

玄武岩と花崗岩類にみられるK-Rb、Ca-Srの両相関図

三 辻 利 一

要約

地球化学者、デイリーはカルクアルカリ系岩を玄武岩、安山岩、デイサイト、流紋岩（花崗岩）の四つの岩型に分類した。玄武岩と花崗岩はK-Ca、Rb-Srの両分布図で全く異なるところに分布した。また、両者とも、主成分元素K、Caはそれぞれ、微量元素Rb、Srと正の相関性を示すとともに、K-Rb、Ca-Srの両相関図でも、相関直線の勾配や分布位置など、全く異なる分布の仕方をした。もし、母岩のこの特性が風化して生成した粘土にも保存されておれば、両相関図での分布の仕方とも花崗岩由来の粘土と玄武岩由来の粘土では異なることになり、軟質土器の産地問題の研究にK-Rb、Ca-Srの両相関図も役立つことになる。

他方、日本列島の地質の基盤を構成する花崗岩類を分析した結果、K-Ca、Rb-Srの両分布図上で、「花崗岩類のベルト帯」を形成した。花崗岩系の岩石はKが比較的多く、Caが比較的少ない花崗岩から、逆に、Kが比較的少なく、Caが比較的多い花崗閃緑岩、さらに、その中間に分布する花崗岩系岩石もあり、花崗岩系の岩石は単純な岩石ではないことがわかった。しかし、花崗閃緑岩は長石系因子からみて玄武岩に類似するが、Ca-Sr相関図では玄武岩とは全く異なる分布をすることもわかった。

近畿地方には北部に花崗岩、南部に花崗閃緑岩が分布し、その中間の地域には「花崗岩類のベルト帯」で両者の中間に分布する花崗岩系の岩石が分布する。これらの花崗岩類のK-Rb相関図では、花崗岩から花崗閃緑岩へとその相関性が次第に変遷することがわかった。

もし、母岩の長石系因子の化学特性が風化して生成した粘土にも保存されておれば、K-Ca、Rb-Srの両分布図での分布のみならず、K-Rb、Ca-Srの両相関図における相関性からも、花崗岩類に由来する粘土を素材とした土器遺物の産地に関する情報が引き出せる。とくに、生産地である窯跡が残っていない軟質土器の産地に関する情報を引き出す上に役立つ。そのためには、母岩のK-Rb、Ca-Srの相関性が粘土にも保存されていること確認することが必要であり、これが次の研究課題となる。本論文では、玄武岩、花崗岩および花崗岩類のK-Rb、Ca-Srの両相関図を提示した。

1. はじめに

日本列島の地質の基盤を構成する岩石は花崗岩類である。全国各地の花崗岩類の岩片試料約3000点を分析した結果、窯跡群出土須恵器と同様、花崗岩類もK-Ca、Rb-Srの両分布図上で地域差を示すことが実証された。花崗岩類に含まれる主成分元素KとCaは主として、花崗岩類中の主成分鉱物である長石類に含まれている元素である。花崗岩類がK-Ca分布図上で地域差を示すということは地域差の原因が長石類にあることを示している。一方、岩石学者、久野久によると、マグマから長石類の生成の過程で灰長石中のCaがNaにイオン置換されて曹長石に変換され、さらに、曹長石中のNaがKにイオン置換されてカリ長石に変換される。その結果、このイオン置換過程の両端にあるCaとKの間には逆相関の関係があることになる。全国各地の花崗岩類の分析結果はCaとKの間に逆相関の関係があることを示した。しかも、逆相関状のベルト帯を形成することが実証された。

このベルト帯を「花崗岩類のベルト帯」と名付けた。このベルト帯でKが比較的多く、Caが比較的少ない領域に分布する花崗岩系の岩石がいわゆる花崗岩であり、逆に、Kが比較的少なく、Caが比較的多い領域に分布する花崗岩系の岩石が花崗閃緑岩である。その中間の領域に分布する花崗岩系の岩石もある。「花崗岩類のベルト帯」に分布する花崗岩系岩石（白色系岩石）を花崗岩類と総称する。このように、デイリーによって四つの岩型に分類された中の花崗岩（流紋岩）は長石系因子からみて単純ではなかったのである。また、微量元素Rb、Srはそれぞれ主成分元素K、Caと正の相関性があることも実証された。この結果、Rb-Sr分布図でも花崗岩類は地域差を示し、「花崗岩類のベルト帯」も形成されることも理解された。

他方、粘土は火成岩（玄武岩～花崗岩）が風化して生成したものである。粘土中には母岩を構成した種々の鉱物の微小破片が含まれていることは軟質土器（素材は粘土）の顕微鏡観察や

X線回折でも明らかにされている。岩石が風化して生成した粘土は粘土鉱物（結晶）の集合体である。粘土鉱物は岩石が地表で風化され、溶解したコロイド溶液中から析出した2次的な鉱物であり、母岩を構成した長石類、石英、雲母・角閃石・輝石などの1次的な鉱物とは成因が全く異なる鉱物である。粘土鉱物の理想化学式は $(n\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O})$ で示される。したがって、粘土に地域差があるとすれば、粘土に含まれている母岩の残渣鉱物に起因すると考えられる。

須恵器窯跡群の後背地の地質を構成する岩石は花崗岩類である場合が多い。花崗岩類に由来する粘土（Kが比較的多く、逆に、Caが比較的少ない）が1000°Cを超える高温焼成で固く焼結するからである。したがって、須恵器は花崗岩類に由来する粘土が素材となっていると推察される。窯跡群出土須恵器の長石系因子にみられる化学特性が後背地の地質を構成する花崗岩類中の長石系因子の化学特性によく対応することは母岩の残渣鉱物である長石類が窯跡群出土須恵器の地域差を示していることを物語る。したがって、窯跡群出土須恵器の地域差の原因も長石類である。こうした研究結果から、長石系因子が主として、元素分析による須恵器産地推定の作業に活用されたわけである。窯跡群出土須恵器の地域差を表示するためにはこれまで主として、K-Ca、Rb-Srの両分布図が使用されてきた。

地域差の原因が粘土中に残されていた母岩の残渣鉱物である長石類であれば、生産地である窯跡が残っていない縄文土器、弥生土器、土師器、埴輪などの軟質土器の産地を探る上でも長石系因子は活用できるはずである。比較的低温で焼成する軟質土器の素材には花崗岩類に由来する粘土のみならず、玄武岩由来の粘土も使用できる。両者を識別する方法はこれまでのところ開発されていない。もし、両者を識別できる方法が開発されれば、軟質土器がどの地域で作られた土器であるかを推定する上に役立つ。花崗岩類に由来する粘土か、それとも、玄武岩に由来する粘土かを知る上で、KとRb、CaとSrの相関性に差異がある可能性がある。そのため、まず、花崗岩と玄武岩の両相関図上での分布の

違いを確認することが必要である。その上で、各地の花崗岩類の両相関図も比較してみることは基礎データとして重要である。本論文の目的は玄武岩および花崗岩類がK-Rb、Ca-Srの両相関図でどのような分布の違いを示すかを両相関図上で示すことである。

2. 実験法

花崗岩類試料の採集場として、近畿地方が選択された。近畿地方では北部の敦賀半島や比良山には花崗岩、南部の金剛山地とその周辺には花崗閃緑岩、その中間の比叡山、生駒山、笠置山には「花崗岩類のベルト帯」で両者の中間領域に分布する花崗岩類が広く分布するからである。花崗岩類の両相関図における分布の違いを見る上では、近畿地方では種々の花崗岩類が分布しているため、花崗岩類の両相関図における相関性を比較する上で絶好のフィールドであると判断した。

岩片試料の採取方法は、例えば、敦賀半島では半島の東側、西側の数ヶ所で多数の岩片試料を採取した。同様に、他の場所でも、一つの地域では数ヶ所で多数の岩片試料を採取した。できるだけ新鮮な岩片試料を採取したが、風化された岩片試料も混ざっている。

実験室へ持ち帰った岩片試料はハンマーで小破片に分割してから、タングステンカーバイド製乳鉢で100メッシュ以下に粉碎した。粉末試

Table 1 Mean chemical composition of alkaline and calc-alkalies rocks.

| | a 玄武岩 | b 安山岩 | c デイサイト | d 流紋岩 |
|--------------------------------|----------|----------|------------|----------|
| SiO ₂ | 48.78 | 59.59 | 66.91 | 72.60 |
| Al ₂ O ₃ | 15.85 | 17.31 | 16.62 | 13.88 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.37 | 3.33 | 2.44 | 1.43 |
| FeO | 6.34 | 3.13 | 1.33 | 0.82 |
| MgO | 6.03 | 2.75 | 1.22 | 0.38 |
| CaO | 8.91 | 5.80 | 3.27 | 1.32 |
| Na ₂ O | 3.18 | 3.58 | 4.13 | 3.54 |
| K ₂ O | 1.63 | 2.04 | 2.50 | 4.03 |
| H ₂ O | 1.76 | 1.26 | 1.13 | 1.52 |
| TiO ₂ | 1.39 | 0.77 | 0.33 | 0.30 |
| P ₂ O ₅ | 0.47 | 0.26 | 0.08 | 0.06 |
| MnO | 0.29 | 0.18 | 0.04 | 0.12 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

