

四万十累層群の碎屑性堆積物

寺岡易司* 奥村公男** 鈴木盛久***
川上久美†

Yoji TERAOKA, Kimio OKUMURA, Morihisa SUZUKI and Kumi KAWAKAMI (1999) Clastic sediments of the Shimanto Supergroup in Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 50 (9), p. 559-590, 33 figs., 1 table.

Abstract: The Shimanto Supergroup in the southernmost terrane of Southwest Japan is an accretionary complex composed mostly of terrigenous clastic rocks with a small amount of basalts, cherts, and limestones of oceanic origin. It comprises the Lower Shimanto Group, which is divisible into the Saiki Subgroup (Lower to Upper Cretaceous) and the Kamae Subgroup (Upper Cretaceous to lowest Paleogene), and the Upper Shimanto Group (Paleogene to Lower Miocene).

The Saiki and Kamae Subgroups are characterized by feldspathic sandstones and lithic sandstones, respectively, though they considerably overlap in age. On the other hand, feldspathic and lithic sandstones rich in quartz occur in the Upper Shimanto Group. Rock fragments of sandstones are chiefly of felsic to intermediate volcanic rocks throughout the sequences. Sandstone chemistry varies from the Saiki Subgroup to the Upper Shimanto Group in the manner that SiO₂ increases with the decrease of Al₂O₃, Na₂O, ΣFe₂O₃, MgO, Sr, and V. Detrital garnets of various origins are found in the supergroup. Among them, the most common garnets are from the intermediate P/T metamorphic rocks including granulites, followed by ones from the low P/T metamorphic and granitic rocks. The former increase stratigraphically upward and regionally eastward at the expense of the latter and others.

Sedimentary petrography and paleocurrent analysis indicate that the terrigenous sediments of the Shimanto Supergroup consist mainly of clasts of felsic to intermediate volcanic and granitic rocks with minor amounts of those of metamorphic and sedimentary rocks, and were supplied from the north, but partly from the south in and after the latest Cretaceous. The northern source area for the sediments was not only in Southwest Japan but also in the eastern part of the Asian continent, where were exposed many kinds of rock ranging in age from Archean to Paleogene. In this paper, some discussions were made also on Cretaceous to Paleogene sandstones in the Median Zone of Southwest Japan and psammitic schists of the Sambagawa Metamorphic Rocks.

要 旨

九州から赤石山地にかけて分布する四万十累層群についてみると, 下部四万十層群の佐伯亜層群(下部-上部白亜系)は長石質砂岩, 蒲江亜層群(上部白亜系-最下部古第三系)は石質砂岩でそれぞれ特徴づけられ, 上部四万十層群(古第三系-下部中新統)では石英に富む長石質-石質砂岩が発達する。いずれの砂岩でも岩片は主として酸-中性火山岩からなり, 時代が新しくなるにつ

れ, また地域的には西から東に向かって酸性のものが增加する。このようなモード組成の変化に対応して砂岩の化学組成も変わっていく。砂岩中の碎屑性ザクロ石としては中圧変成岩からのものが最も多く, 低圧変成岩・花崗岩類起源のものがこれに次ぎ, 少量ながらグラナイトや高圧変成岩・エクロジヤイトに由来するものも認められる。これらの量的変化をみると前者, とくにグラニュライト相変成岩起源のものが時代とともに, 地域的には東にいくにつれ増え, それに伴って他のタイプのザクロ石が減少していく。以上は四万十累層群における砂岩の時代的・地域的変化の一般的傾向であり, 若干の例外もある。これに関連して西南日本中軸帯の白亜系-古第三系砂岩や三波川変成岩大歩危ユニットの砂質片岩にも

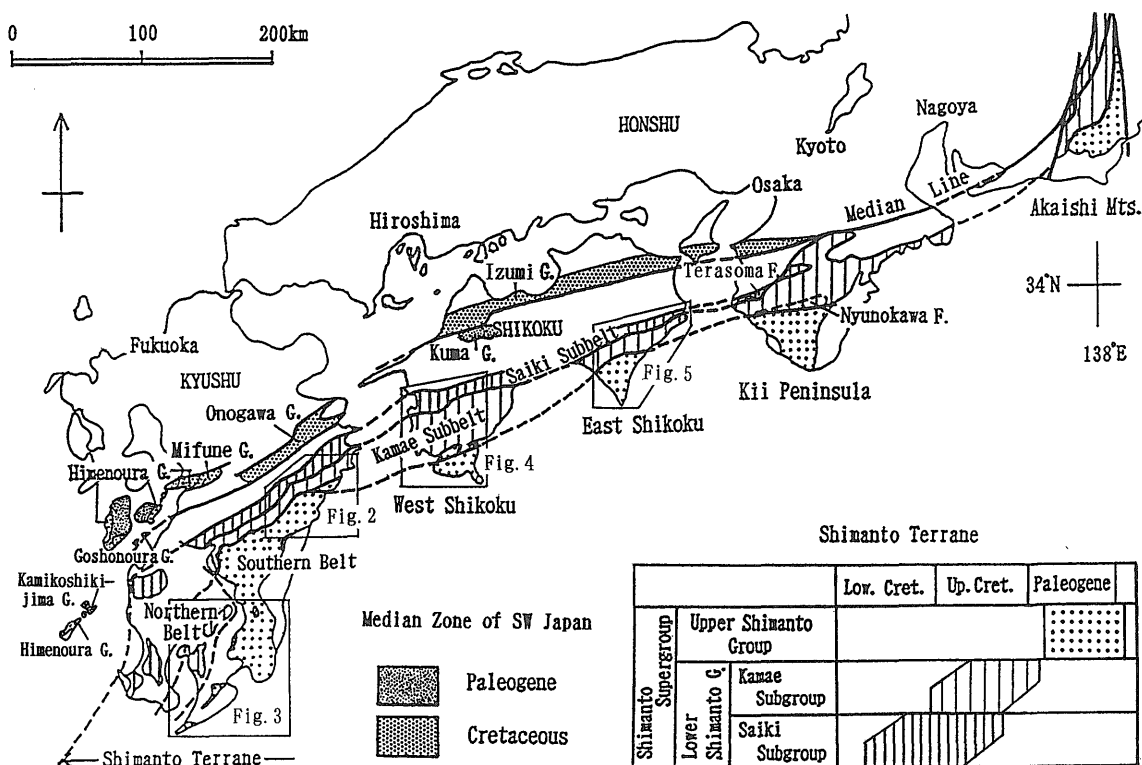
*国際協力室-科学技術庁重点研究協力員-
(Overseas Geology Section, GSJ)

**国際協力室(Overseas Geology Section, GSJ)

***広島大学学校教育学部地学研究室(Earth Science Laboratory,
Faculty of School Education, Hiroshima University;
Kagamiyama 1-1, Higashihiroshima, 739-0046 Japan)

†広島女学院高等学校(Hiroshima Seminary High School;
Kaminobori-machi 11-32, Naka-ku, Hiroshima, 730-0014
Japan)

Keywords: Southwest Japan, Shimanto, Cretaceous, Tertiary, sandstone, garnet, modal composition, chemical composition, paleocurrent, provenance



第1図 四万十帯と西南日本中軸帯の白亜系-下部中新統分布図。
 Fig. 1 Geologic sketch map showing the distribution of the Cretaceous to Lower Miocene in the Shimanto Terrane and the Median Zone of Southwest Japan.

言及した。四万十累層群の碎屑性堆積物は花崗岩類と酸-中性火山岩の碎屑物を主とし、他の火成岩や種々の堆積岩・変成岩からのものを伴っており、大部分が四万十帯の北側から供給され、一部南側からもきている。北方起源堆積物は西南日本からアジア大陸東部にわたる広大な後背地からもたらされ、その源岩年代は始生代から古第三紀に及ぶ。

1. はじめに

四万十累層群は白亜紀から中新世にかけての時代に形成された付加体とされており(平ほか, 1980; Taira *et al.*, 1982など)、西南日本外帯の四万十帯に広く分布している。この中には塩基性火山岩・チャート・石灰岩など海洋起源の岩石もあるが、その量はごくわずかであり、大部分は陸源の碎屑物からなる。したがって、この付加体の実態を解明するためには、碎屑性堆積物が如何なる源岩に由来し、どこからどのように供給されたものであるかを明らかにすることが重要である。

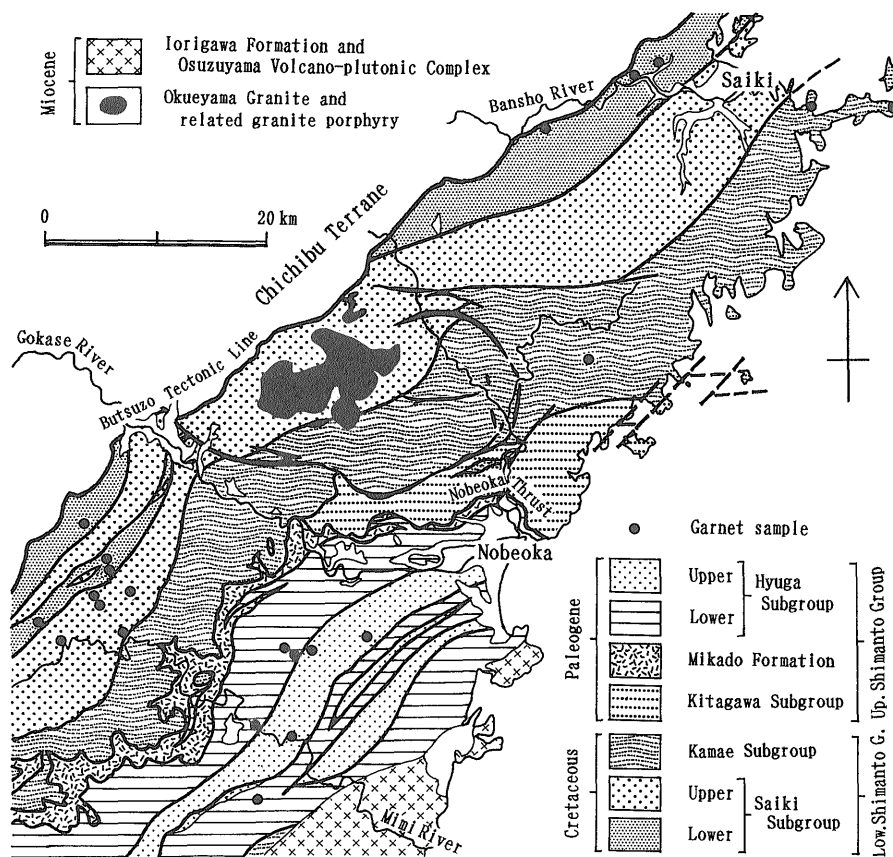
本論文では、九州から赤石山地までの四万十累層群を対象とし、まずはじめに層序区分と年代について述べ、次いで砂岩のモード組成と化学組成および碎屑性ザクロ石を検討し、それらの時代的・地域的变化を示す。これに

関連して西南日本中軸帯の白亜系-古第三系砂岩や三波川変成岩大歩危ユニットの原岩問題に言及する。そして最後に、古流向に関する資料、環日本海地域の地質なども考慮しながら、四万十累層群の碎屑性堆積物の起源について考察する。

筆者らのうち寺岡と奥村は、今井 功前岩手大学教授と長年にわたって四万十帯の研究を共にし、同氏から多くのご教示を賜わった。また、広島大学機器分析センターの(故)南 朝生技官にはザクロ石の分析をしていただいた。この研究の一部は総合研究 A「変動帯の砂岩—日本列島を例として—」(代表者 君波和雄)や基盤研究 A「東アジア変動帯の砂岩組成とテクトニクス」(代表者 公文富士夫→保柳康一)の一環として行った。上記の方々に対しここに謝意を表す。

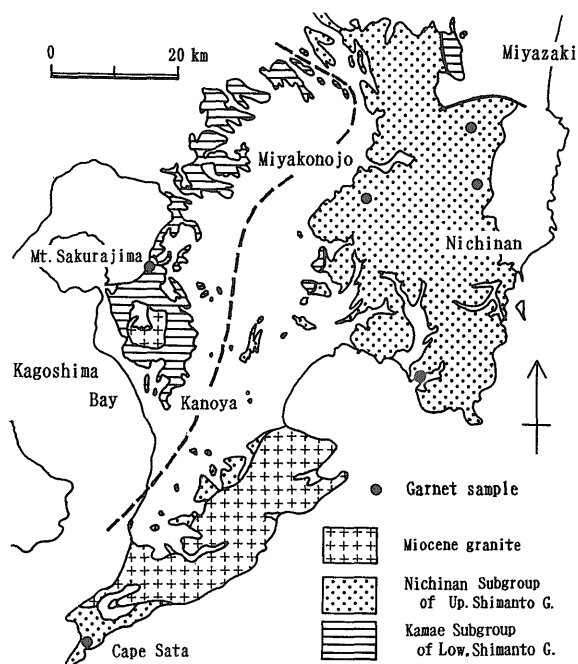
2. 地質概説

四万十累層群の層序区分は地域により、また研究者によって異なり、区分された個々の地層には様々な層名がつけられている。本論文では、主として層群または亜層群オーダーの層序区分をもとに議論を進めるので、寺岡・奥村(1992)にしたがい、四万十累層群を下部四万十層群(白亜系-最下部古第三系)と上部四万十層群(古第三



第2図 九州東部の四万十帯地質図.

Fig. 2 Geologic map of the Shimanto Terrane in east Kyushu.

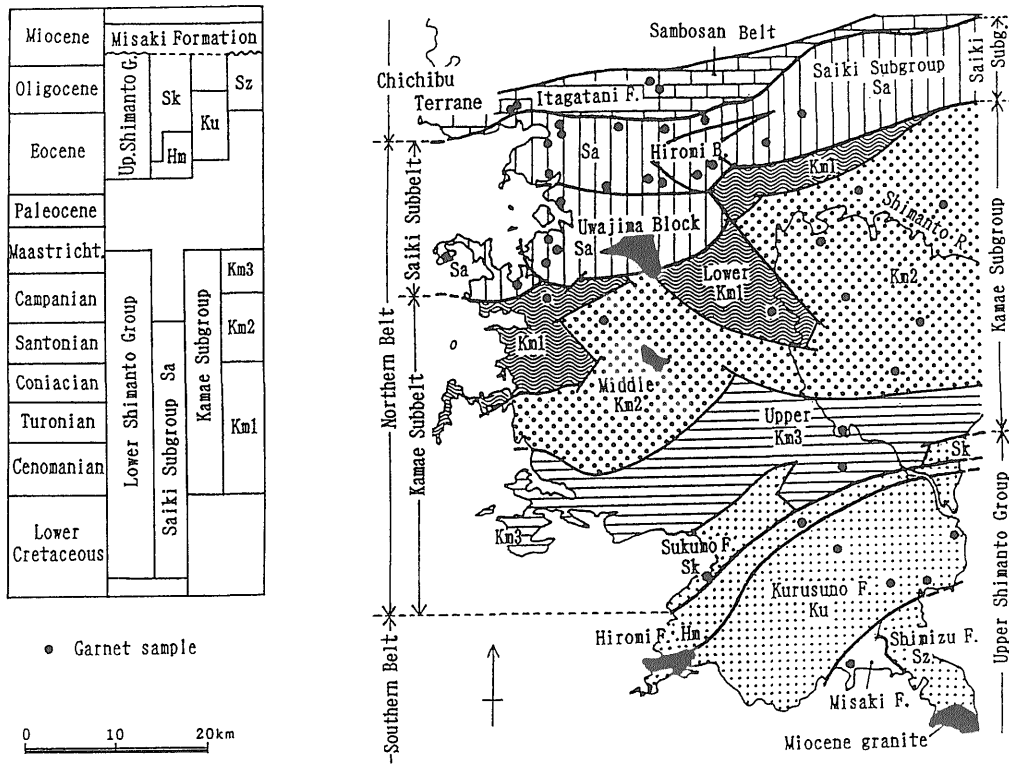


第3図 九州南東部の四万十帯地質図.

Fig. 3 Geologic map of the Shimanto Terrane in southeast Kyushu.

系-下部中新統)に大別し、前者を佐伯・蒲江の2亜層群に分ける。なお、寺岡・奥村(1992)の丹生ノ川亜層群は分布が紀伊半島のごく一部に限られるので、蒲江亜層群に含めることにする。佐伯亜層群と蒲江亜層群は四万十帯北帯の佐伯亜帯と蒲江亜帯にそれぞれ露出し、上部四万十帯層群は同南帯のほか、九州東部や四国西部では北帯南縁部にも分布している(第1図)。そしてこれらの地層群はいずれも断層関係にある。地層の年代は南北方向だけでなく、東西方向にも変化する。以下では四万十帯を九州、四国西部、四国東部、紀伊半島および赤石山地の5地区に分け、各地区における四万十帯累層群の構成について述べる。年代としては碎屑岩部分のそれを示し、九州に関しては特にことわらない限り寺岡・奥村(1992)、寺岡ほか(1994)にしたがう。

九州の佐伯亜層群は少なくともオーテリビアン-コニアシアン年代範囲をもち、下限はバラングニアンまで下る可能性がある。蒲江亜層群はこれまでチューロニアン-カンパニアンとされていたが、斎藤ほか(1993)によると下限はセノマニアンまでさがり、後期アルビアンに及ぶかもしれない。佐伯亜層群の下部(椎葉・十根川層)と上部(日の影・堅田層)および蒲江亜層群(槇峰・八戸



第4図 四国西部の四万十帯地質図。
Fig. 4 Geologic map of the Shimanto Terrane in west Shikoku.

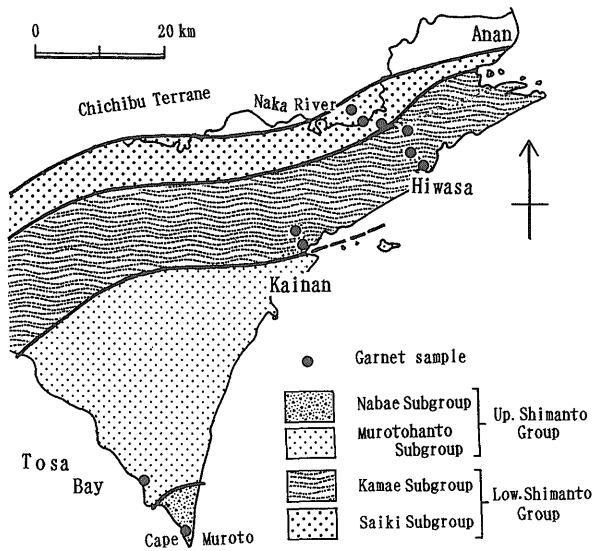
層)はそれぞれ上方粗粒化の岩相変化を示す。上部四万十層群は北川亜層群, 神門層, 日向亜層群および日南亜層群からなる(第2, 3図)。北川亜層群は五ヶ瀬川以東の北帯南縁部に露出する碎屑岩層で, 後期暁新世から始新世にかけての堆積物と推定される。延岡北方ではその中に蒲江亜層群が断層によって挟み込まれている。南帯北縁部の神門層は泥岩と塩基性火山岩に富む中-上部始新統, その南側の日向亜層群は碎屑岩からなる中部始新統-下部漸新統である。日向亜層群の下部(鬼神野・渡川・上井野層)は泥岩を主とし, 上部(珍神山層)は砂岩に富む。日南亜層群はごく少量の塩基性火山岩を含む碎屑岩層で, 九州南東部の日南山地付近から佐多岬にかけて分布し, 蒲江・日向両亜層群と断層関係にある。これの年代は中期始新世-前期中新世とみなされる(坂井ほか, 1987; 斎藤ほか, 1994)。

四国西部四万十帯の地質概要を第4図に示す。層序・構造区分は主として寺岡・栗本(1989)に基づいており, 佐伯亜層群と蒲江亜層群は平ほか(1980)の新莊川層群と大正層群に相当する。佐伯亜層群はパレミアン-サントニアン-カンパニアン-前期マーストリヒチアン-カンパニアン-前期マーストリヒチアンである。上部四万十層群は宿毛・弘見・来栖野・清水の4層からなり, 田中

(1977, 1980), 平ほか(1980), 木村(1985), Thein *et al.* (1991), 山崎・須鎗(1990)などによると, 宿毛層は中部始新統-下部中新統, 弘見層は中-上部始新統, 来栖野層は中部始新統-漸新統, 清水層は漸新統-下部中新統である。清水層は前期中新世後期から中期中新世にかけての浅海成層である三崎層によって不整合に覆われている(木村, 1985)。構造的には四万十帯北帯に属する宿毛層は九州の北川亜層群に, 塩基性火山岩を含む南帯北縁部の弘見層は神門層にそれぞれ対応する。

四国東部(第5図)では, 公文(1981)の日野谷層と赤松層北半部が佐伯亜層群に, 赤松層南半部, 谷山層, 日和佐層および牟岐層が蒲江亜層群にはいる(寺岡・奥村, 1992)。公文(1981), Kumon(1983), 君波ほか(1998), 石田(1998)などの微化石研究によれば, 佐伯亜層群はアプチアン-サントニアン, 蒲江亜層群はチューロニアン-下部マーストリヒチアンとみなされる。上部四万十層群は平ほか(1980)の始新統-下部漸新統室戸半島層群と上部漸新統-下部中新統菜生層群からなる。室戸半島層群の年代については山崎ほか(1987), 石田(1998)が再検討し, その下限が後期暁新世まで下ることを明らかにしている。

紀伊半島の四万十層群については数多くの研究があり, 鈴木ほか(1987), Kumon *et al.* (1988), 栗本ほか(1998)などによくまとめられている。これらによると, 下部四万十層群にあたる日高川層群はアルビアン-チュ



第5図 四国東部の四万十帯地質図。
Fig. 5 Geologic map of the Shimanto Terrane in east Shikoku.

