

## 超丹波帯国崎コンプレックスの苦鉄質岩類の化学的特徴

菅森 義晃<sup>1)2)3)\*</sup>・小泉 奈緒子<sup>3)</sup>

### Geochemical characteristics of mafic rocks in the Kunisaki Complex of the Ultra Tamba Terrane, Hyogo Prefecture, Southwest Japan

Yoshiaki SUGAMORI<sup>1)2)3)\*</sup> and Naoko KOIZUMI<sup>3)</sup>

#### Abstract

The Kunisaki Complex of the Ultra-Tamba Terrane in the Kawanishi-Inagawa area, southeastern part of Hyogo Prefecture, Southwest Japan, has been interpreted as a Late Permian subduction-related accretionary complex, containing some mafic rocks. The present study provides chemical characteristics of the basalt and dolerite in the Kunisaki complex. Although basalt and dolerite in the complex are more or less metamorphosed, the trace element spiderdiagrams and Zr/Nb ratio of them are similar to those in the E-MORB. These similarities suggest that mafic rocks of the complex were the origin of the mid-ocean ridge, in particular the mid-ocean ridge accompanying the hotspot like Iceland in Atlantic Ocean.

#### 要 旨

兵庫県南東部、川西～猪名川地域には、苦鉄質岩類を含むペルム紀新世の付加複合体と解釈される超丹波帯国崎コンプレックスが分布している。国崎コンプレックス中の玄武岩およびドレライトの化学分析を行った。いくつかの地球化学的判別図において、それらの化学組成データはいずれもMORB（中央海嶺玄武岩）の領域にプロットされる。一方、スパイダー図やZr/Nb値はE-MORBのものに類似している。以上のことから、国崎コンプレックスの苦鉄質岩類は中央海嶺起源であり、特にアイスランドのような中央海嶺とホットスポットが重複する場で形成された可能性が指摘される。

**キーワード：**玄武岩，ドレライト，MORB，緑色岩，ペルム紀，川西－猪名川地域

#### はじめに

西南日本内帯の超丹波帯はCaridroit et al. (1985)によって設定されたペルム紀の碎屑岩を主体とする地帯であり、後に、Ishiga (1986, 1990)によって氷上層や上

月層も超丹波帯構成層とみなされた。超丹波帯は中国地方東南部から近畿地方、北陸地方、さらには極東ロシアにまで分布しており (Kojima et al., 2000)、ペルム紀の東アジア東縁の地質学的情報を保持していると期待される。岡山県東部～兵庫県西部の上月－美作地域に分布

1) 大阪市立自然史博物館 (Osaka Museum of Natural History, Nagai Park 1-23, Higashi-sumiyoshi-ku, Osaka 546-0034, Japan)

2) 本部半島ジオパーク推進協議会 (Motobu Peninsula Geopark Council, c/o Motobu Town Museum, Ohama 874-1, Motobu-cho, Kunigami-gun, Okinawa 905-0212, Japan)

3) 大阪市立大学大学院理学研究科地球学教室 Department of Geosciences, Graduate School of Science, Osaka City University, Osaka 558-8585, Japan. \* 応答著者

