

博多湾，志賀島で発見された玄武岩製碇石の産地

Provenance of the basaltic anchor stone found from Shikanosima, Hakata Bay

鈴木和博 (SUZUKI Kazuhiro)¹⁾・與語節生 (YOGO Setsuo)²⁾・
加藤丈典 (KATO Takenori)¹⁾・渡辺 誠 (WATANABE Makoto)³⁾

- 1) 名古屋大学年代測定総合研究センター
Nagoya University Center for Chronological Research
- 2) 名古屋大学理学研究科
Graduate School of Science, Nagoya University
- 3) 名古屋大学文学研究科
Graduate School of Letters, Nagoya University

Abstract

A basaltic anchor stone, 112 cm in length and 123.5kg in weight, was found and recovered in 1994 from the intertidal zone about 200m northwest of the Mouko-zuka (Mongolian soldier's grave) on Shikanoshima Island in Hakata Bay. It is petrographically classified into hawaiite, and consists of phenocrystic olivine, labradolite and augite set in a pilotaxitic groundmass of olivine, andesine augite, titanomagnetite, sanidine and anorthoclase. The bulk chemistry is characterized by the high contents of Na₂O (3.45%), K₂O (1.40%), TiO₂ (2.75%) and P₂O₅ (0.64%). This coupled with presence of groundmass sanidine suggests that the anchor stones were derived from the alkaline rocks in Cheju Island where ships were constructed to arrange the military transportation for the Mongol invasions in 1274 and 1281. Presumably, the basaltic anchor stone is the remain of a wrecked Mongolian warship.

はじめに

博多湾やその周囲の海岸域から「碇石」と呼ばれる長さが1～3mの柱状石材が数多く発見されている。その大部分は、中央部の幅と厚さがそれぞれ30～40cmと20～30cmで両端がやや細くなったもの（定型碇石）であるが、柱状不定型や円盤状の碇石もある（例えば松岡（1981）が分類した34例では、定型26、柱状不定型7、円盤状1）。定型碇石の中央部には、木材を固定するために、幅約20cmの浅い桙帯や幅約5cmで深さ2～3cmの溝が掘ってある（柳田，1992）。柱状不定型の碇石には桙帯や溝のどちらか、あるいは両方がないことがある。碇石の重量は、小さいものでも数十kg、大部分の定型碇石では200～500 kgに達する。碇石の材質は、松岡（1981）の34例でみると、凝灰質砂岩が18、花崗岩が7、石英斑岩または黒雲母流紋岩が5、玄武岩・安山岩・蛇紋岩・石灰岩が各1で、凝灰質砂岩と花崗岩が圧倒的に多い。

博多湾は蒙古襲来の地であるため、碇石が蒙古軍船のものであるか否か古くから繰り返し議論されてきた（その経緯や展開は石原（2000）に詳しく記述されている）。しかし、現在に至るも、意見の一致が得られたとは言

い難い。碇石を装着した木石碇は、全てではないにしても大部分は、船舶の建造地あるいは母港で造られたものが積載されたと考えられるのが自然である。従って、碇石の産地推定は船舶を特定する鍵になると期待できるが、これまで碇石の岩石学的研究は殆ど実施されなかった。碇石の形態を考古学的に詳しく分類・考察した松岡(1981)も、肉眼観察に基づいて、凝灰質砂岩の産地として九州北部の第三紀層・韓国全羅南道長興付近・大分県国東半島北部を、福岡市少年分化会館の斑状花崗岩製定型碇石の産地として九州北部以外の地域を、唐津市湊疫神社の石灰岩碇石の産地として北九州市平尾台を、円形蛇紋岩製碇石の産地をして福岡市東方一帯を指摘したに過ぎない。博多湾の玄武岩や安山岩の碇石は、その形状が柱状不定型であることから、暗黙のうちに日本船に使用したものと考えられているが、その産地が特定されたわけではない。Suzuki et al. (2000) は長崎県鷹島海底遺跡から出土した幾つかの花崗岩質碇石の全岩化学組成と年代を測定して、その産地が中国の泉州であることを明らかにした。これに引き続いて、我々は、九州北部の海域で発見された個々の碇石の産地を推定するための、岩石記載を進めている。本稿では福岡市埋蔵文化財センターから試料提供を受けた福岡市志賀島産の玄武岩質碇石の岩石学的特徴を報告し、その産地を検討する。

玄武岩質碇石の形態

1994年に、志賀島西南部、蒙古塚北北西200mの志賀島循環道路横の潮間帯 (Loc. H27, 福岡市教育委員会, 1995) から、玄武岩でできた碇石が発見された (図版 1-(A), 福岡市埋蔵文化財センター資料番号: 944600209)。この碇石は長さ112cm, 幅30cm, 厚さ23cmの角のとれた四角柱をなしている。重量は123.5kgである。中央部の広い方の面に幅16cmで深さが1cmに満たない稜帯が彫っており、狭い方の面に幅4cm・深さ1.5cmの溝が彫ってある。稜帯の中央部から両端部までの長さがほぼ等しい。これに加えて、一方 (図版 1-(A)の右側)の端部が節理面であることから、この碇石は定型の両端が欠損したものととは考えられない。志賀島の玄武岩製碇石は、自然の柱状節理を加工した柱状不定型の完全品と見なすのが妥当であろう。

