

# 中国山東半島の金鉱床

渡辺 寧<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

中国山東省には中生代の花崗岩類の併入に関係していると考えられる金鉱床が集中して分布している。1995年に山東省から生産された金は30トンを超え、中国全土で生産された金の10分の1以上を占める。山東省は中国最大の産金地帯であり、鉱山業を基盤として、近年急速に発展しつつある省である。私は、中国で行われた第30回 IGC のポスト巡検「山東地域の地質と金鉱床」(平成8年8月15日～8月20日)に参加する機会を得、山東半島の主要な5つの金鉱床を見学することができた。ここでは、日本では見ることのできない深成岩類に関係した金鉱床を、巡検資料(Rongguang et al., 1996)に基づき紹介する。この巡検は山東省地質産局第六地質隊の魯榮光(Lu Rongguang)氏と山東省地質科学実験研究院の沈 昆(Shen Kun)氏により組織された。巡検には中国から8名、オーストラリアから5名、日本・ペルーから各2名、香港、マレーシア、ブラジル、ロシア、カナダ、インドから各1名が参加した。このうち、民間鉱床探査会社からの参加が11名であり、世界中の鉱山会社が中国に熱い視線を向け

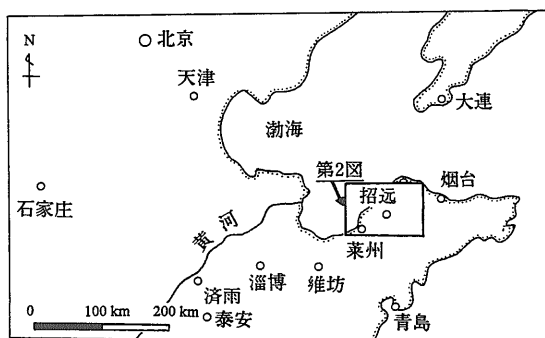
ているのがうかがわれる。

なお、中国出張には科学技術庁振興調整費重点基礎研究費を使用した。巡検に際して、様々な便宜を図って下さった魯榮光・沈 昆の両氏、急いで鉱石の研磨片を作成していただいた地質調査所北海道支所の佐藤卓見技官に感謝致します。

## 2. 地質概説

山東省は北京の南東約500kmに位置し、省都は済南である。日本にもなじみの深い青島を含む(第1図)。山岳地帯は少なく、トウモロコシの栽培されている平野部の所々に深成岩類が丘を作っている(写真1)。

山東半島は郟廬(Tanlu)断層帯の東側に位置し、後期始生代の変成岩からなる膠東(Jiaodong)層群が広く分布する(第2図)。これを覆って、前期原生代～後期原生代の地層が所々に散在する。膠東層群は主として黒雲母-斜長石片麻岩と角閃岩からなり(写真2)、黒雲母片岩、磁鉄鉱クウォーツァイトを含む。これらの岩石は角閃岩相の広域変成作用を被っている。変成岩類の源岩は中性から塩基性の火



