2008年8月及び2009年2月の浅間山の火口周辺警報発表の経緯

Details of Mount Asama Volcano Alerts Issued in August 2008 and February 2009

舟崎 淳¹, 桜井鉄也², 飯島 聖³ Jun FUNASAKI¹, Tetsuya SAKURAI², and Sei IIJIMA³

(Received January 27, 2014: Accepted November 21, 2014)

1 はじめに

浅間山は群馬・長野県境に位置する活火山で,有 史以降,多数の噴火記録がある.近年では,1973, 1982,1983,1990,2003,2004,2008,2009年に中 規模~ごく小規模な噴火が発生している.気象庁 (1956年以前は中央気象台)による浅間山の火山観 測業務は,1911年の地震計による観測から始まり, 1939年からは噴煙の遠望観測が開始された.さらに 1965年からは火山情報の発表が業務として開始さ れ,浅間山の火山活動に変化があり,その状況を一 般に周知する必要がある場合には,気象庁は火山情 報を発表し,火山活動に対する注意を呼びかけた.

2007年12月1日に気象業務法が改正・施行され, 火山現象についての予報・警報を行うことが気象庁 の責務となり,噴火に関する警報(以下,噴火警報 という)の発表業務が開始された.噴火警報は,噴 火発生の予想を公表し,重大な災害が発生するおそ れのある旨を警告するものであり,"火山活動活発化 のおそれ"や"火山活動に注意"といった注意を呼 びかける従来の火山情報とは大きく異なる.

噴火警報の発表業務の開始と同時に浅間山では噴 火警戒レベルの運用が開始されたが、開始時の噴火 警戒レベルはレベル 1 (平常)であった (噴火警戒 レベルは,火山活動に応じて必要な防災対応を5段 階で表したもの.浅間山の噴火警戒レベル表を Appendix 1 に記載する).

噴火警報の発表業務の開始後,浅間山では 2008

年8月10日,11日,14日に,ごく小規模な噴火が 発生した.さらに,2009年2月2日にも小規模噴火 が発生した(気象庁地震火山部,2008,2009).

2008 年 8 月 10 日の噴火発生の 2 日前(8 月 8 日) には火口周辺警報*(噴火警戒レベル 2,火口周辺規 制)が発表された.また,2009 年 2 月 2 日の噴火 発生の前日(2 月 1 日)にも火口周辺警報が発表さ れ,噴火警戒レベルがレベル 3(入山規制)に引き 上げられた.

これらの警報発表を決断したのは、事前に定めら れた警報発表基準に該当する火山現象が観測された ことが判断根拠のひとつとなっている.火口周辺警 報を発表した1~2日後には、噴火が発生したので、 発表のタイミングは適切であったといえる(ただし、 2009年2月1日発表の火口周辺警報で予想された噴 火の規模と実際に発生した噴火の規模は異なってい た.4章参照).

これらの警報発表に関して,噴火発生前の火山活 動や,警報発表の判断に至った経緯を記述しておく ことは,今後の噴火警報の発表や,警報発表基準の 改善の参考となると思われる.本稿では,2004年の 噴火後から2009年2月2日の噴火にかけての観測結 果の概要を述べ,2008年8月8日及び2009年2月1 日に発表された火口周辺警報について,警報発表に 至った経緯を報告する.

噴火の発生前に警報を発表することは、防災の観 点から重要であり、噴火警戒レベル3相当の噴火で あった2004年9月1日と2009年2月2日の噴火で

¹宫崎地方気象台, Miyazaki Local Meteorological Office (2008 年度:火山課火山活動評価解析官)

²新潟地方気象台, Niigata Local Meteorological Office(2008 年度:前橋地方気象台防災気象官)

³地震火山部火山課, Volcanology Division, Seismology and Volcanology Department (2008 年度:浅間山火山防災連絡事務所)

^{*}噴火警報のうち,噴火警戒レベル2及び3については,「火口周辺警報」の名称を用いることができる.以下の本文では その名称を用いて記述する.

は, 直前の地震活動について, いくつかの類似点が みられた. これらのことについても報告する.

また,2009年2月1日に発表された火口周辺警報 は、噴火警戒レベル3であり、臨時の報道対応や気 象庁機動調査班 (JMA-MOT)の現地派遣を実施して いる.警報発表前後のこれらの業務対応と,2009年 2月2日の噴火の状況及び写真等を Appendix 2,及 び3に記載した.

2 浅間山の火山監視・観測項目

浅間山の火山活動を常時監視するために,気象庁 は火山性地震や微動,地殻変動,噴煙や二酸化硫黄 放出量の観測を実施している.火山性地震や微動に ついては,発生日時,振幅等を検測するとともに, その発生数を計数し,火山性地震については震源を 決定している(P,S相が明瞭で震源決定できるもの に限る).地殻変動については,傾斜計やGNSS,光 波測距により地盤の傾きや伸縮を監視している.

浅間山の山頂火口からは, 平常時も噴煙がみられ



Fig. 1 Location of observation sites on Asama Volcano. Black circles (●) indicate seismic and tilt observation sites (A, D, F).
White circles (○) indicate seismic observation sites (B, C, E, G, ASMO).
Closed rectangles (■) indicate GNSS observation site (TMK, AOOD). Infrasonic waves are also observed at D and ASMO.

ることがあり, 噴煙の高さ, 量, 色等を遠望カメラ により観測し, また, 二酸化硫黄(山頂火口から放 出される二酸化硫黄)の放出量を軽井沢測候所(2008 年4月以降は, 浅間山火山防災連絡事務所)が観測 している.

これらの観測項目については,二酸化硫黄を除き, 各観測データが東京にある気象庁本庁の火山監視・ 情報センター(以下,東京火山監視・情報センター という)にテレメータされ,24時間体制で監視され ている.このデータをもとに,浅間山の火山活動の 状況が監視・評価され,噴火**が発生しその影響が 火口の外に及ぶことが予想される場合には噴火警報 が発表される.

