資源地質，65(1), 29 ～ 32, 2015

論説・報告

萩市高山斑れい岩中の含バナジウム磁鉄鉱について とくにバナジウム資源としてのポテンシャル

北風　嵐*・小松隆一**

Vanadium-bearing magnetite in the Kohyama gabbro, Hagi, Yamaguchi prefecture, Japan. Especially for vanadium resource potential

By Arashi KITAKAZE* and Ryuichi KOMATSU**

Abstract: Vanadium content in magnetite in Kohyama Gabbro, Hagi, Yamaguchi, Japan has been investigated. Average content is about 2.5 wt% as V_2O_5, which is larger than that in vanadium mine. Vanadium content in the whole rock analyzed by ICP is also about 0.13 wt% as vanadium metal. These results indicate that Kohyama gabbro has a high possibility as vanadium resources.

1. はじめに

山口県萩市須佐地域 (Fig. 1) に分布する高山斑れい岩体 (東西 2.5km，南北 2km) 中央部の山頂 (532.8m) 付近では方位磁石が全く役に立たないほど強い磁気を帯びており，1936 年に「須佐高山の磁石石」として国の天然記念物に指定されている (山頂付近半径 500m).

この岩体は新第三紀中新世末から中期中新世の須佐層群に貫入し (15Ma)，それに接触変成作用を与えている．その後に斑れい岩の結晶分化作用が起こり，多様な岩相を形成し，14Ma には終息したものと考えられている (西村ほか，2012).

この斑れい岩は主として斜長石，斜方輝石，単斜輝石，不透明鉱物，および少量の角閃石，石英，アルカリ長石，黒雲母，燐灰石，ジルコンなどから構成されており，それらの量比の違いにより，優白色から暗灰色の呈する多様な岩相が認められる．主要な構成鉱物の斜長石，両輝石などについては詳細に研究されてきているが (Yamaguchi *et al*, 1974)．岩石の磁性に影響を与えている不透明鉱物 (主として磁鉄鉱やチタン鉄鉱など) についての研究は僅かである (山口，1987).

これらの不透明鉱物について EPMA で分析を行い，世界的に見ても比較的バナジウム含有量の高い磁鉄鉱であることが判った．その分布状況を調べるため，岩体各所から岩石の採取を行った．含バナジウム磁鉄鉱は各種の岩相に普遍的に見出されたので，バナジウム資源としてのポテンシャルについて検討を加えたので簡単に報告する.

2. 採取岩石の不透明鉱物

高山は植生が多く，岩石の露頭は少なく，多くの岩石は岩体北部の海岸で採取した (採取岩石の一部には日本新産鉱物であるフレッチャー鉱が発見されており，鉱物保護のため採取ポイントの詳細は省略する). 代表的な岩石の研磨薄片の写真を Fig. 2 に掲げている．これらの薄片写真から不透明鉱物のモード分析を行った．結果は Table 1 の様で，おおよそ 1 ～ 3%程度であるが，多く含む試料では 6 ～ 10%に達するものも認められた.

岩体中央部 (高山山頂付近) では不透明鉱物量 (1 ～ 2%) も両輝石の含有量も少なく優白色であるが (Fig. 2B)，岩体周辺部 (海岸付近) では不透明鉱物量や両輝石も多く，暗灰色を呈する岩石が多い (Fig. 2A).

3. 磁鉄鉱の組織と EPMA 分析結果

2014 年 10 月 14 日受付，同年 12 月 3 日受理

* 山口大学工学部学術展示資料館 (Yamaguchi University Museum of Sugaki Ore Collection, Faculty of Engineering, Yamaguchi University, 2-16-1 Tokiwadai, Ube, 755-8611, Japan)

** 山口大学大学院理工学研究科 (Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University, 2-16-1 Tokiwadai, Ube, 755-8611, Japan

Keywords: vanadium-bearing magnetite, vanadium resource, potential evaluation, Kohyama gabbro