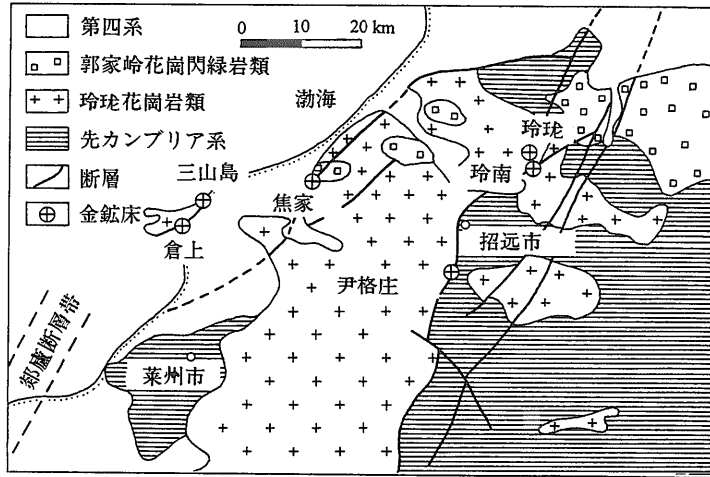
第1図 山東半島の位置図



写真1 花崗閃緑石の丘から焦家鉱山を望む、タワー状の建物がメインシャフト。

1) 地質調査所 鉱物資源部

キーワード：山東省、金鉱床、玲瓏タイプ、焦家タイプ



第2図 山東半島北西部の地質と訪問鉱床の位置図

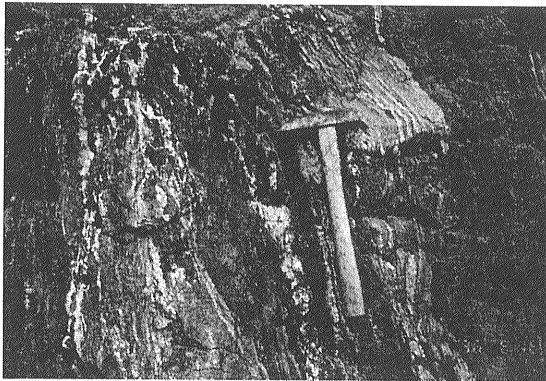


写真2 山東半島の基盤をなす膠東層群の片麻岩(白っぽい部分)と角閃岩(黒っぽい部分)

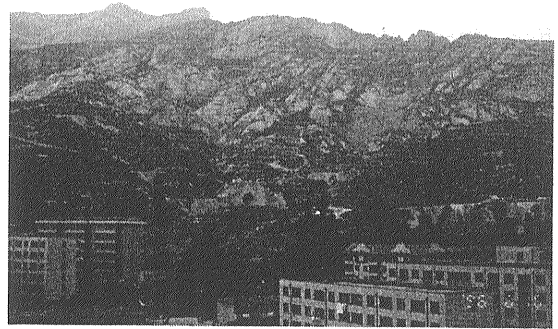


写真3 玲瓏地域の玲瓏花崗岩類からなる山脈. 中央に鉞山のずり山が見える. 手前の建物は鉞山労働者のためのアパート群.

山岩と陸源性碎屑岩である。これらの変成岩からは24～29億年前の変成年代が得られている。この膠東層群には平均4.1ppbの金が含まれており、この地域の金鉱床の金の供給源と考えられている。

これらの先カンブリア紀の変成岩類に中生代の深成岩類が貫入している(第2図, 写真3)。玲瓏(Linglong)花崗岩類は1億4千万年～1億9千万年前の年代を示す。貫入している地域ごとに異なる名前がつけられているが、ここでは中生代の花崗岩類を玲瓏花崗岩類と総称する。玲瓏花崗岩類は3,500km<sup>2</sup>にわたって露出し、黒雲母片麻状花崗岩と黒雲母花崗岩に大別される。いずれもチタン鉄鉞系列の帯磁率を示す。構成鉱物は斜長石、アルカリ長石、石英、黒雲母、燐灰石、ジルコン、磁鉄鉞である。この花崗岩類は、金鉱床付近で頻繁にペグマタイト岩脈を

伴い、特に、玲瓏鉞床付近に数多く認められる。玲瓏花崗岩の硫黄の全岩同位体比 $\delta^{34}\text{S}$ は4.2～14.9‰(平均7.3‰)である(Huang, 1994)。郭家嶺(Guojialing)花崗閃緑岩類は506km<sup>2</sup>の範囲に露出し(第2図)、1億4千万年～1億8千万年前の年代を示す。この岩体は多様な岩相を示し、岩体の内部では斑状～中粒黒雲母-角閃石モンズナイトであり、周縁部では中粒～細粒の黒雲母角閃石花崗閃緑岩に変化する。玲瓏花崗岩類、郭家嶺花崗閃緑岩類の代表的な全岩化学組成を第1表に示す。これらの深成岩類は金鉞化作用を被っており、金鉞床の胚胎母岩となっている。これらの深成岩類は約8千万年前の後鉞化作用期の塩基性岩脈に貫かれている。

