

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

山崎 静子* · 道前香緒里** · 石賀 裕明***

Geochemical compositions of the Miocene sedimentary rocks in Oki-Dogo (Shimane), Yatsuo (Toyama), Oga Peninsula and Taiheizan (Akita) areas of Japan

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

Abstract

Extensive Miocene sedimentary sequences were deposited along the coastal regions of the Japanese islands during the opening of the Japan Sea. Although numerous organic geochemical studies of oil shales have been carried out in these areas for evaluation of source rocks, maturity, and resource potential, whole rock geochemical data are few. This report contains XRF, INAA (major and trace elements including REE), and CNS analyses, mostly of mudstones, from sedimentary sequences in Oki-Dogo (Shimane), Yatsuo (Toyama), Oga Peninsula and Taiheizan (Akita). Degree of source weathering and provenance changes related to geologic events associated with the opening of the Japan Sea are evaluated using A-CN-K and Al_2O_3 -Zr-TiO₂ relations, REE patterns, and Th/Sc and Eu/Eu* indices.

In the Oki-Dogo area, the Tokibariyama and Kori Formations show lower CIA (<70) than overlying marine formations, suggesting derivation of clastic detritus from relatively local and unweathered sources. In the Tokibariyama and Kori Formations Th/Sc and PAAS normalized Eu/Eu* show vertical variations trending towards slightly more evolved sources. However, provenance signatures in the overlying Hei Formation (Eu/Eu*>1, light REE depletion relative to PAAS) are indicative of more primitive material in the source, probably due to marine invasion. In the Yatsuo area, CIA ratios are generally <75, suggesting the source was unweathered and/or active uplift occurred. A-CN-K characteristics are thus typical of non-steady weathering conditions. In the Oga Peninsula, the Onnagawa Formation has higher CIA than other Miocene formations in that sequence, suggestive of more intense weathering, and possible steady state weathering where erosion of weathered material matched production rate. The overlying Funakawa Formation is chemically homogeneous, but is characterized by lower CIA, suggesting non-steady conditions related to active source uplift. Th/Sc and Eu/Eu* show change in source rocks from evolved in the Nirehara to more primitive in the Kurosedani of the Yatsuo area. This variation is correlative with the Oga area as represented by Nishikurosawa Formation.

In the Taiheizan area, the Onnagawa and Funakawa Formations have high CIA (>80) but more varied compositions than in the Oga area. This suggests that the Taiheizan source was more proximal, with varied compositions being produced by local lithological variations, the contrasts in which were diminished in the more distal Oga area. Th/Sc and Eu/Eu*, however, show changes toward less evolved source compositions in the Onnagawa and Funakawa Formations. Shifts in provenance towards more primitive compositions are common to the lower Middle Miocene in all four areas, and are probably related to provenance variation probably due to uplift of the source area, eruption of intermediate and/or basic volcanics, and the opening of the Japan Sea.

Key words: geochemistry, Miocene, Japan Sea, sedimentary rocks, REE

はじめに

堆積岩構成物の岩石学的研究は長く行われてきた。と

くに砂岩のような粗粒碎屑岩はおもに源岩に由来する鉱物からなる。そこで石英・長石・岩片の3要素の構成比とそれぞれの岩石学的特徴を検討することにより、源岩を構成する岩石の推定が可能である。砂岩の鉱物組成の系統的な研究は1960~70年代に進展した。そして、それらは後背地の造構場を代表するとされ、さまざまな造構場の判別図が提案された(Blatt, 1967; Dickinson and Suczek, 1979など)。また、重鉱物の特徴から後背地の地質構成を推定する研究もなされている。しかし、これらの研

* 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

** 大阪市立大学理学部地球学教室 Department of Geosciences, Osaka City University, Sugimoto 3-3-138, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan

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

究には鉱物の識別を行い、構成粒子の統計的な処理を行うなどの技術の修得、労力と時間が必要である。しかも、構成粒子の検討は砂岩では風化の進行していない試料を採集しなければならない。また、鉱物組成は光学顕微鏡で識別可能な粒度をもつ粗粒堆積物に研究対象が制限される。そのため、一般に砂岩の鉱物組成は中粒以上の粒度組成を持つ砂岩について検討されている。また、研究者間での鉱物の判定には相異があることが示されている(公文ほか, 1992)。

しかし、堆積岩の全岩化学組成はさまざまな粒度組成の岩石について検討することが可能であり、研究者による技術的な相違がなく、研究結果についても再現性を持つという利点がある。また、一定量の重量の試料を用いることによってある地層を代表することが可能である(Moss et al., 1996 など)。

以上のようなことを背景に近年、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、堆積岩の化学組成による研究の有効性が示されてきた(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ている。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。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)。

そこで、日本海地域の中新統の代表的な分布地域のうち、隠岐島後(島根県)、八尾(富山県南部)、男鹿半島、太平山(秋田県)の4地域において堆積岩の元素組成を検討した。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)、希土類元素を含む堆積岩の地球化学組成からの評価は初めての試みである。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とされている(McLennan et al., 1993; Bhatia, 1983)。

検討した日本海の4地域の対比と総合化をおこない、従来の研究と比較することは、日本海拡大に伴う後背地の変化や地殻の改変を解明する上で重要と言える。

日本海の形成とそれにとまなう堆積盆地の発達について(概要)

日本海の形成にとまなう造構場の変化と堆積環境の変遷についての研究は多い。それらのすべてを網羅して総合的にまとめることは紙面の都合上困難である。ここでは各地域についての研究の一部を簡単にまとめる。

1. 隠岐島後

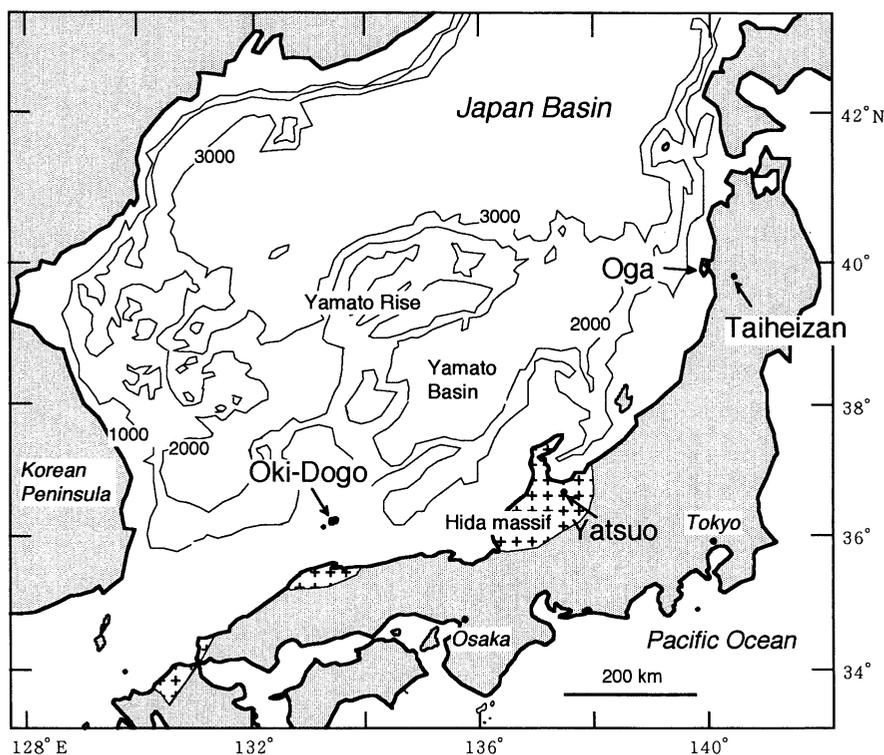
隠岐変成岩類(太田, 1963)・古期花崗岩(田結庄ほか, 1991)を基盤とする新生界は、下位から第三系の時張山累層、郡累層、久見累層、都万累層、隠岐粗面岩流紋岩、平粗面岩、葛尾石英流紋岩、大峰玄武岩(広義)と第四系の東郷礫岩、西郷玄武岩、尼寺山礫層および岬玄武岩に区分されている(藤巻ほか, 1991; Uchimizu, 1966; 山崎, 1984, 1991; 山崎ほか, 1991; 第1,2図)。第三系は、久見累層と都万累層の間の不整合により大きく上下に2分される。下位の3累層をまとめて島後層群と呼ばれる(山崎, 1992)。島後層群は、北東-南西方向の褶曲および北東-南西と北西-南東方向の断層によって規制されて分布し、基盤に近づくほど地層は急傾斜となる。島後層群は時張山、郡および久見累層からなる。

A. 時張山累層(Tokibariyama Formation)

本累層は、本島の中央部から東部において基盤をとりまくように分布し、カルクアルカリ岩系の酸性~中性の火山岩類と少量の碎屑岩により構成されている。岩質・岩相により上部層と下部層に2分される。下部層の流紋岩質溶結凝灰岩のジルコンのフィッシュン・トラック年代(26.0 ± 4.2 Ma)をもとに後期漸新世とされている(鹿野・中野, 1985)。しかし新期花崗岩のカリ長石のK-Ar年代(19.7 ± 0.6 Ma, 田結庄ほか, 1991)を考慮すると、後期漸新世~前期中新世初期(~20 Ma)に形成されたと考えられる。この時代は阿仁合型植物群から推定される時代(鈴木, 1989)と矛盾しない。

B. 郡累層(Kori Formation)

山崎(1984)により定義された本累層は、山崎ほか(1991)により再定義されている。本累層は、Uchimizu(1966)の穩地層群の大部分、周吉層群、西郷玄武岩類および金橋頁岩層の一部に相当する。石田(1985)の油井層(御崎粗面岩部層は除く)およびXu(1988)の長尾田シヨシヨナイトグループは本累層の那久火山岩部層に対応する。小路凝灰岩部層のジルコンのフィッシュン・トラック年代(21.2 ± 1.0 Ma, 山崎・雁沢, 1989)、那久火山岩部層のK-Ar年代(18~19 Ma, Uto, 1989)、台島型植物群の産出



第1図 位置図。隠岐島後地域（島根県），八尾地域（富山県南部），男鹿半島地域（秋田県）および太平山地域（秋田県）の各地域を示す。

(梅原, 1983), および久見累層の年代(後述)から, 前期中新世中期~後期(20~17 Ma)とされている。

無層理の中~巨礫岩層の場合が多い。

a. 小路凝灰岩部層 (Koji Tuff Member)

本部層は, 主に砂質凝灰岩, 火山礫凝灰岩~凝灰角礫岩, 軽石凝灰岩からなり, 酸性凝灰岩シルト岩互層, 凝灰質シルト岩, 砂岩および礫岩をともなう。中央部の郡では塊状の砂質凝灰岩や火山礫凝灰岩~凝灰角礫岩が主体であるのに対し, 南部の西郷ではクロスラミナ, 級化構造およびチャンネル構造がしばしば認められる酸性凝灰岩シルト岩互層および凝灰岩シルト岩・砂岩が厚くなる(山崎, 1991)。台島型植物群に対比される植物化石が産出する(梅原, 1983)。

C. 久見累層 (Kumi Formation)

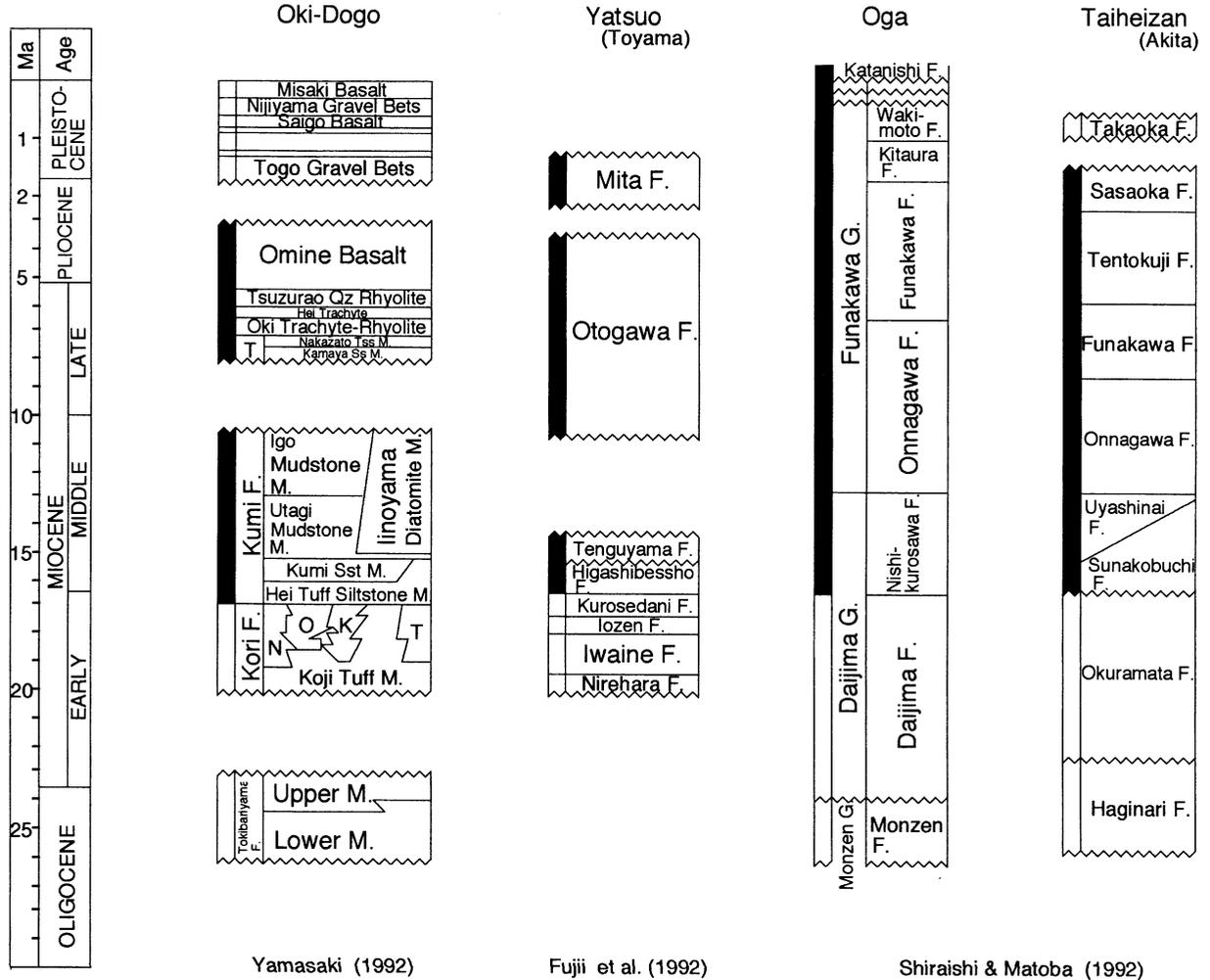
本累層は, 平凝灰岩シルト岩互層部層からの珪藻化石群集(山崎ほか, 1990, 1991)と, ジルコンのフィッシュン・トラック年代(14.6 ± 0.7 Ma, 山崎・雁沢, 1989), 久見砂岩部層からの有孔虫化石(大久保・高安, 1980; 多井・加藤, 1980), 飯山珪藻土層からの珪藻化石群集(下末, 1989; 横田, 1984)にもとづき, 前期中新世後期~中期中新世後期(17~10? Ma)に位置づけられる。

b. 大津久礫岩部層 (Ohzuku Conglomerate Member)

本部層は, 主に中央部の郡から皆市, 西部の大津久および東部の大久北部に分布し, 近石~西郷では薄化し, 尖滅する。本部層下部は, 砂岩・含礫砂岩が主体で細礫岩やシルト岩をともない, 上部は, 中~巨礫岩が主体となり, 全体としては上方粗粒化を示す。下部では, 上方細粒化シークエンスがしばしば認められる。上部は時張山累層起源と考えられる流紋岩・安山岩礫が主体で, 塊状・

a. 平凝灰岩シルト岩互層部層 (Hei Tuff Siltstone Alternation Member)

主に細粒~粗粒酸性凝灰岩, 軽石凝灰岩, およびシルト岩の互層からなり, 凝灰質砂岩・細礫岩をともなう。下部ではトラフ型クロスラミナが顕著で, 泥岩のリップアップクラストや砂岩ブロックを含む凝灰質砂岩層や細礫岩層をしばしば挟み, 上部では炭質層をともなう細粒碎屑岩や凝灰岩が卓越する(山崎, 1991)。淡水貝化石(大久保, 1981)および Akiba (1986) の *Crucidentacula kanayae* Zone および *Denticulopsis lauta* Zone に対比される海生珪藻化石群集を産する(山崎ほか, 1990, 1991; 横田, 1984)。



第2図 隠岐島後地域，八尾地域，男鹿半島地域，太平山地域の新第三系中新統の対比表。

b. 久見砂岩部層 (Kumi Sandstone Member)

本部層は主に塊状中粒砂岩，泥岩勝ち互層，砂岩勝ち互層，中～細礫岩からなり，酸性凝灰岩薄層をともなう。全体としては，下部で上方細粒化，上部で上方粗粒化を示す。平凝灰岩シルト岩互層部層と同時異相と考えられている (山崎ほか，1991)。

門ノ沢動物群に対比される軟体動物化石 (Okubo & Takayasu, 1979), *Miogypsina kotoi kotoi*, *Operculina complanata japonica* (大久保・高安，1980)，N.7-N.10の浮遊性有孔虫化石群集 (多井・加藤，1980)，内湾の環境を示す底生有孔虫化石群集を産する (瀬戸・山崎，1990)。

c. 歌木泥岩部層 (Utagi Mudstone Member)

本部層は主に塊状または弱く層理の発達した黒色～灰色泥岩，珪質泥岩からなる。黒色泥岩・珪質泥岩互層も含み，酸性凝灰岩薄層やごくまれに径1mほどの軽石ブ

ロックをともなう。自生黄鉄鉱や生痕を充ちんしたり，散在あるいはラミナにそって配列する海緑石が認められる (山崎，1984；矢野・島田，1984；瀬戸・山崎，1990)。平凝灰岩シルト岩互層部層および久見砂岩部層を整合に覆う。

D. 都万累層 (Tsuma Formation)

a. 釜谷砂岩部層 (Kamaya Sandstone Member)

釜谷海岸，五箇村北方，箕浦に分布しており，黄褐色～灰色の中粒砂岩を主体とし，細粒砂岩，粗粒砂岩から構成される。塊状または斜交葉理が発達している。しばしば葉理が乱されている部分もみられる。

塩原型化石動物群に相当する貝化石を多く含んでいる (高安，1983)。多井・加藤 (1980) は釜谷砂岩層の有孔虫を再検討し，BlowのN10～N12に相当する可能性を指摘した。鳥居ほか (1984) も珪藻化石から，ほぼこれに近い

