中国山地、男山アルカリ玄武岩中のかんらん岩捕獲岩 —— 低枯渇度の上部マントル物質 ——

Peridotite xenoliths in alkali basalts from On-yama, the Chugoku district, as a suite of fertile upper mantle peridotites beneath the Southwest Japan arc

荒 井 章 司 (Shoji ARAI)*

村 岡 弘 康 (Hiroyasu MURAOKA)*

On-yama is one of the Cenozoic small monogenetic volcanoes which are clustered in and around the Tsuyama Basin, southwest Japan. Both alkali basaltic breccia and lavas of On-yama have abundant ultramafic xenoliths, which are small in size (<5 cm across). Lherzolite is predominant among the xenoliths. Small amounts of other xenoliths of both Group I (wehrlite and pyroxenites) and Group II (clinopyroxenite) and megacrysts (clinopyroxene, spinel and phlogopite) are associated with lherzolite. Absence of dunite is characteristic of the On-yama xenolith suite.

The On-yama lherzolite has a rock-by-rock uniformity in mineralogy, having olivine of Fo₉₃₋₉₆ and chromian spinel of Cr # ($=Cr/(Cr+Al)$ atomic ratio) = 0.10-0.15. It is always enriched in clinopyroxene; the cpx/(opx + cpx) volume ratio is higher than 0.1. The low refractoriness of the On-yama lherzolite is correlated with the low frequency of associated dunite and other cumulative ultramafic xenoliths. The On-yama lherzolite may be representative of the least refractory part of the upper mantle beneath the Japan arcs.

Keywords: Lherzolite, Xenolith, Alkali basalt, On-yama, Southwest Japan arc, Upper mantle

I. はじめに

西南日本には、新生代のアルカリ玄武岩よりなる単成火山が多数存在している。それらは、火山群を形成しており(例えば、鷹村, 1973), 各火山群に属するアルカリ玄武岩は、固有の噴出年代(宇都ほか, 1986)および化学組成(Iwamori, 1989)を有する。また、これらのアルカリ玄武岩は、しばしば深部起源の捕獲岩を包有する(鷹村, 1973)。捕獲岩は、西南日本弧の地下深部の直接的な情報源として重要であり、これまでに多数の研究がある(例えば、Aoki, 1968; Ishibashi, 1970; 青木, 1977; Takahashi, 1978; 小林・荒井, 1978; 藤原・荒井, 1982; Arai and Hirai, 1983, 1985; Hirai, 1986; 永尾・阪口, 1990)。特に、Takahashi

(1978)は、隠岐島後の捕獲岩などから得られた情報をもとに、西南日本弧の深部構造を論じ、同弧には厚いキュムラス・マントルが発達しているとした。その後、多数の産地で捕獲岩が記載され、西南日本弧の上部マントルの岩石学的構成は、きわめて不均質であることが知られている(Arai and Kobayashi, 1981)。

中国山地、津山盆地周辺には、一つの大きなアルカリ玄武岩火山群(以後、津山盆地火山群と呼ぶ)があり(鷹村, 1973)(第1図)、そのアルカリ玄武岩類は、捕獲岩に富むことが知られている(Yamaguchi, 1964; 鷹村, 1973; Chii *et al.*, 1975; 白井, 1983)。特に、白井(1983)は、男山アルカリ玄武岩中に、ざくろ石を含む超マフィック捕獲岩(ウェブスタライト)を日本列島において初めて見だし、生成条件の見つかりを

* 金沢大学理学部地学教室
〒920 金沢市丸の内1-1

(平成4年4月1日受付
平成4年5月29日受理)

第1図 西南日本の新生代玄武岩類の分布。

TB, KP, SP, HM, それぞれ、津山盆地、吉備高原、世羅台地、東松浦の単成火山群；O, A, N, K, T, S, それぞれ、男山、荒戸山、野山岳、黒瀬、高島、新宮のアルカリ玄武岩分布地（単成火山）。

おこなった。しかし、津山盆地火山群のアルカリ玄武岩中の一連の捕獲岩については、詳しい岩石学的記載がなされておらず、西南日本弧の地下構造を考察する際のデータの空白域となっていた。そこで、(1) 津山盆地火山群の代表的火山である男山（岡山県苫田郡鏡野町）の捕獲岩を記載し、(2) それをもとに、西南日本弧の下部地殻～上部マントルの岩石学的構成（特に不均質性）を検討した。

