

小笠原父島無人岩の記載岩石学的研究 —無人岩枕状溶岩の垂直変化—

多久 雅啓*・松本 一郎**

Masahiro TAKU and Ichiro MATSUMOTO
Petrological Characteristics of Boninite from Chichijima Island, Ogasawara, Japan
-Vertical Petrological Diversity of Boninite Pillow Lava -

ABSTRACT

Chichijima, Ogasawara Islands is the place where boninite has been exposed most voluminously all over the world. Moreover, it is “type locality” of boninite. Boninite is high-magnesian andesite (HMA) which is a primary andesite basis of its high Mg, Ni and Cr content, directly derived from mantle. We did detailed research and sampling of boninite based on geological map of Chichijima (Umino and Nakano, 2007) and clarified and classified petrographic characteristics of boninite. Umino (1986) classified aphyric boninite from Chichijima into five types: (I) olivine (ol) + clinoenstatite (cen) + bronzite (brz); (II) ol + brz; (III) brz; (IV) brz + pigeonite (pig) + augite (aug); (V) cen + brz. We can classified the type (II) of Umino (1986) divided into four types by phenocryst and micro-phenocryst assemblage. They are Type AI (phenocryst: ol + serpentine (ser)) / brz ≥ 1 and micro-phenocryst: brz / clinopyroxene (cpx) ≥ 1), Type AII (phenocryst: ol + serpentine (ser)) / brz ≥ 1 and micro-phenocryst: brz / clinopyroxene (cpx) < 1), Type BI (phenocryst: ol + serpentine (ser)) / brz < 1 and micro-phenocryst: brz / clinopyroxene (cpx) ≥ 1) and Type BII (phenocryst: ol + serpentine (ser)) / brz < 1 and micro-phenocryst: brz / clinopyroxene (cpx) < 1). It has been understood that the above four types rock appears in respective height in the pillow lava bed.

【キーワード：Petrography, boninite, olivine, pyroxenes, Chichijima】

I. はじめに

小笠原諸島の一部地域では無人岩 (boninite) という岩石学的に大変貴重で珍しい安山岩が露出している。この岩石は安山岩でありながら、より初生的であるとされる玄武岩よりもマグネシウム含有量、クロム含有量、ニッケル含有量が多いという特徴を有し、高等学校等の教科書に記載されているような一般的な岩石学的特徴とは異なるものである。また、無人岩はその特異な化学組成を反映し古銅輝石を大量に含んでおり、単斜エンスタタイトをしばしば含有していることで知られている。以上のような特異的な岩石学的な性質を有しているために、無人岩は世界にその名を知られ、多くの研究者により研究が行われることとなった。無人岩の成因では、通常のマントルから直接的にもたらされる初生的な岩石と比べ、高温でしかも高含水量のマントルウエッジで生成されたことが知られるようになった。小笠原父島は、無人岩の模式地であり、世界中から注目され多くの研究がなされてきた。しかし、今日までの研究は無人岩をひとまとめとして記載されたものがほとんどであり、水平・垂直方向に統計的に記載されたものは少ない。そのような中、海野・中野 (2007) によって父島無人岩の地質図により層序学的な詳細がはじめて示された。

本研究では海野・中野 (2007) によって作成されたこの詳細な小笠原諸島父島列島の地質図 (50,000分の1) をもとに、父島無人岩・溶岩層の新旧 (上下) 関係における記載岩石学的な連続性や変化を明らかにすることを目的として調査・分析を行なった。その結果、無人岩溶岩噴出課程で無人岩マグマの性質に時間的な変遷があったことを明らかにしたので、ここに記載を中心に報告する。

本研究で明らかになった小笠原無人岩の岩石記載は、その岩石・鉱物化学的特徴と合わせ、小笠原無人岩の成因を明らかにする上で重要な記載事実であることから、特に顕微鏡下での特徴を中心に議論する。

なお、無人岩を含めた小笠原地方は国立公園の特別地域に加えて特別保護地区が存在するため、本研究にあたっては、研究計画書を環境省に提出し、研究の妥当性を判断頂いた上で、研究許可及び試料採取許可を頂いて行ったものである (環関地国許第080311005号 (特別保護地区) 及び環関地国許第080311006号 (特別地域))。

II. 地質概説

小笠原諸島父島は、東京の南南東約1,000kmに位置しており、無人岩の模式地として知られている。父島では無人岩溶岩が最下位の層準を占める。父島は大部分が火

* 島根大学大学院教育学研究科教育内容開発専攻

** 島根大学教育学部初等教育開発専攻

山岩類で構成されており、火山岩は地質構造、層序及び岩質・岩相の違いにより下層から円縁湾層、旭山層、三日月山層の各層に分けられ、いずれも始新世の活動とされている (Umino, 1985). さらに、それらは不整合で斬新世～中新世の含有孔虫石灰岩からなる南崎層によって覆われる。

父島の最下層の円縁湾層は父島及び兄島の広い範囲に分布し、下位より上位へ向かって岩相・岩質が系統的に変化する。下位は主として無人岩枕状溶岩からなる。中位は無人岩の火砕岩からなり、上位は主としてデイサイト枕状溶岩からなる。つまり、枕状溶岩の無人岩は円縁湾層の下位に位置するものが多い。また、円縁湾層の無人岩は古銅輝石安山岩の枕状溶岩、凝灰角礫岩及びデイサイトの枕状溶岩を挟在する。

上記のような詳細な記載と層序 (図1に示す)は海野・中野 (2007) の地質図 (50,000分の1) によりはじめて明らかにされた。つまり、それにより本研究の目指す無人岩の時空的な鉱物学的・岩石学的な変化を調べる事が可能となった。

Ⅲ. 研究方法

本研究は、主に野外調査での地質記載およびサンプリングをもとに、顕微鏡で岩石薄片の記載を行った。また、岩石薄片を用いたX線顕微鏡での面分析、及び岩石粉末のガラス固化体 (ガラスビード) を用いた全岩化学分析を行った。以下、それぞれについて述べる。

[野外調査]

小笠原諸島父島列島の地質図 (50,000分の1) 及び父島の地形図を基に、枕状無人岩分布域から広く水平・垂直的に試料を採取した。また、それらの地点における枕状溶岩無人岩の露頭の状態を記載した。特に、垂直方向の連続試料採取を念頭に、調査ルートを選定した。

[薄片作成と鉱物記載・モード測定]

採取した全80試料から、無人岩を層順的に垂直に追跡できる試料を選び薄片を21枚作製した。それらは、偏光顕微鏡を用いて鉱物記載を行うと同時に、鉱物や石基の量比を島根大学地学研究室のPRIOR製のオートマチックポイントカウンター (J0415G) にて測定した。

