

掘・溝掘は勿論簡単なハンドボーリングをも併用するのが望ましい。

b) 石油徴候

調査地域内において地質図に示した如く、3カ所に石油徴候を認める。青倉温泉および南白沢の石油徴候は温泉に僅かに石油臭を伴うもの、また秋鳥沢のそれは、水面にいわゆる「キラ」を認める程度であつて、いづれも本格的石油徴候とは称し難い。

c) 温泉および冷泉

調査地域内の温泉および冷泉の分布は地質図(第1図)に示した通り極めて多く、殊に葛根田川に沿つて滝ノ上温泉より上流約2 kmの間は至る処温泉の湧出をみ、硫気孔をも伴っている。温泉および冷泉の性質はいづれも硫黄泉に属する。

d) その他

調査地域内特に葛根田川沿岸諸処に、しばしば石英脈の侵入を認める。脈幅は1~2 cmより15 cm程度のも

ので、走向傾斜は一定しない。肉眼的には金属鉱物の随伴を認めないが、石英脈の存在することは、熱水溶液による鉱化作用の行われたことを暗示し、葛根田川沿岸地域はこの意味からも鉱床探査上注目に値するものと考えられる。

6. 結 論

以上を要するに、調査地域はその大部分が新期火山岩類および火山噴出物を以つて構成され、これ等は岩質および分布上、葛根田・高倉・大白森・笹森・烏帽子・大松倉および犬倉の諸火山に分類され、その中葛根田火山第一熔岩および高倉火山第一熔岩には鉱化作用による変質帯が賦存する。この変質帯は観察された範囲内では低品位の鉱染昇華硫黄鉄床を伴うのみであるが、いづれも他に高品位鉄床の可能性を有し、特に県境附近の変質帯は注目に値するもので、将来一層精密な調査を必要とする。

(昭和25年7~8月調査)

549.324.31:548.5(521.76):550.8:622.19

神戸鉱山に於ける黄鉄鉱の晶相変化について

砂 川 一 郎\*

Résumé

Variation of Crystal Habit of Pyrite at Kanbe Sericite Deposit

by

Ichiro Sunagawa

The writer has disclosed in his previous works the two following results regarding to the variation of crystal habit of pyrite in the replacement ore deposits of Hanaoka and Wanibuchi Mines. (1) Crystal habits of pyrite indicate to have a tendency on the range of grain sizes in the following order such as cubic → octahedral → pentagonal, the last being of the largest. (2) When pyrite is formed under the same mineralizing condition, the degree of crystal change seems to be much influenced by difference of

properties of original rocks. The degree is intense in a loose rock, such as volcanic tuff in which the pyrite might easily be crystallized, while it is slight in a compact rock, such as shale.

Here, the writer discusses differential degree of crystal habits of pyrite in a same original rock according to the different grade of mineralization. He has investigated this problem at Kanbe Sericite deposit. The pyrite in the mine scattered throughout associated with sericite, as a product of chemical reaction between Fe of original rock and permeated mineralizer containing such as S, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O etc. Relation between the grades of sericitization and the grain sizes of pyrite as well as the amount of remained mafic minerals in the rock is tabulated as below.

\* 地質部

Zone § Mineral	(1)	(2)	(3)
Sericite	+++	++	no
Silica	no	++ (porous)	+++ (porous)
Pyrite	large & +++	small & ++	no or very rare
Mafic	no	no	+++

Note — § ... classified as degree of sericitization.

Zone (1), main ore body.

Boundary between each zone is definite.

Country rock is chloritized diorite, pyrite and sericite being not detected.

The changing degree of crystal habit according to the sizes of crystal grains, as clearly shown in Fig. 8, is most intense in zone (1), but slight in zone (2). That is to say, the degree may be attributed to the function of the grade of sericitization, or of the difficulty in growth of pyrite. However, this conclusion is applicable only for the pyrite which crystallized by chemical reaction, but not for the one from saturated solution as pyrites in mineral veins.

Further, the relations between the size of crystals and the frequency of appearance of marformed and twinned crystals are also discussed in this paper.

## 1. 序 言

奈良県宇陀郡神戸村・多武峯村附近一帯には、水銀およびアンチモン—鉱床ともなつて絹雲母の鉱床が数多く分布している。これらはいづれも規模が小さく、実際に採掘されたのは神戸村本郷にある神戸鉱山だけのようである。

ところで、この絹雲母鉱床中には、最大1cm、通常0.5cm程度の黄鉄鉱の完全な結晶が散点的に晶出している。この黄鉄鉱には特殊な結晶面は認められないが晶相の種類に富んでいることと、結晶の完全なこと、および規則的結合の多いことによつて、古くから有名であつた。<sup>1) 2) 3)</sup>

筆者は、黄鉄鉱の晶相変化の研究の一環として、神戸村本郷神戸鉱山における黄鉄鉱について、主として絹雲

母化作用の程度との関聯において、2, 3の統計を行つてみた。その結果が以下の記述である。筆者が調査した際、神戸鉱山は休山同様の状態であつたため、充分な調査を行うことができなかったが、その点の不足は、岩生周一技官の詳細な調査資料を借していただくことによつて補うことができた。この点特に同技官に深謝する次第である。また調査に當つて便宜を頂いた同鉱山諸氏に深く感謝の意を表したい。

## 2. 黄鉄鉱の産状

神戸鉱山は奈良県宇陀郡松山宇陀町の西方約2kmの神戸村本郷部落にある。この附近一帯には、Hg, Sbおよび絹雲母の鉱床が多く、露頭も各所に散在している。立見辰雄<sup>4)</sup>によると、一般的な傾向として宇陀町以東ではHgを主とする鉱床が多く、以西ではSbおよび絹雲母鉱床が多いということである。