一ロニアン-湯川層, チューロニアン-サントニアン-の寺杣層・美川層, コニアシアン-カンパニアン-の花園層およびカンパニアン-マーストリヒチアン-の竜神層・丹生ノ川層からなる。寺杣層はしばしば大型化石を産出し、層相・年代とも四国西部の宇和島-広見地塊の上部白亜系に似ている。本論文では同層と湯川層が佐伯亜層群に、その他の4層が蒲江亜層群にはいるものとする。第三系の上部四万十層群は音無川層群と牟婁層群とに分けられ、前者は上部暁新統-下部始新統、後者は中部始新統-下部中新統とされている。

赤石山地の四万十累層群に関してはKano and Matsushima (1988) の総括的論文があり、その後年代については村松 (1998) によって再検討されている。これらによると、四万十帯北帯には上部アルビアン-下部チューロニアン赤石層群, 上部アルビアン-下部マーストリヒチアン白根層群, 中部カンパニアン-下部マーストリヒチアン寸又川層群およびマーストリヒチアン-暁新統犬居層群が北から順次帯状に分布している。本論文では上記の各層群を(累)層として扱い、寺岡ほか (1996) にしたがって、赤石・白根両層は佐伯亜層群に、寸又川・犬居両層は蒲江亜層群に属するものとする。上部四万十層群にあたる南帯の第三系は三倉・瀬戸川・大井川の3層群からなり、年代的には始新世から中新世に及ぶとされている。

3. 砂岩モード組成

これまで四万十累層群の砂岩モード組成については多くの研究がなされている。主なものとして、九州に関しては寺岡ほか (1974, 1990, 1995), 岡田 (1977), 寺岡 (1977 b, 1979), 今井ほか (1979, 1982), 奥村ほ

第1表 四万十累層群砂岩の平均モード組成。

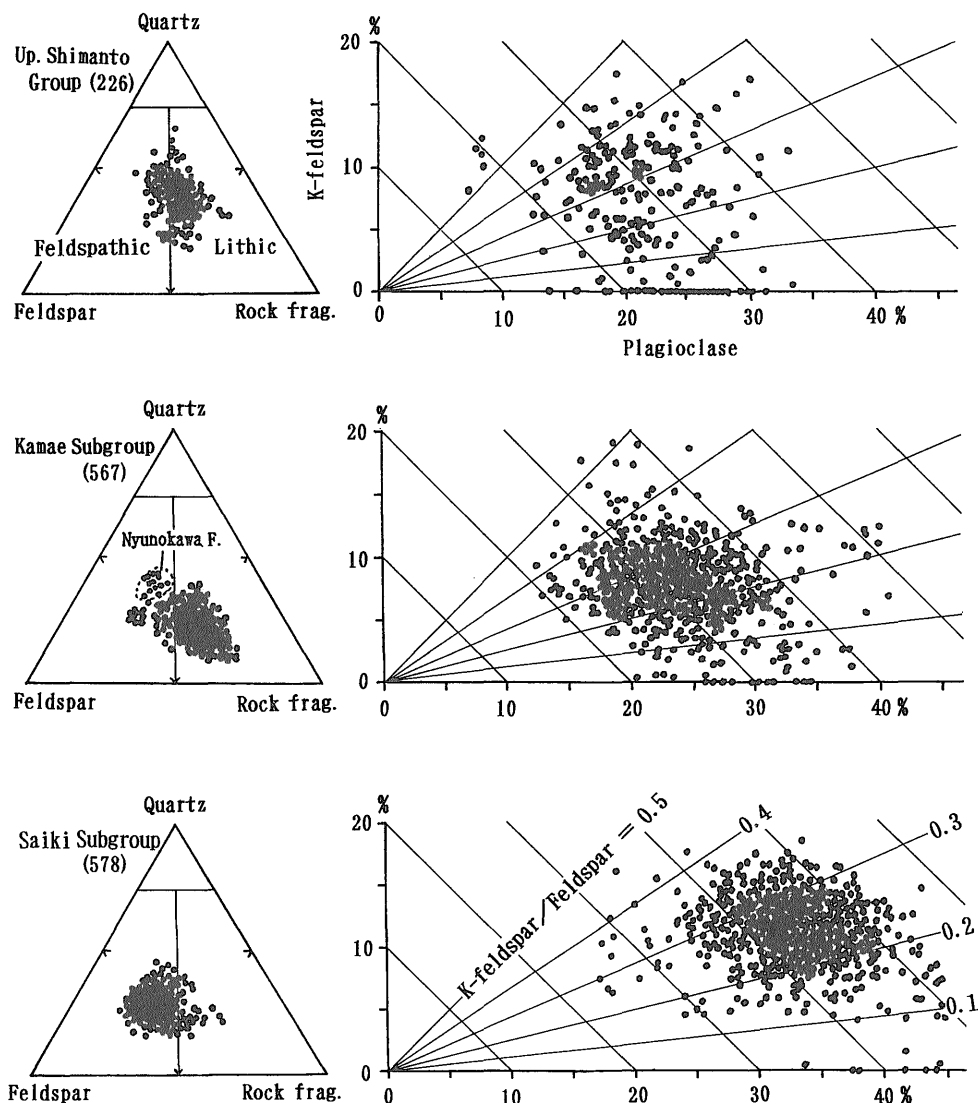
Table 1 Average modal compositions of sandstones from the Shimanto Supergroup. Q: quartz, K: K-feldspar, P: plagioclase, F: feldspar, R: rock fragments, σ : standard deviation. Numerals in parentheses indicate number of examined samples in Table 1, and Figs. 6 to 8, 10, 11, and 27.

Stratigraphic unit	Matrix	Framework grain					
		Q	K	P	F	R	
Upper Shimanto Group (226)	19.7% $\sigma=3.6$	38.0 7.6	5.9 5.2	22.4 4.2	28.3 5.8	33.7 7.0	
Lower Shimanto G.	Kamae Subg. (567)	19.2 2.5	23.3 5.5	7.8 3.1	24.0 5.3	31.8 5.4	44.9 7.5
		Saiki Subg. (578)	19.0 2.9	28.2 4.7	11.1 3.0	32.4 4.9	43.5 5.2

か (1985), Ishihara *et al.* (1986), 木村ほか (1991), 寺岡・奥村 (1992), 斎藤ほか (1994, 1996), 四国西部では寺岡 (1977 b, 1979), 田中 (1980), 寺岡ほか (1986), 鹿島 (1991), 寺岡・奥村 (1992), 四国東部では公文・井内 (1976), 公文 (1981), Kumon (1983), 寺岡・奥村 (1992), 紀伊半島ではTokuoka (1967), 鈴木ほか (1979), 立石ほか (1979), 徳岡ほか (1981), 紀州四万十団研グループ (1983, 1986, 1991), Kumon (1983), 寺岡・奥村 (1992) など、赤石山地の場合は徳岡・公文 (1979), 公文・川端 (1986), 寺岡・奥村 (1992), 寺岡ほか (1996) があげられる。

これらの研究によって、四万十累層群の砂岩モード組成は時代によって異なり、また地域によっても違いのあることがわかってきた。以下ではそのことについて述べるが、モード分析にはかなりの個人差があり、量的な比較をする際にはできるだけ同一測定者のデータを用いるのが望ましい。そこで本論文では、寺岡による分析値(公表, 未公表を含め総数1,630個, これらのうち日南亜層群と九州西部の下部四万十層群のものを除く1,371個を図示)を中心に議論を進める。なお、分析はカリ長石を染色した薄片を用い、ポイントカウント法(各薄片につき1,000-1,300ポイント)によるものである。花崗岩のような粗粒完晶質火成岩の岩片の場合は個々の鉱物にばらしてカウントしてある。各鉱物や岩片の含有量はフレームワークグレイン全体に対して占めるそれぞれの百分率で示す。そして砂岩の分類はOkada (1971) にしたがう。

分析試料は数10cm以上の厚さをもつ砂岩単層の塊状部分から採取されており、下部四万十層群の試料は主として中粒砂岩, 上部四万十層群のものには細粒砂岩が多い。基質量からすればこれらの砂岩はワッケ、一部アレナイトであり、後者の比率は下部四万十層群よりも上部四万十層群のほうが高い。砂岩の平均基質量は下部四万十層群で19.1%, 上部四万十層群では19.7%である。基質は砂岩が細粒化するにつれ増える傾向があり、同じような粒度のものを比較してみると、上部四万十層群砂岩

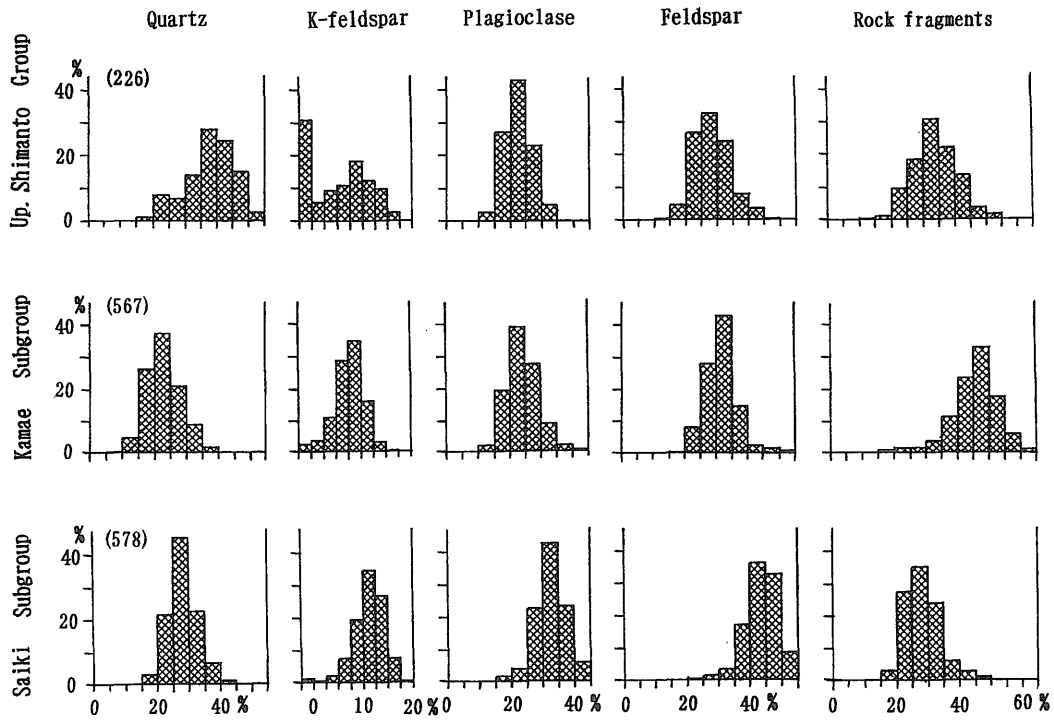


第6図 四万十累層群砂岩の石英-長石-岩片図とカリ長石-斜長石図。
 Fig. 6 Quartz-feldspar-rock fragments and K-feldspar vs plagioclase diagrams for sandstones from the Shimanto Supergroup.

のほうが概して基質が少ない。

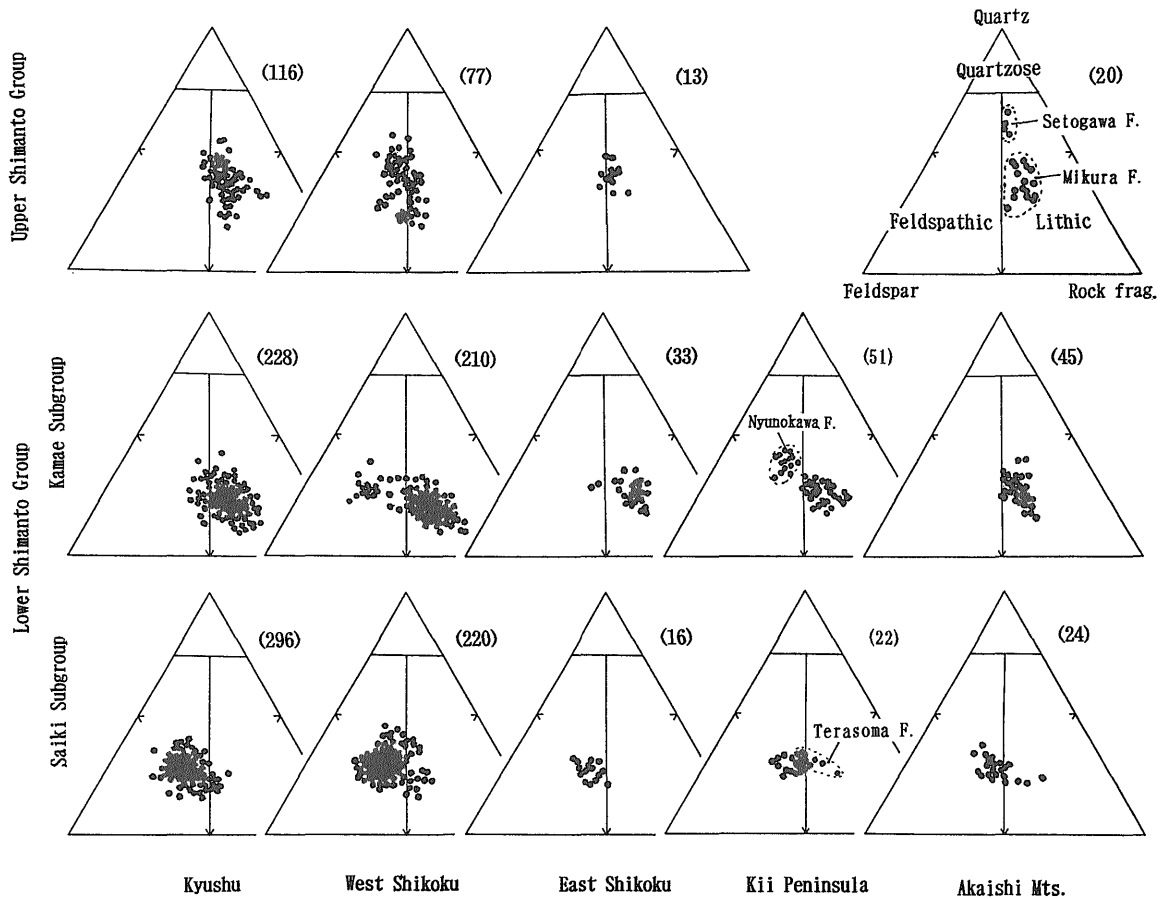
砂岩中の碎屑粒子は主として石英，カリ長石，斜長石および岩片からなり，ごく少量の重鉱物を伴う。石英の大部分は単結晶のものである。カリ長石としては正長石が最も多く，微斜長石とパーサイトがこれに次ぐ。一般にカリ長石は斜長石よりも少ない。斜長石は曹長石化し，部分的ながら絹雲母・緑泥石・方解石などの二次鉱物を生じているのが普通であり，累帯構造はごくまれである。一部の例外を除くと，岩片の大部分は酸-中性火山岩からなり，その他には細粒花崗岩類・石英斑岩・ひん岩・玄武岩・チャート・砂岩・泥岩・千枚岩・結晶片岩・片麻岩・ホルンフェルスなどの岩片がみられる。主な重鉱物としては，ジルコン・電気石・ザクロ石・燐灰石・スフェーン・緑れん石・褐れん石・黒雲母・白雲母・角閃石・輝石・不透明鉱物などがはいっている。

四万十累層群のなかで最も顕著で，かつ広域的な砂岩組成の変化は佐伯亜層群，蒲江亜層群および上部四万十層群の3者間に認められる。第6，7図や第1表に示すように，佐伯亜層群では長石質砂岩，蒲江亜層群では石質砂岩が卓越し，上部四万十層群においては比較的石英の多い石質-長石質砂岩が発達する。佐伯亜層群の砂岩は長石に富み，各主要成分の含有量を平均値±標準偏差×2で示すと（以下同様），基質13-25%，石英19-38%，カリ長石5-17%，斜長石23-42%，長石33-54%，岩片17-40%で，岩片/長石比とカリ長石/長石比の平均はそれぞれ0.65と0.26になる。これに対し蒲江亜層群の砂岩は岩片を多く含むのが特徴で，基質14-24%，石英22-34%，カリ長石2-14%，斜長石13-35%，長石21-43%，岩片30-60%の組成を示し，岩片/長石比の平均が1.41になる。カリ長石/長石比には地域差があり，亜層群全体



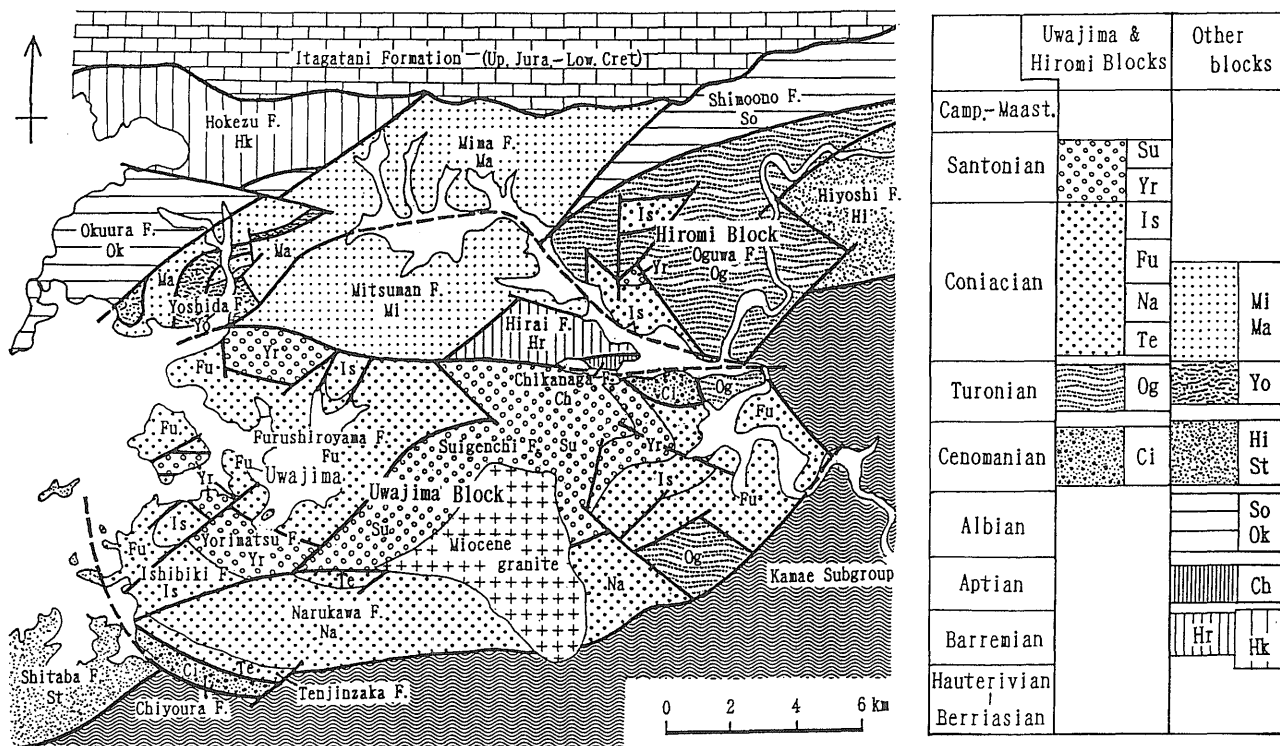
第7図 四万十累層群砂岩のモード組成を示すヒストグラム。

Fig. 7 Histograms showing modal compositions of sandstones from the Shimanto Supergroup.

