

台湾および日本列島の古第三系および新第三系の堆積岩の Th, Sc および希土類元素組成

山崎 静子*・道前香緒里**†・石賀 裕明**

Th, Sc and rare earth element concentrations of the Paleogene and Neogene sedimentary rocks of Taiwan and Japanese Islands

Chikako Yamazaki*, Kaori Dozen**† and Hiroaki Ishiga**

Abstract

Th, Sc and rare earth element concentrations have been examined mainly from Paleogene and Miocene sedimentary rocks of Taiwan and of the Japanese islands. Examined sedimentary sequences are widely located in the Taipei region of Taiwan, Yuya and Susa (Yamaguchi Prefecture), Masuda and Matsue (Shimane Prefecture), Shobara (Hiroshima), Ujidawara (Kyoto Prefecture) of southwest Japan, and Boso (Chiba Prefecture) of Kanto region of Japan.

In Taiwan, the values of Eu/Eu* for the Paleogene and Miocene samples excluding the lowermost sample are consistently around 0.6 suggesting evolved continental provenance, very close to those of the present upper continental crust (UC)[Eu/Eu*=0.59]. Th/Sc ratios (1.3) show relatively higher values than that of UC, probably due to sorting effect of sedimentary process. The samples from inland basins of southwest Japan (Shobara and Ujidawara) have the composition similar to UC with some variation. Samples of the Yuya, Susa, Masuda, Matsue and Boso areas show stratigraphic variation from primitive to more evolved due to provenance changes related to Japan Sea opening.

The mixing model of UC, basalt (Ba) and granite (Gr) is inferred for provenance signature for these sedimentary rocks along with previous results. The models revealed provenance variation of the Miocene of Japan sea side from primitive nature (UC: Ba: Gr=60:38:2) of Tohoku region of northeast Japan to more evolved (UC: Ba: Gr=60:2:38) Kyushu region via Chugoku region of southwest Japan. Samples of Taiwan, Kyushu and Yuya form the trend from evolved to more primitive, but lying above the compositional trend of the mixing model probably due to enrichment in Th related to sedimentation on the evolved continental crust.

Key words: Geochemistry, REE, Paleogene, Neogene, Japanese Islands

はじめに

近年、堆積岩の地球化学組成をもとに後背地の地質構成の検討や造山帯の地質帯の区分、対比が行われてきた (Taylor and McLennan, 1985; McLennan et al., 1993; Condie, 1993; Roser et al., 1996 など)。これらの研究の多くは始生代を含む大陸地殻をもつ堆積岩の元素組成を検討したものが多く、日本列島のような島弧地殻における検討は少ない。日本列島は古生代以降さまざまな地質事変により現在の骨格が形成された。とくに、新生代第三紀中新世には日本海が拡大したとされ、これに伴って大量の火山岩が噴出し、後背地の地質構成は改変された

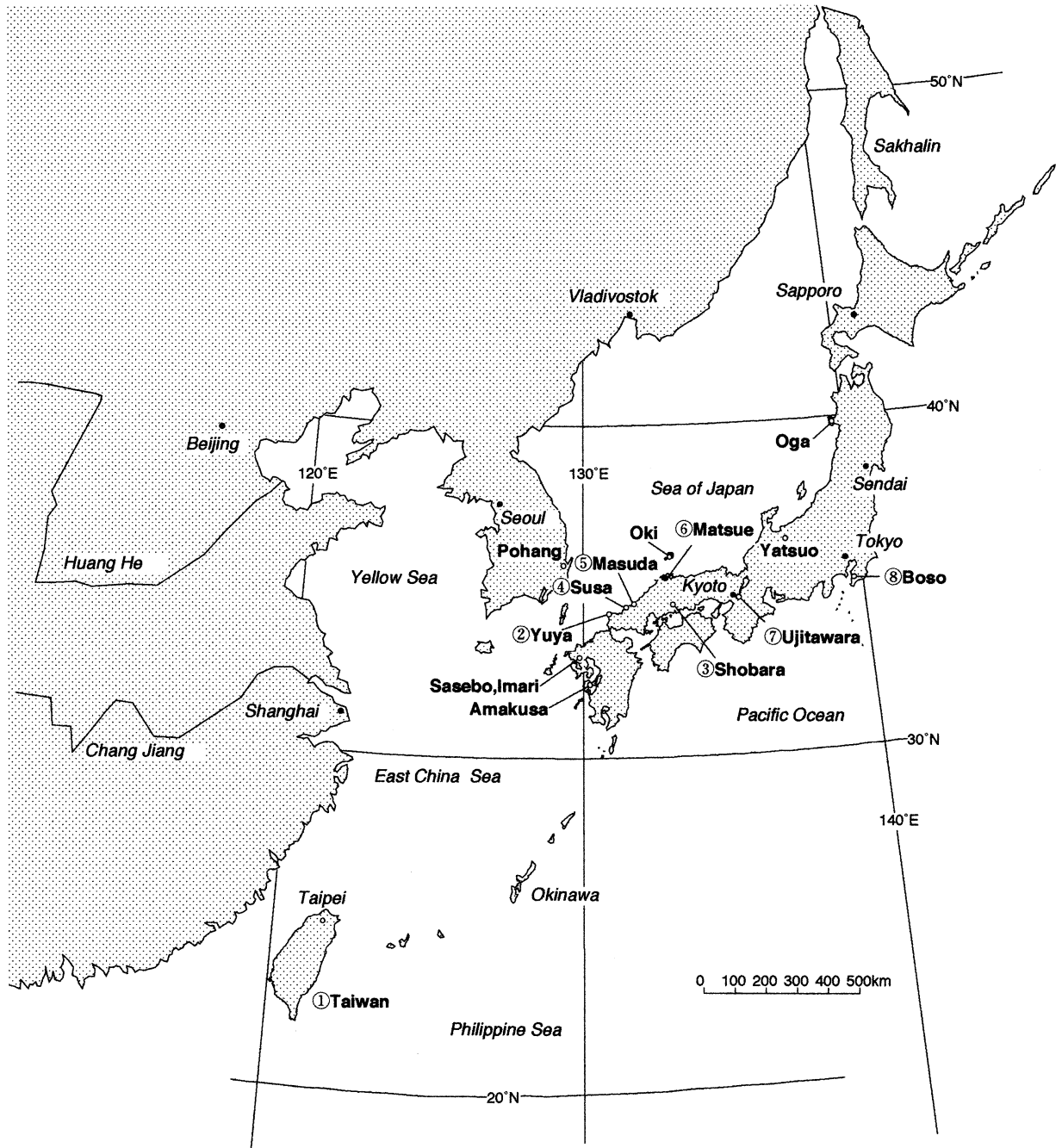
(Tamaki et al., 1992)。また、海進にともなう海域の拡大によって、日本海沿岸を中心とする各地で堆積環境の変化が生じた (鹿野, 1993)。

日本海拡大にともなう島弧地殻の変遷を火成岩から検討した例は多いが (Tamaki et al., 1992 参照)、希土類元素による陸上の堆積岩の地球化学組成からの評価は少ない。堆積岩は後背地の地質構成の平均値を代表すると考えられる。とくに造山帯のタービダイト層の碎屑岩の元素組成は後背地の造構場を代表する (McLennan et al., 1993; Bhatia, 1983; Roser and Korsh, 1986, 1988)。山崎ほか (1998) は日本海沿岸地域の第三系堆積岩の元素組成をもとに、日本海拡大に伴う provenance の変化を検討した。その結果、西南日本に比べ、中部日本から東北地方の諸地域において、primitive な provenance へと変化したことを明らかにした。本論では中新統の背弧海盆の形成をともしなわなかった地域の例 (台湾) と、西南日本の内陸盆地を含む堆積盆地の例、および太平洋側のグリーン

* 島根大学大学院理学研究科地質学専攻 Department of Geoscience, Shimane University, Matsue, 690-8504, Japan

** 島根大学総合理工学部地球資源環境学教室 Department of Geoscience, Faculty of Science and Engineering, Shimane University, Matsue, 690-8504, Japan

† 日本学術振興会 特別研究員 (PD)



第1図 位置図. 台湾, 油谷, 須佐 (山口県), 益田・松江 (島根県), 庄原 (広島県), 宇治田原 (京都府), 房総半島の各地域を示す.

