



Title	噴火活動衰退期における水蒸気噴出活動の変動 : 2000年有珠火山噴火
Author(s)	江原, 幸雄; EHARA, Sachio; 藤光, 康宏 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 65, 199-211
Issue Date	2002-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.65.199
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/14313
Type	departmental bulletin paper
File Information	65_p199-211.pdf



噴火活動衰退期における水蒸気噴出活動の変動

—2000年有珠火山噴火—

江原 幸雄・藤光 康宏・西島 潤・福岡晃一郎・工藤 貴久・
柴田 寛・川口 昌宏・グニエラ ゲロウスカ・韓 湘君

九州大学大学院工学研究院地球資源システム工学部門

(2001年12月25日受理)

Variation of Steam Discharge Activity during the Declining Stage of 2000 Eruption of Usu Volcano

Sachio EHARA, Yasuhiro FUJIMITSU, Jun NISHIJIMA, Koichiro FUKUOKA, Takahisa KUDO,
Hiroshi SHIBATA, Masahiro KAWAGUCHI, Daniela GEROVSKA and HAN Xiangjun

Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University

(Received December 25, 2001)

Repeat measurements of infrared imagery, ground temperature, sound noise, ground noise and gravity around active craters were conducted during the declining stage of 2000 eruption of Usu volcano, Hokkaido. The steam discharge activity clarified from thermal, sound noise and ground noise level measurements has been falling and rising, although seismic activity and crustal deformation have been falling monotonously. This shows that the rate of ground water recharged towards craters changes with time, even though the temperature of the heat source (intrusive magma) and the discharge rate of magmatic fluids have been decreasing monotonously. Gravity values around craters have been still increasing, which show the hydrological state does not reach the equilibrium state. A comparative study of the thermal and fluid flow processes between 2000 eruption of Usu volcano and 1995 eruption of Kuju volcano, central Kyushu was conducted. As a result, it was shown that the contributions of intrusive magmas are different between them, although the heat discharged after the respective eruptions was almost the same.

I. はじめに

北海道南西部にある有珠火山は約1週間の前兆的地震活動と地盤変動の後、2000年3月31日に23年ぶりに噴火活動を開始した。噴火開始に当たって、これまでの噴火過程の研究と前兆現象の観測から、早い段階で避難勧告が出され、直接的な人災を避けることができた。しかしながら、

地殻変動あるいは火山噴出物による道路、家屋の損壊等の被害は大きく、一部の地域では再びそこに生活の拠を求めることは困難な状況になっている。

一方、地殻変動あるいは地震活動は噴火開始直後の2000年4月3日以降急速に衰えた(宇井・他, 2000; 気象庁, 2000; 森・宇井, 2000)。しかしながら、金比羅山火口および西山火口では活発な水蒸気噴出活動が噴火開始後長期間継続している(2001年9月現在)。これはすでに上昇運動を停止した貫入マグマ(およびマグマに含まれていた水)と周辺地下水とが接触し、水蒸気を発生、さらに地上に放出する一連の熱過程を反映している。マグマの力学的活動が終了したとは言え、マグマは依然として多量の熱を保持しており、マグマ貫入後どのように新たな地下水理システムが形成され、熱水系が発達していくかは興味深い課題である。特に、今回の噴火と同様な活動様式であった1910年の噴火活動後、新たに洞爺湖温泉が形成されたこと(横山・他, 1973)を考えると興味深いものである。

本報告は上のような発想に基づいて、2000年7月末から2001年9月中旬にかけて、水蒸気噴出活動に関連する調査を3次にわたって行った結果を報告する。合わせて、噴火後長期間にわたって水蒸気噴出活動を続けている九重火山との比較検討を行った。