表1 デイリーによるカルクアルカリ岩系各岩型の平均化学組成（久野 久、『火山及び火山岩』（岩波書店）より）

料は塩化ビニル製リングを枠にして、電動式圧縮機で高圧をかけてプレスし、内径20mm、厚さ5mmの錠剤試料を作成し、蛍光X線分析用の試料とした。

蛍光X線分析には、理学電機製RIX2100（波長分散型）を使用した。この装置には、TAP、Ge、LiFの3枚の分光結晶と、ガスフロー比例計数管、シンチレーションカウンターの二つの検出器が装備されており、コンピューターの制御によって自動的に交換できる装置である。この装置には50試料が同時に搭載できる自動試料交換器も連結されており、データの打ち出し、試料の交換も含めて自動的に分析処理できる完全自動式の蛍光X線分析装置である。本研究のように、膨大な数の試料を長期間にわたって分析する研究には最適の分析装置である。

ルーチン分析では蛍光X線強度の低いMg、Ti、Mnなどの元素は排除し、Na、K、Ca、Fe、Rb、Srの6元素を選択的に分析した。分析値は同じ日に測定した岩石標準試料JG-1による標準化値で表示された。長期間にわたり、多数の試料を分析処理する上には、検量線法よりも特定標準試料による標準化法のほうが適していると判断したからである。JG-1で標準化された分析値は、そのまま両相関図上にプロットされた。

3. 分析結果

1) 玄武岩と花崗岩

地殻は固い岩石からできている。火成岩に含まれる最も多い成分はSiO₂（無水ケイ酸）である。SiO₂の含有量の違いによって岩石は大きく2種類に分類される。SiO₂の比較的少ない岩石が塩基性岩であり、逆に、比較的多い岩石が酸性岩である。視点をかえれば、岩石は種々の鉱物（結晶）の集合体でもある。主成分の鉱物は石英、長石類、それに、雲母、角閃石、輝石などの鉄化合物である。これらの主成分鉱物の組成の違いによって、元素組成も異なる。地球化学者デイリーはカルクアルカリ系岩を玄武岩、安山岩、デイサイト、流紋岩（花崗岩）の四つの岩型に分類した。このうち、流紋岩と花崗岩の違いは岩石を構成する鉱物粒子の大きさの違いである。マグマが地表近くで急冷すると結晶

粒子は大きく成長できず、細かい粒子の集合体となる。これが流紋岩である。他方、マグマが地下深くでゆっくりと冷却されると、結晶粒子は大きく成長し、粒の大きい鉱物の集合体となる。これが花崗岩である。流紋岩と花崗岩は元素組成からみれば同じものである。鉱物の結晶は化合物であり、複数の元素からなる。したがって、鉱物種の違いは構成元素の組成の違いにもなる。表1には、デイリーによるカルクアルカリ系各岩型の平均化学組成を比較してある。岩石は種々の鉱物の集合体である。しかも、これらの鉱物は均質には混ざっていない。個々の岩石は構成鉱物からみて不均質系試料である。そのため、多数の試料を分析して、例えば玄武岩としての平均値を求め、他の岩石種の平均値と比較することになる。この表をみると、玄武岩から流紋岩（花崗岩）へと岩型が変わるにつれて含有量に一定の変化がある元素があることがわかる。SiO₂は玄武岩から花崗岩へと次第に増加する傾向があるが、同様に、塩基性岩から酸性岩へと岩型が変わるにつれて含有量が明確に増加する傾向があるのはK₂Oである。逆に、玄武岩から花崗岩へと岩型が変わるにつれて明確に減少する元素もある。Feの含有量（FeOとFe₂O₃を足したもの）は玄武岩に最も多く、玄武岩から花崗岩へと次第に減少する。玄武岩は黒色系の岩石であり、雲母、角閃石などの有色鉱物を多く含む。他方、花崗岩は石英、長石類を多く含む白色系の岩石である。Feと同様、玄武岩から花崗岩へと次第に減少するのはCaO、MgO、TiO₂である。わかりやすくするために、この傾向を図示したのが図1・2である。図1には、SiO₂の含有量を横軸に、また、長石系因子の含有量を縦軸にとったSiO₂と長石系各因子の関係を、また、図2にはSiO₂と鉄化合物系各因子の関係を示してある。このことから、玄武岩と花崗岩の間には元素含有量からみても、また、構成鉱物種からみても大きな違いがあることがわかる。玄武岩と花崗岩は元素組成からみて両極端にある岩石種である。このことから、母岩の残渣鉱物が地域差を示していると考えられる粘土にも、玄武岩由来の粘土と花崗岩由来の粘土では化学特性に違いがあることが予想できる。当然、粘土を素材とした土器にも、化学

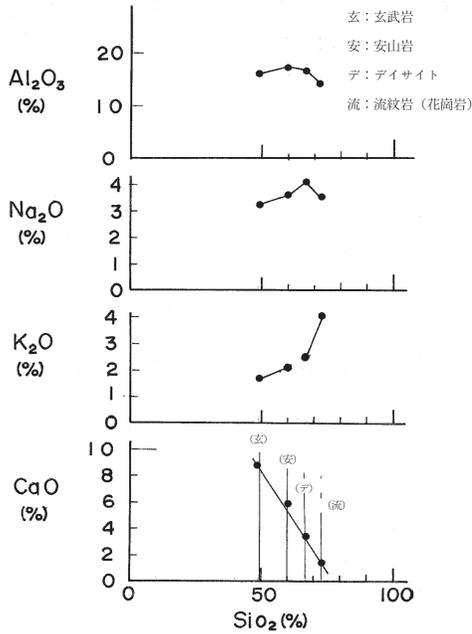


図1 SiO₂と長石系因子の関係

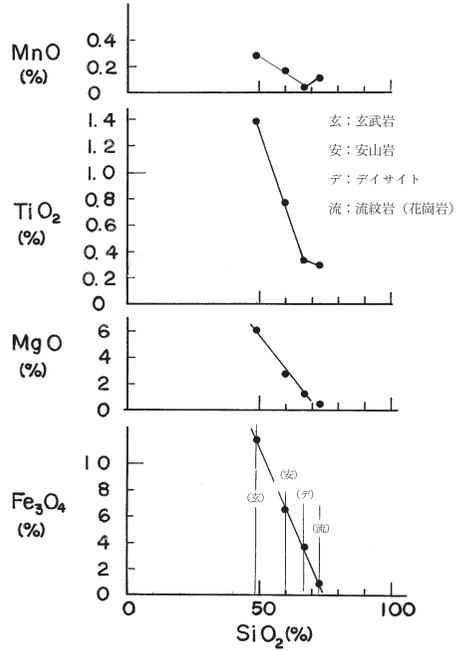


図2 SiO₂と鉄化合物系因子の関係

特性が異なる土器があるはずである。このことは何らかの形で実証しなければならない。これまで、このことを実証した研究者はいなかったのである。このことを実証して初めて、元素分析による土器遺物の産地問題の研究が始まる。岩石の分布図は地質図として公表されている。分布図も作成されていない粘土試料を全国的に採集することは不可能に近い。筆者は粘土試料の代わりに、全国各地に広く分布する須恵器窯跡群から出土した膨大な数の須恵器片試料を分析した結果、K-Ca、Rb-Srの両分布図上で、窯跡群出土須恵器に地域差があることを実証した。このことは花崗岩由来の粘土にも地域差があることを意味する。花崗岩自体も単純ではないことを意味する。「花崗岩類」という専門用語があることはそのことを物語る。

2) 玄武岩と花崗岩の両分布図と両相関図

上述したように、玄武岩と花崗岩は元素組成からみて大きな違いがある。そこでまず、花崗岩と玄武岩を両分布図での分布の違いを比較することにした。図3には、「花崗岩類のベルト帯」と「土器領域」をK-Ca分布図で示してあ

る。日本列島各地で採取した約3000点の花崗岩類の試料のほとんどは「花崗岩類のベルト帯」に分布した。また、全国各地の窯跡群から出土した須恵器試料のほとんどは「土器領域」に分布した。「土器領域」は花崗岩類に由来する粘土の分布領域とも解釈される。「花崗岩類のベルト帯」は風化作用の結果、「土器領域」に縮小されたわけである。この「土器領域」の中で各地の窯跡群出土須恵器は地域差を示すわけである。

図4には、花崗岩類の代表として、敦賀半島の花崗岩のK-Ca分布図を示す。「花崗岩類のベルト帯」でKが比較的多く、Caが比較的小さい領域に分布することがわかる。この領域に分布する花崗岩類がいわゆる花崗岩である。敦賀半島の地質の基盤は花崗岩で構成されていることを示す。

