

学位論文の要旨

氏名	古澤 美由紀
学位論文題目	九州の鉱床を伴う新第三紀および第四紀火成岩の地球化学

日本の鉱床は火成岩と密接な関係があることはよく知られているが、その形成への火成活動の役割については大きな議論となっている。鉱床形成においてマグマは地下水-熱水の対流の熱源としての役割だけが重要であると考えている研究者もいるが、マグマが鉱床形成物質をもたらすという役割を果たしていると考えている者もいる。

本論文は、ハロゲン元素などの陰イオンに注目し、九州における新第三紀以降の火成岩に焦点を当て、火成活動と鉱床形成の成因的關係についてまとめたものである。九州全土に散在する新第三紀の花崗岩類とそれに伴う鉱床についてと、その後の鮮新世以降の鹿児島県における火山岩類とそれに伴う鉱床について大きく2つに分けて考察をした。

第1章は、イントロダクションとして火成活動とそれに伴う鉱床の概略と本研究の目的について記した。

第2章は、九州全域における新第三紀花崗岩類とそれに伴う鉱床についての検討を行った。九州に散在する花崗岩類はその帯磁率から3つに区分でき(太平洋側から外帯1、外帯2、内帯)、それらに伴う鉱床はそれぞれに特徴がある(外帯1: Sn-W、外帯2: Sn-卑金属、内帯: 卑金属)。深成岩のハロゲン元素や硫黄の含有量や同位体比から、外帯1から内帯にかけて硫黄同位体比と $f\text{HCl}/f\text{H}_2\text{O}$ が増加、 $f\text{HF}/f\text{H}_2\text{O}$ が減少する。この測定結果から以下のようなマグマの環境が推定される。内帯の塩素に富む酸化的なマグマでは塩素と硫黄が放出され、それらに富んだ鉱液が卑金属鉱床を形成した。外帯1のフッ素に富む還元的なマグマでは硫黄は消費されるので、マグマから放出されるのはフッ素であり、それらに富んだ鉱液がSn-W鉱床を形成したと考えられる。外帯2は外帯1と内帯の中間的な性質をもち、それゆえSn-卑金属鉱床を形成したと考えられる。

第3章は、第2章と同じ視点で鹿児島県における鮮新世以降の火山岩とそれに伴う金鉱床についての検討を行った。本章では2つの節に分け、はじめに北薩金鉱床地域の火山岩中のハロゲン元素から見た広域的变化について考え、次に火山活動と金鉱床形成の成因關係について考えるために地域をさらに絞って菱刈地域の火山岩を詳細に調べた。

第1節の北薩金鉱床地域は玄武岩から流紋岩まで広く分布し、菱刈鉱床や山ヶ野鉱床、串木野鉱床などの数多くの浅熱水性金鉱床が随伴している。火山岩の年代区分に従って北薩金鉱床地域を4つのエリアに分け、そのエリア毎に火山岩の化学組成を考察した。北薩金鉱床地域の火山活動は複雑であるが、WNW-ESE方向に分布する高Nb/Y値で低Th/Nb値のプレート内型的マグマと、海洋プレートの沈み込みに伴う低Nb/Y及び高Nb/Y値で高Th/Nb値の島弧型的マグマで構成されると考えられる。海溝および火山フロントは断続的に東進し、より火山フロント側で塩素の多い火山が多いと考えられる。このような場所で数多くの浅熱水性金鉱床が形成されたと推定される。

第2節の菱刈地域の火山活動は安山岩とデイサイトの交互の噴出で特徴付けられ、それに伴う菱刈金鉱床は鹿児島県の浅熱水性金鉱床の中でも総金量250トン以上の大規模金鉱床である。火山岩や造岩鉱物の化学組成などを調べ、菱刈金鉱床の火成活動と鉱床形成の成因的關係を明らかにした。菱刈地域では、金はマグマから放出されてから2段階の運搬過程を経てから沈殿し、金鉱床を形成したと考えられる。具体的には、塩素に富んだデイサイトマグマから金のクロロ錯イオン

