

氏名(本籍)	広瀬 和世(東京都)		
専攻分野の名称	博士(工学)		
学位記番号	工博乙第 42号		
学位授与の日付	平成28年3月28日		
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当		
学位論文題名	青森県温川含金黒鉱鉱床第5鉱体の地質学的・地球化学的特徴と Au-Ag-Pb-Zn 鉱化作用		
論文審査委員	(主査) 教授 石山大三	(副査) 教授 今井 亮	
	(副査) 教授 大場 司	(副査) 教授 内田 隆	

論文内容の要旨

温川黒鉱鉱床は、秋田県北鹿地域の北東部の十和田湖西部の秋田-青森県境付近に位置する。温川鉱床の周辺の地質は、基盤である中古生界とそれを不整合に覆う新第三系および第四系、中新世女川階の酸性貫入岩類等から構成される。温川鉱床は5つの鉱体から構成され、いずれも中新世西黒沢階早瀬森層下部層最上位の石英安山岩質凝灰角礫岩中に胚胎され、同層上部層の泥岩・凝灰岩を上盤としている。

第5鉱体は温川鉱床西部に位置する主要鉱体で、鉱化作用の様式分布、形状の特徴から、母岩を交代した珪鉱部と海底面に堆積した層状黒鉱に大別される。珪鉱は、形状と鉱種から、金を多く含む含金網状珪鉱および含金層状珪鉱と、金に乏しい黒鉱質珪鉱から構成され、前者を後者が網状に充填する産状を呈する。層状黒鉱は緻密質黒鉱と礫状黒鉱の二つに分けられる。

含金網状および層状珪鉱と黒鉱質珪鉱の間には時間的前後関係が推定され、珪鉱鉱体の鉱化作用は、Stage Iの含金網状珪鉱の形成(含金珪鉱:石英-カオリン-黄銅鉱-黄鉄鉱-赤鉄鉱-エレクトラム-閃亜鉛鉱-方鉛鉱)とStage IIの黒鉱質珪鉱の形成(黒鉱質珪鉱:石英-セリサイト-閃亜鉛鉱-方鉛鉱-黄鉄鉱-黄銅鉱)に区分される。層状黒鉱は、黒鉱質珪鉱と同時期に形成されたと考えられており、主に閃亜鉛鉱・方鉛鉱・黄鉄鉱・重晶石から構成され、カオリン-絹雲母/モンモリロナイト混合層鉱物粘土層および重晶石の濃集層を挟在する。

鉱物組み合わせに基づくと、含金網状珪鉱を形成した熱水は、定性的には層状黒鉱に比べてより酸化的かつ酸性の熱水であったと考えられる。一方、層状黒鉱の中の礫状黒鉱形成時にもカオリンが存在することから、酸性の熱水活動が含金珪鉱形成時から黒鉱形成時まで断続的に継続していた可能性が考えられる。

含金網状珪鋇のカオリンの δD 値は-62~-49‰を、礫状黒鋇中の縞状カオリンの δD 値は-62~-58‰を示し、いずれも南白老鋇床などの他の黒鋇鋇床のカオリンより低い δD 値を示す。一方、礫状黒鋇の絹雲母の δD 値は-41~-37‰を示し、一般的な黒鋇鋇床の粘土鋇物の δD 値と類似する。

温川鋇床の含金珪鋇の石英および絹雲母変質を伴う鋇床下盤の全岩の $\delta 18O$ 値は、それぞれ+9.2~+10.2‰, +9.8~+10.6‰を示し、他の黒鋇鋇床の値に比べて高い。一方、鋇床上盤直上の変質石英安山岩質凝灰角礫岩の全岩の $\delta 18O$ 値(+6.2‰)は、一般的な黒鋇鋇床の $\delta 18O$ 値と類似しており、鋇床が同角礫岩に覆われた時にはまだ200~250℃程度の海水起源の熱水活動が継続していた可能性がある。

含金網状珪鋇の石英から直接抽出した流体包有物の δD 値は、-50~-44‰を示す。また、含金網状珪鋇のカオリンから推定される鋇化流体の δD 値は-48~-33‰を示し、含金網状珪鋇の石英から直接抽出した流体包有物の δD 値と重複する。一方、礫状黒鋇の絹雲母から推定される鋇化流体の δD 値は-14~-10‰であり、含金珪鋇のカオリンから推定される δD 値および石英から直接抽出した流体包有物の δD 値より海水に近い δD 値を示し、初期に形成された網状珪鋇から礫状黒鋇にかけて、鋇液の δD 値が海水に近い値に変化したことが推定される。熱水系としては海水が循環するシステムの中にデイサイトマグマからマグマ水が供給されるようなシステムが考えられる。含金珪鋇のCuやAuは、マグマ水と共に移動してきた可能性がある。

