

| | |
|---------|---|
| 氏名・(本籍) | や じま かず ひと 矢 嶋 一 仁 |
| 学位の種類 | 博 士 (理 学) |
| 学位記番号 | 理博第1885号 |
| 学位授与年月日 | 平成13年3月26日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 |
| 研究科, 専攻 | 東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 地学専攻 |
| 学位論文題目 | 小笠原群島に産する第三紀火山岩の岩石学的・地球化学的研究 |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 藤 卷 宏 和 教授 黒 田 直 (静岡大学), 秋 月 瑞 彦, 大 谷 栄 治, 吉 田 武 義, 谷 口 宏 充 |

論 文 目 次

Abstract

List of figures

List of tables

I. はじめに

- I-1. ボニナイトの研究史
- I-2. 複数の初生マグマの成因的關係
- I-3. 分化系列の成因

II. テクトニクスおよび年代

III. 地質概略

- III-1. 父島
- III-2. 母島

IV. 岩石区分, 採取地点および産状

- IV-1. 岩石区分
- IV-2. 父島での採取地点および産状
- IV-3. 母島での採取地点および産状
- IV-4. 兄島・聳島での採取地点および産状

V. 岩石記載

- V-1. 高Caボニナイト(HCB, 父島)
- V-2. 古銅輝石安山岩(HBzA, 高Caボニナイト系列, 父島)
- V-3. 低Caボニナイト(LCB, 父島)
- V-4. 古銅輝石安山岩(LBzA, 低Caボニナイト系列, 父島)
- V-5. デイサイト(LDa, 低Caボニナイト系列, 父島)
- V-6. 石英デイサイト(LQzD, 低Caボニナイト系列, 父島)

V-7. マイクロダイオライト(LXe, 低Caボニナイト系列, 父島)

V-8. $\text{FeO}^*/\text{MgO} < 1$ のソレアイト系列岩(TH-P, 母島)

* 普通輝石・かんらん石玄武岩

V-9. $\text{FeO}^*/\text{MgO} > 1$ のソレアイト系列岩(TH-E, 母島)

* かんらん石・普通輝石玄武岩, 普通輝石・かんらん石玄武岩質安山岩,
かんらん石・普通輝石玄武岩質安山岩

* かんらん石含有斜方輝石・普通輝石玄武岩質安山岩

V-10. $\text{FeO}^*/\text{MgO} < 1$ のカルク・アルカリ系列岩(CA-P, 母島)

* 斜方輝石含有普通輝石・かんらん石玄武岩質安山岩,
斜方輝石含有かんらん石・普通輝石玄武岩質安山岩

V-11. $\text{FeO}^*/\text{MgO} > 1$ のカルク・アルカリ系列岩(CA-E, 母島)

* 斜方輝石・かんらん石・普通輝石玄武岩質安山岩,
かんらん石・斜方輝石・普通輝石玄武岩質安山岩,
かんらん石含有斜方輝石・普通輝石玄武岩質安山岩,
斜方輝石・普通輝石玄武岩質安山岩

* かんらん石含有斜方輝石・普通輝石安山岩, 斜方輝石・普通輝石安山岩,
普通輝石・斜方輝石安山岩

* 普通輝石デイサイト

V-12. 低Caボニナイト(A-LCB, 兄島)

V-13. 低Caボニナイト(M-LCB, 鴛島)

VI. 分析方法・分析精度

VI-1. 鉱物化学組成

VI-2. 全岩化学分析

VI-2-a. 主要元素およびV, Cr, Ni, Rb, Sr, Y, Zr, Nb

VI-2-b. Ba

VI-2-c. 希土類元素

VI-2-d. Sr同位体

VII. 鉱物化学組成

VII-1. 高Caボニナイト(HCB)

VII-1-a. かんらん石

VII-1-b. 輝石

VII-1-c. クロムスピネル

VII-2. 古銅輝石安山岩(HB₇A, 高Caボニナイト系列)

VII-2-a. 輝石

VII-2-b. 斜長石

VII-3. 低Caボニナイト(LCB)

