

73頁の図面は、第4図で、74頁の図面は、第3図です。反対になつているので訂正します。なお、第3図でぬけているCは、日本海沿岸地域です。

北海道の砂チタンおよび含チタン砂鉄鉱石 (I)

——とくに化学組成について——

On the Ore of Titan Sands and
Titaniferous Iron Sands in Hokkaido (Report I)
——as Chemical Composition——

藤原 哲夫・二間瀬 冽
Tetsuo Fujiwara, Kiyoshi Futamase

Abstract

Recently, the titan sands and the titaniferous sands has attended as the important materials for the resources of iron and titanium.

In Hokkaidō, almost of these resources, were found as the placer deposits along the beach. The titaniferous iron sands at the coast area of the Funka bay has been well known from olden time, and them are warking now. But the titan sands at the coast area of the Okhotsk sea are none warking.

The chemical compositions of the titan sands and the titaniferous iron sands are composed of FeO , Fe_2O_3 , TiO_2 , and minor amounts of V_2O_3 , Cr_2O_3 , Mn, P, S, Cu, Au etc.. In these, Fe and TiO_2 is best important compositions. And after all, from the ratio of $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$, the titan sands and the titaniferous iron sands are divided into eleven provinces as follows: (1) Mountain area of Teshio. (2) Coast area of the Okhotsk sea (Esashi~Yūbetsu). (3) Coast area of the Okhotsk sea (Lake Saroma~Misaki). (4) Base area of the Shiretoko peninsula and Coast area of the Nemuro straits. (5) Coast area of the Nippon sea. (Esashi~Shioya). (6) Coast area of the Nippon sea (Mōrai~Obirashibe). (7) Coast area of the Funka bay. (8) Coast area of the Kameda peninsula. (9) Coast area of the Pacific ocean (Tomakomai~Muroran). (10) Coast area of Hidaka. (11) Mountain area of Central part.

In this parper, are discussed from the chemical compositions on the character of such provinces, Also, some anticipations on the origine and source of such provinces, are here discussed.

目 次

まえがき	
1 北海道の砂チタンおよび含チタン砂鉄	5 火成岩中におけるチタン鉄鉱・磁鉄鉱の化学的特性とその生成
2 砂チタンおよび含チタン砂鉄中の含有成分	6 利用上からみた砂チタンおよび含チタン砂鉄鉱石の化学的特性
3 TiO_2 と T.Fe の関係	あとがき
4 TiO_2 -FeO- Fe_2O_3 の3成分系	

まえがき

鉄鉱石としての砂鉄は、砂状で高炉中の通風をさまたげ、かつ TiO_2 をかなりともなうため、スラッグ中に高融点をもつ物質を生じ、その流動性を低下して、分離を困難とするため、従来は、製鉄原料として、ほとんど利用できなかった。しかし、近年、電気炉製錬などの製錬技術の進歩と、砂鉄製錬の際のスラッグを原料として、金属チタンおよび酸化チタンの製造が行なわれるようになったこと、選鉱技術の進歩などによって、鉄資源あるいはチタン資源として、さかんに利用されるようになった。国内の磁鉄鉱・赤鉄鉱を主体とする熱気交代鉱床、あるいは熱水性交代鉱床、褐鉄鉱の沈澱性鉱床の残存鉱量が激減した現在、これに代つて、砂鉄の生産量が、全国鉄鉱生産量の半分以上をしめるに至ったことは当然である。

この砂鉄鉱石を有効に利用するためには、含チタン砂鉄中の磁鉄鉱—チタン鉄鉱・ウルボスピネル共生体からの TiO_2 の分離に関する問題、磁性をもつチタン鉄鉱のとりあつかいに関する問題、クロケット廃砂から TiO_2 および Fe を分離濃集させる問題、クロム鉄鉱の分離に関する問題などの諸問題が、まだ、十分に解決されていない。これらの諸問題を解決するためには、選鉱・冶金学的立場の研究とともに、鉱床学的にも、鉱石の性状を充分に知る必要がある。筆者らは、1954年以來の未利用鉄資源調査に参加し、北海道各地の砂チタンおよび含チタン砂鉄の鉱石について、鉱床学的立場から、比較検討する機会をえたので、ここでは、第1報として、化学組成の上から報告する。鉱石組織・鉱物組成については、現在研究中なので、別に報告する。

なお、この研究をするために当たつては、本所の齋藤仁所長、齋藤昌之地質鉱床課長をはじめ、北海道大学理学部地質学鉱物学教室の原田準平教授、浦島幸世博士からは、種々の参考意見をうけ、また、北海道立工業試験場の加藤金二、中里一英、白銀幹夫、川端昇技師らからは、X線廻折、化学分析などに、いろいろと便益をうけた。ここに、これらの諸氏に厚く感謝の意を表する。

1 北海道の砂チタンおよび含チタン砂鉄

北海道の砂チタンおよび含チタン砂鉄鉱床を地質時代・鉱床型式から分類して、その分布をしめすと第1図のようになる。これらの鉱床の精鉱中の TiO_2 含有量は、先白堊紀層（日高層群）にともなわれる斑禰岩・輝緑岩などの塩基性岩類に根源をおおぐオホーツク海沿岸の枝幸〜湧別間では、35~45%、ジュラ紀層（空知層群）にともなわれる輝緑岩・スピライト質岩、北見グリーン・タフ地域の中新世以降の火成岩類、根室半島の白堊紀末進入の粗粒玄武岩類などに根源をおおぐオホーツク海沿岸のサロマ湖以南、根室海峡沿岸では、12~20%、道南のグリーン・タフ地域の中新世以降の火成岩類に根源をおおぐ噴火湾沿岸では、5~10%となつている。

現在のおもな稼行地帯は、噴火湾沿岸（とくに長万部〜八雲間）、亀田半島の尻岸内地域、日本海沿岸の樽岸地域、太平洋沿岸の室蘭地域で、海岸平野型・砂丘型・打上型などの浜砂鉄を、おもに採掘しているが、鉱量の減少とともに、段丘型の山砂鉄へと採掘対象が移りつつある。また、噴火湾の海底砂鉄も将来の資源として注目されている。

1959年における北海道の生産量（精鉱量）は、529,979 tonで、全国生産量の39.1%をしめ、そのうち、噴火湾地域は約70.9%、亀田半島南岸地域は10.4%、室蘭地域は9.5%、その他9.2%となつていて、稼行鉱山数は29に達している。これらの精鉱は、高炉用（T.Fe 56%以上、 TiO_2 10%以下）あるいは電気炉用（T.Fe 50%以上、 TiO_2 15%以下）として、富士製鉄室蘭製鉄所、北海道砂鉄鋼業伊達工場、および本州各地の製鉄所に売鉱されている。

2 砂チタンおよび含チタン砂鉄中の含有成分

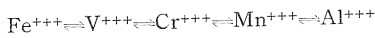
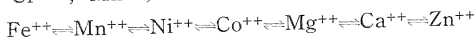
砂鉄は、化学組成の上から、酸性砂鉄と塩基性砂鉄とに分けられている。酸性砂鉄は、花崗岩類など酸性火成岩類を根源とするもので、 TiO_2 の含有量は低く、 $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ は0.09以下となつている。塩基性砂鉄は、これと反対に、玄武岩・安山岩類など塩基性〜中性の火成岩類を根源とするもので、 TiO_2 の含有量はやや高くなり、 $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ は0.10~0.59となつている。したがつて、含チタン砂鉄といわれる。 $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ 0.6以上のものは、チタン鉄鉱を主要鉱物とするもので、砂チタンといわれる。以上の分類にしたがうと北海道の砂鉄は、 $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ 0.10以上の含チタン砂鉄と砂チタンだけからなるといつてよい。

このような砂チタンおよび含チタン砂鉄の含有成分は、第1表のとおりである。

第 1 表

選 鉱 別	含 有 成 分	主 要 鉱 物
磁 選 精 鉱	Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺ , Ti ⁺⁺⁺⁺ , V ⁺⁺⁺ , Cr ⁺⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Mn ⁺⁺⁺ , Ni ⁺⁺ , Co ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Ca ⁺⁺ , Al ⁺⁺⁺ , Zn ⁺⁺	磁鉄鉱・磁赤鉄鉱 強磁性チタン鉄鉱・ウルボスピネル
水 洗 精 鉱 (磁性分をのぞく)	Ti ⁺⁺⁺⁺ , Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺ , Cr ⁺⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Mn ⁺⁺⁺ , S ⁻ , Cu ⁺⁺ , Au ⁺⁺⁺	チタン鉄鉱・赤鉄鉱・クロム鉄鉱・ブラウ ン鉄・水マンガン鉱・針鉄鉱・黄鉄鉱・白 鉄鉱・黄銅鉱・自然金
廃 砂	P ⁺⁺⁺⁺ , Si ⁺⁺⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Ca ⁺⁺ , Al ⁺⁺⁺ , K ⁺ , Na ⁺	石英・カリ長石・斜長石・普通輝石・紫蘇 輝石・かんらん石・角閃石・黒雲母・緑泥 石・燐灰石・柘榴石

第1表の含有成分中、下記の同系イオン列は、構造は異なつていても、イオン半径が類似しているので、イオンを置換して、同形の化合物を形成する。したがつて、強磁性の磁鉄鉱中には、Fe⁺⁺, Fe⁺⁺⁺ の主要成分のほか、V⁺⁺⁺, Cr⁺⁺⁺, Mn⁺⁺, Mn⁺⁺⁺, Ni⁺⁺, Co⁺⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, Al⁺⁺⁺, Zn⁺⁺ などの微量が含有される。



第 2 表

2.1 鉄 (T.Fe)

磁選精鉱あるいは水洗精鉱中の主要鉱物の T.Fe を理論的に計算した値は第2表のとおりである。

この計算値からみると、磁鉄鉱を主体とする磁選精鉱中には、T.Fe として 72.4% まで含有可能であるが、一般には、T.Fe 50~60% のものもつとも多い。第3表には、T.Fe 60% 以上の賦存地をしめした。

鉱 物	T.Fe (%)
磁 鉄 鉱	72.4
赤 鉄 鉱	69.9
チ タ ン 鉄 鉱	36.8
ウ ル ボ ス ピ ネ ル	50.0
強 磁 性 チ タ ン 鉄 鉱	46.6
ク ロ ム 鉄 鉱	24.9

第 3 表

賦 存 地	選 鉱 別	T.Fe (%)	TiO ₂ (%)	TiO ₂ /T.Fe
東室蘭・瑞穂鉱業イタンキ鉱山	水洗精鉱	64.44	8.59	0.13
鶴 川	原 鉱	64.41	7.25	0.11
黄 金	〃	64.34	8.86	0.14
国 縫 ・ 扶 桑 鉱 山	磁選精鉱	64.08	6.44	0.10
豊津・国縫鉱山前田現場	〃	60.94~63.77	9.65~7.16	0.16~0.11
女那川・日鉄尻岸内鉱山	〃	63.71	10.88	0.17
豊津・北日本北豊津第1鉱山	〃	60.94~63.10	8.30~4.83	0.14~0.08
豊津・長万部砂鉄鉱山	〃	63.03	6.44	0.10
余 市	〃	62.66	12.68	0.20
豊野・日鉄豊野鉱山	水洗精鉱	62.06	9.51	0.15
中ノ沢・長万部砂鉄中ノ沢鉱山	磁選精鉱	62.04	4.83	0.08
豊野・北斗豊野鉱山	〃	61.97	6.44	0.10
豊津・北日本北豊津第2鉱山	〃	61.22~61.97	7.48~6.44	0.12~0.10

