



Title	放熱率測定に基づいた有珠2000年噴火の活動推移長期予測
Author(s)	後藤, 章夫; GOTO, Akio; 鍵山, 恒臣 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 70, 137-144
Issue Date	2007-03-15
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.70.137
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20429
Type	departmental bulletin paper
File Information	70-15_P137-144.pdf



放熱率測定に基づいた有珠 2000 年噴火の活動推移長期予測

後藤 章夫

東北大学東北アジア研究センター

鍵山 恒臣

京都大学大学院理学研究科

宮本 毅

東北大学東北アジア研究センター

横尾 亮彦

京都大学防災研究所附属火山活動研究センター

谷口 宏充

東北大学東北アジア研究センター

(2007 年 1 月 15 日受理)

Long-term prediction of Usu volcano 2000 eruptive activity based on the measurements of heat discharge rate

Akio GOTO

Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University

Tsuneomi KAGIYAMA

Graduate School of Science, Kyoto University

Tsuyoshi MIYAMOTO

Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University

Akihiko YOKOO

Sakurajima Volcano Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

and

Hiromitsu TANIGUCHI

Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University

(Received January 15, 2007)

The energy source of volcanic activity is the heat of magma. Heat discharge rate on the initial stage of Usu 2000 eruptive activity was estimated to be around 1×10^9 J/sec, that was over one order higher than that on the initial stage of the 1977 activity, and comparable to its peak release rate observed after two years from the beginning of the eruptive activity.

Compare to the 1977 activity, much shorter duration of the 2000 activity may be the result of rapid cooling of the intruded magma. Abundant ground water supplied from Lake Toya might remove the heat effectively through active vapor plume rise.

I. はじめに

北海道南西部に位置する有珠火山 (Fig. 1) は、2000年3月31日に、有史以来7度目となる噴火活動を開始した。この活動に際しては、3月27日より火山性地震が、さらに翌日からは有感地震も発生し (宇井ほか, 2002), 3月29日に「数日以内に噴火が発生する可能性」が火山噴火予知連絡会拡大幹事会から示された。これらに基づき同日夜には周辺1市2町の住民に避難指示が出され、事実上噴火予知に成功した。またその後は、住民生活への影響を考慮し、噴火開始2週間後という早い時期から、活動状況をにらみつつ安全とみられる地域から段階的に避難指示が解除された。このように有珠2000年噴火では、火山防災上画期的と言える対応が観測データに基づきいくつもなされた。

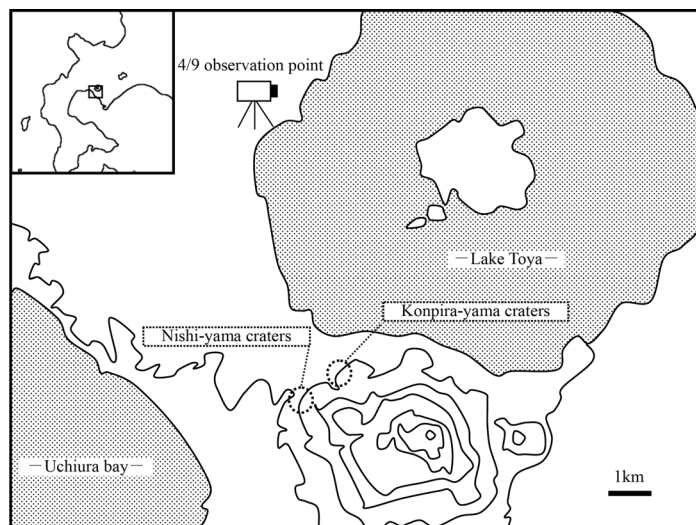


Fig. 1. Location map of Usu volcano, craters and observation point on April 9.

しかしながら、初期の見解で懸念された爆発的噴火発生の可能性や、その後の活動終息の見通しなど、全てにおいて予測が成功したわけではない。これは観測データに基づく検討と同時に、過去の噴火事例に照らし合わせた、いわば火山の「癖」を重視したことが一つの原因と考えられる。

このような中、著者らは噴火開始翌日より現地に入り、爆風圧測定や噴煙活動の観測を行っていた (横尾ほか, 2002 ; Yokoo et al., 2002)。この際、噴煙活動が非常に強いと感じ、マグマの