なお、本研究では鉱物径が $\geq 0.5\text{mm}$ のものを斑晶とし、それより小さいものを石基として薄片1枚につき約1000点のモード測定を行った。

[X線顕微鏡による面分析]

X線顕微鏡 (HORIBA-XGT5000) にて、化学的な違いによる鉱物組織などの特徴を調べた。X線顕微鏡分析の条件は以下のとおりである。

- ・ XGT径: $100\mu\text{m}$ ・ 走査幅: 16.384mm
- ・ 積算回数: 1回 ・ 画素数: 256
- ・ 測定時間 (フレームあたり): 599s
- ・ X線管電圧: 30kV ・ 電流: 1.00mA
- ・ パルス処理時間: P3
- ・ 測定元素: Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Cr,

Mn, Fe, Ni, Rb, Sr, Y, Zr, Nb

[全岩化学分析]

島根大学総理工学部の理学電機社 (現(株)リガク) 製の蛍光X線分析装置 (RIX2000XRF) を用いて行った。

測定元素は、 SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , MnO , MgO , K_2O , Na_2O , Fe_2O_3 , MgO の主要元素および Cr_2O_3 , NiO などの微量元素について行った。

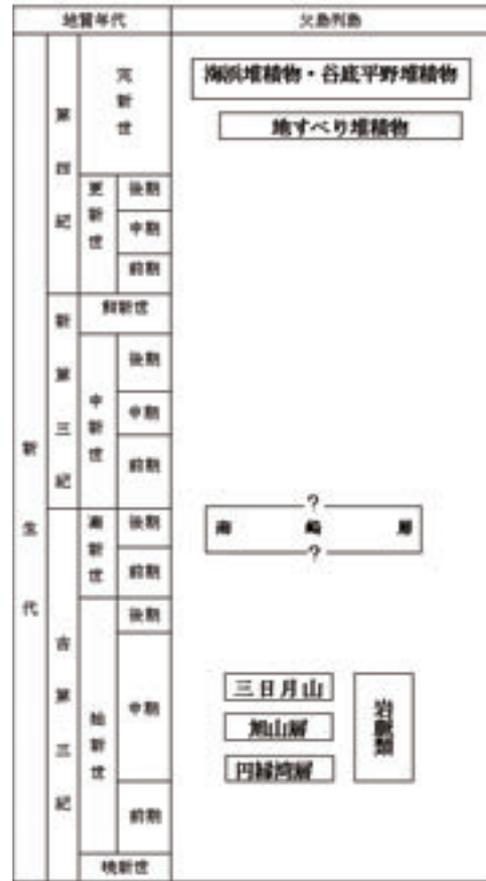


図1 父島の地質図 (海野・中野, 2007)

Ⅳ. 結果と考察

[野外調査]

採取した無人岩は露出する岩石表面には酸化、風化や変質による色調や質感の違いが認められる。また、試料の一部については内部まで酸化、変質が見られるものも存在した。ただし、肉眼的に新鮮なものも多く、薄片の作製に供する試料については、比較的新鮮なものを選別・採取することができた。試料採取位置図を図2に、露頭写真を巻末図Iに示した。本研究ではこれまでに解析できた父島の東海岸の試料 (図2) について報告する。なお、図2での等高線の間隔は50mであり、父島無人岩の枕状溶岩の走行・傾斜が、ほぼ南北でやや西傾斜という事を考えれば、父島東海岸の斜面は急峻であり、同層の垂直変化を調べるには好適地である。

[鉱物記載]

本研究で採取した無人岩は、斑晶としてかんらん石 (0.5~2.0mm; 平均1.0mm)、古銅輝石 (0.5~3.0mm);

平均1.5mm)が認められ、僅かに単斜エンスタタイト(1.0mm程度)が認められた。なお、かんらん石の一部もしくは大部分が蛇紋石により置換している試料も認められた。また、その他の苦鉄質鉱物も一部分ではあるが、緑泥石や粘土鉱物に置換されている部分が認められた。

石基は、かんらん石、古銅輝石、単斜輝石、クロムスピネルが認められ、隠微晶質鉱物及びガラスにより構成される。なお、単斜輝石は、平行連晶を示すものが多く、単斜エンスタタイトとCa輝石が複雑に連結したものが存在する。

なお、無人岩には発泡が認められるものがあるが、発泡による孔隙は2次生成鉱物である玉髓や沸石が充填しており、部分的?全てを粘土鉱物により置換されている。代表的な顕微鏡写真を巻末図Ⅱに示す。なお、父島無人岩の層順方向に垂直な断面での連続的な顕微鏡写真の提示は、本研究が初めてである。

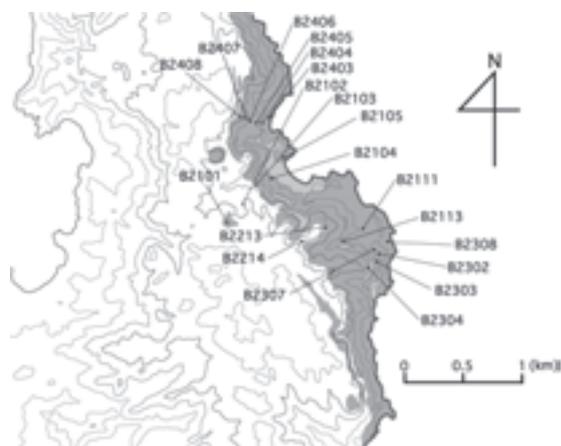


図2 試料の採取地点 (濃灰色部分が無人岩枕状溶岩、薄灰色部分が古銅輝石枕状溶岩；等高線は50m間隔)

[モード測定]

モード測定の結果を表1に示した。表1からもわかるように、全ての無人岩は石基ガラスの割合がほぼ50~60%前後を示し、隠微晶質部分とあわせると約60~70%前後となる。斑晶鉱物では、古銅輝石、かんらん石(蛇紋石化したものを含む)が主斑晶として含まれており、若干の単斜輝石及び単斜エンスタタイトの存在が認められる。これら斑晶は、全体の傾向として、絶対量に多少の違いは認められるものの、古銅輝石が多いもの((かんらん石+蛇紋石)/古銅輝石<0.6)、かんらん石が多いもの((かんらん石+蛇紋石)/古銅輝石>1)に分けられる。これら2つのグループ分けには、若干の例外(試料B2407(=0.63)、試料B2407(=0.90))は認められるものの、(かんらん石+蛇紋石)/古銅輝石比で1.0~0.6に間隙が存在し比較的明瞭に区分されそうである。ここでは便宜的に(かんらん石+蛇紋石)/古銅輝石比 ≥ 1 をTypeA、 < 1 をTypeBと呼称する。

