

システム科学実習(顕微鏡)

東京大学・総合文化研究科広域システム科学系
教養学部学際科学科B群
小宮 剛

顕微鏡観察の意義

目で見て、観察し記載することは研究の基礎であり、かつ最も重要な研究手法である。岩石学だけでなく、隕石学、地球磁場学、地球化学や古生物学の研究論文の多くが、最初に地質学的概論と試料記載から始まることから見ても、顕微鏡観察や地質・岩石記載といった目で観察し記載することの重要性が伺いしれる。この実験では、顕微鏡観察を体験学習し、記載の基本を学ぶ。

1-1. オープンニコル

形、大きさ、他の鉱物との関係(組織: texture)、色、多色性、劈開、屈折率

鉱物による光の吸収と色

光が物質中を通る時に、ある波長の光を吸収→補色の光を帯びる。

例) 赤を吸収→補色の青色を帯びる。

光学的等方体: 吸収はどの方向にたいしても一定色はどの方向から見ても一様

光学的異方体: 一つの方角に進む二つの偏光の吸収される割合が、その方角によって異なる。白色偏光をとおすと、方角によって違った色を呈する。→多色性

岩石(鉱物、化石や岩片の集合体)について

(1) 火成岩

高温のマグマが冷却・固結して形成された岩石。または、溶融しマグマを形成する岩石。マグマは高温の溶融体で、ほとんどメルトからなるものから、様々な程度の結晶を含むが、全体として流動的な運動をする程度にメルトを含むものまでである。マグマが地殻内部の深所で冷却・固結すると深成岩を形成し、地表で冷却・固結すると火山岩を形成する。

(2) 堆積岩

(1) 碎屑岩~火成岩、変成岩、堆積岩などの既存の岩石の風化作用で形成された粘土鉱物や砂、岩片などが、水、氷、風などにより水中または陸上に堆積して形成された岩石。

(2) 化学沈殿物~縞状鉄鉱層など。海水などから無機的に鉱物が晶出沈殿したもの。

(3) 生物岩~チャートや石灰岩など。生物の化石がたまつたもの。

(3) 変成岩

いったんできた岩石(原岩)が熱や圧力などの作用を受け、その岩石を構成する鉱物の組み合わせや、岩石の構造が変化することを変成作用といい、それによって生じた岩石を変成岩という。

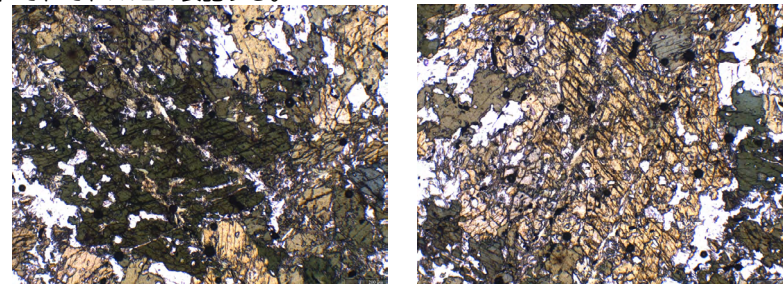
多色性

多色性とは

ステージを回転したときに、鉱物の色(濃淡も含めて)が変化する現象。

(1) 一軸性の結晶ではc軸に垂直に振動する白色偏光を通したときに見える色とc軸に平行な方向に振動する白色偏光を通したときに見える色が異なるため。

(2) 二軸性の結晶ではある波長の光がもっとも吸収される振動方向とあまり吸収されない方向があって、それらは直交している。それら両方と直交する方向があり、それぞれXYZで表記する。



角閃石の多色性 (90°回転)

1-2. クロスニコル

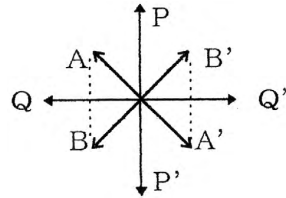
消光

光学的等方体ではつねに消光

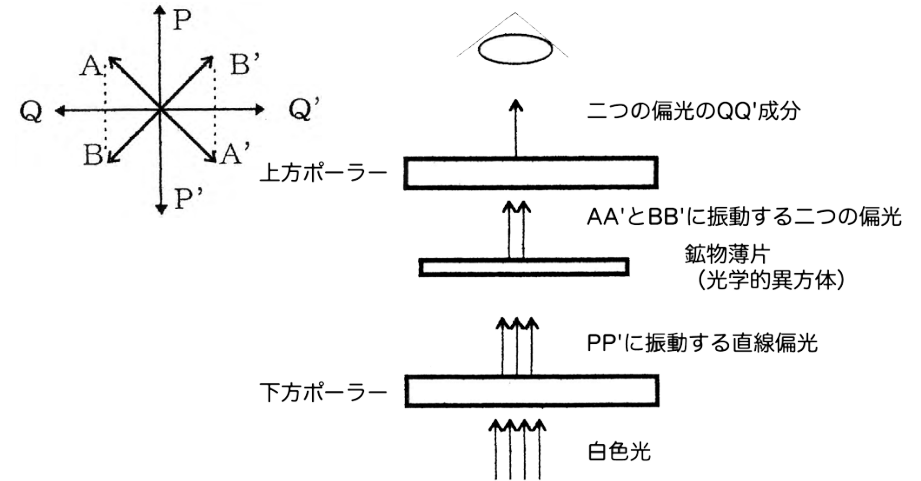
下方ポーラーを通過してきた光（直線偏光）が光学的等方体に入っても、その振動方向には変化が起こらないので、光はそのまま上方ポーラーに達する。上方ポーラーの振動方向にはこの偏光の振動方向に垂直であるから、鉱物の位置(ステージの回転角)にかかわらず光は全く遮断される。

光学的異方体ではステージ
1回転の間に4回消光。

PP' : 下方ポーラーの振動方向
QQ' : 上方ポーラーの振動方向



観察者はQQ'方向に振動する
二つの波を合成したものをしている



消光はAA'またはBB'が下方ポーラーの振動方向PP'に一致したときに起こる（このとき下方ポーラーを通過してきた光はPP'の方向に振動しているの、鉱物の中に入ってもそのまま振動方向を変えないで通過し、QQ'成分は零だから。

レタレーションと干渉色

光学的異方体の場合、それを通る二つの偏光の速さが違うので、通っている間に位相のずれが起きる。目に達する光は、振幅と位相の異なる二つの偏光の合成波である。

(単色光で照明する場合)

合成波の強さは、レタレーション： $R=d(n_2-n_1)$

d: 薄片の厚さ、 n_2-n_1 : 薄片に垂直な方向の二つの偏光の屈折率の差

によって決まる。薄片中では構成鉱物の種類や方向によって、 n_2-n_1 が異なる。レタレーションは、光が鉱物中を二つの偏光に分かれて進む間に、遅いほうの光が速いほうの光よりどれだけ遅れるかを示す量。

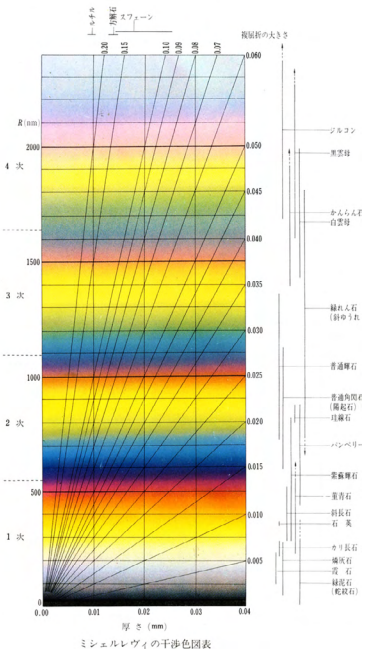
レタレーションが波長 λ の整数倍の時、鉱物を通った二つの光は干渉して消えてしまい、目に達しない。つまり、 $R/\lambda = 0, 1, 2, \dots$ のようなRを持つ鉱物粒はクロスニコルで見ると真っ暗になる。また、光軸に垂直な薄片では $n_2-n_1=0$ であるので、どんな波長の光に対しても、いかなるステージの角度においても、真っ暗になる。

上記の場合以外は、鉱物粒が消光位にない限り、いくらかの光が目には達し明るく見える。特に、 $R/\lambda = 1/2, 3/2, 5/2, \dots$ の時にもっとも明るく見える。

白色光で照明する場合

光の波長による屈折率の変化は小さい。Rの整数分の1に相当した λ の光が消え、その補色に見える（干渉色、ミッセルレヴィの干渉図表参照）。

屈折率の差 n_2-n_1 は薄片の方位によるがその最大値は鉱物の特徴づける量で、バイレフリンゼンスと呼ぶ。従って、バイレフリンゼンスの小さい鉱物はどんな方位で作成された薄片でも低い干渉色を呈する。バイレフリンゼンスの大きい薄片は、薄片の作成された方位によって高い干渉色を呈する。



