

第 I 編 総論

第 I 編 総論

I-1 サンゴについて

I-1-1 造礁サンゴとサンゴ礁

造礁サンゴは、刺胞動物門に含まれる動物群の中で石灰質の骨格をつくり褐虫藻と共生している動物の総称である。
サンゴ礁は、造礁サンゴを主体とし、貝類や有孔虫類、石灰藻等の造礁生物によって形成された地形の総称で、サンゴ礁生態系を意味する場合も多い。

【解説】

1) 造礁サンゴ

造礁サンゴは、クラゲやイソギンチャクと同じ刺胞動物門に属する。刺胞動物門は、ヒドロ虫綱、鉢虫綱、花虫綱の三綱に分けられ、造礁サンゴはヒドロ虫綱、花虫綱に属している (図 I-1-1-1)。大部分は、花虫綱六放サンゴ亜綱イシサンゴ目に含まれる。硬い石灰質の骨格をもつ硬質サンゴのうち、褐虫藻という渦鞭毛藻の一種を体内に共生させている種群を一般的には造礁サンゴと呼んでいる。褐虫藻の光合成産物 (有機物) の 90%以上が造礁サンゴの栄養源として利用されているとの見積りがあり、褐虫藻と共生するサンゴのほとんどの種は成長が速く、大量の石灰質の硬組織を生産し、サンゴ礁の基盤や素材を作る役割が大きいことから造礁サンゴと呼ばれている。

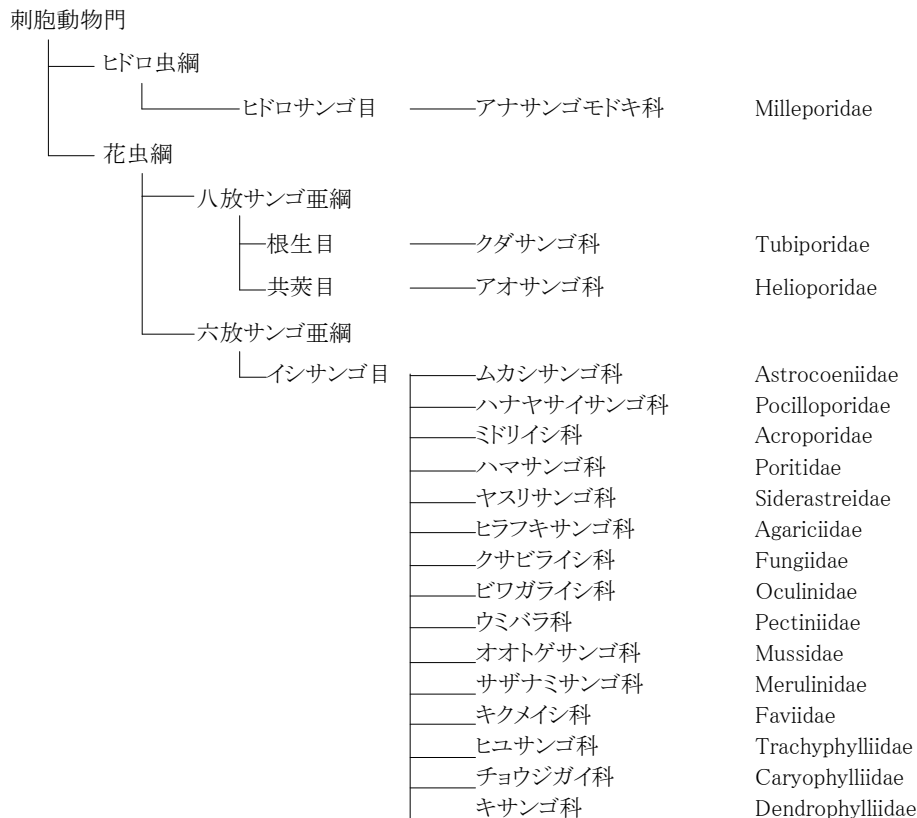


図 I-1-1-1 主な造礁サンゴの分類上の位置

西平守孝・J. E. N. Veron(1995)より作成

造礁サンゴの形態を見ると、ポリプはサンゴを構成する基本的単位で、すべてのサンゴの体はポリプで構成されている。ポリプは、図 I-1-1-2 に示すように円筒形の体と上面の口とそれを取り巻く多数の触手から構成される。サンゴには複数のポリプからなる群体サンゴと一個のポリプからできている単体サンゴとがある。造礁サンゴ全体としては、岩や基盤に固着して生活する群体サンゴが多く、これらの種はポリプが出芽・分裂して成長することによって群体が大きくなる。

造礁サンゴの群体形は様々であるが、表 I-1-1-1 に示す 4 つの基本形に分類される。このような群体形は種と対応しているわけではなく、基本的な群体形は上記の 4 タイプであるが、環境条件に対応して群体形を変える可塑性をもっている種が極めて多い。これら基本的な形の合成されたものが、現実のサンゴの生息場所におけるさまざまな群体形を作り出す。

また、群体は部分的に死亡しても群体全体が死ぬとは限らない。むしろ、群体の部分的死亡は自然界では頻繁に起こり、群体の一部が破壊されて欠損しても、構成単位のポリプが含まれている限り、残されたそれぞれの部分は成長を続けることができる。この性質を応用したものがサンゴ片を用いた移植によるサンゴ増殖である。