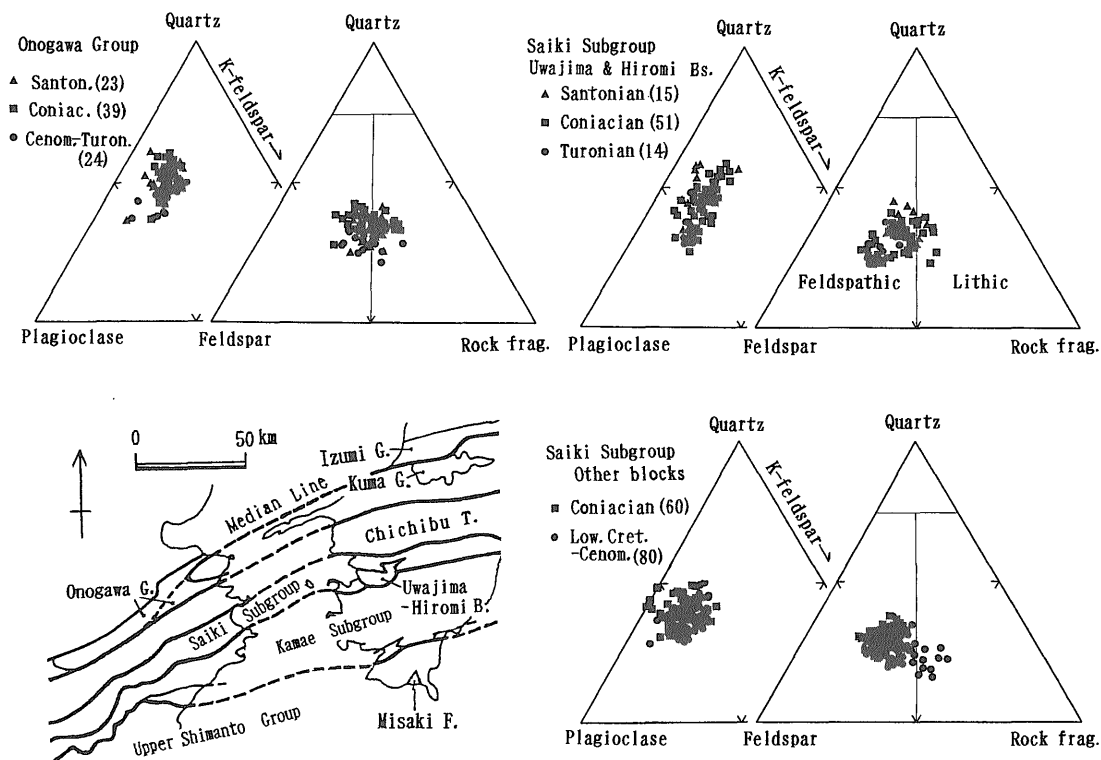


第8図 九州、四国西部、四国東部、紀伊半島および赤石山地の四万十累層群砂岩の石英-長石-岩片図。

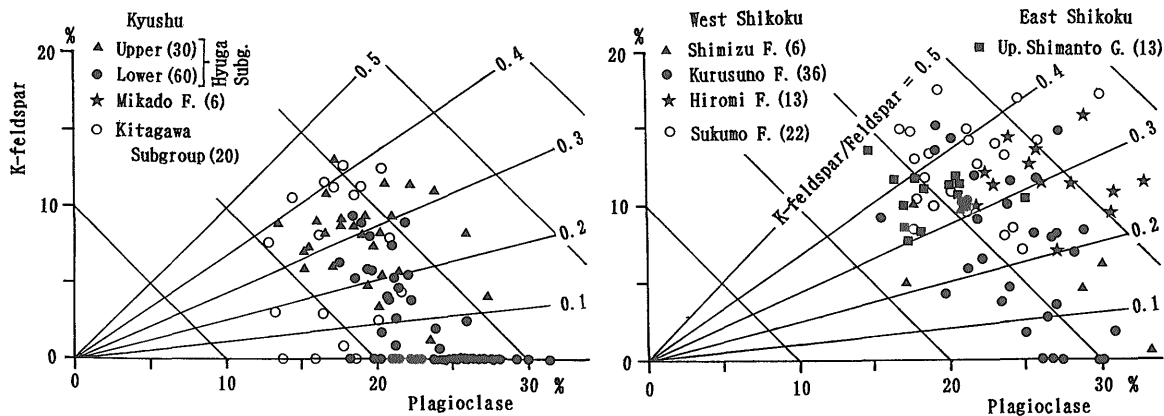
Fig. 8 Quartz-feldspar-rock fragments diagrams for sandstones from the Shimanto Supergroup in Kyushu, west Shikoku, east Shikoku, the Kii Peninsula, and the Akaishi Mountains.



第9図 四国西部宇和島地域の四万十帯地質図。
 Fig. 9 Geologic map of the Shimanto Terrane in the Uwajima area, west Shikoku.



第10図 宇和島地域の佐伯亜層群砂岩と西南日本中軸帯の大野川層群砂岩の石英-長石-岩片図および石英-斜長石-カリ長石図。
 Fig. 10 Quartz-feldspar-rock fragments and quartz-plagioclase-K-feldspar diagrams for sandstones from the Saiki Subgroup in the Uwajima area and the Onogawa Group in the Median Zone of Southwest Japan.



第11図 九州，四国西部および四国東部の上部四万十層群砂岩のカリ長石-斜長石図。

Fig. 11 K-feldspar vs plagioclase diagrams for sandstones from the Upper Shimanto Group in Kyushu, west Shikoku, and east Shikoku.

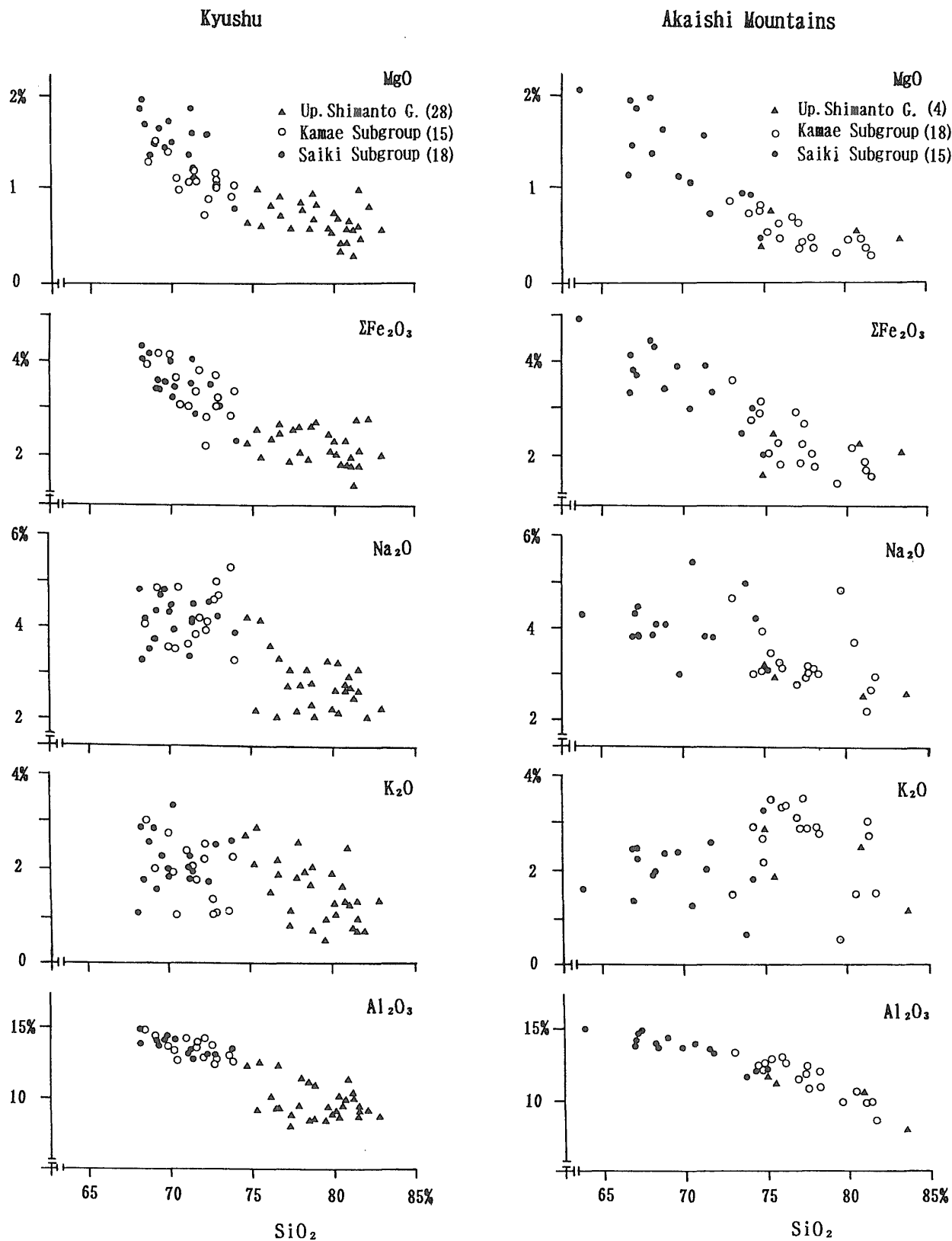
としての平均は0.25である。上部四万十層群の砂岩は蒲江亜層群のものより概して粒度が細かく、著しく石英に富んでおり、岩片に乏しい。長石量に関しては両者間にあまり差はないが、上部四万十層群ではカリ長石量の変動が大きく、その頻度分布はバイモーダルである。カリ長石を除く各主要成分の含有量を示すと、基質13-27%、石英23-53%、斜長石14-31%、長石17-40%、岩片20-48%である。

第8, 10, 11図に示すように、亜層群や層群のなかでも層準や場所によって砂岩組成が異なる。九州では佐伯・蒲江両亜層群の砂岩とも上述のような特徴をもっており、これらのカリ長石/長石比の平均はそれぞれ0.26と0.21である。上部四万十層群の砂岩にはかなり普遍的に碎屑性の白雲母片がはいっており、日向亜層群ではその量がときに2%を超える。また、カリ長石/長石比の変動が大きく、神門層、日向亜層群下部および日南亜層群下部(斎藤ほか, 1994の秦野ユニット)ではカリ長石を欠くのが普通で、あったとしても少ない。

四国西部の佐伯亜層群は宇和島-広見地塊と他の地塊とで層相を異にする。第9図に宇和島地域の地質図を示してあるが、これは寺岡ほか(1986, 1994)の地質図を簡略化し、山崎・鶴田(1996)の放散虫化石研究をもとに、宇和島地塊北東部にもセノマニアン千代浦層が分布するように修正したものである。宇和島-広見地塊の佐伯亜層群は、四万十帯白亜系としては例外的にイノセラマス・アンモナイト・ウニなどの大型化石を多産し、しばしば礫岩・粗粒砂岩・シルト岩を挟んでおり、層相の側方変化が著しい。これに対し他の地塊では大型化石の産出がごく稀で、岩相が比較的細かく、ときに赤色泥岩・石灰岩・チャートなどの層状またはレンズ状の岩体を含んでいる。いずれの地塊でも砂岩の大部分は長石質である。しかし、宇和島-広見地塊の場合は佐伯亜層群で普通にみられる長石質砂岩と、それよりやや長石に乏

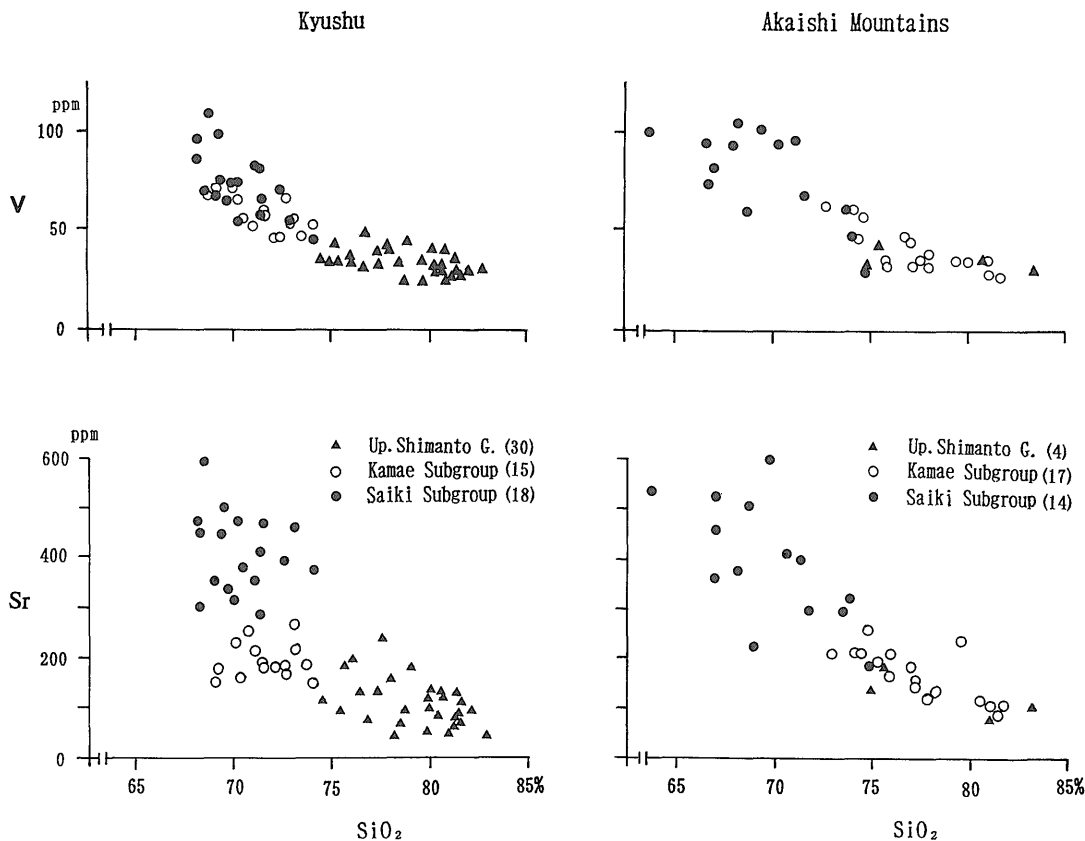
しく、石英に富むものがあり、量的には後者の比率がはるかに高い(第10図)。このタイプの砂岩は岩片として火山岩以外の火成岩・堆積岩・変成岩をかなり含んでおり、西南日本中軸帯の上部白亜系大野川層群の砂岩によく似た組成をもっている(寺岡ほか, 1986)。なお、宇和島-広見地塊の佐伯亜層群と大野川層群は年代範囲がほとんど同じで、大型化石についても共通性が高い。一方、蒲江亜層群ではその下部に長石質砂岩と石質砂岩がほぼ1:2の割合ではいっており、中-上部では砂岩のほとんどが石質である。四国西部では佐伯・蒲江両亜層群の砂岩とも平均0.24のカリ長石/長石比を示す。上部四万十層群についてみると、宿毛・弘見両層の砂岩は、来栖野・清水両層のものにくらべ、概して石英に乏しく、岩片に富んでおり、カリ長石/長石比が大きい傾向がある(第11図)。各層の砂岩とも白雲母片を含んでいるが、九州のものより少なく、ときにそれを欠くこともある。四国西部では九州におけるよりも全般的に上部四万十層群砂岩中の長石量が多く、この点では四国東部や紀伊半島の場合と似ている。

四国東部では佐伯亜層群と蒲江亜層群の砂岩組成の違いが明瞭であり、佐伯亜層群の寺杉層と蒲江亜層群の丹生ノ川層を除くと(第1, 8図)、紀伊半島においても同様である。寺杉層の砂岩は長石質-石質で、層序的上位に向かって岩片が増えていく。丹生ノ川層砂岩の平均組成は、基質16.6(標準偏差1.6)%, 石英39.0(3.3)%, カリ長石15.6(2.7)%, 斜長石21.1(2.6)%, 長石36.8(2.9)%, 岩片24.3(2.8)%であり、蒲江亜層群の砂岩としては異常に石英が多く、岩片の少ないもので、カリ長石/長石比は0.42と高い。丹生ノ川層を除く蒲江亜層群の砂岩のカリ長石/長石比は平均0.31、佐伯亜層群のものは0.26であり、これらの値は四国東部の場合と同じである。四国東部の上部四万十層群砂岩は、石英-長石-岩片図でみるかぎり、来栖野・清水両層のものとはほとんど



第12図 九州および赤石山地の四万十累層群砂岩のハーカー図。

Fig. 12 Harker diagrams for sandstones from the Shimanto Supergroup in Kyushu and the Akaishi Mountains (Teraoka *et al.*, 1995, 1996). Numerals in parentheses indicate number of analyses in Figs.12 to 16.



第13図 九州および赤石山地の四万十累層群砂岩のSr - SiO₂図とV - SiO₂図。

Fig. 13 Sr vs SiO₂ and V vs SiO₂ diagrams for sandstones from the Shimanto Supergroup in Kyushu and the Akaishi Mountains.

変わらないが、後者よりもカリ長石/長石比が高く(第11図)、白雲母片はごくまれである。Tokuoka (1967), Kumon (1983)をはじめ前述したこれまでの研究によれば、紀伊半島の上部四万十層群砂岩も著しく石英に富み、カリ長石を多く含んでおり、カリ長石/長石比の平均は0.38になる。

赤石山地では佐伯亜層群の赤石層砂岩が長石質、白根層のものは長石質-石質であり、蒲江亜層群になるとほとんど石質砂岩ばかりになる。砂岩組成の層序的变化は漸移的で、上位に向かって次第に石英や岩片が増え、長石が減少し、カリ長石/長石比が大きくなっていく。この傾向は上部四万十層群の三倉層(層群)まで続き、瀬戸川層(層群)になると石英が急増する。カリ長石/長石比の平均は、佐伯亜層群0.23、蒲江亜層群-三倉層0.31であり、瀬戸川層では0.5を超える。

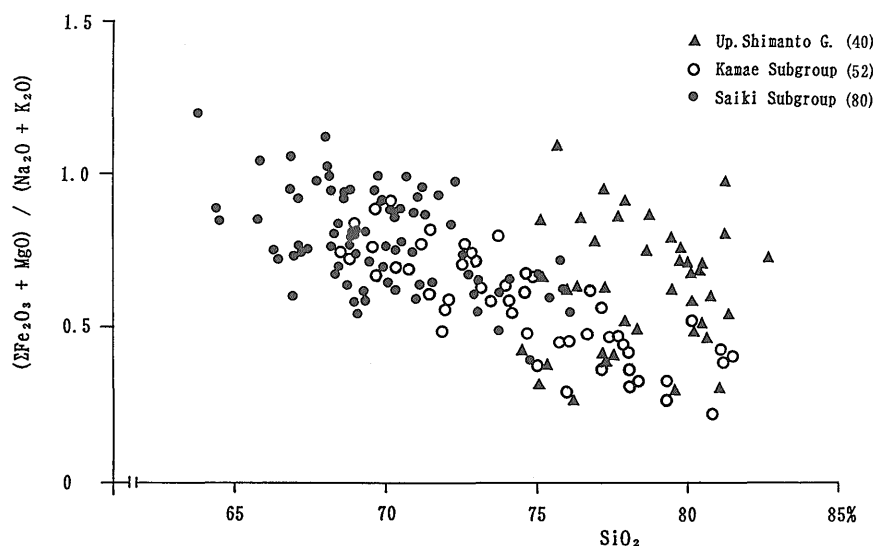
砂岩中の火山岩片についてみると、佐伯亜層群では中性のものが多く、蒲江亜層群になると酸性火山岩片が卓越し、上部四万十層群では酸性のものが大部分を占める。各地層群における酸性と中性の火山岩片の量比は地区によって異なり、大局的には西から東に向かって酸性火山岩片の比率が高くなる傾向がある。このような地域的変

化は蒲江亜層群と上部四万十層群で顕著である。

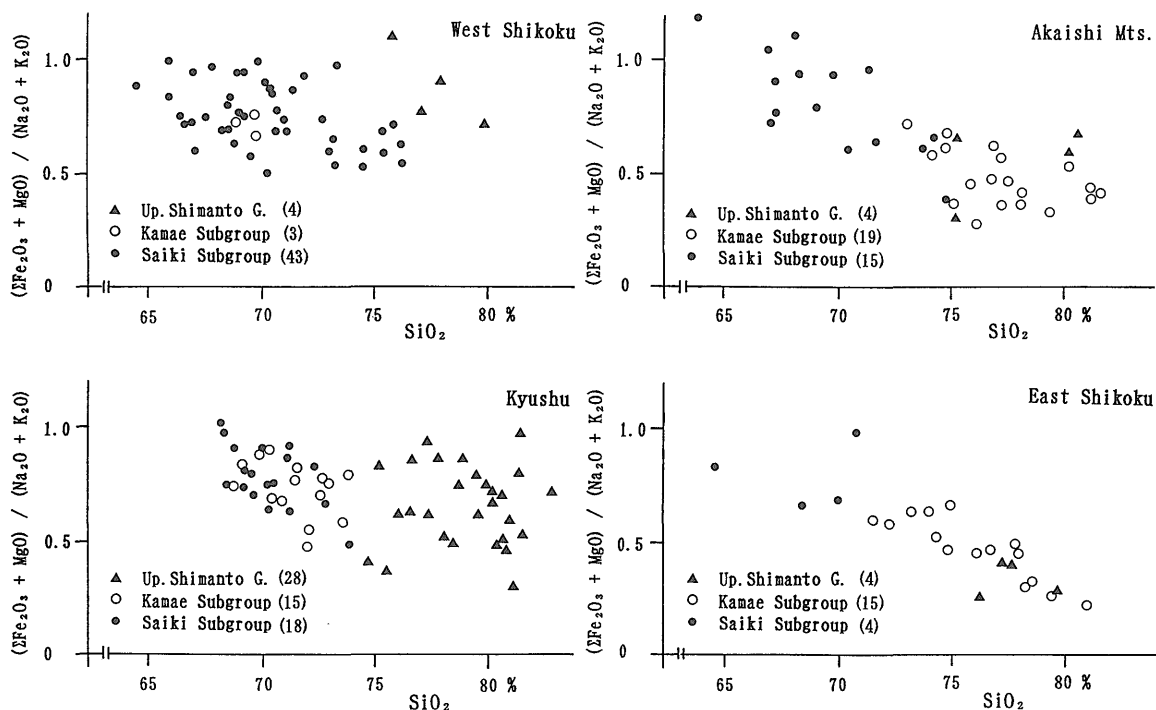
4. 砂岩化学組成

四万十累層群砂岩の化学組成については、片田・寺岡(1981), Ishihara *et al.* (1985, 1986), 鹿島(1991), 君波ほか(1992, 1998), 寺岡ほか(1995, 1996), 石濱・君波(1998), Roser(1998), 公文・龍野(1998)などの報告がある。本論文の化学組成に関する図は下記のデータをもとにしている。すなわち、九州と赤石山地関係の分析値は寺岡ほか(1995, 1996), 四国西部のものは8個がIshihara *et al.* (1985), 9個が鹿島(1991), その他は寺岡・奥村(未公表)による。四国東部の場合は石濱・君波(1998)と君波ほか(1998)に多数の分析値が図示されている。しかしながらそれらにはNa₂O値が示されていないので、総合研究A「変動帯の砂岩-日本列島を例として-」(代表者 君波和雄)における分析結果を使った。赤石山地の上部四万十層群砂岩の分析値は三倉層のものであり、この砂岩は蒲江亜層群の砂岩に似た組成を示す。

九州および赤石山地における四万十累層群砂岩の酸化



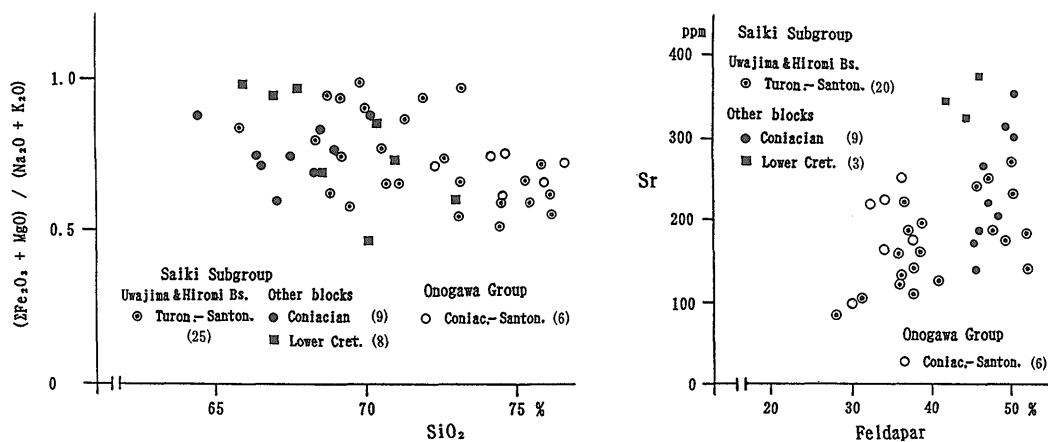
第14図 四万十累層群砂岩の $(\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ 図。
 Fig. 14 $(\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ vs SiO_2 diagram for sandstones from the Shimanto Supergroup.



