

# ソ連のチタン鉱床

岸本文男 (鉱床部)

## はじめに

チタンの近代的舞台への登場は劇的であった。

1950年6月25日 朝鮮半島で勃発したいわゆる朝鮮戦争は近代戦史に多くの戦訓を残し なかでも数100機にのぼるジェット戦闘機同志の大空中戦やジェット戦闘機対レシプロ爆撃機の戦いはまさに空前絶後のもので 戦局を左右する大きな要素となっただけでなく その後の各国の軍備や戦術・戦略を一新する出発点ともなったのであるが そのとき登場したジェット戦闘機として有名を馳せたのがミグ15とF86Fセイパーであった。

ときは1951年10月23日午前11時 ところは价川上空5,000m F86F 30機 F84 60機に護衛されて南市飛行場爆撃に向うアメリカ戦略爆撃機B29の9機編隊に襲いかかる中国空軍のミグ15約150機。 瞬時にしてB29は全機が被弾 4機が火をふいて落ちて行った。 この戦いはレシプロ爆撃機の終焉を告げる晩鐘となり 新たに登場しつつあったレシプロ新鋭戦略爆撃機B36とB50への死刑の宣告となっただけでなく 同年12月30日の安州上空でのF86F 250機とミグ15約300機の大遭遇戦にお

ける後者の勝利と相まって ミグ15型ジェット戦闘機の性能の優越性をみごとに見せつけるものともなった。

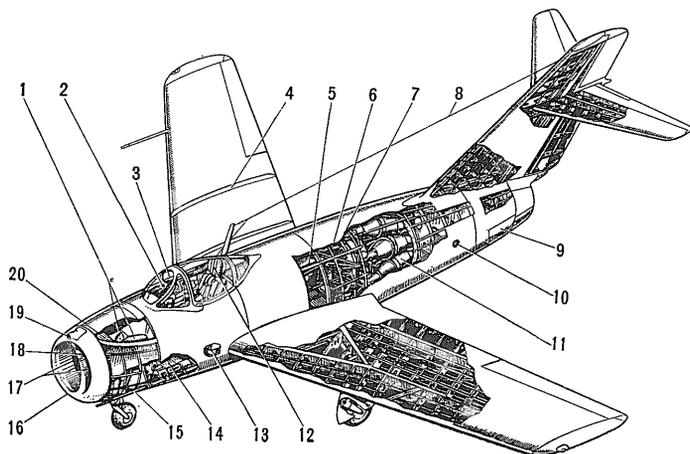
それ以前からアメリカは10万ドルの賞金と栄達を餌にしてミグ15のパイロットに寝返りを呼びかけるなど機体の入手に血道をあげていた。 そして 元山沖に墜落した機体の引あげに成功したのである。 この機体から見出されたものは 曰く境界層板 曰く迅速整備構造 曰く総合給弾装置 そして機体構造材や締具材やロールス=ロイス=ニーン ジェット=エンジンに源を発する大パワー=エンジン (RD-45) の部品などへのチタン合金の使用であった。 「軽くて丈夫で安上り ダッシュが効いて重武装 足が短かく深追いは無理」といわれる典型的な防空ジェット戦闘機ミグ15型の謎はかくして解かれ チタンが新たな粧で登場したのである (第1図)。

同様なエピソードは第2次世界大戦後期の名戦車T-34/85型にも秘められている。 だが センセーショナルな書き方はこれ位にしておこう。 すでにソ連はチタン合金を輸出し始め 日本への売りこみにも熱心な時代に入ったのだから。

第1表 ソ連とアメリカの金属チタン生産量(t)

	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
ソ連	6,000	6,800	7,500	8,500	9,500	10,200	11,000	12,000	12,500	13,300	14,000
アメリカ	9,440	10,109	12,668	13,875	22,002	23,551	17,449	25,846	22,073	16,681	

(筆者：試算)



- 第1図  
ソ連防空ジェット戦闘機ミグ-15型  
ミコヤンとグレビッチのチームが共同設計。1949年試験飛行。最高速度マッハ0.93。武装：37mm機関砲1 23mm機関砲2 乗員1
- 1—酸素ボンベ
  - 2—照準器
  - 3—防弾ガラス
  - 4—境界層板
  - 5—前部燃料タンク
  - 6—水圧タンク
  - 7—ギア・ボックス
  - 8—無線アンテナ
  - 9—制動フラップ(空戦フラップ)
  - 10—後部燃料タンク
  - 11—ジェットエンジンRD-45F
  - 12—操縦席
  - 13—カメラ
  - 14—弾倉
  - 15—23mm機関砲
  - 16—37mm機関砲
  - 17—吸気孔
  - 18—着陸燈
  - 19—光線照星銃
  - 20—バッテリー

金属チタンの用途として超音速ジェット機やロケット・ミサイルのエンジンや機体構造材・ケーシング材 戦車の重要なボルトや鋳に80%ないしそれ以上がふり向けられる世界的な傾向の中でともあれ ソ連の金属チタンの生産は伸びており（第1表）今ではアメリカに次ぐ世界第2の生産量を誇っている。

ここで誤解しないで欲しい。筆者はもっぱら金属チタンに目を向けたが チタンの用途は金属チタンとしてだけでなく 酸化チタンその他としても広く開けていることを忘れないで欲しい。ただ金属チタンとその合金に注目したのは 近代産業に貢献する度合が日々高まっているという事実の反映にすぎないのである。

世界のチタン鉱物資源の種類や分布 埋蔵量やポテンシャルについては「チタニウム」誌 23巻1号（1975）の町北一郎論文に詳しい。さればと筆者はソ連のチタン鉱床の種類や産状についてまとめてみたわけである。

### ソ連のチタン鉱床の分類

ソ連に数あるチタン鉱床のうち 稼行対象となっているものを生成タイプ 母岩と鉱石の種類で分類すると第2表のようにまとめることができる。なお 主として経済的に引合ひ製錬法がまだ開発されていないために現在のところ稼行対象になっていないが しかし将来に期待できるチタン鉱床としては次のものがある。

1) はんれい岩—輝緑岩中のマグマ分化チタン磁鉄鉱鉱床



第2図 1974年9月30日—10月7日に東京で開かれたソ連金属展示会におけるチタン合金製品展示の一部

- 2) 輝岩 かんらん岩 角閃石岩 オリビナイト はんれい岩中のマグマ分化チタン磁鉄鉱鉱床および同チタン鉄鉱—チタン磁鉄鉱鉱床
- 3) 輝岩とオリビナイト中のマグマ分化（および交代）灰チタン石—チタン磁鉄鉱鉱床
- 4) 各種火成岩コンプレックス中の熱水性金紅石およびチタン鉄鉱鉱床
- 5) 含金紅石エクロジヤイトと同角閃岩
- 6) チタン石鉱床
- 7) ボーキサイト鉱床

