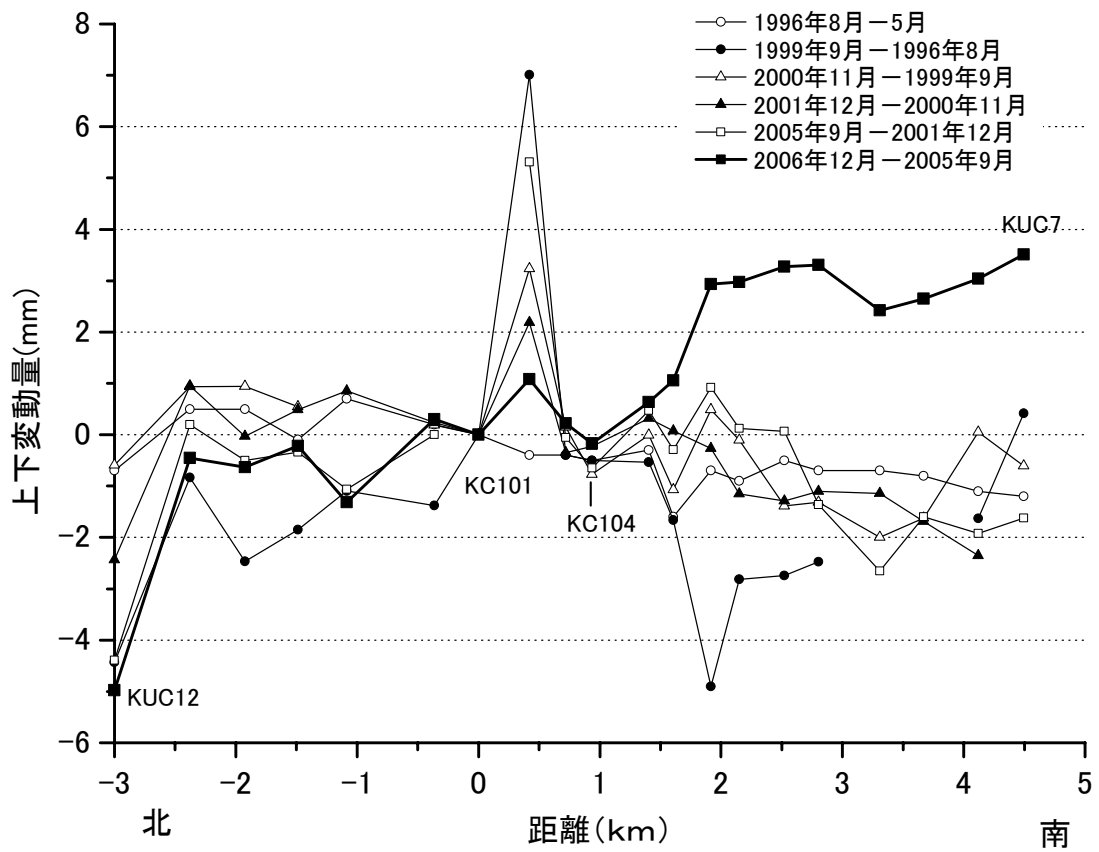


図2. KC101 を基準とする上下変動量. 距離は KC101 からの測量路線に沿った距離.

口永良部島火山の最近の地磁気変化について

Recent geomagnetic field variations observed at Kuchi-erabu-jima Volcano

神田 径 (京都大学防災研究所)

Wataru Kanda (DPRI, Kyoto University)

1. はじめに

火山体は、磁性鉱物を含む岩石で構成されるため、地下からの熱の供給によって、過去に獲得した磁化を失う性質がある。日本で観測する場合、通常の状態では、火山体の北側の領域では、地球磁場の向きと山体の帯磁による磁場とが相殺しあい、南側の領域では逆に重なり合うため、全磁力値は北側では小さめ、南側では大きめの値を示している。これが何らかの原因で山体が加熱され、消磁が起こると、北側の領域では地球磁場との相殺が弱くなり、南側の領域では重なりが弱くなるため、全磁力は北側で増加し、南側で減少する。従って、地表での全磁力観測により、火山体内部の蓄熱状況を把握することができる。

口永良部島火山では、記録に残されている最も古い 1841 年の噴火以来、新岳山頂火口周辺において水蒸気爆発が繰り返し発生している。1980 年の新岳火口東を南北に走る割目火口からの噴火後 20 年余りの間は噴火活動を行っていないが、1996 年および 1999 年に新岳火口直下で群発地震活動が観測されたことから、今後の火山活動の活発化が懸念されている。

2. 観測の概要

2000 年 8 月、3 台のオーバーハウザー磁力計 (GSM-19: Gem systems Inc.) を山頂部に設置し (図 1(c) の A1, B1, C1)、以来 5 分間隔で地磁気全磁力観測を行なっている (神田・他, 2001)。また、2002 年 5 月には 3 台のプロトン

磁力計 (PM-215: Tierra Tecnica) を増設し、観測体制の強化を図ったが、このうちの一台は、度重なる台風による被害を受けたため観測の継続を断念し、現在は 2 台のみが稼動している (図 1 (c) の P2, P3)。

3. 地磁気変化の概要

2001 年 5 月頃より、新岳活動火口北側の観測点では増加のトレンドを示し、南側の観測点では減少傾向を示すという、活動火口直下付近の岩石が熱消磁した場合に期待される変動パターンが得られた (図 2)。新岳火口南側約 500m に位置する C1 観測点でのトータルの変化量は、2002 年 9 月までの時点で 8nT 程度であった (神田・藤井, 2003)。一方で、新岳火口南側約 1km に位置する B1 観測点では、地磁気の減少は 2001 年 10 月以降ほとんど観測されていない。その後も火口近傍の観測点で変化が続いたが、2003 年 2 月頃からは、地磁気変化率に増加傾向が見られ、C1 における減少量は、2003 年 8 月までに 20nT にまで達した。火口近傍の観測点での変化率の増大、また、やや離れた観測点で変化が観測されないことは、消磁領域 (高温領域) が火口直下のより浅部へと拡大したことを示唆する。2003 年 2 月には、火口底から新たな噴気の出現が確認されたほか、熱映像測定からも高温領域の拡大が観測されており、地表での地熱兆候が観測され始めたこととも符合する。

2004 年の夏頃には、これまでにない変動が

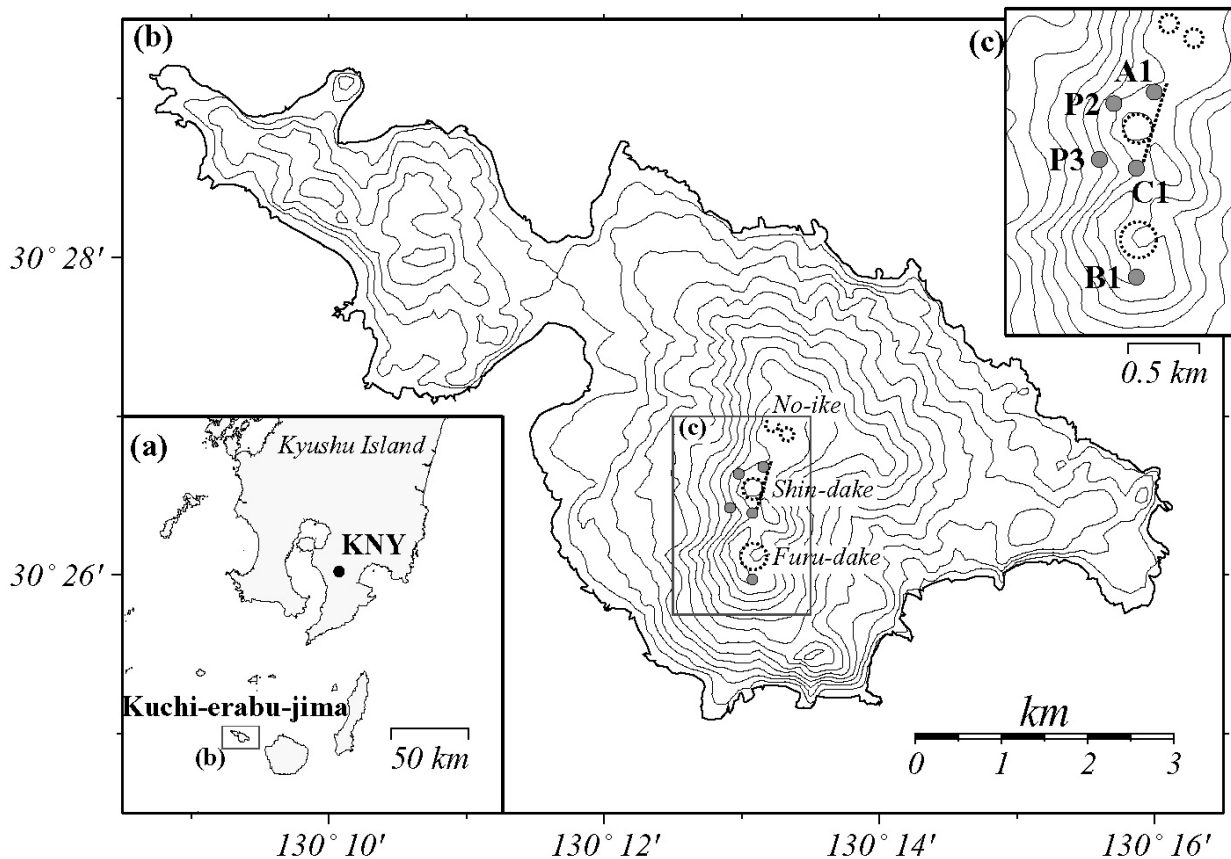


図 1:(a) 口永良部島および参照点として使用した気象庁地磁気観測所鹿屋観測点(KNY)の位置図。(b) 口永良部島の地形図。等高線は 50m。主要な火口を点線や線分で表示してある。(c) 山頂周辺の拡大図。丸が現在稼動中の磁力計の位置。

見られた。すなわち、継続的に増加傾向を示していた新岳火口北側に位置する P2 観測点において、減少傾向が観測された。同じ火口北側に位置する A1 観測点においても、欠測期間はあるものの、同様の傾向が見て取れる。この変動は一時的で、9 月頃からは再び増加傾向が観測されている。この変動の原因については不明であるが、以下のような可能性が考えられる。まず、火山体浅部の熱的状态が変化し、熱消磁から熱帯磁への冷却仮定に一時的に移行したという可能性である。しかし、この場合には、新岳火口南側の観測点で増加傾向が観測されるはずであるが、そのような変動は観測されていないので考えにくい。もう一つの可能性は、熱消磁域が北側、特に P2 が位置する方向へ拡大した、というものである。この場合、火口北側

の観測点にとっては、さらに北側に消磁領域が広がることになるので、地磁気の減少が期待される一方で、火口南側の観測点にはほとんど影響を与えないはずである。同様の考え方で、P2 や A1 観測点の北側地下に消磁領域が新たに発生したとも考えられる。しかし、当該地域は新岳の北側斜面に相当し、地震の発生や地熱異常等は観測されていない。

4. 最近の地磁気変化

2005 年の終わり頃から 2006 年初頭にかけて、地磁気変化傾向が停止し、2006 年夏頃まではほとんど変動していないように見える。地磁気変化が止まるまでの段階での C1 におけるトータルの減少量は約 40nT に達していた。これは、熱消磁の進行が止まったことを意味するのか

