

## 西南日本山陰帯と韓国慶尚盆地の花崗岩類における白亜紀最末期の Sr–Nd 同位体組成変化とその意義

Marked change of Sr–Nd isotopic compositions of granitoids in Sanin Belt of SW Japan and Gyeongsang Basin of Korea during the latest Cretaceous, and geologic significance

### Abstract

西田和浩\* 今岡照喜\*\* 君波和雄\*\*  
長松 雄\*\*\* 飯泉 滋\*\*\*\*

*Kazuhiko Nishida\**, *Teruyoshi Imaoka\*\**,  
*Kazuo Kiminami\*\**, *Yu Nagamatsu\*\*\** and  
*Shigeru Iizumi\*\*\*\**

2011年12月22日受付。  
2012年8月28日受理。

\* 福岡県警察筑紫野警察署  
Fukuoka Prefectural Police Department,  
Criminal Affairs Division, Fukuoka 818-  
0041, Japan

\*\* 山口大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Science and Engineering,  
Yamaguchi University, Yamaguchi 753-8512,  
Japan

\*\*\* 株式会社プロビズモ  
Probizmo Co. Ltd., Shiba 3-3-10, Minato-ku,  
Tokyo 105-0014, Japan

\*\*\*\* 島根大学総合理工学部  
Department of Geoscience, Shimane Univer-  
sity, Matsue 690-8504, Japan

Corresponding author: T. Imaoka,  
imaoka@yamaguchi-u.ac.jp

Temporal variations in the whole-rock chemistry and Sr–Nd isotope ratios of Cretaceous–Paleogene granitoids forming composite batholiths in the central Sanin district of SW Japan are examined and compared with correlated granitoids in the Gyeongsang Basin of Korea. The granitoids show marked temporal variations in whole-rock chemistry, particularly of some large-ion lithophile and high field-strength element concentrations and Sr–Nd isotope ratios. The Older Inbi intrusive rocks (78–68 Ma) are characterized by having higher K<sub>2</sub>O, Rb, Y, Zr, and F contents, higher K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratios, lower MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and Sr contents, and lower K/Rb and Ti/Zr ratios than the Younger Inbi intrusive rocks (68–53 Ma) and Tamagawa intrusive rocks (44–30 Ma). Initial <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr ratios (SrI) and εNd(T) values of the Older Inbi intrusive rocks are 0.7052–0.7055 and –1.5 to –0.1, respectively, and those of the Younger Inbi and Tamagawa intrusive rocks are 0.7037–0.7053 and +0.4 to +6.1, respectively. Comparable changes in Sr–Nd isotope ratios at ca. 68 Ma are also observed in the granitoid suite of the Gyeongsang Basin, Korea. It is hypothesized that the granites were derived from partial melting of the lower crust, and that the temporal changes in the isotopic ratios of the lower crust were imparted during the latest Cretaceous. These changes can be explained by the injection of depleted, mantle-derived mafic magmas from the asthenosphere into the lower crust beneath the Sanin Belt of SW Japan and Gyeongsang Basin of Korea at that time.

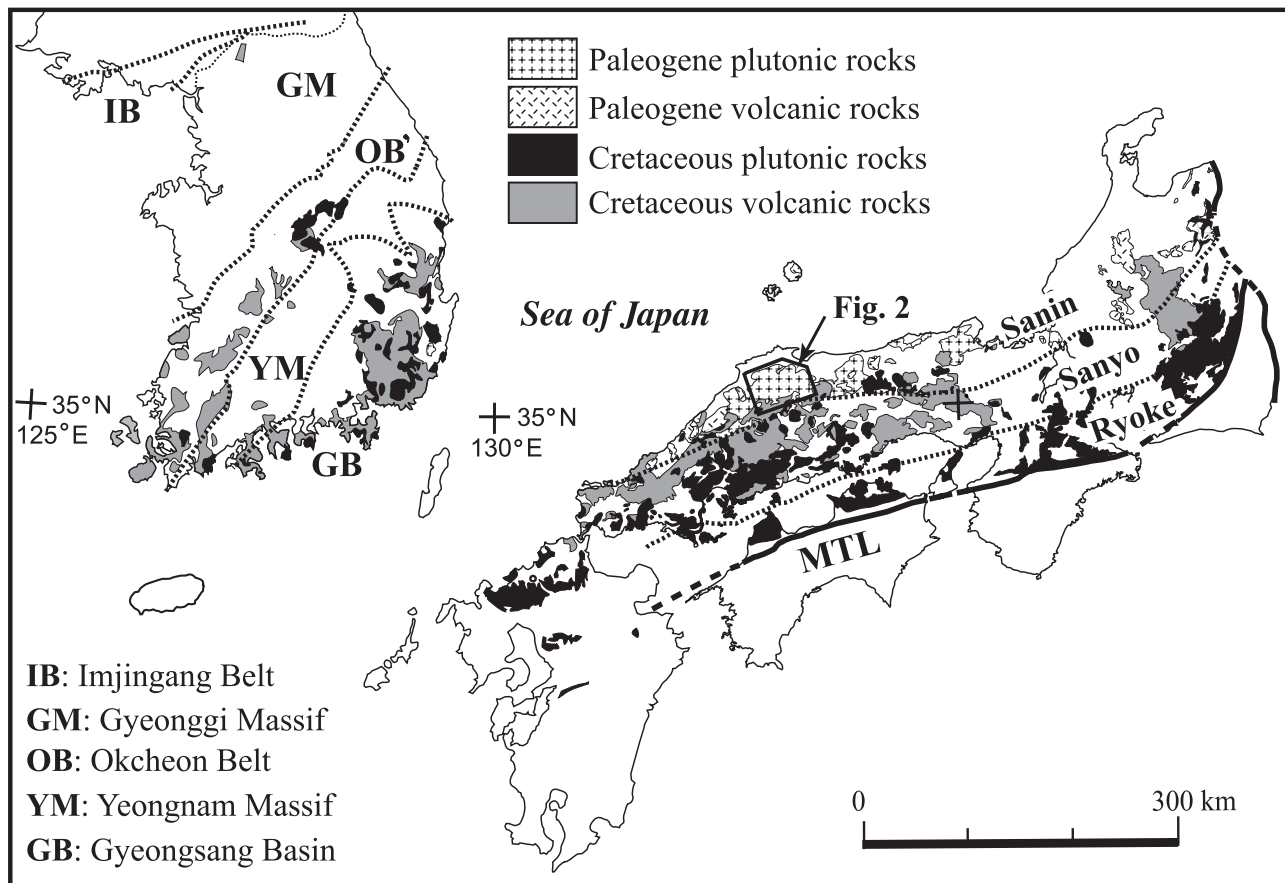
Keywords: Cretaceous–Paleogene granitoid, geochemistry, Sr–Nd isotopes, Sanin Belt, SW Japan, Gyeongsang Basin

### はじめに

アジア大陸東縁に位置する韓半島から日本列島にかけての地域は、白亜紀–新第三紀に典型的な弧–海溝系をなしていた (Taira, 2001)。この時期に西南日本外帯では四万十帯における付加体の形成が、内帯では活発な珪長質火山活動と大規模なバソリスの貫入・定置が行われた。西南日本の花崗岩類は、その産状、岩相、岩石や鉱物の化学組成、放射年代、帯磁率および関連鉱床等の特徴により、中央構造線から北に向かって領家帯・山陽帯・山陰帯の3帯に区分されている (Fig. 1; Ishihara, 1971, 1977; Murakami, 1974; 飯泉ほか, 1985)。このように花崗岩類の諸特性が明らかにされる中で、Sr–Nd 同位体の研究も進められ、その時空変遷も明らかにされてきた。Kagami et al. (1992)、加々美ほか (1999a)、大和田ほか (1999)、Iizumi et al. (2000) および加々美 (2005) は中国・九州地方を始め日本列島の Sr 同位体初生値に基づく分帯を明らかにし、それぞれの帯における花

崗岩の起源物質やマグマの生成過程の違いを論じた。飯泉・高橋 (2005) および飯泉 (2009) は、山陰帯を含む中国地方の白亜紀–古第三紀花崗岩類の Sr–Nd 同位体初生値の年代変化から、起源物質が年代とともに枯渇した性質に変化したことを指摘し、その原因は下部地殻が枯渇した苦鉄質マグマの貫入によって地球化学的に改変されたことによるものと推定した。Imaoka et al. (2011) は、山陰地域でコールドロンが形成された中期始新世–前期漸新世 (43–30 Ma) に若いプレートの上昇によって、前弧–背弧がホットになり、アダカイトが形成されるとともに、枯渇したアセノスフェアの注入により下部地殻が再編・再構成され、マグマ組成が変化すると推定した。

上記の花崗岩分布域のうち、山陰帯は唯一白亜紀から古第三紀までの火成活動が連続的に行われたところで、アジア大陸東縁で行われた火成活動やテクトニクスの変遷を理解する上で重要な位置を占めている。山陰帯の中央部に位置する島



**Fig. 1.** Distribution of Cretaceous to Paleogene igneous rocks and the regional geology of Korea and SW Japan. MTL: Median Tectonic Line. The data are taken from Geological Survey of Japan (1992), Teraoka and Okuruma (2003), and Kee et al. (2010).

根県東部の出雲市から鳥取県西部の江府町にかけての南北約40 km、東西約60 kmにわたる地域(Figs. 1, 2)には後期白亜紀–古第三紀の貫入岩類が火山岩類を伴いながらまとまって分布し、山陰帯では最も巨大な複成バソリスを構成している。このバソリスや周辺地域の地質、バソリスを構成する花崗岩類の岩石学的特性、その違いに基づく岩相・岩体区分、岩体の相互関係や放射年代、関連鉱床、さらにはバソリス内での火山活動等に関する多くのデータがこれまでに蓄積されてきた(服部・片田, 1964; 石原, 1966, 1971; 村山ほか, 1973; 猪木・坂本, 1977; 服部, 1978; 飯泉, 1979; 山陰中生代末火成活動研究グループ, 1979; 沢田, 1979; 飯泉・沢田, 1980; 坂本・山田, 1982; 飯泉ほか, 1982; 服部ほか, 1983; 山陰バソリス研究グループ, 1982; 飯泉・山陰バソリス研究グループ, 1983; Iizumi and Kagami, 1987; Iizumi et al., 1984; 松浦, 1989; 鹿野ほか, 1991; 1994; Rezanov et al., 1994; 寺岡ほか, 1996; 新編島根県地質図編集委員会, 1997; 高木ほか, 2000; 飯泉・島津, 2004; 飯泉・高橋, 2005; 西田ほか, 2005; 岩田ほか, 2011)。

Imaoka et al. (2011)はこれらの情報、とくに火成岩類の貫入関係とRb–Srアイソクロン年代に基づき、本バソリスの主体をなす因美期貫入岩類を後期白亜紀の因美古期貫入岩

類と古第三紀の因美新期貫入岩類とに区分している。前者は西田ほか(2005)によるステージIに、後者はステージIIに対応している。今回、筆者らは因美古期と因美新期の境界、すなわち白亜紀最末期にSr–Nd同位体初生値が急激に変化することを見出した。そこで本研究では、山陰帯中央部の出雲–松江地域のバソリスを構成する貫入岩類について全岩化学組成とSr–Nd同位体初生値の系統的な検討結果を報告するとともに、従来から山陰地域との地質学的関連性が深いとされる(例えば、Ishihara et al., 1981; Kim et al., 1996, 1997)韓国慶尚盆地に分布する花崗岩類との比較検討を行い、因美古期–新期境界に認められる花崗岩類の組成変化の意義を検討する。

## 山陰帯と慶尚盆地における白亜紀–古第三紀火成活動の概要

### 1. 山陰帯

山口県北部から島根・鳥取両県を経て近畿地方北部に至る山陰帯には、白亜紀末–古第三紀火成岩類が断続的に分布する。山陰帯における火成活動は、地質学的相互関係や多くの放射年代学的研究等を基に、白亜紀火山岩類、用瀬期貫入岩類(85–78 Ma)、因美古期貫入岩類(78–68 Ma)、大東–上島火山岩類(67, 61 Ma)、因美新期貫入岩類(68–53 Ma)、

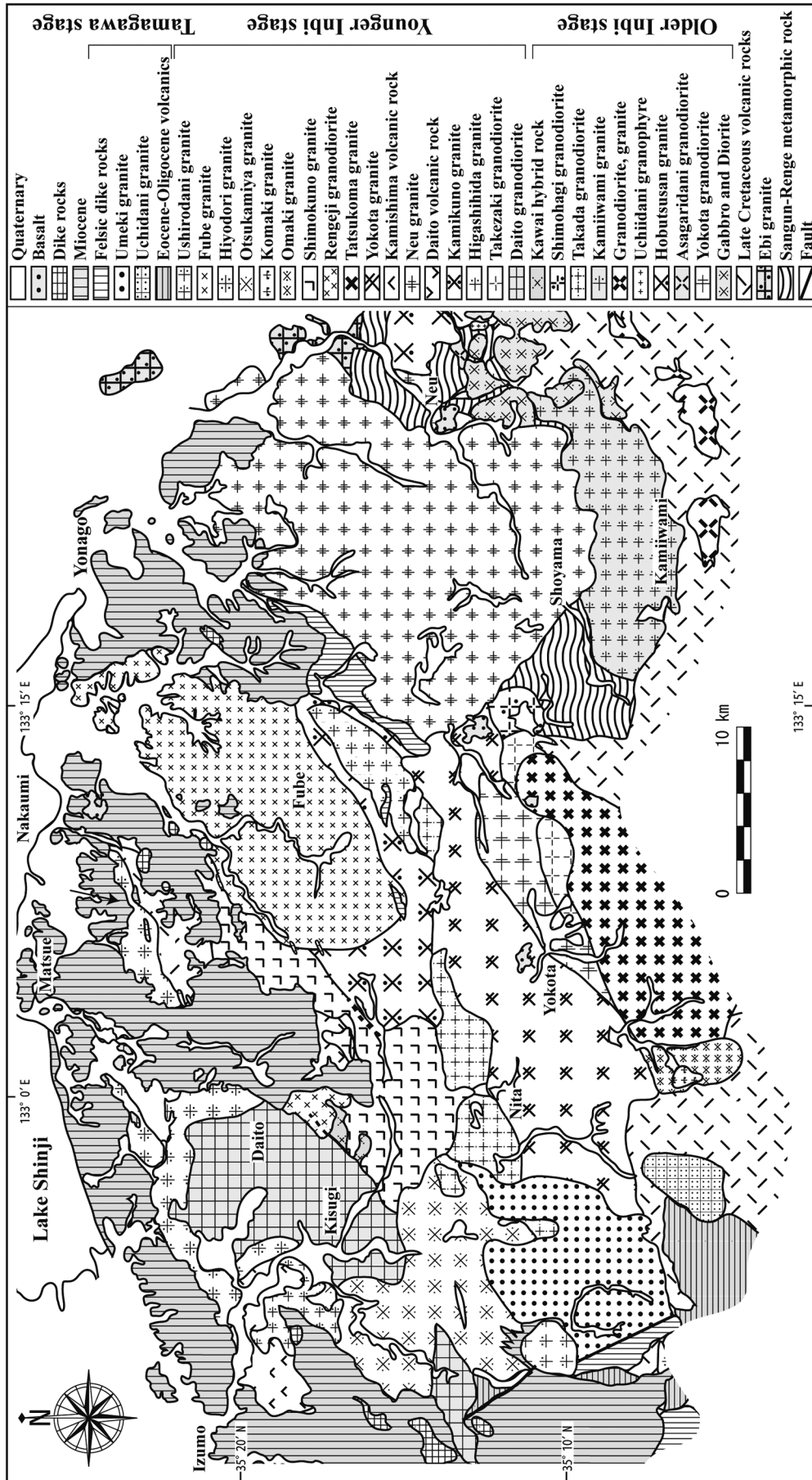


Fig. 2. Geological map (location marked by box in Figure 1) of the central Sanin district, SW Japan (modified after Nishida et al., 2005). The data are taken from Hattori and Katada (1964), Ishihara (1971), Igi and Sakamoto (1977), Hattori (1978), Hattori (1979), Research Group for the Batholith in the San'in Zone (1982), Sakamoto and Yamada (1982), Iizumi and Research Group of Sanin Batholith (1983), Kano et al. (1991, 1994), Teraoka et al. (1996), Editorial Board of Geological Map of Shimane Prefecture (1997), and Takagi et al. (2000).