また、石基部分の小~微斑晶量に着目すると、古銅輝石と単斜輝石が主に認められ、かんらん石(蛇紋石を含む)が少量存在する。古銅輝石が多いもの、単斜輝石が

多いものが確認され両者の割合はほぼ同数であった。また、石基斑晶の単斜エンスタタイトとCa輝石は平行連晶を成すも多くモード組成では単斜輝石とした計測を行った。ここでも全体の傾向をみるために便宜的に古銅輝石/単斜輝石 ≥ 1 をTypeI、 < 1 をTypeIIとした。

以上、斑晶と石基でのそれぞれの鉱物モード組成の結果を斑晶と石基でそれぞれタイプ分けしたが、両者を組み合わせると表1のとおりTypeAI, AII, BI, BIIに区分できる。つまり、標高との関係でみるとTypeBIIのもの(古銅輝石斑晶が多く、石基微斑晶に単斜輝石が多い)は全体に広く認められる事がわかる。つまり、標高の変化には関係なく、父島無人岩の一般的な記載岩石学的な特徴を有したものだと思えることができる。それに対してTypeAIのもの(かんらん石斑晶が多く、古銅輝石微斑晶の多いもの)は標高の高い部分に多い傾向が認められた。同様に、TypeBIのもの(古銅輝石斑晶が多く、古銅輝石微斑晶の多いもの)は標高の低い部分に認められる。また、TypeAIIのもの(かんらん石斑晶が多く、単斜輝石微斑晶の多いもの)は、やや標高の高い部分に認められる傾向がある。

以上のように斑晶と微斑晶における鉱物の量比から、父島無人岩のうち父島東海岸においては、溶岩層が層順の変化に応じて岩石化学的な変化がおこっていることがわかる。後述する全岩化学的な垂直的な変化も認められる事から、無人岩マグマの発生や分化を議論できる材料が揃いつつあると言える。

なお、Umino (1986)は微斑晶の鉱物量比により父島無人岩を5つのタイプに分類を行っている。つまり、Umino (1986)によると、父島の無人岩を、Type I (かんらん石+単斜エンスタタイト+古銅輝石)、Type II (かんらん石+古銅輝石)、TypeIII (古銅輝石)、TypeIV (古銅輝石+ピジョン輝石+普通輝石)、Type V (単斜エンスタタイト+古銅輝石)に分類した。これは全岩化学組成の変化とも合わせて議論された。今回の研究における結果をみると、今回の試料の大部分はUmino (1986)のType IIに分類されることがわかった。なお、Type I及びType IIIの岩石の分布は東海岸に分布の記載がある(Umino, 1986)が、分布が限定されていることもあり、今回の調査では採取できなかった。なお、Umino (1986)は無入岩の斑晶と微斑晶を1mm程度で区別し、微斑晶の鉱物量比により父島無人岩を5タイプに分けたが、本研究では0.5mmを斑晶としてタイプ分けを行った。これは顕微鏡下において1.0mmよりも0.5mm程度に斑晶と微斑晶の境界が存在すると鑑定したため(なるべくしきい値が人為境界にならないように配慮したため)であるが、結果的にはUmino (1986)による記載、議論と整合的なものとなった。

図3にはモード測定の結果から、全斑晶量に対するかんらん石斑晶(蛇紋石を含む)の鉱物量比(%)と標高との関係を示した。

かんらん石は、初生的マグマから初期段階に晶出する鉱物であり、マグマの種類や分化などを議論する際に、

表1 無人岩のモード測定の結果

標高(m)	試料番号	斑晶							石基							Type分け					
		かんらん石	蛇紋石	古銅輝石	単斜 エンスタイト	単斜輝石	かんらん石+蛇紋 石/古銅輝石	かんらん石	蛇紋石	古銅輝石	単斜輝石	不透明鉱物	隠微晶質	ガラス	玉髄	孔	古銅輝石/ 単斜輝石	Type	A	B	
																		I	II	I	II
0	B2105	0	42	67	0	6	0.627	0	24	92	144	0	53	526	2	44	0.639	BII			O
0	B2403	0	5	84	0	2	0.060	0	8	142	167	0	58	534	0	0	0.850	BII			O
20	B2308	0	18	11	0	1	1.636	0	30	63	88	0	89	595	100	5	0.716	AII			
20	B2404	0	30	80	0	0	0.375	0	13	125	121	1	101	529	0	0	1.033	BI			
40	B2111	29	16	25	3	9	1.800	29	16	158	142	0	77	484	12	0	1.113	AI	O		
50	B2302	4	31	72	0	3	0.486	1	7	100	114	0	50	460	158	0	0.877	BII			O
50	B2405	0	18	90	0	2	0.200	0	9	137	123	0	67	554	0	0	1.114	BI			O
50	B2104	11	25	70	0	5	0.514	0	9	86	99	0	65	577	15	38	0.869	BII			O
50	B2113	0	65	61	0	4	1.066	1	19	90	133	0	61	566	0	0	0.677	AII			O
70	B2307	0	78	64	0	1	1.219	0	34	84	89	0	53	558	39	0	0.944	AII			O
90	B2406	0	63	23	0	0	2.739	0	28	109	180	0	68	517	12	0	0.606	AII			O
110	B2303	0	27	51	0	1	0.529	0	41	95	102	0	47	636	0	0	0.931	BII			O
120	B2407	0	37	41	0	0	0.902	0	24	101	106	0	67	502	122	0	0.953	AII			O
130	B2304	0	61	102	0	5	0.598	0	2	65	103	0	64	571	27	0	0.631	BII			O
130	B2103	11	55	38	0	1	1.737	0	8	98	65	0	149	575	0	0	1.508	AI	O		
170	B2408	0	17	43	0	3	0.395	0	22	76	178	0	97	455	96	13	0.427	BII			O
190	B2213	0	22	86	0	4	0.256	1	6	52	99	0	74	656	0	0	0.525	BII			O
200	B2102	0	66	41	0	3	1.610	0	30	84	70	0	135	553	0	18	1.200	AI	O		
210	B2214	0	34	58	0	6	0.586	0	20	102	121	0	63	594	2	0	0.843	BII			O
220	B2101	0	63	130	0	0	0.485	0	15	133	57	3	57	534	0	8	2.333	BI			O

しばしば有用である。図3からもわかるとおり、全斑晶に対するかんらん石斑晶量には20%前後から80%に達するまでの多様性が認められた。これは、無人岩マグマが、岩石化学的に大きく変化していることを示しており、垂直的な連続変化は、その発生や分化を議論するうえで、重要な変化を捉えたものである。なお、今回の結果は、かんらん石斑晶のモードが3回程度増える作用が東海岸の枕状溶岩層（のうちType II無人岩）を形成する時間経過の中で行われた事を意味している。

