

四国西部白亜系の砂岩組成と堆積環境

鹿島 愛彦*

Sandstone composition and sedimentary environments of the Cretaceous System in western Shikoku

Naruhiko Kashima*

Abstract Point-count data of a total of 111 samples from the Cretaceous sandstones in western Shikoku are presented and the data are interpreted using the Q-F-L provenance-discrimination diagram proposed by Dickinson *et al.* (1983). In addition, chemical analyses for 10 sandstones from the Lower Shimanto Supergroup were carried out, and the results are discussed according to the $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ tectonic setting discrimination diagram proposed by Roser & Korsch (1986).

In the Chichibu Belt, Aptian strata in the Northern Subbelt are represented by the Monobegawa Group, which consist of the Nigyu, Takashima and Maana Formations, and those in the Southern Subbelt are represented by the Nankai Group (Kikunotani Formation).

According to the Q-F-L diagram, 19 samples from the four formations mentioned above indicate two provenance fields. Sandstones from the Kikunotani, Nigyu and Maana Formations fall in the continental block field, whereas those from the Takashima Formation fall in both the continental block and the magmatic arc fields.

The Cretaceous strata in the Shimanto Belt are represented by the Lower Shimanto Supergroup. The Q-F-L diagram for sandstones from the Yoshida, Kona, Takagushi, Kanayama-A and Ooura-A Sections in the Shimanto Belt indicates that detrital material was derived from a magmatic arc (dissected arc). Sandstones from the Kanayama-B and Ooura-B Sections fall in a field indicating their derivation from a recycled orogen.

Whole-rock chemical data of sandstones from the Kanayama and Ooura Sections of the Coniasian to Santonian age fall in the PM (passive continental margin) field, and sandstones from the Yoshida, Kona and Takagushi Sections fall in or near the ACM (active continental margin) field (Fig. 4).

Key words: Cretaceous sandstone, Q-F-L plot, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ relation, sedimentary environment

はじめに

四国西部、愛媛県に分布する白亜系には、佛像構造線を境として、その北側秩父累帯の二及層・真穴

層・高島層・菊野谷層と、南側四万十帯の下部四万十超層群がある(Fig. 1)。

秩父累帯の白亜系(二及層・真穴層・高島層・菊野谷層)の砂岩についての岩石学的研究には、Murata (1982), 鹿島・高橋 (1989), 佐光ほか (1991) などの報告があり、四万十帯白亜系の砂岩についての岩石学的研究には、寺岡 (1977, 1979), 寺岡ほか

* 愛媛大学教養部地学教室, Department of Geology, Faculty of General Education, Ehime University 3 Bunkyo-cho, Matsuyama, Ehime 790, Japan.

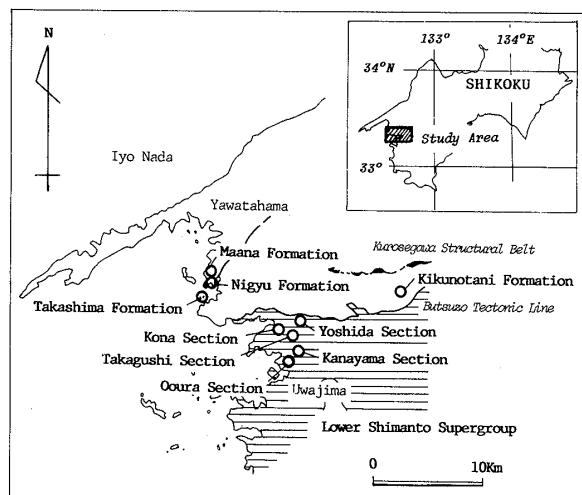


Fig. 1. Location map of the Cretaceous strata in western Shikoku.

(1986), 鹿島(1990)などがあり, その化学的研究には, 片田・寺岡(1981), 石原ほか(1981), Ishihara *et al.*(1985)の報告がある。

筆者は, 1988 年来, 総合研究(A)「変動帯の砂岩」に参加させていただく機会を得て, 主として四国西部宇和島北方地域の白亜系の砂岩について, その鉱物組成・化学組成についての検討を進めて来た。

本報においては, 従前の秩父累帯白亜系の検討結果と合せて, これまでに明らかにすることのできた本地域砂岩の組成の特徴について述べると共に, これらの堆積環境についての考察を行なう。

