

明延鉱山産鉱石の硫黄同位体組成
—特に智恵門4号脈について—

村尾 智* 浦辺徹郎*

MURAO Satoshi and URABE Tetsuro (1993) Sulfur isotopic study of the Akenobe tin-polymetallic ore deposits, Japan, with special reference to the Chiemon No. 4 vein. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 44 (2/3/4), p. 169-178, 12 fig., 2 tab.

Abstract: The sulfur isotope analysis was made on 26 samples from the Chiemon No. 4 vein, Akenobe mine, Japan. The mineral deposits are of tin-polymetallic character and consist of more than 130 composite veins. Three structural stages of mineralization are recognized, namely stage I (Pb-Zn), II (Cu-Zn), and III (Cu-Zn-In-Bi-Sn-W-quartz). The stage III is subdivided into IIIa (Cu), IIIb (Zn), and IIIc (Cu-Zn-Sn-W-quartz) based on the banding of veins. But Cu and Zn bands are often united into one Cu-Zn band, and so they are treated as Cu-Zn ore of stage III in this report. The mine classified Au-Ag, Pb-Zn, Cu-Zn, Cu-Sn, and Sn-W ores based on the chemical composition for the commercial purpose. The Pb-Zn ore corresponds to stage I; Cu-Zn to II, IIIa and IIIb; Cu-Sn and Sn-W ore to IIIc. The Chiemon No. 4 vein is mainly composed of the stage III ore.

The $\delta^{34}\text{S}$ values of Akenobe ore are distributed between the values of subvolcanic veins hosted by acidic to intermediate volcanic rocks and those of subvolcanic veins in sediments around the mining area as Miyoshi *et al.* (1988) first pointed out, but are shifted to the lighter value than their data.

Compilation of the data in this study with those of previous works revealed the following facts.

- (1) Stage I ore has a peak around -2.0% , and II around -1.0% of $\delta^{34}\text{S}$ values.
- (2) Stage II ore has narrower range of $\delta^{34}\text{S}$ value than the Cu-Zn ore of stage III.
- (3) Cu-Zn ore of stage III has two peaks of $\delta^{34}\text{S}$ value around -2 and -3% .
- (4) Substage IIIc ore (Cu-Sn and Sn-W) has two peaks at -1 and -2% .
- (5) Bi and In-bearing minerals only occur in the ore with $\delta^{34}\text{S}$ values between 0 and -2% .
- (6) Elevation has no relation to the variation of $\delta^{34}\text{S}$ values. The vein selvage and the center have no difference in the $\delta^{34}\text{S}$ values neither.
- (7) Occurrence mode of chalcopyrite inclusions in sphalerite has no relation with the variation of the $\delta^{34}\text{S}$ values.

Based on the observation above and previous studies, the hydrothermal solution of Akenobe is considered to be related to the Wadayama-Hikihara granite. The $\delta^{34}\text{S}$ values between 0 and -2% represent the magmatic fluid. The other peaks of $\delta^{34}\text{S}$ values cannot be explained at present, but there is a possibility that these peaks represent $\delta^{34}\text{S}$ values of S that was extracted from country rocks by water-rock interaction. At Akenobe, Cu and Zn might be precipitated mainly from the meteoric fluid, while Bi, In, and Sn were deposited from magmatic fluid.

* 鉱物資源部

Keywords: Akenobe mine, sulfur isotope, polymetallic ore, magmatic fluid, meteoric fluid, indium, bismuth

要 旨

明延鉱床智恵門4号脈産鉱石について $\delta^{34}\text{S}$ 値を測定し、鉱化期、採集位置、鉱種、鉱石組織との対応関係を検討した。明延の鉱化期は鉱脈の切合い関係により stage I (Pb-Zn 主体)、II (Cu-Zn 主体)、III (Cu-Zn-Sn-W) の3回に分けられる。stage III は In, Bi を伴う多金属性の強い時期だが脈内の banding により IIIa (Cu)、IIIb (Zn)、IIIc (Cu-Zn-Sn-W-石英) の substage に細分される。明延鉱山では人為的に Au-Ag, Pb-Zn, Cu-Zn, Cu-Sn, Sn-W の5鉱種を区分したが Pb-Zn 鉱石は stage I に、Cu-Zn 鉱石は II と、IIIa, IIIb に、Cu-Sn, Sn-W 鉱石は IIIc にそれぞれ対応する。IIIa と IIIb は band が合体する事が多いので本論文では一括して扱った。Au-Ag 脈は他の鉱脈から離れた場所な位置するので時間関係はよくわからない。智恵門4号脈は主に stage III の鉱石から構成される。

測定値の範囲は三好ほか(1988)の報告と同じく生野層群に胚胎する鉱脈の $\delta^{34}\text{S}$ 値と舞鶴・丹波層群に胚胎する鉱脈の値の中間にほぼ収まるが本研究の値の方がさらに軽い側にシフトした分布を示す(+2.0~-5.6%)。

