

## 第Ⅱ部 各 論

# 第1章 既存資料の解析

## (カラオトケル地区)

### 1-1 調査目的

カラオトケル鉱床群胚胎の場を明らかにするため、調査地域内の先第三紀基盤の深度と鉱床の鉱量、品位に関する既存資料の収集、整理、解析を行った。

### 1-2 解析

#### 1-2-1 第三紀基盤地下構造

第三紀基盤の深度データを得るために、カラオトケル鉱床付近については、東カザフスタン地質局において、相手国機関等がカラオトケル鉱床の探査ボーリングを、1982年にまとめた地質断面図集79葉を入手して、これらの解析をした。また、カラオトケル鉱床周辺部については、1992年にまとめられた地化学探査ボーリング位置と風化殻下盤深度の資料を入手した。地質断面図から探鉱ボーリング2,617孔(合計44,877.8m)の基盤深度と基盤地質を読み取った(Appendix 2-9)。地化学探査ボーリング位置と風化殻下盤深度の資料からは、基盤風化殻の下盤までの深度を読み取った。また、相手国機関が作成した風化殻と新生代層の層厚合計のアイソパック図(Fig.I-4-1,PL.II-2-2)を入手した。

探査ボーリングと地化学探査ボーリングの位置と深度データをコンパイルして、1:25,000第三紀基盤(第三紀アラル層と基盤風化殻の不整合面、カラオトケル鉱床周辺の一部では基盤風化殻の下盤面)の地下等高線図(地下構造線図)(PL.II-2-3)と先第三紀基盤地質図(PL.II-2-3)を作成した。

第三紀基盤の地下等高線はプレオブラゼンスキイ複合岩体に比べ起伏に乏しく、平原状を呈する。基盤標高は最高493m、最低369m、平均435mである。谷部は岩体周辺の丘陵部から樹枝状に発して、岩体中部で合流し、南東へ流下していたと推定される。こうした古地形チャンネルの水系はカラオトケルスキイ複合岩体中の割れ目などの弱線を表しているものと考えられる(PL.II-2-3)。

カラオトケルスキイ複合岩体の北側では平面的に半月状丘陵が認められる。これは岩体の北部から北東部では石炭紀の堆積岩層に花崗岩質岩類が貫入したために比較的堅固なホルンフェルスを生じ、風化浸食に対して抵抗力があったため、岩体の周縁に形成された凸地と考えられる。岩体の南西部でも直線状の僅かな高まりの凸地が認められ、これも岩体の外縁を示していると推定される。

カラオトケルスキイ複合岩体は斑糲岩、閃緑岩、閃長岩、花崗岩からなり、NW—SEに伸長する長方形をなし、幅10km、長さは14km以上であるが南東部境界はボーリング資料がないために閉じていない。面積的には閃長岩が大部分で、このなかに斑糲

岩や閃緑岩が斑状に分布し、花崗岩が中心部と北部、西部に径2～4kmの小岩株として貫入している。このうち、閃長岩と花崗岩のみが露頭として観察できる。

### 1-2-2 鉍量再計算

カラオトケル・イルメナイト・ジルコン鉍床は、1965-1967年、非金属原料地質隊による石炭対象のボーリングによって発見された。1972年、同地質隊によってカラオトケル鉍床の初期探鉍が完了し、イルメナイトとジルコンの鉍量 (B+C<sub>1</sub>) が計算され、選鉍試験が実施された。1973年、国家レアメタル研究所 (GIREDMET) がカラオトケル鉍床のF/Sを実施したが、鉍量が僅かで品位も低く、採算の合う開発対象とならないと結論された。しかし、副産物として長石精鉍の開発を行うなら採算性が向上する可能性があるとして期待された。これを受けて1983-1989年、国家レアメタル研究所 (GIREDMET) によって長石と石英を含めて鉍量の再評価が実施され、カットオフをイルメナイト15kg/m<sup>3</sup>として下記の鉍量が計上され、1990年にソビエト連邦国家鉍量委員会により承認された。

**Table I-5-1 Ore Reserves and Grade of the Karaotkel Placer Deposit**

Name of Ore Body	Category	Cut-Off Range (kg/m <sup>3</sup> )	Ore Reserves (th. m <sup>3</sup> )	Ilmenite Grade (kg/m <sup>3</sup> )	Ilmenite Reserves (th. t)
Karaotkel	B+C <sub>1</sub>	≥ 15	147,579	23.3	3,438

