

西南日本中軸帯の白亜紀-古第三紀堆積物の供給源

寺岡易司* 鈴木盛久** 川上久美***

Yoji TERAOKA, Morihisa SUZUKI and Kumi KAWAKAMI (1998) Provenance of Cretaceous and Paleogene sediments in the Median Zone of Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 49 (8), p. 395-411, 16 figs., 1 table.

Abstract: The Median Zone of Southwest Japan began to subside rapidly in the mid Cretaceous, and the Goshonoura-Onogawa basin was formed in Late Albian to Santonian time along the Usuki-Yatsushiro Tectonic Line in Kyushu. The succeeding Izumi basin existed in Campanian to Maastrichtian time along the Median Tectonic Line in Shikoku and eastward. In west Kyushu another Late Cretaceous basin called the Himenoura basin appeared in the Coniacian on the north of the Goshonoura-Onogawa basin. These basins were filled with marine and partly nonmarine sediments rich in turbidite, which were supplied mostly from the north and were unconformably covered by the Paleogene. Petrographical study of sandstones and conglomerates indicates that the Cretaceous and Paleogene sediments consist mainly of clastics of felsic to intermediate volcanic and granitic rocks with minor amounts of those of sedimentary and metamorphic rocks. The sandstones contain detrital garnets derived from various kinds of metamorphic and granitic rocks not only in the Japanese Islands but also in the Asian continent. In this connection some discussions have been made on the classification of garnets in relation to their origin and the boundary between the Sino-Korean and Yangtze Massifs.

It can be pointed out from the above that the main source area for the Cretaceous and Paleogene sediments was spread over from the Inner Zone of Southwest Japan to the eastern part of the Asian continent.

要 旨

中央構造線や臼杵-八代構造線沿いの西南日本中軸帯には、白亜紀前期末-後期の厚い海成、一部非海成の地層群が分布し、九州東部以東においてはその中にタービダイトがよく発達している。古第三系はこの白亜系を不整合に覆っている。砂岩モード組成、礫種、古流系などからみると、これらの堆積物は大部分が北側から供給され、主として酸-中性火山岩や花崗岩類の碎屑物で構成されており、堆積岩や変成岩からの物質もかなり含んでいる。なお、少量ながら秩父帯側からの碎屑物流入も認められる。白亜系-古第三系砂岩には、Mgに富む高度変

成岩起源のものをはじめ、様々なタイプの碎屑性ザクロ石が入っている。化学組成の検討結果によると、それらの供給源としては内帯に分布する変成岩・花崗岩類のほか、中朝地塊やハンカ地塊の先カンブリア変成岩もかなり大きなウェートを占めていたとみなされる。このことは粗粒碎屑岩組成とともに、北側からの堆積物が多源的で、西南日本内帯だけでなく、アジア大陸東部も含めた広大な後背地からもたらされたことを示す。

1. はじめに

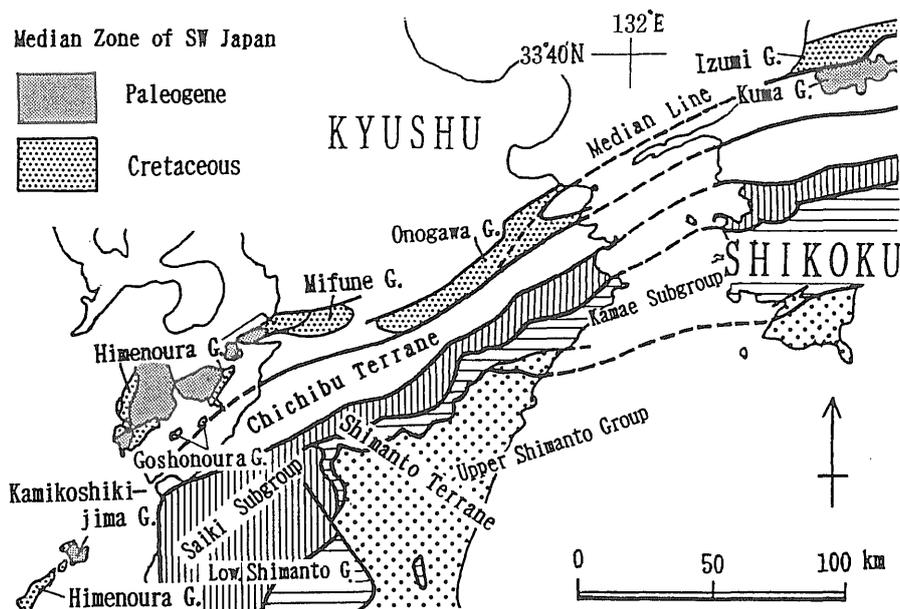
西南日本中軸帯は、内帯側の火成活動と隆起運動に呼応して、白亜紀前期末から後期にかけての時代に大きく沈降し、そこに大量の碎屑物が運び込まれ、海成、一部非海成の厚い地層群が形成された。この地層群は時代や場所によって著しく層相を異にし、その堆積及び構造は中央構造線や臼杵-八代構造線の活動に強く規制されて

Keywords: Southwest Japan, Asian continent, Precambrian, Permian, Triassic, Cretaceous, Paleogene, sandstone mode, garnet, sedimentation, provenance.

* 国際協力室—科学技術庁重点研究協力員—(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)



第1図 九州・四国西部における西南日本中軸帯の白亜系-古第三系分布。

Fig. 1 Geologic sketch map of Kyushu and west Shikoku showing the distribution of the Cretaceous and Paleogene in the Median Zone of Southwest Japan.

いる。中軸帯白亜系の本格的な研究は1920年代に始まり、Matsumoto (1954) の総括によって層序の大綱が明らかになった。その後も多くの研究がなされ、この白亜系は臼杵-八代構造線のすぐ北側に位置する南列(御所浦-大野川帯)の御所浦層群(アルビアン上部-セノマニアン)、御船層群(セノマニアン-チューロニアン)及び大野川層群(セノマニアン-サントニアン)、大分-熊本・中央両構造線に沿う北列(姫浦-和泉帯)の姫浦層群(コニアシアン-マーストリヒチアン)及び和泉層群(カンパニアン-マーストリヒチアン)とに大別されている(第1図)。南北いずれの地帯においても大局的には東に分布する地層ほど若くなっている。古第三系は白亜系を不整合に覆って天草-甕島地域や松山南方に分布している。

本論文ではまず中軸帯白亜系-古第三系の粗粒碎屑岩組成と碎屑性ザクロ石について述べ、それらのデータに堆積盆解析の資料を加味しながら堆積物の供給源に関する考察を行う。また、これに関連して中軸帯以外の西南日本各帯からの碎屑性ザクロ石に言及するとともに、アジア大陸東部の地体構造や先カンブリア変成岩中のザクロ石などについても検討する。

ザクロ石の化学分析は、広島大学の機器分析センターにおいて、(故)南朝生技官、一部柴田恭宏技官によってなされた。記して謝意を表す。

2. 粗粒碎屑岩の組成

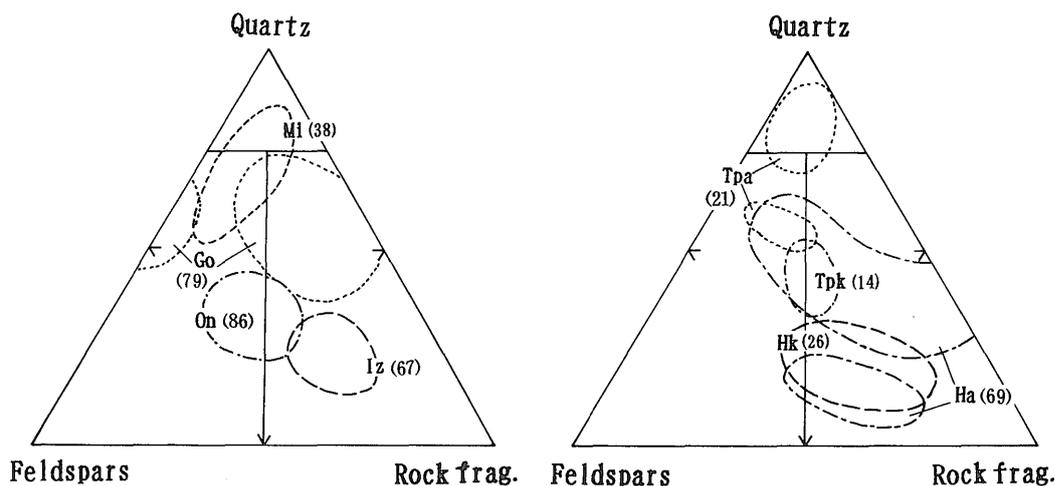
中軸帯白亜系-古第三系砂岩の層群別モード組成を第2図と第3図に、平均モード組成を第1表に示す。

御所浦・御船両層群の粗粒碎屑岩についてはOkada

(1960, 1961, 1981)の研究がある。それによると、礫として御所浦層群には花崗岩・アプライト・石英斑岩・ひん岩・流紋岩・石英安山岩・チャート・珪岩・砂岩・泥岩・ホルンフェルス・雲母片岩・片麻岩など、御船層群には石英斑岩・ひん岩・チャート・泥岩・砂岩・千枚岩・結晶片岩・蛇紋岩などが入っている。両層群の砂岩には石英が多く、平均すると御所浦層群でフレームワークグレインの約55%、御船層群では77%を占めており、長石と岩片の量はそれぞれ17%と28%及び13%と10%にすぎない。カリ長石/長石比は御所浦層群で0.75、御船層群で0.48と高い。いずれの砂岩においても岩片の大部分はチャートからなる。

