

レアメタル資源 3・インジウム

村尾 智 (鉱物資源部)・安藤 厚 (元所員)
Satoshi MURAO Atsushi ANDOH

1. はじめに

今から100年程度前までわが国は鉱物資源を多産し銅などの輸出国でしたが現在は鉱産物に関して最も弱い国と言われ、マルコ・ポーロの言う金銀の国ジパングの面影はないかの様です。しかし古くからのことわざどおりに「残り物には福がある」こともあるのです。

実は日本は世界一のインジウム生産国なのですが案外とこの事は知られていません。そこで今回はインジウムについての情報を整理して紹介したいと思います。

2. インジウムとは

インジウムは1863年にフライブルク鉱山大学で Reich と Richter によって発見され分光写真機に写ったスペクトルがインディゴブルーだったところからインジウムと命名されました。周期表のⅢb属第5周期に属す銀白色の軟らかい金属でナイフで切る事ができます。その物理化学的特徴は第1表に示しました。これらの特徴のうち特に顕著なのは (1)軟らかさ (2)低い融点そして (3)高い沸点です。

3. インジウムの用途

インジウムの用途は (1)メッキ (2)合金 (3)その他に大別されます。

(1) メッキ：飛行機のエンジンのベアリング 自動車部品 アルミニウム導体 鋼鉄 宝飾品 (特に銀製品) にインジウムメッキが施されます。

このうち飛行機のピストンエンジンの鉛錫ベアリングの耐朽性能を高めるためのメッキが最も重要です。タービンエンジンの出現によってこの分野の需要は多少落ちてはいますがそれでもベアリングの主要メーカーである GKN Vandervell 社 (イギリス) だけで年間4 t も使用しています (Roskill Information Services Ltd., 1987)。

アルミニウム導体のメッキというのはアルミニウムの使われている電線電話回線の接点や端部に生じる亀裂をインジウムで埋めて回路の過熱を防ぐために使われるものです。

第1表 インジウムの性質。A：物理的性質；B：化学的性質；C：機械的性質 (金属鉱業事業団 1985)

(A)

原子番号	49
原子量	114.82
結晶構造	面心立方格子
格子定数 (Å)	$a_0=4.583, c_0=4.936$
原子半径 (Å)	1.62
密度 g/cc	7.31 (20°C)
比熱 cal/g	0.058 (20°C)
熱伝導度 cgs	0.06
電気・抵抗 $\mu\Omega\text{cm}$	9×10^{-6} (20°C) 29×10^{-6} (156.4°C)
融点	156.4°C
沸点	$2,000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$

(B)

溶液	濃度 (%)	pH	重量減 (mg/dm ² /day)	表面状態
塩酸	1	—	123	光沢あり
硝酸	1	—	2,920	粒界腐食を受けるが光沢あり
硫酸	1	—	176	光沢あり
酢酸	1	2.1	130.3	灰色
酢酸	5	—	172.9	曇灰色
くえん酸	1	2.15	21.8	光沢あり
くえん酸	5	—	122.2	光沢あり
蓚酸	1	1.45	117.6	非常に軽度の曇り
蓚酸	5	—	98	光沢あり
酪酸	5	—	151.5	非常に軽度の曇り
こはく酸	5	—	122.8	非常に軽度の曇り
炭酸ソーダ	5	—	0.7 (増加)	非常に軽度の曇り
苛性ソーダ	5	—	2.5 (増加)	軽灰色被覆

(出典：新金属データブック)

(C)

	インジウム	鉛	錫	カドミウム
ブルネル硬度	0.9	3.9	5.2	20.7
引張強さ (psi)	380	2,410	1,770	10,000
伸び (%)	22	32	37	42
断面収縮率 (%)	87	74	81	76
圧縮強さ (psi)	310	2,050	2,070	13,300
弾性係数 (psi)	1.57×10^6	—	—	—

注) 試験は100~130°Cで1週間焼鈍した材料について行なった。

(出典：新金属データブック)

第2表 歯科用合金の化学組成 (Roskill Information Services Ltd., 1987).

合金名	化学組成 (%)				
	Au	Pt	In	Pd	その他
Amator 2	82.0	11.9	1.8	1.8	2.5
Ceramco	87.7	6.1	0.6	4.6	1.0
Degudent	84.8	7.9	1.25	4.6	1.45
Herador	83.2	15.6	0.9	—	0.3
V 4	81.5	11.7	1.8	2.3	2.7
Cameo	51.5	—	6.8	29.5	12.2

鋼鉄のメッキはアルカリによる腐蝕を防ぐものでインジウムのみの場合と亜鉛-インジウム合金の場合があります。

(2) 合金：低融合金 (ハンダや易融合金) 歯科 鑄造用合金 原子炉制御棒として使われます。

インジウムを含むハンダは電子産業に不可欠なもので最近需要が増えています。従来の錫-鉛ハンダと異なり熱に対する疲労が小さく低温でも良い延性を示し ガラス シリカ セラミックスもうまくつなぐ事ができるので集積回路の組立て 半導体の接続 基盤と半導体チップの接着 真空チューブ内でのガラスと金属の封入に利用されています。

易融合金は錫 鉛 カドミウム ビスマス等にインジウムとガリウムが加わったもので低い融点を持つものです。主に光学レンズ製作用のレンズ支持台やヒューズ火災報知機に使われています。

歯科鑄造用合金は主に金 銀 パラジウムから成りますがインジウムを加えて酸素のスカーベンジャー* にすると同時に粒子の均一性と流動性を良くします。第2表に歯科用合金の組成を示しました。

原子炉 (軽水炉) には自由電子を吸収する銀-カドミウム-インジウム合金が制御棒として使用されます。

(3) その他：窓ガラス SOX ランプ 太陽電池 ウィンドシールド 各種ディスプレイ 半導体 トレーサー 潤滑油の添加剤などに使われます。

窓ガラスには銀とインジウム-錫酸化物が被膜として貼られます。この膜を貼ったガラスは赤外線の入りを押える効果があるので部屋を夏涼しく冬暖かくしてくれます。

SOX ランプ** というのはガラスの内面に三塩化インジウムを張付けた効率の良いランプで街灯やトンネル 橋脚 鉱山の坑内照明などに使用されています (第1図)。

太陽電池では蓄積した熱の散逸を防ぐための熱反射フィルターに酸化インジウムが使われています。



第1図 ドイツ-ベルギー国境とアントワープを結ぶE 3 高速道路に設置された SOX ランプ (フィリップス社照明用製品 パンフレットより)。

ウィンドシールドは飛行機の窓ガラスの氷結や曇りを防止するもので錫を添加した酸化インジウムのフィルムが利用されています。

トレーサーとしては医療用として使われている他 (Roskill Information Services Ltd., 1987) 地下水や熱水の追跡に有効であるとの報告もあります (Chrysiopoulos and Kruger, 1987)。

潤滑油の添加剤にインジウムが採用されたのは酸素のスカーベンジャーとして油の酸化を防ぐ事と摩擦を軽減するという二つの理由によります。

ディスプレイと半導体については応用例が多く記述が繁雑になりますので第3表に纏めました。

4. インジウム市場の動向

(1) 価格：インジウムの市場は供給量が減少したのに対し新しい用途の開発によって需要が増大した1970年代中頃から激しくなって来ました (第2図)。例えば The Indium Corporation of America 社がヨーロッパの自由市場に参入した1978年から価格は高騰し 1980年には \$643/kg にまでなりましたが世界中で生産能力増大の努

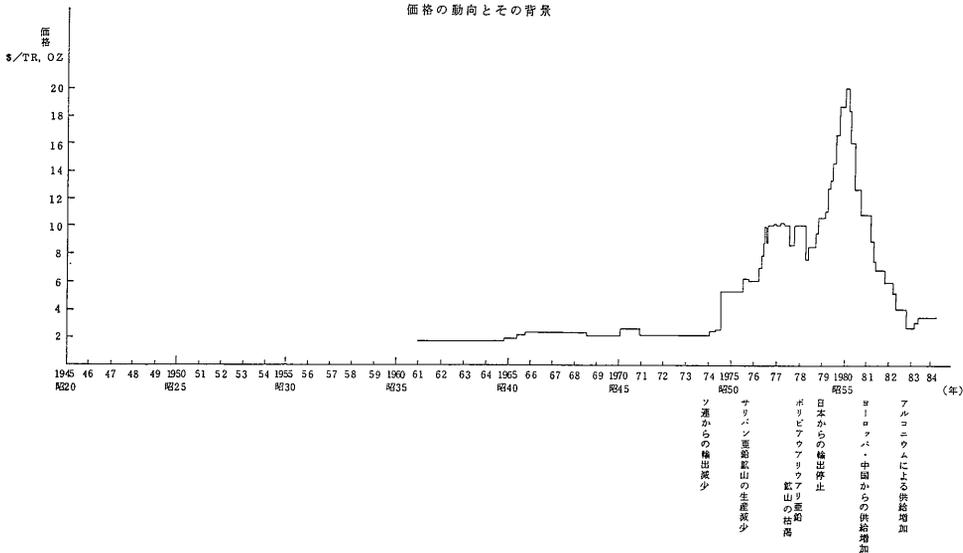
* scavenger 余計な元素を去除く清掃物質。

** SOX というのはフィリップス社の型番。現在 SOX 26, 36, 66, 91, 131 の5種を販売している。

第3表 インジウムを使用するディスプレイと半導体。 表中のデータは Roskill Information Services Ltd. (1987), センサ用語辞典, 情報・通信新語辞典, 科学大辞典による。