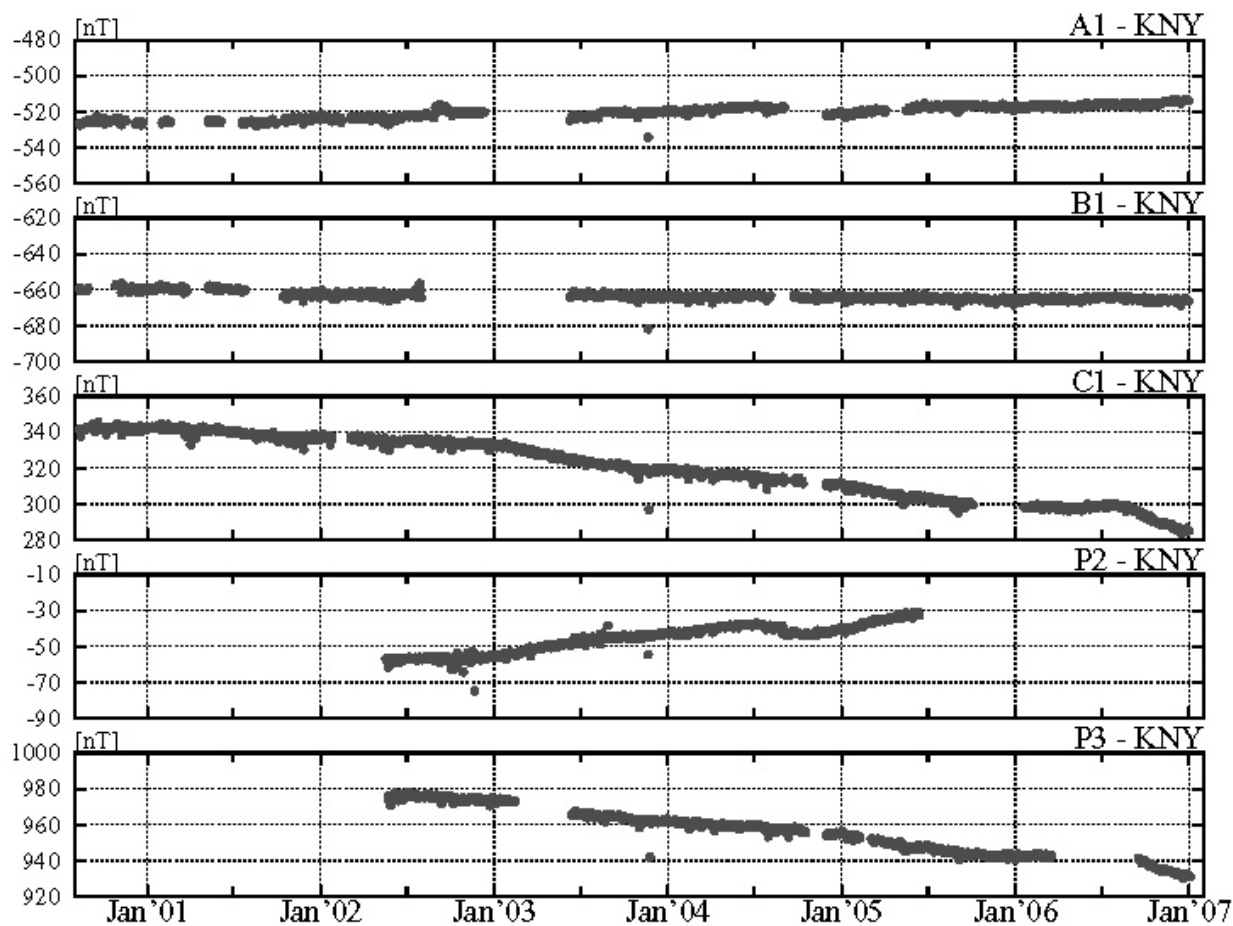


図 2：鹿屋の時系列データを基準としたときの各観測点の時系列データ。毎時値の単純差を夜間値平均したものをプロットしている。各グラフの縦軸は 80nT (グリッド間隔は 20nT) で統一している。

もしれないが、地震活動等は依然として活発であったことから、既存の観測点配置では、消磁領域の新たな拡大を捉えられなくなったのではないかと考えられた。しかし、その後、2006年9月頃から再びC1およびP3観測点が減少傾向を示すようになり、その傾向は2007年に入ってから継続している。未だ暫定値ではあるが、C1観測点における変動量は、3ヶ月余りの期間で約20nTを記録した。年間の変動量に換算すると80nTであり、これまで約5年間の変動量の倍近い値となる非常に大きな変化率である。この変動が始まった2006年9月頃から、山頂部でのGPSデータに山体直下での膨張を示唆する大きな変動が観測されており、11月初めには地震も多発した(斎藤・井口, 2007; Triastuty et al., 2007, 本報告)。これらのイ

ベントに関連して、火口直下浅部での熱的状態も変化したものと考えられる。

引用文献

- 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.
- 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.
- 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-2004年4月~2006年12月(本報告)。
- Triastuty, H., Iguchi, M., Tameguri, T. and Yamazaki, T. (2007) Hypocenters, spectral

analysis and source mechanism of volcanic earthquakes at Kuchinoerabujima:

high-frequency, low-frequency and monochromatic events (in this issue).

口永良部火山の重力異常 Gravity anomalies of Kuchino-erabu volcano

駒澤正夫*・中村佳重郎**・山本圭吾**・井口正人**・赤松純平**

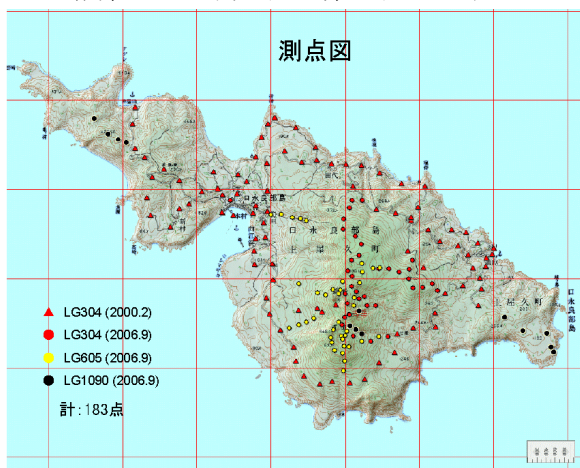
*産業技術総合研究所地質調査研究部門, **京都大学防災研究所

Masao Komazawa*, Kajuro Nakamura**, Keigo Yamamoto**,
Masato Iguch**, Junpei Akamatsu**

*Geological Survey of Japan,AIST, **Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

1. 重力調査結果と編集

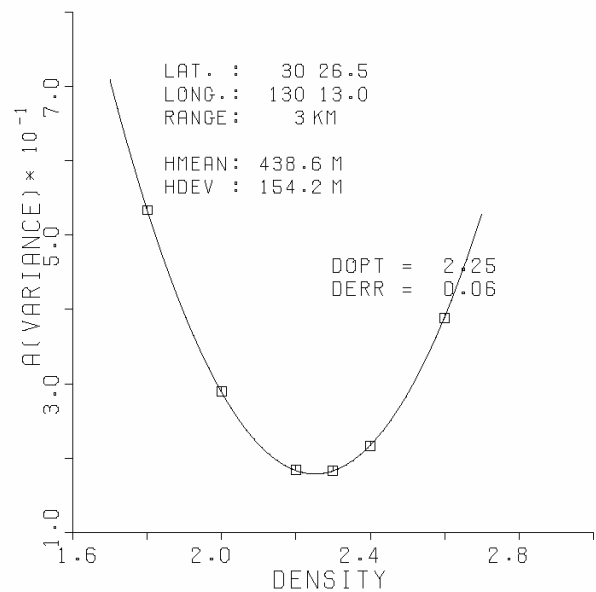
鹿児島県口永良部火山で2006年9月に重力調査を行った。調査には、ラコスト重力計3台を使用した。標高値は、DGPSによるため精度については問題がないものである。なお、2000年にも主として車道沿いで測定を行っているが、2006年の調査は登山道を徒歩にて実施した。新規測定点は、古岳、新岳および野池火山の口永良部火山の中核をなすところに当たる。新旧併せて約183点のデータを編集した。測定図を第1図に示す。



第1図 測定図

ターを施した重力残差の分散量(ランダム性)を計算し、その分散量を一番小さくする密度が最適な表層密度となる。

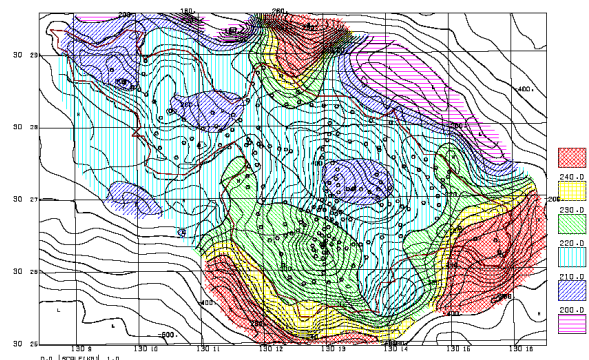
解析の結果、新岳から古岳の周辺域の平均密度として、 2.25g/cm^3 という結果を得た(第2図)。この値は、火山の表層(深度数100m程度まで)の平均密度としては普通のものである。



第2図 新岳・古岳周辺の表層密度

2. 表層密度解析

口永良部火山の密度推定の結果を示す。方法は、「上方接続残差分散比較法(Comparison of Variance of Upward Residual: CVUR法)」(Komazawa,1995)というもので、地形がつくる密度構造は起伏をもつので重力効果として最も短波長の成分が発生することを利用している。ブーゲー補正と地形補正に使う密度(仮定密度)が、地形を作っている表層密度に一致すれば、第1層目は密度的に透明になって地形に対応する短波長の重力成分は消失するので、仮定密度と表層密度が一致した場合、短波長成分の比率が最も少なくなる。ここでは短波長成分だけを取り出すようなフィル

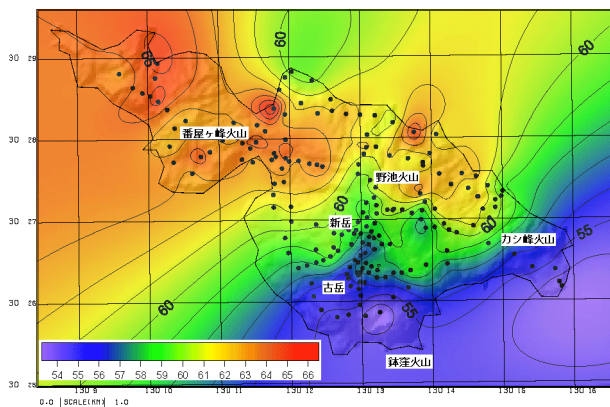


第3図 表層密度分布

一方、サンプリング半径を小さくし、位置をずらしてスキャンさせれば、面的な密度分布が得られる。そうして得られた結果を第3図に示す。第3図は、250mの上方接続残差に対し2kmのサンプリング半径で解析した例であり、表層の密度を示している。

3. 重力異常から推定される地下構造

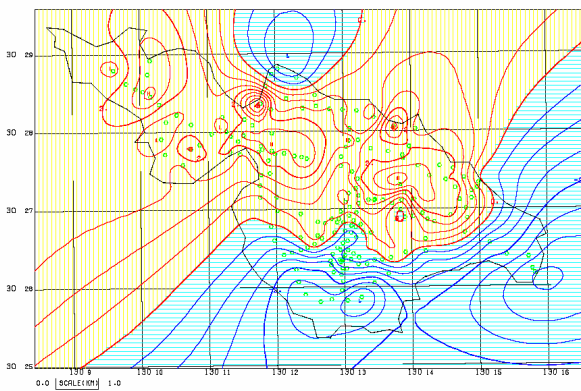
解析した表層密度を仮定密度したブーゲー異常図を作成した。第4図に仮定密度2.3g/cm³のブーゲー異常図をしめす。



第4図 ブーゲー異常 $\rho=2.3\text{g/cm}^3$

4. フィルター計算

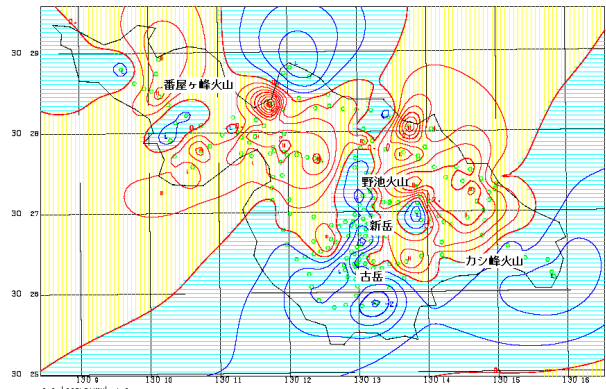
深度に応じた構造を抽出するために上方接続ファイルター操作をして残差重力を作成した。先ず、深度が数100mから1km程度の深い構造を見るために仮定密度2.2g/cm³のブーゲー異常に対して上層接続50mで表層の構造による影響を除去し、広域トレンドを上方接続2kmで除去した残差重力を求めた(第5図)。



第5図 残差重力(深い : up(50m)-up(2km)), $\rho=2.2\text{g/cm}^3$

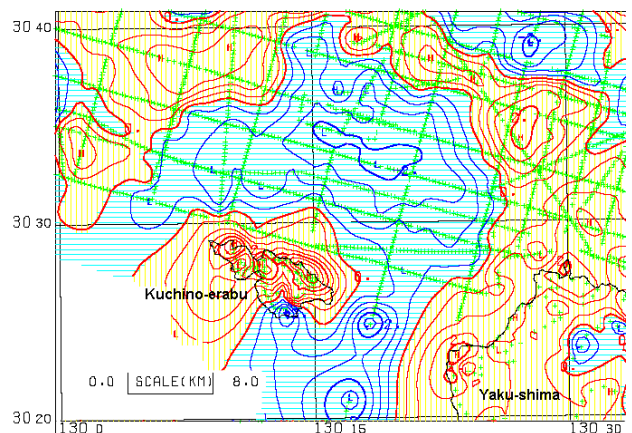
一方、上方接続1kmを広域トレンドとした深度

が数100m程度の浅い構造の残差重力を第6図に示す。浅い構造を抽出した残差重力図では古岳・新岳周辺では負となっているのに対し深い残差重力では正となっており火山の直下で密度が大きくなっているのが判る。