これまでに公表された $\delta^{34}\text{S}$ 値と本研究で得られた値をあわせて検討したところ以下の事実が判明した。

- (1) stage I は -2.0% に、II は -1.0% 付近にデータが集まる。
- (2) stage II と substage IIIa, IIIb では前者の方が後者より狭い分析値の範囲を示す。
- (3) substage IIIa, IIIb では -3% と -2% 付近にピークがある。
- (4) IIIc の Cu-Sn 鉱石や Sn-W 鉱石の分析値は 0% あたりに集中し、IIIa, IIIb に比べいくぶん重い側へシフトする。
- (5) Bi, In を独立鉱物として含む鉱石(stage III の Cu-Zn および Cu-Sn 鉱石)は $\delta^{34}\text{S}$ 値が 0~-2% にほぼ集まる。
- (6) 鉱脈の外側と内側、高いレベルと低いレベルでの $\delta^{34}\text{S}$ 値の変動に規則性はない。
- (7) 閃亜鉛鉱中の黄銅鉱粒子の形態と硫黄同位体組成の間に対応関係はない。

以上の観察事実について、Symonds *et al.* (1987), Symonds *et al.* (1992), 寺島・石原(1982), 石原ほか(1981) および松久ほか(1980)の研究結果を参照しつつ考察した。Stage III 全体の熱水形成にはチタン鉄鉱系和田山-引原花崗岩が関係した可能性がある。III に見られるいくつかのピークのうち 0~-2% のものにつ

いてはマグマ的な水によると推定される。他のピークの S の起源としては花崗岩類、生野層群、舞鶴層群、丹波層群など周辺の母岩が考えられるが現時点では特定できない。明延地区では、天水が卓越し水-岩石相互作用が進み卑金属の硫化物が沈殿していた場所で、時間経過とともにマグマ的な水が増加し、マグマ起源の元素を含む多金属鉱石が沈殿したのであろう。

1. はじめに

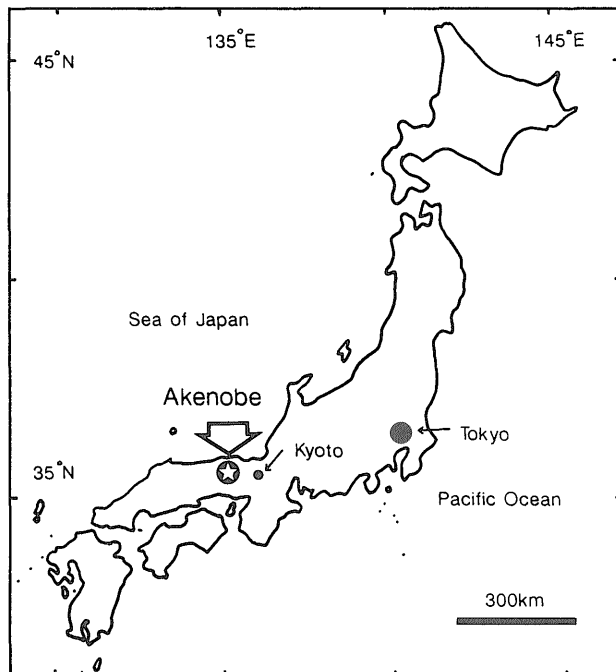
明延鉱山は兵庫県中央部、姫路市の北約 50 km に位置する (Fig. 1)。本地域は数 km×数 km の ore field で 130 本以上の複成脈が胚胎し、中心部から周辺へむけて Sn-W→Cu-Sn→Cu-Zn→Pb-Zn→Au-Ag なる ore field のオーダーの帯状構造が観察されることから地質学者の注目を集め、長年にわたって研究が行われてきた。たとえば三枝(1958)は帯状構造の存在を指摘すると同時にマクロストラクチャーによって鉱化期を区分し探鉱の足がかりを得た。また Sato and Akiyama (1980) は鉱床形成時の鉱脈分布パターンを復元し、古野(1992)は帯状構造が B 副族元素の挙動によって形成される事を指摘している。

硫黄同位体組成の論文としては Yamamoto (1974), 石原ほか(1981), 三好ほか(1988)がある。Yamamoto (1974) は竜盛脈産鉱石の $\delta^{34}\text{S}$ 値が双峰分布を示すと報告した。石原ほか(1981)は富士野、智恵門7号、同4号の各脈について研究を行い、硫黄同位体組成は鉱化期によって分けると報告した。しかし明延全体に研究を進めた三好(1988)の結果からはそのような傾向はよみとりにくい。そこで筆者らは鉱化期がはっきりしており、明延の代表として扱おうる規模をもつ智恵門4号脈産試料に限って硫黄同位体組成の測定を行い、その変動に傾向があるか否かを検討した。

2. 明延鉱床の鉱化作用

明延鉱床は舞鶴帯の堆積岩類・塩基性岩類および生野層群の火山岩類中に胚胎する火山底性熱水脈産鉱床である (Fig. 2)。鉱脈はその品位によって Au-Ag, Pb-Zn, Cu-Zn, Cu-Sn, Sn-W (Mo) の5種に分類されるが、このうち Au-Ag 脈は主に生野層群中に、他の4種(一括して多金属脈と呼ばれる)は舞鶴層群中にみられる。関係火成岩は知られていないが鉱化作用の年代については金属鉱業事業団(1987)が岩脈の K-Ar 年代をもとに Cu-Zn 脈が 66~63 Ma, Sn-W 脈が 59~54 Ma と推定している。

鉱脈が5種に大別されることは鉱化期が5回ある事を



第1図 明延鉱床の位置

Fig. 1 Location map of the Akenobe tin-polymetallic ore deposit.