岩石の記載

志賀島の碇石に使われた玄武岩は灰色で細かい気孔の多い細粒岩である。肉眼では斑晶の識別が困難であるが、鏡下では斑状組織を呈する。斑晶としてモードで約7%のカンラン石と少量のオーザイト・斜長石 (ラブラドライト) が存在し、ピロタキシティックな石基は斜長石 (アンデシン)・カンラン石・オーザイト・チタン磁鉄鉱・サニディン・アノーソクレーズから構成される。サニディンやアノーソクレーズは主に石基斜長石の粒間鉱物として産する。石基にガラスは認められない。岩石学的にはハワイアイト (Hawaiite) に分類される。構成鉱物の化学組成を第1表に示す。分析はJEOL JCXA-733電子線マイクロプローブを用いて、加速電圧15kV・プローブ経2 μ m・プローブ電流 1.2×10^{-8} Aの条件で行った。X線は20秒間積算し、2回の平均値を真のX線計数とした。

斑晶カンラン石は半自形で、大きい結晶のサイズは約1mmに達する (図版 1-(B))。それらは新鮮であるが、外縁部はイディングサイト化している。組成累帯構造が認められ、中心部の最もMgに富んだ部分の組成がFo₈₅, 外縁部のイディングサイトの内側でFo₇₅程度である。NiO含有量は中心部 (0.30~0.25%) から縁 (0.15~0.13%) に向かって減少し、MnO含有量は中心部 (0.14~0.19%) から縁 (0.23~0.30%) に向かって増加する。石基カンラン石としたものは0.3~0.1mm大の半自形~他形結晶である (図版 1-(E))。斑晶カンラン石と石基カンラン石の間にサイズギャップがあるわけではなく、中間的な大きさの結晶 (図版 1-(D)) も少な

くない。石基カンラン石も外縁部はほとんど例外なくイディングサイト化している。石基カンラン石の組成は中心部で Fo_{79-77} ，縁部で Fo_{71} 程度である。 NiO 含有量は0.2%以下であることが多く，特に縁部では0.1%程度まで低くなる。 MnO 含有量は縁部で0.4%近くまで増加する。イディングサイトは，同じ結晶でも，部分ごとに組成が違っている。斑晶カンラン石のイディングサイト ($\text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe}) = 0.69 \sim 0.62$) より石基カンラン石のイディングサイト ($\text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe}) = 0.56 \sim 0.55$) の方が鉄に富む。

斑晶とした斜長石は1～2mmで，マグマの融食による不規則な外形を示す (図版1-(C))。量的には極めて少量である。斑晶斜長石は全体に一様な組成をもち， $\text{An}_{59}\text{Ab}_{39}\text{Or}_2$ から $\text{An}_{56}\text{Ab}_{42}\text{Or}_2$ のラブラドライトである。斜長石の微斑晶 (図版1-(E)) は長さ0.5～1 mmの不規則な短冊状である。その中心部の組成は $\text{An}_{63}\text{Ab}_{36}\text{Or}_1$ から $\text{An}_{58}\text{Ab}_{40}\text{Or}_2$ で，斑晶斜長石より若干An成分に富む。また，微斑晶斜長石の鉄含有量 (FeO として0.6%以上) は，斑晶斜長石 (FeO として0.4%前後) より有意に大きい。石基を構成する長さ0.1～0.2mmの短冊状の斜長石は明瞭な組成累帯を示す。石基斜長石の中心部 ($\text{An}_{63}\text{Ab}_{36}\text{Or}_1 \sim \text{An}_{60}\text{Ab}_{38}\text{Or}_2$) の組成は微斑晶斜長石の中心部の組成とほとんど変わらない。縁に向かって，Ab成分とOr成分が増加し， $\text{An}_{43}\text{Ab}_{52}\text{Or}_5$ から $\text{An}_{32}\text{Ab}_{60}\text{Or}_8$ のアンデシン組成を経て，外縁部は $\text{An}_{26}\text{Ab}_{63}\text{Or}_{11} \sim \text{An}_{12}\text{Ab}_{58}\text{Or}_{29}$ のオリゴクレスになっている。石基斜長石の間を埋める長石類の組成範囲は $\text{An}_8\text{Ab}_{59}\text{Or}_{33}$ から $\text{An}_2\text{Ab}_{48}\text{Or}_{50}$ であるが，大部分の分析値はOr-Ab系の最低溶融点 ($\text{Ab}_{63}\text{Or}_{37}$) よりOr成分に富む。石基にサニディン-アノーソクレス系の単斜アルカリ長石が晶出していることがマイクロプローブ分析からも示唆される。

斑晶オーザイトはマグマの融食を受けた1～0.5mm大の不規則結晶である。どの斑晶もほぼ一様な組成を持ち，その変化幅は $\text{Wo}_{42}\text{En}_{44}\text{Fs}_{14}$ から $\text{Wo}_{42}\text{En}_{46}\text{Fs}_{12}$ で極めて小さい。斑晶オーザイトは Al_2O_3 (5.4～6.7%) に富むが， TiO_2 (1.0～1.6%) は少ない。これに対して，微斑晶オーザイト (図版1-(C)) の中心部は Al_2O_3 (6.6～8.4%) と TiO_2 (3.0～4.0%) の両方に富み， $\text{Wo}_{45}\text{En}_{38}\text{Fs}_{17}$ から $\text{Wo}_{47}\text{En}_{37}\text{Fs}_{16}$ である。微斑晶オーザイトの中間部分で Al_2O_3 と TiO_2 が，それぞれ，3.3%と1.8%以下に急減して，同時にFeとCaが少し減少する ($\text{Wo}_{45}\text{En}_{40}\text{Fs}_{15}$)。石基オーザイトは $\text{Wo}_{43}\text{En}_{42}\text{Fs}_{15}$ から $\text{Wo}_{45}\text{En}_{38}\text{Fs}_{17}$ の組成を示し，鉄の多い部分の方が Al_2O_3 と TiO_2 に富む傾向がある。

