

古第三紀神戸層群中の北畑凝灰岩層に含まれる黒雲母の化学組成

谷 保孝¹⁾・中川 渉²⁾

要旨 本研究では、主に古第三紀神戸層群北畑凝灰岩層に含まれる黒雲母の EPMA 分析結果より得た mg# 値 {mg#=100×Mg/(Fe+Mg)} と mg#-MnO 関係図に関する特徴について報告する. 北畑凝灰岩層 は兵庫県三田盆地に分布する神戸層群の鍵層になる凝灰岩層のひとつである. 同一地点の北畑凝灰岩層か ら層準が異なる 10 試料を採取し、分析・検討した. 全体的にみると、黒雲母は mg#=47~51 と mg#=53~ 56 に分かれたバイモーダルな特徴を示す.また,MnO 値は,高い mg# 値の黒雲母より低い mg# 値の黒雲 母の方が大きい傾向がある.上述の黒雲母の特徴は本地点の凝灰岩層内部で共通することから、黒雲母の mg#-MnO 関係図は北畑凝灰岩層の対比指標として有効と考えられる. ただし, 高い mg# 値を持つ黒雲母 が1粒子しか確認できない試料もあるため、対比する場合に高い mg# 値を持つ黒雲母が検出されない可能 性もある.

キーワード:古第三紀神戸層群,北畑凝灰岩層,黒雲母,mg#-MnO関係図,対比指標

1. はじめに

三田盆地や神戸市西部に分布する古第三紀神戸層群には 9 層準以上の凝灰岩層が挟在し、そのうちの5 層準の凝灰 岩層が鍵層となる(尾崎・松浦, 1988). しかし、神戸層群 の凝灰岩層の層厚や層相は地域間の変化が著しく、鍵層と なる凝灰岩層の細かな対比については再検討が必要とする 意見もある(例えば,尾崎・原山, 2003;谷・中川, 2006; 尾崎, 2009).

一方、神戸層群凝灰岩層を構成する凝灰岩の記載岩石学 的性質を理解し、その結果を用いて、より詳細な凝灰岩層 の識別・対比を行う試みもある(例えば、今岡ほか、2000; 谷・中川, 2001;中川ほか, 2004a および 2004b;谷・中 川, 2005 および 2006;谷, 2009 など). しかし, まだ神戸 層群凝灰岩層の記載岩石学的性質が十分に蓄積できている とはいえない.

本論では、三田盆地に分布する神戸層群北畑凝灰岩層に 含まれる黒雲母の化学組成の特徴について報告する. 北畑 凝灰岩層の黒雲母は Mg/(Fe+Mg+Mn) 値に関してバイ モーダル性を示す事が中川ほか (2004b) などで指摘されて いるが、本研究では1ヶ所での試料採取層準を増やし、凝 灰岩層内部での変化も検討した.また.一部の試料は斜長 石の化学組成も検討した.なお、本論は主に日本地質学会 第 112 年学術大会における発表(谷・中川,2005)をベー スとし、それ以降の新たなデータを付け加えて報告するも のである.

2. 試料概説

三田盆地の地質図を図1に示す.三田盆地の神戸層群は 下位より三田累層、吉川累層および細川累層に区分され る(尾崎・松浦, 1988). 三田盆地の神戸層群は主に陸成 の礫岩、砂岩および泥岩からなり、多数の凝灰岩層が挟在 する. 鍵層となる凝灰岩層は下位より東条湖. 上久米. 北 畑,石上山および戸田凝灰岩層と呼ばれる(尾崎・松浦, 1988). これらの凝灰岩層は層厚が数 cm~35m で, その内 部に堆積岩を挟在する場合もある(尾崎・原山, 2003 な ど). また. 神戸層群凝灰岩層を構成する凝灰岩の一部に は降下軽石もあるが、多くの凝灰岩は二次堆積物からなる

Engineering Geology of Japan, No. 5, 'The special issue of 20th anniversary of Hiruzen Institute for Geology and Chronology', 53-59 (2015) Chemical characteristics of biotites in the Kitahata Tuff Layer of the Paleogene Kobe Group Yasutaka Tani¹⁾ and Wataru Nakagawa²⁾

tani@ge.oit.ac.jp 1) 大阪工業大学 ¹⁾ Osaka Institute of technology, 5-16-1 Ohmiya, Asahi-ku, Osaka, Japan ²⁾ OYO Corporation, 2-61-5 Toro-cho, Kita-ku, Saitama, Japan

2015 年 4 月 30 日受付, 2015 年 7 月 11 日受理. © 2015 Hiruzen Institute for Geology and Chronology. All rights reserved.

〒535-8585 大阪市旭区大宮5丁目16-1 応用地質株式会社 〒331-8688 さいたま市北区土呂町 2-61-5



図1 三田盆地に分布する神戸層群の地質図(尾崎・松浦, 1988を基に作成).

(尾崎・原山, 2003). 今回の対象である北畑凝灰岩層は吉 川累層吉安砂岩泥岩礫岩部層の砂岩泥岩礫岩相に挟在する 層厚数 m~10 数 m の凝灰岩層で,しばしば軽石火山礫凝 灰岩が発達する (尾崎・松浦, 1988).

試料を採取した北畑凝灰岩層の柱状図を図2に示す.本 地点の北畑凝灰岩層はボーリング試料に産するものであ る.また,本地点の北畑凝灰岩層の軽石に含まれる黒雲母 から37.7±0.6Ma~38.5±0.6Maの⁴⁰Ar/³⁹Ar年代が報告さ れている(郷津ほか,2011).本地点の北畑凝灰岩層は層 厚が12.5mで,下位より細粒凝灰岩~凝灰質泥岩と葉理が よく発達するガラス質粗粒凝灰岩の互層(層厚:約2.5m), 塊状の粗粒凝灰岩(層厚:約5.9m),軽石火山礫凝灰岩と 粗粒凝灰岩の互層(層厚約3.0m)および凝灰質泥岩~細粒 凝灰岩(層厚約1.1m)からなる.なお,北畑凝灰岩層の上 位が泥岩であることから,礫岩などによる削り込みは無い と考えられる.