この地域には北北東-南南西方向の右横ずれ断層群が発達しており、中生代の深成岩類に変移を与え

第1表  
 玲珑花崗岩類、  
 郭家峪花崗閃緑  
 岩類の全岩主要  
 化学組成および  
 金属元素含有量、  
 金の含有量のみ  
 ppb で表示。

wt%	玲珑花崗 岩類	郭家峪花崗 閃緑岩類	ppm	玲珑花崗 岩類	郭家峪花崗 閃緑岩類
SiO <sub>2</sub>	71.40	69.49	Au	2	2
TiO <sub>2</sub>	0.19	0.27	Ag	0.06	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.09	15.37	Cu	22	24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.92	0.87	Pb	13	15
FeO	1.34	1.77	Zn	44	48
MnO	0.03	0.03	Ga	17	20
MgO	0.29	0.63	Cr	13	41.1
CaO	2.03	2.36	Ni	4.8	11.7
Na <sub>2</sub> O	4.33	4.44	V	8.4	46.1
K <sub>2</sub> O	3.88	3.62	W	0.5	0.4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.11	Sn	5	4

第2表 焦家タイプと玲珑タイプの鉱床の特徴

特 徴	焦家タイプ	玲珑タイプ
鉱体の位置	変質を伴う広域的な構造帯(断層)	広域的な構造に関連した2次裂か、石英脈
変質鉱物	イライト、アルカリ長石、黄鉄鉱、石英、方解石	焦家タイプに同じ。しかし規模は小さい。
変質鉱物の形成順序	アルカリ長石→黄鉄鉱、イライト、石英→方解石	アルカリ長石→黄鉄鉱、イライト、石英→方解石
鉱体形成プロセス	広い範囲での交代作用	裂か充填
鉱体	鉱体は主断層の下盤側に胚胎される。鉱体は主断層に平行、鉱体は漸移的。鉱石品位のばらつき小さい。	鉱体は構造(断層)の中央部に胚胎される。鉱体の規模は小さい。鉱石品位のばらつき大きい。
鉱体の厚さおよび傾斜	3-5m, 最大20m, 傾斜30°-40°	1-2m, 最大3m, 傾斜60°-70°
鉱石 タイプ 組織 金のホスト	変質岩 鉱染状 粗粒黄鉄鉱(五角十二面体)	石英脈 硫化鉱物は塊状 細粒黄鉄鉱(五角十二面体) 黄銅鉱
金の形態	壁開面に沿う、または他の鉱物の包有物としてのエレクトラム(<0.01m m)	壁開面に沿う、または他の鉱物の包有物としてのエレクトラム(<0.05m m)
金銀比	金 60-80%, 銀 40-20% 金の量比は深部で増加	金 70-85%, 銀 30-15% 金の量比は深部で増加(~90%)

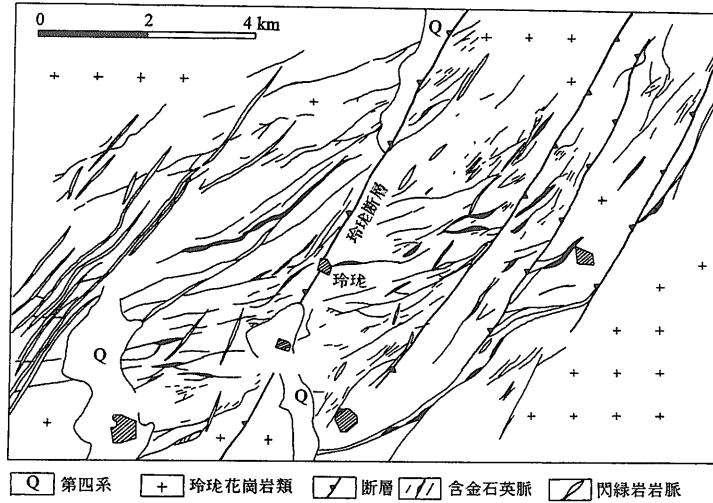
ている。これらの断層群は一般に急傾斜(60°以上)である。これらの断層群からは東北東-西南西方向の二次的なより低角の右横ずれ、または正断層を伴う。