神戸鉱山は、主として閃綠岩中に胚胎している輝安鉱および絹雲母の鉱床を稼行しているもので、鉱体は走向EW乃至N60°E、傾斜50°~70°S、延長40~50m、幅0.3~7m、深さ50m以上の上下にのびた扁平筒状をなしている。従來の調査結果を総合してみると鉱床の上部は、石英質脈でその中に輝安鉱・辰砂の結晶を含み、Sb鉱として採掘されたことがあるという。この石英質脈の兩盤には、絹雲母の帯をともし、母岩とはかなり明瞭な境をもつて接している。この絹雲母中にも輝安鉱・黄鉄鉱等の硫化物が存在するが、輝安鉱の量は石英質の部分に比べると少い。またこの絹雲母中にはしばしば石英質塊を胚胎し、その量は下部に比べると、上部の方で特に多いということである。<sup>5)</sup>ところが、鉱床の下部では、上部のような石英質脈は見られず、絹雲母を主とした鉱床に移化する。この絹雲母鉱床中にも輝安鉱は見られるが、その量は上部に比して問題とするに足りない。たゞし黄鉄鉱の量および結晶の粒度は上部よりも多くかつ大きくなつていようである。残念なことに、筆者の調査した際、充分に観察できた坑道は最下部の絹雲母採掘のための一坑のみで、他にわづかに4坑の一部を観察することができただけであり、上部の石英質脈の部分の詳細に調査することができなかったため、上述のような一種の帯状分布、深さによる鉱脈の性質の変化についてより詳細に立ち入ることはできない。しかし1坑において観察したところによると、そこでもある種の水平的な帯状分布が認められ、それと黄鉄鉱の晶相変化との間にある関聯が存在するように思われるので、これについては以下にやゝ詳細に述べたいと思う。

1坑は立入総延長約500mで、その大部分が閃綠岩中にあるが、部分によつて半花崗岩質の堅硬緻密な岩石が

神戸鉱山に於ける黄鉄鉱の晶相変化について (砂川一郎)

岩脈状に貫いている。閃緑岩は等粒状、有色鉱物の量多く黒緑色を呈し、斜長石の量は他の成分鉱物の量に匹敵する。成分鉱物は角閃石・黒雲母・斜長石・正長石・磁鉄鉱・燐灰石・石英である。鵜川平八郎によると  $\text{SiO}_2$  はほぼ 61% であるという。絹雲母脈は  $\text{N}50\sim70^\circ\text{E}$  の走

向をもち、大小数本あるが、主鉱体以外は微々たるものであり、大きく見れば主鉱体とほぼ同性質であるから、主鉱体についての状態を記述することにする。主鉱体を中心とした母岩の変質状況は、第1図に示したように一種の累帯を示している。

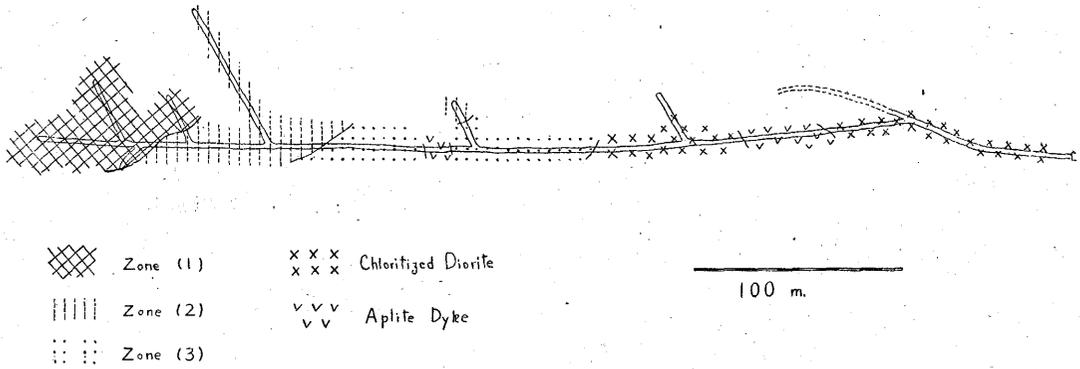


Fig. 1. Zoning in Kanbe sericite deposit.

すなわち

(1) 鉱体中心部は完全に絹雲母となつており、その中に石英の残留を示さない。黄鉄鉱は結晶が甚だ大型であつて、8あるいは4メツシユ以上のものまで見られる。母岩の原形は全く消失し、また mafic mineral も完全に消失している。

(2) (1) の外側の帯は、全体として灰白色で、甚だしく多孔質でさがざの状態の石英と、その孔隙の間を充填する絹雲母とよりなつてゐる。そして絹雲母の方が石英分よりも多い。黄鉄鉱は 14 乃至 28 メツシユ以下の小型で mafic mineral はほとんど残つていない。

(3) (2) の外側の帯では、母岩はかなり原形を止め、絹雲母の小さいポケットが散点的にできている。黄鉄鉱はこの絹雲母の小塊中にわずかに晶出しているのみで、それ以外の部分には見られず mafic mineral はほとんどそのまゝの形で残存している。

(4) やゝ緑泥石化を受けているような堅硬な母岩、絹雲母も黄鉄鉱も生成されていない。

鉱体を中心とする大体以上の zoning で特徴的なことは、主鉱体より遠ざかるに従つて段階的に

- (1) 絹雲母の減少
- (2) 石英の見掛上の増加
- (3) 黄鉄鉱の粒度の低下と消失
- (4) 残留 mafic mineral の出現

の4つがあげられる。ところで、これらの傾向から次のような問題が提供される。

(a) mafic mineral の消失と黄鉄鉱の生成との関係。いいかえれば、黄鉄鉱の Fe は原岩中の主として

mafic mineral の Fe に由来するのではないかという疑問。

(b) 鉱化作用の過程における  $\text{SiO}_2$  の挙動。すなわち、完全な絹雲母化によつて余剰となつた原岩中の  $\text{SiO}_2$  はどこに移動したか。あるいは、(2)乃至(3)帯に見られる多孔質石英は、石英分他からの添加による増加か、それとも斜長石が絹雲母に変質した結果、母岩中の石英分だけが残留しているため見掛上の増加に過ぎないかどうか。換言すれば、神戸鉱山における鉱化作用の過程において、 $\text{SiO}_2$  は他から加えられたものであるか、それと

Tadle 1 Chemical analysis of Sericite from Kanbe mine

	45.00%	47.75%	46.46%	48.20%
$\text{SiO}_2$	45.00%	47.75%	46.46%	48.20%
$\text{TiO}_2$	.....	0.30	0.38	0.05
$\text{Al}_2\text{O}_3$	36.96	37.08	34.19	35.13
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.55	0.16	0.55	0.74
$\text{FeO}$	0.03	0.48	0.17	0.02
$\text{MnO}$	.....	0.09	none	none
$\text{MgO}$	0.28	1.26	1.70	1.01
$\text{CaO}$	0.80	0.64	none	0.08
$\text{Na}_2\text{O}$	4.30	0.50	0.73	tr.
$\text{K}_2\text{O}$	6.23	5.43	6.65	5.57
$\text{SO}_3$	.....	0.20	1.34	0.32
$\text{H}_2\text{O}(+)$	.....	6.05	7.07	8.61
$\text{H}_2\text{O}(-)$	.....	0.93	1.45	1.17
Ig. loss	6.10			
Total	100.25	100.85	100.49	100.90
Anal.	Takubo	Minato	"	"
Date	1947	1949	"	"

