

# フィンランド Otanmaki 鉱山産含バナジウム磁鉄鉱

北風 嵐 (学術資料展示館) 小松隆一 (理工学研究科物質化学専攻)

## Vanadium bearing magnetite from the Otanmaki mine, Finland

Arashi KITAKAZE (Yamaguchi University Museum of Sugaki Ore mineral)

Ryuichi KOMATSU (Materials Chemistry, Graduate School of Science and Engineering.)

**Abstract:** Vanadium bearing magnetite from the Otanmaki mine, Finland were studied by ore microscope and electron probe microanalyser. Vanadium contents in the magnetite are ranging from 1.32 to 1.87 wt %  $V_2O_5$ , and average is 1.56 wt % for 20 analytical data. This value is somewhat little compared with magnetite from the Kohyama gabbro, Japan.

**Key Words:** vanadium bearing magnetite, ilmenite, Otanmaki mine, Finland

### 1. はじめに

山口県萩市須佐地域に分布する高山斑レイ岩中の磁鉄鉱の EPMA 分析を行ってきており、磁鉄鉱中に  $V_2O_5$  として 2~3 wt % 含むことが解って来ている (北風他<sup>1)</sup>、北風・小松<sup>2)</sup>。

これらの値が特別なものかどうか検討するため、工学部学術展示資料館に収納されているフィンランド、Otanmaki 鉱山産含バナジウム磁鉄鉱 (#10551) の EPMA 分析を行った。その分析結果について高山産やその他の産地のバナジウム量と比較して記述する。

### 2. フィンランド Otanmaki 鉱山について

Otanmaki 鉱山はフィンランドの中央部、首都ヘルシンキから北方 450km、オウル湖畔に位置するバナジウム、鉄及びチタンを産する鉱山であったが、現在は閉山している (Figure 1)。

鉱床は正マグマ性鉱床で、先カンブリア期の石英・長石質片麻岩中の角閃石に富んだ岩石中に層状~レン



Figure 1. Location map of Otanmaki Mine, Finland

ズ状鉱体として胚胎している (Lindholm & Attonen<sup>3)</sup>)。採掘は主として坑内掘りであったが、一部露天掘りを行っていた (Figure 2)。

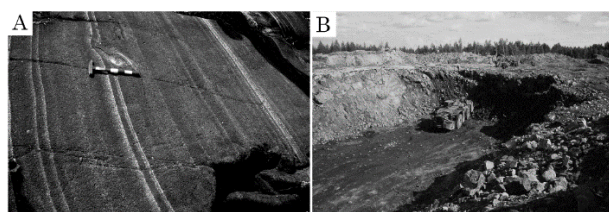


Figure 2. Occurrences of magnetite ore at Otanmaki deposit, Finland. A: Outcrop of layered ore bed, B: Open-pit mining in Otanmaki mine.

### 3. 磁鉄鉱の組織と EPMA 分析値について

研究に供した鉱石は坑内で採取したもので、鉱石鉱物としてチタン鉄鉱と少量の磁鉄鉱が見られ、微量の黄鉄鉱や磁硫鉄鉱が認められた。脈石鉱物は角閃石や緑泥石であり、少量の斜長石を含んでいる。

磁鉄鉱はチタン鉄鉱と密接に共生し、1~3mm 大の自形ないし半自形結晶として、チタン鉄鉱や母岩中に産する (Figure 3A)。チタン鉄鉱中には赤鉄鉱の離溶ラメラが普遍的に認められる (Figure 3B)。

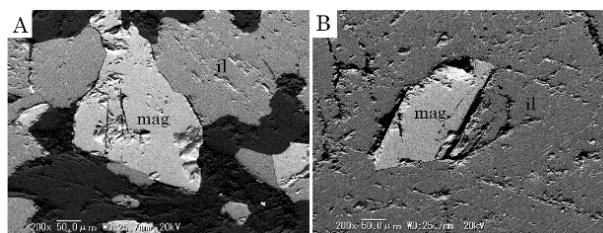


Figure 3. Photomicrographs of magnetite (mag) and ilmenite (il). A: euhedral magnetite association with ilmenite B: granular magnetite including in ilmenite.

磁鉄鉱とそれと組み合わせるチタン鉄鉱の反射電子線像はFigure 4に示す様で、磁鉄鉱は均質でとくに濃淡の変化は認められない(Figure 4A)。チタン鉄鉱中には普通葉片状赤鉄鉱の離溶ラメラが認められる(Figure 4B)。

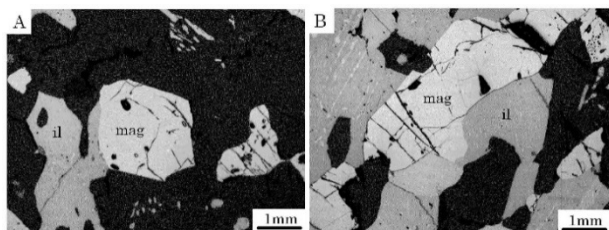


Figure 4. Back-scattered electron images for magnetite (mag) and ilmenite (il).