粗粒凝灰岩や火山礫凝灰岩の試料では、一般に結晶片と して斜長石、石英、黒雲母、角閃石(普通角閃石)、不透明 鉱物が認められ、ほかにジルコンなどを含む場合もある。 軽石片は無斑晶質なものと斑晶質なものとがある。軽石片 の斑晶鉱物としては斜長石、黒雲母、不透明鉱物が多く、 ほかに角閃石(普通角閃石)やジルコンも確認できる場合 がある。

3. 黒雲母と斜長石の化学組成

採取した試料の黒雲母の主成分化学組成を分析し.ま た、一部の試料については斜長石の主成分化学組成も分析 した. 分析は EPMA (JEOL JXA-8900R) によって行い, 分析条件は電子プローブの加速電圧を15kV,照射電流を 12nA, 試料表面のビーム径を5µmとし, 補正計算には ZAF 法を用いた. 分析対象として1 試料あたり 10 粒子程 度またはそれ以上の黒雲母を選定し、黒雲母1粒子あたり 2~4 点の測点を設けた.しかし,黒雲母の風化による影 響を考慮して酸化物の合計が概ね 94.5%を下回る測定値を 除外したため、結果を得た黒雲母が10粒子を下回った試 料や1粒子あたりの測点が1点になった黒雲母もあった. また. 神戸層群凝灰岩層では本質物質に富む凝灰岩であっ ても基盤岩由来の異質な黒雲母が混入する可能性もあるた め(谷・中川, 2001),分析する黒雲母は軽石片の斑晶黒雲 母から選定するようにした.しかし,試料によっては分析 に適した斑晶黒雲母の数量が十分でない場合もあり、その 際は結晶片として産する黒雲母(以後、結晶片黒雲母と呼 ぶ)も分析対象とした.

3.1. 黒雲母

試料の採取位置を図2に,各試料の分析結果の例を表1 に,分析対象や分析結果の概要を表2に,黒雲母のmg#-MnO関係図を図3に示す. 斑晶黒雲母と結晶片黒雲母は 概ね同様の化学組成を示すことから,測定した結晶片黒雲



図2 検討した北畑凝灰岩層の柱状図および試料採取位置.ア スタリスクが付いた5試料は、谷・中川(2005)が黒雲母の化 学組成を検討した試料である.

母は全て本質的なものと判断した.以下の記述では両者を 区別しない.また,黒雲母の各元素などの組成範囲は分析 した測点の数値をまとめたものである.

3.1.1. 試料 213

軽石片4個から1粒子ずつの計4粒子の斑晶黒雲母(11 測点)と計3粒子の結晶片黒雲母(9測点)のデータを 得た.各元素の組成範囲はSi=5.694~5.965, Ti=0.417~ 0.509, Al=2.147~2.414, Fe=2.331~2.696, Mn=0.038~ 0.066, Mg=2.441~2.861, Ca=0.000~0.024, Na=0.152~ 0.230, K=1.569~1.687 である.mg# 値は48.3~50.5 (5粒 子)と53.1~54.7 (2粒子)に分かれる.K/(Na+K) 値は 0.876~0.917 である.

3.1.2. 試料 217

軽石片2個から1粒子ずつの計2粒子の斑晶黒雲母(8

測点)と計5粒子の結晶片黒雲母(20測点)のデータを 得た.各元素の組成範囲はSi=5.688~5.788, Ti=0.481~ 0.504, Al=2.178~2.271, Fe=2.407~2.768, Mn=0.038~ 0.082, Mg=2.440~2.892, Ca=0.000~0.015, Na=0.154~

0.082, Mg=2.440~2.892, Ca=0.000~0.015, Na=0.154~ 0.211, K=1.547~1.706 である. mg# 値は 47.5~50.2 (6 粒 子) と 53.6~54.2 (1 粒子) に分かれる. K/(Na+K) 値は 0.886~0.914 である.

3.1.3. 試料 219

軽石片 1 個から計 1 粒子の斑晶黒雲母 (4 測点)と計 9 粒 子の結晶片黒雲母 (36 測点)のデータを得た.各元素の組 成範囲は Si=5.624~5.789, Ti=0.472~0.511, Al=2.073~ 2.310, Fe=2.324~2.766, Mn=0.039~0.074, Mg=2.471~ 2.935, Ca=0.000~0.012, Na=0.134~0.236, K=1.549~ 1.709 である. mg# 値は 47.6~50.3 (9 粒子)と 54.4~55.5 (1 粒子) に分かれる. K/(Na+K) 値は 0.871~0.926 であ る.

3.1.4. 試料 221

軽石片 2 個から 1 粒子ずつと軽石片 2 個から 2 粒子ずつ の計 6 粒子の斑晶黒雲母(12 測点)のほか,計 5 粒子の結 晶片黒雲母(14 測点)のデータを得た.一般に各元素の組 成 範 囲 は Si=5.715~5.819, Ti=0.446~0.509, Al=2.084~ 2.278, Fe=2.382~2.683, Mn=0.035~0.073, Mg=2.505~ 2.864, Ca=0.000~0.020, Na=0.171~0.219, K=1.517~ 1.664 である. mg# 値は 48.4~50.1 (9 粒子)と 53.1~54.4 (2 粒子)とに分かれる. K/(Na+K)値は 0.879~0.914 で ある. 同一の軽石片に産する斑晶黒雲母は同じ mg# 値を 持つ. また,上述の分析とは別に軽石片 1 個から 1 粒子(1 測点)の斑晶黒雲母を測定したが,この黒雲母はより低い mg# 値(43.3)を持ち,他の黒雲母のものと比べてかなり 大きい Mn の値を持つ(表 1).