賦 存 地	選 鉱 別	T.Fe (%)	TiO ₂ (%)	TiO ₂ /T.Fe	
オ小 樽 室 古 黒 黒 塩 海 鹿 古 日 賀	ビツ 岸・北 光 鉱 業 寿 都 山 床 尻 岸 内 山 岩 黒 岩 第 2 八 雲 砂 鉄 山 谷 馬 岩 丘・第 4 支 流 潭 浜 段 丘 張	シベ 磁 選 精 鉱 〃 〃 〃 水 洗 精 鉱 磁 選 精 鉱 〃 原 鉱 水 洗 精 鉱 磁 選 精 鉱 〃 原 鉱	61.71 61.50 61.49 60.98 60.85 60.79 60.70 60.63 60.50 60.31 60.14 60.13	14.72 11.60 11.97 10.40 8.05 6.98 11.80 8.05 10.50 10.64 10.56 7.25	0.24 0.19 0.20 0.17 0.13 0.11 0.19 0.13 0.17 0.18 0.18 0.12

2.2 チ タ ン (TiO₂)

第 4 表

TiO₂の濃集状態としては、つぎの四つの場合がみられる。

- (1) 水洗精鉱中に非磁性分として、いちじるしく濃集する場合。
- (2) 磁選精鉱中の磁性分にも、いちじるしく濃集する場合。
- (3) 磁選精鉱中の磁性分に、わずかに濃集する場合。
- (4) 磁選によつて、その非磁性分中にわずかに濃集する場合。

鉱 物	TiO ₂ (%)
チ タ ン 鉱 物	52.66
ウルボスピネル	35.70
強磁性チタン鉄鉱	37.10

(1) は、第 4 表に示した道内の主要チタン鉱物の TiO₂ の理論値と比較してわかるように、かなり純度の高いチタン鉄鉱を主要構成鉱物としているものである。この砂チタンの分布は、道東北部のオホーツク海沿岸(枝幸～湧別間),および天塩山地にみられる。第 5 表には、そのおもなる賦存地をしめした。

第 5 表

賦 存 地	選 鉱 別	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe
志 文 特 上 原 鉱	51.20	31.89	1.61	
沙 留 水 洗 精 鉱	42.25~48.04	35.39~37.17	1.19~1.29	
恩 根 内 〃	45.50			
恩 沙 留 〃	40.83~45.21	36.00~37.08	1.14~1.22	
栄 丘 〃	34.26~43.10	34.20~34.83	1.00~1.24	
下 川 原 鉱	41.88	37.39	1.12	
雄 武 川 尻 水 洗 精 鉱	40.62	34.74	1.17	
美 岬 水洗精鉱中の非磁性分	35.26~39.38	38.26~32.13	0.92~1.23	
志 文 原 鉱	35.80~39.30	25.81~35.31	1.39~1.11	
雄信内、 <small>ククンナイ</small> 源 水 洗 精 鉱	37.19	42.42	0.88	
枝 泉 幸 〃	36.99~37.10	31.73~33.59	1.02~1.10	
美 深 〃	33.88	28.27	1.20	
芦 別 磁選による非磁性分	33.75	16.23	2.08	
オタクムシユベ 水 洗 精 鉱	32.26	31.73	1.02	
初 山 別 〃	30.99	37.08	0.84	
ケモマナイ 〃	28.76	27.86	1.03	
穂 別 磁選による非磁性分	26.20	33.30	0.79	
渚 滑～紋 別 水 洗 精 鉱	25.80	25.18	1.02	

(2) は、強磁性チタン鉄鉱(少量の赤鉄鉱を固溶するチタン鉄鉱)の含有によるもので、この高含チタン砂鉄の分布は、道東部のオホーツク海沿岸のサロマ湖以南から根室海峡沿岸にわたつてもつとも多くみられる。この強磁性チタン鉄鉱は、(1) の砂チタン地帯のほか、噴火湾沿岸にも微量はみられる。第6表には、そのおもなる賦存地および産出地をしめた。

第 6 表

賦存地・産出地	選 鉱 別	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe
枝 幸	水洗精鉱中の磁性分	35.67	51.82	0.69
雄 信	〃	29.71	35.47	0.84
雄 武	〃	27.16	47.33	0.59
栄 川	〃	23.55	52.38	0.45
美 丘	〃	23.55	52.38	0.45
初 岬	磁 選 精 鉱	18.33~21.40	53.75~54.39	0.34~0.39
溝 山	〃	20.62	38.72	0.53
沼 別	〃	15.53~17.85	57.84~55.94	0.27~0.32

(3) は、チタン鉄鉱・ウルボスピネルなどのチタン鉱物を固溶、または、微細な網状・葉片状・格子状に離溶共生する磁鉄鉱や、強磁性チタン鉄鉱を、少量ともなうものである。前述のような固溶、あるいは離溶関係にある磁鉄鉱や、強磁性チタン鉄鉱の量が、単体分離したチタン鉄鉱に比して多い場合は、磁選によつて、T.Fe の上昇とともに TiO₂ が増加するが、反対に少ない場合は、T.Fe の上昇に対して、TiO₂ は減少している。磁選によつて、T.Fe の増加とともに、TiO₂ が増加するおもなる賦存地は、おもに、噴火湾沿岸の一部と太平洋岸の一部、亀田半島古武井附近などにみられる。それらは、第7表にしめた。しかし、実質的には、TiO₂/T.Fe の比からみると TiO₂ は、微量ではあるが、減少の方向にある。

第 7 表

賦 存 地	水 洗 精 鉱			磁 選 精 鉱		
	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe
国 縫・松 田 工 業 現 場	7.08	55.87	0.13	7.38	56.37	0.13
豊 津・北 日 本 北 豊 津 第 2 鉱 山	9.05	62.06	0.15	7.43	61.22	0.12
出 来 澗 崎	8.46	42.10	0.20	8.80	55.83	0.16
鹿 部 段 丘・第 3 支 流	9.90	55.90	0.18	10.30	58.10	0.18
幌 別・鋼 管 幌 別 鉱 山	8.00	57.00	0.14	8.81	57.04	0.15
女 那 川	10.21	58.21	0.18	10.88	63.71	0.17
古 武 井	9.41	55.89	0.17	9.61~10.40	59.38~60.98	0.16~0.17
日 ノ 浜 段 丘	10.25	52.94	0.19	10.56	60.14	0.18

なお、強磁性チタン鉄鉱を少量含有する知床半島基部の峰浜や、根室海峡沿岸などでは、強磁性チタン鉄鉱や、まえにのべたような固溶、あるいは離溶関係にある磁鉄鉱の量が、チタン鉄鉱に比べて少ないので、磁選によつて、第8表のように T.Fe の上昇に対して、TiO₂ は減少している。

第 8 表

賦 存 地	水 洗 精 鉱			磁 選 精 鉱		
	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe
峰 浜	15.69	53.80	0.29	13.10~14.45	56.47~57.28	0.23~0.25
伊 茶 仁	15.01	58.03	0.26	12.09~14.10	57.93~59.86	0.21~0.24
床 丹	20.99	50.06	0.42	12.30~19.11	53.42~54.93	0.23~0.35
ノッカマップ	—	—	—	14.31	52.32	0.27

(4) は、おもに、単体分離したチタン鉄鉱がわずかに含有されるもので、磁選によつて、比較的簡単に、チタン鉄鉱は除去される。一般には、磁選によつて、T.Fe の上昇とともに、TiO₂ は減少する。噴火湾沿岸、日本海沿岸、太平洋沿岸など、北海道の大部分の含チタン砂鉄は、このようなものが多い。その少数の例については、第9表にしめた。

第 9 表

賦 存 地	水 洗 精 鉱			磁 選 精 鉱		
	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe
中ノ沢・報國中ノ沢鉱山	8.86	53.12	0.17	8.50	58.00	0.15
中ノ沢・日曹中ノ沢鉱山	8.62	56.96	0.15	5.67	57.27	0.10
豊野・北斗豊野鉱山	8.53	53.84	0.16	8.20	58.00	0.14
豊津・国縫鉱山前田現場	8.84	61.49	0.14	7.16	63.77	0.11
豊津・北日本北豊津第1鉱山	9.32	60.93	0.15	8.30	60.94	0.14
山 崎	10.22	51.61	0.20	6.98	60.79	0.11
八雲・日鉄八雲鉱山	10.62	54.89	0.19	9.22	55.74	0.17
幌別・来馬鉱山	10.12	55.23	0.18	8.86	59.00	0.15
鶯別・日曹鶯別鉱山	11.40	53.97	0.22	9.00	56.00	0.16

また、磁選によつて、T.Fe、TiO₂ ともに減少する場合がある。これは、単体分離したチタン鉄鉱と赤鉄鉱が少量含まれているためで、その数例については、第10表にしめた。

第 10 表

賦 存 地	水 洗 精 鉱			磁 選 精 鉱		
	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe
国 縫 段 丘	14.53	56.94	0.26	11.59	55.24	0.21
鹿部段丘・本流	10.30	59.70	0.17	8.20	58.60	0.14
鹿部段丘・第4支流	10.50	60.50	0.17	8.80	56.90	0.17
豊野・日鉄豊野鉱山	9.51	62.06	0.15	3.70	58.37	0.15

北海道の含チタン砂鉄は、オホーツク海沿岸の枝幸～湧別間や、天塩山地の砂チタン地帯と、オホーツク海沿岸のサロマ湖以南、および根室海峡沿岸の高含チタン砂鉄地帯をのぞくと、その大部分は、精鉱中 TiO₂ 10% 以下であるが、これをやや超過するものもある。第11表には、これらの TiO₂ 11% 以上のものをしめた。

第 11 表

賦 存 地	水洗精鉱・高品位原鉱			磁 選 精 鉱		
	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe	TiO ₂ (%)	T.Fe (%)	TiO ₂ /T.Fe
小 平 薬	—	—	—	14.72	61.71	0.24
浜 益	11.36	49.70	0.23	—	—	—
塩 谷	12.58	50.55	0.25	10.48~11.80	60.60~60.70	0.17~0.19
余 市	16.79	56.62	0.30	11.58~12.68	59.80~62.66	0.19~0.20
樽 岸	13.45	53.08	0.25	8.27~11.60	56.41~61.50	0.15~0.19
室蘭段丘・祝津鉱床	12.16	58.71	0.21	11.97	61.49	0.20
函 館・湯ノ川	—	—	—	12.34	49.41	0.23
函 館・砂山	—	—	—	13.19	59.43	0.23
函館・報国砂鉄鉱山	15.38	54.95	0.28	—	—	—
中 村	17.87	47.65	0.38	—	—	—
穂 別	14.08	44.59	0.32	10.40~14.07	53.00~50.11	0.20~0.28
芦 別	14.65	43.05	0.34	10.23~13.60	49.74~45.56	0.21~0.30

2.3 クロム (Cr₂O₃)

Cr₂O₃ は、おもに単体分離したクロム鉄鉱として存在するもので、非磁性分中に濃集される。

このクロム鉄鉱は、天塩山地およびオホーツク海沿岸の枝幸〜サロマ湖間にもつともよくみられるものである。

天塩山地の川床型のもは、蛇紋岩を根源とするもので、Cr₂O₃ が 50 % をこえるものもあつて、砂クロム鉄床として、とりあつかわなければならないものも多い。第 12 表には、天塩山地の水洗精鉱、あるいは高品位原鉱中の Cr₂O₃ 含有量をしめた。

第 12 表

なお、川床型ではないが、これと同系の初山別 (打上型) は、Cr₂O₃ 11.35 % である。

オホーツク海沿岸の水洗精鉱についてみると、枝幸附近では、ひじょうに多く、Cr₂O₃ 13.69~15.22 % にも達するが、南下するにしたがつて減少し、音標では Cr₂O₃ 2.19 %、雄武川尻では Cr₂O₃ 1.58~2.32 %、沙留では Cr₂O₃ 0.43~0.63 %、渚滑〜紋別間では Cr₂O₃ 0.67 %、サロマ湖附近では Cr₂O₃ 0.29 % となつている。そして、美岬附近では、Cr₂O₃ tr.~0.09 % まで減少し、これから以南では、Cr₂O₃ は、ほとんどみられなくなるが、峰浜では Cr₂O₃ tr.~0.031 % となつている。さらに、知床半島をこえると、Cr₂O₃ はまずないといつてよいが、伊茶仁で