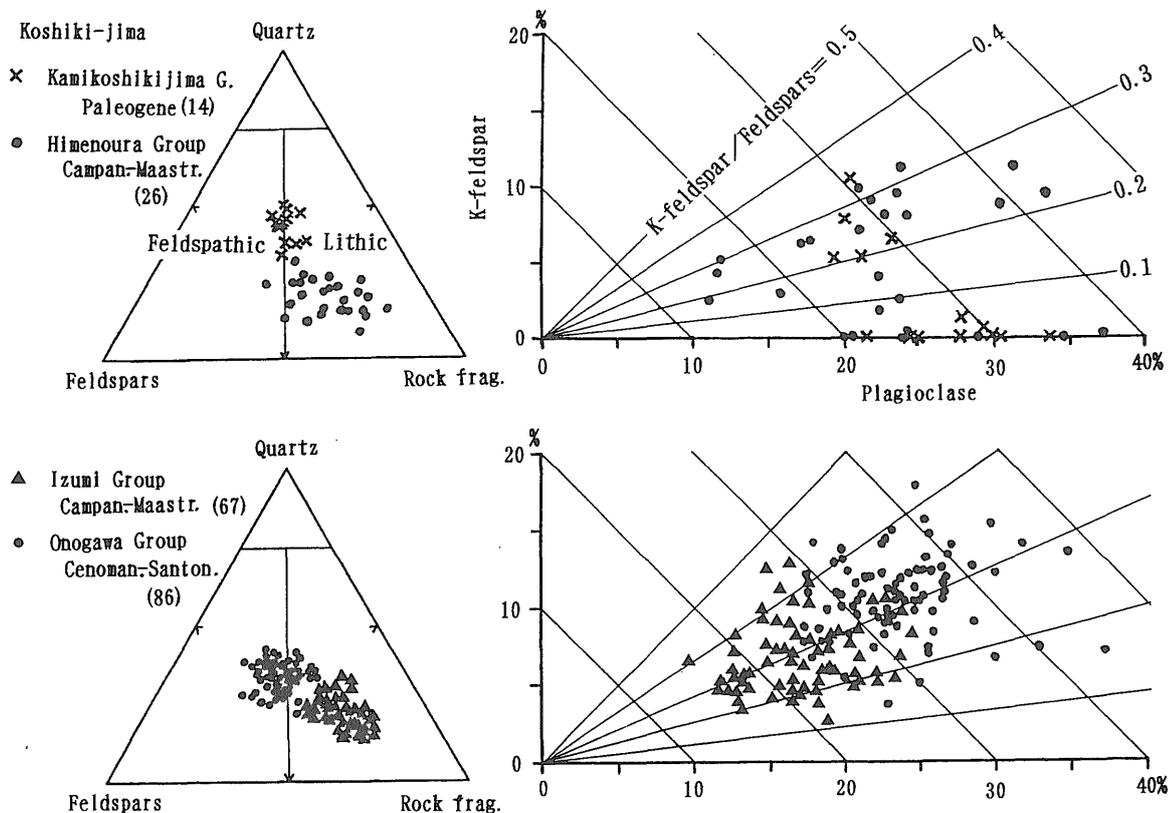
大野川層群では多くの層準に礫岩があり、御所浦・御船両層群に比べ概して堆積物の粒度が粗い。礫としては花崗岩類・閃緑岩・はんれい岩・石英斑岩・ひん岩・流紋岩・石英安山岩・安山岩・玄武岩・チャート・石灰岩・泥岩・砂岩・礫岩・片状ホルンフェルス・雲母片岩・片麻岩・脈石英・千枚岩・結晶片岩・角閃岩・蛇紋岩などが認められ、量的には酸-中性火山岩と花崗岩類が圧倒的に多い。大部分の礫はよく円磨されているが、石灰岩・泥岩・砂岩・千枚岩・結晶片岩などはときに角ばった巨礫としてはいり、碎屑物の供給源が多様であったことを示唆する。礫の産状や岩質についての詳しい記載は寺岡(1970)や小島(1973)にある。本層群の砂岩は石英と長石をほぼ同量含み、長石質-石質で、カリ長石/長石比の平均は0.29である(寺岡, 1977b; 寺岡ほか, 1997)。岩片は礫と同じような岩種からなるが、そのほぼ3分の2は酸-中性火山岩片で占められる。

和泉層群の砂岩は石質であり、岩片の大部分が酸性火



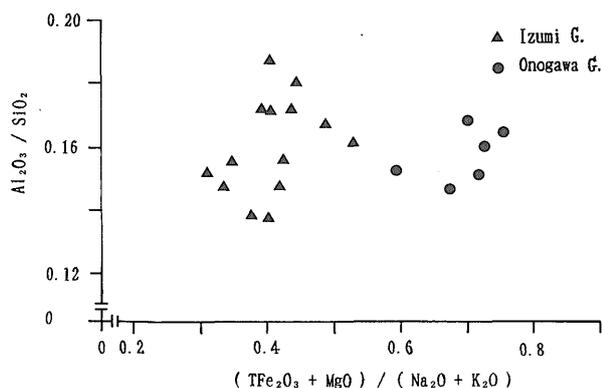
第2図 西南日本中軸帯の白亜系-古第三系砂岩のモード組成.

Fig. 2 Modal composition of sandstones from the Cretaceous and Paleogene in the Median Zone of Southwest Japan. Go: Goshonoura Group (Okada, 1981); Mi: Mifune Group (Okada, 1981); On: Onogawa Group (Teraoka *et al.*, 1997); Iz: Izumi Group (Teraoka *et al.*, 1998); Ha: Himenoura Group on Amakusa Islands (Miki, 1972, 1973; Miki and Uematsu, 1973); Hk: Himenoura Group on Koshiki Islands (Teraoka *et al.*, 1998); Tpa: Paleogene on Amakusa Islands (Miki, 1972, 1973; Miki and Uematsu, 1973); Tpk: Paleogene (Kamikoshikijima Group) on Koshiki Islands (Teraoka *et al.*, 1998). Numerals in parentheses indicate number of examined samples in Figs. 2 and 3, and Table 1.



第3図 大野川層群, 和泉層群, 姫浦層群及び上甕島層群の砂岩モード組成.

Fig. 3 Modal composition of sandstones from the Onogawa, Izumi, Himenoura and Kamikoshikijima Groups.



第4図 大野川層群と和泉層群の砂岩化学組成の比較。
Fig. 4 Al_2O_3/SiO_2 vs $(TFe_2O_3 + MgO)/(Na_2O + K_2O)$ diagram for sandstones from the Onogawa and Izumi Groups.

山岩からなる (原田, 1965; Nishimura, 1976; 寺岡, 1977 b; 西村, 1984; 寺岡ほか, 1998). したがって, 大野川層群の場合よりも構成物質に酸性岩起源のものが多く, このことは全岩の化学組成によく表れている (第4図). なお, 和泉層群砂岩の分析データは Ishihara *et al.* (1985), 西村 (1991) による. カリ長石/長石比の点では両層群間に有為の差はない. 和泉層群内ではかなり顕著な砂岩組成の変動がある. すなわち, 本層群をカンパニアン下部 (松山地域), カンパニアン上部 (讃岐山脈) 及びマーストリヒチアン (和泉山脈) とに分け, それぞれの平均モード組成を比較してみると, 層序的には上位, 地域的には東ほど岩片が増え, 石英と長石が減少する傾向が認められる (第1表). この地層群の基底礫岩中には花崗岩類や酸性火山岩の礫が多く, 石英斑岩・安山岩・チャート・泥岩・砂岩・ホルンフェルス・雲母片岩・片麻岩などの礫もみられる.

松山南方に分布する久万層群は, 三波川変成岩を不整合に覆う浅海-非海成始新統とされている地層群で, 一部和泉層群上にものっている (Nagai, 1968; 木原, 1985 など). この中には幾つもの層準に礫岩があり, 下部では基盤からの結晶片岩礫が, 上部では和泉層群起源の砂岩礫がそれぞれ主体をなす. これらのほか酸-中性火山岩・チャートなどの礫もある. なお, 鹿島・武智 (1996) は本層群中に挟在する凝灰岩のフィジョン・トラック年代として 16.5 ± 0.7 Ma を報告しており, 久万層群の時代については再検討の余地がある.

第3図と第1表には, 井上ほか (1982) や寺岡ほか (1998) に基づき, 甌島の姫浦層群と上甌島層群の砂岩組成を示してある. この姫浦層群砂岩も和泉層群の場合と同様に大部分が石質で, 火山岩片に富むが, それには酸性火山岩片だけでなく, 中性火山岩片もかなり入っている. また, 和泉層群のものに比べ組成変動幅が大きくてカリ長石/長石比が小さい (0.3以下が普通で, カリ長石を欠くこともある). 礫岩中には花崗岩類・閃緑岩・石英斑岩・酸-中性火山岩・チャート・泥岩・砂岩・ホルンフェルス・片麻岩などの礫が入っている. 古第三系の上甌島層群になると砂岩中の石英が急増し, 岩片が少なくなる. 長石量は姫浦層群のものとはほとんど変わらないが, 斜長石の比率が高く, カリ長石を欠く場合が多くなり, カリ長石/長石比の平均が 0.09 とごく小さい. 天草諸島の姫浦層群砂岩には, 甌島のそれとほぼ同じ組成のものと比較的石英に富み長石に乏しいものがあり, いずれも多くの場合石質である (第2図). 古第三系砂岩には石英がきわめて多く, 岩片がごく少ない.

第1表 大野川層群, 和泉層群, 姫浦層群及び上甌島層群の砂岩平均モード組成。
Table 1 Average modal composition of sandstones from the Onogawa, Izumi, Himenoura and Kamikoshikijima Groups.

| Stratigraphic unit | | Matrix | Framework grain | | | | |
|--------------------|-------------------|--------|-----------------|------|------|------|------|
| | | | Q | K | P | F | R |
| Kamikoshikijima G. | Paleogene (14) | 13.2% | 43.0 | 2.6 | 25.3 | 27.9 | 29.1 |
| Himenoura Group | Camp-Maast. (26) | 16.2 | 19.7 | 5.0 | 22.9 | 27.9 | 52.4 |
| Izumi Group | Maastricht. (12) | 18.3 | 18.2 | 6.4 | 14.4 | 20.8 | 61.0 |
| | Up. Campan. (25) | 17.2 | 19.7 | 5.4 | 18.6 | 24.0 | 56.3 |
| | Low. Campan. (30) | 18.8 | 24.9 | 8.0 | 17.2 | 25.2 | 49.9 |
| | Average (67) | 18.1 | 21.7 | 6.7 | 17.2 | 23.9 | 54.2 |
| Onogawa Group | Santonian (23) | 17.3 | 33.0 | 10.0 | 23.7 | 33.7 | 33.3 |
| | Coniacian (39) | 15.7 | 35.7 | 10.7 | 22.6 | 33.3 | 31.0 |
| | Turonian (19) | 15.9 | 31.7 | 11.5 | 24.5 | 36.0 | 31.3 |
| | Cenomanian (5) | 20.7 | 26.2 | 11.0 | 25.0 | 36.0 | 37.8 |
| | Average (86) | 16.5 | 33.6 | 10.8 | 23.5 | 34.3 | 32.1 |

3. ザクロ石のタイプ

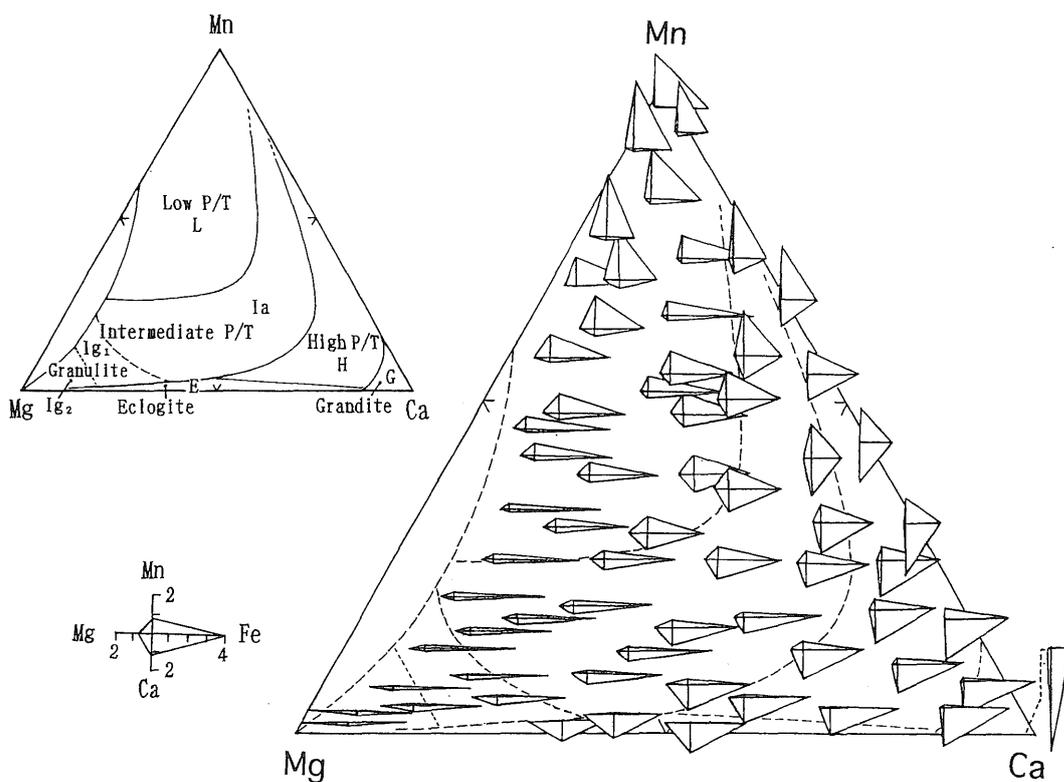
堆積物中に碎屑粒子として含まれるザクロ石は、量的にはごくわずかであるが、その起源は様々であり、碎屑物の供給源を推定するうえで重要な手掛かりとなる。そこでまずはじめに、ザクロ石の組成がそれを含む岩石の種類によってどのように違うかについて述べておく。