意味しない。坑内で観察すると Cu-Zn 脈が別の Cu-Zn 脈に切られたり Cu-Sn 脈が Sn-W 脈に漸移したりする。また Cu-As 脈, Fe 脈など上の5種のどれにも属さない脈が多数みられる。そこで本論では鉱脈のマクロストラクチャー(漸移関係, 切合い関係)に基づいて設定された鉱化期 (Fig. 3) を使用する。明延では大きな構造間隙によって3回の鉱化期が設定できる。Stage I は鉱脈上部, 平面的には ore field 周辺部に出現し, 方鉛鉱, 閃亜鉛鉱を主とする。Stage II は鉱脈の中ほどのレベルによく見られ閃亜鉛鉱, 黄銅鉱を主とする。Stage III は深部で卓越し Cu, Zn, In, Bi, Sn, W, Mo を伴う多金属性の強い時期である。そして脈の内部構造により IIIa (Cu), IIIb (Zn), IIIc (石英-Cu-Zn) の substage に細分される。IIIa と IIIb は2本の band として石英の band の外にあるが (Fig. 3) Cu-Zn band として合体することも多いので本研究では一括して扱う。

研究対象となった智恵門4号脈は主に塩基性溶岩中に胚胎しており, -11 L. から -17 L. まで開発された*。平均品位は Cu 3.66%, Zn 11.26%, Sn 1.04% であ

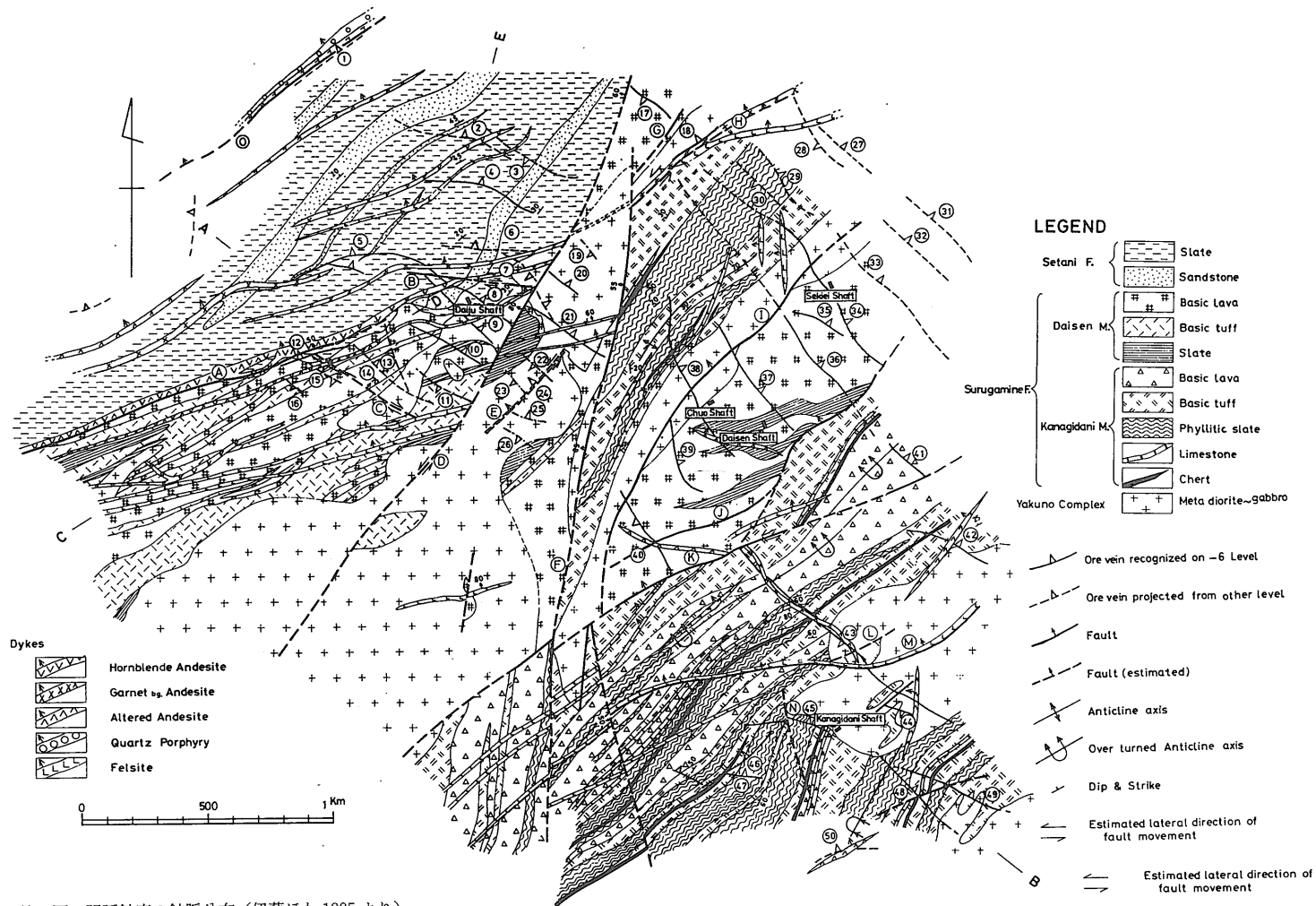
* 0 L. は海拔 380 m. レベル間隔は 30 m.