VII-3-a. かんらん石

VII-3-b. 輝石

VII-3-c. クロムスピネル

VII-4. 古銅輝石安山岩(LB_zA, 低Caボニナイト系列)

VII-4-a. 輝石

- Ⅶ-4-b. 斜長石
- Ⅶ-5. デイサイト(LDa, 低Caボニナイト系列)
 - Ⅶ-5-a. 輝石
 - Ⅶ-5-b. 斜長石
 - Ⅶ-5-c. チタン磁鉄鉱
- Ⅶ-6. 石英デイサイト(LQ₂D, 低Caボニナイト系列)
 - Ⅶ-6-a. 輝石
 - Ⅶ-6-b. 斜長石
 - Ⅶ-6-c. チタン磁鉄鉱
- Ⅶ-7. マイクロダイオライト(LXe, 低Caボニナイト系列)
- Ⅶ-8. $\text{FeO}^*/\text{MgO} < 1$ のソレイト系列岩(TH-P)
 - Ⅶ-8-a. かんらん石
 - Ⅶ-8-b. 輝石
 - Ⅶ-8-c. 斜長石
 - Ⅶ-8-d. クロムスピネル
- Ⅶ-9. $\text{FeO}^*/\text{MgO} > 1$ のソレイト系列岩(TH-E)
 - Ⅶ-9-a. かんらん石
 - Ⅶ-9-b. 輝石
 - Ⅶ-9-c. 斜長石
 - Ⅶ-9-d. クロムスピネルおよびチタン磁鉄鉱
- Ⅶ-10. $\text{FeO}^*/\text{MgO} < 1$ のカルク・アルカリ系列岩(CA-P)
 - Ⅶ-10-a. 輝石
 - Ⅶ-10-b. 斜長石
 - Ⅶ-10-c. クロムスピネル
- Ⅶ-11. $\text{FeO}^*/\text{MgO} > 1$ のカルク・アルカリ系列岩(CA-E)
 - Ⅶ-11-a. 輝石
 - Ⅶ-11-b. 斜長石
 - Ⅶ-11-c. クロムスピネルおよびチタン磁鉄鉱
- Ⅷ. 全岩化学組成
 - Ⅷ-1. 父島
 - Ⅷ-1-a. 高Caボニナイト(HCB)および古銅輝石安山岩(高Caボニナイト系列, HB₂A)
 - Ⅷ-1-b. 低Caボニナイト(LCB)および古銅輝石安山岩(低Caボニナイト系列, LB₂A)
 - Ⅷ-1-c. デイサイト(LDa)
 - Ⅷ-1-d. 石英デイサイト(LQ₂D)
 - Ⅷ-1-e. マイクロダイオライト(LXe)
 - Ⅷ-2. 母島
 - Ⅷ-2-a. ソレイト系列岩(TH-P, TH-E)
 - Ⅷ-2-b. カルク・アルカリ系列岩(CA-P, CA-E)
 - Ⅷ-3. 兄島・聳島(A-LCB, M-LCB)
- Ⅸ. 議論
 - Ⅸ-1. 初生マグマの成因的關係

- IX-1-a. 初生マグマの認定
- IX-1-b. 地球化学的特徴
- IX-1-c. 起源マンタルの枯渇度および部分溶融度の見積もり
- IX-1-d. スラブに由来するエンリッチ・コンポーネントの性質および寄与量の相対的關係
- IX-1-e. Zrエンリッチメントの解釈
- IX-1-f. モデル
- IX-2. 分化系列の成因（母島のソレイトおよびカルク・アルカリ系列岩の例）…158
 - IX-2-a. 分化過程に認められる岩石学的な相違点
 - IX-2-b. 組成変化トレンドの解釈
 - IX-2-c. 分化トレンドの成因
 - IX-2-d. 初生マグマのSiO₂含有量の重要性
 - IX-2-e. 初生マグマの生成条件と分別鉱物の關係
 - IX-2-f. 東北日本孤船形火山との比較
- IX-3. 高Caおよび低Caボニナイト系列の古銅輝石安山岩
- IX-4. 低Caボニナイト系列のデイサイトと石英デイサイトの成因的關係
- IX-5. 4つの分化系列