応用例	内容	応用例	内容
1. ディスプレイ Liquid crystal displays (LCD, 液晶表示板)	2枚のガラスシートの間に液晶がはさまれている。このガラスシートの内側にインジウムと錫の酸化物 (ITO) をはって電極にする。	(2) GP III-V 半導体 半導体レーザー	GaInAsP (発振波長 約1.2-1.6μm) InP (同 約1.2-1.6μm)、InGaSbAs (同 2-3μm) など。これらはヘテロ接合により組みあわせれば InP-InGaAsP系ヘテロ接合レーザーになる。半導体レーザーは光ファイバー通信光源、コンパクトディスク、ビデオディスクの信号読み出し光源、スーパーマーケットのバーコードスキャナー (ガリウムヒ素の基盤上に GaAlInP が重ねられたものを使用) 等に利用されている。
electrophoretic image displays (EPID)	2個の電極のうち1つにITOを使用。電極にはさまれた帯電色素粒子に100ボルト前後の電圧をかけることによりカラーの表示をつくる。	発光ダイオード (LED)	InGaAsP を使用。
electroluminescent displays (EL)	水平な電極と垂直な電極を交差させ、その交点の組み合わせによって表示をつくる。電極にITOを使用。	光検出器	InSb, InP, InGaAs を使用。InSb は CCD (charge coupled device*) に InGaAs は光通信に使われる。 [* CCDは電荷をアレイ状に転送できるMOS構造のデバイスでイメージセンサなどに使用される。日本はこの分野では世界一の In消費国である。]
gas discharge displays	In ₂ O ₃ を電極にした交流タイプの放電管 (PDP) にガスを充填して使用。	ジョセフソン素子	Josephson junction の半導体層に In と Au を使用。集積回路の高速化に利用。
vacuum fluorescent displays (VFD)	Wフィラメントの陰極とステンレス網の格子を隔壁に取りつけたものをカバーするガラスの内側にITOか酸化インジウムをはって帯電を防止。漢字の表示に適した方法。	quiteron (IBM社)	接点に Pb-In-Au 系を使用した素子で集積回路の高速化に利用。
electrochromic displays (ECD)	electrochromism (EC)* を利用した表示板。電極に酸化インジウムを使用。 [* たとえば W ₂ O ₃ (無色) + xLi ⁺ +xe ⁻ = Li _x W ₂ O ₃ (青色) のような反応。]	ホール素子	InSb のヘテロ接合型半導体を使ってつくる。ビデオテープレコーダー、フロッピーディスクのドライバー、オーディオ機器に利用。
2. 半導体 (1) doping agent	P-n-P型ゲルマニウムトランジスタのエミッター側の接点に In-Ga (0.2-0.5%Ga)、コレクター側に純粋なInを使用。ガリウムヒ素などの単結晶を成長させる時 Inをdopantとして使用し転移の少ない製品をつくる。	光トランジスタ	InP の基盤上に InGaAsやInPをつみ重ねてつくる。OEIC (opto-electronic integrated circuits, 光電子集積回路) に利用。

アメリカにおける標準品位インジウムの価格 (\$/TR, OZ, 100オンスインゴット) 価格の動向とその背景



第2図 インジウムの価格の動向 (金属鉱業事業団 1985).

1989年5月号

第4表 米国鉱山局によるインジウムの鉱量 (Carlin, 1985).

	埋蔵鉱量	その他の資源量
北米		
アメリカ	260	320
カナダ	60	—
メキシコ	230	320
南米	130	60
ヨーロッパ	420	130
アフリカ	190	30
アジア	260	160
オセアニア	190	320
世界合計	1740	2976

第5表 各国のインジウム鉱石産出量 (Roskill Information Services Ltd., 1987).

	鉱石生産量	精錬産物 生産量	精錬能力			
			1983 ¹	1983	1983	1984
北米:						
アメリカ	100	不明	700	700	700	700
カナダ	350	150	700	700	700	700
メキシコ	100	—	—	—	—	—
合計	550	150	1,400	1,400	1,400	1,400
南米:						
ペルー	200	100	200	200	200	200
その他	100	—	—	—	—	—
合計	300	100	200	200	200	200
欧州:						
ベルギー	—	400	800	800	800	800
東ドイツ	50	50	100	100	100	100
西ドイツ	50	50	500	500	500	500
フランス	—	300	400	400	400	400
イタリア	300	300	400	400	400	400
オランダ	50	50	100	100	100	100
ソ連	250	200	500	500	500	500
イギリス	—	100	200	200	200	200
その他	200	—	—	—	—	—
合計	900	1,450	3,000	3,000	3,000	3,000
アジア:						
中国	200	100	100	100	100	100
日本	200	400	1,000	1,000	1,000	1,000
北朝鮮	100	—	—	—	—	—
合計	500	500	1,100	1,100	1,100	1,100
オセアニア:						
オーストラリア	200	—	—	—	—	—
世界合計 ⁶	2,500	2,200	5,700	5,700	5,700	5,700

⁶ 推定。 (表中の数字は千トロイオンス。)
¹ 主に探採された亜鉛鉱石中のインジウム含量から推定。 ² 予測。

力が続けられた結果 1982年には \$85/kg に下がりました。1984年に中国がインジウム生産を始めた結果しばらく価格は下がりましたが1986年に中国のインジウムは底をつき1987年には \$160/kg に上昇しています。中国が暫くの間インジウムを供給できないと仮定

すると 価格は \$160-180/kg に落ち着くと予想されています (Roskill Information Services Ltd., 1987) が* 1979年後半から1980年の価格高騰時になされた設備投資のおかげで市場は安定化しつつあるので (金属鉱業事業団 1985) この数字からひどくそれることはしばらくないでしょう。

(2) 埋蔵鉱量: インジウムは常に亜鉛の副産物として回収されるので鉱量計算も亜鉛の量にもとずいて行われます。米国鉱山局は亜鉛鉱石中のインジウム含有量をもとにして全世界の鉱量 (reserves)**を1740トンと報告しました (第4表)。

(3) 生産量: 各国の鉱石産出量は Roskill Information Services Ltd. が亜鉛鉱石中のインジウム含有量を 15 ppm として亜鉛生産量から換算しています (第5表)。それによるとカナダ ペルー ソ連及び日本が主要な鉱石供給国であることが解ります。

精錬産物の量は各国ともデータが乏しく詳しいことは不明ですが 1986年現在 全世界の約115トンのうち約16トンを日本が担っており 精錬生産国としては世界一の実績を誇っています (第6表)。

(4) 製品の形態: インジウムはユーザーの希望する形で取引されるので市場にはバー インゴット (通常100オンス) ペレット ロッド ワイヤー 粉末など様々な製品が出回っています (第3図)。製品の純度は Carlin (1980)によると99.97%が普通ですが日本鉱業の場合は大分の佐賀ノ関精錬所 (第4図)で一般ユーザー用に4N***北茨城市の同社磯原工場用に5Nの製品を作り 磯原工場では先端産業用に6又は7Nの製品を生産しています (日本鉱業磯原工場案内パンフレット)。

(5) 問題点: 問題としては (a) インジウムは亜鉛の副産物として回収されるので生産量及び価格のコントロールができない; (b) 個々の鉱山内での存在量が小さいので長期にわたって一つの鉱山に生産を頼ることができない; (c) 探査指針が「亜鉛鉱床の探査に準ずる (Carlin, 1985)」程度の認識に止まっている; (d) 最近高純度製品の需要が高まっているが精製段階の利益率が悪いと

* 1988~1989年の地金価格: 1988年1月5日~10月31日, 大口取引44000円/kg, 小口取引49000円/kg, 11月1日~11月30日, 大口41000円/kg, 小口46000円/kg, 12月1日~1989年1月現在, 大口38000円/kg, 小口43000円/kg. 値段の変化は主に為替の変動による (日本鉱業磯原工場調べ)。

** reserves は USGS Circular 831 による。

*** N は nine の略. 従って 4N は 99.99%の意。

第6表 各国のインジウム生産量 (Roskill Information Services Ltd., 1987).

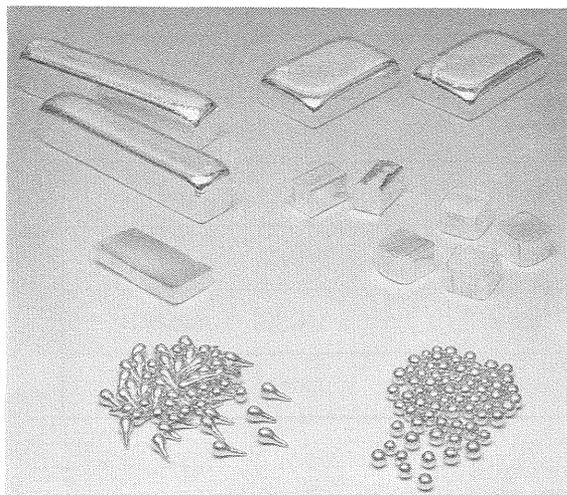
国名	企業名	生産量 (t)
ベルギー	MHO	15
フランス	Penarroya	} 19 *
イタリア	Pertusola	
イギリス	Capper Pass	
	Johnson Matthey	2
	MCP	10
オランダ	Billiton	1
東ドイツ	VEB	1
西ドイツ	Preussag	1
日本	日本鉱業	16
中国	国営企業	6
ソ連	国営企業	6
アメリカ	Indium Corp.	} 25
	Arconium	
ペルー	Centromin-Peru	4
カナダ	Cominco	6
合計		115

* イタリアの Pertusola はフランスの Penarroya の子会社。

いった点が挙げられます。

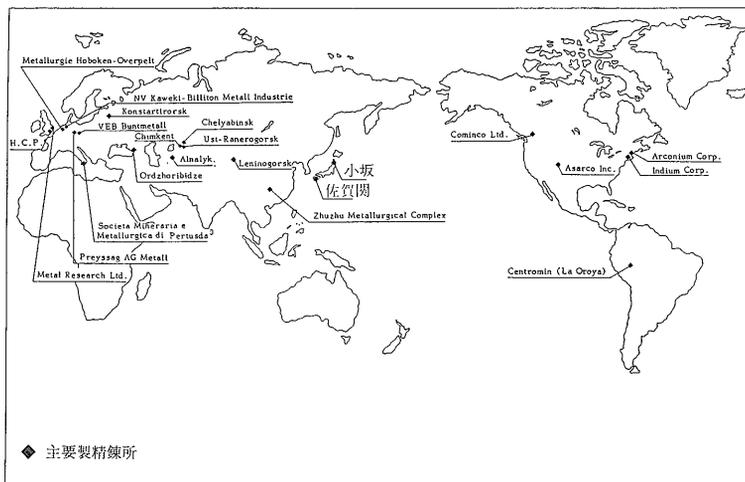
5. 天然に於けるインジウム

(1) 鉱物種：1963年までインジウムは硫化物や珪酸塩鉱物中に不純物として入ることが指摘されていただけで独立した鉱物相は知られていませんでした。今では5種の鉱物が記載されています(第7表)。



