

氏名・(本籍)	ね だち むね とも 根 建 心 具
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 第 4 5 1 号
学位授与年月日	昭和49年12月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
最終学歴	東北大学大学院理学研究科 (修士課程) 地学専攻修了
学位論文題目	Mineralization of the Kohoku gold, silver and copper ore deposits, Miyagi Prefecture, Japan. (宮城県興北鉱床の鉱化作用)
論文審査委員	(主査) 教授 竹内 常彦 教授 植田 良夫 教授 青木 謙一郎 助教授 山岡 一雄

論 文 目 次

- Abstract
1. Introduction
 2. Acknowledgments
 3. Outline of the geology
 4. Outline of the Kohoku ore deposits
 5. Mineral assemblages of the Ryusei No.3 vein swarm
 6. Compositional change of each ore mineral
 7. Fluid inclusions of quartz from the Ryusei No.3 vein swarm
 8. Granitic rock as a source rock of ore
 9. Consideration of the physico-chemical conditions during deposition of the Kohoku deposits
 10. Summary
- References

論文内容要旨

東北日本、北上山地には古生層および中生層中に数多くの金銀鉍脈鉍床があり、第三紀金銀鉍脈鉍床とは、地質学的環境、構成鉍物等に顕著な差異が認められる。従来これらは、生成条件及び機構が、かなり異なるだろうと推定されていたが、具体的、定量的な議論は皆無に近い。

筆者は、北上山地のこれらの鉍床のうち、現在唯一の稼行鉍山である興北鉍床をとりあげ、そこに産する鉍物の産状を記載すると同時に生成環境と沈澱機構を解明した。又、従来地質学的見地から鉍化作用に関連が深いとされている折壁花崗岩体を磁気学的、地球化学的に検討し、その成因的結びつきを追求した。

当地域は宮城県気仙沼西南部に位置し、主に中生代堆積岩と、折壁花崗岩体からなる。興北鉍床は折壁花崗岩体東部の中生代白亜紀の新月層中に胚胎している。興北鉍床は数本の鍾からなり、筆者は主に隆盛3号鍾を調査した。この鍾は生成順に次の3つの鉍体からなる。

- 1) 硫砒鉄鉍—黄鉄鉍—磁硫鉄鉍 鉍体
- 2) 黄鉄鉍—磁硫鉄鉍—黄銅鉍 鉍体
- 3) 方解石鉍体

さらに2)は、その鉍物共生関係から次の4つに帯状区分できる。

- 2-a) 黄鉄鉍帯
- 2-b) 磁鉄鉍帯
- 2-c) 黄銅鉍—磁硫鉄鉍—閃亜鉛鉍帯
- 2-d) 閃亜鉛鉍—方鉛鉍帯

これら、鉍物共生関係はFig.1 に示したが、固溶体をつくる鉍物についてEPMAでその組成を測定したところ、次の点が明らかになった。

- a) 1)の硫砒鉄鉍にはCoが最大5.4%まで含まれ、不均質で、成長にともなう顕著な帯状分布を示す。又、As/S比は鉍体上部あるいは周辺部のものほど小さな値を示し、clarkの相平衡図を用いると、その生成温度は360~490℃と推定される。
- b) 閃亜鉛鉍は2)および3)の鉍体で見られるがそのFeS mole%は10.7~16.2%で鉍体あるいは分帯毎の差はあまり顕著でない。閃亜鉛鉍は、単斜晶系磁硫鉄鉍・黄鉄鉍と共生しておりScott and Kissinの相平衡図から180~260℃の生成温度が考えられる。
- c) エレクトラムは鉍床全体に分布しているが、組成変化が激しく、Ag atomic%は2-a)で14~40%、2-d)で56~65%と後期晶出のものほどAgが多くなっている。1)では30%前後、3)では26~54%程度である。
- d) 黄鉄鉍は少量のCoを含有する(最大1.5%)が2-a)で最も高く、1)の黄鉄鉍が0.5%程度含有している。その他の鉍体あるいは分帯からの黄鉄鉍中にはほとんどCoは存在しない。

隆盛3号鍾の石英中には流体包有物が多数存在し、形は小さく、測定個数は少ないが、1)の硫砒鉄鉍—黄鉄鉍—磁硫鉄鉍体を除いて、他の鉍体でその充填温度を測定することができた。その結果

- 2-a) 151~301℃

Figure 1. Paragenetic section of the Kohoku ore deposits.