冷却が急速に進むことで噴火活動が比較的早期に終息するとの予測を立てていた。すなわち、火山活動のエネルギー源は本を正せば全てマグマの熱エネルギーで、新たなマグマの供給がなければ、マグマが冷却することで噴火活動は終息に向かうと考えられる。本稿では、早期に終息するとの予測が妥当であったかを検証するために、噴煙の観測から放熱率を推定し、有珠 2000 年噴火の活動推移との対比を行う。

Ⅱ. 方 法

洞爺湖を挟んで有珠山を望める高台から、噴火の様子を 8 ミリビデオで撮影し、噴煙の運動に鍵山 (1978) の方法を適用して放熱率を求めた。撮影位置を Fig. 1 に示す。撮影は 4 月 3 日から 4 月 12 日に断続的に行われたが、その中から、風が卷かず、かつ噴煙の移動が視線方向に対して垂直だった 4 月 9 日の映像を選んで解析を行った。移動方向とその量は、有珠山麓の洞爺湖温泉街の建物との位置関係から判断した。また我々の観測地点に近接したサイロ展望台に設置された、北海道開発局の監視カメラ画像をおもに用い、さらに同じく北海道開発局の西山火口カメラと北

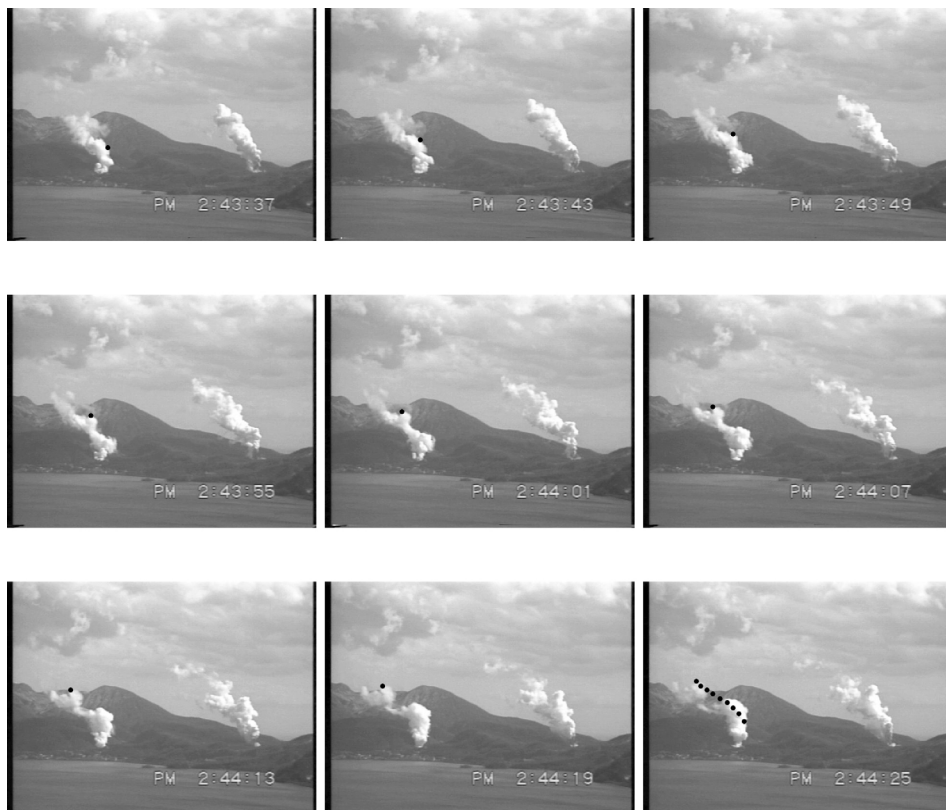


Fig. 2. An example of plume motion trace with 6 seconds interval. Plumes on the left and right sides are from Konpira-yama craters and Nishi-yama craters, respectively.

海道放送 (HBC) がインターネット配信した画像も用いて、4月2日から7月30日までの解析も行った。但し、形状が異常な噴煙や明らかに風向きの悪い画像を除いてはいるものの、長期解析では噴煙運動に対して4月9日の映像ほど視線方向との垂直性を細かく吟味しておらず、データの精度はやや劣ると考えられる。解析例を Fig. 2 に示す。噴煙に見られる凹凸のうち、特徴的な部分を6秒間隔で追い、まず水平方向の速度 u (m/sec) を求めた。次に垂直方向の変位 h (m) を時間 t (sec) に対して

$$h = C_2 t^{2/3} \quad (1)$$

でフィッティングして係数 C_2 を決定し、その値と u を

$$\dot{Q}(\text{J/sec}) = 2.6 \times 10^4 u / C_2^3 \quad (2)$$

に代入して放熱率を求めた。

なお、この方法は噴煙が水蒸気からなることを仮定しているが、有珠2000年噴火で火山灰が放出されたのは4月4日頃までで、以後は火山灰混じりの熱水や水蒸気を噴出する活動に移行したことから (宇井ほか, 2002), この方法で長期の放熱率推移を推定することに問題はないと判断される。