第3図 製品となったインジウムの形態(日本鉱業高純度インジウムカタグ)。

ロケサイトはフランスの Charrier (シャリエ) 鉱山産鉱石中の斑銅鉱に 伴われる 包有物として発見され Picot と Pierott (1963) によって記載されました。彼らは人工合成した $CuInS_2$ と比較検討しこの包有物が黄銅鉱と同じ結晶構造で $CuInS_2$ なる化学組成を持つことをつきとめました。この後 日本の明延鉱山永世脈(加藤・篠原 1968) カナダの Mount Pleasant (Sutherland and Boorman, 1969) ソ連のカザフスタン (Yarenskaya and Slyusarev, 1970) やコーカサス (Kachalovskaya et al., 1973) フランスの col du Lautare (Picot, 1973) スウェーデンの Långban (ロングボーン; Burke and Kieft, 1980) 等ぞくぞくと発見され 更にインドの Tosham 鉱床からは 銀を含むものが報告されています (Seetharam,



第4図 インジウム精練所の分布(金属鉱業事業団 1985)。

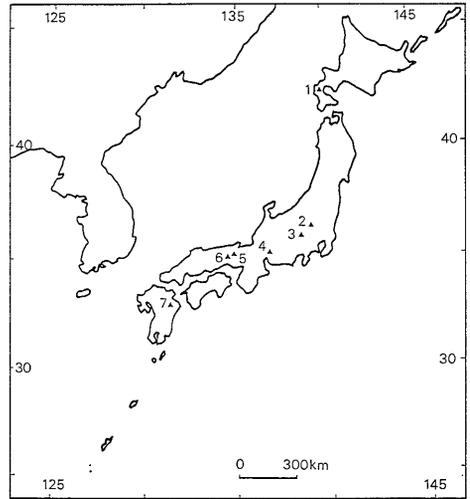
第7表 インジウムの独立鉱物相.

鉱物種	化学組成
自然インジウム	In
ロケサイト	CuInS ₂
インダイト	FeIn ₂ S ₄
桜井鉱	(Cu, Zn, Fe, Ag) ₃ InS ₄
ジャリンダイト	In(OH) ₃

1986).

桜井鉱は1965年に加藤 昭によって記載され桜井欽一博士に因んで命名された Cu-Zn-Fe-In-Sn-S 系鉱物です。兵庫県生野鉱山金香瀬(かながせ)坑千珠本鍾本坑水準19号南押付近の緑泥石化した中性ないし酸性火砕岩類を母岩とする複成脈から発見されました(第5図及び第6図参照)。化学組成からケステライトのインジウム置換体(加藤 1965) またはインジウム-亜鉛置換体(Shimizu et al., 1986) ではないかと考えられています。

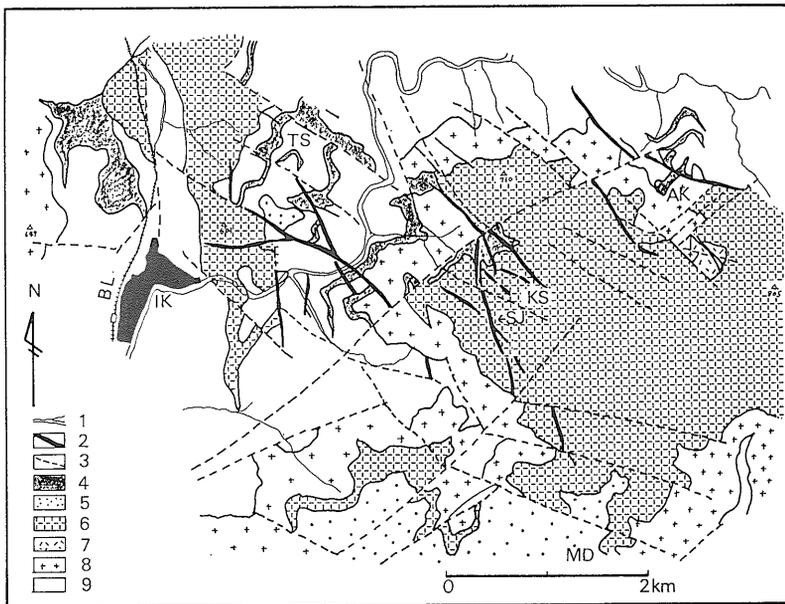
インダイトとジャリンダイトは Genkin と Murav'eva (1963) によって小興安嶺ソ連領 Jalinda (ジャリンダ) 鉱床から発見されました。インダイトはコロフォーム状



第5図 本稿で取上げた国内鉱山の位置. 1: 豊羽 国富; 2: 足尾; 3: 滝王; 4: 遠ヶ根 馬吉 黒川; 5: 生野; 6: 明延; 7: 豊栄 尾平 土呂久.

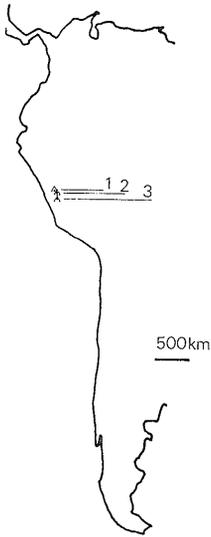
錫石中 または錫石を膠結する石英中に微小粒子として存在し 予め沈澱していた含インジウム錫石が後の鉱化流体によって分解されて生成したと考えられています。ジャリンダイトはこのインダイトを交代する産状を示すので二次生成鉱物とされています。

自然インジウムは東トランスバイカリア地方のグライゼン化 アルビタイト化を受けた花崗岩中に発見されま



第6図 生野鉱山地質鉱床図(丸山 1957 原図). 1: 水系; 2: 鉱脈; 3: 断層; 4: 玄武岩; 5: 石英斑岩; 6: 金香瀬古城安山岩; 7: ヒン岩; 8: 金香瀬石英粗面岩; 9: 凝灰岩類; AK: 青草地区; BL: 播但線; CF: 粘土断層; IK: 生野市街地; KS: 金香瀬地区; MD: 本谷地区; SJ: 千珠本鍾; TS: 太盛地区.

第7図 ペルーの鉱床分布図. 1: Cerro de Pasco; 2: Colquijirca; 3: Morococha.



第8表 南米の鉱産資源 (Petersen, 1977).

産物	国名	1976年現在の世界の生産量に対する割合 (%)	1974/76年の順位
アンチモン	ボリビア	19	2
重晶石	ペルー	5	5
ベリリウム	アルゼンチン	5	4
ビスマス	ボリビア	19	1
	ペルー	17	
ホウ素	アルゼンチン		
	チリ		
銅	チリ	12	3
	ペルー	3	
インジウム	ペルー	5	
ヨウ素	チリ		
鉛	ペルー	5	5
モリブデン	チリ	11	3
	ペルー	1	
白金	コロンビア		
レニウム	チリ	27	2
	ペルー	4	
セレン	チリ	1	2
	ペルー	1	
銀	ペルー	13	3/4
テルル	ペルー	17	3
錫	ボリビア	12	2/3
タングステン	ボリビア	7	3/4
亜鉛	ペルー	7	5

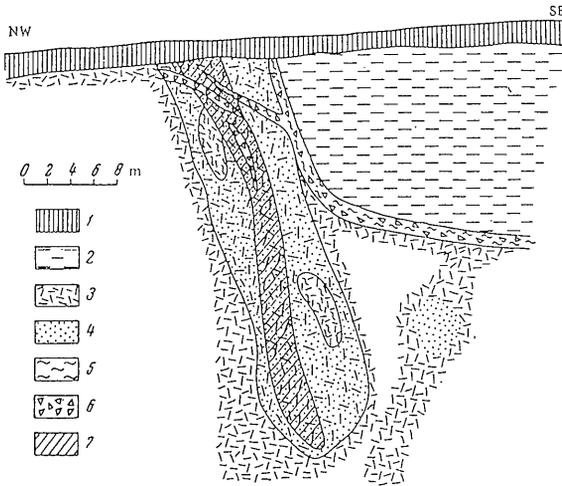
した。これはおそらくインジウムを含む黒雲母花崗岩がアルビタイト化を受けた際に濃集したのでであろうと言われています (Vlasov, 1966)。自然インジウムはこの他錫を含むウクライナのグライゼンからも報告されています (Nechayev et al., 1987)。(2) 硫化物中の不純物：インジウムはその鉱物種からも解るように親銅性の強い元素ですが天然で濃集する場合一般に硫化物に固溶しています。特に閃亜鉛鉱中に多く、通常10から1000ppm時には1wt% (Shaw, 1952) 固溶し、次いで黄銅鉱や黄錫鉱に入ります。精錬に回される鉱石は最低 10ppmのインジウム含有量が必要で例えばイギリスの Avonmouth 精錬所の場合 10から 740ppm ほど含んでいます (Highley et al., 1988)。インジウムは錫石にも含まれ、極東ソ連など多い所では1%を越えることもあります (Genkin and Murav'eva, 1963)。(3) 主要な鉱床：ここでは現在稼行しているのいないに拘らずデータが公表されている鉱床について御紹介したいと思います。

