

# 紀伊半島南部，古座川弧状岩脈の凝灰岩， 花崗斑岩の全岩化学組成

新正裕尚\* 黒川貴之\* 外西奈津美\*\*

\*東京経済大学

\*\*東京大学地震研究所

## Abstract

Whole rock major and trace element compositions analyzed by XRF, INAA, and PGA are reported for tuff and granite porphyry samples from Kozagawa arcuate dike, southern Kii peninsula. The dike is coeval with Kumano Acidic Rocks, one of the member of the Middle Miocene granitic rocks in the Outer Zone of southwest Japan. Similarity of whole rock composition of the samples between Kozagawa arcuate dike and Kumano Acidic Rocks is described in brief.

## はじめに

西南日本には瀬戸内火山岩類および外帯花崗岩類と総称される中新世中期に活動した火成岩類が広く分布する。紀伊半島東南部に分布する熊野酸性岩類（荒牧・羽田，1965）は外帯花崗岩類の一員であり，その主岩体である花崗斑岩の現存する体積のみで，300 km<sup>3</sup>におよぶ大規模な珪長質火成岩体である（Fig. 1）。

しかしながら，これまで報告された熊野酸性岩類の全岩化学組成の分析値は余り多くない（新正ほか，2007a）。その中で，比較的まとまったものとしては，新正ほか（2007a, b）による花崗斑岩，流紋岩の主成分，微量元素組成および，中島ほか（2010）による熊野酸性岩の花崗斑岩分布域でなされた掘削コア試料の花崗斑岩，凝灰岩の主成分元素組成の報告がある。

本稿では，熊野酸性岩類の主岩体の南方に分布し，一連の火成活動で形成されたと考えられている古座川弧状岩脈（立石ほか，1979）を構成する，凝灰岩および花崗斑岩の全岩組成を報告し，従来報告されている，熊野酸性岩類主岩体を構成する岩石の組成と比較し類似性について検討する。

