

学位論文題名

Genesis of gold and silver mineralization at the
Koryu mine, southwestern Hokkaido, Japan

(西南北海道光竜鉱山における浅熱水性金銀鉱化作用の成因論的研究)

学位論文内容の要旨

近年、世界的に浅熱水性金銀鉱床の成因論的研究が盛んに行われている。本研究では、光竜鉱山の浅熱水性含金銀石英脈における、鉱石・脈石鉱物の成長組織と化学組成、流体包有物および安定同位体比の検討を行い、金銀鉱床形成に関与した熱水の特長、挙動、起源並びに金銀の沈殿メカニズムを明らかにすることを研究目的としている。

光竜鉱山は西南北海道支笏湖北方に位置し、新第三紀中新世の漁川層黒色泥岩中に胚胎する浅熱水性含金銀石英脈型鉱床である。鉱脈は1号ヒから8号ヒまで知られており、いずれも東西系の裂罅中に脈状に胚胎する。傾斜は概して70~80度北落ちで、脈幅は非常に膨縮に富み、20cmから2mまで変化し、脈内縞状構造が発達している。

露頭および室内サンプル観察では、脈内の顕著な破碎構造および切り合い関係が認められ、鉱化ステージを詳細に区分する事が出来る；前期脈：E-I, II, III、後期脈：L-I, II, III, IV, V, VI, VII。に区分出来る。前期脈では、透明から白色を呈する石英、ヨハンゼナイト及び炭酸塩鉱物等の晶出が見られる。一方、後期脈は両盤際より白色、青灰色および茶褐色を呈する石英や、氷長石および緑泥石ースメクタイト混合層鉱物が顕著に累皮縞状構造を示す。金銀鉱物はE-II, L-I, III, IVおよびVで認められる。L-III期では、多量の金銀鉱物が緑泥石ースメクタイト混合層鉱物に密接に伴って晶出し、氷長石と交互にリズミカルに沈殿していることが特徴である。

後期脈 L-I, III および VII における氷長石の K-Ar 年代測定を行った。測定結果は、 1.2 ± 0.7 Ma (L-I), 1.19 ± 0.09 Ma (L-III-c) および 0.91 ± 0.19 , 0.81 ± 0.17 Ma (L-VII) であり、第四紀の非常に若い形成年代を示す。

金銀鉱物の晶出は主に後期脈で認められ、それらは主にエレクトラム、アーカンサイトーアグイラ鉱、ポリバス鉱、ピース鉱、濃紅銀鉱-淡銀系鉱物等である。代表的な金銀鉱物の化学組成は、エレクトラム：41~63 atomic Ag %, アーカンサイトーアグイラ鉱：4.9~42.0 AgSe mol % である。

全鉱脈を通して普遍的に産出する石英は、極めて多様な成長組織を示す。特に3号ヒでは、櫛歯状組織、瑤炎状組織、微晶質組織、樹枝状組織、繊維状組織、コロフォーム状組織および球果状組織など多彩である。主要金銀鉱化ステージ L-III 期では、微晶質石英は金銀鉱物と共生しており、櫛歯状石英と交互に沈殿している。

石英中の流体包有物は、その産状から7つのタイプに区分できる。それらのうち、タイプ A, B および C は、従来より定義されている初生包有物に相当する。タイプ A は櫛歯状石英の擬樹枝状組織に多量に伴われ、石英の透明部に単独に分布するもの(タイプ A-1)、および石英の錘面部

に斜向して不規則な形状をなして分布するもの(タイプA-2)に区分される。タイプA-1には、気相に富む流体包有物と液相に富む流体包有物が混在しており、鉱床形成時に鉱液は沸騰し、液相および気相からなる二相流体が存在したことが推定される。このような流体包有物は、多くのステージの櫛歯状石英中で観察される。特に後期脈主要金鉱化ステージL-III期では、沸騰現象を示す櫛歯状石英がリズミカルに微晶質石英と交互に沈殿している。タイプBは後期脈L-VI-c期でのみ観察され、櫛歯状石英の細かい結晶成長縞に沿って分布する。この場合、比較的気/液比が一定であり、明瞭な沸騰現象の産状は認められない。