不透明鉄鉱物は石基にのみ出現する。調べた限りでは，全ての粒子がチタン磁鉄鉱で，チタン鉄鉱や磁鉄鉱はみつからなかった。チタン磁鉄鉱は21～23%の TiO_2 ，64～68%の FeO を含み， Al_2O_3 (1.9～3.9%)・ Cr_2O_3 (0.9～1.2%)・ MgO (2.2～2.8%) 含有量もほぼ一定している。チタン磁鉄鉱を Fe_2TiO_4 と $\text{RO} \cdot \text{R}_2\text{O}_3$ の固溶体として，分析値の平均から構成成分を見積もると，イルメナイト (Fe_2TiO_4) 45.6モル%・スピネル ($\text{R}^{2+}\text{Al}_2\text{O}_4$) 7.8モル%・クロマイト ($\text{R}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$) 2.1モル%・磁鉄鉱 ($\text{R}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$) 44.5モル%となる。

全岩化学組成

志賀島から産出した玄武岩質碇石の全岩主成分と微量成分を，SHIMAZU SXF-1200 蛍光X線分析装置を用いて，検量線法 (森下・鈴木，1993; 山本・森下，1997) で分析した。主成分用のガラスビーズは岩石粉末0.7gに対してホウ酸リチウム6g，微量成分用のガラスビーズは岩石粉末2gに対してホウ酸リチウム3gで作成した。分析条件はRh管球で，印加電圧40kV・管電流70mAである。分析結果を第1表に示す。この岩石には準長石 (ネフェリン) も斜方輝石も産出しないので，ノルムでネフェリンとハイパーシンの両方が計算されないように鉄を2価と3価に割り付けてある。粉末にした後，110℃で48時間乾燥した試料を分析しても，主成分の含量 (96.76%) が若干少ない。これはカンラン石の周辺部がイディングサイト化しているためと考えられ

第1表 志賀島から1994年に発見された玄武岩製碓石(944600209)の蛍光X線分析値とCIPWノルム.

	(wt.%)		(ppm)		(wt.%)
SiO ₂	45.92	Cr	156	Quartz	0.0
TiO ₂	2.75	Co	45	Orthoclase	8.27
Al ₂ O ₃	16.16	Ni	175	Albite	29.19
Fe ₂ O ₃	3.61	Cu	49	Anorthite	24.47
FeO	8.30	Zn	135	Nepheline	0.0
MnO	0.16	Rb	16	Diopside	7.89
MgO	6.63	Sr	616	Hypersthene	0.0
CaO	7.74	Y	28	Olivine	15.00
Na ₂ O	3.45	Zr	241	Magnetite	5.23
K ₂ O	1.40	Nb	44	Ilmenite	5.22
P ₂ O ₅	0.64	Ba	556	Apatite	1.48
Total	96.76	Pb	11		
		Th	12		

る。

全岩主成分組成は典型的なアルカリ系列の特徴を持つ。全アルカリ - 珪酸図 (Le Bas et al., 1986) で粗面玄武岩の領域にプロットされ, 更に, Na₂O - 2 > K₂Oである点から化学組成でもハワイアイトに分類できる。ノルム斜長石の組成はAn₄₄, 固結指数 (Solificatuin Index, 100 MgO / (MgO + FeO* + Na₂O + K₂O); Kuno,

