

# 秋田・青森地域の黒鉱鉱床における 金銀鉱化作用

2022年

6519103

鈴木 照 洋

目次	頁
I 研究背景及び研究目的	1~5
II 手法	5~6
1 文献調査	
2 フィールド調査	
3 鉱石の記載	
4 化学分析	
III 研究結果	7~62
1 黒鉱鉱床の分類と特徴	
2 研究に用いた試料	
3 鉱石鉱物の形態分類	
4 鉱石の産状	
4-1 珪鉱の産状	
4-2 黄鉱の産状	
4-3 半黒鉱の産状	
4-4 黒鉱の産状	
4-5 重晶石鉱の産状	
4-6 鉄石英の産状	
4-7 脈状組織を有する鉱石	
5 黒鉱鉱床に産する鉱石の形成過程及び鉱物組み合わせによる分類	
6 鉱物の化学分析結果	
6-1 エレクトラムの分析結果	
6-2 四面銅鉱の分析結果	
6-3 閃亜鉛鉱の分析結果	
IV 考察	63-79
1 鉱石の構造による分類	
2 熱水の流路	
3 鉱石種多様化の要因	
4 黒鉱鉱床の高硫化，中硫化	
5 四面銅鉱類の組成	
6 黒鉱鉱化作用をもたらす熱水の変化	
7 高硫化的黒鉱鉱床における鉱体の形成過程と各種鉱石の形成	
8 中硫化的黒鉱鉱床における鉱体の形成過程と各種鉱石の形成	
V 結論	80~81
VI 謝辞	82
VII 引用文献	82-84

# Gold and Silver mineralization of the Kuroko ore deposits in the Akita and Aomori area

Teruhiro Suzuki

## Abstract

In the Neogene Northeast Japan Arc, there are many Kuroko deposits formed in the middle Miocene. In particular, large-scale Kuroko deposits with an ore reserve of more than 10 million tons have been explored and studied for their economic potential, including the Uchinoutai deposit and the Matumine deposit. These deposits have been reported to yield yellow ore and black ore, that contain minerals such as bornite, Cu-S mineral, and enargite, which represent high-sulfidation environments. It is also known that these ores are associated with concentrations of gold and silver minerals such as stromeyerite, mckinstryite and electrum. On the other hand, the small-scale Kuroko deposits, which have an ore reserve of less than one million tons, produced gold and silver rich ores but ore production were limited. Many hydrothermal deposits have been discovered in the Okinawa Trough and the Izu-Bonin Arc, and the presence of gold and silver rich ores is also known in these deposits. In the Okinawa Trough, there are many presenting submarine hydrothermal deposits containing pyrrhotite and cubanite, which are estimated to have formed at low sulfur fugacity compared to the Kuroko deposits in the Hokuroku area.

This study, we investigated a total of 27 deposits in the Akita-Aomori area, where Kuroko deposits of various types are deusely distributed, to disucus the gold and silver mineralization of the Kuroko deposits. Mineral description, microstructure description and mineral chemical analysis of the ores in each deposit were carried out. Based on the results, I the conducted research to elucidate the causes of the formation of gold and silver rich ores and classify the deposits, and to clarify the distribution of each type of Kuroko deposit. All the minerals in the Kuroko deposit were classified as skeletal minerals and pore-filling minerals. Pyrite, sphalerite and barite are often crystallized as skeletal minerals. Gold and silver minerals, bornite and enargite all occur as pore filling minerals. Chalcopyrite, tetrahedrite group minerals, galena, and quartz occur as skeletal and pore-filling minerals.

The Kuroko deposit, 16 out of 17 deposits with an ore reserve of over 1 million tons,

produced minerals such as bornite and Cu-S minerals and enargite under high sulfidation conditions. These minerals were confirmed in all the ore types such as siliceous ore, yellow ore, semi-black ore, black ore, barite ore, etc. in the studied Kuroko deposit. Among the high-sulfidation ores, bornite ores and Cu-S mineral-rich black ores are remarkably rich in gold and silver minerals, and the representative gold and silver minerals are stromeyerite, mckinstryite and electrum. Tetrahedrite (Ag), miscellaneous polybasite, and electrum-containing gold and silver rich ores without bornite and Cu-S minerals were also observed. On the other hand, there were no ores with significant concentrations of gold and silver minerals other than those containing enargite or black ore.

Neither bornite nor enargite was found in the small-scale deposits. The c from these deposits were all ore with concentrations of polybasite, tetrahedrite (Ag) and electrum. The absence bornite and pyrrhotite suggests that they formed in an intermediate sulfidation environment. The tetrahedrite group minerals in the high sulfidation ores were tetrahedrite and tennantite. The tetrahedrite group minerals in the high-sulfidation ores are tetrahedrite and tennantite, both of which are poor in silver and rarely contain more than one atomic %. Most of the minerals are tennantite, and tetrahedrite is rare. On the other hand, tetrahedrite in intermediate sulfidation ores is rich in silver, and the silver content of tetrahedrite increases in proportion to the increase in Sb content. In addition, the ores rich in tetrahedrite (Ag) tend to be rich in electrum. The gold content of the electrum was 70-80 atomic % in high-sulfidation ores, while it was less than 60 atomic % in intermediate sulfidation ores. The gold content of the intermediate sulfide ores was less than 60 atomic % in the intermediate sulfide ores, and less than 50 atomic % in the ores coexisting with miscellaneous silver ores and pyrite-poor ores. The concentration of FeS in sphalerite as a skeletal mineral is less than 0.01-0.60 mol. % FeS for intermediate sulfidation ores and 0.01-0.20 mol. % FeS for high sulfidation ores. The FeS concentrations of pore filling sphalerite are 0.5-6.00 mol. % for intermediate sulfide ores and 0.1-0.60 mol. % for high sulfide ores. The range of FeS concentration in intermediate-sulfidation ores is larger than that in high-sulfidation ores.

From the above observations, the Kuroko deposit can be classified into two types : ore formed in a high sulfidation environment and the other formed in an intermediate sulfidation environment. The large-scale Kuroko deposits ore, are a high to intermediate sulfidation type, while the small-scale deposit are intermediate sulfidation type. Gold and

silver mineralization in the Kuroko deposit is caused by the circulation of hydrothermal fluids through a porous ore body consisting mainly of skeletal minerals formed on the seafloor.

In summary high-sulfidation gold and silver rich ores are contain of stromeyerite, mckinstryite, and gold-rich electrum, with silver-poor tetrahedrite group minerals, bornite Cu-S minerals and galena. Such ores were produced in Fukazawa deposit, furutobe deposit, uchinotai deposit. Intermediate-sulfidation gold and silver rich ores are contain of tetrahedrite (Ag), polybasite, and silver-rich electrum, with chalcopyrite and galena. Such ores were produced in Mizusawa deposit, Tanosawa deposit, Shimotai deposit, Kowariswa deposit and Uchinotai deposit.

All of the gold and silver rich ores are rich in voids until the end of mineralization, indicating that they formed in the upper part of the deposit where hydrothermal fluids cooled rapidly.

## I 研究史及び研究背景

### 黒鉱鉱床

黒鉱鉱床はグリーンタフ地域に広く分布する、火山性塊状硫化物鉱床であり銅、鉛、亜鉛、金、銀、バリウムなどの資源として採掘された。また、副産物としてガリウムやビスマス、アンチモン、硫酸なども回収された。鉱床の規模は総鉱石量1000t程度の極小規模なものから、3000万tを超える大規模鉱床が存在する。黒鉱鉱床の開発は1800年代から始まり、花岡鉱山堂屋敷鉱床や小坂鉱山元山鉱床などの露頭鉱床の開発や既知の鉱床周辺に分布する衛星鉱体の探査と開発が行われた。戦後になると地表の変質や鉱床胚胎層準の追跡、ボーリングなどを用いた潜頭鉱床の探査が行われ、1959年の小坂鉱山内の岱鉱床の発見を皮切りに、松峰鉱床や釈迦内鉱床群、松木鉱床群が発見された。しかし、金属価格の下落や鉱量枯渇によって1995年に餌釣鉱床、温川鉱床、松峰鉱床が閉山し全ての黒鉱鉱床が閉山した。

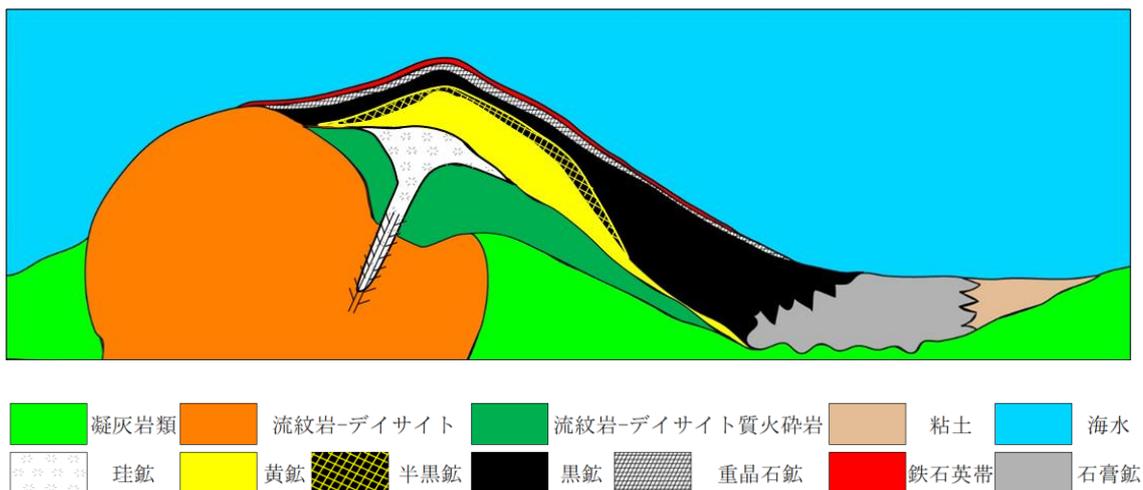


図1 黒鉱鉱床の模式図 (佐藤, 1974 を一部改変)

鉱床下盤には黒鉱期の凝灰岩類が広く分布し、流紋岩～デイサイト質のドームと同質火砕岩中に珪鉱が発達している。この珪鉱や火砕岩類を被覆するように、黄鉱、黒鉱、重晶石鉱、鉄石英帯が層状に分布する。また黒鉱の下部ではしばしば半黒鉱と呼ばれる黒鉱と黄鉱の中間質的な鉱石を産する場合がある(橋本ほか, 1962)。

表1 黒鉱鉱床中の鉱物の分布

	石英	黄鉄鉱	黄銅鉱	斑銅鉱	硫砒銅鉱	輝銀銅鉱	輝銅鉱類	閃亜鉛鉱	方鉛鉱	重晶石	エレクトラム	雑銀鉱	(銀)四面銅鉱
珪鉱	■												
黄鉄鉱		■											
半黒鉄鉱			■										
黒鉄鉱				■									
重晶石										■			
鉄石英帯	■												

■ 主成分鉱物    ▒ 副成分鉱物    □ 微量成分鉱物

黒鉄鉱床では鉱物種の量比が垂直的に変化し、最下部の珪鉱では石英、黄鉄鉱、黄銅鉱が多くみられ、閃亜鉛鉱や方鉛鉱も少量含まれる。珪鉱上位の黄鉄鉱は黄鉄鉱及び黄銅鉱を主とする。半黒鉄鉱は黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、黄銅鉱を主とし少量の方鉛鉱や重晶石を伴う。黒鉄鉱は閃亜鉛鉱、方鉛鉱、重晶石を主とし四面銅鉱や黄銅鉱を伴う。重晶石鉱は、重晶石を主とし、少量の方鉛鉱や閃亜鉛鉱を伴う。鉄石英帯は黒鉄鉱床の最上部を被覆するように産し赤鉄鉱、石英を主とする(松隈, 1966)。

## 研究史

黒鉄鉱床に関しては各鉄床の地質、鉄床についての記載、鉄床の成因、鉄床周辺の変質、稀産鉄物の記載及び鉄化作用についての研究がある。

黒鉄鉱床の地質、鉄床についての記載研究は中島(1895)など 1800 年代末期頃から多く成されている。また、黒鉄鉱床の発見が相次いだ 1960 年代以降は鉄床の形成条件や、鉄化作用についての研究が多くなされた。

成因論については後生説や同生説があった。黒鉄の成因において初めに提唱されたのは後生説である。後生説は透水性の高い凝灰岩中を上昇してきた熱水が不透水性の岩層によってトラップされ、熱水が滞留することによって凝灰岩が鉄石鉄物に交代作用によって塊状の鉄床が形成したと考えるものである(加藤, 1915)。一方、同生説は熱水が海底に噴出し、鉄物が海底に沈殿、堆積することで塊状の鉄体が形成したとする(大橋, 1919)。

以降、黒鉄鉄床の探査や開発が進み、渡辺(1959)、石川(1964)、松隈(1965)などによる鉄石の産状(級化層理や葉理、微化石の存在)や鉄床周辺の地質についての研究によって、同生説が黒鉄鉄床の成因として認められた。

そして黒鉄鉄床は、背弧海盆における珪長質火成活動に伴い形成した熱水が海底に噴出することで多量の鉄石鉄物が沈殿、堆積し形成したと結論付けられた。形成年代についての研究もなされ、北鹿地域の黒鉄鉄床の形成年代は 15～12Ma 頃と解明された(Sugaki et al., 1986; Terakado, 2001)。

黒鉱鉱床における鉱体と鉱石の形成過程の研究として、Eldridge et al. (1983)がある。これによれば、初めに熱水噴出口から黄鉄鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、四面銅鉱が海底面上に堆積し塊状鉱体を形成する。形成した鉱体に被覆されることによって熱水の温度が保たれ、鉱床下部の温度が上昇し、鉱体内の方鉛鉱や閃亜鉛鉱、四面銅鉱が黄銅鉱や斑銅鉱に交代することで黄鉱鉱体が形成する。また、交代作用によって熱水中に溶けだした鉛や亜鉛などが海底面に噴出することで、方鉛鉱や閃亜鉛鉱が多量に晶出し黒鉱鉱体を形成する。さらに鉱床下盤の母岩と熱水が反応し熱水の流路近傍では黄銅鉱や黄鉄鉱が鉱染、交代し、遠方では方鉛鉱、閃亜鉛鉱が鉱染、交代する。これによって珪鉱鉱体が形成する。このように、海底面上に形成した鉱体と熱水の反応によって珪鉱、黄鉱、黒鉱の様な鉱石種が形成したとする説である。

鉱物記載に関する研究としては、新鉱物である福地鉱(梶原, 1969)及び古遠部鉱(Sugaki et al., 1981)の発見及び晶出環境についての研究がある。

金銀鉱物の記載及び産状記載についての研究も多くなされており、松隈(1966及び1985)によると、黒鉱鉱床中で金銀が濃集するのは黒鉱質鉱石であり、特に黄銅鉱に富む黒鉱質鉱石にエレクトラムが多く含まれるとしている。また、黒鉱鉱床に多くみられる銀鉱物は雑銀鉱、ピアス鉱、含銀四面銅鉱、輝銀銅鉱、マッキンストリー鉱、自然銀であり、雑銀鉱やピアス鉱、含銀四面銅鉱を含む含金銀鉱石と斑銅鉱や輝銅鉱を顕著に伴い輝銀銅鉱やマッキンストリー鉱を含む含金銀鉱石に大別される。前者のような鉱石は水沢鉱床(中島, 1893)、十和田銀山鉱床(佐藤, 1981)、松峰鉱床材立沢鉱体(松隈, 1984)において産出が確認されている。後者は古遠部鉱床(Sugaki et al., 1981)、七ツ館鉱床、釈迦内、内の岱(松隈, 1984)、餌釣(佐藤, 1995)などにおいて確認されている。このほか、温川鉱山において金銀に富んだ含金珪鉱が産し山田ほか(1987)によって、報告と記載がなされ、広瀬ほか(2015)によって、含金銀鉱石の沈殿プロセスと鉱石の形成メカニズムが解明されている。

## 黒鉱鉱床の分類

黒鉱鉱床は規模や形態、形成環境により分類がなされてきた。

典型的な黒鉱鉱床は、珪鉱、黄鉱、黒鉱、重晶石鉱、鉄石英帯が連続性をもって層状に産し、石膏鉱を付随する。しかし、これらの一部からなる鉱床も多く存在、特に珪鉱や重晶石鉱、石膏鉱を主とする鉱床を、黒鉱式鉱染状鉱床(発盛鉱床等)や黒鉱式重晶石鉱床(尾崎鉱床等)、黒鉱式石膏(吉野鉱床)などとする

例がある。また、珪鉱、黄鉱、黒鉱の連続性が乏しく変質帯中に小鉱体が散在するものを小塊状黒鉱式鉱床とする例がある(木下, 1944)。

鉱床の規模によって、小規模、中規模、大規模などのクラス分けを行っている。多くの場合、100万t以下を小規模、100～1000万t以上を中規模、1000万t以上を大規模とする場合が多い(中嶋, 1989)。

鉱床を形成した熱水の硫黄フラグメンテーションによって、浅熱水性金銀鉱床に用いられる高硫化系、低硫化系の分類をVMS型の鉱床に応用し分類する研究もなされており。鉱石中に斑銅鉱や硫砒銅鉱を含む鉱床を高硫化的VMS、磁硫鉄鉱や硫砒鉄鉱を含む鉱床を低硫化VMSと定義している。日本では大揚鉱床が高硫化的VMSに当たり、北鹿地域の黒鉱は鉱石の産状から一部高硫化的なVMSとしている(Sillitoe et al., 1996)。

## 海底熱水鉱床

近年世界的に海底熱水鉱床の研究が進められており、特に日本近海において発見されている海底熱水鉱床は、黒鉱と同様に背弧海盆の海底火成活動によって形成したものである。伊豆小笠原弧及び沖縄トラフの海底熱水鉱床においては比較的規模が大きい鉱床や金銀に富む鉱石の発見も相次いでいる。(JOGMEC, 2018 など) また沖縄県田名サイトではエレクトラム、濃紅銀鉱、淡紅銀鉱、ピアス鉱、ダイアフォル鉱、角銀鉱などが確認され、閃亜鉛鉱の鉄含有量から低硫化的環境から中硫化的環境において形成したと結論付けている(両角ほか, 2020)。

その他、マヌース背弧海盆における、高硫化的環境で形成した硫砒銅鉱、ルソン銅鉱を主とする海底熱水系の研究がなされ、このような鉱床の形成にはマグマ性の流体が直接的に海底に流入する必要があるとしている。また鉱石の平均品位 Au 11.9 ppm, Te 169 ppm の値が得られている。

## 研究目的

本研究では、特に黒鉱鉱床の多く存在する秋田県周辺地域の黒鉱鉱床に産した鉱石の収集を行い、鉱石の構造、組織の記載、顕微鏡記載と化学分析を行うことで、黒鉱鉱床における詳細な鉱化作用と含金銀鉱石の形成や鉱体内での分布について考察し、黒鉱鉱床における含金銀鉱石の形成モデルを作成することを目的とした。

近年、金属価格は上昇傾向にあり、特に金銀価格の上昇は著しい。黒鉱鉱床における含金銀鉱石の形成条件の解明や、金銀に富む黒鉱鉱床の形成要因の研究は、社会的にも意義が大きいと考えられる。

## II 手法

### 1 文献調査

秋田県周辺地域の黒鉱鉱床に産した鉱石記載及び鉱床について調査を行い、鉱床の形態、産出した鉱石の産状、出鉱品位、鉱床の規模から分類を行う。

### 2 フィールド調査

文献調査及によって分類した黒鉱鉱床のタイプごとに、鉱石を網羅的に収集し、産状記載を行う。特に金銀に富む鉱石や、斑銅鉱に富む鉱石、四面銅鉱に富む鉱石、硫砒銅鉱やルソン銅鉱に富む鉱石など、特殊な鉱物組み合わせの鉱石を多く収集する。

特に、文献などの情報が少ない鉱床の鉱石を収集・観察し、鉱床の産状を明らかにする。

### 3 鉱石の記載

エレクトラム及び銀鉱物の産状記載、鉱石中での晶出順序、及び共生(共沈)鉱物の特定を行い、金銀鉱物の晶出機構を明らかにする。また金銀鉱石の形成と強い関係性をもつと考えられる斑銅鉱質鉱石、四面銅鉱に富む鉱石、硫砒銅鉱及びルソン銅鉱を含む鉱石の産状記載、化学分析を行い黒鉱鉱床における鉱化作用の全体像を解明する。

鉱石の観察結果、各種鉱石の産状及び形成要因から、黒鉱鉱床内部における各種鉱物の分布の模式図を作成する。そして、黒鉱鉱化作用の精密なモデルを作成し、黒鉱鉱床に多種多様な鉱石種が産するかを説明する。

### 4 化学分析

化学分析は、エレクトラムの組成及び四面銅鉱の組成、閃亜鉛鉱の組成をEPMAの定量分析を用いて測定した。EPMAはJEOL社製JXA-8230を使用し、加速電圧15 kV、電流値20 nAで測定を行った。

エレクトラムの測定試料は、鉱物組み合わせや鉱床に偏りがないように選定し、試料に含まれる分析可能なサイズの粒子すべてを分析した。サイズの大きなものは複数点で分析を行い、その平均値を粒子の分析値とした。エレクトラムに関しては、含まれる粒子数に限りがあるため1試料当たり1~20粒子程度を測定した。

四面銅鉱類はCu, Zn, Fe, Ag, As, Sb, Bi, (Te), Hg, Se, Sの含有量を測

定した。分析に使用した鉱石は黒鉱鉱床に産する，金銀鉱物を顕著に含有する鉱石，斑銅鉱や輝銅鉱を含有する鉱石，四面銅鉱及び硫砒銅鉱の濃集した鉱石中の四面銅鉱である。分析試料は研磨薄片と研磨片である。分析点は，測定予定の鉱物粒子が大きい場合，複数点を分析しその平均値を 1 粒子の分析値として，1 鉱石あたり 5～10 粒子程度を測定した。

閃亜鉛鉱は Cu, Zn, Fe, Cd, Mn, S, Se の含有量を測定した。1 試料当たり 10 点前後測定行った。

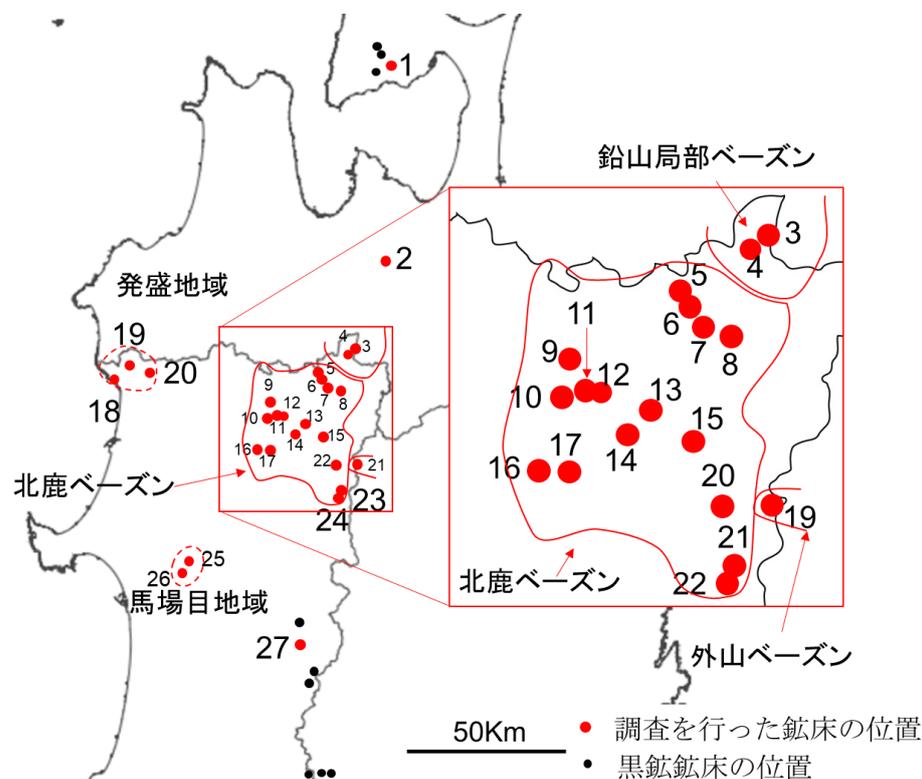
### Ⅲ 研究結果

#### 1 黒鉱鉱床の分類と特徴

文献調査，フィールド調査及び鉱石の産状から黒鉱鉱床の分類を行った．鉱床は斑銅鉱や硫砒銅鉱など高硫化系の特徴を表す鉱物を含有する鉱石の産出や，浅熱水性中硫化型金鉱床に産する輝銀鉱や雑銀鉱，含銀四面銅鉱を含む鉱石の産出，また鉱床に産するエレクトラムの金銀比などから，高硫化的鉱床と中硫化的鉱床に分類を行った．なお，文献調査及び本研究に使用した鉱石中に中硫化的鉱石は認められなかった

そのほか，鉱床の出鉱量や出鉱時の品位による分類も行った．

また今回分類を行った鉱床は，主として秋田県北部地域に位置する鉱床であるが，一部青森県の鉱床も調査対象とした．



1	安部城鉱床	2	上北鉱床	3	十和田，銀山鉱床	4	温川鉱床
5	古遠部鉱床	6	相内鉱床	7	小坂，元山鉱床	8	小坂，内の岱鉱床
9	花岡，堂屋敷鉱床	10	松木鉱床	11	花岡，松峰鉱床	12	釈迦内鉱床群
13	深沢鉱床	14	餌釣鉱床	15	小真木鉱床	16	奥見内鉱床
17	大巻鉱床	18	発盛鉱床	19	久栄鉱床	20	水沢鉱床
21	花輪鉱床群	22	大葛黒鉱鉱床	23	小割沢鉱床	24	鹿角鉱床
25	光沢鉱床	26	馬場目鉱床	27	霜岱鉱床		

図2 調査対象とした鉱山の位置

表 2 研究地域の黒鉱鉱床の特徴

	鉱山名	銅藍	硫砒銅鉱	斑銅鉱	四面銅鉱	雑銀鉱	El Au at. %	総鉱石量 (Mt)	金銀品位(ppm)	
									Au	Ag
1	安部城	○	○	○				1.5-2.7		
2	上北		○	○	○			8	0.35	
3	銀山		○	○	○	○			6.5	516
4	温川		○	○	○		40-80	1	7.5-10	40-150
5	古遠部			○					0.4-1.3	25-51
6	相内			○	○			7	0.5-0.9	35-192
7	元山	○		○				28	0.4-0.7	59-96
8	内の岱			○	○	○	40	25	0.6	70
9	堂屋敷			○				28	0.1-0.2	9-32
10	松木			○	○	○		3	0.2-1.1	20-52
11	松峰	○	○	○	○	○		30	0.1-0.2	21-33
12	釈迦内		○	○	○			25	0.1-0.6	25-128
13	深沢			○	○			5	0.5-0.7	85-120
14	餌釣		○	○	○	○	50	2	1.4-1.7	140-200
15	小真木							10	0.3-0.7	7-10
16	奥見内							≤0.1	44	600
17	大巻							3		
18	発盛					○		0.5		780
19	久栄							≤0.1	10	400-500
20	水沢					○		≤0.1	20	1400-2000
21	花輪			○				5	0.1	179
22	大葛							nd	1.7	164
23	小割沢							≤0.1	4-5	700
24	鹿角							≤0.1	8-11	1000
25	光沢							≤0.1		
26	馬場目							≤0.1		200
27	霜岱							≤0.01	0.3	250

表 2 は、研究地域の黒鉱鉱床中に産する高硫化的環境を特徴づける鉱石鉱物の産出と、雑銀鉱や含銀四面銅鉱の有無、エレクトラムの金銀比、鉱床の規模(総鉱石量)、出鉱時の金銀品位についてまとめたものである。(霜岱鉱床の金銀品位データのみ鉱石単体のデータの数値を使用、他は全て平均値)

黒鉱鉱床は鉱床の規模による分類、黒鉱形成期のリフト帯による分類、形成場による分類(海底成層火山に伴うもの、カルデラに伴うもの)など様々な分類がなされてきた。本研究では鉱床開発時の金銀品位や産出鉱物種による分類を行った。なお、本研究では 1000 万 t 以上の鉱床を大規模鉱床、100 万 t 以上の鉱床を中規模鉱床、100 万 t 未満の鉱床を小規模鉱床とする。

一般的な黒鉱質鉱石の金銀品位は Au 0.1-1ppm, Ag 10-50ppm である。鉱床の規模は数万 t から 3000 万 t と大きな幅がある。

黒鉱鉱床の中で、大規模鉱床である元山鉱床、内の岱鉱床、堂屋敷鉱床、松峰鉱床、釈迦内鉱床は、いずれも金銀品位が Au 0.1-0.7 ppm, Ag 9-128 ppm と低い傾向がある(表 2 より)。

一方、秋田-青森地域の黒鉱鉱床で、出鉱時の金銀品位が高い黒鉱鉱床は、久栄鉱床、水沢鉱床、鹿角鉱床、小割沢鉱床、奥見内鉱床、馬場目鉱床であり、いずれも出鉱時の平均金銀品位が Au 4-20 ppm, Ag 200-2000 ppm と、

一般的な黒鉱鉱床の10倍を超える高い値となっている。これらの鉱床はいずれも総鉱石量100万t以下の小規模鉱床でもある。特に水沢，鹿角，小割沢などは出鉱量が数10万トンの微小鉱床である(表2より)。

中規模鉱床である古遠部-相内鉱床，餌釣鉱床などは，金銀含有量も中間的な値である(表2より)。

上述のように，鉱石中の平均金銀含有量と鉱床の規模には負の相関がみられるといえる。とはいえ，鉱石単位では金銀に富むものが鉱床の規模を問わず発見されている。

文献調査及び試料収集の結果，黒鉱鉱床に産する含金銀鉱石は鉱物組み合わせの観点から2タイプに分類することができる。1つめは古遠部鉱床や小坂鉱山内の岱鉱床，花岡鉱山松峰鉱床など規模の大きな黒鉱鉱床で産した斑銅鉱，Cu-S mineral，Ag-Cu-S mineralを多量に含みエレクトラムを伴う高硫化的含金銀鉱石である。2つめは水沢鉱床や小割沢鉱床，鹿角鉱床で産した含銀安四面銅鉱  $[(\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Fe}, \text{Zn})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}]$ ，雑銀鉱  $[(\text{AgCu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}]$ ，エレクトラムを多量に含む中硫化的鉱石である。

また黒鉱鉱床における鉱石は，含金銀鉱石に限らず高硫化的環境で形成した鉱石と中硫化的環境で形成した鉱石の2種に分類可能である。そして黒鉱鉱床は高硫化的環境で形成した鉱床，中硫化的環境で形成した鉱床，双方を含む複合的鉱床に分類することができる。

## 2 研究に用いた試料

研究地域内に存在する27の黒鉱鉱床を調査し，研究に用いる鉱石のサンプリング及び収集を行った。鉱石の詳細は以下の表にまとめた。

表3 研究に用いた鉱石試料の数

鉱山名	珪鉱	黄鉱	半黒鉱	黒鉱	重晶石鉱	鉄石英	鉱山名	珪鉱	黄鉱	半黒鉱	黒鉱	重晶石鉱	鉄石英
1 安部城	2	3			1		15 小真木鉱床	2					
2 上北		1		1	2		16 奥見内鉱床	2					
3 十和田，銀山鉱床		1		1			17 大巻鉱床	3	1		5	2	3
4 温川鉱床	4			6			18 発盛鉱床	3			1	2	
5 古遠部鉱床		6		5			19 久栄鉱床						
6 相内鉱床	5	6	4	15	2	1	20 水沢鉱床	4	4	5	32	3	
7 小坂，元山鉱床		1		1			21 花輪鉱床群	2	3	5	8	8	
8 小坂，内の岱鉱床	2	2		5			22 大葛黒鉱鉱床	1			2	1	
9 花岡，堂屋敷鉱床		7	1	4	3		23 小割沢鉱床	2		3	23	6	
10 松木鉱床		1		1			24 鹿角鉱床	1			3	3	
11 花岡，松峰鉱床		4		4			25 光沢鉱床	3	4		4	3	
12 釈迦内鉱床群		4	1	7	1		26 馬場目鉱床	4			4	4	
13 深沢鉱床	4	2	5	20	3	2	27 霜岱鉱床	2			15	2	4
14 餌釣鉱床	1	2		6	3		合計	45	54	24	173	49	10

## 3 鉱石鉱物の形態分類

鉱石の観察結果から黒鉱鉱床に産する海底面上で形成した鉱石は，2タイプの鉱物によって構成されることが明らかとなった。

- 1, 海底面上で直接晶出し堆積する鉱物
- 2, これらの鉱物の間隙を充填するように晶出する鉱物

1 の鉱物は鉱石中で自形性に優れ、鉱石の骨格をなすように産することから、骨格鉱物とする。2 の鉱物は多くが半自形～多形で産し、鉱石の骨格に規制され、間隙を充填し晶出することから間隙充填鉱物とする。そして、特に間隙充填鉱物は鉱石種ごとに変化する。

表 4 鉱物の晶出場による分類

鉱石種	骨格鉱物	間隙充填鉱物
黄鉱	黄鉄鉱, 重晶石 (黄銅鉱)	黄銅鉱, 斑銅鉱, 四面銅鉱類, 輝銅鉱類, 閃亜鉛鉱 重晶石, (方鉛鉱, 輝銀銅鉱, 硫砒銅鉱, エレクトラム)
半黒鉱	黄鉄鉱, 閃亜鉛鉱 重晶石	方鉛鉱, 黄銅鉱, 斑銅鉱, 四面銅鉱類, 輝銅鉱類 輝銀銅鉱, 重晶石, (エレクトラム, 硫砒銅鉱, ルソン銅鉱)
黒鉱	閃亜鉛鉱, 重晶石 (方鉛鉱)	方鉛鉱, 黄銅鉱, 斑銅鉱, 四面銅鉱類, 輝銅鉱類, 輝銀銅 鉱, 雑銀鉱, エレクトラム, 重晶石(硫砒銅鉱, ルソン銅鉱)
重晶石鉱	重晶石, (閃亜鉛鉱)	方鉛鉱, 四面銅鉱, 硫砒銅鉱, ルソン銅鉱, 雑銀鉱 (斑銅鉱, 輝銅鉱類)

( )内は稀に産する鉱物

## 4 鉍石の産状

### 4-1 珪鉍の産状

#### 4-1-1 黄鉄鉍及び黄銅鉍を主たる鉍石鉍物とする珪鉍の産状

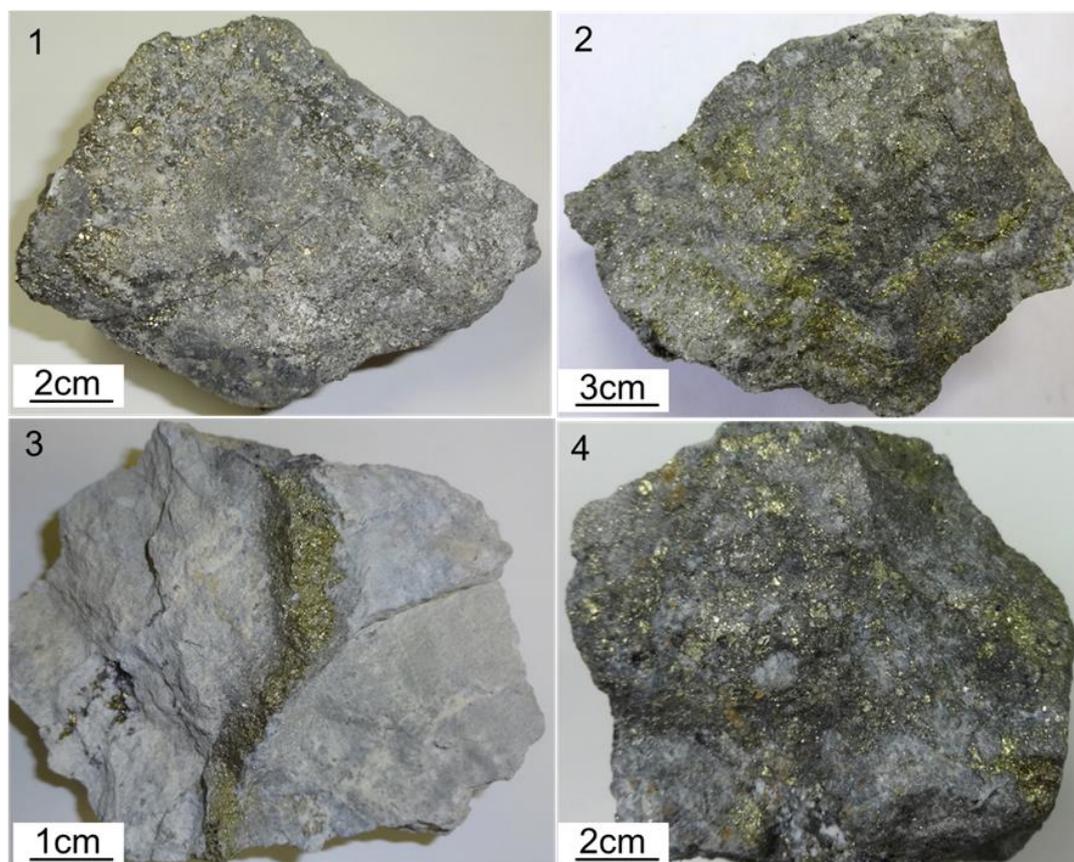


図3 黄鉄鉍や黄銅鉍を主とする珪鉍の産状

図 3-1, 黄鉄鉍を主とする珪鉍, 堤沢鉍床. 図 3-2, 黄鉄鉍, 黄銅鉍を主とする珪鉍, 相内鉍床. 図 3-3, 石英, 黄鉄鉍, 黄銅鉍を主とする珪鉍, 深沢鉍床. 図 3-4, 石英, 黄鉄鉍, 黄銅鉍, 閃亜鉛鉍を主とする珪鉍, 光沢鉍床.

#### 図 3-1, 石英, 黄鉄鉍からなる珪鉍, 堤沢鉍床

黒鉍鉍床の珪鉍帯において最もよく産する珪鉍質鉍石であり, 石英に富み, 細粒な黄鉄鉍を鉍染する. 石英の粒子は細粒であり, 鉍床下盤側で付加型珪化作用によって形成する.

#### 図 3-2, 石英, 黄鉄鉍, 黄銅鉍からなる珪鉍, 相内鉍床

珪化した母岩中に黄鉄鉍及び黄銅鉍が鉍染した鉍石である. 黄銅鉍はレンズ状から不連続な脈状に産し, 周辺部には 1~2mm 程度の石英を伴う. 黄鉄鉍は全体に鉍染するが, スポット状からラグビーボール状の濃集部を作り, 1~2mm 程度の石英を伴う.

#### 図 3-3, 石英, 黄鉄鉍, 黄銅鉍からなる珪鉍, 深沢鉍床

粘土化及び珪化した母岩中を切る幅 1 cm 程度の黄銅鉍脈である. 母岩中に黄

鉄鉱の鉱染はみられるが、黄銅鉱の鉱染はみられず脈外では母岩の空隙中に 1～3mm 程度の自形で産する。

図 3-4, 石英, 黄鉄鉱, 黄銅鉱, 閃亜鉛鉱を含む珪鉱, 光沢鉱床

粘土化及び珪化した母岩に黄鉄鉱, 黄銅鉱, 重晶石及び少量の閃亜鉛鉱が鉱染した鉱石。黄鉄鉱, 黄銅鉱, 閃亜鉛鉱は不明瞭な網目状に鉱染し, 重晶石は幅 1mm 以下の細脈として晶出している。

#### 4-1-2 方鉛鉱及び閃亜鉛鉱を主たる鉱石鉱物とする珪鉱の産状

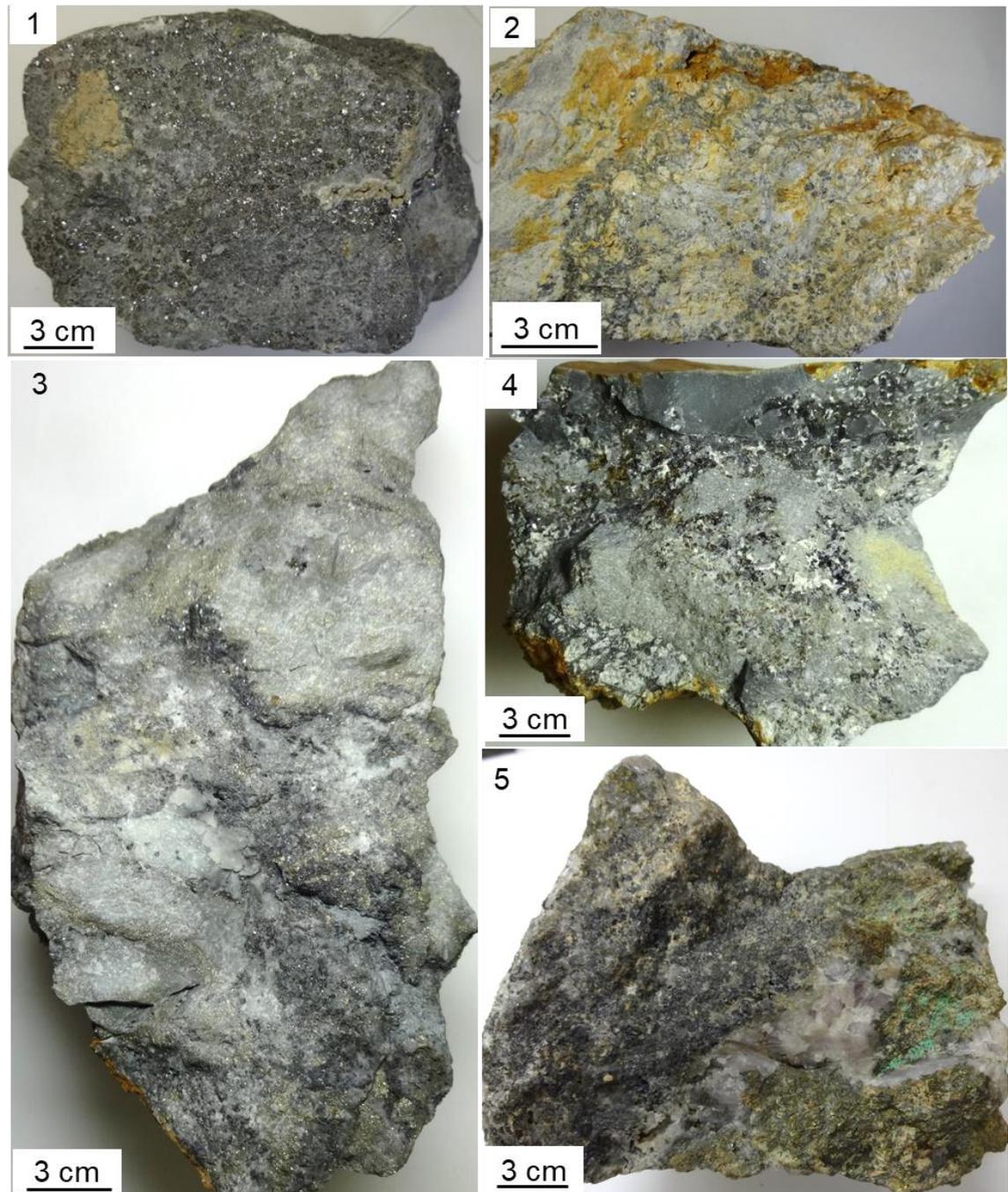


図 4 方鉛鉱及び閃亜鉛鉱を主たる鉱石鉱物とする珪鉱の産状

図 4-1, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱を主とする珪鉱, 水沢鉱床. 図 4-2, 石英, 黄鉄鉱, 黄銅鉱, 閃

亜鉛鉱，方鉛鉱を主とする珪鉱，水沢鉱床．図 4-3，黄鉄鉱，閃亜鉛鉱，方鉛鉱を主とする珪鉱，馬場目鉱床．図 4-4，閃亜鉛鉱，方鉛鉱を主とし，硫砒銅鉱を含む珪鉱，安部城鉱床．図 4-5，黄銅鉱，方鉛鉱，閃亜鉛鉱を主とする珪鉱，温川鉱床．

図 4-1，方鉛鉱，閃亜鉛鉱を主とする珪鉱，水沢鉱床

変質したデイサイトに閃亜鉛鉱，及び方鉛鉱が鉱染したものである．鉱石全体が粘土化変質しているが，閃亜鉛鉱や方鉛鉱の多い部位は珪化変質を被っている．

図 4-2，黄鉄鉱，黄銅鉱，閃亜鉛鉱，方鉛鉱を含む珪鉱，水沢鉱床

鉱床下盤側の珪化した凝灰岩を母岩とし，黄鉄鉱，黄銅鉱，方鉛鉱，閃亜鉛鉱が鉱石全体に鉱染している．写真の左側には凝灰岩の細粒部があり，粘土化及び珪化変質をやや強く受けており，黄鉄鉱以外の硫化鉱物に乏しい．一方そのほかの部位は軽石質で，空隙に富み，閃亜鉛鉱や黄銅鉱，方鉛鉱を多く含む．

図 4-3，黄鉄鉱，黄銅鉱，閃亜鉛鉱，方鉛鉱を含む珪鉱，馬場目鉱床

鉱石全体が粘土化及び珪化変質を受けており，黄鉄鉱及び，黄銅鉱が鉱染している．また，方鉛鉱や閃亜鉛鉱がこの珪鉱を切るように再度鉱染し方鉛鉱，閃亜鉛鉱，黄銅鉱の濃集部を形成している．

図 4-4，黄鉄鉱，黄銅鉱，閃亜鉛鉱，方鉛鉱，硫砒銅鉱を主とする珪鉱，安部城鉱床

泥岩-凝灰岩互層中に発達した珪鉱であり，凝灰岩部は強珪化し黄鉄鉱が多く鉱染している．また凝灰質は大部分が溶脱し 1mm 以下の空隙に富む．泥岩部は珪化のみを受け，堅硬緻密である．鉱石全体に重晶石，閃亜鉛鉱，方鉛鉱，黄鉄鉱，硫砒銅鉱から成る細脈がみられ，凝灰質部では幅 5mm 程度に肥大化し，鉱染を伴う．泥岩部は 1mm 以下程度の細脈となり鉱染はみられない．閃亜鉛鉱は黄色～淡褐色透明である．

図 4-5，黄銅鉱，閃亜鉛鉱，方鉛鉱を主とする珪鉱，温川鉱床

強珪化した母岩部に方鉛鉱及び閃亜鉛鉱の鉱染が発達した鉱染部と，紫石英，黄銅鉱を主とする脈状部からなる．温川鉱床に特徴的に産し，金に富むことから含金珪鉱として採掘された鉱石である．

#### 4-1-3 珪鉱の産状のまとめ

珪鉱は，変質の一部であると同時に，鉱化流体の流路となる場所であるため，脈状，網目状，鉱染状などの形態がみられた．

珪鉱は一般に石英に富み硫化物を含む鉱石であるが，しばしばイライトなどの粘土鉱物を含む鉱石も産する．また温川鉱床では，脈状の構造で方鉛鉱，閃亜鉛鉱，黄銅鉱を主とし，金を含む鉱石も産する(図 4-5)．硫砒銅鉱を伴うものも確認され，高硫化的環境で形成した珪鉱も存在する(図 4-4)．鉱床の規模にかかわらず珪鉱は黄銅鉱を含む．

#### 4-1-4 珪鉱の分類

珪鉱は鉱物組み合わせから 5 種類に分類した.