賦 存 地	Cr ₂ O ₃ (%)
平 賀 内	50.45
浅 茅 野	27.55
ケ モ マ ナ イ	9.18~26.14
兵 安 内	20.05~21.78
泉 源	6.02~20.80
松 音 知	4.87~20.12
ロ ク シ ナ イ	5.46
下 川	0.02~ 1.58
美 深	0.24~ 0.59

は Cr₂O₃ none~0.006 %、床丹では Cr₂O₃ 0.011 %、根室では Cr₂O₃ tr. となつている。ようするに、Cr₂O₃ は海流の影響で、北から南に減少している。これは、枝幸の北にあるクッチャロ湖附近に賦存する砂クロム鉄床や、

第 13 表

賦 存 地	Cr ₂ O ₃ (%)
新 冠 ~ 浜 获 伏	1.56
樽 岸	0.20
豊津・北日本北豊津鉱山	0.43
黒 岩	0.03~0.05
檜 法 華	tr.
鹿部段丘・第 2 支流	tr.
日 ノ 浜 段 丘	tr.
古 武 井	0.007
芦 別	0.11
穂 別	0.13

中頓別附近の砂クロム鉄床地帯から流出する頓別川によつて運びだされた砂クロムの影響によるものと考えられる。このことは、クッチャロ湖の北の浜鬼志別になると、Cr₂O₃ が 4.14 % と減少していることからもうかがわれる。このほか、背後の段丘では、枝幸附近では Cr₂O₃ 1.76 %、栄丘では Cr₂O₃ 1.12~1.18 % が含まれている。さらに、奥地の山岳型の志文にも、Cr₂O₃ tr.~0.18 % が含まれているが、これは、新第三紀中新世に、すでに、蛇紋岩の剝削がはじまつていたことをしめすものとして、注目される。なお、オホーツク海沿岸の川床型では、オタコムシユベでは Cr₂O₃ none、恩沙留では Cr₂O₃ 0.09~0.12 %、恩根内では Cr₂O₃ 0.14 % が含有されている。

第 14 表

賦 存 地	Cr ₂ O ₃ (%)
幌 別・銅管幌別鉱山	0.35
余 市	0.18
豊津・国縫鉱山前田現場	tr.
北 豊 津 段 丘	0.01
女 那 川	0.25

以上のほか、水洗精鉄鉱中に、Cr₂O₃ の含有が知られている地域は、第 13 表のとおりである。また、磁選精鉱中に Cr₂O₃ の含有が知られている地域は、第 14 表のとおりである。

また、水洗精鉱中の非磁性分としては、室蘭段丘の祝津鉄床では Cr₂O₃ 1.04 %、豊津の国縫鉱山前田現場では Cr₂O₃ 0.04 %、樽岸では Cr₂O₃ 0.40 % の含有が知られている。

近年、Cr₂O₃ を含む磁鉄鉱が報告⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾⁽²⁸⁾ されているが、これは、Fe⁺⁺⁺ の一部を Cr⁺⁺⁺ が置換したためと思われるもので、FeO・(Fe, Cr)₂O₃ の化学組成のものと考えられる。これは、一般に、蛇紋岩中の磁鉄鉱に多いが、蛇紋岩地域と全く無関係な噴火湾沿岸や、日本海沿岸、太平洋沿岸などの磁鉄鉱の

一部にも、きわめて、微量ではあるがみられることがある。

2.4 バナジン (V₂O₅)

北海道のバナジンの存在状態については、第 15 表の分析値からみると、磁性分中に濃集するものとそうでな

いものがある。

磁性分中に濃集するものとしては、中央山地の穂別、天塩山地の雄信内などにみられるが、両者とも、Vの値は、ほぼ同じである。また、美岬の場合は、磁性分中でも磁鉄鉱(V 0.10%)の方が強磁性チタン鉄鉱(V 0.07%)よりも、Vの値は高くなっている。磁鉄鉱中のVの含有状態については、 V^{+++} と Fe^{+++} のイオン半径が類似していることから、 Fe^{+++} の一部を V^{+++} が置換して存在するものと考えられ、したがって、その含バナジウム磁鉄鉱の化学組成は、 $FeO \cdot (Fe, V)_2O_3$ となる*。Hutton, C.O.⁵⁵⁾によれば、チタン鉄鉱が完全に晶出した後に、残液中のVが、磁鉄鉱にとりまわって、その格子中に入るものとしている。なお、混溶度に関しては、完全な固溶体をなさず、きわめて小さいといわれている。

非磁性分中に濃集するものとしては、美岬をはじめ、オホーツク海沿岸に多いが、これは、赤鉄鉱および赤鉄鉱と固溶体をなすチタン鉄鉱中のものと考えられるが、その存在状態については、まだ、明らかでない。

第 15 表

賦 存 地	V (%)		賦 存 地	V (%)	
	水 洗 精 鉱	磁 選 精 鉱		水 洗 精 鉱	磁 選 精 鉱
枝 幸	0.19	—	山 崎	—	0.15~0.23
沙 留	0.35~0.50	—	八 雲	0.26	0.18~0.20
渚 滑	0.26	—	石 倉	0.16	—
紋 別	0.30	—	出 来 瀨 崎	—	0.19
元 紋 別	0.30	—	鹿 部 段 丘	—	0.25~0.41
恩 根 内	0.36	—	榎 法 華	0.09	—
美 岬	0.25*	0.09**	古 武 井	0.24~0.37	0.29
雄 信 内	0.03	0.36**	女 那 川	—	0.40
初 山 別	0.19	—	日 ノ 浜 段 丘	0.18	—
余 市	—	0.12	東 室 蘭	0.18	—
樽 岸	—	0.34	室 蘭 段 丘 ・ 祝 津 鉄 床	—	0.22~0.29
長 万 部	0.26	—	幌 泉	0.19	—
国 縫	—	0.15~0.23	志 文	0.01	—
北 豊 津 段 丘	—	0.07~0.20	穂 別	tr.***	0.36

* 水洗精鉱中の非磁性分 ** 水洗精鉱中の磁性分 *** 高品位原鉱

つぎに、品位の点から北海道のVをみると、日本の砂鉄のVの平均0.06~0.22%に比べて、かなり高い値をしめている。とくに、オホーツク海沿岸の沙留~美岬間と、樽岸、鹿部段丘、古武井、女那川、穂別は高い値をしめている。

2.5 マンガン (Mn)

Mnは、がいして、磁性分に濃集する場合の方が多いようである。これは、 Fe^{++} の一部を Mn^{++} が置換したためと思われる。したがって、このような含マンガン磁鉄鉱は、 $(Fe, Mn)O \cdot Fe_2O_3$ の化学組成をもつものと考えられる。そのMnの量が微量なので、ヤコブス鉱(Jacobsite, $MnO \cdot Fe_2O_3$)などの存在は考えられない。また、非磁性分中のMnについては、その存在状態が、まだ、明らかにされていない。

第16表には、北海道各地のMnの含有量をしめた。

* バナジウム鉱物として、カルノー鉱(Carnotite, $K_2O \cdot 2UO_3 \cdot 2V_2O_5 \cdot 8H_2O$)が、天然でもつともよくみられるが、わが国では、これらのバナジウム鉱物を主とする鉄床は、全く知られず、また砂鉄中にも、その存在は認められていない、したがって、砂鉄中のバナジウムは、 V_2O_5 として、あらわされるべきである。

第 16 表

賦 存 地	Mn (%)		賦 存 地	Mn (%)	
	水 洗 精 鉱	磁 選 精 鉱		水 洗 精 鉱	磁 選 精 鉱
鶯 別	0.37~0.44	—	落 部	0.46	—
中 ノ 沢	0.40~0.58	0.54~0.56	石 倉	0.64	—
国 縫	0.48~0.57	—	砂 原	0.39~0.69	—
豊 野	0.43~0.59	—	砂 崎	0.39~0.42	—
豊 津	0.54~0.56	0.55~0.62	出 来 潤 崎	0.39~0.46	—
黒 岩	0.40~0.58	—	古 武 井	0.62~0.80	—
山 崎	0.48	—	函 館	0.54~0.60	—
八 雲	0.42~0.65	0.52	沙 留	0.37	—
山 越	0.43~0.47	—	峰 浜	1.97	—
野 田 生	0.44	—	穂 別	tr.*	—

* 高品位原鉱

上記の結果によると、峰浜の Mn 1.97%が最高で、そのほかの地域は、ほとんどが Mn 0.4~0.6%となつて

2.6 燐 (P₂O₅)

P は、おもに燐灰石の存在によるものであるが、貝殻片の P も見のがせない。したがって、廃砂の中に濃集される。第 17 表には、北海道各地の P の含有量をしめした。

第 17 表

賦 存 地	P (%)		賦 存 地	P (%)	
	水 洗 精 鉱	磁 選 精 鉱		水 洗 精 鉱	磁 選 精 鉱
中 ノ 沢	0.11~0.035	0.08~0.20	古 武 井	0.03~0.08	—
国 縫	0.23~0.28	0.12	女 那 川	0.11~0.16	0.03
豊 野	0.14~0.42	0.09~0.11	日 ノ 浜 段 丘	0.07	—
豊 津	0.18~0.28	0.10~0.21	函 館	0.16~0.37	—
国 縫 段 丘	—	0.02	幌 泉	0.05	—
黒 岩	0.19~0.38	0.26	賀 張	tr.	—
山 崎	0.30	0.26	白 老	0.07	—
八 雲	0.28~0.37	0.29	幌 別	0.17	0.04~0.20
山 越	0.24~0.38	—	鶯 別	0.21~0.36	0.15
野 田 生	0.24~0.31	—	室 蘭 段 丘	—	0.09
落 部	0.23	—	塩 谷	tr.~0.33	—
石 倉	0.08~0.09	—	余 市	tr.	—
砂 原	0.05~0.37	—	樽 岸	—	0.07~0.17
砂 崎	0.30~0.37	—	沙 留	0.03	—
出 来 潤 崎	0.28~0.34	—	美 岬	0.004~0.034	—
鹿 部 段 丘	—	tr.~0.07	峰 浜	tr.	—
中 ノ 川	0.01	—	穂 別	tr.~0.05*	0.09
椴 法 華	0.08	—			

* 高品位原鉱

以上の結果によると、北海道各地の磁選精鉱中のPは、0.1%前後のものが多いが、噴火湾沿岸の黒岩～八雲間では、やや高い値をしめしている。とくに、Pの低いところは、オホーツク海沿岸、および日高沿岸である。

2.7 硫 黄 (S)

Sの存在状態については、まだ明らかにされていない。その含有量は、ほとんどが0.1%以下の微量なので、有害成分として、それほど考慮する必要がない。S 0.1%以上のものとしては女那川、白老がある。第18表には北海道各地のSの含有量をしめた。

第 18 表

賦 存 地	S (%)		賦 存 地	S (%)	
	水 洗 精 鉱	磁 選 精 鉱		水 洗 精 鉱	磁 選 精 鉱
中ノ沢	0.003~0.08	0.05~0.10	鹿部段丘	—	none
国縫	0.007~0.03	0.07	古武井	0.02	—
豊野	0.007~0.08	0.08	女那川	0.28~0.31	—
豊津	0.02~0.03	0.06~0.10	函館	0.007~0.06	—
国縫段丘	—	0.004	賀張	0.08	—
黒岩	0.007~0.10	—	白老	0.13	—
山崎	0.01	—	幌別	0.06	0.07
八雲	0.003~0.06	0.05	鷲別	0.003~0.09	—
山越	0.006~0.06	—	室蘭段丘	—	0.03
野田生	0.007~0.02	—	浜益	0.05	—
落部	0.007~0.01	—	塩谷	tr.~0.03	—
石倉	0.04	—	余市	tr.	—
砂原	0.003~0.08	—	樽岸	—	0.01
砂崎	0.007~0.03	—	沙留	0.02	—
出来潤崎	0.003~0.03	0.07	穂別	tr.~0.04*	—

