

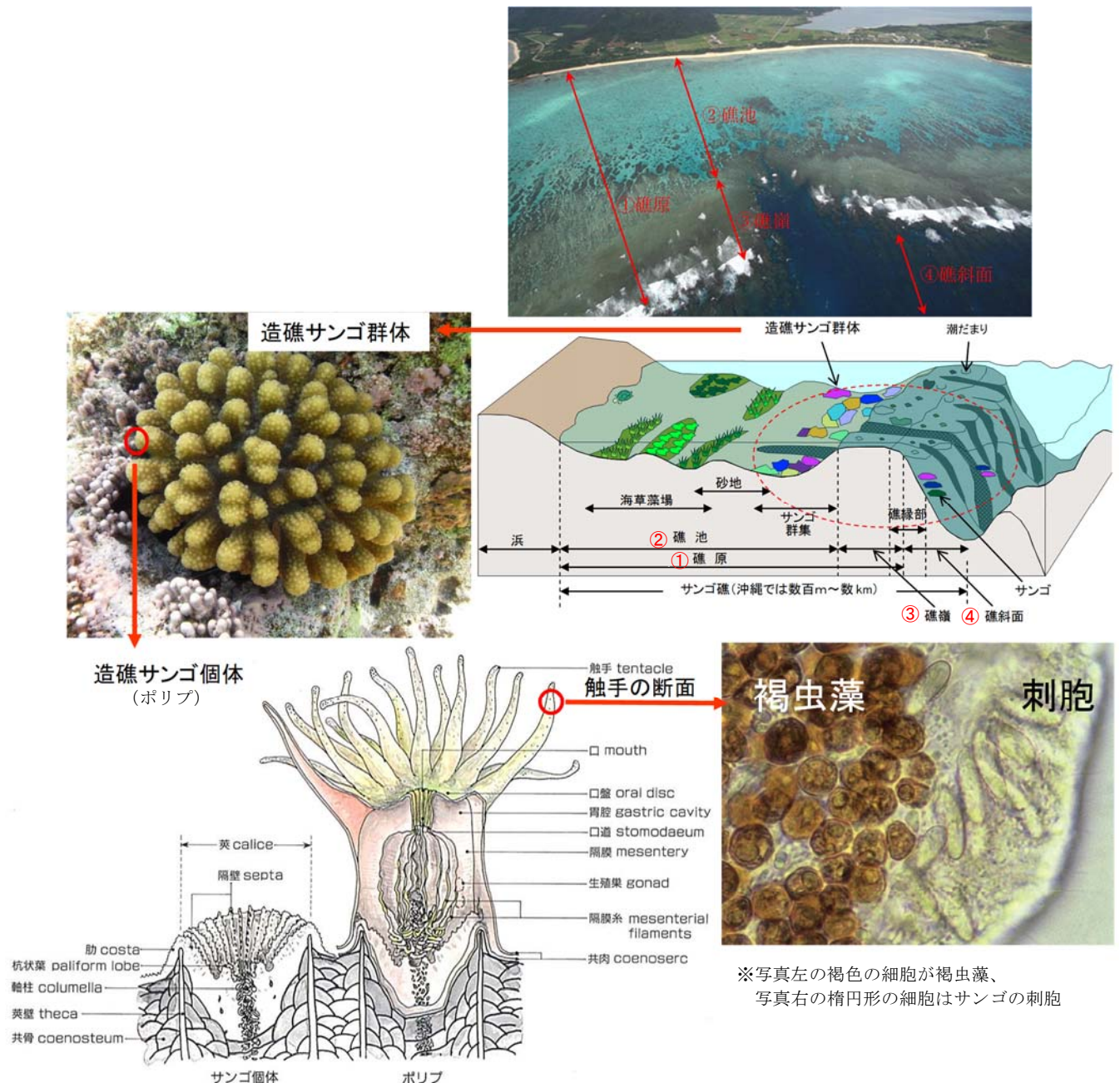
第 I 編 総論

1. サンゴの特性と機能と現状

1. 1 造礁サンゴとサンゴ礁

造礁サンゴとサンゴ礁の関係を図 I. 1-1 に示す。

サンゴのなかで体内に褐虫藻を共生させて成長が速く、サンゴ礁の形成に役立つものを造礁サンゴという。サンゴ礁とは、主に造礁サンゴや有孔虫や石灰藻などの石灰質の遺骸が、長い年月をかけて積み重なり作られた「地形」を示す。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。