さきに寺岡ほか (1997) は、ザクロ石の組成表示法として、Mn, Ca, Mg 及び Fe のイオン数をレーダーダイアグラムで表すことや、Mn-Mg-Ca 三角図を用いる方法を提示した。またその際、西南日本をはじめアジア大陸東端部、一部ヨーロッパの変成岩・火成岩中のザクロ石の組成についても検討し、この鉱物の分類図を示した。レーダーダイアグラムというのは、上記の4イオン数を直交する上下・左右の2軸にプロットし、各点を結んで四辺形をつかったものであり、その形を一見ただけで個々のザクロ石粒の特徴がよくわかる。Mn-Mg-Ca 図は、通常の Mn-Mg-Fe 図や Mn-Fe-Ca 図、またはザクロ石の端成分を用いた三角図の場合より、広い領域をつかって組成表示を行うことができ、しかも Fe が入っていないにもかかわらず、レーダーダイアグラムとうまく対応する。

第5図では、寺岡ほか (1997) の分類図におけるより

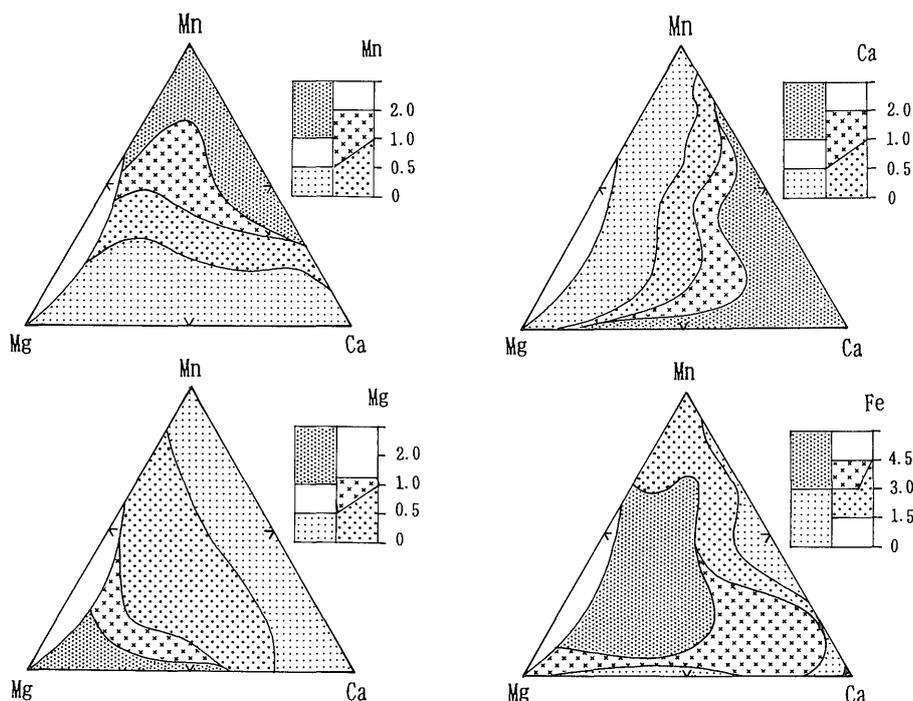
もグラニュライト相変成岩のザクロ石組成範囲を狭くし、エクロジャイトのそれを Ca コーナー側に若干ひろげてある。本図作成にあたっては、変成岩や火成岩中のものだけでなく、碎屑性ザクロ石も含め、総数 3,060 個の分析値を用い、O=24 としたときの Mg イオン数を Mn-Mg-Ca 図にプロットし、その値が 1.0 以上になる点の集中域 (エクロジャイトのザクロ石組成域を除く) をグラニュライト相変成岩のザクロ石組成領域とした。もちろん、この領域外にも少数ながら Mg > 1.0 (多くは 1.3 以下) のものが含まれており (第6図)、また同領域内には Mg < 1.0 のザクロ石 1,093 個のうちの約 2% が入っている。エクロジャイトの場合は、中国の大別-山東帯からの資料 (第14, 15図) を追加して組成領域変更を行った。

要するにザクロ石は、それが含まれる岩石の種類によって、第5図のような幾つかのタイプに分けることができ、記号で L, Ia-Ig, H, E 及び G としたものは、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, エクロジャイト及び石灰質岩源変成岩 (ロジンジャイトも含む) に対応する。花崗岩類中のザクロ石は低 P/T 型、一部中 P/T 型 Ia にはいる。Ig₁ と Ig₂ の境界値は $Mg / (Mn + Mg + Ca) = 0.8$ であり、このような区分をした理由はあとで



第5図 ザクロ石のタイプ分けを示すレーダーダイアグラムと Mn-Mg-Ca 図。

Fig. 5 Radar and Mn-Mg-Ca diagrams showing classification of garnet (modified from Teraoka *et al.*, 1997). Number of Mn, Mg, Ca and Fe cations on the basis of O=24 in Figs. 5 to 7 and 10. Abbreviations L, Ia, Ig₁, Ig₂, H, G and E are common in Figs. 5, 8 to 13 and 15.



第6図 Mn-Mg-Ca 図の領域によるザクロ石の Mn, Mg, Ca 及び Fe イオン数変動。
 Fig. 6 Variation in number of Mn, Mg, Ca and Fe cations in Mn-Mg-Ca diagram (modified from Teraoka *et al.*, 1997). The diagrams are drawn using 3,060 analyses of garnet.

述べる。以下、記載の便宜上、低 P/T 型、中 P/T 型及び高 P/T 型はそれぞれ低圧型、中圧型及び高圧型と呼称し、中圧型を細分したものは記号で表すことにする。

4. 碎屑性ザクロ石

砂岩試料 20 個から分離したザクロ石 274 粒の化学組成を第 7, 8 図に示す。試料の内訳は御船層群 3, 大野川層群 8, 和泉層群 3, 姫浦層群 4 (天草上島東岸 2, 天草下島西岸 1, 上甕島 1), 上甕島層群 1 及び久万層群 1 である。和泉層群ではザクロ石がきわめて少なく、処理した数 10 個の試料のうち、それが得られたのは松山東方、讃岐山脈及び和泉山脈からのそれぞれ 1 個だけである。大野川層群のザクロ石については、南隣の秩父帯中・古生界のものとともに既に報告済みであるが (寺岡ほか, 1997), ここではその後の分析データを加えて述べることにする。

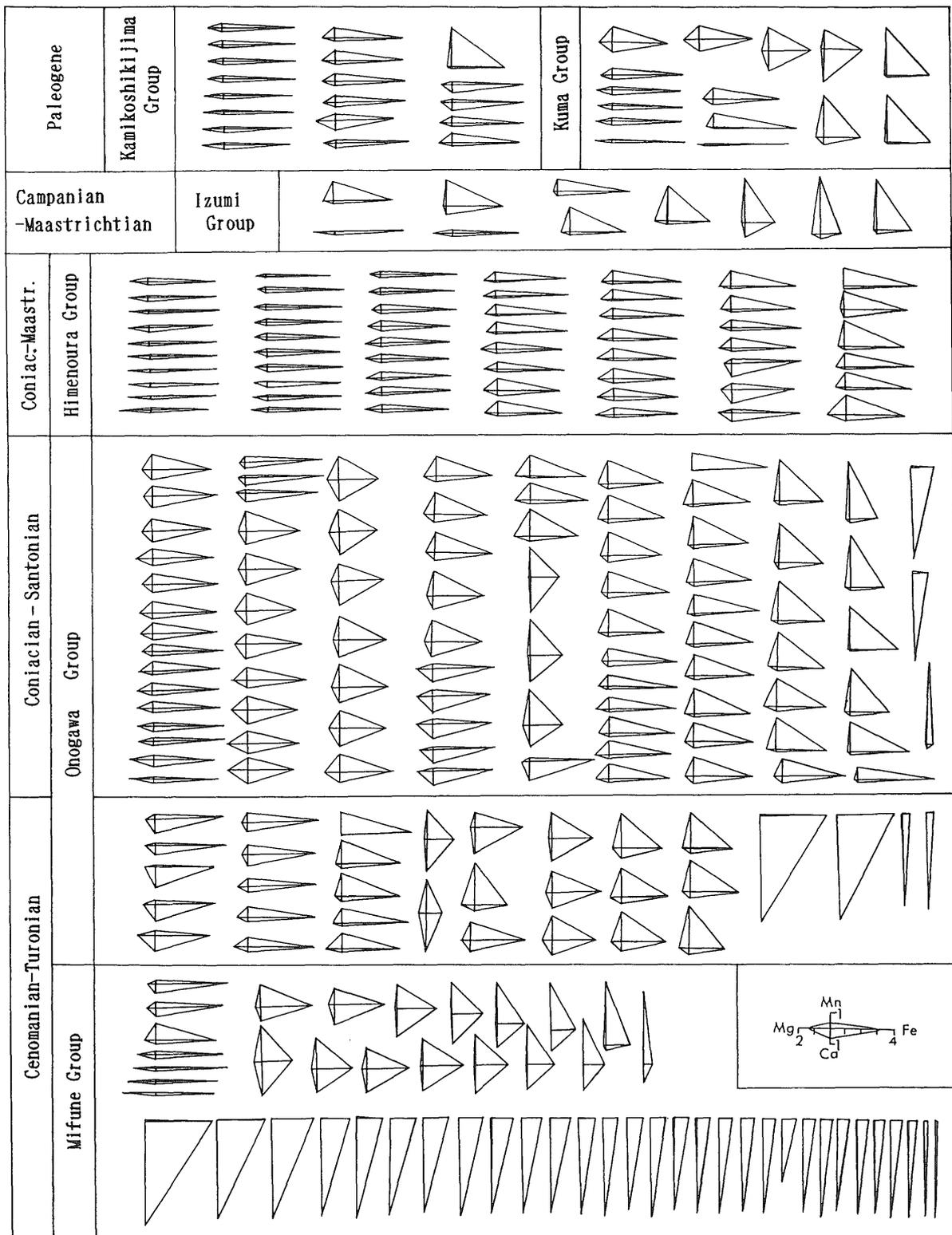
中軸帯白亜系-古第三系中には、エクロジャイト型以外の様々なタイプのザクロ石が碎屑粒子として入っており、これらの組合せや量比は時代により、また同じ時代でも地域によって異なる (第 9 図)。