1 黄鉄鉱-石英

内の岱鉱床, 元山鉱床, 温川鉱床, 花輪鉱床, 小割沢鉱床

2 黄銅鉱-黄鉄鉱-石英-イライト

大巻鉱床, 相内鉱床, 光沢鉱床

3 黄鉄鉱-黄銅鉱-石英

温川鉱床, 内の岱鉱床, 古遠部鉱床, 奥見内鉱床, 元山鉱床

4 黄鉄鉱-黄銅鉱-閃亜鉛鉱-方鉛鉱-石英

水沢鉱床, 馬場目鉱床

5 黄鉄鉱-黄銅鉱-閃亜鉛鉱-方鉛鉱-石英-エレクトラム

温川鉱床

## 4-2 黄鉱の産状

## 4-2-1 黄鉄鉱を主とする黄鉱及び黄銅鉱を主とする黄鉱の産状

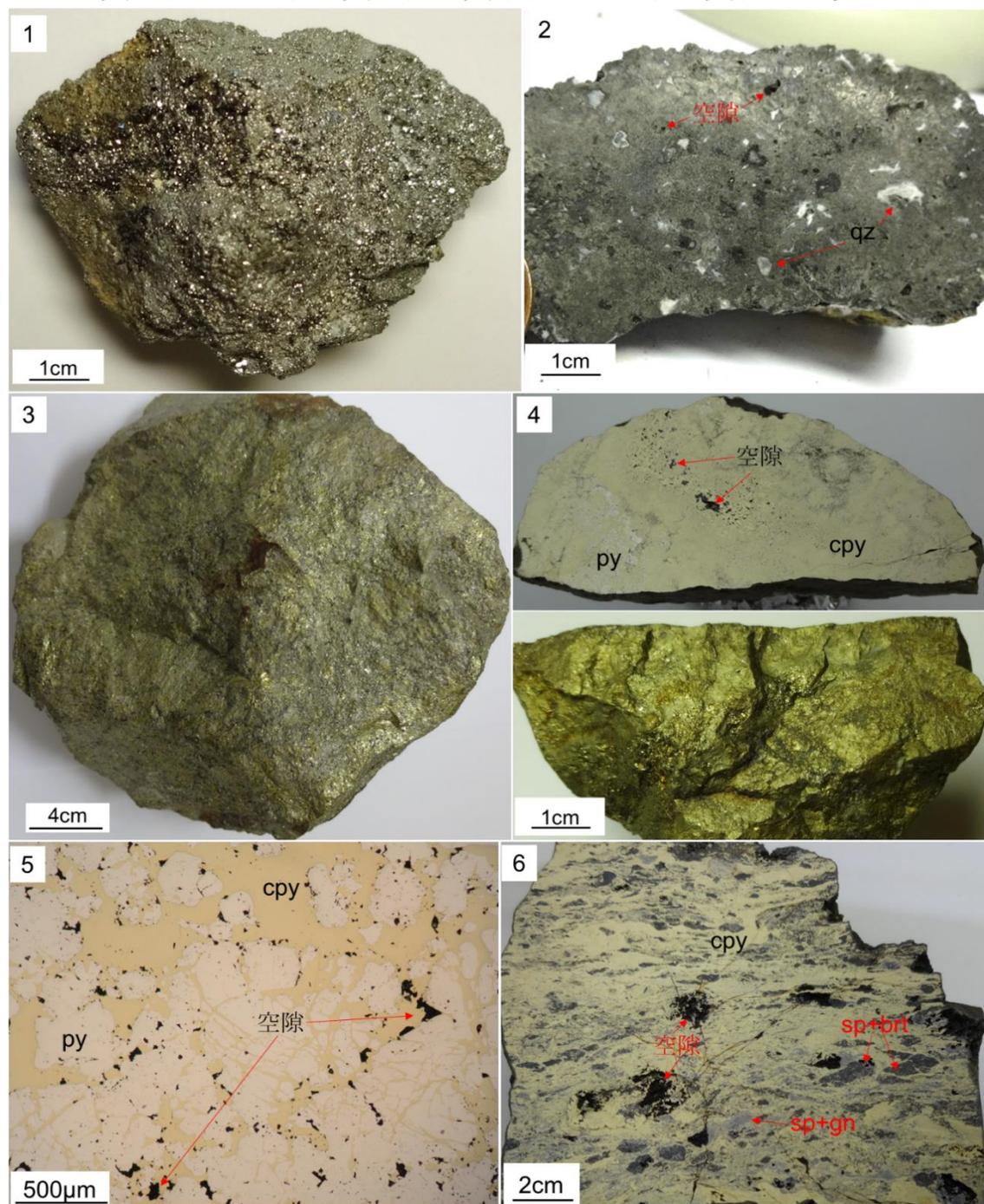


図5 黄鉄鉱を主とする黄鉱及び黄銅鉱を主とする黄鉱の産状

brt : 重晶石, cpy : 黄銅鉱, gn : 方鉛鉱, py : 黄鉄鉱, qz : 石英, sp : 閃亜鉛鉱

図5-1, 黄鉄鉱を主とする黄鉱, 安部城鉱床

図5-2, 黄鉄鉱及び石英を主とする黄鉱, 水沢鉱床

図5-3, 黄鉄鉱及び黄銅鉱を主とする黄鉱, 花輪鉱床

図5-4, 黄銅鉱を主とする黄鉱, 松峰鉱床

図5-5, 黄銅鉱及び黄鉄鉱を主とする黄鉱の顕微鏡写真, 松木鉱床

図5-6, 黄銅鉱を主とし閃亜鉛鉱を伴う黄鉱, 相内鉱床

図 5-1, 黄鉄鉱を主とする黄鉱, 安部城鉱床

空隙に富み, 空隙の内側の黄鉄鉱は 1~3mm 程度と粗粒である. 空隙から離れた部位は, 0.5mm 以下程度の細粒な黄鉄鉱からなる. 黄鉄鉱以外の鉱物は含まれない.

図 5-2, 黄鉄鉱及び石英を主とする黄鉱, 水沢鉱床

細粒な黄鉄鉱を主とし, 空隙は石英に充填されている.

図 5-3, 黄鉄鉱及び黄銅鉱を主とする黄鉱, 花輪鉱床

黄鉄鉱及び黄銅鉱を主とする. 黄銅鉱は黄鉄鉱の間隙を充填するように晶出し, 黄銅鉱の濃集部がパッチワーク状に分布する. また粒径 1mm 以下の微細な石英が均質に含まれる.

図 5-4, 黄銅鉱を主とする黄鉱, 松峰鉱床

写真上段は研磨面であり, 白色部は黄鉄鉱, 黒色部は極細粒な黄鉄鉱と重晶石からなる. 写真下段は破断面であり鉱石全体が極細粒緻密質である.

鉱石の大部分が黄銅鉱からなり, 少量の黄鉄鉱を含む. また写真中央付近は粗粒な黄銅鉱を主とするレンズを伴う. レンズから離れると黄鉄鉱の含有量が増加する. 黄鉄鉱はその多くが自形から半自形であるが, 多くは丸みを帯びている.

図 5-5, 黄銅鉱及び黄鉄鉱を主とする黄鉱の顕微鏡写真, 松木鉱床

黄銅鉱に富む黄鉱である. 黄銅鉱は黄鉄鉱の間隙を充填するように産する. 黄銅鉱の特に濃集した部位では黄鉄鉱が円形に近い形で産する. 黄鉄鉱はしばしば不規則な網目状の割れ目を持ち, これらを充填するように黄銅鉱が産する.

	骨格鉱物	間隙充填鉱物			
py	■	■	■	■	■
cpy			■	■	■

図 6 松木鉱山産黄鉱の晶出順序

図 5-6, 黄銅鉱を主とし閃亜鉛鉱を伴う黄鉱, 相内鉱床

細粒黄銅鉱, 重晶石からなる顕著な葉理の発達した黄鉱である. 閃亜鉛鉱や方鉛鉱を伴う. またレンズ状の空隙に富み, 閃亜鉛鉱や方鉛鉱, 重晶石はこれらの一部を充填するように産する.

	骨格鉱物	間隙充填鉱物			
py	■	■			
cpy	■	■			
sp			■	■	■
brt			■	■	■
gn			■	■	■

図 7 相内鉱床産黄鉱の晶出順序

## 4-2-2 金銀に富む黄鉱の産状(水沢鉱床)

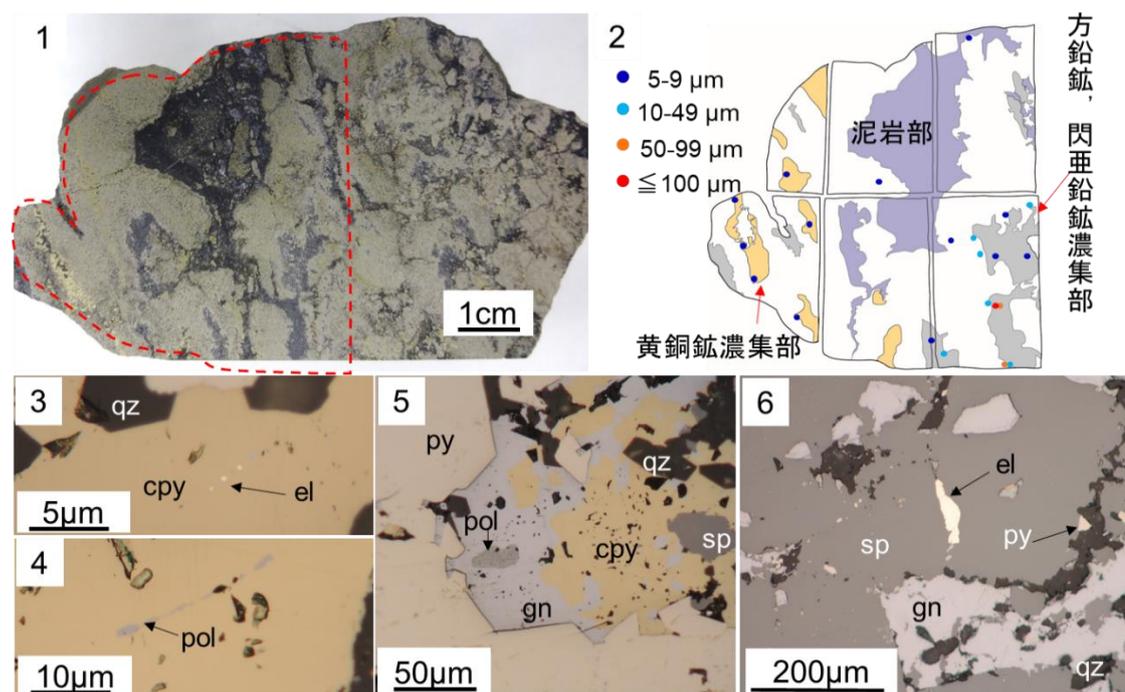


図 8 金銀に富む礫状黄鉱の産状

el : エレクトラム, pol : 雑銀鉱

図 8-1~6, 金銀に富む礫状黄鉱, 水沢鉱床

図 8-1, 金銀に富む礫状黄鉱, 水沢鉱床

顕著な礫状構造を表す黄鉱であり、礫は黄鉱礫からなる。礫周縁部に黄銅鉱の濃集部がみられ、礫間には、石英、方鉛鉱、閃亜鉛鉱の濃集部がみられる。

図 8-2, エレクトラムの分布及び鉱石の構造

黄銅鉱濃集部は 5 $\mu\text{m}$  以下の細粒なエレクトラムや雑銀鉱を少量伴い、方鉛鉱、閃亜鉛鉱濃集部、近縁には 10~100 $\mu\text{m}$  程度のエレクトラムと雑銀鉱を伴う。

図 8-3, 黄銅鉱濃集部のエレクトラム

黄銅鉱中に液滴状で産し、粒径は 1 $\mu\text{m}$  前後の物が主である。

図 8-4, 黄銅鉱濃集部の雑銀鉱

黄銅鉱中に液滴状に産し、粒径は 2 $\mu\text{m}$  前後の物が主である。

図 8-5, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱濃集部中の雑銀鉱

雑銀鉱は黄鉄鉱の間隙を充填し晶出する方鉛鉱と共生し、10-50 $\mu\text{m}$  程度のやや粗粒な他形で産する。

図 8-6, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱濃集部中のエレクトラム

黄鉱中の方鉛鉱, 閃亜鉛鉱濃集部にしばしば産する粗粒なエレクトラムであり、先行して晶出した閃亜鉛鉱の間隙を充填するように晶出する。

	骨格鉱物		間隙充填鉱物			
py	■	■	■	■	■	■
cpy		■	■	■	■	■
sp			■	■	■	■
gn				■	■	■
pol					■	■
el					■	■
qz			■	■	■	■

図9 水沢鉛床産黄鉛の晶出順序

## 4-2-3 四面銅鉛類や硫砒銅鉛に富む黄鉛の産状

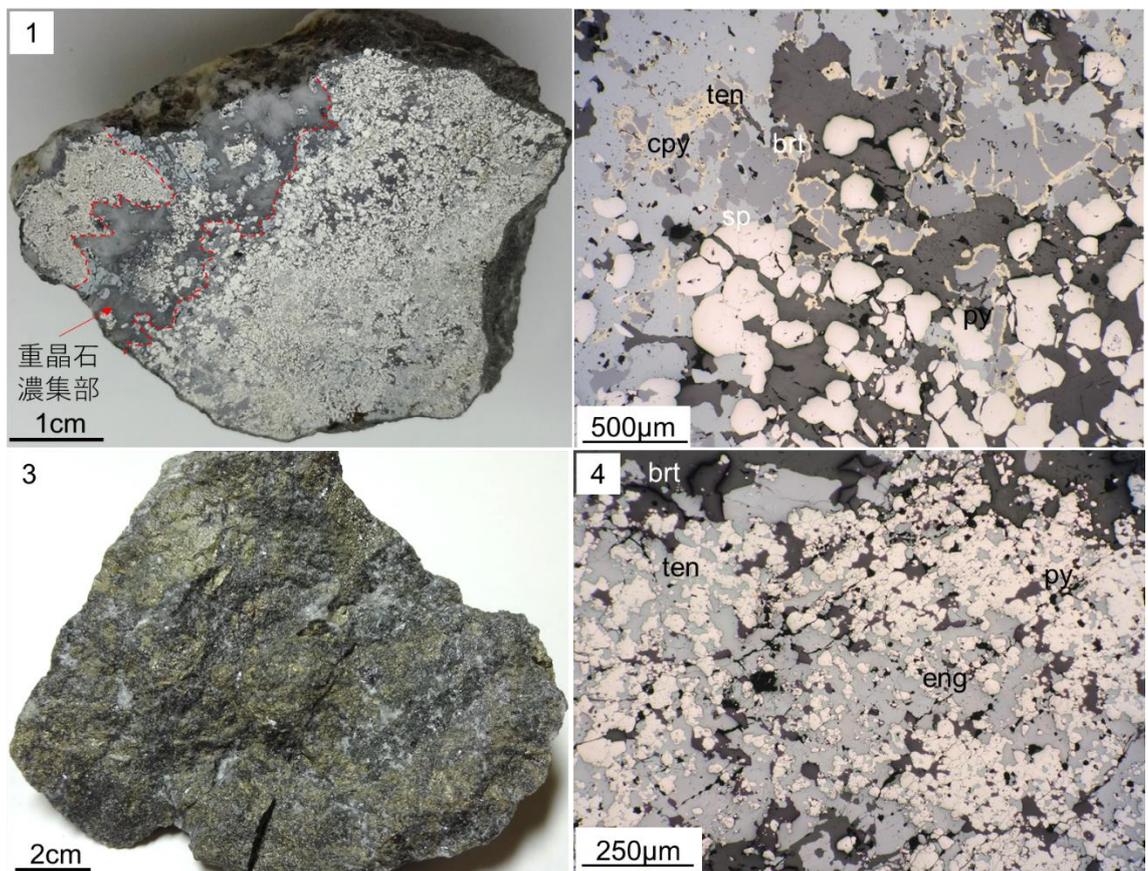


図10 砒四面銅鉛に富む黄鉛及び硫砒銅鉛に富む黄鉛の産状

eng : 硫砒銅鉛, ten : 砒四面銅鉛

図10-1,2, 四面銅鉛に富む黄鉛, 光沢鉛床. 図9-3,4, 硫砒銅鉛に富む黄鉛, 花輪鉛床

図10-1, 四面銅鉛に富む黄鉛, 光沢鉛床

やや粗粒な黄鉄鉛からなり, 全体的に四面銅鉛に富む. 四面銅鉛は黄鉄鉛の粒子間を埋めるように晶出し, 写真左上付近の重晶石に富んだ部位では, 黄鉄鉛と重晶石の境界付近に多くの砒四面銅鉛がみられる.

図 10-2, 四面銅鉱に富む黄鉱の顕微鏡写真, 光沢鉱床

四面銅鉱に富み, 閃亜鉛鉱及び黄銅鉱を伴う. 重晶石, 四面銅鉱, 閃亜鉛鉱は主として自形黄鉄鉱の間隙中を埋めるように晶出している. また黄銅鉱は閃亜鉛鉱と一部共生し, 大部分は閃亜鉛鉱を覆うように晶出している.

	骨格鉱物	間隙充填鉱物
py	■	■
brt	■	■
sp	■	■
cpy	■	■
ten	■	■

図 11 光沢鉱床産黄鉱の晶出順序

図 10-3, 硫砒銅鉱に富む黄鉱, 花輪鉱床

黄鉄鉱質な黄鉱に網目状の硫砒銅鉱-重晶石細脈がみられ, 脈内では 1~5mm 程度の硫砒銅鉱が晶出している. 黄鉄鉱質部には細粒な硫砒銅鉱や, 四面銅鉱が黄鉄鉱の結晶粒子間を充填するように晶出している.

図 10-4, 硫砒銅鉱に富む黄鉱の顕微鏡写真, 花輪鉱床

黄鉄鉱に富んだ部位に鉱染した硫砒銅鉱である. 黄鉄鉱は融食形様に丸みを帯び, 結晶の間隙を充填し, 硫砒銅鉱が晶出する.

	骨格鉱物	間隙充填鉱物
py	■	■
qz	■	■
brt	■	■
cpy	■	■
ten	■	■
eng	■	■

図 12 花輪鉱床産黄鉱の晶出順序

## 4-2-4 斑銅鉱を含む黄鉱の産状

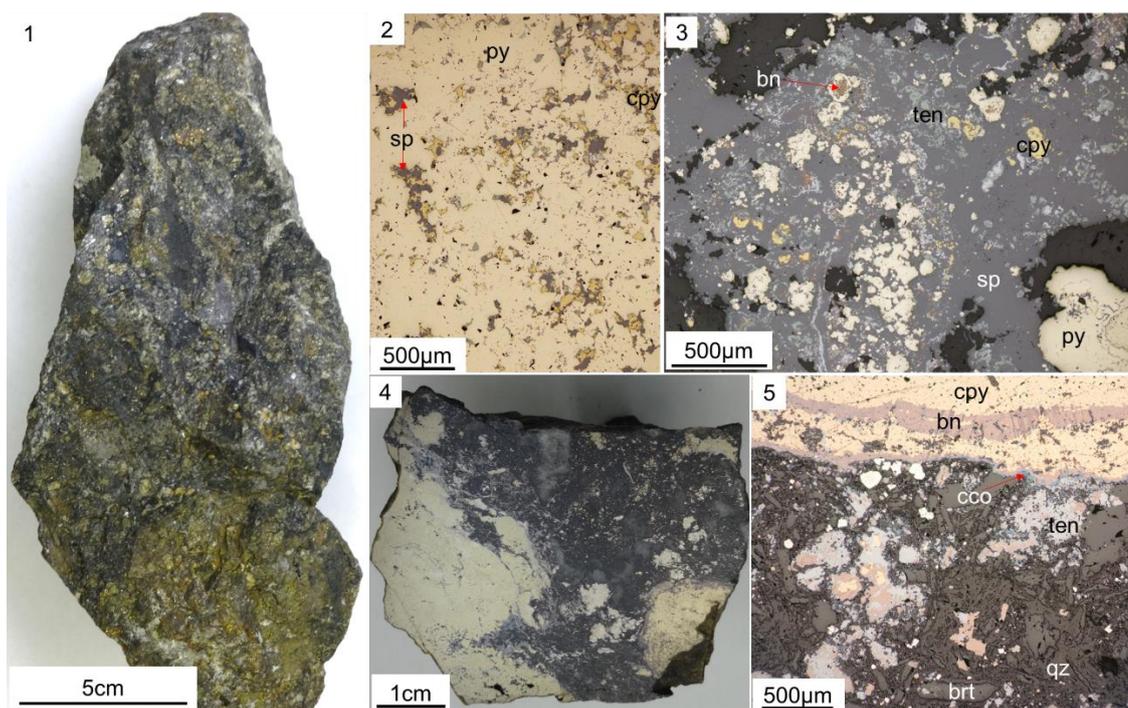


図 13 斑銅鉱を含む黄鉱の産状

bn : 斑銅鉱, cco : 輝銅鉱

図 13-1,2,3, 斑銅鉱を含む礫状黄鉱, 古遠部鉱床

図 13-4,5, 斑銅鉱を含む黄鉱, 堂屋敷鉱床

図 13-1, 含斑銅鉱礫状黄鉱, 古遠部鉱床

礫状黄鉱であり基質支持である。礫は黄鉱礫を主とし、そのほか黄銅鉱からなるもの、閃亜鉛鉱からなるものがある。また重晶石の濃集部もみられる。基質は細粒な黄鉄鉱、閃亜鉛鉱、方鉛鉱、重晶石からなる。礫の淘汰は悪く、亜円礫から円礫である。鉱石全体に斑銅鉱が含まれ、基質及び重晶石濃集部付近に特に多く含まれる。礫の積み重なりに配列や方向性はなく級化構造もみられない。鉱石全体に斑銅鉱及び四面銅鉱が鉱染しており、写真の黒色部は斑銅鉱による変色である。

図 13-2, 図 13-1 基質部顕微鏡写真, 古遠部鉱床

基質部に晶出した閃亜鉛鉱であり、黄鉄鉱を核に四面銅鉱、黄銅鉱及び斑銅鉱を含むコロフォーム～累皮状の組織を形成している。

図 13-3, 図 13-1 礫部顕微鏡写真, 古遠部鉱床

黄鉄鉱及び黄銅鉱を主とする黄鉱であり、黄銅鉱は黄鉄鉱の間隙を充填するように産し、閃亜鉛鉱少量の黄鉄鉱を含む。

図 13-4, 含斑銅鉱礫状黄鉱, 堂屋敷鉱床

黄鉱礫は黄銅鉱から成り, 写真右下の黄鉱礫は周縁部が斑銅鉱化している. その他の部位は, 閃亜鉛鉱が晶出している. 基質部は自形重晶石及び細粒な石英から成り黄鉄鉱, 黄銅鉱, 斑銅鉱, 輝銅鉱が晶出している.

図 13-5, 図 13-4 礫部及び基質部の顕微鏡写真, 堂屋敷鉱床

黄鉱礫部と基質部の写真であり, 黄鉱礫は黄銅鉱部と斑銅鉱に分かれている. 黄鉱礫中の黄銅鉱部は空隙に富みやや粗密であるが, 斑銅鉱部は緻密質である. また黄鉱礫の周縁部付近に皮殻状に産する. 基質部は自形重晶石と石英を主とし, 黄銅鉱, 斑銅鉱, 砒四面銅鉱が含まれる. 黄銅鉱は斑銅鉱に包有されるように晶出し, 砒四面銅鉱は斑銅鉱と同時晶出している.

#### 4-2-5 斑銅鉱に富む黄鉱の産状(内の岱鉱床)

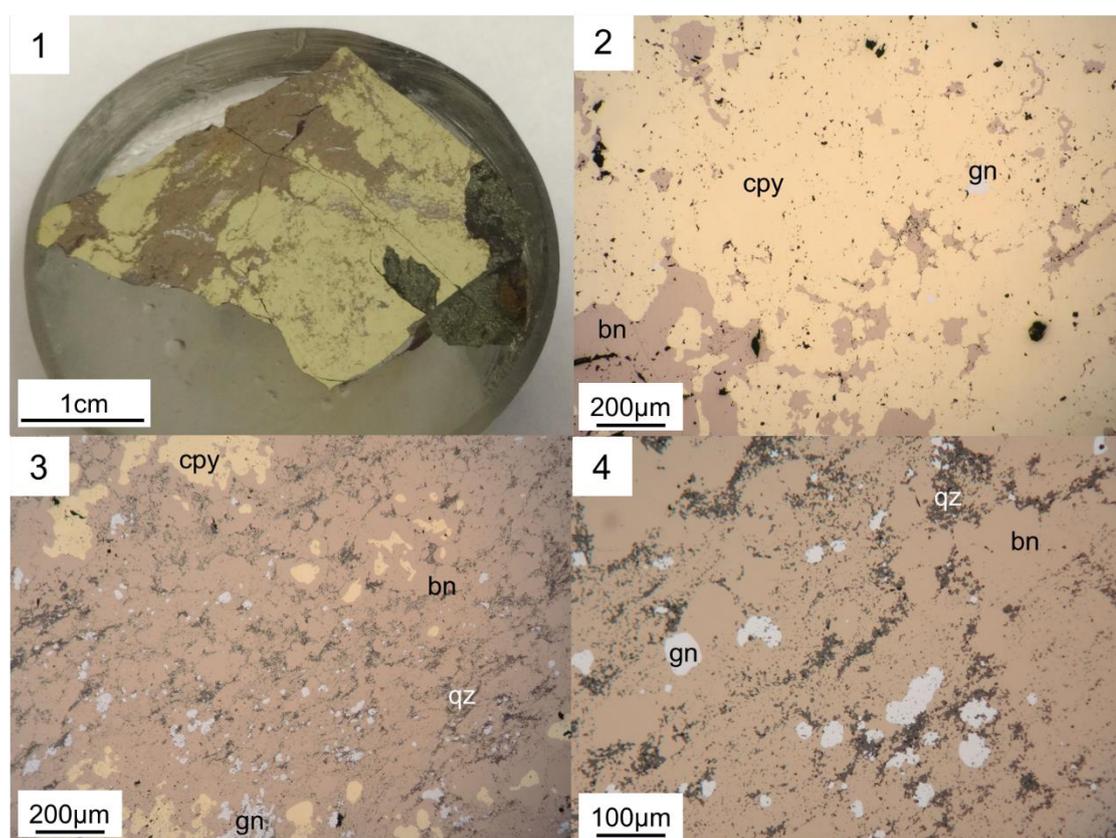


図 14 斑銅鉱に富む黄鉱の産状(内の岱鉱床)

図 14-1, 斑銅鉱に富む黄鉱, 内の岱鉱床

図 14-2, 黄銅鉱を主とした部位

図 14-3 及び 4, 斑銅鉱に富む部位

図 14-1, 斑銅鉱に富む黄鉱, 内の岱鉱床

黄銅鉱, 斑銅鉱を主とした黄鉄鉱に乏しい鉱石である. 鉱石は斑銅鉱部及び, 黄銅鉱部に分かれる. 斑銅鉱は脈状にみられ, 斑銅鉱部近縁では黄銅鉱の食い

残しがみられる．方鉛鉱は斑銅鉱農集部及びその近縁に液滴上に晶出する．また斑銅鉱農集部には1～5 $\mu\text{m}$ 程度の石英が蔘絵状に晶出する．

図 14-2, 斑銅鉱質に富む黄銅鉱, 松峰鉱床

黄銅鉱, 斑銅鉱, 重晶石からなる．重晶石, 黄銅鉱は鉱石全体にみられ, 斑銅鉱は写真左側に鉱染状に含まれる．

図 14-3, 図 14-1 黄銅鉱部の顕微鏡写真

黄銅鉱を主とし斑銅鉱を伴う．黄銅鉱, 斑銅鉱ともに他形であり, 斑銅鉱による交代が進んでいる．

図 14-4, 図 14-1 斑銅鉱部の顕微鏡写真

斑銅鉱を主とし, 黄銅鉱を含まない部位は細粒の石英と球形の方鉛鉱を特に多く含む．脈状の構造を有し, 細粒石英-斑銅鉱, その外側に液滴状方鉛鉱-斑銅鉱, さらに外側に斑銅鉱-球状黄銅鉱の順に累帯する．

#### 4-2-6 斑銅鉱に富む黄銅鉱の産状 2

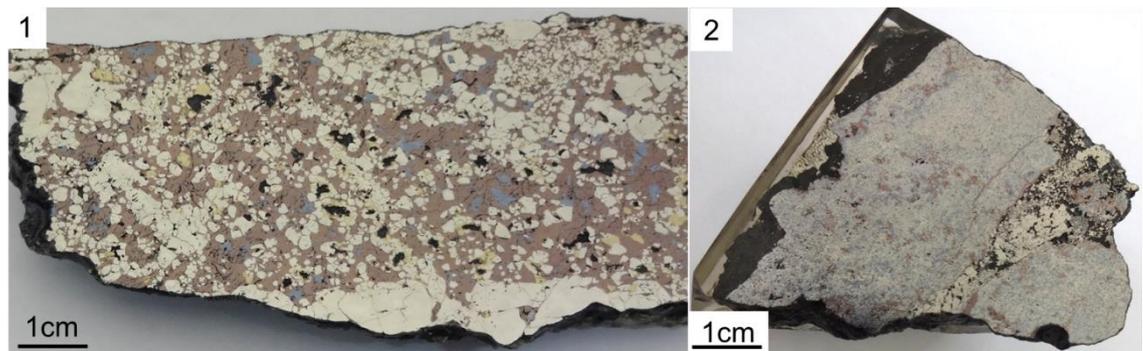


図 15 斑銅鉱に富む黄銅鉱の産状 2

図 15-1, 斑銅鉱に富む黄銅鉱, 花岡鉱山(産出鉱床不明).

図 15-2, 斑銅鉱に富む黄銅鉱, 釈迦内鉱床.

図 15-1 は花岡鉱山産(産出鉱床不明)であり, 図 15-2 は釈迦内鉱床の斑銅鉱質黄銅鉱である．黄銅鉱の粒径が異なるが, いずれも同じ産状を示す．いずれの黄銅鉱も黄鉄鉱の粒界及び空隙を充填するように, 斑銅鉱及び Cu-S mineral が晶出しており, 黄銅鉱は一部が斑銅鉱による交代を受けている．Cu-S mineral は花岡鉱山のものが輝銅鉱及び方輝銅鉱, 釈迦内鉱床のものが方輝銅鉱及びデュルレ鉱である．花岡鉱山産の鉱石中には少量の黄銅鉱を含む．

	骨格鉱物	間隙充填鉱物					
py	■	■	■				
gp		■	■				
cpy				■			
bn					■	■	■
dig							■
dju							■

図 16 花岡鉱山産黄銅鉱の晶出順序

## 4-2-7 金銀及び斑銅鉱に富む黄鉱の産状

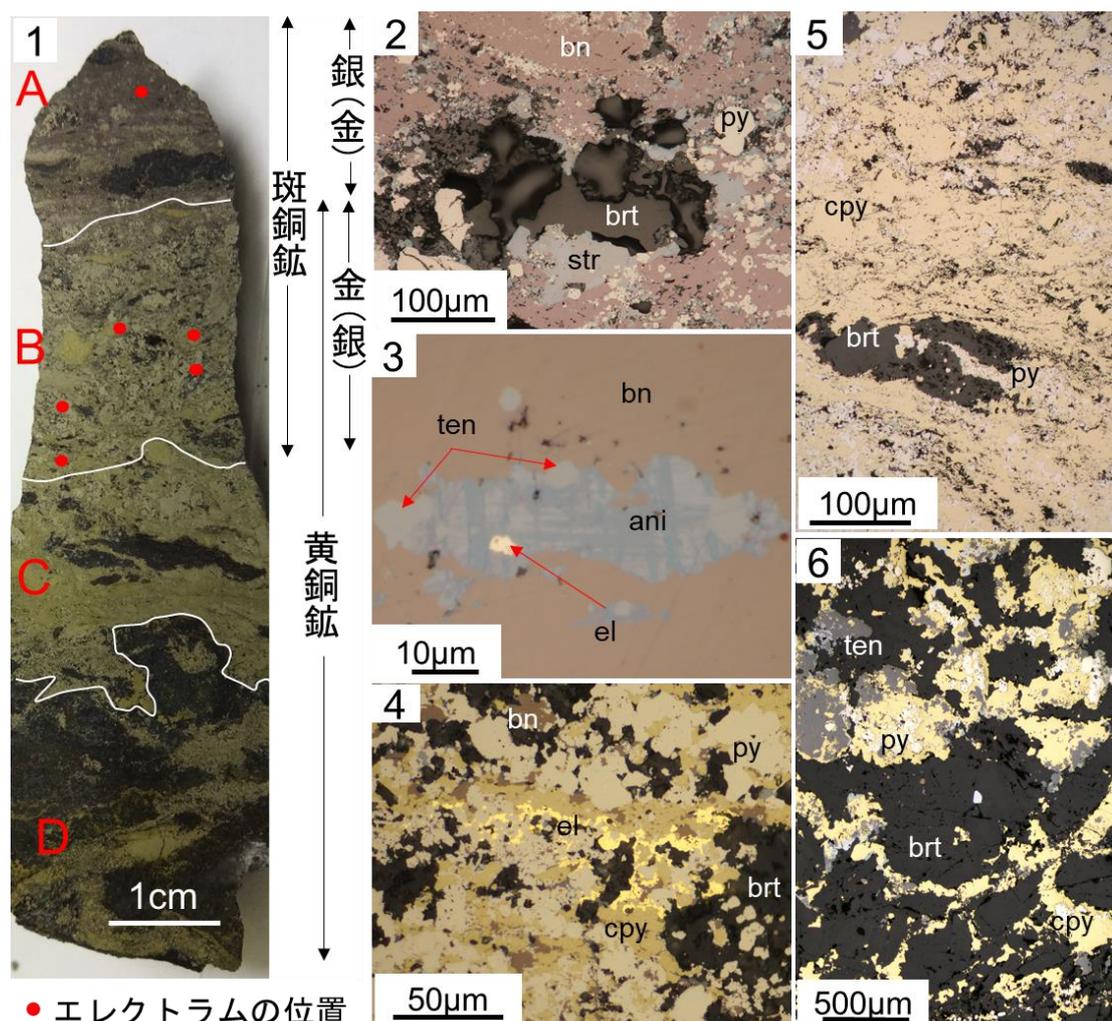


図 17 金銀及び斑銅鉱に富む黄鉱 古遠部鉱床

ani : 阿仁鉱, str : 輝銀銅鉱

図 17-1, 鉱石のスラブ写真.

図 17-2~3, A 帯. 図 17-4, B 帯. 図 17-5, C 帯. 図 17-5, D 帯.

図 17-1, 鉱石のスラブ写真

層状の構造を持ち、層状構造に対し垂直に鉱物種の変化がみられる。白色破線で鉱物組み合わせが変化し、A 帯から D 帯に分類される。A 帯は黄鉄鉱、斑銅鉱、砒四面銅鉱を主とし、少量の阿仁鉱 [Cu<sub>7</sub>S<sub>4</sub>] やエレクトラムを伴う。黄鉄鉱の大部分は融食形を示し、斑銅鉱による交代が進んでいる。B 帯は斑銅鉱、黄銅鉱及び黄鉄鉱を主とする。黄銅鉱及び斑銅鉱の量比が変化し、A 側では斑銅鉱が増加し、C 帯側では黄銅鉱が増加する。C は黄銅鉱黄鉄鉱を主とし閃亜鉛鉱、方鉛鉱、重晶石を伴う。D 帯は重晶石、黄鉄鉱及び黄銅鉱を主とし閃亜鉛鉱及び方鉛鉱を含む。レンズ状の重晶石濃集を主とし、硫化鉱物は重晶石の粒界、及びレンズとレンズの境界に晶出する。

## 図 17-2, A 帯の産状 1

黄鉄鉱及び斑銅鉱を主とし、空隙中に輝銀銅鉱(AgCuS)が晶出している。さらに、内側には重晶石が晶出している。

## 図 17-3, A 帯の産状 2

斑銅鉱中に斑状に晶出する阿仁鉱及び砒四面銅鉱、エレクトラムである。阿仁鉱は砒四面銅鉱中にラメラとして産する

## 図 17-4, B 帯の産状

斑銅鉱、黄銅鉱及び黄鉄鉱を主とし、重晶石を伴う。黄鉄鉱は融食形を表すもの、斑銅鉱との共沈を表すものがあり、斑銅鉱及び黄銅鉱の晶出に伴い一部交代されている。斑銅鉱の晶出が、黄銅鉱に比べ相対的に早く、コロフォームでは内側に斑銅鉱がまたレンズから脈状部では内側に黄銅鉱が晶出している。

## 図 17-5, C 帯の産状

黄鉄鉱、黄銅鉱、重晶石を主とし、葉理が発達する。葉理は細粒な黄銅鉱-重晶石からなる。また重晶石のレンズを含む。

## 図 17-6, D 帯の産状

黄鉄鉱、黄銅鉱、閃亜鉛鉱、重晶石を主とする。重晶石はレンズ状に濃集し、閃亜鉛鉱、黄銅鉱はこの間隙を充填し晶出する。

	骨格鉱物	間隙充填鉱物							
py									
brt									
bn									
cpy									
el									
ten									
sp									
ani									
str									
gn									

図 18 金銀及び斑銅鉱に富む黄鉄鉱の晶出順序

## 4-2-8 黄鉄鉱の産状のまとめ

黄鉄鉱は、主として黄鉄鉱の晶出が早く、黄銅鉱や斑銅鉱などの銅鉄鉱物の多くは黄鉄鉱の間隙や空隙を充填するように晶出している。一方、黄銅鉱を主とし空隙に富んだ鉱石、黄銅鉱-重晶石からなる葉理を有する鉱石など、黄銅鉱が海底に直接沈殿していることを表す鉱石も確認された(図 5-6, 17-5)。方鉛鉱や閃亜鉛鉱、その他金銀鉱物を微量に含む場合も多々ある。

黄鉄鉱に産する黄鉄鉱の一部は黄銅鉱や斑銅鉱による交代を受け、融食形を表すものや虫食い状に分解しているものがみられる。このほか、斑銅鉱の晶出時に共沈している黄鉄鉱もみられる(図 17-2)。

また、いずれも脈状の重晶石に伴われるが、砒四面銅鉱や硫砒銅鉱に富む黄鉄質銅鉱もみられる。このような銅鉱は斑銅鉱や黄銅鉱、Cu-S mineralに乏しく、特異な銅鉱である(図 10)。

以上の記載から、黄銅を銅物組み合わせ及び銅鉱組織から7種に分類した。

#### 4-2-9 黄銅の分類

- 1 空隙-黄鉄銅-(石英-方解石-重晶石)  
堤沢銅床, 松峰銅床, 内の袋銅床, 松木銅床, 深沢銅床
- 2 黄鉄銅-石英-重晶石-(閃亜鉛銅-黄銅銅)  
花輪銅床, 相内銅床, 光沢銅床, 水沢銅床, 相内銅床, 松峰銅床
- 3 黄銅銅-黄鉄銅-四面銅銅-閃亜鉛銅 (閃亜鉛銅-四面銅銅-重晶石)  
内の袋銅床, 元山銅床, 花輪銅床, 水沢銅床, 奥見内銅床
- 4 黄鉄銅-黄銅銅-閃亜鉛銅-方鉛銅-石英-(重晶石-方鉛銅-エレクトラム-斑銅銅-石英)  
水沢銅床, 馬場目銅床, 内の袋銅床
- 5 黄鉄銅-四面銅銅-黄銅銅-硫砒銅銅-(重晶石-方鉛銅-閃亜鉛銅)  
安部城銅床, 花輪銅床
- 6 黄鉄銅-黄銅銅-斑銅銅-石英-(重晶石-閃亜鉛銅-方鉛銅-エレクトラム-硫砒銅銅)  
釈迦内銅床, 松峰銅床, 古遠部銅床, 堂屋敷銅床
- 7 黄鉄銅-斑銅銅-“Ag-Cu-S mineral”-(黄銅銅-方鉛銅-閃亜鉛銅-硫砒銅銅-エレクトラム)  
古遠部銅床

### 4-3 半黒鉱の産状

#### 4-3-1 空隙に富む半黒鉱及び方鉛鉱や黄銅鉱に富む半黒鉱の産状

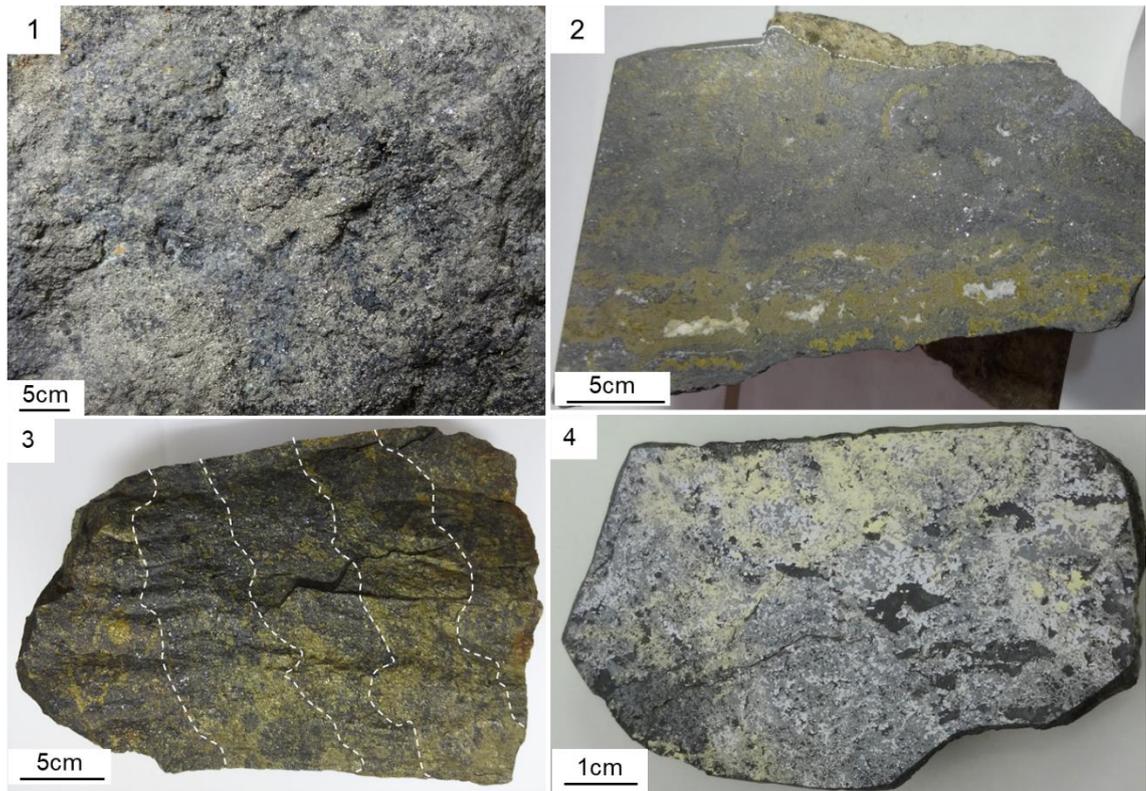


図 19 空隙に富む半黒鉱及び方鉛鉱や黄銅鉱に富む半黒鉱の産状

図 19-1, 空隙に富む半黒鉱, 花輪鉱床.

図 19-2, 方鉛鉱に富む半黒鉱, 水沢鉱床.

図 19-3, 黄銅鉱に富む半黒鉱, 松峰鉱床.

図 19-4, 黄銅鉱及び方鉛鉱に富む半黒鉱, 小割沢鉱床.

図 19-1, 黄鉄鉱-閃亜鉛鉱を主とする半黒鉱, 花輪鉱床

黄鉄鉱及び閃亜鉛鉱から成り空隙に富む.

図 19-2, 黄鉄鉱-閃亜鉛鉱に富む半黒鉱, 水沢鉱床

層状構造を呈し写真下部に黄鉄鉱及び黄銅鉱に富む帯を含む. 上部側では閃亜鉛鉱, 黄鉄鉱が主であり, 方鉛鉱及び黄銅鉱は空隙を充填するように, 少量みられる.

	骨格鉱物	間隙充填鉱物				
py	■	■	■	■	■	■
sp	■	■	■	■	■	■
cpy			■	■	■	■
gn			■	■	■	■
brt					■	■

図 20 半黒鉱の晶出順序

図 19-3, 閃亜鉛鉱, 黄銅鉱に富む半黒鉱, 松峰鉱床

閃亜鉛鉱及び黄銅鉱を主とし, 黄鉄鉱や黄銅鉱に乏しい. 閃亜鉛鉱はレンズ状から球状の濃集部を形成し, 一定方向に配列する. また, 閃亜鉛鉱は 1mm 以下程度の細粒な粒子が主であるが, 2~5mm 程度の粗粒なものも含まれる. 黄銅鉱は鉱石全体に鉱染するものと, 閃亜鉛鉱濃集部の縁に濃集するものがあり, 蔴絵状の不明瞭な層状構造がみられる.

図 19-4, 黄銅鉱及び方鉛鉱に富む半黒鉱, 小割沢鉱床

閃亜鉛鉱の間隙を充填するように方鉛鉱及び黄銅鉱が充填している. 黄銅鉱の濃集部と方鉛鉱の濃集部に分かれる.