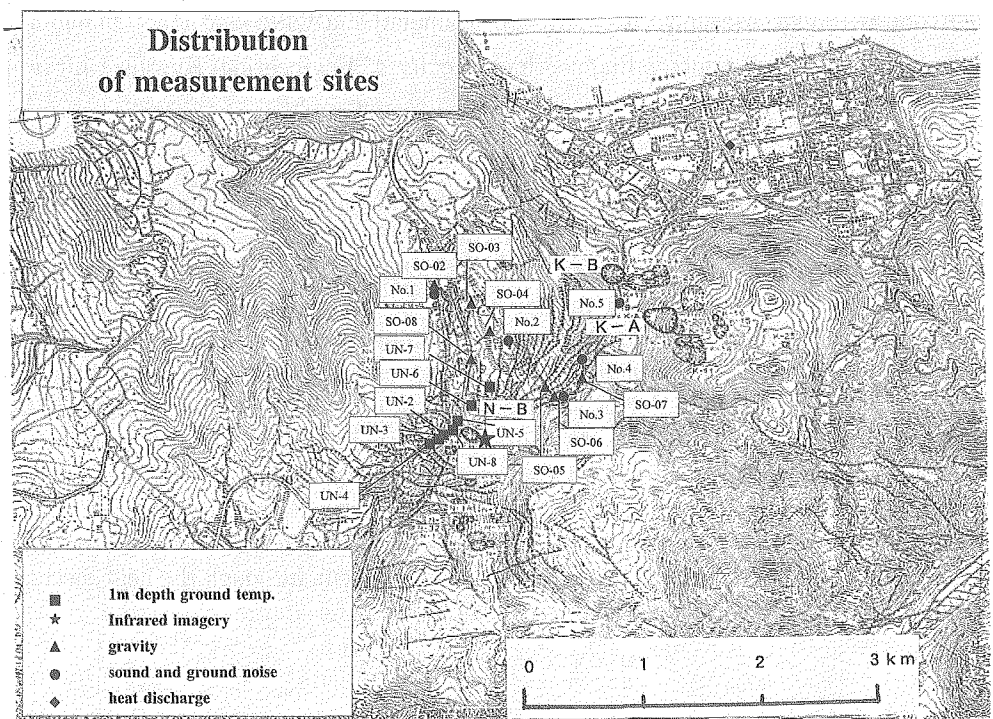


Fig. 1. Distribution of Nishiyama crater (N-B), Konpirayama craters (K-A and K-B) and locations of geophysical measurements (★ : Infrared, ■ : 1m depth ground temperature, ◆ : heat discharge rate, ● : sound and ground noise and ▲ : gravity).

II. 現 地 調 査

2000年7月31-8月2日(第1次調査), 9月27-29日(第2次調査)および2001年9月10-12日(第3次調査)の3次に分けて現地調査を行った。上述のように, 3次にわたる調査時期においては地震活動あるいは激しい地盤変動はすでに静穏化していたが, 北部の金比羅山の2つの火口(K-A, K-B)と西部の西山火口(N-B)からは活発な水蒸気噴出活動が継続していた。第1次および第2次の調査時点においては, K-B火口からは水を含んだ泥状の物質の塊が盛んに放出されていた。しかし, 第3次の調査時には, K-B火口底には泥水がたまり, 地下からの火山性流体の供給により, 盛んに泥水を吹き上げている状態であったが, 火口外に泥を噴出することはなかった。

われわれは3次にわたる調査(赤外映像調査, 1 m 深地温調査, 火口からの放熱量調査, 水蒸気噴出活動による音圧・振動測定および重力変動観測, Fig. 1)を通して, 噴火活動衰退期における, 火口からの水蒸気噴出活動およびそれに関連する活動の変化を定量的に把握することを試みた。

1. 赤外映像調査

携帯型赤外映像装置を使って火口底の地表面温度観測を行った。火口周辺から火口底が望めるのは, 西山火口(N-B)のみであった。このN-B火口からの水蒸気噴出量は目視観察によれば第1次調査時に比べ, 第2次調査時の方が低下しているようであったが(第3次調査時が最も水蒸気噴出活動は低下していた), 火口底最高温度部分(火山ガス噴出部分)の温度は第1次調査181.3°C(2000年8月1日16時14分), 第2次調査186.5°C(2000年9月27日10時30分)そし

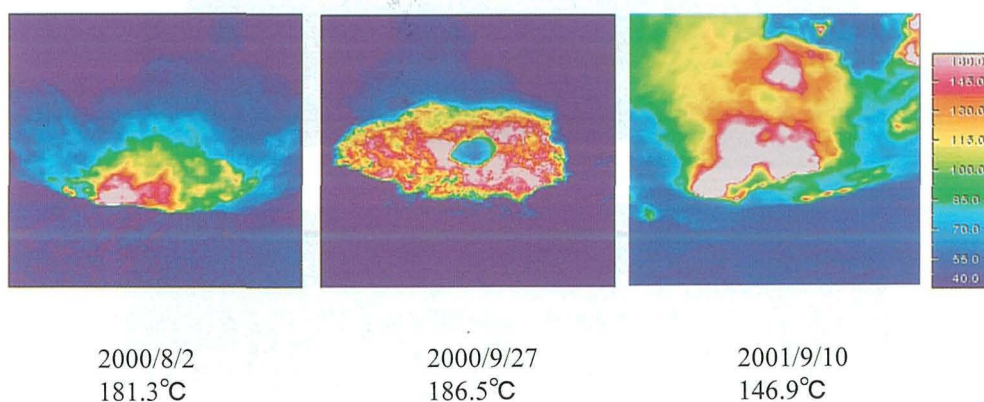


Fig. 2. Infrared imageries at the bottom of Nishiyama crater (Aug. 2, 2000, Sep. 27, 2000 and Sept. 10, 2001). The lower values show the maximum temperatures at the respective periods.

て、第3次調査 146.9℃ (2001年9月11日12時30分)であった (Fig. 2)。すなわち、噴火後力学的活動は指数関数的な低下傾向にあったが、噴出する火山ガス温度は必ずしも単調な低下傾向ではなく、一度増加した後、再び減少傾向となっている。なお、N-B火口底の温度分布からは、第1次調査時には水蒸気噴出は火口底中央の限られた場所 (火道の一部) から噴出しているようであったが、第2次調査時点では、火口壁の崩落により火口底がかなり埋積され、高温部は火口底に広く拡がり、また中央部には水たまりが生じていた。第3次調査時には火口底はさらに埋積され、高温部が数カ所にわかれるとともに、崩落した火口壁にも高温域が見られるようになってきている。

また、西山火口の西側には噴気地が発達し (一部には沸騰泉の湧出あり)、帯状の高温地帯が確認された (Fig. 3：南側噴気地)。これは深部からの火山ガス (主として水蒸気) の噴出が、地表近くに発達した割れ目に沿って輸送・放出されていることを示している。Fig. 3に3次にわたる赤外映像調査結果を示しているが、高温部のパターンはほとんど変化していないのがわかる。