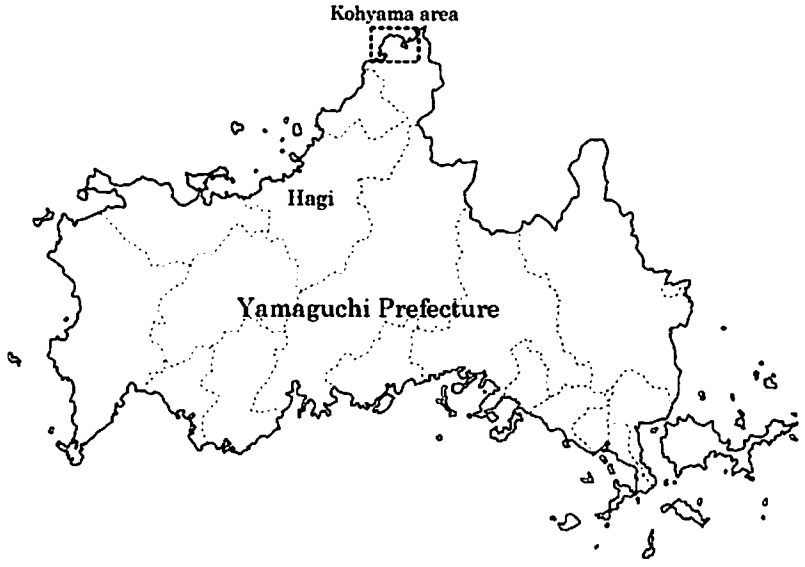

Fig.1 Location of Kohyama area in Hagi city, Yamaguchi Prefecture, Western Japan.

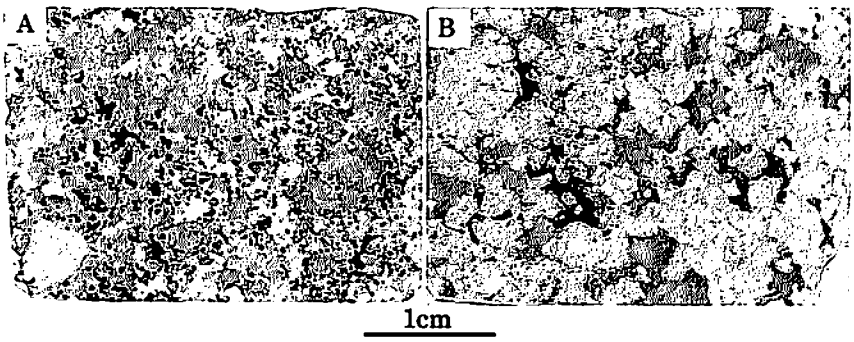

Fig.2 Photographs for polished thin sections from the Kohyama gabbro, Hagi, Yamaguchi Prefecture, Japan. A: 052502(marginal part), B: 052603(central part)

Table 1 Results of modal analysis for opaque minerals in the Kohyama gabbro, Hagi, Yamaguchi Prefecture, Japan.

Sample No.	Mode (%)
Marginal part	
052501	2.23
052502	6.00
052504	2.06
052505	7.24
052510	3.13
052511	4.81
052512	2.10
052514	9.43
Central part	
052601	1.02
052602	0.94
052603	1.86
052606	1.96

不透明鉱物粒の反射電子線像は Fig. 3 の様で，岩体周辺部の岩石中の磁鉄鉱は比較的均質で，稀に微細なチタン鉄鉱の格子状ラメラが認められる (A)．チタン鉄鉱はほぼ均質で磁鉄鉱の離溶ラメラは認められない．一方，岩体中心分のものは複雑な組織を呈し，磁鉄鉱中の離溶ラメラにも種々の鉱物が認められた (B)．

不透明鉱物の 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，チタン鉄鉱などの標準物質から求めた補正曲線で補正し，最終的な分析値を得た．

