

三宅島で発生したバンド状微動

Banded Tremor Generated in Miyakejima Volcano

大塚仁大¹, 瀧沢倫明², 藤松淳³

Yoshihiro OTSUKA¹, Tomoaki TAKIZAWA² and Jun FUJIMATSU³

(Received September 19, 2010; Accepted Apr 17, 2012)

1 はじめに

2000年に発生した三宅島の火山活動の特徴は、三宅島および新島・神津島近海における活発な地震活動、山頂火口の陥没、大規模なマグマ水蒸気爆発（例えば中田・他, 2001a）および多量の火山ガスの放出（気象庁, 2006）が挙げられ、火山ガスに含まれる二酸化硫黄の放出量は8万トン/日（2000年10月に観測）をピークとして徐々に減少する傾向をみせているものの、現在も二酸化硫黄の放出は継続している。

今回の三宅島噴火に伴う地震活動では、島内に設置した観測点（図1）で高周波地震（以下、A型地震という）の頻発する時期や低周波地震（以下、BL型地震という）が頻発する時期など、火山活動の変化により異なるタイプの地震波形が観測されている。また、山頂が陥没し始めた2000年7月から振幅のやや大きな連続した火山性微動（以下、火山性連続微動という）が観測されるようになった。2000年11月頃からは火山性連続微動に交じって等時間間隔で間欠的に振幅の増減がみられる火山性微動（以下、バンド状微動という）が2006年4月頃まで時折観測され（図2, 3）、その後、2011年9月より再びバンド状微動の発生がみられている。火山性微動は火山活動の活発な時期に多くみられる現象であるが、これまで三宅島で発生した火山性微動、特にバンド状微動の発生状況を調査した資料は少ないため、島内で観測された震動波形などから、今回の火山活動との関連についてと、その発生場所や発生原因について推定を試みたので報告する。

2 三宅島の地震活動

2000年6月26日から島内で発生し始めた地震活動は島外へ活動域を移しながら北西方向（新島・神津島近海）へ移動し、翌27日には西方沖で海底噴火したと考えられる海面の変色域が確認された。7月8日に島内で最大の地震（M5.3）が発生した後、山頂陥没の進行と山頂噴火が頻繁に発生するようになった（気象庁, 2006）。この時期に発生した地震のタイプはほとんどがA型地震であったが、長周期地震の発生も併せてみられた（菊地・他, 2001）。山頂噴火

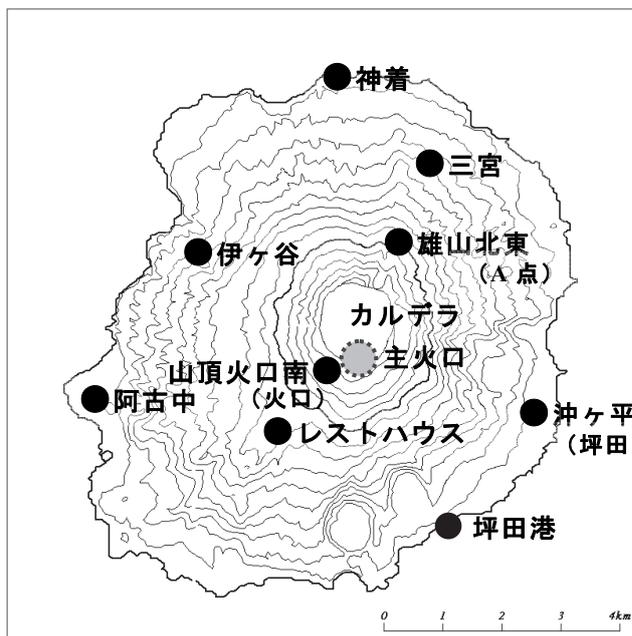


図1 2000年10月~2004年5月において気象庁で設置した地震および気象などの観測点配置図
括弧内の名称は旧観測点名

¹ 精密地震観測室, Seismological Observatory, Seismological and Volcanological Department

² 地震火山部地震予知情報課, Earthquake Prediction Information Division, Seismological and Volcanological Department

³ 札幌管区気象台地震火山課, Seismological and Volcanological Division, Sapporo District Meteorological Observatory

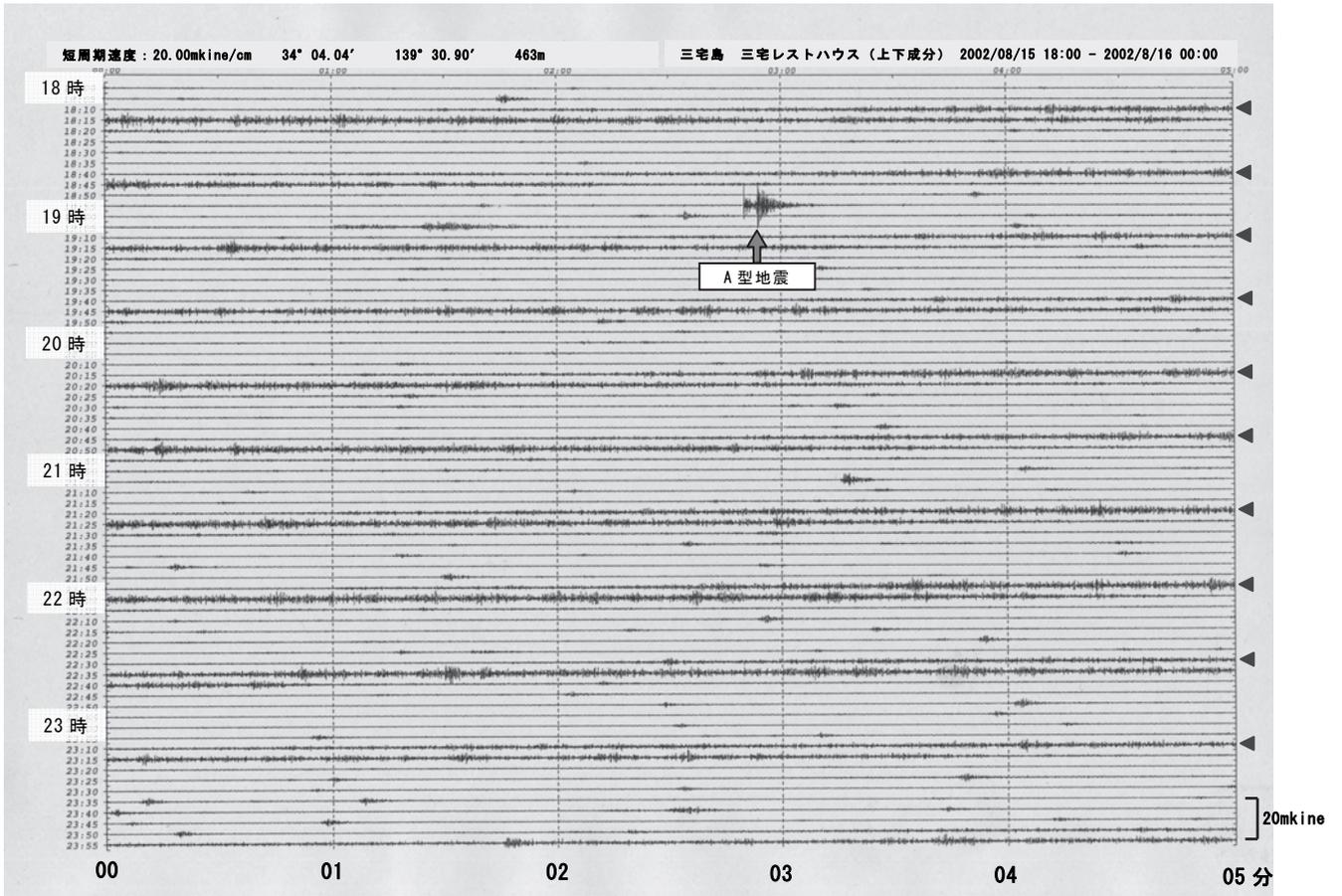


図 2 バンド状微動の波形例 (2002年8月15日18時00分～8月16日00時00分)
 約30分間隔で縞状に波形が太くなっている部分がバンド状微動 (◀印部分)
 波形記録はレストハウスの上下成分