屈折率 (低い)

(高い)

平滑、凹んで見える←→ざらざら、浮き上がって見える。

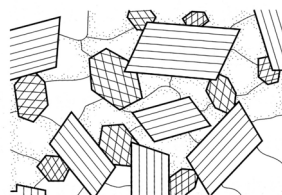
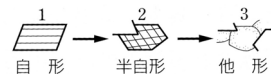
ベッケ線：ワーキングディスタンス増加時に屈折率の高い方へ移動。

自形と他形

自形鉱物：鉱物本来の結晶面が発達して成長した鉱物。

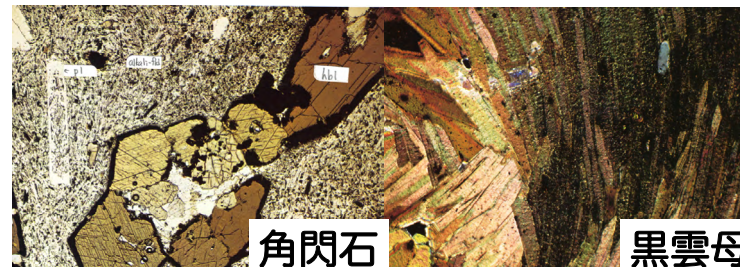
他形鉱物：既に鉱物が存在している所に、鉱物が成長するなどのため、鉱物本来の形をとれず、間を埋めるようにして成長した鉱物

半自形鉱物

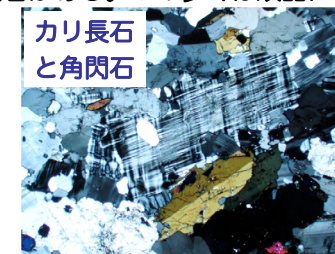
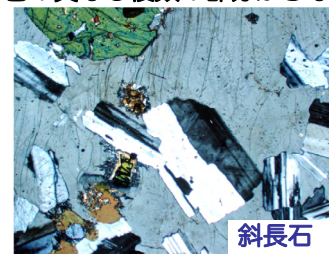


◎図38 深成岩の鉱物の晶出順序と鉱物の形

劈開：一部の鉱物には、一定の方向に割れやすい性質を持つものがあり、この性質を劈開と言う。

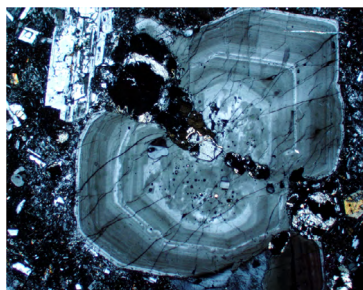


双晶：オープンニコルで均質な一つの結晶に見える場合でも、クロスニコルでは干渉色の異なる複数の部分からなる場合がある。この多くは双晶による。

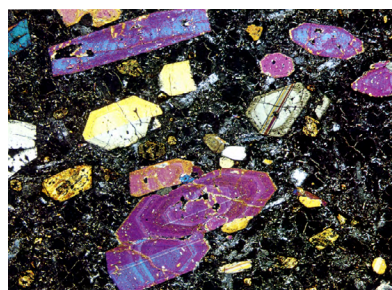


累帯構造

鉱物の中で化学組成が異なる場合、オープンニコルでは均質な一つの結晶に見えるが、クロスニコルでは干渉色の異なる複数の部分に分かれる。特に、結晶の内側から外側に組成が変化する場合を累帯構造と呼ぶ。



斜長石



単斜輝石
同心円状の累帯構造
砂時計型の累帯構造

直消光と斜消光

結晶の直線的な輪郭や劈開など、形態上の顕著な直線の方向と薄片に入射する偏光の振動方向との間の角(消光角)が 0° のとき、その鉱物粒は直消光すると言い、それ以外は斜消光。

(消光角と結晶系の関係)

等軸晶系: 光学的に等方なので、つねに真っ暗。

正方晶系・六方晶系: c軸の方向に伸長した柱状結晶であれば、c軸に平行な任意の薄片において直消光。その他の方向の薄片では、両方あり得る。

斜方晶系: いずれかの結晶軸に平行な任意の薄片において直消光。しかし、結晶軸のどれとも平行でない場合には斜消光。

単斜晶系: 単斜輝石や角閃石(c軸に伸長し、光軸面が(010)に平行)の場合、c軸に平行に作った薄片では、c軸に平行な面の切断線に対して直消光。

三斜晶系: 一般に斜消光。

マンツルの層構造と鉱物種の変化

マンツル上部(カンラン岩)

カンラン石、
単斜・斜方輝石、
ガーネット

遷移層

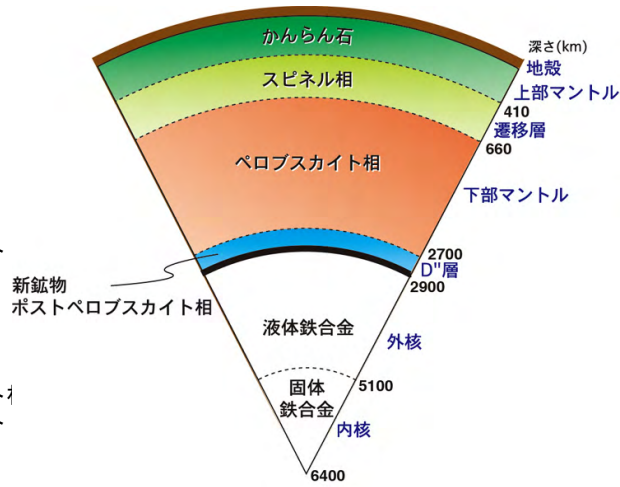
スピネル
ガーネット

下部マンツル

Mgペロブスカイト
マグネシオウスタイト
Caペロブスカイト

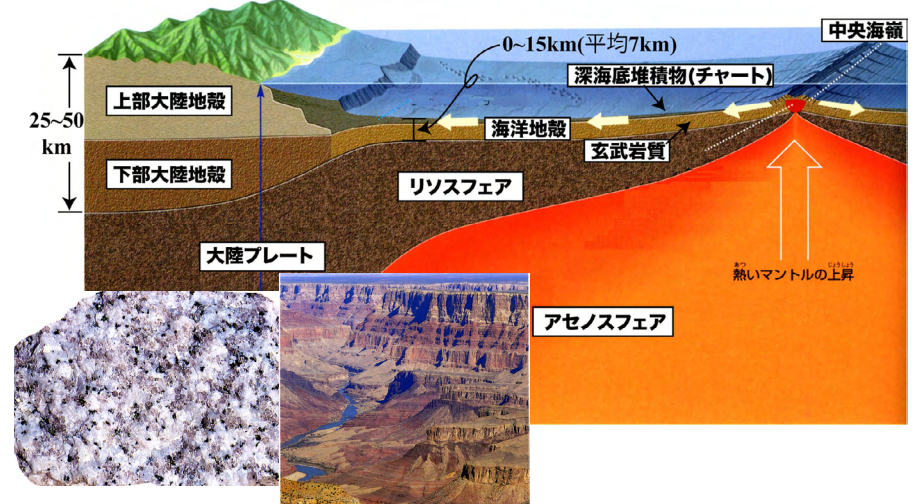
D"層

ポストペロブスカイト相
マグネシオウスタイト
Caペロブスカイト



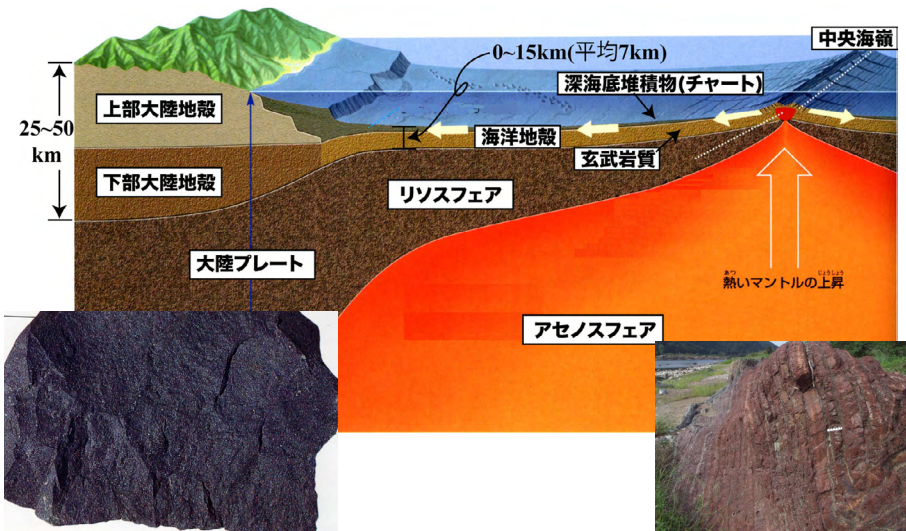
①大陸地殻

上部大陸地殻(花崗岩類,堆積岩,変成岩,付加体)
下部大陸地殻(玄武岩,変成した玄武岩類)



