

萩市高山斑れい岩中の磁鉄鉱とチタン鉄鉱の化学組成について

北風 嵐 (学術展示資料館) 小松隆一 (応用化学専攻)

Chemical composition for magnetite and ilmenite from the Kouyama gabbro, Hagi, Yamaguchi Prefecture, Japan

Arashi KITAKAZE (Museum of Sugaki Ore Collection), Ryuichi KOMATSU (Material Chemistry)

Abstract: Kouyama gabbroic body, Susa area, Hagi city, Yamaguchi Prefecture, Japan, were mainly consist with diorite and gabbro. Modal analysis for opaque minerals were performed by microscope. Magnetite and ilmenite including their rocks were studied by ore microscope and electron probe microanalyser. Vanadium contents of magnetite in diorite are ranging from 0.43 to 10.75 wt % V_2O_3 and average is 1.82 wt % for 220 analytical data. Their content in gabbro are in the range from 0.59 to 3.13 wt % and average is 1.93 wt % for 500 analysis. Ilmenite associating with magnetite contains less than 1.13 wt % V_2O_3 but includes with some amounts of MnO from 0.28 to 5.06 wt% for diorite and 0.12 to 6.20 wt % for gabbro.

Key Words: vanadium bearing magnetite, Mn-rich ilmenite, Kouyama gabbroic complex, diorite, two pyroxene gabbro

はじめに

山口県萩市須佐地域に分布する高山斑れい岩体中央部の山頂(532.8m)付近では方位磁石が狂うほど強い磁気を帯びており、1936年に「須佐高山の磁石」として国の天然記念物に指定されている。

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、その後に岩体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¹⁾)。

この斑れい岩体の岩石は主として斜長石、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.*,²⁾)、岩石の磁性に影響を与えている不透明鉱物(磁鉄鉱やチタン鉄鉱)についての研究は山口³⁾、北風他⁴⁾北風・小松^{5) 6)}などの研究がある。

北風・小松⁶⁾は磁鉄鉱について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り、高山斑れい岩がバナジウム資源とし

てのポテンシャルが高いことを報告している。その報告では分析値は概略のみで詳細なデータは示していない。その後磁鉄鉱の分布状況を調べるため、岩体各所から岩石の採取を行い、不透明鉱物のモード組成、磁鉄鉱とチタン鉄鉱の化学分析などを行ったのでその詳細について報告する。

高山斑れい岩体について

高山斑れい岩体は山口県萩市北部の須佐地域中央部に位置し(Fig. 1)、島根県県境に近い。

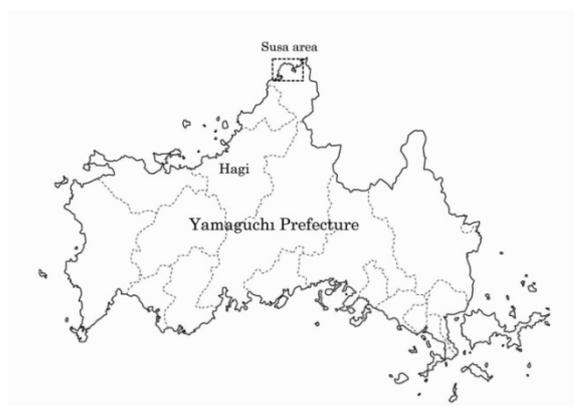


Figure 1. Location map of Kouyama area, Susa area, Hagi city, Yamaguchi Prefecture, Japan.

高山はほぼ単独峯（532.8m）で周囲より一段高く聳えている(Fig. 2)

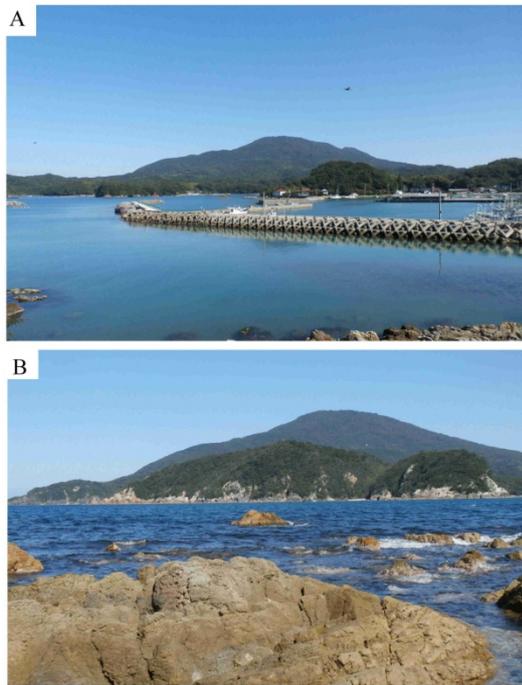


Figure 2. Distant view of Kouyama mountain.

A: From west side of Susa town, B: From the Nagaiso Coast.

岩体北部では山頂から直接海に接する急斜面を成し岩体全体では原生林が覆っており、岩石の多くは山頂付近と海岸に露出している。

高山を中心とする地質図は Figure 3 のようで、斑れい岩は高山の北を中心とする楕円形岩体であり、山頂より北部に広く分布している。

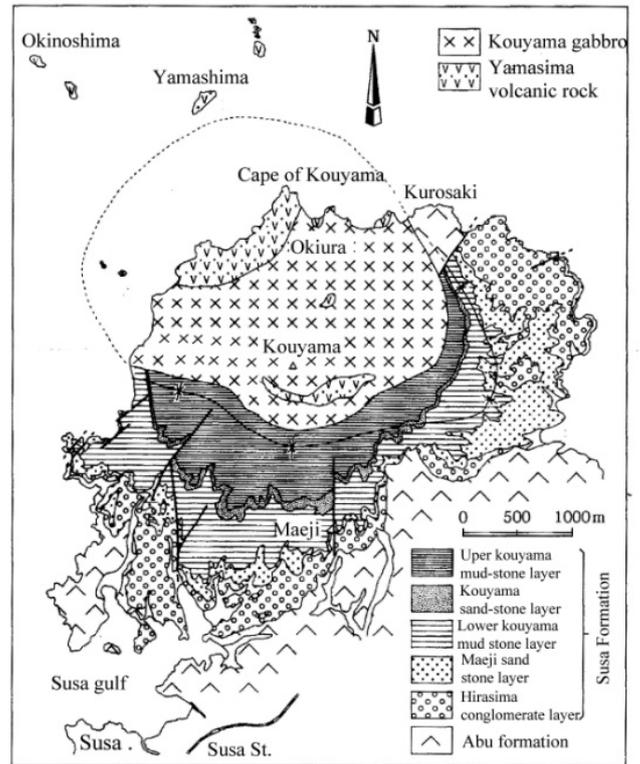


Figure 3. Geological map around Kouyama area.

(Modified after Nishimura *et al.*¹⁾)

西村ほか¹⁾によると高山斑れい岩体は須佐層群中に貫入し、接触変成作用で周囲約 500m は種々のホルンヘルスを形成している。地質図上では区別されていないが、斑れい岩体は主に優白色を呈する岩石（仮に閃緑岩と称する）と暗緑灰色の岩石（両輝石斑れい岩）とに分類できる。閃緑岩は岩体の周辺部（高山山頂付近、高山岬周辺 Figure 4）に分布している。一方、両輝石斑れい岩は岩体の北部（沖浦部落北部～黒崎付近の海岸 Figure 5）に見られる。

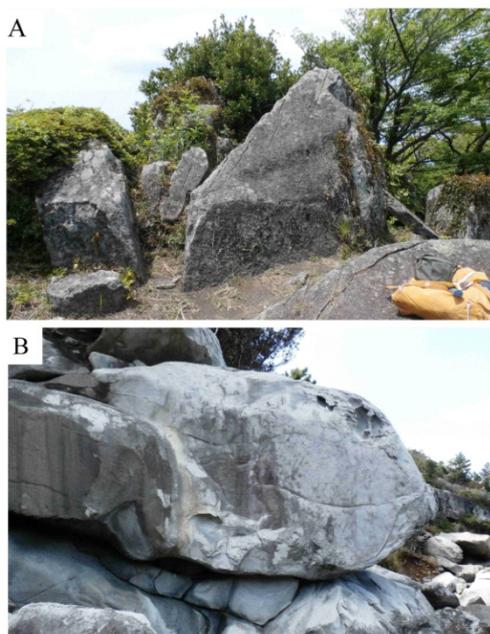


Figure 4. Photographs of outcrop of diorite
A: The neighborhood of the Kouyama mountaintop (natural monument as magnetic rock of Kouyama), B: Near from Cape of Kouyama.

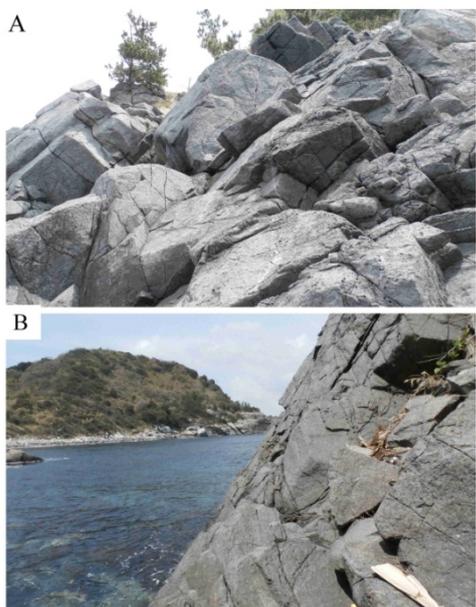


Figure 5. Outcrop of two-pyroxene gabbro.
A: Northern coast of the Okiura village, B: East coast of the Cape of Kouyama.

高山斑れい岩体の山頂付近や北浦部落北部の海岸から斑れい岩を採取した。一般的に高山の斑れい岩の磁性は強い。高山山頂付近の“磁石石”より、沖浦部落北部の海岸に露出岩石はより強い磁性を有している。磁性の強い岩石では事務用のマグネッ

トを着くほどである。また層状構造の発達した岩石もしばしば認められる(Figure 6).

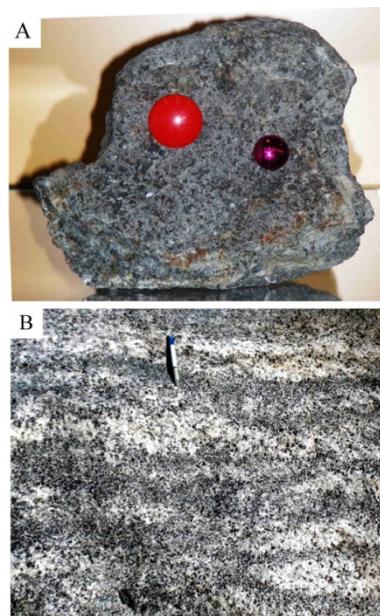


Figure 6. Samples of two-pyroxene gabbro from northern coast of the Okiura village.

A: Strongly magnetic gabbro, B: gabbro with layer structure.

