隠岐島後中村の超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩

PETROLOGY OF ULTRAMAFIC AND MAFIC INCLUSIONS IN ALKALI
BASALT FROM NAKAMURA, DOGO, OKI ISLANDS

青 木 謙 一 郎 (Ken-ichiro Aoki)*

Ultramafic and mafic inclusions up to 30 cm in size occur in Mg-rich alkali basalt from Nakamura, Dogo, Oki Islands. These inclusions are divided into two suites: (1) spinel lherzolite, and (2) wehrlite-cumulus lherzolite-gabbro-troctolite. New analyses are presented for one host basalt, seventeen inclusions, twelve olivines, five orthopyroxenes, seventeen clinopyroxenes and fourteen plagioclases.

There are remarkable chemical differences between both suites: The latter are characterized by lower 100 Mg/Mg+Fe and wide variations of major element chemistry, and no petrographic and chemical gradation between them are observed. Spinel lherzolite has been derived from the spinel peridotite region in the mantle, on the other hand, wehrlite-troctolite suite has been produced as cumulus phases from alkali olivine basalt magma in the lower part of the crust or the top of the mantle.

1. ま え が き

西南日本の新生代に活動したアルカリ玄武岩類中には種々の超苦鉄質及び苦鉄質捕獲岩類や高圧メガクリスト類が含まれていることはよく知られている。それらの産地は数え方にもよるが 30 箇所を越えている。隠岐島後には広くアルカリ玄武岩類が分布しているが、それらの中にも超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩類や高圧メガクリストが含まれていることがあり、これら岩石・鉱物の我が国における代表的な産地の一つとしてあげることができる。

Ross *et al.* (1954) による上部マントル由来かんらん岩捕獲岩の研究以来、世界各地のアルカリ玄武岩類中の捕獲岩や高圧メガクリストの鉱物学、岩石学、地球化学的研究が進められ、本邦のものについても今日までに多数の報告がなされている。

隠岐島後の超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩についての簡単な記載は Yamaguchi (1964) と Uchimizu (1966), またケルースタイトメガクリストについては Uchimizu (1966), アンデシンメガクリストについては Aoki (1970) によって行われている。最近高橋 (1975) は超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩の岩石学的研究を基にして、この地域の上部マントルと下部地殻の岩石学的モデルを提議している。

この論文では隠岐島後中村のアルカリ玄武岩中に含まれている超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩類の化学的性質につい

て主として記載することにする。

この研究には文部省科学研究費補助金を使用した。また岩石及び鉱物の化学分析の一部は柴いく子氏によって行われた。

2. 記載岩石学

隠岐島後においてアルカリ玄武岩類中の超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩は Uchimizu (1966) によると、10 箇所以上発見されているようである。それらのうち、中村のアルカリ玄武岩中のものは最も量も多くかつ岩石種の変化にも富んでいるようである。このアルカリ玄武岩は大峯玄武岩類に属し、洪積世に噴出したものとされている (Uchimizu, 1966)。厚さは 20 m 程度と推定され、捕獲岩は海岸の露頭、転石及び石切場において採集することができる。その大きさは数 mm~20 cm 程度であるが、鶏卵大以下のものが殆んどである。またこのアルカリ玄武岩はアンデシン・メガクリスト (2 cm 以下, $An_{44.9}Ab_{49.7}Or_{5.4}$; Aoki, 1970b) を含んでいる。

White (1966) はハワイのアルカリ玄武岩類中の捕獲岩の研究から、超苦鉄質・苦鉄質岩類は、1) レルゾライト系列と、2) ダナイト-ウエルライト-単斜輝岩-はんれい岩系列の 2 つに大別されることを示した。1) の系列のものが通常上部マントルかんらん岩と呼ばれ、上部マントル岩石・鉱物学においては重要であり、本邦におけ

* 東北大学理学部岩石鉱物鉱床学教室

る代表的産地は一目渾である。西南日本のアルカリ玄武岩類中に含まれている超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩類の殆んど総ては2)の系列に属し、1)の系列は極めて稀であって、隠岐島後 (Uchimizu, 1966; 高橋 1975; 青木, 本論文) と岡山県中部の津山市付近のペイサナイト角礫岩パイプ (地井その他, 1975) からしか発見されていない様である。中村においても野外で観察した数100個の捕獲岩のうち、1)に属するレルゾライト系列のものは僅か1個発見したのみであって、その他は総て2)のダナイト-ウエルライト-単斜輝岩-はんれい岩系列に属するものであった。

中村産超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩類のうち、量的にははんれい岩類が最も多く、ウエルライト、レルゾライトがこれに続く。Yamaguchi (1964) はハーツバーガイト、ウエブステライト及び古銅輝石岩を記載しているが、今回の研究では発見できなかった。

Table 1. Mineral assemblages of ultramafic and mafic inclusions in alkali basalt from Nakamura, Dogo, Oki Islands

Sp. No.	Ol	Opx	Cpx	Pl	Sp	Mt	Rock name
1 DG-06	+++	++	+		+		Lherzolite
2 DG-02	+++		++				Mehlrite
3 DG-07	+++		++		+		Mehlrite
4 DG-09	+++	++	++	+	+		Lherzolite
5 DG-19	+++	++	++	+			Lherzolite
6 DG-04	+++	+	++				Mehlrite
7 DG-15	+++	++	++				Lherzolite
8 DG-25	++	++	++	++			Mela-gabbroecrite
9 DG-37	+++		+++	+			Mehlrite
10 DG-27	+++		+	+++			Tractolite
11 DG-26	+++		++	+++			Ol mela-gabbro
12 DG-11	+++	+	+++	+			Mehlrite
13 DG-22	++	+++	++	+++			Ol mela-gabbroecrite
14 DG-08	+++		+++	+++			Ol gabbro
15 DG-03	+++	+	+++	+++			Ol mela-gabbro
16 DG-05	++	+	+++	+++			Ol gabbro
17 DG-21	++		+++	+++			Ol gabbro
18 DG-17	++		+++	+++			Ol gabbro
19 DG-10	+++		+++			++	Tractolite