### 3. 金鉱床

この地域の金鉱床はその産状から2つのタイプに区分されている。1つは玲珑鉱床に代表される石英脈型(玲珑タイプ)で、もう1つは焦家(Jiaojia)鉱床に代表される鉱染型(焦家タイプ)である。これら2つのタイプの特徴を第2表に示す。以下に記載

した鉱床のうち、玲珑タイプは玲珑鉱床のみであり、他のものはすべて焦家タイプに分類される。焦家タイプの金鉱床の硫黄同位体比は $\delta^{34}\text{S}=6.3-12.6\%$ 、玲珑タイプは $\delta^{34}\text{S}=4.3-10.4\%$ であり、胶東層群の硫黄同位体比(7-7.8%)と類似する(Wang, Y., 1982, 1989)。

これらの鉱床形成の概略は次の様に説明されている。中生代にユーラシア大陸に沈み込む海洋プレート(イザナギークラプレート)とユーラシアプレートとの相互作用で、北北東-南南西の鄰廬断層帯が活動し、中生代の深成岩類を形成したマグマから分



第3図 玲珑地域の鉱脈分布図

離した流体が断層に沿って上昇し、天水と混合し金を沈殿した。金は $200^{\circ}-350^{\circ}\text{C}$ ・ $200-700\text{ bar}$ の温度・圧力でpH約6~8の熱水から沈殿したと考えられている。なお、郟廬断層の活動様式には様々な議論があり、巡検説明書では右横ずれと述べられているが、IGC会場での講演では左横ずれであるという発表があり議論を呼んでいた。討論ではこれらの断層系には様々な運動様式が保存されており、今後時代論を含めた詳細な研究をする必要があるとのことであった。



写真4 玲珑鉱床第51石英脈の露头

### 3-1. 玲珑 (Linglong) 鉱床

玲珑鉱床は招远 (Zhaoyuan) 市の北東約20kmに位置する (第2図)。この鉱床は山東省地質産局第六地質隊が1960年代に発見し、以来約30年間採掘が行われてきた、中国最大の生産量を誇る鉱山である。この鉱床付近は膠東層群のレスタイトを多く含む玲珑花崗岩類が広く分布する。この地域には北北東-南南西方向の主要断層が平行し、二次的な東北東-西南西の断層群が発達している (第3図)。鉱脈は主として東北東-西南西方向の断層群に胚胎し、500条以上の含金石英脈が発見されている (写真4)。個々の鉱体はレンズ状で、走行方向に20-60mの長さを持ち、厚さは約1mである。金品位は0-20g/tである。主要鉱石鉱物は、自然金、エレクトラム、黄鉄鉱、黄銅鉱であり、磁硫鉄鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱を伴う。脈石鉱物としては、石英が卓越し、

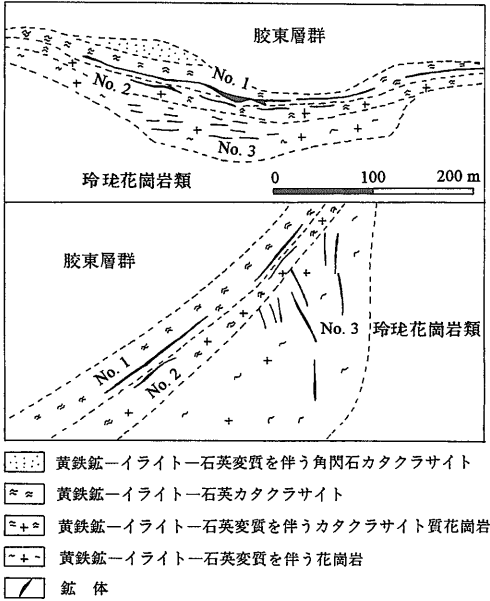
イライトを伴う。少量の方解石や母岩のレリクトである長石も認められる。黄鉄鉱と方鉛鉱、閃亜鉛鉱と方鉛鉱を用いた硫黄同位体平衡温度はそれぞれ $331-275^{\circ}\text{C}$ 、 $388-382^{\circ}\text{C}$ である (Huang, 1994)。脈際のイライトは110~130Maの年代を示す。

