

氏名・(本籍)	さか 酒	より 寄	あつ 淳	し 史
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	理	第	900	号
学位授与年月日	昭和63年11月24日			
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当			
最終学歴	昭和59年3月 東北大学大学院理学研究科 (博士課程前期2年の課程) 地学専攻修了			
学位論文題目	Petrology and Geochemistry of the Zao Volcano, North-east Japan (東北日本, 蔵王火山の岩石学的 地球化学的研究)			
論文審査委員	(主査) 教授 青木 謙一郎 教授 大沼 晃 助 教授 大本 洋			

論 文 目 次

Chapter 1	Introduction
Chapter 2	Geology
Chapter 3	Petrography
Chapter 4	Whole Rock and Groundmass Chemical Compositions
Chapter 5	Mineralogy and Magmatic Variables
Chapter 6	Genetic Relation among Eruptive Materials from the Zao Volcano
Chapter 7	Origin of Calc-alkaline Basalt from Sekiryō Volcano Zone
Chapter 8	Conclusions
	Acknowledgements
	References

論文内容要旨

本論では、カルクアルカリ系列とそれに伴って産する低アルカリソレイト系列の成因を議論する。まず、両系列の玄武岩を産する蔵王火山において、両者の岩石学的関係を明らかにする。次に蔵王の試料の化学的性質を、東北日本の他地域の火山岩のものと比較する。この時に、著者は、液相濃集元素組成に基づく非アルカリ火山岩の新しい分類も提案する。その上で、両系列のマグマの成因を考察する。

蔵王火山は東北日本の脊梁山脈上に位置し、溶岩を主体とする第四紀の成層火山である。本火山は6つの山体より構成されており、そのうちの4つの山体(丸山沢グループ、中丸山グループ、熊野岳・刈田岳グループ・五色岳グループ)が、本火山の主要部を占めている。これらの山体の形成順序に基づき、蔵王火山の形成史は4つのステージに分けられる；ステージ1(丸山沢グループ)、ステージ2(中丸山グループ)、ステージ3(熊野岳・刈田岳グループ)、ステージ4(五色岳グループ)。蔵王火山噴出物の全体積は約7 km³であり、その90%がステージ2と3の噴出物によって占められている。本火山の構成岩石は安山岩が主体であり、少量の玄武岩を伴う。各ステージの構成岩石名とそのSiO₂含有量(wt.%)は、以下の様である；ステージ1：古銅輝石-カンラン石玄武岩、普通輝石-古銅輝石-カンラン石玄武岩、シソ輝石-普通輝石安山岩(51-55)、ステージ2：(含カンラン石)普通輝石-シソ輝石安山岩(60-64, 56-57) ステージ3：カンラン石-普通輝石-シソ輝石安山岩、普通輝石-カンラン石-シソ輝石玄武岩(51-61)、ステージ4：(カンラン石)普通輝石-シソ輝石安山岩(54-56)。各ステージの噴出物のSiO₂量の平均値は、ステージ2から4にかけて減少する。

ステージ1の試料は低アルカリソレイト系列に、ステージ2, 3, 4の試料はカルクアルカリ系列(subordinate tholeiiteを含む)に属する。同じSiO₂量をもつ試料どうしを比べた場合、ステージ1の試料が、蔵王の火山岩中最もK₂O量に乏しい。ステージ2, 3にかけてK₂O量は増加し、ステージ4でやや減少する。この様に、蔵王火山噴出物は各ステージごとに異なる組成変化曲線を描き、特に、低アルカリソレイト系列とカルクアルカリ系列間の化学的性質は顕著に異なる。低アルカリソレイト系列岩は、同じSiO₂量をもつカルクアルカリ系列岩に比べ、K₂Oのみならず、Rb, Sr, Ce, Zr, Ni, Cr, MgO量にも乏しく、また、より大きなtotal FeO/MgO比を有す。

斜方輝石-単斜輝石地質温度計より推定した温度は、低アルカリソレイト安山岩では1010, 1026°C、カルクアルカリ系列岩では884-1065°Cである。カルクアルカリ安山岩の斑晶中のメルト包有物を使って得られた噴出前のマグマのH₂O量は、0.9-3.6wt.%である。

