

氏名・(本籍)	ばん 伴	まさ 雅	お 雄
学位の種類	博 士 (理 学)		
学位記番号	理 第 1 0 0 2 号		
学位授与年月日	平 成 4 年 11 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当		
最終学歴	昭和63年3月 東北大学大学院理学研究科 (前期2年の課程)地学専攻修了		
学位論文題目	Temporal and Spatial Variation in Chemical Compositions of Rocks from Nasu Volcanic Group, Northeast Japan (東北日本, 那須火山群の岩石化学組成の時空変化)		
論文審査委員	(主査) 教 授 青 木 謙一郎		
		教 授 大 沼 晃 助	
		教 授 秋 月 瑞 彦	
		教 授 蟹 沢 聡 史	

## 論 文 目 次

### Chapter 1 Introduction

- 1 - 1 Occurrence of representative volcanic rock series at distinct tectonic environments
- 1 - 2 Possible candidates of source materials for volcanic arc magmas
- 1 - 3 Occurrence of representative rock series among Quaternary volcanic rocks in northeast Japan arc
- 1 - 4 Petrogenetic relationship between coexisting calc - alkaline and tholeiitic rock series
- 1 - 5 Spatial variation in trace element concentrations and Sr isotopic ratios in volcanic rocks from Quaternary volcanic rocks of northeast Japan
- 1 - 6 Genetic relationship of lateral variations in chemical compositions of Quaternary basaltic rocks in northeast Japan
- 1 - 7 Contrasting problems for the genesis of various rock series in Quaternary volcanic

rocks in northeast Japan arc

1 – 8 Temporal and spatial variation in chemical compositions of rocks from Nasu volcanic group, northeast Japan

