研究報 文

山形県吉野鉱床の成因について

On the genesis of Yoshino mine,
Yamagata Prefecture

山 脇 友治郎(Tomojiro Yamawaki)*

1. は し が き

吉野鉱山は山形県東置賜郡宮内町大字萩に位置し、所謂緑色凝灰岩地域に発達する黒鉄式鉄床である。附近一帯には此の種の鉄床が数多く存在し、その一般地質鉄床に関しては矢野茂樹¹⁾により、又地質構造との関係については舟山祐士²⁾により夫々研究がなされている。筆者は 1956~1957 年に当鉄山を調査する機会を得、特に鉄床母岩の変質と鉄化作用の関係について研究を行なったので、それらの結果をとりまとめ以下報告する事にする。

本報告に当り、終始御懇篤なる御指導を賜った当教室竹内常彦教授並びに山口大学荳木浅彦教授に対し深く感謝の意を表する。又ガイガー・フレックス使用、電子顕微鏡写真撮影及び分光分析に関しては、夫々東北大選研岡田広吉講師、同加藤清一氏並びに当教室折本左千夫氏に謝意を表する。尚 調査に当って種々御援助を頂いた日本鉄業吉野鉄業所の各位に対し心より御礼申上げる。

本研究の一部は文部省科学研究費によつたものである。

2. 地 質 概 説

本地域の基盤をなす岩石は角閃石黒雲母花崗閃緑岩で、地域南部にその一部を露呈し、これを不整合に第三紀中新世の堆積岩類、火山岩類が連続的に堆積している。その地質構造は変化に富み、可成り複雑な様相を呈するが、一般に南北性の走向を有し、小規模の向斜、背斜軸を数多く観察できる。以下これらの諸岩石について簡単にその概略を記す(第1, 2 図参照)。

礫岩・砂岩層：花崗閃緑岩を不整合に覆い一部花崗岩質礫岩がみられるが、大部分は砂岩(安山岩質)よりなる。この砂岩は中~粗粒で、多量の黒雲母及び緑泥石の存在で特徴づけられ、時として黒色泥岩の薄層を夾む場合がある。

* 東北大学理学部岩石鉱物鉱床学教室

1) 矢野茂樹：東北大岩鉄卒論(手記), 1951.

2) 舟山祐士：岩鉄, 39, 144~153, 1955.

第1図 吉野鉾山地

1. 流紋岩, 2. 石英安山岩, 3. 安山岩, 4. 花崗閃緑岩質
6. 變質安山岩, 7. 橄欖石玄武岩, 8. 普通輝石安山岩,
10. 安山岩質角礫凝灰岩層, 11. 黑色頁岩層, 12. 流紋岩

質 図

岩脈, 5. 花崗閃緑岩,
9. 礫岩砂岩層,
質角礫凝灰岩層

第 2 図 吉野鉾山附近模式柱状図

安山岩質角礫凝灰岩層： 上記礫岩・砂岩層に連続的に本層が堆積し、主として安山岩質角礫凝灰岩によつて代表されるが、この他礫岩質砂岩、凝灰岩質砂岩、砂質凝灰岩及び泥岩等も存在する。これらの岩石は緑泥石化作用を著しく受け、下部の礫岩砂岩層との区別を屢々不明瞭にしている。又本層内には比較的基性の火山岩類がよく発達し、橄欖石玄武岩、變質安山岩及び輝石安山岩類等の小岩体がいずれも岩床状をなし、緑泥石、方解石或は石英等によつて交代されているが、その進入時期は本層と略々期を一にしていると思われる。尚吉野鉾床は本層内の比較的上部を構成する暗紫色角礫凝灰岩中に胚胎している。

黑色頁岩層・流紋岩質角礫凝灰岩層： 本層は安山岩質角礫凝灰岩層に整合的に堆積し、岩質の差異により黑色頁岩層及び流紋岩質角礫凝灰岩層に分類されるが、この両者の関係は同時異相と思われる。黑色頁岩層は泥岩、凝灰岩質泥岩及び硬質頁岩より、又流紋岩質角礫凝灰岩層

は流紋岩質凝灰岩（吉野鉱床を覆う帽岩）、同質角礫凝灰岩および頁岩質凝灰岩より夫々なっている。本層内の火山岩類は珪化作用の影響を顕著に受けた流紋岩類がみられる。このほか流紋岩、石英安山岩、安山岩等の熔岩が本地域内の比較的高所に広く分布し、その噴出時期は明らかでないが、いずれも方解石化作用、珪化作用、緑泥石化作用等をうけている。

以上の如く本地域に於ける諸岩石には諸種の変質作用が一般に認められ、特に安山岩質岩石は緑泥石化作用、流紋岩質岩石は珪化作用で夫々特徴づけられるが、いずれの火山岩も鉱床と直接の関連を見出だし難く、単に広区域の変質作用として間接的な役割をなしているにすぎないと考えられる。

3. 鉱床 概 略

本鉱床は黒森山西側山麓に位置し、安山岩質角礫凝灰岩層の上部を構成する暗紫色角礫凝灰岩中に略々層状をなして胚胎する黒鉱式鉱床である。鉱床の分布状態は北より昆沙門、葦沢、福寿、恵比須、大黒及び布袋の各鉱体であるが、現在稼行中のものは葦沢、福寿の両鉱体のみである（第3図）。