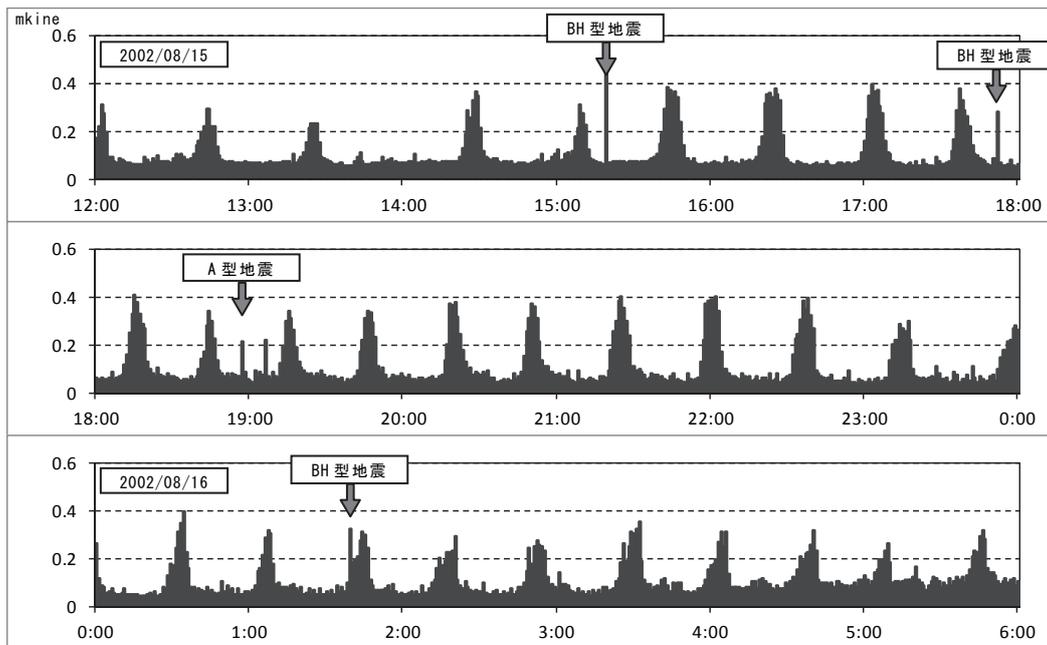


図 3 レストハウス (上下成分) におけるバンド状微動の1分平均振幅のレベル変化例
 波形の表示期間は2002年8月15日12時00分～8月16日06時00分
 バンド状微動による振幅レベルの増大が約30分の間隔で発生

の発生と同時に顕著な火山性連続微動が観測されるようになり、7月8日の発生をピークとして徐々に振幅が小さくなったが、ノイズレベルと同程度になったのは2005年4月頃であった(図4)。2000年9月以降、地震活動は一時的に低調な傾向をみせたものの、再び噴火が頻繁に起り始めた2001年1月頃からBL型地震の発生する割合が高くなり、2001年5月5日には446回/日を数えるようになった(図5)。噴火の発生が減少傾向となった2002年12月頃からBL型地震に代わってやや低周波地震(以下、BH型地震という)が多く発生している。更に2006年6月頃からはBH型地震がより多く観測されるようになり、現在でも増減を繰り返しながら一日あたり数十回を超えるような地震活動が続いている。2002年7月頃からは、発生する地震のタイプはBH型地震かBL型地震がほとんどで、BH型地震が頻繁に発生した後で噴火が発生した場合(図6)もあるが、ほとんどの事例ではBH型地震の増減と噴火は直接関連していないようにみえる。一方、BL型地震は噴火発生時に伊ヶ谷などの観測点で空振を観測する事例が多くみられた(図7)。

3 バンド状微動の発生状況

図5に示すバンド状微動の発生と地震回数の推移によると、バンド状微動は2000年11月頃から振幅の小さなものが発生し始め、2006年4月頃まで発生が続いた。その間、2001年1月頃からBL型地震が増加し、2002年12月頃から発生する地震のタイプがBL型からBH型に変化し、バンド状微動が観測されなくなった同時期からBH型地震が増加する傾向にある。2006年4月以降、バンド状微動の活動は終息したかと思われたが、BH型地震が減少傾向となって以降の2011年9月から再びその発生がみられている。バンド状微動は、常時観測される震動幅をやや上回る程度の波形が2~3分、長いもので20分程度継続し、この間の振幅の変化は比較的小さいままとなる場合が多い。これに対して、孤立的に発生する火山性微動は、バンド状微動より振幅のやや大きな波形が30秒~1分程度継続し、紡錘形や振幅の増減を数回繰り返す形となる場合が多い(図8)。このため、バンド状微動は表示時間の間隔を長くした波形モニターなどを使用すると、拾い出しやすくなることが多い(図3)。

拾い出したバンド状微動の発生状況をイベントごとにとみると、振幅の増大が2~20分程度継続して大きくなることが多く、振幅が増減する間隔は数分から1~2時間程度となり、増減の間隔は図3に示した例のように30分程度の事例が最も多い(図9)。発生期間は長いもので14日程度、短いもので1~2時間程度となり、発生期間が1~2日の事例が多くみられている(図10)。雄山北東(欠測期間中はレストハウスを代替点として雄山北東の振幅値に換算して使用)におけるバンド状微動の最大振幅は最大で2.7mkine [=10⁻⁵m/s]となり、このうち最も発生回数が多かったのは0.8mkineで、A型地震などと比べると振幅はかなり小さいイベントがほとんどである(図11)。バンド状微動の振幅は、カルデラに近い観測点では大きく、海岸線に近い観測点では振幅が小さくなり、その発生を確認できない場合もある(気象庁、2006)。バンド状微動の最大振幅の推移を日別の発生でみると、2003年9月から2004年10月にかけて振幅が大きくなり、それ以降は小さくなる傾向がみられる(図5)。その後、2011年9月から再びバンド状微動が発生し、振幅は最大の2.7mkineを記録している。

次に、バンド状微動の発生回数を月別(図12)でみると、発生回数は8月の10回が最も多く、次いで6月の8回となっている。逆に発生回数が少ないのは冬季期間(12月~2月)で、12月においては発生が0回となっている。年間を通した発生回数は3~8月に多く、9~2月に少ない傾向がある。このため、気象などによる影響の有無について神着(欠測期間中は沖ヶ平を代替点として使用)で観測した降水量、現地気圧および坪田港で観測した潮位をバンド状微動の発生と比較してみた。始めに、季節による影響をみるために月別のバンド状微動の発生回数と降水量を比較してみたが、月別の降水量との関連はないようである(図12)。図13に示す日降水量の推移では、降水後の数日から数週間の期間で降水の変動との関連をみたが、バンド状微動の発生と降水量の増減には関連がないようにみえる。また、気圧からの影響をみるために、30日間の移動平均した現地気圧の推移でみたところ、季節的な変動の中で擾乱の通過時に一時的な気圧の上下変動がみられるが、これらの気圧変動とバンド状微動の発生にはっきりとした関連はみられない(図14(a))。更に、潮汐からの