い年代を推定している。

b. 中里凝灰質砂岩部層 (Nakazato Tuffaceous sandstone Member)

凝灰質な中粒砂岩からなり、基底には、厚さ 10 m の白色軽石凝灰質砂岩がみられる (山崎, 1984)。

鳥居ほか (1984) はこの層の珪藻化石群集が *Denticulopsis praedimorpha* を含むことから中期中新世中頃の年代を推定している。

2. 八尾

八尾地域の第三系は八尾町を中心に隣接する大沢野町や細入村、山田村などにも連続した地層の分布が認められ、これらを一括して八尾地域とよぶ。富山積成盆地の第三系の区分は下位より楡原層、岩稲層、医王山層、黒瀬谷層、東別所層、天狗山層、音川層である。本地域の層序区分は能登半島の灘浦地域と並んで北陸地域の標準層序名や時階区分として用いられている (第 2 図)。

A. 楡原層 (Nirehara Formation)

本層は今生津礫岩部層 (Imozu Conglomerate Member) とこれに重なる芦生砂岩部層 (Ashu Sandstone Member) からなる。今生津礫岩は先第三系基盤岩に由来する中～小礫を主体とした非海成層で、主として河川成の堆積相を示す。一般に基質はアルコース質で固結度が弱い。芦生砂岩はアルコース質粗粒砂岩で炭質物に富むこともある。これらの地層は基本的に先第三系を傾斜不整合に覆う。

B. 岩稲層 (Iwaine Formation)

安山岩質溶岩、凝灰角礫岩を主体とし、下部の層準に流紋岩溶岩、珪長質凝灰岩や溶結凝灰岩が挟在する。また泥流堆積物や縞状の炭質物に富む砂と泥の互層部なども認められる。岩稲層の最上部付近には水中自破碎溶岩や黒色シルト岩などが認められる。

C. 医王山層 (Iozen Formation)

医王山層の模式地は石川県医王山近傍で主として流紋岩溶岩とそれらの火山砕屑岩類から構成されている。K-Ar 年代は約 14 Ma (柴田, 1973), ジルコンのフィッシュントラック年代は 15~16 Ma (雁沢, 1983) である。富山県側にも本層相当層が分布が追跡し、岩稲層の中上部に対比されている。八尾地域はこれらの流紋岩類が石川県から連続する東縁部にあたる。

D. 黒瀬谷層 (Kurosedani Formation)

阪本 (1966) による八尾層で、富山積成盆地では東西

方向で岩相変化が著しい。そのため本層は多くの部層に区分されている。八尾地域では下部より室牧礫岩、砂岩・礫岩・シルト岩互層、聞名寺砂岩泥岩互層 (Monmyoji Alternation) などに区分されている。その最上部付近の山田中凝灰岩に対比される。本層は *Telescopium*, *Vicarya*, *Vicaryella* 属などの巻貝, *Geloina*, *Anadara*, *Dosinia* 属の二枚貝など、いわゆる熱帯性潮間帯から内湾 (マングローブ沼) の環境を示唆する群集を産する。

E. 東別所層 (Higashibescho Formation)

本層は下位の黒瀬谷層とは漸移関係ある。塊状黒色～暗灰色シルト岩を主とする。一般に珪藻質で沖合性の底生化石を含んでいるが、一部に保存良好な台島型植物化石を産する。模式地における本層の中上部には砂質シルト岩が卓越している。本層からは *Acila*, *Portlandia*, *Conchosele*, *Perriploma*, *Fissidentalium* などの貝類が産出し、これらは一部に漸深海帯を示唆する。

F. 天狗山層 (Tenguyama Formation)

本層は阪本・野沢 (1960), 阪本 (1966) による岩相区分では音川相下部を構成する地層で、音川層とは年代的にも区別すべきものである。早川・竹村 (1987) の改訂に従い天狗山層として独立している。本層の模式地は砺波市天狗山西方の和田川沿いにある。天狗山層は下部の和田川橋礫岩部層と上部の千光寺砂岩部層に区分され、東別所層とは不整合関係にある。

G. 音川層 (Otogawa Formation)

本層は新山砂岩 (Arayama Sandstone), 坪野砂岩 (Tsubono Sandstone) などに区分される。細粒から粗粒の砂岩を主体とし、特徴的に炭質物を含み、脱水構造であるデッシュ構造が認められる。本層基底は僅かに基底礫岩を伴う部分が認められる。基本的には砂岩と下位の東別所層のシルト質砂岩が接する不整合関係にある (新山 (あらかやま) 不整合と呼ばれている。早川・竹村, 1987)。

本層の化石群はいわゆる塩原-耶麻動物群に対比されるものである。珪藻化石の検討からは中新世末期と考えられる。

3. 男鹿半島

男鹿半島の第三系は基盤の黒雲母アダメロ岩を不整合に覆う始新統～鮮新統からなる。そしてその上位に第四系が重なる。層序は下位より赤島層、門前層、台島層、西黒沢層、女川層、船川層、北浦層からなり、日本海地域の第三系の標準層序である (第 2 図)。

A. 赤島層 (Akashima Formation)

最下位の赤島層は下部の赤島溶岩部層とその上位に整合に重なる入道崎火成岩部層に区分される。赤島溶岩部層は変質安山岩からなり、基底にアルコースを伴う。入道崎火成岩部層はおもにデイサイト質の、溶結凝灰岩を含む火砕岩からなる。溶結凝灰岩のジルコンのフィッシュントラック年代は 49.3~51.4 Ma である (鈴木, 1980)。

B. 門前層 (Monzen Formation)

本層は赤島層を不整合におおい、下位から潜岩溶岩部層、加茂溶岩部層、潮瀬の岬砂礫岩部層、真山流紋岩部層よりなる。潜岩溶岩部層はおもに粗面岩質の安山岩溶岩からなるのジルコンのフィッシュントラック年代は 27.1, 31.5 Ma (鈴木, 1980), 29.8 Ma (雁沢, 1987) である。加茂溶岩部層はおもに玄武岩・安山岩などの溶岩からなる。潮瀬の岬砂礫岩部層はおもに礫岩・火砕岩からなり、凝灰質砂岩・泥岩を伴う。凝灰質泥岩は阿仁合型植物群に属する植物化石を含む。真山流紋岩部層はおもに黒雲母流紋岩からなり、火砕岩を伴う。ジルコンのフィッシュントラック年代は 23.7 Ma (雁沢 1983, 1987), 25.3 Ma (鈴木, 1980), 26 Ma (西村・石田, 1972), K-Ar 年代は 24.4 Ma (木村, 1986) である。

C. 台島層 (Daijima Formation)

本層は最下部の溶結凝灰岩 (帆掛島石英安山岩部層; 藤岡ほか, 1954), 中~下部の玄武岩溶岩を伴う火山礫凝灰岩, 上部の垂炭を挟む非海成砕屑岩からなり、門前層に不整合に重なる。植物化石を多産し、台島型植物群の模式地である。溶結凝灰岩のジルコンのフィッシュントラック年代は 20 Ma (西村・石田, 1972), 22.0, 20.9 Ma (鈴木, 1980), K-Ar 年代は 18.8 Ma (木村, 1986) で、前期中新世初~中期を示す。

D. 西黒沢層 (Nishikurosawa Formation)

本層は男鹿半島北岸では砂岩・礫岩から、南岸では砂質シルト岩からなり、台島層を不整合に覆う。半島北岸では *Anadara makiyamai*, *Mizuhopecten kimurai*, *Vicaryella notoensis* などの貝化石とともに、大型有孔虫 *Miogyopsina kotoi*, *Operculina complanata japonica* と小型底生有孔虫化石を産する (半沢, 1954; 藤岡ほか, 1954)。南岸では *Anadara ogawai*, *Chlamys ishidae*, *Dosinia nomurai*, *Vicaryella ishiana* などの貝化石を含む (半沢, 1954; 藤岡ほか, 1954)。中上部の浮遊性有孔虫化石は N.9 帯に対比される (Saito and Maiya, 1973; 米谷, 1978)。珪藻化石では、本層最上部は Koizumi (1985) の *Denticulopsis hyalina* 帯 (ただし *D. nicobarica* 帯を含む), Maruyama (1984) の *D. hust-*

edtii 帯 (ただし *D. nicobarica* 帯を含む) に対比される (小泉・的場, 1989)。

E. 女川層 (Onnagawa Formation)

本層は層理がよく発達した珪質の硬質頁岩からなる。本層は西黒沢層を整合に覆う。北岸地域では珪藻土を主体とする。基底部に海緑石砂岩をともなう。Koizumi (1985) の *Denticulopsis praedimorpha* 帯から *D. kamtschatica* 帯の下部の中部 (12.9~5.8 Ma) にわたる珪藻化石を産し、中期中新世後期から後期中新世に対比される (的場・小泉, 1986; 小泉・的場, 1989)。

F. 船川層 (Funakawa Formation)

本層はおもに暗灰~黒色の無層理泥岩からなり女川層に整合に重なる。しばしば凝灰岩層を挟む。半島北岸の最上部は *Globoquadrina himiensis*, *G. kagaensis*, *G. asanoi* などの浮遊性有孔虫化石を含み, Maiya et al. (1976) の *Globigerina pachyderma (dextral)* / *Globorotalia orientalis* 帯に対比される (Maiya et al., 1976)。珪藻化石では、最下部が Koizumi (1985) の *Rouxia californica* 帯の上部, ついで *Denticulopsis kamtschatica* 帯から *D. seminae var. fossils* 帯までにわたる (小泉・金谷, 1977)。中新・鮮新統境界は本層下部にあり、上部は後期鮮新統に対比される。

4. 太平山

秋田地域の第三系は基盤の太平山深成変成岩類を不整合に覆う古第三系~新第三系からなる。層序は下位より大又層, 萩形層, 大倉又層, 砂子淵層・鶴養層, 女川層, 船川層, 天徳寺層, 笹岡層からなる (藤岡ほか, 1976; 大沢ほか, 1981) (第 2 図)。

A. 砂子淵層 (Sunakobuchi Formation)

本層は玄武岩溶岩・同質火砕岩を主とし、泥岩・砂岩・礫岩層を挟む。大倉又層に不整合に重なり、南東方向へ泥岩を主とする鶴養層に移化する。砂子淵層には大型有孔虫 *Oprculina sp.*, *Miogyopsina sp.* (大沢ほか, 1977), 貝化石 *Chlamys akitana*, *Ch. cosibensis hanzawae*, *Anadara makiyamai* などがふくまれる (大沢ほか, 1981)。

本層の下位の大又層 (Omata Formation), 萩形層 (Haginari Formation), 大倉又層 (Okuramata Formation) の年代は K-Ar 年代値によりそれぞれ 29.2 Ma (白田・岡本, 1986), 20.9 Ma (木村, 1985), 21.9 Ma (木村, 1986) が報告されている。また大倉又層についてはジルコンのフィッシュントラック年代 (24.3 Ma, 雁沢, 1983) と上部の安山岩の K-Ar 年代 (15.5 Ma, 木村, 1986) がある。

B. 鵜養層 (Uyashinai Formation)

本層は主に泥岩からなり、玄武岩質の火砕岩・酸性の凝灰岩を挟む。泥岩は優黒色・塊状～硬質板状。この泥岩は女川層の硬質頁岩に類似するが、この層のものは単層の層厚がより厚く、すこしやわらかい。北西方向に薄層化して、砂子淵層の上部とは指交関係にある。また鵜養層の浮遊性有孔虫化石から N.8～N.11 帯に対比される(米谷, 1978)。

C. 女川層 (Onnagawa Formation)

本層は男鹿半島の同層と同様、板状節理がよく発達した珪質の硬質頁岩を主体とする。筑紫森流紋岩(大沢ほか, 1981)などの火山岩体を挟む。砂子淵層とその相当層に整合に重なる。広域にわたって同一の岩相が広がるが、生層序的上限にはかなりの地域差がある(相田ほか, 1986)。

D. 船川層 (Funakawa Formation)

本層は黒色塊状泥岩を主とし、男鹿半島の同層と同様の岩相をもつ。女川層に整合に重なる。生層序学的には本層の堆積開始時期は、上記のように、地域により異なる。上限は秋田地域では *Denticulopsis kamtschatica* 帯の珪藻化石をふくむ(小泉・金谷, 1977)が、広域的には未確定である。この泥岩の堆積時には、安山岩・流紋岩の活動があった(本庄地域の福山安山岩, 新山安山岩など)。活動時期は木村(1984,1985), 臼田・岡本(1986)の年代測定値によると 8 Ma を中心とする年代に集中する(臼田, 1989)。

試料採取と分析方法

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、隠岐島後においては山崎(1992), 八尾においては藤井ほか(1992), 男鹿半島と太平山においては白石・的場(1992)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。しかし、層序区分された各地層から試料を採取するため、一部には肉眼的に判断しても風化したものが含まれる。風化作用の評価においてはそれらのサンプルには留意した。

1. 試料採取数

隠岐島後 90 個

- ・都万累層 中里凝灰質砂岩部層(都万村中里) 5 個
釜谷砂岩部層(都万村釜谷海岸) 3 個
- ・久見累層 歌木泥岩部層(都万村歌木) 13 個
久見砂岩部層(五箇村久見川上流域) 6 個
平凝灰岩シルト岩互層部層(西郷町平, 津

井) 19 個

- ・郡累層 大津久礫岩部層(五箇村中山峠) 12 個
小路凝灰岩層(五箇村小路) 6 個
- ・時張山累層 下部層(布施村飯美海岸, 浄土ヶ浦) 26 個
- 八尾 44 個
 - ・音川層 (大沢野町城生) 3 個
 - ・天狗山層 (山田村大瀬谷) 9 個
 - ・東別所層 (大沢野町葛原, 八尾町小長谷, 砺波市天狗山西方) 11 個
 - ・黒瀬谷層 (大沢野町土, 東坂下) 10 個
 - ・岩稲層 (八尾町小原東方石切場) 2 個
 - ・楡原層 (八尾町小井波西方林道) 9 個
- 男鹿半島 29 個
 - ・船川層 (男鹿市北浦西方野村) 4 個
 - ・女川層 (男鹿市女川北北西) 3 個
 - ・西黒沢層 (男鹿市西黒沢) 8 個
 - ・台島層 (男鹿市台島～小浜付近) 6 個
 - ・門前層 (男鹿市門前付近) 8 個

太平山 22 個

- ・船川層 (秋田市野田北方, 河辺町東) 5 個
- ・女川層 (秋田市野田北方, 河辺町砂子淵) 8 個
- ・鵜養層 (河辺町鵜養) 4 個
- ・砂子淵層 (河辺町砂子淵) 5 個

2. 分析方法

蛍光 X 線分析 (XRF), 放射化分析 (INAA) により元素分析を行った。分析を行うにあたっては、まず採取した試料の中から約 70 g の新鮮なものを選び、以下の手順に従って進めた。

①試料の洗浄

採取した岩石の表面や割れ目に存在する汚染物質を取り除くためにイオン交換水によって洗浄を行った。パイレックスビーカーに小割にした試料をイオン交換水 (0.05 μS/cm) にて洗浄。

②イオン交換水を加え、試料を超音波洗浄器にて約 10 分間洗浄

③イオン交換水に浸水 (1 日)

④乾燥 (110℃, 1 日)

⑤粉碎 (リングミルにて粉碎, 40 秒間)

リングミル粉碎によって混入する可能性のある元素：リングミルはタンゲステンカーバイト製である。タンゲ

ステンカーバイト製の粉碎器を用いた場合に混入する元素として、W, Nb, Coなどが指摘されている(三宅・武蔵野, 1991)。

蛍光X線分析(XRF)：1~5の作業後、粉末試料を110℃で1日乾燥させ、強熱減量(LOI=Loss on ignition)の測定を行った。その後、融剤(四ホウ酸リチウム)：燃焼試料=5:1の割合でガラスビーズを作成し、島根大学のXRF 2000システム(理学電気株式会社)を使用して元素分析を行った。分析は主成分元素(SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₃)と、微量元素(V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Sr, Rb, Ba)について行った。分析はSawada (in. prep)による。

LOI(強熱減量)：セラミック製のろつばに試料約2g入れ、1000℃で1時間燃焼した。そして、デシケーター中で冷却後、重量の測定を行った。

放射化分析(INAA)：1~5の作業後、粉末試料を110℃で1日以上乾燥させ、200mg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。この分析は京都大学原子炉実験所の共同利用により測定した。

全有機炭素(TOC)、全窒素(TN)およびイオウ濃度(TS)：これらについては10mg試料を塩酸(1規定)処理を行った後、Fisons (Carlo Erba) EA 1108 CHNS コーダー(島根大学汽水域研究センター)を用いて測定した。分析誤差はTOCおよびTNについては3%以内、TSについては4%以内である。また、塩酸処理を行わない試料についての全炭素量とTOCの比較により炭酸塩炭素量も求めている。なお分析結果については分析値を各地域の表に示すとどめ、考察は校を改めて行う。

堆積岩の元素組成

陸上の岩石が風化し、堆積作用をへて堆積岩へと変化する過程で、源岩の岩石と堆積岩ではそれらの化学組成がずいぶん異なったものとなる。堆積岩の化学組成は、源岩の組成、風化-浸食作用、運搬作用、続成作用、堆積環境、そして生物起源の元素の混入や生物の生化学作用などを反映したものである。

例えば風化作用の進行によってCa, Na, Kが減少し、Al

は相対的に増加する。また、堆積物の運搬による分別作用により、Al, Tiは減少するが、Zrは増加する傾向がある(Garcia et al., 1994; Roser et al., 1996)。また、Th, Scや希土類元素(REE)は上記の作用による変化を受けにくいとされており、後背地の源岩の組成を反映している(Taylor and McLennan, 1985; McLennan et al., 1993; Roser et al., 1996など)。これらのさまざまな作用の総和が堆積岩の化学組成を構成すると言える。そこで、堆積岩の元素組成から、各々の作用を評価する判別図が考案されている。本論では堆積岩の元素組成に最も大きく影響を与える風化作用、堆積作用における重鉱物の分別作用、源岩の組成の3要素について考察する。

風化作用と風化過程

風化作用により岩石は物理化学的に変化し、堆積岩の元素組成も変化する。岩石の風化作用は有色鉱物や長石の分解とそれともなう粘土鉱物の形成に進行する。とくに長石の風化の進行にともない、Ca, Na, Kが溶脱し、相対的にAlが増加する。この過程をCa, Na, K, Alの4元素を用いて評価可能である(Fedo et al., 1995; Nesbitt and Young, 1989)。それによればCa, Naの濃度は斜長石組成に対応し、Kの濃度はカリ長石に対応する。堆積岩のこれらの元素組成をCa+Na-K-Alの3成分のグラフに示すことによって、初生の長石の組成から変化した物質の元素組成を表現することができる。