地震,地殻変動の観測項目について,常設の観測 機器設置場所を Fig. 1 に示す.二酸化硫黄放出量の 測定は,山麓の道路沿いで実施されている.これら の観測のほか,陸上自衛隊や長野県等の協力を得て, ヘリコプターに気象庁職員が搭乗し,上空から山頂 火口の状況や火口底の温度の観測が年数回実施され ている.

3 2004年の噴火活動以降, 2008年までの観測結果

浅間山では 2008 年 8 月,2009 年 2 月に噴火が発 生したが,2008 年 8 月以前の直近の噴火活動は,2004 年 9~12 月であった.ここでは,2004 年 9~12 月の 噴火活動以降,2008 年までの観測結果の概要につい て述べる.

2004年の噴火活動の後,火山活動は徐々に低下していたが,2008年6月以降,地震回数の増加,GNSS 観測で基線長変化のトレンドが変わるなど,観測デ ータに変化がみられた.

3.1 地震活動

3.1.1 火山性地震の型別計数

浅間山で発生する火山性地震について、気象庁で は地震波形の P 相、S 相の明瞭さや卓越周期の違い によって、型別に分類し、発生回数を計数している. 浅間山の地震回数は、基準とする地震観測点(B 点: 若尊)で記録された地震波形で、P 相と S 相の到達 時間差が一定値以下、最大振幅が一定値以上のもの を計数している.主な型として、A 型、BH 型、BL 型がある.A型は P 相、S 相ともに明瞭であり、振 動の卓越周期が短周期(概ね 0.1 秒より短い)の地

^{**} 噴火の影響が火口内にとどまる程度のごく小規模な噴火は警報発表の対象とはしていない.

震である. BH 型と BL 型は総称して B 型とも呼ば れ,ともに S 相が不明瞭で,波形の外周(エンベロ ープ)が全体的に紡錘形のものである. BH 型と BL 型の違いは振動の周期であり,周期が比較的短いも の(概ね 0.3 秒以下)を BH 型,比較的長いもの(概 ね 0.3 秒以上)を BL 型に分類している.浅間山に おけるこのような地震の型別の分類は,東京火山監 視・情報センターが発足した 2002 年から実施してい る.

A型地震は、火山体やその周辺の応力場の変化に よる断層運動によって生じると考えられている. B 型地震は、マグマや熱水などの流体が主体的に絡ん で発生していると考えられている(下鶴他,2008). 地震回数の増加は火山活動の活発化と関連があると 考えられるが、1982年の噴火のように地震回数の増 加がなくても噴火が発生した事例もある.

2004 年 1 月から 2009 年 2 月までの火山性地震や 微動, GNSS, 噴煙等の推移を Fig. 2 に示す.

3.1.2 A型地震の発生状況 (Fig. 2-(a))

浅間山の A 型地震の発生頻度は, BH, BL 型の地 震と比べ相対的に少なく, 2004 年 9~12 月の噴火活 動期においても日回数 2 回以下であった. 2004 年 12 月以降, 2009 年 2 月の噴火発生前まで, A 型地震は 日回数が概ね 5 回以下で少ない状態であった. ただ し, 2006 年 6 月 18 日に一時的に増加し, 日回数が 17 回となった. 6 月 18 日の震源は, 浅間山山頂の南 西約 1~2km, 深さは海抜下 1km であった. この地 震活動の前後で, 噴火の発生はなく, 噴煙の状況に 特に変化はなかった. また, 傾斜変化も観測されな かった.

2008 年 11 月 5 日には振幅の大きな A 型地震が発 生し,浅間山南西中腹(山頂から約 2.3km の火山館) で有感となった.この地震の発生前後で火山活動に 顕著な変化はなかった.

3.1.3 BH 型地震の発生状況(Fig. 2-(b))

BH型地震は,2004年9~12月の噴火活動期には, 日回数が50回を超えることもあり,多い状態であっ た.しかし,2004年12月以降は,地震回数は次第 に減少し,2006年以降,2008年中頃までは日回数が 10回程度以下と少ない状態であった.2008年後半か らはやや増加し,日回数は10~20回であった.

3.1.4 BL 型地震の発生状況 (Fig. 2-(c))

BL型地震は,2004年9~12月の噴火活動期には, 日回数が100回を超えることもあり,多い状態であった.2005年以降は,増減はあるものの徐々に減少し,2006年中頃から日回数が10回程度と少ない状態となった.しかし2008年6月下旬頃から増加し, 日回数が150回を超える日があるなど,2004年9~ 12月の噴火活動期の回数を上回るようになった.

3.1.5 微動の発生状況 (Fig. 2-(d))

微動は、2004年9~12月の噴火活動期には、日回数15回程度で、振幅は、約0.5~1mkine(=10⁻⁵m/s)であった.2005年末には日回数5~10回と減少し、振幅もやや小さくなった。2006年以降、日回数は概ね5回以下で、振幅は0.5mkine以下であった。その後、2008年6月下旬頃から回数が増え始め、日回数5回以上となり、2008年8月、10月、11月には1mkineを超えるやや大きめのものが発生した(振幅はいずれもB点の上下動成分).

3.2 地殻変動(Fig. 2-(e))

気象庁,国土地理院等は浅間山周辺でGNSSにより地殻変動観測を実施している.浅間山北西の国土 地理院のGNSS観測基線(嬬恋一東部)では,2004 年9月の噴火に先行し,同年7月頃から伸びの変化 が観測された.この変化は,浅間山北西の地下でマ グマが貫入したことによると推定されている(村上, 2005).ここでは,国土地理院の観測基線と同じく, 浅間山の北西にある気象庁のGNSS観測基線「篙峰 (TMK) 一艱神(AOOD)」の変化について述べる.