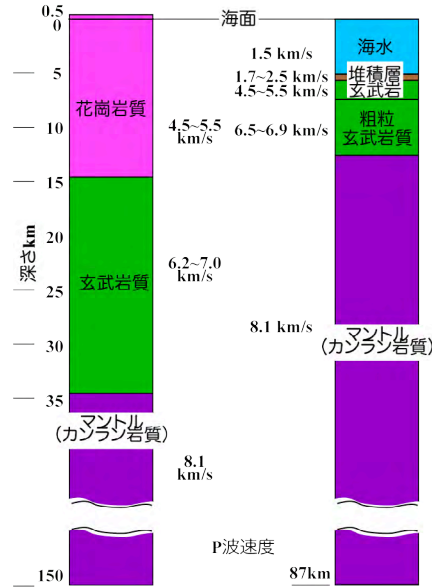
②海洋地殻

玄武岩類+深海底堆積物
+陸源性堆積物

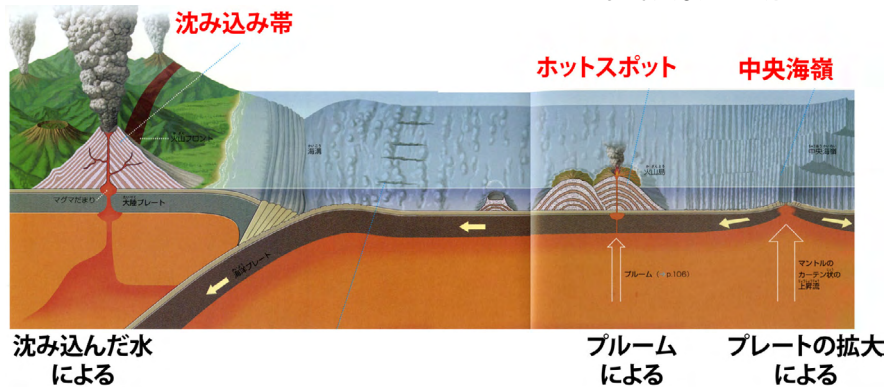


プレート構造

大陸プレート 海洋プレート

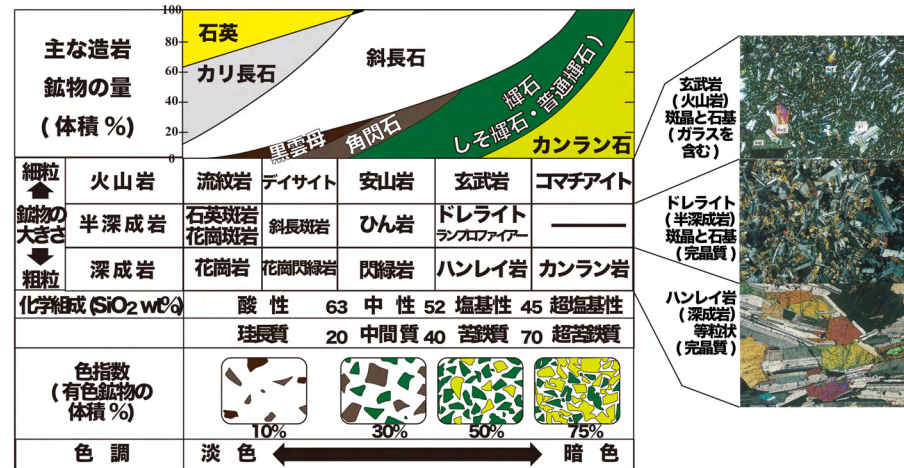


プレートテクトニクスと火成活動



火成岩(火成作用で生じる岩石、ならびにその母岩)

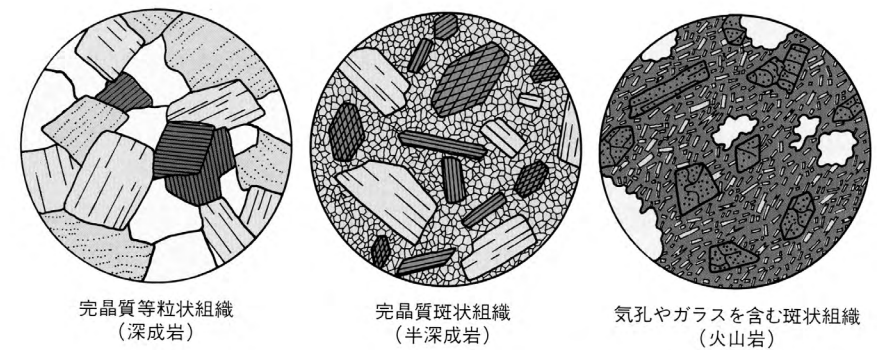
高温のマグマが冷却・固結して形成された岩石。マグマは高温の溶融体で、ほとんどメルトからなるものから、様々な程度の結晶を含むが、全体として流動的な運動をする程度にメルトを含むものまでである。マグマが地殻内部の深所で冷却・固結すると深成岩を形成し、地表で冷却・固結すると火山岩を形成する。



火成岩の組成と鉱物組織



深成岩と火山岩



完晶質等粒状組織 (深成岩)
 完晶質斑状組織 (半深成岩)
 気孔やガラスを含む斑状組織 (火山岩)

(2)沈み込み帯の火成岩



(1)流紋岩



(4)花崗岩 (酸性岩)



(2) 安山岩 (中性岩)



(3)玄武岩 (塩基性岩)

マンツルの石

(3) 化学組成は

	(1)	(2)	(3)	(4)
SiO ₂	45.32	44.21	44.20	43.97
TiO ₂	0.06	0.15	0.13	0.07
Al ₂ O ₃	4.41	4.13	2.05	1.64
Cr ₂ O ₃			0.44	0.49
Fe ₂ O ₃	1.44	1.94		
FeO	6.37	6.98	8.29*	6.83*
MnO	0.13	0.15	0.13	0.13
MgO	38.51	37.68	42.21	44.73
NiO			0.28	0.36
CaO	2.73	3.13	1.92	1.10
Na ₂ O	0.30	0.53	0.27	0.12
K ₂ O	0.02	0.13	0.06	0.03
P ₂ O ₅	0.00	0.01	0.03	0.06
H ₂ O±	0.70	0.95		
CO ₂	0.036	0.038		

(4) マンツルの主要鉱物

60%	カンラン石	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄
25%	斜方輝石	(Mg, Fe)SiO ₃
10%	単斜輝石	Ca(Mg, Fe)Si ₂ O ₆
5%	アルミを含む相	
60km以深	ガーネット	(Mg, Fe, Mn) ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂
60~10km	スピネル	(Mg, Fe ²⁺)(Al, Cr, Fe ³⁺) ₂ O ₄
10km以浅	斜長石	(Ca,Na)(AlAl, SiAl)Si ₂ O ₈

堆積作用と堆積岩

堆積岩：

流体運動の作用により地表あるいは水底に沈積した固体粒子の集合物を堆積物とし、圧密や膠結(コウケツ)などによる粒子間稠密(チュウミツ)で固結した堆積物

堆積粒子：堆積物や堆積岩を構成する粒子。
岩石片や鉱物、火山噴出物、生物の遺骸、流体の蒸発及び化学反応で晶出した粒子

(1) 堆積岩の種類

- (1) **碎屑岩**～火成岩、変成岩、堆積岩などの既存の岩石の風化作用で形成された粘土鉱物や砂、岩片などが、水、氷、風などにより水中または陸上に堆積して形成された岩石。
- (2) **化学沈殿岩**～縞状鉄鉱層など。海水などから無機的に鉱物が晶出沈殿したもの。
- (3) **生物岩**～チャートや石灰岩など。生物の化石がたまつたもの。

(2) 続成作用

- (1) 堆積岩は堆積物が続成作用を受けて、固くなり形成される。
- (2) 続成作用。
 - 圧密作用～堆積物が積もることで、圧迫され粒間の水が抜けて固くなる。
 - セメント化作用～ある程度、埋没した岩石は粒間の水から、無機的に方解石、ドロマイト、石英、カルセドニー、粘土鉱物などが沈殿してセメントする。
 - 再結晶化作用～ある程度高温(100～150℃)になると、その温度圧力条件に適した鉱物が新たに晶出する。