+++ Major ++ Subordinate
+ Minor to trace

この研究に用いた試料の鉱物組合せと岩石名は第1表に示した。岩石名は薄片の顕微鏡観察と総化学組成から IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks (1973) の深成岩の分類と命名法に従った。第1表において、DG-06のみは White (1966) のレルゾライト系列に、その他はダナイト-ウエルライト-単斜輝岩-はんれい岩系列に属し、後者においては島後ではダナイトは見当らず、ウエルライト、レルゾライト、はんれい岩及びトロクトライトが一系列をなしている。

レルゾライト系列：レルゾライト (DG-06) は径5 cmの捕獲岩であって非常にもろく僅かの力を加えても容易に砕け各鉱物粒に分解する。グラノブラスティック

組織を示し、かんらん石>斜方輝石>単斜輝石>クロムスピネルとなっている。斜長石やパーガサイトは存在しない。ハワイ、ドライゼルワイエル、アメリカ西部のアルカリ玄武岩類から発見されている典型的なスピネル・レルゾライトと極めてその岩石学的性質が類似している。

ウエルライト-レルゾライト-はんれい岩-トロクトライト系列：この系列の捕獲岩はかんらん石、斜方輝石、単斜輝石と斜長石の間の量比によってお互いに漸移関係にある。クロムスピネル-クロム鉄鉱はごく少量存在することもあるが無視できる程度であり、また角閃石類は存在していない。磁鉄鉱はトロクトライト DG-10 にのみ存在している。

超苦鉄質岩に属するウエルライトとキュムラス・レルゾライト* はそれらの組織から2つに細別される。1つはグラノブラスティック組織 (DG-02のみ) を示し、他の1つはキュムラス組織を呈する。前者はレルゾライト系列のものに類似しているが、構成鉱物として斜方輝石とクロムスピネルを欠いていることが大きな相違となっている。かんらん石と単斜輝石は共に3mm以下の大きさであり、単斜輝石には時々細い(100)に平行な斜方輝石の離溶片が認められる。後者のウエルライトとキュムラス・レルゾライトはそれらの結晶の大きさに非常な変化があり、通常火山岩の斑晶程度のサイズを示すが、時にかんらん石は6mm、単斜輝石は12mmに達する。かんらん石はY軸方向に伸びた卓状結晶で自形を呈し、単斜輝石は短柱状自形~半自形、大型結晶はボーキリデックに自形かんらん石を包みこんでいる。単斜輝石にはしばしば(100)に平行に斜方輝石の離溶片が発達している。斜方輝石は柱状自形~半自形、6mm以下の大きさであって、(100)に平行な単斜輝石の離溶片の発達が目撃される。斜長石は小型の他形結晶として上記3鉱物の間をうめて存在することがある。ウエルライトとキュムラスレルゾライトはその組織から明らかにマグマから晶出し、沈積したものであり、その後の変成作用は蒙っていない。キュムラス・レルゾライトは常に単斜輝石>斜方輝石、スピネルは黒色不透明であり、レルゾライト系列のスピネル・レルゾライトから容易に区別することができる。

苦鉄質岩の主成分鉱物はかんらん石、単斜輝石と斜長石であるが稀に単斜輝石を欠くもの (DG-10) がある。また一部の捕獲岩では少量の斜方輝石が認められ、稀に斜方輝石>単斜輝石のものもある (DG-25)。かんらん

* レルゾライト系列のレルゾライトと区別するためキュムラス・レルゾライトと呼ぶことにする。

石は超苦鉄質岩の場合と同様を呈し、通常は 1mm 以下であるが 5mm の大きさに達するものもある。単斜輝石は多くの場合半自形、2mm 以下であるが、稀に 6mm にも達する。時に累帯構造が認められる。一般に (100) に平行な斜方輝石の離溶構造が顕著である。斜長石は超苦鉄質岩の場合と異なり非常に大型化し、時には 1cm を超えることもある。いづれも常に集片双晶をなし、また累帯構造も外縁部において認められることが多い。斜方輝石は自形～半自形、稀に 2mm の長さに達する。(100) に平行な単斜輝石の発達著しい。多色性は殆んど認められない。苦鉄質岩の多くは超苦鉄質岩と同様キムラス構造を呈するが、最も斜長石に富む DG-17 と DG-10 では、むしろ等粒状構造を示し、通常の火成岩様の岩相を示している。

これら捕獲岩類はアルカリ玄武岩マグマに捕獲され、地表に運ばれる途中において、マグマと反応していることがある。かんらん石と斜長石は殆んど影響を蒙っていないが、単斜輝石ではしばしばスポンジ状になり、また結晶縁は部分的に異なった組成の単斜輝石に縁どられていることがある。斜方輝石はアルカリ玄武岩マグマ中で

は平衡にないため、マグマと接した部分は常に粗粒の単斜輝石とかんらん石の反応縁に包まれ、時には 1mm の大きさに達する斜方輝石も完全に単斜輝石とかんらん石の細粒集合物に置かえられていることがある(富田, 1935 は擬紫蘇輝石として記載している)。

Table 2. Chemical analysis of inclusion-bearing alkali basalt

SiO ₂	50.25	Or	9.13
TiO ₂	1.93	Ab	28.99
Al ₂ O ₃	13.90	An	18.00
Fe ₂ O ₃	2.21	Di {	Mo 5.48
FeO	7.80		En 3.72
MnO	0.15	Fs {	Fs 1.33
MgO	10.76		En 5.76
CaO	6.87	Hy {	Fs 2.06
Na ₂ O	3.43		Fo 12.13
K ₂ O	1.54	Ol {	Fa 4.79
H ₂ O+	0.40		Mt 3.19
H ₂ O-	0.20	Il	3.67
P ₂ O ₅	0.45	Ap	1.08
Total	99.89		