九州東部、大野川盆地南側の秩父帯下部白亜系では中圧型ザクロ石、とくに Ig が卓越するのに対し、上部白亜系の田野層群 (セノマニアン-チューロニアン) になると低圧型が多くなる (第 10 図)。中軸帯西部の御船層群は田野層群に対比されるものであるが、両層群のザクロ石

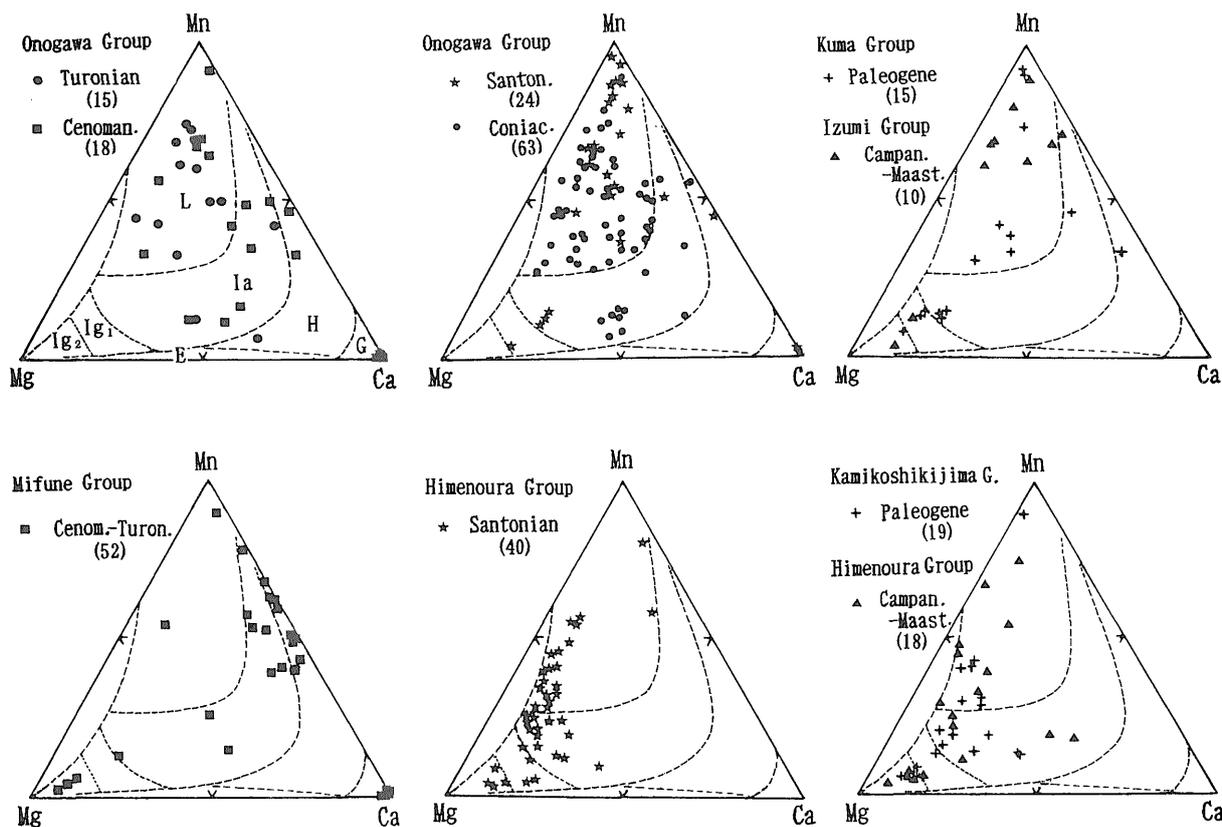
は著しく違っている。すなわち、御船層群では Ca に富むグランダイトが異常に多く、全体の 60% ちかくを占め、高圧型も 15% 内外あって低圧型はごく少ない。ただし高圧型といっても比較的 Mn に富み、Mg や Fe に乏しいもので、三波川変成岩中のザクロ石のコア一部分 (第 11 図) によく似た組成をもっている。このことは中軸帯の他の白亜系や古第三系に含まれる高圧型ザクロ石についてもいえる。

大野川層群の場合は、御船層群に相当する最下部の地層でグランダイトや高圧型が目立つが、両者を合わせても 30% 未満であり、層群全体としての特徴は低圧型が多いことである。このタイプのもはセノマニアンからコニアシアンにかけて増加し、それに伴ってグランダイトと高圧型が減少していく。サントニアンになるとこの傾向が逆になる。御船・大野川両層群に入っている中圧型の大部分は Ia である。姫浦層群ではザクロ石のほぼ半数が中圧型で占められ、層序的上位に向かって Ia が減少し Ig₂ が増えていく。一方、和泉層群においては姫浦層群の場合同様に Ig を含み、グランダイトを欠くが、後者におけるよりもはるかに低圧型の比率が高い。古第三系になると低圧型が減って中圧型が増加し、両者の割合が上甕島層群では 1:3, 久万層群ではほぼ同じになる。

碎屑性ザクロ石にはいろいろな組成のものがあり、その起源は多様である。ザクロ石は変成岩中にごく普通にみられる鉱物であって、花崗岩類や一部の火山岩にも含

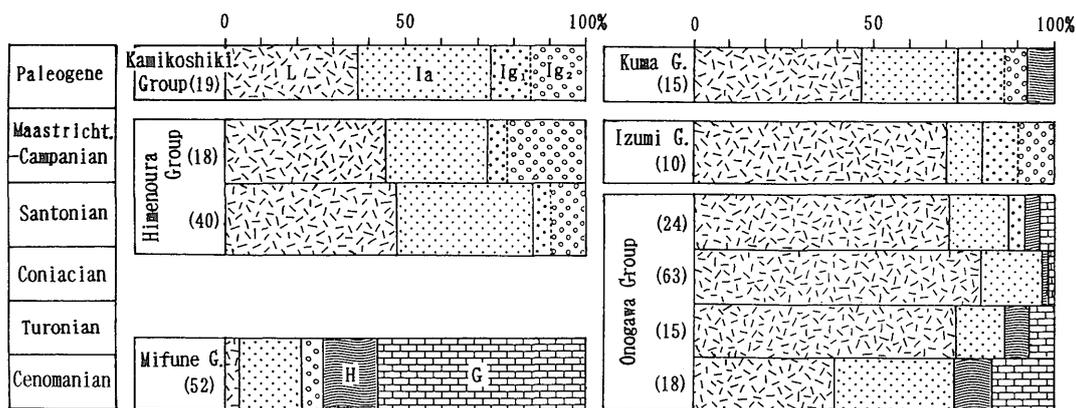


第7図 西南日本中軸帯の白亜系-古第三系砂岩に含まれる碎屑性ザクロ石のレーダーダイヤグラム。
 Fig. 7 Radar diagrams for detrital garnets from Cretaceous and Paleogene sandstones in the Median Zone of Southwest Japan.



第8図 西南日本中軸帯の白亜系-古第三系砂岩に含まれる碎屑性ザクロ石の Mn-Mg-Ca 図。

Fig. 8 Mn-Mg-Ca diagrams for detrital garnets from Cretaceous and Paleogene sandstones in the Median Zone of Southwest Japan. Numerals in parentheses indicate number of analysed garnet grains in Figs. 8 to 10, 12, 13 and 15.



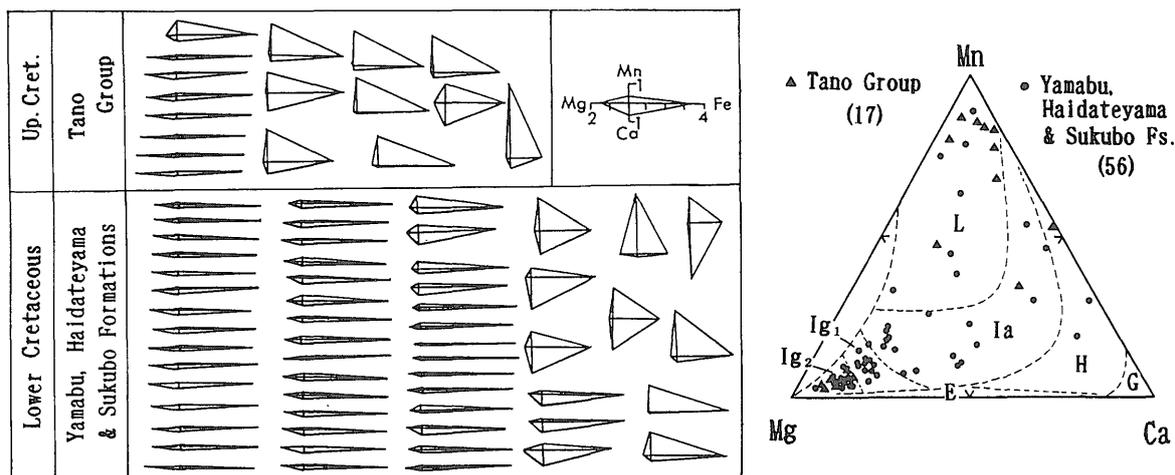
第9図 西南日本中軸帯の白亜系-古第三系砂岩に含まれる碎屑性ザクロ石のタイプとそれらの量比。

Fig. 9 Diagram showing types of detrital garnet and their ratios in Cretaceous and Paleogene sandstones in the Median Zone of Southwest Japan.

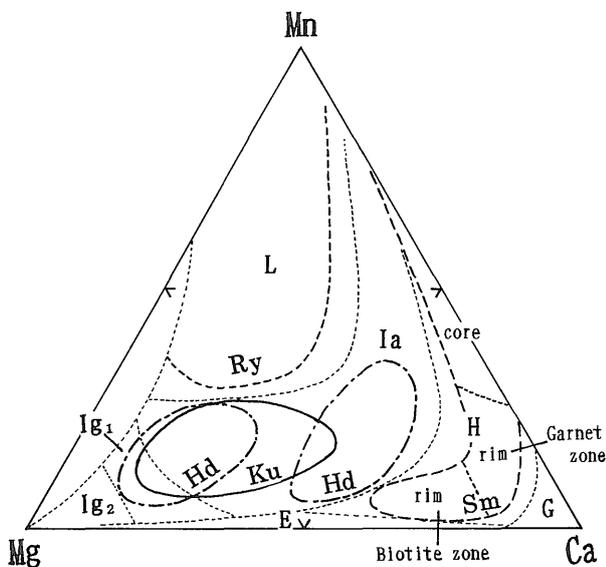
まれている。したがって、碎屑性ザクロ石の供給源としてはまず西南日本に分布する変成岩類が想定されるので、それらのザクロ石の組成範囲を第11図に示す。なお、この図には石灰質岩・塩基性岩源変成岩のものは入っていない。第8図と第11図からすると、碎屑性ザクロ石の大部分は西南日本起源としてもよさそうに思われるが、問題は $Mg/(Mn+Mg+Ca)$ が0.8以上の Ig_2 である。現在のところ日本列島では Ig_2 のようなザクロ石

