

# 論文内容要旨 (和文)

平成 18 年度入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 環境保全科学講座

氏 名 横 路 悠



論文題目 山形県大堀鉱山地域における新第三紀スカルンおよびビスマス鉱化作用

山形県大堀鉱山は東北日本グリーンタフ地域の Cu-Pb-Zn 鉱床の一つで、スカルン型鉱床（蟹ノ又鉱床）および鉱脈鉱床（中ノ又鉱床など）からなる。特に蟹ノ又鉱床は類例を見ない新第三紀層の熱水沈殿起源の炭酸塩岩を交代したスカルン鉱床で、グリーンタフ地域では珍しいスカルン鉱物（バスタム石・珪灰石・柘榴石など）が含まれることでも知られる興味深い鉱床である。これまでの基礎的研究は竹内ほか（1960）をはじめ鉱山稼行当時行われ、地質および鉱床の概要が明らかにされたが、その成因の検討については十分とはいえない状況である。この特異な鉱床の成因を解明することはグリーンタフ地域の地史を考える上で重要なので包括的かつ詳細な鉱化作用の記載と再検討を行った。そのために野外調査、顕微鏡観察、EPMA 分析、X線粉末回折、流体包有物の観察とその加熱冷却実験、安定同位体分析を行い、以下のことが明らかとなった。

鉱床形成にかかわる火成活動としては活動順に次の 3 つがある。①グリーンタフ形成時期の安山岩質—流紋岩質火山活動で、蟹ノ又鉱床炭酸塩岩（19-16.5Ma 頃と推定）を含む本地域の地質の大半を形成した。②粗粒玄武岩の貫入（13-11Ma 頃と推定）。③花崗岩質岩石の貫入（11-10Ma 頃と推定）とこれによる主要な熱水活動と鉱化作用。

蟹ノ又鉱床の炭酸塩岩層は角礫岩に挟まれ、浅海性貝化石や火山灰を含み、流紋岩質火山活動による浅海沈殿物と考えられる。この炭酸塩岩はほとんどスカルン鉱物に置き換わっている。

蟹ノ又鉱床はグリーンタフ地域では珍しいスカルン鉱物を含むが、白亜紀に形成されたスカルンとくらべ浅所低温生成と考えられる。炭素・酸素同位体比から炭酸塩岩とスカルン化を検討した。蟹ノ又鉱床のスカルン方解石は炭素 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ ) -15.5~-5.1‰、酸素 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ ) +3.6~+22.5‰で、スカルンの範囲にあるが、スカルン化の程度はあまり強くないと考えられるので、炭酸塩岩が熱水起源のためもともと軽かった可能性が高い。

スカルン化の熱源は粗粒玄武岩と花崗岩質岩石の両者が考えられ、前者がまず熱で金属に乏しい細粒のスカルンを作り（スカルン形成期）、後者が高温熱水で主要な鉱化作用（熱水期）をもたらした可能性がある。

中ノ又鉱脈鉱床は、Cu 鉱化作用を主とし Bi を含み、花崗岩質岩石の貫入に伴う高温の熱水でできたと考えられる。グリーンタフ地域には同様に花崗岩質岩石の貫入時期に形成された鉱脈鉱床が多い。中ノ又鉱床はグリーンタフ地域によくみられる鉱脈であるが、黄銅鉱と密接で主に中ノ又鉱床の熱水に含まれていたといえる。Bi 鉱物や花崗岩類による比較的高温の流体

包有物 (300°C以上) から, 従来考えられたより高温でゼノサーマル型の特徴を持つ.

また蟹ノ又鉱床の富鉱部は Ca スカルン鉱物をほとんど含まず Cu, Fe に富み, 組成的に鉱脈に似ることから, 中ノ又鉱床の熱水は蟹ノ又鉱床に重複して, スカルンをさらに富化したと考えられる.

硫黄同位体比 ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ ) からみると, 硫黄のほとんどは約 4~7‰に集中し (平均は 5.8‰), 蟹ノ又・中ノ又鉱床に大きな違いはない. これらはグリーントフ地域の磁鉄鉱花崗岩質岩石, 同地域の鉱床 (Cu-Pb-Zn 鉱脈, スカルン鉱床, 黒鉄鉱床) の値と近い. グリーントフ地域の花崗岩質岩石は磁鉄鉱系列マグマで, 硫黄はマントル由来で海水起源である. 大堀を含むグリーントフ地域の Cu-Pb-Zn 鉱脈の多くは島弧期に花崗岩質岩石の活動による熱水活動に由来し, 磁鉄鉱系列の珪長質火成活動と海成層の影響を受けた硫黄が鉱化作用にかかわったといえる.

このように大堀地域の鉱化作用が明らかになったことは, グリーントフ地域の古環境研究の発展にかかわる重要なデータを提供することに繋がる.

(10pt 2,000 字程度 2 頁以内)

# 論文内容要旨 (英文)

平成 18 年度入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 環境保全科学講座

氏 名 横 路 悠



論文題目 山形県大堀鉱山地域における新第三紀スカルンおよびビスマス鉱化作用

(The Neogene Skarn and Bismuth Mineralization from the Ohori Mine Area, Yamagata Prefecture)

The Ohori deposit, one of the Cu-Pb-Zn deposits in the Green-tuff region, NE Japan, is composed of two types of mineralization; a skarn-type (Kaninomata orebody) made by the replacement of the Miocene calcareous layer, and a vein-type (Nakanomata orebody). The Kaninomata orebody is very interesting because of its unique skarn ore type replaced from calcareous rock layer of hydrothermal origin which is innovative in Miocene, and of consisting of skarn minerals (e.g. bustamite, wollastonite, grossular) which are rare in the Green tuff region.

