

# ウズベキスタンの金鉱床： 破碎帯型，多金属型，そしてポーフリー型

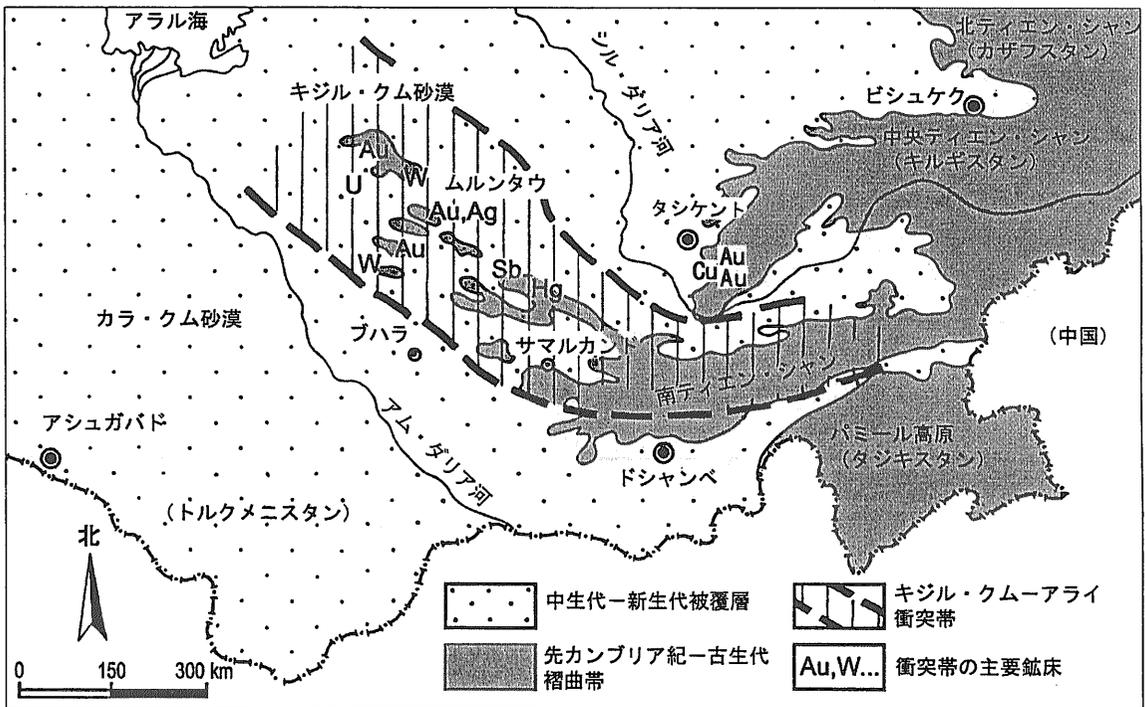
石原 舜 三<sup>1)</sup>

## 1. まえがき

ウズベキスタンは1925年～1991年の間旧ソ連邦の一員であったために、その鉱物資源の様子は分からず、日本からは遠い国であった。独立後の社会体制の変化と共にそこを見学しようとする気運がIGCP373計画で高まり、1999年8月のロンドンにおけるIAGODの付属巡検として8月27日～9月4日に実施された。出発直前の8月23日には、私達の見学予定地のすぐ南方のキルギスタンで日本人地質家4人が拉致され緊張が走ったが、私達は幸いにも無事巡検を終了することができた。

ウズベキスタン共和国は武内(1995)が述べているように鉱物資源、特に金、銅、ウラン、天然ガスに恵まれており、他に綿花の主要生産国であって第一次産品を国の主要産業としている。人口は2,235万人、その約70%がトルコ系のウズベク人である。宗教はイスラム教、公用語はウズベク語であるが、ロシア語も普及している。

地形的にはアラル海に注ぐ二大河川、シル・ダリアとアム・ダリア(第1図)に夾まれた山岳・丘陵地帯が国の主要部で、面積44.7万km<sup>2</sup>、その大半が年間降雨量100mm以下のキジル・クム(赤い砂漠)とカラ・クム(黒い砂漠)に覆われているが、東



第1図 ウズベキスタンとその周辺地域の地勢・地質図 (Shayakubov et al., 1999aに加筆)。

1) 地質調査所 顧問

キーワード：ウズベキスタン，ヘルシニア期，衝突帯，破碎帯型金鉱床，ムルンタウ，金多金属鉱床，コチュブラク，ポーフリー銅鉱床

方のティエン・シャン山脈にかけて水は豊富(950mm/年)となる。ティエン・シャン山地は中国の天山山脈の西方延長に当たるが、旧ソ連邦内では北、中央、南の3系列に分かれている(第1図)。

首都はタシケント(石の街の意)、1966年の大地震後近代的な街が建設され、地下鉄もあり、シルクロードの面影はない。通貨はスム、US\$1=600スムでその下の通貨はティン、10ドルも換えると60万

ティン、大金持ちの気分である。街で見る近代的な車は全て韓国の大宇自動車製であったが、それは現地生産工場があるためで、機内で会った若い韓国人夫妻によるとその遠因はスターリン時代に韓民族の旧満州東部からの強制移住にあると言う。現在では銀行・その他、多分野に進出しているようである。

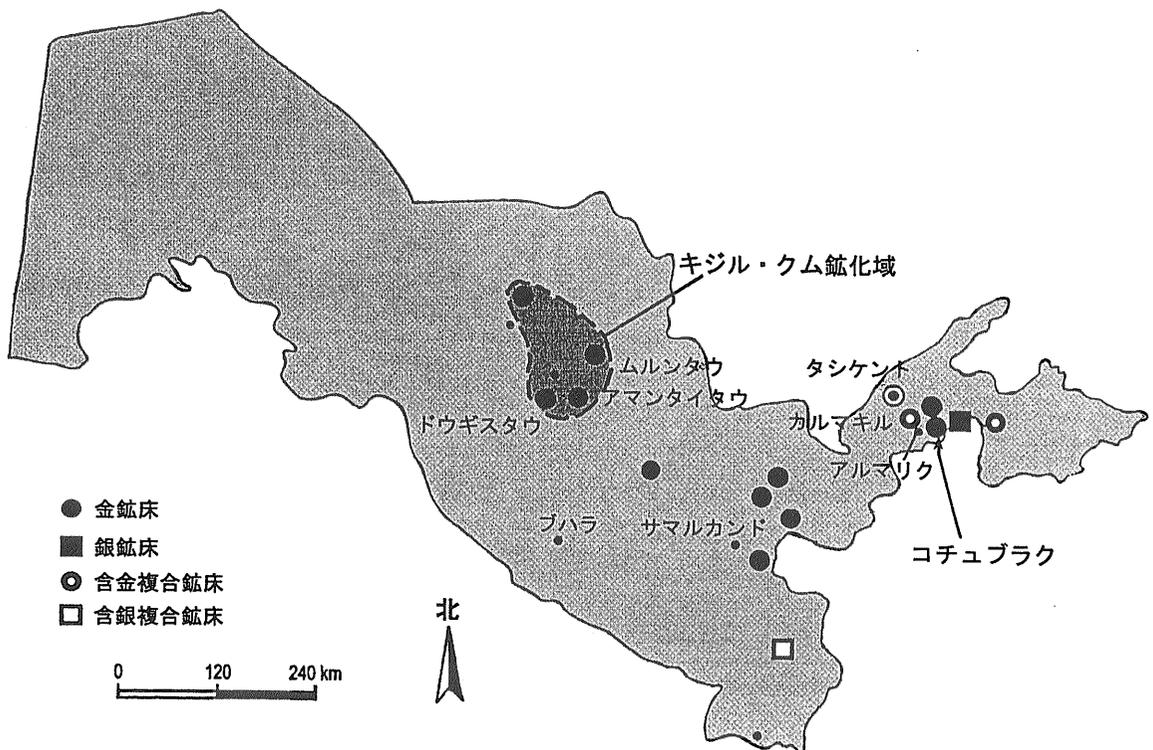
第1表 世界の金生産量と確定鉱量。

国	生産量(t)		確定鉱量(t)	
	1997年	1998年	1997年	1998年
南アフリカ	492	465	18,500	38,000
アメリカ合衆国	360	350	5,600	6,000
オーストラリア	311	320	4,000	4,700
カナダ	169	155	1,500	3,500
中国	175	150	未算定	未算定
ロシア	115	105	3,000	3,500
ウズベキスタン	75	100	2,000	3,000
ブラジル	59	60	800	1,200
その他	660	695	9,300	11,800
合計	2,410	2,400	45,000	72,000

## 2. ユーラシア大陸一の金資源

マルコ・ポーロの東方見聞録によれば日本は黄金の国として描かれているが、実は彼が歩いたシルクロードの直ぐ近くに現在ユーラシア大陸一と言われるムルンタウ金山が眠っていたのである。金はこの地域では青銅器時代から知られており、15世紀のチムール帝国時代にはタシケント付近に2,000に達する金山があったと言われる(金属鉱業事業団, 1995)。

ウズベキスタンの最近の金鉱床の発見はめざましく、SEGニューズレターでも大きく取り上げられた(Berger et al., 1994)。金生産量も1997年の75