高知大学理学部田代正之教授には秩父累帯白亜系についてご教示いただき, 愛媛大学教育学部高橋治郎助教授には地質調査・試料採取に際してご援助いただいた。また, 本研究経費の一部として, 文部省科学研究費補助金(課題番号 63302019: 代表者山口大学君波和雄)を使用した。上記の各位に厚くお礼申し上げる。

砂岩試料の層位的位置

今回報告する砂岩試料を採取した地層の代表的柱状図と採取位置を Fig. 2 に示した。

秩父累帯白亜系は, 田代(1985)により秩父累帯北帯に位置する物部川層群と同南帯の南海層群とに2分されている。

しかしながら, 愛媛県西部においては秩父累帯の带状構造が乱れ, 秩父累帯南帯が広く分布し, 更に西端部においては, 黒瀬川構造帯・御荷鉾緑色岩類の諸岩類が複雑に錯綜する地帯となっている。この

特殊な地帯に, 二及層(永井・中野, 1961)・真穴層(平山・神戸, 1965)・高島層(永井ほか, 1965)の白亜系が分布する。これらのうち, 二及層・高島層については, 佐光ほか(1991)によりこの両者はアプチアンを示し物部川層群に属すること, 二及層が下位層準にくる一連の堆積物であることが明らかにされたが, 真穴層については時代未詳中生層, 時代未詳白亜系として取扱われて来ている。なお真穴層よりは後期ジュラ紀～白亜紀と推定される異常巻きアンモナイトが見出されているにすぎず, 今後の検討が必要である。

他方, 菊野谷累層(市川ほか, 1954; 中川ほか, 1959)は, 愛媛県東部の秩父累帯南帯に位置する南海層群の一員であり, アプチアンの堆積物とされる。

四万十帯宇和島北方地域に分布する下部四万十超層群(甲藤, 1980)については, 寺岡・栗本(1986)により放散虫化石や大型化石による詳細な層位的区分が行なわれている。今回取扱った各セクションの層位的位置を寺岡・栗本(1986)に対比すると次の通りである。

吉田セクション——法華津層(白亜紀前期～セノマニアン(?)), 小名セクション——法華津層及び奥浦層(アルビアン), 高串セクション——吉田層(セノマニアン)及び三間層(チューロニアン～コニアシアン), 金山セクションA——古城山層(コニアシアン), 金山セクションB——寄松層(サントニアン), 大浦セクションA——古城山層(コニアシアン), 大浦セクションB——寄松層(サントニアン)。

研究方法

砂岩試料として, 二及層(3), 高島層(3+7(佐光ほか, 1991)), 真穴層(3), 菊野谷累層(3), 吉田セクション(19), 小名セクション(6), 高串セクション(12), 金山セクション(13) および大浦セクション(42)の計 111 試料を用いた。通常薄片を作成したのち, 一部のものを除き, 研磨面をコバルト亜硝酸ナトリウム溶液に浸しカリ長石を染色し, また一部のものについては, Bailey & Stevens 法(Allman *et al.*, 1972)でカリ長石と斜長石を染色した。

