

いまインジウムが面白いー札幌市の豊羽鉱山

石原 舜 三¹⁾

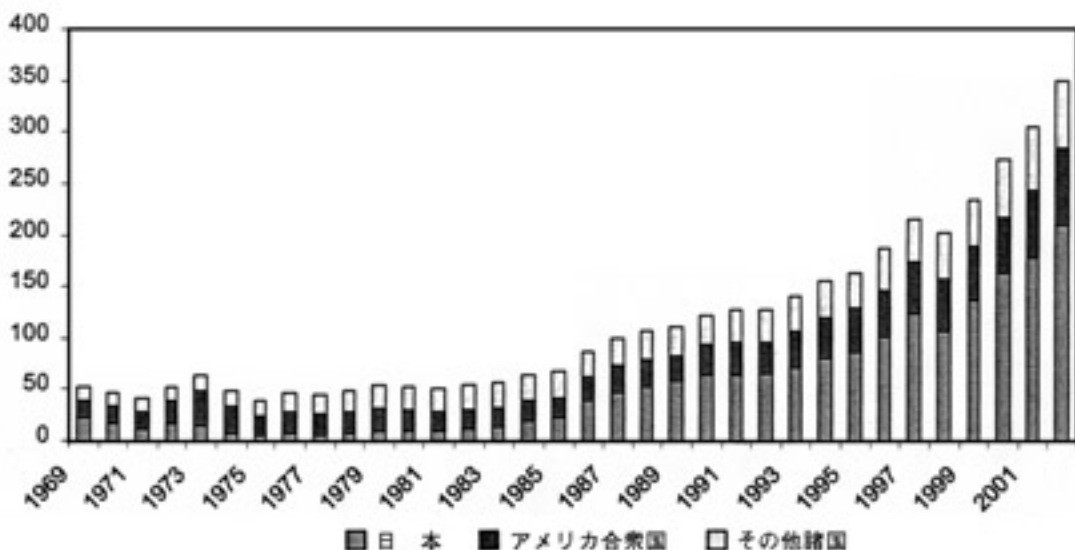
1. 上昇する価格

最近の世界的な景気回復によって、これまで下り続けていた原材料価格が回復に向かい、メタルを供給する鉱業界にも明るさが戻ってきている。これに伴いオーストラリア、カナダなどの資源国通貨は米ドルに対して日々切り上げている。我が国の政策は鉱物資源自主開発を断念した形に近いから、この恩恵を授かる企業は少ないが、例外として北海道豊羽鉱山のインジウム(In)がある。近年開発されたこの鉱山の南東部では、インジウムに富む高品位亜鉛鉱脈が産出する(成井・矢島, 1994)。インジウムは昨今需要が急速に伸びて(第1図)、いま話題の鉱物資源である。

インジウムは希産元素であるから鉱物は限られて

おり、初生的にはインダイト(indite, FeIn_2S_4 , In含有量55.5%), インジウム銅鉱(roquesite, CuInS_2 , 同47.4%), ラフォレタイト(laforetite, AgInS_2 , 同40.0%), 桜井鉱(sakuraiite, $(\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Fe}, \text{Ag})_3\text{InS}_4$, 同24.4%), ペトルカイト(petrukite, $(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})_2(\text{Sn}, \text{In})\text{S}_4$, 同6.1%)があるに過ぎない。桜井鉱は独学の鉱物学者、かつ神田の料亭「ぼたん」の主人であった桜井欣一博士に贈られた本邦発見の新鉱物で、兵庫県、生野鉱山の千珠本^{ほんび}鍾で発見され、ケステライト(kesterite)のインジウム置換体と考えられている(加藤, 1965)。他に白金との合金としてダミオアイト(damiaosite, PtIn_2 , 同54.1%), イクスナイト(yixunite, Pt_3In , 同16.4%)がある。

鉱業的には主に閃亜鉛鉱に含まれる微量成分から製錬過程で回収されており、平均含有量10ppm



第1図 再利用でないインジウムの消費量(トン)の年別推移 (Roskill Information Service, 2003).

1) 産総研 特別顧問

キーワード: インジウム, 透明電極, 豊羽鉱山, チタン鉄鉱系, 多金属鉱床, 閃亜鉛鉱

以上が回収の対象である(村尾・安藤, 1989)。その純度99.97%の金属価格(ロンドン本船渡し, LME-FOB)は, 2002年は年平均\$72-102/kgであったが, 2004年11月には\$900/kgを超え, 10倍以上に高騰した。亜鉛鉱の副産物であるために, 価格が高騰しても早急に増産することが難しいが, 今回の高騰により亜鉛スラッグの再処理などの動きが報じられている。

2. インジウムの用途

インジウムは1863年に発見された銀白色の軟らかい金属で, 低い融点(156.4℃)と高い沸点(2000℃±10℃)を持つことを特徴とする。インジウムの用途は村尾・安藤(1989)の記述によると, 次のように3大別される。

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)がインジウムメッキされる。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久性能を高めるためのメッキが最も重要であり, アルミニウム導体のメッキはアルミニウムの使われている電信電話回線の接点や端末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のものである。鋼鉄のメッキはアルカリによる腐食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る。