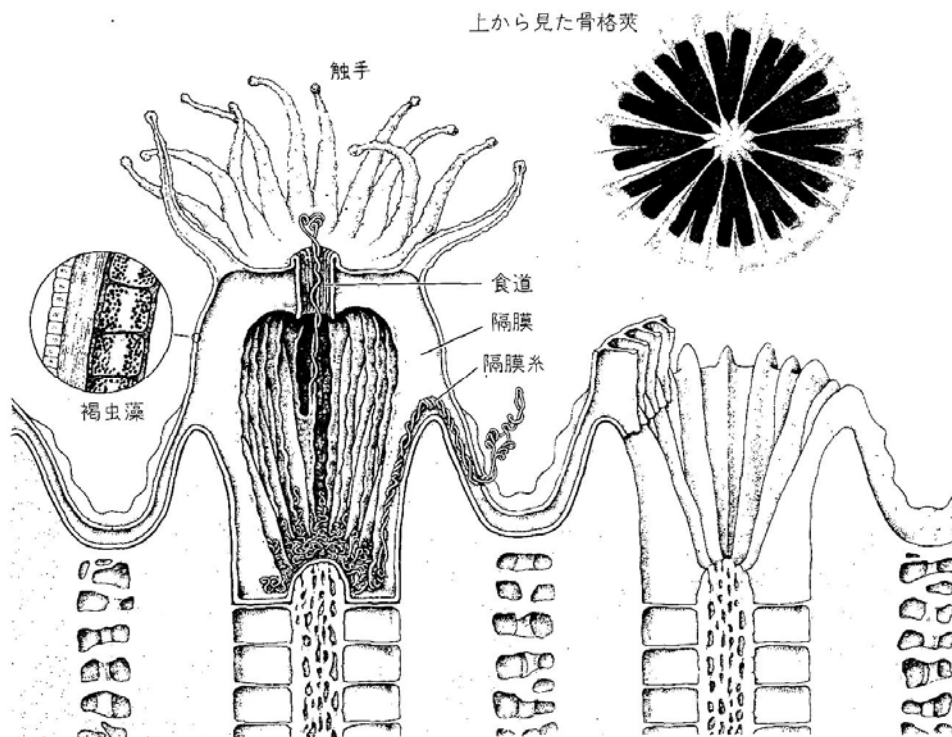



図 I-1-1-2 サンゴの骨格とポリプの構造
西平・Veron(1995)

表 I-1-1-1 サンゴの群体形

出典：西平・Veron(1995)より作成、写真は沖ノ鳥島のサンゴ

被覆状群体	
<p>岩盤から立ち上がることなく岩盤を被覆して成長し、群体表面にのみポリプが見られる。この形状の群体は、水平な岩面上では堆積物に埋められる危険性の高い群体形であるものの、波浪によって剥離される危険性は小さい。</p>	
塊状群体	
<p>群体の周縁部でポリプを出芽しながら基盤から上方に長く伸びつつ出芽し、共骨も成長することによって群体が形成される。群体表面にのみポリプが見られ、穿孔性の動物が住み込み易い群体内部は骨格が詰まって丈夫である。</p>	
葉状群体	
<p>被覆状の群体が基盤から立ち上がり、薄い骨格のまま基盤上方に伸びた形状である。骨格が薄く、基盤から立ち上がる形状のため、波浪等による物理的破壊の危険性が高いものの、被覆状群体と同程度の骨格量で群体を支えているため比較的強度は保持され、堆積物による成長への影響も少ない。また、基部が死亡しても、上部(先端部付近)は生きていることが多い。</p>	
樹枝状群体	
<p>成長初期の被覆状群体から一部分が突出し、基盤から立ち上がった箇所が複数に枝分かれして群体が形成される。分枝した箇所が繊細になるほど群体表面積は増加するものの、強度は弱くなり、枝が折れやすくなる。枝間には多様な動物が住み込む。テーブル状サンゴは、この群体の変形型の一つに区分される。</p>	
散房花状群体(コリンボース状群体)	
<p>基部から放射状に横に張り出した枝から、上向きにほぼ同じ長さの枝がほぼ等間隔で多数伸びてできる群体形。樹枝状群体の変形型の一つ。</p>	

2) サンゴ礁

サンゴ礁とは、図 I-1-1-3 に示すようにサンゴ群集を主体とする貝類、有孔虫類、石灰藻類等の造礁生物によって形成される「地形」を指す。サンゴ礁生態系を意味する場合も多い。日本の場合、ほとんどのサンゴ礁は陸地を取り囲むように海岸に接して発達し、しばしば礁原に浅い礁池を持つ裾礁と呼ばれる地形となっている。