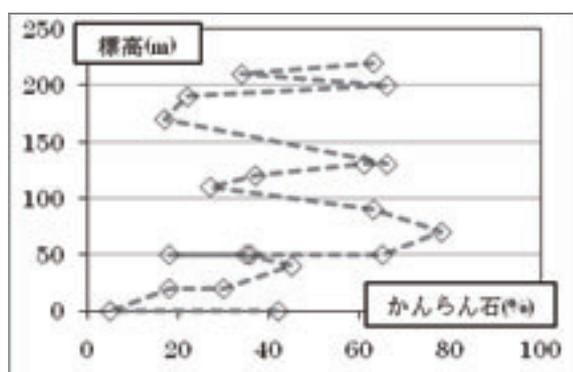


図3 全斑晶に占めるかんらん石斑晶のモードと標高との関係

[X線顕微鏡観察]

X線顕微鏡による面分析結果を、代表的な元素のマッピング画像として巻末図III-1~III-4に示す。父島無人岩においては、クロムスピネルの存在によるCrの高濃度が特徴であり、その様子が確認された。また、炭酸塩鉱物が、晶洞部に充填している様子によるCaの濃集が認められた。なお、輝石類とかんらん石などの組織などの特徴は組成マップからは顕著に認められなかった。また、基質や斑晶鉱物の分布による組成の不均質性は認められず、薄片オーダーでは化学組成的に均質であることがわかった。

[全岩化学分析]

今回は予察的に父島東海岸の無人岩分布域の試料の一部について全岩化学分析を行い、採取試料が無人岩の化学組成を有していることを確認した(表2)。つまり、無人岩の特徴である高いマグネシウム、ニッケル、クロムの含有が認められた。また、今回採取し分析に供した試料は全て矢島・藤巻(2001)の分類する低Ca無人岩に分類されるものであった。

表2 代表的な岩石における全岩中のSiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Cr およびNi含有量

試料番号	主要元素(wt%)					微量元素(ppm)	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Cr	Ni
B2105	58.82	11.48	9.88	9.73	7.98	540	192
B2113	58.98	12.07	9.44	10.07	7.66	515	156
B2303	58.48	11.61	9.75	9.65	7.81	550	158
B2304	57.85	10.64	10.06	11.32	7.38	811	273
B2101	57.93	10.86	9.82	11.74	7.30	756	284

図4には岩石の初生的な議論に良く用いられるマグネ

シウム含有量を横軸に、試料採取地点の標高(m)を縦軸とした関係図を示した。

マグネシウムはかんらん石の主成分元素の一つであるが、図3のかんらん石のモードと比較すると標高約130m付近と標高200m付近では、ともに高い値を示し、関連性があるように見受けられる。一方、標高100m以下の地点では、関係性がないか弱く、微斑晶もしくはガラス基質の有するマグネシウム含有量が全岩化学組成のマグネシウムの高含有量に反映していると考えられる。

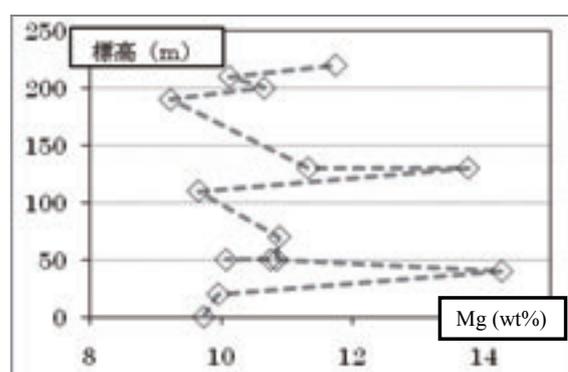


図4 全岩のマグネシウム含有量と標高の関係

V. まとめ

本研究では小笠原父島無人岩のうち、無人岩の分布がまとまって観察される父島東海岸の丸紅湾層の溶岩層について、特に垂直的な岩相(鉱物モード組成)及び全岩化学組成の変化を記載した。この垂直的な変化の記載は、海野・中野(2007)による詳細な地質図の完成により成し得る事ができたといえる。本研究で明らかになったことは以下のとおりである。

- 1) 父島東海岸の丸紅湾層の枕状溶岩を下位から上位まで連続的に調査記載するとともに岩石試料を採取し、岩石薄片を作製した。その結果、ほぼ全ての岩石の記載的な特徴が無人岩のものであることを確認した。なお、今回の試料のほとんど全てがUmino(1986)のType IIであることがわかった。
- 2) Umino(1986)のType II岩石を本研究では、その層順の下位から上位まで連続的に鉱物モード測定を行い、斑晶と石基を構成するそれぞれの鉱物やガラスの量比より、斑晶かんらん石に富み石基部に古銅輝石の多いType AI, 斑晶かんらん石に富み石基部に単斜輝石の多いType AII, 斑晶古銅輝石に富み石基部にも古銅輝石の多いType BI, 斑晶古銅輝石に富み石基部には単斜輝石の多いType BIIに分類した。
- 3) 全岩化学分析の結果と上記に示した記載岩石から、本研究で採取した岩石のほとんど全ては低Ca無人岩であることが確認された。
- 4) 岩石記載及び全岩化学組成の結果から、父島東海岸のType II枕状溶岩は、層順の下位から上位にかけて、かんらん石のモード組成や全岩のマグネシウム含有

量が一定ではなく、連続的な増減が数回認められた。加えて、TypeII枕状溶岩の斑晶や微斑晶の特徴についても、層順の下位から上位にかけて一様でないことがわかった。

以上の観察事実や分析結果は、無人岩の発生や分化を明らかにしていくうえで、重要な内容を含んでいることが期待される。つまり、一つの層順を通して岩石記載や全岩の化学組成が垂直的に変化している事は、無人岩本源マグマが複数あるのか、もしくは無人岩マグマが時間的な経過とともに分化していることを示しているのか、いずれにしてもそのマグマプロセスの解明が必要である。

今後の課題としては、今回採取ができなかったTypeI及びTypeIIIの岩石を採取し、TypeIIの岩石と記載学的・岩石化学的に比較検討することが必要である。また、合わせてかんらん石やクロムスピネルの化学組成の垂直的な変化を調べることにより、無人岩マグマの生成場についての詳細を明らかにする必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、島根大学総合理工学部の澤田順弘先生、及び亀井淳志先生には全岩化学分析を行うにあたりご支援を頂いた。島根大学自然環境教育講座の皆様には有益なご意見・ご討論とともに励ましを頂いた。また、試料採取の許可手続きに関わり、環境省小笠原事

