

四国東部の四万十累帯白亜系の砂岩における斜長石粒子の曹長石化*

公文 富士夫**

Albitization of detrital plagioclase in the Cretaceous sandstones from
the Shimanto Belt in eastern Shikoku, Southwest Japan

Fujio Kumon**

Abstract The Cretaceous strata of the Northern Shimanto Belt, eastern Shikoku, consist mainly of black shale, graywacke sandstone and alternating beds of sandstone and shale, associated with a small amount of chert, greenstone and acidic tuff. This thick sedimentary pile is regarded as an accretionary complex. The Northern Shimanto Belt is subdivided into three zones, namely, northern, middle and southern zones. The geological age of the zone becomes younger southward.

Electron microprobe analysis (EDX) was performed on the detrital plagioclase in coarse- to medium-grained sandstones from the belt. The Ab Index, the ratio of albite grains to total plagioclase grains, of the sandstones from the southern zone is 87 per cent on average, and those from the middle and northern zones are 55 and 45 per cent on average, respectively. Few detrital albite grains should exist because the clastic sediments of the Cretaceous Shimanto Group are considered to have been derived mainly from an acidic to intermediate volcanic-plutonic terrane, judging from the framework composition of sandstone and conglomerate. There are almost no igneous intrusions or thermal alteration in the area. Therefore, the albitization of the plagioclase may be due to a diagenetic change. The conditions of albitization seem to be nearly the same as that of the albite zone in zeolite facies.

Detrital plagioclase in the sandstones situated in the southern zone are albitized more severely than those in the middle and northern zones, although the southern zone is younger. This suggests that the strata in the southern zone was buried tectonically to a deeper horizon during accretionary tectonics.

Key words: Ab Index, albitization, albite zone, Shimanto Belt, Hiwasa Formation, eastern Shikoku

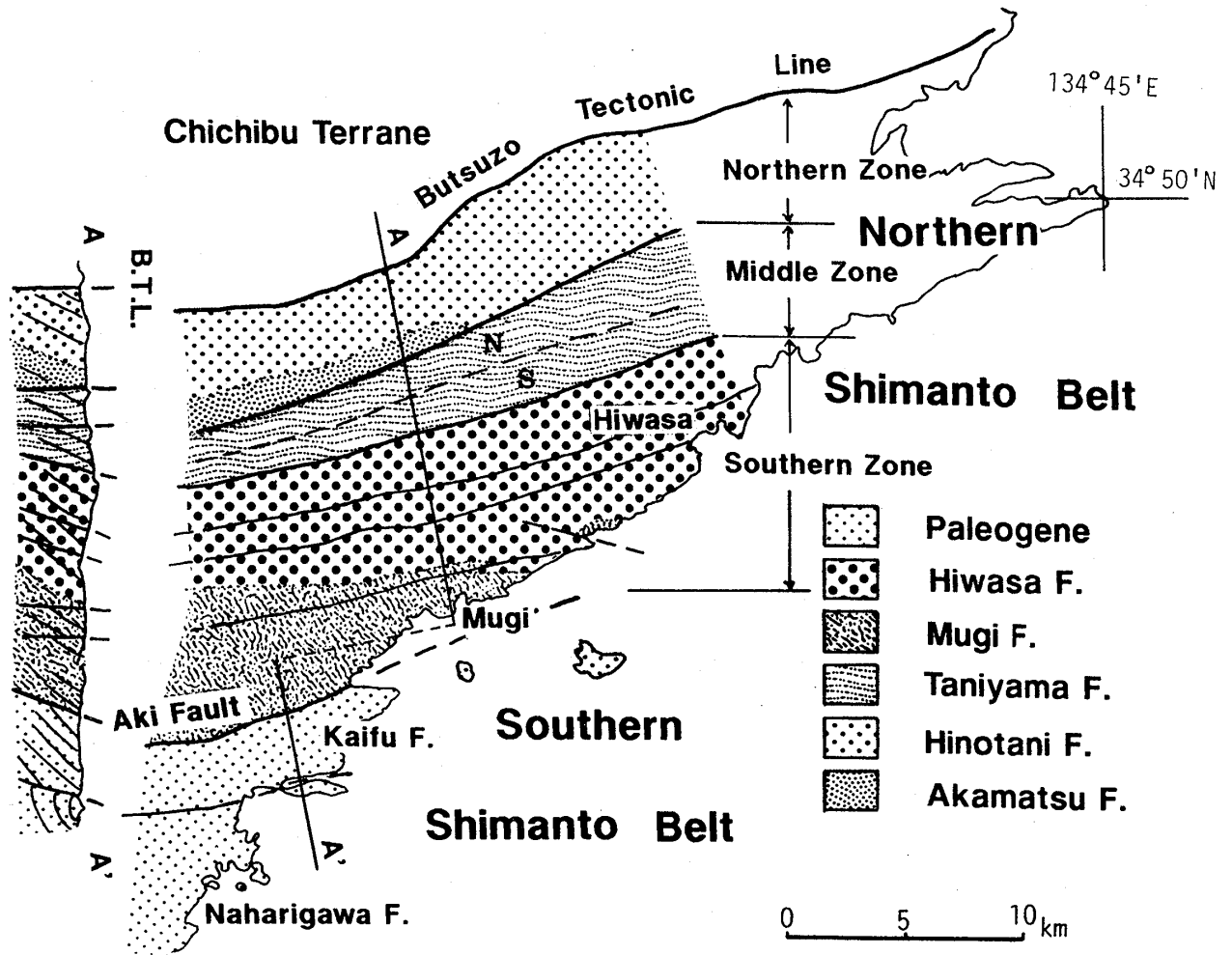
はじめに

斜長石は砂及び砂岩の主要な構成粒子のひとつであり、碎屑物(岩)に普遍的に含まれている。斜長石は、灰長石-曹長石系列の固溶体を構成しており、火成岩ではマグマの化学組成に依存した組成を

* 日本地質学会第96年学術大会(茨城大学)にて講演。

** 信州大学理学部地質学教室, Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University, Matsumoto 390, Japan.

もつため、その化学組成は後背地の岩質を知る上での有力な情報源となりうるものである。Mizutani (1959)は光学的手法で砂岩中の斜長石の組成を測定する先駆的な研究を行い、後背地を議論した。近年の分析機器の進歩にともなう個々の碎屑粒子の化学組成が比較的簡便に測定できるようになり、electron microprobeを用いた長石の組成についての研究が後背地推定に有効であることも示されている (Trevena & Nash, 1981)。



第1図. 四国東部四万十累帯の地質図概略図. 公文(1981)および Kumon(1983)より修正して引用.

