四万十帯の緑色岩に伴う堆積物

佐野 弘好*・勘米良亀齡*・坂井 卓*

Sediments associated with greenstones of the Shimanto Terrain

Hiroyoshi SANO*, Kametoshi KANMERA* and Takashi SAKAI*

Abstract This paper deals with the mode of occurrence and petrographical features of chert and siliceous sediments which are associated with greenstones in some representative areas of the northern belt of the Shimanto Terrain, and gives some comments on the process of formation of chert. Greenstones and cherts are found exclusively in strongly cleaved and sheared slate or phyllite formations which are referable to the accretionary prism of the subduction complex.

Cherts are associated with greenstones, especially with very fine-grained hyaloclastite (tuff) prenesting a distinct stratigraphical sequence that comprises basaltic lava flow (often pillowed) in the lower and hyaloclastite intercalated with chert in the upper. Cherts terminate at the same level as that where volcanic sediments become extinct, and are overlain by terrigenous sediments. It should be noted that no terrigenous beds are found within and between volcanic sediments and cherts. Chert beds are less than 30 m in thickness and are bedded 2 to 5 cm thick often with, tuffaceous partings less than 1 cm.

The chert essentially comprises radiolarian remains and their fragments which often show parallel laminations. The tuff accompanied with cherts also contains disseminated radiolarian remains. X-ray analysis reveals that chert and tuff are mineralogically composed of quartz, albite, chlorite, which subordinate illite and hematite. Among these minerals albite and chlorite are probably of volcanic origin, and quartz is mostly biogenic. No terrigenous grains are found in tuff and chert.

The intimate association of chert with tuff, and the similarity of mineral assemblage and sedimentary features indicate that accumulation of siliceous organisms that formed chert was rapid and contemporaneous with the submarine volcanism. The episodic supply of siliceous organisms is due to mass perishment during or shortly after the submarine volcanic activity. The process of formation of chert of the Shimanto Terrain differs from that of the radiolarian ooze on the oceanic floor that shows a very slow accumulation.

序 論

近年、四万十帯の地質学的研究は急速に進展し岩相・層序・構造に関する多くの知見が蓄積されつつある。また造構造論の見地からその形成過程も活発に論じられるようになってきた。このような研究の進展の中にあって緑色岩に伴う堆積物に関する研究はわずかに志井田ほか(1971), 勘米良(1968, 1973), 勘米良ほか(1977), 須鎗

(1976), 須鎗・千葉(1977), 鈴木(1976)の研究があるにすぎず, それらの産状・形成機構はまだよくわかっていない。

緑色岩と放散虫チャートは, いわゆる主地向斜堆積相あるいはオフィオライトの岩石組合せの一部を特徴づける代表的な岩石として知られており, 両者がしばしば共存して現われることは多くの造山帯で指摘されている(GRUNAU, 1965)。緑色岩とチャートの密接な共存関係は四万十帯でも同様に認められ(KANMERA, 1974), 具体的には次のような内容を含んでいる。すなわち, その

1979 年 5 月 21 日 受理

* 九州大学理学部地質学教室. Department of Geology, Faculty of Science, Kyushu University, Fukuoka, 812 Japan.

Fig. 1. Index map of the studied areas.

1. Totsukawa, 2. Ryujin, 3. Aki,
4. Susaki, 5. Gokasegawa,
- BB'. Butsuzo Tectonic Line.

1つは緑色岩が海洋底地殻の一部、チャートがその上に堆積した珪質深海軟泥を表わし、それらが海溝内縁で付加されたものか、大洋性海山の付加体か、あるいは縁海または島弧帯の産物であるのかという緑色岩・チャートの形成場の問題である。他の1つは、チャートの形成に火山活動が直接的因果関係があるかどうかという多年にわたり議論されてきた問題である。

本論文では、上記の問題に関する基礎的資料として四万十帯の緑色岩に伴って産出するチャート・凝灰岩の産状・岩相・内部構造・構成物質などを記載する。対象としたのは、紀州・四国・東九州の四万十帯北帯に属する地層群である (Fig. 1)。すなわち、高知県安芸地域の須崎層 (佐野・勘米良, 1977) と宮崎県五ヶ瀬川中流域榎峰層 (坂井, 1978) に重点を置き、奈良県十津川上流域小原累層 (志井田, 1962), 和歌山県日高川上流域龍神累層 (紀州四万十帯団体研究グループ, 1975), 高知県須崎地域須崎層 (甲藤, 1961) の各地層についても併せて検討した。試料の組織・内部構造・構成物質の検討には光学顕微鏡・走査型電子顕微鏡を用い、また構成鉱物についてはX線粉末回析分析も行った。

本論文は筆者の一人、佐野が九州大学大学院修士課程在学中に行った研究を中心としてまとめたものである。本研究を行うにあたり、九州大学松本達郎名誉教授、柳哮博士、高知大学鈴木堯士教授、福岡大学石橋澄教授、名古屋大学杉崎隆一助教授からは貴重な御意見を頂いた。また、走査型電子顕微鏡の使用には九州大学工学部資源工学教室小島義孝氏に便宜をはかっていただいた。これらの方々に厚く感謝する次第である。この研究の一部には文部省科学研究費 (代表者 岩崎正夫) を使用した。