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る。

インジウムを含むハンダは電子産業に不可欠なもので, 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出来るので, 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るという。

易融合金はスズ, 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。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器に使われる。

その他: 窓ガラス, 一部のランプ, 太陽電池ウインドシールド, 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る。

第1表 インジウムの日本の需給量(トン)。

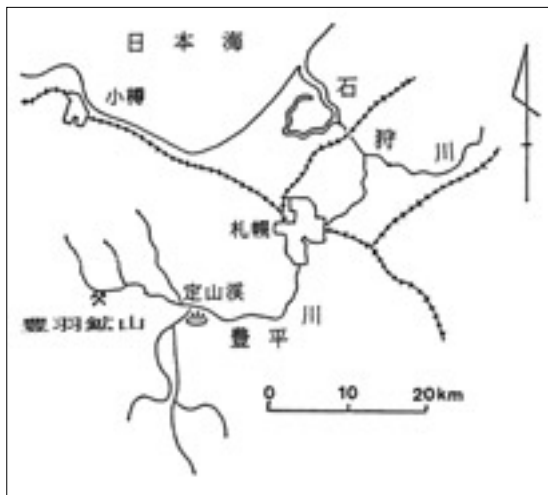
年 度	2001	2002	2003	2004 (予測)
国内生産量	55	60	70	70
輸入量	171	140	264	240
同 小 計	226	200	334	310
スクラップ再生量	127	158	160	190
供給合計	353	358	494	500
<用途別需要>				
透明電極	260	300	360	430
ボンディング	19	21	25	30
化合物半導体	17	7	7	7
蛍光体	8	8	8	8
低融点合金	6	6	6	8
ベアリング	1	1	1	1
電池材料	5	5	5	5
歯科用合金	3	3	3	3
その他	4	4	4	4
合 計	323	355	419	496

アルム出版社(2004)による。

現在の用途は当時と大きく異なり, 第1表に示すように透明電極用が圧倒的に大きく, 2001年は80.6%, 2003年に至っては全体の86.7%を占めた。インジウムはIn90%-Sn10%-Oxide(略してITO)として液晶に広く使われる。それは透明で電極機能を持つために表示を妨げず, 液晶にサンドイッチ状に組み込まれる。近年, 液晶は携帯電話などの小型物から, テレビ, 大型ディスプレイ用, 更にはプラズマディスプレイパネル(PDP)などの大型機器に使われるから, その需要は飛躍的に増加した。したがって電子工業国家の日本が圧倒的に大量の消費国である(第1図)。消費量の伸びは1980年代は6%であったが, 1990年代には年率平均11%に達している。

3. 世界一のインジウム鉱山

日本に世界一の金属鉱山があると言ってもわかりに信じる人は少ないであろう。それが豊羽鉱山である(第2図)。この鉱山は, 明治初期の露頭の発見に始まり, 大正3年の久原鉱業による創業, 第一次世界大戦後の不況による休山, 昭和12年の再開, 昭和19年の水没による再度の休山, 25年の道策会社としての復興再開など幾多の変遷を経て今日まで出鉱を続け(豊羽鉱山株式会社, 1981), 今日で



第2図 豊羽鉱山の位置.

は銀・インジウムなどで日本一の鉱山となっている。

豊羽鉱山では、最初、北西部の酸化的な浅熱水性鉛垂鉛鉱脈を開発したが、南東部への探鉱の発展とともに、スズ石、インジウム硫化物、磁硫鉄鉱を含む還元的な多金属鉱石を稼行している。現在の年産インジウム量は、粗鉱中の含有量として120トン(第2表)、単独鉱山としては恐らく世界最大である。この南東部からは16種以上のインジウム・スズを含む稀産鉱物が報告されている(第3表)。新鉱物「豊羽鉱」も発見されるなど、これら稀産鉱物については、矢島淳吉・太田英順らによる多数の世界的な研究がある(Yajima *et al.*, 1991; Ohta, 1989; 1991)。

札幌市内から南方へ車で下ると軽石火山灰層の



写真1 札幌市南部の軽石火砕流の丘.

第2表 豊羽鉱山2004年の粗鉱生産量(388,949t)の品位と含有金属量(成井英一, 私信).

	Ag	Cu	Pb	Zn	In
品位	305g/t	0.61%	2.17%	11.24%	309g/t
含有量	118.5t	2,376t	8,436t	47,722t	120.2t

第3表 豊羽鉱山のInSn含有鉱物(Ohta, 1991; 1995).