も鉱化を受けた原岩自身の中での移動があつたに過ぎないか否かという問題。

ところで、神戸鉱山の純粋な絹雲母についての従來の分析結果は第1表のようである。またほど原鉱石のままに分析したと思われる結果は第2表に示した通りである。SiO<sub>2</sub> はづいれにしても50%を超えない。これに対し鶴川によると原岩のSiO<sub>2</sub>は約61%である。この差の移動先が問題である。

Table 2 Chemical analysis of white earth from the Onishi clay vein after H. ugawa

	I	II	III
SiO <sub>2</sub>	42.25	37.01	48.79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.52	3.32	0.74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.85	25.32	35.31
CaO	1.02	0.72	0.14
MgO	0.60	0.28	
Na <sub>2</sub> O	0.91	0.78	0.53
K <sub>2</sub> O	4.03	4.67	9.34
FeS <sub>2</sub>	12.36	18.99	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	tr.	tr.	
CO <sub>2</sub>	0.77	0.41	0.08
H <sub>2</sub> O below 110°C	3.22	2.67	1.57
H <sub>2</sub> O above 110°C	5.86	6.10	4.21
Total	99.39	100.27	100.71

I, II... Hanging wall and Foot wall  
III.....Centre of veins

これに対して各帯中の鉱物組合せの状態および鉱床の上部では、相対的に絹雲母が少く石英の多い石英脈という形であらわれていることは既述の通りであるから、断定的ではないがもし絹雲母鉱床、石英-輝安鉱床を一つの系として考えて見れば、(またそれは一つの系として考えざるを得ないのだが)他よりのSiO<sub>2</sub>の附加を考える必要はなく、この系の中でのその移動として充分に考えられると思う。

黄鉄鉱中のFeについても、上とほど同様のことが考えられる。mafic mineralの消失にともなつての黄鉄鉱生成の事実は、おそらくこれを裏書きするものであろう。たゞこの場合FeはSiO<sub>2</sub>程大きな移動をせず、専らその場での晶出が行われたものと考えられる。しかし、黄鉄鉱中のFeの全てをこれで律することは困難である。すなわち、閃緑岩中のFeの平均分析値Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.73, FeO 4.80と比べて、鉱体中のFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, FeS<sub>2</sub>の値はやゝ多すぎる。従つて、おそらくFeの一部は他の系に由来するものと考えなければならぬ。

S, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, Sb, Hg, K等は当然他の系からの由来を考えるべきであつて、SおよびH<sub>2</sub>Oがおそらく最も多量に加えられたものであろう。

結論として、神戸鉱床は、溶液から直接鉱床の鉱物が晶出生成されたものと考えよりはむしろSb, Hg等の全金属素を含みS, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S等を主としたガスあるいはアルカリ溶液の影響により主として原岩中での変成分化の結果生成されたものと考えた方がよいと思われる。たゞこゝでKについてはなお問題が残されているが、この研究に直接の関係はないから、深く問題としないでおきたい。

黄鉄鉱はこうした環境の中で、上述のような径路によつて生成されたものである。すなわち黄鉄鉱は、鉱液よりの沈澱の結果できたものではなく、主として原岩中のFeと加えられた鉱化剤との間の化学反応の結果できたものである。従つて黄鉄鉱の晶相変化について考える場合、こうした生成過程を考慮に入れて考察を進めなければならない。

### 3. 結晶形態

神戸鉱山の黄鉄鉱の結晶は、最大1.5cm程度のものから最小160メッシュ以下のものまであり、その最大の粒度の値は、上述の絹雲母化の程度とほぼ正比例して変化している。結晶形態学的に特殊な面は認められず、主要面はa(100), q(111), e(210)の3面で、稀にn(211), s(321)が認められる程度である。しかし、これらの面の組み合わせ、すなわち晶相の種類は甚だ多く、極限から極限迄の間のほとんど全てに互つている。その主な組み合わせを列記すると次のようである。勿論これら相互の間は形態的に漸移的な関係にある。

#### a) 六面体型

微細結晶、弱絹雲母化帯の黄鉄鉱において、特に多く見られるa(100)を主とする晶相である。a(100)のみよりなる単純型、これにo(111)の小乃至中位面をとものうもの、またe(210), o(111)の小乃至中位面をとものうもの、e(210)のみをとものうものなどがある。

#### b) 八面体型

絹雲母の主鉱体中および大型の結晶において特に多く見られるo(111)を主とする晶相で六面体型と共に、神戸鉱山産の黄鉄鉱晶相の主体である。o(111)のみよりなるもの、これにa(100)の小乃至中位面を伴うもの、a(100), e(210)を伴うものなどがある。

#### c) 五角十二面体型

神戸鉱山においてはこの型に属するものは少い。絹雲母の主鉱体中の大型結晶に僅に見られる位である。いづれも六面体型生長にともなつた晶相変化の結果できたも

神戸鉱山に於ける黄鉄鉱の晶相変化について (砂川一郎)

ので、 $e(210)$  の単型は見られず、 $e(210)$  に中位の  $a(100)$ 、あるいは  $a(100)$ 、 $o(111)$  等を伴つたものがある。そしてこの場合結晶面上には常に深い條線が認められる。

d) 中間型

主要構成面がほぼ等大に発達している晶相で  $e(210)$   $a(100)$  よりなるもの、 $a(100)$ 、 $o(111)$  よりなるもの、 $o(111)$ 、 $a(100)$ 、 $e(210)$  が等大に発達するもの

の3種類が見られる。

以上は正規に発達した面の主要な組み合わせの各型を示したものであり、これら相互の間は、六面体・八面体・五角十二面体の各単型を極限として、相互の間に漸移的な関係が存在することは第2図から見ても明らかな通りである。面の組み合わせは第3表に表示した。