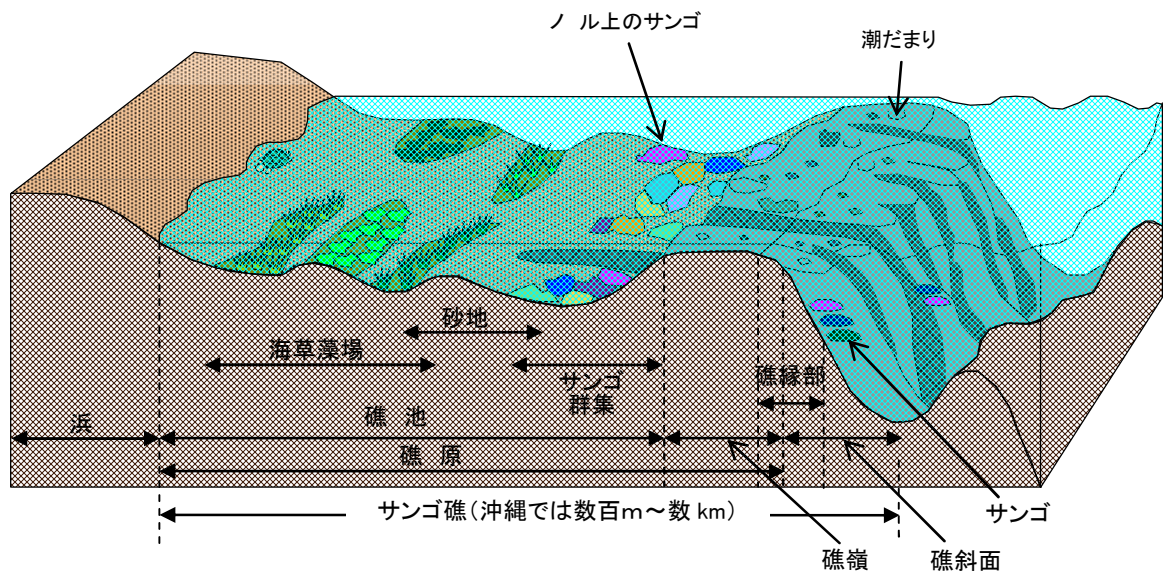
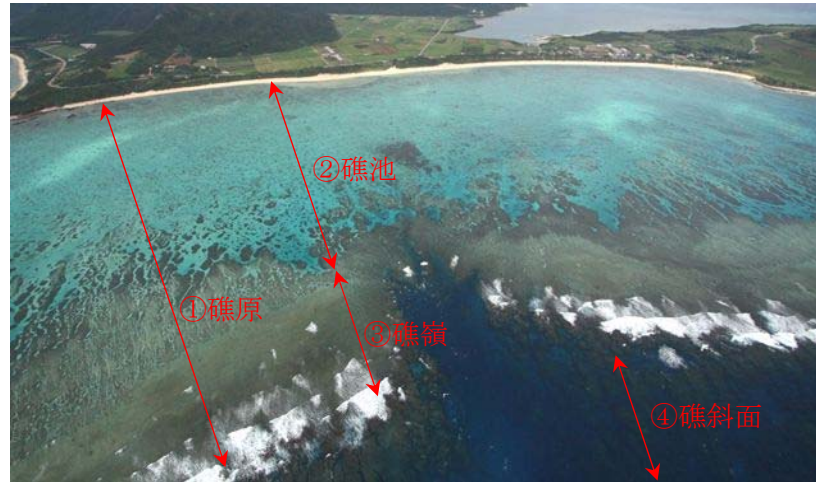


図 I-1-1-3 サンゴ礁(裾礁)の立体模式図

- ① 礁原：サンゴ礁の上面の平坦な部分を指し、干潮時に干上がる内側礁原と礁縁部付近の外側礁原がある。
- ② 礁池：裾礁の礁原に発達する水域を指し、水深は浅く、干潮時には外洋から離れることが多い。静穏で、樹枝状、葉状など繊細な群体形のサンゴ群集等がみられ、海草藻場などが発達する。
- ③ 礁嶺：内側礁原の高く盛り上がった場所で、長時間干出するために生物があまり豊富でない場合が多い。
- ④ 礁斜面：サンゴ礁の礁縁部から急傾斜で落ち込む斜面の部分を目指す。

3) サンゴ礁のタイプ

サンゴ礁の形状は、裾礁、環礁、堡礁、卓礁の4つに大別される。

- ①裾礁：島の周りを縁取るようにして発達するサンゴ礁。日本では多くのサンゴ礁がこの形状である。
- ②環礁：中央に深い礁湖をもった環状に配列したサンゴ礁。日本周辺海域には見られない。
- ③堡礁：陸地から遠く離れ、一定の距離をおいて発達するサンゴ礁で、島との間に深い水域がある。日本ではほとんど見られない。
- ④卓礁：陸地から離れた場所にあり、礁湖を持たず礁原だけからなる平坦なサンゴ礁。沖ノ鳥島は卓礁に分類される。