Minerals	Asp-Py-Po ore body	Py-Cp-Po ore body				Cal ore body
		1*	2*	3*	4*	
garnet	-					
amphibole	-----					
topaz	-					
flourite	-					
epidote	-----	---				
apatite	-----	---				
tourmaline	-----	-----				
anatase	-----	-----				
muscovite	-----	-----				
chlorite	-----	-----				-----
carbonate	-----	-----				-----
quartz	-----	-----				-----
arsenopyrite	-----					
pyrite	-----	-----				-----
pyrrhotite	-----	-----				-----
uraninite	-----					
molybdenite	-----	-----				
hematite			-----			
magnetite			-----			
chalcopyrite	-----	-----				-----
electrum	-----	-----				-----
scheelite	-----	-----				-----
sphalerite				-----		-----
hessite				-----		
tellurobismuthite				-----		
cosalite				-----		
matildite				-----		
galena				-----		

1*;pyrite zone, 2*;magnetite zone, 3*;chalcopyrite-pyrrhotite
-sphalerite zone, 4*;sphalerite-galena zone.

- 2-b) 253 ~ 271 °C
- 2-c) 223 ~ 261 °C
- 2-d) 229 ~ 238 °C
- 3) 180 ~ 300 °C

となった。ネッキングダウン等がなければ二次成の流体包有物は一般に低い値を示すことから、各々の最高温度を生成温度と扱うことが可能である。尚、流体包有物の凝固点は約-7 °Cであった。地質温度計になりうるものとして、他に BiAgS_3 - PbS 固溶体からの離溶現象 (> 193 °C)、黄銅鉱からの閃亜鉛鉱の離溶 (> 350 °C) 等があげられるが、既に述べた磁硫鉄鉱及び閃亜鉛鉱中の FeS 量を含めて、最も信頼できるのは、流体包有物の充填温度であり、これらをまとめると次のように生成温度が推定できる。

- 1) > 300 °C, 2-a) 300 °C, 2-b) 270 °C, 2-c) 260 °C, 2-d) 240 °C, 3) ?

折壁花崗岩体は斑粉岩、モンゾニ閃緑岩、および花崗閃緑岩の3つの岩型に分けることができる。

Ti-Fe-O 系不透明鉱物を EPMA で分析した結果、 α series (チタン鉄鉱-赤鉄鉱固溶体) 中の MnO は全岩の S.I. に対して連続的に増加する傾向があり、3岩型の間には特に不連続性は認められない。 β series (ウルボスピネル-磁鉄鉱固溶体) 中の Cr_2O_3 , Al_2O_3 および TiO_2 は各岩体内では早期晶出のものほど高い値を示し、斑粉岩とモンゾニ閃緑岩との間には不連続が認められる。又、ウルボスピネルと β series が平衡共存すると考えられるチタン鉄鉱との間の MnO/FeO を調べると、斑粉岩と花崗閃緑岩中のものはきわめてバラつく。尚、マグヘマイトの生成はほとんど認められず、赤鉄鉱端成分に近いものはまれに見られる。

硫化鉱物は、斑銅鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱および磁硫鉄鉱が認められ、前二者は斑粉岩とモンゾニ閃緑岩中に多く、後二者は、花崗閃緑岩に多い。