なお、西山火口の西方の傾斜した植生地一帯に噴気活動が発達しているのが認められているが、遠方からの測定ではあるが、赤外映像を比較する限り、大きな変化 (高温域の拡大) は認められ

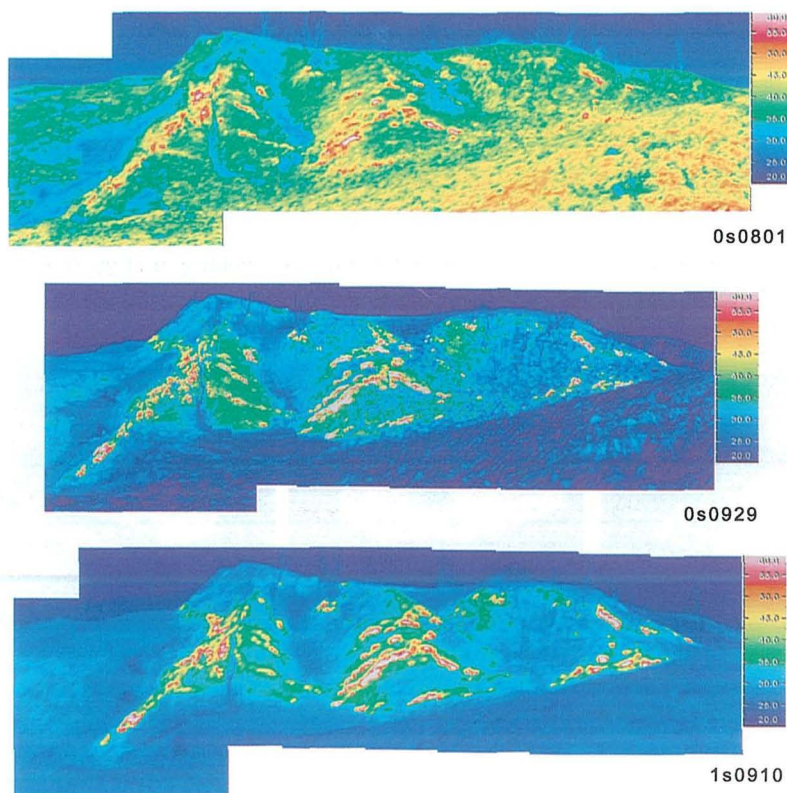


Fig. 3. Infrared imageries of the southern steaming ground of the western part of Nishiyama crater (Aug. 1, 2001, Sept. 29, 2000 and Sept. 10, 2001)

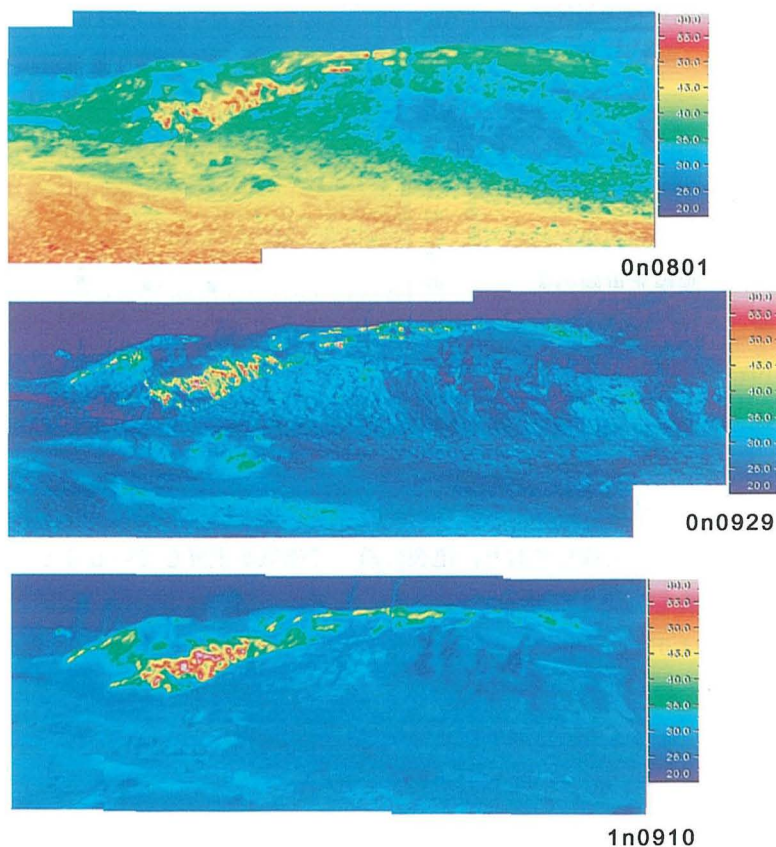


Fig. 4. Infrared imageries of the northern steam ground of the western part of Nishiyama crater (Left) and another distant steaming ground (Right) (Aug. 1, 2000, Sept. 29, 2000 and Sep. 10, 2001).