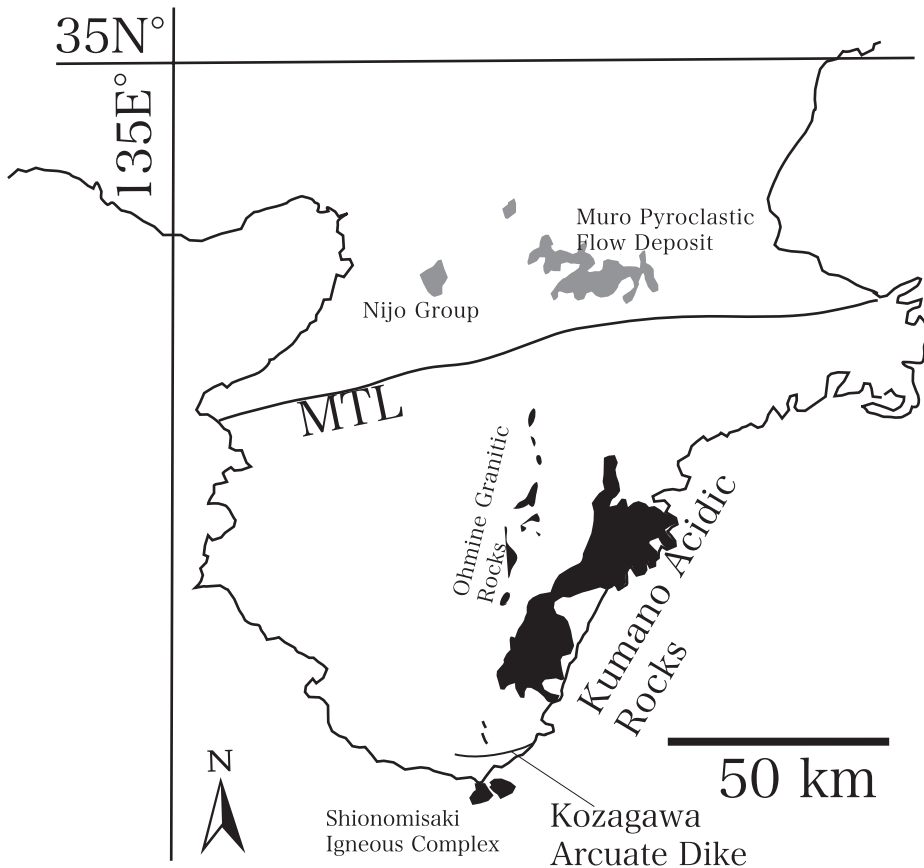
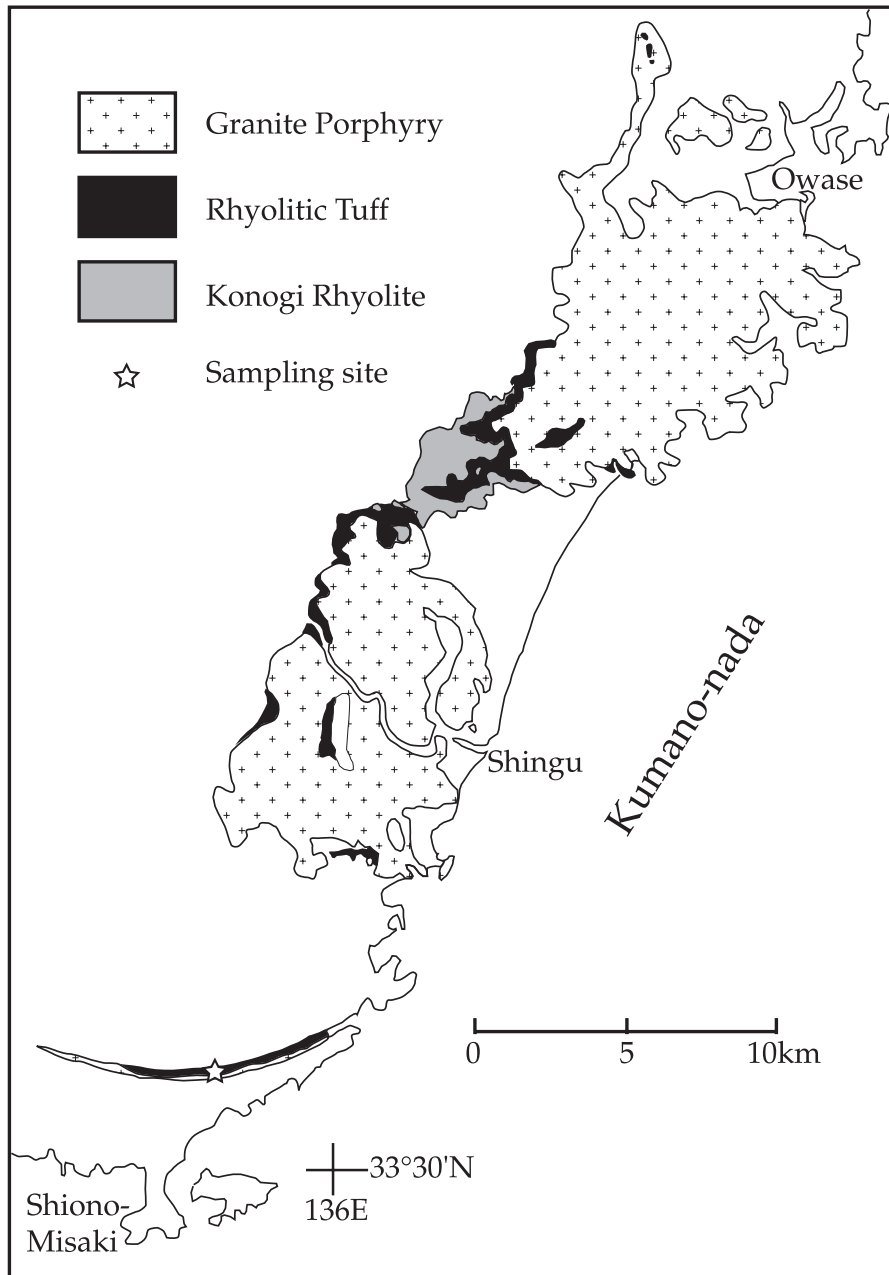


Figure 1 Distribution of the Miocene igneous rocks in the Kii peninsula.