と酸化硫黄種が放出され、還元的な四万十層類中で金のクロロ錯イオンの分解と酸化硫黄種の還元が起こり、金は $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ となって上昇を続けた。四万十層群最上部でさらなる冷却と新たな酸化がおこったことにより、金は $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ から自然金もしくはエレクタムとなって沈殿したと考えられる。

第4章は、本論文の総括として、第2章と第3章から推測されるマグマ活動と鉱床形成；有用金属の起源・運搬・沈殿のメカニズムについてまとめる。新第三紀花崗岩質マグマにおいても鮮新世後期以降の火山岩のマグマにおいても、それらの火成活動に伴う鉱床形成には共通して陰イオンが重要な役割を果たしていることを本論文で明らかにした。つまり、種々の時空の中で、マグマ、ハロゲン元素（塩素やフッ素）や硫黄、金属は密接に関係している。塩素は卑金属やSn、金のマグマから系外への運搬、フッ素はWやSnのマグマから系外への運搬、硫黄は還元的環境で卑金属や金の運搬を行い、鉱床形成の重要な役割を果たす。時にマグマの酸化還元状態でそれらの1~2つの特徴を有することがある。このように、時空に関係なく、また深成岩や火山岩の別なく、鉱床の形成には有用金属の運搬を担う元素が極めて重要であった。

論文審査の要旨

報告番号	理工論 第61号	氏名	古澤美由紀
審査委員	主査	小林哲夫	
	副査	大木公彦	
		西尾正則	

学位論文題目 九州の鉱床を伴う新第三紀および第四紀火成岩の地球化学
(Geochemistry of igneous rocks associated with ore deposits from
Neogene to Quaternary periods in Kyushu)

審査要旨

提出された学位論文及び論文目録等を基に学位論文審査を実施した。本論文はハロゲン元素などの陰イオンに注目し、火成活動と鉱床の成因的關係について述べたもので4章より構成されている。

第1章は序章であり、九州の火成活動とそれに伴う鉱床について概説し、かつ本研究の目的について記している。日本海拡大の直後、西南日本はフィリピン海プレート北上に伴う圧縮場になっていたが、遅くとも6 Ma以降は現在の火山活動に繋がる伸張場が変わる。本論では新第三紀花崗岩類に伴う鉱床と、第四紀の火山岩に伴う鉱床の成因を、同じ地球化学的視点で考察した。

第2章では、九州全域に貫入した新第三紀花崗岩類とそれに伴う鉱床について検討した。これらの花崗岩類は従来内帯と外帯に分けられてきたが、本研究では詳細な帯磁率と硫黄同位体比、ハロゲン元素含有量を測定した上、その違いから、太平洋側から背弧側に向け、外帯1、外帯2、内帯と3つに区分した。外帯1はフッ素に富む還元的なマグマで、硫黄はコンパティブルな挙動をして造岩鉱物となるので、マグマから放出される金属はフッ素と鉛イオンをつくって Sn-W 鉱床を形成した。内帯のマグマは塩素に富み酸化的である。塩素が卑金属と鉛イオンをつくり、硫黄はインコンパティブルになって放出される。マグマ外に移動した後、還元・冷却されて、卑金属の硫化物鉱床を形成した。外帯2は中間的な性質をもつ。

第3章では、鮮新世以降の北薩地域の火山岩とそれに伴う金鉱床について検討した。北薩金鉱床地域は、玄武岩から流紋岩まで広い組成の火山岩が分布し、菱刈鉱床や山ヶ野鉱床、串木野鉱床などの数多くの浅熱水性金鉱床が随伴している。この地域では、スラブの変化や変動によって繰り返して塩素に富むマグマが噴出し、その周辺に数多くの浅熱水性金鉱床が形成された。

その詳細なメカニズムは菱刈浅熱水性金鉱床で検討した。当地域のデイサイトはいずれも酸化的である。塩素に富んだデイサイトマグマから金(Au)の鉛イオンと二酸化硫黄が放出されるが、還元的で低温の四万十層群中で、金のクロロ鉛イオンの分解と酸化硫黄種の還元が起こり、金は $Au(HS)_2^-$ となってさらに上昇を続け、四万十層群最上部で冷却と共に酸化され、金が沈殿したと考えられる。