産 状

四万十帯に産する火山性堆積物あるいはそれに類縁の

あるものには、産状・岩質からみて少なくとも次の4種が区別される。

1) 玄武岩質溶岩 (緑色岩; 枕状及び塊状) に密接に伴い、通例その上位に直接重なり、あるいはそれに挟まれ、また稀にその下位に位置するハイアロクラスタイトないし水中噴出凝灰岩 (aquagene tuff)。

2) 玄武岩質溶岩を伴わないごく微粒の赤色または緑～緑灰色の凝灰質岩。

3) 酸性ないし中性 (安山岩質) の淡灰～淡緑色または赤紫色の降下性細粒凝灰岩。

4) 玄武岩質溶岩・ハイアロクラスタイトまたは塩基性貫入岩の周縁部で、碎屑性堆積物に変質し、2次的に赤色または緑色化したもの。

従来、四万十帯において赤色泥岩 (甲藤, 1961), 凝灰質赤紫色粘板岩 (橋本, 1962), 泥質赤色岩 (今井ほか, 1971), 赤色頁岩・緑灰色頁岩 (志井田ほか, 1971) などの岩石名が与えられた岩石は、上記の 1)～4) のいずれかに当るようである。これらの岩石についての研究はまだ少ないが、化学組成については志井田ほか (1971, 十津川流域), 稲積 (1971, 高知県下の葉山層・須崎層), 川沢ほか (1971, 須崎層), 須鎗・千葉 (1977, 徳島県下) の資料があり、鉱物組成については志井田ほか (1971) が検討し、須鎗・千葉 (1977) は化学組成から鉱物組成を計算した。

上記4種の岩石の層位的位置及び産状には次のような一般性が認められる。

四万十帯 (広義) 全般を通じての岩相層序の普遍的規則性については勘米良ほか (1977) が指摘したように、泥質岩を主体とする先フリッシュ相の地層と砂岩が卓越するフリッシュ相の地層に大きく2分される。前者は層序上、常に後者の下位に位置し、両者が互層した側方に移化することはない。それらは地層配列上恰も整合一連に累重する交互層のような分布を示すが、それは実は衝上覆瓦構造により両者が構造的に繰り返して現われることによる。そして上記2層の地層は北帯の白亜系 (一部ジュラ系?), 南帯の始新統・漸新統・下部中新統のそれぞれに認められ、上・下、対の関係をなして、北側から南側に向って若い時代の地層が順次配列する。先フリッシュ相の地層は小褶曲・劈開・スラストなどによる構造変形が著しく、多くは粘板岩・千枚岩質、時に片岩質になっている。この先フリッシュ相の地層は海溝充填堆積物 (trench-fill sediments) の付加体 (accretionary prism) に帰せられた (勘米良・坂井, 1975; 勘米良ほか, 1977)。

Fig. 2. Geologic map of the Aki area.

1. Quaternary, 2. Southern belt of the Shimanto Terrain, 3, 4. Iokigawa Formation (3, flysch facies; 4, pre-flysch facies), 5, 6. Akigawa Formation (5, flysch facies; 6, pre-flysch facies), 7. greenstones and cherts, 8. thrust fault, 9. strike and dip of bedding plane, AA'. Aki Tectonic Line.

上記 1) の玄武岩質溶岩及びそれに伴うハイアロクラスタイトは、北帯・南帯を問わず上記時代のいずれにおいても常に先フリッシュ相の地層中にのみ産し (Fig. 2), フリッシュ相の地層中に産することはない。このハイアロクラスタイトはしばしば層状チャートを伴う。北帯ではこれらの岩石類は先フリッシュ相の泥質岩層の下部の 2~3 層準に挟在する (志井田ほか, 1971; 佐野・勘米良, 1977; 坂井, 1978)。玄武岩質溶岩の下底は多くの場合断層またはすべり面で粘板岩・千枚岩と接するが、稀に密着して整合とみなされる場合もある。時に玄武岩質溶岩中に泥質捕獲岩が含まれる。また、枕状溶岩中にはしばしば放散虫・有孔虫などを多産する微晶質石灰岩が見出される。その産状から GARRISON (1972) のいう inter- and intrapillow limestones に相当すると考えられる。

玄武岩質溶岩の上位には通例ハイアロクラスタイトまたはハイアロクラスタイトーチャートの組合せが発達し、さらに上位は泥質岩で整合に被われる。玄武岩質溶岩は一般に発泡構造を欠き、その多くは未固結泥層上に溶岩流として噴出 (一部は貫入) したと考えられる (勘米良ほか, 1977)。