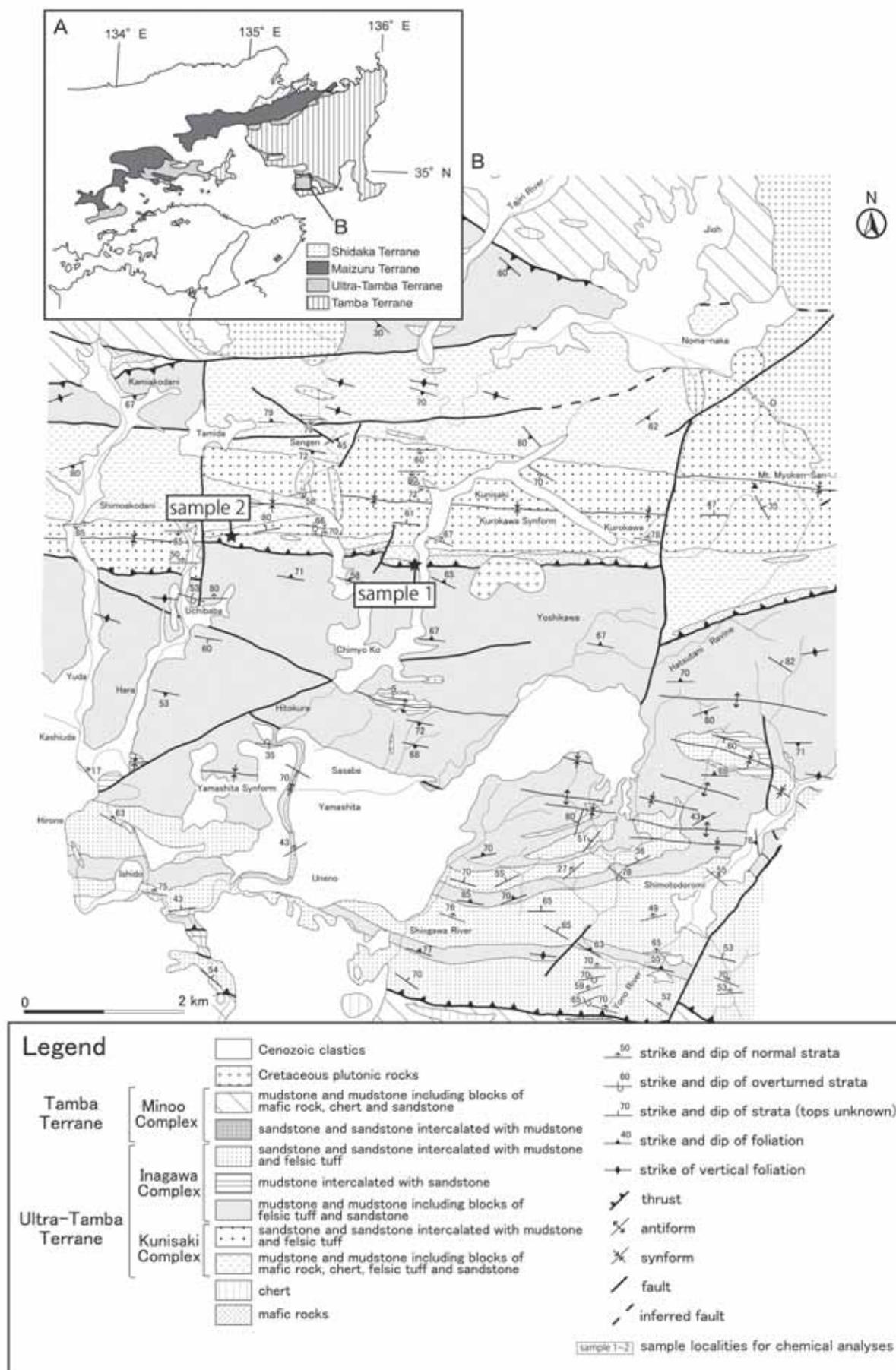


Fig. 1 (A): Tectonic units in the Inner Zone of Southwest Japan around the Kinki district (modified after Sugamori, 2009). (B): Geological map of the Kawanishi-Inagawa area, southeastern part of Hyogo Prefecture, and indicating sampling localities for chemical analyses (modified after Sugamori, 2009).

する上月層（猪木・弘原海，1980）は超丹波帯の見かけ最上部を構成するとされている（Ishiga, 1990）．兵庫県南東部，川西－猪名川地域の国崎コンプレックスは，この上月層に対比される（菅森，2009）．超丹波帯の見かけ最上部を構成する上月層や国崎コンプレックスには，他の超丹波帯を構成する地質体に比べて苦鉄質岩がよく含まれている．したがって，これらの地質体に含まれる苦鉄質岩の起源を推定することは超丹波帯の形成過程を解明する上で重要である．

菅森ほか（2012）は国崎コンプレックスに含まれる苦鉄質岩の分析値（2試料）を地球化学的判別図にプロットしている．しかし，菅森ほか（2012）が報告した苦鉄質岩の化学組成の詳細な分析値については示されていない．そこで，筆者らは兵庫県南東部の川西－猪名川地域に分布する超丹波帯国崎コンプレックスに含まれる苦鉄質岩類の化学組成を検討した結果をここに示す．そして，苦鉄質岩類の形成場を推定するために，変質によって動きやすいと考えられる元素ではなく，変質で動きにくいと考えられている元素を用いて，現在までに提案されているいくつかの地球化学的判別図に組成をプロットし，これら苦鉄質岩類の起源について若干の考察を加える．

