

氏名・(本籍)	よし 吉	だ 田	たけ 武	よし 義
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	理	第	749	号
学位授与年月日	昭和58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47年3月 東北大学大学院理学研究科 (修士課程) 地学専攻修了			
学位論文題目	Analysis of igneous rocks by instrumental photon-activation and its petrological application (機器光量子放射化法による火成岩の分析とその岩石学への応用)			
論文審査委員	(主査) 教授 青木謙一郎      教授 砂川一郎 教授 荻木浅彦 教授 大貫仁			

## 論 文 目 次

Part I Analysis of igneous rocks by instrumental photon-activation and its petrological application

Abstract

Chapter 1. Nondestructive multielement photon-activation analysis of rocks

Introduction

Experimental

Samples and standards

Irradiation

Counting and evaluation

Results and discussion

Gamma-rays observed	
Interference problem	
Multielement determination	
Reliability	
Conclusion	
Chapter 2. Determination of strontium, cesium, and barium in igneous rocks by photon -activation analysis	
Introduction	
Experimental	
Results and discussion	
Chapter 3. Trace element behavior in fractional crystallization of Jeju alkaline lavas, Korea	
Introduction	
Sample description	
Analytical methods	
Results and discussion	
Conclusion	
Chapter 4. Statistical analysis of compositional variation in Jeju alkaline lavas, Korea	
Introduction	
Jeju alkaline lavas	
Correlation coefficient patterns of Jeju alkaline lavas	
Chapter 5. Geochemistry of Nyamuragira volcano, Zaire	
Introduction	
Outline of volcanic activity	
Petrography	
Chemistry	
Analytical methods	
Major elements	
Trace elements	
Petrogenesis	
Conclusion	
Chapter 6. Elemental abundances in some continental basalts	
Introduction	
Sample description	
Olivine tholeiite, alkali basalt, basanite and nephelinite	

- Minette (potassic basalt)-trachyte association
- Wyomingite (phlogopite-leucite phonolite)
- Experimental
- Results
- Discussion
  - Trace element behavior during fractional crystallization
  - Parental magma
- Chapter 7. Elemental abundances in some basaltic rocks from the Japan arc and adjacent area
  - Introduction
  - Locality and nature of analyzed basaltic rocks
  - Analytical methods
  - Result and discussion
  - Conclusion
  - Acknowledgements
  - References
- Part II. Ring-fracture stoping in Tertiary Ishizuchi cauldron, Southwestern Japan arc
  - Abstract
  - Introduction
  - General geology of Ishizuchi Tertiary system
    - Basement rocks
    - Takano pyroclastic flow deposits
    - Todoro complex and related acidic intrusive rocks
    - Kuromoritoge andesites
    - Saragemine andesites
  - Ishizuchi cauldron
  - Ring-fault complex
    - Outer and inner ring fractures
    - Intrusive breccias in the ring-fault complex
    - Composite ring dikes
  - Caldera deposits
    - Yoaketoge altered dacites
    - Tengudake pyroclastic flow deposits
    - Peripheral upturning of Tengudake pyroclastic flow deposits
  - Interior intrusions

Omogo central plutons

Minor intrusives

Discussion

Cause of cauldron subsidence

Resurgent doming by laccolithic intrusion

Compositional zoning of central plutons

Development of the Ishizuchi cauldron

Acknowledgements

References

# 論文内容要旨

## 第1部 機器光量子放射化法による火成岩の分析とその岩石学への応用

### 第1章 光量子放射化法による岩石の非破壊多元素同時分析

高分解能 Ge 半導体検出器を用いた光量子放射化法により岩石の非破壊多元素同時分析を行った。各未知試料について300mgの粉末をアルミ箔に包み、直径10mm、厚さ約3mmのディスクに成型し、照射試料とした。多元素標準試料としてはアルカリ玄武岩にいくつかの定量目的元素を一定量加えて作成した試料(MSTD)をJB-1, JG-1等とともに使用した。未知試料および標準試料を交互に石英管につめ、封入した後、東北大学核理研の電子ライナックを使用して、30MeV 加速電子を厚さ2mmの白金板で制動フク射に変換し、照射した。照射時間は2~3時間である。得られた残留核からの $\gamma$ 線の測定は東北大学サイクロトロン・RIセンターにおいてAptec製高純度Ge検出器とNAIG製4096チャンネル波高分析器とを用いて行った。これらと接続したコンピュータ(HP45B)で $\gamma$ 線のスペクトル解析を行った後、標準試料との比較法により未知試料中の各元素を定量した。