II. 地質学的背景および母岩の岩石学的記載

津山盆地火山群の活動年代はほぼ5～6 Maであり（宇都ほか，1986），そのアルカリ玄武岩類はシリカに乏しいペイサナイト（鷹村，1973；Le Maitre, 1989）である。津山盆地火山群のペイサナイトは、島根県浜田のネフェリナイト（Fujii, 1974）および島根県野山岳のペイサナイト（Hirai, 1986）とともに、西南日本新生代玄武岩類中、最もシリカに不飽和なものであり（鷹

村，1973），しばしば、多量の沸石類（アナルサイム、フィリップサイトなど）およびネフェリンを含む（Hirai and Arai, 1986）。ネフェリンペイサナイトの存在は、加治子山、塚塚（塚山）、中入において確認されている（Hirai and Arai, 1983；平井私信，1984）。

男山は、火山岩よりなる標高260.3 mの小丘である。火山岩の基盤は第三系の勝田層群の堆積岩である（鷹村，1973）。露出が悪く、火山岩類の分布は明瞭ではないが、山頂部付近まで火山角礫岩が露出している。溶岩はすべて転石としてのみ認められる。したがって、男山は、ほとんどが火山角礫岩よりなる、著しく開析された小火山であると思われる。おそらく、塊状溶岩は、もともと火山角礫岩を覆っていたものであろう。近隣の加治子山では、塊状溶岩が火山角礫岩層を直接覆っているのが観察できる。なお、唐津高島や野山岳でも同様の関係が認められており（平井，1986），西南日本の新生代アルカリ玄武岩質単成火山に共通な特徴であ

第2図 男山アルカリ玄武岩および超マフィック捕獲岩の偏光顕微鏡写真。

スケールはA, Bが0.5 mm, C~Hが1 mm, いずれも透過光で下方ポーラーのみ。

OL, かんらん石; CP, 単斜輝石; PH, フロゴパイト; G-CP, “green-core clinopyroxene”; OP, 斜方輝石。(A), 細粒石基を有するアルカリ玄武岩。かんらん石斑晶中の黒色微小結晶はクロムスピネル; (B), 比較的粗粒の石基を有するアルカリ玄武岩。フロゴパイトを含むのが特徴; (C), 火砕岩のガラス質本質岩片中の単斜輝石“斑晶”。中心部が緑色で縁辺部が無色; (D), 弱いボーフィティック組織を有するレールゾライト捕獲岩; (E), やや細粒で等粒状組織を有するレールゾライト捕獲岩。クロムスピネル(暗色粒子)の丸みを帯びた形状に注意; (F), ウェールライト捕獲岩(グループI)。へき開を有するのが単斜輝石, 黒色粒子は自形~半自形のクロムスピネル, 他はかんらん石; (G), スピネル・クリノバイロクシナイト捕獲岩(グループII)。主として, 粗粒な単斜輝石(無色)と緑色スピネル(暗色)よりなる; (H), 単斜輝石メガクリスト。縁辺部は部分的に分解してスポンジ様を呈する。変形および離溶ラメラを欠く。

第3図 男山捕獲岩の岩石種の頻度分布。西南日本の他の産地のデータは Arai and Kobayashi (1981), 藤原・荒井 (1982), Hirai (1986), Goto and Arai (1987) による。男山捕獲岩では、レーンゾライトが優勢であること、ダナイトが存在しないことに注意。

Lherz(L), レールゾライト; Harz(H), ハルツバーグナイト; dun(d), ダナイト; wehr(w), ウェールナイト; pyrox(px), パイロクシナイト類; granul, グラニューライト; Group II (Gr II), グループ II. グループ I のうち、打点部はマントルかんらん岩を、白色部は超マフィック集積岩を表す。

と思われる。火山角礫岩は、基盤岩、マフィック岩、超マフィック岩の径数 cm 以下程度の角礫(捕獲岩)および単斜輝石、スピネルなどのメガクリストに富む。ただし、火山角礫岩中の捕獲岩(特にかんらん石)は著しく変質している(Chii *et al.*, 1975)。塊状の玄武岩には、石基が細粒なものと粗粒なものの2種類が認められる(第2図A, B)が、両者の関係は不明である。斑晶は、かんらん石、単斜輝石よりなる。かんらん石は、しばしば自形のクロムスピネルを包有する(Arai, 1991)(第2図A)。石基は、単斜輝石、かんらん石、斜長石、磁鉄鉱、アパタイト、フロゴバイト、沸石類よりなる。ただし、石基が細粒なものはフロゴバイトを欠く。メガクリストとしては、単斜輝石、スピネル(薄片で緑色)、フロゴバイトなどがある。そのほか、薄片で緑色のコアを有する単斜輝石、いわゆる“green-core clinopyroxene”(メガクリストまたはゼノクリスト)が、角礫岩、溶岩双方にしばしば見いだされる(第2図C)。