低アルカリソレイト系列岩の液相濃集元素比(K/Rb, Rb/Zr, K/Zr, Zr/Nb)は、カルクアルカリ系列岩のものと明瞭に異なっている。また、カルクアルカリ系列に属するステージ2と3の試料の間でも、それらの比に若干の違いが認められる。ステージ4以外の各ステージ内の試料は、ほぼ一定の液相濃集元素比を有す(例えば、ステージ1のK/Rb=637；ステージ2

の K/Rb=323；ステージ 3 の K/Rb=292)。それに対し、ステージ 4 の試料では、液相濃集元素量の増加につれて、Rb/K, Rb/Zr, K/Zr 比が増加する。

低アルカリソレアイト系列の岩石は、以下の様な岩石学的性質を示し、顕著な非平衡な要素は認められない；(1)全岩の SiO₂ 量の増加に伴う斑晶鉱物組合せの系統的变化（スピネル包有物を有するカンラン石+斜長石+古銅輝石+普通輝石から斜長石+シソ輝石+普通輝石+チタン磁鉄鉱へ）、(2)全岩の SiO₂ 量の増加に伴う斜方輝石斑晶の Mg/(Mg+Fe) 比や斜長石斑晶の An 成分の減少、(3)斜方輝石斑晶と石基やカンラン石斑晶周縁部の間の平衡な Fe-Mg 分配。この系列の玄武岩 (SiO₂ =51.5wt.%) から安山岩 (54.4wt.%) が生成されるために必要な分別相を、最小自乗法を用いて計算した。その結果は、斜長石+カンラン石+普通輝石+スピネルであり、玄武岩の斑晶鉱物の 1 つである斜方輝石は、この解に含まれていない。この計算結果と実際の斑晶鉱物組合せの不一致は、以下のように解釈することができる。この低アルカリソレアイト系列のマグマの多様性は、より深部での分別結晶作用を反映したものであり、現在見られる斑晶鉱物はより浅部で晶出したものである。

一方、カルクアルカリ系列の岩石には、以下の様な非平衡な要素がしばしば認められる；(1)安山岩中における苦鉄質包有物の存在、(2)Mg に富むカンラン石と石英の、顕著な反応縁をもたない斑晶どうしの共存、(3)カンラン石と輝石斑晶間の非平衡な Fe-Mg 分配、(4)斜方輝石斑晶と石基（あるいは全岩）間の非平衡な Fe-Mg 分配、ただし、斑晶中のメルト包有物とは平衡な分配関係を示す、(5)石基 SiO₂ 量の増加に伴うカンラン石斑晶の Fo 成分の増加、(6)斑晶周縁部において逆累帯を呈する輝石や斜長石と、正累帯を呈するカンラン石斑晶の共存、(7)溶融組織を呈する斜長石斑晶の存在。以上の岩石学的特徴は、スピネル包有物を有するカンラン石+斜長石を含む苦鉄質マグマと斜長石+シソ輝石+普通輝石+チタン磁鉄鉱+イルメナイト+石英を含む珪長質マグマの混合の結果と解釈できる。また、ステージ 3 の噴出物の層序と岩石学的研究により、以下の様な端組成マグマの挙動も明らかになった。苦鉄質端組成マグマは、分別結晶作用に依って時間とともに分化が進行するのに対し、珪長質端組成マグマは、苦鉄質マグマの再三の注入によりその温度は上昇し、かつその組成も苦鉄質に向かう。

ステージ 2, 3 における、各ステージ内の試料の液相濃集元素比がほぼ一定であることから、苦鉄質端組成マグマと珪長質端組成マグマが同源であると考えられる。つまり、珪長質端組成マグマももともとは、カルクアルカリ玄武岩質マグマから分別結晶作用に依って生じたものである。また、推定された噴出前のマグマの H₂O 含有量は、含水鉱物に富む下部地殻が融解して生じた珪長質メルトに期待される量 (10wt.% 以上) よりはるかに少ない。ステージ 4 の試料は、SiO₂ 変化量が小さい (2.2wt.%) にもかかわらず、その液相濃集元素比が系統的に変化する。これは、ステージ 3 のカルクアルカリ安山岩質マグマと、それと異なる起源の玄武岩質マグマが混合した結果と解釈できる。

カルクアルカリ玄武岩と低アルカリソレアイト玄武岩における液相濃集元素比の違いは、斜長石、カンラン石、斜方輝石、普通輝石、Fe-Ti 酸化物による通常の分別結晶作用では説明で

