

続発する日本の水蒸気噴火

Successive Occurrence of Phreatic Eruptions in Japan

井口正人・中道治久

Masato IGUCHI and Haruhisa NAKAMICHI

Synopsis

Eruptions occurred at the Kuchinoerabujima and Ontake volcano on August 3, and September 27, 2014, respectively. In addition, increase in volcanic activity, such as seismicity of volcanic earthquakes and inflation ground deformation are reported at many volcanoes in Japan. The eruptions at the Kuchinoerabujima and Ontake volcanoes are mostly phreatic types, which ejected fine ash and fragments generating pyroclastic flows. Alert levels were raised to 3 from 1 (normal level) by JMA, after occurrence of the eruptions; however significant precursory phenomena were detected in long-term and short-term immediately before. Multi-parameter precursors, such as increase in seismicity and gradual inflation of ground, heat supply rate and discharge rate of volcanic gas were reported at the Kuchinoerabujima volcano. Inflation of the ground were detected by GNSS at the late of 2006 at the Ontake volcano. Upward tilt changes of the crater sides were accelerated quite shortly at Kuchinoerabujima (1 hour before) and Ontake (10 min.) volcanoes. No transient phenomenon was recognized at Kuchinoerabujima, from long-term to short-term precursory periods, however increase in volcano-tectonic earthquakes and following low-frequency earthquakes are drastic as the transient at the Ontake volcano.

キーワード: 水蒸気噴火, 口永良部島, 御嶽山, 焼岳

Keywords: phreatic eruption, Kuchinoerabujima, Ontake, Yakedake

1. はじめに

我が国には110の活火山が存在する。活火山とは過去1万年以内に噴火が発生した証拠が見つかった火山であり、将来も噴火の発生の懸念がある火山である。このうち47の活火山において気象庁は常時観測を基本とする監視を行っている。また、大学等の研究機関は16の活火山において重点的な研究観測を行っている。このうち、京都大学防災研究所が観測を行っているのは桜島、口永良部島、諏訪之瀬島の3火山であり、16火山のうちでも特に噴火活動が活発なものである。

気象庁は2007年12月に噴火警戒レベルを設定し、レベルの変更時には噴火警報を発表している。2014

年2月時点では、噴火警戒レベルが3（入山規制）の火山は2009年以降爆発が頻発している桜島であり、レベル2（火口周辺警報）の火山も三宅島、阿蘇山、新燃岳、諏訪之瀬島の4火山にとどまっていた（Table 1）。その1年後の2015年2月には、噴火警戒レベル3の火山に口永良部島と御嶽山が加わり、草津白根山、吾妻山、十勝岳において警戒レベルが2に引き上げられた。これは、2014年8月3日に口永良部島、9月27日には御嶽山において噴火が発生したことに加え、草津白根山、吾妻山、十勝岳においては火山性地震の発生回数の増加をはじめとする地盤変動、地熱、火山ガスなどが平常値以上に達したことによる。さらに2015年5月には箱根、6月には浅間山の警戒レベルが2に引き上げられ、5月29日には口永良部

Table 1 Status of alert levels issued by JMA in 2014 and 2015

Volcano	February 2014	February 2015	June 2015	Remarks
Tokachi	1	2 ↑	1 ↓	December 16, 2014 Level 2; February 26, 2015, Level 1
Azuma	1	2 ↑	2 →	December 12, 2014 Level 2
Kusatsu-Shirane	1	2 ↑	2 →	June 3, 2014 Level 2
Asama	1	1 →	2 ↑	June 11, 2015 Level 2
Hakone	1	1 →	2 ↑	May 6, 2015 Level 2
Miyakejima	2	2 →	1 ↓	June 5, 2014 Level 1
Ontake	1	3 ↑	3 →	September 27, 2014 Level 3
Aso	2	2 →	2 →	
Shinmoedake	2	2 →	2 →	
Sakurajima	3	3 →	3 →	
Kuchinoerabujima	1	3 ↑	5 ↑	August 3, 2014 Level 3; May 29, 2015 Level 5
Suwanosejima	2	2 →	2 →	