サンゴ礁のタイプは、裾礁、環礁、堡礁、卓礁の4つに大別される（図 I.1-2）。

- 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。

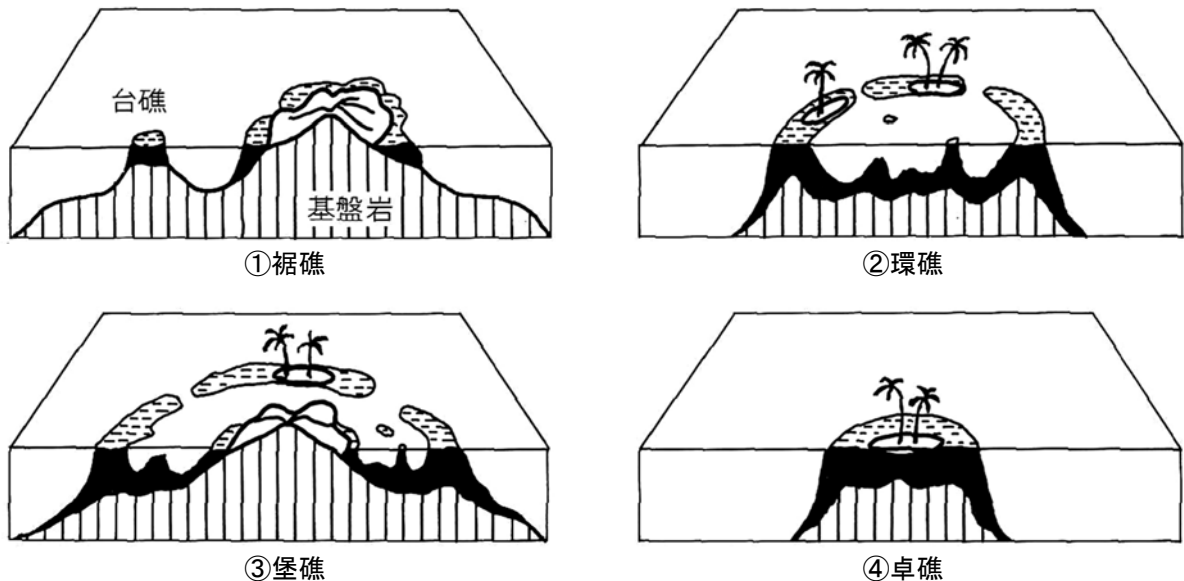
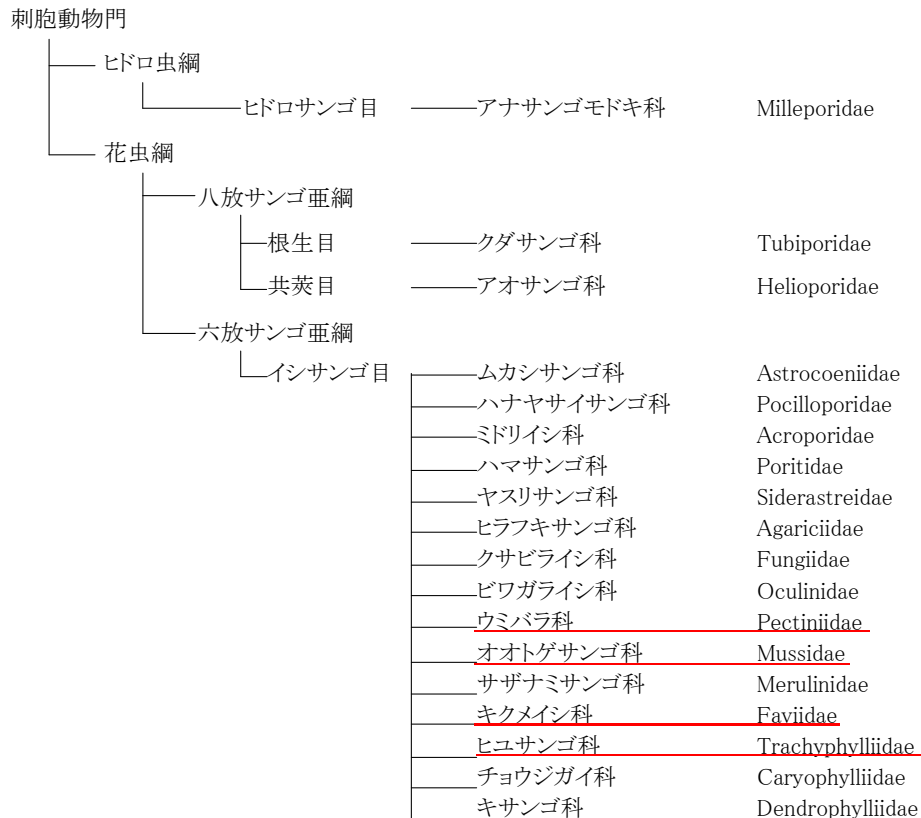


