

## 岩手県赤金鉱山附近の磁硫鉄鉱鉱石について

高 島 彰\*

Résumé

On the Pyrrhotite Ores at Environs of the  
Akagane Mine, Iwate Prefecture

by

Takabatake Akira

Many ore deposits of pyrometasmatic origin are known in the Paleozoic sediments near the contact with granodiorite porphyry, and most of them are composed predominantly of pyrrhotite. Some of them have been worked for copper in richer portion of chalcopryrite, and others for iron in richer of primary magnetite or secondary limonite. Every ore body is, in general, irregular or lenticular in shape, not large in size, and such small ore bodies are often crowded in a certain part of the skarn zone.

Ores are constituted mainly of pyrrhotite, magnetite, chalcopryrite, and pyrite together with subordinate arsenopyrite and cubanite, and some sphalerite and tetrahedrite in slight amount. Among the gangue minerals, garnet, clinopyroxene, actinolitic amphibole, and epidote are common with small amount of apatite, titanite, feldspar, quartz, calcite, and chlorite in companion.

Pyrrhotite is readily subjected to weathering; near the surface it is thoroughly oxidized to limonite, and at the depth numerous secondary pyrite and marcasite are formed extensively in pyrrhotite.

These secondary iron sulphides form: (1) minute spots in scattering, (2) minute interlacing of irregular or parallel veinlets, or (3) birds's eye structure in concentric spheroid or ellipsoid. Measurement of magnetic susceptibility of pyrrhotite ranges from 2 to  $7 \times 10^{-3}$  due to the combined effects on variable susceptibility of each pyrrhotite grain, and contents of secondary iron sulphide with other included minerals.

## 1. 緒 言

磁硫鉄鉱は高温性鉱床に普通みられる鉱物で、時に集合して多量に産するが、硫酸原料としては黄鉄鉱に比して硫黄分が少なく、また処理上に多少の難点があるために、従来利用されるものは限定され、僅かに黄銅鉱・閃亜鉛鉱・方鉛鉱・硫鉄ニッケル鉱等を伴う場合に限ってそれらを対象に採掘せられてきたに過ぎない。最近に至りフルオソリッド法等による磁硫鉄鉱の処理が企業化され、鉱石を硫酸原料として使用するに止まらず、その中に微量に含まれる銅・亜鉛・ニッケル等は完全に回収せられ、その焼鉱は優秀な製鉄原料として使用できるようになった。そのため磁硫鉄鉱資源の調査・研究は急激

に世人の注目を浴びるに至つた。筆者は昭和27年6月岩手県赤金鉱山地域の磁硫鉄鉱を含む鉱床を概査する機会を得、その後採集鉱石の鉱物組成および組織についての観察を行い、また若干の実験を試みたので以下にその結果を報告する。

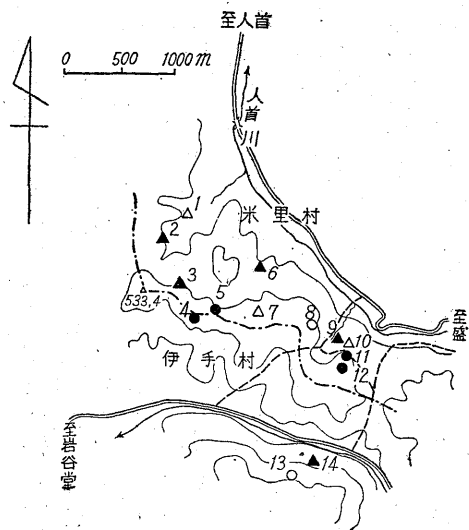
この地域は古くより金・銅・鉄鉱地域として有名で多数の鉱床が知られている(第1図)。その多くは磁硫鉄鉱を主成分とし、その中に金粒・黄銅鉱を含み、金鉱・銅鉱として稼行せられ、また磁鉄鉱を多量に含むものや磁硫鉄鉱が露天化作用をうけて褐鉄鉱に変わったものは鉄鉱として採掘せられた。赤金銅山・栗木鉄山・神倉鉄山はその代表的なものである。

この地域の一般地質および鉱床の産状については渡辺

\* 鉱床部

万次郎・黄春江<sup>(1)</sup>および竹内常彦・南部松夫<sup>(2)(3)</sup>等の報告<sup>(4)(5)</sup>があるのでここでは概要を記載するに止める。

同駅より岩谷堂を経て赤金鉱山に至る間および同駅より岩谷堂・人首を経て栗木・神倉等の諸鉱山に至る間はトラックの通行自由で、鉱石はいずれもトラックにより水沢駅に搬出されている。この輸送距離は赤金鉱山が25 km、栗木鉱山が33 kmである。



第1図 赤金鉱山附近鉄床分布図

1. 小山鉱山 (Au)
  2. 二枚山鉱山 (Au, Fe)
  3. 赤金鉱山丸森鉄床 (Cu, Fe)
  4. 赤金鉱山赤金鉄床 (Cu, FeS)
  5. 赤金鉱山米里鉄床 (Cu, Fe)
  6. つじ森鉄床 (Fe)
  7. 磁石山鉄床 (Au)
  8. 栗木鉱山栗木鉄床 (Cu)
  9. 栗木鉱山陀ノ鼻鉄床 (Cu)
  10. 神倉鉱山第1鉄床 (Fe)
  11. 神倉鉱山第2鉄床 (Fe)
  12. 神倉鉱山第3鉄床 (Fe)
  13. 黄金坪鉄床 (W, Au)
  14. はくちばら鉄床 (Fe)
- 磁硫鉄鉱を主とする鉄床  
 ▲ 同上 (林山中)  
 ○ 磁硫鉄鉱をほとんど含まない鉄床  
 △ 同上 (林山中)  
 ( ) 稼行対象  
 ———— トラック道路  
 ..... 人 道

室内研究にあたって帯磁率、研磨片上の組成鉱物の量比の測定は主として原田久光技官の協力を得、化学分析・分光分析は化学課職員が行った。

終りに現地調査の際種々御協力を頂いた赤金・栗木・神倉諸鉱山の職員各位、および磁力計の使用を許可せられ種々御助言を頂いた早稲田大学早瀬喜太郎・原田種臣の両氏に厚く御礼申上げる。

## 2. 位置および交通

鉄床賦存地は岩手県江刺郡伊手村と米里村との村界を中心として両村に跨がり、東北本線水沢駅の東微北直距離 18 km 内外にあたる。

## 3. 沿革および現況

この地域の鉱山開発の歴史はきわめて古く、遠く慶長年間に遡ると伝えられ、初めは金鉱の採掘を以て知られた。後に鉄鉱業が隆盛となり、明治年間より大正初期にわたって鉄鉱の採掘と現地製鉄が行われ、本邦の重要な鉄鋼業の中心地となつた。その後久しく休山の後昭和10年頃より鉄鉱の採掘が再開せられ、赤金 (褐鉄鉱)・栗木 (磁鉄鉱・褐鉄鉱)・神倉 (褐鉄鉱) の諸鉱山が終戦まで稼行せられた。終戦後は僅かに神倉鉱山 (鎌田逸郎経営) が褐鉄鉱を少量産出しているに過ぎない。銅鉱の採掘・製錬も古く300年前に始まり小規模に各所で稼行された。そのうち重要なものは赤金鉱山で、昭和11年に藤田組により再開せられてから現鉄業権者 (藤田鉱山株式会社) に引継がれて現在に至り、赤金鉄床・米里鉄床は採掘中で、浮選により銅精鉱・硫化鉄精鉱を得ている。このほか栗木鉱山 (三谷達雄経営) 栗木銅鉄床が最近開発せられたが、同鉄床は黄銅鉄石英脈で磁硫鉄鉱をほとんど伴わない。