を含む高度変成岩体は見いだされていない。これが Ig_1 と Ig_2 をわけた理由である。

中軸帯の白亜系-古第三系に関する限り Ig_2 の量はあまり多くない。しかし、秩父帯のジュラ系-下部白亜系や四万十層群ではその含有率がかなり高い(寺岡ほか, 1997)。第12図に四万十層群に含まれる碎屑性ザクロ石を示してあるが、その中で Ig_1 と Ig_2 が占める比率は白亜系の下部四万十層群(分析したザクロ石の粒子数は

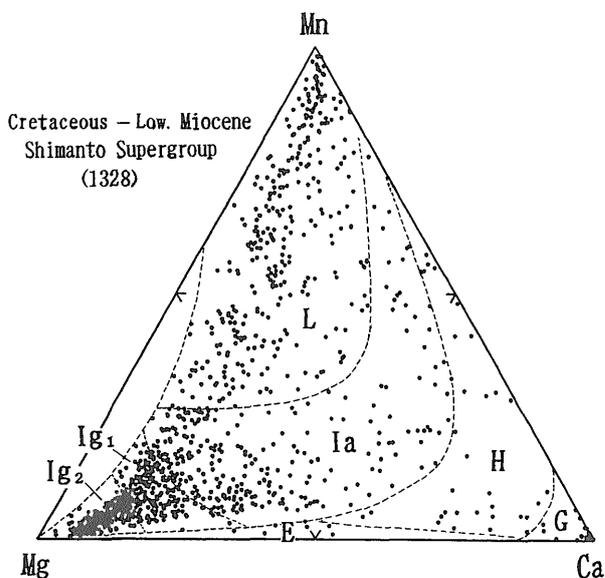


第10図 九州東部の秩父帯白亜系砂岩に含まれる碎屑性ザクロ石のレーダーダイヤグラムとMn-Mg-Ca図。
 Fig. 10 Radar and Mn-Mg-Ca diagrams for detrital garnets from Cretaceous sandstones of the Chichibu Terrane in east Kyushu (after Teraoka *et al.*, 1997).



第11図 西南日本の泥質変成岩に含まれるザクロ石のMn-Mg-Ca図。
 Fig. 11 Mn-Mg-Ca diagram for garnets from pelitic metamorphic rocks in the Inner Zone of Southwest Japan (after Teraoka *et al.*, 1997). Ry: Ryoke metamorphic rocks; Hd: Hida metamorphic rocks; Ku: metamorphic rocks of Kurosegawa Belt; Sm: Sambagawa metamorphic rocks.

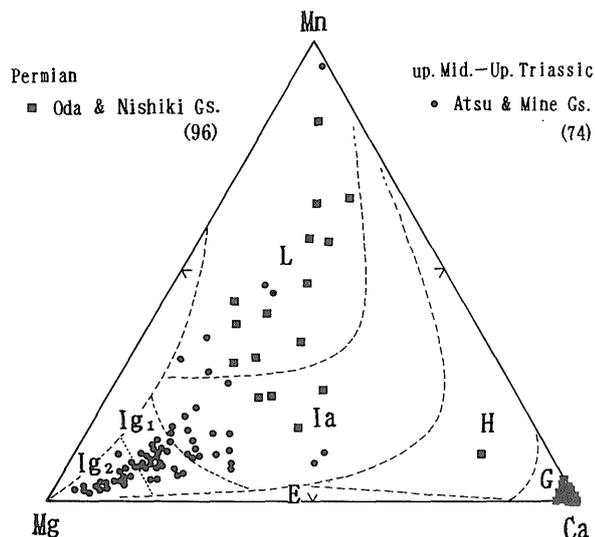
1,030, 以下同様) でそれぞれ 19.3%と 22.6%, 第三系の上部四万十層群 (298) では 11.4%と 59.8%であり, これらと Ia を合わせた中圧型ザクロ石は下部四万十層群で 64.1%, 上部四万十層群では 84.3%になる。また, 上部四万十層群を不整合に覆って四国西部の足摺半島に分布する中新統の三崎層 (28) では Ia が 10.8%, Ig₁ が 17.8%で, Ig₂ は 64.3%にも達する。いずれにしても詳細は別の機会に報告する予定であるが, 四万十帯ではグラニューライト相変成岩起源のザクロ石が多く, しかも Ig₂ が時代とともに増加している。次にこのようなザクロ石が出始



第12図 四万十層群の砂岩に含まれる碎屑性ザクロ石のMn-Mg-Ca図。
 Fig. 12 Mn-Mg-Ca diagram for detrital garnets from sandstones of the Shimanto Supergroup in Kyushu, Shikoku and central Honshu.

める時代について述べる。

日本列島では三畳紀の中期から後期にかけての時代に碎屑性ザクロ石群集が大きく変わり, 若干の例外はあるが, グランダイトの卓越するものからパイラルスパイトを主とする群集になったことが知られている (Miyamoto and Kuwazuru, 1993; Takeuchi, 1994; 竹内, 1997 など)。このことは山口県下の西南日本内帯において筆者らが行っている研究の結果 (第13図) から明白である。すなわち, 二畳系 (大田層群, 錦層群) ではグランダイトを主とし, 低圧型ザクロ石とごくわずかの中圧型のものを伴っているのに対し, 中・上部三畳系 (厚保層



第13図 中国地方西部の二畳系-三畳系砂岩に含まれる碎屑性ザクロ石のMn-Mg-Ca図。
Fig. 13 Mn-Mg-Ca diagram for detrital garnets from Permian and Triassic sandstones in west Chugoku, Inner Zone of Southwest Japan.

群, 美祢層群)では碎屑性ザクロ石の90%ちかくが中圧型であり, その中には既に多くのIg₂が含まれている。

これまでの記述から分かるように, 少なくとも西南日本の中生界や第三系下半の地層群中には, 日本ではほとんど見られないような高度変成岩起源のザクロ石が他のタイプのもので相伴って広く認められるわけであり, これらの供給源は日本列島だけでなく, アジア大陸の変成岩地域にも求めざるを得ない。

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に位置していたので, 大陸からの碎屑物が日本列島付近の堆積域に流入したはずである。事実, 美濃帯のジュラ系中には先カンブリア系起源の変成岩礫やモナザイト・ジルコン粒子が確認されている (Shibata and Adachi, 1974; Suzuki *et al.*, 1991; Adachi and Suzuki, 1994 など)。竹内 (1992, 1997), Takeuchi (1994) は奄美大島の四万十帯白亜系や南部北上山地のジュラ系のなかに, 高度変成岩からのものと考えられるパイロブ成分に富んだ碎屑性ザクロ石を見だし, その起源を中朝地塊東部に求めている。また, Okada (1981) は粗粒碎屑岩の組成や古第三紀以前における日本列島と朝鮮半島の位置関係などからして, 西南日本の中生代後期堆積物の多くは大陸地塊から供給されたものと推定した。

このように日本の先第三系中にアジア大陸からの碎屑物がかかなり存在するという指摘は幾つかある。しかしながらその供給源地の位置や地質構成などについてはあまり具体的な論議がなされていないようである。そこでザクロ石を手掛かりとしてこの点の検討を行うが, その前にアジア大陸東部のおおまかな地体構造の枠組みを示し

ておこななければならない。

5. アジア大陸東部の地体構造

アジア大陸の東部には, 北に中朝地塊, 南に揚子地塊があり, 先カンブリア系が広く分布している。また, 中朝地塊の北側には, 古生代の褶曲帯を介してハンカ地塊があり, そこにも断片的ながら先カンブリア系が露出する。中朝・揚子両地塊は二畳紀後期から三畳紀前期にかけての時代に衝突・合体し, 大別山や山東半島南部で認められるように, 縫合帯においては超高压変成岩が形成されている (Wang and Liou, 1991; Cong and Wang, 1995 など)。本論ではこの縫合帯を大別-山東帯と仮称するが, 朝鮮半島の地体構造上の位置づけとも関連し, 同帯の東方延長が問題になる。従来, 中朝・揚子両地塊の境界は朝鮮半島にのびるとするのが普通である。しかしながらそれがどこを通るかについては異論がある。最近では, 半島の大部分は中朝地塊に属するが, 東南端部だけは別の構造ユニットであるとしたり (Lee, 1987; Inst. Geol., DPR Korea, 1996), 揚子地塊が西から楔状にはいって半島を南北に大きく2分するとの説 (Wang and Mo, 1995) もある。また Isozaki (1996) は前記の縫合帯が半島を横断し, 飛驒帯, さらに日立-竹貫帯までものび, 少なくとも朝鮮半島南部の嶺南地塊は揚子地塊に連なるものとしている。

中朝地塊では古生代中期の地層を大きく欠き, カンブリア系-オルドビス系の上に石炭紀中頃からはじまる含炭上部古生界が平行不整合の関係で重なっている。このような層序関係は朝鮮半島南部でも認められ, 嶺南地塊の先カンブリア系はカンブリア系に不整合に覆われている。先カンブリア系の構造的トレンドについてみると, 朝鮮半島では北から南にいくにつれ, それが東西から次第に南北に転じ, 南半部では北東-南西方向になっており, 全体としてみれば北東に凸な弧を描いている (寺岡ほか, 1992)。そして南北両翼間には構成岩や年代値などの点でほとんど差異が認められない (Lee, 1987; Inst. Geol., DPR Korea, 1996)。これらの事実からして, 朝鮮半島はすべて中朝地塊にはいり, 揚子地塊の北縁を取り巻く大別-山東帯は北東-南西方向の軸をもって黄海で南に大きく屈曲するものとみなされる。

上記の構造区分にしたがってアジア大陸東部における先カンブリア系の分布を示すと第14図のようになる。最近の朝鮮半島地質図 (Minist. Nat. Res. Dev., DPR Korea, 1994; Korea Inst. Geol. Min. Mats., 1995) によると, 始生界が広大な面積を占めるようになっているが, そのなかには中国側で下部原生界とされているものの東方延長がかかなり含まれている。したがって, 朝鮮半島の場合は始生界と下部原生界を一括することにした。