カナダの鉱床としては Sullivan と Mount Pleasant が有名ですが Sullivan のインジウムについて公表されたデータはありません。Mount Pleasant はニューブルズウィック州にある Cornwall 型 (つまりゼノサーマル型) の錫鉱床で (Petruk, 1964) 石炭紀の火山活動によって成立したと考えられています。鉱物種は非常に多様で、多い順に 閃亜鉛鉱、硫砒鉄鉱、黄鉄鉱、黄銅鉱、方鉛鉱、錫石、黄錫鉱、輝水鉛鉱、電気石、鉄マンガン重石、灰重石、赤鉄鉱、砒四面銅鉱、輝銅鉱、ダイジュナイト、銅藍、自然蒼鉛、輝蒼鉛、閃蒼鉛銅鉱、グローコードト、白鉄鉱、磁硫鉄鉱、自然金、菱鉄鉱、針鉄鉱、スコロダイト、arsenobismite、孔雀石 (以上 Petruk,

1964) 鉛-ビスマス硫酸鉱物 (Boorman, 1968) ロケサイト (Sutherland and Boorman, 1969) が報告されています。インジウムはロケサイトの他に閃亜鉛鉱とテトラゴナル黄錫鉱にそれぞれ 1.25 又は 2.10wt % 含まれます。

ペルーについては (第7図, 第8表) Soler (1987) の報告がありますが、それによると Pucara (プカラ) 地区の volcano-sedimentary 鉱床 Morococha (モロコチャ) 地区の鉱床 Colquijirca (コルクヒルカ; volcano-sedimentary 型) Cerro de Pasco (セッコ デ パスコ) のインジウムの濃度が高いようです。インジウムは一般に閃亜鉛鉱に濃集すると考えられていますがペルーではそうでない場合があるらしく Soler (1987) が分析した 89 鉱山の 1500 試料では In (ppm)/Zn (%) の値が 0.2 から 5 以上に変化しています。ただし volcano-sedimentary 型の場合は閃亜鉛鉱中のインジウム含量は一様になっています (In(ppm)/Zn (%) が 3 から 5)。

ソビエト連邦のレアメタル鉱床はコラ半島、東カザフスタン、ウラル、ウクライナ及びトランスバイカル地方や (Antropov, 1956) 中央アジアにある (Antropov, 1959)



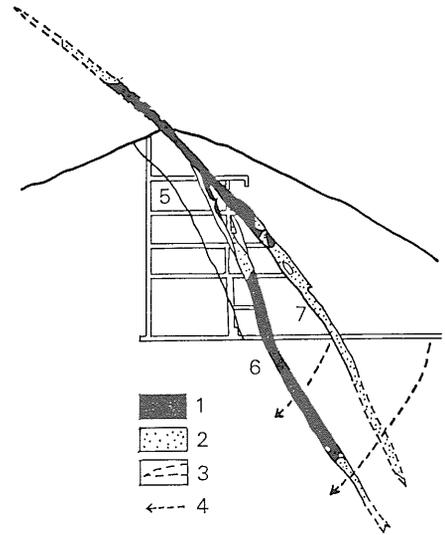
第8図 Dzalinda 鉛床断面図 (Vlasov, 1968 による)。 1: 崖錐; 2: 石英斑岩の凝灰岩; 3: 石英斑岩; 4: 珪化・絹雲母化; 5: カオリン化; 6: shatter zone; 7: wood tin のポケットを伴う鉛体。

とされています。一般に錫石を含む硫化物-珪酸塩脈中の硫化物(例えば閃亜鉛鉱-黄銅鉱-磁硫鉄鉱; Ivanov and Yushko-Zakharova, 1977)に伴われ、錫石はいわゆる“wood tin”で In と Fe の間に良い相関関係がある (Vlasov, 1966) ことが特徴です。又 スカルン鉛床にも伴われます。これまでに文献に現れた鉛山としては Deputaskoe (デプータスコエ) Dzhalinda (ジャリンドー) Lifudzin (リフージン) や Maikhura (マイフーラ) があります。

Deputaskoe 鉛床では In は Fe^{2+} に似た挙動を示し 2 回の鉛化期のうち酸化的环境であった前期では Fe を含む珪酸塩鉛物と鉄-マンガン重石に還元性を示す後期では Fe を含む硫化物と炭酸塩鉛物に入ります (Ivanov and Rozbianskaya, 1961)。

Dzhalinda 鉛床は珪化 絹雲母化 カオリン化を受けた白亜紀の石英斑岩及び凝灰岩中に数メートルから数百メートルの長さの脈状 レンズ状 ポケット状の鉛体として胚胎しています。この鉛体は強く変質して石英の集合体となった母岩の浅い部分に限られ“wood tin”と碎屑物から成っています (第8図)。インジウム鉛物はインダイトとジャリンドイトで錫石を切る石英-硫化物脈中に産します。インダイトはインジウムに富む錫石から後期の鉛化流体によって溶出したインジウムが再沈澱してでき ジャリンドイトはインダイトが浅性富化作用を受けてできたと考えられています (Genkin and Murav'eva, 1963)。

Lifudzin 鉛床はジュラ-白亜紀の砂岩 頁岩を切る破

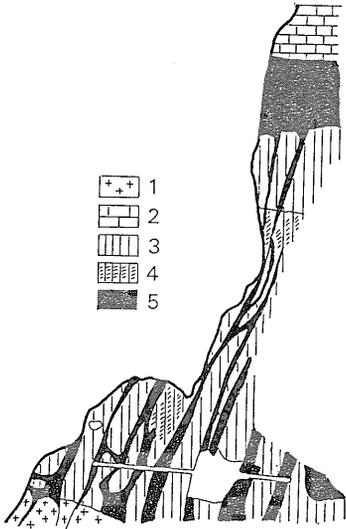


第9図 Lifudzin 鉛床断面図 (スミルノフ1976: 岸本文男訳より)。 1: 錫石-石英鉛化作用-第一段階; 2: 硫化物鉛化作用-第二段階; 3: 石英-炭酸塩鉛物鉛化作用-第四段階; 4: 試錐; 5: ヴォドノスナヤ脈; 6: パラレリナヤ脈; 7: グラヴナヤ脈。

砕帯中の石英-錫石脈から成り (第9図) 4 回の鉛化期が設定されています (Zabarina et al., 1961)。すなわち (a) 石英-錫石期 (電気石伴う); (b) 硫砒鉄鉱-黄銅鉱期 (緑泥石伴う); (c) 閃亜鉛鉱-方鉛鉱期 (方解石 石英 絹雲母 緑泥石の殻に包まれる硫化物の細脈又はポッド); (d) 石英-炭酸塩鉛物期ですが (a) が強く (c) は弱いと報告されています。インジウムは (a) の錫石に 0.001 から 0.05% (b) {一部(c)} の黄銅鉱に 0.0 n から 0. n % また (c) の閃亜鉛鉱に 0.00 n から 0. n % のオーダーで入っています。錫石には結晶度の高いものとコロフォーム状のものがありますがインジウムはどちらかというと後者に多く集まっています*。黄銅鉱は閃亜鉛鉱 黄銅鉱 輝蒼鉛鉱 硫砒鉄鉱等の包有物を伴いますがこれらの頻度とインジウムの含有量の間には相関はありません**。また黄銅鉱中の In, Zn, Sn 含有量の間にも特別な関係はありません (以上 Zabarina et al., 1961)。

* In が wood tin に集まる傾向は Little Kingan 山地 (It-sikson and Rusanov, 1964) や Dzhalindin 鉛床 (Komarova and Novorossova, 1959) でも報告がある。

** 黄銅鉱中の閃亜鉛鉱ブレップに In が来ると考えられる鉛床もある (南部 Primor'ye 地方: Zabarina et al., 1961)。



第10図 Maikhura 鉱床地質図 (スミルノフ 1976: 岸本文男 訳より). 1: 花崗閃緑岩; 2: 石灰岩; 3: ざくろ石質スカルン; 4: 石英-ざくろ石質スカルン; 5: 石英-硫化鉱物質生成体.

Maikhura 鉱山は中央 Tadzhikistan の“Gissar Range”の南斜面に位置する錫-タングステンスカルン鉱床でスカルン鉱体とそれより後期で錫石と灰重石を伴う石英-硫化物脈から成ります(第10図). 最大のスカルン鉱体は古生代中期の変成岩と花崗閃緑岩の接触部に発達しています. スカルンは輝石スカルン ガーネットスカルン 輝石-ガーネットスカルン及びガーネット-輝石スカル



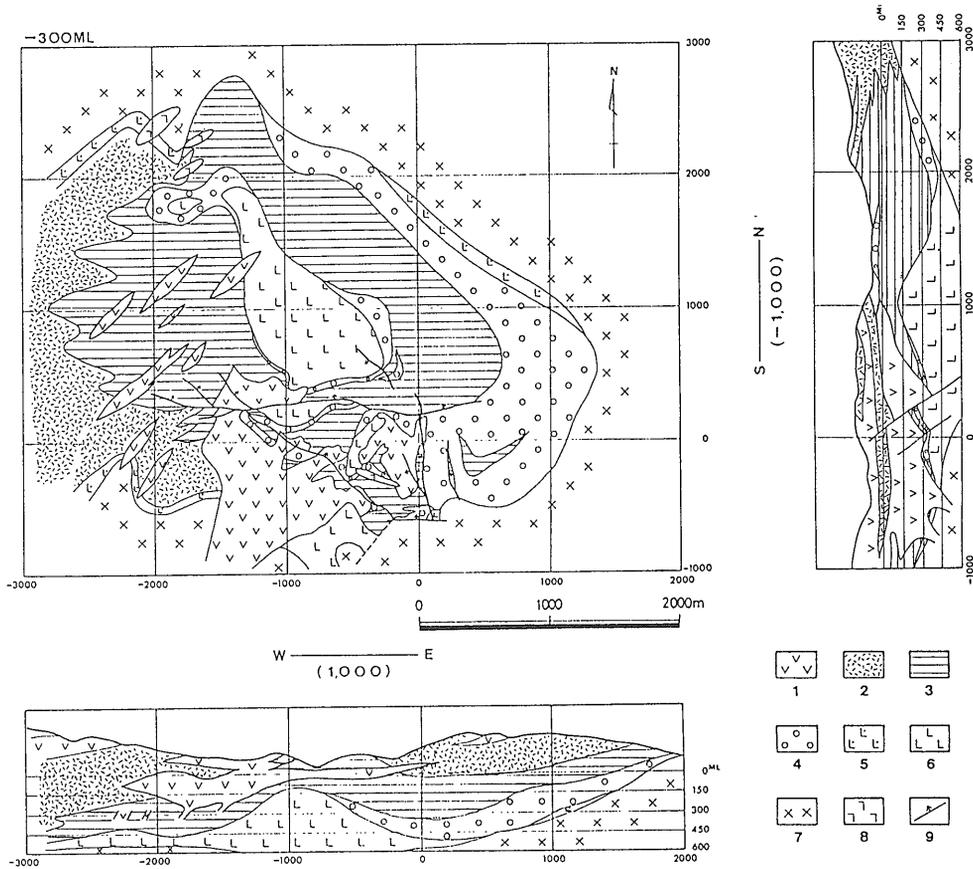
第11図 豊羽鉱山事務所周辺.