### 地質概説

菅森（2009）をもとにして，川西～猪名川地域の超丹

波帯の地質（Fig. 1）を要約する．本地域の超丹波帯は断層を介して丹波帯の構造的上位に位置している．超丹波帯は構造的上位の国崎コンプレックスと構造的下位の猪名川コンプレックスからなり，両者は断層で境される．国崎コンプレックスは碎屑岩からなる整然相～破断相および苦鉄質岩類やチャート．砂岩の岩塊を含む混在相を呈する．散在する珪長質凝灰岩からペルム紀新世最前期，泥岩から新世前期を示す放射虫化石が産出する．猪名川コンプレックスは碎屑岩を主体とする破断相～整然相であり，珪長質凝灰岩を頻繁に含む．珪長質凝灰岩からはペルム紀中世後期および新世中期，泥岩からペルム紀新世中期を示す放射虫化石が産出する．

これらのコンプレックスは付加複合体と解釈されている（菅森，2009）．

超丹波帯を構成するこれらの地質体は複向斜状構造を形成しており，研究地域南部に山下シンフォーム，アンチフォームを挟んで北部に黒川シンフォームが認められる．また，これらの地質体は南北方向，北東～南西，東北東～西南西～東西方向および西北西～東南東方向の断層によって切られている．さらに，南北方向に地質図では表現できない規模の流紋岩質および安山岩質の岩脈に貫入されている．なお，研究地域の先白亜紀地質体は白亜紀深成岩類などにより部分的に接触変成作用を受け，ホルンフェルスとなっており，特に研究地域北部および東部で顕著である．