鉱物名	化学式
スズ石 Cassiterite	SnO ₂
ヘルツェンベルグ鉱 Herzenbergite	SnS
ベルンタイト Berndtite	SnS ₂
ティール鉱 Teallite	PbSnS ₂
カンフィールド鉱 Canfieldite	Ag ₈ SnS ₆
黄錫鉱 Stannite	Cu ₂ FeSnS ₄
ケステライト Kesterite	Cu ₂ ZnSnS ₄
黄錫銀鉱 Hocartite	Ag ₂ FeSnS ₄
ピルクィタス鉱 Pirquitasite	Ag ₂ ZnSnS ₄
赤錫鉱 Rhodostannite	Cu ₂ FeSn ₃ S ₈
豊羽鉱 Toyohaite (新鉱物)	Ag ₂ FeSn ₃ S ₈
Zn-In 硫化物 Zn-In sulfide	CuZn ₂ InS ₄
Ag-In 硫化物 Ag-In sulfide	AgInS ₂
インジウム銅鉱 Roquesite	CuInS ₂
インジウム Indium	(1-x)ZnS+0.5xCuInS ₂
閃亜鉛鉱 sphalerite	
桜井鉱 Sakuraiite	(Cu, Fe, Zn) ₃ (In, Sn)S ₄
黄銅鉱黄錫 鉱固溶体 Chalcopyrite-stannite solid solution	0.7Cu ₂ FeSnS ₄ +0.6CuFeS ₂

丘を越えて定山溪温泉に達する。この丘は支笏湖の噴火で生じた軽石流堆積物と少量のスコリア流堆積物からなるもので、流紋岩～デイサイト質の軽石・火山灰で構成される。部分的に溶結しており、この部分が札幌軟石として採掘される(写真1, 2)。



写真2 札幌軟石として塀や石壁に用いられる溶結部.



写真3 豊羽鉱山の施設。海拔約600mの山間にある。

温泉街を更に西方に走ると約10kmで豊羽鉱山に着く。

豊羽鉱山は播磨鍾^ひの露頭部旧坑を手懸かりに、第一次世界大戦が始まった大正3年(1914年)に開坑され、1939年に石山選鉱場を完成させ、現在まで操業している日本を代表する鉱山である(写真3)。2004年の生産実績は第2表の通りである。これまでの総生産量は豊羽鉱山資料によると、インジウム(1997年以降758トン)、銀(3,591トン)、鉛(52.2万トン)において本邦第1位であり、亜鉛(183万トン)で第2位である。因に亜鉛の第1位は神岡鉱山(266万トン、三井金属鉱業株式会社、1981)であり、神岡鉱山の銀(1,842トン)と鉛(41.4万トン)は本邦第2位である。

採掘と選鉱は豊羽鉱山株式会社で行われ、その従業員数181名、協力会社員23名である。主力の南東部の鉱床は非常に熱く、壁温170℃、坑内気温40℃に達する。そのため坑内員は水をかけて作業をしており、湿度100%で良い写真が取りづらい(写真4)。このようにして採掘された鉱石は山元で0.1mm以下に粉碎、最新鋭の自動化されたコラム浮選機を使って銅精鉱、亜鉛精鉱、鉛精鉱と硫化鉄精鉱に浮遊選鉱され、販売される。インジウムは同和-日鉱共同運営の秋田精錬所で回収されている。

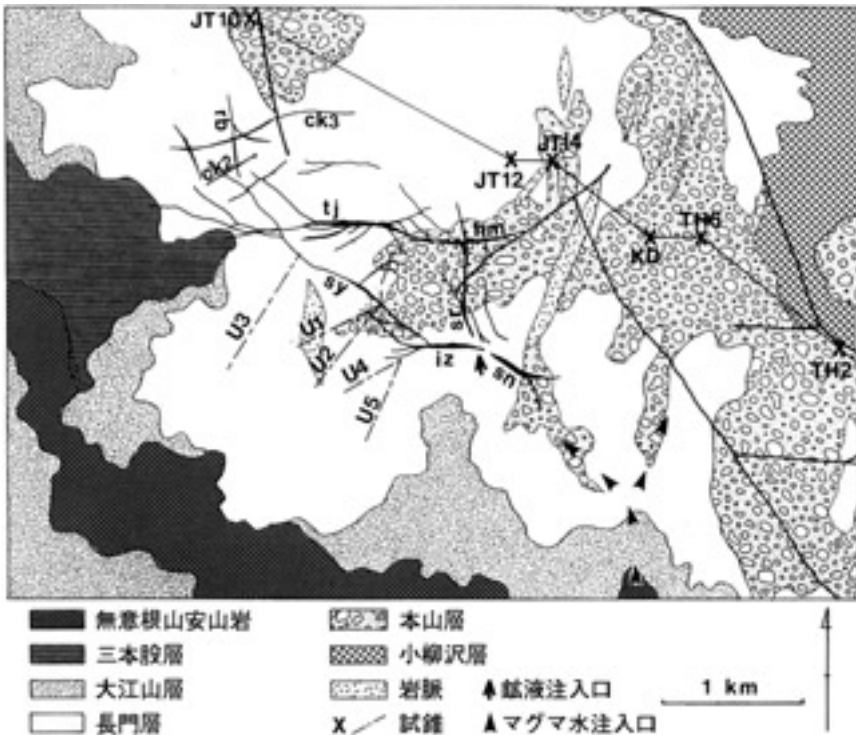
4. 豊羽鉱山における多様な鉱脈

豊羽鉱床は鉱脈型に属する。鉱床付近の構成岩類は基盤である薄別層(粘板岩)を不整合に覆って中新世の火山・堆積岩類が分布し、下部では主に流紋岩質の溶岩、溶結凝灰岩からなり、凝灰岩、泥岩を伴う。上位層は礫岩層を夾んで安山岩溶岩と同質火砕岩類が厚く発達する。貫入岩類として玄武岩、安山岩、デイサイトがある。

豊羽鉱山の鉱脈群は現在までに主要脈40条に達しており、これらは北西-南東方向に3.6km、北



写真4 豊羽鉱山南東部の採掘風景。壁温170℃、気温40℃のためカメラのレンズが直に曇る。



第3図
豊羽鉛床の地質図 (Ohta, 1989).