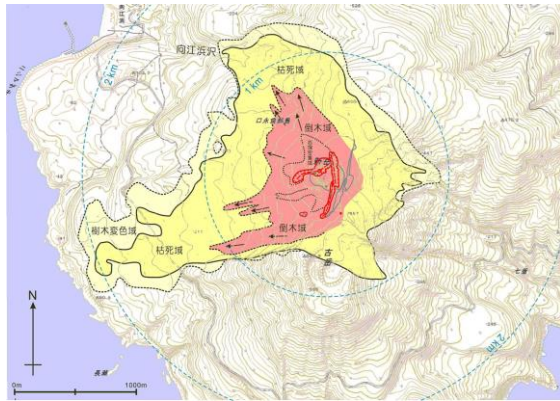


Fig. 1 Change of topography of the Shindake crater by the eruption on August 3, 2014 and zone of fallen trees (orange) and corrosion of plantation (yellow) due to pyroclastic surge (DPRI of Kyoto University and AIST, 2014)

島において再噴火が発生し、2007年12月に気象庁が噴火警戒レベルの運用を始めてから初めての噴火警戒レベル5が発表された。少なくとも最近1年間においては日本の平均的な火山活動が活発化しているのは事実である。本稿では、2014年に噴火した口永良部島と御嶽山の噴火活動とその前兆現象を比較して報告するとともに、同様の噴火の発生が懸念される火山とその研究と対策についても言及する。

2. 噴火活動

2.1 口永良部島噴火

口永良部島は屋久島の西14kmにある火山島である。離島であるがゆえに古い噴火の記録はないが、記録

に残る最古の噴火である1841年の噴火以降、1年から30年程度の間隔で、新岳山頂火口あるいはその東の割れ目火口において噴火が発生している。1841年の噴火は激しく、多数の犠牲者を出して集落は移転を余儀なくされた。1931年から1934年の期間は活動的であり、1931年には4月2日、5月15日、6月6日に噴火が発生し（中野、1932）1933年12月24日の噴火では新岳山頂から2kmの距離にあった七釜集落が死者・負傷者34名の被害を出して全滅した（田中館、1938）。また、1966年11月22日の爆発では巨大岩塊が新岳から3.5km北の海岸付近まで到達している（鹿児島地方気象台・屋久島測候所、1967）。最後の噴火は1980年9月28日であり、2014年8月3日に発生した噴火は、34年ぶりの噴火となる。

8月3日の噴火は12時24分ごろに発生した。爆発による噴石は約1kmの距離まで到達し、新岳火口周辺には多数の岩塊が飛散した。噴火と同時に火砕サージが発生し、新岳火口から南西側及び北西側の向江浜方向に流下した。火砕サージによる倒木も多数認識できる。火砕サージによる熱風は新岳火口から約2kmまで到達した（Fig.1）。噴火により新岳火口周辺は大きく変化した。新岳火口内の東側には南北方向の割れ目が形成され、火口の北西部が陥没、火口が拡大し、西側の火口縁は大きくえぐられた（産業技術総合研究所・京都大学防災研究所、2014）。

噴煙は台風による強風のために高くはないが、火口上800mまで達し（気象庁、2014）、強い南風により北の方向に飛散した。多くは海域に落下したため、放出火山灰量は不明である。火山灰の解析から多少のマグマの関与をうかがわせる水蒸気噴火とされる（産業技術総合研究所、2014）。