A-CN-Kダイアグラム：このダイアグラムは、Al₂O₃, CaO*+Na₂O, K₂Oを端成分とし、それぞれをモル比でとった三角ダイアグラム(A-CN-Kダイアグラム)である(第3図)。Al, Ca+Naの50%組成とAl, Kの50%組成を結ぶ線は、斜長石(Pl)-カリ長石(K-feld.)組成を代表する。ここでCaO*は珪酸塩鉱物のCaOを代表する。風化の程度の異なる岩石をプロットすれば、Pl-K-feld. join上のある点を源岩の組成として、これよりA-CN joinに平行にプロットされる。風化の進行ともなってCa, Naが溶脱すると、よりKとAlに富む組成へと変化して、A-CN joinに平行なトレンドをなす。

このトレンドは、風化が進行した過程を示し、Pl-K-feld joinからの高さは風化の程度を示す。代表的な岩石や鉱物をPl-K-feld join上にプロットすることにより、逆に源岩の組成の推定を行うことも可能となる。堆積岩の組成が、頂点Kへ向かうトレンドをとる場合もある。これは続成作用によってKが付加されたことを示す(Fedo et al., 1995)。

CaO*は珪酸塩のCaOを示す。炭酸塩やリン酸塩にともなうCaOは次式によって除いて計算した(Fedo et al., 1995)。

$$\text{CaO}^* = \text{molCaO} - \text{molCO}_2(\text{cc}) - [(10/3) \times \text{molP}_2\text{O}_5] (\text{ap})$$

$$\text{mols CaO} = \text{wt\%CaO} \div 56.08$$

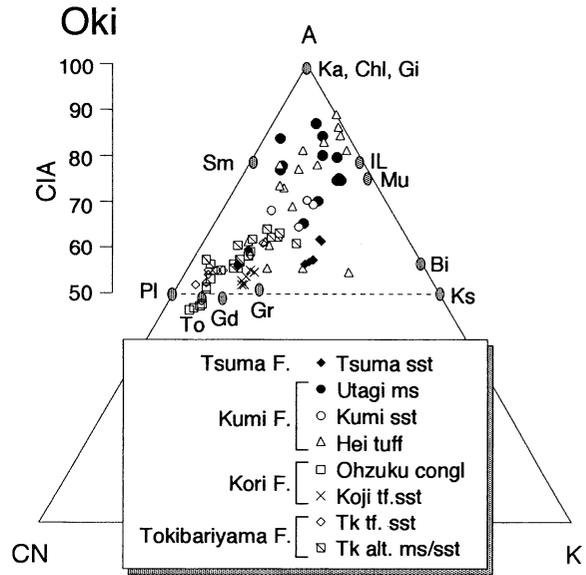
$$\text{mols CO}_2 = \text{wt\%CO} \div 44.01$$

$$\text{mols P}_2\text{O}_5 = \text{wt\%P}_2\text{O}_5 \div 141.95$$

cc = calcite ; dol = dolomite ; ap = apatite

CIA (Chemical Index of Alteration) : 風化の程度を評価する指標として CIA が提案されている (Nesbitt and Young, 1982). $\text{CIA} = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \times 100$ により与えられる. A-CN-K ダイアグラムの PI-K-feld join は CIA=50, A 頂点は CIA=100 となる. CIA=50 をもつ岩石は風化作用をほとんど受けていないことを示し, CIA 値の高い堆積岩はより風化が進行した岩石を後背地にもっていたと考えられる. 一つの堆積盆地の地層の CIA 値が分散する傾向があるとき, 陸上での岩石の浸食と風化作用のバランスが異なる速さで進行していることを示す (Nesbitt et al., 1996). たとえば, 活動的な造山帯においては上記の2作用のバランスは変化すると考えられる. いっぽう, 浸食と風化作用が平衡状態にあれば CIA 値はある地層において一定した値を持つこととなる. このように CIA 値に示される風化の程度は後背地の浸食作用の進行とも関係する (Nesbitt et al., 1996).

A-CN-K FM ダイアグラム: これは, A-CN-K ダイアグラムに有色鉱物の元素組成を代表する $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ を加味したものである. 端成分として Al_2O_3 (A), $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (CNK), $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (FM) をとる(第4図). A頂点とCNK頂点を結ぶ線の中心は長石の組成 (Fel) を示す.

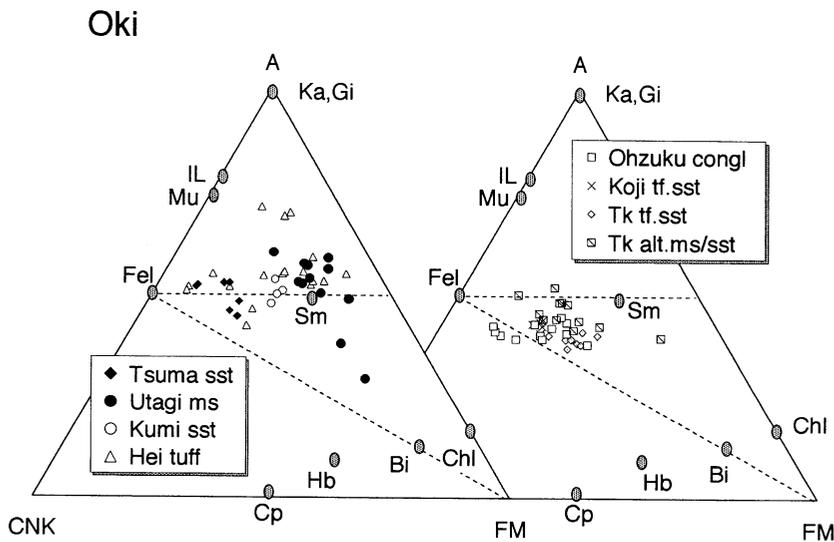


第3図 隠岐島後地域の新第三系中新統堆積岩の A-CN-K ダイアグラム.

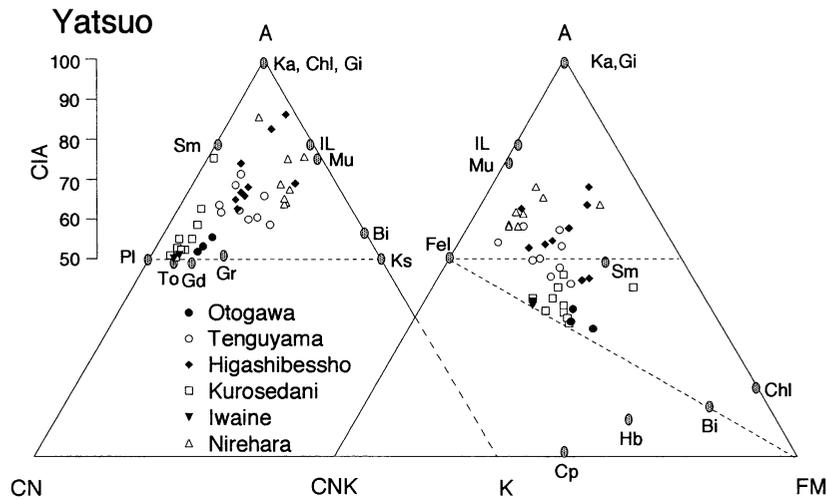
従って (Fel) と FM 頂点を結ぶ線には様々な源岩組成が示される. 風化の進行に伴って元素組成は Fel に平行な線上の組成に変化する. さらに風化が進行した岩石ではこの線から A 頂点にむかう組成へと変化する.

A-CN-K ダイアグラム, CIA, および A-CN-K-FM ダイアグラムはこのように風化の過程やその程度, そして源岩の組成を推定する上で重要な判別図である.

以下に各地域の地層の検討結果を示す.



第4図 隠岐島後地域の新第三系中新統堆積岩の A-CN-K-FM ダイアグラム.



第5図 八尾地域の新第三系中新統堆積岩のA-CN-KおよびA-CN-K-FMダイアグラム。

A-CN-K ダイアグラム, CIA

1. 隠岐島後 (第3図)

時張山累層は, CIA=50~65 と低い値を示す. 源岩は試料が多少分散していることと, 試料の示すトレンドが短いため確定することは難しい. しかし, おおむねトータル岩を源岩として, イライトへ向かうトレンドを示す. 風化の程度が低いものの CIA 値では 15 もの広い範囲にあり, 源岩は風化の程度の異なるものであるか, 浸食作用と風化作用の進行のバランスが変化する後背地を持っていたと考えられる.

郡累層の小路凝灰岩部層は, CIA=55 と低く試料による分散は小さい. 花崗閃緑岩と花崗岩の中間的組成をもつ.

大津久礫岩部層は, CIA=50~60 であり, トータル岩を起点とするトレンドを示し, 風化の程度が低い堆積岩と推定される.

久見累層は全体として, 時張山累層, 郡累層に比べ CIA が高い. また, 各層により CIA 値は異なり, プロットもばらついている. したがって源岩の風化の程度は時張山累層および郡累層と比較して高いが, 後背地の源岩には組成のことがあったと予想される. 平凝灰岩シルト岩互層部層および, 歌木泥岩部層の両者ともに組成は変化に富んでいる. しかし, 明瞭なトレンドを持たないので堆積後の続成作用による K の付加による変化も考えられる. 平凝灰岩シルト岩互層部層では CIA 値が低く P-K 線に平行にプロットされるものがある. これらは明らかに K の付加による元素組成の変化 (Fedo et al., 1995) であるといえる.

都万累層の釜谷砂岩部層は 3 試料であるが, いずれも CIA=60 と低い. 花崗岩よりもはるかに K 組成に近く, 源岩は珪長質岩石といえる.

中里凝灰質砂岩部層は, CIA=60~65 で, 同じく珪長質岩石を源岩とする. 風化の程度は低い.

2. 八尾 (第5図)

楡原層は, CIA=65~75 と上位の岩稲層, 黒瀬谷層に比較して高い. また, 1 試料を除いてプロットには多少の分散があるものの, 花崗岩よりもはるかに珪長質の岩石を源岩に持つ. 1 試料は CIA=85 と極めて高い.

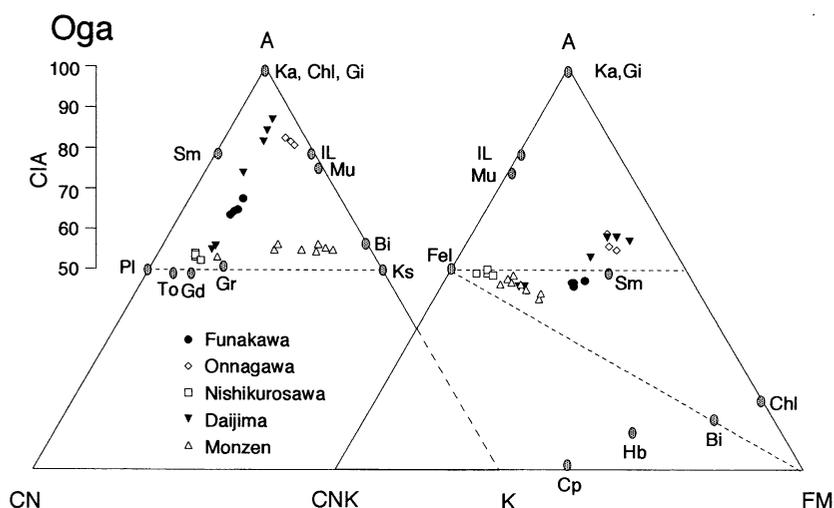
岩稲層は, CIA=50 でほとんど風化作用を受けていない岩石を源岩に持つ. 組成的にはトータル岩とほぼ同じである.

黒瀬谷層は, CIA=50~77 と変化に富む. トータル岩を起点にしたトレンドを示し, 浸食の激しい後背地から, 堆積物が供給されたと考えられる.

東別所層は, CIA=65~85 と変化に富む. 下位の岩稲層, 黒瀬谷層にくらべ風化作用を強く受け, 花崗閃緑岩を起点にしたトレンドをもつ.

天狗山層は, CIA=60~70 で, プロットは分散している. A-CN に平行なトレンドと Ks に向かうトレンドが識別される. したがって, 一部は花崗閃緑岩を起点にしたトレンドを示し, その他は続成作用による K の付加を受けていると言える.

音川層は, CIA=50~60 と低く風化作用をあまり受けていない. 源岩は花崗閃緑岩を起点としたトレンドを示し



第6図 男鹿半島地域の新第三系中新統堆積岩のA-CN-KおよびA-CN-K-FMダイアグラム。

ている。

3. 男鹿半島 (第6図)

門前層, 女川層のものをぞいて試料のプロットは, ほぼA-CNに平行なトレンドを示す。しかし, 各層におけるCIA値はそれぞれ異なる。門前層, 女川層はKsもしくはA-K線のある組成に向かったトレンドを持つ。

門前層は, CIA=55で, 風化の程度は低いが, P-K線にほぼ平行にプロットされる。

台島層は, CIA=55~90と変化に富む。台島層の一部にはシリカの多い岩石があり, それらは共通してK₂Oの濃度が高く, このようなトレンドを持つ。源岩の組成の推定は困難である。風化の程度は低いもの(凝灰角礫岩)と高いもの(珪質泥岩)があり, この違いは, 堆積速度の違いによる岩石の風化の程度の差によって生じたと考えられる。

西黒沢層は, CIA=55と男鹿地域の地層では最も低い。花崗閃緑岩の組成付近に集中している。風化の程度が低い源岩に由来する堆積岩であると考えられる。

女川層は, CIA=85と高く, 風化作用を強く受けた岩石を源岩を持つ。また, 台島層の泥岩を起点にイライトへむかうトレンドを示し, Kの付加を受けている。

船川層は, CIA=65と再び低くなる。源岩は花崗閃緑岩を起点としたトレンド上にプロットされるが, 組成は集中している。浸食作用と風化作用のバランスが保たれていたと予想される。

4. 太平山 (第7図)

鵜養層, 砂子淵層は, CIA=50~60で, トーナル岩を起点としたトレンドを示していることから, トーナル岩を源岩とする, 風化の程度が低い堆積岩であると考えられる。

女川層は, CIA=60~90で, トーナル岩を起点としたトレンドを示していることから, トーナル岩を源岩とする, 風化の程度が高い岩石に由来すると考えられる。

船川層は, CIA=60~90で, トーナル岩もしくは塩基性岩に由来するトレンドを示していることから, トーナル岩もしくは塩基性岩を源岩とする, 風化の進んだ堆積岩であると考えられる。

A-CN-K-FMダイアグラム

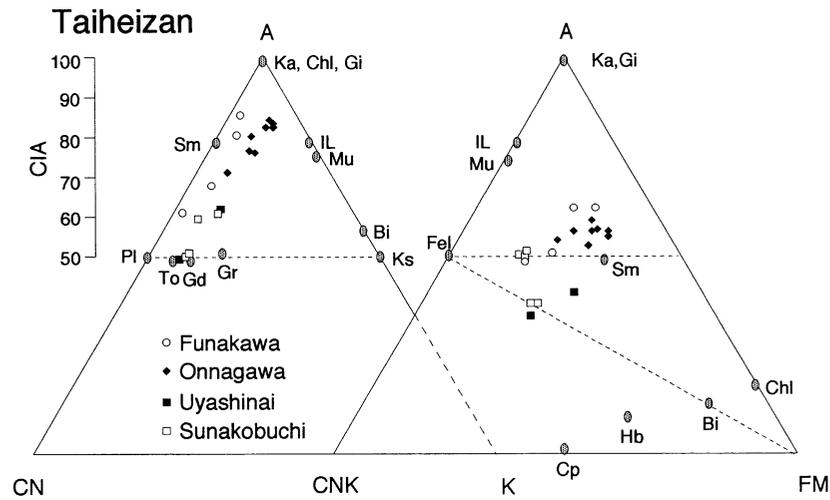
5. 隠岐島後

時張山累層, 小路凝灰岩部層ともにFeI-FM線付近およびそのやや上に集中している。チャートはこれらからは離れてA頂点へ向かってプロットされている。

久見累層, 都万累層はFeIから平行な線上にあり, 風化がやや進行しているが, 源岩の組成に近い。歌木泥岩層はこの直線上でさらに右寄りにあり, 一部はFMに向かってプロットされている。これは続成作用の過程で黄鉄鉱が形成されたことによると判断される。平凝灰質シルト岩部層は広い範囲にあるが, 風化の進行したものも多い。

6. 八尾

楡原層はいずれもFeIに平行な線よりも上にあり源岩は



第7図 太平山地域の新第三系中新統堆積岩のA-CN-KおよびA-CN-K-FMダイアグラム。

風化の進行していたといえる。これに対して岩稲層と黒瀬谷層はFeI-FM線付近と低い位置にある。東別所層、天狗山層は次第に風化の進行した岩石を後背地に持っていたと考えられる。音川層はふたたびFeI-FM線上に配列され源岩組成は最もFMに近く、風化作用をほとんど受けていない岩石を後背地に持っていた。

7. 男鹿半島

門前層、台島層の一部、西黒沢層はFeI組成の付近に配列している。女川層はこれより離れてSm組成からやや頂点Aよりにあり、風化作用を受けた岩石に由来する。船川層はSm組成の左にある。

8. 太平山

鶉養層、砂子淵層の一部はFeI-FM線上にある。砂子淵層の残りはFeIからの平行線上にある。船川層、女川層はこの線より上にあり風化作用を受けた岩石に由来するといえる。

堆積作用による分別作用と源岩組成

一般的にAl, Zr, Tiは風化、続成、変成作用においては移動しにくい元素とされている(Roser and Nathan, 1997; Moss et al., 1996; Ague, 1991)。そのため後背地の源岩組成を推定するのに重要である。しかし、Alは粘土鉱物として、Tiはルチルやイルメナイトなどとして、Zrはジルコンとしてそれぞれ堆積物に含まれる傾向がある。このような構成粒子の分級作用により、元素組成が変化すると

考えられる(Garcia et al., 1994)。

Al-Ti-Zrダイアグラム:このダイアグラムは、 $15 \times \text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $300 \times \text{TiO}_2$ 、Zrを3成分とするダイアグラムである(Garcia et al., 1994)。堆積岩の組成をプロットした結果、粒度による分別作用が行われている場合、源岩を起点にZr頂点へ向かうトレンドを構成することがある(第8図)。

