

珪質岩とはシリカに富んだ堆積岩のことで、その代表的なものはチャート（chert）である。珪質な成分に富んだ泥岩（珪質泥岩）との境界は漸移的であり、シリカ含有率 90% に人為的な組成上の境界を設けることがある。

1. チャート（chert）とは何か

顕微鏡では結晶が判別できないほど小さい石英結晶（繊維状石英 = 玉髄）でおもに構成される珪質（シリカに富んだ）堆積岩の総称。硬くて緻密。規則的にわれる劈開を持たないので、貝殻状の凹凸をもった破断面が見られることがある。透明感を持つことも特徴であり、シリカ（ SiO_2 ）の含有率は 90% 以上のものがチャートに分類される。色調は多様であり、灰色、黒、白、赤、緑、黄色などを呈する。



図1 層状チャートの標本：長野県安曇村乗鞍高原。三畳紀。



図2 英国、ワイト島の白亜紀のチョーク層から産出したノジュール状チャート

2. チャートの産状：2つの産出状態

チャートの産出状況にはおもに2つのタイプがある。それは層状チャート（bedded chert）と団塊状チャート（nodular chert）である。

層状チャート：ある程度の厚さを持った板状のチャート層と泥質岩の薄い層とが互い違いに重なったもの。個々のチャート層とそれらが泥質岩と交互に重なった全体とを層状チャートと呼ぶ。全体で数十m程度の厚さのものが多い。層状をなすことの原因については諸説ある（後述）。

団塊状チャート：球形～不定形をした団塊（nodule）の見かけをもつチャートのこと。チョーク層のような石灰質堆積物の中にできることが多い。成因としては、石灰質堆積物の中にも含まれている珪質の生物遺骸から溶け出した珪質成分が別の場所に移動して沈積・成長したもの。一種の分結作用（segregation）の結果できたものとも言える。白亜紀のチョーク層中にできた団塊状チャートはフリントとして知られており、石器時代の優れた石器素材として有名である。



図3 層状チャートの例 岐阜県犬山市の三畳紀層。



図4 チョーク層中にできたノジュール状チャート(フリント). 英国, ワイト島.

3. チャートを構成するもの

チャートを構成する主体はシリカであるが、非結晶のオパールから大きく成長した石英結晶の集合体まで結晶の種類や大きさ・形態は多様である。

a. 珪質堆積物の起源

最初の珪質堆積物は、珪質の生物遺骸であったり、間隙水からの沈殿物であったりするが、鉱物でいえば、非晶質（非結晶質）のシリカ（オパール）である場合が大半である。

海水中のシリカは数 ppm であり、最大でも 120ppm にすぎないので、海水からシリカが化学的に沈殿することはあり得ない。一方、深海底（CCD 以深～SCD 以浅）には珪藻や放射虫、まれにはシロコガネなどのシリカで構成された生物遺骸の集積が見られる（珪質軟泥）。また、極めて特殊な例として、熱水や温泉水、地下水（間隙水）からの沈殿や置換によって、また乾燥地域の高アルカリ湖において沈殿することがある。

b. 続成作用

非晶質シリカは時間の経過と温度・圧力の上昇とともに石英に、さらにはより粗粒な石英に変化するが、その過程が続成作用である。珪質堆積物の続成作用の過程は、鉱物の変化としては

非晶質シリカ = オパール A オパール CT または クリストバライト 石英

となる。これらの結晶構造の変化は粉末 X 線回折法によってよく調べることができる（図 5）

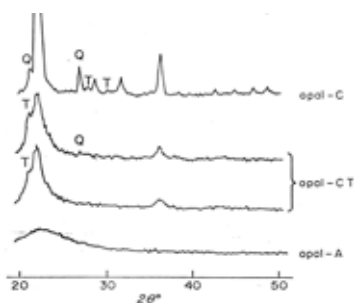


Figure 5. Typical x-ray diffraction patterns of opal-A, opal-CT, and opal-C (Cu K α radiation; 2θ in $^{\circ}$). T and D indicate reflections attributable to trisymmetrical stacking and to quartz, respectively. Modified from Jones and Segnit, 1971.