母岩である暗紫色角礫凝灰岩はその厚さ 100 米内外で、屢々砂岩の薄層を介し、下盤に向うにつれて砂岩層に移化している。鉱体はその色松皮に似た粘土層に覆われ、不規則塊状、鉱染状、脈状をなした黒鉱、黄鉱、珪鉱等の密雑共生体である。

主な鉱石鉱物としては黄銅鉱、閃亜鉛鉱、黄鉄鉱、重晶石及び少量の方鉛鉱、黝銅鉱で、稀に斑銅鉱、freibergite 等も存在している。又多少の金を産しているがその産状は明らかでない。二次的鉱物としては白色針状の硫酸亜鉛、青色塊状の硫酸銅結晶が降下水の影響により生じている。脈石鉱物としては石英及び粘土鉱物類がある。

各鉱体の規模、品位等の一例を挙げれば第1表の通りである。

4. 母 岩 の 変 質 状 態

先にも述べた如く本鉱床の母岩は暗紫色角礫凝灰岩で、これに砂岩の薄層を随所に夾んでいる。鉱体と母岩の境界は、上盤側に於ては松皮粘土により明瞭に区別されるが、下盤に至ると鉱石は次第にその品位を低下し、漸移的に角礫凝灰岩或は砂岩に移化する。その主な変質作用は珪化作用、粘土化作用で、その他絹雲母化作用、緑泥石化作用、方解石化作用等も見られる（第4図）。

緑泥石化作用・方解石化作用： 附近一帯の岩石に略々例外なしに認められ、安山岩質

第 3 図 吉野鉱床鉱体分布図

第 1 表 各 鉱 体 の 規 模 , 品 位

鉱体	走 向	傾 斜	走 向 延 長	傾 斜 延 長	巾	Au g/t	Ag g/t	Cu %	Zn %
福 寿	N20° E	27° SE	160m	90m	50m	1.1	60.0	1.65	3.8
韭 沢	N45° W	30° NE	70	50	60	1.4	55.0	0.46	7.25
恵比須	N20° E	鉛 直	150	30	100	2.0	50.0	1.00	—
大 黒	N20° E	鉛 直	50	30	30	3.0	100.0	1.50	—
布 袋	N25° E	40° SW	100	30	20	3.0	100.0	1.50	—

岩石特に 鉱床を胚胎する角礫凝灰岩層に顕著であるが、鉱床と直接の関係を見だし難い。

珪化作用：珪化作用は 鉱床附近の諸岩石にも広く作用しているが、坑内に於ても黒鉄鉱鉱床初期の産物たるべき珪鉄と密接な関係を有し、珪化作用が 鉱床生成の比較的早期のものであった事に異論はない。

本 鉱床に於ては第 4 図に見られる如く、珪化帯は上、下盤二つの粘土化帯に囲まれて存在し、その境界は漸移的で、母岩が角礫凝灰岩である場合よりも砂岩である場合に珪化作用の効果が著しい。これを韭沢、福寿両鉱体について比較するならば、前者は後者に比してその珪化帯の範囲は広く数倍の厚さに達するが、変質程度は後者の方が著しい。この事は韭沢の珪化帯が角礫凝灰岩内にあり、一方福寿のそれが砂岩内にある事実から考えて、変質程度が岩相の差異に左右された事を予測せしめる。

ところでこの珪化帯に於ては屢々よく網状～脈状に鉄石、脈石が発達し、これらの脈は或場合には重晶石、鉄石及び粘土鉄物類の集合体となり、或場合には鉄石を含む石英脈であつたりする。その形状について観察するに、或は直線的な所謂脈であり、或は不規則に入り乱れて恰かも原岩である角礫凝灰岩の構造をその儘残存せしめる如き様相を呈したりする（脈巾数センチ～数寸）。この様な事実からは 鉱床生成の比較的晩期の珪化作用の存在が立証されると推測する事ができる。しかしこの事実は珪化帯全般についてみればその一部を占めるにすぎず、その産状からも明らかな如く一般には、石英は常に鉄石鉄物により交代されている事が鏡下に於ても観察され、石英は珪化鉄生成以前に生じたものである。従つて珪化作用は比較的早期の広範なるもの及び比較的晩期の小規模なものと区別して考えるのが妥当と思われる。

第 4 図 坑内地質図 (OML)

粘土化作用：本鉍床に於ける粘土化作用は鉍化作用と極めて密接な関係を有し、鉍体の上下盤が粘土化帯により囲まれている事は既述の通りである。即ち上盤は松皮粘土と称される本鉍床独特の粘土層により恰かも帽岩の如く覆われ、これが次第に鉍石鉍物と密雑共生し、珪鉍帯に至つてその存在を見ない様になる。一方下盤に於ては珪鉍が次第に珪化岩石になると共に粘土状の細脈を有するに至り、やがて粘土中に鉍染状珪鉍或は珪化岩石を含み、遂に完全の粘土化帯に移化している（第4、5図）。この様な産状からは本鉍床の生成前後に粘土化作用が行われた事が考えられ、これらの関係を綿密に調べる事により、本鉍床の成因的問題に関して多大の示唆を得る事ができた。

