

## 九州における四万十累層群砂質岩の放射化分析

鈴木達郎・中村和人<sup>1)</sup>・宮田哲生<sup>2)</sup>・新原洋也<sup>3)</sup>・北村教浩<sup>4)</sup>・田中智博<sup>5)</sup>・  
大石 誠<sup>6)</sup>・大野尚行・七夕弘和<sup>7)</sup>・千代田 卓<sup>8)</sup>・坂本達則<sup>9)</sup>

(2012年10月23日 受理)

鹿児島大学教育学部地学教室

Instrumental neutron activation analysis of psammitic rocks from the Shimanto Super Group, Kyushu,  
Southern Japan

SUZUKI Tatsuo, NAKAMURA Kazuhito, MIYATA Tetsuo, NIIHARA Hiroya, KITAMURA Norihiro,  
TANAKA Tomohiro, OHISHI Makoto, OHNO Naoyuki, TANABATA Hirokazu,  
CHIYODA Suguru, and SAKAMOTO Tatsunori

Department of Geology, Faculty of Education, Kagoshima University, Kagoshima 890, Japan

### Abstract

The Cretaceous to Neogene Shimanto Super Group in Kyushu, southern Japan, is characterized as elemental compositions and its spatial distributions based on the content determination of various elements using instrumental neutron activation analysis (INAA) for 23 elements from about 200 sandstone rock specimens. The Shimanto Super Group, which have been regarded as an accretion tectonic unit, forming the major frame structure of the Outer Zone of Southwest Japan, has been divided into two groups; the Cretaceous Group in the Northern Shimanto Belt and the Paleogene to Neogene Groups in the Southern Belt. The Cretaceous group, named the Morotsuka Group, is composed of the Saiki Sub-Group and the Kamae Sub-Group, whose ages have been estimated as Early Cretaceous and Middle to Late Cretaceous, respectively, mainly from their radiolarian biostratigraphical evidence. The differences in geochemical characteristics obtained from the major components of elements between the Saiki Sub-Group and the Kamae Sub-Group corresponded to the difference of modal composition of rock-forming minerals or components of quartz, feldspar, and lithic fragments in sandstones of these sub-groups as previously

---

現所属：<sup>1)</sup> 宮崎県小林市立西小林中学校, <sup>2)</sup> 鹿屋市立花岡中学校, <sup>3)</sup> 志布志市立出水中学校, <sup>4)</sup> 肝属町立高山小学校,  
<sup>5)</sup> 鹿児島市立東桜島中学校, <sup>6)</sup> 屋久島町立栗生小学校, <sup>7)</sup> 志布志市立香月中学校, <sup>8)</sup> 熊本県上益城郡益城  
町役場都市計画課, <sup>9)</sup> 宮崎県児湯郡新富町立宮田小学校

reported by Teraoka and Okumura (1992) and others. Other while, the geochemical characteristics of spatial distribution of elements within each sub-group can be thought to indicate differences on back-land geology during supplying the depositional materials in the Cretaceous to Neogene Periods. The spatial distribution of various elements in the Cretaceous Morotsuka Group is described in this study providing the database on the geologic developments in the Cretaceous period of southern Japan.

**Keyword** : Kyushu, Shimanto Super Group, sandstone, instrumental neutron activation analysis, spatial distribution of elements.

## 1. 緒言

南九州は地質学上、西南日本外帯に属し、その西南日本外帯は大別して秩父帯と四万十帯とに分けられる。四万十帯は白亜系下部四万十層群からなる北帯と古第三系から新第三系の上部四万十層群からなる南帯とに分けられている。秩父帯と四万十帯に属する基盤岩類は関東地方から沖縄にいたる日本列島の基本的地質構造を構成し、主として島弧 - 海溝系における付加体とされている。四万十層群の砕屑岩の構成物質の大半は陸側から供給されたと考えられ、砕屑性堆積岩を構成する主要コンポーネントや主成分元素組成などには地層群による特徴が認められている(寺岡・奥村, 1992; 寺岡ほか, 1995; 寺岡ほか, 1999; など)。しかしまだこれら四万十層群の砕屑性堆積物の特徴およびその地域性について議論するためのデータは充分ではない。

本研究の目的は、元素分析を系統的に実施して、九州における四万十帯の砕屑性堆積物の多くの元素の時空分布を明らかにすることである。そのためには正確な分析値が多数の試料について容易に得られる元素分析法が望まれるが、放射化分析法はその目的にかなう現在でも数少ない方法のひとつである。放射化分析法では非破壊で多元素同時定量を多数の試料で可能である。多元素の定量の結果、堆積環境の変遷や、後背地の影響などによる元素組成の地域性、などの検討が可能になると考えられる。いわば地質時代の地球化学図“古地球化学図”作成を企図するものであり、現在まだ進行中であるが、南九州の四万十層群について今までに得られた結果についての概略をここに報告する。