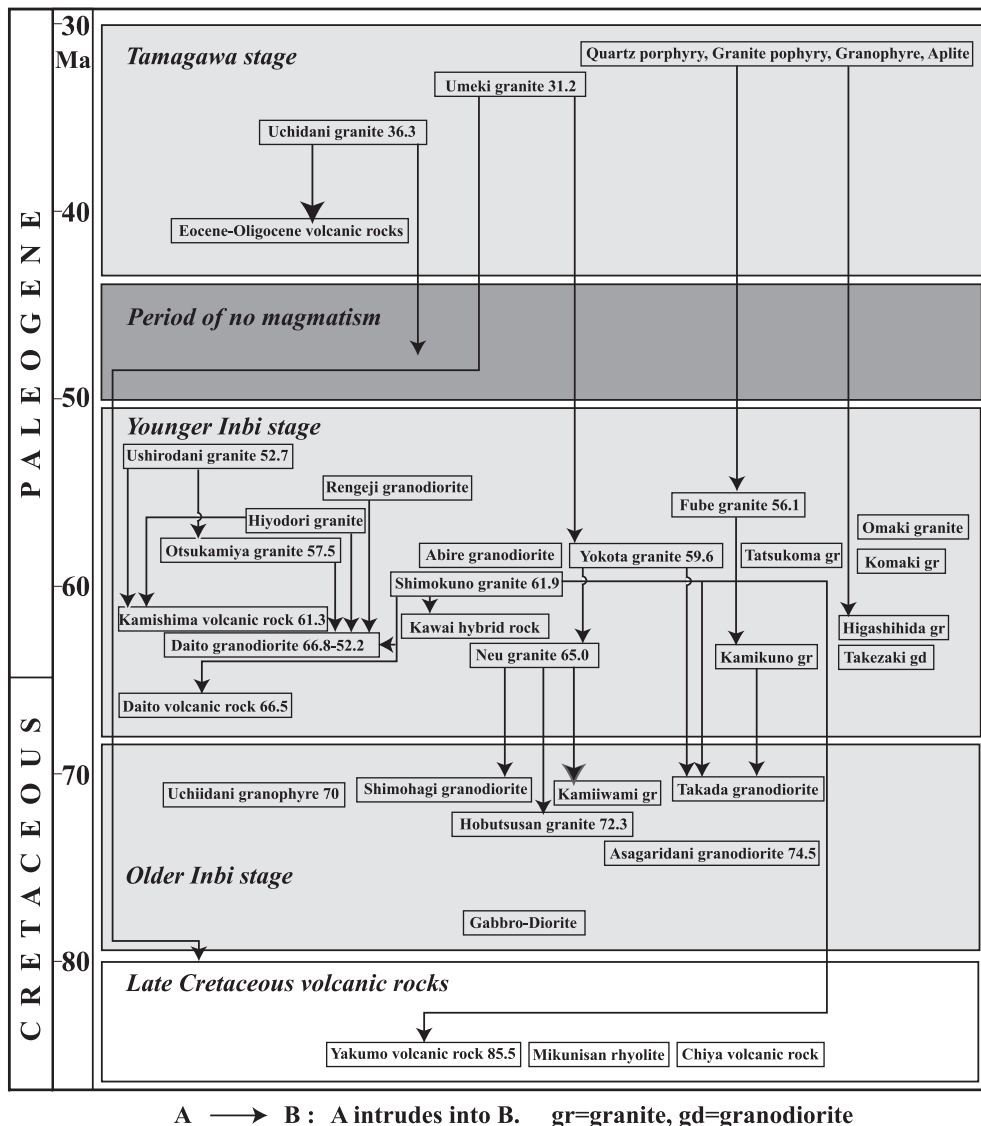


Fig. 3. Intrusive relationships and stage divisions of Late Cretaceous to Paleogene igneous rocks in the central Sanin district, SW Japan (modified after Nishida et al., 2005).

田万川期火成岩類(44–30 Ma)に区分される(Fig. 3: 西田ほか, 2005; 今岡・飯泉, 2009; Imaoka et al., 2011; 本研究).

白亜紀火山岩類は、匹見層群や阿武層群、邑智層群として知られているもので、今回の検討地域である山陰帯中央部では  $85.5 \pm 7.3$  Ma の Rb–Sr 全岩アイソクロン年代を示す八雲火山岩(西田ほか, 2005)が該当する。用瀬期貫入岩類(85–78 Ma)は山陽帯の一部の貫入岩類に匹敵する 80 Ma 前後の年代を示し、またチタン鉄鉱系の岩体も含まれること等から、因美期貫入岩類から区分され、用瀬期貫入岩類(先山, 1986)と呼ばれたものに相当する。

因美古期貫入岩類(78–68 Ma)としては、朝刈谷花崗閃緑岩、宝仏山花崗岩、上石見花崗岩、内井谷文象斑岩などが該当する。大東火山岩類(66.5 Ma)、上島火山岩類(61.3 Ma)は因美新期貫入岩類と同時代の火山岩に対応する。因美新期

貫入岩類(65.5–53 Ma)は大東花崗閃緑岩、石見花崗岩、下久野花崗岩、根雨花崗岩、阿毘緑花崗閃緑岩、横田花崗岩、乙加宮花崗岩、布部花崗岩および後谷花崗岩が該当する(Fig. 3).

田万川期火成岩類は、主に始新世–漸新世のコールロン群をなす火山–深成複合岩体や花崗岩体を包括するものである(今岡・飯泉, 2009; Imaoka et al., 1988, 2011).

## 2. 慶尚盆地

先カンブリア代から中生代にかけての岩石の構成とそれらの年代に基づき、韓国は北から京畿地塊(Gyeonggi Massif)、沃川帯(Okcheon Belt)、嶺南地塊(Yeongnam Massif)、慶尚盆地(Gyeongsang Basin)に区別されている(Fig. 1)。韓半島の南東部を構成する慶尚盆地は、白亜紀–古第三紀初期の河川–湖成の碎屑性堆積岩や中間質–珪長質火成岩類から主に構成される。慶尚盆地の白亜紀–古第三紀初期堆

積岩-火山岩複合体は、慶尚累層群(Gyeongsang Supergroup)として一括されており、下位から新洞(Sindong)層群、河陽(Hayang)層群および楡川(Yuchon)層群に区分され、河陽層群と楡川層群との間には顕著な不整合が存在する(例えば、Chang and Park, 2003)。これまで新洞層群と河陽層群の形成年代は関門層群に対比され、前期白亜紀と考えられていたが(例えば、Chang and Park, 2003; Chang et al., 2003)、最近、河陽層群中に広域にわたって追跡される Kusan-dong 凝灰岩から 97 Ma のジルコン U-Pb 年代が報告され(Jwa et al., 2009)、河陽層群の少なくとも上部が後期白亜紀に含まれることが明らかとなった。楡川層群は、後期白亜紀と考えられ、中国地方西部の周南層群や阿武層群に対比される。また、Lee et al. (2010)は、新洞層群に含まれる碎屑性ジルコンの年代から同層群の堆積年代を後期アプチアン-後期アルビアンと推定している。

慶尚盆地の深成岩の多くは、慶尚累層群に貫入し、火山岩と密接に関連して産出する(Fig. 1)。それらの多くは、後期白亜紀-古第三紀初期に形成され、カルクアルカリ岩系列、I-type の花崗閃緑岩-花崗岩であり、磁鉄鉱系列に属する。Tsusue et al. (1990)、Shin and Nishimura (1993)、Lee (1997)および Choi et al. (2005)によれば、慶尚盆地の白亜紀花崗岩質岩は、ジュラ紀花崗岩質岩に比べてより地殻浅所に貫入・定置した。古第三紀後期の深成岩類は慶尚盆地の南東部に小規模に分布するだけで、徳洞(Deokdong)花崗岩、南山(Namsan)花崗岩などが知られており、後者は A-type の特徴を示す(Kim and Kim, 1997; Koh et al., 2000; Ishihara et al., 2006)。

### 全岩化学組成

#### 1. 測定試料

山陰中央部に分布する花崗岩類の化学組成の時代変遷を明らかにするために、因美古期貫入岩類に分類される阿昆縁花崗閃緑岩と上石見花崗岩、因美新期貫入岩類に分類される大東花崗閃緑岩、横田花崗岩、下久野花崗岩(山佐タイプ、大内谷タイプ)、乙加宮花崗岩、布部花崗岩、後谷花崗岩および蓮華寺花崗閃緑岩について全岩の主成分および微量元素の分析を行った。分析に用いた試料の岩石名、岩相や採取位置は西田ほか(2005)に記述されている。

#### 2. 測定方法

全岩化学分析は、島根大学総合理工学部地球資源環境学教室に設置の理学電機工業社製蛍光 X 線分析装置(RIX2000)および山口大学総合科学実験センター機器分析実験施設の理学電機工業社製蛍光 X 線分析装置(RIX3000)を用いて行った。前者による分析方法や分析精度は Kimura and Yamada (1996)に、後者は梅本ほか(2000)に述べられている。REE を含む微量元素の ICP-MS 分析はカナダの Actlabs および西オーストラリア大学応用化学教室に依頼した。FeO は過マンガン酸カリウムによる滴定法、LOI は重量法によって定量した。フッ素の分析はオリオン 290A 型デジタルイオンメーターを用いて行った。分析方法や精度は、西田ほか(2002)に詳述されている。

### 3. 測定結果

分析結果を Table 1 に示す。また、Fig. 4 にハーカー図を示す。ハーカー図には比較のため田万川期の花崗岩類も併せ示している。因美古期貫入岩類と因美新期貫入岩類の間には全岩化学組成に顕著な相違が認められる。まず SiO<sub>2</sub> についてみると、因美古期貫入岩類は 57-78% と広い変化を示すが、因美新期貫入岩類は 64-79% の狭い組成範囲である。田万川期花崗岩類は因美新期貫入岩類と類似した範囲を有する。同じ SiO<sub>2</sub> 含有量を持つ岩石についてみると、因美新期貫入岩類は因美古期貫入岩類に比較して MgO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> および Sr に富み、K<sub>2</sub>O、Rb、Ba、Y、Zr、Pb および F に乏しい(Fig. 4)。田万川期花崗岩類は、Ba、Y、Zr、Pb および F については因美新期貫入岩類に類似するが、Rb は明瞭に低く、K<sub>2</sub>O および K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比は、多くが因美新期貫入岩類の示す範囲の低濃度の領域にプロットされる(Figs. 4, 5)。また、K/Rb 比、Ti/Zr 比については因美新期貫入岩類と田万川期花崗岩類は類似するが、因美古期貫入岩類とは異なり高い値を示す(Fig. 6)。それ以外の成分については顕著な差異は認められない。

Fig. 7 に花崗岩類の希土類元素の濃度をコンドライトの値(Anders and Grevesse, 1989)で規格化した図を示す。因美古期貫入岩類(上石見花崗岩)は、弱い右下がりのパターンであり、とくに重希土はやや平坦なパターンを示す。コンドライトで規格化した La<sub>n</sub>/Yb<sub>n</sub> の値は 4.2-7.1 と低い。また、因美新期貫入岩類も右下がりで重希土類元素に乏しい特徴があり、いずれも類似した性質を示し、La<sub>n</sub>/Yb<sub>n</sub> の値は 3.0-18.0 と高い。阿昆縁花崗閃緑岩(Eu/Eu\* = 0.73-1.03)、大東花崗閃緑岩(Eu/Eu\* = 0.76-1.05)および乙加宮花崗岩(Eu/Eu\* = 0.69-0.89)を除いて、負の Eu 異常が認められる。とくに布部花崗岩(Eu/Eu\* = 0.24-0.60)や後谷花崗岩(Eu/Eu\* = 0.20-0.61)では負の Eu 異常が顕著である。

### Sr-Nd 同位体組成

#### 1. 測定試料

山陰中央部に分布する花崗岩類の Sr-Nd 同位体組成の時代変遷を明らかにするために、主成分および微量元素の分析を行った試料について同位体比の測定を行った。

#### 2. 測定方法と測定結果

抽出は、島根大学総合理工学部および山口大学総合研究棟において行った。前者は飯泉(1996)に、後者は川野ほか(1999)や大和田ほか(2001)に従った。測定方法は飯泉(1996)に従い、測定は島根大学総合理工学部地球資源環境学教室のフィニガンマット社製 MAT262 型表面電離型質量分析計を用いて行った。Sr-Nd 同位体の測定精度は、Iizumi et al. (1994, 1995)に報告されている。また、全岩における Rb、Sr の含有量は、蛍光 X 線分析法により求め、Sm、Nd の含有量は ICP-MS により測定した。<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比および <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd 比は <sup>86</sup>Sr/<sup>88</sup>Sr = 0.1194、<sup>146</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.7219 でそれぞれ規格化した。<sup>87</sup>Rb と <sup>147</sup>Sm の壊変定数には 1.42 × 10<sup>-11</sup>y<sup>-1</sup> (Steiger and Jäger, 1977)、6.54 × 10<sup>-12</sup>y<sup>-1</sup> (Lugmair and Marti, 1978)を用いた。試料の測定期間中

**Table 1.** Major and trace element analyses and Sr–Nd isotopic compositions of selected granitoids from the central Sanin district, Sanin Belt, SW Japan. ‘Gr’ is granite, ‘Gd’ is granodiorite.