「高峰一鬼押」の基線長は、国土地理院の「嬬恋 一東部」の基線長と同様、2004 年 9 月の噴火の前、 7 月頃から伸びの変化がみえはじめ、9~11 月の噴火 活動中も伸びの傾向が続いた.しかし、2005 年には 伸びの変化はほぼ停滞し、2006 年以降は縮みの変化 に変わり、2008 年中頃まで縮みの傾向が続いた.そ の後、2008 年 7 月頃から再び伸びの傾向となった.

また,気象研究所と気象庁は,浅間山山頂と軽井 沢測候所(火口の南約8km)の間の距離を光波測距 儀によって観測している.2004年9~12月の噴火活 動期においては,山体膨張に伴うとみられる縮みが 観測されたが,2005年以降2008年中頃までは,伸 びの傾向であった.その後,2008年9月頃から縮み となった(高木他, 2010).

傾斜計による観測では、2004年12月以降、2009年2月の噴火発生前まで、2005年2月のF点で山頂 隆起の変化以外、火山活動に関係するとみられる変 化は観測されなかった.





- (b) BH-type earthquakes
- (c) BL-type earthquakes
- (d) Tremors



- (TMK-AOOD: Takamine-Onioshi) (f) Daily amount of SO₂ gas emissions
- (g) Volcanic plume height from Jan. 2004 to Feb.
- 2009. The bars at the top of each panel indicate eruptions.

3.3 二酸化硫黄放出量と噴煙 (Fig. 2-(f), (g))

平常時の浅間山の1日あたりの二酸化硫黄放出量 は、300 トン程度以下であるが、噴火活動の始まっ た2004年9月以降は1000~4000トンと多い状態で あった.2005年以降は減少傾向となり、2006年後半 には500トン以下となり、平常時と同程度の量にな った.しかし、2008年8月のごく小規模な噴火以降 増加し、1000~3000トンとなった.

噴煙の高さ (火口縁からの高さ) は 2004 年 9~12 月の噴火活動期は 1,000m 以上となることがあった が, 2005 年以降徐々に低下し, 2007 年以降 200~ 300m 以下となった.

3.4 2008 年 8 月 8 日の火口周辺警報 (噴火警戒レベル 2) 発表判断経緯

浅間山の火口周辺警報(噴火警戒レベル 2)の発 表については、地震回数,噴煙量,二酸化硫黄放出 量に関して,警報発表を判断するための数値基準が 設けられている.その他の観測項目については警報 発表に関する数値的な基準はなく,総合的に判断す ることとなっている.ここでは,数値的な基準の設 けられている地震回数,噴煙量,二酸化硫黄放出量 を中心に2008年8月8日の火口周辺警報発表に至る までの経緯を述べる.

地震回数,噴煙量,二酸化硫黄放出量について, 噴火警戒レベル1から2に引き上げる場合の数値的 な基準は以下のとおりである.

- ①すべての型の地震について、日回数の30日間 移動平均が30回以上
- ②噴煙量階級***の30日間移動平均が1.5以上
- ③二酸化硫黄放出量が1日あたり500トン以上で、 7日以上経過後も1日あたり500トン以上の 状態が続いている

2004年1月から2009年2月までの,A型,BH型, BL型地震日回数を合計した地震(浅間山では,A, BH,BL型以外の地震は極めて少なく,この3種類 の地震でほぼすべての地震とみなせる)の日回数及 び,噴煙量階級の30日間移動平均をFig.3に示す. また,2008年1月から2009年2月までの地震日回 数,噴煙量階級の30日間移動平均をFig.4に示す. 噴煙量階級は,噴火のない平常時は9時,15時に観 測した値の大きいほうとするが,噴火などで,9時, 15時以外に顕著な噴煙が観測されればその時の噴 煙量階級とする.

地震日回数の 30 日間移動平均は,2004 年の噴火 活動以降,低下傾向が続き,2006 年 6 月下旬以降は, 30 回以下となった.しかし,2008 年 7 月末以降,増 加傾向となった.

2008 年 8 月 6 日以降 BL 型地震が増加し, 8 月 7 日の日回数は 100 回を上回り, 30 日間移動平均は 34 回で,噴火警戒レベル 2 の発表基準である 30 回を上 回った.

噴煙量階級の 30 日間移動平均は,2004 年 9~12 月の噴火活動後,低下傾向が続き,2006 年後半から は,1.5 を下回った.2008 年 7 月以降,上昇傾向と なったが,噴火警戒レベル 2 の発表基準である 1.5









Fig. 4

(a) 30 days average for earthquakes (A, BH, BL types)(b) Amount of volcanic plume from Jan. 2008 to Feb. 2009. Bars indicate eruptions.

を上回るのは 2008 年 12 月からであった.ただし, 悪天時には噴煙量の観測はできないので,悪天の多 い梅雨期や夏季は噴煙量の変化を的確に表現できな

^{***} 噴煙量階級とは,噴煙量の見かけの垂直断面積から一定の式で計算したもの. 1:極めて少量, 2:少量, 3:中量, 4:やや多 量, 5:多量, 6:きわめて多量(詳細は火山報告(たとえば 2007)の利用の手引きを参照)

い恐れがある.たとえば,2008年7月は悪天が多く, 1か月のうち21日間は噴煙量の観測ができなかった.

二酸化硫黄放出量については,2008年7月に観測 が実施され,1日あたりの放出量は200トン以下で, 警報発表基準以下であった.その後,火口周辺警報 発表までの期間,観測は実施されていないので,二 酸化硫黄放出量については8月8日の警報発表の判 断の要素にはなっていない.

警報発表の数値的な基準の定められていない観測 項目の現象では、8月6日夜から火口内の高温域が 拡大していることを伺わせる映像がとらえられた

(東京大学地震研究所が火口東縁に設置した火口カ メラによる).また,翌日の8月7日には噴煙量の増 加が観測された.