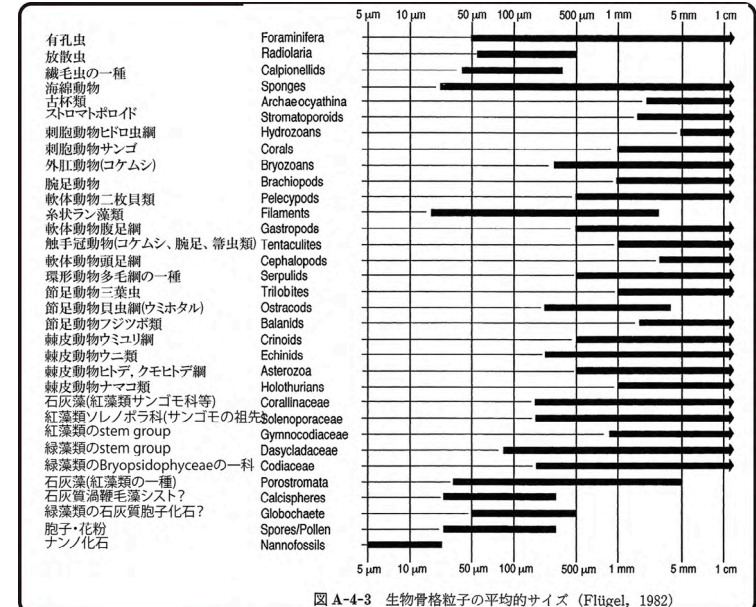
炭酸塩堆積物

表 A-4-1 現世石灰質生物骨格の炭酸塩鉱物 (Flügel, 1982)

	AR	LMC	HMC	LMC + HMC	
				AR	LMC
シアノバクテリア	+	+	+		
ハプト藻					
門石藻	(+)				
紅藻					
サンゴモ				(+)	
緑藻					
ハリメダ	+				
カサノリ	+				
車輪藻			+		
渦鞭毛藻					
石灰渦鞭毛藻			+		
有孔虫	+	+	+	+	+
海綿動物					
石灰海綿類	+	+	+		
硬骨海綿類	+		+		
腔腸動物					
ヒドロ虫類	+	+	+		
八放サンゴ類	+				
イシサンゴ類	+				
コケムシ動物	+		+		+
腕足動物	+	+			
軟体動物					
多板類	+				
掘足類	+				
腕足類			+		(+)
前腕類	+				
翼足類	+				
斧足類	+	+			+
頭足類	+		(+)		
環形動物					
多毛類	+	+			
節足動物					
要脚類		+			
十脚類		+			
貝形類		+	(+)		(+)
棘皮動物			+		
原索動物					
被囊類	+				
脊椎動物					
魚類耳石	+				

AR: あられ石 LMC: 低 Mg 方解石 HMC: 高 Mg 方解石

炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

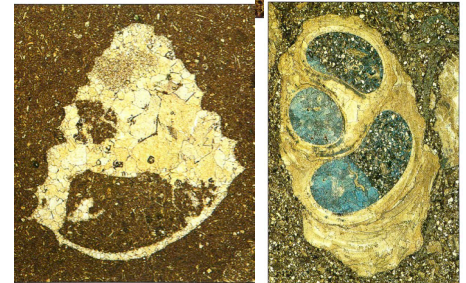
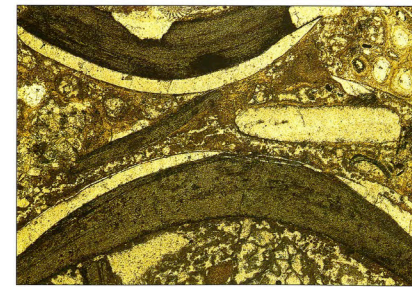
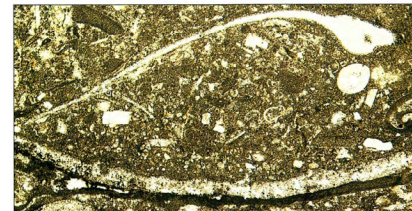


炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

表 3.2 代表的分類群における硬組織の Ca, Mg, Sr 含有量の例 (Milliman, 1974*による)

分類群	鉱物	含有量(%)		
		Ca	Mg	Sr
紅藻類				
<i>Jania</i> (Corallinaceae 科)	高 Mg 方解石	32.3	3.26~4.38	0.12~0.27
<i>Lithothamnium</i> (")	"	32.1	1.74~5.00	0.11~0.32
緑藻類				
<i>Halimeda</i> (Codiaceae 科)	アラゴナイト	34.7~35.6	0.04~0.27	0.77~0.97
<i>Cymplia</i> (Dasycladaceae 科)	"	39.0	0.32~0.37	0.89~0.91
有孔虫類				
<i>Archaias</i> (底生)	高 Mg 方解石	35.3	1.28~1.42	0.15~0.18
<i>Orbitolites</i> (底生)	"	34.6~36.0	2.57~3.63	
<i>Globigerinoides</i> (浮遊性)	方解石		0.12~0.20	0.10~0.11
八放サンゴ類				
<i>Heliopora</i>	アラゴナイト	39.6	0.26	0.69
<i>Tubipora</i>	高 Mg 方解石	33.8	3.5~5.0	0.22~0.35
六放サンゴ類				
<i>Acropora</i>	アラゴナイト	38.8	0.11~0.13	0.74~0.87
<i>Porites</i>	"	39.4	0.09~0.18	0.71~0.87
コケ虫類				
<i>Tubilipora</i>	高 Mg 方解石	37.6~38.6	1.12~1.28	0.30
<i>Parasmittina</i>	アラゴナイト	38.9~39.4	0.09~0.20	0.83~0.88
二枚貝類				
<i>Cardium</i>	アラゴナイト	36.0	0.046	0.13
<i>Pecten</i>	大部分方解石	38.7~39.6	0.04~0.60	0.07~0.22
<i>Crassostrea</i>	"	39.0	0.11~0.27	0.07~0.16
腕足類				
<i>Strombus</i>	アラゴナイト	39.7~39.9	0.05~0.06	0.12~0.21
<i>Patella</i>	アラゴナイト 方解石混在	38.0	0.35	0.057

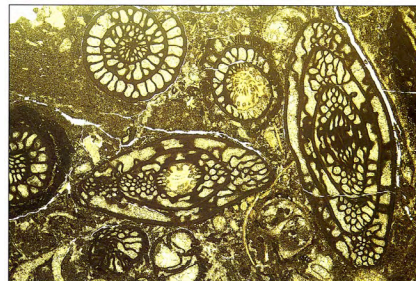
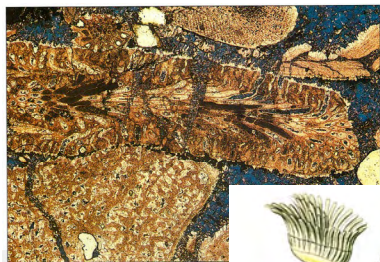
炭酸塩堆積物中の生物化石



軟体動物：二枚貝
アラレ石(内側), 方解石(外側)

軟体動物：腹足綱

炭酸塩堆積物中の生物化石



触手動物(外肛動物), コケムシ
縦断面, 横断面

原生動物：フズリナと有孔虫

炭酸塩堆積物中の生物化石

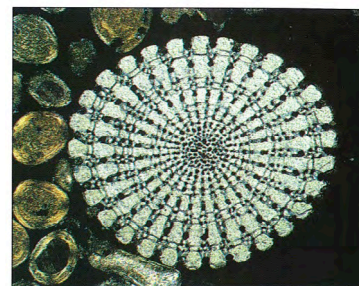
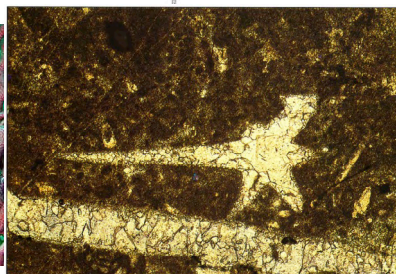
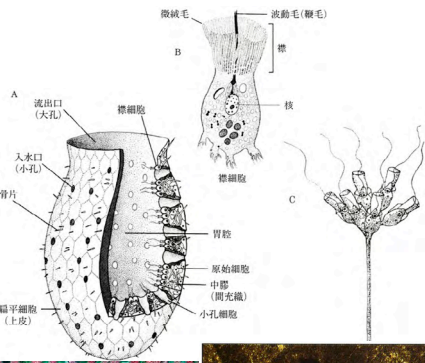


図 15 海ユリの復元図
(A. O. WOODFORD, 1965年)

棘皮動物(ウニ)

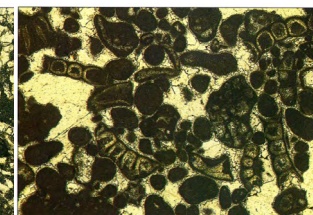
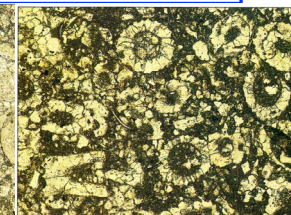
棘皮動物：ウミユリ

炭酸塩堆積物中の生物化石(海綿動物)



炭酸塩堆積物中の生物化石(石灰藻)

dasycladaceans(緑藻, アラレ石)