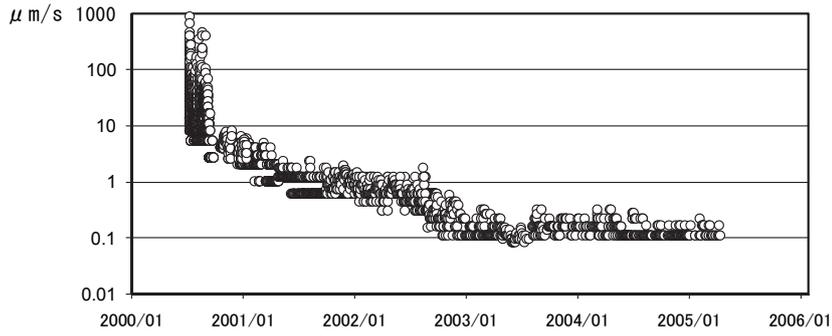


図 4 阿古中観測点における火山性連続微動のレベル変化
雄山北東とレストハウスで観測された振幅は、阿古中
の上下動振幅に換算して表示

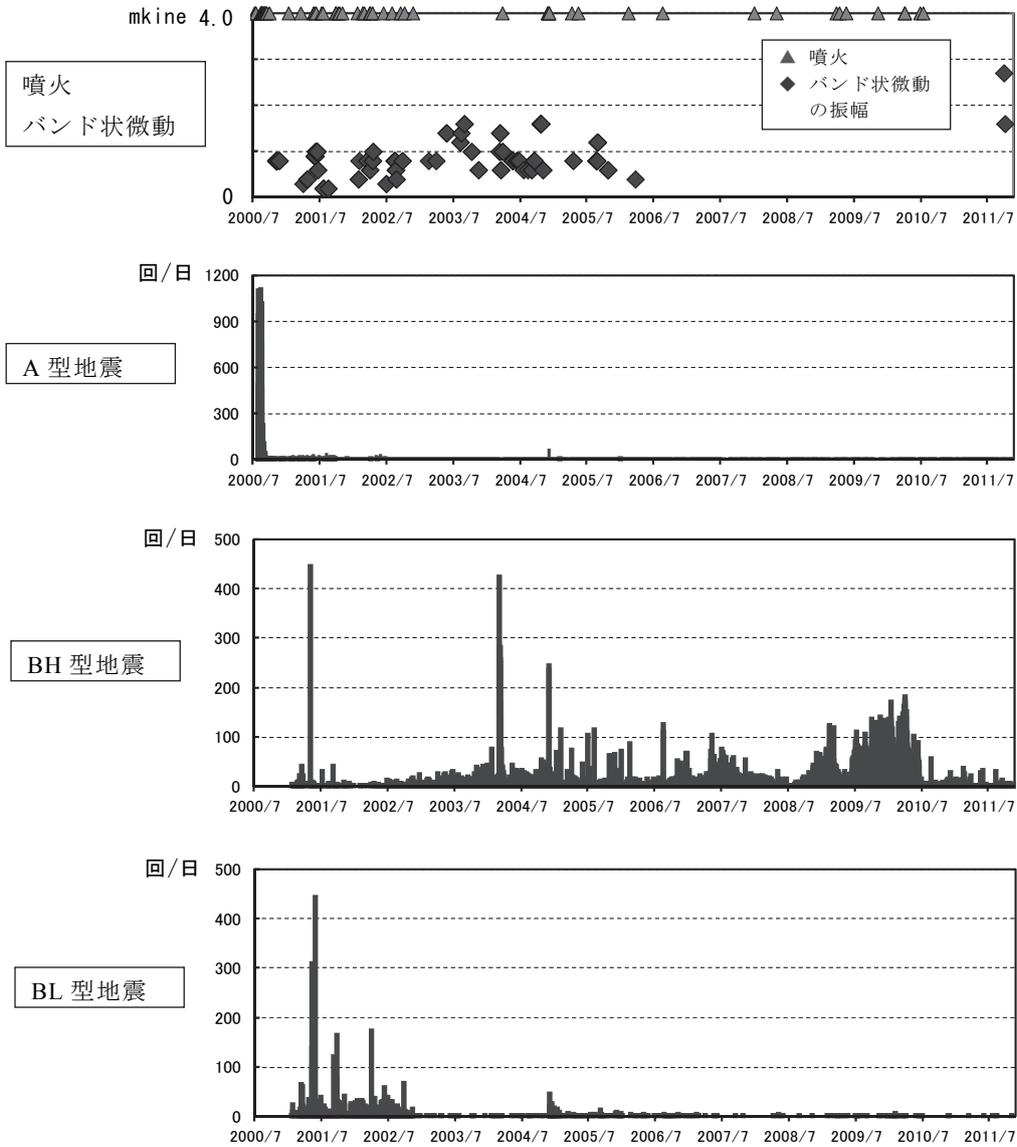


図 5 噴火およびバンド状微動の発生と地震のタイプ別日回数の推移

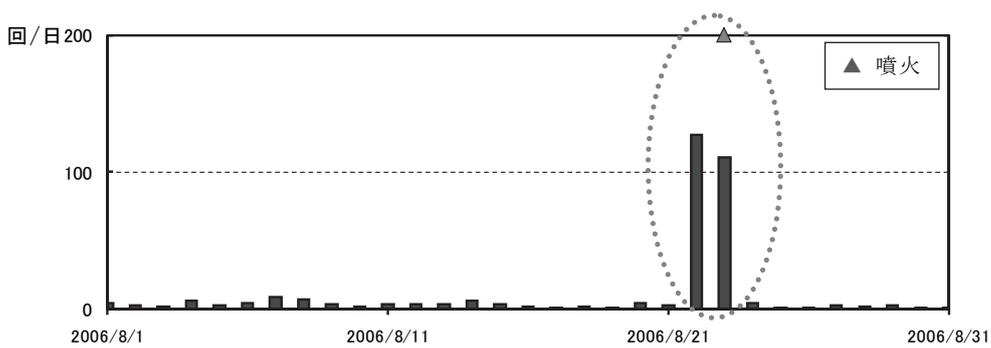


図 6 BH 型地震の日回数と噴火の関係

2006 年 8 月 22 日 11 時頃から 23 日 04 時頃にかけて BH 型地震が増加した後
23 日 04 時 28 分頃に噴火が発生した事例（点線部分）

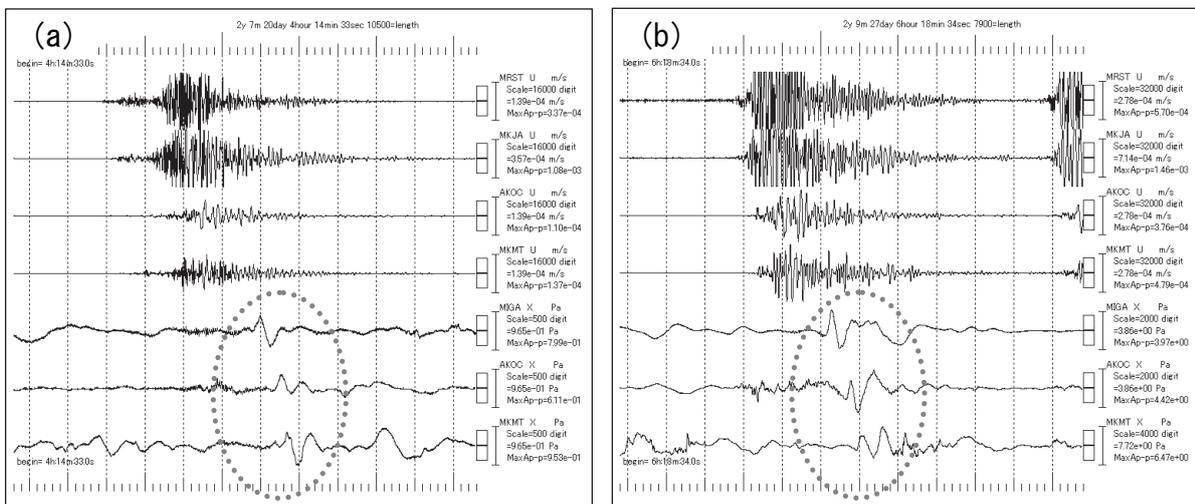


図 7 BL 型地震の発生時に空振（点線部分）を伴った波形例

(a) : 2002 年 7 月 20 日 04 時 14 分の地震 (b) : 2002 年 9 月 27 日 06 時 18 分の地震

上からレストハウス, 雄山北東, 阿古中, 神着の地震波形と伊ヶ谷, 阿古中, 神着の空振波形

影響をみるために、日平均した潮位とバンド状微動の発生を比較したところ、潮位が高くなる時に発生する場合もみられるが、欠測期間があるためはっきりとした関連は見出せなかった（図 14(b)）。