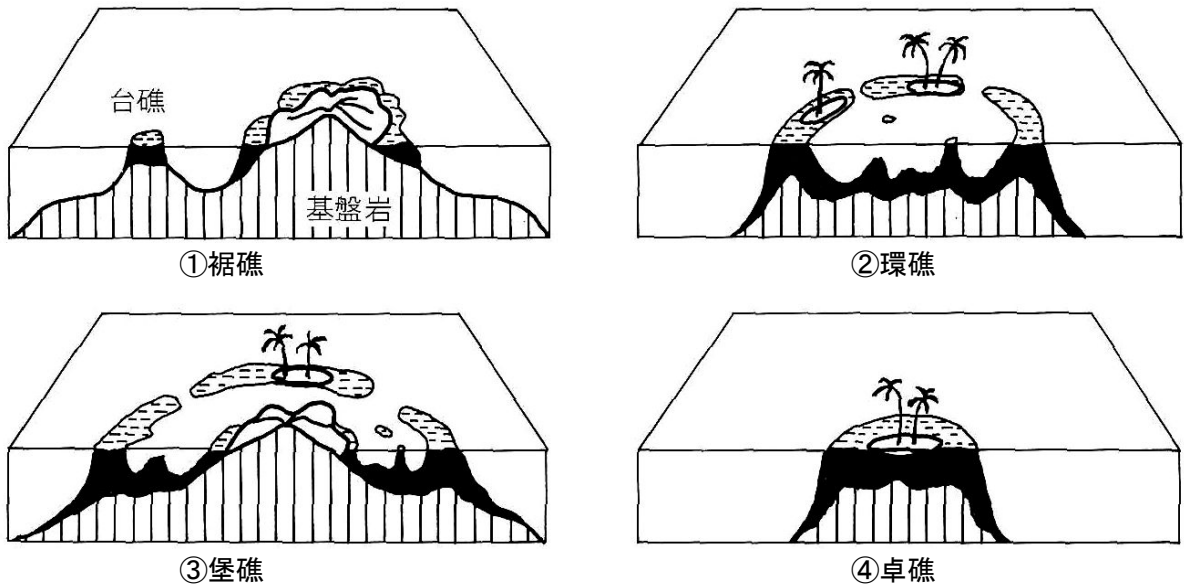


図 I-1-1-4 サンゴ礁のタイプ

I-1-2 サンゴの生活史

造礁サンゴの増殖過程には、成熟した親サンゴが産卵し、卵と精子が受精した後にプラヌラ幼生を経て基盤に着底して一つのポリプとなる有性生殖と、ポリプが次々とクローンを作って群体を形成していく無性生殖がある。

サンゴは群体から折れた破片が海底に再固着・成長して新しい群体を形成することで、無性生殖によっても群体数を増やしたり分布域を拡大したりすることがある。

【解説】

造礁サンゴの生活史の概要を図 I-1-2-1 に示す。

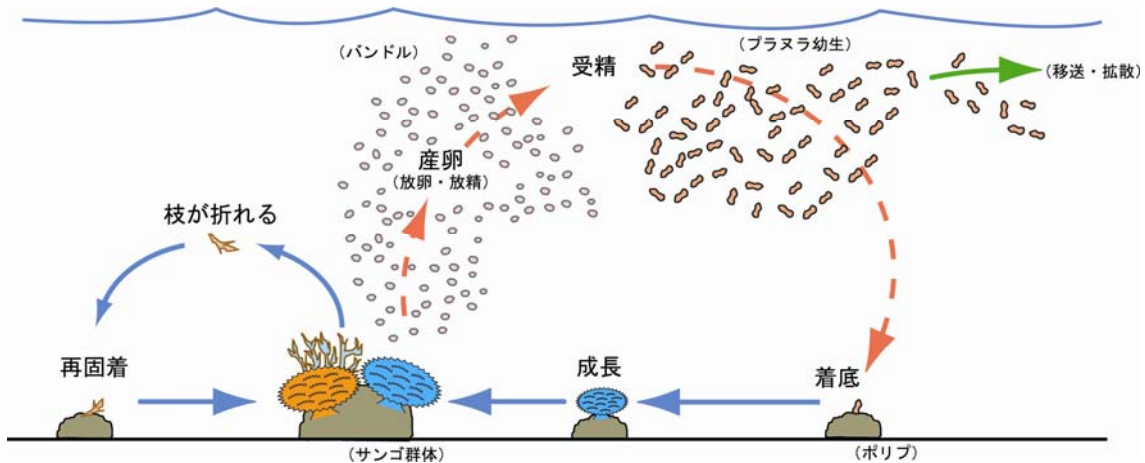


図 I-1-2-1 サンゴの生活史 (ミドリイシ類(放卵放精型, 雌雄同体)の例を示す)

(海の自然再生ワーキンググループ (2003) を改変)

1) 産卵

サンゴには成熟期に卵と精子を一斉に放出して海面で受精する「放卵放精型」と、体内で受精し成熟したプラヌラを放出する「保育型」の2タイプがある。またそれぞれ、「雌雄同体」及び「雌雄異体」の2型がある。



写真 I-1-2-1 ウシダミドリイシの産卵

2) 産卵期、成熟期

サンゴの産卵時期は種類によって異なるが、多くのサンゴは年1回の成熟期を持ち、沖縄の場合、ミドリイシ類は5~8月、キクメイシ類などは7~8月に多く産卵する。ミドリイシ類の多くは産卵期の満月の大潮の前後数日の夜に一斉産卵する。一斉産卵は広範囲で発生する場合や海岸によって1~2日ずれることもある。同じ海域でも産卵時期は毎年同じではなく、海水温や海況などにより若干の違いが生じる。また、年に複数回の幼生放出をする種があることが知られている。

表 I-1-2-1 主なサンゴの産卵時期

林原(1995)を改変: 沖縄県座間味村阿嘉島周辺及び水槽飼育で観察期間(1989年5-7月, 1990年5-8月, 1991-1993年5-9月)中に、産卵を観察, 定期観察から産卵を推定及び生殖腺の成熟が観察された月を ■ で示す。