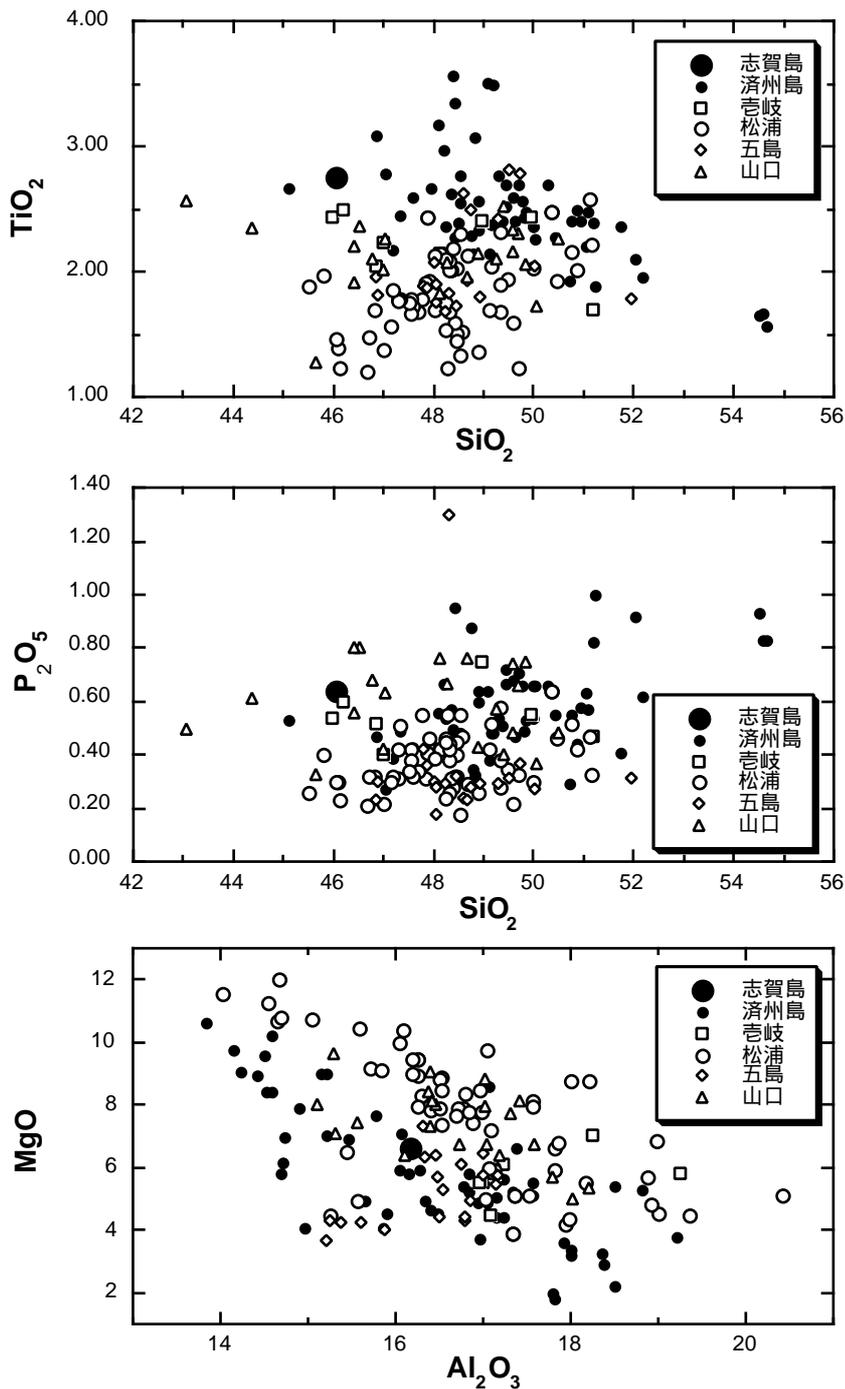
1957) は29である。

考 察

この岩石は, アルカリ系列の岩石としても比較的TiO₂とP₂O₅が多い。これらの成分は主に石基のチタン磁鉄鉱と燐灰石に含まれている。従って, 高TiO₂・P₂O₅の特徴は, 晶出鉱物の集積などで生じたのではなく, マグマ本来の性質と見なすことができる。

アルカリ系列の火山は山陰沿岸地域から九州北部さらに韓国の済州島や内陸部および中国南東部に広く分布している。志賀島に比較的近いという意味で, 山口県西北部地域 (倉沢・高橋, 1960)・松浦半島を中心とする九州北部 (青木, 1958; 石橋, 1971)・五島 (倉沢・高橋, 1961)・壱岐 (青木, 1958)・済州島 (李, 1982)のアルカリ系列火山岩の分析値を碓石の全岩化学組成と比較した (第1図)。全岩のTiO₂含有量は一般にSiO₂の増加に伴って減少する (TiO₂ - SiO₂図)。壱岐 や五島を含め日本列島の大部分の火山岩 (白抜きの記号) は, 済州島の火山岩 (黒丸) に比べてTiO₂が少ない。特に, 博多湾に近い松浦半島を中心とする九州北部の玄武岩はTiO₂の少ないトレンドを形成するので, 九州北部地域が志賀島の碓石の産地とはなり得ない。碓石のTiO₂含有量は済州島の火山岩のTiO₂-SiO₂組成領域に含まれる。また, 碓石のP₂O₅含有量も済州島の火山岩のP₂O₅-SiO₂組成領域に含まれる。済州島以外の地域では, 壱岐 (白抜き) と山口県西北部 (白抜き) に産出する玄武岩の一部が碓石とほぼ同等なTiO₂-SiO₂関係を示す。しかし, これらの岩石は, Al₂O₃ (>17%)に富み (<6%) が少ない斜長石優勢という点で, 志賀島の碓石と異なる。また, 壱岐の玄武岩ではサニディン - アノーソクレーズ系の単斜アルカリ長石が晶出していない (青木, 1958)。これまでに石基にサニディンの晶出が報告されているの済州島の玄武岩類のみである (李, 1982)。全岩化学組成および構成鉱物とその化学組成から, 志賀島の碓石に使われたワハイイトは済州島のアルカリ系列火山岩類に最も類似していると結論できる。

志賀島の蒙古塚は, 文永の役 (1274年) で難破した蒙古軍船が漂着し, 百余名の兵士が処刑された所と伝えられている。また, 志賀島の沿岸は, 1281年の弘安の役においては, コリア半島馬山を南向した東路軍の主力



第1図 志賀島から発見された玄武岩製碇石の全岩化学組成(大きい)と山口県西北部地域(倉沢・高橋, 1960)・松浦半島を中心とする九州北部(青木, 1958; 石橋, 1971)・五島(倉沢・高橋, 1961)・壱岐(青木, 1958)・済州島(李, 1982)のアルカリ系列火山岩の全岩化学組成の比較。