#### 4-3-2 斑銅鉱に富む半黒鉱の産状

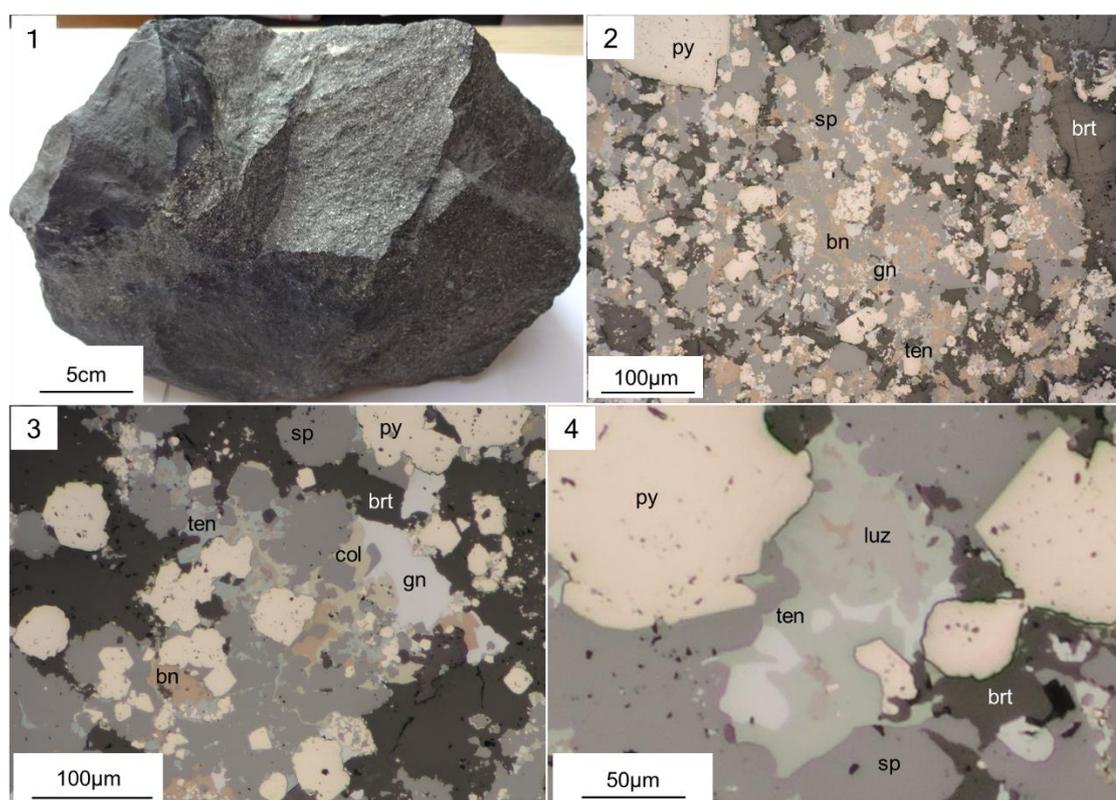


図 21 斑銅鉱に富む半黒鉱の産状

col : コルーサ鉱 luz : ルソン銅鉱

図 21-1, 斑銅鉱に富む半黒鉱, 堂屋敷鉱床. 図 21-2~4 は同半黒鉱の基質部.

図 21-1, 礫状構造を有する斑銅鉱に富んだ半黒鉱 堂屋敷鉱床

緻密質な黒鉱礫を含む半黒鉱である. 基質支持で礫の淘汰は悪く, 亜鉛礫からなる. 基質は黄鉄鉱及び閃亜鉛鉱を主とし, 四面銅鉱及び, 斑銅鉱が多量に鉱染している. また, 閃亜鉛鉱及び黄鉄鉱は一部共生する.

図 21-2, 同鉱石の産状 1

基質部の写真であり, 斑銅鉱及び閃亜鉛鉱は黄鉄鉱の間隙を充填するように

晶出している。閃亜鉛鉱は、斑銅鉱を取り込み半自形～他形のものと、自形で斑銅鉱の取り込みのないもの2種ある。

図 21-3, 同鉱石の産状 2

閃亜鉛鉱, 黄鉄鉱の間隙を充填するように産する斑銅鉱, 砒四面銅鉱, 黄鉛鉱及びコルーサ鉱  $[\text{Cu}_{13}\text{VAs}_3\text{S}_{16}]$  である。

図 21-4, 同鉱石の産状 3

自形黄鉄鉱及び, 自形閃亜鉛鉱間隙に晶出した, 砒四面銅鉱-ルソン銅鉱. 砒四面銅鉱中にはしばしば, ルソン銅鉱  $[\text{Cu}_3(\text{As,Sb})\text{S}_4]$  が包有される。

	骨格鉱物	間隙充填鉱物
py	■	
sp	■	■
brt	■	■
bn	■	■
col	■	■
ccp	■	■
dig	■	■
luz	■	■
ten	■	■
gn	■	■

図 22 堂屋敷鉱床産半黒鉱の晶出順序

#### 4-3-3 半黒鉱の産状

半黒鉱は黄鉄鉱及び閃亜鉛鉱を主とし, 空隙に富むものがしばしばみられる。(図 19-1)またこれらの空隙を充填するように黄銅鉱, 方鉛鉱が晶出した, 緻密質な鉱石もみられた。(図 21-2,3,4)また, 四面銅鉱や, 斑銅鉱に富み, ルソン銅鉱やコルーサ鉱を含む鉱石もみられた(図 21)。

以上の記載から, 半黒鉱を鉱物組み合わせ及び鉱石組織によって 5 種に分類した。

#### 4-3-4 半黒鉱の分類

- 閃亜鉛鉱-黄鉄鉱-(石英)  
花輪鉱床
- 黄鉄鉱-方鉛鉱-閃亜鉛鉱-(黄銅鉱, 重晶石, 石英)  
水沢鉱床, 小割沢鉱床, 深沢鉱床
- 黄鉄鉱-黄銅鉱-閃亜鉛鉱-方鉛鉱-(石英, 重晶石)  
松峰鉱床, 深沢鉱床
- 黄鉄鉱-黄銅鉱-閃亜鉛鉱-方鉛鉱-(石英, 重晶石, 四面銅鉱, 斑銅鉱)  
釈迦内鉱床, 小割沢鉱床
- 黄鉄鉱-閃亜鉛鉱-方鉛鉱-斑銅鉱-(石英, 重晶石, 四面銅鉱, 硫砒銅鉱, ルソン銅鉱)  
堂屋敷鉱床

## 4-4 黒鉱の産状

## 4-4-1 空隙及び玉髄に富む黒鉱の産状

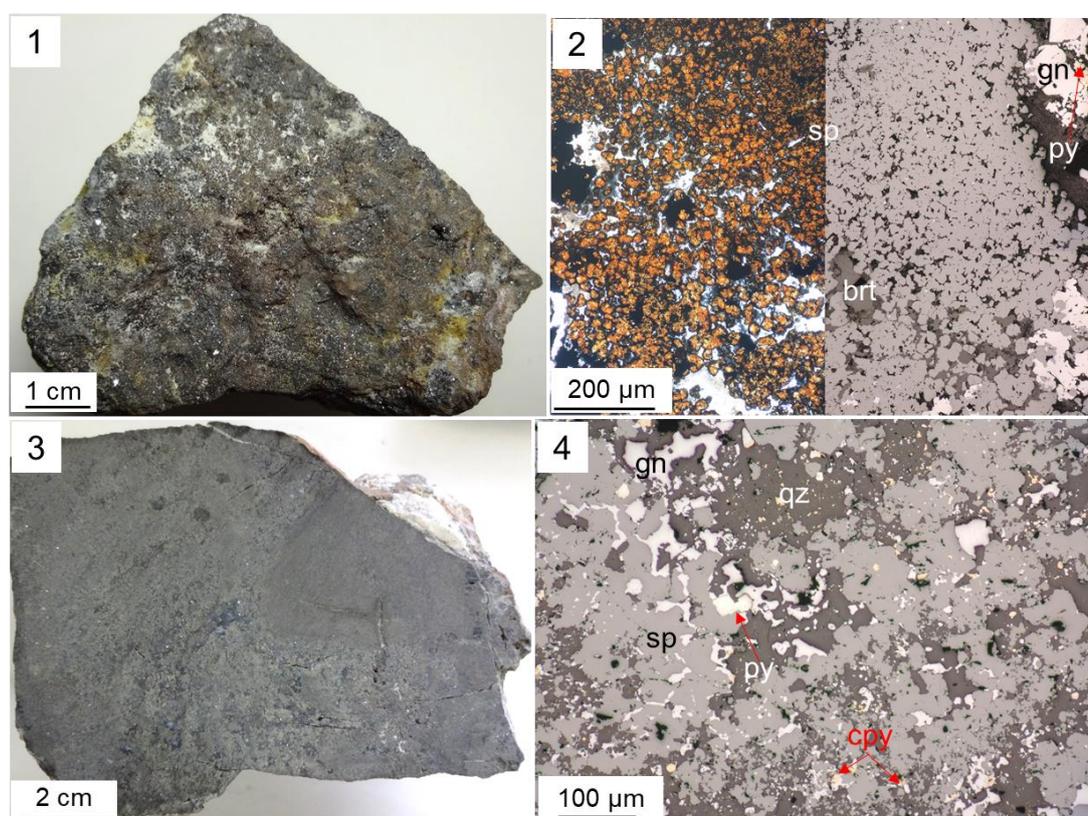


図 23 空隙及び玉髄に富む黒鉱の産状

図 23-1,2, 空隙に富む黒鉱, 松峰鉱床. 図 23-3,4, 玉髄に富む黒鉱, 水沢鉱床.

## 図 23-1, 空隙に富む黒鉱, 松峰鉱床

褐色閃亜鉛鉱を主とし, 空隙に富む, 空隙にイライトが詰まっている. また大きな空隙に面した閃亜鉛鉱は黒色が強く 1mm 程度と粗粒化している. 一部の空隙は方鉛鉱によって充填され, そのほか自形の重晶石がしばしば, 晶出する. 図 23-2, 写真 1 と同じ鉱石の顕微鏡写真, 松峰鉱床

写真は 1 か所を撮影した後, 左側を透過, 右側を反射で撮影し合成して作成した. 空隙に富み, 細粒な閃亜鉛鉱から成り, 結晶粒子化は薄片作成時に充填した樹脂が多くみられる. 間隙にはしばしば重晶石及び方鉛鉱や黄鉄鉱がみられる.

## 図 23-3, 玉髄に富む黒鉱, 水沢鉱床

閃亜鉛鉱, 方鉛鉱を主とし微量の黄銅鉱を伴う. 玉髄に乏しい細粒緻密部と, 玉髄に富んだ粗粒部に分類される. 粗粒部は空隙に富んだ閃亜鉛鉱を主とし, 空隙内にはやや粗粒な閃亜鉛鉱や方鉛鉱が晶出している. そして残りの空隙部分を充填するように, 玉髄質の石英が充填している.

図 23-4, 図 23-3 と同じ鉱石の顕微鏡写真, 水沢鉱床

閃亜鉛鉱と石英に富み, 粗粒な閃亜鉛鉱の隙間を充填するように石英, 微細な閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 黄銅鉱が晶出している.

	骨格鉱物	間隙充填鉱物			
sp	■	■	■	■	■
gn		■	■	■	■
cpy			■	■	■
py			■	■	■
qz		■	■	■	■

図 24 水沢鉱床産玉髄質黒鉱の晶出順序

#### 4-4-2 方鉛鉱及び閃亜鉛鉱を主とし, 黄銅鉱を含む黒鉱の産状

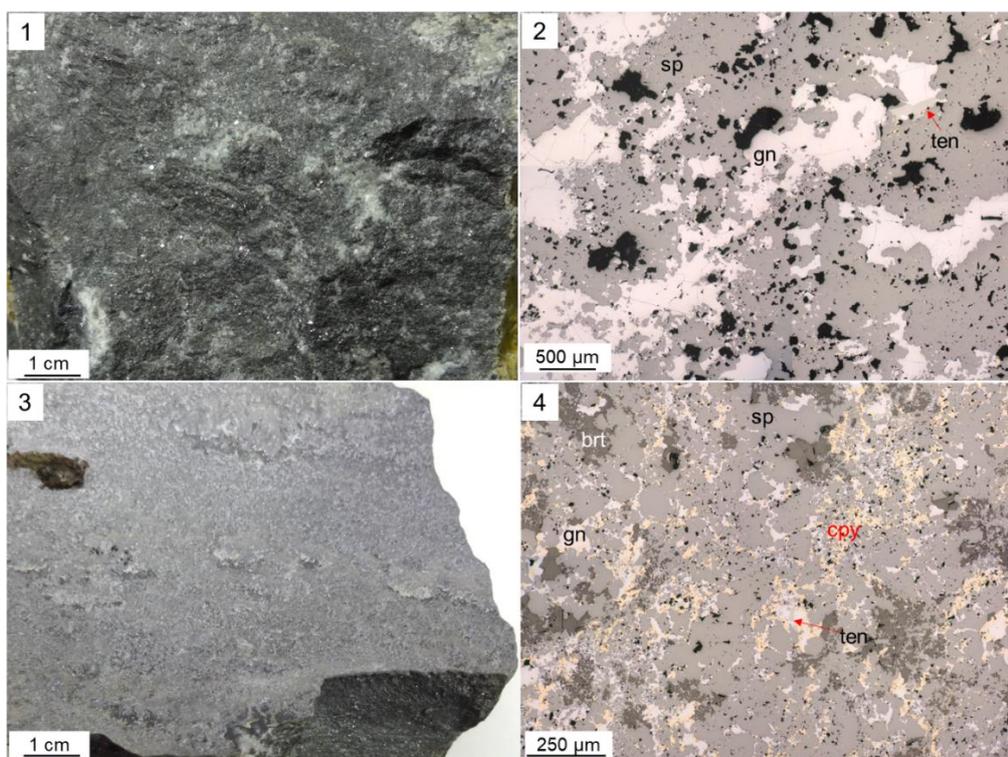


図 25 方鉛鉱及び閃亜鉛鉱を主とし, 黄銅鉱を含む黒鉱の産状

図 25-1 及び 2, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱を主とした黒鉱, 相内鉱床.

図 25-3 及び 4, 黄銅鉱, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱を主とした黒鉱, 光沢鉱床.

図 25-1, 閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 重晶石を主とする黒鉱, 相内鉱床

閃亜鉛鉱及び方鉛鉱に富む黒鉱である. 細粒な閃亜鉛鉱と比較的粗粒な方鉛鉱から成り, 方鉛鉱及び重晶石は閃亜鉛鉱の結晶間隙や空隙を埋めるように晶出し, 少量の砒四面銅鉱を伴う.

図 25-2, 図 25-1 の顕微鏡写真

細粒な閃亜鉛鉱の間隙や空隙を充填するように方鉛鉱, 及び砒四面銅鉱が晶

出している。閃亜鉛鉱中には微細な黄銅鉱病変がみられる。

図 25-3, 閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 黄銅鉱, 重晶石を主とする黒鉱, 光沢鉱床

閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 黄銅鉱に富む黒鉱であり, 層状の構造を有する。レンズ状の方鉛鉱, 黄銅鉱濃集部や空隙を含むが, 全体として細粒緻密で均質である。黄銅鉱, 及び砒四面銅鉱にやや富んでいる。

図 25-4, 図 25-3 の顕微鏡写真

100 $\mu\text{m}$  前後の閃亜鉛鉱の粒界や空隙を充填し, 黄銅鉱, 方鉛鉱, 砒四面銅鉱及び重晶石が晶出している。特に黄銅鉱及び方鉛鉱は同様の産状を示し, 砒四面銅鉱は方鉛鉱中に晶出している。

	骨格鉱物		間隙充填鉱物			
sp	■	■	■	■	■	■
cpy			■	■	■	
gn			■	■	■	
ten			■	■	■	
brt			■	■	■	
py						■

図 26 光沢鉱床産黒鉱の晶出順序

#### 4-4-3 金銀に富み斑銅鉱を含む黒鉱の産状(深沢鉱床)

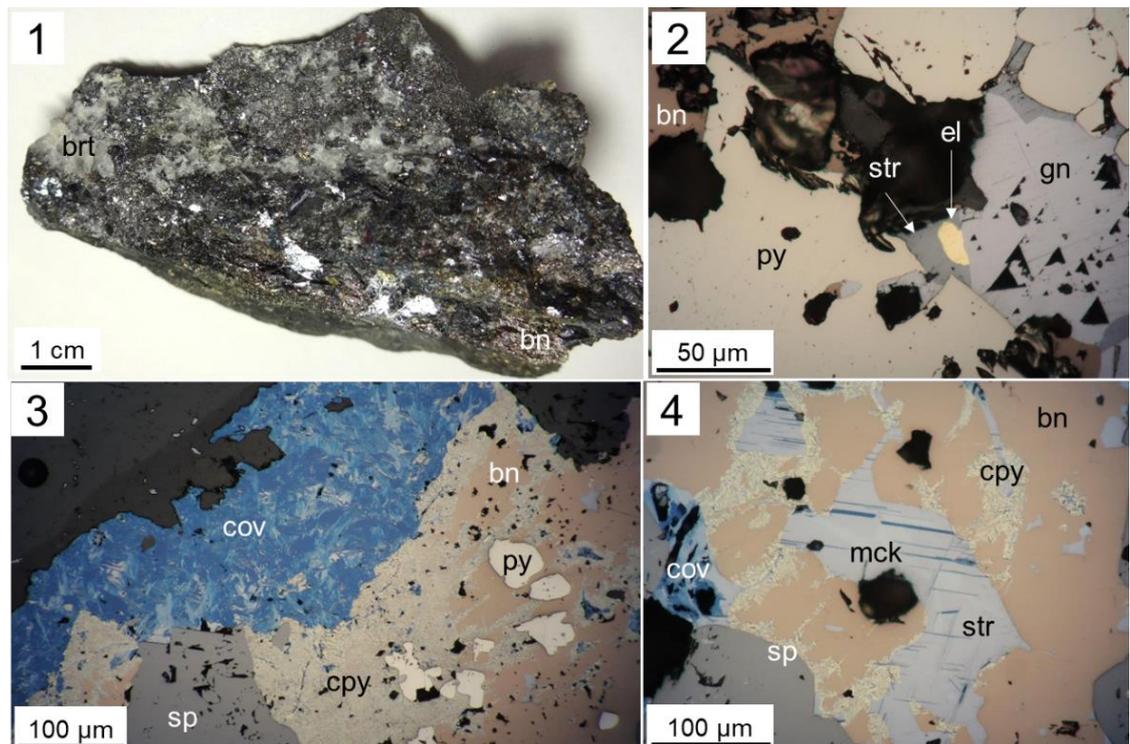


図 27 金銀に富み斑銅鉱を含む黒鉱(深沢鉱床)

cov : 銅藍 mck : マッキンストリー鉱

図 27-1, 金銀に富み斑銅鉱を組む黒鉱の写真, 深沢鉱床.

図 25-2,3,4 は同黒鉱の顕微鏡の産状.

図 27-1, 斑銅鉱に富む黒鉱, 深沢鉱床

重晶石濃集部を挟み粗粒部と細粒部に分かれる。粗粒部細粒部ともに斑銅鉱に富み, 局所的に斑銅鉱及び安四面銅鉱が濃集する。輝銀銅鉱などの銀鉱物に富み, 少量のエレクトラムを伴う。また安四面銅鉱中に微細なファマチン鉱を伴う場合がある。

図 27-2, 図 27-1 の顕微鏡写真 1

自形の黄鉄鉱と閃亜鉛鉱の粒子間に晶出した方鉛鉱-輝銀銅鉱-エレクトラム。

図 27-3, 図 27-1 の顕微鏡写真 2

融食形黄鉄鉱, 銅藍, 黄銅鉱-斑銅鉱がみられ, 黄銅鉱は斑銅鉱中にラメラとしてみられる。

図 27-4, 図 27-1 の顕微鏡写真 3

自形性の閃亜鉛鉱粒子間に晶出する斑銅鉱, 黄銅鉱と輝銀銅鉱-マッキンストリー鉱 [Ag<sub>5</sub>Cu<sub>3</sub>S<sub>4</sub>]。斑銅鉱中には黄銅鉱のラメラがみられ, 輝銀銅鉱中にはマッキンストリー鉱のラメラがみられ, この 2 鉱物を切るように銅藍がラメラとして晶出している。

	骨格鉱物	間隙充填鉱物
sp	■	■
py		■
bn		■
el		■
tet		■
cov		■
fam		■
str		■
gn		■

図 28 深沢鉱床産黒鉱の晶出順序

## 4-4-4 金銀に富み斑銅鉱を含む黒鉱の産状(内の岱鉱床)

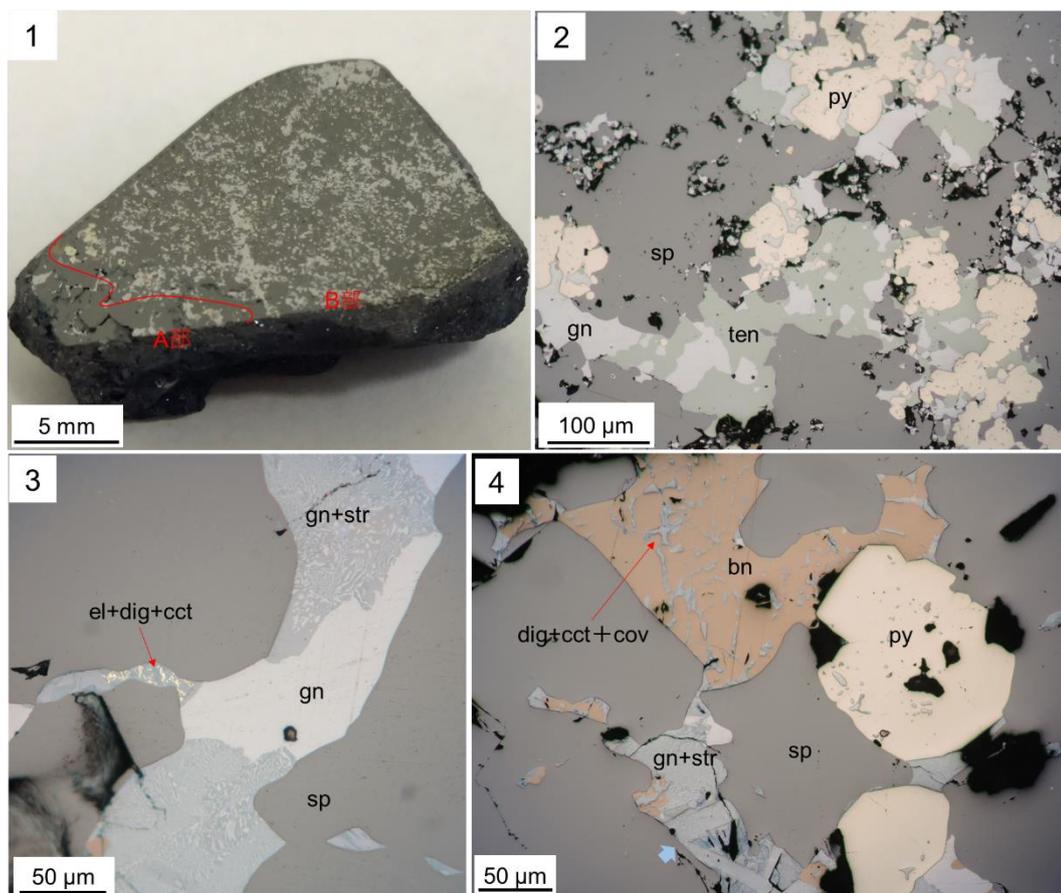


図 29 金銀に富み斑銅鉱を含む黒鉱の産状(内の岱鉱床)

dig : 方輝銅鉱

図 29-1, 金銀に富み斑銅鉱を含む黒鉱, 内の岱鉱床.

図 29-2, B 部の顕微鏡写真. 図 29-3 及び 4, A 部の顕微鏡写真.

図 29-1, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 斑銅鉱, 砒四面銅鉱に富む黒鉱, 内の岱鉱床

本鉱石は粗粒な閃亜鉛鉱からなる粗密な A 部と, やや細粒な閃亜鉛鉱からなる緻密な B 部によって構成される黒鉱である. A 部は斑銅鉱及び方鉛鉱を主とし, 輝銀銅鉱を顕著に伴う. B 部は方鉛鉱, 砒四面銅鉱に富み, 斑銅鉱や輝銀銅鉱を含まない.

図 29-2, 細粒緻密部の産状

50~100 $\mu$ m 程度の閃亜鉛鉱からなり, 空隙や粒界を充填するように黄鉄鉱や砒四面銅鉱, 方鉛鉱が晶出する. また黄鉄鉱は多くが自形であり, 方鉛鉱及び砒四面銅鉱は黄鉄鉱に遅れて同時期に晶出している.

図 29-3, 粗密部の産状 1

粗粒閃亜鉛鉱の粒界を充填するように晶出した方鉛鉱, 輝銀銅鉱, 輝銅鉱類, エレクトラムである. 輝銀銅鉱は, 方鉛鉱とミルメカイト様ラメラを形成し晶出しており, エレクトラムは輝銅鉱-方輝銅鉱ラメラ中にラメラとして産する.

図 29-4, 粗密部の産状 2

粗粒閃亜鉛鉱中に晶出した自形黄鉄鉱と，残りの空隙を充填するように晶出した斑銅鉱及び方鉛鉱-輝銀銅鉱ラメラである．斑銅鉱は輝銅鉱類から成るラメラを有し，このラメラはさらに，輝銅鉱-方輝銅鉱，銅藍から成るラメラを形成している．水色矢印の先の方鉛鉱-輝銀銅鉱ラメラは空隙中の結晶はラメラ形成前の高温相鉱物である， $\text{Cu}_5\text{AgS}_3\text{-PbS}$  連続固溶体の自形結晶である．

	骨格鉱物		間隙充填鉱物				
sp	■	■	■	■			
py			■				
bn			■	■	■		
gn			■	■	■	■	
str					■	■	■
dig					■	■	■
ccp					■	■	■
ten			■	■	■	■	■

図 30 金銀に富み斑銅鉱を含む内の岱鉱床産黒鉱の晶出順序

## 4-4-5 マッキンストリー鉱及び輝銀銅鉱に富む黒鉱の産状(古遠部鉱床)

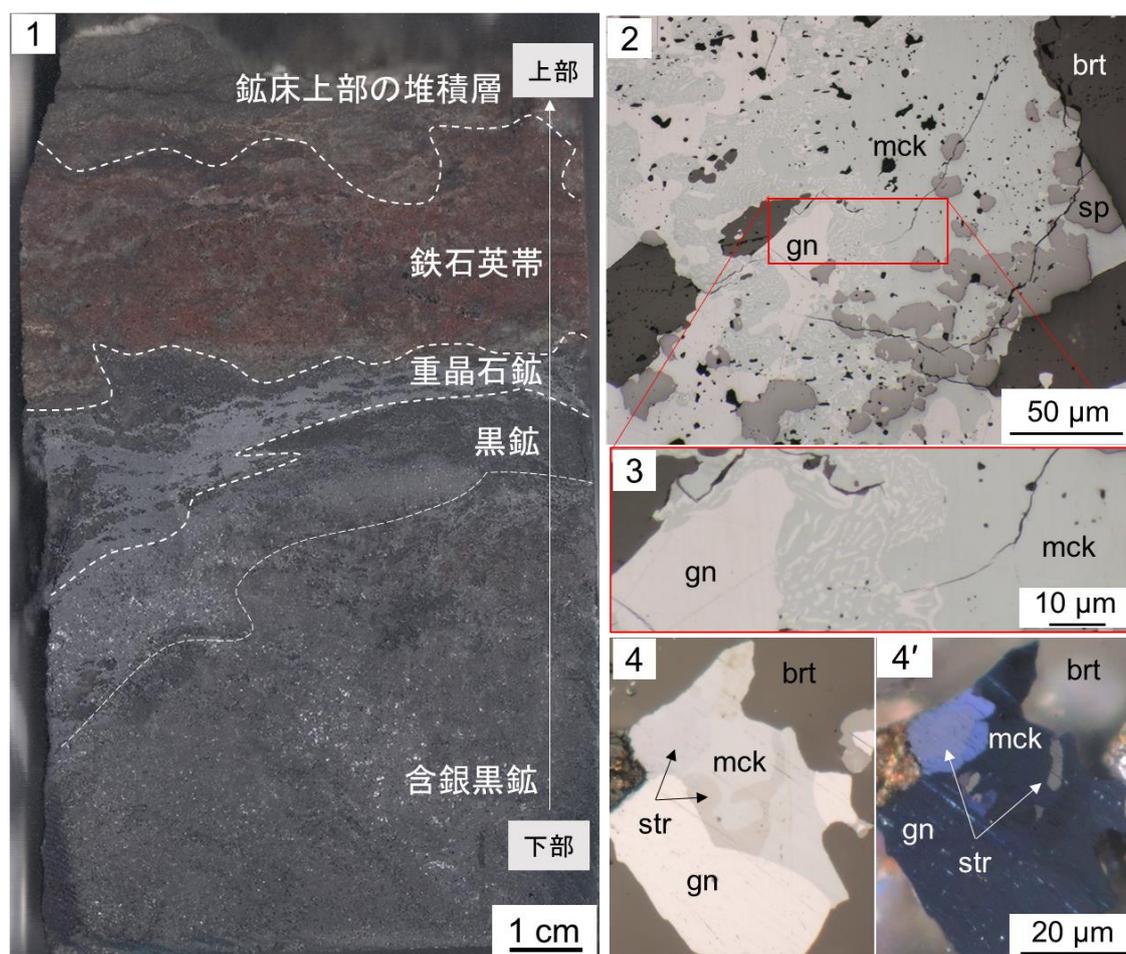


図 31 マッキンストリー鉱及び輝銀銅鉱に富む黒鉱の産状

図 31-1, マッキンストリー鉱及び輝銀銅鉱に富む黒鉱のスラブ写真. 図 31-2,3,4, 同黒鉱の顕微鏡写真.

図 31-1, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, マッキンストリー鉱, 重晶石を主とする鉱石, 古遠部鉱床

鉱床最上部の黒鉱, 重晶石帯, 鉄石英帯を有する鉱石であり, 黒鉱部は閃亜鉛鉱及び方鉛鉱, マッキンストリー鉱を主とする. マッキンストリー鉱は局所的には方鉛鉱と同程度含有され, 鉱石の主成分をなす. 重晶石帯付近では方鉛鉱の量が増加し閃亜鉛鉱の量が減少する.

図 31-2 及び 3, 黒鉱部の産状 1

自形閃亜鉛鉱及び自形重晶石の間隙を充填するように, 方鉛鉱及びマッキンストリー鉱が晶出している. マッキンストリー鉱と方鉛鉱の間には方鉛鉱-マッキンストリー鉱のミルメカイト様ラメラが発達している.

図 31-4,4', 黒鉱部の産状 2

自形閃亜鉛鉱の間隙を充填し晶出した方鉛鉱及びマッキンストリー鉱, 輝銀銅鉱である. 4 はオープンニコルで撮影し, 4'はクロスニコルで撮影.

	骨格鉱物	間隙充填鉱物						
ba								
sp								
gn								
mck								
str								

図 32 古遠部鉱床産黒鉱の晶出順序

## 4-4-6 銀安四面銅鉱及びエレクトラムに富む黒鉱の産状(内の岱鉱床)

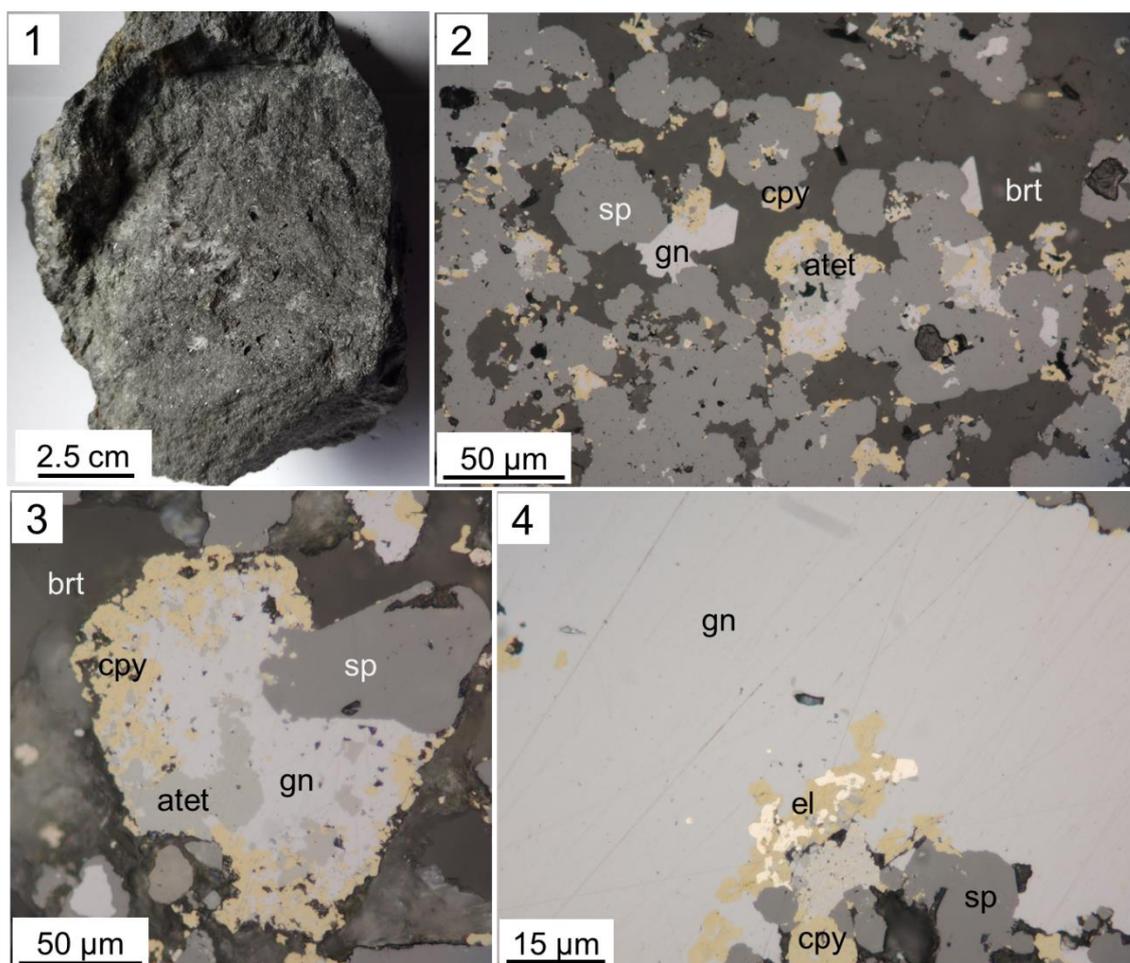


図 33 銀四面銅鉱及びエレクトラムに富む黒鉱の産状(内の岱鉱床)

atet : 銀安四面銅鉱

図 33-1, 銀四面銅鉱及びエレクトラムに富む黒鉱の写真, 内の岱鉱床. 図 33-2, 3, 4, 同黒鉱の顕微鏡写真.

図 33-1, 閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 含銀四面銅鉱に富む黒鉱, 内の岱鉱床

最大 1 cm 程度の球状からレンズ状の空隙が多くみられ, 空隙内には自形の重晶石, 方鉛鉱が多く晶出している. 鉱石全体として自形閃亜鉛鉱を多く含み,

間隙や空隙には重晶石，方鉛鉱，黄銅鉱が晶出している．また顕著に細粒な銀安四面銅鉱及びエレクトラムが含まれる．

図 33-2, 鉱石の産状 1

自形閃亜鉛鉱及び重晶石を多量に含む．閃亜鉛鉱，方鉛鉱は全般的に自形性がよく，方鉛鉱，黄銅鉱は銀安四面銅鉱と共にコロフォーム組織を形成する．重晶石はこれらの鉱物の間隙を充填し晶出する．

図 33-3, 鉱石の産状 2

半自形閃亜鉛鉱とともに産する不完全なコロフォーム組織である．不明瞭であるが銀安四面銅鉱及び方鉛鉱は核からの同時成長による球晶をなし，外縁部に微細な黄銅鉱が産している．

図 33-4, 鉱石の産状 3

黄銅鉱及び方鉛鉱と共生するエレクトラムであり．反射率が高く淡黄白色であり，Au に乏しいエレクトラムの特徴を有する．写真のように 10 $\mu\text{m}$  程度以下の粒子が多く，方鉛鉱に伴うもの，また黄銅鉱や方鉛鉱とコロフォームを形成するものがある．

	骨格鉱物		間隙充填鉱物			
sp	■	■	■	■	■	■
brt			■	■	■	■
atet			■	■	■	■
gn			■	■	■	■
cpy				■	■	■
el				■	■	■
py					■	■

図 34 銀安四面銅鉱及びエレクトラムに富む内の岱鉱床産黒鉱の晶出順序

## 4-4-7 銀安四面銅鉱及びエレクトラムに富む黒鉱の産状(小割沢鉱床)

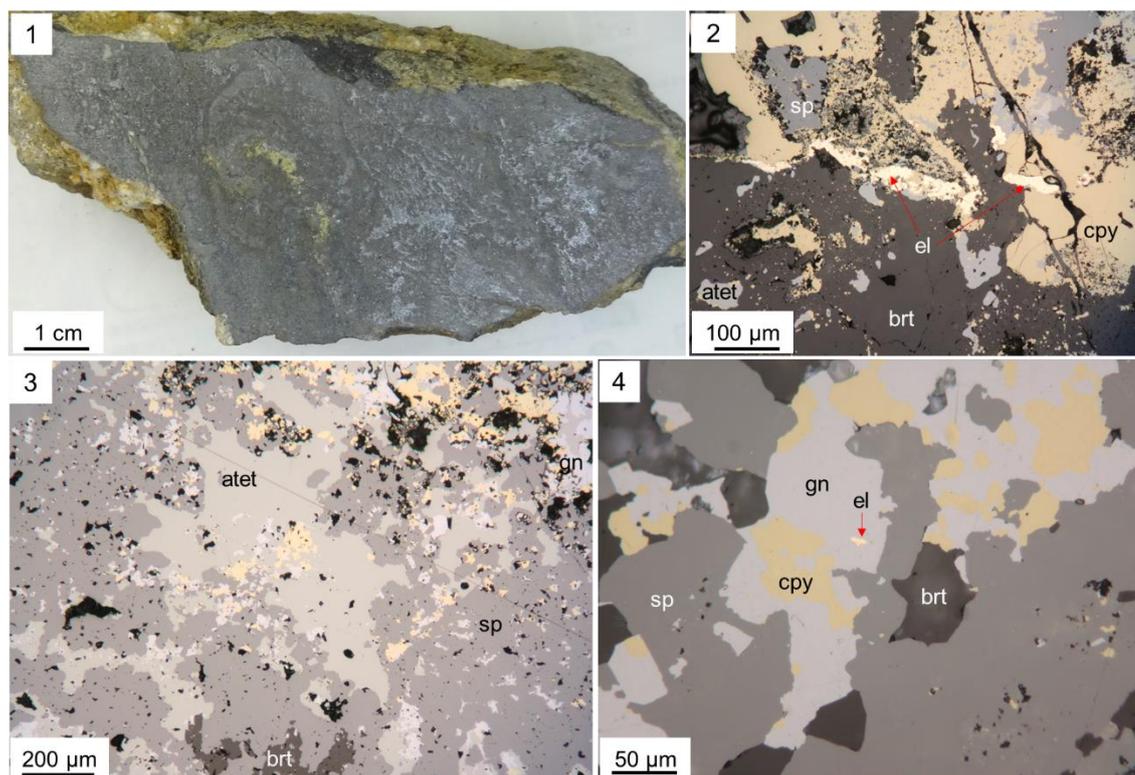


図 35 銀安四面銅鉱及びエレクトラムに富む黒鉱の産状(小割沢鉱床)

図 35-1, 銀四面銅鉱及びエレクトラムに富む黒鉱の写真, 小割沢鉱床. 図 35-2,3,4, 同黒鉱の顕微鏡写真.

図 35-1, 閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 含銀四面銅鉱及びエレクトラムに富む黒鉱,

墨流し状構造及び霜降り状組織の発達した黒鉱質鉱石であり, 黄銅鉱のレンズを含む. 全体として方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 含銀四面銅鉱に富みしばしばエレクトラムを含む.

図 35-2, 黄銅鉱レンズに伴うエレクトラム

鉱石中の黄銅鉱レンズに伴い産するエレクトラムであり, レンズ状の構造に沿って, 長径 100 $\mu\text{m}$  程度の粗粒なエレクトラムが晶出している. また黄銅鉱レンズ中には黄銅鉱と共生し含銀四面銅鉱が多くみられる.

図 35-3, 黒鉱中の含銀四面銅鉱の産状

閃亜鉛鉱中の粒界及び空隙を充填するように産する含銀四面銅鉱であり, 方鉛鉱, 線亜鉛鉱とともに晶出している.

図 35-4, 黒鉱中のエレクトラムの産状

閃亜鉛鉱の結晶粒子間及び空隙を充填するように晶出した, 黄銅鉱, 方鉛鉱中に晶出した, 細粒なエレクトラム. 方鉛鉱中にしばしばみられ, 10 $\mu\text{m}$  以下程度で, レンズ状から液滴状に晶出する.

	骨格鉱物		間隙充填鉱物			
sp	■	■	■	■	■	■
brt	■	■	■	■	■	■
atet	■	■	■	■	■	■
gn	■	■	■	■	■	■
cpy	■	■	■	■	■	■
el	■	■	■	■	■	■
py	■	■	■	■	■	■

図 36 小割沢鉱床産黒鉱の晶出順序

## 4-4-8 雑銀鉱，銀四面銅鉱及びエレクトラムに富む黒鉱の産状

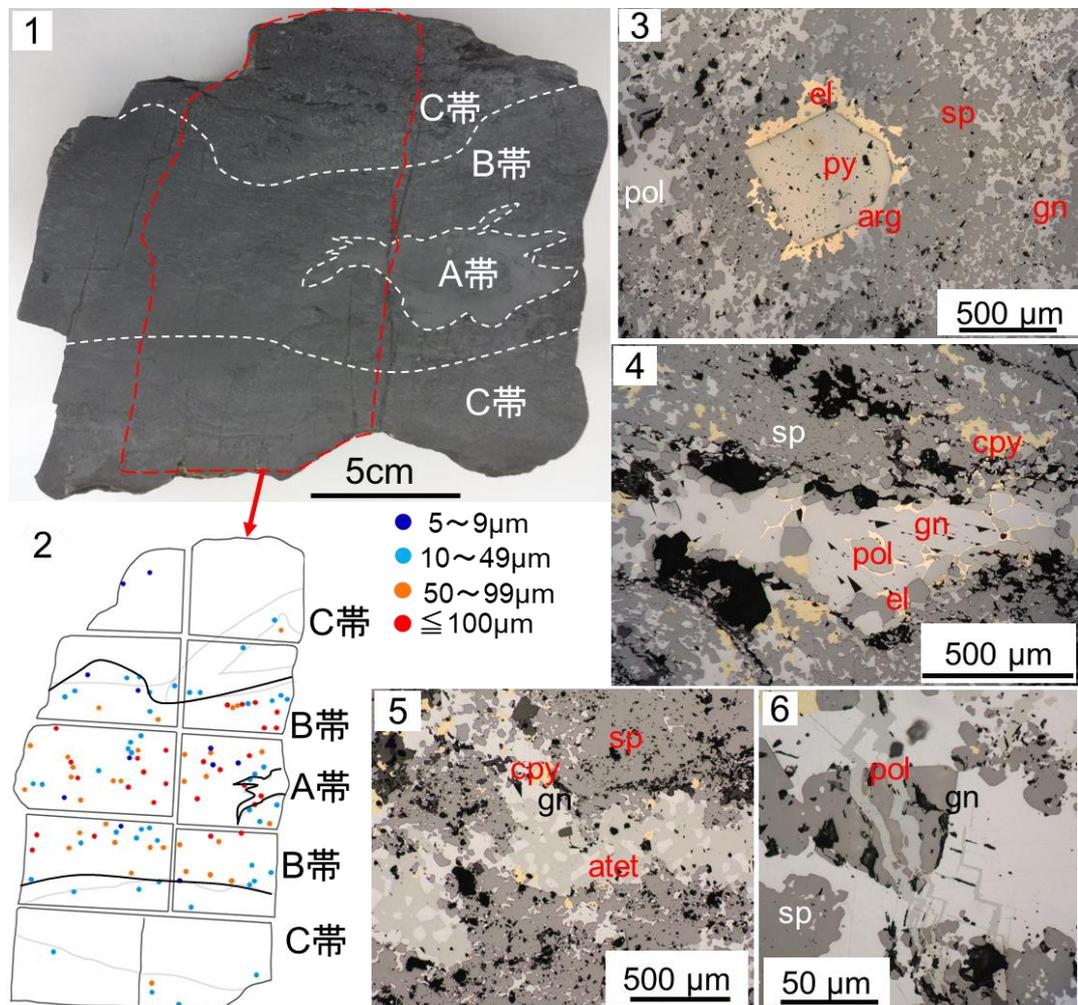


図 37 雑銀鉱，銀四面銅鉱及びエレクトラムに富む黒鉱の産状

pol : 雑銀鉱

図 37-1, 雑銀鉱，銀四面銅鉱及びエレクトラムに富む黒鉱の写真，水沢鉱床. 図 37-2, エレクトラムの分布. 図 37-3, 4, 5 及び 6 同黒鉱の顕微鏡写真.