タフ地域における provenance の変化を検討することを目的として研究を進めた. 日本海地域の第三系の代表的な分布地域のうち, 台湾, 油谷湾, 須佐 (山口県), 益田および松江 (島根県), 庄原 (広島県), 宇治田原 (京都府), 房総半島 (千葉県) の7地域 (第1図) において堆積岩の元素組成を検討した.

検討した日本海の7地域および既存のデータ (山崎ほか, 1998) の分析値の対比をおこない, provenance の変化を推定することは, 日本海拡大に伴う地殻の改変を

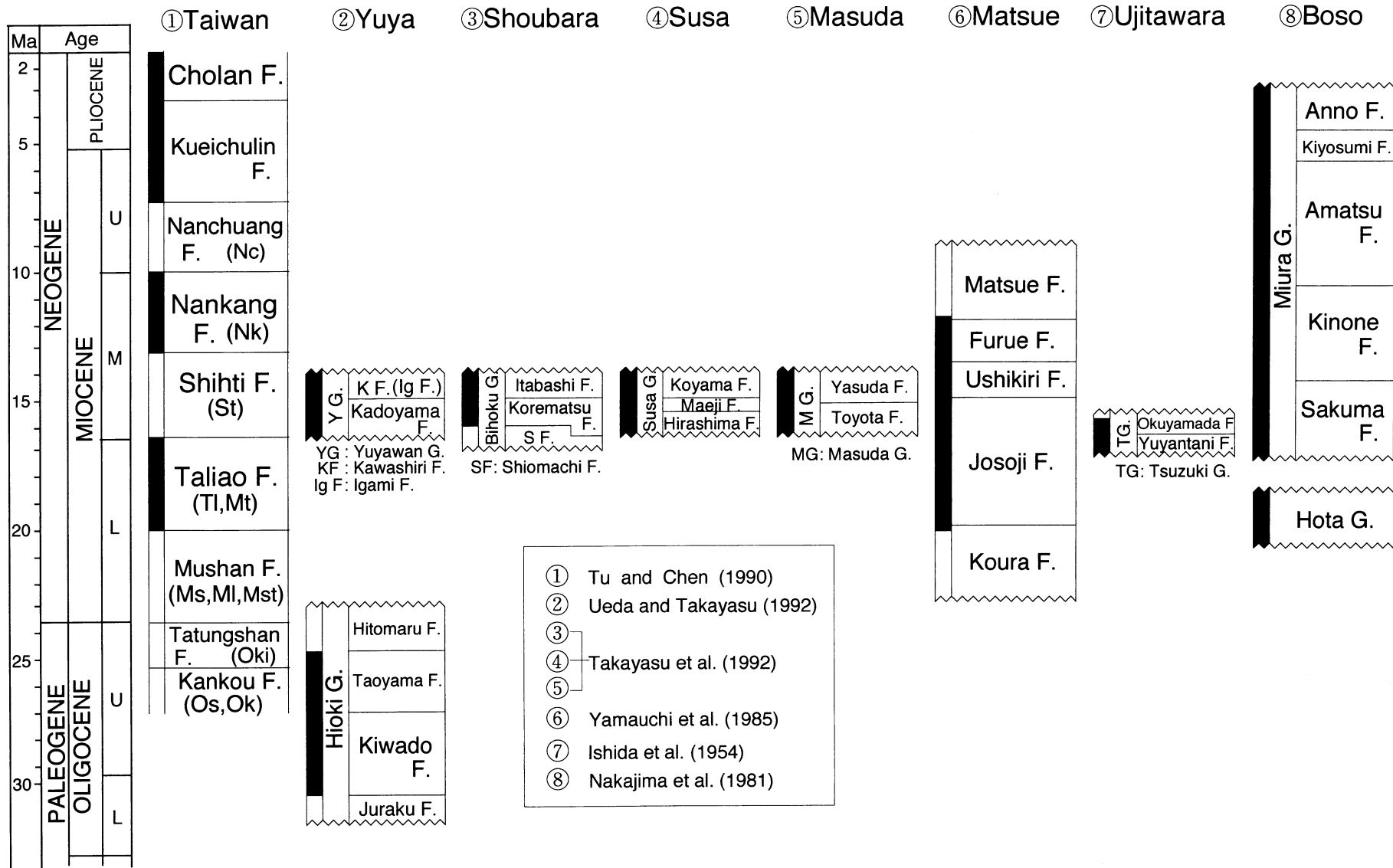
解明する上で重要と言える.

地質概説

試料採集を行った各地域の層序と年代的位置づけを以下に簡単にまとめる (第2図).

(1) 台湾地域

台湾はフィリピン海の西北隅に位置し, フィリピン海



第2図 台湾，油谷，須佐，益田，松江，庄原，宇治田原，房総半島の各地域の第三系の対比図。黒色部分は海成層の垂直分布を示す。

プレートとユーラシアプレートの境界に位置する。北は東シナ海にのぞみ、琉球列島弧の南端にあたる。

第三系堆積岩は主に中央山脈およびその西側に広く分布する。第三系の層序は市川(1930, 1932), Central Geological Survey (1990) にもとづく。今回、試料採集したのは台北周辺の、中歴、桃園、新店の地域である。中歴、桃園においては漸新統の乾溝層、大桶山層、中新統の木山層、大寮層、石底層、南港層、南莊層、鮮新統の桂竹林層、更新統の揚梅層、店子湖層に区分される。新店においては下位より漸新統の梵々層群、郷雁層群、中新統の新店層群、基隆層群、鮮新統の三峡層群に区分される。

(2) 油谷湾地域

日置層群：山口県北西部油谷湾周辺の日置町、油谷町、豊北町、角島、特牛湾付近には、新第三系をともなつて、古第三系が分布している。古第三系は下位から今岬玄武岩(倉沢・高橋, 1960)、津黄安山岩(応地, 1961)、日置層群(岡本・今村, 1964)からなる。日置層群は下位から、十楽累層、黄波戸累層、峠山累層、人丸累層に区分される。

油谷湾層群：油谷湾層群は日置層群を不整合におおう中新統である。油谷湾付近のほか角島とその南東部にはほぼ東北東～西南西方にのびて分布している。油谷湾南岸油谷町伊上～貝川地域に分布する伊上累層と油谷湾東岸と北側の油谷～日置町地域に分布する角山累層、川尻累層に区分される。

(3) 庄原地域

備北層群：三次・庄原盆地をはじめとする広島県北部に散在する中新統である。白亜系の基盤がつくる凹地を埋めるように堆積した地層で、下位から塩町累層、是松累層、板橋累層に区分される(上田, 1989)。

(4) 須佐地域

須佐層群：山口県須佐町北東部の高山周辺から田万川町北西部に分布する中新統である。下位から平島礫岩層・前地砂岩層・高山頁岩層に区分される。

(5) 益田地域

益田層群：島根県西端の益田市街地を中心に、北東～南西方向に約15 km、北西～南東方向に2～5 kmのほぼ長方形の地域に分布する中新統である。益田市街地の南西側ではおもに三郡変成岩類の泥質および砂質片岩、北東側では古第三紀の火山岩類からなる基盤岩類を不整合におおい、鮮新～更新統の都野津層に不整合におおわれる。益田凝灰岩とよばれる酸性凝灰岩層を境にして、益