Analyst: K. Aoki

Table 3. Chemical analyses of ultramafic and mafic inclusions

Sp. No.	DG-06	DG-07	DG-09	DG-19	DG-04	DG-15	DG-25	DG-37	DG-26	DG-11	DG-22	DG-08	DG-03	DG-05	DG-21	DG-17	DG-10
SiO ₂	43.67	44.50	42.45	47.78	47.09	47.97	52.12	45.32	45.51	43.47	51.62	49.42	44.57	49.48	47.85	50.04	48.93
TiO ₂	0.37	0.67	0.37	0.50	0.83	0.58	0.62	0.85	0.43	0.80	0.76	0.82	0.64	0.77	1.11	0.59	1.69
Al ₂ O ₃	2.62	3.57	2.09	3.99	6.03	4.72	9.55	6.07	11.85	3.82	5.99	14.23	8.47	12.49	11.10	20.14	19.45
Cr ₂ O ₃	0.30		0.29	0.13	0.49		0.24	0.37	0.37	0.22	0.13				0.16		
Fe ₂ O ₃	2.20	1.37	3.06	2.00	2.15	2.24	1.86	1.81	2.08	2.63	2.68	2.34	1.73	2.23	1.77	1.68	2.12
FeO	8.58	10.08	12.74	10.61	7.70	10.80	6.81	10.93	9.80	12.50	10.45	4.78	12.16	5.84	6.63	4.48	6.63
MnO	0.14	0.09	0.19	0.16	0.15	0.19	0.15	0.18	0.13	0.20	0.20	0.12	0.17	0.07	0.15	0.09	0.09
MgO	39.52	28.35	35.54	28.50	21.90	27.68	17.74	22.54	20.54	25.72	22.00	12.05	23.15	13.14	13.88	6.82	8.40
CaO	1.75	8.87	2.36	4.48	11.83	3.84	8.52	10.38	6.87	8.67	4.66	12.13	6.73	12.07	13.68	11.67	7.15
Na ₂ O	0.13	0.34	0.23	0.41	0.86	0.54	1.68	1.02	2.28	0.96	1.36	2.96	1.65	2.30	2.20	3.10	3.90
K ₂ O	0.06	0.06	0.06	0.10	0.18	0.14	0.41	0.17	0.28	0.14	0.37	0.19	0.20	0.27	0.36	0.29	0.53
H ₂ O+	0.11	0.80	0.19	0.68	0.54	0.60	0.57	0.12	0.37	0.41	0.61	0.65	0.15	0.48	0.78	0.56	0.14
H ₂ O-	0.23	0.44	0.06	0.20	0.19	0.23	0.07	0.17	0.11	0.36	0.12	0.26	0.32	0.33	0.08	0.36	0.55
P ₂ O ₅	0.01	0.02	tr	tr	0.07	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	tr	0.00	0.01	0.04	0.01	0.07
Total	99.89	99.16	99.63	99.54	100.01	99.55	100.37	99.96	100.64	99.94	100.89	99.95	99.94	99.48	99.79	99.83	99.65
Or	0.33	0.33	0.33	0.61	1.06	0.83	2.43	1.01	1.65	0.89	2.18	1.13	1.19	1.62	2.15	1.73	3.16
Ab	1.11	2.99	1.95	3.48	7.34	4.67	14.25	8.66	17.18	6.50	11.48	23.09	13.84	19.72	12.83	26.52	33.35
An	6.44	8.21	4.54	8.77	12.15	10.15	17.35	11.52	21.24	5.70	9.12	25.22	15.19	23.27	19.56	40.62	34.36
Ne									1.13	0.94			1.19	0.10		3.24	
Di {	Mo	0.93	15.31	3.03	5.65	19.35	3.79	10.37	16.71	5.29	15.60	5.71	14.84	7.67	15.60	20.37	7.45
En {	En	0.72	11.24	2.22	4.14	14.52	2.75	7.64	11.71	3.71	10.94	4.04	11.20	5.24	11.42	14.69	5.07
Fs {	Fs	0.09	2.61	0.51	0.99	2.89	0.69	1.73	3.58	1.12	3.35	1.18	2.13	1.83	2.70	3.83	1.80
Hy {	En	20.52	6.74	15.79	33.23	7.33	35.42	27.94	0.40			37.82			4.75		3.64
Fs {	Fs	2.79	1.57	3.63	8.06	1.46	8.93	6.33	0.12			11.03			1.12		1.29
Ol {	Fo	54.48	37.91	49.77	23.77	23.17	22.17	6.11	30.98	33.19	37.60	8.97	13.39	36.95	11.91	14.20	5.93
Fa {	Fa	8.20	9.73	12.61	6.35	5.07	6.16	1.53	10.44	11.07	12.69	2.88	2.81	14.24	3.10	4.08	2.32
Mt		3.21	2.04	4.48	2.90	3.15	3.29	2.70	2.63	3.01	3.84	3.88	3.43	2.52	3.28	2.59	2.46
Ct		0.45		0.43	0.96	0.72		0.35	0.55	0.54	0.34	0.19				0.24	
Il		0.70	1.29	0.70	0.20	1.59	1.12	1.18	1.64	0.82	1.53	1.44	1.57	1.22	1.48	2.13	1.13
Ap		0.03	0.03	0.00	0.00	0.17	0.03	0.07	0.05	0.05	0.10	0.09	0.00	0.00	0.02	0.09	0.02

Analyst: Nos 1, 3, 4, 6, 9, 12, 14, 15, 16 and 19 K. Aoki; Nos. 5, 7, 8, 11, 13, 17 and 18 I. Shiba

