

2003年十勝沖地震 (M_{JMA} 8.0) 発生直後に樽前火山で起きた高感度カメラで明るく見える現象

寺田暁彦^{1)*}・中川光弘²⁾・大島弘光¹⁾・青山 裕¹⁾・神山裕幸¹⁾

¹⁾ 北海道大学理学研究科附属地震火山研究観測センター

²⁾ 北海道大学理学研究科地球惑星科学専攻

Weak glow at Tarumae volcano, Japan, witnessed by the high-sensitive camera soon after the Tokachi-oki Earthquake in 2003 (M_{JMA} 8.0)

Akihiko Terada^{1)*}, Mitsuhiro Nakagawa²⁾, Hiromitsu Oshima¹⁾, Hiroshi Aoyama¹⁾ and Hiroyuki Kamiyama¹⁾

¹⁾ Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University

²⁾ Division of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, Hokkaido University

Abstract

In this paper, the authors describe remarkable thermo-activities especially at the fumaroles B on the southwestern cliff of the summit dome on Tarumae volcano, which unusually occurred soon after the Tokachi-oki earthquake that took place on Sep. 26 2003 (M_{JMA} 8.0). The unusual thermo-activities include (1) increase in gas flux, (2) weak glow witnessed by the high-sensitive camera in the nighttime with positions moving night by night, and (3) ash ejection of about 24 m³. Since the high-sensitive cameras can detect thermal radiation, the observed glow would be evidence for high-temperature of rock surface. It is considered that the Tokachi-oki earthquake would affect the volcano to eject a large amount of high-temperature gas, which resulted in the weak but unusual glow and ash deposits of the order of 10 m³ in volume.

Key words: Tarumae volcano, Tokachi-oki earthquake in 2003, fumarole, glow, high-sensitive camera

1. はじめに

樽前火山には有史以来多くの噴火記録が残されているほか、山頂部には高温の火山ガスを放出する多数の噴気孔が存在し、国内で最も活動的な火山のひとつと言える(たとえば気象庁, 1991; 札幌管区気象台, 2003)。また、同火山の周囲には観光地や人口密集地、空港などが存在するため、活動の変化が注目されやすい環境にある。

2003年9月以降、樽前火山では、地震活動の活発化に加えて噴気活動に様々な異常が認められた(たとえば気象庁, 2003b)。これら異常現象のひとつひとつは比較的小さな活動であったが、様々な現象が同時に、あるいは

立て続けに発生したことが、今回の異常活動の特徴と言える。樽前火山では以前から活発な熱的活動が知られているが(たとえば札幌管区気象台, 2003)、今回見られた異常活動がいかなるものであったのか、また、それぞれがどのような関係にあったのかを明らかにしておくことは、樽前火山の現状理解や、長期的活動予測を行うために重要である。

さらに、一連の異常活動が2003年9月26日に発生した十勝沖地震(M_{JMA} 8.0)の直後に始まったことも大変興味深い。巨大地震の発生が火山噴火の誘因となったと考えられている例として、たとえば1990年フィリピン

* e-mail: terada@eos.hokudai.ac.jp (〒060-0810 北海道札幌市北10条西8丁目)

地震 (M 7.8) と 1991 年ピナツボ火山噴火 (大倉・安藤, 1994), 1976 年カラパナ地震 (M 7.2) とキラウエア火山噴火 (Tilling *et al.*, 1976) などが知られている. このような大地震と火山活動の関係を理解する上でも, 樽前火山で起きた個々の現象の詳細を把握しておく必要がある.

今回, 最も顕著な異常活動が見られた山頂溶岩ドーム南西噴気孔群 (Fig. 1 (b) B 地点) は, 北海道大学が設置していた高感度カメラにより自動撮影されていた. さらに, 我々は山頂溶岩ドーム付近において現地調査を 2 度実施して噴気孔周囲の様子を詳細に記録したほか, 噴出物の採取を行った. 本研究では, 樽前火山で発生した種々の現象のうち, 特に高感度カメラで得られた映像に注目し, 現地調査結果などを加えて山頂溶岩ドーム南西噴気孔群で何が起きていたのかを検討する. 樽前火山 A 火口の活動に関しては寺田 (2004) に, 地震活動については青山・他 (2004) に詳しい.

なお, 一般に噴気と噴煙は火山灰の有無や規模で分類されるが, 明確な分類基準は存在しない. 本論文では, 噴気と噴煙を区別せずに全て噴気と呼ぶ.

2. 火山活動の経緯

Fig. 1 に, 樽前火山山頂付近に存在する主な火口及び噴気孔群の場所を示す. 山頂溶岩ドーム (以下ではドーム

と呼ぶ) 南東麓に位置する A 火口からは, 1978 年に発生した噴出物量 40,000m³ 規模の噴火など, たびたび小規模な噴火が発生してきた (たとえば勝井・他, 1979).

樽前火山では, 1981 年 2 月の小噴火を最後に表面的活動は低調な状態が続いていたが (気象庁, 1991), 1990 年代後半から熱的な活動が活発化し始めた. たとえば A 火口では, それまでの温度 200°C 前後から 1999 年には 600°C を越える値が観測されるようになった. 続いて, 2001 年頃からドーム南西噴気孔群 (以後 B 噴気孔群と呼ぶ) の温度も上昇し始めた. 2002 年 4 月に B 噴気孔群が高感度カメラで明るく見える現象が初めて観測され, 直後に実施された現地調査で, 同噴気孔群周辺に砂状噴出物や硫黄の飛散, 流出跡が観察された. この付近の最高温度が 300°C 以下であったことなどから札幌管区気象台 (2003) は, 一時的に火山ガス噴出率が高まったことにより硫黄が燃焼し, 高感度カメラにより明るく映し出されたと解釈した. 同様の現象は 2003 年 7 月 6 日にも観測されたが, 2002 年と比較してごく小規模であった (気象庁, 2003 a).