種名	5月	6月	7月	8月	9月
<i>Acropora aculeus</i>				■	
<i>A. anthocercis</i>			■	■	
<i>A. aspera</i>	■	■			
<i>A. austera</i>		■	■	■	
<i>A. clathrata</i>			■		
<i>A. cytherea</i>	■	■			
<i>A. danai</i>		■			
<i>A. digitifera</i>	■	■			
<i>A. divaricata</i>			■	■	
<i>A. donei</i>		■			
<i>A. elseyi</i>	■	■			
<i>A. exquisita ?</i>	■				
<i>A. florida</i>		■	■		
<i>A. formosa</i>	■	■			
<i>A. gemmifera</i>	■	■		■	
<i>A. grandis</i>	■	■		■	
<i>A. horrida</i>	■			■	
<i>A. humilis</i>	■		■	■	
<i>A. hyacinthus</i>	■	■			
<i>A. latistella</i>				■	
<i>A. longicyathus</i>	■				
<i>A. loripes</i>	■	■	■		
<i>A. lutkeni</i>				■	
<i>A. microclados ?</i>				■	
<i>A. microphthalma</i>	■	■			
<i>A. millepora</i>		■			
<i>A. nasuta</i>	■	■		■	
<i>A. nobilis</i>	■	■			
<i>A. pulchra</i>	■	■			
<i>A. robusta</i>	■	■			
<i>A. samoensis</i>			■	■	
<i>A. secale</i>				■	
<i>A. selago</i>		■			
<i>A. tenuis</i>	■	■			
<i>A. valenciennesi</i>	■	■			
<i>A. valida</i>		■	■	■	
<i>A. verweyi ?</i>				■	
A. SP.1			■	■	
A. SP.2	■	■			
A. SP.3	■	■			
A. SP.4				■	
A. SP.5	■	■	■		
ACROPORIDAE					
<i>Astreopora myriophthalma</i>		■	■		
<i>Montipora digitata</i>	■	■			
<i>M. hispida</i>		■			
<i>M. aequituberculata</i>	■	■			
<i>M. informis</i>	■	■		■	■
<i>M. turgescens</i>		■		■	
<i>M. mollis ?</i>			■		
<i>M. venosa</i>			■		
<i>M. efflorescens</i>				■	
PORITIDAE					
<i>Porites lutea</i>		■	■		
種名	5月	6月	7月	8月	9月
AGARICIIDAE					
<i>Pachyseris speciosa</i>				■	
FUNGIIDAE					
<i>Fungia repanda</i>			■		
<i>Sandalolitha robusta</i>			■		
OCULINIDAE					
<i>Galaxea fascicularis</i>		■	■	■	
PECTINIIDAE					
<i>Echinophyllia aspera</i>			■		
<i>E. nishihirai</i>				■	
<i>Oxypora lacera</i>		■			
<i>Pectinia lactuca</i>			■		
MUSSIDAE					
<i>Lobophyllia corymbosa</i>		■			
MERULINIDAE					
<i>Hydnophora rigida</i>	■	■	■		
<i>H. exesa</i>			■		
<i>Merulina ampliata</i>			■	■	
<i>M. scabricula</i>			■		
FAVIIDAE					
<i>Caulastrea furcata</i>		■			
<i>Favia stelligera</i>			■	■	
<i>F. pallida</i>		■	■	■	
<i>F. speciosa</i>		■			
<i>F. lizardensis ?</i>		■			
<i>F. matthaii</i>		■	■		
<i>F. favus</i>			■	■	
<i>F. veroni</i>				■	■
<i>Barabattoia amicornum</i>			■		
<i>Favites halicora</i>		■	■	■	
<i>F. abdita</i>			■	■	
<i>F. flexuosa</i>			■	■	
<i>F. chinensis</i>		■	■	■	
<i>Goniastrea retiformis</i>		■	■	■	
<i>G. pectinata</i>			■	■	
<i>G. aspera</i>		■	■		
<i>Platygyra contorta</i>			■		
<i>P. daedalea</i>		■	■		
<i>P. lamellina</i>		■	■		
<i>P. sinensis</i>		■	■		
<i>P. ryukyuensis</i>		■	■	■	
<i>P. pini</i>		■	■		
<i>Montastrea curta</i>			■	■	
<i>M. magnistellata</i>			■	■	
<i>M. valenciennesi</i>				■	
<i>Diploastrea heliopora</i>		■			
<i>Leptastrea purpurea</i>			■		
<i>Cyphastrea chalicidicum</i>		■			
<i>C. serailia</i>			■		
<i>Echinopora gemmacea</i>		■			
<i>E. pacificus</i>		■			
CARYOPHYLLIIDAE					
<i>Euphyllia divisa</i>				■	
DENDROPHILLIIDAE					
<i>Turbinaria stellulata</i>	■				

3) 受精、浮遊幼生

放卵放精型はサンゴのポリプから複数の卵と精子を一塊にしたバンドルを放出する。バンドルは水面まで浮上したのち卵と精子にかい離して、他の群体から放出された精子や卵（配偶子）と受精する。受精卵は1~3日でプラヌラ幼生になる（図 I-1-2-1）。幼生保育型では卵はサンゴ体内に保持され受精したのちに、プラヌラ幼生として放出される。

海域での一斉産卵の翌日には、海況が穏やかであれば、卵や幼生の集合体が潮目に沿って海面を漂う「スリック」と呼ばれる長い帯が観察されることがある。



受精卵



プラヌラ幼生



スリック

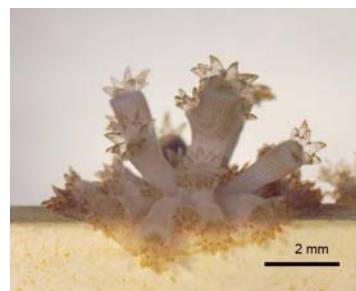
写真 I-1-2-2 受精卵と幼生

4) 着底以降の生活ステージ

プラヌラ幼生は数日~数週間（最大 100 日以上）の浮遊幼生期ののち、適当な基質に着底する。産卵から着底までの生殖を有性生殖と呼ぶ。着底後にはポリプと呼ばれるイソギンチャク状の形になり、骨格を自らの下につくりながら、分裂・出芽を繰り返して無性的に自分のクローンである新しいポリプを作る。これを無性生殖と呼ぶ。これを繰り返して多数のポリプが結合しあい集合体となるサンゴ群体を形成する。通常、私たちが目にするサンゴはこのサンゴ群体である。