Table 4. Chemical analyses of olivines

	1	2	3	4	5	7	9	10	11	12	15	17	19
Sp. No.	DG-06	DG-02	DG-07	DG-09	DG-19	DG-15	DG-37	DG-27	DG-26	DG-11	DG-03	DG-21	DG-10
SiO ₂	40.32	39.30	38.64	(39.51)	(39.31)	(39.38)	38.19	(39.11)	(38.77)	(38.42)	38.22	38.29	37.55
TiO ₂	0.10	0.10	0.18				0.10				0.16	0.24	0.34
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.29				0.21				0.24	0.49	0.32
FeO	11.19	15.95	18.04	19.50	18.74	19.07	22.29	21.05	22.24	23.24	22.27	23.51	26.82
MnO	0.15	0.20	0.22	0.24	0.21	0.22	0.30	0.25	0.26	0.31	0.28	0.31	0.36
MgO	47.57	43.83	41.61	41.78	41.84	41.85	38.25	40.42	39.26	38.23	38.22	37.20	34.77
NiO	0.390	0.183	0.223	0.266	0.369	0.333	0.218	0.192	0.192	0.165	0.195	0.227	0.080
CaO	0.14	0.16	0.33	0.11	0.14	0.09	0.11	0.10	0.14	0.12	0.35	0.22	0.18
Total	99.86	99.72	99.53	(101.41)	(100.61)	(100.94)	99.67	(101.12)	(100.86)	(100.49)	99.94	100.49	100.42
Co ppm	199	102	126	170	192	278	171	109	142	107	100	144	57

Analyst: K. Aoki

3. 化学組成

母岩のアルカリ玄武岩：超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩及びそれらの主成分鉱物の化学分析値は第2表～第7表に示した。

含捕獲岩・アルカリ玄武岩：捕獲岩片を含まない新鮮な部分の化学分析をおこなった。このアルカリ玄武岩は斑晶としてかんらん石とチタン普通輝石を含んでいる。Uchimizu (1966) によって発表された島後のアルカリ玄武岩類と比較すると、SiO₂とMgOに富み、Al₂O₃とCaOに乏しい。ノルムを計算すると、ハイパーシンが算出され、アルカリ玄武岩でありながら珪酸に飽和していることを示している。

超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩：第3表から明らかなように、捕獲岩の主成分は広い範囲を示す。特にAl₂O₃, total FeO, MgO, CaOとNa₂O+K₂Oの変化が著しい。また、いづれもP₂O₅は無視できる程度の量しか存在していない。超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩類の特徴を表現するのに便利である100Mg/Mg+Fe比を算出すると、レルゾライト系列のレルゾライトは86.8、ウエルライト-レルゾライト-はんれい岩-トロクトライト系列*のものは81.6~62.9と大きく変化する。第1図には横軸に100Mg/Mg+Fe比、縦軸に主要酸化物の重量%をとり、これら捕獲岩類を点示した。比較検討するため秋田県一の目淵のレルゾライト系列捕獲岩類 (Kuno and Aoki, 1970; Aoki and Shiba, 1973) の組成範囲を示した。島後中村のスピン-レルゾライトはいづれの主要成分も一の目淵のものゝ組成範囲内に点示される。しかしながら、ウエルライト-はんれい岩系列のものはすべて100MgO/MgO+FeO比が低く、一の目淵レルゾライト系列の組成範囲内には点示されず、この系列の最もMgに富

* ウエルライト-はんれい岩系列と省略して呼ぶことにする。

Table 5. Chemical analyses of orthopyroxenes

	1	4	5	8	13
Sp. No.	DG-06	DG-09	DG-19	DG-25	DG-22
SiO ₂	54.26	52.99	53.58	53.70	52.91
TiO ₂	0.19	0.37	0.38	0.39	0.50
Al ₂ O ₃	3.86	4.27	3.86	3.29	3.49
Cr ₂ O ₃	0.66	0.53	0.16	0.27	0.15
Fe ₂ O ₃	0.27	0.42	0.78	0.58	0.26
FeO	7.26	10.29	10.79	11.76	13.56
MnO	0.12	0.14	0.13	0.15	0.22
MgO	31.60	28.79	28.62	28.36	26.95
CaO	1.37	1.80	1.36	1.51	1.69
Na ₂ O	0.02	0.04	0.03	0.05	0.03
K ₂ O	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Total	99.62	99.65	99.69	100.07	99.77
Si	1.901	1.884	1.903	1.910	1.904
Ti	0.005	0.010	0.010	0.011	0.014
Al	0.159	0.179	0.162	0.138	0.148
Cr	0.018	0.015	0.005	0.008	0.004
Fe ⁺³	0.004	0.011	0.021	0.015	0.007
Fe ⁺²	0.213	0.306	0.320	0.350	0.408
Mn	0.004	0.004	0.004	0.005	0.007
Mg	1.649	1.525	1.514	1.503	1.445
Ca	0.051	0.069	0.052	0.058	0.065
Na	0.001	0.003	0.002	0.003	0.002
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
XYZ	4.005	4.006	3.993	4.001	4.004
Ca atom %	2.7	3.6	2.7	3.0	3.4
Mg	85.8	79.6	79.2	77.8	74.8
Fe	11.5	16.8	18.1	19.2	21.8

Analyst: K. Aoki

むウエルライト DG-02 の総化学組成は求めなかったが、そのかんらん石と単斜輝石の100Mg/Mg+Fe比は約83であり、やはりレルゾライト系列のものよりもその比が低い。この図から、ウエルライト-はんれい岩系列はレルゾライト系列と異なった成因によって形成されたことが考えられる。