イルメナイト以外に下記の鉍産物の鉍量と品位(カテゴリー-B+C<sub>1</sub>)が承認された。

- ① 白チタン石 (リュウコキシソ) 0.51 (kg/m<sup>3</sup>)
- ② ジルコン 3.5 (kg/m<sup>3</sup>)
- ③ 長石 290.7 (kg/m<sup>3</sup>)
- ④ 雲母 107.4 (kg/m<sup>3</sup>)
- ⑤ 粘土 1,079.6 (kg/m<sup>3</sup>)

イルメナイト：ジルコン比率は6.7：1であった。

しかし再びカラオトケル鉍床は当時及び近い将来に開発される可能性はないと結論された。即ち、イルメナイトの含有量はかなり低く、鉍石中の長石はカザフスタンにおける窯業原料市場が小さいために販売が困難であること、さらに鉍石に粘土分が多く、イルメナイトなどチタン鉍物が微粒 (-0.315～+0.04 mm間に86 %分布) であるためイルメナイトおよびジルコン精鉍を得るためには、選鉍コストが高くなる可能性があったこと、本鉍床のイルメナイト精鉍の特性が、より利益の大きいチタン白の生産に適用できないことによるといわれる。

第3年次では、東カザフスタン地質局において、相手国機関等がカラオトケル鉍床

探査のために実施したボーリングをまとめた地質断面図集79葉(1982年)を入手し解析した。ボーリングはほぼ方位52° および142° 方向に200～300m間隔に配列した測線上で、25～400m間隔で実施され、イルメナイト濃集部では25～100m間隔で実施されている(Fig.II-1-1)。それらの地質断面図のうち、ボーリング間隔が25mで比較的詳細な測線42断面図をFig.II-1-2に示す。

相手国機関が鉍量として計上しているイルメナイト濃集部(15 kg/m<sup>3</sup>以上)には、第三紀基盤の花崗岩質岩類(カラオトケルスキイ複合岩体：斑糲岩，閃緑岩，閃長岩，花崗岩)中に分布する風化残留鉍床(Eluvial)と，風化した花崗岩質岩類からイルメナイトが離脱し流水で運搬されて，基盤直上の第三紀アラル層中に堆積した漂砂鉍床(Alluvial)の2種類の鉍床型が存在することが地質断面図から判読された。

Fig.II-1-1に示されたボーリング2,617孔(合計44,877.8m)のうち，鉍量計算範囲(15 kg/m<sup>3</sup>以上)の試料深度とイルメナイト品位を整理してAppendix 2-9に示す。鉍量計算範囲にあるボーリング総数2,110孔のうち，729孔が漂砂鉍床に着孔し平均品位は28.0 kg/m<sup>3</sup>，730孔が漂砂鉍床と風化残留鉍床の両方に着孔し平均品位は24.4 kg/m<sup>3</sup>，651孔が風化残留鉍床に着孔し平均品位は18.4 kg/m<sup>3</sup>であった(Fig.II-1-3)。さらに，このうちイルメナイト50 kg/m<sup>3</sup>以上の部分についてみると，ボーリング総数443孔が該当し，このうち，393孔が漂砂鉍床に着孔し平均品位は69.3 kg/m<sup>3</sup>，15孔が漂砂鉍床と風化残留鉍床の両方に着孔し平均品位は67.3 kg/m<sup>3</sup>，わずかに35孔が風化残留鉍床に着孔し平均品位は61.6 kg/m<sup>3</sup>と，高品位部はほぼ漂砂鉍床に絞られることが判明した(Fig.II-1-3)。なお，原岩の花崗岩質岩類のイルメナイトとジルコン平均品位を，TiO<sub>2</sub>とZr分析値からイルメナイト中のTiO<sub>2</sub>を53%，ジルコン中のZrを49.5%，花崗岩密度を2.6t/m<sup>3</sup>と仮定して逆算すると，イルメナイト14 kg/m<sup>3</sup>，ジルコン3.7 kg/m<sup>3</sup>となる。ジルコン品位とイルメナイト品位の関係は(Fig.II-1-4)のとおりで，風化残留鉍床ではイルメナイト18 kg/m<sup>3</sup>に対してジルコン2 kg/m<sup>3</sup>程度でほぼ一定なのに対して，漂砂鉍床ではイルメナイト品位が増加するとジルコン品位も増加する。このことは風化残留鉍床では原岩に含有されるイルメナイトとジルコンの割合が一定でほとんど富化濃縮されていないのに対して，漂砂鉍床では運搬・堆積作用によってイルメナイトとジルコンがともに濃集されたことを現している。