加熱冷却顕微鏡を用いて、初生流体包有物の均質化温度を測定し、石英の形成温度を推定した。前期脈、後期脈ともに概して250~260℃前後を示すが、双方の脈の末期ステージではそれぞれ220℃、196~238℃まで低下する。すなわち、鉱脈形成過程では2つの異なる熱水活動のサイクルが認められる。金銀鉱物が多量に沈殿した後期脈III期では約250℃を示し、金銀鉱化作用は約250℃付近で生じたと考えられる。

流体包有物のNaCl相当塩濃度は、全体として前期脈、後期脈ともに約3wt%以下の低い値を表わす。2号ヒ0mL前期脈においてはおよそ2~3wt%を示す。一方、後期脈では前期脈に比べて、0.5~3.5wt%のやや広い組成範囲を示す。

Haas (1971), Fournier (1985)らによる沸騰熱水の圧力・深度計算法を応用すると、静水圧下での鉱床の生成圧力および深度は、生成温度約250℃ではそれぞれ約68barおよび約850mと推定される。また検討試料を採取した光竜鉱山3号ヒ30mLは、現在の地表から約270m下部にあり、第四紀以降削剥量が400~600mあった(第四紀地殻変動研究グループ、1968)とすれば、生成深度は約670~870mになり、上記推定結果と矛盾しない。

鉱液が約250℃の中性低塩濃度熱水であったことを考慮すると、金は H_2S が優勢硫黄種のもとで硫化物錯体($\text{Au}(\text{HS})_2$)として運搬されたと推定される。さらに熱水の浅所沸騰に伴う CO_2 や H_2S の脱ガス作用によって、金の硫化物錯体の分解が生じ、金は沈殿したと考えられる。光竜鉱山では、熱水の沸騰が繰り返して生じたことが引き金となって、金の沈殿がリズミカルに起こっていたことがフィールドの産状から示唆される。

二つの後期脈ステージにおける水素・酸素同位体比は、それぞれ δD : -84.6~-87.1‰, $\delta^{18}\text{O}$: -7.8~-6.8‰(L-I-a), δD : -78~-76.6‰, $\delta^{18}\text{O}$: -8.2~-7.2‰(L-VI-c)である。鉱床付近の天水の δD および $\delta^{18}\text{O}$ がそれぞれ: -76~-65‰, -11.2~-10.2‰であることを考慮すると、鉱液は天水起源であり、高い水/岩石比の割合で熱水と岩石が反応していたことを示唆する。また鉱液の酸素同位体比は、前期ステージでは-5‰前後であるが、後期では約2‰ほど低下し、概して-6‰~-8‰前後の値を示す。これらの結果を総合すると、前期ステージと後期ステージの鉱脈は、明らかに異なる熱水活動によって形成されたと考えられる。

以上得られたデータおよび考察をもとにすると、本研究では以下の結論が得られる。光竜金銀鉱床の形成には主に二種類の天水起源の熱水系が関与し、前期脈を形成した熱水は基盤岩中を通過してきた可能性が高い。また後期脈形成時には新たな裂隙系が形成され、低塩濃度熱水の寄与が高まったと推定される。その後、金鉱化作用は、後期の比較的熱水活動が盛んな時期にもたらされ、深度850m付近でのリズミカルな沸騰により $\text{Au}(\text{HS})_2$ が分解された結果、約250℃の中性熱水から金が多量に沈殿したと考えられる。

本研究の光竜鉱山や菱刈鉱山で代表される日本の浅熱水性金銀鉱床では、熱水の浅所沸騰が金の主要な沈殿要因であると解釈される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 石 原 舜 三

副 査 助 教 授 松 枝 大 治

副 査 助 教 授 菊 地 武

学 位 論 文 題 名

Genesis of gold and silver mineralization at the Koryu mine, southwestern Hokkaido, Japan

(西南北海道光竜鉱山における浅熱水性金銀鉱化作用の成因論的研究)

近年、世界的に浅熱水性金銀鉱床の成因論的研究が盛んに行われており、新たな金銀鉱床の発見・開発に寄与している。本研究では、光竜鉱山の浅熱水性含金銀石英脈における、鉱石・脈石鉱物の成長組織と化学組成、流体包有物および安定同位体比の検討を行い、金銀鉱床形成に関与した熱水の特長、挙動、起源並びに金銀の沈殿メカニズムを明らかにすることを研究目的としている。