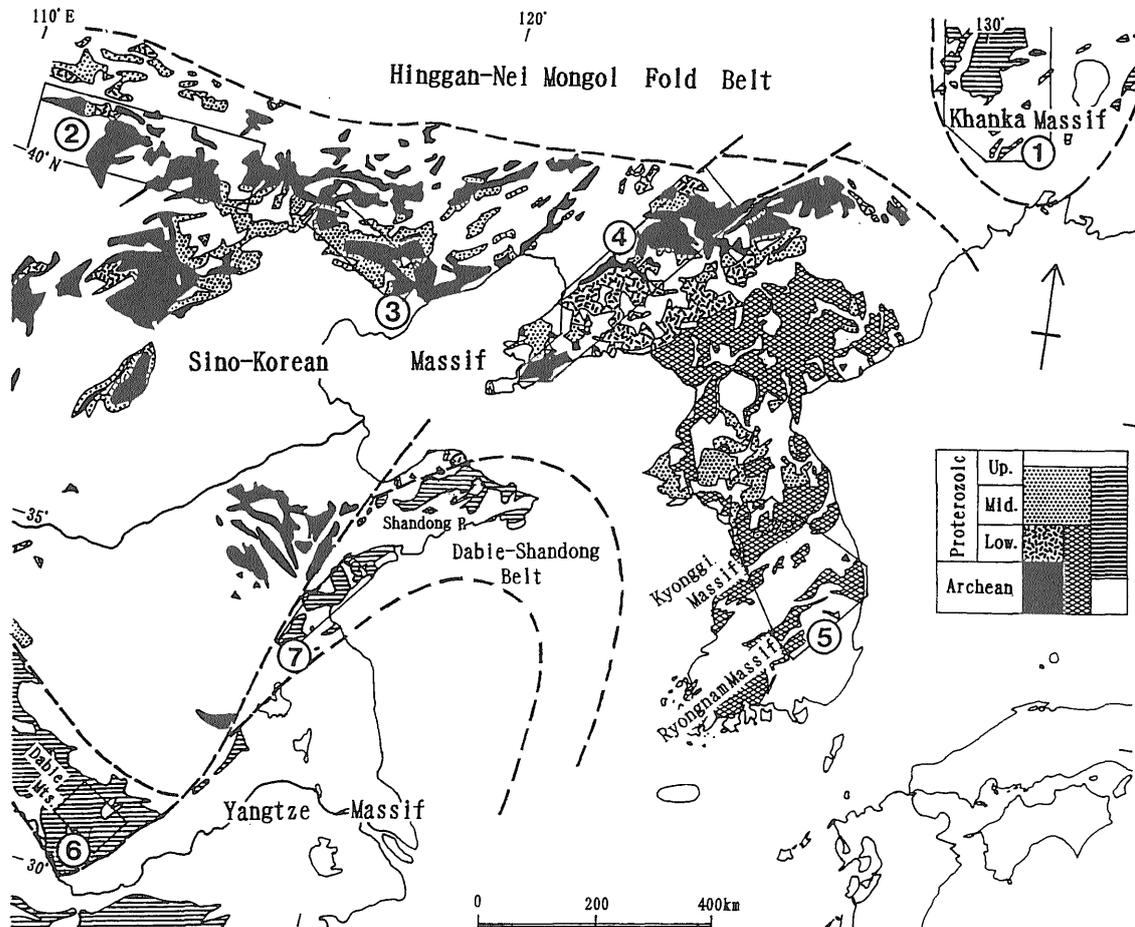
6. 先カンブリア変成岩のザクロ石

アジア大陸東部に分布する先カンブリア変成岩中のザクロ石についてはまだデータが少なく、地域的にもかたよっている。第15図は、本図のキャプションに示す文献からザクロ石の分析値を集め、それらを地区別(第14図)にMn-Mg-Ca図にプロットしたものである。この図ではグラナイトがないことになっているが、変成岩のなかには石灰質岩源のものがあるので、このタイプのザクロ石も存在するはずである。各地区の位置、分析試料が採取された地質ユニットの時代・名称、変成度などは次のようである。

地区1: 黒竜江省東部, 始生界の麻山群(角閃岩相-グラニュライト相), 中・上部原生界の黒竜江群・黄松群(緑色片岩相-角閃岩相, 藍閃片岩を含む)。地区2: 内モンゴル中南部-河北省北西部, 始生界の集字群・紅旗營子群・烏拉山群(角閃岩相-グラニュライト相)。地区3: 河北省東部, 始生界の蜜雲群・迂西群・八道河群(緑色片岩相-グラニュライト相)。地区4: 遼寧省東部, 始生界の建平群・鞍山群(緑色片岩相-グラニュライト相),

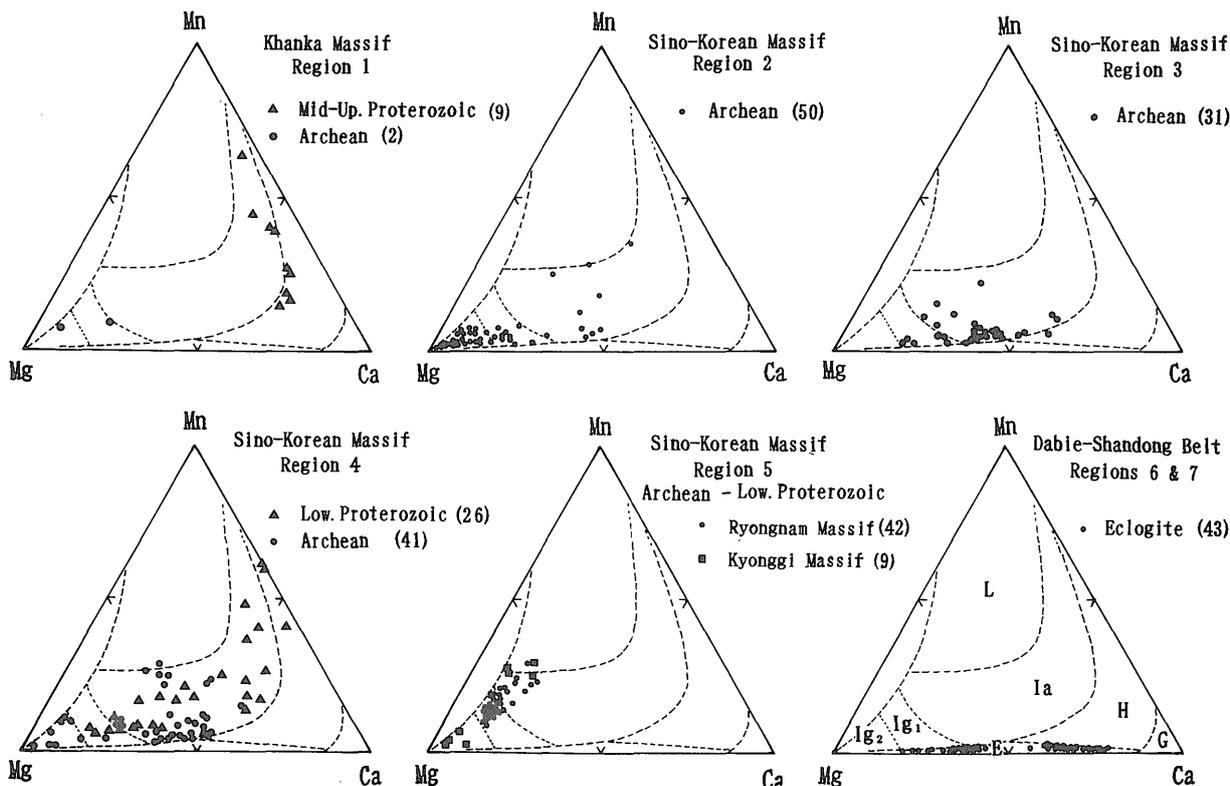
下部原生界の遼河群(緑色片岩相-角閃岩相)。地区5: 朝鮮半島南部, 京畿・嶺南両地塊の始生界-下部原生界変成岩(緑色片岩相-グラニュライト相, ザクロ石は角閃岩相以上から)。地区6, 7: 大別山及び山東半島南部, 超塩基性岩や片麻岩中の包有岩体として産するエクロジヤイト。

第15図をみるかぎり、ハンカ地塊や中国側の中朝地塊では、ザクロ石の大部分が中圧型であり、始生界中のものは比較的Mgの多いIaとIgで、地区3以外ではIg₂の比率がかなり高い。一方、原生界のザクロ石はIaを主とし、一部Ig₁や高圧型にはいるものもある。地区5の朝鮮半島の場合も始生界-下部原生界のザクロ石は大部分が中圧型であり、京畿地塊ではIg₂も認められる。しかしこの地区のザクロ石は概してCaに乏しく、Mn-Mg-Ca図ではMg-Mn線側にある空白域を縁取るようなかたちで帯状に分布するのに対し、他地区の中朝地塊の場合はその集中帯が中圧型領域の下限線に沿ってのびている。この点は後で問題になるので、便宜的に前者をMg-Mn系列、後者をMg-Ca系列と呼ぶことにする。なお、第15図には示していないが、地区4と地区5ではまれ



第14図 アジア大陸東部の地体構造区分と先カンブリア系の分布。

Fig. 14 Geotectonic map of the eastern part of the Asian continent showing the distribution of Precambrian rocks. 1 to 7 correspond to Regions 1 to 7 in Fig. 15.



第15図 アジア大陸東部の先カンブリア変成岩に含まれるザクロ石のMn-Mg-Ca図。

Fig. 15 Mn-Mg-Ca diagrams for garnets from Precambrian metamorphic rocks in the eastern part of the Asian continent. Location of the regions is shown in Fig. 14. [Data sources] Region 1: Bur. Geol. Min. Res. Heilongjiang Prov. (1993); Region 2: Jin and Tang (1987), Jiang (1988), Bur. Geol. Min. Res. Nei Mongol Auto. Reg. (1991), Zhao (1992); Region 3: Jin and Tang (1987); Region 4: Yu (1984), Jin and Tang (1987), Bur. Geol. Min. Res. Liaoning Prov. (1989), Jiang and Xiu (1989); Region 5: Na (1978), Lee and Kim (1984), Lee *et al.* (1986), Song and Lee (1989); Region 6: Ge *et al.* (1993), Wang (1996); Region 7: Jiangsu Bur. Geol. Min. Res. (1984), Enami and Zang (1988), Ye *et al.* (1997).

ながら低圧型領域のほぼ中央部におちる組成のザクロ石もみられる。大別-山東帯のエクログャイト中のザクロ石はいずれもMg-Ca線沿いの幅狭い領域にはいり、地区6ではMg>Ca、地区7ではMg<Caのものが多い。

要するに、アジア大陸東部の先カンブリア変成岩中にはMgに富むIg₂をはじめいろいろな組成のザクロ石が認められ、西南日本の先新第三紀堆積岩中に入っている碎屑性ザクロ石の供給源として、この変成岩は大きなウェートを占めていたと考えられる。

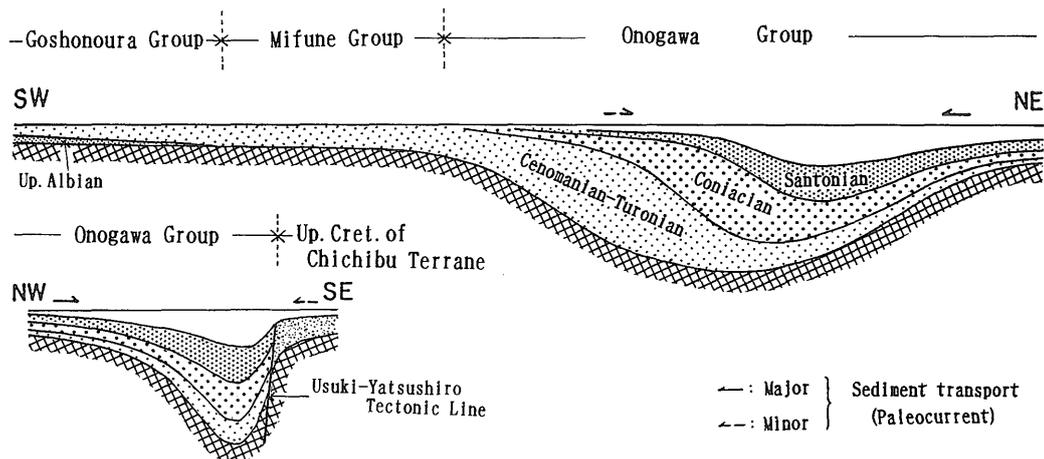
7. 堆積物の供給源

7.1 堆積盆

御所浦-大野川帯の御所浦・御船・大野川の3層群は時代的範囲や層相を異にし、相互の間には基盤岩類が露出している。これらはもともと同一の細長い堆積盆(御所浦-大野川堆積盆)に形成された一連の地層群であり、その堆積盆は軸が臼杵-八代構造線側に偏在した非対称のものであった。堆積は西から始まり、御所浦・御船両層群は沈降の比較的小さい盆地西部に堆積した浅海-非海成層である。御船層群の堆積物は南北両側からもたら