田層群は下部の豊田累層と上部の安田累層に区分され、両者は整合関係にある(山内・江口, 1985)。

(6) 松江地域

松江を中心とする島根半島および宍道湖・中海の南には中新統が広く分布している。これらの地層の層序・構造はよく研究されており、陸成層を主とする古浦層、海進後の有機質泥岩を主とする成相寺層、タービダイトを含む牛切層、塊状無層理の泥岩から成る古江層に区分されている(山内ほか, 1985)。

(7) 宇治田原地域

綴喜層群：京都府綴喜郡宇治田原町に、東西約6 km、南北1.6 kmの広さで、東西性の向斜構造をなして分布する中新統である。下位から奥山田累層(川上礫岩層・宮村砂岩層・栢凝灰質泥岩層)・湯屋谷累層(塩谷砂岩層・田原花崗岩質砂礫岩層)に区分される(石田ほか, 1954)。

(8) 房総半島

保田層群：房総半島に分布する古第三紀～下部中新統である。嶺岡層群と断層関係で接し、下位より増間層・青木山層・富山層・江月層に区分される。

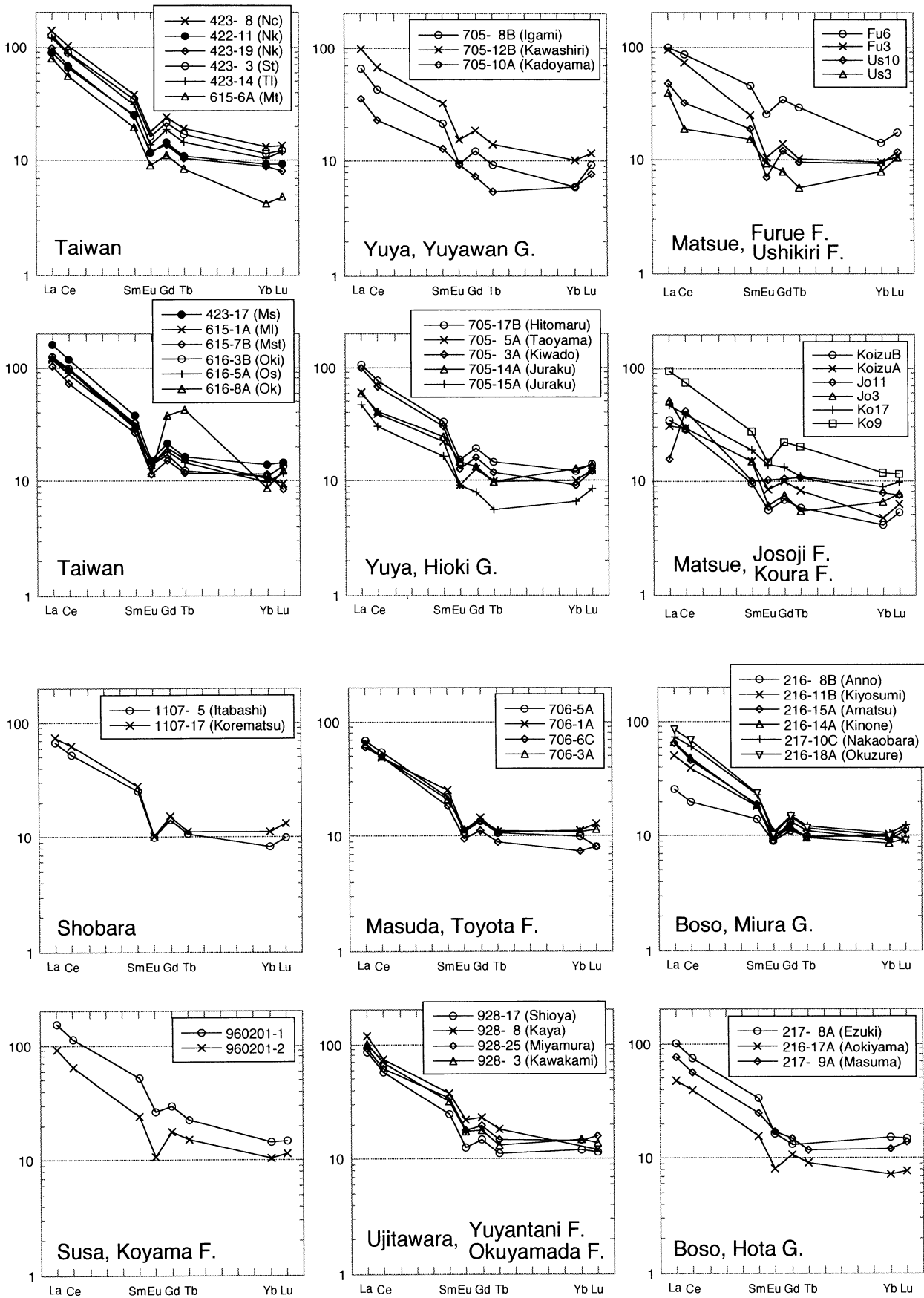
三浦層群：下位の保田層群を不整合におおい、また断層関係で接する中部中新統～鮮新統である。房総半島、中部及び北部地域においては、下位より、佐久間互層(大崩層、奥山層、中尾原層)、木ノ根層、天津層、稲子沢層、萩生層に区分される。南部地域における本層群は、下位より、南無谷層、石堂層、鏡ヶ浦層に区分される。

試料採集

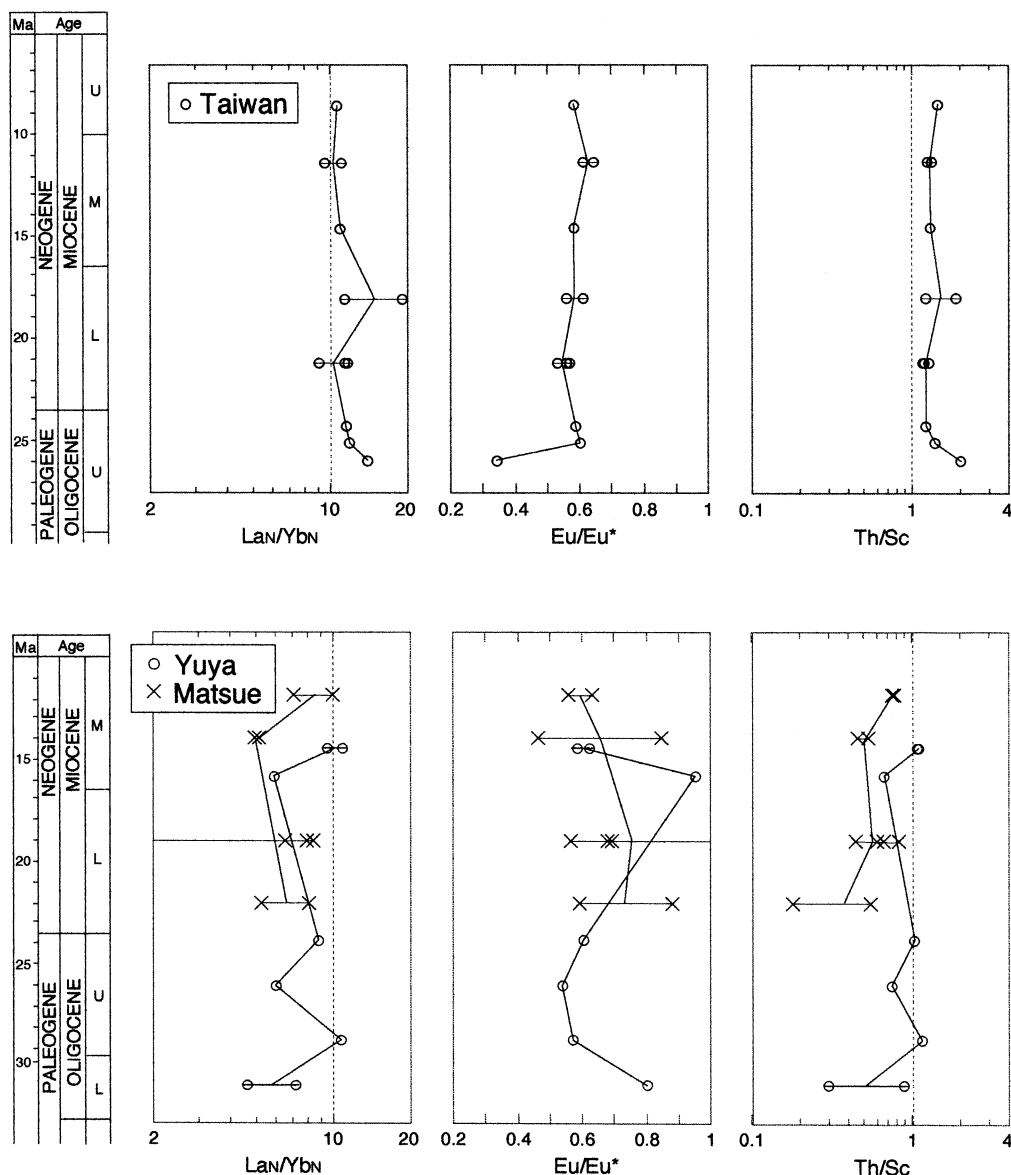
試料採取を行うにあたり基礎とした層序は前述のように主として、台湾においては市川(1930, 1932), Central Geological Survey (1990) にもとづいた。油谷湾においては上田・高安(1990)、庄原、須佐、益田においては高安ほか(1992)、宇治田原においては石田ほか(1954)、房総半島においては中島ほか(1981)、にもとづいた。試料はなるべく風化、変質の影響の少ないものを選んだ。