第2図 ウズベキスタンの主要金銀鉱床 (Shayakubov et al., 1999aに加筆)。

トンから1999年には遂に100トンに達した。これは世界第7位であるが、USGSによる確定鉱量別では3,000トンで第6位である(第1表)。鉱山側のデータでは中央キジル・クム鉱化域で3,200トン、全国で5,300トンと発表されており(Shayakubov *et al.*, 1999a), 上述の3,000トンよりはるかに多い。

その金は(1)金プロパーの鉱床と多金属に富むもの、(2)銀に富む鉱床と多金属性の性格を持つもの、および(3)砂金鉱床に分けられる。これまで稼行された金鉱山は金プロパーが30、多金属性のもの8、砂金鉱床7、合計45である。金プロパー鉱床が経済的に最も重要で、中でもキジル・クム地域のムルンタウ、ドウギスタウ、アマンタイタウなどが主要なものである(第2図)。これらは“*Sheared-zone hosted*”, すなわち破碎帯金鉱床であり、日本で馴染みがないタイプである。このほかポーフィリー型銅鉱床の副産物として生産されるものがあり、銅鉱石生産量が大きいためにその産金量は大きい。

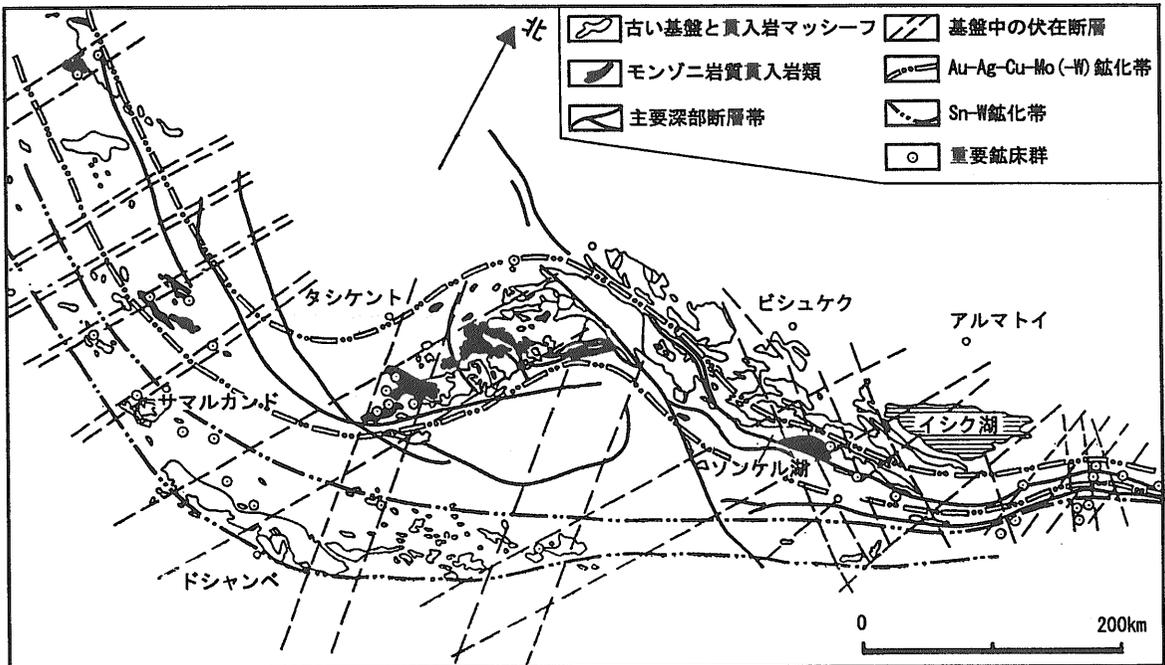
### 3. 広域地質と鉱床生成区

ウズベキスタンを含む中央アジアは、古生代におけるユーラシア大陸地殻成長の足跡を見事に残し

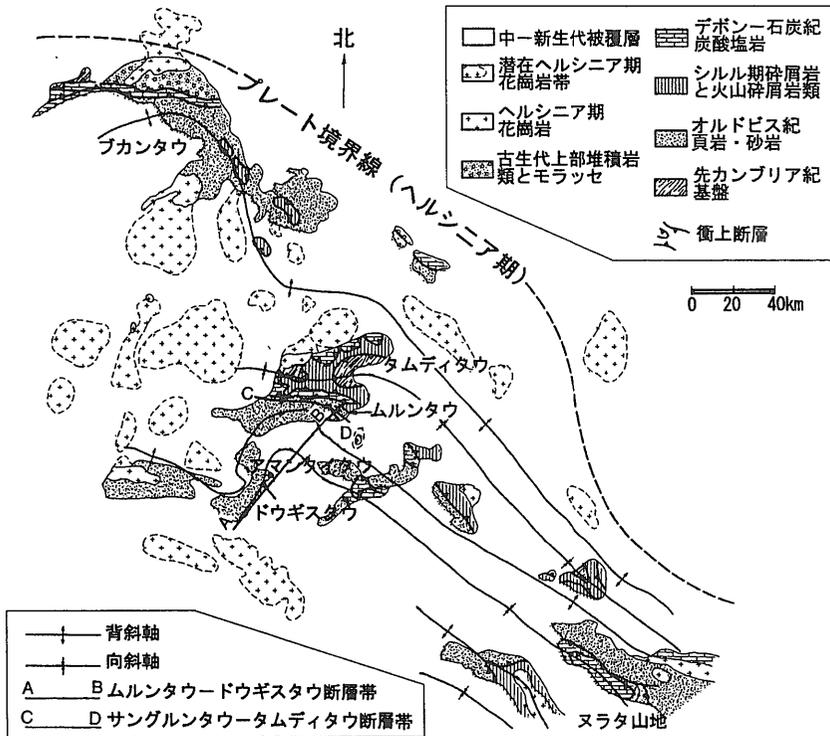
ている(Sengor *et al.*, 1993)。先カンブリア系基盤がオルドビス紀中期-シルル紀早期に開いてトルキスタン古大洋に堆積作用が生じ、シルル紀後期-デボン紀に北向きの沈み込みと、古生代後期にかけて北側のアルタイ地塊に対するコリジョンが生じた。コリジョンに伴ってナッペの発生など著しい地表の短縮化が起こり、且つ石炭紀からペルム紀にかけて花崗岩類が進入した。

地域的には北から南へ、古生代中-後期の海洋底堆積物、原生代後期-古生代初期の海成堆積物と火山岩類、古生代後期のメランジェとオフィオライトが分布する。中生代-新生代には局地的に堆積盆地が発生し、石油・ガスなどが胚胎している。

オフィオライト帯はキジル・クム-アライ衝突帯(第1図)の北縁に発達する。その南側の古生層は石炭紀-ペルム紀前期にかけての“ヘルシニア”変動を受け著しく褶曲し、且つ深成岩類の進入を被る。これらはキジル・クム地域では衝突帯の堆積岩類に、タシケント南方のアルマキル地域では衝突帯北側のカザフ・キルギス-バイカル ブロックに貫入する。これら深成岩類は一般にモンゾニ岩質で、斑れい岩や花崗岩(閃長岩)類を伴う。このモンゾニ岩質岩帯は金-銀-銅-モリブデン-(タングステ



第3図 ティエン・シャン山系の貫入岩類と鉱床生成区 (Kudrin *et al.*, 1990).



第4図  
キジル・クム鉱化域の地質構造図 (Drew et al, 1996).

ン) 鉱床帯である(第3図)ことから磁鉄鉱系岩類からなるものと思われる。この鉱床区の南側には錫-タンゲステン鉱床生成区が分布し、この帯はチタン鉄鉱系に花崗岩類からなる可能性が高い。

#### 4. 破碎帯型金鉱床-ムルンタウ鉱床

キジル・クムの中央部のゾファラシヤン近傍には

(写真1), 衝突帯接合部の南縁に沿って発達する多数の衝上断層に関連して重要な破碎帯型の金鉱床がある。ゾファラシヤンの北東方35kmにはムルンタウがあり、南方にはアマンタイタウ・ドウギスタウなどの鉱床がある(第4図)。ムルンは鼻、タウは山を意味するウズベク語だそうであるが、鉱床付近は丘陵地で中-新生代の被覆層に覆われて古生層露岩が丘をなし(写真2), そのなかで変質岩などが突



写真1 キジル・クム鉱化域付近の砂漠風景。谷沿いに僅かに露頭が見える。



写真2 丘陵地に見られる古生層の露岩。ムルンタウ鉱山近傍。

出していた為であろう。

ムルンタウ鉱床は、1931-32年の探査による含金石英脈の発見を端緒とし、1969年に至るまでの長期間の組織的な探査活動により1967年の開山に至ったもので、1967年～1995年に1,186トンの金を生産し、ユーラシア大陸最大の規模を持つ。現在ピット(口絵参照)は3,500m×2,700m、深さ360mに達している(写真3)。現在カット・オフ1.6g/t Au、平均品位2.6-3.0g/t Auの鉱石が約6万トン/日のペースで採掘されている。深度1,500mまでに更に1,830トンの金が潜在していると言われる。

