

第5章 結論及び将来への提言

5-1 結論

5-1-1 既存資料の検討

1) カラオトケル鉱床の再検討

カラオトケル地区の既存資料の検討により、イルメナイト濃集部は風化残留鉱床(Eluvial deposit)と漂砂鉱床(Alluvial deposit)の2種類の鉱床型に区別され、全体に漂砂鉱床のほうが高品位であることが判明した。そこで1982年に計上されていた鉱量(カットオフ:イルメナイト 15kg/m^3 , 鉱量 $147,579$ 千 m^3 , イルメナイト量 $3,438$ 千トン, イルメナイト品位 23.3kg/m^3)のうち, イルメナイト 50kg/m^3 以上の主として漂砂鉱床の部分の鉱量・品位を再計算した結果, 下記のように高品位の鉱量を抽出することができた。

TableI-5-1 Revised Ore Reserves and Grade of the Karaotkel Placer Deposit

Name of Ore Body	Category	Cut-Off Range (kg/m^3)	Ore Reserves (th. m^3)	Ilmenite Grade (kg/m^3)	Ilmenite Reserves (th. t)
Karaotkel	B	≥ 50	9,878.3	74.3	734.0

上記の鉱量のジルコン品位は 13.0kg/m^3 であった。また, イルメナイトは風化変質し, 擬ルチルを生じているため, イルメナイト精鉱品位は TiO_2 50%以上の高品位となると推定される。これらの鉱量は15m以浅の比較的浅いところに胚胎していることから, ベクチミール第3鉱床の採掘実績を踏まえ, 再度その経済性を検討することが望ましいと考えられる。

2) 新生代地史

ザイサン堆積盆(Zaisanskaya Basin)の第三系層序は, 上部白亜紀を不整合に覆って, 暁新世の北ザイサンスカヤ系(North Zaisanskaya Series), 中部-上部始新世のツランジンスカヤ(Turanginskaya Series), 上部始新世-下部漸新世のツズカバクスカヤ系(Tuzkabakskaya Series), 上部-中部漸新世のアシュタススカヤ系(Ashutasskaya Series), 下部-中部中新世のアラル系(Aral Series), 上部中新世-下部鮮新世のパヴロダー系(Pavlodar Series), 中部-上部鮮新世のブトルシンスカヤ系(Vtorushinskaya Series)が累重する(Fig.I-5-1)。気候は古第三紀には湿潤温暖であったものが, 新第

三紀には乾燥ステップに変化した。

5-1-2 地質調査

1) 地質

本地域の層序は、先花崗岩質岩類（石炭紀層）とこれに上部石炭紀から下部二疊紀にかけて貫入した花崗岩質岩類、これらを不整合に被覆する新生代第三紀アラル層、さらにこれらを不整合に被覆する第四紀層からなる。第三紀アラル層の基盤には広く風化殻が発達する。

(1) 先花崗岩質岩類

石炭紀の堆積岩類（頁岩，砂岩，礫岩），火山砕屑岩類，溶岩類（安山岩，ひん岩）からなり，調査地域には，アルカリク（Arkalyk）層，ブコン（Bukon）層，マイティアブ（Maityab）層が分布する。火山砕屑岩類，溶岩類は固結指数が18以上，分化指数50以下で，不透明鉱物として磁鉄鉱を1%以上含む。花崗岩質岩類との接触部付近では広くホルンフェルスを生じている。

(2) 花崗岩質岩類

上部石炭紀(294.4±8.9Ma)から下部二疊紀(d f 276.0±6.5Ma)にかけて貫入したカラオトケルスキイ複合岩体が分布する。複合岩体は化学成分から閃長岩と花崗岩とに区分される。

閃長岩と花崗岩はカラオトケルスキイ岩体の大部分を占め，SiO₂，Na₂O，K₂Oに富みΣFeO，MgO，CaOに乏しく，固結指数が3以下で，分化指数90以上，ときに95以上を示す。一般にマグマの結晶分化作用が進むほどTiO₂が乏しくなるといえるが，カラオトケルスキイ複合岩体は最も分化が進んだ岩体で，TiO₂を0.4%以下，イルメナイト1%以下しか含有しない。したがって，これらを原岩とするカラオトケル地区のイルメナイト漂砂鉱床の品位は，プレオブラゼンスキイ複合岩体よりも低いといえる。