1. 隠岐島後

時張山累層は、安山岩組成を中心とした範囲にプロットされ、源岩は安山岩~TTG(トータル岩、トロニウム岩、花崗閃緑岩)と推定される。

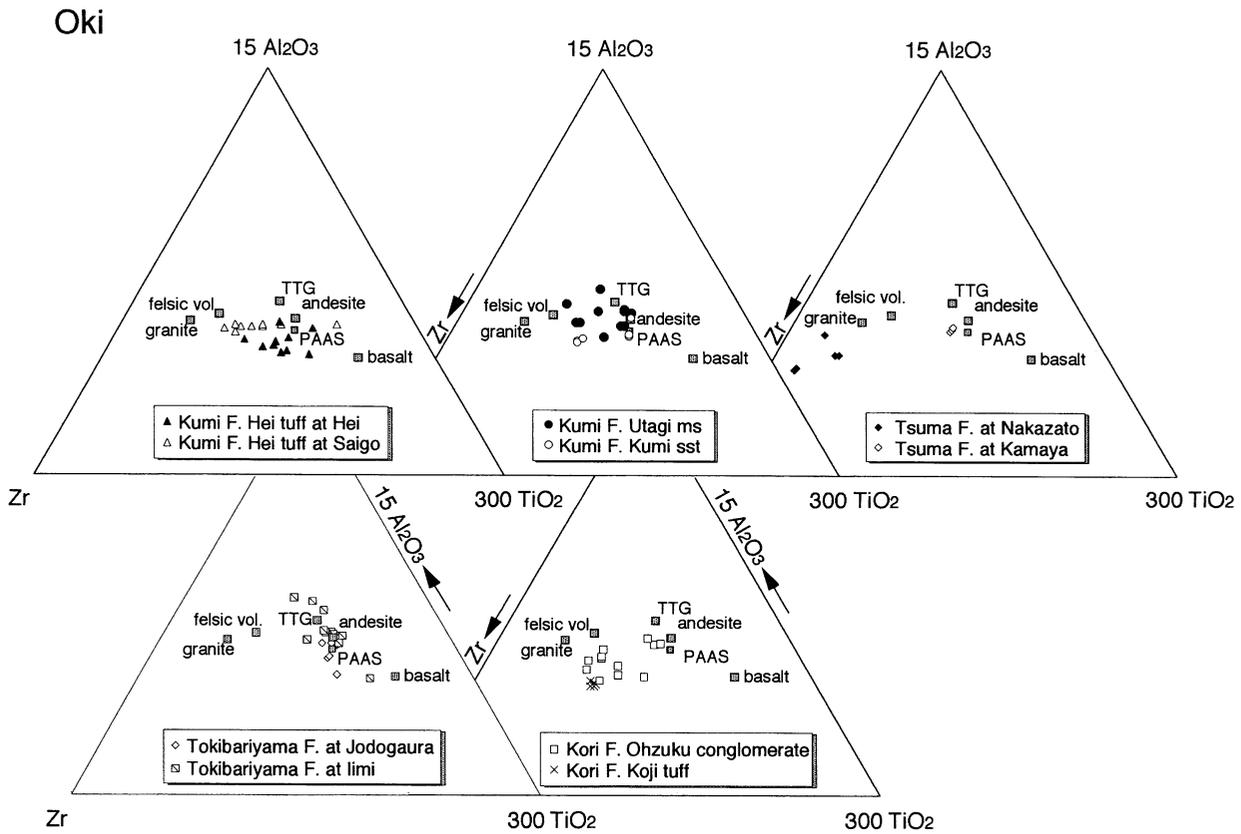
郡累層は、安山岩~TTGを起点にZr頂点へ向かうトレンドを示す。したがって源岩は安山岩~TTGで、分別作用の影響を受けているといえる。

久見累層は、安山岩~珪質火山岩の組成付近に集中しているため、源岩は安山岩~花崗岩で、分別作用は行われていないと推定される。源岩の組成にばらつきがあるのは、海進にともなう源岩供給地の拡大によりより広範囲な後背地をもつことによるといえる。

都万累層の、釜谷砂岩部層は安山岩~TTGを源岩とする。中里凝灰質砂岩部層は花崗岩(酸性岩)を源岩にもち、著しくZr組成に富む成熟した岩石を源岩にもつと推定される。

2. 八尾(第9図)

楡原層は、珪長質火山岩、花崗岩組成付近に集中して



第 8 図 隠岐島後地域の新第三系中新統堆積岩の Al-Zr-Ti ダイアグラム。

プロットされ、源岩の組成を反映していると考えられる。岩稲層は楡原層とは組成が全く異なり、本層は、安山岩～PAAS 組成付近にプロットされる。

黒瀬谷層は、3 点を除いて岩稲層と同様に安山岩～PAAS 組成付近にプロットされる。

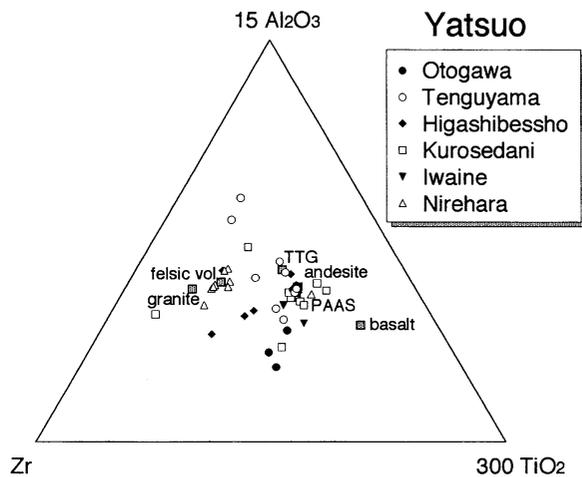
東別所層は、TTG～安山岩組成から Zr 頂点に向かう組成を持ち、ジルコンなどの重鉱物の濃度が認められると考えられる。

天狗山層は、広い範囲に分散し、源岩組成の推定は困難である。しかし、幾つかは TTG～安山岩組成を示す。2 点は Al 頂点に向かい、粘土鉱物の分別的な濃集作用を受けていると考えられる。

音川層は、岩石の組成線から離れて分散しているため、組成の推定は困難である。

3. 男鹿半島 (第 10 図)

門前層は、TTG から Al-Zr 線に向かう組成を持つ。台島層は、珪質火山岩付近と安山岩～TTG の 2 種類の組成を示す。西黒沢層は、大きく分散しておりさまざまな組成を持つ。女川層は、TTG 付近に集中した組成を示す。船



第 9 図 八尾地域の新第三系中新統堆積岩の Al-Zr-Ti ダイアグラム。

川層は、TTG 付近に集中した組成を示す。

4. 太平山 (第 11 図)

砂子渕層は、安山岩と珪質火山岩の 2 種類の組成を示

す。鶯養層は安山岩～TTG 付近の組成を持つ。女川層は TTG 付近の組成を持つ。船川層は、やや分散して、安山岩～TTG の組成を持つ。

希土類元素 (REE) と Th/Sc による provenance の検討

REE は一般に 3 価の陽イオンとなるため化学的性質が類似する。そして微量ではあるものの、さまざまな岩石に平均的に含まれている。水に対する溶解度が他の元素に比べ低く、さらに水中での滞留時間がきわめて短いので、風化作用に対しても強く、移動しにくい性質をもつ。このような性質から、堆積岩の源岩組成を推定するのに特に有効であるとされている (Taylor and McLennan, 1985; McLennan et al., 1993; Condie, 1993)。

また REE は火成岩において珪質な岩石では軽希土類 > 重希土類の傾向がある。希土類組成の特徴を検討するには、分析試料の各 REE の濃度をある標準試料や岩石組成の値で規格化して REE パターンを示す方法が一般的である。REE パターンを示すとき、コンドライトや MORB などの玄武岩により規格化する方法がとられるが、堆積岩では、上部大陸地殻を代表する PAAS (post-Archean Australian Shales) を用いて規格化する方法が一般的である (Taylor and McLennan, 1985) (第 12 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ため、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ためである。

REE パターンは傾斜をわかりやすくするため、Yb, Lu 間の値を 1 としている。

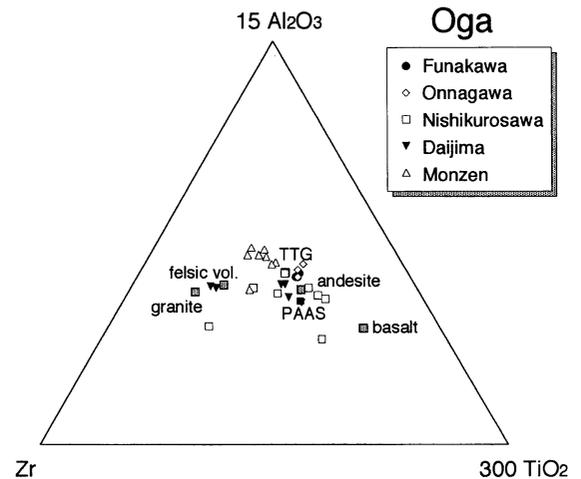
平均的な花崗岩組成はほぼ水平な REE パターンを持ち、Eu の負異常を持つ。安山岩の REE パターンは、比較的軽希土類にやや乏しい左下がりのパターンとなる。玄武岩においては Eu は正の異常を持つ。また、相対的に軽希土類に乏しい左下がりのパターンをもつ。

Eu の正・負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)。GdN は直接測定していないので、次式によって求めた。

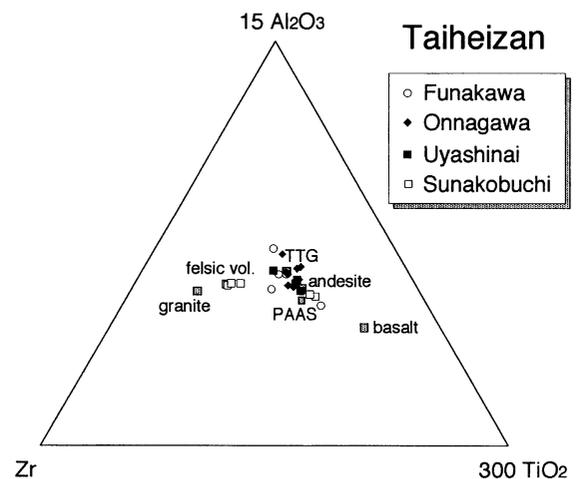
$$\begin{aligned} \text{Eu} / \text{Eu}^* &= \text{EuN} / (\text{SmN} \times \text{GdN})^{1/2} \\ \text{GdN} &= (\text{SmN} \times \text{TbN}^2)^{1/3} \\ [\text{N}; \text{PASS にて規格化}] \end{aligned}$$

1. 隠岐島後 (第 12 図)

時張山累層の 6 試料は類似した REE パターンを示す。軽希土類の濃集率は PAAS とほぼ同じであるが、Ce は多くの試料で La よりも低く、一試料を除いて PASS よりも低



第 10 図 男鹿半島地域の新第三系中新統堆積岩の Al-Zr-Ti ダイアグラム。

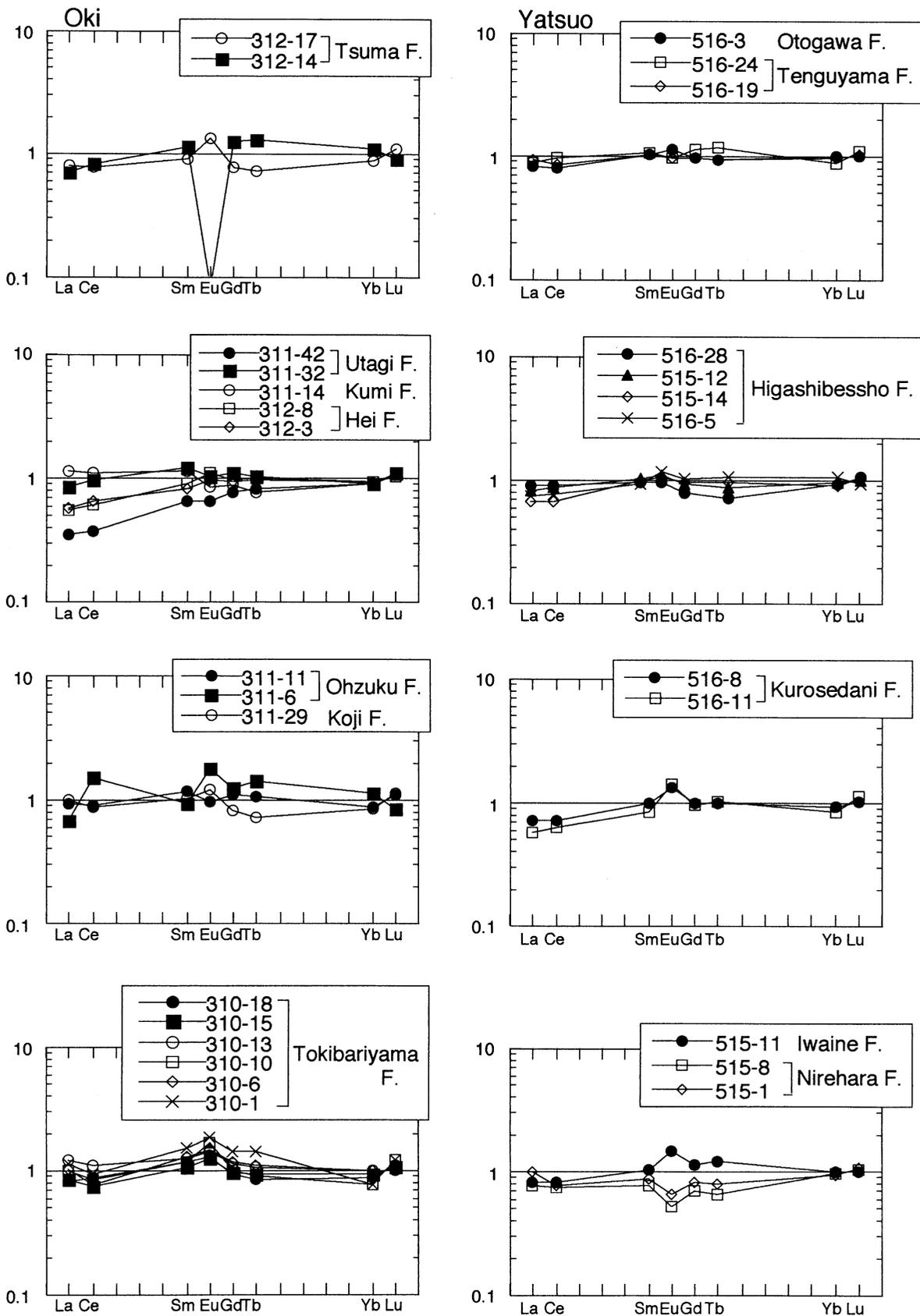


第 11 図 太平山地域の新第三系中新統堆積岩の Al-Zr-Ti ダイアグラム。

い。Eu の正の異常がある。REE パターンは水平であるが、Eu の正の異常があり、斜長石に富んだ岩石が源岩に含まれていると考えられる。

郡累層のうち小路凝灰岩層 (試料番号 311-29) は時張山累層に似た REE パターンを示す。大津久礫岩部層 (311-11, 311-6) は PASS に近いもの (311-11), Ce, Eu が PASS より少し高めのパターンを示すもの (311-6) とがある。これらはいずれも Eu の正異常を示し、PAAS 組成よりも斜長石組成にとんだ岩石を源岩に持つ。

久見累層の平凝灰岩シルト岩互層部層は 2 試料ともに類似した REE パターンを持つ。軽希土類がさがり、Eu の正異常があるので PAAS 組成よりもより未発達な岩石



第 12 図 隠岐島後地域および八尾地域の新第三系中新統堆積岩の PASS で規格化した REE パターン図。

を源岩組成に持つと言える。久見砂岩部層 (311-14) は PASS に近いパターンを示し、Eu の負異常を持つ。歌木泥岩部層は PASS に近いものと軽希土類に乏しいパターンを示すものがある。いずれも Eu の弱い負異常を持つ。

都万累層の釜屋砂岩部層 (312-17) は PAAS よりもやや軽希土類がさがり、Eu は顕著な正異常を示し、PAAS よりも未発達な組成を示す。中里凝灰岩質砂岩部層 (312-14) は強い Eu 負異常を示し、きわめて斜長石組成に乏しい発達した岩石を源岩に持つ。

2. 八尾 (第 12 図)

楡原層の 2 試料 (515-1, 515-8) は、Eu 負異常がある。REE パターンもやや左下がりである。岩稲層 (515-11) は、楡原層とは対照的に、明瞭な Eu 正異常を示す。黒瀬谷層は、REE パターンは左下がり、Eu 正異常も明瞭である。このようなパターンは一般的な安山岩組成の REE に類似する。岩稲層も同じパターンを示す。

東別所層は、全体的にはほぼ水平な REE パターンをもち、PASS 組成と類似している。天狗山層の 2 試料 (516-24, 516-19) は全体的にはほぼ PASS と同じパターンであるが、わずかであるが Eu の負異常を示す。音川層 (試料 516-3) は、全体的にはほぼ PASS と同じパターンをもち、Eu の弱い正異常がある。

3. 男鹿半島 (第 13 図)

門前層は、やや左下がりの REE パターンを持つが、明瞭な Eu 負異常を示す。台島層の 2 試料 (517-11, 517-10) はやや左下がりの REE パターンを示す。Eu 異常はほとんどない。西黒沢層の 2 試料 (517-23, 517-22) は、明瞭な Eu の正異常がある。女川層の 2 試料 (517-18, 517-16) は明瞭な Eu 負異常を示す。船川層の 2 試料 (517-27, 517-30) やや左下がりであるが、Eu 異常は示さない。

4. 太平山 (第 13 図)

砂子淵層の 2 試料 (518-22, 518-15) は、やや弱い Eu の正異常がある。鵜養層 (518-12) 左下がりのパターンを示すが、弱い Eu 負異常を示す。女川層 (518-6, 518-3) はともに軽希土類にとぼしく、弱い Eu の負異常がある。船川層 (518-9, 518-18) はともに軽希土類にとぼしい。Th は低い女川層に類似する。

Th/Sc 比

堆積岩を構成する元素の中で、様々な堆積作用による濃集率の変化が少ないとされている Th と Sc は、Th は珪長質な岩石に、Sc は塩基性の岩石に濃集しやすく、Th/Sc 比は源岩組成を最もよく反映するとされている (Taylor and McLennan, 1985; Condie, 1993; McLennan et al., 1993;

Roser et al., 1996 ほか多数)。

5. 隠岐島後 (第 14 図)

時張山累層は $Th/Sc=0.28\sim 0.57$ (av.=0.42) と隠岐島後のなかでは最も低い値を示す。

小路凝灰岩層は $Th/Sc=0.65$ である。大津久礫岩部層ではさらに高く、 $Th/Sc=0.84, 1.58$ とより発達した岩石組成を持つ後背地へと変化したと考えられる。しかし、平凝灰岩シルト岩互層部層では再び低く、 $Th/Sc=0.40, 0.49$ である。久見砂岩部層では $Th/Sc=0.78$ と高くなり都万累層釜屋砂岩部層へと次第に低くなる。ただし、都万累層の中里凝灰岩質砂岩部層は $Th=38.9$ と高く、 $Sc=1.3$ ときわめてひくいいため、プロットは図に示した範囲からはずれず表示していない。この岩石については例外的にきわめて成熟した岩石組成をもつ源岩をもっていると推定される。