され、北側の供給源地には主に変成岩、南側のそれには堆積岩や花崗岩が露出していたとされている(Okada, 1960)。一方、大野川層群は盆地東部の著しい沈降域に形成された異常に厚い、かつ極めて激しい層相の側方変化を示す海成(一部非海成?)の地層群であって、複向斜構造をなしており、その中にはタービダイトがよく発達している。姫浦-和泉帯の白亜系はいずれも海成層であり、西部の姫浦層群と東部の和泉層群の関係は御所浦・御船両層群と大野川層群のそれとよく似ている。しかし、前二者の堆積盆は基盤の高まりによって分断されていた可能性が高い。

寺岡(1970, 1977a)は大野川層群をはじめ中軸帯白亜系の堆積について論述し、それが内帯側の火成活動や隆起運動及び臼杵-八代・中央両構造線の動きと密接に関連しながら進行したことを示した。御所浦-大野川堆積盆についてみると、沈降(堆積)の中心は時代とともに北東に移動し、盆地東部の大野川層群では大部分の堆積物が北側からもたらされ、南西に流下している(第16図)。そして局地的ながら南側からの物質の供給や北東向きの運搬も認められる。この堆積盆は臼杵-八代構造線の左横ズレ成分をもった北落ちの運動によって規制さ



第16図 御所浦-大野川堆積盆の模式断面図。

Fig. 16 Schematic cross-sections of the Goshonoura-Onogawa sedimentary basin showing the mode of sedimentation of the Cretaceous in the Median Zone of Southwest Japan (based on Teraoka, 1970).

れた半地溝状のもので、その活動は大野川層群堆積時に特に著しく、同線に沿う基盤岩の衝出も起こっている。臼杵-八代構造線を中央構造線に置き換えると、大野川層群の堆積モデルはほとんどそのまま和泉層群にもあてはまる。ただし、和泉層群の場合は複向斜南翼の地層の保存が悪く、南側からの物質供給が確認されていない。

姫浦層群は御所浦・御船両層群及び肥後変成岩・深成岩を不整合に覆い、その堆積盆の軸は御所浦-大野川堆積盆のものより北にずれている。この堆積盆でも堆積物は両側からもたらされ、甕島でみる限り北西側からの供給が支配的である(田中・寺岡, 1973)。長浜(1965)によると、北西九州の古第三系堆積盆では、いろんな方向から碎屑物がもたらされ、北西側からもかなり流入している。久万層群の場合は北からの物質供給が卓越している(木原, 1985)。

7.2 堆積物の起源

中軸帯の白亜紀堆積物は大部分が堆積盆の北側から供給され、一部は南側からもきている。南方起源の堆積物が確認されているのは御所浦-大野川帯白亜系の場合であって、それは堆積岩・塩基性火山岩・千枚岩・結晶片岩・花崗岩類などの碎屑物からなり、秩父帯から由来したと考えられる。御所浦・御船・姫浦の3層群中には肥後帯の古期堆積岩・変成岩・花崗岩類からの碎屑物もかなり含まれているものと推定される。

北方起源の堆積物は、主として酸-中性火山岩と花崗岩類の碎屑物からなり、チャートをはじめ種々の堆積岩、ホルンフェルス・千枚岩・結晶片岩・片麻岩・角閃岩などの変成岩からのものもある。碎屑物として入る火成岩についてみると、量的には火山岩が花崗岩類をうわまわり、その比率は時代とともに増大し、和泉層群では酸性火山岩、姫浦層群では酸-中性火山岩が卓越する。こ

のような火成岩物質の時代的变化は、後背地における古い深成-火山複合岩体のアンルーフィングということでは説明困難であり、既存の火成岩体とともに、地層の堆積と同時に進行した火成活動、特に火山活動の産物が供給源として大きな役割を果たしたことを示唆する。なお御所浦-大野川帯では西部と東部で砂岩の組成がかなり異なるが、それは後背地だけでなく堆積域の環境の違いとも関係があると考えられる。古第三紀になると堆積物供給のパターンが複雑化し、碎屑物の成熟度が高くなる。しかし、全体としてみると北方起源の堆積物が多いようである。

秩父帯中生界には長石質砂岩、四万十累層群中には長石質砂岩や火山岩片に富む石質砂岩がよく発達しており、これらの構成物も大部分が内帯側からもたらされたともみなされている。そこで問題になるのは西南日本内帯の中生代火成岩類であるが、船津花崗岩を除くと、花崗岩類の貫入は白亜紀後半から古第三紀にかけてであり、酸-中性火山岩の大規模な噴出は前期白亜紀中頃に始まっている。これに対しアジア大陸東部には、二疊紀-白亜紀の酸-中性火山岩がかなり広く分布し、花崗岩類には先カンブリア紀以降のいろんな時代のものがある。要するに、中軸帯から四万十帯にかけての中生界-古第三系についてみると、堆積物は主として火成岩源物質で構成されており、その供給源は西南日本だけでなく、アジア大陸にも求めざるを得ないことになる。変成岩碎屑物の供給源に関しても同様であり、次にそのことを碎屑性ザクロ石によって示す。

大野川層群、和泉層群及び久万層群には低圧型の碎屑性ザクロ石が多く、大野川層群では低圧型ザクロ石を含む片麻岩や花崗岩の礫もみられる。組成や産出状況などからすると、上記3層群中のザクロ石は主として領家帯の変成岩・花崗岩からもたらされたものと考えられる。

なお、紀伊半島の秩父帯上部白亜系及び四万十帯古第三系中には領家帯起源とされている変成岩や花崗岩の礫がある(加納, 1970, 1973), それらに含まれるザクロ石も低圧型である。御船層群ではグランダイトが異常に多く、大野川層群でも若干みられ、また両層群には高圧型ザクロ石が特徴的に入っている。これらの地層群の基盤をなす肥後変成岩は石灰岩源変成岩に富んでおり、グランダイトの供給源はそれに求めることが出来るであろう。既述のように高圧型としたものは組成が三波川変成岩中のザクロ石のコア一部分によく似ている。その供給源としてまず想定されるのは御船層群のすぐ北に露出する木山変成岩である。現在までのところ分析資料がないので明言できないが、変成度からして木山変成岩に含まれるザクロ石の粒子全体が碎屑性ザクロ石のような組成をもっているとは思えない。第15図に示すように、後者に類似したものは中朝地塊の先カンブリア変成岩中に認められる。しかしながら共産するグランダイトや低圧型ザクロ石の供給源地、量的な面などを考えあわせると、高圧型のは三郡変成岩地帯からもたらされたとするのが妥当であろう。もちろん確証があるわけではないので、この点は今後の検討課題である。

姫浦層群と上甕島層群の場合は、低圧型と中圧型のザクロ石がほぼ同じぐらいの割合で入っており、中圧型のなかに高度変成岩起源のものが少なくない。そしてそれらの大部分はCaに乏しいMg-Mn系列(第6章参照)に属し、朝鮮半島南部の先カンブリア変成岩中のザクロ石によく似た組成を示す。この事実や堆積物の供給方向からして、上記両層群中のザクロ石は主として朝鮮半島南部の中朝地塊からもたらされたと考えられる。ただ低圧型もかなりあるので、他の供給源、例えば相ノ島帯の花崗岩類やホルンフェルス(橋, 1962; 磯見ほか, 1971)なども考慮すべきかもしれない。

中圧型のザクロ石は御所浦-大野川帯の白亜系や和泉・久万両層群にも入っており、その中には少量ながら高度変成岩起源のものが含まれている。御船層群中にある中圧型の起源に関しては姫浦層群のそれと同じように考えてもよいであろうが、他の地層群の場合は供給源が問題になる。このことは西南日本外帯の中・新生界にはいっている碎屑性ザクロ石の由来とも関連するので、次に四万十帯層群のものについて検討する。この地層群には大陸起源とみなされる高度変成岩からのザクロ石が多く、Mg-Mn・Mg-Ca両系列のものがほぼ同程度認められる(第12図)。分かっている限りでは、Mg-Ca系列の中圧型ザクロ石は中朝地塊の北部、Mg-Mn系列のものは南部の先カンブリア変成岩中によく見られる(第14, 15図)。上記のことからして、四万十帯層群に入っている碎屑性ザクロ石、特に中圧型のは、朝鮮半島の部分も含めた広大な中朝地塊やハンカ地塊の先カンブリア系を主な源岩とし、それらは日本列島起源のものと混ざ

りあいながらこの列島のどこかを横断して四万十帯に運び込まれたものと推定される。運搬過程でおそらくその一部は中軸帯や秩父帯の堆積盆へ流入したであろう。そうすると中軸帯白亜系-古第三系に含まれている中圧型ザクロ石の説明がつく。なお、古流系解析によれば四万十帯では西向きの軸流が支配的であり、碎屑性ザクロ石の場合は高度変成岩起源のものが層序的に上位、地域的には東に向かって増加している。

8. まとめ

これまで述べたことを要約すると次のようになる。

1) 西南日本中軸帯の白亜系は、南列の御所浦層群、御船層群及び大野川層群と北列の姫浦層群及び和泉層群からなり、古第三系に不整合に覆われている。南列の地層群は上部アルビアン-サントニアン、北列のものはコニアシアン-マーストリヒチアンの堆積物である。

2) 白亜紀堆積物は主として酸-中性火山岩と花崗岩類の碎屑物からなり、種々の堆積岩や結晶片岩・片麻岩などの変成岩起源のものを伴う。これらの量比は時代や地域によって異なり、時代とともに火山岩物質が増加している。古第三系になると堆積物の成熟度が高くなり、砂岩は著しく石英に富んでくる。

3) ザクロ石を低圧型(低圧変成岩、花崗岩類)、中圧型(中圧変成岩、花崗岩類)、高圧型(高圧変成岩)、エクロジャイト型(エクロジャイト)及びグランダイト(石灰質岩源変成岩)とに大別し、中圧型は更に細分して、それぞれの組成範囲をMn-Mg-Ca図に示した。カッコ内は各型のザクロ石が含まれる岩石。

4) 碎屑性ザクロ石として、御船層群には肥後変成岩起源とみなされるグランダイトが多く、大野川・和泉両層群及び古第三系久万層群では領家変成岩・花崗岩からの低圧型が卓越する。一方、天草-甕島地域の姫浦層群及び古第三系には低圧型と中圧型がほぼ同程度は入っており、これらは主として朝鮮半島、一部はおそらく九州北西海域の相ノ島帯からもたらされたと考えられる。御船・大野川両層群でよく見られる高圧型は三郡変成岩から由来したものであろう。