3岩型のうち、興北鉱床の生成と最も関係の深かった岩型を求めるために、火成岩および鉱石の残留磁気を測定した。既に述べたように EPMA および鏡下での観察から、岩石の残留磁気は β series に帰因する(磁硫鉄鉱、赤鉄鉱も磁性鉱物であるがその量は極少量であり、ほとんど影響がない)。鉱石は前述の 2-c) すなわち、黄銅鉱-磁硫鉄鉱-閃亜鉛鉱帯からサンプリングしたものであり、磁性の担い手は磁硫鉄鉱である。残留磁気の測定に先だち、交流消磁により残留磁気の安定性の吟味をしたが、いずれも安定性が高く、生成当時の地球磁場を反映していると結論できる。残留磁気の測定結果を Fig.2 に示した。花崗閃緑岩の残留磁気の方向は鉱石のそれとよく一致し、モンゾニ閃緑岩よりも興北鉱床と成因的關係が深かったと考えられる。

折壁花崗岩体の3つの岩型について流体包有物を調べた結果、 NaCl 結晶を有する包有物は花崗閃緑岩中に最も多く、逆に斑粉岩中にはまったく見出せなかった。

燐灰石、普通角閃石および黒雲母中の塩素を EPMA で定量した。全岩の S.I. に対してその変化を調べると、普通角閃石中には塩素は少なく、燐灰石については複雑であり、又黒雲母中のものが最も単純である。これは、燐灰石が結晶後、液相中での浮遊が原因と考えられるので、黒雲母について議論する。結果を Fig.3 に示す。斑粉岩中の塩素は一般に低く、全岩の S.I. に対して増加の傾

Figure 2. Relation of each mean direction of NRM of granitic rocks and ores.

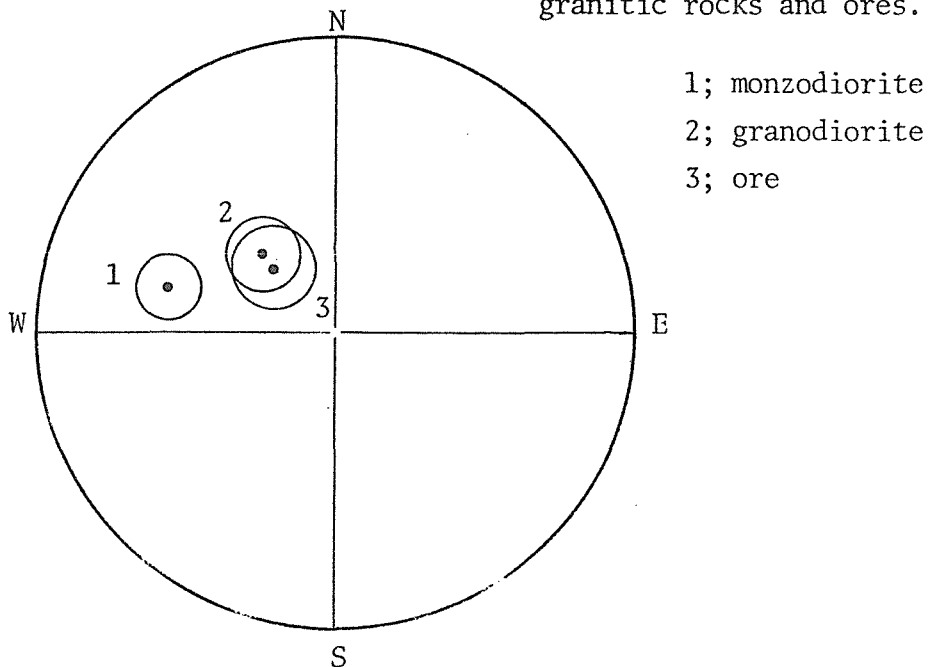
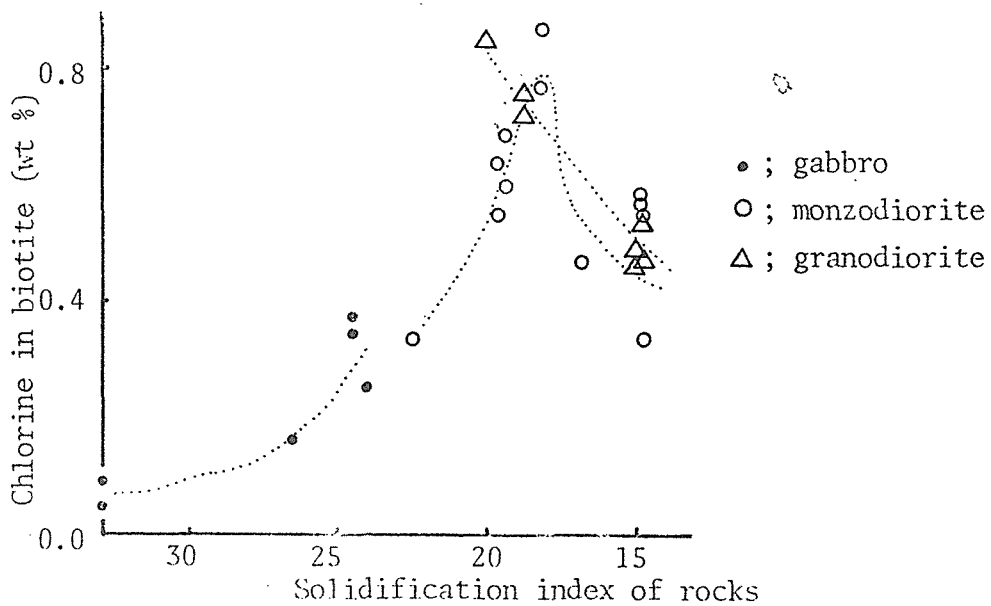