Chapter 2 Eruptive history of Nasu volcanic group

2 – 1 Location of Nasu volcanic group and outline of tectonic settings

2 – 2 Type of stratovolcano

2 – 3 Outline of volcanic sequence of Nasu volcanic group

2 – 4 Details of volcanic sequence of Nasu volcanic group

2 – 4 – 1 Basement rocks

2 – 4 – 2 Kasshiasahi – dake volcano

2 – 4 – 3 Sanbon – yari – dake volcano

2 – 4 – 4 Asahi – dake volcano

2 – 4 – 5 Minamigassan volcano

2 – 4 – 6 Futamayama volcano

2 – 4 – 7 Chausu – dake volcano

2 – 5 Summary of eruptive history

Chapter 3 K – Ar ages of lavas from Nasu volcanic group

3 – 1 Selection of samples

3 – 2 Description of dating samples

3 – 3 Analytical procedures

3 – 4 Results of K – Ar dating

3 – 5 Correlation between the results and geologic data

3 – 6 Eruption rate of volcanic activity of Nasu volcanic group

3 – 7 Comparison between dating data and tephra data

3 – 8 Summary of K – Ar dating of rocks from Nasu volcanic group

Chapter 4 Petrography of the rocks from Nasu volcanic group

4 – 1 General features and variations of rocks from Nasu volcanic group

4 – 2 The details of petrographical character of rocks from Nasu volcanic group

4 – 2 – 1 Kasshiasahi – dake

4 – 2 – 2 Sanbon – yari – dake volcano

4 – 2 – 3 Asahi – dake volcano

4 – 2 – 4 Minamigassan volcano

4 – 2 – 5 Futamayama volcano

4 – 2 – 6 Chausu – dake volcano

Chapter 5 Whole rock chemistry of rocks from Nasu volcanic group

5 – 1 Analytical method

5 – 2 The major element compositions of the rocks of Nasu volcanic group

- 5 - 3 Trace element : Compatible elements : Ni, Cr, and V
- 5 - 4 Trace elements : High field strength elements : Zr, Nb, and Y
- 5 - 5 Trace elements : The K - Group : Rb, Ba, and Sr
- 5 - 6 Trace elements : The Th Group : Th and Pb
- 5 - 7 Trace elements : The Chalcophile Group : Cu and Zn
- 5 - 8 Trace elements : Ga
- 5 - 8 Strontium isotopic ratio
- Chapter 6 Mechanism of the variations brought for the variations of rock compositions of calc-alkaline and tholeiite rock series in Minamigassan volcano, Nasu volcanic group
  - 6 - 1 Introduction
  - 6 - 2 Minamigassan volcano
  - 6 - 3 General geology of Minamigassan volcano
  - 6 - 4 Bulk rock compositions and Phenocrysts assemblages of the rocks from Minamigassan volcano
  - 6 - 5 Mineral compositions of rocks from Minamigassan volcano
    - 6 - 5 - 1 E - 1, E - 2, and L - 2 units
    - 6 - 5 - 2 L - 1 unit
    - 6 - 5 - 3 L - 3 unit
  - 6 - 6 Mechanism caused the whole rock variation within each units
    - 6 - 6 - 1 E - 1 unit
    - 6 - 6 - 2 E - 2 unit
    - 6 - 6 - 3 L - 1 unit
    - 6 - 6 - 4 L - 3 unit
  - 6 - 7 The genetic relationships between each units.
    - 6 - 7 - 1 The genetic relationship between E - 1 and E - 2 magmas
    - 6 - 7 - 2 Acidic endmember of L - 1 unit
    - 6 - 7 - 3 Calc - alkaline trends are not direct melting lines of lower crustal materials
  - 6 - 8 Petrological model for the Minamigassan volcano
- Chapter 7 The formation of the present volcanic zonation of the northeast Japan arc
  - 7 - 1 Introduction
  - 7 - 2 K - Ar dating samples of the rocks from Mutsu - Hiuchi - dake, Osoreyama, Nanashigure, and Aoso volcanoes
    - 7 - 2 - 1 Mutsu - Hiuchi - dake volcano
    - 7 - 2 - 2 Osoreyama volcano
    - 7 - 2 - 3 Nanashigure volcano
    - 7 - 2 - 4 Aoso volcano

- 7 - 3 Analytical method of K - Ar dating
- 7 - 4 Geological considerations of the results of K - Ar datings.
  - 7 - 4 - 1 Mutsu - Hiuchi - dake volcano
  - 7 - 4 - 2 Osoreyama volcano
  - 7 - 4 - 3 Nanashigure volcano
  - 7 - 4 - 4 Aoso volcano
- 7 - 5 The temporal and spatial variations of the  $K_2O$  contents of rocks occurred volcanic front after 4 Ma
  - 7 - 5 - 1 Temporal and spatial variations of  $K_2O$  (57.5) of the volcanic rocks of volcanic front of northeast Japan at past 4 m. y.
  - 7 - 5 - 2 The age of appearance of the Aoso - Osore volcanic zone
  - 7 - 5 - 3 Striking character of coexist of low - K and medium - K series for Sekiryō volcanic zone
  - 7 - 5 - 4 The characteristics of high  $K_2O$  (57.5) volcanoes in Sekiryō volcanic zone
- 7 - 6 Conclusions of the formation of the present volcanic zonation of the northeast Japan arc
- Chapter 8 Estimation of source rocks compositions of various rock series in Nasu volcanic group, northeast Japan
  - 8 - 1 Temporal and spatial variation in chemical compositions of rocks from Nasu volcanic group, northeast Japan
  - 8 - 2 Mechanism caused the variations of compositions of calc-alkaline and tholeiite rock series in Nasu volcanic group
  - 8 - 3 Estimation of source rocks compositions of various rock series in Nasu volcanic group, northeast Japan
  - 8 - 4 Temporal and spatial variation in chemical compositions of rocks from Nasu volcanic group, northeast Japan
- Chapter 9 Conclusions
- Acknowledgements
- References

# 論文内容要旨

## 1. 東北日本弧火山フロント沿い火山岩の岩石学的問題点

東北日本弧，火山フロント沿いの火山にはカルクアルカリとソレアイトという異種の岩石系列の共存が認められ，両者の生成過程が問題とされてきた。那須火山群は東北日本弧火山フロント沿いに位置する第四紀火山群であり，カルクアルカリとソレアイト系列の共存が認められる。この火山群は，南北30 km に伸長して分布する多数の噴出口が認められ，複雑な形成史を辿っている。また，分布する岩石も多様で，詳しくみると多数の組成変化経路が見られる。これまで，上記のような二種類の岩石系列の共存を考える場合に時間空間軸を精度良くとり入れて考察した例はない。この研究では，全岩化学組成，記載岩石学的特徴，鉱物化学組成を詳しく記述し，それを時空変化の観点からまとめ，各岩石系列相互の生成関係とそれらの起源物質について考察した。