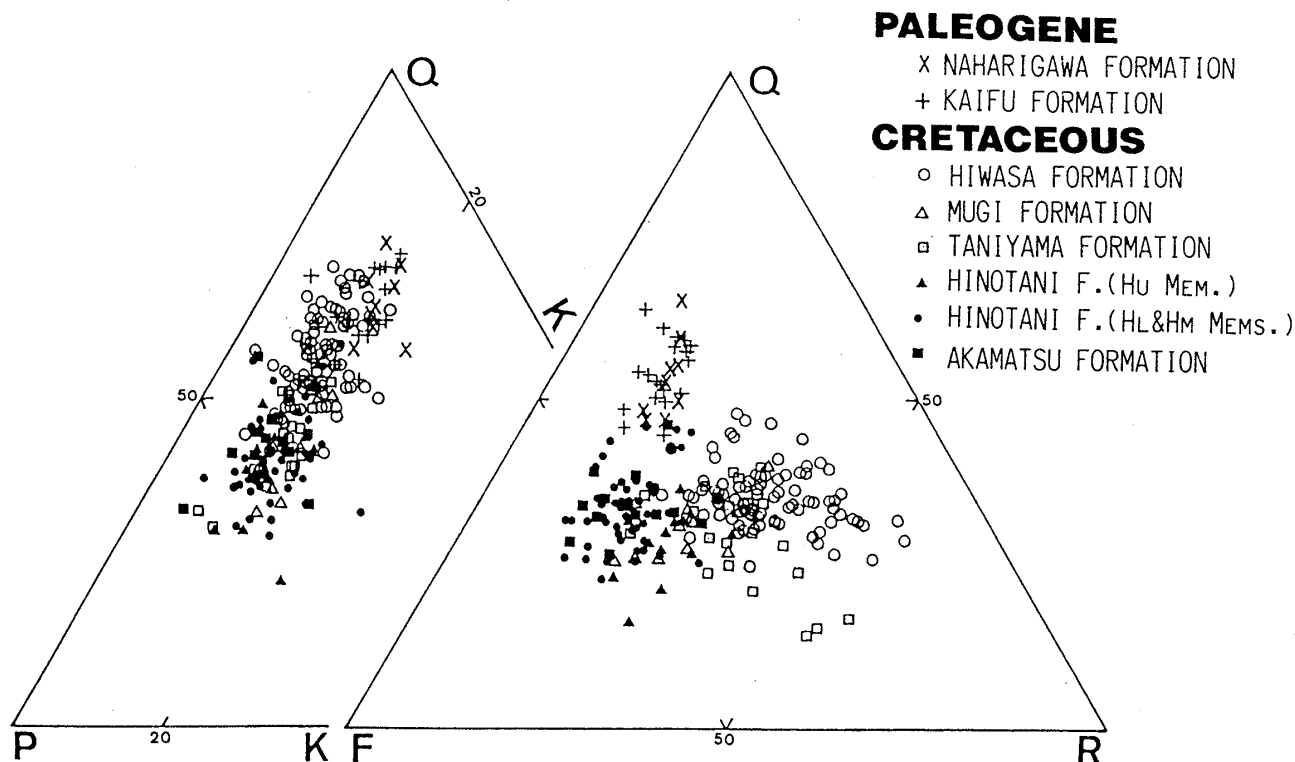
一方、碎屑岩中に自生的に形成される長石の存在は古くから知られているが、碎屑粒子である長石そのものについても、続成変成作用で組成が変化する事例が報告されるようになってきた (Coombs, 1954; Todd, 1968; Dickinson *et al.*, 1969; Middleton, 1972; Boles, 1982; Morad *et al.*, 1990). 後者の現象は後背地に関して誤まった情報を伝えるため、後背地の問題を検討する上で注意しなければならない。しかし、その反面、続成変成作用の進行状況とそれをもたらした造構作用に関する情報を提供するという側面を持っている。

本研究は、四万十累帯において砂岩中の斜長石粒子の曹長石化が普遍的に存在することを初めて明らかにするものである。そして、曹長石化の原因を検討するとともに、曹長石化の解析が付加帯の造構場の復元に有効であることを示す。

地質概説と碎屑岩の組成的特徴

四国東部の四万十累帯北帯は3亜帯に細分され、北亜帯には赤松・日野谷累層が、中亜帯には谷山累層が、南亜帯には牟岐・日和佐累層が分布する(第1図)。各亜帯内の地層はおおむね高角度で北に傾斜し、北方が上位である。亜帯ごとでの比較では、南側の亜帯ほど新しい時代の放散虫化石を産し、北亜帯の赤松・日野谷累層は Aptian~Cenomanian, 中亜帯の谷山累層が Turonian~Santonian, 南亜帯の牟岐・日和佐累層が Coniacian~Maastrichtian である(第7図参照)。

赤松・日野谷累層は、厚層砂岩・砂岩頁岩互層・頁岩で構成され、まれに細礫岩を伴う。砂岩は長石質であるが、花崗岩片や中性火山岩片もかなりの量が含まれる。礫岩には花崗岩類や古期堆積岩の礫



第2図. 四国東部四万十帯の砂岩組成 (Kumon, 1983 より引用).