第4章では、火成岩とそれに伴う鉱床の成因に関する総括であり、深成岩や火山岩の別なく、鉱床をもたらすマグマではハロゲン元素や硫黄などの陰イオンが重要な役割を果たすと結論づけた。

以上本論文は火成活動に伴う鉱床形成のメカニズムに関する研究であり、有用金属元素の運搬を担う陰イオンの挙動について検討を行い、これら元素の運搬、沈殿のメカニズムを明らかにした。これはマグマ-深部熱水の有用金属元素の移動メカニズムの解明に大きく寄与するものであり、審査委員会は博士(理学)の学位論文として合格と判定する。

学 力 確 認 結 果 の 要 旨

報告番号	理工論 第 61号	氏 名	古澤美由紀
審査委員	主 査	小林哲夫	
	副 査	大木公彦	
		西尾正則	

平成24年2月9日、午後3時00分から行われた学位論文発表会において、審査委員を含む約10名の前で学位論文の内容が説明され、その後、以下に示すような質疑応答が行われた。いずれについても満足すべき回答を得ることができた。

Q：内帯はベースメタル鉱床で外帯がタングステンや錫の鉱床である理由は何か。

A：外帯の花崗岩の起源物質は上部地殻の付加体と考えている。すなわち、外帯は大陸性物質の中で発生し、そこで冷却して鉱床もつくった。大陸性地殻の平均化学組成（クラーク数）では、タングステンや錫は海洋性地殻やマントルよりも多い。これが外帯にこの種の金属鉱床ができる原因であると考ええる。一方、ベースメタルは大陸性地殻には少なく、内帯の花崗岩も鉱床を構成する金属ももっと深部、おそらく中部～下部地殻からもたらされたと考ええる。

Q：内帯にも花崗岩が貫入しているが、内帯のマグマ組成は付加体と成因的な関係がないのか。

A：日本海形成の拡大軸に近い九州の内帯では、花崗岩マグマは伸張の場の影響を受け、深部から上昇して周辺の堆積岩類の影響をあまり受けなかったと考える。

Q：硫黄同位体比の存在度は内帯と外帯で明瞭な違いが認められた。この結果は中央構造線の意義を考える上でも重要だが、この現象は南西諸島方向にも延長できるのか。

A：今回は12～15Maという限られた時期に太平洋側から大陸側にかけて一斉に形成された花崗岩を扱ったために、内帯と外帯の比較が可能になったと思う。しかし西南日本内帯の中生代の花崗岩類の酸化・還元境界は山陰型と山陽型の境界で、中央構造線とは一致していない。中央構造線の地球化学的意義を議論できるようになるのか、現時点では満足のいく回答ができない。

Q：今回の研究成果は九州だけに当てはまる結論か、それとも他の地域にも当てはまるのか。

A：今回は九州地域を扱っているが、他の地域においてもさらに検討する必要がある。本研究と同質のデータセットはまだないが、西南日本内帯の花崗岩地域や北上山地、ロッキー山脈、アンデス山脈などの沈み込み帯でも類似傾向が認められることから、他の地域でも適用できていると思っている。

Q：菱刈鉱床の生成メカニズムの図にマグマから鉱床までの硫黄化合物が、 $\text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Au}(\text{HS})_2^-$ と変化していくと説明されたが、実際にそのような硫黄種を確認したのか。

A：存在は確認していない。この反応プロセスの根拠は、1) 菱刈鉱床の硫黄が同位体的にマグマ起源であること、2) マグマに富んでいた塩素が菱刈鉱床になく、HS錯イオンしかないこと、3) 鉱床形成の直接的要因が冷却・酸化・減圧であることを根拠に、硫黄種を推定した結果である。

なお語学力に関しては、専門に関する学術論文の英文和訳の課題を与え、適切な和訳がなされていることを確認した。