

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; 鍵山, 恒臣; 宮本, 毅; 横尾, 亮彦; 谷口, 宏充
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 70, 137-144
Issue Date	2007-03-15
DOI	10.14943/gbhu.70.137
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/20429
Туре	bulletin (article)
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  $1 \times 10^9$  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 とした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,風が巻かず,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

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

でフィッティングして係数C,を決定し、その値とuを

$$\dot{Q}(J/sec) = 2.6 \times 10^4 u/C_2^3$$
 (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 $u \ge C_2$ ,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 1~2×10<sup>9</sup> J/sec 程度だった.これらを北海

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

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

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大き 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月はおよそ 1~2×10<sup>9</sup> J/sec, 5, 6月はおよそ 0.5~1×10<sup>9</sup> 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(およそ 1×10<sup>9</sup> 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よそ 1~3×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> 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  $2\times10^8$  m<sup>3</sup> 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 2300kg/m<sup>3</sup>, 1300J/kg・K, 4×10<sup>5</sup>J/kg, 冷却が完了するまでの温度低下を 800K とすると, こ のマグマは  $6.6\times10^{17}$ 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  $1.5\times10^9$  J/sec と  $0.5\times10^9$  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  $1\times10^9$  J/sec)とすると, 6月下旬までの放熱量は  $7.8\times10^{15}$  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 0.7~1.8×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>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8×107 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,森済助手,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・渡邉篤志・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 済・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.