高山斑れい岩の構成鉱物

上記したような場所から岩石標本を採取し、その研磨薄片を作製して、岩石の構成鉱物などについて検討した。岩石を構成する造岩鉱物は単斜輝石、斜方輝石、斜長石を主として少量の角閃石、黒雲母、石英、不透明鉱物を随伴する。希に燐灰石が認められる。各岩石の大凡の含有量はTable 1のようである。本研究では全岩分析を行っていないので正確な岩石名は不明であるが、一応石英を含む岩石を閃緑岩、それ以外を両輝石斑れい岩とした。閃緑岩と両輝石斑れい岩の代表的な薄片の写真をFigure 7に掲げている。

Table 1. Rock forming minerals for diorite and two-pyroxene gabbro from the Kouyama gabbroic rocks

Sample No.	cpx	opx	hrb	bt	pl	ap	qtz	opq
Diorite (The neighborhood of the Kouyama mountaintop)								
2013052602	◎	++	+	+	◎		+	+
2013052603	◎	++		+	◎		+	++
2013052606	◎	○	++	++	◎	+	+	○
Diorite (Near from Cape of Kouyama.)								
2015041514	○	○	○	+	◎		+	++
Two pyroxene gabbro (Northern coast of the Okiura village)								
2013052501	○	○		+	◎			+
2013052502	◎	◎		+	◎			+
2013052504	○	○	+	+	◎			+
2013052505A	◎	◎		+	◎			+
2013052505B	◎	◎		++	◎			○
2013052510	○	○	+	++	◎			○
2013052511	○	○		+	◎			○
2013052513	○	○	+	+	◎			◎
2013052514	◎	◎			◎			◎
2013052516-3/	◎	◎			◎			++
2013052517A	◎	◎		+	◎			○
2013052517B	◎	◎		+	◎			+

cpx: clinopyroxene, opx: orthopyroxene, hrb: hornblende, bt: biotite, pl: plagioclase, ap: apatite, qtz: quartz, opq: opaque relative ratio ◎>○>+>+

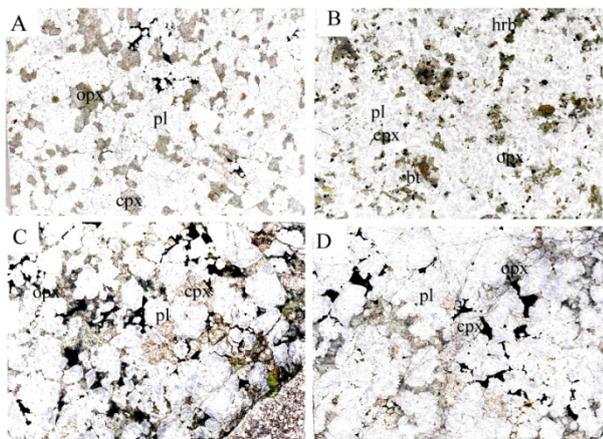


Figure 7. Photographs of diorite and two-pyroxene gabbro.

A: Diorite from the neighborhood of the Kouyama mountaintop, B: Diorite from near Cape of Kouyama, C: D: Two pyroxene gabbro from northern coast of the Okiura village. Right and left=3mm, abbreviation is same as Table 1.

不透明鉱物に関してはモード分析を行い、正確な含有量を測定した。その結果を Table 2 に示している。不透明鉱物の多くは磁鉄鉱、チタン鉄鉱であるが、一部の岩石には少量の黄銅鉱、斑銅鉱などの銅鉱物やフレッチャー鉱やピオウ鉱などの含 Co,Ni 鉱物も産出する。

不透明鉱物のモード分析値は閃緑岩で 1.2~2.5% であるが、斑れい岩では 5.8~9.7% とモード値のかなり高い岩石が認められた。

磁鉄鉱の組織と EPMA 分析値について

磁鉄鉱とチタン鉄鉱はお互いに密接に共生し、1~3mm 大の不定形結晶として、斜長石、単斜輝石、斜方輝石などのケイ酸塩鉱物の結晶粒間を充填して産する。時には黒雲母の粒間にも認められる。

Table 2. Modal composition of opaque minerals for diorite and two-pyroxene gabbro

Samples No.	Mode of opaque minerals (%)
Diorite (The neighborhood of the Kouyama mountaintop)	
2013052602	1.17
2013052603	2.07
2013052606	2.47
Diorite (Near from Cape of Kouyama.)	
2015041514	3.20
2015041516	1.29
Two pyroxene gabbro (Northern coast of the Okiura village)	
2013052501	2.10
2013052502	5.84
2013052504	3.02
2013052510	6.74
2013052511	8.53
2013052512	1.70
2013052513	3.43
2013052514	9.72
2013052516-3A	1.57
2013052516-3B	1.42
2015041513	3.43

高山山頂付近の閃緑岩中の磁鉄鉱・チタン鉄鉱組合せの EPMA による反射電子線像は Figure 8A に示す様で、磁鉄鉱中には微細なチタン鉄鉱葉片が、時にはチタン鉄鉱中に磁鉄鉱葉片が認められる。高山岬東側の閃緑岩中の磁鉄鉱、チタン鉄鉱は比較的均質であるが、時には磁鉄鉱中に微細チタン鉄鉱が見られる。

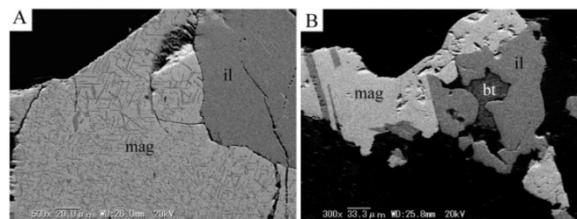


Figure 8. BSE images for association of magnetite (mag) and ilmenite (il) in diorite.

A: magnetite including ilmenite lamella showing graphic texture (2013052602), B: granular magnetite-ilmenite (2015041514).

両輝石斑れい岩中の磁鉄鉱 - チタン鉄鉱組合せの反射電子線像は Figure 9 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く、チタン鉄鉱葉片は見られない。また、チタン鉄鉱も均質である。

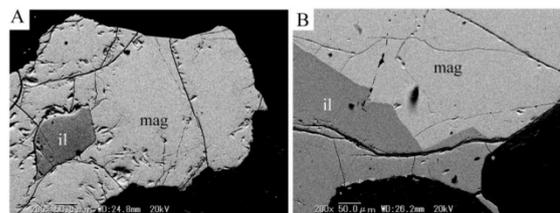


Figure 9. Back-scattered electron images for magnetite (mag) and ilmenite (il) in two-pyroxene gabbro.

A: granular magnetite accompanied with ilmenite crystal (2013052502), B: granular grain of magnetite and ilmenite (2013052514).

磁鉄鉱とチタン鉄鉱の 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 15kV 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_2O_5 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。

磁鉄鉱中にチタン鉄鉱葉片が認められるときやチタン鉄鉱中に磁鉄鉱葉片を有する場合には均質な

部分を選択して分析した。高山山頂付近の閃緑岩中の磁鉄鉱とチタン鉄鉱の代表的な EPMA 分析結果をそれぞれ Table 3 および Table 4 に掲げている。磁鉄鉱には少量ながら常に V_2O_5 が含有されている。その量は 0.49~10.75wt% で、平均値 1.82 (220 点) であった。また、チタン鉄鉱中の V_2O_5 量は 0.34% 以下で、ほとんどは検出限界以下であった。また常に微量の MnO を含んでおり、その量は 0.28~2.98 wt% で、平均 1.30 wt% (40 点) であった。

Table 3. Analytical data of magnetite in diorite from the neighborhood of the Kouyama mountaintop

	2012040201																			
	1	2	2	3	4	5	6	7	9	11	15	15	16	18	18	19	19	20		
Weight %																				
SiO ₂	1.18	0.19	2.18	1.22	1.37	1.63	2.01	1.71	2.63	0.21	0.19	2.05	2.37	0.11	1.43	1.16	3.02	3.23		
TiO ₂	4.09	7.33	1.80	15.44	0.83	1.60	1.50	1.62	0.55	12.18	14.14	1.00	1.17	11.70	5.42	5.96	0.77	1.02		
Al ₂ O ₃	0.34	0.02	3.40	2.80	2.82	1.64	3.72	2.23	2.53	0.08	0.26	2.42	3.76	0.04	1.12	0.25	7.92	4.46		
Fe ₂ O ₃	57.29	53.32	51.16	28.48	58.11	56.54	54.08	55.37	54.58	44.15	39.38	55.06	52.61	44.92	49.24	54.29	47.52	49.90		
FeO	34.11	36.90	33.81	44.81	31.93	33.26	35.24	34.58	34.13	41.48	43.20	33.06	34.60	40.13	36.72	35.70	34.14	34.57		
MnO	1.47	1.06	0.58	0.39	0.00	0.15	0.00	0.12	0.53	0.85	0.77	0.00	0.41	1.45	0.01	1.10	0.40	0.66		
MgO	0.00	0.00	0.73	0.76	1.24	0.86	0.41	0.08	0.27	0.00	0.08	0.58	0.05	0.00	0.10	0.08	0.76	0.32		
CaO	0.83	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.10	0.45	0.34	0.28	0.38	1.09	1.09	0.53		
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	1.68	0.77	0.95	1.49	1.20	1.04	1.36	0.00	0.00	1.39	1.24	0.00	0.96	0.00	1.40	1.04		
V ₂ O ₅	0.97	0.91	2.16	1.49	1.65	1.82	1.97	1.81	1.84	0.49	0.96	1.75	1.79	0.84	1.72	0.53	2.24	1.77		
NiO	0.00	0.00	1.81	2.74	1.59	1.14	1.29	1.83	1.91	0.00	0.00	2.18	1.81	0.00	2.51	0.00	1.41	2.56		
Total	100.28	99.81	99.31	98.90	100.49	100.13	101.42	100.39	100.33	99.62	99.08	99.94	100.15	99.47	99.61	100.16	100.67	100.06		
Atomic ratio as O=4																				
Si	0.045	0.007	0.082	0.046	0.051	0.061	0.074	0.064	0.098	0.008	0.007	0.077	0.088	0.004	0.054	0.044	0.109	0.120		
Ti	0.116	0.211	0.051	0.437	0.023	0.045	0.042	0.046	0.015	0.349	0.406	0.028	0.033	0.336	0.155	0.170	0.021	0.028		
Al	0.015	0.001	0.151	0.124	0.124	0.073	0.161	0.099	0.112	0.004	0.012	0.107	0.165	0.002	0.050	0.011	0.336	0.195		
Fe ⁺³	1.633	1.535	1.447	0.807	1.635	1.604	1.498	1.568	1.538	1.267	1.132	1.559	1.476	1.292	1.411	1.546	1.286	1.391		
Fe ⁺²	1.080	1.181	1.063	1.410	0.998	1.048	1.085	1.088	1.069	1.323	1.380	1.040	1.079	1.282	1.170	1.130	1.027	1.071		
Mn	0.047	0.034	0.018	0.012	0.000	0.005	0.000	0.004	0.017	0.027	0.025	0.000	0.013	0.047	0.000	0.035	0.012	0.021		
Mg	0.000	0.000	0.029	0.031	0.050	0.035	0.016	0.003	0.011	0.000	0.003	0.023	0.002	0.000	0.004	0.003	0.029	0.013		
Ca	0.034	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.004	0.018	0.014	0.011	0.016	0.044	0.042	0.021		
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
Cr	0.000	0.000	0.050	0.023	0.028	0.044	0.035	0.031	0.040	0.000	0.000	0.041	0.037	0.000	0.029	0.000	0.040	0.030		
V	0.029	0.028	0.065	0.045	0.049	0.055	0.058	0.055	0.055	0.015	0.029	0.053	0.053	0.026	0.053	0.016	0.065	0.053		
Ni	0.000	0.000	0.055	0.083	0.048	0.035	0.038	0.055	0.058	0.000	0.000	0.066	0.054	0.000	0.077	0.000	0.041	0.076		