ノルムを計算すると、100Mg/Mg+Fe比の低いものゝ中には少量のネフェリンが算出されるものもあるが、多くのものはハイパーシンが現われる。すでに述べたよ

Table 6. Chemical analyses of clinopyroxenes

	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	20
Sp. No.	DG-06	DG-02	DG-07	DG-09	DG-19	DG-04	DG-25	DG-37	DG-27	DG-26	DG-11	DG-08	DG-03	DG-05	DG-21	DG-17	DG-01
SiO ₂	52.09	50.62	50.21	50.65	51.53	51.44	50.87	50.08	49.80	48.71	50.31	49.46	50.63	50.80	48.88	49.55	48.11
TiO ₂	0.27	1.01	1.00	1.18	1.07	0.86	0.87	1.35	1.44	1.45	1.07	1.40	1.23	1.19	1.48	1.67	1.77
Al ₂ O ₃	4.58	4.69	5.78	5.13	5.08	4.86	4.88	4.76	6.07	6.65	4.82	6.21	5.65	5.04	5.32	4.16	7.79
Cr ₂ O ₃	0.99	0.53	0.81	0.72	0.29	0.80	0.37	0.47	0.29	0.60	0.50	0.26	0.50	0.22	0.33	0.07	0.27
Fe ₂ O ₃	0.41	2.73	1.76	1.99	1.37	1.45	1.52	2.32	2.23	2.41	1.74	3.03	1.31	2.14	2.46	2.19	2.19
FeO	2.78	3.24	4.53	4.32	4.68	4.98	5.45	4.52	4.98	5.24	5.14	5.46	4.99	5.25	5.39	6.16	6.00
MnO	0.08	0.12	0.12	0.12	0.18	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14	0.12	0.12	0.16	0.11	0.17	0.15
MgO	16.68	15.91	15.89	15.30	15.60	16.23	16.46	14.53	15.03	14.52	14.75	14.46	14.58	14.44	14.62	13.69	13.52
CaO	21.08	19.92	18.87	19.17	19.42	18.42	18.44	20.21	19.23	19.31	20.41	19.33	20.00	19.52	20.18	21.04	19.66
Na ₂ O	0.83	0.80	0.77	1.00	0.88	0.83	0.57	0.83	1.00	0.99	0.94	0.90	1.00	0.91	1.00	0.68	0.80
K ₂ O	0.01	0.05	0.00	0.02	0.06	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.08	0.02
Total	99.80	99.62	99.74	99.60	100.16	100.04	99.61	99.24	100.24	100.06	99.86	100.66	100.04	99.69	99.79	99.46	100.28
Si	1.894	1.859	1.842	1.862	1.879	1.878	1.868	1.857	1.826	1.798	1.857	1.815	1.857	1.872	1.816	1.852	1.775
Ti	0.007	0.028	0.028	0.033	0.029	0.024	0.024	0.038	0.040	0.040	0.030	0.039	0.034	0.033	0.041	0.047	0.049
Al	0.196	0.203	0.250	0.222	0.218	0.209	0.211	0.208	0.262	0.289	0.210	0.268	0.244	0.219	0.233	0.183	0.339
Cr	0.028	0.015	0.023	0.021	0.021	0.023	0.011	0.014	0.008	0.017	0.015	0.007	0.015	0.006	0.010	0.002	0.008
Fe ⁺³	0.011	0.075	0.048	0.055	0.038	0.040	0.042	0.065	0.062	0.067	0.048	0.084	0.036	0.059	0.069	0.062	0.061
Fe ⁺²	0.085	0.099	0.139	0.133	0.143	0.152	0.168	0.140	0.153	0.162	0.159	0.167	0.153	0.162	0.167	0.193	0.185
Mn	0.002	0.004	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004	0.005	0.005
Mg	0.904	0.870	0.868	0.838	0.847	0.882	0.900	0.803	0.821	0.799	0.811	0.790	0.797	0.793	0.809	0.762	0.744
Ca	0.821	0.783	0.741	0.754	0.758	0.720	0.725	0.803	0.755	0.763	0.807	0.760	0.786	0.771	0.803	0.842	0.777
Na	0.059	0.057	0.055	0.071	0.062	0.059	0.041	0.060	0.071	0.071	0.067	0.064	0.071	0.065	0.072	0.049	0.057
K	0.000	0.002	0.000	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.001
XVZ	4.007	3.995	3.998	3.994	4.003	3.992	3.996	3.994	4.004	4.012	4.010	3.999	3.998	3.986	4.025	4.001	4.001
Ca atom %	45.0	42.8	41.1	42.2	42.3	40.0	39.4	44.2	42.0	42.5	44.1	42.1	44.2	43.1	43.3	45.2	43.8
Mg	49.6	47.5	48.2	47.0	47.3	49.1	48.9	44.2	45.7	44.5	44.3	43.8	44.9	44.3	43.7	40.9	42.0
Fe	5.4	9.7	10.7	10.8	10.4	10.9	11.6	11.6	12.2	13.0	11.5	14.1	10.9	12.6	13.0	13.9	14.2

No. 20: Clinopyroxene from wehrlite inclusion in alkali basalt, Kaminishi, Dogo.

Analyst: Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17 and 18 K. Aoki; Nos. 6, 10, 16 and 18 I. Shiba

Table 7. Partial analyses of plagioclase feldspars

	4	5	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	DG-09	DG-19	DG-25	DG-37	DG-27	DG-26	DG-11	DG-22	DG-08	DG-03	DG-05	DG-21	DG-17	DG-10
CaO	11.76	10.41	11.06	11.07	11.54	11.09	11.36	10.50	11.35	11.27	11.40	11.72	11.28	10.48
Na ₂ O	4.87	5.31	4.90	4.84	4.64	4.93	4.80	5.09	4.75	4.82	4.84	4.80	4.89	5.30
K ₂ O	0.61	0.62	0.65	0.55	0.38	0.53	0.59	0.63	0.49	0.53	0.52	0.41	0.56	0.63
Or mol %	3.52	3.57	3.74	3.18	2.20	3.04	3.41	3.67	2.84	3.05	2.97	2.36	3.24	3.61
Ab	42.58	46.30	42.82	42.77	41.20	43.21	41.84	45.01	41.86	42.31	42.16	41.55	42.55	46.05
An	53.90	50.14	53.44	54.05	56.60	53.75	54.75	51.32	55.30	54.65	54.87	56.09	54.22	50.34

Analyst: K. Aoki

うに超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩の95%以上はかんらん石、輝石と斜長石から構成されているが、それらのノルム斜長石:輝石:かんらん石を三角図に点示すると、これらの比が非常に変化していることが、分析値からも明らかである。