鉛脈名:

- | | | |
|------|-----|------|
| 前期脈; | rb | 礼文 |
| | ck2 | 築後第2 |
| | ck3 | 築後第3 |
| | tj | 但馬 |
| | hm | 播磨 |
| 後期脈; | sy | 宗谷 |
| | sr | 空知 |
| | iz | 出雲 |
| | sn | 信濃 |

東-南西方向に1.2kmの範囲に分布する(第3図). 走向、傾斜延長共に規模の大きな裂かとして、渡島下盤錘-但馬錘-播磨錘のグループ(E-W系)、宗谷錘(NW-SE系)、出雲錘(E-W系)、空知錘(N-S系)の4系統がある(第3図). 鉛床は形成時期別に、前・後2期に大別される.

前期脈: 多量の石英を脈石鉛物とし、この中に方鉛鉛、閃亜鉛鉛、黄鉄鉛などが鉛染状をなして産する塊状の鉛石によりなり、赤鉄鉛、磁鉄鉛、

輝銀鉛を随伴する. 但馬錘、播磨錘、第1~3築後錘、礼文錘などがこれに属する. 本山鉛床の中央部から北西部に分布し、その生成時期は2.9-1.5Maである(渡辺, 2001).

後期脈: 硫化鉛物を主体とし石英などの脈石鉛物の極めて少ない鉛石よりなり(写真5)、細粒の方鉛鉛、鉄閃亜鉛鉛、黄鉄鉛などによる細かい縞状構造が発達する. 空知錘、石狩錘、出雲錘、宗谷錘などがこれに属する. 本山鉛床の東部か

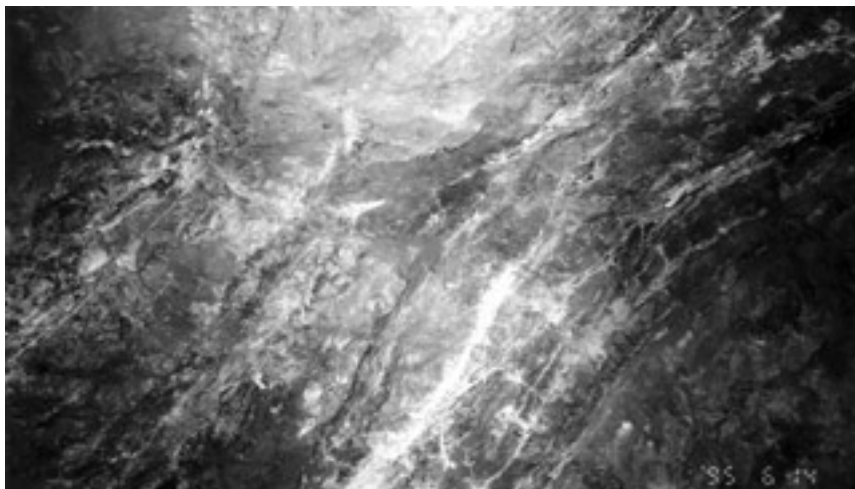


写真5
信濃錘の鉛脈. 脈石が少ない点に注目. 第5-6立入れ中間点.