火成岩において定量した元素はCa, Fe, Mg, Mn, Na, Ti, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Y, Zn, そしてZrの19元素である。JB-1をくりかえし定量した結果Ba, Cs, Sc, Zn以外の微量元素分析値の相対標準偏差の平均値は4.0%であり、充分満足できる再現性が得られた。得られた平均値と文献値との相対誤差は3.3%以下であり、両者は極めてよく一致している。

機器光量子放射化法による定量分析は幅広い組成の岩石について充分な正確さと再現性のある結果をもたらすものであり、岩石試料の非破壊多元素同時分析手段としては非常に勝れている。

### 第2章 光量子放射化法による岩石中のSr, Cs, Baの定量

K-グループ元素(K, Rb, Cs, Ba及びSr)の含有量および存在比は火成岩の成因を議論する際重要なものである。これらの元素のうちSr, Cs, Baを正確に定量するため、K-グループ元素に極端に富む岩石であるメリリタイト(ニーラゴンゴ火山産)を標準試料として調整した。この標準試料ST-2を用いることにより、通常、分析の難しいCs, Baについても定量が可能になった。その際、Baの計数に伴う統計誤差は濃度が1000ppm程度になると10%以下となる。またCsの相対標準偏差も濃度が10ppm程度まで増えると数%以下となった。

### 第3章 韓国, 済州アルカリ岩マグマの分別結晶作用に伴う微量元素の挙動

済州アルカリ岩はアルカリ玄武岩~粗面岩からなる。Lee(1982)の研究によれば、これらの火山岩類はアルカリカンラン石玄武岩マグマが、主としてカンラン石、輝石、斜長石、磁鉄鉱、及びリン灰石を分別晶出することにより生成されたものである。これらの一連の分化物について

て光量子放射化法により微量成分の分析を行い分別結晶作用に伴う微量元素の挙動を調べた。マグマの分化に伴い Y, Zr, Rb, Nb 及び Ce は単調に増加し、一方, Ni, Cr, Sc そして Co は減少する。それに対して, Sr は途中まで増加し、それから減少する。Ni, Cr, Sc そして Co の減少はこれらの元素がカンラン石、輝石等にとりかこまれてマグマから取り去られた結果であり、これらの鉱物にはいない Y, Zr, Rb, Nb, Ce はマグマ中に濃集したものと考えられる。それに対して Sr は分化の途中から晶出を始めた斜長石に取り込まれた為、分化の途中で最大値を持つトレンドを生じたと結論される。

#### 第4章 韓国, 済州アルカリ岩における組成変化の統計解析

岩石の分析データは多変量的性格を持っている。岩石成因論上のモデルを検討する際、しばしば用いられるのが二成分プロットである。しかし、この二成分プロットは多変量のうちのほんの一部の元素間の関係を示すにすぎない。ここでは、済州アルカリ岩における分別結晶作用に伴う元素の挙動を表現するのに全分析元素間の相関係数を用いた。さらに異なる成因で生じた岩石グループ間の比較を容易にする為に全分析元素について相関係数パターンを作成した。このパターンの様式は大きく三タイプに分けられる。このうち、インコンパティブル元素の様式とコンパティブル元素の様式とは対称関係にある。相関係数パターンはその岩石グループでの組成変化を生じた原因と密接な関係があり、その様式から成因を推測することが可能である。済州アルカリ岩についての相関係数パターンはアルカリ岩マグマの分別結晶作用に伴う元素の挙動に対応するものである。