一方、図5には、玄武岩のK-Ca分布図を示す。玄武岩試料は日本地科学社から購入したもので、No. 1は島根県倉吉市、No. 2は島根県島根市(旧八束郡八束町)、No. 3は島根県浜田市、No. 4は兵庫県豊岡市(旧城崎郡日高町)(図の外に分布)、No. 5は兵庫県豊岡市玄武洞、

玄武岩と花崗岩類にみられるK-Rb、Ca-Srの両相関図：三辻

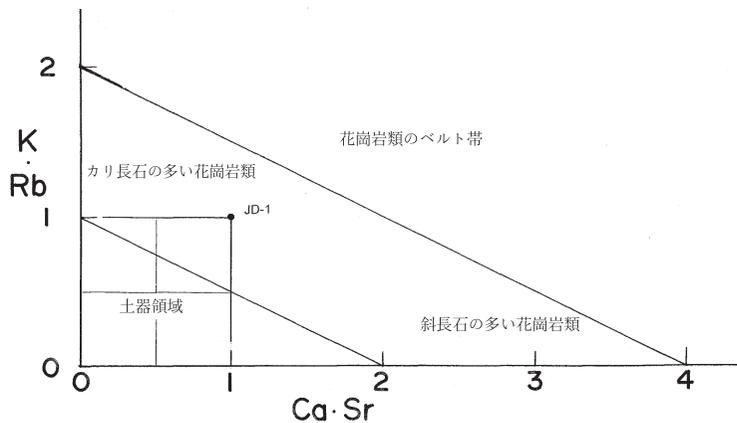


図3 花崗岩類のベルト帯と土器領域

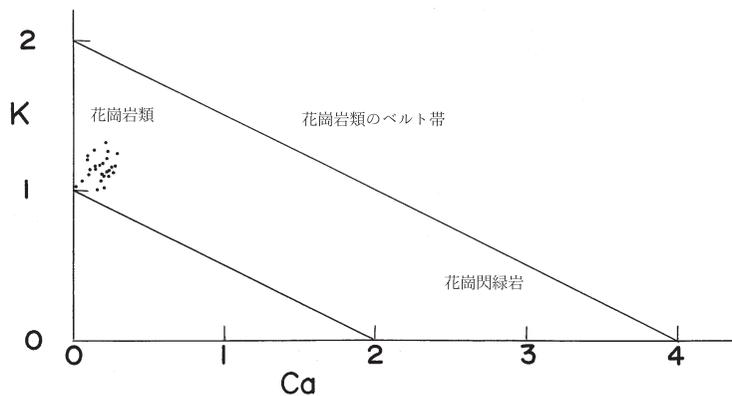


図4 敦賀半島の花崗岩類のK-Ca分布図

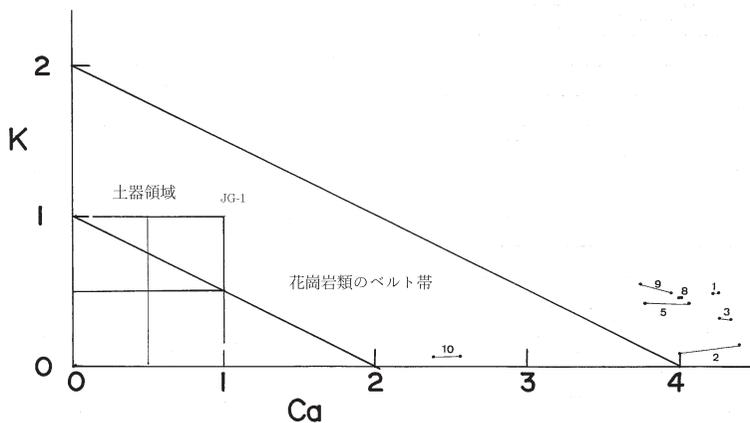


図5 玄武岩のK-Ca分布図

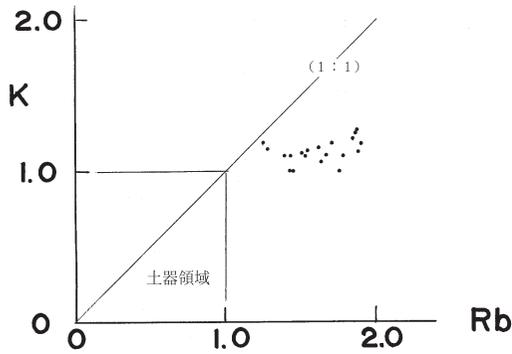


図6 敦賀半島の花崗岩類の両相関図

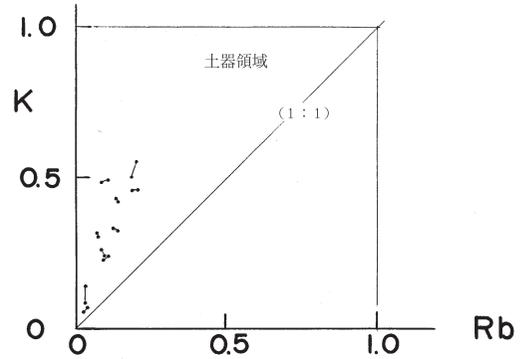


図7 玄武岩の両相関図

No. 6は京都府福知山市(旧天田郡夜久野町)(図の外に分布)、No. 7は山形県鶴岡市(図の外に分布)、No. 8・9は新潟県佐渡市(旧佐渡郡小木町)、No.10は佐賀県唐津市高島で採取された玄武岩である。一つの岩片からそれぞれ2点ずつの試料を取り出し分析した。図5では2点の試料の分析値を線で結んである。玄武岩は花崗岩に比べて比較的均質なので、ばらつきは大きくないことがわかる。10点の試料の玄武岩試料のうち、No. 4、6、7の3点の玄武岩試料は図5の枠外に分布した。この結果、表1に示されたように、Kが少なく、Caが多い玄武岩は「花崗岩類のベルト帯」に分布する試料はほとんどないことがわかった。同じ火成岩(マグマから生成した岩石)でも玄武岩は主成分元素K、Caからみて、花崗岩とは全く異なる化学特性をもつ岩石であることを示す。玄武岩中にはカリ長石はほとんど含まれていない。ほとんどが斜長石である。したがって、玄武岩中のKはカリ長石に由来するものではなく、雲母、角閃石などの有色鉱物に含まれていたKであると考えられる。そのことが玄武岩が「花崗

岩類のベルト帯」に分布しない理由であると解釈された。玄武岩の分布は「花崗岩類のベルト帯」には無関係なのである。このことから粘土の地域差が母岩の残渣鉱物によるものであれば、花崗岩類由来の粘土を素材とした土器遺物と玄武岩由来の粘土を素材とした土器遺物にも、K-Ca分布図上で地域差があることが予想できる。もし、花崗岩類由来の粘土と玄武岩由来の粘土を識別できる方法を開発することができれば、生産地が残っていない軟質土器の生産地を推定する上で役立つと考えられる。

本研究の分析対象となる岩石試料は不均質系試料である。均質系試料を研究対象とする本来の分析化学的研究の対象からはずれる。したがって、同じ地域から多数の試料を採取しても、必ず、分析データはばらついて分布する。しかし、試料集団の平均値を比較してもあまり意味がないので、試料集団の分布図を作成し、試料集団のままにその分布位置を定性的に比較する方法が地域差を理解する上に有効であると考えた。そのためにはまず、K-Ca、Rb-Srの両分布図を作成することである。図4でも、敦賀半島の

花崗岩片試料もばらついて分布した。したがって、K-Rb、Ca-Sr相関図でも、試料集団は必ずばらついて分布する。図6には、敦賀半島の花崗岩試料のK-Rb、Ca-Sr相関図を示す。花崗岩にはK、RbがCa、Srに比較して多く含まれるので、K-Rb相関図とCa-Sr相関図の両軸の縮尺を変えてある。また、試料集団の分布の相関性を比較する目安として、K-Rb相関図では(1:1)の勾配の直線を、また、Ca-Sr相関図では(1:1)と(1:3)の勾配の2本の直線を引いてある。図6をみると、敦賀半島の花崗岩試料のK、Rbおよび、Ca、Srの相関性はあまりよくないが、K-Rb相関図では(1:1)の勾配の直線の下側の領域にばらついて分布し、Ca-Sr相関図では(1:1)の勾配の直線に沿ってばらついて分布することがわかる。他方、玄武岩の両相関図は図7に示す。玄武岩は花崗岩とは対照的にK、Rbが少なく、Ca、Srが多いので、K-Rb相関図とCa-Sr相関図では両軸の縮尺を大きく変えてある。K-Rb相関図では図6の花崗岩のK-Rb相関図とは対照的に、(1:1)の勾配の直線の上側の領域に正相関状に分布し、Ca-Sr相関図でも、(1:1)の勾配の上側の領域に分布することがわかる。この結果、K-Rb相関図では、花崗岩と玄武岩は(1:1)の勾配の直線に対して下側と上側に対照的に異なった位置に分布することがわかった。花崗岩と玄武岩はK-Rb相関図の分布では明確な違いを示した。微量元素Rbは鉍物の結晶でK原子が配置される結晶格子にKに代わってRbが配置されるので、K-Rb相関図における花崗岩と玄武岩の分布の違いは鉍物の結晶の違いに原因があると考えられる。そうすると、素材粘土中に母岩の残渣鉍物が含まれておれば、両相関図における分布は粘土にも残されており、土器試料でもK-Rb相関図は花崗岩由来の粘土を素材とした土器か、それとも、玄武岩に由来する粘土を素材とした土器かの判断をする上に役立つ可能性がある。生産地の残っていない軟質土器の産地を考える上に活用できるはずである。