これらの薄片について, ポイント・カウンティングにより 1,000 点を測定し鉱物組成比を求め, Q-F-L ダイアグラムを作成した。

化学分析のデータは, 下部四万十超層群砂岩 10 個について, 総研事務局より一括外注して得られた

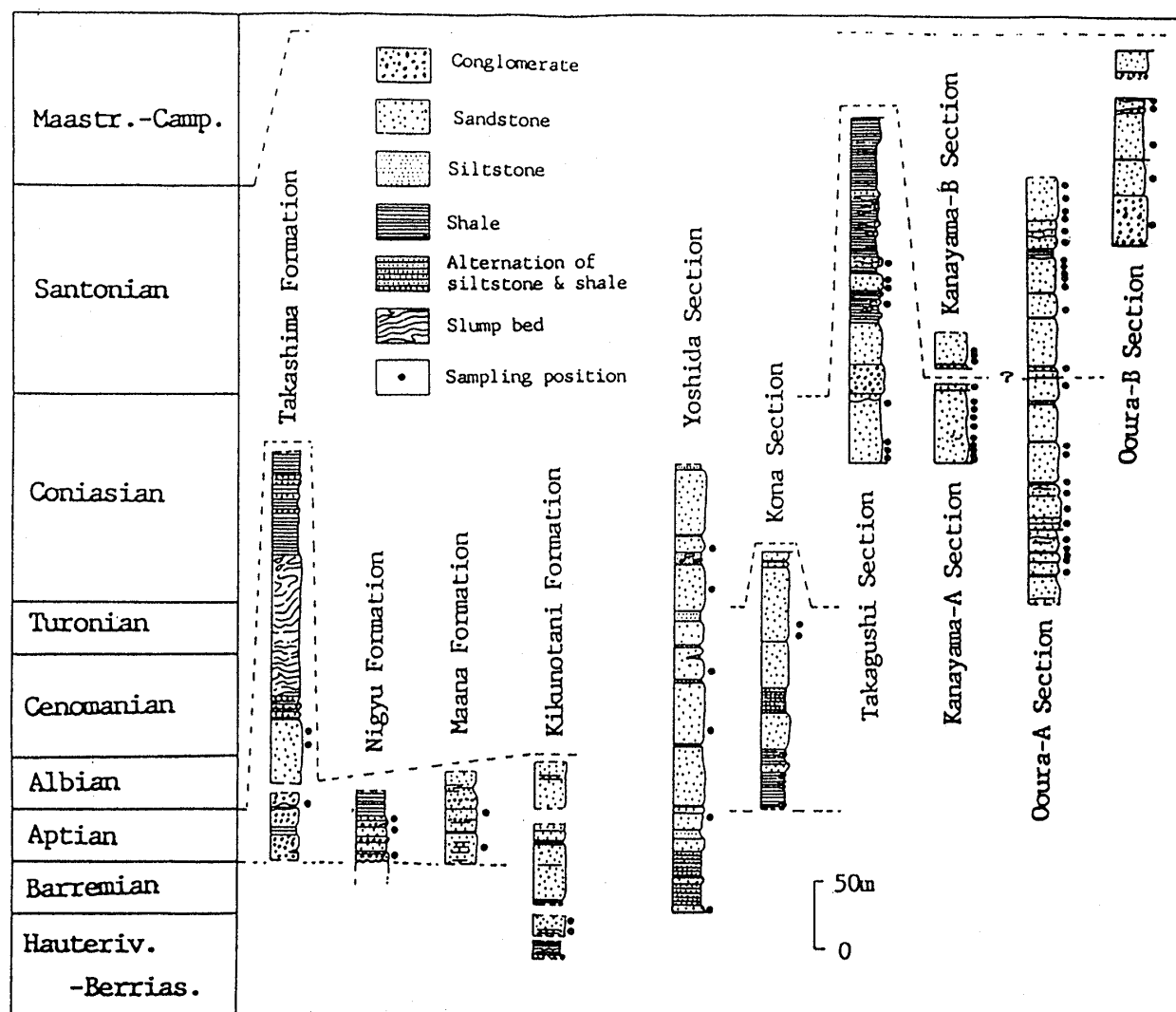


Fig. 2. Selected columns of the Cretaceous strata in western Shikoku, showing the sampling positions of the examined samples.

ものである。

分析に供した試料のQ-F-L鉱物モード (Fig. 3 参照), K/F およびマトリックス量は次のとおりである。

Y-92 吉田セクション	($Q_{46}F_{39}L_{15}$, K/F=0.38, matrix=10%)
Ko-29 小名セクション	($Q_{42}F_{48}L_{10}$, K/F=0.31, matrix=3%)
T-61 高串セクション	($Q_{25}F_{62}L_{13}$, K/F=0.25, matrix=2%)
k-4 金山セクション A	($Q_{45}F_{39}L_{16}$, K/F=0.47, matrix=6%)
k-10 金山セクション A	($Q_{49}F_{42}L_9$, K/F=0.03, matrix=1%)

O2-26 大浦第2セクション ($Q_{40}F_{49}L_{11}$, K/F=0.26, matrix=3%)

O-30 大浦セクション A ($Q_{34}F_{53}L_{13}$, K/F=0.31, matrix=2%)

O-64 大浦セクション A ($Q_{40}F_{38}L_{22}$, K/F=0.31, matrix=2%)

O-157 大浦セクション B ($Q_{39}F_{46}L_{15}$, K/F=0.06, matrix=1%)

O-186 大浦セクション B ($Q_{46}F_{34}L_{20}$, K/F=0.07, matrix=1%)