## 4. 地質および鉄床

### 4.1 地質

#### 4.1.1 地質概説

この地域は北上山地の中央高原地帯の西縁をなす開析山地にあたり、海拔 300~600 m の間にある。附近の山地を構成するものは古生層とこれ貫ぬく花崗閃緑斑岩質貫入岩で、接触部に近い古生層中には不規則にスカルンを生じて鉄床を胚胎している。

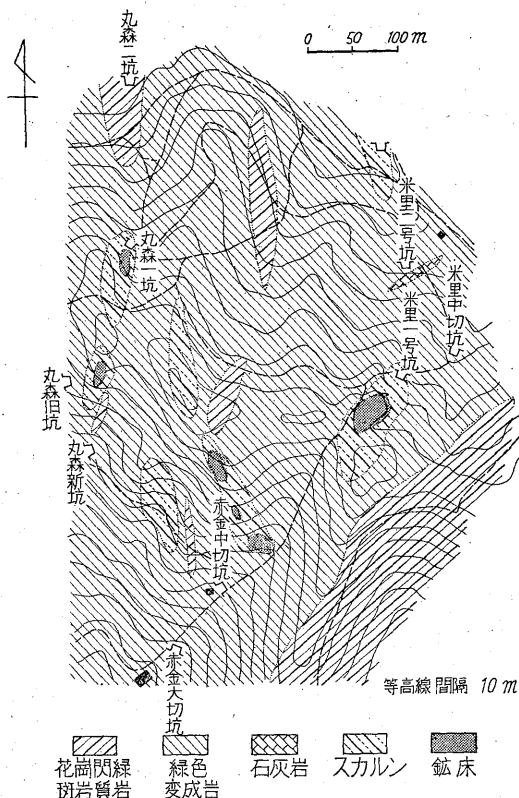
#### 4.1.2 古生層

砂岩・粘板岩・石灰岩・基性火山砕屑岩よりなり、概して走向 N60°W で多くは北に 50° 以上傾斜する。本層は変成作用 (接触変成作用および低度の広区域変成作用) により砂岩・粘板岩の一部はホルンフェルスに、石灰岩はすべて糖晶質石灰岩に、基性火山砕屑岩は全く緑色変成岩に変っている。鉄床附近はほとんど緑色変成岩により構成せられ、所により砂岩・ホルンフェルス・石灰岩の薄層が介在する。緑色変成岩は暗緑色ないし黄緑色を呈し、緻密塊状でしばしば粘板岩起源のホルンフェルスやスカルンに移化し、特にスカルンとは明瞭な境を示さないことが多い。主として斜長石・角閃石・緑簾石・緑

泥石よりなる。

#### 4.1.3 花崗閃緑斑岩質貫入岩

古生層中に岩脈状あるいは岩瘤状をなして多数貫入し(第2図); 岩質の変化が著しく、同一岩体中でも所によって花崗岩構造を示す部分と斑状構造を示す部分とがあり、概して斑状の部分が多い。岩質の上からは花崗閃緑岩・花崗閃緑斑岩から石英閃緑岩・石英閃緑岩までが普通にみられ、時には黒雲母花崗岩となり、あるいは閃緑岩質の所もあり、これらは互に漸移するようである。また岩体の周縁部では多くは灰鉄輝石・緑閃石・緑簾石・チタナイト等が微脈をなして貫ぬき、あるいは一面に散在し、あるいは斑点状に交代集合する。特に緑閃石・チタナイトの集合部分には磷灰石の微晶が多い。



第2図 赤金鉱山地質図

#### 4.1.4 スカルン

貫入岩に近い緑色変成岩中には一般に多数の小規模なスカルンを生じ、レンズ状または不規則形をなしているが、概して伸長方向は地層の層理にほぼ平行である。スカルン鉱物としては柘榴石と緑閃石が最も多い。柘榴石を主とするスカルンは陀ノ鼻鉱床・米里鉱床のように磁鉄鉱を密接に伴ない、緑閃石・緑簾石・灰鉄輝石スカルンは赤金鉱床のように黄銅鉱・磁硫鉄鉱等と密接に伴な

う傾向がある。さらに後者の場合を詳細に調べると緑閃石の部分に黄銅鉱(磁硫鉄鉱)・灰鉄輝石の部分に磁鉄鉱が密接に伴なうことが多い。以上のほかに柘榴石スカルンと緑色スカルンとが密雑し、あるいは縞状をなすものも稀ではない。

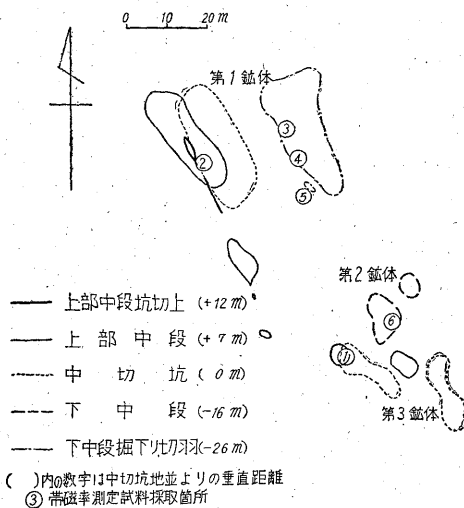
### 4.2 鉱床

#### 4.2.1 鉱床概説

この地域の鉱床としては花崗閃緑斑岩質岩石の貫入に関係のある接触交代鉱床と深熱水一中熱水鉱脈とがあり、後者には黄金坪の灰重石・石英脈、小山・磁石山等の含金石英脈、栗木鉱山栗木鉱床の黄銅鉱・石英脈等があるが、これらには磁硫鉄鉱は少ないかまたはほとんど含まれないのでここでは省略する。接触交代鉱床は各所に点在するスカルン中であつて、その主要金属鉱物の量比は鉱体ごとに著しく相違し、あるものは鉄鉱として、またあるものは銅鉱として採掘せられる。さらに同一鉱体中でも鉱物組成の相違が著しく、部分的に鉄鉱として、あるいは銅鉱として採掘せられる。いずれの鉱体も磁硫鉄鉱にとみ、地表近くでは露天化作用をうけて褐鉄鉱となり、鉄鉱として採掘せられる場合が多い。鉱体の形は概してレンズ状または不規則塊状をなし、一般に上下にやゝ伸びる傾向があり、鉱体の周縁部ではスカルン中に斑点状に磁硫鉄鉱・黄銅鉱等が鉱染し、あるいは幅30cm以下の細脈を派生している。鉱床の規模は一般に小さく、代表的なものは赤金鉱山の赤金鉱床・米里鉱床、栗木鉱山の陀ノ鼻鉱床、神倉鉱山の鉱床である。