### 3-2. 焦家 (Jaojia) 鉱床

焦家鉱床は招远市の北西30kmに位置する (第2図)。1970年に探査が開始され、三山島、倉上鉱床が開発されるまでは、中国で最大の金の埋蔵量 (60トン) が確認されていた。1m~40mの厚さで第四紀の堆積物がこの地域を覆っており、地表には露头は認められない。また鉱体の上部約50mは酸化帯となっている。現在、この鉱山では坑道掘りで、年間約1.5トンの金を生産している。北東-南西方向の断

第3表 焦家鉱床における鉱物生成期

鉱物	ステージ				二次富化期
	熱	水		期	
	白色石英 黄鉄鉱期	灰色石英 黄鉄鉱期	硫化鉱物期		
			前期	後期	
					石英- 方解石
磁砒鉄鉱	---	-			
黄鉄鉱	---	---			
石英	---	---			---
自然金					
エレクトラム					
菱鉄鉱					
アンゲライト					
磁硫鉄鉱					
閃亜鉛鉱					
黄銅鉱					
方鉛鉱					
銀ゆう銅鉱					
砒四面銅鉱					
Sb <sup>IV</sup> -アセタイト					
マチルダイト					
自然ビスマス					
自然銀					
Au-Ag 斑銅鉱					
方解石					---
パライト					---
緑泥石					---
針鉄鉱					---
硫酸鉛鉱					---
コペリン					---
マラカイト					---



第4図 焦家鉱床の鉱体分布図。上図は平面図、  
下図は断面図。



写真5 焦家鉱床坑内の断層、上盤が胶東層群の  
変成岩類、下盤が玲珑花崗岩類。両者の  
間に幅数 cm の粘土帯が存在。断層下盤  
側数 m が鉱染状鉱体(第1鉱体)である。

層帯上に位置し、鉱体は玲珑花崗岩類と胶東層群の変成岩類との境界部の断層破碎帯に位置する。鉱化帯の総延長は1.2kmである。鉱体と断層破碎帯との明瞭な境界は無く、鉱染状鉱床である。主として3つの鉱体があり、断層破碎帯内に2つの鉱体(第1・第2鉱体)が胚胎する(第4図、写真5)。第1・第2鉱体はN10°-40°Eの走向で、北西に35°-45°傾斜している。第3鉱体は断層下盤側の玲珑花崗岩類中に、石英のストックワークとして存在す

る。第1・第2鉱体で採掘されている鉱石の最低品位は1.5g/tで、平均品位は5-5.5g/tである。鉱体の最大の厚さは30mである。これらの鉱体は走向方向に少なくとも450m、傾斜方向に200m追跡されている(第4図)。第3鉱体は平均品位が6g/tとやや高いが、鉱量は多くなく、金の90%は第1・第2鉱体に含まれる。

鉱石鉱物は、エレクトラム、黄鉄鉱であり、少量の黄銅鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱を伴う。脈石鉱物として石英とイライトが認められる。鉱床の形成過程は熱水期と二次富化期に分けられ、熱水期はさらに5段階のステージに区分されている(第3表)。金は熱水期の中の灰色石英-黄鉄鉱期と硫化鉱物期の前期に、黄鉄鉱の劈開面に沿って脈状に、または黄鉄鉱の結晶境界に沈殿している。また一部は黄鉄鉱の中に包有されている。

流体包有物と酸素・水素同位体の研究から、前期の熱水は330°C、720bar、後期の熱水は150°C、150bar、金鉱化作用のステージでは温度が250°C、圧力が500barと見積もられている。より早期の熱水ほどマグマ水の領域に近い酸素・水素同位体組成を持っており、晩期の熱水は天水の領域に近づくことから、マグマ水と天水の混合するような条件で金の沈殿が生じたと考えられている。