こうしたことから、小規模な噴火(火口周辺に影響の及ぶ程度の噴火)の発生が予想されると判断し、 8月8日15時に火口周辺警報を発表し、噴火警戒レベルを1から2に引き上げ、火口から2km以内の立入規制を呼びかけた.

火口周辺警報発表翌日の,8月9日夜には,軽井 沢測候所の高感度カメラで微弱な火映が観測された. 高感度カメラで火映が観測されたのは,2006年5月 30日以来約2年2か月ぶりのことであった.そして, 8月10日2時37分頃には,ごく小規模の噴火が発 生した.ごく小規模の噴火は,8月11日,14日にも 発生し,噴火時の有色噴煙の高さは火口縁上200~ 400m であった.これらのごく小規模の噴火で,噴 石や降灰は観測されなかった.2008年8月の計3回 の噴火発生の前後で傾斜変化は観測されなかった.

4 2009 年 1 月以降, 2 月 2 日の噴火発生直前まで の火山活動

4.1 2009年1月の噴煙活動(山麓からの観測)

軽井沢測候所では、2002年3月1日までは、目視 や双眼鏡による噴煙の遠望観測を実施した.全国の 火山監視・情報センターが業務を開始した2002年3 月1日以降は、東京火山監視・情報センターが遠望 カメラで噴煙の観測を実施し、2008年4月に浅間山 など全国に4つの火山防災連絡事務所が設置された 以降は、軽井沢測候所に代わり浅間山火山防災連絡 事務所が随時、噴煙の状況を観察していた.

2009年1月8日に山麓にある軽井沢測候所庁舎か ら双眼鏡で浅間山山頂付近を観測したところ,火口 縁の南側に硫黄の昇華物と思われる淡い黄色の付着 物がみられた.遠望観測による山頂付近の観察記録 が残されている 1973 年 2 月以降では,山麓からの観 測で山頂付近に黄色い付着物がみえたことはない. 黄色の硫黄昇華物が山麓からみえるのは,冬季で積 雪があるときに限られるが,過去には事例がない. 同日の噴煙量は「中量」(噴煙量階級 3)で,「中量」 を観測したのは,2006 年 3 月以来,2 年 10 か月ぶり のことであった.また,1 月には「硫黄臭がする」 という住民からの通報が,火山防災連絡事務所に寄 せられることが多くなった.1月 7~8 日には,「噴 煙が多い」「噴火したのか?」という問い合わせが多 くあった.

2009年1月15日に実施した二酸化硫黄観測では, 二酸化硫黄放出量は1日あたり5000トンで,2002 年7月の観測開始以来最大値となった.翌1月16 日に実施したヘリコプターによる上空からの観測で, 火口内やその周辺に噴出物はみられないものの,火 口内壁や火口縁の外側で淡い黄色の昇華物がみられ た.また,1月21日には,山頂の北側山麓からの双 眼鏡による観測で,山頂火口の北西側にごく少量の 火山灰とみられる付着物が確認された.

4.2 2009年2月の噴火直前の傾斜変化とBH型地震増加

2009年2月1日2時頃からF点(鬼押上)の傾斜 変化が始まり、観測点からみて西側が隆起(山頂方 向隆起)する変化であった.A点(血の滝),D点(藤 原上)の傾斜計でもわずかに西側が隆起(いずれも 山頂方向隆起)する変化がみられたが、ここでは、 変化が明瞭なF点の観測データについて述べる.

2009 年 1 月 31 日から 2 月 2 日 12 時までの F 点の 傾斜計の記録と BH 型地震の時間別回数を Fig. 5(a), (b)に示す. 図中の逆三角 (▼) は,傾斜変化の始ま りを示している. 2 月 1 日 2 時頃に始まった傾斜変 化 (東西成分)の大きさは, 12 時頃までに, 0.11 µ rad (マイクロラジアン)となった.

また,同日(2月1日)7時過ぎからBH型地震が 増加し,1時間あたりの発生数が5~11回となり, BH型地震の多い状態は3時間経過しても続いた(平 常時のBH型地震回数は1時間あたり0~1回).BH 型地震回数が1時間あたり10回程度の状態が3時間 以上継続するのは,2004年9月1日の噴火直前以来



Fig. 5 Tilt changes and hourly number of earthquakes preceding eruption

Reverse triangles indicate the beginning of tilt changes. Arrows indicate eruptions.

- (a) Tilt changes from Jan. 31 to Feb. 2, 2009
- (b) Hourly number of BH-type earthquakes
- (c) Tilt changes from Nov. 13 to Nov. 15, 2004
- (d) Hourly number of BH-type earthquakes

のことであった. BH 型地震の回数は,2月1日11 時頃には,12時間の積算で50回を上回り,2月1 日2時から噴火前までに積算回数は184回に達した.

傾斜変化とほぼ同時に BH 型地震が増加する現象 は、2004年9月1日、23日、29日、11月14日の噴 火発生前にも観測された(中禮・瀉山、2006、舟崎 他、2006). これらの傾斜変化量、BH型地震の回数 等を Table 1 に示す.

2009年2月2日の噴火前の傾斜変化量や変化の継 続時間, BH型地震の増加の傾向は, 2004年9月1 日, 2004年11月14日の噴火前と同程度であった. 2004年11月14日の噴火前のF点傾斜計記録とBH 型地震時間別回数をFig.5(c), (d)に示す(2004年9 月1日の噴火でも傾斜変化, BH型地震の増加は同 様にみられるが,傾斜変化については,台風接近に よる気象の影響が重複しているため,ここでは,2004 年11月14日の噴火時の記録と比較している).