* 高品位原鉱

2.8 銅 (Cu)

高炉用の砂鉄鉱石としては、Cu 0.005%以下がのぞまれる。Cuに関する分析資料については、きわめて少ないが、水洗精鉱についてみると、噴火湾沿岸の黒岩ではCu 0.003%, 八雲ではCu 0.005%, 砂原ではCu 0.005%, 古武井ではCu 0.010~0.013%, オホーツク海沿岸の峰浜では、noneとなつている。各地とも、微量である。

2.9 金 (Au)

オホーツク海沿岸の枝幸海岸や、雄武栄丘海岸・沙留海岸では、かつて微量の砂金が発見されたといわれている。また、噴火湾沿岸の北日本北豊津鉱山で、試験掘の原鉱中に分析でAu tr.を検出したことがある。²⁰⁾

そのほかの含有成分として、砂白金 (Ir+Os)²¹⁾が天塩山地の中頓別・雄信内・下川附近、日本海沿岸の初山別・小平薬附近、日高の鶴川・門別・穂別附近にみつけられている

3 TiO₂ と T.Fe の関係

TiO₂/T.Feが0.18以下のものは、高炉用として、TiO₂/T.Feが0.30以下のものは、電気炉用として利用される。沖積世の砂チタンおよび含チタン砂鉄について、各地域別にTiO₂/T.Feの関係をしめすと第19表のとおりである。

第19表の結果から、沖積世の海浜および川床の砂チタンおよび含チタン砂鉄を、水洗精鉱および高品位原鉱についてみると、オホーツク海沿岸の枝幸～湧別間、および天塩山地の大部分、日本海沿岸の初山別は、TiO₂/T.Feが高く、砂チタンに属し、オホーツク海沿岸のサロマ湖～峰浜間、および根室海峡沿岸、亀田半島沿岸の中村～函館間、日本海沿岸の塩谷～余市間は、ややTiO₂/T.Feが高く、高含チタン砂鉄に属する。のこりの噴火湾沿岸、

第 19 表

地	域	TiO ₂ /T.Fe	
		水洗精鉱・高品位原鉱	磁選精鉱
噴火湾沿岸	黄金～虻田	0.14～0.20	—
	中ノ沢～黒岩	0.11～0.17	0.10～0.15
	山崎～石倉	0.14～0.20	0.15～0.17
亀田半島沿岸	砂原～折戸川	0.16～0.20	0.16～0.17
	中ノ川～綴法華	0.14～0.16	—
	古武井～女那川	0.13～0.19	0.15～0.17
	中村～函館	0.28～0.38	0.23
日高沿岸	幌泉～浜萩伏	0.13～0.14	—
	新	0.20～0.22	—
	海馬岩～鵠川	0.11～0.14	—
太平洋沿岸	苫小牧～鷲別	0.14～0.23	0.15～0.18
日本海沿岸	初山別	0.84	0.53
	小平薬	—	0.24
	浜益	0.23	—
	古潭～望来	—	0.18～0.19
	塩谷～余市	0.25～0.30	0.17～0.20
	島古丹～樽岸	0.19～0.25	0.15～0.19
オホーツク海沿岸	枝幸～紋別	1.02～1.29	0.45～0.69
	サロマ湖～美岬	0.39～0.46	0.34～0.39
	濤釣沼～峰浜	0.23～0.29	0.25～0.27
根室海峡沿岸	伊茶仁～床丹	0.23～0.42	0.23～0.35
	根室(ノツカマップ)	0.27	0.27
天塩山地	雄信内(ロクシナイ・泉源)	0.62～0.88	0.84
	美深	1.12	—
	下川	1.20	—
	ケモマナイ	1.03	—
	兵安内	0.36	—
	松音知・平賀内	0.01～0.03	—
	浅茅野	—	0.03

亀田半島沿岸，日本海沿岸，日高沿岸などは，ほぼ，TiO₂/T.Fe は，類似した値をしめしているが，噴火湾沿岸のものに比べて，日本海沿岸ものがやや高い値をしめしている。以上の砂チタンおよび含チタン砂鉄地帯に対して，いちじるしく TiO₂/T.Fe の低い値のものが，天塩山地の中頓別附近にみられる。これらの結果は，ひじょうに背後地の地質を反映しているが，詳細については別の機会に報告する。なお，参考までに，島根県で原地残留鉄床としてみられる，黒雲母花崗岩地域の真砂 (TiO₂/T.Fe 0.02)，および花崗閃緑岩地域の赤目 (TiO₂/T.Fe 0.10～0.12) に比較してみると，TiO₂/T.Fe の値は高くなっている。

つぎに、地質時代別に $TiO_2/T.Fe$ の関係をしめすと第 20 表のとおりである。

第 20 表の結果から、各地質時代の砂チタンおよび含チタン砂鉄を、水洗精鉱および高品位原鉱についてみると、沖積世のそれぞれの地域に対応するものは、洪積世、鮮新世、中新世をとおして、 $TiO_2/T.Fe$ の値には、あまり大差がみられない。ただ、上部白堊紀層中のものは、現在の日高沿岸にみられる含チタン砂鉄に比べて、 $TiO_2/T.Fe$ は、やや、高い値をしめている。そして、北上山地の古生代二疊紀層中の含チタン砂鉄 ($TiO_2/T.Fe$ 0.23~0.33)* に、ほぼ類似している。

つぎに、磁選精鉱について、北海道各地のものをみると、オホーツク海沿岸の枝幸~峰浜間、および天塩山地の雄信内附近、日本海沿岸の初山別附近、および根室海峡沿岸、日本海沿岸の小平藁附近などは、強磁性チタン鉄鉱の存在によつて、 $TiO_2/T.Fe$ はかなり高くなつてい

る。また、亀田半島沿岸の中村~函館間なども、 $TiO_2/T.Fe$ が、やや、高くなつてい

る。そのほかの地域は、ほとんどが、 $TiO_2/T.Fe$ 0.10~0.21 の範囲にある。上部白堊紀層中の穂別、芦別の磁選精鉱も、 $TiO_2/T.Fe$ が、やや高くなつてい

るが、これは、さらに、磁選をくりかえすと、 $TiO_2/T.Fe$ は、0.19~0.20 まで下がり、磁鉄鉱としては、成分的に、現在の低含チタン砂鉄とあまりかわりないことがわかつた。なお、噴火湾沿岸地域の根源の一つである、落部川上流鍋岳附近の中新世の角閃石安山岩から抽出された磁鉄鉱(分析値…… TiO_2 8.54%, FeO 30.80%, Fe_2O_3 49.20%)は、 $TiO_2/T.Fe$ が 0.15 で、現在、噴火湾沿岸にみられる含チタン砂鉄の磁性分の $TiO_2/T.Fe$ と一致している。また、天塩山地の浅茅野の蛇紋岩から抽出された磁鉄鉱(分析値…… TiO_2 1.14%, FeO 25.29%, Fe_2O_3 30.03%)は、 $TiO_2/T.Fe$ が 0.03 で、きわめて、 $TiO_2/T.Fe$ が低いものであることがわかつた。中頓別附近の一部に、いちじるしく $TiO_2/T.Fe$ の低いのがみられるのは、おそらく、このような磁鉄鉱の存在によるものであろう。

4 $TiO_2-FeO-Fe_2O_3$ の 3 成分系

北海道の砂チタンおよび含チタン砂鉄鉱床中には、主要鉱石鉱物として、磁鉄鉱 (Magnetite, $FeO \cdot Fe_2O_3$)・チタン鉄鉱 (Ilmenite, $FeO \cdot TiO_2$)・赤鉄鉱 (Hematite, $\alpha-Fe_2O_3$)などが知られ、これらの鉱物は、互いに、葉片状、格子状などの離溶共生や、固溶体をなしてみられる。さらにこれらの鉱物は、磁鉄鉱→マグヘマイト (Magnetite, $r-Fe_2O_3$)→赤鉄鉱→針鉄鉱 (Goethite, $\alpha-Fe_2O_3 \cdot H_2O$) や、チタン鉄鉱→白チタン石 (Leucoxene) + 酸化鉄の酸化変質を行なつてい

る。また、最近では、チタン鉄鉱中に少量の赤鉄鉱を固溶した磁チタン鉄鉱 (Magilmenite, $2Fe_2O_3 \cdot 5(FeO \cdot TiO_2)$) といわれる強磁性チタン鉱物の存在が認められ、²⁴⁾ また、磁鉄鉱中に微細な網状、あるいは、不規則に三方向に交差する格子状をなす弱磁性のウルボスピネル (ulvöspinel, $2FeO \cdot TiO_2$) の存在が、明らかになつた。以上の鉱石組織や、磁性チタン鉱物の存在は、選鉱上も、きわめて重要なことであるが、詳細については、別に報告する。

$TiO_2-FeO-Fe_2O_3$ の 3 成分系については、古くから、Singewald, J. T.⁴⁹⁾ や Ramdohr, P.⁵⁰⁾⁵³⁾ などの鉱石顕微鏡的研究をはじめとして、多くの研究者によつて、鉱石組織・人工合成などの面から、固溶体形成の関係や、

第 20 表

地 質 時 代	地 域	$TiO_2/T.Fe$		
		水洗精鉱・ 高品位原鉱	磁選精鉱	
第 四 紀	栄原 国縫 北豊 日ノ 室浜 具取 枝幸 栄丘	—	0.18	
		0.21~0.26	0.21	
		—	0.17	
		0.13~0.19	0.16	
		0.17~0.21	0.20	
		—	0.13	
		0.72	—	
下部洪積世	鹿部	1.06~1.16	—	
		0.13~0.18	0.14~0.18	
新 第 三 紀	鮮新世	中里	—	0.16
	中新世	志文	1.11~1.69	—
上部白堊紀	穂別 芦別	0.31~0.32	0.28	
		0.29~0.35	0.30	

