

讃岐平野の瀬戸内珪長質火山岩の全岩化学組成

新正裕尚・折橋裕二・角井朝昭

Abstract

In Sanuki plain of NE Shikoku island, many small volcanic bodies belonging to Setouchi Volcanic Rocks are distributed. We report new 24 whole rock compositions of felsic members of the Setouchi Volcanic Rocks analyzed using XRF. Some of the samples are “adakitic” with low Y content and high Sr/Y ratio, as previously reported for Setouchi Volcanic Rocks from Kii peninsula and Shodoshima Island. All of the adakitic rocks are rhyolitic composition with $\text{SiO}_2 > 73\%$, and may be derived from distinct magma patch from coexisting low Sr/Y ratio andesite to dacite.

はじめに

西南日本には第四紀火山フロントより少なくとも 80 km 海溝寄りの地域に、中新世中期の火成岩が広く分布する。それらは島弧伸長方向に約 800 km, 島弧横断方向に最大 150 km におよぶ分布域を持つ。これらの火成活動の放射年代の多くは 13~15 Ma に集中し、日本海の拡大にともなう西南日本弧の時計回り回転、さらに拡大直後の高温の四国海盆スラブの沈み込みという一連の出来事に関連して起こった火成活動であると見られる (Kimura et al., 2005; 新正ほか, 2007 など)。

これらの火成活動は南海トラフから遠い側から瀬戸内火山岩類, 外帯花こう岩類, 外縁帯の火成岩類に区分される。瀬戸内火山岩類は玄武岩から流紋岩にいたる多様な組成の岩石からなるが, サヌキトイドやざくろ石を含むデイサイト~流紋岩, ピッチストーンなどが特徴的な岩石であるとされる。なおサヌキトイドの中にはマンテルかんらん岩と平衡に共存できる玄武岩及び高 Mg 安山岩の産出が特徴的である。瀬戸内火山岩類の高 Mg 安山岩マグマの成因については大量の水の存在のもとでのかんらん岩の部分融解という考えが唱えられていた (例えば Tatsumi, 1981, 1982)。近年ではスラブ融解によるメルトとマンテルかんらん岩の反応によるマグマ成因が様々な地球化学的データから提案されている (例えば Tatsumi,

2006)。このスラブ融解による高 Mg 安山岩マグマ生成説を強化するものとして、瀬戸内火山岩類の一部のデイサイト～流紋岩の中に高い Sr/Y 比を持ち、重希土に枯渇した希土類元素パターンを示す岩石の存在がある。すなわちアダカイト (Defant and Drummond, 1990) に類似した微量元素組成上の特徴を持つ岩石が見られる。アダカイトは形成年代が若く高温のスラブが沈み込む場所で海洋地殻が融解して生成するとされる。瀬戸内火山岩類は拡大直後で高温の四国海盆スラブの沈み込みのもとで形成されたので、アダカイト生成のテクトニックな環境と合致する。ただし瀬戸内火山岩類の岩石は一般に K_2O にとみ、沈み込んだ堆積物がマントル深度で融解したものと推定されている (Shimoda and Tatsumi, 1999; 新正ほか, 2007)。後述するように、これらの岩石は厳密には Defant et al., (1991) などで示される、アダカイトの組成領域には入らない。ただし、スラブメルトに由来する岩石であることから、以下本稿では、これらの岩石をアダカイト質岩と呼ぶことにする。

このように高 Mg 安山岩とアダカイト質岩はスラブ物質の融解により生成した可能性があり、それらの時空分布はスラブ融解を起こしうるような、高温のスラブの時空分布を復元できる可能性があり、火成活動当時のテクトニックな環境の復元について重要な情報を与えるものである。

瀬戸内火山岩類は西から九州東部の大野川地域、松山周辺と島嶼部、四国東部の讃岐平野と小豆島をはじめとする島嶼部、紀伊半島、設楽といった諸地域にある程度まとまった分布を持つ (Fig. 1a)。これらの中で、高 Mg 安山岩の出現が知られるのは、大野川地域から紀伊半島までである。一方珪長質火山岩については微量元素組成までを含む全岩組成の報告例が揃っておらずアダカイト質岩の時空分布にはまだ不明の点が多い。

本稿では四国東部讃岐平野に分布する瀬戸内火山岩類のなかでも珪長質火山岩の蛍光 X 線分析による全岩主成分・微量元素組成を報告する。そして、それらのなかにアダカイト質のものと、非アダカイト質のものが存在することを示す。