写真6 三山島鉱山の中央事務所

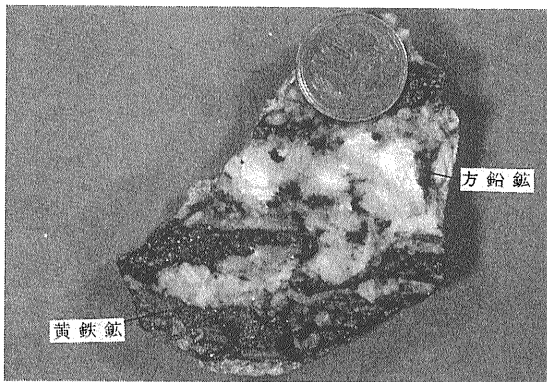
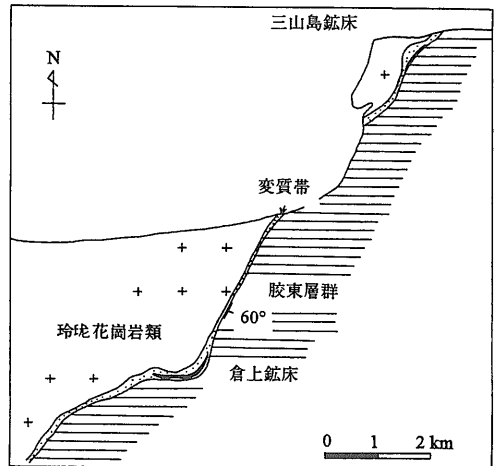
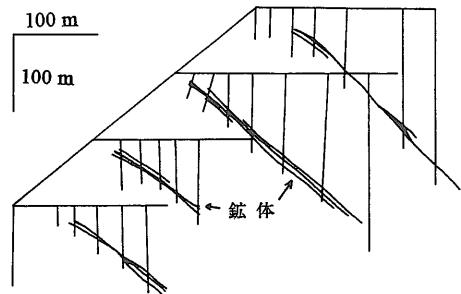


写真7 三山島鉱床-90mレベルでの鉱石。母岩は破碎された玲珑花崗岩類。黒っぽい部分が方鉛鉱、やや明るい部分が黄鉄鉱。金は黄鉄鉱に含まれる。



第5図 三山島、倉上鉱床付近の地質図



第6図 三山島鉱床の断面図。横線は水平坑道、縦線は坑道から行われたボーリングを示す。

### 3-3. 三山島 (Sanshandao) 鉱床

三山島鉱床は招遠市の西70km、渤海沿岸に位置する(第2図)。この鉱床は1960年代に第六地質隊が発見し、1969年に地質調査が終了した。国際的な金価格の上昇とともに、1978年に鉱山の操業が開始された。この鉱山は、カナダの鉱山会社の援助を受け、中国で最も近代設備の整った、最大の生産施設を持つ(写真6)。約1,800人のスタッフ(300人の技術者)が働いており、年間の鉱石処理能力は480,000トンで、平均品位3.12g/t(年生産量約1.4トンに相当)、金の回収率は91%とされている。採掘費のうち、人件費の割合は約25%である。3段階の開発計画が練られ、第1段階では地表から-240m、第2段階では-240m~-420mの鉱量が計算され、現在約70トンの埋蔵量が見込まれている。1998年までに-420m~-600mの鉱量計算が行われる予定で、今後埋蔵量は

さらに増加することが予想される。

三山島鉱床は北北東-南南西方向の三山島-倉上断層上に位置し、この断層は玲瓏花崗岩類と胶東層群との境界となっている(第5図)。鉱体の水平延長距離は1,000mを越え、傾斜方向には500m~900mの拡がりがあるがボーリングにより確認されている。レンズ状または脈状の鉱体はN40°E走向で、35°~45°南東に傾斜する(第6図)。個々の鉱体の厚さは2~8mで、金品位は3~7g/tである。主要な鉱体は主断層の下盤側50m内に胚胎し、その周りを変質帯が取り巻いている。主要鉱石鉱物はエレクトラム、黄鉄鉱、方鉛鉱で(写真7)、変質鉱物としてはイライトが認められる。黄鉄鉱-方鉛鉱、閃亜鉛鉱-方鉛鉱の硫黄同位体平衡温度は、それぞれ255°C、195°Cである(Huang, 1994)。