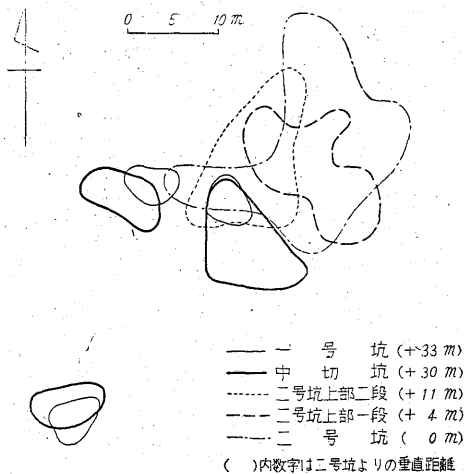
#### 4.2.2 赤金鉱山の鉱床

緑色変成岩中に点在するスカルン中であつて、丸森鉱床・赤金鉱床・米里鉱床に分けられる。そのうち丸森鉱



第3図 赤金鉱床並別鉱床平面図

床は露天掘りによりほとんど採掘し尽され、下部の探鉱坑道内には磁硫鉄鉱の不規則な小塊状の鉱体が少数点在するに過ぎない。赤金鉱床は多数の小鉱体(脈状体によって連絡されているものが多い)からなるが、そのうち主要なものは北から第1・第2・第3鉱体である(第1図)。第1鉱体は最も大きく、現在その下部を採掘中である。この鉱体はN30°Wに伸び、長さ30m、幅10mで東に急な落しをなし、最下位の切羽は露頭下40mに達する。鉱石は磁硫鉄鉱・黄銅鉱を主とし下部では磁鉄鉱が多くなる。第2・第3鉱体はともに採掘済みで、小規模な鉱体であり、東に落しをなすことは第1鉱体と同様である。米里鉱床は上部において分岐する不規則塊状の鉱体を主体とし(第4図)、現在その下部を採掘中で、露頭下30m余に達する。高品位の銅鉱が磁鉄鉱中に産し、磁硫鉄鉱はきわめて少ない。



第4図 米里鉱床地並別鉱床平面図

#### 4.2.3 栗木鉱山陀ノ鼻鉱床

粘板岩中に発達する柘榴石スカالنの中にあつて北東一南西方向に伸び、長さ150m、幅10m弱である。主として磁鉄鉱よりなり、鉱体の中央部では磁硫鉄鉱が多くなり、一部では濃集して良質の磁硫鉄鉱鉱石を形成している。鉱床の大部分は鉄鉱として採掘済みで、特に北東端の採掘跡附近では上鉱を産したという。現在は磁硫鉄鉱の混在する中央部のみが残されており、この部分の磁硫鉄鉱は概して低品位であるが、その下部を採掘した大切坑(現在は入坑不能)内では上鉱を産したといわれ、坑口附近に高品位磁硫鉄鉱の貯鉱が少量みられる。現在は稼行されていない。

#### 4.2.4 神倉鉱山の鉱床

石英閃緑玢岩と珪化粘板岩との接触部に近接して北北東一南南西に点在する3個の小鉱体群からなり、北より

第1・第2・第3鉱床と称する。第1・第3鉱床は磁硫鉄鉱を主とするもので、第2鉱床は磁鉄鉱を主とし磁硫鉄鉱は少ない。ともに黄銅鉱を微量に伴ない、露頭部では磁硫鉄鉱は全く褐鉄鉱に変わり、鉄鉱として採掘せられた。一般に黄銅鉱を含む磁硫鉄鉱は小鉱体をなしてスカالن中にポケット状に点在するに過ぎないので、銅鉱としても磁硫鉄鉱としても重要なものではない。

### 5. 鉱石の一般的性質

#### 5.1 組成鉱物の種類および分布

鉱石を構成する鉱石鉱物のうち主成分鉱物は磁硫鉄鉱・磁鉄鉱・黄銅鉱・黄鉄鉱で、少量含まれるものとして硫砒鉄鉱・キューバ鉱・閃亜鉛鉱・四面銅鉱等があり、2次成鉱物としては黄鉄鉱・白鉄鉱・褐鉄鉱等がある。脈石鉱物は柘榴石・透輝石一灰鉄輝石・緑閃石質角閃石・緑簾石を主とし、燐灰石・チタナイト・石英・方解石・長石・緑泥石等が伴なわれる。

鉱床中のこれらの鉱物の分布はきわめて不規則であり、鉱体毎に著しい差異を示す。例えば赤金鉱床と米里鉱床とは僅か200m離れているに過ぎないが、前者では磁硫鉄鉱・黄銅鉱を主とし、後者では磁鉄鉱と黄銅鉱よりなつて磁硫鉄鉱はきわめて少ない。同一鉱体内でも部分的にかなりの差異を示し、例えば赤金鉱床では上部は磁硫鉄鉱を主とするが、下部にあたる現在の最下位切羽附近では磁鉄鉱が多くなり、特に盤際に多く、この部分では米里鉱床の鉱石に似たものがある。一般には鉱体中の組成鉱物の規則正しい配列はみられないが、概して黄銅鉱は鉱体の中心部に濃集する傾向がみられる。

#### 5.2 鉱石の構造

上鉱は塊状を呈して、これを構成する磁硫鉄鉱および磁鉄鉱は一般に粗粒で、鏡下にしばしば粒状構造を示す。地表に近い部分では磁硫鉄鉱の風化により脆くなり、破砕し易いものがある。貧鉱は鉱染状鉱あるいは網脈状鉱をなし、時に角礫構造あるいは綫状構造をなすことがある。綫状構造は磁鉄鉱の貧鉱に多く、柘榴石と磁鉄鉱が幅1cm以下の縞模様をなすのが肉眼でみられることがある。

#### 5.3 組成鉱物の粒度

鉱石中の組成鉱物の大きさは同一研磨片中でもかなりの差があるので、50余の研磨片のおのおのについて当該鉱物の粒径範囲をだし、それより全体を通じてみた時に最も多い粒径範囲を求め、最大粒径とともに第1表に示した。この場合肉眼的な巨晶は研磨しなかつたので実際の最大粒径は表中の値よりも大きいことはもちろんである。

磁硫鉄鉱の上鉱(粒状構造をなす)では一般に粒度が

大きく、貧鉄では小さい。粒径を各鉱床についてみると、赤金鉱山では0.2~0.3 mm, 神倉鉱山では0.3~1 mm, 栗木鉱山では0.1~0.3 mmのもの0.5~1 mmのものが多い。

第1表 組成鉱物の粒径

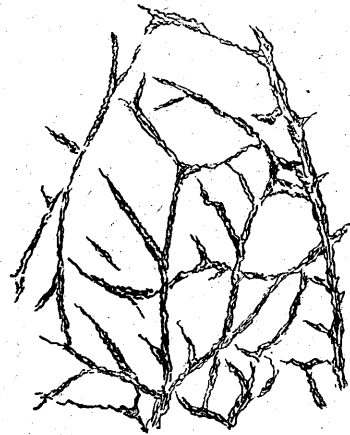
鉱物名	最も多い粒径範囲 (mm)	研磨片中の最大粒径 (mm)
磁硫鉄鉱	0.1 ~1.0	2.0
黄銅鉱	0.015~0.03	0.15
磁鉄鉱	0.03 ~0.5 (特に0.1~0.2)	2.0
黄鉄鉱	0.1 ~0.3	1.5
キューバ鉱	0.3±	0.5
硫砒鉄鉱	0.05 ~0.3	0.5
閃亜鉛鉱	0.02 ~0.05	0.05
四面銅鉱	0.01 ~0.02	0.02

