

高硫化系・低硫化系浅熱水性金鉱床

渡 辺 寧*

High and low sulfidation epithermal gold deposits

Yasushi Watanabe*

Lindgren (1933) は浅熱水性 (epithermal) という言葉を、1,500m以浅で50~200℃の温度範囲の熱水により形成された鉱床に用いた。現在でも浅熱水性鉱床の概念はLindgrenの定義から本質的には変わっておらず、地表浅部 (~2 km) で、約300℃以下の熱水により形成される鉱床に使われている (Hedenquist et al. 1996)。1970年代後半に起こった国際的な金価格の高騰は、金鉱床の探査を促進し、環太平洋地域における大規模・高品位浅熱水性金鉱床の発見へと結びついた。これらの鉱床に関する知識が蓄積されるにつれて、浅熱水性金鉱床は2つの主要な型に分類できることが明らかにされた (Heald et al. 1987)。1つは明ばん石等の酸性変質鉱物と硫砒銅鉱の産出で特徴づけられる酸性硫酸塩 (acid-sulfate) 型であり、もう1つは水長石・セリサイト等の中性の熱水から沈澱する変質鉱物の産出で特徴づけられる水長石・セリサイト (adularia-sericite) 型である (Heald et al. 1987)。Hedenquist (1987) は、前者の熱水系にはSO₂、後者にはH₂Sが卓越することに注目し、硫黄の相対的酸化還元状態に基づき、前者を高

硫化系 (high sulfidation)、後者を低硫化系 (low sulfidation) と命名した。

高硫化系と低硫化系鉱床の特徴・代表例を第1表に示す。またそれぞれの型に伴われる鉱物を第2表に示す。この2つの型の鉱床は、明瞭に異なる化学組成を持つ熱水により形成される。しかしながら、これら2つの型の鉱床は端成分であり、実際には中間的な鉱物組み合わせを持つものも数多く存在する。

高硫化熱水系では、地表下に貫入したマグマより分離した蒸気-熱水系が、約400℃以下で起こるSO₂の自己酸化還元反応およびHCl・H₂SO₄の分離により酸性熱水を形成する (Arribas 1995)。これらの反応は温度の低下とともに促進するため、酸性度は温度が下がるにつれて強くなる (第1図)。従ってこのような熱水と反応した母岩は、下部から上部にかけてイライト変質帯、カオリナイト変質帯、明ばん石変質帯、溶脱珪化岩を形成する (White 1991)。溶脱珪化岩からカオリナイト変質帯にいたるゾーニングは熱水系の中心部から縁辺部にかけて水平的にも認められる。これらの酸性変質に引き続き、より

	高硫化系	低硫化系
母 岩	酸性~中性の火山岩類, および火山岩の下位のあらゆるタイプの基盤岩類	酸性~中性の火山岩類, および火山岩の下位のあらゆるタイプの基盤岩類
鉱体の位置の規制要因	主要な断層または貫入岩の位置	あらゆるタイプの断層や剪断帯。特に火山中心に近接しているもの
形成深度	ほとんどが 500m ~ 2,000m?	ほとんどが 1,000m 以浅
形成温度	100℃ ~ 320℃	100℃ ~ 320℃ (主として 150℃ ~ 250℃)
鉱液の性質	ほとんどが低塩濃度 (一部高塩濃度)。天水と混合したマグマ水からなる。pHは酸性。マグマ起源のHClとSO ₂ の自己酸化還元反応による。鉱液は天水による希釈、母岩との反応により中性化。酸化的、硫黄量多い。ベースメタル量多い (Cu)。	低塩濃度。天水主体であるが、マグマ水との混合の可能性あり。中性に近いpH。沸騰によりアルカリ性になる。分離したガスは酸化され酸性流体を形成。選元的、硫黄量低い。ベースメタル量少ない (Pb, Zn)。
変 質	周辺部は広域的なプロピライト変質。深成鉱床はパイロフィライト-イライト変質を伴う。浅成鉱床は塊状シリカのコアを持ち、みょうばん石やカオリナイトが取り巻く。さらに外側にはスメクタイト変質が広がる。地表付近の鉱床は広大な粘土化変質を伴う。	周辺部は広域的なプロピライト変質。鉱脈の近傍および脈石鉱物としてイライト、水長石、方解石が認められる。温度の低下とともに粘土化変質が顕著になる。沸騰により生じたガスは酸化され酸性変質帯を上部に形成することがある。
鉱化作用の特徴	鉱化作用は鉱染または交代より特徴づけられ、鉱脈も副次的に伴われる。鉱化作用は酸性変質帯を伴い、黄鉄鉱に富む。	鉱化作用は空隙充填により特徴づけられ、特に鉱脈を伴う。鉱脈には縞状構造が顕著。複数のステージの角礫化作用を伴う。地表付近ではストックワーク状又は鉱染状鉱体を伴う。
特徴的組織	溶脱珪化組織、塊状緻密珪化組織、熱水角礫組織	層状・コロフォーム状構造、細粒歯状組織、シリカシンター、シリカに置換された葉片状方解石、熱水角礫組織
代 表 例	Rodalquilar (スペイン), El Indio (チリ), Summitville, Goldfield, Paradise Peak (米国), 春日・赤石・岩戸 (日本)	Round Mountain (米国), McLaughlin (米国), Kelian (インドネシア), 菱刈・佐渡・鴻之舞 (日本)