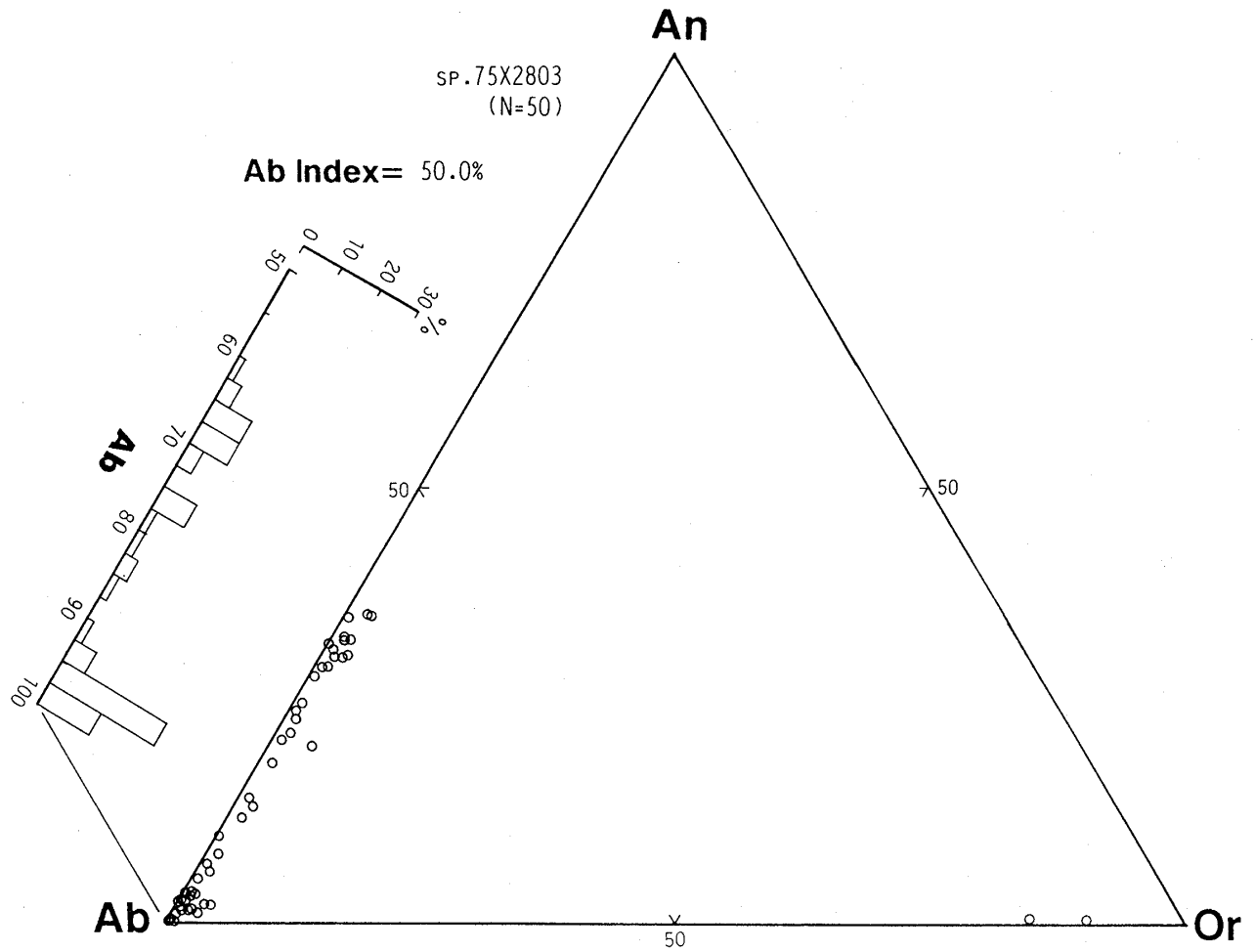
が比較的多い。谷山累層は、頁岩および頁岩勝ち砂岩頁岩互層が優勢で、チャート・緑色岩類・砂岩を伴う。チャート・緑色岩類は異地性岩塊である。砂岩は中～酸性火山岩片の多い石質ワッケである。牟岐累層は頁岩を主体とし、緑色岩や酸性凝灰岩を伴う。日和佐累層は砂岩を主体とし、大礫礫岩をしばしば伴う。砂岩は中～酸性火山岩片に富む石質ワッケであり、礫岩中にも中～酸性の火山岩礫が卓越する。

四国東部の四万十帯北帯の白亜系砂岩は、長石の割合がやや高い長石質ワッケと中・酸性の火山岩片に富む石質ワッケであり(第2図)、礫岩組成をみても、花崗岩類や中・酸性火山岩類の割合が高い(公文, 1981)。特に中・南亜帯の碎屑物は、中～酸性の火山岩に由来するものが多く、その起源は、西南日本内帯に発生していた大規模な中～酸性の火山岩類と推定されている(Kumon, 1983, 1985)。砂岩中の変成岩源の岩片の割合はきわめて少なく、後背地における変成岩類の役割はほとんどないか、あってもごくわずかである。

斜長石粒子の組成

本地域の四万十帯の中～粗粒砂岩中の斜長石粒子の化学組成をおもに東京大学理学部地質学教室のエネルギー分散型 X 線分析装置(走査型電子顕微鏡; 日本電子社 JSM840, X 線分析装置; Link An10/50)で分析した。また、一部の試料については東京大学付属海洋研究所の波長分散型 X 線分析装置で分析した。粒子の測定にあたっては、反射電子線像を見ながら、視野にある全ての斜長石粒子を分析するように努めた。個々の粒子についても組成の均質性を調べた上で、代表的な点を選んで分析したが、必要に応じて複数点の分析も行った。組成が不均質な粒子はあまり多くないが、それは後述の曹長石化作用を部分的に受けた場合が多い。曹長石化した部分は反射電子線像でより暗い部分として認められることでも識別ができる。不均質な粒子については曹長石の部分が90%以上の比率をもつものを曹長石化した粒子として扱った。

砂岩試料は、塊状無層理または厚層をなす中～粗粒砂岩から採集した。一試料につき25個以上の斜

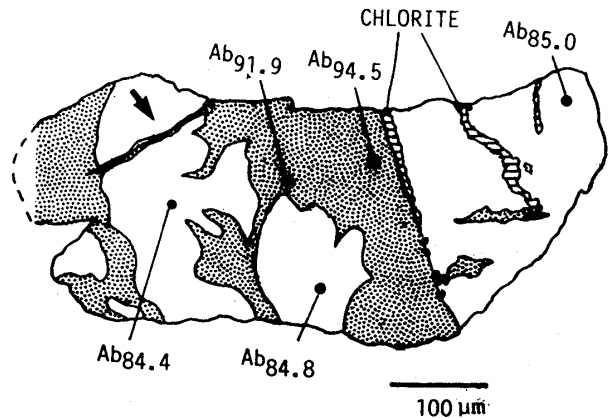


第3図. 日野谷累層砂岩の斜長石粒子組成の1例. 半分程度の粒子が曹長石化している.