第5図 鉍体分類図（断面図）

下盤粘土化帯——本帯に於ける粘土は灰〜緑色を呈し、一般に母岩が砂岩である場合よりも角礫凝灰岩である場合にその変質程度が顕著である。一方野外に於て、角礫凝灰岩、砂岩等がベントナイト、酸性白土等に変化している状態が屢々見られ、坑内に於てもこの種の粘土の多い事実、或は珪化鉍石中に円礫状となつて残る粘土の存在等から上述の早期珪化作用に引続いた粘土化作用が想定される。しかるに、この粘土化帯が上盤側に進むにつれて次第に珪化岩石を含み、やがて重晶石と共生して脈状に移り変わる事実、或は時として松皮粘土に極めて類似の粘土を生じている事実等からは比較的晩期の産物たる事を予測せしめている。それ故本帯に於ける粘土化作用も早晚二期を考えるのが妥当と思われ、本帯の大部分を占めるものは早期の粘土化作用に基づくもので、脈状をなすものは晩期のそれによると思われる。その成分鉍物について言えば常に黄鉄鉍の微晶を混在し、加水ハロイサイト、カ

オリナイト、モンモリロナイト、ハロイサイト、緑泥石、絹雲母、明礬石、方解石等を含んでいる。時として黄鉄鉍より転じたと思われる酸化鉄の存在を見る場合もあり、又明らかに晩期産物たる重晶石が存在する場合もある。

上盤粘土化帯——一般に韭沢鉍体に比して 福寿鉍体の方がこの粘土化作用が顕著である。即ち本帯の上限は松皮粘土であり、これが重晶石、粉状鉍石等との集合体となつて珪化帯に移化するが、この集合体は韭沢に於て薄く、福寿に於て厚く分布している。そしてこれが福寿の南方に至ると益々その傾向が増大され、粉状鉍、重晶石の量が減少し、粘土の量が増大し、同時に松皮粘土が少くなり、殆んど灰緑色粘土に移化して黄鉄鉍の微晶を混在する様になる（同様の現象が韭沢鉍体北端にも観察される）。その結果、第 5 図に見られる如く、韭沢鉍体の最も膨潤している箇所が鉍体の中心部をなし、その南北に略々対称的に変質作用、鉍化作用が及んで行つた過程をよく観察する事ができる。

以上の如き産状からは上盤側粘土化帯の粘土化作用中特に松皮粘土が鉍床生成前のものであると言う結論は見出し難く、常に鉍体を包む様に存在し、しかも殆んどの場合原岩である角礫凝灰岩の構造をよく残存している点から、鉍床生成と同時に或は晩期の産物である事が推定される。しかし乍ら、粉状鉍石と密雑共生する粘土の場合、それが珪化帯に移化する点に於て時として粘土及び粉状鉍の集合体中に円礫状粘土として存在する事があり、且つ常に黄鉄鉍の微晶を含み、下盤粘土化帯に於けると略々同種のものよりなる点、早期の粘土化作用に起因せしめる必要が生じる。それ故本帯に於ても早、晩期二つの粘土化作用が観察される結果となり、結局、下盤に於ては早期の粘土化作用、上盤に於ては晩期のそれ（松皮粘土）で夫々代表されると考えられる。松皮粘土の構成鉍物としては主として絹雲母、加水ハロイサイト及びモンモリロナイトよりなり、これに少量の重晶石、酸化鉄を含むが、その詳細は後述する。

5. 鉍 化 作 用

鉍体は大体上盤側より、塊状黒鉍帯、粉状黄鉍帯（或は粉状黒鉍帯）、珪鉍・粉鉍共生帯、珪鉍帯の順に略々層状に累帯配列をなしているが、これらの分類も明瞭な境界を有せず、漸移的推移をなし、且つその厚さも不定で稀にその一部を欠く場合もある。又賦存鉍物も多少異なる様相を呈し、福寿に於ては Cu、韭沢に於ては Zn が夫々優勢であり、且つ Zn は塊状黒鉍帯に、Cu は粉状黄鉍帯に近接せる珪鉍帯に於て夫々高品位を示すのが一般的傾向と言える（第 6 図）。

第 6 図 松皮粘土からの距離による Zn, Cu 品位の変化 (OML, 5 番坑)

第 7 図 鉍石の産状 $\times \frac{1}{10}$

Ma : 松皮粘土	Cp : 礫状・粉状鉍
Ba : 重晶石	Sc : 珪質鉍脈
Mb : 塊状黒鉍	Dv : 鉍染鉍脈
Lp : 縞状粉鉍	Sp : 閃亜鉛鉍

珪鉍帯 : 各種鉍帯中最も広範な分布を示し、Cu 品位も高く、極めて重要な部分をなしている。下盤である珪化帯との関係は勿論漸移的であり、初め珪化帯に細い網状～脈状の鉍石で見られ、これが上盤に向うにつれてその脈巾を増し (10～20 厘)、品位を高めると共に母岩全般に亘つて鉍染し、遂に珪鉍・粉鉍の錯綜せる部分を径て粉鉍帯に移化している。この珪鉍帯は福寿に於ては 10 米内外、韭沢に於ては 30～40 米前後の厚さに達し、主として閃亜鉛鉍を多量に産し、一部黄銅鉍も高品位を示す。この他黄鉄鉍も多量に見られるが、これら鉍石鉍物はいづれも石英を交代する如く存在している (第 7 図、B、C)。