熱活動を把握する手法として噴煙の観測や熱赤外映像装置による火口内の温度観測などがあり、噴煙高度の観測は 2000 年 7 月の噴火から、火口内の温度観測は 2000 年 8 月から継続して行っている。これらの観測結果とバンド状微動の発生状況を比較（図 15）してみると、火口内温度では 200℃程度を越えるようになった 2000 年 11 月頃から発生がみられるようになり、逆に 200℃程度以下になった 2006 年 3 月頃から発生がみられなくなっている。また、噴煙高度では日最大で 3,500m まで上がっていた噴煙が

700m 程度以下にまで低くなった頃からバンド状微動の発生はなくなっている。さらに、噴煙量との関係でみると、噴煙量 2（少量）以下であった 2006 年 12 月頃から 2010 年 12 月頃にはバンド状微動の発生はみられてない。それぞれのデータは熱活動が活発な時期での発生を裏付けていると考えられる。

火山活動でみると、他の火山においてはバンド状微動の観測から噴火の中期的な前兆現象がみられた報告（例えば橋本・他, 1989）もあるが、今回の三宅島におけるバンド状微動は、噴火の前兆現象や噴火後に発生する事例（誘発される）がみられないことから、BL 型地震にみられるような噴火と短期的に結びつく現象ではないと考えられる。

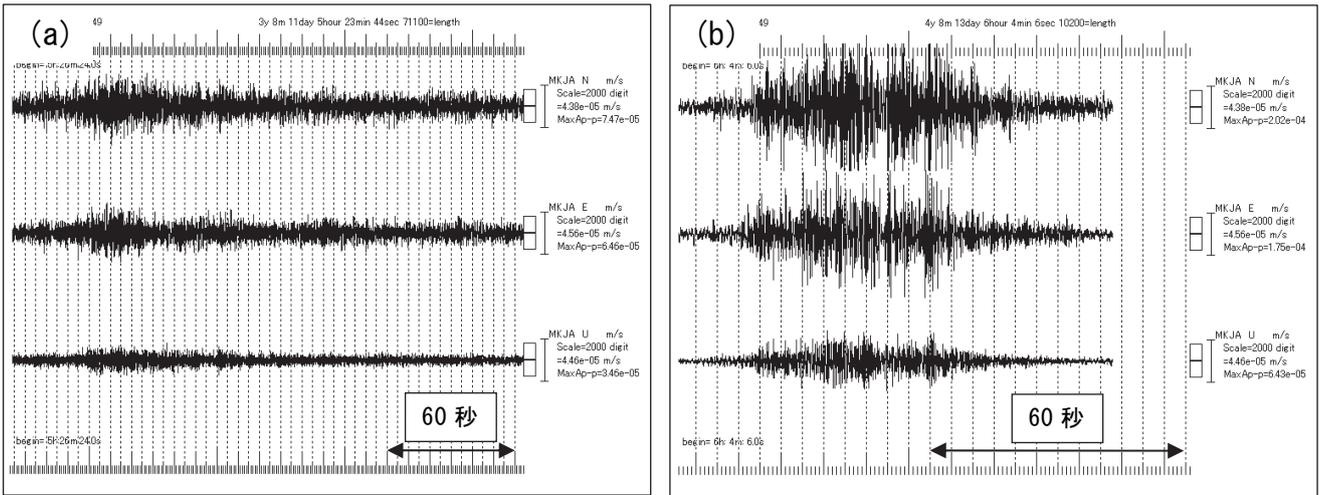


図 8 バンド状微動と孤立的に発生する火山性微動の波形例

上から雄山北東の南北成分，東西成分，上下成分

(a) : 2003 年 8 月 11 日 05 時 26 分頃から発生したバンド状微動

(b) : 2004 年 8 月 13 日 06 時 04 分頃から発生した孤立的に発生する火山性微動

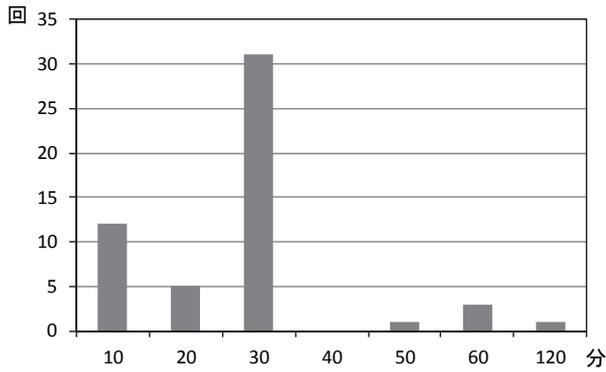


図 9 バンド状微動の振幅の増減間隔の時間別回数
(統計期間 2000 年 11 月から 2011 年 10 月)

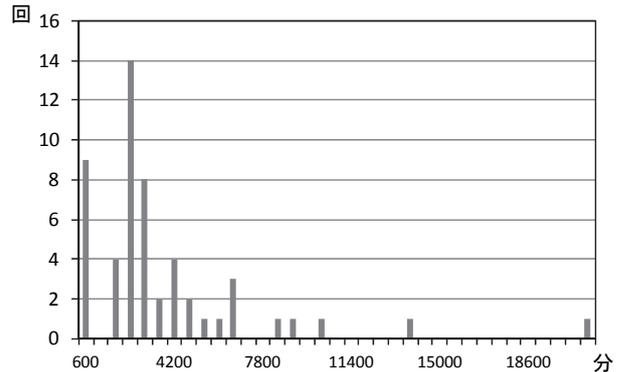


図 10 バンド状微動の発生期間別回数
(統計期間 2000 年 11 月から 2011 年 10 月)

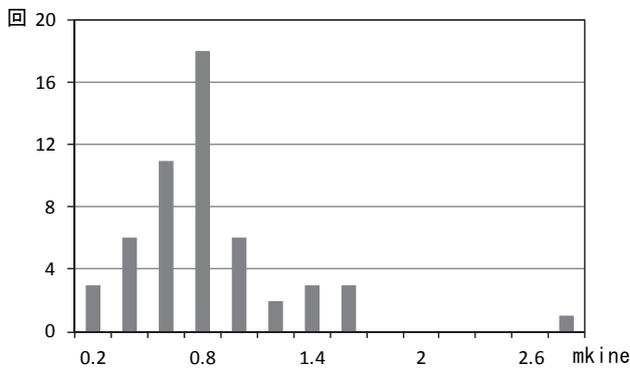


図 11 雄山北東におけるバンド状微動の最大振幅別発生回数
(統計期間 2000 年 11 月から 2011 年 10 月)

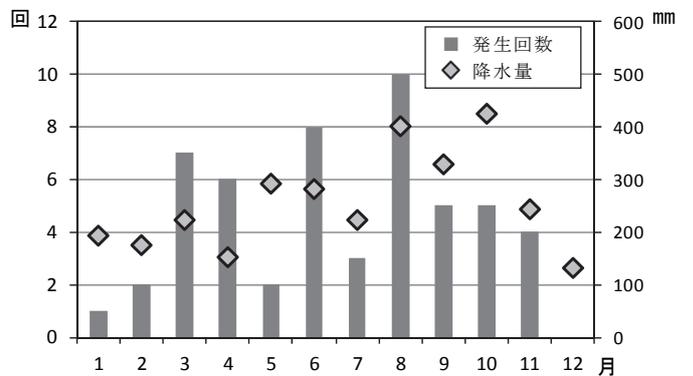


図 12 バンド状微動の月別発生回数と月別平均降水量
(統計期間 2000 年 11 月から 2011 年 10 月)

