

学位論文題名

Petrological and geochemical study of the Toya
ignimbrites and the Toya post-caldera volcanism,
SW Hokkaido, Japan : implications for island-arc
caldera evolution

(西南北海道, 洞爺火砕流と後カルデラ火山の
岩石学的・地球化学的研究: 島弧カルデラの発達に関する考察)

学位論文内容の要旨

1. はじめに

本研究では, 島弧火山活動でのカルデラ火山の位置づけを明らかにするために, 西南北海道の洞爺カルデラ火山を対象として, 岩石学的・地球化学的研究を行った。本研究で明らかになったことは次のように要約できる。(1)カルデラ形成時では, 複数の独立したマグマ溜まりから一斉に噴火したことを明らかにし, カルデラ形成メカニズムとして重要であることを議論した。(2)カルデラ形成時に存在した珪長質マグマは3種類であり, それぞれが独立に下部地殻の部分溶融で発生したことが判り, それとは別にマントル起源の玄武岩質マグマも存在していたことを明らかにした。(3)後カルデラ期でも, デイサイト～流紋岩質マグマと玄武岩質マグマのバイモーダルなマグマとそれらのマグマ混合プロセスが支配していた。(4)マグマ系のマグマ温度・深度等の活動期毎の系統的な変化を明らかにし, カルデラ火山でもマントルダイアピルモデルで説明できることを示した。

2. カルデラ形成期における複数マグマ溜まりの一斉噴火

約10万年前の洞爺カルデラを形成した最大の噴火であるTpfl-4では, $\text{SiO}_2 = 74 \sim 75.5\text{wt}\%$ の流紋岩質軽石が噴出した。まず, 斑晶鉱物の組み合わせ・化学組成から, 角閃石を含まない斜方輝石高シリカ流紋岩(以下, OPX-HSR), 普通角閃石流紋岩(HBE-R)およびカミントン閃石高シリカ流紋岩(CUMM-HSR)に3分できることを明らかにした。

主成分・微量成分化学組成、希土類元素組成および鉍物化学組成から、HBE-Rは普通角閃石—ハイパーシンを斑晶として持つ流紋岩質マグマ (HBE-RM)とOPX-HSR質マグマ (OPX-HSRM)が、CUMM-HSRはカミングトン閃石—ハイパーシンを斑晶として含む流紋岩質マグマ (CUMM-HSRM)とOPX-HSRMが、それぞれマグマ混合したことによって形成されたことが判った。つまり、2種類のマグマ混合が同時に起こっていたことになり、3つのマグマが成層した1つのマグマ溜まりからのマグマの噴出という従来のモデルでは、噴出率・吸出し口の配置等を変化させたとしても、Tpfl4に見られる2種類のマグマ混合の共存は説明できない。Tpfl4の噴火では、OPX-HSRMが存在したマグマ溜まりの他に、OPX-HSRMとCUMM-HSRM、そしてOPX-HSRMとHBE-RMとが密度成層した、最低3つの珪長質マグマ溜まりが存在し、それらが同時に別々の火道を通じて噴火したと考えなければならない。

上記の3種の流紋岩質マグマは、主成分・微量元素および希土類元素組成から、お互いを結晶分化作用等で生じさせることはできず、それぞれが独立に発生したと考えられる。3つのマグマのSrおよびNd同位体比からは、それぞれが類似した起源物質（下部地殻）に由来したと推定できるが、La/Yb比およびEu負異常の有無によって、OPX-HSRMおよびHBE-RMが角閃石・斜長石が残留固相として存在するような角閃岩あるいはハンレイ岩が起源物質であるのに対して、CUMM-HSRMは斜長石を欠きザクロ石が存在するエクログャイト質であったと考えられる。さらに噴火時の珪長質マグマの、マグマ溜まりの深度・マグマ温度・含水量を、地質温度・圧力計および高温高压実験による相平衡関係をもとに求めた。その結果、OPX-HSRMは約950度・約12kmで水不飽和な状態、CUMM-HSRMは約780度・水飽和、HBE-RMは約870度・水飽和で深度がそれぞれ5km前後に存在していた。