図5 X線回折法で識別されるチャートの続成作用の諸段階

<参考；用語の説明>

オパール： $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ．非晶質ないしそれに近い含水珪酸塩鉱物の総称

オパールA：完全に非晶質な状態のオパール

オパールCT：クリストバライト構造が卓越する性質をもったオパール

クリストバライト (cristobalite)： SiO_2 鉱物の一種．石英・トリデマイトと多形をなす．

トリデマイト (tridymite)： SiO_2 鉱物の一種．鱗珪石とも．石英の多形．アルカリ元素やアルカリ金属元素が必要という指摘もある．

このような結晶構造の変化とともに，次のような結晶の形態変化や成長が起きる．

鱗球 (lepisphere)	スポンジ状/繊維状	等粒状
よく結晶化したクリストバライト	微晶質石英	微結晶石英
または，オパールCT		

なお，溶解と沈殿を繰り返して非晶質オパールから直接に微晶質石英へ変化する過程も知られている．これらの変化に要する時間は，Ernst and Calvert (1969)の実験に基づくと，20 MPa，1気圧の条件では 1.8 億年かかるとされている．結晶化していないチャート（オパール岩）で最古のものは白亜紀初期（約 1.25 億年前）のものが知られている．

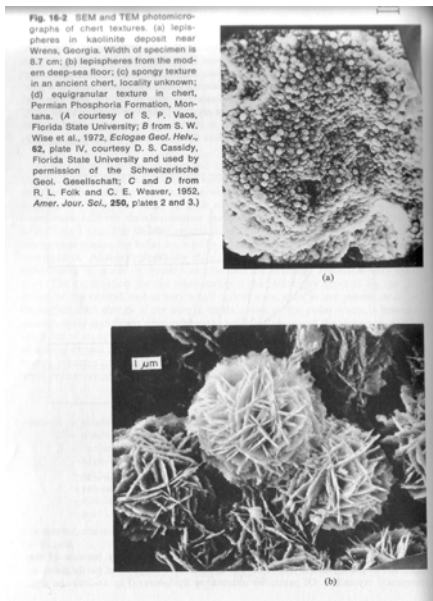


図 6 最初期の続成段階を示すシリカ鉱物，上：粘土鉱物の中にできたクリストバライトの鱗球，下：遠洋性堆積物中の鱗球



図 7 シリカ堆積物の後期の続成段階 上；スポンジ状組織，下；等粒状組織（二畳紀のチャート）

c. フッ化水素酸 (HF) による腐蝕と SEM によるチャートの観察

チャートの薄片を作製すると，円形の断面を持つ放散虫化石がよく観察される（図 8）。また，放散虫化石の分布の様子には，下部に多く，上部で少なくなる様子が観察できる．しかし，個々の放散虫の立体的な形を知ることは極めて困難であった．

一方，1970 年代に日本において開発・発展させられたフッ化水素によるチャート表面の

腐蝕という観察技術は、走査型電子顕微鏡（SEM）の普及とあわせて、チャートの成因と年代（放散虫生層序学）の解明に大きく貢献した（図9）。数 100 ミクロンの大きさの放散虫遺骸は、この方法でしかよく観察できなかったということは、科学史としても興味深い。