漂砂鉍床を主とする高品位鉍床の範囲と鉍量を計算するために，ボーリング資料からイルメナイト50kg/m<sup>3</sup>以上の濃集部を抽出し，鉍床断面を設定した(Appendix2-9)。鉍床断面の設定には，隣接するボーリングのイルメナイト50kg/m<sup>3</sup>以上の濃集部を繋ぎ台形とし，両端は鉍量に算定されない最も隣接するボーリング孔までの距離の1/2の三角形とし，隣接するボーリング孔がないときには50mの三角形とした。鉍床断面の平均品位はボーリング着鉍長の加重平均とした。さらにこれらの鉍床断面を立体的に繋い

で鉱床範囲を設定し、68鉱画を区分した（Fig.II-1-1）。この鉱床範囲は結果的に、第2年次にベクチミール鉱床で判明したことと同様、第三紀基盤地下構造の凹部、即ち古地形チャンネルとほぼ一致した。

鉱床範囲の鉱量計算については、次の方法（断面集積法）によった。

① 鉱量：dm離れた2断面（ $A_1, A_2(m^3)$ ）間の鉱画の鉱量 $V(m^3)$ は

$V=d \times (A_1+A_2) / 2$ で計算した。一番端の断面( $A_3(m^3)$ )の鉱画は距離dmを隔てた錐形とし、 $V=1/3 \times d \times A_3$ で計算した。距離dmは鉱量に算定されない最も隣接する測線までの距離の1/2とし、隣接する測線がないときは $d=50m$ とした。

② 品位：2断面間の候画の品位（ $G \text{ kg/m}^3$ ）は2断面品位（ $G_1, G_2 \text{ (kg/m}^3)$ ）の断面面積（ $A_1, A_2(m^3)$ ）の加重平均とし、 $G=(G_1 \times A_1+G_2 \times A_2) / (A_1+A_2)$ で計算した。連続する鉱画 $V_1, V_2, V_3, \dots$ の品位（ $G \text{ kg/m}^3$ ）は各鉱画の鉱量（ $V_1, V_2, V_3(m^3)$ ）の加重平均とし、 $G=(G_1 \times V_1+G_2 \times V_2+G_3 \times V_3+\dots) / (V_1+V_2+ V_3+\dots)$ で計算した。鉱画総和の品位についても鉱量の加重平均とした。

各鉱画のイルメナイト $50\text{kg/m}^3$ 以上の鉱床部分の鉱量・品位をAppendix 2-9に示し、下記に鉱量・品位の総和を示す。漂砂鉱床を主とした高品位部を抽出したため、既鉱量計算結果に比べて鉱量は1/15となったが、品位は3倍以上となって、高品位部を抽出することができた。

**Table II -1- 2 Revised Ore Reserves and Grade of the Karaotkel Placer Deposit**

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

上記の鉱量のジルコン品位は $13.0\text{kg/m}^3$ で、イルメナイト：ジルコン比率は5.7：1であった。重鉱物含有率は4.85%（イルメナイト85%，ジルコン15%）である。

これらの鉱量は深度平均8m以浅の比較的浅いところに連続的に胚胎しているので、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。

### 1-2-3 イルメナイト精鉱の品質

カラオトケル鉱床のイルメナイト粒度は $-0.315 \sim +0.04 \text{ mm}$ 間に86%分布し、ベクチミール第1鉱床のイルメナイト粒度（ $-0.40+0.05\text{mm}$ の範囲で92.0～98.8%，平均96.3%分布し、モードは0.2mm程度）と比べるとやや細粒である。

カラオトケル選鉱テストプラント跡に残されたイルメナイト精鉱(Karaotkel Pit 2)の

顕微鏡下での鉍物量比はおおよそ、擬ルチル65～72%(0.005～0.5mm)、イルメナイト1～5%(0.02～0.25mm)、ルチル<1%(0.01～0.3mm)、磁鉄鉍<2%(0.1mm)、赤鉄鉍<1%(0.07～0.25mm)、ジルコン17～20%(0.03～1mm)、褐簾石<1%(0.2mm)、モナズ石<1%(0.05～0.2mm)、石英5～7%(0.015～0.55mm)、長石1%(0.015～0.55mm)、岩片2～3%(0.015～0.4mm)であった。イルメナイト粒子の平均直径 0.09mm、直径モード0.02mm、円形度0.65であった。