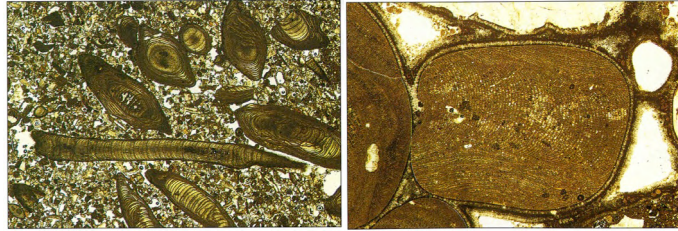


cordiacean(緑藻, Halimeda, 浅海炭酸塩堆積場, Caribbean, アラレ石)

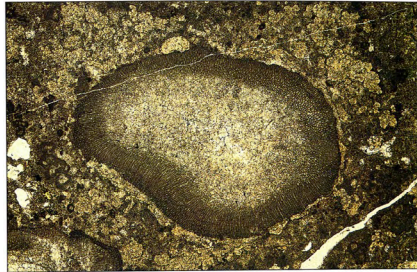


炭酸塩堆積物中の生物化石(石灰藻, 紅藻)

Corallinaceae (Coralline algae サンゴモ, 高Mg方解石)



Solenporoid (高Mg方解石)



Gymnocodiaceans (アラレ石)



炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

(3) 炭酸塩堆積物・炭酸塩岩の構成要素

①粒子：生物骨格粒子と非生物骨格粒子

(i) 非生物骨格粒子

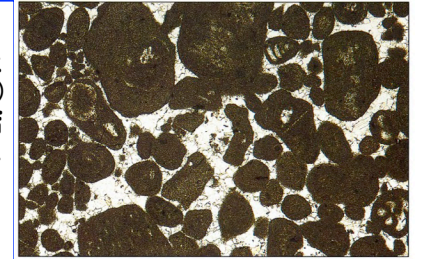
①ウーイド(魚卵石)

核とそれを取り囲む被殻(<2mm径、>2mmはピソイド)。海水よりも高塩分のごく浅海域で、波浪などによる転動により形成
ウーライト(ウーイドからなる岩石)



②ペロイド

石灰泥からなる内部構造を持たない楕円形ないし不定形粒子。①腕足類や節足動物などの糞が固結したペレット②穿孔性微生物によるミクライト化作用③ミクライト質のイントラクラスト(礫、波浪や穿孔などで生じる)



炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

(i) 非生物骨格粒子

③イントラクラスト

同一堆積盆または同一水域内で形成された炭酸塩堆積物が準同時に浸食され堆積したもの。

→砂～小礫サイズ、やや円磨。

→潮上帯(supratidal)～潮間帯(intertidal)の炭酸塩岩に多い

→波浪や潮流による半固結底質の削剥、生物浸食、初期続成による堆積物の体積変化、潮上帯での乾裂などによる

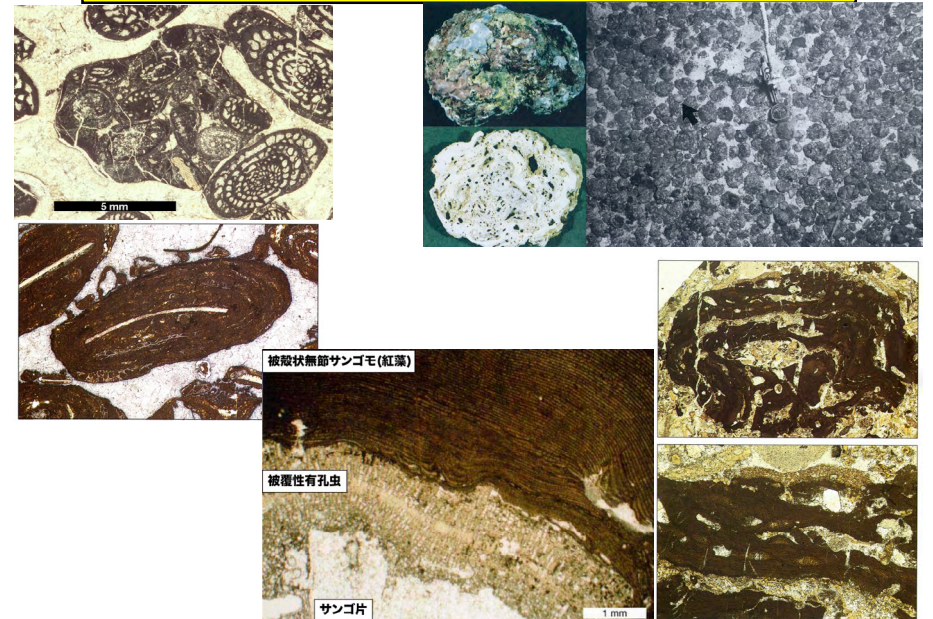
④その他の同心円状構造

①オンコイド：シアノバクテリアによる被覆：oidのように完全に球形でなく、また被覆も明瞭でない。

②石灰藻球(rhodolith)：無節サンゴモ

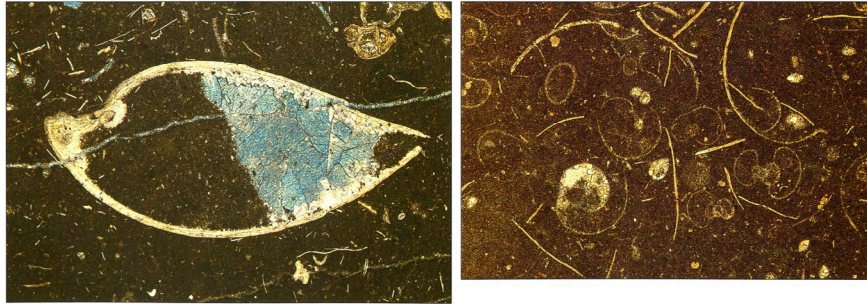
③有孔虫球(macroid)

炭酸塩堆積物・炭酸塩岩



炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

②基質：シルトサイズ(62 μ m)以下の石灰泥から構成



⇒ 4 μ m以下の微粒炭酸塩鉱物またはその岩石をミクライトと呼ばれる。

- ①海水から無機的・生物活動に誘引されて沈殿
- ②生物骨格が細粒化
- ③細粒なセメントや土壌生成物

炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

③セメント：炭酸塩鉱物の溶解沈殿による。

⇒ **鉱物組成**：低Mg方解石, 高Mg方解石, アラレ石, ドロマイト, シデライト等。石こう(gypsum), 無水石膏(anhydrite), 石英

⇒ **結晶サイズ**：
 ● マイクロスパー, 4~10 μ M,
 ● スパー, >10 μ M

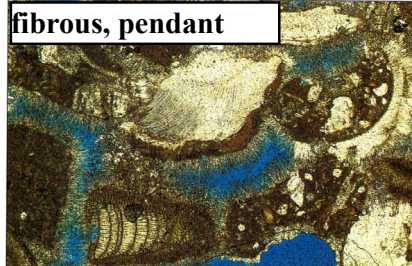
⇒ **産状**

⇒ **孔隙**：
 沈殿過程で溶解作用により孔隙が形成されたり、セメントによって充填されたりする。

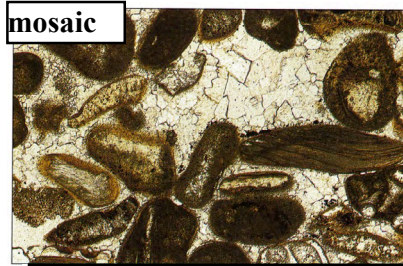
結晶形態	産状	成因(孔隙における間隙水の状態と続成段階)
equant (等粒状) (L/W < 1.5)	pendant (懸垂状)	
bladed (刃状) (1.5 < L/W < 6)	meniscus (メニスカス状)	
fibrous (繊維状) (6 < L/W)		
結晶形		孔隙中に水が満たす
euhedral (自形) 鉱物固有の結晶面をもつ	mosaic (モザイク状)	
subhedral (半自形) 鉱物固有の結晶面を一部もつ		地下深部に埋没
anhedral (他形) 鉱物固有の結晶面をもたない	syntaxial rim	
モザイク組織		
碎粒状モザイク組織 idiotopic 大多数の結晶が自形を示す		
hypidiotopic 大多数の結晶が半自形を示す	isopachous fringing (等厚縁取り状)	
xenotopic 大多数の結晶が他形を示す		
不連続状モザイク組織 porphyrotopic より粗粒の結晶が細粒モザイク組織中に存在する	poikilopic	
poikilotopic 粗粒結晶がより細粒な結晶を取り込んでいる		