これらの組み合わせは、図示してあるように、各面が正規に発達したものであつて、この他に甚だしく偏倚した

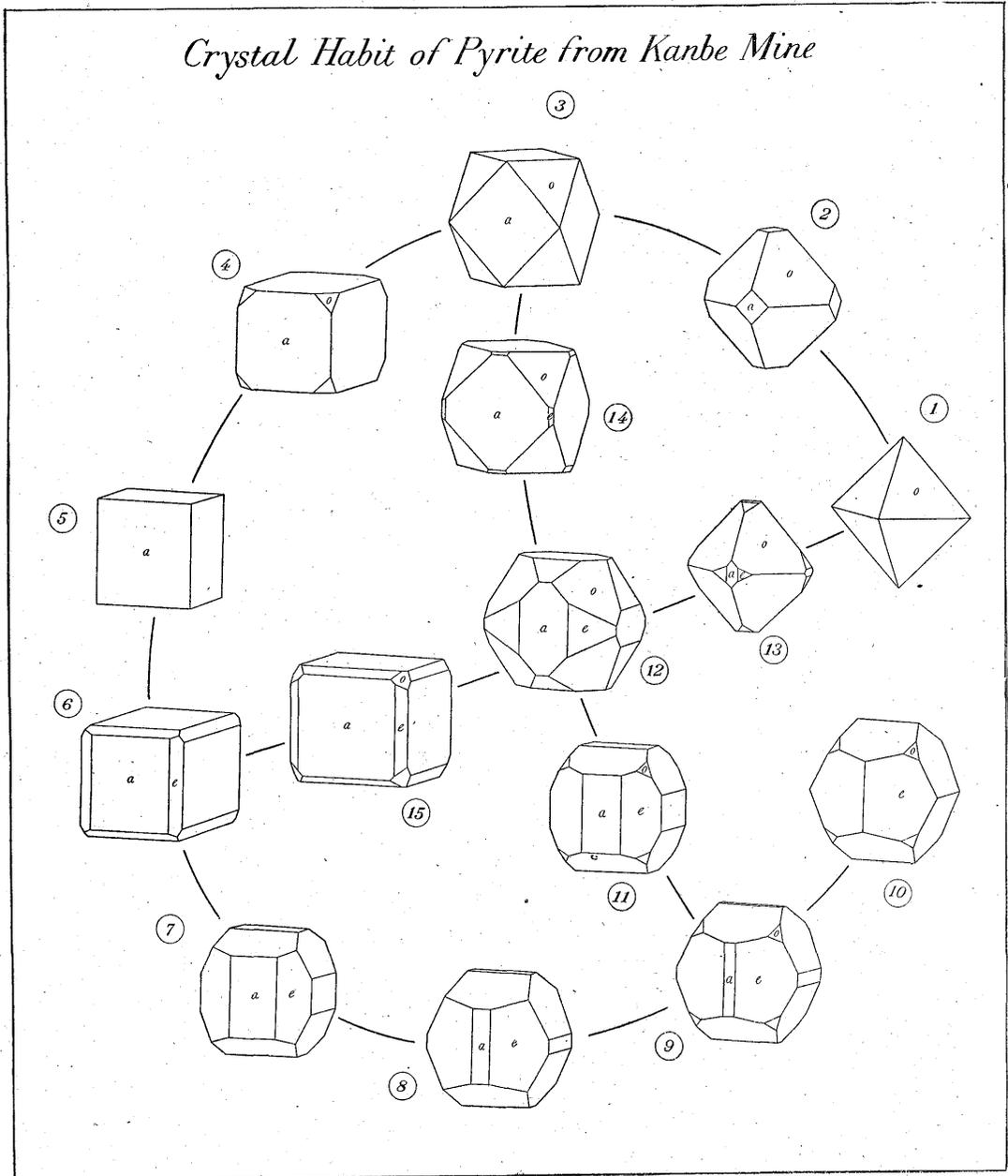


Fig. 2. Crystal Habit of Pyrite from Kanbe Mine.

Table 3. Combination types of faces of Pyrite from Kanbe.

Habit	Combination of faces		% of predominant faces			Fig.
	1st order	2nd order	a	o	e	
Octahedral	o	e, a	7	100	13	2- 1
	o	a	10	80		2-13
	o	a		90		2- 2
Cubic	a		100			2- 5
	a	e	90		10	2- 6
	a	e, o	80	7	13	2-15
	a	o	90	10		2- 4
Pentagonal	e	a	10		90	2- 8
	e	a, o	13	7	80	2- 9
	e	o		10	90	2-10
Inter mediate type	a=o		60	40		2- 3
	o=a=e		30	35	30	2-12
	a=e		40		60	2- 7
	a=e	o	38	7	55	2-11
	o=a	e	55	38	7	2-14

結晶も見られる。このような晶癖を示すものは、特に4坑における標本のうち60メッシュ以上の大型の、しかも八面体型の晶相のものに多くみられ、小型のものあるいは六面体型のものでは、特に著しい偏倚を示していないようである。かゝる偏倚結晶の主なもの、小乃至中位に発達した a (100), e (210) をともなう八面体型において、一対の o (111) 面が特に大きく発達して体対角線の方向に厚い板状、あるいは角柱状になつたもの、および同様晶相のものうち一対の a (100) が特に発達して a 軸方向に厚い板状を示すものなどがある。それぞれの

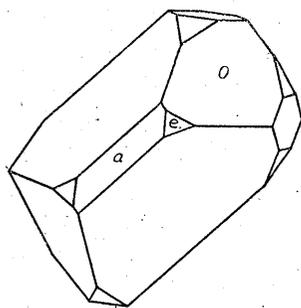


Fig 3-1.

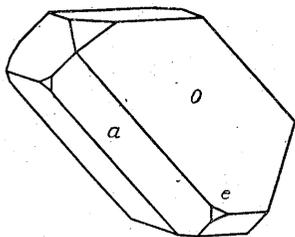


Fig 3-2.

形態については、第3図に図示したものを参照されたい。これら偏倚結晶の偏倚の程度と、結晶の粒度との間には、一定の関係がありこれについては後述する。

神戸鉾山附近の絹雲母中に晶出する黄鉄鉱結晶に種々の型の規則的結合の見られるのは古くからかなり有名であつた。その一部武峯鉾山のものについては、小川雨田雄・須藤俊男が記載している。

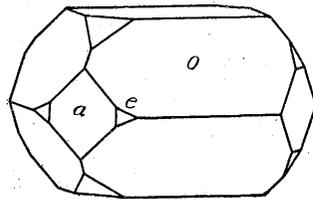


Fig 3-3

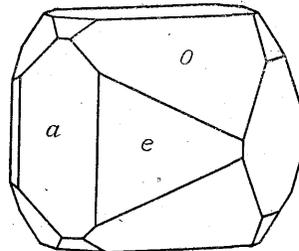


Fig 3-4.