粉鉍帯 : 更に珪鉍体をすぎた鉍液は母岩の化学的条件の差異と相俟つて粘土化帯に重晶石と共に閃亜鉛鉍、黄銅鉍、黄鉄鉍等を沈澱せしめたが、母岩が早期変質作用をうけた際、粘土化作用をうけずに残つた珪化円礫はこの鉍化作用により一部鉍化し、かくして現存の如き粉鉍帯が形成されたと思われる。この

場合、比較的閃亜鉛鉍が多量に沈澱した所が粉状黒鉍となり、黄銅鉍及び黄鉄鉍を多量に晶出した所が粉状黄鉍となつたわけであるが、これはその時の鉍液の成分に差異があつた為と考えられる。

ここで興味ある問題は第 7 図、A に示される様な縞状粉鉍の存在である。これは黒鉍、黄鉍が縞状に 1～5 厘の厚さをもつて層状に形成されているもので、黒鉍部は主として閃亜鉛鉍、重晶石よりなり、これに少量の黄銅鉍、黄鉄鉍を加え、又黄鉍部は主として黄銅鉍、黄鉄鉍、重晶石よりなり、これに少量の閃亜鉛鉍を含んでいる。又時として重晶石、粘土鉍物を主とする縞の部分も存在する。この様な構造に対しては恐らく温度の低下と共に鉍液が共晶の関係でかゝる分離をなしたのか、或は鉍液が分離した後沈澱したも

第 8 図 鉍石の顕微鏡写真 (×100)

(A) 重晶石

(B) 塊状黒鉍

(C) 粉状黄鉍

(D) 珪 鉍

(E) 珪 鉍

(F) 珪 鉍

Ba : 重晶石, Q : 石英, Cl : 粘土鉍物, O : 鉍石鉍物

でのあるか、いずれかと推測されるが、黒鉍式鉍床に於ける様な場合、その生成条件が必ず低温に違いないとすれば、これら鉍物間に共晶関係を期待する事は到底不可能であり、寧ろ後者の場合を予測せざるを得ない結果となる。しかし乍ら鉍液自体の性状、即ち温度、圧力、化学成分等から必然的に帰結さるべき鉍液自体の性質に未だ幾多の疑点があ

り、その生成機構に対する決定的解釈は簡単には下し得ない。

塊状黒鉍帯：最後に粉鉍帯の上盤に閃亜鉛鉍、重晶石よりなる塊状黒鉍帯が形成されたが、ここにも少量の方鉛鉍、黄銅鉍、黄鉄鉍等が含まれている外、黝銅鉍、freibergite等も存在し、上盤に向うにつれてその量を増大している。そして鉍石成分を晶出し尽した残液により、最外部に重晶石、粘土鉍物（松皮粘土）が沈澱したものと思われ、この場合、重晶石は屢々塊状黒鉍及び松皮粘土と不規則な形状をもつて入組み、その晶出前後を云々出さない賦存状態を示している場合もある（第7図，A）。

第9図 鉍石鉍物の共生関係 ×500

G : 脈石鉍物	Ga : 方鉛鉍
Fb : Freibergite	Cp : 黄銅鉍
Py : 黄鉄鉍	Cv : 銅 藍
Sp : 閃亜鉛鉍	Te : 黝銅鉍
Bo : 斑銅鉍	

6. 鉍物の共生関係

石英——鉍石鉍物：石英は一般に二次的粒状構造を示し、珪鉍帯に於ける脈石鉍物は殆んどすべて石英よりなる。鉍石鉍物はこの石英集合体の間隙を充填し、その一部を交代しているが、時として明らかに後期の石英細脈をも存在せしめている（第8図，E，F）。

重晶石——鉍石鉍物：粉鉍帯、塊鉍帯に於ける脈石としては殆んどが重晶石により占められている。鏡下に於て、重晶石の長方形結晶は時として鉍石鉍物に囲まれ、オヒチック構造の様子を呈し、或は鉍石が重晶石を交代するかの如く存在し、この両者は相前後して晶出された疑いが強い（第3図，A，B，C）。

石英——重晶石：石英及び重晶石は珪鉍帯、粉鉍帯に夫々分離して存在し、この両者が同一鏡下に観察される例は極めて少い。第8図，Dはその一例であるが、重晶石は明らかに石英後の産物である。

黄鉄鉍——黄銅鉍：黄鉄鉍は大低粒状集合体となつて脈石中に存在し、或は黄銅鉍、閃亜鉛鉍中に微小粒として含まれる

（第9図，D，E，F）。その産状から黄銅鉍、閃亜鉛鉍に先んずる場合、或はこれらと同

時生成の場合と両者が考えられる。

黄銅鉱——閃亜鉛鉱：この両者の関係は可成り複雑な様相を呈し、閃亜鉛鉱結晶の輪郭のみをとどめ、これが黄銅鉱により交代されたと思われる場合、或は閃亜鉛鉱中に不規則細粒状黄銅鉱が点在し（逆の場合も存在する）、固溶体の離溶現象を暗示するもの、或は両者が不規則に入り乱れて存在する場合等があり、その生成順序を云々する事は到底不可能の様に思われる（第9図，A, B, C）。