る (明延鉱業所, 1980)。使用した試料は stage III の閃亜鉛鉱-黄銅鉱主体の硫化物集合体で, -13 L. から -17 L. にかけて採取された。

3. 硫黄同位体組成

試料の閃亜鉛鉱には多量の懸滴状黄銅鉱が含まれ, また黄銅鉱中には骸晶状閃亜鉛鉱が含まれるため, 閃亜鉛鉱と黄銅鉱の完全な分離は不可能であった。そこで閃亜鉛鉱-黄銅鉱集合部を肉眼で分離しメノウ乳鉢で粉碎したものを測定に供した。反射顕微鏡下では褐錫鉱 (Fig. 4), ロケサイト (Fig. 5), ウィットヘン鉱, 輝蒼鉛鉱 (Fig. 6) などが観察されるがその全体に対する割合は小さく, また硫塩鉱物は皆無なので得られた測定値は閃亜鉛鉱-黄銅鉱集合体のものとみなせる。また閃亜鉛鉱と黄銅鉱間の同位体分別は小さいので測定値はある場所における鉱化流体中の溶存硫黄種の同位体比を反映すると考えられる。測定結果を Table 1 に示す。限られさ場所の試料であるにもかかわらず測定値は+2.0~-5.6% と大きな広がりを持つ。

三好ほか (1988) は近畿地方の鉱石の硫黄同位体組成を測定し火山底性鉱床同士で比較すると明延の値は生野

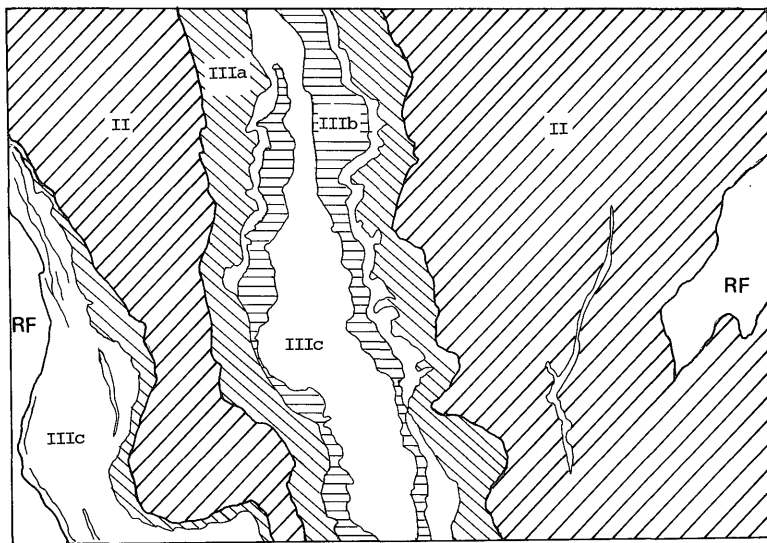
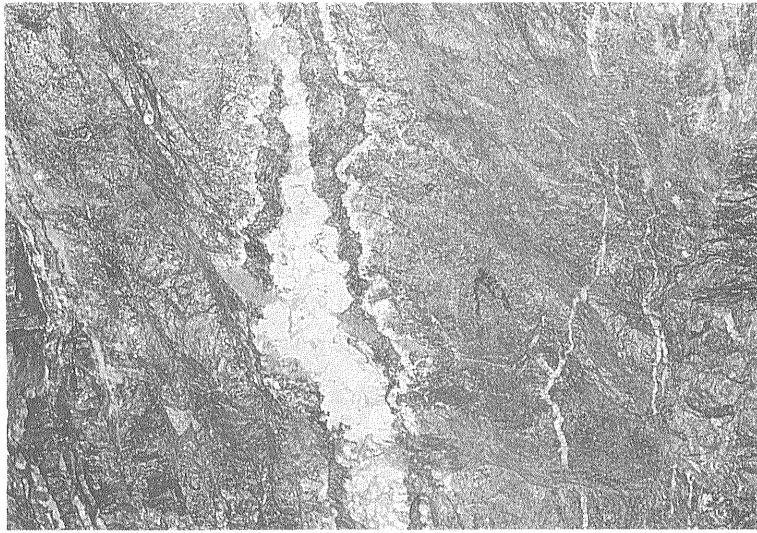


第2図 明延鉱床の鉱脈分布 (伊藤ほか 1985 より)

⑭ 智恵門4号脈

Fig. 2 Geological plan of the Akenobe mine.