試料の概要

備讃瀬戸の島々を含む四国北東部の香川県北東部から北西部にかけて分布する瀬戸内火山岩類は讃岐層群と総称されており (Sato, 1982 など)、現存するだけで総計約 50 km^3 の噴出量がある (Sato, 1982)。なかでも大量の火山岩類が分布する五色台周辺や小豆島地域などでは、酸性火山岩・火砕岩類と中性～塩基性火山岩類が共に分布し、それらの地域では層序関係から酸性火山岩類が中性～塩基性火山岩類よりも下位にあることが確認されており、これが讃岐層群における一般的な火山岩層序であると考えられている (Sato, 1982; 巽, 1983 など)。それ以外に讃岐平野や備讃瀬戸の島々には広域的に 100 個を越える火山体が分布しており、全体を総括した層序等は未確立である (氏家, 1991)。なお川畑・周藤 (2000) は讃

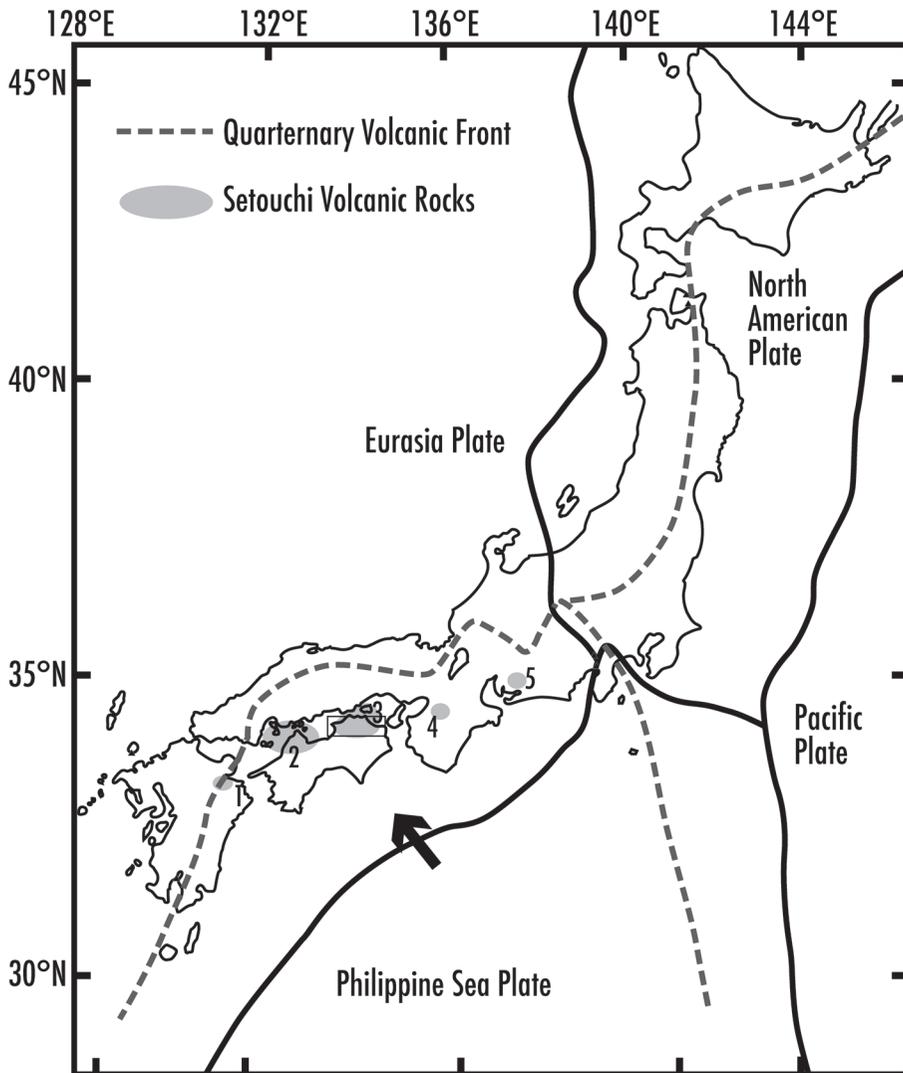


Figure 1 a) Distribution of Setouchi Volcanic Rocks and location of the main map (box). Major distributions of the Setouchi Volcanic Rocks are as follows; 1. Ohno, 2. Matsuyama, 3. NE Shikoku, 4. Osaka, 5. Shitara.