6. おもな組成鉱物の鏡下における性質

6.1 磁硫鉄鉱

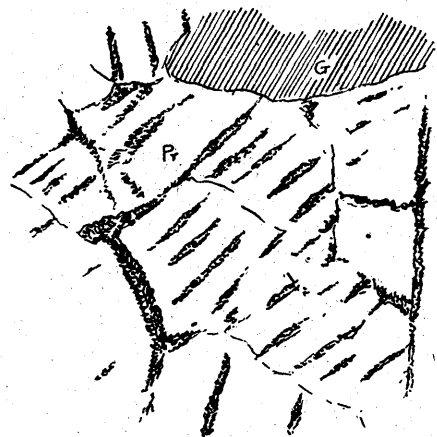
常に他形で、(0001)の裂開は新鮮なものではみられないが、多少変質したもの(特に2次硫化鉄鉱を生じたもの)ではこの面に沿い変質が進むので明らかになる。色は赤褐色味を帯びたクリーム色で、結晶粒全体として均質なものが多く、時に1つの結晶粒の中に平行に近く配列した細片と基質とからなるものがあり、両者は従来<sup>(6)(7)(8)</sup> α-磁硫鉄鉱、β-磁硫鉄鉱と呼ばれているもので、基質部はα-磁硫鉄鉱にあたり反射能がやゝ劣る。また1つの結晶粒の中で中心部が赤褐色の暗色で、外縁部が黄灰色で明色を呈するものがある。異方性は顕著で時に微かに波動消光を示すものがある。KOHで直ちに褐変し、聚片状構造 lamellar structure を示すことが多い。上鉱は粗粒で粒状構造を示し、下鉱では磁硫鉄鉱がスカルン鉱物・磁鉄鉱の粒間を埋め、あるいは脈状をなして貫ぬき、黄銅鉱・角閃石と密接に伴なう。包有物(交代残晶を含む)にとみ、そのおもなものは柘榴石・灰鉄輝石・角閃石・磁鉄鉱である。一般に2次的に黄鉄鉱・白鉄鉱を多量に生じ、著しいものでは磁硫鉄鉱粒の1/3を占めることがある。この2次的変化の様式には3種あつて、2次成鉱物の集合体が(1)微細な斑点として分散する場合。(2)縄状・束状をなしてある方向に連続する場合。(3)球状または楕円体状をなす場合に、区別しうる。(1)では2次硫化鉄鉱はきわめて微細で、鏡下に白鉄鉱と黄鉄鉱とを区別し得ないことが多い。しばしば菱鉄鉱質炭酸塩鉱物や褐鉄鉱により取り囲まれ、それらは研磨の際に脱落し易いため2次硫化鉄鉱のまわりが空隙によつて取囲まれている場合があり、さらに著しい時には

中心部の2次硫化鉄鉱さえも脱落して、磁硫鉄鉱研磨面上に小孔としてその跡を留めることが多い。その分布状態は磁硫鉄鉱の粒子ごとにかかなりの差異があり、同一研磨片中でも全く新鮮な磁硫鉄鉱粒と一面に2次硫化鉄鉱を生じた磁硫鉄鉱とが隣接して産することが多い。これは各粒子中の鉄と硫黄との原子比の差によるのみならず、同一の化学組成をもつた粒子でも結晶方位によつて2次的変化を異にするためであろう。また個々の磁硫鉄鉱粒についてみれば、しばしば周縁に近づくにつれて2次硫化鉄鉱が多くなり、その形も大きくなる傾向がみられるが、その反面結晶粒の境界には無関係に径0.01~



0.5 mm

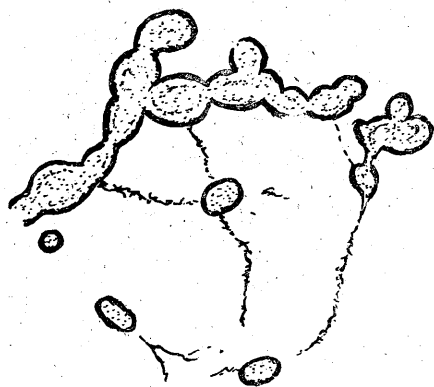
第5図 磁硫鉄鉱粒の境界に沿い、あるいはその中に不規則な微脈をなす2次硫化鉄鉱。



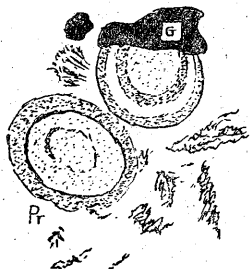
0.5 mm

第6図 磁硫鉄鉱の(0001)に沿い2次硫化鉄鉱を生じ平行縞状をなす。 Pr: 磁硫鉄鉱 G: 脈石

0.03mm の斑点をなして一面に散在することも珍しくない。(2)は磁硫鉄鉱粒の境界や(0001)に沿い、あるいは結晶粒中を横切る脈状をなして伸長するものでその生成初期のものは長さ0.004mm内外の白鉄鉱が伸長方向に直角には平行にならび、その中心部に微細な無反射部がある。それが進むと2次硫化鉄鉱が大きく(長さ0.02mm)なつて、それらが細状に集つて不規則な脈状をなし(第5図)、あるいは(0001)に沿う平行縞状をなす(第6図)ようになる。あるいはまた束状に集まり、時に花瓣状をなすことがある。しばしば磁硫鉄鉱との境には菱鉄鉱質炭酸塩鉱物があり、この部分は(1)と同様に研磨に際して微細な空隙となることが多い。(3)は2次硫化鉄鉱が共心構造をもつ球状あるいは楕円体状をなすもので、このような球状体は相接して数珠状に並ぶ場合(第7図)と単独な球状体が点在して鳥ノ目構造 birds' eye structure を示す場合とがある(第8図)。



第7図 磁硫鉄鉱中に共心構造をもつ2次硫化鉄鉱が数珠状に連なり、あるいは単独な球状体(または楕円体)が2次硫化鉄鉱の細脈により連結される。



第8図 鳥ノ目構造。灰色帯が磁硫鉄鉱との境にある。時にこの灰色帯が2重、環状になることがある。 G: 脈石 Pr: 磁硫鉄鉱

また球状体が Newhouse<sup>(9)</sup> の記載したように微細な細状の2次硫化鉄鉱の細脈で連結されている場合(第7図)もみられる。これらの集合体のうち数珠状をなすものは構造が比較的簡単で、共心構造の外周部は灰色の反射色を示す煤状物よりなり、中心部を異方性の強い白鉄鉱が占めている。鳥ノ目構造をなすものでは、径0.02~0.05mmのものが多く、0.2~0.3mmに達するものもある。これを高倍率でみると磁硫鉄鉱に直接する外周部には無反射に近い灰色帯があつて赤色の内部反射を示し、主として褐鉄鉱からなっている。最近の Steinar<sup>(10)</sup> の研究によれば灰色帯は外側の淡灰色帯(主として含水硫化鉄鉱 Wasserkies よりなる)と内側の暗灰色帯(主として褐鉄鉱よりなる)とからなるというが、本産地のものでは灰色帯の幅が狭いのでこれら2帯を明瞭に区別し得ない。灰色帯の内側は帯青灰白色の反射色を示し、均質で異方性の強い白鉄鉱の単結晶からなっている場合と、淡真鍮黄色の反射色を示す微細な硫化鉄鉱が集合して、もやもやした異方性をあらわす場合とがある。時には中心部の白鉄鉱のまわりに灰色帯と硫化鉄鉱帯とが2重ないし3重の環状をなすことがある(第8図)。また白鉄鉱の中心部にこれよりは異方性が弱くて微細な凹凸にとむ(研磨能の悪い)部分が占めることがある。以上に記載した(1)、(2)、(3)の間の相互関係をみると、(1)は変化の軽微な部分に最も普通なもので、恐らく変質作用の初期を代表するものと思われる。(2)は変質が進んだものに普通である。(3)の発達するのには必ずしも変質が進んだ部分とは限らないので、その生成には特殊の条件を必要とするものようである。いずれにしてもゲルから結晶化したものであることは構造から明らかである。