図 37-1, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 雑銀鉱, 銀安四面銅鉱, エレクトラムに富んだ黒鉱 水沢鉱床

霜降り状構造の発達した層状黒鉱であり、細粒緻密で閃亜鉛鉱及び方鉛鉱を主とする。層状構造と調和的に鉱物種の分帯がある。A 帯は輝銀鉱, 雑銀鉱及びエレクトラムに富み, B 帯は雑銀鉱-エレクトラムに富む。C 帯は含銀四面銅鉱に富みエレクトラムは少量伴われる。

図 37-2, エレクトラムの分布

鉱石中のエレクトラムの分布を表す。A 帯及び B 帯のエレクトラムは多くが粗粒であり, C 帯のエレクトラムは多くが細粒である。

図 37-3, A 帯の産状

1mm 前後の粗粒な自形黄鉄鉱-エレクトラム-輝銀鉱-雑銀鉱からなる, 共生体である。黄鉄鉱を包むようにエレクトラムが晶出する。またこのエレクトラムの周縁部に自然銀を伴う。そして、これらと接するように輝銀鉱及び雑銀鉱が晶出する。

図 37-4, B 帯の産状

鉱石の初生的な亀裂を充填する雑銀鉱である, 閃亜鉛鉱及び方鉛鉱が劈開に沿って割れ目を形成しこの割れ目にも雑銀鉱が充填している。雑銀鉱などの銀鉱物が晶出したときすでに, 鉱石が固結していたことを表す。

図 37-5, A, B, C 帯の産状

自形閃亜鉛鉱の間隙に発達した方鉛鉱, 雑銀鉱, エレクトラムからなるレンズである。雑銀鉱及びエレクトラムは自形で晶出しており, これらの鉱物が空隙に晶出したのちに, 方鉛鉱が晶出している。また方鉛鉱と黄銅鉱は同形で産する。

図 37-6, C 帯の産状

B 帯同様に閃亜鉛鉱を主とし, 間隙を充填するように方鉛鉱及び四面銅鉱が晶出する。

	骨格鉱物		間隙充填鉱物						
sp	■	■	■	■	■	■	■	■	■
gn			■	■	■	■	■	■	■
cp			■	■	■	■	■	■	■
py			■	■	■	■	■	■	■
pol			■	■	■	■	■	■	■
atet			■	■	■	■	■	■	■
arg			■	■	■	■	■	■	■
el			■	■	■	■	■	■	■
ba			■	■	■	■	■	■	■

図 38 水沢鉱床産金銀に富む黒鉱の晶出順序

#### 4-4-9 黒鉱の産状

黒鉱の鉱物組み合わせは多種多様であったが、全てに共通して含まれる鉱物は閃亜鉛鉱、及び方鉛鉱であった。また、閃亜鉛鉱を主とし空隙や玉髄からなる鉱石もみられた(図 23)。

また銅鉱物は四面銅鉱類、黄銅鉱、斑銅鉱、輝銅鉱類、硫砒銅鉱がみられ、四面銅鉱及び黄銅鉱は多くの鉱山に産した。そして、黒鉱中の銅鉱物のほぼ全ては閃亜鉛鉱や黄鉄鉱の間隙を充填する産状を示す。

黒鉱では金銀鉱物の著しく濃集した鉱石がみられ、主に含銀四面銅鉱や雑銀鉱、エレクトラムを多く含む鉱石と、輝銀銅鉱やマッキンストリー鉱、エレクトラムを多く含む鉱石の2タイプに分かれた(図 27, 29, 31, 33, 35, 37)。

以上の記載結果から黒鉱は鉱物組み合わせから7種に分類した。

#### 4-4-10 黒鉱の分類

- 1 空隙-閃亜鉛鉱-(石英, 重晶石, 方鉛鉱, 四面銅鉱)  
松峰鉱床, 水沢鉱床
- 2 閃亜鉛鉱-黄鉄鉱-方鉛鉱-石英-(四面銅鉱, 黄銅鉱, 重晶石)  
深沢鉱床, 花輪鉱床, 水沢鉱床, 小割沢鉱床
- 3 閃亜鉛鉱-重晶石-方鉛鉱-黄銅鉱-(四面銅鉱, 黄鉄鉱)  
ほぼすべての黒鉱鉱床に産する
- 4 閃亜鉛鉱-方鉛鉱-黄銅鉱-斑銅鉱-Cu-S mineral-重晶石-(四面銅鉱, 硫砒銅鉱, 輝銀銅鉱, エレクトラム)  
松峰鉱床, 深沢鉱床, 餌釣鉱床, 古遠部鉱床, 堂屋敷鉱床(七ツ館鉱体)
- 5 閃亜鉛鉱-方鉛鉱-Cu-S minerals-マッキンストリー鉱-重晶石-(輝銀銅鉱, ジャルパ鉱, 自然銀)  
古遠部鉱床
- 6 閃亜鉛鉱-方鉛鉱-黄鉄鉱-含銀安四面銅鉱-重晶石-(エレクトラム, 黄銅鉱, 雑銀鉱)  
内の岱鉱床, 小割沢鉱床, 田ノ沢鉱床, 水沢鉱床, 発盛鉱床
- 7 閃亜鉛鉱-方鉛鉱-黄鉄鉱-重晶石-雑銀鉱-(エレクトラム 黄銅鉱)  
银山鉱床, 松峰鉱床(材立沢鉱体), 水沢鉱床, 田ノ沢鉱床, 霜岱鉱床

#### 4-5 重晶石鉱の産状

##### 4-5-1 石英及び方鉛鉱，閃亜鉛鉱を含む重晶石鉱の産状

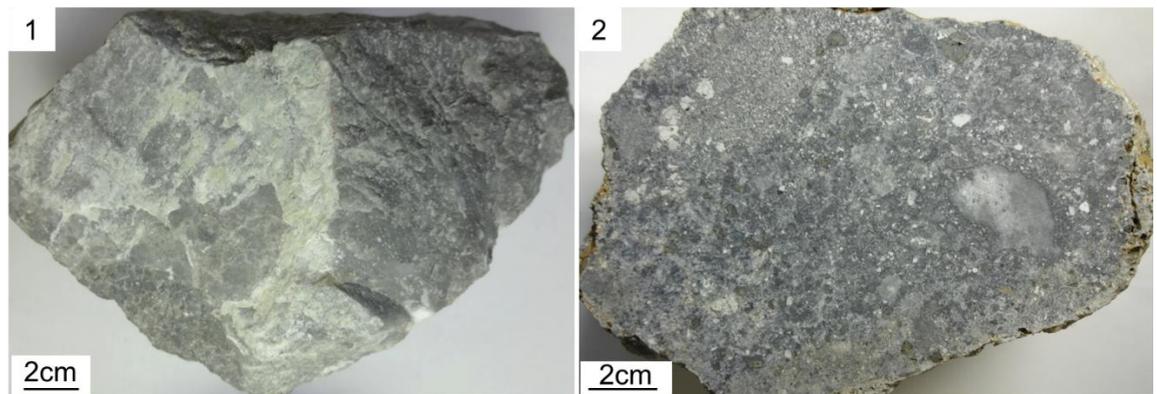


図 39 石英及び方鉛鉱，閃亜鉛鉱を含む重晶石鉱の産状

図 39-1，重晶石鉱，深沢鉱床． 図 39-2，重晶石鉱，小割沢鉱床．

##### 図 39-1，重晶石を主とする重晶石鉱

緻密質で硫化鉱物に乏しく微細な重晶石からなり，微量に石英を含む．

##### 図 39-2，閃亜鉛鉱や黄鉄鉱を含む重晶石鉱

鉱床上盤側の凝灰質を含むやや礫状重晶石鉱であり，粗粒な閃亜鉛鉱や重晶石鉱礫を含む． 緻密質で基質は細粒な重晶石からなる．

## 4-5-2 斑銅鉱に富む重晶石鉱の産状(餌釣鉱床)

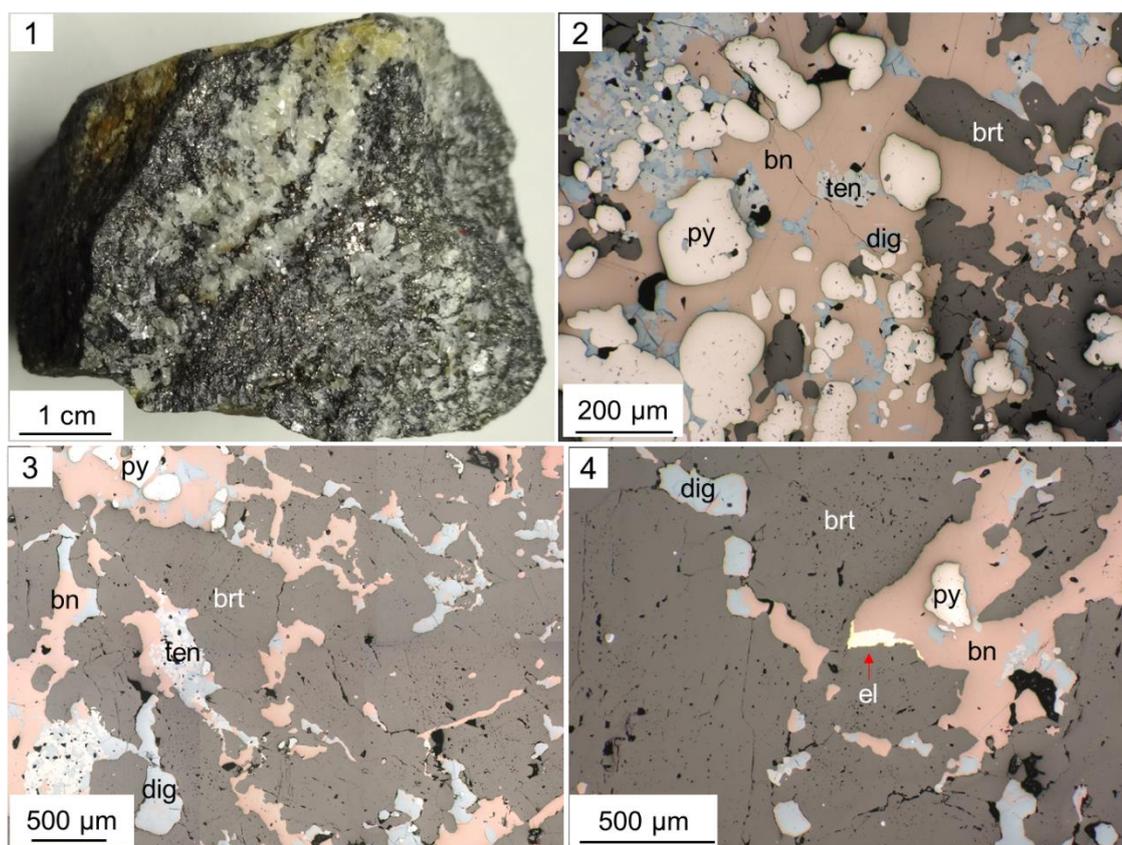


図 40 斑銅鉱に富む重晶石鉱の産状(餌釣鉱床)

図 40-1, 斑銅鉱に富む重晶石鉱の写真, 餌釣鉱床. 図 39-2,3,4, 同重晶石鉱の顕微鏡写真

図 40-1, 斑銅鉱を伴う重晶石鉱,

1~5mm 前後の比較的粗粒な重晶石と, 斑銅鉱からなる. 重晶石の大部分は自形で, それらの間隙を充填するように斑銅鉱及び輝銅鉱類が晶出する. また砒四面銅鉱中, 或いは隣接して 5 $\mu$ m 程度の砒四面銅鉱が晶出する.

図 40-2, 硫化物に富む部位の産状

比較的斑銅鉱や黄鉄鉱などの硫化物に富む部位である. 重晶石は自形を表しており, 黄鉄鉱はやや丸みを帯びた自形で晶出している. また方輝銅鉱が多くみられ, ラメラとしてデュルレ鉱及び, 輝銅鉱がみられる. これら輝銅鉱類と共生し砒四面銅鉱が晶出する.

図 40-3, 鉱石の主要部の産状

1~2mm 程度の自形重晶石の粒界を充填するように斑銅鉱や方輝銅鉱, 砒四面銅鉱が晶出している. また輝銅鉱類の大部分は斑銅鉱中に包有される様に晶出している.

図 40-4, 斑銅鉱と共生するエレクトラム

長径 200 $\mu$ m ほどの比較的粗粒なエレクトラムであり重晶石の粒界を充填するように晶出している斑銅鉱に伴って晶出している.

	骨格鉱物		間隙充填鉱物			
brt	■	■	■	■	■	■
el			■			
py			■	■	■	■
bn			■	■	■	■
dig					■	■
cco					■	■
ten					■	■

図 41 斑銅鉱に富む重晶石鉱の晶出順序

## 4-5-3 四面銅鉱及び硫砒銅鉱-ルソン銅鉱に富む重晶石鉱の産状

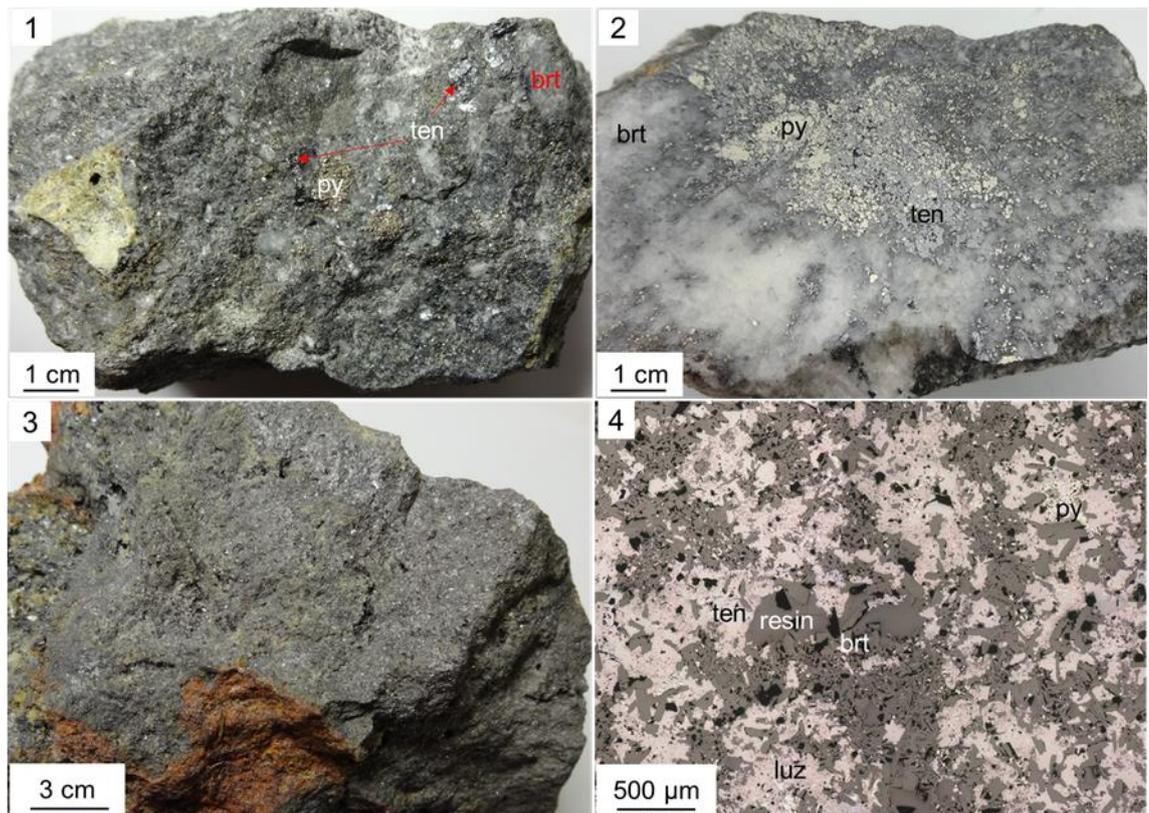


図 42 四面銅鉱及び硫砒銅鉱-ルソン銅鉱に富む重晶石鉱の産状

resin : 樹脂

図 42-1,2, 砒四面銅鉱に富む重晶石鉱, 花輪鉱床.

図 42-3,4, 砒素面銅鉱及びルソン銅鉱に富む重晶石鉱, 安部城鉱床.

図 42-1, 砒四面銅鉱に富む重晶石鉱, 花輪鉱床

重晶石を主とし、レンズ状の黄鉄鉱や砒四面銅鉱の濃集部を含む。重晶石が鉱石全体の 50%以上を占め、黄鉄鉱、砒四面銅鉱などの硫化物は、重晶石の間隙を充填するように産している。

図 42-2, 砒四面銅鉱に富む重晶石鉱, 花輪鉱床

重晶石を主とする鉱石中に黄鉄鉱及び砒四面銅鉱の濃集部を伴う。濃集部を除いて、黄鉄鉱及び砒四面銅鉱は重晶石の粒界を充填し晶出している。

図 42-3, 重晶石及び砒四面銅鉱, ルソン銅鉱から成る重晶石鉱, 安部城鉱床

空隙と微細な重晶石に富み、空隙中には自形の硫砒銅鉱及びルソン銅鉱がみられる。空隙はレンズ状からパイプ状の幅 5 mm, 広がり 2 cm 以下の比較的大きなものと、自形重晶石間に生じた 1 mm 以下のものがあり、後者は鉱石全体にみられる。

図 42-4, の顕微鏡写真

100~500 $\mu$ m 程度の細粒な重晶石と、その間隙を充填するように晶出したルソン銅鉱、砒四面銅鉱、黄鉄鉱(白鉄鉱)から成り、空隙に富む。空隙は試料作成時に充填した樹脂が空隙を埋めている。樹脂は重晶石に比べ研磨硬度が低いため、重晶石が浮き出ている。

	骨格鉱物	間隙充填鉱物			
brt	■	■	■	■	■
py					
luz		■	■	■	■
ten					■

図 43 安部城鉱床産重晶石鉱の晶出順序

#### 4-5-3 重晶石鉱の産状

重晶石鉱は重晶石を主とし、自形重晶石の間隙を充填するように黄鉄鉱や閃亜鉛鉱、方鉛鉱、四面銅鉱類が晶出している。一部では斑銅鉱を顕著に伴うものや硫砒銅鉱、ルソン銅鉱、砒四面銅鉱に富むものもみられた(図 40, 42)。

#### 4-5-4 重晶石鉱の分類

- 1 重晶石-黄鉄鉱-(石英)  
ほぼ全て黒鉱鉱床で産出
- 2 重晶石-閃亜鉛鉱-(黄鉄鉱, 方鉛鉱)  
水沢鉱床, 花輪鉱床, 小割沢鉱床, 霜岱鉱床
- 3 重晶石-斑銅鉱-黄鉄鉱-Cu-S mineral-(四面銅鉱, 硫砒銅鉱)  
餌釣鉱床
- 4 重晶石-黄鉄鉱-四面銅鉱-(閃亜鉛鉱, 黄銅鉱, 方鉛鉱)  
花輪鉱床, 田の沢鉱床
- 5 重晶石-硫砒銅鉱-砒四面銅鉱-黄鉄鉱(閃亜鉛鉱, 方鉛鉱)  
安部城鉱床, 堂屋敷鉱床(観音堂鉱体), 花輪鉱床

## 4-6 鉄石英帯の産状

### 4-6-1 鉄石英帯の産状

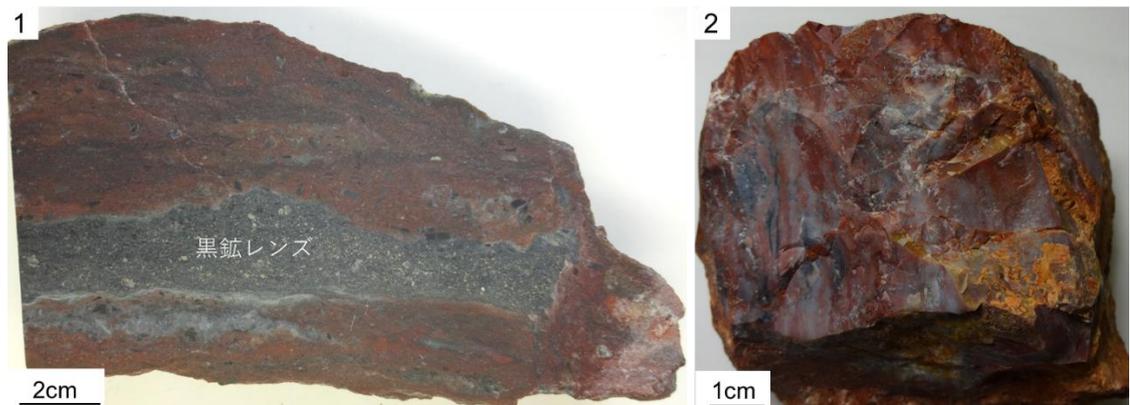


図 44 鉄石英の産状

図 44-1, 重晶石に富む鉄石英, 霜岱鉱床. 図 44-2, 珪質に富む鉄石英, 大巻鉱床.

#### 図 44-1, 重晶石に富む鉄石英帯, 霜岱鉱床

層状の構造を有し, 流入性の黒鉄レンズを含む. 鉄石英帯部には 5mm 程度の重晶石粗晶を含む. 重晶石, 石英, 赤鉄鉱の量比が変化し, 色の濃淡がみられる.

#### 図 44-2, 珪質な鉄石英帯, 大巻鉱床

重晶石質な鉄石英帯中にみられるレンズ状の珪質な鉄石英であり, 赤鉄鉱の含有量の差による縞がみられる. 玉髄質な細粒な石英から成り堅硬緻密である.

### 4-6-2 鉄石英帯の産状

鉄石英帯は赤鉄鉱-石英-重晶石からなり, 火山性碎屑粒子などを含有する.

そして, 重晶石に富むものと珪質に富むものの 2 種に分類され, 多くの鉱床で確認されている. またレンズ状に黒鉄を含む場合や, 古遠部鉱床に産した輪鉄(鉄石英帯中にレンズ状から球状の銀に富んだ黒鉄を含む鉄石)などがあるものの, 鉱床ごとの特徴はない.

### 4-6-3 鉄石英帯の分類

1 石英-赤鉄鉱-(磁鉄鉱-黄鉄鉱)

2 石英-赤鉄鉱-重晶石-(黄鉄鉱)

1 及び 2 はいずれもほぼ全ての鉱床で産する.

## 4-7 脈状の組織を有する鉄石

鉄石の観察過程で, 鉄石中にしばしば脈状の構造を有する鉄石が確認された. 脈はレンズ状で連続性に乏しいものやパイプ状のものがあつた. 鉄床及び鉄石の形成過程を考えるうえで非常に重要であるため, 以下に記載する.

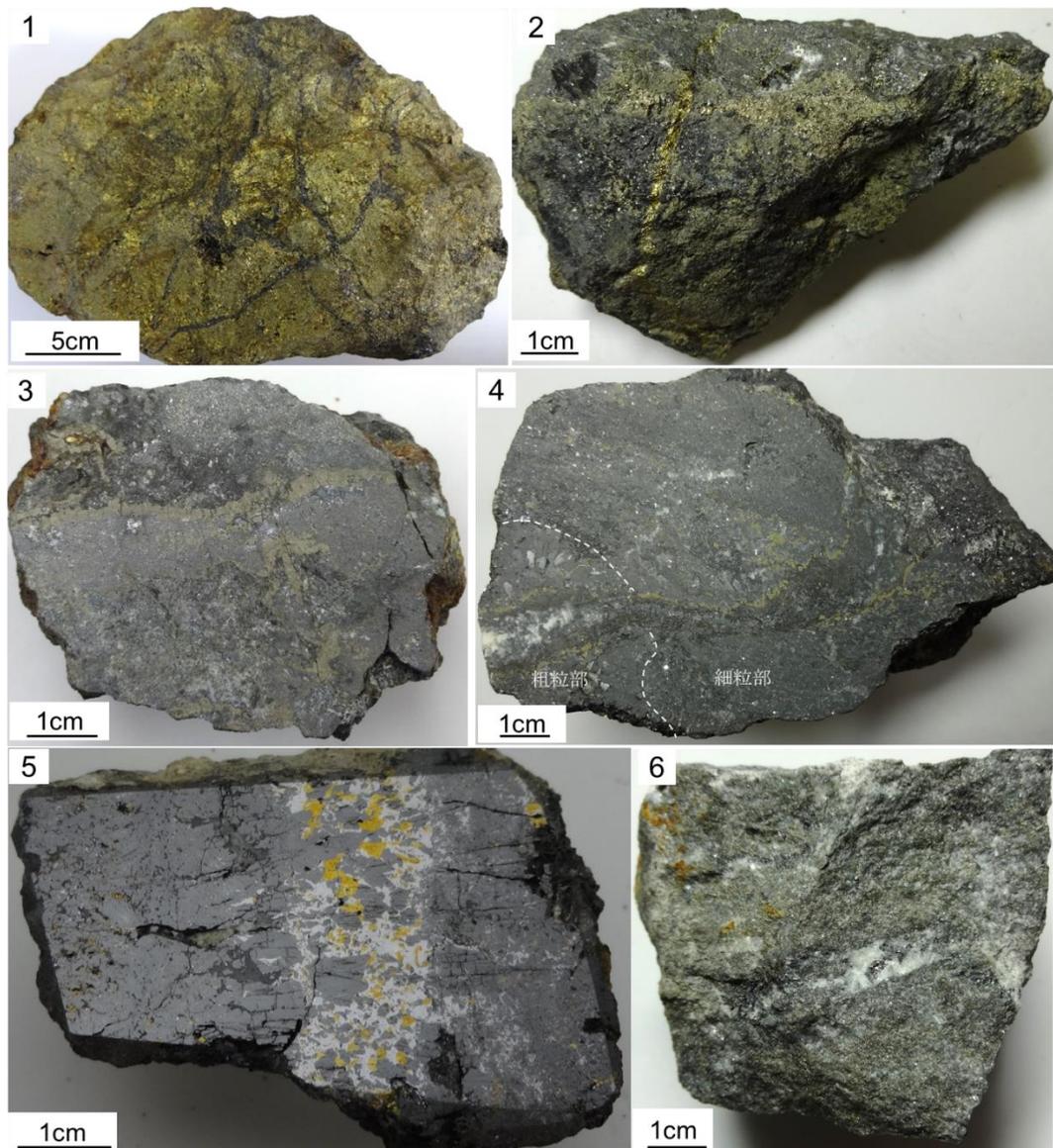


図 45 脈状の組織を有する鉱石

- 図 45-1, 黄鉱を切る閃亜鉛鉱細脈, 内の岱鉱床  
 図 45-2, 半黒鉱を切る黄銅鉱脈, 花輪鉱床  
 図 45-3, 半黒鉱を切る黄鉄鉱-方鉛鉱-閃亜鉛鉱脈, 深沢鉱床  
 図 45-4, 黒鉱を切る銅-亜鉛重晶石脈, 松峰鉱床  
 図 45-5, 黒鉱を切る閃亜鉛鉱-黄銅鉱-方鉛鉱脈, 水沢鉱床  
 図 45-6, 重晶石鉱を切る重晶石-玉髓-硫砒銅鉱脈, 花輪鉱床

図 45-1, 黄鉱を切る閃亜鉛鉱細脈, 内の岱鉱床

黄銅鉱に富む塊状緻密質な黄鉱中に, 閃亜鉛鉱と少量の方鉛鉱を伴う細脈が多数みられる。黄鉱中に閃亜鉛鉱は乏しく, 脈付近に微量に鉱染する。

図 45-2, 半黒鉱を切る黄銅鉱脈, 花輪鉱床

空隙に富む半黒鉱と黄銅鉱に富む半黒鉱が共在する鉱石を切る脈である。脈は黄銅鉱のみから成り, 脈中心付近に不連続な晶洞を伴う。この脈は鉱石中に多数見られ, 脈近傍を中心に黄銅鉱の鉱染が認められる。

図 45-3, 半黒鉱を切る黄鉄鉱-方鉛鉱-閃亜鉛鉱脈, 深沢鉱床

凝灰質や重晶石に富んだ半黒鉱を切り, 脈は盤際がコロフォーム及び累皮状の黄鉄鉱, その内側の細粒な方鉛鉱, 閃亜鉛鉱, 重晶石からなる無構造部からなる。また脈は分岐及び鉱染を伴う。ただし、黄銅鉱は脈外の半黒鉱中には含まれるが, 脈内にはほとんど含まれない。

図 45-4, 黒鉱を切る銅-亜鉛重晶石脈, 松峰鉱床

黒鉱を切る, 黄銅鉱-閃亜鉛鉱-砒四面銅鉱-重晶石-石英脈である。脈は盤際から不連続な黄鉄鉱を核にもつ黄鉄鉱-黄銅鉱コロフォーム部, 重晶石-閃亜鉛鉱-四面銅鉱部, 閃亜鉛鉱-方鉛鉱部の順に対称性を持ち, 脈の肥大部では中央に重晶石-石英(玉髓)部を伴う。

鉱石は細粒部と粗粒部に分かれる。細粒部は閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 黄銅鉱を主とする黒鉱であり, 粗粒部は閃亜鉛鉱を主とする黒鉱である。

粗粒部は脈近傍に黄銅鉱が晶出している。細粒部では, 黄鉄鉱を核とする黄鉄鉱-黄銅鉱コロフォームが, 脈の近傍から層状構造に調和的に鉱染している。

図 45-5, 黒鉱を切る閃亜鉛鉱-黄銅鉱-方鉛鉱脈, 水沢鉱床

黒鉱は閃亜鉛鉱, 方鉛鉱, 重晶石を主とする。この黒鉱を切るように, 粗粒な閃亜鉛鉱及び方鉛鉱, 黄銅鉱からなる脈が発達する。盤外の黒鉱には少量の方鉛鉱が鉱染する。

図 45-6, 重晶石鉱を切る重晶石-玉髓-硫砒銅鉱脈, 花輪鉱床

重晶石, 黄鉄鉱, 四面銅鉱からなる重晶石鉱を切る重晶石, 砒四面銅鉱-硫砒銅鉱, 玉髓脈脈であり, 脈の膨縮は著しく不連続である。脈の肥大部では玉髓質石英に包まれるように長さ 1cm 近い硫砒銅鉱が晶出し, 尖滅部付近では砒四面銅鉱が多く晶出する。脈の外には 1mm 以下程度の砒四面銅鉱や硫砒銅鉱が鉱染状に産する。

## 5 黒鉱鉱床に産する鉱石の形成過程及び鉱物組み合わせによる分類

黒鉱鉱床では慣例的に, 珪質に富む鉱石を珪鉱, 黄鉄鉱及び, 銅鉱物に富む鉱石を黄鉱とし, 鉛, 亜鉛に富む鉱石を黒鉱, 重晶石に富む鉱石を重晶石鉱(バライト鉱), 鉱床上部を被覆する赤鉄鉱及び磁鉄鉱を含む珪質な堆積層を鉄石英帯としており。さらに組成上, 黄鉱と黒鉱の中間的なものを半黒鉱とし 6 種に分類されてきた。これらは成分上の分類であり, 成因とは必ずしも一致しない。よって鉱石の組織及び成因による再定義を試みた。以下の通りである。

### 1 珪鉱

海底下の母岩が変質, 珪化し鉱石鉱物が鉱染及び交代することによって形成した鉱石であり, 鉱染状, 網目状鉱床と類似した産状を表す。

## 2 黄鉱

海底に堆積した黄鉄鉱や黄銅鉱を主とした鉱石を黄銅鉱や斑銅鉱，輝銅鉱類が鉱染及び交代した鉱石であり，少量の閃亜鉛鉱，方鉛鉱を伴う．脈石鉱物として，石膏や重晶石を伴う．

## 3 半黒鉱

海底に堆積した黄鉄鉱，及び閃亜鉛鉱を主とした鉱石を，黄銅鉱及び方鉛鉱が鉱染及び交代した鉱石であり黒鉱と黄鉱の中間的な産状を表す．

## 4 黒鉱

海底に堆積した閃亜鉛鉱を主とした鉱石の間隙に方鉛鉱，四面銅鉱，重晶石が鉱染した鉱石である．しばしば黄銅鉱，斑銅鉱や輝銅鉱類を伴う．

## 5 重晶石鉱

海底に堆積した重晶石を主とした鉱石の間隙に方鉛鉱，閃亜鉛鉱，四面銅鉱などが鉱染した鉱石である．

## 6 鉄石英帯

石英，重晶石，赤鉄鉱からなる鉱石であり，鉱床上部の堆積層及び重晶石帯に石英，赤鉄鉱が鉱染することによって形成する．

また，先行研究と収集した鉱石の観察結果から，黒鉱鉱床に産する鉱石は，斑銅鉱及び輝銅鉱類を含む鉱石と含まない鉱石，金銀に富む“高含金銀鉱”，金銀に乏しい“低含金銀鉱”がある．以上より，銅鉱物種と金銀含有量の組み合わせにより鉱石を4種に分類できる．

### 1 高硫化高含金銀鉱

斑銅鉱，輝銅鉱を含む高含金銀鉱

### 2 高硫化低含金銀鉱

斑銅鉱，輝銅鉱を含む低含金銀鉱

### 3 中硫化高含金銀鉱

斑銅鉱，輝銅鉱を含まない高含金銀鉱

### 4 中硫化低含金銀鉱

斑銅鉱，輝銅鉱を含まない低含金銀鉱

上記の黒鉱鉱床に産する鉱石の形成過程及び鉱物組み合わせによる分類をもとに，黒鉱鉱床に産する鉱石の分類を行ったものが表5である．

表 5 黒鉱鉱床に産する鉱石の分類

		鉱物組み合わせによる分類						
珪 鉱	主成分	石英 黄鉄鉱	石英 黄鉄鉱 黄銅鉱	石英 黄鉄鉱 黄銅鉱 方鉛鉱 閃亜鉛鉱	石英 黄鉄鉱 黄銅鉱 方鉛鉱 閃亜鉛鉱	石英 黄鉄鉱 黄銅鉱 方鉛鉱 閃亜鉛鉱		
	副成分	イライト	イライト	重晶石	エレクトラム	重晶石 硫砒銅鉱 砒四面銅鉱		
黄 鉱	主成分	黄鉄鉱 空隙	黄鉄鉱 石英 重晶石	黄鉄鉱 黄銅鉱	黄鉄鉱 黄銅鉱 斑銅鉱 四面銅鉱	黄鉄鉱 斑銅鉱 四面銅鉱 Cu-S系鉱物	黄鉄鉱 斑銅鉱 黄銅鉱 四面銅鉱 輝銀銅鉱	黄鉄鉱 黄銅鉱
	副成分	石英 重晶石	黄銅鉱 閃亜鉛鉱	四面銅鉱 重晶石 閃亜鉛鉱	閃亜鉛鉱 方鉛鉱 重晶石 石英	方鉛鉱 閃亜鉛鉱 重晶石 (エレクトラム) (硫砒銅鉱)	方鉛鉱 (硫砒銅鉱) 閃亜鉛鉱 エレクトラム	閃亜鉛鉱 方鉛鉱 エレクトラム 雜銀鉱 重晶石 石英
半 黒 鉱	主成分	黄鉄鉱 閃亜鉛鉱 空隙	黄鉄鉱 閃亜鉛鉱 黄銅鉱	黄鉄鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱	黄鉄鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 斑銅鉱	黄鉄鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 斑銅鉱 Cu-S系物系	黄鉄鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 斑銅鉱 Cu-S系物 重晶石 輝銀銅鉱	黄鉄鉱 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 含銀安四面銅鉱 重晶石
	副成分	石英 重晶石	方鉛鉱 重晶石	黄銅鉱 四面銅鉱	石英 重晶石 四面銅鉱	石英 重晶石 四面銅鉱 硫砒銅鉱	四面銅鉱 硫砒銅鉱 エレクトラム	黄鉄鉱 エレクトラム
黒 鉱	主成分	空隙 閃亜鉛鉱 石英	閃亜鉛鉱 方鉛鉱 四面銅鉱類 石英	閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 四面銅鉱類 重晶石	閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 斑銅鉱 Cu-S系物 重晶石	閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 斑銅鉱 Cu-S系物 輝銀銅鉱 重晶石	閃亜鉛鉱 方鉛鉱 Cu-S系物 マッキンストリー鉱 重晶石	閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄銅鉱 含銀安四面銅鉱 重晶石
	副成分	石英 重晶石 方鉛鉱 四面銅鉱 (エレクトラム)	黄銅鉱 重晶石 (エレクトラム)	黄鉄鉱 (エレクトラム)	四面銅鉱 硫砒銅鉱 (エレクトラム)	四面銅鉱 輝銀銅鉱 マッキンストリー鉱 (硫砒銅鉱) (エレクトラム)	輝銀銅鉱 ジャルパ鉱 自然銀	エレクトラム 黄鉄鉱
重 晶 石 鉱	主成分	重晶石	重晶石 閃亜鉛鉱 方鉛鉱	重晶石 砒四面銅鉱	重晶石 斑銅鉱 黄鉄鉱 Cu-S系物	重晶石 硫砒銅鉱 砒四面銅鉱 黄鉄鉱	重晶石 斑銅鉱 黄鉄鉱 輝銀銅鉱 マッキンストリー鉱	重晶石 閃亜鉛鉱 方鉛鉱 雜銀鉱
	副成分	黄鉄鉱 石英	黄鉄鉱	閃亜鉛鉱 方鉛鉱 黄鉄鉱	四面銅鉱 硫砒銅鉱 エレクトラム	閃亜鉛鉱 斑銅鉱	四面銅鉱 硫砒銅鉱 エレクトラム	エレクトラム 黄銅鉱

金銀に乏しく斑銅鉱，輝銅鉱を含まない鉱石  
(中硫化低含金銀鉱)

金銀に乏しく斑銅鉱，輝銅鉱を含む鉱石  
(高硫化低含金銀鉱)

金銀に富み斑銅鉱，輝銅鉱を含む鉱石  
(高硫化高含金銀鉱)

金銀に富み斑銅鉱，輝銅鉱を含まない鉱石  
(中硫化高含金銀鉱)

表の主要鉱物は鉱石中に多量に含まれる鉱物である。副成分鉱物は鉱石中に普遍的に含まれるが量的に少ない鉱物である。

分類した 4 タイプの鉱石(中硫化低含金銀鉱，高硫化低含金銀鉱，中硫化高含金銀，高硫化高含金銀)の研究地域内の鉱床における産出について，以下の表 6 にまとめた。

表 6 研究地域内の鉱床における 4 タイプの鉱石の産出状況

	鉱床名	規模	高硫化		中硫化		鉱床名	規模	高硫化		中硫化		
			高含金銀	低含金銀	高含金銀	低含金銀			高含金銀	低含金銀	高含金銀	低含金銀	
1	安部城	中		○		○	15	小真木	中			○	
2	上北	中	○	○		○	16	奥見内	小				
3	十和田, 銀山	中				○	○	17	大巻	中			○
4	温川			○	○		○	18	発盛	小		○	○
5	古遠部	中	○	○		○	○	19	久栄	小			○
6	相内		○	○		○	○	20	水沢	小		○	○
7	小坂, 元山	大		○		○	○	21	花輪	中	○		○
8	小坂, 内の岱	大	○	○		○	○	22	大葛鉱徴	不明			○
9	花岡, 堂屋敷	大	○	○		○	○	23	小割沢	小		○	○
10	松木	中	○	○		○	○	24	鹿角	小		○	○
11	花岡, 松峰	大	○	○		○	○	25	光沢	小		○	○
12	釈迦内	大	○	○		○	○	26	馬場目	小			○
13	深沢	中	○	○		○	○	27	霜岱	小		○	○
14	餌釣	中	○	○		○	○				○	○	○

○ 文献調査による ○ 本研究による

高硫化高含金銀鉱石と高硫化低含金銀鉱石は、全ての中-大規模鉱床では鉱床で産したが、小規模鉱床ではいずれも産していない。中硫化高含金銀鉱石は小規模鉱床で特徴的に産し、大規模鉱床においても確認された。

## 6 鉱物の化学分析結果

### 6-1 エレクトラム分析結果

エレクトラムの金銀比を求めるため、EPMAを用いてエレクトラム中の Au, Ag, Cu, Pb, Zn, (Te)の含有量を測定した。

分析条件は電流値 20.00 nA, 電圧 20.0 kV, 電子ビーム径 5 $\mu$ m 及び 2 $\mu$ m である。

測定に使用したスタンダードを以下に記す。

金は Astimex 製の Au 金属, Ag は MAC 製 Ag-Te 合金或いは Astimex 製の Ag 金属, Cu は MAC 製の黄銅鉱, 亜鉛は Astimex 製の閃亜鉛鉱, 鉛は Astimex 製の方鉛鉱, テルルは MAC 製 Ag-Te 合金である。

測定に用いた試料は水沢層状黒鉱, 水沢塊状黒鉱, 水沢黄鉱, 内の岱塊状黒鉱, 田ノ沢黒鉱, 光沢層状黒鉱, 松峰塊状黒鉱, 松木層状黒鉱, 小割沢墨流し状黒鉱, 小割沢塊状黒鉱, 古遠部層状黒鉱, 深沢 Bn 黒鉱, 餌釣重晶石鉱の 13 試料である。

水沢層状黒鉱, 水沢黄鉱, 田ノ沢 Pol 黒鉱, 内の岱塊状黒鉱, 小割沢墨流し状黒鉱及び小割沢塊状黒鉱は中硫化高含金銀鉱石である。松木層状黒鉱, 光沢層状黒鉱及び松峰塊状黒鉱は中硫化低含金銀鉱である。深沢 Bn 黒鉱, 古遠部層状黄鉱は高硫化高含金銀鉱である。餌釣 Bn 重晶石鉱は高硫化低含金銀鉱である。

エレクトラムは、測定点中の金含有量の最大及び最小値と代表的な値を 3~4 点程度を表にまとめた。田ノ沢黒鉱は測定可能なエレクトラムが 2 粒だったため 2 点の値を表した。また餌釣 Bn 重晶石鉱は、粗粒な 1 粒のエレクトラムであるが組成差の大きいため 4 点の測定値を表した。

結果を以下の表 7, 8, 9 にまとめた.

表 7 エレクトラムの組成 1

サンプル名	単位	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Te	Total
水沢層状黒鉱Au1	wt %	52.04	44.11	0.02	2.61	0.82	0.02	99.62
	at %	37.81	58.52	0.04	1.80	1.80	0.03	100.00
水沢層状黒鉱Au4	wt %	49.80	47.17	0.03	1.31	0.94	0.15	99.40
	at %	35.49	61.37	0.07	2.02	0.89	0.16	100.00
水沢層状黒鉱Au5	wt %	43.01	53.42	0.05	1.46	1.57	0.02	99.54
	at %	29.28	66.42	0.11	3.22	0.95	0.03	100.00
水沢層状黒鉱Au11	wt %	50.90	46.40	0.02	0.42	0.39	0.00	98.13
	at %	37.08	61.72	0.05	0.86	0.29	0.00	100.00
水沢塊状黒鉱Au1	wt %	65.14	32.66	0.03	0.77	1.78	0.41	100.80
	at %	49.50	45.32	0.06	0.56	4.08	0.48	100.00
水沢塊状黒鉱Au8	wt %	67.11	31.33	0.00	0.07	0.07	0.03	98.60
	at %	53.85	45.90	0.00	0.06	0.16	0.04	100.00
水沢塊状黒鉱Au14	wt %	66.43	31.85	0.00	0.47	0.56	0.36	99.67
	at %	48.81	44.42	0.00	0.17	6.55	0.05	100.00
水沢塊状黒鉱Au15	wt %	66.91	32.00	0.00	0.18	0.56	0.33	99.97
	at %	47.99	45.47	0.17	0.09	5.83	0.45	100.00
水沢礫状黄鉱Au1	wt %	61.43	35.69	0.00	0.36	1.09	0.14	98.71
	at %	47.09	49.97	0.00	0.26	2.52	0.16	100.00
水沢礫状黄鉱Au5	wt %	62.79	34.33	0.00	0.00	1.31	0.09	98.52
	at %	48.47	48.39	0.00	0.00	3.04	0.10	100.00
水沢礫状黄鉱Au6	wt %	63.44	34.02	0.00	0.00	1.00	0.06	98.53
	at %	49.30	48.28	0.00	0.00	2.35	0.07	100.00
水沢礫状黄鉱Au10	wt %	59.59	36.97	0.00	0.51	3.71	0.40	101.18
	at %	42.76	48.44	0.00	0.34	8.01	0.45	100.00
内の岱塊状黒鉱Au1	wt %	36.50	50.40	0.35	2.10	0.41	0.55	90.30
	at %	27.31	68.85	0.80	0.91	1.49	0.64	100.00
内の岱塊状黒鉱Au4	wt %	47.20	43.56	0.17	0.00	3.08	0.09	94.10
	at %	34.53	58.19	0.39	6.79	0.00	0.10	100.00
内の岱塊状黒鉱Au15	wt %	43.42	45.41	0.14	1.28	0.10	0.55	90.89
	at %	33.62	64.21	0.34	0.23	0.94	0.66	100.00
内の岱塊状黒鉱Au17	wt %	36.11	50.33	0.32	2.35	0.42	0.63	90.15
	at %	27.06	68.86	0.73	0.95	1.67	0.73	100.00
田ノ沢Pol黒鉱Au1	wt %	43.50	53.09	0.13	0.40	0.01	0.12	97.25
	at %	30.76	68.55	0.27	0.02	0.27	0.13	100.00
田ノ沢Pol黒鉱Au2	wt %	39.58	55.66	0.14	0.88	0.00	0.66	96.92
	at %	27.58	70.82	0.31	0.00	0.58	0.71	100.00

表8 エレクトラムの組成2

サンプル名	単位	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Te	Total
光沢層状黒鉱 Au1	wt %	62.28	34.22	0.00	2.74	0.08	0.08	99.40
	at %	48.76	48.92	0.00	0.19	2.04	0.10	100.00
光沢層状黒鉱 Au2	wt %	61.33	34.30	0.00	2.65	0.06	0.36	98.70
	at %	48.21	49.23	0.00	0.15	1.98	0.44	100.00
光沢層状黒鉱 Au3	wt %	62.17	33.99	0.00	2.57	0.06	0.34	99.14
	at %	48.80	48.73	0.00	0.14	1.92	0.41	100.00
松峰塊状黒鉱Au2	wt %	70.61	27.61	0.06	1.04	0.03	0.02	99.38
	at %	57.73	41.22	0.15	0.06	0.81	0.03	100.00
松峰塊状黒鉱Au4	wt %	69.56	28.82	0.00	0.92	0.00	0.29	99.60
	at %	56.32	42.61	0.00	0.00	0.71	0.36	100.00
松峰塊状黒鉱Au6	wt %	73.05	24.81	0.00	0.25	0.02	0.28	98.41
	at %	61.34	38.05	0.00	0.05	0.20	0.36	100.00
松峰塊状黒鉱Au8	wt %	72.22	26.79	0.00	0.47	0.03	0.26	99.77
	at %	59.16	40.07	0.00	0.07	0.36	0.33	100.00
松木層状黒鉱Au1	wt %	71.74	25.54	0.00	0.92	0.07	0.00	98.27
	at %	60.05	39.04	0.18	0.73	0.00	0.00	100.00
松木層状黒鉱Au2	wt %	71.27	25.61	0.01	1.30	0.05	0.00	98.24
	at %	59.66	39.15	0.13	1.03	0.02	0.00	100.00
松木層状黒鉱Au3	wt %	71.86	25.46	0.00	0.94	0.02	0.00	98.28
	at %	60.23	38.96	0.05	0.75	0.00	0.00	100.00
小割沢墨流し状Au1	wt %	74.64	23.31	0.32	0.49	0.02	0.03	98.81
	at %	62.84	35.84	0.84	0.40	0.05	0.04	100.00
小割沢墨流し状Au5	wt %	72.29	25.40	0.45	0.35	0.12	0.27	98.88
	at %	59.66	38.28	1.15	0.27	0.30	0.34	100.00
小割沢墨流し状Au8	wt %	73.36	24.95	0.20	0.00	0.02	0.21	98.74
	at %	61.17	37.99	0.51	0.00	0.05	0.27	100.00
小割沢墨流し状Au10	wt %	67.94	28.98	0.52	0.49	0.42	0.04	98.39
	at %	54.68	42.58	1.30	0.37	1.02	0.05	100.00
小割沢塊状黒鉱Au1	wt %	68.09	27.55	0.11	0.79	4.15	0.00	100.70
	at %	51.58	38.10	9.48	0.57	0.26	0.00	100.00
小割沢塊状黒鉱Au12	wt %	73.67	23.43	0.04	0.01	0.14	0.00	97.29
	at %	62.96	36.57	0.36	0.01	0.11	0.00	100.00
小割沢塊状黒鉱Au13	wt %	73.62	23.75	0.06	0.12	0.71	0.03	98.28
	at %	61.63	36.31	1.78	0.09	0.15	0.04	100.00

表9 エレクトラムの組成3

サンプル名	単位	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Te	Total
古遠部Bn層状黄鉱Au1	wt %	80.71	16.85	0.61	0.00	0.00	0.10	98.26
	at %	71.10	27.10	1.66	0.00	0.00	0.13	100.00
古遠部Bn層状黄鉱Au2	wt %	78.87	17.50	0.29	0.00	0.00	0.00	96.66
	at %	70.59	28.60	0.81	0.00	0.00	0.00	100.00
古遠部Bn層状黄鉱Au3	wt %	78.26	17.11	1.15	0.00	0.00	0.17	96.69
	at %	69.05	27.57	3.14	0.01	0.00	0.23	100.00
深沢Bn層状黒鉱Au1	wt %	78.96	15.24	0.00	0.00	0.12	0.00	94.32
	at %	73.71	25.97	0.00	0.32	0.00	0.00	100.00
深沢Bn層状黒鉱Au2	wt %	81.34	15.04	0.01	0.00	0.09	0.00	96.48
	at %	74.55	25.17	0.02	0.26	0.00	0.00	100.00
深沢Bn層状黒鉱Au3	wt %	81.39	15.16	0.02	0.19	0.08	0.06	96.89
	at %	74.23	25.24	0.06	0.22	0.16	0.09	100.00
餌釣Bn重晶石鉱Au1	wt %	83.82	14.71	0.05	0.85	0.00	-	99.42
	at %	73.89	23.68	2.31	0.12	0.00		100.00
餌釣Bn重晶石鉱Au4	wt %	91.20	8.57	0.00	0.15	0.05	-	99.98
	at %	84.95	14.57	0.44	0.00	0.05		100.00
餌釣Bn重晶石鉱Au6	wt %	89.56	9.42	0.00	0.07	0.00	-	99.05
	at %	83.71	16.08	0.21	0.00	0.00		100.00
餌釣Bn重晶石鉱Au9	wt %	86.87	11.93	0.00	0.56	0.00	-	99.37
	at %	78.69	19.73	1.58	0.00	0.00		100.00