### 地質と試料

熊野酸性岩類 (Fig. 2) は，下位より神ノ木流紋岩，流紋岩質凝灰岩，花崗斑岩の岩相に区分されている (荒牧・羽田，1965)。花崗斑岩は全露出面積の約 85% を占め，尾鷲市から熊野市にかけて分布する北岩体と，新宮市付近に分布する南岩体に大別される (荒牧・羽田，1965)。川上・星 (2007) は北岩体周辺の研究に基づき，流紋岩質凝灰岩について火砕流堆積物として定置したものと，貫入したものを区別し，前者を尾鷲白浜火砕岩類と新称した。古座川弧状岩脈は太地から古座峡にかけて，約 22 km にわたり半弧状に分布する。幅は最大 800 m，平均 500 m 程度で，露出域の岩相のおよそ 8 割が凝灰岩，2 割が花崗斑岩からなる (荒牧・羽田，1965)。

古座川弧状岩脈については，主岩体の貫入過程と関連づけた議論がなされてきた。荒牧 (1965) は熊野酸性岩類の形成過程について，巨大な漏斗状の割れ目を通じて火山灰を噴出



**Figure 2** Distribution of the Kumano Acidic Rocks (modified from Sumii et al., 1998) and sample locality.

紀伊半島南部，古座川弧状岩脈の凝灰岩，花崗斑岩の全岩化学組成

した後，大量のマグマが火道を満たして貫入し形成された巨大な溶岩湖が冷却して花崗斑岩となるモデルを示した。古座川弧状岩脈については，弧の内側に傾斜した円錐形岩床とし，マグマ溜まり内部の静水圧により基盤岩中に形成された割れ目に由来し，熊野酸性岩を形成したマグマ溜まりが，より南西の地域にまで拡がっていた可能性を示唆した。Miura (1999) は南岩体を取り巻く弧状断層の存在を示し，南岩体が全体として陥没カルデラ（熊野カルデラ）を形成し，花崗斑岩はコールドロンを埋めた火砕岩中にラコリス状の貫入岩体として形成されたものとした。そして，古座川弧状岩脈はカルデラの南縁をなし，爆発的噴火を行なった際の火砕岩の火道であるとした。

古座川弧状岩脈の花崗斑岩からは  $14.3 \pm 0.2$  Ma の黒雲母 K-Ar 年代が報告されている（角井ほか，1998）。これは角井ほか（1998）の報告した南岩体の花崗斑岩（ $14.4 \pm 0.1$  Ma）と神ノ木流紋岩（ $14.2 \pm 0.2$  Ma）の黒雲母 K-Ar 年代とよく一致している。また，岩野ほか（2007）により古座川弧状岩脈の凝灰岩 2 試料の 6 測定値の加重平均として  $14.6 \pm 0.2$  Ma の，花崗斑岩 1 試料の測定値として  $14.7 \pm 0.4$  Ma のジルコンフィッシュトラック年代が報告されている。これらも，尾鷲白浜火砕岩類 10 測定値の加重平均（ $15.1 \pm 0.2$  Ma）および花崗斑岩 5 測定値の加重平均（ $15.1 \pm 0.2$  Ma）として求められたジルコンフィッシュトラック年代（岩野ほか，2007）と  $2\sigma$  誤差の範囲で一致している。このように，これまで報告されている放射年代も，古座川弧状岩脈が熊野酸性岩類の主岩相とほぼ同時に形成されたものという考えに矛盾しない。

今回全岩組成の分析に供した凝灰岩（SP209）は和歌山県東牟婁郡古座川の宇都木集落周辺（ $33^{\circ} 32'16''\text{N}$ ， $135^{\circ} 48'17''\text{E}$ ），花崗斑岩（SP211）は宇都木集落南東方（ $33^{\circ} 32'8''\text{N}$ ， $135^{\circ} 48'42''\text{E}$ ）の，いずれも古座川沿いの県道 38 号付近の露頭より採取した。