なお本稿は鈴木ほか(2009)および鈴木ほか(2012)の原子力機構施設利用総合共同研究成果報告を編集・改訂したものである。

## 2. 地質概観

九州の四万十帯の下部四万十層群、上部四万十層群などの関係でも、またそれらのなかでも、地層群はおおよそ西方上位に分布するが、放射化石などの古生物学的研究による地質年代ではおおよそ東方上位に分布している。九州の四万十帯の地質について、橋本(1962)をはじめとし

て従来多くの調査研究があり、地質調査所（GSJ: 旧通産省工業技術院地質調査所，現 産業技術総合研究所地質調査総合センター）の5万分の1地質図幅類，20万分の1地質図類（宇都ほか，1997； 斎藤・阪口，1997）や，鹿兒島県（1990），村田（1998），などの多くの地質図が公開されている。九州における白亜系下部四万十層群は諸塚層群と呼ばれ，佐伯亜層群（白亜紀前期～後期）と蒲江亜層群（白亜紀後期）とに分けられている。また上部四万十層群は北川層群・神門層・日向層群・日南層群などに区分されている。Table 1. に西北から東南にかけての九州でのおおよその分布順にその概略をまとめた。しかしその詳細な地質区分の分布域や地質構造についての解釈は従来の研究で必ずしも一致していない。ここでは寺岡（2004）にまとめられている産業総合研究所の近年の図幅調査などにおける基本的立場に従うことにする。

Table 1. 九州の四万十累帯構成層（寺岡，2004；ほかによる）

|         |               |
|---------|---------------|
| 四万十累帯北帯 |               |
| 諸塚層群    |               |
| 佐伯亜層群   | （白亜紀前期～後期）    |
| 蒲江亜層群   | （白亜紀後期）       |
| 四万十累帯南帯 |               |
| 北川亜層群   |               |
| 神門層     |               |
| 日向亜層群   | 始新世中期～（始新世後期） |
| 日南亜層群   | 漸新世前期～中新世初期   |
| -----   |               |
| 宮崎層群    |               |

### 3. 分析試料

南九州に広く分布する四万十帯から，大分県佐伯市～宮崎県延岡市地域，宮崎県椎葉村～諸塚村地域，熊本県人吉市～五木村地域，鹿兒島県北薩地域（鹿兒島県出水市～阿久根市），同 南薩地域（鹿兒島県旧日置郡東市来町，旧日置郡吹上町，旧日置郡金峰町，旧川辺郡川辺町，鹿兒島市，旧川辺郡知覧町，旧揖宿郡喜入町，旧川辺郡笠沙町，枕崎市），同 大隅北部地域（霧島市，曾於市，垂水市）において四万十累層群の厚層の砂岩層を選んで主として中粒から細粒の砂岩を試料とした。今回放射化分析法による分析値を報告するのは，砂岩212試料である。分析試料の詳細な岩相記載については別の機会に譲る。

### 4. 実験方法

中性子放射化分析法による元素定量のための試料作成は以下のようにおこなった。まず数 cm 大にした数 kg 以上の原岩試料を，ジョークラッシャーで粉碎し数 mm 以下にする。これを縮分器で縮分して数100 g 程度にする。さらに縮分して数 g 程度にしたものをメノウ製ポットミルで微粉末とする。この粉末試料を110℃ 1晩乾燥し，極薄手のポリエチレン製の袋に100mg 程度を

めどに秤量して封入し照射試料とする。

目的試料10個から20個にGSJ(地質調査所)の標準岩石試料のJR-1・JB1aをその上下に加えて順序をチェックして照射用キャプセルに詰める。これを日本原子力研究機構東海研究所の研究用原子炉JRR-3M・JRR-4の中性子フルエンスに合わせて時間を調節し目的に適した照射施設で中性子照射をおこなう。今回はJRR-4のTパイプ350kW出力時では90分、100kW出力時で5時間、またJRR-3M PN1あるいはPN2では10～15分間の照射をおこなった。

照射後1週間ないし10日程度冷却後、中寿命核種定量のため、また2週間から1ヶ月後に長寿命核種の定量のための測定をおこなった。さらに相当期間保存して再度長寿命核種の定量のための測定をおこなった。多くの場合同一試料2個を測定してその平均値をとっている。ガンマ線スペクトル測定は日本原子力研究機構東海研究所内の東京大学大学院工学研究科原子力専攻共同利用管理本部(大学開放研究室)のRI実験室あるいは鹿児島大学共同利用RI実験室において実施した。