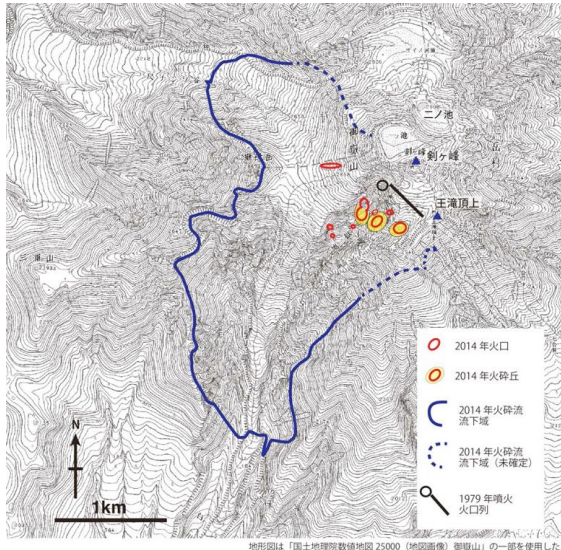


Fig. 2 Location of eruptive vents and distribution of pyroclastic flow at Ontake volcano (AIST, 2014)

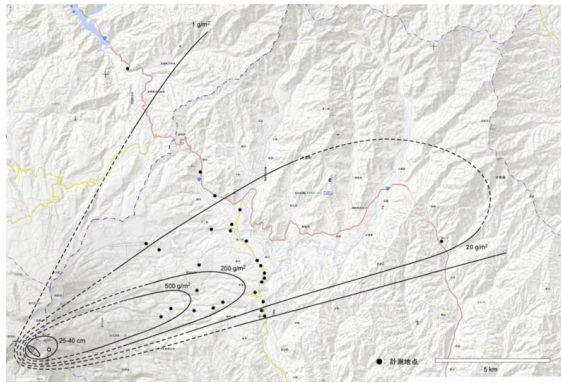


Fig. 3 Distribution of ash fall by the 2014 Ontake eruption (ERI, University of Tokyo, 2014)

2.2 御嶽山噴火

御嶽山は1979年10月に有史後、初めて噴火が発生した。その後、1991年、2007年にも小規模な水蒸気噴火が発生しており、2014年の噴火は7年ぶりの噴火である。

噴火は9月27日の11時52分に発生した（気象庁，2014）。噴石は火口から約1kmの距離まで到達した（東京大学地震研究所，2014）。多数の噴石の落下により山頂付近にいた登山者が被災し、死者・行方不明者64名、負傷者69名の災害が発生した。死者は御嶽山山頂の剣ヶ峰から南の八丁ダルミの約500mの範囲に集中している。噴火により火砕流が北西及び南西方向に発生し、南西側の火砕流は南の谷筋に沿って、3km以上流下した（気象庁，2014）。火砕流が流下した方向に倒木はないことが確認されている（東京大学地震研究所，2014）。

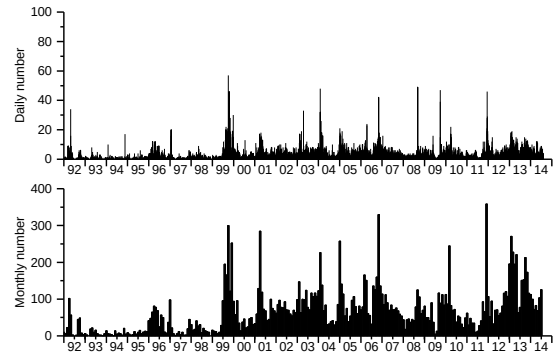


Fig. 4 Daily and monthly numbers of volcanic earthquakes at the Kuchinoerabujima volcano

噴火による噴煙は火口上7000mまで達し（気象研究所，2014），火山灰は北北東から北東にかけて飛散した（Fig. 3）。放出された火山灰量は38万トン～90万トン（東京大学地震研究所，2014），62万トン～99万トン（産業技術総合研究所，2014）と推定されており、噴火の規模は1979年と同等の規模と評価されている（東京大学地震研究所，2014）。火山灰には新鮮なマグマ物質は含まれておらず水蒸気噴火と考えられている（東京大学地震研究所，2014；産業技術総合研究所，2014）。

3. 噴火の前駆現象

口永良部島及び御嶽山噴火発生時の噴火警戒レベルはどちらも1であり、警戒が発表されない段階で噴火が発生し、噴火発生直後に警戒レベルが3に引き上げられた。しかし、噴火警戒レベルは1のままであってもどちらの火山においても噴火発生前に地震活動の活発化や地盤の膨張が観測されているので、噴火に前駆する現象について記述する。