以上のほかにも I. マルィシェフによると いろいろな生成型式のチタン鉱化体があるが それはいずれも鉱量が少ないか 或は品位が低くて全く問題にならないようである。

第2表 ソ連の可採チタン鉱床分類表

生成型式	鉱石	品位 (TiO <sub>2</sub> %)	主要チタン鉱物	鉱床例
マグマ分化鉱床	はんれい岩中のチタン鉄鉱—磁鉄鉱石およびチタン鉄鉱—チタン磁鉄鉱石	緻密鉄：12—18	チタン鉄鉱	クシーンスキー コパンスキー メドベデボ（ウラル）の各鉱床
	はんれい岩・斜長岩中のチタン鉄鉱—チタン磁鉄鉱石	7—23	チタン鉄鉱	ツァギンスキー山塊の鉱床群（コラ半島）
	斜長岩中のチタン鉄鉱—赤鉄鉱石 ルジャウライト・フォヤアイト・ウルグタイト中のロパライト鉱石	平均32 灰チタン石： 33.8—41.0	チタン鉄鉱 ロパライト	バルチック桶状地の鉱床群 ロボーゼロ山塊の鉱床群（コラ半島）
外因性鉱床	風化残留鉄石	3—20	チタン鉄鉱 金紅石	グンドィバエボ鉱床（カザフ）
	原地砂礫・斜積砂鉄	3—25	チタン鉄鉱	
	沖積砂鉄	0.5—20	チタン鉄鉱	イルシャ—鉱床（ウクライナ）
	古期および現世海浜砂鉄	0.5—35	チタン鉄鉱 白チタン石 金紅石	サモトカーン鉱床（ウクライナ）
火山源堆積鉱床	凝灰岩・層灰岩・凝灰質砂岩中のチタン鉄鉱石	磁選精鉄：≒20	チタン鉄鉱	ヤストレポーフカ鉱床（ボローネシュ州）
変成源鉱床	砂岩鉄石（ときに石油を胚胎）	≦8—10	白チタン石 チタン鉄鉱	ヤーレガ鉱床（チマン地方）
	角閃岩中のチタン鉄鉱—磁鉄鉱石	平均12.2	チタン鉄鉱	ザバイカル地方の鉱床群

では 生成型式別にソ連の可採・有望チタン鉄床の分布や産状について述べる。

### マグマ分化鉄床

一般に世界最大級のマグマ分化チタン鉄床は先カンブリア紀に生成しており その好例としてはアメリカ カナダ ノルウェーの斜長石岩岩系のチタン鉄鉄-磁鉄鉄鉄床やチタン鉄鉄-赤鉄鉄鉄床があるが ソ連ではコラ半島に原生代前期のはんれい岩・斜長岩岩系貫入岩体としてツァギンスキー山塊 ケーイヴィ貫入体 コルモゼロ-ポーロニヤ貫入体があり ただしチタン鉄鉄-チタン磁鉄鉄鉄床を胚胎している。 古生代になると 世界的にはそれほど規模の大きくないチタン鉄鉄-磁鉄鉄鉄床とチタン鉄鉄-チタン磁鉄鉄鉄床しか形成されていないが ソ連にはカンブリア紀のはんれい岩貫入体に胚胎されたウラルのクサー鉄床群（またはクシーンスキー鉄床群）があり その規模は大きく 稼行条件がよい。

このような特徴を有するソ連のマグマ分化チタン鉄床であるが 一般的に言えば 分布上も成因的にもノーマル系列およびアルカリ系列の超塩基性岩と塩基性岩と密接な関係を有する。 ただし 現在世界的にチタン精鉄が生産されている主要なマグマ分化鉄床はノーマル系列の貫入岩類 主としてはんれい岩と斜長岩に胚胎されているが このような岩石で構成されている山塊は主に古期卓状地と楯状地およびその縁部に分布し とくにバルチック楯状地には先カンブリア紀の含チタン鉄塩基性岩貫入体が多数発達している。

しかしソ連で稼行価値がきわめて大きいとされている

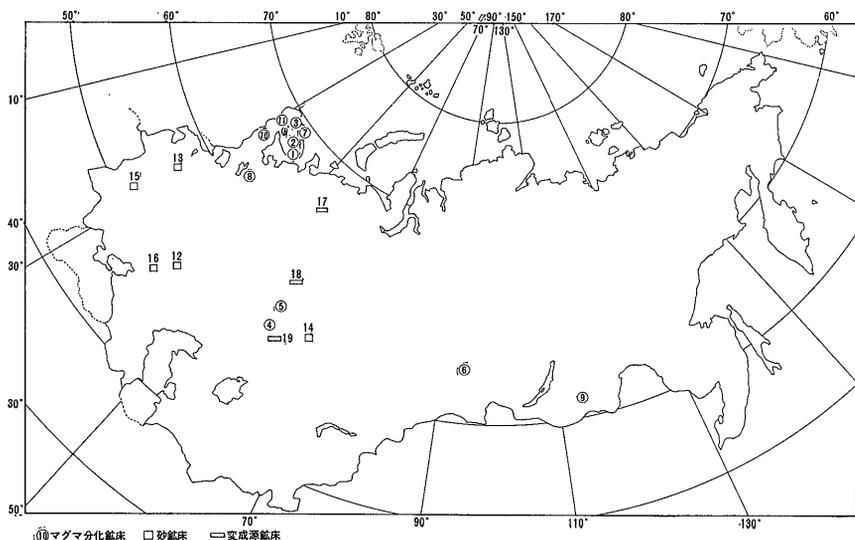
マグマ分化チタン鉄床は はんれい岩中のチタン鉄鉄-磁鉄鉄鉄床 次いでチタン鉄鉄-チタン磁鉄鉄鉄床であるが それは例えばウラル山脈西側斜面の劣地向斜区に形成され チタン鉄鉄-磁鉄鉄鉄体とチタン磁鉄鉄鉄体を伴っているクシーンスキーはんれい岩貫入体のように先カンブリア紀でなく 古生代 主としてカンブリア紀のものである。 ウラル山脈の優地向斜区で古生代に形成されている多数の超塩基性岩中のチタン磁鉄鉄鉄床は一般にチタン鉄鉄に乏しい（グセボゴルスキー鉄床 カチュカナル鉄床など）。