### 6.2 磁鉄鉱

半自形ないし他形で、上鉱では粒状構造をなして集合

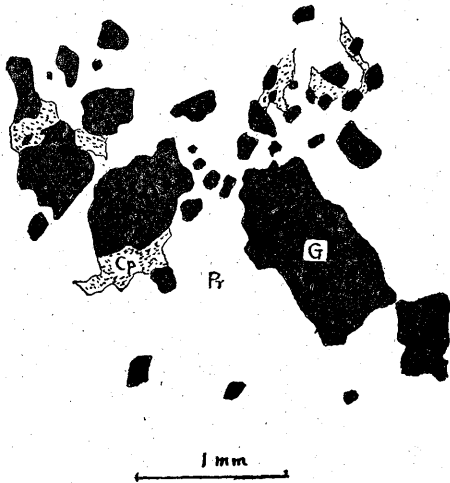


第9図 磁鉄鉱(M)中に eutectic structure をなす磁硫鉄鉱(Pr)。磁硫鉄鉱はすべて2次硫化鉄鉱にvari,それが研磨の際脱落して小孔となつてその跡を残している。 G: 脈石

し、大形の結晶では微細な包有物または空隙の規則正しい配列によつて累帯構造を示すものがある。包有物としては柘榴石・灰鉄輝石・角閃石等があり、時に少量の黄鉄鉱・磁硫鉄鉱・黄銅鉱が包有される。柘榴石とはしばしば等粒粒状構造をなし、また黄銅鉱とともに柘榴石粒間を填めることもある。興味ある組織としては磁鉄鉱中に第9図に示すような空隙が共融混合物にみられるような構造 (eutectic structure) をなして一面にみられることがある。この空隙は元來磁硫鉄鉱によつて占められていたものが、後に2次硫化鉄鉱に変じ、それが研磨の際に脱落して空隙となつたものと考えられ、このような例は Schneiderhöhn, Ramdohr<sup>(12)</sup> も記載しており、両鉱物の同時生成を物語るものであろう。

### 6.3 黄銅鉱

常に他型を呈し、包有物としてはスカルン鉱物・磁鉄鉱・磁硫鉄鉱・黄鉄鉱があり、稀に閃亜鉛鉱が含まれる。磁硫鉄鉱を交代したものでは斑点状の磁硫鉄鉱後の2次硫化鉄鉱を多量に含むことがある。磁鉄鉱に対しては累帯構造に沿い、あるいは割れ目に沿つて磁硫鉄鉱または黄鉄鉱とともに侵入交代する。磁硫鉄鉱中に産する場合には包有されているスカルン鉱物に接して特に濃集している傾向がある (第10図)。黄銅鉱中には後に記載するように葉片状キューバナイトが介在するほかに、竹内・南部<sup>(9)</sup>によれば離溶生成物らしい蠕虫状ないし毛髪状磁硫鉄鉱が一面に含まれることがあるという。



第10図 黄銅鉱 (Cp) は磁硫鉄鉱 (Pr) 中に包有されるスカルン鉱物 (G) との境に特に濃集する。

### 6.4 黄鉄鉱

単独な結晶粒、寄木状集合体 (径1mm内外) あるいは微脈をなして産し、一般にその量は少ない。包有物は少なく、柘榴石・灰鉄輝石が少量含まれることがあるに

過ぎない。結晶粒は均質なものと、外周を暗灰色で異方性の著しい分解産物(?)がとりまき、それが内部にまで侵入して不均質になつたものがある。均質なものについてみると反射色や異方性によつて次の3種に区別せられる。すなわち (1) 真鍮色を呈し異方性はなく、良好な研磨面が得られるもの。(2) 多少赤褐色味を帯び異方性はなく研磨能が悪く、ちりめん状の表面を示すもの。(3) 真鍮色であるが (1) に比して幾分淡色で明らかな異方性を示し研磨能の良好なもの、とである。腐蝕試験による相違点をみるに、HNO<sub>3</sub> で (1), (2) は直ちに褐変するが (3) は僅かに褐変する程度であり、HgCl<sub>2</sub> により (1), (2) は僅かに褐変するのに対し (3) は不変ないしきわめて僅かに褐変する。以上により (1), (2) はともに普通の黄鉄鉱であり、(3) は砒素を含む黄鉄鉱であろう。Schneiderhöhn<sup>(13)</sup> によれば砒素を含むものは異方性を示すという。Schwarz<sup>(14)</sup> は Black Hill の鉱石中に以上の (1), (2), (3) の3種の黄鉄鉱の産出を報告している。

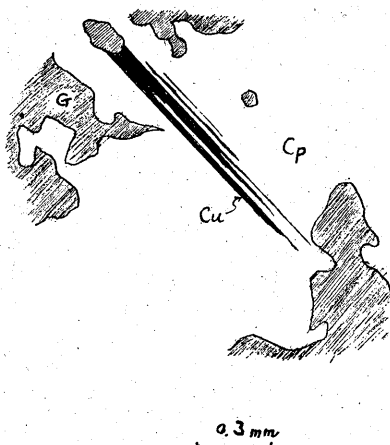
### 6.5 キューバ鉱

赤金鉱床中に限られて少量産し、放射纖維状集合体をなしあるいは不規則な外形を示す。色および硬度は黄銅鉱と磁硫鉄鉱との中間にあたり、異方性が明瞭で、K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> の硫酸溶液により直ちに暈色を呈することにより黄銅鉱とは明瞭に区別しうる。磁硫鉄鉱および黄銅鉱に密接に伴ない (第11図)、Schwarz<sup>(15)</sup> によれば磁硫鉄鉱・黄銅鉱を含まない鉱床には産しない程両鉱物と密接な随伴関係があるという。時に黄銅鉱中に直線的境界を以て葉片をなして介在し (bladed crystallographic intergrowth), その両端は多少箒状に消滅する (第12図)。



第11図 キューバ鉱 (Cu) は磁硫鉄鉱 (Pr) に密接に伴なつて柘榴石 (G) 粒間を填め、さらにこれを交代する。

おそらく離溶によるものであろう。



第12図 黄銅鉱 (Cp) 中に bladed crystallographic intergrowth をなすキューバ鉱 (Cu)。G: 脈石

### 6.6 硫砒鉄鉱

菱形に近い断面を示す半自形または他形をなし、反射能高く、異方性が顕著である。一般にその量は少なく、磁硫鉄鉱・黄銅鉱中に包有せられ、あるいは磁硫鉄鉱中に包有せられた柘榴石中に限ってみられることが多い。二枚山産のものは著しい破砕作用をうけて多数の割れ目を生じている。

### 6.7 その他の鉱石鉱物

閃亜鉛鉱は他形を呈し、包有物および離溶黄銅鉱を含まない。黄銅鉱とは相互境界をなすものが多い。磁硫鉄鉱とも相互境界をなし、Schwarz<sup>(14)</sup>によれば両者の間には同時生成のものが多い傾向があるという。

四面銅鉱は他形を呈し、小晶として微量に含まれ、その量が少ないため充分な観察はできないが、閃亜鉛鉱より幾分反射能が高い。磁硫鉄鉱・黄銅鉱に伴なつてこれらを交代する。

### 6.8 脈石鉱物

柘榴石は半自形または他形粒状をなし、鏡下にしばしば中心部(灰礬柘榴石質)は潤濁していることがあつても外縁部(灰鉄柘榴石質)は淡赤褐色透明で、この外縁部は細かい累帯構造を示して、複雑折を呈することがある。しかし一般には光学異常は少ない。累帯あるいは周縁に沿つて輝石・角閃石・磁鉄鉱等が交代する。