ない (Fig. 4 : 北側噴気地および遠方の噴気地—画像右側に見える細い高温地域—)。これらの地域には特に火口等は存在しておらず、地熱流体の供給過程は不明であるが今後の変動に注目したい。

2. 1 m 深地温測定

西山火口西部に発達する噴気地の活動変化を把握するために、高温部から低温部にかけて、1 m 深地温観測測線 (8 観測点、ただし、このうち、1 点は一時水没したため、比較可能な測点は 7 点である) を設定した (Fig. 1 : 全長約 250 m)。これによって、一部の地域ではあるが、地熱地域の拡大・縮小を定量的に捉えることを試みた。なお、1 m 深地温は常温 (約 14–17°C) からほぼ沸点までにわたっていた (最高 98°C 以上)。3 次わたる各調査における調査地域 (北緯 42 度 30 分、標高 200 m) の 1 m 深地温の標準値 (福富, 1951) は第 1 次, 2 次, 3 次それぞれ, 14.9°C, 15.4°C, 16.6°C である。第 1 次調査時における、測線に沿う温度プロファイルを Fig. 5 に示した。

測線南西端の噴気地域近傍 (UN-3, UN-4) では 94–98°C と沸点に近い地温が観測された。測線中央部分の、火口と火口の間に噴出した泥が堆積している部分 (UN-2, UN-5, UN-8) でも 29–34°C の高温が観測された。測線北東端の火口から離れた部分 (UN-6, UN-7) では 17–19°C で、火口からさらに離れた基準点 (約 500 m 離れており、温度は 14.0–14.1°C) に比べ、

3–5°C 高温であった。地温異常は火口から 100 m 離れたところでも観測されており、火口周辺以外にも多くの地下亀裂が発達しており、亀裂に沿って噴気が上昇していることを反映していると見られる。なお、第 1 次調査の時には 8 月 1 日と 2 日の 2 回の測定を行ったが、2 日間における各測点での温度差は 0.3°C 以内であった。また、1 m 深標準温度の経時変化分を補正して、地温の経時変化を示したのが Fig. 6 である。3 次とも測定値が得られた測点番号 2, 3, 5, 8, 7 では約 13 ヶ月の間、地温は単調に減少しており、かつ温度減少率が低下傾向にあり、測線に沿っては、地熱活動が次第に低下している傾向が捉えられた。すなわち、噴火後地熱異常が拡大する傾向は見られなかった。

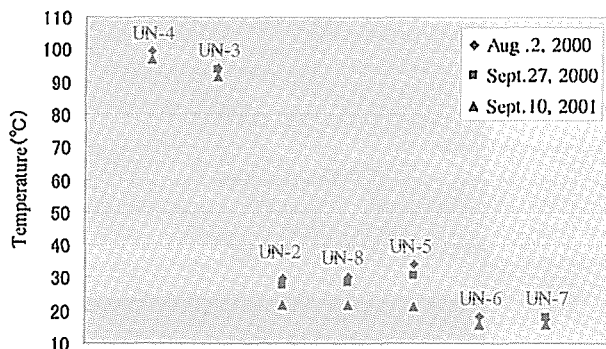


Fig. 5. Profile of 1m depth ground temperature along the measurement line (See Fig. 1).

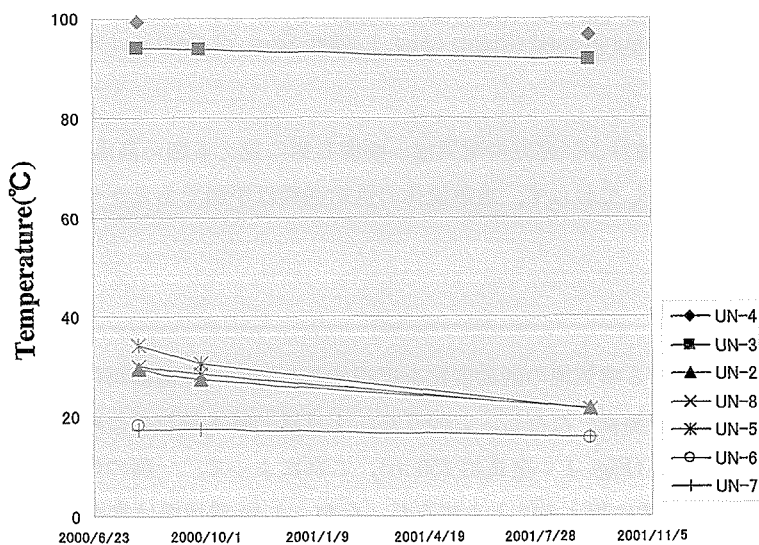


Fig. 6. Temporal variations of 1m depth temperature near Nishiyama crater.

3. 火口からの放熱量測定

リモートセンシングによる方法(神宮司・江原, 1996)で水蒸気放出量および放熱量を見積もった。K-B火口からの放熱量は第2次調査の測定(2000年9月27日実施)で、放出水量11000トン/日(127 kg/s)及び放熱量360 MWが得られた。なお、比エンタルピーとして185°C(1気圧)の過熱蒸気の値を用いた。得られた放熱量値は、噴火直後の2000 MWを越える値より明らかに小さいが、2000年7月9日の100 MWの値(平林・他, 2000)より明らかに大きい。従って、水蒸気放出量および放熱量は単調に減少しているのではなさそうである。