黝銅鉱・方鉛鉱——黄銅鉱・閃亜鉛鉱：これら四者はその産状から見て略々同時期に晶出したと思われるが、黝銅鉱、方鉛鉱は鉱体の上盤側のみに存在する傾向を有し、下盤側に於て或程度黄銅鉱、閃亜鉛鉱を晶出した鉱液が Pb, As, Sb 等を濃縮した結果生じたものと推定される（第9図，C, D, E）。

斑銅鉱——黄銅鉱・閃亜鉛鉱：斑銅鉱の存在は極めて稀であるが、常に黄銅鉱、閃亜鉛鉱と密接に共生している（第9図，F）。但し離溶の産物であるか、或はその後の黄鉄鉱、黄銅鉱の再反応の結果であるかは明らかでない。

freibergite ——黄銅鉱：freibergite は常に黄銅鉱中に微晶として見られるが、恐らく黄銅鉱と固溶体をなしていたものと思われる（第9図，E）。

以上の諸事実並びに産状を総合した結果は第10図，A, B に示される。

第 10 図

7. 分 光 分 析 結 果

鉱床形成に関係する元素が岩相、深度によりどの様な消長を示しているか、或は鉱液の化学的性質と如何に関連しているかを知る為、鉱体並びに鉱床附近の母岩に対し分光分析を試みた。これは先にも述べた如く或程度規則正しく層序をなした鉱体について、その上盤より下盤迄、更に鉱床の上部層より下部層に至る迄、広範囲且つ系統的に試料を撰択し、分析を行つたものである。その結果を第2表に示す。第2表を通覧するに、各元素の分布消長は可成り明確な傾向を有し、概括して次の如く分類する事が出来る。

- a) 鉱体より上部に達していない成分 (As, Ba, Co, Cr, Ge, In, Ir, Mo, Ni, Sn)
- b) 全般に亘つて分布するが、鉱体によく集中している成分 (Ag, Cu, Pb, Zn, Sb)
- c) 鉱体にのみ集中する成分 (珪鉱帯 : Be, In, Ir), (粉鉱帯 : Ba, Ge), (粉鉱・珪鉱帯 : Ag, As, Bi, Cr), (粘土・石英に伴うもの : Au)
- d) 全般に亘つて存在するが鉱体で減少している成分 (Mn, Al, Mg, Si,)

即ち母岩の変質に関連して a) の成分が下部より由来され、鉱化作用に伴つて b) 及び

第 2

No.	資 料 名	Ag	Al	As	Au	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Ge	In
1	流 紋 岩	+	卅		?							卅		
2	流 紋 岩 質 凝 灰 岩		卅		?		?					卅		
3	" " (珪 質)	卅	卅				+					+		
4	" " (粘土質)	+	卅				+					卅		
5	角礫凝灰岩(")	卅	卅		+							+		
6	粘 土 (赤色)	+	卅		?							卅		
7	" (白色)	?	卅									卅	+	
8	" (灰色)	卅	卅		+					?		卅		
9	重 晶 石 部	+	卅			卅						+		
10	黑 鈹 (塊狀)	卅	卅	+		卅		?				卅		
11	黃 鈹	+	卅	+		+	+	+			?	卅	?	
12	黑 鈹	+	卅	+		+	+	?			?	卅	?	
13	黃 銅 鈹 部	+	卅	?		?				?	?	卅	?	
14	" "	+	+	?			+	+			?	卅		
15	" "	?	+								?	卅		
16	閃 亜 鉛 鈹 部		卅	?				+				卅		?
17	黃 鉄 鈹 部	+	+	?		?		?			?	卅		
18	" "	卅	+	?			+				?	卅		
19	" "	卅	+	?							?	卅		
20	珪 鈹	+	+	+			?	+			?	卅		
21	" (鈹脈)	+	+	+	?		?				?	卅		
22	" (岩脈)	+	+	+	?		?				?	卅		
23	斷 層 粘 土	+	卅	+	?		+				?	卅		
24	珪 化 岩 石	+	卅	+	?	+	+				?	卅		
25	安 山 岩		卅		?							卅		
26	玄 武 岩	+	卅	?	?						?	卅		
27	砂 岩	卅	卅	?	?				+			卅		
28	安山岩質角礫凝灰岩		卅	?	?					?		卅		

[強度]

? + 卅 卅 卅

弱 ← ————— → 強

No. 1~4 :

No. 5~24 :

No. 25~29 :