ガンマ線スペクトロメトリーによる元素定量計算は、スペクトルのデジタルファイルを用いて、鈴木(2003)と同様に、ネットカウント計算(GSPAN:鈴木, 2001をWINDOWS Versionとして改訂, 未公表)、放射能計算(ACTCLQ21:鈴木, 未公表)、元素定量計算(CNTDT21A・CNTDT41B:鈴木, 未公表)の計算プログラムを順次使用しておこなった。ただし現在はこれらの計算プログラムはWINDOWS上でメニューからスペクトルデータのあるディレクトリー、スペクトルデータのフォーマットの種類、分析の種類(中寿命核種、長寿命核種、などの区別)などを指定すると、あとはバッチファイルを用いて一括して自動的に分析を進めることができる。

定量計算ではGSJ(地質調査所)のJR1・JB1aを標準試料(推奨値:Imai et al., 1995a,b)としても位置補正のためのワーキングスタンダードとしても使用した。SiO<sub>2</sub>成分の異なるUSGS(アメリカ合衆国地質調査所)のGSP2, AGV2, BCR2, BHVO2試料との比較(未公表)でも、SiO<sub>2</sub>成分などの異なる試料でも通常の地質試料では同一標準値を使用して問題のないことがわかっている。さらにその比較から、成分・元素によりJR1・JB1aのどちらを標準値とするべきかあるいはそれらの平均値を採用するべきかを検討して定めた。

主成分としてNa<sub>2</sub>O(%), 全Fe [Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] (%), 微量成分として, Sc, Cr, Co, Zn, Rb, Sr, Zr, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, Uの23元素を定量しているが、使用する照射場の特性などによっては検出しにくい元素もあるので、ここではNa<sub>2</sub>O(wt%), 全Fe [as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>](wt%), Sc, Rb, Cs, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Th, Uの全14元素(あるいは成分)について検討対象とした。

## 5. 測定結果と討論

個別の測定結果の記述は多数になるので、ここでは測定結果を白亜系諸塚層群の佐伯亜層群と蒲江亜層群と上部四万十層群とに分けて、地域ごとのNa<sub>2</sub>O(%), 全Fe [Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] (%), Sc, Rb, La, Ce, Sm, Yb, Hf, Thの測定値と、La/Sc, Th/Scパラメータの平均値としてTable 2～4に示す。

また佐伯亜層群と蒲江亜層群については  $La/Sc$  と  $Th/Sc$  の関係を Fig.2 に図示した。

これらのデータが示す元素あるいは  $La/Sc$ 、 $Th/Sc$  などのパラメータの分布や地域ごと地層群ごとのそれらの平均値からは次のようなことがいえる。白亜系諸塚層群の佐伯亜層群と蒲江亜層群とでは  $Na \cdot Fe \cdot Rb \cdot Cs \cdot Th$  などにやや違いはあるものの元素含有量の傾向は似ているようにみえるが、平均値としてみる限り、一定の傾向が識別される。佐伯亜層群の砂岩と蒲江亜層群の砂岩では  $Na_2O$  として4%前後であるが、蒲江亜層群の砂岩の  $Na$  含有量はやや低めである。上部四万十層群の砂岩では下部四万十層群の砂岩に比べて明瞭に低い。これは数値としては示されていないが、寺岡ほか (1995) による延岡東方の槇峰 - 神門地域の四万十層群砕屑岩についての化学分析値を図示した結果とほぼ一致している。これは寺岡ほか (1995) の述べる通り長石類の分解によるもので、寺岡ほか (1999) の示すこれら砂岩の成熟度に対応するものであろう。全  $Fe$  についても同様に佐伯亜層群の砂岩と蒲江亜層群の砂岩でほぼ3.5%前後で近い値であるが、平均としては佐伯亜層群の砂岩のほうがやや高い。しかし上部四万十層群の砂岩は佐伯亜層群の砂岩と蒲江亜層群の砂岩に比べて明瞭に低い。おそらくこの  $Fe$  含有量に関連すると見られる  $Sc$  や  $Co$  の含有量にも違いが認められる。 $Rb \cdot Yb \cdot Lu$  は比較的蒲江亜層群においてやや高い傾向にみえる。 $Yb \cdot Lu$  含有量の違いが Masuda-Coryell プロットとして知られるランタノイドパターンに関連して  $La/Yb$  比の違いに対応している。