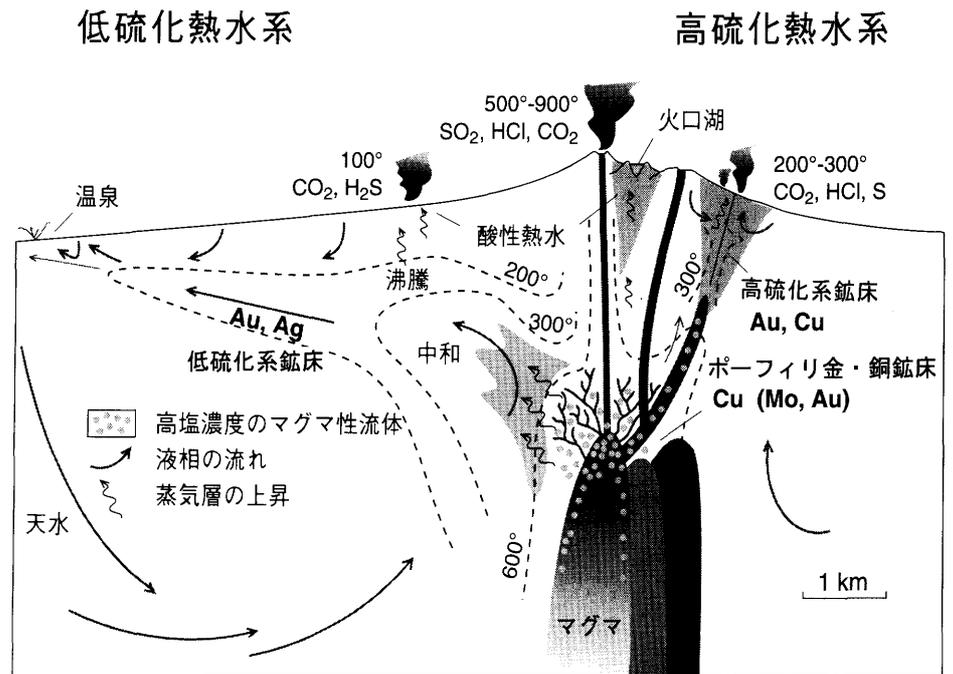
第1表. 浅熱水性金鉱床の基本的な特徴 (White and Hedenquist 1990を改変)。

1997年1月31日受付。1997年3月28日受理。

*東京支部, 地質調査所鉱物資源部 〒305 つくば市東1-1-3。

Mineral resources department, Geological Survey of Japan.