Table 1 Tilt^{****} changes, duration time, number of BH-type earthquakes preceding the eruption, and amplitude of air shock

噴火発生 日付	傾斜 変化量 (μ rad)	傾斜変化継続時間(時)	BH 型 地震の 総回数	噴火時の 空振振幅 (Pa)
2004/9/1	0.10	29	237	205
2004/9/23	0.03	3.5	14	72
2004/9/29	0.08	14.5	62	29
2004/11/14	0.11	27	144	73
2009/2/2	0.11	24	184	7

4.3 2009 年 2 月 1 日の火口周辺警報(噴火警戒レベル 3)発表の判断経緯

3.4 節で述べたが,浅間山では 2008 年 8 月 8 日に 火口周辺警報(噴火警戒レベル 2)が発表され,8 月 10 日,11 日,14 日にごく小規模の噴火が発生し, その後も噴火警戒レベル2 が 2009 年 1 月まで継続し ていた.

2009 年 2 月 1 日に傾斜変化, BH 型地震の増加が 観測されたが,当時の噴火警戒レベルはレベル 2 で, 火口から 2km 以内はすでに立入規制がされていた ため,警報発表について検討すべきことは,レベル 3 以上の,影響範囲が 2km を超える噴火が予想され るかどうか,であった.

^{****} 傾斜変化は F 点(鬼押上)の東西成分.継続時間は傾斜変化が始まってから,噴火までの時間.単位は時間.BH 型地 震総数は,地震回数増加が始まってから噴火発生までの総数.空振振幅は噴火時の軽井沢測候所(ASMO 点)の空振の 大きさ.

噴火警戒レベルをレベル2からレベル3に引き上 げる場合の警報発表基準は、山体浅部の膨張を示す 急激な傾斜変化が観測され、ほぼ同時にBH型地震 が急増することであった.傾斜変化が不明な場合は、 地震回数が12時間で200回以上(BH型地震に限る と、回数は12時間で50回以上)であった.

2009年2月1日の火口周辺警報(噴火警戒レベル 3)は、次の3つの観点から中規模の噴火発生を予想 したものであり、2月1日13時0分に発表された.



Fig. 6 Number of BH-type earthquakes at 12-hour intervals from Jan. 2003 to Feb. 2009 The bars at the top of each panel indicate eruptions.

- 2004 年の噴火発生前の傾斜変化と似た、山体浅 部の膨張とみられる傾斜変化が観測され、傾斜変 化とほぼ同時に BH 型地震の増加が観測された。
- ② BH型地震の回数が12時間の積算で50回を超え、 噴火警戒レベル3の発表基準を上回った。
- ③ 2008年12月以降, 噴煙活動が活発化していた.

警報発表の翌日2月2日1時51分に噴火が発生した.中規模の噴火を予想していたが,実際に発生した噴火での噴石の飛散距離は火口から約1kmで,規模としては小規模な噴火であった.

火口周辺警報(噴火警戒レベル3)の発表基準の ひとつである BH型地震の12時間積算回数を Fig. 6 に示す.2009年2月1日にみられた BH型地震の増 加は,12時間の積算で50回以上となるもので,こ れほど多い状態は,2004年9月と11月の噴火前と, 2005年2月の事例(噴火なし)しかない.

また,傾斜変化と同期した BH 型地震の増加が発 生したことも,2004年9月~11月の噴火前と,2005 年2月の事例しかない.

4.4 2009年2月2日噴火直前の地震活動と2004年9月1日噴火直前の地震活動の比較

噴火直前,あるいは一連の噴火活動の最初の噴火 前に警報を発表することは,事前に火口周辺の立入 規制や入山規制を実施することにつながり,防災上 重要であることはいうまでもない.地震の発生状況 (回数や振幅)は即時的に把握できるデータであり, 警報発表の重要な判断材料となる.そこで,噴火発 生前にみられた地震の発生状況についてやや詳しく 述べる.

2009年2月2日,及び2004年9月1日の噴火前 に発生したBH型地震の12時間回数積算,最大振幅 積算をFig.7に,最大振幅時系列をFig.8に示す(最 大振幅はB点の上下動成分).Fig.7では,2009年と 2004年の噴火前後の時系列データを同一の図にプ ロットしており,横軸の時間軸は,噴火発生時刻を 同じ位置にそろえた.

2009年2月2日,及び2004年9月1日の噴火前 の地震活動はどちらも,BH型地震の12時間回数積 算のピークは百数十回であり,回数積算がピークに 達した後,数~十数時間後に噴火が発生した(Fig. 7(a)). また, BH 型地震の最大振幅積算が,約
150mkineに達した後,噴火が発生した(Fig. 7(b)).
発生した BH 型地震の最大振幅はほとんど 4mkine
以下で,8mkine 程度のものが数個であり,2009 年 2
月の場合は 21.7mkine の地震が1 個発生した(発生
日時は2月1日20時58分,Fig.8(b)の※).

BH 型地震の最大振幅の周期について,噴火発生の1か月前からの時系列のグラフを Fig. 9に示す. BH 型地震は最大振幅の周期が概ね 0.3 秒以下のものであるが,噴火発生の直前には,0.2 秒以下の,より短周期の地震が発生した.このことは,2009年2月と2004年9月の噴火で共通してみられる.ただし,細かくみると,2004年9月の噴火では,8月中旬頃から周期 0.2 秒以下の地震が目立ち始めている(Fig. 9 で影をつけた部分).

このように,2009年2月2日の噴火前の地震の発 生状況と,2004年9月1日の噴火前の地震の発生状 況はかなり似ていたといえる.



Fig. 7

- (a) Accumulated number of BH-type earthquakes at 12-hour intervals
- (b) Accumulated amplitude of BH-type earthquakes occurred before the eruption.Thick line : Feb. 2009, Thin line : Sep. 2004

Arrows indicate eruptions.