務所及び東京都小笠原支庁の関係の皆様には様々なお手数と便宜をはかって頂いた。以上の皆様に深く御礼申し上げます。

参考文献

- Umino S. (1986) : Magma mixing in boninite sequence of Chichijima, Bonin Island. Jour. Volcanol. Geotherm. Res, vol. 29, 125-157.
- 海野 進・石渡 明 (2006) : 小笠原諸島の地質—無人岩成因と海洋テクトニクス. 日本地質学会 (編), 日本地方地質誌 4. 中部地方. 朝倉書店, 292-299.
- 海野 進・中野 俊 (2007) : 父島列島地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図), 地質調査所, 1-71.
- 矢島一仁・藤原 宏和 (2001) : 小笠原父島に産する高Caおよび低Caボニナイト. 岩石鉱物科学, 30, 217-236.
- 白木敬一・黒田 直 (1977) : 無人岩再訪. 地学雑 86, 34-50.
- 白木敬一・丸山茂徳・黒田 直・浦野隼臣 (1981) : 無人岩成因論. 月刊地球, 3, 160-166.
- 白木敬一・黒田 直・浦野隼臣・R.W.Nesbitt (1985) : 小笠原諸島父島・聳島 - マントルに一番近い島 -. 月刊地球, 7, 632-637.

巻末図 I

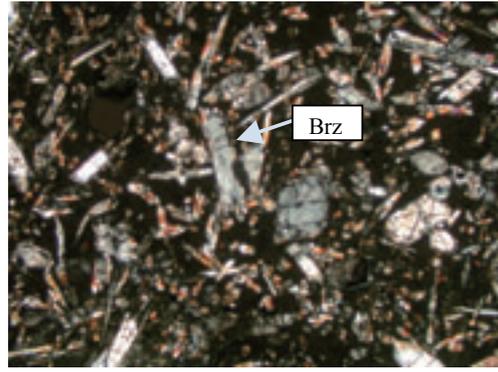
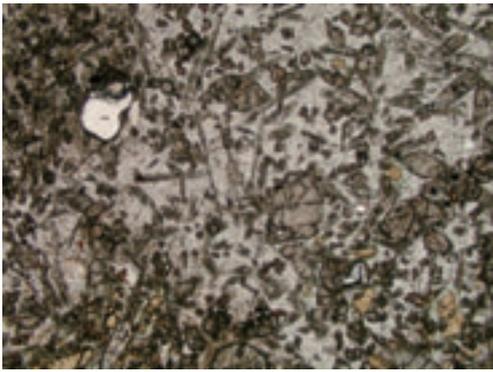


巻末図 I-1 枕状溶岩の全景
シート状に積み重なった枕状溶岩断面の露頭写真

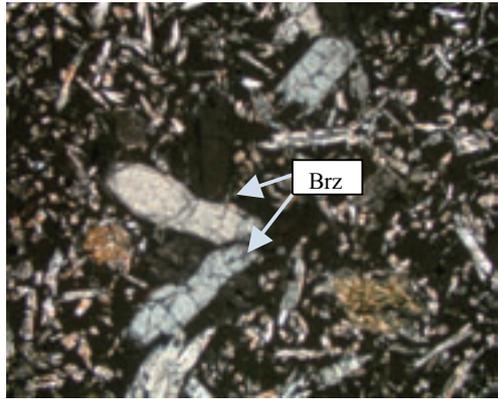
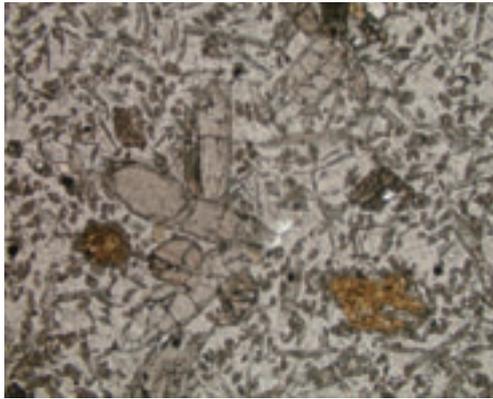


巻末図 I-2 枕状溶岩の拡大
無人岩枕状溶岩の枕の径はおおよそ30~40cm程度である

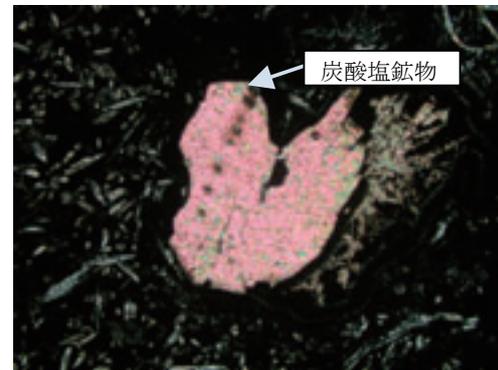
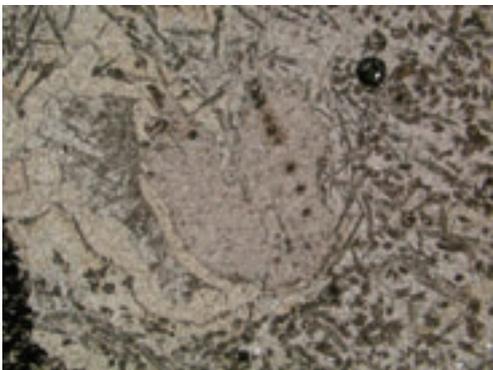
卷末図Ⅱ



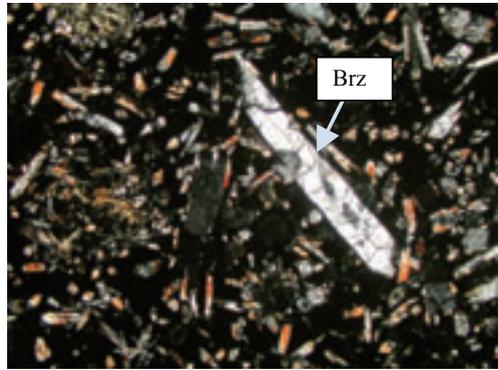
試料番号 B2105



試料番号 B2403



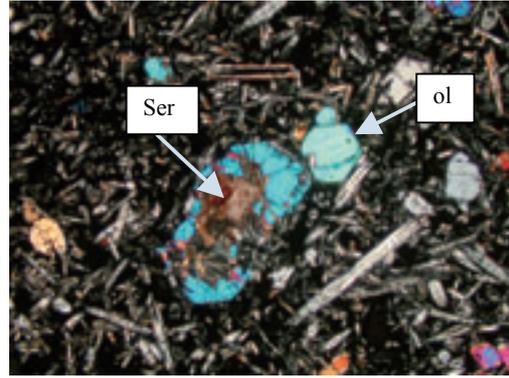
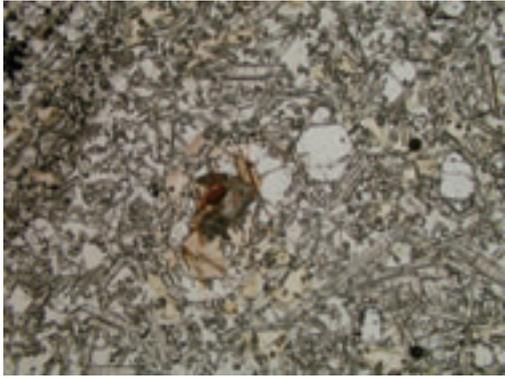
試料番号 B2308