Table. 1 に, 2003 年 9 月以降に樽前火山で起きた異常活動の時系列を示す. まず, 9 月 26 日 06 時 49 分頃から風不死岳南方やドーム直下の深さ数 km 付近で群発地震が発生した (青山・他, 2004). 特にドーム直下の群発

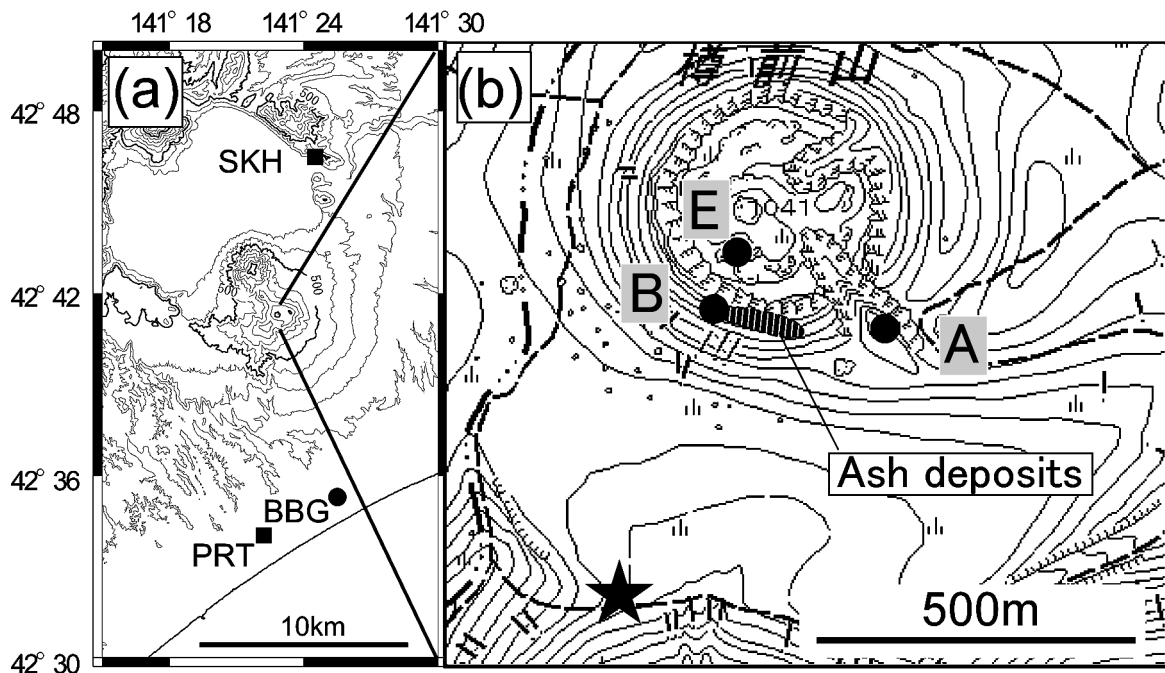


Fig. 1. (a) Location of the high-sensitive cameras. (b) Locality of the Vent "A" and "E" and Fumaroles "B" at Tarumae Volcano.

地震には、T型地震(浜田・他, 1976)などの低周波地震が多く含まれていた(青山・他, 2004)。これに先立つ26日04時50分には、樽前火山から東へ250 km離れた海底を震源とする2003年十勝沖地震(M_{JMA} 8.0)が発生している(たとえばHamada and Suzuki, 2004)。樽前火山における一連の群発地震が収束した9月29日以降も、地震活動は消長を繰り返しつつ活発な状態が2ヶ月以上継続した(青山・他, 2004)。また、9月27日0時ごろから、ドーム中央部から東へ300 mに位置する地震観測点の常時微動振幅が通常の3倍に増加し、2ヶ月以上継続した(札幌管区気象台火山監視・情報センター, 印刷中)。この間、樽前火山の山体に顕著な地殻変動は検出されなかった(気象庁, 2003b)。10月2日頃からB噴気孔群などに由来する噴気量が増大し、5日夜には夜間にB噴気孔群付近が高感度カメラで明るく見える現象が3ヶ月ぶりに観測され始めた。

3. 高感度カメラによる噴気孔群の観測

樽前火山周辺に設置した高感度カメラ(Fig. 1)により、夜間でも、半月程度の明かりでドームや噴気の輪郭が識別可能である。撮影された映像は、当時は1時間ごとにキャプチャされJPEG形式で保存されていた。ドームから南へ11 km離れたポロト観測点(PRT)からは、B噴気孔群をほぼ正面から撮影できるほか、A・E火口から上昇する噴気も同時に撮影できる。支勿湖畔観測点の高感度カメラ(SKH)からは、地形的に各噴気孔を直接望むことはできない。

3-1. 高感度カメラの特徴

我々が使用しているカメラ三菱CIT-605の特徴的な

性能のひとつに、近赤外線領域にも十分な感度を有することが挙げられる。一般に、デジタルビデオカメラに用いられているCCDセンサーは、可視光よりも波長の長い近赤外線領域にも若干の感度を有するが、この性質は、カメラの一般的な使用目的からは不要である。このため、多くのデジタルビデオカメラでは近赤外線をカットするフィルターを装着し、人の目で得られるイメージと同様の映像を表現している(たとえば齋藤・他, 2002)。

一方、我々が使用しているCIT-605には近赤外線カットフィルターが装着されておらず、映像には人の目で認識することができない近赤外線の情報も含まれる。例えば、近赤外線投光器の光は、本カメラでは映像上で白く映し出された。また、可視光がほとんど存在しない環境で半田ごてを撮影したところ、温度上昇とともに半田ごての高温部が白く映し出されることを確認した。すなわち、高温部から放射された近赤外線が、本カメラでは白に表現されると考えられる。このように、可視光よりも長い波長である近赤外線が白で表現されるのは、本カメラではCCDに補色以外の波長の光を通すフィルターを用いることで対象物の色を表現しているためと考えられる。

3-2. 各噴出口の変化

Fig. 2 (a)に、PRTカメラで撮影された十勝沖地震直前の典型的な画像を、Fig. 2 (b)に、地震後にB噴気孔群が明るく見える現象が最初に観測された2003年10月5日の画像を示す。A・E火口およびB噴気孔群の噴気量は、明るく見える現象が観測された際に明らかに増加している。Fig. 2 (c) (d)に、SKHカメラで夜間に撮影された、月齢がほぼ同じ時期の画像を示す。これまで、

Table 1. Time sequence of the noticeable activities of Tarumae volcano after the Tokachi-oki earthquake in 2003.