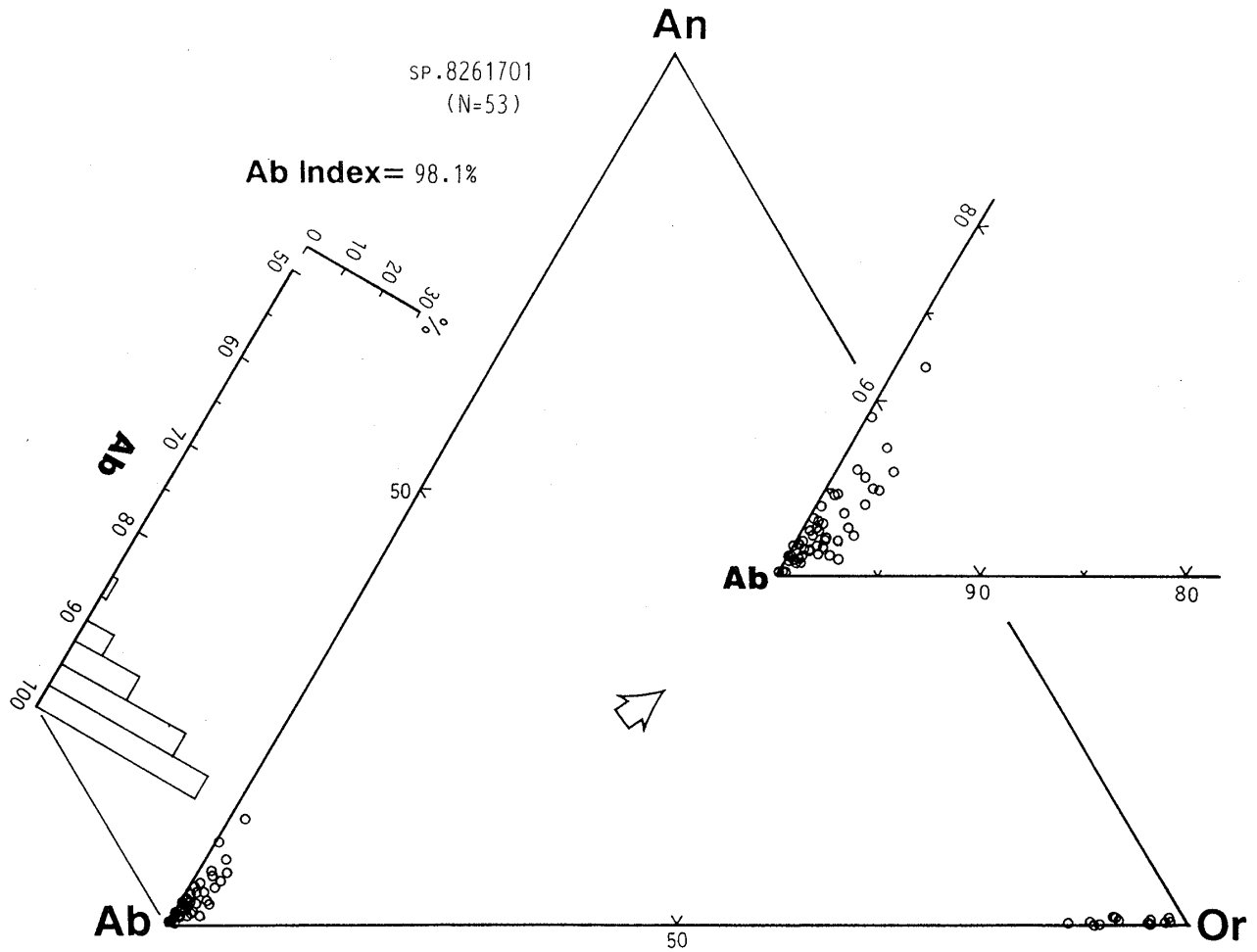
長石粒子を測定するように努めたが、20個程度しか分析していない試料もいくつかある。

斜長石は、Ab60からAb100の組成を持ったものがみられ、特にAb90-100の曹長石が多い。また、Or成分の比率は大部分が3%以下である(第3, 5, 6図参照)。また、少数ではあるが、カリ長石を分析したところ、Or80-100の組成をもつものが多くみられた。粒子面積の90%以上が曹長石である斜長石粒子数を、分析した斜長石粒子数でわった比率(%)を曹長石化度(Albitization Index = Ab Index)と呼ぶこととして、各累層ごとの斜長石組成の特徴を検討する。

日野谷累層では5試料について計185個の斜長石粒子を分析した。日野谷累層の斜長石粒子は、第3図の例が示すように、Ab60-80の組成の中性長石～灰曹長石とAb90-100の組成の曹長石の2つの山をもつことが多い。Ab80-90付近の組成をもつ粒子



第4図. 部分的に曹長石化した斜長石粒子の例. 左上の矢印のある帯状の部分には割れ目にそって曹長石化. 日野谷累層. 数字は曹長石成分の割合(%).



第5図. 日和佐累層砂岩の斜長石粒子組成の1例. ほとんどの粒子が曹長石化している.