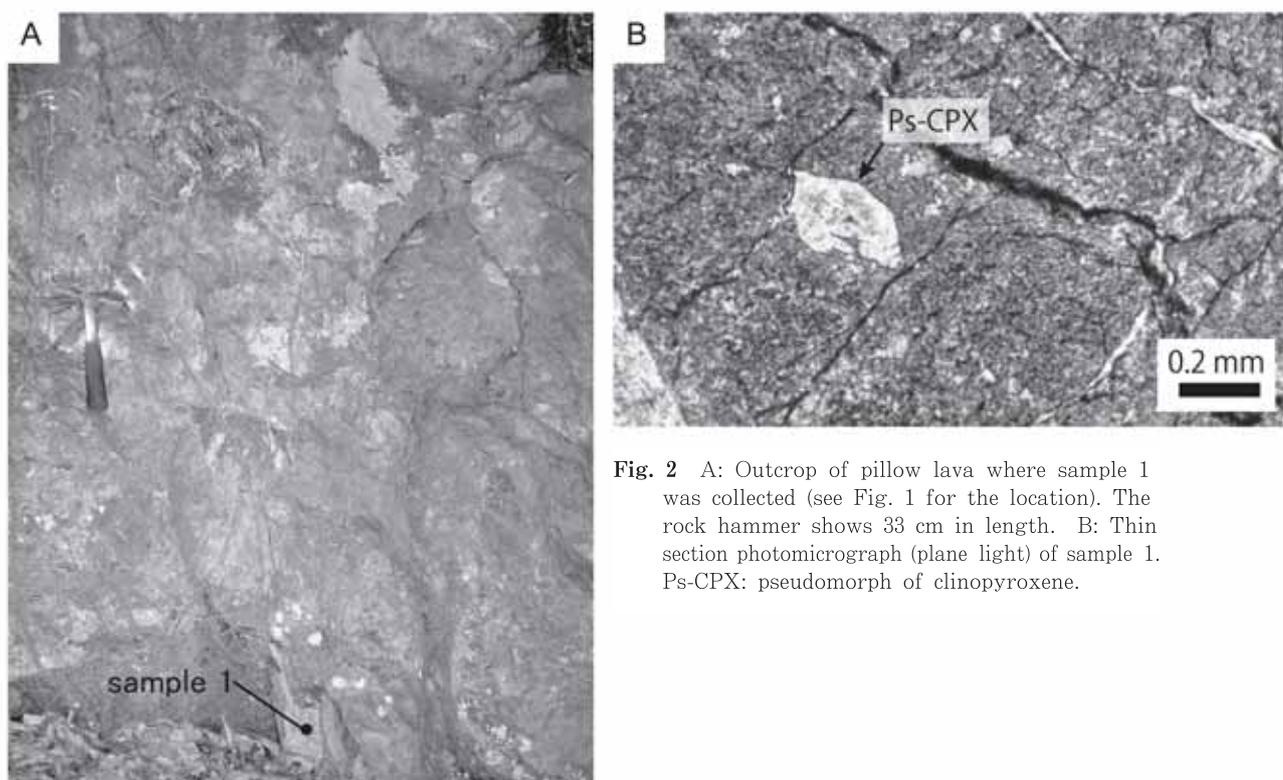


Fig. 2 A: Outcrop of pillow lava where sample 1 was collected (see Fig. 1 for the location). The rock hammer shows 33 cm in length. B: Thin section photomicrograph (plane light) of sample 1. Ps-CPX: pseudomorph of clinopyroxene.

## 分析試料

今回分析に用いた試料は、国崎コンプレックスの見かけ下部を構成する苦鉄質岩である (Fig. 1)。Fig. 1 に試料採取地点を示す。

試料1は枕状構造を示す玄武岩溶岩から採取した (Fig. 2 A)。この岩体は側方に約3 km追跡が可能である。さらに東方にも同層準と考えられる岩体が分布し (Fig. 1)、一連の岩体には斑レイ岩が含まれることがある (菅森, 2009)。黒川南方では再結晶したチャートが分布しているが、苦鉄質岩岩体との関係は露頭欠如のため不明である。試料1は変質がよく進んでいるが、自形を示す長径約0.2 mmほどの単斜輝石と思われる仮像をごくまれに含む (Fig. 2 B)。石基は主に微小な針状斜長石、不透明鉱物および脱ハリしたガラスからなる。2次鉱物として緑レン石が形成されており、緑色片岩相程度の変成作用を受けていると考えられる。0.2 mm~1 mmの大きさの気泡痕をしばしば含み、緑レン石などで充填されている。本岩石には緑レン石、緑泥石および燐灰石からなる脈、および石英脈が含まれている。

試料2を含む露頭では苦鉄質岩およびチャートを含んでいる。チャートと苦鉄質岩類は、これらの岩石片を含む弱い剪断帯によって境されている (Fig. 3 A)。苦鉄

質岩は玄武岩およびドレライトからなる。分析に用いた試料は比較的新鮮なドレライトであり、鏡下では主に0.5 mm~1 mmの大きさの単斜輝石、斜長石の他に不透明鉱物からなり、オフィティック~サブオフィティック組織を示す (Figs. 3 B and 3 C)。2次鉱物として緑泥石、緑レン石およびアクチノ閃石を含んでおり、緑色片岩相程度の変成作用を受けていると考えられる。変質が進んでいる部分では、単斜輝石が緑泥石に変質している。石英脈を含み、緑泥石が石英脈周辺に生成している。

## 化学組成

全岩化学組成の測定には、大阪市立大学理学部設置の蛍光X線分析装置 (理学電機工業製RIX2100) を用いた。分析手法は隅田ほか (2011) に従った。分析した岩石試料については風化による変質や脈の少ない部分を選定した。

主要元素 ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ )、微量元素 (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, W, Pb, Th) およびREE (La, Ce, Nd) についての結果を得た。結果をTable.1に示す。試料1は、Znに非常に富んでおり、FeやPbにも富む。また、試料1の主要元素の測定値のトー