6. 八尾 (第 14 図)

楡原層は八尾地域の地層群中では最も高い値を示す ($Th/Sc=1.93, 2.60$)。この上位の地層ではすべて $Th/Sc<1.0$ である。岩稲層から黒瀬谷層へと Th/Sc 比は減少し、黒瀬谷層では $Th/Sc=0.23, 0.25$ と低い。したがって後背地ではより塩基性の組成をもつ岩石が卓越したと考えられる。東別所層から天狗山層へと Th/Sc 比は再び増加する。そして音川層では $Th/Sc=0.27$ と再び低い。

7. 男鹿半島 (第 14 図)

門前層と台島層は平均値で $Th/Sc=1.75, 1.42$ と高いが、西黒沢層では急に低くなる ($Th/Sc=0.39$)。女川層、船川層ともに $Th/Sc=0.5$ 前後で低い。従って、後背地の構成岩は西黒沢層からより塩基性の組成をもつ岩石へと変化したといえる。この変化の前では八尾地域と同じく成熟した岩石、たとえば花崗岩質の組成を持つ岩石が卓越していたといえる。

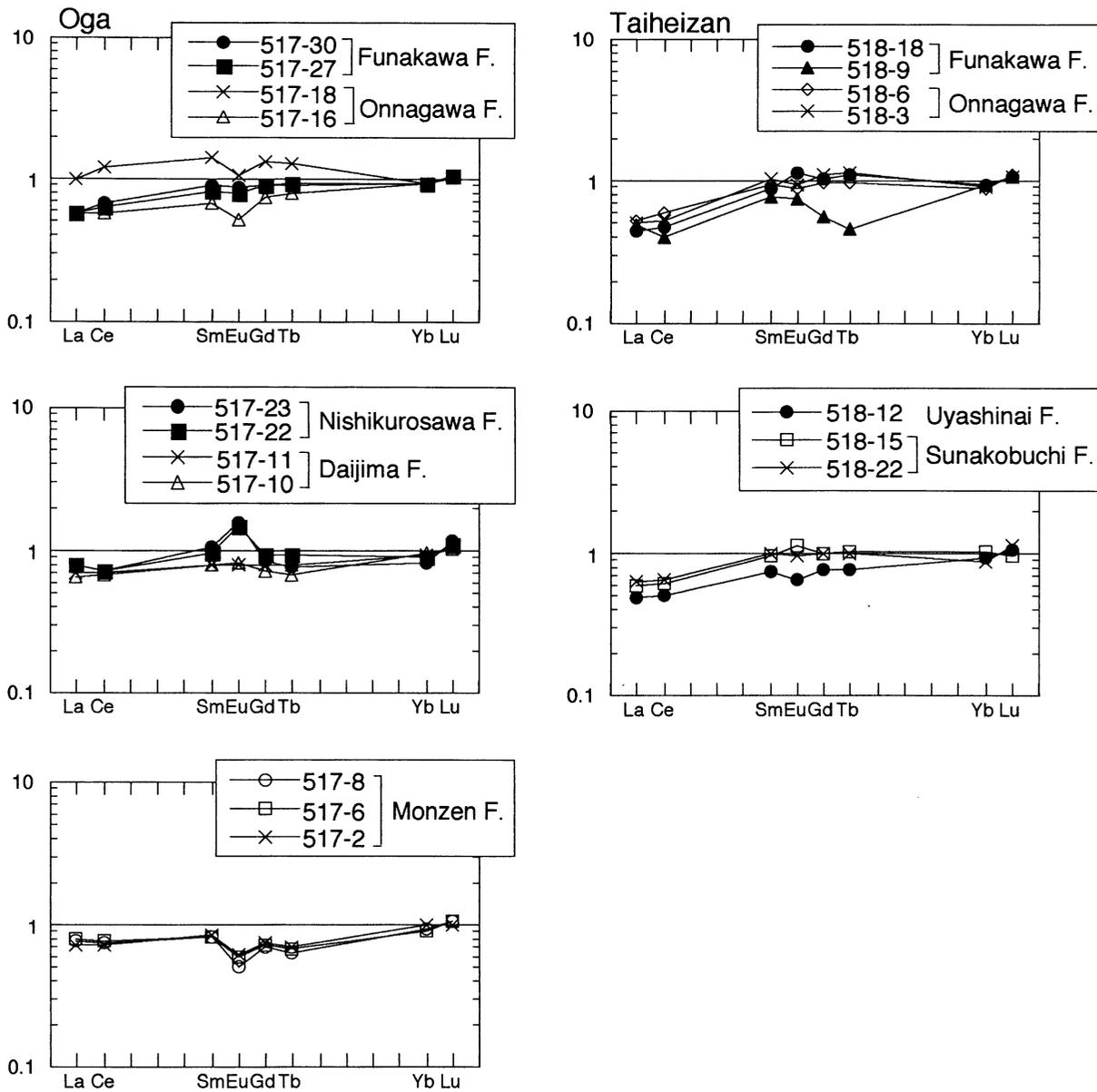
8. 太平山 (第 14 図)

砂子淵層から鵜養層、女川層そして船川層へと順次平均値ではより未発達な岩石へと変化する。いずれも $Th/Sc<1.0$ であり、男鹿地域の西黒沢層よりも新しい時代の変化と類似する。

議 論

1. 日本海拡大に伴う後背地の地質の改変

現在の日本列島の主部が大陸から分離して島弧となる過程については、リフト形成初期 (32-22 Ma)、リフト拡大期 (22-15 Ma)、さらに列島の形成期 (15-7 Ma) とそ

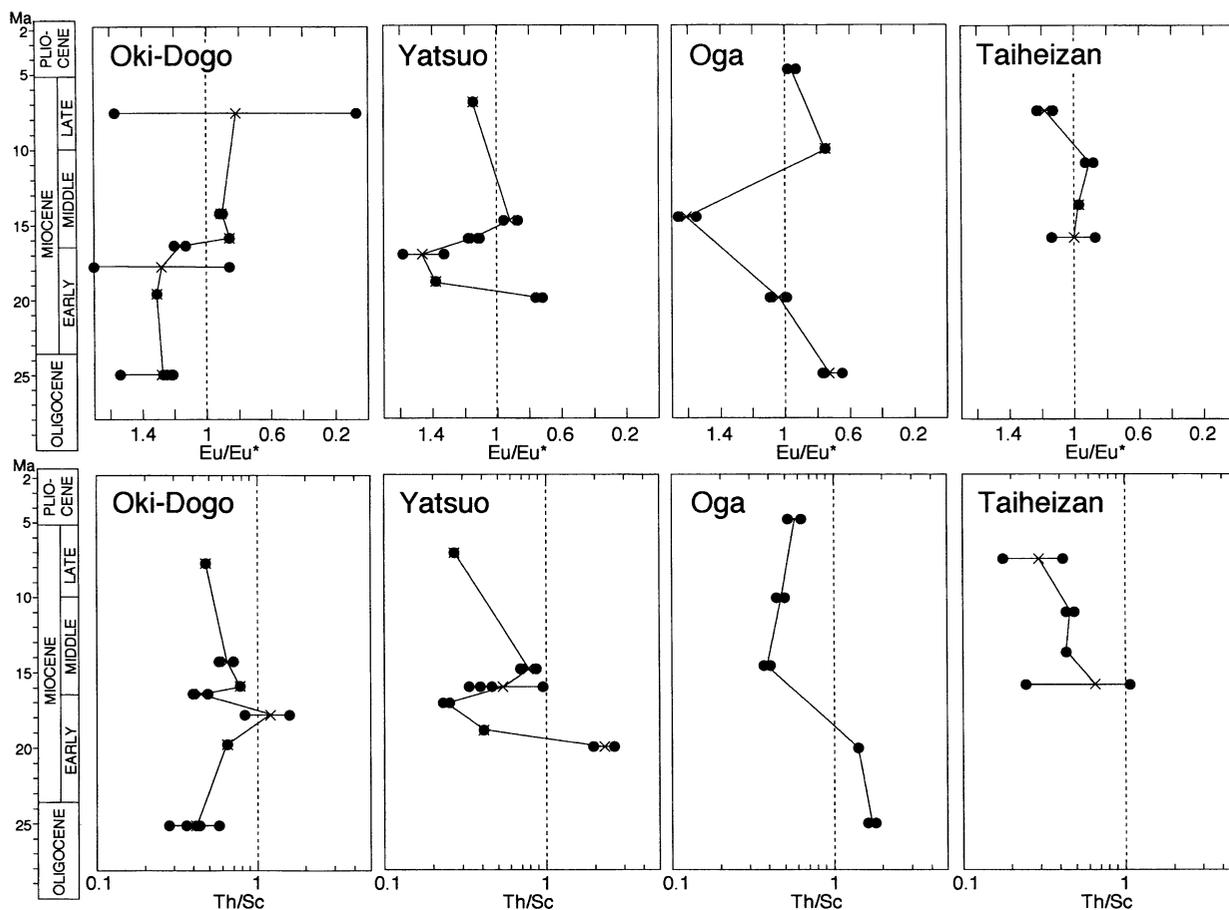


第 13 図 男鹿半島地域および太平山地域の新第三系中新統堆積岩の PASS で規格化した REE パターン図。

れ以降の短縮期の 4 ステージが識別されている (鹿野, 1993)。古地磁気学的検討からは 20 Ma から 15 Ma にかけて西南日本および、東北日本がそれぞれ時計回り、反時計回りに回転して現在の位置に到達したとされている (鹿野, 1993 参照)。日本海の海洋底から採取された岩石の検討からはこのような拡大の時期について重要な資料が示されている。それによると 18–24 Ma には日本海盆や大和海盆では海洋性地殻が形成され始めたか、形成されていたとされている。日本海盆を中心とする東北日本弧では陸上地質も含めて大量の玄武岩の噴出がこの事変に伴われている (たとえば土谷, 1988; Tsuchiya, 1990)。したがっ

て、18–24 Ma には現在の陸上地質に見られる地層群の後背地の地質構成も大きく変化したと考えられる。

西南日本においては東北日本のような大量の玄武岩の噴出は起こっていないと考えられる。しかし、今回検討したように堆積岩の元素組成は次第に変化しており、このことは後背地の構成岩が変化したことを示唆する。隠岐島後地域においては Th/Sc 比からは時張山累層から郡累層にかけて次第に未発達組成を持つ岩石から、やや成熟した岩石へと変化する。Eu/Eu*からは平凝灰岩シルト岩互層部層までほぼ 2 試料をのぞいて Eu/Eu*>1 を示す。Th/Sc 比では平凝灰岩シルト岩互層部層において再び未発



第 14 図 隠岐島後地域，八尾地域，男鹿半島地域，太平山地域の新第三系中新統堆積岩の Th/Sc 比および Eu/Eu^* の時代ごとの変化を示す図。

達な岩石組成をもち，この時期に源岩組成は大きく変化したと考えられる。隠岐島後は基本的には大陸地殻をもち，REE パターンはいずれもほぼ PAAS 組成と類似する。時張山累層からの変化は 25 Ma 前後から始まるリフトの形成にともなう安山岩～流紋岩の活動（山崎，1992）に関連したものと考えられる。郡累層では同様の組成を持つ凝灰岩が卓越するが，堆積岩組成はより珪長質の岩石へと変化していたことを示す。平凝灰岩はこれまで元素組成については言及されていないが，軽希土類に乏しい REE パターン， Th/Sc ， Eu/Eu^* から判断するとより未発達な岩石組成を持ち，安山岩の組成に類似する。

堆積岩の元素組成は広範な地域を比較した場合には，地域的な特色が見られる反面，中部中新統下部のそれは各地域に共通した特徴もみられた。八尾，男鹿地域においては下部中新統は Th/Sc 比， Eu/Eu^* とともに非常に発達した組成を持つ岩石が後背地にあったことを示唆する。しかし，中新統の下部から中部にかけて中性または未発達な岩石組成へと変化する様子が両地域で共通して認められ

る。隠岐島後では平凝灰岩シルト岩互層に相当する。この変化は八尾では上位の地層でより発達した組成へと変化する。したがって，従来の研究で述べられている中部中新統下部（16 Ma）における日本海の拡大に関連して，日本海の広い範囲で後背地の地質は珪長質岩からより塩基性岩が広く分布するようになったと考えられる。

東北日本では秋田－山形油田地帯の西黒沢層堆積時に，大量の玄武岩の噴出が起こったとされている（土谷，1988）。その層厚は 1000 m 以上にわたりこれらが，碎屑物として堆積盆地に大量に運搬されたと考えられる（Tsuchiya, 1990 など）。これまで堆積物の元素組成から後背地の地質構成を検討した例は少なく，火山噴出物がどれほど堆積岩の組成に影響を与えるかはほとんど評価されてない。このような玄武岩の噴出が広域にわたって堆積物の組成に影響を与えているとすれば，堆積岩の組成変化は重要な地層対比の指標となる。

従来，地層対比は産出化石，岩相の変化，ジルコンのフィッシュトラック年代などにたよっていたが，日本

海の拡大といった広域にわたる地質事変の場合には堆積岩の元素組成の変化によっても可能であるといえる。隠岐島後の平凝灰岩シルト岩互層と八尾地域の黒瀬谷層は未発達な組成を持つ岩石の後背地での出現を示す。中部中新統以上では堆積岩の元素組成はいずれも $\text{Th}/\text{Sc} < 1$ 、軽希土類に乏しく、 $\text{Eu}/\text{Eu}^* > 1$ によって特徴づけられる未発達な後背地に由来する。したがって、中部中新統以降は全体としては未発達な島弧地殻に由来するといえる。

2. CIA からみた気候変化と後背地の構成岩の変化

堆積岩にふくまれる粘土鉱物は源岩を構成する鉱物が風化作用を受けて形成されたものである。長石を代表する CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 Al_2O_3 の組成をもとに風化の過程と程度を示したグラフ (CIA 値および A-CN-K ダイアグラム) をもとに源岩がどれほど削剥され (浸食され)、風化作用を受けた後に運搬されて堆積物となったかを評価できる (Nesbitt et al., 1996; 1997)。また、後背地の隆起や堆積盆地の発達程度は風化作用の程度と密接に関連すると言える。また、風化作用は気候変化とも関連しており、一般には湿潤で温暖な気候のもとで堆積した地層は高い CIA 値を持つ (Nesbitt and Young, 1982, 1989 など)。日本海の拡大に伴う対馬海流の流入は沿海の地域の気候を温暖なものとしたことが指摘されている。すなわち 22 Ma ごろを境として大陸性の冷涼な気候を反映する阿仁合型植物群が変わって海洋性の温暖な気候を反映した台島型植物群が出現する (鹿野・柳沢, 1989)。この植物群の交代は日本海地域に海が進入したことによるとされている (藤岡, 1972)。

隠岐島後地域では時張山累層や郡累層は一般に $\text{CIA} < 65$ と風化作用をあまり受けていないと考えられる。これは、両層が陸成層で源岩の浸食から堆積までの過程がより上位の海成層と比較すれば短く、砕屑物も地域的なものが供給されているためである。一方平凝灰岩シルト岩互層部層では CIA 値の低いものから高いものへ変化し、風化作用をより強く受けた岩石が後背地に形成されていったと期待される。歌木泥岩は、より細粒でよく風化した砕屑物が供給されたと考えられるが、CIA 値は 65 から 85 とかなり広い範囲の値を示している。これは、隠岐島後地域では後背地の削剥と風化の進行のバランスが変化したためと考えられる。後に述べるように女川層などの泥岩では CIA は 80 前後と極めて高い値を示す。隠岐島後地域での堆積岩の CIA 値から判断すれば、堆積盆地が不安定で風化作用をあまり受けていない砕屑物が供給されていたか、堆積盆地そのものの発達が十分でなかった可能性がある。

八尾地域の黒瀬谷層、男鹿地域の西黒沢層、太平山地

域の砂子淵層などはほとんど源岩と同じ低い CIA 値を持っており、源岩の削剥が活発に進行し、砕屑物はほとんど風化作用を受けずに堆積したと考えられる。八尾地域では東別所層の一部を除いて CIA 値の高いものは少ない。これは、中部地方の隆起量が大きく、岩石の削剥は早かったと考えられる。ただし、楡原層は試料そのものが風化していたものが含まれるが、その他は中新統堆積盆地が発達する以前の陸上風化が進行していた可能性もある。男鹿地域では女川層が非常に高い CIA 値を持つ。また、組成的にも試料間の変化が少ない均一な組成を持つ。これは後背地の削剥が緩やかに進行したとともに、海成の堆積盆地が最も発達していたことを示す。すなわち堆積物はより広い後背地を持ち、砕屑物がよく混合して後背地を構成する岩石の平均化学組成を示す。一方、船川層では組成は均一であるが CIA は逆に低くなっている。これは再び後背地の岩石の削剥速度が高くなり、風化があまり進行していない砕屑物が堆積したためと考えられる。なお、台島層の 3 試料が高い CIA を示しているのは、試料そのものの風化による可能性もある。しかし、プロットが A-CN 線と平行に配列するのは、源岩の風化過程を指示し (Fedo et al., 1995)、この時期の強い陸上風化を示すのかもしれない。台島型植物群で代表される温暖な気候のもとで岩石が強い風化作用を受けていた可能性が十分考えられるが、今後の検討課題である。

太平山では女川層、船川層が高い CIA 値を持つ。しかし、やや組成は分散しているため、男鹿半島地域と比較すれば源岩の削剥量は堆積時には変化に富んでいたと考えられる。以上のように堆積物の元素組成から風化の過程やその程度を具体的に示すことが可能である。その結果は従来の地質学的検討と矛盾がなく、堆積環境の変化を説明するとともに、隆起量や風化の進行の程度とのバランスを考察でき堆積盆地の発達をよりダイナミックに復元できると言える。

謝 辞

本研究を進めるに当たり隠岐島後の地質については山内靖喜先生 (島根大学) に中新統の分布と層序について貴重な情報を頂くとともに励ましを頂いた。また、環境地質ゼミナールの先生方には討論・助言いただいた。澤田順弘先生 (同大学) には XRF の使用に際して便宜をはかっていただいた。CHNS コーダーの使用については三瓶良和先生 (同大学) にお世話になった。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 實先生 (京都教育大学) および高田実彌先生 (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。