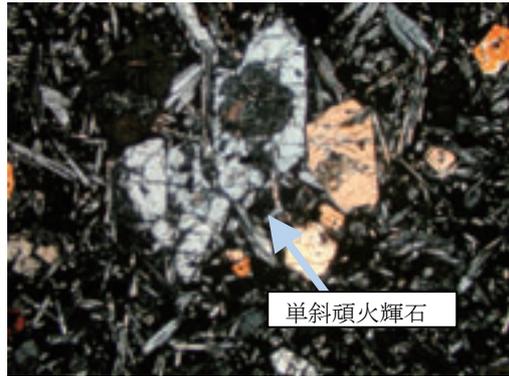
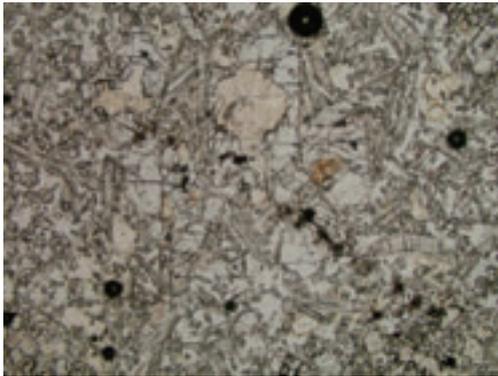
試料番号 B2404

偏光顕微鏡写真（1）

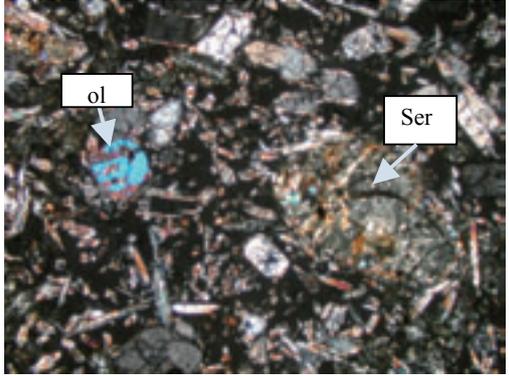
※左:open 右:cross 写真径:約2mm ol:かんらん石 Brz:古銅輝石 Ser:蛇紋石 Sp:スピネル



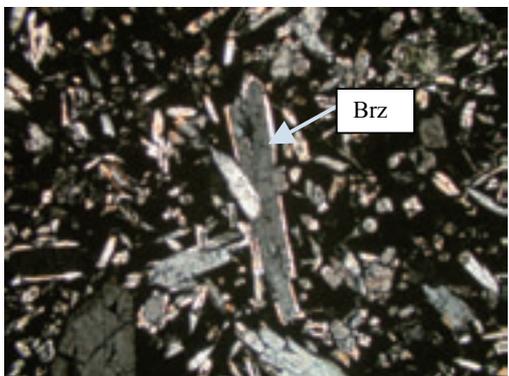
試料番号 B2111



試料番号 B2111



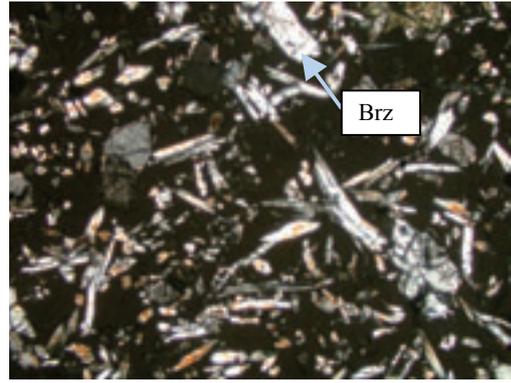
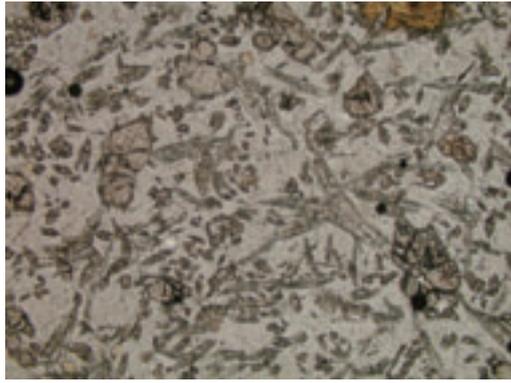
試料番号 B2302



試料番号 B2405

偏光顕微鏡写真 (2)

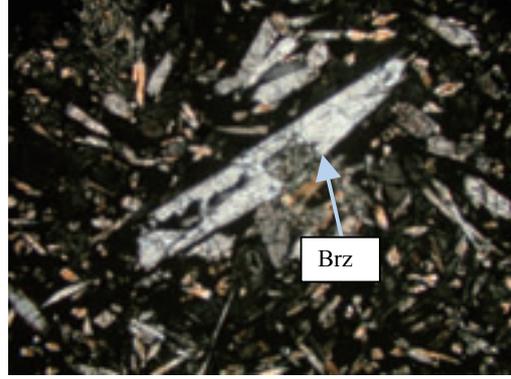
※左:open 右:cross 写真径:約2mm ol:かんらん石 Brz:古銅輝石 Ser:蛇紋石 Sp:スピネル



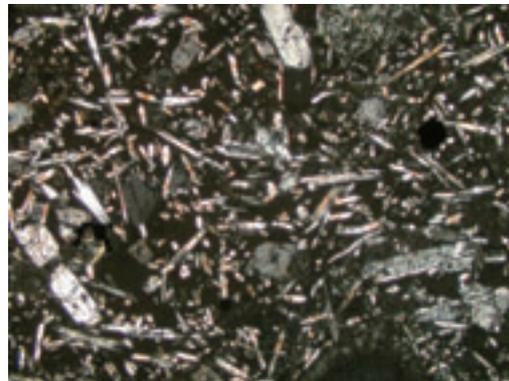
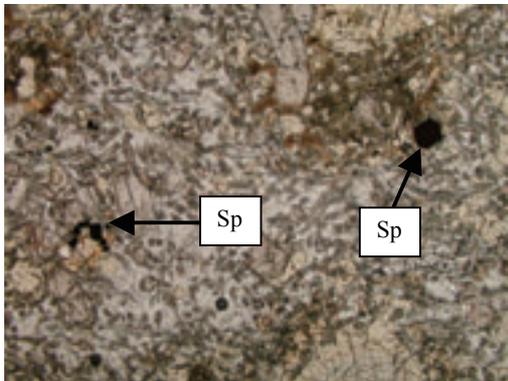
試料番号 B2104