## 分析方法

凝灰岩試料，花崗斑岩試料を細粉化した全岩試料を東京大学地震研究所の蛍光 X 線分析装置（RIGAKU ZSX Primus II）で 3 倍希釈のガラスビードにより主成分，微量元素組成を測定した。測定方法は基本的に谷ほか（2002）に従った。これらの全岩試料について，中性子放射化分析（INAA）により希土類元素を含む，いくつかの微量元素組成を測定した。中性子の照射は日本原子力研究開発機構東海研究所の JRR-3 原子炉で行ない，ガンマ線の計測は約 1 週間および 1 ヶ月冷却後に分けて東京大学大学院工学系研究科原子力専攻共同利用本部で行なった。同時に照射した産業技術総合研究所岩石標準試料 JB-1 および JR-2 を標準試料として対比法で定量した。ガンマ線スペクトルのピーク面積計算は SAMPO90（Aarnio et al., 1992）を用いた。さらに，希土類元素のうち INAA で測定が難しい，Gd については，即発ガンマ線分析（PGA）によって定量した。PGA は，JRR-3 原子炉の熱中性子ビー

ムラインに設置の装置を用いて行った。分析法については, Sano et al. (2006) に従った。

## 結果と議論

Table 1 に蛍光 X 線分析の結果を, Table 2 に中性子放射化分析の結果を示す。主成分元素のハーカ図を Figure 3 に示した。ここでは, 熊野酸性岩類の主岩体のデータとして, 地表試料の花崗斑岩 (新正ほか, 2007a) に加え, 花崗斑岩北岩体の南端部で行われた熊野井内浦掘削コアから得られた花崗斑岩および凝灰岩 (中島ほか, 2010) についての分析値を併

**Table 1** Whole rock chemical compositions of tuff and granite porphyry of the Kozagawa Arcuate dike determined with XRF.

code rock type	SP209 tuff	SP211 granite porphyry
(wt %)		
SiO <sub>2</sub>	70.80	74.58
TiO <sub>2</sub>	0.68	0.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.66	13.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4.42	2.05
MnO	0.06	0.02
MgO	1.57	0.91
CaO	2.97	0.60
Na <sub>2</sub> O	3.01	2.32
K <sub>2</sub> O	1.88	5.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.15
total	100.13	99.06
(ppm)		
V	58.8	16.4
Cr	29.8	10.4
Co	10.3	6.4
Ni	13.8	7.2
Zn	75.6	34.2
Ga	18.9	16.5
Rb	43.2	162
Sr	256	52.2
Y	21.6	33.2
Zr	238	151
Nb	11.7	9.4
Ba	993	808
Pb	20.4	20.8

\*total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**Table 2** Whole rock trace element compositions of tuff and granite porphyry of the Kozagawa Arcuate dike determined with INAA.