3.1.5. 試料 222

5個の軽石片からそれぞれ1粒子ずつ,2個の軽石片に ついて2粒子,1個の軽石片については3粒子,1個の軽 石片については4粒子の斑晶黒雲母を測定し,軽石片9個 から計16粒子の斑晶黒雲母(61測点)のデータを得た. 各元素の組成範囲はSi=5.639~5.808, Ti=0.464~0.513, Al=2.154~2.318, Fe=2.347~2.739, Mn=0.041~0.072, Mg=2.528~2.918, Ca=0.000~0.010, Na=0.145~0.245, K=1.568~1.697 である.mg# 値は48.2~51.0(13粒子)と 52.7~54.7(3粒子)とに分かれる.同一の軽石片に産する 斑晶黒雲母は同じmg# 値を持つ.K/(Na+K)値は0.871~ 0.920 である.また,同一の軽石片で角閃石と斜長石と共 に産する斑晶黒雲母(2粒子)のmg# 値は53.2~54.4 で あった.

3.1.6. 試料 223B

軽石片8個から計9粒子の斑晶黒雲母(33測点)のデー タを得た.基本的には1個の軽石片につき1粒子の斑晶 黒雲母を測定したが、1個の軽石片については2粒子の 斑晶黒雲母を測定した.各元素の組成範囲はSi=5.676~

表1 北畑凝灰岩層に含まれる黒雲母の分析結果の例.