第15図 九州, 四国西部, 四国東部および赤石山地の四万十累層群砂岩の $(\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ 図。
 Fig. 15 $(\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ vs SiO_2 diagrams for sandstones from the Shimanto Supergroup in Kyushu, west Shikoku, east Shikoku, and the Akaishi Mountains.

物についてみると, 大局的には時代とともに SiO_2 が増え, Al_2O_3 , Na_2O , $\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3$ および MgO が減っている(第12図), CaO , MnO , TiO_2 , P_2O_5 も少なくなっている(寺岡ほか, 1995, 1996). これと同じような傾向(Na_2O , CaO , MnO については不明)は四国東部においても認められる(君波ほか, 1998). SiO_2 と K_2O の関係は地域によって異なり, 不明瞭ながら九州では負の相関, 四国東部と赤石山地では正の相関を示している. な

お, 君波ほか(1998)の成瀬・古屋・日野谷・オソ谷の下位4層は佐伯亜層群に, 谷山・日和佐・牟岐の上位3層は蒲江亜層群にはいる. SiO_2 についてみると, 九州と四国西部では75%内外の値を境として下部四万十層群砂岩と上部四万十層群砂岩は画然と分かれ, 佐伯・蒲江の2亜層群間には有為の差がない. 佐伯亜層群と上部四万十層群の砂岩は比較的 SiO_2 量の地域的変化に乏しい. これに対し蒲江亜層群の場合はそれが東方に向かっ



第16図 宇和島地域の佐伯亜層群砂岩と大野川層群砂岩の $(\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ 図および Sr - 長石図。
 Fig. 16 $(\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ vs SiO_2 and Sr vs feldspar diagrams for sandstones from the Saiki Subgroup in the Uwajima area and the Onogawa Group.

て増加し、四国東部や赤石山地では、佐伯亜層群砂岩と蒲江亜層群砂岩が SiO_2 量によってかなりきれいに分かれ、この成分に関する限り後者と上部四万十層群砂岩は区別できなくなる。

微量元素についてみると、九州や赤石山地では Sr, V, Zn, Zr が SiO_2 と負の相関を示し、時代とともに減少している (寺岡ほか, 1995, 1996)。この傾向が顕著なのは Sr と V であり (第13図), Sr の量は主として長石量に支配され、また緑れん石, スフェーン, 方解石など Ca を含む鉱物にも関係あると考えられる。石濱・君波 (1998) によれば、四国東部では Sr, V, Cr が SiO_2 と逆相関し、これらの含有量は佐伯亜層群と蒲江亜層群で明瞭に異なっている。赤石山地では Cr が佐伯亜層群から蒲江亜層群にかけ増えていくのに対し、九州の場合は蒲江亜層群砂岩で最も少なく、佐伯亜層群と上部四万十層群の砂岩にはほぼ同程度含まれている。

上述のような化学組成の時代的・地域的変化は碎屑物源岩の違いを反映したものであることは確かであるが、それだけでは説明つかない点もある。君波ほか (1992, 1998) は砂岩の構成物質を供給した火山弧の発達程度やタイプを判別する $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2 - \text{B.I.}$ (Basicity Index) 図を提案し、B.I.として $(\Sigma \text{FeO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ を用いている。これら化学成分のうちでは SiO_2 の量が格段に多く、その変動によって $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$ や B.I. は大きく支配される。砂岩の化学組成は同じ起源物質からなっても粒度によって異なり (Roser, 1996; 公文・龍野, 1998), また砂岩の成熟度によっても違ってくる考えられる。成熟度が高くなっていくと安定な石英の比率が大きくなって SiO_2 が増え、上記の判別図では塩基性度が低下することになる。もちろん、石英以外の鉱物や岩片も種類によって風化・運搬過程での安定度が異なるので、必ずしも源岩の塩基性度そのものをあらわすこと

にはならないが、ここでは $(\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ と SiO_2 を指標とする図を示すことにする。

第14図から分かるように、下部四万十層群の砂岩では SiO_2 が増えると $(\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ が小さくなり、佐伯亜層群から蒲江亜層群にかけ塩基性度の低下傾向が認められる。一方、上部四万十層群砂岩の場合は、下部四万十層群砂岩のトレンドからはずれ、 SiO_2 のわりには $(\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ の大きいものが多い。これは砂岩の成熟度の違いによると考えられる。すなわち、上部四万十層群の砂岩は、下部四万十層群のものに比べ、概して淘汰良好で石英に富み、粒度のわりに基質が少なく、成熟度が高いので、源岩より SiO_2 がかなり多くなっているためだろう。そうすると、九州や四国西部では四万十累層群全体を通じ、源岩の塩基性度にはあまり大きな時代的变化がなかったとみなされる (第15図)。これに対し四国東部や赤石山地では源岩の塩基性度が時代とともに低下し、佐伯・蒲江両亜層群間に明瞭な違いが認められる。このことは火山岩片やカリ長石/長石比の変化とうまく対応する。

四国西部の佐伯亜層群砂岩にはかなり SiO_2 の多いものがある (第15図)。これは西南日本中軸帯の大野川層群砂岩によく似たモード組成をもつもので、宇和島-広見地塊に発達している。この地塊において大野川層群タイプの砂岩と佐伯亜層群に普通に見られる長石質砂岩が共存していることは $(\Sigma \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ 図や Sr - 長石図からも読みとれる (第16図)。

5. 碎屑性ザクロ石

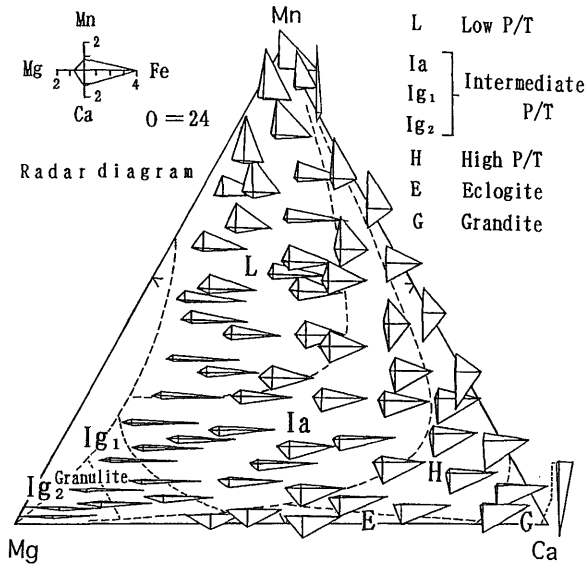
堆積物の供給源を推定するうえで碎屑性ザクロ石は重要な手掛りとなるため、この組成については日本各地で数多くの研究がなされている。しかし、四万十累層群

の場合はまだごく少なく、本格的なものとしては紀伊半島と奄美大島での竹内(1986, 1992)の研究があるだけである。その他には赤石山地、四国西部および九州-赤石山地からのものについて、寺岡ほか(1996)、川上

(1997) および寺岡ほか(1998)がそれぞれ予察的な報告をしているにすぎない。

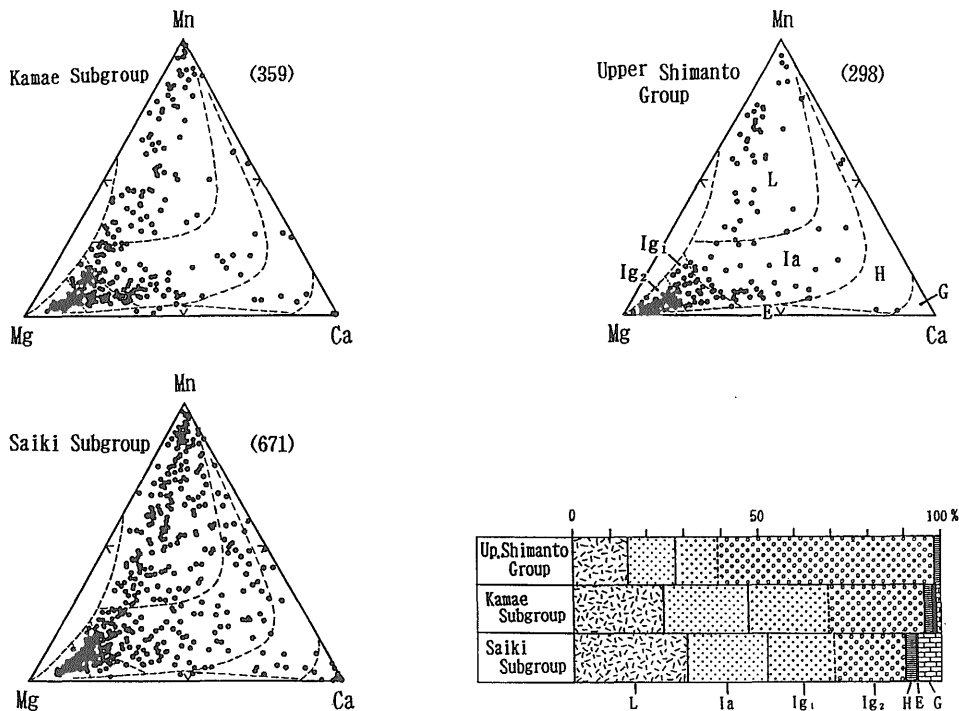
ここでは四万十累層群の砂岩77試料から分離した碎屑性ザクロ石1,328粒と四国西部の三宝山帯上部ジュラ系-下部白亜系の板ヶ谷層砂岩4試料からの84粒および四万十帯南帯中新統の三崎層砂岩1試料からの28粒、計1,440粒の化学分析結果について述べる。砂岩試料のうち2個は赤石山地 遠山川流域の佐伯亜層群からのものであり、その他の産地は第2-5図に、分析したザクロ石粒の層序的・地域的内訳は第18-26図に示してある。なお、後で九州や 四国西部の秩父帯ジュラ系-下部白亜系からの碎屑性ザクロ石(板ヶ谷層のものも含め21試料, 分析粒子数328)にも言及する。

ザクロ石の組成表示とタイプ分けは寺岡ほか(1997, 1998)にしたがう。それらの要点は第17図に示してあるが、Mn, Mg, Ca, Feの各イオン数を表わすレーダーダイアグラムとMn-Mg-Ca図を組み合わせることによって個々のザクロ石粒子の特徴を容易につかむことができる。ザクロ石の分類は種々の変成岩・火成岩中のザクロ石の組成を検討して行われている。第17図に示す各タイプとそれらが含まれる岩石についてみると、低P/T型(L)、中P/T型(Ia-Ig)、高P/T型(H)、エクロジャイト型(E)およびグランダイト(G)は、それぞれ低P/T変成岩、中P/T変成岩(Iaは角閃岩相以下、Igはグラニュライト相)、高P/T変成岩、エクロジャイト および石灰質岩起源の変成岩(ロジンジャイトも含む)に対応す



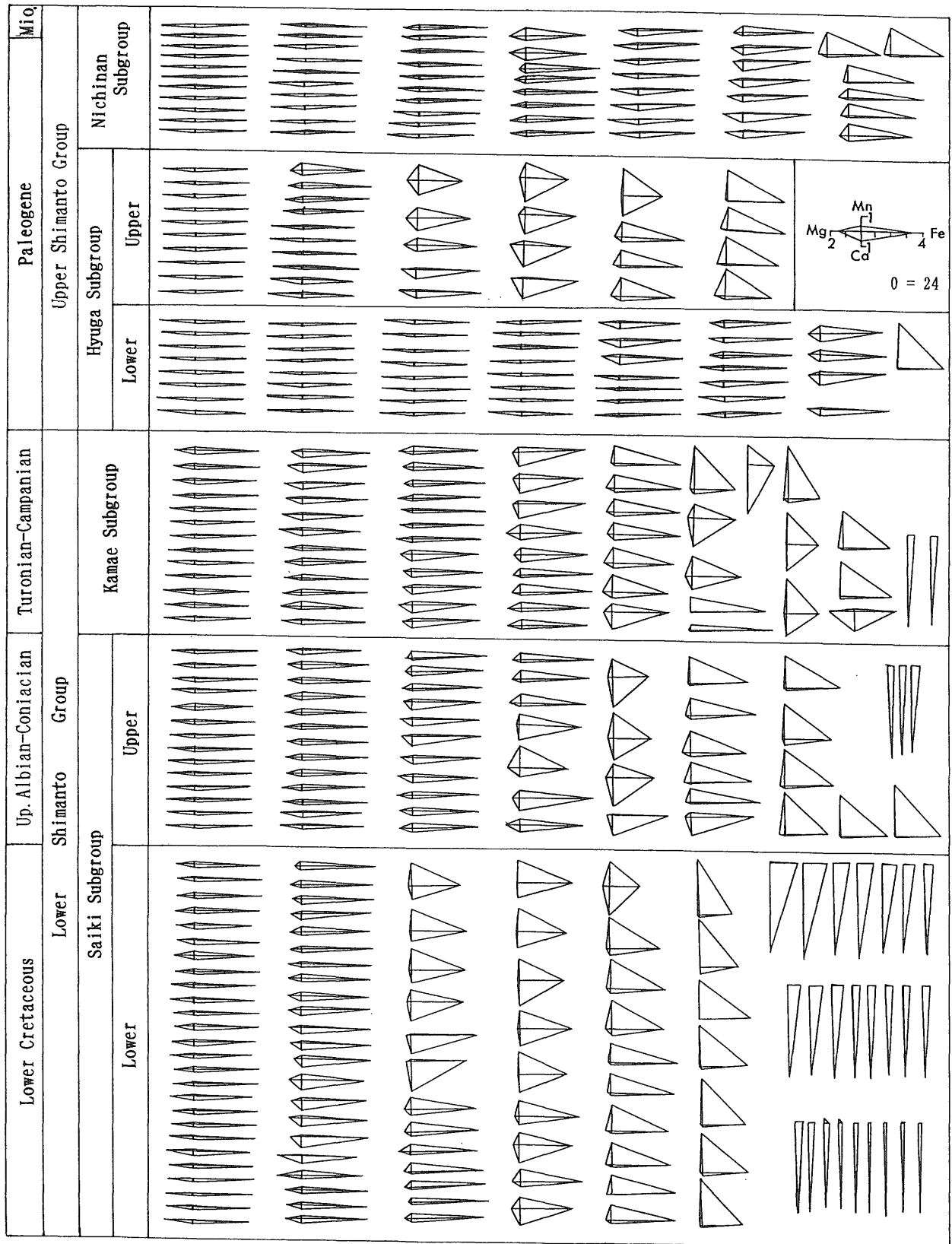
第17図 ザクロ石のタイプ分けを示すMn-Mg-Ca図とレーダーダイアグラム。

Fig. 17 Mn-Mg-Ca and radar diagrams showing classification of garnet (based on Teraoka *et al.*, 1998). Abbreviations L, Ia, Ig₁, Ig₂, H, E, and G are common in Figs.17, 18, 24 to 26, 28, and 30.

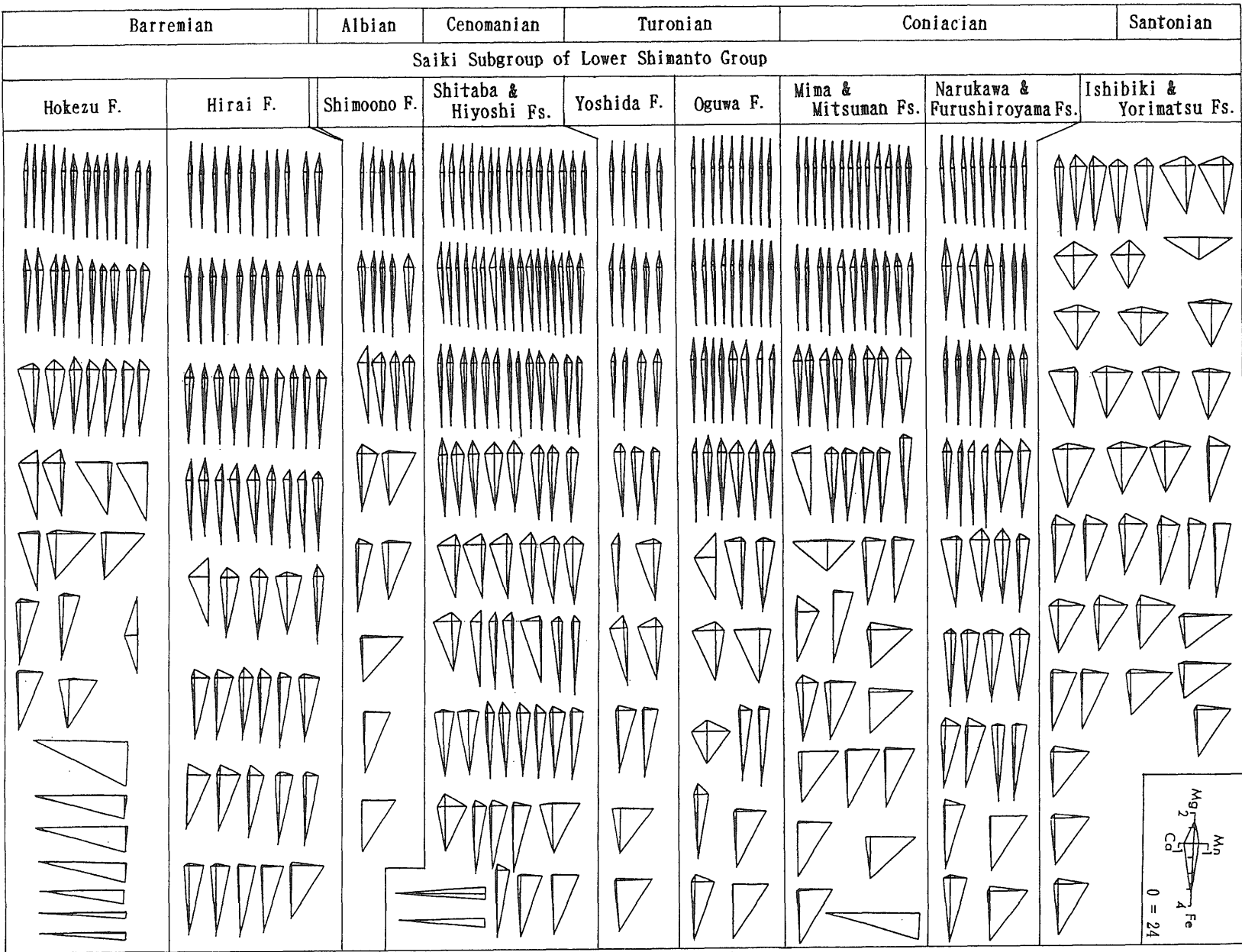


第18図 四万十累層群に含まれる碎屑性ザクロ石。

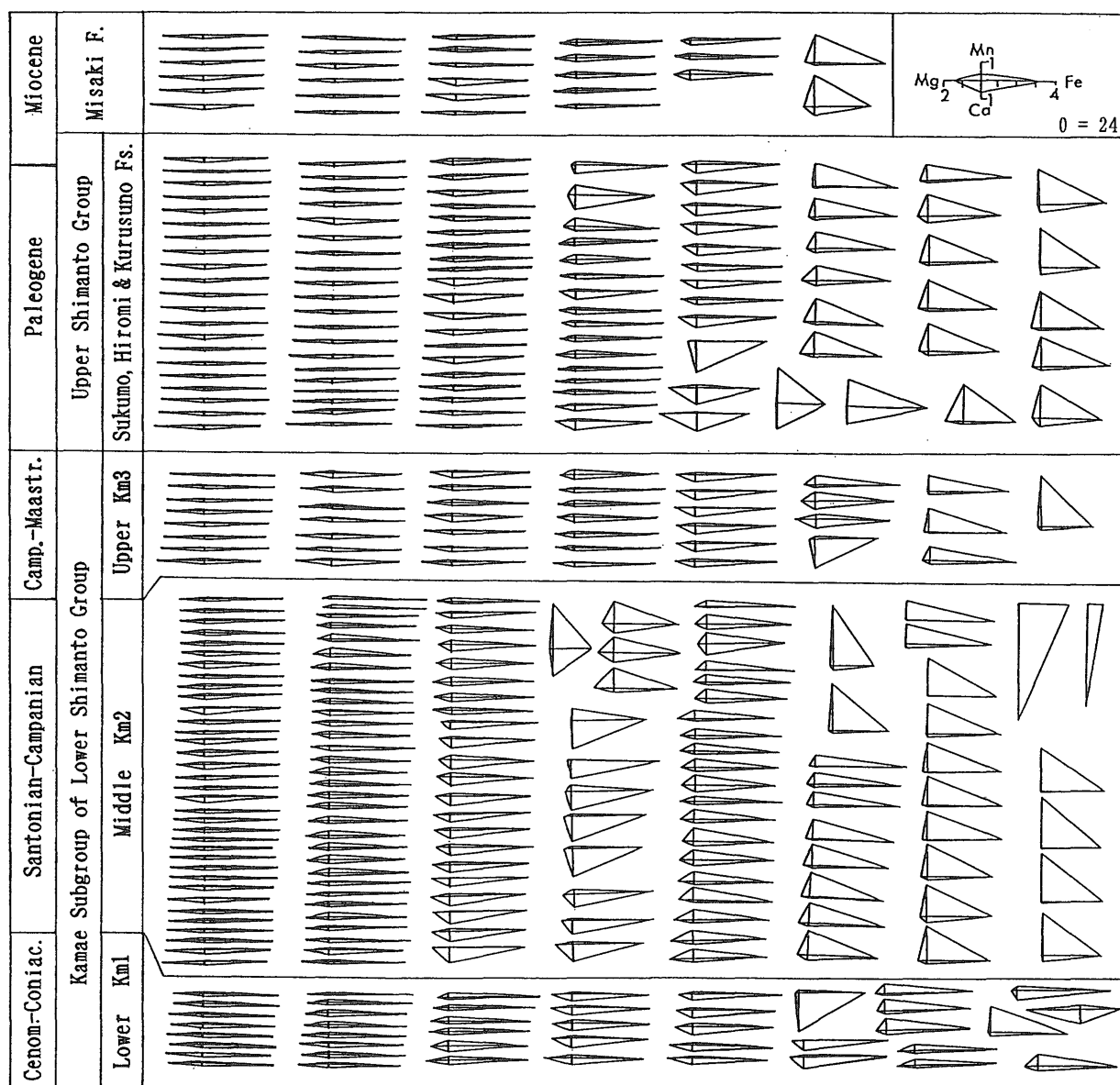
Fig. 18 Detrital garnets from the Shimanto Supergroup. Numerals in parentheses indicate number of analysed garnet grains in Figs.18, 22, 24 to 26, 28, and 30.