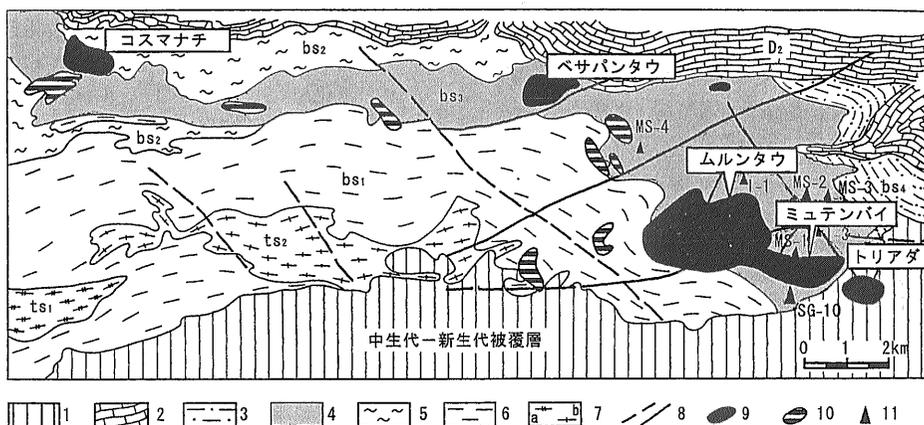
鉱床はティエン・シャン山脈南帯の衝突帯に位置し、周囲は著しく変形した堆積岩類地域であるが、

花崗岩類も数多く潜在するものと思われている(第4図)。鉱床付近にはオルドビス紀中部-シルル紀下部の泥質岩、デボン紀中期-石炭紀下部の炭酸塩岩類からなる。鉱床母岩はオルドビス紀中部-シルル紀下部のフリッシュ堆積物からなるベサパン層である。これは砂、シルト、泥の互層であるが、見かけの色によって下位から下部垂層(bs1)、灰色垂層(bs2)、多彩垂層(bs3)、緑色垂層(bs4)に分けられている(第5図)。

ベサパン層は東西系・北傾斜の褶曲作用を受け、鉱床付近でムルンタウ背斜軸を構成するが、鉱床はその南翼に位置する(第6図)。ベサパン層は多くの東西系の断層群に切られており、それは早期の低角度衝上運動による可塑性変形、後期の脆



写真3  
ムルンタウ鉱床ピット底から見た坑壁と巨大な日本製パワーシャベル。



第5図 ムルンタウ鉱床付近の地質図 (Shayakubov et al, 1999b)。

1 中生代-新生代粘土・砂・マール。以下古生界, 2 石灰岩・ドロマイト, 3 変砂岩・頁岩 (bs4), 4 変シルト岩・頁岩 (鉱床胚胎層, bs3), 5 変砂岩・シルト岩 (bs2), 6 変シルト・頁岩 (bs1), 7 先カンブリア紀-古生代下部層 a 結晶片岩, b 同, 含炭酸塩岩, 8 断層, 9 Au 鉱床, 10 Au 鉱微地, 11 深層試錐地点, ts1, ts2 先カンブリア紀-オルドビス紀下部Taskazgan層中の分帯, bs1-bs4 オルドビス紀中部-シルル紀下部 Besapan 層中の分帯。

性変形による急角度断層に分けられる(写真4)。

層内衝上断層も多数存在し、著しい例は多彩垂層中の厚さ300m-800mに達するもので、無数の断層面をもってその下部に位置する。主要断層面がスクリーンの役割を果たし、面間の変質堆積物中に含金石英細脈を生ぜしめた。高品位鉱は変質層の下部に産出する。

これら鉱化破碎帯には、Besapantau-Kasmanachi, Structural, Tourmaline, Southernなどの名が付けられている。Southern破碎帯は幅広い急傾斜の破碎帯であるが、その断層運動は左ずれ逆断層運動に走向方向の横ずれが複合したもので、その垂直落差は500m、横ずれ距離は1,000mと推定されている。これは岩脈貫入前から存在し、火成活動と鉱化作用を規制している。鉱化後の断層運動としては東北東系、それに斜交する北東系などが顕著である。

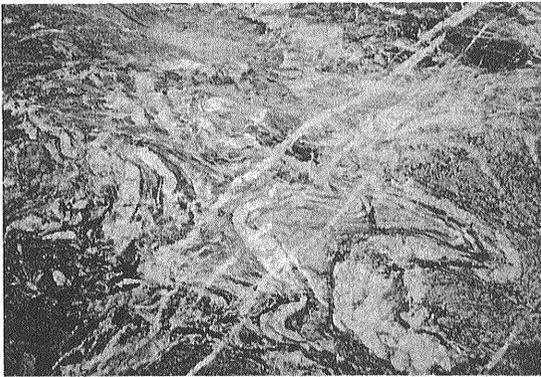


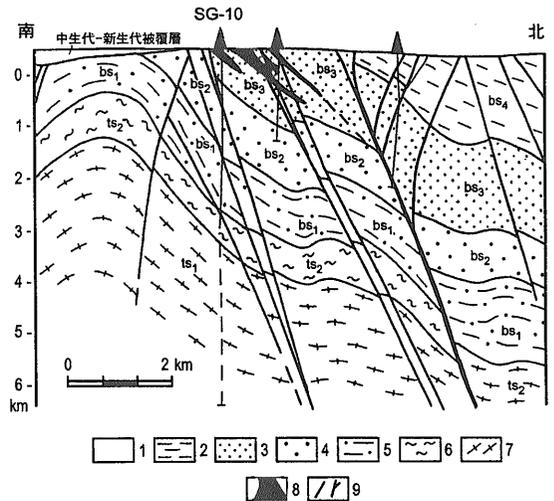
写真4 ムルンタウ鉱床内の褶曲古生層。可塑性褶曲後に脆性破壊を受け金石英脈が貫入する。



写真5 深層試錐コアの説明風景。全ての岩片には番号が付けられ、詳細に記載されている。

### 火成岩類

ムルンタウ鉱床付近に露出する火成岩類は北東～東西系岩脈のみであるが、広域的には(1)古生代初期と思われる著しく変成した珪質岩脈、(2)石炭紀中期の斑れい閃緑岩ストック、(3)ムルンタウ南東方の多数の石炭紀後期の花崗閃緑岩ストック(これはサーダラ潜在花崗岩体のオフセット部分と考えられる)、(4)ペルム紀の多数の岩脈、などの数多くの火成岩類が分布するものと思われている。更に特筆すべきは数キロ規模の深層試錐を多数行



第6図 深層試錐(SG-10ほか)に基づくムルンタウ鉱床南北断面図(Shayakubov et al., 1999b)。

- 1 中生代-新生代被覆層, 古生層。2 変砂岩-頁岩層 (bs4層)。
- 3 変シルト岩・頁岩 (bs3鉱化層)。
- 4 変砂岩・シルト岩 (bs2層)。
- 5 変シルト岩・頁岩 (bs1層)。
- 先カンブリア紀-古生代下部層。6 結晶片岩と炭酸塩岩。7 結晶片岩。
- 8 鉱体。9 断層。

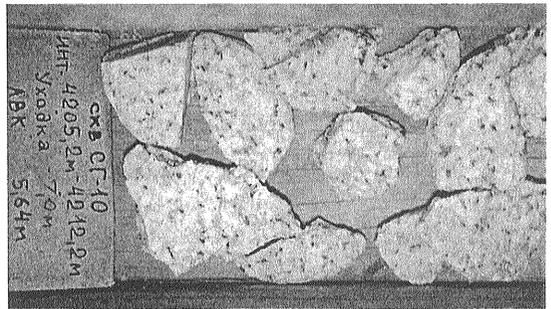


写真6 4,205-4,212mから得られた両雲母花崗岩。帯磁率測定によるとチタン鉄鉱系。

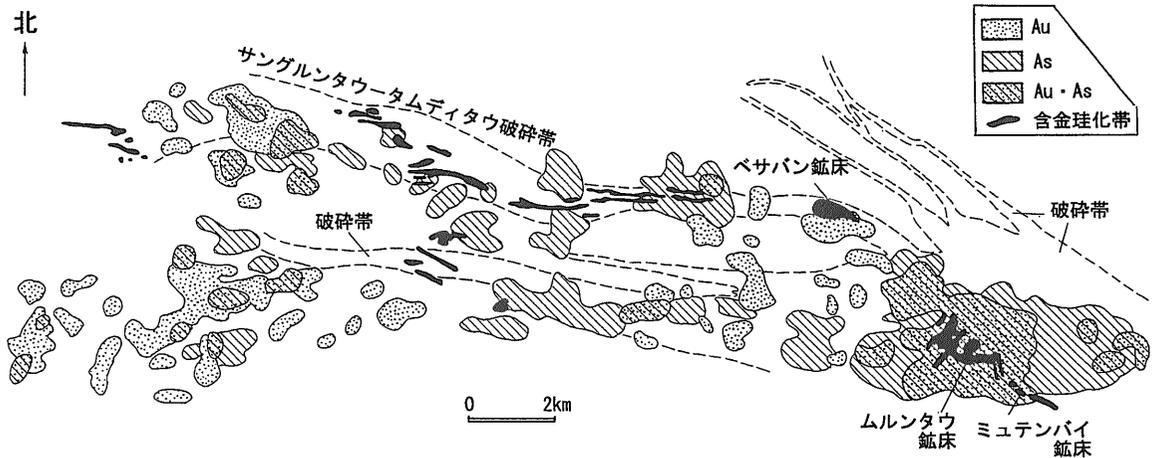
っていることであり、コラ半島の十数キロのボーリング以前に深掘りに対する社会的な理解があったことが伺える。