が少なく、そこにギャップが認められる。灰曹長石の粒子でも、部分的に曹長石に置き換えられていることがある(第4図)。第4図の例では粒子の割れ目にそった曹長石化が認められる部分がある。日野谷累層では Ab Index は 30 から 50 で、平均 45 である。

谷山累層では 7 試料の 159 粒子を分析した。谷山累層の斜長石粒子は、日野谷累層と同様に灰曹長石と曹長石とに 2 つの山をもつが、曹長石の組成をもつ粒子の割合がやや大きい。Ab Index は 40 から 90 であり、平均 55 である。

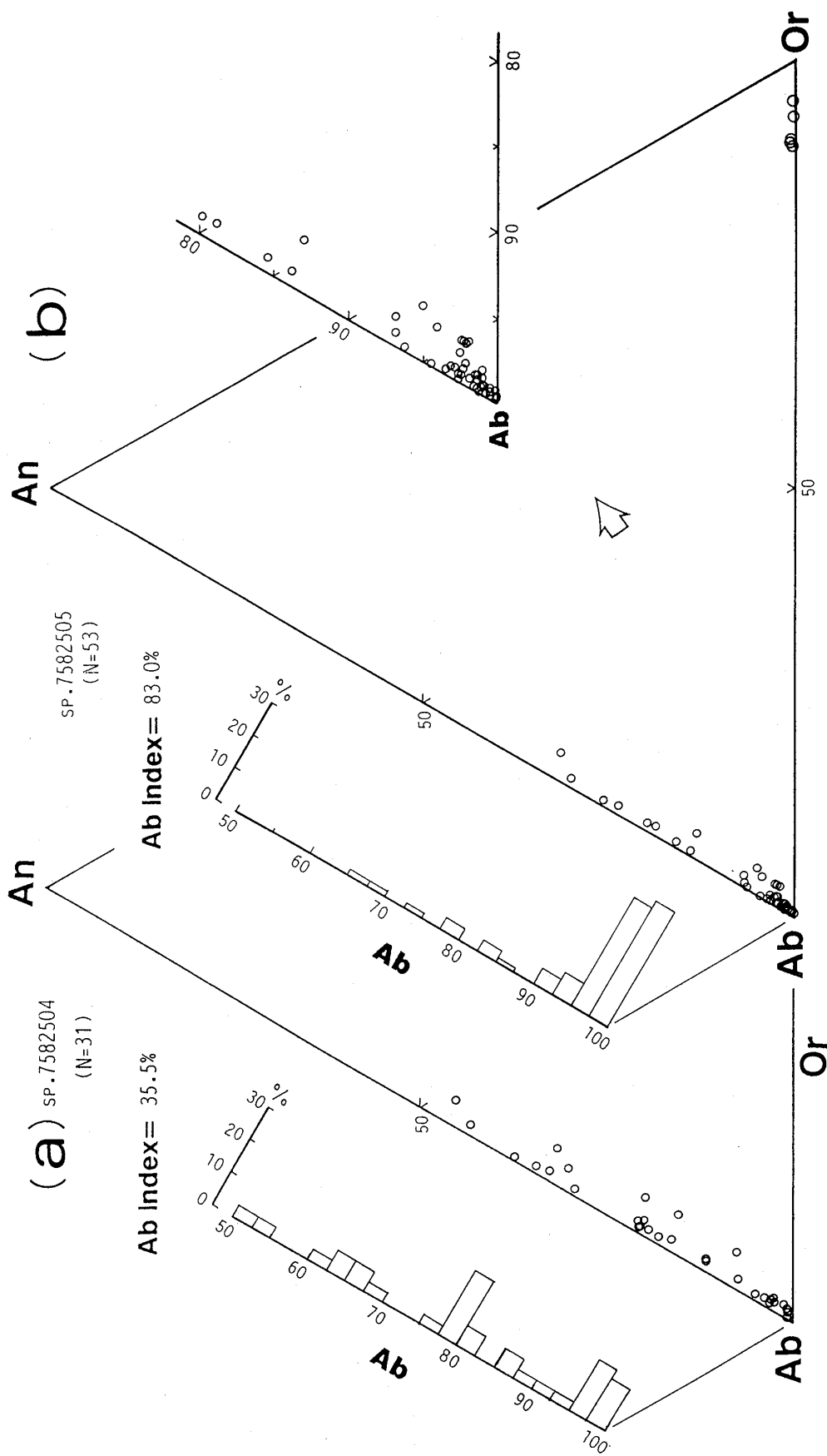
牟岐累層では、1 試料を分析しただけであるが、25 粒子のうち 70% が曹長石であった。

日和佐累層では 10 試料の 332 粒子を分析した。日和佐累層の斜長石粒子は、第 5 図の例が示すように、曹長石の組成を持つものが圧倒的に多い。日和佐累層の Ab Index は 75 から 98 で、平均 87 であ

る。まれに、斜長石の一部にカリ長石化 (adularization) が認められることがある。

曹長石化の原因

分析された斜長石粒子の組成は、Trevena & Nash(1981)がまとめた長石組成に基づく後背地区分と比較すると、変成作用で形成された斜長石の組成とほぼ一致している。曹長石粒子の大部分が変成岩類から供給されたとする、礫や岩片の組成にそれが反映するはずである。しかし、前述のように本地域の白亜系砂岩の後背地は、内帯に位置する中～酸性の火山-深成活動地域と推定されており、変成岩類に由来するものは粗粒碎屑物にはほとんど含まれていない。一方、火成岩体の中でも熱水変質で斜長石が曹長石化することが知られている。しかし、日和佐層の砂岩の場合のようにほとんどすべての粒子が曹長石であることを、母岩における曹長石



第6図. 日和佐累層の同一層準における極細粒砂岩と中粒砂岩の曹長石化の比較. (a): 極細粒砂岩, (b): 中粒砂岩.