古期卓状地の古生代活化帯には コラ半島の場合のように ロパライト鉄化体を伴ったアグパイト・霞石閃長岩とアイヨライト-ウルタイトからなる多相深成岩類が形成され あるいはチタン磁鉄鉄鉄と灰チタン石に富んだアルカリ-超塩基性岩系の山塊も形成されていることがある。 しかし アルカリ系列の岩石と関係あるマグマ分化チタン鉄床は現在のところソ連では稼行価値がそれほど大きくない とされている。

さらに Yu.クズネツォフは 地向斜区と造山区のチタン鉄床のうち 稼行できる或は将来有望なものとして

- 1) はんれい岩・閃緑岩・輝緑岩岩系（ウラルのクシーンスキー鉄床 コパンスキー鉄床 メドベージェ鉄床 マトカール鉄床）
- 2) はんれい岩・輝岩・ダナイト岩系（ウラルのグセボゴルスキー鉄床とカチュカナル鉄床 東サヤンのルイーサン鉄床とケドラーン鉄床など）
- 3) はんれい岩・閃長岩岩系（コラ半島のエーレチ=オーゼロ鉄床）に胚胎された鉄床

を挙げ 楯状地と古期卓状地の活化区の場合として



第3図

ソ連の主要チタン鉄床分布図

1. ツァギンスキー山塊鉄床群
2. ケーイヴィ貫入体鉄床群
3. コルモゼロ-ポーロニヤ貫入体鉄床群
4. クサー（クシーンスキー）鉄床群
5. カチュカナル鉄床 グセボゴルスキー鉄床
6. ルイーサン鉄床 ケドラーン鉄床
7. エーレチ=オーゼロ鉄床
8. プドジュゴルスキー鉄床
9. クルチナー鉄床
10. コープドル鉄床
11. ロボゼロ山塊鉄床群
12. サモトカーン鉄床
13. コーロステン砂鉄床群
14. クンドイバエボ鉄床
15. ドブリーン鉄床
16. ニジュニー-マモーン鉄床
17. ヤーレガ鉄床
18. クズネチーハ鉄床 シュピンスキー鉄床
19. トボール鉄床

① マグマ分化鉄床 □ 砂鉄床 □ 変成岩鉄床

- 1) 角閃岩相ミグマタイトとそれに関係あるアナテクタイトのはんれい岩・輝緑岩岩系（カレリア地方のプドジュゴルスキー鉱床とコイカル鉱床）
- 2) 斜長岩岩系（ザバイカル地方のクルチナー鉱床）
- 3) 中央山塊型超塩基性岩・アルカリ岩貫入岩岩系（コラ半島のコープドル鉱床などの諸鉱床）
- 4) 中央山塊型アグパイト・霞石閃長岩貫入岩岩系（コラ半島のロボーゼロ山塊の鉱床）に胚胎される鉱床

を挙げているが 後者の例に相当する南ア共和国ブッシュフェルトの分化はんれい岩・紫蘇輝石はんれい岩貫入岩岩系の鉱床例には触れていない。以下 世界の諸例とソ連の場合の相違点に触れておく。

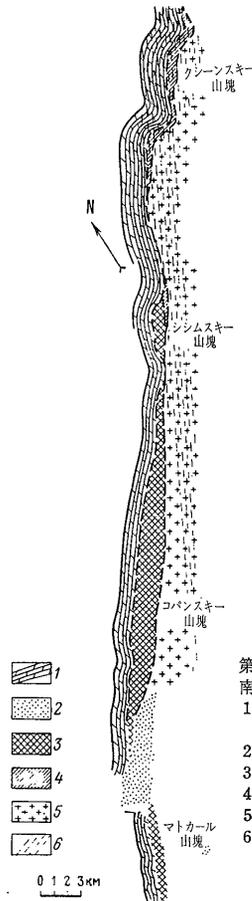
すなわち世界には斜長岩岩系の大型山塊に規模の大きいチタン鉱床（鉱量>1億t）が胚胎されている例は少なくないが（アメリカのアジロンダックはんれい岩・斜長岩山塊など）ソ連にはウクライナのボルイーン曹長岩山塊のように規模の大きい（面積数100km<sup>2</sup>）斜長岩岩系の山塊があるにはあるが 現在までのところ チタン鉄鉱体に乏しいとされている。ただ 斜長岩岩系に属する小規模な（数10km<sup>2</sup>）はんれい岩・斜長岩山塊にチタン鉄鉱-チタン磁鉄鉱鉱床が胚胎されている例として ザバイカル地方にクルチナー鉱床があるにすぎない。その原因を追究した論文は豊富であるが ここでは割愛する。

はんれい岩・閃緑岩・輝緑岩岩系の山塊は一般に数 km<sup>2</sup>と拡がり小さいが ソ連では高品位のチタン鉄鉱-磁鉄鉱鉱床が胚胎されていることがある（クシーンスキー鉱床など上掲）。

なお カレリア地方のプドジュゴルスキー鉱床やコイカル鉱床の鉱石のようにチタンを平均13.6%も含んだチタン磁鉄鉱が多産する場合 処理技術上の問題があって 同精鉱からのチタンの抽出はまだ行なわれていない。ではここで ソ連最大級のチタン鉱物資源の供給源となっている南ウラルのマグマ分化鉱床群について詳述する。

**クシーンスキー チタン鉄鉱-磁鉄鉱 鉱床・チタン鉄鉱-チタン磁鉄鉱鉱床群**

この鉱床群の鉱床（クシーンスキー メドベージェボシムスキー コパンスキー マトカールその他）は第3図に示すようにウラル山脈の南部に分布し それぞれ鉱床名と同じ名称のNE-SWに断続・延長するはんれい岩山塊に胚胎され（第4図）同山塊帯の幅は最大2km 延長は76kmに達している。おそらくこの山塊群は1体のクシーンスキー貫入岩体の部分部分を指しているであろう。同貫入岩体はSEに35-60°傾斜した層状



第4図  
南ウラル塩基性岩帯  
1. 原生代サトカ累層の頁岩・炭酸塩岩  
2. 原生代珪岩  
3. はんれい岩  
4. 角閃岩  
5. 花崗片麻岩  
6. 擾乱帯