岐平野西部に分布するやや規模の大きな七宝山体、弥谷山体、我拝師山体について詳細な調査を行い、やはり流紋岩質の溶岩・火砕岩が下位にあり、安山岩～デイサイト質の溶岩・火砕岩が上位にある共通層序を持つことを示した。本稿では小豆島等の島嶼部を除いた讃岐平野に分布する火山体から広域的に試料採取を行ったなかで、珩長質火山岩について選び出しその全岩化学組成を報告する。

Fig. 1b に讃岐平野の瀬戸内火山岩類の概要分布を示す。分析値を報告する試料の位置も

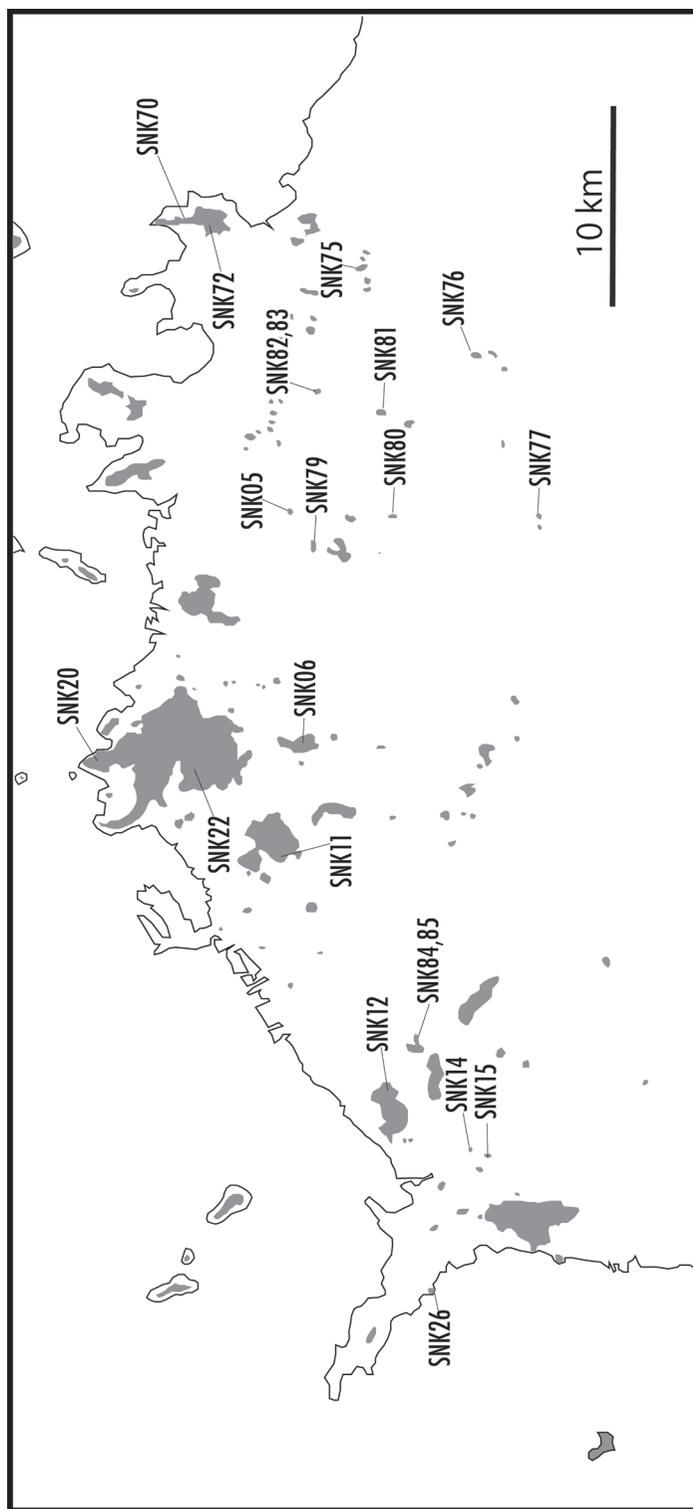


Figure 1 b) Index map of the Setouchi Volcanic Rocks of the Sanuki plain (modified from Sato, 1982). Sample localities of the present study are also shown.