分析方法 (INAA)

粉末試料を110℃で1日以上乾燥させ、200 mgをポリエチレン袋に封入する。この試料と標準試料(地質調査所岩石標準試料JA2)をニューマ用ポリエチレンカプセルに入れ、圧気輸送管Pn-2で熱中性子照射を1時間行う。照射試料は約9日および1ヶ月後の2回γ線測



第3図 台湾, 油谷, 須佐, 益田, 松江, 庄原, 宇治田原, 房総半島の各地域の第三系の堆積岩の chondrite (Taylor and McLennan, 1985) で規格化した REE パターン図。試料の略号は第5表参照。



第4図 台湾, 油谷, 松江の第三系堆積岩の LaN/Ybn 比, Eu/Eu^* および Th/Sc 比の時代ごとの変化を示す図.

定を行い, Koyama & Matsushita (1980) の方法によって定量値を求める. 岩石の放射化分析の実際は, 三宅・武蔵野 (1991) にもとづいた. 希土類元素および Th, Sc の濃度は京都大学原子炉実験所, 共同利用による放射化分析によって測定した.

結 果

1. 希土類元素 (REE) 組成および Th/Sc 比

REE は Th および Sc とともに堆積岩の源岩組成を推定するのに有効であるとされている (Taylor and McLennan, 1985; McLennan et al., 1993; Condie, 1993). また, 希土類組成の特徴を検討するには, 分析試料の各 REE 濃度を標

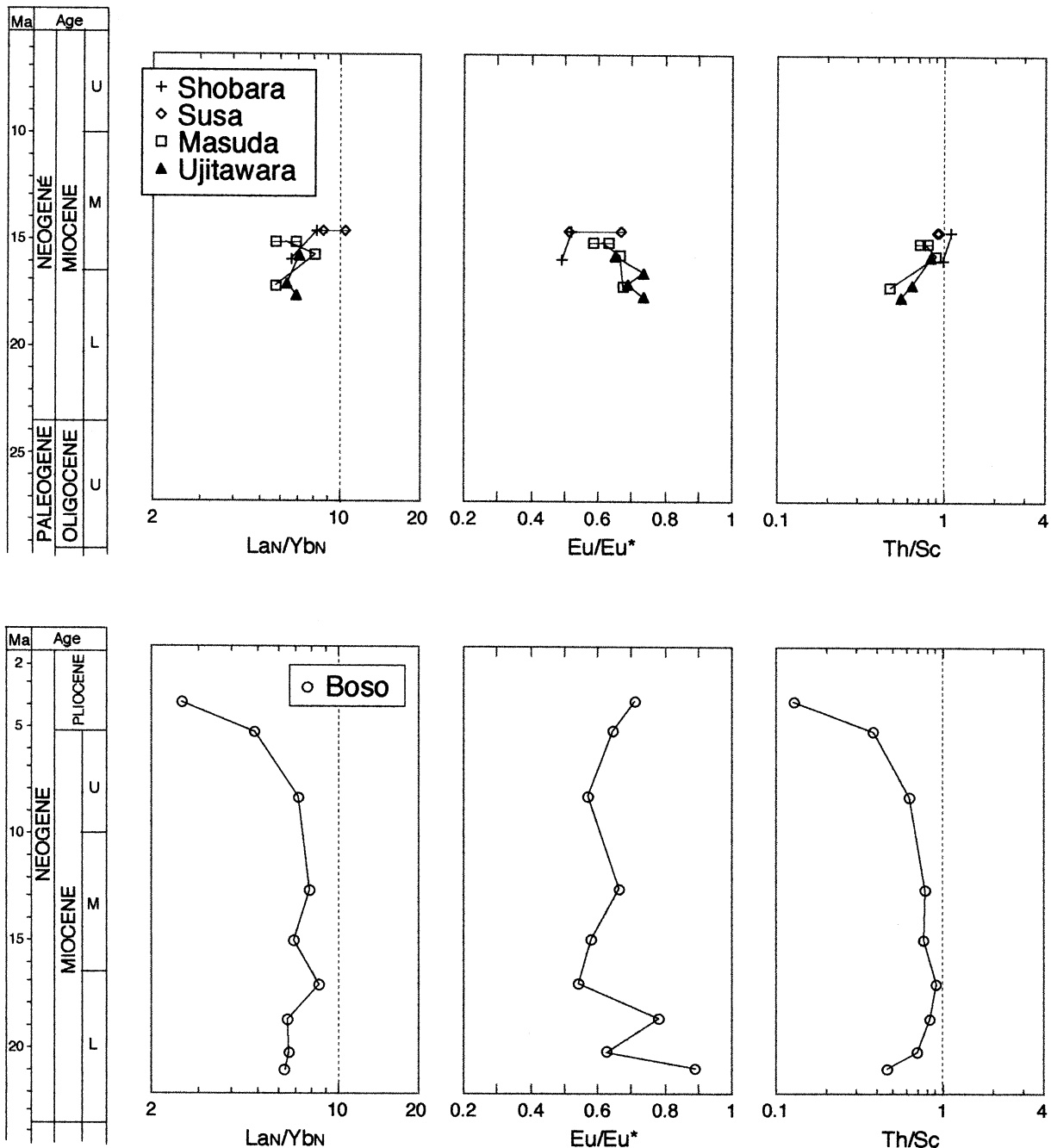
準試料や岩石組成の値で規格化した REE パターンを示す方法が一般的である. ここではコンドライト組成 (Taylor and McLennan, 1985) を用いて規格化した (第3図).