炭酸塩堆積物・炭酸塩岩

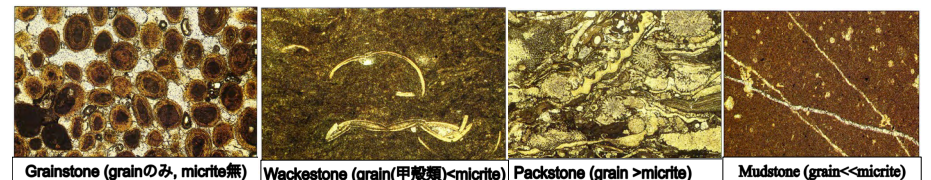
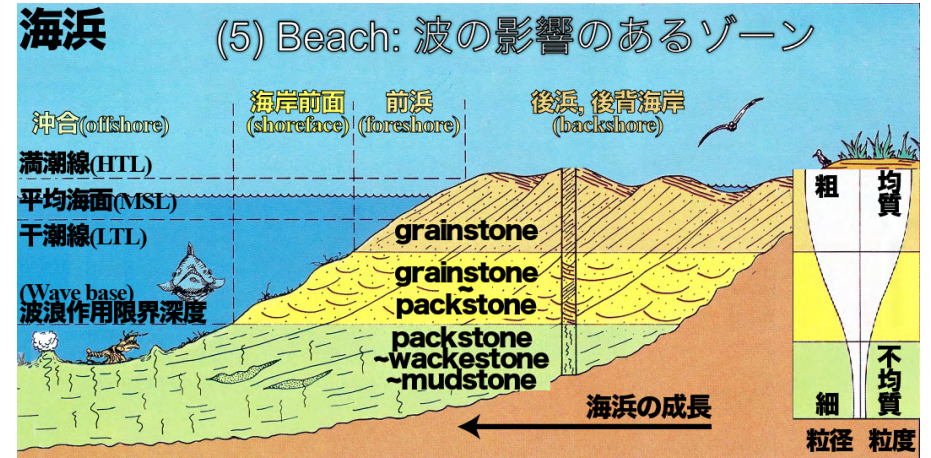
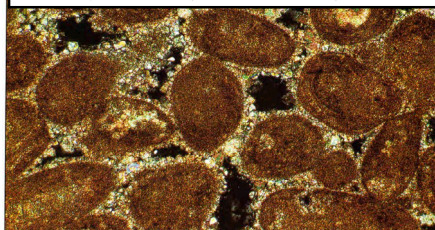
③セメント：炭酸塩鉱物の溶解沈殿による。



fibrous, pendant
bladed, meniscus (繋がり, 凹状)



mosaic
equant, isopachous fringing



(5) Beach: 波の影響のあるゾーン



海側に斜交, 平衡葉理



生痕化石, burrowing, 炭酸塩

Keystone: 空隙の多い石: 最上部の堆積物, 水やガスが抜ける



Trough型斜交葉理



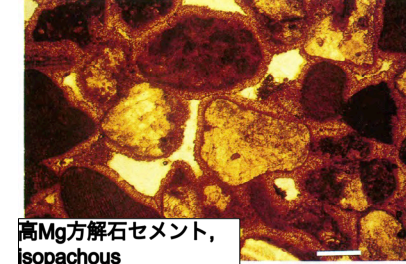
生痕化石, burrowing, 炭酸塩

(5) Beachの特徴

- ①堆積と同時に続成と浸食が起こる
- ②続成に関与する水溶液は海水

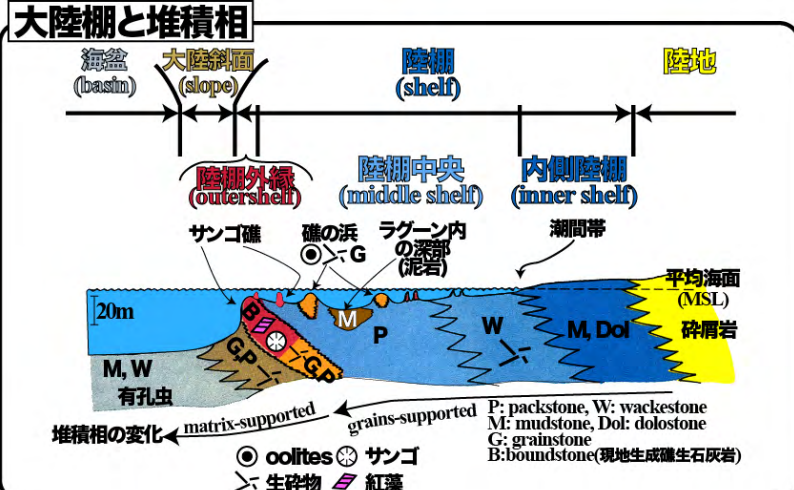


アラレ石のセメント, isopachous



高Mg方解石セメント, isopachous

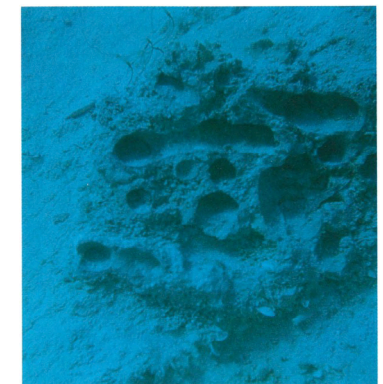
(6) Shelf (陸棚): beachとreefの間



Shelfの特徴

- ①水循環が遅い
- ②塩濃度異常
- ③栄養塩や酸素の枯渇
- ④温度異常

(6) Shelf (陸棚): 特にrestricted



Shelfの特徴

- ①海進/海退の変化に敏感
- 上方浅化
- モザイク状の堆積変化
- ②burrowingが多く、貧酸素環境では葉理が保存

(6) Shelf (陸棚): Middle Shelf

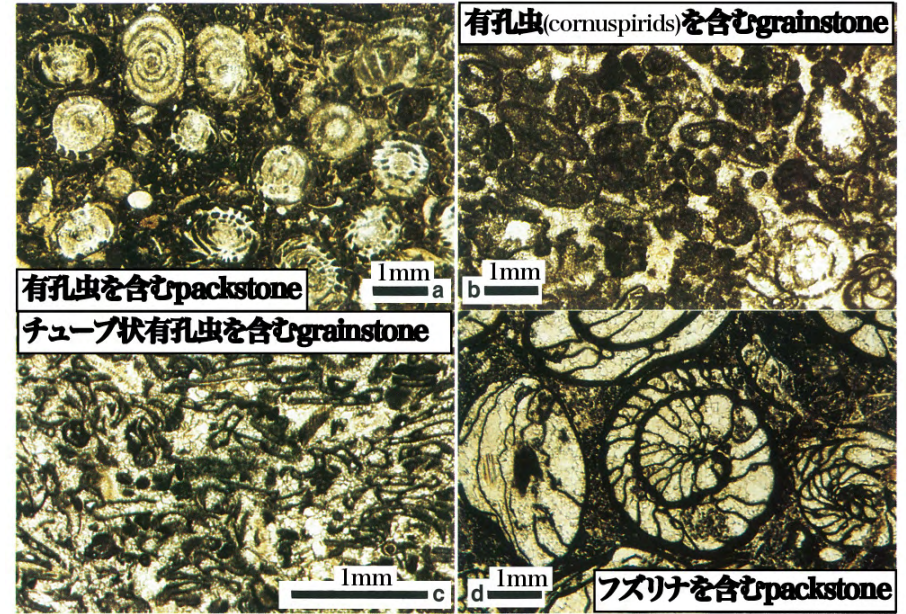
ウミユリとコケムシ化石



Middle Shelfの特徴

- ① 10~100m深
- ② 塩濃度は海水的
- ③ 酸素は多い
- ④ 温度 10~30 °C
- ① 通常の海洋で生息する生物相(腕足,二枚貝,節足)
- ② 泥質炭酸塩が卓越
- ③ 層の厚さの大きな変化
- ④ 生物擾乱,burrowing

(6) Shelf (陸棚): Middle Shelf

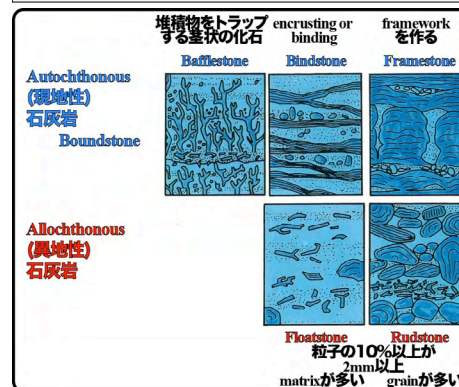
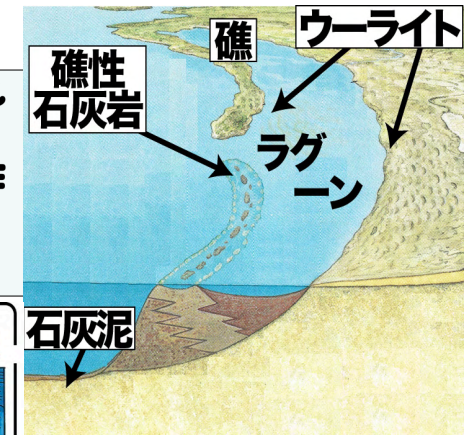


(6) Shelf (陸棚): Middle Shelf



(7) Reef (礁)