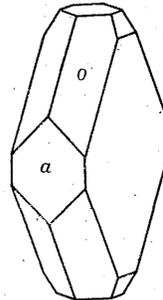


Fig 3-5.

兩氏が認めた双晶の型は、八面体型結晶においては221, 332, 113, 321, 421を双晶面または双晶軸とする5種、六面体型結晶においては、111, 221, を要素とする2種類であつた。そしてそれらの共通の特徴として、双晶面が全て、[110]か [012] ことと、111 双晶がの上にある六面体型結晶ではしばしば見られるのに、八面体式には全くあらわれないという2点をあげている。

神戸鉾山の場合でも、双晶の出現率はかなり高く、双晶の種類にも富んでいる。神戸鉾山において、結晶の規則的結合の型を大別すると次のような3通りが認められる。

(1) 八面体型と主として六面体型結晶との平行連晶。平行連晶は、八面体型同志とか、六面体型同志とかの同一晶相のものが平行連晶をしているような例はほとんど全く見られず、必ず異つた晶相同志の間においてのみこの種の結合が見られる。そのあらわれ方も、大きな八面体型結晶の主軸の一端に比較的小型の六面体型結晶が平行連晶して結合しているものとか、貫入双晶のように、ほぼ同大の兩結晶が完全に結合して、六面体結晶の各面から八面体の隅が頭を出しているものとか、あるいはこれら兩極の中間型とか種々みられる。その主なものの数例については、第4図に図示した通りである。また平行連晶する2個体のうち、一方はほとんど必ず、o (111) のみよりなる八面体の単型であり、他の面を伴う場合は極く稀で晶相に全く変化が見られないが、これに対して他の個体の晶相は、六面体型を中心として八面体型および五角十二面体型の兩方に涉つて、かなり幅広い種類を示している。すなわち六面体単型、これに e (210), o (111) 等を伴うもの、さらに o (111) が主体となり、e (210), a (100) の中位面を伴うものから e (210) が主体となり

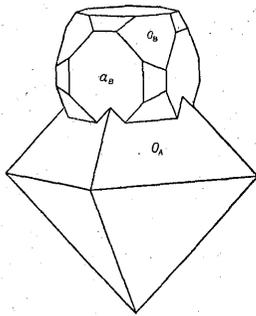


Fig 4-1.

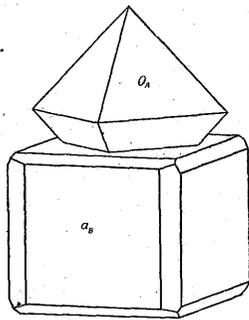


Fig 4-2.

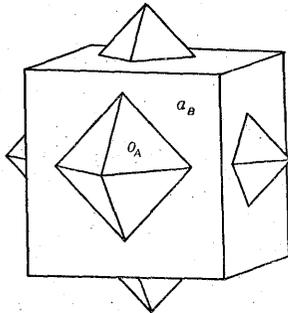


Fig 4-3.

o (111), a (100) の中位面を伴うものまでみられる。しかし他の一方の個体と同じような八面体単型にまで至っているものは全くない。すなわち平行連晶をする二個体のうち、一方だけは定つた晶相をもっており、他の一方だけがかなりの幅の晶相の種類を示しているのである。

(2) 規則的結合の第2の型は、同一晶相の2乃至3以上の個体が、種々の要素をもつて双晶しているものである。この型には、六面体型同志のものと八面体型同志のものとがあり、五角十二面体型同志のものはない。この型に属する双晶の双晶様式については既に須藤および小川が針道峠のものについて詳しく記載しているから、こゝでは特に詳しくふれな

いことにする。

(3) 第3の型は(1)および(2)の複合である。すなわち平行連晶をしている個体の一方に種々の双晶面乃至は双晶軸をもつて、別の個体が組み合わさっている如き例である。この種のものも数多く見られる。

#### 4. 粒度による晶相変化

岩石中、粘土中などに鉾染状に晶出している黄鉄鉾、黒鉾床中のいわゆる粉状硫化鉾などのように生成条件のほとんど同じと考えられる狭い部分に多数に晶出している黄鉄鉾の小結晶の群を、簡によつて数段階に分級し、それぞれの大きさにおける晶相別の頻度を統計してみると、黄鉄鉾の晶相が粒度によつて連続的な変化を示していることがわかる。この事実は、既に花岡鉾山・鰐淵鉾

山などの場合について認めたことである。

神戸鉾山の場合でも同様の傾向が認められる。この場合、単に晶相の変化だけでなく、粒度による双晶の頻度・偏倚度の変化等についても考察した。

資料の統計方法は、花岡鉾山・鰐淵鉾山において行つた方法と同じであるが、その結果の解析はやゝそれらの場合と異なる。すなわち、統計結果を——これは晶相別の頻度率としてあらわされている——a (100), o (111), e (210) の単位面の割合に換算し、晶相としてではなく、面としての粒度による変化を追跡することにした。これは結果的には同じであるが、面の消長の関係をより明確に指示することができ、かつ三角図表に投影することによつて、変化の系列と幅がはつきり図示することができる。三単位面の換算は、その晶相にあらわれる単位面の結晶上に占める平均表面積の比率を、その晶相の出現率にかけることによつて行つた。各晶相についての単位面の比率は第3表に表示した通りである。

#### a) 晶相変化

花岡鉾山・鰐淵鉾山のいずれの場合においても、黄鉄鉾の晶相変化は、その系列・変化の幅等にいくつかの種類が見られるけれども、全般的にながめた場合、結晶粒度が大きくなるに従つて五角十二面体型・八面体型・六面体型の順にあらわれる率が強くなる。換言すれば、結晶粒小なる場合は六面体型が最も多くあらわれているが、大きくなるに従つて六面体型の出現率は減少し、八面体、さらには五角十二面体型が増大する。勿論この関係は、全般的にながめた場合で、実際には六面体→八面体→六面体→五角十二面体・六面体→八面体→五角十二面体・あるいは八面体→五角十二面体などといういくつかの系列があり、またその変化の幅も種々な場合が見られ、またそれ故にこれらの系列・幅等の相異を産状との関係の研究の標準とすることができるのである。