三宅島で発生したバンド状微動

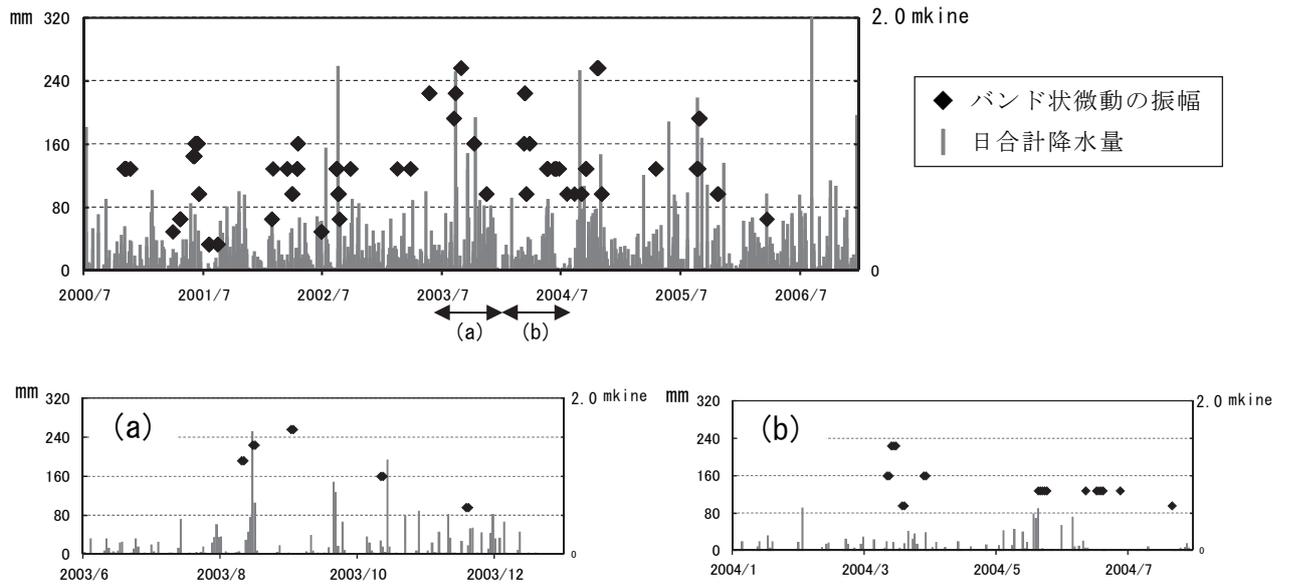


図 13 バンド状微動の発生と降水量の推移
 (a) : 2003 年 6 月 1 日～12 月 31 日の期間を拡大
 (b) : 2004 年 1 月 1 日～7 月 31 日の期間を拡大

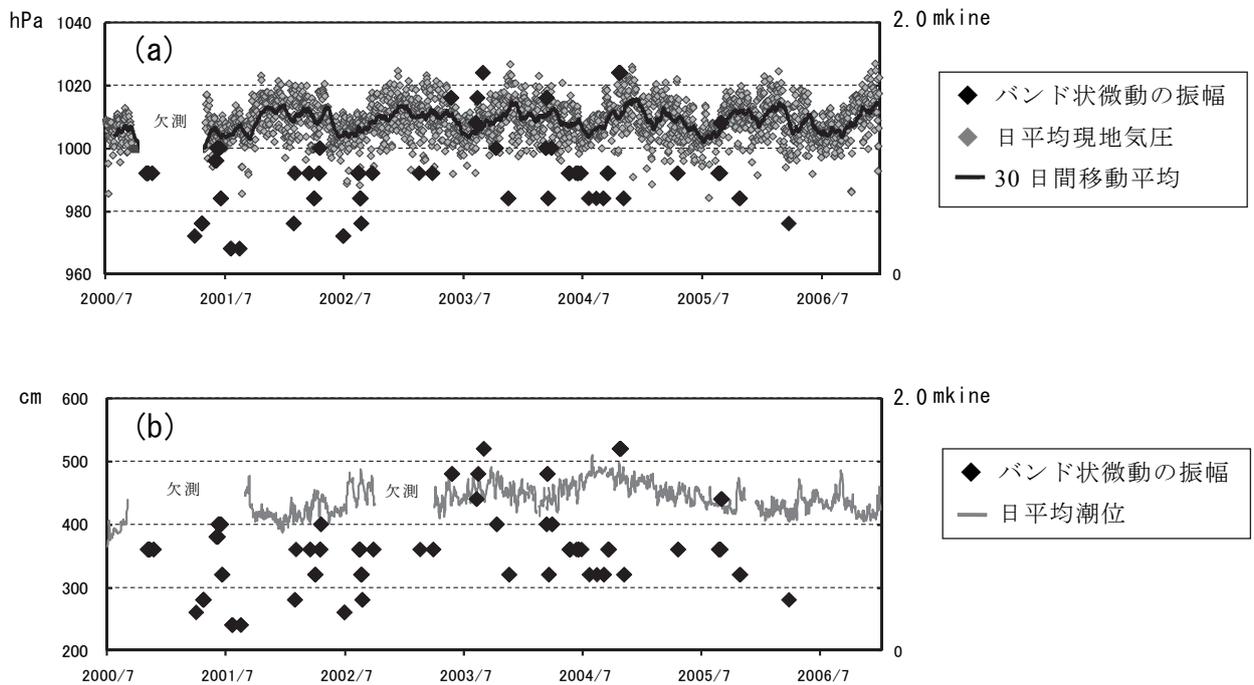


図 14 バンド状微動の発生と気圧および潮位の推移
 (a) : バンド状微動と日平均現地気圧
 (b) : バンド状微動と日平均潮位（観測基準面上の毎時潮位を日平均した値）

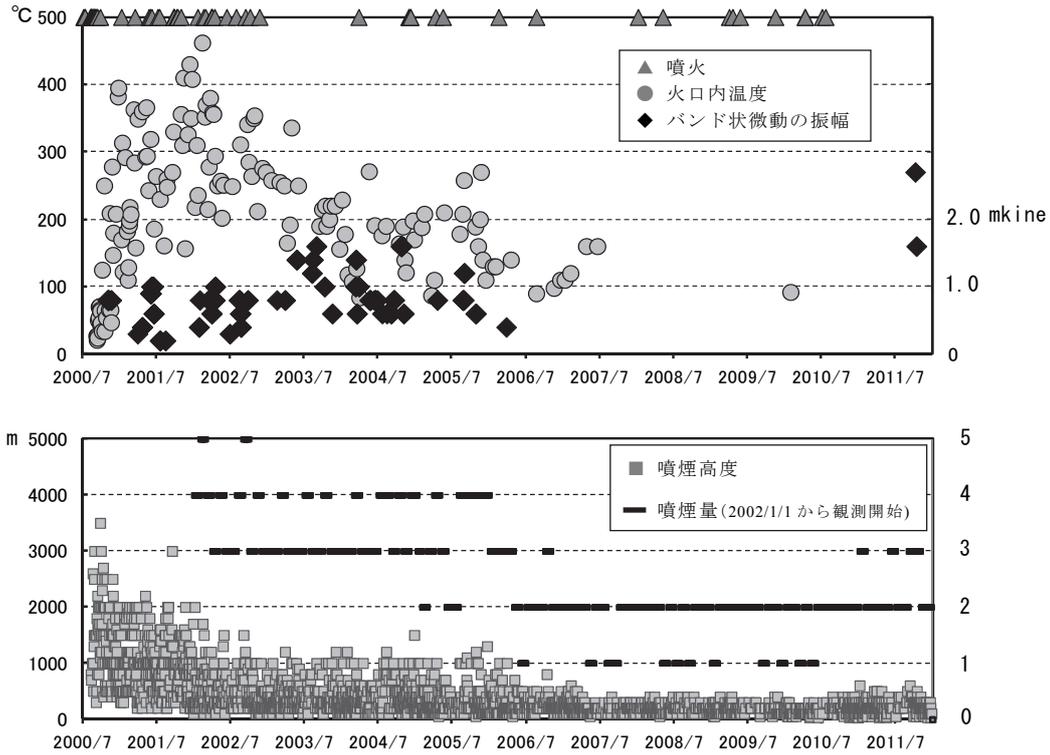


図 15 噴火，熱赤外映像装置による火口内温度およびバンド状微動の発生の推移と遠望観測による白色噴煙高度および噴煙量（1：極めて少量，2：少量，3：中量，4：やや多量，5：多量）