第19図 九州の四万十累層群に含まれる碎屑性ザクロ石のレーダーダイアグラム。
 Fig. 19 Radar diagrams for detrital garnets from the Shimanto Supergroup in Kyushu.



第20図 四国西部の佐伯亜層群に含まれる碎屑性ザクロ石のレーダーダイアグラム。
Fig. 20 Radar diagrams for detrital garnets from the Saiki Subgroup in west Shikoku.



第21図 四国西部の蒲江亜層群, 上部四万十層群および三崎層に含まれる碎屑性ザクロ石のレーダーダイアグラム。

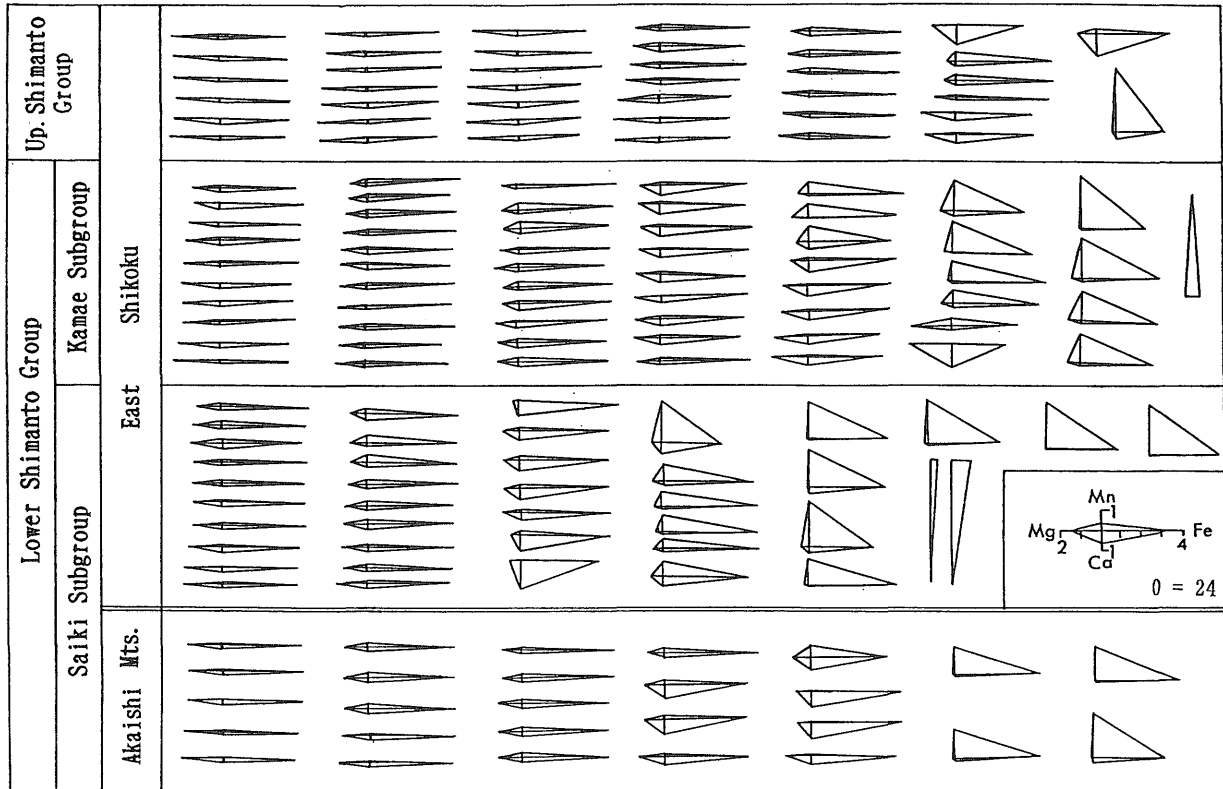
Fig. 21 Radar diagrams for detrital garnets from the Kamae Subgroup, the Upper Shimanto Group, and the Misaki Formation in west Shikoku.

る。花崗岩類中のザクロ石は低P/T型, 一部中P/T型にはいる。ただし, 第17図における領域区分は主として泥質変成岩と火成岩のザクロ石によるものであり, 塩基性変成岩の場合はこれにうまくあてはまらないこともある。このような問題があるにしても数多くの碎屑性ザクロ石を調べ, それらのタイプや量的組合せをみていけば, 主要供給源がどのような岩石であったかを推定することができる。中P/T型のIgは $Mg/(Mn+Mg+Ca)=0.8$ を境界値としてIg₁とIg₂とに分けてある。以下, 記載の便宜上, 低P/T型を低圧型, 中P/T型を中圧型, 高P/T型を高圧型と呼称し, 中圧型を細分したものは記号で表わすことにする。

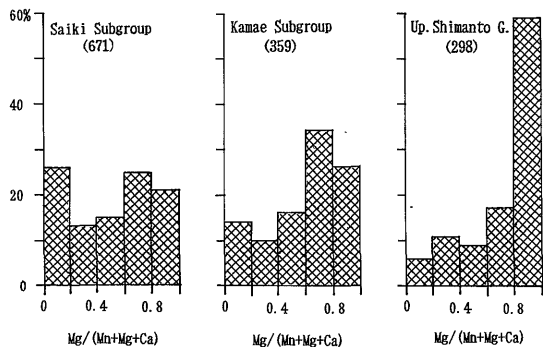
四万十累層群から得られた碎屑性ザクロ石のMn-Mg-

Ca図と各タイプの量比を第18図に, またそれらのレーダーダイアグラムを第19-22図に示す。これらの図と第17図からして, 本累層群中には様々なタイプのザクロ石が含まれ, それらの組合せや量比が時代とともに変化し, 地域によっても異なることがわかる。量的には中圧型が最も卓越し, 低圧型がこれに次ぎ, 両者だけで全体の90%以上を占めている。中圧型としてはIg₂が多く, IaとIg₁はほぼ同程度はいつている。高圧型やグランドイトは少なく, エクロジャイト型はごくまれである。

次に亜層群または層群のオーダーでザクロ石のタイプ別産出状況を調べてみると, それには明瞭な時代的定向変化が認められる(第18図)。すなわち, 佐伯亜層群から上部四万十層群にかけ, 中圧型, とくにIg₂が増え,



第22図 四国東部および赤石山地の四万十累層群に含まれる碎屑性ザクロ石のレーダーダイアグラム。
Fig. 22 Radar diagrams for detrital garnets from the Shimanto Supergroup in east Shikoku and the Akaishi Mountains.



第23図 四万十累層群に含まれる碎屑性ザクロ石の Mg/(Mn+Mg+Ca)比を示すヒストグラム。
Fig. 23 Histograms showing Mg/(Mn+Mg+Ca) ratios of detrital garnets from the Shimanto Supergroup.

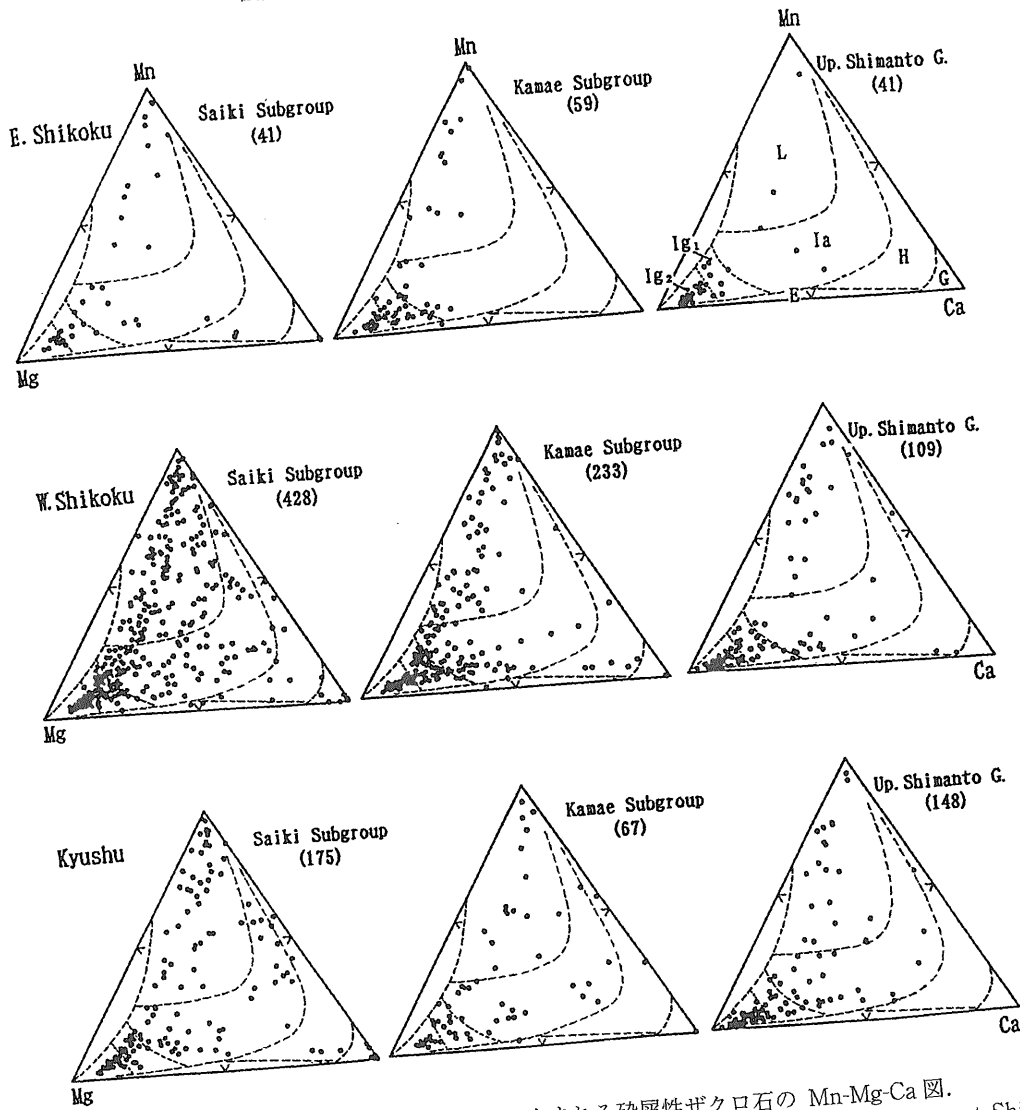
低圧型が減っていき、高圧型も減少傾向を示す。グランドイトは佐伯亜層群ではかなり目立つが、蒲江亜層群になると激減し、上部四万十層群ではみられなくなる。このような変化はザクロ石における Mg/(Mn+Mg+Ca)の頻度分布図(第23図)にもよくあらわれている。本図で佐伯亜層群のものはバイモーダルな分布を示しているが、それはこの地層群にMgのごく少ないグランドイトや低圧型ザクロ石が比較的多く含まれているためであ

る。Mgイオン数(O=24として)についてみると、佐伯・蒲江両亜層群の場合は2を超えるものがザクロ石全体の2-3%しかないのに対し、上部四万十層群ではそれが40%にも達し、まれながら3に近い値を示すものもある。なお、一般にグラニュライト相変成岩のザクロ石は1以上のMgイオン数をもっている。

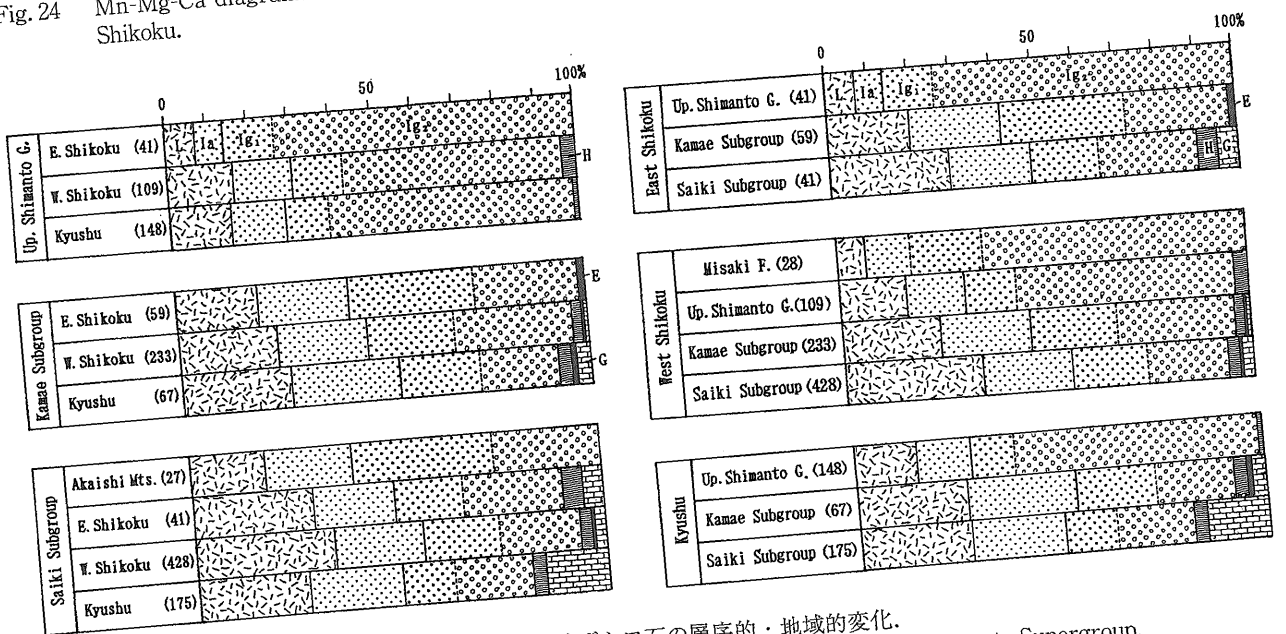
碎屑性ザクロ石の分析データ数には地域的なばらつきはあるが、上述のような時代的变化の傾向は、少なくとも九州、四国西部および四国東部の各地区で認められる(第24, 25図)。このことは紀伊半島についてもいえそうである(別所孝範氏の私信)。しかしながら各地区におけるザクロ石のタイプ別含有量を比較検討してみると、次のような東西変化のあることがわかる。すなわち、西から東に向かって、低圧型ザクロ石とグランドイトが減少し、中圧型、とくにIgが増えていく(第25図)。佐伯亜層群の場合、九州ではグランドイトの比率が高いため、他のタイプのそれが相対的に低くなっている。いずれにしても地域的な東西変化の傾向は時代的变化のそれとよく似ている。

既述のように四国西部では宇和島-広見地塊に大型化石を多産する特異な層相の佐伯亜層群が分布し、砂岩組成の点でもかなりの地域性が認められる。そこで本地区の四万十累層群とそれに隣接する地層の碎屑性ザクロ石

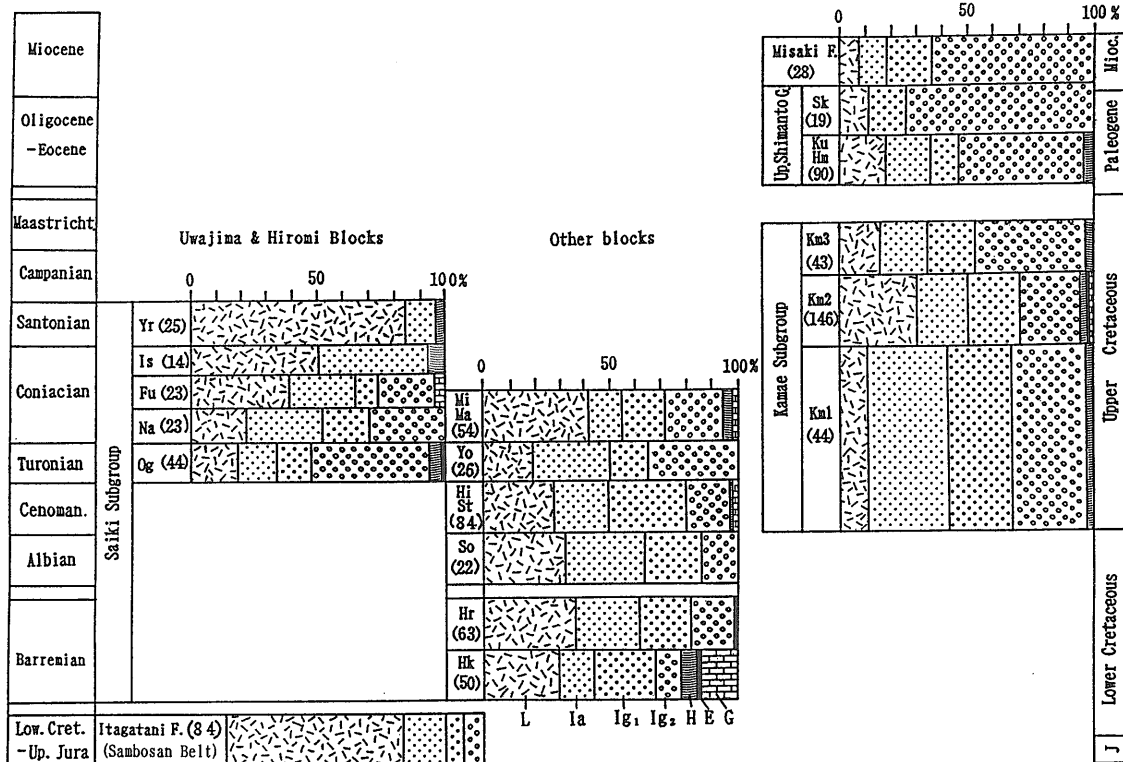
四万十累層群の碎屑性堆積物 (寺岡 ほか)



第24図 九州、四国西部および四国東部の四万十累層群に含まれる碎屑性ザクロ石の Mn-Mg-Ca 図。
Fig. 24 Mn-Mg-Ca diagrams for detrital garnets from the Shimanto Supergroup in Kyushu, west Shikoku, and east Shikoku.



第25図 四万十累層群における碎屑性ザクロ石の層序的・地域的变化。
Fig. 25 Stratigraphical and regional variations of detrital garnet in the Shimanto Supergroup.



第26図 四国西部の四万十帯および三宝山帯の上部ジュラ系-中新統に含まれる碎屑性ザクロ石。
 Fig. 26 Detrital garnets from the Upper Jurassic to Miocene in the Shimanto Terrane and the Sanbozan Belt of the Chichibu Terrane in west Shikoku. For abbreviations see Figs. 4, 9, and 17.