3) 近畿地域の花崗岩類のK-Ca分布図と

Ka-Rb、Ca-Sr相関図

花崗岩と玄武岩では両相関図で分布の違いが

あることがわかったが、花崗岩類の両相関図での分布が問題である。花崗岩類は花崗岩から、長石系因子から見て玄武岩に類似する花崗閃緑岩、さらに、その中間に分布する他の花崗岩系の岩石まで含む複雑な岩石であるからである。

近畿地域には、「花崗岩類のベルト帯」で花崗岩領域、花崗閃緑岩領域、その中間の領域に分布する種々の花崗岩類が広く分布するので、花崗岩類の両相関図での分布の違いを比較する上には絶好のフィールドである。両相関図を示す前に、まず、試料採取場所による花崗岩類のK-Ca分布図での分布の違いを以下に示す。

図8には、疋田(福井県敦賀市)の採石場で採取した花崗岩類の岩片試料のK-Ca分布図を示す。図4に示した敦賀半島の花崗岩と同じ位置に分布しており、敦賀半島の花崗岩と同じ岩体の花崗岩であることがわかる。

図9には、京都市と滋賀県の境界にまたがる比良山(滋賀県)の花崗岩類の岩片試料のK-Ca分布図を示す。図4の敦賀半島の花崗岩類と同じ領域に分布し、同じ岩体の花崗岩であることを示している。敦賀半島から比良山まで、同じ花崗岩の岩体が延びているわけである。

琵琶湖東部には信楽陶器の生産地があり、陶器の素材となる粘土が豊富に産出する。その母岩は花崗岩類である。信楽地域で採取した花崗岩類のK-Ca分布図を図10に示す。敦賀半島の花崗岩と同じ領域に分布する試料もあるが、さらに右側のCaが多い領域に広がって分布する試料が多い。比良山の花崗岩の岩片試料とは分布に微妙な違いがあるが、花崗岩質の岩石であることには相違ない。

図11には、比良山の南で、京都市と滋賀県大津市の境界に分布する比叡山で採取した花崗岩類の岩片試料のK-Ca分布図を示す。敦賀半島の花崗岩の分布領域と同じ領域に分布する花崗岩類もあるが少ない。多くの試料は信楽の一部の花崗岩類と同じ領域に分布する試料であることがわかる。近接する比良山の岩片試料と比叡山の岩片試料の分布領域には違いがあることが注目される。