	2012040201				2012040202											
	B-2	C-0	C-1	C-2	2	6	11	12	14	15	16	19	21	22	24	
Weight %																
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	
TiO ₂	1.90	1.54	2.50	3.40	7.33	1.49	12.18	15.82	22.82	13.14	16.32	5.96	15.89	12.33	0.32	
Al ₂ O ₃	0.02	0.30	0.57	1.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	
Fe ₂ O ₃	60.26	62.60	51.56	45.18	53.66	65.31	45.31	38.22	25.41	37.46	37.11	55.66	37.70	44.38	67.39	
FeO	30.92	32.50	33.32	32.66	36.59	31.00	41.44	45.35	51.26	47.94	45.15	35.47	44.71	41.29	29.97	
MnO	1.38	0.00	0.19	0.46	1.06	1.17	0.85	0.66	1.11	0.77	1.06	1.10	0.89	0.93	1.05	
MgO	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	
CaO	0.48	0.17	0.34	0.64	0.08	0.07	0.18	0.08	0.17	0.10	0.21	1.09	0.11	0.11	0.14	
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Cr ₂ O ₃	0.64	0.63	3.79	4.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
V ₂ O ₅	4.35	2.66	8.47	10.75	0.91	0.56	0.49	0.97	0.24	0.96	0.84	0.53	0.43	0.46	0.66	
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	99.95	100.40	100.74	99.59	99.63	99.63	100.45	101.10	101.01	100.43	100.80	100.66	99.73	99.50	99.53	
Atomic ratio as O=4																
Si	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.000	0.000	0.000	
Ti	0.055	0.044	0.071	0.096	0.211	0.043	0.347	0.446	0.640	0.379	0.461	0.169	0.454	0.354	0.009	
Al	0.001	0.013	0.025	0.069	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	
Fe ⁺³	1.737	1.798	1.464	1.283	1.549	1.896	1.291	1.078	0.713	1.083	1.049	1.582	1.078	1.277	1.961	
Fe ⁺²	0.990	1.037	1.051	1.031	1.174	1.000	1.312	1.422	1.598	1.540	1.418	1.121	1.421	1.320	0.969	
Mn	0.045	0.000	0.006	0.015	0.034	0.038	0.027	0.021	0.035	0.025	0.034	0.035	0.029	0.030	0.034	
Mg	0.000	0.000	0.000	0.019	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ca	0.020	0.007	0.014	0.026	0.003	0.003	0.007	0.003	0.007	0.004	0.008	0.044	0.004	0.005	0.006	
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cr	0.019	0.019	0.113	0.133	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
V	0.134	0.081	0.256	0.325	0.028	0.017	0.015	0.029	0.007	0.030	0.025	0.016	0.013	0.014	0.020	
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

	2012040203				2012040204											
	19	20	21	23	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	
Weight %																
SiO ₂	1.09	0.49	1.90	1.27	2.84	0.17	0.19	0.39	0.32	0.21	0.30	0.30	1.18	1.30	0.15	
TiO ₂	0.77	1.02	0.65	1.49	1.57	1.45	1.59	1.92	1.39	1.34	1.95	4.32	2.62	12.92	1.80	
Al ₂ O ₃	3.87	0.42	1.25	2.65	2.06	0.95	1.40	1.32	0.89	1.10	1.70	1.76	1.64	1.57	1.27	
Fe ₂ O ₃	55.75	60.88	57.21	56.06	52.64	60.79	60.00	59.38	61.18	61.30	58.91	54.80	55.73	33.10	60.60	
FeO	31.74	30.69	32.85	33.85	35.33	32.28	32.59	33.22	32.47	32.43	32.79	35.20	34.49	48.68	32.51	
MnO	0.40	0.66	0.17	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.03	0.17	0.35	0.00	
MgO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.25	0.15	0.13	0.12	0.17	0.13	0.23	0.27	0.15	0.22	0.17	
CaO	1.09	0.53	0.42	0.25	0.41	0.18	0.08	0.08	0.18	0.08	0.11	0.08	0.27	0.24	0.10	
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Cr ₂ O ₃	1.40	1.04	1.04	0.98	0.39	0.25	0.15	0.23	0.09	0.13	0.22	0.25	0.19	0.22	0.18	
V ₂ O ₅	2.24	1.77	1.53	1.96	3.30	3.38	3.24	2.91	3.22	2.99	3.02	2.74	2.96	2.12	2.29	
NiO	1.41	1.56	2.00	1.91	0.17	0.06	0.05	0.00	0.03	0.05	0.46	0.14	0.38	0.22	0.18	
Total	99.76	99.06	99.02	100.44	99.17	99.66	99.42	99.57	99.94	99.76	99.83	99.89	99.78	100.94	99.25	
Atomic ratio as O=4																
Si	0.041	0.019	0.073	0.048	0.107	0.007	0.007	0.015	0.012	0.008	0.011	0.011	0.045	0.049	0.006	
Ti	0.022	0.030	0.019	0.042	0.045	0.042	0.046	0.055	0.040	0.038	0.056	0.123	0.075	0.364	0.052	
Al	0.171	0.019	0.056	0.117	0.092	0.043	0.063	0.059	0.040	0.050	0.076	0.079	0.073	0.069	0.057	
Fe ⁺³	1.573	1.773	1.651	1.586	1.493	1.750	1.727	1.706	1.756	1.762	1.686	1.562	1.588	0.934	1.750	
Fe ⁺²	0.996	0.993	1.053	1.064	1.114	1.033	1.043	1.060	1.036	1.036	1.043	1.115	1.092	1.527	1.043	
Mn	0.013	0.022	0.006	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.001	0.005	0.011	0.000	
Mg	0.000	0.000	0.000	0.001	0.010	0.006	0.005	0.005	0.007	0.005	0.009	0.011	0.006	0.009	0.007	
Ca	0.044	0.022	0.017	0.010	0.017	0.007	0.003	0.003	0.007	0.003	0.004	0.003	0.011	0.010	0.004	
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cr	0.042	0.032	0.032	0.029	0.012	0.008	0.005	0.007	0.003	0.004	0.007	0.007	0.006	0.007	0.005	
V	0.067	0.055	0.047	0.059	0.100	0.104	0.099	0.089	0.098	0.092	0.092	0.083	0.090	0.064	0.070	
Ni	0.043	0.049	0.062	0.058	0.005	0.002	0.002	0.000	0.001	0.002	0.014	0.004	0.012	0.007	0.006	

	2012040204															
	17	18	19	20	21	23	24	25	26	27	28	29	31	32	34	35
Weight %																
SiO ₂	0.21	0.24	0.24	0.41	0.34	0.17	0.09	0.21	0.83	0.30	0.36	0.43	0.30	0.56	0.49	0.19
TiO ₂	1.77	1.15	1.34	1.27	4.37	1.32	1.25	1.82	1.57	0.92	1.02	0.85	1.74	1.32	1.29	1.90
Al ₂ O ₃	0.98	0.70	0.91	1.13	1.32	0.68	0.53	0.83	0.87	0.25	0.53	0.49	0.87	0.62	0.79	0.72
Fe ₂ O ₃	60.20	61.22	61.06	61.38	55.00	61.37	61.74	60.02	59.72	60.92	60.38	60.83	60.18	59.25	60.39	59.46
FeO	32.83	32.50	32.59	32.81	35.76	32.62	32.42	33.07	33.06	32.43	32.22	32.01	33.15	33.16	32.84	33.17
MnO	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.12	0.00	0.00	0.18	0.08	0.08	0.00	0.10	0.43	0.07	0.18	0.10	0.12	0.00	0.00	0.00
CaO	0.11	0.08	0.20	0.08	0.04	0.00	0.13	0.04	0.17	0.06	0.15	0.14	0.06	0.15	0.07	0.06
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.09	0.20	0.28	0.00	0.03	0.20	0.28	0.12	0.20	0.31	0.37	0.26	0.06	0.07	0.00	0.58
V ₂ O ₅	3.52	3.82	3.72	3.25	3.31	3.75	3.84	3.93	3.46	5.28	4.96	4.12	3.91	5.24	3.57	3.82
NiO	0.20	0.00	0.33	0.00	0.00	0.06	0.01	0.18	0.43	0.00	0.34	0.14	0.05	0.06	0.00	0.23
Total	100.03	99.91	100.84	100.51	100.25	100.25	100.29	100.32	100.74	100.54	100.56	99.37	100.44	100.43	99.44	100.13
Atomic ratio as O=4																
Si	0.008	0.009	0.009	0.016	0.013	0.006	0.003	0.008	0.031	0.011	0.014	0.017	0.011	0.021	0.019	0.007
Ti	0.051	0.033	0.038	0.036	0.124	0.038	0.036	0.052	0.045	0.026	0.029	0.025	0.050	0.038	0.037	0.054
Al	0.044	0.032	0.041	0.050	0.059	0.031	0.024	0.037	0.039	0.011	0.024	0.022	0.039	0.028	0.036	0.032
Fe ⁺³	1.726	1.761	1.739	1.749	1.566	1.760	1.772	1.717	1.696	1.744	1.725	1.759	1.718	1.692	1.743	1.706
Fe ⁺²	1.046	1.039	1.031	1.039	1.132	1.040	1.034	1.052	1.043	1.032	1.023	1.029	1.052	1.052	1.053	1.058
Mn	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.005	0.000	0.000	0.007	0.003	0.003	0.000	0.004	0.017	0.003	0.007	0.004	0.005	0.000	0.000	0.000
Ca	0.004	0.003	0.008	0.003	0.002	0.000	0.005	0.002	0.007	0.002	0.006	0.006	0.002	0.006	0.003	0.002
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.003	0.006	0.008	0.000	0.001	0.006	0.008	0.004	0.006	0.009	0.011	0.008	0.002	0.002	0.000	0.017
V	0.108	0.117	0.113	0.099	0.100	0.115	0.117	0.120	0.105	0.161	0.151	0.127	0.119	0.159	0.110	0.117
Ni	0.006	0.000	0.010	0.000	0.000	0.002	0.000	0.006	0.013	0.000	0.010	0.004	0.002	0.002	0.000	0.007

	2013052606									
	1	3	4	5	8	9	12	13	16	18
Weight %										
SiO ₂	0.53	0.32	0.47	0.26	0.39	0.56	0.39	0.53	0.79	0.34
TiO ₂	3.04	5.74	2.82	3.34	7.51	6.06	5.98	4.11	3.92	4.71
Al ₂ O ₃	1.46	1.72	2.10	1.95	1.61	1.61	2.40	1.76	2.10	1.68
Fe ₂ O ₃	56.84	52.81	58.27	57.46	48.73	51.71	52.20	54.45	53.78	51.70
FeO	33.66	35.69	33.47	33.95	37.05	36.61	37.34	34.83	34.96	36.99
MnO	0.54	0.43	0.31	0.52	0.59	0.00	0.26	0.45	0.49	0.59
MgO	0.00	0.27	0.25	0.03	0.22	0.38	0.07	0.00	0.00	0.33
CaO	0.21	0.34	0.22	0.25	0.39	0.22	0.00	0.36	0.27	0.36
Na ₂ O	0.00	0.00	0.10	0.09	0.04	0.09	0.13	0.00	0.00	0.20
Cr ₂ O ₃	0.45	0.25	0.15	0.26	0.37	0.28	0.23	0.70	0.54	0.47
V ₂ O ₅	1.94	1.79	1.13	1.82	1.79	1.65	1.57	2.12	1.94	1.82
NiO	0.41	0.22	0.09	0.19	0.66	0.00	0.25	0.56	0.41	0.47
Total	99.08	99.58	99.38	100.12	99.35	99.17	100.82	99.87	99.20	99.66
Atomic ratio as O=4										
Si	0.020	0.012	0.018	0.010	0.015	0.021	0.015	0.020	0.030	0.013
Ti	0.088	0.164	0.081	0.095	0.215	0.173	0.168	0.117	0.112	0.135
Al	0.066	0.077	0.094	0.087	0.072	0.072	0.106	0.079	0.094	0.076
Fe ⁺³	1.639	1.508	1.668	1.636	1.394	1.481	1.469	1.553	1.540	1.488
Fe ⁺²	1.079	1.133	1.065	1.074	1.178	1.165	1.168	1.104</		

Table 4. Analytical data of ilmenite in diorite from the neighborhood of the Kouyama mountaintop.