合わせて示した。

分 析

蛍光 X 線分析は複数の施設・機器を用いた。多くの試料については東京大学地震研究所の Phillips PW2400 を用いて希釈率 1:2 のガラスビードを用いて主成分・微量元素組成を測定した。一部の試料については主成分元素組成を東京工業大学の Rigaku Simultix 3550 で 1:10 の希釈率のガラスビードを用いて主成分元素組成を、産業技術総合研究所の Phillips PW1404 で岩石粉末の加圧整形試料を用いて微量元素組成を測定した。

結果と議論

ここでは TAS classification の酸性岩の定義に基づき (Le Maitre, 2002), $\text{SiO}_2 > 63\%$ の岩石試料 24 個を取り扱う (主成分の total を 100% に換算した)。Table 1 に分析結果を示した。先に述べたように複数の施設の異なるシステムの蛍光 X 線分析装置を用いた結果、微量元素については分析した元素の種類に違いがある。

先に述べたように、瀬戸内火山岩類のデイサイト～流紋岩に特徴的に見られる岩石種として Sr/Y 比が高いアダカイト質のものがある。そこで Figure 2 に Defant et al. (1991) によりアダカイトの判別に用いられた Y に対する Sr/Y 比をプロットしたものを示す。ここでは Sr/Y 比が 150 を超える 3 点はプロットの枠から外れている。瀬戸内火山岩類の高 Sr/Y 比を持つ岩石は極めて低い Y 含有量が特徴で、Defant et al. (1991) によるアダカイトフィールドよりも低い Y 量の部分にプロットされる。ここで Defant et al. (1991) のアダカイトフィールドの Sr/Y 比の下限の 40 を超えるものをアダカイト質岩として区別してプロットしたハーカー図を Figure 3 に示す。

高 Sr/Y 比を持つアダカイト質岩は $\text{SiO}_2 > 73\%$ (主成分の total を 100% に換算, 以下同様) の範囲に限られる。低 SiO_2 側の低 Sr/Y 比の岩石は幾つかの元素で分散が大きい。低 Sr/Y 比の岩石から高 Sr/Y 比の岩石にかけて全体としてトレンドを形成する元素もあるが、高 Sr/Y 比の岩石は Y, TiO_2 , P_2O_5 などについて全体のトレンドよりやや低い濃度の部分にプロットされる。これらから、高 Sr/Y 比のアダカイト質岩は低 Sr/Y 比の岩石から結晶分別等で進化したものではなく、起源の異なるマグマに由来する可能性が大きい。これは川畑・周藤 (2000) による瀬戸内火山岩類の複合溶岩を構成する岩石は玄武岩～デイサイトの範囲に限られ、流紋岩質岩は複合溶岩の構成岩相に含まれないという指摘とも合致する。

高 Sr/Y 比のアダカイト質岩は多くの瀬戸内火山岩類の分布域では活動の初期に形成された部分から見出されている。例えば近畿地方の二上層群では下位のドンズルポー累層に産出