透輝石一灰鉄輝石は自形ないし半自形のものも多く、時には他形のもの粒状構造をなして集る。大きなものでは局部的に波動消光をなすものがある。一般に灰鉄輝石質のものも多く、時に透輝石大晶の粒間を細粒の灰鉄輝石の集合体が埋め、あるいは淡緑色灰鉄輝石の外縁部を濃青緑色の灰鉄輝石が縁取り、晩期になるに従い輝石

中の鉄分が多くなることを示している。柘榴石中に包有され、あるいは柘榴石の累帯に沿い交代する。またしばしば周縁より緑閃石質角閃石に変ることがある。

緑閃石質角閃石は柱状ないし針状結晶をなし、時に樹枝状に集合する。青緑色から帯褐淡黄緑色に変る著しい多色性を示す。包有物としては磷灰石が最も普通で、そのほかに輝石・緑簾石等がある。磁硫鉄鉱・チタナイトを密接に伴なうことが多い。

緑簾石は半自形ないし他形を呈し、集合部は寄木状構造を示す。一般に淡色で、大晶では部分的に幾分異なる複雑折を示す。

磷灰石は自形ないし半自形で、多くは角閃石中に包有される。花崗閃緑斑岩がスカルン化された部分にやゝ多量に生じ、原岩中の磷灰石よりは大きく、角閃石・チタナイトと密接に伴なう。

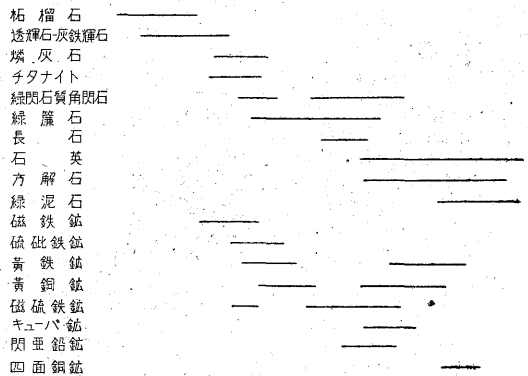
チタナイトは自形ないし半自形で、単独または集合して産する。磷灰石と同様侵入岩のスカルン化された部分に多い。

長石および石英は一般にその量が少なく、長石には斜長石と加里長石との両者がみられる。

方解石は主として鉱化作用末期に細脈をなして鉱石中を不規則に貫ぬいている。

### 6.9 鉱物生成順序

以上に記載した組成鉱物の共生関係等より鉱物生成順序を求めると第13図の通りになる。これを要約すれば、



第13図 鉱物晶出順序

(1) 鉱石鉱物の大部はスカルン化作用の後期に晶出する。そのうち磁鉄鉱は最も早期のもので、これに引続き硫砒鉄鉱・黄鉄鉱および磁硫鉄鉱・黄銅鉱の一部が伴つて晶出する。磁硫鉄鉱の大部はその後に晶出し、これには黄銅鉱・キューバ鉱・閃亜鉛鉱が密接に伴なう。最後に黄銅鉱・黄鉄鉱の一部と四面銅鉱が晶出する。

(2) 鉱石鉱物と脈石鉱物との随伴関係をみると、磁鉄



第2表 代表的鉱石の化学成分

鉱山名	採取箇所	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	S %	Au g/t	Ag g/t
赤金	中切下中段, 第2鉱体下部	0.51	0.00	0.00	48.75	28.75	tr.	4
	中切下中段, 第1鉱体下部	0.83	0.00	0.00	49.68	33.38	tr.	tr.
	上部中段, 第1鉱体上部	0.45	0.00	0.00	40.81	29.95	tr.	1
	丸森坑引立	0.22	0.00	0.00	53.57	33.21	tr.	2
二枚山	露頭	0.42	0.00	0.00	59.29	37.33	tr.	tr.
神倉	三号坑内	0.35	0.00	0.00	58.45	36.39	tr.	tr.
栗木	陀ノ鼻露天掘上段	0.44	0.00	0.00	31.57	13.37	0.3	4
	同上下段	1.09	0.00	0.00	55.43	34.22	tr.	2
	同上大切坑内	0.22	0.00	0.00	51.37	31.93	tr.	tr.

鉱は柘榴石に密接に伴ない多くはその粒間を填める。磁硫鉄鉱はしばしば黄銅鉱とともに角閃石と密接に伴う傾向がある。

(3) 図中には2次成鉱物は省略したが、磁硫鉄鉱の黄鉄鉱・白鉄鉱への変化は広く行われており、さらにその上部の酸化帯では全く褐鉄鉱に変つている。2次硫化鉄鉱への変化は Gilbert<sup>(7)</sup>, Ramdohr<sup>(8)</sup> がいうように地下水の近くで著しく、赤金鉱山の現在の坑道はこのような部分にあたつているのでこの変化が顕著である。

7. 鉱石の化学組成

鉱石の鉱物組成は上記のように1つの鉱体中でも局部的に著しい差異があるので、鉱体を代表するような化学組成を求めることはきわめて困難であるが、現在稼行中の赤金鉱山では磁硫鉄鉱の上鉱は概してS27~35%で、Cu0.2~0.5%を含み、Au, Agは痕跡程度である。本地域内のおもな鉱床の主要部分から採取した代表的鉱石の化学成分は第2表の通りである。

また数種のものについて行つた分光分析の結果は第14図の通りで、As, Sb, Cd, Hg, Nb, Ta, Te, Se, Ga, Ge, In, Li, Ba は検出されない。

鉱山名	採取箇所	Ni	Co	Cr	Ti	V	Mn	Mo	W	Ag	Zn	Pb	Cu	Sn	Bi
赤金	上部中段	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
神倉	大切下中段掘下	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
栗木	三号坑内	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
	大切坑内	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

第14図 鉱石の微量成分

8. 磁硫鉄鉱および磁鉄鉱の帯磁率

8.1 試料の調整および測定

まず鉱石試料を30~60メツシュに破砕し、拡大鏡下で予め不純物を除去した後、粉碎・篩別して-100~+200メツシュのものを集め、これを小型電磁石による適当な磁場中に置いて磁硫鉄鉱および磁鉄鉱のおのおのを分離して実験試料とした。試料は乾燥器中で80°Cに2

時間保ち、その後ソレノイド中で交流消磁を行い、約4.1gを秤量し、実験に供した。

測定は同一条件下で行い、磁力計法<sup>(6)</sup>を用いた。測定条件は次の通りである。

試料の中心より磁針の中心までの距離: 14cm

試料の充填された半径: 0.23cm

ソレノイド中を通る電流の強さ: 0.52 A

1cm当り導線の捲数: 308

ソレノイドの軸上における磁場の強さ: 201 Gauss

測定にあつては反転スイッチにより1試料につき10回繰返し、ランプスケールにより磁針のふれを読み取り、これを平均し、計算により帯磁率を求めた。

8.2 磁硫鉄鉱の帯磁率

鉱床中の各地点から採取した試料について帯磁率を測定した結果は第3表に示すように2~7+10<sup>-3</sup>である。比較のため他の産地の磁硫鉄鉱を同一条件で測定した結