	2012040201													2012040202			
	0	1	2	3	4	9	10	10	12	13	13	14	23	9	10	13	17
Weight %																	
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.13	1.05	0.06	0.00	0.00	0.13	0.11	1.37	0.00	0.00	0.00	0.34
TiO ₂	50.80	50.22	49.27	50.44	50.87	52.33	48.92	45.18	50.15	50.07	38.60	22.82	50.33	50.44	49.18	38.60	42.79
Al ₂ O ₃	0.28	0.23	0.04	0.11	0.06	0.09	0.66	0.09	0.09	0.47	0.06	0.11	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	2.46	4.72	5.67	3.85	3.67	0.68	1.85	13.93	4.58	5.18	26.26	55.41	1.77	3.61	6.58	27.39	18.75
FeO	44.12	42.45	40.03	43.34	43.51	46.36	44.15	40.05	43.59	42.54	31.62	19.26	45.23	44.72	43.67	31.61	36.04
MnO	0.71	1.73	2.03	1.43	1.45	0.28	0.80	0.30	1.05	1.08	2.85	1.11	0.46	0.28	0.30	2.85	1.95
MgO	0.40	0.35	0.15	0.20	0.23	0.12	0.17	0.05	0.20	0.68	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.11	0.27	1.54	0.22	0.29	0.29	0.00	0.21	0.08	0.15	0.18	0.17	0.95	0.29	0.21	0.18	0.69
Na ₂ O	0.12	0.00	0.19	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.00	0.20	0.41	0.23	0.20	0.00	0.83	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V ₂ O ₃	0.06	0.22	0.28	0.15	0.12	0.22	0.35	0.12	0.00	0.00	0.22	0.24	0.00	0.22	0.12	0.22	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.06	100.39	99.61	100.01	100.41	100.50	99.65	99.99	99.83	100.17	100.00	99.26	100.56	99.56	100.06	100.85	100.56
Atomic ratio (O=3)																	
Si	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.027	0.002	0.000	0.000	0.003	0.003	0.034	0.000	0.000	0.000	0.009
Ti	0.972	0.949	0.937	0.958	0.962	0.987	0.929	0.863	0.955	0.946	0.741	0.448	0.943	0.963	0.936	0.736	0.813
Al	0.008	0.007	0.001	0.003	0.002	0.003	0.020	0.003	0.003	0.014	0.002	0.003	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ⁺³	0.047	0.089	0.108	0.073	0.069	0.013	0.035	0.266	0.087	0.098	0.505	1.089	0.033	0.069	0.125	0.523	0.357
Fe ⁺²	0.939	0.892	0.847	0.915	0.915	0.972	0.932	0.851	0.923	0.894	0.675	0.421	0.942	0.950	0.924	0.671	0.762
Mn	0.015	0.037	0.043	0.031	0.031	0.006	0.017	0.006	0.023	0.023	0.062	0.025	0.010	0.006	0.006	0.061	0.042
Mg	0.011	0.009	0.004	0.005	0.006	0.003	0.005	0.001	0.005	0.018	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.003	0.007	0.042	0.006	0.008	0.008	0.000	0.006	0.002	0.004	0.005	0.005	0.025	0.008	0.006	0.005	0.019
Na	0.006	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.004	0.008	0.005	0.004	0.000	0.017	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
V	0.001	0.004	0.006	0.003	0.002	0.004	0.007	0.002	0.000	0.000	0.005	0.005	0.000	0.004	0.002	0.004	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

	2012040203			2012040204			2013052602							
	10	17	22	9	14	36	2	8	10	11	13	17	22	
Weight %														
SiO ₂	0.24	1.84	1.93	1.20	0.28	0.19	0.39	0.53	1.52	2.74	0.88	1.24	2.40	
TiO ₂	38.92	43.48	41.89	48.40	46.33	45.75	47.28	48.08	39.12	35.13	48.40	43.68	42.09	
Al ₂ O ₃	0.19	0.96	1.81	0.30	0.23	0.00	0.21	0.83	0.57	1.00	1.04	1.06	2.12	
Fe ₂ O ₃	23.70	9.79	10.10	4.54	10.75	12.32	8.94	6.62	17.84	22.96	3.93	9.67	9.72	
FeO	34.49	40.09	36.53	43.40	40.46	39.95	40.68	40.15	35.75	31.86	42.64	39.20	35.88	
MnO	0.80	0.94	2.78	0.77	0.79	0.92	1.37	1.76	1.01	2.98	1.41	1.15	2.98	
MgO	0.00	0.00	0.03	0.35	0.40	0.23	0.38	0.95	0.13	0.00	0.22	0.08	0.70	
CaO	0.00	0.21	0.46	0.13	0.03	0.07	0.20	0.20	0.00	0.00	0.10	0.21	0.46	
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Cr ₂ O ₃	0.83	0.18	0.67	0.00	0.09	0.12	0.22	0.09	0.92	1.20	0.16	0.26	0.76	
V ₂ O ₃	0.35	0.00	0.34	0.16	0.18	0.37	0.10	0.00	0.35	0.38	0.00	0.00	0.34	
NiO	1.87	2.60	2.70	0.00	0.13	0.20	0.15	0.45	1.95	1.43	0.24	2.67	2.78	
Total	101.39	100.09	99.24	99.25	99.67	100.12	99.92	99.66	99.16	99.68	99.02	99.22	100.23	
Atomic ratio (O=3)														
Si	0.006	0.047	0.049	0.030	0.007	0.005	0.010	0.013	0.039	0.070	0.022	0.032	0.060	
Ti	0.741	0.827	0.799	0.921	0.884	0.872	0.899	0.911	0.754	0.671	0.922	0.839	0.790	
Al	0.006	0.029	0.054	0.009	0.007	0.000	0.006	0.025	0.017	0.030	0.031	0.032	0.062	
Fe ⁺³	0.451	0.186	0.193	0.086	0.205	0.235	0.170	0.126	0.344	0.439	0.075	0.186	0.183	
Fe ⁺²	0.730	0.848	0.775	0.919	0.859	0.847	0.860	0.846	0.767	0.676	0.903	0.837	0.749	
Mn	0.017	0.020	0.060	0.017	0.017	0.020	0.029	0.038	0.022	0.064	0.030	0.025	0.063	
Mg	0.000	0.000	0.001	0.009	0.011	0.006	0.010	0.026	0.004	0.000	0.006	0.002	0.019	
Ca	0.000	0.006	0.013	0.004	0.001	0.002	0.005	0.005	0.000	0.000	0.003	0.006	0.012	
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cr	0.017	0.004	0.013	0.000	0.002	0.002	0.004	0.002	0.019	0.024	0.003	0.005	0.015	
V	0.007	0.000	0.007	0.003	0.004	0.008	0.002	0.000	0.007	0.008	0.000	0.000	0.007	
Ni	0.038	0.053	0.055	0.000	0.003	0.004	0.003	0.009	0.040	0.029	0.005	0.055	0.056	

また、沖浦部落北方の海岸に露出する両輝石斑れい岩中の磁鉄鉱およびチタン鉄鉱の EPMA 分析値はそれぞれ Table 5 および Table 6 に示している。磁鉄鉱のバナジウム含有量は 1.13~3.13wt% V₂O₃ の範囲

にあり、平均値は 2.01% であった。一方チタン鉄鉱中のバナジウム量は 0.35% 以下であった。また MnO 含有量の平均値は 1.77wt% であった。

Table 5. Analytical data of magnetite in two-pyroxene gabbro from northern coast from Okiura village

		2013052501																		
		1	3	7	8	9	10	12	14	17	18	22	23	24	26	27	28	29	31	
Weight %		SiO ₂	4.81	0.34	0.26	0.26	0.56	0.43	0.30	0.21	0.45	0.00	0.34	0.21	0.41	0.43	0.45	0.32	0.49	0.26
		TiO ₂	3.17	4.82	5.47	4.19	4.64	5.21	2.45	4.34	1.89	3.61	4.71	3.09	3.04	3.39	3.84	3.69	3.07	3.09
		Al ₂ O ₃	3.80	2.12	2.17	0.98	2.44	2.19	1.68	2.23	1.40	2.80	2.25	2.00	2.36	2.61	2.91	2.12	2.66	2.66
		Fe ₂ O ₃	45.83	54.49	54.12	56.82	52.82	53.96	59.50	56.01	60.69	51.88	53.89	57.38	57.93	56.13	55.00	57.08	56.30	57.59
		FeO	38.90	34.39	35.63	34.63	34.39	35.64	32.48	33.95	32.49	37.38	34.38	33.44	34.14	33.18	33.41	34.71	33.06	33.72
		MnO	0.27	0.40	0.34	0.39	0.40	0.41	0.27	0.36	0.25	0.14	0.01	0.17	0.26	0.40	0.48	0.35	0.34	0.28
		MgO	1.01	0.88	0.68	0.12	0.60	0.61	0.61	0.81	0.50	0.22	0.88	0.38	0.56	0.93	0.98	0.43	0.85	0.73
		CaO	0.43	0.14	0.10	0.13	0.29	0.10	0.28	0.31	0.20	0.20	0.22	0.08	0.00	0.15	0.31	0.00	0.27	0.00
		Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Cr ₂ O ₃	0.23	0.25	0.07	0.09	0.22	0.12	0.26	0.15	0.18	0.20	0.12	0.06	0.19	0.15	0.25	0.15	0.31	0.22
		V ₂ O ₅	1.90	1.93	1.97	1.99	2.00	2.07	2.09	2.10	2.18	2.21	2.22	2.24	2.38	2.38	2.38	2.47	2.54	2.58
		NiO	0.34	0.32	0.11	0.14	0.31	0.13	0.14	0.37	0.34	0.48	0.41	0.09	0.22	0.27	0.25	0.00	0.34	0.20
		Total	100.7	100.1	100.9	99.74	98.67	100.9	100.1	100.8	100.6	99.12	99.43	99.14	101.5	100	100.3	101.3	100.2	101.3
Atomic ratio (O=4)		Si	0.175	0.013	0.021	0.010	0.021	0.016	0.011	0.008	0.017	0.000	0.013	0.008	0.015	0.016	0.017	0.012	0.018	0.010
		Ti	0.087	0.136	0.174	0.120	0.133	0.146	0.070	0.122	0.054	0.104	0.134	0.089	0.085	0.096	0.108	0.103	0.087	0.086
		Al	0.163	0.094	0.095	0.044	0.110	0.096	0.075	0.098	0.062	0.127	0.100	0.090	0.103	0.116	0.128	0.093	0.118	0.117
		Fe ⁺³	1.254	1.544	1.457	1.631	1.514	1.516	1.694	1.575	1.724	1.501	1.535	1.648	1.621	1.587	1.547	1.601	1.589	1.611
		Fe ⁺²	1.183	1.083	1.158	1.105	1.096	1.113	1.028	1.061	1.026	1.202	1.089	1.067	1.061	1.043	1.045	1.082	1.037	1.048
		Mn	0.008	0.013	0.013	0.013	0.013	0.009	0.011	0.008	0.005	0.000	0.005	0.008	0.013	0.015	0.011	0.011	0.011	0.009
		Mg	0.039	0.035	0.013	0.005	0.024	0.024	0.025	0.032	0.020	0.009	0.036	0.016	0.022	0.037	0.039	0.017	0.034	0.029
		Ca	0.017	0.006	0.007	0.005	0.012	0.004	0.011	0.012	0.008	0.008	0.009	0.003	0.000	0.006	0.012	0.000	0.011	0.000
		Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Cr	0.007	0.007	0.000	0.003	0.007	0.004	0.008	0.004	0.005	0.006	0.004	0.002	0.006	0.004	0.007	0.004	0.009	0.006
		V	0.055	0.058	0.058	0.061	0.061	0.062	0.063	0.066	0.068	0.067	0.069	0.071	0.072	0.071	0.074	0.076	0.077	0.077
		Ni	0.010	0.010	0.003	0.004	0.009	0.004	0.004	0.011	0.010	0.015	0.012	0.003	0.007	0.008	0.008	0.000	0.010	0.006

