

論文内容要旨 (和文)

平成 25 年度入学 大学院博士後期課程

地球共生圏科学 専攻 地球環境学 分野

氏 名 五十公野 裕也



論文題目

羽越地域の花崗岩体に伴う鉍床群におけるビスマス鉍物相と花崗岩系列との対応関係

ビスマスは、最近注目を浴びているレアメタル資源の一つである。ビスマスは花崗岩活動に関連する鉍床に濃集しており、また磁鉄鉍系/チタン鉄鉍系の花崗岩系列に関係なく濃集している場合が多い。そのため、ビスマス濃集メカニズムが解明されていない。金属鉍床においてビスマスは、自然蒼鉛、輝蒼鉛鉍、硫塩鉍物、カルコゲン鉍物など様々な鉍物相を形成しており、特にカルコゲン鉍物は鉍化作用の物理化学的条件に応じて、その鉍物相が変化しやすいことが指摘されている。さらに天然においてビスマスは 0 価 (自然蒼鉛) と 3 価 (輝蒼鉛鉍、硫塩鉍物) の酸化数が存在する。花崗岩に伴う鉍床の fO_2 、 fS_2 条件は花崗岩系列に依存しているため、花崗岩および鉍化作用の酸化/還元状態に応じてビスマス鉍物相が異なる可能性が予想される。しかし、花崗岩系列に対応したビスマス鉍物の鉍物学的な研究はこれまで行われていなかった。ビスマスの濃集メカニズムを解明するためには、ビスマス鉍物相と花崗岩系列との対応関係を明らかにしなければならない。

山形-新潟県境の羽越地域には W-Mo-Sn 鉍床が胚胎するチタン鉄鉍系列の岩船花崗岩、Au-Cu-Pb-Zn-Bi-Mo-As 鉍床を伴う磁鉄鉍系列の早田花崗閃緑岩、Mo-Cu-As 鉍床を伴う中間系列の西田川花崗閃緑岩の 3 つの花崗岩体が存在する。いずれも白亜紀~古第三紀の年代を示すが、花崗岩マグマの酸化/還元条件および付随する金属鉍化作用がそれぞれ異なる。さらに 3 つの鉍床群からビスマス鉍物が産出している。したがって、ビスマス鉍物相と花崗岩および鉍化作用の酸化/還元条件との対応関係を解明するのに適しているため、羽越地域のビスマスを伴う鉍床群を研究対象とした。岩船岩体に伴う 10ヶ所の鉍床 (脇川、神徳、塩野町、高根、重石、鍋倉、能化山、金丸、観世音、大徳鉍山)、早田岩体に伴う 8ヶ所の鉍床 (黒森、大広、砂川朝日、本庫、本郷、大張、早田川、八久和鉍山)、西田川岩体に伴う 2ヶ所の鉍床 (福栄邨、万代鉍山) から鉍石試料を入手した。3 つの鉍床群におけるビスマス鉍物相を反射顕微鏡や EPMA を用いて同定した。さらに鉍化作用の酸化/還元条件を明らかにするために、閃亜鉛鉍中の FeS 量、白雲母および炭酸塩鉍物の Mg 値、白雲母のフッ素量、硫化鉍物の硫黄同位体比、流体包有物を分析した。

岩船岩体に伴う鉍床群では自然蒼鉛、輝蒼鉛鉍に富み、ビスマス硫塩鉍物に乏しい特徴が見られる。早田岩体に伴う鉍床群では、ウィチヘン鉍やアイキン鉍、コサラ鉍などの硫塩鉍物を主体とし、輝蒼鉛鉍や自然蒼鉛に乏しい特徴が見られる。西田川岩体に伴う鉍床群では輝蒼鉛鉍に富み、自然蒼鉛やビスマス硫塩鉍物に乏しい特徴が見られる。したがって、3 つの鉍床群におけるビスマス鉍物相の特徴がそれぞれ異なることが判明した。

閃亜鉛鉍の FeS 量は、岩船岩体に伴う鉍床群で 13.2~29.7 mol. %、早田岩体に伴う鉍床群で 0~17.2 mol. %、西田川岩体に伴う鉍床群で 12.8~16.9 mol. % である。FeS 量は早田 < 西田川 < 岩船の順に多くなる。流体包有物の均質化温度に圧力補正を行って得られた形成温度は、岩船花崗岩に伴う鉍床群で 290~470 °C、早田岩体に伴う鉍床群で 310~460 °C、西田川岩体に伴う鉍床群で 270~480 °C で

ある。したがって、閃亜鉛鉱の FeS 量および形成温度から鉱化作用の fS_2 は岩船 < 西田川 < 早田の順に高かったと考えられる。

炭酸塩鉱物の Mg 値 (Mg/Mg+Fe) は岩船岩体に伴う鉱床群で 0.01 ~ 0.36、早田岩体に伴う鉱床群で 0.51 ~ 0.93 である。また白雲母の Mg 値は岩船岩体に伴う鉱床群で 0 ~ 0.45、早田岩体に伴う鉱床群で 0.30 ~ 0.82、西田川岩体に伴う鉱床群で 0.28 ~ 0.55 である。したがって両者の Mg 値は岩船 < 西田川 < 早田の順に高くなることが判明したので、鉱化作用の fO_2 は岩船 < 西田川 < 早田の順に高かったと考えられる。