## 2. 那須火山群の形成史

まず時間軸を入れる前提として，那須火山群噴出物の噴出様式をまとめた。島弧に産する火山の代表的な型は成層火山である。しかしその成長過程は多様であり一般化された例は極めて少ない。ここでは，時間空間的に独立している山体を一成層火山とみなし，各火山の成長過程を詳しく調べた。独立した火山は，甲子旭岳，三本槍岳，朝日岳，南月山，二岐山，茶臼岳の6つである。そのうち，甲子旭岳，三本槍岳，南月山の3火山は以下のような形成史を辿る。初期に玄武岩質の比較的薄い溶岩流とそれに伴う火砕岩の噴出が卓越する。ここまです前期活動機とする。これ以降を後期活動期とする。そのうち山体崩壊を伴う活動によりカルデラが形成される。次にカルデラ内で比較的厚い安山岩質の溶岩流を流出する活動に推移する。ここで活動が終わる場合が多いが，この後再び玄武岩質の溶岩流の活動が再開する場合もある。朝日岳，二岐山，茶臼岳の3火山では，前期のカルデラ形成の活動までがみられない。また，この3つの火山では安山岩質であっても比較的薄い溶岩流や岩滓集塊岩も噴出している。

## 3. 那須火山群噴出物のK-Ar年代

形成史に定量的な時間軸を導入するため，形成過程全般にわたった試料を選び，K-Ar年代測定を行なった。その結果，甲子旭岳火山について0.54~0.42Ma，三本槍岳火山について0.36~0.27Ma，朝日岳火山について0.21~0.06Ma，南月山火山について0.21~0.08Ma，二岐山火山について0.14Maの結果を得た。茶臼岳火山については藤田（1988）によって0.04~0 Maの形成年代が報告されている。これらのデータと現在残っている山体の体積から各火山の噴出率を算出した。その結果，前期は $0.7\sim 1.2\text{km}^3/10,000\text{years}$ ，後期は $0.1\sim 0.7\text{km}^3/10,000\text{years}$ と後期の方が噴出率が低下していることが判明した。また，ひとつの火山のマグマがひとつの円柱状（アスペクト比=2）のマントルダイアピルに由来すると仮定した場合，0.1~0.2Maの火山の寿命を保つようなマントルダイアピルの大きさは，東宮（1991）の式に従うと直径10.8~13.6kmと

算出される。これは那須火山群の各火山の噴出物の分布幅の約倍程度の大きさである。

#### 4. 那須火山群噴出物の岩石記載

ここでは、斑晶鉱物組み合わせと非平衡組織の有無に焦点を当て、那須火山群噴出物の岩石記載を行なった。その結果那須火山群の噴出物は非平衡要素の含有程度からN, R1, R2-typeの3種類に分類可能である。N-typeは非平衡組織をほとんど含まない岩石, R1-typeはSakuyama (1981) が述べた非平衡組織をほぼ全て含む岩石, R2-typeはSakuyama (1981) が述べた非平衡組織の一部を含む岩石である。斑晶組み合わせはN-typeでは、カンラン石, 単斜輝石, 斜方輝石, 斜長石, チタン磁鉄鉱が主で、カンラン石を欠く場合もある。R1-typeでは、単斜輝石, 斜方輝石, 斜長石, チタン磁鉄鉱が主で、稀にカンラン石や石英が少量含まれる。R2-typeでは石英, カンラン石, 単斜輝石, 斜方輝石, 斜長石, チタン磁鉄鉱が含まれる。甲子旭岳, 三本槍岳, 南月山の3火山の前期活動期には主にN-typeが噴出し、後期にはR2-typeが主に噴出している。朝日岳, 二岐山, 茶臼岳の3火山では主にR1-typeが噴出している。上部ではR2-typeもみられる。