		2013052502																		
		1	2	6	7	10	11	13	14	15	17	19	20	21	22	23	25	26	28	
Weight %		SiO ₂	0.41	0.17	0.21	0.17	0.17	0.41	0.49	0.39	0.39	0.43	0.41	0.90	0.30	0.53	0.00	0.41	0.28	0.36
		TiO ₂	5.74	5.96	4.87	4.34	5.46	5.47	5.66	5.81	4.37	5.14	5.69	6.13	5.99	6.03	4.89	5.27	4.39	4.12
		Al ₂ O ₃	2.36	2.68	2.46	2.66	2.59	2.31	2.84	2.70	3.12	0.98	2.57	3.12	2.06	2.87	2.27	3.21	3.08	2.72
		Fe ₂ O ₃	53.15	52.76	54.14	56.38	53.64	51.60	52.56	51.98	53.69	53.55	53.33	49.27	52.50	51.80	55.26	53.45	55.02	55.17
		FeO	35.31	34.18	34.64	33.85	33.89	35.45	35.22	34.85	33.97	35.42	34.38	36.20	34.91	35.01	34.16	34.03	33.51	33.66
		MnO	0.45	0.56	0.50	0.39	0.62	0.57	0.36	0.45	0.48	0.35	0.49	0.58	0.52	0.44	0.48	0.72	0.40	0.49
		MgO	1.06	1.49	0.51	1.11	1.31	0.22	1.26	1.16	0.88	0.12	1.69	0.83	1.09	1.54	0.86	1.59	1.38	0.99
		CaO	0.06	0.32	0.21	0.22	0.36	0.38	0.11	0.31	0.36	0.24	0.17	0.34	0.32	0.32	0.29	0.29	0.27	0.22
		Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		Cr ₂ O ₃	0.10	0.22	0.15	0.13	0.37	0.34	0.13	0.35	0.37	0.38	0.22	0.35	0.48	0.25	0.35	0.20	0.44	0.38
		V ₂ O ₅	1.68	2.00	1.87	2.06	1.99	2.25	1.90	1.94	2.43	2.21	2.04	2.07	2.07	2.19	2.35	2.29	2.13	2.10
		NiO	0.42	0.36	0.34	0.29	0.57	0.56	0.32	0.60	0.37	0.41	0.29	0.50	0.36	0.25	0.32	0.47	0.43	0.51
		Total	100.74	100.70	99.90	101.60	100.97	99.56	100.85	100.54	100.43	99.23	101.28	100.29	100.60	101.23	101.23	101.93	101.33	100.72
Atomic ratio (O=4)		Si	0.015	0.006	0.008	0.006	0.006	0.016	0.018	0.015	0.015	0.016	0.015	0.033	0.011	0.020	0.000	0.015	0.010	0.013
		Ti	0.161	0.167	0.138	0.121	0.153	0.156	0.158	0.163	0.123	0.148	0.158	0.172	0.168	0.167	0.137	0.145	0.122	0.116
		Al	0.104	0.117	0.109	0.116	0.113	0.103	0.124	0.119	0.137	0.044	0.112	0.137	0.091	0.125	0.100	0.139	0.134	0.120
		Fe ⁺³	1.492	1.477	1.536	1.569	1.500	1.469	1.468	1.468	1.506	1.542	1.483	1.380	1.477	1.438	1.548	1.473	1.530	1.548
		Fe ⁺²	1.102	1.063	1.092	1.047	1.053	1.122	1.093	1.087	1.059	1.134	1.063	1.127	1.091	1.080	1.064	1.042	1.035	1.050
		Mn	0.014	0.018	0.016	0.012	0.020	0.018	0.011	0.014	0.015	0.011	0.015	0.018	0.016	0.014	0.015	0.022	0.013	0.015
		Mg	0.042	0.059	0.021	0.044	0.052	0.009	0.050	0.046	0.035	0.005	0.067	0.033	0.044	0.061	0.034	0.062	0.055	0.040
		Ca	0.002	0.013	0.008	0.009	0.014	0.015	0.004	0.012	0.014	0.010	0.007	0.014	0.013	0.013	0.012	0.011	0.011	0.000
		Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Cr	0.003	0.006	0.004	0.004	0.011	0.010	0.004	0.010	0.011	0.011	0.006	0.010	0.014	0.007	0.010	0.006	0.013	0.011
		V	0.050	0.060	0.057	0.061	0.059	0.068	0.057	0.058	0.073	0.068	0.060	0.062	0.062	0.065	0.070	0.067	0.063	0.063
		Ni	0.013	0.011	0.010	0.009	0.017	0.017	0.010	0.018	0.011	0.013	0.009	0.015	0.011	0.007	0.010	0.014	0.013	0.015

		2013052504																	
		1	3	4	5	6	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	20	22	
Weight %		SiO ₂	0.47	0.21	0.28	0.53	0.32	0.19	0.30	0.17	0.11	0.39	0.34	0.26	0.60	0.41	0.19	0.19	0.43
		TiO ₂	5.91	1.35	1.39	1.72	1.42	12.63	1.50	3.22	1.50	1.95	2.45	4.22	1.00	2.83	2.37	2.70	1.80
		Al ₂ O ₃	3.76	1.44	1.81	3.23	1.29	0.91	1.63	0.79	1.04	1.95	1.76	2.25	1.29	0.98	1.97	2.44	1.98
		Fe ₂ O ₃	50.08	61.34	61.56	58.80	61.34	42.06	61.31	59.10	63.15	59.72	58.92	55.35	62.40	58.14	59.36	58.99	60.25
		FeO	36.04	31.83	32.34	32.59	32.37	42.53	32.43	34.15	32.68	32.72	33.12	34.80	32.92	33.28	32.25	33.27	32.99
		MnO	0.45	0.31	0.17	0.25	0.13	0.61	0.26	0.22	0.28	0.37	0.39	0.36	0.06	0.31	0.36	0.28	0.04
		MgO	0.73	0.32	0.40	0.73	0.22	0.15	0.35	0.00	0.10	0.38	0.25	0.32	0.00	0.12	0.61	0.51	0.33
		CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.27	0.21	0.20	0.08
		Na ₂ O	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.05	0.09	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.07	0.09	0.04	0.13	0.00
		Cr ₂ O ₃	0.23	0.35	0.34	0.25	0.23</												

2013052512															
	1	2	4	5	6	8	9	10	12	13	15	16	17	18	19
Weight %															
SiO ₂	0.41	0.26	0.43	0.49	0.32	0.53	0.32	0.49	0.30	0.30	0.34	0.39	0.30	0.58	1.52
TiO ₂	4.52	4.27	4.99	5.16	4.52	5.26	4.77	4.84	4.62	4.39	4.12	4.64	5.02	4.06	8.06
Al ₂ O ₃	2.74	2.91	2.68	2.68	2.82	2.48	2.68	2.68	2.48	2.68	2.72	2.72	0.98	0.70	2.29
Fe ₂ O ₃	53.69	54.88	53.59	52.43	54.58	52.76	54.47	53.46	54.78	55.20	55.43	54.57	54.85	56.16	46.66
FeO	34.86	34.72	34.61	35.43	34.43	35.97	34.86	35.53	35.13	34.61	34.97	34.86	35.26	33.34	38.12
MnO	0.44	0.31	0.61	0.37	0.39	0.45	0.25	0.30	0.23	0.23	0.40	0.22	0.44	0.31	0.35
MgO	0.50	0.50	0.96	0.55	0.80	0.38	0.86	0.43	0.56	0.75	0.38	0.85	0.12	0.96	1.26
CaO	0.28	0.28	0.15	0.34	0.27	0.21	0.14	0.34	0.17	0.18	0.17	0.25	0.28	0.17	0.55
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.48	0.44	0.39	0.54	0.20	0.38	0.34	0.60	0.39	0.41	0.57	0.35	0.44	0.47	0.12
V ₂ O ₅	2.35	2.16	1.97	2.15	2.22	2.04	1.93	1.94	2.02	1.84	1.93	2.09	1.99	1.90	1.31
NiO	0.27	0.11	0.32	0.10	0.11	0.19	0.00	0.00	0.15	0.00	0.23	0.00	0.29	0.34	0.17
Total	100.54	100.84	100.70	100.24	100.66	100.65	100.62	100.61	100.83	100.59	101.26	100.94	99.97	98.99	100.41
Atomic ratio (O=4)															
Si	0.015	0.010	0.016	0.018	0.012	0.020	0.012	0.018	0.011	0.011	0.013	0.014	0.011	0.022	0.056
Ti	0.127	0.120	0.140	0.145	0.127	0.148	0.134	0.136	0.130	0.123	0.115	0.130	0.143	0.117	0.225
Al	0.121	0.128	0.118	0.118	0.124	0.109	0.118	0.118	0.109	0.118	0.119	0.119	0.044	0.032	0.100
Fe ⁺³	1.510	1.538	1.503	1.477	1.531	1.483	1.529	1.501	1.539	1.552	1.550	1.526	1.569	1.620	1.302
Fe ⁺²	1.089	1.082	1.079	1.109	1.073	1.124	1.088	1.109	1.097	1.081	1.087	1.084	1.121	1.069	1.182
Mn	0.014	0.010	0.019	0.012	0.012	0.014	0.008	0.009	0.007	0.007	0.013	0.007	0.014	0.010	0.011
Mg	0.020	0.020	0.038	0.022	0.032	0.015	0.034	0.017	0.022	0.030	0.015	0.034	0.005	0.039	0.050
Ca	0.011	0.011	0.006	0.014	0.011	0.008	0.006	0.014	0.007	0.007	0.007	0.010	0.011	0.007	0.022
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.014	0.013	0.011	0.016	0.006	0.011	0.010	0.018	0.012	0.012	0.017	0.010	0.013	0.014	0.004
V	0.070	0.065	0.059	0.065	0.066	0.061	0.058	0.060	0.055	0.058	0.062	0.061	0.058	0.058	0.039
Ni	0.008	0.003	0.010	0.003	0.003	0.006	0.000	0.000	0.005	0.000	0.007	0.000	0.009	0.010	0.005

