

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03983

研究課題名(和文) 有珠山の次期噴火予測対応研究：洞爺カルデラと有珠山の全噴火史解明

研究課題名(英文) Eruptive history of Usu volcano, Japan

研究代表者

後藤 芳彦 (Goto, Yoshihiko)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20221252

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：有珠山と洞爺カルデラの形成史に関する新知見が得られた。有珠山は1万9千年前に活動を開始し、安山岩質成層火山を形成した後、約3000年以内に山体崩壊したことを解明した。このような早期の崩壊は、有珠山の基盤をなす洞爺火砕流堆積物が脆弱であり、その上に成層火山が形成されていることに起因すると考えられる。有珠山の歴史時代の噴火史に関する新知見が得られた。有珠山の東丸山潜在ドームが1663年の寛文噴火で形成されたことを明らかにした。洞爺カルデラ全体の解明では、洞爺火砕流堆積物の下位にある3つ火砕流堆積物(壮瞥、滝ノ上、長流川)の下位から未知の火砕流堆積物を発見し立香火砕流堆積物と命名した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有珠山の形成史と洞爺カルデラに関する多くの新知見が得られ、学術的な意義は大きい。有珠山は1万9千年前に活動を開始し、安山岩質成層火山を形成した後、約3000年以内に山体崩壊した。有珠山の崩壊は、有珠山の基盤をなす洞爺火砕流堆積物が脆弱であり、その上に成層火山が形成されていることに起因する。また、有珠山の東丸山潜在ドームが1663年の寛文噴火で形成されたことを解明できた。本研究は有珠山の防災を進める上で極めて重要である。洞爺カルデラ全体では、洞爺火砕流堆積物の下位から未知の火砕流堆積物を発見し立香火砕流堆積物と命名した。この立香火砕流堆積物は洞爺カルデラの長期的な進化を考える上で重要である。

研究成果の概要(英文)：Usu is a Quaternary basaltic to andesitic stratovolcano that has an amphitheater at the summit. The eruptive history of Usu as follows: (1) andesitic explosive eruption at 19 ka, (2) stratovolcano growth between 18 and 16 ka, (3) sector collapse at 16 ka, (4) hiatus in volcanic activity for 15,000 years, (5) rhyolitic Plinian eruption in AD 1663, and (6) dacitic dome-forming eruptions after AD 1663. This eruptive history indicates that the sector collapse occurred within ~3000 years of the onset of stratovolcano growth, much sooner than at other volcanoes where the timing of sector collapse is known. We infer that the sector collapse of such a young volcanic edifice was caused by a combination of dome-like uplifting/tilting (forced folding) of soft substratum, overloading of the volcanic edifice on the soft substratum, a NE-SW-trending fault system that deeply cuts the substratum, and possible magma intrusion within the edifice and associated earthquakes.

研究分野：火山地質学

キーワード：有珠山 山体崩壊 洞爺カルデラ 噴火史 防災

## 1. 研究開始当初の背景

有珠山は北海道南西部に位置し、20年～30年周期で噴火を繰り返す活火山である。最近では西暦2000年に噴火し、周辺地域に甚大な被害をもたらした。有珠山は日本有数の活火山であると言える。研究開始当初、西暦2000年の噴火から既に18年が経過しており、次の噴火が近づいていることから、有珠山の火山防災を進めることは急務の課題であった。2023年現在まだ噴火は起きていないが、有珠山の火山防災を進めることは、現在でも本地域の大きな課題である。

有珠山の噴火予測は、地質学的手法により解明された過去の噴火史を基に、地震観測などの地球物理学的な手法で進められている。有珠山は、昔から数多くの地質学的研究が行われ、北海道防災会議や洞爺湖有珠山ジオパーク協議会などから多くの印刷物が出版されている（横山ほか、1973、勝井ほか、1988など）。このため、その噴火史については、ほぼ解明されたかのように見える。しかし、この噴火史の基になっている地質データは非常に古く、特に地球年代学的なデータは、現在の精度から著しく低い。このため、有珠山の地質データを更新し、最新の手法で年代測定を行うことにより、有珠山の噴火史を大きく改訂することが必要であった。正確なタイムスケールに基づいた有珠山の噴火史に基づいて、地震観測などの地球物理学的なデータ収集することは、有珠山の火山防災を進める上で必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、有珠山を含む洞爺カルデラ-中島-有珠山のカルデラ全噴火史を解明し、有珠山の火山防災を進めることにある。研究開始当初、防災に使用されている有珠山の地質データは1960年代の古いものであった。本研究では、洞爺カルデラの形成以前の火山活動から、カルデラ形成噴火、カルデラ形成後の中島火山の形成、そして有珠山の形成までを、最新の分析手法を用いて、高精度なタイムスケールで解明した。また、有珠山長期噴火予測と洞爺カルデラの長期予測に役立てるため、洞爺カルデラ全域のテクトニクスを解明した。