第3表 磁硫鉄鉱の帯磁率

試料番号	鉱山名	採取箇所	帯磁率	磁硫鉄鉱中の2次硫化鉄鉱量(%)
1	赤金	上部中段, 第3鉱体	5.39×10 <sup>-3</sup>	15.4
2		中切坑, 第1鉱体	3.34	41.2
3		下中段掘下, 第1鉱体	4.44	19.1
4		同上	5.56	13.1
5		同上	6.61	20.2
6		下中段, 第2鉱体	1.69	n. d.
7		丸森露頭	3.07	24.0
8		丸森一坑	5.58	32.6
9	神倉	第2鉱床	6.53	n. d.
10		第3鉱床	4.24	19.3
11	栗木	陀ノ鼻露天掘上段	5.44	23.0
12		同上下段	4.32	23.4
13		同上中切坑	6.74	28.8

第4表 代表的磁硫鉄鉱の帯磁率

県名	鉱山名	鉱床形式	帯磁率
岡山	佐野	接触交代鉱床	$9.28 \times 10^{-3}$
"	瀬戸	脈状接触鉱床?	$2.85 \times 10^{-2}$
"	柵原	熱水交代鉱床	$3.83 \times 10^{-3}$
北海道	幌満	正岩漿鉱床	$1.95 \times 10^{-3}$

果は第4表の通りである。次に鉱石塊中の磁硫鉄鉱の各粒間の帯磁率の差をみるため、赤金鉱山鉱石(試料No. 4)を粉碎し、小型電磁石によつて磁場を種々に変えて各段階に吸引されるものを集めて5種の試料を作り、その帯磁率を測つた。その結果は第5表中に示す通りで、粒子によつてやゝ帯磁率を異にするが $5 \times 10^{-3}$ 以下のものが大部を占めることがわかる。

従来の研究<sup>(10)(17)</sup>によれば、人工磁硫鉄鉱では硫黄原子率52.8%を頂点として、硫黄が増加するに従い帯磁率は減少するという。しかし天然産の鉱石では一般に2次硫化鉄鉱への変化がみられ、また微細な包有物を含み特に当地域産の磁硫鉄鉱のように2次硫化鉄鉱への変化が著しく包有物にとむものでは、帯磁率の測定値と化学成分あるいはその他の物理性との関係を一義的に求めることは不可能である。

もし磁硫鉄鉱の帯磁率が各粒とも同一であるとすれば2次硫化鉄鉱への変化および脈石の量が増加するに従い帯磁率は減少する筈である。この関係を確めるために、上記の帯磁率測定に供した粉末試料(No. 4)の一部を

第5表 一塊の鉱石中の帯磁率の微視的变化

細分試料	磁場 Gauss	重量 g	重量比 %	帯磁率	鉱物組成 %		
					磁硫鉄鉱	2次硫化鉄鉱	脈石
a	14~40	4.1	8.6	$9.29 \times 10^{-3}$	89	7	5
b	40~138	12.0	25.2	5.08	79	11	10
c	138~220	5.0	10.5	4.67	71	19	10
d	220~415	9.5	20.0	4.65	78	10	12
e	415以上	17.0	35.7	2.25	81	13	5

(赤金鉱山試料 No. 4)

第6表 磁鉄鉱の帯磁率および組成

鉱山名	鉱床名	帯磁率	化学組成 %					鉱物組成百分率 (計算値)	
			FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	S	SiO <sub>2</sub>	磁鉄鉱	磁硫鉄鉱
赤金	米里	$1.79 \times 10^{-1}$	24.70	66.70	0.06	0.97	2.60	72.35	2.66
栗木	陀ノ鼻	1.72	27.86	63.20	0.06	0.34	3.32	87.10	0.93
	"	1.84	27.57	64.43	0.07	0.10	3.12	87.91	0.27

予めベークライト中に焼き固め、研磨片を万能投影機で拡大してトレースし、その中の2次硫化鉄鉱・脈石の量比を測定した結果は第5表の右半に示したようになる。この結果よりは帯磁率と2次硫化鉄鉱・脈石の量との間に明瞭な規則性はみられない。以上によつても磁硫鉄鉱の結晶粒ごとに帯磁率に差異があることがわかる。

### 8.3 磁鉄鉱の帯磁率

磁鉄鉱をやゝ多量に産する米里鉱床および陀ノ鼻鉱床の鉱石中より選別した試料につき磁硫鉄鉱の場合と同様に測定した帯磁率を化学成分とともに表示すれば、第6表に示すように大略  $1.7 \sim 1.8 \times 10^{-1}$  である。比較のため同一条件で他の産地の磁鉄鉱について測定した結果は第7表に表示した通りである。

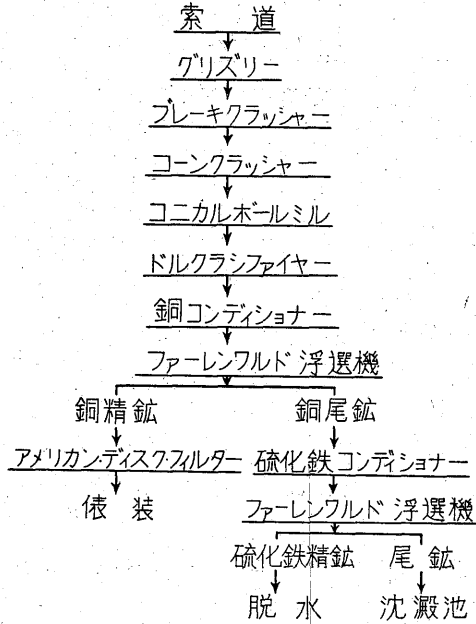
第7表 代表的磁鉄鉱の帯磁率

県名	鉱山名	鉱床形式	帯磁率
岩手	釜石	接触交代鉱床	$1.83 \times 10^{-1}$
福島	剣ヶ峰	正岩漿鉱床	$8.02 \times 10^{-2}$
長野	甲武信	接触交代鉱床	$1.45 \times 10^{-1}$

## 9. 赤金鉱山の浮選産物

### 9.1 浮選現況

赤金鉱山では坑内粗鉱はまず大切坑口に近い第1選鉱場において中割し、直送鉱(Cu 3%±)を手選した後、約2km南東にある第2選鉱場に送り優先浮選により銅精鉱と硫化精鉱とする。その選鉱系統図は第15図の通



第15図 赤金鉱山選鉱系統図

第8表 赤金鉱山選鉱産物の化学成分

	Cu %	Fe %	S %	Au g/t	Ag g/t
浮選給鉱	0.80	41.26	10.80	1.3	4
銅精鉱	10.28	53.22	32.51	7.6	36
銅尾鉱	0.06	37.80	8.32	tr.	tr.
銅(硫化鉄元鉱)	0.31	59.51	29.92	tr.	2
硫化鉄精鉱	0.02	29.69	3.25	tr.	tr.
尾 鉱					

りである。昭和27年6月12日に採取した選鉱産物を分析した結果は第8表に示してあり、同年1月より6月に至る間の精鉱の売鉱品位は第9表の通りである。なお浮選給鉱の粒度は-200メッシュが60~70%を占めている。

9.2 選鉱産物中の単体分離

選鉱の各過程における産物を採取し、一部を化学分析に付し、残りをペークライト中に封じて研磨し、鏡下に各粒子についての鉱物結合状態を調べた結果は第10表の通りである。これより次のことがいえる。

(1) 浮選給鉱は単体分離が充分行われているので、これ以上の粉砕の必要はない。

第9表 赤金鉱山売鉱品位

	Cu %	Fe %	S %	Au g/t	Ag g/t
直送 鉱	2.1~3.3	n.d.	n.d.	1.4~2.3	12.6~19.1
銅精 鉱	8.7~16.6	n.d.	n.d.	5.8~15.0	39.0~60.7
硫化鉄精 鉱	n.d.	47.8~51.6	25.0~34.9	n.d.	n.d.