Sp.No.	213	213	213	217	217	217	219	219	219	221	221	221	221	225A
anly.no.	8	10	5	36	3	29	34	9	17	4	9	16	17	1
domain	m	р	m	р	m	m	р	m	m	m	р	m	m	р
SiO ₂	37.54	38.06	38.06	38.15	38.02	38.06	37.74	37.88	37.94	37.73	37.46	37.62	37.85	37.71
TiO₂	3.83	4.30	4.24	4.26	4.29	4.24	4.31	4.27	4.16	4.24	3.82	4.16	3.87	4.19
Al ₂ O ₃	13.50	12.47	12.44	12.51	12.82	12.51	12.37	12.38	12.49	12.69	12.25	12.33	12.23	12.27
FeO*	18.37	20.35	20.79	21.25	19.16	20.78	20.81	20.82	18.31	18.71	22.77	20.56	20.55	20.09
MnO	0.39	0.51	0.42	0.48	0.41	0.44	0.52	0.47	0.35	0.27	0.89	0.45	0.55	0.50
MgO	12.40	11.35	10.90	10.80	12.71	11.65	11.32	10.87	12.81	12.43	9.77	10.94	11.25	11.18
CaO	0.00	0.00	0.09	0.01	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02
Na ₂ O	0.78	0.70	0.60	0.60	0.64	0.61	0.69	0.67	0.68	0.71	0.46	0.69	0.63	0.58
K₂O	8.40	8.10	8.37	8.49	8.41	8.25	8.61	8.59	8.45	8.08	8.47	8.36	8.39	8.45
total	95.21	95.83	95.90	96.54	96.46	96.55	96.39	95.99	95.19	94.88	95.90	95.18	95.33	95.00
(O=22)														
Si	5.696	5.781	5.796	5.784	5.712	5.751	5.737	5.778	5.758	5.743	5.782	5.777	5.801	5.790
Ti	0.437	0.491	0.486	0.486	0.484	0.481	0.492	0.490	0.475	0.485	0.443	0.481	0.446	0.483
AI	2.414	2.232	2.232	2.236	2.269	2.228	2.217	2.226	2.234	2.277	2.228	2.232	2.209	2.220
Fe	2.331	2.585	2.647	2.694	2.407	2.626	2.645	2.655	2.324	2.382	2.939	2.640	2.634	2.580
Mn	0.050	0.065	0.054	0.062	0.052	0.057	0.067	0.060	0.044	0.035	0.116	0.058	0.072	0.065
Mg	2.804	2.570	2.474	2.440	2.846	2.624	2.564	2.471	2.897	2.821	2.248	2.505	2.570	2.559
Ca	0.000	0.000	0.014	0.002	0.000	0.000	0.003	0.006	0.000	0.002	0.002	0.004	0.001	0.003
Na	0.230	0.207	0.176	0.175	0.186	0.177	0.202	0.199	0.199	0.211	0.138	0.205	0.188	0.172
к	1.626	1.569	1.626	1.643	1.612	1.591	1.670	1.671	1.636	1.569	1.667	1.637	1.640	1.656
Xma	0.541	0.492	0.478	0.470	0.536	0.494	0.486	0.476	0.550	0.539	0.424	0.481	0.487	0.492
ma#	54 61	49.85	48.31	47.53	54.18	49.98	49.22	48.21	55.49	54.22	43.34	48.69	49.38	49.79
K/(Na+K)	0.876	0.884	0.902	0.904	0.896	0.900	0.892	0.894	0.891	0.882	0.923	0.888	0.897	0.906
Tuli marrie	0.010	0.001	0.001	0.001									- C 1202	1. T. C. T. C. T.
			0000	0000	000	000	000	000	000	000	000	0400	0400	0400
Sp.No.	222	222	223B	223B	226	226	226	226	226	233	233	243B	243B	243B
Sp.No. anly.no.	222 12	222 61	223B 12	223B 31	226 1	226 6	226 37	226 51	226 56	233 7	233 11	243B 12	243B 35	243B 22
Sp.No. anly.no. domain	222 12 p 28.16	222 61 p	223B 12 p	223B 31 p	226 1 p	226 6 p	226 37 p 37 64	226 51 m	226 56 p	233 7 m 37 72	233 11 p 37.97	243B 12 p 37.78	243B 35 m 37.96	243B 22 m 38.09
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂	222 12 p 38.16	222 61 p 37.73	223B 12 p 37.48	223B 31 p 38.56	226 1 p 37.65	226 6 p 38.67	226 37 p 37.64	226 51 m 37.49	226 56 p 38.46	233 7 m 37.72 4.25	233 11 p 37.97 4 13	243B 12 p 37.78 4.20	243B 35 m 37.96 4.03	243B 22 m 38.09 4 13
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂	222 12 p 38.16 4.12	222 61 p 37.73 4.30	223B 12 p 37.48 4.24	223B 31 p 38.56 4.18	226 1 p 37.65 4.38	226 6 p 38.67 4.14	226 37 p 37.64 4.39	226 51 m 37.49 4.30	226 56 p 38.46 4.16	233 7 m 37.72 4.25 12.20	233 11 p 37.97 4.13 12.54	243B 12 p 37.78 4.20	243B 35 m 37.96 4.03 12.27	243B 22 m 38.09 4.13 12.41
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ EcO.	222 12 p 38.16 4.12 12.84	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98	223B 31 p 38.56 4.18 12.84	226 1 p 37.65 4.38 12.65	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO*	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11 19	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8 28	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 228	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7 82	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.24	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8 22	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8 72	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8 34	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8 33	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16	2438 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O K ₂ O	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 8.38	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 85.00	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 24.68	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.69	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95 97	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95 10	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95
$\begin{array}{c} \text{Sp.No.} \\ \text{anly.no.} \\ \text{domain} \\ \text{SiO}_2 \\ \text{TiO}_2 \\ \text{Al}_2 \text{O}_3 \\ \text{FeO}^{\star} \\ \text{MnO} \\ \text{MgO} \\ \text{CaO} \\ \text{Na}_2 \text{O} \\ \text{K}_2 \text{O} \\ \text{total} \\ (\text{O}, 2\text{O}) \end{array}$	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74 5.757 0.467	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00 5.792	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68 5.767 2.402	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68 5.763 0.470	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81 5.822 0.469	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78 5.685	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81 5.768	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60 5.805 0.472	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27 5.792	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31 5.763 0.471	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96 5.736 0.490	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10 5.815 0.464	2438 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95 5.789
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO ⁺ MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si Ti	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74 5.757 0.467 2.992	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00 5.792 0.497	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68 5.767 0.490 2.234	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68 5.763 0.470 2.262	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771 0.505 2.294	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81 5.822 0.468 2.206	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78 5.685 0.499 2.411	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81 5.768 0.497 2.260	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60 5.805 0.472 2.255	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27 5.792 0.490	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31 5.763 0.471 2.242	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96 5.736 0.480 2.292	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10 5.815 0.464 2.315	2438 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95 5.789 0.472 2.222
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO ⁺ MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si Ti Al	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74 5.757 0.467 2.283 2.243	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00 5.792 0.497 2.221	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68 5.767 0.490 2.274 2.600	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68 5.763 0.470 2.262 2.074	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771 0.505 2.284 2.502	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81 5.822 0.468 2.206 2.204	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78 5.685 0.499 2.411 2.422	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81 5.768 0.497 2.269 2.592	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60 5.805 0.472 2.225 2.225	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27 5.792 0.490 2.209	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31 5.763 0.471 2.243 2.262	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96 5.736 0.480 2.283 2.270	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10 5.815 0.464 2.215 2.509	2438 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95 5.789 0.472 2.223 2.223
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si Ti Al Fe	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74 5.757 0.467 2.283 2.347 2.955	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00 5.792 0.497 2.221 2.591	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68 5.767 0.490 2.274 2.699 2.214	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68 5.763 0.470 2.262 2.374 2.25	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771 0.505 2.284 2.538 2.200	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81 5.822 0.468 2.206 2.384 2.206	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78 5.685 0.499 2.411 2.429 0.01	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81 5.768 0.497 2.269 2.533 0.070	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60 5.805 0.472 2.225 2.363 0.042	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27 5.792 0.490 2.209 2.209 2.680	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31 5.763 0.471 2.243 2.363 2.940	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96 5.736 0.480 2.283 2.279 0.052	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10 5.815 0.464 2.215 2.598 2.0962	2438 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95 5.789 0.472 2.223 2.224
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si Ti Al Fe Mn	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74 5.757 0.467 2.283 2.347 0.053	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00 5.792 0.497 2.221 2.591 0.054	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68 5.767 0.490 2.274 2.699 0.046 0.24	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68 5.763 0.470 2.262 2.374 0.045 2.652	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771 0.505 2.284 2.538 0.060 2.552	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81 5.822 0.468 2.206 2.384 0.043 2.230	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78 5.685 0.499 2.411 2.429 0.045 2.692	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81 5.768 0.497 2.269 2.533 0.070 2.512	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60 5.805 0.472 2.225 2.363 0.042	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27 5.792 0.490 2.209 2.680 0.062	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31 5.763 0.471 2.243 2.363 0.049 2.907	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96 5.736 0.480 2.283 2.279 0.053 2.004	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10 5.815 0.464 2.215 2.598 0.062 2.552	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95 5.789 0.472 2.223 2.294 0.046 2.376