有珠山の形成史で最も未解明な部分は、山体崩壊の年代とそのメカニズムであり、これが本研究課題の核心であった。有珠山の山体崩壊の年代は、7～8千年前と考えられてきたが、これは貝塚の層序や土器の様式などから推定されており、放射性同位体を用いた年代は報告されていなかった。このため、山体崩壊年代は未解明であった。山体崩壊年代に関する過去50年間にわたる研究は、いずれも間接的な証拠から導きだされており、岩屑なだれ堆積物を直接年代測定した例はない。また、山体崩壊のメカニズムについても、セントヘレンズのようなシリシクな火砕堆積物が発見されないため、諸説入り乱れている状況であった。山体崩壊の年代とそのメカニズムを解明し、有珠山全体の形成史を確立できれば、有珠山の火山防災を進める上で非常に大きな貢献となる。

有珠山の火山防災を進めるためには、有珠山だけではなく、有珠山を含む洞爺カルデラ-中島-有珠山のカルデラ全噴火史を解明することが必要である。過去の研究により、洞爺カルデラは洞爺火砕流堆積物を噴出した約11万年前の噴火により形成されたことが判明している。しかし、洞爺火砕流堆積物の下位にも、多くの火砕堆積物（壮瞥火砕流堆積物、滝ノ上火砕流堆積物、長良川降下火砕堆積物、長良川火砕流堆積物など）が存在しており、洞爺カルデラの形成以前にも、過去から大規模な噴火を繰り返していた可能性が高いが、これらの火砕堆積物に関する研究は少なく、洞爺カルデラの深部にあるマグマチェンバーの形態や進化に関する情報は非常に少ない。本研究は、有珠山の火山防災のみならず、国内のカルデラ火山の防災に大きな貢献をなす。

## 3. 研究の方法

有珠山と洞爺カルデラの詳細な野外地質調査を行った。有珠山の野外地質調査は、有珠山山頂部の火口域から山麓部に至るまでの広範囲な地域で行った。この野外地質調査では手掘りトレンチによる調査も行った。洞爺カルデラの野外地質調査は洞爺カルデラの全域で行い、洞爺火砕流堆積物とそれ以前の火砕堆積物（壮瞥火砕流堆積物、滝ノ上火砕流堆積物、長良川降下火砕堆積物、長良川火砕流堆積物など）の調査を行った。有珠山と洞爺カルデラの野外地質調査で得られた岩石試料やテフラ試料に関して、高精度放射年代測定、全岩化学分析、屈折率測定、EPMAによる鉱物化学分析を組み合わせた分析を行った。そして得られたデータを総合して、洞爺カルデラの陥没から有珠山の形成までのエボリューションを解明した。また、洞爺カルデラと他地域のカルデラとの比較を行うため、ギリシャのサントリーニカルデラの地質調査を行った。さらに洞爺カルデラの陥没機構を明らかにするため、洞爺カルデラの北方に位置し、洞爺カルデラと同時期に活動した尻別火山の地質調査も行い、比較検討を行った。

## 4. 研究成果

本研究により、有珠山と洞爺カルデラの形成史に関する多くの新知見が得られた。特に有珠山は全噴火史の解明に成功した。以下に本研究の成果を列記する。

### (1) 有珠山の噴火史の解明

有珠山の山体崩壊の年代を解明した。有珠山の山体崩壊により形成された善光寺岩屑なだれ堆積物について詳細な層序学的地質調査を行い、善光寺岩屑なだれ堆積物の年代測定（<sup>14</sup>C法）を

行った。これにより、有珠山の山体崩壊年代が1万6千年前であったことを解明できた。有珠山は1万9千年前に活動を開始し、安山岩質の成層火山を形成した後、約3000年以内に山体崩壊したことが明らかになった。このような早期の崩壊は、有珠山の基盤をなす洞爺火砕流堆積物が脆弱であり、その上に成層火山が形成されていることに起因する可能性が高い。この成果は国際雑誌 *Bulletin of Volcanology* に投稿し、掲載された。

有珠山の山体崩壊の年代学的な研究により、有珠山が非常に特異な火山であることが判明した。有珠山は1万6千年前の山体崩壊後、歴史時代の噴火まで1万5千年間も活動を休止した。このように1万年を超える長期的な活動休止期間をもつ火山は、日本には例がない。この研究成果は、北海道洞爺湖町で2019年10月26日に行われた火山防災講演会で発表し、有珠山周辺の一般住民に公表した。