かんらん石:第4表に示した分析値のうち、6個については重量法により、その他は原子吸光法によって定量した。レルソライト系列はFo_{88.8}, ウェルライト-はんれい岩系列はFo_{88.8}~Fo_{99.5}と広い組成変化を示す。NiとCoはMgの消長と相関関係があるが、これについてはすでに述べてあるので省略する(Aoki and Shiba,

1974a, b)。

輝石:斜方輝石は分離精選が困難なため5個についてのみ分析をおこなった。単斜輝石については16個、または島後上西のアルカリ玄武岩中のウェルライト(DG-01)のものを1個分析した。

斜方輝石はやゝAl₂O₃とCaOの多いのが特徴であり、6.1~8.3mol%のチエルマック分子を含んでいる。単斜輝石はAl₂O₃に富み4.1~7.8%, またTiO₂も多く、0.8~1.8%存在する。CaOは18.9~21.1%とほぼ一定の量を含んでいるが、Cr₂O₃はFeの増加と共に急激に減少している。チエルマック分子の量は4.1~12.3%,

Fig. 1. Oxide-100 Mg/Mg+Fe diagram. Open circle: Iherzolite suite. Solid circle; wehrlite-gabbro suite. The closed dotted curve marks the limit of variation of Iherzolite suite of Itinome-gata (Kuno and Aoki, 1970; Aoki and Shiba, 1973.)

Fig. 2. Normative olivine-pyroxene-feldspar diagram. Symbols are the same as those for Fig. 1.

殆んどものは6.7~11%である。

斜長石：ウエルライト-はんれい岩系列はその総化学組成や主成分鉱物のモード組成は広い範囲を示すが、斜

長石の化学組成のみは非常に限定されており、 $An_{55} \sim An_{60}$ の範囲でありまた Or 成分も 2.2~3.7 mol% であって変化に乏しい。

レルゾライト系列とウエルライト-はんれい岩系列の総化学組成と苦鉄質鉱物の 100 Mg/Mg+Fe 比と斜長石の An 成分をまとめて第8表に示した。

4. 成因的考察

我国に於てアルカリ玄武岩類中の超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩類としては比較的よく記載されている香岐、唐津市高島及び一の目潟のものと、島後中村のものとを比較しながら考察を進めてゆくことにする。島後中村のレルゾライト系列のスピネル・レルゾライトは現在の岩石学の知識からこの地域の M-不連続面の直下から深さ 60 km 位までの部分を主として構成している上部マントルかんらん岩の岩片と推定される。一方 DG-02 のウエルライトを除く、ウエルライト-はんれい岩系列は 1) キュラス構造、2) 斜方輝石と単斜輝石中の離溶現象、3) 各結晶外縁部に時々認められる累帯構造の発達、4) 1つの岩片内で認められる構成鉱物の不均質な分布等から、玄武岩マグマの早期晶出鉱物の沈積相と考えられ、また DG-02

Table 8. 100 Mg/Mg+Fe ratios of ultramafic and mafic inclusions and their constituent minerals and An mol. % of plagioclase feldspars

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sp. No.		D6-06	D6-02	D6-07	D6-09	D6-19	D6-04	D6-15	D6-25	D6-37	D6-27
Rock	100 Mg/Mg+Fe	86.8	nd	81.6	80.2	80.2	79.9	79.1	78.6	75.9	nd
O1	"	88.8	83.3	80.3	79.1	79.8	nd	79.5	nd	75.2	77.2
Opx	"	88.2	-	-	82.6	81.4	-	nd	80.2	-	-
Cpx	"	90.2	83.0	81.9	81.4	80.3	81.8	nd	80.8	79.3	78.9
Pl	An mol. %	-	-	-	53.9	50.1	-	-	53.4	54.1	56.6

		1	12	13	14	15	16	17	18	19
Sp. No.		D6-26	D6-11	D6-22	D6-08	D6-03	D6-05	D6-21	D6-17	D6-10
Rock	100 Mg/Mg+Fe	75.6	75.3	75.0	74.8	74.8	74.7	74.7	71.3	62.9
O1	"	75.7	74.4	nd	nd	75.1	nd	73.6	nd	69.5
Opx	"	-	nd	77.4	-	-	nd	-	-	-
Cpx	"	77.3	79.4	nd	75.6	80.5	77.8	77.1	74.6	-
Pl	An mol. %	53.8	54.8	51.3	55.3	54.7	54.9	56.1	54.2	50.3

は沈積後弱い変成作用を蒙り再結晶したものと思われる。

島後中村のウエルライト-はんれい岩系列捕獲岩類の大半は斜長石を安定相として含んでいる。それら斜長石はかんらん石と共存し、両者が直接接する部分においても全く反応はおこなわれていない。老岐のスピネル・ウエルライト-はんれい岩系列や一の目漏の輝石はんれい岩のあるものは共存する斜長石とかんらん石の間には両者の反応によりスピネル・輝石シンプレクタイト (Aoki;

1968, 1971) を生じている。Kushiro and Yoder (1966) によると、フォルステライト+灰長石→輝石+スピネルの反応はマグマ条件下では8~9 kb で起こるとされている。この深さは30~35 km 位の深さに相当する。従ってウエルライト-はんれい岩系列はこれより浅いところで生成されたと考えることができる。

ウエルライト-はんれい岩系列捕獲岩類中のかんらん石、輝石及び斜長石の化学組成を老岐や高島の沈積相であるウエルライト-はんれい岩系列のもの (Aoki, 1968,

Fig. 3. Compositions of pyroxenes plotted on the Mg-rich portion of the pyroxene quadrilateral. Double circle: pyroxenes of high pressure megacrysts and wehrlite-gabbro suite from Iki Island and Taka-sima, North Kyushu (Kuno, 1964; Aoki, 1968, 1970a; Ishibashi, 1970). Others are the same as those for Fig. 1.