を呈し 側岩の堆積岩層と整合する。分布位置は原生代後期の2種の異種岩層間に発達した大型断層に規制され 下盤（西側）はサトカ累層の石灰岩・苦灰岩とバカール累層の千枚岩・珪岩・礫岩 上盤（東側）はクバシユ累層の花崗片麻岩とリャビノボ山塊の花崗岩 クバシユ累層とジガリガ累層の珪岩からなっている。

クシーンスキー貫入岩体は主としてノーマルなはんれい岩 角閃石化はんれい岩 はんれい岩質角閃岩からなり 変成度は北から南に向って低くなっている（第3表）。

上記全山塊の塩基性岩は 優黒質・中色質・優白質の各岩種の繰り返し分布に起因した偽成層を呈し そのはんれい岩の縞に平行にチタン鉄鉱-磁鉄鉱鉱石 チタン鉄鉱鉱石 チタン磁鉄鉱鉱石が賦存している。クシーンスキー鉱床では緻密なチタン鉄鉱-磁鉄鉱鉱石がきわめて多量に分布し 他の鉱床ではいずれもチタン磁鉄鉱鉱石 磁チタン鉄鉱鉱石 チタン鉄鉱鉱石が鉱染鉱として発達し かつシデロニチック構造を特徴とする。

クシーンスキー鉱床群の鉱体は 主として層状ないし

第3表 クシーンスキー山塊貫入岩体群の岩相と鉱体・鉱石の関係

鉱床	母岩	鉱体の形態と鉱石の型式	主要鉱石鉱物
クシーンスキー	はんれい岩・角閃岩	厚さ10—12mの脈状ないしレンズ状緻密鉱体。 鉱染鉱を伴う	磁鉄鉱 チタン鉄鉱
メドベージェボ	角閃岩化はんれい岩とソーシユライト化はんれい岩	主としてレンズ状の鉱染鉱体。 稀には薄い (<2m) の脈状緻密鉱体	チタン磁鉄鉱 磁チタン鉄鉱 チタン磁鉄鉱
コパンスキー	はんれい岩	鉱染鉱化帯と薄い脈状緻密鉱体	チタン磁鉄鉱 チタン鉄鉱 磁チタン鉄鉱
マトカール	角閃岩化はんれい岩	小レンズ状緻密鉱体を伴った層状鉱染鉱体	チタン磁鉄鉱 磁チタン鉄鉱 チタン鉄鉱

レンズ状を呈し マトカール鉱床の断面(第5図)でみると層状鉱染鉱体が中色質および優黒質のはんれい岩中のみ胚胎され 当該はんれい岩の一般傾斜と同じ傾斜を備えている。 鉱体と不毛はんれい岩とは漸移する。

クシーンスキー鉱床では 脈状およびレンズ状の緻密チタン鉄鉱-磁鉄鉱鉱体が母体である はんれい岩質角閃岩の偽成層縞と整合的に賦存・分布し 鉱石は主として磁鉄鉱(60—80%)とチタン鉄鉱(20—40%)の粒(0.2—0.5mm)の集合からなり 少量の尖晶石・赤鉄鉱・黄鉄鉱・黄銅鉱・磁硫鉄鉱・緑泥石を伴う。 この緻密鉱石の平均化学組成は 重量%で FeO 27.6 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 48.2 TiO<sub>2</sub> 14.21 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.65 S 0.122 P 0.01 SiO<sub>2</sub> 3.18 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.98 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.67 CaO 3.33 MnO 0.50 MgO 0.005 K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O 0.12 H<sub>2</sub>O 0.25 である。 クシーンスキー鉱床群の他の鉱床の鉱石と違って この緻密鉱は独立したチタン鉄鉱粒を多量に含有し そのことがクシーンスキー鉱床の優秀性の一つとなっている。 そして磁鉄鉱はほとんどチタンを含んでいない (Ti ≤ 0. n%)。 これとは逆に メドベージェボ・コパンスキー・マトカールの3鉱床では 一般にチタン磁鉄鉱がチタンに富み(最高 Ti 13.4%) 通常 当該磁鉄鉱中に薄板状のチタン鉄鉱として包有されている。

マトカール鉱床の緻密鉱は主としてチタン磁鉄鉱からなり チタン鉄鉱粒の量は3—5%を出ない。 また上記諸鉱床の磁チタン鉄鉱中には一般に磁鉄鉱が微小包有物の形で存在するが これは固溶体の離塔組織に相当する。 コパンスキー鉱床のチタン鉄鉱粒中の磁鉄鉱包有物の量は7.3%に達している。

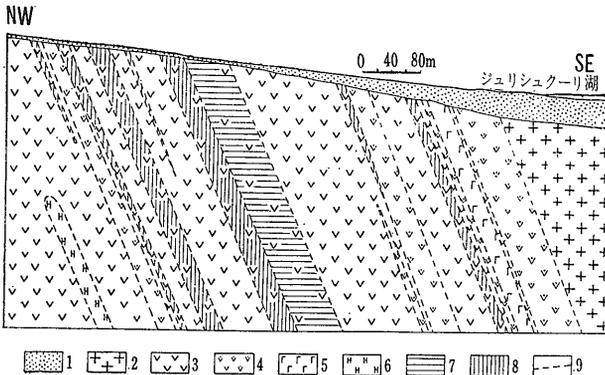
コパンスキー鉱床その他ソ連の上記マグマ分化鉱床産チタン鉄鉱中の TiO<sub>2</sub> 含有率は いずれも理論値 (TiO 52.66%) に近い(第4表)。 そして鉱石中でのチタン鉄鉱の賦存形態は当該鉱石の変成度に大きく規制されもつとも変成度が大きいクシーンスキー鉱床の鉱石ではチタン鉄鉱の薄板状包有物が独立した粒として散在し磁鉄鉱はチタンをほとんど含んでいない。

選鉱・冶金上からいえば このような変成作用を強く受けた鉱石は 選鉱によって高品質のチタン鉄鉱精鉱が得られるので 稼行価値が大きいとされている。

以上のクシーンスキー鉱床群のほか グセボゴルスキー チタン磁鉄鉱床も重要視されている。

グセボゴルスキー 鉱床は大きなカチュカナルはんれい岩・輝岩山塊の東部に広がるグセボゴルスキー輝岩山塊に胚胎されている。

このバナジンに富んだチタン磁鉄鉱体と分布上も成



第5図  
マトカール 鉱床の模式地質断面  
1—風化残留・洪積層  
2—カタクラスチック斜長花崗岩・花崗岩  
3—中色質・優黒質はんれい岩  
4—優白質はんれい岩 斜長岩  
5—ペグマタイト質はんれい岩  
6—中色質はんれい岩・紫蘇輝石はんれい岩  
7—チタン鉄鉱鉱染鉱体  
8—チタン磁鉄鉱鉱染鉱体  
9—推定接触境界線