#### 第5章 ザイール共和国, ニアムラギラ火山の地球化学的研究

ニアムラギラ火山は隣接するニーラゴゴ火山と共に、東アフリカ大地溝帯にある世界でも最も活動的な火山である。ニアムラギラ火山を構成する岩石はカンラン石ベイサナイト～テフライト質フォノライトからなる。最も普遍的に分布する熔岩はフォノライト質テフライトであって、斑晶鉱物の量は0～12容量%である。斑晶鉱物はカンラン石とチタン普通輝石が主であり、少量の斜長石とチタン磁鉄鉱を含んでいることがある。これらの熔岩のうち代表的な試料について光量子放射化分析を行った。得られた微量元素の挙動には2つの型が認められる。K<sub>2</sub>O はマグマの分化とともに単調に増加するが、インコンパティブル元素はこの K<sub>2</sub>O の増加と共にベイサナイトからフォノライトへと連続的に濃集する。特に Ba, Ce, Nb, Rb と Sr が顕著であるが、Y と Zr はそれほどではない。一方コンパティブル元素は K<sub>2</sub>O の増加とともに減少する。それらのうち、Co と Sc は比較的規則的に変化し、Cr と Ni は急激に減少するが例外も認められる。ニアムラギラ火山噴出物の組成変化は比較的単純であって、これは本源マグマの単純な分別結晶作用によって一連の噴出物が生成されたことを示している。微量元素の挙動は、カンラン石ベイサナイトマグマがカンラン石、普通輝石、鉄鉱物土斜長石を晶出分化することによりテフライト質フォノライトまでの一連のマグマを生成したとする考えと調和的である。

## 第6章 北米産，大陸性玄武岩における元素含有量

玄武岩は地質時代を通じて最も大量に噴出した火山岩であり，大陸，海洋底，ならびに島弧と汎世界的に分布している。大陸性玄武岩質岩は大きく，ソレアイト質玄武岩，アルカリカンラン石玄武岩～ネフェリナイト， $K_2O$ に異常に富むアルカリ玄武岩，キンバーライトそしてカーボナタイトに区分されるが，これらのうち前三者について光量子放射化分析を行い，それらにおける微量元素の挙動を調べ，成因的考察を行った。試料の産地はアメリカ合衆国，ニューメキシコ，アリゾナそしてワイオミングの諸州である。

各玄武岩グループ内における微量元素の挙動は各々のマグマの晶出分化モデルに調和的である。特にワイオミンジャイトの晶出分化にフロゴパイトが重要な役割を演じたことが微量成分の挙動の上から明瞭に示された。主要造岩鉱物の分別が微量成分，特に Sr, Rb, Ba の挙動に及ぼす効果を明瞭に示す為に，これらの元素を軸にとった立体投影図を作成し，各鉱物の分別効果を図上にベクトルで示した。この図上に描かれた各玄武岩の示すトレンドから分別鉱物を容易に推定することが可能になった。

各玄武岩中のインコンパティブル元素を  $K_2O$  を横軸にとった変化図に点示したところ，その多くは  $K_2O$  とともに直線的に増加している。その順序は，カンラン石ソレアイト，アルカリ玄武岩そして過アルカリ岩の順である。これらのマグマは上部マントルにおいてカンラン岩の部分溶融により生成したものと考えられるが，インコンパティブル元素にみられる含有量の差は部分溶融の程度の差に対応するものであろう。

## 第7章 日本およびその周辺地域からの島弧玄武岩における元素含有量

日本列島は比較的成長の進んだ島弧である。Kuno(1966)は日本において太平洋側から日本海側に向かってソレアイト，高アルミナ玄武岩そしてアルカリ玄武岩が帯状に配列していることを明らかにした。この帯状配列の性格をより明らかにする目的のもとに，いくつかの代表的な島弧玄武岩について光量子放射化分析を行った。その産地は，岩手火山，利尻火山，隠岐島前火山，済州火山，そして北九州アルカリ玄武岩である。