神戸鉾山の場合においても、上と同じように粒度による明らかな変化を示している。この場合の主な変化の系列は六面体→八面体である。たゞ変化の幅は産状によつて異つている。そのため晶相としては14メッシュから160メッシュ迄六面体だけで、結晶粒が大きくなるに従つて2次的優位面としてのo (111)をともなつたものが多くあらわれてくるだけのような場合もある。しかしづれの場合でも、粒度が大きくなるに従つて六面体→八面体→五角十二面体という順序で変化していることは、花岡・鰐淵鉾山の場合と全く同様であつて、逆の関係にある場合は全く見られなかつた。今、一例を示すと、第4表および第7図の通りである。

#### b) 偏倚結晶の頻度の変化

既述のように、神戸鉾山のうち特に4坑の絹雲母中の黄

Table 4. An Example of statistics

Habits mesh	o	o, a	o, ae	a, o	a	o=a	o=a=e	Total	a	o	e
8	3		30	7	1			41	22.9	67.6	9.5
	7.5%		73.0%	17.0%	2.5%						
14	6		16	87	15	25	3	152	72.8	25.0	2.2
	4.0%		10.5%	54.0%	13.0%	16.5%	2.0%				
28	34	15		160	69	183		461	70.2	29.8	
	7.5%	3.2%		34.7%	14.9%	39.7%					
60	29	20		158	105	163		475	73.1	26.9	
	6.1%	4.2%		33.3%	22.1%	34.3%					
100	22	27		115	226	18		408	84.1	15.9	
	5.4%	6.6%		28.2%	55.4%	4.4%					
160	7	9		87	233	8		344	92.2	7.8	
	2.0%	2.7%		25.3%	67.7%	2.3%					

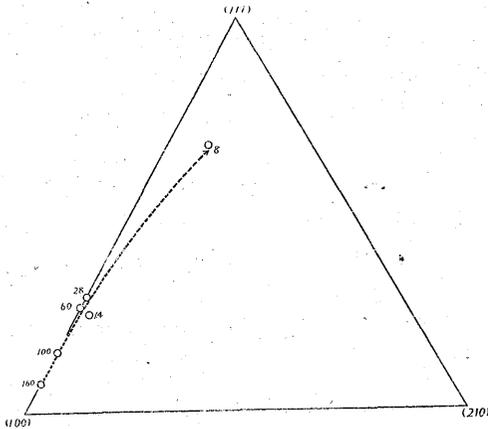


Fig 7. An example of series of pyrite changing crystal habit by different grain size, c. f. Table 4

鉄鉱の結晶には、一対の a (100) あるいは o (111) が特に発達したため、厚い板状乃至は body-diagonal の方向に角柱状のびたような晶癖を示す偏倚結晶が多く見られる。これらの正規の結晶からの偏倚の程度と粒度との関係について若干の統計を行つてみると、粒度による偏倚結晶の頻度変化が見られる。結晶の偏倚の程度は、正確にかつ定量的にあらわすためには、かつて Pabst が石榴石について試みたように、<sup>6)</sup> 相対する面間隔を測定してそれとその平均値との差をとり、その差と平均値との比によつて偏倚度を定量的にあらわす方法が、最も好ましいのである。しかし、実際問題としてこの方法は、神

戸鉾山のような小結晶には適用することができない。そこで便宜上、各メッシュ毎における資料中の偏倚結晶の出現率を統計することによつて粒度と偏倚度との関係を追うことにした。従つて正確には偏倚結晶の頻度と粒度との関係というべきである。その結果の2例を第5図に示す。

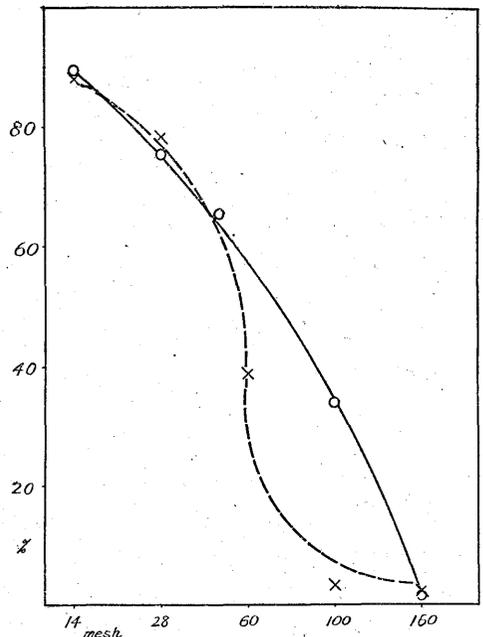


Fig 5. Frequency curves of appearance of marformed crystals

偏倚結晶の頻度は、いずれの場合も明らかに、粒度が大になるに従って高くなる。すなわち結晶は、粒度が大になるに従って正規結晶よりの偏倚が甚だしくなる。殊に60乃至28メッシュ以上においてその傾向が強い。勿論晶相自身も粒が小となるに従って六面体が多くなつて来る。そして六面体にはほとんど偏倚した結晶は認められず、偏倚結晶は専ら八面体型のものに多い。これは、八面体型が特に偏倚し易いというのではなく、粒度による晶相変化と偏倚度変化とが重なり合つた結果であつて、偏倚度は純粹に生長の程度によつてだけ支配されていると考えることを可能とするものである。

すなわち、次のような産状を考え併せると、偏倚の生ずる主として機械的な原因について一つの示唆が得られる。すなわち偏倚結晶の見られるのは、4坑の黄鉄鉱についてだけで(それより上帯準のものについては観察できなかった)1坑の黄鉄鉱にはほとんどない。そして黄鉄鉱の産状は、1坑ではほとんど完全な絹雲母中に晶出しており、石英の残留物のような堅硬な部分はないが、4坑では1坑に比べて石英分がはるかに多くなり、細かい石英の残留物とその間を埋める絹雲母との中に黄鉄鉱が晶出している。そして多くの偏倚黄鉄鉱は、このがさがさの石英の間にとりかこまれてできているのである。従つて、絹雲母中におけるように比較的自由に生長したとは考えられず、堅硬な石英粒のために、自由な生長を阻害されながら晶出したものと考えられる。その結果、結晶学的に生長の困難な複雑な指数の面をもつた結晶としてあらわれるよりも、より容易な、基本面の一方的な生長による偏倚としてあらわれたものと考えられる。すなわち偏倚の原因は、この場合には単に生長を阻害されたという、機械的な原因だけに求められるのである。

### c) 双晶の頻度の変化

偏倚結晶の場合と同じように、双晶(平行連晶も含む)の頻度も結晶粒によつて変化する。すなわち第6図にその数例を示したように、結晶粒大なるに従つて双晶の出現頻度も高くなる。双晶生長機構の詳細については依然として未解決であり、これは一つの資料として提供するに止める。