* 磁選精鉱。

第 21 表

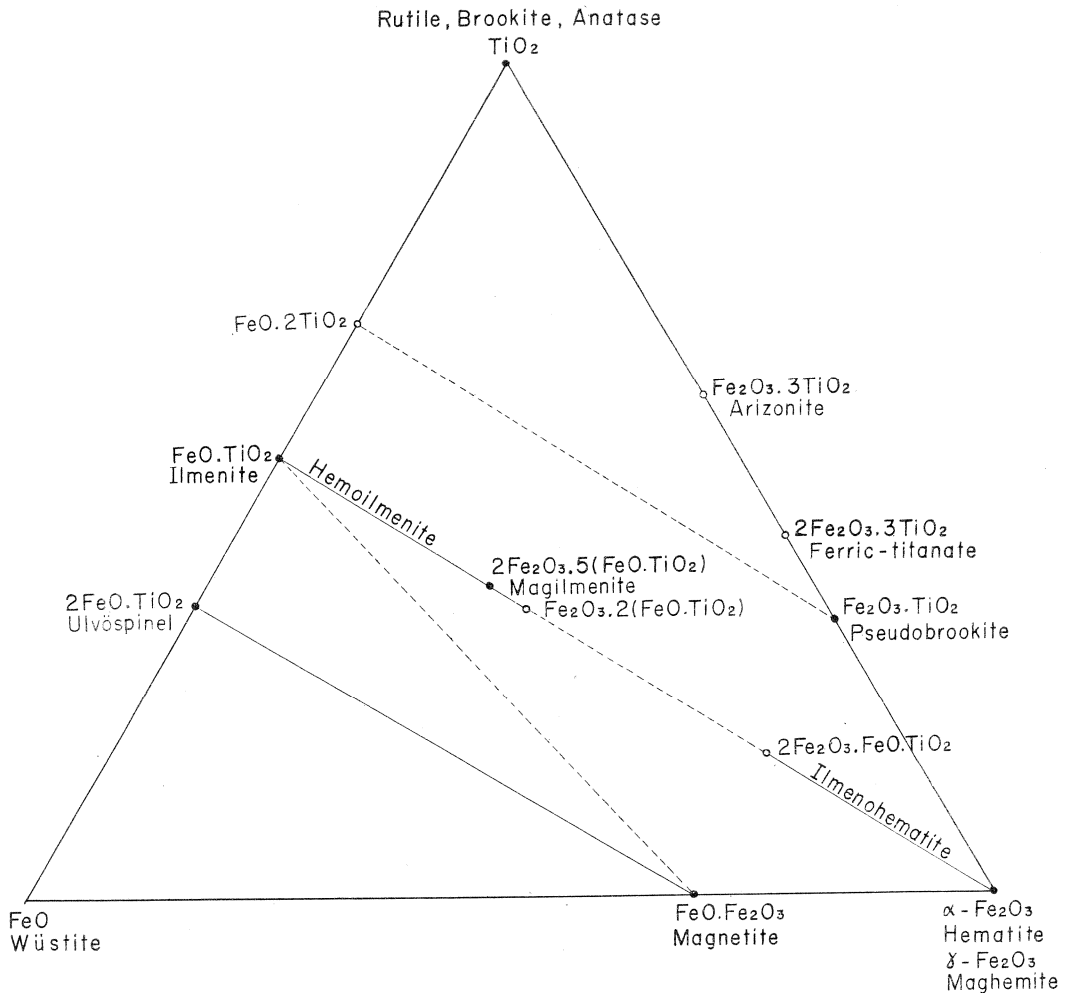
鉱物名 Mineral name	化学成分 Chemical composition	理論値 Theoretical value	結晶系 Crystal system (6)	結晶構造 Structure cell (26) (57)	空間格子 Space lattice (26)	格子恒数 Grating constant (38) (57) (63)	硬度 Hardness (63)	比重 Specific gravity (63)	磁性 Magnetism (57)	キュリー度 Curie point (57)
磁鉄 Magnetite	鉄 FeO, Fe ₂ O ₃ (Fe ₃ O ₄)	FeO……31.03% Fe ₂ O ₃ ……68.97%	等軸	逆スピネル型	面心	a ₀ =8.374±0.003kX	5.5 ~6.5	5.18 ~5.20	強磁性	578°C
赤鉄 Hematite	鉄 α-Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ……100%	六方 (三方)	コランダム型	菱面体	a ₀ =5.029kX c ₀ =13.73kX a=55°17'	5.0 ~6.0	5.26	反強磁性	
磁赤鉄 Maghemite	鉄 γ-Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ……100%	等軸	逆スピネル型	面心	a ₀ =8.31±kX	5.0		強磁性	675°C
チタン鉄 Ilmenite	鉄 FeO, TiO ₂ (Fe TiO ₃)	FeO……47.34% TiO ₂ ……52.66%	六方 (三方)	チタン鉄鉱型	菱面体	a ₀ =5.083kX c ₀ =14.04kX a=54°50'	5.0 ~6.0	4.68 ~4.79	反強磁性	
ウルボスピネル Ulvöspinel	鉄 2FeO, TiO ₂ (Fe ₂ TiO ₄)	FeO……64.30% TiO ₂ ……35.70%	等軸	スピネル型		a=8.534Å			常磁性	200°C以下 ?
磁チタン鉄 Magilmenite	鉄 2Fe ₂ O ₃ , 5 (FeO, TiO ₂) (Fe ₉ Ti ₅ O ₂₁)	FeO……33.30% Fe ₂ O ₃ ……29.60% TiO ₂ ……37.10%		菱面体		a=5.07Å c=13.94Å			強磁性	100°C± ?
偽板チタン石 Pseudobrookite	鉄 Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ (Fe ₂ TiO ₅)	Fe ₂ O ₃ ……66.65% TiO ₂ ……33.35%	斜方		底心	a ₀ =9.79kX b ₀ =9.93kX c ₀ =3.725kX	6.0	4.39		
金紅石 Rutile	鉄 TiO ₂	TiO ₂ ……100%	正方	ルチル型	単純	a ₀ =4.58kX c ₀ =2.95kX	6.0 ~6.5	4.23 ±0.02	常磁性	
板チタン石 Brookite	鉄 TiO ₂	TiO ₂ ……100%	斜方		単純	a ₀ =5.436kX b ₀ =9.166kX c ₀ =5.135kX	5.5 ~6.0	4.14 ±0.06		
鋭錐 Anatase	鉄 TiO ₂	TiO ₂ ……100%	正方		体心	a ₀ =3.73kX c ₀ =9.37kX	5.5 ~6.0	3.90		
アリゾナ石** Arizonite	鉄 Fe ₂ O ₃ , 3TiO ₂ (Fe ₂ Ti ₃ O ₉)	Fe ₂ O ₃ ……39.99% TiO ₂ ……60.01%	単斜?				5.5	4.25		
フェリックチタネート** Ferric-titanate	鉄 2Fe ₂ O ₃ , 3TiO ₂ (Fe ₄ Ti ₃ O ₁₂)	Fe ₂ O ₃ ……57.15% TiO ₂ ……42.85%	正方			a=9.30Å c=9.50Å			弱磁性	240°C
* ウスタイト*	鉄 FeO, 2TiO ₂ (Fe Ti ₂ O ₅)	FeO……31.00% TiO ₂ ……69.00%	斜方			a=9.810Å b=9.990Å c=3.722Å	6.0	4.78		
ウスタイト* Wüstite	鉄 FeO	FeO………100%	等軸	岩塩型	面心	a ₀ =4.29kX		6.0	常磁性(-75°C 以下で反強 磁性)	

* 人工鉱物 ** 存在が不確実な鉱物

離溶を起す範囲などについて、研究が進められてきている。しかし、各鉱物間には、多様な共生関係がしめされているため、いまだに、完全な平衡図は完成するに至っていない。最近の研究としては、エジプトのカイロ大学の Basta, E. Z.⁷²⁾⁷³⁾ の研究が目立ち、各成分系の平衡関係や、固溶体の形成範囲が、かなり明らかになりつつある。

4.1 TiO₂-FeO-Fe₂O₃ 系の鉱物と固溶関係

現在までに、天然あるいは人工合成によつて知られている鉱物は、第21表のとおりである。このほか天然に、FeOあるいはFe₂O₃を10%以上含む金紅石として、イルメノルチール (Ilmenorutile) といわれる鉱物が知られている。⁵⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾ 第2図は、各鉱物の理論値を計算し、それを基準として、作成した3成分系のダイアグラムである。実線は完全固体の形成範囲をしめしてある。



第2図 TiO₂-FeO-Fe₂O₃系鉱物の三角ダイアグラム

Fig. 2 Diagram of TiO₂-FeO-Fe₂O₃ mineral systems.

4.1.1 2FeO·TiO₂-FeO·Fe₂O₃系

この系列は、鉱石組織・合成実験・X線廻折の上から、完全固溶体をなすことが、一致した見解として、多くの学者によつて支持されている。この系列の鉱物の結晶形は、等軸晶系に属する逆スピネル型で、化学組成の変化とともに格子恒数・キュリー温度・磁性は、第22表のとおりに変化する。⁴⁰⁾

第 22 表

2FeO, TiO ₂ mol. %	0	8	10	18	25	42	100
格子恒数 Å	8.413	8.420	8.428	8.43	8.44	8.46	8.54
Curie 温度 °C	575	524	485	475	468	230	—
磁性	強 ←—————→ 弱						

ウルボスピネル (2FeO, TiO₂) については、1939年に、Grive, J. と White, J.* の TiO₂-FeO 系の平衡図に、すでに、その存在が認められ、また、Goldschmidt, V. M.⁵⁰⁾ も、この鉱物を人工的に合成している。しかし、実際に天然にみつかつていなかったため、その存在は確実視されていなかった。その後、1946年に Mogensen, E.⁵⁰⁾ が、北部スウェーデンの Ångermanlond 群島の Ulvö Islands で、2FeO, TiO₂ のスピネル型の鉱物が磁鉄鉱中に離溶して存在することを発見したので、その存在は、確実視されるに至った。この鉱物についての詳細な研究は、近年、Ramdohr, P.⁵⁸⁾ によつて行なわれている。

4.1.2 FeO, TiO₂-Fe₂O₃ 系

この系列の両端の鉱物は、ともに六方晶系で、格子恒数も類似しているため、固溶体をなすものと思われる。Pouillard, E.** によれば、Fe₂O₃ は、FeO, TiO₂ を 2Fe₂O₃, FeO, TiO₂ まで固溶し、FeO, TiO₂ は、Fe₂O₃ を Fe₂O₃ · 2 (FeO, TiO₂) まで固溶するとし、それぞれ、固溶限界をみとめている。この系列中で、Fe₂O₃ · 2 (FeO, TiO₂) 附近の化学組成のものは、強磁性をもつことが、平社敬之助ら³⁸⁾ や、竹内常彦ら³⁹⁾ によつて報告され、平社敬之助³⁹⁾ は、美岬産の 2Fe₂O₃ · 5 (FeO, TiO₂) の化学組成をもつ鉱物に対して、磁チタン鉄鉱 (Magilmenite) と命名している。

4.1.3 FeO, TiO₂-FeO, Fe₂O₃ 系

この系列については、古くから天然鉱石について、鉱石組織の上から多くの報告⁵⁰⁾⁶⁰⁾⁶¹⁾ がなされているが、近年、両端鉱物の結晶形のちがいがから、相互の固溶度は、かなり小さいことが予想されるに至った。このことは、1946年の Mogensen, E.⁵⁰⁾ の合成実験でも確かめられているが、最近の Basta, E. Z.⁷²⁾ の研究によると、1050°C で、磁鉄鉱中に 10% 以上のチタン鉄鉱の固溶をみとめていない。

4.1.4 FeO, 2TiO₂-Fe₂O₃, TiO₂ 系

この系列では、FeO · 2TiO₂ は、人工鉱物で、Fe₂O₃ · TiO₂ は、天然鉱物としてみとめられているものである。平社敬之助ら³⁸⁾⁴²⁾ の研究では、両者は、ともに斜方晶系で、格子恒数も、ひじょうに類似し、両者間には、相互固溶が予想されているが、この合成がひじょうに困難であることと、格子恒数の差が小さいことなどから、両者間の固溶性については、まだ確認されていない。

4.1.5 FeO-Fe₂O₃ 系

FeO は、1300°C~575°C では、固体相として安定であるが、常温では、不安定なため存在しない。FeO-FeO · Fe₂O₃ の関係は、古くから実験が行なわれているが、まだ一致した見解は、えられていない。現在の見解としては、FeO · Fe₂O₃ の結晶格子は、放浪酸素原子の存在を許すほどの空孔をもたないから、FeO-FeO · Fe₂O₃ の固溶体は、無理であると考えられている。FeO · Fe₂O₃-Fe₂O₃ との関係は、天然の鉱石において、多く認められ、鉱石組織の上から多くの報告がなされている。また、最近では、Basta, E. Z.⁷²⁾ によつて、詳細な研究が行なわれている。

4.1.6 TiO₂-Fe₂O₃ 系

この系列では、両端の鉱物をのぞいて、確実視されているのは、Fe₂O₃ · TiO₂ の化学組成をもつ鉱物だけである。すなわち、Pesce, E.⁵¹⁾ や、Ernst, T.⁵⁴⁾ らは、この系列の合成実験で、Fe₂O₃ · TiO₂ のみを合成し、Fe₂O₃ ·

* Grive, J. and White, J. (1939): Jour. Roy. Tech. Coll. (Glasgow), 4, 441.