硫化鉱物の硫黄同位体比は、岩船岩体に伴う鉱床で -0.6 ~ +1.5 ‰、西田川岩体に伴う鉱床で -0.4 ~ +1.6 ‰、早田岩体に伴う鉱床で +0.8 ~ +4.4 ‰ である。 $\delta^{34}S$ は岩船 < 西田川 < 早田の順に重くなっている。さらに早田岩体に伴う鉱床群の $\delta^{34}S$ は磁鉄鉱系花崗岩に伴う鉱床の範囲、岩船岩体に伴う鉱床群の $\delta^{34}S$ はチタン鉄鉱系花崗岩に伴う鉱床の範囲にほぼ一致しており、花崗岩の酸化/還元条件に対応していることが判明した。

閃亜鉛鉱の FeS 量、炭酸塩鉱物および白雲母の Mg 値、硫化鉱物の硫黄同位体比の分析結果から、各鉱床群における鉱化作用は母岩である花崗岩の酸化/還元条件に一致しており、花崗岩の酸化/還元条件が付随する鉱化作用へ継続していることが明らかにされた。したがって、各岩体におけるビスマス鉱物相は、花崗岩および鉱化作用の酸化/還元条件に応じて形成されたことを示している。すなわち岩船岩体に伴う鉱床群は、熱水中の fO_2 、 fS_2 が低く、還元的な鉱化作用を示すことから、自然蒼鉛および輝蒼鉛が形成されやすく、ビスマス硫塩鉱物が形成されにくい環境であったと考えられる。早田岩体に伴う鉱床群は、熱水中の fO_2 、 fS_2 が高く、酸化的な鉱化作用を示すことから、ビスマス硫塩鉱物が形成されやすく、自然蒼鉛および輝蒼鉛が形成されにくい環境であったと考えられる。西田川岩体に伴う鉱床群は、岩船および早田の中間的な fO_2 、 fS_2 条件であるが、やや酸化的な鉱化作用を示すことから、輝蒼鉛が形成されやすく、自然蒼鉛およびビスマス硫塩鉱物が形成されにくい環境であったと考えられる。

したがって、羽越地域におけるビスマス鉱物相は母岩となる花崗岩系列に支配されることが明らかにされた。還元的なチタン鉄鉱系花崗岩に伴う鉱床では自然蒼鉛 (Bi^0)、酸化的な磁鉄鉱系花崗岩に伴う鉱床ではビスマス硫塩鉱物 (Bi^{3+}) が形成されやすいことが示された。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成 28年 2月 16日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 中島 和夫

副査 伴 雅雄

副査 鵜浦 啓

副査

副査



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	専攻・分野名 地球共生圏科学専攻・地球環境学分野 氏名 五十公野 裕也		
論文題目	羽越地域の花崗岩体に伴う鉍床群におけるビスマス鉍物相と花崗岩系列との対応関係		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	平成28年 1月 28日～ 平成28年 2月 16日
論文公聴会	平成28年 2月16日	場 所	理学部13番教室
最終試験結果	合格	最終試験年月日	平成28年 2月 16日
学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)			
<p>本論文は、花崗岩に伴うビスマス鉍物の鉍物学的検討を詳しく行い、多種のビスマス鉍物が花崗岩タイプと関連して鉍物相が変化していることを発見し、その原因について詳細な証拠を挙げて、明らかにしたものである。</p> <p>第1章では、この分野の研究背景を世界的な視点からまとめ、問題点を明らかにした上で目的を述べている。</p> <p>第2章・第3章では、研究地域の地質背景と多くの鉍山の研究史をまとめ、特徴を明らかにしている。</p> <p>第4章では、試料採取から各種の分析まで、研究手法を詳しくまとめている。</p> <p>第5章では、鉍石と脈石の鉍物組合せについて、主に顕微鏡観察結果を詳しくまとめている。これにより、還元的な岩船花崗岩体、酸化的な早田花崗岩体、中間的な西田川花崗岩体のそれぞれに伴う鉍床群の鉍物学的な特徴を明らかにしている。</p> <p>第6章では、特にビスマス鉍物について、20種以上のビスマス鉍物を詳しい化学分析結果とともに分類、記載している。</p> <p>第7章～第10章では、ビスマス鉍物に伴う閃亜鉛鉍、炭酸塩鉍物、白雲母の詳しい化学分析結果を述べ、各鉍床から産する硫化鉍物のイオウ同位体比の系統的な変化について記述している。</p> <p>第11章では、鉍脈石英中の流体包有物の加熱冷却実験結果についてまとめ、400℃近い高温の熱水作用でビスマス鉍化作用が起きたことを明らかにしている。</p> <p>第12章では、自然ビスマス、輝蒼鉛鉍、ビスマス硫塩鉍物の産出の特徴と生成環境について、上記の各種分析結果をもとに考察している。その結果、熱水の酸素・イオウのフガシティーの違いが各鉍物相の形成に大きく関係しており、それは花崗岩タイプに依存していることなどを明らかにした。</p> <p>本研究の一連の成果は7編の学術雑誌に掲載され、そのうち5編が国際誌、6編が筆頭著者である。以上のとおり、本研究は、学術的および鉍物学的に価値ある新知見を多く含んでおり、博士（理学）の学位論文として十分な内容を備えていると判断し、合格と判定した。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>本学の規程に従い、口頭により本論文とそれに関連する分野において最終試験を行った。本学位申請者は専門分野についての基礎的かつ高度な知識を有しており、未解決の課題に対しても独創的観点から実験を計画、実行し、学術的に考察することができる能力を有すると審査員一同が確認した。また外国語能力については、英語論文の作成、公表の実績により判断し十分な資質を備えていると判断した。よって博士（理学）の学位授与に関する最終試験を合格と判定した。</p>			