第6図 残差重力(浅い : up(0m)-up(1km)), $\rho=2.3\text{g/cm}^3$

第6図をみると古岳、新岳および野池火山の口永良部火山の中核をなす火山群は南北に伸びた低重力異常を呈しているのが判る。更に野池火山東方の地形の高まり域にも孤立した低重力異常が見られ噴出源(火山)と考えられる。一方、噴出源と考えられないところは概して高重力異常が目立った異常がないところとなっている。理由として、火山に対応していないところは低密度の表層が侵食されてしまっているか堆積そのものが薄いことを示しているのに対し、火山群は溶岩だけでなく、火山灰や空隙率の大きい火砕物などの低密度のもので構成されているため表層密度も小さくなっているものと考えられる。



第7図 広域の残差重力, $\rho=2.3\text{g/cm}^3$

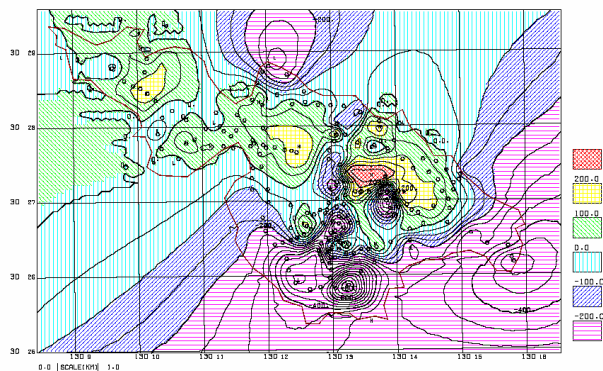
広域の残差重力図(第7図)をみると喜界カルデラの南方に位置する口永良部島の北側には孤立

したカルデラ様の負の残差重力が見られ、口永良部島はカルデラ壁に対応するような正の残差重力域になっていることが判る。

5. 重力基盤解析

解析の方法としては、基盤の起伏から計算される重力異常が観測重力値に収束するように基盤形状を徐々に修正させて最終的に最適解を求める逐次近似法を用いた。計算には、仮定密度 2.2g/cm^3 のブーゲー重力異常と地形標高の各々 100m メッシュデータを用意した。また、解析対象の深度である数 100m より数倍以上深い構造による広域傾向面的な重力異常は、 2km の上方接続フィルターで除去した。さらに、局所的な異常や誤データが作るノイズ成分は、 50m の上方接続フィルターで除去した。以上のバンドパスフィルターの操作をしたものが第 5 図に示した重力残差である。ここでは重力基盤は、高密度溶岩や岩脈の集積した構造から生成されていると考えられるものである。解析は、地下構造を低密度の被覆層と高密度の基盤の均質 2 層にモデル化して行った。基盤の密度は高密度溶岩や岩脈の集積した構造の密度として適当と考えられる 2.5g/cm^3 とした。被覆層、つまり、新しい火山灰や火砕堆積物の密度値としては $2.0\sim 2.3\text{g/cm}^3$ が考えられる(火山性堆積物の領域が広いので表層密度解析の結果も考慮して 2.2g/cm^3 を想定)が、本解析では一律に密度差を 0.3g/cm^3 とした。重力基盤を 100m 間隔の等高度線で示し、各深度階を段階表示した(第 8 図)。なお、重力基盤の数値は標高値である。

が保存され低密度となり、海岸域は火砕物が剥脱された構造のためか比較的高密度となった。浅い残差重力の負の領域が古岳、新岳および野池火山の口永良部火山の中核をなす火山群に見られる。残差重力と見かけ P 波速度分布は概略整合する。重力基盤構造は速度構造と概略整合するが新岳・古岳周辺では深く解析されている。広域的には口永良部火山はカルデラ南壁に対応するような正の残差重力域が見られる。



第 8 図 重力基盤. $\Delta\rho=0.3\text{g/cm}^3$

6. まとめ

口永良部火山の平均的な密度は 2.25g/cm^3 となり、表層密度は概略地質構造と整合する。表層密度解析の結果からは、新岳周辺の低密度火砕物

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

井口 正人

京都大学防災研究所

Detection of Change of Anomalous Geothermal Area

by Aerial Infrared Thermal Measurements at Kuchinoerabujima Volcano

Masato Iguchi

Sakurajima Volcano Research Center, DPRI, Kyoto University

1. はじめに

口永良部島の中央火口丘は、新岳、古岳、野池などの火山群からなる(図 1)。記録に残されている噴火の歴史は1841年までしか遡れないが、20世紀に入ってもしばしば水蒸気爆発を繰り返していることから、口永良部島は活動的な火山であるといえる。これらの噴火はすべて、新岳の火口内あるいはその東側の割れ目火口において発生している。新岳の火口の直径は約200m、深さは110~140mであり(西・他, 1975)、東側の割れ目火口の長さは南北方向に700~800mである。1966年の噴火は新岳の中央火口において発生し、1945年、1980年の噴火は新岳の東側の割れ目火口において発生した。

火口縁の西側から南側にかけて多数の微弱な噴気が存在する。

口永良部島の噴火は、爆発力が大きいため、しばしば遠方まで、噴石が到達する。1933年12月から1934年1月の噴火では、新岳火口南東1.9kmにある七釜集落に噴石が多数落下し、死者8名、負

傷者26名の災害が発生した。1966年の噴火でも火口の北~北東方向に噴石が3kmの距離に達した。一方、口永良部島には、西の湯、寝待、湯向などの温泉が湧出している。このように水蒸気爆発の爆発力が大きく、多数の温泉を有する火山では、熱水活動が活発であると考えられ、その熱的状态を把握しておくことは、きわめて重要であると思われる。

これまで福岡管区気象台(1991;1997)や平林・他(2000;2002)による新岳および古岳の噴気温度や山麓の温泉の温度調査が繰り返されてきた。新岳西側の噴気温度は90℃程度であった(福岡管区気象台, 1991;1997)。新岳東の割れ目の南の端には噴気が残っているだけであり(K3, 図1)、1992年からの噴気温度測定によれば、噴気温度が著しく低下している(平林・他, 2002)。ことなどが知られている。また、井口・鍵山(2002)は2001年2月に空中から熱赤外映像観測を行い、熱異常域の面的な広がり調査し、主要な熱異常域が新岳の西側から南側の縁にある噴気地帯に分布し、火口内には熱異

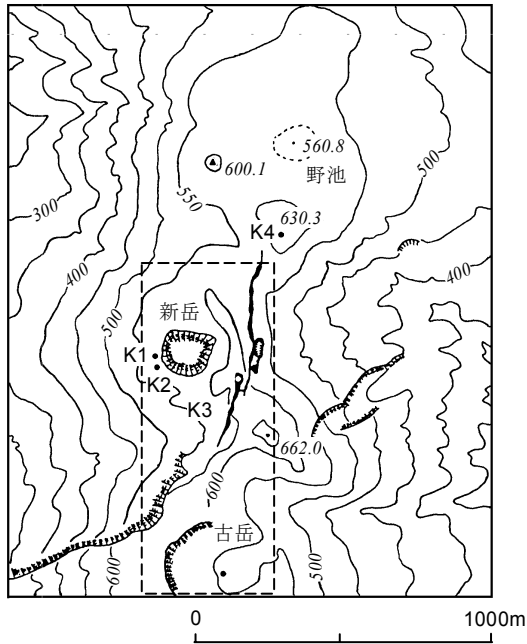


図 1. 山頂付近の地形と赤外熱映像の測定範囲 (破線で示す).

常域がないことを示した。さらに、新岳からの放熱量を約 14MW と見積もっている。

火口底には 2001 年 2 月の時点では噴気はないとされてきたが(井口・鍵山, 2002), 火山性地震活動の活発化に対応するように 2003 年 2 月ごろから弱いものの噴気活動が認められるようになった。その後, 2004 年 2 月, 2005 年 1 月など, 火山性地震活動が活発化するたびに新岳の西側から南側の縁と火口内の噴気活動が活発化することが目視できるようになった。火口底での噴気の出現と火山性地震の活発化は, 2003 年 2 月ごろから地磁気強度が急速に変化したことに対応し, 高温領域に相当する熱消磁域が浅部に上昇したものと解釈されている(神田, 2007, 本報告)。高温域の上昇は, 地表面の温度分布にも変化が現われる。本稿では, 地震活動・噴気活動の活発化に対応して実施された空中赤外熱映像測定による結果を報告する。

2. 観測

2001 年 2 月 2 日に実施した上空からの赤外熱映像測定以降(井口・鍵山, 2001)では, 2003 年 3 月 19 日 14 時 10 分から 14 時 25 分, 2005 年 2 月 26 日の 10 時 35 分から 11 時 00 分, 2006 年 10 月 19 日の 10 時 35 分から 11 時 14 分の計 3 回の測定を実施した。2003 年の測定では日本アビオニクス社製 TVS2000 を使用した。2005 年と 2006 年の測定で使用した赤外線走査装置は日本三栄株式会社製 TH7102MV (高温仕様) である。その仕様を以下に示す。

| | |
|---------|-----------------------------------|
| 機種 | TVS2000 |
| 観測視野角 | 縦 10 度×横 15 度 |
| 瞬時視野角 | 2.2mrad |
| 検知器 | インジウムアンチモン 10 素子アレイ |
| 検知波長領域 | 3-5.4 μ m |
| 検知器冷却方式 | アルゴンガス |
| 観測温度範囲 | -20~950 $^{\circ}$ C |
| 温度分解能 | 0.1 $^{\circ}$ C |
| 機種 | TH7102MV |
| 観測視野角 | 縦 22 度×横 29 度 |
| 瞬時視野角 | 1.58mrad |
| 検知器 | 2 次元非冷却センサー |
| 検知波長領域 | 8-14 $\cdot\mu$ |
| 観測温度範囲 | -40~2000 $^{\circ}$ C (4 レンジ切り替え) |
| 温度分解能 | 0.08 $^{\circ}$ C |
| 撮影間隔 | 60 フレーム/秒(最大) |

撮影範囲を図 1 に示す。ヘリコプターの床面の作業孔から鉛直に撮影した。2003 年と 2005 年の測定における飛行高度は, 1000m で口永良部島火山の

新岳火口縁からおよそ 450m 上空になる。1 回の撮影で約 130m×90m の範囲を測定することになり、2005 年の測定ではその 4 倍の面積を一度に測定した。2006 年の測定では高度 1500m を飛行し、1 回の撮影範囲は約 130m×90m となる。

3. 結果

2001 年 2 月と 2003 年 3 月の測定結果を比較して図 2 に示す。カラースケールは温度異常のない部分が緑色以下になるように調整してある。新岳火口内の北西側の領域 (B1 および B2) については、熱異常域が 2001 年 2 月ではスポット的であったが、2003 年 3 月には大きく拡大していることがわかる。また、2001 年 2 月には認められなかった領域 B3 の熱異常は 2003 年 3 月の熱映像では識別できる。これらの領域は 2003 年 2 月に噴気活動が認められた領域である。また、新岳の南西側には熱異常域が列状に分布する (SW1 および SW2)。SW1 および SW2 領域の最高温度は温度異常域のない部分に比べ、20～25℃高く、2001 年 2 月から 2003 年 3 月の間に大きな変化はないが、2003 年 3 月の測定では熱異常域が西側及び南西側に張り出していることがわかる。

2005 年 2 月と 2006 年 10 月に行われた結果を図 3 に示す。2003 年 3 月と 2005 年 2 月の熱映像を比較すると大きな変化はないが、新岳火口底の領域 B4 の熱異常域が顕著となっていることがわかる。更に、2006 年 10 月の測定ではその面積が拡大している。同様に B1 および B3 の領域の熱異常域が広がっている。更に火口の南西側の領域 SW1 において熱異常域が大きく拡大しており、この場所は山麓からも噴気活動の活発が目視できる場所に対応する。

4. まとめ

2001 年 2 月以降、2006 年 10 月まで 4 回の空中熱赤外映像観測を実施してきたが、2001 年 2 月と比較すると新岳火口底および火口縁から南西側の領域において熱異常域の拡大が見られる。熱異常域の拡大は新岳火口底における噴気の出現および南西側の領域における噴気活動の活発化に対応している。新岳火口底の噴気が出現した後の 2003 年 3 月の測定、南西側の領域における噴気活動の活発化が認められた後の 2006 年 10 月の測定においてその違いが顕著である。神田 (2007, 本報告) は 2003 年 2 月ごろから地磁気強度が急速に変化したことを高温領域に相当する熱消磁域が浅部に上昇したものと解釈し、更に 2006 年 9 月以降に観測された地磁気変化の急変を火口直下浅部の熱的状态の変化としているが、空中赤外熱映像観測からも地磁気変化から推定される熱的状态の活発化を支持する結果が得られた。