Rock body	Kami- iwami Gr	Kami- iwami Gr	Kami- iwami Gr	Daito Gd	Daito Gd	Daito Gd	Daito Gd	Daito Gd	Abire Gd	Abire Gd
Sample No.	KI-02	KI-04	KI-05	DG-13	DG-04	DG-23A	DG-23B	DG-21	YG-03	YG-09
<b>SiO<sub>2</sub> wt. %</b>	67.24	68.06	68.84	66.53	66.69	71.19	71.54	71.66	68.51	69.00
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.68	0.65	0.61	0.56	0.45	0.46	0.40	0.40	0.47	0.44
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14.65	14.51	14.25	14.84	15.74	14.42	14.33	14.27	14.82	14.93
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2.00	1.70	1.85	1.57	1.74	1.40	1.04	1.47	1.77	1.21
<b>FeO</b>	2.64	2.75	2.24	2.53	1.51	1.30	1.30	1.00	1.84	1.53
<b>MnO</b>	0.09	0.08	0.07	0.08	0.06	0.11	0.08	0.05	0.09	0.08
<b>MgO</b>	1.77	1.62	1.47	2.20	1.81	0.93	0.64	0.86	1.18	1.01
<b>CaO</b>	3.90	3.62	3.26	3.59	3.80	2.26	1.74	2.12	3.03	2.93
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3.51	3.36	3.39	3.85	4.09	4.16	3.84	4.28	3.94	4.20
<b>K<sub>2</sub>O</b>	3.32	3.69	3.85	2.69	2.60	2.67	3.77	2.75	2.95	2.52
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.13	0.12	0.11	0.07	0.06	0.06	0.03	0.05	0.05	0.05
<b>LOI</b>	0.70	0.35	0.48	0.98	0.79	0.60	0.68	0.52	0.54	0.61
<b>Total</b>	100.63	100.51	100.42	99.49	99.34	99.56	99.39	99.43	99.19	98.51
<b>XRF (ppm)</b>										
<b>Ba</b>	547	524	573	524	474	964	1991	1002	551	557
<b>Ga</b>	17.0	16.7	15.2	16.4	16.1	14.5	12.4	14.7	14.8	15.9
<b>Ni</b>	7.7	7.0	6.8	18.8	16.0	1.1	0.8	0.8	6.3	n.d.
<b>Pb</b>	15.0	19.7	22.2	10.61	11.2	48.8	61.4	13.9	11.6	11.9
<b>Rb</b>	131	135	153	74.5	60.0	88.6	104	70.2	112	93.2
<b>Sr</b>	254	237	218	358	403	305	297	306	229	244
<b>V</b>	97.3	88.5	84.6	85.2	68.1	31.8	25.6	32.2	56.6	49.6
<b>Zr</b>	289	287	284	156	130	195	204	227	202	194
<b>Ion electrode (ppm)</b>										
<b>F</b>	753	785	841	377	320	506	281	471	510	458
<b>ICP-MS (ppm)</b>										
<b>Y</b>	31.0	32.3	22.8	16.7	14.5	7.7	2.8	15.3	26.1	30.1
<b>Nb</b>	8.5	8.2	5.7	11.4	11.9	8.3	7.7	8.7	6.8	8.1
<b>La</b>	29.0	31.9	16.7	34.0	18.8	14.5	14.6	12.3	-	-
<b>Ce</b>	58.5	62.9	-	59.3	34.5	33.9	-	24.2	-	-
<b>Pr</b>	6.42	6.95	3.96	5.87	3.65	2.52	2.43	3.02	-	-
<b>Nd</b>	29.0	29.5	18.1	22.7	15.7	10.0	9.6	14.7	22.5	26.1
<b>Sm</b>	6.48	6.66	4.41	4.31	3.32	2.16	1.93	3.89	4.83	5.58
<b>Eu</b>	1.17	1.16	0.79	0.98	1.00	0.68	0.55	1.18	-	-
<b>Gd</b>	5.41	5.47	3.75	3.28	2.56	1.62	1.09	2.98	-	-
<b>Tb</b>	0.96	0.98	0.68	0.55	0.44	0.27	0.14	0.56	-	-
<b>Dy</b>	5.18	5.35	3.70	2.77	2.26	1.39	0.64	2.79	-	-
<b>Ho</b>	1.14	1.13	0.81	0.57	0.47	0.30	0.12	0.54	-	-
<b>Er</b>	2.85	2.77	2.05	1.49	1.41	0.79	0.36	1.44	-	-
<b>Tm</b>	0.42	0.45	0.31	0.23	0.19	0.13	0.05	0.20	-	-
<b>Yb</b>	3.08	3.16	2.22	1.67	1.48	0.86	0.27	1.43	-	-
<b>Lu</b>	0.41	0.44	0.31	0.24	0.19	0.13	0.04	0.20	-	-
<b>Hf</b>	1.74	1.54	1.30	0.90	0.88	0.33	0.35	0.94	0.73	0.70
<b>Ta</b>	0.68	0.59	0.42	1.27	0.90	0.65	0.60	1.01	0.96	0.98
<b>Th</b>	12.66	15.06	9.99	9.68	8.30	6.14	6.76	6.26	11.88	11.49
<b>U</b>	2.14	2.61	2.68	1.91	1.66	2.18	1.05	1.45	2.38	1.92
<b>TIMS isotope ratio</b>										
<b><sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr</b>	1.49	1.65	2.03	0.602	0.431	0.840	1.01	0.664	1.42	1.11
<b><sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr</b>	0.706909	0.707085	0.707501	0.705327	0.705208	0.705556	0.705749	0.705389	0.706787	0.706397
<b>± (2σ)</b>	0.000010	0.000009	0.000009	0.000016	0.000014	0.000009	0.000009	0.000011	0.000009	0.000009
<b>SrI (T)</b>	0.70540	0.70542	0.70545	0.70475	0.70480	0.70476	0.70478	0.70476	0.70554	0.70542
<b>εSr (T)</b>	14.0	14.3	14.7	4.7	5.4	4.8	5.2	4.8	15.8	14.1
<b><sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd</b>	0.135	0.137	0.147	0.115			0.122	0.160	0.130	0.129
<b><sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd</b>	0.512591	0.512593	0.512598	0.512715			0.512640	0.512679	0.512615	0.512547
<b>± (2σ)</b>	0.000033	0.000010	0.000010	0.000027			0.000011	0.000018	0.000009	0.000017
<b>NdI (T)</b>	0.51253	0.51253	0.51253	0.51267			0.51259	0.51261	0.51256	0.51250
<b>εNd (T)</b>	-0.4	-0.3	-0.3	2.2			0.7	1.1	0.1	0.0
<b>Age (Ma)</b>	71	71	71	67	67	67	67	67	62	62

Table 1. Continued

Rock body	Abire Gd	Yokota Gr	Yokota Gr	Yokota Gr	Yokota Gr	Yokota Gr	Shimoku- no Gr (Yamasa type)	Shimoku- no Gr (Yamasa type)	Shimoku- no Gr (Yamasa type)	Shimoku- no Gr (Yamasa type)
Sample No.	YG-05	YO-01	YO-03	YO-06	YO-13	YO-07	YA-100	YA-103	YA-108	YA-109
SiO <sub>2</sub> wt. %	69.44	72.59	73.20	74.81	75.98	77.19	74.77	74.91	75.48	75.57
TiO <sub>2</sub>	0.39	0.25	0.23	0.17	0.18	0.17	0.23	0.25	0.13	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.95	13.73	13.84	13.06	12.71	12.33	12.84	12.91	12.47	12.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.64	1.08	1.03	0.71	0.60	0.52	0.75	0.98	0.58	0.68
FeO	1.28	0.67	0.39	0.41	0.45	0.47	0.49	0.59	0.27	0.27
MnO	0.07	0.04	0.07	0.05	0.06	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
MgO	0.96	0.49	0.39	0.23	0.19	0.17	0.36	0.37	0.14	0.14
CaO	3.05	1.69	1.27	0.92	0.87	1.03	0.27	0.69	0.35	0.36
Na <sub>2</sub> O	4.02	3.91	4.19	3.98	4.18	3.51	4.25	3.90	3.05	3.40
K <sub>2</sub> O	2.71	3.53	3.74	4.14	3.65	3.96	4.16	4.15	5.07	4.43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.07	0.02	0.06	0.06	0.05	0.03	0.05	0.01	0.01
LOI	0.67	0.84	0.66	0.63	0.35	0.45	1.77	1.56	1.79	1.85
Total	99.22	98.89	99.03	99.17	99.28	99.87	99.95	100.39	99.36	99.41
<i>XRF (ppm)</i>										
Ba	654	589	685	520	564	416	397	427	236	277
Ga	15.0	16.2	15.2	14.9	15.6	12.7	14.3	13.1	11.3	11.3
Ni	1.3	3.1	3.8	2.7	3.1	2.2	3.2	2.7	2.4	1.9
Pb	11.5	12.1	15.2	18.0	16.8	10.7	5.9	7.4	5.6	5.2
Rb	72.2	106	126	140	108	150	163	148	186	161
Sr	260	217	168	98.0	80.1	83.1	53.9	77.9	31.4	36.7
V	47.3	25.3	18.9	6.6	12.7	12.3	12.0	12.4	9.6	6.6
Zr	153	119	122	93.2	111	109	133	148	116	119
<i>Ion electrode (ppm)</i>										
F	488	266	315	311	214	227	184	206	407	85
<i>ICP-MS (ppm)</i>										
Y	19.9	17.4	17.1	13.3	15.2	17.4	28.8	39.2	38.6	26.2
Nb	7.5	14.9	15.4	15.5	13.9	10.7	12.1	8.8	6.1	3.3
La	-	18.4	20.4	21.0	19.6	32.0	37.9	19.9	36.6	21.0
Ce	-	38.3	39.6	42.2	40.6	62.9	65.8	38.6	55.2	38.1
Pr	-	3.90	3.91	4.07	4.17	5.47	6.58	4.71	7.16	4.56
Nd	14.4	14.9	14.2	14.5	15.9	19.6	25.7	-	20.4	19.2
Sm	3.60	3.02	2.91	2.73	3.27	3.30	5.22	6.56	6.10	4.89
Eu	-	0.64	0.55	0.45	0.67	0.52	0.68	0.66	0.62	0.57
Gd	-	2.72	2.54	2.42	2.91	3.12	4.02	4.74	5.72	3.86
Tb	-	0.40	0.35	0.31	0.37	0.39	0.76	0.97	1.12	0.76
Dy	-	2.53	2.21	1.85	2.26	2.52	4.22	5.68	6.30	4.22
Ho	-	0.50	0.46	0.36	0.43	0.51	0.93	1.31	1.31	0.93
Er	-	1.46	1.36	1.06	1.28	1.53	2.70	3.95	3.79	2.75
Tm	-	0.22	0.20	0.16	0.18	0.22	0.43	0.60	0.57	0.45
Yb	-	1.70	1.43	1.26	1.37	1.82	3.42	4.74	4.34	3.37
Lu	-	0.30	0.25	0.24	0.25	0.30	0.47	0.66	0.60	0.49
Hf	0.63	0.83	0.72	0.88	0.68	1.30	0.39	0.84	1.37	0.88
Ta	0.59	0.87	0.83	0.95	0.93	0.82	1.47	0.97	0.54	0.32
Th	6.95	20.21	15.91	15.38	12.85	15.85	17.08	21.13	22.14	25.84
U	1.16	2.90	1.03	1.72	0.93	2.24	2.30	4.14	3.08	3.54
<i>TIMS isotope ratio</i>										
<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	0.803	1.41	2.17	4.13	3.90	5.22	8.75	5.50	17.2	12.7
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0.706050	0.706100	0.706522	0.708387	0.708250	0.709212	0.712756	0.710153	0.720378	0.716386
± (2σ)	0.000017	0.000009	0.000009	0.000017	0.000016	0.000018	0.000014	0.000040	0.000026	0.000016
SrI (T)	0.70534	0.70490	0.70467	0.70486	0.70493	0.70476	0.70505	0.70531	0.70526	0.70517
εSr (T)	13.0	6.7	3.5	6.2	7.0	4.7	8.8	12.5	11.9	10.5
<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	0.151	0.122				0.102			0.181	0.154
<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	0.512625	0.512688				0.512633			0.512634	0.512673
± (2σ)	0.000009	0.000009				0.000010			0.000017	0.000013
NdI (T)	0.51256	0.51264				0.51259			0.51256	0.51261
εNd (T)	0.1	1.5				0.6			0.0	1.0
Age (Ma)	62	60	60	60	60	60	62	62	62	62

Table 1. Continued

Rock body	Shimoku- no Gr (Ohuchi-dani type)	Shimoku- no Gr (Ohuchi-dani type)	Otsuka- miya Gr	Otsuka- miya Gr	Otsuka- miya Gr	Otsuka- miya Gr	Otsuka- miya Gr	Fube Gr	Fube Gr	Fube Gr
Sample No.	OU-13	OU-07	OK-06	OK-08	OK-05	OK-10	OK-07	FU-13	FU-11	FU-12
SiO <sub>2</sub> wt. %	70.11	75.80	69.38	69.64	71.85	74.25	76.74	73.38	75.77	76.82
TiO <sub>2</sub>	0.40	0.15	0.43	0.42	0.32	0.28	0.20	0.23	0.16	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.03	13.07	15.11	14.63	14.35	13.94	12.33	13.91	13.09	12.77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.32	0.56	2.37	1.64	1.32	0.81	0.66	0.77	0.64	0.40
FeO	1.41	0.20	0.93	1.45	0.89	0.96	0.69	0.59	0.20	0.23
MnO	0.08	0.03	0.07	0.07	0.05	0.04	0.03	0.07	0.03	0.02
MgO	1.00	0.17	1.52	1.43	0.88	0.62	0.45	0.35	0.20	0.14
CaO	2.58	0.84	3.28	2.74	2.27	1.54	0.88	1.39	0.48	0.75
Na <sub>2</sub> O	4.37	3.52	4.00	3.88	4.17	4.18	3.44	3.98	3.81	3.83
K <sub>2</sub> O	2.90	4.83	2.67	2.85	3.14	3.48	4.29	4.46	4.30	4.11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.01	0.10	0.10	0.07	0.05	0.03	0.07	0.05	0.05
LOI	0.49	0.36	0.65	1.02	0.46	0.63	0.48	0.53	0.55	0.3
Total	99.79	99.54	100.51	99.87	99.77	100.78	100.22	99.73	99.28	99.58
<i>XRF (ppm)</i>										
Ba	454	436	465	445	480	565	359	514	495	486
Ga	16.4	14.8	14.0	13.3	14.4	12.9	11.6	15.5	15.2	14.9
Ni	1.1	n.d.	8.7	4.4	5.7	1.0	1.7	3.7	3.4	2.5
Pb	15.2	13.1	12.6	11.8	13.1	16.8	17.9	17.4	19.4	18.3
Rb	115	170	73.8	81.0	86.5	98.7	132	160	161	162
Sr	307	112	347	322	271	214	88.0	152	73.0	91.6
V	45.7	14.2	62.7	59.0	40.9	31.9	21.2	22.5	14.0	7.8
Zr	134	95.5	135	141	126	148	104	103	87.7	96.2
<i>Ion electrode (ppm)</i>										
F	359	185	331	330	312	296	223	200	121	225
<i>ICP-MS (ppm)</i>										
Y	20.3	21.3	15.8	14.8	15.5	14.9	8.4	22.1	10.7	11.4
Nb	9.3	10.6	7.1	7.0	8.8	8.6	6.7	15.9	12.5	14.7
La	26.7	21.7	22.3	23.2	27.0	24.6	28.1	25.9	18.7	21.6
Ce	52.0	44.8	38.0	39.8	51.4	39.0	47.0	50.7	37.0	42.1
Pr	5.64	4.33	4.04	4.11	4.57	4.50	3.90	4.83	3.64	4.16
Nd	19.7	14.7	16.8	16.8	17.8	18.2	13.6	18.2	13.3	15.3
Sm	3.80	2.76	3.57	3.37	3.48	3.76	2.19	3.50	2.49	2.81
Eu	0.74	0.49	0.95	0.92	0.78	0.80	0.46	0.66	0.46	0.52
Gd	3.29	2.41	2.84	2.67	2.69	2.67	1.70	3.11	2.05	2.44
Tb	0.56	0.45	0.49	0.46	0.45	0.49	0.26	0.44	0.27	0.30
Dy	3.39	2.95	2.61	2.40	2.42	2.56	1.37	2.98	1.54	1.65
Ho	0.72	0.70	0.55	0.53	0.51	0.53	0.31	0.61	0.31	0.32
Er	2.18	2.34	1.49	1.44	1.45	1.55	0.92	1.84	0.93	0.91
Tm	0.37	0.43	0.14	0.21	0.21	0.23	0.14	0.28	0.13	0.13
Yb	2.55	3.20	0.22	1.54	1.77	1.71	1.12	2.21	1.06	1.01
Lu	0.38	0.50	0.23	0.20	0.23	0.26	0.17	0.41	0.19	0.18
Hf	3.60	3.40	1.23	1.23	1.34	1.96	1.72	1.41	0.67	0.93
Ta	0.96	1.49	0.84	0.75	1.12	1.09	0.82	1.42	0.93	1.20
Th	12.50	23.40	9.79	10.49	12.56	11.10	15.91	18.96	13.13	13.34
U	3.88	4.60	2.17	1.75	2.65	1.79	1.88	8.26	1.59	1.81
<i>TIMS isotope ratio</i>										
<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	1.08	4.39	0.615	0.728	0.923	1.33	4.34	3.05	6.38	5.12
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0.705767	0.708443	0.705395	0.705557	0.705585	0.705929	0.708437	0.707531	0.709905	0.709003
± (2σ)	0.000009	0.000022	0.000009	0.000013	0.000009	0.000014	0.000009	0.000014	0.000015	0.000022
SrI (T)	0.70482	0.70457	0.70489	0.70496	0.70482	0.70483	0.70486	0.70511	0.70483	0.70493
εSr (T)	5.6	2.1	6.5	7.5	5.6	5.7	6.1	9.6	5.6	7.1
<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	0.117	0.114	0.129		0.118		0.098	0.116	0.113	
<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	0.512752	0.512699	0.512629		0.512665		0.512618	0.512654	0.512579	
± (2σ)	0.000011	0.000017	0.000011		0.000013		0.000010	0.000010	0.000081	
NdI (T)	0.51271	0.51265	0.51258		0.51262		0.51258	0.51261	0.51254	
εNd (T)	2.9	1.8	0.3		1.1		0.4	0.9	-0.5	
Age (Ma)	62	62	58	58	58	58	58	56	56	56