III. 捕獲岩の岩石学的記載

前述の2種類の玄武岩について、含まれる捕獲岩の種類、量比に大きな差はないので一括して記載する。捕獲岩は、ほとんどすべてのものが直径5 cm以下と小型である。角礫岩中のものは変質が激しい(Chii *et al.*, 1975)ので、溶岩中のもののみを記載した。溶岩中の捕獲岩は、なかば溶融した基盤岩を除くと、すべて超マフィック岩である。西南日本弧の超マフィック捕獲岩は、単斜輝石の肉眼での色により、緑色のものと黒色のものの2種類に分けることができる(Ishibashi, 1970)。ここでは、広く普及しているFrey and Prinz (1978)の分類にしたがい、それぞれをグループI, IIと呼ぶことにする。各岩石種の量比を第3図に示した。単斜輝石メガクリストは、グループIIのパイロクシナイト中の単斜輝石に化学組成が類似するので、ここでは便宜上グループIIの捕獲岩に含めた。男山の捕獲岩では、全体に対するレーンゾライトの占める割合が高いこと、およびダナイトを欠くことが特徴である(第3図)。Chii *et al.* (1975)によると、男山の角礫岩中の

第4図 男山レールズライトのモード組成。

野山岳 (Hirai, 1986), 荒戸山 (藤原・荒井, 1982), 黒瀬 (Arai and Hirai, 1983), 新宮 (Goto and Arai, 1987) のものに比べてハルツバージャイトを欠くのに注意。Ol, Opx, Cpx はそれぞれ、かんらん石, 斜方輝石, 単斜輝石。

捕獲岩の種類も、ほぼ溶岩中のものと同様であり、やはりダナイトを欠く。

1. グループI

かんらん岩類は比較的細粒で、等粒状組織から弱いポーフロク拉斯ティック組織を示す(第2図D, E)。クロムスピネルは、鏡下で淡褐色を呈し、他形でほぼ粒状である(第2図E)。輝石類は離溶ラメラを欠いている。かんらん石, 斜方輝石, 単斜輝石の量比の関係を第4図に示す。すべて、単斜輝石に比較的富み、ほぼレールズライトである。特に、単斜輝石/全輝石体積

比はすべて0.1以上である(第4図)。したがって、Arai (1984)の基準に従うと、すべてがレールズライトに属する。ウェールライトもほぼ等粒状組織を示す(第2図F)。スピネルは、淡褐色で自形から半自形である(第2図F)。単斜輝石は、やはり離溶ラメラを欠く。パイロクシナイト類は、オルソパイロクシナイトおよびウェブスタライトで、いずれも少量のかんらん石を含む。輝石は離溶ラメラを欠く。等粒状から弱いポーフロク拉斯ティック組織を示す。かんらん石は、しばしば他形で粗粒の輝石に対して間隙充填的である。少量

第5図 男山捕獲岩類におけるかんらん石のFo値とクロムスピネルのCr#の関係。レールゾライト類における変化幅は極めて小さい。かんらん石・スピネルマントル列、パイロライトの領域はArai (1987)、野山岳はHirai (1986)、黒瀬はArai and Hirai (1983)および荒井・平井(未公表)による。

の淡褐色のスピネルを含む。ここでは、ウェールライト、パイロクシナイトを集積岩とみなすが、ダナイトは伴わない(第3図)。

2. グループII

ほとんどの岩石が、スピネル・クリノパイロクシナイトである(第2図G)。粗粒な単斜輝石とスピネル(鏡下で濃緑色)よりなる。しばしば、かんらん石を含む。また、ごく少量のケルスート閃石、フログバイトを含むことがある。単斜輝石は果帯構造、変形組織および稜溶ラメラを欠く。しばしば二次的流体包有物に富む。これらの特徴は、単斜輝石メガクリスト(第2図H)の特徴と共通である。