エレクトラム中の銀含有量を EPMA の定量分析を用いて測定した結果、鉱石ごとの平均値で 17.68~86wt. %と幅広い値をとった。銀含有量が 60%以上のエレクトラムを含む鉱石は、少量の黄銅鉱を伴い雑銀鉱か含銀安四面銅鉱(Ag 5 at. %以上)と共生している。銀含有量が 40~60%程度のエレクトラムを含む鉱石は、黄銅鉱や四面銅鉱類を伴う。銀含有量 30%以下のエレクトラムを含む鉱石は、斑銅鉱及び砒四面銅鉱と共生する。

## 7-2 四面銅鉱の組成

四面銅鉱の銀及び砒素，アンチモン含有量，その他の微量成分の含有量の分析を行った。分析した元素は Cu, Zn, Fe, Ag, As, Sb, Bi, (Te), Hg, Se, S の 11 元素である。分析条件は電流値 20.00 nA, 電圧 20.0 kV, 電子ビーム径は 5  $\mu\text{m}$  である。

測定に使用したスタンダードを以下に記す。

Cu は MAC 製の黄銅鉱，銀は MAC 製 Ag-Te( $\text{Ag}_2\text{Te}$ )合金，或いは Astimex 製の Ag 金属，鉄は Astimex 製の黄鉄鉱，亜鉛は Astimex 製の閃亜鉛鉱，砒素は Astimex 製の硫砒鉄鉱，アンチモンは Astimex 製の輝安鉱，ビスマスは Astimex 製の Bi-Se 合金 ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ )，テルルは Ag-Te( $\text{Ag}_2\text{Te}$ )合金，水銀は Astimex 製の辰砂，セレンは Astimex 製の Bi-Se 合金 ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ )，硫黄は Astimex 製の黄鉄鉱を用いた。

四面銅鉱は水沢塊状黒鉱，田ノ沢塊状黒鉱，小割沢墨流し状黒鉱，小割沢塊状黒鉱，内の岱塊状黒鉱，内の岱 Bn 黒鉱，深沢 Bn 黒鉱，松木層状黒鉱，松峰層状黒鉱，光沢黄鉱，光沢 Per 黒鉱，光沢層状黒鉱，古遠部 Bn 層状黄鉱，堂屋敷 Bn 礫状半黒鉱，餌釣 Bn 重晶石鉱，花輪重晶石鉱，花輪 Eng 重晶石鉱，観音堂 Luz 重晶石鉱の計 18 試料の分析を行った。

以下の表 10～13 に四面銅鉱の分析結果をまとめる

表 10 四面銅鉱類の組成 1

サンプル名	Element	Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total
水沢塊状黒鉱2	wt. %	25.82	5.34	1.76	17.99	2.24	23.95	0.12	0.11	0.00	0.42	22.02	99.78
	at. %	25.29	5.08	1.96	10.38	1.86	12.25	0.04	0.05	0.00	0.33	42.75	100.00
水沢塊状黒鉱12	wt. %	24.81	5.59	1.81	18.25	1.06	25.97	0.12	0.12	0.01	0.13	21.70	99.57
	at. %	24.62	5.40	2.05	10.68	0.89	13.46	0.04	0.06	0.00	0.11	42.71	100.00
水沢塊状黒鉱16	wt. %	24.73	6.19	1.84	18.33	0.20	26.75	0.08	0.13	0.00	0.14	21.51	99.89
	at. %	24.58	5.98	2.08	10.73	0.17	13.88	0.03	0.07	0.00	0.11	42.38	100.00
水沢塊状黒鉱17	wt. %	25.10	5.07	1.85	18.39	0.57	26.62	0.06	0.12	0.02	0.00	22.05	99.84
	at. %	24.82	4.87	2.08	10.71	0.48	13.74	0.02	0.06	0.01	0.00	43.22	100.00
田ノ沢塊状黒鉱1	wt. %	26.37	5.39	2.05	16.29	0.66	26.19	0.14	0.09	0.04	0.14	21.79	99.13
	at. %	26.07	5.18	2.31	9.49	0.55	13.51	0.04	0.04	0.01	0.11	42.69	100.00
田ノ沢塊状黒鉱2	wt. %	27.68	4.93	2.06	14.78	2.32	23.93	0.08	0.06	0.11	0.38	22.07	98.41
	at. %	27.10	4.69	2.30	8.53	1.93	12.23	0.02	0.03	0.03	0.30	42.84	100.00
田ノ沢塊状黒鉱 6	wt. %	27.46	5.15	1.75	15.35	0.73	26.06	0.10	0.07	0.02	0.33	22.25	99.27
	at. %	26.88	4.90	1.95	8.85	0.60	13.31	0.03	0.03	0.01	0.26	43.18	100.00
田ノ沢塊状黒鉱12	wt. %	26.47	5.05	1.78	16.30	0.95	26.33	0.09	0.11	0.24	0.31	22.46	100.06
	at. %	25.83	4.79	1.97	9.37	0.78	13.41	0.03	0.05	0.07	0.24	43.46	100.00
小割沢墨流し状黒鉱1	wt. %	36.93	6.55	1.21	4.90	6.91	18.50	0.16	0.00	0.03	0.10	24.49	99.77
	at. %	33.05	5.70	1.23	2.58	5.24	8.64	0.04	0.00	0.01	0.07	43.44	100.00
小割沢墨流し状黒鉱3	wt. %	33.30	6.49	0.99	8.49	3.97	22.44	0.15	0.02	0.04	0.24	23.74	99.87
	at. %	30.80	5.84	1.04	4.62	3.11	10.83	0.04	0.01	0.01	0.18	43.51	100.00
小割沢墨流し状黒鉱6	wt. %	33.99	6.60	1.01	7.71	4.30	22.01	0.11	0.00	0.00	0.17	23.86	99.75
	at. %	31.27	5.90	1.05	4.18	3.36	10.57	0.03	0.00	0.00	0.13	43.51	100.00
小割沢墨流し状黒鉱9	wt. %	34.07	6.52	0.96	7.81	4.40	21.83	0.12	0.01	0.09	0.42	23.78	100.02
	at. %	31.32	5.83	1.00	4.23	3.43	10.48	0.03	0.01	0.03	0.31	43.33	100.00
小割沢塊状黒鉱2	wt. %	31.47	6.53	1.03	10.09	2.77	24.69	0.00	-	0.06	0.00	25.45	102.09
	at. %	28.45	5.74	1.06	5.37	2.12	11.65	0.00	-	0.02	0.00	45.60	100.00
小割沢塊状黒鉱11	wt. %	34.64	6.57	1.32	6.80	5.54	20.01	0.24	-	0.03	0.00	26.30	101.46
	at. %	30.42	5.61	1.31	3.52	4.13	9.17	0.07	-	0.01	0.00	45.77	100.00
小割沢塊状黒鉱14	wt. %	35.18	6.36	1.42	6.32	5.84	19.41	0.00	-	0.00	0.00	26.67	101.19
	at. %	30.68	5.39	1.41	3.25	4.32	8.84	0.00	-	0.00	0.00	46.11	100.00
小割沢塊状黒鉱19	wt. %	35.44	6.79	1.41	5.72	6.94	18.40	0.00	-	0.04	0.00	26.88	101.62
	at. %	30.61	5.70	1.38	2.91	5.09	8.29	0.00	-	0.01	0.00	46.02	100.00
内の岱塊状黒鉱2	wt. %	32.27	6.52	1.09	8.97	5.33	19.88	0.13	-	0.31	0.00	26.49	100.97
	at. %	28.64	5.62	1.10	4.69	4.01	9.21	0.04	-	0.09	0.00	46.61	100.00
内の岱塊状黒鉱5	wt. %	29.95	5.85	1.39	12.37	3.74	22.11	0.08	-	0.44	0.00	26.09	102.01
	at. %	26.96	5.11	1.42	6.56	2.86	10.39	0.02	-	0.12	0.00	46.56	100.00
内の岱塊状黒鉱7	wt. %	27.65	5.76	1.66	14.84	2.15	24.10	0.00	-	0.47	0.00	25.22	101.85
	at. %	25.50	5.16	1.74	8.06	1.68	11.60	0.00	-	0.14	0.00	46.11	100.00
内の岱塊状黒鉱10	wt. %	34.12	7.34	0.45	7.97	6.17	18.82	0.00	-	0.21	0.00	27.06	102.14
	at. %	29.61	6.19	0.45	4.07	4.54	8.53	0.00	-	0.06	0.00	46.56	100.00
内の岱Bn黒鉱 8	wt. %	43.12	8.29	0.17	0.15	16.13	4.93	0.18	0.00	0.00	0.27	27.90	101.13
	at. %	34.97	6.53	0.16	0.07	11.10	2.09	0.04	0.00	0.00	0.18	44.86	100.00
内の岱Bn黒鉱16	wt. %	42.64	8.27	0.17	0.05	16.09	5.16	0.12	0.01	0.00	0.21	27.82	100.53
	at. %	34.78	6.56	0.16	0.02	11.14	2.20	0.03	0.00	0.00	0.14	44.98	100.00
内の岱Bn黒鉱20	wt. %	41.74	8.74	0.06	0.12	13.35	9.39	0.13	0.00	0.00	0.00	27.50	101.03
	at. %	34.45	7.01	0.06	0.06	9.34	4.05	0.03	0.00	0.00	0.00	45.00	100.00
内の岱Bn黒鉱 22	wt. %	41.46	8.23	0.06	0.08	15.50	6.46	0.19	0.01	0.00	0.11	27.83	99.92
	at. %	34.15	6.59	0.05	0.04	10.83	2.78	0.05	0.00	0.00	0.07	45.44	100.00
内の岱Bn黒鉱29	wt. %	42.35	8.46	0.07	0.10	13.77	7.53	0.25	0.00	0.00	0.38	27.66	100.58
	at. %	34.84	6.77	0.07	0.05	9.61	3.24	0.06	0.00	0.00	0.25	45.11	100.00

表 11 四面銅鉱類の組成 2

	Element	Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total
深沢Bn層状黒鉱2	wt. %	38.95	8.07	0.01	0.32	4.67	22.54	0.05	-	0.14	0.00	27.40	102.14
	at. %	33.27	6.70	0.01	0.16	3.38	10.05	0.01	-	0.04	0.00	46.38	100.00
深沢Bn層状黒鉱9	wt. %	40.27	8.26	0.08	0.23	6.71	19.14	0.00	-	0.20	0.00	27.41	102.29
	at. %	33.95	6.77	0.07	0.11	4.80	8.42	0.00	-	0.05	0.00	45.82	100.00
深沢Bn層状黒鉱14	wt. %	40.26	7.84	0.04	0.34	6.75	18.98	0.00	-	0.18	0.00	26.64	101.03
	at. %	34.52	6.54	0.03	0.17	4.91	8.49	0.00	-	0.05	0.00	45.29	100.00
深沢Bn層状黒鉱16	wt. %	38.27	7.74	0.06	0.47	0.70	29.28	0.19	-	0.11	0.03	26.07	102.93
	at. %	33.62	6.61	0.06	0.25	0.52	13.43	0.05	-	0.03	0.02	45.41	100.00
松木層状黒鉱12	wt. %	36.82	6.63	1.16	3.41	7.22	17.98	0.00	2.53	0.00	0.00	26.99	102.74
	at. %	31.51	5.51	1.13	1.72	5.24	8.03	0.00	1.08	0.00	0.00	45.78	100.00
松木層状黒鉱11	wt. %	40.68	6.52	1.71	1.43	12.99	8.86	0.00	3.01	0.00	0.00	27.56	102.76
	at. %	33.41	4.85	1.65	0.52	10.16	2.86	0.00	1.25	0.00	0.00	45.30	100.00
松木層状黒鉱8	wt. %	34.02	6.69	0.82	5.36	3.02	23.53	0.09	2.27	0.02	0.00	22.84	98.67
	at. %	32.12	6.14	0.88	2.98	2.42	11.60	0.02	1.07	0.01	0.00	42.75	100.00
松木層状黒鉱4	wt. %	42.55	6.00	2.39	0.43	19.18	0.02	0.00	3.73	0.00	0.00	28.05	102.36
	at. %	34.01	4.66	2.18	0.20	13.01	0.01	0.00	1.49	0.00	0.00	44.45	100.00
松峰黒鉱1	wt. %	38.99	7.00	1.06	2.41	9.05	15.94	0.11	0.01	0.24	0.10	24.57	99.48
	at. %	34.41	6.00	1.06	1.25	6.77	7.34	0.03	0.01	0.07	0.07	42.99	100.00
松峰黒鉱3	wt. %	38.60	7.02	0.98	2.33	8.29	16.78	0.08	0.00	0.22	0.16	24.41	98.87
	at. %	34.37	6.07	0.99	1.22	6.26	7.80	0.02	0.00	0.06	0.12	43.08	100.00
松峰黒鉱7	wt. %	40.86	7.32	0.72	1.28	12.90	10.07	0.13	0.00	0.09	0.05	25.19	98.60
	at. %	35.29	6.15	0.70	0.65	9.45	4.54	0.03	0.00	0.02	0.03	43.12	100.00
松峰黒鉱8	wt. %	39.67	7.04	1.02	1.96	10.73	13.30	0.05	0.00	0.15	0.00	24.75	98.66
	at. %	34.80	6.00	1.02	1.01	7.98	6.09	0.01	0.00	0.04	0.00	43.04	100.00
光沢黄鉱7	wt. %	43.85	7.55	1.08	0.04	19.55	0.10	0.11	nd	0.00	0.00	29.09	101.36
	at. %	34.59	5.79	0.97	0.02	13.08	0.04	0.03	nd	0.00	0.00	45.48	100.00
光沢黄鉱8	wt. %	43.75	7.63	1.03	0.09	18.84	0.57	0.00	nd	0.03	0.00	29.99	101.93
	at. %	34.15	5.79	0.91	0.04	12.47	0.23	0.00	nd	0.01	0.00	46.40	100.00
光沢黄鉱10	wt. %	43.34	7.71	1.02	0.08	19.50	0.31	0.00	nd	0.03	0.00	28.79	100.78
	at. %	34.44	5.96	0.92	0.04	13.15	0.13	0.00	nd	0.01	0.00	45.36	100.00
光沢黄鉱17	wt. %	43.10	7.76	0.78	0.12	16.32	4.72	0.00	nd	0.08	0.00	28.72	101.59
	at. %	34.52	6.04	0.71	0.06	11.09	1.97	0.00	nd	0.02	0.00	45.60	100.00
光沢Per黒鉱3	wt. %	38.40	7.49	0.47	1.95	8.50	15.93	0.00	nd	0.37	0.00	28.20	101.31
	at. %	32.30	6.12	0.45	0.97	6.06	6.99	0.00	nd	0.10	0.00	47.01	100.00
光沢Per黒鉱6	wt. %	40.13	7.44	0.61	1.08	12.10	10.51	0.00	nd	0.21	0.00	28.78	100.87
	at. %	33.01	5.95	0.57	0.52	8.44	4.51	0.00	nd	0.06	0.00	46.93	100.00
光沢Per黒鉱8	wt. %	39.61	7.41	0.48	1.49	9.58	14.27	0.00	nd	0.36	0.00	28.53	101.73
	at. %	32.88	5.98	0.45	0.73	6.75	6.18	0.00	nd	0.09	0.00	46.94	100.00
光沢Per黒鉱11	wt. %	39.15	7.46	0.47	1.80	9.15	14.96	0.00	nd	0.34	0.00	28.36	101.68
	at. %	32.66	6.05	0.44	0.89	6.48	6.51	0.00	nd	0.09	0.00	46.89	100.00
光沢層状黒鉱2	wt. %	42.60	8.30	1.03	0.34	18.96	0.46	0.09	nd	0.21	0.29	27.69	99.99
	at. %	34.36	5.85	1.04	0.00	12.50	0.29	0.00	nd	0.00	0.00	45.95	100.00
光沢層状黒鉱3	wt. %	42.76	7.77	1.19	0.45	19.04	0.34	0.05	nd	0.20	0.21	27.65	99.66
	at. %	34.33	5.86	1.21	0.03	12.83	0.32	0.00	nd	0.01	0.00	45.42	100.00
光沢層状黒鉱5	wt. %	42.62	7.88	0.89	0.38	17.53	2.55	0.10	nd	0.22	0.00	27.87	100.02
	at. %	34.22	5.84	0.94	0.06	12.76	0.03	0.00	nd	0.00	0.00	46.15	100.00
光沢層状黒鉱14	wt. %	43.13	7.51	1.26	0.41	19.54	0.07	0.08	nd	0.12	0.73	27.99	100.83
	at. %	34.57	5.97	1.00	0.01	12.95	0.01	0.00	nd	0.00	0.00	45.49	100.00

表 12 四面銅鉱類の組成 3

	Element	Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total
古遠部Bn層状黄鉱1	wt. %	41.83	7.93	0.51	0.15	11.72	9.83	1.30	nd	0.00	0.00	27.87	101.15
	at. %	34.59	6.38	0.07	0.48	8.22	4.24	0.33	nd	0.00	0.00	45.68	100.00
古遠部Bn層状黄鉱6	wt. %	41.50	8.07	0.32	0.06	12.58	9.43	0.95	nd	0.10	0.00	27.94	100.96
	at. %	34.28	6.48	0.03	0.30	8.82	4.07	0.24	nd	0.03	0.00	45.76	100.00
古遠部Bn層状黄鉱12	wt. %	42.14	8.02	1.21	0.04	15.46	4.87	0.98	nd	0.03	0.00	28.76	101.51
	at. %	33.90	6.27	0.02	1.11	10.55	2.04	0.24	nd	0.01	0.00	45.86	100.00
古遠部Bn層状黄鉱13	wt. %	42.48	8.17	0.94	0.06	15.96	4.02	1.23	nd	0.03	0.00	28.54	101.43
	at. %	34.23	6.40	0.03	0.86	10.90	1.69	0.30	nd	0.01	0.00	45.58	100.00
堂屋敷Bn礫状半黒鉱2	wt. %	39.93	8.27	0.01	0.26	6.27	19.71	0.00	nd	0.00	0.00	27.11	101.54
	at. %	33.99	6.84	0.01	0.13	4.53	8.76	0.00	nd	0.00	0.00	45.74	100.00
堂屋敷Bn礫状半黒鉱7	wt. %	42.50	8.48	0.13	0.11	15.37	5.95	0.11	nd	0.03	0.00	28.61	101.30
	at. %	34.32	6.65	0.12	0.05	10.53	2.51	0.03	nd	0.01	0.00	45.78	100.00
堂屋敷Bn礫状半黒鉱10	wt. %	42.49	8.38	0.08	0.13	14.55	7.37	0.00	nd	0.04	0.00	27.74	100.78
	at. %	34.83	6.68	0.07	0.06	10.12	3.15	0.00	nd	0.01	0.00	45.07	100.00
堂屋敷Bn礫状半黒鉱20	wt. %	39.63	8.73	0.22	0.15	7.77	17.32	0.00	nd	0.02	0.00	27.61	101.45
	at. %	33.35	7.14	0.08	0.21	5.55	7.61	0.00	nd	0.00	0.00	46.06	100.00
餌釣重晶石鉱3	wt. %	42.80	8.18	0.34	0.10	15.58	5.28	0.00	nd	0.02	0.00	27.40	99.70
	at. %	35.23	6.54	0.32	0.05	10.88	2.27	0.00	nd	0.00	0.00	44.71	100.00
餌釣重晶石鉱7	wt. %	40.90	7.97	0.18	0.23	7.61	17.99	0.00	nd	0.06	0.00	28.25	103.20
	at. %	33.84	6.41	0.17	0.11	5.34	7.77	0.00	nd	0.01	0.00	46.34	100.00
餌釣重晶石鉱11	wt. %	40.71	7.63	0.09	0.30	5.92	19.46	0.00	nd	0.01	0.00	27.86	101.98
	at. %	34.26	6.24	0.09	0.15	4.23	8.55	0.00	nd	0.00	0.00	46.48	100.00
餌釣重晶石鉱12	wt. %	43.16	8.34	0.19	0.08	15.86	4.43	0.00	nd	0.01	0.00	27.47	99.54
	at. %	35.45	6.66	0.17	0.04	11.05	1.90	0.00	nd	0.00	0.00	44.72	100.00
花輪ten重晶石鉱1	wt. %	43.12	7.15	1.34	0.12	19.11	0.02	0.00	nd	0.01	0.00	29.98	100.84
	at. %	33.87	5.46	1.20	0.06	12.73	0.01	0.00	nd	0.00	0.00	46.67	100.00
花輪ten重晶石鉱2	wt. %	44.08	7.28	1.28	0.06	19.20	0.00	0.00	nd	0.00	0.00	29.81	101.71
	at. %	34.43	5.53	1.14	0.03	12.72	0.00	0.00	nd	0.00	0.00	46.16	100.00
花輪ten重晶石鉱4	wt. %	43.91	7.21	1.29	0.07	19.11	0.05	0.00	nd	0.00	0.00	29.97	101.62
	at. %	34.28	5.47	1.14	0.03	12.66	0.02	0.00	nd	0.00	0.00	46.39	100.00
花輪ten重晶石鉱7	wt. %	43.41	7.27	1.21	0.05	18.97	0.14	0.00	nd	0.04	0.00	27.67	98.76
	at. %	35.32	5.75	1.12	0.02	13.09	0.06	0.00	nd	0.01	0.00	44.62	100.00
花輪Eng黄鉱6	wt. %	45.48	2.72	3.00	0.10	18.00	2.05	0.08	nd	0.00	0.00	28.32	99.75
	at. %	36.65	2.13	2.75	0.05	12.30	0.86	0.02	nd	0.00	0.00	45.24	100.00
花輪Eng黄鉱8	wt. %	45.75	2.72	3.03	0.09	17.64	1.95	0.08	nd	0.03	0.00	29.02	100.32
	at. %	36.47	2.11	2.75	0.04	11.93	0.81	0.02	nd	0.01	0.00	45.86	100.00
花輪Eng黄鉱10	wt. %	45.79	2.35	3.14	0.10	18.06	1.31	0.22	nd	0.00	0.00	30.10	101.08
	at. %	35.93	1.79	2.80	0.05	12.02	0.54	0.05	nd	0.00	0.00	46.82	100.00
観音Luz重晶石鉱3	wt. %	41.33	7.13	0.58	0.06	8.31	16.66	0.00	nd	0.01	0.00	28.87	102.94
	at. %	33.90	5.68	0.54	0.03	5.78	7.13	0.00	nd	0.00	0.00	46.94	100.00
観音Luz重晶石鉱5	wt. %	44.06	7.38	0.73	0.02	18.85	0.03	0.00	nd	0.01	0.00	29.62	100.69
	at. %	34.75	5.66	0.65	0.01	12.61	0.01	0.00	nd	0.00	0.00	46.31	100.00
観音Luz重晶石鉱6	wt. %	41.93	6.95	0.74	0.04	10.63	13.02	0.17	nd	0.00	0.00	28.63	102.11
	at. %	34.32	5.53	0.69	0.02	7.38	5.56	0.04	nd	0.00	0.00	46.45	100.00
観音Luz重晶石鉱10	wt. %	44.62	7.27	0.76	0.03	18.81	0.01	0.00	nd	0.05	0.00	29.61	101.15
	at. %	35.07	5.56	0.68	0.01	12.54	0.01	0.00	nd	0.01	0.00	46.13	100.00

鉱石中に含まれる四面銅鉱類が安四面銅鉱のみであったのは水沢，田ノ沢，内の岱，小割沢，深沢の鉱石であり，深沢鉱床を除くとすべてが銀に富み，斑銅鉱や，輝銀銅鉱，硫砒銅鉱とは共生しない。

鉱石中に含まれる四面銅鉱類が砒四面銅鉱のみであったのは花輪 Eng 黄鉱及び Ten 重晶石鉱，古遠部 Bn 層状黒鉱，光沢 Pre 黒鉱及び黄鉱，内の岱 Bn 黒鉱であり，光沢の鉱石を除き斑銅鉱か硫砒銅鉱(ルソン銅鉱)と共生している。また，古遠部鉱床の四面銅鉱を除き，砒四面銅鉱はいずれも銀をほとんど含まない。

安四面銅鉱，砒四面銅鉱双方を含む鉱石は観音堂，堂屋敷，松木，餌釣で，これら全ての試料は As 成分が卓越する。

斑銅鉱や硫砒銅鉱を含む鉱石の四面銅鉱は銀の含有量が一樣に低く，砒素に富む砒四面銅鉱が主である。一方，斑銅鉱や硫砒銅鉱を含まない鉱石中の四面銅鉱は比較的銀に富み，特に Sb の含有量と Ag 含有量に正の相関がある。

As-Sb が一定の鉱石は水沢塊状黒鉱，田ノ沢，花輪 Eng 黄鉱，花輪重晶石鉱，内の岱塊状黒鉱，光沢層状黒鉱であった。次いで小割沢墨流し黒鉱及び塊状黒鉱，古遠部，内の岱，松峰，光沢 Pre 黒鉱及び層状黒鉱の組成が一定であった。そして観音堂，堂屋敷，餌釣，松木はいずれも As-Sb 比が不定であり，安四面銅鉱及び砒四面銅鉱が共存する。

Zn はすべての四面銅鉱において含有され，花輪 Eng 重晶石鉱を除き 5~9% 程度含有する。Fe は全試料において含有量が 3% 以下であり，1% 前後のものが多い。Bi を含むものは少なく，最大でも 1000ppm 程度であるが，古遠部 Bn 層状黄鉱のみ 1% 程度の高い含有量を示した。Te の含有量は 0-2000ppm 程度と微量に含むものが多いが，松木層状黒鉱のみ最大 3.73wt. % と高い値となった。Hg の含有量は田ノ沢塊状黒鉱，内の岱塊状黒鉱，深沢 Bn 黒鉱，松木層状黒鉱，光沢層状黒鉱において 2000ppm 程度で，その他の鉱床では微量である。Se の含有量は光沢層状黒鉱，水沢塊状黒鉱，田ノ沢塊状黒鉱，小割沢墨流し状黒鉱，内の岱 Bn 黒鉱，松峰層状黒鉱，光沢層状黒鉱において 1000ppm を超える分析点があったが，分析点ごとの差が大きい。

Bi, Te, Hg, Se については鉱床，鉱石，鉱物組み合わせの観点での，共通点は示されなかった。

### 6-3 閃亜鉛鉱の組成

黒鉱鉱床に産する鉱石の形成時の硫黄フガシティーを定めるため，閃亜鉛鉱の鉄含有量を測定した。

Zn, Cu, Fe, Mn, Cd, S, Se の 7 元素を測定した。

分析条件は電流値 20.00 nA, 電圧 20.0 kV, 電子ビーム径は 5  $\mu\text{m}$  及び 2  $\mu\text{m}$  である。

測定に使用したスタンダードを以下に記す。

亜鉛は Astimex 製の閃亜鉛鉱，銅は Astimex 製の Cu 金属，鉄は Astimex 製の黄鉄鉱，マンガンは Astimex 製の Mn 金属，硫黄は Astimex 製の閃亜鉛鉱，セレンは Astimex 製の Bi-Se 合金 ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) である。

閃亜鉛鉱の分析結果を以下の表にまとめる

表 13 閃亜鉛鉱中の鉄含有量 1

		Zn	Cu	Fe	Mn	Cd	S	Se	total	
水沢塊状黒鉱sp2	wt. %	65.77	0.23	0.56	0.00	0.69	33.09	0.00	100.34	
	at. %	48.88	0.18	0.49	0.00	0.30	50.15	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	98.03	0.35	0.93	0.00	0.70				
水沢塊状黒鉱sp9	wt. %	66.58	0.00	0.18	0.00	0.63	33.01	0.00	100.40	
	at. %	49.51	0.00	0.16	0.00	0.27	50.06	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	99.07	0.00	0.30	0.00	0.64				
水沢礫状黄鉱sp6	wt. %	60.05	3.52	3.09	0.03	0.35	33.24	0.00	100.28	
	at. %	44.38	2.68	2.67	0.03	0.15	50.09	0.00	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	89.18	5.33	5.35	0.05	0.35				
水沢礫状黄鉱sp11	wt. %	65.70	0.44	0.73	0.02	0.47	32.90	0.00	100.26	
	at. %	48.89	0.33	0.64	0.02	0.20	49.92	0.00	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	99.47	0.12	0.12	0.00	0.29				
霜岱重晶石黒鉱sp12	wt. %	63.36	1.10	1.37	0.02	0.26	33.02	0.00	99.12	
	at. %	47.42	0.85	1.20	0.01	0.11	50.40	0.00	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	95.72	1.69	2.35	0.03	0.26				
霜岱重晶石黒鉱sp2	wt. %	67.15	0.00	0.13	0.03	0.29	32.93	0.25	100.78	
	at. %	49.79	0.00	0.11	0.03	0.12	49.79	0.15	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	99.45	0.00	0.21	0.05	0.28				
田ノ沢Per黒鉱sp3	wt. %	60.83	2.83	2.64	0.02	0.13	32.97	0.00	99.43	
	at. %	45.34	2.17	2.30	0.02	0.06	50.11	0.00	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	91.13	4.33	4.59	0.03	0.13				
田ノ沢Per黒鉱sp11	wt. %	66.24	0.02	0.24	0.00	0.08	32.86	0.00	99.45	
	at. %	49.58	0.02	0.21	0.00	0.04	50.15	0.00	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	99.47	0.04	0.41	0.01	0.09				
内の岱塊状黒鉱sp2	wt. %	62.31	0.77	3.42	0.03	0.55	33.33	0.00	100.41	
	at. %	46.01	0.59	2.96	0.03	0.23	50.18	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	92.59	1.17	5.97	0.06	0.55				
内の岱塊状黒鉱sp9	wt. %	66.96	0.00	0.01	0.00	0.25	33.03	0.00	100.24	
	at. %	49.80	0.00	0.004	0.00	0.11	50.09	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	99.74	0.00	0.01	0.00	0.25				
小割沢塊状黒鉱sp10	wt. %	65.86	0.23	0.40	0.01	0.43	33.14	0.00	100.06	
	at. %	49.00	0.17	0.35	0.00	0.19	50.29	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	98.55	0.34	0.67	0.01	0.43				
小割沢塊状黒鉱sp11	wt. %	66.38	0.14	0.14	0.00	0.44	32.97	0.00	100.07	
	at. %	49.47	0.11	0.12	0.00	0.19	50.11	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	99.11	0.21	0.24	0.00	0.44				

表 14 閃亜鉛鉱の鉄含有量 2

		Zn	Cu	Fe	Mn	Cd	S	Se	total	
松峰塊状黒鉱sp10	wt. %	65.70	0.57	0.07	0.15	0.25	33.45	0.00	100.18	
	at. %	48.70	0.43	0.06	0.13	0.11	50.57	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	98.52	0.87	0.11	0.25	0.26				
松峰塊状黒鉱sp5	wt. %	66.90	0.24	0.05	0.13	0.17	33.02	0.00	100.51	
	at. %	49.63	0.19	0.04	0.11	0.07	49.96	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	99.18	0.37	0.07	0.22	0.17				
光沢層状黒鉱sp11	wt. %	66.91	0.08	0.07	0.00	0.29	32.89	0.00	100.24	
	at. %	49.82	0.06	0.06	0.00	0.13	49.93	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	99.47	0.12	0.12	0.00	0.29				
光沢層状黒鉱sp9	wt. %	65.68	0.02	0.04	0.02	0.15	32.90	0.00	98.81	
	at. %	49.40	0.01	0.03	0.02	0.07	50.47	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	99.72	0.03	0.06	0.03	0.15				
松木層状黒鉱sp11	wt. %	64.88	1.10	0.60	0.00	0.05	33.31	0.00	99.95	
	at. %	48.17	0.84	0.53	0.00	0.02	50.44	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	97.26	1.68	1.01	0.00	0.05				
松木層状黒鉱sp5	wt. %	64.00	1.75	0.25	0.00	0.11	33.18	0.00	99.29	
	at. %	47.82	1.35	0.22	0.00	0.05	50.56	0.00	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	96.77	2.70	0.43	0.00	0.11				
内の岱Bn黒鉱sp8	wt. %	65.48	0.91	0.59	0.01	0.25	33.42	0.00	100.66	
	at. %	48.35	0.69	0.51	0.01	0.11	50.33	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	97.38	1.37	0.99	0.02	0.25				
内の岱Bn黒鉱sp11	wt. %	67.37	0.02	0.02	0.00	0.26	33.17	0.00	100.84	
	at. %	49.83	0.01	0.02	0.00	0.11	50.03	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	99.68	0.02	0.04	0.00	0.26				
古遠部Bn層状黄鉱sp16	wt. %	59.18	3.95	3.49	0.02	0.33	33.43	0.00	100.39	
	at. %	43.60	2.99	3.01	0.01	0.14	50.24	0.00	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	87.92	5.97	6.09	0.03	0.33				
古遠部Bn層状黄鉱sp4	wt. %	66.77	0.04	0.08	0.01	0.34	33.49	0.00	100.73	
	at. %	49.31	0.03	0.07	0.01	0.15	50.44	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	99.45	0.07	0.13	0.02	0.34				
深沢Bn黒鉱sp12	wt. %	65.73	0.71	0.56	0.00	0.25	32.70	0.00	99.94	
	at. %	49.08	0.54	0.49	0.00	0.11	49.78	0.00	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	97.75	1.07	0.94	0.00	0.25				
深沢Bn黒鉱sp1	wt. %	67.14	0.00	0.01	0.02	0.31	33.53	0.00	101.00	
	at. %	49.47	0.00	0.01	0.01	0.13	50.38	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	99.65	0.00	0.01	0.02	0.31				
堂屋敷Bn礫状半黒鉱sp10	wt. %	58.62	7.71	0.83	0.02	0.17	32.36	0.00	99.71	
	at. %	43.86	5.94	0.72	0.02	0.07	49.39	0.00	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	86.81	11.64	1.37	0.03	0.17				
堂屋敷Bn礫状半黒鉱sp2	wt. %	66.45	0.07	0.01	0.02	0.22	33.25	0.00	100.01	
	at. %	49.41	0.05	0.01	0.02	0.09	50.42	0.00	100.00	骨格
	sulfide mol %	99.64	0.10	0.01	0.03	0.22				
観音堂Luz重晶石黒鉱sp11	wt. %	64.73	0.60	0.19	0.00	1.46	32.99	0.00	99.97	
	at. %	48.42	0.46	0.16	0.00	0.63	50.32	0.00	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	97.29	0.92	0.31	0.00	1.48				
観音堂Luz重晶石黒鉱sp6	wt. %	65.80	0.66	0.04	0.01	0.04	33.02	0.00	99.56	
	at. %	49.14	0.51	0.03	0.01	0.02	50.30	0.00	100.00	間隙充填
	sulfide mol %	98.88	1.01	0.06	0.02	0.04				

表 13 及び表 14 は各鉱石の測定点中、閃亜鉛鉱における Fe 含有量の最高値と最低値とその組成、ZnS, CuS, FeS, MnS, CdS の濃度、を表している。

水沢礫状黄鉱，霜岱重晶石鉱，田ノ沢 Pol 黒鉱は雑銀鉱及びエレクトラムを含む鉱石であり金銀鉱石鉱物と一部共生する閃亜鉛鉱を分析した．水沢層状黒鉱，内の岱塊状黒鉱は含銀四面銅鉱及びエレクトラムを含む鉱石である．内の岱 Ba 黒鉱は金銀鉱石鉱物と一部共生する閃亜鉛鉱を分析し，水沢層状黒鉱は金銀鉱物と共生する閃亜鉛鉱は認められなかったため，鉱石の骨格をなす閃亜鉛鉱を分析した．これら 5 つの鉱石は測定サンプルの中でも FeS 濃度が平均的に高い特徴がある．

小割沢墨流し状黒鉱，松峰塊状黒鉱，光沢層状黒鉱，松木層状黒鉱はいずれもエレクトラムを伴い，光沢層状黒鉱を除き含銀四面銅鉱を多く含む鉱石である．これらの鉱石中の閃亜鉛鉱は小割沢塊状黒鉱及び松木層状黒鉱の一部を除き，金銀鉱物との共生関係を持たない．これら 4 つの鉱石の閃亜鉛鉱は，FeS 濃度がやや低く，特に松峰塊状黒鉱及び光沢層状黒鉱は平均 FeS 0.9 mol % と低い値である．

内の岱 Bn 黒鉱，古遠 Bn 部層状黄鉱，深沢 Bn 黒鉱，堂屋敷 Bn 礫状敷半黒鉱，観音堂 Luz 重晶石鉱はいずれも，斑銅鉱及び硫砒銅鉱，ルソン銅鉱のいずれかを含む鉱石である．内の岱 Bn 黒鉱は黒鉱の骨格をなす閃亜鉛鉱である．深沢 Bn 黒鉱はエレクトラムを含有する閃亜鉛である．堂屋敷礫状半黒鉱及び観音堂 Luz 重晶石鉱はいずれも硫砒銅鉱及び斑銅鉱と共生する閃亜鉛鉱を測定した．古遠部層状黄鉱の閃亜鉛鉱は一部斑銅鉱との共生が認められるが，大部分は黄銅鉱と共生し間隙充填鉱物として晶出する．これら 5 つの鉱石は古遠部層状黄鉱を除き，全体として FeS 0.3 mol % 以下の値が多い．

全体の傾向としては，斑銅鉱や硫砒銅鉱と共生するものと骨格をなすものが FeS 0.01~0.3 mol % と低い一方、雑銀鉱，銀四面銅鉱などの金銀鉱物と共生関係の認められる閃亜鉛鉱の FeS 濃度は 1~5 mol % のものが多く，全体として高い傾向がある．

## IV 考察

### 1 鉍石の構造による分類

黒鉍鉍床は、海底で形成した鉍床であるため非閉鎖的かつ、動的な環境で形成したため、様々な構造形態の鉍石が形成する。鉍石の構造形態をもとに分類を行うと、層状～墨流し状鉍石、塊状無層理鉍石、含礫鉍石、礫状鉍石に分類される。

層状～墨流し状鉍石は初生的堆積構造を残し擾乱を受けていない静的な環境で形成した鉍石である。

塊状無層理鉍は、堆積構造を残さないものの大きな擾乱を受けていない比較的静的な環境で形成した鉍石である。

含礫鉍石は鉍石礫や母岩礫などを含む鉍石であり、鉍体やチムニーの崩壊によって移動した礫が流入する比較的動的環境で形成した鉍石である。

礫状鉍は鉍体の崩壊によって形成したものは再堆積構造を有する。また移動時に円磨を受けるため、多くの場合円磨度の高い鉍石礫から構成される。一方で、チムニーの倒壊物が堆積して形成した礫状鉍は母岩や珪鉍礫を含まず円磨度の低い不定形の礫で構成され、また乱堆積構造を有するものが多い。

### 2 熱水の流路

黒鉍鉍床において熱水の最大の流路は熱水噴出孔の下部に存在すると考えられる。熱水噴出孔に伴って形成するチムニーは最も重力的、構造的に不安定であり、崩壊を繰り返す。そしてチムニーの下部にその残骸からなる乱堆積性の礫状鉍石が形成する。このような鉍石は静環境下で堆積した鉍石(墨流し状及び層状)に比べ空隙が多いと考えられる。そしてこのような礫状鉍は熱水の流路として優秀であると考えられる。よって、チムニー崩壊後も元あった場所近傍に再びチムニーが形成する。

このプロセスが繰り返されることによって、乱堆積を表す鉍石が鉍体内にパイプ状に分布すると考えられる。黒鉍鉍床において“火道状構造”や“パイプ状に礫状黒鉍が分布する”などの記載(本間, 1973 など)がしばしばみられるが、黒鉍鉍床におけるこのような産状の要因の一つであると考えられる。堂屋敷鉍床に産出した礫状黄鉍や礫状半黒鉍は斑銅鉍やルソン銅鉍など高温高硫化的な特徴を表し、このような場において形成した鉍石であると推定される。

黒鉍鉍床に産する鉍石の観察によって、再堆積性の鉍石を除いた多くの鉍石は、海底に堆積した鉍物とそれらの間隙を充填するように形成した鉍物からなることが分かった。これは、空隙に富んだ鉍体内を熱水が通過し、鉍物を沈殿させていることを表す。しかし鉍石の空隙は微小なものが多く、鉍物の晶出によって充填されるため、複数の熱水の供給路があることが示唆される。

鉍石中にはしばしば脈状構造を含む鉍石がみられる。そして脈状部は周囲に鉍染を伴うものと伴わないもの、母岩となる鉍石と同質のものや異質なものなど、様々な形態を表す。また、鉍石を切るように形成した脈状構造や、墨流し状から層状黒鉍などの堆積面と並行に形成する脈などがある。

古遠部鉍床の層状黄鉍は、1つの鉍石中で層状構造と並行する高硫化高含金銀黄鉍、中硫化低含金銀黄鉍が連続的に分帯を形成している(図 17)。水沢鉍床の層状黒鉍は鉍石全体が中硫化高含金銀鉍であるが、一つの鉍石内で金銀含有量及び鉍物種のゾーニングが有り、さらにこのゾーニングは層状構造に規制されて発達する(図 37)。これらは層状構造の空隙に富むレイヤーが熱水の流路となり、この流路を中心に熱水が染み出すことで、鉍物種に分帯を形成したことを強く示唆する。

鉍石中にしばしば産する鉍石を切る脈は、ある程度固結状態にある鉍体に形成したことを表す。特に鉍体下盤の母岩部分に変質によって軟弱化するが、鉍体は上方に成長を続けるため、鉍体にひびが入ることは容易に想像できる。

一方、ある程度成長した鉍体内は間隙に鉍物が晶出し、熱水の移動経路が減少する。そして形成した裂罅に熱水が流入することで脈状の組織が形成する。以上のように、鉍体内に形成した裂罅も熱水の移動経路の一つであると考えられる。

よって黒鉍鉍床において、鉍体内の流路と考えられるものは、チムニーの倒壊物から成る空隙に富んだ礫状鉍、鉍石中の空隙、鉍体に生じた裂罅である。

### 3 鉍石種多様化の要因

鉍石の観察結果から、黒鉍鉍床の鉍石は海底面上での鉍化作用と海底面下(鉍体内)での鉍化作用が同時進行することによって形成したと考えられる。海底面上の鉍化作用によって形成した鉍石は空隙に富み、もろいため、下部から供給される熱水にとっての鉍床母岩となる。

海底面上で晶出する鉍石鉍物は黄鉄鉍→閃亜鉛鉍→重晶石と遷移し、鉍体内部での鉍化作用では鉍染及び交代鉍床と同様の現象がみられる場合が多く、また熱水の流路との距離に応じて晶出する鉍物種のゾーニングが形成するため、鉍物組み合わせが多様化する。空隙に富む鉍石は随伴する鉍物が石英や重晶石である場合が多く、熱水の流路から離れた場の鉍石であると考えられる。一方斑銅鉍や黄銅鉍に比較的富み空隙に乏しい鉍石は、熱水の供給経路近傍に形成したと考えられる。

### 4 黒鉍鉍床の高硫化、中硫化

黒鉍鉍床に産する鉍石は、間隙充填鉍物の鉍物組み合わせから高硫化的鉍石、中硫化的鉍石に分類が可能である。エレクトラムの金銀比と共生鉍物について以下の表にまとめた。

表 15 エレクトラムの金銀比及び共生鉱物

	Au : Ag		共生鉱物				
	Au	Ag	斑銅鉱	黄銅鉱	雑銀鉱	砒四面銅鉱	安四面銅鉱
田ノ沢Pol黒鉱	30	70		■	■		
内の岱塊状黒鉱	31	69		■	■		■
水沢層状黒鉱	37	63		■	■		
水沢礫状黄鉱	49	51		■	■		
水沢塊状黄鉱	53	47		■	■		■
光沢層状黒鉱	50	50		■	■	■	
松峰塊状黒鉱	58	42		■	■	■	
松木層状黒鉱	61	39		■	■	■	■
小割沢墨流し状黒鉱	61	39		■	■	■	■
小割沢塊状黒鉱	61	39		■	■	■	■
古遠部Bn層状黄鉱	72	28	■	■	■	■	■
深沢Bn黒鉱	74	26	■	■	■	■	■
餌釣Bn重晶石鉱	82	18	■	■	■	■	■

■ 中硫化高含金銀鉱 ■ 中硫化低含金銀鉱 ■ 高硫化高含金銀鉱 ■ 高硫化低含金銀鉱

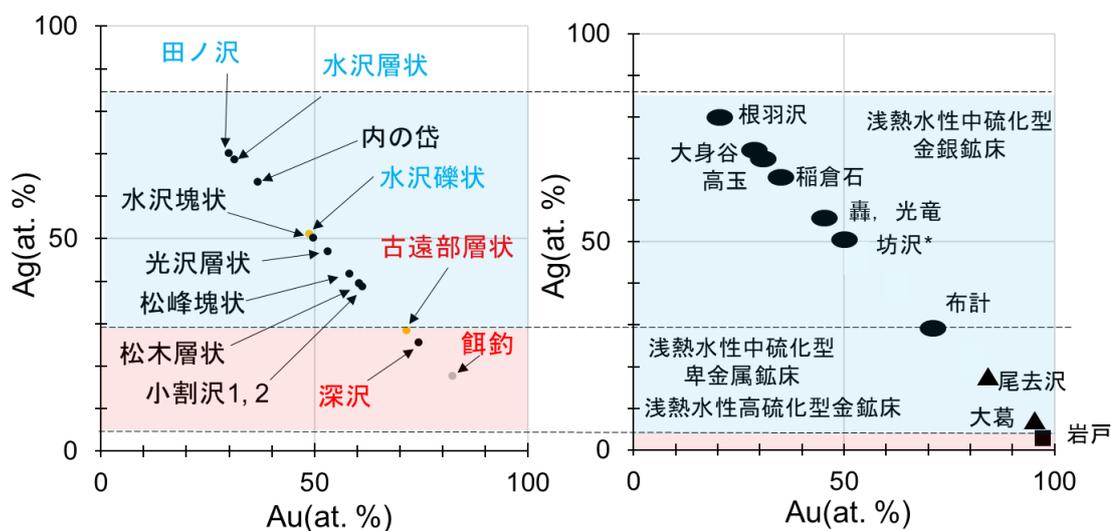


図 46 浅熱水性金銀鉱床及び黒鉱鉱床中のエレクトラムの金銀比  
 左は本研究で測定したエレクトラムの金銀比，右は坊沢鉱床のデータを除き  
 田口ほか(1976)，浦島(1981)，菅木ほか(1984)，Yokoyama et al.(2011)，森ほか(1981)  
 米田(1981)，中山ほか(1985)，本村(1988)より引用。

