

学位論文題名

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—

学位論文内容の要旨

熱及び物質の放出過程は火山活動の本質である。このうち熱の放出は噴火時のみならず、噴火後においてもかなりの量が放出されていることが最近明らかになってきた。多くの場合、火山の熱活動は地下のマグマに起因しており、その変動を捉えることは火山活動を理解する上で極めて重要である。しかしながら、熱活動は長期間におよぶ現象であるため充分な観測が行なわれていなかった。

1977年の噴火時に、有珠山火口原では噴気活動や地中温度異常等の熱活動が現われた。この熱活動の発現に伴い、多くの熱学的な観測が行なわれている。そこで、本研究では有珠山の熱活動に着目し、噴火後の観測を行なうことにより放熱量の変動過程を追跡した。そして、熱源となる貫入マグマの体積を推定し、その冷却過程を考察した。その結果、以下の事が明らかになった。

1. 放熱量は、噴気孔からの放熱、微弱な水蒸気が上昇している噴気地からの放熱、大地の熱伝導による放熱のそれぞれについて評価された。噴火にともなう地震活動、地殻変動と比較して、放熱量の時間推移には次のような特徴ある変化が見られる。

1) 地震活動によるエネルギー放出率とおがり山の隆起率は、一時期の不連続的な増加を除き、噴火後から指数関数的に減少し、1979年には低調な活動レベルになっている。これに対し、噴気孔及び噴気地からの放熱量は噴火後から増加していき1979年に最大に達する(それぞれ、730 MW, 320 MW)。地表水が地下のマグマに達するための通路が地震活動と地殻変動の推移とともに拡大され、水とマグマの接触により生成される水蒸気量が増加し熱活動が活発化したと考えられる。

2) 地震活動によるエネルギー放出率とおがり山の隆起率は1978年1月から2

月にかけて不連続的に増加している。これは、地下に新たなマグマの供給とそれに伴う熱の供給があったことを示している。噴気孔からの放熱は、この不連続的な増加に対応しており、熱源の状態を直接的に表わしている。従って、マグマ近傍の水蒸気が急速に上昇し噴気孔から放出していると考えられる。一方、噴気地からの放熱にはその様な対応は認められない。これは、熱源の状態の変化が、地表に現われるまでに緩和されることを意味している。噴気地からの放熱は、水蒸気の上昇通路周辺の媒質の熱伝導や、多孔質媒質内を拡散する水蒸気によりまかなわれていると考えられる。

3) 1979年以降噴気孔からの放熱量は急減している(1990年で11MW)。この時期は地震活動、地殻変動とも大きな変動はないので、放熱量の時間推移は、水の通路等の媒質の変化によるものではない。1火口の噴気温度の時間推移から、1979年以降水蒸気量が減少していることが分かった。熱源近傍で、高圧の水蒸気が増加すれば水の通路をも充満するようになり、地表からの水の供給を遮断する。その結果、マグマへ水の供給がほとんど行なわれず放熱量が減少したと考えられる。

2. 観測された放熱量を時間で積分することにより、噴火後から現在までに放出した熱活動によるエネルギー量を評価した。その値は 1.6×10^{17} (J) である。この量は、噴火時の放出物による熱エネルギー量(1.1×10^{17} (J)) に匹敵する。また、地震活動による放出エネルギー量(9.5×10^{13} (J)) より3桁大きく、地殻変動により消費されるエネルギー量(3.3×10^{15} (J)) よりも2桁大きい。有珠山の噴火活動は粘性の高い石英安山岩質マグマによるものであるため、噴火後もマグマは残存した。エネルギー量としてみた場合、噴火時に匹敵する量が、その残存マグマにより噴火後の熱活動として放出された。このことは、かなりの量のマグマが残存したことを示すとともに、噴火活動に伴うエネルギー放出を評価する際に、噴火後の放熱量を把握する重要性を示している。

3. 放熱量の時間推移から噴火後残存した貫入マグマの体積を推定した。その手続きは以下の通りである。まず、観測された放熱量の経年変化を指数関数で近似し、それを無限の時間まで積分することにより 2.8×10^8 Jを得た。これは、残存した貫入マグマが完全に冷却するまでに放出する熱量と見なせる。そこで、マグマの初期温度を 1000°C 、比熱を $0.25 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ 、潜熱を 100 cal/g 、密度を 2.5 g/cm^3 とし、マグマの初期の熱容量が先ほど得られた熱量と等しいとすることに

よって、残存した貫入マグマの体積を $8 \times 10^7 \text{ (m}^3\text{)}$ と推定した。この体積を他の量と比較すると、噴火時に放出されたマグマの体積 ($3 \times 10^7 \text{ (m}^3\text{)}$) の約3倍であり、地殻変動により隆起した山体の体積 ($6 \times 10^7 \text{ (m}^3\text{)}$) とほぼ等しい。噴火にともない生じた地殻変動のメカニズムは、現在までに2つ提唱されている。1つは、マグマから分離した揮発性成分の膨張によるモデルで、もう1つはマグマ貫入そのものによる弾塑性変形モデルである。残存マグマの体積の推定結果は山体の隆起量とほぼ等しく、地殻変動のメカニズムとして後者の可能性が高いことを示唆している。