#### (2) 有珠山の東丸山潜在ドームの形成年代の解明

有珠山の歴史時代の噴火史解明の研究は大きな進展があった。有珠山の東丸山潜在ドームの詳細なテフラ層序学的地質調査を行い、東丸山潜在ドームが1663年の寛文噴火で形成されたことを明らかにした。東丸山潜在ドームは内部の貫入岩体が露出していないため、これまで形成年代が不明であった。有珠山の歴史時代の噴火史では、1663年の寛文噴火のみが潜在ドームを形成していないとされていたが、今回の研究により、1663年の寛文噴火で潜在ドームが形成されたことが明らかになった。この研究成果は、ニュージーランドのロトルアで2023年2月2日に行われた IAVCEI 国際学会で発表し、公表した。

#### (3) 有珠山の昭和新山ドームのテフラ分布域の解明

有珠山の昭和新山ドームのテフラの野外調査を行い、テフラの分布域を明らかにした。昭和新山ドームのテフラは、昭和新山ドームの形成中に噴出したという記録はあるが、アイソパックはこれまでに報告されていない。今回の研究により、昭和新山ドームのテフラの詳細な分布域が明らかになった。さらに昭和新山ドームから天然レンガを含むテフラを発見し、その記載を行った。この研究成果はギリシャのイラクリオンで2022年6月行われた *Cities on Volcanoes 11* 国際学会 (COV11) で口頭発表し、成果公表を行った。

#### (4) 有珠山のオガリ山潜在ドームの形成メカニズムの解明

有珠山の歴史時代に形成されたオガリ山潜在ドームの研究を行い、オガリ山潜在ドームの形成史を解明した。今回の研究により、オガリ山潜在ドームの内部構造が解明され、エンドジナスな膨張によりドームが形成されたことが明らかになった。この成果は国際雑誌 *Frontiers in Earth Science* に投稿し掲載された。

#### (5) 有珠山の基盤を構成する花崗岩の発見

有珠山の最初期噴火により形成された有珠上長和テフラから有珠山の基盤を構成する花崗岩のゼノリスを発見した。この花崗岩ゼノリスの主成分全岩化学分析とジルコンの ICP レーザー年代測定を行った。この成果は日本火山学会の2022年秋季大会で公表した。

#### (6) 洞爺カルデラ全体の火山噴火史の解明

洞爺カルデラの全ヒストリーを解明するため、洞爺火砕流堆積物の下位にある3つ火砕流堆積物（壮警火砕流、滝ノ上火砕流、長良川火砕流）の野外調査を行った。その結果、長良川火砕流堆積物だけが非常に特異な化学組成を示すことが明らかになった。この研究成果はカナダモントリオールで開催された IUGG 国際学会で口頭発表を行った。

#### (7) 洞爺カルデラの立香火砕流堆積物の発見

洞爺カルデラの全ヒストリーを解明するため、洞爺火砕流堆積物の下位にある3つ火砕流堆積物（壮警火砕流、滝ノ上火砕流、長流川火砕流）の野外調査を行った。その結果、これらの火砕流堆積物の下位に、もう1つ別な未知の火砕流堆積物が存在することを発見し、これを立香火砕流堆積物と命名した。立香火砕流堆積物の発見により、洞爺カルデラ地域の火砕流堆積物の層序は、下位より立香火砕流堆積物、壮警火砕流堆積物、滝ノ上火砕流堆積物、長良川火砕流堆積物であることが明らかになった。この成果は日本火山学会の2020年秋季大会で公表した。

#### (8) 洞爺火砕流堆積物の層序の解明

洞爺カルデラを形成した洞爺火砕流堆積物の層序を解明するため、洞爺カルデラ北側の野外地質調査を行った。その結果、洞爺火砕流堆積物が尻別火山から噴出した喜茂別火砕流堆積物に挟んでいることが判明し、洞爺カルデラの形成時期が尻別火山とオーバーラップしていることが判明した。この成果は *International Journal of Earth Sciences* に掲載された。

#### (9) 洞爺カルデラと他の火山との比較

洞爺カルデラと尻別火山の比較研究を行い、カルデラ陥没が発生する火山とカルデラ陥没が発生しない火山の相違点に関する議論を行った。洞爺カルデラの形成時期と尻別火山の噴火時期はオーバーラップしているが、尻別火山ではカルデラ陥没は起きていない。マグマの噴出量が

カルデラ陥没に大きな役割を果たしていることを明らかにした。この成果は International Journal of Earth Sciences に掲載された。