斎藤ほか (1994) は日向層群分布地域の志布志市 (旧曾於郡松山町) の宮田山・霧岳は蒲江亜層群の構造岩体としたが、その砂岩について分析した結果でも蒲江亜層群の特徴を確認できた。また宮崎市西方の高岡山地の内の八重地区の砂岩でも同様に蒲江亜層群の特徴を確認した。尾鈴山の西側に接して木村ほか (1991) は諸塚層群相当層が構造的に露出しているとしたが、近年の産総研の地質図では上部四万十層群の神門層として表現しているものも見られる。宮崎県児湯郡木城町の板屋谷での同岩体の採取試料は1点のみであるが、その元素組成上の特徴からはたしかに日向層群に所属するものではなく諸塚層群相当層とするのが妥当かと思われる。しかし神門層の砂岩試料が充分でないのでこれ以上の言及はできない。また人吉盆地南部の白髪岳地域は西半部を諸塚層群とされるが、その砂岩について分析した結果でも確認できた。しかし現在までのところ人吉盆地周辺での蒲江亜層群相当層についての試料が充分ではない。なおこれらの分析試料は今回の平均値の算定には加えていない。

このように地層群ごとの平均値をもとにそれらの地域的分布をあわせてみると、いくつかの成分やそれをもとにしたパラメータの特徴は白亜系諸塚層群の佐伯亜層群の砂岩や蒲江亜層群の砂岩とまた上部四万十層群の日向層群・日南層群の砂岩と識別でき、一部試行的に実施して得られた秩父帯・三宝山帯の砂岩の元素組成とも区別できる。またいくつかの元素や  $La/Sc$ 、 $Th/Sc$  などのパラメータの分布では地域差があるようにみえる。田中 (2008) は北薩地域における四万十層群の砂岩では層序と関連してこれらのパラメータの累層間での変化を認めている。

以上述べてきたことの詳細な検討のためにはなお多数のデータの集積が必要である。

Table 2. 下部四万十層群佐伯亜層群相当層の砂岩のI N A Aによる平均元素組成

| Element or Constituent             | 南薩<br>(16) |         | 中薩<br>(6) |         | 北薩<br>(28) |         |
|------------------------------------|------------|---------|-----------|---------|------------|---------|
| Na <sub>2</sub> O (%)              | 3.849      | ± 0.626 | 4.114     | ± 0.757 | 4.016      | ± 0.578 |
| Sc (μg/g)                          | 8.439      | ± 0.954 | 8.179     | ± 3.144 | 8.306      | ± 1.633 |
| Cr (μg/g)                          | 43.92      | ± 14.46 | 44.96     | ± 14.86 |            |         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | 3.625      | ± 0.446 | 3.371     | ± 1.219 | 3.838      | ± 0.912 |
| Co (μg/g)                          | 7.711      | ± 1.560 | 8.020     | ± 3.405 | 6.915      | ± 2.117 |
| Rb (μg/g)                          | 70.34      | ± 11.73 | 59.88     | ± 23.95 | 68.55      | ± 19.81 |
| Sr (μg/g)                          | 368.0      | ± 98.4  | 361.3     | ± 96.9  |            |         |
| Cs (μg/g)                          | 3.011      | ± 0.968 | 2.573     | ± 2.949 | 2.052      | ± 0.802 |
| Ba (μg/g)                          | 696.6      | ± 107.6 | 487.8     | ± 179.3 | 157.9      | ± 78.8  |
| La (μg/g)                          | 27.26      | ± 5.49  | 27.62     | ± 3.33  | 25.09      | ± 2.52  |
| Ce (μg/g)                          | 49.78      | ± 9.55  | 49.49     | ± 8.42  | 42.83      | ± 4.79  |
| Sm (μg/g)                          | 4.049      | ± 0.762 | 4.090     | ± 1.289 | 3.831      | ± 0.344 |
| Eu (μg/g)                          | 0.973      | ± 0.155 | 1.013     | ± 0.172 | 0.912      | ± 0.077 |
| Tb (μg/g)                          | 0.472      | ± 0.107 | 0.551     | ± 0.124 | 0.517      | ± 0.115 |
| Yb (μg/g)                          | 1.023      | ± 0.347 | 1.519     | ± 0.506 | 1.347      | ± 0.221 |
| Lu (μg/g)                          | 0.258      | ± 0.043 | 0.258     | ± 0.085 | 0.199      | ± 0.034 |
| Hf (μg/g)                          | 4.239      | ± 0.929 | 3.721     | ± 0.516 | 3.756      | ± 0.499 |
| Ta (μg/g)                          | 0.497      | ± 0.052 | 0.590     | ± 0.152 | 0.611      | ± 0.120 |
| Th (μg/g)                          | 7.747      | ± 1.254 | 8.504     | ± 1.771 | 7.081      | ± 1.605 |
| U (μg/g)                           | 1.902      | ± 0.430 | 1.769     | ± 0.440 |            |         |
| La/Sc                              | 3.231      |         | 3.378     |         | 3.021      |         |
| Th/Sc                              | 0.918      |         | 1.040     |         | 0.852      |         |
| La/Yb                              | 26.65      |         | 18.19     |         | 18.62      |         |