4. 火口噴出活動の定量的評価のための音圧測定

火口の水蒸気噴出活動の程度を定量的に評価することは難しいが、今回空気振動の音圧測定と地盤の振動測定により、噴出活動の定量化を行うことを試みた。以下ではまず音圧測定について述べる。測定にはマイクロフォンを使い、測定法はJIS規格に基づく標準的測定法によった(中野, 1990)。音圧レベルの表示はJIS規格に定められる音圧の基本単位 $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ (Pa)を使い、音圧強度 L の表示は $L_p = 20 \log_{10}(P/P_0)$ のdB表示となっている。測点はK-B火口周辺に5点、N-B火口周辺7点の合計12点である(Fig. 1)。K-B火口周辺では2000年7月31日、8月1日、8月2日、9月27日および9月29日そして、2001年9月11日2回(午前中と午後)の計7回測定を行った。N-B火口周辺では2000年8月2日、9月27日および9月29日の3回測定した。

K-B火口周辺の測定結果をFig. 7に示した(2000年9月27日と9月29日は火口に最も近い点と最も離れた点が欠けているが、前者は噴出活動が活発で接近できなかったこと、後者は水たまりの拡大により観測点が水没したことによる。また、2001年9月11日は火口縁まで接近が可能であり、また、第2次調査時水没していた地点が再び地表に現れたことにより、再度測定が可能

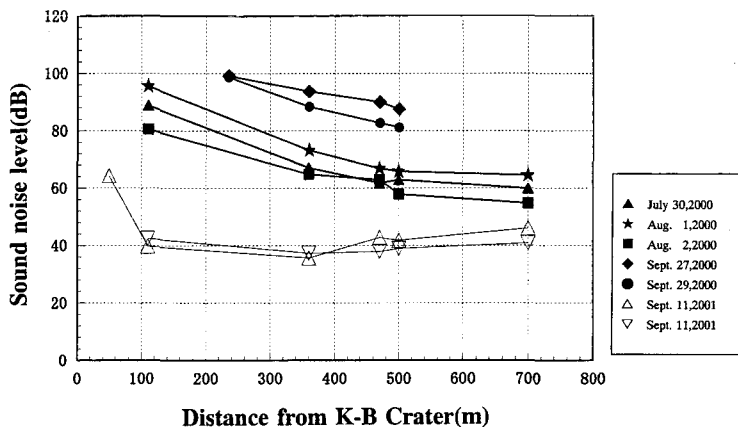


Fig. 7. Relation between sound noise level and distance from the crater at Konpirayama (K-B crater) for different seven periods.

能となったものである)。それによるといづれも火口に近い点の音圧が高く、火口から離れるに連れて単調に減少している。なお、第3次調査時において、火口から離れるにつれて、一度減少した音圧レベルが再び高くなっているのは、火口周辺への観光客の立ち入りが許可されたため、自動車等の人工的ノイズが増加したためである。

また、各測定時ごとに音圧レベルが系統的に異なるが、以下に示す目視観測による噴出活動の強弱によく対応している。

- 1 回目 (2000年7月31日) K-B火口, 噴気音, 噴出物ともに優勢。
- 2 回目 (8月1日) K-B火口, 前日よりもさらに優勢。
- 3 回目 (8月2日) K-B火口, やや静か。しかし接近すると恐怖感有り。
- 4 回目 (9月27日) K-B, K-A火口とも激しく活動。しばしば爆発音あり。恐ろしくて火口に接近できない状態。
- 5 回目 (9月29日) 前々日よりは静穏。それでも火口に近づくと恐怖感あり。
- 6 回目 (2001年9月11日午前) 泥状噴出物を火口外に飛ばすことはなく、火口縁まで接近し、火口底を観察可能。
- 7 回目 (9月11日午後) 同上の状態。

以上のように、音圧は火口からの距離に応じて単調に変化することが明らかにされるとともに、音圧値の変化は目視から区分した噴出活動の強さとよく対応しており、音圧による水蒸気噴出活動の定量化は十分行えると判断される。なお、西山火口の場合は、測点のほとんどが火口に近く、距離減衰は明確ではなかったが、各測点での経時変化は金比羅火口の場合と同じであった。Fig. 8に各観測点における音圧レベルの経時変化を示した。これらの結果からは、K-B火口からの水蒸気噴出活動は2000年7月末-8月はじめに比べ、2000年9月末の方が活発であり、水蒸

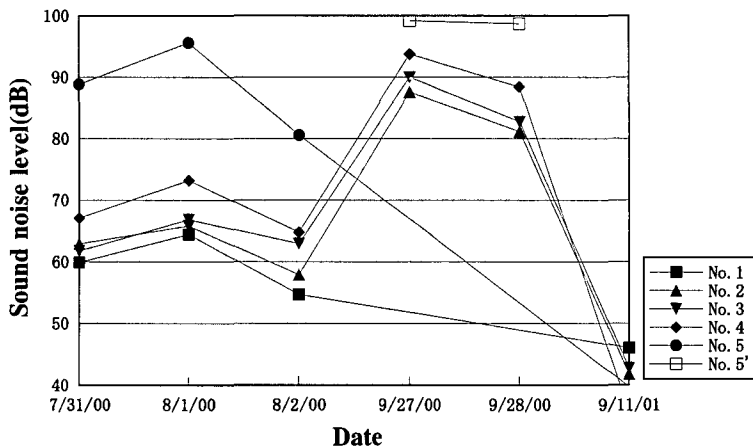


Fig. 8. Temporal variations of sound noise level at different sites around Kompirayama crater (K-B).