磁鉄鉱について個々の岩石試料に見られる磁鉄鉱結晶の中心部と周辺部，同一試料中の異なった磁鉄鉱結晶など 20 ～ 30 点分析した．同一試料中の磁鉄鉱の分析値の違いは僅かであった．各岩石中の磁鉄鉱の分析値の平均値は Table 2 の様で，V_2O_3 含有量 (平均値) は 1.4 ～ 3.1wt%であり，含バナジウム磁鉄鉱あった．同表には比較のためフィンランド，Otanmaki 鉱山産含バナジウム磁鉄鉱の分析値と輸入鉱石の分析値 (野崎ら，1967) を示している．高山岩体北部の海岸に産する磁鉄鉱のバナジウム含有量は一部の試料を除き両者より高い傾向にある．なお磁鉄鉱と共存するチタン鉄鉱のバナジウム含有量は 0.1%以下で，バナジウムは選択的に磁鉄鉱に含まれている．

バナジウム含有量の頻度分布は Fig. 4 の様で平均的には V_2O_3 で 2.2wt%程度 (V_2O_5 として 2.5wt%) である．

4. 岩石中のバナジウム量の推定

予察的にいくつかの岩石 (−50 メッシュに粉砕後，30g 程度の試料) から通常の磁石 (マグネットクリッ

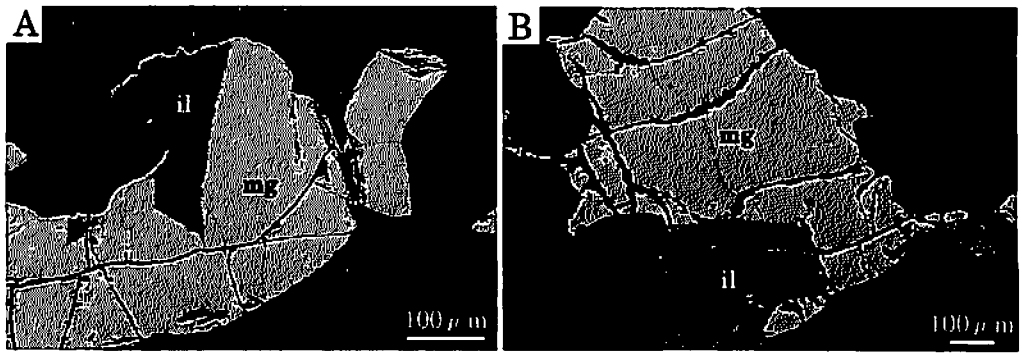

Fig.3 BSE images of magnetite (mg) and ilmenite (il) in the Kohyama gabbro.
A:052502 (marginal part), B:052602 (central part)

Table 2 Analytical data (mean value) for vanadium bearing magnetite in the Kohyama gabbro.

	052501	052502	052504	052505	052510	052511	052513	052514	052516	052602	052603	052606	A	B
Weight %														
SiO_2	0.05	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.05	0.00	0.03	0.13	0.26	0.11	0.21	2.10
TiO_2	3.72	4.98	2.17	4.21	4.29	4.31	3.82	5.50	3.35	1.51	4.95	4.91	0.47	11.36
Al_2O_3	1.88	2.40	1.67	1.99	2.31	2.02	2.19	3.16	1.88	1.01	2.32	1.59	0.23	3.45
Cr_2O_3	0.11	0.19	0.24	0.27	0.08	0.17	0.10	0.04	0.14	0.22	0.20	0.29	0.50	0.44*
V_2O_3	3.12	1.99	1.84	1.97	2.08	1.97	2.02	1.58	1.54	1.89	1.42	1.73	1.81	1.14
Fe_2O_3	56.87	54.54	60.38	56.11	56.13	55.90	56.94	52.95	58.39	62.29	54.56	55.25	64.96	68.20
FeO	33.83	33.76	32.56	34.03	33.55	34.21	33.46	34.76	33.31	31.86	35.65	35.03	29.71	10.42
MnO	0.35	0.46	0.30	0.38	0.36	0.29	0.35	0.38	0.38	0.38	0.34	0.46	0.22	0.51
MgO	0.50	0.95	0.18	0.40	0.88	0.34	0.61	0.74	0.37	0.09	0.21	0.11	0.95	1.81
CaO	0.19	0.26	0.06	0.15	0.19	0.21	0.21	0.20	0.11	0.29	0.09	0.27	0.17	0.49
NiO	0.17	0.31	0.15	0.23	0.11	0.05	0.09	0.11	0.02	0.26	0.36	0.29	0.00	0.00
Na_2O	0.00	0.00	0.07	0.00	0.06	0.00	0.08	0.09	0.06	0.10	0.17	0.22	0.00	0.00
Total	100.79	99.85	99.63	99.75	100.08	99.48	99.92	99.51	99.58	100.03	100.53	100.26	99.23	99.48