#### 5. 那須火山群噴出物の全岩化学組成

Gill (1981) に従うと岩石系列は、甲子旭岳火山には低カリウム-ソレイトとカルクアルカリ, 三本槍岳火山には中間カリウム-ソレイトとカルクアルカリ, 朝日岳火山には中間カリウム-カルクアルカリ, 南月山火山には低カリウム-ソレイト, 中間カリウム-ソレイトとカルクアルカリ, 二岐山火山には中間カリウム-カルクアルカリ, 茶臼岳火山には中間カリウム-カルクアルカリの各系列がみられる。ソレイトとカルクアルカリ両系列が共存する場合は、概ねソレイト系列岩が先に噴出している。概ね、ソレイト系列岩はN-type, ソレイトと共存するカルクアルカリ系列岩はR2-type, 単独で存在するカルクアルカリ系列岩はR1-typeである。

液相濃集元素同志の比で見ると、ソレイト系列岩のRb/Ba, Zr/Nb, Rb/Yは共存するカルクアルカリ系列岩より小さい。共存する両系列のそれらの値は、FeO\*/MgOが増加してもほぼ一定の値を保っている。また、単独で存在するカルクアルカリ系列岩の同様の比は上記両系列の間の値をとり、FeO\*/MgOの増加と共に増加する。

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の値は、甲子旭岳火山では0.7045-0.7055, 三本槍岳火山では0.7049-0.7053, 朝日岳火山では0.7046-0.7053, 南月山火山では0.7046-0.7051, 二岐山では0.7043-0.7047, 茶臼岳火山では0.7049-0.7054である。ひとつの火山に共存するソレイトとカルクアルカリ両系列の最低値は類似した値を示している。

#### 6. 地表に現われた岩石内の組成変化経路の生成機構

まず、ソレイト系列(N-type)と共存するカルクアルカリ系列(R2-type)の岩石は、

共存するソレイト系列とは異なる親マグマから導かれたことを南月山を例にとって説明した。ソレイト系列の岩石は、N-type がほとんどであること、液相濃集元素の増加に伴い固相濃集元素が指数関数的に減少すること、 $K_2O$  含有量の増加に伴い輝石晶出温度が低下すること、 $FeO^*/MgO$  比の増加に伴い分配係数が互いに近い液相濃集元素同志の比があまり変化しないことから、ソレイト系列の玄武岩からの結晶分化作用によって生成されたと考えて矛盾はない。一方カルクアルカリ系列の岩石は非平衡組織を示すことからマグマ混合の影響が考えられる。その制約条件として、たとえば  $SiO_2 - Al_2O_3$ ,  $MgO$  図で曲線的变化傾向を示していることから各々固定された端成分同志の混合とは考えられない。結果として、ソレイト系列の玄武岩質マグマがカルクアルカリ系列安山岩質マグマに不完全に混合したと考えられた。現在見えている組成変化はマグマ混合の影響よりもカルクアルカリ系列安山岩質マグマ内での結晶分化作用が大きく寄与しているだろうと考えられる。

単独に存在するカルクアルカリ系列 (R1-type) の岩石は非平衡要素の特徴を備えていること、全岩化学組成上ソレイト系列と共存するカルクアルカリ系列の岩石の組成変化経路を、ほぼ直線的に結ぶ組成変化経路をとることから、両者の混合物と解釈するのが妥当である。

## 7. 東北日本弧第四紀火山フロント沿い火山の $K_2O$ 含有量の時間変化

那須火山には上述のように多数の岩石系列が存在している。ここでは東北日本弧全体に目を向け、那須火山のおかれている時間空間的な位置を明確にする。時間空間を 4 Ma 以降、火山フロント沿い火山に限り  $K_2O$  含有量の時間変化を調べた。各火山の  $K_2O$  含有量の代表値として、 $SiO_2 = 57.5wt. \%$  のときの  $K_2O$  含有量の値を用いた。その結果、約 1 Ma 以降高  $K_2O$  含有量の火山が出現し始めることが判明した。それ以前と同様の低い  $K_2O$  含有量の火山は 1 Ma 以降も継続して活動している。那須火山群には上記の岩石が全て含まれている。