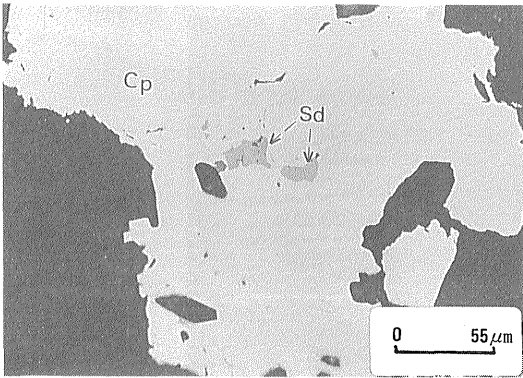
⑭ Chiemon No. 4 vein. (After Ito *et al.*, 1985)



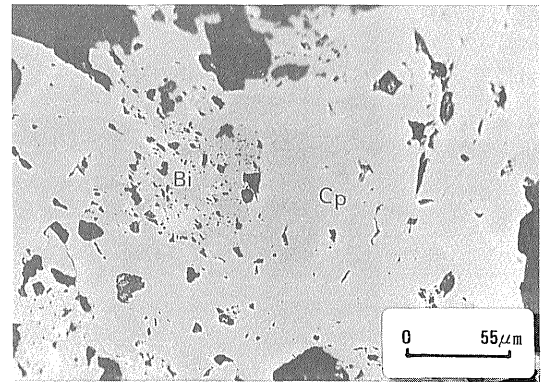
0 50 cm

第3図 白金2号脈-4L天盤にみられるマクロストラクチャー。II:主に閃亜鉛鉱,黄銅鉱からなるstageII; IIIa: substage IIIaの黄銅鉱バンド; IIIb: substage IIIbの閃亜鉛鉱バンド; IIIc: substage IIIcの石英-閃亜鉛鉱-黄銅鉱脈; RF: 中石。

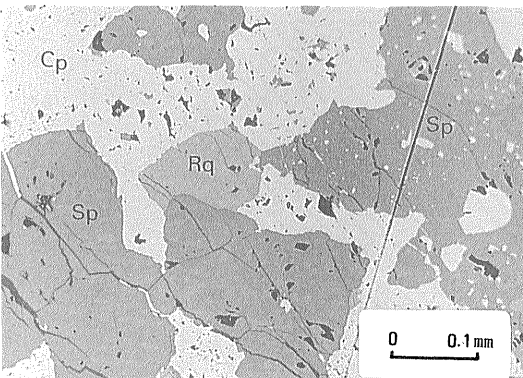
Fig. 3 Macrostructure of the Shirogane No. 2 vein, -4L. II: stage II mainly composed of sphalerite and chalcopyrite; IIIa: substage IIIa of chalcopyrite band; IIIb: substage IIIb of sphalerite band; IIIc: substage IIIc with quartz-sphalerite-chalcopyrite, RF: horse stone.



第4図 黄銅鉱中(Cp)にみられるスタノイダイト(Sd)
Fig. 4 Microphoto showing the mode of occurrence of stannoidite (Sd) on chalcopyrite background (Cp). No. 2805 C.



第6図 共存する黄銅鉱(Cp)と輝砒鉛鉱(Bi)
Fig. 6 Microphoto showing the coexistence of chalcopyrite (Cp) and bismuthinite (Bi). No. 2809 A.



第5図 黄銅鉱(Cp)と閃亜鉛鉱(Sp)の境界にみられる板状ロケサイト(Rq)
Fig. 5 Microphoto showing a tabular crystal of roquesite (Rq) between sphalerite (Sp) and chalcopyrite (Cp). No. 2902 B.

層群(主に火山岩)を母岩とする鉱床と堆積岩を母岩とする鉱床の間に来ることを指摘した。本報告の同位体組成はその範囲よりさらに軽い側にのびている(Figs. 7 and 8)。

これまでに発表されたデータのうち本論文の鉱化期に対比できるものを纏めて図示した(Fig. 8)。測定数が少ないので断定はできないが単純な硫化物の卓越するstage I, IIはレアメタルを伴い複雑な鉱物共生を示すstage IIIより $\delta^{34}\text{S}$ 値の範囲が狭い。

$\delta^{34}\text{S}$ 値の双峰分布についてみると stage IIIa, IIIb,

IIIcではあるようにもみえるがはっきりせず、IIでは認められない。

鉱種と $\delta^{34}\text{S}$ 値の対応関係を詳しくみると substage IIIcのCu-Sn鉱石(石英-黄銅鉱-錫石主体)の値が0~-2‰のせまい範囲に集中する事がわかった。この鉱石はインジウムとビスマスの独立鉱物相を含む事を特徴とする。またCu-Zn鉱石でもインジウムを含むものは同じ範囲に測定値が落ちることも明らかになった。