更に Ishihara *et al.* (1985) による次のデータを加えた。

70S-104 愛媛県北宇和郡吉田町法華津坂

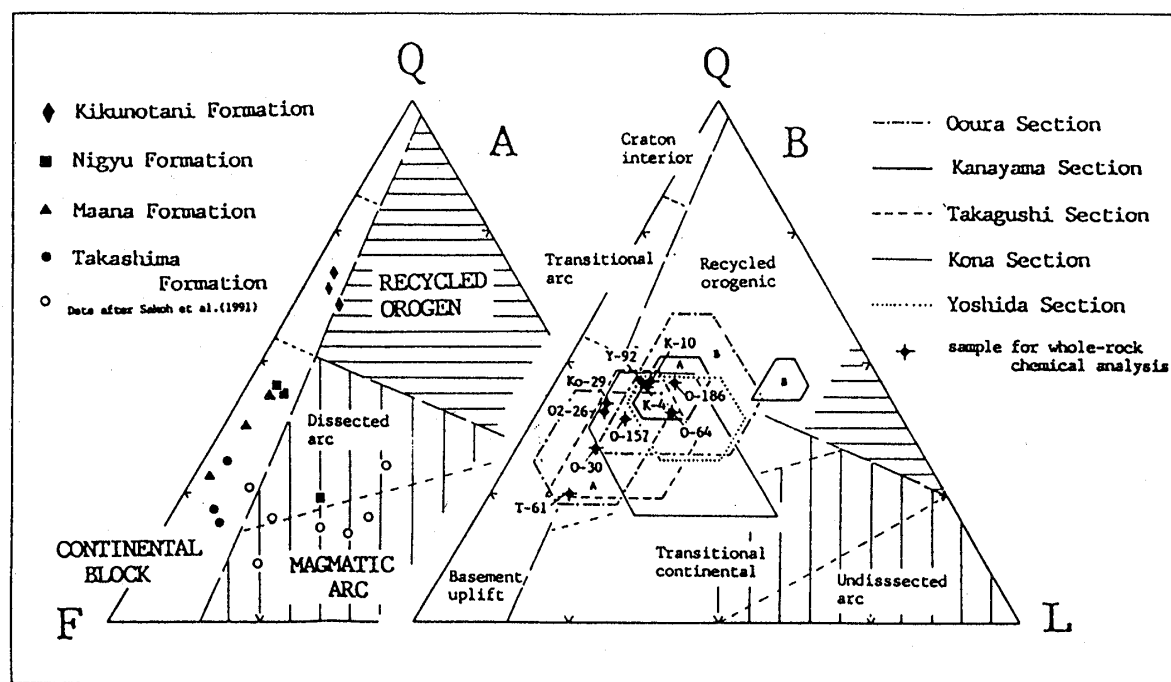


Fig. 3. Q-F-L diagram for provenance-discriminating proposed by Dickinson *et al.* (1983). A) Q-F-L plot of sandstones from the Cretaceous strata of the Chichibu Belt. B) Q-F-L plot of sandstones from the Lower Shimanto Supergroup.

Table 1. Chemical compositions of sandstones from the Lower Shimanto Supergroup.

*70S-104: analysis data by Ishihara *et al.* (1985).

Sample	70S-104*	Y-92	Ko-29	T-61	K-4	K-10	O2-26	O-30	O-64	O-157	O-186
SiO ₂	65.96	70.21	68.53	65.40	75.98	74.62	68.57	67.16	70.63	75.35	76.16
TiO ₂	0.42	0.68	0.69	0.48	0.23	0.25	0.75	0.42	0.35	0.37	0.34
Al ₂ O ₃	15.23	13.64	14.67	13.79	10.05	11.13	13.23	14.05	12.95	10.16	10.25
Fe ₂ O ₃	1.68	2.73	3.49	3.36	2.27	2.06	3.48	3.22	2.75	2.44	2.06
MnO	0.05	0.04	0.04	0.08	0.04	0.03	0.05	0.04	0.02	0.03	0.03
MgO	1.88	0.82	1.50	1.39	0.84	0.75	1.29	1.50	0.95	0.66	0.55
CaO	3.05	1.10	1.38	4.11	1.36	1.39	2.38	2.10	2.29	1.60	1.87
Na ₂ O	3.57	4.26	4.30	3.90	2.76	2.93	3.79	4.10	3.51	2.71	2.87
K ₂ O	2.02	3.26	2.87	2.68	2.36	2.61	2.66	2.58	2.27	1.98	1.77
P ₂ O ₅	0.11	0.01	0.01	0.18	0.12	0.12	0.01	0.16	0.14	0.01	0.01
BaO		0.07	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.07	0.06	0.02	0.02
H ₂ O(+)	2.75										
H ₂ O(-)	0.62										
CO ₂	0.43										
C	0.08										
S	0.01										
LOI		2.10	2.42	4.69	3.43	3.39	2.89	3.47	3.08	3.67	3.57
Total	99.86	98.91	99.96	100.15	99.47	99.41	95.15	98.87	98.97	99.01	99.51
FeO	2.01	1.91	2.25	2.34	1.91	1.53	2.47	2.54	2.26	1.17	1.20