2) の赤色または緑~緑灰色凝灰質岩は、上記 1) と同様に先フリッシュ相の地層中に見出されるが、1) と異なり溶岩などを伴わない。ごく微粒の凝灰質岩で、陸源物質を含まず、色は局所的に変化する。上・下位の粘板岩・千枚岩とは整合で、両者の境界ではしばしば相互に注入構造がみられる。チャートは伴われていない。放散虫を含む部分もあるが、量は少ない。上記 1) との関係が確認されていないが、おそらく 1) の海底火山噴火

に伴って生じた細粒のハイアロクラスタイトが海流によって下流側に噴出源から遠く運ばれて堆積した産物と考えられる。

3) の酸性～中性の凝灰岩は多くの場合フレッシュ相の地層中に見出される(宮崎県五ヶ瀬川流域日の影層; 坂井, 1978, 徳島県下の四万十帯北帯)が, 先フレッシュ相の地層中に発達する場合もある(安芸川流域の須崎層, 十津川流域小原累層, 宇和島南方の北灘層)。淡青緑, 緑灰, 灰白, 時に赤紫色を呈し, 一般に数 cm～数 10 cm でよく成層し, 厚層のものでは塊状のこともある。中・上部には所により著しく放散虫に富み, チャート質となり, 放散虫の少ない薄い葉層を挟んで互層する。中川ほか(1977), 中川・中世古(1977)により放散虫化石が報告された徳島県下阿南市鉦打南方, 大浦と鵜の中間のものなどはその例である。この種の凝灰岩は細粒の石英・曹長石・絹雲母・緑泥石・イライトなどからなり, 溶岩や粗粒の火砕岩を伴わず, 内帯における中～酸性火成活動によってもたらされた降下性火山灰の集積層と考えられる。

4) は上記 1) の水中凝灰岩及び 2) の凝灰質岩にきわめて類似した鮮赤色, 稀に緑色の泥質岩で, 玄武岩質溶岩・貫入岩と周囲の黒色粘板岩・千枚岩との接触部にみられる。赤色または緑色部は泥質岩の片理と明らかに斜交し石英・長石などの明瞭な陸源碎屑粒子が鏡下で認められる(Plate I-1)。基質部は赤色または緑色に不規則に着色されている。放散虫は稀に見出されるが, 周囲の黒色泥質岩と同様にごく稀である。このような特徴から, 凝灰岩類とは明瞭に区別され, 緑色岩に伴った鉄に富む熱水(または温泉水)によって泥質岩が 2 次的に変質したものと考えられる。

以上のうち, 4) を除いた 3 種の火山堆積物のうち, 四万十川層群の堆積盆地内で噴出・堆積したことが明らかなのは 1) である。以下, 白亜系に属する前記諸地域の緑色岩に伴うこの種の堆積物について詳細を述べる。

緑色岩に伴う凝灰岩とチャートの産状

四万十帯北帯の玄武岩質溶岩には多かれ少なかれハイアロクラスタイトとしての凝灰岩を伴う。所により角礫溶岩などの粗粒のハイアロクラスタイトもあるが, ほとんど大部分がきわめて細粒である, 厚さは数 m～30 m, 時に 50 m に及ぶ。その産状の一例を Fig. 3 に示す。側方に厚さの変化が著しく, 延長上にチャートが出現することも少なくない。赤褐～暗赤色のものが多いが, 緑灰色のこともある。周囲の泥質岩と同様に劈開の発達が

Fig. 3. A sketch showing the mode of occurrence of tuff associated with basaltic lava flows.

1. massive basaltic lava, 2. pillow lava, 3. tuff, 4. black slate, 5. minor thrust. 800 m south of Imanishi, the middle reaches of the Imanishi River, Totsukawa area: Kohara Formation.

著しい。東九州の槇峰層では片理の発達が顕著で, 千枚岩～片岩質となっている。凝灰岩には数 mm～数 cm の珪質薄層が挟在する。それは凝灰岩層上部では頻繁に見出され, 凝灰岩が次第に珪質となり, 外見上チャートに類似するようになる。安芸地域の珪質凝灰岩にはしばしば淡赤桃色の石灰岩が数 cm の厚さでパッチあるいはレンズ状に発達する。それには濃赤色の平行葉理が顕著である。

凝灰岩層, 凝灰岩—チャート層の上位には黒色泥質岩が整合的に重なることもある。凝灰岩層最上部付近では黒色泥質岩の薄層が挟まれることがある(Fig. 5, A)が, 両者の境界は明瞭で, 漸移関係は認められない。

玄武岩質溶岩に伴う凝灰岩にはしばしばその中にまたはその上位にチャートが発達する(Fig. 4)。チャートが単独で碎屑岩中に地層として産する例はみつけない。チャートははじめ凝灰岩層中のレンズ・薄層として現われ, 上位に向って次第に厚さを増し, 凝灰岩との薄互層をへて, やがて凝灰質薄層を挟む層状チャートに至る。調査した限りでは, 火山性物質とチャートの間に陸源碎屑性物質からなる地層が挟在する例はなく, 凝灰岩とチャートの共存関係はきわめて緊密である(Fig. 5)。チャートが火山性物質を伴わずに泥質岩中に独立して産

Fig. 4. Sketches showing the mode of occurrence of radiolarian chert. Lithologic symbols are the same as those of Fig. 5.