鉱体のレベルと同位体組成の対応関係は智恵門脈内でも明延全体でもない。鉱脈のある場所で外側から内側(より早い晶出の鉱石と遅い鉱石: 試料番号のうしろにAのついた鉱石が最も早い)に取った試料でも $\delta^{34}\text{S}$ 値は顕著な傾向を示さない。閃亜鉛鉱中の黄銅鉱粒子の形態と $\delta^{34}\text{S}$ 値にも対応関係はない。

4. 考 察

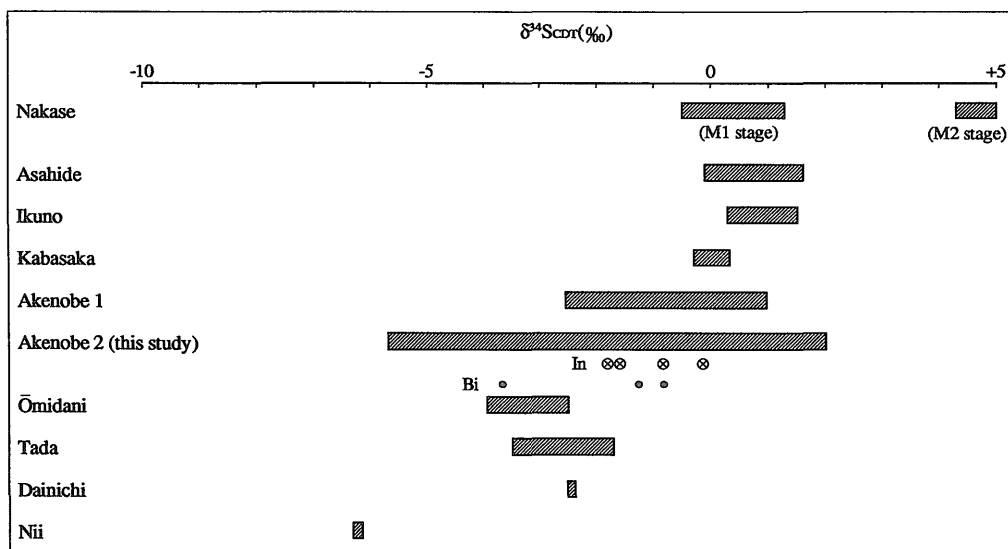
今回得られたデータの範囲は $\delta^{34}\text{S}$ 値の差異に関係火成岩だけでなく母岩の種類も違いも反映された可能性(三好ほか, 1988)を改めて示唆する。母岩の硫黄同位体組成の測定例がなく激しい変質を示す露頭もないので詳しい議論はできないが、明延鉱床の熱水が生野層群とその他の堆積岩の両方から硫黄を抽出した可能性を考えるとできよう。Substage IIIa, IIIbの同位体組成範囲がIIより広いことは後期ほど水-岩石相互反応が進んで母岩起源の硫黄が増えたことを意味するのかもしれない。Stage IIIはこのように広い範囲の硫黄同位体組成を持つがCu-Sn鉱石の示す同位体組成は1例を除き0~-2‰と狭い範囲に収まる。明延周辺の岩石を分析

第1表 明延鉱山産鉱石の鉱物組合せと硫黄同位体比

Table 1 Sulfur isotope data and mineral assemblage of each sample, Akenobe mine.

サンプル番号	採取位置	サンプル中の不透明鉱物													δ ³⁴ S (‰)		
		Gn	Sp	Cp	Rq	Bn	Asp	Tn	Py	Stu	Std	Mo	Bm	Mgt			
2803A	智恵門4号脈 -13L.,西押(Cu-Zn)		○	○			○		○								-0.3
2803B	同上	△		○		△	○						○				-3.6
2804A	智恵門4号脈 -14L.,西押(Cu-Zn)		○	○			△										-2.4
2804B	同上 (Cu-Sn)		○	○			△										-0.5
2804C	同上 (barren)		○				△								○		-2.0
2805A	智恵門4号脈 -14L.,東押(Sn-W)			△			△						△				-1.1
2805B	同上 (Cu-Sn)		△	△	△												-1.6
2805C	同上 (Cu-Zn)	△	○	○								△					-1.4
2807A	智恵門4号脈 -15L.,西押(Cu-Zn)	○		○			△										-2.9
2807B	同上 (Cu-Zn)			○			△								○		-3.1
2807C	同上 (Cu-Zn)	△	○	○													-1.6
2809A	智恵門4号脈 -16L.,西押			○			△				○			△			-0.9
2809B	同上 (Sn)									△			○	△			+2.0
2809C	同上 (Cu-Sn)			○	△		△				○						-0.5
2809D	同上 (Cu-Snを切る)		○	△						△				△			+0.2
2901A	智恵門4号脈 -15L.,西押		△	△			△						△	△			-1.3
2901B	同上 (Cu-Sn)			○	△		△				△						-0.8
2901C	同上 (Cu-Zn)		○	○			△								△		-4.6
2902A	同上 (Cu-Sn)			○							○			○			-1.4
2902B	同上 (Cu-Zn)	△	○	○	○				△		△						-1.7
2902C	同上 (Cu-Sn)		○	○													-1.7
2904	智恵門4号脈 -17L.,西押(Cu-Sn)		○	○			△	△									-0.7
2905B	同上 (Cu-Zn)		△	○	△		△								△		-0.2
2907A	智恵門4号脈 -14L.,西押(Cu-Sn)	△	△	○			△										-0.2
2907B	同上 (Cu-Sn)		△	○			△								△		-1.6
2907C	同上 (Cu-Zn)	△	○	○			△										-5.6

○:common mineral; △:rare mineral; Gn:galena; Sp:Sphalerite; Cp:chalcopyrite; Rq:roquesite; Bn:bornite; Asp:arsenopynite; Tn:tennantite-tetrahedrite series; Py:pyrite; Stn:Stannite; Std:stannoidite; Mo:molybdenite; Bm:bismuthinite; Mgt:magnetite.