Date (JST)	Seismic Activity	Fumarole "B"
09/26 04:50 06:49-08:11	Tokachi-oki Earthquake in 2003 (M_{JMA} 8.0) Earthquake swarm under Tarumae Volcano (N = 15)	
09/27 00:00- 02:11	Amplitude of ground tremor grew about 3 times than usual Typical T-type earthquake was observed	
09/28 15:58-00:36	Earthquake swarm under Tarumae Volcano (N = 17)	
10/02- 10/05 10/07		Obviously vigor
10/17		Ash deposits were found Weak glows were noticed by only the high-sensitive cameras

The data are in part from Aoyama *et al.*(2004) and Sapporo District Meteorological Observatory (in press). "N=" denote the numbers of earthquakes whose hypocenters could be determined.

夜間に SKH カメラにより噴気が撮影されることはほとんどなかったが、Fig. 2 (d) に示した 2003 年 10 月 7 日には、噴気が風に流されて山頂カルデラを通り、北東山腹を流下する様子が見られた。

3-3. B 噴気孔群が夜間に明るく見える現象

2003 年 10 月 5 日夕刻から 18 日早朝にかけて、PRT 高感度カメラで B 噴気孔群の一部が明るく見える現象が断続的に観測された。1999 年に PRT で観測が開始されて以来、同様の現象が撮影されたのは 2003 年 7 月 6 日に続いて 2 回目、気象庁別々川高感度カメラ (Fig. 1 の BBG, 2001 年観測開始) では 2002 年 4 月と合わせて 3 回目である。

3-3-1 現象の概要

Fig. 3 に PRT カメラによって B 噴気孔群付近が明るく見えた例について、ドーム周辺を拡大した画像を示す。今回の現象は、2003 年 10 月 5 日は同時に 2 箇所、そ

れ以外は 1 箇所のみ現れた。

Fig. 4 に日最大輝度の時間変化を示す。ここで日最大輝度とは、日射の影響がない 19 時から翌朝 04 時までの 1 時間ごとの画像から B 噴気孔群周辺における最大輝度 (フルスケールで 255) を計測し、その日 (19 時から翌朝 04 時) の最大値を抜き出したものである。ここで、明るく見える部分とその周辺とのコントラストが特に急で明瞭に見えた日は大きな丸で示した。夜は日付をまたぐために、各日付は 0 時以前が属する日とした。2 日までは 70 前後で安定していた輝度は、3 日から 17 日前後にかけて増加した。特に明瞭に見えた時期は 5・7・8 日と 15・17 日の 2 回に分けられ、合計 5 日見られた。

なお、Fig. 3 (g) に示したように、周辺とのコントラストが不鮮明であるが噴気の根元部分を中心にやや明るく写ったケースも見られた。この原因を検討するため、当時の月齢と正中時刻との対応を調べる。輝度が増加し