が停泊し、日本軍が夜間に強襲をかけた場所でもある。一方、済州島は、モンゴルに抵抗する三別抄軍が1273年に滅亡してから、日本攻略のための牧場と造船基地になっている(渡辺, 1997)。従って、文永の役においても弘安の役においても、志賀島で難破あるいは沈没した蒙古軍船が済州島の玄武岩で作った碇石を装備していたとしても矛盾はない。もちろん、1994年に志賀島で見つかった玄武岩製碇石が蒙古軍船のものであるという証拠はない。済州島で建造されたか、あるいは行き来のある通常の交易船や漁船が積んでいた碇石という可能性もある。志賀島の蒙古塚沖からは、これまでに凝灰質砂岩で作られた長さ89.6cm(27kg)と87.6cm(21kg)の2本の柱状不定型碇石が見つかった。これらの碇石は、発見現場が岩礁地帯の岸から程沖である点、2本が近距離で発見された点から、船舶用ではなく沿岸小型定置網固定用碇石と考えられ、その時代は明治以降と推定されてきた(松岡, 1981)。

あるいは柱状不定型という理由で、蒙古軍船のものか否かで議論が分かれる定型碇石と区別して、近世までの日本漁船が積んでいたものと考えられてきた。しかし、その形・サイズ・加工状態は玄武岩製の碇石と類似している。これらの柱状不定型の碇石についても、岩石記載と産地同定が必要と考えられる。

謝 辞

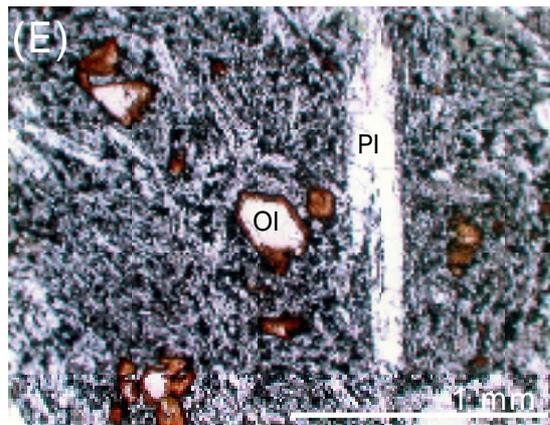
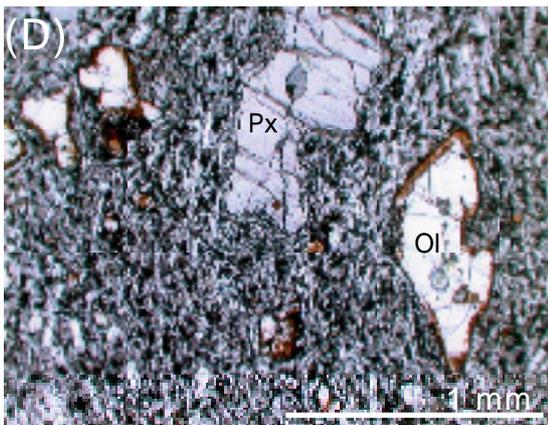
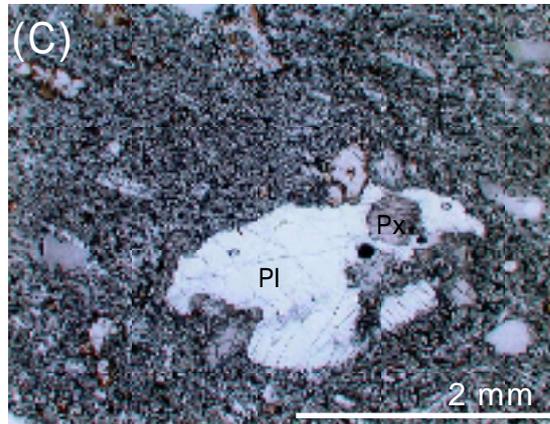
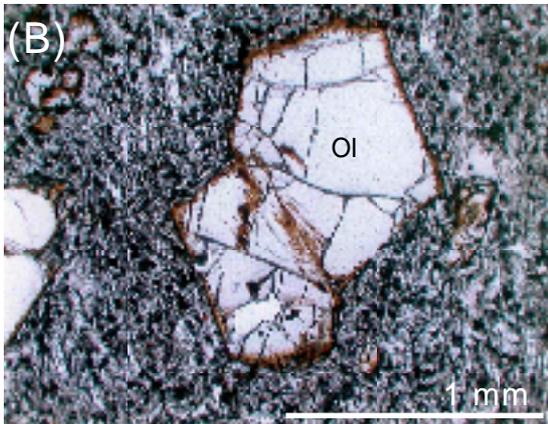
本研究で記載した福岡市志賀島産の玄武岩質碓石(資料番号: 944600209, 許可番号: 福市教埋セ第672号, 平成12年10月27日)とその出土状況写真(No. 9446 212, 許可番号: 福市教埋セ第735号, 平成12年12月2日)は福岡市埋蔵文化財センターから試料提供されたものである。本研究を進めるにあたり, 福岡市埋蔵文化財センター所長の折尾 學先生と名古屋大学博物館長の足立 守先生から数々のご教示をいただいた。また, 福岡市埋蔵文化財センターの濱石哲也氏と加藤良彦氏には, 玄武岩質碓石の形態観察の便宜をはかっていただくとともに, 産状等の知見を提供していただいた。この研究は平成12年度名古屋大学教育研究改革・改善経費による「名古屋大学博物館所蔵標本の年代測定」の一環として行ったものである。記して感謝する。