A. Hinokage, the right bank of the Gokase River, the Gokasegawa area: Makimine Formation,
B. 500 m northeast of Terauchi, the middle reaches of the Aki River, Aki area: Akigawa Formation.

出するのはチャート主岩体から構造的に分離された小岩塊の場合のみである。

Fig. 5 に示したように、下位から溶岩・凝灰岩・チャートの順に累重するのが基本的な層序で、凝灰岩層が消滅すると共にチャートも消滅する。これらの3者は1ユニットとして把握される。溶岩上にチャートが直接重なる例はなく、一見直接するような場合でも薄いながら凝灰岩が挟まれる。このようなユニットが2~3回繰り返して累重することもある。これらのことは珪質堆積物の沈積が、玄武岩質溶岩を噴出し細粒凝灰岩を生ずるような海底火山活動に密接な成因の関係をもち、しかも短期間で行われたことを示唆する。

チャートは1 cm 以下の凝灰質薄層を挟んで3~5 cm の厚さで成層する。単層は上位ほど厚くなる傾向が認められ、凝灰岩層はそれに伴って薄くなる。チャート単層には pinch and swell 構造が普遍的に発達し、また小褶曲がしばしば観察される。塊状チャートの産出は稀である。塊状の場合、垂直・側方に層状チャートと移化し、塊状部にも層理の痕跡が追跡されることが多い。また塊状チャートは著しく再結晶し、網状石英脈が顕著に発達するのが普通である。

チャートは暗赤~赤褐色、あるいは淡緑色を呈し、互層する凝灰質薄層よりもやや淡色である。多かれ少なかれ凝灰質であり、破断した場合の貝殻状断口は顕著ではない。また透明度も低い。単層内には濃赤色・緑色の凝灰質物質に富む平行葉理が観察される。

Fig. 5. Columnar sections showing the stratigraphical relationship between volcanic beds and radiolarian cherts.

1. massive basaltic lava flow, 2. pillow lava, 3. tuff, 4. siliceous tuff, 5. radiolarian chert, 6. black slate, 7. limestone, 8. fault, A. Hinokage, the right bank of the Gokase River, Gokasegawa area: Makimine Formation, B. Kue, the upper reaches of the Wajiki River, Aki area: Akigawa Formation. C, D. 500 m (C), 1 km (D) northeast of Terauchi, the middle reaches of the Aki River, Aki area: Akigawa, Formation.

チャート層は5~20 m の層厚をもち、30 m を越える例は少ない。側方への連続性に乏しく、凝灰岩層に移り変りまた尖滅するようである。東九州の北帯では一般に、北西に位置する衝上体ほどチャート及び凝灰岩が優勢であることが指摘されている(勘米良ほか, 1977; 坂井, 1978)。この事実は安芸地域においても同様の傾向として認められる。このような衝上体ごとの変化として表現される南北方向の岩相変化、及び同一衝上体内での側方変化を考慮すれば、チャート・凝灰岩が広域にわたって一様に玄武岩質噴出岩の上位に堆積したとは考え難

い。すなわち、海流による一方向への凝灰質物質の運搬や底層流による再堆積、海底火山体の地形的影響などによる凝灰質・珪質堆積物の偏在が推定される。

組織・内部構造・鉱物組成

凝灰岩は石英・曹長石・緑泥石・赤鉄鉱を主体として、少量の方解石・イライトを伴う。楨峰層の試料では変成鉱物としての絹雲母が顕著である。これらの構成鉱物のうち、赤鉄鉱・絹雲母を除けば、いずれも著しく細粒であり、光学顕微鏡による観察ではそれらの粒度・形態は不明である (Plate I -2)。赤鉄鉱は数~数 10μ の不規則な形態の粒子として含まれ、しばしば劈開に沿って $0.1\sim$ 数 mm の幅で濃集し、葉理状の濃集帯を形成する。また Stylolite 面に沿っても同様な濃集がみられる。NISBET & PRICE (1974) はチャート単層中のこのような組織を iron-rich stringers とよんだ。CAROLL (1958)

はこのような濃集帯の形成が弱い水流下で酸化鉄が粘土片に吸着することによると考えた。筆者らの観察では、凝灰岩には陸源碎屑粒子は全く見出されない。X線粉末回折分析ではイライト等の粘土鉱物がわずかに認められ、その起源は今後さらに検討を要する。基質中の石英は放散虫遺骸から溶解したシリカの再結晶、曹長石・緑泥石は微細な火山性物質に由来する可能性がある。

凝灰岩中には放散虫遺骸が散在して見出され、稀に層理面に沿い葉層をなして配列することがある。多量の放散虫遺骸を含む部分は珪質凝灰岩とよぶことができる (Plate I -3)。放散虫遺骸に富む淡赤色の珪質部と赤鉄鉱、凝灰質物質に富む暗赤色部が数 mm~2 cm の幅で層理に平行に交互する。

四万十帯のチャートは放散虫遺骸とその破片及び凝灰質物質で構成される。

放散虫遺骸及びその内部は数~数 10μ のモザイク状

Fig. 6. Sketches showing detailed inner structures of a single chert bed (thin sections perpendicular to the bedding plane).