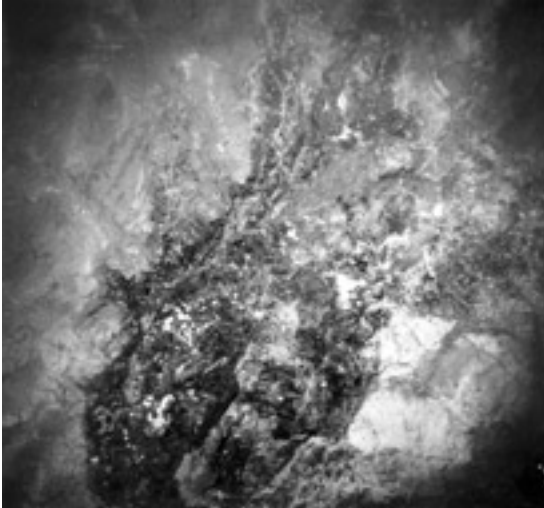


写真6 信濃鍾、角礫化安山岩を埋める鉱石。

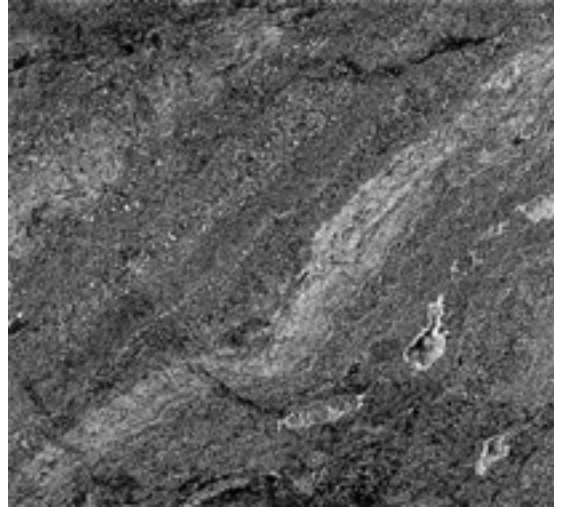


写真7 豊羽鉱山、閃亜鉛鉱の高品位部。黒褐色を呈する(地質調査所編, 1992)。黄銅鉱濃集縞もあり。右下の白色は空洞部。幅22cm。

ら南東部に分布し、その生成時期は1.5-0.5 Maである(渡辺, 2001)。

南東部の出雲鍾・空知鍾は磁硫鉄鉱・硫砒鉄鉱・白鉄鉱・黄銅鉱・安四面銅鉱の他、スズ石・黄錫鉱・鉄マンガン重石・亜鉛-インジウム鉱物・銀インジウム鉱物・ダイヤモンド・オカルタイト・銀四面銅鉱・紅銀鉱などを伴う。北西方の鉱脈ほどこれらの鉱物は少なくなり、逆に方解石・菱マンガン鉱が多くなる。液体包有物の充填温度は150~300℃であり、一般に北西部ほど生成温度が低い。

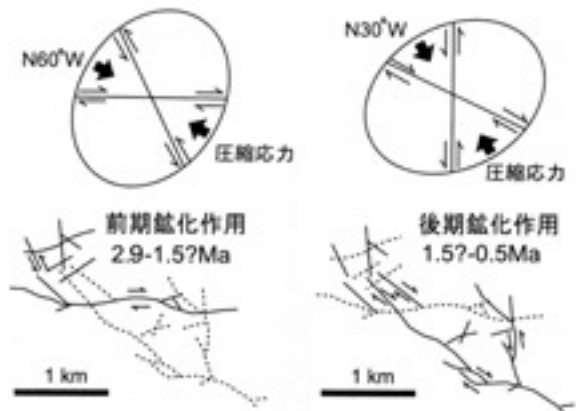
このほか最末期の活動として桑原ら(1983)により後期脈IIとされたマンガン方解石、菱マンガン鉱、方解石、石英、緑泥石を伴う鉱化作用がある。

このような大規模な鉱脈群の形成は、太平洋プレートの西進による応力場で大規模な裂か系が発生したためと、その場が火山前線に位置したために長時間の鉱液の供給があったためである。すなわち、鮮新世後期の西南北海道の水平面での圧縮応力軸はN60°Wであったために東-西系および北西-南東系の裂か系が発生し、その直後に鉱液の注入があって前期脈(2.9-1.5 Ma)を形成した(Watanabe and Ohta, 1995)。その後、プレート運動の若干の変化、“揺らぎ”によって主応力軸の方向が変化し、更新世では圧縮応力軸はN30°Wであって、北西-南東系と南北系の裂か系を生じた(第4図)。引き続き鉱液の注入により後期脈(1.5-

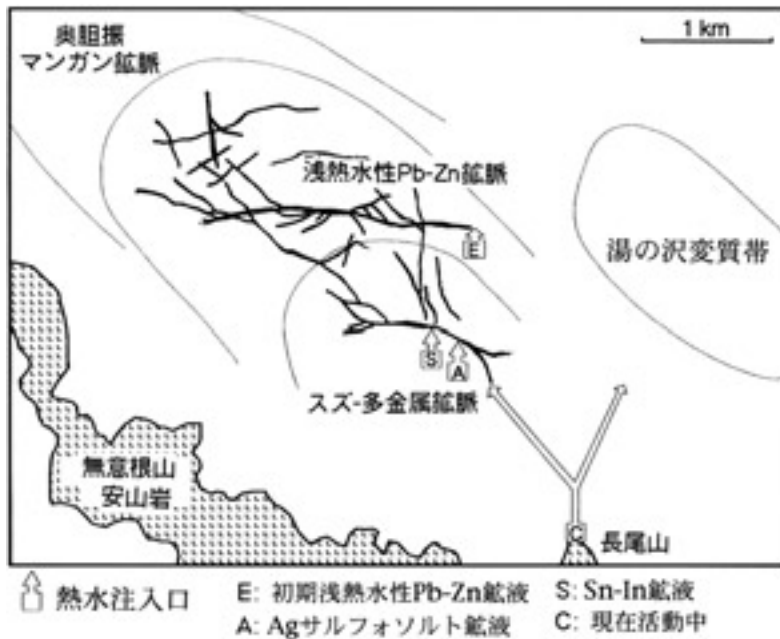
0.5 Ma)が生成した。鉱化時間は新第三紀鮮新世から第四紀更新世に及び、240万年と非常に長かった(渡辺, 2001)。