謝 辞

空中赤外熱映像測定を行うにあたって、鹿児島県所有の防災ヘリコプター「さつま」を使用した。ヘリコプターの利用を快諾していただいた鹿児島県危機管理局および運行していただいた防災航空センターの皆様に御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 福岡管区气象台 (1991): 口永良部島・雲仙岳, 九州地域火山機動観測実施報告, 第 12 号, 1-12.
- 福岡管区气象台 (1997): 口永良部島, 九州地域火山機動観測実施報告, 第 17 号, 1-23.
- 平林順一・大場武・野上健治 (2000): 口永良部島および中之島の火山ガスと温泉, 第 3 回諏訪之瀬

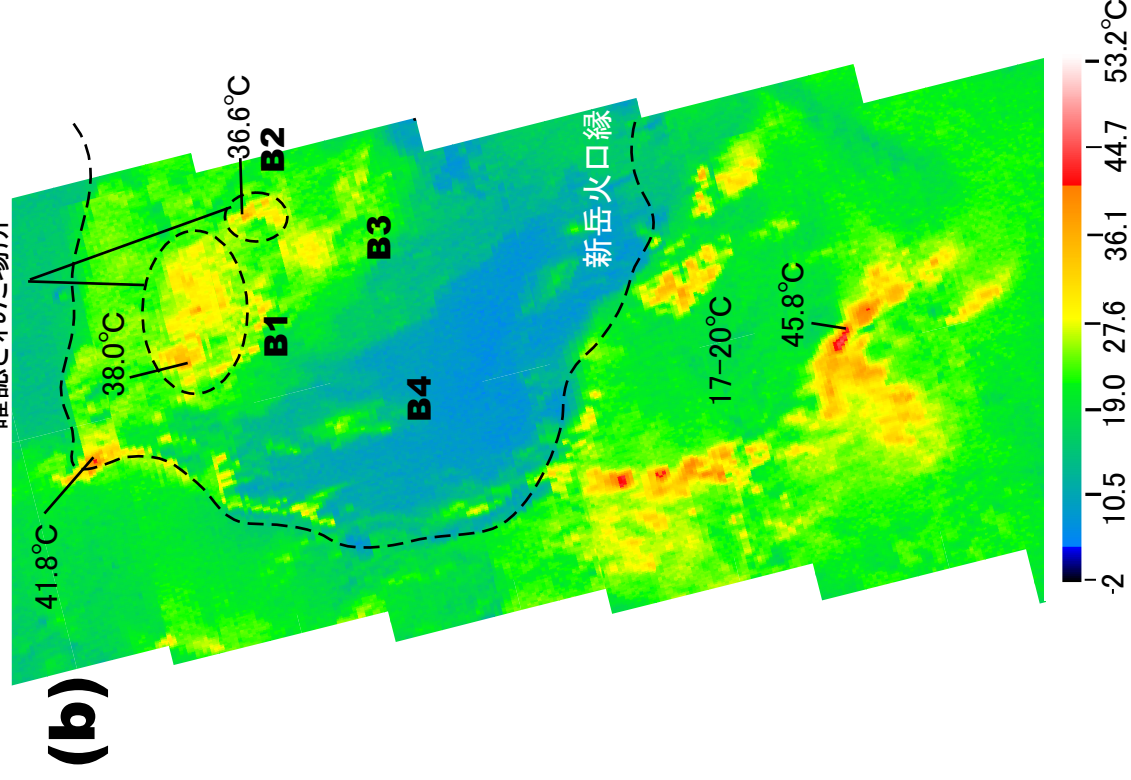
島火山の集中総合観測, 95-104.

平林順一・野上健治・鈴木隆・水橋正英(2002): 口永良部島の火山ガスと温泉, 薩摩硫黄島・口永良部島火山の集中総合観測, 143-152.

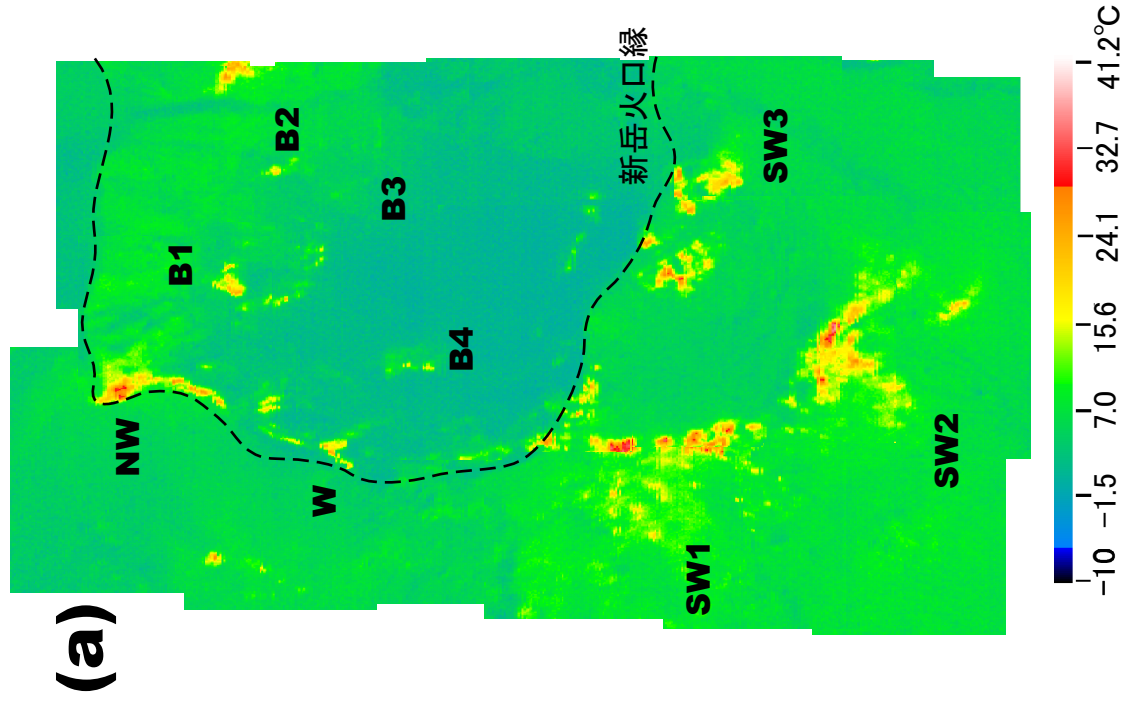
井口正人・鍵山恒臣(2002) 口永良部島火山における空中赤外熱測定, 薩摩硫黄島火山・口永良部島火山の集中総合観測, 137-142.

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).

2003年2月に新たに噴気の
確認された場所



(b)



(a)

図2. (a)2001年2月2日の新岳火口周辺の温度分布. 黄色以上の暖色系の部分が温度異常域に相当する. (b)2003年3月19日の地表面温度分布. 破線の領域は2003年2月に新たに噴気が確認された場所であり, 熱異常の拡大が顕著である.

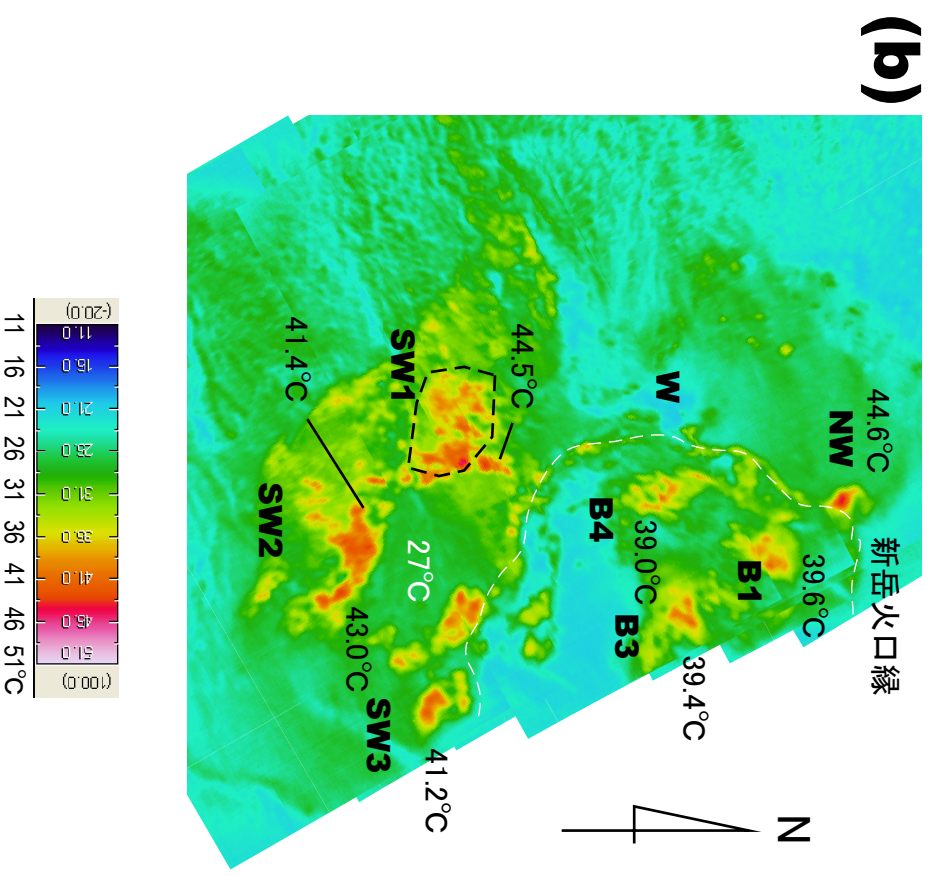
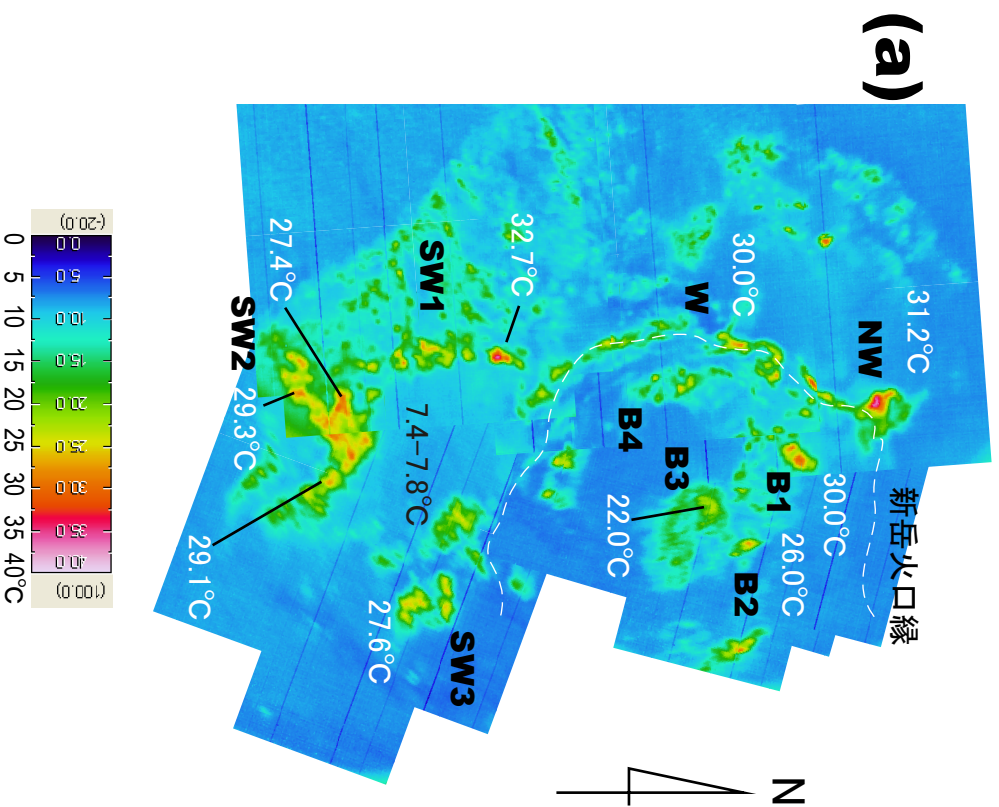


図3. (a)2005年2月26日の新岳火山口周辺の温度分布. 温度異常がない部分の温度は7.4-7.8°Cであり, 3σ を超える部分を温度異常域とするとみどりがかった水色よりも暖色系の部分か温度異常域に相当する. (b)2006年10月19日の地表温度分布. 破線の領域で熱異常の拡大が顕著である. 火山口内で熱異常域の拡大と温度上昇が見られる.