A. parallel-laminated hematite-rich bands (densely dotted). B. penecontemporaneously deformed siliceous lens in hematite-rich band. R. clearly discernible radiolarian remains, V. quartz vein. 500 m northeast of Terauchi, the middle reaches of the Aki River, Aki area: Akigawa Formation.

石英と直消光するカルセドニーからなる。放散虫殻は部分的に緑泥石・赤鉄鉱・方解石で交代されている。基質との境界は明瞭ではない。多くの場合、殻には strain shadow を伴っており、楨峰層のものでは殻の扁平化が著しい (Plate I-5)。放散虫遺骸の大部分は球型のものであり、円錐殻のものや海綿骨針・珪藻はほとんど含まれない。チャートにおけるこのような特徴は前述の凝灰岩においても同様である。

チャート単層は大別して2つの部分からなる。すなわち緑泥石などの凝灰質物質と赤鉄鉱に富む部分 (hematite-rich band) と放散虫遺骸が密集する部分 (radiolaria-rich band) からなる。両者は数 mm~数 cm の幅で交互し、平行葉理構造を形成する (Fig. 6, A)。この構造は前述の珪質凝灰岩に見出される暗赤色部と淡赤色部の交互構造に対応するものと考えられる。このようなチャート単層内の構造はネバダの石炭紀チャート (FAGAN, 1962)、ギリシャのトリアス紀~ジュラ紀チャート (PRICE, 1977) において観察された放散虫に富む葉理と放散虫に乏しく赤鉄鉱・粘土鉱物に富む葉理の細かな交互構造に一致する。上記の葉理構造は連続性に乏しく、また膨縮が著しくしばしばレンズ状を呈する。レンズ状部には未固結時の変形とみなされる構造が観察される (Fig. 6, B)。チャート単層中の未固結時の変形に関する知見は少ないが、SAITO & SEKINE (1976) は関東山地のペルム紀~トリアス紀のチャートについてチャート単層と泥質薄層の変形の中から堆積時の荷重による正断層を報告している。須鎗 (1976) も類似の構造を徳島県下の秩父帯から報告している。現在、筆者らの予察的な観察では上記のような変形と数 mm~数 cm オーダーの微褶曲を基調にする変形が顕著である。

層状チャートとこれに伴う凝灰質葉層との境界は肉眼的には比較的明瞭であるが、鏡下ではチャートから凝灰質葉層に向って放散虫遺骸が減少し、漸移する場合が少なくない (Plate I-6)。

チャートを構成する鉱物は石英を主体として、曹長石・緑泥石・赤鉄鉱・イライトなどが見出される。方解石は基質中には含まれない。また凝灰岩におけるのと同様に、楨峰層のチャートには変成鉱物として絹雲母が顕著である。構成鉱物の組合せは凝灰岩のそれと全く同じである。チャートの副成分鉱物組成については、CRESSMAN (1962)、THURSTON (1972)、NISBET & PRICE (1974) らが緑泥石・イライトなどの粘土鉱物と赤鉄鉱を報告している。またパラゴナイト (NISBET & PRICE, 1974) や長石 (STEINBERG *et al.*, 1977) も知られている。これらの鉱

物の多くは下位の玄武岩質溶岩の海底風化に由来したと考えられ、一部の粘土鉱物は陸源物質であるとされている。今回検討した四万十帯のチャートには凝灰岩同様に明瞭な陸源碎屑粒子を含まないことを考慮すれば、チャート中の曹長石・緑泥石は細粒の火山性物質に由来すると考えられる。

考 察

造山帯を構成するいわゆる主地向斜性堆積物には、緑色岩 (塩基性岩類) に伴ってしばしば放散虫チャートが出現することが STEINMANN (1927) 以来よく知られている。この事実に関しては2つの解釈がある。その1つは、STEINMANN Trinity として知られ、最も普遍的に現われる超塩基性岩 (蛇紋岩を含む) ~はんれい岩・輝緑岩岩脈群、枕状溶岩、放散虫チャートの岩石組合せのうち、超塩基性岩一枕状溶岩は海洋性地殻にあたり、チャートはその上に沈積した放散虫その他の遠洋性珪質生物遺骸からなる珪質軟泥のような大洋底の堆積物に対応するという解釈である (例えば、GRUNAU, 1965)。この場合チャートの形成は海底火山活動とは直接的関係をもたない。他の1つは、深海の海底火山活動に際して、多くは高水圧下で、高温の玄武岩質溶岩と海水が直接反応することによって多量のシリカが溶脱し、海底に無機的にシリコロイドとして沈積するという説である。この場合その中に含まれる珪質生物遺骸は表層水中に浮遊していた珪質生物がたまたま沈下してきた偶発的な産物であるという解釈である (BAILEY *et al.*, 1964 ほか)。AUBOUIN (1965) はこれらの2説をそれぞれ bathymetric hypothesis, volcanogenic hypothesis とよんだ。従来報告された放散虫チャートの多くは枕状溶岩の直上に累重している。この型の産状のものについて、GARRISON (1974)、ROBERTSON & HUDSON (1974)、STEINBERG *et al.* (1977) らは基本的に第1の説の立場をとっている。そして、THURSTON (1972) や CORLISS (1971) が考えたように、海底火山活動がチャートの形成と関係があるとすれば、それは塩基性岩の変質作用あるいは浸透水による海底風化ないしは溶解によって、珪質堆積物中にシリカが供給されて珪質生物遺骸の保存に適した化学的環境を提供するような間接的な関与であるとされている。第2の説に関してはすでに勘米良 (1968) が指摘したように、チャートを構成する多量のシリカの供給を玄武岩質溶岩と海水との化学反応に求めることは困難である。それは、ハワイその他における現在および若い地質時代に海底噴出した玄武岩質溶岩ではシリカの溶脱がほとんど