IV. 構成鉱物の化学組成

捕獲岩の構成鉱物を、金沢大学理学部のSEM (AKASHI; ALPHA-30A)-EDAX システムで分析した。補足的な分析は、筑波大学分析センターのマイクロプローブ(JEOL; JXA-8621)でおこなった。代表的分析値を第1表に掲げてある。グループIとグループIIの岩石は、鉱物(単斜輝石、スピネル)の化学組成の上からも区別される。

1. グループI

レールゾライトのかんらん石は多くの場合、ほぼ Fo_{89-90} の組成を有する(第5図)。ウェールライトのかんらん石はややFeに富んでいる。クロムスピネルの組成も、レールゾライトではほぼ一定である。すなわ

第6図 男山捕獲岩類におけるスピネルのCr-Al-Fe³⁺比。
レーゾライト中のものは、極めて小さい変化幅を有する。

ち、Cr#(Cr/(Cr+Al)原子比)は、一例をのぞいて0.10~0.15であり(第5図)、Fe³⁺/(Cr+Al+Fe³⁺)原子比は0.05以下である(第6図)。ウェーライト、オルソパイロクシナイトのクロムスピネルのCr#は、レーゾライト中のものより変化が大きい(第5,6図)。単斜輝石は、グループIの岩石すべてを通じてほぼ同様な組成を有し、TiO₂を0.5 wt%以下、Al₂O₃を5 wt%前後、Cr₂O₃を0.3~0.8 wt%含む(第7図;第1表)。ただし、ウェブスタイト中のものは、ややCrに乏しい(第7図)。黒瀬、目潟のかんらん岩中の単斜輝石と同様、男山レーゾライトの単斜輝石はNa₂O含有量が低い(第8図)。特に、男山レーゾライトは、同様に低Cr#のスピネルを含む、大陸地域や海洋ホットスポットのレーゾライトと比較して、著しく低Naの単斜輝石を含む(第8図)。

2. グループII

かんらん石は、Fo₄₇の組成を有し、グループIのものに比べてややFeに富む。スピネルは、ほとんどCrを含まず、グループIのものと明瞭に区別ができる(第6図)。グループIIの単斜輝石は、単斜輝石メガクリストと、ほぼ同様の組成を有し、グループIのものとは明瞭な差があることが多い(第7図;第1表)。TiO₂含有量は0.3 wt%(多くの場合0.9 wt%)以上で、Cr₂O₃含有量はほぼ0.2 wt%以下である(第7図)。

Al₂O₃含有量は5 wt%(多くの場合8 wt%)以上であり、CaO含有量が20 wt%前後とやや低いものの、ファッサイト的な組成を有している(第7図;第1表)。

V. 議論

男山のレーゾライト捕獲岩は、その岩石学的性質が極めて均一である(第4~8図)。また、比較的低いかんらん石のFo値、クロムスピネルのCr#は、これらのかんらん岩が、主要元素に関しては、余り枯渇していないことを示している(第5図)。これらの特徴は、西南日本弧の他の地域の上部マントル起源の捕獲岩と比較すると、さらに明瞭である(第5図)。かんらん石とクロムスピネルの組成からみた上部マントルかんらん岩の均質度は、相伴うダナイトなどの超マフィック集積岩の有無と関連がありそうである(第3,5図)。すなわち、男山の捕獲岩は、他の産地のものと比べてかんらん岩(ハルツバージャイト、レーゾライト)に対する、他のグループIの超マフィック岩(特にダナイト)の割合が低い(第3図)。アルパイン・タイプのかんらん岩体およびオフィオライトにおける観察事実によれば、上部マントルにおいて、ダナイトは、かんらん岩中に脈状またはストック状に存在している(例えば、Nicolas, 1989)。そして、ダナイトの周囲のかんらん岩には、さまざまなスケールの枯渇帯が生じ(例えば、Quick, 1981; Takahashi, 1991)、かんらん岩に多様性を与えている(Takahashi, 1991)。捕獲岩から推定される西南日本の上部マントルにおいても、かんらん岩とダナイトは同様な関係を有している可能性がある。すなわち、西南日本弧の上部マントルにおいても、ダナイトなどの超マフィック集積岩がより大量に形成されている場合、そのマントルかんらん岩は、より組成の変化幅が大きい傾向がある(例えば、野山岳; 第3,5図)。一方、黒瀬や男山の捕獲岩では、超マフィック集積岩の占める割合が低く(第3図)、かんらん岩の組成変化幅は小さい(第5図)。また、男山かんらん岩は、黒瀬のものより、全体的に枯渇度が低い、両者の枯渇度の違いが何によるのかは不明である。ただし、島弧下の上部マントルでは、島弧マグマの溶け残り物質としてのかんらん岩の、この程度の枯渇度のばらつきは予想されている(荒井, 1988)。また、黒瀬のかんらん岩は、背弧海盆(日本海)玄武岩の溶け残り物質(Hirai, 1986)で、そのようなやや枯渇したレーゾライト~ハルツバージャイトが、日本列島の背弧側の上部マントルに広く分布している可能性もある。いずれ