| Element or Constituent             | 人吉<br>(28) |         | 椎葉-諸塚<br>(24) |         | 延岡-佐伯<br>(6) |         |
|------------------------------------|------------|---------|---------------|---------|--------------|---------|
| Na <sub>2</sub> O (%)              | 4.230      | ± 0.439 | 3.945         | ± 0.660 | 4.152        | ± 0.393 |
| Sc (μg/g)                          | 8.221      | ± 1.576 | 8.336         | ± 2.200 | 7.289        | ± 2.067 |
| Cr (μg/g)                          | 49.08      | ± 12.51 | 65.22         | ± 19.38 | 43.39        | ± 9.62  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | 3.968      | ± 0.611 | 3.680         | ± 1.187 | 3.281        | ± 0.823 |
| Co (μg/g)                          | 7.522      | ± 1.587 | 8.038         | ± 2.178 | 6.920        | ± 2.482 |
| Rb (μg/g)                          | 66.15      | ± 13.35 | 63.01         | ± 17.53 | 67.35        | ± 16.11 |
| Sr (μg/g)                          | 111.3      | ± 64.3  | 550.7         | ± 315.4 |              |         |
| Cs (μg/g)                          | 2.349      | ± 0.714 | 2.318         | ± 0.896 | 2.140        | ± 1.034 |
| Ba (μg/g)                          | 151.5      | ± 48.1  | 551.4         | ± 154.1 | 688.0        | ± 157.1 |
| La (μg/g)                          | 25.17      | ± 2.07  | 24.98         | ± 4.370 | 22.04        | ± 4.000 |
| Ce (μg/g)                          | 43.61      | ± 4.02  | 45.90         | ± 10.70 | 37.86        | ± 6.38  |
| Sm (μg/g)                          | 3.607      | ± 0.266 | 3.632         | ± 0.649 | 3.236        | ± 0.477 |
| Eu (μg/g)                          | 0.794      | ± 0.127 | 0.857         | ± 0.116 | 0.844        | ± 0.101 |
| Tb (μg/g)                          | 0.478      | ± 0.070 | 0.451         | ± 0.126 | 0.333        | ± 0.098 |
| Yb (μg/g)                          | 1.339      | ± 0.119 | 1.456         | ± 0.305 | 1.329        | ± 0.132 |
| Lu (μg/g)                          | 0.200      | ± 0.023 | 0.250         | ± 0.090 | 0.207        | ± 0.027 |
| Hf (μg/g)                          | 3.620      | ± 0.353 | 4.327         | ± 2.066 | 3.657        | ± 0.621 |
| Ta (μg/g)                          | 0.497      | ± 0.049 | 0.579         | ± 0.113 | 0.349        | ± 0.231 |
| Th (μg/g)                          | 7.387      | ± 0.980 | 7.593         | ± 1.191 | 7.187        | ± 1.138 |
| U (μg/g)                           |            |         | 1.588         | ± 0.378 | 1.783        | ± 0.097 |
| La/Sc                              | 3.062      |         | 2.997         |         | 3.025        |         |
| Th/Sc                              | 0.899      |         | 0.911         |         | 0.986        |         |
| La/Yb                              | 18.805     |         | 17.159        |         | 16.587       |         |