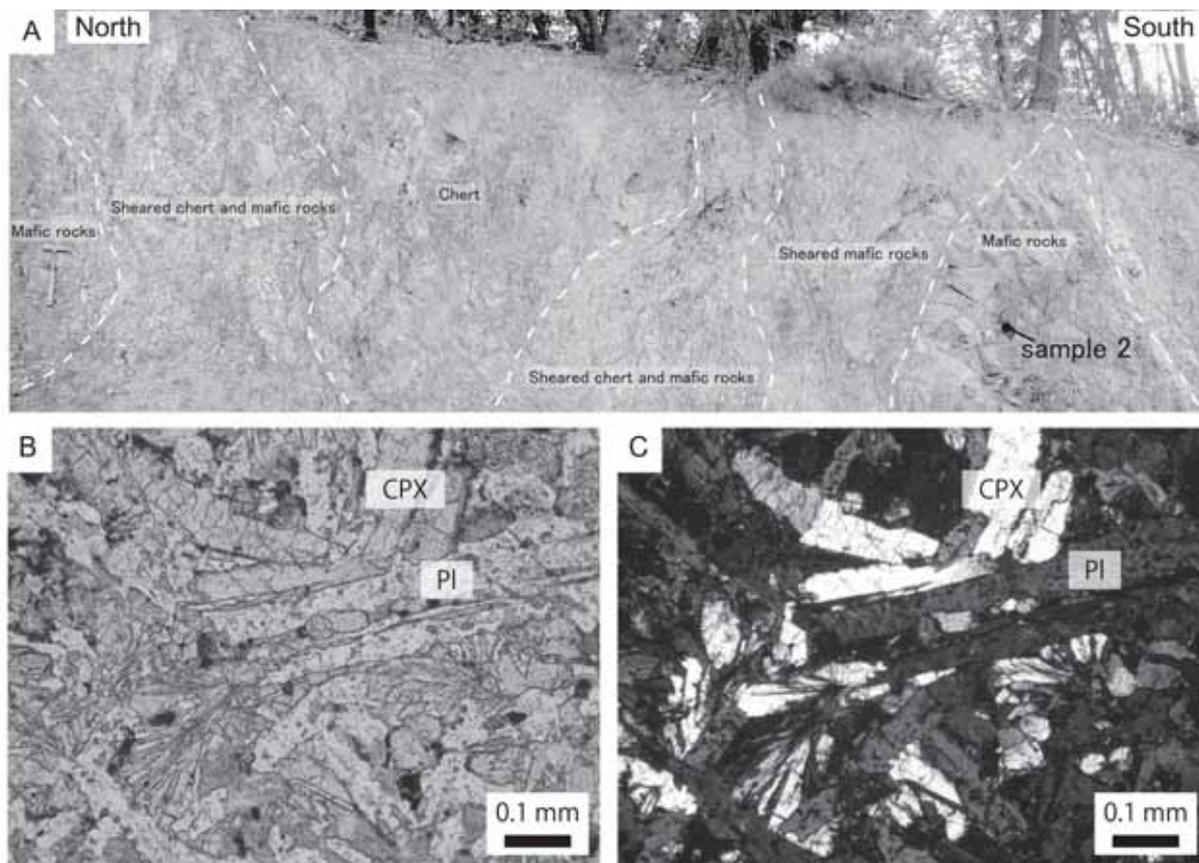


Fig. 3 A: Contact relationship between chert and mafic rocks where sample 2 was collected (see Fig. 1 for the location). The rock hammer shows 33 cm in length. B, C: Thin section photomicrograph of sample 2. B: plane light, B: crossed polar light. Pl: plagioclase. CPX: clinopyroxene.

タルは、測定誤差を考慮しても100 wt.%に届かない(97.1 wt.%)が、これは測定元素以外の元素(例えば、炭素)を多く含んでいるためであると考えられる。一方、試料2もRbやBaにやや富んでいる。

sample no.	sample 1	sample 2
sample type	basalt	dolerite
major (wt%)		
SiO <sub>2</sub>	45.26	47.84
TiO <sub>2</sub>	1.51	1.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.09	14.87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.71	12.23
MnO	0.65	0.16
MgO	6.11	4.61
CaO	3.44	11.26
Na <sub>2</sub> O	0.25	3.07
K <sub>2</sub> O	0.03	0.18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13	0.08
LOI	4.97	4.35
TOTAL	97.15	99.67
trace (ppm)		
V	355	304
Cr	156	467
Co	38.5	41.1
Ni	96.0	119
Cu	29.7	84.6
Zn	2077	203
Rb	3.7	10.4
Sr	127	68.1
Y	33.5	28.7
Zr	98.2	63.4
Nb	7.4	6.3
Ba	44.8	62.7
La	4.9	4.1
Ce	14.6	7.8
Nd	12.1	8.7
W	1.0	<i>lld</i>
Pb	59.9	<i>lld</i>
Th	<i>lld</i>	<i>lld</i>

Table 1 Major and trace element compositions of basalt and dolerite from the Kunisaki Complex. Total Fe expressed as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. LOI: loss of ignition. *lld*: lower limit of detection.