深層試錐SG-10により鉱体直下に垂アルカリ花崗斑岩が深度2,601-2,611mで、MS1深層試錐では花崗斑岩が581.4-581.8mと1,106-1,112m、MS-2試錐では石英閃緑岩が1,867.5-1,871.0mで捕捉されている。これらは286MaのRb-Sr年代を示すサードラ花崗岩体の分岐部分と考えられる。また完晶質岩は4,200m以深でも現れる(写真5, 6)。

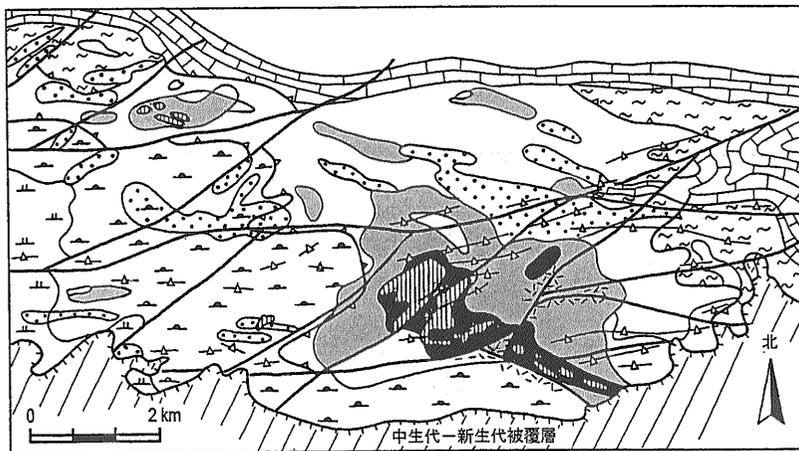
深層試錐で得られた優白花崗岩質岩類はSiO<sub>2</sub> 75.1-76.1%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO 0.29-0.66で還元적이다。特に主岩相である細-中粒等粒状優白花崗岩

はFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO 0.29(7個の平均)であり、磁鉄鉱系/チタン鉄鉱系の境界である0.5より著しく低い。また現場における筆者の観察では最深部の花崗岩類は両雲母花崗岩であり(口絵参照), その帯磁率はいずれも0.11×10<sup>3</sup>SIの低い値が得られたので、これはチタン鉄鉱系に属する還元的花崗岩であることを示している。

鉱化に関する熱水変質作用は外側から中心に、黒雲母化、黒雲母-長石-石英化、石英-カリ長石化としてみられる(第8図)。少量の変質鉱物として電気石、アクチノ閃石、絹雲母などがある。主要な鉱石鉱物は自然金、灰重石、黄鉄鉱、磁鉄鉱である。少量鉱物として磁鉄鉱、黄銅鉱・輝



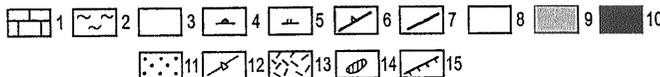
第7図 ムルンタウ鉱床付近における破碎帯と金・砒素異常、珪化帯の分布 (Drew et al., 1996).



第8図

ムルンタウ鉱床の変質図 (Shayakubov et al., 1999b).

- 1 炭酸塩岩.
  - ベサパン層:
  - 2 緑色, 3 多彩色, 4 灰色,
  - 5 下部, 6 岩脈, 7 断層.
  - 岩脈前変質作用:
  - 8 外側黒雲母化帯,
  - 9 中間黒雲母-長石-石英帯,
  - 10 内側石英-カリ長石帯.
  - 岩脈後変質作用:
  - 石英-アルバイト レンズ,
  - 12 (電気石)-石英-アルバイト脈,
  - 13 絹雲母化岩, 14 Au 鉱脈,
  - 15 古生層露出の南限
- (Shayakubov et al., 1999c).



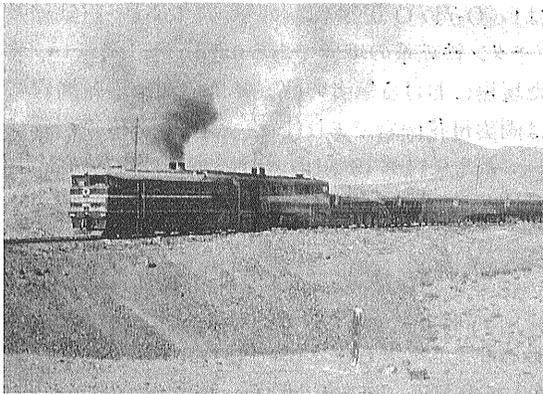


写真7 ムルンタウの鉱石を選鉱場に搬出する貨車、1台当たり150トン。

水鉛鉱，方鉛鉱，閃亜鉛鉱，Bi 鉱物などがある。

鉱化変質作用は(イ)黄鉄鉱-緑泥石-絹雲母-石英 ステージ:これは最早期の鉱染状鉱化変質で鉱体の外縁を構成する，そして引き続く，(ロ)レアメタル-金 ステージ，に分けられ，後者は更に次の鉱物組合せを持つ。

- (1) 黄鉄鉱-緑泥石-黒雲母-石英
- (2) 灰重石-自然金-炭酸塩鉱物-緑泥石-カリ長石-石英 (85%)
- (3) 自然金-硫砒鉄鉱-石英
- (4) 石英-アルバイト-黄鉄鉱-電気石
- (5) 多硫化物-炭酸塩鉱物-石英

以上のうち鉱量的には(2)が最も重要で鉱石中



写真8 純金22.5kgの製品。銀は30kgに整形される。後の壁には平成10年4月15日付の東京工業品取引所(理事長間瀬直三)の指定書が日本語で掲げられている。

85%を占める。これは破碎作用による鎗状や角礫状の淡褐-淡灰色変質岩の外観を呈し，細脈，レンズ，ポケット状石英をしばしば伴う。ムルンタウ鉱床の鉱石は一般に硫化物に乏しいため，Au/Ag比=4と高い。石英脈部分には0.05-2.0%の黄鉄鉱，0.01-2.0%の硫砒鉄鉱を含み，やや硫化物に富む。鉱石の全岩分析値は，Au 1-29g/t，Ag 0.8-7.2g/t，WO<sub>3</sub> 0.003-0.6%，S 0.07-2.19%，As 0.03-1.73%，C 0.08-1.81%である。

### その他の鉱床

その他の鉱床として重要なものに，ムルンタウ鉱床南西方66kmにアマンタイタウとドウギスタウ鉱床

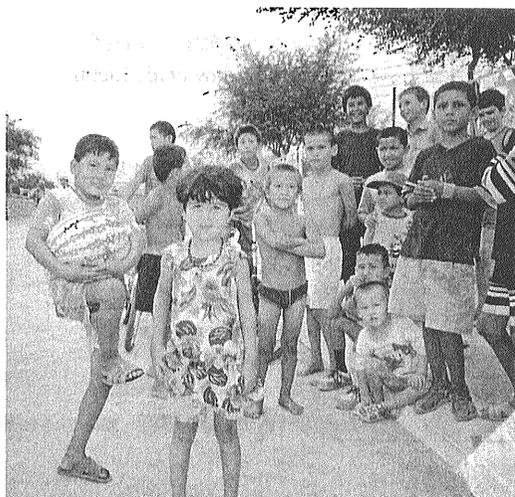


写真9 ムルンタウの街の子供達。



写真10 ドウギスタウ鉱床のオープン・ピット。

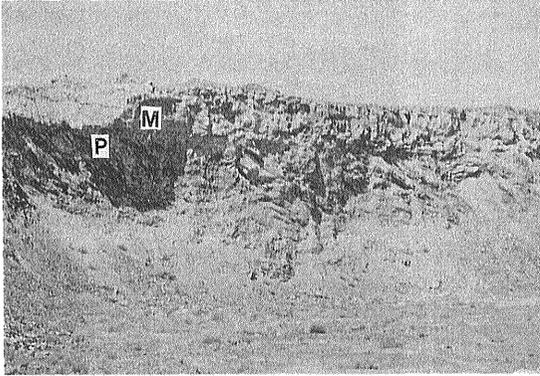


写真11 古生層(P)と、その上を不整合に覆う中生層(M).