文 献

- Ague, J. J., 1991. Evidence for major mass transfer and volume strain during regional metamorphism of pelites. *Geology*, 19, 855–858.
- 相田吉昭・的場保望・高安泰助, 1986. 秋田油田地域における女川層層準の岩相変移(要旨). 日本地質学会東北支部会報, no.16,17–18.
- Akiba, F., 1986. Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. *Init. Repts. DSDP*, 87, Washington (U. S. Govt. Printing Office), 393–481.
- Bhatia, M. R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Jour. Geol.*, 91, 611–627.
- Blatt, H., 1967. Provenance determination and recycling of sediments. *Jour. Sed. Petrol.*, 37, 1031–1044.
- 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.
- Dickinson, W. R. and Suczek, C. A., 1979. Plate tectonics and sandstone compositions. *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 63, 2164–2182.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W. and Young, G. N., 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 23, 921–924.
- 藤井昭二・かせ野義夫・中川登美雄, 1992. 北陸地域における新第三系の層序対比と新第三紀古地理. 地質学論集, 37, 85–95.
- 藤巻宏和・徐 紅・青木謙一郎, 1991. 島根県隠岐, 島後火山岩類のストロンチウム同位体組成の時間変化. 岩鉱, 86, 16–26.
- 藤岡一男, 1972. 日本海の生成について. 石油技誌, 37, 233–244.
- 藤岡一男・井上 武・加納 博・高安泰助・本多朔郎・狩野豊太郎, 1954. 男鹿半島の地質. 日本地質学会秋田部会地質見学案内書, 30 p.
- 藤岡一男・大沢・池辺 稔, 1976. 羽後和田地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 65 p.
- 雁沢好博, 1983. フィッシュン・トラック法によるグリーン・タフ変動の年代区分 その2—富山県太美山地域—. 地質雑, 89, 271–286.
- 雁沢好博, 1987. 東北本州弧内帯の白亜紀—第三紀火山岩のフィッシュン・トラック年代. 地質雑, 93, 387–401.
- Garcia, D., Fonteiller, S. M. and Moutte, J., 1994. Sedimentary fractionations between Al, Ti, and Zr and genesis of strongly peraluminous granites. *Jour. Geol.*, 102, 411–422.
- 早川秀樹・竹村厚司, 1987. 富山県八尾地域の新第三系. 地質雑, 93, 717–732.
- 半沢正四郎, 1954. 日本地方地質誌 東北地方. 朝倉書店, 368 p.
- 石田英明, 1985. 隠岐島後におけるアルカリ火山岩類の層序. 島根大地質学研報, 4, 69–79.
- 角館正勝, 1988. 隠岐島後都万地域の新第三系貝化石群集. 島根大地質学研報, 7, 99–112.
- 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.
- 鹿野和彦・中野 俊, 1985. 山陰地方新第三紀の放射年代と対比について. 地調月報, 36, 427–438.
- 鹿野和彦・柳沢幸夫, 1989. 阿仁合型植物群および台島型植物群の年代. 地質調査月報, 40, 647–53.
- 木村勝広, 1984. 絶対年代測定による標準層序の研究. 昭和58年度石油開発技術センター年報, 25–26.
- 木村勝広, 1985. 油田地域における基盤の地史的な構造変化の研究. 昭和59年度石油開発技術センター年報, 16–18.
- 木村勝広, 1986. 層位関係と放射年代からみた男鹿, 秋田と本庄湯沢地域の中・下部第三系の年代層位区分. 北村信教授記念地質学論文集, 167–173.
- Koizumi, I., 1985. Diatom biochronology for late Cenozoic northwest Pacific. *J. Geol. Soc. Japan*, 91, 195–211.
- 小泉 格・金谷太郎, 1977. 男鹿半島と秋田市北方丘陵における新第三系の対比. 藤岡一男教授退官記念論文集, 401–412.
- 小泉 格・的場保望, 1989. 西黒沢階の上限について. 地質学論集, no.32, 187–195.
- 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.
- 公文富士夫・君波和雄・安達 守・別所孝範・川端清司・楠 利夫・西村年晴・岡田博・大上和良・鈴木茂之・寺岡易司, 1992. 日本列島の代表的砂岩のモード組成と造構場. 地質学論集, 38, 385–401.
- 米谷盛壽郎, 1978. 東北日本油田地域における上部新生界の浮遊性有孔虫化石層序. 池辺展生教授記念論文集, 日本の新生代地質, 35–60.
- Maiya, S., Saito, T., and Sato, T., 1976. Late Cenozoic Planktonic foraminiferal biostratigraphy of Northwest Pacific sedimentary sequences. In Takayanagi, Y., and Saito, T.

- (eds.), *Progress in Micropaleontology, Spec. Publ. Micropaleont.*, 395–422.
- Maruyama, T., 1984. Miocene diatom biostratigraphy of on-shore sequence on the Pacific side of northeast Japan, with reference to DSDP Hole 438 A (Part 2). *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, ser. 2, 55, 77–140.
- 的場 保望・小泉 格, 1986. 西黒沢階の上限について. 日本地質学会東北支部会報, no.16, 15–16.
- 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砕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, no.10, 31–34.
- Moss, B. E., Haskin, L. A. and Dymek, R. F., 1996. Compositional variations in metamorphosed sediments of the Littleton Formation, New Hampshire, and the Carrabassett Formation, Maine, at sub-hand specimen, outcrop, and regional scales. *Am. Jour. Sci.*, 296, 473–505.
- Nesbitt, H.W. and Young, G. M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299, 715–717.
- Nesbitt, H.W. and Young, G. M., 1989. Formation and diagenesis of weathering profiles. *Jour. Geol.* 97, 129–147.
- Nesbitt, H.W., Fedo, C. M. and Young, G. M., 1997. Quartz and feldspar stability, steady and non-steady-state weathering, and petrogenesis of siliciclastic sands and muds. *Jour. Geol.*, 105: 173–191.
- Nesbitt, H. W., Young, G. M., McLennan, S. M. and Keays, R. R., 1996. Effects of chemical weathering and sorting on petrogenesis of siliciclastic sediments, with implications for provenance studies. *Jour. Geol.*, 104, 525–542.
- 西村 進・石田志郎, 1972. Fission-Track 法による男鹿半島新第三系の凝灰岩の年代決定. 岩鉱, 67, 166–168.
- 大久保雅弘, 1981. 隠岐・島後の中新統化石層. 島根大理学部紀要, 15, 125–137.
- Okubo, M. and Takayasu, K., 1979. Discovery of Middle Miocene molluscs at Kumi, Dogo, Oki Islands. *Mem. Fac. Sci. Simane Univ.*, 3, 121–130.
- 大久保雅弘・高安克己, 1980. 隠岐より Miogypsina の発見. 地質雑, 86, 37–39.
- 大久保雅弘・横田正浩, 1984. 隠岐・島後の珪藻化石群集について. 地質雑, 90, 411–414.
- 大沢・加納 博・丸山孝彦・土谷信之・伊藤雅之・平山次郎・品田正一, 1981. 太平山地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 69 p.
- 大沢・高安泰助・池辺 稔・藤岡一男 1977. 本庄地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 54 p.
- 太田昌秀, 1963. 隠岐変成岩類, 岩鉱, 49, 189–206.
- 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. Geophys.*, 39, 1–16.
- Roser, B. P. and Nathan, S., 1997. An evaluation of element mobility during metamorphism of a turbidite sequence (Greenland Group, New Zealand). *Geological Magazine*, 134, 219–234.
- Saito, T., and Maiya, S., 1973. Planktonic foraminifera of the Nishikurosawa Formation, Northeast Honshu, Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, 91, 113–125.
- 坂本 亨, 1966. 富山積成盆地南半分の新生界とその構造発達史. 地質調査所報告, 213, 1–28.
- 坂本 亨・野沢 保, 1960. 5 万分の 1 地質図幅「八尾」および同説明書. 地質調査所, 69 p.
- 瀬戸浩二・山崎博史. 1990. 隠岐島後の新第三系の有孔虫群集. 日本地質学会第 97 年学術大会講演要旨, 198.
- 柴田 賢, 1973. 北陸層群中の火山岩類の K-Ar 年代. 地質学論集, 8, 143–149.
- 白石健雄・的場保望, 1992. 秋田・山形地域における新第三系の層序と古地理・古環境地質学論集, no.32, 57–80.
- 下末 恵, 1989. 隠岐島後の中新統珪藻化石層序. 島根大学理学研究科修士論文 (MS).
- 鈴木敬治, 1989. 東北日本弧南部における中～下部中新統の植物化石層位について. 地質学論集, no.32, 197–205.
- 鈴木達郎, 1980. 男鹿半島第三紀火山岩類に関する fission track 年代. 地質雑, 86, 441–453.
- 多井義郎, 1956. 隠岐群島島後の中新世小型有孔虫化石群. 地質雑, 62, 212–213.
- 多井義郎・加藤道雄, 1980. 隠岐島後産 Miogypsina とそれに伴う小型有孔虫化石群. 日本地質学会第 87 年学術大会講演要旨, 79.
- 田結庄良昭・柴田 賢・内海 茂, 1991. 島根県, 隠岐島後の花崗岩類. 地質雑, 97, 53–60.
- 高安克己, 1983. 山陰地方の中新統～鮮新統の層序と古地理. 地団研第 37 回総会学術シンポジウム資料集, 島弧背後の地質学的性格. 139–143.
- 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.
- 谷村好洋・斉藤靖二, 1986. 隠岐島後の中期中新世初期海成珩藻土. 国立科博専報, no.19, 43-54, pls.1-2.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1985. *The Continental Crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, 312 pp.
- 鳥居直也・横田正浩・石田英明, 1984. 隠岐島後中新統の層序. 地球科学, 38, 290-298.
- 土谷信之, 1988. 秋田-秋田油田地帯付近における中新世中期玄武岩類の分布と化学組成. 地質雑, 94, 591-608.
- 土谷信之, 1988. 秋田-秋田油田地帯付近における中新世中期玄武岩類の微量元素組成. 岩鉱, 83, 486-491.
- Tsuchiya, N., 1990. Middle Miocene back - arc rift magmatism of basalt in the NE Japan arc. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 41, 473-505.
- Uchimizu, M., 1966. Geology and petrology of alkali rocks from Dogo, Oki Islands. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Ser.2*, 16, 85-159.
- 梅原正敏, 1983. 島根県中新世植物化石の研究-特に隠岐島後下部中新統植物化石について-. 島根大卒論 (MS).
- Uto, K., 1989. Neogene volcanism of Southwest Japan ; Its Time and space based on K-Ar dating. *Ph. D. Thesis, Univ. Tokyo*, 184 p.
- 白田雅郎, 1989. 秋田県南部の地質構造発達史. 地質学論集, 32, 57-80.
- 白田雅郎・岡本金一, 1986. 秋田県南部における新第三紀火山岩類の K-Ar 年代と新第三系の対比. 北村 信教授記念地質学論文集, 595-608.
- Xu, H., 1988. Petrology and geochemistry of the alkali rocks from Dogo, Oki Islands, Shimane Prefecture, Southwest Japan. *Sci. Rept. Tohoku Univ., ser. III*, 17, 1-106.
- 山崎博史, 1984. 隠岐島後の中新統. 島根大地質学研報, 3, 87-97.
- 山崎博史, 1991. 隠岐島後, 西郷湾北方の新生界層序. 地質雑, 97, 917-930.
- 山崎博史, 1992. 島後層群と南隠岐リッジ. 地質学論集, 37, 227-293.
- 山崎博史・雁沢好博. 1989. 隠岐島後第三系, 郡累層および油井層のフィッション・トラック年代. 地質雑, 95, 619-622.
- 山崎博史・下末 恵・高安克己. 1991. 隠岐島後中新統郡累層と久見累層の層序関係の再検討. 地球科学, 45, 177-190.
- 山崎博史・高安克己・下末 恵. 1990. 隠岐島後の前期中新世の珩藻化石とその意義. 日本地質学会関西支部報, 109, 11-12.
- 矢野寛幸・島田立郎, 1984. 隠岐島後新第三系中の海緑石. 島根大地質学研報, 3, 121-128.
- 横田正浩, 1984. 隠岐島後の珩藻土について. 島根大地質学研報, 3, 139-144.

(受付: 1998年10月14日, 受理: 1998年10月20日)

第1表 隠岐島後地域(島根県)の新第三紀中新統堆積岩の元素組成(XRFによる主元素および微量元素とCHNSコーダーによるTOC, TNおよびTS).

Oki

sample no.	Major elements (Oxides wt%)											Trace elements (ppm)														wt%		
	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total	LOI	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Zr	Nb	Rb	Sr	Ba	TOC	TN	TS	
Tsuma																												
312-16	75.58	0.15	13.29	2.00	0.03	0.31	0.33	2.85	4.61	0.02	99.17	2.85	-	-	6	12	-	150	66	321	195	356	29	103	0.01	0.03	-	
312-15	75.58	0.14	13.33	1.95	0.03	0.34	0.34	2.69	4.81	0.02	99.23	3.18	-	-	7	10	-	163	79	501	199	373	27	128	0.01	0.03	-	
312-14	75.56	0.14	13.40	2.12	0.03	0.34	0.35	2.54	4.87	0.02	99.36	3.51	-	-	9	10	-	181	80	522	202	391	26	106	0.02	0.03	-	
312-19	68.31	0.73	16.08	4.99	0.02	1.31	3.43	2.45	2.32	0.14	99.76	3.40	74	102	10	12	-	58	22	184	2	77	441	643	0.1	0.03	0.05	
312-18	71.70	0.70	14.97	4.26	0.02	1.30	2.54	2.07	2.16	0.09	99.83	4.48	81	82	9	13	5	75	25	188	5	82	340	538	0.35	0.04	0.15	
312-17	66.43	0.77	16.17	6.06	0.03	1.44	3.60	2.45	2.37	0.16	99.48	3.91	88	107	12	8	1	59	14	198	1	81	410	677	0.18	0.04	0.1	
311-51	75.15	0.29	13.32	3.36	0.04	0.67	0.52	1.64	4.26	0.03	99.28	4.20	10	17	5	15	3	106	39	377	63	212	31	177	0.03	0.04	-	
311-52	76.08	0.27	12.87	3.02	0.04	0.56	0.59	1.53	4.26	0.03	99.25	4.18	9	12	5	19	2	134	63	373	62	210	32	194	0.02	0.03	-	
Utagi																												
311-44	87.02	0.28	6.54	2.12	0.01	0.71	0.14	0.35	1.17	0.05	98.39	3.95	51	43	3	27	24	70	10	65	-	56	45	521	0.63	0.06	0.83	
311-43	85.28	0.28	8.21	2.01	0.01	1.43	0.36	0.34	0.93	0.06	98.91	4.71	43	32	3	40	20	149	27	93	2	49	63	444	0.83	0.07	0.4	
311-42	76.29	0.35	14.16	2.56	0.02	4.10	1.27	0.18	0.43	0.06	99.39	6.18	11	11	3	18	0	94	57	181	3	23	127	227	0.42	0.04	0.3	
311-41	85.50	0.28	8.08	1.49	0.01	1.46	0.64	0.54	0.60	0.09	98.70	6.09	18	26	3	20	5	67	34	114	-	29	104	529	0.52	0.05	0.2	
311-40	83.70	0.30	8.82	1.79	0.02	1.97	0.89	0.64	0.65	0.10	98.88	4.15	26	25	3	29	9	106	44	126	1	31	129	514	0.74	0.05	0.11	
311-39	85.82	0.35	7.45	1.86	0.01	1.00	0.26	0.65	1.05	0.09	98.54	3.72	44	43	2	19	13	51	19	105	3	54	66	560	1.14	0.07	0.07	
311-38	76.10	0.51	15.40	2.53	0.02	2.69	0.39	0.35	1.30	0.05	99.33	5.65	50	22	4	81	13	286	44	225	8	75	79	439	0.56	0.08	0.09	
311-36	83.71	0.31	6.59	2.77	0.02	2.39	0.51	0.47	1.44	0.06	98.27	2.82	36	36	3	23	20	133	12	74	1	52	67	824	0.72	0.06	-	
311-35	21.82	0.10	3.37	5.79	1.12	11.37	52.29	0.00	0.18	0.14	96.18	31.62	-	-	68	-	8	32	15	30	-	-	357	262	4.55	0.04	0.6	
311-34	80.08	0.33	6.79	4.36	0.04	3.95	0.75	0.42	1.59	0.09	98.40	2.91	53	30	6	34	21	118	10	75	-	60	62	796	0.75	0.06	0.06	
311-33	75.84	0.54	12.51	4.14	0.04	1.75	0.37	0.71	2.92	0.13	98.95	5.19	115	63	4	47	43	162	17	111	5	128	57	738	1.01	0.09	1.34	
311-32	74.65	0.56	13.78	4.21	0.03	1.90	0.29	0.66	3.06	0.12	99.25	5.43	103	68	5	65	55	331	26	125	5	138	48	756	1.06	0.09	1.36	
311-31	82.70	0.43	10.49	1.10	0.01	1.11	0.21	0.60	2.32	0.12	99.08	3.32	113	54	3	14	48	58	22	97	5	102	56	671	1.04	0.05	0.04	
Kumi																												
311-19	74.16	0.50	11.54	5.47	0.02	1.11	0.67	1.51	2.65	0.09	97.69	7.29	53	94	6	18	26	58	21	209	14	138	121	518	1.31	0.11	0.45	
311-15	74.64	0.49	11.85	5.14	0.01	1.16	0.33	1.26	2.55	0.11	97.55	9.17	83	113	6	36	46	131	17	208	17	134	89	389	2.09	0.14	0.47	
311-14	74.35	0.53	12.51	4.04	0.02	1.18	0.46	1.33	2.42	0.16	96.99	8.15	61	106	6	36	42	79	16	205	17	128	126	390	1.98	0.14	0.29	
311-22	67.85	0.89	16.22	6.52	0.03	1.70	2.31	1.54	2.03	0.17	99.25	8.51	115	111	10	22	43	102	22	192	11	97	276	464	1.91	0.13	0.18	
311-21	42.97	0.70	12.84	6.16	0.23	2.63	29.59	1.65	1.80	0.32	98.88	18.60	103	84	60	4	12	84	30	148	6	31	1423	696	0.26	0.02	0.12	
311-20	35.11	0.46	9.90	5.38	0.39	2.41	41.83	1.21	1.73	0.24	98.65	26.65	47	42	70	-	4	50	22	93	5	26	601	494	0.22	0.01	0.03	