Table 1. Continued

Rock body	Fube Gr	Fube Gr	Ushiro-dani Gr	Ushiro-dani Gr	Ushiro-dani Gr	Ushiro-dani Gr	Rengeji Gd
Sample No.	FU-08	FU-07	US-150	US-108	US-80	US-83	DG-17
SiO <sub>2</sub> wt. %	77.94	79.06	73.82	75.46	76.61	76.67	66.24
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.12	0.20	0.18	0.08	0.08	0.48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.43	12.27	13.15	13.09	11.96	12.14	15.37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.41	0.44	1.24	1.12	0.59	0.57	1.18
FeO	0.43	0.20	0.19	0.28	0.08	0.06	2.29
MnO	0.02	0.01	0.04	0.08	0.02	0.01	0.06
MgO	0.15	0.05	0.34	0.34	0.04	0.05	1.83
CaO	0.34	0.35	0.83	0.79	0.48	0.57	3.84
Na <sub>2</sub> O	3.30	3.39	3.43	4.31	3.19	3.33	4.02
K <sub>2</sub> O	4.83	4.91	4.49	3.64	5.47	5.19	2.21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.06
LOI	0.44	0.44	1.54	1.11	1.69	1.00	1.63
Total	100.51	101.28	99.31	100.44	100.21	99.67	99.21
<i>XRF (ppm)</i>							
Ba	319	148	460	556	71.5	134	408
Ga	14.0	15.8	15.5	15.8	13.1	13.8	15.1
Ni	3.7	2.9	2.9	1.9	2.2	2.2	16.1
Pb	7.7	12.7	15.8	37.4	21.0	19.1	7.90
Rb	183	205	167	121	139	129	55.9
Sr	65.1	17.0	143	116	23.8	36.7	437
V	6.7	4.3	17.1	10.9	1.6	n.d.	74.7
Zr	95.2	95.1	100	126	95.2	85.6	132
<i>Ion electrode (ppm)</i>							
F	71	44	210	165	25	23	451
<i>ICP-MS (ppm)</i>							
Y	24.4	24.2	20.0	16.4	17.1	19.5	13.1
Nb	26.5	20.5	12.2	9.1	1.7	11.0	4.9
La	26.3	18.0	32.6	24.8	26.0	24.9	21.9
Ce	61.6	41.0	47.8	43.7	45.7	45.9	42.7
Pr	5.39	3.94	5.48	4.38	4.32	4.44	4.7
Nd	20.1	14.3	20.0	17.6	15.9	16.8	17.2
Sm	4.16	3.12	3.94	3.58	3.13	3.41	3.08
Eu	0.38	0.25	0.63	0.66	0.19	0.30	0.81
Gd	3.61	2.94	2.98	2.72	2.40	2.75	2.62
Tb	0.53	0.49	0.52	0.48	0.42	0.51	0.43
Dy	3.40	3.53	2.92	2.50	2.41	2.91	2.39
Ho	0.72	0.74	0.65	0.55	0.56	0.64	0.49
Er	2.22	2.30	1.91	1.52	1.75	1.94	1.38
Tm	0.36	0.37	0.31	0.22	0.35	0.33	0.21
Yb	2.80	2.90	2.59	1.71	2.57	2.79	1.45
Lu	0.52	0.53	0.38	0.25	0.36	0.41	0.22
Hf	0.70	1.28	2.00	1.62	2.85	3.20	3.7
Ta	1.64	2.16	2.91	2.21	0.31	2.34	0.48
Th	24.98	25.49	22.24	14.18	25.88	27.53	7.55
U	1.96	3.95	2.68	1.84	5.31	4.85	2.18
<i>TIMS isotope ratio</i>							
<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	8.13	35.0	3.38	3.02	16.9	10.2	0.370
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0.711370	0.733441	0.707956	0.707448	0.717874	0.712762	0.705298
± (2σ)	0.000017	0.000008	0.000013	0.000014	0.000027	0.000013	0.000011
SrI (T)	0.70490	0.70557	0.70543	0.70519	0.70514	0.70510	0.70502
εSr (T)	6.6	16.1	14.0	10.7	10.0	10.3	8.3
<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd		0.132	0.119	0.123			0.108
<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd		0.512667	0.512664	0.512681			0.512608
± (2σ)		0.000009	0.000011	0.000016			0.000009
NdI (T)		0.51262	0.51262	0.51266			0.51257
εNd (T)		1.0	1.0	1.3			0.0
age (Ma)	56	56	53	53	53	53	52

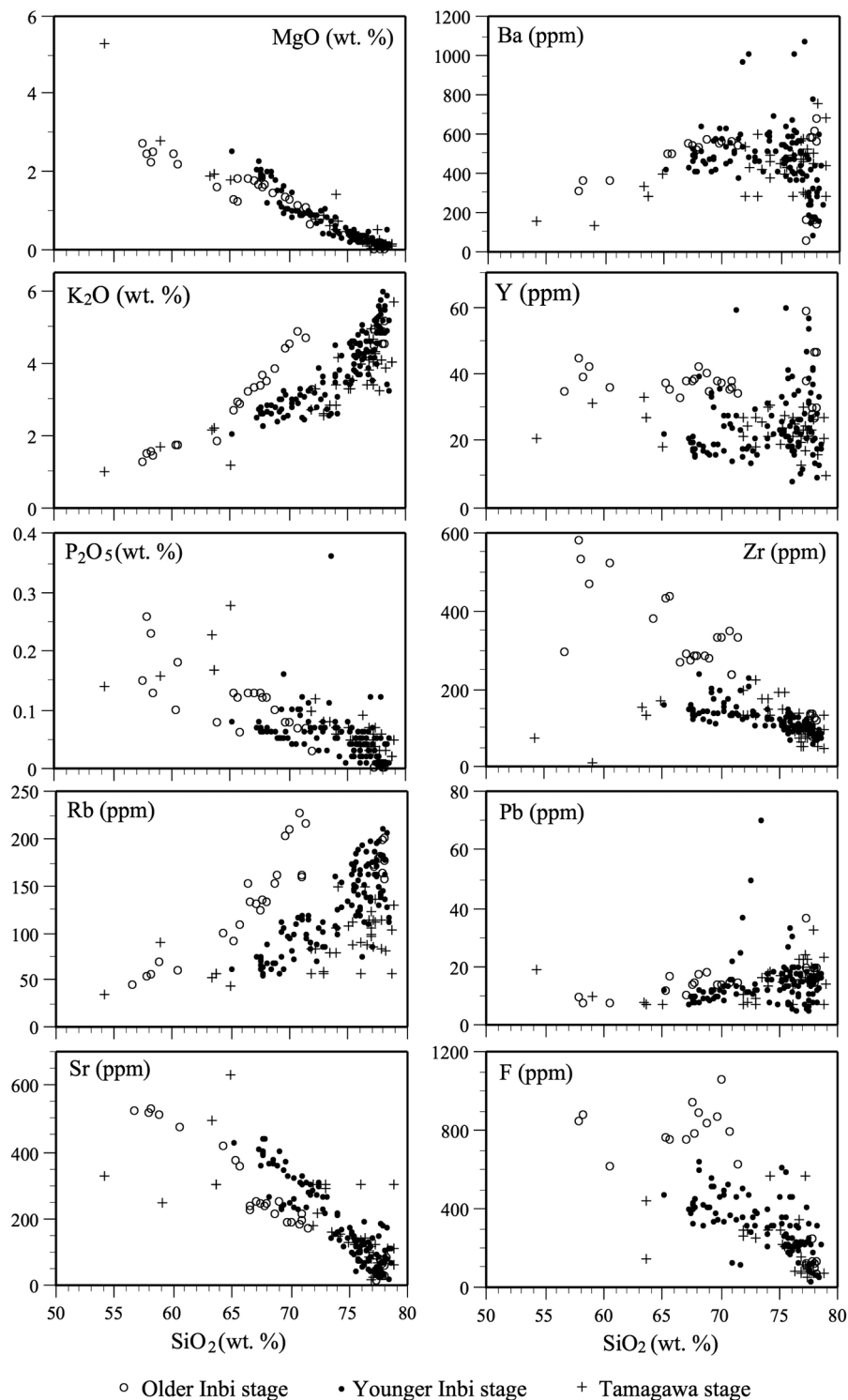


Fig. 4. Harker variation diagrams for granitoids from the central Sanin district, SW Japan. Data are taken from Ishihara (1971), Iizumi (1979), Iizumi et al. (1984), Iizumi and Takahashi (2005), and the present study.

に測定した Sr 同位体比標準試料 NBS987 の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比および Nd 同位体比標準試料 La Jolla の  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  比の測定結果の平均値は、それぞれ  $0.710245 \pm 0.000010 (2\sigma)$ 、 $0.511875 \pm 0.000010 (2\sigma)$  であった。

今回の測定結果を全岩の化学組成および Sr 同位体比の測定結果(西田ほか, 2005)とともに Table 1 に示す。表中の年代は、西田ほか(2005)による。  $\epsilon\text{Sr}(T)$  および  $\epsilon\text{Nd}(T)$  の

計算に使用した CHUR の値は、  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7045$ 、  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} = 0.0827$ 、  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512638$ 、  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1966$  (Goldstein et al., 1984) である。  $\epsilon\text{Nd}(T)$  は岩体によらず  $-1.2$  から  $+2.2$  の狭い範囲に集中する。

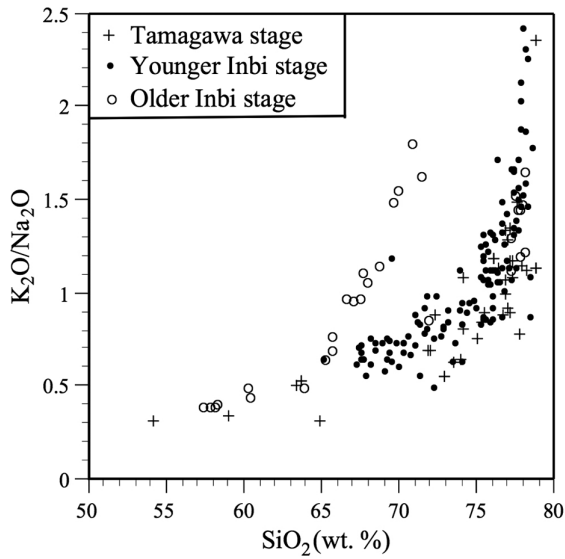


Fig. 5.  $K_2O/Na_2O$ - $SiO_2$  diagrams for Cretaceous to Paleogene igneous rocks from the central Sanin district, SW Japan.

考 察

1. 花崗岩類の白亜紀最末期における地球化学的特性変化と下部地殻の改変

中国地方における白亜紀-新第三紀火成岩中におけるアルカリ元素、とくに  $K_2O$ , Rb 含有量や  $K_2O/Na_2O$  比に年代的・空間的変化がみられることについては従来から指摘されてきた(飯泉・今岡, 2009 参照)。今回、これらのアルカリ

元素を含むいくつかの元素の含有量について、因美新期貫入岩類と因美古期貫入岩類の間で違いがみられることが明らかとなった。すなわち、因美新期貫入岩類は因美古期貫入岩類に比較して  $MgO$ ,  $P_2O_5$  と Sr に富み、 $K_2O$ , Rb, Ba, Y, Zr, Pb および F 含有量に乏しい(Fig. 4)。因美新期貫入岩類の Ba, Y, Zr, Pb および F 含有量は田万川期火成岩類に類似するが、 $K_2O$ , Rb および  $K_2O/Na_2O$  比(Fig. 5)は、因美古期貫入岩類、因美新期貫入岩類、田万川期花崗岩類の順に減少傾向が認められる。また、因美新期貫入岩類の K/Rb 比や Ti/Zr 比(Fig. 6)は田万川期花崗岩類のそれらと類似するが、因美古期貫入岩類では両者に比較して低い値を示す。このように因美古期から因美新期にかけて時代とともに LIL 元素やフッ素などの親石元素に乏しくなる傾向が明らかとなった。このような化学組成の年代変化がもたらされた要因を同位体のデータを用いて以下に検証する。

本研究と既報値(Iizumi et al., 1984, 2000; 本間, 1986; Iizumi and Kagami, 1987; 須藤ほか, 1988; Kagami et al., 1992; Rezanov et al., 1994; 飯泉・島津, 2004; 飯泉・高橋, 2005; 西田ほか, 2005; Imaoka et al., 2011)に基づいて、山陰帯に分布する後期白亜紀-古第三紀火成岩類の  $SrI(T)$  および  $\epsilon Nd(T)$  の年代変化を Fig. 8a, 8b に示した。後期白亜紀の火成岩類は用瀬期と因美古期の、古第三紀の火成岩類は因美新期と田万川期の貫入岩と火山岩を含む。用瀬期-因美古期火成岩類の  $SrI(T)$  は多くが 0.7052-0.7066 の範囲に、 $\epsilon Nd(T)$  は多くが -4~0 の範囲に含まれる。また、因美新期火成岩類の  $SrI(T)$  は 0.7048-0.7056 であり、 $\epsilon Nd(T)$  は多くが 0~+2 の範囲に含まれる。用瀬期-因美古期火成岩類に比べて、因美新期火成岩類はより枯渇した特徴を示す。田万川期になるとさらに  $SrI(T)$  (0.7037-0.7054)は

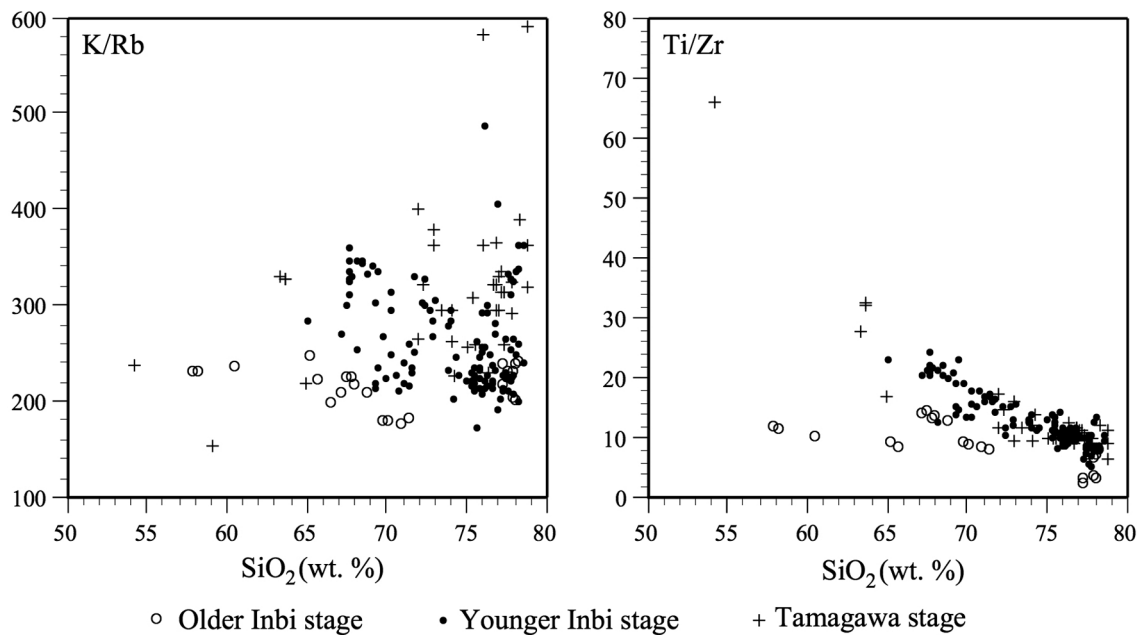


Fig. 6.  $K/Rb$ - $SiO_2$  and  $Ti/Zr$ - $SiO_2$  diagrams for granitoids from the central Sanin district, SW Japan. The data sources are the same as for Figure 4.