EDX簡易定量分析 (Appendix 2-20) のうち、チタン鉍物10点の分析値平均によるイルメナイトの品質は下記のとおりTiO<sub>2</sub> 59%程度で、この値が平均的な精鉍品位に近似したものと仮定すれば、国際規格(吉田, 1992)を十分に満たしている。また、他のイルメナイト産地の精鉍よりも品位的に優れている。これはカラオトケル鉍床のイルメナイトの殆どが風化変質によって、擬ルチルまたは変質イルメナイトに変質してTi品位が上昇したためであり、ベクチミール第1鉍床に比べて富化の度合いが強い。したがって、カラオトケル鉍床からは、より品位的に優れているイルメナイト精鉍が生産できる可能性があるので、再度、選鉍試験を実施するとともに、鉍床採掘と選鉍の経済性を検討することが望ましいと考えられる。

Element	TiO <sub>2</sub> (%)	FeO(%)	SiO <sub>2</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
Assay result (EDX)	59	33.5*				
International Trading Standard	≥ 54	≥ 28	≤ 1.5	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.1
Sri Lanka Mineral Sand Corp.	≥ 53	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ≤ 1	≤ 1	≤ 0.05		
Malaysia Ilmenite	≥ 50	≥ 30				
Mindarie, Australia	55.2	22.8	0.78	0.1	0.1	

\*計算値

#### 1-2-4 新生代地史

ザイサン堆積盆 (Zaisanskaya Basin) の第三系層序は、V.S.エロフェイエフ (V.S.Erofeev(1969))などに纏められている。それによると、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-下部鮮新世のパブロダー系(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, Fig.II-1-5)。

北ザイサンスカヤ系は層厚20～200mで、赤色斑点をもつ粘土、砂質粘土からなり、

砂岩薄層を挟む。珪質鉄質セメント，恐竜卵破片化石，哺乳類化石，亜熱帯常緑樹，落葉樹化石を含む。ツランジンスカヤ系は層厚25～100mで，砂質粘土ないし石英砂からなり，砂，砂利，緑色粘土，黒色炭質粘土，褐炭を含み，酸化しない表面色は緑灰色を呈する。炭化した熱帯ないし亜熱帯常緑樹の植物化石，哺乳類，爬虫類化石を含み，黄鉄鉱を伴う。ツズカバクスカヤ系は層厚20～110mで，褐緑色砂質粘土，褐色粘土，粘土質砂岩からなり，鉄炭酸塩セメント，暗灰色炭質粘土からなる。鉄カルシウムないし鉄炭酸塩を多量に含み，稀に水酸化鉄を含む。脊椎動物および亜熱帯常緑樹化石を伴う。アシュタススカヤ系は層厚20～110mで，酸化していないときには緑灰色粘土質砂，石英-長石砂からなり，砂層，砂利，粘土，黒炭，褐炭，炭質粘土の薄層ないしはレンズを挟む。広葉樹植物の炭化物を含み，黄鉄鉱を鉱染する。アラル系は層厚50～350mで，緑色ないし緑褐色粘土，砂質粘土からなり，石英-長石質砂を挟む。炭酸カルシウム，石膏を含むことがあり，稀に硫酸塩，塩化物を鉱染する。中部ザイサン堆積盆では粘土質石灰岩のレンズを挟む。脊椎動物化石，灌木および広葉樹化石を含み，温和な気候を示す。パブロダー系は層厚100～500mで，赤褐色ないし淡黄褐色粘土からなり，砂，砂利，岩片，緑色粘土薄層やレンズを挟む。また基底部に石英-長石砂，砂利，緑褐色粘土，砂質粘土を挟む。褐色の酸化鉄や炭酸カルシウムを鉱染し，脊椎動物，ステップの異花化石を含む。ブトルシンスカヤ系は層厚15～180mで，淡茶ないし黄褐色ローム，砂質ロームからなり，砂，砂利，岩片などの薄層やレンズを挟む。