図 46 からわかるように，黒鉱のエレクトラムの金銀比は 3 つのグループに分けられた。

- 1 田ノ沢黒鉱，内の岱塊状黒鉱，水沢層状黒鉱はいずれもエレクトラム中の銀含有量が 60 at. % を超える銀に富んだエレクトラムである。また，雑銀鉱ないし銀含有量の高い安四面銅鉱と共生している。
- 2 水沢黄鉱，水沢塊状黒鉱，光沢層状黒鉱，松峰塊状黒鉱，松木層状黒鉱，

小割沢墨流し状黒鉱，小割沢塊状黒鉱はいずれも銀の含有量が 40～50 at. % である。四面銅鉱の組成が鉱床により大きく違う。

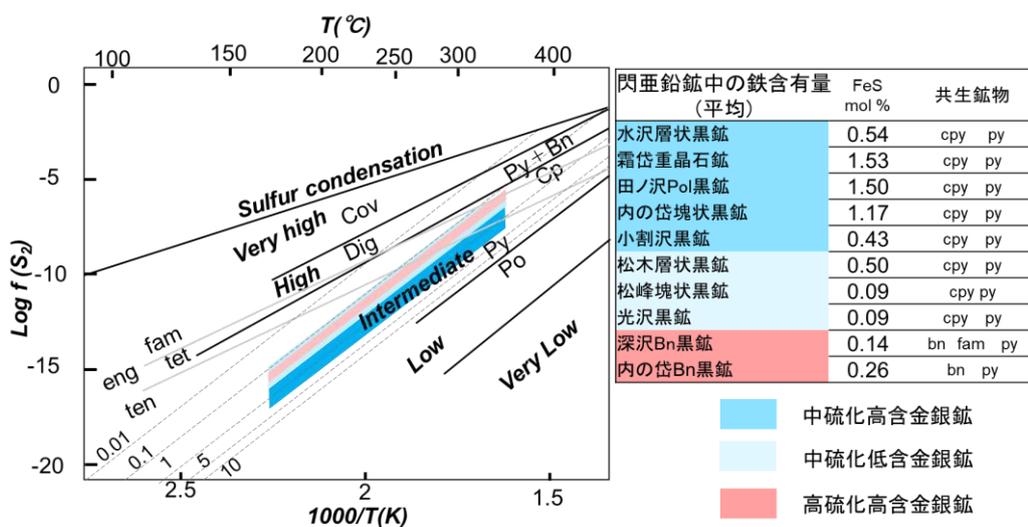
3 古遠部 Bn 層状黒鉱，深沢 Bn 黒鉱，餌釣 Bn 重晶石鉱はいずれも斑銅鉱の晶出する鉱石中に産したエレクトラムであり，銀含有量が 30%以下と銀に乏しい。これらは黄鉱，黒鉱，重晶石鉱と形成場の違う鉱石種であるが，エレクトラムの金銀比と共生鉱物はいずれも同じ傾向を持つ。

グループ 1 及び 2 は一般的な浅熱水性中硫化型金銀鉱床(Einaudi et al., 2003 における分類)の値に入る。特にグループ 1 の金銀鉱物とその共生鉱物の組み合わせや，エレクトラムの金銀比は浅熱水性中硫化型金銀鉱床の鉱石の特徴と類似している。

グループ 2 はエレクトラムと共生する黄銅鉱や方鉛鉱の割合が多く，布計鉱山のようなベースメタル鉱物に富んだ含金鉱石に中のエレクトラムの金銀比に近い値となった。

グループ 3 はいずれも斑銅鉱や微量の硫砒銅鉱を含む鉱石であり，エレクトラムの金銀比が，尾去沢鉱山や大葛鉱山など浅熱水性中硫化型卑金属鉱床に産するエレクトラムの金銀比に近い値となった。

エレクトラムの金銀比は晶出時の硫黄活量によって変化し，黒鉱鉱床に産する鉱石の高硫化系，中硫化系を分ける指標となると考えられる。



Modified from Barton and Skinner (1979) and Einaudi et al. (2003)

図 47 骨格鉱物としての閃亜鉛鉱晶出時の硫黄活量

青色は中硫化高含金銀鉱石，水色は中硫化低含金銀鉱石，赤色は高硫化高含金銀鉱の骨格鉱物としての閃亜鉛鉱の鉄含有量である。閃亜鉛鉱の値は平均値である。温度は海底熱水鉱床や黒鉱鉱床の形成温度帯を想定している。

中硫化高含金銀鉱石を形成した鉱床或いは鉱体の骨格鉱物としての閃亜鉛鉱は，高硫化高含金銀鉱石及び中硫化高含金銀鉱石を形成した鉱床或いは鉱体の

閃亜鉛鉱に比べ、低い硫黄フガシティーで形成したことが示唆される。また骨格鉱物としての閃亜鉛鉱晶出時の形成温度を 350°C以下と仮定した場合、いずれの鉱床も中硫化的環境であったと考えられる。ただし中硫化低含金銀鉱と高硫化高含金銀鉱は閃亜鉛鉱の晶出時の温度が 380°C程度と仮定した場合、高硫化的環境であったと判断される。

## 5 四面銅鉱類の組成

表 16 四面銅鉱の組成及び共生鉱物

鉱石タイプ	試料名	元素含有量 at%											共生鉱物					
		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total	斑銅鉱	黄銅鉱	硫砒銅鉱	Ag-Cu-S	エレクトラム
中硫化的	水沢塊状黒鉱	25.15	5.14	2.13	10.53	1.06	13.07	0.03	0.04	tr	0.12	42.73	100					
中硫化的	田ノ沢塊状黒鉱	26.33	4.94	1.98	9.24	0.67	13.44	0.03	0.03	0.04	0.14	43.18	100					
中硫化的	内の岱塊状黒鉱	27.42	5.50	1.46	5.96	3.32	9.93	0.01	-	0.10	0.00	46.30	100					
中硫化的	小割沢墨流し状黒鉱	29.79	5.59	1.23	4.06	3.55	9.89	0.02	-	0.02	0.00	45.85	100					
中硫化的	小割沢塊状黒鉱	31.68	5.81	1.12	3.88	3.91	10.03	0.03	0.00	0.01	0.14	43.38	100					
中硫化的	松峰塊状黒鉱	34.78	6.05	0.92	0.97	7.96	6.09	0.02	tr	0.04	0.06	43.09	100					
高硫化的	古遠部Bn層状黄鉱	34.23	6.39	0.03	0.97	9.42	3.10	0.28	-	0.01	0.00	45.58	100					
中硫化的	光沢塊状黒鉱	32.80	6.07	0.50	0.75	6.99	5.93	0.02	-	0.08	0.00	46.86	100					
中硫化的	松木層状黒鉱	33.61	5.17	1.90	0.37	11.37	1.64	0.00	1.36	0.00	0.00	44.59	100					
高硫化的	深沢Bn黒鉱	33.89	6.65	0.06	0.19	2.60	10.97	0.02	-	0.04	0.00	45.58	100					
中硫化的	光沢層状黒鉱	34.77	5.88	1.04	0.19	12.87	0.44	0.02	tr	0.05	0.19	44.55	100					
中硫化的	餌釣Bn重晶石鉱	34.92	6.48	0.18	0.08	8.22	4.76	0.00	0.00	0.00	0.00	45.36	100					
高硫化的	堂屋Bn敷層状半黒鉱	34.75	6.55	0.14	0.05	10.28	2.65	0.01	-	0.01	0.00	45.57	100					
高硫化的	内の岱Bn黒鉱	34.68	6.67	0.12	0.04	10.37	2.90	0.04	0.00	0.00	0.15	45.03	100					
高硫化的	花輪Ten重晶石鉱	34.39	5.58	1.15	0.04	12.75	0.03	0.00	-	0.00	0.00	46.06	100					
中硫化的	光沢黄鉱	34.48	5.87	0.98	0.03	12.75	0.20	0.01	-	0.00	0.00	45.68	100					
中硫化的	花輪Eng黄鉱	36.12	2.21	2.87	0.03	11.95	0.83	0.10	-	0.00	0.00	45.89	100					
高硫化的	観音堂Luz重晶石鉱	34.56	5.66	0.62	0.02	9.44	3.22	0.01	0.00	0.01	0.00	46.46	100					

鉱石タイプは鉱物組み合わせから決定した。試料名の色分けは灰色が黒鉱，黄色が黄鉱，淡灰色が重晶石鉱である。共生鉱物の硫砒銅鉱は，同質異像のルソン銅鉱及びその Sb エンドメンバーであるファマチン鉱を含める。

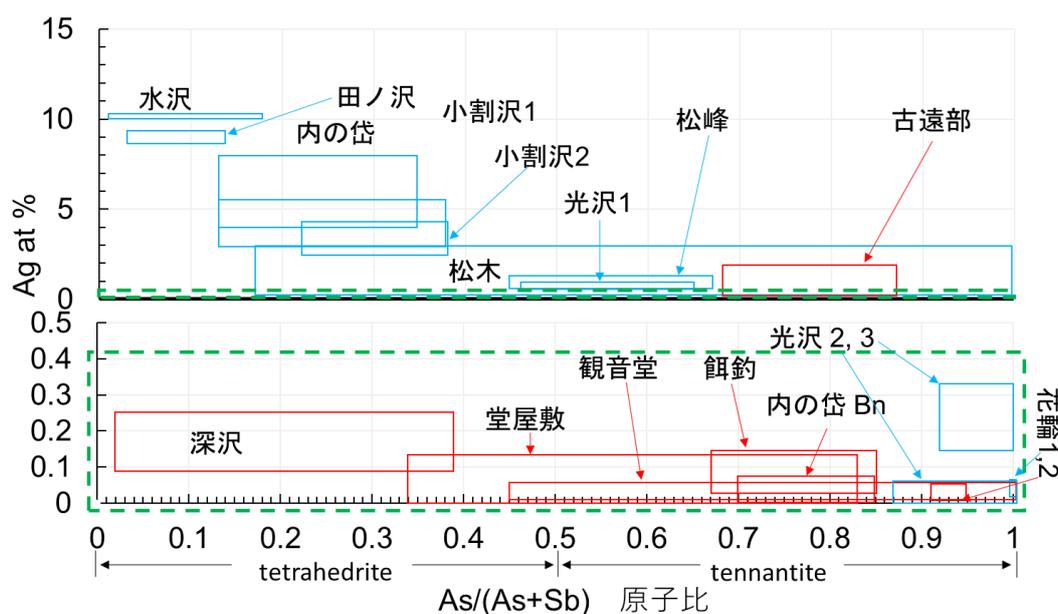


図 48 四面銅鉱の As-Sb 比と銀含有量

各鉱石試料の四面銅鉱中の銀含有量の最大値と最小値を縦軸に、As/As+Sbの最大値と最小値を横軸にとり、各鉱石の銀含有量と砒素、アンチモン含有量の範囲をプロットしたものである。赤枠は斑銅鉱及び硫砒銅鉱(ファマチン鉱)を含む鉱石の四面銅鉱であり、青枠はそれらを含まない鉱石の四面銅鉱である。

四面銅鉱の銀含有量は中硫化的鉱石中のものが全般的に高く、高硫化的鉱石で低い傾向がみられる。また中硫化高含金銀鉱の四面銅鉱は銀安四面銅鉱である。高硫化高含金銀鉱と高硫化低含金銀鉱の四面銅鉱は深沢 Bn 黒鉱を除き、砒四面銅鉱であり、銀に乏しい。中硫化低含金銀鉱の四面銅鉱は As-Sb 比、Ag 含有量ともに大きくばらつく傾向がある。

砒四面銅鉱のみを含む鉱石、安四面銅鉱のみを含む鉱石、両方を含む鉱石の産出は気液分離によって、砒素に富む熱水とアンチモンに富む熱水を形成したことが示唆される。

浅熱水性の金銀鉱床では、高硫化系に砒素が、中硫化系にアンチモンが濃集する傾向がある。水沢、田ノ沢、小割沢などの小規模鉱床の鉱石は光沢鉱床を除くと、いずれも金銀に富み安四面銅鉱を産す。この傾向は浅熱水性中硫化系金銀鉱床の特徴と一致する。一方、古遠部-相内、内の岱、堂屋敷などの中から大規模な鉱床の鉱石で斑銅鉱を含む鉱石は深沢鉱床の物を除き、砒四面銅鉱を含む。この傾向は浅熱水性高硫化系金銀鉱床の特徴と一致する。

現在の海底熱水鉱床と比較すると、前者のような小規模な鉱床は、深海に形成した成層火山の頂部の火口～カルデラに形成し、一方、大規模なカルデラの底部に形成する。また、小規模な海底熱水鉱床では金銀に富むことに知られ、大規模鉱床は金銀に富む鉱石の産出は在るものの、鉱床全体としての金銀品は低いことが知られている。前者のような鉱床では海底下で気液分離が起きた可能性が高く、熱水側に Sb や Ag などの金属元素が分配されるため、Sb に富む中硫化的黒鉱が形成すると考えられる。一方、後者の様な大規模鉱床は、熱水の供給源とされるデイサイトドームが鉱床近傍に位置するため、もしこのような現象が起きたとしても、海底下や鉱体内で混合し高硫化的な鉱石、中硫化的な鉱石何れも形成する可能性が高い。実際に大～中規模鉱床では、高硫化的鉱含金銀鉱石、中硫化含金銀鉱石いずれも産している(表 6)。

## 6 黒鉱鉱化作用をもたらす熱水の変化

熱水中に供給される Fe, Cu, Zn, Pb の量比は、マグマの冷却過程や熱水と岩石との反応に伴ってある程度変化すると考えられる。しかしながら、黒鉱鉱床の特徴でもある珪鉱(Fe,Cu)、黄鉱(Cu,Fe)、黒鉱(Zn,Pb)重晶石(Ba)のような元素の層状分布の主因ではないと考えられる。よって黒鉱鉱床における元素の層状分布は鉱床の形成過程によるものであると考えられる。

黒鉱鉱床形成初期の鉱化流体中の鉄は、熱水が移動する過程で母岩から溶出され付加された鉄と、もともと含有されていた鉄の双方が含有されていると考えられる。(黒鉱下部の変質帯では、イライト変質が優勢で鉄は含まれないか、或いは黄鉄鉱として微量に存在する)黄鉄鉱は晶出温度範囲が広いので、熱水が海底面上に噴出するまで含有され、熱水が海水に希釈、或いは急冷されると同時に沈殿する。

銅は熱水中にもともと含まれ、鉄に比べて早くに黄銅鉱として沈殿する。そのため海底面下の深部に多く沈殿する。

亜鉛は、銅に比べると低温でも熱水中に含有することが、可能であり海底面浅所や海底面上に熱水が噴出するときの急冷によって沈殿する。

金銀は低温環境でも熱水中に含有するため、海底下浅所では少量沈殿するが、海底下深所の特に高温状態の熱水が滞留する鉱体内では金銀は多量に沈殿せず熱水中に含有する。熱水活動晩期に熱水の温度自体が低下すると、熱水中に含有する金銀の沈殿が始まり特に空隙が多く、熱水の供給源から遠く、海底面からの間接的な冷却を受けやすい鉱床最上部付近では熱水中の金銀が多く沈殿する。さらに温度が低下すると自然銀などの鉱物が晶出する。

## 7 高硫化的黒鉱鉱床における鉱体の形成過程と各種鉱石の形成

始めに熱水噴出孔から多量の細粒黄鉄鉱晶出し、多量の黄鉄鉱が堆積する。これによって黄鉄鉱と空隙に富んだ黄鉄鉱体が海底面上で形成する。黄鉄鉱体の成長が進み、深部からの熱水が鉱体内に流入すると熱水の流路近傍では熱水から斑銅鉱が晶出し、やや離れた場所では熱水が海水による希釈と温度低下を受け、黄銅鉱や砒四面銅鉱が晶出する。極一部では、海底面付近まで温度の保たれた熱水が海底に噴出することで、細粒な黄銅鉱と空隙に富んだ黄鉄鉱体が少量形成する。

鉱体内に斑銅鉱や輝銅鉱が晶出することで、銅に乏しく亜鉛に富んだ熱水が形成し、熱水噴出孔から晶出する鉱物が黄鉄鉱から閃亜鉛鉱に遷移する。これによって、黄鉄鉱体を覆うように半黒鉱及び黒鉄鉱体が形成する。半黒鉱及び黒鉄鉱体も初生的には空隙に富むが、黄鉄鉱体同様に熱水が流入すると、空隙中に鉱物が晶出する。熱水の流路近傍では、斑銅鉱や硫砒銅鉱が晶出し、やや離れた場所では黄銅鉱や砒四面銅鉱が晶出する。

鉱体がさらに成長すると、鉱体の上部下部の温度差が大きくなり、鉱体内で大部分の金属元素が鉱物として晶出する。それによって熱水噴出口からの金属鉱物の晶出量が減少し、熱水と海水の反応により晶出する重晶石の晶出量比が増加する沈殿、堆積し黒鉄鉱体を被覆するように重晶石鉱が形成する。

海底面上での鉱化作用が終了した後も、鉱体内では熱水の対流は続き、鉱体内の空隙中に鉱物が晶出する。

鉱床下部の黄鉄鉱や半黒鉄鉱体の空隙は、熱水の循環と滞留により晶出した鉱物と上部に形成した鉄鉱体による圧密で空隙は減少する。また、海底からの距離が離れ、高温状態となる。

その一方で黒鉄鉱体は間隙充填鉱物の晶出が少なく圧密の影響も少ないため、空隙の多い状態にあると考えられる。また黒鉄鉱体上部は海底面から近く冷却効率が高い状態でありながら、重晶石鉄や鉄石英帯や上部堆積層の形成によって海水の流入が抑止される。そのため特に黒鉄鉱体上部付近の熱水流路近傍では高硫化的な熱水が急冷を受け、斑銅鉄や Cu-S 鉄物、Ag-Cu-S 鉄物が多量に晶出する。そして熱水の流路から離れた場所では中硫化的な環境となり、含銀四面銅鉄及び銀に富んだエレクトラム、重晶石が晶出する。鉄鉱体縁辺部では鉄石鉄物の晶出により金属や硫黄に乏しくなった熱水がさらなる温度低下を受け石英や重晶石を沈殿させる。熱水の流れ込まなかった場所には空隙や固結度の低い鉄石が形成する。

以下に、結果と結論をもとに作成した、高硫化的鉄鉱床での鉄石形成モデルを模式図とともに提示する。



図 49 黄鉄鉱体形成 1

チムニーから噴出した熱水によって海底面に黄鉄鉱が堆積し層状の空隙に富んだ鉄鉱体が形成する。

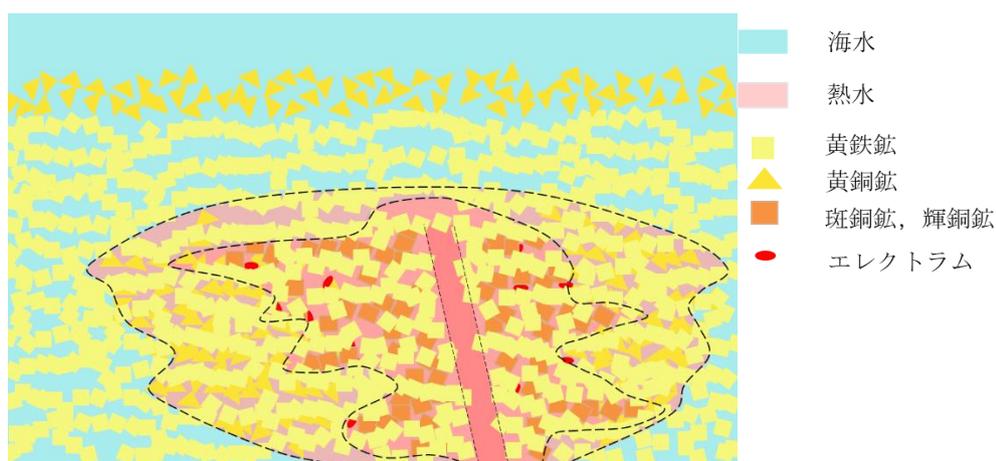


図 50 黄鉄鉱体形成 2

鉄鉱体の成長後、裂罅などを通して下部から熱水が流入し、斑銅鉄や黄銅鉄などが沈殿する。この時、熱水が海水と混合しエレクトラムが晶出する。また、熱水は裂罅から鉄石の堆積構造に規制され拡散する。また黄鉄鉱体上部では黄銅鉄を主とした鉄石が形成する。

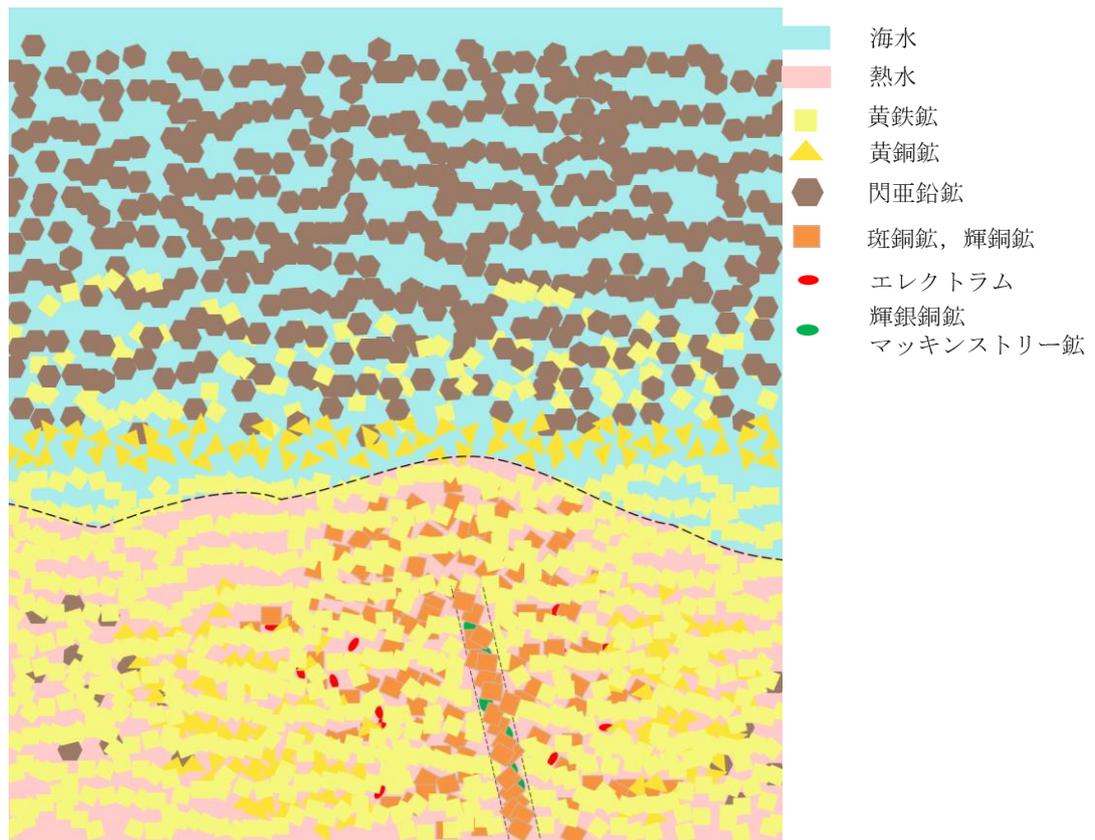


図 51 半黒鉱及び黒鉱鉱体の形成

海底面上で晶出する鉱物が黄鉄鉱から閃亜鉛鉱に遷移し、半黒鉱鉱体及び黒鉱鉱体が形成する。また、裂罅への熱水の流入が止まると、温度低下によって亀裂付近に輝銀銅鉱などの銀鉱物が晶出する。

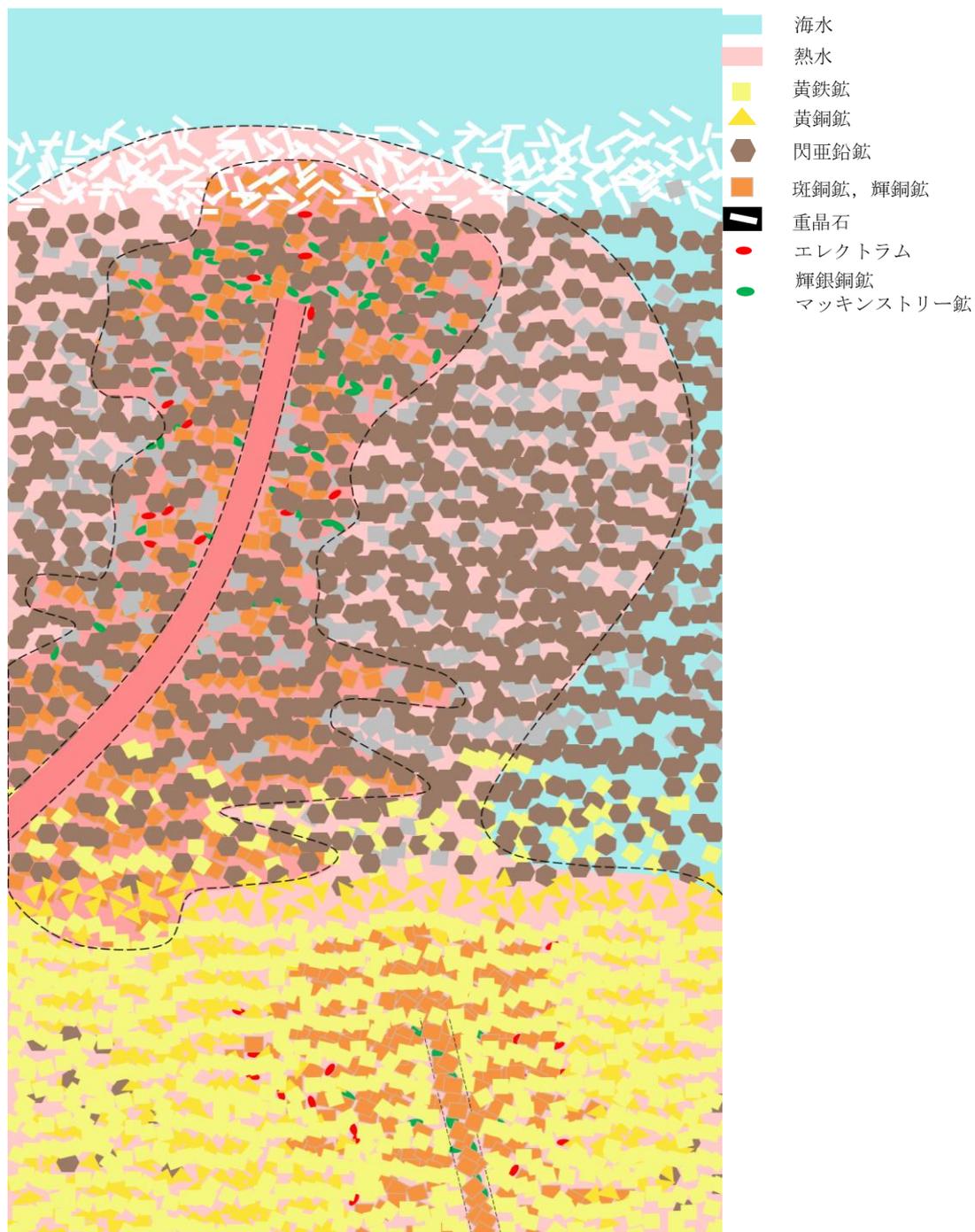


図 52 黒鉱鉱体の形成と鉱体内部の鉱化作用

海底面上では閃亜鉛鉱が多量に晶出，堆積し黒鉱鉱体が成長する．さらに鉱化作用が進むと海底面上に重晶石が堆積し重晶石鉱が形成する．

鉱体下部では下部からの熱水が裂隙を通り黒鉱鉱体内に流入する．そして流路付近に斑銅鉱及び方鉛鉱が晶出する．また，鉱体上部付近は海水による冷却効率が良いため輝銀銅鉱がより多く晶出する．

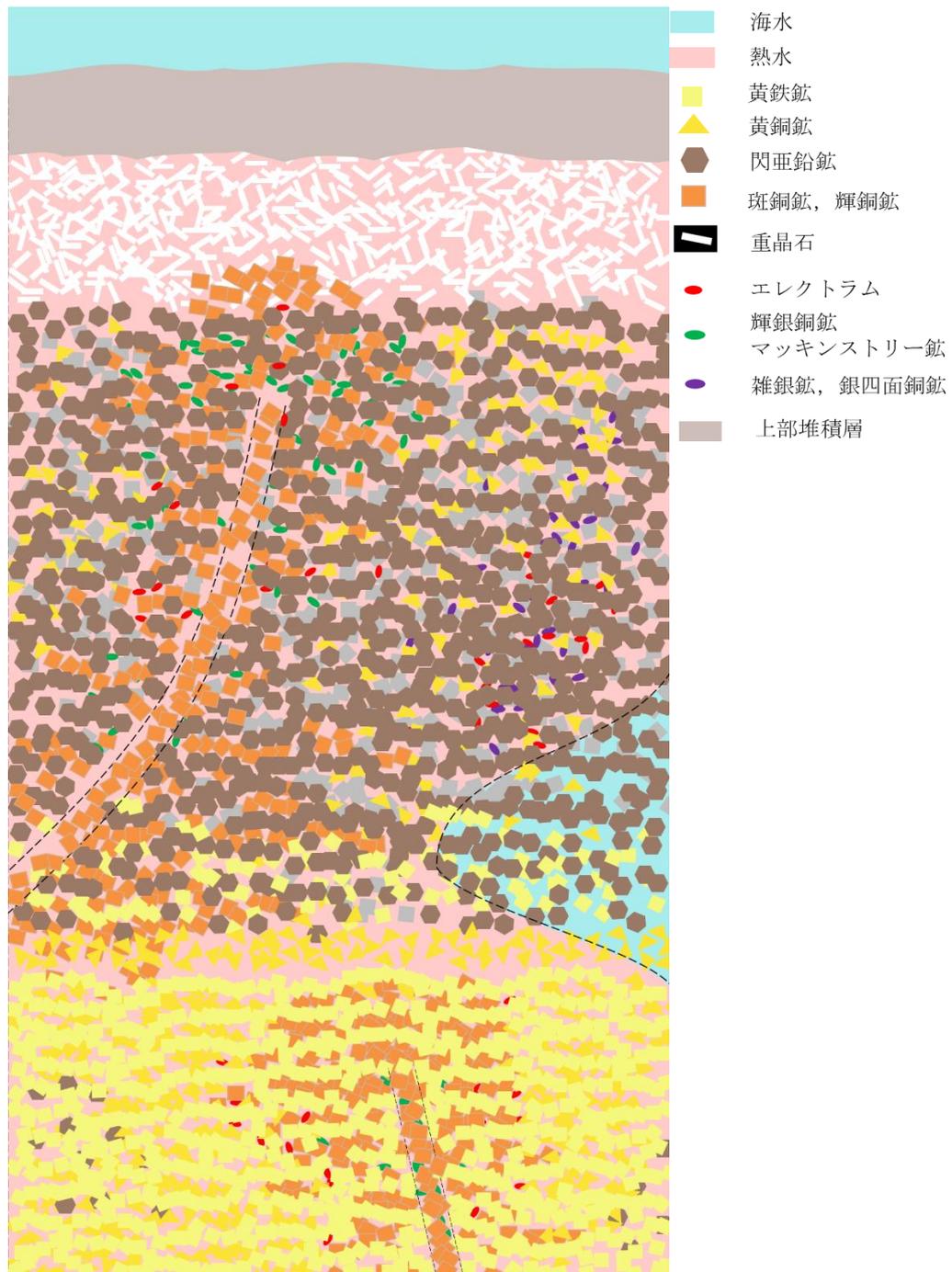


図 53 上部堆積層の形成と鉱体内部の鉱化作用

海底面上での鉱物の沈殿が収束し鉱床上部には、凝灰岩や泥岩などが堆積する。鉱体内への熱水の流入は続き、鉱体内の亀裂と空隙を通じ熱水が拡散、滞留する。熱水の流路付近は高硫化的環境となり斑銅鉱や方鉛鉱が晶出し、やや流路から離れた場所では、鉱物の晶出及び、熱水と海水の混合により中硫化的環境となり、黄銅鉱や方鉛鉱が晶出し一部では雑銀鉱や銀四面銅鉱、雑銀鉱などが晶出する。

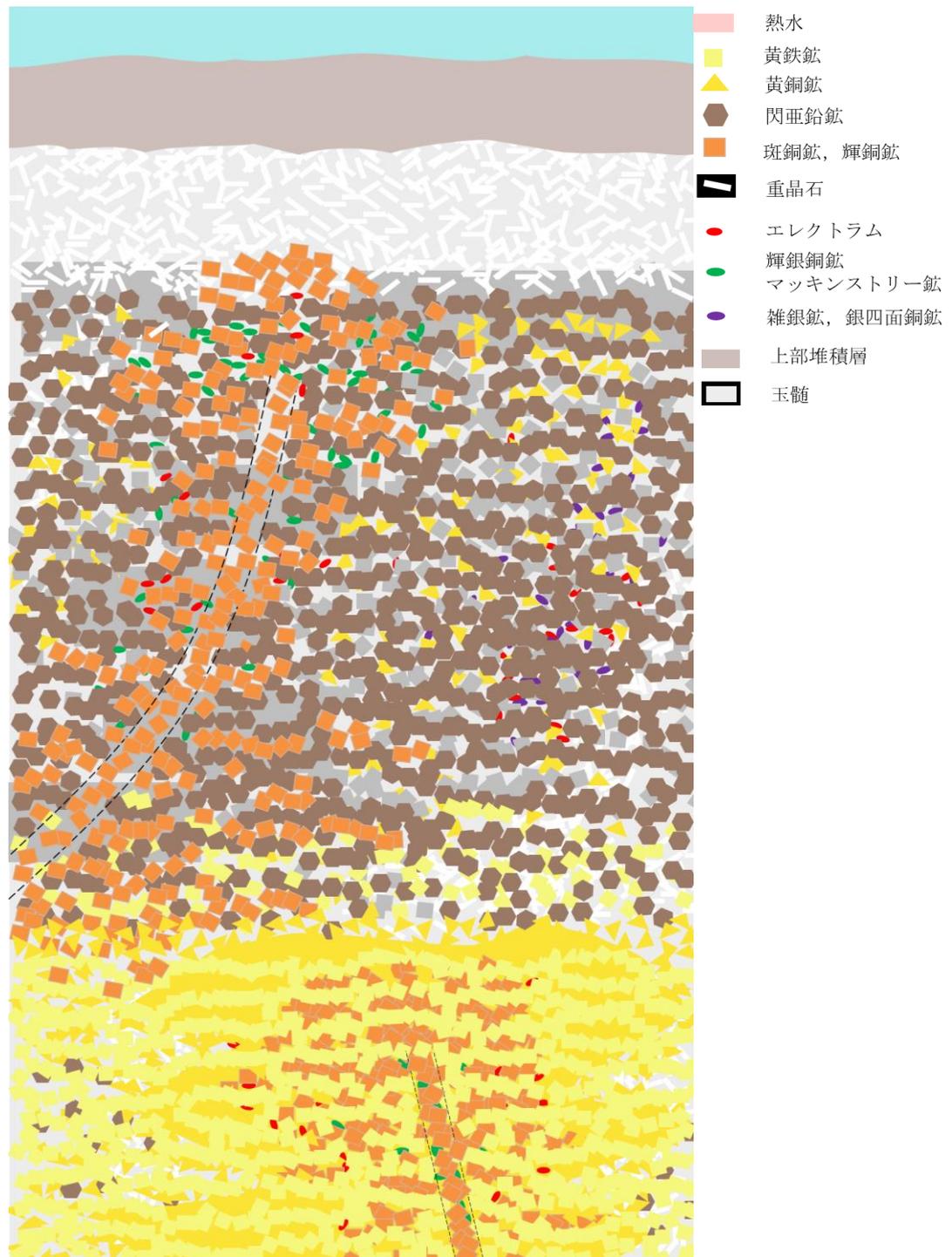


図 54 鉍化作用の終焉と鉍石の固結

鉍化作用最末期，鉍体内を循環する熱水の温度が徐々に低下し，残された空隙に玉髓や少量の重晶石が晶出する．これによって鉍石が固結し鉍床の形成が終了する．

## 8 中硫化的黒鉱鉱床における鉱体の形成過程と各種鉱石の形成

始めに熱水噴出孔から細粒黄鉄鉱晶出し，黄鉄鉱が堆積する．熱水系の規模が小さいため，黄鉄鉱と空隙に富んだ小規模な黄鉄鉱体が海底面上で形成する．黄鉄鉱体の成長が進み，深部からの熱水が鉱体内に流入すると熱水の流路近傍では熱水から黄銅鉱が晶出し，やや離れた場所では熱水が海水による希釈と温度低下を受け，閃亜鉛鉱や方鉛鉱が晶出する．

鉱体内に黄銅鉱や四面銅鉱が晶出することで銅，鉄に乏しく亜鉛に富んだ熱水が形成し，熱水噴出孔から晶出する鉱物が黄鉄鉱から閃亜鉛鉱に遷移する．これによって，黄鉄鉱体を覆うように半黒鉱及び黒鉄鉱体が形成する．半黒鉱及び黒鉄鉱体も初生的には空隙に富むが，黄鉄鉱体同様に熱水が流入すると，空隙中に鉱物が晶出する．熱水の流路近傍では，黄銅鉱や四面銅鉱，方鉛鉱が晶出し，やや離れた場所では玉髓や重晶石が晶出する．中硫化的鉱床は鉱体の規模が小さいため，鉱体深部にも海水による冷却を受ける．そのため鉱体内で硫化鉱物が多く晶出し，熱水中の金属の含有量が低下し黒鉄鉱体を覆うように重晶石鉱体が形成する．また熱水系の規模が小さく，成長速度も遅いため，鉱石中には泥や火山岩礫が混入する．

海底面上での鉱化作用終了後も鉱体内では熱水の活動が続く．黄鉄及び半黒鉄鉱体の空隙は，すでに黄銅鉱や閃亜鉛鉱，石英，重晶石の晶出により減少していると考えられる．一方，黒鉄鉱体は空隙富み，熱水の循環と滞留が起こりやすい環境であると考えられる．鉱床規模が小さいため鉱体内の保温能力が小さく鉱床全体に金銀鉱物が晶出し，特に熱水の流路近傍において，多量のエレクタム，銀四面銅鉱及び雑銀鉱が晶出する．また，鉱床縁辺部では鉱石鉱物の晶出により金属や硫黄に乏しくなった熱水がさらなる温度低下を受け石英や重晶石を多く晶出させる．そして熱水の流れ込まなかった場所には，空隙や固結度の低い鉱石が形成する．

以下に，結果と結論をもとに作成した，中硫化的鉱床での鉱石形成モデルを模式図とともに提示する．



図 55 黄鉄鉱体形成 1

チムニーから噴出した熱水によって海底面に黄鉄鉱が堆積し層状の空隙に富んだ鉱体が形成する．

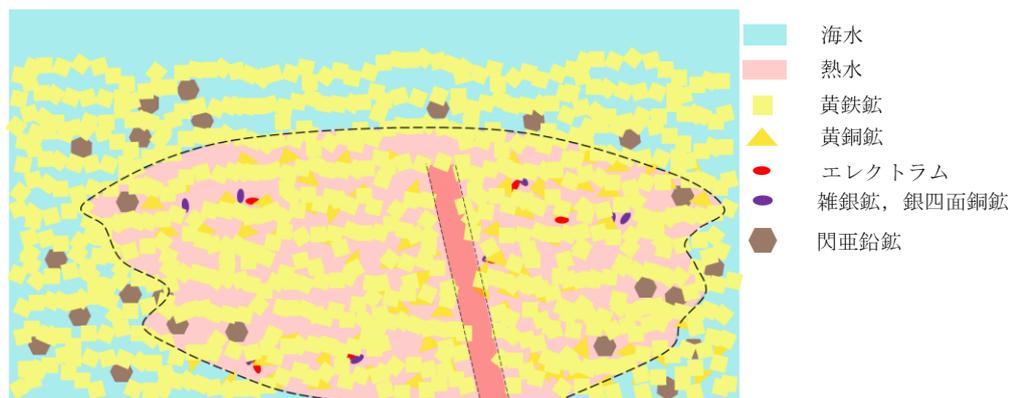


図 56 黄鉱鉱体形成 2

鉱体下部に熱水が流入空隙を通じて熱水が拡散する。鉱体の規模が小さいため急冷され熱水の流路近傍には黄銅鉱と少量の雑銀鉱やエレクトラムが晶出し、遠方では閃亜鉛鉱が晶出する。

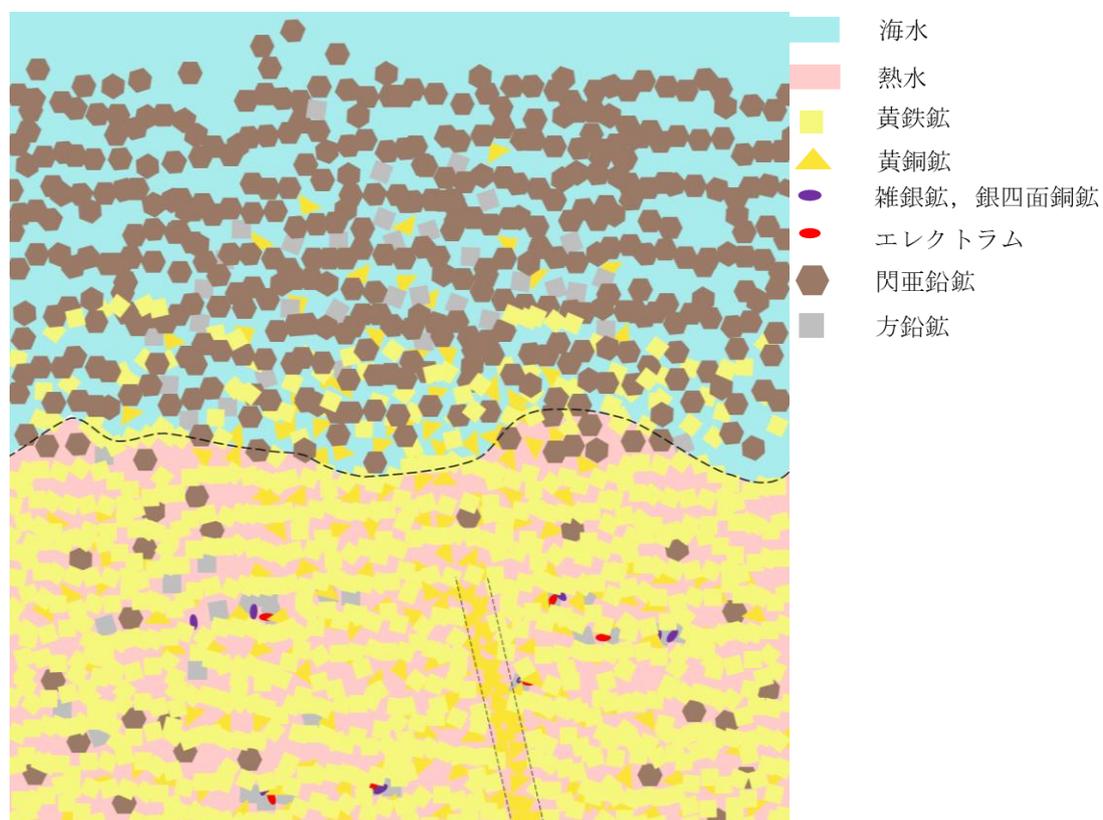


図 57 半黒鉱, 黒鉱鉱体の形成

鉱体内で黄銅鉱が晶出することで、海底面上で晶出する鉱物が黄鉄鉱から閃亜鉛鉱に遷移する。また鉱体が小さいため熱水が弱く冷却され、少量の閃亜鉛鉱や方鉛鉱、エレクトラム雑銀鉱などが晶出する。

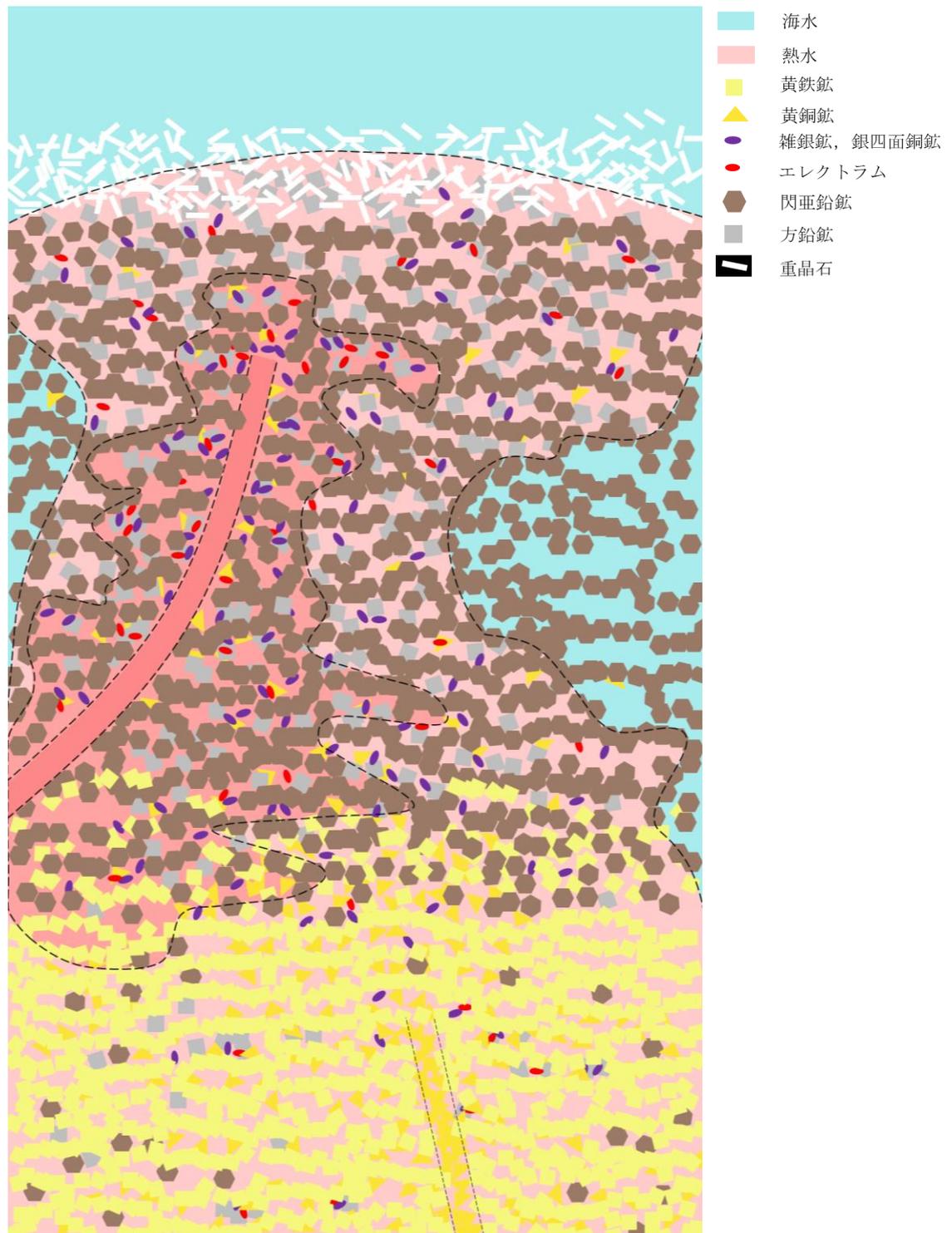


図 58 重晶石鉱の形成と鉱体内部の鉱化作用

鉱床下部からの熱水の流入により、黒鉱鉱体に間隙充填鉱物が晶出する。熱水の流路近傍には多量の雑銀鉱、エレクトラムと方鉛鉱、少量の黄銅鉱が晶出する。熱水の流路遠方には多量の方鉛鉱や少量の黄銅鉱、銀安四面銅鉱やエレクトラムが晶出する。