3.1 口永良部島噴火前駆過程

京都大学防災研究所は1991年12月に火山性地震の連続観測を開始した。Fig.4に口永良部島における火山性地震の月別および日別発生回数を示す。口永良部島において発生する火山性地震の多くは新岳火口直下の深さ0.5km以浅を震源とする「極浅部火山構造性地震」であり、東西伸長の正断層型のメカニズムをもつ（Triastuty et al., 2009）。1999年6月までは火山性地震の発生回数は一か月に100回以下であったが、1999年7月以降、火山性地震の発生回数が増加した。1999年7月以降では、およそ1～2年おきに火山性地震が群発的に発生しており、1999年7月以前とそれ以降では火山性地震活動が大きく異なる。

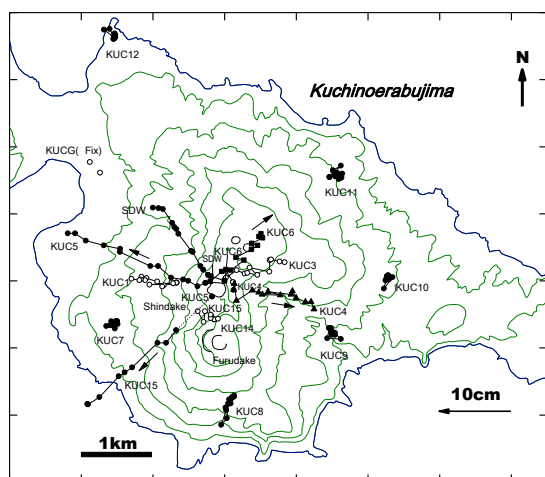


Fig. 5 Horizontal displacement of benchmarks at Kuchinoerabujima volcano during the period from 1996 to 2014.

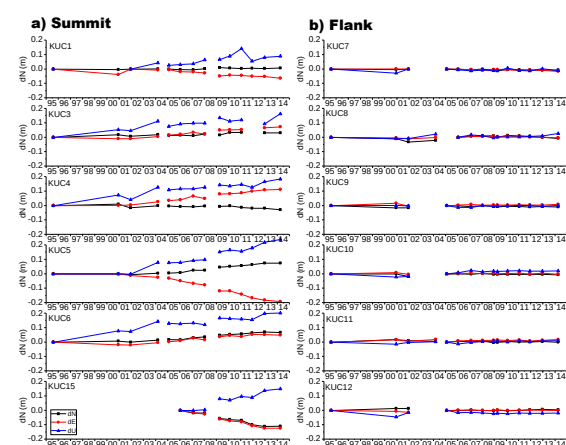


Fig. 6 Temporal change of horizontal displacement of benchmarks at Kuchinoerabujima volcano during the period from 1996 to 2014.

1995年に初回の観測を行い、1999年以降はほぼ毎年冬期に行ってきたGNSS観測による地盤の水平変位ベクトルをFig.5に示す。新岳火口を膨張の中心とする変位ベクトルが得られた。新岳火口周辺において、変動が大きく、山麓における水平変動は2cm以下と小さいので、圧力源の深さは300m程度と極めて浅い（井口・他、2006）。Fig. 6にGNSS繰り返し観測によって得られた地盤変動を示す。新岳火口西縁では、変位が明瞭となったのは2001年ごろであり、新岳西縁の観測点KUC5では、2014年までに西方に22cm、南方に11cm変位し、上方には25cm隆起した。

火山性地震活動の活発化と火口周辺の地盤の隆起・膨張に加え、地下および地表面の熱的状态も活発化した。新岳周辺において全磁力観測を2000年开始したが、2003年から火口の北側で全磁力の増加、