This paper described and re-examined the detailed mineralization of the Ohori deposit comprehensively. Major results are as follows:

There are three stages of magmatic activity concerned with mineralizations in the Ohori deposit; (1) andesitic to rhyolitic volcanic activities (ca. 19-16.5Ma), (2) dolerite intrusion into the Tertiary formations (ca. 13-11 Ma), (3) hydrothermal activity and mineralization according to intrusion of the granitic rocks (ca. 11-10 Ma).

The Kaninomata orebody, lower temperature and shallow environment of mineralization than the Cretaceous skarn. The formation environment of the skarn mineralization was estimated from the carbon and oxygen isotopic analyses. In the Kaninomata skarn,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} -15.5 \sim -5.1\text{‰}$  and  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} +3.6 \sim +22.5\text{‰}$  of calcite fall in the ordinal skarn deposits with a tendency of hydrothermal deposition.

The mineralization occurred in the two stage of intrusive rocks, i.e. dolerite and granitic rocks. The former affected the calcareous rock layer, resulting in the early barren skarn. The latter caused the high-temperature hydrothermal activity, resulting in the formation of the Nakanomata vein and in development of the Kaninomata skarn bonanza. The high temperature ore fluids estimated above 300°C by the fluid inclusions, formed bismuth and copper mineralization, which brought the xenothermal conditions under shallow depth.

Sulfur isotopic ratios,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  4 ~ 7‰, of sulfide minerals from both orebodies are in good harmony with the Green tuff mineralization. Sulfur was effected from marine water and magnetite-series acid magmatism.

These results provide the important data about the paleo-environment and evolution of the Green tuff region.

専攻名	地球共生圏科学専攻	氏名	横路 悠
学位論文の審査結果の要旨			
<p>本論文は山形県大堀鉱山の地質、鉱石を詳細に記載し、各種化学分析、同位体分析等により、その成因を明らかにするとともに、中新世のテクトニクスの中で鉱化作用の意義やその変遷を議論している。全11章で構成されている。</p> <p>第1章：研究の背景と研究史をまとめ、研究目的を述べている。</p> <p>第2章～第3章：研究地域の地形的特徴および鉱山の沿革や採掘量についてまとめている。</p> <p>第4章：周辺地質の概要について、詳細な野外調査結果をまとめている。特に鉱床母岩の一つである炭酸塩岩については、浅海環境で流紋岩質火山活動に関連した熱水活動によって沈殿したと結論している。さらに、鉱床下部で新たに発見した花崗岩小岩体について、岩石組織や熱水変質から、鉱化作用に密接であることを明らかにした。</p> <p>第5章：鉱床の特徴、産出鉱物の組合せなどについてまとめている。</p> <p>第6章：28種の産出鉱物の形態的、化学的特徴についてまとめている。特にEPMAによる閃亜鉛鉱の化学組成から、他の鉱床群との比較を行い、新第三紀の鉱床群との類似性を述べている。また、本研究により発見したビスマス鉱物について、複雑な化学組成や共生鉱物の特徴について詳細にまとめている。</p> <p>第7章：全岩のXRD分析と鉱物のEPMA分析から、熱水変質の特徴を明らかにしている。特に鉱床付近ではセリサイトの中性変質が強く、緑泥石地質温度計から300℃を越える変質を受けていることが明らかとなった。</p> <p>第8章：花崗岩と鉱石から合計1000個以上の流体包有物の加熱冷却実験を行い、生成温度や熱水の性質について明らかにした。</p> <p>第9章：硫黄、炭素、酸素同位体の分析から、スカルンや硫化鉱物の生成環境について議論している。</p> <p>第10章：炭酸塩岩の層序学的な検討、鉱化作用をもたらした熱源について2つの貫入岩類を比較検討、スカルン化作用～熱水鉱化作用の時代的な考察、熱水作用の物理化学的考察、ビスマス鉱化作用が当地に生じた意義についての総合的な考察を行っている。</p> <p>第11章：以上の鉱床の地質学的、鉱物学的性質をまとめ、鉱床形成過程のモデルを中新世テクトニクスの中で考えた。</p> <p>本論文は野外調査、顕微鏡観察、EPMA分析、XRD分析、加熱冷却実験、硫黄・炭素・酸素同位体分析など多岐にわたる分析手法を駆使し、多量のデータに裏付けされている。その研究成果は8件の学会発表で公表され、そのうちの一つであるビスマス鉱物の発見とその意義について、国際誌に印刷中である。以上のように、本論文が学術論文として価値ある知見を多く有しており、博士学位論文として十分なものと認め、合格と判定する。</p>			
最終試験の結果の要旨			
<p>学位論文公聴会における質疑応答および学会発表並びに学術誌への投稿結果により、関連する分野に対しての最終試験とした。申請者は専門的な学力を十分に有しており、未解決の課題に対しても調査、実験を計画・実行し、学術的な領域まで考察することができる能力を有すると判断した。これにより博士として十分な専門知識と研究遂行能力があると認め、最終試験合格と判定した。</p>			