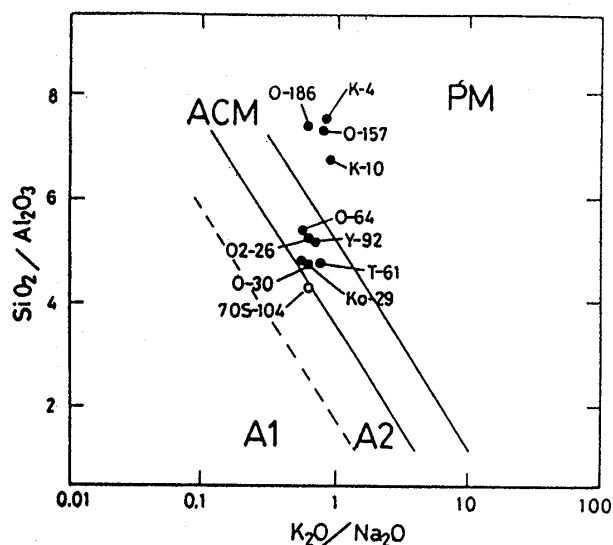


Fig. 4. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ relations in sandstones from the Lower Shimanto Supergroup. Data were plotted on the tectonic setting discrimination diagram proposed by Roser & Korsch (1986). PM: passive continental margin, ACM: active continental margin, A1: arc setting and A2: evolved arc setting.

結 果

(1) Q–F–L 鉱物組成

秩父累帯白亜系砂岩の鉱物モードを Fig. 3-A に、四万十帯白亜系のもを Fig. 3-B に示した(四万十帯白亜系砂岩の各試料のデータは、鹿島(1990)参照)。

(2) 全岩化学組成

全岩化学分析のデータを Table 1 に示した。化学分析結果について、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 値、 $\text{SiO}_2-10x(\text{TiO}_2)-\text{Al}_2\text{O}_3$ 値についての検討を行なったところ、四万十帯白亜系砂岩についての従来の見解と同様の結果を得た。

すなわち、 $\text{Na}_2+\text{K}_2\text{O}$ の量が層位的上位に向って低くなること(石原ほか, 1981)、苦鉄質成分・ Al_2O_3 量の減少と SiO_2 量の増加が層位的上位に向って認められ、いわゆる砂岩の熟成度の上昇が認められること(Ishihara *et al.*, 1985)である。

本文では Roser & Korsch (1986) の指摘した $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 相関図のみを示した(Fig. 4)。

考 察

四国西部秩父累帯のアプチアンにおける物部川層群と南海層群の砂岩鉱物モード組成は、大きく2分されるように見える(Fig. 3)。すでに中川ほか(1959)が指摘しているように、菊野谷累層の砂岩はマトリックスの少ない石英の卓越する特徴を有しており、これは田代(1985)の指摘した南海層群(等粒のアレナイト質砂岩に富む)と物部川層群(不等粒のワッケ型砂岩に富む)の特徴にも合致する。

Dickinson *et al.* (1983) により、大陸地塊(Continental block)、火山島弧(magmatic arc)、および再輪廻造山帯(recycled orogen)と3大区分された碎屑物の供給源の造構場(tectonic setting)に対応させると、大局的に菊野谷累層・真穴層・二及層は大陸地塊、高島層は火山島弧の領域に入る。

しかしながら、高島層は、その下位層準にある二及層や真穴層に比して岩片に富み、粗粒碎屑物は高温低圧タイプの変成岩・花崗岩類を特徴的に伴っている(鹿島・高橋, 1984; 佐光ほか, 1991)。これは、高島層の碎屑物が、宮古海進(アプチアン後期～アルビアン初期(?))による後背地の拡大と侵食剝削によりもたらされた可能性を示しているのかもしれない。