## 5. 絹雲母化の程度と晶相との関係

2章において主鉾体を中心としての絹雲母化の程度と黄鉄鉱の粒度・量等の累帯について記述したが、この累帯において黄鉄鉱の晶相変化がどのように変遷しているかを以下の問題としたい。これと似た取り扱いをした研究に鶴川の統計がある。鶴川は、粒度による晶相変化については考慮を拂つていないが、鉾体中心部と、上・下盤による黄鉄鉱の晶相別の頻度を統計している。その結

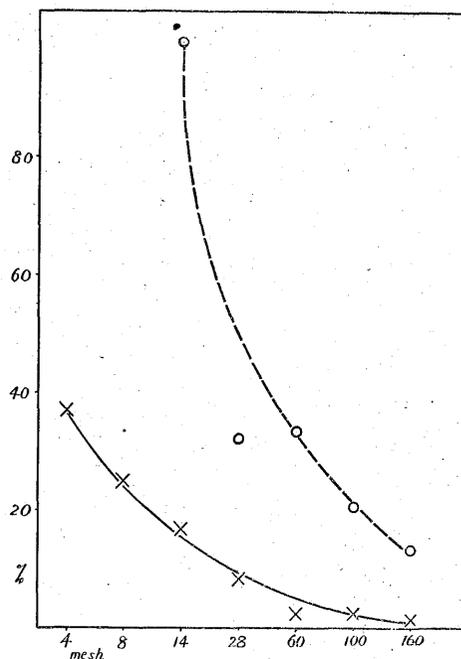


Fig 6. Frequency curves of appearance of twinned crystals

果は第5表のようである。すなわちいずれの場合においても、上盤・下盤では六面体が圧倒的に多いが、鉾体中心部では、逆に八面体型が圧倒的に多い。この結果は、累帯による晶相変化の大略の傾向を示しているといえよう。

ところで、既に詳述したように、黄鉄鉱の晶相は粒度によつてある系列をもつた変化を示している。従つて黄鉄鉱の晶相と他の地質学的な条件との関聯を知るためには、個々の結晶についての晶相の比較をすべきではなく、一結晶群における粒度による晶相変化の系列、幅等の比較によつてなされなければならない。

扱、それぞれの累帯毎にとつた資料の粒度による晶相変化の統計結果を、既に述べたような換算方法によつて3基本面の構成頻度として算出し、その結果を三角図表上に投影して粒度による晶相変化の傾向を示すと第8図の如くである。この図から次のようなことが解る。

(1) 粒度による晶相変化を示す曲線は、いくつかに区分することができ、しかもその区分は、絹雲母化の程度の差による区分とほぼ一致している。

(2) 絹雲母化の最も強い(1)の帯では、変化は六面体→八面体で、しかも最もはげしい変化を示している。この部で六面体の晶相が圧倒的に多いのは100乃至160メッシュ以下である。

(3) 絹雲母化の程度は(1)帯より低いか、なお黄鉄鉱の微小結晶が晶出し、mafic mineralの全く残存していない(2)の帯では、晶相はほとんど完全に六面体

Table 5. Frequency of combination of pyrite crystals from Onishi, Zogatani and Fukando veins after H. Ugawa.

Habit	Faces	Onishi vein				Zogatani vein				Fukando vein			
		Hanging wall	Centre of veins	Foot wall		Hanging wall	Centre of vein		Foot wall				
				N. of Cryst.	%		N. of Cryst.	%	N. of Cryst.		%		
Octahedral	o o, a o, a, e	Cubic crystals	Octahedral crystals	13		Minute cubic crystals	181		20		Octahedral crystals is predominate		
	Total			13	4.23		849	99.83	45	7.44			
Cubic	a a, o a, e a, o, e a, o, e, s			20			54		18			36	
	Total			254	82.74		468	77.36	18			18	
	Pentagonal			e, a e, o e, a, o	31								
Total	31			10.10									
	a=o, e o=e, a			2	0.65		1	0.17	35	5.78		7	2.28

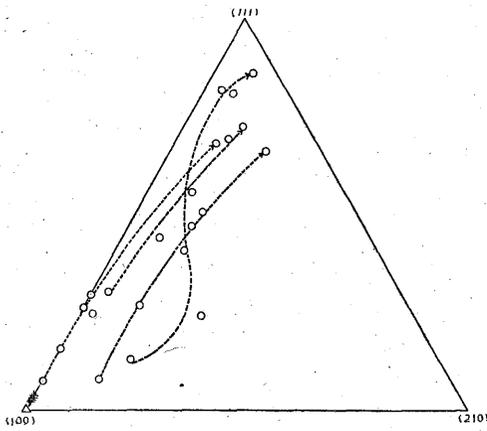


Fig 8. Several different series of pyrite crystal in three altered zones with function of crystal habits and grain size from 160 to 8 mesh  
 C ---in zone (1), x---in zone (2), Δ---in zone (3).

だけで、唯 o (111) の小面のあらわれる割合は粒度が大きくなるに従って増加を示している。晶相変化の程度は(1)帯に比べて著しく低く、28乃至14メッシュに至つても八面体晶相に迄は変化しない。  
 (4) (2)帯よりもさらに遠ざかつて、変質程度が低く mafic mineral の残存している母岩中に、小ポケット状に生成している絹雲母中の黄鉄鉱は完全に六面体の単型のみで、その他の面の要素をもつていない。すなわち無変化で、三角図上には一点としてあらわれている。

これらの事実から次のことがいえる。

- (1) 粒度による晶相変化の幅は絹雲母化の程度に従つて異つている。
- (2) 絹雲母化の程度の低い所に晶出した黄鉄鉱は、結晶が大きくなつても著しい晶相変化を示さず最初の形の六面体のまゝである。
- (3) 絹雲母化の強い帯に晶出している黄鉄鉱は、六面体→八面体の系列での明らかな変化を示している。そして大体60乃至100メッシュ位の大きさの所で、八面体の方が六面体よりも多くなつている。
- (4) 既述のように、黄鉄鉱結晶の平均粒度は、絹雲母化の程度に従つて異り、低いものの方が粒度が小さい。そしてまた晶相変化は粒度が大きくなるに従つて六面体→八面体という変化を示している。したがつて(2),(3)の関係は一見、粒度の相異に対応するもので、絹雲母化の程度に対応するものではないように見える。しかし、(2)においては28乃至14メッシュに至つても八面体にならず、(3)においては八面体の方が六面体よりも多くなるのは60乃至100メッシュであり、この両者の間では明らかに変化の幅が異つている。したがつて、(2),(3)の関係は、粒度にのみ対応するものではなく、明らかに絹雲母化の程度の差にも対応しているものといえる。