図 I.1-2 サンゴ礁のタイプ

目崎 (1988)

サンゴ礁を形成する造礁サンゴは、クラゲやイソギンチャクと同じ刺胞動物の仲間である。刺胞動物の仲間（刺胞動物門）は、餌料生物を捕食するための「刺胞」を有していることが特徴で、ヒドロ虫綱、鉢虫綱、花虫綱の三綱に分けられる。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、成長が速いものを一般的には造礁サンゴと呼んでいる。造礁サンゴはヒドロ虫綱や花虫綱に属し（図 I.1-3）、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。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る。造礁サンゴの多くの種は成長が速く、大量の石灰質の硬組織を生産し、サンゴ礁の基盤となる素材を作る役割が大きい。

造礁サンゴの仲間のなかで、ミドリイシ類は最も成長が速く、群体形が後述する樹枝状や散房花状やテーブル状で、それらが形成する複雑な空間が水産生物の産卵場や生息場、餌場を提供するとともに、共生する褐虫藻の光合成産物（有機物）が海水中の栄養が少なく透明度の高いサンゴ礁海域の水産基盤を支えている。



注：イシサンゴ目の分類体系は、分子系統解析の結果を受けて 2012 年に改変が行われた。
 科レベルでの変更点を以下に示す。（深見 2013, 2016）赤線は改変箇所を示す。

- ・キクメイシ科とヒュサンゴ科はサザナミサンゴ科に吸収
- ・オオトゲサンゴ科の学名が *Mussidae* から *Lobophyllidae* に変更
- ・ウミバラ科はオオトゲサンゴ科とサザナミサンゴ科に吸収

図 I. 1-3 主な造礁サンゴの分類上の位置
 西平・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 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、即ち無性生殖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 に示す 5 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 5 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、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（断片）を用いた移植によるサンゴ増殖である。

表 I.1-1 サンゴの群体形

被覆状群体	
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。	
塊状群体	
群体の周縁部でポリプを出芽しながら基盤から上方向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。	
葉状群体	
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）は生きることが多い。	
樹枝状群体	
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。	
散房花状群体（コリンボース状群体）	
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。	

西平・Veron (1995) より作成、写真は沖ノ鳥島のサンゴ

1. 2 サンゴの生活史

造礁サンゴの生活史の概要を図 I. 1-4 に示す。

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生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。