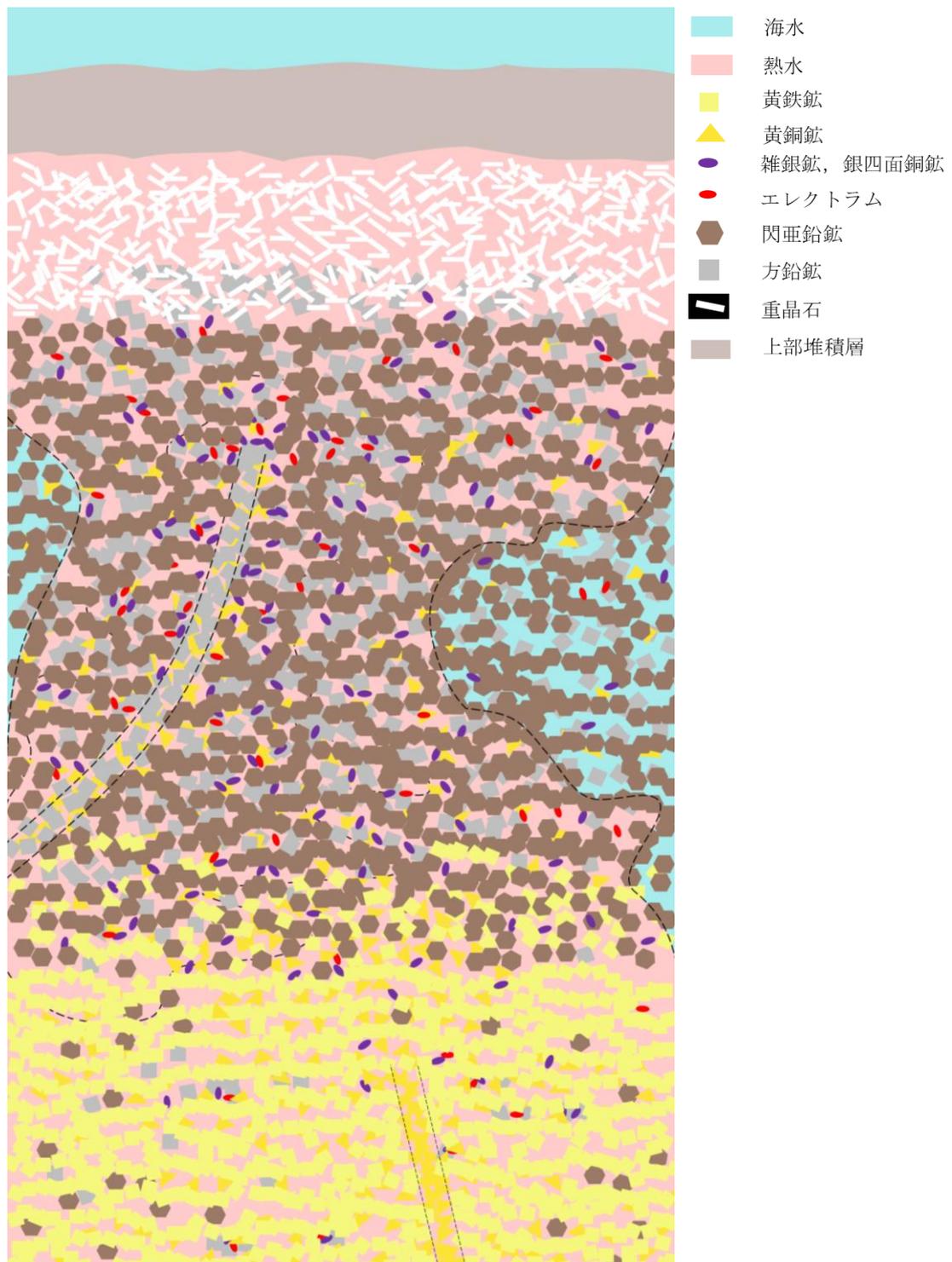


図 59 上部堆積層の形成と鉱体内の鉱化作用

海底面上への熱水の噴出が弱まると、鉱床上部には泥岩及び火山性碎屑物を主とした堆積層が形成する。鉱体内では熱水が空隙を通して拡散するが、鉱体の規模が小さいため熱水が強く冷却され鉱物が晶出する。熱水の流路近傍には引き続き、方鉛鉱、黄銅鉱、雑銀鉱及びエレクトラムが晶出し、やや離れた場所では方鉛鉱や銀四面銅鉱少量のエレクトラムが晶出する。また鉱床の規模が小さいため熱水が鉱床全体に拡散し、銀四面銅鉱及び微量のエレクトラム晶出する

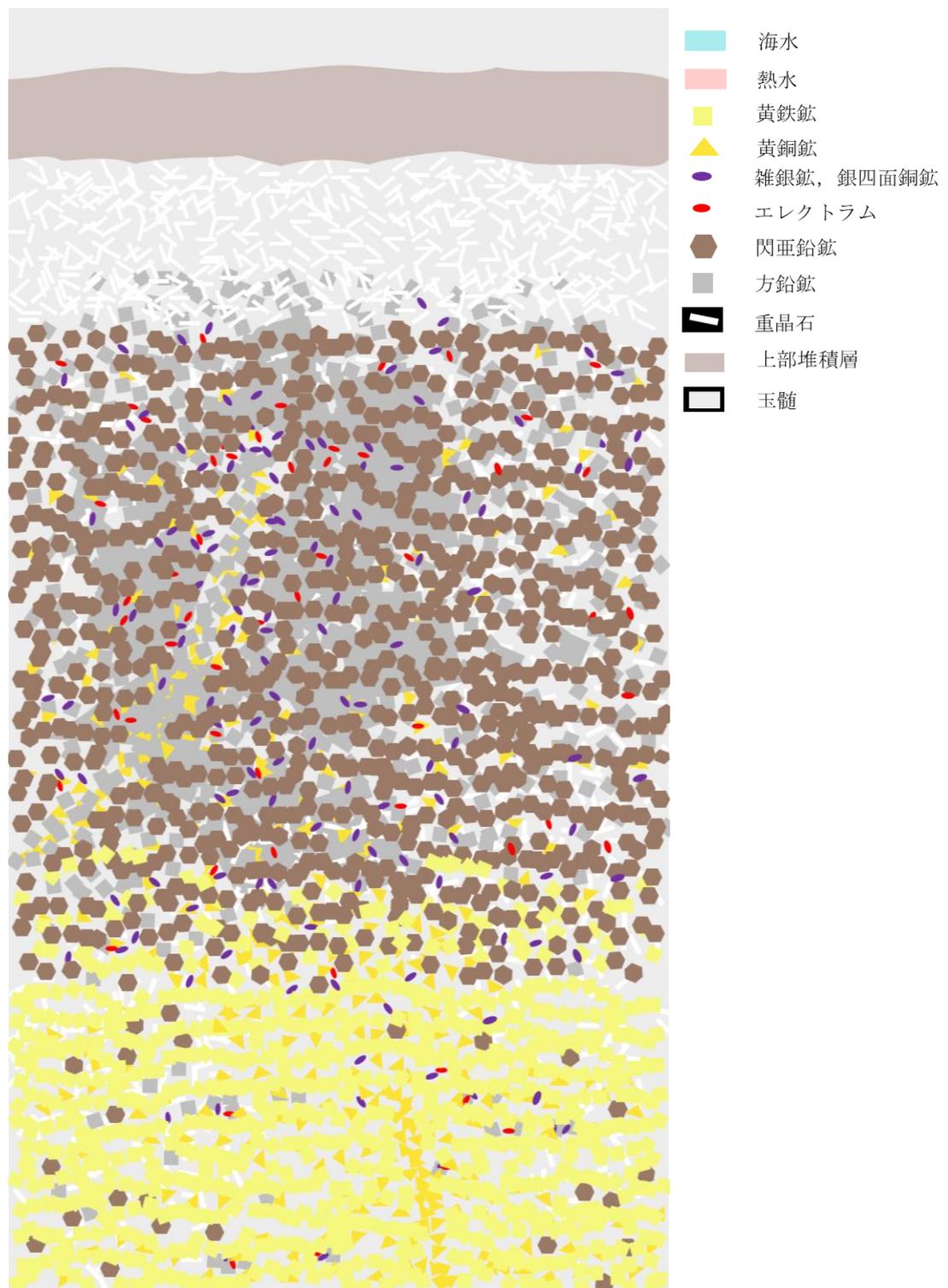


図 60 鉍化作用の終焉と鉍石の固結

鉍化作用最末期，鉍体内を循環する熱水の温度が徐々に低下し，残された空隙に玉髓や少量の重晶石が晶出する．これによって鉍石が固結し鉍床の形成が終了する．

## V 結論

### 1 鉱床の分類

黒鉱鉱床に産する鉱石は、含金銀鉱石に限らず高硫化的環境で形成した鉱石と中硫化的環境で形成した鉱石の 2 種に分類可能である。そして鉱量 100 万 t 以上の中～大規模な黒鉱鉱床は全て高～中硫化的鉱床であり、小規模な黒鉱鉱床は中硫化的鉱床である。

### 2 鉱石の形成機構

黒鉱鉱床では海底面上の熱水の急冷による鉱物の沈殿、海底面下深所の中から高温の鉱化作用、海底面下浅所の低温の鉱化作用が同時に進行する。海底面上で形成した鉱体は空隙に富み、フィルターのような役割を果たす。また鉱体形成中は、外縁部は海水によって冷却され、鉱体の中心付近は熱水の供給により高温となる。熱水が空隙中を伝い外縁部に移動する過程で徐々に冷却し晶出する鉱物に変化し、外縁部では玉髄質石英や方解石が沈殿する。

二次堆積性の鉱床を除くと、黒鉱鉱床に産する鉱石の固結は圧密や続成ではなく、鉱石中の空隙に鉱物が沈殿することによるものである。

### 3 金銀鉱物の濃集

黒鉱鉱床における含金銀鉱石は高硫化的黒鉱鉱床、中硫化的黒鉱鉱床いずれにおいても鉱体内部での鉱化作用によって形成する。

そして、この時の熱水が高硫化的なものか、中硫化的なものかで晶出する金銀鉱物種と、これらの共生鉱物種に変化が生じる。

高硫化的含金銀鉱石は金銀鉱物としては金に富んだエレクトラム、輝銀銅鉱及び、マッキンストリー鉱から、共生鉱物として斑銅鉱、輝銅鉱類、銀に乏しい四面銅鉱類及び方鉛鉱からなる。エレクトラムは硫黄フガシティーの低下を表す鉱物組み合わせと晶出順序を表す鉱石に多く産する。輝銀銅鉱やマッキンストリー鉱は硫黄フガシティーの低下は認められず、温度の低下を表す産状の鉱石に多く晶出する。

中硫化的含金銀鉱石は金銀鉱物としては銀に富んだエレクトラム、含銀安四面銅鉱及び、雑銀鉱から、共生鉱物としては黄銅鉱及び方鉛鉱からなる。エレクトラム、含銀四面銅鉱及び雑銀鉱は晶出時に硫黄フガシティーの変化を表す鉱物組み合わせは認められず、温度の低下を表す産状の鉱石に多く晶出する。

鉱床上部において非常に金銀に富んだ鉱石が産するのは、鉱床上部が鉱化作用晩期まで空隙に富み、海底に近く熱水が冷却を受けやすい環境であると考え

られる。

#### 4 高硫化黒鉱及び中硫化黒鉱鉱床の分布

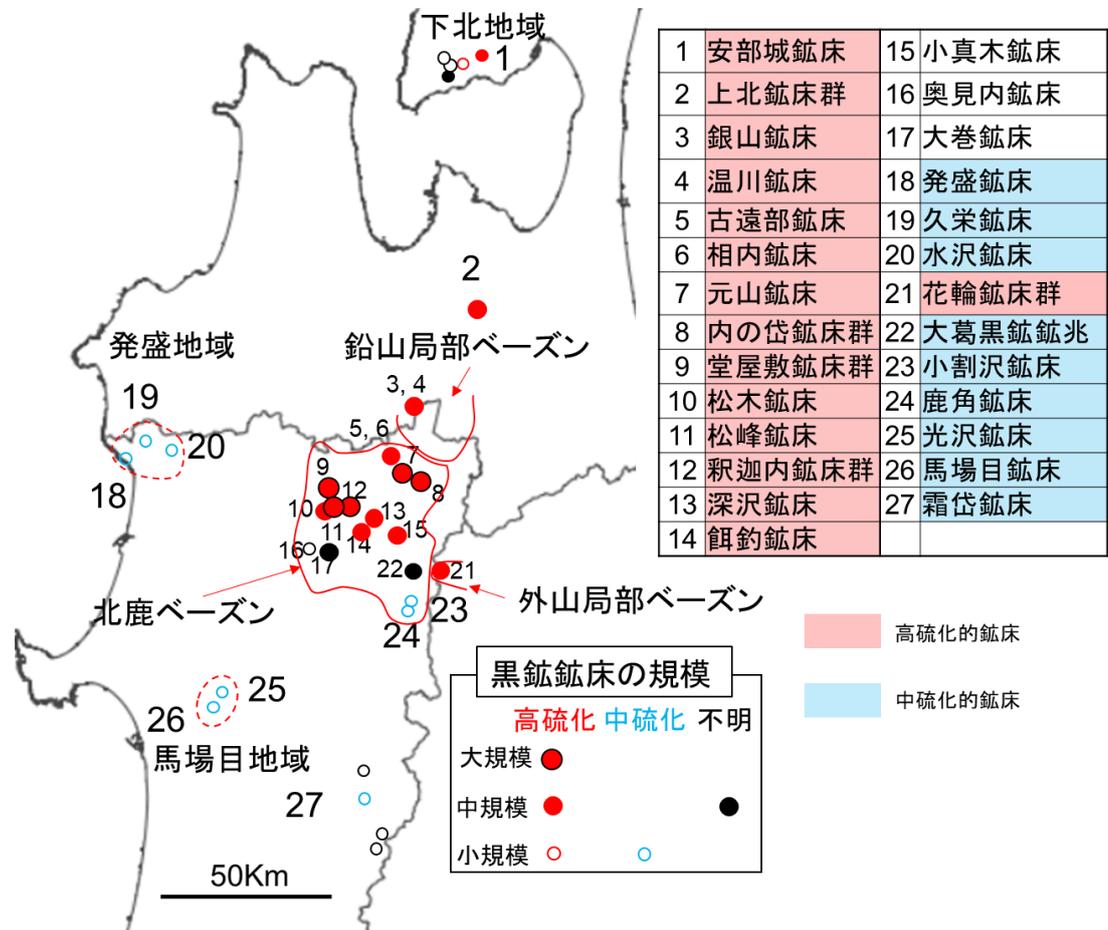


図 61 高硫化黒鉱及び中硫化黒鉱鉱床の分布

この研究の結果，上図のように高硫化的鉱床は北鹿ベースン，外山局部ベースン，鉛山局部ベースン，上北鉱床群，下北地域に分布する．中硫化的鉱床は発盛地域，馬場目地域の鉱床，及び霜岱鉱床及び，小割沢，鹿角鉱床が分布する。

## VI 謝辞

本論文は筆者が秋田大学大学院国際資源学研究科鉱物資源・テクトニクス研究室に所属し修士課程及び博士課程の研究成果をまとめたものです。

本研究に当たって、全面的なご指導をいただいた渡辺寧教授，分析等の技術指導とご助言をいただいた越後拓也博士，西川治博士，青木翔吾博士，博士論文執筆に際して細部にわたる有益なご助言をいただいた秋田大学国際資源学部の大場司教授，石山大三教授に，多大なる感謝の意を表したく存じます。また学部，大学院の研究活動を共にした左部翔大氏にも感謝の意を表します。そしてこの論文を，中学生の時代からご指導と励ましいただき，尊敬してやまない天国の松枝大治先生に，僭越ながらお捧げいたします。

## VII 引用文献

秋田県産業労働部鉱務課(1968)秋田県鉱山誌。

Barton, P. B. Jr., Toulmin, P. III. (1966) Phase relations involving sphalerite in the Fe-Zn-S system. *Economic Geology*, Vol. 6, No.1, 815–849.

Barton, P. B. Jr., Skinner, B. J. (1979) Sulfide mineral stabilities. H. L. Barnes ed., John Wiley and Sons Inc., *Geochemistry of Hydrothermal Deposits*, Second Edition, Chapter 7, 278–403.

C. Stewart Eldridge. Barton, P. B. Jr., Hiroshi Ohmoto. (1983) Mineral textures and Their bearing on formation of the Kuroko orebodies. *Economic Geology Monograph Vol. 5*, 241-281.

Einaudi, M. T., Hedenquist, J. W. and Inan, E. E. (2005) Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments. *Society of Economic Geology Vol. 10*, 285-313.

橋本綱治・加茂野寿・林宗一(1962)小坂鉱山内の岱鉱床について. *鉱山地質* 12 巻 53 号 129-142.

本間 久英(1973)秋田県古遠部鉱山産ジュルレ鉱. *鉱物学雑誌* 11 巻 1-2 号 33-28.

広瀬和世・石山大三(2015)青森県温川含金黒鉱鉱床の地質学的・地球化学的研究. *資源地質* 65 巻 3 号 129-132.

Imai, N., Sakai, E., Suzuki, S., and Hashimoto, K. (1981) Electrum in the Kuroko ore from the Yoshino mine, Yamagata Prefecture. *Mining Geol. Spec. Issue No. 10*, 203-218.

石川洋平(1964)小坂鉱山内の岱鉱床“鉄石英”中の有孔虫化石. *鉱山地質*, 14 巻 4 号, 273-275.

- 木下亀城(1944) 本邦の黒鉱鉱床, 日本学術振興会, 本邦の金属鉱床 第3巻.  
 工学会(1930)「明治工業史. 鉱業編」工学会, 明治工業会史発行所, 140.  
 国土地理院 電子地形図 25000 分の 1
- Kajiwara. Y. (1969) Fukuchilite,  $Cu_3FeS_8$ , A new mineral from the Hanawa mine, Akita Prefecture, Japan Mineralogical journal vol. 5, No. 6, 399-41.
- 松隈寿紀(1966) 黒鉱鉱床における金銀の賦存状態について. 浮選 1966 巻 30 号 11-20.
- 松隈寿紀(1966) 黒鉱鉱石の鉱物組成と組織. 日本鉱業会誌, 82 巻 944 号 1001-1007.
- 松隈寿紀(1985) 黒鉱鉱床の金銀. 日本鉱業会, 金銀鉱石研究委員会編, 「日本の金鉱石 第三集」 155-193.
- 森 茂昭・港 種雄(1981): 大身谷鉱山におけるエレクトラムの産状. 鉱山地質特別号, No.10, 75-86.
- 両角春寿, 石川信明, 千葉 樹, 渡辺一雄, 緒方武幸, 高橋亮平, 石橋純一郎 (2020) 2014 年以降の JOGMEC の調査による海洋鉱物資源の鉱床学的特徴. 資源地質 70 巻 1 号 53-65.
- 本村慶信(1988) 西南北海道の稲倉石型マンガン鉱床産エレクトラムの化学組成 鉱山地質 38 巻 211 号 369-373.
- 中嶋輝允(1993): 北鹿ペーゾンの地質構造・火成活動と黒鉱鉱床形成場 地質調査所月報, 第 44 巻 251-282.
- 中嶋輝允(1989): 5 万分の 1 北鹿地域鉱物資源評価地質図説明書. 地質調査所.
- 中島 謙造(1895): 水澤鑛山. 東京地学協会, 地学雑誌 7 巻 2 号 59-62.
- 中山英二・円城寺守(1985)群馬県根羽沢鉱山の含金石英脈. 日本鉱業会, 金銀鉱石研究委員会編, 「日本の金鉱石 第三集」, 89-112.
- 小野修司, 佐藤寿一(1995)秋田県餌釣黒鉱鉱床の金銀鉱石. 岩鉱 90 巻 8 号 268-279.
- 大橋 良一(1962)黒鉱型鉱床の形態および成因. 鉱山地質 12 巻 53 号 172-174.
- 佐藤 寿一・荒金 敏光・伊藤 俊彦・小野 修司(1981)秋田県銀山黒鉱鉱床の鉱石鉱物. 日本鉱業会誌 97 巻 1115 号 1-6.
- 佐藤壮郎・嶋崎吉彦(1969)秋田県小坂鉱山内の岱西鉱床におけるエレクトラムの産状と性質 鉱山地質. 19 巻 97 号 333-340.
- 佐藤 壮郎(1983)黒鉱鉱床成因論の最近の進歩. 地学雑誌 92 巻 7 号 527-522.
- Sillitoe, R. H., Hannington, M. D., John F. H. Thompson (1996) High sulfidation deposits in the volcanogenic massive sulfide environment. *Economic Geology* Vol. 91 204-212.
- 鹿園直建 (1981) 黒鉱鉱床およびエピサーマル金-銀脈鉱床産 electrum の化学組成とその支配要因. 鉱山地質特別号 10 号 259-267.
- Sugaki, A. and Kitakaze, A. (1981) Furutobeite, a new copper-silver-lead sulfide

- mineral. *Bulletin de Mineralogie* 104, 737-741.
- 菅 清規・伊藤 俊弥・高橋 敏夫・大森吉蔵(1972)花岡鉍山,松峰鉍床の海底熱水性噴気堆積鉍床としての全体像. 鉍山地質 22 卷 113 号 225-249.
- 高橋 甫・白鳥賢三・山口豊・小原 賢 (1971)花輪鉍山の地質鉍床について,特に鉍床と地質構造との関係. 鉍山地質 21 卷 106 号 97-103.
- 谷村 昭二郎(1973)北鹿地域における堆積盆の発展と鉍床生成の場について. 鉍山地質 23 卷 119 号 237-243
- 志賀美英(1996)海底熱水鉍床の分布と分類. 資源地質 46 卷 257 号 167-186.
- Terakado, Y. (2001) Re-Os dating of the Kuroko ore deposits from the Hokuroku district, Akita Prefecture, Northeast Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*. Vol. 107. 354-357.
- 田口幸洋・広渡文利・吉川謙造(1976)鹿児島県布計鉍山のエレクトラムの産状と化学組成. 鉍山地質 26 卷 138 号 263-271.
- 浦島幸世・佐藤寿一(1968)黒鉍鉍床の含金鉍石並びに自然金, 鉍山地質 18 卷 87 号 11-24.
- 渡辺武男(1959)層状鉍床の成因論と探査. *日本鉍業会誌* 75 卷 85 号 596-599
- 山田亮一・吉田武義(2013)北鹿地域における黒鉍鉍床と背弧海盆火山活動 地質学雑誌 119 卷 Supplement 号 S168-S179.
- Yokoyama, K., Takeuchi, S., Nakai, I., Tsutsumi, Y., Sano, T., Shigeoka M., Miyawaki, R., and Matsubara, S. (2011) Chemical compositions of electrum grains in ore and placer deposits in the Japanese islands. *National Museum of Nature and Science*.
- Dekov V. M., Rouxel, O., Kouzmanov, K., Bindi, L., Asael, D., Fouquet, Y., Etoubleau, J., Burgaud, G., Wälle, M. (2016) Enargite-luzonite hydrothermal vents in Manus Back-Arc Basin: submarine analogues of high-sulfidation epithermal mineralization. *Chemical Geology*, Volume 438.

付表1 エレクトラムの組成

水沢層状黒鉱		Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Te	Total
水沢黒鉱1Au1	wt. %	52.04	44.11	0.02	0.82	2.61	0.02	99.62
水沢黒鉱1Au2	wt. %	48.24	48.26	0.00	0.23	1.08	0.00	97.81
水沢黒鉱1Au3	wt. %	56.99	39.85	0.03	0.99	0.96	0.00	98.82
水沢黒鉱1Au4	wt. %	49.80	47.17	0.03	0.94	1.31	0.15	99.40
水沢黒鉱1Au5	wt. %	43.01	53.42	0.05	1.57	1.46	0.02	99.54
水沢黒鉱1Au6	wt. %	50.94	44.88	0.00	0.55	1.49	0.00	97.87
水沢黒鉱1Au7	wt. %	56.42	35.58	0.02	0.24	4.06	0.00	96.31
水沢黒鉱1Au8	wt. %	46.22	52.08	0.03	1.31	0.07	0.02	99.72
水沢黒鉱1Au9	wt. %	61.19	35.32	0.01	0.40	0.89	0.04	97.85
水沢黒鉱1Au10	wt. %	60.68	35.82	0.00	0.24	0.37	0.03	97.13
水沢黒鉱1Au11	wt. %	50.90	46.40	0.02	0.39	0.42	0.00	98.13
水沢黒鉱1Au12	wt. %	51.97	44.96	0.00	0.33	0.48	0.00	97.74
水沢塊状黒鉱		Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Te	Total
水沢黒鉱2Au1	wt. %	65.14	32.66	0.03	0.77	1.78	0.41	100.80
水沢黒鉱2Au2	wt. %	66.16	32.35	0.00	0.19	2.29	0.41	101.39
水沢黒鉱2Au3	wt. %	66.19	31.83	0.00	0.19	0.27	0.34	98.82
水沢黒鉱2Au4	wt. %	65.98	31.62	0.05	0.00	0.81	0.07	98.53
水沢黒鉱2Au5	wt. %	65.88	31.64	0.00	0.00	0.58	0.31	98.41
水沢黒鉱2Au6	wt. %	65.56	31.93	0.00	0.02	0.39	0.34	98.24
水沢黒鉱2Au7	wt. %	66.67	31.46	0.00	0.14	0.12	0.35	98.74
水沢黒鉱2Au8	wt. %	67.11	31.33	0.00	0.07	0.07	0.03	98.60
水沢黒鉱2Au9	wt. %	66.93	31.42	0.00	0.53	0.03	0.41	99.32
水沢黒鉱2Au10	wt. %	66.10	31.63	0.00	0.11	0.18	0.04	98.05
水沢黒鉱2Au11	wt. %	65.35	32.57	0.00	0.23	2.91	0.05	101.11
水沢黒鉱2Au12	wt. %	64.62	33.53	0.07	0.13	2.61	0.39	101.36
水沢黒鉱2Au13	wt. %	62.58	33.65	0.51	0.50	4.80	0.07	102.10
水沢黒鉱2Au14	wt. %	66.43	31.85	0.00	0.47	0.56	0.36	99.67
水沢黒鉱2Au15	wt. %	66.91	32.00	0.00	0.18	0.56	0.33	99.97
水沢黒鉱2Au16	wt. %	65.87	31.55	0.00	0.33	1.54	0.05	99.34
水沢礫状黄鉱		Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Te	Total
水沢黄鉱Au1	wt. %	61.43	35.69	0.00	0.36	1.09	0.14	98.71
水沢黄鉱Au2	wt. %	61.41	36.26	0.00	0.00	3.44	0.36	101.47
水沢黄鉱Au3	wt. %	60.13	37.57	0.00	0.11	4.17	0.05	102.03
水沢黄鉱Au4	wt. %	60.96	37.00	0.00	0.87	3.05	0.43	102.31
水沢黄鉱Au5	wt. %	62.79	34.33	0.00	0.00	1.31	0.09	98.52
水沢黄鉱Au6	wt. %	63.44	34.02	0.00	0.00	1.00	0.06	98.53
水沢黄鉱Au7	wt. %	63.19	34.61	0.00	0.16	1.36	0.05	99.38
水沢黄鉱Au8	wt. %	58.59	38.15	0.00	0.11	6.12	0.03	102.98
水沢黄鉱Au9	wt. %	61.42	36.58	0.00	0.25	3.16	0.07	101.48
水沢黄鉱Au10	wt. %	59.59	36.97	0.00	0.51	3.71	0.40	101.18

小割沢塊状		Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Te	Total	
小割沢黒鉱1Au1	wt. %	68.09	27.55	0.11	4.15	0.79	0.00	100.70	
小割沢黒鉱1Au2	wt. %	73.67	23.43	0.04	0.14	0.01	0.00	97.29	
小割沢黒鉱1Au3	wt. %	73.62	23.75	0.06	0.71	0.12	0.03	98.28	
小割沢墨流し状黒鉱		Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Te	Total	
小割黒鉱2Au1	wt. %	74.64	23.31	0.32	0.49	0.02	0.03	98.81	
小割黒鉱2Au2	wt. %	73.77	23.97	0.21	0.00	0.00	0.28	98.22	
小割黒鉱2Au3	wt. %	73.35	24.07	0.22	0.08	0.03	0.25	98.00	
小割黒鉱2Au4	wt. %	71.35	26.33	0.46	0.00	0.04	0.29	98.46	
小割黒鉱2Au5	wt. %	72.29	25.40	0.45	0.35	0.12	0.27	98.88	
小割黒鉱2Au6	wt. %	70.54	25.72	0.86	0.21	0.17	0.31	97.81	
小割黒鉱2Au7	wt. %	66.63	29.08	0.44	0.33	0.29	0.06	96.83	
小割黒鉱2Au8	wt. %	73.36	24.95	0.20	0.00	0.02	0.21	98.74	
小割黒鉱2Au9	wt. %	70.63	26.81	0.37	0.63	0.08	0.05	98.56	
小割黒鉱2Au10	wt. %	67.94	28.98	0.52	0.49	0.42	0.04	98.39	
松木層状黒鉱		Au	Ag	Zn	Pb	Cu	Te	Total	
松木黒鉱Au1	wt. %	71.74	25.54	0.07	0.92	0.00	0.00	98.27	
松木黒鉱Au2	wt. %	71.27	25.61	0.05	1.30	0.01	0.00	98.24	
松木黒鉱Au3	wt. %	71.86	25.46	0.02	0.94	0.00	0.00	98.28	
光沢層状黒鉱		Element	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Te	Total
光沢黒鉱Au1	wt. %		62.28	34.22	0.00	0.08	2.74	0.08	99.40
光沢黒鉱Au2	wt. %		61.33	34.30	0.00	0.06	2.65	0.36	98.70
光沢黒鉱Au3	wt. %		62.17	33.99	0.00	0.06	2.57	0.34	99.14
光沢黒鉱Au4	wt. %		61.43	33.90	0.00	0.04	2.24	0.39	98.00
光沢黒鉱Au5	wt. %		59.78	33.71	0.00	0.02	3.21	0.04	96.76
松峰塊状黒鉱		Element	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Te	Total
松峰黒鉱Au2	wt. %		70.61	27.61	0.06	0.03	1.04	0.02	99.38
松峰黒鉱Au3	wt. %		68.32	28.88	0.00	0.00	0.34	0.25	97.79
松峰黒鉱Au4	wt. %		69.56	28.82	0.00	0.00	0.92	0.29	99.60
松峰黒鉱Au5	wt. %		69.81	27.64	0.00	0.02	0.76	0.33	98.55
松峰黒鉱Au6	wt. %		73.05	24.81	0.00	0.02	0.25	0.28	98.41
松峰黒鉱Au7	wt. %		68.13	29.37	0.00	0.04	0.14	0.07	97.74
松峰黒鉱Au8	wt. %		72.22	26.79	0.00	0.03	0.47	0.26	99.77
松峰黒鉱Au9	wt. %		70.47	27.54	0.00	0.02	0.34	0.27	98.63
松峰黒鉱Au10	wt. %		42.53	27.09	0.13	0.00	22.57	0.07	92.39
松峰黒鉱Au11	wt. %		68.85	29.08	0.00	0.01	0.13	0.33	98.40
松峰黒鉱Au12	wt. %		69.26	28.56	0.00	0.00	0.19	0.06	98.08

内の岱塊状黒鉱	Element	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Te	Total
内の岱黒鉱Au1	wt. %	36.50	50.40	0.35	0.41	2.10	0.55	90.30
内の岱黒鉱Au2	wt. %	32.41	52.18	0.41	0.45	0.00	0.67	86.11
内の岱黒鉱Au3	wt. %	38.43	49.25	0.15	2.78	0.05	0.13	90.78
内の岱黒鉱Au4	wt. %	47.20	43.56	0.17	3.08	0.00	0.09	94.10
内の岱黒鉱Au5	wt. %	34.86	50.28	0.27	0.04	2.30	0.54	88.28
内の岱黒鉱Au6	wt. %	18.85	22.71	0.86	0.02	18.27	0.31	61.01
内の岱黒鉱Au7	wt. %	35.21	50.52	0.02	0.16	0.33	0.62	86.85
内の岱黒鉱Au8	wt. %	33.08	49.56	0.22	0.00	0.00	0.10	82.96
内の岱黒鉱Au9	wt. %	32.45	52.53	0.11	0.00	2.58	0.61	88.27
内の岱黒鉱Au10	wt. %	38.80	48.76	0.15	0.00	2.28	0.10	90.08
内の岱黒鉱Au11	wt. %	30.89	52.64	0.24	0.02	3.76	0.61	88.15
内の岱黒鉱Au12	wt. %	44.62	43.33	1.39	0.62	0.69	0.08	90.73
内の岱黒鉱Au13	wt. %	0.00	0.69	0.31	0.57	75.53	0.03	77.13
内の岱黒鉱Au14	wt. %	36.02	49.05	0.10	0.06	1.58	0.60	87.41
内の岱黒鉱Au15	wt. %	43.42	45.41	0.14	0.10	1.28	0.55	90.89
内の岱黒鉱Au16	wt. %	30.95	52.53	0.20	0.23	0.41	0.16	84.48
内の岱黒鉱Au17	wt. %	36.11	50.33	0.32	0.42	2.35	0.63	90.15
田ノ沢Pol黒鉱	Element	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Te	Total
田ノ沢黒鉱2Au1	wt. %	43.50	53.09	0.13	0.01	0.40	0.12	97.25
田ノ沢黒鉱2Au2	wt. %	39.58	55.66	0.14	0.00	0.88	0.66	96.92
餌釣Bn重晶石鉱		Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Total	
餌釣重晶石鉱Au1	wt. %	83.82	14.71	0.85	0.05	0.00	99.42	
餌釣重晶石鉱Au2	wt. %	86.19	11.49	0.62	0.00	0.00	98.30	
餌釣重晶石鉱Au3	wt. %	88.94	9.96	0.15	0.03	0.00	99.09	
餌釣重晶石鉱Au4	wt. %	91.20	8.57	0.15	0.00	0.05	99.98	
餌釣重晶石鉱Au5	wt. %	89.23	9.88	0.15	0.00	0.00	99.26	
餌釣重晶石鉱Au6	wt. %	89.56	9.42	0.07	0.00	0.00	99.05	
餌釣重晶石鉱Au7	wt. %	90.31	8.42	0.05	0.00	0.18	98.95	
餌釣重晶石鉱Au8	wt. %	89.76	9.47	0.04	0.00	0.00	99.27	
餌釣重晶石鉱Au9	wt. %	86.87	11.93	0.56	0.00	0.00	99.37	
古遠部Bn層状黄鉱		Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Te	Total
古遠部黄鉱Au1	wt. %	80.71	16.85	0.61	0.00	0.00	0.10	98.26
古遠部黄鉱Au2	wt. %	78.87	17.50	0.29	0.00	0.00	0.00	96.66
古遠部黄鉱Au3	wt. %	78.26	17.11	1.15	0.00	0.00	0.17	96.69
深沢Bn黒鉱		Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Te	Total
深沢黒鉱Au1	wt. %	78.96	15.24	0.00	0.12	0.00	0.00	94.32
深沢黒鉱Au2	wt. %	81.34	15.04	0.01	0.09	0.00	0.00	96.48
深沢黒鉱Au3	wt. %	81.39	15.16	0.02	0.08	0.19	0.06	96.89

付表2 四面銅鉱の組成

小割沢塊状黒鉱		Cu	Ag	Zn	Fe	As	Sb	Bi		Hg	Se	S	Total
小割沢黒鉱1tet1	wt. %	36.00	6.00	6.37	1.35	6.66	18.79	0.00		0.02	0.00	27.06	102.25
小割沢黒鉱1tet2	wt. %	31.47	10.09	6.53	1.03	2.77	24.69	0.00		0.06	0.00	25.45	102.09
小割沢黒鉱1tet3	wt. %	31.60	9.91	6.43	1.05	3.14	23.48	0.00		0.08	0.00	25.36	101.04
小割沢黒鉱1tet4	wt. %	34.80	6.36	6.04	1.27	5.46	20.24	0.00		0.01	0.00	26.49	100.68
小割沢黒鉱1tet5	wt. %	35.07	6.56	6.29	1.28	5.83	19.82	0.07		0.00	0.00	26.19	101.12
小割沢黒鉱1tet6	wt. %	34.06	7.54	6.61	1.18	4.79	21.32	0.00		0.15	0.00	26.48	102.13
小割沢黒鉱1tet7	wt. %	33.03	8.49	6.51	1.09	3.72	22.92	0.61		0.03	0.00	26.27	102.66
小割沢黒鉱1tet8	wt. %	33.80	7.33	6.45	1.19	5.00	20.92	0.15		0.13	0.00	25.82	100.77
小割沢黒鉱1tet9	wt. %	33.47	7.52	6.35	1.20	4.39	22.18	0.00		0.05	0.00	26.18	101.35
小割沢黒鉱1tet10	wt. %	33.59	8.00	6.57	1.25	4.47	21.94	0.00		0.09	0.00	26.20	102.12
小割沢黒鉱1tet11	wt. %	34.64	6.80	6.57	1.32	5.54	20.01	0.24		0.03	0.00	26.30	101.46
小割沢黒鉱1tet12	wt. %	34.62	6.70	6.63	1.37	5.62	20.04	0.03		0.13	0.00	26.16	101.30
小割沢黒鉱1tet13	wt. %	33.19	9.10	6.15	1.23	3.97	22.75	0.31		0.08	0.00	25.87	102.63
小割沢黒鉱1tet14	wt. %	35.18	6.32	6.36	1.42	5.84	19.41	0.00		0.00	0.00	26.67	101.19
小割沢黒鉱1tet15	wt. %	33.01	8.35	7.02	1.24	3.95	22.33	0.00		0.05	0.00	26.14	102.10
小割沢黒鉱1tet16	wt. %	34.88	6.23	6.69	1.37	6.17	18.75	0.10		0.08	0.00	26.83	101.10
小割沢黒鉱1tet17	wt. %	33.46	8.38	6.83	1.17	4.03	22.52	0.05		0.01	0.00	26.36	102.80
小割沢黒鉱1tet18	wt. %	31.06	10.57	6.73	1.04	2.38	25.21	0.00		0.04	0.00	25.88	102.92
小割沢黒鉱1tet19	wt. %	35.44	5.72	6.79	1.41	6.94	18.40	0.00		0.04	0.00	26.88	101.62
小割沢墨流し状黒鉱		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total
小割沢黒鉱2tet1	wt. %	36.93	6.55	1.21	4.90	6.91	18.50	0.16	0.00	0.03	0.10	24.49	99.77
小割沢黒鉱2tet2	wt. %	35.40	6.49	1.30	6.34	6.31	19.23	0.07	0.00	0.05	0.08	24.11	99.36
小割沢黒鉱2tet3	wt. %	33.30	6.49	0.99	8.49	3.97	22.44	0.15	0.02	0.04	0.24	23.74	99.87
小割沢黒鉱2tet4	wt. %	34.87	6.63	1.02	6.97	4.92	21.31	0.07	0.00	0.10	0.47	23.90	100.28
小割沢黒鉱2tet5	wt. %	34.06	6.56	1.02	8.08	4.27	21.98	0.08	0.01	0.04	0.00	23.69	99.76
小割沢黒鉱2tet6	wt. %	33.99	6.60	1.01	7.71	4.30	22.01	0.11	0.00	0.00	0.17	23.86	99.75
小割沢黒鉱2tet7	wt. %	36.24	6.53	1.19	5.60	6.94	18.39	0.13	0.00	0.03	0.11	24.21	99.38
小割沢黒鉱2tet8	wt. %	34.36	6.52	1.02	7.29	4.59	21.76	0.11	0.01	0.05	0.00	23.64	99.33
小割沢黒鉱2tet9	wt. %	34.07	6.52	0.96	7.81	4.40	21.83	0.12	0.01	0.09	0.42	23.78	100.02
田ノ沢塊状黒鉱		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total
田ノ沢黒鉱2tet 6	wt. %	27.46	5.15	1.75	15.35	0.73	26.06	0.10	0.07	0.02	0.33	22.25	99.27
田ノ沢黒鉱2tet 7	wt. %	26.80	5.27	1.57	15.95	0.43	26.45	0.08	0.06	0.07	0.12	22.09	98.87
田ノ沢黒鉱2tet 8	wt. %	27.17	5.12	1.69	15.78	0.57	26.23	0.05	0.00	0.11	0.11	21.99	98.84
田ノ沢黒鉱2tet 9	wt. %	26.76	5.25	1.69	15.89	0.65	26.50	0.09	0.07	0.15	0.26	22.25	99.56
田ノ沢黒鉱2tet 10	wt. %	26.82	5.26	1.68	16.02	0.58	26.33	0.10	0.00	0.05	0.10	22.17	99.10
田ノ沢黒鉱2tet 11	wt. %	26.27	5.13	1.81	16.33	0.55	26.42	0.13	0.05	0.11	0.01	22.17	98.98
田ノ沢黒鉱2tet 12	wt. %	26.47	5.05	1.78	16.30	0.95	26.33	0.09	0.11	0.24	0.31	22.46	100.06
田ノ沢黒鉱2tet 13	wt. %	26.60	5.03	1.70	16.06	0.91	26.26	0.10	0.01	0.14	0.00	22.35	99.17
田ノ沢溶黒鉱		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total
田ノ沢黒鉱2tet1	wt. %	26.37	5.39	2.05	16.29	0.66	26.19	0.14	0.09	0.04	0.14	21.79	99.13
田ノ沢黒鉱2tet2	wt. %	27.68	4.93	2.06	14.78	2.32	23.93	0.08	0.06	0.11	0.38	22.07	98.41
田ノ沢黒鉱2tet3	wt. %	26.65	5.19	1.83	16.37	0.91	26.31	0.04	0.05	0.10	0.17	21.69	99.31

光沢層状黒鉱		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total
光沢黒鉱1ten1	wt. %	42.09	7.44	0.91	0.40	17.80	2.47	0.10	0.00	0.32	0.71	27.49	99.72
光沢黒鉱1ten2	wt. %	42.60	8.30	1.03	0.34	18.96	0.46	0.09	0.02	0.21	0.29	27.69	99.99
光沢黒鉱1ten3	wt. %	42.76	7.77	1.19	0.45	19.04	0.34	0.05	0.00	0.20	0.21	27.65	99.66
光沢黒鉱1ten4	wt. %	43.56	7.73	1.09	0.29	18.94	0.37	0.09	0.00	0.19	0.11	27.99	100.37
光沢黒鉱1ten5	wt. %	42.62	7.88	0.89	0.38	17.53	2.55	0.10	0.00	0.22	0.00	27.87	100.02
光沢黒鉱1ten6	wt. %	42.70	7.67	0.81	0.35	17.90	1.85	0.07	0.00	0.20	0.35	27.76	99.64
光沢黒鉱1ten7	wt. %	42.95	7.57	0.96	0.43	19.02	0.84	0.11	0.00	0.22	0.05	27.95	100.10
光沢黒鉱1ten8	wt. %	42.28	7.08	1.41	0.70	18.98	0.92	0.00	0.01	0.28	0.12	27.66	99.43
光沢黒鉱1ten9	wt. %	42.95	7.21	1.32	0.58	18.76	0.75	0.00	0.00	0.21	0.49	27.82	100.10
光沢黒鉱1ten10	wt. %	43.51	7.36	1.07	0.31	19.12	0.73	0.09	0.00	0.20	0.30	27.61	100.31
光沢黒鉱1ten11	wt. %	42.79	7.23	1.19	0.50	18.49	1.78	0.00	0.00	0.30	0.50	27.65	100.42
光沢黒鉱1ten12	wt. %	43.05	7.26	1.23	0.37	19.37	0.42	0.06	0.00	0.19	0.43	28.00	100.38
光沢黒鉱1ten13	wt. %	42.72	7.37	1.29	0.55	19.24	0.89	0.02	0.00	0.17	0.14	27.88	100.26
光沢黒鉱1ten14	wt. %	43.13	7.51	1.26	0.41	19.54	0.07	0.08	0.00	0.12	0.73	27.99	100.83
光沢黒鉱1ten15	wt. %	43.10	7.50	1.07	0.39	18.38	1.84	0.11	0.00	0.21	0.00	27.65	100.25
光沢黒鉱1ten16	wt. %	43.37	7.46	1.16	0.35	18.80	0.62	0.04	0.00	0.08	0.19	27.97	100.03
光沢黒鉱1ten17	wt. %	43.20	7.46	1.13	0.30	19.26	0.63	0.10	0.00	0.16	0.35	27.91	100.48
光沢黒鉱1ten18	wt. %	43.37	7.48	1.17	0.31	18.96	0.71	0.16	0.00	0.12	0.14	27.99	100.41
光沢黒鉱1ten19	wt. %	43.12	7.29	1.13	0.34	18.77	0.71	0.10	0.01	0.17	0.59	28.08	100.30
光沢Per塊状黒鉱		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi		Hg	Se	S	Total
光沢黒鉱2ten1	wt. %	39.70	7.33	0.52	1.54	9.27	14.65	0.18		0.30	0.00	28.32	101.81
光沢黒鉱2ten2	wt. %	39.86	7.72	0.53	1.48	10.09	13.48	0.00		0.33	0.00	28.13	101.61
光沢黒鉱2ten3	wt. %	38.40	7.49	0.47	1.95	8.50	15.93	0.00		0.37	0.00	28.20	101.31
光沢黒鉱2ten4	wt. %	39.95	7.74	0.61	1.32	10.82	11.94	0.00		0.35	0.00	28.76	101.50
光沢黒鉱2ten5	wt. %	39.95	7.78	0.59	1.28	10.88	11.99	0.23		0.30	0.00	28.12	101.13
光沢黒鉱2ten6	wt. %	40.13	7.44	0.61	1.08	12.10	10.51	0.00		0.21	0.00	28.78	100.87
光沢黒鉱2ten7	wt. %	40.18	7.22	0.58	1.05	11.45	11.43	0.32		0.28	0.00	28.44	100.95
光沢黒鉱2ten8	wt. %	39.61	7.41	0.48	1.49	9.58	14.27	0.00		0.36	0.00	28.53	101.73
光沢黒鉱2ten9	wt. %	38.97	7.68	0.47	1.58	9.93	13.84	0.00		0.27	0.00	28.53	101.26
光沢黒鉱2ten10	wt. %	39.12	7.24	0.50	1.70	9.24	14.79	0.00		0.33	0.00	28.76	101.67
光沢黒鉱2ten11	wt. %	39.15	7.46	0.47	1.80	9.15	14.96	0.00		0.34	0.00	28.36	101.68
光沢黒鉱2ten12	wt. %	38.91	7.42	0.46	1.83	9.09	15.14	0.00		0.31	0.00	28.90	102.04
光沢黄鉱		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi		Hg	Se	S	Total
光沢黄鉱-ten1	wt. %	43.64	7.62	1.20	0.06	19.06	0.81	0.10		0.00	0.00	29.33	101.83
光沢黄鉱-ten2	wt. %	43.71	7.66	1.16	0.00	18.74	0.71	0.00		0.00	0.00	29.49	101.47
光沢黄鉱-ten3	wt. %	43.45	7.62	1.34	0.06	19.14	0.78	0.00		0.03	0.00	29.00	101.43
光沢黄鉱-ten4	wt. %	44.00	7.59	1.04	0.08	19.10	0.19	0.00		0.00	0.00	29.61	101.60
光沢黄鉱-ten5	wt. %	43.97	7.72	1.06	0.13	19.34	0.07	0.00		0.00	0.00	29.92	102.21
光沢黄鉱-ten6	wt. %	44.05	7.61	1.00	0.04	18.82	0.28	0.00		0.04	0.00	29.37	101.22
光沢黄鉱-ten7	wt. %	43.85	7.55	1.08	0.04	19.55	0.10	0.11		0.00	0.00	29.09	101.36
光沢黄鉱-ten8	wt. %	43.75	7.63	1.03	0.09	18.84	0.57	0.00		0.03	0.00	29.99	101.93
光沢黄鉱-ten9	wt. %	43.97	7.82	1.04	0.03	19.14	0.50	0.00		0.04	0.00	29.04	101.59
光沢黄鉱-ten10	wt. %	43.34	7.71	1.02	0.08	19.50	0.31	0.00		0.03	0.00	28.79	100.78
光沢黄鉱-ten11	wt. %	43.84	7.80	1.10	0.05	19.33	0.73	0.00		0.00	0.00	28.88	101.74
光沢黄鉱-ten12	wt. %	43.42	7.66	1.21	0.10	18.57	0.52	0.11		0.02	0.00	29.84	101.45
光沢黄鉱-ten13	wt. %	44.05	7.77	1.02	0.05	19.47	0.02	0.00		0.02	0.00	29.42	101.81
光沢黄鉱-ten14	wt. %	44.02	7.82	1.11	0.02	19.45	0.02	0.00		0.00	0.00	29.23	101.67
光沢黄鉱-ten15	wt. %	43.97	7.59	1.21	0.12	19.38	0.04	0.00		0.00	0.00	28.54	100.85
光沢黄鉱-ten16	wt. %	43.95	7.66	0.92	0.08	19.55	0.12	0.00		0.00	0.00	29.24	101.51
光沢黄鉱-ten17	wt. %	43.10	7.76	0.78	0.12	16.32	4.72	0.00		0.08	0.00	28.72	101.59
光沢黄鉱-ten18	wt. %	43.98	7.76	0.94	0.10	19.49	0.04	0.00		0.00	0.00	29.48	101.78
光沢黄鉱-ten19	wt. %	43.53	7.66	1.10	0.07	19.16	0.00	0.00		0.00	0.00	28.64	100.16