6. 議論及び結論

それならば何故、またどのような機構で黄鉄鉱の晶相

がこうした変化を示すのか? この問題は、晶相変化の原因についての一つの困難な根本問題であつて、容易に一般的な結論をうることはできない。たゞ、いくつかの假定を設け推察を行うことによつて一つの考え方を提供することができるだけである。

いま晶相変化の原因について考えられる条件をあげ、各々について検討を行つてみよう。

従来結晶化学者達が化学薬品の人工結晶について観察した結果得られ鉾物学者の間でもほど通則と考えられている、“晶相変化の生ずる原因は、主として異種分子の面による選択的吸収のような化学的条件の変化によるものである”という考えは、この場合あてはめることはできない。もし主たる原因が上のようなものであるとすれば、晶相が粒度によつてほとんど常に一定の系列をもつた変化を示すような現象は起らず、むしろ粒度による晶相変化は一資料のみについても、多くの産地のものについて比べてみても甚だしく不規則になる筈である。また記述のような異帯も見られないであろう。pH等の溶液の性質の変化について考えて見た場合、もしそれがすべての鉾床において変化が一様であると假定すれば一応考えられるが、その假定は、困難である。変化の系列の差については溶液の性質の変化という原因も一応考慮に入れねばなるまいが、粒度による一定の変化があるという現象の原因については、むしろそれが根本的な原因になりうるとは考えられない。したがつて神戸鉾山の黄鉄鉱についてみれば、結晶化学者達の考え方に対して、観察された現象はむしろ否定的であるといえる。圧力の上昇または降下も、神戸鉾床生成の系の中で考えてみた場合、黄鉄鉱の晶相変化に対してはむしろ無視しても差支えないであろう。温度の差が影響をおよぼしているであろうということは一応考えることである。たゞ、粒度によつて一定の変化を示すという現象は、温度の降下に並行した晶相の変化であるときめることはできない。云いかえれば、それぞれの温度の下で晶出する結晶かといふ晶相は一定しており、したがつて温度の連続的な降下の結果として、粒度による一定の晶相変化が生ずるといふことは考えられない。というのは、もしそうであるとすれば、

a) 全ての結晶が同時に晶出し始め、しかもそれ以後の晶出がないとすれば、粒度はすべて等しく晶相変化も見られない筈である。

b) 温度降下または上昇に伴いそれぞれの場合で晶出が行われたとすれば、晶出の停止したときにおいて粒度変化は見られるが、晶相は全く同じである筈である。

したがつていづれの場合においても、温度変化によつて、粒度による一定の晶相変化のような現象は起らない

であろう。この現象はむしろ、こうした物理的乃至は化学的環境条件の変化に帰因するものと考えより、結晶自身、あるいは結晶面自身の本來的にもつている性質であると考えの方が適当であるように思われる。

一方、晶相変化の幅の相違については、晶出した環境の温度の相違ということも、一つの原因として考えられよう。しかしこれにしても、次に考察する鉾化の程度の一要素として考えた方が、より正当であると考えられる。

ほとんど完全に絹雲母となつているということは、鉾化剤として加えられたものと原岩との反応 (chemical reaction) が著しく行われた結果である。したがつてその中に晶出している黄鉄鉱も鉾化剤の豊富な供給と他よりも高い温度の下で生長したものと見える。それだけに生長も順調でかつ速やかであつたと想像することができる。だからもし粒度による晶相変化が結晶自身の生長に伴う本來的な性質によるものであるという上述の考えに従うとすれば、こうした環境下で生長した結晶は当然晶相変化の幅が著しくあらわれる筈である。これに対して鉾化が弱く除々に生長した結晶は、著しい晶相の変化を示さないで終るものと考えられる。

筆者は先に鰐淵鉾山別所坑の黄鉄鉱晶相変化を研究して、それが基本的には原岩の相違に帰因するものであり、凝灰岩のような晶出の比較的容易に行われうと思われる原岩中に晶出する場合、晶相変化が著しくあらわれ、この逆の頁岩のような中での場合にはほとんど著しい晶相変化を示さないということを明らかにした。鰐淵鉾山の場合には、ほど同様の鉾化を与えられた異種岩石中での変化であつたが、神戸鉾山の場合には、同一原岩中での鉾化の程度の相違が上のような晶相変化を示していると考えられるのであり、この両者は現われ方こそ異なれ、質的には全く同じことであるといふことができる。すなわちこのことは黄鉄鉱として晶出することが容易であるか否かによつて、晶相変化の幅に差が生ずると云いかえることができる。

結論として、現在のところ、化学反応の結果できた黄鉄鉱はその結晶自身の性質によつて生長に伴つて晶相が変化し、その晶相変化の程度は、晶出の難易によつて変わるものと考えている。そしてその晶出の難易は、その環境の条件によつて種々の場合が考えられるであろう。例えば、原岩の相違によるとか、鉾化の程度によるとか、あるいはその他の物理化学的な条件の相異によるとかの如く……。

また変化の系列の相異の生ずる原因については、この場合は問題が起らなかつたが、広い範囲の観察によつて考えられることであり、將來の問題として残つている重

要なことである。そして、化学反応の結果できた黄鉄鉱について云えば (1) 粒度による晶相の変化, (2) その変化の幅の相違, (3) 変化の系列の相違の3つが複合して晶相変化が生ずるのであるから, この3つの原因が解決されてはじめて, 晶相変化の根本への理解が可能となってくるであろう。たゞ例えば鉄脈中に晶出しているような鉄液からの沈澱晶出によると考えられる黄鉄鉱の晶相変化については, これとはやゝ異つた取り扱いをしなければなるまい。

(昭和26年5月)

### 文 献

1) 日本鉱物誌 第3版上 p. 101

2) 片山信夫は針道峠産のものについて晶相別の統計を行つている。

日本鉱物資料 続第1巻 p. 30

3) 小川雨田雄・須藤俊男は主として規則的結合について記載している。

日本鉱物資料 続第1巻 p. 34

4) 立見辰雄: 奈良県神戸鉄山調査速報 学振58小委 No 83

5) 鶴川平八郎: 神戸鉄山のアンチモニー鉄床地質雑 vol 44 p. 537

6) A. Pabst: Am. Mineral. vol 28 No 4p. 233