4 波形の特徴

三宅島で観測された火山性微動の波形の特徴を調べるため、火山性微動とタイプ別の地震波形におけるスペクトル解析を行った。雄山北東における上下動成分の波形を使った解析の結果を図 16 に示す。それによると、A 型地震は 5~7Hz、BH 型地震は 5Hz 付近、BL 型地震は 2Hz と 5Hz 付近が卓越している波形が多くみられた。藤田・他（2001）によると、2000 年 8 月に発生した火山性微動では、2~3Hz 付近に卓越した部分がみられるとしている。今回調査したバンド状微動では 3Hz 付近が卓越していて、卓越周波数では A 型地震や BH 型地震はバンド状微動より高い周波数にピークがあり、BL 型地震はやや低い周波数にピークがある。また、孤立的に発生する火山性微動でも 3Hz 付近が卓越したイベントが多くみられ、バンド状微動と孤立的に発生する火山性微動を比較すると、卓越周波数に大きな違いはみられなかった。

5 バンド状微動の発生場所の推定

地震の発生場所を特定する方法として①ネットワ

ーク観測（実体波の到達時刻）②アレー観測（波形の相関）③振幅の分布④パーティクルモーシオンなどがあり（西村・井口，2006），火山性微動の場合は波形の立ち上がりが明瞭でないことから，①による解析方法は発生場所を特定するには不向きである。今回は②~④による解析方法の内，検測結果が数多く残されている振幅値を使った③の解析方法を用いることにした。バンド状微動の発生場所の水平位置は，気象庁（2006）や図 17 による観測点の振幅比較からカルデラ内での発生を推定することができる。

一方，深さについて推定できる資料があまりないため，本稿では深さについての推定を試みた。③の解析に使用するデータは，バンド状微動の振幅が大きくなった 2003 年 6 月から 2004 年 12 月までと，2011 年 7 月からバンド状微動が再び発生し始めた同年 10 月までの各観測点の上下動成分の振幅値を用いた。

5.1 振幅による深さの推定

震源の深さを推定するために振幅の分布を用いる方法（例えば及川・井田，1987）があり，その一例と

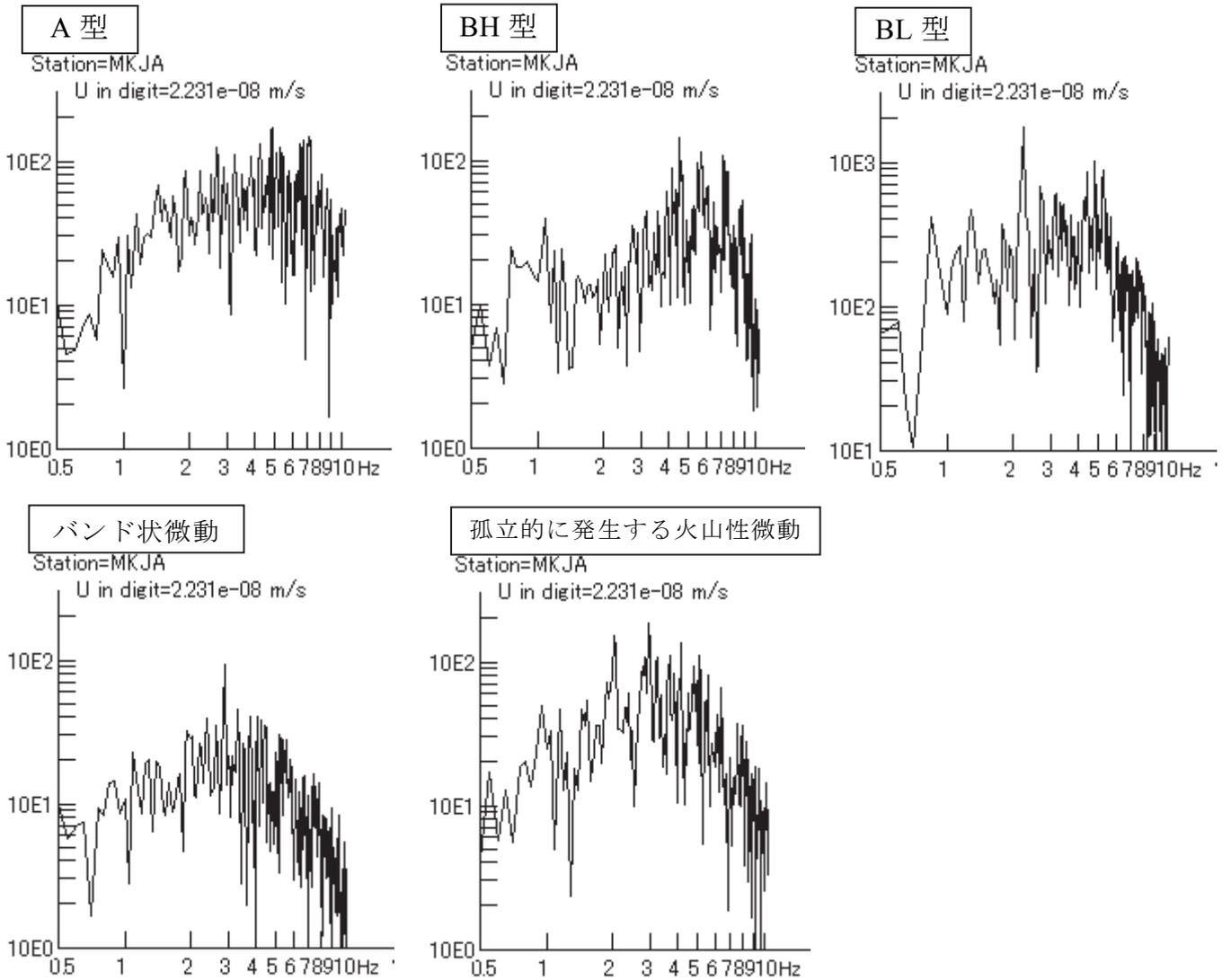


図 16 雄山北東におけるタイプ別の地震，バンド状微動および孤立的に発生する火山性微動のフーリエスペクトルの解析例

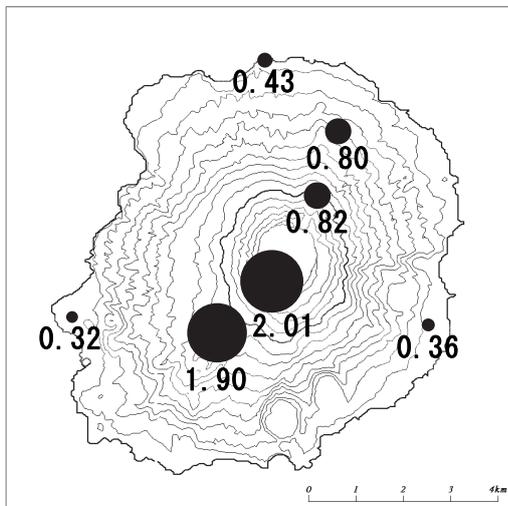


図 17 バンド状微動の平均振幅の分布図

●は振幅に比例した大きさで単位は mkin
(統計期間 2003 年 8 月～2004 年 5 月)