レアアース・パターンでは，カラオトケルスキイ複合岩体はEuの負異常が認められ，TiO₂1%以下しか含有しないような，結晶分化作用が進んだ花崗岩質岩類の特徴を示す。

花崗岩質岩類はすべて帯磁率 1×10^{-3} S.I.U以下を示す。不透明鉱物はアナターゼ(Ti 60%)，擬ルチル(Ti >36%)，イルメナイトもしくは変質イルメナイト(Ti 32~36%)，含チタン磁鉄鉱(Ti 1.5~14%)，磁鉄鉱(Ti 0~1.5%)，赤鉄鉱(Ti 0%)，針鉄鉱(Ti 0%)からなる。擬ルチル，変質イルメナイトはイルメナイトから，また針

鉄鉱は磁鉄鉱の風化変質によって生成したものである。

カラオトケルスキイ複合岩体とプレオブラゼンスキイ複合岩体の K-Ar 年代測定結果は下記のとおりである。両岩体は地下深部で単一岩体を形成すると考えられ、ほぼ同時期の石炭紀上部(300Ma)にモンゾニ岩質マグマから分化を始め、石炭紀上部から下部二畳紀(295Ma)に閃長岩を経て、下部二畳紀(280Ma)に花崗岩に分化貫入したものであり、斑糲岩は中部三畳紀(240Ma)に別途に貫入したものと推定される。

Sample No.	Rock name	Measured mineral	Age(Ma)	Complex
D-2	Gabbro	Amphibole	237.1±9.8	Preobrazhenskiy
D-3	Granite	K-feldspar	284.7±4.9	Preobrazhenskiy
D-4	Monzonite	K-feldspar	302.6±9.1	Preobrazhenskiy
D-5	Granite	K-feldspar	276.0±6.5	Karaotkelskiy
D-6	Syenite	K-feldspar	294.4±8.9	Karaotkelskiy

(3) 基盤風化殻

石炭紀の堆積岩類，火山岩類，貫入岩類上に厚さ 10～40m で発達する粘土質風化残留物で，新第三紀アラル層および第四紀層に被覆される。一般に花崗岩質岩類上では厚い風化殻が生成し，イルメナイト風化残留鉱床を形成する。著しいカオリン，イライト，スメクタイト化を蒙っている。基盤風化殻は上部白亜紀末(1億 4000 万年前)における湿潤温暖気候のもとで化学的風化作用によって形成されたとされる。

(4) 第三紀アラル層

先花崗岩質岩類および貫入岩類あるいはその風化殻を不整合で被覆し，第四紀層に不整合に被覆され，厚さ 1.5～37m，平均 5.5m である。本層は石英，カオリン，スメクタイト，少量のイライトからなる粘土，砂質粘土，粘土質砂からなる。本層下部あるいは下部に近い部位に挟在する砂質粘土～粘土質砂にイルメナイト漂砂鉱床を胚胎する。

(5) 第四紀層

第三紀アラル層あるいは直接に先花崗岩質岩類および貫入岩類を不整合に覆う，厚さ 0.2～31.7m，平均 5.7m の洪積世の砂礫，ローム，粘土と現世の河床堆積物からなる。現世の河川筋は概ね先第三紀の古地形チャンネルと重複するものが多い。

2) 地質構造

調査地域は北東側を WNW-ESE 方向のバラジャルスキイ (Baladzhalskiy) 断層、南西側を南テレクチンスキイ (South Terektinskiy) 断層で境され、これらの中間のベクチミルスカヤ (Bektimirskaya) 地塁状背斜にカラオトケルスキイ複合岩体が貫入している。

カラオトケルスキイ複合岩体の西側では NE-SW 方向の断層が先花崗岩質岩類の石炭紀マイティアブ層を切る。

古地形チャンネルは、カラオトケルスキイ複合岩体の中央部に樹枝状に発達する。これらはほぼ現世の水系に近い形で存在する。既知のイルメナイト漂砂鉱床はすべて古地形チャンネル内に胚胎している。