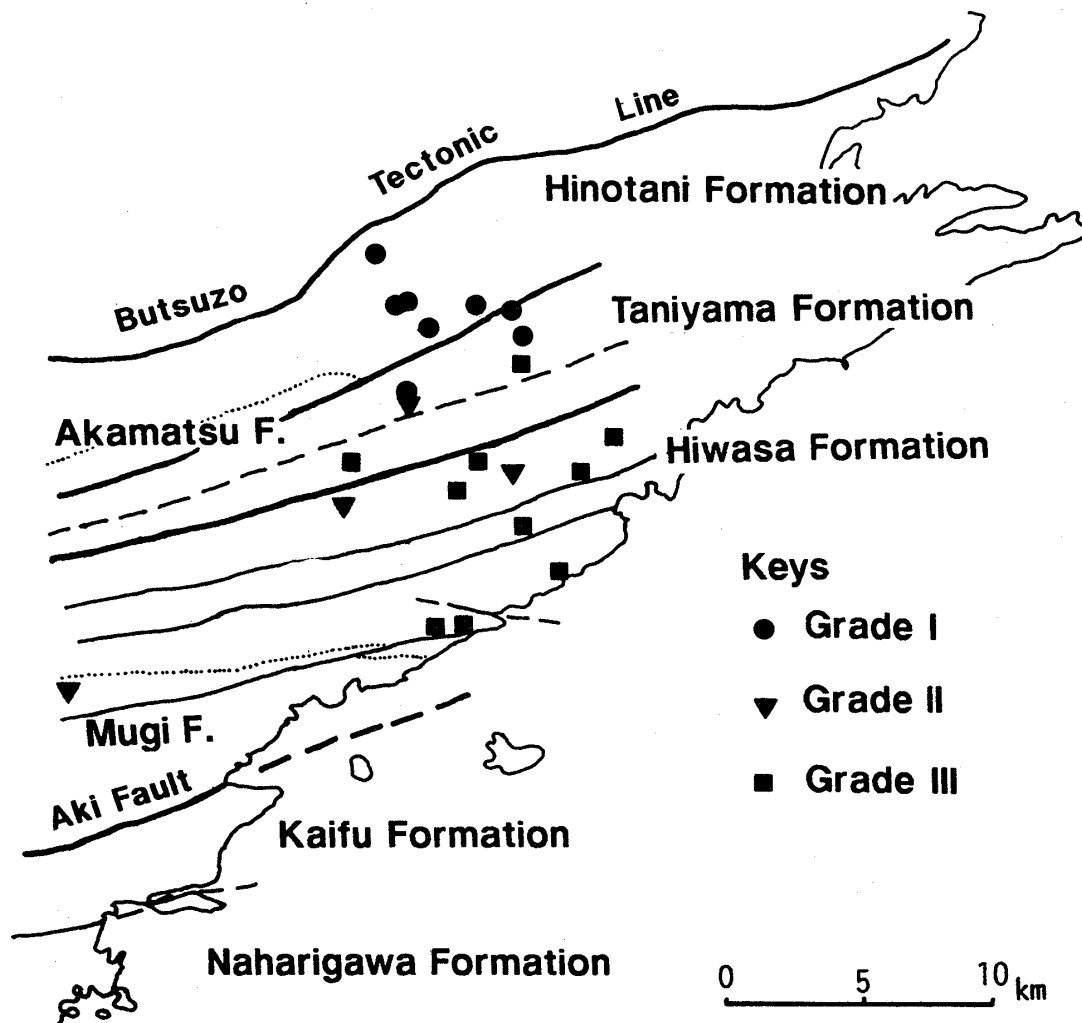
化で説明することは難しい。第4図に示したように、割れ目にそって曹長石化が見られる事実からみて、堆積後に生じた曹長石化があることは確かである。

砂岩中の斜長石粒子が曹長石化している例はいくつか知られており、Coombs(1954), Dickinson *et al.* (1969)などが古典的な例である。一方、日本の第三紀層についてフッ石相の続成変成が明らかにされているが、凝灰岩中の火山ガラスがアナルシムから曹長石に変わる曹長石帯付近より深い層準では、共存する斜長石結晶破片が曹長石化していることが報告されている(Iijima & Utada, 1971, 1972)。最近では、Boles (1982)がテキサス南部の油井において、2,500-2,800m以深で斜長石が曹長石していることを報告し、その変質の温度圧力条件は曹長石帯の条件とほぼ一致すると述べている。