V.S.エロフエイエフ(V.S. Erofeyev(1969))の南アルタイの新生代地史によれば，調査地域における地史の概略は下記のとおりで，各時代の古地理図をFig.II-1-5(1)～(8)に示す。

上部白亜紀末（デンマーク(Denmark)期～北ザイサン期：約1億4,000万～5,650万年前：Fig.II-1-5(1)）：緩傾斜のザイサン堆積盆が沈降を始め，基盤岩の化学的風化によってモンモリロナイトを主とする粘土層や水酸化鉄からなる赤色層の累層が堆積し始めた。堆積盆は流速の遅い河川に沿った湖沼や低地で，砂層を挟み斜交層理をなす粘土層からなっていた。ザイサン堆積盆の南西部は湿潤な沿海平野地域で，南東部と東部は乾燥した地域であったため，堆積盆の気候は高温多湿気候と乾燥気候が繰り返された。湿潤時には降水量が多く，河川が氾濫し低地は湖沼になり，乾燥時には落葉樹の葉が落ち堆積物にひび割れが生じて，地表水と腐植土壌が浸透し基盤岩石と反応して鉄分が溶出し水酸化鉄からなる赤色層が形成された。場所により窯業原料，ボーキサイト，チタン砂鉱床が形成された。動物としては恐竜類，水亀，植物としては南部では棕櫚，セコイア，南洋杉，木蓮，栗，銀杏，針葉樹類，メタセコイヤ，プラタナス，紅葉などの森林，湖沼地域では水羊歯，三色藻の藪が発達していた。

中部－上部始新世（ツランジン(Turangyn)期：約5,650万～3,860万年前：Fig.II-1-5(2)）：この時期には中部アルタイが隆起を始めたために、河川の流れが変化し、ザイサン堆積盆周辺では粘土や赤色層の堆積が停止し、石炭の堆積が増え黄鉄鉱や石灰質粘土の堆積が始まった。粘土中には硫酸塩や塩化物の可溶塩類を含む。調査地域付近は低地の森林平野が広がり、削剥された碎屑物が南東のザイサン堆積盆に向かって運搬されていた。

上部始新世－下部漸新世（ツズカバク(Tuzkabak)期：3,860万～2,930万年前：Fig.II-1-5(3)）：大陸性風とモンスーンや雨期の降雨に曝され、平野部では河川に沿った沼沢地に苔類や森林が発達した。その結果流水域では緑色ないし緑褐色のシルト質粘土層、平野部では鉄分を含む褐色のシルトが堆積した。

中部－上部鮮新世（アシュタス期：2,930万～2,330万年前：Fig.II-1-5(4)）：中部鮮新世にナリム(Narym)構造運動が始まり、隆起運動が起こり、一部に炭酸塩や石炭、黄鉄鉱の堆積が始まった。厚い石灰質粘土層が特徴的に発達した。気候は中部鮮新世では乾燥気候で寒冷となり、亜熱帯植物は姿を消した。水系は風化物を削剥して堆積を続けた。調査地域は引き続き低い森林平野で、削剥された碎屑物が南東のザイサン堆積盆に向かって運搬されていた。

下部－中部中新世（アラル(Aral)期：2,330万～1,040万年前：Fig.II-1-5(5)）：上部暁新世に始まった寒冷で乾燥した気候がさらに進行し下部－中部中新世には地貌に大きな変化が見られステップとなった。森林は河川や湖沼付近に限定され、土壌はモンモリロナイトを主とする細粒の褐色ないし淡褐色土となった。半乾燥気候のもとで時々降雨により石膏や炭酸塩が形成されたが、硫酸塩は少なかった。塩類の発達には乾燥気候下の蒸発が激しい時のみ行われた。新しい水系では風化物が浸食されて再堆積し、炭酸塩や硫酸塩を含む淡緑色の堆積物が形成された。

上部中新世－鮮新世（パブロダー(Pavlodar), ブトルシンスク(Vtorushinsk)期：1,040～160万年前：Fig.II-1-5(6)～Fig.II-1-5(7)）：この時期にはターバガタイスカヤ(Tarbagatayskaya)変動と呼ばれる構造運動が起こり、堆積物の堆積は停止した。気候は熱帯性に戻り、再び新規の堆積物が覆い始めた。調査地域の低地はザイサン堆積盆の縁に入り、周辺からの新規の堆積物が堆積した。