2004 年 9 月 1 日の噴火は,噴火発生時,山頂が雲 に覆われていたため,噴出の詳細な推移はわかって いないが,爆発音や振幅の大きな空振(軽井沢測候 所で 205Pa)を伴う爆発的なものであった.これに



- Fig. 9 Time series of BH-type period (maximum amplitude)
 - (a) From Aug. 1 to Sep. 5, 2004
 - (b) From Jan. 1 to Feb. 5, 2009

Arrows indicate eruptions. The hatted area indicates earthquakes having a period shorter than 0.2 seconds.

対し、2009年2月2日の噴火は、緩やかな噴出から 始まって「次第に勢いが強くなっていく」様式であ り(軽井沢測候所で空振 7Pa), 2 つの噴火の様式に は相違点があった. 噴火前にみられる BH 型地震の 発生回数や振幅積算,傾斜変化量は同程度であった が, 噴火の様式は, 似てはいなかった.

5 過去の噴火前の短周期の地震(BH型地震)増加 傓

浅間山では気象庁が火山の常時監視業務として地 震観測を開始した 1960 年代以降,小・中規模の噴火 がたびたび発生している.

2002 年以前は、気象庁では地震を型別に分類した 計数は行われておらず、記録として残されている地 震の回数は、現在の分類でいえば、A型、BH型、 BL 型をすべて合計したものである. したがって, 2002年以前に発生した噴火については、噴火直前に BH 型地震がどの程度発生したか、気象庁の地震回 数データ(通常業務としての記録された観測結果) からはわからない.しかし、これまでの大学による 研究や気象庁の調査によると、噴火の前に短周期の 地震が増加した事例が知られている(Table 2).

深井(1974)によると、1961年8月18日の噴火 の2日前から周期0.4秒以下の地震が増加した.

下鶴他(1975)は、1973年2月1日の噴火前にB 型の地震が頻発し、このB型の地震は静穏期のもの より短周期の波動が卓越している、と述べている.

また、東京大学地震研究所浅間火山観測所(1983) によると, 1983年4月8日の噴火の7日前から周期 の短い B 型地震が出現し始めた.

Table 2 Examples of shot-period earthquake activities occurring before mid-scale eruptions in 1961, 1973, and 1983

噴火発生	噴火前の短周期の地震発生	出典
日付	状況	
1961/8/18	噴火2日前から周期0.4秒以	深井(1974)
	下の地震増加	
1973/2/1	B型(静穏期より短周期)が	下鶴他(1975)
	頻発	
1983/4/8	7日前から周期の短いB型出	浅間火山観測所
	現	(1983)

これらの「周期の短い B 型地震」は、気象庁の現 在の分類では BH 型地震に相当するものであろう.

浅間山で,中規模程度の噴火の発生直前に短周期 の地震(BH型地震)が発生することは、2004年と 2009年の噴火以前にも、過去に何度か繰り返されて いたと考えられる. 今後も浅間山の噴火のメカニズ ムが大きく変わらなければ、中規模程度の噴火発生 前に短周期の地震(BH 型地震)が増加する可能性 が高いであろう.

浅間山においては、BH 型地震の増加が噴火につ ながる事例が過去に繰り返されており, BH 型地震 の回数(増加)は噴火警報発表基準のひとつになっ ている.火山性地震を型別に分類して計数すること は,浅間山の噴火を予想するためにはきわめて重要 といえる.

噴火発生の数か月前からの火山活動をみると, 2009年2月の噴火の半年ほど前から、地震、地殻変 動,二酸化硫黄などの観測データに変化がみられた. これらの変化を模式的に Fig. 10 に示す.



噴火までにみられる主な現象

Fig. 10 Schematic flow of volcanic phenomena prior to a mid-scale eruption

これらの現象は、浅間山の地下深部へのマグマの 貫入,上昇によって生じていると考え,Fig.10の下 には,推定されるマグマの状況を記した.

Fig. 10は, 2008~2009年の観測データに基づき作 成したが、2004年9月1日の噴火前についても、A 型地震(振幅大)の発生, GNSS 観測による地殻変 動の変化,BH 型地震の増加など同様の現象が観測 されている.

こうした各種観測データを注意深く監視しながら, 噴火の発生を予想し,噴火警報を発表,噴火警戒レ ベルを上げることになる.2009年2月の場合は,傾 斜変化とほぼ同時に BH 型地震が増加したことが, 火口周辺警報(噴火警戒レベル3)発表判断の決め 手となった.

6 おわりに

2004 年と 2009 年の噴火前には数か月前から, い くつかの観測項目で変化がみられており, こうした 特徴を十分に理解し, 注意深く監視を行うことが重 要であろう.また,防災対応としては, 地元自治体 等の防災担当者と観測データの状況について認識を 共有し,噴火警戒レベルの引き上げと同時に, 道路 規制などの防災対応が混乱なく迅速に実施できるよ う,防災関係者間の意志疎通を密にしておくことも 重要であると考えられる.こうした地元自治体等の 防災担当者との認識共有・意思疎通は, 地元気象台 や火山防災連絡事務所の重要な任務のひとつである.

謝辞

匿名の査読者の意見によって、本稿は大きく改善 されました.また、験震時報編集委員会各位には、 原稿の改善のため指摘をいただきました.記して感 謝いたします.

文献

- 気象庁地震火山部 (2008): 浅間山火山活動解説資料 2008 年 8 月.
- 気象庁地震火山部 (2009): 浅間山火山活動解説資料 2009 年 2 月.
- 下鶴大輔・内堀貞雄・行田紀也・小山悦郎・宮崎 務・松本 時子・長田 昇・寺尾弘子 (1975): 1973 年の浅間山噴 火活動について, 地震研究所彙報, 50, 115-151.
- 下鶴大輔・荒牧重雄・井田喜明・中田節也 (2008): 火山の 事典,第2版,朝倉書店, 279pp.
- 高木朗充・福井敬一・新堀敏基・飯島 聖 (2010): 光波 測距の数値気象モデルに基づく大気補正 – 浅間山へ の適用-,火山, 55, 41-51.
- 中禮正明・瀉山弘明 (2006): 2004 年浅間山火山活動に伴う傾斜変動について,火山, 51, 91-101.
- 東京大学地震研究所浅間火山観測所 (1983): 1983 年 4
- 月8日浅間山噴火に伴う地震発生状況,火山噴火予知

連絡会会報, 28, 19-22.