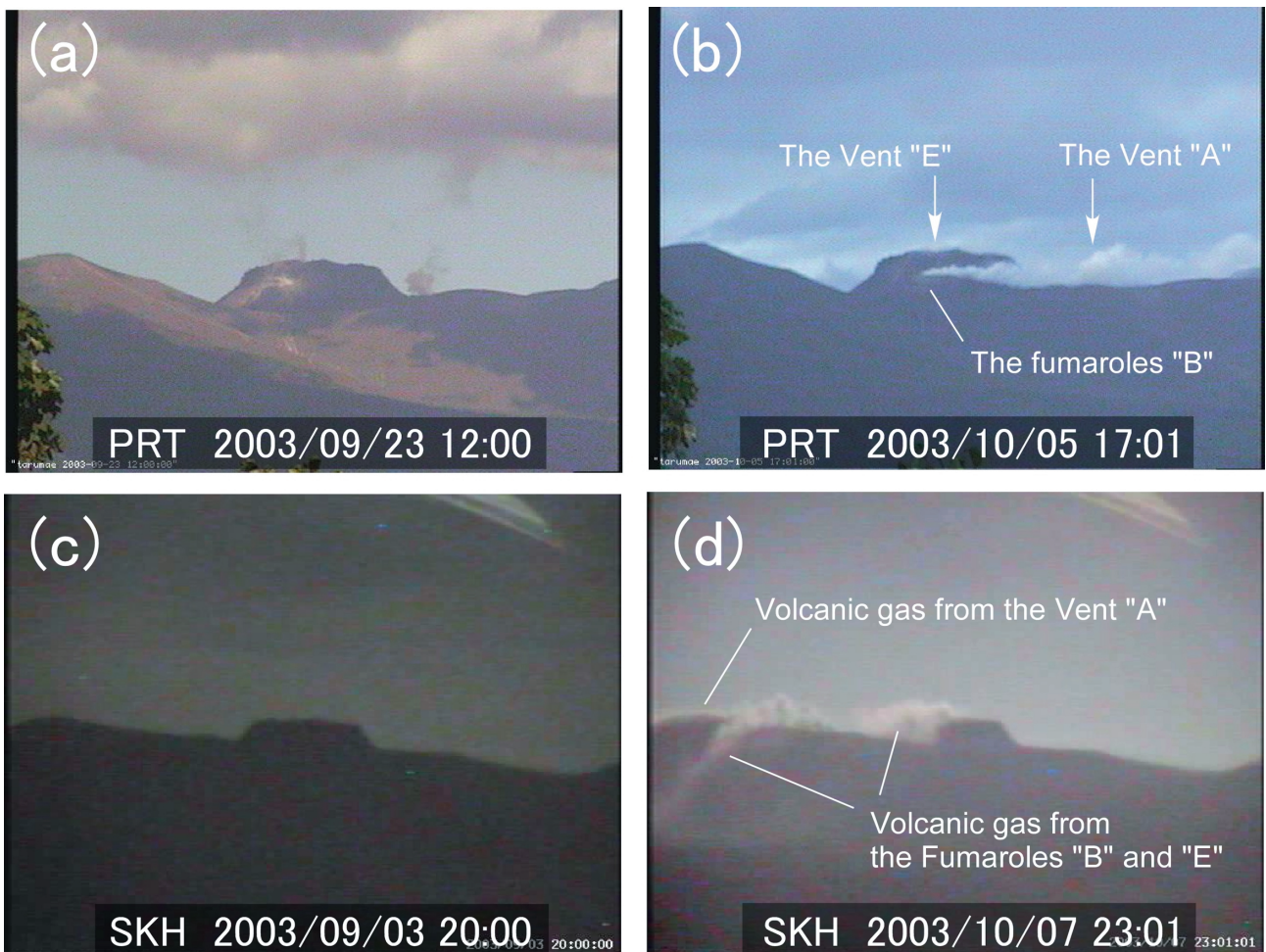


Fig. 2. Typical view of Tarumae volcano before (a, c) and soon after (b, d) the Tokachi-oki earthquake in 2003. PRT and SKH denote the location of the cameras. Note the remarkable fumarolic gas vigorously emitted from the Vents "A" and "E" and the Fumaroles "B".

た3日頃は、10日の満月へ向けて月の光量が増加する時期にあった。3日から18日までの正中時刻は18時から04時頃であり、夜間に月の光量が比較的多かったと考え

られる。加えて、この時期の噴気量は増加していた。したがって、Fig. 3 (g)に見られたように輝度が大きい却不鮮明なケースは、多量の噴気に月光が散乱されたもの

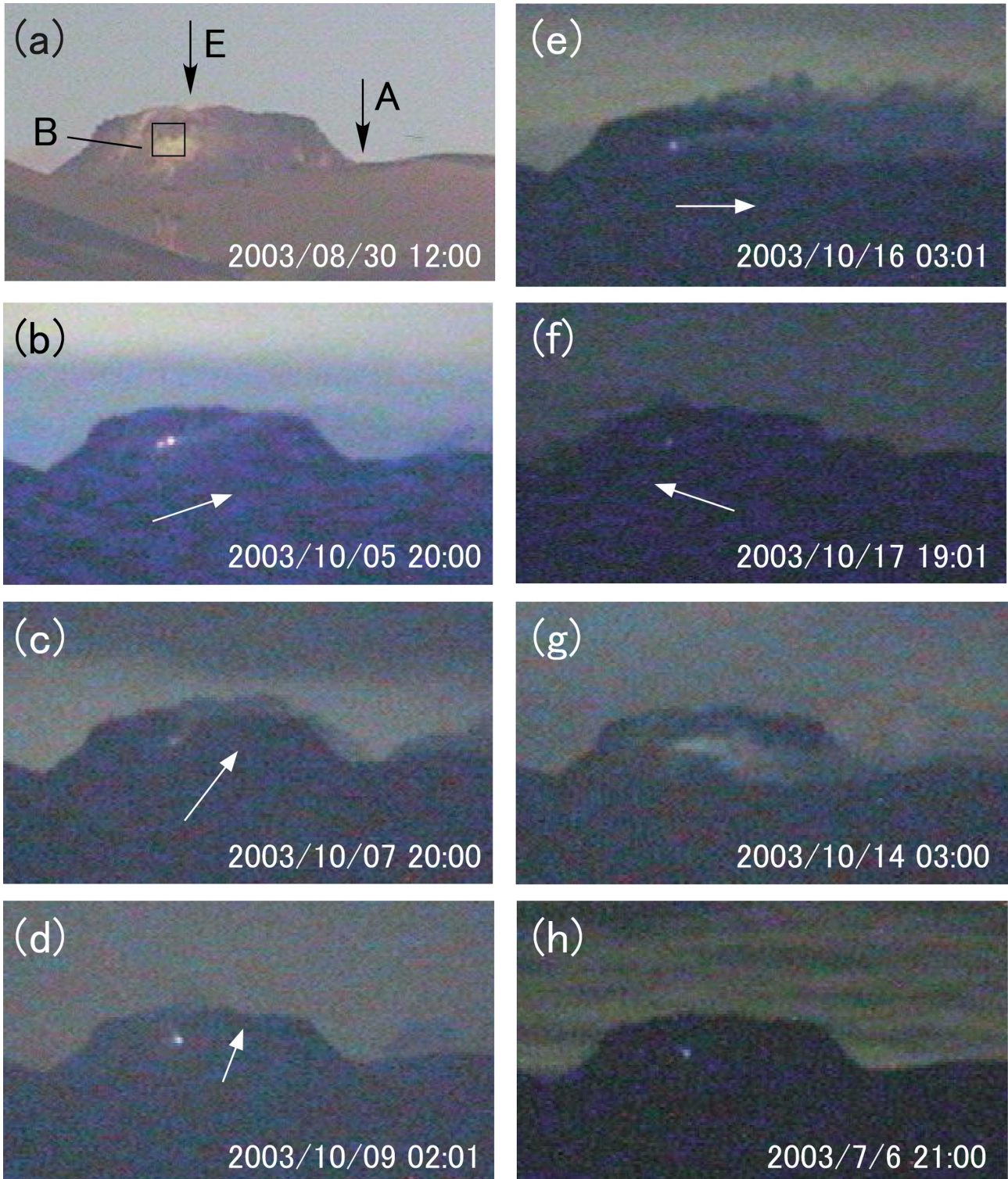


Fig. 3. Enlarged scopes of the summit lava dome. (a) Typical view in daytime. (b)-(f) Examples of weak glows visible only by the high-sensitive cameras. Arrows denote the flow directions of the volcanic gas emitted from the Fumaroles "B". (g) Ambiguous weak glow. (h) Weak glow on Jul. 6 2003.