写真8 倉上鉱山事務所

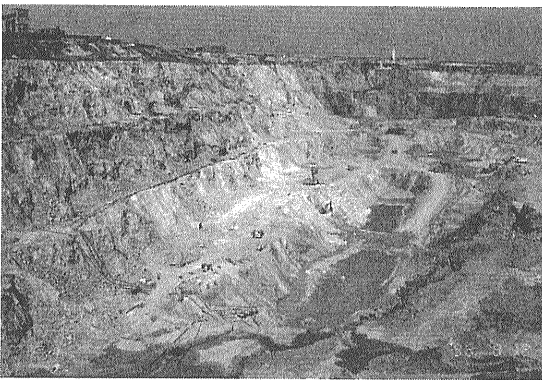
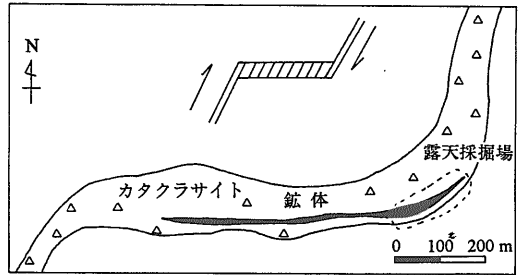


写真9 倉上鉱床の露天採掘場。左側の白っぽい部分が玲瓏花崗岩類、右側の黒っぽい部分が胶東層群の変成岩類。金は境界の断層から約50mの範囲で下盤側の花崗岩に含まれる。

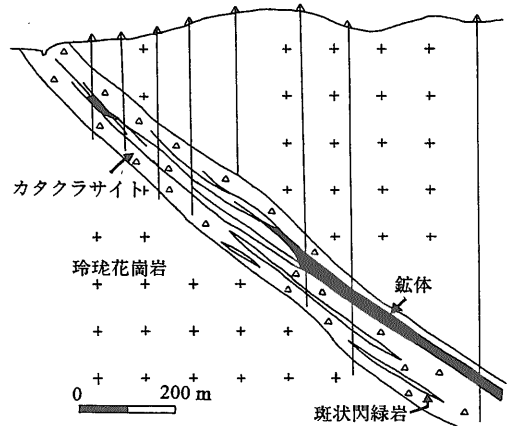
### 3-4. 倉上 (Cangshang) 鉱床

倉上鉱床 (写真8) は三山島鉱床の鉱床の南南西約8kmに位置する (第5図)。1960年代に発見されたが、本格的な生産が始まったのは昨年からである。鉱床は三山島-倉上断層の走向が東西方向に変化するプルアパート部の下盤側に位置し (第7図)、平均10mの厚さで、600m以上の延長距離を持つ。鉱体は約45°北東に傾斜しており、傾斜方向に300m以上連続する。平均品位は4.78g/tで1970年の段階で約70トンの金が見込まれていた。現在は露天採掘が行われており (写真9)、採掘場での平均品位が3.51g/t、毎日1,500トンの鉱石 (年間1.9トンの金量に相当) が採掘されている。現在の埋蔵量は100トンを軽く越えると考えられている。

鉱石は鉱染状または株状の石英の細脈群で、鉱石鉱物として、黄鉄鉱、方鉛鉱、黄銅鉱が肉眼で確認される。脈石鉱物は石英で、変質鉱物として、黄鉄



第7図 倉上鉱床と断層破碎帯との関係 (平面図)