Figure 3. Variation diagram of chlorine content of biotite with solidification index of rocks.



向が認められる。モンゾニ閃緑岩中では増加から減少の傾向を示し、花崗閃緑岩では、絶対量は多いが、減少の傾向がある。筆者はこの原因を花崗岩質マグマの水の含有量に求めた。すなわち、Kilinc and Barnham (1972) によれば花崗閃緑岩—水系において、液相と気相間の塩素の分配係数は1 : 40 (6 Kb以下) で気相中により多く分配される。したがって気相が存在しないマグマでは晶出が進むにつれ液相中の塩素は増加し、黒雲母と液相間の塩素の分配係数がほぼ一定であれば、その履歴は黒雲母にも表われる。気相が出現し、マグマが水について開放系であれば、液相中の塩素は気相中へ移動し続け、黒雲母中の塩素は減少の傾向をたどると考えられる。

一方、Holland (1972) によれば、気相中の塩素の量がマグマ中の液相—気相間の卑金属の分配を決定し、塩素が多いほど気相中に分配される。既に述べたように、他岩型に比較して、花崗閃緑岩中に銅鉱物がないのは、塩素濃度が高く気相中へ移動しつくしたためと考えられる。

最初に述べたように、筆者は当鉱床の鉱物共生関係、生成温度、塩濃度を観察、測定した。

Helgson や Holland 等の熱力学的諸量を用いて当鉱床の生成環境を推定した。

a) f_{S_2} および f_{O_2} : 主に Fe-S-O 系の鉱物共生から次の結果を得た。

$$2-a) \quad -\log f_{O_2} = 33.7 \sim 36.0, \quad -\log f_{S_2} \doteq 11.2$$

$$2-b) \quad -\log f_{O_2} \doteq 31.0, \quad -\log f_{S_2} = 9 \sim 10$$

$$2-d) \quad -\log f_{O_2} = 39.0 \sim 41.0, \quad -\log f_{S_2} \doteq 14.5$$

b) pH および Eh : 温度、 f_{S_2} 、 f_{O_2} 、塩濃度および pH がわかれば全硫黄溶存量が計算でき 300°C ~ 200°C 間で全硫黄溶存量が一定であれば、温度及びフュガシティー変化による硫化鉱物の沈澱量も計算できる。この計算結果と実際の鉱量とを比較させれば、最初に仮定した pH と、既に決まっている f_{O_2} を使えば、水の解離平衡から Eh も求めることができ、