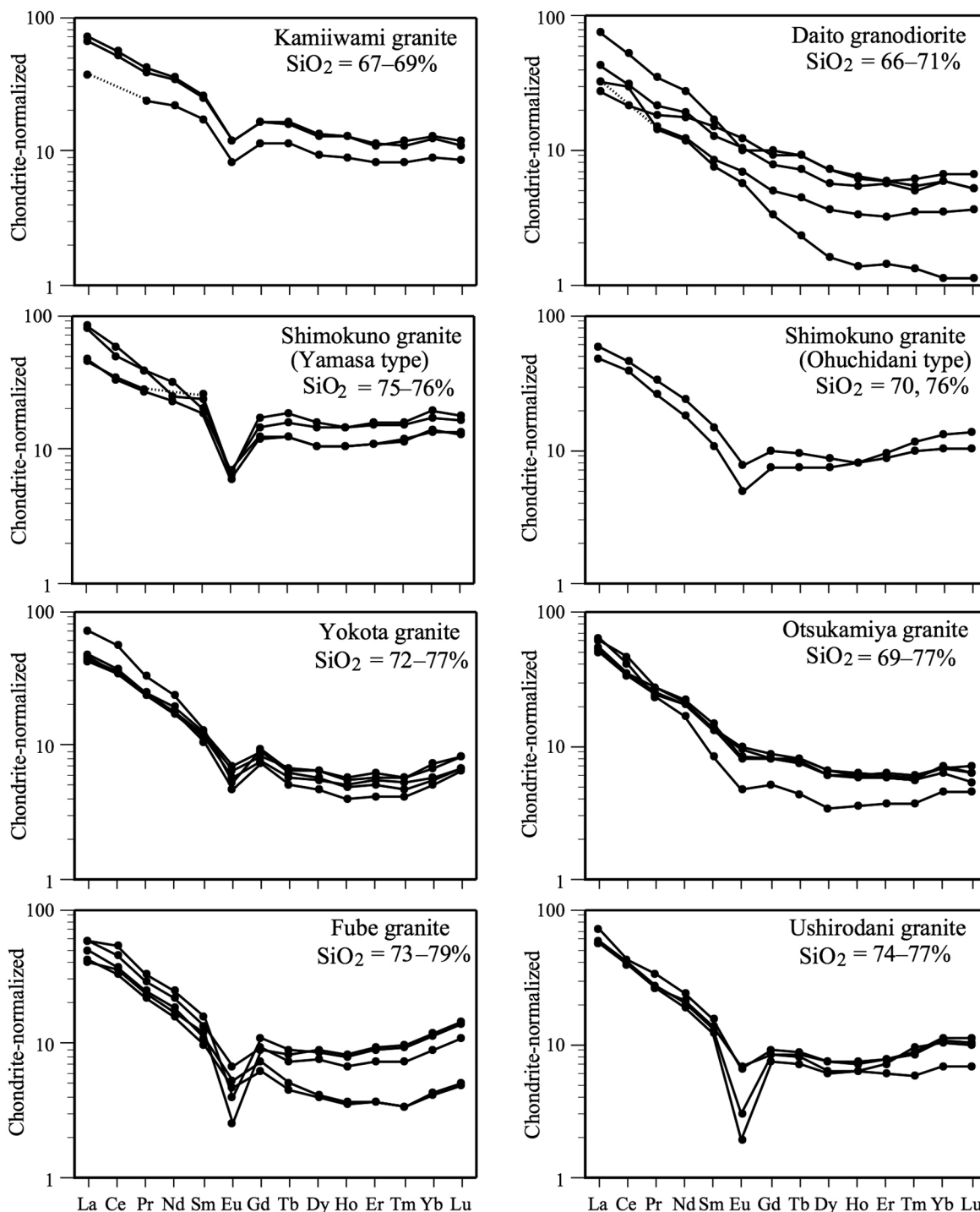
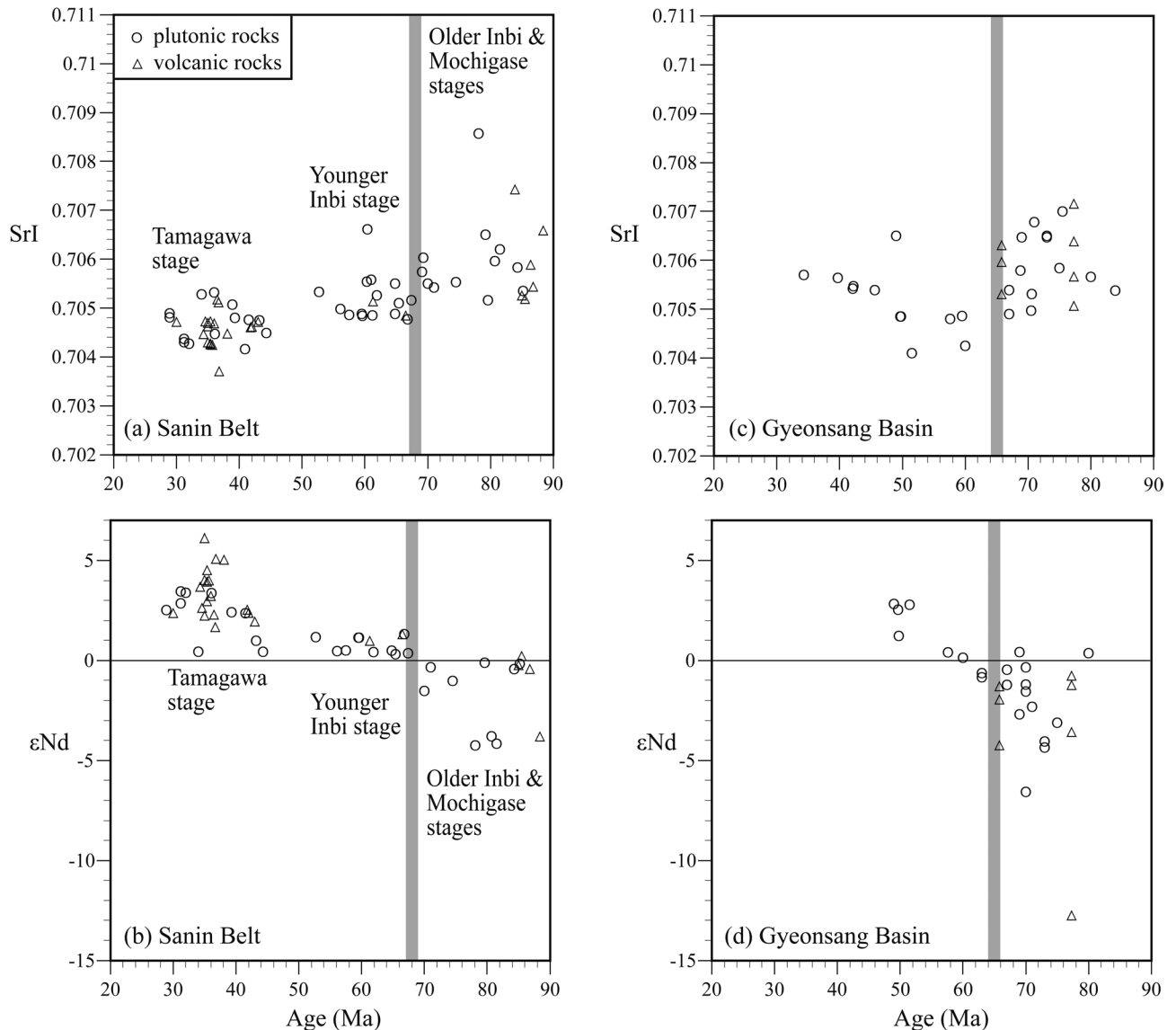


Fig. 7. Chondrite-normalized REE patterns for the Older and Younger Inbi stage intrusive rocks. The chondrite data are taken from Anders and Grevesse (1989).

減少し、 $\epsilon\text{Nd}(T)$  ( $0 \sim +6$ ) は増加する。用瀬期-因美古期火成岩類の同位体比の組成幅は広く、年代と明瞭な相関を示さない ( $\text{SrI}(T)$ -年代の相関係数 = 0.045,  $\epsilon\text{Nd}(T)$ -年代の相関係数 = 0.017)。それに対して古第三紀以降、すなわち因美新期から田万川期にかけては、 $\text{SrI}(T)$  と  $\epsilon\text{Nd}(T)$  が枯渇していく明瞭なトレンドを示す ( $\text{SrI}(T)$ -年代の相関係数 =

0.53,  $\epsilon\text{Nd}(T)$ -年代の相関係数 = -0.69)。

次に慶尚盆地の火成岩類の Sr-Nd 同位体データ (Jim 1988; Na, 1994; Kim et al., 1995; Lee et al., 1995; Kim et al., 1996; Kim and Kim, 1997; Kim et al., 1997; Koh et al., 2000) について検討する。約 65 Ma で  $\text{SrI}$  は 0.7050-0.7072 から 0.7040-0.7065 へ減少し (Fig. 8c),



**Fig. 8.** Temporal variations of SrI and  $\epsilon\text{Nd}(T)$  for granitoids and related volcanic rocks. (a) and (b): Central Sanin district of SW Japan (Data from: Iizumi et al., 1984, 2000; Iizumi and Kagami, 1987; Sudo et al., 1988; Kagami et al., 1992; Rezanov et al., 1994; Iizumi and Shimazu, 2004; Iizumi and Takahashi, 2005; Nishida et al., 2005; Imaoka et al., 2011; this study), (c) and (d): Gyeongsang Basin of Korea (Data from: Jin, 1988; Na, 1994; Lee et al., 1995; Kim et al., 1995, 1996, 1997; Shin and Kagami, 1996; Kim and Kim, 1997; Koh et al., 2000). Vertical bars indicate the approximate timing of marked changes of SrI and  $\epsilon\text{Nd}(T)$  in the Sanin Belt and the Gyeongsang Basin. SrI and  $\epsilon\text{Nd}(T)$  values of the Sanin Belt were calculated from Rb-Sr isochrons and/or K-Ar ages of each sample or each pluton. Some SrI values of the Gyeongsang Basin were calculated from Rb-Sr isochrons of each pluton, and other SrI and  $\epsilon\text{Nd}(T)$  values were calculated for each sample based on age data reported in the aforementioned studies.

$\epsilon\text{Nd}(T)$  は -13~+1 から -1~+3 へ増加する (Fig. 8d). このように、慶尚盆地と山陰帯に分布する白亜紀-古第三紀火成岩類の Sr-Nd 同位体組成における年代的な変化傾向は良く一致している。とくに両地域における白亜紀最末期における  $\epsilon\text{Nd}(T)$  値の変化は顕著である。

上記のように白亜紀最末期を境に、Sr-Nd 同位体比は、エンリッチしたものの枯渇したものへ変化する。さらに、山陰帯では因美新期から田万川期にかけても次第に枯渇する明瞭な傾向が認められる。火成岩類にこのような時代変化を

もたらした要因はどのように考えられるであろうか。前述のように山陰帯における珪長質マグマの活動、とくに因美古期・新期貫入岩類の活動は大規模なバソリスを形成するものであった。このような大規模な珪長質マグマの発生源や発生のメカニズムにはさまざまなモデルが提唱されているが、因美古期・新期貫入岩類にアダカイト質花崗岩類が認められないこと、ほとんどの貫入岩類が 0.706 以下の比較的低い SrI (T)、-2 以上の比較的高い  $\epsilon\text{Nd}(T)$  を示すことなどから、主要な起源物質としては下部地殻が想定されている (Kaga-

mi et al., 1992; Iizumi et al., 2000; 飯泉・高橋, 2005 など)。また、下部地殻が部分熔融を引き起こすメカニズムとしては、マントル由来の苦鉄質マグマが大量に地殻下部に注入し、その結果下部地殻が熔融して珪長質マグマを発生させるモデル(例えば、Huppert and Sparks, 1988)が広く受け入れられている。慶尚盆地の白亜紀-古第三紀仏国寺花崗岩についても、同様に下部地殻もしくは上部マントルにおける火成岩 protolith に由来すると考えられている(Lee et al., 1995)。以下、このような考えに基づいて検討する。上記のような時代変化をもたらした原因としては、次のような可能性が考えられる。①マグマがより高い Sr, 低い Nd 同位体組成の上部地殻物質を混成した割合が、次第に低下した。②下部地殻の Sr-Nd 同位体組成が垂直方向に不均質であり、時代とともにより枯渇した部分が部分熔融を行った。③下部地殻がそれより低い Sr, 高い Nd 同位体組成の苦鉄質マグマの供給を受け続けたために改変され、マグマの起源物質の同位体組成が時代と共に変化した。

まず①の可能性について検討する。因美古期・新期貫入岩類の酸素同位体比は +7‰以下の低い値を示し、堆積岩の混入はほとんどない、あるいはゼロとされている(Ishihara and Matsuhisa, 2002)。Kagami et al. (1992)は、中国地方の広域的な SrI の変化を花崗岩の起源物質の違いによるとし、コンタミネーションモデルでは説明できないことを示した。さらに Iizumi et al. (2000)や飯泉・高橋(2005)も上部地殻物質の単純混合モデルに基づき、山陰帯の花崗岩類の変化を説明することは困難であるとしている。②今回検討した火成活動は同一地域で繰り返し活動したものである。因美古期の活動によって形成された火成岩の多くは花崗岩や花崗閃緑岩で、その規模も膨大である。形成された岩体は数 km (少なく見積もっても 1-2 km) の厚さがあったと考えられ、それらが下部地殻の部分熔融によって形成されたとすれば、下部地殻はかなりの領域がその熔融に関与したと考えなければならない。したがって、たとえ下部地殻に上下方向の同位体的な不均質性があったとしても、部分熔融時に広範囲にわたって均質化される可能性が高く、同位体の不均質性がその後のマグマ活動に反映されることは期待できない。次に③の可能性を検討する。上記のように、因美古期と新期貫入岩類の間に見られる Sr や Nd 同位体組成の違いが、マグマの地殻物質との混成作用や下部地殻の同位体的不均質性に求めることは期待しにくいことから、因美古期貫入岩類の活動の後に、同位体的により枯渇した物質が下部地殻に添加された可能性が強く示唆される。

同じ SiO<sub>2</sub> 含有量をもつ岩石を比較すると、因美新期貫入岩類は因美古期貫入岩類よりも MgO や Sr に富む特徴がある。また、因美新期貫入岩類は同じ SiO<sub>2</sub> 含有量をもつ因美古期貫入岩類と比較した場合、K/Rb が高い特徴がある。Rb<sup>+</sup> と K<sup>+</sup> はともにイオン半径が大きいので、マグマの分化が進行するにつれて両者とも残液に濃集していくが、Rb<sup>+</sup> (1.47Å) は K<sup>+</sup> (1.33Å) よりもイオン半径がかなり大きいので分化とともに K/Rb は減少し、バグマタイト中の長石や雲母において最小の値となることが知られている(Mason,