後期脈は閃亜鉛鉱、方鉛鉱、磁硫鉄鉱、黄銅鉱、黄鉄鉱からなるが、含まれる特徴的な構成鉱物の産状によって次の5ステージが認められる(Ohta, 1991)。

1. 鉄含有閃亜鉛鉱-磁硫鉄鉱
2. Sn, In含有鉱物
3. Ag 硫塩鉱物
4. カオリン鉱物, 硫酸塩鉱物
5. Mn 鉱物



第4図 豊羽鉱脈群の2時期に亘る生成機構(渡辺, 2001)。



第5図
豊羽鉱床の熱源と熱水鉱液の湧き口 (Ohta, 1989).

スズ、インジウムはその他のレアメタル (W, Co, Ni, Bi, Ga, Mo) と共にステージ2に濃集する。その生成条件は比較的高温で約400℃、鉱液の塩濃度は低く5-7重量% NaCl、酸素フェガシティは磁硫鉄鉱の上限以下、硫黄フェガシティは前期脈より低く磁硫鉄鉱-黄鉄鉱境界付近と推定されている (Ohta, 1991)。

インジウム鉱物としては閃亜鉛鉱とインジウム銅鉱の中間組成を有する亜鉛インジウム鉱物、 $AgInS_2$ の組成を有する銀インジウム鉱物、インジウム銅鉱、桜井鉱が産するが、ケステライト、黄錫鉱、閃亜鉛鉱、異方性を有する黄銅鉱もかなりの量のインジウムを含む。これらのうち経済的に最も重要なのは亜鉛インジウム鉱物と含インジウム閃亜鉛鉱で、次いでケステライト、黄錫鉱、含インジウム黄銅鉱である。

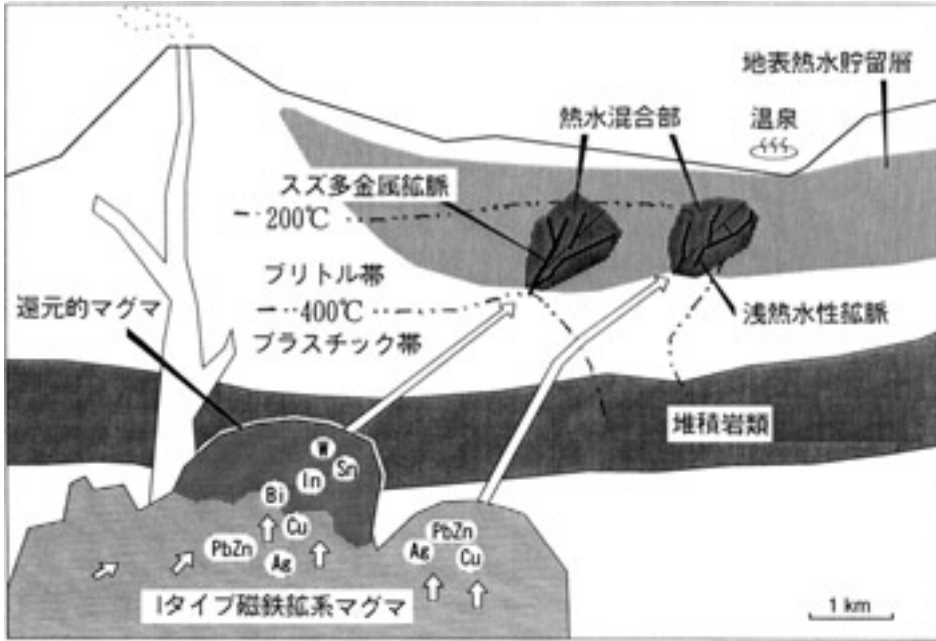
含インジウム閃亜鉛鉱は亜鉛インジウム鉱物と閃亜鉛鉱の固溶体である。また、インジウム銅鉱と亜鉛インジウム鉱物、ケステライトと亜鉛インジウム鉱物のそれぞれの間にも広い固溶体が存在する。これらの固溶体は $2(Zn, Fe)$ と $CuIn, (Zn, Fe)In$ と $CuSn$ の置換によるものである。黄銅鉱と黄錫鉱間の固溶体では (Fe^{+2}, Zn) と $2Fe^{+3}$ 、黄錫鉱またはケステライトとインジウム銅鉱間では $(Fe^{+2}, Zn)Sn$ と $2In$ の置換がそれぞれ主なものである (Ohta,