A:Vanadium-bearing magnetite from the Otanmaki mine, Finland(#10999),
B：Vanadium ore, North Rhodesia, South Africa(Nozaki et al., 1967)
*Recalculated value as V_2O_3 from V_2O_5

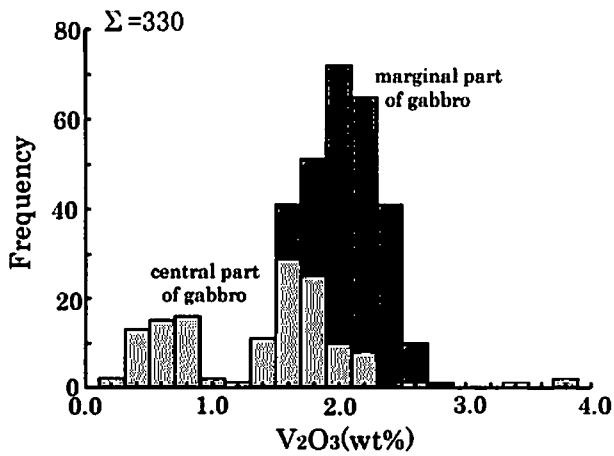

Fig.4 Histogram of vanadium content as V_2O_3 in magnetite.

プ）により強磁性鉱物（ほとんどは磁鉄鉱）を分別した．磁鉄鉱のEPMA分析値と磁性鉱物の量から岩石中のバナジウム含有量を推定した(Table 3)．サンプル番号052501の推定バナジウム量は0.26%であるが，ICP MASSでの分析値は0.13%であった．ICP MASSでの分析は試料が0.1gであるのに対し，磁鉄鉱選別では30gと大きく違い，かつこの岩石はかなり不均質でその値をそのまま適用できるかどうかは不明な点も残る．しかし，磁鉄鉱の分離で得られた全試料の平均的値は0.13%（V_2O_5としては0.22%）であることから，斑れい岩全体の含有量としてこの値を用いている．

5. バナジウム資源としてのポテンシャルの評価

我が国の砂鉄中の磁鉄鉱の分析例は少ないが，古くは岩瀬(1942)による報告がある．それによると磁性鉱物

Table 3. Estimated vanadium content in whole rocks from the Kohyama gabbro.

Sample No.	Powdered rock(g)	Magnetic material (g)	V_2O_3 (%) in magnetite	V_2O_3 (g) in rock	V_2O_3(%) in whole rock	V_2O_5(%) in whole rock	V(%) in whole rock
Marginal part							
052501	28.40	3.54	3.12	0.1104	0.3889	0.4706	0.2645
052502	25.99	2.37	1.99	0.0472	0.1815	0.2196	0.1234
052504	26.77	1.51	1.84	0.0278	0.1038	0.1256	0.0706
052505	26.51	2.44	1.97	0.0481	0.1813	0.2194	0.1233
052510	27.90	3.22	2.08	0.0670	0.2401	0.2905	0.1632
052511	25.17	2.06	1.97	0.0406	0.1612	0.1951	0.1096
052512	25.71	1.92	2.02	0.0388	0.1509	0.1825	0.1026
052513	33.24	1.95	1.58	0.0308	0.0927	0.1122	0.0630
052516	25.40	1.15	1.54	0.0177	0.0697	0.0844	0.0474
052517	24.92	3.07	3.49	0.1071	0.4299	0.5202	0.2924
Central part							
052602	30.51	1.08	1.89	0.0204	0.0669	0.0810	0.0455
052603	33.42	1.64	3.49	0.0572	0.1713	0.2072	0.1165
052606	30.78	1.31	1.73	0.0227	0.0736	0.0891	0.0501