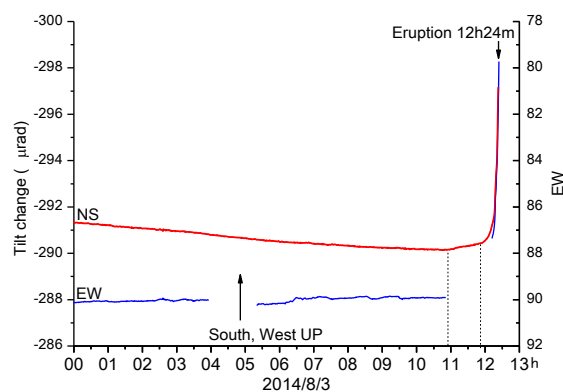


Fig. 7 Tilt change before the eruption on August 3, 2014 at Kuchinoerabujima volcano. The tiltmeter was installed 200 m northeast of the center of the crater.

南側で減少が始まった。全磁力変化は地震活動が活発化し、火口周辺の地盤が膨張する時期に変化速度が大きくなった。この変化は新岳火口直下の深さ500mにおける蓄熱を反映していると考えられている（Kanda et al., 2010）。火口内および周辺の地熱活動も活発化した。熱赤外映像装置によって2005年2月と2006年10月に空中から測定した地表面の地熱分布を比較すると、地熱異常域が拡大し、異常がない部分との温度差が大きくなった（井口、2007）。2003年ごろから火口底に噴気がみられるようになったが、2008年10月には火口南壁に噴気活動が現れ、噴気量が増大し、最大500mの高さに達した。二酸化硫黄ガスの放出量も増加し、2008年12月には200トン/日に達した（森・他、2009）。

2014年8月3日の噴火直前の現象としては、新岳火口方向の地盤が隆起する傾斜変化があげられる。噴火発生1時間前の11時ごろから観測され、12時以降、急激に加速した（Fig. 7）。傾斜変化量は約10 μ radに達した。

3.2 御嶽山噴火前駆過程

御嶽山においては2006年12月ごろから山頂をまたぐ基線が伸びる変動がGNSS連続観測により検知されている（Fig. 8）。2007年噴火は微小噴火であったので、噴火後に収縮は観測されておらず（気象庁、2014）、2014年噴火まで山体が膨張した状態を保っていたといえる。2002年から水準測量が繰り返されているが（木股・他、2005）、測量されていない一部期間と測線があるものの、2006年から2009年の期間では山頂側が約1cm隆起する上下変動が得られており（日本大学文理学部・他、2014）、長期的に山体が隆起・膨張していた状態であったと考えられる。

一方、火山性地震の活動は2007年噴火後に著しく

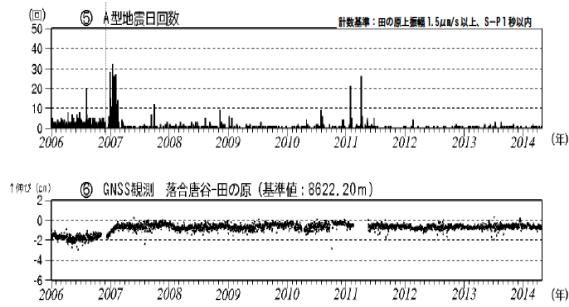


Fig. 8 Daily number of volcano-tectonic earthquakes during the period from January 2006 to April 2014 (top). Temporary change of slope distance measured by GNSS (bottom).