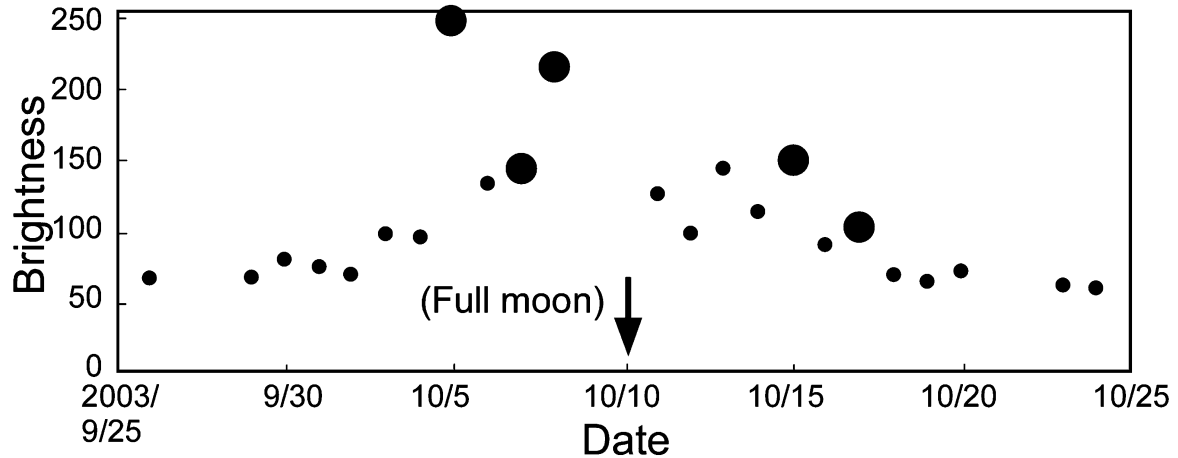


Fig. 4. Dairy maximum brightness at the Fumaroles "B" in the nighttime. Large circle represents the day when a contrast of the glow is especially clear.

と考えられる。

3-3-2 明るく見える位置の移動

さらに画像を詳細に検討した結果、明るく見える位置が日毎に移動していたことがわかった。Fig. 5にPRTの画像から求めた明るく見える位置を示す。ここで、軸はピクセル数を表し、1ピクセルの幅は約2mに相当する。本図でドーム表面に対する投影を行っていないため、鉛直方向の長さはカメラの視線方向に対する法面に投影された見かけの長さに対応する。一方、カメラはB噴気孔群の正面に位置するため、水平方向はほぼ実際の長さに対応する。添え字は観測月日を表す。明るく見える範囲は、B噴気孔群周辺の輝度のヒストグラムを取ることで得られる高輝度を示すグループに対応する。なお、カメラの設置環境に起因して、カメラの視線方向が数pixel程度変化することがある。このような見かけの変化を除くため、明るく見える各画像と昼間に鮮明に撮影された画像とを重ねることで、各画像のオフセット量を測定した。とくに夜間の画像には、輪郭のにじみや霧などに影響されるため、相対位置には少なくとも2-3ピクセル程度の不確定が見込まれる。

Fig. 5にはこのような不確定が含まれるものの、明るく見える位置は5から8日にかけて東へ移動したように見える。8日から1週間後の15日には、8日の出現位置から西に移った。この移動と噴気の流向(Fig. 3)とは関係がなく、実際に明るく見える位置が移動していた可能性がある。

4. B噴気孔群周辺の変化

2003年10月7日に行ったB噴気孔群の調査では、多量の噴気のために東端付近のみが観察可能であった。こ

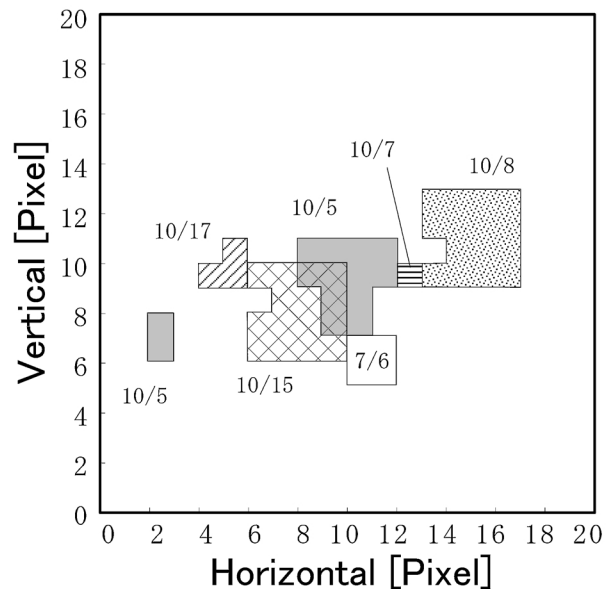


Fig. 5. Shift of the glow points at the Fumaroles "B". The numbers represent the observed dates. The area shown in this figure is indicated by the square in Fig. 3. (a).

の付近に多数存在する噴気孔の一部では、溶融硫黄が幅数cm、長さ1-2mの流れを形成し、この流れに岩片が運び去られることで噴気孔が拡大してゆく様子が見られたほか、硫黄流出口では炎の高さが数cm程度の硫黄燃焼炎が見られることがあった。さらに、後述のような噴出物が確認された。また、「ザー」というB噴気孔群由来の音が、600m離れたカルデラリム付近でも明瞭に聞こえた。このような音がB噴気孔群から聞こえたという報告は過去にない。同日行われた温度測定(気象庁、2003b)によれば、B噴気孔群の最高温度は500°Cで、過去最

高の温度が計測された。一方、2003年11月11日に行った現地調査では、多量の噴気が東へ流れていたためにB噴気孔群東端部の詳細は不明である。気象庁(2003c)によれば、この日のB噴気孔群は高い温度を維持していた。