深井啓一 (1974): 地震波からみた噴火予知について(第2報),東京管区地方気象研究会会誌,7,137-138.

- 舟崎 淳・内藤宏人・菅野智之・宮下 誠・近澤 心・上田 義浩・飯島 聖 (2006): 2004 年の浅間山噴火前の地震 活動と噴火前に観測された傾斜変化,火山, 51, 125-133.
- 村上 亮 (2005): GPS 連続観測結果が示唆する浅間火 山のマグマ供給系,火山, **50**, 347-361.

(編集担当 菅野智之・坂井孝行)

Appendix 1 浅間山の噴火警戒レベル表

平成19年12月1日運用開始·平成22年12月22日改正

	-			
予報 警報	レベル (キー ワード)	火山活動の状況	住民等の行動及び登山者・ 入山者等への対応	想定される現象等
噴火警報(※)	5 (避難)	居住地域に重大な被害 を及ぼす噴火が発生、 あるいは切迫している 状態にある。	危険な居住地域からの避 難等が必要。	 天仁天明クラスの噴火発生、火砕流等が居住地域に到達 【天明噴火(1783年)の事例】 8月4日~5日:吾妻火砕流、鎌原岩屑なだれ、吾妻泥流、 鬼押出溶岩流等が発生 中噴火が頻発し、天仁天明クラスの噴火が切迫している 【天明噴火(1783年)の事例】 8月1日~3日:軽石噴火の発生間隔が短くなり、継続時間が長くなる 積雪期に中噴火に伴う火砕流が発生し、融雪型火山泥流が 居住地域に到達、または到達すると考えられる。 【過去事例】観測事例なし
	4(避難準備)	居住地域に重大な被害 を及ぼす噴火が発生す ると予想される(可能性 が高まっている)。	警戒が必要な居住地域で の避難準備、災害時要援 護者の避難等が必要。	 ●中噴火が断続的に発生し、天仁天明クラスの噴火の発生が予想される 【天明噴火(1783年)の事例】 7月26日~31日:中噴火が断続的に発生 ●噴火継続中の有感地震発生や顕著な地殻変動等に より、天仁天明クラスの噴火の発生が予想される 【過去事例】:観測事例なし ●積雪期に中噴火が発生し、居住地域に影響する 融雪型火山泥流の原因になる火砕流が発生した 可能性がある
火口周辺警報	3(入山規制)	居住地域の近くまで重 大な影響を及ぼす(この 範囲に入った場合には 生命に危険が及ぶ)噴 火が発生、あるいは発 生すると予想される。	住民は通常の生活。状況に 応じて災害時要援護者の 避難準備。 登山禁止・入山規制等危険 な地域への立入規制等。	 山頂火口から中噴火が発生し、4km以内に噴石や火砕流が到達 【2004年噴火の事例】 9月1日:噴石が山頂火口から約2.7kmまで飛散 【その他の事例】 1973年2月1日:噴石が山頂火口から約2kmまで飛散、火砕流が約1.5kmまで到達 1958年11月10日:噴石が山頂火口から約3kmまで飛散、火砕流が約3kmまで到達 中噴火が切迫している 【過去事例】 2004年8月31日:山体浅部の膨張を示す傾斜変動と火山性地震急増1973年2月1日:地震急増
	2(火口周辺規制)	火口周辺に影響を及ぼ す(この範囲に入った場 合には生命に危険が及 ぶ)噴火が発生、あるい は発生すると予想され る。	住民は通常の生活。 火ロ周辺への立入規制 等。	 山頂火口から小噴火が発生し、2km以内に噴石や火砕流が到達 (1982年噴火の事例】 4月26日:噴石が山頂火口から約1kmに飛散、火砕流が約1kmまで到達 小噴火の発生が予想される (2004年噴火の事例】 7月下旬:噴煙量増加、火山性地震増加
噴火予報	1 (平常)	火山活動は静穏。 火山活動の状況によっ て、火口内で火山灰の噴 出等が見られる(この範 囲に入った場合には生命 に危険が及ぶ)。	状況に応じて火口内への立 入規制等	●火山活動は静穏、状況により山頂火口から500m以内に影響する程度の 噴出の可能性あり 2007年12月現在の状態

(※)2013年8月30日より、噴火警報(レベル4,5)は、特別警報に位置付けられた。

Appendix 2 2009 年 2 月 1 日の火口周辺警報の発表 前後の業務対応

東京火山監視・情報センターでは、2月1日2時 頃から始まった傾斜変化を監視担当者(現業当番者) が検知した.同日7時過ぎにはBH型地震が増加し 始め、8時40分に火山課職員へ緊急の連絡を開始し た(当日は日曜日).

9時30分には、火山課の一部職員が緊急参集して、 観測データの精査・火山活動評価及び噴火警戒レベ ルの引き上げについて検討を開始した.12時には火 ロ周辺警報(噴火警戒レベル3、入山規制)の発表 を決定し、その後速やかに関係市町村に警報発表の 事前連絡を行い、傾斜変化が始まってから7時間後 の13時に火口周辺警報を発表し、噴火警戒レベルを レベル2からレベル3に引き上げた.

以下に,2月1~2日の主な業務対応を時系列で示 す.