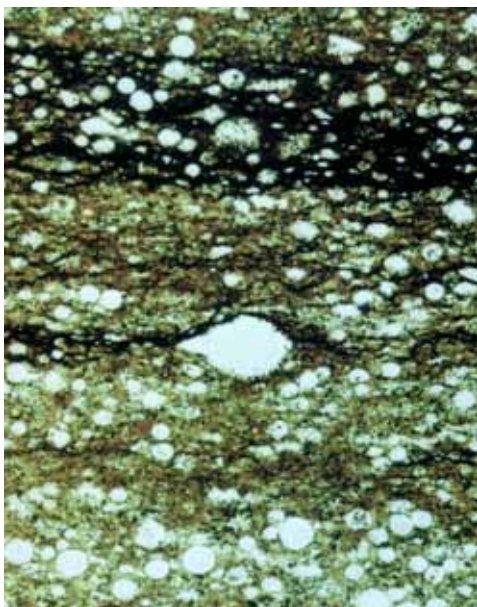


図8 チャートの薄片写真。ジュラ紀，オマーン国産。

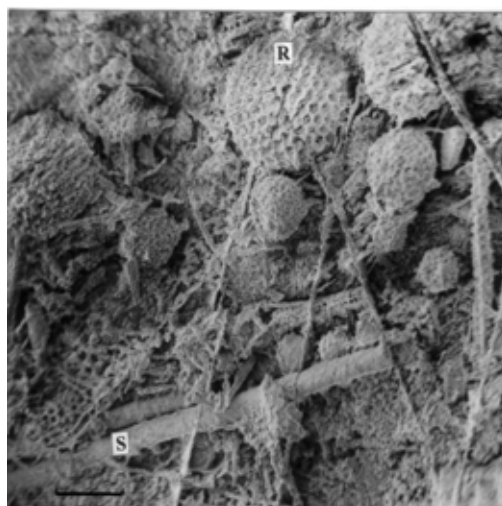


図9 フッ化水素酸で腐食させたチャート表面の走査型電子顕微鏡写真。京都府，二畳紀。

4. 層状チャートの成因

層状チャートは数 cm の厚さのチャート部分と、数 mm の厚さの泥質層との繰り返しである。このような繰り返しができる原因は何であろうか。これまでおおまかにいって3つの説が提唱されている。

- 1) 生物生産の周期的増減説
- 2) 分結結晶（segregation）説
- 3) タービダイト説

層状チャートの成因を考える上で考慮すべき層状チャートの特徴は以下の通りであり、また論理的に備えるべき条件も併せて示した。

珪質の生物遺骸が集積したチャート層と非珪質層（泥質/凝灰質）との繰り返し。なぜ、繰り返しが生じるのか、という説明が必要である。

砂などの粗粒な碎屑物粒子は含まれない。それ故、陸域から非常に遠い堆積場。

珪質堆積物のみの集積には CCD より深く、SCD よりも浅いという条件が有利。

層状チャートの一部には平行葉理があり、また、放散虫殻の級化構造が見られる。

現世堆積物に類似のものがあるのかどうか。

層状となるプロセスが現在の化学的、物理的法則で合理的に説明できるか。



図 10 フッ化水素酸で腐食させた層状チャートの表面．平行様理やシリカ量の善意的な減少が認められることに注目せよ．紀伊半島四万十帯，白亜紀

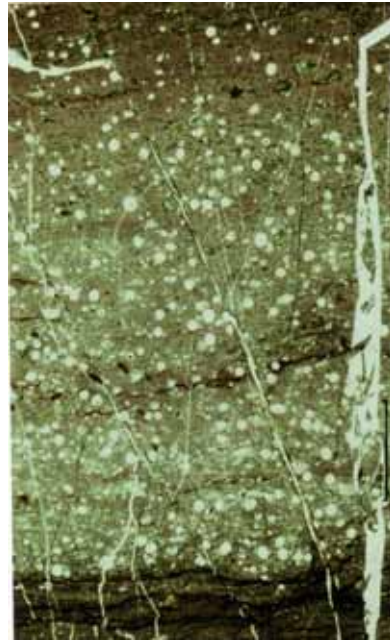


図 11 層状チャートの単層を薄片にしたもの．放散虫殻の級化が見られる．紀伊半島四万十帯，白亜紀．

5. 層状チャートに記録された海洋環境の変遷 四万十帯のチャートの例

四万十帯の北部（白亜系）には，白亜紀の最初期から中期までの年代を示すチャート岩体が点々と分布している．その中にはさまざまな岩質のチャートが見られるが，図 12 に示したような一連の重なりを保存しているものがある．