4-1. 堆積物の状況

2003年10月7日の現地調査により、B噴気孔群東端部付近から東方にかけて、噴出物を見出した。B噴気孔群は、以前から雑多に混合した粒子状の硫黄と灰色を呈す砂に薄く覆われていた。これらは、おそらく風により頻繁に二次移動しているため、無層理である。Fig. 6 (a)にB噴気孔群およびその遠望写真を示す。新しい噴出物はB噴気孔群東端から東方へ約70mの範囲で明瞭に確認でき、100m以上離れると不明瞭になった。B噴気孔群東端部30×20mの範囲では、噴出物は地表の凹凸を埋めるように2-7cm程度の厚みで堆積しており(Fig. 6 (b))、下から赤茶・灰色粗粒・灰色細粒と3つのLayerを目視で識別できた。噴出物は粒径1mm前後の火山灰が主体で、礫サイズ以上の噴出物は見つからなかった。凹凸の激しい場所に堆積しているために噴出物量の見積もりが困難であるが、堆積物の平均層厚を4cmと仮定すれば、堆積範囲600m²から、火山灰体積は24m³と計算される。

B噴気孔群から離れた地点で噴出物を認識することは困難であるが、岩石の側面を観察することで分布範囲を特定できた。Fig. 6 (c)に、B噴気孔群東端から約70m離れた場所に位置する岩石の写真を示す。ここに示した岩石の位置は、Fig. 6 (a)の“C”に対応する。この付近の岩石には、噴出物がB噴気孔群を向いた側面にのみ厚さ数mm以下で付着していた。これらは指や風で容易に剥離する状況であった。このような遠方に飛散した噴出物量を見積もることはできなかつたため、先に示した火山灰体積24m³は、噴出物量として最小の見積もりである。

これらの噴出物をB噴気孔群東端において採取し、詳しく観察した。その結果、構成物はよく円摩され、分級が非常によいこと、大部分は変質を受けた岩片や鉞物片からなることがわかった。新鮮な軽石や破断面で固まった岩片は見出されなかつた。顕微鏡による観察でも、新しいマグマ片と思われるガラス片などは検出できなかった。

4-2. 噴出状況

前節までの観察結果から、火山灰の噴出状況は次のようにまとめられる。B噴気孔群周辺の火山灰は地表の凹凸を谷埋めするように堆積し、より遠方では、岩石のB

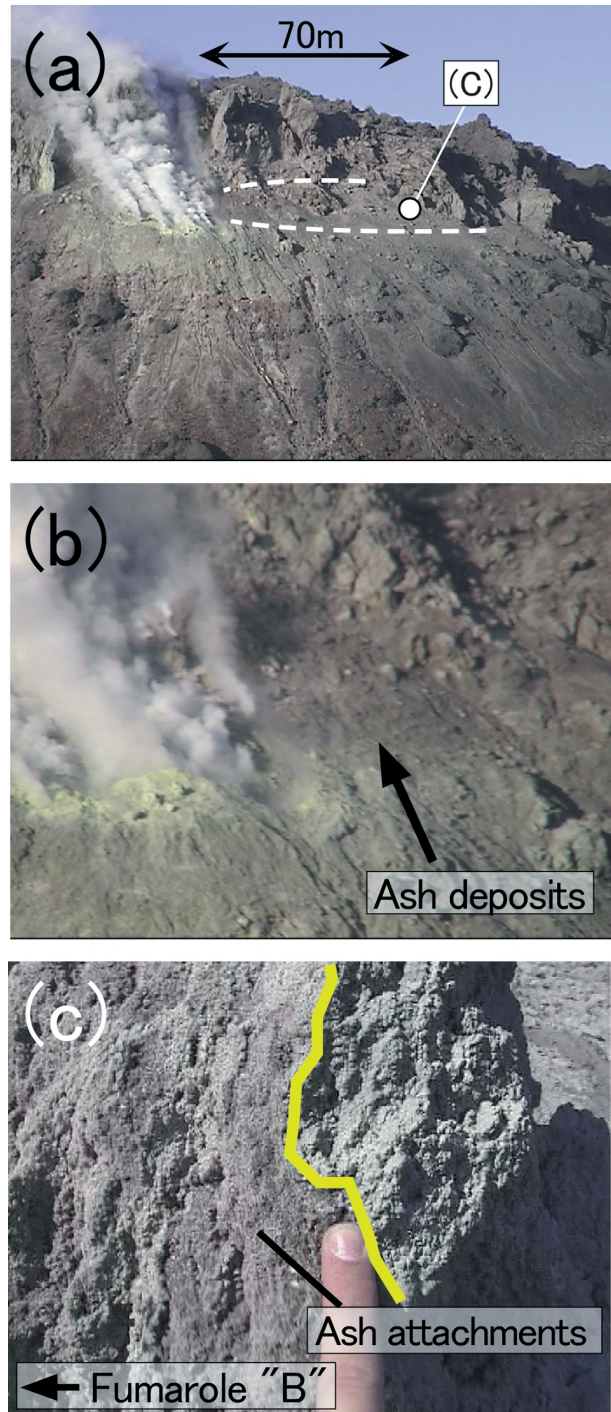


Fig. 6. Ash deposits around the Fumaroles "B" on Oct. 7 2003. (a) Area of ash deposits broken lines. This photograph is taken at the star, as shown in Fig. 1 (b). (b) Proximal deposits near the east end of the Fumaroles "B". (c) An example of ash attachments to the rock (70m from the Fumaroles "B"); as shown in (a).