の V_2O_5 量は 0.2 ～ 0.4%程度である．これに比し高山産磁鉄鉱の値は 2.5%程度であり，6 ～ 10 倍程度濃集している．また，北海道噴火湾および下北半島沿岸の砂鉄鉱床中の全岩分析値は 0.1 ～ 0.2%程度で，高いものでも 0.3%である．この値は高山の斑れい岩のバナジウム含有量に近いが，我国の砂鉄鉱床全体の埋蔵量は 66 百万トン程度と推定されている（高橋ほか，2010）．しかし，高山斑れい岩体北部の磁鉄鉱の多い場所で少なくとも 170 百万トン（直径 600m，深さ 200m の円柱として換算）の地質学的資源量があると考えられ，鉱床の規模が全く違う．高山斑れい岩の規模やバナジウム含有量は正マグマ性含バナジウム・チタン磁鉄鉱鉱床（中山，2011）に近い．

我が国が現在輸入しているバナジウム量は純金属としてほぼ 4 千トン（JOGMEC，2014）であり，これに相当する高山斑れい岩の鉱石量として 3 百万トン程度である．また，この岩石（鉱石）170 百万トンから得られるバナジウム量は純金属として 22 万トン程度である．

上記の事を考慮し，高山斑れい岩がバナジウム資源として開発されれば，我が国の輸入量のほぼ 50 年分に当たる量が生産できると推定される．

実際の埋蔵量はより詳細に調査する必要があるが，岩体の大きさから考えると，上記の 3 倍程度は存在すると考えられる．

高山斑れい岩体がレアメタルのバナジウムを多量に含むことが判明したことは我が国で最初の発見であり，バナジウム資源としてのポテンシャルは高いと考えられる．またバナジウムは希少金属であり，日本への供給構造は脆弱であり，しばしば価格の高騰が発生している状況であり，国家備蓄の対象希少金属である．したがって本発見は，わが国の資源戦略上からも意味があると考えられる．

謝辞：岩石の研磨薄片作製には東北大学理学部伊藤嘉紀氏にご協力頂いた．また中山 健氏および匿名の査読者には貴重なご意見を頂いた．記して感謝の意を表します．

文　献

JOGMEC (2014) 鉱物資源マテリアルフロー報告書＆レポート，2013 バナジウム，146–152.

岩瀬慶三 (1942) 砂鉄の研究，科学主義工業社，第 2 表.

中山　健 (2011) バナジウム資源の供給ポテンシャルについて．金属資源レポート，223–244, JOGMEC.

西村祐二郎，今岡照喜，金折祐司，亀岡敦 (2012) 山口県地質図　第 3 版 (15 万分の 1) および同説明書．山口地学会，167p.

野崎弘，藤代光雄，尾山権吉 (1967) 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.

高橋一晴，中山　健，松本尚巳，森田誠也，橋本晃一 (2010) 我国砂鉄鉱床中のバナジウム資源について．資源地質，**60**, 71–84.

Yamaguchi, Y, Tomita, K, Sawada, Y.(1974) Crystallization trend of zoned pyroxenes in quartz gabbro from the Koyama intrusive complex at Mt. Koyama, Yamaguchi Prefecture, Japan, 地質学論集，**11**, 69–82, 日本地質学会.

山口佳昭 (1987) 高山カルクアルカリ貫入岩体の石英閃緑岩中の磁鉄鉱—チタン鉄鉱，島根大学地質学研究報告，**6**, 171–173.