以上の結果から、Tpfl4の活動直前に、浅所に存在したCUMM-HSRMとHBE-RMの2つの独立したマグマ溜まりに、深所からOPX-HSRMがそれぞれ注入され成層マグマ溜まりが形成された。そして2種類の成層マグマ溜まりからの噴火、およびOPX-HSRMが単独で噴出することによって洞爺カルデラは形成された。さらに同時期に玄武岩質マグマも深所に存在していた。この複数マグマ溜まりの同時噴火は洞爺カルデラでの特殊な例ではなく、たとえばクレターレイク (Bacon, 1988)やアチツランカルデラ (Rose et al., 1987)など、他のカルデラでも認められ、大型カルデラ形成のための重要なプロセスである可能性が高い。

3. 後カルデラ期：洞爺中島火山と有珠火山

後カルデラ火山では、洞爺中島火山では $\text{SiO}_2=55.65\%$ で安山岩が卓越し、有珠火山では 50.54% および 65.70% でバイモータルという特徴を有する。顕微鏡観察・主成分・微

量成分・希土類元素組成および鉍物組成の解析から、洞爺中島火山の岩石はデイサイト質マグマと玄武岩質マグマとのマグマ混合によって生じたことがわかった (Craig, 1992) . 有珠火山は上記のとうりバイモーダルな化学組成で特徴づけられ、中島火山も含め玄武岩質マグマとデイサイト質マグマの間には親子関係はない.

4. 洞爺火山のマグマ系進化モデルと島弧火山活動での意義

洞爺火山の全活動における、マグマ系の解析を通じて明らかになったことは、(1)活動期を通じて、玄武岩質マグマ(BM)とデイサイト～流紋岩質マグマ(DRM)が共存していた。(2)共存したこれらのマグマには親子関係はない。(3)DRMは活動期毎に独立して発生している。(4)最大の噴火であるTpfl4の時期に、DRMの温度は最高、マグマ溜まりの深度は最も浅くなり、後カルデラ期を通じて、DRMの温度低下、マグマ溜まりの深化が認められる。これらの制約条件から、洞爺火山の活動開始から現在まで、深部からの熱源の上昇・下部地殻の融解によるDRMの発生が繰り返され、後カルデラ期になっての熱源の冷却という進化モデルが構築される。深部の熱源はマントルでのBMの発生に求めるのが妥当である。このモデルは島弧の成層火山で想定されているダイアビルモデル(例えば, Sakuyama, 1983; Takahashi, 1986) と調和的であり、成層火山になるか大規模カルデラ火山が生じるかは、大量のDRMが生じるような下部地殻であるか否か、あるいは大型のマグマ溜まりが形成されるような応力場であるかどうかによると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宇 井 忠 英

副 査 教 授 石 原 舜 三

副 査 助教授 岡 田 弘

副 査 教 授 荒 牧 重 雄(日本大学大学院理工学研究科)

Petrology and Geochemistry of the Toya Ignimbrites & Postcaldera Volcanism, Toya Caldera, SW Hokkaido, Japan—Implications for Island-Arc Caldera Evolution—

(西南北海道、洞爺火砕流と後カルデラ火山の
岩石学的・地球化学的研究—島弧カルデラの発達に関する考察—)

近年、カルデラ形成機構の研究およびカルデラ火山マグマ系の研究が盛んにおこなわれている。しかしその多くは大陸地域のカルデラ火山に限られ、またカルデラ形成期から後カルデラ火山活動までのマグマ系およびその変化を議論したものはほとんどない。

本論文は、島弧カルデラ火山として洞爺カルデラをとりあげ、特にカルデラ形成直前のマグマ溜まりの構造および噴火機構、カルデラ形成期から後カルデラ火山活動期を通じてのマグマ系進化の解明を目的として、高密度サンプリングにもとづく岩石学・地球化学的研究を行った。