気噴出活動が単調に減少してはいないことが明らかにされた。しかしながら、第3次調査時(2001年9月中旬)は音圧レベルは第1次および第2次調査に比べ明確に低下しており、目視による火口活動の低下を定量的に裏付けるものであった。

5. 火口噴出活動の定量的評価のための振動測定

次に地盤の振動測定について記す。測定には加速度振動計を使い、測定法はJIS規格に基づく標準的測定法によった(中野, 1990)。振動レベルの表示はJIS規格に定められる振動の基本単位 $A_0 = 1 \times 10^{-5} \text{ (cm / sec}^2\text{)}$ を使い、振動レベルの表示は $L_A = 20 \log_{10} (A / A_0)$ のdB表示となっている。地盤の振動測定も音圧測定と同一地点・同一時刻に行った (Fig. 1)。

Fig. 9 に金比羅山火口周辺での振動レベルと火口からの距離の変化の関係を示した。距離に応じて振動レベルが減少する傾向にあるが、逆転しているところもある。これは振動計を設置した地盤の差異によるものと考えられる(かなり締まった未舗装道路上の場合と泥状の噴出物が厚く堆積している場所との差異)。このようなことはあるが、同一地点での振動レベルの比較を行うと音圧レベルの順序と同じであり、経時変化を議論する上では大きな問題とはならないことがわかった。Fig. 10 に各測定点における振動レベルの経時変化を示した。すなわち、同一地点で見ると、振動レベルは2000年7月末-8月はじめに比べ、2000年9月末の方が大きく、さらに2001年9月中旬が振動レベルは最も低く、音圧が示す結果と全く同じ結果となった。すなわち、振動レベルから見ても水蒸気噴出活動は単調に減少してないことが明らかにされた。なお、2001年9月中旬の結果において、火口からより離れた点で振動レベルが増加しているのは、音圧測定で得られた結果と同じで人工的ノイズ源の存在によるものである。

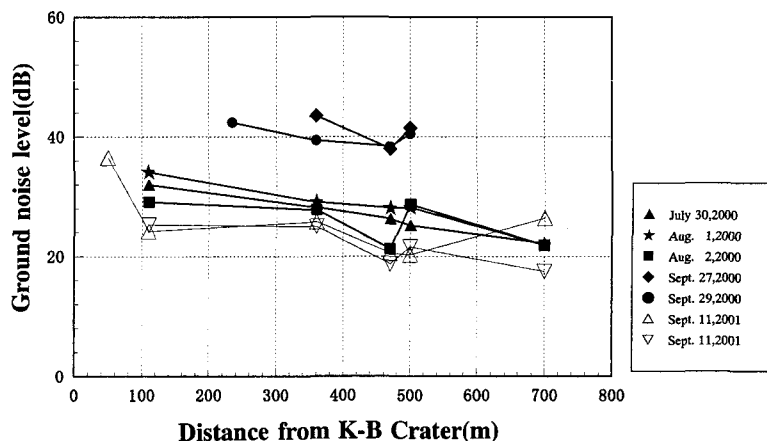


Fig. 9. Relation between ground noise level and distance from the crater at Konpirayama (K-B crater) for different seven periods.

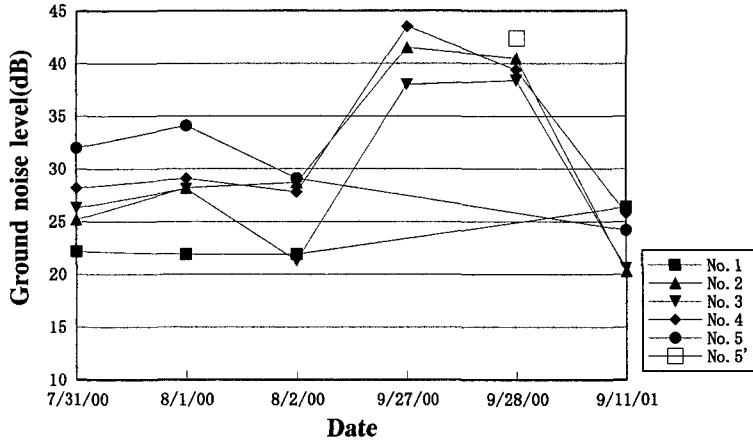


Fig. 10. Temporal variations of ground noise level at different sites around Kompirayama crater (K-B).

6. 繰り返し重力測定

カナダ・シントレックス社製 CG-3 M型重力計を用いて、金比羅山周辺において、重力変動観測（往復測定）を行った（1地点1秒サンプリングで120秒間の測定を行った）。測定点を Fig. 1（測点 SO-02 を基準として表示している）に示す。また、経時変化パターン（2000年7月から2001年9月の間の変化量）を Fig. 11 に示す。誤差を往復測定時の2つの値の差の1/2で示すと、最大で20マイクロガル程度で、多くは10マイクロガル以下である。本研究における重力変動観測の目的は噴火後の新たな熱水系形成に伴う、地下流体挙動の変化を明らかにすることである（測定した期間内では激しい地殻変動は終息しており、水準変動による重力に与える影響は無視しうるとした）。3次にわたる測定の結果、多くの地点で重力増加の傾向を示している。とくに金比羅火口周辺では約13ヶ月の間に、80マイクロガル近くの増加が観測された。すなわち、この13ヶ月間、火口周辺では相対的に質量増加が続いている。質量増加の原因としては、地下水の火口方向への流入の可能性が考えられる。これは「上昇してくる高温火山ガスにより加熱・水蒸気化され、地表から放出される火口周辺の地下水量」よりも「周囲から補給される地下水量」の方が多ことを示すものと考えられる。なお、上述の推論は地殻変動がないと仮定した時のものであり、地盤の沈降が生じていれば、その効果を合わせた量的検討が必要である。