$$2-a) \quad \text{pH} = 3.0 \sim 4.1, \quad \text{Eh} = -0.18 \sim -0.13$$

$$2-b) \quad \text{pH} = 2.9 \sim 4.5, \quad \text{Eh} = -0.09 \sim +0.08$$

$$2-d) \quad \text{pH} = 5.8 \sim 8.2, \quad \text{Eh} = -0.60 \sim -0.40$$

という値が得られた。

これらの計算結果と鉱物の帯状分布から興北鉱床生成に関係した主な金属イオンの溶存量は推定され次のようになる。

$$\log m_{\text{Fe}^{++}} \doteq -3.5, \quad \log m_{\text{Cu}^+} \doteq -4.4, \quad \log m_{\text{Zn}^+} \doteq -4.9$$

$$\log m_{\text{Pb}^+} \doteq -9, \quad \log m_{\text{Au}^{++}} \doteq -8.0, \quad \log m_{\text{Ag}^+} \doteq -6.4$$

折壁花崗岩質マグマから発生した気相は、やがていわゆる流体となり、途中の母岩からの吸収も含めて上記の金属イオン濃度を有し、温度の低下、母岩との反応の末、鉱石を沈澱しはじめた。金銀を主に沈澱させた時期には、pH はほぼ中性で、かなりの還元環境であったと考えられる。尚マグマ中の塩素、および金属イオンの起源、それに気相と母岩の混成作用については、今後検討せねばならぬ。

論文審査の結果の要旨

北上山地の古生層，中生層中の鉍脈型鉍床が第三紀の鉍脈とは著しく性状を異にしていることはよく知られているが，その生成条件および機構については殆んど研究が行われていない。

本論文は宮城県気仙沼の西南に位置する興北鉍山について，地質，火成作用，鉍床，鉍石について近代的手法による詳細な研究を行い，鉍床の生成環境を推定した結果で，次の諸点を解明している。

地質学および磁気学的研究の結果，鉍化作用と関連をもつ火成岩は折壁花崗岩類の中の花崗閃緑岩である。

鉍体はその生成順に次の3期に分離される。

- (1) 硫砒鉄鉍－黄鉄鉍－磁硫鉄鉍帯
- (2) 黄鉄鉍－磁硫鉄鉍－黄銅鉍帯
- (3) 方解石帯

(2)はさらにその鉍物共生から2-a黄鉄鉍帯，2-b磁鉄鉍帯，2-c黄銅鉍－磁硫鉄鉍－閃亜鉛鉍帯，2-d閃亜鉛鉍－方鉛鉍帯，の4つに区分できる。

石英中の流体包有物の充填温度，鉍石鉍物の性質から，次の生成温度が推定される。

- (1) $> 300^{\circ}\text{C}$ ，(2-a) 300°C ，(2-b) 270°C ，(2-c) 240°C ，(3) $< 240^{\circ}\text{C}$

共生する鉍物は顕微鏡，X線，EPMAなどにより28種を同定し，とくにBi, Te, Asなどを含む希希鉍物を明確に決定している。

さらに，折壁花崗岩類中の燐灰石，普通角閃石，黒雲母中の塩素の測定，流体包有物の塩濃度の測定，鉍物共生関係などの結果をもとに，鉍床生成の際の f_s ， f_o ，pH，Eh，金属イオンの溶存量を推定し，折壁花崗岩類を生成したマグマから鉍石を沈澱するにいたる環境を明らかにしている。

本研究は鉍床学の新しい分野について，よく検討されたもので多くの知見を興えたものといえることができる。よって審査員等は本学位申請論文を合格と判定する。