ンに分類されます. インジウムはスカルン及び脈状鉱体の閃亜鉛鉱のみに含まれ (平均 0.021%) 前者でより高い濃度を示します. この鉱山ではカドミウムの含有量も高いのですがその濃集の傾向がインジウムと逆という特徴を持っています (以上 Mogarovski and Rosseikin, 1961).

日本では豊羽が稼行中のインジウム鉱山として重要です (第5図, 第11図). 豊羽鉱床は中新統の火山岩類に胚胎する多金属鉱脈鉱床で (第12図A) 生成は鮮新世から更新世に及びぶと考えられています (沢井・板谷 1988). 鉱化期はテクトニックパウンダリーにもとずいて第I期から第VII期に分けられています (第9表). インジウム鉱物は第III期後半から第V期の鉱石に含まれていますが細粒なため詳しい研究は遅れています (成井ほか

第9表 豊羽鉱床の鉱化期 (成井ほか 1988).

鉱物種	前期		後期				
	I	II	III	IV	V	VI	VII
閃亜鉛鉱						
ワルツ鉱						
方鉛鉱						
黄鉄鉱						
白鉄鉱						
黄銅鉱						
赤鉄鉱						
磁鉄鉱						
磁硫鉄鉱						
磁硫鉄鉱						
黄銅鉱						
銀石						
Pb-Sn系銀鉱物						
鉄-マンガン重石						
輝安鉱-毛鉱						
ベルチェライト						
Zn-In 鉱物						
Cu-In 鉱物						
輝銀鉱						
自然銀						
エレクトラム						
銀四面銅鉱						
凝結銀鉱						
ダイアフロライト						
輝安銅銀鉱						
輝安銀鉱						
脆銀鉱						
ホカルタイト						
カンフィルダイト						
Ag-In 鉱物						
石英						
菱マンガン鉱						
マンガン柱状塩鉱物						
方解石						
緑泥石						



1. 安山岩(長門層)および同岩脈, 2. 安山岩質凝灰岩(長門層), 3. 泥岩・砂岩(本山層), 4. 礫岩(本山層), 5. 石英安山岩質溶結凝灰岩(小柳沢層), 6. 石英安山岩溶岩門頂丘(小柳沢層), 7. 玄武岩・安山岩・溶岩(小柳沢層), 8. 石英安山岩岩脈, 9. 鉱脈

第12図 A 豊羽鉱山地質図(桑原ほか, 1983).

1988). 第10表に豊羽産インジウム鉱物のデータを示します。豊羽のインジウム含有量は平均 250 g/t 程度ですがインジウム鉱物相の確認されている第Ⅲ期から第Ⅴ期の鉱石では 300~400 g/t になります。また局所的には(但馬鍾 空知鍾及び出雲鍾; 第12図B)閃亜鉛鉱中の濃度が数 kg/t になる事もあります(第11表: 楠田ほか 1985)。

豊羽以外では国富(木下 1965) 竜王第二(安藤・高島 1963) 足尾(第12表) 明延(加藤・篠原 1968; Murao, 1988) 生野(加藤 1965; 清水ほか 1986) 遠ヶ根 黒川 馬吉(五十嵐 1963) 豊栄(安藤・大町 1973) 九州外帯の尾平型鉱床(牟田 1960) など(第5図) でインジウムの濃集が知られています。

竜王第二鉱山は長野県に位置する古生界中のスカルン鉱床で 硫砒鉄鉱を産しました。インジウムは珪灰鉄鉱中に10から100ppm濃集しています(安藤・高島 1963)。

明延(第13, 14図)は本邦で初めてロケサイトが記載された鉱山で(加藤・篠原 1968) 兵庫県中央部 舞鶴帯中に位置しています。鉱床はゼノサーマル型Pb-Zn-Ag-Cu-Sn-W 鉱脈鉱床で(一部にキースラーガーがある: Abe and Sekine, 1963) 舞鶴層群最下部層 下部層及び中部層に胚胎しています(第15図)。鉱化作用については不明な点が多く 鉱脈の生成時期 関係火成岩 鉱化期区分 鉱床生成環境いづれもはっきりした事は判っていません。鉱脈はその品位により Pb-Zn Cu-Zn Cu-Sn Sn-W 脈に分類されており様々なオーダーの帯状構造が観察されます(第16, 17図)。しかし 鉱脈の種類とマクロストラクチャーに基づき 鉱化期が調和的でない(村尾・浦辺 投稿中) ため観察事実の整理が難しく成因論はあまり進展していません。始めにロケサイトが見つかった永世脈(Sn-W 脈)ではロケサイトは閃亜鉛鉱に密接に伴いミルメカイト状の組織を示します。この組織は

第10表 豊羽鉱山産インジウム鉱物.

鉱物種	産状	化学組成	文献
亜鉛-インジウム鉱物	閃亜鉛鉱中に帯状に存在	不明	太田(1980)
銀-インジウム鉱物	亜鉛-インジウム鉱物を切る	不明	同上
亜鉛-インジウム鉱物	閃亜鉛鉱中に結状に存在	$(\text{Ag,Cu})_{1-2}(\text{Zn,Fe})_{1-2}(\text{In,Sn})\text{S}_4$ $+14.4\text{Zn}_{0.97}\text{S}$	白井ほか(1983)
	同上	$(\text{Ag,Cu})_{1-1}(\text{Zn,Fe})_{1-0.9}(\text{In,Sn})\text{S}_4$ $+9.3\text{Zn}_{1-1.7}\text{S}$	同上
	同上	$(\text{Ag,Cu})_{1-2}(\text{Zn,Fe})_{1-0.9}(\text{In,Sn})\text{S}_4$ $+2.3\text{Zn}_{0.1-0.4}\text{S}$	同上
高インジウム含有鉱物	同上	$(\text{Ag,Cu})_{1-2}(\text{Zn,Fe})_{1-2}(\text{In,Sn})\text{S}_{2-7}$	同上

第11表 豊羽鉱山産閃亜鉛鉱中の微量元素濃度
(楠田ほか, 1985).

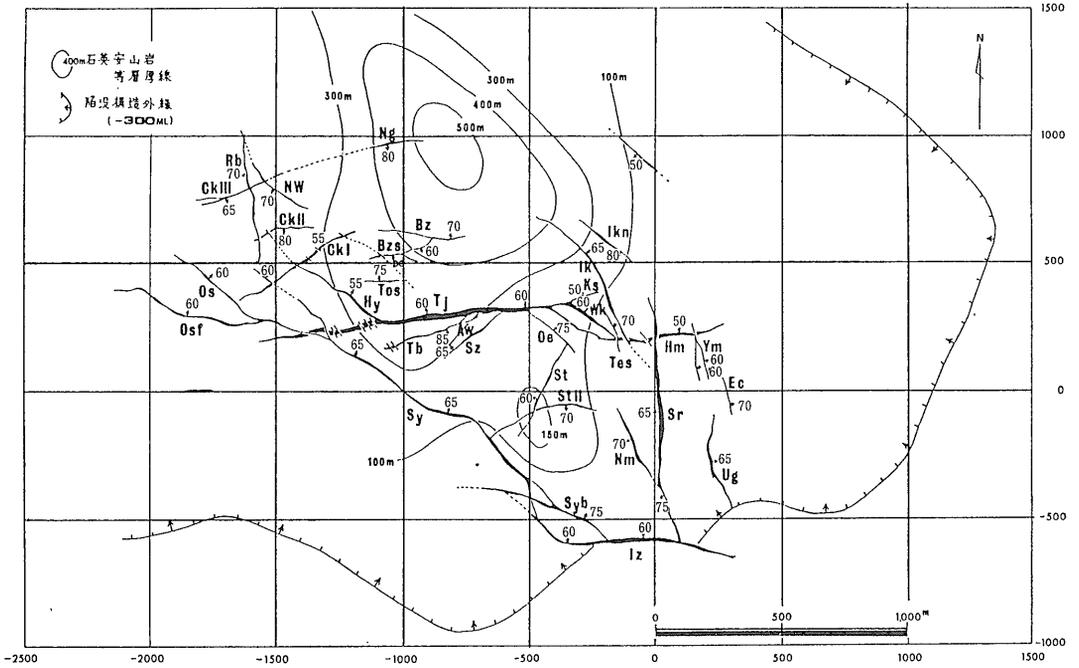
Sample No.	Sphalerite			Galena			Pyrite		
	Ag (ppm)	In (ppm)	Sn (ppm)	Ag (ppm)	In (ppm)	Sn (ppm)	Ag (ppm)	In (ppm)	Sn (ppm)
831001-3	230	<15	<200	240	<30	<400			
831001-4	350	<15	<200				290	<15	<200
831001-5	480	<15	<200	330	<30	<400			
831001-6							60	<15	<200
831001-7							85	<15	<200
831001-8							85	<15	<200
831001-10	140	<15	<200	3900	<30	<400	360	<15	<200
831001-11	180	<15	<200				250	<15	<200
801217-11	95	<15	<200	430	<30	<400	70	<15	<200
801217-12	45	370	<200	280	<30	<400	100	<15	<200
801217-13							35	<15	<200
801217-14				600	<30	<400	140	<15	<200
801217-15				250	<30	<400	70	<15	<200
801217-16	70	150	<200	630	<30	<400	170	70	<200
801217-17	280	730	<200	350	<30	<400	170	<15	<200
801219-6	200	180	<200	430	<30	<400	346	<15	<200
801219-7	30	<15	<200	330	<30	<400	95	<15	<200
801218-9	40	310	<200	650	<30	<400	45	<15	<200
801218-11	60	680	450				25	<15	<200
801218-13	250	60	450				65	<15	<200
801218-14	180	950	<200				40	<15	<200
801218-16							270	<15	<200
801218-18	20	50	<200	350	<30	<400	65	<15	<200
801218-2	100	940	3500	800	<30	<400	60	30	650
801218-3	200	400	1300	2000	<30	<400			
801218-4	240	130	2600				50	<15	<200
801218-7	130	810	1200				100	80	650
801217-2	160	40	<200	5700	<30	<400	260	<15	<200
801217-3	110	<15	<200	1600	<30	<400	120	<15	<200
801217-6	150	380	<200	1500	<30	<400	75	<15	<200
801217-7	220	190	400	4100	<30	<400			
801217-8	360	240	<200	3900	<30	<400	290	40	<200
801217-9	190	4100	1500				70	860	750
801219-1	750	760	400	5400	80	<400			
801219-2	75	220	<200	530	<30	<400	45	<15	<200
801219-3	190	310	550				40	<15	<200
801219-5	120	800	850	4900	<30	<400	460	320	600



