HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Long-term evolution of a subduction zone volcano : Geology, petrology, and geochemistry of Rishiri Volcano, southern Kuril Arc [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	谷内, 元
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第14364号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81952
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hajime_Taniuchi_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（理　学）　氏　名　　谷　内　　元

学 位 論 文 題 名

Long-term evolution of a subduction zone volcano:
Geology, petrology, and geochemistry of Rishiri Volcano, southern Kuril Arc
（沈み込み帯火山の長期進化過程：千島弧南部, 利尻火山の地質学・岩石学・地球化学）

沈み込み帯は、地球上で最も活発にマグマを生成する場の一つであり、これまで多くの地球物理学的・物質科学的研究が行われてきた。しかし、火山活動がどのように開始し、進化し、その終焉を迎えるのか、数万年から数十万年といわれる火山の寿命が何に支配されているのかなど、「火山の一生」については未だ確たる回答を与えられていない。この原因として、(1) 火山の誕生から終焉までの噴出物を連続的に追跡可能な研究対象が極めて稀であること。(2) 火山の一生を議論するに耐えうる高精度かつ高密度での絶対年代の挿入が必要なこと。(3) あらゆる組成の噴出物から深部情報を抽出する必要があること。などといった複数の問題が挙げられ、研究上の障壁となっていたと考えられる。このような状況の中、本研究では、(1) 火山体が程よく侵食を受け、約 20 万年前の活動開始から約 1 万年前の活動終焉までの長期にわたる噴出物が連続的に露出する千島弧南部・利尻火山を研究対象とすること。(2) 近年、測定技術が向上した K-Ar および Ar/Ar 法、あるいは ^{14}C 法などを用いて噴火年代を決定すること。(3) 先行研究でほとんど扱われていない、活動初期から中期の玄武岩からデイサイト噴出物を含めた、あらゆる組成の噴出物から深部情報を抽出すること。などによって、沈み込みスラブから地表に至る各マグマプロセスを、活動開始から終了までの時間スケールで追跡し、「火山の一生」を実証的に解明することを目標とした（第一章）。

第二章では、火山活動の長期変遷を定量化するための代表的手法である、時間–積算噴出量階段図の作成を念頭に、13 試料の K-Ar、3 試料の Ar-Ar、1 試料の ^{14}C 年代を得た。その結果、利尻火山の活動は Early-1 期と Middle 期で高く、Early-2 期と Late-1 期で中間的であり、Late-2 期で低かったことが明らかとなった。さらに、噴出物の化学組成と噴出率を比較した結果、高噴出率期にはカルクアルカリ系列の安山岩およびデイサイト、中噴出率期には高 Na/K 玄武岩とソレアイト系列の安山岩およびデイサイト、そして低噴出率期には低 Na/K 玄武岩が活動しており、両者は密接に関係していることを示した。

第三章では、地殻内分化プロセスの決定要因を制約するために、Middle 期のカルクアルカリ安山岩に着目し、岩石学的研究を実施した。その結果、カルクアルカリ安山岩はマントル由来未分化苦鉄質マグマ、未分化苦鉄質マグマからかんらん石が分別した分化苦鉄質マグマ、そして地殻由来珪長質マグマの 3 端成分混合で形成されたことが明らかとなった。さらに鉱物とメルトの平衡関係から未分化苦鉄質端成分マグマの含水量を推定したところ、約 5 wt.% という高い値が得られた。高含水量マグマは低結晶化度でも水に飽和し、マグマ溜り周囲の地殻へ水を放出すると考えられる。水は地殻の融点を低下させる効果があるため、高含水量初生マグマの地殻への上昇・定置が、カルクアルカリ安山岩を生成する上で不可欠な、地殻由来珪長質マグマの生成を誘発したと考えられる。これらを踏まえ、マントル由来初生マグマの含水量が地殻内マグマプロセスの支配要因であることを提案した。