REE のなかで Eu が滑らかなパターンからはずれる場合がある. これは Eu が3価のほかにも2価をとり, 2価の Eu は Ca と類似したイオン半径をもつ. そのため Eu は他の REE に比べ火成岩の形成時に斜長石の晶出によって溶液中から分別される. Eu 異常の程度を評価する指標, Eu/Eu^* は次式による (Condie, 1993 を用いた). Gd は次式によって求めた.

$$\text{Eu}/\text{Eu}^* = \text{Eu}_N / (\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N)^{1/2}, \text{Gd} = (\text{Sm} \times \text{Tb}^2)^{1/3}$$

[N; chondrite にて規格化]

平均的な花崗岩組成は, 軽希土類に富む左上がりの



第5図 庄原, 須佐, 益田, 宇治田原, 房総半島の第三系堆積岩の Lan/Ybn 比, Eu/Eu* および Th / Sc 比の時代ごとの変化を示す図。

REE パターンを持ち, Eu の負異常を示す。玄武岩の REE パターンは相対的に軽希土類が乏しく水平に近いパターンであり, Eu 負異常は見られない。

Lan / Ybn, Eu / Eu* および Th / Sc 比の垂直変化を第4, 5図に示した。

(1) 台湾

REE 濃縮率は変化する。しかし, パターンは漸新世 (Ok) と下部中新統 (Mt) の2試料を除いてほとんど変

化しない。中希土類=重希土類, 軽希土類>中希土類の典型的なパターンを示す。Eu/Eu*値はほぼすべての試料について0.6前後, Th / Sc比は1~2と比較的一定である。Eu / Eu*からはUC組成と類似であることを示すが, Th / Sc比は重鉍物の濃集による Th 値の増加に関連すると思われる。

(2) 油谷湾

REE パターンは変化に富む。軽希土類>中希土類, 中

希土類が重希土類よりもやや高くなっている。Eu/Eu* は0.5~0.9以上と垂直方向で変化している。Th/Sc比も1よりも低いものが多い。既報の九州の天草, 佐世保地域の第三系の値(山崎ほか, 1998)に比較すると, より primitive な後背地の組成を示す。

(3) 松江

各層でREEパターンは変化に富んでいる。Eu/Eu*およびTh/Sc比は下位の古浦層から古江層に次第に変化しており, 成熟した後背地への変化を示唆する。

(4) 益田, 庄原, 宇治田原, 須佐

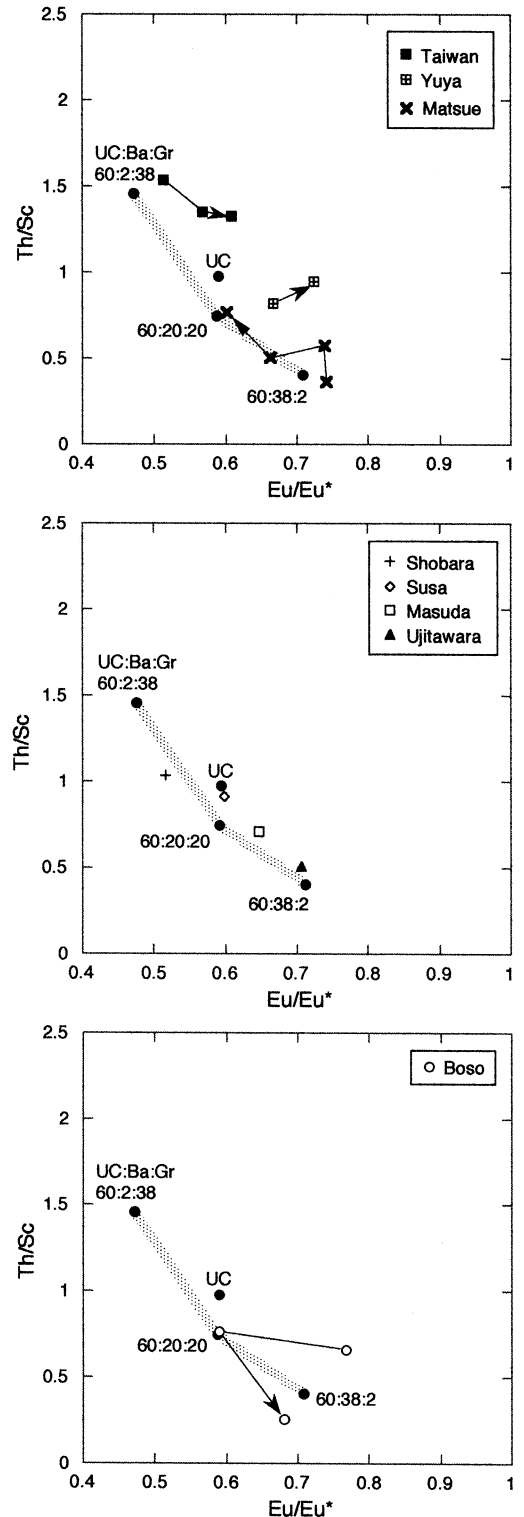
これら4地域の試料はほぼ同様のREEパターンを示している。庄原, 益田の試料は中希土類=重希土類, 軽希土類>中希土類の典型的なパターンを示す。また, Eu/Eu*の負異常も明瞭である。宇治田原の試料はさらに軽希土類のLaが高くなっている。須佐の試料(960201-1)では軽希土類>中希土類, 中希土類が重希土類よりもやや高くなっている。

(5) 房総半島

各層の試料のREEパターンは変化に富んでいる。保田層群の試料では中希土類=重希土類, 軽希土類>中希土類であるが, Eu/Eu*の負異常が小さいものが多い。三浦層群の試料では軽希土類から中希土類への傾斜に変化がみられる。しかし, 中希土類=重希土類である。層序的にはLaN/YbN, Eu/Eu*およびTh/Sc比ともに上位の試料に向けて変化する。

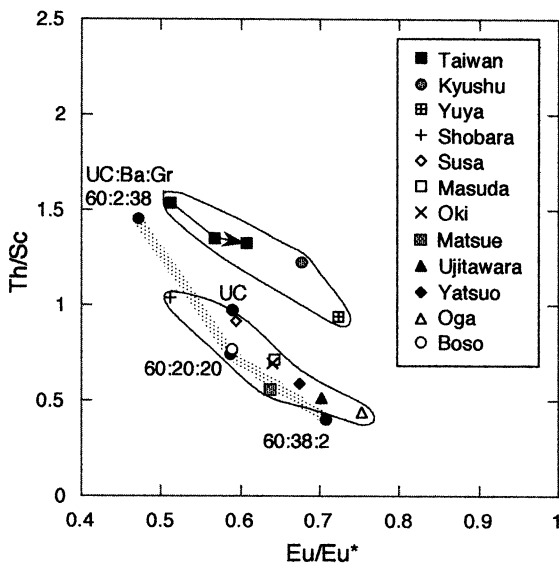
2. ミキシングモデルによる provenance の推定

堆積岩の元素組成は provenance に存在する様々な岩石の化学組成の総和であり, 堆積岩の元素組成が直接火成岩の元素組成と対応するわけではない。しかし, 代表的な火成岩と上部大陸地殻の元素組成を混合することにより, provenance を構成する岩石の組み合わせを仮定することができる (Fedot et al., 1996; Hassan et al., 1999)。筆者等は第三系堆積岩組成をミキシングモデルにより provenance を推定する試みを行った(山崎他, 投稿中)。そこでは上部大陸地殻(UC)と顕生代の玄武岩(Ba)および花崗岩(Gr)組成(Condie, 1993)の3者を混合し, 各地域の堆積岩の元素組成から予想される源岩構成の変化を推定した。指標としてEu/Eu*とTh/Sc比をとりグラフに示した(第6,7図)。このグラフにはUC:Ba:Gr=60:2:38, 60:20:20, 60:38:2の組成とUCを示している。各地域の漸新統, 中新統, 鮮新統の試料(各々の平均値)についての予想される後背地の地質構成を考