Oki

sample no.	Major elements (Oxides wt%)											Trace elements (ppm)														wt%		
	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Total	LOI	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Zr	Nb	Rb	Sr	Ba	TOC	TN	TS	
Hei																												
312-1	39.02	0.58	13.16	7.83	1.81	2.85	32.18	0.80	1.70	0.26	100.17	23.82	49	-	56	-	8	83	50	148	-	42	274	276	0.2	0.04	-	
312-2	80.54	0.63	10.28	3.73	0.05	1.56	0.96	0.33	1.20	0.09	99.36	3.78	59	-	4	11	2	82	30	163	3	49	63	278	0.23	0.04	0.05	
312-3	81.67	0.54	10.53	2.26	0.02	1.33	1.13	0.55	1.18	0.07	99.28	3.54	30	3	9	4	58	23	173	4	40	89	259	0.3	0.04	0.03		
312-4	72.20	0.68	16.09	4.06	0.07	1.86	1.77	1.44	1.63	0.13	99.92	5.32	31	-	5	6	-	74	44	275	8	57	141	350	0.26	0.04	0.01	
312-5	61.62	0.98	18.04	8.65	0.28	2.13	3.21	1.92	2.72	0.31	99.86	6.81	90	12	13	1	2	93	44	226	5	85	276	497	0.24	0.05	0.15	
312-6	76.66	0.93	12.76	3.77	0.11	1.55	1.42	0.55	1.66	0.17	99.58	5.01	83	-	5	8	6	50	35	169	3	55	89	282	0.31	0.04	0.01	
312-7	80.95	0.55	8.84	4.47	0.16	1.30	1.03	0.39	1.00	0.06	98.75	4.46	44	-	4	10	7	51	13	132	1	44	70	245	0.24	0.04	0.02	
312-8	64.62	0.99	18.15	7.58	0.17	2.70	2.56	1.65	1.78	0.20	100.41	7.67	66	-	9	2	4	104	42	275	8	84	180	315	0.3	0.05	0.02	
312-9	68.48	0.88	16.65	6.09	0.22	1.91	2.16	2.42	1.19	0.20	100.18	6.84	41	-	7	4	5	97	37	241	6	56	153	266	0.29	0.05	-	
312-10	63.74	1.16	20.38	4.77	0.08	1.87	3.19	1.74	3.44	0.17	100.53	5.29	143	14	9	3	40	88	32	189	6	78	255	440	0.19	0.05	-	
312-12	68.81	0.95	23.14	2.65	0.02	1.84	0.02	0.21	3.12	0.05	100.81	6.72	60	28	2	6	-	56	92	310	14	96	41	166	0.03	0.04	-	
312-13	68.83	0.97	23.86	1.62	0.01	1.21	0.04	0.39	4.51	0.05	101.49	6.33	60	42	2	6	-	46	71	315	15	101	40	246	0.03	0.04	-	
312-11	66.85	1.12	24.40	2.87	0.01	1.81	0.05	0.26	3.73	0.07	101.16	7.22	61	19	3	7	-	73	88	283	15	108	34	241	0.04	0.05	-	
312-25	80.88	0.36	10.43	0.93	0.00	0.32	0.39	2.99	2.56	0.03	98.90	4.29	19	-	5	7	10	16	17	159	3	85	61	280	1.19	0.04	0.21	
312-24	78.28	0.40	12.78	1.35	0.01	0.62	0.42	3.07	2.21	0.05	99.20	3.66	13	-	4	8	-	24	28	219	5	83	83	283	0.13	0.03	0.12	
312-23	72.89	0.54	15.27	3.39	0.04	0.96	0.66	4.00	1.93	0.10	99.77	4.37	29	3	5	8	-	70	41	257	7	96	131	330	0.01	0.03		

OkI

sample no.	Major elements (Oxides wt%)										Total	LOI	Trace elements (ppm)										wt%				
	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5			V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Zr	Nb	Rb	Sr	Ba	TOC	TN	TS
Koji																											
311-13	66.70	0.65	16.01	4.06	0.08	1.87	1.95	4.73	3.13	0.19	99.36	3.24	40	17	10	4	-	65	26	407	22	106	291	818	-	0.01	-
311-26	64.55	0.75	17.10	4.52	0.08	2.25	2.82	3.90	3.44	0.21	99.62	3.04	48	24	11	5	-	70	25	431	18	110	434	849	-	0.01	-
311-27	63.21	0.79	16.97	4.90	0.11	2.41	3.64	3.45	3.66	0.22	99.36	2.97	56	23	12	6	-	74	24	452	18	113	483	782	0.24	0.01	0.06
311-28	62.91	0.80	17.32	4.97	0.10	2.44	3.47	3.78	3.67	0.22	99.68	3.06	63	23	12	5	-	73	24	442	19	113	451	813	0.21	0.01	0.04
311-29	62.83	0.87	18.02	5.30	0.20	2.03	3.04	3.59	3.57	0.21	99.65	2.77	62	30	11	4	-	76	25	478	20	113	482	1080	-	0.01	-
311-30	64.72	0.80	16.94	4.92	0.07	1.93	2.83	3.37	3.75	0.21	99.54	2.55	54	25	10	4	-	73	24	430	18	111	434	895	-	0.02	-
Tokibariyama																											
Jodogaura																											
310-21	60.17	0.91	17.90	7.72	0.09	4.03	1.17	3.90	3.03	0.12	99.03	3.17	140	19	11	5	-	78	12	223	12	193	470	700	-	0.01	-
310-20	60.63	0.98	17.66	7.63	0.08	3.28	1.34	4.50	2.84	0.14	99.09	2.78	174	23	12	3	2	71	18	223	12	180	551	783	-	0.01	-
310-19	62.94	1.17	16.37	6.92	0.06	2.08	2.64	5.46	1.35	0.17	99.16	3.09	206	30	13	6	8	72	30	241	13	64	312	190	-	0.01	-
310-18	61.87	0.82	17.33	6.07	0.08	3.91	3.38	4.33	1.11	0.15	99.05	4.73	218	20	16	5	42	70	26	193	10	19	606	498	0.05	0.01	-
310-17	62.57	0.83	17.37	5.66	0.08	3.43	4.13	3.75	1.26	0.15	99.22	5.33	167	20	14	4	-	72	28	171	11	23	425	374	-	0.01	-
310-16	62.37	0.88	16.91	6.33	0.08	3.36	2.75	4.33	1.86	0.16	99.04	3.95	147	24	14	6	-	92	22	170	10	65	577	597	-	0.01	-
310-15	60.89	0.96	17.05	6.90	0.09	3.91	1.98	5.43	1.60	0.13	98.93	3.11	148	14	14.4	4.8	-	78	18	212	11	72	568	567	0.03	0.01	-
310-14	60.09	0.88	17.73	6.03	0.08	4.08	3.93	5.19	1.03	0.18	99.22	4.96	142	15	17	6	1	70	24	184	9	13	602	296	0.19	0.01	-
limi																											
310-1	59.36	0.90	18.33	7.42	0.13	2.83	3.85	4.95	1.86	0.26	99.88	5.78	180	28	17	10	10	69	22	171	8	68	339	375	0.98	0.03	0.11
310-2	69.59	0.78	15.98	3.76	0.06	2.20	0.51	3.53	3.11	0.21	99.72	2.94	144	19	7	11	-	47	16	144	8	106	245	1023	0.64	0.04	-
310-3	72.86	0.75	15.41	2.92	0.04	1.50	0.43	3.51	2.33	0.21	99.95	2.50	134	21	6	9	-	39	14	133	9	97	183	274	0.42	0.03	0.01
310-4	83.91	0.33	7.44	3.11	0.03	0.46	0.58	2.72	0.44	0.08	99.10	2.22	44	13	5	14	5	21	8	69	6	13	96	95	0.46	0.03	0.58
310-5	72.14	0.78	15.28	2.46	0.03	0.86	0.60	5.18	2.21	0.20	99.75	2.68	76	20	6	8	67	44	18	149	9	51	292	951	0.66	0.04	0.37
310-6	70.27	0.73	15.79	3.86	0.06	1.93	0.70	3.49	2.87	0.22	99.92	3.04	130	34	7	13	7	46	18	147	8	101	263	931	0.76	0.04	-
310-7	75.47	0.49	11.54	3.40	0.06	1.27	2.09	3.40	1.62	0.15	99.48	3.31	54	9	10	12	6	42	11	111	7	48	294	724	0.69	0.03	0.36
310-8	83.62	0.23	6.83	3.39	0.04	0.56	1.48	1.56	0.96	0.11	98.78	2.95	27	7	7	12	9	24	5	52	6	32	106	307	0.66	0.03	1.03
310-9	69.69	0.64	15.60	4.40	0.06	1.68	1.81	3.73	2.08	0.15	99.83	4.00	107	26	8	11	16	65	20	186	10	90	283	463	0.64	0.03	0.49
310-10	62.68	1.49	17.08	7.44	0.13	2.72	1.54	6.29	0.67	0.29	100.32	3.07	144	33	12	28	8	81	22	199	13	28	295	114	0.22	0.03	0.01
310-11	81.74	0.20	8.26	3.08	0.07	1.79	0.21	1.69	1.61	0.05	98.70	2.01	41	7	6	19	-	31	7	71	6	61	93	577	0.36	0.03	0.08
310-12	84.98	0.17	5.94	3.86	0.07	1.85	0.18	1.15	1.38	0.04	98.60	2.18	14	4	15	-	45	4	46	7	64	25	429	0.39	0.03	0.08	
310-13	69.18	0.59	14.24	4.92	0.09	2.36	1.84	2.15	3.87	0.13	99.39	3.61	76	26	10	15	12	57	14	138	8	143	208	1340	0.5	0.03	0.11
chert																											
310-22	93.42	0.08	2.50	0.55	0.00	0.07	0.03	-	0.46	0.02	97.12	0.89	12	1	4	7	-	5	1	13	7	39	7	121	-	-	-
310-23	93.98	0.07	2.32	0.28	0.00	0.07	0.03	-	0.44	0.02	97.20	0.78	-	3	6	8	-	4	1	10	5	37	5	116	-	-	-
310-24	92.78	0.08	2.41	1.03	0.00	0.07	0.03	-	0.47	0.02	96.89	0.93	7	1	6	6	-	3	2	18	6	40	3	107	-	-	-
310-25	94.79	0.06	1.70	0.13	0.00	0.04	0.02	-	0.26	0.02	97.03	0.50	-	-	8	9	-	1	1	4	5	21	-	60	-	-	-
310-26	94.74	0.04	1.79	0.16	0.00	0.04	0.03	-	0.28	0.02	97.10	0.59	-	3	7	8	-	-	1	4	5	22	4	80	-	-	-

第2表 八尾地域(富山県南部)の新第三紀中新統堆積岩の元素組成(XRFによる主元素および微量元素とCHNSコーダーによるTOC, TNおよびTS).

Yatsuo

sample no.	Major elements (Oxides wt%)										Total	LOI	Trace elements (ppm)										wt%				
	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5			V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Zr	Nb	Rb	Sr	Ba	TOC	TN	TS
Kurosedani																											
970516-6	64.71	0.26	16.81	9.16	0.05	4.39	2.77	0.11	0.25	0.03	98.54	9.89	5	-	9	17	38	187	77	467	18	4	166	141	0.02	0.02	0.11
970516-7	64.46	0.81	16.04	5.37	0.21	2.26	4.91	2.50	1.92	0.16	98.64	3.89	103	29	15	15	45	72	26	184	14	57	523	500	0.02	0.02	-
970516-8	61.48	0.91	16.34	6.74	0.10	3.07	5.74	2.60	1.64	0.19	98.82	3.16	116	50	19	20	48	76	22	182	14	49	522	461	0.01	0.02	-
970516-9	65.17	0.73	15.53	6.34	0.06	2.54	4.42	1.84	1.72	0.12	98.47	3.91	84	42	15	22	51	69	27	195	13	52	399	440	0.14	0.03	1.08
970516-10	62.16	0.86	18.05	6.98	0.07	2.79	4.79	1.50	1.78	0.13	99.11	5.80	108	37	17	23	57	96	35	199	14	59	373	452	0.32	0.03	1.24
970516-11	59.07	0.96	16.44	8.61	0.13	4.40	6.51	1.85	1.19	0.14	99.31	4.40	123	44	22	16	53	94	24	187	13	36	408	283	0.08	0.02	0.15
970516-12	60.90	0.82	16.62	7.43	0.09	3.84	5.76	1.93	1.38	0.12	98.89	3.52	113	48	20	25	47	70	23	172	12	43	470	367	0.02	0.02	1.19
970516-13	70.22	0.35	16.26	3.05	0.06	2.96	4.16	0.61	1.12	0.05	98.85	8.57	2	-	8	10	40	62	34	152	15	37	277	511	0.14	0.03	0.62
970516-14	59.62	0.91	17.95	7.63	0.04	3.73	5.86	1.92	1.15	0.14	98.95	4.15	143	35	17	6	43	49	10	141	11	29	490	289	0.03	0.03	0.17
970516-15	56.82	0.99	17.30	9.05	0.10	4.09	4.23	4.04	1.74	0.17	98.54	5.56	173	47	22	14	49	76	17	135	11	46	563	441	0.05	0.03	0.06
Iwaine																											
970515-10	58.91	1.25	17.54	7.46	0.14	2.43	6.37	2.67	1.74	0.18	98.71	2.29	182	30	22	9	37	84	32	249	15	73	585	413	0.02		

Yatsuo

sample no.	Major elements (Oxides wt%)										Trace elements (ppm)														wt%		
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total	LOI	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Zr	Nb	Rb	Sr	Ba	TOC	TN	TS
Otogawa																											
970516-1	64.76	1.13	12.99	7.42	0.07	3.32	3.82	1.85	2.24	0.11	97.69	2.93	183	165	19	23	45	71	18	347	15	72	368	424	0.02	0.02	-
970516-2	65.40	0.99	14.00	6.54	0.07	3.27	3.53	1.48	2.51	0.13	97.91	3.64	180	138	16	23	52	77	18	246	13	75	345	386	0.05	0.03	-
970516-3	67.18	1.26	11.33	7.46	0.09	3.67	3.38	1.22	1.97	0.12	97.66	3.12	209	223	16	21	43	71	17	357	15	63	183	334	0.10	0.03	0.11
Tenguyama																											
970516-18	70.25	0.22	17.45	2.97	0.07	0.68	0.96	1.71	4.14	0.03	98.49	6.10	14	-	5	10	44	52	19	143	23	124	126	645	0.02	0.04	-
970516-19	65.39	0.71	18.81	5.70	0.03	1.73	2.03	1.55	2.40	0.10	98.43	6.00	93	49	8	21	60	79	29	173	20	88	233	454	0.21	0.03	-
970516-20	71.96	0.71	13.75	3.62	0.02	1.23	2.00	1.21	2.72	0.07	97.31	4.41	105	75	7	21	47	81	26	198	14	104	359	584	0.27	0.03	0.54
970516-21	68.79	0.48	14.67	4.97	0.04	1.79	1.83	1.78	3.73	0.20	98.29	3.98	30	10	8	13	54	40	12	125	17	121	181	518	0.12	0.04	0.23
970516-22	65.62	0.94	15.10	8.24	0.10	1.88	2.70	1.46	2.19	0.15	98.37	4.50	140	95	12	22	58	62	23	239	15	92	355	401	0.15	0.03	-
970516-23	72.82	0.16	14.35	1.84	0.08	0.40	1.05	1.81	4.87	0.04	97.40	4.11	8	-	4	10	40	62	19	92	19	120	171	601	0.02	0.04	-
970516-24	72.67	0.41	12.64	4.82	0.01	0.64	0.90	1.81	3.51	0.06	97.47	5.71	79	27	7	18	43	46	21	152	16	123	194	555	0.42	0.03	1.02
970516-25	64.69	0.88	18.10	5.13	0.04	2.47	2.91	1.84	2.19	0.12	98.38	10.54	132	76	11	20	68	121	27	189	16	87	383	439	0.49	0.04	3.45
970516-26	66.19	0.91	19.18	5.66	0.03	1.25	1.38	1.68	2.27	0.04	98.59	2.42	124	77	7	26	58	67	19	192	17	90	307	688	0.01	0.02	-
Higashibessho																											
970515-12	71.93	0.61	12.79	5.37	0.07	2.29	1.73	0.74	2.03	0.10	97.67	6.86	107	60	8	37	62	132	17	123	15	114	135	425	1.18	0.10	1.19
970515-13	71.60	0.58	12.75	5.23	0.07	2.17	2.07	0.71	2.03	0.09	97.31	6.43	108	59	9	34	60	127	15	121	15	111	137	395	1.07	0.09	1.22
970515-14	64.44	0.69	13.96	5.78	0.09	2.04	8.51	1.41	1.71	0.16	98.80	8.85	96	74	21	38	64	144	28	147	13	58	485	507	0.82	0.08	0.89
970515-15	64.12	0.70	13.83	5.81	0.09	2.01	8.73	1.34	1.62	0.18	98.40	9.07	97	84	21	41	68	147	24	142	13	58	495	492	0.85	0.08	1.02
970516-4	84.76	0.16	7.58	1.08	0.06	0.18	0.06	0.57	2.23	0.03	96.70	11.22	4	-	5	13	41	15	18	103	14	86	44	582	1.33	0.08	1.54
970516-5	69.52	0.83	17.63	4.59	0.03	1.50	1.32	1.25	1.73	0.07	98.47	7.86	113	64	6	14	66	83	20	182	16	77	201	586	1.20	0.08	0.32
970516-16	66.75	0.89	22.24	4.42	0.01	1.59	0.04	0.34	2.78	0.05	99.11	6.38	99	50	3	10	54	70	27	200	19	118	57	543	0.21	0.03	-
970516-17	66.43	0.96	20.28	5.54	0.01	1.47	0.05	0.72	2.32	0.04	98.12	6.21	136	52	4	10	63	100	22	211	17	97	362	1645	0.25	0.03	-
970516-27	74.58	0.59	13.20	2.77	0.02	0.86	1.13	1.96	2.50	0.04	97.64	2.95	53	44	4	14	48	45	15	359	17	98	197	482	0.19	0.04	0.17
970516-28	73.31	0.65	14.16	3.15	0.02	1.18	1.07	1.67	2.47	0.05	97.73	3.70	75	55	5	13	49	61	17	271	18	107	180	436	0.27	0.05	0.16
970516-29	73.54	0.66	14.52	3.38	0.02	1.23	0.92	1.58	2.43	0.05	98.33	3.79	82	54	4	16	52	84	16	245	17	112	159	424	0.35	0.05	0.28

第3表 男鹿半島地域(秋田県)の新第三紀中新統堆積岩の元素組成(XRFによる主元素および微量元素とCHNSコーダーによるTOC, TNおよびTS).