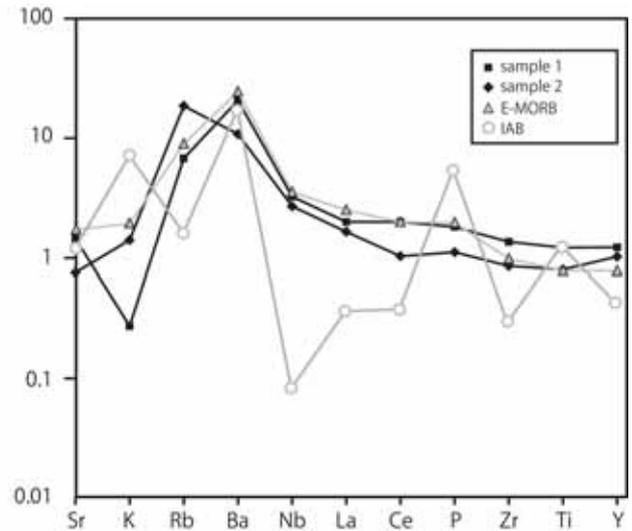


Fig. 4 N-MORB (N-type mid-ocean ridge basalt) according to Pearce and Parkinson (1993) normalized trace element spiderdiagrams for basalt (sample 1) and dolerite (sample 2) of the Kunisaki Complex. Composition of E-MORB (E-type mid-ocean ridge basalt) (Sun and McDonough, 1989) and IAB (island-arc basalt) (Gust et al., 1997) are also plotted for comparison.

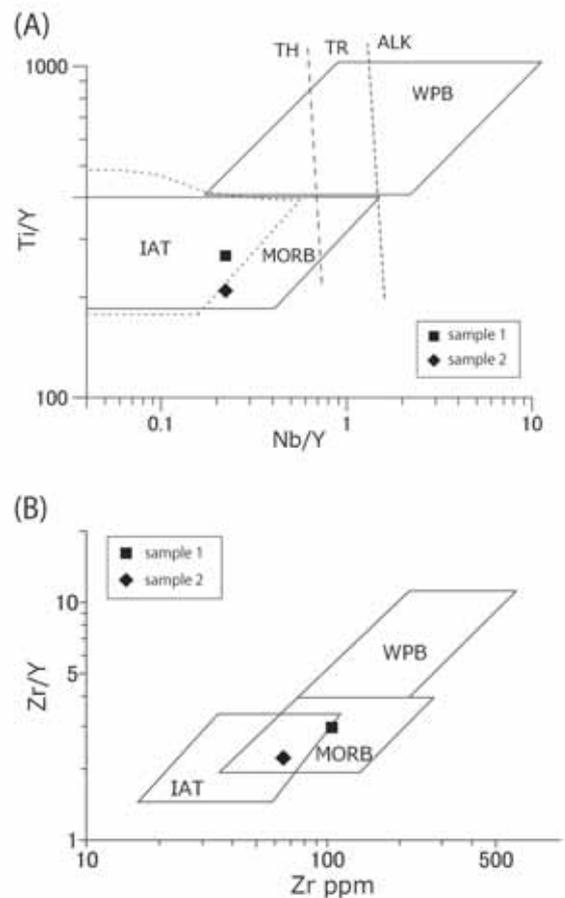
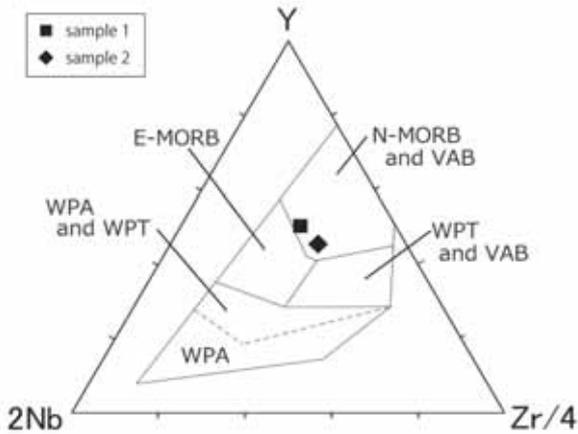


Fig. 5 Trace element composition of basalt and dolerite from the Kunisaki Complex on the Ti/Y-Nb/Y discrimination diagram of Pearce (1982) (A) and Zr/Y-Zr ppm discrimination diagram of Pearce and Norry (1979) (B). WPB: within plate basalt, IAT: island-arc tholeiite, MORB: mid-ocean ridge basalt, TH: Tholeiite, ALK: Alkaline.