第6図 台湾, 油谷, 須佐, 益田, 松江, 庄原, 宇治田原, 房総半島の中新統の provenance を推定するミキシングモデル図。

Eu/Eu*およびTh/Sc比により, 上部大陸地殻(UC)と顕生代の玄武岩(Ba)および花崗岩(Gr)組成(Condie, 1993)の3者を混合し, 各地域の堆積岩の元素組成から予想される源岩構成の変化を推定した。指標としてEu/Eu*とTh/Sc比をとりUC:Ba:Gr=60:2:38, 60:20:20, 60:38:2の組成とUCを示す。



第7図 中新統の堆積岩の provenance の地域的变化を示す Eu/Eu^* - Th/Sc 図。既報の東北(男鹿), 中部(八尾), 中国(隠岐), 九州(天草・佐世保など)の諸地域の Eu/Eu^* および Th/Sc 比(山崎ほか, 投稿中)を合わせて示した。東北から西南日本にかけて $UC:Ba:Gr=60:38:2$ の primitive な組成から UC へと成熟した組成へと変化している。台湾から九州の試料は成熟した大陸地殻組成を反映している。

察する。

台湾の中新統は3層準のものをそれぞれ平均値を取り示した。これらは組成線より Th/Sc 比の高い位置にプロットされる。次第に UC に向け変化している。油谷の試料も組成線よりも高い位置にある。松江の試料は4層のそれぞれを平均した。 $UC:Ba:Gr=60:38:2$ の primitive な後背地組成から、成相寺層の試料を除いて、組成線にそって $60:20:20$ に向かって変化している。益田, 須佐, 庄原, 宇治田原はほぼ同じ時代の試料である。それらは組成線上にあるが変化に富む。房総の3層準の試料は変化に富み, $UC:Ba:Gr=60:38:2$ から $60:20:20$ へ, そしてふたたび $60:38:2$ へと primitive な組成へと変化する。第7図にはこれらの試料のうち中新統のもの平均値を示した。また, 日本海沿岸の東北地方(男鹿), 中部地方(八尾), 西南日本(隠岐, 九州, 天草・佐世保)などの試料の結果を合わせて示した。地域的变化として男鹿 ($UC:Ba:Gr=60:38:2$), 八尾, 松江・隠岐, 須佐 (UC), 庄原の各地域の試料は組成線の上であり, 北東から南西に primitive な組成から UC 組成へと変化している。台湾, 九州, 油谷の試料は組成線からはずれ Th/Sc 組成が高く成っているが, この順(南西から北東)に $UC:Ba:Gr=60:2:38$ からより primitive な組成へと変化している。このような結果は中新統における東北日本から西南日本への連続的な

後背地組成の変化を示す。そしてそれら島弧地殻の provenance は台湾, 九州のような成熟した大陸地殻組成との相違を示すものである。

謝 辞

本研究を進めるにあたり, 澤田順弘教授(島根大学)には XRF の使用に際して便宜をはかっていただいた。山内靖喜教授, 瀬戸浩二博士(同大学)には第三系についてご教示いただき, 環境地質学教室の方々には日頃からご指導, 励ましを頂いている。放射化分析(京都大学原子炉実験所共同利用)においては, 研究代表者の武蔵野 實教授(京都教育大学)および高田実彌助手(京都大学原子炉実験所)に便宜をはかっていただいた。上記の方々に厚くお礼申し上げる。

引用文献

- Bhatia, M. R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Jour. Geol.*, **91**, 611-627.
- Condie, K. C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.*, **104**, 1-37.
- Fedo, C. M., Eriksson, K. A. and Krogstad, E. J., 1996. Geochemistry of shales from the Archean (~3.0 Ga) Buhwa Greenstone Belt, Zimbabwe: implications for provenance and source area weathering. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **60**, 1751-1763.
- Hassan, S., Ishiga, H., Roser, B. P., Dozen, K., and Naka, T., 1999. Geochemistry of Permian-Triassic shales in the Salt Range, Pakistan: implications for provenance and tectonism at the Gondwana. *Chem. Geol.* **158**, 293-314.
- 石田志郎・糸魚川淳二・森島正夫・森下 晶・中沢圭二・小黒讓司, 1954. 京都府奥山田の新生代層. *地質雑*, **60**, 160-166.
- 市川雄一, 1930. 桃園図幅及び説明書, 台湾総督府殖産局出版.
- 市川雄一, 1932. 新店図幅及び説明書, 台湾総督府殖産局出版.
- 鹿野和彦, 1993. 日本列島の新生代地史. *北陸地質研究所報告*, **3**, 33-50.
- Koyama, M. and Matsushita, R., 1980. Use of neutron spectrum sensitive monitors for instrumental neutron activation analysis. *Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ.*, **58**, 235-243.
- 倉沢 一・高橋 清, 1960. 山陰西部・新生代火山岩類

- の化学的性質. 火山, 第2集, 5, 110-127.
- 中島輝允・牧本 博・平山次郎・徳橋秀一, 1981. 鴨川地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 107 p.
- McLennan, S., Hemming, S., MacDaniel, D. K. and Hanson, G. N., 1993. Geochemical approach to sedimentation, provenance and tectonics. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*, 284, 21-40.
- 三宅康幸・武蔵野実, 1991. 中性子放射化分析試料の粉碎に際して混入する元素とその量について. 島根大地質学研報, 10, 31-34.
- 岡本和夫・今村外治, 1964. 山口県油谷湾付近の第三系. 広島大学地学研報, 13, 1-42.
- Potts, P.J., Tindle, A. G. and Webb, P. C., 1992. Geochemical reference material compositions. Whittles Publishing, 313 pp.
- Roser B.P., Cooper R.A. and Tulloch A.J., 1996. Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of West Coast and Nelson, New Zealand. *New Zealand Jour. Geol. Geophy.*, 39, 1-16.
- Roser B. P. and Korsch R. J., 1986. Determination of tectonic setting of sandstones mudstones suites using SiO₂ content and K₂O / Na₂O ratio. *Jour. Geology*, 94, 635-650.
- 高安克己・山崎博史・上田哲朗・赤木三郎・松本俊雄・野村律夫・岡田昭明・澤田順弘・山内精喜・吉谷昭彦, 1992. 山陰地方の中新統層序と古地理. 地質学論集, 37, 97-116.
- Tamaki, K., Suyehiro, K., Allan, J., Ingle, J. C. Jr and Pisciotto, K. A., 1992. Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP Drilling. *Proc. ODP Sci. Results*, 127/128, Pt. 2: 1333-1348.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1985. The Continental Crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312 pp.
- Tu Ming-Kuan and Chen Wen-Cheng., 1990. Explanatory Text of the Geologic Map Of Taiwan, Cungli, scale 1: 50,000, Central Geol. Surv.
- 上田哲朗, 1989. 広島県三次・庄原地域の中新統備北層群一層序について一. 地質雑, 95, 919-931.
- 上田哲朗・高安克己, 1992. 山陰地方を中心とした第三紀軟体動物化石群と古環境の変遷. 地質学論集, 37, 149-162.
- 山崎静子・道前香緒里・石賀裕明, 1998. 隠岐島後(島根県), 八尾(富山県), 男鹿半島および太平山(秋田県)における中新統堆積岩の元素組成. 島根大地質学研報, 17, 69-96.
- 山内靖喜・江口欣也, 1985. 益田. 島根県の地質, 117-118, 島根県.
- 山内靖喜・井上多津雄・高安克己, 1985. 新第三系. 島根県の地質, 21-25, 島根県.
- (受付:1999年11月5日, 受理:1999年12月1日)

第1表 台湾, 台北周辺 (桃園, 中歴, 新店) の第三系堆積岩のREEを含む微量元素組成 (放射化分析, INAAによる).