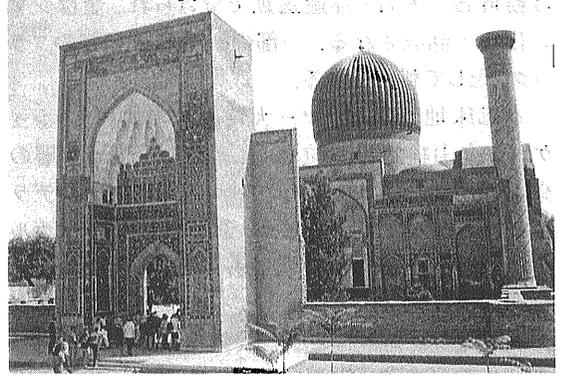


写真12 美しい都サマルカンドを造ったチムール(1405年没)とその一族の墓があるグル・エミル廟。

がある(第4図、表紙写真参照)。それぞれの獲得鉱量は次の通りである。

アマンタイタウ 940万トン(117.7トンAu, 16トンAg)  
ドウギスタウ 4,620万トン(185.7トンAu, 101トンAg)

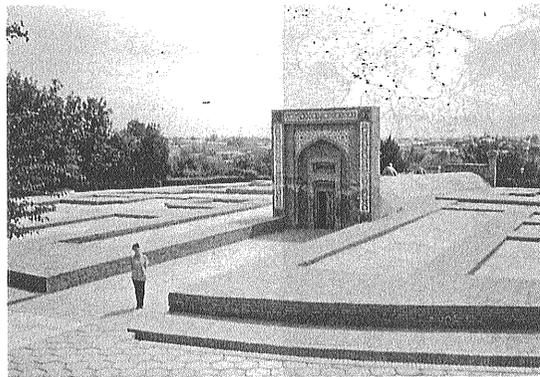


写真13 チムール時代に偉大な天文学者ウルグ・ベク(1393-1449)が作らせた天文台の跡。



写真14 タシケント、アミール チムール広場の巡検一行の記念写真。

この地域の鉱床はドウギスタウ-アマンタイタウ-ムルンタウ構造線の規制を受ける。鉱床はこの断層帯に近いオルドビス紀中部-シルル紀下部ベサパン層の炭質物に富むフリッシュ堆積物に胚胎し、これは中生代-新生代の被覆層に覆われる(写真11)。

Au鉱化は北北東系断層と北北西系破砕帯の交差部に限られる。鉱化関連火成岩類は現地表には認められず、僅かにランプロフィア岩脈が周辺部に見られるのみである。しかし、重力探査によってドウギスタウの5km下、アマンタイタウの3-4km深部に花崗岩体の存在が推定されている。

## 5. 多金属型の金鉱床 - コチュブラク

この多金属型の金鉱床はタシケントの南東方、タジキスタンの国境近くで見られ(第2図、写真15)、コチュブラク鉱床で代表される。コチュブラクは最も大きいのみならず地質的にも興味深い産状を示す。1960年の発見、鉱量はAu 120トン、Ag 400トン規模と推定されている。これまでに560万トンの鉱石から Au 74.9トン、Ag 330トンが生産された。現在の出鉱品位はAu 13.4g/t、Ag 120g/tの他、Te 101.6g/t、Se 4g/t、Cu 0.2%、Bi 0.01%を含む特徴がある。カイラガチ鉱床はAu50トン、Ag 150トン規模、これまでの採掘鉱石は110万トン(Au 13.1g/t)、その含金量は14.4トンである。

コチュブラク鉱床は11レベルによって550m深部まで開発されており、地表下400mまでは採掘済みであり、その下部の開発によって年間18.5万トンから30万トンへの増産が可能と言われている。鉱石

は粉碎後、重力・浮遊選鉱で分けられ、金はシアン化法で回収される。一部の鉱石は銅精錬のフラックスとして利用される。

本鉱床地帯はクラマー大背斜帯の北翼、ラッシュケレク火山構造帯に位置し、鉱床は2つの断層の交点に発生したコチュブラク-カイラガチカルデラ中に位置すると言われるが、筆者の観察ではカルデラの構造はやや不鮮明であった。カルデラ内は中-上部石炭紀の安山岩・デイサイト類であるアクチャ層とナダク層、上部石炭紀-下部ペルム紀のオヤサイ層の流紋岩類、上部ペルム紀-下部三疊紀のキシルヌラ層の流紋岩類、及びこれらに関連する斑岩類からなる(第9図)。

アクチャ層は安山岩-デイサイト質溶岩と火砕岩類が1km以上の層厚を有し、それらを不整合に覆

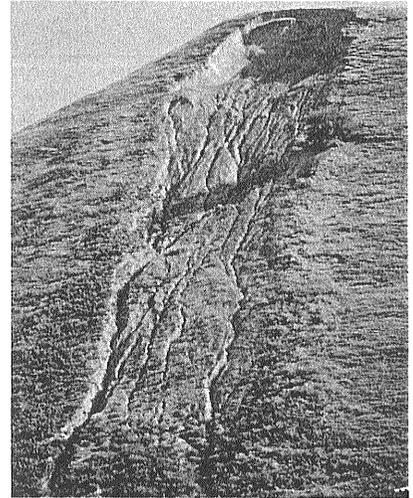
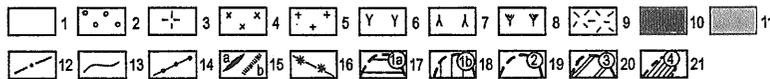
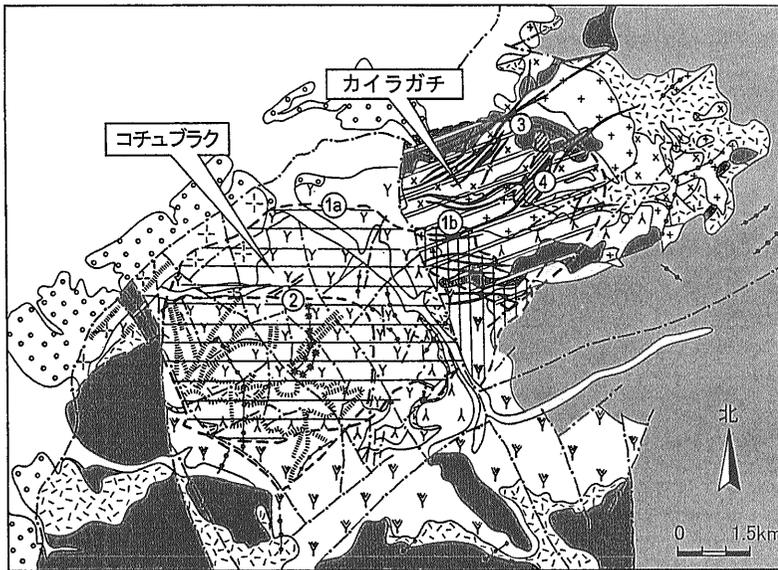
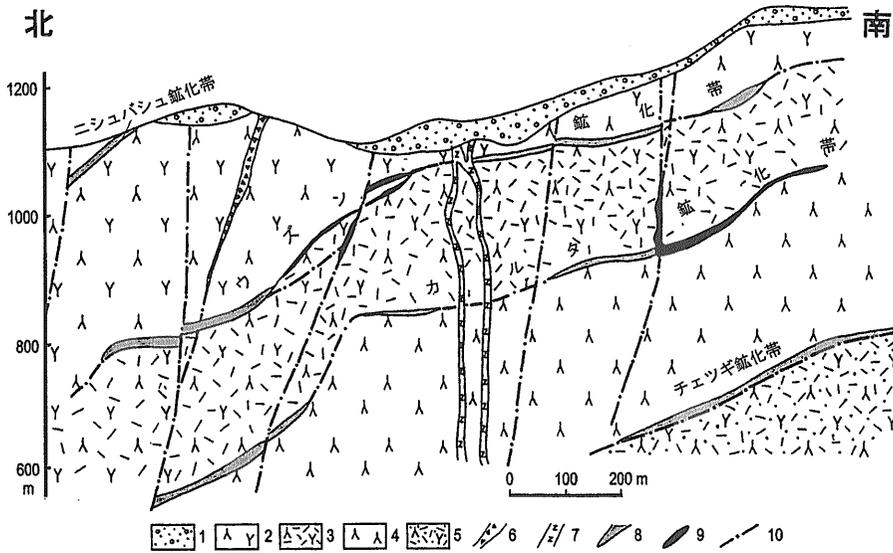


写真15 コチュブラク鉱山付近の地形。キルギスタン国境に近く、山は急峻。豪雨があるとしばしば山崩れを起こす。



第9図 コチュブラク-カイラガチ鉱床区の地質図 (Islamov et al, 1999)。

- 1 第四紀層。
- 2 中-新生代堆積層。
- 3 オヤサイ層 (斑岩・粗面流紋岩・凝灰岩)。
- 4-9 ナダク層。
- 4 安山岩と同質角礫岩, 5 デイサイトと同質角礫岩, 6 粗面安山岩と同質角礫岩,
- 7 粗面安山岩, 安山岩, 同質角礫岩, 8 閃雲粗面安山岩, 安山岩, 同質角礫岩,
- 9 安山岩-デイサイト質凝灰岩・溶岩角礫・凝灰質シルト・砂岩・礫岩。
- 10 アクチャ層の角閃石-黒雲母粗面安山岩, 11 アクチャ層の黒雲母-角閃石粗面安山岩。
- 12 断層, 13 地質境界, 14 苦鉄質岩脈, 15 鉱化帯 a 石英脈, b 鉱化変質岩。
- 16 パイプ状鉱体, 17 コチュブラク地塊に乗るカイラガチ構造体の最初の位置。
- 18 コチュブラク地塊の最初の位置, 19 コチュブラク鉱体の外縁。
- 20 カイラガチ構造体上の鉱体の輪郭, 21 同じくパイプ状鉱体の位置。



第10図 コチュブラク鉱体の南北断面図 (Islamov et al., 1999).