1989)。

この様な多岐に亘る鉱脈は次の様にして形成した (Ohta, 1995)。まず前期脈は播磨鍾の東端付近 (第5図, E) を湧口とした鉛、亜鉛、マンガに富む低温の熱水が上昇、西北西方向に注入し、北西部の浅熱水性鉱脈群を形成した。この鉱液は恐らく潜在する磁鉄鉱系花崗岩がもたらしたために高い酸素フェガシティを持っており、赤鉄鉱・磁鉄鉱を含む方鉛鉱-閃亜鉛鉱脈を生成した (第6図)。その後このマグマは基盤の薄別層の頁岩類と反応してチタン鉄鉱系マグマに変化し、それに由来するインジウム・スズ・鉛・亜鉛に富む鉱液が生成した。次いで後期脈群裂かの発達があり、鉱床南東部のAにおいてAg硫塩鉱物に富むPb-Zn鉱液の注入が生じた。更にほぼ同一カ所 (第5図のS) 付近からIn-Snに富むPb-Zn鉱液の注入があつて、多金属性の後期脈を形成した (第6図)。

5. インジウム鉱床の分布、起源および問題点

インジウム含有鉱物は、豊羽鉱山で代表的なスズ・砒素・タングステンを含む多金属性銅鉛亜鉛鉱床で発見されている。最近、同じ道南のグリーンタフ帯に属する寿都鉱脈からも含In黄錫鉱、含In-Sn閃亜鉛鉱 (2.6-8.2% In) などが発見された。こ



第6図
豊羽鉱床の酸化的鉛亜鉛鉱脈と還元的多金属鉱脈に対する生成モデル (Ohta, 1995)。

れら早期晶出の多金属鉱液には基盤岩類の炭質物との反応が考察されている (Ono *et al.*, 2004)。

多金属鉱床の古典的代表例である生野鉱床からは桜井鉱の産出および明延鉱床からはインジウム銅鉱と閃亜鉛鉱との密接な産状が報告されている (Kato and Shinohara, 1968)。苗木花崗岩の北西縁の鉱床群に含まれる五加鉱床からは、黄銅鉱・閃亜鉛鉱・黄錫鉱・硫砒鉄鉱・方鉛鉱・スズ石と共に、Cu-Zn-Fe-In-Sn-S系鉱物が発見され、インジウムは黄銅鉱 (~9.63%)、閃亜鉛鉱 (~1.89%)、スズ石 (~1.21%)、黄銅鉱 (~0.48%) にも含まれることが判明している (Murao and Furuno, 1990)。これらの鉱床はチタン鉄鉱系花崗岩類からなる山陽帯の北部に位置する。

大分県豊栄鉱床のスズ多金属スカム鉱床の閃亜鉛鉱からも0.15%Inに達するインジウムが確認されている (村尾・安藤, 1989)。この下部では西南日本外帯に属するチタン鉄鉱系の黒雲母花崗岩が試錐で発見されている。

一方、同じく外帯に属する北海道中央部、上川郡上川町、石北本線中越駅南方の中越鉱山には、日高層群の粘板岩中に胚胎する含砒素銅硫化鉄鉱脈があり、黄鉄鉱、硫砒鉄鉱、閃亜鉛鉱、安四面銅鉱、含銀鉱物、含In鉱物を伴う。閃亜鉛鉱は最大1.8%に達するインジウムを含み、共存する

Cu-Zn-Fe-In-Sn-S鉱物のインジウムの最大含有量は16.3%に達する。この鉱床の生成温度は300-500°Cと推定される (Tsushima *et al.*, 1999)。中越鉱床の近傍には貫入岩は知られていないが、南北系走向を有する母岩の北方延長部にはチタン鉄鉱系の第三紀花崗岩が露出している。鉱床の変質年代は31.2Maであって、古第三紀である。したがって中越鉱床の下部には日高帯に属するチタン鉄鉱系花崗岩類があって、鉱液は日高帯の還元的な花崗岩マグマに由来したことを暗示する。インジウムの起源も硫黄の起源と同様に泥質堆積岩類に求められるであろう。

以上のようにインジウムはチタン鉄鉱系花崗岩類に関係するスズ石・スズ硫化物を伴うベースメタル鉱床に産出する傾向がみられる。世界的にもソ連のトランスバイカリア、ボリビア、中国南部などの主要産出地域では同様な地質的背景を有しているものと思われる。チタン鉄鉱系花崗岩の成因には、堆積岩類の関与が考えられるが、現在の分析レベルでは堆積岩類が特にインジウムに富んでいるとは言えない (第4表)。一部の特に高い値 (2,000ppb) はスズ鉱床を伴う花崗岩で得られた (Wedepohl *et al.*, 1972)。チタン鉄鉱系マグマからスズ、インジウムと硫黄に富む鉱液が発生して裂か系に上昇・注入し、それが磁硫鉄鉱上限付近の酸素フュガシテ

第4表 諸岩石のインジウム存在量 (Wedepohl ed., 1972).