Ⅲ. 結 果

解析は西山火口群、金比羅山火口群から上がる両方の噴煙に対して行った。4月9日に我々が撮影した映像から得られた u と C_2 、ならびにそれらを(2)式に代入して得られた放熱率を Table 1 に示す。放熱率は西山火口群、金比羅山火口群ともに $1 \sim 2 \times 10^9$ J/sec 程度だった。これらを北海

Table 1. Derived parameters from the video images on April 9 and corresponding heat discharge rates by equation 2.

	u (m/sec)	C_2	\dot{Q} (J/sec)
Konpira-yama craters	5.6	20.2	1.20E+09
	8.8	20.0	1.83E+09
Nishi-yama craters	5.3	25.4	2.26E+09
	6.1	22.4	1.78E+09
	5.3	20.5	1.19E+09

道開発局や HBC による映像を解析した結果とともに Fig. 3 に示す。金比羅山火口群からの噴煙に関しては、4月9日の解析結果はその前後にサイロ展望台から撮影された画像の解析結果とほぼ一致する。このことは、サイロ展望台の画像解析で細かな風向きを無視した影響はさほど小さくなかったことを意味する。一方西山火口群からの噴煙に関しては、4月9日に我々が撮影した

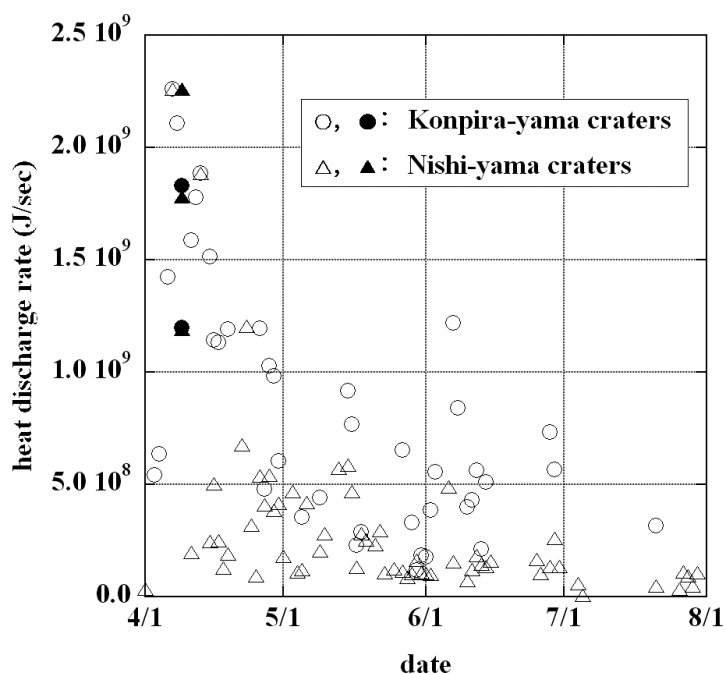


Fig. 3. Estimated heat discharge rates. Filled symbols correspond to the data on Table 1 those are analyzed precisely using video images on April 9. Open symbols are derived from video images by Hokkaido Regional Development Bureau and Hokkaido Broadcasting Company (HBC).

映像から得られた値は、サイロ展望台の画像から得られた値より明らかに大きい。噴煙の勢いにはかなりの消長があり、特に西山火口群ではほとんど止まることもあったのに対し、4月9日の解析は噴煙の移動が読みとりやすいよう、比較的勢いのある噴煙に対して行った。そのため大きめの値が出ていることが考えられる。

このような誤差要因はあるものの、二つの火口群を合わせて、4月はおおよそ $1 \sim 2 \times 10^9$ J/sec, 5, 6月はおおよそ $0.5 \sim 1 \times 10^9$ J/sec 程度の放熱があったと考えてよいだろう。これは一つ前の 1977 年からの活動で、最初の噴火から約 2 年後に観測された放熱率のピーク値(おおよそ 1×10^9 J/sec ; 松島, 1992)とほぼ同程度である。放熱率の減少に呼応するかのように、2000 年噴火に伴う火山活動は急速に衰退した (宇井ほか, 2002)。