きない。この事は、両系列のマグマが各々異なる組成の本源マグマから派生したことを示唆している。

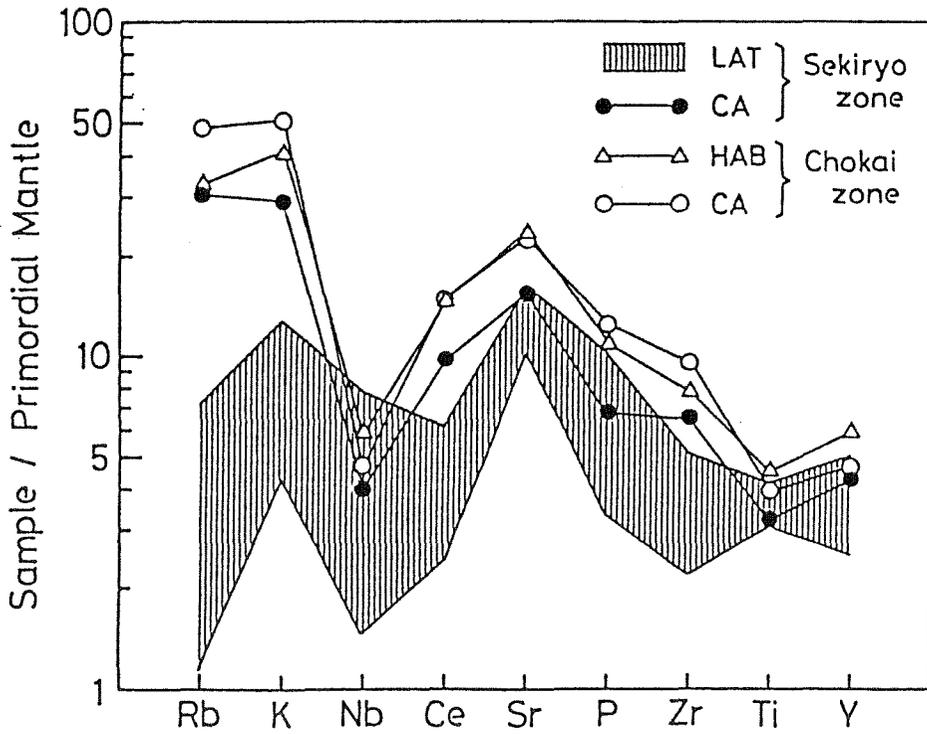
この様に、分化機構の違い（分別結晶作用 vs. マグマの混合）と本源マグマの化学組成の違いの2つの要素が重なって、両系列の化学的性質の違いを形成している。マグマの混合の結果として、カルクアルカリ安山岩は、低アルカリソレアイト系列のものより、低い total FeO/MgO 比、高い MgO, Ni, Cr 含有量を有す。一方、ハーカー図における両系列間の K_2O/Rb 等の液相濃集元素量の違いは、本源マグマの違いを反映したものである。

著者は、東北日本弧の第四紀玄武岩を液相濃集元素規格化パターンに基づいて、CA-type（蔵王火山のカルクアルカリ玄武岩）と LAT-type（低アルカリソレアイト玄武岩）に分類した。前者は後者に比べ、K と Rb に顕著に富んだパターンを呈する（第1図）。背弧側に産する高アルミナ玄武岩とそれに伴うカルクアルカリ玄武岩は、ともに蔵王のカルクアルカリ玄武岩と非常に類似したパターンの形を示し、CA-type に分類される。この玄武岩に於ける分類を、K/Nb や Rb/Nb を用いて、安山岩に拡張した (K_2O/Na_2O 比でも分類可能)。その結果、CA-type 火山岩は東北日本の火山弧全域に広く分布するのに対し、LAT-type 火山岩の分布は火山フロント付近に限られていることが、明らかになった。また、火山フロント付近の CA-type は、同じ、 SiO_2 量をもつ背弧側のものより、液相濃集元素量に乏しい。この違いは、背弧側ほど起源物質の部分融解の程度が小さくなることを意味している。