5) 中圧型ザクロ石は西南日本の中・新生界中に碎屑粒子として広く認められ、そのなかに日本列島では見られないような高度変成岩起源のMgに富むものがかなり含まれている。碎屑性ザクロ石、特に中圧型の供給源としてはアジア大陸東部の先カンブリア変成岩が大きなウェートを占め、飛驒変成岩も関与していたと考えられる。この点に関連してアジア大陸東部の地体構造や変成岩のザクロ石についても検討した。

6) 西南日本中軸帯の白亜紀-古第三紀堆積物は大部分が堆積盆の北側から供給され、一部南側からももたらされている。北側の供給源は酸-中性火山岩や花崗岩類

を主とし、堆積岩・変成岩を伴うもので、地域的には西南日本内帯からアジア大陸東部にかけて広がっていた。一方、南側の後背地にはおもに堆積岩が露出し、変成岩や花崗岩類も存在した。

文 献

- Adachi, M. and Suzuki, K. (1994) Precambrian detrital monazites and zircons from Jurassic turbidite sandstones in the Nomugi area, Mino terrane. *Jour. Earth Planet. Sci., Nagoya Univ.*, **42**, 33-43.
- 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, 734 p.*
- 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, 856 p.*
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Nei Mongol Autonomous Region (1991) Regional Geology of Nei Mongol Autonomous Region. *Geol. Mem.*, Ser. 1, no. 25, Geol. Pub. House, Beijing, 725 p.*
- Cong, B. and Wang, Q. (1995) Ultra-high-pressure metamorphic rocks in China. *Episodes*, **18**, 91-94.
- Enami, M. and Zhang, Q. (1988) Magnesian staurolite in garnet-corundum rocks and eclogite from the Donghai district, Jiangsu province, east China. *Amer. Mineralogist*, **73**, 48-56.
- Ge, N., Li, S., Peng, Z. and Liu, D. (1993) Mineral composition and metamorphic P-T conditions of the eclogitic rocks in the eastern part of the Dabie Mountains and their genetic implication. *Acta Geologica Sinica*, **67**, 109-122.*
- 原田幹彦 (1965) 松山東方地域の和泉層群の研究. 九大理研報 (地質), **8**, 137-156.
- Institute of Geology, State Academy of Sciences, DPR Korea (1996) *Geology of Korea*. Foreign Languages Books Pub. House, Pyongyang, 629 p.
- 井上英二・田中啓策・寺岡易司 (1982) 中甌地域の地質. 地域地質の研究 (5万分の1図幅), 地質調査所, 44 p.
- 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.
- 磯見 博・松井和典・片田正人・河田清雄・長浜春夫・服部 仁・鎌田泰彦 (1971) 対馬・五島海域の地質. 九州周辺海域の地質学的諸問題, 地学5学会連合学術大会シンポジウム資料, 27-37.
- Isozaki, Y. (1996) Anatomy and genesis of a subduction-related orogen: A new view of geotectonic subdivision and evolution of the Japanese Islands. *Island Arc*, **5**, 289-320.
- Jiang, Y. (1988) Genetic mineralogy and mineralogical characteristics of Early Precambrian iron formation in Nei Mongol Zizhiqu. *Bull. Tianjin Institute, Geol. Min. Res.*, no. 19, 1-56.*
- Jiang, Y. and Xiu, Q. (1989) Genetic mineralogy of Precambrian iron formation in Anshan and Waitoushan and discussion of some geological problems. *Bull. Tianjin Institute, Geol. Min. Res.*, no. 21, 1-59.*
- Jiangsu Bureau of Geology and Mineral Resources (1984) Regional geology of Jiangsu Province and Shanghai Municipality. *Geol. Mem.*, Ser. 1, no. 1, Geol. Pub. House, Beijing, 857 p.*
- Jin, W. and Tang, W. (1987) Typomorphic characteristic of some garnets from migmatite-metamorphic complex, Yinshan-Yanshan Region, North China Platform. *Bull. Tianjin Institute, Geol. Min. Res.*, no. 18, 45-63.*
- 加納 博 (1970) 有田川流域の浦河統下部階礫岩中の領家変成岩礫の存在—含花崗質岩礫の研究 (その21)—. 地質雑, **76**, 143-150.
- 加納 博 (1973) 紀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. 四万十総研 (研究連絡誌), no. 2, シンポジウム論文集, 119-124.
- 鹿島愛彦・武智賢樹 (1996) 四国, 石槌山第三系久万層群の凝灰岩のフィッシュ・トラック年代. 岩鉱, **91**, 196-200.
- 木原茂樹 (1985) 愛媛県中央部, 久万町周辺の始新統久万層群の層序と堆積環境. シンポジウム「スランプ相」の形成とテクトニクス, 133-144.
- 小島丈児 (1973) 中央構造線で失われた地質体. 中央構造線, 東海大, 253-261.

- Korea Institute of Geology, Mining and Materials (1995) *Geological map of Korea, scale 1 : 1,000,000*. Korea Inst. Geol. Min. Mats.
- Lee, D.S. (ed.) (1987) *Geology of Korea*. Geol. Soc. Korea, Kyohaku-sa, 514 p.
- Lee, S.M. and Kim, H.S. (1984) Metamorphic studies on the so-called Yulri and Weonnam Groups in the Mt. Taebaeg area. *Jour. Geol. Soc. Korea*, **20**, 195-214.**
- Lee, S. M., Kim, H.S. and Oh, I.S. (1986) Metamorphic petrology of Precambrian gneisses in Samcheck-Jukbyeon area. *Jour. Geol. Soc. Korea*, **22**, 257-277.
- Matsumoto, T. (ed.) (1954) *The Cretaceous system in the Japanese Islands*. Jap. Soc. Promotion Sci., Tokyo, 324 p.
- Miki, T. (1972) Cretaceous-Tertiary unconformity in the western part of Amakusa-Shimajima. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ.*, Ser. D, **21**, 217-237.
- 三木 孝 (1973) 熊本県本渡市食場地区における試錐試料中の重鉍物組成. 石油技術協会誌, **38**, 217-237.
- 三木 孝・植松幹雄 (1973) 天草炭田下島南部地域の夾炭古第三紀層と上部白亜紀層. 鉍山地質, **23**, 227-237.
- Ministry of Natural Resources Development, DPR Korea (1994) *Geological map of Korea, scale 1 : 1,000,000*, with explanatory text (39 p.). Ministry of Natural Resources Development, DPR Korea.
- Miyamoto, T. and Kuwazuru, J. (1993) Detrital garnets in Permian to Cretaceous sandstones of the Kurosegawa Terrane and its geological significance. *Jour. Sci. Hiroshima Univ.*, Ser. C., **9**, 721-733.
- Na, K.C. (1978) Regional metamorphism in Gyeonggi Massif with comparative studies between Yeoncheon and Ogcheon Metamorphic Belts (II). *Jour. Geol. Soc. Korea*, **15**, 67-88.
- 長浜春夫 (1965) 斜層理からみた北西九州第三紀層の堆積. 地調報告, no. 211, 75 p.
- Nagai, K. (1968) The Eocene Kuma Group. *Mem. Ehime Univ.*, Ser. D, **6**, 1-4.
- Nishimura, T. (1976) Petrography of the Izumi Sandstones in the east of the Sanuki Mountain Range, Shikoku, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **82**, 231-240.
- 西村年春 (1984) 四国西部の上部白亜系和泉層群の堆積盆解析. 地質雑, **90**, 157-174.
- 西村年春 (1991) 和泉砂岩の鉍物組成と化学組成. 変動帯の砂岩 (総研連絡誌), no. 2, 78-82.
- Okada, H. (1960) Sandstones of the Cretaceous Mifune Group, Kyushu, Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, Ser. D, Geol., **10**, 1-40.
- Okada, H. (1961) Cretaceous sandstones of Goshonoura Islands, Kyushu, Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, Ser. D, Geol., **11**, 1-48.
- Okada, H. (1981) Origin of Late Mesozoic clastic sediments in Southwest Japan. *Jour. Geol. Soc. Korea*, **17**, 83-102.
- Shibata, K. and Adachi, M. (1974) Rb-Sr whole rock ages of Precambrian metamorphic rocks in the Kamiaso conglomerate from central Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **21**, 277-287.
- Song, Y.S. and Lee, S.M. (1989) Petrology of the Precambrian metamorphic rocks from the central Sobaegsan Massif, Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, **25**, 452-468.**
- Suzuki, K., Adachi, M. and Tanaka, T. (1991) Middle Precambrian provenance of Jurassic sandstone in the Mino Terrane, central Japan : Th-U-total Pb evidence from an electron microprobe monazite study. *Sediment. Geol.*, **75**, 141-147.
- 橋 行一 (1962) 五島列島と西彼杵半島間の第三系基盤岩類—特に長崎県の花崗岩類に関連して—。長崎大教養部紀要 (自然科学), **3**, 24-43.
- 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. 地質論集, no. 38, 237-248.
- Takeuchi, M. (1994) Changes in garnet chemistry show a progressive denudation of source areas for Permian-Jurassic sandstones, Southern Kitakami Terrane, Japan. *Sediment. Geol.*, **93**, 85-105.
- 竹内 誠 (1997) ジュラ紀粗粒堆積物の起源—多量の碎屑物はなぜ供給されたのか?—日本地質学会第104学術大会講演要旨, 24.
- 田中啓策・寺岡易司 (1973) 鹿児島県甕島の上白亜系姫浦層群. 地調月報, **24**, 157-184.
- 寺岡易司 (1970) 九州大野川盆地付近の白亜紀層. 地調報告, no. 237, 87 p.
- 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 (1977 b) 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・加藤碩一・脇田浩二・奥田義久・湯浅真人・西村 昭 (1992) 日本および周辺地域の地質図。地質調査所 (編): 日本地質アトラス, 朝倉書店。
- 寺岡易司・川上久美・鈴木盛久 (1998) 西南日本中軸帯の白亜系-古第三系砂岩のモード組成と碎屑性ザクロ石。東アジア変動帯の砂岩組成とテクトニクス (総研連絡誌), no. 4, 89-93.
- 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, **19**, 87-101.
- Wang, H. and Mo, X. (1995) An outline of the tectonic evolution of China. *Episodes*, **18**, 87-107.
- Wang, X. (1996) Metamorphic evolution of coesite eclogite from Xinxian, Hunan Province. *Scientica Geologica Sinica*, **5**, 483-496.
- Wang, X. and Liou, J.G. (1991) Regional ultra-high-pressure coesite-bearing eclogite terrane in China: evidence from country rocks, gneiss, marble, and metapelite. *Geology*, **19**, 933-936.
- Ye, K., Cong, B. and Ye, D. (1997) Ultrahigh-pressure P-bearing titanite in eclogite at Houshuichegou, Shandong Province, eastern China. *Scientica Geologica Sinica*, **6**, 7-18.
- Yu, C. (1984) The garnets from metamorphosed pelitic and semi-pelitic rocks of Liaohe Group in Benxi-Liaoyang District, Liaoning Province. *Bull. Shenyang Institute, Geol. Min. Res., Chinese Acad. Geol. Sci.*, no. 9, 95-106.*
- Zhao, J. (1992) The character of garnet in Archean metamorphic rock, Zhangjiakou-Xuanhua area, Hebei Province. *Bull. Tianjin Institute, Geol. Min. Res.*, no. 26-27, 95-102.*
- * in Chinese with English abstract.
** in Korean with English abstract.

(受付: 1998年4月6日; 受理: 1998年4月16日)