- |                        |                         |                         |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 第四紀層.                | 2 粗面安山岩, 安山岩-デイサイト質角礫岩. | 3 粗面安山岩, 安山岩-デイサイト質凝灰岩. |
| 4 粗面安山岩, デイサイト質溶岩-角礫岩. | 5 デイサイト質凝灰岩.            | 6 角礫パイプ.                |
| 7 苦鉄質岩脈.               | 8 鉱化岩.                  | 9 鉱体.                   |
|                        |                         | 10 断層.                  |

うナダク層は下部に火山性礫岩・砂岩，上部に安山岩-デイサイト質の溶岩・火砕岩類が多く，6層に分けられる。オヤサイ層とキジルヌラ層は鉱床の南方に分布する。

これら火山岩類は $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 図でカルク・アルカリ岩と亜アルカリ岩の境界付近に分布する。従って，粗面安山岩，粗面デイサイトのと云える。

貫入岩類は鉱化前に属するものがカラマザル型の石炭紀中期の花崗閃緑岩，アクチャ層の粗面安山岩と同期と思われるモンゾ閃緑斑岩類，オヤサイ層の火山岩類と関連する流紋岩貫入体などからなる。

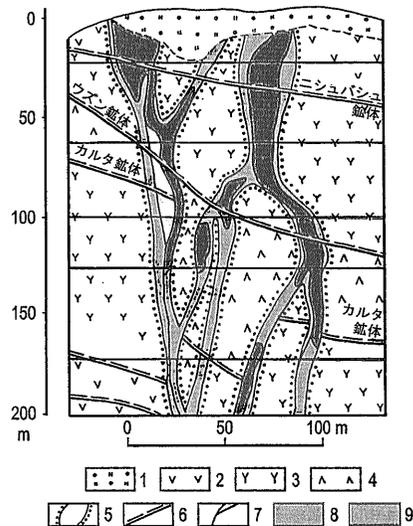
鉱化後貫入岩類としてペルム紀初期の苦鉄質岩脈が広く貫入し，他に流紋岩，花崗閃長岩，閃長岩，モンゾ閃緑岩の岩脈類も多い。

K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr法による鉱化年代はコチュブラク鉱床で290-280Maに集中し，カハラガチュ鉱床では320-284Maと268-261Maを示す。PbとSr同位体比からマントル/地殻マグマ混合モデルが提案されている。

### コチュブラク鉱床

コチュブラク鉱床は斑岩類で縁取られた石炭紀中-後期の成層火山充填物中に集中する(第9図の

②の範囲)。鉱化帯は(1)東西～北東系走向で急斜する鉱脈(全鉱量の40%)，(2)緩傾斜(20～40°)のレンズ状鉱脈(同20%)，(3)パイプ状鉱脈(同40%)からなる(第10, 11図)。パイプ状鉱体は



第11図 コチュブラク鉱床のパイプ状鉱体断面 (Islamov et al., 1999).

- |            |          |           |
|------------|----------|-----------|
| 1 第四紀層.    | 2 粗面安山岩. | 3 デイサイト.  |
| 4 粗面デイサイト. | 5 爆裂パイプ. | 6 緩傾斜鉱脈.  |
| 7 割目.      | 8 珪化岩.   | 9 パイプ状鉱体. |



写真16 コチュブラク鉱山オープン・ピット。現在の採掘は主に坑内掘である。

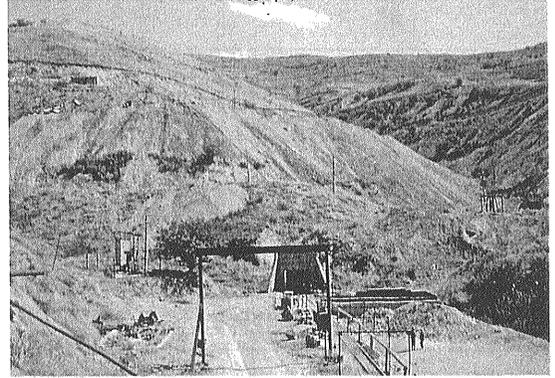


写真17 コチュブラク鉱山の1,200m坑口。

爆裂角礫で充たされたパイプの中心部に胚胎する。パイプ状鉱体は-400mのレベルまで存在する。

変質：火山岩類は鉱化に先立つプロピライト化（緑泥石-炭酸塩鉱物）を受けており、断層沿いには著しい緑泥石-緑簾石化を伴う。鉱化変質は珪化を主体とし、絹雲母、明ばん石、ダイアスポアを伴う。これはロシア語文献では“二次的珪岩”と一般に呼んでいる。石英は鉱体中では粗粒結晶からコロイド状、カルセドニー状、アメジスト状、晶洞性などの様々な産状を示す。

変質鉱物は緩～急傾斜鉱脈の周辺でゾーニングを示す。すなわち鉱体から外方へ加水絹雲母帯、水長石-絹雲母帯、緑泥石-炭酸塩鉱物帯、母岩へと移行する。鉱化後の変質鉱物として石英、重

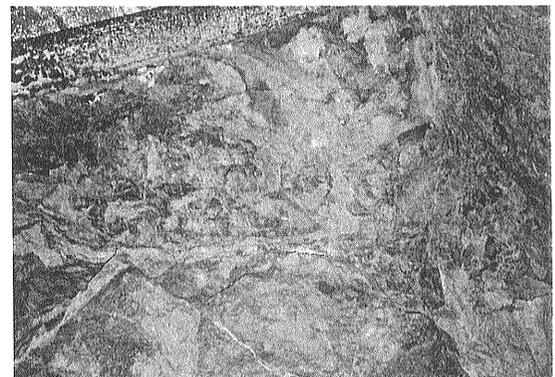
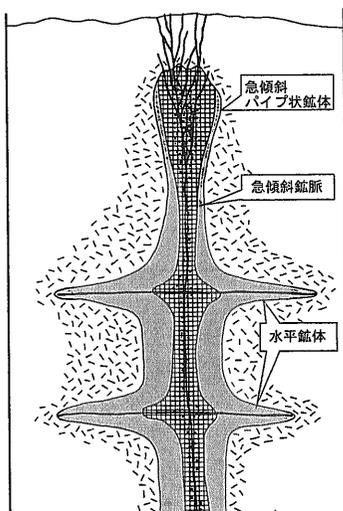


写真18 コチュブラク鉱山の1,200m坑内における母岩の角礫凝灰岩。

晶石、炭酸塩鉱物がある。

鉱化作用は早期から晩期へ、金-黄鉄鉱型、金-多硫化物型、金-テルル鉱物型に分けられる。金-黄鉄鉱型は黄鉄鉱中の自然金が微小に含まれたもので、その鉱石品位は低品位（4g/t Au）である。深部でその重要性が増す。模式的には第12図のように示される。

金-多硫化物型は自然金がCu, Pb, Zn, Bi, Sb 硫化物と共産するもので、硫化物に富み（口絵参照）、これは上部レベルに多産する緩～急傾斜脈の主力鉱石である。金-テルル鉱物型は金銀がカラベラス鉱（ $AuTe_2$ ）、ペッツ鉱（ $Ag_3AuTe_2$ ）、シルバニア鉱（ $AuAgTe_4$ ）、ヘッス鉱（ $Ag_2Te$ ）、ステイツ鉱（ $Ag_5Te_3$ ）、empressite（ $AgTe$ ）として産するもので、パイプ状鉱体の上部に多産する。またこれまでに次の3種類の新鉱物が発見されている。kuramite（ $Cu\frac{1}{2}Cu^{2+}Sn^{4+}Sn^{2+}$ ）、mokhite（ $Cu\frac{1}{2}Sn^{4+}S_3$ ）、chatkalite（ $Cu\frac{1}{2}Fe^{2+}Sn^{4+}S_{32}$ ）。またこの鉱床は金