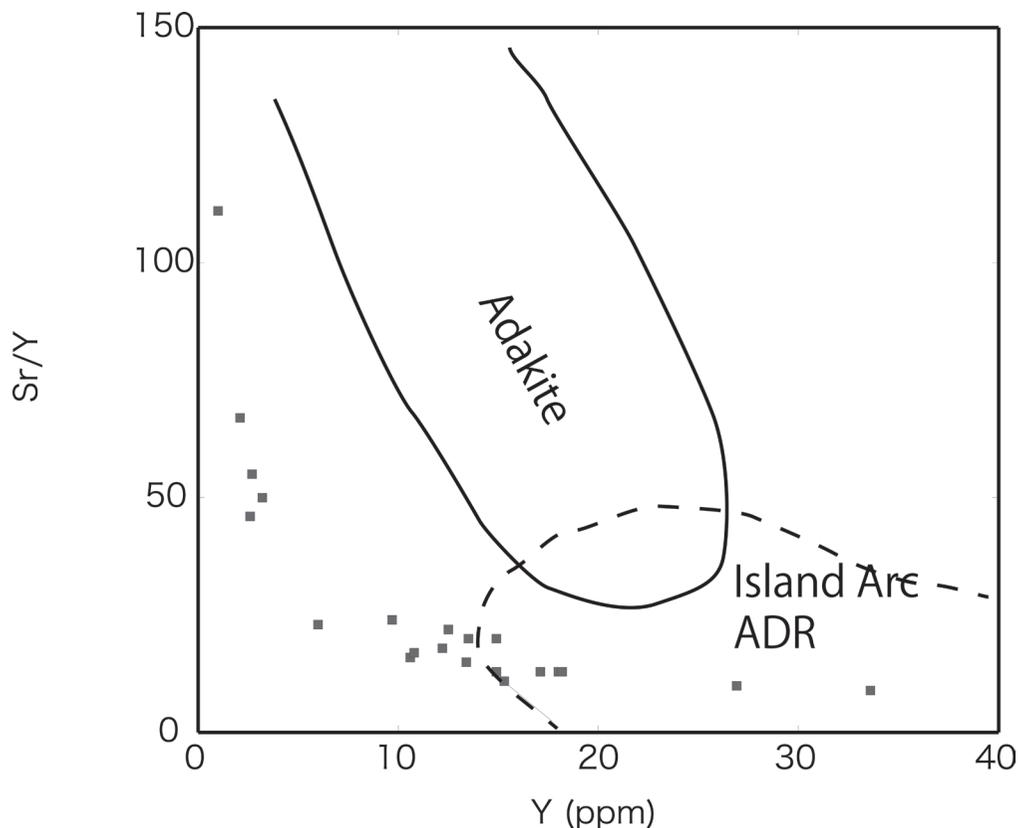


Figure 2 Sr/Y versus Y diagram of the Setouchi Volcanic Rocks in Sanuki plain. Three data points which their Sr/Y<150 are outside the framework of the graph. Adakite and island arc ADR (andesite, dacite, rhyolite) fields are from Defant et al. (1991).

する。小豆島で同様の高 Sr/Y 比の岩石は下位の内海累層から報告されている (Shimoda and Tatsumi, 1999)。また、讃岐平野については Kawabata and Shuto (2005) が七宝山体および弥谷山体について全岩化学組成を報告している中に高 Sr/Y 比の岩石が含まれるが、下位の流紋岩質の火砕岩である。ただし例外があり、弥谷山体については上位の安山岩を貫く流紋岩岩脈が、低い Y 量と高い Sr/Y 比をもつ。

今回報告した高 Sr/Y 比のアダカイト質岩は孤立した小規模の山塊から得られたものである。紀伊半島についても耳成山、畝傍山といった流紋岩溶岩からなる孤立山体が高 Sr/Y 比の岩石からなる (新正ほか, 2007)。孤立山塊は他の火山体との関係が不明であるので活動の前後関係を求めるのは困難である。しかし讃岐平野のような多数の火山体が分布する地域では緻密にサンプリングして全岩分析を行うことで、アダカイト質岩の活動の空間分布を推さえることができる可能性がある。