4. 貫入マグマの冷却過程を非定常の熱伝導理論により次のように考察した。

1) マグマから放出される熱量と地表からの放熱量の熱収支を考え、貫入マグマの熱伝導率を推定した。熱伝導率は、 $0.5 \sim 0.7 \text{ cal/cmsec}^\circ\text{C}$ となり、別に推定した昭和神山の溶岩円頂丘の値 $6.0 \text{ cal/cmsec}^\circ\text{C}$ より1桁小さい。昭和神山の溶岩円頂丘は地表に露出している。それに対し有珠山のマグマは地下に貫入しているので雨水の浸透や蒸発等の影響が少なく、推定された熱伝導率が昭和神山の値に比べ小さくなっているものと考えられる。しかしながら、固結したマグマに対し一般的に与えられている値 $6.0 \times 10^{-3} \text{ cal/cmsec}^\circ\text{C}$ よりは2桁大きい。

2) 推定された熱伝導率を用いて、残存マグマを球状と仮定し冷却過程を計算した。噴火後12年経過した1989年で、球全体にわたりマグマの温度は 900°C 以下となり中心部まで固結していることが分かった。残存マグマは、固体の熱伝導に比べ急速に冷却している。このような急速な冷却は、マグマ内の対流による熱輸送等の現象が実際には生じていることを意味している。

学位論文審査の要旨

主査	教授	中尾	欣四郎
副査	教授	岡田	廣
副査	助教授	岡田	弘
副査	助教授	笠原	稔
副査	助教授	西田	泰典

学 位 論 文 題 名

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 —

火山活動の本質は熱および物質の放出過程である。有珠山からの放熱活動は1977年の噴火以後も長年にわたって継続している

この放熱活動は山体浅部に貫入した残存マグマが地下水と接触して生じる水蒸気放熱が主要な形態である。

申請者は、有珠山噴火から現在までの放熱活動の推移特性について、次の如く要約している。

1) 噴気孔および噴気地からの放熱量は噴火直後から急激に増加し、噴火から約2年後の1979年に最大に達した。これに対して、地熱エネルギーの放出とおがり山隆起率は、噴火後から指数関数的に減少し、1979年には低い活動水準を示した。

したがって、噴火直後からの水蒸気量の急激な増加は地震活動と地殻変動によって、マグマへの地表水供給を可能にする地下経路が増加した結果である。

2) 1979年以後、噴気孔からの放熱量は急激に減少しているにもかかわらず、噴気地からの放熱量はきわめてゆるやかに減少している。この点については、マグマ近傍に高温で高圧な水蒸気が充満することにより、マグマへの地下水接近が阻害される様になった結果と判断される。

さらに、噴火後から現在までの放熱エネルギーの総和は、 $1.6 \times 10^{17} \text{ J}$ であり、噴火時の放熱エネルギーの約1.5倍に達した。また、地殻変動に使われたエネルギーと地震活動による放出エネルギーは、これに対して、それぞれ2桁から3桁少ない。

次に、申請者は噴火後の放熱量の15年間にわたる調査結果から、貫入したマグマの定量的実態を明らかにしている。

貫入マグマの放熱量に関する無限大時間積分から初期熱容量を見積ることにより、マグマの体積を求めた。その結果、貫入マグマの体積は 0.08 km^3 と推定され、地殻変動で隆起した山体の体積 0.06 km^3 とほぼ等しい値であった。

また、マグマ表面からの放熱量を非定常の熱伝導理論から見積るとともに、観測された地表面からの放熱量との熱収支解析により、貫入マグマの熱伝導率を推定した。その結果、熱伝導率は、 $0.5 \sim 0.7 \text{ cal/cm s}^\circ\text{C}$ となり、一般に知られている固結マグマの熱伝導率である $6.0 \times 10^{-3} \text{ cal/cm s}^\circ\text{C}$ よりも2桁も大きい値であった。

有珠山の残存マグマに見られる高熱伝導率は、冷却過程が熱伝導に加えて、マグマ内で対流現象による熱輸送が生じていることを意味している。ここで見積られた熱伝導率は見掛けの値である。

この熱伝導率を用いて、残存マグマの冷却過程を球形状で計算した。これによると、噴火から12年を経過した1989年には、マグマ中心部でも温度は 900°C 以下となり、残存マグマは完全に固結していることになる。

本研究は長年にわたる豊富な観測データを駆使し、貫入マグマの実態を定量的に明らかにしたものであり、火山物理学上の貢献は極めて大きい。また、比較火山学上の論点を明確にした意義も大きい。

よって、審査員一同は申請者が博士（理学）の学位を受けるに十分な資格があるものと認める。