

学 位 論 文 題 名

Petrological study of Kita-Hakkoda volcanic group
and Towada volcano, Northeast Japan arc : Evolution
and mantle diapir model for caldera volcanoes(東北日本弧, 北八甲田火山群および十和田火山の岩石学的研究
～カルデラ火山の発達とマントルダイアピルモデル～)

学位論文内容の要旨

火山活動の熱源として火山体直下の上部マントルにはマントルダイアピルが存在すると考えられている。従来の研究では、マントルダイアピルモデルを用いて成層火山の発達史の検証が行なわれ、このモデルを支持する結果が得られている。しかし、成層火山とは異なった火山発達史を有するカルデラ火山については、その発達史をマントルダイアピルモデルで説明できるかどうか未解決であった。本研究では、東北日本弧北部に位置する北八甲田火山群と十和田火山を対象とした。北八甲田火山群は、八甲田カルデラの後カルデラ火山であり、カルデラ火山の活動としては末期状態にあたる小規模成層火山群である。一方、十和田火山は最近数万年間に活動の最盛期を迎えた典型的なカルデラ火山である。本研究では、この両火山の発達に伴うマグマ組成の時間変化とその多様性の要因について明らかにし、それに基づいて、マントルダイアピルモデルがカルデラ火山の発達史を説明し得るかどうか検証を行った。

北八甲田火山群は 11 体の小規模な成層火山体から構成される。各山体は溶岩流を主体とし、水蒸気噴火、ブルカノ式噴火およびストロンボリ式噴火による降下火砕堆積物および火砕流堆積物をともなう。火山活動は 40～25 万年前に開始され、現在に至っている。総噴出量は 15 km^3 (DRE)、全活動期間を通じた噴出率は $0.04 \sim 0.06 \text{ km}^3/\text{ky}$ である。最近 6000 年間の活動では、噴出量 $10^7 \sim 10^8 \text{ m}^3$ オーダーの小規模な水蒸気噴火およびブルカノ式噴火を約 1000 年に 1 度の間隔で起こしている。そのマグマ噴出率は $0.0008 \text{ km}^3/1000 \text{ 年}$ であり、活動全期間における噴出率よりも 2 桁小さい。北八甲田火山群の噴出物は玄武岩からデイサイトに及び、それらはソレアイト系列岩とカルクアルカリ系列岩に明瞭に区分される。ソレアイト系列マグマは、基本的にはマントル起源の玄武岩マグマの結晶分化作用により生成され、一部では組成の近い親子マグマ同士の混合や地殻物質の混染作用があったと考えられる。これに対し、カルクアルカリ系列マグマはマントル起源の玄武岩マグマと下部地殻起源のデイサイトマグマの混合により生成されたと考えられる。カルクアルカリ系列の山体・地質ユニットによるマグマ組成の多様性は、化学組成が異なる数種類の端成分マグマに由来する。苦鉄質端成分マグマは、共存するソレアイト系列玄武岩マグマに類似した組成を持つ数種類の low-K 玄武岩マグマである。珪長質端成分マグマの起源物質はいずれも medium-K 系列の下部地殻物質と推定される。北八甲田火山群の噴出中心の位置は活動の経過とともに火山群中央部に収束する傾向が認められ、それにともないデイ