2013052513																		
	1	2	3	4	5	6	8	10	11	16	18	20	22	23	24	25	26	29
Weight %																		
SiO ₂	0.26	0.26	0.21	0.45	0.17	0.45	0.41	0.19	0.51	0.36	0.19	0.28	0.34	0.51	0.32	0.34	0.26	0.13
TiO ₂	3.55	7.41	5.91	5.67	0.87	1.40	1.95	5.27	1.69	2.09	2.27	7.48	5.36	8.01	5.21	4.76	4.41	5.46
Al ₂ O ₃	2.85	3.10	3.18	2.46	3.16	1.66	1.51	3.16	1.17	1.10	0.70	3.52	2.91	2.06	3.40	3.46	2.70	2.74
Fe ₂ O ₃	56.87	49.97	52.63	52.69	61.66	61.58	60.76	52.75	60.96	60.79	60.75	48.56	52.73	46.82	52.91	53.97	54.96	53.46
FeO	34.51	36.89	35.36	36.76	31.55	32.81	32.75	35.27	32.63	33.07	32.69	36.17	35.50	38.39	35.71	34.61	34.28	34.77
MnO	0.32	0.45	0.43	0.58	0.13	0.28	0.18	0.36	0.26	0.26	0.30	0.52	0.43	0.48	0.37	0.43	0.36	0.46
MgO	0.33	1.09	1.11	0.13	0.37	0.17	0.48	0.61	0.22	0.27	0.28	1.39	0.64	0.00	0.60	1.11	0.91	0.95
CaO	0.24	0.18	0.14	0.13	0.31	0.21	0.29	0.14	0.25	0.20	0.22	0.21	0.18	0.38	0.11	0.17	0.13	0.22
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.20	0.00	0.13	0.19	0.00	0.25	0.19	0.07	0.00	0.26	0.32	0.26	0.19	0.22	0.10	0.19	0.26	0.20
V ₂ O ₅	2.15	1.87	1.75	1.97	1.66	2.25	2.46	2.03	2.29	2.52	2.63	1.81	2.06	2.32	1.90	2.21	2.35	2.09
NiO	0.00	0.00	0.10	0.25	0.00	0.28	0.00	0.00	0.20	0.24	0.20	0.18	0.22	0.18	0.14	0.00	0.00	0.14
Total	101.28	101.22	100.95	101.28	99.88	101.34	100.98	99.85	100.18	101.16	100.55	100.38	100.56	99.37	100.77	101.25	100.62	100.62
Atomic ratio (O=4)																		
Si	0.010	0.010	0.008	0.017	0.006	0.017	0.015	0.007	0.019	0.014	0.007	0.010	0.013	0.019	0.012	0.013	0.010	0.005
Ti	0.099	0.206	0.165	0.159	0.025	0.039	0.055	0.149	0.048	0.059	0.065	0.209	0.150	0.228	0.146	0.132	0.124	0.153
Al	0.125	0.135	0.139	0.108	0.140	0.073	0.067	0.140	0.052	0.049	0.031	0.154	0.128	0.092	0.149	0.150	0.119	0.120
Fe ⁺³	1.590	1.388	1.467	1.475	1.750	1.736	1.716	1.490	1.741	1.721	1.734	1.355	1.480	1.334	1.479	1.498	1.543	1.500
Fe ⁺²	1.072	1.139	1.096	1.143	0.995	1.028	1.028	1.107	1.036	1.040	1.037	1.122	1.108	1.215	1.110	1.068	1.070	1.085
Mn	0.010	0.014	0.013	0.018	0.004	0.009	0.006	0.011	0.008	0.008	0.010	0.016	0.014	0.015	0.012	0.013	0.011	0.015
Mg	0.013	0.043	0.044	0.005	0.015	0.007	0.019	0.025	0.009	0.011	0.011	0.055	0.026	0.000	0.024	0.044	0.036	0.038
Ca	0.010	0.007	0.006	0.005	0.013	0.008	0.012	0.006	0.010	0.008	0.009	0.008	0.007	0.015	0.004	0.007	0.005	0.009
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.006	0.000	0.004	0.006	0.000	0.007	0.006	0.002	0.000	0.008	0.010	0.008	0.006	0.007	0.003	0.006	0.008	0.006
V	0.064	0.055	0.052	0.059	0.050	0.068	0.074	0.061	0.070	0.076	0.080	0.054	0.062	0.070	0.057	0.065	0.070	0.062
Ni	0.000	0.000	0.003	0.007	0.000	0.008	0.000	0.000	0.006	0.007	0.006	0.005	0.007	0.005	0.004	0.000	0.000	0.004

2013052514												
	1	3	5	6	7	8	9	10	11	12	14	
Weight %												
SiO ₂	0.43	0.43	0.30	0.32	0.45	0.34	0.49	0.41	0.15	0.17	0.41	
TiO ₂	4.77	5.54	5.21	5.89	5.79	4.72	5.14	6.29	7.09	5.49	6.73	
Al ₂ O ₃	3.08	3.23	3.86	3.06	3.53	3.91	3.80	3.31	3.48	3.25	3.63	
Fe ₂ O ₃	53.09	51.84	53.14	51.91	51.16	53.23	51.80	50.73	48.98	51.58	49.73	
FeO	34.89	35.83	35.18	34.99	35.28	34.55	34.61	35.47	37.36	34.55	36.41	
MnO	0.22	0.21	0.44	0.48	0.43	0.41	0.61	0.21	0.35	0.39	0.41	
MgO	0.58	0.73	0.83	1.11	1.03	0.86	0.99	1.28	0.22	0.95	0.98	
CaO	0.28	0.00	0.34	0.17	0.22	0.22	0.17	0.17	0.21	0.20	0.22	
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.28	
V ₂ O ₅	1.74	1.57	1.72	1.66	1.74	1.62	1.69	1.52	1.62	2.04	1.47	
NiO	0.11	0.22	0.11	0.00	0.15	0.00	0.00	0.11	0.00	0.37	0.37	
Total	99.19	99.60	101.13	99.59	99.78	99.86	99.30	99.50	99.46	99.28	100.64	
Atomic ratio (O=4)												
Si	0.016	0.016	0.011	0.012	0.017	0.013	0.018	0.015	0.006	0.006	0.015	
Ti	0.136	0.157	0.145	0.166	0.163	0.133	0.145	0.177	0.201			

2013052516															
	2	3	4	6	7	8	9	12	13	14	16	17	18	22	23
Weight %															
SiO ₂	0.24	0.26	0.32	0.32	0.24	0.24	0.43	0.32	0.19	0.19	0.21	0.32	0.21	0.34	0.13
TiO ₂	3.67	2.67	1.97	2.44	2.67	2.59	4.34	2.44	2.24	2.24	6.74	5.76	4.42	5.36	7.26
Al ₂ O ₃	1.63	1.49	1.34	1.55	1.40	1.59	1.93	1.70	1.61	1.61	2.68	0.98	0.70	2.91	7.69
Fe ₂ O ₃	56.91	59.24	61.04	60.10	59.50	59.78	55.88	59.97	60.37	59.63	50.88	53.49	57.44	52.73	44.54
FeO	33.55	33.02	32.75	32.96	33.13	33.15	34.47	32.99	32.25	31.92	36.03	36.01	34.06	35.50	35.05
MnO	0.41	0.34	0.30	0.32	0.23	0.30	0.46	0.37	0.31	0.31	0.40	0.43	0.34	0.43	0.63
MgO	0.41	0.32	0.23	0.41	0.28	0.33	0.61	0.41	0.58	0.58	0.99	0.12	0.65	0.64	2.19
CaO	0.11	0.07	0.10	0.14	0.10	0.10	0.14	0.06	0.11	0.11	0.04	0.10	0.07	0.18	0.14
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.29	0.23	0.20	0.19	0.26	0.22	0.23	0.20	0.26	0.26	0.19	0.15	0.19	0.19	0.23
V ₂ O ₅	1.60	1.65	1.63	1.72	1.53	1.69	1.59	1.56	1.75	1.75	1.56	1.74	1.62	2.06	1.74
NiO	0.14	0.09	0.10	0.11	0.11	0.10	0.11	0.08	0.10	0.10	0.06	0.08	0.06	0.22	0.15
Total	98.96	99.38	99.98	100.26	99.45	100.09	100.19	100.10	99.77	98.70	99.78	99.18	99.76	100.56	99.75
Atomic ratio (O=4)															
Si	0.009	0.010	0.012	0.012	0.009	0.009	0.016	0.012	0.007	0.007	0.008	0.012	0.008	0.013	0.005
Ti	0.106	0.077	0.056	0.069	0.077	0.074	0.123	0.070	0.064	0.065	0.190	0.166	0.127	0.150	0.199
Al	0.074	0.067	0.060	0.069	0.063	0.071	0.086	0.076	0.072	0.073	0.119	0.044	0.031	0.128	0.330
Fe ⁺³	1.640	1.703	1.747	1.712	1.711	1.706	1.584	1.710	1.727	1.724	1.439	1.541	1.648	1.480	1.220
Fe ⁺²	1.074	1.055	1.042	1.043	1.059	1.051	1.086	1.045	1.025	1.026	1.132	1.153	1.086	1.108	1.067
Mn	0.013	0.011	0.010	0.010	0.007	0.010	0.015	0.012	0.010	0.010	0.013	0.014	0.011	0.014	0.019
Mg	0.017	0.013	0.009	0.017	0.011	0.013	0.025	0.017	0.024	0.024	0.040	0.005	0.027	0.026	0.085
Ca	0.005	0.003	0.004	0.006	0.004	0.004	0.006	0.002	0.004	0.005	0.002	0.004	0.003	0.007	0.005
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.009	0.007	0.006	0.006	0.008	0.007	0.007	0.006	0.008	0.008	0.006	0.005	0.006	0.006	0.007
V	0.049	0.051	0.050	0.052	0.047	0.051	0.048	0.047	0.053	0.054	0.047	0.053	0.050	0.062	0.051
Ni	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.007	0.004