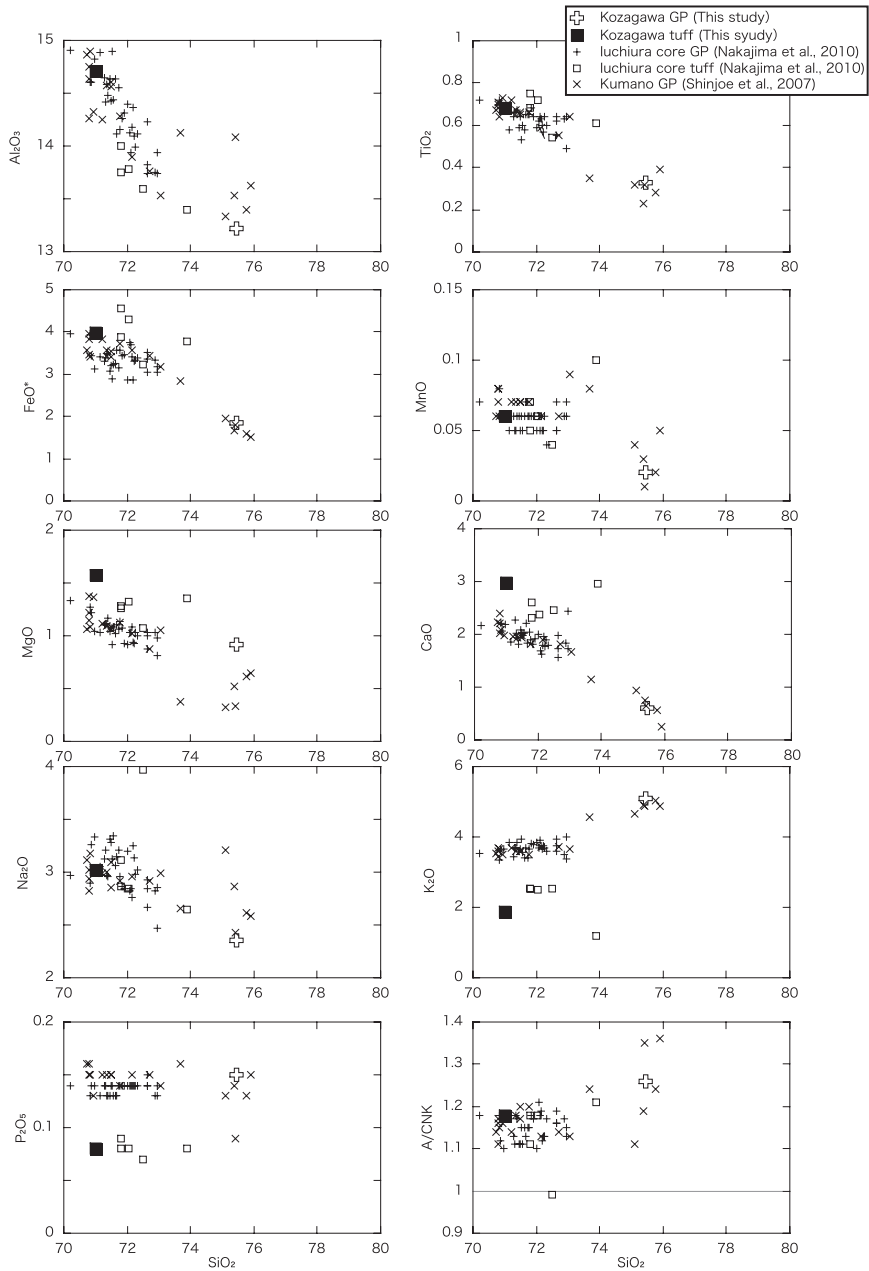
code	SP209	SP211
(ppm)		
Th	11.7	9.3
U	1.00	2.65
Ta	0.73	0.80
Hf	5.55	4.22
Sc	11.03	5.16
Sb	0.19	0.23
As	1.07	1.53
Cs	1.35	4.04
La	37.7	22.6
Ce	79.3	49.3
Nd	34.3	22.3
Sm	6.07	5.11
Eu	1.53	0.69
Gd*	5.35	5.01
Tb	0.77	0.93
Yb	1.99	3.26
Lu	0.31	0.46

\*determined by PGA.