をみていくことにする(第4, 9, 26図)。秩父帯の三宝山帯には上部ジュラ系-下部白亜系の板ヶ谷層が分布するが、これと佐伯亜層群の下部白亜系部分はザクロ石の組成を著しく異にする。佐伯亜層群のうち、最下位の法花津層(Hk)にはグランダイトがかなり多く含まれ、平井層(Hr)ではそれを欠く。後者からは上位に向かって次第に低圧型が減って中圧型が増えていき、コニアシアンになるとこの傾向が逆になる。宇和島-広見地塊ではコニアシアン最上部から中圧型のIgがなくなり、サントニアンにはいると低圧型が急増し、西南日本中軸帯の大野川層群におけるザクロ石組合せ(寺岡ほか, 1997, 1998)に似てくる。ただし、大野川層群の場合はチューロニアンからサントニアンにかけての地層に低圧型が多く、ザクロ石全体の80%以上を占めている。蒲江亜層群についてみると、下部のKm1では低圧型が本亜層群の平均よりかなり少ないが、中部のKm2にはいると増加し、それから上部四万十層群をへて中新統三崎層まで、低圧型が減って中圧型が増える傾向が続く。中圧型のなかではとくにIg₂の増加が目立つ。

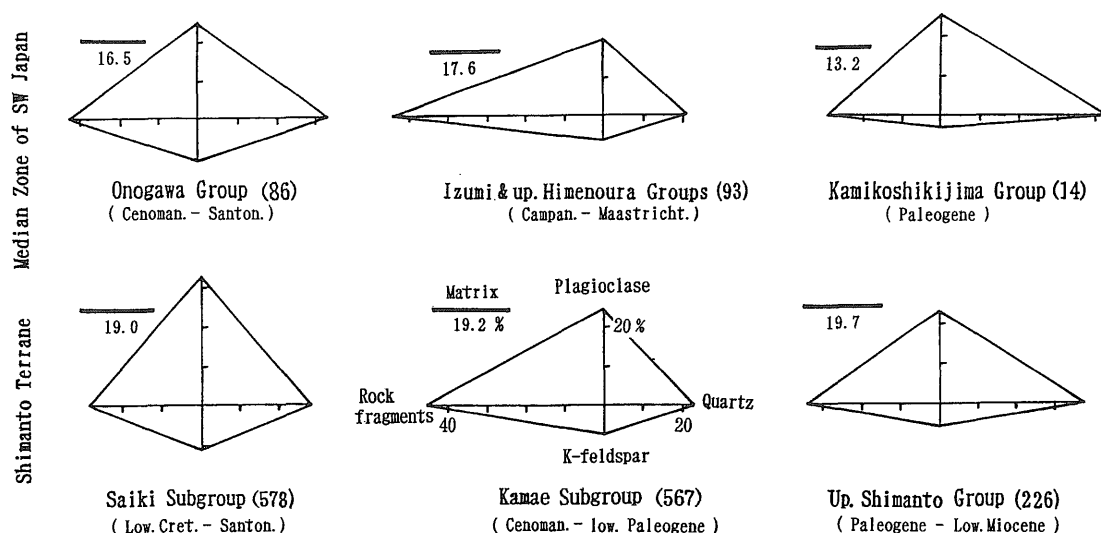
6. 四万十帯と西南日本中軸帯の砂質岩比較

かつて寺岡(1977b, 1979)は四万十帯と西南日本中軸帯の白亜系砂岩を検討し、モード組成の比較を行っ

た。当時はまだ四万十累層群の年代に不明な点が多く、層序区分に問題があった。その後四万十帯各地で微化石の研究が進み、地層対比の精度が向上し、砂岩に関してはモード組成だけでなく、化学組成や碎屑性ザクロ石などのデータも増加した。中軸帯の白亜系-古第三系砂岩については寺岡ほか(1998)によって総括的な報告がなされた。そこでまずはじめに、両帯砂岩の類似性や相違点について述べ、次いで三波川変成岩大歩危ユニットの四万十帯起源説を検討する。

西南日本中軸帯は中央構造線やその西方延長沿いの地帯であって、領家・三波川両帯にまたがる。この地帯の白亜系は、臼杵-八代構造線のすぐ北側に位置する南列(御所浦-大野川帯)の上部アルビアン-セノマニアン御所浦層群、セノマニアン-チューロニアン御船層群およびセノマニアン-サントニアン大野川層群、大分-熊本・中央両構造線に沿う北列(姫浦-和泉帯)のコニアシアン-マストリヒチアン姫浦層群およびカンパニアン-マストリヒチアン和泉層群とに大別される(第1図)。大局的にみると、地層の年代は南列よりも北列のほうが新しく、それぞれのなかでは東に向かって若くなっている。そして、北列の白亜系は古第三系によって不整合に覆われる。

第27図は、四万十累層群と中軸帯白亜系-古第三系をそれぞれ大きく3分し、佐伯亜層群と大野川層群、蒲江



第27図 四万十帯と西南日本中軸帯の白亜系-下部中新統砂岩の平均モード組成。

Fig. 27 Average modal compositions of Cretaceous to Lower Miocene sandstones from the Shimanto Terrane and the Median Zone of Southwest Japan. Data for the Median Zone are from Teraoka *et al.* (1998).

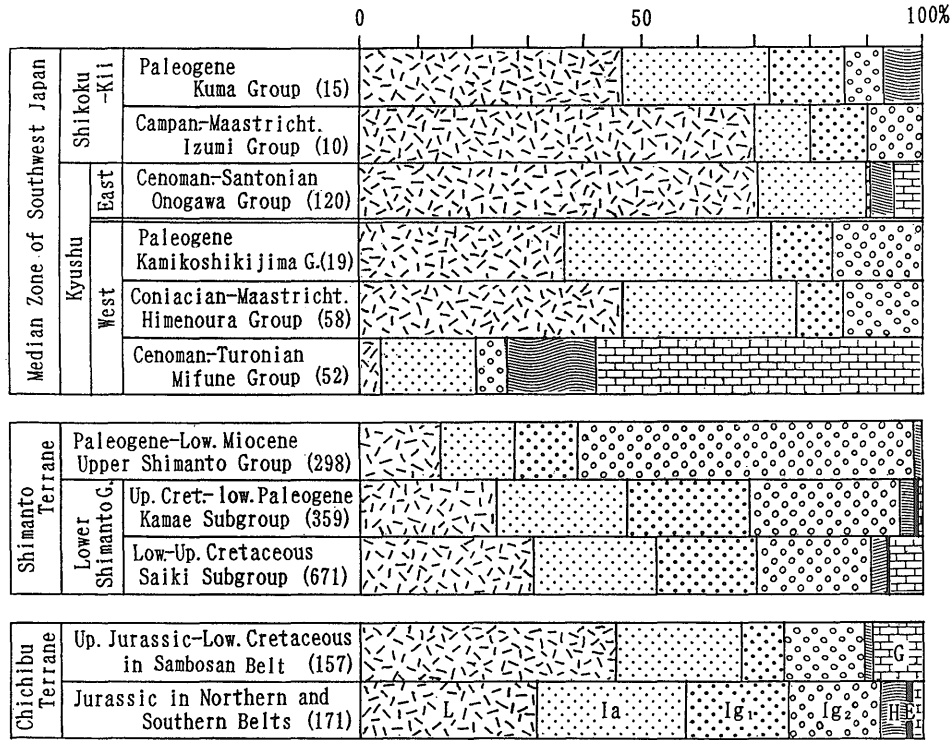
亜層群と姫浦・和泉両層群および上部四万十層群と上甌島層群を対置し、それらの平均砂岩モード組成をレーダーダイアグラムで表わしたものである。なお、御所浦・御船両層群は中軸帯の白亜系としては比較的層厚が薄く、それらの砂岩は石英に富み、かなり成熟度の高いものであり、大野川層群の砂岩とは著しく組成を異にする。第27図からよくわかるように、年代範囲の違いがあるにもかかわらず、対置した地層群間では砂岩モード組成の類似性が高く、四万十帯と中軸帯で同じような傾向の時代的組成変化が認められる。両帯の砂岩を比べてみると、四万十帯のものの方がより多くの長石を含み、レーダーダイアグラムでは上下の膨みが大きくなっている。白亜系砂岩の場合は岩片量にもかなりの違いがあって、四万十帯では石英/長石比、カリ長石/長石比、岩片/長石比などが比較的小さい。基質量は中軸帯砂岩のほうが少ない。いずれの砂岩においても岩片は主として酸-中性火山岩からなる。既述のように、四万十累層群では時代が若くなるにつれ、また地域的には西から東に向かって酸性火山岩片の比率が高くなる。このことは中軸帯の砂岩についてもいえる。

砂岩中の碎屑性ザクロ石に関しては、四万十・中軸両帯間に顕著な差異が認められる(第28図)。御船層群ではグラナイトが異常に多く、高压型もかなり含まれており、大野川・和泉両層群においては低压型が卓越する。これに対し大野川層群の上半部や和泉層群と同時異相の関係にある九州西部の姫浦層群では中圧型が低压型をうわまわる。古第三系になると中圧型がより多くなる。一方、四万十累層群の場合は中圧型が圧倒的に多く、その量は時代とともに増加する。碎屑性ザクロ石全体の中で中圧型の Ig (グラニュライト相変成岩起源) が占める

割合は、中軸帯白亜系-古第三系におけるよりも四万十累層群の方がはるかに高い。ただし例外もあるわけで、四国西部の宇和島-広見地塊では佐伯亜層群中にザクロ石だけでなく、モード組成や化学組成の点でも大野川層群の砂岩によく似たものがみられる。

四国の三波川変成岩のうち、構造的最低位にある大歩危ユニットは四万十累層群の変成相であるといわれている(磯崎・丸山, 1991; Hara *et al.*, 1992)。本ユニットは砂質片岩に富み、ときに礫質片岩を挟んでおり、原岩年代についての確証はない。最近、石濱・君波(1998)はこの砂質片岩と四国東部の四万十帯白亜系(下部四万十層群)砂岩の化学組成を比較し、大歩危ユニットは砂岩に富む日和佐層の変成したものであるとした。日和佐層は谷山・牟岐両層とともに蒲江亜層群に属するが、石濱・君波(1998)、君波ほか(1998)によれば、これら3層の砂岩はよく似た化学組成をもち、同一グループ(Shimanto III)にはいる。確かに砂質岩の化学組成に関する限り、大歩危ユニットと蒲江亜層群は類似している。しかし、それだけでは両者をすぐに結びつけることはできない。何故ならば同じような組成の砂岩が異なる時代に、または地質区で形成された可能性は十分あるからである。数はごく少ないが四国の秩父帯ジュラ系砂岩の分析値(Ishihara *et al.*, 1985)と丹波帯ジュラ系砂岩のそれ(総合研究A「変動帯の砂岩-日本列島を例として」、代表者 君波和雄)による分析値)をハーカー図にプロットしてみると、大歩危砂質片岩のものより若干SiO₂は少ないが、いずれも四万十帯白亜系砂岩と同じトレンドにのる。

次に金子(1998)の報告した大歩危ユニットの碎屑性ザクロ石を四国東部の蒲江亜層群のそれと比べてみる



第28図 四万十帯, 秩父帯および西南日本中軸帯のジュラ系-中新統に含まれる碎屑性ザクロ石.
 Fig. 28 Detrital garnets from the Jurassic to Miocene in the Shimanto and Chichibu Terranes, and the Median Zone of Southwest Japan. Data for the Median Zone are from Teraoka *et al.*(1998).

と、両者間には明らかな違いが認められる。すなわち、大歩危ユニットにはグラナイトがかなり含まれているのに対し、蒲江亜層群ではそれを欠く。また前者には後者の場合よりも低圧型や高圧型のザクロ石が多く、グラニュライト相変成岩起源のものがはるかに少ない。碎屑性ザクロ石の点からすれば、大歩危ユニットは蒲江亜層群よりもむしろ秩父帯のジュラ系-下部白亜系に近い(第25, 28図)。なお、第28図のジュラ系には九州東部の片内・鎮南山・奥川内・小園・彦ノ内・尺間山の6層、四国の白木谷層、仁淀ユニットおよび斗賀野層、上部ジュラ系-下部白亜系には九州東部の床木層、四国の板ヶ谷層および蟠蛇ヶ森層が含まれており、これらはいずれも付加体を構成するものである。

大歩危ユニットの変成年代は62-77 Maとされている(Itaya and Takasugi, 1988; Takasu and Dallmeyer, 1990; Hara *et al.*, 1992)。一方、四国東部における四万十帯白亜系の上限年代については異論があり、君波ほか(1998)はカンパニアン、石田(1998)は前期マーストリヒチアンとしている。いずれにしてもこの白亜系の堆積年代と大歩危ユニットの変成年代は一部オーバーラップする。四国の秩父帯ジュラ系の場合、堆積年代と最も古い変成年代の間には少なくとも1,500万年内外の差がある(磯崎ほか, 1990; 鈴木ほか, 1990; 磯崎・板谷, 1991など)。また、九州東部や四国西部の四万十

帯白亜系については碎屑性カリ長石を用いて変成年代が決められているが、それと堆積年代の差は2,000年以上ある(寺岡ほか, 1994)。大歩危ユニット中の酸性火成岩礫は96-102 MaのジルコンU-Pb年代を示している(真部ほか, 1996)、本ユニットの原岩は白亜系であるとみなされる。Hara *et al.* (1992)は原岩として四万十帯のセノマニアン-チューロニアン付加体を想定している。もしそうだとすれば、蒲江亜層群よりも構造的上位にある佐伯亜層群がそれにあたるのが合理的である。しかし、佐伯亜層群の砂岩と大歩危ユニットの砂質片岩は著しく化学組成を異にする。四万十帯白亜系の場合には砂岩卓越層でも砂岩と泥岩がかなり頻りに交互しているが、大歩危ユニット中には泥質岩のはさみが少なく、また砂質岩の粒度が四万十帯白亜系におけるよりも概して細かい。

要するに、三波川変成岩の大歩危ユニットを四万十帯累層群の変成相とみなすのは困難である。ただし、このことは同ユニットが白亜系を原岩とするとの説を否定するものではない。この白亜系は四万十帯とは別の地質区、おそらく秩父帯以北の西南日本外帯で形成され、四万十帯累層群の一部と同時異相の関係にある白亜紀中頃の地層であるとするのが妥当であろう。

7. 碎屑性堆積物の起源

7.1 堆積物の源岩

四国西部宇和島地域の佐伯亜層群をはじめ、四万十累層群中には少量ながら幾つもの層準に礫岩があり、礫として花崗岩・アプライト・グラノファイアー・花崗斑岩・花崗閃緑岩・石英閃緑岩・閃緑岩・はんれい岩・石英斑岩・ひん岩・流紋岩・石英安山岩・安山岩・玄武岩・砂岩・泥岩・チャート・石灰岩・泥灰岩・オーソコーツァイト・脈石英・結晶片岩・片麻岩・ホルンフェルスなどがはいっている (Tokuoka, 1967; 平ほか, 1980; 公文, 1981; 今井ほか, 1982; Kumon, 1983; 寺岡ほか, 1986など). 酸性火山岩には凝灰質のものが多く、しばしば溶結構造を示す。礫岩の構成や砂岩のモード組成からして、四万十累層群の粗粒堆積物は様々な火成岩・堆積岩・変成岩から由来し、量的には花崗岩類と酸-中性火山岩起源のものが圧倒的に多いといえる。泥岩は砂岩とともに本累層群の主体をなすが、その化学組成は砂岩の場合とよく似た傾向の時代的・地域的变化を示す (寺岡ほか, 1995, 1996). この事実は泥質・砂質両堆積物がほぼ同じ起源物質からなっていることを示唆する。

碎屑性堆積物の大部分は内帯側から供給され、白亜紀末以降には一部太平洋側からもきている (Tokuoka, 1967; 原田・徳岡, 1974; 紀州四万十帯団研グループ, 1975; 寺岡, 1977b, 1979; Harata *et al.*, 1979; 徳岡・公文, 1979; 公文, 1981; Kumon, 1983; Kumon *et al.*, 1988など). 太平洋側からの物質供給は、主として紀伊半島における古流向や礫岩・砂岩組成の研究によって推定され、その源地は大陸的性格をもつ黒潮古陸 (原田・徳岡, 1974) とされている。南方起源碎屑物の代表的なものとしては四万十帯南帯の南部でみられるオーソコーツァイト礫があげられている。

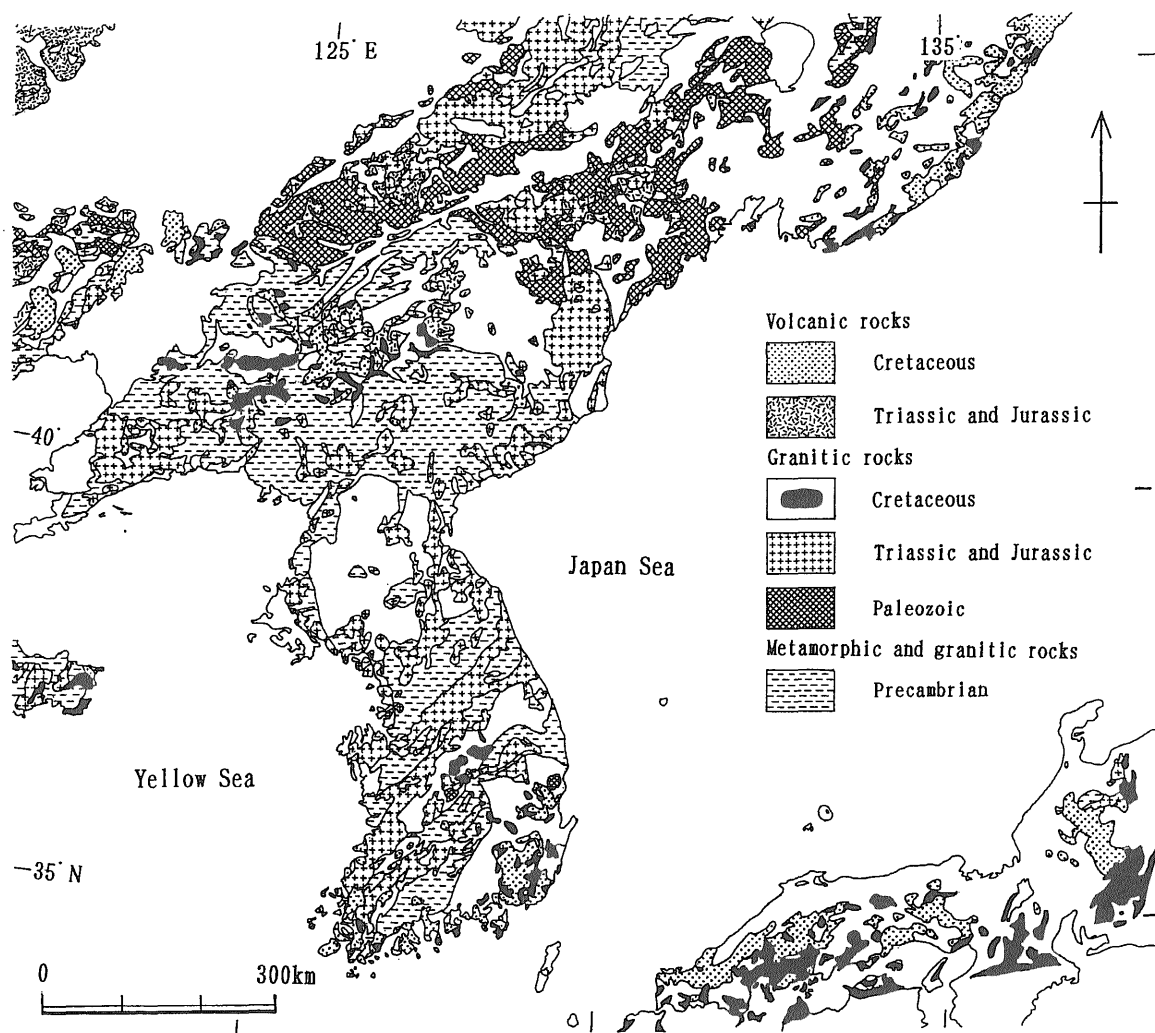
上部四万十層群の碎屑物年代 (源岩年代) についてはいくつかの報告がある。九州では日向亜層群に含まれる碎屑性のカリ長石が270 Ma, 白雲母が325-335 MaのK-Ar年代を示し、これらはそれぞれ二畳紀花崗岩と石炭紀の結晶片岩からもたらされ、いずれも北方起源とされている (寺岡ほか, 1994). 四国東部、土佐湾岸の四万十帯南帯北縁部には始新統大山岬層の礫岩が露出し、その中にK-Ar年代が71-78 Maである三波川帯起源の結晶片岩礫がはいっている (吉倉ほか, 1991; 馬淵, 1995). 馬淵(1995)は珪質な泥質片岩礫中に著しくMnに富むザクロ石を見だし、その組成からしてこの片岩礫だけは出所不明とした。しかし、似たような組成のザクロ石は紀伊半島三波川帯の石英片岩から見いだされており (Hashimoto *et al.*, 1990), 問題の礫も三波川帯起源としてよいであろう。大山岬層の礫岩には89 MaのジルコンU-Pb年代を示す花崗斑岩礫もあり、これの源岩は内帯

白亜紀火成岩とされている (吉倉ほか, 1996). 柴田・野沢(1973)は、紀伊半島南部の牟婁層群に含まれるオーソコーツァイト礫が309 Ma, 片麻岩礫が70 MaのK-Ar年代を示すことを明らかにし、後者は領家帯起源であるとしている。加納(1973)も本層群中に領家帯からもたらされた花崗岩・変成岩礫が存在することを報告している。

上記のことからして、上部四万十層群の堆積物中に西南日本の白亜紀火成岩・変成岩からの碎屑物が含まれているのは確かである。従来、四万十累層群堆積物の主要供給源として内帯に広く分布する火山-深成岩体が想定されていた (寺岡, 1977b; 徳岡・公文, 1979; Kumon, 1983; 君波ほか, 1998など). 内帯における大規模な酸-中性火山岩の噴出は前期白亜紀後期以降であり、花崗岩類の貫入は主として白亜紀中頃から古第三紀にかけて起っている。四万十累層群の年代からすれば、火山岩碎屑物に関する限り内帯起源説でもよさそうである。しかし、下限年代が少なくともオーテリビアンまでさかのぼる佐伯亜層群には長石質砂岩がよく発達しており、火山岩片に富む石質砂岩が卓越するのは蒲江亜層群中である。長石質砂岩も火山岩片をかなり含んでいるが、いずれにしても佐伯亜層群堆積時には後背地に花崗岩類をはじめ粗粒な完晶質岩が広く露出していたことになる。なお、秩父帯以北の中・古生界砂岩にも花崗岩類や酸-中性火山岩の碎屑物がはいっていることは周知の事実である。