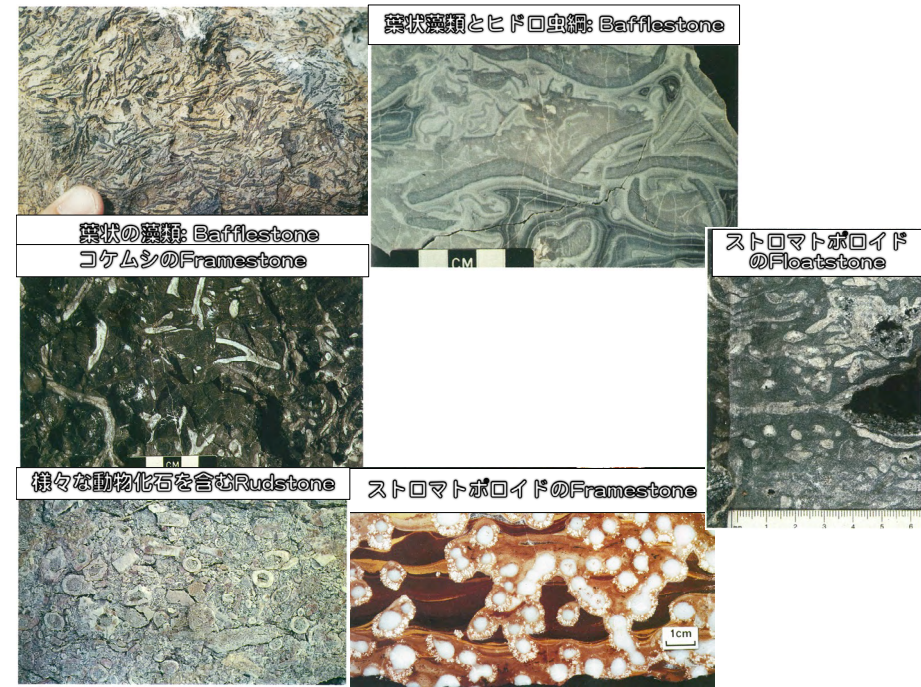
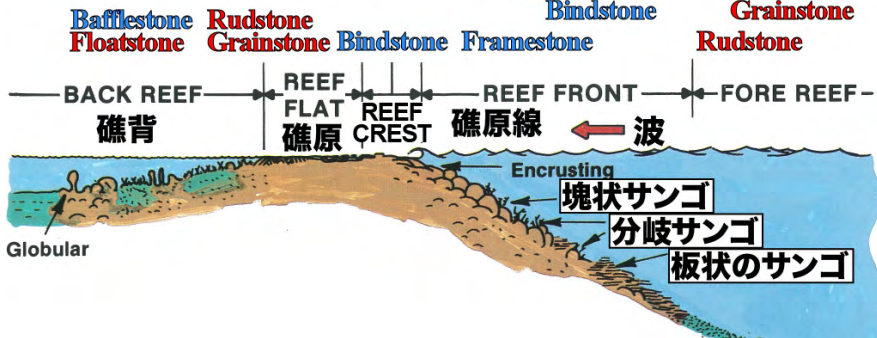
- ① 生物によって形成された高まり。
- ② 多くの炭酸塩骨格を作る生物が生息
- ③ 石油の起源として重要



(7) Reef (礁)



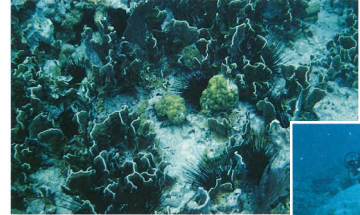
Bafflestone
Bindstone
Framestone
Rudstone
Grainstone
Rudstone



ハマサンゴ属(黄色)とヒドロ虫綱(サンゴ類)が高レベル(花虫綱)で異なる(7m)

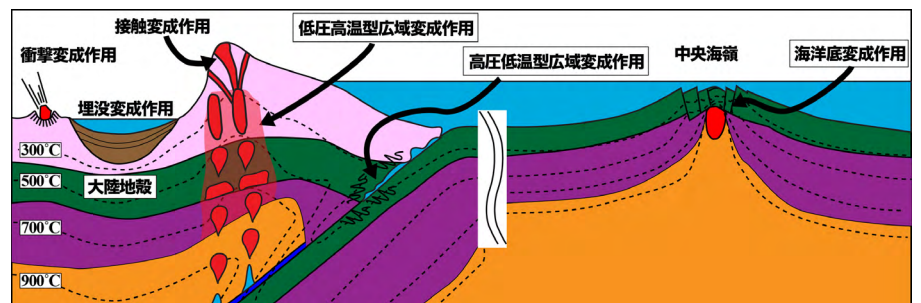


巨大サンゴ群生 (Montastraea annularis) (65m)



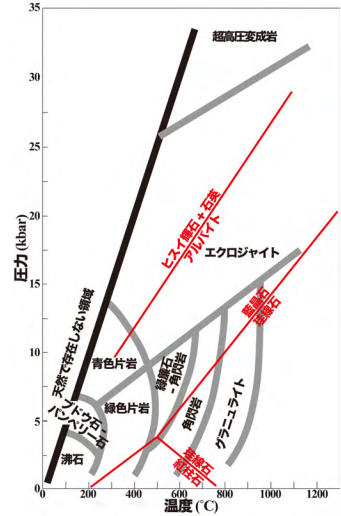
(1) 変成作用の種類 (変成作用の起こる場)

- (1) 広域変成作用
 - (1) 大陸衝突型変成作用
 - (1) 造山帯変成作用
 - (2) 沈み込み帯変成作用
 - (2) 埋没変成作用
 - (3) 海洋底変成作用
 - (c.f.) 火山帯の下の広域変成作用
- (2) 局所変成作用 (せいぜい数百メートル規模)
 - (1) 接触変成作用 (花崗岩や岩脈など火成岩が貫入したとき)
 - (2) 衝撃変成作用 (隕石)
 - (3) 熱水変成作用 (高温の流体が通過する周り)
 - (4) 動力変成作用や破砕変成作用 (断層沿い)



(2) 変成相について

(1) 変成相とは、玄武岩系の鉱物組み合わせによって定義されたPT条件



(2) 玄武岩系の鉱物組み合わせ

	プレーンサイト パンペリー石	緑色片岩相	緑輝石 角閃岩相	角閃岩相	グラニューライト 相
アルバイト	●				
ローモンサイト	●				
緑輝石	●	●			
プレーンサイト	●				
パンペリー石	●				
緑泥石		●			
アクチノ閃石		●			
方解石				●	
石英				●	
フェンジャイト				●	
斜長石(An17)				●	
普通角閃石				●	
単斜輝石				●	
斜方輝石				●	
ガーネット				●	
黒雲母				●	
カミングトン閃石				●	
	プレーンサイト パンペリー石	青色片岩相	エクロジヤイト 相		
アルバイト	●				
ローソン石	●				
緑輝石・ソノサイト	●	●			
プレーンサイト	●				
パンペリー石	●				
緑泥石		●			
アクチノ閃石		●			
方解石				●	
石英				●	
藍閃石				●	
ひすい輝石				●	
オンファス輝石				●	
藍晶石				●	
パラゴナイト				●	
ガーネット				●	

(3) 化学反応とギブスの相律

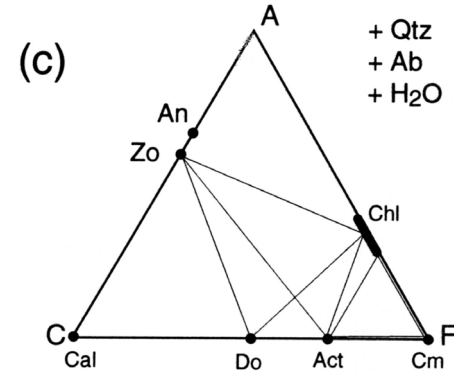
(1) $C+2=P+F$

C:成分の数、P:相の数、F:自由度

(1) 3成分系、温度と圧力が与えられた時、共存できる相の数は最大3相

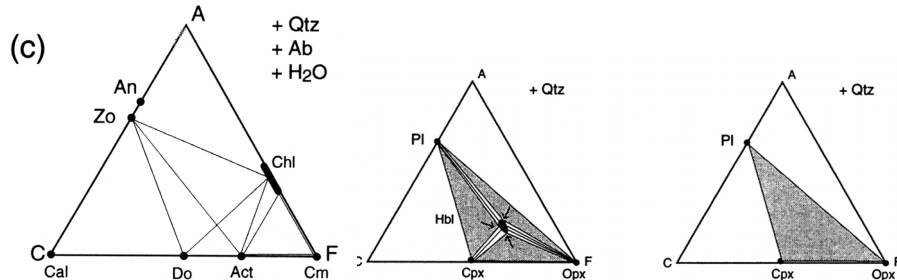
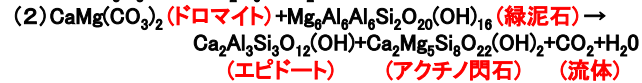
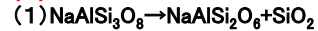
(2) 例: A: Al_2O_3 、C: CaO 、F: MgO