X. 結論

謝辞

引用文献

論文内容要旨

小笠原群島は、東京の南南東およそ1000kmに位置し、南北約100kmにわたって連なる島々から成る。群島は、地理的なまとまりによって、北から、聳島列島、父島列島、母島列島の3列島に区分されている。これらの島々は主として、中期始新世～前期漸新世にかけて噴出した火山岩から成るが、なかでも群島の中央に位置する父島はボニナイト（boninite）の模式地として世界的に知られる。聳島列島、父島列島は、主にボニナイトとその分化物で形成されるが、母島列島には、ボニナイトが産出せず、主として分化した組成のソレイト質玄武岩およびカルク・アルカリ系列の玄武岩質安山岩～安山岩が産することが知られている。

小笠原群島周辺の海域は、極めて高い正のフリーエア異常が観測され、このことから地殻の厚さが薄い（～8km）と推察されている。このような、海洋プレートどうしの沈み込み帯に形成された小笠原群島の火山岩は、島弧火山岩のなかでも、早期の特徴を示していると考えられている。ボニナイトに関する世界各地での研究報告、伊豆－小笠原－マリアナ弧での深海掘削などにより、ボニナイトには数種類のタイプがあり、これらは密接して産する場合が多いこと、また、ソレイトを伴って産する場合があることなどが明らかとなってきた。

母島の火山岩は、活動年代が父島・聳島のボニナイトとほぼ同時期であり、少量ながら、未分化なものも見られることが知られている。

沈み込みの早期に、ほぼ同時期に活動した複数の初生マグマを比較検討することで、マンタル-スラブ相互作用、ボニナイトの成因などについて、重要な制約を与えられると考えられる。また、このような初生マグマの分化を考えることは、大陸地殻の成長を考える上でも重要と思われる。つまり、マグマの

SiO₂濃集メカニズムについて、大陸物質の混染の影響はないので、比較的単純なプロセスによる初生マグマの組成変化を追うことが出来、珪長質地殻の生成、発達を理解する1つの典型となると思われる。

そこで、本研究では、初生的な組成の火山岩に着目し、これらを網羅的に採取し、岩石学的・地球化学的に比較検討した。また、これらの分化物についても採取し、初生マグマとの成因的關係、分化系列の成因について考察した。

比較検討する初生的火山岩は、父島の高Caボニナイト (HCB) および低Caボニナイト (LCB)、母島の初生的ソレアイト (TH-P) および初生的カルク・アルカリ系列岩 (CA-P) である。

HCB, LCB, TH-Pは、かんらん石のMg#が90に近いこと、輝石のMg#やクロム・スピネルのCr#は極めて高い値を示すこと、全岩組成がMgO, Cr, Niに富むことなどから、マントルかんらん岩と共存出来るような初生的な組成を示していると考えられる。CA-Pのかんらん石は蛇紋石化のため分析不能だったが、かんらん石に包有されるクロム・スピネルはTH-Pよりも系統的にCrに富むこと、普通輝石が極めて高いMg#を示すこと、全岩組成がMgO, Cr, Niに富むことなどから、初生的な組成を示していると考えられる。液相濃集元素を用いた議論を進める上で、苦鉄質鉍物の濃集または分別の影響を避けるために、FeO*/MgO=0.65~1.0, Ni>145ppmの試料を選んだ。

初生的火山岩のSiO₂およびLILEは、LCB→HCB→CA-P→TH-Pの順に減少し、HFSEは、この順に増加する。特に、LCBのREE, HFSEは、世界中の火山岩のなかでも極めて低い濃度を示す。

REEを用いたモデリング、かんらん石に包有されるクロム・スピネルの組成頻度分布から、各初生マグマが生成された起源マントルの枯渇度は、TH-P→CA-P→HCB→LCBの順に増大すると考えられる。実験岩石学的な知見、液相濃集元素を使ったモデリングなどから、沈み込むスラブからくさび型マントルにもたらされる物質としては、スラブの脱水分解反応に伴う、H₂Oを主としたLILEを相当量溶かし込んだ流体が考えられ、流体の供給量は、TH-P→CA-P→HCB→LCBの順に増大すると考えられる。