第10表 赤金鉱山選鉱産物中の鉱物結合状態

種類	単 体	2成分系	3成分系	
給 鉱	pr	135	pr+M 3	Pr+Cp+G 2
	M	57	pr+G 39	M+G+Pr 3
	G	351	M+G 11	Cp+G 1
銅 精 鉱	%	90.3	8.9	0.8
	銅 精 鉱	Pr	107	Pr+M 6
M		75	Pr+G 80	Pr+M+Cp 3
Cp		8	M+G 35	Pr+M+G 7
P		9	Cp+G 43	Pr+Cp+G 5
G		170		Cp+M+G 4
銅 尾 鉱	%	66.8	29.7	3.5
	銅 (硫化鉄元鉱) 尾 鉱	Pr	47	Pr+M 3
M		24	Pr+G 54	
Cp		2	M+G 25	
P		1		
G		214		
硫化鉄精 鉱	%	75.5	21.5	3.0
	硫化鉄精 鉱	Pr	607	Pr+G 19
M		9	Cp+G 4	
Cp		2		
P		3		
G		48		
尾 鉱	%	96.6	3.4	0
	尾 鉱	Pr	28	Pr+G 10
M		82	M+G 11	
Cp		1	Cp+G 3	
G		361		
%		95.0	5.0	0

Pr : 磁硫鉄鉱 M : 磁鉄鉱 Cp : 黄銅鉱  
P : 黄鉄鉱 G : 脈石

(2) 銅精鉱では単体は少なく、鉱粒中の黄銅鉱は多くは脈石と結合したものである。単体をなす磁硫鉄鉱粒が多く、黄銅鉱と磁硫鉄鉱との分離が良好とはいえない。

(3) 硫化鉄精鉱では磁硫鉄鉱はほとんど単体として存

在し、脈石以外の硫化鉱物は少ない。

(4) 尾鉱中の硫化鉱物は少なく、ほとんどの選鉱の目的は達せられている。

(5) 全体を通じて磁鉄鉱

が単体としてかなり含まれており、磁選により磁鉄鉱を回収すれば銅精鉱および硫化精鉱の品位を上げることができる。

(6) 磁鉄鉱は元鉱・銅精鉱に特に多い。

### 10. 結 語

この地域の花崗閃緑斑岩質貫入岩体と古生層との接触部には多数の接触交代鉱床が知られており、その多くは磁硫鉄鉱を主成分鉱物として含み、その中に黄銅鉱を多量に含むものは銅鉱として稼行され、磁鉄鉱を含むものおよび磁硫鉄鉱の露天化したものは鉄鉱として古くから稼行された。現在では赤金鉱山が銅を対象として稼行しているほかには栗木・神倉の両鉱山が小規模にそれぞれ銅鉱・鉄鉱を採掘中である。

鉱床は不規則塊状またはレンズ状の鉱体をなし、規模は小さいがしばしばスカルンの一部に多数集合して産する。

鉱石の組成鉱物は磁硫鉄鉱・磁鉄鉱・黄銅鉱・黄鉄鉱を主とし、鉱床によつては硫砒鉄鉱・キューバ鉱をやゝ多量に伴なうものがあり、そのほかに少量の閃亜鉛鉱・四面銅鉱が含まれる。脈石鉱物としては柘榴石・透輝石・灰鉄輝石・緑閃石質角閃石・緑簾石が普通で、少量の磷灰石・チタナイト・長石・石英・方解石・緑泥石が伴われる。

磁硫鉄鉱は広く2次的変化をうけ、地表近くでは露天化によつて良好な褐鉄鉱石を形成し、その下部では磁硫鉄鉱中に多数の2次硫化鉄鉱を生じ、それらは一面に斑点をなして散在し、あるいは繩状・束状をなし、あるいは鳥ノ目構造を示す。磁硫鉄鉱の帯磁率は $2\sim 7\times 10^{-3}$ で、この値の変動は磁硫鉄鉱粒本来の帯磁率の差によるほか、2次硫化鉄鉱および脈石の量の多寡に支配せられている。磁鉄鉱について測定した帯磁率は $1.7\sim 1.8\times 10^{-1}$ である。

赤金鉱山の現在の浮選産物についての検鏡結果によれば、単体分離は充分行われているのでこれ以上の粉碎の必要はなく、浮選操作についての研究によつて実収率の向上を計るべきである。この地域の鉱床中には磁鉄鉱をやゝ多量に含むものがある(特に米里鉱床)ので、まず磁選によつて磁鉄鉱を回収し、その後浮選をなすべきであろう。この地域の磁硫鉄鉱は磁性が弱いので、その選鉱法としては磁選によるよりも従来通り浮選の方が有効なようである。

### 文 献

(1) 渡辺万次郎・黄春江：岩手県江刺郡伊手附近の地質鉱床、特に黄金坪角礫管状金タング

ステン鉱床(I)、岩鉱、Vol. 28, p. 93~109, 1942

- (2) 竹内常彦・南部松夫：岩手県栗木地帯の複雑鉱床、鉱技試報告、No. 14, 1950
- (3) 竹内常彦・南部松夫：岩手県赤金鉱山産キューバ鉱について(含キューバ鉱石の研究1)、東北大選研彙報、Vol. 8, p. 7~14, 1952
- (4) 井上禧之助：本邦における鉄鉱、地調報告、No. 24, 1911
- (5) 岩手県鉱業会：岩手県鉱山誌、1950
- (6) Scholtz, D.L. : The magmatic nickeliferous ore deposits of East Griqualand and Pondoland. Publ. Univ. Pretoria, Ser. II, p. 81~210, 1936
- (7) Dennen, W.H. : A Nickel deposit near Dracut, Massachusetts. Econ. Geol., Vol. 38, p. 25~55, 1943
- (8) Ramdohr, P. : Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. 1950
- (9) Newhouse, W.H. : Paragenesis of marcasite. Econ. Geol., Vol. 20, p. 54~66, 1925
- (10) Steinar, F. : Supergene marcasite, replacing pyrrhotite. Norsk. Geol. Tid. Bd. 28, p. 144~150, 1950
- (11) Gilbert, G. : Oxidation and enrichment at Ducktown, Tenn. Trans. A.I.M.E., Vol. 70, p. 998~1020, 1924
- (12) Schneiderhöhn, H. und Ramdohr, P. : Erz-mikroskopie Bd. II, 1931
- (13) Schneiderhöhn, H. : Mineralchemische und mikroskopische Beobachtungen an Blei-zink und Kieseriten. Chem. d. Erde, Bd. 5, p. 390~392, 1930
- (14) Schwarz, G.M. : Paragenesis of iron sulphides in a Black Hills deposit. idem, Vol. 32, p. 810~825, 1937
- (15) Schwarz, G.M. : The paragenesis of pyrrhotite. Econ., Geol., Vol. 32, p. 31~55, 1937
- (16) 早瀬喜太郎・原田種臣：磁硫鉄鉱の特性について(第2報)、磁気的性質と鉱床との関係[1]、日本鉱業会誌、Vol. 32, p. 295~300, 1952
- (17) 早瀬喜太郎・原田種臣：磁硫鉄鉱の特性について(第1報)、組成の変化と2,3の物理性並に浮游性との関係、同上、Vol. 67, p. 94~101, 1951