試料番号 B2113



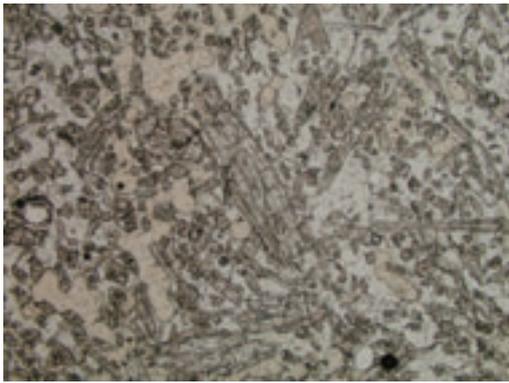
試料番号 B2307



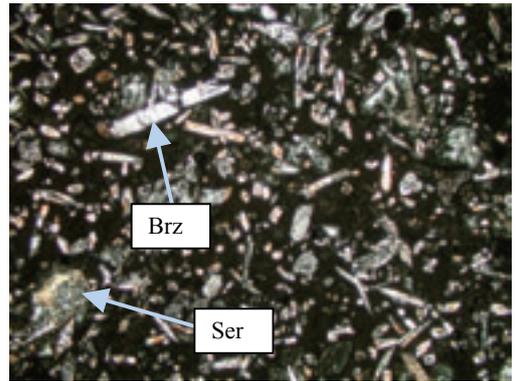
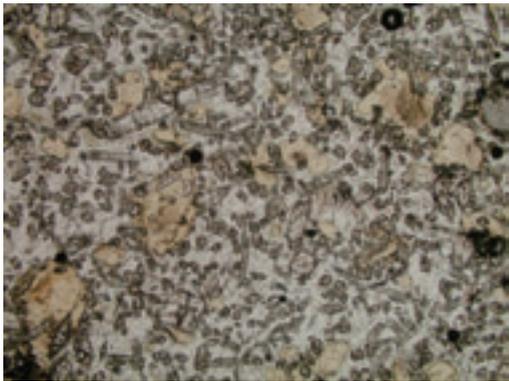
試料番号 B2406

偏光顕微鏡写真 (3)

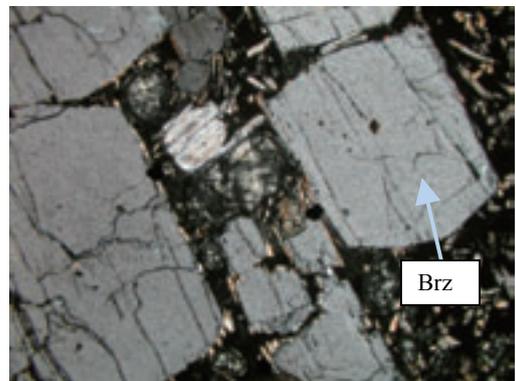
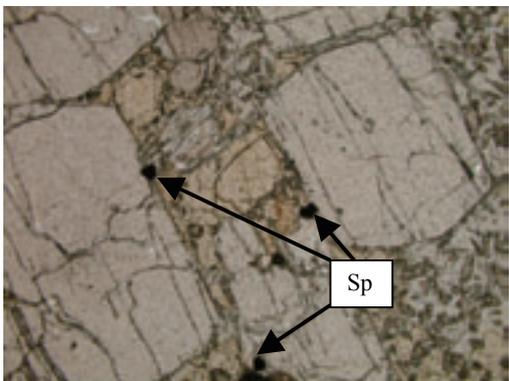
※左:open 右:cross 写真径:約2mm ol:かんらん石 Brz:古銅輝石 Ser:蛇紋石 Sp:スピネル



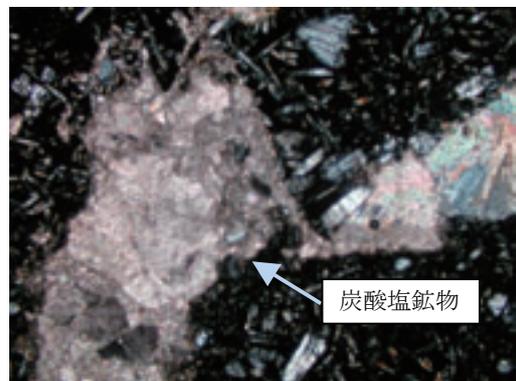
試料番号 B2303



試料番号 B2407



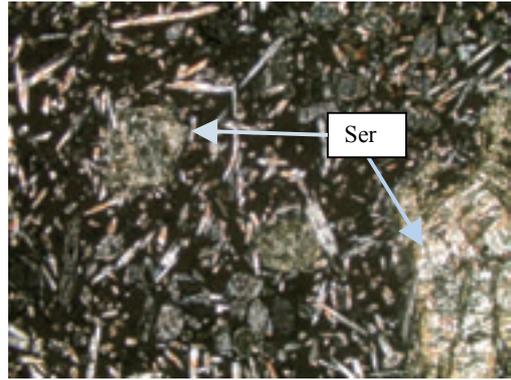
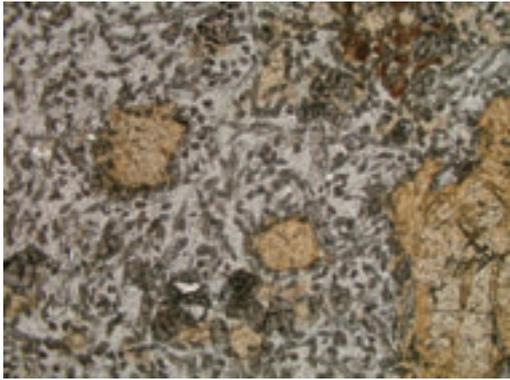
試料番号 B2304



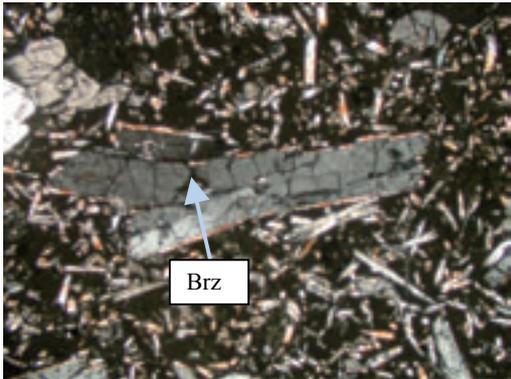
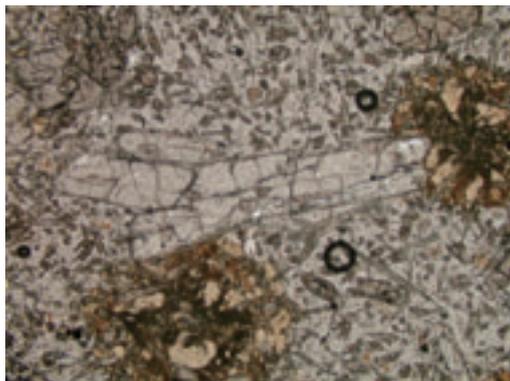
試料番号 B2103