着底直後のサンゴ



稚サンゴ(3ヶ月齢)

写真 I-1-2-3 着底したサンゴ

5) 成長、成熟

ミドリイシなどの枝状サンゴは、数ヶ月で群体の直径が 1~2cm 程度まで成長し、3~5 年程度で直径数十 cm に成長する。Harrison and Wallace(1990)によると、クシハダミドリイシ (*Acropora hyacinthus*) の成熟最低サイズは直径 7cm、推定年齢では生後 4~5 年で産卵が可能となるとしている。また、コブハマサンゴ (*Porites lutea*) では直径 8cm、ハナヤサイサンゴ (*Pocillopora dammicoornis*) では直径 4~7cm、推定年齢 1~2 年で成熟

サイズとなるとされている。



10ヶ月齢;平均長径 13.1mm



30ヶ月齢;長径約 12.5cm



サンゴ群体

注) 写真(左), (中)ともにウスエダミドリイシの観察例 (成長が速い例)

写真 I-1-2-4 サンゴの成長

6) 栄養の摂取 (餌料、褐虫藻との共生)

造礁サンゴは、褐虫藻からの光合成産物により、または自らの触手で動物プランクトンを捕食することによって栄養を摂取している。なお、浮游期間中は卵黄栄養に依存し、基本的に餌をとらない。

7) サンゴの再固着

台風などで発生した大きな波浪により、サンゴの枝が折れて断片化し、周辺の海底に散らばったり、波浪などにより離れた場所に運ばれたりする。断片化したサンゴ片が生き残る率は低いとされているが、条件が良ければ、断片化したサンゴ片は長期間生存でき、安定した基質上に長時間接触すると、基質上に再固着し始め、成長していく。サンゴの無性生殖による移植はこの特性を利用している (I-4-2 参照)。

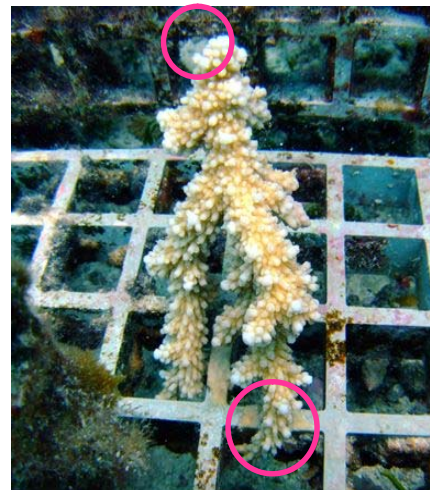


写真 I-1-2-5 人工構造物に固着したサンゴ片 (○は固着箇所)

I-1-3 サンゴと環境条件

サンゴの加入・成長・生残とサンゴ礁の形成に影響を与える要因としては、物理化学要因、地形地質要因、生物要因、人間活動等があり、これらが複合的に関与している。

【解説】

1) 浮遊期の環境条件

サンゴの生育に影響を与える要因としては、サンゴの有性生殖による初期ステージである浮遊期のプラヌラ幼生は体表の繊毛により弱い遊泳力をもつが、波浪や流況の影響を受けて移動・分散するため移動範囲は水塊の移動による制約を受ける。プラヌラ幼生は数日～数週間（最大 100 日以上）の浮遊幼生期ののち、生育に適した場所に着底してポリプとなる。浮遊幼生は魚類に捕食されたり、海岸に打ち上げられたり、生育に適した場所にたどり着くことができないなどにより、その大部分は死滅する。

2) 着底後のステージの環境条件

サンゴの着底後の生活ステージにおいて、サンゴ群体の生育を制限する環境条件としては、水温・塩分・栄養塩、光環境（水中照度、水深、濁り）、波・流れ、基盤の有無、傾度等の物理化学的環境が考えられる。サンゴの生息にはこれらの環境条件が好適であることが必要となる。サンゴの生育には褐虫藻による光合成が大きく関与していることから、造礁サンゴの分布は光の照度条件を通じて水深にも制約を受ける。さらに、食害動物・競合動植物（オニヒトデ・魚類による食害や、他のサンゴや藻類との競合）、餌料環境及び、人間活動（土砂流入による光量不足・着底場所の消失、富栄養塩化）の影響を受ける。

サンゴと環境条件との関係について、一般的に示されている条件としては、水温が暖かい海域であり、貧栄養で透明度が高く、植物プランクトンや海藻が少ないこと、水深が浅い海であること、塩分が高いことなどがあげられている。

また、サンゴの成長を規定する環境条件は、すでに述べたサンゴ礁の地形分帯構成によって規定され、地形分帯構成に応じたサンゴ分布が見られている。

なお、既往知見等からまとめた「ウスエダミドリイシ (*Acropora tenuis*) の生息環境条件」を巻末に掲載した。当該種のように環境条件との関係が把握されている事項は多くはないが、好適な生息環境条件を知ることはサンゴの増殖対策には有益となることから、今後は他種において知見を蓄積していくことが望まれる。