Table 3. 上部四万十層群蒲江亜層群相当層の砂岩のI N A Aによる平均元素組成

| Element or Constituent             | 高隈山<br>(20) |       | 国分<br>(14) |       | 人吉<br>(2) |        |
|------------------------------------|-------------|-------|------------|-------|-----------|--------|
| Na <sub>2</sub> O (%)              | 3.660 ±     | 0.511 | 3.856 ±    | 0.345 | 3.985 ±   | 0.075  |
| Sc (μg/g)                          | 10.015 ±    | 0.913 | 9.308 ±    | 2.308 | 7.355 ±   | 0.355  |
| Cr (μg/g)                          | 34.08 ±     | 9.69  |            |       |           |        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | 3.596 ±     | 0.496 | 3.552 ±    | 0.760 | 3.4 ±     | 0.16   |
| Co (μg/g)                          | 7.166 ±     | 1.550 | 6.977 ±    | 2.164 | 5.85 ±    | 0.22   |
| Rb (μg/g)                          | 81.48 ±     | 11.16 | 83.36 ±    | 25.55 | 73.13 ±   | 15.85  |
| Sr (μg/g)                          | 267.4 ±     | 59.3  |            |       |           |        |
| Cs (μg/g)                          | 3.452 ±     | 1.522 | 2.781 ±    | 1.380 | 3.49 ±    | 1.3    |
| Ba (μg/g)                          | 588.6 ±     | 82.9  | 219.4 ±    | 87.41 |           |        |
| La (μg/g)                          | 22.40 ±     | 3.82  | 22.23 ±    | 7.80  | 38.99 ±   | 6.29   |
| Ce (μg/g)                          | 44.94 ±     | 9.79  | 43.35 ±    | 13.26 | 44.61 ±   | 0.76   |
| Sm (μg/g)                          | 4.220 ±     | 0.782 | 3.863 ±    | 0.743 | 5.58 ±    | 1.28   |
| Eu (μg/g)                          | 0.957 ±     | 0.106 | 0.806 ±    | 0.142 | 1.324 ±   | 0.355  |
| Tb (μg/g)                          | 0.524 ±     | 0.118 | 0.363 ±    | 0.321 | 0.757 ±   | 0.185  |
| Yb (μg/g)                          | 1.871 ±     | 0.480 | 1.893 ±    | 0.289 | 1.865 ±   | 0.055  |
| Lu (μg/g)                          | 0.341 ±     | 0.076 | 0.240 ±    | 0.033 | 0.252 ±   | 0.012  |
| Hf (μg/g)                          | 4.066 ±     | 0.833 | 4.256 ±    | 1.242 | 3.74 ±    | 0.29   |
| Ta (μg/g)                          | 0.577 ±     | 0.149 | 0.391 ±    | 0.340 | 0.4995 ±  | 0.0715 |
| Th (μg/g)                          | 7.770 ±     | 1.560 | 7.916 ±    | 2.155 | 7.445 ±   | 1.035  |
| U (μg/g)                           | 2.027 ±     | 0.555 | 1.754 ±    | 0.353 |           |        |
| La/Sc                              | 2.237       |       | 2.388      |       | 5.301     |        |
| Th/Sc                              | 0.776       |       | 0.850      |       | 1.012     |        |
| La/Yb                              | 11.97       |       | 11.74      |       | 20.90     |        |

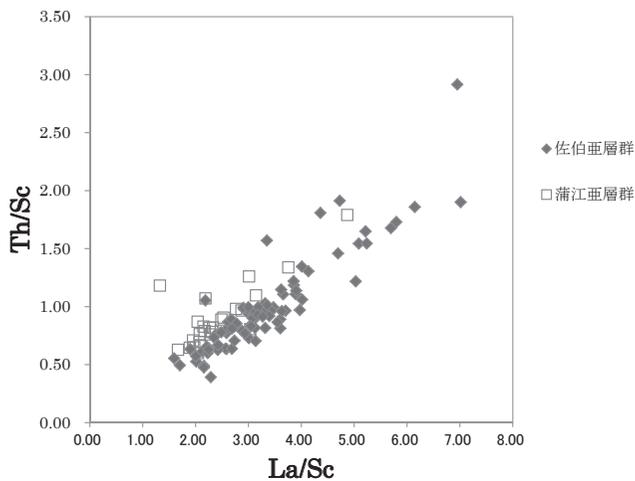
| Element or Constituent             | 諸塚<br>(8) |       | 延岡<br>(3) |       |
|------------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|
| Na <sub>2</sub> O (%)              | 3.938 ±   | 0.368 | 2.911 ±   | 0.368 |
| Sc (μg/g)                          | 7.829 ±   | 1.350 | 9.652 ±   | 2.558 |
| Cr (μg/g)                          | 48.98 ±   | 20.42 | 43.90 ±   | 15.14 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | 3.075 ±   | 0.638 | 3.533 ±   | 1.660 |
| Co (μg/g)                          | 6.958 ±   | 1.484 | 6.178 ±   | 3.919 |
| Rb (μg/g)                          | 58.56 ±   | 17.11 | 107.21 ±  | 17.35 |
| Sr (μg/g)                          | 317.2 ±   | 182.1 |           |       |
| Cs (μg/g)                          | 3.850 ±   | 1.853 | 7.795 ±   | 3.155 |
| Ba (μg/g)                          | 392.0 ±   | 122.8 | 556.2 ±   | 67.1  |
| La (μg/g)                          | 23.63 ±   | 2.980 | 21.067 ±  | 10.77 |
| Ce (μg/g)                          | 43.39 ±   | 5.05  | 43.788 ±  | 21.73 |
| Sm (μg/g)                          | 3.338 ±   | 0.370 | 3.589 ±   | 1.489 |
| Eu (μg/g)                          | 0.862 ±   | 0.117 | 0.804 ±   | 0.323 |
| Tb (μg/g)                          | 0.438 ±   | 0.046 | 0.607 ±   | 0.150 |
| Yb (μg/g)                          | 1.607 ±   | 0.180 | 1.943 ±   | 0.303 |
| Lu (μg/g)                          | 0.236 ±   | 0.021 | 0.332 ±   | 0.035 |
| Hf (μg/g)                          | 3.524 ±   | 0.576 | 4.391 ±   | 0.872 |
| Ta (μg/g)                          | 0.516 ±   | 0.083 | 0.854 ±   | 0.248 |
| Th (μg/g)                          | 7.334 ±   | 1.066 | 9.924 ±   | 2.343 |
| U (μg/g)                           | 1.541 ±   | 0.313 |           |       |
| La/Sc                              | 3.018     |       | 2.183     |       |
| Th/Sc                              | 0.937     |       | 1.028     |       |
| La/Yb                              | 14.70     |       | 10.84     |       |

