

( 1 ) 実施機関名：

北海道大学

( 2 ) 研究課題（または観測項目）名：

試掘探査を基軸とした有珠山における浅部噴火発生場の検証研究

( 3 ) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

( 3 ) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

( 3-3 ) 火山噴火過程

イ．噴火の推移と多様性の把握

( 4 ) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

( 2 ) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

( 2-2 ) 火山噴火予測システム

ア．噴火シナリオの作成

( 5 ) 本課題の 5 か年の到達目標：

本計画の目標は、有珠 2000 年新山域を対象に、ボーリング探査を基軸として低高度稠密空中磁気測量や地盤変動などの多項目観測を行い、貫入マグマを示唆する構造や変動源、水蒸気爆発の発生場や噴火活動後に発達した熱水系の実体を検証し、デイスサイト質マグマによるドーム形成噴火の理解を深め、その活動予測の高度化を進めることにある。

( 6 ) 本課題の 5 か年計画の概要：

2009 年度の計画概要： 次年度の各種観測・探査に先行して 2000 年新山横断水準測量を行い、2000 年新山で進行している沈降の現況把握を行う。また事前調査として、ボーリング探査データの解析に必要とされる基盤地質、地下温度、浅部の水環境などを知ることのできる孔井地質柱状図や検層データの収集を行う。さらにボーリング探査の成否を左右する 2000 年新山地域の地下浅部の温度を推定するために噴気温度など噴気諸量を測定する。

2010 年度の計画概要： これまでの観測研究や物理探査結果を参考に、低高度稠密空中磁気測量、地上全磁力観測、地盤変動観測（水準測量、精密重力測量、In-SAR 解析）を行い、2000 年新山直下の貫入マグマと考えられる帯磁源や圧力源の位置を再解析する。熱観測を実施し地下の温度分布を推定する。2000 年新山地域で実施された MT 探査・地震探査を参考にしながら、人工地震の補完探査を行い、反射面の水平方向への広がりを把握する。2 年間にわたって実施した観測・探査の解析結果を総合し、法的な規制などを考慮して、掘削地点を選定する。

2011 年度の計画概要： 火山噴出物の分布と熱水系の発達が想定される地表から深度 200 m までワイヤーライン工法により掘削する。その後、拡孔して検層を行い、その解析を実施する。また、ボーリングコアの火山地質学的・岩石学的解析から噴火履歴や噴火様式の時間変化について検討する。コア物性試験を実施し、必要に応じて観測から推定された構造の再解析を行う。

2012 年度の計画概要： 掘削データやカッティングスの地質学的・岩石学的な鑑定に基づいてスポットコアを採取しながら深度 200 m から 500 m まで掘削し、掘削データや検層結果などに基づいて孔井仕上げを行う。検層と解析、コア・カッティングスの地質学・岩石学的分析、コア物性試験、必要に応じて観測から推定された構造の再解析を行う。

2013 年度の計画概要： 揚水試験などの孔井内計測と、地層水・ガスの採取・分析を行う。多層同時仕上げを試行し、水位・水温観測を開始する。掘削データ、孔井地質、検層解析結果、揚水試験、地層水・ガスの分析結果を総合し、既存の孔井資料と合わせ、水蒸気爆発の発生や熱水系の発達に関係する浅部水環境（透水層分布や透水係数等の水理定数）を把握し、噴火発生場の特性や貫入マグマの冷却過程を検討する。また、現地検討会による総括と取りまとめを行う。

#### （ 7 ）平成 23 年度成果の概要：

今年度は本課題の中核をなす深度 500m 試錐探査の初年度にあたり、深度 200 m まで試掘を行う計画であった。しかし試掘終了後の保孔や試掘再開始時の孔内状況確認、浚渫など余分な作業を伴う複数年度にわたる掘削よりも、深度 500 m まで一連の試錐探査として実施する方が、掘削工程が合理的で、余分な経費も削減でき、目的を達成するために無理のない試錐探査計画になる。そこで試錐探査は今年度と次年度の計画と合わせて実施することにし、今年度は昨年度までに得られた人工地震探査、低高度稠密空中磁気測量や熱観測データの解析を進めた。

##### ● 人工地震探査

探査は 2001 年と同様に 2000 年新山を概ね南北に横断する測線を設け、15 m 間隔で地震計を設置、ダイナマイトで起振した。起振間隔は屈折法で 100m、反射法では 30 m 間隔である（図 1 C）。