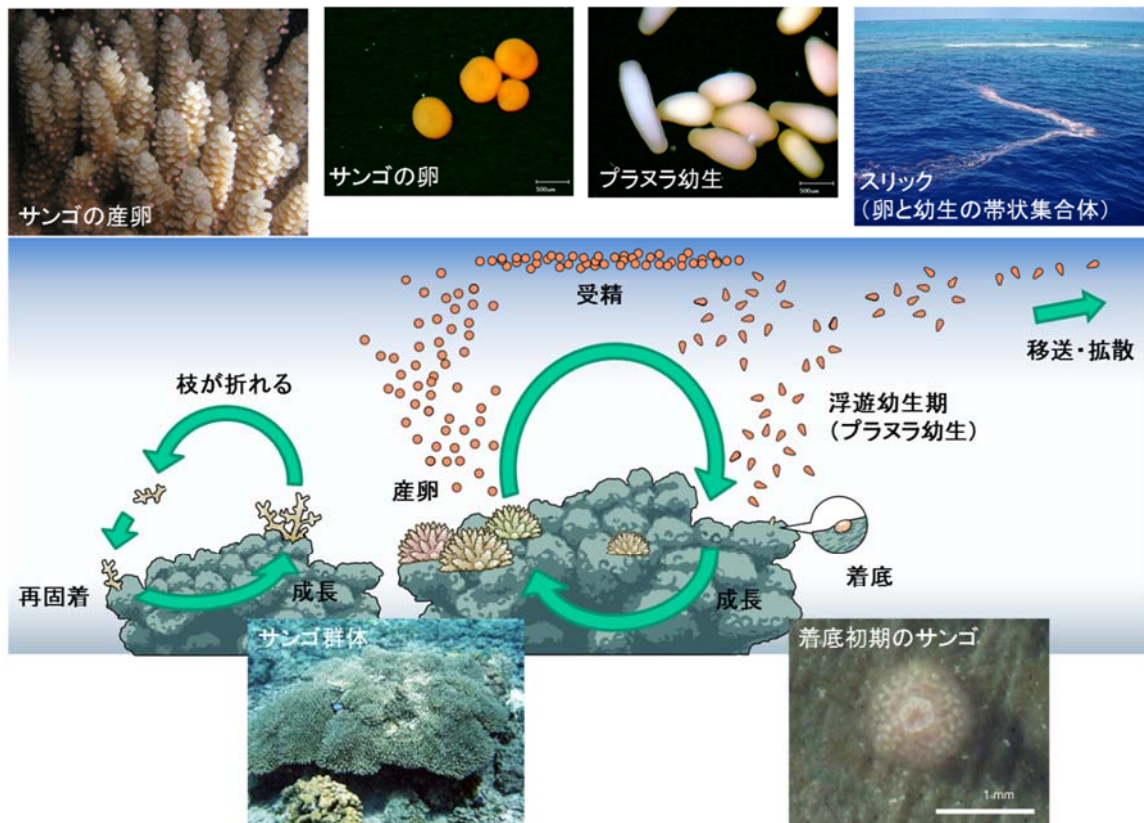


図 I. 1-4 造礁サンゴの生活史
海の自然再生ワーキンググループ (2003) 等をもとに作成

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し、プラヌラ幼生をつくる「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「幼生保育型」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。

2) 産卵期、成熟期

琉球列島における主な「放卵放精型」のサンゴの産卵時期を表 I. 1-2 に示す。サンゴの産卵時期は種類や地域によって異なるが、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。

表 I. 1-2 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、産卵を直接観察したり、定期観察から産卵を推定したり生殖腺の成熟が観察されたりした月を ■ で示す。

(分類体系・学名は西平・Veron 1995 による)

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

4) 着生以降の生活ステージ

プラヌラ幼生は数日～数週間（種によっては100日以上）の浮遊生活ののち、沈降して適当な基盤に着生する。産卵から着生までの生殖を有性生殖と呼ぶ。着生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。サンゴは無性生殖を繰り返して、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ものが多い。

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10cmに成長する。Harrison and Wallace (1990)によると、クシハダミドリイシ (*Acropora hyacinthus*) の成熟最小サイズは直径7cm、推定年齢では生後4～5年で産卵が可能となる。また、ハナヤサイサンゴ (*Pocillopora damicornis*) では直径4～7cm、ヒメウネカメノコキクメイシは直径3～4cmで成熟サイズとなるとしている。