Table 4. 上部四万十層群の砂岩の I N A A による平均元素組成

| Constituents<br>or Elements      | 宮崎北部(延岡)地域  |             | 宮崎中部<br>地域  | 宮崎南部地域       |             |             |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|                                  | 北川層群<br>(3) | 日向層群<br>(2) | 日向層群<br>(2) | 日向層群<br>(13) | 日南層群<br>(8) | 宮崎層群<br>(5) |
| Na <sub>2</sub> O %              | 2.21        | 1.91        | 2.25        | 2.86         | 2.14        | 2.07        |
| Sc ppm                           | 5.53        | 5.35        | 5.18        | 5.33         | 5.08        | 6.85        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * | 1.68        | 2.59        | 2.82        | 2.25         | 2.54        | 3.19        |
| Co ppm                           | 2.22        | 6.12        | 6.26        | 3.54         | 5.12        | 5.5         |
| Rb ppm                           | 88.1        | 80.7        | 72.4        | 67.82        | 63.4        | 79.59       |
| Cs ppm                           | 5.34        | 3.24        | 2.5         | 1.97         | 1.89        | 2.77        |
| Ba ppm                           | 466         |             | 322         | 312.1        |             |             |
| La ppm                           | 24.5        | 29.1        | 27.7        | 21.22        | 26.52       | 20.6        |
| Ce ppm                           | 46.2        | 57          | 51.4        | 39.21        | 51.62       | 40.08       |
| Sm ppm                           | 388         | 4.62        | 4.5         | 3.07         | 3.94        | 3.07        |
| Eu ppm                           | 0.723       | 0.938       | 0.89        | 0.54         | 0.75        | 0.63        |
| Tb ppm                           | 0.426       | 0.626       | 0.55        | 0.53         | 0.69        | 0.49        |
| Yb ppm                           | 1.69        | 1.685       | 1.66        | 1.47         | 1.61        | 1.41        |
| Lu ppm                           | 0.286       | 0.239       | 0.24        | 0.2          | 0.22        | 0.21        |
| Hf ppm                           | 4.72        | 7.15        | 5.9         | 3.91         | 7.35        | 5.87        |
| Ta ppm                           | 0.69        | 0.82        | 0.9         | 0.71         | 0.84        |             |
| Th ppm                           | 9.19        | 7.64        | 7.96        | 6.67         | 6.97        | 6.88        |
| U ppm                            | 1.92        |             |             | 1.54         | 1.5         | 1.76        |
| La/Sc                            | 4.43        | 5.44        | 5.35        | 3.98         | 5.22        | 3.01        |
| Th/Sc                            | 1.66        | 1.43        | 1.54        | 1.25         | 1.37        | 1           |
| La/Yb                            | 14.54       | 17.27       | 16.69       | 14.39        | 16.47       | 14.59       |

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

Fig. 1. 下部四万十層群佐伯亜層群と蒲江亜層群の砂岩についての La/Sc vs Th/Sc プロット



## 6. 結論

南九州の四万十帯の中生代白亜紀～新生代第三紀砂岩の放射化分析による元素組成分析をおこなって、分析値を検討した。成分元素からは、下部四万十層群の佐伯亜層群と蒲江亜層群また上部四万十層群の日向層群とにおける鉱物組成から従来知られる相違を確認できた。また他の上部四万十層群の地層群についても併せて適用できる見通しを得た。これは野外調査の上での見かけの岩相の違いを確認できることであるから、分析値をもとに再度広域にわたる野外調査に際し岩石の所属を確認するためのキャラクタリゼーションとなりうる。さらに微量成分元素の分布からは、この地域のそれらの地層群の地域的特徴が明らかにできる可能性がある。これらのことは南九州の四万十累層群の碎屑性堆積物の供給源に関わる問題検討に有効な資料となると考えられる。今後これらの調査・研究を継続することで南九州四万十帯の地質学的特徴、中生代白亜紀以降の堆積史・造構史をより明らかにできると期待される。