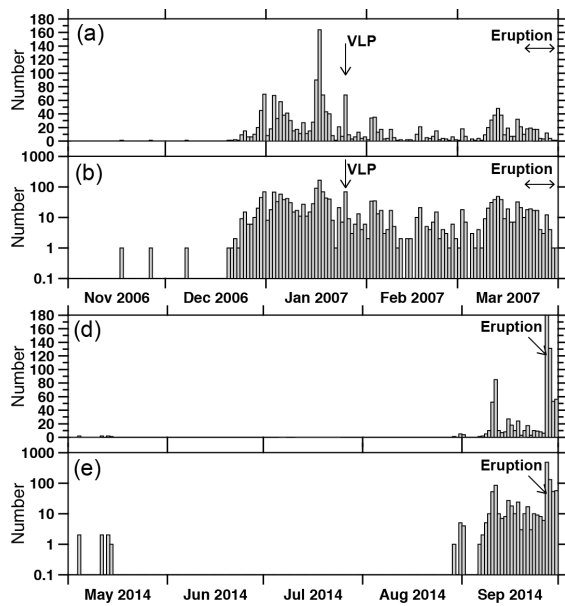


Fig. 9 Daily numbers of volcanic earthquakes before the 2007 and 2014 eruptions at Ontake. They are plotted in linear (a and c) and logarithmic scales (b and d).

低下した状態であったが、2014年8月31日から火山構造成地震が発生し始め、9月10日には52回、11日には85回の発生頻度を数えた (Fig. 9), さらに18日~24日にかけて低周波地震が発生した (気象庁, 2014)。火山構造成地震の多発から低周波地震への移行は火山噴火の教科書的な前兆過程 (例えば, Minakami, 1974; McNutt, 1996など多数) であり, わが国でも桜島, 浅間山, 有珠山など多くの火山で知られている。

気象庁 (2014) によれば, 噴火は9月27日の11時52分頃に始まったが, それに先行して11時42分から火山性微動が発生した (Fig. 10)。44分には山頂側が隆起する傾斜変動が剣ヶ峰山頂から約3km離れた田の原に設置された傾斜計で検出され始め, 変動速度を加速させながら52分の噴火開始に至った。山頂側

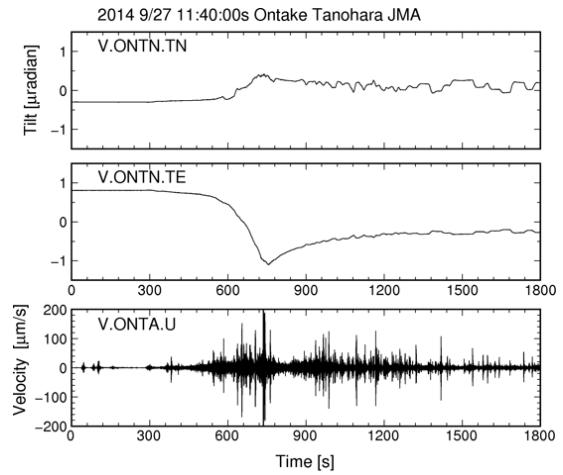


Fig. 10 Tilt records of N-S (top) and E-W (middle) components. Velocity seismogram of vertical component is shown in the bottom. The eruption occurred at 750s in the scale (11h52m30s).

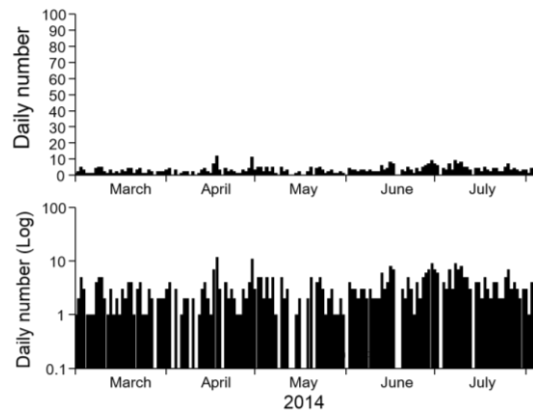


Fig. 11 Daily number of volcanic earthquakes at the Kuchinoerabujima volcano before the eruption on August 3, 2014. Top: linear scale. Bottom: Logarithmic scale.