磁鉄鉱のEPMA分析はキーエンス製VE-9800走査電子顕微鏡にEDAX製GENESIS spectrumシステムを取り付けたEDXで、加速電圧20kVで行なった。装置で求めた値は合成磁鉄鉱、赤鉄鉱、チタン鉄鉱、合成V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>結晶などの標準物質から求めた補正曲線を用いて最終的な分析値を得た。

磁鉄鉱とそれと共生するチタン鉄鉱のEPMA分析結果をそれぞれTable 1およびTable 2に掲げている。

磁鉄鉱のバナジウム含有量(V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)は1.32~1.87%で、平均1.56%である。一方チタン鉄鉱にはほとんどバナジウムは含まれていない。

Table 2. Analytical data for ilmenite obtained by EPMA.

	1	2	3	4	平均値
	3	6	7	16	
Weight %					
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.13	0.21	0.86	0.30
TiO <sub>2</sub>	52.69	51.86	50.90	51.04	51.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.28	0.45	0.36	0.74	0.46
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.18	0.12	0.00	0.11
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.12	0.00	0.00	0.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19	0.17	1.86	0.77	0.75
FeO	45.43	45.31	44.91	44.83	45.12
MnO	0.89	0.75	0.75	0.98	0.84
MgO	0.45	0.48	0.58	1.04	0.64
CaO	0.17	0.17	0.25	0.24	0.21
NiO	0.28	0.20	0.27	0.00	0.19
Na <sub>2</sub> O	0.16	0.13	0.00	0.00	0.07
Total	100.66	99.95	100.21	100.50	100.33
Atomic ratio (O=4.000)					
Si	0.000	0.003	0.005	0.021	0.007
Ti	0.990	0.980	0.961	0.953	0.971
Al	0.008	0.013	0.011	0.022	0.014
Cr	0.002	0.004	0.002	0.000	0.002
V	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001
Fe <sup>+3</sup>	0.003	0.003	0.035	0.014	0.014
Fe <sup>+2</sup>	0.950	0.954	0.944	0.932	0.945
Mn	0.019	0.016	0.016	0.021	0.018
Mg	0.017	0.018	0.022	0.039	0.024
Ca	0.004	0.005	0.007	0.006	0.006
Ni	0.006	0.004	0.005	0.000	0.004
Na	0.008	0.007	0.000	0.000	0.004
Total	2.007	2.009	2.008	2.008	2.008

Table 1 Analytical data of vanadium bearing magnetite from the Otanmaki mine,

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	0.21	0.13	0.17	0.00	0.19	0.00	0.41	0.32	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.90	0.58	0.27	0.58	0.23	0.40	0.40	0.00	0.10	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	0.36	0.47	0.00	0.36	0.00	1.00	0.48	0.00	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.45	0.50	0.41	0.53	0.48	0.44	0.37	0.45	0.45	0.42
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.41	1.25	1.72	1.60	1.48	1.68	1.34	1.44	1.52	1.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	65.39	65.04	64.99	65.23	65.41	65.57	65.03	65.70	66.77	66.77
FeO	31.07	31.10	31.20	31.09	30.76	30.80	31.27	30.44	30.55	30.75
MnO	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00
MgO	0.68	0.18	0.03	0.02	0.27	0.00	0.00	0.56	0.20	0.00
CaO	0.18	0.22	0.17	0.20	0.18	0.34	0.28	0.10	0.20	0.27
NiO	0.13	0.00	0.20	0.00	0.00	0.18	0.06	0.00	0.00	0.25
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.56	99.36	99.71	99.28	99.36	99.41	101.00	99.49	99.79	100.12
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.19	0.17	0.13	0.21	0.43	0.28	0.00	0.00	0.51
TiO <sub>2</sub>	0.55	1.15	0.92	0.63	0.45	0.47	0.32	0.23	1.20	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.55	0.47	0.00	0.34	0.49	0.25	0.25	0.13	0.66
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.51	0.51	0.56	0.57	0.44	0.63	0.29	0.61	0.45	0.77
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.59	1.72	1.32	1.44	1.41	1.71	1.44	1.38	1.38	1.79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	65.68	63.48	64.32	65.16	64.91	64.67	65.28	65.51	64.31	64.44
FeO	31.08	31.28	31.69	30.88	31.14	31.54	30.82	30.60	31.77	30.70
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03	0.22	0.00	0.00	0.25
MgO	0.03	0.45	0.03	0.30	0.10	0.25	0.17	0.03	0.02	0.58
CaO	0.31	0.35	0.38	0.24	0.20	0.32	0.21	0.28	0.20	0.35
NiO	0.19	0.00	0.24	0.38	0.38	0.13	0.19	0.00	0.29	0.42
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.94	99.68	100.10	99.73	99.64	100.67	99.47	98.89	99.75	100.77

磁鉄鉱とチタン鉄鉱の  $TiO_2(+SiO_2) : FeO(+Mn,MgO,CaO) : Fe_2O_3 (+Al_2O_3,Cr_2O_3,V_2O_3)$  のモル比を示せば Figure 5 の様で、磁鉄鉱の組成はほとんど磁鉄鉱の理想組成  $Fe_3O_4$  に近い。