第7図 男山捕獲岩類における単斜輝石の TiO_2 - Cr_2O_3 , TiO_2 - Al_2O_3 の関係。
グループ I, II は明瞭に区別できる。

第1表 構成鉱物の代表的分析値

Rock Mineral	LHERZOLITE (I)				WEHRLITE (I)			OL-OPXNITE (I)			SP-CPXNITE (II)			MEGAXT
	OL	OPX	CPX	SP	OL	CPX	SP	OL	OPX	SP	OL	CPX	SP	CPX
SiO_2	40.34	55.07	52.03	0.23	41.05	52.08	0.00	41.40	55.84	0.00	41.34	48.05	0.00	48.71
TiO_2	0.12	0.12	0.30	0.18	0.01	0.21	0.10	0.02	0.15	0.16	0.05	1.31	0.53	1.18
Al_2O_3	0.17	4.50	3.91	55.85	0.26	4.31	57.17	0.18	3.93	58.88	0.32	10.16	61.65	9.68
Cr_2O_3	0.03	0.39	0.40	11.95	0.12	0.45	8.06	0.11	0.16	7.46	0.01	0.14	0.06	0.20
FeO^*	9.91	6.56	2.89	12.51	10.51	3.14	12.00	9.74	6.66	10.79	13.02	6.10	17.84	6.03
MnO	0.19	0.10	0.16	0.05	0.29	0.00	0.00	0.10	0.22	0.00	0.27	0.14	0.27	0.12
MgO	48.58	31.70	17.11	20.26	48.91	16.91	20.33	48.34	33.15	20.58	50.45	14.11	20.52	13.76
CaO	0.11	0.76	22.22	0.06	0.07	21.84	0.10	0.17	0.57	0.07	0.16	20.12	0.07	20.63
Na_2O	0.08	0.00	0.07	0.00	0.13	nd.	0.00	0.00	0.26	0.11	0.29	0.71	0.00	0.60
NiO	0.40	0.28	0.19	0.52	0.21	0.22	0.26	0.35	0.04	0.35	0.00	0.08	0.15	0.16
Total	99.93	99.48	99.36	98.93	101.45	99.16	98.02	100.41	101.07	98.43	100.87	100.92	101.19	100.91
Mg#	0.903	0.897	0.920	0.827	0.893	0.906	0.797	0.899	0.899	0.801	0.873	0.805	0.776	0.803
Cr#				0.137			0.086			0.078			0.001	
Mg(Cr)		0.886	0.498	0.122		0.492	0.084		0.889	0.077		0.441	0.000	0.430
Ca(Al)		0.013	0.459	0.852		0.456	0.866		0.011	0.905		0.452	0.922	0.464
$\text{Fe}^*(\text{Fe}^{3+})$		0.101	0.043	0.026		0.051	0.031		0.100	0.018		0.107	0.077	0.106

I, II はグループを表す。OL, かんらん石; OPX, 斜方輝石; CPX, 単斜輝石; SP, スピネル; OPXNITE, オルソパイロクシナイト; CPXNITE, クリノパイロクシナイト; MEGAXT, メガクリスト; FeO^* , 全鉄としての FeO ; Mg#, $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{全 Fe})$ 原子比。ただし, スピネルでは $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ 原子比, Cr#, $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ 原子比。Mg, Ca, Fe^* , それぞれ, $\text{Mg} + \text{Ca} + \text{Fe}^*$ に対する Mg, Ca, Fe^* (全鉄) の原子比。Cr, Al, Fe^{3+} , それぞれ, スピネル中の $\text{Cr} + \text{Al} + \text{Fe}^{3+}$ に対する原子比。スピネルの陽イオンの比は, ストイキオメトリを仮定して計算により求めた。