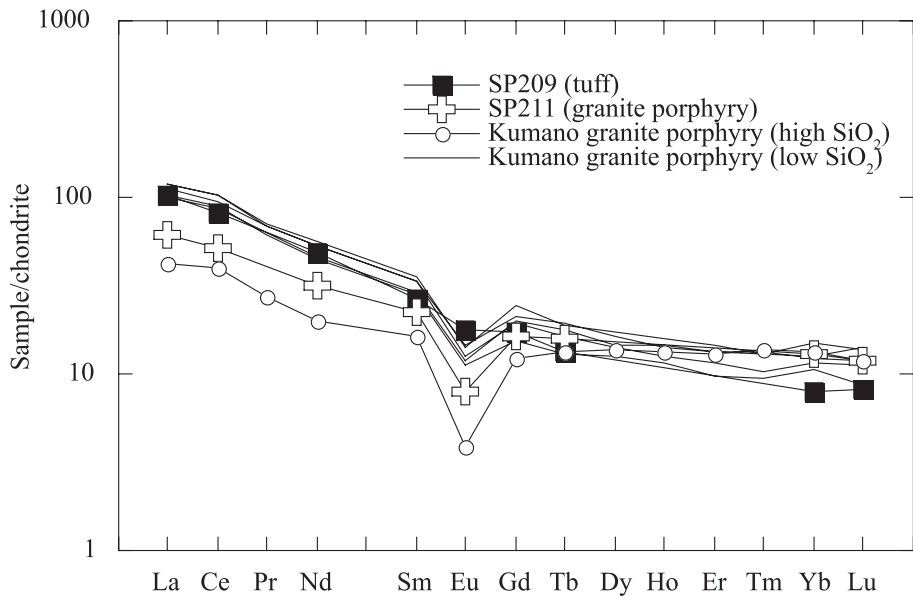
せてプロットした。全体の SiO<sub>2</sub> 量はほぼ 70~76 wt% の範囲にある（酸化物の総計を 100% に換算。以下同じ）。SiO<sub>2</sub> 量の増加に対して, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, CaO は減少し, K<sub>2</sub>O は増加するトレンドを示す。花崗斑岩と凝灰岩の組成範囲は多くの元素で重複するが, 凝灰岩は花崗斑岩に比べて同じ SiO<sub>2</sub> 量に対してやや FeO, MgO, CaO に富み, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> に乏しい。このような組成差は凝灰岩に含まれる斑晶サイズの結晶片量が花崗斑岩の斑晶量より一般に多く, 火砕流の運搬定置過程で, 粒度の小さいガラス片が選択的に失われたためであると推定されている（中島ほか, 2010）。

今回報告した古座川弧状岩脈の凝灰岩および花崗斑岩は, 熊野酸性岩本体の凝灰岩および花崗斑岩の組成範囲にそれぞれほぼ重なる領域にプロットされる。熊野酸性岩本体の花崗斑岩の SiO<sub>2</sub> 量は 70~76 wt% の範囲にわたるが, 75 wt% 前後の比較的 SiO<sub>2</sub> 量の高い試料は主に岩体周縁部のものである。今回報告した古座川弧状岩脈の花崗斑岩の SiO<sub>2</sub> 量は約 75.5 wt% であり, その組成は花崗斑岩岩体周縁部の試料に類似する。

Figure 4 に希土類元素パターンを示した。比較のために熊野酸性岩類の花崗斑岩の組成（新正ほか, 2007b）を合わせてプロットした。なお凝灰岩については, 微量元素組成に関する既報のデータはない。花崗斑岩の希土類元素パターンは右下がりの軽希土類元素, ほぼ



**Figure 3** Harker variation diagrams for major elements of the tuff and granite porphyry of the Kozagawa arcuate dike and Kumano Acidic Rocks (Shinjo et al., 2007a; Nakajima et al., 2010).  $A/CNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$  in molecular basis. GP, granite porphyry.  $FeO^*$ , total Fe as  $FeO$



**Figure 4** Plots of rare earth elements of the Kozagawa arcuate dike normalized to C1 chondrite composition. REE composition of six granite porphyry samples of the Kumano Acidic Rocks (Shinjoe et al., 2007b) are also shown for comparison.

フラットな重希土類元素および負の Eu 異常で特徴づけられる。さらに、 $\text{SiO}_2$  量の高い試料は Eu 負異常が大きくなるとともに、軽希土類元素に乏しくなる (新正ほか, 2007b)。Figure 4 において熊野酸性岩類の花崗斑岩については  $\text{SiO}_2$  量の低い (70.8~72.7 wt %) ものと、高いもの (75.7 wt%) を区別してプロットした。今回分析した花崗斑岩については、この両者の中間的なパターンを示した。凝灰岩も  $\text{SiO}_2$  量の低い花崗斑岩と全体的なパターンは共通するが、Eu 負異常が極めて小さい。凝灰岩の Sr 量 (= 256 ppm) は熊野酸性岩の花崗斑岩の組成範囲 (45~191 ppm; 新正ほか, 2007a) に比して高く、先述のように長石等の結晶片の濃集が影響している可能性がある。