口永良部島の火山ガス観測

東工大 火山流体研究センター 平林 順一・野上 健治
北大 理学研究科 大島 弘光
京大 防災研究所 井口 正人

1. はじめに

口永良部島では、1999年以降地震の群発が時々観測され、地震活動が活発化している。また、2003年頃から新岳火口底に弱い噴気活動が認められ、同時に火口南の噴気活動も活発化しはじめ、2005年に入ると同地域の噴気活動は一段と活発化した。同時に、火口西の噴気活動も活発化しはじめた。また、2003年から、赤外線熱観測により新岳周辺の地熱・噴気地帯の拡大が観測され、全磁力も新岳火口直下での蓄熱を示す変化がはじまった。

口永良部島には、新岳火口周辺および旧火口内に噴気活動がある。これまでは、1945年および1980年に噴火した新岳火口東側の割れ目火口南端の噴気活動が活発で、火山ガス観測を開始した1992年の噴気温度は高く、ハロゲン化水素や二酸化硫黄が多く含まれていた。しかし、同噴気の温度は徐々に低下し、2003年には100°C以下となり、2004年以降は、火山ガスの噴出は極めて弱く、火山ガス採取が困難となった。一方、2003年頃から噴気活動が活発となった新岳火口南の噴気ガス中に二酸化硫黄が含まれるようになった。2005年には、新岳火口西の噴気ガス中にも二酸化硫黄が含まれるようになった。火山ガスの組成変化とともにその温度も火山活動の把握に重要な観測項目であり、2005年から新岳火口の西、南、東の噴気温度の連続観測を開始した。

本報告では、火山ガス組成および噴気温度の変化と火山活動との関連について検討した。

2. 火山ガスの化学組成

表1に火口周辺で採取した火山ガスの温度および化学組成を示した。同表は、噴気温度、

ガス組成から計算した見かけの平衡温度(AET)、水蒸気の濃度、水を除いたガス組成の百分率、アルカリ溶液に吸収されないガス組成(R-gas)の百分率を順に示した。また、同表には1980年噴火直後に新岳東の割れ目火口で採取した火山ガス組成および古岳火口で採取した火山ガス組成も併せて示した。

新岳火口周辺で噴気活動が最も活発であった東側割れ目火口南端(以後、火口東)の1992年の火山ガスは温度が340°Cと高温で、火山ガス中のHF、HCl、SO₂、H₂濃度が著しく高く、高温のマグマ由来の組成であった。しかし、1998年の同噴気温度は約200°C低下し、2000年にはさらに温度が低下し100°Cとなった。噴気温度の低下とともに、HCl、SO₂、H₂濃度も低くなった。また、2003年にはさらに噴気活動が弱くなり、2004年には火山ガスの採取が困難になるなど同地点の噴気活動は極めて弱くなった(写真1、図1)。

また、1998年に火口東で採取した火山ガス凝縮水の酸素・水素同位体比は、 $\delta^{18}\text{O}$ が+1.0‰、 δD が-23‰~-25‰であり、火山ガス中の水は同地域の天水とマグマ由来の水が約1:1で混合したものであった。2003年の火山ガス凝縮水の同位体比は、それぞれ-6.6‰、-54‰で、約100°Cの水が気液分離した蒸気相の値に近い。

一方、2003年に活動が活発化した火口南の噴気ガスの温度は100°C前後と低いものの火山ガス中のSO₂、H₂濃度は高く、さらに噴気活動が活発化した2005年以降は、火山ガス中のこれら成分濃度が著しく高濃度となった。2005年の火口西で採取した噴気ガスにもSO₂

表 1 口永良部島の火山ガス組成

| Locality | Date | Temp. ℃ | AET ℃ | H ₂ O V% | Composition of gases exclusive of water | | | | | | Composition of R-gas | | | | | |
|----------|------------|------------|----------|------------------------|---|------|-----------------|------------------|-----------------|-------|----------------------|----------------|----------------|-----------------|-------|-------|
| | | | | | HF | HCl | SO ₂ | H ₂ S | CO ₂ | R | He | H ₂ | N ₂ | CH ₄ | Ar | CO |
| 火口東割れ目 | Oct.16.'80 | 97.2 | | | 0.01 | 40.5 | 0.2 | 59.3 | | | | | | | | |
| 新岳火口東 | Apr.28.'92 | 335 | 410 | 96.7 | 0.57 | 9.1 | 35.9 | 17.5 | 36.5 | 0.37 | -- | 41.4 | 58.0 | 0.635 | 0.04 | |
| | " | 342 | 387 | 96.7 | 0.59 | 9.0 | 36.8 | 16.5 | 36.8 | 0.34 | -- | 28.2 | 71.3 | 0.497 | | |
| | Nov.30.'98 | 150.4 | 217 | 99.06 | | 8.88 | 11.9 | 21.4 | 57.6 | 0.24 | 0 | 3.52 | 95.4 | 0.147 | 0.774 | |
| | | 145.1 | 349 | 99.07 | | 14.3 | 10.7 | 19.3 | 54.8 | 0.85 | 0 | 37.5 | 61.8 | 0.114 | 0.572 | |
| | Dec.08.'00 | 103 | 266 | 98.76 | | 0.33 | 2.10 | 16.36 | 80.07 | 1.14 | 0 | 3.49 | 93.05 | 2.15 | 1.30 | |
| | Apr.04.'03 | 98.1 | 318 | 94.51 | | 0.0 | 0.096 | 2.17 | 97.11 | 0.62 | 0.024 | 7.30 | 91.95 | 0.205 | 0.519 | |
| | Aug.28.'03 | 98 | 306 | 97.44 | | 0.0 | 0.137 | 2.05 | 93.24 | 4.57 | 0.013 | 1.40 | 96.37 | 0.725 | 1.49 | |
| 南 | Apr.04.'03 | 99.1 | 440 | 98.64 | | 0.0 | 9.00 | 1.30 | 84.31 | 5.39 | -- | 8.02 | 90.95 | | 0.925 | 0.102 |
| | Aug.28.'03 | 97 | 486 | 98.55 | | 0.0 | 10.41 | 0.80 | 82.80 | 5.98 | | 11.68 | 88.18 | | 0.138 | 0.138 |
| | Mar.06.'04 | 99 | 434 | 99.21 | | 0.0 | 14.97 | 2.16 | 68.50 | 14.36 | | 4.75 | 95.25 | | | 0.0 |
| | Feb.26.'05 | 102 | 536 | 99.45 | | 0.0 | 10.63 | 1.02 | 86.58 | 1.77 | | 80.95 | 17.65 | | | 1.40 |
| | May17.'05 | 97 | 546 | 98.24 | | 0.0 | 10.47 | 1.17 | 85.06 | 3.29 | | 46.74 | 52.72 | | | 0.536 |
| | Sep.26.'06 | 97 | 484 | 98.29 | | 0.0 | 21.31 | 1.29 | 76.65 | 0.789 | 0.024 | 67.32 | 32.66 | | | Tr |
| 西 | Feb.26.'05 | 103 | 446 | 97.62 | | | 15.72 | 0.70 | 82.56 | 1.01 | | 18.62 | 81.20 | | | 0.173 |
| | May.17.'05 | 98 | 438 | 97.33 | | | 17.88 | 0.90 | 75.13 | | | 2.47 | 97.53 | | | |
| 古岳火口 | Dec.08.'00 | 113 | 314 | 96.22 | | 1.71 | 7.11 | 3.16 | 86.58 | 1.44 | 0 | 0.64 | 99.0 | 0 | | 0.332 |



写真 1 口永良部島新岳東の割れ目火口南端の噴気活動の変化

が高濃度で含まれていた。また、火山ガスの採取・分析は行っていないが、新岳火口の南西部の弱い噴気ガスは、2006年9月の調査時には、

2005年5月の調査時に感じられなかった二酸化硫黄臭が強く感じられた。

火口南および西の噴気温度はいずれも 100

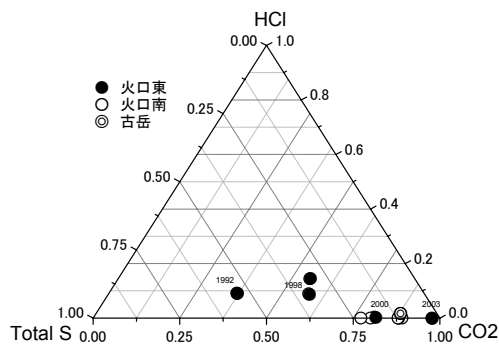


図1 火山ガスの HCl–Total S–CO₂ ダイアグラム

℃ 前後と低いと、両噴気ガス中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。一酸化炭素が水に溶けにくいことを考えれば、マグマからの高温の火山ガスが上昇過程で地下水あるいは海水との接触で、冷却されていることを示唆している。これらの火山ガス組成は、現在新岳火口周辺に噴出している火山ガスが高温のマグマ由来であることを示している。

図 2 に火山活動の指標として用いられる SO₂/H₂S モル比の変化を示した。火口東の割れ目火口南端（以後火口東）の火山ガスの SO₂/H₂S は 1992 年には約 2 であったが、その後は徐々に小さくなり 2003 年の値は 0.1 以下である。一方、2003 年から噴気活動が活発化した火口南の火山ガスの SO₂/H₂S 比は、約 7 と大きな値で、以後徐々に大きくなった。

一方、2005 年に噴気活動の活発化が認められ火口西の火山ガスも温度は低いものの、SO₂/H₂S 比は約 20 と大きな値であった。

尚、1980 年の噴火直後に火口東側の割れ目火口で採取した火山ガスの硫黄成分は、SO₂ に富み、H₂S が極めて少なく、両者の比は約 200 と著しく大きく、2003 年以降の新岳火口南および西の値の約 10 倍である。

この違いは、現在、マグマからの高温の火山ガスは地下水と接触しており、SO₂ の一部が水に溶解移行しているためと考えられる。また、現在山頂周辺に噴出している火山ガス中には HCl が含まれていない。これは、HCl が SO₂ に比べて水に対する溶解度が約 1 桁大きい

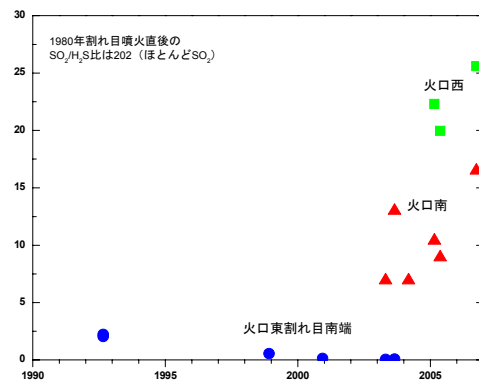


図2 口永良部島新岳周辺の火山ガスの SO₂/H₂S モル比

め、そのほとんどが地下水に溶けたためと考えられ、HCl 濃度からも火山ガスが地表に到達する流路で水との接触していることを示している。

尚、2000 年に調査した古岳火口内の火山ガスの温度は 113℃で、火口東の温度より約 10℃ 高く、火山ガスには HCl、SO₂ が高濃度で含まれている。また、SO₂/H₂S 比は約 2 であり、H₂ 濃度が低いことを除けば、同時期の火口東のガスと似た組成である。

火山活動の変化を推定する火山ガス成分として H₂ 濃度が用いられる。図 3 に R ガスの H₂ 濃度の時間変化を示した。火口東の火山ガス中の H₂ 濃度は 1992 年以降、温度、SO₂/H₂S 比と同様に徐々に低くなっている。一方、火口南のガス中の H₂ 濃度は、2003 年以降徐々に高くなる変化し、2005 年および 2006 年の R ガス中の H₂ 濃度は、70~80%と極めて高い。

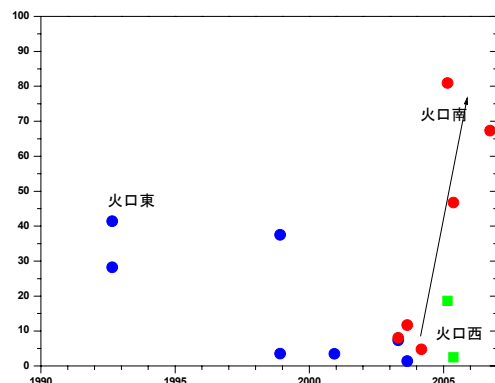


図3 口永良部島新岳周辺の火山ガス中の H₂ 濃度

3. 見かけの平衡温度

火山ガスの化学組成から、見かけの平衡温度 (AET) を計算し、地下の熱的状态の変化を推定することができる。ここでは、 $\text{SO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ の反応から求めた AET を噴気温度と併せて図 4 に示した。

前述したように 1992 年の火口東の噴気ガス温度は、 340°C であり、その AET は約 400°C と高かったが、その後は噴気温度および火山ガス組成の変化によって AET も徐々に低下し、2003 年の AET は約 300°C であった。2003 年および 2005 年から噴気活動が活発化した新岳火口南と火口西の噴気ガス温度はいずれも約 100°C と低いものの、AET は $450^\circ\text{C} \sim 550^\circ\text{C}$ と高く、2003 年以降地下の温度が高くなっている。また、AET と噴気温度とには約 400°C のギャップがあるが、火山ガスの化学組成の章で述べたように、マグマからの高温の火山ガスが地下水 (海水) と接触によって、噴気温度は低下したものの $\text{SO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ の反応は急冷保持されていることを示している。また、火口南の AET は 2003 年以降徐々に上昇する傾向にある。