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si Ti Al Fe Mn Mg	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74 5.757 0.467 2.283 2.347 0.053 2.830 2.651	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00 5.792 0.497 2.221 2.591 0.054 2.591	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68 5.767 0.490 2.274 2.699 0.046 2.515 2.515	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68 5.763 0.470 2.262 2.374 0.045 2.822 2.652	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771 0.505 2.284 2.538 0.060 2.556 2.95	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81 5.822 0.468 2.206 2.384 0.043 2.819 2.602	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78 5.685 0.499 2.411 2.429 0.045 2.682 2.682	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81 5.768 0.497 2.269 2.533 0.070 2.518	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60 5.805 0.472 2.225 2.363 0.042 2.827 2.953	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27 5.792 0.490 2.209 2.680 0.062 2.474	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31 5.763 0.471 2.243 2.363 0.049 2.837 2.001	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96 5.736 0.480 2.283 2.279 0.053 2.904 2.602	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10 5.815 0.464 2.215 2.598 0.062 2.553 0.602	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95 5.789 0.472 2.223 2.294 0.046 2.876
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si Ti Al Fe Mn Mg Ca	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74 5.757 0.467 2.283 2.347 0.053 2.830 0.001	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00 5.792 0.497 2.221 2.591 0.054 2.528 0.000	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68 5.767 0.490 2.274 2.699 0.046 2.515 0.010	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68 5.763 0.470 2.262 2.374 0.045 2.822 0.006	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771 0.505 2.284 2.538 0.060 2.556 0.005	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81 5.822 0.468 2.206 2.384 0.043 2.819 0.002	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78 5.685 0.499 2.411 2.429 0.045 2.682 0.002	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81 5.768 0.497 2.269 2.533 0.070 2.518 0.001 0.57	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60 5.805 0.472 2.225 2.363 0.042 2.827 0.003 0.412	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27 5.792 0.490 2.209 2.680 0.062 2.474 0.000	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31 5.763 0.471 2.243 2.363 0.049 2.837 0.001	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96 5.736 0.480 2.283 2.279 0.053 2.904 0.000 0.50	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10 5.815 0.464 2.215 2.598 0.062 2.553 0.003 0.003	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95 5.789 0.472 2.223 2.294 0.046 2.876 0.002
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si Ti Al Fe Mn Mg Ca Na Si	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74 5.757 0.467 2.283 2.347 0.053 2.830 0.001 0.183	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00 5.792 0.497 2.221 2.591 0.054 2.528 0.000 0.195	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68 5.767 0.490 2.274 2.699 0.046 2.515 0.010 0.070 0.070	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68 5.763 0.470 2.262 2.374 0.045 2.822 0.006 0.202	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771 0.505 2.284 2.538 0.060 2.556 0.005 0.118	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81 5.822 0.468 2.206 2.384 0.043 2.819 0.002 0.157	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78 5.685 0.499 2.411 2.429 0.045 2.682 0.002 0.131	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81 5.768 0.497 2.269 2.533 0.070 2.518 0.001 0.173	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60 5.805 0.472 2.225 2.363 0.042 2.827 0.003 0.140	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27 5.792 0.490 2.209 2.680 0.062 2.474 0.000 0.183	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31 5.763 0.471 2.243 2.363 0.049 2.837 0.001 0.195	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96 5.736 0.480 2.283 2.279 0.053 2.904 0.000 0.180	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10 5.815 0.464 2.215 2.598 0.062 2.553 0.003 0.215	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95 5.789 0.472 2.223 2.294 0.046 2.876 0.002 0.196
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si Ti Al Fe Mn Mg Ca Na K	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74 5.757 0.467 2.283 2.347 0.053 2.830 0.001 0.183 1.612	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00 5.792 0.497 2.221 2.591 0.054 2.528 0.000 0.195 1.640	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68 5.767 0.490 2.274 2.699 0.046 2.515 0.010 0.070 1.536	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68 5.763 0.470 2.262 2.374 0.045 2.822 0.006 0.202 1.589	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771 0.505 2.284 2.538 0.060 2.556 0.005 0.118 1.608	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81 5.822 0.468 2.206 2.384 0.043 2.819 0.002 0.157 1.571	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78 5.685 0.499 2.411 2.429 0.045 2.682 0.002 0.131 1.584	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81 5.768 0.497 2.269 2.533 0.070 2.518 0.001 0.173 1.712	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60 5.805 0.472 2.225 2.363 0.042 2.827 0.003 0.140 1.605	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27 5.792 0.490 2.209 2.680 0.062 2.474 0.000 0.183 1.632	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31 5.763 0.471 2.243 2.363 0.049 2.837 0.001 0.195 1.639	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96 5.736 0.480 2.283 2.279 0.053 2.904 0.000 0.180 1.629	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10 5.815 0.464 2.215 2.598 0.062 2.553 0.003 0.215 1.595	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95 5.789 0.472 2.223 2.294 0.046 2.876 0.002 0.196 1.656
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si Ti Al Fe Mn Mg Ca Na K Xmg	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74 5.757 0.467 2.283 2.347 0.053 2.830 0.001 0.183 1.612 0.541	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00 5.792 0.497 2.221 2.591 0.054 2.528 0.000 0.195 1.640 0.489	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68 5.767 0.490 2.274 2.699 0.046 2.515 0.010 0.070 1.536 0.478	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68 5.763 0.470 2.262 2.374 0.045 2.822 0.006 0.202 1.589 0.539	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771 0.505 2.284 2.538 0.060 2.556 0.005 0.118 1.608 0.496	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81 5.822 0.468 2.206 2.384 0.043 2.819 0.002 0.157 1.571 0.537	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78 5.685 0.499 2.411 2.429 0.045 2.682 0.002 0.131 1.584 0.520	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81 5.768 0.497 2.269 2.533 0.070 2.518 0.001 0.173 1.712 0.492	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60 5.805 0.472 2.225 2.363 0.042 2.827 0.003 0.140 1.605 0.540	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27 5.792 0.490 2.209 2.680 0.062 2.474 0.000 0.183 1.632 0.474	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31 5.763 0.471 2.243 2.363 0.049 2.837 0.001 0.195 1.639 0.541	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96 5.736 0.480 2.283 2.279 0.053 2.904 0.000 0.180 1.629 0.555	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10 5.815 0.464 2.215 2.598 0.062 2.553 0.003 0.215 1.595 0.490	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95 5.789 0.472 2.223 2.294 0.046 2.876 0.002 0.196 1.656 0.551
Sp.No. anly.no. domain SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ FeO* MnO MgO CaO Na ₂ O K ₂ O total (O=22) Si Ti Al Fe Mn Mg Ca Na K Xmg mg#	222 12 p 38.16 4.12 12.84 18.61 0.41 12.59 0.00 0.63 8.38 95.74 5.757 0.467 2.283 2.347 0.053 2.830 0.001 0.183 1.612 0.541 54.66	222 61 p 37.73 4.30 12.28 20.19 0.42 11.05 0.00 0.66 8.38 95.00 5.792 0.497 2.221 2.591 0.054 2.528 0.000 0.195 1.640 0.489 49.38	223B 12 p 37.48 4.24 12.54 20.98 0.36 10.97 0.06 0.24 7.83 94.68 5.767 0.490 2.274 2.699 0.046 2.515 0.010 0.070 1.536 0.478 48.23	223B 31 p 38.56 4.18 12.84 19.00 0.35 12.67 0.04 0.70 8.34 96.68 5.763 0.470 2.262 2.374 0.045 2.822 0.006 0.202 1.589 0.539 54.31	226 1 p 37.65 4.38 12.65 19.80 0.46 11.19 0.03 0.40 8.22 94.78 5.771 0.505 2.284 2.538 0.060 2.556 0.005 0.118 1.608 0.496 50.17	226 6 p 38.67 4.14 12.43 18.94 0.34 12.56 0.01 0.54 8.18 95.81 5.822 0.468 2.206 2.384 0.043 2.819 0.002 0.157 1.571 0.537 54.18	226 37 p 37.64 4.39 13.55 19.23 0.35 11.92 0.01 0.45 8.22 95.78 5.685 0.499 2.411 2.429 0.045 2.682 0.002 0.131 1.584 0.520 52.48	226 51 m 37.49 4.30 12.51 19.68 0.53 10.98 0.01 0.58 8.72 94.81 5.768 0.497 2.269 2.533 0.070 2.518 0.001 0.173 1.712 0.492 49.86	226 56 p 38.46 4.16 12.51 18.73 0.33 12.57 0.02 0.48 8.34 95.60 5.805 0.472 2.225 2.363 0.042 2.827 0.003 0.140 1.605 0.540 54.47	233 7 m 37.72 4.25 12.20 20.87 0.48 10.81 0.00 0.62 8.33 95.27 5.792 0.490 2.209 2.680 0.062 2.474 0.000 0.183 1.632 0.474 48.00	233 11 p 37.97 4.13 12.54 18.62 0.38 12.54 0.01 0.66 8.46 95.31 5.763 0.471 2.243 2.363 0.49 2.837 0.001 0.195 1.639 0.541 54.56	243B 12 p 37.78 4.20 12.76 17.95 0.41 12.83 0.00 0.61 8.41 94.96 5.736 0.480 2.283 2.279 0.053 2.904 0.000 0.180 1.629 0.555 56.03	243B 35 m 37.96 4.03 12.27 20.28 0.48 11.18 0.02 0.72 8.16 95.10 5.815 0.464 2.215 2.598 0.062 2.553 0.003 0.215 1.595 0.490 49.56	243B 22 m 38.09 4.13 12.41 18.05 0.36 12.70 0.02 0.67 8.54 94.95 5.789 0.472 2.223 2.294 0.046 2.876 0.002 0.196 1.656 0.551 55.63