第四章では、沈み込み帯火成活動を引き起こす要因の一つである、スラブ由来流体の挙動

について、主に Middle 期のアダカイト質デイサイトの地球化学的研究から解明することを目的とした。このデイサイトマグマは、地殻内での結晶分化・集積作用、地殻の同化作用、そしてマグマ混合の影響を受けておらず、初生的なメルト組成を保持している。また同マグマの地球化学的特徴は、その起源が沈み込みスラブにあることを示す。さらに、同時期にはカルクアルカリ安山岩が活動しており、その未分化苦鉄質端成分マグマがマントルかんらん岩の水流体によるフラックス溶融で生成していることから、スラブ由来の水流体とメルトが火山直下のマントル内で共存していたことを指摘した。利尻火山のテクトニックセッティングにおいて水流体とメルトは同一温度のスラブからは放出されないため、アダカイト質デイサイトはスラブ由来の超臨界流体が臨界点において水流体とメルトに分離したメルト成分から生成したと結論づけた。従前より、超臨界流体の分離による珪長質マグマの生成は実験岩石学から予想されていたが、本研究では世界で初めてその存在を実証するに至った。

第五章では、利尻火山における初生マグマの多様性の成因について検討した。先行研究では、玄武岩の組成多様性がスラブ由来物質の相違によってもたらされていることが指摘されていたが、本研究では主要元素組成が異なる high-Na/K と low-Na/K の 2 タイプの玄武岩が生成する要因を明らかにするため、Early-2 期に噴出した high-Na/K 玄武岩の豊漁沢溶岩流に注目した。その結果、high-Na/K 玄武岩は、low-Na/K 玄武岩に比べて、低 LREE/HREE 比で特徴付けられ、ガーネット含有量の少ない比較的浅所のマントルの溶融によって生成していたことを示した。利尻火山直下では、スラブ由来流体が超臨界流体として放出しており、それらは臨界点において水流体とメルトに分離する。先述した生成深度に加え、超臨界流体が水流体とメルトに分離する際の元素分配によって、水流体側で高くなると予想される Pb/Sr 比が、low-Na/K タイプよりも high-Na/K タイプで高いことから、前者は深部における超臨界流体の関与、そして後者は臨界点以浅まで上昇した超臨界流体が水流体とメルトに分離した水流体成分の関与を受けて生成したと考えられる。高温高圧実験で求められている珪長質メルトと水流体間における Na/K 比の交換分配係数（$D^{Melt/Fluid}_{Na/K}$）が 1 より小さいことも考慮すれば、利尻火山における玄武岩質初生マグマの多様性、特に Na/K 比の相違は、超臨界流体の水流体とメルトへの分離による流体組成の変化に起因すると考えられる。つまり利尻火山では、スラブ由来超臨界流体の化学組成の差異に加え、超臨界流体の分離に伴う元素分配によって、初生マグマの多様性が生じていることを示した。

第六章および第七章では、利尻火山の長期進化過程について、第二章から第五章で得られた結果を基に包括的に議論した上で、総括した。利尻火山では、噴出率と噴出物組成の関係が認められ（第二章）、両者は初生マグマ含水量の多寡が支配要因となっている地殻由来珪長質マグマの生成量で決定している（第三章）。さらに、利尻火山直下ではスラブ由来流体が超臨界流体として放出しており、それらが臨界点を超えて上昇すると水流体とメルトに分離する（第四章）が、初生マグマの化学組成および含水量は、マグマ生成に関与する流体相の違いを反映している（第五章）。つまり利尻火山では、超臨界流体が水流体とメルトに分離するか否かが、マントルにおける初生マグマの生成から地表への噴出に至る各マグマプロセスを決定づける分岐点となっており、長期進化過程の支配要因であることを提案した。超臨界流体が水流体とメルトへ分離する臨界点の温度圧力条件が、沈み込み帯火山列直下のウェッジマントルに相当する点も考慮すれば、本研究で提案するに至った支配要因は、沈み込み帯火山の長期進化過程を決定づける普遍的プロセスであるものと予想される。