第8図 男山レーンゾライトにおける、単斜輝石のNa₂O含有量とクロムスピネルのCr#の関係。男山レーンゾライトの単斜輝石はNaに乏しい。データソース；野山岳、黒瀬は第5図と同様、一の目濁は荒井（未公表）。大陸リフト帯、海洋ホットスポットのかんらん岩の領域は荒井（1989）による。

にしても、男山のレーンゾライト捕獲岩は、西南日本弧の上部マントルの最も枯渇度の低い部分を代表している（第3, 5, 9図）。男山レーンゾライトは、一の目濁のものと比較しても全体的に低枯渇度であり（第8図）、日本列島全体からみても、最も低枯渇度のマントル物質といえる。荒戸山や新宮のかんらん岩捕獲岩は、グループIIの岩石を形成したメルトによる汚染が著しく、初生的な性質は不明である（例えば、Goto and Arai, 1987）。

VI. 結論およびまとめ

(1) 津山盆地、男山アルカリ玄武岩中の捕獲岩は、グループIに属するレーンゾライト、ウェーライト、パイロクシナイト類、およびグループIIに属するクリノパイロクシナイトよりなる。これらのうち、レーンゾライトが70%以上を占める。

(2) レーンゾライトは、かんらん石のFo値（89～90）、クロムスピネルのCr#（0.10～0.15）などによって示される岩石学的性質が均一であり、日本列島の上部マントルかんらん岩では、少なくとも主要元素に関

して、最も枯渇度の低いものである。

(3) 西南日本弧のかんらん岩の均質性は、相伴われる他のグループIの捕獲岩（特にダナイト）の量の少なさと相関がある。

(4) 西南日本弧の上部マントルは、かんらん岩の岩石学的性質（特に枯渇度）の不均質性が著しい。

謝 辞 金沢大学元技官笠嶋晴英氏には、本研究で使用了した薄片の大部分を作っていたいただいた。金沢大学理学部中村健二氏には、本論文で使用了した図の多くを作成していただいた。平井寿敏、藤原正人、高橋奈津子、服部俊夫の諸氏には、野外において岩石試料の採集を助けていただいた。鉱物のマイクロプロブ分析の際には、石渡 明、阿部なつ江、西田憲正、高橋奈津子の諸氏にお世話になった。本研究は、日本証券奨学財団研究奨励金および文部省科学研究費補助金（課題番号 02640626）により援助された。以上の方々および諸機関に、心より感謝する。

第9図 西南日本弧の上部マントルの概念図。本文参照。

文 献

- Aoki, K. (1968), Petrogenesis of ultrabasic and basic inclusions in alkali basalts, Iki Island, Japan. *Amer. Mineral.*, **53**, 241-256.
- 青木謙一郎 (1977), 隠岐島後中村の超苦鉄質・苦鉄質捕獲岩, 岩鉱, **72**, 75-84.
- Arai, S. (1984), Igneous mineral equilibria in some alpine-type peridotites in Japan. In *Materials Science of the Earth's Interior* (I. Sunagawa, Ed.), pp. 445-460, Terra Sci. Pub., Tokyo.
- Arai, S. (1987), An estimation of the least depleted spinel peridotite on the basis of olivine-spinel mantle array. *Neues Jahrb. Miner. Mh.*, **1987**, 347-354.
- 荒井章司 (1988), 東北日本弧第四紀マグマの溶け残りかんらん岩の推定, 日本火山学会講演予稿集, 1988年度秋季大会, 22.
- 荒井章司 (1989), 日本列島の上部マントルかんらん岩, 月刊海洋, **21**, 47-54.
- Arai, S. (1991), Chemical compositions of chromian spinel and olivine in some alkaline basalts from Japan. *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, **35**, 25-38.
- Arai, S. and Hirai, H. (1983), Petrographical notes on deep-seated and related rocks (1) Mantle peridotites from Kurose and Noyamadake alkali basalts, southwestern Japan. *Ann. Rep. Inst. Geosci. Univ. Tsukuba*, no. 9, 65-67.
- Arai, S. and Hirai, H. (1985), Petrographical notes on deep-seated and related rocks (3) Ultramafic and mafic xenoliths in alkali basalts from Mejika-yama, Sera Plateau, southwestern Japan. *Ann. Rep. Inst. Geosci. Univ. Tsukuba*, no. 11, 45-49.
- Arai, S. and Kobayashi, Y. (1981), Frequency of ultramafic rocks as inclusions in some alkali basalts from southwestern Japan and its bearing on the constitution of the upper mantle. *Ann. Rep. Inst. Geosci. Univ. Tsukuba*, no. 7, 66-69.
- Chii, S., Fujii, T. and Kushiro, I. (1975), Finding of