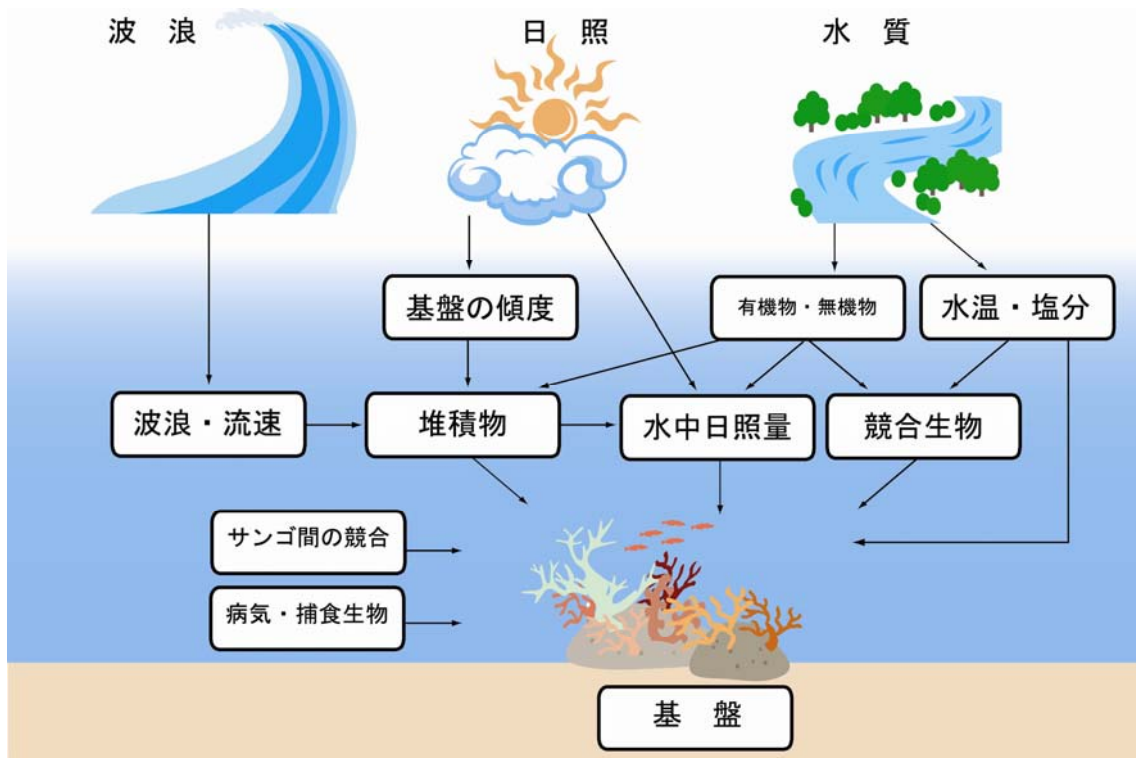


図 I-1-3-1 サンゴの成長と環境因子の関係 H. Yamamoto et al. (2002) を一部改変

I-1-4 サンゴの地理的分布

サンゴは、熱帯から亜熱帯の浅い海に分布しており、暖流が流れる各大洋の西側に発達する。日本沿岸は黒潮の影響を受けるため、世界のサンゴ分布域の北限に位置しており、多様な種のサンゴが生育している。

【解説】

サンゴは、赤道を挟んで北緯 30 度と南緯 30 度の間の大陸や島の周辺の浅海域に主に分布している (図 I-1-4-1)。サンゴの分布には、海流が強く影響しており、緯度が高くなるほど種類が減少し、三大洋では暖流が発達し島嶼が多い西側ほどサンゴ礁が発達するという特徴がある (本川 2008)。

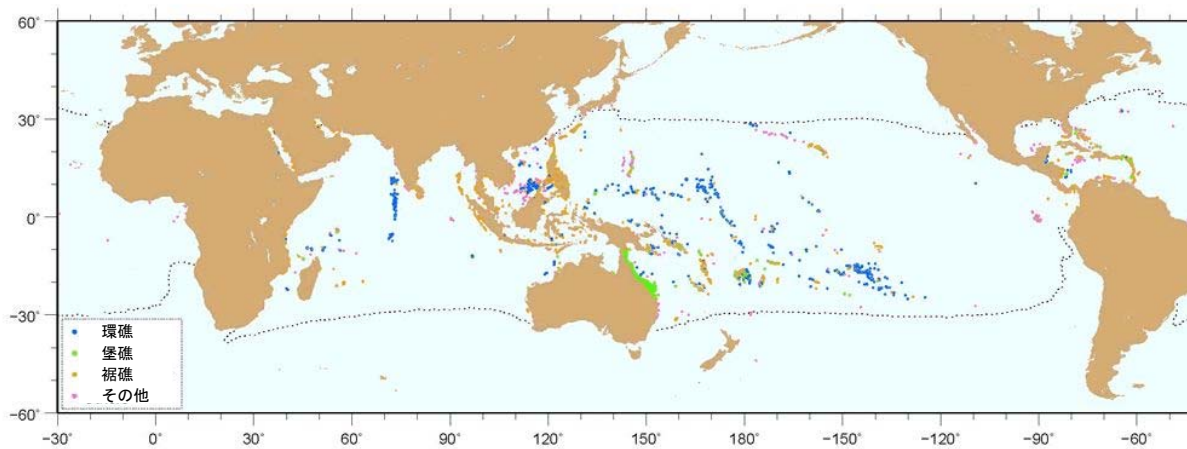


図 I-1-4-1 世界のサンゴ分布図

(環境省・日本サンゴ礁学会編 (2004) 日本のサンゴ礁に基づく)