FeO*:全鉄、Xmg=Mg/(Fe+Mg+Mn), mg#=100×Mg/(Fe+Mg), p:軽石中の斑晶黒雲母, m:基質中の結晶片黒雲母.

5.825, Ti=0.461~0.517, Al=2.191~2.282, Fe=2.374~ 2.752, Mn=0.036~0.072, Mg=2.426~2.877, Ca=0.000~ 0.011, Na=0.070~0.229, K=1.519~1.721 である. mg# 値 は 47.4~49.6 (6 粒子) と 53.3~54.8 (3 粒子) とに分かれ る. 同一の軽石片に産する斑晶黒雲母は同じ mg# 値を持 つ. K/(Na+K) 値は 0.877~0.956 である.

3.1.7. 試料 225A

中礫サイズの軽石片1個から計10粒子の斑晶黒雲母(25 測点)のデータを得た.各元素の組成範囲はSi=5.719~ 5.825、Ti=0.469~0.503、Al=2.152~2.284、Fe=2.516~ 2.648、Mn=0.047~0.070、Mg=2.530~2.661、Ca=0.000~ 0.025、Na=0.144~0.197、K=1.555~1.684 である.mg# 値 は 49.0~50.7 で、K/(Na+K) 値は 0.892~0.920 である.

3.1.8. 試料 226

軽石片10個から計14粒子の斑晶黒雲母(50測点)と計 1粒子の結晶片黒雲母(4測点)のデータを得た.基本的 に1個の軽石片につき1粒子の斑晶黒雲母を測定したが、2 個の軽石片については2粒子の斑晶黒雲母を、1個の軽石

表2 各試料の分析した黒雲母を含む軽石片数,分析した黒雲母の区分と粒子数・測点数および組成範囲の概要.