光竜鉱山は西南北海道支笏湖北方に位置し、新第三紀中新世の漁川層黒色泥岩中に胚胎する浅熱水性含金銀石英脈型鉱床である。鉱脈は1号ヒから8号ヒまで知られており、いずれも東西系の裂罅中に脈状に胚胎する。傾斜は概して70~80° Nで、脈幅は非常に膨縮に富み、20cmから2mまで変化する。脈内氷長石のK-Ar法年代測定より、鉱床形成年代は1.2~0.8Maと推定される。

脈内では顕著な破碎構造および切り合い関係が認められ、鉱化ステージを前期脈：E-I, II, IIIおよび後期脈：L-I, II, III, IV, V, VI, VIIに区分出来る。前期脈では、透明~白色を呈する石英、ヨハンゼナイト及び炭酸塩鉱物等の晶出が見られる。後期脈では多様な成長組織を示す石英や、氷長石および金銀鉱物を伴う緑泥石-ス멕タイト混合層鉱物が顕著に累皮縞状構造を示す。エレクトラム(41~63 atomic Ag %)を始めとする金銀鉱物はE-II, L-I, III, IVおよびVで認められる。

石英中の流体包有物には、気相に富むものと液相に富むものが混在しており、鉱床形成時に鉱液は沸騰し、液相および気相からなる二相流体が存在したことが推定される。このような流体包有物は、多くのステージの櫛歯状石英中で観察され、特に後期脈主要金銀化ステージL-III期では、沸騰現象を示す櫛歯状石英が金銀鉱物とリズミカルに交互に沈殿している。

加熱冷却顕微鏡を用いて、初生流体包有物の均質化温度を測定し、石英の形成温度を推定した。前期脈、後期脈ともに概して250~260℃前後を示すが、双方の脈の末期ステージではそれぞれ220℃, 196~238℃まで低下する。後期脈III期では金銀鉱化作用は約250℃付近で生じたと考えられる。

流体包有物のNaCl相当塩濃度は、全体として前期脈、後期脈ともに約3wt%以下の低い値を示す。2号ヒ0mL前期脈においてはおよそ2~3wt%、後期脈では前期脈に比べて、0.5~3.5wt%のやや広い組成範囲を示す。

静水圧下での鉱床の生成圧力(深度)は、生成温度約250℃ではそれぞれ約68bar(約850m)と推定される。また試料を採取した光竜鉱山3号と30mLは、現在の地表から約270m下部にあり、第四紀以降削剥量が400～600mあったとすれば、生成深度は約670～870mになり、上記推定結果と矛盾しない。

鉱液が約250℃の中性低塩濃度熱水であったことを考慮すると、金は H_2S が優勢硫黄種のもとで硫化物錯体 $Au(HS)_2^-$ として運搬されたと推定される。さらに熱水の浅所沸騰に伴う CO_2 や H_2S の脱ガス作用によって、金の硫化物錯体の分解が生じ、金は沈殿したと考えられる。光竜鉱山では、熱水の沸騰が繰り返し生じたことが引き金となって、金の沈殿がリズミカルに起こっていたことが考えられる。

鉱液の推定 δD および $\delta^{18}O$ は、それぞれ δD : $-84.6 \sim -76.6\%$, $\delta^{18}O$: $-8.2 \sim -6.8\%$ である。鉱床付近の天水の δD および $\delta^{18}O$ がそれぞれ: $-76 \sim -65\%$, $-11.2 \sim -10.2\%$ であることを考慮すると、鉱液は天水起源であり、高い水/岩石比の割合で熱水と岩石が反応していたことを示唆する。また鉱液の $\delta^{18}O$ は、前期および後期ステージではそれぞれ約 -5% 、 $-6\% \sim -8\%$ である。すなわち後期脈は、前期脈とは明らかに異なる熱水活動によって形成されたと考えられる。

本研究の特色は、光竜金銀鉱脈の形成を大きくは2期、細かくは10期に分けて詳細に観察した点にあり、前期脈の熱水は基盤岩中を通過し、後期の熱水の比較的活動が盛んな時期に金鉱化作用が生じ、深度850m付近でのリズミカルな沸騰により $Au(HS)_2^-$ 錯体が分解された結果、約250℃の中性熱水から金が多量に沈殿したと考えられる。

本研究は浅熱水性金銀鉱床の成因解明の研究手法に新しいページを拓くもので、今後他地域、特に環太平洋地域において大いに参照されるであろう。よって著者は北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格ある者と認める。