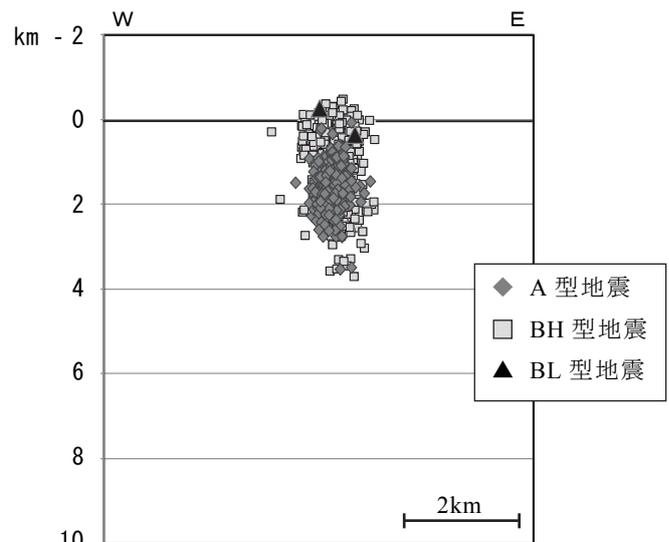


図 18 震源計算で求めた地震のタイプ別による震源の深さの東西分布図

(統計期間 2004 年 5 月～2004 年 12 月)

して、基準の観測点と別の観測点における振幅および震動源の距離には、(1)または(2)式が成り立つことを利用した解析方法（気象庁，1992）がある。ただし、基準点での振幅 A_0 、震動源からの距離 R 、距離 R での振幅 A 、係数 k 、震動源からの水平距離 x 、基準点からの水平距離 x_0 、海面からの震源の深さ h としている。また、振幅を読み取った位相付近の波形を実体波と仮定している。

$$A(R) = A_0 R^{-1} \exp[-kR] \quad (1)$$

$$A/A_0 = \{(x_0^2 + h^2)^{1/2} / (x^2 + h^2)^{1/2}\} \cdot \exp[-k\{(x^2 + h^2)^{1/2} - (x_0^2 + h^2)^{1/2}\}] \quad (2)$$

(2)式より基準点と別の観測点の2地点で観測される振幅と震源までの距離から係数 k を求めることができる。バンド状微動の場合、各点での振幅からその発生場所はカルデラ付近であることが推定される（図 17）ので、水平位置をカルデラ内と仮定し、係数 k を与えることでバンド状微動の深さを推定することにした。この係数 k を求めるために、三宅島島内のネットワーク観測による震源計算（以下、震源計算という）で震源が決定されているイベントの内、多くの震源が決定されている BH 型地震のイベントを用いることにした。始めに、これらのイベントで計算された震源までの距離と2地点で観測された同地震の振幅から係数 k を求めた。係数 k はイベントごとにばらつきがみられるので、複数のイベントの平均値とした。それによると、カルデラを挟む観測点の組み合わせから求めた係数 k は、「レストハウス-雄山北東」が最も大きい $k=0.018$ となり、その他の観測点間では $k=0.0016\sim 0.004$ となった。

次に、BH 型地震のイベントから求めた係数 k をバンド状微動や各タイプの地震に適用して、深さの推定を試みた。解析事例を多くするため、調査期間中で検測数が多かった観測点を用いることにした。具体的には雄山北東、レストハウス、沖ヶ平、阿古中、更にレストハウスに代わる観測点として 2004 年 3 月に設置された山頂火口南を用いている。カルデラを挟む観測点の組み合わせで係数 k からバンド状微動などの深さを推定したと、多くの組み合わ

せで深さの推定に広がりのある結果となった。深さに広がりがみられる原因として、振幅比にまとまりがない観測点がみられることや、震源計算に用いる検測対象観測点の変更前（2004 年 5 月 14 日以前）は、観測機器の設置環境や欠測等により、震源精度がよくなかったことが考えられる。検測対象観測点の変更後の震源計算では、各地震のタイプともに深さ方向だけでなく、水平方向でも広がりがあった震源がまとまりをみせている（図 18）。これらから、検測対象観測点の変更前は深さの推定結果に誤差が多く含まれていると考え、推定に用いる組み合わせから除外することにした。震源の精度が高い組み合わせとして、「山頂火口南-雄山北東」を深さの推定に採用した。

「山頂火口南-雄山北東」による推定結果（2004 年と 2011 年）を地震のタイプ別でみると、A 型地震の場合は海面下 1~3km、BH 型の場合 1~2km、BL 型地震の場合 1km 前後に多く推定されている（図 19）。バンド状微動の場合 2km 前後に多く推定されていて、A 型地震と同程度の深さとするものが多い。

5.2 震源計算で求めた地震の深さとの比較

震源計算で求めた地震のタイプ別の深さでは、A 型地震の場合は海面下 1~3km、BH 型地震の場合は 0~3km、BL 型地震の場合は 0km 前後に分布している（図 18）。震源決定精度が高く、5.1 節の係数 k の推定に利用した BH 型地震について震源計算した深さと、「山頂火口南-雄山北東」の組み合わせで振幅から推定したと深さを比較してみると、各タイプの地震とも深さが似ていることから、バンド状微動は A 型地震と同程度の 1~3km で発生しているものと考えられる。

Yamasato et al. (2008) によると、周波数で分類した地震の発生場所を HF 地震（数 Hz~10Hz 以上）は海面下 2km 前後、MF 地震（3~6Hz）と LF 地震（2~4Hz）は同 0~2km としている。HF 地震を A 型地震、MF 地震を BH 型地震、LF 地震を BL 型地震とした時、これらの地震の深さは、「山頂火口南-雄山北東」の推定と同程度であることから、これからもバンド状微動は HF 地震と同様の 2km 付近での発生が推定される。ただし、震源の水平位置は Yamasato et al. (2008) では、HF 地震がカルデラ中央部、MF 地震と LF 地震はカルデラの南縁での発生

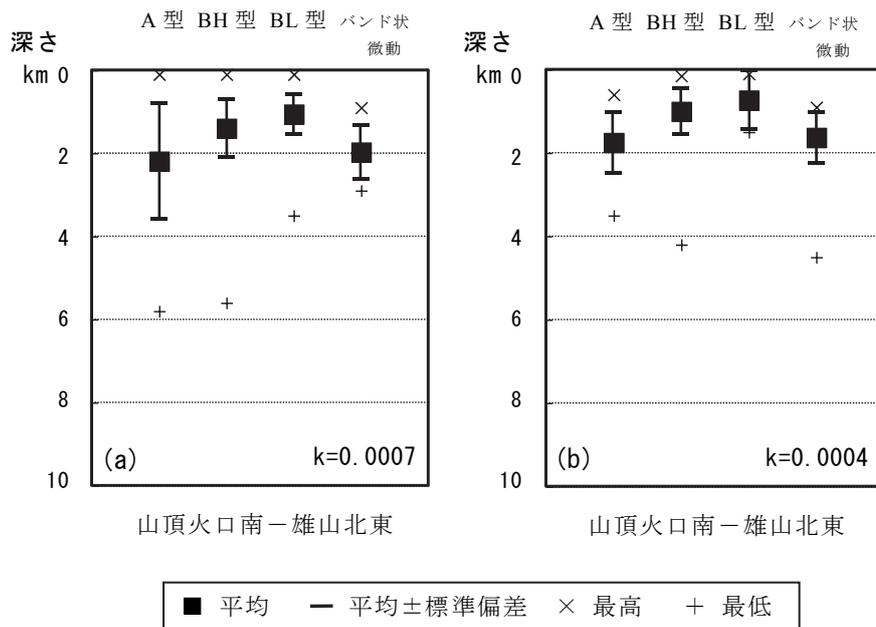


図 19 BH型地震のデータを基にした係数 k から推定した深さの分布図
(統計期間 (a) : 2004 年 5 月～12 月, (b) : 2011 年 7 月～10 月)

としているため、震源の水平位置が地震のタイプ別で違う。本調査の振幅による深さの推定では、震源の水平位置を全ての地震でカルデラ内（気象庁、2006）としていて、それぞれの観測点から震源までの水平距離は大きく変わらないと仮定していることから、Yamasato et al. (2008) による深さの推定と、振幅から推定した深さと少し異なる部分が見られる。