Table 1 Results of XRF analysis

Sample locality	SNK05 由良山	SNK06 鷲の山	SNK11 郷師山	SNK12 天霧山	SNK14 霧ノ山	SNK15A 霧神山	SNK15B 霧神山	SNK20 五色台	SNK22 五色台	SNK26 仁尾町名部戸	SNK53C 鹿津越	SNK70B 志度町小田	SNK72 志度町小田	SNK75 丸山
SiO ₂	66.80	67.60	69.23	63.89	64.03	63.13	64.58	63.57	64.80	61.72	69.66	69.66	70.20	76.13
TiO ₂	0.47	0.36	0.20	0.54	0.44	0.51	0.46	0.49	0.51	0.53	0.27	0.05	0.07	0.02
Al ₂ O ₃	15.97	16.56	16.78	16.56	17.80	18.25	17.98	16.74	17.52	16.62	15.72	16.95	15.88	13.67
Fe ₂ O ₃ *	4.04	3.00	2.77	4.35	4.25	4.01	3.61	5.11	3.74	4.61	3.21	2.06	2.14	0.40
MnO	0.07	0.06	0.03	0.07	0.10	0.08	0.06	0.10	0.07	0.09	0.07	0.02	0.03	0.01
MgO	1.07	1.39	0.23	2.71	1.49	1.38	1.11	4.29	0.93	3.22	0.61	0.32	0.35	0.11
CaO	2.41	3.03	3.21	4.25	4.67	4.77	4.29	5.16	3.81	5.21	2.33	0.89	1.28	0.55
Na ₂ O	3.63	3.91	3.92	3.65	3.66	4.23	4.11	3.92	4.09	3.67	3.43	1.24	1.89	2.29
K ₂ O	3.72	2.62	2.41	2.19	1.54	1.85	2.10	1.56	2.88	1.50	3.57	3.35	3.18	3.87
P ₂ O ₅	0.19	0.13	0.10	0.12	0.20	0.15	0.15	0.15	0.21	0.15	0.12	0.04	0.04	0.05
total	98.37	98.66	98.86	98.33	98.18	98.36	98.45	101.09	98.56	97.32	98.99	94.57	95.05	97.08
(ppm)														
Sc			4.8					11.5			6.6	2.0	3.8	
V	30.5	41.1	6.5	59.8	39.4	58.1	43.1	60	22.3	92.6	7.5	6.1	11.2	5.2
Cr	11.0	27.0	4.3	107.0	19.0	4.0	11.0	183	56.0	122.0	4.1	4.5	7.9	4.4
Co			45.1					16			3.6	0.5	0.9	
Ni	1.6	7.6		35.3	3.7	0.0	1.2	87	19.9	28.9	2.1	2.2	27.4	1.8
Zn	83.4	65.7	68.3	72.1	86.2	67.8	67.2	95	66.2	57.4	66.7	77.3	50.7	32.6
Ga			19.9					17			20.6	21.2	18.7	16.1
Rb	166	112	92	95	58	95	85	64	127	63	143	148	142	160
Sr	208	164	234	175	298	304	278	231	273	264	187	120	136	112
Y	13.4	10.6	9.7	15.3	33.6	14.9	12.5	18	26.9	13.5	14.9	2.6	6.0	1.0
Zr	194	111	140	118	142	123	115	124	215	115	110	71	70	39
Nb	11.3	9.1	7.9	9.0	7.3	7.7	25.0	6	12.1	7.8	10.0	14.4	8.7	11.4
Ba	571	427	463	311	343	357	377	259	532	340	550	447	474	463
Pb			20.6					19			30.1	34.4	43.0	32.6
Th			10.1					4			12.0	12.5	15.2	10.0
Sr/Y	15	16	24	11	9	20	22	13	10	20	13	46	23	111

* total iron as Fe₂O₃

讃岐平野の瀬戸内珪長質火山岩の全岩化学組成

Table 1 (Continued)

Sample locality	SNK76 讃岐山	SNK77 塩江町北内	SNK79A 白山	SNK79B 白山	SNK80 二子山	SNK81 鎌山	SNK82 白山	SNK83 白山	SNK84 香色山	SNK85 香色山
SiO ₂	74.75	74.05	71.49	66.88	72.18	74.13	64.09	67.60	72.78	71.39
TiO ₂	0.01	0.01	0.24	0.43	0.12	0.01	0.56	0.34	0.11	0.14
Al ₂ O ₃	14.11	14.05	14.84	15.62	15.57	14.29	16.52	15.81	14.98	14.59
Fe ₂ O ₃ *	0.92	1.46	1.97	4.09	1.18	1.09	4.81	3.73	1.19	2.06
MnO	0.01	0.02	0.03	0.05	0.02	0.02	0.09	0.08	0.01	0.03
MgO	0.05	0.10	0.32	1.10	0.19	0.05	1.56	0.80	0.17	0.21
CaO	0.82	0.99	1.94	2.60	1.26	0.84	4.38	3.11	1.87	1.96
Na ₂ O	3.60	3.55	3.66	3.81	3.57	3.71	3.42	3.54	3.86	4.07
K ₂ O	3.91	3.99	3.64	3.64	3.37	3.99	2.80	3.28	2.92	2.81
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.10	0.18	0.07	0.05	0.15	0.12	0.06	0.07
total	98.22	98.26	98.23	98.40	97.53	98.17	98.37	98.42	97.96	97.32
(ppm)										
Sc	2.3	0.7	4.4	6.0	2.1	0.2	12.7	8.2	1.2	1.6
V	4.8	5.7	17.8	32.7	6.5	6.8	54.3	24.2		
Cr	7.9	7.1	8.9	13.4	3.2	7.7	9.3	4.8	4.2	6.0
Co		0.9	1.5	5.4	0.0	0.4	7.2	4.4		
Ni	2.8	3.3	2.6	6.6	0.1	2.2	2.9	1.2	1.0	2.1
Zn	28.9	76.6	50.8	75.2	48.6	60.9	64.7	67.9	43.8	62.7
Ga	17.3	17.7	18.0	21.2	18.0	17.7	21.3	18.9	17.1	17.5
Rb	163	170	159	160	144	170	121	135	129	124
Sr	106	133	185	220	160	118	239	215	143	146
Y	0.7	0.6	10.8	12.2	3.2	0.3	18.2	17.1	2.1	2.7
Zr	36	35	131	168	128	36	127	148	75	75
Nb	11.0	10.6	8.9	10.4	11.2	10.2	8.8	10.1	7.6	7.6
Ba	522	536	520	584	503	721	490	558	435	423
Pb	39.8	41.6	40.7	34.8	33.3	47.5	25.4	29.2	21.8	21.3
Th	7.1	7.7	12.8	10.6	13.9	8.7	8.2	19.2	11.0	8.6
Sr/Y	154	209	17	18	50	350	13	13	67	55