第4表 マグマ分化鉄床産チタン鉄鉱の化学組成(重量%)

成分	試料番号					
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	0.02	0.35	0.53	0.45	tr.	2.80
TiO <sub>2</sub>	49.29	49.87	47.39	47.90	51.23	44.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.95	0.50	0.51	0.21	0.30	3.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.68	4.53	6.45	6.73	5.11	9.70
FeO	37.60	43.23	42.63	42.72	40.15	32.30
MnO	0.25	1.16	1.18	2.21	—	2.60
MgO	3.74	0.47	0.38	0.15	2.66	3.96
CaO	—	—	0.39	—	—	1.20
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.14	0.07	—	0.56	—
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0.04	0.05	—	—	—
計	99.69	100.29	99.58	100.37	100.01	100.04
比重	4.65	4.71	4.77	4.77	4.68	(+H <sub>2</sub> O: 0.46含)

1—コバンスキー山塊 チタン鉄鉱-チタン磁鉄鉱鉄石  
 3—コバンスキー山塊 鉱化細粒質はんれい岩  
 5—クシーンスキー山塊 チタン鉄鉱-磁鉄鉱鉄石

2—コバンスキー山塊 鉱化はんれい岩  
 4—マトカール山塊 鉱化細粒質はんれい岩  
 6—グセボゴルスキー山塊 鉱化輝岩

因上も密接な関係をもっているのがグセボゴルスキー輝岩山塊で その水平断面は南北方向に長く その延長は約8.5km 幅は最大4.6km その面積はおよそ 22km<sup>2</sup> 東に 75—80° 傾斜する。 西側は南北性断層に境され その付近には角閃石岩が発達する(第6図)。 この山塊の輝岩は異剝石輝岩 かんらん石輝岩 角閃石輝岩 斜長石輝岩からなり 鉱体は主として異剝石輝岩と角閃石輝岩に胚胎されている。

鉱床は グラープナヤ ザーパドナヤ セーベルナヤ 第1プロメジュートチュナヤ 第2プロメジュートチュナヤ 第3プロメジュートチュナヤ ポストーチュナヤ ユージュナヤ プィースカヤの計9鉱体で構成され 各鉱体の形は複雑であり 母岩と鉱体は一般に漸移関係にある。 本鉱床のチタン磁鉄鉱量の大部分は前4者の鉱体に集中し とくにザーパドナヤ鉱体はバナジン含有率が平均して高い (V 0.1%) ことで知られているが 本鉱床の鉄石の平均品位は Fe 16.7% Ti 0.73% V 0.08%である。

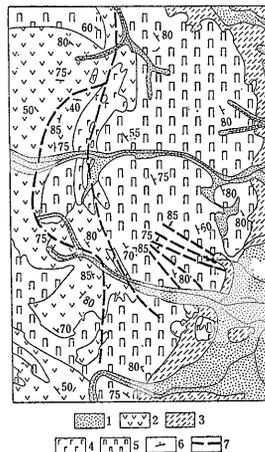
鉱石中には チタン磁鉄鉱と共生して一般に独立した鉱粒としてチタン鉄鉱が存在し そのチタン鉄鉱は方形ないし不規則な形または微小な板状包有物(固溶体の離熔組織)を呈する。 これらのチタン鉄鉱の粒径は 0.1×0.1mmから0.5×0.5mm ときには1mmに達するものもある。

なお チタン磁鉄鉱中には 1.32—2.52% (平均2.01%) のチタンのほか 0.20—0.48% (平均0.35%) のバナジンが含まれている。

カチュカナル採鉱・選鉱コンビナートの選鉱場では 重力・磁気選鉱法を用いて鉄鉱選鉱尾鉱からチタン鉄鉱を回収することに成功しているが しかしチタン磁鉄鉱中に包有されている微小な板状チタン鉄鉱の選鉱には てこづっている。

外因性鉄床

外因性チタン鉄床は海成層と陸成層中に賦存するが その中でも重要なのは漂砂と風化生成帯である。 そして 鉄石鉱物は主にチタン鉄鉱と白チタン石であり ときには金紅石 鋭錐石のこともある。



第6図  
 グセボゴルスキー鉄床の地質概図  
 1—沖積層・洪積層  
 2—はんれい岩  
 3—角閃岩  
 4—角閃石岩  
 5—輝岩  
 6—輝岩とはんれい岩の織状構造の走向・傾斜  
 7—主要構造断層・構造断層帯

第5表 ウクライナ地方砂鉄床産チタン鉄物の特徴

鉄物	含有率 (%)			比重	鉄物の色	
	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	H <sub>2</sub> O			
チタン鉄鉱	≤50	49-50	—	>4.7	黒	
チタン鉄鉱の変質生成物	加水チタン鉄鉱 (Ⅰ期)	51-60	29-49	0.01-12	4.35-4.7	黒
	アリジナイト (Ⅱ期)	60-70	11-34	11-23	4.0-4.35	茶褐 黒褐 稀に黒
	白チタン石 (Ⅲ期)	70-96.4	0.77-16.0	0-18	3.71-4.0	茶褐 黄褐 鉄灰 白
金紅石 (陸源)	96-99.3	0.1-1.90	0-0.5	4.20-4.27	黒 暗赤 オレンジ黄	

漂砂鉄床

世界の主なチタン資源の探掘対象となっているのは海浜のチタン-ジルコニウム砂鉄 (チタン鉄鉱-金紅石-ジルコン砂鉄) である。いわゆる基盤結晶質岩上の陸成チタン鉄鉱砂鉄や風化生成体は海浜砂鉄ほどの大きなウエイトを占めてはいない。ソ連では主要可採チタン鉄床のチタンの総埋蔵鉄量の半分以上が砂鉄床のものである。

ソ連で重要な価値をもっているチタンの砂鉄床はすべて古期のもので新第三紀 古第三紀 中生代 古生代のいわゆる埋没砂鉄床 (化石砂鉄床) である。その分布はロシア卓状地 西シベリア 東シベリア カザフザバイカルの各地にみられる。バルト海やアゾフ海のソ連領部分に賦存する現世のチタン砂鉄床は上記古期砂鉄床に較べると重要とは言いがたい。これはオーストラリアやインドなどに代表される世界の一般現象とは逆で現世高温・多雨気候帯に乏しいソ連のもって生れた宿命といえる。