Oga

sample no.	Major elements (Oxides wt%)										Trace elements (ppm)														wt%		
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total	LOI	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Zr	Nb	Rb	Sr	Ba	TOC	TN	TS
Funakawa																											
970517-27	72.48	0.55	13.80	4.77	0.07	2.19	1.86	1.42	2.15	0.09	99.38	6.61	79	37	7	26	27	107	23	121	5	76	137	461	0.92	0.08	0.58
970517-28	73.35	0.55	13.48	4.56	0.06	1.96	1.63	1.43	2.14	0.07	99.22	6.03	75	35	6	29	25	110	21	110	3	78	126	464	0.86	0.10	0.99
970517-29	73.59	0.53	13.06	4.49	0.06	1.94	1.45	1.38	2.13	0.07	98.69	5.96	81	36	7	30	33	108	23	113	4	78	119	433	0.89	0.10	1.14
970517-30	71.22	0.58	14.41	5.15	0.07	2.27	1.22	1.46	2.29	0.08	98.73	6.31	92	44	7	35	30	119	25	118	4	87	113	478	0.89	0.09	1.43
Onnagawa																											
970517-16	86.58	0.26	6.35	2.94	0.00	0.74	0.08	0.16	1.05	0.05	98.20	3.53	38	36	2	11	52	28	7	55	-	45	14	810	0.47	0.05	0.03
970517-17	84.45	0.35	9.12	2.12	0.00	1.22	0.14	0.19	1.32	0.05	98.96	5.55	47	43	2	15	86	40	18	72	2	49	19	729	1.27	0.08	0.07
970517-18	82.15	0.34	9.17	3.78	0.01	1.03	0.05	0.26	1.67	0.06	98.52	9.54	79	59	4	93	79	214	13	65	-	60	23	919	3.63	0.20	2.91
Nishikurosawa																											
970517-19	48.28	0.53	12.45	5.05	0.35	9.18	19.08	2.38	2.26	0.16	99.72	20.00	39	14	39	13	13	88	23	150	1	35	607	1005	5.16	0.02	0.13
970517-20	68.55	1.02	17.44	2.33	0.02	0.54	4.06	3.38	2.58	0.18	100.09	2.09	68	38	11	6	10	42	17	149	5	62	546	1154	0.04	0.02	0.08
970517-21	68.62	0.98	17.86	1.87	0.01	0.62	4.00	3.30	2.51	0.08	98.84	2.88	68	47	9	11	64	59	13	155	7	57	618	1456	0.05	0.02	0.56
970517-22	45.67	0.42	11.58	3.45	0.32	11.90	21.66	2.05	2.16	0.13	99.34	22.65	50	9	30	3	10	48	26	108	-	35	639	2205	6.09	0.21	0.21
970517-23	67.42	0.86	17.82	3.24	0.01	0.55	4.13	3.33	2.48	0.15	99.98	4.27	78	36	11	15	16	65	17	154	3	60	599	1751	0.11	0.02	2.12
970517-24	69.74	0.77	16.62	1.71	0.01	0.35	3.36	3.66	2.97	0.07	99.25	2.12	60	44	8	2	3	12	9	129	2	72	482	1287	0.04	0.02	0.39
970517-25	35.38	0.30	8.01	9.70	0.86	13.68	27.70	1.34	1.75	0.33	99.05	28.50	38	3	73	6	27	164	26	201	-	24	409	2956	7.21	0.02	0.08
970517-26	26.00	0.21	6.17	4.72	1.87	20.10	35.42	1.01	1.31	0.26	97.08	33.68	12	-	48	0	23	96	17	83	-	15	590	673	9.42	0.02	0.15
Daijima																											
970517-10	71.43	0.35	14.91	2.29	0.06	1.53	2.30	3.20	2.80	0.08	98.93	7.79	1	-	6	5	0	39	32	242	7	77	1035	1199	0.07	0.03	-
970517-11	70.98	0.32	14.76	2.61	0.04	1.59	1.74	3.43	2.80	0.06	98.34	7.58	9	-	6	6	0	86	29	244	5	59	1015	1610	0.07	0.03	-
970517-12	65.98	0.91	22.51	3.92	0.01	3.45	0.89	0.65	2.20	0.04	100.56	10.35	106	27	5	9	22	144	50	234	8	39	115	296	0.34	0.03	-
970517-13	58.97	1.22	22.82	9.74	0.02																						

第4表 太平山地域(秋田県)の新第三紀中新統堆積岩の元素組成(XRFによる主元素および微量元素とCHNSコーダーによるTOC, TNおよびTS).

Taiheizan

sample no.	Major elements (Oxides wt%)											Trace elements (ppm)											wt%				
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Total	LOI	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Y	Zr	Nb	Rb	Sr	Ba	TOC	TN	TS
Funakawa																											
970518-8	76.35	0.50	13.39	3.97	0.01	1.17	0.41	0.60	0.98	0.05	97.42	8.38	62	38	4	22	48	74	16	126	14	47	52	208	1.22	0.08	1.66
970518-9	76.46	0.45	12.95	3.61	0.02	0.79	0.51	0.82	1.29	0.04	96.94	9.27	54	41	4	24	52	74	16	129	15	57	64	344	1.51	0.09	1.94
970518-17	29.87	0.12	4.63	1.73	1.15	1.46	52.35	0.22	0.68	0.33	92.55	32.91	-	-	35	-	40	22	23	37	10	7	196	96	8.75	0.04	0.12
970518-18	70.46	0.86	13.80	5.13	0.07	0.60	2.79	2.08	1.41	0.15	97.32	8.65	65	20	9	16	43	49	34	137	13	39	243	297	1.02	0.08	2.33
970518-19	73.08	0.52	13.53	4.39	0.03	1.16	1.64	1.53	1.80	0.10	97.77	7.79	55	41	7	10	45	41	23	165	14	55	134	287	1.14	0.09	1.00
Onnagawa																											
970518-1	78.76	0.39	10.69	3.82	0.01	0.91	0.19	0.42	1.73	0.10	97.00	4.42	35	26	4	19	47	56	23	97	12	58	29	270	0.71	0.09	0.08
970518-2	76.12	0.36	11.96	3.39	0.03	1.01	0.83	1.27	1.83	0.07	96.86	4.55	48	38	5	31	52	128	24	94	13	59	75	318	0.65	0.07	1.52
970518-3	79.34	0.39	10.23	2.97	0.02	0.95	0.47	0.55	1.89	0.07	96.85	6.18	56	43	4	50	69	137	30	94	13	67	54	388	1.92	0.15	1.64
970518-5	86.79	0.24	5.66	1.66	0.01	0.71	0.04	0.24	1.02	0.06	96.44	4.84	45	30	3	62	59	43	7	51	11	38	18	173	1.86	0.08	1.19
970518-6	81.35	0.35	9.25	2.75	0.02	1.35	0.09	0.33	1.42	0.08	96.99	6.40	49	48	3	53	80	136	14	75	12	52	25	187	1.72	0.07	2.47
970518-7	83.44	0.29	7.56	2.27	0.02	1.17	0.06	0.25	1.28	0.06	96.39	5.52	34	37	4	42	61	82	15	59	13	43	31	206	1.44	0.06	1.94
970518-10	83.88	0.32	7.20	2.03	0.02	1.04	0.37	0.40	1.20	0.05	96.49	6.40	16	44	4	52	86	162	16	73	15	55	88	489	1.92	0.12	1.00
970518-11	87.56	0.22	5.11	1.65	0.01	0.58	0.22	0.28	0.72	0.08	96.42	5.46	42	24	3	29	62	36	5	53	11	38	76	379	1.77	0.11	0.69
Uyashinai																											
970518-20	84.23	0.17	5.22	1.58	0.04	0.85	3.17	0.38	1.25	0.04	96.93	4.04	10	6	6	29	45	88	9	52	12	42	123	566	0.48	0.04	0.14
970518-21	80.77	0.26	6.17	2.14	0.07	1.05	4.85	0.47	1.41	0.05	97.25	5.52	38	19	7	37	53	89	12	56	12	54	162	595	0.78	0.05	0.55
970518-22	76.12	0.46	9.68	4.31	0.04	1.83	1.71	0.81	2.13	0.08	97.18	5.29	76	49	8	73	69	171	14	96	13	90	110	768	0.08	0.07	1.74
970518-23	78.34	0.34	7.96	3.20	0.06	1.44	3.53	0.52	1.82	0.06	97.28	5.38	49	34	8	41	55	107	14	77	12	71	121	166	0.40	0.05	1.30
Sunakobuch																											
970518-12	72.87	0.35	13.78	2.02	0.01	1.08	3.01	1.59	1.27	0.03	96.02	8.12	-	-	5	10	32	52	41	209	15	39	302	751	0.03	0.02	-
970518-13	74.40	0.35	13.76	1.92	0.01	1.29	3.02	1.50	1.29	0.04	97.56	8.39	6	-	6	8	30	49	40	203	17	37	316	692	0.05	0.02	-
970518-14	85.24	0.19	6.82	0.77	0.01	0.65	1.27	0.63	1.01	0.02	96.60	4.28	3	-	3	15	41	23	15	96	11	31	226	530	0.15	0.03	-
970518-15	64.05	0.83	15.29	5.69	0.10	2.31	5.76	1.68	2.34	0.15	98.21	5.01	96	42	16	25	51	101	24	143	13	53	377	516	0.30	0.04	0.62
970518-16	62.94	0.82	15.84	5.90	0.10	2.58	5.59	1.75	2.36	0.16	98.03	4.75	119	46	16	27	56	108	26	151	14	53	367	493	0.28	0.04	0.29

第5表 隠岐島後地域(島根県)の新第三紀中新統堆積岩のREEを含む微量元素元素組成(INAAによる).

Oki

INAA	Tokibariyama						Koji	Ohzuku		Hei		Kumi	Utagi		Tsuma	
	ms	ms	sst	ms	tuff.sst	tuff.sst		sst	ms	tuff.silt	tuff.silt		sst	ms	ms	sst
ppm	310-1	310-6	310-10	310-13	310-15	310-18	311-29	311-6	311-11	312-3	312-8	311-14	311-32	311-42	312-14	312-17
Sc	12.7	10.7	15.5	8.6	12.6	12.8	8.8	18.7	5.8	8.4	15.8	9.7	10.6	8.4	1.3	12.7
Cr	36.3	35.0	58.7	38.0	30.4	32.3	33.9	50.4	23.8	18.3	22.8	88.8	67.8	24.8	27.0	120.1
Co	19.3	14.7	23.9	17.1	15.0	24.4	12.9	38.2	8.8	12.1	9.5	12.0	18.7	4.9	61.9	16.2
Hf	3.8	3.4	4.4	3.4	4.1	4.0	8.9	11.2	6.9	4.6	7.0	4.6	3.4	4.9	20.9	5.3
Ta	0.3	-	0.6	0.2	0.5	0.4	0.8	1.7	1.0	0.4	0.6	0.6	0.5	0.4	10.2	0.6
W	49.4	62.4	81.1	103.0	39.3	-	62.4	49.9	47.3	68.2	25.4	41.4	38.8	35.2	488.9	138.1
Th	5.5	5.3	5.3	5.9	6.5	6.7	6.8	18.7	10.9	4.9	7.5	9.0	9.0	5.8	38.9	7.3
U	-	-	-	-	-	-	-	2.4	-	-	-	6.1	3.6	-	-	-
La	27.8	21.9	28.8	23.4	23.0	24.7	37.2	24.3	31.8	17.6	28.4	34.4	27.5	20.9	60.9	17.6
Ce	47.7	35.2	52.0	45.2	41.6	54.3	67.6	112.3	62.9	43.4	64.8	70.7	64.8	46.8	153.0	35.4
Sm	5.5	4.1	5.0	3.5	4.2	5.1	5.7	4.8	5.7	3.7	6.7	5.0	5.8	5.7	14.7	2.9
Eu	1.3	0.9	1.4	0.8	1.0	1.1	1.3	1.9	0.9	0.9	1.6	0.7	1.0	1.1	0.2	0.8
Tb	0.7	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	1.0	0.7	0.6	1.0	0.5	0.7	1.0	2.3	0.3
Yb	1.4	1.6	1.6	1.4	1.9	1.9	2.3	3.0	2.2	2.1	3.5	2.0	2.1	3.9	7.1	1.4
Lu	0.3	0.2	0.4	0.2	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	0.6	0.4	0.4	0.7	0.9	0.3
Cs	1.5	2.1	0.7	4.5	6.8	12.5	3.3	20.1	7.4	1.4	6.1	8.8	9.6	5.3	4.1	3.8
As	19.7	6.6	-	10.8	-	-	-	9.8	-	-	-	9.4	-	-	-	7.8
Sb	1.1	0.7	0.2	2.3	2.7	1.6	-	1.2	0.6	0.3	-	1.9	1.3	0.7	5.9	0.6

第6表 八尾地域（富山県南部）の新第三紀中新統堆積岩のREEを含む微量元素元素組成（INAAによる）。

Yatsuo

INAA	Nirehara		Iwaine	Kurosedani		Higashibessho				Tenguyama		Otogawa
	sst 515-1	sst 515-8	tuff.sst 515-11	ms 516-8	ms 516-11	ms 515-12	ms 515-14	ms 516-5	ms 516-28	ms 516-19	ms 516-24	ms 516-3
ppm												
Sc	8.9	3.9	18.6	18.6	21.7	17.6	16.2	18.2	10.8	13.3	12.3	23.3
Cr	35.1	21.4	50.1	62.6	53.6	85.7	83.4	68.4	70.8	66.2	66.8	206.9
Co	8.5	36.6	25.3	22.0	23.1	17.0	20.5	11.6	7.7	7.2	16.3	24.8
Hf	6.0	4.3	5.8	4.2	4.3	5.1	3.6	4.6	6.8	4.6	3.1	7.4
Ta	1.0	0.7	0.4	135.8	0.4	0.7	0.7	0.7	0.7	1.1	0.6	0.5
W	56.3	391.7	139.0	60.0	79.2	0.0	59.9	78.2	70.8	-	76.2	137.9
Th	17.2	10.2	7.6	4.7	5.0	8.1	5.4	7.1	10.3	11.6	8.5	6.3
U	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-	-	-	-
La	46.3	24.6	26.5	19.8	17.4	27.4	20.2	18.9	26.4	30.9	22.1	20.8
Ce	74.0	50.5	55.6	42.5	40.3	60.9	43.5	41.5	55.6	58.8	50.9	42.7
Sm	6.0	3.7	4.9	4.1	3.8	5.0	4.4	3.6	4.2	5.1	4.0	3.9
Eu	0.9	0.5	1.4	1.1	1.3	1.1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.7	0.8
Tb	0.7	0.4	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.6	0.6	0.5
Yb	3.2	2.3	2.3	1.9	1.9	2.4	2.0	2.0	2.0	2.3	1.7	1.8
Lu	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
Cs	10.4	3.4	1.9	1.1	1.2	4.3	3.3	3.9	5.3	3.8	7.1	2.2
As	-	5.2	-	-	-	10.1	6.1	6.6	7.4	-	-	-
Sb	0.9	0.7	-	-	-	0.8	0.8	0.9	0.6	0.5	0.9	0.6

第7表 男鹿半島地域（秋田県）の新第三紀中新統堆積岩のREEを含む微量元素元素組成（INAAによる）。

Oga

INAA	Monzen			Daijima		Nishikurosawa		Onnagawa		Funakawa	
	sh 517-2	sh 517-6	sh 517-8	tuff 517-10	ms 517-11	sst 517-22	ms 517-23	sh 517-16	sh 517-18	ms 517-27	ms 517-30
ppm											
Sc	4.5	5.0	6.9	7.5	7.5	5.4	9.7	8.6	10.9	12.2	13.6
Cr	15.1	17.5	18.0	17.1	15.4	26.9	49.6	50.5	67.6	48.0	55.3
Co	19.9	9.8	6.6	8.9	9.7	9.4	23.3	6.0	24.8	13.2	17.3
Hf	2.8	3.2	4.6	6.0	5.9	2.1	3.8	1.7	1.7	3.2	3.5
Ta	0.6	0.7	1.1	0.8	0.8	0.2	0.5	0.3	0.3	0.6	0.6
W	127.6	117.0	62.5	83.6	86.6	47.9	181.8	37.7	-	54.3	109.8
Th	8.2	8.2	12.5	10.7	10.6	2.2	3.6	4.3	4.9	6.4	8.7
U	3.1	-	-	-	-	-	3.2	5.3	13.5	-	-
La	20.9	23.5	32.8	26.3	25.8	11.2	16.2	8.7	17.1	17.1	21.0
Ce	43.7	47.5	66.8	56.9	55.7	21.8	31.9	17.8	44.0	40.3	51.5
Sm	3.6	3.6	5.2	4.6	4.4	2.0	3.3	1.5	3.7	3.6	4.9
Eu	0.5	0.5	0.6	0.9	0.9	0.6	1.0	0.2	0.5	0.7	0.9
Tb	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.3	0.3	0.2	0.5	0.6	0.7
Yb	2.1	2.0	2.9	2.9	2.6	0.9	1.3	1.0	1.2	2.0	2.6
Lu	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.4
Cs	1.9	1.1	1.4	3.4	3.0	2.6	4.6	3.5	4.8	4.8	6.0
As	10.0	-	12.1	-	-	-	7.5	-	15.4	6.9	11.3
Sb	1.5	0.7	0.7	-	0.4	0.4	0.9	1.3	1.9	1.1	1.6

第8表 太平山地域（秋田県）の新第三紀中新統堆積岩のREEを含む微量元素元素組成（INAAによる）。

Taiheizan

INAA	Sunakobuchi		Uyashinai	Onnagawa		Funakawa	
	sst 518-12	silt 518-15	ms 518-22	sh 518-3	sh 518-6	ms 518-9	ms 518-18
ppm							
Sc	6.9	14.8	11.1	10.0	9.7	11.2	15.7
Cr	20.8	54.9	58.6	48.7	51.9	47.5	29.2
Co	6.4	15.4	15.6	9.8	10.8	6.7	8.9
Hf	4.8	3.3	2.3	2.4	2.0	3.2	3.3
Ta	0.5	-	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
W	60.8	-	-	45.7	45.9	70.5	59.7
Th	7.3	3.7	4.9	4.9	4.2	4.7	2.8
U	-	2.9	3.6	-	3.4	3.3	-
La	18.8	15.6	14.0	18.5	13.1	10.6	16.1
Ce	41.0	33.3	30.3	40.4	31.5	18.5	36.4
Sm	4.3	3.8	3.3	5.7	3.5	2.5	4.6
Eu	0.7	0.9	0.6	1.0	0.7	0.5	1.2
Tb	0.6	0.5	0.4	0.9	0.5	0.2	0.8
Yb	2.6	1.9	1.4	2.5	1.6	1.5	2.5
Lu	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.4
Cs	2.8	2.5	5.0	3.8	3.1	3.6	1.9
As	-	-	-	-	6.1	9.9	-
Sb	-	0.9	1.9	1.2	1.4	0.9	0.7

INAA	JA2		
	p.v.	av. (n=5)	STD
ppm			
Sc	19.0	18.5	0.24
Cr	465.0	413.3	11.79
Co	30.0	27.7	0.39
Hf	2.8	2.9	0.14
Ta	0.6	0.6	0.05
W			
Th	4.7	4.8	0.25
U	2.4	1.3	0.73
La	16.0	15.4	0.27
Ce	33.0	34.0	3.34
Sm	3.1	3.0	0.07
Eu	0.9	0.8	0.05
Tb	0.5	0.5	0.12
Yb	1.6	1.5	0.14
Lu	0.3	0.3	0.04
Cs	4.2	4.6	0.18
As	0.8		
Sb	0.1		