文 献

- 青木謙一郎(1958): 志賀島および東松浦半島地域のアルカリ岩の分化。火山, 第2集, 3, 1-16.
- 福岡市教育委員会(1995): 志賀島・玄海島。福岡市埋蔵文化財調査報告書第391集。
- 石原 涉(2000): 中世碓石考。大塚初重先生頌寿記念考古学論集, 884-909.
- 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。九大理研報, 10, 177-221.
- Kuno, H. (1957): Differentiation of Hawaiian magomas. Japan. J. Geol. Geogr., 28, 179-218.
- 倉沢 一・高橋 清(1960): 山陰西部・新生代火山岩類の化学的性質。火山, 第2集, 5, 110-127.
- 倉沢 一・高橋 清(1961): 長崎県・上五島の火山岩類の化学的性質。火山, 第2集, 6, 86-101.
- Le bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B. (1986): A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. Jour. Petrol., 27, 745-750.
- 李文遠(1982): 韓国, 濟州火山島の岩石学 - その1。岩石記載および総科学組成 - 。岩鉱, 77, 203-214.
- 松岡 史(1981): 碓石の研究。松浦党研究, No. 2, 43-64.
- 森下泰成・鈴木和博(1993): 愛知県設楽地域, 三都橋花崗岩の全岩化学組成データ。名古屋大学古川総合研究資料館報告。No. 9。77-90。
- Suzuki, K., Karakida, Y. and Kamada, Y. (2000): Provenance of granite anchor stone recovered from the Takashima submerged site: an approach using the CHIME method for dating of zircons. Proc. Japan Acad., 76, Ser. B, 139-144.
- 渡辺 誠(1997): 蒙古襲来の考古学。名古屋大学古川総合研究資料館報告。No. 13。43-51。
- 柳田純孝(1992): 「蒙古碓石」と呼ばれる碓石。考古学ジャーナル, No. 343, 15-19.
- 山本鋼志・森下泰成(1997): 蛍光X線分析用微量元素標準試料の調製。地質雑, 103, 1037-1045。

図版 1

- (A) 玄武岩製碓石の出土状況(福岡市埋蔵文化財センターNo. 9446-212)。上面の中央部分に明瞭な粹帯が確認される。
- (B) 玄武岩製碓石の斑晶カンラン石(Ol)の顕微鏡写真(単ニコル)。斑晶の周辺部はイディングサイト化のために赤褐色になっている。石基はピロタキシティック組織を示す。
- (C) ラブラドライト組成の斑晶斜長石(Pl)の顕微鏡写真(単ニコル)。斑晶斜長石はマグマの融食により不規則な外形となり, これに接してオーザイト(Px)の微斑晶が生じていることが多い。斑晶斜長石から離れた比較的細粒のオーザイトは石基鉱物とした。
- (D) 斑晶オーザイト(Px)と微斑晶カンラン石(Ol)の顕微鏡写真(単ニコル)。
- (E) 微斑晶斜長石(Pl)と石基カンラン石(Ol)の顕微鏡写真(単ニコル)。石基には他に短冊状の斜長石, 粒状のオーザイト, 黒色不透明のチタン磁鉄鉱・サニディン・アノーソクレースおよび燐灰石が存在する。



付表 志賀島から1994年に発見された玄武岩質碓石(944600209)の造岩鉱物の電子線マイクロプローブ分析値。Ol: カンラン石, Id: イディングサイト, Pl: 斜長石, F: アノソクレスとサニディン, Px: オージャイト, Mt: チタン磁鉄鉱である。また, Pは斑晶, MPは微斑晶, Gは石基を表す。

Mineral	P-Ol	P-Ol	P-Ol	P-Ol	P-Ol	P-Ol	P-Ol	P-Ol	P-Ol	P-Ol	P-Ol
SiO ₂	40.1	39.9	40.0	39.8	39.7	39.4	38.9	39.0	38.9	38.2	38.3
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	14.3	14.2	14.1	15.0	15.3	17.2	18.2	18.3	19.1	20.8	21.4
MnO	0.17	0.19	0.14	0.19	0.16	0.21	0.23	0.22	0.22	0.23	0.27
MgO	45.0	45.1	45.1	44.6	44.2	42.4	42.0	41.7	41.1	40.1	39.2
NiO	0.24	0.30	0.25	0.30	0.27	0.19	0.18	0.20	0.17	0.15	0.11
CaO	0.20	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.20	0.21	0.20	0.18	0.22
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100.01	99.86	99.77	100.08	99.83	99.61	99.71	99.63	99.69	99.66	99.50

Mineral	P-Ol	G-Ol-1	G-Ol-1	G-Ol-1	G-Ol-1	G-Ol-1	G-Ol-1	G-Ol-2	G-Ol-2	G-Ol-2	G-Ol-2
SiO ₂	38.2	38.9	38.6	38.6	38.2	38.3	38.2	38.9	38.8	38.7	38.7
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	23.0	19.9	22.6	22.9	23.0	22.8	23.2	19.6	19.2	19.7	20.1
MnO	0.30	0.21	0.25	0.25	0.27	0.25	0.22	0.25	0.21	0.25	0.25
MgO	37.8	40.5	38.2	38.2	38.1	38.0	37.7	41.0	40.7	40.6	40.2
NiO	0.13	0.18	0.20	0.21	0.21	0.23	0.21	0.19	0.20	0.21	0.16
CaO	0.20	0.18	0.16	0.17	0.17	0.18	0.16	0.20	0.19	0.17	0.17
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	99.63	99.87	100.01	100.03	99.95	99.76	99.69	100.14	99.30	99.63	99.58