第13図 明延の街並.

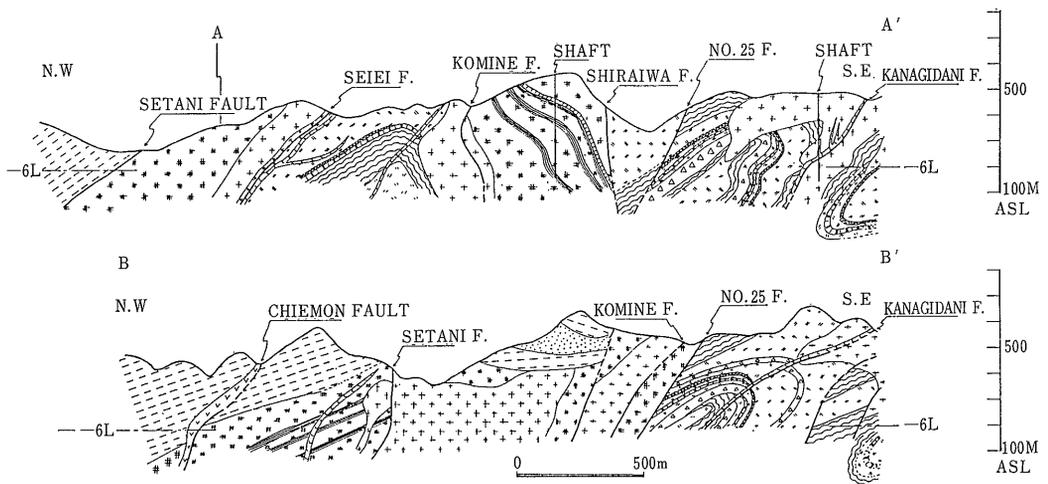


第14図 明延鉱山名物「一元電車」.



- | | | | | | |
|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------|------------|
| CkI : 第1筑後, | CkII : 第2筑後, | CkIII : 第3筑後, | Ng : 長門, | Rb : 礼文, | NW : NW新脈, |
| Tj : 但馬, | Wk : 若狭, | Ks : 鹿島, | Hm : 播磨, | Tb : 丹波, | Sz : 鈴鹿, |
| Ik : 石狩, | IkN : 石狩北, | St : 薩摩, | StII : 第2薩摩, | Syb : 宗谷分岐, | Iz : 出雲, |
| Nm : 根室, | Sr : 空知, | Ug : 羽後, | Os : 渡島, | Osf : 渡島下盤, | Hy : 捨山, |
| Oe : 大江沢, | Sy : 宗谷, | Bz : 備前, | Bzs : 新備前, | Tos : 土佐, | Ym : 大和, |
| Tes : 天塩, | Aw : 淡路, | Ec : 越後, | | | |

第12図 B 鉱床図 (桑原ほか 1983).



Geological plan and profiles of the Akenobe Mine.

Name of faults, I: Chiemon, II: Setani, III: Yonmyaku, IV: No.3, V: Akenobe, VI: Ohtake, VII: Seiei, VIII: Daiju, IX: Komine, X: Shiraiwa, XI: Rokusei, XII: No.25, XIII: Kanagidani, XIV: No.42, Numerals within circles correspond to the numbers of veins listed in Table 1.

第15図 明延鉱山地質鉱床図 (Sato and Akiyama, 1980).

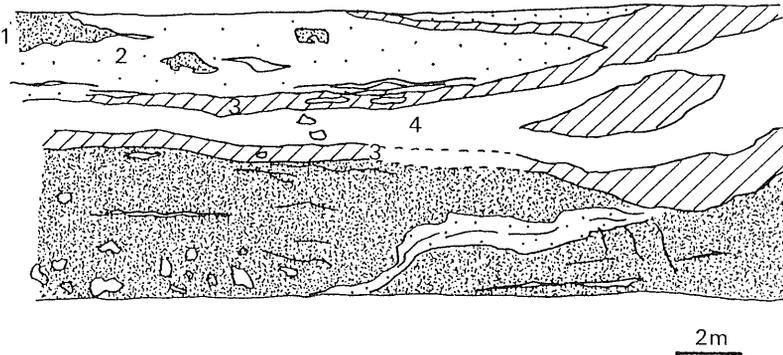
第12表 足尾鉱山産鉱物のインジウム含有量.

鉱物種	試料数	範囲 (ppm)	平均値 (ppm)
閃亜鉛鉱	5	1000 - 4000	2000
黄銅鉱	28	75 - 1000	460
黄鉄鉱	12	* - 1200	230
方鉛鉱	1	*	*

後に銀星脈 (Cu-Sn 脈) でも確認されました (第18図: Murao, 1984). 明延ではインジウム鉱物をよく伴う脈は錫の品位が高い (第13表) 事が特徴のようです.

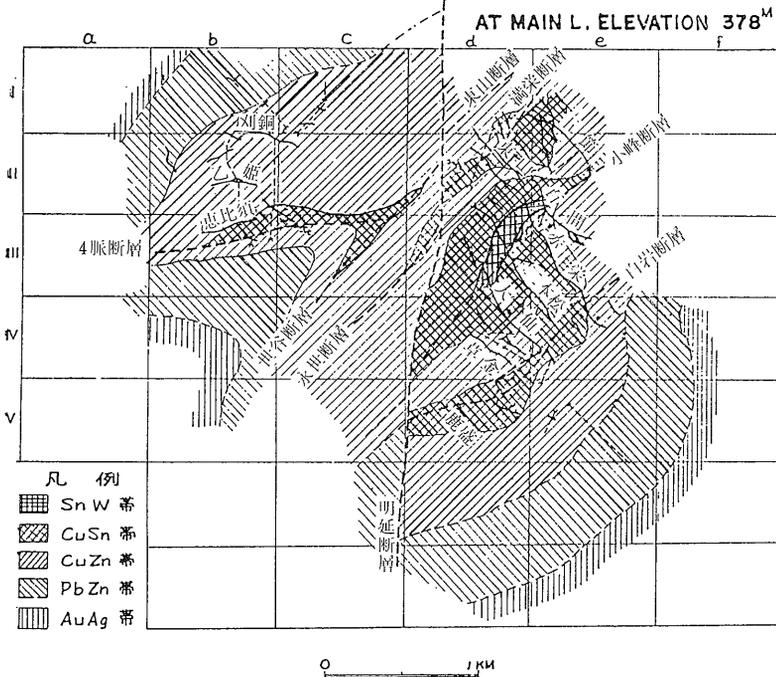
生野は明延の南東約 15km に位置し生野層群の火山岩中に胚胎するゼノサーマル型 Au-Ag-Cu-Pb-Zn-Sn 鉱床です (第5, 6図). 前述の様に千珠本鍾からインジウム鉱物として桜井鉱が記載されています.

豊栄は大分県にあり複雑な地質構造に示す秩父帯中に胚胎する高温交代~ゼノサーマル型の塊状 Sn-Zn-Fe-

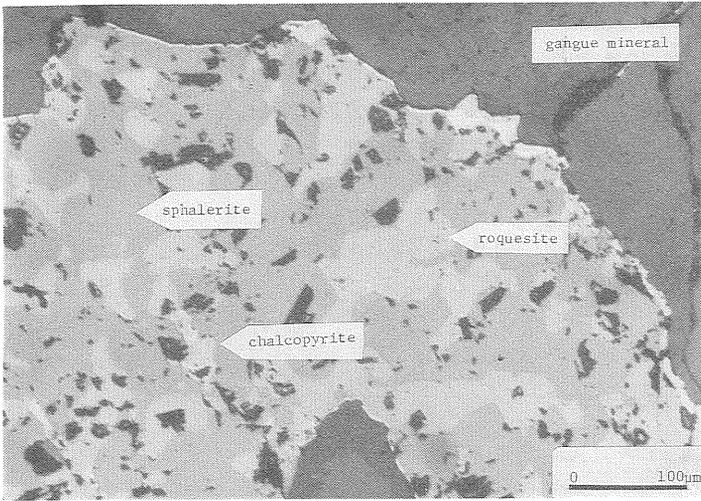


第16図 明延の坑内で観察される鉱体のオーダーの帯状構造 (銀星脈-9L: Murao, 1984).

1: 一部珪化を受けた緑色岩; 2: 炭酸塩化された母岩; 3: 黄銅鉱バンド; 4: 石英-閃亜鉛鉱-黄銅鉱-斑銅鉱-錫石バンド.