ないことが確かめられたこと (MOORE, 1965 ほか), 及び玄武岩ガラスの SiO_2 , CaO , Na_2O などの溶脱を起すパラゴナイト化作用は低温下で海水中または地下水浸透帯で徐々に行なわれる (MOORE, 1965; 飯島・HAY, 1967) ことから帰納される。一方, 勘米良 (1968), KAN-MERA (1974) はチャートが下位に玄武岩質溶岩・ハイアロクラスタイトを伴い, しばしば火山性物質の消滅とともにチャートの堆積が終止することから, 海底火山活動が放散虫などの珪質生物の異常繁殖と大量死を誘発し, 急速にチャートが形成されたと推定して, 四万十帯のチャートをその代表的産物とみなした。井本 (1973), 井本・福富 (1975) も丹波帯のチャートの形成に関して同様の考えを述べた。この見解は *volcanogenic sedimentary hypothesis* に含まれるが, 珪質堆積物が生物起源であるとした点で上記の火山活動に伴う化学的沈殿説とは異なる。他方, 火山活動に誘発された大量発生と急速な堆積を考える点で大洋底における遅い堆積速度, 例えば, $0.7\sim 1\text{ mm}/10^3\text{ 年}$, GARRISON & FISHER (1969) $1\sim 5.3\text{ mm}/10^3\text{ 年}$, McBRIDE & THOMPSON (1970) の深海珪質軟泥起源説とも異なる。

ところで, 四万十帯の緑色岩に伴うチャートの特徴は次のように要約できる。

i) チャート層は塩基性火山岩, とりわけその上位に重なる細粒凝灰質物質と密接に共存し, それと互層する。また火山性物質の消滅とともにチャートも消滅する。チャートが火山性物質に伴わず, 単独で碎屑岩中に地層として介在する例はない。

ii) チャート層は 50 m 以下のことが多く, 分布は狭小である。衝上体ごとの発達状態も一様ではない。垂直・水平方向の岩相変化が著しく, 凝灰岩の側方延長上にチャートが現われることもある。

iii) チャートは放散虫遺骸と凝灰質物質から構成される。チャートに伴う凝灰岩にも放散虫遺骸が含まれ, 両者の内部堆積構造・鉱物種の組合せはほぼ共通している。

iv) チャートと下位の火山性物質との間には陸源碎屑物質からなる地層は介在せず, また両者はともに陸源碎屑粒子を含まない。

v) チャート層の上位に重なる粘板岩中には放散虫はごく稀に含まれることはあっても, 葉層ないしそれ以上の厚さの層をなすことはない。

上記の諸特徴は, 四万十帯のチャートが放散虫の大量発生・沈積が海底火山活動, とくに細粒火山塵の生成と密接な関係をもって形成されたことを示す。またチャートの形成は細粒凝灰質物質の供給・懸濁・沈積の過程

にしか起らず, しかも短期間に行なわれたことを示す。すなわち, チャートの形成はチャートと共通した内部堆積構造・鉱物組成をもつ凝灰岩の堆積とはほぼ同時的ないしやや遅れて行なわれたものであり, 両者が一連の堆積過程の中で形成されたと考えられる。

四万十帯のチャートが玄武岩質溶岩の直上に累重する例は少なく, 大量の細粒凝灰質物質に伴う点は深海底掘削で知られたチャートの産状 (HEATH & MOBERLY, 1971; KEENE, 1975 ほか) にはみられないものである。このような点を考慮すれば, 四万十帯のチャートが海洋性地殻の直上に深海珪質軟泥として広域にわたって一様に堆積したとは考え難い。