高硫化系	低硫化系
普遍的に認められる鉱物	
黄鉄鉱 硫砒銅鉱-ルソン銅鉱 石英	黄鉄鉱 石英
一般的な鉱物	
自然金 テルル化物 銅藍 砒四面銅鉱 四面銅鉱 黄銅鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 重晶石 明ばん石 カオリナイト パイロフィライト ダイアスポア イライト	エレクトラム 自然金 黄銅鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 四面銅鉱 硫砒鉄鉱 テルル化物 濃紅銀鉱 カルセドニー 氷長石 イライト 方解石 スメクタイト
稀産鉱物	
エレクトラム セレン化物 濃紅銀鉱 硫砒鉄鉱 辰砂 輝安鉱 カルセドニー スメクタイト	セレン化物 輝安鉱 辰砂 硫砒銅鉱-ルソン銅鉱 砒四面銅鉱 銅藍 重晶石 カオリナイト
後の重複以外には存在しない鉱物	
方解石 氷長石	パイロフィライト ダイアスポア 明ばん石



第1図. 火山底貫入岩と成層火山, および斑岩銅鉱床, 高硫化・低硫化浅熱水性金鉱床の生成環境を示す模式断面図 (Hedenquist et al. 1996).

第2表. 浅熱水性金鉱床中の鉱石鉱物 (明朝体) と脈石鉱物 (イタリック) の出現率 (Hedenquist et al. 1996).

文 献

中性に近く還元的な熱水から金が沈澱する (White 1991).

一方, 低硫化系鉱床は, 還元的で中性のpHの熱水により形成される。このような熱水はマグマから分離した蒸気-熱水系が周辺の岩石・天水と十分反応することにより形成される (第1図)。この系においては, 熱水の沸騰が金の沈澱に重要な役割を果たす。沸騰により, CO₂を主とするガスは蒸気相に分配され, 残った液相のpHが増大し, 鉱物-流体安定関係がイライトから氷長石の領域へ向かって移行する。またpHの増大は, 方解石の沈澱を起こす。H₂Sが失われると, またそれより程度はわずかであるがpHの変化によっても, 金の硫化水素錯体の溶解度が急激に減少し, それにつれて金が沈澱する (Hedenquist and Henley 1985)。ガスとして上方に移動したH₂Sは地表付近で酸化され, 硫酸酸性水を形成する。この硫酸酸性水は, カオリナイト, 明ばん石, 自然硫黄, クリストバライトなどで特徴づけられる粘土化変質帯を地表付近に形成する (第1図)。

高硫化系鉱床はポーフイリ金・銅鉱床と深い時空関係にあり (Sillitoe 1991), フィリピンレパント高硫化系鉱床はファーサウスイースト・ポーフイリ銅鉱床の上部にほぼ同時に形成されたことが明らかにされている (Arribas et al. 1995)。一方, 低硫化系鉱床は, 岩石-熱水のより長い反応経路を必要とするため, 貫入岩からやや離れた側方に形成されると考えられている (Hedenquist et al. 1996; Sillitoe 1991) (第1図)。

Arribas AJr (1995) Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid. Mineral Assoc Canada Short Course Series 23 : 419-454.

Arribas AJr, Hedenquist JW, Itaya T, Okada T, Conception RA, Garcia JSJr. (1995) Contemporaneous formation of adjacent porphyry and epithermal Cu-Au deposits over 300 ka in northern Luzon, Philippines. Geol, 23 : 337-340.

Heald P, Foley NK, Hayaba DO (1987) Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite type. Econ Geol, 82 : 1-26.

Hedenquist JW (1987) Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin. In: Horn MK (ed) Transactions of the Fourth Circum Pacific Conference on Energy and Mineral Resources, Singapore. Am Assoc Pet Geol, 513-524.

Hedenquist JW, Henley RH (1985) Hydrothermal eruptions in the Waiotapu geothermal system, New Zealand: Their origin, associated breccias and relation to precious metal mineralization. Econ Geol, 80 : 1640-1668.

Hedenquist JW, Izawa E, Arribas AJr, White N (1996) Epithermal gold deposits: styles, characteristics, and exploration. Soc Resource Geol, Spec Pub 1, Tokyo. 1p.

Lindgren W (1933) Mineral Deposits. Fourth Edition, McGraw-Hill, New York, 930p.

Sillitoe RH (1991) Gold metallogeny of Chile-an introduction. Econ Geol, 86 : 1187-1205.

White NC (1991) High sulfidation epithermal gold deposits: Characteristics and a model for their origin. Geol Surv Japan Rep, 277 : 9-20.

White NC, Hedenquist JW (1990) Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guideline for exploration. Jour Geochem Explor, 36 : 445-474.