IV. 考 察

マグマの冷却速度は、マグマがはじめに持っていた熱量と、放熱率の兼ね合いで決まる。有珠 2000 年噴火のマグマ貫入量は、地殻変動量の解析からおおよそ $1 \sim 3 \times 10^8$ m³ と見積もられている (松島ほか, 2000 ; 岡田ほか, 2001 ; 三浦・新井田, 2002 ; Jousset et al., 2003)。ここで体積を

$2 \times 10^8 \text{ m}^3$ とし、さらに Matsushima (2003) に倣い、マグマの密度、比熱、潜熱をそれぞれ 2300 kg/m^3 , $1300 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, $4 \times 10^5 \text{ J/kg}$, 冷却が完了するまでの温度低下を 800 K とすると、このマグマは $6.6 \times 10^{17} \text{ J}$ の熱量を有することになる。仮に、4月上旬と6月下旬の放熱率をそれぞれ $1.5 \times 10^9 \text{ J/sec}$ と $0.5 \times 10^9 \text{ J/sec}$ とし、その間直線的に放熱率が減少した(すなわちこの期間の平均放熱率を $1 \times 10^9 \text{ J/sec}$) とすると、6月下旬までの放熱量は $7.8 \times 10^{15} \text{ J}$ になり、マグマが持つ総熱量の 1%強が放出されたことになる。実際には計算に用いた諸量にかなりの不確定性が見込まれるため、冷却はさらに進んでいた可能性もある。

噴火活動終息の定義が必ずしも明確でないこともあり、マグマの冷却がどれだけ進めば活動が停止するかを言及することは容易でない。しかし過去の噴火との比較により、放熱率と活動衰退の関係についてその傾向を知ることはできる。山頂噴火が起こった 1977 年からの活動では、貫入したマグマの体積は $0.7 \sim 1.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ と見られ(松島, 1992; Matsushima et al., 2001), 推定精度を考慮すると 2000 年噴火の量とほぼ同程度と見なして良いだろう。しかし 1977 年噴火の放熱率は、最初の噴火から約 2 年後にピークに達し、噴火初期にはその 1/10 程度しかなかった(噴火開始から約 1 ヶ月半後で $8 \times 10^7 \text{ J/sec}$; 鍵山, 1978)。ピーク時の値は今回見積もった 2000 年噴火初期の放熱率とほぼ同程度なので、1977 年噴火に比べると 2000 年噴火は初期の放熱率が非常に高かったと言える。そのためマグマの冷却は極めて急速に進み、新たなマグマの供給がない限りは、長期の活動継続は無理だったと考えられる。実際、1977 年噴火では火口を形成する最後の噴火が活動開始から 1 年 2 ヶ月後で (Yokoyama et al., 1981), 隆起と地震活動の停止は 4 年 7 ヶ月後だった (Yokoyama and Seino, 2000) のに対し、2000 年噴火では最後の火口形成は噴火開始の約 1 ヶ月後で、隆起もおよそ 4 ヶ月後にはほぼ停止していた(宇井ほか, 2002)。これらの比較は、マグマの冷却と噴火活動の衰退が密接に関係していることを強く示唆し、放熱率測定が活動の中～長期予測に有効であることを支持する。定量的な議論にはデータが不足しているが、2000 年噴火の火口形成と地殻変動はともに 1977 年噴火のおよそ 14 分の 1 の期間で終了しており、初期放熱率の比にほぼ等しいことは興味深い。これらは、火口形成や地殻変動といった活動を起こすのに必要なマグマのエネルギー量にそれぞれ下限があって、その値が 1977 年噴火と 2000 年噴火とで違わなかったことを意味するのかもしれない。2000 年噴火で放熱が急速に進んだのは、1977 年の山頂噴火と異なり、噴火が洞爺湖に近い山腹で起こったことにより、地下水が豊富に供給され、噴煙として立ち上る水蒸気に多量の熱が運ばれたためと推定される。

放熱率と活動衰退に対する同様の傾向は、1910 年からの明治噴火と、1943 年末からの昭和新山形成に至る活動にも見られる。以下、北海道防災会議 (1973) の資料に基づき述べる。有珠山北麓と洞爺湖の間に明治新山(四十三山)を形成した明治噴火では、火口が次々と形成され、そこから泥流が流れ出るなど 2000 年噴火同様の活動が見られた。この噴火に際して放熱率測定は行われていないものの、多量の地下水の関与が推定されることから、おそらく 2000 年噴火同様に放熱が急速に進んだだろう。この時の明治新山隆起は、およそ 4 ヶ月で終了している。一方、山麓噴火ながらも洞爺湖から離れた有珠山東麓で起こった 1943 年からの活動では、1944 年 6 月 23 日の最初の噴火直後こそ小規模な水蒸気爆発が繰り返し、少量の泥流も流出したものの、溶岩