第8図 玲南鉱床の地質断面図。縦線は地表から行われたボーリングを示す。

鉱、石英、イライト、方解石、緑泥石が認められる。酸化帯には、褐鉄鉱、カオリナイト、コベリンが認められる。

### 3-5. 玲南 (Lingnan) 鉱床

玲南鉱床は招遠市の北東約15kmに位置する (第2図)。鉱山の後ろにそびえる花崗岩からなる山の稜線には日本軍が建設したトーチカが見える。ここでは北東-南西方向で南東に約45°傾斜した断層の破碎帯中に鉱体が胎している (第8図)。断層の下盤は片麻状黒雲母花崗岩、上盤は中粒~粗粒花崗岩からなり、破碎帯中には閃緑岩質斑岩の貫入が認められる。富鉱部は-300mから-750mレベルまで確認されている。鉱石は黄鉄鉱に富み、エレクトラムが含まれる。平均金品位は0.5-3g/tである。

この鉱床では選鉱施設を見学することができた。採掘された鉱石はトロッコごとクレーンで地表に巻



写真10 新築された招远市の地質産局。中国では金量50トン以上の大鉱床を中央政府が管轄し、50トン以下の中小鉱床を地方の行政区が管轄する。招远市には259もの鉱山企業があり、6万人の人が鉱山で働いている。1995年の金生産量は9トンである。

き上げられ、粉碎される。その後浮遊選鉱により、黄鉄鉱とともに金は回収され、シアン溶液により、金は溶かされる。溶けた金は亜鉛電解により回収される。

#### 4. おわりに

山東半島の金鉱床は玲瓏タイプ、焦家タイプに区別されているものの、いずれも同じ様な鉱石鉱物・変質鉱物組み合わせを持っており、どちらのタイプも断層による構造規制を受けている。日本の平均的な浅熱水性金鉱床の金品位(5 g/t~20 g/t)と比較すると、山東半島の金鉱床の平均品位は低いが、金の鉱量としては、佐渡や鴻之舞鉱床を上回る100トンクラスの鉱床がいくつも存在する。このような低品位で鉱山業が成り立つ理由としては、人件費が安いこと、鉱体の規模が大きいため大規模な操業が行えることが挙げられる。

鉱山から得られる収入を背景に(烟台(Yantai)市の年間金生産量は21トンで市レベルとしては中国第1位の生産量を誇る。市の収入の70%は鉱山業による)、山東省の各市では現在建設中のビルが目白押しである(写真10)。中国中央政府、各市とも外国鉱山会社の投資の受け入れに積極的であり、大きな鉱山では必ず英語の案内板が立っていたのが印象的であった。

探査活動も活発で、我々を案内してくれた魯榮光氏の所属する山東省地質産局第六地質隊のみで、約100名の地質・分析・物理探査技術者が働いている。この地質隊の中には病院、学校等があり、全体では約1,000人が働いているという。このような地質隊が省内に9隊あり、その他に省独自の研究所がある。山東省には平坦地が多いにも関わらず、潜頭鉱床が次々に発見されているのは、地質調査、物理探査、地化学探査もさることながら、年間50,000mにも及ぶボーリングに負うところが大きいと考えられる。数100m間隔でボーリングのやぐらが並んでいる風景写真は壮観である。

#### 文 献

- Huang D. (1994) : Sulfur isotope studies of the metallogenic series of gold deposits in Jiaodong (Eastern Shandong) area. *Mineral Deposits*, vol. 13, no. 1, 75-87.
- Rongguang, L., Yunpu, Z and Kun, S. (1996) : Geology of gold deposits in Shandong province. 30th IGC Field Trip Guide T319. Geol. Pub. House, Beijing, 20p.
- Wang, Y. (1982) : The isotopic study of major types of gold deposits of China. *Geological Rev.*, vol. 28, No. 2.
- Wang, Y. (1989) : Studies of stable isotopic geochemistry of gold deposits in China. In *Proceedings of International symposium on Gold Geology and Exploration (ISGGE)*, Shenyang, China. p. 782-789.

---

WATANABE Yasushi (1996) : Gold deposits in the Shandong Peninsula, China.

---

< 受付 : 1996年9月4日 >