Mineral	G-Ol-2	G-Ol-2	G-Ol-2	P-Id	P-Id	P-Id	P-Id	P-Id	P-Id	G-Id	G-Id
SiO ₂	38.6	37.9	37.5	36.0	35.6	35.6	35.5	34.8	34.6	34.9	33.2
TiO ₂	-	-	-	0.08	0.04	0.09	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10
Al ₂ O ₃	-	-	-	0.52	0.74	0.63	0.77	1.29	1.17	1.38	1.40
FeO	19.7	23.7	25.7	25.6	26.9	26.3	26.7	28.2	28.0	29.1	33.5
MnO	0.26	0.36	0.39	0.32	0.33	0.35	0.30	0.37	0.39	0.34	0.42
MgO	40.5	37.3	35.5	34.1	32.8	33.2	32.8	32.1	29.7	27.2	24.3
NiO	0.18	0.11	0.09	0.07	0.07	-	0.06	0.05	0.06	0.05	-
CaO	0.21	0.21	0.24	0.29	0.28	0.28	0.30	0.29	0.33	0.32	0.38
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.07	0.15
Total	99.45	99.68	99.42	96.98	96.76	95.82	96.50	97.10	94.33	93.44	93.45

Mineral	G-Id	G-Id	G-Id	P-Pl-1							
SiO ₂	33.2	32.7	33.1	54.2	54.1	54.0	54.0	53.9	54.1	53.9	53.4
TiO ₂	0.07	0.09	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	1.30	1.34	1.35	28.7	28.8	28.9	28.8	29.0	28.9	29.2	29.4
FeO	33.5	33.5	34.3	0.40	0.42	0.43	0.39	0.41	0.41	0.39	0.43
MnO	0.39	0.45	0.41	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	24.2	23.8	23.1	-	-	-	-	-	-	-	-
NiO	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	0.34	0.36	0.37	11.5	11.5	11.4	11.5	11.5	11.5	11.6	12.1
Na ₂ O	-	-	-	4.72	4.62	4.73	4.72	4.64	4.74	4.73	4.50
K ₂ O	0.13	0.11	0.13	0.32	0.31	0.32	0.33	0.31	0.31	0.31	0.29
Total	93.17	92.35	92.84	99.84	100.06	99.78	99.74	99.86	99.96	100.13	100.12

付表 (続き)

Mineral	P-Pl-2	MP-Pl	MP-Pl	MP-Pl								
SiO ₂	53.4	53.2	53.6	53.6	53.9	53.3	53.3	53.2	53.1	52.6	53.2	
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Al ₂ O ₃	29.2	29.4	29.0	29.0	29.2	29.5	29.5	29.5	29.6	29.9	29.3	
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
FeO	0.41	0.38	0.42	0.42	0.43	0.37	0.41	0.39	0.63	0.61	0.64	
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CaO	11.9	12.1	11.8	11.7	11.7	12.1	12.1	12.0	12.2	12.7	11.8	
Na ₂ O	4.45	4.55	4.57	4.64	4.71	4.32	4.27	4.48	4.40	4.15	4.59	
K ₂ O	0.29	0.32	0.31	0.31	0.34	0.28	0.30	0.30	0.30	0.31	0.35	
Total	99.65	99.93	99.70	99.67	100.28	99.27	99.87	99.87	100.23	100.27	99.88	
Mineral	MP-Pl	MP-Pl	G-Pl									
SiO ₂	52.8	53.1	53.0	52.9	52.7	52.2	52.1	52.7	53.2	53.5	52.2	
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Al ₂ O ₃	29.5	29.3	29.4	29.5	29.4	29.8	30.0	29.5	29.3	28.9	29.8	
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
FeO	0.63	0.64	0.67	0.68	0.64	0.62	0.59	0.61	0.60	0.66	0.64	
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CaO	12.4	12.1	12.1	12.3	12.4	12.8	12.8	12.4	12.0	11.9	12.9	
Na ₂ O	4.19	4.32	4.43	4.23	4.15	3.90	4.00	4.31	4.50	4.54	3.99	
K ₂ O	0.31	0.29	0.29	0.30	0.30	0.27	0.27	0.27	0.33	0.31	0.30	
Total	99.83	99.75	99.89	99.91	99.50	99.59	99.76	99.79	99.93	99.81	99.83	
Mineral	G-Pl	G-Pl	G-Pl									
SiO ₂	52.5	52.6	52.5	53.0	53.5	54.1	54.2	54.7	54.6	54.9	54.9	
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Al ₂ O ₃	29.4	29.4	29.7	29.4	29.2	28.7	28.6	28.1	28.3	28.0	27.4	
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
FeO	0.64	0.64	0.71	0.80	0.65	0.67	0.71	0.82	0.79	0.72	0.90	
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CaO	12.6	12.5	12.5	12.4	12.2	11.5	11.4	11.1	11.1	10.6	10.0	
Na ₂ O	3.83	4.2	3.93	4.26	3.93	4.60	4.79	4.72	4.61	5.02	5.26	
K ₂ O	0.33	0.33	0.35	0.37	0.28	0.40	0.52	0.42	0.46	0.58	0.55	
Total	99.30	99.67	99.69	100.23	99.76	99.97	100.22	99.86	99.86	99.82	99.01	
Mineral	G-Pl	M-F	M-F	M-F								
SiO ₂	55.6	55.5	56.1	56.2	57.7	58.6	59.4	59.8	61.2	62.1	63.9	
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	0.22	0.19	0.24	0.26	
Al ₂ O ₃	27.3	26.9	26.9	26.7	26.0	25.2	24.8	24.9	23.8	22.3	21.1	
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
FeO	0.76	0.76	0.87	0.74	0.80	0.67	0.51	0.75	0.49	0.51	0.50	
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CaO	10.1	9.72	9.71	9.00	8.18	7.20	6.60	6.89	5.21	4.32	2.64	
Na ₂ O	5.41	5.59	5.37	6.06	6.16	5.56	6.98	7.10	6.94	7.06	6.56	
K ₂ O	0.63	0.81	0.82	0.83	1.18	1.72	1.10	1.29	1.79	3.18	5.05	
Total	99.80	99.28	99.77	99.53	100.02	99.50	99.39	100.73	99.43	99.47	99.75	