ソ連の大部分の可採チタン砂鉄床が形成されているのは卓状地構造の部分で卓状地では海進条件下で主に海浜砂鉄床が生成し海退条件下で主に三角州・河谷・潟などの陸成砂鉄床が形成されている。

これらチタン砂鉄床の生成に大きな影響を与えたのはいうまでもなく地形 気候 土壌・風化帯の性質 堆積作用の相条件といった古地理であり大型チタン砂鉄床の生成にとってとくに重要な要素となったのは化学的風化作用と思われる。そしてもっとも重要なチタン鉄鉱供給源となったのは準結晶片岩と解されている。

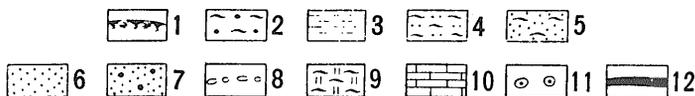
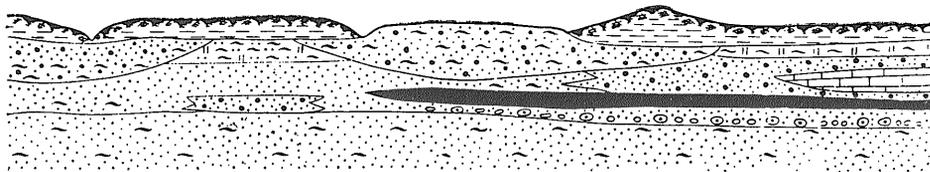
主要鉄鉱物であるチタン鉄鉱は大部分が単体で産出しその円琢度はさまざまである。ときには板状結晶やその碎片も認められることもある。マグマ分化鉄床のチタン鉄鉱に較べ砂鉄床のチタン鉄鉱は Fe が少なく Ti が多く (第5表) 比重が小さい (4.7→3.7)。

ソ連の海浜チタン-ジルコニウム砂鉄床は一般に各種岩石の分解および既成砂鉄床の再沈澱・再々沈澱の結

果生成していて厳密な意味での源岩や源体ははっきりしない場合が普通である。たとえばウクライナの当該砂鉄床はおそらくウクライナ楕状地 部分的にはポロネーシュ山塊の変成岩・深成岩が分解して生じたものであろう。一般にソ連の海浜チタン-ジルコニウム砂鉄床はオリゴミクト質で稼行対象となっているのはチタン鉄鉱 金紅石 白チタン石 ジルコンに限らず藍晶石 磷酸イットリウム鉄 鋭錐石 マラコンなども加わることがある。鉄床の形は層状ないしレンズ状で厚さ数10m 延長数10km 幅最大数1,000m というものもある (第7図)。ただし当該鉄床は砂・粘土と互層した鉄層群である場合が多く厚い単一鉄層だけで成り立っている場合は稀である。

稼行砂鉄床のチタン鉄鉱・金紅石含有量は1m<sup>3</sup> 当り数10-数100kg である。ウクライナの著名な海浜チタン-ジルコニウム鉄床は多くポルタバ階とサルマチア階に胚胎されその代表例がサモトカーン鉄床である。この鉄床のポルタバ階の鉄層とサルマチア階の鉄層はいずれもよく似た鉄物組成を有し石英・チタン鉄鉱・金紅石・白チタン石・鋭錐石・ジルコン・藍晶石・珪線石・十字石・電気石・紅柱石・尖晶石・クロム鉄鉱・燐灰石・鋼玉・褐鉄鉱・炭塩酸鉄物・カオリナイト・雲母類・マンガン化合物・ざくろ石・長石・黄鉄鉱からなっている。そしてチタン鉄鉱：金紅石の量比は3：1~8：1 である。なおサルマチア階砂層中の鉄石鉄物は全断面にわたって分布するがポルタバ階の砂層の場合にはその上部に集中している。チタン鉄鉱の粒径は0.07-0.25mm 金紅石は0.07-0.15mm である。チタン鉄鉱の平均 TiO<sub>2</sub> 含有率は67.7% でかなり白チタン石化されていることを示している。本鉄床の研究で名をあげたA. ジェルデバとV. アブレビッチは本鉄床を古期砂層が水蝕され再沈澱したものと説明している。

チタン鉄鉱の陸成砂鉄床は主として白亜系下部層 古第三系 ときには第四系中に多くは風化帯上に直接分布する。通常この場合には供給源とのつながりは確



第7図 ロシア卓状地中央部セノマン階チタン鉄鉱砂鉱床胚胎層付近の断面図

- |            |          |            |
|------------|----------|------------|
| 1—土壌・植物層   | 2—ローム層   | 3—泥層       |
| 4—砂質泥層     | 5—泥質砂層   | 6—細粒・微粒質砂層 |
| 7—中粒・粗粒質砂層 | 8—礫層     | 9—雲母質粘土層   |
| 10—石灰岩層    | 11—磷灰土団塊 | 12—チタン鉄鉱砂層 |

認可能である。たとえば 沖積チタン鉄鉱砂鉱床は供給源から大むね 5—30km の所に存在する。ウクライナにあるこのタイプの多くの砂鉄床(第8図)は コーロステン貫入岩コンプレックスの塩基性岩や酸性岩に由来するもので これらの岩石の風化帯には 比較的大型のチタン鉄鉱(粒径 $\leq 1\text{mm}$ )が含まれている。

組成からすると 上記陸成チタン鉄鉱砂鉱床は一般にポリミクト質で チタン鉄鉱の粒径は 0.1—0.25mm ないしそれ以上である。円琢磨は残留砂鉄床と崖錐砂鉄床の場合にとくに弱い。

沖積チタン砂鉄床の場合 その鉄床は一般に湾曲・帯状の層をなし 鉄石鉄物は沖積層下部層準 すなわち大粒の砂 礫からなる粗碎屑物の層中に集っている。ソ連の稼行沖積チタン砂鉄床富鉄部のチタン鉄鉱含有率は  $1\text{m}^3$  当り数 10kg から数 100kg のものが多いが ときには 2,000kg/ $\text{m}^3$  に達するものもある。しかし 鉄床全体の平均含有率は一般に低く たとえば ソ連の代表的沖積チタン砂鉄床であるイルシャー鉄床でも 平均チタン鉄鉱含有率は 20kg/ $\text{m}^3$  前後である。

### 風化 残留 鉄 床

このタイプの鉄床は多量のチタン鉄鉱を またときには大量の金紅石を有することがある。現世のものも古期のものも知られており 原岩の組成はさまざまである。この鉄床は化学的風化作用によって生ずるもので チタ