おわりに

須鎗 (1976), 須鎗・千葉 (1977) は四国の秩父帯・四万十帯のチャート及びそれに伴う凝灰質・泥質葉層の組織・内部構造・化学組成を検討し, チャート中の生物遺骸以外の物質を泥質あるいは火山性堆積物とした場合, それらのすべての物質を含めてチャート中の SiO_2 の 50% 以上が起源不明であり, シリカの無機的沈殿について再検討する必要があることを強調した。紙数の都合上, 本論文ではふれなかったが, この提起はチャートの基質及び放散虫殻内部のシリカの起源を何に求めるかという重要な問題を含むものであり, これについては稿を改めて論述する予定である。

文 献

- AUBOIN, J., 1965: *Geosynclines*. 335p., Elsevier Pub. Co., Amsterdam.
- BAILEY, E., IRWIN, W. P. and JONES, D. L., 1964: Franciscan and related rocks and their significance in the geology of the western California. *Bull. Calif. Mines. Geol.*, **183**, 177.
- CAROLL, D., 1958: Role of clay minerals in the transportation of iron. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **14**, 1—28.
- CORLISS, J. B., 1971: The origin of metal-bearing submarine hydrothermal solutions. *Jour. Geophys. Res.*, **76**, 8128—8138.
- CRESSMAN, E. R., 1962: Nondetrital siliceous sediments. In FLEISCHER, M., ed.: *Data of Geochemistry*, 6th ed., U. S. Geol. Surv. Prof. Pap., 440—T.
- FAGAN, J. J., 1962: Carboniferous cherts, turbidites, and volcanic rocks in northern Independence Range, Nevada. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **73**, 595—612.
- GARRISON, R. E., 1972: Inter- and intrapillow limestones of the Olympic Peninsula, Washington.

- Jour. Geol.*, **80**, 310—322.
- , 1974: Radiolarian cherts, pelagic limestones, and igneous rocks in eugeosynclinal assemblages. In Hsü, K. J. and JENKYNs, H. C., ed.: *Pelagic sediments on land and under the sea*. Spec. Publ. int. Assoc. Sediment., **1**, 367—399.
- and FISHER, A. G., 1969: Deep water limestones and radiolarites of the Alpine Jurassic. In FRIEDMAN, G. M., ed.: *Depositional environments in carbonate rocks*. Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Mineral., **14**, 20—56.
- GRUNAU, H. R., 1965: Radiolarian cherts and associated rocks in space and time. *Eclog. Geol. Helv.*, **58**, 157—208.
- 橋本 勇, 1962: 九州南部における時代未詳層群の総括. 九大教養部地学研報, **9**, 13—69.
- HEATH, G. R. and MOBERLY, R., 1971: Cherts from Western Pacific, Leg 7, Deep Sea Drilling Project. In WITNER, E. L., ed.: *Initial Report of the Deep Sea Drilling Project*, **VII**, 991—1007. U. S. Government Printing Office, Washington.
- 飯島 東・HAY, R. L., 1967: オアフ島の沸石質パラゴナイト凝灰岩の性状と成因. 地質雑, **73**, 573—590.
- 今井 功・寺岡易司・奥村公男, 1971: 九州四万十帯北東部の地質構造と変成分帯. 同上, **77**, 207—220.
- 井本伸広, 1973: 層状チャートの形成過程と四万十帯の珪質岩の研究方向. 四万十地向斜に関する総合研究連絡紙, no. 2, 96—101.
- ・福富真名井, 1975: 優地向斜におけるチャートの形成過程—とくに丹波地帯の層状チャートについて—. 地研専報, no. 19, 35—42.
- 稲積章生, 1971: 四国地方頁岩および粘板岩の化学組成. 日本化学雑誌, **92**, 326—330.
- 勘米良亀齡, 1968: 地向斜の火山性物質に伴う堆積物. 地質学論集, no. 1, 23—32.
- , 1973: 四万十帯の炭酸塩岩, 珪質岩, 緑色岩に関する若干の問題. 四万十地向斜に関する総合研究連絡紙, no. 2, 102—107.
- ・坂井 卓, 1975: 四万十川層群の形成場は現在の海底ではどのような所に対応するか?. GDP 連絡紙, II—1—(1), 構造地質, no. 3, 55—64.
- ・——・佐野弘好・大賀英生, 1977: 四万十帯における緑色岩の層位的位置と産状. 総合研究「緑色岩類の岩石学的研究およびその対比」研究連絡紙, no. 2, 7.
- KANMERA, K., 1974: Paleozoic and Mesozoic geosynclinal volcanism in the Japanese Islands and associated chert sedimentation. In DOTT, R. H. Jr. and SHAVER, R. H., ed.: *Modern and ancient geosynclinal sedimentation*. Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Mineral., **19**, 161—175.
- 甲藤次郎, 1961: 四万十帯. 高知県地質鉱産図説明書, 56—90, 高知県.
- 川沢啓三・土佐四万十帯研究グループ, 1973: 高知県下の四万十帯研究の現状と問題点 (1) 中生界について. 四万十地向斜に関する総合研究連絡紙, no. 2, 53—57.
- KEENE, J. B., 1975: Cherts and porcellanites from the North Pacific, Deep Sea Drilling Project, Leg 32. In LARSON, R. L. et al., eds.: *Initial Report of the Deep Sea Drilling Project*, XXXII, 429—507. U. S. Government Printing Office, Washington.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 1975: 四万十地向斜の発達史. 地研専報, no. 19, 143—156.
- MCBRIDE, E. F. and THOMPSON, A., 1970: The Caballos novaculites, Marathon Region, Texas. *Spec. Pap., Geol. Soc. Amer.*, no. 122 129.
- MOORE, J. G., 1965: Petrology of deep sea basalt near Hawaii. *Amer. Jour. Sci.*, **263**, 40—52.
- 中川衷三・大木吉功・竹原由子・桑原義則・桑原義宏, 1977: 四国東部の四万十層群中生界 (主としてその北半部について). 徳島大学芸紀要 (自然), **28**, 1—8.
- ・中世古幸次郎, 1977: 四万十層群の放散虫化石 (予報), 同上, **28**, 17—25.
- NISBET, E. G. and PRICE, I., 1974: Siliceous turbidites: bedded cherts as redeposited, ocean ridge-derived sediments. In Hsü, J. K. and JENKYNs, H. C., ed.: *Pelagic sediments on land and under the sea*. Spec. Publ. int. Assoc. Sediment., **1**, 351—366.
- PRICE, I., 1977: Facies distinction and interpretation of primary cherts in a Mesozoic continental margin succession, Othris, Greece. *Sediment. Geol.*, **18**, 321—335.
- ROBERTSON, A. H. F. and HUDSON, J. D., 1974: Pelagic sediments in the Cretaceous and Tertiary history of the Troodos Massif, Cyprus. In Hsü, J. K. and JENKYNs, H. C., ed.: *Pelagic sediments on land and under the sea*. Spec. Publ. int. Assoc. Sediment., **1**, 403—436.
- SAITO, Y. and SEKINE, K., 1976: Small scaled penecontemporaneous deformation structures of bedded chert from Chichibu, Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus., Ser. C (Geol.)*, **2**, 1—8.
- 坂井 卓, 1978: 宮崎県五ヶ瀬川中流域の四万十川層群の地質構造と層序. 九大理研報 (地質), **13**, 23—38.
- 佐野弘好・勘米良亀齡, 1977: 安芸川流域四万十帯の緑色岩とこれに伴う堆積物. 日本地質学会第 84 年学術大会講演要旨, 160.
- 志井田功, 1962: 紀伊山地中央部における秩父累帯および日高(四万十)累帯の層位学的構造地質学的研究. 名大教養部紀要, **6**, 1—58.
- ・諏訪兼位・杉崎隆一・田中 剛・塩崎平之助, 1971: 奈良県十津川流域における日高川帯の緑色岩類. 地質学論集, no. 6, 137—149.
- STEINBERG, M., DESPRAIRIE, A., FOGELGESANG, J. F., MARTIN, A., CARON, D. and BLANCHET, R., 1977: Radiolarites et sédiments hypersiliceux océaniques: une comparaison. *Sedimentology*, **24**, 547—563.
- STEINMANN, G., 1927: Die ophiolithischen Zonen in Meditteranen Kettengebirgen. *14th Int. geol.*