隆起の傾斜変化量は約 $1.4 \mu \text{rad}$ に達した。

3.3 噴火前駆過程の比較

2014年に発生した口永良部島と御嶽山の噴火に至る前駆過程は, どちらも長い準備過程と極めて短時間の直前過程からなることがわかる。口永良部島では1999年7月から火山性地震の発生回数が増加しており, 15年の準備過程を経て噴火が発生した。御嶽山では2007年には山体の膨張が観測されているので少なくとも7年間の準備過程があったと考えられる。一方, 加速する傾斜変動が観測される直前過程は, 極めて短く, 口永良部島噴火で約1時間, 御嶽山噴火ではわずか10分程度である。

口永良部島では長期間の準備過程の間に, 現象が順次進行している。最初に火山性地震活動が1999年

に活発化し、それとほぼ同時期に地盤の膨張が始まっている。その後2003年ごろから熱的な活動の活発化が全磁力の観測や地表面の温度測定により捉えられ、2008年には白色噴煙活動が顕在化した。一方、御嶽山では地盤の膨張は2007年噴火に先行して検出されているものの、その後は、火口近くでとらえられるような変化の報告はない。口永良部島の方が、浅部への熱水活動の波及が明確に捉えられていると言える。

準備過程は、噴火に向かって火山活動が進行していることを忘れさせるほど長く、直前過程は警報等の有効な対策ができないほど短い。このこと考えると準備過程から直前過程に遷移する時期の認識が最も重要であるといえる。御嶽山においては噴火に先行する約2週間前に、火山構造成地震の発生頻度の急激な増加があり（Fig. 9）、その後、低周波地震の発生という過程を取った。この地震活動は準備過程から直前過程に遷移する過程の現象と位置づけられる。一方、口永良部島においては1999年から火山性地震の活動が高まり、1年から2年程度の間隔で多発し、2004年、2006年、2008年の地震多発現象は火口周辺の地盤の周辺の地盤の膨張を伴ったが（斎藤・井口、2006）、2014年8月噴火に先行する数か月の火山性地震活動は比較的高いものの、10回以下で安定しており（Fig. 11）御嶽山のような劇的な増加はみられない。口永良部島の2014年噴火については一般論としての水蒸気噴火発生予測の難しさが言えるかもしれないが、御嶽山の場合は、火山構造成地震の増加とその後の低周波地震の発生が明確にとらえられており、すべての水蒸気噴火について予測の困難さを当てはめるには無理がある。

4. 水蒸気噴火続発の可能性

大学・研究機関は日本の16の火山において重点的に観測研究を行ってきた。前述の口永良部島も重点的に観測研究を行う16火山の一つであり、京都大学防災研究所は1991年12月から連続観測を行ってきた。一方、御嶽山は重点火山ではなかった。科学技術・学術審議会測地学分科会地震火山部会は提言を取りまとめ、御嶽山をはじめ、水蒸気噴火が発生しうる火山として雌阿寒岳、十和田、蔵王山、吾妻山、那須岳、弥陀ヶ原、焼岳、九重山の観測研究の強化が行われることとなった。

これらの火山のうち焼岳は20世紀以降の噴火発生の頻度が最も高い。1962年から翌年にかけての噴火活動期以降は噴火が発生していないが、明治期の終わりから昭和の初期にかけて水蒸気噴火が頻発している。1915年6月6日の噴火では、山頂の東側に長さ1



Fig. 12 Location of Yakedake volcano (red triangle) and its surrounding conditions (Ohmi, 2015). Seismic stations shown by pink and yellow squares are operated by Kyoto University.

kmの亀裂を含む火口が形成され、発生した泥流により梓川が堰き止められて、大正池となった。また、1924年から1926年にかけても噴火が頻発し、泥流も発生した。このように焼岳はいったん活動期に入れば噴火が相次いで発生し、活動が続く可能性がある。焼岳周辺では群発地震がしばしば発生し、地震予知研究センター上宝観測所の衛星観測点およびHi-net等の地震観測点などにより、地殻内地震および深部低周波地震については活動状況がよく調べられている。最近では、2011年の東北地方太平洋沖地震発生直後から群発地震活動が始まり、焼岳の北麓を中心として1か月以上も続いた（大見・他、2012）。一方で、現状の焼岳の火山活動を評価しうる観測と研究が進んでいるわけではない。口永良部島の新岳直下の極浅部地震活動のような火山体内部の浅い火山性微小地震を捕捉するには既存の観測点は震源から離れすぎている可能性があり、山体そのものの地盤変動や地熱活動の変化をとらえる観測は不十分である。