** Pouillard, E. (1950): Ann. de Chimie, 5, 191~193.

3 TiO₂ に相当する化学組成の化合物は合成できなかつたと報告している。平社敬之助³⁹⁾の合成実験でも同様である。また、最近、Lynd, L. E.⁴⁰⁾らが、X線廻折の結果から、Fe₂O₃·3TiO₂の化学組成をもつ、アリゾナ石といわれていたものは、チタン鉄鉱の風化変質物であることを認め、アリゾナ石の存在を認めていない。したがって、現在では、1909年に、Palmer, C.⁴⁵⁾が発見したFe₂O₃·3TiO₂の化学組成をもつアリゾナ石や、Pouillard, E.*が合成したという2FeO₃·3TiO₂の化学組成をもつフェリックチタネートの存在は、認められていない。

4.1.7 TiO₂-FeO 系

この系列の中の鉱物として、2FeO·TiO₂の化学組成をもつウルボスピネルや、FeO·TiO₂の化学組成をもつチタン鉄鉱は、天然においても、人工合成でも存在するので問題はないが、このなかに、FeO·2TiO₂の化学組成をもつ化合物が人工的に合成されている。^{**} このFeO·2TiO₂に近い組成の鉱物としては、天然では伊藤貞市¹³⁾ 桜井欽一⁴⁾、井川正雄⁴⁾の報告しているイルメノルチールが知られている。^{***}

4.2 TiO-FeO-FeO₃ 系 ダイアグラムにおける北海道の水洗精鉱・高品位原鉱

第3図にプロットされた水洗精鉱および高品位原鉱は、現地に濃集された重鉱物全体の化学組成をあらわすものである。これを地域ごとに比較してみると、オホーツク海沿岸の枝幸～湧別間のものは、チタン鉄鉱-赤鉄鉱系列のチタン鉄鉱側に、穂別、芦別などの上部白雲紀層中のものは、同系列の赤鉄鉱側にプロットされる。またオホーツク海沿岸のサロマ湖および美岬のものは、チタン鉄鉱-磁鉄鉱系列のほぼ中間にプロットされ、噴火湾沿岸の大部分は、同系列の磁鉄鉱側にプロットされる。そして、知床半島基部の峰浜、伊茶仁、および根室半島のノッカマップのものは、ほぼ、この中間にプロットされる。日本海沿岸の島古丹、日高沿岸、噴火湾沿岸の山崎、山越、石倉、および亀田半島沿岸の出来潤崎、臼尻、古武井の一部は、ウルボスピネル-磁鉄鉱系列プロットされる。なお、参考までに、島根県の花崗岩地域の原地残留鉄床の真砂・赤目などをプロットすると、これは、純粋な磁鉄鉱に、もつとも近接している。

4.3 TiO₂-Fe-Fe₃系ダイアグラムにおける北海道の磁性鉱物・非磁性鉱物

第4図にプロットされた磁性鉱物は、200~500 gaussの低磁選をしてえた磁性分であり、非磁性鉱物は、水洗精鉱を磁選した後の非磁性分である。したがって、磁性鉱物中には、磁鉄鉱と少量の強磁性チタン鉄鉱が含まれ、非磁性鉱物中には、チタン鉄鉱、赤鉄鉱と微量のクロム鉄鉱^{****}が含まれている。しかし、実際には、磁性鉱物は、天塩山地およびオホーツク海沿岸、根室海峡沿岸地域以外は、磁鉄鉱の組成をあらわすものと考えてよく、また、非磁性鉱物は、オホーツク海沿岸のものにかぎりチタン鉄鉱の組成をあらわすものと考えてよい。

まず、磁性鉱物について、このダイアグラムでみると、オホーツク海沿岸の川尻には、強磁性チタン鉄鉱の存在がみとめられ、また、美岬には、磁性鉱物として、磁鉄鉱と強磁性チタン鉄鉱の両者の存在がみとめられる。知床半島基部の峰浜、伊茶仁にもこの傾向がみとめられる。

つぎに噴火湾沿岸のものについてみると、その大部分の磁鉄鉱は、少量のチタン鉄鉱を固溶するチタン鉄鉱-磁鉄鉱系列のものであり、ウルボスピネル-磁鉄鉱系列のものは、北豊津段丘だけである。このウルボスピネル-磁鉄鉱系列の磁鉄鉱は、おもに、日本海沿岸の余市、塩谷、樽岸などであるが、太平洋沿岸の幌別、鷲別や、亀田半島沿岸の出来潤崎、古武井、女那川、日ノ浜段丘などもこの系列のものがみられる。そのほか、道東地域の磁鉄鉱も、この統列のものと考えられるが、それらについては別に報告する。

非磁性鉱物は、オホーツク海沿岸の砂チタンの場合は、チタン鉄鉱-赤鉄鉱系列の純粋に近いチタン鉄鉱である。しかし、美岬の非磁性分には、このほか赤鉄鉱の存在も認められる。また、日本海沿岸の余市の非磁性鉱物は、チタン鉄鉱と赤鉄鉱であることがしめされている。噴火湾沿岸の豊津の場合も同様である。

* Pouillard, E. (1950): Ann. de Chimie, 5, 191~193.

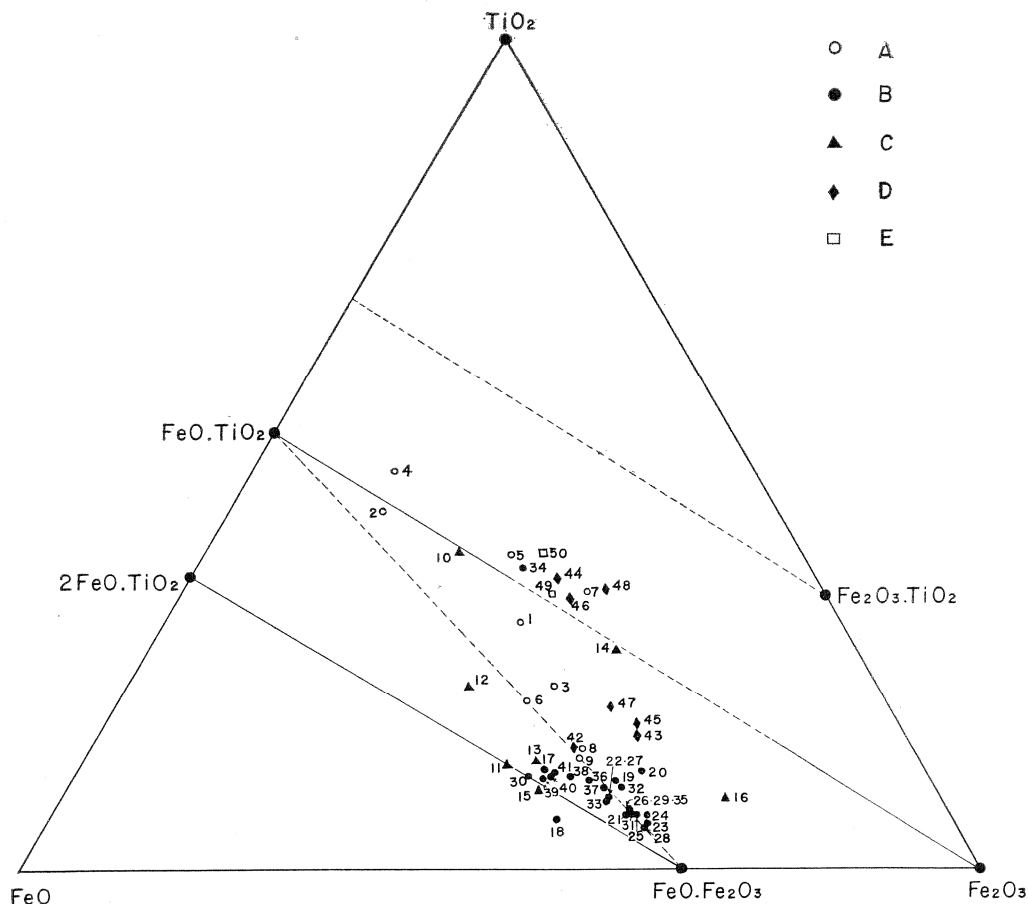
** More, C. H. and Singurdson, H. (1950): Trans. A. I. M. E., 185, 914.

西村秀雄・久島玄三雄・森山徐一郎・千田収 (1955): 日本金属学会講演概要.

平社敬之助・田中時昭・栗原二郎 (1956): 北大工学部研究報告, No. 15, 235~265.

*** 化学組成は、類似していても、このイルメノルチールは、TiO₂, FeOのほか、多量の(Nb, Ta)₂O₅を含有している点で、その性質がややちがっている。

**** 天塩山地、およびオホーツク海沿岸のものに含有される。

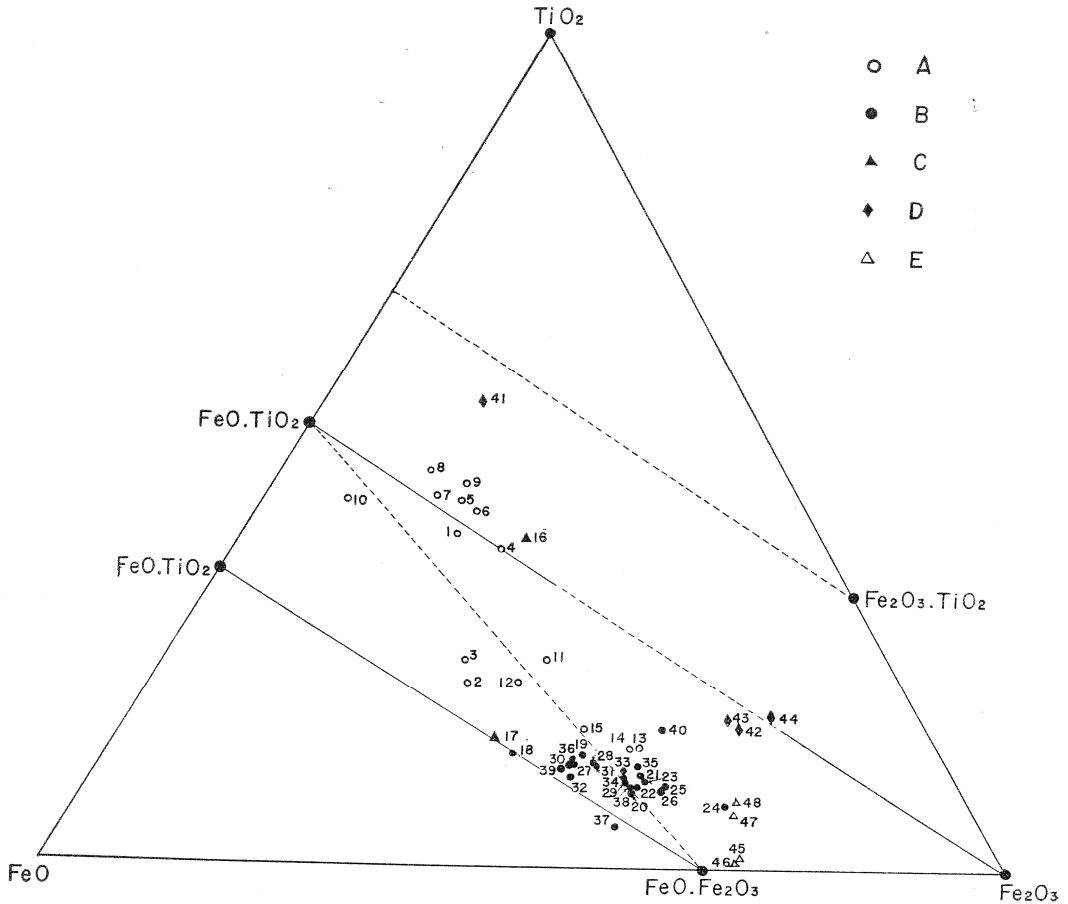


第3図 TiO₂-Fe₂O₃-FeO₃ ダイアグラム上の水洗精鉱

Fig. 3 Washed concentration ores as Plotted in TiO₂-FeO-FeO₃ diagram.