Taiwan

	Ok silt	Os silt	Oki sh	Mst silt	MI silt	Ms ms	Mt sst	TI sh	St sh	Nk sst	Nk silt	Nc sh
INAA	616-8A	616-5A	616-3B	615-7B	615-1A	423-17	615-6A	423-14	423-3	423-19	422-11	423-8
ppm												
Sc	11.9	11.5	15.5	11.8	13.7	19.3	3.8	13.0	13.0	8.8	8.7	13.2
Cr	63.0	83.3	90.5	74.3	90.6	104.8	30.6	83.8	82.4	62.0	66.4	94.7
Co	14.2	29.2	19.3	17.3	20.6	10.1	34.1	19.0	28.6	21.9	17.2	27.2
Hf	8.7	9.0	6.9	6.5	6.5	6.4	4.1	6.7	7.7	7.2	7.3	10.2
Ta	1.8	1.4	1.4	1.2	1.2	1.6	0.6	1.3	1.2	1.0	1.0	1.6
Th	23.7	15.9	18.7	14.9	16.0	22.9	7.2	15.8	16.7	11.6	10.7	19.1
U	5.0	3.7	4.6	3.0	3.4	4.7	1.2	3.1	3.5	2.3	2.4	4.3
La	43.7	42.1	45.0	37.4	42.9	58.6	28.8	43.7	45.7	35.5	32.2	50.7
Ce	90.6	90.0	93.1	69.3	82.2	111.4	53.3	82.3	85.1	65.0	63.1	96.4
Sm	6.9	6.7	7.2	6.0	7.0	8.6	4.5	7.2	8.0	5.7	5.8	8.8
Eu	1.0	1.2	1.2	1.0	1.2	1.3	0.8	1.2	1.4	1.0	1.0	1.5
Tb	2.4	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	0.5	0.8	1.0	0.6	0.6	1.1
Yb	2.1	2.4	2.7	2.8	2.6	3.4	1.0	2.6	2.8	2.2	2.3	3.3
Lu	0.5	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.2	0.5	0.5	0.3	0.4	0.5
Cs	18.8	6.5	13.6	9.1	9.9	17.7	1.2	8.9	8.4	4.3	4.7	8.9
As	9.3	-	9.1	6.9	8.4	13.6	-	8.7	6.3	6.5	33.5	10.7
Sb	1.2	1.1	1.1	0.9	0.9	0.9	0.3	0.8	1.0	0.6	0.7	0.9

第2表 油谷 (山口県), 須佐 (山口県), 益田 (島根県) の第三系堆積岩のREEを含む微量元素組成 (INAAによる).

Yuya

Susa

Masuda

INAA	Juraku		Kiwado		Toyama	Hitomaru		Kadoyama	Kawashiri	Igami	Koyama		Toyota				
	sst	ms	sst	ms	ms	sst	sst	sst	sst	sst	ms	ms	ms	sst	ms	silt	
	705-15A	705-14A	705-3A	705-5A	705-17B	705-10A	705-12B	705-8B			960201-1	960201-2	706-3A	706-6C	706-1A	706-5A	
ppm																	
Sc	7.8	18.0	9.6	12.4	12.7	5.8	9.8	6.5			18.4	14.4		17.2	9.7	12.6	12.2
Cr	25.5	19.0	54.8	45.1	61.1	18.9	54.1	35.2			82.7	66.2		79.9	61.4	45.5	70.5
Co	19.6	16.0	13.7	9.1	14.8	11.8	7.9	17.8			8.8	6.8		15.0	13.6	13.5	18.7
Hf	3.5	5.3	6.7	4.6	7.0	2.3	5.9	4.2			4.4	5.0		5.6	5.5	3.9	5.6
Ta	0.5	0.4	1.0	0.7	1.0	0.3	0.9	0.5			1.0	0.9		0.8	0.6	0.6	0.8
Th	6.9	5.3	10.8	9.1	13.0	3.8	10.3	7.1			16.6	13.0		8.1	8.5	8.9	9.5
U	1.9	2.4	2.8	2.4	3.8	1.4	3.9	2.4			4.6	2.5		1.8	2.4	3.6	2.7
La	17.0	21.1	35.6	21.9	38.6	12.9	35.7	23.8			55.7	33.3		23.2	21.8	23.9	25.4
Ce	28.0	37.9	63.8	36.7	71.0	21.6	64.4	40.6			108.0	60.5		47.7	47.5	45.7	52.1
Sm	3.7	5.5	6.8	5.0	7.5	2.9	7.5	4.9			11.9	5.6		4.9	4.1	5.9	5.0
Eu	0.8	1.2	1.1	0.8	1.3	0.8	1.3	0.8			2.3	0.9		1.0	0.8	1.0	0.9
Tb	0.3	0.6	0.7	0.6	0.8	0.3	0.8	0.5			1.3	0.9		0.6	0.5	0.6	0.6
Yb	1.6	3.1	2.2	2.5	3.0	1.5	2.5	1.5			3.5	2.6		2.7	1.8	2.8	2.5
Lu	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4	0.3			0.6	0.4		0.4	0.3	0.5	0.3
Cs	17.5	8.3	7.0	8.8	7.4	2.3	5.3	1.6			24.0	9.5		9.0	4.9	6.6	5.4
As	-	-	14.2	17.6	7.8	-	15.6	-			-	-		11.2	19.6	22.4	26.5
Sb	2.8	0.9	0.9	0.8	0.9	0.7	1.9	0.7			1.8	1.0		2.9	1.5	1.4	1.6

第3表 松江周辺の島根半島, 庄原(広島県)の第三系堆積岩のREEを含む微量元素組成(INAAによる).

Matsue											Shobara	
INAA	Koura		Josoji				Ushikiri		Furue		Itabashi	Korematsu
	ms	ms	ms	ms	ms	ms	ms	ms	ms	ms	ms	
	Ko9	Ko17	Jo3	Jo11	Kamaura-A	Kamaura-B	Us3	Us10	Fu3	Fu6	1107-17	1107-5
ppm												
Sc	17.1	16.7	9.9	15.9	5.3	6.7	11.5	15.5	14.1	15.7	13.3	8.8
Cr	24.0	45.8	40.9	31.7	30.0	36.0	43.5	42.7	69.1	77.3	83.6	85.9
Co	13.8	8.9	4.4	11.3	12.2	16.1	16.1	11.3	14.8	20.8	11.5	11.7
Hf	6.1	3.9	2.1	4.1	1.2	1.5	2.2	3.5	5.6	4.7	4.6	5.8
Ta	0.7	0.3	0.5	0.5	-	-	0.4	0.5	0.9	0.9	1.0	0.8
Th	9.4	3.0	8.1	7.1	3.2	4.4	5.3	8.3	11.0	11.7	13.1	9.5
U	-	-	-	-	1.8	1.4	-	-	-	-	4.8	5.7
La	34.8	17.1	19.0	5.7	11.2	12.6	14.5	17.6	34.4	36.8	27.0	24.6
Ce	71.4	37.0	28.3	39.7	28.2	27.1	18.0	31.0	70.0	81.6	59.1	49.8
Sm	6.3	4.3	3.4	2.3	3.4	2.2	3.5	4.3	5.7	10.7	6.4	5.8
Eu	1.3	1.2	0.5	0.9	0.7	0.5	0.8	0.6	0.9	2.2	0.9	0.9
Tb	1.2	0.6	0.3	0.6	0.5	0.3	0.3	0.5	0.6	1.7	0.6	0.6
Yb	2.9	2.2	1.6	2.0	1.2	1.0	2.0	2.3	2.3	3.5	2.8	2.0
Lu	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.7	0.5	0.4
Cs	6.2	-	6.5	5.6	2.5	3.6	5.8	7.9	9.9	12.0	15.4	5.7
As	8.5	-	3.9	13.5	-	-	3.4	-	11.3	10.7	8.9	37.1
Sb	0.7	-	1.2	2.0	-	-	1.2	0.3	1.1	0.9	1.4	1.2

第4表 宇治田原(京都府), 房総半島の第三系堆積岩のREEを含む微量元素組成(INAAによる).