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と自らの触手で捉えた動物プランクトンなどによって栄養を獲得している。なお、浮遊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、サンゴ片は長期間生存でき、安定した基盤上に長時間接触すると、基盤上に再固着し始め、成長していく。

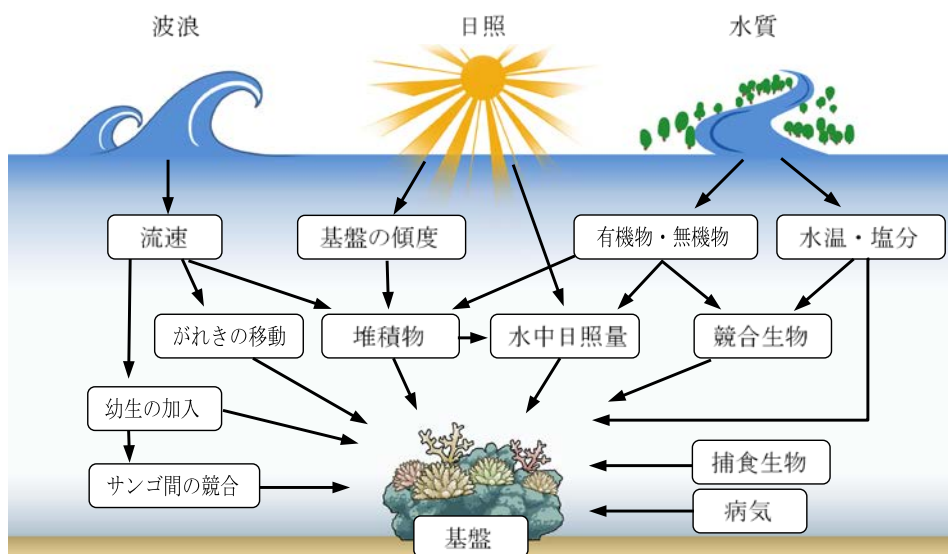
サンゴの無性生殖による移植はこの特性を利用している。

サンゴと環境条件との関係を図 I.1-5 に示す。

1) 浮遊期の環境条件

2) 着生後の環境条件

近年では、赤土や富栄養化などのローカルな環境ストレスに加えて、海水温の上昇が長く続くことによるサンゴの白化現象や、台風の大規模化に伴う強い波浪による影響などのグローバルな環境ストレスが成育を阻害している。また海洋酸性化による影響も懸念されている。



-8

1. 4 サンゴの地理的分布

世界の造礁サンゴの地理的分布を図 I.1-6 に示す。

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。造礁サンゴの分布には、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）。

世界のサンゴ礁の総面積は 284,300km² で、海洋面積のわずか 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）。

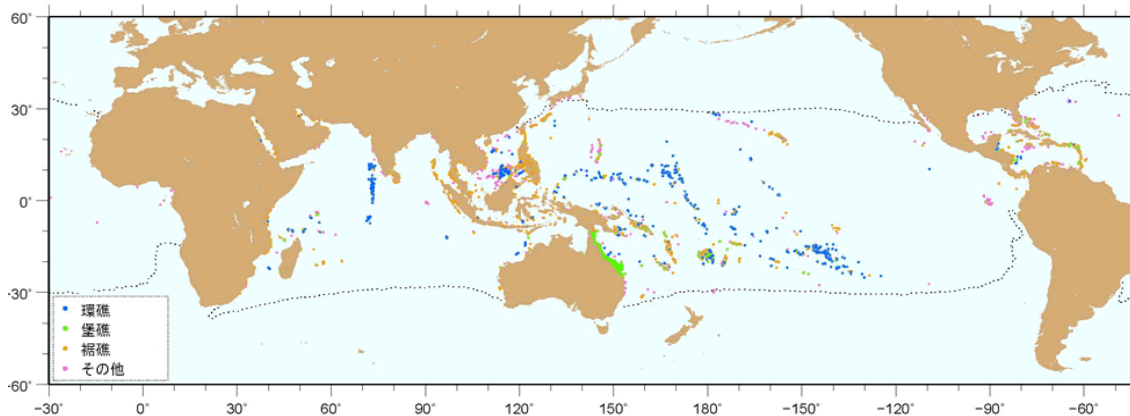


図 I.1-6 世界の造礁サンゴ分布図

茅根ほか(2004)をもとに作成

日本のサンゴ礁とサンゴ群集の地理的分布を図 I.1-7 に示す。

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る。サンゴ群集は、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分布が確認されている。