2015041506					2015041507											
	4	5	7	9	14	5	12	11	3	1	8	12	6	8	1	10
Weight %																
SiO ₂	0.51	0.98	0.97	1.01	0.49	3.34	0.47	1.90	0.58	0.36	0.62	0.96	0.53	0.71	0.77	0.49
TiO ₂	1.20	1.77	1.10	1.27	1.92	13.47	1.50	1.90	1.77	1.97	1.94	2.05	2.15	1.59	1.85	2.17
Al ₂ O ₃	1.64	1.44	2.27	2.15	2.10	0.98	0.70	2.48	1.59	1.46	3.40	0.98	0.70	2.00	1.78	1.57
Fe ₂ O ₃	60.97	59.23	59.92	60.28	59.62	31.43	62.61	56.96	60.41	60.29	58.30	58.97	60.47	59.37	58.79	58.66
FeO	30.98	32.05	31.43	33.27	32.34	45.46	30.82	33.27	32.20	31.59	31.49	32.83	31.12	30.80	32.75	31.99
MnO	0.70	0.99	0.90	0.94	0.45	1.92	0.56	0.80	0.63	0.80	1.03	0.74	1.29	1.01	0.93	0.86
MgO	0.90	0.68	0.93	0.58	0.51	0.12	0.88	1.08	0.36	0.40	0.86	0.12	0.65	0.71	0.00	0.45
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.41	0.36	0.25	0.28	0.32	0.50	0.45	0.32	0.64	0.29	0.15
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.89	0.72	0.77	0.91	0.96	0.95	0.54	0.57	0.48	0.47	0.66	0.69	0.66	0.73	0.61	0.57
V ₂ O ₅	1.88	1.54	1.77	1.66	1.34	1.35	1.41	1.50	1.54	1.54	1.66	1.74	1.77	1.85	1.87	2.10
NiO	0.81	1.16	1.03	0.61	0.60	0.71	0.93	0.48	0.45	0.94	1.15	0.56	0.81	1.22	0.84	1.36
Total	100.48	100.56	101.09	102.68	100.58	100.14	100.78	101.19	100.29	100.14	101.61	100.09	100.47	100.63	100.48	100.37
Atomic ratio (O=4)																
Si	0.019	0.037	0.036	0.037	0.018	0.124	0.018	0.070	0.022	0.014	0.023	0.036	0.020	0.027	0.029	0.019
Ti	0.034	0.050	0.031	0.035	0.054	0.376	0.043	0.053	0.050	0.056	0.054	0.059	0.061	0.045	0.053	0.062
Al	0.073	0.064	0.100	0.093	0.093	0.043	0.031	0.108	0.071	0.065	0.148	0.044	0.031	0.089	0.079	0.070
Fe ⁺³	1.732	1.681	1.683	1.671	1.687	0.879	1.782	1.586	1.719	1.723	1.620	1.685	1.725	1.678	1.670	1.671
Fe ⁺²	0.978	1.011	0.981	1.025	1.017	1.412	0.975	1.029	1.019	1.003	0.972	1.042	0.987	0.967	1.034	1.013
Mn	0.022	0.032	0.028	0.029	0.014	0.060	0.018	0.025	0.020	0.026	0.032	0.024	0.041	0.032	0.030	0.028
Mg	0.036	0.027	0.037	0.023	0.021	0.005	0.036	0.043	0.015	0.016	0.034	0.005	0.026	0.029	0.000	0.018
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.016	0.015	0.010	0.011	0.013	0.020	0.018	0.013	0.026	0.012	0.006
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.027	0.021	0.023	0.027	0.029	0.028	0.016	0.017	0.014	0.014	0.019	0.021	0.020	0.022	0.018	0.017
V	0.057	0.047	0.053	0.049	0.040	0.040	0.043	0.044	0.047	0.047	0.049	0.053	0.054	0.056	0.057	0.064
Ni	0.025	0.035	0.031	0.018	0.018	0.021	0.028	0.014	0.014	0.029	0.034	0.017	0.025	0.037	0.026	0.041

Table 6. Analytical data of ilmenite in two-pyroxene gabbro from northern coast from Okiura village

2013052501						2013052502						2013052503				
	4	6	13	19	25	30	4	8	12	18	24	27	2	7	11	20
Weight %																
SiO ₂	0.58	0.41	0.53	0.13	0.64	0.71	0.68	0.60	0.83	0.96	1.16	0.92	0.41	0.13	0.19	0.66
TiO ₂	49.99	50.47	48.73	49.52	48.42	48.25	49.42	50.04	50.25	49.80	49.24	48.57	49.99	30.54	50.60	49.35
Al ₂ O ₃	0.83	0.74	0.60	0.40	0.85	0.43	0.77	0.53	0.89	0.70	1.13	1.04	0.53	2.89	1.08	0.77
Fe ₂ O ₃	5.64	4.14	7.70	7.57	7.43	8.17	4.06	2.74	2.97	3.78	7.18	8.51	2.45	38.73	1.24	3.57
FeO	39.12	42.00	35.82	37.34	37.39	38.26	38.85	42.18	42.82	41.94	34.06	35.39	43.18	23.96	43.32	41.80
MnO	1.30	1.59	0.80	0.70	0.77	1.06	0.93	1.33	0.83	0.72	0.86	0.92	1.53	1.32	2.01	2.23
MgO	2.79	1.28	4.35	3.66	3.40	2.59	2.92	1.08	1.33	1.74	5.94	4.58	0.41	1.31	0.22	0.56
CaO	0.20	0.00	0.07	0.10	0.07	0.24	0.21	0.22	0.13	0.14	0.13	0.24	0.00	0.00	0.00	0.10
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.80	0.69
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.32	0.00	0.19	0.16	0.29	0.10	0.07
V ₂ O ₅	0.00	0.00	0.12	0.00	0.19	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.15	0.65	0.00	0.00
NiO	0.32	0.18	0.20	0.20	0.00	0.09	0.38	0.20	0.00	0.41	0.34	0.52	0.24	0.00	0.09	0.00
Total	100.77	100.81	98.99	99.69	99.16	99.80	98.73	98.92	100.05	100.51	100.04	101.06	99.24	99.82	99.65	99.80
Atomic ratio (O=3)</																

	2013052505										2013052510				2013052511			
	10	12	8	9	10	12	13	14	15		4	10	19	23	11	19	23	26
Weight %																		
SiO ₂	0.26	0.34	0.11	0.45	0.88	0.77	0.00	0.00	0.00	0.56	0.86	0.53	0.56	0.39	0.51	0.75	0.60	
TiO ₂	3.34	9.41	3.79	47.57	48.75	48.33	48.75	49.60	50.73	49.95	50.15	50.05	50.69	49.95	48.95	47.87	48.02	
Al ₂ O ₃	2.40	2.49	2.15	0.66	0.95	0.96	0.66	0.17	1.17	0.62	0.89	0.74	0.77	0.55	0.60	1.08	1.00	
Fe ₂ O ₃	57.33	45.96	56.39	8.56	5.14	7.31	6.47	6.08	3.99	4.77	4.09	4.11	4.43	3.37	5.12	7.69	6.07	
FeO	33.28	38.94	33.50	39.59	39.98	39.38	40.40	42.65	42.27	39.77	40.72	41.36	40.05	43.78	41.53	38.23	40.98	
MnO	0.25	0.35	0.50	0.79	0.92	1.10	1.24	1.33	1.81	0.72	0.98	0.97	0.88	1.11	1.56	0.96	1.36	
MgO	0.93	0.85	0.56	1.53	2.12	2.19	1.09	0.35	0.75	2.79	2.02	1.79	2.88	0.22	0.68	2.57	0.73	
CaO	0.11	0.24	0.14	0.17	0.17	0.00	0.20	0.00	0.15	0.10	0.65	0.10	0.15	0.08	0.25	0.14	0.20	
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Cr ₂ O ₃	0.39	0.41	0.45	0.00	0.13	0.00	0.20	0.00	0.23	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	
V ₂ O ₅	0.22	0.57	0.21	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
NiO	0.24	0.00	0.50	0.00	0.15	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	
Total	98.75	99.56	98.30	99.45	99.19	100.04	99.11	100.18	101.10	99.41	100.36	99.72	100.41	99.45	99.36	99.29	98.96	
Atomic ratio (O=3)																		
Si	0.007	0.010	0.003	0.011	0.022	0.019	0.000	0.000	0.000	0.014	0.021	0.013	0.014	0.010	0.013	0.019	0.015	
Ti	0.072	0.200	0.082	0.902	0.920	0.906	0.929	0.941	0.946	0.940	0.934	0.943	0.944	0.951	0.930	0.902	0.915	
Al	0.081	0.083	0.073	0.020	0.028	0.028	0.020	0.005	0.034	0.018	0.026	0.022	0.022	0.016	0.018	0.032	0.030	
Fe ⁺³	1.238	0.976	1.227	0.162	0.097	0.137	0.123	0.115	0.074	0.090	0.076	0.077	0.083	0.064	0.097	0.145	0.116	
Fe ⁺²	0.798	0.919	0.810	0.834	0.839	0.821	0.857	0.900	0.877	0.833	0.844	0.866	0.829	0.926	0.878	0.801	0.868	
Mn	0.006	0.008	0.012	0.017	0.020	0.023	0.027	0.028	0.038	0.015	0.021	0.021	0.018	0.024	0.033	0.020	0.029	
Mg	0.029	0.026	0.017	0.041	0.057	0.058	0.030	0.009	0.020	0.075	0.054	0.048	0.076	0.006	0.018	0.069	0.020	
Ca	0.003	0.007	0.004	0.005	0.005	0.000	0.005	0.000	0.004	0.003	0.017	0.003	0.004	0.002	0.007	0.004	0.005	
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cr	0.009	0.009	0.010	0.000	0.003	0.000	0.004	0.000	0.005	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	
V	0.005	0.013	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ni	0.006	0.000	0.012	0.000	0.003	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	

	2013052512				2013052513				2013052514			2013052516				
	3	7	11	14	9	12	17	22	27	2	4	13	5	20	21	24
Weight %																
SiO ₂	0.64	0.51	0.92	1.05	0.28	0.53	0.88	0.51	0.68	0.77	0.73	0.83	0.51	0.41	0.45	0.41
TiO ₂	48.83	49.02	47.87	47.93	47.88	51.64	41.69	48.37	48.47	48.03	48.97	49.94	47.43	49.64	47.65	46.63
Al ₂ O ₃	0.83	0.62	1.12	1.17	0.38	0.70	0.98	0.60	0.76	1.04	0.91	0.91	0.55	0.64	0.68	0.74
Fe ₂ O ₃	5.35	5.33	5.38	6.67	8.10	1.98	18.03	5.71	7.38	6.91	6.15	5.11	6.93	5.03	8.47	11.65
FeO	41.18	41.09	43.08	39.45	40.41	43.98	36.58	42.85	39.08	40.33	40.63	36.97	40.47	41.10	40.69	36.07
MnO	1.11	1.05	0.54	0.93	1.76	1.79	1.33	0.71	1.14	1.39	1.07	0.89	2.01	1.11	1.32	0.71
MgO	1.21	1.28	0.22	2.09	0.53	0.58	0.12	0.15	2.25	1.24	1.72	4.41	0.36	1.53	0.75	3.12
CaO	0.18	0.21	0.11	0.20	0.21	0.20	0.32	0.22	0.13	0.14	0.11	0.14	0.10	0.15	0.03	0.07
Na ₂ O	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.19	0.22	0.00	0.13	0.06	0.00	0.13	0.13	0.00	0.00	0.00	0.06	0.06	0.09	0.00	0.09
V ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00
NiO	0.11	0.00	0.00	0.20	0.11	0.00	0.00	0.18	0.00	0.25	0.00	0.29	0.08	0.15	0.00	0.06
Total	99.63	99.83	99.24	99.82	100.07	101.40	100.18	99.43	99.89	100.10	100.29	99.55	98.69	99.85	100.04	99.55
Atomic ratio (O=3)																
Si	0.016	0.013	0.023	0.026	0.007	0.013	0.022	0.013	0.017	0.019	0.018	0.021	0.013	0.010	0.011	0.010
Ti	0.923	0.926	0.910	0.899	0.907	0.960	0.790	0.922	0.910	0.903	0.917	0.931	0.910	0.936	0.901	0.878
Al	0.025	0.018	0.033	0.034	0.011	0.020	0.029	0.018	0.022	0.031	0.027	0.027	0.017	0.019	0.020	0.022
Fe ⁺³	0.101	0.101	0.102	0.125	0.154	0.037	0.342	0.109	0.139	0.130	0.115	0.095	0.133	0.095	0.160	0.220
Fe ⁺²	0.865	0.863	0.910	0.823	0.852	0.909	0.771	0.908	0.816	0.843	0.866	0.767	0.864	0.862	0.856	0.756
Mn	0.024	0.022	0.012	0.020	0.038	0.037	0.028	0.015	0.024	0.029	0.023	0.019	0.043	0.024	0.028	0.015
Mg	0.033	0.034	0.006	0.056	0.014	0.015	0.003	0.004	0.060	0.033	0.046	0.117	0.010	0.041	0.020	0.084
Ca	0.005	0.006	0.003	0.005	0.006	0.005	0.009	0.006	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.004	0.001	0.002
Na	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.004	0.004	0.000	0.003	0.001	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000	0.002
V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
Ni	0.002	0.000	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.004	0.000	0.005	0.000	0.006	0.002	0.003	0.000	0.001