第12図  
コチュブラク鉱床におけるメタルゾーニング (Islamov et al., 1999)。

- 1 火山岩類。
- 2 変質火山岩類。
- 3 Au-黄鉄鉱帯。
- 4 Au-多硫化物帯。
- 5 Au-Te帯。
- 6 鉱化規制断層。



鉱床としては珍しくSn鉱物がパイブ鉱体を中心に多産し、錫石の他、モーンソン鉱、スタノイド鉱などの含Sn硫化物が多数産出する。

### 6. ポーフィリー型鉱床 - アルマリク鉱化帯

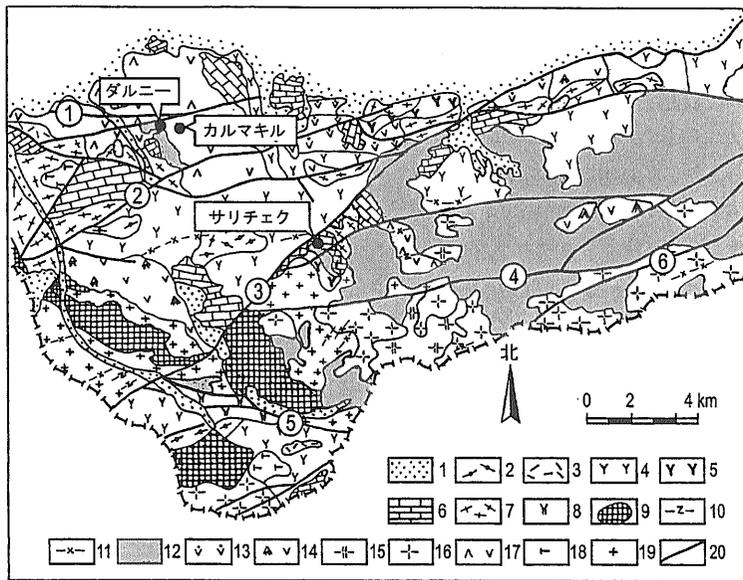
ポーフィリー型銅鉱床にはAuとMoに富むものがあり、前者で0.3-0.7g/tとAuに高いものは南西太平洋の新生代の島弧貫入岩類に付随する鉱床で知られており、後者はアメリカ大陸のコルディレラ山地で卓越している。当地のヘルシニア期の鉱床においても0.5g/tの金に富むものが存在する。

アルマリク鉱化帯はタシケントの南東方約65kmにあり、ポーフィリー型銅鉱床の産地として著名である。1996年の確定銅量は2,200万トン、このうち57.4%はダルニー鉱床、40%はカルマキル、2.6%は

サリチュク鉱床に胚胎する。銅の他にAu 2,000トン、Ag12,500トン、Mo 22.9万トンSe 13,200トン、Te 1,000トン、Re 566トンが鉱体に含まれている。金額的割合はCu 52.0%、Au 41.7%、Ag 4.4%、Mo 0.4%、Re 0.8%、Te 0.5%、Se 0.12% (1997-98年)。旧採掘鉱石の廃石(1.3億トン<0.2%Cu)には1,300万トンの高品位酸化鉱(0.5-0.6% Cu)が含まれており、将来稼行される予定である。

鉱床付近の地質はオールドビスーシル紀の変成岩類にデボン紀下部火山岩類、デボン紀中期-石炭紀下部の炭酸塩岩類、古生代末期の堆積岩火山岩類からなる。これらにヘルシニア期深成岩類が貫入し、それは古期のモンゾニ岩、斑れい-閃緑岩類、新期に属するクラマ花崗岩バソリス、少量の花崗閃緑斑岩類、無数の後期岩脈類から構成される。

東北東-東西系の断層が顕著で、ブルグンディと



第13図 . アルマリク鉱床付近の地質図 (Shayakubov et al., 1999c).

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 1 第四紀層.  | 2 ペルム紀下部Shurabsai層(安山岩, 凝灰質砂岩). |
| 3 石炭紀中-上部Nadak層デイサイト.  | 4 石炭紀中部Akcha層(安山岩・デイサイト).       |
| 5 石炭紀中-下部Minbulak層(安山岩, 凝灰岩・石灰岩).                                      | 6 デボン紀上部-石炭紀下部石灰岩・ドロマイト.        |
| 7 デボン紀下部流紋岩斑岩.   | 8 デボン紀下部安山岩.                    |
| 9 オールドビス紀結晶片岩.   | 10 苦鉄質岩脈.                       |
| 11 珪長質岩脈.  | 12 石炭紀後期石英モンゾニ斑岩.               |
| 13 石炭紀後期閃長斑岩.  | 14 石炭紀後期石英含有細粒モンゾニ岩.            |
| 15 石炭紀中-後期Kyzylsai型花崗閃緑岩と花崗岩.  | 16 石炭紀中期Kurama型花崗閃緑岩.           |
| 17 石炭紀中期モンゾニ岩・閃緑岩.   | 18 デボン紀初-中期の石英モンゾニ岩.            |
| 19 花崗岩, アラスカイト.  |                                 |
| 20 断層①Karabulak, ②Burgundy, ③Miskan, ④Kolbulak, ⑤Bashtabak, ⑥Zhelezny. |                                 |

第2表 鉱床母岩中の最も新鮮な岩石の酸化還元指数, アルカリ含有量とアルカリ比.

岩石名	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O
中粒モンゾニ岩	54.9%	1.08	4.00%	4.57%	8.57%	1.14
細粒モンゾニ岩	55.0%	0.71	3.20%	4.04%	7.24%	1.26
石英モンゾニ斑岩	61.3%	1.28	4.72%	2.14%	6.86%	0.45

ミスカン断層(第13図)によって次の3ブロックに分けられる。

- (1) 南ブロック: オルドビス-シルル系が巨大な花崗岩体の貫入を受け隆起したもの。従って浸食が進んでいる。
- (2) 中央ブロック: 同沈降部。石炭紀火山岩類に覆われる。
- (3) 北ブロック: デボン-石炭紀炭酸塩岩・火山岩類がモンゾニ岩の貫入を受ける。重要なカルマキル, ダルニー鉱床は共にこのブロックに位置し, モンゾニ岩体の後期斑岩相と断層による規制を受けている。

**貫入岩類**

鉱床母岩はモンゾニ岩相とその後期貫入岩相と思われる石英モンゾニ斑岩である。この斑岩は淡灰～淡桃色の斑岩であり, その斑晶は石英25%, 斜長石32%, カリ長石28%, 黒雲母15%からなる。最も新鮮な岩石の酸化還元指数, アルカリ含有量とアルカリ比は第2表のような値を持つ (Shayakubov *et al.*, 1999c)。

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO比はいずれも0.5を超え, これらが全て磁鉄鉱系に属することを示している。また完晶質なモンゾニ岩よりもより後期のモンゾニ斑岩が高い値を持つことも一般的な傾向に従っている。中粒

および細粒のモンゾニ岩はアルカリ総量が7%を超え, 明らかにアルカリ岩系の領域に落ちる。石英モンゾニ斑岩のアルカリ総量はカルクアルカリ岩系の値であるが, 変質によってアルカリが若干減少している可能性がある。すなわち, 貫入岩類は全体としてアルカリ岩系(ないし亜アルカリ岩系)とみなすことができる。これら岩石の微量成分は一般にPb, Zn, Cuに富む。Auはクラーク数程度であるが, 石英モンゾニ斑岩ではCu, Mo, Auが異常に高く, これらは岩脈の上方へアルカリと共に濃集する傾向がある。

変質作用は時期別にアルバイト-アクチノ閃石, 緑簾石-緑泥石-炭酸塩鉱物-黄鉄鉱の組合せからなるプロピライト化, 次いで鉱化を伴う石英-絹雲母-緑泥石, 石英-絹雲母, 石英変質からなる。鉱化作用は鉱染・細脈状であり(写真21), 早期から晩期へ石英-磁鉄鉱, 石英-黄鉄鉱-輝水鉛鉱-黄銅鉱(-金), 石英-炭酸塩鉱物-硫化物(-金), ゼオライト-硬石膏, 方解石脈, 重晶石脈の生成順序がみとめられる。鉱化変質の絶対年代については変質岩が320-280Maの幅広いK-Ar年代を示すが, 変質鉱物の絹雲母は309-301Ma, 加水雲母が276-273Maである。輝水鉛鉱のRe-Os年代は270Maである。

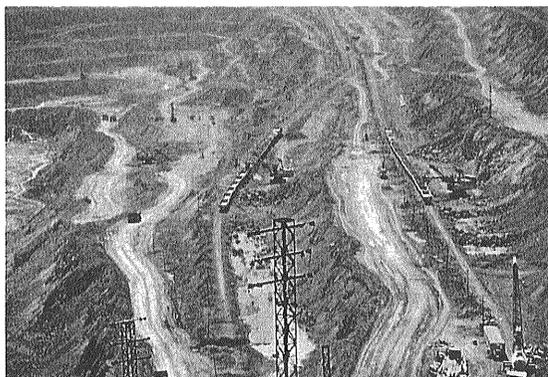


写真19 カリマキル鉱山の採掘・搬出風景。トラックと貨車の双方が使われている。



写真20 カリマキル鉱山の採掘風景。パワー・シャベルは10m<sup>3</sup>, トラックは75トンクラス(ドイツ製)。

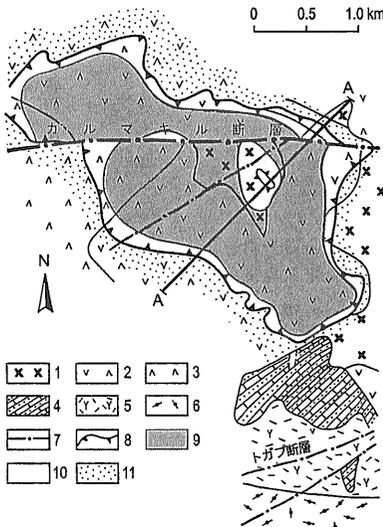
カルマキル鉱床

1931年の発見。これまでの獲得鉱量は0.2%Cuのカット・オフで20億トン(Cu 0.58%, Mo 0.05%, Au 0.5g/t, Ag 3g/t, S 1.5-2.0%)。1954年よりオープンピット採掘，以来400万トンの銅が生産された。現在のピット(口絵参照)は3,750m×2,000m，深さ660m(海拔250m)，ベンチ差15-22.5m，年間採掘可能量2,700万トン(7.4万トン/日)である。

この鉱床はカルマキル断層の南側に位置し(第14図左)，主にモンゾニ岩を母岩とする。鉱化作用は斑岩や岩脈の形態，カルマキルとカラブラク断層に関連する割目に規制され，高品位部は両者の交



写真21 カリマキル鉱床の網状鉱石。スケールは10cm.