試料番号	213	217	219	221	222	223B	225A	226	233	243B
分析した斑晶黒雲母を 含む軽石片数	4	2	1	4	9	8	1	10	6	7
斑晶黒雲母の粒子数	4	2	1	6	16	9	10	14	7	7
斑晶黒雲母の測点数	11	8	4	12	61	33	25	50	15	19
結晶片黒雲母の粒子数	3	5	9	5	0	0	0	1	2	3
結晶片黒雲母の測点数	9	20	36	14	0	0	0	4	6	7
原子比(O=22)										
Si	5.694-5.965	5.688-5.788	5.624-5,789	5.715-5.819	5.639-5.808	5.676-5.825	5.719-5.825	5.653-5.929	5.731-5.828	5.697-5.815
Ti	0.417-0.509	0.481-0.504	0.472-0.511	0.446-0.509	0.464-0.513	0.461-0.517	0.469-0.503	0.443-0.517	0.456-0.500	0.440-0.494
AI	2.147-2.414	2.178-2.271	2.073-2.310	2.084-2.278	2.154-2.318	2.191-2.282	2.152-2.284	2.174-2.411	2.160-2.350	2.170-2.335
Fe	2.331-2.696	2.407-2.768	2.324-2.766	2.382-2.683	2.347-2.739	2.374-2.752	2.516-2.648	2.261-2.747	2.333-2.691	2.279-2.652
Mn	0.038-0.066	0.038-0.082	0.039-0.074	0.035-0.073	0.041-0.072	0.036-0.072	0.047-0.070	0.033-0.070	0.036-0.071	0.031-0.066
Mg	2.441-2.861	2.440-2.892	2.471-2.935	2.505-2.864	2.528-2.918	2.426-2.877	2.530-2.661	2.412-2.851	2.386-2.837	2.513-2.915
Ca	0.000-0.024	0.000-0.015	0.000-0.012	0.000-0.020	0.000-0.010	0.000-0.011	0.000-0.025	0.000-0.012	0.000-0.014	0.000-0.021
Na	0.152-0.230	0.154-0.211	0.134-0.236	0.171-0.219	0.145-0.245	0.070-0.229	0.144-0.197	0.091-0.228	0.147-0.202	0.167-0.239
к	1.569-1.687	1.547-1.706	1.546-1.709	1.517-1.664	1.568-1.697	1.519-1.721	1.555-1.684	1.480-1.727	1.543-1.674	1.515-1.660
mg#値	53.1-54.7(2)	53.6-54.2(1)	54.4-55.5(1)	53.1-54.4(2)	52.7-54.7(3)	53.3-54.8(3)	10.0 50.7(10)	52.5-54.9(5)	53.9-54.6(2)	53.8-56.0(6)
	48.3-50.5(5)	47.5-50.2(6)	47.6-50.3(9)	48.4-50.1 (9)	48.2-51.0(13)	47.4-49.6(6)	49.0-50.7(10)	47.2-50.4(10)	47.0-50.4(7)	48.7-50.3(4)
K/(Na+K)	0.876-0.917	0.886-0.914	0.871-0.926	0.879-0.914	0.871-0.920	0.877-0.956	0.892-0.920	0.881-0.946	0.888-0.917	0.870-0.908

mg#=100×Mg/(Fe+Mg).mg#値のカッコ内の数値は、その左側の範囲内のmg#値を持つ黒雲母の粒子数を示す。

試料221の数値にはmg#=43.3を示す斑晶黒雲母(1粒子、1測点)の情報は含まれていない.



図3 黒雲母の mg# と MnO との関係図. 試料番号は各グラフ中に示している. 試料番号の後に記されている "p" は軽石 片の斑晶黒雲母, "m" は軽石外部の結晶片黒雲母であることを示す. グラフf は斑晶黒雲母と結晶片黒雲母の区別をせず全 ての試料のデータをプロットしたものである.

片については3粒子の斑晶黒雲母を測定した。各元素の組 成範囲はSi=5.653~5.929, Ti=0.443~0.517, Al=2.174~ 2.411, Fe=2.261~2.747, Mn=0.033~0.070, Mg=2.412~ 2.851, Ca=0.000~0.012, Na=0.091~0.228, K=1.480~ 1.727 である。mg# 値は47.2~50.4 (10粒子)と52.5~54.9 (5粒子)とに分かれる。同じ軽石片に包有される斑晶黒雲 母は同じmg# 値を示す。K/(Na+K) 値は0.881~0.946 で ある。

3.1.9. 試料 233

軽石 5 個から 1 粒子ずつ, 1 個の軽石片については 2 粒 子の計 7 粒子の斑晶黒雲母(15 測点)と計 2 粒子の結晶 片黒雲母(6 測点)のデータを得た.各元素の組成範囲 は Si=5.731~5.828, Ti=0.456~0.500, Al=2.160~2.350, Fe=2.333~2.691, Mn=0.036~0.071, Mg=2.386~2.837, Ca=0.000~0.014, Na=0.147~0.202, K=1.543~1.674 であ る.mg# 値は 47.0~50.4 の黒雲母(7 粒子)と 53.9~54.6 黒雲母(2 粒子)とに分かれる.K/(Na+K)値は 0.888~ 0.917 である.

3.1.10. 試料 243B

軽石片7個からそれぞれ1粒子ずつ計7粒子の斑晶黒雲母(19測点)と計3粒子の結晶片黒雲母(7測点)のデータを得た.各元素の組成範囲はSi=5.697~5.815, Ti=0.440~0.494, Al=2.170~2.335, Fe=2.279~2.652, Mn=0.031~0.066, Mg=2.513~2.915, Ca=0.000~0.021, Na=0.167~0.239, K=1.515~1.660である.mg#値は48.7~50.3(4粒子)と53.8~56.0(6粒子)とに分かれる.K/(Na+K)値は0.870~0.908である.