a. チャートの岩層変化

和歌山県中津村芦谷で見いだされたチャート層の重なりには下から上にむかって次のような岩層の変化が認められる．

- 1) 玄武岩（N-MORB；通常の中央海嶺玄武岩の特徴をもつ）
- 2) ミクライト質の石灰岩
- 3) 石灰質なチャートと凝灰岩質泥岩との交互層（CCH 型チャート）
- 4) 純粋なチャートと凝灰岩質泥岩との交互層（TCH 型チャート）
- 5) 純粋なチャートと粘土質泥岩との交互層（MCH 型チャート）

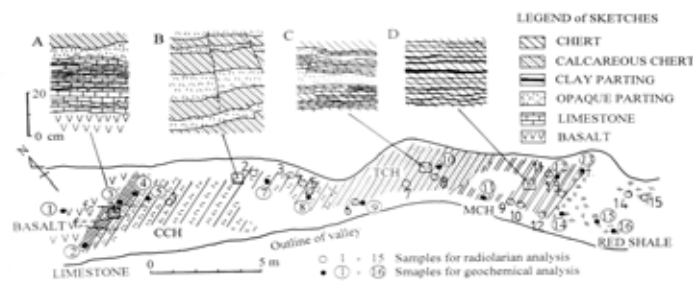


Fig.2. Sketches of outcrop showing a complete sequence from basalt to red shale at Ashidani in Nakatsu-mura, Wakayama Prefecture, Japan. Nos. 1 to 15 are for radiolarian samples and 1 to 16 (black Ⓢ) are for geochemical samples.

図 12 芦谷チャートの岩層変化

b. 放散虫化石に基づくチャートの年代決定と堆積速度

また、重なりの下から上まで放散虫化石の抽出を試みた結果、図 13 に示したような放散虫化石の産出を確認し、白亜紀の放散虫化石群集の 3, 4, 5, 6 番目を認定した。その結果、群集 3 と 4 との境界が 1 億 2 千 5 百万年前、群集 5 と 6 との境界が 9 千万年前であるので、約 10m の厚さのチャートの堆積に要した時間は 3 千 5 百万年ということがわかる。この間の平均堆積速度は 0.3mm/千年という非常に小さい値であることが計算できる。なお、チャートの堆積速度は一般に 1 mm/千年程度の小さい値を持つことが多い。