屈折法では標高 30 m 程度までの P 波速度構造が求められた（図 1 A）。2001 年の結果と比較すると、2000 年新山の北腹（A 領域）や噴火口分布域の標高 100 m 付近（B 領域）、およびその下部（D 領域）、2000 年新山の南腹（C 領域）で P 波速度の増加が認められた。なかでも B 領域や D 領域は噴火活動終息直後から始まる沈降の中心にあたる新山頂部に位置し、一つの沈降原因と考えられる圧密が深部にまで及んでいること、更に 2 つの領域に分かれていることは岩相を選択して圧密が進行したことを想定させる。同様に A 領域表層部での速度増加は堆積した噴出物の圧密が原因と考えられる。これらに対し D 領域の速度増加は説明が難しく、疑問が残る。

一方、速度低下は A 領域内下部や、A 領域の北側に認められる。このうち A 領域北側は 2000 年新山の山麓から山腹にかけての地域で、新山成長期に強い圧縮を受けていたが、それが沈降の進行とともに弛緩し、この領域の速度低下を引き起こしているのかもしれない。A 領域下部の速度低下は、その西方の広い範囲で 2001 から 2003 年をピークとした表面熱活動の盛衰が認められており、これに関係した熱水系の衰退が原因しているのかもしれない。

反射法では重合数が少ない測線両端で反射面が求まらなかったが、2001 年の反射断面にも存在する反射面が標高 50 m 付近および海面下 50 m 付近に認められた（図 1 B）。上方の反射面は 2001 年に較べて測線の北半分では深く、測線の南半分では同じ乃至やや浅くなっているように見える。測線の北半分の反射面は速度構造断面の A 領域内下部に認められる速度低下を示す領域に、南半分は B 領域の速度増加域に対応し、反射面の不一致は速度構造の変化に関係しているのかもしれない。下方の反射面は測線の北半分では上方と同様に深く、測線南半分では一致しているように見えるが乱れが大きい。しかし、反射面の深度方向の変化は大きく、可能性は指摘できるものの疑問が残る。

両構造変化とも活動終息後の活動に関係しているように見える変化がある反面、疑問の残る変化もあり、構造変化については、試錐探査結果を加味して再吟味を行う必要がある。

##### ● 低高度稠密空中磁気測量

火山活動と無関係な地磁気永年変化成分について地上の連続観測データおよびグローバルモデルを用いて検討するとともに、空間エイリアシングの影響を最小限に抑えながら時間変化成分の抽出を可能とすることを目指して開発された拡張交点コントロール法を適用して、直流成分まで含めた 10 年間の地磁気異常時間変化の最終結果を得た（図 2 A）。更に、得られた地磁気異常時間変化に含まれるオ

リエンテーション効果による見掛けの変化を等価アノマリ解析によって評価し、この効果は測定誤差範囲内にとどまることを確認した。また、昨年度に求めた共通リダクション面上での単純差分処理による暫定的な地磁気異常時間変化が最終的な地磁気異常時間変化と類似したパターンを示し、単純な共通リダクション面上での差分処理でも有意な結果が得られていることを確かめた。

両地磁気異常時間変化図には 2000 年新山域、山頂火口原および昭和新山の 3 地域に冷却帯磁傾向が認められた。それらはいずれも地上観測でとらえられていた帯磁傾向と調和し、空中磁気測量からの推定の正当性を確認した(図 2 B)。加えて最終の地磁気時間変化図には、昭和新山屋根山など、従来の観測では知られていなかった場所にも測定誤差を超える変化が示唆された。これらは地上観測等で確認する必要があるが、拡張交点コントロール法の分解能の高さを示していると言える。

ところで 20 世紀中の噴火活動で形成されたドームや火口のなかで、1910 年の噴火で生じた明治新山付近には有意な変化は認められなかった。これは、地上観測でとらえられている 2000 年新山での地磁気変化が時間とともに鈍化していることとあわせ、貫入マグマのサイズや冷却過程を考えるうえで興味深い。

九重山に続き、有珠山でも時間変化が検出できたことは地磁気時間変化の検出における繰り返し空中磁気測量の有効性・実用性をさらに確実なものとした。また最初の適用例ではあったが、拡張交点コントロール法は微弱な地磁気時間変化を検出できる可能性のあることも示唆された。

#### ●熱観測

昨年度に実施した空中赤外熱映像観測や氷熱流計による定点観測の解析を進めるとともに、既存の観測データをあわせて 2000 年新山地域および 1977-82 年噴火の活動期となった山頂部における熱放出率の経年変化を整理し、比較をおこなった(図 3)。