噴気孔群を向いた面にのみ付着していたことから、火山灰はほぼ水平に移動したと考えられる。また、噴気孔群

上部の岩石に火山灰の付着は見られないことから、火山灰はほとんど上昇せず、熱エネルギーに乏しいものであったと考えられる。さらに、火山灰は東方のみに分布し、その方位は卓越風向に一致している。従って、ごく小規模な爆発が発生し、噴出物はただちに風に流されたと思われる。

4-3. 噴出時期

1時間ごとに保存されている画像からは、噴出に対応すると思われる画像は見つからなかった。そこで、噴出時期を堆積状況から間接的に推定する。B噴気孔群から離れた場所で見つかった火山灰は大変もろく、指で容易に剥離する状況であったことから、火山灰は降雨や強風などで簡単に消失すると考えられる。樽前火山周辺のAMEDAS観測結果によれば、9月25日に苫小牧で45mm、30日0時まで支笏湖畔で45mmの雨量が観測されている。さらに少量の降雨としては、調査前日の10月6日夜に苫小牧で5mm、支笏湖畔で2mmの雨量が観測されている。以上のことから、10月7日に見つかった火山灰は、十勝沖地震発生後にあたる9月29日の降雨の後から10月7日までに噴出したと思われる。なお、B噴気孔群東端の噴出物は3つのLayerから構成されていることから、火山灰噴出が複数回発生した可能性もあるが、詳細は不明である。

5. 議 論

樽前火山で見られた一連の異常活動は、十勝沖地震後に相次いで発生した。したがって、大地震をきっかけとして樽前火山直下に何らかの変化が起き、それが様々な形で表面現象として現れた可能性が考えられる。本章では、明るく見える現象と噴気量の増加、火山灰噴出がどのような関係にあるのかを議論して、十勝沖地震直後に樽前火山で何が起きたのかを考察する。

5-1. なぜ明るく見えたのか

2002年4月に樽前火山B噴気孔群で観測された明るく見える現象については、当時の噴気温度が200-300°C前後であったこと、現地で溶融硫黄の飛散跡などが観察されたことなどから、硫黄燃焼の炎が明るく見えた」と解釈されている(札幌管区気象台, 2003)。一方、今回の現象については、2003年10月7日の現地調査で確認された硫黄燃焼炎の大きさは数cm程度であり、苫小牧測候所からの目視では見えず(札幌管区気象台火山監視・情報センター, 2003)、規模の大きな硫黄燃焼は確認されていない。

2003年10月7日の現地観測によれば、B噴気孔群の温度として観測史上最高の500°Cが測定された(気象

庁, 2003b)。従って、今回の現象は高温岩体からの熱放射による近赤外線が、高感度カメラにより捉えられたと考えられる。近赤外線を用いた火山表面の熱異常検出の試みは、従来から人工衛星に搭載された近赤外センサーによる解析例が数多く存在する(例えば Rothery *et al.*, 1988)。本論文で議論したように、地上からの高感度カメラ観測においても、同様の熱異常検出を行えることが示唆される。高感度カメラの映像には、人の目では認識できない近赤外線の情報が含まれることがある。したがって、映像の解釈や定量的な解析を行うためには、製品により異なる高感度カメラの特性を十分に検討しておくことが重要である。

5-2. 明るく見える現象と火山灰噴出

明るく見える場所が高温火山ガスの噴出位置に対応し、それが順次場所を変えたならば、高温火山ガス噴出口が安定して存在できずに移動していたことが考えられる。明るく見える現象が観測されていた時期は、噴気量が以前よりも明らかに増加していたほか、地熱異常領域が拡大していたこともわかっている。これらのことから、地下からの火山ガス供給が増加したために既存の噴出口では火山ガスを放出しきれず、新しい噴出口を形成して高温火山ガスが噴出し、それが閉塞、さらに別の噴出口を形成する、というサイクルが繰り返されていたことが示唆される。このような噴出口の形成の際に、表層を吹き飛ばすごく小規模な爆発を伴うことがあり、火山灰を堆積させたのであろう。以上のように、一連の現象は地下からの火山ガス供給率が異常に高まったために引き起こされたと考えられる。

5-3. 2003年十勝沖地震との関係

これまで巨大地震が多発してきた北海道では、地震後の火山活動変化について多くの事例が指摘されている(たとえば、岡田・他, 1995)。たとえば十勝岳火山は、渡島の地震(1856年, M 6.9, 震央距離210km)の9カ月後、十勝沖の地震(1926年, M 6.8, 震央距離180km)の3日後、広尾沖地震(1962年, M 7.0, 震央距離160km)の2カ月後に噴火している(横山, 1971)。2003年十勝沖地震についても、発生から6カ月後にあたる2004年2月25日にごく小規模な噴火が発生した(気象庁, 2004)。一方で、2003年十勝沖地震の前の地震と考えられる1952年十勝沖地震(M 8.1, 震央距離180km)(たとえば Hamada and Suzuki, 2004)では、十勝岳火山に顕著な異常は見られなかった。また、火山活動が活発化した例とは逆に、秋田駒ヶ岳火山のように、地震直後に沈静化した例も多い(たとえば Tanaka *et al.*, 1972)。このように、地震と火山の関係は単純ではない。

地震が火山活動へ与える影響は、火山地下にどのような構造やマグマを想定するかに議論が依存するので（たとえば Latter, 1971; 中村, 1975）、ここで、機構に関する詳細な議論は行わない。

樽前火山で起きた顕著な噴気活動が、2003年十勝沖地震発生の数日後に確認されたことは興味深い。多くの地球物理学的観測データが蓄積されている伊豆大島火山では、周辺で発生した大地震によって 10^{-8} から 10^{-9} 程度以上の体積歪が生じた場合、群発地震や微動振幅の増加、噴火などの火山活動が生じる場合があることが指摘されている（Yamashina and Nakamura, 1978; 山岡, 1994）。一方、2003年十勝沖地震により樽前火山周辺に生じた体積歪は $+10^{-6}$ 程度であり、コサイスマミックな地殻変動により減圧がもたらされたことがわかっている（戸谷, 私信）。このような減圧が、樽前火山直下の熱水系や脱ガスシステムに何らかの変化を与えたことが示唆される。

樽前火山の過去150年の記録において、周辺の大地震発生後数ヶ月以内に活動の変化が明瞭に認識された事例は、今回が初めてである。樽前火山では、90年代後半から地震活動や噴気量・温度が増加している。大地震が火山に与える影響は、このような火山の「活動の状態」にも関係するかも知れない。