安定同位体比の検討結果から、温川鋇床の形成に関与したデイサイトの特徴にも大館-小坂地域の黒鋇を形成したデイサイトと異なる特徴が存在することが期待される。温川鋇床の近傍に存在する鋇化作用前と鋇化作用後のデイサイトのZr/TiO₂比等からは、温川鋇床のデイサイトは、鋇化作用前のデイサイトも鋇化作用後のデイサイトも互いに類似しており、Yamada et al. (2012)で報告された黒鋇鋇床に直接関連したデイサイト(R4)よりも、黒鋇鋇床形成後のデイサイト(R2)に類似する傾向を示すことが示唆される。これらのデイサイトの¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd同位体比も、Yamada et al. (2012)のR4やR2よりも¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd同位体比が低く、むしろR1(10Ma頃のデイサイト溶岩)の¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd同位体比に類似する。このことから、温川黒鋇鋇床形成は、大館-小坂黒鋇地域のデイサイトの環境と異なり、大館-小坂黒鋇地域の黒鋇鋇化作用後のデイサイトや10Ma頃のデイサイトに類似する火成活動に伴い形成された可能性が考えられる。金鋇化作用を伴う比較的小規模な黒鋇鋇床である温川鋇床と大館-小坂地域の典型的な黒鋇鋇床との違いは、デイサイト火成活動の特徴の違いに関連していると考えられる。

論文審査結果の要旨

温川含金黒鋇鋇床は、青森県十和田湖の西約1.5 kmに位置する高金品位で特徴づけられる黒鋇鋇床である。黒鋇鋇床の成因には循環する海水起源の熱水が海底面下に存在する岩

石と反応して、金属元素を抽出・運搬し、海底面で黒鉱鉱床が形成されたとする考え方と、金属元素に乏しい海水起源の循環熱水にマグマ由来の金属元素に富む熱水が混合し、海底面で黒鉱鉱床を形成したとする考え方がある。しかしながら、どちらのプロセスが重要であるのかについては明確な証拠が乏しいこともあり、これまで明確ではなかった。

本研究では、野外地質調査や鉱床深部のボーリング試料に基づく黒鉱鉱床の地質の産状や岩相の観察、鉱床周辺の岩石の鉱物組合せ、全岩化学組成、Sr-Nd 同位体比、変質岩や鉱石中の粘土鉱物や石英の水素・酸素同位体比等の地球化学的データに基づき温川黒鉱鉱床の鉱床形成機構について検討を行った。その結果、以下のような結果が得られた。

1) 温川黒鉱鉱床主要鉱体の第 5 鉱体は、鉱化作用の様式分布、形状の特徴から、母岩を交代した珪鉱部と海底面に堆積した層状黒鉱に大別される。珪鉱は、形状と鉱種から、金を多く含む含金網状珪鉱および含金層状珪鉱と、金に乏しい黒鉱質珪鉱から構成される。珪鉱鉱体の鉱化作用は、Stage I の含金網状珪鉱の形成（含金珪鉱：石英-カオリン-黄銅鉱-黄鉄鉱-赤鉄鉱-エレクトラム-閃亜鉛鉱-方鉛鉱）と Stage II の黒鉱質珪鉱の形成（黒鉱質珪鉱：石英-セリサイト-閃亜鉛鉱-方鉛鉱-黄鉄鉱-黄銅鉱）に区分される。層状黒鉱は、黒鉱質珪鉱と同時期に形成され、主に閃亜鉛鉱・方鉛鉱・黄鉄鉱・重晶石からなり、カオリン-絹雲母/モンモリロナイト混合層鉱物粘土層および重晶石の濃集層を挟在する。

2) 鉱物組み合わせから、含金網状珪鉱を形成した熱水は、層状黒鉱に比べてより酸化かつ酸性の熱水であったと考えられる。一方、層状黒鉱にもカオリンが存在することから、酸性熱水活動が含金珪鉱形成時から黒鉱形成時まで断続的に継続していた。

3) 温川鉱床の含金珪鉱の石英および絹雲母変質を伴う鉱床下盤の全岩の $\delta^{18}O$ 値は、それぞれ+9.2~+10.2‰、+9.8~+10.7‰を示し、他の黒鉱鉱床の値に比べて高い。この高い値は、海水起源の水にマグマ水のような重い酸素同位体比を持つ流体の混合が必要であることを示す。

4) 含金網状珪鉱を形成した鉱化流体の δD 値は-50~-33‰の低い値を示す。一方、黒鉱を形成した鉱化流体の δD 値は-14~-10‰であり、海水に近い δD 値を示す。両者の鉱化流体にはマグマ水成分の混合が考えられるが、含金珪鉱を形成した熱水は、マグマ水成分の割合が高かった。熱水系としては海水が循環するシステムの中にマグマからマグマ水が供給されるようなシステムが考えられる。含金珪鉱のCuやAuは、マグマ水と共に移動してきた可能性がある。

5) 温川鉱床の近傍に存在する鉱化作用前と鉱化作用後のデイサイトのZr/TiO₂比は、類似し、大館-小坂地域の黒鉱鉱床形成後のデイサイト(R2)に類似する。温川鉱床のデイサイトの¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd同位体比は、大館-小坂地域の黒鉱鉱床形成後のデイサイトよりも低く、むしろR1(10Ma頃のデイサイト溶岩)の¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd同位体比に類似する。このことから、温川黒鉱鉱床を形成したデイサイトは、大館-小坂黒鉱地域のデイサイトとは異なり、大館-小坂黒鉱地域の黒鉱鉱化作用後のデイサイトや10Ma頃のデイサイト

に類似する火成活動に伴い形成された可能性が考えられる。

本研究では、温川鉱床の地質学的、岩石学的、鉱床学的、鉱物学的、地球化学的データに基づき温川鉱床の鉱床形成に関与した熱水の起源とプロセスを明確にした。得られた成果は、今後の火山性硫化物鉱床の成因の解明や鉱物資源探査の基礎資料として利用されるとともに、鉱物資源探査に大きく貢献するものである。

従って、本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値のあるものと判断した。