そこでまず西南日本の先白亜紀花崗岩類についてみると、古生代のものが黒瀬川帯、長門構造帯および舞鶴帯に、ジュラ紀船津花崗岩が飛騨帯と飛騨外縁帯に分布する。また最近、二畳紀花崗岩類が中央構造線沿いの地帯から報告されている (柴田ほか, 1993; 高木・柴田, 1996). 先白亜紀酸性火山岩は黒瀬川帯や飛騨外縁帯のシルル・デボン両系、三郡変成岩および内外帯の二畳系-ジュラ系にはいっている。しかしながら船津花崗岩を除くと、これらの火成岩はいずれも分布がごく限られ、少なくとも白亜紀以降、大量の碎屑物をもたらすほどの拡がりがあったとは考えられない。そうすると四万十累層群の北方起源堆積物の供給源を西南日本だけに限定することはできない。古第三紀以前にはまだ日本海がなく、日本列島はアジア大陸の東縁部にあったわけであるから、大陸からもかなり多くの碎屑物供給があったはずである。

第29図は中国東北部、朝鮮半島、沿海州南部および西南日本内帯を含む環日本海地域の先カンブリア系と中・古生代火成岩の分布を示したものである。この地域の大陸部分には、先カンブリア紀変成岩をはじめ、先カンブリア紀、後期古生代、三畳紀、ジュラ紀および白亜紀の花崗岩類が広く分布し、吉林・黒竜江両省の東部や沿海州南西部では前期古生代のものもみられる。中生代の火山岩は陸上に噴出した酸-中性のもので、場所によ



第29図 環日本海地域の先第三紀火成岩・変成岩分布図。

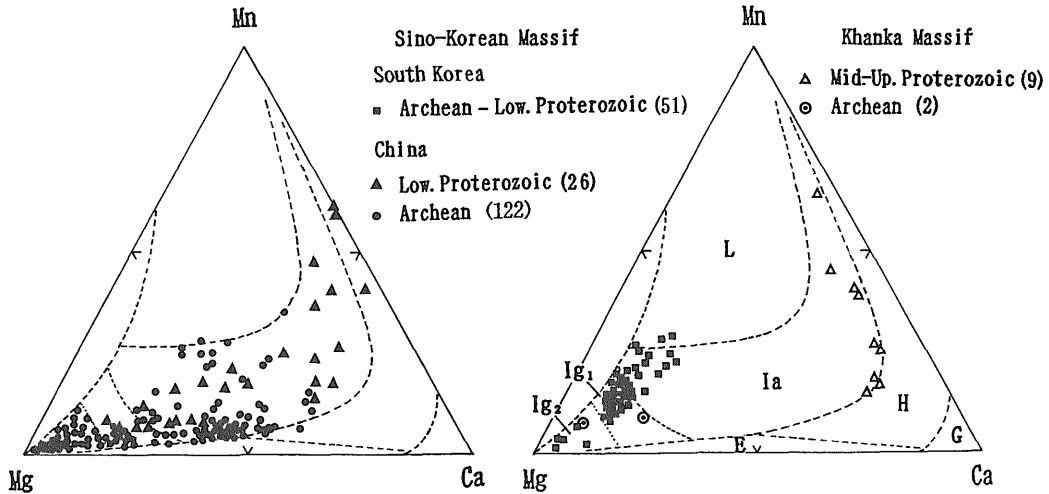
Fig. 29 Geologic map showing the distribution of pre-Tertiary igneous and metamorphic rocks in the Circum-Japan Sea region. Paleozoic volcanic rocks are so restricted in distribution that they are not shown on the map. The map was compiled from Kosygin and Popeko (1987), Bur. Geol. Min. Res. Jilin Prov.(1988), Bur. Geol. Min. Res. Liaoning Prov.(1989), Geol. Surv. Japan (1992), Bur. Geol. Min. Res. Heilongjiang Prov.(1993), Korea Inst. Geol. Min. Mats.(1995), and Inst. Geol. State Acad. Sci., DPR Korea (1996).

つては玄武岩を伴っている。オルドビス紀以降の古生界にも火山岩がはいっており、中国・北朝鮮・ロシア3国の境界付近からハンカ湖周辺にかけての地帯にはデボン紀-二畳紀の酸性、一部中性の火山岩がややまとまって分布する。したがって、西南日本だけでなく、アジア大陸東部も含めた広大な後背地からの物質供給があったとすれば、四万十層群の粗粒碎屑岩組成やその時代的变化を説明することができる。

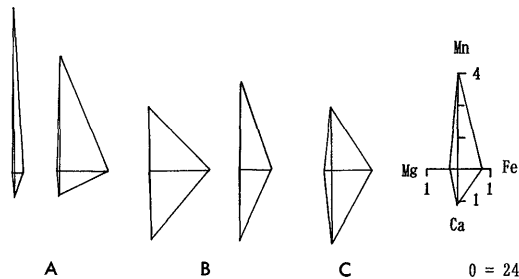
アジア大陸から堆積物の供給があったことは碎屑性ザクロ石の研究からもいえる。竹内(1992)は奄美大島の三宝山・四万十両帯の中生界中にパイロップ成分に富む高度変成岩起源のザクロ石を見だし、その供給源を中朝地塊に求めている。寺岡ほか(1998)は西南日本各地の二畳系-古第三系に含まれるザクロ石の供給源につい

て論述した。それによると碎屑粒子として広く認められる中圧型ザクロ石の多くは中朝地塊やハンカ地塊の先カンブリア紀変成岩からもたらされ、 Ig_2 のように著しくMgに富むものは始生代変成岩に由来する(第30図)。したがって、堆積物中には先カンブリア紀変成岩からきた石英・長石などの鉱物粒もあるはずである。西南日本中軸帯の白亜系-古第三系には領家変成岩・花崗岩からの低圧型ザクロ石が多く含まれている。ただし、低圧型ザクロ石は領家変成より古い年代の地層群にもかなり普遍的にはいっているため、その供給源は領家帯以外にも西南日本やアジア大陸東部のどこかに存在したと考えられる。

古第三紀になると三波川変成岩が地表に露出し、上部四万十層群のなかに礫としてはいっている。しかしながら本層群中には高圧型の碎屑性ザクロ石がごく少ない。



第30図 アジア大陸東部の先カンブリア紀変成岩に含まれるザクロ石のMn-Mg-Ca図。
Fig. 30 Mn-Mg-Ca diagrams for garnets from Precambrian metamorphic rocks in the eastern part of the Asian continent (based on Teraoka *et al.*, 1998).

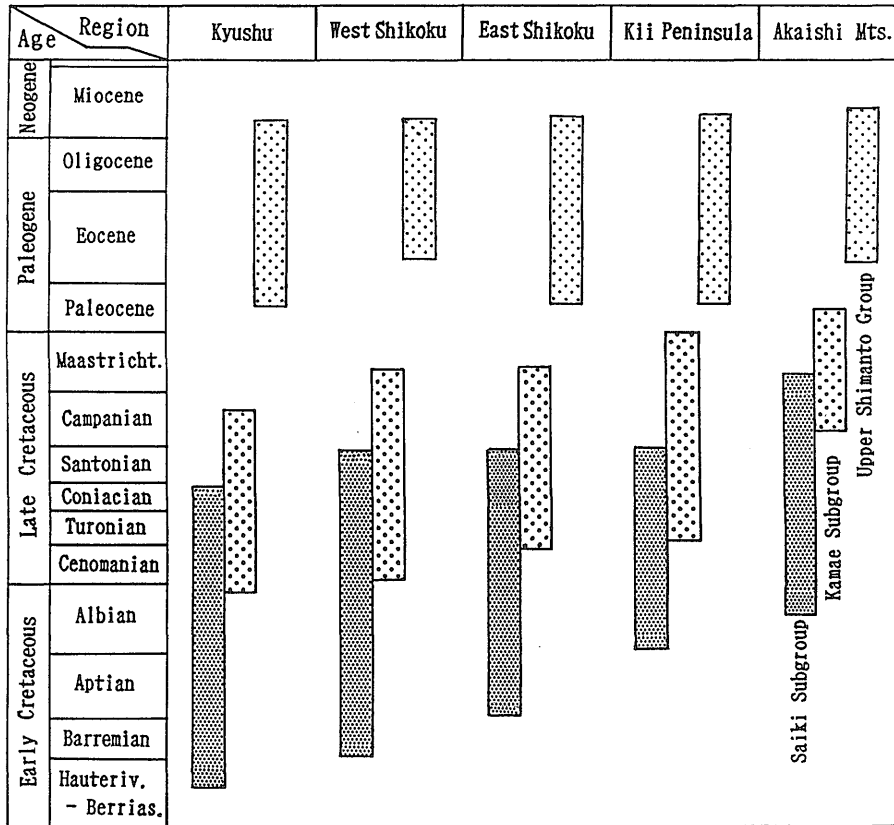


第31図 三郡変成岩の泥質片岩に含まれるザクロ石のレーダーダイアグラム。
Fig. 31 Radar diagrams for garnets from pelitic schists of the Sangun Metamorphic Rocks. [Data sources] A: Yame area, Fukuoka Prefecture (Karakida, 1987), B: Nishiki area, Yamaguchi Prefecture (Kano, 1981), C: Katsuyama area, Okayama Prefecture (Hashimoto, 1968).

このタイプのザクロ石は少量ながら西南日本各帯の中生界に含まれており、その供給源が問題になる。寺岡ほか(1998)は中軸帯の白亜系-古第三系にはいる高压型ザクロ石が比較的MnやCaに富み、MgとFeに乏しいもので(Mn-Mg-Ca図では高压型領域のMn>25%部分にプロットされる)、三波川変成岩中のザクロ石のコア部分によく似た組成をもつとし、供給源としては三郡変成岩を想定した。このような組成のものは四万十層群でもみられる。三郡変成岩のザクロ石に関するデータはごく少ないが、その幾つかを第31図にレーダーダイアグラムで示す。上記の特徴や第17, 31図などからして、高压型ザクロ石は主として三郡変成岩に由来すると思われる。そうすると上部四万十層群中の白雲母片をもたらした既述の石炭紀結晶片岩は三郡変成岩のメン

バーである可能性が高い。なお、この年代は現存する同変成岩の最古のもの(柴田・西村, 1989)より若干古い。

堆積岩起源の碎屑物に関しては源地を特定することが困難であるが、おそらくその大部分は西南日本の中・古生界からもたらされたものであろう。これに関連し上部四万十層群の場合は複輪廻堆積物の問題が論議されている。岡田(1977)は、九州東岸部・種子島・奄美大島での研究からして、四万十帯の古第三系砂岩は石英に富み長石に乏しく、砂粒の淘汰・円磨がよいことを指摘し、その主体は古い堆積物(主に四万十帯白亜系)に由来する碎屑物からなるとした。また、寺岡(1979)は九州と四国西部の上部四万十層群砂岩はかなり大きな石英/長石比をもち、成熟度が高いとし、その理由の1つとして複輪廻堆積物の関与をあげている。これに対しKumon(1983)は、四国東部と紀伊半島に分布する四万十帯の白亜系-古第三系砂岩のモード組成・粒度・円磨度などを比較検討し、古第三系砂岩に石英の多いことは認めたが、そのことを複輪廻や成熟度の高さだけで説明するのは困難であるとした。碎屑性ザクロ石の点からみると、岡田(1977)の解釈は無理のようである。もし四万十帯の古第三系砂岩に同帯の白亜系起源の複輪廻堆積物が多量にはいるとすれば、古第三系のザクロ石組成は白亜系のものに似ているはずであるが、事実はこちらに反し、前者は秩父帯や西南日本中軸帯の中生界の場合とも異なる(第25, 28図)。古第三紀になると砂岩中の石英が急増するのは四万十・中軸両帯に共通する現象であり(第27図)、これは源岩だけの問題ではなく、風化・運搬過程など堆積環境の変化にも起因すると思われる。



第32図 四万十累層群砕屑岩の地域的年代変化。

Fig. 32 Regional variation in age span of clastic rocks of the Shimanto Supergroup.

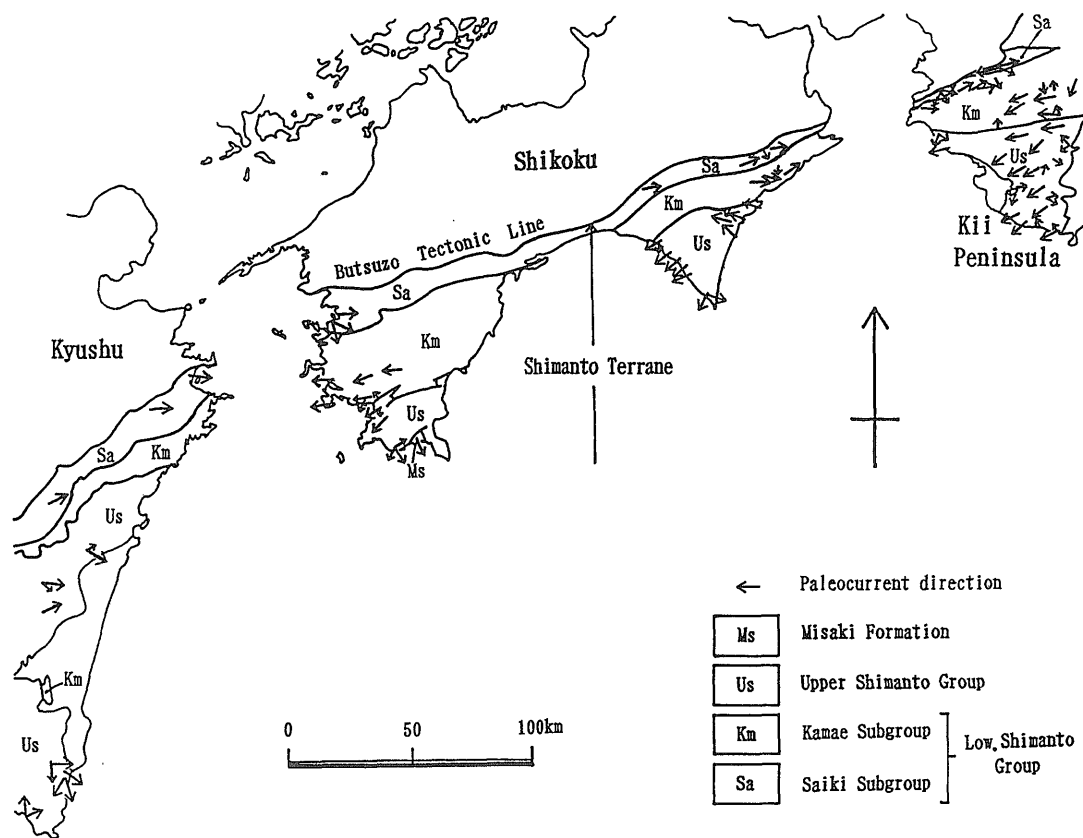
7.2 堆積物の供給

四万十累層群の砕屑岩年代については地質概説のところで述べた。第32図はそれを地区別に示したものである。本図から分かるように佐伯亜層群と蒲江亜層群は層序的な上下関係にあるわけではなく、年代がオーバーラップしている。そして両亜層群とも東方に向かって若くなっており、この傾向は西南日本中軸帯の白亜系における東西方向の年代変化 (Matsumoto, 1969; 寺岡, 1977a) と調和的である。上部四万十層群の場合も若干の地域的変化はあるが、それには明確な定向性が認められない。下部四万十層群と上部四万十層群はもちろんのこと、年代的にかなり重複している佐伯亜層群と蒲江亜層群も既述のように砕屑岩の組成を著しく異にし、しかもそれぞれのなかでの地域差もある。この事実は堆積物の供給・運搬・堆積場などが多様であったことを意味する。そこで次にまず古流向の検討を行う。

第33図の古流系図は、田中 (1974, 1977), 公文・井内 (1976), 岡田 (1977), 今井ほか(1979), 平ほか(1980), Kumon(1983), 木村 (1985), 寺岡ほか (1986), 坂井ほか (1987), Kumon *et al.* (1988), 木村ほか (1991), 寺岡 (未公表資料) などにに基づくものである。四万十帯の一般的構造方向に平行ないしはそれに近い流れは軸流、

大きく斜交するものは側流とみなされるが、そうすると佐伯亜層群では東向きの軸流が支配的で、北からの側流もみられる。蒲江亜層群の場合、サントニアン以前の古流向がわかっているのは紀伊半島だけであり、そこでは東向きの軸流と一部南向きの側流が認められる。一方、カンパニアン-マーストリヒチアンの部分についてみると、軸流は四国東部で東向き、四国西部と紀伊半島では西向きになっており、側流には南北両方向のものがある。上部四万十層群になると四国以东では西向きの軸流が卓越し、北または南からの側流がみられる。これに対し九州では構造的な地層変形の影響もあって軸流と側流の識別がむずかしいが、全体としては東ないし南東向きの流れが優勢である。

上記のような古流系からして、佐伯亜層群の堆積物は北側からもたらされ、軸流によって西から東へ運ばれたといえる、このような大量の物質がどのような経路をたどって四万十帯に流入したかについては確証がない。おそらく主要な流入路の一つは九州の西側にあったであろう。西南日本中軸帯は後期白亜紀に大きく沈降し、そこに莫大な厚さの地層群が形成された。その代表例が大野川層群と和泉層群であり、これらの堆積盆では大部分の堆積物が内帯から供給され、軸流によって西方に流下している。なお、大野川層群堆積の後期には北からの側流



第33図 四万十累層群の古流系。

Fig. 33 Paleocurrent system in the Shimanto Supergroup. Current directions were inferred from sole markings.

が南に大きくはりだしている。宇和島-広見地塊の佐伯亜層群と大野川層群の間にみられる砂岩組成や碎屑性ザクロ石の類似性、古流向のデータなどからすると、小規模ながら四国西部の四万十帯には大野川層群のものと同源の堆積物が豊後水道附近を通して流入したと推定される。これに類似した現象は紀伊半島でも認められる。紀伊半島では内帯起源物質を主とする地層として寺杣層があげられる。本層には大型化石が多く、北からの側流が発達しており（紀州四万十帯団体研究グループ, 1983）、その年代や層相は宇和島-広見地塊の佐伯亜層群のものによく似ている。

佐伯・蒲江両亜層群の年代的な関係と碎屑岩組成の差異を調和的に説明するためには、これらの堆積物が源岩構成や供給経路を異にし、しかもそれぞれが違った堆積場に運び込まれたとしないといけない。堆積場としては大陸斜面と海溝が想定されるが、おそらく各亜層群とも両方の堆積物を含み、年代重複部分に関していえば、佐伯亜層群は大陸斜面、蒲江亜層群は海溝で形成されたものであろう。なお、この時期における軸流はいずれの亜層群においても東向きである。古流系からすれば、蒲江亜層群上部の時代には堆積物の主要流入路が紀伊半島の東側と四国のどこかを通っていたはずであり、九州の

西側にもあったであろう。当時、松山附近以東の西南日本中軸帯には和泉層群の堆積盆が存在した。この地層群と蒲江亜層群は碎屑性ザクロ石の組成を著しく異にしているため、上記の流入路が和泉層群の堆積盆を横切っていたとするの無理であり、その西側にあったとせざるをえない。このことや四国西部および紀伊半島でみられる佐伯亜層群の含大型化石層と秩父帯以北の海成白亜系との位置関係などを考えあわせると、後期白亜紀以降に中央構造線、臼杵-八代構造線、仏像構造線などの大断層沿いに左横ズレ運動があり、四万十帯が西南日本内帯に対し相対的に東へ少なくとも数十km程度動いた可能性が高い。

上部四万十層群の場合は堆積物の大部分が九州の西側や紀伊半島よりも東にあった通路から四万十帯に流入し、その後東向きと西向きの流れによってそれぞれ運ばれていったと推定される（第33図）。木村（1992）は始新統-漸新統の砂岩モード組成と古流向を検討して琉球・日向・室戸・駿河-相模の4堆積岩岩石区を識別し、九州と四国西部は日向区に、四国東部と紀伊半島は室戸区にはいるとした。確かに流向だけでなく、九州と四国東部-紀伊半島では砂岩中の長石量やカリ長石/長石比、碎屑性白雲母の有無などに関しかなりの違いがある。四国

西部の砂岩は九州のものと同様に碎屑性白雲母を含み、カリ長石を欠くこともあるが、長石は比較的多く、この点では四国東部以東の砂岩に似ている。したがって、四国西部は西と東の両方から運ばれてきた堆積物の共存域とみなすのが妥当である。

西南日本中軸帯の白亜系-古第三系では堆積物の大部分が内帯からもたらされており、九州西部のものを除くとアジア大陸起源物質はごく少ない(寺岡ほか, 1998)。これに対して四万十累層群の場合は西南日本だけでなく、アジア大陸からも多量の堆積物が供給されている。碎屑性ザクロ石に着目してみると、本累層群中では大陸からの先カンブリア紀変成岩碎屑物が時代とともに増え、地域的には東ほど多くなっている。四万十・中軸帯の堆積物はいずれも花崗岩類や酸-中性火山岩の碎屑物を主としているが、それらの供給源としては既存の古い火成岩体のほか、地層の堆積と同時に進行した火成活動の産物も大きなウエートを占めていたと考えられる。これは特に火山岩に関していえることであって、碎屑岩に含まれる酸性火山岩片と中性火山岩片の比率の時代的・地域的变化は後背地における火山活動の推移を強く反映したものであろう。