サイトマグマの組成も均質化する傾向を示す。これはマントルダイアピルの温度低下に伴うマグマ生成域の縮小を示す可能性がある。

十和田火山の活動は40～25万年前以降に開始され、初期には小規模成層火山群を形成する活動を行い、その後、爆発的な噴火を行いカルデラを形成する活動へと変化し、現在に至っている。総噴出量は71 km³ (DRE) である。その活動は、噴出物の岩石学的特徴から、古い順に、先カルデラ期、遷移期、カルデラ形成期、成層火山期、中湖期、および最新期の6つのステージに区分される。各活動期の噴出率はそれぞれ、0.03～0.07 km³/ky, 0.26 km³/ky, 1.1 km³/ky, 2.6 km³/ky, 0.52 km³/ky, 0.47 km³/kyであり、時間の経過とともに徐々に増加し、ピークを迎えた後にやや減少する傾向を示す。十和田火山噴出物は玄武岩から流紋岩に及ぶ。それらは活動期毎に異なるSr同位体比、La/Lu, K₂O/Y, K₂O/Zrを示し、時間の経過とともにこれらの比は増加する傾向が認められる。全岩化学組成の特徴が各ステージ毎に異なることから、少なくとも各ステージに対応した固有のマグマ溜りの存在が示唆される。これは、カルデラ火山において従来しばしば提示されてきた長寿命の巨大なマグマ溜りモデルとは一致しない。十和田火山噴出物には普遍的にマグマ混合の証拠が認められ、これらのマグマ化学組成の多様性はマントル起源の玄武岩質マグマの単純な結晶分化作用では説明できない。したがって、十和田火山のマグマの組成多様性は、玄武岩マグマと地殻起源マグマの混合により生成されたと考えられる。モデル計算を行った結果、十和田火山のマグマ組成多様性は、マントル起源の玄武岩マグマ、上部地殻起源マグマ、下部地殻起源マグマの3成分の混合により説明可能である。Sr同位体比、La/Lu, K₂O/Y, K₂O/Zrは上部地殻成分の寄与度を反映し、上部地殻起源マグマの混入率が増加するとこれらの値は増加する。上部地殻起源マグマの混入率（上部地殻成分）は0～20%と活動期によって異なり、時間の経過とともに増加する傾向を示す。また、上部地殻成分の増加は噴出率の増加とほぼ一致した相関を示す。地殻起源マグマの生成は、玄武岩マグマまたはマントルダイアピルからの熱伝導により供給された熱により引き起こされる。よって、噴出率の増加はマントルからの玄武岩マグマ・熱供給率の増加を反映すると考えられる。さらに、マントルからの玄武岩マグマ・熱供給率が高いほど、熱の影響がより上部の地殻まで及び、上部地殻成分が増加すると解釈される。十和田火山の発達史とマントル熱源との関係をみると以下ようになる。活動の初期はマントルからの玄武岩マグマの供給率が低く、地殻の溶融域は下部地殻に限定されていた。この時期には低噴出率で小規模な成層火山群が形成された。その後、次第に玄武岩マグマの供給率が増加し、地殻内の部分溶融域が拡大して上部地殻まで及んだ。この時期には高噴出率で大規模噴火を繰り返し、カルデラが形成された。これは、マントルダイアピルが上昇・定置し、次第に熱供給量が増加し、火山活動がピークを迎える過程と調和的である。

カルデラ火山の初期から最盛期までを十和田火山で代表させ、その活動末期を北八甲田火山群で代表させることで、カルデラ火山の発達モデルを構築した。噴出率と上部地殻成分の変化をみると、初期から最盛期までは時間とともに増加し、ピークを迎えた後、末期になると減少する傾向を示す。本研究で構築したカルデラ火山の発達モデルは以下ようになる。初期の活動では、低マグマ供給率で上部地殻成分も少なく、低噴出率で小規模な成層火山群を形成する。その後、マグマ供給率が最大になると上部地殻成分は最大値を取り、高噴出率で大規模噴火を繰り返しカルデラを形成する。その後、マグマ供給率が減少すると、上部地殻成分は減少し、低噴出率でカルデラ内に小規模な成層火山群を形成する。これは、マントルダイアピルが上昇・定置し、活動のピークを迎えた後、マントルダイアピルが冷却し火山活動が終息していく過程と調和的である。以上のように、カルデラ火山の発達史はマントルダイアピルモデルで説明することが可能であることが判明した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宇 井 忠 英

副 査 教 授 小 笹 隆 司

副 査 教 授 在 田 一 則

副 査 助 教 授 新 井 田 清 信

副 査 教 授 吉 田 武 義 (東北大学大学院理学研究科)

学 位 論 文 題 名

Petrological study of Kita-Hakkoda volcanic group and Towada volcano, Northeast Japan arc : Evolution and mantle diapir model for caldera volcanoes

(東北日本弧, 北八甲田火山群および十和田火山の岩石学的研究
～カルデラ火山の発達とマントルダイアピルモデル～)

火山活動の熱源として火山体直下の上部マントルにマントルダイアピルが存在すると考えられている。従来の研究では、マントルダイアピルモデルを用いて成層火山の発達史の検証が行なわれ、このモデルを支持する結果が得られている。しかし、成層火山とは異なった火山発達史を有するカルデラ火山については、マントルダイアピルモデルで説明できるかどうか未解決であった。本研究では、東北日本弧北部に位置する北八甲田火山群と十和田火山を対象とし、この両火山の発達に伴うマグマ組成の時間変化とその多様性の要因について明らかにした。そして、それに基づき、マントルダイアピルモデルがカルデラ火山の発達史を説明し得るかどうか検証を行った。