1966)。さらに、因美新期貫入岩類の Ti/Zr 比は因美古期貫入岩類よりも高い傾向を示す。因美古期貫入岩類の活動の後に本地域において苦鉄質マグマの活動があったとする直接的な証拠は、必ずしも明らかではないが、以上のような岩石化学的特徴から、因美古期貫入岩類を生成した下部地殻物質よりも、Sr や Nd 同位体組成により枯渇し、MgO や Sr に富み、K/Rb 比や Ti/Zr 比の高い苦鉄質マグマの添加があった可能性が高いと考えられる。

慶尚盆地の古第三紀花崗岩類の同位体組成のデータ数は少ないので、山陰中央部を例に因美古期貫入岩類を形成した下部地殻に、苦鉄質マグマがどの程度混合すれば、因美新期貫入岩類の同位体組成をもつ下部地殻に改変できるかについてモデル計算を行う(Fig. 9)。因美古期の火成活動終了時(68 Ma とする)における下部地殻の Sr-Nd 同位体組成については、山陰中央部に分布する因美古期貫入岩類の値を用いて、SrI(68 Ma) = 0.7051-0.7056, εNd(68 Ma) = -2~0 と推定した(Fig. 9 に領域を示す)。なお、宝仏山岩体は因美古期貫入岩類の中で例外的に高い SrI と低い εNd を示す [SrI(68 Ma) = 0.7068, εNd(68 Ma) = -3.0] 岩体であり(Iizumi and Kagami, 1987; Kagami et al., 1992)、地殻物質の混入が示唆(Iizumi and Kagami, 1987)されていることから、今回の検討から除外した。

また、下部地殻の化学組成の推定にあたって、高速で上昇するマグマによって地下深部から地表に運ばれてきたグラニュライト相のゼノリスの組成が参考になるとされている(Rudnick, 1992)。西南日本では北九州の新生代アルカリ玄武岩中に下部地殻由来のグラニュライト相のゼノリスの Sm-Nd アイソクロン年代がいくつか報告されている(加々

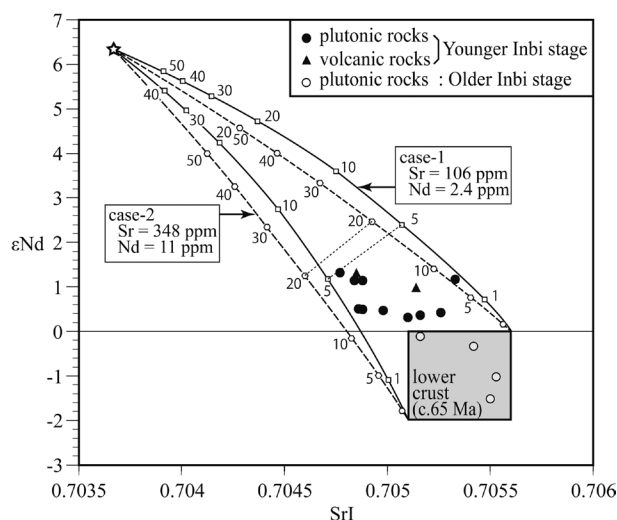


Fig. 9. SrI-εNd(T) diagram for igneous rocks of Cretaceous Older Inbi and Paleogene Younger Inbi stages in the central Sanin district of SW Japan. Data sources are the same as for Figure 8a. SrI values were calculated from Rb-Sr isochrons of each igneous pluton and εNd(T) values are the averages of each pluton. See the main text for further explanation.

美ほか, 1999b). この中に因美古期貫入岩類と年代や Sr-Nd 同位体組成が類似している試料があり ( $78.2 \pm 2.3$  Ma,  $SrI = 0.705376$ ,  $\epsilon Nd = -1.55$ ), 因美古期の火成岩類の起源となった物質に近い化学組成を有していると推定される. その Sr と Nd の含有量は, それぞれ 106 ppm と 2.4 ppm である (Case-1). しかし, この試料の Sr, Nd 含有量は乏しく, インコンパチブル元素に著しく枯渇している (加々美ほか, 1999b). 1 試料のデータのみに基づいて当時の下部地殻の Sr, Nd 組成を推定することには不確実性が伴うこと, さらに下部地殻は組成的に不均質であることが指摘されているので (Rudnick and Gao, 2003), Rudnick and Fountain (1995) による下部地殻の典型的な岩石と地震波速度を基に推定した値 ( $Sr = 348$  ppm,  $Nd = 11$  ppm) を用いての検討 (Case-2) も行った (Fig. 9). この値は Rudnick and Gao (2003) によってその後下部地殻の推定値がレビューされる中で, グローバルな下部地殻の化学組成の推奨値ともされている.

また, 新たにマントルから供給される苦鉄質マグマの組成については, 後述するアジア大陸東縁の古第三紀リフト盆に伴われる玄武岩のうち, 因美新期火成岩類の形成年代に含まれる広東省の三水盆 (Sanshui Basin) の暁新世玄武岩質安山岩 (Chung et al., 1997; Zhou et al., 2009) を想定した. この玄武岩はエピソード的なアセノスフェアの上昇によって形成されたと考えられている (Zhou et al., 2009). これらの Sr-Nd 同位体組成および Sr, Nd 含有量は,  $SrI(68 \text{ Ma}) = 0.70367$ ,  $\epsilon Nd(68 \text{ Ma}) = +6.35$ ,  $Sr = 750$  ppm,  $Nd = 28.4$  ppm である (Fig. 9 の☆印). Fig. 9 に示したように, ゼノリスの値を用いた場合 (Fig. 9 の Case-1) には下部地殻の値が後述の Rudnick and Fountain (1995) の値より Sr が 1/3 程度, Nd が 1/4 程度と低いので, このような苦鉄質マグマを 5% 程度供給することで, 下部地殻の Sr-Nd 同位体組成を因美新期貫入岩類の初生値程度まで改変させることができる. Rudnick and Fountain (1995) の値を用いた場合 (Fig. 9 の Case-2) には, 苦鉄質マグマを 10 数% 程度供給することで, Sr-Nd 同位体組成の改変が可能である. 苦鉄質マグマの貫入が一度だけではなく数度にわたったとすれば, 1 回あたりの供給量はさらに低くてよい.

前述したように, Sr および Nd 同位体組成に見られる枯渇傾向は, 因美新期貫入岩類から田万川期にかけても認められる. 飯泉・高橋 (2005) は類似のモデル計算に基づき枯渇した苦鉄質マグマの貫入によってさらに下部地殻が改変され, それから田万川期火成岩類が形成された可能性を示した. 以上のように, 山陰地域においては, とくに因美新期以降, マントル由来の枯渇した苦鉄質マグマが下部地殻に付加することによりその地球化学的性質が繰り返し改変されてきたと考えられる. このような苦鉄質マグマの下部地殻への添加が山陰帯全体, あるいは山陽帯にまで及んだのかどうかは明らかでない. しかし, 近畿地方以东の山陰帯の因美新期に年代的に相当する宮津花崗岩 (61.9 Ma) や江若花崗岩 (57.4 Ma) の  $SrI$  は, それぞれ, 0.70725 および 0.71179 の比較的高い値を示す (田結庄ほか, 1999). また, 山陰帯南

縁部の用瀬期や南方の広島期貫入岩類が分布する地域では, 新第三紀まで火成活動が認められないことから, 白亜紀以降, それらの分布地域の下部地殻に大量の苦鉄質マグマが添加した可能性は低いと考えられる.

山陰帯中央部の下部地殻に, モデル計算で示したように, 同時にではないにしても 10 数% 程度の苦鉄質マグマが添加され, それによって下部地殻が部分溶融し, 大量の珪長質マグマが形成されたとすると, 下部地殻はかなりの範囲がその溶融に関与したと推定される.

## 2. 花崗岩類の白亜紀最末期における起源物質の枯渇とその意義

東アジアの大陸縁では古第三紀にいくつかの背弧盆が形成された. それらは, 渤海盆 (Bohai Basin), 北部南黄海盆 (Northern South Yellow Sea Basin), 南部南黄海盆 (Southern South Yellow Sea Basin), 蘇北盆 (Subei Basin), 泰和盆 (Taihe Basin), 三水盆 (Sanshui Basin), 東シナ海盆 (East China Sea Basin) などである (Fig. 10). これらの堆積盆の形成に関しては, 展張場におけるリフティング起源とする見解が多く (例えば, Zhou and Armstrong, 1982; Ma and Wu, 1987; Tian et al., 1992; Zhang et al., 2003; Li et al., 2008; Dong et al., 2010a, b), それらの形成史の概要が Ren et al. (2002) や Imaoka et al. (2011) によりレビューされている. これらの堆積盆の形成と密接に関連して定置した

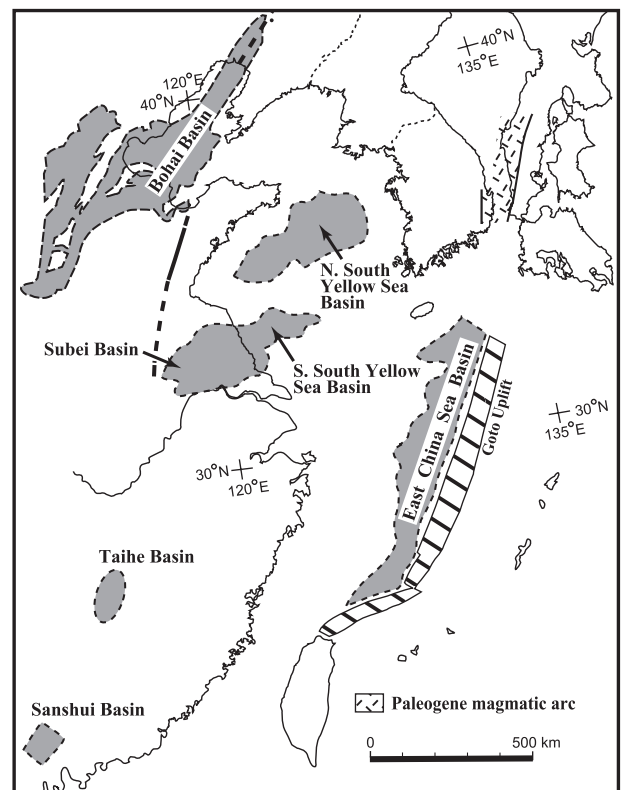


Fig. 10. Distribution of Paleogene rift basins at the continental margin of eastern Asia. The data are taken from Ye et al. (1997), Shin et al. (2005), Xie et al. (2006), Li et al. (2008), and Zhou et al. (2009).

玄武岩を主とする火成岩類が多数知られており、それらの多くがアセノスフェアの上昇によって形成されたと推定されている (Ye et al., 1997; Chung, 1999; Liu et al., 2004; Xu et al., 2004; Wu et al., 2005; Xie et al., 2006; Zhou et al., 2009; Dong et al., 2010a, b). これらリフト盆の形成開始時期に関しては、不明確な点も多いが、渤海盆から 56.3 Ma および 53.4 Ma の K-Ar 年代を示す玄武岩 (Ye et al., 1997) が、北部南黄海盆から 64 Ma の K-Ar 年代を示す玄武岩 (Yi et al., 2003) が、蘇北盆から暁新世と始新世の玄武岩 (Wang et al., 1989; Fan and Hooper, 1991) が、泰和盆から 65–49 Ma の K-Ar 年代を示す玄武岩質岩 (Xie et al., 2006) が、三水盆から 59–45 Ma のジルコン U-Pb 年代を示す花崗斑岩・粗面岩 (Zhou et al., 2009) が報告されており、一部のリフト盆の形成は白亜紀–古第三紀境界付近に開始されたと推定される。すなわち、背弧域における一部のリフト盆の形成開始時期は、因美古期から因美新期への転換時期とほぼ一致している。このことは、因美新期に始まり、田万川期に連続する火成岩類の化学組成や同位体組成の変化傾向が、東アジアの背弧域に広域的に生じたリフティングやアセノスフェアの上昇と密接に関連していた可能性を示唆している。

Imaoka et al. (2011) は、山陰帯の始新世–漸新世火成岩類の K-Ar 年代と地球化学的特徴を検討するとともに、同帯における始新世–漸新世火成作用と四万十帯の沈み込み史や背弧の造構運動との関連を議論した。そして、山陰帯から慶尚盆地南東部にかけての始新世–漸新世火成作用が陸弧リフティングに起因するとともに、同地域が東シナ海リフト盆の東方延長部にあたると推定した。また、リフティングの原因を海洋プレートの収束速度の低下に伴うスラブのロールバックとそれに誘引されたアセノスフェアの上昇に求めた。Li et al. (2008) および Yang et al. (2009) によれば、東シナ海盆の中央部を構成する Xihu Depression の形成は、急速な沈降を伴っておよそ 65 Ma に始まる。すなわち、東シナ海盆の形成開始時期は、因美新期の火成活動開始時期とほぼ一致する。このことは、山陰–慶尚盆地南東部を構成していた陸弧リフト (Imaoka et al., 2011) の形成開始期も 65 Ma 頃までさかのぼる可能性があることを示唆する。

Engelbreton et al. (1985) および Northup et al. (1995) によれば、太平洋プレートの収束速度の低下はすでに白亜紀末には始まっているので、山陰帯–慶尚盆地火成岩類において 68 (65) Ma 頃から始まる化学組成と同位体組成の変化を太平洋プレートの収束速度の低下とそれに起因するアセノスフェアの上昇 (Imaoka et al., 2011) によって説明することは可能である。一方、東アジアにおける新生代リフト盆の形成をインド–ユーラシアの大陸衝突に伴うマンツルの側方移動 (Liu et al., 2004) や走向移動断層 (Zhu et al., 2004; Wang and Zhou, 2009) に由来するとする見解もある。インドとユーラシアとの衝突開始時期に関しては諸説があるが、56–50 Ma とする見解が多い (例えば、Leech et al., 2005; Zhu et al., 2005; Green et al., 2008; Najman et al., 2010; Wang et al., 2011)。インドとユーラシアとの衝

突開始が 56–50 Ma であったとすると、山陰帯–慶尚盆地火成岩類における 68 (65) Ma 頃の組成的变化を衝突と関連づけて説明することはできない。しかし、一部の研究者はインドとユーラシアとの衝突が 65 Ma 頃に始まったとしている (例えば、Jaeger et al., 1989; Ding et al., 2005; Wang et al., 2007)。両者の衝突開始がこの時期にまでさかのぼるとすると、山陰帯–慶尚盆地の火成岩類の組成変化は、インドの衝突に起因する可能性もでてくる。

## 謝 辞

本研究を進める過程で元新潟大学大学院自然科学研究科の加々美寛雄教授には、同位体について種々ご教授いただいた。編集担当の沢田順弘名誉教授、川野良信教授、および匿名の査読者には建設的なコメントをいただき、本稿を改善する上で大変有益であった。山口大学理学部地球圏システム科学教室の永尾隆志教授には蛍光 X 線分析装置使用の便宜をはかっていただいた。赤坂千秋さんには Sr, Nd 同位体比測定試料の抽出にあたって、有益なご助言をいただいた。記して上記の方々へ感謝の意を表します。