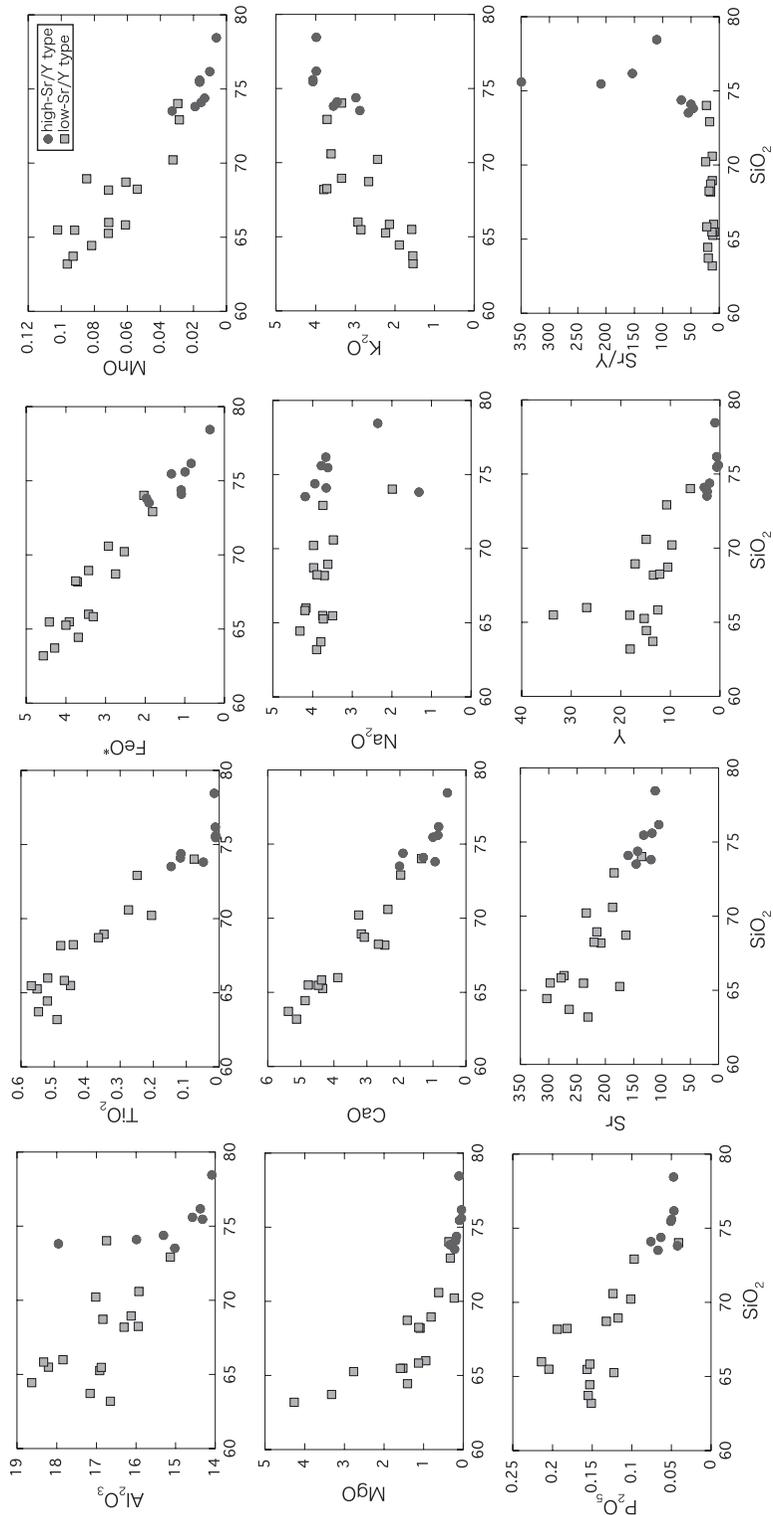


Figure 3 Harker variation diagrams for the major element compositions of the Setouchi Volcanic Rocks in Sanuki plain. FeO*, total Fe as FeO.