3.2. 斜長石

試料 213, 221, 222, 226, 233 および 243B について斜 長石の主成分化学組成も分析した.対象とした斜長石は試 料 213, 222 および 243B が 10 粒子,試料 221 は 11 個,試 料 226 は 12 粒子そして試料 233 は 15 粒子であった.1 粒 子あたりの測点数は 5~8 点を基準としたが,累帯構造を



図 4 斜長石の An%の頻度分布図. 主に軽石の斑晶として産する斜長石を分析対象とした. ただし, 試料 233 のうち斜線 部は同質岩片の斑晶として産する斜長石である. An% は An=100×Ca/(Ca+Na+K)の式で算出した.

持つ場合は測点数を追加した.また,試料243の斜長石の 1粒子は測点数が3点となった.黒雲母と同様に軽石片の 斑晶斜長石を対象としたが,試料233は同質岩片の斑晶斜 長石(3粒子)も含む.

An 組成頻度図を図4に示す.斜長石は,ほとんどの場 合オリゴクレース~アンデシンの範囲の成分を持つが,全 体としてはオリゴクレースの成分を持つものが多い.

4. 北畑凝灰岩層に含まれる黒雲母の化学組成の特徴

試料 221 では mg#=43 の値を持つ黒雲母が1 粒子だけ認 められるが,全体的には黒雲母の mg# は47~51と53~56 の範囲に分かれたバイモーダルな分布を示す(図3).ただ し,今回,12 個の軽石片について同一の軽石片から複数 粒子の斑晶黒雲母の化学組成を分析したが,低い mg# 値 を持つ黒雲母と高い mg# 値を持つ黒雲母とが共存する軽 石片は確認されなかった.特に試料 225A では同一の軽石 片から 10 粒子の斑晶黒雲母の化学組成を分析したが,す べての黒雲母が低い mg# 値を持つ黒雲母であった.

測定数は少なく予察的であるが,北畑凝灰岩層の下位 に位置する上久米凝灰岩層からmg#=55~59の黒雲母が, 北畑凝灰岩層と上久米凝灰岩層との間に位置する楠原凝灰 岩層からmg#=65~70の黒雲母が報告されている(谷・中 川,2001).これらと比較すると,今回検討した北畑凝灰 岩層に含まれる黒雲母はバイモーダルな分布を示す点と, 低い方(mg#=47~51)のmg#値がより低い値を持つ点で 違いがある.

低い mg# 値を持つ黒雲母は高い mg# 値を持つ黒雲母よ りも MnOの値が大きい傾向があるため、低い mg#の値を 持つ黒雲母と高い mg# の値を持つ黒雲母は mg#-MnO 関 係図で明確に異なった領域にプロットされる.単一の軽石 片の斑晶黒雲母を測定した試料 225A の結果を除くと、上 述の黒雲母の mg#-MnO 関係図の分布パターンは、高い mg# の値を持つ黒雲母の数に多寡はあるものの、異なっ た層準でも同様のパターンを示すと考えられる.このよう に、黒雲母の化学組成を指標として北畑凝灰岩層の識別・ 対比を検討する場合は mg#-MnO 関係図が有効と考えら れる.ただし、試料 217 や試料 219 のように高い mg# 値 を持つ黒雲母が1粒子しか確認できないものもあり、他の 地域から採取した凝灰岩試料に含まれる斑晶黒雲母を測定 する際には、高い mg# 値を持つ黒雲母が検出されない可 能性もある.

謝辞

EPMA 分析にあたっては蒜山地質年代学研究所の郷津 知太郎博士に大変お世話になった.また、山口大学大学院 理工学研究科の今岡照喜教授と匿名の査読者には貴重なコ メントをいただき、原稿を改善することができた.以上の 方々に感謝いたします.

引用文献

- 今岡照喜・井川寿之・北川隆司・横山俊治・秋山晋二・中川 渉・ 加々美寛雄(2000)西南日本の古第三紀火砕堆積物と地すべ り:とくに神戸層群の噴出源について. 第39回日本地すべり 学会研究発表講演集, 373-374.
- 郷津知太郎・谷 保孝・竹下浩征・兵藤博信 (2011) 神戸層群北 畑凝灰岩に含まれる軽石中の黒雲母の⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代測定.地 質技術, no. 1, 19-25.
- 中川 渉・谷 保孝・秋山晋二・今岡照喜(2004a)古第三紀神戸 層群凝灰岩類の岩石学的特徴. 第43回日本地すべり学会研究 発表会講演集,487-490.
- 中川 渉・谷 保孝・今岡照喜(2004b)神戸層群の凝灰岩の岩石 学的識別手法を利用した凝灰岩の比較. 第43回日本地すべり 学会研究発表講演集, 303-306.
- 尾崎正紀(2009)古第三系.日本地方地質誌 5,近畿地方,日本地 質学会編,朝倉書店,東京,195-198.
- 尾崎正紀・松浦浩久(1988)三田地域の地質.地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅),地質調査所,93p.
- 尾崎正紀・原山 智(2003)高砂地域の地質.地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅),産総研地質調査総合センター,87p.
- 谷 保孝(2009) 兵庫県三田盆地の古第三紀神戸層群吉川累層に 挟在する含カミングトン閃石凝灰岩. 日本地質学会第116年 学術大会,講演要旨, 198.
- 谷 保孝・中川 渉 (2001) 古第三紀凝灰岩層の識別における記 載岩石学的検討の有効性 – 兵庫県三田盆地に分布する異なっ た2層準の神戸層群凝灰岩層での例 – .地球科学, 55, 157-171.
- 谷 保孝・中川 渉(2005) 兵庫県三田盆地の古第三紀神戸層群 北畑凝灰岩層の記載岩石学的特徴. 日本地質学会第112年学 術大会,講演要旨,93.
- 谷 保孝・中川 渉(2006) 兵庫県三田盆地の古第三紀神戸層群 Kyu-tf2凝灰岩層の黒雲母の化学組成.日本地質学会第113年 学術大会,講演要旨,178.