第7図 明延とその周辺の鉱床の硫黄同位体組成。中瀬, 旭出, 生野, 樺阪, 明延1, 大身谷, 多田, 大日, 新井は三好ほか(1988)による。明延2は本研究のデータ。

Fig. 7 Sulfur isotope data for samples from subvolcanic veins in and around the Akenobe ore field. Data from Miyoshi *et al.* (1988) for Nakase, Asahide, Ikuno, Kabasaka, Akenobe 1, Omidani, Tada, Dainichi and Nii. Akenobe 2: this study.

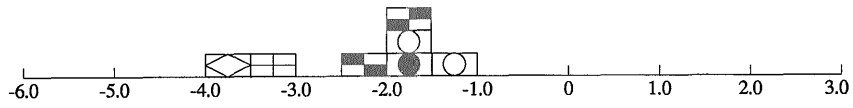
した寺島・石原(1982)はSn濃度が舞鶴層群で低くチタン鉄鉱系花崗岩で高いと報告した。従ってSnはマグマ起源とみなせる。さらに、鉱石には「マグマ的な」元素であるビスマス(Symonds *et al.*, 1987: 1992)が独立鉱物用として含まれるのでこの値は鉱床形成にかかわったマグマ水の値であると判断される。松久ほか(1980)は石英の酸素同位体組成を測定し、竜盛脈のCu-Sn鉱の熱水は測定対象の中で最も¹⁸Oに富み、したがって最もマグマ水が多いか高温岩体に近いところで同位体交換反応をした水が多いと述べているが今回の観察事実はこれと調和的である。明延ではまず天水の卓越する熱水系で水-岩石相互反応が進み、卑金属の沈澱しつつあったところへSn, Biなどを伴うマグマ的な水が侵入して、今みられる多金属鉱床帯が形成されたのであろう。なおチタン鉄鉱系花崗岩に伴われる鉱床のδ³⁴S値は0~-10‰の値を持つので(Sasaki and Ishihara, 1980)本研究で得られた値は明延のSn供給源としてチタン鉄鉱系和山山引原花崗岩を考える石原ほか(1981)の見解を支持する。

さて、Fig. 8のstage IIとIIIa, IIIaが重なればYamamoto(1974)のいう双峰性分布に似たδ³⁴Sの分布が得られる。しかし-3.5~-4.0‰付近の山が残

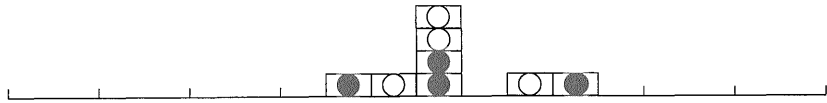
ってしまう。またstage Iには-2.0‰付近の山がある。明延産鉱石の特徴はδ³⁴S値の双峰性分布というよりも多峰性分布といえよう。明延では測定に適する流体包有物が極端に少なく熱力学的考察の基礎となる鉱物組みあわせも少ないので鉱床全体のδ³⁴S値について各ピークの原因を説明する事は困難である。しかしstage III内部では化学パラメータの差はあまり大きくないと考えられるので硫黄同位体組成の変動をSの起源の違いで説明する事は可能である。和山山引原花崗岩, 生野層群, 舞鶴層群, 丹波層群などSの起源物質と推定される地質体は多い。今後は各地層の硫黄同位体組成を系統的に測定し各岩体のS供給源としての貢献度を見積もらなければならない。また各岩体の金属含有量も測定し、δ³⁴S値と合せて考察する事によって鉱床生成モデルを検証・精密化する必要がある。

謝辞: 明延鉱業所には坑内調査の許可をいただき、種々の便宜を計っていただいた。特に伊藤和男博士, 杉山輝芳氏(現在ともに三菱マテリアル株式会社)および明和寮関係者にはお世話になった。大阪市立大学名誉教授中村威博士, 工業技術院の石原舜三院長, 日鉄鉱業の古野正憲博士, ニチポールの三好正博士には明延の鉱化作用