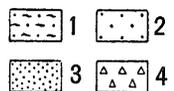
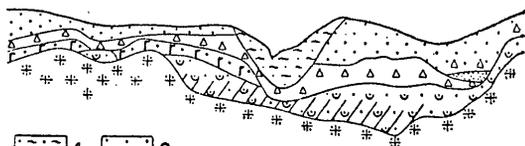
ン鉄鉱も金紅石も全く円琢磨されず 良型の結晶がみられる場合が多い。

風化残留帯の厚さは数10mに達することもあり たとえばウクライナ楯状地の変成岩・深成岩上に残っている風化残留帯は厚さ最大50m 平均5—20mを示している。この例では 風化残留帯の生成作用は主として三疊紀末とジュラ紀初期および中期 一部は白亜紀前期に働いたものとされている。

含チタン風化残留帯は一般にいわれるカオリン質風化生成帯で チタン鉄鉱含有量は数 100kg/ $\text{m}^3$  金紅石含有量は数 10kg/ $\text{m}^3$  に達することがあり その含有量に対する原岩の鉄物組成の影響は大きい。たとえば カザフ共和国のクディバエゴ鉄床では 変成岩上に生じた風化帯中に 180kg/ $\text{m}^3$  前後のチタン鉄鉱 73.8kg/ $\text{m}^3$  前後の金紅石を含んだ富鉄体がレンズ状ないし層状を呈して分布し 原岩の延長方向に伸びている。そして 原岩である変成岩中の副成鉄物の変化は 風化帯中の同種鉄物の量的および質的变化を規制している。

ポルティーンはんれい岩・斜長岩山塊の風化帯は チタン鉄鉱だけが豊富に含まれている ( $\leq 300\text{—}500\text{kg}/\text{m}^3$ ) という特徴を備えているが それは原岩中に金紅石がほとんど無いためである(例:ドブリーン鉄床)。

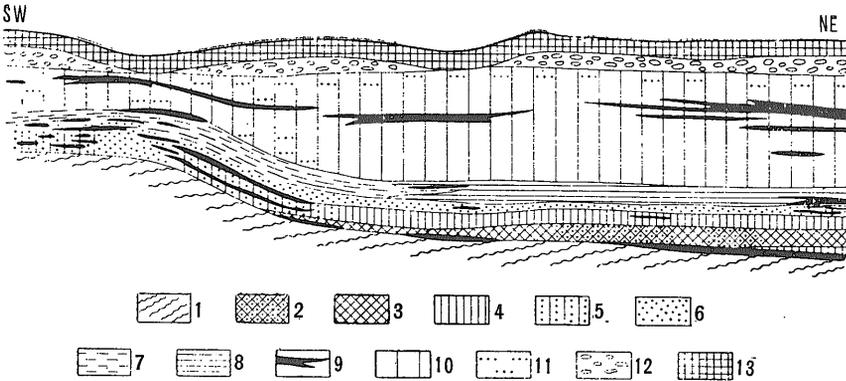
なお 塩基性深成岩・変成岩上に生じた風化残留帯の一つの特徴はクロムをあまり含まないチタン鉄鉱が主に集まっているということで このことはそのチタン鉄鉱精



第8図

コーロステン花崗岩上の堆積層断面

- |                |                        |
|----------------|------------------------|
| 1—砂・泥層         | 2—砂層                   |
| 3—細粒状カオリナイト質砂層 | 4—チャート                 |
| 5—海緑石質砂層       | 6—二次カオリン レンズ状層を伴う雑粒質砂層 |
| 7—コーロステン花崗岩風化帯 | 8—チタン鉄鉱砂層              |



第9図 先リーフェイ期地形復元地表面上のチタン鉄鉱層胚胎層の模式断面

- 1—変成岩(結晶片岩 千枚岩類) 2—大量の粗粒・大粒碎屑を伴う雑粒質白チタン石-石英砂岩
- 3—雑粒質白チタン石-石英砂岩 4—雑粒質砂岩間層・レンズ状層を伴った主として細粒質白チタン石-石英砂岩
- 5—礫・大粒石英粒や雑粒質砂岩レンズ層を伴った分級度の低い主として細粒質の白チタン石-石英砂岩 6—細粒質白チタン石-石英砂岩
- 7—シルト岩と細粒質白チタン石-石英砂岩の互層 8—細粒質砂岩レンズ状層随伴泥岩とシルト岩の互層 9—泥岩
- 10—細粒質石英砂岩 11—礫質石英粒を伴った大粒質砂岩間層 12—多源礫岩・白チタン石-石英礫岩 粗粒・大粒質砂岩 13—地表泥層

鉱の品質が非常にすぐれていることを意味する。

る。

### 火山源堆積鉱床

このタイプのチタン鉱床は ソ連では比較的最近の発見になるもので ボローネシュ州南部のヤストレボーフカ層(デボン系)の含チタン火山源堆積生成体はその代表例である(第3図参照)。当該地域は先カンブリア紀基盤岩層と傾斜不整合で接する古生代堆積岩層・火山源堆積岩層および中生代と新生代の堆積岩層からなり 構造地質的にはボローネシュ陸背斜の南東部に当る。

ヤストレボーフカ層はニージュニー マモン村地区では 厚さが数mから35m 分布深度は平均して50—70m 総延長は約100km 分布幅は20—40km 主な走向方向は同地域の主要構造断層帯と一致する。

チタン鉄鉱がもっとも多く胚胎されているのは 粗碎屑凝灰岩・層灰岩・凝灰質砂岩で これらの火砕岩中の噴出岩層は主として塩基性岩からなる。陸源物質は凝灰岩の場合が $\leq 10\%$  凝灰質砂岩の場合が $\leq 90\%$  膠結物はマグネシア-鉄緑泥石である。

上記凝灰岩類の地層ではチタン鉄鉱が体積の50%以上を占める場合もある。そしてチタン鉄鉱は主に結晶の碎屑か融食された鉱粒 稀には自形の結晶として産出する。粗碎屑凝灰岩類中では チタン鉄鉱の粒径は平均0.25—0.3mm 細碎屑凝灰岩類中では $< 0.1\text{mm}$  である。比重は4.25前後で 色は黒ないし帯褐黒 白チタン石化されたものは非変質のものより少ない。全体としてチタン鉄鉱含有量は母岩中の陸源物質が多くなると急減する。