図12には、京都府と奈良県の境界にある笠置山で採取した花崗岩類の岩片試料のK-Ca分布図を示す。多くの試料は「花崗岩類のベルト帯」

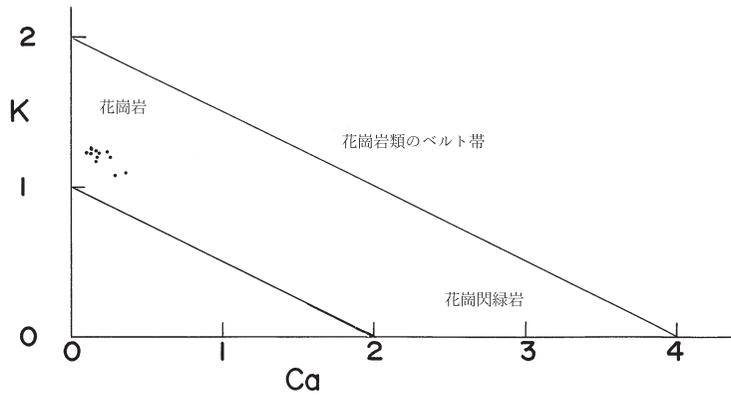


図8 疋田（敦賀市）の花崗岩類のK-Ca分布図

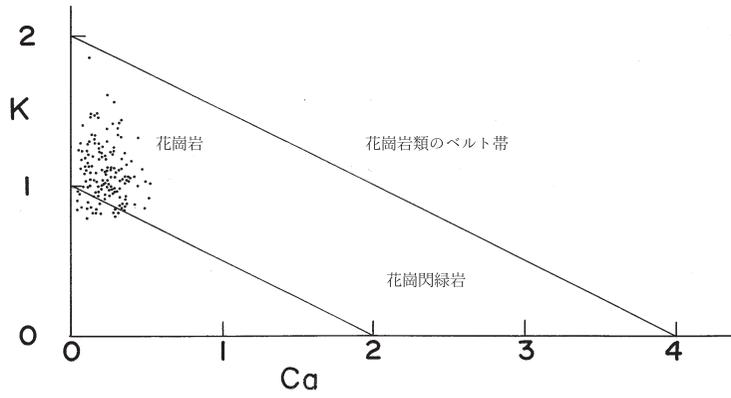


図9 比良山地（福井県）の花崗岩類のK-Ca分布図

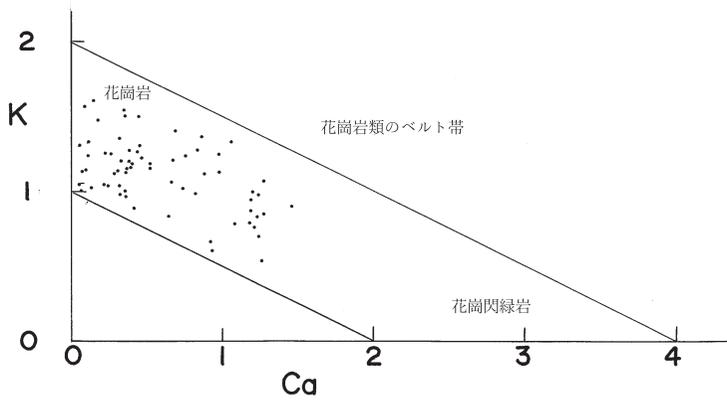


図10 信楽（滋賀県）の花崗岩類のK-Ca分布図

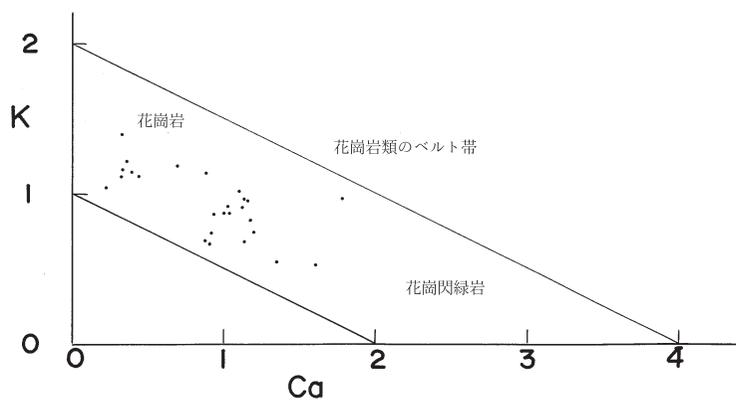


図11 比叡山（滋賀県）の花崗岩類のK-Ca分布図

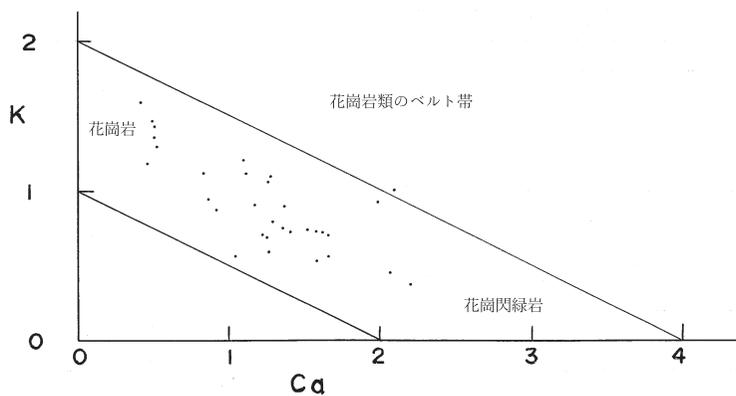


図12 笠置山地（京都府）の花崗岩類のK-Ca分布図

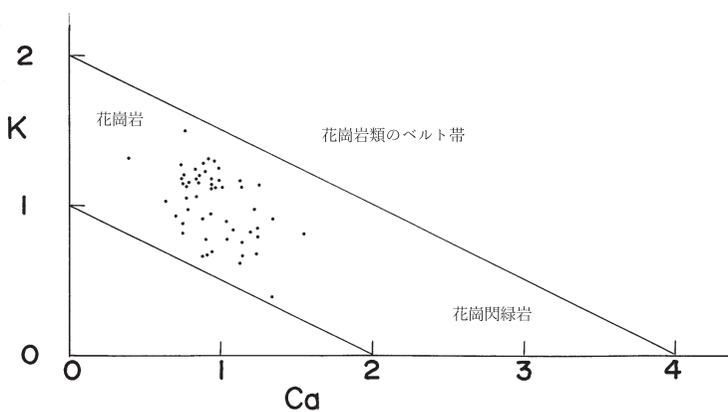


図13 生駒山地（奈良県）の花崗岩類のK-Ca分布図

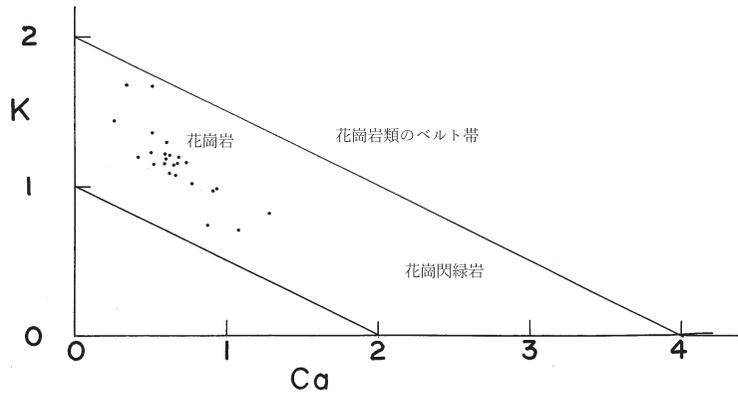


図14 高円山（奈良市）の花崗岩類のK-Ca分布図

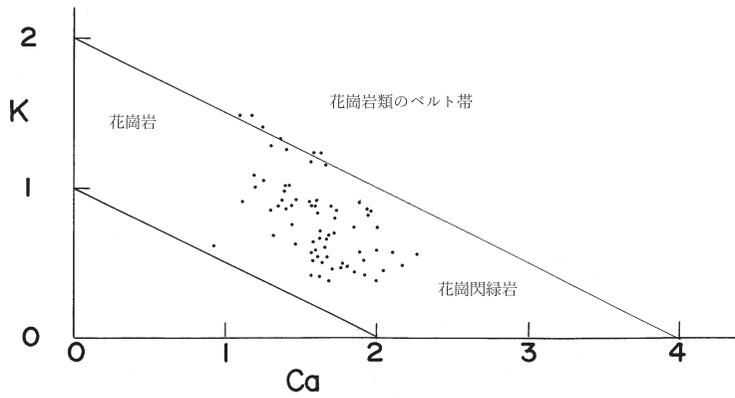


図15 岩船寺周辺（奈良県）の花崗岩類のK-Ca分布図

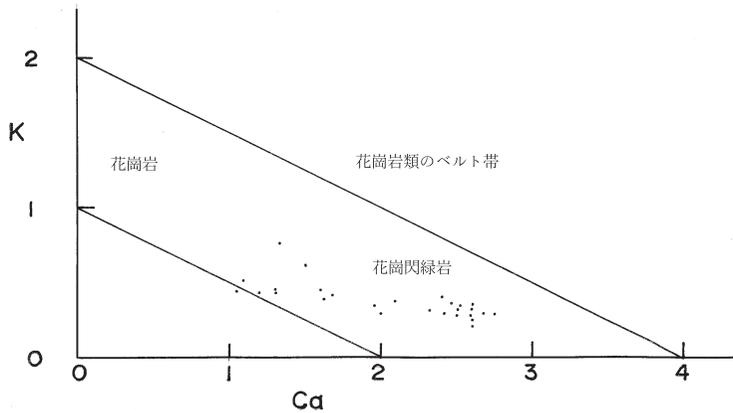


図16 金剛山地（金剛山）の花崗岩類のK-Ca分布図

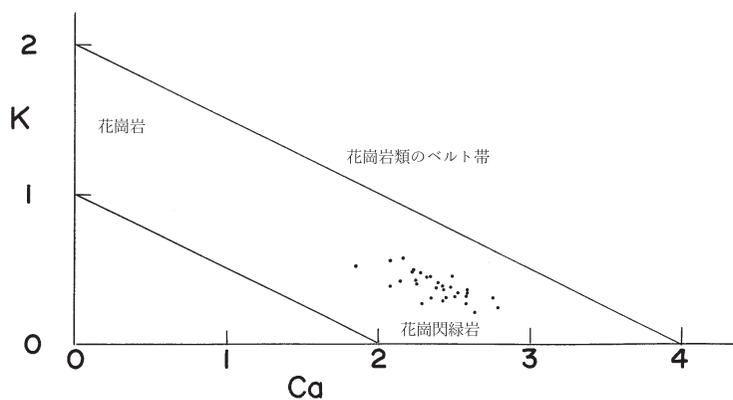


図17 金剛山地（葛城山）の花崗岩類のK-Ca分布図

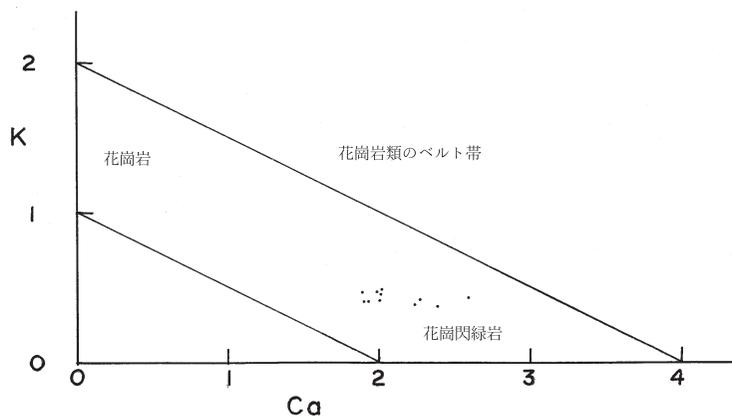


図18 宮山古墳（奈良県御所市）周辺の花崗岩類のK-Ca分布図

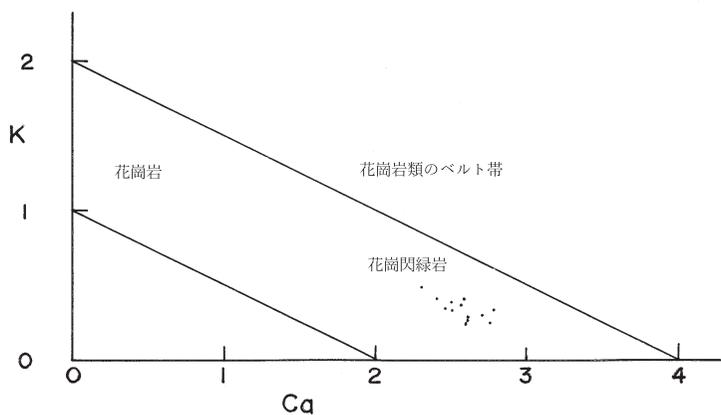


図19 平岡西方古墳群（奈良県葛城市（旧新庄町））の花崗岩類のK-Ca分布図

の中間に分布し、信楽試料の一部や、比叡山試料の多くが分布する領域に分布することがわかる。試料集団の分布位置からみれば、笠置山の花崗岩類は比叡山の花崗岩類に類似する。敦賀半島、疋田、比良山の花崗岩の試料に比較して、次第に、Kが減少し、逆に、Caが増加する傾向があることが注目される。

図13には、奈良県生駒山東部で採取した花崗岩類の岩片試料のK-Ca分布図を示す。敦賀半島の花崗岩試料が分布した領域に分布する試料はほとんどなく、多くの試料は比叡山、笠置山で採取した花崗岩類の岩片試料と同じ領域に分布し、長石系因子からみて同じ花崗岩類であることがわかる。

図14には、奈良市の高円山で採取した花崗岩類の岩片試料のK-Ca分布図を示す。信楽や比叡山の岩片試料が分布した領域に分布する。花崗岩質の岩石である。

図15には、奈良県岩船寺周辺で採取した花崗岩類の岩片試料のK-Ca分布図を示す。笠置試料や生駒試料よりもさらにKが少なくなり、逆に、Caが多くなることがわかる。奈良市の高円山の試料に比較しても、明らかにKが少なくなり、Caが多い領域に分布していることが注目される。比較的近距离にあるにもかかわらず、高円山の試料とは長石系因子の化学特性が異なる点が注目される。