Table 9. Compositional ranges of plagioclases of various occurrences in alkali basalts from Dogo and Iki Islands

	An percent of plagioclase
1. Wehrlite - gabbro, Dogo	56 - 50
2. Core of phenocryst, Dogo	65 - 58
3. Spinel-bearing wehrlite - gabbro, Iki	78 - 66
4. Kaersutite-bearing wehrlite - gabbro, Iki	82 - 65
5. Core of phenocryst, Iki	75 - 68
6. Andesine megacryst, Iki and others	51 - 37

1. This paper 2. Uchimizu (1966) 3. Aoki (1968)
4. Aoki (1970a) 5. Aoki (1959) 6. Aoki (1970b)

1970a; Ishibashi, 1970), 高島の単斜輝石と斜方輝石のメガクリスト (Ishibashi, 1970; Kuno, 1964) 及び老岐と島後のアルカリ玄武岩中の斑晶 (Aoki, 1964; Uchimizu, 1966) の化学組成を比較する。

ウエルライト-はんれい岩系列捕獲岩中のかんらん石の組成は老岐のスピネル・ウエルライト系列のものや老岐と島後アルカリ玄武岩中の斑晶のものと同一組成範囲にある。単斜輝石の化学組成は晶出時のマグマの化学組成、温度・圧力等に支配され主成分である Wo, En, Fs の他に種々の輝石分子が固溶してくるが、島後中村のウエルライト-はんれい岩系列のものはかんらん石の場合と同様、老岐や高島のものと良く以ている (第3図)。しかし後者に比し、やゝチェルマック分子に乏しく、これらよりも低圧下に於て晶出したことを暗示している。またアルカリ玄武岩中の斑晶単斜輝石に類似の組成をもっていることから、この系列を生成したマグマはアルカリ玄武岩と推定される。斜方輝石はかんらん石に続いて単斜輝石とはほぼ同時期に晶出している。その組成は高島のメガクリストに類似している。Kuno (1964) はアルカリ玄武岩マグマから高圧下において晶出したものと結論している。また高温高圧実験によってアルカリ玄武岩マグマからは斜方輝石が晶出することが示されている (cf. Green and Ringwood, 1967)。Uchimizu (1966) によると、島後のアルカリ玄武岩の一部はノルムハイパーシオンを含み、また粗面安山岩や粗面岩はハイパーシオンが斑晶として現われることがある。恐らくノルムハイパーシオンを含むようなアルカリ玄武岩からは比較的低下下においても斜方輝石は晶出するのであろう。

高圧下においては玄武岩マグマからの斜長石の晶出時期は遅くなることが示されているが (cf. Green and Ringwood, 1967), 中村の捕獲岩においても鉄苦土珪酸塩鉱物に遅れて晶出している。その化学組成を老岐の捕獲岩や老岐及び島後のアルカリ玄武岩斑晶と比較すると (第9表), これらのうち最も Ab 成分に富んでいる。しかしながら母岩、老岐及び高島のアンデシンメガクリストと比較すると Ab 分子に乏しい。このような斜長石の化

Fig. 4. $\text{MgO}-\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ diagram. Double circle: alkali basalt series of Dogo (Uchimizu, 1966; Aoki, this paper). Others are the same as those for Fig. 1.

学組成の相違については現在のところよく判らない。

第4図には島後中村の超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩類と島後アルカリ玄武岩系列火山岩類 (Uchimizu, 1966) の $\text{MgO}:\text{Total FeO}:\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 比を点示した。ウエルライト-はんれい岩系列は $\text{MgO}-\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 辺の MgO に富む部分に点示され、最も鉄に富む DG-17 と DG-19 のみはアルカリ玄武岩点示域にある。Uchimizu (1966) によるとアルカリ玄武岩系列は分化の過程においてやゝ鉄に濃集するアルカリ玄武岩-ミュージアル岩-鉄に富む粗面岩-石英流紋岩と鉄の濃集を示さないアルカリ玄武岩-粗面安山岩-粗面岩-流紋岩に大別される。若しアルカリ玄武岩マグマからウエルライト-はんれい岩組成のものが早期沈積相として取去られると第4図から明らかなようにやゝ鉄に濃集したミュージアル岩を生成することができる。

結論としてウエルライト-はんれい岩系列捕獲岩類はこの地域の地表には全く分布していないことやそれらの

総化学組成及び主成分鉱物の化学組成から地下35kmより浅い上部マントル最上部ないし地殻下部においてアルカリ玄武岩マグマからの沈積相と考えられる。

5. 捕獲岩を含むアルカリ玄武岩類の化学組成

従来、上部マントルで生成したアルカリ玄武岩マグマは地殻上部に貫入し、そこにマグマ溜りを形成し、主として晶出分化作用によりミュージアル岩—粗面岩—アルカリ流紋岩等の分化生成物をつくると莫然と考えられていた。

本邦のアルカリ岩系列において少くともマントル最上部～地殻下部の圧力条件下で生成されたと考えられる同源及び他源捕獲岩や高压メガクリストを含む火山岩類はネフェリナイト、ペイサナイト、アルカリ玄武岩とミュ

ーシアル岩であり、量的にはアルカリ玄武岩が圧倒的に多く、ペイサナイトがこれに続いている。粗面岩やアルカリ流紋岩からは発見されていない。

北九州の宍岐及び東松浦地域の捕獲岩やメガクリストを含まないアルカリ岩類とそれらを含むものを珪酸—アルカリ図（第5図）に点示した。なお後者には島後を含む山陰地方のものも比較のため加えた。宍岐及び東松浦地域の捕獲岩や高压メガクリストを含まないアルカリ玄武岩類は図から明らかなように Na_2O と K_2O はそれぞれ2.2～5.0%と0.7～3.2%と広い組成範囲を示すが、含むものも Na_2O と K_2O の組成変化は大きく、すべて前者の範囲内に入る。山陰地方のアルカリ玄武岩類においても全く同様である。またアルカリ以外の主成分を比較して捕獲岩や高压メガクリストを含むものと含まないものと間に相違は認められない。ハワイのアルカリ玄武

Fig. 5. Alkali- SiO_2 diagram. A: Inclusion and megacryst free alkali basalt series of Iki Island and Higashi-matsuura district, North Kyushu (Aoki, 1959, 1970a; Ishibashi, 1971). B: inclusion and megacryst bearing alkali basalt series of North Kyushu (Aoki, 1959, 1968, 1970a; Ishibashi, 1971; Nagashima, 1953; Oji and Oji, 1964; Uchimizu, 1966).