今回取扱った四万十帯白亜系のセクションの中で、秩父累帯白亜系と同時代(アプチアン)の砂岩を含む可能性のあるのは、吉田セクション(法華津層、白亜紀前期～セノマニアン?)である。吉田セクションは四万十帯の最北部に位置し、その砂岩の Q–F–L 領域は火山島弧に対応する。しかし、細かくみると吉田セクション砂岩の Q–F–L 領域と秩父累帯白亜系とは一致せず、高島層が開析過程島弧(transitional arc)と大陸地塊(continental block)を示すのに対し、吉田セクションの砂岩は開析島弧(dissected arc)を示すことになる。

小名セクション(法華津層・奥浦層、アルビアン)・高串セクション(吉田層・三間層、セノマニアン・コニアシアン)・金山 A セクション(古城山層、コニアシアン)は上述の吉田セクションと同じく、火山島弧(開析島弧)を供給源とするものである。

これに対して大浦 A セクション(古城山層、コニアシアン)の供給源地は大陸地塊—火山島弧の両領域にまたがっている。

金山 B セクション・大浦 B セクション(寄松層、サントニアン)は、再輪廻造山帯を供給源地とする

砂岩で、コニアシアンとサントニアンとの間での造構環境の変化を示すものと考えられる。コニアシアンからサントニアンにかけては、二枚貝の変遷史から浦河海進のあったことが明らかにされている。

全岩化学分析値より、砂岩の堆積盆の造構環境を推定するための $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 相関図が Roser & Korsch (1986) により提示されている。この図に、今回化学分析を行なった下部四万十超層群の 10 試料と既存の 1 試料のデータをプロットしたものが Fig. 4 である。層位的下位にある吉田・小名・高串(前期白亜紀～コニアシアン)の各セクションと大浦セクション A (コニアシアン) の砂岩についてはその 7 試料すべてが active continental margin (ACM) に入っている。これに対して、上位の大浦セクション B (サントニアン)・金山セクション A (コニアシアン) の 4 試料は passive continental margin (PM) 領域に入り、しかもそのうちの 3 試料の K/F は 0.07 以下である特徴を示している。

コニアシアン以前の下部四万十超層群の砂岩は、一部の大隆地塊と火山島弧とを後背地とし、基盤上昇～島弧開析を伴う造構運動、田代 (1985) の指摘したアルビアン巨大横ずれ断層の影響下などでの前島弧海盆 (fore-arc basin) の堆積物とする見解 (Dickinson, 1982) と一致するといえよう。

本地域のコニアシアンの一部及びサントニアンの砂岩は、その Q-F-L 鉱物モード図 (Fig. 3) においては、その後背地は非活動的な再輪廻造山帯であることを示しており、ここから運ばれた碎屑物は海底扇状地または深海平原に堆積した可能性が指摘される。寺岡 (1977)、寺岡ほか (1986) は、宇和島地塊の砂岩 (本文の大浦・金山セクションを含む) が他の地塊と異なり Q 型であることを述べ、九州大野川層群 (チューロニアン～サントニアン) とほぼ同じ組成を示すことから、これと同じ供給源を持つ海底扇状地堆積物が、地塊化し移動付加した結果であるとしている。

下部四万十超層群の堆積物の起源、古地理、堆積環境、造構場の変化などについては、多くの研究者により論議されているところである。

本報で取扱った少量の砂岩試料の Q-F-L 鉱物比の層位的変化、化学分析値からは、コニアシアン頃に、横ずれ断層や基盤上昇を伴う活動的な後背地をもつ前島弧海盆から、非活動的な後背地をもつ海底扇状地への造構場の変化が認められる。