まず噴気による放熱量についてみると、2000 年新山地域では噴火活動終息直後の放熱率は 500MW 前後であったが、約 10 で 1MW 以下にまで低下した。一方、1977-82 年噴火活動で山頂火口原に生じた火口からの噴気による放熱率は、活動開始から 2 年後にピークに減少に転じるものの活動終息から 10 年後でさえ約 10MW を保持している。同じ傾向は噴気地からの放熱の経年変化にも表れている。2000 年新山地域の噴気地は噴火終息直後から拡大し始め、2003~5 年をピークに熱活動の低下を示唆するように植生が回復し始めた。このことと 2006 年から 2010 年の間に放熱量が半減したことを合わせると噴気地からの放熱率は噴気地の拡大とともに増大し、2003~5 年をピークに減少に転じたことをうかがわせる。これに対し 1977-82 年の噴火活動で生じた噴気地からの放熱量は、噴火活動が終息してから約 30 年が経過した現在でも約 40MW を保っている。

このように噴気による放熱量、噴気地からの放熱量とも山頂火口原に比べて 2000 年新山地域では急速に低下した。この原因としては表面熱活動を支える貫入マグマの量が 1977-82 年噴火よりも 2000 年噴火の方が少ない、あるいは同程度であったとすると熱水循環システムの発達の違いなどが考えられる。同地域で行われる試掘調査結果をまっ、この原因の特定を進める必要がある。

( 8 ) 平成 23 年度の成果に関連の深いもので、平成 23 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) : 橋本武志・宇津木充・中塚 正・大熊茂雄・小山崇夫・神田 径・鈴木敦生・有珠山空中磁気探査グループ、繰り返し空中磁気測量で検出された有珠山の全磁力変化 日本地球惑星科学連合 2011 合同大会予稿集、2011。

大島弘光・青山 裕・松本 聡・清水 洋・筒井智樹、有珠山 2000 年新山における人工地震探査、日本火山学会秋期大会予稿集、2011。

Hashimoto, T., M. Utsugi, T. Nakatsuka, S. Okuma, T. Koyama, W. Kanda, Temporal magnetic changes possibly due to cooling magmas as revealed by repeat helicopter-borne magnetic surveys over an active volcano, Proceedings of the 10th SEGJ International Symposium, Kyoto, 276-279, 2011.

寺田暁彦・吉川 慎・大島弘光・前川徳光・松島喜雄、空中赤外観測に基づく噴気地および火口湖面からの放熱量推定 - 有珠火山・登別火山・北海道駒ヶ岳火山 - , 北海道大学地球物理学研究報告, 75, 25 - 41, 2012.

松島喜雄・大島弘光・森 濟・前川徳光・鈴木敦生・寺田暁彦・鍵山恒臣、携帯型赤外カメラを用いた航空機による地表面温度測定（2006）?有珠火山・登別火山・樽前火山?、北海道大学地球物理学研究報告，75，43 - 58, 2012.

（ 9 ）平成 24 年度実施計画の概要：

平成 23 年度に実施を予定していた深度 200 m までの探査を合わせて一連の試錐探査として深度 500 m まで試掘を行う．さらに、可能ならば最終年度に予定している揚水試験などの孔内計測と、地層水・ガスの採取も実施する．

試掘は地表から深度 200 m まで掘削後、保孔のためにケーシング管を挿入して深度 500 m まで掘り進める．未個結な火山噴出物が想定される深度 200 m まではスリーブ内蔵二重管サンプラー等を用いコア採取率を高める．これ以深のコア採取はスポットコアをとするが、場合によってはワイヤーライン工法によるコア採取も行う．検層は 200 m 掘削完了後、および 500 m 掘削完了後に実施し、最後に揚水試験などの孔内計測を実施する．取得されたコアの火山地質学的・岩石学的記載および解析は、適宜、行うとともに、検層解析を進める．また揚水試験などの孔内計測はコア解析や検層解析結果に基づいて計測対象とする深度を決定する．なお、なお、地質の状況によっては予定深度までの掘削に時間を要し、探査の完了が年度をまたぐ可能性がある．