(10) 洞爺カルデラと世界のカルデラ火山との比較

洞爺カルデラと米国のバイアスカルデラ、ロングバレーカルデラ、イエローストーンカルデラ、イタリアのカンピフレグレイカルデラ、イスキアカルデラ、インドネシアのトバカルデラ、ギリシャのサントリーニカルデラ、ニュージーランドのタウポカルデラ、ロトルアカルデラとの比較を行った。その結果、洞爺カルデラのカルデラ形成噴火が、世界の他のカルデラ火山と比較して、極めて水に富んだ‘ウエット’な環境で起きたことが判明した。このウエットな環境は、洞爺のカルデラ形成噴火が起きた時に、湖や川がすでに存在しており、多量の水の存在下で洞爺火砕流堆積物が噴出したことを示す。

(11) 洞爺カルデラのテクトニクス

洞爺カルデラと世界のカルデラ（米国のバイアスカルデラ、ロングバレーカルデラ、イエローストーンカルデラ、イタリアのカンピフレグレイカルデラ、イスキアカルデラ、インドネシアのトバカルデラ、ギリシャのサントリーニカルデラ、ニュージーランドのタウポカルデラ、ロトルアカルデラ）との比較を行い、洞爺カルデラのテクトニクスを議論した。その結果、洞爺カルデラは、世界のカルデラと同様に、火山列と断層の交点に形成されていることが判明した。洞爺カルデラ付近には北西 南東方向の長流川グラーベンがあり、北西 南東方向の火山列と長流川グラーベンの交点に洞爺カルデラが形成されていることが判明した。この成果は国際雑誌 Bulletin of Volcanology に投稿し、掲載された。

以上の研究成果は、国際学会及び国内学会で口頭発表し、国際雑誌及び国内雑誌に学術論文として公表した。また洞爺湖有珠山ジオパークでの講演会も行い、成果を広く地域に還元した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yoshihiko Goto et al.	4. 巻 109
2. 論文標題 Evolution of the Quaternary silicic volcanic complex of Shiribetsu, Hokkaido, Japan: an example of ignimbrite shield volcanoes in an island arc setting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 2619-2642
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00531-020-01906-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Goto, Y., Danhara, T. and Tomiya, A.	4. 巻 81
2. 論文標題 Catastrophic sector collapse at Usu volcano, Hokkaido, Japan: failure of a young edifice built on soft substratum.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of Volcanology	6. 最初と最後の頁 37
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00445-019-1293-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Goto, Y. and Tomiya	4. 巻 7
2. 論文標題 Internal structures and growth style of a Quaternary subaerial rhyodacite cryptodome at Ogariyama, Usu volcano, Hokkaido, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 66
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/feart.2019.00066	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 後藤芳彦・孫入 匠・檀原 徹・東宮昭彦
2. 発表標題 北海道洞爺カルデラ地域における先カルデラ期の火砕流堆積物の発見：立香火砕流堆積物
3. 学会等名 日本火山学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤芳彦、三好正晃、檀原 徹、東宮昭彦
2. 発表標題 北海道尻別火山の地質と噴火史
3. 学会等名 日本火山学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Goto, Y., Danhara, T. and Tomiya, A.
2. 発表標題 Evolutional history of Toya caldera, Hokkaido, Japan: since 1.6 Ma to the present.
3. 学会等名 27th IUGG General Assembly (Montreal, Canada, 8-18, July, 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Goto, Y. and Tomiya, A.
2. 発表標題 Internal structures and growth style of a Quaternary subaerial rhyodacite cryptodome at Ogariyama, Usu volcano, Hokkaido, Japan.
3. 学会等名 27th IUGG General Assembly (Montreal, Canada, 8-18, July, 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomiya, A., Goto, Y., Danhara, T., and de Silva, S.
2. 発表標題 Pre-eruptive magma dynamics of the climactic 110ka eruption of Toya caldera, Japan.
3. 学会等名 JpGU2019 (Makuhari, Chiba, 26-30, May, 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤芳彦, 木藤稜真
2. 発表標題 北海道有珠山の地下構造：有珠上長和テフラ (Us-Ka) に含まれる花崗岩ゼノリス
3. 学会等名 日本火山学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiko Goto, Tohru Danhara, Akihiko Tomiya
2. 発表標題 Baked host sediments extruded during the AD 1944-1945 eruption at the Showa-Shinzan cryptodome, Usu volcano, Japan: An indicator of ascending magma
3. 学会等名 Cities on Volcanoes 11 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshihiko Goto, Yoshihiko Goto, Takamasa Ishikawa, Koudai Sato, Hibiki Ito, Akihiko Tomiya
2. 発表標題 Eruptive history of Usu volcano, Hokkaido, Japan, revealed by multiple trench surveys
3. 学会等名 IAVCEI (International Association on Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------