図16には、奈良県と大阪府の境界にまたがる金剛山地の金剛山で採取した花崗岩類の岩片試料のK-Ca分布図を示す。花崗岩の分布領域に分布する試料はなく、ほとんどの試料はKが少なく、Caが多い花崗閃緑岩が分布する領域に分布する。これまでの試料とは全く異なった領域に分布することが注目される。

図17には、同じ金剛山地の葛城山で採取した花崗岩類の岩片試料のK-Ca分布図を示す。明らかに、花崗閃緑岩の分布領域にまとまって分布することがわかる。

図18には、奈良県御所市の宮山古墳周辺で採取した花崗岩類の岩片試料のK-Ca分布図を示す。やはり、Kが少なく、Caが多い花崗閃緑岩の分布領域にまとまって分布する。

図19には、金剛山地の東側の奈良県葛城市(旧新庄町)にある平岡西方古墳群で採取した

花崗岩類の岩片試料のK-Ca分布図を示す。Kが少なく、Caが多い花崗閃緑岩である。

以上の結果をまとめると、近畿地方の花崗岩類の岩片試料は例外なく「花崗岩類のベルト帯」に分布するが、分布位置には違いがあることが明らかになった。しかも、その分布位置には一つの傾向があることがわかる。すなわち、敦賀半島、比良山、信楽などの近畿地方北部の花崗岩類はKが比較的多く、逆に、Caが比較的小さい花崗岩領域に分布したのに対して、近畿地方南部の金剛山地やその周辺で採取した試料は花崗閃緑岩の分布領域に分布した。さらに、その中間の近畿地方中部に分布する花崗岩類は花崗岩と花崗閃緑岩が分布する中間の領域に分布することが明らかになった。しかも、中間地域で採取した試料も北部の花崗岩の分布する領域から、南部の花崗閃緑岩が分布する領域へと分布領域が次第に移り変わっていくことが注目された。その結果、花崗岩類は長石系因子からみて、花崗岩から玄武岩に近い化学特性をもつ花崗閃緑岩までを含む複雑な岩石種であることがわかった。花崗岩も花崗閃緑岩もともに、Feの含有量が比較的小さい白色系の酸性岩である。この点では花崗閃緑岩も四つに分類された岩型の中では玄武岩には分類されず、花崗岩に分類されたわけである。しかし、長石系因子では明らかに花崗閃緑岩は花崗岩とは異なる。このように、長石系因子からみて玄武岩に近い化学特性をもつ花崗岩系の岩石があることについては岩石学的にも十分説明されていない。それが岩石学的には花崗岩類の定義が明確にされていない理由である。しかし、花崗閃緑岩が玄武岩でないことは花崗閃緑岩が「花崗岩類のベルト帯」に分布することである。花崗閃緑岩は塩基性の岩石ではなく、酸性岩であることには相違なく、玄武岩とは全く異なる岩石であることも明白である。したがって、ここでは「花崗岩類のベルト帯」に分布した花崗岩と花崗閃緑岩、その中間に分布した花崗岩系の岩石を併せて花崗岩類と定義した。近畿地方では地質の基盤となる花崗岩類生成の過程でKとCaの間に逆相関の関係が生じたことになる。久野理論が有効に適用されるのは花崗岩類である。このことは同じマグマから花崗岩と花崗閃緑岩、

玄武岩と花崗岩類にみられるK-Rb、Ca-Srの両相関図：三辻

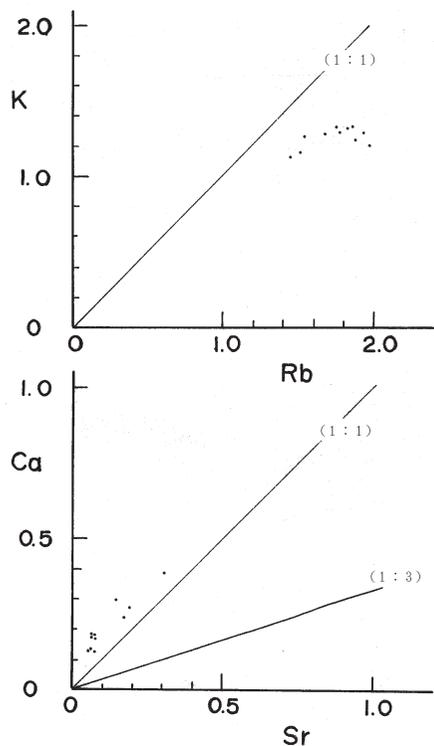


図20 疋田（福井県敦賀市）の花崗岩の両分布図

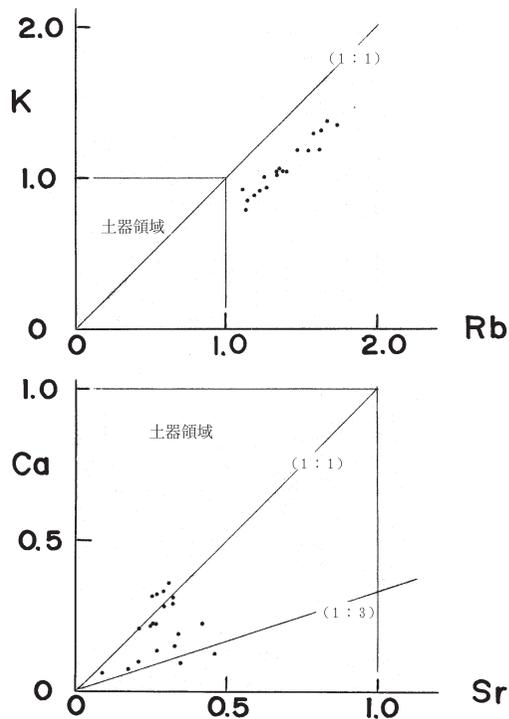


図21 比良山（滋賀県）の花崗岩類の両相関図

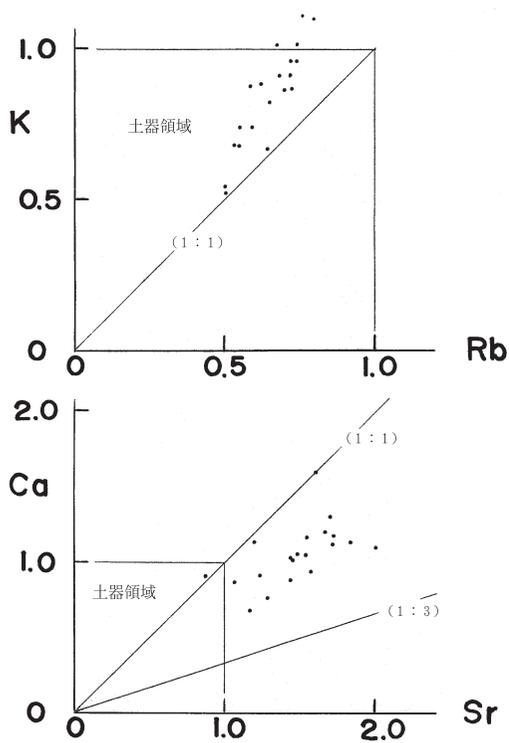


図22 比叡山（滋賀県）の花崗岩類の両相関図

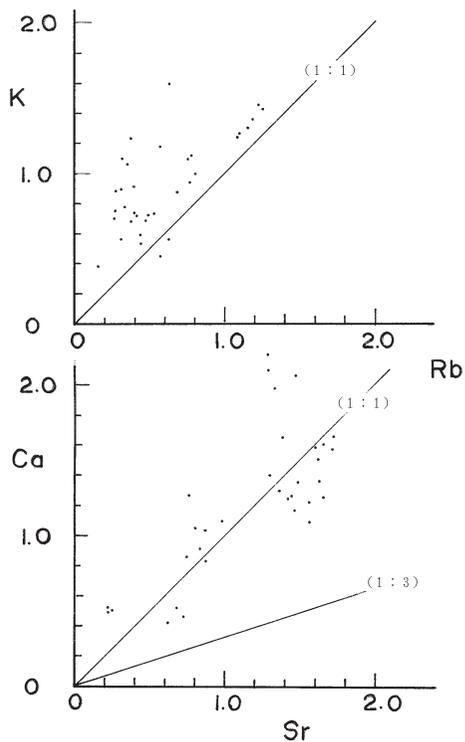


図23 笠置山（京都府）の花崗岩類の両分布図

および、その中間に分布した花崗岩類が生成したことを示唆している。

他方、花崗岩と玄武岩のK-Rbの相関性には明らかな相違があることは前述した。それでは、花崗岩から花崗閃緑岩へと移り変わる近畿地方の花崗岩類のK-Rb、Ca-Srの両相関図における分布はどのように移り変わるのか興味もたれた。以下に、近畿地方の花崗岩類のK-RbとCa-Srの両相関図での分布を比較した。