蔵王火山の CA-type のマグマの温度やそれに含まれるカンラン石斑晶の組成 ($Fo_{max} = 86mole\%$) は、LAT-type 同様、その本源マグマがマントル内で生じた可能性を示している。LAT-type 火山岩の Nb/Zr 比は、火山ごとに異なる。一方、それと共存する CA-type 火山岩の Nb/Zr 比にも、LAT-type の場合と同じセンスの地域変化が認められる。この現象は、両タイプの起源物質がまったく物質的に無関係ではないことを示しており、両起源物質をともに火山下のマントルに求める考えを否定しない。

両タイプのマグマの成因はマントルウェッジ内の含水鉱物の不均質な分布で説明できる。東北日本弧の火山フロント付近のマグマは、マントルウェッジ内の角閃石の脱水分解によって発生すると考えられる。その際に、含金雲母カンラン岩の部分融解によって CA-type 玄武岩質マグマが、金雲母に乏しいカンラン岩の部分融解によって LAT-type 玄武岩質マグマが各々発生する。

一方、背弧側のマントルウェッジでは、金雲母の脱水分解あるいは含金雲母カンラン岩の部分融解が起こると考えられるので、発生するマグマはすべて CA-type 玄武岩質マグマである。火山フロント付近の CA-type 火山岩の $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比が、背弧側のものとは比べ大きいこともこのモデルと矛盾しない。



第1図 東北日本第四紀玄武岩の液相濃集元素規格化パターン。

LAT：低アルカリソレアイト玄武岩；

HAB：高アルミナ玄武岩；

CA：カルクアルカリ玄武岩。

データソース：吉田ら (1983), 石川ら (1984), 藤縄ら

(1984), 佐々木ら (1985,1986), 林 (1984,1986), 本論文

論文審査の結果の要旨

酒寄淳史提出の論文は蔵王火山の地質学的・岩石学的・地球化学的研究を行ったものである。

本火山の主要部は4つの山体より構成されている。これらの山体形成順序に基づき、本火山の形成史は4つのステージに分けられる。ステージ1の試料は低アルカリソレイト系列(LAT)に、他のステージの試料はカルクアルカリ系列(CA) (ただし, subordinate tholeiiteを含む)に属する。同じSiO₂量をもつ両系列の試料を比べた場合、前者は後者に対し、K₂O, Rb, Sr, Ce, Zr, MgO, Ni, Cr量に乏しく、また、より大きなtotal FeO/MgO比を有す。CAの試料には、斑晶どうしや斑晶と石基間に顕著な非平衡関係が認められ、苦鉄質マグマとそ分化物である珪長質マグマとの混合によって形成されたことを示唆している。一方、LATの試料にはマグマの混合を示すような非平衡関係が見られず、そのトレンドは玄武岩質マグマからの分別結晶作用によって説明できる。また、CA玄武岩とLAT玄武岩における液相濃集元素比(たとえばK/Rb)の違いは、両系列のマグマが各々異なる化学組成をもった本源マグマから派生したことを示している。この様に、分化機構の違いと本源マグマの化学組成の違いが、両系列における化学的性質の違いをもたらしている。

東北日本第四紀非アルカリ岩は、液相濃集元素規格化パターンの形に基づいて“CA-type”と“LAT-type”に分類できる。前者はKとRbの顕著な濃集によって特徴づけられ、CAと高アルミナ玄武岩系列を含む。一方、後者はLATにほぼ対応する。つまり、CA-typeの火山岩は東北日本火山弧全域に産するのに対し、LAT-typeの分布は火山フロント付近に限定されている。また、液相濃集元素含有量は、火山フロント付近のCA-typeが背弧側のものより、本源マグマ部分融解の程度が大きいことを示している。東北日本の火山フロント付近のマグマは、マントルウェッジ内の角閃石の脱水分解によって発生すると考えられる。その際に、含金雲母カンラン岩の部分融解によってCA-type玄武岩質マグマが、金雲母に乏しいカンラン岩の部分融解によってLAT-type玄武岩質マグマが各々発生する。背弧側のマントルウェッジでは、金雲母の脱水分解あるいは含金雲母カンラン岩の部分融解が起こると考えられるので、発生するマグマはすべてCA-type玄武岩質マグマである。

以上本論文において得られた成果は高く評価され、酒寄淳史が自立して研究活動を行なうに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって酒寄淳史提出の論文は理学博士の学位論文として合格を認める。