第17図 明延鉱山における ore field のオーダーの帯状分布 (阿部 1963).



第18図 閃亜鉛鉱中のミルメカイト状ロケサイト（銀星脈-9L., 第15図の4の部分）。

第19表 明延鉱山永世脈 銀星脈の脈勢（明延鉱業所 1980）。

脈 名	走 向	傾 斜	最大延長		平均 鉱 況					開発レベル*		I II 鉱物の報告
			走向 (m)	傾斜 (m)	延長 (m)	脈幅 (m)	Cu (%)	Zn (%)	Sn (%)	上	下	
永 世	N60° W	75° N	350	290	200	1.5	4.35	4.64	1.05	- 2	- 12	加藤・篠原(1965)
銀 星	N70° W	55° N	550	420	315	1.20	2.91	6.58	0.54	+ 3	- 10	Murao (1984)

* 0レベルは海拔 380m, 1レベルの間隔は 30 m。

表中のデータは明延鉱業所 (1980) による。

Cu-F 鉱床です (第 5, 19図)。 鉱体には (a) 超塩基性岩に伴う脈状鉱床; (b) 圧砕花崗岩中の網状鉱床; (c) シルル紀石灰岩層を交代する塊状鉱床; (d) 祖母山火山岩中の 鉱脈の四種がありますが 同一起源とされています (宮久ほか 1975)。 インジウムはこれらのうち (c) の錫 - 亜鉛 - 硫化鉄鉱体産閃亜鉛鉱中で検出されました (第 14表)。

6. まとめ

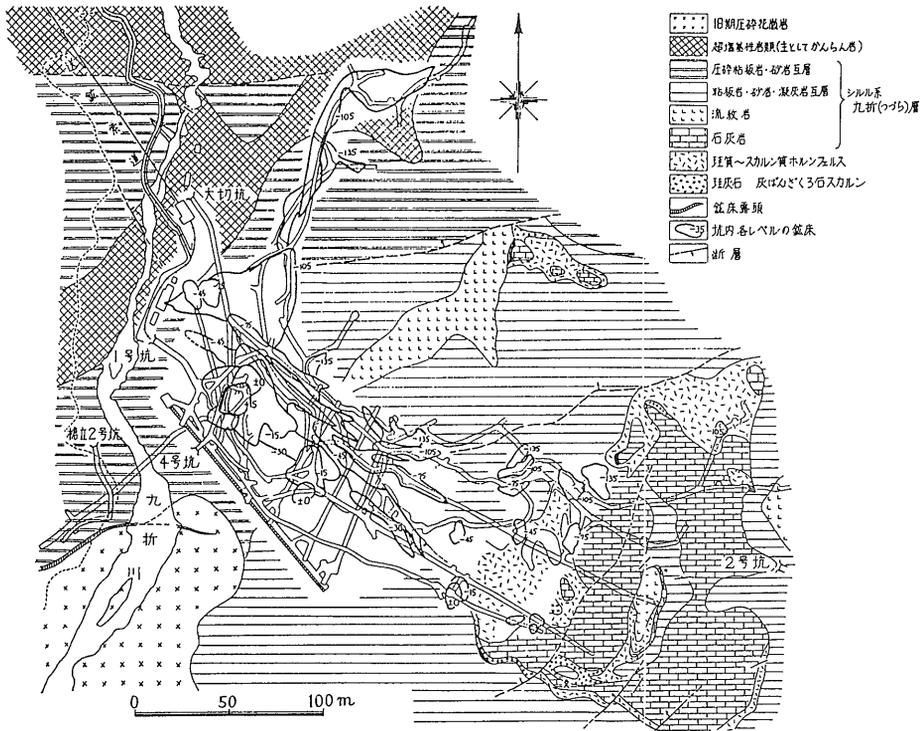
インジウムは市場規模は約 6 億円と小さいものの低融点合金 ベアリング 歯科製造用合金 電子材料等の用途がある重要なレアメタルです。 しかしインジウムを含む鉱物相の研究が他と比べて遅れた為 その天然に於ける濃集条件については あまり知られていません。 本稿で紹介した論文を中心にまとめますと現段階では次の様な事が言えるでしょう。

- (1) 広域的に見るとインジウム濃度は 錫鉱床区が高い。
- (2) 一連の火成作用のプロセス中ではベグマタイト期から熱水期にかけてインジウムが集まる。

(3) 鉱床のタイプに注目すると (a) ゼノサーマル型鉱床 (第20図 安藤 1966; 村尾 1988); (b) テレサーマル型鉱床 (第15表 Vlasov, 1966); (c) 錫石を伴うスカルン鉱床 (安藤・大町 1973; Vlasov, 1966); (d) volcano-sedimentary 鉱床 (Soler, 1987) でインジウム含有量が高い。

(4) 議論を各鉱床タイプに絞ると (a) ゼノサーマル型では鉱化作用の中期にインジウムが濃集することがあり (豊羽や明延); (b) スカルンではスカルン化作用の後期生成物 (珪灰鉄鉱など) や硫化物を切る石英脈の中でインジウム濃度が高い; (c) ベグマタイトにもインジウムは濃集する事が多い場合 2.8% に達する (米国ユタ州: 木下 1965)。 また (d) 鉱脈鉱床では鉱体からの距離が大きくなり母岩の変質の程度が弱くなるにつれてインジウム含有量が減少する事がある (第16表: Vlasov, 1966)。

(5) 鉱物学的に見るとインジウムは (a) 珪酸塩鉱物や炭酸塩鉱物に入る時は鉄の含有量の多いものに入るが一般にあまり集まらず; (b) 硫化物に入る時は亜鉛 銅鉄の濃度の高いもの (特に閃亜鉛鉱 黄銅鉱 黝銅鉱) に不純物として存在するか独立の 鉱物相を作る; (c) 独立鉱物相としてはロケサイトが代表的で この鉱物種は斑銅



第19図
豊栄鉱山地質鉱床図 (宮久ほか、1975)。

INDIUM, CADMIUM, ZINC, IRON AND MANGANESE CONTENTS IN SPHALERITES

No.	In %	Cd %	Zn %	Fe %	Mn %	Locality
1	0.083	0.25	47.49	17.25	0.86	-45 m level H-4
2	0.104	0.26	46.04	15.89	1.52	H-8
3	0.065	0.21	39.51	17.95	1.55	H-12
4	0.130	0.28	47.13	15.16	1.22	-75 m level H-32
5	0.148	0.34	50.00	15.50	1.04	H-40
6	0.088	0.23	42.78	14.06	1.86	H-43
7	0.090	0.26	40.24	16.74	1.11	-105 m level H-46
8	0.093	0.27	46.76	16.25	0.88	H-50
9	0.083	0.20	35.89	14.55	1.26	H-51
10	0.025	0.18	39.15	20.85*	1.22	H-52
11	0.033	0.17	35.16	14.31	2.74*	H-56
12	0.068	0.27	44.15	6.79	0.20	-15 m level
13	0.060	0.23	39.15	23.53**	0.18	

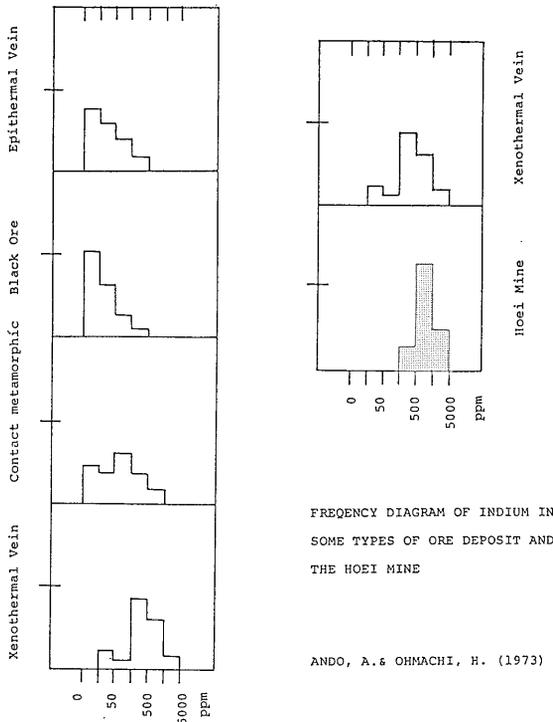
* : Contamination from unseparated minerals could be expected.

HOEI Mine, Oita Prefecture, Japan.

第14表
豊栄鉱山産閃亜鉛鉱のインジウム含有量。

地域	鉱化作用	鉱物	In (%)
南カザフスタン	石灰岩、苦灰岩中の Pb-Zn impregnation	閃亜鉛鉱	2~4 × 10 ⁻⁴
北カザフスタン	斑岩中の Pb-Zn 脈及び交代変成岩	閃亜鉛鉱	1~4 × 10 ⁻⁴
ソ連領中央アジア	Pb-Zn- 螢石	閃亜鉛鉱	最高 8 × 10 ⁻⁴
中央カザフスタン	含銅砂岩	黄銅鉱	2 × 10 ⁻⁴
トランスバイカル	含銅砂岩	黄銅鉱	1~1.8 × 10 ⁻⁴

第15表 高いインジウム濃度を示すテラサーマ型鉛鉱床の例 (Vlasov, 1966)。



第20図 インジウムの存在量と各鉱床タイプの関係。

鉱と共生する機会が多い；(d) 酸化物では錫石に濃集し特に“wood tin”中で濃度が高い；(e) 閃亜鉛鉱中のインジウム含量は生成温度に依存すると考えられてきたが必ずしもそうではない。

最近 電子産業の発展や新用途の開発によって需要が伸び 鉱床の開発が進化した事によりインジウムについてのデータがようやく集り始めました。かつてはインジウムの起源として単純にマグマを考えていたようですが母岩の影響も無視できないようなので (Ivanov and Meituv, 1970) 再検討が必要です。またインジウムの集まっている鉱床区 鉱床の種類も従来考えていたよりも幅があるらしく 例えば Långban のように噴気堆積型と思われる鉱床 (Boström et al, 1979) からもロケサイトが報告されています。今後 研究の精度をあげると共に室内実験のデータを蓄積する事で鉱床中のインジウム含有量を規制する地質学的 地球化学的要素を明らかにする必要があるでしょう。

謝 辞

インジウム文献の調査 収集については次の方々への御協力をいただきました。専修大学正田徳五郎教授 広島大学渡辺 洵助教授 エリザベト音楽大学内田アンジェラ講師 東京医科歯科大学加藤光雄博士 金属鉱業事業団平野英雄調査役 日本鉱業磯原工場千葉敏弘課長 日本モンテジソン(株)ガニーニ

第16表 錫石-珪酸塩-硫化物脈からの距離と変質母岩のインジウム含量の関係 (Vlasov, 1966).