新岳山頂周辺の地磁気観測 (神田、本誌) によれば、2003 年以降山頂直下で熱消磁が進行していることを示す全磁力変化が観測おり、火山ガス組成から求めた地下温度の上昇と調和的で、口永良部島の新岳は、火山ガスの化学組成からみて、明らかに火山活動の活発化していることを示唆している。

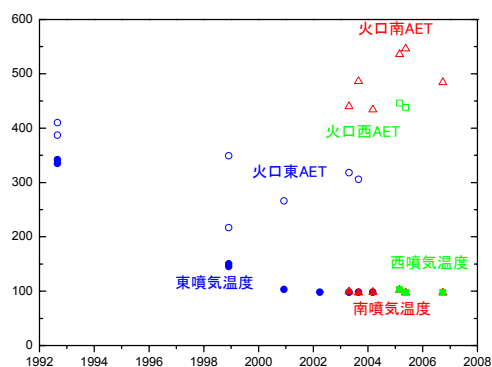


図 4 口永良部島新岳周辺の火山ガス組成から求めた見かけの平衡温度

4. 噴気ガス温度の連続観測

火山活動の活発化は、火山ガス組成や温度変化をもたらすことは、これまでも多くの火山で観測されている (例えば、平林・日下部、1985、平林、1986)。そこで、新岳新岳火口周辺の東、南、西の 3 噴気地帯の噴気温度の連続観測を 2005 年から開始した (図 5)。用いた温度センサーは白金抵抗体 (火口南、西) および K 熱伝対 (火口東) で、測定周期は 1 時間である。観測データはオーブコム通信衛星を用いて、インターネット経由で取得する。

図 6 に、3 観測点の日最高温度と日別地震回数を、図 7 に 2006 年 7 月からの南観測点の日最高温度と地震回数を示した。火口南観測点の噴気温度は、観測開始直後は 97.5°C であったが、2005 年 10 月頃から低下し、2006 年 2 月～7 月には 92°C まで下がったが、同年 8 月から急激な温度上昇に転じ、9 月には 98°C まで上昇した。また、10 月はじめに若干の温度低下が観測されたが、10 月下旬に約 0.5°C の急激な温度上昇が観測され、12 月末には 98.9°C の日最高温度が観測された。急激な温度上昇が観測された 10 月下旬には、GPS 観測で、急激な山体膨張が観測されている (斎藤・井口、本誌)。

火口西観測点の温度は 2005 年 10 月頃から温度低下をはじめ、2006 年 2 月～7 月には観測開始時に比べて約 1°C 低下した。しかし、火口南観測点と同様に 8 月から上昇傾向に変わり、現在は観測開始時と同じ温度に復している。



図 5 新岳火口と噴気ガス温度連続観測点

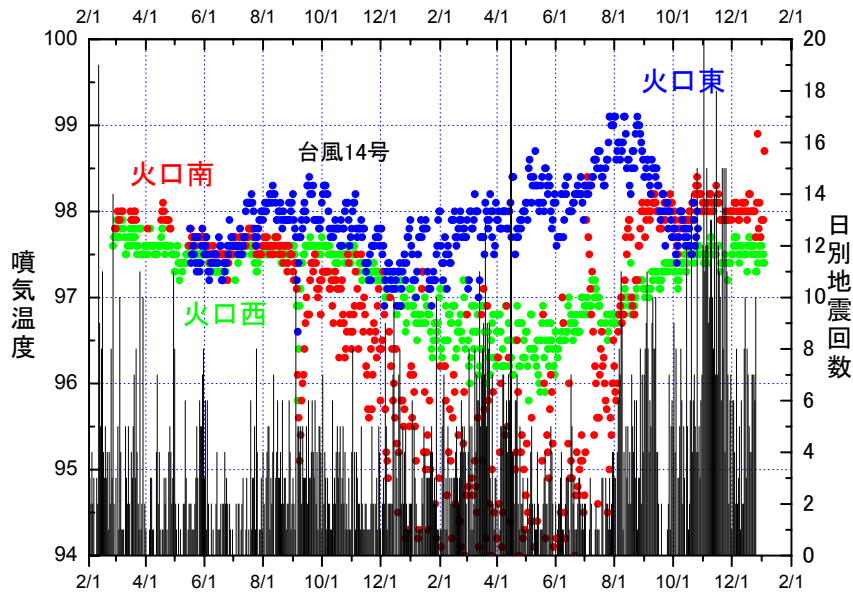


図 6 新岳火口周辺の 3 噴気地帯で行っている連続観測による噴気温度の日最高温度と日別地震回数 (棒グラフ)

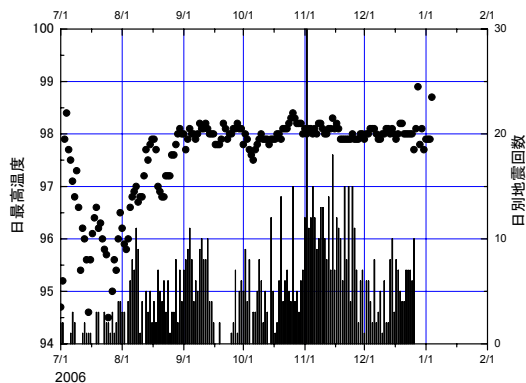


図 7 火口南観測点の 2006 年 7 月からの日最高温度と地震回数

る。両観測点の温度上昇が始まった 2006 年 8 月からは、地震回数も増加している。特に、8 月にはモノクロマティックな地震の発生が観測されている (Triastuty et al., 2007、本誌)。

火口東観測点の温度は、2005 年 5 月の観測開始以後徐々に温度上昇していたが、10 月頃から低下に転じた。しかし、2006 年 4 月頃から上昇傾向に変わり、8 月～9 月には 99°C まで上昇した。

これらの噴気ガスの温度上昇は、グマからの火山ガス供給量の増加などにより、山頂下に存在する熱水系内に変化があったこと反映していると考えられる。火口南および西観測点と火口東観測点で温度上昇の始まった時期が異なっているが、前 2 観測点の噴気圧力が弱く、地下からの噴気ガス量の変化や気温などが鋭敏に温度に反映されるのに対して、火口東観測点には視認できる噴気ガスの放出が無く、また地表面が硫黄などで固化した地温を測定しているためか、またはマグマから山頂へ向かうガス流路が 2 系統あることの反映かとも考えられる。

5. まとめ

口永良部島における火山ガス観測の結果を以下にまとめた。

- ① 新岳火口南の噴気は、2003 年以降噴気の増加や、これまでガス中に含まれていなかった SO_2 ガスが含まれるようになり、その濃度は徐々に高くなっている。また、 H_2 ガス濃度も高い。

- ② 火山活動の指標となる $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ モル比は高く、徐々に値が大きくなっている。また、 H_2 濃度も同様に徐々に高くなっている。
- ③ 火口西の噴気活動も、2005年に活発化し、火口南の噴気ガスと同様に SO_2 濃度が高い組成に変化した。
- ④ 火山ガス組成から求めた見かけの平衡温度 (AET、地下温度) は約 500°C と高い。
- ⑤ 両地点の噴気ガス温度は 100°C 前後と低いにもかかわらず、ガス中にマグマ由来の高温の火山ガスに特徴的な CO が含まれている。
- ⑥ 火口南西の噴気ガスも、2006年9月に SO_2 が多く含まれていることが観察された。
- ⑦ 噴気温度の連続観測では、地震活動や山体膨張と連動した変化観測されている。

これらの結果は、口永良部島ではマグマからの高温ガス供給量増加に伴い火口下の熱水系が変化しており、明らかに火山活動が高まっていることを示している。

参考文献

- 平林順一・日下部 実 (1985) 噴火の化学的前兆現象. 火山, 30, pp.171-183.
- 平林順一 (1986): 火山ガス災害と化学的噴火予知の現状. 火山, 30, pp.S327-S338.
- 平林順一・大場 武・野上健治 (2000) 口永良部島および中ノ島の火山ガスと温泉. 第3回諏訪之瀬島火山の集中総合観測報告書, pp.95-104.
- 平林順一・野上健治・鈴木 隆・水橋正英 (2002) 口永良部島の火山ガスと温泉. 薩摩硫黄島火山・口永良部島火山の集中総合観測報告書, pp.143-152.
- 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.
- 齋藤英二・井口正人(2007) 口永良部島火山におけるGPS連続観測結果—2004年4月～2006年12月— (本報告).
- Triastuty, H., Iguchi, M., Tameguri, T. and Yamazaki, T. (2007) Hypocenters, spectral analysis and source mechanism of volcanic earthquakes at Kuchinoerabujima: high-frequency, low-frequency and monochromatic events (in this issue).

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 Measurement of sulfur dioxide emission rate using COMPUSS at Kuchinoerabu volcano

森 健彦 (産業技術総合研究所 地質情報研究部門)
T. Mori (Geological Survey of Japan, AIST)

1. はじめに

ここ数年、口永良部島火山においては、火山性微動の発生、火口浅部における地殻変動(膨張)の進行、噴気活動の活発化など火山活動度が徐々に上昇している傾向が観測されている。また、東京工業大学火山流体研究センターの現地調査では、2005年2月の調査時に新岳火口の西及び南の火山ガスに二酸化硫黄が含まれているのが確認され、2006年9月の調査では火口周辺から噴出する全ての火山ガスに二酸化硫黄が含まれていることが観測された。さらに、二酸化硫黄/硫化水素比も2003年以降増大し続けている。火山ガス中に二酸化硫黄ガスが増えてきたことは、同火山におけるマグマ活動の活発化を示唆している。

二酸化硫黄ガスの放出率を測ることは、火山におけるマグマ活動度の指標になることから、1970年代のCOSPECの開発以降、様々な火山によって行われている。近年、小型紫外分光計を用いることで、より小型化した計測装置が開発され、国内外の火山において観測に用いられている(Mori et al., 2007)。しかしながら、これまでの口永良部島においては二酸化硫黄放出率が計測された記録がない。この理由は、口永良部島火山の噴気活動がそれほど活発ではなく、噴気ガス中に含まれる二酸化硫黄の比率がそれほど高くなかったからである。

東京工業大学火山流体研究センターによる2006年9月の調査で新岳火口周辺の噴気ガスの全てに二酸化硫黄が含まれることが確認されたことから、Mori et al. (2007)によって開発されたCOMPUSSを火口近傍に持ち込むことで二酸化硫黄放出率の測定が可能ではないかとの議論が起こった。そこで、2006



Picture 1. Photographed at Kuchinoerabu ranch. This ranch is the about 3000m west of Shindake.

年12月21日から24日にかけて、口永良部島において、新岳火口から放出される二酸化硫黄放出率の計測を試みた。本報告では、今回の計測で得られた口永良部島における初の二酸化硫黄放出率値を記すと共に、今後の口永良部島における二酸化硫黄放出率計測の進め方について一考した。

2. 測定の概要

2-1. 観測日の気象状態

二酸化硫黄放出率の測定は2006年12月22日10:00~14:00と23日13:30~14:30に行った。20日と21日は風雨が強い天候状態であったが、観測日は両日ともに雲がほとんど発生していない晴天で、視程も良好な状態であった。当日の風向は弱い冬型の気圧配置によって北風が卓越しており、山麓部(標高150m)における温風速計(SCW-20)を用いた計測において約10m/secの最大風速が記録された。二酸化硫黄放出率の計測においては、噴煙の移動速度、つまり噴煙が流れている高度における風速値を得ることが必要とされる。しかしながら、今回の測定日においては、噴煙が噴気孔(新岳火口)から放出された後、すぐに透明になり、視認出来ず、映像記録による噴煙移動速度の計測も不可能であった。また、火口直上(標高800m前後)を通過する雲がほとんどなかったため、雲の移動を利用した風速の見積もりも不可能であった(Picture 1)。そのため、今回は口永良部島に最も近いアメダス計測点である屋久島の風

Table 1. Datas of wind velocity near Kuchinoerabu volcano

| Yakushima Amedas Station | Wind Velocity (m/sec) | |
|--------------------------|-----------------------|------|
| 2006/12/22 10:00 | | 9.5 |
| | 11:00 | 11.4 |
| | 12:00 | 11.6 |
| | 13:00 | 10.9 |
| | 14:00 | 11.8 |
| 2006/12/23 13:00 | | 6.6 |
| | 14:00 | 6.7 |
| | 15:00 | 5.6 |

Table 2. Datas of upper wind velocity at Naze and Kagoshima

| Height about 800m | Wind Velocity (m/sec) | Wind Velocity (m/sec) |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Kagoshima | Naze |
| 2006/12/22 09:00 | 14.9 | 12.9 |
| | 21:00 | 10.8 |
| 2006/12/23 09:00 | 9.7 | 8.7 |
| | 21:00 | 9.7 |



Picture 2. Snapshot of car traverse measurement at Kuchinoerabu. The GPS antenna is placed on the roof and USB2000 is attached to the door. Both data is recorded on the same PC.