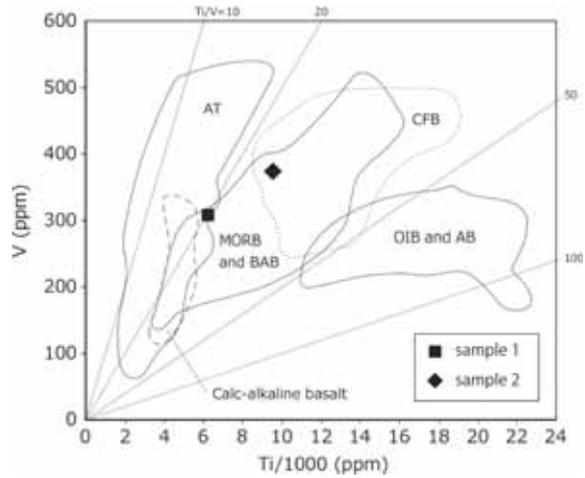


**Fig. 6** Fig. 6. Trace element composition of basalt and dolerite from the Kunisaki Complex on the Y-Zr-Nb discrimination diagram of Meschede (1986). N-MORB: N-type mid-ocean ridge basalt, E-MORB: E-type mid-ocean ridge basalt, VAB: volcanic arc basalt, WPT: within plate tholeiite, WPA: within plate alkali basalt.

N-MORB (Pearce and Parkinson, 1993) 規格のスパイダー図をFig. 4 に示す。Fig. 4 には参考のために E-MORB (Sun and McDonough, 1989) および IAB (Gust et al., 1997) を示してある。スパイダー図上で、変質によって移動しやすい Rb, Ba, K, Sr などの元素や 燐灰石脈を含むことから、母岩の値よりも高い可能性がある P を除けば、試料 1 は Y から Nb にかけて緩く右に傾斜するパターンを示し、島弧の火成岩に特徴的な Nb の顕著な負の異常は認められない。このようなパターンは E-MORB のそれに近い。試料 2 も試料 1 と同様 E-MORB に近いパターンを示している。また、Zr/Nb 値は両試料とも 15 以下であり、E-MORB の特徴 (周藤・牛来, 1997) と一致している。E-MORB はアイスランドのような中央海嶺とホットスポットが重複するような場所に現れる (Sun and McDonough, 1989)。

Ti や Nb, Y, Zr などの HFS 元素は、アルカリ元素を含む LIL 元素に比べて、マグマの分化作用や変質による元素の移動が少なく、その量比の変化が小さいとされる (Pearce and Cann, 1973 など)。よって、これらの HFS 元素比は、火成岩の起源であるマグマの初生的な特徴を保持していると考えられ、その造構場解析にたびたび用いられてきた。本報告においても、現在までに提案されている様々な地球化学的判別図に組成データをプロットした (Figs. 5, 6 and 7)。

Jones et al. (1993) によると、Ti, Nb, Y は変成作用でも移動しにくいいため、これらの元素はアルカリ玄武岩 (ALK) とソレライト玄武岩 (TH) を区別するのにも有効であるとされる。Ti/Y-Nb/Y 判別図 (Pearce, 1982) にプロットすると (Fig. 5A), 試料 1 は MORB お



**Fig. 7** Fig. 7. Trace element composition of basalt and dolerite from the Kunisaki Complex on Ti-V discrimination diagram of Shervais (1982). AT: arc tholeiite, CFB: continental flood basalt, OIB: ocean island basalt, AB: alkali basalt, MORB: mid-ocean ridge basalt, BAB: back-arc basalt.

よび島弧ソレライトの領域に、試料 2 は、MORB の領域に含まれる。この判別図に基づけば、両試料はともにソレライト玄武岩に分類される。次に Zr/Y-Zr 判別図 (Pearce and Norry, 1979) では、試料 1 は MORB に、試料 2 は MORB および島弧ソレライト (IAT) の領域にプロットされる (Fig. 5B)。Y-Zr-Nb 判別図 (Meschede, 1986) においては、試料 1 および試料 2 とともに N-MORB+火山弧玄武岩 (VAB) の領域にプロットされる (Fig. 6)。ただし、両試料とも E-MORB の領域に近い場所にプロットされる。Ti-V 判別図 (Shervais, 1982) では、試料 1 は MORB+背弧盆玄武岩 (BAB) および島弧ソレライト (AT) の領域に、試料 2 は MORB+背弧盆玄武岩および大陸洪水玄武岩 (CFB) の領域に含まれる (Fig. 7)。