## 文 献

- Anders, E. and Grevesse, N., 1989, Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 197–214.
- Chang, K. H. and Park, S. O., 2003, Cretaceous stratigraphy of Korea and interregional correlations. *Mem. Fukui Pref. Dinosaur Mus.*, **2**, 103–112.
- Chang, K. H., Suzuki, K., Park, S. O., Ishida, K. and Uno, K., 2003, Recent advances in the Cretaceous stratigraphy of Korea. *Jour. Asian Earth Sci.*, **21**, 937–948.
- 地質調査所 (Geol. Surv. Japan), 1992, 100 万分の 1 日本地質図 第 3 版 (*Geological Map of Japan, 1: 1,000,000, 3rd Ed.*).
- Choi, S. G., Kwon, S. T., Ree, J. H., So, C. S. and Park, S. J., 2005, Origin of Mesozoic gold mineralization in South Korea. *Island Arc*, **14**, 102–114.
- Chung, S.-L., 1999, Trace element and isotope characteristics of Cenozoic basalts around the Tanlu fault with implications for the eastern plate boundary between North and South China. *Jour. Geol.*, **107**, 301–312.
- Chung, S.-L., Cheng, H., Jahn, B. M., O'Reilly, S. Y. and Zhy, B., 1997, Major and trace element, and Sr–Nd isotope constraints on the origin of Paleogene volcanism in South China prior to the South China opening. *Lithos*, **40**, 203–220.
- Ding, L., Kapp, P. and Wan, X., 2005, Paleocene-Eocene record of ophiolite obduction and initial India-Asia collision, south central Tibet. *Tectonics*, **24**, doi: 10.1029/2004TC001729.
- Dong, Y., Xiao, L., Zhou, H., Du, J., Zhang, N., Xiang, H., Wang, C., Zhao, Z. and Huang, H., 2010a, Volcanism of the Nanpu Sag in the Bohai Bay Basin, Eastern China: Geochemistry, petrogenesis, and implications for tectonic setting. *Jour. Asian Earth Sci.*, **39**, 173–191.
- Dong, Y., Xiao, L., Zhou, H., Wang, C., Zheng, J., Zhang, N., Xia, W., Ma, Q., Du, J., Zhao, Z. and Huang, H., 2010b, The Tertiary evolution of the prolific Nanpu Sag of Bohai Bay Basin, China: Constraints from volcanic records and tectono-stratigraphic sequences. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **122**, 609–626.
- Engelbreton, D. C., Cox, A. and Gordon, R. G., 1985, Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basin. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, **206**, 1–59.
- Fan, Q. and Hooper, P. R., 1991, The Cenozoic basaltic rocks of



- eastern China: Petrology and chemical composition. *Jour. Petrol.*, **32**, 765–810.
- 服部 仁(Hattori, H.), 1978, 上石見地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), (*Geology of the Kamiwami District. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 70p.
- 服部 仁・鹿野和彦・鈴木隆介・横山勝三・松浦浩久・佐藤博之(Hattori, H., Kano, K., Suzuki, T., Yokoyama, S., Matsuura, H. and Sato, H.), 1983, 三瓶山地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), (*Geology of the Sanbesan District. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*). 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 168p.
- 服部 仁・片田正人(Hattori, H. and Katada, M.), 1964, 5万分の1地質図幅「根雨」及び同説明書(*Geological Sheet Map of "Neu", scale 1: 50000, and its explanatory text*). 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 49p.
- Goldstein, S. L., O'Nions, R. K. and Hamilton, P.J., 1984, A Sm-Nd study of atmospheric dusts and particulates from major river systems. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **70**, 221–236.
- Green, O. R., Searle, M. P., Corfield, R. I. and Corfield, R. M., 2008, Cretaceous-Tertiary carbonate platform evolution and age of the India-Asia collision along the Ladakh Himalaya (northwest India). *Jour. Geol.*, **116**, 331–353.
- 本間弘次(Honma, K.), 1986, 中国地方の花崗岩の成因, 形成機構, 形成年代—智頭・越畑・用瀬・倉見花崗岩類—。山陽放送学術文化財団リポート(*Rep. Sanyo Broadcasting Foundation*), no. 30, 11–16.
- Huppert, H. E. and Sparks, R. S., 1988, The generation of granitic magmas by intrusion of basalt into continental crust. *Jour. Petrol.*, **29**, 599–624.
- 猪木幸男・坂本 享(Igi, S. and Sakamoto, R.), 1977, 多里地域の地質(*Geology of the Tari District. With Geological Sheet Map at 1: 50000*). 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 53p.
- 飯泉 滋(Iizumi, S.), 1979, 鳥取西部, 根雨付近に分布する朝刈谷花崗閃緑岩体について。島根大理学部紀要(*Mem. Fac. Sci. Shimane Univ.*), **13**, 161–182.
- 飯泉 滋(Iizumi, S.), 1996, 表面電離型質量分析計, MAT262による岩石・鉱物試料の Sr・Nd 同位体組成の測定。島根大地球資源環境学研究報告(*Geosci. Rep. Shimane Univ.*), no. 15, 153–159.
- 飯泉 滋(Iizumi, S.), 2009, 同位体組成。日本地質学会編, 日本地方地質誌 6: 中国地方(*Monograph on Geology of Japan, Vol. 6. Chugoku*), 朝倉書店(Asakura Publ.), 335–339.
- 飯泉 滋・今岡照喜(Iizumi, S. and Imaoka, T.), 2009, 岩石化学。日本地質学会編, 日本地方地質誌 6: 中国地方(*Monograph on Geology of Japan, Vol. 6. Chugoku*), 朝倉書店(Asakura Publ.), 327–333.
- Iizumi, S., Imaoka, T. and Kagami, H. 2000, Sr-Nd isotope ratios of gabbroic and dioritic rocks in a Cretaceous-Paleogene granite terrain, Southwest Japan. *Island Arc*, **9**, 113–127.
- Iizumi, S. and Kagami, H., 1987, Initial Sr isotope ratio of the Hobutsu-san granite, San'in belt, SW Japan: Implications for Sr isotope variation of Cretaceous-Paleogene igneous rocks in the Inner zone of SW Japan. *Mem. Fac. Sci. Shimane Univ.*, **21**, 145–152.
- 飯泉 滋・加々美寛雄・本間弘次(Iizumi, S., Kagami, H. and Honma, H.), 1982, 鳥取県西部根雨付近に分布する斑れい岩体および花崗閃緑岩体の Sr 同位体組成。MAGMA, no. 64, 26–29.
- Iizumi, S., Maehara, K., Morris, P. A. and Sawada, Y., 1994, Sr isotope data of some GSJ rock reference samples. *Mem. Fac. Sci., Shimane Univ.*, **28**, 83–86.
- Iizumi, S., Mishima, H. and Okamoto, Y., 1984, A strontium isotope study on the Neu granitic pluton and its inclusion, San'in zone, Southwest Japan. *Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **79**, 89–100.
- Iizumi, S., Morris, P. A. and Sawada, Y., 1995, Nd isotope data for GSJ reference samples JB-1a, JB-3 and JG-1a and the La Jolla standard. *Mem. Fac. Sci. Shimane Univ.*, **29**, 73–76.
- 飯泉 滋・山陰バソリス研究グループ(Iizumi, S. and Research Group for the Batholith in the San'in Zone), 1983, 鳥取県西部—島根県東部に分布する白亜紀—古第三紀侵入岩類の相互関係。MAGMA, no. 67, 7–11.
- 飯泉 滋・沢田順弘(Iizumi, S. and Sawada, Y.), 1980, 松江南方の白亜紀後期—新第三紀初期火成岩類。日本地質学会 87 年総会・年会見学旅行案内書(87th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Excursion Guidebook), 1–38.
- 飯泉 滋・沢田順弘・先山 徹・今岡照喜(Iizumi, S., Sawada, Y., Sakiyama, T. and Imaoka, T.), 1985, 中国・四国地方の白亜紀—古第三紀火成活動—火成岩類の対比を中心として—。地球科学(*Earth Sci.*), **39**, 372–384.
- 飯泉 滋・島津直哉(Iizumi, S. and Shimazu, N.), 2004, 山陰帯, 島根県中央部に産する高畑花崗岩および奥山トータル岩の岩石学的・年代学的研究。島根大地球資源環境学研究報告(*Geosci. Rept. Shimane Univ.*), no. 23, 1–7.
- 飯泉 滋・高橋 亮(Iizumi, S. and Takahashi, R.), 2005, 島根県東部, 古第三紀後期梅木花崗岩の岩石学的研究: 山陰中央部の因美期および田万川期貫入岩類の岩石化学的比較。島根大地球資源環境報告(*Geosci. Rep. Shimane Univ.*), no. 24, 1–11.
- 今岡照喜・飯泉 滋(Imaoka, T. and Iizumi, S.), 2009, 5. 白亜紀—古第三紀火成活動。日本地質学会編, 日本地方地質誌 6: 中国地方(*Monograph on Geology of Japan, Vol. 6. Chugoku*), 朝倉書店(Asakura Publ.), 247–337.
- Imaoka, T., Kiminami, K., Nishida, K., Takemoto, M., Ikawa, T., Itaya, T., Kagami, H. and Iizumi, S., 2011, K-Ar age and geochemistry of the SW Japan Paleogene cauldron cluster: Implications for Eocene-Oligocene thermo-tectonic reactivation. *Jour. Asian Earth Sci.*, **40**, 509–533.
- Imaoka, T., Murakami, N., Matsumoto, T. and Yamasaki, H., 1988, Paleogene cauldrons in the western San-in district, Southwest Japan. *Jour. Fac. Sci., Liberal Arts, Yamaguchi Univ.*, **22**, 41–75.
- 石原舜三(Ishihara, S.), 1966, 島根県東部の花崗岩類とモリブデン鉱床の地質的位置—本邦モリブデン鉱床の研究(1)—。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **72**, 553–572.
- Ishihara, S., 1971, Modal and chemical composition of the granitic rocks related to the major molybdenum and tungsten deposits in the Inner zone of southwest Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **77**, 441–452.
- 石原舜三(Ishihara, S.), 1971, 日本の主要モリブデン鉱床及び関連する花崗岩質岩類。地調報告(*Rep. Geol. Surv. Japan*), no. 239, 1–178.
- Ishihara, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, **27**, 293–305.
- Ishihara, S., Lee, D. S. and Kim, S. Y., 1981, Comparative study of Mesozoic granitoids and related W-Mo mineralization in southern Korea and southwestern Japan. *Mining Geol.*, **31**, 311–320.
- Ishihara, S. and Matsuhisa, Y., 2002, Oxygen isotopic constraints on the geneses of the Cretaceous-Paleogene granitoids in the Inner Zone of Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **53**, 421–438.
- Ishihara, S., Sato, K., Jwa, Y.-J. and Kim, J.-S., 2006, REE resource evaluation of some alkaline granites and their weathered crust in South Korea. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **57**, 143–158.
- 岩田智加・亀井淳志・岩田克彦(Iwata, C., Kamei, A. and Iwata, K.), 2011, 山陰帯島根県横田地域に分布する阿毘緑花崗閃緑岩の地質学的・岩石学的研究。日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年年会合同学術大会講演要旨集(セッション B) (*2011 Joint Ann. Meet. Japan Assoc. Mineral. Sci. and Geol. Soc. Japan, Sec. B, Abstr.*), 70.
- Jaeger, J.-J., Courtillot, V. and Tapponnier, P., 1989, Paleontological view of the ages of the Deccan Traps, the Cretaceous/Tertiary boundary, and the India-Asia collision. *Geology*,

- 17, 316–319.
- Jin, M.-S., 1988, Geochemistry of the Cretaceous to Early Tertiary granitic rocks in southern Korea. Pt. II. Trace elements geochemistry. *Jour. Geol. Soc. Korea*, **24**, 168–188 (in Korean with English abstract).
- Jwa, Y. J., Lee, Y. I. and Orihashi, Y., 2009, Eruption age of the Kulsandong Tuff in the Cretaceous Gyeongsang Basin, Korea. *Geosci. Jour.*, **13**, 265–273.
- 加々美寛雄 (Kagami, H.), 2005, 本州弧に分布する白亜紀～古第三紀花崗岩の活動と起源物質. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **111**, 441–457.
- Kagami, H., Iizumi, S., Tainosho, Y. and Owada, M., 1992, Spatial variations of Sr and Nd isotope ratios of Cretaceous-Paleogene granitoid rocks, southwest Japan Arc. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **112**, 165–177.
- 加々美寛雄・川野良信・井川寿之・石岡 純・加々島慎一・柚原雅樹・周藤賢治・飯泉 滋・今岡照喜・大和田正明・小山内康人・田結庄良昭 (Kagami, H., Kawano, Y., Ikawa, T., Ishioka, J., Kagashima, S., Yuhara, M., Shuto, K., Iizumi, S., Imaoka, T., Owada, M., Osanai, Y. and Tainosho, Y.), 1999a, 本州弧白亜紀～第三紀火成活動の時空変遷と下部地殻 - Rb-Sr 全岩アイソクロン年代と Sr, Nd 同位体比初生値からの検討-. 地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 53, 1–19.
- 加々美寛雄・大和田正明・大石祥之・岩田昌寿 (Kagami, H., Owada, M., Oishi, Y. and Iwata, M.), 1999b, 北九州, 新生代火山岩に捕獲された苦鉄質グラニュライトの Sr・Nd 同位体比. 地質学論集 (*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 53, 47–55.
- 鹿野和彦・松浦浩久・竹内圭史 (Kano, K., Matsuura, H. and Takeuchi, K.), 1991, 今市地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), (*Geology of the Imaichi District. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*). 地質調査所 (Geol. Surv. Japan), 79p.
- 鹿野和彦・山内靖喜・高安克巳・松浦浩久・豊 遥秋 (Kano, K., Yamauchi, S., Takayasu, K., Matsuura, H. and Bunno, Y.), 1994, 松江地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), (*Geology of the Matsue District. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*). 地質調査所 (Geol. Surv. Japan), 126p.
- 川野良信・西 奈保子・石坂岳士 (Kawano, Y., Nishi, N. and Ishisaka, T.), 1999, 岩石化学実験室における Sr・Nd 同位体比試料の調整. 佐賀大文化教育学部研究論文集 (*Jour. Fac. Culture & Edu., Saga Univ.*), **4**, 139–146.
- Kee, W. S., Kim, S. W., Jeong, Y. J. and Kwon, S., 2010, Characteristics of Jurassic continental arc magmatism in South Korea: Tectonic implications. *Jour. Geol.*, **118**, 305–323.
- Kim, C.-S. and Kim, G.-S., 1997, Petrogenesis of the Tertiary A-type Namsan alkali granite in the Kyeongsang Basin, Korea. *Geosci. Jour.*, **1**, 99–107.
- Kim, G.-S., Kim, J.-Y., Jung, K. K., Hwang, J.-Y. and Lee, J.-D., 1995, Rb-Sr whole rock geochemistry of the granitic rocks in the Kyeongju-Gampo area, Kyeongsangbugdo, Korea. *Jour. Korean Earth Sci. Soc.*, **16**, 272–279 (in Korean with English abstract).
- Kim, K. H., Park, S. S., Na, C. K., 1996, Nd and Sr isotopic signatures of Mesozoic granitoids in South Korea. *Resource Geol.*, **46**, 215–226.
- Kim, Y. H., Iizumi, S. and Kagami, H., 1997, Petrography and geochronology of the Paleogene Deokdong and Girimsa Granites in eastern part of the Kyeongsang Basin, Korea: Implications for Eocene-Oligocene magmatism in SE Korea and SW Japan. *Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **92**, 273–286.
- Kimura, J.-I. and Yamada, Y., 1996, Evaluation of major and trace elements XRF analyses using a flux to sample ratio of two to one glass beads. *Jour. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **91**, 62–72.
- Koh, J. S., Yun, S. H., and Iizumi, S., 2000, 韓国慶尚盆地, Namsan A-type 花崗岩とそれに伴う I-type 花崗岩類の岩石学. 日本地質学会第 107 年学術大会講演要旨 (*Abstr. 107th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan*), 311.
- Lee, J. I., 1997, A review on the origin of micrographic granites (Masanites) in the southern Kyongsang Basin, Korea. *Geo sci. Jour.*, **1**, 167–178.
- Lee, J. I., Kagami, H. and Nagao, K., 1995, Rb-Sr and K-Ar age determinations of the granitic rocks in the southern part of the Kyeongsang basin, Korea: Implication for cooling history and evolution of granitic magmatism during late Cretaceous. *Geochemical Jour.*, **29**, 363–376.
- Lee, Y. I., Choi, T., Lim, H. S. and Orihashi, Y., 2010, Detrital zircon geochronology of the Cretaceous Sindong Group, Southeast Korea: Implications for depositional age and Early Cretaceous igneous activity. *Island Arc*, **19**, 647–658.
- Leech, M. L., Singh, S., Jain, A. K., Klemperer, S. L., Manickavasagam, R. M., 2005, The onset of India-Asia continental collision: Early, steep subduction required by the timing of UHP metamorphism in the western Himalaya. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **234**, 83–97.
- Li, C.-F., Zhou, Z., Ge, H. and Mao, Y., 2008, Rifting process of the Xihu depression, East China Sea Basin. *Tectonophysics*, **472**, 135–147.
- Liu, M., Cui, X. and Liu, F., 2004, Cenozoic rifting and volcanism in eastern China: a mantle dynamic link to the Indo-Asian collision? *Tectonophysics*, **393**, 29–42.
- Lugmair, G. W. and Marti, K., 1978, Lunar initial <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd: differential evolution of the Lunar crust and mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **39**, 349–357.
- Ma, X. and Wu, D., 1987, Cenozoic extensional tectonics in China. *Tectonophysics*, **133**, 243–255.
- Mason, B., 1966, *Principles of Geochemistry*. John Wiley & Sons, Inc. 329p.
- 松浦浩久 (Matsuura, H.), 1989, 山陰地方中部に分布する白亜紀後期-古第三紀火成岩類の区分と放射年代. 地調月報 (*Bull. Geol. Surv. Japan*), **40**, 479–495.
- Murakami, N., 1974, Some problems concerning late Mesozoic to early Tertiary igneous activity on the innerside of Southwest Japan. *Pacific Geol.*, **8**, 139–151.
- 村山正郎・服部 仁・猪木幸男・石原舜三・坂本 享 (Murayama, M., Hattori, H., Igi, S., Ishihara, S. and Sakamoto, R.), 1973, 横田地域の地質 (5 万分の 1 地質図幅). (*Geology of the Yokota District. With Geological Sheet Map at 1: 50,000*), 地質調査所 (Geol. Surv. Japan).
- Na, C.-k., 1994, *Genesis of granitoid batholiths of Okchon zone, Korea and its implications for crustal evolution*. Ph. D. Thesis, Univ. Tsukuba, 154p.
- Najman, Y., Appel, E., Boudagher-Fadel, M., Bown, P., Carter, A., Garzanti, E., Godin, L., Han, J., Liebke, U., Oliver, G., Parrish, R. and Vezzoli, G., 2010, Timing of India-Asia collision: Geological, biostratigraphic, and palaeomagnetic constraints. *Jour. Geophys. Res.*, **115**, doi: 10.1029/2010JB007673.
- 西田和浩・今岡照喜・飯泉 滋 (Nishida, K., Imaoka, T. and Iizumi, S.), 2005, 山陰中央部における白亜紀-古第三紀火成活動: Rb-Sr アイソクロン年代からの検討. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **111**, 123–140.
- 西田和浩・山本慎一・今岡照喜・加納 隆・大和田正明 (Nishida, K., Yamamoto, S., Imaoka, T., Kano, T. and Owada, M.), 2002, デジタルイオンメーターを用いた珪酸塩岩中のフッ素の定量方法とその応用例. 地球科学 (*Earth Sci.*), **56**, 27–34.
- Northrup, C. J., Royden, L. H., Burchfiel, B. C., 1995, Motion of the Pacific plate relative to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia. *Geology*, **23**, 719–722.
- 大和田正明・赤崎英里・亀井淳志・今岡照喜・村上良子 (Owada, M., Akasaki, E., Kamei, A., Imaoka, T. and Murakami, Y.), 2001, イオン交換樹脂を用いた岩石中の Rb, Sr および希土類元素の分離と ICP-AES による希土類元素の測定. 山口大学機器分析センター報告 (*Rep. Center Instrumental Analysis, Yama-*