表

Ir	Li	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Si	Sn	V	Zn	Zr	元 素	検出線 (Å)
		+	+			+	?	冊		+	?		Ag	3280.7
	?	冊 冊	+			+	?	冊 冊		+	?	?	Al	3092.7
	?	冊	?			+	?	冊		?	+	?	As	2349.8
		冊	+			+	+	冊	+	+	+	+	Au	2427.9
		冊 冊 冊	+		?	+	?	冊 冊 冊	?	+	+	?	Ba	3071.6
		冊 冊 冊	+		?	+	?	冊 冊 冊	+	+	+	+	Be	3321.3
		冊	+		?	+	?	冊	+	+	+	+	Bi	2897.9
		冊	+			+		冊		+	?		Cd	3403.6
		冊	+			+		冊		+	?		Co	3453.5
		冊	?			冊	+	冊		+	冊		Cr	2843.2
		冊 冊	+			冊 冊	?	冊 冊	+	?	冊 冊	+	Cu	3273.9
		冊 冊	+			冊 冊	?	冊 冊	+	?	冊 冊	+	Ge	3039.1
		冊				+		冊	+	+	冊	+	In	3256.1
?		+				?		冊	+	+	冊	+	Ir	{ 2849.7 3220.8
		+				+		冊	+	+	冊	+	Li	3232.6
		+				+		冊	+	+	冊	+	Mg	2852.1
	?	+	+			+	+	冊	?		冊		Mn	2576.1
+		冊 冊 冊				+	?	冊 冊 冊	+	?	冊 冊 冊	+	Mo	3170.3
		冊 冊 冊				+	冊 冊 冊	冊 冊 冊	+	?	冊 冊 冊	+	Ni	3414.7
		冊 冊 冊				+	冊 冊 冊	冊 冊 冊	+	?	冊 冊 冊	+	Pb	2833.1
		冊 冊 冊				+	冊 冊 冊	冊 冊 冊	+	?	冊 冊 冊	+	Sb	2877.9
		冊 冊 冊				+	冊 冊 冊	冊 冊 冊	+	?	冊 冊 冊	+	Si	2881.6
		冊 冊 冊				+	冊 冊 冊	冊 冊 冊	+	?	冊 冊 冊	+	Sn	3175.0
	?	冊 冊	?	?		+	?	冊 冊	+	+	冊 冊	+	V	3184.0
	?	冊	+	?	?	?	+	冊	?	+	冊	+	Zn	3345.0
	?	冊	+		+	+	冊	冊	?	+	冊	+	Zr	{ 3438.2 3392.0
	?	冊	+		+	+	冊	冊	?	+	冊	+		
?	?	冊	+		?	+	冊	冊	?	+	冊	+		
+	?	冊	+		+		冊	冊		+	冊	?		

上部層岩石・

鉍体 (No. 5~8. 松皮粘土, No. 9~13. 上盤側粘土化帯,
No. 14~22. 珪鉍帯).

下部層岩石・

c) の諸成分が齊らされたものと思われ、結果的に d) の成分が押し出されたものと推定する事が出来る。この様に微量成分の分布消長は下部より上部にかけて特性ある変化を示し、鈳床生成の各時期に於ける鈳液の化学的性質を或程度知る端緒ともなり得る。しかし乍ら岩相による差異は殆んどみられず、或は酸性岩、基性岩を問わず、鈳化作用が特定の或火成岩に関連すると言う積極的証拠も見だし難い。且つ又高温性鈳床に集中するとされている成分 (Sn, Cr, Ni, Cb, Pt, Pd, Mo, W 等) 中、Sn, Cr 等は可成り明瞭であるが、Co, Ni, Mo 等は極く稀にしか見られず、Pt, W 等は全く存在しない。一方低温性のものとされている成分では、Cu, Ag, Pb, Zn 等は勿論多量に分布するが、Ba, As, Sb, 等はさ程多くなく、Au, Ge, In 等は極めて稀である。従つて本鈳床はこれら諸成分の種類からは明らかに低温性であると言う結論を導き出す事は出来ないと考える。

第 11 図

m : モンモリロナイト S : 絹雲母 h : 加水ハロイサイト Py : 黄鉄鈳 ba : 重晶石
a : 明礬石 c : 緑泥石

8. 松皮粘土について

次に本鈳床に独特な存在である所謂松皮粘土について言及する。この松皮粘土はその上盤を流紋岩質凝灰岩によつて限定され、暗紫色角礫凝灰岩を母岩とし、常に鈳体を包むが如くこれに直接して略々層状に産出するが、時として鈳体内に脈状となり、或は一部鈳体と隔絶して存在する事もある。多くの場合母岩の角礫凝灰岩の構造をその儘残存せしめており、或は盤圧により圧砕され、力の方向に線構造を示す場合もある。一般に鈳体の中心部に於て優勢 (塊状黒鈳、重晶石を伴う、5~6 米) であり、末端に於て劣勢 (灰色粘土に移化、黄鉄鈳を伴う、5~6

米) となる。その色としては白~灰~青~緑~褐~赤色と種々雑多に存在し、これらが縞状に重り合い、或は一方の色から他方へと漸移的变化を示している。

示差熱分析 : 色による鈳物成分の差異は認められず、絹雲母及びモンモリロナイトを主とするもの、加水ハロイサイト及びモンモリロナイトを主とするもの、二種類が存在している (第 11 図, A, B, D)。いづれの場合にも硫化鈳物は存在しないが、時に少量の重晶石 (550°, 650°C 附近) 及び酸化鉄 (350°C 附近) を含む事がある。