ここまで述べたように、古座川弧状岩脈から得た凝灰岩および花崗斑岩試料の全岩組成は、それぞれ、熊野酸性岩類の尾鷲白浜火砕岩類の凝灰岩、 $\text{SiO}_2$  量の高い花崗斑岩と良く類似し、放射年代の一致と合わせて、両者が同源のマグマからの一連の活動で形成されたことを支持するものと考えられる。

#### 謝辞

本稿で提示されたデータの一部は、T. K. による東京経済大学総合教育研究論文において取り扱われたものである。中性子放射化分析および即発ガンマ線分析は東京大学大学院工学系研究科原子力専攻の原子力機構施設利用共同研究により行われた。測定に際しては共同利用管理本部の石本光



憲氏, 澤幡浩之氏のご助力を得た。即発ガンマ線分析の試料準備に関しては, 立正大学の福岡孝昭博士のご助力を得た。蛍光X線分析は東京大学地震研究所の共同利用プログラムからの援助を受けた。測定に際しては, 安田敦博士, 中井俊一博士, 折橋裕二博士のご助力を得た。また, 研究に関連した費用の一部は東京経済大学個人研究助成費(09-14)によるものである。以上記して深く感謝の意を表したい。

## 文 献

- Aarnio, P. A., Nikkinen M.T. and Routti, J. T., 1992, SAMPO 90 High resolution interactive gamma-spectrum analysis including automation with macros. *Jour. Radioanal. Nucl. Chem.*, 160, 289-295.
- 荒牧重雄 (1965) 熊野酸性火成岩類の噴出様式. 地質学雑誌, 71, 525-540.
- 荒牧重雄・羽田 忍 (1965) 熊野酸性岩の中部および南部の地質. 地質学雑誌, 71, 494-512.
- 岩野英樹・檀原 徹・星 博幸・川上 裕・角井朝昭・新正裕尚・和田穰隆 (2007) ジルコンのフィッシュン・トラック年代と特徴から見た室生火砕流堆積物と熊野酸性火成岩類の同時性と類似性. 地質学雑誌, 113, 326-339.
- 川上 裕・星 博幸 (2007) 火山一深成複合岩体に見られる環状岩脈とシート状貫入岩: 紀伊半島, 尾鷲一熊野地域の熊野酸性火成岩類の地質. 地質学雑誌, 113, 296-309.
- Miura, D. (1999) Arcuate pyroclastic conduits, ring faults, and coherent floor at Kumano caldera, southwest Honshu, Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 92, 271-294.
- 中島 隆・小泉尚嗣・下司信夫・及川輝樹・新正裕尚・三浦大助・角井朝昭・重松紀生・北川有一 (2010) 熊野井内浦掘削コアから推測する中期中新世熊野酸性岩北岩体の垂直構造と定置過程. 地質学雑誌, 116, 374-387.
- Sano T., Hasenaka T., Sawahata H. and Fukuoka T. (2006) Determination of Ti, K, Sm and Gd values in Geological Survey of Japan reference materials by prompt gamma neutron activation analysis. *Geostand. Geoanal. Res.*, 30, 31-37.
- 新正裕尚・角井朝昭・折橋裕二・下田 玄 (2007a) 蛍光X線分析による熊野酸性火成岩類の全岩化学組成. 東京経済大学人文自然科学論集, 124, 31-40.
- 新正裕尚・折橋裕二・和田穰隆・角井朝昭・中井俊一 (2007b) 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. 地質学雑誌, 113, 310-325.
- 角井朝昭・内海 茂・新正裕尚・下田 玄 (1998) K-Ar 法による熊野酸性火成岩類の年代の再検討. 地質学雑誌, 104, 387-394.
- 谷 健一郎・折橋裕二・中田節也 (2002) ガラスビードを用いた蛍光X線分析装置による珪酸塩岩石の主微量成分分析: 3倍6倍11倍希釈ガラスビード法の分析精度の評価. 東京大学地震研究所技術報告, 8, 26-36.
- 立石雅昭・別所孝範・原田哲朗・久富邦彦・井内美郎・石上知良・公文富士夫・中屋志津男・坂本隆彦・鈴木博之・徳岡隆夫 (1979) 江住地域の地質, 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所.