	2015041504					2015041507					2015041513						
	1	2	2	3	8	2	4	6	9	11	13	15	3	4	3	4	8
Weight %																	
SiO ₂	2.22	2.48	1.11	0.75	2.76	1.65	0.66	0.64	2.80	0.68	0.81	0.66	0.79	1.97	0.81	0.75	1.03
TiO ₂	45.25	46.93	46.43	47.28	19.99	45.61	48.67	45.78	46.07	45.83	47.93	47.43	47.70	47.63	48.77	46.77	47.85
Al ₂ O ₃	1.63	2.08	0.98	0.49	3.72	2.02	0.40	0.70	2.78	0.98	0.49	0.51	0.70	1.13	1.06	1.17	1.46
Fe ₂ O ₃	8.21	3.08	9.47	5.76	49.57	7.10	3.95	9.29	3.93	10.16	4.68	5.96	7.77	5.28	6.01	8.29	5.01
FeO	36.23	37.93	36.08	37.32	17.08	35.13	39.09	37.69	36.55	39.13	38.72	36.87	38.97	39.07	38.79	38.65	38.72
MnO	4.73	4.89	4.85	5.13	2.90	6.20	4.48	2.32	5.67	2.32	3.71	4.88	2.96	3.37	1.73	0.90	2.56
MgO	1.31	1.29	1.18	0.51	0.71	0.46	0.28	0.95	0.90	0.12	0.48	0.60	0.85	0.90	2.21	1.91	1.46
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.35	0.17	0.70	0.27	0.59	0.45	0.29	0.87	0.28	0.00	0.28
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.18	1.17	0.45	0.63	1.15	0.94	0.66	0.51	0.67	0.20	0.94	0.92	0.39	0.25	0.00	0.00	0.18
V ₂ O ₅	0.00	0.53	0.13	0.18	0.34	0.60	0.00	0.00	0.53	0.00	0.00	0.21	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	1.01	0.67	1.03	0.98	1.39	1.25	1.06	0.98	0.46	1.15	1.08	0.39	0.50	0.25	0.00	0.31
Total	99.76	101.39	101.35	99.08	99.20	101.70	99.79	99.11	101.58	100.15	99.50						

バナジウム含有量は 0.49~10.75 wt% V_2O_3 で、平均値 1.82% (220 点) であった。一方、両輝石斑れい岩中のものは 1.13~3.13 wt% V_2O_3 の範囲にあり、平均値は 2.01% (500 点) であった。両岩石中のバナジウム含有量の頻度分布は Figure 10 のようで、両輝石斑れい岩中の磁鉄鉱中のバナジウム量は比較的狭い範囲に集中しているに対して、閃緑岩中のものは幅広い値を示している。

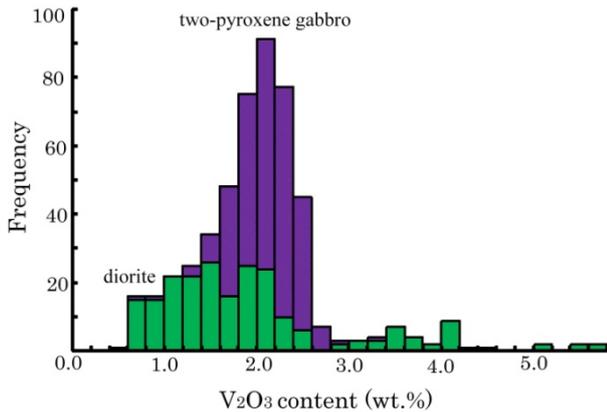


Fig. 10. Histogram of vanadium content as V_2O_3 in magnetite from the Kouyama gabbroic body.

また、磁鉄鉱中の 3 価の元素 $V : Fe^{+3} : (Al+Cr)$ 原子比を示せば Figure 11 および 12 のようで、閃緑岩中のものは V や (Al+Cr) 含有量の多いものが認められ、比較的広い範囲に分布している。一方両輝石斑れい岩中のものは V 含有量は 3~4% とほぼ一定であるが、 Fe^{+3} 量は 85~95% の範囲にある。

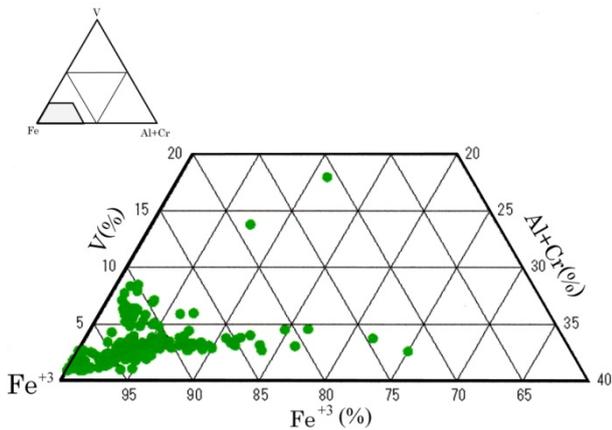


Fig. 11 $V:Fe^{+3}:(Al+Cr)$ atomic ratio (%) for magnetite in diorite.

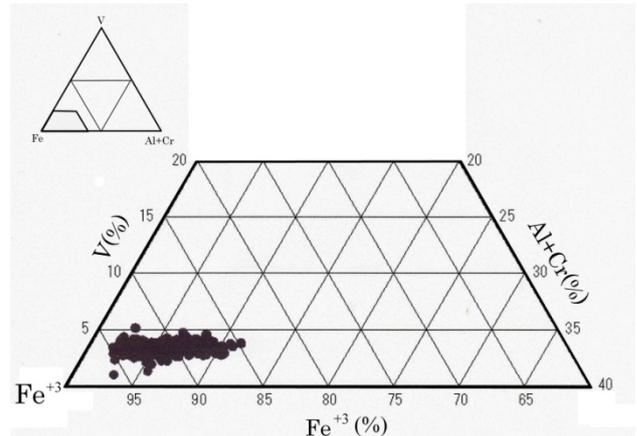


Fig. 12 $V:Fe^{+3}:(Al+Cr)$ atomic ratio (%) for magnetite in two-pyroxene gabbro.

チタン鉄鉱中のバナジウム量は少ないが、マンガンは少量ながら常に含まれている。閃緑岩では 0.28~5.06 wt% MnO で、平均 0.96 wt% (75 点) であり、両輝石斑れい岩では 0.39~6.20wt% で、平均 1.77% (150 点) であった。それらの頻度分布を示せば Figure 13 に示すようで、閃緑岩では 1% 前後と 4~5% の二つの山が、斑れい岩では 1% 前後に集中する傾向が認められる。

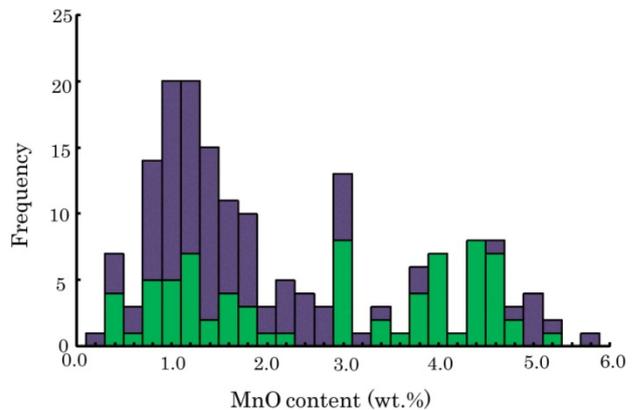


Fig. 13. Histogram of vanadium content as MnO in ilmenite from the Kouyama gabbroic body.

閃緑岩および斑れい岩中のチタン鉄鉱の $Fe^{+3}:Fe^{+2}:Mn$ (原子比 %) を示せばそれぞれ Figure 14 および Figure 15 のようである。閃緑岩中のものは Mn 量は 10% 以下であるが、 Fe^{+3} 量は 90% に及ぶ広い範囲を有している。一方、斑れい岩中のものでは Mn 量は 10% 以下で、 Fe^{+3} 量も 20% 以下で集中する。

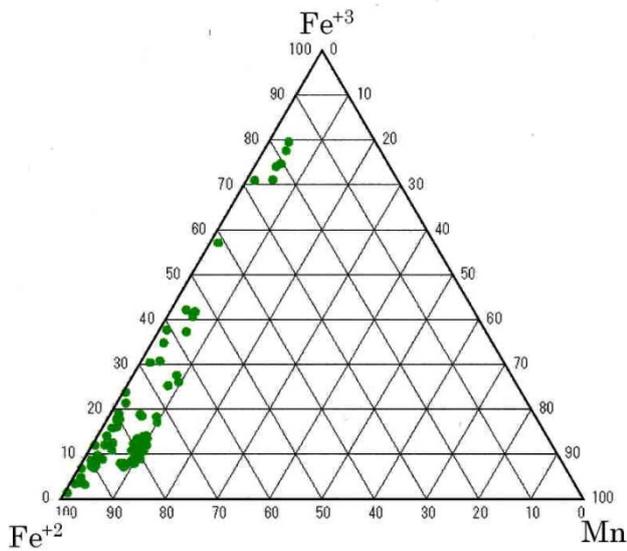


Fig. 14 $\text{Fe}^{+3}:\text{Fe}^{+2}:\text{Mn}$ atomic ratio (%) for ilmenite in diorite.

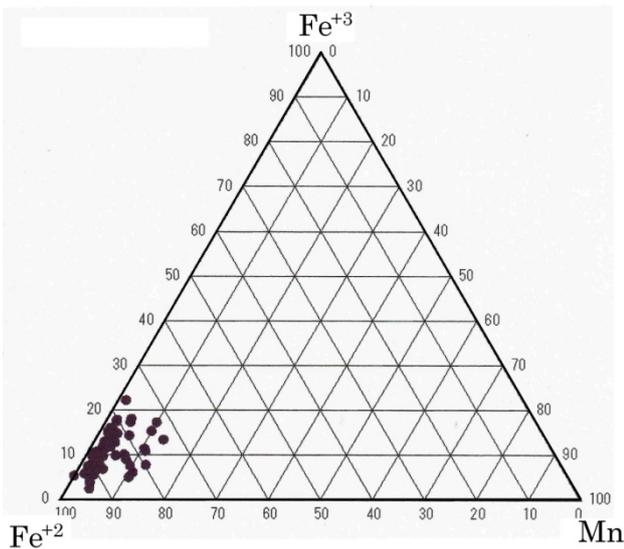


Fig. 15 $\text{Fe}^{+3}:\text{Fe}^{+2}:\text{Mn}$ atomic ratio (%) for ilmenite in two-pyroxene gabbro.

参考文献

- 1) 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 01) および同説明書。山口地学会、167p.
- 2) Yamaguchi, Y., Tomita, K., Sawada, Y.(1975) Crystallization Trend of Zoned Pyroxenes in Quartz Gabbro from the Koyama Intrusive Complex at Mt. Koyama, Yamaguchi Prefecture, Japan, *Memoirs of the Geological Society of Japan ! Studies on Rock Forming Minerals in Japan 1974*, 11, 69-82, Geological Society of Japan.
- 3) 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.
- 4) 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。
- 5) 北風嵐、小松隆一、“山口県萩市高山斑れい岩中の鉄石鉱物の研究 (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。
- 6) 北風嵐、小松隆一 “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、資源地質、**65**、29-32、2015.

(平成28年2月15日受理)