- breccia containing ultramafic inclusions and clinopyroxene megacrysts in Tsuyama, western Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 81, 523-528.
- Frey, F.A. and Prinz, M. (1978), Ultramafic inclusions from San Carlos, Arizona: Petrologic and geochemical data bearing on their petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 38, 129-176.
- Fujii, T. (1974), Petrology of Hamada Nephelinite and Associated Ultramafic and Mafic Inclusions. D.Sc. thesis, Univ. Tokyo.
- 藤原正人, 荒井章司 (1982), 岡山県, 荒戸山のアルカリ玄武岩中の超マフィック捕獲岩 — 島弧の上部マントル物質 —, 岩鉱特別号, no. 3, 219-227.
- Goto, K. and Arai, S. (1987), Petrology of peridotite xenoliths in lamprophyre from Shingu, southwestern Japan: implications for origin of Fe-rich mantle peridotites. *Mineral. Petrol.*, 37, 137-155.
- 平井寿敏 (1983), 島根県, 野山岳のアルカリ玄武岩質火山噴出物とその包有物の産状について, 岩鉱, 78, 211-220.
- Hirai, H. (1986), Petrology of Ultramafic Xenoliths from Noyamadake and Kurose, Southwestern Japan. D.Sc. thesis, Univ. Tsukuba.
- Hirai, H. and Arai, S. (1983), Finding of nepheline in some alkali basalts from southwestern Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 89, 531-534.
- Hirai, H. and Arai, S. (1986), Formation of analcime and phillipsite in hydrous basanites from Southwestern Japan. *Neues Jahrb. Miner. Abh.*, 153, 163-176.
- Ishibashi, K. (1970), Petrochemical study of basic and ultrabasic inclusions in basaltic rocks from northern Kyushu. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. D*, 20, 85-146.
- Iwamori, H. (1989), Compositional zonation of Cenozoic basalts in the central Chugoku District, southwestern Japan: evidence for mantle upwelling. *Bull. Volcanol. Soc. Japan, Ser. 2*, 34, 105-123.
- 小林靖子, 荒井章司 (1978), 佐賀県, 高島のアルカリ玄武岩中の超塩基性捕獲岩について, 静岡大地球科学研報, 6, 11-24.
- Le Maitre, R.W. (1989), A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell Sci. Pub., Oxford, pp. 193.
- 永尾隆志, 阪口美子 (1990), 島根県益田市川下の新生代アルカリ玄武岩中の超苦鉄質捕獲岩, 岩鉱, 85, 469-480.
- Nicolas, A. (1989), Structures of Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithosphere. Kluwer Acad. Pub., Dordrecht, pp. 367.
- Quick, J.E. (1981), The origin and significance of large dunite bodies in the Trinity peridotite, Northern California. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 77, 185-194.
- Takahashi, E. (1978), Petrologic model of the crust and upper mantle of the Japanese Island Arcs. *Bull. Volcanol.*, 41, 529-547.
- Takahashi, N. (1991), Origin of three peridotite suites from Horoman peridotite complex, Hokkaido, Japan: Melting, melt extraction and solidification processes in the upper mantle. *Jour. Min. Pet. Econ. Geol.*, 86, 199-215.
- 鷹村 權 (1973), 中国地方新生代玄武岩類の岩石学的並びに岩石化学的研究, 広島大地球研報, 18, 1-167.
- 白井まゆみ (1983), 岡山県男山のアルカリ玄武岩に含まれる含ゼクロ石捕獲岩について, 昭和58年度三鉱学会講演要旨集, 弘前, 42.
- 宇都浩三, 平井寿敏, 荒井章司 (1986), 西南日本の超苦鉄質岩塊を包有するアルカリ玄武岩類の K-Ar 年代, 昭和61年度三鉱学会講演要旨集, 水戸, 115.
- Yamaguchi, M. (1964), Petrogenic significance of ultrabasic inclusions in basaltic rocks from Southwest Japan. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. D*, 15, 163-219.