X-線による解析 : これらの構成鈳物を更に明らかにする為、X-線による解析を行つ

第 12 図 松皮粘土の電子顕微鏡写真

- (A) (赤色粘土) 芋状, 団塊状をなす絹雲母 $\times 1600$
 (B) (白色粘土) ハロイサイトの短柱状集合 $\times 2500$
 (C) (灰色粘土) 主として団塊状, 鱗片状加水ハロイサイトよりなる $\times 2500$ (D) C に同じ

た。その結果を第 3 表に示す。これによれば A 及び B (松皮粘土)は絹雲母, 加水ハロイサイト及び加水ハロイサイト, モンモリナイトに夫々同定される。C は灰色粘土で加水ハロイサイトを主とし, モンモリナイト, 緑泥石等も存在するもの、様である。なお第 11, 12 図, A, B, C 及び第 3 表 A, B, C は夫々同一試料である。

化学組成： 第 4 表は松皮粘土を鉍体近接部より表土迄分析した結果である。中心部に比して表土附近は K_2O が多くなり, カリ化作用が認められ, 白色部が主として加水ハロイサイトより, 赤色部が主として絹雲母より夫々なっている事実と一致している。又 Fe_2O_3 , MgO が多く, Al_2O_3 が少くなり, pH が増大し, 鉍液が中心部より次第に酸性度を減じて行つた事が示されている。

以上の如く松皮粘土は主として絹雲母, 加水ハロイサイト, モンモリロナイト等より構成されているが, これらは一般に原岩である暗紫色角礫凝灰岩の色と非常に酷似し, 且つ原岩の構造を屢々よく残存せしめている点, 松皮粘土は寧ろ原岩がその儘の姿で上昇熱気により, 物質を下部よりあまり供給される事なく結晶の再配列を行つた結果と推定される。そしてこれが鉍床末端部に於ては早期粘土化作用により脱色された母岩の Fe 成分が上昇 S の存在により黄鉄鉍を生成したものと思われる。一方 鉍体中心部に於ては S は

第 3 表

A, (赤褐色)		B, (白色)		C, (灰色)	
d	I	d	I	d	I
7.23	10	7.28	100	14.43	50
4.52	10	4.46	60	10.15	20
4.26	25	3.62	65	7.18	100
3.71	5	3.59	70	4.76	65
3.46	5	2.57	35	4.48	20
3.35	100	1.488	15	4.27	35
2.57	5			3.56	75
2.46	10(b)			3.35	90
2.28	5			3.16	15
2.24	5			3.14	15
2.13	5			2.85	20(b)
1.984	5			2.71	80
1.819	10			2.56	15(b)
1.673	5			2.42	55
1.543	10			2.39	20
1.382	5			2.21	35
1.375	10			2.01	20
1.373	10			1.916	30
				1.638	65
				1.565	20
				1.485	20

第 4 表*

	白 色	白 色	赤 色	赤 色	赤 色
SiO ₂	44.78	44.31	50.67	43.74	59.62
Al ₂ O ₃	34.56	34.74	24.42	28.65	17.39
Fe ₂ O ₃	1.61	1.01	6.79	5.45	6.43
MgO	1.03	0.82	1.39	1.72	2.86
CaO	0.49	0.63	0.97	0.81	1.08
Na ₂ O	0.94	1.27	2.81	0.66	0.99
K ₂ O	0.20	—	0.68	0.24	1.18
H ₂ O(+)	10.56	10.51	7.09	9.22	4.99
H ₂ O(-)	6.31	7.07	5.31	8.97	5.83
total	100.48	100.35	100.13	99.46	100.27
pH.	6.7	6.6	6.8	7.0	7.25

鈳 体 近 接 部 ←————→ 表 土

Ba と共に重晶石の晶出に費やされ、これに伴つて松皮粘土の形成が行われたものであろう。かくして弱酸性～中性の条件下で加水ハロイサイト、モンモリロナイトが形成され、これが外方に向うにつれて中性～弱アルカリ性となり、絹雲母、モンモリロナイト等を生成して行つたと思われる。

9. 総 括

- 1) 鈳床附近一帯、特に珪化帯附近で珪化作用が顕著に行われた。この際岩質によ

* 吉野鈳業所探査課資料

第 13 図

珪
化
帯	{	1. 珪化岩中の割目、弱線に沿う鉍石、重晶石、石英等の細脈の形成。
		2. 脈が生長し、更に内部迄浸透。
		3. 脈は粉状鉍石を含み、全体が鉍染鉍と化する。
		4. 脈は次第に拡がり、一見粉状鉍石中に鉍染状珪化岩の礫をもつ如き様相を呈す。
粘
土
化
帯	{	5. 擬似礫は次第に粘土化し、粉状鉍石中にも粘土を混在す。
		6. 粘土化礫は盤圧により扁平状と化し、粉状鉍石は時として縞状排列をなす。
		7. 略々完全に粉状鉍石及び粘土鉍物の密雑共生体と化する。
		8. 閃亜鉛鉍及び重晶石濃集し、塊状となる。

り変質程度も異なり、角礫凝灰岩では広範、低度に、砂岩では狭隘、高度に珪化されたとと思われる。但しここでは晩期の鉍化作用に伴う石英の晶出も共に影響を与えている。

(2) 珪化作用に続いて鉍化作用と密接な繋りを持つ粘土化作用が下方より始まり、先に行われた珪化作用の位置による程度の差異、岩相の相違により、現在の下盤粘土化帯が形成され、一部は珪化帯を通過して上盤に迄及んで行つたと思われる。