速値 (Table 1) 及び鹿児島と名瀬における高層風速値 (Table 2) を勘案して、解析に用いる風速値を決定した。尚、アメダスの記録は気象庁ホームページ (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>) から、高層風測値は Wyoming 大学大気科学部門のサイト (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>) から入手した。屋久島にはウインドプロファイラが設置されているが、本報告書の執筆現在、データが入手できていない。口永良部島においての観測では、屋久島のウインドプロファイラデータを利用することが最も良い方策であろう。

2-2. 計測方法

本観測計測の計画段階においては、火口周辺での Walking Traverse 法 (例えば, Mori et al., 2006 による樽前火山での計測) による計測を立案した。これは、口永良部火山から放出されている火山ガスの全量がそれほど多くなく、二酸化硫黄の放出率も低いと想定していたため、二酸化硫黄ガスは火口の直近でな

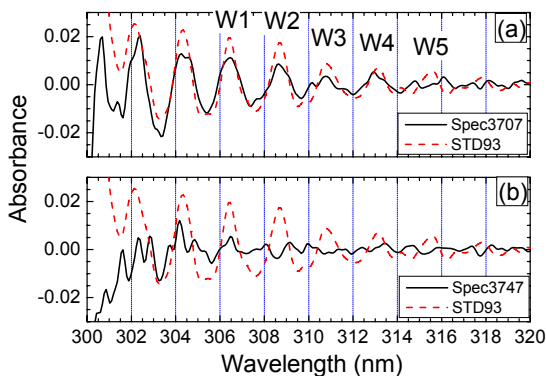


Figure 1. Plume spectra (black continuous line) and standard spectra (red dotted line). Column concentrations of Spec3707 and Spec3747 calculated using W1 band are 60ppmm and 20ppmm, respectively.

いと検知することが出来ないと考えていたからである。しかし、2006年10月以降に起こった地盤変動の急激な変化や火山性微動・地震の頻発化から、火口へ近づくことが危険であると判断され、火口周辺での Walking Traverse 法に代えて、一周林道を利用した Car Traverse 法で計測を実施した (Picture 2)。

3. 計測結果

今回の計測では、火口上空で強い風が流れていたこともあり、最大コラム濃度で約 50ppmm の二酸化硫黄ガスを一周林道の上空に検出することが出来た。しかしながら、DOAS 法を利用した計測システムである COMPUSS にとって 50ppmm 程度のコラム濃度は低濃度の測定限界に近い数値である。例えば、紫外散乱の影響を最も受けにくいとされる W5 と呼ばれる波長帯域 (約 315nm 付近) などは、濃度分解能の関係から低濃度の検出は期待できない。そのため、解析に用いる波長帯域は吸収スペクトルを検討してから決定した。

3-1. 測定データ

理論的及び実証的な研究は未だなされていないが、コラム濃度が低い時には二酸化硫黄の吸収スペクトルが何らかのノイズ源の影響を強く受け、データ精度が極めて低下することが経験的に知られている。これは、12月23日の計測で最もコラム濃度が高いと見積もられた吸収スペクトル (Spec3707) にも明瞭に現れており、W3 や W5 の波長帯域のスペクトル形状は、ノイズによって乱れている (Figure 1-a)。そのため、両帯域の Absorbance 値から計算されるコラム濃度の信頼性はほとんど無い。当然のことながら、Spec3707 よりコラム濃度が低いと見積もられた吸収スペクトル (Spec3747) ではスペクトル形状がさらに悪くなっている (Figure 1-b)。低コラム濃度の二酸化硫黄ガスしか検知されなかった今回の計測では、測定データの吸収スペクトルを考慮して、W1 帯域の吸光度から得られる二酸化硫黄コラム濃度を放出率の計算へ採用することとした。

本計測において、二酸化硫黄コラム濃度は一周林道の南側で

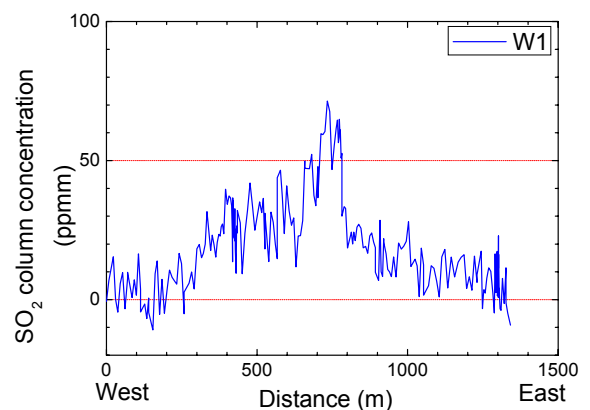


Figure 2. Example of measurement data recorded by car traverse. Blue line is SO₂ column concentration calculated by W1 band.

検出された。また、強風によって噴煙柱は拡散せずに流れていたため、二酸化硫黄ガスが検知された範囲は約 1000m 程度の幅になった (Figure 2)。カラム濃度の最高値は新岳火口のほぼ真南で検知された (Figure 3)。

3-2. 二酸化硫黄放出率の見積もり

口永良部島における Car Traverse は 12 月 22 日で 17 回、23 日で 9 回行った。放出率の計算に用いた噴煙移動速度は屋久島の風速及び名瀬と鹿児島島の高層風速を参考として、12 月 22 日を 12m/sec、23 日を 9m/sec に仮定した。この噴煙移動速度値は計測当時の口永良部新岳火口上空で想定される最も低い風速値と考えられる。今後、屋久島におけるウインドプロファイラのデータを利用することで、放出率の結果が若干増える可能性がある。

解析の結果、若干の時間変動があったものの、口永良部島火山からの二酸化硫黄放出率値は 10~70ton/day の範囲内であった (Figure 4, Table 3)。

4. 考察

今回、口永良部島火山からの二酸化硫黄放出率が初めて得られ、現在の口永良部島火山 (主に新岳火口) から放出されている二酸化硫黄は約 40ton/day であった。噴気ガス中の二酸化硫黄濃度が 2005 年から増加してきたことを考えると、二酸化硫黄放出レベルはこの一年程度で増加してきたものと考えられる (Figure 5)。二酸化硫黄放出率 40ton/day (0.46kg/sec) というレベルは、樽前火山とほぼ同等であり、阿蘇・桜島・薩摩硫黄・諏訪之瀬火山の 10 分の 1 程度である。

新岳火口においては、2006 年 9 月 26 日に東京工業大学によ

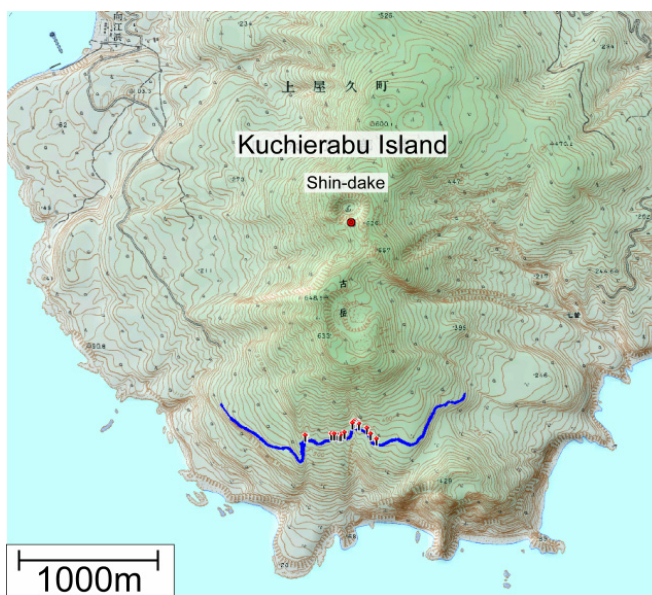


Figure 3. Map of Kuchinoerabu. Blue lines show the road the car ran for measurements and red pins show the point where the highest column concentration was detected on 22 December, 2006.

って噴気ガスの組成が調査されている。本計測時のガス組成が当時の組成と同じとは限らないが、この組成データを参考にすれば、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 (36.6kg/sec) と推定される。また、マグマ中に含まれる二酸化硫黄濃度を 2000ppm と仮定するとこの活動に関与しているマグマは日量 $7.5 \times 10^3 \text{m}^3$ であり、マグマの脱ガスによって二酸化硫黄ガスが生じていると考えた場合、想定される

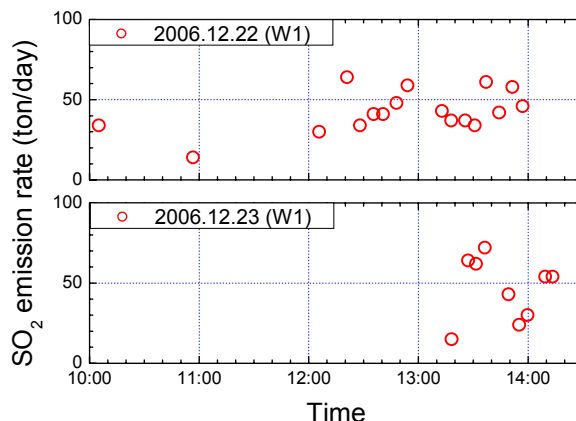


Figure 4. SO₂ emission rates from Kuchinoerabu volcano measured on 22 and 23 December, 2006.

Table 3. SO₂ emission rates from Kuchinoerabu volcano.

| Date | Time | SO ₂ emission rate (ton/day) | |
|----------------------|----------------|---|-----------|
| | | W1 band | W4 band |
| 2006/12/22 | 10:05:03 | 34 | 44 |
| | 10:56:41 | 14 | 31 |
| | 12:05:39 | 30 | 35 |
| | 12:20:54 | 64 | 76 |
| | 12:27:59 | 34 | 46 |
| | 12:35:28 | 41 | 53 |
| | 12:40:41 | 41 | 56 |
| | 12:48:01 | 48 | 56 |
| | 12:54:00 | 59 | 68 |
| | 13:12:51 | 43 | 38 |
| | 13:17:59 | 37 | 35 |
| | 13:25:36 | 37 | 24 |
| | 13:30:49 | 34 | 24 |
| | 13:37:08 | 61 | 42 |
| | 13:44:11 | 42 | 28 |
| | 13:51:24 | 58 | 24 |
| | 13:57:02 | 46 | 17 |
| 2006/12/23 | Average | 43 | 41 |
| | 13:18:11 | 15 | 22 |
| | 13:27:11 | 64 | 53 |
| | 13:31:33 | 62 | 49 |
| | 13:36:19 | 72 | 56 |
| | 13:49:20 | 43 | 21 |
| | 13:55:10 | 24 | 12 |
| | 13:59:40 | 30 | 21 |
| | 14:09:21 | 54 | 31 |
| | 14:13:24 | 54 | 36 |
| Average | 46 | 33 | |
| Total Average | 44 | 38 | |

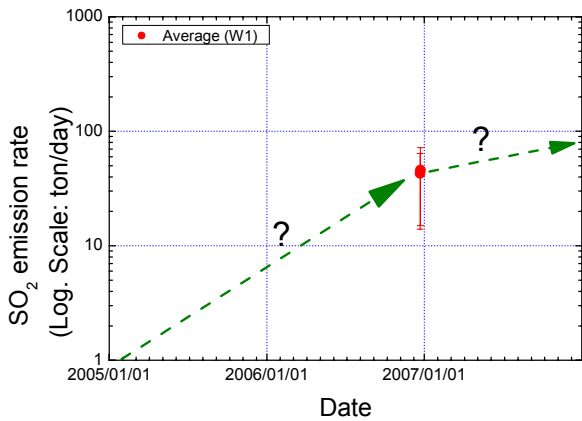


Figure 5. SO₂ emission rates from Kuchinoerabu volcano.

マグマの消費体積量は $10^2\sim 10^3\text{m}^3/\text{day}$ 程度になる。最近の地殻変動で収縮の変化が観測されていないので、口永良部火山における現在のマグマ活動は、脱ガスによって消費されるマグマ量とほぼ同量のマグマが深部から供給されている状態であると推定できる。しかし、マグマの物性に関する係数は全て仮定であることから、最近の口永良部島火山においてマグマがどれほどの深部から上昇して、噴気活動に関与しているのかを検討することは推測の域でしかない。

5. 今後の計測に当たっての注意点

今回、口永良部島からの二酸化硫黄放出率を初めて計測することができたのは、計測時の風向及び風速の条件が良かった結果だと考えている。口永良部島新岳から放出されている二酸化硫黄ガスはそれほど多くなく、より精度の高い放出率値を求めらば、火口近傍での Walking Traverse 法が最良の手段であ

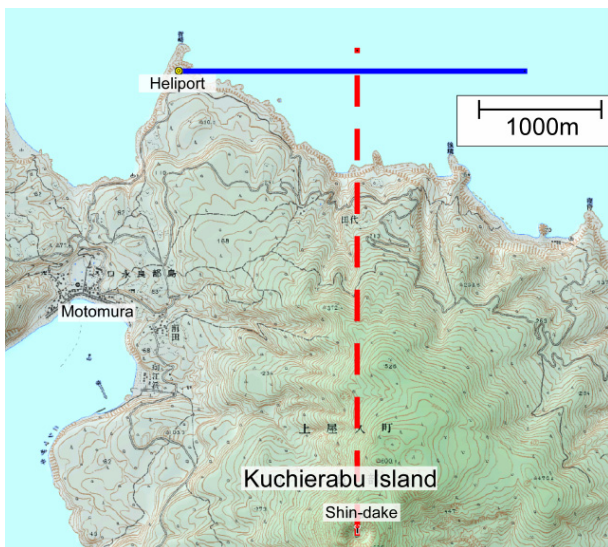


Figure 6. The measurement model in the case of using panning method. A blue line is a direction of COMPUSS mirror. A red dotted line is a direction through which volcanic plume will flow.