水蒸気爆発様の活動に伴うこのような重力変動は大分県九重火山の例と比較される（江原, 1998）。九重火山では、水蒸気爆発直後ごく短期間（2週間程度）に重力は一時的に増加したが、その後長期間にわたって、重力減少が継続した。そして、その後の1998年初め頃から、重力増加に転じて現在に至っている（水蒸気爆発後約3年）。これらの重力変動は、「噴火直後の急激な地下水圧力減少に伴う一時的で急激な周辺地域からの地下水の補給、その後は地下から供給される高温火山ガスによる地下水の加熱・蒸気化・火口からの放出による地下水量の減少に伴う重力減少、そして、地下から供給される高温火山ガスが減少する一方、周辺からの地下水流入が継続し

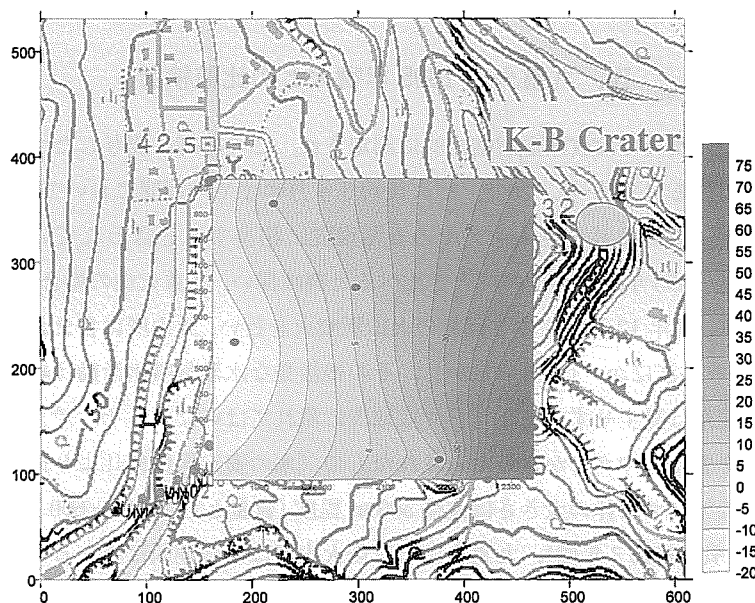


Fig. 11. Changes in gravity between the end of July, 2000 and the middle of September, 2001 around Konpirayana crater (unit: μ gal).

ている状態」と推定されている。このような九重火山の例を参考にすると、有珠火山においても、地下からの高温火山ガスの減少・周辺からの地下水補給の継続により重力増加が発生している可能性が考えられる。今後、さらに観測を継続して、質量収支の時間変化を明らかにし、より詳細な議論を行なうことが望まれるが、いずれにしても、2001年9月中旬の時点では、噴火に伴って形成された火口周辺の新しい熱水流動系はまだ平衡状態に達していないと判断される。

III. 水蒸気噴出活動の評価

上述したように、火口温度、火口周辺の音圧・振動レベルは2000年7月末～8月始めに比べ、9月末の方が活発化していることを示し、さらに2001年9月中旬は最も低下していることが明らかにされた。一方、1 m 深地温は高温域の拡大の傾向は特には見られず、2000年7月から2001年9月にかけて、一貫して地温の低下傾向を示している。また、火口からの放熱量は2000年7月上旬（平林ほか、2000）に比べ、9月末の方が明らかに大きく、2001年9月中旬には再び低下している。このように、2000年7月末～8月はじめに比べ9月末の方が水蒸気噴出活動（特に金比羅山火口）はむしろ活発化している傾向にあることがわかった。

以上は、地震活動や地盤変動に代表される力学的火山活動は単調な静穏化傾向にあるが、熱的活動は必ずしも単調に減少するのではなく、消長を繰り返しながら新しい平衡状態に向かっていくものと推定される。すなわち、火口からの水蒸気噴出活動が単調に減少しない理由は、地下に貫入したマグマ自体は一様に冷却するとしても、周辺地域からの地下水の補給が、空間的・時間