以上のような チタン鉄鉱に富んだ火山源岩は浅い海盆で生成したもので 海底噴火活動の遺物と解されてい

### 変成源鉱床

このグループに入るものとして ソ連には被変成チタン鉱床と変成チタン鉱床の2タイプがある。

### 被変成鉱床

このタイプの鉱床としては長い地質時代の間に母岩と一緒に変成されたさまざまな起源のものがある。たとえば バシュキール隆起構造区の原生代上部層被変成砂鉱床群はこの好例である。そのうちの最大のものはジリメルダーク累層の砂岩層に胚胎され チタン鉄鉱( $\leq 250\text{—}400\text{kg/t}$ )とジルコン( $\leq 30\text{kg/t}$ )に富んだ厚さ最大2.5mの層をなしている。

このタイプのチタン鉱床として若干特殊な例に南チマン地域のヤーレガ白チタン石鉱床がある(第9図)。この鉱床はアイフェル統とジペー統(いずれもデボン系)の含油砂岩層中に胚胎された いわゆる埋没砂鉱床で 主鉱層は鉱山で「第3層」と呼ばれ 上下2層に分かれている。下部鉱層は デボン系基底部およびその付近にあって シルト岩と泥岩の間層を伴った含白チタン石粗粒石英岩からなり 上部鉱層は 含白チタン石多源礫岩と含白チタン石雑粒質石英岩からなる。この主鉱層の重鉱物成分の平均80%は半円琢質の白チタン石で占められ その粒径は0.2mmから1.5mmである。色は灰色ないし帯黄灰色で 結晶の形がわからなくなるほどには円琢されていない。変質作用を受けていないチタン鉄鉱の産出はきわめて稀である。高品位と目される部分の平均品位は8—10%  $\text{TiO}_2$  で 鉱量は比較的大きい。なお この鉱床はデボン系下位の基盤をなすリーフェイ

第6表 チタン鉄鉱中のスカンジウムとバナジンの含有率(g/t)

鉱床の型式	スカンジウム			バナジン		
	試料数	含有率		試料数	含有率	
		範囲	平均		範囲	平均
はんれい岩とはんれい岩・角閃岩中のチタン鉄鉱-磁鉄鉱鉱床	3	64-90	77	6	800-1,200	1,000
輝岩中のチタン磁鉄鉱鉱床	4	75-100	88.1	2	280-580	430
塩基性岩の風化帯鉱床	6	50-70	59.6	2	200-450	325
沖積砂鉱床	9	52-73	60.6	8	168-448	291
古期海浜砂鉱床	27	26-77	43.4	20	84-880	364
現世海浜砂鉱床	5	23.5-35	27.5	3	71-560	252

注：スカンジウムはニュートロンアクチベーション分析法、バナジンは定量分光分析法によって分析。

系泥岩源結晶片岩の風化帯が水蝕・削剥されて生じたものと思われる。

次に マグマ分化チタン鉱体が広域変成作用を受けてチタン鉄鉱と磁鉄鉱からなる高品質の緻密鉱体およびチタン鉄鉱の鉱染鉱体を形作ったものもある。世界的にはフィンランドのオタンミヤキ鉱床が有名であるが ソ連でもコラ半島やザバイカル地方に中型のものが2・3知られている。

### 変成 鉱床

このタイプのチタン鉱床は 古い地質時代の結晶片岩・片麻岩・エクロジヤイト・角閃岩に胚胎されていてチタンに富んだ堆積岩・噴出岩・貫入岩が変成された結果生成したものである。主要鉱石鉱物は金紅石であるがソ連の場合 メキシコのプリュモ＝イダルゴ鉱床（金紅石含有率約25%）やアメリカのハーワード鉱床（同じく約20%）のような高品位鉱床は まだ発見されていない。

たとえば 中部ウラル地方のクズネチーハ鉱床は角閃岩中の金紅石鉱床で 金紅石含有率は約1.5% 同じくシュビンスキー鉱床は エクロジヤイトを母岩として金紅石含有率は4.5%前後にすぎない。この程度の高品位鉱床は ソ連の変成岩層中にかなり多く知られているが その選鉱処理技術に困難があり まだいずれも未開発である。

以上簡単ながら紹介したように 鉱量・品位ともにすぐれているのは漂砂鉱床である。ソ連では その中でもチタン鉄鉱と金紅石の古海浜砂鉱床が主体をなし 鉱量的には石油を伴った含白チタン石砂岩や火山源堆積チタン鉄鉱鉱床も重要視されている。

マグマ分化チタン鉱床の場合 処理技術上もっとも喜ばれているのは チタン鉄鉱が単体の鉱粒として生じている鉱床 たとえばチタン鉄鉱-磁鉄鉱鉱体である。

一方 チタン鉱量が一般に大きいのが特徴のマグマ分化チタン磁鉄鉱鉱床は 将来チタン鉄鉱が回収できる可能性のある原料資源として取り扱うべきものである。

マグマ分化鉱床 変成源鉱床 外因性鉱床のチタン鉱石から得られるチタン鉄鉱精鉱の価値は同精鉱中に微量成分 なかでもスカンジウムが存在することによってさらに大きくなっている(第6表)。スカンジウム含有率をもっとも高い(≤100g/t)のは はんれい岩類と超塩基性岩産のチタン鉄鉱である。チタン鉄鉱精鉱の製錬工程の中でスカンジウムが抽出できることはすでに明らかとなっている。さらにチタン鉄鉱精鉱の大量処理が製錬時のバナジン抽出問題の解決に役立ち TiO<sub>2</sub> 製造時にバナジンを副産できる可能性については すでにソ連が実証してみせたところである。

### おわりに

ソ連の鉱業政策の特徴は 何といたっても その重点集中開発方式とコンビナート化にある。その基礎としての地質調査もその線に沿って 広域地質構造の把握から鉱床分布の規則性を解明し 重点地域に総合精密調査を集中し 厳密に規格化された鉱量計算を行ない 計算値は各関係機関の繰り返しチェックを経 「国家鉱量委員会」の承認を得て初めて権威あるものとなるという一つの定型的なフローシートがひかれている。

したがって 大鉱床については研究報告が少なくないが 群小鉱床についての取り扱いはまだことにソツ気なく我が国なら放っておかないような中小鉱床も ソ連では相手にしないものが決して少なくない。利益が上らなくても稼行し 国がその赤字を補うのがソ連のやり方だと思っている人は多い。しかし これは勝手な憶測で 事実ではない。このような「神話」は棄て去るべきである。

チタン鉱床もまた例外でない。