謝辞 蛍光 X 線分析については東京大学地震研究所の共同研究プログラムからの援助を受けた。研究のとりまとめに関して、東京経済大学個人研究助成費（14-18）からの援助を受けた。以上記して厚く御礼申し上げます。

文 献

- Defant, M.J., and Drummond, M.S. (1990) Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, **347**, 662-665.
- Defant, M.J., Richerson, P.M., De Bore, J.Z., Stewart, R.H., Maury, R.C., Bellon, H., Drummond, M.S., Feigenson, M.D., and Jackson, T.E. (1991) Dacite genesis via both slab melting and differentiation: Petrogenesis of La Yeguada Volcanic Complex, Panama. *J. Petrol.*, **32**, 1101-1142.
- 川畑 博・周藤賢治 (2000) 四国北東部、観音寺周辺に分布する瀬戸内火山岩類の地質。地質雑, **106**, 670-688.
- Kawabata, H., and Shuto, K. (2005) Magma mixing recorded in intermediate rocks associated with high-Mg andesites from the Setouchi volcanic belt, Japan: implications for Archean TTG formation. *J. Volcanol. Geotherm. Res. Lett.*, **140**, 241-271.
- Kimura, J., Stern, R.J., and Yoshida, T. (2005) Reinitiation of subduction and magmatic responses in SW Japan during Neogene time. *Geological Society of America Bulletin*, **117**, 969-986.
- Le Maitre, R.W. (2002) Igneous rocks - a classification and glossary of terms. 2nd ed. Cambridge University Press, 236p.
- Sato, H. (1982) Geology of Goshikidai and adjacent areas, northeast Shikoku, Japan: Field occurrence and petrography of sanukitoid and associated volcanic rocks. *Sci. Rep. Kanazawa Univ., Ser. II*, **27**, 13-70.
- Shimoda, G., and Tatsumi, Y. (1999) Generation of rhyolite magmas by melting of subducting sediments in Shodo-Shima island, Southwest Japan, and its bearing on the origin of high-Mg andesites. *Island Arc*, **8**, 383-392.
- 新正裕尚・折橋裕二・和田稜隆・角井朝昭・中井俊一 (2007) 紀伊半島中新世珪長質火成岩類の全岩組成の広域的变化。地質雑, **113**, 310-325.
- Tatsumi Y. (1981) Melting experiments on a high-magnesian andesite. *Earth Planet. Sci. Lett.* **54**, 357-365.
- Tatsumi Y. (1982) Origin of high-magnesian andesites in the Setouchi volcanic belt, Southwest Japan. II. Melting phase relations at high pressures. *Earth Planet. Sci. Lett.* **60**, 305-317.
- Tatsumi, Y. (2006) High-Mg andesites in the Setouchi Volcanic Belt, Southwestern Japan: Analogy to Archean magmatism and continental crust formation? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **34**, 467-499.
- 巽 好幸 (1983) 小豆島の火山地質—瀬戸内火山岩類の噴出環境—。地質雑, **89**, 693-706.
- 氏家 治 (1991) (2) 讃岐層群, 日本の地質-8. 四国地方, 日本の地質「四国地方」編集委員会・須鎗和巳・岩崎正夫・鈴木堯士編, 共立出版, 124-126.

Appendix 試料位置の緯度・経度

sample code	latitude (°N)	longitude (°E)
SNK05	34.2853	134.0806
SNK06	34.2798	133.9478
SNK11	34.2912	133.8780
SNK12	34.2353	133.7396
SNK14	34.1956	133.7074
SNK15	34.1873	133.7032
SNK20	34.3787	133.9292
SNK22	34.3295	133.9285
SNK26	34.2179	133.6213
SNK53	34.2614	134.3781
SNK70	34.3377	134.2498
SNK72	34.3253	134.2472
SNK75	34.2549	134.2275
SNK76	34.1841	134.1717
SNK77	34.1632	134.0984
SNK79	34.2699	134.0658
SNK80	34.2309	134.1062
SNK81	34.2424	134.1380
SNK82	34.2708	134.1507
SNK83	34.2711	134.1501
SNK84	34.2226	133.7727
SNK85	34.2215	133.7732