まず、図20には、敦賀市疋田の花崗岩の両相関図を示す。K-Rb相関図では勾配(1:1)の直線の下側にゆるい勾配をもって正相関状に分布し、しかも、敦賀半島の花崗岩と同じ位置にばらついて分布することがわかる。また、Ca-Sr相関図でも、勾配(1:1)の直線に沿って分布し、K-Ca、Rb-Srの両分布図同様、敦賀半島の花崗岩と同じ岩体の花崗岩であることを示している。Ca-Sr相関図でも正の相関性を示す。

図21には、比良山の花崗岩の両相関図を示してある。K-Rb相関図では、敦賀半島、疋田の花崗岩同様、勾配(1:1)の直線の下側に分布するが、正の相関性が明確になる。逆に、Ca-Sr相関図では正の相関性がわるくなり、勾配(1:1)と(1:3)の直線に挟まれた領域にばらついて分布した。敦賀半島や疋田の花崗岩とは両相関図でその相関性に微妙な違いがみられることがわかる。この変化はK-Ca、Rb-Sr分布図では識別できなかった。

図22には、比叡山の花崗岩類の両相関図を示す。K-Rb相関図では図20、21に比べて、両軸の目盛は2倍に拡大してあり、逆に、Ca-Sr相関図では1/2に縮小してある。それは比叡山の花崗岩類には敦賀半島や比良山の花崗岩に比べて、K、Rbが少なく、逆に、Ca、Srが多くなるため、相関図での分布を見やすくするためである。そうすると、比叡山の花崗岩類はK-Rb相関図では(1:1)の勾配の直線の上側に正の相関性をもって分布し、敦賀半島や比良山の花崗岩とは明らかに異なる位置に分布することがわかる。しかし、Ca-Sr相関図の分布は比良山同様、勾配(1:1)と(1:3)の直線の間にはばらついて分布することがわかる。

図23には、笠置山の花崗岩類の両相関図を示

す。K-Rb相関図の分布は図22に示した比叡山の花崗岩類の分布と同じであり、Ca-Sr相関図では勾配(1:1)の直線沿いにばらついて分布する。この点で図22に示した比叡山の花崗岩類とも少し分布が異なる。

図24には、生駒山の花崗岩類の両分布図を示す。試料集団の両相関図での分布位置は図23に示した比叡山の花崗岩類と同じであるが、試料集団のまとまりがよくなっている。Ca-Sr相関図でも勾配(1:1)の直線上にまとまって分布し、両相関図での分布は笠置山の花崗岩類と同じである。

図25には、奈良市高円山の花崗岩類の両相関図を示す。両相関図では勾配(1:1)の直線沿いにばらついて分布し、笠置山や生駒山の花崗岩類の分布とは微妙に異なる。

図26には、奈良市岩船寺周辺の花崗岩類の両分布図を示す。試料集団はK-Rb相関図で勾配(1:1)の直線の上側に明らかに正の相関性をもって分布する。しかも相関直線の勾配も大きくなり、これまでに示した花崗岩類の分布とは明らかに異なる分布をすることが注目される。さらに、Ca-Sr相関図でも、勾配(1:1)の直線の上側に正の相関状に分布し、笠置山、生駒山の花崗岩類の分布とも異なる。これまでに示した花崗岩類の分布とは両相関図で異なる。

図27には金剛山、図28には葛城山の花崗岩類の両相関図を示す。両者とも、K-Rb相関図では勾配(1:1)の直線の上側に正の相関性をもって分布する。この傾向は比叡山の花崗岩類から現れる。しかし、Ca-Sr相関図では勾配(1:1)と(1:3)の直線の間分布し、岩船寺の花崗岩類とは少し異なる位置に分布する。近畿地方南部の花崗岩類にはCa、Srが多くなるので、Ca-Sr相関図の両軸の目盛を大きくとってある。

図29・30には、奈良県御所市の宮山古墳と奈良県葛城市(旧新庄町)の平岡西方古墳群周辺で採取した花崗岩類の両相関図を示す。いずれも、K-Rb分布図では勾配(1:1)の直線の上側の領域に、良好な正の相関性をもって分布し、Ca-Sr相関図でも勾配(1:1)の直線の下側にまとまって分布する。この点で、勾配(1:1)の直線の上側の領域に分布する玄武岩とは明らかに異なる。金剛山、葛城山、宮山古墳周辺、

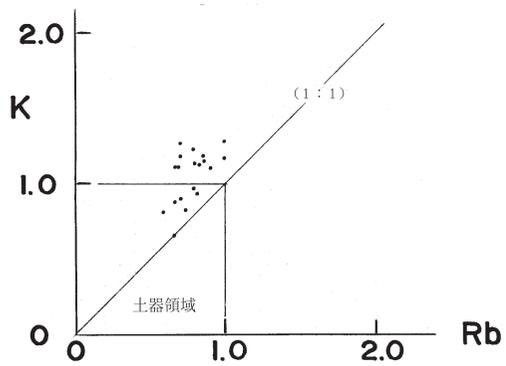


図24 生駒山（奈良県）の花崗岩類の両相関図

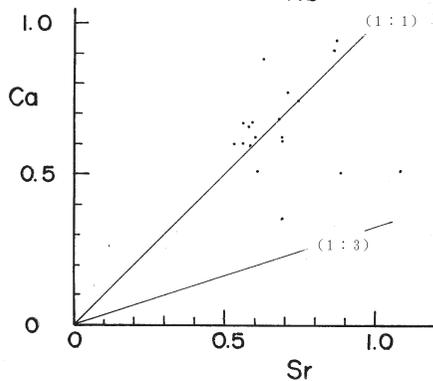
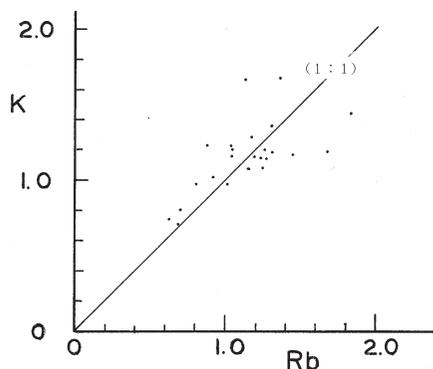


図25 高円山（奈良市）の花崗岩類の両相関図

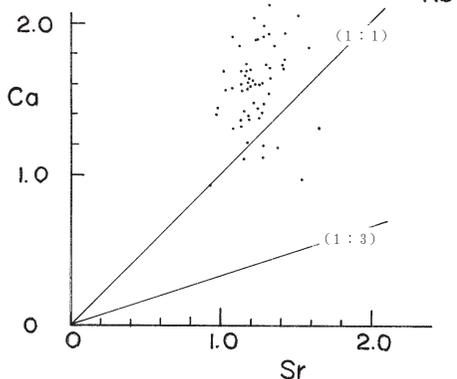
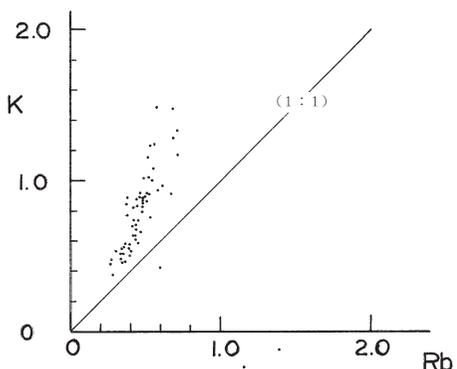


図26 岩船寺（奈良市）の花崗岩類の両相関図

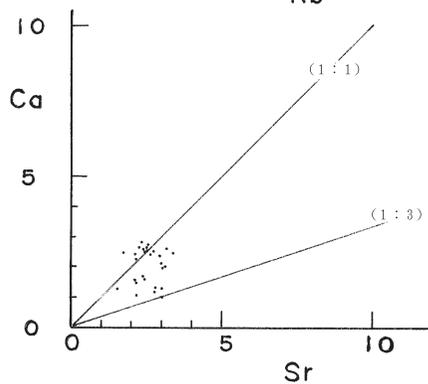
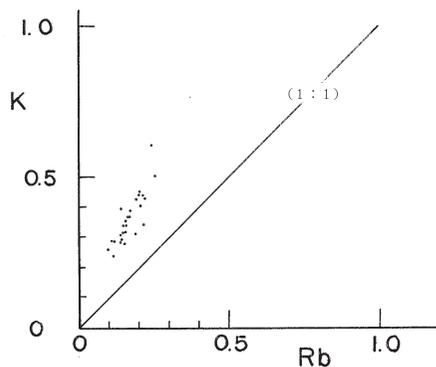