焼岳は観光開発が進んでおり、大正池を含む上高地などはわが国有数の観光地である。年間百数十万人の観光客が訪れる当地は、焼岳山頂からわずか2～4km程度しか離れておらず、火山噴火によるリスクが極めて高い。加えて、過去の噴火活動でも、泥流等の土砂災害が発生しており、住民と観光客の避難への対策に加え、土砂災害に対する備えが必須である。京都大学防災研究所は焼岳の近くに上宝観測所及び穂高砂防観測所をもち、それぞれ、飛騨地方の地震活動及び土砂流出・経路変更と土砂災害防止に関する観測・研究を行っており、焼岳火山の活動に

直接かかわる観測データが加わるにより、火山災害防止全般にかかわる研究の進展が期待できる。

参考文献

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，京都大学防災研究所 平成18年度防災研究推進特別事業，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，pp.53-58.

大見士朗・和田博夫・濱田勇輝（2012）：飛騨山脈焼岳火山周辺における東北地方太平洋沖地震後の群発地震活動，地震，第65巻，pp.85-94.

大見士朗（2015）：焼岳の過去の噴火活動と今後の予測に向けて，防災研究所NEWSLETTER，No.75，p.6.

鹿児島地方気象台・屋久島測候所（1967）：昭和41年11月22日の口永良部島新岳の爆発，福岡管区気象台要報，第22号，pp.79-98.

気象庁（2014）：第130回火山噴火予知連絡会資料，口永良部島.

気象庁（2014）：第130回火山噴火予知連絡会資料，御嶽山.

京都大学防災研究所・産業技術総合研究所（2014）：第130回火山噴火予知連絡会資料，口永良部島.

木股文昭・宮島力雄・村瀬雅之・太田雄策・柏木雅生・大園真子・仮屋新一・山室友生（2005）：御嶽山群発地震域において精密水準測量より検出された地盤の隆起変動2002年4月-2005年4月，東濃地震科学研究所報告，第16号，pp. 71-75.

産業技術総合研究所（2014）：第130回火山噴火予知連絡会資料，口永良部島.

田中館秀三（1938）：口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，2，pp. 339-354.

中野嶽三（1932）：昭和6年の口永良部火山の噴火，

火山，第1巻，第1号，pp.69-72.

日本大学文理学部・名古屋大学・京都大学・九州大学・北海道大学・東濃地震科学研究所（2014）：精密水準測量による御嶽山における上下変動（2006年4月－2014年10月），第130回火山噴火予知連絡会資料，御嶽山.

森 健彦・風早康平・大和田道子・下司信夫・平林順一・横尾亮彦・多田光宏・神田 径・為栗健・井口正人・篠原宏志（2009）：口永良部島における二酸化硫黄放出量の計測，日本火山学会秋季大会予稿集.

Kanda, W., Utsugi, M., Tanaka, Y., Hashimoto, T., Fujii, I., Hasenaka, T. and Shigeno, N. (2010): A heating process of Kuchi-erabu-jima volcano, Japan, as inferred from geomagnetic field variations and electrical structure, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., Vol. 189, pp. 158-171.

McNutt, S. R. (1996): Seismic monitoring and eruption forecasting of volcanoes: a review of the state-of-the-art and case histories, Monitoring and mitigation of volcanic hazards (edited by Scarpa and Tilling), Springer-Verlag, p.99-146.

Minakami, T. (1974): Prediction of volcanic eruption, Physical volcanology, Elsevier, pp.313-333.

Triastuty, H., Iguchi M. and Tameguri, T. (2009): Temporal change of characteristics of shallow volcano-tectonic earthquakes associated with increase in volcanic activity at Kuchinoerabujima Volcano, Japan, Jour. Volcanol. Geotherm. Res., Vol. 187, pp. 1-12.

（論文受理日：2015年6月26日）