ドーム出現に至るまで噴火は火山灰の噴出が主で、多量の地下水の関与を伺わせる記述は認められない。この時の活動は 1910 年噴火や 2000 年噴火より遙かに長く、およそ 2 年に及んでいる。

V. 結 論

有珠山では、放熱率が高いと考えられる、地下水が強く関与した噴火では活動が早期に終息し、そうでない場合は活動が数年に及ぶ傾向が見て取れる。噴火活動には火山ごとの癖があるため、ほかの火山に対してこの傾向が当てはまるとは言えず、放熱率測定が活動推移の予測に役立つとは限らない。また有珠 2000 年噴火の初期に懸念された「爆発的噴火」の有無に関しては、溶岩ドームが地表に露出するかどうかの問題とされ、放熱率をもとに推定することはできない。しかし少なくとも、有珠山の次の噴火活動で、これまで同様にマグマが地下浅部に貫入した場合は、その活動度の中長期予測に対して、放熱率測定は有効な手段になりうると考えられる。

謝辞 現地での観測にあたり、北海道大学の岡田弘教授、大島弘光助教授、森濟助手、西村裕一助手、前川徳光技術員、鈴木敦生技術員には大変お世話になりました。ここに記し、感謝の意を表します。

文 献

- 北海道防災会議, 1973. 有珠山, 北海道における火山に関する研究報告書第3編, pp254.
- Jousset, P., H. Mori and H. Okada, 2003. Elastic models for the magma intrusion associated with the 2000 eruption of Usu Volcano, Hokkaido, Japan, *Volcanol. Geotherm. Res.*, **125**, 81-106.
- 鍵山恒臣, 1978. 火山からの噴気による熱エネルギーと H₂O の放出量, 火山, **23**, 183-197.
- 松島喜雄, 1992. 活動的火山における熱学的研究—1977 年有珠山噴火にともなう放熱過程—, 北海道大学博士学位論文, pp83.
- Matsushima, N., 2003. Mathematical simulation of magma-hydrothermal activity associated with the 1977 eruption of Usu volcano, *Earth Planets Space*, **55**, 559–568.
- Matsushima, N., H. Oshima, Y. Ogawa, S. Takakura, H. Satoh, M. Utsugi and Y. Nishida, 2001. Magma prospecting in Usu volcano, Hokkaido, Japan, using magnetotelluric soundings, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **109**, 263-277.
- 松島 健・清水 洋・渡邊篤志・山科健一郎・西村裕一, 2000. 2000 年有珠火山噴火で観測された傾斜変動について, 日本火山学会講演予稿集, 163.
- 三浦大助・新井田清信, 2002. 有珠火山 2000 年噴火における岩脈貫入過程と潜在ドームの形成過程, 火山, **47**, 119-130.
- 岡田 弘・大塚正幸・中村 剛・高貫 潤・森 濟・大島弘光・宇井忠英, 2001. 空中レーザー地形測量の火山学における有用性—2000 年有珠山噴火の経験から—, 日本火山学会講演予稿集, 80.
- 宇井忠英・中川光弘・稲葉千秋・吉本充宏, 総合観測班地質グループ, 2002. 有珠山 2000 年噴火の推移, 火山, **47**, 105-117.
- Yokoo, A., H. Taniguchi, A. Goto and H. Oshima, 2002. Energy and depth of Usu 2000 phreatic explosions,

Geophys. Res. Lett., **24**, 2195.

横尾亮彦・谷口宏充・大島弘光・後藤章夫・大場 司・宮本 毅, 2002. 野外爆発実験から見た有珠 2000 年噴火, 火山, **47**, 243-253.

Yokoyama, I. and M. Seino, 2000. Geophysical comparison of the three eruptions in the 20th century of Usu volcano, Japan, *Earth Planets Space*, **52**, 73-89.

Yokoyama, I., H. Yamashita, H. Watanabe and Hm. Okada, 1981. Geophysical characteristics of dacite volcanism—The 1977–1978 eruption of Usu volcano—, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **9**, 335–358.