カルデラ形成時の洞爺火砕流では、噴出物の軽石を鉱物組み合わせおよび鉱物化学組成から、斜方輝石高シリカ流紋岩(OPX-HSR)、カミングトン閃石高シリカ流紋岩(CUMM-HSR)および普通角閃石流紋岩(HBE-R)に区分し、カルデラ形成期の最大の火砕流ではこの3種の軽石が共存することを明らかにした。さらにこれらの主成分・微量元素・希土類元素化学組成、鉱物化学組成の解析から、CUMM-HSRとHBE-Rはマグマ混合の産物であることを示した。その混合端成分マグマは両者で異なり、カミングトン閃石を含んだ流紋岩質マグマ(CUMM-RM)と普通角閃石を含んだデイサイト質マグマ(HBE-DM)がそれぞれOPX-HSRマグマと混合したと議論した。それとは別にHBE-Rでは玄武岩質マグマの混入も認められることを示した。そして鉱物温度・圧力計や熔融実験等の結果から、それぞれの端成分マグマの温度・圧力・含水量を見積もり、OPX-HSRは870℃以上で3.5 kb以深で水に不飽和、他の2種のマグマは水に飽和・2 kbの深度で、HBE-DMが870℃、

CUMM-RMが780℃であることを示した。さらに地球化学的性質から、3つのマグマは親子関係がなく独立に、CUMM-RMがエクログジャイト質、他の2つが角閃岩やハンレイ岩質な下部地殻を起源物質とすると推定した。

カルデラ形成時に2つのマグマ混合が同時に起こっていることを説明するために、いくつかの成層マグマ溜まり系を検討した結果、少なくとも3つの独立したマグマ溜まりから、別々の火道を通じての一斉噴火が起こったと結論した。さらに文献調査から、いくつかのカルデラ火山でも洞爺カルデラと同様の複数マグマ溜まりの一斉噴火が起こっている可能性を指摘し、これが普遍的な噴火様式の1つであることを初めて指摘した。

後カルデラ火山活動期のマグマ系は次のようである。中島火山群では、全岩化学組成、鉱物化学組成およびその累帯構造の解析から、岩石の組成多様性はデイサイト質マグマと玄武岩質マグマとの混合によって生じており、バイモーダルなマグマ系であったことを明らかにした。端成分マグマを推定した結果、玄武岩質マグマはSr同位体比の異なる2種類が存在し、デイサイト質マグマは1-2kbの深度で880℃であることを明らかにした。さらにデイサイト質マグマは、玄武岩質マグマとは成因関係なく、独立に下部地殻の溶融によって生じた。有珠火山でも玄武岩質マグマと流紋岩質マグマのバイモーダルなマグマが活動している。有珠火山のマグマは中島火山のマグマとは全く異なっており、それぞれの火山で独立に発生したと考えられる。

カルデラ形成期から後カルデラ期まで、それぞれの活動期で玄武岩質マグマと珪長質マグマが共存していたこと、共存したこれらのマグマには親子関係はないこと、共存する2種のマグマはそれぞれ活動期毎に独立して発生していることを明らかにした。珪長質マグマの深度・温度の時間変化に着目すると、カルデラ形成時に温度は最高、マグマ溜まりの深度は最も浅くなり、後カルデラ期を通じて、温度低下、マグマ溜まりの深化が認められる。これらの制約条件から、洞爺火山の活動開始から現在まで、深部からの熱源の上昇・下部地殻の融解による珪長質マグマの発生が繰り返され、後カルデラ期になっての熱源の冷却という進化モデルが構築される。深部の熱源はマントルでの玄武岩質マグマに求めるのが妥当である。このモデルは島弧の成層火山で想定されているダイアビルモデルと調和的であり、成層火山になるか大規模カルデラ火山が生じるかは、大量の珪長質マグマが生じ得るような下部地殻であるか否か、あるいは大型のマグマ溜まりが形成されるような応力場であるかどうかによると結論づけた。

これを要するに、著者はカルデラ形成期から後カルデラ期までのマグマ系の進化および大規模噴火様式に関する新知見を得たものであり、火山学・岩石学の分野に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。