松峰塊状黒鉱		Cu	Zn	Ag	Fe	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total
松峰tet1	wt. %	38.99	7.00	2.41	1.06	9.05	15.94	0.11	0.01	0.24	0.10	24.57	99.48
松峰tet2	wt. %	38.71	6.80	2.43	1.10	9.45	15.49	0.10	0.00	0.19	0.00	24.60	98.88
松峰tet3	wt. %	38.60	7.02	2.33	0.98	8.29	16.78	0.08	0.00	0.22	0.16	24.41	98.87
松峰tet4	wt. %	40.23	7.07	1.28	0.85	12.92	10.22	0.05	0.00	0.08	0.13	25.23	98.06
松峰tet5	wt. %	40.54	7.30	1.36	0.87	12.63	10.06	0.07	0.00	0.13	0.16	25.02	98.13
松峰tet6	wt. %	40.37	7.32	1.50	0.73	11.85	11.33	0.09	0.00	0.00	0.16	24.83	98.18
松峰tet7	wt. %	40.86	7.32	1.28	0.72	12.90	10.07	0.13	0.00	0.09	0.05	25.19	98.60
松峰tet8	wt. %	39.67	7.04	1.96	1.02	10.73	13.30	0.05	0.00	0.15	0.00	24.75	98.66
松木層状黒鉱		Cu	Zn	Ag	Fe	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total
松木黒鉱tet1	wt. %	36.98	6.79	3.44	1.13	7.14	17.78	0.00	2.50	0.03	0.00	27.19	102.96
松木黒鉱tet2	wt. %	36.82	6.63	3.41	1.16	7.22	17.98	0.00	2.53	0.00	0.00	26.99	102.74
松木黒鉱tet3	wt. %	41.82	6.13	0.62	2.29	18.61	0.66	0.00	3.66	0.01	0.00	28.09	101.89
松木黒鉱tet4	wt. %	40.97	6.12	1.08	1.78	14.69	6.73	0.00	3.07	0.00	0.00	28.03	102.47
松木黒鉱tet5	wt. %	40.68	6.52	1.43	1.71	12.99	8.86	0.00	3.01	0.00	0.00	27.56	102.76
松木黒鉱tet6	wt. %	37.29	6.38	3.36	1.23	7.09	17.86	0.00	2.56	0.00	0.00	23.98	99.75
松木黒鉱tet7	wt. %	34.02	6.69	5.36	0.82	3.02	23.53	0.09	2.27	0.02	0.00	22.84	98.67
松木黒鉱tet8	wt. %	39.16	6.55	1.93	1.26	9.35	14.31	0.00	2.83	0.00	0.00	25.70	101.11
松木黒鉱tet9	wt. %	41.88	5.79	0.41	2.37	18.43	0.63	0.00	3.54	0.03	0.00	27.89	100.97
松木黒鉱tet10	wt. %	41.30	6.12	0.66	1.90	15.72	5.40	0.00	3.27	0.00	0.00	27.06	101.42
松木黒鉱tet11	wt. %	42.55	6.00	0.43	2.39	19.18	0.02	0.00	3.73	0.00	0.00	28.05	102.36
松木黒鉱tet12	wt. %	41.53	7.98	0.93	1.97	16.15	4.55	0.00	3.33	0.00	0.00	27.77	104.20
松木黒鉱tet13	wt. %	40.17	9.60	0.86	1.93	16.46	4.39	0.00	3.25	0.03	0.00	27.86	104.54
水沢塊状黒鉱		Cu	Zn	Ag	Fe	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total
水沢黒鉱2tet1	wt. %	25.41	5.38	18.15	1.59	0.86	25.63	0.06	0.11	0.00	0.19	21.87	99.24
水沢黒鉱2tet2	wt. %	25.82	5.34	17.99	1.76	2.24	23.95	0.12	0.11	0.00	0.42	22.02	99.78
水沢黒鉱2tet3	wt. %	26.03	5.31	17.95	1.78	2.12	23.83	0.11	0.07	0.00	0.39	21.67	99.26
水沢黒鉱2tet4	wt. %	24.99	5.17	17.90	1.83	0.25	26.66	0.13	0.07	0.00	0.07	21.65	98.71
水沢黒鉱2tet5	wt. %	25.57	5.31	18.02	1.73	2.01	24.18	0.08	0.09	0.00	0.29	21.78	99.07
水沢黒鉱2tet6	wt. %	25.45	5.31	18.18	1.66	0.98	25.65	0.10	0.07	0.00	0.12	22.00	99.52
水沢黒鉱2tet7	wt. %	25.26	5.06	18.10	1.88	0.71	25.94	0.07	0.00	0.00	0.00	21.99	99.01
水沢黒鉱2tet8	wt. %	25.72	5.19	17.94	2.00	2.11	23.92	0.11	0.10	0.00	0.21	21.77	99.06
水沢黒鉱2tet9	wt. %	25.81	5.28	18.04	1.92	1.56	24.28	0.05	0.08	0.00	0.00	21.91	98.93
水沢黒鉱2tet10	wt. %	25.56	5.19	18.18	1.81	1.17	25.21	0.10	0.08	0.01	0.02	21.69	99.01
水沢黒鉱2tet11	wt. %	25.67	5.18	17.97	2.03	1.77	24.26	0.13	0.13	0.00	0.22	21.75	99.10
水沢黒鉱2tet12	wt. %	24.81	5.59	18.25	1.81	1.06	25.97	0.12	0.12	0.01	0.13	21.70	99.57
水沢黒鉱2tet13	wt. %	24.90	5.46	18.13	1.82	1.11	25.74	0.07	0.00	0.00	0.31	21.77	99.30
水沢黒鉱2tet14	wt. %	24.66	5.70	18.18	2.06	1.01	26.27	0.11	0.10	0.00	0.25	21.98	100.31
水沢黒鉱2tet15	wt. %	25.46	5.78	17.94	2.26	0.38	26.46	0.12	0.02	0.00	0.09	21.84	100.36
水沢黒鉱2tet16	wt. %	24.73	6.19	18.33	1.84	0.20	26.75	0.08	0.13	0.00	0.14	21.51	99.89
水沢黒鉱2tet17	wt. %	25.10	5.07	18.39	1.85	0.57	26.62	0.06	0.12	0.02	0.00	22.05	99.84
水沢黒鉱2tet18	wt. %	24.93	5.23	18.28	1.77	0.52	26.60	0.13	0.00	0.00	0.29	21.49	99.25
水沢黒鉱2tet19	wt. %	25.47	5.29	18.14	1.86	1.20	25.36	0.12	0.10	0.00	0.00	21.67	99.21
水沢黒鉱2tet20	wt. %	25.55	5.32	17.84	1.91	1.48	24.76	0.06	0.05	0.01	0.08	21.50	98.55
水沢黒鉱2tet21	wt. %	26.60	4.90	17.49	2.12	2.98	22.66	0.08	0.02	0.00	0.00	21.76	98.60
水沢黒鉱2tet22	wt. %	26.05	5.04	17.34	1.98	2.35	23.52	0.06	0.04	0.00	0.33	21.73	98.43
水沢黒鉱2tet23	wt. %	25.73	5.17	17.65	1.90	1.58	24.96	0.07	0.05	0.00	0.00	21.55	98.66

内の岱塊状黒鉱		Cu	Zn	Ag	Fe	As	Sb	Bi	Hg	Se	S	Total	
内の岱1tet1	wt. %	32.91	6.46	8.12	1.29	5.90	18.69	0.15	0.31	0.00	26.72	100.54	
内の岱1tet2	wt. %	32.27	6.52	8.97	1.09	5.33	19.88	0.13	0.31	0.00	26.49	100.97	
内の岱1tet3	wt. %	28.22	5.68	14.33	1.54	2.39	24.31	0.02	0.44	0.00	24.73	101.65	
内の岱1tet4	wt. %	29.51	6.17	12.60	1.52	3.48	22.65	0.00	0.39	0.00	24.97	101.29	
内の岱1tet5	wt. %	29.95	5.85	12.37	1.39	3.74	22.11	0.08	0.44	0.00	26.09	102.01	
内の岱1tet6	wt. %	29.78	5.67	12.02	1.75	5.00	20.22	0.00	0.26	0.00	25.91	100.62	
内の岱1tet7	wt. %	27.65	5.76	14.84	1.66	2.15	24.10	0.00	0.47	0.00	25.22	101.85	
内の岱1tet8	wt. %	30.60	7.16	9.41	1.94	4.99	19.42	0.00	0.23	0.00	25.87	99.61	
内の岱1tet9	wt. %	29.05	5.93	13.73	1.27	3.04	23.21	0.32	0.34	0.00	25.96	102.84	
内の岱1tet10	wt. %	34.12	7.34	7.97	0.45	6.17	18.82	0.00	0.21	0.00	27.06	102.14	
内の岱1tet11	wt. %	31.48	6.36	10.57	1.36	5.12	20.52	0.00	0.32	0.00	26.51	102.24	
内の岱Bn黒鉱		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Te	Hg	Se	S	Total
内の岱黒鉱2ten1	wt. %	42.30	8.21	0.15	0.09	13.16	9.25	0.14	0.04	0.00	0.33	27.64	101.30
内の岱黒鉱2ten2	wt. %	42.92	8.25	0.22	0.04	15.98	5.19	0.12	0.00	0.00	0.00	27.92	100.64
内の岱黒鉱2ten3	wt. %	42.92	8.31	0.20	0.07	16.07	4.98	0.17	0.00	0.00	0.36	27.92	100.99
内の岱黒鉱2ten7	wt. %	42.87	8.20	0.19	0.08	15.51	5.78	0.11	0.00	0.00	0.40	27.99	101.14
内の岱黒鉱2ten8	wt. %	43.12	8.29	0.17	0.15	16.13	4.93	0.18	0.00	0.00	0.27	27.90	101.13
内の岱黒鉱2ten9	wt. %	42.87	8.28	0.19	0.17	16.18	4.60	0.15	0.00	0.00	0.22	28.03	100.67
内の岱黒鉱2ten10	wt. %	42.65	8.33	0.18	0.06	15.57	6.17	0.10	0.02	0.00	0.23	27.82	101.12
内の岱黒鉱2ten14	wt. %	42.49	8.30	0.10	0.07	14.92	6.88	0.10	0.01	0.00	0.37	27.75	100.99
内の岱黒鉱2ten15	wt. %	42.25	8.19	0.08	0.10	14.66	7.07	0.14	0.00	0.00	0.00	27.59	100.08
内の岱黒鉱2ten16	wt. %	42.64	8.27	0.17	0.05	16.09	5.16	0.12	0.01	0.00	0.21	27.82	100.53
内の岱黒鉱2ten17	wt. %	41.93	8.55	0.10	0.11	13.25	9.25	0.17	0.00	0.00	0.18	27.71	101.24
内の岱黒鉱2ten18	wt. %	41.82	8.59	0.10	0.13	12.88	8.83	0.20	0.00	0.00	0.04	27.63	100.20
内の岱黒鉱2ten19	wt. %	41.50	8.55	0.07	0.16	14.34	7.84	0.21	0.00	0.00	0.54	27.63	100.83
内の岱黒鉱2ten20	wt. %	41.74	8.74	0.06	0.12	13.35	9.39	0.13	0.00	0.00	0.00	27.50	101.03
内の岱黒鉱2ten21	wt. %	42.35	8.52	0.15	0.09	15.09	6.70	0.20	0.00	0.00	0.21	27.64	100.95
内の岱黒鉱2ten22	wt. %	41.46	8.23	0.06	0.08	15.50	6.46	0.19	0.01	0.00	0.11	27.83	99.92
内の岱黒鉱2ten23	wt. %	42.49	8.65	0.10	0.07	15.41	6.52	0.14	0.00	0.00	0.00	27.68	101.06
内の岱黒鉱2ten24	wt. %	42.39	8.36	0.14	0.07	14.86	6.80	0.17	0.00	0.00	0.00	27.85	100.64
内の岱黒鉱2ten25	wt. %	42.66	8.26	0.16	0.03	15.37	6.51	0.18	0.00	0.00	0.60	27.88	101.66
内の岱黒鉱2ten26	wt. %	42.61	8.27	0.21	0.09	15.65	5.68	0.21	0.00	0.00	0.50	27.75	100.98
内の岱黒鉱2ten27	wt. %	42.70	8.53	0.11	0.07	15.62	5.94	0.47	0.00	0.00	0.35	27.78	101.56
内の岱黒鉱2ten28	wt. %	42.47	8.69	0.11	0.09	14.99	6.66	0.18	0.00	0.00	0.31	27.68	101.19
内の岱黒鉱2ten29	wt. %	42.35	8.46	0.07	0.10	13.77	7.53	0.25	0.00	0.00	0.38	27.66	100.58
内の岱黒鉱2ten30	wt. %	42.48	8.39	0.09	0.11	15.19	6.53	0.17	0.00	0.00	0.02	28.04	101.01
餌釣Bn重晶石鉱		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Se	S	Total	
餌釣重晶石鉱tet3	wt. %	42.80	8.18	0.34	0.10	15.58	5.28	0.00	0.02	0.00	27.40	99.70	
餌釣重晶石鉱tet4	wt. %	43.39	8.16	0.33	0.06	15.17	6.15	0.00	0.00	0.00	28.38	101.64	
餌釣重晶石鉱tet5	wt. %	43.25	7.72	0.52	0.13	15.22	4.94	0.00	0.00	0.00	28.79	100.57	
餌釣重晶石鉱tet6	wt. %	41.34	8.06	0.13	0.17	8.45	16.29	0.17	0.00	0.00	28.49	103.09	
餌釣重晶石鉱tet7	wt. %	40.90	7.97	0.18	0.23	7.61	17.99	0.00	0.06	0.00	28.25	103.20	
餌釣重晶石鉱tet8	wt. %	41.55	8.22	0.08	0.18	10.92	12.19	0.00	0.01	0.00	28.08	101.23	
餌釣重晶石鉱tet10	wt. %	42.27	8.11	0.17	0.18	12.51	9.83	0.00	0.00	0.00	26.19	99.25	
餌釣重晶石鉱tet11	wt. %	40.71	7.63	0.09	0.30	5.92	19.46	0.00	0.01	0.00	27.86	101.98	
餌釣重晶石鉱tet12	wt. %	43.16	8.34	0.19	0.08	15.86	4.43	0.00	0.01	0.00	27.47	99.54	

堂屋敷Bn礫状半黒鉱		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Se	S	Total
堂屋敷半黒鉱ten1	wt. %	40.14	8.22	0.01	0.23	6.87	18.77	0.00	0.00	0.00	27.57	101.82
堂屋敷半黒鉱ten2	wt. %	39.93	8.27	0.01	0.26	6.27	19.71	0.00	0.00	0.00	27.11	101.54
堂屋敷半黒鉱ten3	wt. %	40.58	8.30	0.04	0.19	6.54	19.65	0.16	0.04	0.00	27.50	102.99
堂屋敷半黒鉱ten4	wt. %	39.71	9.44	0.01	0.24	6.38	19.54	0.00	0.03	0.00	27.41	102.77
堂屋敷半黒鉱ten5	wt. %	41.96	8.39	0.07	0.14	14.11	7.84	0.00	0.02	0.00	27.83	100.35
堂屋敷半黒鉱ten6	wt. %	40.20	8.63	0.06	0.24	7.13	18.32	0.09	0.00	0.00	27.27	101.93
堂屋敷半黒鉱ten7	wt. %	42.50	8.48	0.13	0.11	15.37	5.95	0.11	0.03	0.00	28.61	101.30
堂屋敷半黒鉱ten8	wt. %	42.62	8.65	0.40	0.12	15.27	6.04	0.20	0.01	0.00	27.11	100.41
堂屋敷半黒鉱ten9	wt. %	41.72	8.41	0.08	0.01	14.94	6.50	0.17	0.00	0.00	27.79	99.62
堂屋敷半黒鉱ten10	wt. %	42.49	8.38	0.08	0.13	14.55	7.37	0.00	0.04	0.00	27.74	100.78
堂屋敷半黒鉱ten11	wt. %	39.94	8.02	0.11	0.22	7.71	17.36	0.29	0.01	0.00	26.97	100.64
堂屋敷半黒鉱ten13	wt. %	42.85	8.83	0.10	0.04	15.67	5.29	0.00	0.01	0.00	28.77	101.55
堂屋敷半黒鉱ten14	wt. %	43.34	7.85	0.10	0.08	15.22	5.33	0.00	0.00	0.00	28.67	100.58
堂屋敷半黒鉱ten15	wt. %	43.88	7.52	0.15	0.05	14.28	5.83	0.00	0.05	0.00	29.53	101.28
堂屋敷半黒鉱ten16	wt. %	40.41	8.65	0.02	0.20	9.16	15.46	0.18	0.00	0.00	28.16	102.24
堂屋敷半黒鉱ten18	wt. %	40.42	9.25	0.06	0.16	8.45	16.61	0.00	0.00	0.00	27.67	102.62
堂屋敷半黒鉱ten19	wt. %	40.28	8.99	0.08	0.21	7.62	17.53	0.30	0.00	0.00	27.70	102.72
堂屋敷半黒鉱ten20	wt. %	39.63	8.73	0.22	0.15	7.77	17.32	0.00	0.02	0.00	27.61	101.45
深沢Bn黒鉱		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Se	S	Total
深沢黒鉱tet1	wt. %	38.79	7.76	0.04	0.47	1.03	28.36	0.00	0.14	0.00	26.14	102.73
深沢黒鉱tet2	wt. %	38.95	8.07	0.01	0.32	4.67	22.54	0.05	0.14	0.00	27.40	102.14
深沢黒鉱tet3	wt. %	39.19	8.25	0.01	0.35	4.74	22.56	0.06	0.12	0.00	26.79	102.05
深沢黒鉱tet4	wt. %	40.38	8.61	0.08	0.18	6.24	19.81	0.00	0.15	0.00	27.31	102.75
深沢黒鉱tet5	wt. %	40.35	8.20	0.13	0.26	7.21	18.32	0.00	0.15	0.00	27.22	101.84
深沢黒鉱tet6	wt. %	40.25	7.95	0.39	0.33	5.88	20.30	0.42	0.10	0.00	27.02	102.64
深沢黒鉱tet7	wt. %	38.35	7.54	0.05	0.45	0.66	29.14	0.13	0.09	0.00	26.37	102.78
深沢黒鉱tet8	wt. %	38.39	7.62	0.04	0.49	0.77	29.20	0.28	0.10	0.05	25.99	102.93
深沢黒鉱tet9	wt. %	40.27	8.26	0.08	0.23	6.71	19.14	0.00	0.20	0.00	27.41	102.29
深沢黒鉱tet10	wt. %	38.30	7.77	0.06	0.44	0.39	29.23	0.18	0.21	0.00	26.25	102.84
深沢黒鉱tet11	wt. %	40.25	7.91	0.02	0.33	6.52	19.32	0.00	0.11	0.00	26.85	101.31
深沢黒鉱tet14	wt. %	40.26	7.84	0.04	0.34	6.75	18.98	0.00	0.18	0.00	26.64	101.03
深沢黒鉱tet15	wt. %	38.36	7.74	0.07	0.46	0.67	29.20	0.02	0.18	0.00	25.92	102.63
深沢黒鉱tet16	wt. %	38.27	7.74	0.06	0.47	0.70	29.28	0.19	0.11	0.03	26.07	102.93
深沢黒鉱tet17	wt. %	38.03	7.85	0.04	0.45	0.73	28.96	0.27	0.13	0.00	26.18	102.65
深沢黒鉱tet18	wt. %	38.65	7.76	0.03	0.48	0.74	29.16	0.13	0.14	0.00	26.37	103.44
深沢黒鉱tet19	wt. %	38.49	7.78	0.03	0.49	0.71	29.18	0.11	0.16	0.00	26.35	103.29
古遠部Bn層状黄鉱		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Se	S	Total
古遠部黄鉱tet1	wt. %	41.83	7.93	0.51	0.15	11.72	9.83	1.30	0.00	0.00	27.87	101.15
古遠部黄鉱tet6	wt. %	41.50	8.07	0.32	0.06	12.58	9.43	0.95	0.10	0.00	27.94	100.96
古遠部黄鉱tet7	wt. %	41.35	8.14	0.76	0.07	11.97	9.42	1.62	0.02	0.00	27.87	101.21
古遠部黄鉱tet8	wt. %	41.64	8.10	0.92	0.09	11.98	9.21	1.60	0.01	0.00	27.89	101.44
古遠部黄鉱tet9	wt. %	41.70	7.90	0.91	0.09	12.07	9.12	1.88	0.01	0.00	27.47	101.15
古遠部黄鉱tet10	wt. %	42.36	7.93	2.04	0.06	14.09	5.80	0.63	0.00	0.00	28.19	101.10
古遠部黄鉱tet11	wt. %	42.14	8.17	1.46	0.04	15.30	4.87	0.49	0.00	0.00	28.56	101.03
古遠部黄鉱tet12	wt. %	42.14	8.02	1.21	0.04	15.46	4.87	0.98	0.03	0.00	28.76	101.51
古遠部黄鉱tet13	wt. %	42.48	8.17	0.94	0.06	15.96	4.02	1.23	0.03	0.00	28.54	101.43
古遠部黄鉱tet14	wt. %	41.92	8.03	1.35	0.03	15.50	4.92	1.21	0.00	0.00	28.05	100.99

花輪Ten重晶石鋇		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Se	S	Total
花輪重晶石鋇1ten1	wt. %	43.12	7.15	1.34	0.12	19.11	0.02	0.00	0.01	0.00	29.98	100.84
花輪重晶石鋇1ten2	wt. %	44.08	7.28	1.28	0.06	19.20	0.00	0.00	0.00	0.00	29.81	101.71
花輪重晶石鋇1ten4	wt. %	43.91	7.21	1.29	0.07	19.11	0.05	0.00	0.00	0.00	29.97	101.62
花輪重晶石鋇1ten6	wt. %	43.91	7.54	1.30	0.10	19.09	0.16	0.00	0.00	0.00	30.20	102.32
花輪重晶石鋇1ten7	wt. %	43.41	7.27	1.21	0.05	18.97	0.14	0.00	0.04	0.00	27.67	98.76
花輪Eng黄鋇		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Se	S	Total
花輪黄鋇2ten3	wt. %	44.46	3.26	3.64	0.10	16.63	2.74	0.87	0.00	0.00	29.42	101.11
花輪黄鋇2ten4	wt. %	45.07	3.15	3.16	0.02	17.08	2.29	0.71	0.00	0.00	29.12	100.60
花輪黄鋇2ten5	wt. %	44.91	2.86	2.98	0.00	18.50	1.61	0.44	0.01	0.00	28.07	99.39
花輪黄鋇2ten6	wt. %	45.48	2.72	3.00	0.10	18.00	2.05	0.08	0.00	0.00	28.32	99.75
花輪黄鋇2ten8	wt. %	45.75	2.72	3.03	0.09	17.64	1.95	0.08	0.03	0.00	29.02	100.32
花輪黄鋇2ten9	wt. %	0.32	0.04	46.34	0.00	0.00	0.01	0.36	0.00	0.00	55.66	102.72
花輪黄鋇2ten10	wt. %	45.79	2.35	3.14	0.10	18.06	1.31	0.22	0.00	0.00	30.10	101.08
觀音堂Luz重晶石鋇		Cu	Zn	Fe	Ag	As	Sb	Bi	Hg	Se	S	Total
觀音堂重晶石鋇tet1	wt. %	44.81	7.70	0.62	0.03	18.59	0.02	0.00	0.00	0.00	30.43	102.21
觀音堂重晶石鋇tet2	wt. %	42.12	7.30	0.62	0.08	10.74	12.44	0.00	0.00	0.00	29.20	102.50
觀音堂重晶石鋇tet3	wt. %	41.33	7.13	0.58	0.06	8.31	16.66	0.00	0.01	0.00	28.87	102.94
觀音堂重晶石鋇tet4	wt. %	41.77	7.07	0.63	0.01	9.30	14.68	0.00	0.06	0.00	27.94	101.46
觀音堂重晶石鋇tet5	wt. %	44.06	7.38	0.73	0.02	18.85	0.03	0.00	0.01	0.00	29.62	100.69
觀音堂重晶石鋇tet6	wt. %	41.93	6.95	0.74	0.04	10.63	13.02	0.17	0.00	0.00	28.63	102.11
觀音堂重晶石鋇tet7	wt. %	44.57	7.43	0.75	0.01	18.55	0.02	0.00	0.01	0.00	30.39	101.73
觀音堂重晶石鋇tet10	wt. %	41.82	7.14	0.62	0.12	10.40	12.87	0.00	0.05	0.00	28.28	101.29
觀音堂重晶石鋇tet11	wt. %	44.62	7.27	0.76	0.03	18.81	0.01	0.00	0.05	0.00	29.61	101.15

付表3 閃亜鉛鉱の組成

水沢塊状黒鉱		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
水沢黒鉱sp1	wt. %	65.78	0.47	0.16	0.04	0.61	0.01	33.22	100.28
水沢黒鉱sp2	wt. %	65.77	0.56	0.23	0.00	0.69	0.00	33.09	100.34
水沢黒鉱sp3	wt. %	65.84	0.38	0.08	0.02	0.92	0.00	33.27	100.51
水沢黒鉱sp4	wt. %	65.87	0.29	0.00	0.01	0.58	0.00	33.07	99.82
水沢黒鉱sp5	wt. %	65.89	0.36	0.04	0.03	0.93	0.00	32.95	100.19
水沢黒鉱sp6	wt. %	65.65	0.33	0.00	0.01	0.58	0.15	33.11	99.83
水沢黒鉱sp7	wt. %	66.31	0.30	0.00	0.02	0.90	0.00	33.04	100.56
水沢黒鉱sp8	wt. %	66.00	0.37	0.04	0.02	0.70	0.00	33.00	100.13
水沢黒鉱sp9	wt. %	66.58	0.18	0.00	0.00	0.63	0.00	33.01	100.40
水沢黒鉱sp10	wt. %	66.16	0.18	0.09	0.01	0.64	0.00	33.00	100.08
水沢黒鉱sp11	wt. %	66.02	0.33	0.00	0.01	0.60	0.64	33.14	100.73
水沢礫状黄鉱		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
水沢黄鉱sp1	wt. %	65.86	1.20	0.00	0.01	0.59	0.30	33.43	101.38
水沢黄鉱sp2	wt. %	66.38	0.67	0.04	0.00	0.59	0.00	33.26	100.94
水沢黄鉱sp3	wt. %	66.74	0.51	0.00	0.00	0.56	0.00	33.27	101.08
水沢黄鉱sp4	wt. %	66.97	0.51	0.03	0.01	0.46	0.00	33.28	101.26
水沢黄鉱sp5	wt. %	66.69	0.56	0.12	0.00	0.43	0.00	33.02	100.82
水沢黄鉱sp6	wt. %	60.05	3.09	3.52	0.03	0.35	0.00	33.24	100.28
水沢黄鉱sp7	wt. %	65.84	0.34	0.57	0.00	0.39	0.00	32.88	100.01
水沢黄鉱sp8	wt. %	66.63	0.31	0.00	0.01	0.33	0.00	33.00	100.28
水沢黄鉱sp9	wt. %	66.14	0.86	0.01	0.04	0.57	0.00	33.23	100.85
水沢黄鉱sp10	wt. %	66.43	0.58	0.01	0.02	0.56	0.08	33.06	100.73
水沢黄鉱sp11	wt. %	65.70	0.73	0.44	0.02	0.47	0.00	32.90	100.26
霜岱重晶石鉱		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
霜岱重晶石鉱 sp1	wt. %	66.19	1.06	0.00	0.01	0.26	0.06	33.20	100.79
霜岱重晶石鉱 sp2	wt. %	67.15	0.13	0.00	0.03	0.29	0.25	32.93	100.78
霜岱重晶石鉱 sp3	wt. %	66.46	0.66	0.00	0.00	0.29	0.00	33.06	100.48
霜岱重晶石鉱 sp4	wt. %	65.82	0.92	0.00	0.01	0.24	0.00	33.25	100.25
霜岱重晶石鉱 sp5	wt. %	65.69	0.87	0.00	0.00	0.31	0.00	33.30	100.16
霜岱重晶石鉱 sp6	wt. %	66.45	0.43	0.00	0.01	0.40	0.10	33.08	100.45
霜岱重晶石鉱 sp7	wt. %	65.78	0.73	0.04	0.01	0.33	0.00	33.08	99.97
霜岱重晶石鉱 sp8	wt. %	63.19	0.68	0.63	0.02	0.40	0.00	32.99	97.91
霜岱重晶石鉱 sp9	wt. %	65.63	1.03	0.08	0.00	0.35	0.00	33.14	100.23
霜岱重晶石鉱 sp10	wt. %	65.87	0.76	0.00	0.01	0.34	0.00	33.09	100.08
霜岱重晶石鉱 sp11	wt. %	66.07	0.95	0.12	0.00	0.30	0.00	33.46	100.90
霜岱重晶石鉱 sp12	wt. %	63.36	1.37	1.10	0.02	0.26	0.00	33.02	99.12
霜岱重晶石鉱 sp13	wt. %	64.95	0.86	0.08	0.01	0.31	0.19	33.12	99.51

田ノ沢Pol黒鉍		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
田ノ沢黒鉍sp1	wt. %	65.27	1.32	0.87	0.01	0.24	0.00	32.75	100.46
田ノ沢黒鉍sp2	wt. %	64.10	1.38	1.25	0.00	0.20	0.00	32.83	99.77
田ノ沢黒鉍sp3	wt. %	60.83	2.64	2.83	0.02	0.13	0.00	32.97	99.43
田ノ沢黒鉍sp4	wt. %	65.53	0.69	0.49	0.00	0.19	0.00	32.87	99.77
田ノ沢黒鉍sp5	wt. %	66.35	0.42	0.21	0.00	0.18	0.09	33.00	100.24
田ノ沢黒鉍sp6	wt. %	66.87	0.50	0.00	0.03	0.08	0.00	32.80	100.27
田ノ沢黒鉍sp7	wt. %	66.23	0.42	0.00	0.01	0.08	0.00	32.47	99.20
田ノ沢黒鉍sp8	wt. %	66.69	0.49	0.00	0.00	0.06	0.00	32.96	100.20
田ノ沢黒鉍sp9	wt. %	65.83	0.75	0.14	0.01	0.17	0.00	32.83	99.73
田ノ沢黒鉍sp10	wt. %	66.33	0.42	0.00	0.00	0.10	0.00	32.78	99.62
田ノ沢黒鉍sp11	wt. %	66.24	0.24	0.02	0.00	0.08	0.00	32.86	99.45
小割沢塊状黒鉍		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
小割沢黒鉍sp1	wt. %	66.69	0.17	0.07	0.00	0.39	0.00	33.03	100.35
小割沢黒鉍sp2	wt. %	66.38	0.14	0.14	0.00	0.44	0.00	32.97	100.07
小割沢黒鉍sp3	wt. %	66.08	0.29	0.00	0.00	0.46	0.00	33.27	100.10
小割沢黒鉍sp4	wt. %	66.84	0.33	0.00	0.03	0.47	0.00	33.17	100.83
小割沢黒鉍sp5	wt. %	66.50	0.25	0.00	0.03	0.46	0.00	33.22	100.45
小割沢黒鉍sp6	wt. %	66.49	0.14	0.00	0.00	0.45	0.64	33.20	100.92
小割沢黒鉍sp7	wt. %	64.16	0.22	0.95	0.02	0.52	0.00	33.12	98.99
小割沢黒鉍sp8	wt. %	65.92	0.33	0.25	0.01	0.48	0.06	32.91	99.95
小割沢黒鉍sp9	wt. %	61.84	0.30	0.32	0.00	0.38	0.00	29.31	92.15
小割沢黒鉍sp10	wt. %	66.15	0.15	0.20	0.00	0.44	0.00	32.91	99.85
小割沢黒鉍sp11	wt. %	65.86	0.40	0.23	0.01	0.43	0.00	33.14	100.06
光沢層状黒鉍		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
光沢黒鉍sp1	wt. %	66.29	0.06	0.00	0.01	0.29	0.00	32.97	99.62
光沢黒鉍sp2	wt. %	66.87	0.05	0.05	0.00	0.18	0.00	32.79	99.94
光沢黒鉍sp3	wt. %	67.37	0.05	0.00	0.00	0.24	0.02	32.81	100.48
光沢黒鉍sp4	wt. %	66.82	0.06	0.06	0.00	0.24	0.00	32.96	100.14
光沢黒鉍sp5	wt. %	66.99	0.05	0.00	0.00	0.18	0.18	32.77	100.17
光沢黒鉍sp6	wt. %	67.05	0.06	0.01	0.00	0.15	0.00	32.94	100.21
光沢黒鉍sp7	wt. %	66.83	0.04	0.00	0.01	0.15	0.00	33.22	100.25
光沢黒鉍sp8	wt. %	64.37	0.06	0.23	0.00	0.19	0.00	32.84	97.70
光沢黒鉍sp9	wt. %	65.68	0.04	0.02	0.02	0.15	0.00	32.90	98.81
光沢黒鉍sp10	wt. %	66.87	0.05	0.07	0.00	0.23	0.00	32.82	100.04
光沢黒鉍sp11	wt. %	66.91	0.07	0.08	0.00	0.29	0.00	32.89	100.24

松峰塊状黒鉱		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
松峰黒鉱sp1	wt. %	67.15	0.05	0.00	0.11	0.13	0.44	33.25	101.12
松峰黒鉱sp2	wt. %	66.61	0.05	0.10	0.12	0.13	0.00	33.19	100.19
松峰黒鉱sp3	wt. %	67.21	0.05	0.03	0.11	0.13	0.00	33.30	100.82
松峰黒鉱sp4	wt. %	66.50	0.05	0.28	0.13	0.15	0.00	33.06	100.15
松峰黒鉱sp5	wt. %	66.90	0.05	0.24	0.13	0.17	0.00	33.02	100.51
松峰黒鉱sp6	wt. %	66.33	0.05	0.34	0.11	0.15	0.34	33.15	100.47
松峰黒鉱sp7	wt. %	65.40	0.07	0.78	0.09	0.22	0.14	33.06	99.74
松峰黒鉱sp8	wt. %	67.52	0.06	0.00	0.09	0.19	0.00	33.29	101.14
松峰黒鉱sp9	wt. %	67.11	0.06	0.00	0.05	0.21	0.00	33.17	100.59
松峰黒鉱sp10	wt. %	65.70	0.07	0.57	0.15	0.25	0.00	33.45	100.18
内の岱塊状黒鉱		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
内の岱黒鉱1sp1	wt. %	63.11	3.20	0.25	0.04	0.62	0.11	33.21	100.53
内の岱黒鉱1sp2	wt. %	62.31	3.42	0.77	0.03	0.55	0.00	33.33	100.41
内の岱黒鉱1sp3	wt. %	63.07	3.11	0.11	0.02	0.71	0.00	33.27	100.29
内の岱黒鉱1sp4	wt. %	64.87	0.03	1.27	0.00	0.07	0.00	33.26	99.50
内の岱黒鉱1sp5	wt. %	66.85	0.02	0.21	0.00	0.08	0.00	33.14	100.30
内の岱黒鉱1sp6	wt. %	66.73	0.03	0.13	0.01	0.06	0.00	33.35	100.30
内の岱黒鉱1sp7	wt. %	66.78	0.02	0.00	0.00	0.15	0.00	32.78	99.73
内の岱黒鉱1sp8	wt. %	66.92	0.01	0.00	0.00	0.11	0.00	32.91	99.95
内の岱黒鉱1sp9	wt. %	66.96	0.01	0.00	0.00	0.25	0.00	33.03	100.24
内の岱黒鉱1sp10	wt. %	66.95	0.03	0.03	0.01	0.16	0.00	33.03	100.20
内の岱黒鉱1sp11	wt. %	66.10	0.05	0.09	0.01	0.16	0.00	33.00	99.40
内の岱Bn黒鉱		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
内の岱黒鉱2sp1	wt. %	66.61	0.19	0.37	0.00	0.26	0.00	33.05	100.48
内の岱黒鉱2sp2	wt. %	67.25	0.06	0.08	0.01	0.26	0.08	32.71	100.45
内の岱黒鉱2sp3	wt. %	67.00	0.18	0.25	0.00	0.28	0.04	32.63	100.38
内の岱黒鉱2sp4	wt. %	65.85	0.04	0.10	0.00	0.28	0.00	32.85	99.12
内の岱黒鉱2sp5	wt. %	67.00	0.11	0.23	0.00	0.25	0.00	32.96	100.56
内の岱黒鉱2sp6	wt. %	67.37	0.05	0.02	0.02	0.27	0.00	33.29	101.02
内の岱黒鉱2sp7	wt. %	67.21	0.04	0.09	0.01	0.26	0.00	33.24	100.85
内の岱黒鉱2sp8	wt. %	65.48	0.59	0.91	0.01	0.25	0.00	33.42	100.66
内の岱黒鉱2sp9	wt. %	66.91	0.12	0.15	0.02	0.30	0.00	33.10	100.60
内の岱黒鉱2sp10	wt. %	67.10	0.07	0.11	0.01	0.25	0.00	33.25	100.78
内の岱黒鉱2sp11	wt. %	67.37	0.02	0.02	0.00	0.26	0.00	33.17	100.84
内の岱黒鉱2sp12	wt. %	66.88	0.23	0.29	0.02	0.28	0.00	33.17	100.87

古遠部Bn層状黄鉍		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
古遠部黄鉍sp1	wt. %	65.29	0.41	1.15	0.01	0.31	0.00	33.42	100.59
古遠部黄鉍sp2	wt. %	65.53	0.44	1.30	0.03	0.36	0.00	33.39	101.05
古遠部黄鉍sp3	wt. %	65.72	0.39	0.71	0.02	0.31	0.00	33.45	100.59
古遠部黄鉍sp4	wt. %	66.77	0.08	0.04	0.01	0.34	0.00	33.49	100.73
古遠部黄鉍sp5	wt. %	59.58	3.16	3.74	0.03	0.22	0.02	33.84	100.59
古遠部黄鉍sp6	wt. %	66.23	0.26	0.47	0.01	0.33	0.00	33.35	100.65
古遠部黄鉍sp7	wt. %	60.76	2.57	3.01	0.00	0.23	0.00	33.35	99.91
古遠部黄鉍sp8	wt. %	62.95	1.31	2.23	0.01	0.27	0.04	33.41	100.23
古遠部黄鉍sp9	wt. %	66.13	0.10	0.03	0.00	0.34	0.04	33.06	99.70
古遠部黄鉍sp10	wt. %	67.02	0.04	0.00	0.02	0.35	0.16	33.38	100.97
古遠部黄鉍sp11	wt. %	66.64	0.08	0.00	0.02	0.32	0.15	33.66	100.85
古遠部黄鉍sp12	wt. %	66.68	0.07	0.00	0.00	0.35	0.00	33.72	100.83
古遠部黄鉍sp13	wt. %	66.78	0.13	0.00	0.00	0.36	0.06	33.54	100.88
古遠部黄鉍sp14	wt. %	66.61	0.12	0.09	0.02	0.39	0.00	33.50	100.72
古遠部黄鉍sp15	wt. %	66.49	0.09	0.08	0.00	0.41	0.32	33.51	100.90
古遠部黄鉍sp16	wt. %	59.18	3.49	3.95	0.02	0.33	0.00	33.43	100.39
古遠部黄鉍sp17	wt. %	61.66	2.16	2.29	0.00	0.37	0.00	33.29	99.77
深沢Bn黒鉍		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
深沢黒鉍sp1	wt. %	67.14	0.01	0.00	0.02	0.31	0.00	33.53	101.00
深沢黒鉍sp2	wt. %	67.04	0.01	0.00	0.00	0.26	0.10	33.13	100.54
深沢黒鉍sp3	wt. %	66.70	0.09	0.16	0.00	0.22	0.00	32.90	100.06
深沢黒鉍sp4	wt. %	66.58	0.02	0.13	0.02	0.26	0.00	32.91	99.92
深沢黒鉍sp5	wt. %	66.95	0.00	0.00	0.01	0.37	0.13	32.88	100.34
深沢黒鉍sp6	wt. %	66.35	0.02	0.04	0.06	0.32	0.00	33.15	99.93
深沢黒鉍sp7	wt. %	66.59	0.09	0.21	0.08	0.26	0.06	33.15	100.45
深沢黒鉍sp8	wt. %	66.73	0.01	0.01	0.03	0.27	0.00	33.01	100.06
深沢黒鉍sp9	wt. %	66.97	0.01	0.00	0.05	0.31	0.00	33.10	100.45
深沢黒鉍sp10	wt. %	66.54	0.02	0.00	0.05	0.29	0.00	33.07	99.97
深沢黒鉍sp11	wt. %	66.82	0.03	0.05	0.01	0.25	0.00	32.83	99.97
深沢黒鉍sp12	wt. %	65.73	0.56	0.71	0.00	0.25	0.00	32.70	99.94
深沢黒鉍sp13	wt. %	66.01	0.03	0.06	0.06	0.30	0.20	32.84	99.49

堂屋敷Bn礫状半黒鉍		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
堂屋敷黒鉍sp1	wt. %	66.24	0.08	0.08	0.02	0.21	0.15	33.02	99.79
堂屋敷黒鉍sp2	wt. %	66.45	0.01	0.07	0.02	0.22	0.00	33.25	100.01
堂屋敷黒鉍sp3	wt. %	66.60	0.01	0.08	0.00	0.22	0.00	32.91	99.82
堂屋敷黒鉍sp4	wt. %	66.64	0.05	0.02	0.00	0.21	0.00	32.94	99.86
堂屋敷黒鉍sp5	wt. %	66.13	0.10	0.15	0.02	0.24	0.00	33.10	99.75
堂屋敷黒鉍sp6	wt. %	66.52	0.07	0.03	0.01	0.22	0.00	33.27	100.11
堂屋敷黒鉍sp7	wt. %	66.53	0.02	0.18	0.00	0.23	0.27	33.17	100.40
堂屋敷黒鉍sp8	wt. %	66.22	0.03	0.63	0.00	0.20	0.00	33.37	100.45
堂屋敷黒鉍sp9	wt. %	66.90	0.03	0.07	0.00	0.25	0.00	33.26	100.50
堂屋敷黒鉍sp10	wt. %	58.62	0.83	7.71	0.02	0.17	0.00	32.36	99.71
堂屋敷黒鉍sp11	wt. %	66.82	0.12	0.13	0.01	0.20	0.00	33.40	100.68
堂屋敷黒鉍sp12	wt. %	65.79	0.46	0.14	0.01	0.62	0.00	33.22	100.23
観音堂Luz重晶石鉍		Zn	Fe	Cu	Mn	Cd	Se	S	Total
観音堂重晶石鉍sp1	wt. %	65.27	0.12	1.27	0.00	0.09	0.00	32.77	99.52
観音堂重晶石鉍sp2	wt. %	66.35	0.07	0.41	0.01	0.26	0.00	33.49	100.59
観音堂重晶石鉍sp3	wt. %	66.38	0.06	0.34	0.01	0.60	0.47	32.98	100.85
観音堂重晶石鉍sp4	wt. %	65.44	0.07	0.65	0.00	0.74	0.00	32.62	99.52
観音堂重晶石鉍sp5	wt. %	64.99	0.09	1.48	0.00	0.23	0.00	32.51	99.31
観音堂重晶石鉍sp6	wt. %	65.80	0.04	0.66	0.01	0.04	0.00	33.02	99.56
観音堂重晶石鉍sp7	wt. %	65.87	0.09	0.27	0.00	1.02	0.33	33.11	100.68
観音堂重晶石鉍sp8	wt. %	65.86	0.09	0.28	0.01	1.37	0.00	32.48	100.08
観音堂重晶石鉍sp9	wt. %	65.60	0.07	0.53	0.01	0.83	0.40	33.39	100.83
観音堂重晶石鉍sp10	wt. %	65.78	0.06	0.35	0.02	1.07	0.00	33.30	100.59
観音堂重晶石鉍sp11	wt. %	64.73	0.19	0.60	0.00	1.46	0.00	32.99	99.97