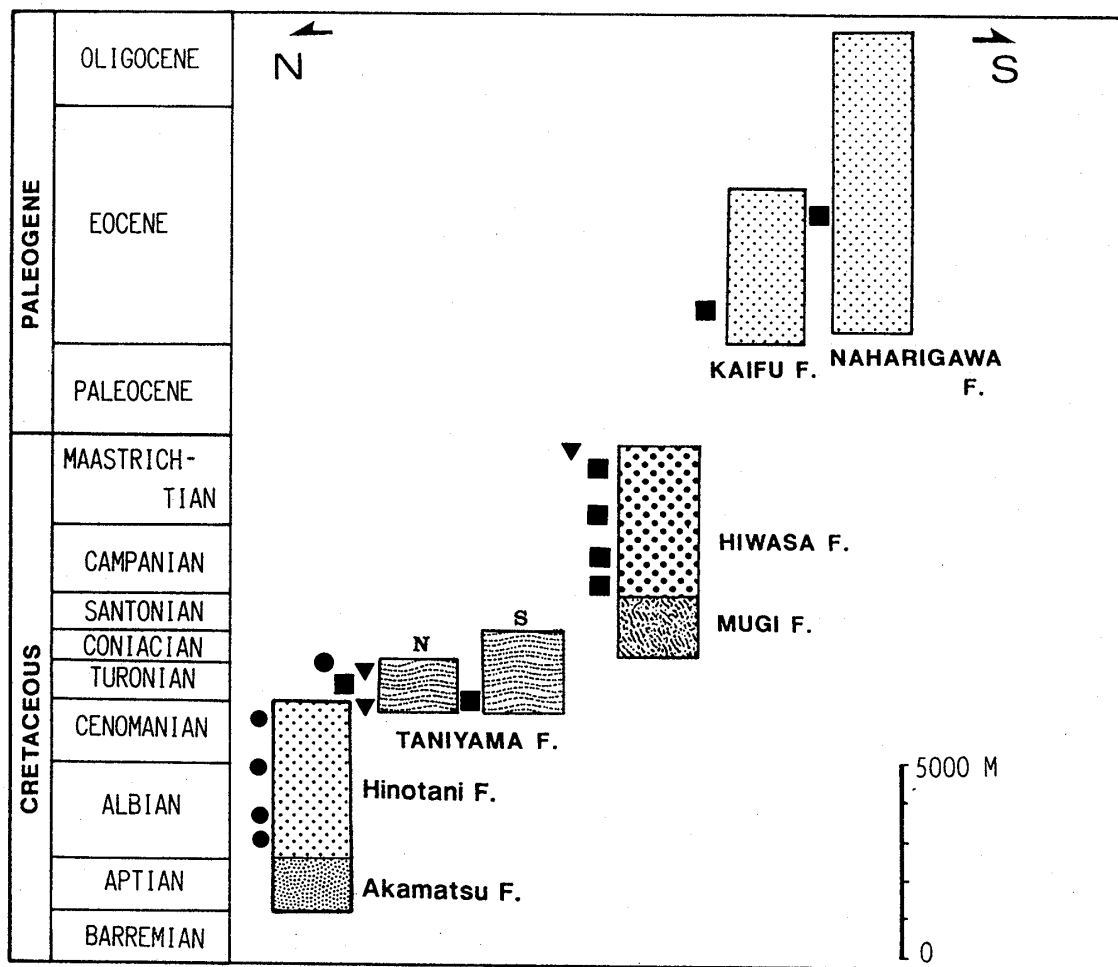
このような研究例は、四万十帯の砂岩中の曹長石粒子が、斜長石粒子から続成変成したものである可能性を示唆している。

紀伊半島の四万十帯白亜系の例ではあるが、日野谷累層と同程度に部分的に曹長石化した層準(寺杣累層および竜神累層上部)の酸性凝灰岩の火山ガラスはアナルシムに変化しており、日和佐累層と同じ程度に強く曹長石化をした層準(竜神累層下部)の火山ガラスは、曹長石に変わっている例がある(公文, 未公表資料)。四万十帯砂岩中の斜長石粒子の曹長石化は、フッ石の続成変成分帯のアナルシム帯から曹長石帯以上の続成変成作用によって生じたものと考えてよいであろう。

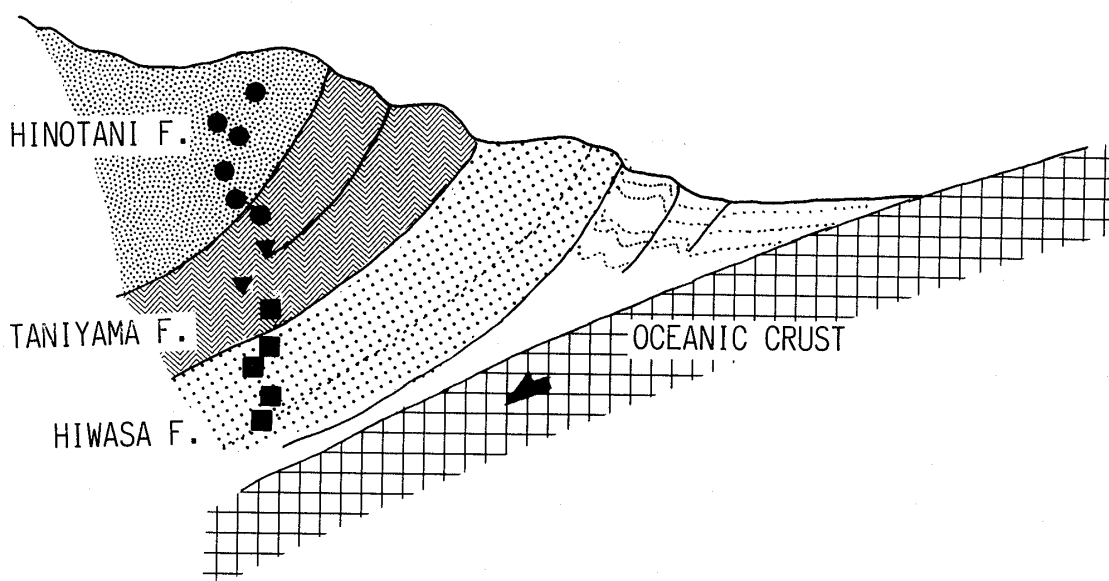
このことは、砂岩中の斜長石の曹長石化の有無およびその度合いが続成変成作用の指標となりうる可能性を示す。しかし、同一層準でも極細粒砂岩中の



第7図. 四国東部四万十帯の曹長石化度の平面的分布図。曹長石化度：黒丸印＝第I段階，逆黒三角印＝第II段階，黒四角印＝第III段階。



第 8 図. 四国東部四万十累帯の層序区分と曹長石化度の層序的分布.
層序区分は Kumon(1983)を一部修正. 記号は第 7 図に同じ.



第 9 図. 四万十累帯の曹長石化を説明する模式的な付加帯断面図. 記号は第 7 図に同じ.