世界のサンゴ礁の総面積は 284,300km² で、海洋底のわずか 0.2%に満たないが、そこで確認されている生物種は全海洋生物の 25%にもなると評価されている (Spalding et al., 2001)。サンゴ礁の分布域は、主に 4 つの海域に分類 (インド-西太平洋、東太平洋、西大西洋、東大西洋) される。

日本のサンゴ礁は、主として、北緯 24 度から 29 度の琉球列島 (沖縄県と鹿児島県の奄美諸島) と小笠原諸島 (東京都) に多く分布しており、世界のサンゴ礁分布域の北限とされている。その他に、尖閣諸島、大東諸島、硫黄列島、伊豆諸島、南鳥島、沖ノ鳥島などにサンゴ礁がある。北緯 20 度の沖ノ鳥島が日本のサンゴ礁の分布の南限であり、北限としては、北緯 34 度付近の長崎県壱岐島で確認されている (山野ら 1999)。なお、造礁サンゴでは、太平洋側では千葉県館山湾、日本海側では佐渡ヶ島周辺海域まで生息が確認されている (図 I-1-4-2)。

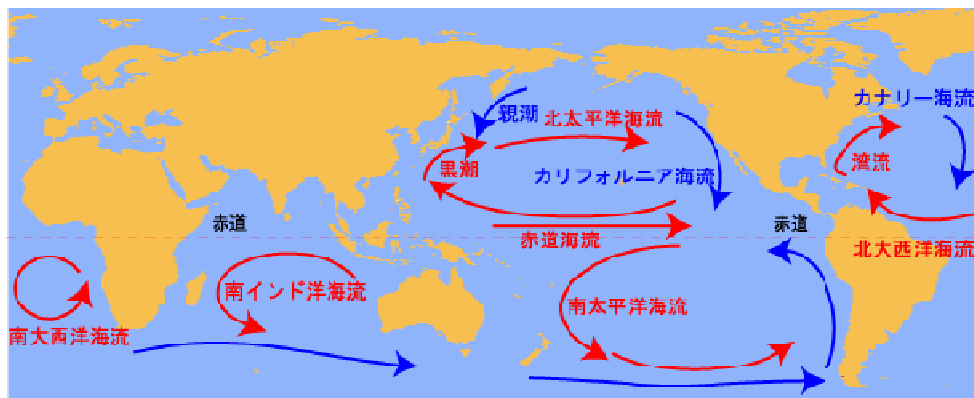


図 I-1-4-2 日本のサンゴの分布
(国際サンゴ礁年 2008 HP を修正)

日本において、緯度が高い割には造礁サンゴの種多様性が高い要因としては、黒潮の影響によるところも大きい。つまり、琉球列島に沿って世界最大の暖流である黒潮が北へ流れるので同じ緯度の海域より水温が高く、南からサンゴが供給されるので、琉球列島のサンゴ礁は北限としてはサンゴの種多様性が高く、サンゴ礁地形の連続性が高く規模も大きい（茅根ら,2004）。

【コラム I-1-4-1】 海流の流れ

海流は、地球の自転の関係で、暖流は赤道に沿って西に流れ、西の端で大陸に沿って北上(又は南下)し、その後高緯度からの寒流の流入により南下(又は北上)する。サンゴの分布域（図 I-1-4-1）は下図に示すような暖流域に沿って分布している。



世界の海流(「海洋のしくみ」, 日本実業出版)

参考文献

- 海の自然再生ワーキンググループ(2003) ; 海の自然再生ハンドブック, (4), サンゴ礁編, 国土交通省港湾局, ぎょうせい, 103p.
- 茅根創・本郷宙軌・山野博哉(2004) ; 1-2 サンゴ礁の分布, 日本のサンゴ礁, 環境省・日本サンゴ礁学会, 自然環境研究センター, pp. 15-21.
- 国際サンゴ礁年 2008 HP ; http://www.iyor.jp/intro/intro_2.html
- 西平守孝, J. E. N. Veron(1995); 日本の造礁サンゴ類, 海游舎, 439p.
- 林原毅(1995); 慶良間列島阿嘉島周辺の造礁サンゴ類とその有性生殖に関する生態学的研究 博士論文, 東京水産大学, 123p.
- 本川達雄(2008) ; サンゴとサンゴ礁のはなし, 中公新書. 273p.
- 山野博哉ら(1999) ; 長崎県壱岐島で発見された北限のサンゴ礁, 日本サンゴ礁学会第2回大会講演要旨集, p. 16.
- Harrison PL and Wallace CC. (1990) ; Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals. In “Coral reef ecosystems” Ed by Z. Dubinnsky, Ecosystems of the World, 25, Elsevier, pp.133-207.
- Spalding, Mark et al. (2001) ; World atlas of coral reefs, University of California Press, Berkley, 424p.
- Yamamoto H. et al. (2002) ; Coral growth processes using multiple regression analysis and neural network model. Eco-Engineering, 14(3), pp. 3-11.