6 議論

バンド状微動の発生時期は季節による偏りがあり、9～2月に比べて3～8月に多くみられていることから、気象などの影響がみられるか調べてみた。それによると、バンド状微動の発生は何らかの季節的要因を受けている可能も考えられるが、降水量、気圧および潮位の変動からは、はっきりとした関連を見出すことはできなかった。また、バンド状微動は有珠山（気象庁、2003）、伊豆大島（橋本・他、1989）、諏訪之瀬島（西、1988）など幾つかの火山でも観測され、その発生原因などについての報告（例えば西村・岡田、1987）があり、火山の長期的な活動期にその発生がみられることが多い。三宅島においては、BL型地震のように噴火の発生時に多くみられる傾向はないため、噴火の過程で発生するような、短期的な火山活動による震動ではないと考えられる。さ

らに、産業技術総合研究所（2004）の調査によると、三宅島におけるマグマ中の火山ガス（水および二酸化炭素）の気泡量が、マグマの上昇に伴い急激に増加し始める場所の深さを海面下 1～3km とする報告がある。しかし、火山ガスの放出とバンド状微動の発生状況に関連がみられないことから、マグマ中の火山ガスの気泡量がバンド状微動の発生原因に関連するものでないと考えられる。

一方、バンド状微動のスペクトル解析によると、A型地震やBH型地震のスペクトルとは異なることから、微小なA型地震やBH型地震が連続して発生した震動波形ではないことが考えられ、噴火の発生時に多くみられるBL型地震のように、低い周波数成分の卓越はみられていない。しかし、伊豆大島の火山性微動の震動源を地下水やマグマに由来した水蒸気とする報告（渡辺、1989）があり、三宅島のバンド状微動のスペクトルは、伊豆大島と同様な3Hz付近にピークをもつことから、類似した発生機構が推定される。また、熱活動の観測結果によると、火口内温度が200℃程度を超えるような時期にバンド状微動が発生していて、噴煙量が2以下で噴煙高度が700m程度より低い時期ではその発生はみられなくなっている。これらから、バンド状微動の発生時期には、地下の活発な熱活動がバンド状微動の発生

に影響を与えていると考えられる。

島内で観測された震動波形による今回の解析結果では、海面下 2km 前後でバンド状微動の発生が推定される。この推定場所付近では、活発な熱活動がみられたとする調査がいくつかある。坂東・他 (2005) によると、地殻変動の観測結果から 2000 年 6 月 29 日から 7 月 8 日までの山体収縮の圧力源の深さを海面下 6km 付近、7 月 8 日以降の膨張の圧力源を同 3.5km とする報告がある。これらの圧力源はマグマ溜り、もしくは熱水溜りに相当するとされていて、今回の調査で推定したバンド状微動の深さは、後者の 3.5km とする圧力源の上部付近に位置している。また、西村・他 (2002) によると、同時期に流体溜りの変動が 2.9km 付近に解析できるとして、3km 前後に熱水またはマグマ溜りが存在したと考えられている。さらに、中田・他 (2001b) では、海面下 2~3km で地下水により一時的に出来た熱水溜りが、同年 8 月 29 日の噴火で破壊されたとされていて、同様の深さに熱活動が推定されている。これらから、バンド状微動は地下の熱活動の影響を受けているとした場合、海面下 2~3km 付近に熱活動がみられるとするこれらの報告と、バンド状微動の発生場所を 2km 付近に推定した今回の調査結果は、調和的と言える。

7 まとめ

2000 年からの三宅島の火山活動で発生したバンド状微動の発生は、2000 年 11 月頃から 2006 年 4 月頃まで継続し、2011 年 9~10 月にも観測されている。バンド状微動の発生期間は 1~2 日、発生間隔は約 30 分の事例が多くみられていて、その多くは 3~8 月に発生がみられる。これらのバンド状微動の発生時期は、噴煙の観測などによる熱活動の活発な時期に対応している。さらに、バンド状微動の発生場所は、震源計算の結果と島内で観測された BH 型地震の振幅などから推定すると、カルデラ内の海面下 2km 程度を中心とした 1~3km 付近で発生していると考えられる。今回推定されたバンド状微動の深さ付近では、カルデラ内の深さ 2~3km において熱活動が存在したとする報告があり、本調査で推定された場所をバンド状微動の発生源とすると調和的である。

謝辞

査読して頂いた地震火山部火山課山里平課長および気象研究所鬼澤真也研究官からは、貴重なご意見とご指導を頂きました。験震時報編集委員長の内藤宏人氏からは、本稿の修正に際し多くのご助言を頂きました。地震火山部の関係者の皆様から有益なご意見を頂きました。また、潮位観測データについては、地球環境・海洋部海洋気象課海洋気象情報室からデータ提供をして頂きました。ここに記して感謝いたします。

文献

- 坂東信人・仮屋新一・木股文昭・中尾茂・及川純・渡辺秀文・鶴川元雄・藤田英輔・河合晃司・松島健・宮島力雄・奥田隆 (2005): GPS 観測による 2000 年 7 月 14 日三宅島火山噴火に伴う地殻変動, 火山, **50**, 173-182.
- 藤田英輔・鶴川元雄・山本英二・岡田義光・菊池昌江 (2001): 三宅島 2000 年噴火に伴う火山性地震・火山性微動, 地学雑誌, **110**, 191-203.
- 橋本徹夫・館畑秀衛・清野政明 (1989): 1986 年伊豆大島噴火の前兆的火山性微動, 気象研究所研究報告, **40**, 29-38.
- 菊地正幸・山中佳子・瀬戸一起 (2001): 三宅島 2000 年噴火活動に伴う長周期地震のメカニズムとその解釈, 地学雑誌, **110**, 204-216.
- 気象庁 (1992): 火山観測指針 (参考編), 179-185.
- 気象庁 (2003): 平成 12 年(2000 年)有珠山噴火調査報告, 気象庁技術報告, **124**, 247pp.
- 気象庁 (2006): 平成 12 年(2000 年)三宅島噴火および新島神津島近海の地震活動調査報告. 気象庁技術報告, **128**, 293pp.
- 中田節也・合同観測班地質グループ (2001a): 三宅島火山における地下マグマシステム, 京都大学防災研究所研究集会, 7-13.
- 中田節也・長井雅史・安田敦・嶋野岳人・下司信夫・大野希一・秋政貴子・金子隆之・藤井敏嗣 (2001b): 三宅島 2000 年噴火の経緯—山頂陥没口と噴出物の特徴—, 地学雑誌, **110**, 168-180.
- 西潔 (1988): 諏訪之瀬島火山の火山性微動, 第 1 回諏訪之瀬島火山の集中総合観測, 13-17.
- 西村卓也・村上亮・小沢慎三郎・石本正芳・鷺谷威・矢来博司・多田堯・海津優・鶴川元雄 (2002): 三宅島 2000 年噴火前後の地殻変動と変動源の推定—1983 年

- 噴火後から 2001 年 5 月までの収縮・膨張源一, 東京大学地震研究所彙報, **77**, 55-65.
- 西村太志・井口正人 (2006): 日本の火山性地震と微動, 京都大学学術出版会, 39-65.
- 西村裕一・岡田弘 (1987): 地震計で記録された 1978 年有珠山噴火, 火山, **32**, 301-315.
- 及川純・井田喜明 (1987): 伊豆大島における火山性微動の振幅分布からきめた微動発生源の位置, 日本火山学会講演予稿集, 1987(2), 13.
- 産業技術総合研究所 (2004): 火山ー噴火に挑むー, 141-202.
- 渡辺秀文 (1989): 伊豆大島における火山性微動の発生機構, 日本火山学会講演予稿集, 1989(1), 20.
- H. Yamasato, E. Fujita, M. Ukawa, J. Miyamura, K. Kato, and A. Takagi (2008): Characteristics of Low Frequency Earthquakes beneath the Summit Caldera of Miyakejima Volcano Japan, 7th General Assembly of Asian Seismological Commission and Seismological Society of Japan, X3-040.

(編集担当 坂井孝行)