Ujitawara					Boso								
INAA	Kawakami Miyamura		Kaya	Shioya	Masuma	Aokiyama	Ezuki	Ohkuzure	Nakaobara	Kinone	Amatsu	Kiyosumi	Anno
	ms	ms	silt	silt	silt	ms	silt	ms	ms	silt	silt	sh	silt
	928-3	928-25	928-8	928-17	217-9A	216-17A	217-8A	216-18A	217-10C	216-14A	216-15A	216-11B	216-8B
ppm													
Sc	14.9	11.7	-	12.2	15.6	10.9	13.1	15.4	14.7	12.7	15.4	18.7	30.5
Cr	10.2	10.2	28.4	27.7	19.9	80.2	27.1	73.9	73.9	75.4	70.8	58.6	33.3
Co	13.6	13.4	-	6.7	12.7	7.7	5.9	17.0	13.4	9.1	16.6	14.1	21.7
Hf	6.8	6.1	6.5	6.5	5.8	3.9	7.4	4.1	5.9	4.0	3.8	3.6	2.4
Ta	0.6	0.6	0.7	0.8	0.5	0.7	0.8	0.9	0.7	0.7	0.8	0.6	-
Th	8.0	7.4	8.8	9.9	7.2	7.5	10.6	13.8	11.0	9.6	9.4	7.0	3.8
U	1.9	1.7	2.8	2.0	1.4	2.3	2.5	3.0	2.9	3.2	3.2	3.0	1.8
La	36.4	33.3	42.9	31.1	27.9	17.3	36.2	31.0	26.7	24.4	24.2	18.5	9.5
Ce	66.1	58.0	70.0	54.1	53.0	37.9	70.0	65.8	58.7	45.9	44.5	37.4	19.1
Sm	7.3	7.9	8.6	5.7	5.7	3.5	7.7	5.4	5.3	4.3	4.4	4.2	3.3
Eu	1.5	1.6	1.9	1.1	1.5	0.7	1.4	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
Tb	0.8	0.9	1.1	0.6	0.7	0.5	-0.5	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6
Yb	3.6	3.6	-	3.0	3.0	1.8	3.7	2.5	2.6	2.1	2.3	2.6	2.5
Lu	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.3	0.6	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4
Cs	3.0	2.0	-	3.2	1.5	4.8	2.6	9.7	6.9	6.9	6.8	6.4	2.9
As	-	-	6.8	-	-	-	-	8.0	-	-	-	6.8	-
Sb	-	-	-	0.4	-	1.0	-	1.4	0.8	1.3	1.3	0.8	-

第5表 全地域の試料採取地点.

Sample no.	Formation		緯度	経度	Sample no.	Formation		緯度	経度
台湾					庄原				
423-8	南莊層	Nc	24° 50' 49" N	121° 20' 47" E	1107-17	板橋累層	Itabashi	34° 51' 11" N	133° 02' 12" E
422-11	南港層	Nk	24° 45' 05" N	121° 12' 58" E	1107-5	是松累層	Korematsu	34° 52' 25" N	133° 00' 18" E
423-19	南港層	Nk	24° 50' 04" N	121° 18' 05" E	松江				
423-3	石底層	St	24° 52' 43" N	121° 22' 47" E	Ko9	古浦層	Koura	35° 33' 15" N	133° 13' 33" E
423-14	大寮層	Tl	24° 48' 12" N	121° 21' 46" E	Ko17			35° 34' 01" N	133° 13' 40" E
615-6A	大寮層	Mt	24° 55' 30" N	121° 32' 49" E	KamauraB	成層寺層	Josoji	35° 28' 25" N	132° 45' 24" E
423-17	木山層	Ms	24° 46' 02" N	121° 21' 41" E	KamauraA			35° 28' 25" N	132° 45' 24" E
615-1A	下部夾炭層	MI	24° 54' 34" N	121° 29' 52" E	Jo11			35° 34' 32" N	133° 14' 08" E
615-7B	青たん層	Mst	24° 54' 10" N	121° 32' 21" E	Jo3			35° 33' 57" N	133° 12' 56" E
616-3B	龜山層	Oki	24° 53' 17" N	121° 33' 01" E	Us10	牛切層	Ushikiri	35° 27' 47" N	132° 44' 24" E
616-5A	粗窟砂岩層	Os	24° 50' 37" N	121° 33' 06" E	Us3			35° 28' 01" N	132° 45' 06" E
616-8A	乾溝層	Ok	24° 50' 13" N	121° 31' 41" E	Fu6	古江層	Furue	35° 26' 57" N	132° 46' 40" E
油谷湾					Fu3			35° 26' 43" N	132° 46' 52" E
705-8B	伊上累層	Igami	34° 22' 09" N	130° 59' 53" E	宇治田原				
705-12B	川尻累層	Kawajiri	34° 24' 16" N	131° 58' 24" E	928-17	塩谷砂岩層	Shioya	34° 50' 55" N	135° 54' 28" E
705-10A	角山累層	Kadoyama	34° 22' 34" N	131° 02' 23" E	928-8	栢凝灰質砂岩層	Kaya	34° 51' 10" N	135° 54' 37" E
705-17B	人丸累層	Hitomaru	34° 21' 27" N	131° 01' 51" E	928-25	宮村砂岩層	Miyamura	34° 51' 24" N	135° 54' 55" E
705-5A	峠山累層	Toyama	34° 19' 47" N	130° 53' 27" E	928-3	川上礫岩層	Kawakami	34° 51' 24" N	135° 54' 38" E
705-3A	黄波戸累層	Kiwado	34° 18' 41" N	130° 53' 45" E	房総半島				
705-14A	十楽累層	Juraku	34° 21' 59" N	131° 07' 23" E	216-8B	安野層	Anno	35° 12' 50" N	140° 04' 28" E
705-15A	十楽累層	Juraku	34° 22' 14" N	131° 08' 28" E	216-11B	清澄層	Kiyosumi	35° 09' 13" N	140° 04' 17" E
須佐					216-15A	天津層	Amatsu	35° 08' 46" N	140° 03' 32" E
960201-2	高山頁岩層	Koyama	34° 38' 02" N	131° 36' 37" E	216-14A	木ノ根層	Kinone	35° 08' 39" N	140° 03' 25" E
960201-1	高山頁岩層	Koyama	34° 37' 59" N	131° 36' 33" E	217-10C	中尾原層	Nakaobara	35° 07' 25" N	139° 50' 21" E
益田					216-18A	大崩層	Ohkuzure	35° 07' 47" N	139° 54' 20" E
706-5A	豊田累層	Toyota	34° 39' 55" N	131° 51' 57" E	217-8A	江月層	Ezuki	35° 06' 16" N	139° 52' 20" E
706-1A	豊田累層	Toyota	34° 39' 37" N	131° 50' 31" E	216-17A	青木山層	Aokiyama	35° 08' 05" N	139° 54' 17" E
706-6C	豊田累層	Toyota	34° 39' 51" N	131° 50' 41" E	217-8A	増間層	Masuma	35° 07' 12" N	139° 50' 07" E
706-3A	豊田累層	Toyota	34° 39' 35" N	131° 51' 02" E					

第三系堆積岩の希土類元素組成