的に不均質であることに起因しているのではないかと推定される。

IV. 九重火山 1995 年噴火との比較検討

今回の有珠火山の噴火では放熱量が継続的に測定され、この冷却に関与したマグマは約 600 万トンと推定されている（平林・他，2000，噴火後約 3 ヶ月半までの期間において）。また、この値は地殻変動から推定される浅部貫入マグマの 5 %程度に相当すると言われている（平林・他，2000）。この数字を 1995 年九重火山の噴火と比べると興味深い。九重火山の場合、1995 年 10 月に最初の火山灰噴火、同年 12 月下旬に 2 回目の火山灰噴火を行い、火山灰に含まれるマグマ物質が急激に増加した（波多江ほか，1997）。しかし、その後活発な水蒸気噴出活動は継続したが、噴火後断層等の地殻変動は発生せず、またマグマは地表に現れてはいない。そこでまず、放出される水蒸気量の一部を新たなマグマからもたらされたもの（水の安定同位体比より推定）とすると、それをもたらしたマグマ自体の大きさは直径 500 m 程度（質量として 300–600 万トン程度）となり（江原，1998，噴火後約 3 年間）、九重火山と有珠火山では冷却期間は異なるが噴火後冷却したマグマの量は同程度になる。同じ程度のマグマが関与したのにも拘わらず（九重火山の場合、噴火後の火山体収縮のみが観測されているので、関与したマグマ全体の規模はわからないが）、有珠火山では激しい地盤変動と噴出活動が続いた。その理由として、貫入したマグマの深度が浅かったことが 1 つの可能性としてあげられるのではないか。有珠火山の場合、マグマの深さとして数 100 m 深が推定されている。一方、九重火山のマグマ貫入が明確に認められているわけではないが、噴火 5–7 ヶ月後頃、マグニチュード 2 を越える比較的大きな群発地震が発生し、それに続いて山体が一時的に膨張したが、その時の群発地震の震源の深さは 3 km 程度と推定されている（須藤，1996）。もちろん、九重火山の場合、新たなマグマが関与したとしても、その質量は小さく、明瞭な地殻変動を起こさず、地下の火山ガス圧力の増大が水蒸気爆発の原因である可能性も否定できない。たとえば、極めて多量の熱が放出し続けているが、噴火後の山体は収縮するのみであり（須藤，1996）、噴火前にもマグマの貫入を示すような地殻変動は知られていない。すなわち、噴火後に放出された熱量には有珠火山と九重火山では大きな差異はないが、噴火の形態は大きく異なっている。噴火後の新たな地下水利システムの形成を考える上で、両者を比較検討する意義は大きいと考えられる。いずれの火山においても、今後も観測を継続したいと考えている。

V. お わ り に

2000 年 7 月末–8 月はじめ、9 月末、および 2001 年 9 月中旬の 3 次にわたって噴火活動衰退期において有珠火山現地調査を行った。その結果、その期間においては、火口からの水蒸気噴出活動は単調に減少するのではなく、一時活発化した後、再び低下しているように見られた。これは、地震活動・地殻変動で代表される力学的火山活動（マグマの動き）は単調に静穏化しつつあるが、熱的活動は単調に低下するのではなく、消長を伴うことを反映していると思われる。これは熱源そのものは単調に冷却するとしても、周囲から補給される地下水の寄与の仕方に関係していると

考えられる。

また、噴火後冷却に関与したマグマの規模は、噴火の形態が大きく異なっているが、1995年九重火山噴火の場合と同程度である可能性がある。両噴火において地盤変動や噴出活動に大きな差異が見られた主要な原因として貫入マグマの深さの差異が推定される。なお、九重火山の場合、噴火に伴って多量の熱が放出されているが、大規模な新たなマグマは関与していない可能性も否定できない。いずれにしても、これらのことが、噴火後の新しい熱水系形成にどのような影響を与えるのかは大いに興味あることである。今後もさらに観測を継続し、噴火後に形成されているであろう新しい地下水理システムの解明を目指したい。

謝辞 現地調査においては北海道大学地震火山研究観測センター（有珠火山観測所）および気象庁有珠山現地災害対策本部のスタッフの方々には大変お世話になりました。記して感謝します。

文 献

- 江原幸雄, 1998, 1995年九重火山噴火とその後の経過, 温泉科学, **48**, 72-83.
- 福富孝治, 1951, 1 m 深の地中温度より温泉探査の可能性について, 北海道大学地球物理学研究報告, **1**, 1-14.
- 神宮司元治・江原幸雄, 1996, 最大噴気直径を利用した火山噴気放出量及び放熱量測定法, 火山, **41**, 23-29.
- 波多江憲治・渡辺公一郎・渡辺一徳・筒井智樹・本村慶信, 1997, 九重火山1995-1996年噴火活動に伴う火山灰中の発泡ガラス含有量の経時変化, 火山, **42**, 345-353.
- 平林順一・我孫子勤・野上健治・鍵山恒臣・大場武・前川徳光・鈴木敦生・鈴木隆, 2000, 有珠山2000年噴火の様式と活動の変化, 自然災害科学, **19**, 375-381.
- 気象庁, 2000, 日本の火山活動概況(2000年3月-4月), 有珠山, 火山, **45**, 189.
- 森 濟・宇井忠英, 2000, 2000年有珠山噴火の地殻変動と噴火活動について, 自然災害科学, **19**, 383-390.
- 中野友朋, 1990, 騒音・振動技術, 東洋堂企画出版, 1-247.
- 須藤靖明, 1996, 九重火山の火山活動-これまでの活動経過-, 文部省科学研究費研究成果報告書「1995年10月九重火山の水蒸気爆発の発生機構と火山活動推移の調査研究(研究代表者 小林芳正)」, 1-14.
- 宇井忠英・中川光弘・吉本充宏・総合観測班地質グループ, 2000, 有珠山2000年噴火, 火山, **45**, 195-196.
- 横山 泉・勝井義雄・大場与志男・江原幸雄, 1973, 有珠山-火山地質・噴火史・活動の現況および防災対策-, 北海道防災会議, 1-254.