また、3 価の元素  $V_2O_3:Fe_2O_3:(Al_2O_3+Cr_2O_3)$  のモル比は Figure 6 の様で  $V_2O_3$  モル比は 2~3 モル% に集中している。

#### 4. まとめ

Otanmaki 鉱山産含バナジウム磁鉄鉱、高山産 2-3 の岩石中の磁鉄鉱及び他産地の磁鉄鉱や含チタン磁鉄鉱のバナジウム量を比較すれば Table 3 の様である。

Otanmaki 鉱山産磁鉄鉱のバナジウム含有量は外国の産地のものに比して比較的高い。

今後、さらに他産地のものについても検討していく必要がある。

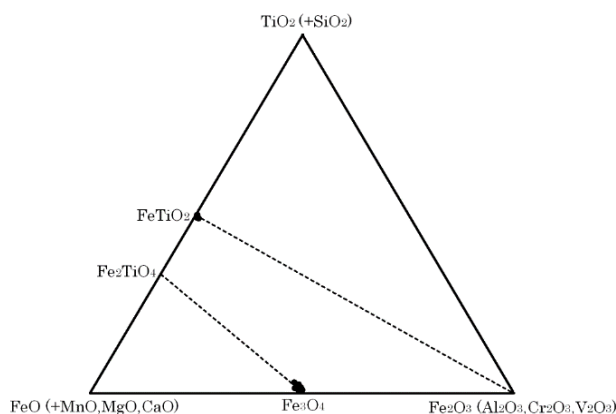


Figure 5. Chemical composition for magnetite and ilmenite from the Otanmaki mine shown in  $TiO_2-FeO-Fe_2O_3$  diagram.

#### 参考文献

- 1) 北風嵐、伊東洋典、小松隆一、渋谷五郎 “萩市高山斑れい岩中のバナジウムに富む磁鉄鉱について (要旨) ”、山口地学会誌、70、16、2013.
- 2) 北風嵐、小松隆一、“山口県萩市高山斑れい岩中の鉱石鉱物の研究 (II) とくに含バナジウム磁鉄鉱について (要旨) ”、日本鉱物科学会 2014 年年会講演要旨集、212、2014.
- 3) O. Lindholm and R. Attonen., “Geology of the Otanmaki mine”, in Ed. Precambrian ores in Finland, Guide in excursions, 25-35、1980.
- 4) 野崎弘、藤代光雄、尾山権吉 “バナジウム資源の諸問題—砂鉄中よりバナジウムの有機溶媒による捕集研究”、生産研究、19、320-329、1967.
- 5) Saha, A., Ganuly, S., Ray, J. & Dhang, A. “Vanadium bearing titaniferous magnetite ore bodies of Ganjang, Karbi-Anglong, Northeastern India, Jour. Geol. Society, India, 76, 26-32, 2010

(平成 27 年 1 月 30 日受理)

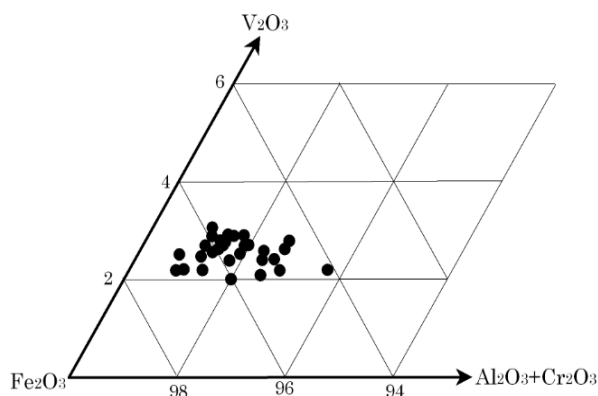


Figure 6. Vanadium contents as  $V_2O_3$  mole % in trivalent elements for the magnetite from the Otanmaki mine

Table 3 Chemical compositions for magnetite from various localities

	Otanmaki		Kohyama <sup>2)</sup>		Northern Rhodesia <sup>*4)</sup>	Kumhardubi India <sup>5)</sup>
	052501	052502	052504	052513		
SiO <sub>2</sub>	0.21	0.05	0.01	0.01	0.05	2.10
TiO <sub>2</sub>	0.48	3.72	4.98	2.17	3.82	11.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.36	1.88	2.40	1.67	2.19	3.45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.51	0.11	0.19	0.24	0.10	0.44
<b>V<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>1.56</b>	<b>3.12</b>	<b>1.99</b>	<b>1.84</b>	<b>2.02</b>	<b>1.14*</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	65.17	56.87	54.54	60.38	56.94	68.20
FeO	30.90	33.83	33.76	32.56	33.46	10.42
MnO	0.10	0.35	0.46	0.30	0.35	0.51
MgO	0.29	0.50	0.95	0.18	0.61	1.81
CaO	0.24	0.19	0.26	0.06	0.21	0.49
NiO	0.19	0.17	0.31	0.15	0.09	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.00	0.07	0.08	0.00
Total	100.02	100.79	99.85	99.63	99.92	98.78

\*Recalculated value from  $V_2O_5$