A: オホーツク海・根室海峡沿岸地域 B: 噴火湾・亀田半島・太平洋沿岸地域 D: 中央地域
E: 島根県の花崗岩地域の残留鉱床

1: 枝幸 2: 徳志別 3: 音標 4: 雄武川尻 5: 栄丘 6: オタコムシュベ 7: 沙留 8: 沙留(貯鉱)
9: 恩沙留 10: 渚滑~紋別 11: サロマ湖附近 12: 美岬 13: 峰浜 14: 伊茶仁 15: ノッカマップ
16: 雄信内 17: 島古丹 18: 新冠~浜荻伏 19: 鶯別(日曹鶯別鉱山) 20: 東室蘭(瑞穂鉱業イタンキ鉱山)
21: 中ノ沢(報国中ノ沢鉱山) 22: 中ノ沢(日曹中ノ沢鉱山) 23: 国縫(松田工業現場)
24: 豊野(成平鉱山) 25: 豊野(竹内豊野鉱山) 26: 黒岩(北海道重工胆振現場)
27: 山崎(日鉄八雲鉱山山崎現場) 28・29: 八雲(日鉄八雲鉱山八雲現場) 30: 山越(八雲鉱山山越現場)
31: 野田生(日本八雲鉱山野田生現場) 32: 石倉 33: 砂原 34: 砂原(日鉄天野鉱山砂原現場)
35: 砂崎(大戸組砂崎現場) 36: 出来潤崎 37: 白尻 38: 古武井 39: 古武井(日鉄尻岸内鉱山)
40: 函館(報国砂鉄鉱山) 41: 志文 42: 芦別 43・44 穂別 45: 中倉(真砂) 46: 焼炉(真砂)
47: 楮谷(赤目) 48: 雑家(赤目)



第4図 TiO₂-FeO-Fe₂O₃ ダイアグラム上の磁性鉱物・非磁性鉱物

Fig. 4 Magnetic minerals and non-magnetic minerals as Plotted in TiO₂-FeO-Fe₂O₃ diagram.

A: オホーツク海・根室海峡沿岸地域 B: 噴火湾・亀田半島・太平洋沿岸地域 C: 日本海沿岸地域
D: 北上山地の古生代二疊紀層中 E: 福岡県

1: 雄武川尻(磁) 2: 栄丘(非) 3: 美岬(磁) 4: 美岬(非) 5: 美岬(磁チタン鉄鉱) 6: 美岬(磁) 7: 美岬(非) 8: 峰浜(磁) 9: 伊茶仁(磁) 10: 雄信内(磁) 11: 塩谷(磁) 12: 塩谷(非) 13: 余市(磁) 14: 余市(非) 15: 樽岸(磁)北光鉱業寿都鉱山 16: 貝取潤(磁) 17: 幌別(磁)銅管幌別鉱山 18: 鶯別(磁)日曹鶯別鉱山 19: 中里(磁) 20: 栄原(磁) 21: 中ノ沢(磁)三和中ノ沢鉱山 22・23: 中ノ沢(磁)塚本中ノ沢鉱山 24: 中ノ沢(磁)日曹中ノ沢鉱山 25: 国縫(磁)若林扶桑鉱山 26: 豊野(磁)北斗豊野鉱山 27・28・29: 豊津(磁)北日本北豊津鉱山 30: 豊津(磁)日曹豊津鉱山 31・32・33: 豊津(磁)北海道工業国縫鉱山 34: 豊津(非)北海道工業国縫鉱山 35: 豊津(磁)塚本長万部鉱山 36: 八雲(磁)日鉄八雲鉱山八雲現場 37: 落部川上流(磁)中新世角閃石安山岩中 38: 出来潤崎(磁)新生興業鹿部鉱山 39: 女那川(磁)日鉄尻岸内鉱山 40: 古武井(磁)日鉄尻岸内鉱山 41: 日ノ浜(磁) 42: 雲上鉱山(磁) 43: 宮守鉱山(磁) 44: 宮守鉱山(非) 45: 矢作地区(非) 46: 矢作地区(非) 47: 世田米地区(磁) 48: 世田米地区(非) 49・50: 和白鉱山(磁チタン鉄鉱)

また、参考までに、北上山地の古生代二疊紀層中の磁性鉱物についてみると、少量の強磁性チタン鉄鉱の混在が考えられ、北海道の上部白堊紀層中の穂別や、芦別と類似した化学組成をしめしている。

5 火成岩中におけるチタン鉄鉱・磁鉄鉱の化学的特性とその生成

火成岩中の磁鉄鉱について、岩崎岩次・桂敬¹⁵⁾、および種田定勝¹⁵⁾の化学分析表からみると、アルカリ岩質のものをのぞいた玄武岩や、粗粒玄武岩などの塩基性岩類では、 TiO_2 、 V_2O_5 が多く、石英粗面岩などの酸性岩類では少なくなっている。 MnO については、あまり変化がみられないが、酸性岩類では、やや多くなっている。アルカリ岩質のものは、塩基性であっても、 MnO はやや多く、 V_2O_5 は少なくなっている。 TiO_2 については、比較的多い。

ウルボスピネルについては、Ramdohr, P.⁵⁸⁾によると、酸性～中性の火成岩よりも塩基性の火成岩中に、磁鉄鉱の離溶鉱物として産し、かつ FeO が Fe_2O_3 を超過する場合にかぎりあらわれるといっている。

以上の化学的特性からみても、北海道の含チタン砂鉄の磁鉄鉱は、塩基性岩類に根源をおくものであることがうかがえる。ただ、北海道の場合、蛇紋岩中の磁鉄鉱は、 TiO_2 がひじょうに少なく、そのかわりに、 Cr_2O_3 が少量含まれていることがわかった。

これらの磁鉄鉱は、塩基性マグマの結晶作用の中で、早期から晩期にかけて晶出するが、とくに、鉄苦土質珪酸塩鉱物の晶出と密接な関係をもち、それらの中にはいる Fe と、はまらないで晩期に斑晶状に晶出するものがある。鉄苦土質珪酸塩鉱物中に入った Fe の余剰分は、微粒状の包有物、あるいは片刃状の共生体となつてゐることは、現に顕微鏡下で、よくみられるところである。したがって、北海道産の斜方輝石には、 T.Fe 7～16% (平均13%)、単斜輝石には、 T.Fe 3～20% (平均9%) がみられるわけである。¹⁷⁾

また、チタン鉄鉱は、アルカリ岩質のものでは、初期から晩期にかけて、晶出がみられるが、アルカリ岩質でない場合は、磁鉄鉱に先行して晶出しているようである。このチタン鉄鉱も、鉄苦土質珪酸塩鉱物の晶出と密接な関係をもつことは、根室の粗粒玄武岩中の普通輝石 (T.Fe 6.95%, TiO_2 0.90%) の化学組成をみて明らかである。¹⁴⁾

6 利用上からみた砂チタンおよび含チタン砂鉄鉱石の化学的特性

北海道の含チタン砂鉄鉱石は、同じ北海道の沈澱性鉱床の褐鉄鉱石に比べると、平均して、 S 、 As は低く、 Cu 、 P はほぼ類似した値をしめし、 Mn 、 TiO_2 は高くなつてゐる。また、熱水性交代鉱床や、輝緑凝灰岩層中にレンズ状をなしてみられる赤鉄鉱石に比べると、 S は低く、 Cu 、 P はほぼ類似した値をしめし、 Mn は常呂地域の含マンガン赤鉄鉱をのぞくと、一般に高くなつてゐる。 TiO_2 も高くなつてゐる。また、熱気交代鉱床や、含銅硫化鉄鉱床の磁鉄鉱石に比べると、 S 、 Cu は低く、 P はほぼ類似し、 Mn 、 TiO_2 はやや高くなつてゐる。以上の点からみると、 TiO_2 は高くなつてゐるが、優良な鉄鉱石といえる。したがって、高級鋼材用に適している。

北海道の砂チタン鉱石については、水洗精鉱にして、 TiO_2 35～45%のものが多く、チタン鉱石としては、優良なものである。しかし、オホーツク海沿岸の枝幸～サロマ湖間の砂チタン鉱石は、 Cr_2O_3 の含有許容量0.1%をこえるので、チタン白の製造に際して、着色されるので、チタン白としての利用は、困難である。とくに、枝幸のものは、 Cr_2O_3 が13～15%にも達するもので、製錬に際して障害があり、金属チタンとしても、その利用に充分な検討を要する。

あとがき

北海道の砂チタンおよび含チタン砂鉄鉱石について、化学組成の上からわかつた、おもなことがらをまとめてみると、つぎのようである。

(1) $\text{TiO}_2/\text{T.Fe}$ からみて、その分布地域は、

- a) 天塩山地および日本海沿岸の初山別附近。
- b) オホーツク海沿岸の枝幸～湧別間。
- c) オホーツク海沿岸のサロマ湖～美岬間。
- d) 知床半島基部および根室海峡沿岸。
- e) 日本海沿岸の江差～塩谷間。
- f) 日本海沿岸の望来～小平薬間。
- g) 噴火湾沿岸。
- h) 亀田半島沿岸。
- i) 太平洋沿岸の苫小牧～室蘭間。
- j) 日高沿岸。
- k) 中央山地。の11地域に分けられる。これらのうち、a) および b) の地域は、かなり純度の高いチタン

鉄鉱を主要構成鉱物とする砂チタン賦存地帯である。c) および d) の地域は、磁鉄鉱・チタン鉄鉱のほか、かなりの強磁性チタン鉄鉱を含む高含チタン砂鉄賦存地帯である。このほかの高含チタン砂鉄の賦存地帯としては、e) 地域の塩谷～余市間、h) 地域の中村～函館間、h) 地域などがみられるが、ウルボスピネルの固溶、あるいは少量のチタン鉄鉱の混入によるものである。

以上のほかの地域は、低含チタン砂鉄賦存地帯で、ほとんど磁鉄鉱からなっている。単体分離したチタン鉄鉱の存在は、きわめて微量で、 TiO_2 分の多くは、磁鉄鉱中に固溶、あるいは葉片状・格子状・網状に共生するチタン鉄鉱・ウルボスピネルなどの存在によるものである。

(2) これらの各地域の砂チタンおよび含チタン砂鉄は、地質時代的異差をあまりしめすことがなく、後背地の地質が特性となつてあらわれてきている。すなわち、オホーツク海沿岸の場合は、中新世(例…志文)以降現在まで砂チタン賦存地帯としての特性をしめし、噴火湾沿岸の場合は鮮新世(例…中里・豊幌・恵山)以降現在まで、低含チタン砂鉄地帯としての特性をしめしている。ただ、中央山地の上部白堊紀層中のもの(例…穂別・芦別)は、現在、日高沿岸にみられるものと比較して、かなりちがった特性をしめし、地質時代的差異をしめすものである。

(3) 含チタン砂鉄中の磁鉄鉱は、その化学組成から、ウルボスピネル—磁鉄鉱系とチタン鉄鉱—磁鉄鉱系の2つの系列にわけられる。前者の系列に属するものは、噴火湾沿岸の北豊津段丘、日本海沿岸の余市、塩谷、樽岸など太平洋沿岸の幌別、鷺別など、亀田半島沿岸の出来潤崎、古武井、女那川、日ノ浜段丘などである。残りの大部分は後者の系列に属する。なほ、オホーツク海沿岸の美岬以南および根室海峡沿岸地域もウルボスピネル—磁鉄鉱系と思われる。