岩 石	存在量 (ppb)	平均値 (ppb)
超苦鉄質火成岩類	5~ 60	20
玄武岩・斑れい岩類	15~ 320	70
花崗岩類	10~2,000	50
頁岩類	30~ 230	60
遠洋粘土	< 20~ 280	70

イ、磁鉄鉄鉱/黄鉄鉄境界付近の硫黄フュガシテ、400℃程度の条件に到ったときにインジウムは沈殿したものと思われる。

インジウムの主産地である豊羽鉄床の後期脈 (Tsushima *et al.*, 1999) と寿都鉄床 (Ishihara and Matsueda, 1997) は平均硫黄同位体比+5.2‰ δ³⁴Sを持つ。これは北海道のグリーンタフ帯の磁鉄鉄系火成岩類に伴われる鉄床で一般的な値である (Ishihara and Sasaki, 1994)。この事実はその硫黄が上部マントルを含めた深部起源であることを示している。一方、西南日本内帯、日高帯などのチタン鉄鉄系花崗岩地域の鉄床は一般に負を持ち、日高帯の中越鉄床の平均値は δ³⁴S = -10.9‰ である。したがって、硫黄の起源はマグマ発生の中で取り込まれた嫌気性バクテリアを媒体として濃集した堆積性硫黄と考えられる。

豊羽鉄床後期脈の正の硫黄同位体比は、一見、Ohta (1995) の提唱モデルと整合しないように見える。これについては、筆者は現在、次のように考えている。鉄石硫黄は北西部の前期脈、南東部の後期脈ともにグリーンタフ帯の磁鉄鉄系火成岩マグマに由来した。それ故に閃亜鉛鉄量は大規模であった。後期脈を造ったチタン鉄鉄系マグマは、磁鉄鉄系マグマが基盤堆積岩類からの水素・メタン系ガスなどにより還元され、生じたものである。インジウム・ズなどの起源も堆積岩類が関与しているものと思われるが、その解決にはこの問題意識に基づく今後の詳細な研究が必要である。

謝辞：今回の執筆にあたり豊羽鉄床に関して豊羽鉄山株式会社 成井英一氏、価格と用途についてアルム出版社 齊藤 大氏の助言を得た。記して感謝する。

文 献

アルム出版社 (2004) : レアメタルニュース2月号, 4p.
 地質調査所編 (1992) : 日本の岩石と鉱物. 東海大出版会. 151p.
 加藤 昭 (1965) : 新鉱物「桜井鉱」. 地学研究 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. Jour. 5, 276-284.
 Ishihara, S. and Sasaki, A. (1994) : Sulfur isotopic characteristics of Cenozoic ore deposits at the arc-junction of Hokkaido, Japan. The Island Arc. 3, 122-130.
 Ishihara, S. and Matsueda, H. (1997) : Genesis of two contrasting metallogenic provinces in the back-arc basins of Hokkaido, Japan. Proc. 30th Int'l. Geol. Congr., 9, 3-13.
 桑原利夫・宮崎敏男・谷藤吉郎・飯田幸平 (1983) : 豊羽鉄山本山鉄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.
 三井金属鉱業株式会社 (1981) : 神岡鉄山における探査. 日本の鉄床探査, 第1巻. 日本鉱山地質学会, 11-69.
 村尾 智・安藤 淳 (1989) : レアメタル資源 3・インジウム. 地質ニュース, no. 417, 29-45.
 Murao, S. and Furuno, M. (1990) : Indium-bearing ore from the Goka mine, Naegi district, southwestern Japan. Mining Geol., 40, 35-42.
 成井英一・矢島淳吉 (1994) : 豊羽鉄山の鉄石. 地質ニュース, no. 480, 口絵.
 Ohta, E. (1989) : Occurrence and chemistry of indium-containing minerals from the Toyoha mine, Hokkaido, Japan. Mining Geol., 39, 355-372.
 Ohta, E. (1991) : Polymetallic mineralization at the Toyoha mine, Hokkaido, Japan. Mining Geol., 41, 279-295.
 Ohta, E. (1995) : Common features and genesis of tin-polymetallic veins. Resource Geol. Special Issue, no.18, 187-195.
 Ono, S., Hirai, K., Matsueda, H. and Kabashima, T. (2004) : Polymetallic mineralization at the Suttu vein-type deposit, southwestern Hokkaido, Japan. Resource Geol., 54, 453-464.
 Roskill Information Service (2003) : The economics of indium, 2003. 8th ed. 121p.
 豊羽鉄山株式会社 (1981) : 豊羽鉄山30年史. 241p.
 Tsushima, N., Matsueda, H. and Ishihara, S. (1999) : Polymetallic mineralization at the Nakakoshi copper deposits, central Hokkaido, Japan. Resource Geol., 49, 89-97.
 渡辺 寧 (2001) : 豊羽鉄床とプレート・テクトニクス. 地質ニュース, no.564, 6-15.
 Watanabe, Y. and Ohta, E. (1995) : The relation of two-stage mineralization at the Ag-Pb-Zn Toyoha deposit, southwest Hokkaido, to subduction of the Pacific Plate. Resource Geol. Spec. Issue, no 18, 197-306.
 Wedepohl, K. H. ed. (1972) : Handbook of Geochemistry. Indium. 49-E2 ~ 49-O2.
 Yajima, J., Ohta, E. and Kanazawa, Y. (1991) : Toyohaite, Ag₂FeSn₃S₈, a new mineral. Mineral. Jour., 15, 222-232.

ISHIHARA Shunso (2005) : An attractive mineral resource: Indium from the Toyoha mine.

< 受付 : 2004年12月3日 >