上述の成因的關係を説明するモデルとして、海嶺近傍のような地温勾配が高い場所で、沈み込みが開始し、小笠原群島で見られるような早期島弧火山岩が噴出したと考えられる。

MORBの搾り出しにより、深部から浅部にかけて漸移的に枯渇度が増大したマントルに、スラブが沈み込み、浅部ほど大量の流体が供給され、LCBのような高SiO₂・LILE, 低HFSEマグマが生成された。そして、深部に向かうほど、マントルの枯渇度およびスラブ流体の供給量が減少し、その減少量に応じてHCB, CA-P, TH-Pが漸移的に生成されたと考えられる。

早期島弧火山岩に、ボニナイトのような特異な火山岩が見られるのは、沈み込みの早期であるために、くさび型マントルの地温勾配が高く、浅部の枯渇したマントルが熔融出来たためと考えられる。このような浅部では、スラブからのH₂O流体の供給量も多かったと考えられる。成熟した島弧にボニナイトが見られないのは、積年の沈み込みにより、地温勾配が下がり、熔融する起源マントルが、より深部の枯渇していないマントルとなったためと考えられる。その時、スラブから供給される流体は、スラブが浅部ですでに脱水分解反応を経たために、相対的に少なくなると考えられる。

各初生マグマの分化物の議論として、母島のソレアイト (TH) およびカルク・アルカリ系列岩 (CA) が示す組成変化トレンドの成因、HCBおよびLCB分化物について考察した。

母島のTHおよびCAは、東北日本弧第四紀船形火山との比較において、初生マグマから分化早期までの過程を示していると考えられる。両者には、マグマ混合 (internal mixing) の影響が認められるが、分化傾向の違いを説明する上で本質的に重要なのは、斑晶の組成頻度分布や全岩組成の変化傾向から考えて、結晶分化作用であると考えられる。

THとCAは、Sr同位体比からは区別されない異なる初生マグマに由来するが、THはより深部、CAはより浅部で生成された初生マグマが、それぞれ、深部、浅部でさらに分化し、ソレアイトおよびカルク・ア

ルカリの分化トレンドを形成したと考えられる。深部で分化したTHは、相対的に、かんらん石・斜長石に対し、普通輝石の分別量が多かったが、浅部で分化したCAは、普通輝石に対して、かんらん石・斜長石の分別量が多かったと考えられる。ソレイトとカルク・アルカリ系列の分化傾向の違い、すなわち、SiO₂またはFeO*の濃集の有無は、分別時の圧力の違いによる分別鉱物の量比の違いによって最も良く説明される。

CAが示すSiO₂に効果的に濃集する分化傾向を説明する要因の1つとして、初生CAマグマが初生THマグマよりもSiO₂に富んでいたことが考えられる。初生THのSiO₂は、苦鉄質な普通輝石のSiO₂よりも低いですが、初生CAでは、苦鉄質な普通輝石のSiO₂とほぼ同じか、やや高い値を示す。従って、相対的に、かんらん石・斜長石に対して普通輝石の分別が多いTHでは、SiO₂の効果的な濃集は、普通輝石の分別のために抑制される。しかし、CAでは、普通輝石の分別には、SiO₂の増加を抑制させる効果はない。初生マグマのSiO₂は、分化過程において、SiO₂の濃集が起きるかどうかが決める1つの要因として重要である。

父島には、HCBの分化物として古銅輝石安山岩（HBZA）が、LCBの分化物として古銅輝石安山岩（LBZA）、デイサイト（LDA）、石英デイサイト（LQZD）が産する。HCBとその分化物は、LCBとその分化物から、層序、Sr同位体比、液相濃集元素比によって明瞭に区別される。斑晶の組成頻度分布、全岩組成の変化傾向から考えて、HBZAはHCBの、LBZAはLCBの結晶分化作用による分化物と考えられる。しかし、両者には、ボニナイトとマグマ混合の証拠も若干認められる。