偏光顕微鏡写真(4)

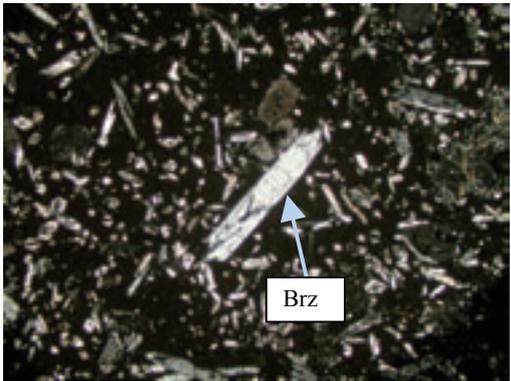
※左:open 右:cross 写真径:約2mm ol:かんらん石 Brz:古銅輝石 Ser:蛇紋石 Sp:スピネル



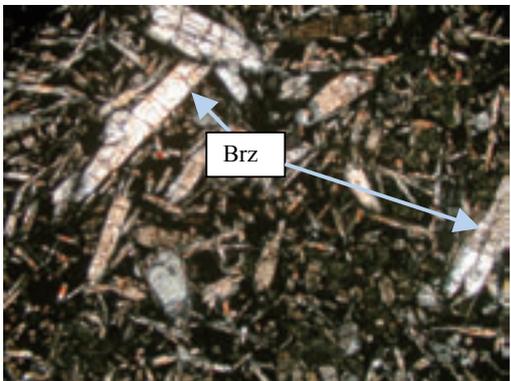
試料番号 B2408



試料番号 B2213



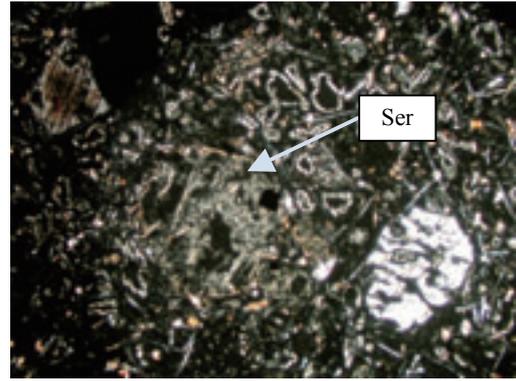
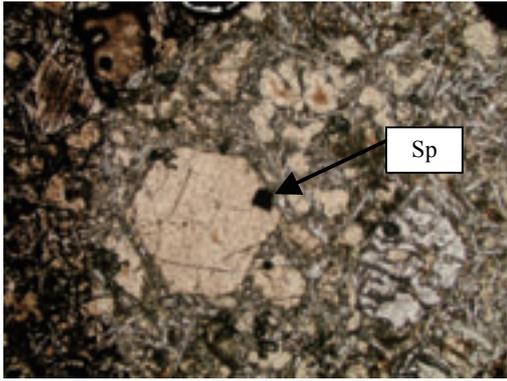
試料番号 B2102



試料番号 B2214

偏光顕微鏡写真 (5)

※左:open 右:cross 写真径:約2mm ol:かんらん石 Brz:古銅輝石 Ser:蛇紋石 Sp:スピネル



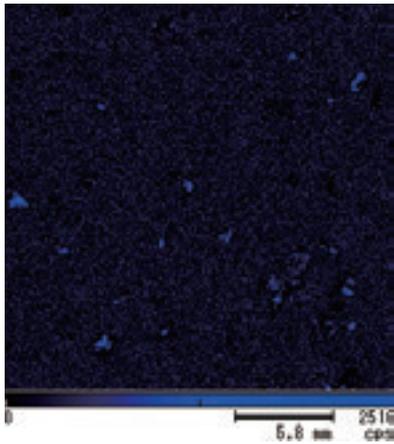
試料番号 B2101

偏光顕微鏡写真(6)

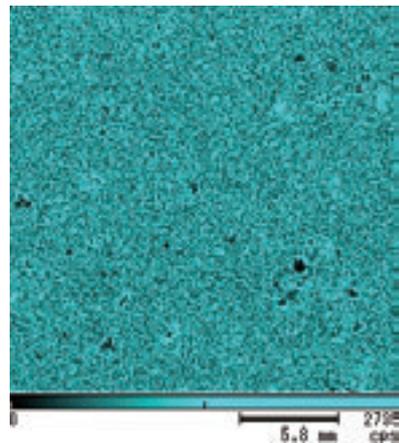
※左:open 右:cross 写真径:約2mm

ol:かんらん石 Brz:古銅輝石 Ser:蛇紋石 Sp:スピネル

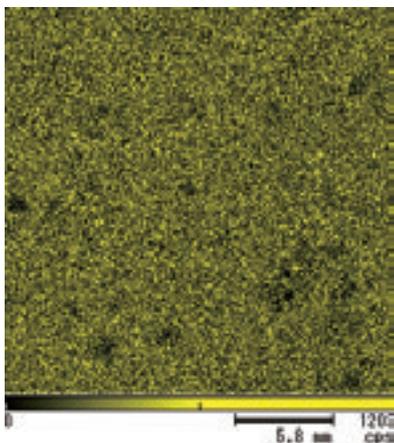
巻末図Ⅲ



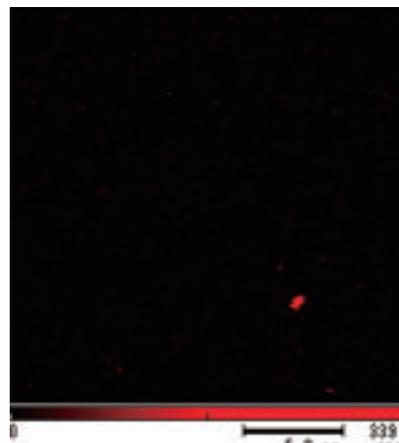
図Ⅲ-1 Caの分布
濃集している部分は炭酸塩鉱物



図Ⅲ-2 Feの分布
僅かな部分は炭酸塩鉱物



図Ⅲ-3 Siの分布
僅かな部分は炭酸塩鉱物



図Ⅲ-4 Crの分布
濃集している部分はクロムスピネル