第三紀アラル層はほぼ水平な地層で、カラオトケルスキイ複合岩体及び先花崗岩質岩類を被覆する。

第四紀層もほぼ水平な地層で、第三紀アラル層を被覆する。

3) カラオトケル鉱床

カラオトケル鉱床はイルメナイト風化残留鉱床と漂砂鉱床で、重量比でイルメナイトの 1/6 程度のジルコンを伴う。イルメナイト風化残留鉱床は、花崗岩質岩類の風化溶脱部分に胚胎する。イルメナイト漂砂鉱床は、古地形チャンネルにおいて、第三紀アラル層下部層の砂質粘土、粘土質砂中に胚胎する。イルメナイトは、カラオトケルスキイ複合岩体の花崗岩質岩類に由来し、風化、離脱、濃集の過程で粒子外縁と割れ目沿いの FeO が溶脱され TiO_2 が富化されて変質イルメナイトや擬ルチルを生じている。

5-1-3 ボーリング調査

1) 第1鉱床南 (精査地域)

第2年次に引き続き、第1鉱床の確認済み IV-C₂ 鉱量鉱画の東西延長について 500 × 200 m のグリッドで3測線 (26, 22, 18 測線), 18 孔, 計 940.5m のボーリングを実施した。

鉱床は NEN-SWS 方向のアラル層基盤の幅広い古地形チャンネルに胚胎する。東部では基盤直上に堆積し、西部では一部がアラル層中の下部に挟在する。ボーリングで捕捉された鉱床の厚さは 0.9~9.0m, イルメナイト品位は 7~134 kg/m³ であつ

た。鉱床の被覆土の厚さは41～54.3mで、西と南に向かって深度が増加するものの、鉱床の幅が2,000mにも増大し、容量が増大する傾向にある。

鉱床東側では急激な基盤の高まりがあり、そこで鉱床が閉じることが判明した。鉱床西側ではイルメナイト濃集部は連続しているものの、深度が深くなり、厚さの劣化と品位低下が認められることが判明した。18測線では第2年次調査のMJBK-37（無鉱徴）によってイルメナイト濃集部の南限を確認しており、鉱床延長方向が西方向または南東方向に変化していることが推定された。しかし、3年間の調査によって、本鉱床の大部分の規模と品位が明らかとなった。

カットオフ条件を鉱床の上盤70 kg/m³、下盤100 kg/m³以上、または2.0 m × 100 kg/m³以上とした場合、鉱量計算の結果、C₂カテゴリーに相当する鉱量増分は下記のとおりで、鉱量1.8百万 m³、イルメナイト量204千t、イルメナイト平均品位113.47 kg/m³、剥土比12.83であった。

また、第1年次から第3年次確認済み鉱量の合計鉱量増分（鉱量鉱画III+IV+V-C₂）は下記のとおりで、鉱量13.3百万 m³、イルメナイト量1,686千t、イルメナイト平均品位126.67 kg/m³、剥土比7.83であった。

Table I-5-2 Ore Reserves Calculation of Category C₂ for the Southern Flank of Placer No.1

Block No	Block area 10 ³ m ²	Ore bed thickness m.	Ore sands reserves 10 ³ m ³	Ilmenite content, kg/m ³	Ilmenite reserves 10 ³ t	Overburden thickness m	Overburden volume 10 ³ m ³	Stripping ratio, m ³ /m ³
III+IV-C	2,273.0	4.95	11,251.35	130.84	1,472.13	35.94	81,691.6	7.3
V-C ₂	500.0	3.60	1,800.0	113.47	204.25	46.20	23,100.0	12.83
III+IV+V-C ₂	2,773.0	4.80	13,310.40	126.67	1,686.03	37.45	103,848.9	7.83