斜長石を調べると、粗粒砂岩中のものと比較して曹長石化の度合がかなり低いという事実がある(第6図)。また、もっとも曹長石化の度合の高い日和佐累層の中でも、砂岩頁岩互層をなす砂岩は曹長石化の度合が低い。岩質により透水率が異なっており、NaとCaの交代が制約されるために同じような温度・圧力条件でも曹長石化の度合に差が生ずるものと考えられる。砂岩の曹長石化を続成変成作用の有用な指標とするためには、透水率と間隙水の組成をも要因に組み込む必要があり、さらに詳しい検討が必要である。

曹長石化と造構場

四国東部の四万十帯白亜系の砂岩の曹長石化の度合を、Ab Index 50以下(第I段階)、Ab Index 50~80(第II段階)、Ab Index 80以上(第III段階)とに分けて平面図に示すと、第7図のようになる。若干の例外はあるが、北亜帯の日野谷累層には第I段階のものが多く、中亜帯の谷山累層には第I段階のものから第III段階のものまで混在する。南亜帯の日和佐累層ではほとんどが第III段階である。なお、予察的な検討であるが、海部累層や奈半利川層などの古第三系の砂岩にも第III段階の曹長石化が認められる。

曹長石化の度合を層序関係と合わせて示すと、第8図のようになる。上位の層準が曹長石化の度合が高いということを示しており、曹長石化が続成変成作用によるという前述の結論と一見矛盾する。しかし、第8図にも示されているように、若い地層はより南側に分布している。四万十帯が付加帯の地質構造を持っていることを考慮すると、より南側のより新しい地質帯は、かつて構造的により深部まで持ち込まれたものと考えらることで合理的に説明が可能である(第9図)。

おわりに

斜長石の組成は、続成的に変化している場合があり、後背地の復元に用いる際には注意が必要である。後背地の推定のためにはつねに主構成粒子の組成と比較しながら行うことが重要である。また、斜長石の組成から後背地を議論する場合には、曹長石化のような続成的変化をうけにくい細粒~極細粒砂岩の試料を用いることも検討されるべきである。

一方、続成変成の指標として応用することによって、この報告で示したように地質構造の解釈に適用

することもできる。しかしながら、斜長石粒子の曹長石化の条件については、透水率や間隙水の組成と関連した問題が不明確なまま残されており、地質構造が単純な地域または深層試錐の試料などで、基礎的な研究を積んでいく必要があるであろう。

本研究は、1988年度の内地研究(受け入れ先; 東京大学理学部地質学教室)によって大きく進展したものである。当時の飯島 東教授をはじめとする同教室の第五講座の方々には有益な示唆と励ましをいただいた。また、同教室の吉田英人技官にはEDXの使用にあたって大変お世話になった。日本大学の谷口英嗣氏には東京大学海洋研究所のEPMAの操作について教えていただいた。信州大学理学部の山口佳昭博士には曹長石化の問題で議論していただいた。信州大学理学部の松澤荘司技官には分析用薄片の多くを作製していただいた。また、本研究の一部には、文部省科学研究費補助金(総合研究A, 課題番号63302019)を使用した。これらの方々には深く感謝する。

文 献

- Boles, J.R., 1982, Active albitization of plagioclase, Gulf Coast Tertiary. *American Jour. Sci.*, **282**, 165-180.
- Coombs, D.S., 1954, The nature and alteration of some Triassic sediments from Southland, New Zealand. *Royal Soc. New Zealand Trans.*, **82**, 65-109.
- Dickinson, W.R., Ojakangas, R.W. and Stewart, R.J., 1969, Burial metamorphism of the late Mesozoic Great Valley Sequence, Cache Creek, California. *G.S.A., Bull.*, **80**, 519-526.
- Iijima, A. and Utada, M., 1971, Present-day zeolitic diagenesis of the Neogene geosynclinal deposits in Niigata Oil Field, Japan. In *Molecular Sieve Zeolite I*, Am. Chem. Soc., Adv. Chem. Ser., **101**, 342-349.
- Iijima, A. and Utada, M., 1972, A critical review on the occurrence of zeolites in sedimentary rocks in Japan. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, **42**, 61-84.
- 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., Ser. Geol. & Miner.*, **49**, 63-109.
- Kumon, F., 1985, Stratigraphic change of the coarse

- clastic rocks of the Shimanto Supergroup in eastern Shikoku, Southwest Japan. In Nasu *et al.* eds., *Formation of active ocean margins*, 819-833, TERRAPUB, Tokyo.
- Morad, S., Bergan, M., Knarud, R. and Nystuen, J.P., 1990, Albitization of detrital plagioclase in Triassic reservoir sandstones from the Snorre Field, Norwegian North Sea. *Jour. Sed. Petrology*, **60**, 411-425.
- Middleton, G.V., 1972, Albite of secondary origin in Charny Sandstones, Quebec. *Jour. Sed. Petrology*, **42**, 341-349.
- Mizutani, S., 1959, Clastic plagioclase in Permian graywacke from Mugi area, Gifu Prefecture, central Japan. *Jour. Earth Sci., Nagoya Univ.*, **7**, 108-136.
- Todd, T.W., 1968, Paleoclimatology and the relative stability of feldspar minerals under atmospheric conditions. *Jour. Sed. Petrology*, **38**, 832-844.
- Trevena, A.S. and Nash, W.P., 1981, An electron microprobe study of detrital feldspar. *Jour. Sed. Petrology*, **51**, 137-150.

(要 旨)

公文富士夫, 1992, 四国東部の四万十累帯白亜系の砂岩における斜長石粒子の曹長石化. 地質学論集, 38号, 281-290. (Kumon, F., 1992, Albitization of detrital plagioclase in the Cretaceous sandstones from the Shimanto Belt in eastern Shikoku, Southwest Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, No.38, 281-290.)

四国東部の四万十累帯北帯は, 北亜帯, 中亜帯, 南亜帯の3つに細分され, 南側の地帯ほど地質時代が若くなる. 3つの亜帯から採集した中粒~粗粒の砂岩中の斜長石粒子の組成をEDXで分析したところ, 北亜帯では平均45%, 中亜帯では平均55%, 南亜帯では平均87%の斜長石粒子が曹長石であることが判明した. 碎屑性の曹長石粒子はわずかなものと推定されるので, 曹長石粒子の大部分は斜長石粒子が続成的に曹長石化したものと考えられる. 曹長石化の条件は, フッ石相における曹長石帯の条件とほぼ同じと推定される. 南亜帯の砂岩はもっとも若い時代であるにもかかわらず, 中亜帯および北亜帯の砂岩よりも大きな割合で曹長石化している. このことは, 付加帯を形成する造構場において南側の亜帯の地層ほどより深い層準まで, 構造的に埋没されたことを示すものと考えられる.