8. ま と め

1) 四万十累層群は四万十帯北帯の下部四万十層群(白亜系-最下部古第三系)と北帯南縁部から南帯にかけて分布する上部四万十層群(古第三系-下部中新統)からなり、前者は佐伯亜層群と蒲江亜層群に分けられる。これらの亜層群は北帯の北部と南部にそれぞれ露出し、断層関係にあり、年代的にはかなりオーバーラップする。碎屑岩年代についてみると、両亜層群とも東方に向かって若くなり、西南日本中軸帯白亜系の場合と同じ傾向の東西変化を示す。

2) 佐伯亜層群は長石質砂岩、蒲江亜層群は石質砂岩によって特徴づけられ、上部四万十層群では石英に富む長石質-石質砂岩が発達する。いずれの砂岩においても岩片は主として酸-中性火山岩からなり、時代とともに、また地域的には西から東に向かって酸性火山岩片の比率が高くなる。砂岩の化学組成も時代や地域によって異なり、その変化はモード組成のそれと調和的である。

3) 碎屑性ザクロ石としては中圧型が最も多く、低圧型がこれに次ぎ、少量ながら高圧型やグラナイトもある。エクログャイト型はごくまれである。大局的には佐伯亜層群、蒲江亜層群、上部四万十層群と順次年代が若くなるにつれ中圧型、とくにグラニュライト相変成岩(アジア大陸の先カンブリア紀変成岩)起源のものが増え、低圧型、高圧型およびグラナイトが減少する。各地層群内でも西から東に向かって上記のような変化が認められる。

4) 西南日本中軸帯の白亜系-古第三系砂岩においても四万十累層群砂岩の場合と同じ傾向の時代的モード組成変化がみられる。ただし、四万十累層群砂岩のほうがより多くの長石を含み、岩片量や石英/長石比などの点でも若干の違いがある。碎屑性ザクロ石についてみると、中軸帯では低圧型が比較的多く、九州西部以外ではグラニュライト相変成岩起源のものがごく少ない。

5) 四国西部、宇和島-広見地塊の佐伯亜層群は大型化石を多産し、年代・化石内容・砂岩組成・碎屑性ザクロ石などの点で西南日本中軸帯の大野川層群との類似性が高い、これと同じ年代で層相がよく似た地層は紀伊半島の佐伯亜層群にもあり、寺杣層と呼ばれている。紀伊半島に分布する丹生ノ川層の砂岩は蒲江亜層群のものとしては例外的に多くの石英を含み、大きなカリ長石/長石比をもっている。

6) 四万十累層群の碎屑性堆積物は大部分が内帯側から供給され、一部太平洋側からもきている。これらの堆積物は主として花崗岩類と酸-中性火山岩の碎屑物からなり、他の火成岩や種々の堆積岩・変成岩からのものを伴う。北方起源堆積物は西南日本からアジア大陸東部にわたる広大な後背地からもたらされたもので、その源岩年代は始生代から古第三紀に及ぶ。

7) 西南日本中軸帯の白亜系-古第三系堆積物が内帯起源物質を主としているのに対し、四万十累層群の場合はそれに加え大陸からの碎屑物も多量にはいつている。古流系からみると、四万十累層群堆積物の供給パターンは時代によって異なるが、主要な供給路は九州の西側と紀伊半島の東側にあり、後期白亜紀には四国やその近傍を通るものも存在した。そして四万十帯に流入した堆積物は軸流により東または西に向かってかなり遠距離運ばれている。

8) 三波川変成岩の大歩危ユニットは四万十帯白亜系の変成相であるという説があるがこれは認めがたい。

文 献

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Heilongjiang Province (1993) Regional geology of Heilongjiang Province. *Geol. Mem.*, ser. 1, no. 33, Geol. Pub. House, Beijing, 734p.*
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Jilin Province (1988) Regional geology of Jilin Province. *Geol. Mem.*, ser. 1, no.10, Geol. Pub. House, Beijing, 698p.*
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Liaoning Province (1989) Regional geology of Liaoning Province. *Geol. Mem.*, ser. 1, no. 14, Geol. Pub. House, Beijing, 856p.*
- 地質調査所(1992) 100万分の1日本地質図(第3

- 版). 地質調査所.
- Hara, I., Shiota, T., Hide, K., Goto, M., Seki, S., Kaikiri, K., Takeda, K., Hayasaka, Y., Miyamoto, T., Sakurai, Y. and Ohotomo, Y. (1992) Tectonic evolution of the Sambagawa Schists and its implications in convergent margin processes. *Jour. Sci., Hiroshima Univ.*, ser. C, **9**, 495-595.
- Harata, T., Hisatomi, K., Kumon, F., Nakazawa, K., Tateishi, M., Suzuki, H. and Tokuoka, T. (1979) Shimanto Geosyncline and Kuroshio Paleoland. *Jour. Phys. Earth*, **26**, Suppl., 357-366.
- 原田哲朗・徳岡隆夫 (1974) 黒潮古陸. 科学, **44**, 495-502.
- Hashimoto, M. (1968) Glauconitic metamorphism of the Katsuyama district, Okayama Prefecture, Japan. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo*, ser. II, **XVII**, pt. 1, 99-162.
- Hashimoto, M., Funakoshi, R. and Kusakabe, K. (1990) Mn-rich amphiboles from quartz schists of the Imori district Sambagawa terrane, Wakayama. *Jour. Min. Petr. Econ. Geol.*, **85**, 481-487.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男 (1979) 神門地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 44p.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男・神戸信和・小野晃司 (1982) 諸塚山地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 71p.
- Institute of Geology, State Academy of Sciences, DPR Korea (1996) Geology of Korea. Foreign Languages Books Pub. House, Pyongyang, 629p.
- 石田啓祐 (1998) 四国東部, 四万十累層群の岩相層序と放散虫年代. 大阪微化石研究会誌, 特別号, no.11, 189-209.
- 石濱茂崇・君波和雄 (1998) 大歩危周辺の三波川変成帯砂質片岩と四国東部白亜系四万十帯砂岩との化学組成上の関連. 総研連絡誌「東アジア変動帯の砂岩組成とテクトニクス」, no.4, 72-82.
- Ishihara, S., Sakamaki, Y., Sasaki, A., Teraoka, Y. and Terashima, S. (1986) Role of the basement in the genesis of the Hishikari gold-quartz vein deposits, southern Kyushu, Japan. *Min. Geol.*, **36**, 495-509.
- Ishihara, S., Teraoka, Y., Terashima, S. and Sakamaki, Y. (1985) Chemical variation of Paleozoic-Cenozoic sandstones and shales across the western Shikoku district, Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **36**, 85-102.
- 磯崎行雄・板谷徹丸 (1991) 四国中西部の黒瀬川クリッペと黒瀬川内帯起源説. 地質雑, **97**, 431-450.
- 磯崎行雄・板谷徹丸・河戸克志 (1990) 秩父帯北帯ジュラ紀付加コンプレックスの変成年代. 地質雑, **96**, 557-560.
- 磯崎行雄・丸山茂徳 (1991) 日本におけるプレート造山論の歴史と日本列島の新しい地体構造区分. 地学雑, **100**, 697-761.
- Itaya, T. and Takasugi, H. (1988) Muscovite K-Ar ages of the Sanbagawa schists, Japan and argon depletion during cooling and deformation. *Contrib. Min. Pet.*, **100**, 281-290.
- 金子吾郎 (1998) 四国中東部, 三波川帯大歩危地域砂質片岩中の碎屑性ザクロ石. 日本地質学会第105年学術大会講演要旨, 51.
- 加納 博 (1973) 伊半島四万十帯の変成岩および花崗岩礫に含まれる garnet の組成とその由来について. 四万十地向斜に関する総合研究, 研究連絡誌, no.2, 119-124.
- 加納 博 (1981) 三郡変成帯飯場・雷山地域の複変成ホルンフェルス中のザクロ石について. 秋田大鉱山学部研報, no.2, 23-29.
- Kano, K. and Matsushima, N. (1988) The Shimanto Belt in the Akaishi Mountains, eastern part of Southwest Japan. *Modern Geology*, **12**, 97-126.
- 唐木田芳文 (1987) 福岡県八女地域における三郡変成岩の角閃石. 西南学院大児童教育学論集, **14**, 55-75.
- 鹿島愛彦 (1991) 四国西部宇和島北方地域の白亜紀砂岩の化学組成. 総研連絡誌「変動帯の砂岩—日本列島を例として—」, no. 2, 63-68.
- 片田正人・寺岡易司 (1981) 日本の砂岩の化学組成. 岩手大教育研究年報, **40**, 55-66.
- 川上久美 (1997) 四国西部四万十帯白亜系-古第三系の堆積学的研究. 広大学校教育研究科修士論文抄, **16**, 205-208.
- 君波和雄・公文富士夫・宮本隆実・鈴木茂之・竹内誠・吉田孝紀 (1998) B.I.ダイアグラムからみた日本列島の中・古生界砂岩. 基礎研究(A), 研究連絡誌「東アジア変動帯の砂岩組成とテクトニクス」, no. 4, 1-7.
- 君波和雄・公文富士夫・西村年春・志岐常正 (1992) 火成弧に由来する砂岩の化学組成. 地質学論集, no. 38, 361-372.
- 君波和雄・松浦卓史・岩田尊夫・三浦健一郎 (1998) 四国東部に分布する白亜系四万十累層群の砂岩組成と白亜紀火山活動との関係. 地質雑, **104**, 314-326.
- 木村克己 (1992) 始新世-漸新世前期四万十累層群の

- 堆積岩岩石区. 地質学論集, no. 38, 299-309.
- 木村克己・巖谷敏光・三村弘二・佐藤喜男・佐藤岱生・鈴木佑一郎・坂巻幸雄(1991) 尾鈴山地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 137p.
- 木村公志(1985) 四国南西部の第三系清水層および三崎層の層序および堆積相. 地質雑, **91**, 815-831.
- 紀州四万十帯団体研究グループ(1975) 四万十地帯の発達史. 地研専報, no. 19, 143-156.
- 紀州四万十帯団体研究グループ(1983) 四万十帯日高川層群の寺杣層と白馬層について—紀伊半島四万十帯の研究(その10)—. 地球科学, **37**, 235-249.
- 紀州四万十帯団体研究グループ(1986) 紀伊半島西部中津村周辺の日高川層群美山累層—紀伊半島四万十帯の研究(その11)—. 地球科学, **40**, 274-293.
- 紀州四万十帯団体研究グループ(1991) 和歌山県中東部の日高川層群湯川累層・美山累層—紀伊半島四万十帯の研究(その12)—. 地球科学, **45**, 19-38.
- Korea Institute of Geology, Mining and Materials (1995) *Geological map of Korea, scale 1: 1,000,000*. Korea Inst. Geol. Min. Mats.
- Kosygin, Y. A. and Popeko, V.A. (1987) *Map of magmatic formations in Far East USSR, scale 1: 2,500,000*. Ministry of Geology, USSR.**
- 公文富士夫(1981) 徳島県南部の四万十帯白亜系. 地質雑, **87**, 277-295.
- Kumon, F. (1983) Coarse clastic rocks of the Shimanto Supergroup in eastern Shikoku and Kii Peninsula, Southwest Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., ser. Geol. & Min., XLIX*, 63-109.
- 公文富士夫・井内美郎(1976) 室戸半島北東部, 徳島県穴喰町周辺の四万十帯層群古第三系—層序学的・堆積学的検討—. 地質雑, **82**, 383-394.
- 公文富士夫・川端清司(1986) 赤石山地の四万十帯白亜系の砂岩組成. 碎屑性堆積物研究, no.4, 17-22.
- 公文富士夫・龍野敏晃(1998) 紀伊半島四万十帯, 音無川層群のタービダイト砂岩の化学組成. 基盤研究(A), 研究連絡誌「東アジア変動帯の砂岩組成とテクトニクス」, no. 4, 15-22.
- Kumon, F., Suzuki, H., Nakazawa, K., Tokuoka, T., Harata, T., Kimura, K., Nakaya, S., Ishigami, T. and Nakamura, K. (1988) Shimanto Belt in the Kii Peninsula, Southwest Japan. *Modern Geology*, **12**, 71-96.
- 栗本史雄・牧本 博・吉田史郎・高橋裕平・駒沢正夫(1998) 20万分の1地質図幅「和歌山」. 地質調査所.
- 馬淵映美(1995) 四国四万十帯大山岬層中の変成岩礫の起源. 島根大地質学研報, **14**, 21-35.
- 真部由華・吉倉伸一・Gabites, S.J. (1996) 大歩危礫質片岩中の珪質火成岩礫のジルコンU-Pb年代. 日本地質学会第103年学術大会 講演要旨, 300.
- Matsumoto, T. (1969) Geochronology and historical geology in Japan. *Mass Spectroscopy*, **17**, 434-444.
- 村松 武(1998) 赤石山地中部, 四万十帯の地質と放射虫化石. 日本地質学会第105年学術大会講演要旨, 340.
- Okada, H. (1971) Classification of sandstone : analysis and proposal. *Jour. Geol.*, **79**, 509-525.
- 岡田博有(1977) 九州四万十帯層群砂岩の予察的研究—とくに岩石帯 (petrographic zone) の提唱—. 九大理学研報 (地質), **12**, 203-214.
- 奥村公男・寺岡易司・杉山雄一(1985) 蒲江地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 58p.
- Roser, B. P. (1996) Sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting : 2. Effects of grain size on the Al₂O₃/SiO₂-Basicity Index diagram, and application to recycled and medium-grade metamorphic terranes of New Zealand. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **50**, 238-250.
- Roser, B. P. (1998) Major and trace element systematics in the Shimanto Belt, Kii Peninsula, preliminary results. *Fundamental Research (A) : Sandstone Composition and Tectonics of Mobile Belts in East Asia*, no. 4, 83-88.
- 斎藤 真・木村克己・内藤一樹・酒井 彰(1996) 椎葉村地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 133p.
- 斎藤 真・佐藤喜男・横山勝三(1994) 末吉地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 111p.
- 斎藤 真・杉山和弘・佐藤喜男(1993) 鹿児島県東部の四万十帯層群から産出した白亜紀放射虫化石とその地質学的意義. 地質雑, **99**, 1037-1040.
- 坂井 卓・艸場 敬・西 弘嗣・小守道郎・渡辺正幸(1987) 宮崎県日南地域の四万十帯オリストリス—特にオリストリスの変形構造と配置の機構について—. 九大理学研報 (地質), **15**, 167-199.
- 柴田 賢・西村祐二郎(1989) 三郡変成岩の同位体年代. 地質学論集, no. 33, 317-341.
- 柴田 賢・野沢 保(1973) 牟婁層群中のオーソコー

- ツアイト礫および片麻岩礫のK-Ar年代. 地調月報, **24**, 551-553.
- 柴田 賢・高木秀雄・稲崎富士・内海 茂 (1993) 赤石山地, 青崩峠地域の戸台構造帯の花崗岩類とその放射年代. 地質雑, **99**, 135-144.
- 鈴木寿志・磯崎行雄・板谷徹丸 (1990) 四国東部に於ける三波川変成帯と黒瀬川地帯の構造的累重関係—徳島県上勝町北東部に分布する弱変成岩類のK-Ar年代—. 地質雑, **96**, 143-153.
- 鈴木博之・原田哲朗・石上知良・公文富士夫・中屋志津男・坂本隆彦・立石雅昭・徳岡隆夫・井内美郎 (1979) 栗栖川地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 54p.
- 鈴木博之・公文富士夫・中屋志津男・石上知良・原田哲朗 (1987) 四万十累帯. 中沢圭二・市川浩一郎・市原 実 (編): 日本の地質 6—近畿地方—. 共立出版社, 90-110.
- Taira, A., Okada, H., Whitaker, J. H. McD. and Smith, A. J. (1982) The Shimanto Belt in Japan: Cretaceous-lower Miocene active margin sedimentation. In *Leggelt, J. K. (ed.): Trench-forearc Geology. Geol. Soc. London Sp. Pub.*, no.10, 5-26.
- 平 朝彦・田代正之・岡村 真・甲藤次郎 (1980) 高知県の四万十帯の地質とその起源. 四万十帯の地質と古生物—甲藤次郎教授還暦記念論文集—. 林野弘済会高知支部, 319-389.
- 高木秀雄・柴田 賢 (1996) 古領家帯の復元. テクトニクスと変成作用 (原 郁夫先生退官記念論文集), 創文, 211-219.
- Takasu, A. and Dallmeyer, R. D. (1990) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral age constraints for the tectonothermal evolution of the Sambagawa metamorphic belt, central Shikoku, Japan: a Cretaceous accretionary prism. *Tectonophysics*, **96**, 143-153.
- 竹内 誠 (1986) 紀伊半島中央部, 中・古生界砂岩中の碎屑性ザクロ石. 地質雑, **92**, 289-306.
- 竹内 誠 (1992) 南西諸島奄美大島の中生界砂岩中の碎屑性ザクロ石の起源. 地質学論集, no.38, 237-248.
- 田中啓策 (1974) 和歌山県湯浅地方の白亜系古流系. 地調月報, **25**, 119-132.
- 田中啓策 (1977) 四国南西部宿毛地域の四万十累層群. 地調月報, **28**, 461-476.
- 田中啓策 (1980) 伊予鹿島及び宿毛地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 56p.
- 立石雅昭・別所孝範・原田哲朗・久富邦彦・井内美郎・公文富士夫・中屋志津男・坂本隆彦・鈴木博之・徳岡隆夫 (1979) 江住地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 65p.
- 寺岡易司 (1977a) 領家・三波川両帯における白亜紀堆積盆. 秀 敬 (編): 三波川帯. 広大出版会, 419-431.
- 寺岡易司 (1977b) 西南日本中軸帯と四万十帯の白亜系砂岩の比較—四万十地向斜堆積物の供給源に関連して—. 地質雑, **83**, 795-810.
- 寺岡易司 (1979) 砂岩組成からみた四万十地向斜堆積物の起源. 地質雑, **85**, 753-769.
- 寺岡易司・池田幸雄・鹿島愛彦 (1986) 宇和島地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 91p.
- 寺岡易司・栗本史雄 (1989) 20万分の1地質図幅「宇和島」. 地質調査所.
- 寺岡易司・奥村公男 (1992) 四万十帯北帯の構造区分と白亜系砂岩組成. 地質学論集, no. 38, 261-270.
- 寺岡易司・奥村公男・今井 功 (1974) 九州耳川地域の四万十累層群砂岩—四万十帯の構造区分に関連して—. 楠見 久先生退官記念論文集, 133-151.
- 寺岡易司・奥村公男・村田明広・星住英夫 (1990) 佐伯地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 78p.
- 寺岡易司・柴田 賢・奥村公男・内海 茂 (1994) 九州東部-四国西部の四万十累層群中の碎屑性カリ長石および白雲母のK-Ar年代. 地質雑, **100**, 477-485.
- 寺岡易司・鈴木盛久・林 武広・奥村公男 (1995) 九州東部檜峰-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. 広大学校教育学部紀要, pt. II, **17**, 83-94.
- 寺岡易司・鈴木盛久・林 武広・奥村公男 (1996) 赤石山地四万十帯の碎屑岩組成. 広大学校教育学部紀要, pt. II, **18**, 83-98.
- 寺岡易司・鈴木盛久・林 武広・川上久美 (1997) 大野川地域の中・古生界砂岩に含まれる碎屑性ザクロ石. 広大学校教育学部紀要, pt. II, **19**, 87-102.
- 寺岡易司・鈴木盛久・川上久美 (1998) 西南日本中軸帯の白亜紀-古第三紀堆積物の供給源. 地調月報, **49**, 395-411.
- Thein, M., Ogawa, Y. and Akiyama, T. (1991) Finding of Cretaceous radiolarians from the block of sheared olistostrome in the southern part of the Shimanto Belt near the Ashizuri Cape, Kochi Prefecture. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 667-669.

- Tokuoka, T.(1967) The Shimanto Terrane in the Kii Peninsula, Southwest Japan – with special reference to its geologic development viewed from coarser clastic sediments. *Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ.*, ser. Geol. & Min., **37**, 113-132.
- 徳岡隆夫・公文富士夫(1979)赤石山地と紀伊半島の四万十帯 – とくに砂岩の鉱物組成の考察 – . 国立科学博専報, no. 12, 41-54.
- 徳岡隆夫・原田哲朗・井内美郎・石上知良・木村克己・公文富士夫・中条健次・中屋志津男・坂本隆彦・鈴木博之・谷口純造(1981)竜神地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 69p.
- 山崎哲司・須鎗和己(1990)高知県宿毛市周辺の四万十帯南帯の微化石年代. 愛媛大教育学部紀要, 自然科学, **10**, 7-17.
- 山崎哲司・須鎗和己・石田啓祐・寺戸恒夫・東名省三・祖父江勝孝・久米嘉明・大戸井義美・細岡秀博・正岡啓治・鎌田誠一(1987)海部町地域の地質と古生物 – 安芸構造線の再検討 – . 阿波学会紀要, no.33,131-147.
- 山崎哲司・鶴田真司(1996)愛媛県北宇和郡広見町近永南方の白亜系の放散虫群集. 愛媛大教育学部紀要, 自然科学, **17**, 7-16.
- 吉倉紳一・板谷徹丸・岡村 真(1991)四国四万十帯大山岬産結晶片岩礫のK-Ar年代. 日本地質学会第98年学術大会講演要旨, 434.
- 吉倉紳一・鈴木堯士・真部由華・Gabites, J. (1996) 四万十帯大山岬産珪長質火成岩礫のジルコンU-Pb年代. 日本地質学会関西支部会報, no. 121, 西日本支部会報, no. 109, (合併号), 5.

* in Chinese with English abstract

** in Russian

(受付: 1999年4月16日; 受理1999年6月17日)