2) 第3鉱床南（精査地域）

2A, 3G, 3A 測線において200 m 間隔8孔、計290.5mのボーリングを実施した。8孔のうち4孔でカットオフ品位100kg/m³以上のイルメナイト濃集部を確認した。鉱床はアラル層基盤のN30° E方向のY字型の古地形チャンネル直上に胚胎し、幅は400m以下で第1鉱床に比べて小規模で、依然南方へ連続しているものと推定される。ボーリングで捕捉された鉱床の厚さは0.5～4.0m、イルメナイト品位は111～145 kg/m³であった。鉱床の被覆土の厚さは32～34mで、第1鉱床と同様に南側に行くに従って厚さが増す傾向が認められる。カットオフ条件をベクチミール第1鉱床と同様とした鉱量計算の結果、C₂カテゴリーに相当する鉱量増分は下記の

とおりで、鉱量 0.81 百万 m^3 、イルメナイト量 109 千 t、イルメナイト平均品位 133.49 kg/m^3 、剥土比 8.49 であった。

Table I-5-3 Ore Reserves Calculation of Category P₁ for the Southern Flank of Placer No.3

Block No	Block area $10^3 m^2$	Ore bed thickness m.	Ore sands reserves $10^3 m^3$	Ilmenite content, kg/m^3	Ilmenite reserves $10^3 t$	Overburden thickness, m	Overburden volume $10^3 m^3$	Stripping ratio, m^3/m^3
II-C ₂	220.0	3.7	814.0	133.49	108.66	31.40	6,908.0	8.49

3) ベクチミール東部地区（概査地域）

本地区は2年次調査によって、新たに鉱床胚胎の可能性の高い地区として抽出された。即ち、イルメナイトの含まれる割合が多いと考えられる帯磁率 1×10^{-3} S.I.U. 以下の花崗岩質岩類が上流域に分布し、かつ第三紀アラル層基盤の古地形凹部（古地形チャンネル）が予想された地区である。

本地区では11測線で41孔、計1,036.5mのボーリングを実施した。このうち、北部には4測線12孔、南部には7測線29孔を実施した。

南部に実施した7測線29孔のうち10孔で新たにイルメナイト濃集部を捕捉した。捕捉されたイルメナイト濃集部はアラル層基盤のN10~45° E方向の古地形チャンネル直上に胚胎し、幅200~600m、厚さ0.7~4.5m、イルメナイト品位14.3~61.5 kg/m^3 で、カットオフ品位イルメナイト20 kg/m^3 としたときのポテンシャルは、下記のとおりである。南部の測線では、ベクチミール第1鉱床および第3鉱床に比べて、被覆層が9.3~13.2mと薄く、かつ第四紀層砂礫からなりアラル層粘土が少ない。また下流の南方向に向かうに従って品位と鉱床幅が良好となる傾向が認められる。

Table I-5-4 Ore Reserves Calculation of Category P₁ for the East Placer

Block No	Ore sands reserves $10^3 m^3$	Ilmenite content, kg/m^3	Ilmenite reserves $10^3 t$	Overburden thickness, m	Overburden volume $10^3 m^3$	Stripping ratio, m^3/m^3
P ₁	1,050.1	30.9	32.5	16.0	11,502.5	10.95

5-2 将来への提言

5-2-1 調査地域での提言

各地区における将来の調査方針は以下のとおりである。

1) カラオトケル地区

地表調査によって、カラオトケルススキイ岩体の花崗岩質岩類は、最も分化の進んだ花崗岩および閃長岩からなり、そのイルメナイト含有量は第2年次調査のプレオブラゼンススキイ岩体よりも少ないことが判明した。したがってカラオトケル地区のイルメナイト鉱床の品位も低い。しかし、イルメナイトが母岩から離脱、古地形チャンネルに再堆積した漂砂鉱床では品位が向上しており、カットオフ 50 kg/m^3 で鉱量を再計算した結果、鉱量 9.9 百万 m^3 、イルメナイト量 734 千 t、イルメナイト平均品位 74 kg/m^3 を計上した。この鉱床は被覆土が 10m 程度と薄いため、経済性を有する可能性があり、再検討が必要と考えられる。

2) ベクチミール地区

(1) 第1鉱床南地区

第1鉱床南方延長は、鉱床幅が 2,000m 程度の大規模鉱床に発展し、3年間の調査により、カットオフ 100 kg/m^3 で鉱量 13.3 百万 m^3 、イルメナイト量 1,686 千 t、イルメナイト平均品位 126.7 kg/m^3 を計上したが、なおも西方向および南方向のイルメナイト濃集部の限界が未確認である。ただし、鉱床は西と南に向かって深度を増し、被覆土が 40~50m とかなり厚くなっていることから、採掘方法の再検討を実施して、経済的に採掘可能な深度と品位の関係を見極めていくことが望ましい。