→3成分系なので共存できる最大数は3 (三角形を作る)



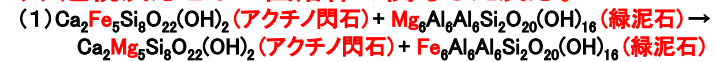
変成作用の反応1
一不連続反応と連続反応一

(1) 不連続反応~岩石の組成に依存しないで、同時に反応が進む。

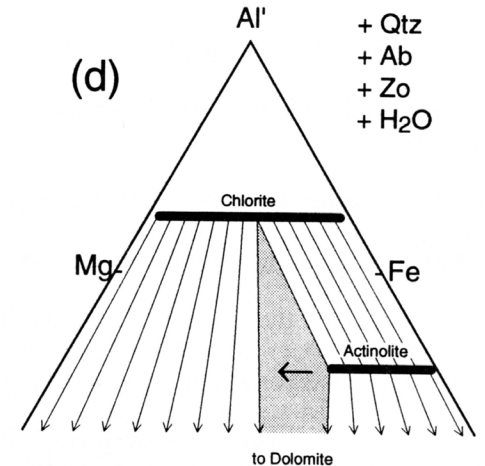


変成作用の反応2
一不連続反応と連続反応一

(1) 連続反応とは~固溶体の関与した反応。



(2) 反応は全岩組成に依存する。

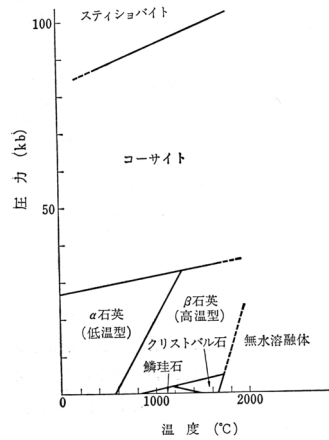


岩石の化学組成に依存しない反応 (不連続反応の一種) —多形—

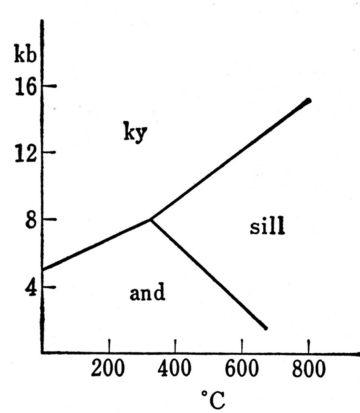
(1) 多形: 同じ化学組成で、結晶構造の異なるもの。

(2) 例

(1) SiO₂系



(2) Al₂SiO₅系



(1) 緑色片岩相について

	プレナイト バンベリー相	緑色片岩相	緑簾石 角閃岩相	角閃岩相	グラニュライト 相
アルバイト	---	---	---	---	---
ローモンタイト	---	---	---	---	---
緑簾石	---	---	---	---	---
プレナイト	---	---	---	---	---
バンベリー石	---	---	---	---	---
緑泥石	---	---	---	---	---
アクチノ閃石	---	---	---	---	---
方解石	---	---	---	---	---
石英	---	---	---	---	---
フェンジャイト	---	---	---	---	---
斜長石(>An17)	---	---	---	---	---
普通角閃石	---	---	---	---	---
単斜輝石	---	---	---	---	---
斜方輝石	---	---	---	---	---
ガーネット	---	---	---	---	---
黒雲母	---	---	---	---	---
カミングトン閃石	---	---	---	---	---

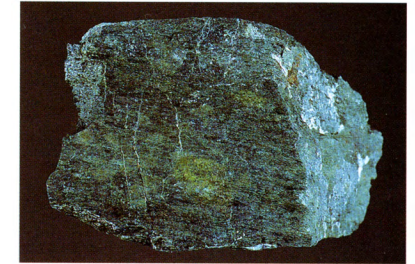


(2) 主要鉱物

アルバイト、石英、緑泥石など

アクチノ閃石、緑簾石

その他、方解石、スフェーンなど



足柄上郡山北町中川焼津産

(2) 角閃岩相について

	プレナイト バンベリー相	緑色片岩相	緑簾石 角閃岩相	角閃岩相	グラニュライト 相
アルバイト	---	---	---	---	---
ローモンタイト	---	---	---	---	---
緑簾石	---	---	---	---	---
プレナイト	---	---	---	---	---
バンベリー石	---	---	---	---	---
緑泥石	---	---	---	---	---
アクチノ閃石	---	---	---	---	---
方解石	---	---	---	---	---
石英	---	---	---	---	---
フェンジャイト	---	---	---	---	---
斜長石(>An17)	---	---	---	---	---
普通角閃石	---	---	---	---	---
単斜輝石	---	---	---	---	---
斜方輝石	---	---	---	---	---
ガーネット	---	---	---	---	---
黒雲母	---	---	---	---	---
カミングトン閃石	---	---	---	---	---



足柄上郡山北町中川悪沢産

(2) 主要鉱物

普通角閃石、斜長石(>30)

(3) 藍閃石(青色)片岩相について

	プレナイト バンベリー相	青色片岩相	エクロジャイト 相
アルバイト	---	---	---
ローソン石	---	---	---
緑簾石・ゾイサイト	---	---	---
プレナイト	---	---	---
バンベリー石	---	---	---
緑泥石	---	---	---
アクチノ閃石	---	---	---
方解石	---	---	---
石英	---	---	---
藍閃石	---	---	---
ひすい輝石	---	---	---
オンファス輝石	---	---	---
藍晶石	---	---	---
パラゴナイト	---	---	---
ガーネット	---	---	---



(2) 主要鉱物

藍閃石、アルバイトまたはひすい輝石、石英、ガーネット、緑簾石(ゾイサイト)

ローソン石

(4) エクロジイト相

	プレーナイト バンベリー相	青色片岩相	エクロジイト 相
アルバイト		---	---
ローソン石	---	---	---
緑簾石・ソイサイト	---	---	---
プレーナイト	---	---	---
バンベリー石	---	---	---
緑泥石	---	---	---
アクチノ閃石	---	---	---
方解石	---	---	---
石英	---	---	---
藍閃石	---	---	---
ひすい輝石	---	---	---
オンファス輝石	---	---	---
藍晶石	---	---	---
パラゴナイト	---	---	---
ガーネット	---	---	---

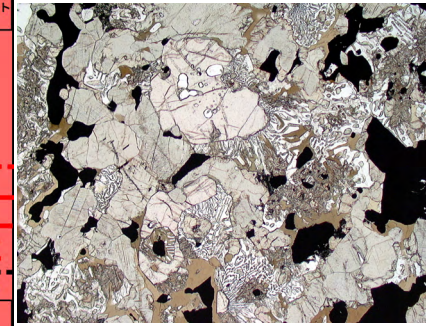


(2) 主要鉱物

ガーネット、石英、オンファス

(5) グラニュライト相

	プレーナイト バンベリー相	緑色片岩相	緑簾石 角閃岩相	角閃岩相	グラニュライト 相
アルバイト		---	---	---	---
ローモンタイト	---	---	---	---	---
緑簾石	---	---	---	---	---
プレーナイト	---	---	---	---	---
バンベリー石	---	---	---	---	---
緑泥石	---	---	---	---	---
アクチノ閃石	---	---	---	---	---
方解石	---	---	---	---	---
石英	---	---	---	---	---
フェンジャイト	---	---	---	---	---
斜長石(>An17)	---	---	---	---	---
普通角閃石	---	---	---	---	---
単斜輝石	---	---	---	---	---
斜方輝石	---	---	---	---	---
ガーネット	---	---	---	---	---
黒雲母	---	---	---	---	---
カミングトン閃石	---	---	---	---	---



(2) 主要鉱物

斜長石、斜方輝石、単斜輝石、石英

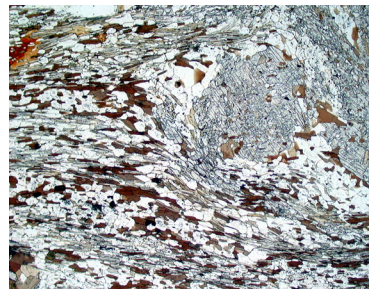
(6) 変成岩の組織

(1) 片理組織(板状や棒状の鉱物が平行に並び、割れやすい面を作る)



(2) 斑状変晶とマトリックス

斑状変晶 :粗粒な鉱物
マトリックス:周囲の細粒な鉱物



変成相系列とテクトニクス

(1) 変成相系列

低温高圧型 ~

沈み込み帯の変成作用

中圧型 ~衝突帯の変成作用→

衝突帯も低温高圧型かも?

高温低圧型~接触変成作用や

海洋底変成