付表 (続き)

Mineral	M-F	P-Px	P-Px	P-Px	P-Px						
SiO ₂	64.5	65.0	65.5	65.3	65.1	65.0	65.5	50.6	50.4	49.5	48.7
TiO ₂	0.29	0.29	0.27	0.30	0.35	0.32	0.31	1.04	1.05	1.49	1.59
Al ₂ O ₃	20.0	20.1	19.7	19.6	19.4	19.2	19.1	5.41	5.33	6.68	6.68
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	0.21	0.16	0.14	0.10
FeO	0.83	0.55	0.48	0.51	0.53	0.37	0.57	7.39	7.12	8.03	8.69
MnO	-	-	-	-	-	-	-	0.13	0.14	0.17	0.16
MgO	-	-	-	-	-	-	-	15.4	15.5	14.5	14.0
CaO	1.65	1.21	0.91	0.61	0.47	0.44	0.55	19.2	19.4	19.0	18.7
Na ₂ O	6.84	6.52	6.41	5.61	5.17	5.66	6.11	0.51	0.51	0.57	0.61
K ₂ O	5.76	5.98	6.81	7.61	8.17	7.96	7.39	-	-	-	-
Total	99.58	99.30	99.81	99.44	98.84	98.93	99.22	99.89	99.61	100.08	99.23

Mineral	MP-Px										
SiO ₂	44.4	44.7	45.7	47.8	45.7	50.0	49.9	45.5	50.2	50.1	50.8
TiO ₂	4.01	3.71	3.39	2.51	3.11	1.54	1.87	3.01	1.80	1.83	1.74
Al ₂ O ₃	8.36	7.51	6.85	4.52	6.68	2.55	3.37	6.63	2.94	3.27	2.64
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	9.83	9.03	9.06	9.64	8.95	9.14	8.75	8.91	9.36	8.91	10.2
MnO	0.22	0.14	0.15	0.15	0.13	0.18	0.17	0.14	0.20	0.19	0.24
MgO	12.2	11.9	11.9	13.2	12.2	14.4	13.8	12.4	13.6	13.8	14.7
CaO	20.4	21.2	21.4	20.4	21.5	20.6	21.1	21.4	20.7	20.7	19.5
Na ₂ O	0.39	0.51	0.55	0.42	0.46	0.43	0.45	0.53	0.40	0.44	0.36
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	0.02	-
Total	99.81	98.70	99.00	98.64	98.73	98.84	99.43	98.52	99.20	99.26	100.18

Mineral	MP-Px	MP-Px	MP-Px	G-Px	G-Px	G-Px	G-Px	G-Px	G-Px	G-Px	G-Px
SiO ₂	44.6	44.5	50.0	50.5	50.7	48.1	47.4	49.4	48.8	50.3	50.0
TiO ₂	3.93	3.95	1.96	1.89	1.19	2.69	2.99	2.19	2.19	1.54	1.65
Al ₂ O ₃	8.13	8.31	3.39	2.54	2.96	4.30	5.01	3.27	3.58	1.86	1.87
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	9.67	9.45	8.87	10.7	10.6	9.30	9.90	9.09	9.16	11.1	11.2
MnO	0.20	0.15	0.18	0.23	0.15	0.18	0.19	0.20	0.19	0.27	0.31
MgO	11.7	11.4	13.8	13.6	13.1	13.2	12.5	13.7	13.6	14.7	14.7
CaO	20.8	21.2	21.0	19.7	21.0	21.1	20.6	20.9	20.9	19.9	19.8
Na ₂ O	0.47	0.52	0.44	0.77	0.45	0.49	0.45	0.46	0.44	0.38	0.38
K ₂ O	-	-	0.01	0.08	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.04	0.05
Total	99.50	99.48	99.65	100.01	100.17	99.40	99.06	99.43	98.90	100.09	99.96

Mineral	G-Px	G-Px	G-Px	G-Mt	G-Mt	G-Mt	G-Mt	G-Mt	G-Mt
SiO ₂	51.4	51.6	50.1	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	1.43	1.39	2.16	21.6	20.8	20.7	22.6	22.7	23.1
Al ₂ O ₃	2.41	2.22	3.44	2.10	3.86	2.47	2.03	2.04	1.87
Cr ₂ O ₃	-	-	-	0.99	1.16	0.88	0.94	0.90	0.88
FeO	9.01	9.07	9.49	67.0	67.8	66.1	64.2	63.9	64.3
MnO	0.23	0.22	0.16	0.37	0.57	0.37	0.40	0.46	0.47
MgO	14.4	14.4	13.3	2.30	2.82	2.30	2.29	2.51	2.17
CaO	20.6	20.5	20.9	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O	0.36	0.38	0.43	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	0.03	0.02	0.02	-	-	-	-	-	-
Total	99.87	99.80	100.00	94.36	97.01	92.82	92.46	92.51	92.79