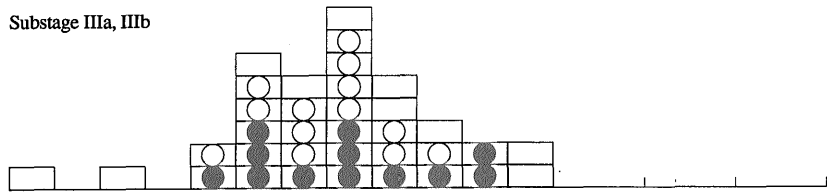
Stage I



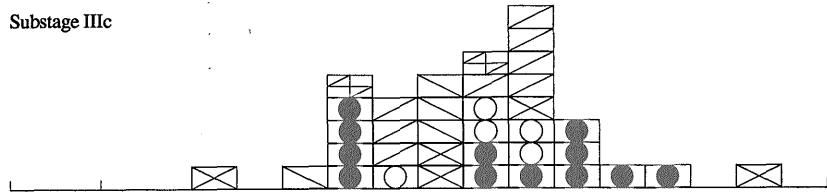
Stage II



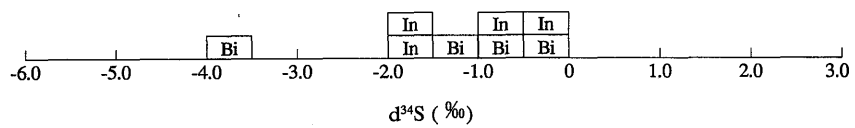
Substage IIIa, IIIb














Substage IIIc



Rare-metal bearing ore
(Cu-Zn and Cu-Sn ore: this study)



- | | |
|--|--|
|  Murao (1988), galena |  Miyoshi <i>et al.</i> (1988), chalcopyrite |
|  Yamamoto (1974), sphalerite |  Ishihara <i>et al.</i> (1981), Cu-Sn ore (bulk) |
|  Yamamoto (1974), chalcopyrite |  This study, sphalerite-chalcopyrite of Cu-Zn ore |
|  Yamamoto (1974), sphalerite |  This study, sphalerite-chalcopyrite of Cu-Sn ore |
|  Yamamoto (1974), bornite |  This study, sphalerite-chalcopyrite of Sn-W ore |
|  Miyoshi <i>et al.</i> (1988), sphalerite | |

第 8 図 各鉾化期の硫黄同位体組成.

Fig. 8 Sulfur isotope date for each mineralization stage of Akenobe.

について討論していただいた。徳島文理大学の添田 晶教授、広島大学の渡辺 洵助教授および星野健一博士には研究の指導を仰いだ。以上の皆様に厚く御礼申しあげる。

文 献

明延鉱業所(1980) 採鉱概況, 13 p.
 古野正憲(1992) 兵庫県明延鉱山およびその周辺地域の錫-多金属鉱化作用 —B 副族元素の自然界における挙動—。早稲田大学博士論文, 117 p.
 石原舜三・佐藤興平・月村勝宏(1981) 明延鉱床に関する若干の問題について。鉱山地質, vol. 31, p. 147-156.
 伊藤和男・高階和郎・杉山輝芳(1985) 明延鉱山智恵門脈群の下部探鉱とその成果について。鉱山地質, vol. 35, p. 119-132.
 金属鉱業事業団(1987) 昭和62年度精密調査報告書 播但地域。133 p.
 松久幸敬・佐藤憲隆・武内寿久禰(1980) 明延鉱山産脈石英の酸素同位体組成と鉱液の起源—予報—。鉱山地質, vol. 30, p. 251-254.
 三好 正・中村 威・日下部実(1988) 近畿地方の鉱脈鉱床における硫黄同位体組成。鉱山地質, vol. 38, p. 323-333.
 Murao, S. (1988) Mineralization stages and some orders of zonality in the Akenobe polymetallic ore deposits, SW Japan. *D. Sc. Dissertation, Hiroshima Univ.*, 137 p.
 三枝守維(1958) 明延鉱山の地質および鉱床。鉱山地質 vol. 8, p. 218-238.
 Sasaki, A. and Ishihara, S. (1980) Sulfur isotope characteristics of granitoids

and related mineral deposits in Japan. *Proc. 5th IAGOD Sym.*, Snowbird Utah, 1978. E. Schwiezerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, p. 325-335.

Sato, N. and Akiyama, Y. (1980) Structural control of the Akenobe tin-poly-metallic deposits, Southwest Japan. *Min. Geol., Spec. Issue*, no. 8, p.175-188.
 Symonds, R.B., Rose, W.I., Reed M.H., Lichte, F.E. and Finnegan, D.L. (1987) Volatilization, transport and sublimation of metallic and non-metallic elements in high temperature gases at Merapi Volcano, Indonesia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 51, p. 2083-2101.
 ———, Reed, M.H. and Rose, W.I. (1992) Origin, speciation, and fluxes of trace-element gases at Augustine volcano, Alaska: insights into magma degassing and fumarolic processes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 56, p. 633-657.
 寺島 滋・石原舜三(1982) 明延鉱床地域周辺の白亜紀花崗岩類における錫存在量。鉱山地質, vol. 32, p. 73-76.
 Yamamoto, M. (1974) Distribution of sulfur isotopes in the Ryusei vein of the Akenobe mine, Hyogo Prefecture, Japan. *Geochem. J.*, vol. 8, p. 75-86.

(受付: 1992年6月12日; 受理: 1992年12月21日)