試料	鉱脈からの距離 (m)	In (%)	ΣFe (%)	Fe/In
I	> 100	0.7×10^{-4}	6.28	90000
II	0.2 - 0.3	2×10^{-4}	7.56	38000
III	0.1 - 0.2	1×10^{-4}	7.44	74000
IV	0 - 0.1	3.7×10^{-4}	13.55	36000
V	鉱脈	2.2×10^{-4}	54.70	25000
VI	0 - 0.4	3.5×10^{-4}	13.10	37000
VII	0.4 - 0.6	0.7×10^{-4}	14.80	210000

ヨヴァンニ部長 広島カトリック文化センターレナータ ジェルミ氏 アムネスティ インタナショナル海津美礼氏 岸本文男 元地質相談所長。以上の皆様へ厚く御礼申し上げます。

引用文献

明延鉱業所 (1980) 採鉱概況パンフレット。
 Abe, M. and Sekine, Y. (1963) On the relation between massive pyritic ore deposits and hydrothermal Cu-Pb-Zn-W veins in the Akenobe mine, Japan. J. Jap. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol., 49, 123-140.
 安藤 厚・大町北一郎 (1973) 祖母・大崩山群に伴う金属鉱床の微量成分—豊栄鉱山—。昭和48年度地球化学討論会演旨, 128。
 安藤 厚・高島 清 (1963) 長野県竜王鉱山におけるゲルマニウムの分布について。地質調査所月報, 14, 809-822。
 Antropov, P. (1956) Rare and Dispersed Elements. In: Mineral Wealth of the USSR. Foreign Languages Publishing House, Moskow, 40-43.
 Boström, K., Rydell, H. and Joensuu, O. (1979) Långban -An exhalative sedimentary deposit? Econ. Geol., 74, 1002-1011.
 Burke, E. A. J. and Kieft, C. (1980) Roquesite and Cu-In-bearing sphalerite from Långban, Bergslagen, Sweden. Can. Mineral., 18, 361-363.
 Carlin, J. F. Jr. (1980) Indium. In: Mineral Facts and Problems, 1980 Edition. United States Bureau of Mines.
 —— (1985) Indium. In: Mineral Facts and problems, 1985 Edition. United States Bureau of Mines.
 Chrysikopoulos, C. V. and Kruger, P. (1987) Investigation of soluble indium chelates for ground water and hydrothermal fluid tracing. Applied Chem., 2, 329-335.
 Genkin, A. D. and I. V. Murav'eva, (1963) Indite and dzhallindite, new indium minerals. Zapiski VMO, No. 4, 445-457. (in Russ. 日本語訳: 岸本文男1989, 地質調査所研究資料集, No. 120).
 Highley, D. E., Slater, D. and Chapman, G. R. (1988)

- Geological occurrence of elements consumed in the electronics industry. Institute of Mining and Metallurgy, Trans. Sect. C, v. 97, C34-42.
- 五十嵐俊雄 (1963) 岐阜県苗木地方の金属鉱床に伴う錫石および黄錫鉱について. 岩鉱, 49, 141-151.
- Ivanov, V. V. and Rozbianskaya, A. A. (1961) Geochemistry of indium in cassiterite-silicate-sulfide ores. *Geochemistry*, No. 1, 71-83.
- Kachalovskaya, V. A., Kukoev, V. A., Kozlova, E. V. and Bosava, G. V. (1973) Roquesite from bornite ores from the Urup deposit. *In: Investigations on ore mineralogy* (M. S. Bezsmertnaya, ed.) Nauka, Moscow, (in Russ.).
- 加藤 昭 (1965) 新鉱物「桜井鉱」. 地学研究所桜井紫綬褒章記念特別号, 1-9.
- Kato, A. and Shinohara, K. (1968) The occurrence of roquesite from the Akenobe mine, Hyogo Prefecture Japan. *Mineral. J.*, 5, 276-284.
- 木下亀城 (1965) 鉱物資源辞典. 日本鉱物趣味の会, 京都, 274p.
- 金属鉱業事業団 (1985) 「インジウム」, 希少金属データブック. 国際科学振興財団 (1985) 科学大辞典. 丸善, 東京, 1680p.
- 桑原利夫・宮崎敏男・谷藤吉郎・飯田幸平 (1983) 豊羽鉱山本山鉱床地域の地質構造と品位・金属量分布から見た鉱化作用の特性. 鉱山地質, 33, 115-129.
- Linn, T. A. Jr. and Schmitt, R. A. (1978) Indium, Behavior in magmatogenic processes. *In: Handbook of Geochemistry VII-4* (Wedepohl, K. H., ed.). Springer-Verlag, Heidelberg, 49-F-1.
- 宮久三千年・原田進造・石橋 澄・渋谷五郎・本村慶信 (1975) 豊栄鉱山一号錫鉱床のクロナホラ石 とくにその化学組成と鉱物共生. 鉱山地質, 25, 347-357.
- Mogárovskii, V. V. and Rosseikin, L. V. (1961) Geochemistry of rare and dispersed elements at the Maikhura tin-tungsten deposit (central Tadzhikistan). *Geochemistry*, No. 6, 561-572.
- 村尾 智 (1988) 天然に於けるインジウムの産状と探鉱指針. 工業技術院資源研究総合推進会議ニュース, No. 9, 9.
- Murao S. (1984) Characterization of substages of the Shirogane veins at the Akenobe polymetallic ore deposits based on sphalerite stratigraphy. 広島大学修士論文, 106p.
- Murao, S. (1988) Mineralization stages and some orders of zonality in the Akenobe polymetallic ore deposits, SW Japan. 広島大学博士論文, 137p.
- 村尾 智・浦辺徹郎 (投稿中) 明延鉱山産鉱石の硫黄同位体比一特に智恵門4号脈について一. 深部鉱物資源のポテンシャルティー評価に関する研究. 地質調査所報告.
- Nalvkin D. V. (1973) *Geology of USSR*. Oliver & Boyd, Edinburgh, 855p.
- 牟田邦彦 (1960) Xenothermal 型鉱床産閃亜鉛鉱の微量成分. 岩鉱, 44, 34-43.
- 日経マクロウヒル社 (1988) 情報・通信新語辞典, 257p.
- 太田英順 (1980) 豊羽鉱山出雲鍾と空知鍾の鉱化作用. 地質調査所月報, 31, 585-597.
- Picot, P. (1973) Un nouvel indice de roquesite, CuInS₂: Les Clochettes, col du Lautaret (Hautes-Alpes). *Soc. franç. Minéral. Crist. Bull.*, 96, 319-320 (日本語訳 村尾智・内田 アンジェラ 1989, 地質調査所研究資料集, No. 121).
- and Pierrot, R. (1963) La roquesite, premier minéral d'indium: CuInS₂. *Soc. franç. Minéral. Crist. Bull.*, 86, 7-14 (日本語訳 村尾 智・内田 アンジェラ 1989, 地質調査所研究資料集 No. 122).
- Roskill Information Services Ltd. (1987) *The Economics of Indium*, Fourth Edition, 82p.
- Sato, N. and Akiyama, Y. (1980) Structural control of the Akenobe tin-polymetallic deposits, Southwest Japan. *Mining Geology Special Issue*, No. 8, 175-188.
- 沢井長雄・板谷徹丸 (1988) 豊羽鉱床の熱水変質岩のセリサイトの K-Ar 年代. 鉱山地質, 38, 66-67.
- Seetharam, R. (1986) Argentiferous roquesite (CuInS₂) from the Tosham tin prospect, Bhiwani District, Haryana. *J. Geol. Soc. India*, 28, 21-28.
- センサ用語辞典編集委員会 (1986) センサ用語辞典. 情報調査会, 東京, 602p.
- Shaw, D. M. (1952) The Geochemistry of indium. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2, 185-206.
- Shimizu, M., Kato, A. and Shiozawa, T. (1986) Sakuriite: chemical composition and extent of (Zn, Fe)In-for-CuSn substitution. *Can. Mineral.*, 24, 405-409.
- Soler, P. (1987) Variations des teneurs en éléments mineurs (Cd, In, Ge, Ga, Ag, Bi, Se, Hg, Sn) des minerais de Pb-Zn de la province polymétallique des Andes du Pérou Central. *Mineral. Deposita*, 22, 135-143 (日本語訳 村尾 智・内田 アンジェラ 1989, 地質調査所研究資料集, No. 129).
- ヴェー・イー・スミルノフ (1976) 新判鉱床地質学 (渡辺武男 監訳 岸本文男訳). ラティス, 859p.
- United States Bureau of Mines and United States Geological Survey (1980) Principles of a resource/reserve classification for minerals. *US Geological Survey Circular*, 831.
- Vlasov, K. A. (1968) Indium Deposits. *In: Genetic type of rare-element deposits*. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 576-580.
- Yarenskaya, M. A. and Slyusarev, A. P. (1970) First find of roquesite in the U. S. S. R. *Dokl. Acad. Sci. U. S. R. Earth Sci. Sect.*, 191, 138-140 (in Russ.).
- Zabarina, T. V., Lapina, V. and Minayeva, N. A. (1961) Distribution of indium in cassiterite, sphalerite and chalcopyrite at the Lifudzin tin deposit. *Geochemistry*, No. 2, 175-181.