岩類においても全く同様のことが認められる。これらの事実は重要な意味をもっている。

超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩や高压メガクリスト（アンデシンを除く）の比重は 2.8~3.4（スピネルや磁鉄鉱はもっと大きい）であってそれらを運んできた玄武岩マグマよりも明らかに大きい。若しこれらを含むマグマが地殻上部のマグマ溜りにおいて止まり晶出分化作用をおこなったとすると、比重の大きい捕獲岩類や高压メガクリスト類はマグマから急速に取去られるであろう。従ってアルカリ玄武岩マグマがマントル最上部や地殻下部において高压メガクリストを晶出させたり或いは火道の壁岩類や超苦鉄質・苦鉄質沈積岩類を取り込んだ時の化学組成は現在の化学組成とはほぼ同じであり、地殻内を通過し、地表に到達する間に組成変化が殆んど無かったと考えられる。宍枝及び東松浦地域や島後のアルカリ玄武岩類は比較的短かい地質時代の間に噴出し、またそれらの分布面積もそれほど広大ではない。しかしながら第5図からも示されるように非常に組成範囲が広い。現在アルカリ玄武岩マグマは地下 60 km 程度の深さにおいて生成されると考えられている。地表にみられるアルカリ玄武岩類の化学組成の多様性は 1) 上部マントルかんらん岩の不均質性、2) 部分熔融の程度または 3) 上部マントルにおける晶出分化作用に支配されていると思われる。この多様性を大きく支配している要素は何であるかを解決することはアルカリ玄武岩岩石学の今後の大きな課題の一つであろう。

引用文献

- Aoki, K. (1959) Petrology of alkali rocks of the Iki Islands and Higashi-matsuura district, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. III*, **6**, 261-310.
- (1964) Clinopyroxenes from alkaline rocks of Japan. *Am. Mineral.*, **49**, 1199-1223.
- (1968) Petrogenesis of ultrabasic and basic inclusions in alkali basalts, Iki Island, Japan. *Am. Mineral.*, **53**, 241-256.
- (1970a) Petrology of kaersutite-bearing ultramafic and mafic inclusions in Iki Island, Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **25**, 270-283.
- (1970b) Andesine megacrysts in alkali basalts from Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **25**, 284-288.
- (1971) Petrology of mafic inclusions from Itinome-gata, Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **30**, 314-331.
- and Shiba, I. (1973) Pyroxenes from lherzolite inclusions of Itinome-gata, Japan. *Lithos*, **6**, 41-51.
- and ——— (1974a), Olivines from lherzolite inclusions of Itinome-gata, Japan. *Geol. Soc. Japan Mem.* **11**, 1-10.
- and ——— (1974b) Petrology of websterite inclusions of Itinome-gata, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. III*, **12**, 395-417.
- 地井三郎・横山一己・久城育夫・藤井俊嗣 (1975) コマチアイトとマントル起源の角礫岩の発見. 科学, **48**, 489-491.
- Green, D.H. and Ringwood, A.E. (1967) The genesis of basalt magmas. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **15**, 103-190.
- Ishibashi, K. (1970) Petrochemical study of basic and ultrabasic inclusions in basaltic rocks from northern Kyushu, Japan. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. D*, **20**, 85-146.
- 石橋 澄 (1971) 東松浦半島地域および生月島産玄武岩類の岩石化学. 九大研報, 地質, **10**, 177-221.
- IUGS Subcommision on the Systematics of Igneous Rocks (1973) Classification and nomenclature of plutonic rocks: Recommendations. *J. Jah. Min. Monat.* 149-164.
- Kuno, H. (1964) Aluminian augite and bronzite in alkali olivine basalt from Taka-sima, North Kyushu, Japan. *Advanc. Frontiers Geol. Geophys.* 205-220.
- and Aoki, K. (1970) Chemistry of ultramafic nodules and their bearing on the origin of basaltic magmas. *Phys. Earth Planet. Interiors*, **3**, 273-301.
- Kushiro, I. and Yoder, H.S. Jr. (1966) Anorthite-forsterite and anorthite-enstatite relations and their bearing on the basalt-eclogite transformation. *J. Petrol.*, **7**, 337-362.
- 長島弘三 (1953) 北伊豆箱根火山岩, 設楽火山岩並びに浜田霞石玄武岩の地球化学的研究. 東農工大農報, **1**, 1-39.
- 応地善雄・応地恭子 (1964) 東山陰地域のアルカリ玄武岩類の岩石学的研究 (その1) —吉備高原の玄武岩類. 岩鉱, **52**, 164-173.
- Ross, C.S., Foster, M.D. and Myers, A.T. (1954) Origin of dunites and olivine-rich inclusions in basaltic rocks. *Am. Mineral.*, **39**, 693-737.
- 高橋栄一 (1975) 捕獲岩から推定される隠岐島後の地下構造. 地質学会総会講演要旨, 137, 地質学会.
- Tomita, T. (1935) On the chemical compositions of Cenozoic alkaline suite of the Circum Japan Sea region. *J. Shanghai Sci. Inst., Sec. II*, **1**, 227-306.
- Uchimizu, M. (1966) Geology and petrology of alkali rocks from Dogo, Oki Islands. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II*, **16**, 85-159.
- White, R.W. (1966) Ultramafic inclusions in basaltic rocks from Hawaii. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **12**, 245-314.
- Yamaguchi, M. (1964) Petrogenetic significance of ultrabasic inclusions in basaltic rocks from southwest Japan. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. D*, **15**, 163-219.