今後当地域の各種分析資料を増加させると共に、それぞれの砂岩試料の詳細な地質時代の判定に基づく検討が必要である。

文 献

- Allman, M. and Lawrence, D.F., 1972, *Geological laboratory techniques*. Blandford Press. Poole Dorset. 335p.
- Dickinson, W.R., 1982, Compositions of sandstone in circum Pacific subduction complexes and fore-arc basins. *Am. Assoc. Petroleum Geologist Bull.*, **66**, 121-137.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, E.A., and Ryberg, P.T., 1983, Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **94**, 222-235.
- 平山 健・神戸信和, 1956, 5 万分の 1 地質図幅八幡浜・伊予高山および同説明書。地質調査所。1-46.
- 市川浩一郎・石井健一・中川衷三・須鎗和巳・山下 昇, 1954, 愛媛県の黒瀬川構造帯周縁部の中古生界。地質雑, **60**, 310-311.
- 石原舜三・坂巻幸雄・望月常一・寺島 滋・遠藤祐二, 1981, 四国西部における砂岩 頁岩の K, Na, Th, U の広域的变化。地調月報, **32**, 329-342.
- Ishihara, S., Teraoka, Y., Terashima, S. and Sakamaki, Y., 1985, Chemical variation of Paleozoic-Cenozoic sandstone and shale across the western Shikoku District, Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **36**, 85-106.
- 鹿島愛彦, 1990, 四国西部, 宇和島北方地域四万十累層群の砂岩組成変化 (南予用水農業水利事業隧道の地質学的研究—その 7)。愛媛大学紀要, 自然科学 [D], **11**, 41-54.
- 鹿島愛彦・高橋治郎, 1984, 四国西端部, 高島層の再検討。愛媛大学紀要, 自然科学, [D], **10**, 9-17.
- 鹿島愛彦・高橋治郎, 1989, 四国西部に分布する白亜系の層序と構造 (I)。日本地質学会講演要旨, 140.
- 片田正人・寺岡易司, 1981, 日本の砂岩の化学組成。岩手大学教育学部研究年報, **40**, 55-65.
- 甲藤次郎, 1980, 四万十帯化石層序学の最近の進歩。四万十帯の地質学と古生物学, 299-318.
- Murata, A., 1982, Large decke structures and their formative process in the Sambagawa-Chichibu, Kurosegawa and Sambosan terrains Southwest Japan. *Jour. Fac. Sci. Univ., Tokyo*, **II**, **20**, 383-424.
- 永井浩三・中野光雄, 1961, 愛媛県西宇和郡三瓶町二及

- で下部白亜系の発見. 愛媛大学紀要, 自然科学, [D], 4, 57-62.
- 永井浩三・中野光雄・袋瀬六松, 1965, 愛媛県西宇和郡三瓶町高島付近の地質. 愛媛大学紀要, 自然科学, [D], 5, 61-66.
- 中川衷三・須鎗和巳・市川浩一郎・石井健一・山下 昇, 1959, 黒瀬川構造帯付近の地質 (四国秩父累帯の研究IV). 徳島大学紀要 (自然科学), 9, 33-58.
- Roser, B.P. and Korsch, R.J., 1986, Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO_2 content and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio. *Jour. Geol.*, 94, 635-650.
- 佐光本徳・田代正之・鹿島愛彦, 1991, 愛媛県三瓶地域の下部白亜系. 中川久夫教授退官記念地質学論文集, 255-264.
- 田代正之, 1985, 四国秩父帯の白亜系-下部白亜系の横ずれ断層について. 化石, 38, 23-35.
- 寺岡易司, 1977, 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帯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, 1986, 宇和島地域の四万十帯白亜系層序-大型化石と放散虫化石の層序的分布に関連して. 地調月報, 37, 417-453.

(要 旨)

鹿島愛彦, 1992, 四国西部白亜系の砂岩組成と堆積環境. 地質学論集, 38 号, 291-297. (Kashima, N., 1992, Sandstone composition and sedimentary environments of the Cretaceous System in western Shikoku. *Mem. Geol. Soc. Japan*, No.38, 291-297.)

四国西部白亜系の砂岩 111 試料について, その鉱物モード組成を求め, またその 10 試料について全岩分析を行い, それらの結果を Dickinson *et al.* (1983) の Q-F-L 図, Roser & Korsch (1986) の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 図を適用して, これらの堆積環境の検討を行なった.

秩父累帯に分布する物部川層群 (二及層・高島層・真穴層) と南海層群 (菊野谷累層) はいずれもアプチアンに属すると考えられる. 菊野谷累層・二及層・真穴層の砂岩は供給源地を大陸地塊とするが, 高島層のそれは大陸地塊と火山島弧とする.

下部四万十超層群については, その 5 セクションについて比較検討した. コニアシアン〜サントニアン (Santonian) の砂岩の碎屑物は再輪廻造山帯より海底扇状地または深海平原で堆積したものであり, コニアシアンを含むそれ以前の砂岩は一部大陸地塊と火山島弧を後背地とし前島弧海盆で形成されたものである, と推定可能である.