- guchi Univ.*), no. 9, 13–18.
- 大和田正明・亀井淳志・山本耕次・小山内康人・加々美寛雄(Owada, M., Kamei, A., Yamamoto, K., Osanai, Y. and Kagami, H.), 1999, 中・北部北九州, 白亜紀花崗岩類の時空分布と起源. 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 53, 349–363.
- Ren, J., Tamaki, K., Li, S. and Zhang, J., 2002, Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas. *Tectonophysics*, **344**, 175–205.
- Rezanov, A. I., Kagami, H. and Iizumi, S., 1994, Rb–Sr isochron ages of Cretaceous–Paleogene granitoid rocks in the central part of the Chugoku district, Southwest Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **100**, 651–657.
- Rudnick, R. L., 1992, Xenoliths—samples of the lower continental crust. In Fountain, D. M., Arculus, R. and Kay, R. W., ed., *Continental Lower Crust*, Elsevier, Amsterdam, 269–316.
- Rudnick, R. L. and Fountain, D. M., 1995, Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Rev. Geophys.*, **33**, 267–309.
- Rudnick, R. L. and Gao, S., 2003, Composition of the continental crust. In Rudnick, R. L., ed., *The Crust*, Treatise on Geochemistry Vol. 3, Elsevier-Perгамon, Oxford. Amsterdam, 1–64.
- 坂本 享・山田直利(Sakamoto, T. and Yamada, N.), 1982, 20 万分の 1 地質図「松江及び大社」(*Geological Map of Japan 1: 200,000, Matsue and Taisha*). 地質調査所(*Geol. Surv. Japan*).
- 先山 徹(Sakiyama, T.), 1986, 山陰東部の白亜紀–古第三紀深成岩類の地質学的–岩石学的研究. 広島大地研報(*Geol. Rep. Hiroshima Univ.*), no. 26, 111–194.
- 山陰バソリス研究グループ(Research Group for the Batholith in the San'in Zone), 1982, 根雨花崗岩体–山陰帯におけるバソリス研究(その 1)–. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **88**, 299–310.
- 山陰中生代末火成活動研究グループ(Research Group for the San'in Late Mesozoic Igneous Activity), 1979, 島根県中央部邑智町周辺の白亜紀–古第三紀火成岩類. 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 17, 249–258.
- 沢田順弘(Sawada, Y.), 1979, 山陰中央部における後期白亜紀–新第三紀火成岩類の主化学組成: マグマ組成・岩系に及ぼす物理化学的制約と歴史的制約. *MAGMA*, no. 56, 30–35.
- Shin, I.-H. and Kagami, H., 1996, Rb–Sr isochron ages, Sr and Nd isotopic compositions of granophyres in the Haenam-Wando areas, Korea. *Econ. Environ. Geol.*, **29**, 151–158 (in Hangul with English abstract).
- Shin, J.-B., Park, K.-S., Shinn, Y.-J., Kang, D.-H., 2005, Analysis of geologic structure for the seismic data in the block II of Kunsan Basin, offshore Korea. *KIGAM(Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources) Bull.*, **9**, 72–83 (in Hangul with English abstract).
- Shin, S. C. and Nishimura, S., 1993, Thermal and uplift histories of Mesozoic granites in Southeast Korea: new fission track evidences. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, **2**, 104–121.
- 新編島根県地質図編集委員会(Editorial Board of Geological Map of Shimane Pref.), 1997, 新編島根県地質図(20 万分の 1) (*Geological Map of Shimane Prefecture, scale 1: 200,000*).
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359–362.
- 須藤 宏・本間弘次・笹田政克・加々美寛雄(Sudo, H., Honma, H., Sasada, M. and Kagami, H.), 1988, 山陰東部, 三朝–奥津–湯原地域に分布する白亜紀–古第三紀火成岩類の Sr 同位体比. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **94**, 113–128.
- 田結庄良昭・加々美寛雄・柚原雅樹・中野 聰・澤田一彦・森岡幸三郎(Tainosho, Y., Kagami, H., Yuhara, M., Nakano, S., Sawada, K. and Morioka, K.), 1999, 高 Sr 同位体比初生値を有する近畿地方の白亜紀–古第三紀花崗岩類. 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 53, 309–321.
- Taira, A., 2001, Tectonic evolution of the Japanese island arc system. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, **29**, 109–134.
- 高木哲一・内藤一樹・飯泉 滋(Takagi, T., Naito, K. and Iizumi, S.), 2000, 島根県東部の花崗岩類と鉾床. 日本地質学会第 107 年学術大会, 見学旅行案内書(107th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Excursion Guidebook), 35–44.
- 寺岡易司・松浦浩久・牧本 博・吉田史郎・神谷雅晴・広島俊男・駒沢正夫・志知龍一(Teraoka, Y., Matsuura, H., Makimoto, H., Yoshida, S., Kamitani, M., Hiroshima, T., Komazawa, M. and Shichi, R.), 1996, 20 万分の 1 地質図幅「高梁」(*Geological Map of Takahashi, 1: 200,000*). 地質調査所(*Geol. Surv. Japan*).
- Teraoka, Y. and Okumura, K., 2003, *Geological Map of East Asia, 1: 3,000,000*. Geol. Surv. Japan, AIST.
- Tian, Z.-Y., Han, P. and Xu, K.-D., 1992, The Mesozoic-Cenozoic rift system. *Tectonophysics*, **208**, 341–363.
- Tsue, A., Dai, K., Mizuta, T. and Tamai, T., 1990, A comparison of Jurassic granitoids between the Hida Belt and South Korea. *Mining Geol.*, **40**, 365–384.
- 梅本研吾・今岡照喜・山崎 徹・大和田正明(Umemoto, K., Imaoka, T., Yamasaki, T. and Owada, M.), 2000, 混合融剤(A12)を使用した岩石の蛍光 X 線分析. 山口大機器分析センター報告(*Rep. Center Instrumental Analysis, Yamaguchi Univ.*), no. 8, 16–23.
- Wang, H., Yang, X., Zhu, B., Fan, S. and Dai, T., 1989, K–Ar geochronology and evolution of Cenozoic volcanic rocks in eastern China. *Chinese Jour. Geochem.*, **8**, 1–14.
- Wang, J., Hu, X., Jansa, L. and Huang, Z., 2011, Provenance of Upper Cretaceous–Eocene deep-water sandstones in Sangdanlin, southern Tibet: Constraints on the timing of initial India-Asia collision. *Jour. Geol.*, **119**, 293–303.
- Wang, L. Q., Zhu, D. C., Geng, Q. R., Liao, Z. L. and Pan, G. T., 2007, Ages and tectonic significance of the collision-related granite porphyries in the Lunzhub Basin, Tibet, China. *Chinese Sci. Bull.*, **52**, 1669–1679.
- Wang, Y. and Zhou, S., 2009, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating constraints on the high-angle normal faulting along the southern segment of the Tan-Lu fault system: An implication for the onset of eastern China rift-systems. *Jour. Asian Earth Sci.*, **34**, 51–60.
- Wu, C., Gu, L., Ren, Z., Zhang, Z., Chen, Z. and Zhao, M., 2005, Transition from platemargin to intraplate environment: Geochemistry of basalts in Paleogene Liaohé basin, northeastern China. *Sci. China Ser. D. Earth Sci.*, **48**, 2069–2080.
- Xie, G., Mao, J., Hu, R., Franco, P., Li, R. and Cao, J., 2006, K–Ar dating, geochemical and Sr–Nd–Pb isotopic systematics of Paleocene mafic rocks in Central Jiangxi, SE China: Evidence for lithosphere replacement. *Geochem. Jour.*, **40**, 485–500.
- Xu, Y.-G., Chung, S.-L., Ma, J. and Shi, L., 2004, Contrasting Cenozoic lithospheric evolution and architecture in the western and eastern Sino-Korean craton: Constraints from geochemistry of basalts and mantle xenoliths. *Jour. Geol.*, **112**, 593–605.
- Yang, F., Yu, H., Zhang, Q. and Li, Q., 2009, Correlations between shortening rate, uplift rate, and inversion rate in central inversion zone of Xihu depression, East China Sea basin. *Jour. Earth Sci.*, **20**, 699–708.
- Ye, D., Lu, F., Zhu, Q. and Zheng, J., 1997, Study on Eocene basalts: Implication of the deep process over the Bohaiwan basin evolution. *Jour. China Univ. Geosci.*, **8**, 78–82.
- Yi, S., Yi, S., Batten, D. J., Yun, H. and Park, S.-J., 2003, Cretaceous and Cenozoic non-marine deposits of the Northern South Yellow Sea Basin, offshore western Korea: palynostratigraphy and palaeoenvironments. *Plaeogeogr. Palaeoclimatol. Plaeoecol.*, **191**, 15–44.
- Zhang, Y., Mam, Y., Yang, N., Shi, W. and Dong, S., 2003, Ce-

- nozoic extensional stress evolution in North China. *Jour. Geodynamics*, **36**, 591–613.
- Zhou, X. and Armstrong, R. L., 1982, Cenozoic volcanic rocks of eastern China—secular and geographic trends in chemistry and strontium isotopic composition. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **58**, 301–329.
- Zhou, H., Xiao, L., Dong, Y., Wang, C., Wang, F. and Ni, P., 2009, Geochemical and geochronological study of the Sanshui basin bimodal volcanic rock suite, China: **Implications for basin dynamics in southeastern China.** *Jour. Asian Earth Sci.*, **34**, 178–189.
- Zhu, B., Kidd, W. S. F., Rowley, D. V., Currie, B. S. and Shafique, N., 2005, Age of initiation of the India-Asia collision in the east-central Himalaya. *Jour. Geol.*, **113**, 265–285.
- Zhu, B.-Q., Wang, H.-F., Chen, Y.-W., Chang, X.-Y., Hu, Y.-G. and Xie, J., 2004, Geochronological and geochemical constraint on the Cenozoic extension of Cathaysian lithosphere and tectonic evolution of the border sea basins in East Asia. *Jour. Asian Earth Sci.*, **24**, 163–175.

## (要 旨)

西田和浩・今岡照喜・君波和雄・長松 雄・飯泉 滋, 2013, 西南日本山陰帯と韓国慶尚盆地の花崗岩類における白亜紀最末期の Sr–Nd 同位体組成変化とその意義. *地質雑*, **119**, 229–248. (Nishida, K., Imaoka, T., Kiminami, K., Nagamatsu, Y. and Iizumi, S., 2013, Marked change of Sr–Nd isotopic compositions of granitoids in Sanin Belt of SW Japan and Gyeongsang Basin of Korea during the latest Cretaceous, and geologic significance. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **119**, 229–248.)

西南日本山陰帯中央部地域の複合バソリスを構成する白亜紀–古第三紀花崗岩類の全岩化学組成と Sr–Nd 同位体比の時代的変遷について検討し, 山陰地域と地質学的関係が深いとされる韓半島の慶尚盆地のそれと比較検討した。

因美古期貫入岩類(78–68 Ma)は  $K_2O$ , Rb, Y, Zr, F に富み, 因美新期貫入岩類(68–53 Ma)と田万川期貫入岩類(43–30 Ma)は  $MgO$ ,  $P_2O_5$  と Sr に富み, 高い K/Rb 比, Ti/Zr 比と低い  $K_2O/Na_2O$  比を有する. Sr, Nd 同位体比は因美新期から田万川期にかけて枯渇する傾向を示し,  $\epsilon Nd(T)$  は 68 Ma 頃から高い値へと変化する. 同位体比にみられる同様の枯渇傾向は慶尚盆地でも認められる. 両地域に共通にみられるこのような時代的变化は, アセノスフェアに由来する枯渇した苦鉄質マグマの注入による下部地殻の改変が白亜紀最末期頃から始まった結果と考えられる。