Congr., Madrid, 2, 638—667.

須鎔和巳, 1976: チャートの組織・構造に関する 2・3 の知見—四国秩父累帯および四万十累帯の例—. 国立科博専報, **9**, 23—34.

——・千葉とき子, 1977: チャートの化学組成について—四国秩父累帯南帯および四万十累帯北帯のチャ

ート. 徳島大教養部紀要, **10**, 59—116.

鈴木堯士, 1976: 高知県の秩父累帯および四万十帯に分布する枕状溶岩—産状を中心として—. 小島丈児先生還暦記念論文集, 113—120.

THURSTON, D. R., 1972: Studies on bedded cherts. *Contr. Mineral. Petrol.*, **36**, 329—334.

Explanation of Plate I

1. Secondarily red-pigmented mudstone, just under the lava that is also red coloured. 500 m northeast of Terauchi, the middle reaches of the Aki River, Aki area: Akigawa Formation.
2. Tuff interbedded with radiolarian chert. Locality is the same as that of Pl. 1.
3. Siliceous tuff containing abundant radiolarian remains. Locality is the same as that of Pl. 1.
4. Chert with sparsely disseminated radiolarian remains. The matrix comprises microcrystalline quartz. 1 km north of Kamiokawa, the upper reaches of the Okawa River, Aki area: Akigawa Formation.
5. Radiolarian chert. Note strongly stretched radiolarian remains. Hinokage, the right bank of the Gokase River, Gokasegawa area: Makimine Formation.
6. Etched surface of radiolarian chert (lower half of photograph) and associated tuffaceous parting (upper half). Note the gradual change from chert to tuff. 1.5 km north of Komori, the upper reaches of the Hidaka River, Ryujin area: Ryujin Formation.
7. Scanning electron micrograph of tuffaceous parting of Pl. 6.
8. Scanning electron micrograph of radiolarian chert of Pl. 6.