## 8. 共存するカルクアルカリ系列とソレイト系列の生成過程

ソレイト系列 (N-type) と共存するカルクアルカリ系列 (R2-type) の岩石は共存するソレイト系列とは異なる親マグマから導かれ、単独に存在するカルクアルカリ系列 (R1-type) の岩石は両者の混合物と考えられた。従って問題となるのは、共存するカルクアルカリとソレイト両系列親マグマの生成機構となる。先に述べたように、カルクアルカリ系列の方がソレイト系列より高い  $Rb/Ba$ ,  $Zr/Nb$ ,  $Rb/Y$  をもつ。 $Zr/Nb$  の値は、ソレイト系列で始源マントルに近く、カルクアルカリ系列で中央海嶺玄武岩をもたらしたマントルの値に近い。一方、同一火山では両系列の  $^{87}Sr/^{86}Sr$  比が似通っていることから、カルクアルカリ、ソレイト両系列は共通の材料物質に由来した可能性が高い。 $Zr/Y - Nb/Y$  図等で微量元素のモデル計算を行ない検討すると、結晶分化の程度や種類、共通のマントルからの部分溶融の程度や種類の差では互いの相違を説明できない。角閃岩を溶け残り物質とする溶融を考えるとソレイト系列組成からカルクアルカリ系列組成のマグマは生じ得る。

## 9. 那須火山群噴出物のマグマ生成過程

以上のことからつぎのような生成過程が考えられる。Zr/Nb に関して類似した始源マントルからソレイト系列岩は生成され、一旦固結し、液の Rb/Ba, Zr/Nb, Rb/Y を上げるような溶け残り物質（角閃岩等）を残し、再溶融し、カルクアルカリ系列岩を生成した。朝日岳、茶臼岳、二岐山火山形成期には両者の混合物が地表まで現われている。

## 論文審査の結果の要旨

伴雅雄提出の論文は東北日本弧火山フロント沿いに位置する那須火山群噴出物の記載岩石学的性質、全岩化学組成と鉱物化学組成を時間軸に沿って詳しく記述し、噴出物をもたらしたマグマ生成過程を考察したものである。

那須火山群噴出物は噴出様式と時空分布から6つの成層火山体に分類できる。それらは甲子旭岳(0.54–0.42Ma)、三本槍岳(0.36–0.27Ma)、朝日岳(0.21–0.06Ma)、南月山(0.21–0.08Ma)、二岐山(ca.0.14Ma)、茶臼岳(0.04–0Ma)の各火山である。甲子旭岳、三本槍岳、南月山にはソレイトとカルクアルカリ系列が共存し、朝日岳、二岐山、茶臼岳火山にはカルクアルカリ系列のみが単独に存在する。

ソレイト系列には顕著な非平衡組織は認められず、一方共存するカルクアルカリ系列は弱い非平衡な特徴を示す。

共存するソレイト、カルクアルカリ系列では非調和元素間の比はほぼ一定に保たれていることから両系列の組成変化経路は主に各々独自の苦鉄質マグマからの結晶分化作用によって齎されたものと考えられる。一方、単独で存在するカルクアルカリ系列では上記両系列の間の値をとり、分化と共に増加するなどの理由から上記両者のマグマの混合物と解釈できる。

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は0.7043–0.7058と広範囲をとるが、一火山に共存するカルクアルカリとソレイト系列の最低値は類似し、これは両者の相違は源岩の相違ではなくマグマ発生から噴出までの融解・固結過程の相違によると考えられる。

共存するカルクアルカリとソレイト系列本源マグマの生成機構を微量元素のモデル計算を行い検討した。両者は共通のマントル物質からは直接生成し得ないが、角閃岩を溶け残り物質とする融解を考えると、ソレイト系列からカルクアルカリ系列組成のマグマは生じ得る。従って、ソレイトマグマは始源マントルに類似組成したかんらん岩から生成した。これが一旦固結し、その再熔融によりカルクアルカリマグマを生成したと推定される。

以上の成果は島弧ソレイトとカルクアルカリ系列マグマの成因に関する研究分野の発展に大きく貢献するものと期待される。これは伴雅雄が自立して研究活動を行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。よって伴雅雄提出の論文は博士(理学)の学位論文として合格と認める。