る。しかし、火山活動が活発になってきた現状では、火山活動レベルの変化・計測日の天候条件に併せた様々な計測手法をシミュレートしておかねばならない。そこで、現状で考えられるいくつかの条件下での計測手法を以下に記した。なお、風向は北及び南の風の場合のみを検討している。これは、屋久島のアメダスデータにおいて、東及び西の風が卓越している日が少なかったからである。

～火山活動レベル2（現状）、北の風～

この条件では、今回の計測と同じく、一周林道の南側における Car Traverse 法が有効である。しかしながら、風速が弱い場合は噴煙柱が拡散するおそれがあり、二酸化硫黄ガスの検知レベル以下になる可能性がある。雨天の翌日は強風になる可能性が高く、そのような気象条件を狙って渡島することが望ましい。

～火山活動レベル2（現状）、南の風～

この条件では、噴煙柱が北側に流れる。しかしながら、一周林道の北側は周囲が木々で覆われており、上空の視界が悪く、Car Traverse 法が行えない。しかし、ヘリポートにおける Panning 法によってデータを取得できる可能性がある (Figure 6)。Panning 法を行う場合には紫外吸収の距離減衰 (Mori et al., 2006) に留意しなければいけないが、南風の場合には計測点から噴煙柱まで 1000m 程度になると考えられるので、計測が不可能にはなる距離ではない。

～火山活動レベル3（立ち入り規制の強化）、南の風～

立ち入り規制が強化されても、南風の場合はレベル2の場合と同様にヘリポートにおける Panning 法で計測できるであろう。

～火山活動レベル3（立ち入り規制の強化）、北の風～

立ち入り規制が強化されると、南側の一周林道への侵入が不可能になる。この条件下での計測が最も難しい。まず、島内での Panning 法であるが、適した場所がない。南風におけるヘリポートでの Panning 法では、海上に向けてミラーを向けている



Picture 3. Snapshot of panning measurement at Kuchinoerabu on 23 December, 2006.

ので、少々風が東や西に振ったところで計測には問題が生じないが、北風の場合、Panning 法を行える計測点ではかならず新岳—古岳の延長線上にある稜線にミラーを向けざるを得ない。今回の計測においても、一周林道の規制区域外の地点（新岳火口から東南東へ約 2000m）で Panning 法を試してみた (Picture 3)。しかしながら、風向が若干東よりだったため（北北東の風）、噴煙柱が稜線の西側に流れており、二酸化硫黄ガスを検出することが出来なかった。さらに、噴煙柱までの距離が 2000m を超えており、紫外散乱による減衰の問題も大きく寄与してくる。この条件では Panning 法を行わない方が賢明である。残る手段としては船舶等を利用する Ship Traverse 法、航空機等を利用する Air plane Traverse 法が考えられるが、一日の計測回数が僅かな数にしかならないことが問題点になる。

以上のことから、火山活動レベル 2 の場合には強い北の風が吹く日を狙った一周林道における Car Traverse 法が望ましく、火山活動レベルが 3 に上がった場合には強い南の風が吹く日を狙ったヘリポートにおける Panning 法が望ましい。

謝辞

本計測を行うに当たって、京都大学防災研究所附属火山活動研究センターの井口正人氏、高山鐵郎氏、為栗健氏及び産業技術総合研究所の篠原宏志氏、風早康平氏、大和田道子氏、下司信夫氏に多大なるご協力を頂いた。また、東京工業大学火山流体研究センターの平林順一氏、野上健治氏には口永良部島の火山ガスに関する様々な情報をレクチャーしていただいた。記してお礼申し上げます。

参考文献

- Mori, T., Mori, T., Kazahaya, K., Ohwada, M., Hirabayashi, J. and Yoshikawa, S., Effect of UV scattering on SO₂ emission rate measurements, *Geophys. Res. Lett.*, 2006, 33, No. 17, L17315, DOI: 10.1029/2006GL026285.
- Mori, T., Kazahaya, K., Oppenheimer, C., McGonigle, A. J. W., Tsanev, V., Olmos, R., Ohwada, M. and Shuto, T., Sulfur dioxide fluxes from the volcanoes of Hokkaido, Japan., *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 2006, 158, 235-243.
- Mori, T., Hirabayashi, J., Kazahaya, K., Mori, T., Ohwada, M., Miyashita, M., Iino H. and Nakahori, Y., A COMPact Ultraviolet Spectrometer System (COMPUS) for Monitoring Volcanic SO₂ Emission: Validation and Preliminary Observation., *Bull. Volcano. Japan.*, 2007 (in press).

口永良部島火山における火山灰採取装置の設置

下司信夫 産業技術総合研究所地質情報研究部門

小林哲夫 鹿児島大学理学部

口永良部島火山では地震活動、地殻変動、噴気活動の活発な状態が続いており、近い将来の噴火が予想されている。口永良部島火山の噴火は記録の残されている 19 世紀以降頻繁に繰り返されており、数年以上にわたって噴火が頻発する活動期と、それに挟まれる休止期を繰り返す特徴が認められる（下司・小林，2006）。口永良部島火山では 1980 年の水蒸気割れ目噴火以降 26 年間以上の休止期が続いているが、現在の火山活動の活発化が爆発的な噴火を繰り返すであろう新たな活動期への準備過程である可能性も考えられる。

過去の活動期にはマグマが新岳浅部にまで上昇していた兆候がある。1840 年代、1930 年代および 1960-70 年代の活動期には赤熱した火山弾の投出が目撃されており、また噴出物中には少量であるがパン皮状火山弾や発泡したガラス質岩片が含まれるなど、高温のマグマ物質が噴出したことが示唆される。また 1930 年代の火口底の観察記録では 550°C を超える火山ガスの噴出や赤熱現象が記録されている（田中館，1938）。一方、1945 年や 1980 年の水蒸気噴火の噴出物はほとんどが既存の山体を構成する岩片や、熱水系からもたらされた熱水変質鉱物粒子からなり、新たなマグマの寄与は小さいと推測される（下司・小林，2006）。新岳・古岳山麓には過去数 1000 年間の新岳・新期古岳火山のテフラが分布しており、それらもまた緻密な本質岩片に富むテフラと熱水変質岩片に富むテフラの 2 種類に大別できることから、ブルカ

ノ式噴火に近い“マグマ噴火”と、マグマの直接の関与が乏しい“水蒸気噴火”が過去数 1000 年間にわたって繰り返されてきたと推測される。過去のブルカノ式噴火では、投出岩塊が新岳火口から 3.5km の地点まで飛散し、高温の火山弾の着地により山林火災が発生している。また新岳の山腹には小規模な火砕流が発生している。1930 年代に七釜集落を全滅させた噴火はこのようなブルカノ式噴火であった可能性が高く、マグマの関与の大きな噴火の発生は防災上も留意が必要である。

噴出物の物質的な解析を通して、噴火をもたらした地下でのマグマや熱水の活動を把握することは噴火推移の短期的な予測には欠かせない。また現在観測されている各種の火山活動の活発化が地下でのどのような物質的なプロセスを反映しているのかを考える上でも、来る噴火の噴出物の構成物特性を理解することは重要である。特に、長い休止期の後の噴火となる次の噴火は新たな活動期の開始イベントとなる可能性があり、次の活動期の趨勢を予測する上でも初期の噴火の噴出物を確実に採取・観察しその特徴を把握することが必要となる。そこで、今回口永良部島火山において火山灰トラップを設置した。設置場所は噴火が予想される新岳火口から約 1.4～2.6km 離れた一周道路沿いの 9 地点である（図 1）。1960-70 年代の噴火では、小規模な噴火でもこれらの地域まで降灰していることが知られており、風向きにもよるがこれらの火山灰トラップの幾つかに火山灰が捉えられ

ると期待される。今回は冬季の卓越風を考慮し、特に新岳の南側に集中して配置した。

設置した火山灰トラップは2種類あり、ステンレス製の円筒形のトレーを用いたものと、アルミ製の角型皿を用いたものがある。ステンレス製トラップは耐久性に優れているものの、針金等を用いてトラップを直接固定する構造のために設置や火山灰の回収に手間がかかる欠点がある。アルミ製の角型皿を用いたトラップは角型皿を2枚重ねて使用し、下側の一枚を木製の基台に釘等を用いて固定し、その上に重ねた別のトレーを取り外せるようになっており、火山灰の回収が短時間で容易に行なえる構造になっている。火山灰トラップの設置箇所は新岳火口から3km以内であり規模の大きな爆発噴火では投出岩塊が到達する可能性があるため、噴火活動が活発

化した場合には安全上火山灰の回収を短時間で行なう必要がある。そのため、気象庁の活動レベルがレベル3になった場合に立ち入りが規制される新岳から2km以内の地点には、試料の回収が容易なアルミトレー型の火山灰トラップを配置した。

小規模な噴火の噴出物は噴出地点近傍以外では少量であることが多く、雨風により短時間で容易に散逸する。今回設置した火山灰トラップにより次回の噴火の噴出物が確実に回収され、噴火プロセスの理解に寄与することを期待したい。

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

田中館秀三(1938) 口之永良部島新岳噴火と火口の形態及び向江浜の山津波. 火山第1集4号、339-354.

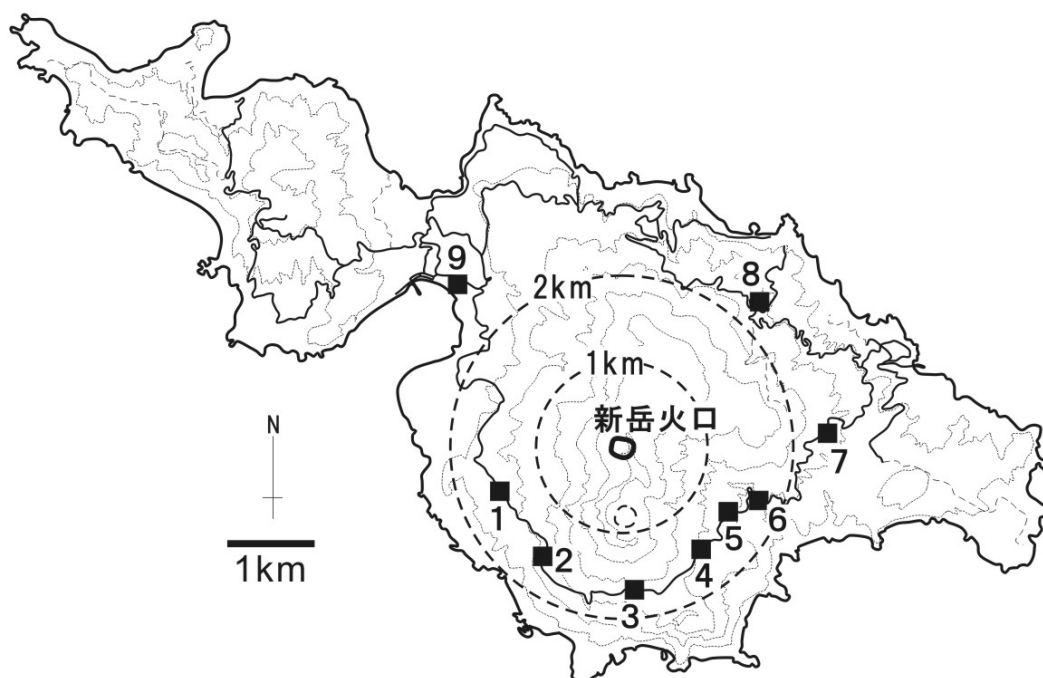


図1：火山灰トラップの配置。番号は火山灰トラップの設置地点番号。

平成 19 年 3 月 発行

編集兼発行者

京都大学防災研究所
附属火山活動研究センター

〒891-1419 鹿児島県鹿児島郡桜島町横山

Tel. 099-293-2058

印刷所

文進社印刷株式会社

〒891-0122 鹿児島市南栄 3-1

Tel. 099-268-6271