図27 金剛山地（金剛山）の花崗岩類の両相関図

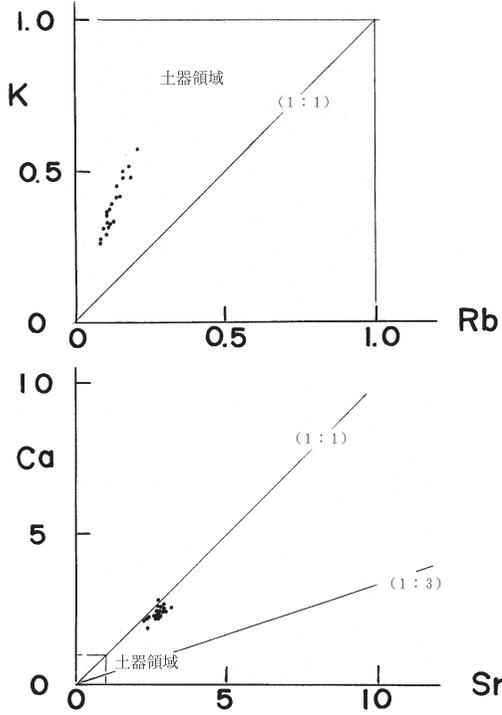


図28 金剛山地（葛城山）の花崗岩類の両相関図

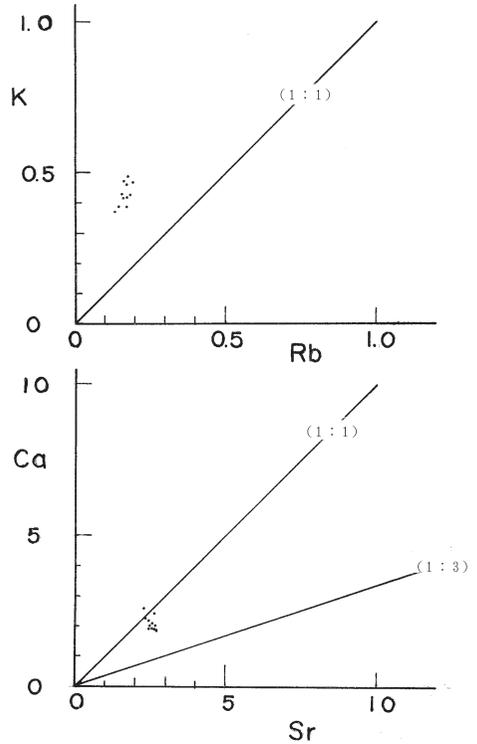


図29 宮山古墳（奈良県御所市）周辺の花崗岩類の両相関図

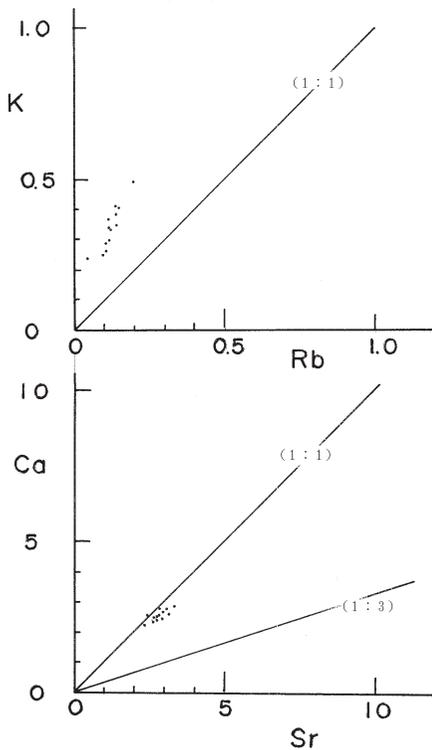


図30 平岡西方古墳群（奈良県葛城市（旧新庄町））の花崗岩類の両相関図

平岡西方古墳群周辺の花崗閃緑岩は長石系因子からみて同じ岩石であると考えられる。

以上の結果、Ca-Sr相関図での分布位置の変動はやや複雑であるが、K-Rb相関図では、試料集団の分布の仕方には一定の方向性があることを示している。すなわち、近畿北部の敦賀半島、比良山の花崗岩では勾配(1:1)の直線の下側の領域に正の相関性をもって分布したのに対して、近畿南部の金剛山、葛城山とその周辺の花崗閃緑岩は勾配(1:1)の直線の上側の領域に分布した。しかも、南部地域の花崗岩閃緑岩はKとRbの間には明確な正の相関性があることを示した。このことは花崗岩と花崗閃緑岩ではKを含む鉱物の結晶が異なることを示唆している。鉱物の結晶格子のKの位置に微量元素Rbが入れ替わる様相にも変化が起こったことを示すと考えられる。この傾向はすでに、比叡山の花崗岩類の分布にみられ、笠置山、生駒山、岩船寺の花崗岩類の分布にもみられることは注目される。ただ、正の相関直線の勾配が南部地域の金剛山地周辺の花崗閃緑岩ほど急勾配ではないことも注目される。相関直線の勾配が比叡

山の花崗岩類から金剛山地周辺の花崗閃緑岩へと次第に急勾配になっていくことも注目される。これらのことは岩石学的な意味があるものと思われるが、現時点では岩石学的な意味付けはできていない。ただ、土器胎土の中に素材粘土の母岩の鉱物の小破片が残渣鉱物として残っておれば、土器胎土にも同じような傾向がみられるはずである。このことを実証すれば、土器遺物の生産地を推定する上に、K-Rb相関図は役立つことが予想される。上述したように、近畿地方に広く分布する花崗岩類には、K-Rb、Ca-Srの両相関図において相関性のちがいがあることが明らかになった。

4. 考察

主成分元素Kと微量元素Rbは元素の周期表で同じアルカリ金属に属しており、さらに、イオン半径もほぼ同じであるため、微量元素も含めて、多数の元素を含むマグマから鉱物の結晶が析出するとき、Kが配置される結晶格子の位置にRbが配置されることになる。鉱物の結晶によって一定の比率で微量元素Rbが配置されると考えられる。岩石は鉱物の集合体であるが、鉱物は同じ岩石でも不均質に分布しているので、同じ岩石から採取した試料でも主成分元素Kを多く含む岩石試料もあれば、少ない岩石試料もあることになる。その場合、主成分元素Kを多く含む岩石試料には当然、微量元素Rbも多く含まれ、逆に、Kが少ない岩石試料にはRbも少ないことになる。この結果、主成分元素Kと微量元素Rbの間には正の相関性が発生する。不均質系試料であるが故に起こる現象である。今回分析した近畿地方の花崗岩類には相関性の良さあしはあっても、例外なく、KとRbの間には正の相関性があることがわかった。不均質系試料であるから当然のことである。ただ、相関直線の勾配は花崗岩と花崗閃緑岩では異なった。この原因は明らかにされていないが、鉱物の結晶形の違いもその原因の一つであると考えられる。北部の花崗岩ではKはカリ長石に含まれていたと考えられ、南部の花崗閃緑岩にはカリ長石はほとんど含まれていないから、雲母、

角閃石などの鉄化合物中に含まれていたKであると考えられる。これらの鉄化合物とカリ長石では結晶形に明らかな違いがある。そのことがKに代わってRbが配置される比率にも変化が起こったとも考えられる。さらに、この相関直線の勾配が近畿地方の北部から中部へ、さらに、中部から南部へと逐次変動してくることも注目されるが、現在のところ、その理由の説明はできていない。今後、岩石学的研究の発展が待たれる。

主成分元素Caと微量元素Srの間にも同様の関係があり、両者の間には正の相関性があるが、近畿地方北部の敦賀半島の花崗岩から、南部の葛城山とその周辺の花崗閃緑岩までの花崗岩類にみられるCa、Srの相関性の変遷には方向性に欠けるところがあり、現在のところ、その意味についての説明はできない。

いずれにしても、花崗岩類の主成分元素Kと微量元素Rbの相関性は花崗岩から花崗閃緑岩へと一定の方向性をもって変動することを分析データは示した。さらに、花崗閃緑岩のK-Rbの相関性は玄武岩のK-Rbの相関性に類似するが、Ca-Sr相関図での分布は玄武岩とは異なることも注目された。花崗岩の中に長石系因子からみて玄武岩的な花崗岩系の岩石（花崗閃緑岩）があることは岩石学的にどう説明できるのか、今後の岩石学研究の発展を待たしかない。

岩石が風化して生成した粘土に母岩のK-Rbの相関性が保存されておれば、近畿地方で作られた土器遺物にも母岩と同じようなK-Rbの相関性があるはずである。このことは窯跡群出土須恵器で確認することが必要である。次の研究課題である。

参考文献

- 久野 久1976『火山及び火山岩』（第2版）、岩波書店
- 三辻利一2010「長石系因子からみた近畿地方の花崗岩類、土壌および窯跡出土須恵器の胎土」『志学台考古』第10号、大阪大谷大学文化財学科
- 三辻利一2013a「土器遺物の考古学的研究」『分析化学』第62巻第2号、日本分析化学会、73～87頁
- 三辻利一2013b『新しい土器の考古学』同成社。