## 7. 謝辞

本研究における試料の中性子照射とガンマ線測定については、東京大学大学院工学系研究科原子力専攻・共同利用管理本部（大学開放研究室）による原子力機構施設利用共同研究の採択課題によるところが大きい。またガンマ線測定についてはさらに鹿児島大学共同利用 RI 実験室・同 自然科学教育研究支援センター・アイソトープ部門にお世話になった。一部の試料採取と処理については、鹿児島大学教育学部地学教室（当時）の富田 裕・山口幸作・税所篤司・山脇秀和・小路幹雄の諸氏の助力があった。これら関係各位に深甚の謝意を表す。

## 8. 引用文献

- 橋本 勇 (1962) : 九州南部における時代未詳層群研究の総括 . 九大教養地学研究報告, No.9, p.13-69.
- Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A. (1995a): 1994 compilation values for GSI reference samples, "Igneous rock series". *Geochemical Journal*, Vol. 29, No. 2, p.91-95.
- Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A. (1995b): 1994 compilation of analytical data for minor and trace elements in seventeen GSI geochemical reference samples, "Igneous rock series", *Geostandards Newsletter*, Vol. 19, No. 1, p.135-213.
- 鹿児島県地質図編集委員会 (1990) : 鹿児島県地質図及び同説明書 (117p.). 鹿児島県.
- 木村克己・巖谷敏光・三村弘二・佐藤喜男・佐藤岱生・鈴木祐一郎・坂巻幸雄 (1991) : 5万分の1地質図幅「尾鈴山」及び説明書 (地域地質研究報告), 通産省地質調査所.
- 村田明広 (1998) : 宮崎県の四万十帯の地質 -- 宮崎県地質図第5版説明書 (20万分の1地質図). 宮崎県.
- 斎藤 眞・佐藤喜男・横山勝三 (1994) : 5万分の1地質図幅「末吉」及び説明書 (地域地質研究

報告), 通産省地質調査所.

斎藤 眞・阪口圭一 (1997): 20万分の1地質図「宮崎」. 通産省地質調査所.

鈴木達郎 (2001): GSPAN: ガンマ線スペクトル解析プログラム. 鹿児島大学教育学部研究紀要 (自然科学編), Vol.52, p.33-44.

鈴木達郎 (2003): 鹿児島県薩摩半島地域の四万十帯堆積物に関する中性子放射化分析. 鹿児島大学教育学部研究紀要 (自然科学編), Vol.54, p.29 - 36.

鈴木達郎・中村和人・宮田哲生・新原洋也・大石 誠・田中智博・大野尚行・七夕弘和 (2009): 九州四万十層群堆積岩類に関する放射化分析と FT 年代測定: とくに下部四万十層群砂岩の放射化分析による元素組成とその分布について. 平成19年度原子力機構施設利用総合共同研究成果報告集, p.55-61.

鈴木達郎・中村和人・北村教浩・大野尚行・七夕弘和・千代田 卓・坂本達則 (2012): 九州の上部四万十層群に関する放射化分析と FT 年代測定: とくに放射化分析による元素組成とその分布について. 平成23年度原子力機構施設利用総合共同研究成果報告 (未公開).

田中智博 (2008): 北薩地域における四万十層群の堆積岩類: とくに岩相と元素組成. 鹿児島大学大学院教育学研究科修士論文抄録集, No.13, p.77-82.

寺岡易司 (2004): 九州の四万十累層群. 地質ニュース, No. 599, p.40-48.

寺岡易司・奥村公男 (1992): 四万十帯北帯の構造区分と白亜紀砂岩組成. 地質学論集, No.38, p.261-270.

寺岡易司・奥村公男・鈴木盛久・川上久美 (1999): 四万十累層群の碎屑性堆積物. 地調月報, Vol.50, No.9, p.559-590.

寺岡易司・鈴木盛久・林 武広・奥村公男 (1995): 九州東部檳峰 - 神門地域の四万十累層群における堆積岩化学組成の層序的变化. 広島大学学校教育学部紀要 第 II 部, Vol.17, p.83-97

寺岡易司・奥村公男 (1992): 四万十帯北帯の構造区分と白亜紀砂岩組成. 地質学論集, No.38, p.261-270.

宇都浩三・阪口圭一・寺岡易司・奥村公男 (1997): 20万分の1地質図「鹿児島」. 通産省地質調査所.