6. まとめ

2003年十勝沖地震の発生数日後から、とくにB噴気孔群から放出される噴気量が増加した。これに伴い、B噴気孔群においておそらく高温の岩石が山麓の高感度カメラによって断続的に明るく映し出された。明るく見える場所は、10月5日から17日にかけて噴気孔群内を移動した可能性がある。この移動は、火山ガス供給率が既存の噴出口では賄いきれないほど増加し、新しい噴出口の生成と閉塞が繰り返されたためと考えられる。特に激しく火山ガスが噴出した際に、B噴気孔群から合計 10 m^3 オーダー程度の火山灰が放出された。樽前火山においては十勝沖地震によるコサイスマミックな膨張センスの体積歪が観測されており、このような変動が火山直下の熱水系や脱ガスシステムに何らかの変化をもたらし、地下からの火山ガス供給率を異常に高めたと考えられる。高感度カメラで得られる映像には、しばしば人間の目で得られる以上の情報が含まれる。映像を解釈するにあたっては、個々の高感度カメラの感度特性をよく把握しておくことが重要である。

謝 辞

札幌管区気象台の宮村淳一氏と加藤幸司氏には、樽前火山や高感度カメラに関する情報を教えて頂いたほか、現地調査に際して格別のご配慮を頂きました。北海道大学地震火山研究観測センターの戸谷雄造氏には、十勝沖地震直後の樽前火山付近の地殻変動について教えていただきました。東京大学地震研究所の市原美恵氏には、高感度カメラで表現される色について教えていただきました。東京工業大学火山流体センターの鬼澤真也氏には、草稿について有益なコメントを頂きました。山科健一郎氏および匿名の査読者には、原稿を改善するために多くの重要なご意見を頂きました。ここに記して深く感謝致します。

本文中のAMEDAS観測データは、気象庁ウェブサイト「電子閲覧室」から引用させて頂きました。

文 献

- 青山 裕・大島弘光・鈴木敦生・前川徳光, 2004, 北海道の活動的火山における最近の地震活動—樽前火山—, 北海道大学地球物理学研究報告, **67**, 111-129.
- 浜田信夫・神宮 博・生本光二, 1976, 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.
- Hamada N. and Suzuki Y, 2004, Re-examination of aftershocks of the 1952 Tokachi-oki earthquake and a comparison with those of the 2003 Tokachi-oki earthquake, *Earth Planets Space*, **56**, 341-345.
- 勝井義雄・大沼晃助・新井田清信・鈴木建夫・近藤祐弘, 1979, 樽前火山1978年5月の噴火, 火山, **24**, 31-40.
- 気象庁, 1991, 日本活火山総覧 第2版, 483pp.
- 気象庁, 2003a, 日本の主な火山活動, 地震・火山月報. 防災編, **15**, 7, 31-34.
- 気象庁, 2003b, 日本の主な火山活動, 地震・火山月報. 防災編, **15**, 10, 30-35.
- 気象庁, 2003c, 日本の主な火山活動, 地震・火山月報. 防災編, **15**, 11, 32-36.
- 気象庁, 2004, 日本の主な火山活動, 地震・火山月報. 防災編, **16**, 2, 21-27.
- Latter, J.H, 1971, The interdependence of seismic and volcanic phenomena: Some space-time relationships in seismicity and volcanism. *Bull. volcanol.*, **35**, 127-142.
- 中村一明, 1975, 火山の構造および噴火と地震の関係, 火山, **20**, 229-240.
- 岡田 弘・西村裕一・森 濟・鈴木敦生・前川徳光・大島弘光, 1995, 北海道における最近の大地震と火山活動, 平成6年(1994)北海道東方沖地震およびその被害に関する調査研究, 文部省科学研究費総合研究(A)突発災害(No. 06306017)調査研究成果報告書, 61-74.
- 大倉敬宏・安藤雅孝, 1994, 1991年ピナツポ火山噴火は1990年フィリピン地震に誘発されたか?, 地学雑誌, **103**, 464-470.
- Rothery, D.A., Francis, P. W. and Wood, C.A., 1988, Volcano monitoring using short wavelength infrared data from satellite. *J. Geophys. Res.*, **93**, 7993-8008.
- 齋藤武士・酒井 敏・飯澤 功・須田恵理子・大倉敬宏, 2002, 近赤外域での赤熱の温度測定—ナイトショットの

- もっと正しい使い方, 日本火山学会講演予稿集, 123.
- 札幌管区気象台, 2003, 樽前山, 北海道地域火山機動観測実施報告, **23**, 5-34.
- 札幌管区気象台火山監視・情報センター, 2003, 火山活動解説資料, 樽前山, 平成15年10月号.
- 札幌管区気象台火山監視・情報センター, 樽前山の火山活動(2003年5月~2003年10月), 火山噴火予知連絡会会報, 印刷中.
- Tanaka, K., Kasahara, M., Hori, S., Suzuki, Z. and Takagi, A., 1972, Research on Akita-Komagatake (1) —Summary of its eruption in 1970-1971—, *Sci. Rpt. Tohoku Univ. Ser. 5 Geoph.*, **21**, 61-75.
- 寺田暁彦, 2004, 樽前火山 A 火口の放熱率推定—Plume Rise 法を火山噴煙に適用するうえでの注意点—, 北海道大学地球物理学研究報告, **67**, 327-335.
- Tilling, R.I., Koyanagi, R.Y., Lipman, P.W. Lockwood, J.P., Moore, J.G. and Swanson, D.A., 1976, Earthquake and related catastrophic events, island of Hawaii, November 29, 1975: a preliminary report. *U.S. Geol. Surv. Circ.*, **740**, 38 pp.
- 山岡耕春, 1994, 地殻応力場からみた火山活動と地震との関係, 火山, **39**, 141-153.
- Yamashina, K. and Nakamura, K., 1978, Correlation between tectonic earthquakes and volcanic activity of Izo-Oshima volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **4**, 233-250.
- 横山 泉, 1971, 大地震によって誘発された噴火, 北海道大学地球物理学研究報告, **25**, 129-139.

(Received October 14, 2004)

(Accepted November 16, 2004)