以上の結果をまとめると、以下ようになる。

①スパイダー図における今回分析した国崎コンプレックスに含まれる玄武岩およびドレライトのパターンや Zr/Nb 値は E-MORB に類似する。

②地球化学的判別図では、国崎コンプレックスに含まれる玄武岩およびドレライトは、いずれも MORB+島弧ソレライト・火山弧玄武岩の領域に含まれる。

これらの結果を総合すると、国崎コンプレックスに含まれる玄武岩およびドレライトは中央海嶺起源であると考えられる。また、スパイダー図や Zr/Nb 値において国崎コンプレックスの苦鉄質岩類が E-MORB のものに類似しているため、これらは中央海嶺とホットスポットが重複するような場で形成された可能性が考えられる。しかし、今回は 2 試料のみの分析だったため、今後、分析試料数を増やすことで、超丹波帯の苦鉄質岩類の起源

に迫れるものと考えられる。

## 謝 辞

明治大学の隅田祥光博士ならびに大阪市立大学の奥平敬元准教授には粗稿をみていただいた。大阪市立大学大学院の栗谷 豪准教授には分析結果などについてコメントいただいた。2名の匿名査読者の方々からは有益なコメントを頂戴し、本稿が改善された。以上の方々には深く感謝する次第である。

## 文 献

- Caridroit, M., Ichikawa, K. and Charvet, J. (1985) The Ultra-Tamba zone, a new unit in the Inner zone of Southwest Japan - its importance in the nappe structure after the example of Maizuru area-. *Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*, **39**(3), 210-219.
- Gust D.A., Arculus R.J., and Kersting A.B. (1997) Aspects of magma sources and processes in the Honshu arc. *Can. Min.* **35**(2), 347-365.
- 猪木幸男・弘原海 清 (1980) 上郡地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 70 p.
- Ishiga, H. (1986) Ultra-Tamba Zone of Southwest Japan. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, **29**, 45-88.
- Ishiga, H. (1990) Ultra-Tamba terrane. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I., Hada, S. and Yao, A., eds., *Pre-Cretaceous terranes of Japan, Publication of IGCP Project No. 224: Pre-Jurassic Evolution of East Asia*, 97-107.
- Jones, G., Sano, H. and Valsami-Jones, E. (1993) Nature and tectonic setting of accreted basalts from the Mino terrane, central Japan. *Jour. Geol. Soc. London*, **150**(6), 1167-1181.
- Kojima, S., Kemkin, I. V., Kametaka, M. and Ando, A. (2000) A correlation of accretionary complexes of southern Sikhote-Alin of Russia and the Inner Zone of Southwest Japan. *Geosci. Jour.*, **4**(3), 175-185.
- Meschede, M. (1986) A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, **56**(3-4), 207-208.
- Pearce, J. A. (1982) Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In Thorpe, R.S. (ed.) *Orogenic andesites and related rocks*. Chichester, England, John Wiley and Sons, 525-548.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R. (1973) Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **19**(2), 290-300.
- Pearce, J.A., and Norry, M.J. (1979) Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral Petrol.*, **69**(1), 33-47.
- Pearce, J.A. and Parkinson, I.J. (1993) Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. Magmatic processes and plate tectonics, *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, **76**, 373-403.
- Shervais, J.W. (1982) Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **59**(1), 101-118.
- 周藤賢治・牛来正夫 (1997) 地殻・マンツルの構成物質. 東京, 共立出版株式会社, 350 p.
- 隅田祥光・小泉奈緒子・奥平敬元 (2011) 蛍光X線分析装置を用いた火成岩・堆積岩・堆積物・土壌中の主要・微量・希土類元素の定量分析. *MAGMA*, **93**, 19-31.
- 菅森義晃 (2009) 兵庫県南東部, 川西-猪名川地域の超丹波帯. *地質雑*, **115**(2), 80-95.
- 菅森義晃・小泉奈緒子・竹村静夫, 2012, 兵庫県南東部, 川西-猪名川地域の超丹波帯と丹波帯. *地質学雑誌*, **118** (補遺), 21-36.
- Sun, S.-S. & McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of ocean basalts: Implications for mantle composition and processes. In Saunders, A.D. and Norry, M.J., eds., *Magmatism in the Ocean Basins*, *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, **42**, 313-345.

(2012年7月31日受付)  
(2012年10月19日受理)