第14図 カルマキル鉱床の平面及び断面地質図(Shayakubov et al., 1999c).

- 1 石炭紀後期石英モンゾニ斑岩。 2 石炭紀中期モンゾニ岩。 3 石炭紀中期閃緑岩。
- 4 デボン紀中期炭酸塩岩。 5 デボン紀下部安山岩・デイサイト。 6 デボン紀下部流紋斑岩。
- 7 断層。 8 鉱体の縁。 9 高品位鉱体。
- 10 低品位鉱体。 11 弱鉱化帯。

差部にある。南方の鉱体を含めて全体で逆カップ状をしている(第14図右)。Auは構成成分の中でCuと最も高い相関係数(+0.57)を示し，黄銅鉱中の含有量も高く(22ppm, n=20)，自然金が黄銅鉱中の包有物として存在するものと考えられている。

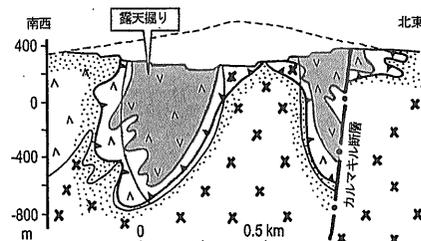
ダルニー鉱床

これはカルマキル鉱床の深部相に相当し，1962年に発見され1978年の探査終了までに25億トンの鉱量(Cu 0.38%, Au 0.4g/t)が獲得された。1970-80年代に3,000万トン/年の採掘計画が立てられたが，まだ実行に移されていない。

母岩はモンゾニ岩と石英モンゾニ斑岩，高品位鉱石は地表下500-600mに位置する。Moは深部で高品位の傾向がある。Auは銅鉱体の周辺部，特にカラブラク断層沿いで高い。AgはAuより外側に濃集する。Auはここでも黄銅鉱中の包有金粒として存在し，Cuとの相関性が高い(相関係数 +0.64)。その他微量成分では，鉱石中のSeはその63%が黄銅鉱，31%が黄鉄鉱に由来し，Teは逆に59%が黄鉄鉱，32%が黄銅鉱に由来する。Reは一般にポーフィリー型鉱床の輝水鉛鉱に多く含まれるが，ここでは特に高く，精鉱中1,186ppmの平均値が得られている。

サリチュク鉱床

アルマリーク南東方にあり，1927年の発見である。1955-83年に組織的な探査が行われ，発見鉱量は8,000万トン(Cu 0.45%, Au 0.1g/t)であり，ダルニー鉱床よりCuは高いが，Auが低い。1974年よりオープンピット採掘。現在1,800m×1,000m，



深さ250mの規模に達している。20-25年分の鉱量がある。

鉱床はミスカン断層の上盤側、ミスカン断層とサーガラム断層に挟まれた構造的なウェッジに胚胎する。母岩は古生代後期の珪長質斑岩に切られるデボン紀流紋岩であり、上部に二次富化帯が発達する。この輝銅鉱富化帯は既に採掘が終了している。

## 7. むすび

ヘルシニア期の造山帯と言え、イギリス西南部・マッシュフセントラル・エルツゲビルゲなどのチタン鉄鉱系花崗岩類に伴うSn, W, U, REEなどの鉱床が有名であった。ここに紹介したウズベキスタンでは、Au-Ag-Cu硫化物鉱床帯の鉱床が大規模で、Sn-W鉱床帯の鉱床は小規模であり、地域によって鉱種が著しく異なることを示している。Au-Ag-Cu硫化物鉱床帯中の破碎帯型の金鉱床は広域構造運動に由来する堆積岩中の割れ目に鉱染して金鉱化が見られるものであるが、高品位部には珪化や硫化鉱物化が目立ち(口絵参照)、一般の金石英脈鉱床との類似点も見受けられる。しかし、日本の浅熱水性鉱脈などに比べると熱水で運ばれたシリカの量は著しく少ない。鉱床近傍には完晶質の花崗岩が潜在し、この点を含めて“深成型”あるいは“メソサーマル”な金鉱床の性格を示している。

一方、多金属型鉱床はカルデラを伴う火山岩類中に胚胎し、破碎帯型よりも明らかに浅成である。金銀-テルル鉱物が多産し、ピスマス・アンチモン硫化物も含まれる。また錫を含む希少硫化物も産出する。このような鉱石鉱物に見られる特徴は我が国では道南のグリーンタフ帯火山岩類中の新大豊鉱床(Imai *et al.*, 1999)のものと同通性がある。

ウズベキスタンのポーフィリー銅鉱床の金含有量は平均値で0.5 g/tにも達し、世界的に高品位の部類に属する。この種の鉱床はこれまで南西太平洋の若い島弧に多く見られ、中-古生代の古いものではカナダやオーストラリアでアルカリ岩に伴って知られていた。ウズベキスタンの鉱床もアルカリ岩系の貫入岩類に付随してみられ、後者の範疇に入

るものである。鉱床には回収可能な微量成分としてTe, Seが含まれるが、これは多金属型鉱床の性質と共通するものであり、アルマリク鉱化域付近の地域的特性とみることができよう。

## 文 献

- Berger, B.R., Drew, R.J., Goldfarb, R.J. and Snee, L.W. (1994) : An epoch of gold riches: The late Paleozoic in Uzbekistan, Central Asia. SEG Newsletter, 16, p.1 and p.7-11.
- Drew, L.J., Berger, B.R. and Kurbanov, N.K. (1996) : Geology and structural evolution of the Muruntau gold deposit, Kyzylkum desert, Uzbekistan. Ore Geol. Review, 11, p.175-196.
- Imai, A., Matsueda, H., Yamada, R. and Masuta, K. (1999) : Poly-metallic mineralization at the Shin-Ohtoyo deposit, Harukayama district, Hokkaido, Japan. Resource Geology, 49, p.75-88.
- Islamov, F., Kremenetsky, A., Minzer, E. and Koneev, R. (1999) : The Kochbulak-Kairagach ore field. In Shayakubov, T. et al. edit. Au, Ag and Cu Deposits of Uzbekistan. Exc. Guidebook, IGCP373, p.91-107.
- 金属鉱業事業団(1995) : 平成6年度地質解析委員会報告書 : CIS諸国の地質と鉱物資源。資源情報センター, 421 p.
- Kudrin, V.S., Solov' yev, S.G., Stavinskiy, V.A. and Karabdin, L.L. (1990) : The gold-copper-molybdenum-tungsten ore belt of the Tien Shan. Intern. Geol. Review, 32, p.930-941.
- Marakuchev, A.A. and Khokhlov, V.A. (1992) : A petrological model for the genesis of the Muruntau gold deposit. Intern. Geol. Review, 34, p.59-76.
- Sengor, A.M.C., Natal' lin, B.A. and Birtman, V.S. (1993) : Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. Nature, 364, p.299-307.
- Shayakubov, T., Islamov, F., Isakhojaev, B. and Juraev, A. (1999a) : Gold, silver, and copper deposits of Uzbekistan: An overview. In Shayakubov, T. et al. edit. Au, Ag and Cu Deposits of Uzbekistan. Exc. Guidebook, IGCP 373, p.1-16.
- Shayakubov, T., Kremenetsky, A., Minzer, E., Obratsov, A. and Graupner, T. (1999b) : The Muruntau ore field. In Shayakubov, T. et al. edit. Au, Ag and Cu Deposits of Uzbekistan. Exc. Guidebook, IGCP 373, p.3774.
- Shayakubov, T., Islamov, F., Golovanov, I., Kashirsky, S., Kremenetsky A. and Minzer, E. (1999c) : Almaluk and Saukbulak ore fields. In Shayakubov, T. et al. edit. Au, Ag and Cu Deposits of Uzbekistan. Exc. Guidebook, IGCP 373, p.75-90.
- 武内寿久(1995) : ウズベキスタンおよび西シベリアの砂岩型ウラン鉱床 - イン・シテュ・リーチング法に関連して - 資源地質 45, p.235-244.
- Zverev, Yu., Kremenetsky, A., Minzer, E. and Shatav, V. (1999) : The Amantaitau-Daughyzttau ore field. In Shayakubov, T. et al. edit. Au, Ag and Cu Deposits of Uzbekistan. Exc. Guidebook, IGCP 373, p.17-36.

ISHIHARA Shunso (2000) : Gold deposits of Uzbekistan: Sheared zone, polymetallic and porphyry types.

<受付 : 1999年12月22日>