その結果，日本列島からの第四紀玄武岩において火山フロントからの距離の増加とともに，Ce および LIL 元素 (Rb, Zr そして Nb) 含有量ならびに Rb/Sr, Zr/Y 比が増加し，Y/Nb, Zr/Nb, Sc/Zr 比が減少することが明らかになった。距離の増加に伴う含有量の変化の程度を示す為に，各玄武岩の組成をフロント上の火山である岩手火山の組成で規格化し，図示した。その結果，元素間に濃集度の差があり，インコンパティブル元素のうち，Nb が最も著しい濃集を示すことが明らかになった。隠岐島前火山，ならびに北九州アルカリ玄武岩は鮮新世に活動した火山である。これらの玄武岩は第四紀玄武岩に比較して Rb に富むなど，明らかにそれらと異なる規格化パターンを持ち，微量元素含有量パターンが日本列島において時代とともに変化したことを示している。これらの事実は玄武岩の帯状組成変化の成因を考える際に重要な拘束条件となる。

## 第2部 西南日本弧，第三紀石鎚コールドロンにおける環状割れ目に沿ったカルデラ陥没

瀬戸内火山帯に属する第三紀石鎚コールドロンは直径7～8 kmの二重の環状割れ目，その中を埋める熔結凝灰岩，それらを貫く貫入岩からなる円形の複合岩体である。環状割れ目は流紋岩～安山岩岩脈とそれらに先行して活動した貫入性角レキ岩に貫かれており，一般に内側に傾斜している。環状割れ目の内側傾斜は割れ目内を埋める熔結凝灰岩が盆状構造を持つことから支持される。また貫入性角レキ岩の存在は環状割れ目が熔結凝灰岩の噴出口であったことを示している。14Ma前にコールドロンの中央を貫いた斑状花コウ閃緑岩～細粒花コウ岩は比較的急な側壁と平な天井を持っている。これらの野外事実をもとに石鎚コールドロンの形成過程を検討し，この岩体が環状割れ目に沿ったカルデラ陥没によって生じたと結論した。



## 論文審査の結果の要旨

火成岩中の19元素(Ca, Fe, Mg, Mn, Na, Ti, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Nb, N, Rb, Sc, Sr, Y, Zr, Zn)が機器光量子放射化法により定量された。標準試料 JB-1 中の微量元素をくりかえし定量した結果, Ba, Cs, Sc, Zn 以外の分析値の相対標準偏差平均値は4.0%であり, またこれと文献値との相対誤差は3.3%以下であった。このように機器光量子放射化法による定量分析は幅広い組成の岩石に対して十分な正確さと再現性のある結果をもたらすものであり, 岩石試料の非破壊多元素同時分析手段として非常に勝れていることが示された。

光量子放射化法を用いて, 済州アルカリ岩, ニアムラギラ過アルカリ岩, 米国産大陸性玄武岩, そして日本およびその周辺地域からの島弧玄武岩類が分析された。各岩石グループ内における微量元素の挙動は各々のマグマの晶出分化モデルに調和的である。主要造岩鉱物の分別が微量成分, 特に Sr, Rb, Ba の挙動に及ぼす効果を明瞭に示すために, これらの元素を軸にとった立体投影図を作成し, 各鉱物の分別効果を図上にベクトルで示した。この図上に描かれた各岩石グループの示すトレンドから分別鉱物を容易に推定することが可能になった。特にワイオミングジャイトの晶出分化にフロゴパイトが重要な役割を演じたことが微量成分の挙動の上から明瞭に示されている。

各岩石中のインコンパティブル元素を  $K_2O$  を横軸にとった変化図に点示したところ, その多くは  $K_2O$  とともに直線的に増加している。その順序はかんらん石ソレイト, アルカリ玄武岩そして過アルカリ岩の順である。これらのマグマは上部マントルにおいてかんらん岩の部分融解により生成したものと考えられるが, インコンパティブル元素にみられる含有量の差は部分融解の程度の差に対応すると考えられる。一部にみられる Y 異常は地下深部での分化作用においてざくろ石の分別を考える必要があることが指摘された。

本論文では火成岩中の19元素が機器光量子放射化法により定量された。得られた分析値は十分な正確さと再現性を有する。本法を用いて大陸および島弧からの代表的な玄武岩類が分析され, その結果を用いて, 各マグマの分化作用と起源が論じられている。

このように本論文は著者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。よって吉田武義提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。