(2) 第3鉱床南地区

本年次調査により当該漂砂鉱床は第1鉱床に比べて狭小であることが判明したが、南方にまだ十分なポテンシャルが予想される。しかし、第1鉱床と同様に、被覆土がかなり厚くなっていることから、経済的に採掘可能な深度と品位の関係を見極めたいうえで、調査を継続していくことが望ましい。また、上流部では被覆土が薄くなっているが予想されるので、この付近の調査を実施することが望ましい (Fig.I-4-1④)

2) ベクチミール東地区

今年次のボーリング調査により、プレオブラゼンススキイ岩体の花崗岩質岩類を源流とする古地形チャンネルで、予想どおりイルメナイト濃集部を捕捉した。このイルメナイト濃集部は深さ 10m 程度で浅く、また下流域にいくに従って幅と品位が増

加する傾向が認められるため、今後の下流域での調査によって経済性を有する鉍床に発展する可能性がある。したがって、下流域 (Fig.I-4-1⑤) で先ず測線 500m 間隔のボーリングを実施して鉍床の概略を把握し、経済性を有する鉍床となる見込みが得られたら、さらに詳細な補間ボーリングを実施して鉍量計上に至るのが望ましい。

3) その他のベクチミール地区

(3) その他のベクチミール地区

イルメナイトに富む花崗岩質岩類を上流域にもつ古地形チャンネルで、被覆土(第三紀アラル層および第四紀層)の薄い部分は、比較的浅所に漂砂型のイルメナイト鉍床を発見できる可能性がある (Fig.I-4-1①②③⑥)。

5-2-2 他地域への技術的展開

カザフスタン共和国における既存の地質資料のうちで、花崗岩質岩類に関する資料の蓄積は膨大であると考えられる。プレオブラゼンスキイおよびカラオトケルスキイ複合岩体に類する化学成分を有する貫入岩体が存在し、かつ調査地域と同様な地史を経た地域で、新たなイルメナイト漂砂鉍床を発見できる可能性を追求するために、既存の資料調査、文献調査、広域予察調査(試料採取、年代測定、室内研究)によって予備評価を実施していくことが望ましい。さらに東アジアで得られている、花崗岩質岩類の化学成分上の分類(磁鉄鉍系/イルメナイト系、Iタイプ/Sタイプ/Mタイプ/Aタイプなど)と鉍床生成区に関する知見を、カザフスタン共和国の花崗岩質岩類にも適用させていくことが、重要な技術移転であると考えられる。

CRETACEOUS		PALEOGENE						NEOGENE						QUAT.	SYSTEM
VERZHNIY DATSKIY	PALEOCENE	EOCENE		OLIGOCENE		MIOCENE		PLIOCENE						EPOCH	
	LOWER	MIDDLE	UPPER	LOWER	MIDDLE	UPPER	LOWER	MIDDLE	UPPER	LOWER	MIDDLE	UPPER		STAGE	
	20 - 200m		25 - 100m		20 - 110m		20 - 110m		50 - 350m		100 - 700m		15 - 180m	COLUMUN	
	NORTH ZAYSANSKAYA	TURANGYNSKAYA	TYZKABOKSKAYA	ASHUTASSKAYA	ARALSKAYA	PAVLODARSKAYA	VTORUSHKINSKAYA							THICKNESS	
	SILIC-HYDROGETIC	CARBONACEOUS-PYRITACEOUS	FERRUGINOUS-CARBONACEOUS	CARBONACEOUS-PYRITACEOUS	SULPHATEOUS-CARBONACEOUS	RED COLOUR CARBON								FORMATION	
		YUJINOALTAYSKAYA	HARYMSKAYA	TARBAGATAYSKAYA										DEPOSIT	
		HUMID		ARID										CLIMATE	

Fig. I-5-1 Schematic Stratigraphic Column of the Zaysanskaya Basin