（ 10 ）実施機関の参加者氏名または部署等名：

北海道大学大学院理学研究院 大島弘光・橋本武志・青山 裕・森 濟・村上 亮・池田隆司・中川光弘・吉本充宏

他機関との共同研究の有無：有

秋田大学工学資源学部 筒井智樹（ 代表者 ）

東北大学大学院理学研究科 植木貞人（ " ）

東京大学地震研究所 中田節也（ " ）

東京工業大学火山流体研究センター 野上健治（ " ）

京都大学大学院理学研究科 鍵山恒臣（ " ）

九州大学大学院理学研究院 松本 聡（ " ）

京都大学防災研究所 井口正人（ " ）

鹿児島大学大学院理工学研究科 小林哲夫（ " ）

研究協力機関

室蘭工業大学大学院工学研究科 後藤芳彦（ " ）

産業技術総合研究所 松島喜雄（ " ）

北海道立地質研究所 岡崎紀俊（ " ）

（ 11 ）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：0142-66-4011/011-706-4677

e-mail：oshima@uvo.hokudai.ac.jp / hasimoto@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：

（ 12 ）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大島弘光

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター（有珠火山観測所）

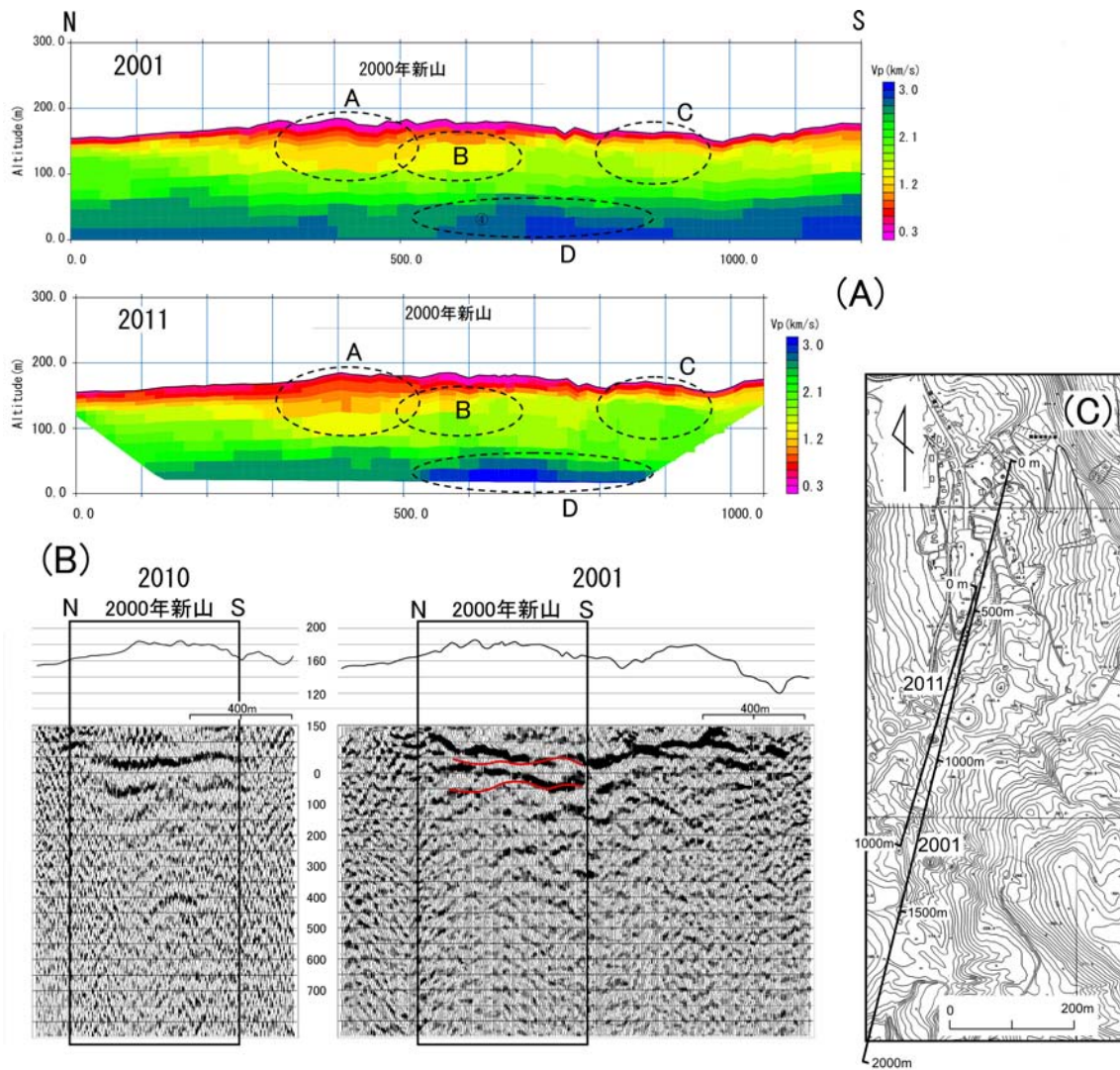


図1 . 2001 年と 2011 年に実施した人工地震探査で得られた P 波速度構造、反射断面の比較。(A) P 波速度構造の比較。(B) 反射法解析により得られた反射断面の比較。図中に示した枠内が対応する領域、また赤線は 2011 年の断面上部に顕著な二つの反射面のトレース。(C) 2011 年および 2001 年の測線位置図。

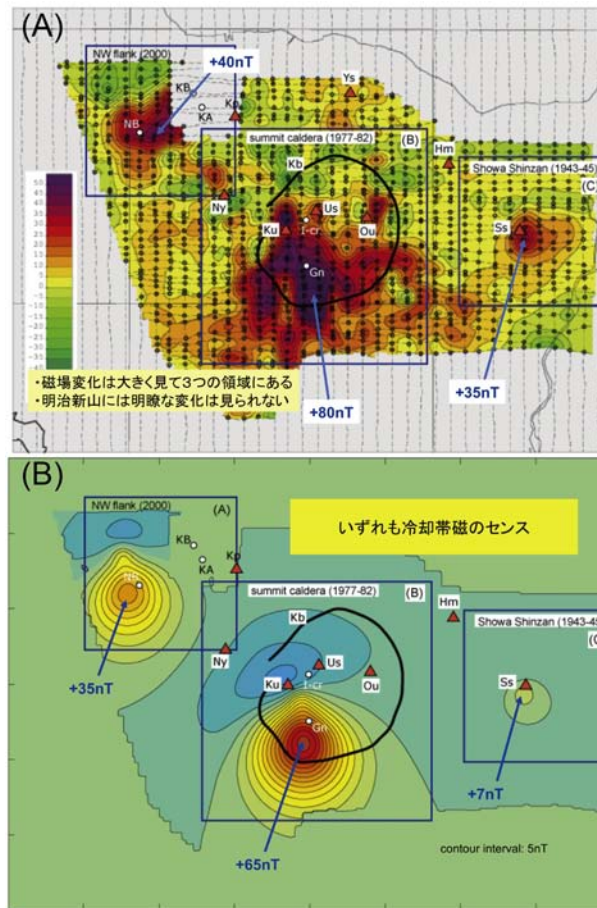


図2．拡張交点コントロール法を適用して得られた2000年6月から2010年9月の間の地磁気異常時間変化(A)および地上測量から推定される双極子による磁場(10年間相当)を共通リダクション面に投影した地磁気異常(B). 四角枠(A)が2000年新山地域、四角枠(B)が山頂火口原地域、四角枠(C)は昭和新山地域である．

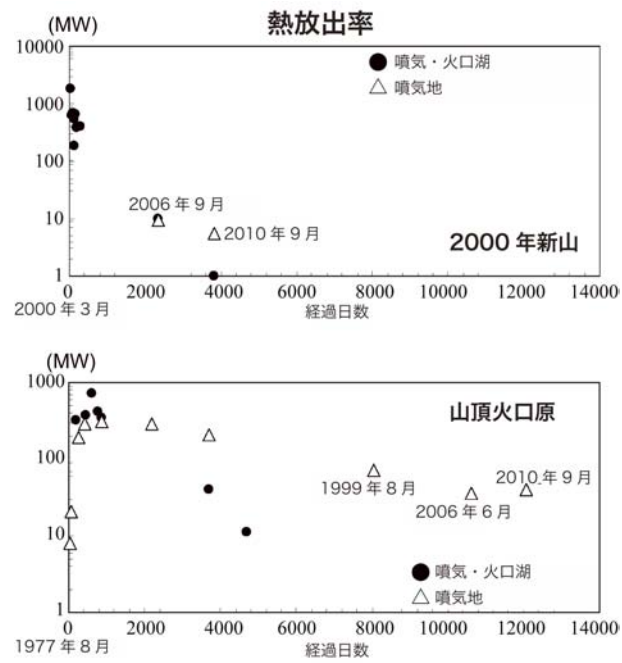


図 3 . 2000 年新山地域 (上段) および山頂火口原 (下段) からの熱放出率の経時変化 . 両図とも横軸は最初の噴火発生年月日からの経過日数