3) 粘土化作用に引続いて鉍液が上昇し、先の変質作用により略々規定された位置に選択的にこれを鉍染交代し、上盤側に進むにつれて珪鉍、粉鉍、塊状鉍、重晶石等を生成沈澱せしめて行つたと思われる。この鉍化作用の変遷過程を示せば第 13 図の通りである。

4) 上記鉍化作用に於て鉍石、重晶石を略々沈澱し尽した残液により松皮粘土が生成された。そしてこれら一連の鉍化作用はすべて流紋岩質凝灰岩により限界を示したものと推定される。

10. 考 察

本鉍床に於ける変質作用並びに鉍化作用に預かつた所謂“solution”は地下深所に於て寧ろ酸性であつたものと推定される。所でこの様な鉍床を生成する場合、その“solution”は特定の金属元素その他を除けば物質が地下深所より由来されたものとする必要はなく、これら一連の鉍化作用に於て“solution”は母岩中の成分の溶脱、移動、濃集などを行う溶媒の役目をなしたにすぎないと思える事ができる。即ち地下深所より由来された“solution”が比較的深部の母岩の SiO_2 を溶脱しこれを上部にもたらした結果珪化作用が助長されたと考える事ができ、この場合若し“solution”が酸性であつたとすれば SiO_2 は溶かされず寧ろ析出する結果となり、本鉍床を生成した“solution”

が酸性であつた事と矛盾する事になるが、しかし乍ら“solution”が充分高温、高压でありさえすればその pH 如何に拘らず可成りの SiO_2 が溶かされる事が Morey, Hesselgesser¹⁾ によつても明らかにされている所であり、これが上昇し温度の低下に伴つて周囲に SiO_2 を添加したものと考えて差支えない事になる。そして同時に母岩に含まれる SiO_2 以外の諸成分を溶脱し、 SiO_2 のみをその場に残存せしめ、多孔質で鉍石を沈澱し易い構造を形成したものであると考える事ができる。

一方地下深所に於て高温酸性であつた“solution”は上昇と共に温度が低下し (pH が増大する)、次第に低酸性となつて諸種の粘土鉍物を沈澱せしめ、その結果“solution”自身の硫酸の濃度を高めるに至り、珪化帯に至つて或程度 SiO_2 以外の成分を溶脱せしめた後、そこに硫化鉍物を沈澱し、重晶石をも沈澱せしめて行つた。そして同時に外方に向つて酸性度を低下しつゝ、松皮粘土を形成して行つたものと思われる。

又粘土鉍物の生成条件から考察するに、Stringham²⁾ によればカオリナイト、明礬石は弱酸性、絹雲母、緑泥石は臨界温度以下で中性、モンモリロナイトは弱アルカリ性であり、カオリナイト—モンモリロナイトの共生関係を pH のみにて解釈する事は多少の危険を感じしめるが、しかし乍ら酸性と言ひアルカリ性と言うも決して明確なものではなく、従つて Stringham の報告も概略の傾向を示したにすぎないと思われ、しかも現実には於てこれら鉍物の共存は寧ろ普通の事柄であり、或は Roy, Osborn³⁾ の結果によつてもカオリナイト—モンモリロナイトが安定相として共存している事が示されている様に厳密な pH 値を云々する事は當を得ていないものと考えざるを得ない。

次に問題となるのは本鉍床の如き黒鉍式鉍床が他の浅成低温型のそれと異なり、層状の広範な分布を示す事である。この様な形態について言えば先づ地質構造の問題はさておき、最も大きな要因となるものは“solution”の物理化学的性質と思われる。即ち鉍脈型のものであつた場合、その“solution”は液—膠状と考えて差支えない様に思われるが、本鉍床の如きかゝる形状の生成に関して液—膠状を考える事は可成り不合理と思われる、更に高いエネルギー状態にあるガス状のそれを想定せざるを得ない。その反応機構も勿論イオン置換に基づくものである。所で一方此の種の鉍床が低温であるとすればガス状よりも液—膠状を想定するのが妥当の様に思われるが、しかし乍ら若しその“solution”が揮発性物質を多量に含む場合には可成り低温になつてもガス状のそれが安定相として存在し得る筈であり、この事は一面に於て此の種鉍床が多量の粘土鉍物を伴う事実からも或程度妥当性があるものと考えられる。それにしてもかゝる形態に対してあまり低温性を考える事は妥当性を欠く様に思われ、これ迄浅成低温性の鉍床がせいぜい 100°~150°C 位に考えられてきているわけであるが、黒鉍式鉍床ではもつと高温度を考えるべきであると推論される。そしてこの事は分光分析の結果からも或程度の可能性をもつて予測され得る事柄である。しかし乍らこれらの諸問題について簡単に結論を下す事は早計であり更に今後共充分な吟味が必要とされるであらう。

1) Morrey, G. W. and Hesselgesser, J. M. : Econ. Geol., **46**, 821~835, 1951.

2) Stringham, B. : Econ. Geol., **47**, 661~664, 1952.

3) Roy, R. and Osborn, E. F. : Amer. Min., **39**, 11~12, 1954.