2月1日(日曜日)

- 2時頃:傾斜変化が始まる
- 6時頃:監視担当者が傾斜記録の変化を異常と判断
- 7時台:BH型地震回数が増加(1時間11回) 以降1時間あたり10回前後発生
- 8時40分:監視担当者が火山課職員に電話連絡
- 9時30分:火山課の一部職員が登庁
- 10時20分:緊急時参集連絡体制による火山課職 員の参集開始
- 11 時頃~: 観測データの精査及び噴火警戒レベル の引き上げについて検討を開始
- 12時0分:火口周辺警報(噴火警戒レベル3)発 表を決定
- 12時30分~:関係市町村に警報発表の事前連絡

13時0分:火口周辺警報を発表

(見出し文) <浅間山に火口周辺警報(噴火警戒レベル3,入山規制) を発表> 火口から4キロメートルの範囲に影響を及ぼす噴火が切 迫していると予想. <噴火警戒レベルを2(火口周辺規制)から3(入山規制) に引上げ>

(本文)

1. 活動の状況及び予報警報事項

浅間山では、1月にはいって火山性地震のやや多い状態 がつづいていましたが、本日07時頃から山頂直下が震源 とみられる周期の短い地震が多くなり、地震回数は更に増 加しています.また、傾斜計の観測では02時頃からわず かな山上がりの変化が観測されています.

これらのことから、今後、居住地域の近くまで影響を及 ぼす噴火が切迫していると予想されますので山頂火口か ら4キロメートルの範囲では、噴火に伴う大きな噴石(風 の影響を受けず弾道を描いて飛散する大きさのもの)の飛 散等に警戒が必要です.

2. 対象市町村等
 群馬県:嬬恋村
 長野県:小諸市,御代田町,軽井沢町

3. 防災上の警戒事項等 火口から4キロメートルの範囲では、大きな噴石の飛散等 に警戒 風下側で降灰及び小さな噴石(風の影響を受ける大きさの もの)等に注意

14時30分:本庁で記者会見(火山課長対応)

- 15時25分:気象庁本庁職員1名が業務支援のため、浅間山火山防災連絡事務所に到着
- 15時35分:浅間山火山防災連絡事務所で記者会見(事務所長対応)
- 16時0分:火山の状況に関する解説情報を発表 (地震増加と傾斜変化の状況)
- 17時10分:気象庁機動調査班(JMA-MOT)2名 が浅間山火山防災連絡事務所に到着
- 17時20分:火山活動解説資料を発表 (地震増加と傾斜変化の状況)

2月2日(月曜日)

1時51分:噴火発生

- 2時1分:噴火に関する火山観測報を発表 (噴煙300m記述)
- 2時7分:火山の状況に関する解説情報を発表 (1時51分噴火発生)

- 2時40分:降灰予報を発表(噴煙が2000mに達 したため)
- 2時49分:噴火に関する火山観測報を発表 (噴煙 2000m 記述)
- 3時45分:火山の状況に関する解説情報を発表 (噴火と降灰の状況)
- 6時40分:火山の状況に関する解説情報を発表 (噴火と降灰の状況)
- 9時0分:火山の状況に関する解説情報を発表 (噴火と降灰の状況)
- 9時40分:火山活動解説資料を発表
- 14時45分:火山活動解説資料を発表
- 16時0分:火山の状況に関する解説情報を発表 (噴火後の状況)

Appendix 3 2009 年 2 月 2 日の噴火の状況と地震計 記録等との対応

筆者の一人が退庁後に浅間山の観察を行っており, 浅間山山頂の北北西約 11km の地点から 2 月 2 日の 噴火の状況を写真撮影することができた.(Photos 1 -6).

噴火開始の直前,2月2日1時50分までは,エン ジンをかけたままの車内にいて,また,車の窓も閉 まったままであり,噴火前に前兆に気づくことはな かった.1時50分頃に車外にでたが,肉眼で噴火が 認められたのは,2時1分頃で,噴火は下記の3回 のピークがあった.

- 1回目:2時1分頃
- 2回目:2時2~4分
- 3回目:2時8分前後

上記の3回のピークは、1回目、2回目、3回目と その勢いがしだいに強くなっていった.

一方,軽井沢測候所庁舎(浅間山の南南東約8km) にいた別の筆者の一人は,2時0分頃から連続的で, 明瞭な鳴動を観測した.山頂方向に面した窓ガラス は次第に「ガタガタ」と揺れるようになり,噴火の ピークとなった2時8分頃には弱い体感空振を感じ た.軽井沢測候所周辺では低い雲がかかり,噴火の 状況は目視で観測することはできなかった.

噴火時の地震計及び空振計の振幅記録(1 秒毎の

平均振幅)と噴出状況との対応を Fig. 11, Fig. 12 に 示す. 地震計及び空振計の振幅が最大になる時間帯 は,2時8~9分であり,浅間山の北北西から確認し た噴火の勢いがもっとも強かった時間帯と一致して いる.



Fig. 11 Amplitude of seismograph (Obs. B UD component) from 1:47 to 2:20 on Feb. 2, 2009



Fig. 12 Amplitude of infrasonic wave from 0:44 to 2:20 on Feb. 2, 2009



Photo 1 2009年2月2日1時30分18秒 最初の噴出 露出時間 1835秒 (2時0分53秒:シャッター閉じ) f400mm, F5.6, ISO 400



Photo 2 2月2日2時2分 露出時間15秒 f400mm, F5.6, ISO 1600



Photo 3 2月2日2時6分 露出時間20秒 f250mm, F5.6, ISO 1600



Photo 4 2月2日2時7分 露出時間 19秒 f250mm, F5.6, ISO 1600



Photo 5 2月2日2時8分 噴出がもっとも活発 露出時間15秒 f250mm, F6.5, ISO 1600



Photo 6 2月2日2時20分 噴火終了後の火映 露出時間 181 秒 f150mm, F5.6, ISO 1600



撮影場所: 嬬恋村大笹(火口から北北西約 11km) 撮影機材: Canon EOS Kiss X2, EF100-400mm F4.5-5.6L IS