北八甲田火山群は八甲田カルデラの後カルデラ火山群であり、11体の小規模な成層火山体から成る。火山活動は40～25万年前に開始され現在に至る。噴出物は玄武岩からデイサイトに及び、それらはソレアイト (TH) 系列とカルクアルカリ (CA) 系列に明瞭に区分される。TH系列マグマは、基本的にはマントル起源の玄武岩マグマの結晶分化作用により生成され、一部では内部マグマ混合や地殻の混染作用があったと考えられる。これに対し、CA系列マグマはマントル起源の玄武岩マグマと下部地殻起源のデイサイトマグマの混合により生成されたと考えられる。CA系列の山体・地質ユニットによるマグマ組成の多様性は、組成の異なる数種類の端成分マグマに由来すると考えられる。

十和田火山の活動は40～25万年前以降に開始され、初期には小規模成層火山群を形成する活動を行い、その後、爆発的な噴火を行いカルデラを形成する活動へと変化し現在に至る。その活動は、噴出物の岩石学的特徴から、古い順に、先カルデラ期、遷移期、カルデラ形成期、成層火山期、中湖期、および最新期の6つのステージに区分される。各活動期の噴出率は時間の経過とともに徐々に増加し、ピークを迎えた後にやや減少する傾向を示す。十和田火山噴出物は玄武岩から流紋岩に及び、それらは活動期毎に異なるSr同位体比、La/Lu、 K_2O/Y 、 K_2O/Zr を示す。全岩化学組成の組成変化トレンド

が各噴火毎に異なることから、供給されたマグマが浅所マグマ溜りに長期間停滞・均質化しないうちに噴出するマグマ系が考えられる。これらのマグマ化学組成の多様性はマントル起源の玄武岩質マグマの単純な結晶分化作用では説明できない。したがって、十和田火山のマグマの組成多様性は、玄武岩マグマと地殻起源マグマの混合により生成されたと考えられる。モデル計算を行った結果、十和田火山のマグマ組成多様性は、マントル起源の玄武岩マグマ、上部地殻起源マグマ、下部地殻起源マグマの3成分の混合により説明可能である。Sr 同位体比、La/Lu、 K_2O/Y 、 K_2O/Zr は上部地殻成分の寄与度を反映し、上部地殻起源マグマの混入率が増加するとこれらの値は増加する。上部地殻成分は0～30%と活動期によって異なり、時間の経過とともに増加する傾向を示す。また、上部地殻成分の増加は噴出率の増加とほぼ正の相関を示す。噴出率の増加はマントルからの熱供給率の増加を反映すると考えられ、マントルからの熱供給率が高いほど、熱の影響がより上部の地殻まで及び、上部地殻成分が増加すると解釈される。十和田火山の活動初期はマントルからの熱供給率が低く、地殻の溶融域は下部地殻に限定されていたと考えられ、低噴出率で小規模な成層火山群が形成された。その後、次第に玄武岩マグマの供給率が増加し、地殻内の部分溶融域が拡大して上部地殻まで及んだと考えられる。この時期には高噴出率で大規模噴火を繰り返し、カルデラが形成された。これは、マントルダイアピルが上昇・定置し、次第に熱供給量が増加し、火山活動がピークを迎える過程と調和的である。

カルデラ火山の初期から最盛期までを十和田火山で代表させ、活動末期を北八甲田火山群で代表させることで、カルデラ火山の発達モデルを構築した。噴出率と上部地殻成分の変化をみると、初期から最盛期までは時間とともに増加し、ピークを迎えた後、末期になると減少する傾向を示す。初期の活動では、熱供給率が低いため上部地殻成分が少なく、低噴出率で小規模な成層火山群が形成される。その後、熱供給率が増加し、最大になると上部地殻成分は最大値を取り、高噴出率で大規模噴火を繰り返し、カルデラが形成される。その後、熱供給率が減少することで上部地殻成分は減少し、低噴出率でカルデラ内に小規模な成層火山群が形成される。これは、マントルダイアピルが上昇・定置し、活動のピークを迎えた後、ダイアピルが冷却し火山活動が終息していく過程と調和的である。以上のように、カルデラ火山の発達史はマントルダイアピルモデルで説明することが可能である。

当該博士論文の研究は、島弧におけるカルデラ火山の発達史を熱構造変化モデルとして組み上げている。詳細な噴火履歴の調査や徹底した岩石学的解析によって得られたデータから綿密な議論を編むだけではなく、これまで明確にされていなかったカルデラ火山の発達をマントルダイアピルモデルによってモデル化した点は評価に値する。

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。