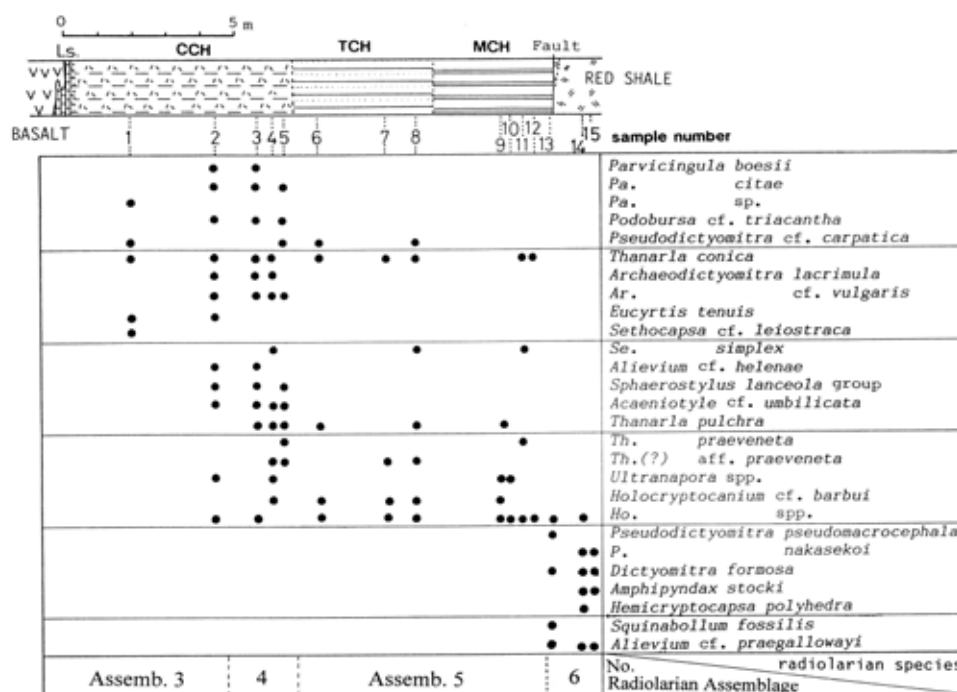


Fig.3. Radiolarian occurrence and its list from the basalt to red shale sequence. Radiolarian assemblages are as follows (after Kumon et al. 1986).
 Assemblage 3: *Eucyrtis tenuis* Assemblage (Hauterivian to Barremian).
 Assemblage 4: *Acaeniotyle umbilicata* Assemblage (Aptian to early Albian).
 Assemblage 5: *Holocryptocanium barbui* Assemblage (late Albian to Cenomanian).
 Assemblage 6: *Dictyomitra formosa* Assemblage (Turonian to early Coniacian)

図 13 チャートの生層序学的検討

d. チャートの岩層変化が示す環境変遷

海洋底拡大説に基づけば、海洋底は中央海嶺で生み出され、海嶺軸の両側に押し出されて徐々に遠ざかっていくとされている。中央海嶺では高まりにあった海洋底も海嶺から遠ざかるとともに冷却の効果で徐々に水深を増していく。このような堆積場において、芦谷チャートの形成の場はどこに求めることができるのであろうか。

図 14 に示すように、チャートの重なり最下部にある玄武岩は希土類元素の量比から見て中央海嶺玄武岩の特徴を示す。石灰質堆積物の存在は堆積場が炭酸塩補償深度 (CCD) より浅かったことを示唆する。凝灰質堆積物の存在は火山活動の場が比較的近傍に在った

ことを示す．チャートの重なりは非常に遅い堆積速度と陸源物質の欠如という点で，全体として遠洋性の堆積場を示唆する．粘土鉱物に富む堆積物は陸域からの碎屑物供給の指示者と見ることができる．以上の諸見解を踏まえると，芦谷チャートの形成過程は，以下のように推定される．それは，白亜紀前期～中期の古太平洋の環境変化を記録したものと見られることでもある．

- 1) 玄武岩：中央海嶺における玄武岩の噴出
- 2) 石灰岩：比較的浅い水深の堆積場における石灰質プランクトンの優先的堆積．
- 3) CCH 型チャート：やや深い水深の場合 (CCD 以浅？) における珪質遺骸と石灰質遺骸の共存．中央海嶺における火山活動の影響も続く．
- 4) TCH 型チャート：深度が CCD よりも深くなり，珪質遺骸の集積の場となる．中央海嶺の火山活動の影響はこの時期まで続いた．
- 5) MCH 型チャート：CCD よりも深い深海底の状態．中央海嶺の火山活動の影響はなくなり，逆に陸源由来の粘土鉱物が増加する．
- 6) 赤色頁岩：CCD 以深のままだが，陸源の粘土粒子の割合が増加して，その希釈効果によってチャートが形成されないようになった．