以上のように、背後地の地質が、現在みられる北海道の砂チタン・含チタン砂鉄の特性を支配しているわけである。すなわち、オホーツク海沿岸の枝幸～湧別間では、多量のチタン鉄鉱が主体となり、また、オホーツク海沿岸の美岬以南および根室海峡沿岸地域では強磁性チタン鉄鉱が多く含まれることなどは、チタン鉄鉱のおもな根源は、日高帯の塩基性岩類、とくに、斑禰岩類であり、強磁性チタン鉄鉱の根源は、空知層群の輝緑岩類と知床半島を中心とする中新世以降の火成岩類、および白堊期末の粗粒玄武岩類と考察されるが、詳細については、別の機会に、鉱物学上、鉱石組織上の点から報告する。根源は、以上の塩基性岩類であるが、供給源については、各地質時代の地層中にも、砂チタンと含チタン砂鉄が、介在、あるいは分散して賦存することから、これらの地層も場所によつては、2次供給源として重要な存在である。

文 献

- 1) 大日方順三 (1912): 渡島国亀田郡尻岸内村同茅部郡及胆振国山越郡砂鉄調査報文。鉱調, No. 12.
- 2) 納富重雄 (1919): 北見国斜里郡斜里村砂鉄調査報文。鉱調, No. 28.
- 3) 渡辺万次郎 (1935): 磁鉄鉱及び赤鉄鉱の成因的關係に関する諸問題 (1)(2)。岩鉱, Vol. 13.
- 4) 長谷川熊彦 (1936): 砂鉄一本邦砂鉄鉱及其利用一, 工業図書 K. K.
- 5) 井川正雄・木村健二郎 (1937): 福島県高瀬村手代木産イルメノルチルに就いて。我等の鉱物, Vol. 6.
- 6) 桜井欽一・小出五郎 (1938): 手代木石 (イルメノルチル) に就いて。我等の鉱物, Vol. 6.
- 7) 吉村豊文 (1938): 胆振穂別鉱山の鉄鉱床。岩鉱, Vol. 19.
- 8) 齊藤正次 (1942): チタン鉄鉱資源, 特に鉄床の性質に就いて (1)(2)。地学雑誌, Vol. 54.
- 9) 須藤俊男 (1942): 本邦に於ける第三紀砂鉄層の地質学的並びに鉱物学的通性。地質雑, Vol. 49.
- 10) 吉村泰明 (1943): 北海道噴火湾沿岸の砂鉄の賦存状態に就いて。地学雑誌, Vol. 55.
- 11) 渡辺万次郎 (1944): 砂鉄鉱床に関する二、三の観察。岩鉱, Vol. 31.
- 12) 斎藤正雄ほか (1946): 噴火湾を中心とする海浜砂鉄鉱床調査報告。北工試時報, 第12年, No. 5.
- 13) 伊藤貞市・桜井欽一 (1947): 日本鉱物誌 (上), 中文館書店.
- 14) 八木健三 (1948): 北海道納沙布岬の玄武岩類。科学, Vol. 18.
- 15) 種子田定勝 (1949・1950): 磁鉄鉱に関する岩石学的一考察 (I)(II)。地質雑, Vol. 55~56.
- 16) 岩崎岩次 (1950): 火山岩中の所謂磁鉄鉱の化学組成とその母岩の岩漿の時期。九州鉱山学会誌, Vol. 18.

- 17) 舟橋三男 (1950): 西南部北海道砂鉄鉱床概観. 北海道地下資源資料, No. 1.
- 18) 岩崎岩次・桂敬 (1951): 高根県浜田市長浜産の含霞石玄武岩中の所謂磁鉄鉱の異常性. 科学, Vol. 21.
- 19) 原田準平 (1951): チタニウム. 北地要報, No. 16.
- 20) 渡辺万次郎・菅木浅彦・山江徳載 (1951): 金属鉱物相互の固溶及び離溶とその選鉱製錬上の意義に就いて. 東北大学選鉱製錬研究所彙報, Vol. 7.
- 21) 原田準平 (1953): チタニウム資源とその利用. 北大鉱床研究会会報, No. 14.
- 22) 菊地 徹 (1953): 北海道のチタニウム資源. 北大鉱床研究会会報, No. 14.
- 23) 高沢松逸 (1953): 北見紋別志文のチタン鉄鉱床. 北大鉱床研究会会報, No. 14.
- 24) 加藤謙次郎 (1953): 岩手県雲上鉱山, 矢作鉱山の含チタン鉄鉱床. 鉱山地質, Vol. 3.
- 25) 竹内常彦・南部松夫・岡田広吉 (1953): 砂鉄中のマグヘマイトについて. 東北大学選鉱製錬研究所彙報, Vol. 9.
- 26) 桐山良一 (1953): 構造無機化学 I~III.
- 27) 大町北一郎 (1953・1954): 北海道の鉄鉱床と製鉄史について (1)~(4). 北海道鉱山学会誌, Vol. 9~10.
- 28) 渋谷五郎 (1954): 長崎県西彼杵郡蚊焼村産磁鉄鉱について. 鉱物雑, Vol. 1.
- 29) 渋谷五郎 (1954): 磁鉄鉱の問題. 北地要報, No. 25.
- 30) 牟田邦彦 (1954): 長崎県蚊焼村に於ける磁鉄鉱鉱化作用 (I)(II). 岩鉱, Vol. 38.
- 31) 加藤謙次郎 (1954): 岩手県雲上鉱山の地質鉱床. 岩鉱, Vol. 38.
- 32) 大町北一郎・鈴木淑夫・早川彰 (1955): 北海道苫小牧市を中心とする海浜砂鉄鉱床について (I) (II). 岩鉱, Vol. 39.
- 33) 地質調査所 (1955): 北海道のチタン資源. 地調報告, No. 165.
- 34) 平社敬之助 (1955): 北海道における含チタン砂鉄について. チタニウム, No. 26.
- 35) 平社敬之助 (1955): 北海道産含チタン砂鉄処理に関する調査研究報告書. 北海道商工部資源課.
- 36) 中村信夫 (1955): 山陰地方産砂鉄に関する研究. 東北大学選鉱製錬研究所彙報, Vol. 11.
- 37) 竹内常彦・南部松夫 (1956): 砂鉄中の含水酸化鉄について. 東北大学選鉱製錬研究所彙報, Vol. 12.
- 38) 平社敬之助・田中時昭・栗原二郎 (1956): 北海道産砂鉄の性状並びに化学組成に関する研究 (I) (II). 北大工学部研究報告, No. 14—15.
- 39) 竹内常彦・南部松夫・岡田広吉 (1956): 砂鉄の性状に関する研究. 未利用鉄資源研究調査資料, 選鉱 56—1, 地下資源開発審議会.
- 40) 下飯坂潤三 (1958): 鉱物の強磁性について. 東北研究, Vol. 8, No. 2.
- 41) 笹木 敏 (1959): 尻岸内地区の砂鉄について. 北海道鉱山学会誌, Vol. 15.
- 42) 平社敬之助・田中時昭・栗原二郎 (1959): TiO_2 - Fe_2O_3 - FeO 系人工砂鉄に関する研究. 日本鉱業会誌, Vol. 75.
- 43) 番場猛夫 (1960): 天塩国初山別・北見国鬼志別附近の海浜砂クロム鉱床調査報告. 北海道地下資源調査資料, No. 46.
- 44) 藤原哲夫 (1960): オホーツク海と根室海峡沿岸地域の砂チタンおよび含チタン砂鉄鉱床について. 地下資源調査所報告, No. 24.
- 45) 地質調査所 (1960): 本邦の含チタン砂鉄および磁硫鉄鉱資源. 地調報告, 特別号
- 46) 北海道立工業試験場 (1960): 北海道における含チタン砂鉄の性状試験. 昭和 34 年度選鉱製錬試験資料, 北海道開発庁.
- 47) 通産省地下資源開発審議会鉱山部会 (1954~1959): 未利用鉄資源, No. 1~7.
- 48) Palmer, C. (1909): Arizonite, Ferric Metatitanate. Am. Jour. of Sci., Ser. 4, 28.
- 49) Singewald, J. T. (1913): Microstructure of Titaniferous Magnetite. Econ. Geol., 8.
- 50) Ramdohr, P. (1926): Magnetit, Ilmenit, Eisenglanz und Überlegungen Über des System FeO - Fe_2O_3 - TiO_2 . N. Jb. Min. Beil-Bd., 54.
- 51) Pesce, B. (1931): Concerning the Titanates of Iron. Gazz. Chim. Ital., 61.

- 52) Goldschmidt, V. M. (1923~1938): Geochemische Verteilungsgesetze. Norsk. Videnskaps Akad., Math. Nat. Kl. Oslo.
- 53) Ramdohr, P. (1939): Wichtige neue Beobachtungen an Magnetit, Hämatit, Ilmenite und Rutil. Abh. Preuss. Akad. Wiss., Math. Nat. Kl., **14**.
- 54) Ernst, T. (1943): Fusion Equilibria in the System $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-FeO-TiO}_2$ and Notes on the Minerals Arizonite and Pseudobrookite. Ztsch. Angew. Min., **4**.
- 55) Hutton, C. O. (1945): Vanadium in the Jaranaki Titaniferous Iron-Ores. Jour. Sci. Tech. New Zealand., Sec. B, **27**.
- 56) Mogensen, E. (1946): A ferrotitanate ore from Södra Ulvöen. Geol. Föreni. Stockholm Förh., **68**.
- 57) Nagata, T. (1953): Rock-Magnetism.
- 58) Ramdohr, P. (1953): Ulvöspinel and its Significance in Titaniferous Iron Ores. Econ. Geol., **48**.
- 59) Edward, A. B. (1954): Textures of the Ore minerals and their Significance. Melbourne.
- 60) Lynd, L. E., Singurdson, H., North, C.H. and Anderson, W. W. (1954): Characteris of Titaniferous Concentrates. Min. Eng., **6**.
- 61) Ramdohr, P. (1955): Die Erzminerale und Ihre Verwachsungen. Akademie-Verlag, Berlin.
- 62) Akimoto, S. (1955): Magnetic Properties of Ferromagnetic Minerals Contained in Igneous rocks. Jap. Jour. of Geophys., **1**.
- 63) Palache, C., Berman, H., Frondel, C. (1955): Dana's System of Mineralogy. (I). New York.
- 64) Bailey, S.W., Cameron, E.N., Spedden, H.R. and Weege, R.J. (1956): The Alteration of Ilmenite in Beach Sands. Econ. Geol., **51**.
- 65) Basta, E. Z. (1957): Accurate Determination of Cell Dimensions of Magnetite. Min. Maga., **31**.
- 66) Harada, Z. (1957): Chemical Analyses of Japanese Minerals (III). Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser. 4, **8**.
- 67) Harada, Z. (1959): Chemical Analyses of Japanese Minerals (IV). Jour. Fac. sci. Hokkaido Univ., Ser. 4, **10**.
- 68) Shibuya, G. (1959): On the Growth of Magnetite Crystals in Magnetite Chlorite Rock at Kayakimura, Nagasaki Prefecture, Japan. Sci. Repo. of Yamaguchi Univ., **10**.
- 69) MacChesney, J. B. and Muan, A. (1959): Studies in the System iron oxide-titanium oxide. Am. Min., **44**.
- 70) Wright, J. B. (1959): Some further heating experiments on natural titaniferous magnetites. Min. Maga., **32**.
- 71) Marmo, V. (1959): On the TiO_2 -Content of Magnetites as a Petrogenetic Hint. Am. Jour. of Sci., **257**.
- 72) Basta, E. Z. (1959): Some Mineralogical Relationships in the System $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Fe}_3\text{O}_4$ and the Composition of Titanomaghemite. Econ. Geol., **54**.
- 73) Basta, E. Z. (1960): Natural and Synthetic Titanomagnetites (the System $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_2\text{TiO}_4\text{-FeTiO}_3$). N. Jb. Min., Abh., **94**.