LDAとLQZDの分化トレンドを検討した結果、LDAは、マグマ混合の証拠が顕著に認められないこと、全岩組成が珪長質に変化するに伴い輝石組成が連続的にFeに富むように変化することなどから、結晶分化作用によって最も合理的に説明される。LQZDには、著しい融食形を示す石英、斜長石が特に苦鉄質な試料に認められる。また、輝石斑晶はバイモーダルな組成頻度分布を示すが、苦鉄質の輝石はLBZA中の輝石と一致する。このことから、LQZDの組成変化傾向は、LBZAマグマと珪長質LQZDマグマとのマグマ混合によって説明される。珪長質LQZDの成因に関しては、LDAマグマからの結晶分化作用が考えられる。LDAには石英や普通角閃石が見られないが、これは、マグマが高温（950℃以上）であったため普通角閃石が晶出せず、LCBからの分化過程で、高い含水量を維持していたために石英の晶出が抑えられたためと考えられる。

層序から、LDAの噴出から、LQZDの噴出まで時間間隙があったとされるが、この間に、LDAマグマ溜りで温度の低下とH₂Oの脱ガスが起きて、石英斑晶が晶出したと考えられる。その後、石英斑晶をもつデイサイト質マグマは、LBZAマグマとマグマ混合し噴出したと考えられる。

小笠原群島に産する第三紀火山岩は、沈み込み早期の特徴、すなわち、地殻が発達していない、地温勾配が高かったなどの生成環境を反映しており、特に、沈み込み帯でのマントル-スラブ相互作用を知る上で重要である。また、その分化物は、分化系列の成因、大陸地殻の成長を理解する上で、重要な鍵となると思われる。

論文審査の結果の要旨

小笠原群島は、東京の南南東およそ1000kmに位置し、南北約100kmにわたって連なる島々から成る。群島は、地理的なまとまりによって、北から、聳島列島、父島列島、母島列島の3列島に区分されている。これらの島々は主として、中期始新世～前期漸新世にかけて噴出した火山岩から成るが、なかでも群島の中央に位置する父島はボニナイトの模式地として世界的に知られる。聳島列島、父島列島は、主にボニナイトとその分化物で形成されるが、母島列島には、ボニナイトが産出せず、主として分化した組成のソレナイト質玄武岩およびカルク・アルカリ系列の玄武岩質安山岩～安山岩が産することが知られている。

小笠原群島周辺の海域は、極めて高い正のフリーエア異常が観測され、このことから地殻の厚さが薄いと推察されている。このような、海洋プレートどうしの沈み込み帯に形成された小笠原群島の火山岩は、島弧火山岩のなかでも、早期の特徴を示していると考えられている。ボニナイトに関する世界各地での研究報告、伊豆－小笠原－マリアナ弧での深海掘削などにより、ボニナイトには数種類のタイプがあり、これらは密接して産する場合が多いこと、また、ソレナイトを伴って産する可能性があることなどが明らかとなってきた。矢嶋一仁は当地域の3列島の島々を構成している岩石の詳細な研究を行った。その結果多量の水分を含んだ液相濃集元素に乏しいマントルから様々な程度に部分溶融してボニナイト、ソレナイト、カルクアルカリ岩系のマグマが生成されることを示した。

小笠原群島に産する第三紀火山岩は、沈み込み早期の特徴、すなわち、地殻が発達していない、地温勾配が高かったなどの生成環境を反映しており、特に、沈み込み帯でのマントル－スラブ相互作用を知る上で重要である。また、その分化物は、分化系列の成因、大陸地殻の成長を理解する上で、重要な鍵となると思われる。

以上のように矢嶋一仁は小笠原群島一帯に産する火山岩の詳細な調査研究を行い、その岩石学的特徴を明らかにしただけではなく、四種類の異なるマグマがどのようにして発生したのかを説明することに成功した。特にボニナイト系列マグマがどのようにしてできるかを、天然の試料を使って示したのは世界でも唯一であり、これが実験岩石学的に考えられていたモデルと適合することを示したのも特筆すべき成果であり、これらは矢嶋一仁が自立して研究活動を行う研究能力と学識を備えていることを示している。したがって矢嶋一仁提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。