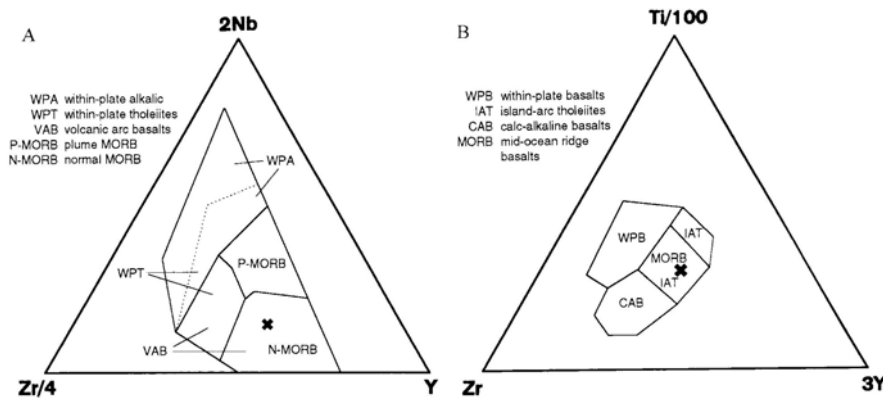


Fig.4. REE characters of the basal basalt on discrimination diagrams. A: Nb-Zr-Y diagram according to Meschede (1986), B: Ti-Zr-Y diagram according to Pearce and Cann (1973).

図 14 希土類元素の比率に基づく玄武岩類の造構場識別ダイアグラム

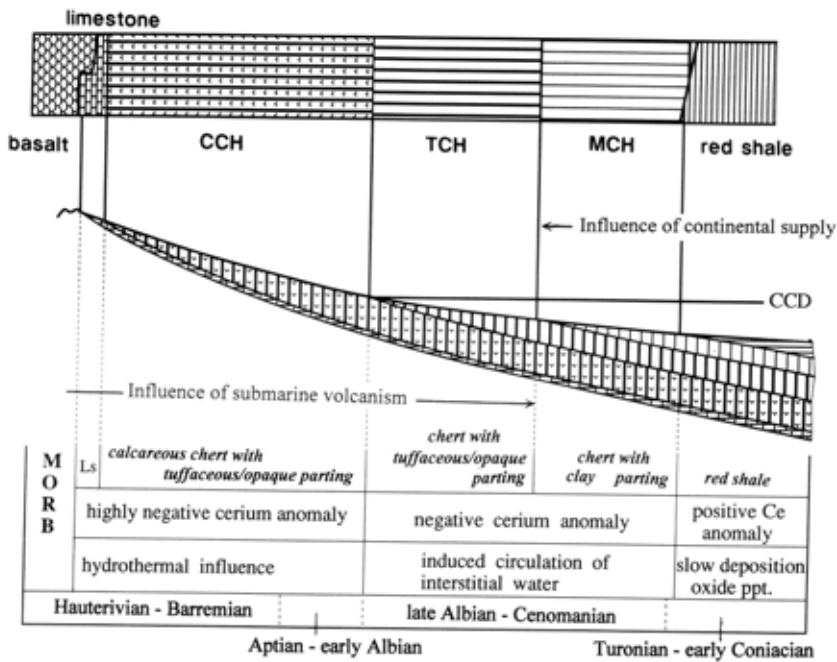


Fig.8. Reconstruction of depositional regimes of the basalt-chert-red shale sequence.

図 15 芦谷チャートの堆積場の復元図

< 基礎的練習問題：理解の確認テスト >

- 問 1 チャートとはどのような岩石か．記載的特徴と成因とを併せて説明せよ．
- 問 2 海洋における SCD (珪酸塩補償深度) とは何か．
- 問 3 層状チャートの成因 (繰り返して成層する原因) を説明できる形成過程を考察せよ．
- 問 4 形質堆積物において，完全に非晶質のオパールから等粒状の石英にまで変化する続成過程を説明せよ．
- 問 5 図 13, 14, 15 で示される資料に基づいて，芦谷チャートの堆積場を復元せよ．

< 発展問題 >

- 問 6 海洋における生物生産性を支配する要因を検討し，珪質堆積物が多量に堆積し得る条件を考察せよ．
- 問 7 チャートの堆積速度を調べる方法を検討し，いくつかの時代/場所を選んで，計算せよ．
- 問 8 フッ化水素酸による腐蝕によって，チャートから放散虫遺骸を個体の状態で抽出することができる理由 (原因) はなにか．結晶の大きさに注目して考察せよ．