日本において、緯度が高い割には造礁サンゴの種の多様性が高い要因としては、黒潮の影響によるところが大きい。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世界のサンゴ礁の分布域の北限にあたるが、種の多様性が高く、サンゴ礁地形の連続性が高く、規模も大きい（茅根ほか 2004）。

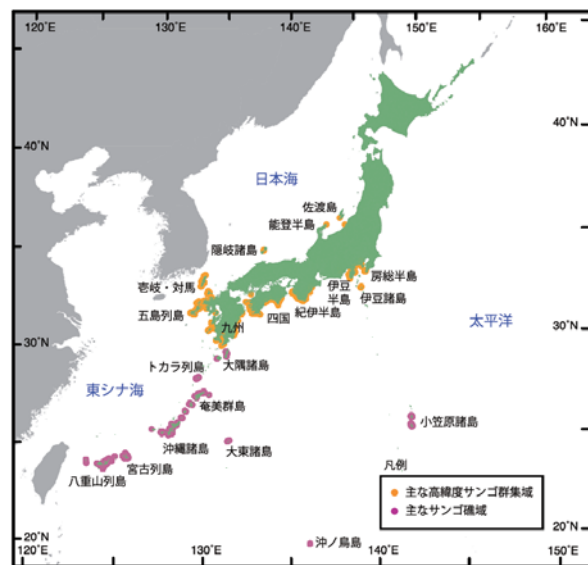


図 I.1-7 日本のさんご礁とサンゴ群集の分布
（環境省 2016）

サンゴ群集の分布域は近年の地球温暖化がもたらす水温上昇によって北上しつつある。造礁サンゴの分布限界を決める冬期の水温は日本近海で造礁サンゴが分布している海域では 100 年間に 1.1～1.6℃上昇しており、サンゴ分布域は過去 80 年間の記録を解析した結果、最大 14km/年の速度で北上していると報告されている（Yamano et al. 2011）。

1. 5 サンゴ礁の多様な機能

サンゴ礁の主な機能を図 I.1-8 に示す。

サンゴ礁は海洋面積の 0.2%にも満たないが、93,000 種以上の動植物の棲息場所となり、浅海の生物の 35%以上の種を保持し、世界人口の実に 2 割、80 以上の国の数え切れない地域社会が収入と食料をサンゴ礁に依存し、1km²のサンゴ礁が、年間 15 トンの食料を生産し、それは、1,000 人以上を養うに十分である（Kimble 2002）。サンゴ礁の種の多様性については 830,000 種以上が見られるという報告もある（Fisher et al. 2015）。

サンゴの体内に共生している褐虫藻は、光合成によって海水中の窒素やリンなどの無機栄養塩から有機物を生産する。石灰化によって、サンゴの作り出す複雑な空間地形には多種多様な生物が共存し、サンゴ礁は水産生物の生産の場や水質浄化としての重要な機能を持つ。また、サンゴ礁には、美しい景観がもたらす観光機能、天然の防波堤としての防災機能、海の文化人類学の研究や生態系のしくみを知る環境教育の場としての機能があり、地形学・地質学・古生物学による過去の地球環境変動を把握する場としても重要である。さらに、古いサンゴの岩石化した琉球石灰岩は石垣や漆喰の材料として利用されている。最近では、サンゴやイソギンチャク、カイメンなどのサンゴ礁域の有用生物が医薬品などとしても注目されており、他の産業にも利用可能な物質が得られる可能性がある。

こうしたことから、サンゴ礁が大きな環境攪乱を被ると、これらの機能が減少あるいは消滅し、水産資源の減少や観光資源の質の低下など大きな社会問題を招く恐れがある。

以下に、漁場としての機能以外の機能について記す。

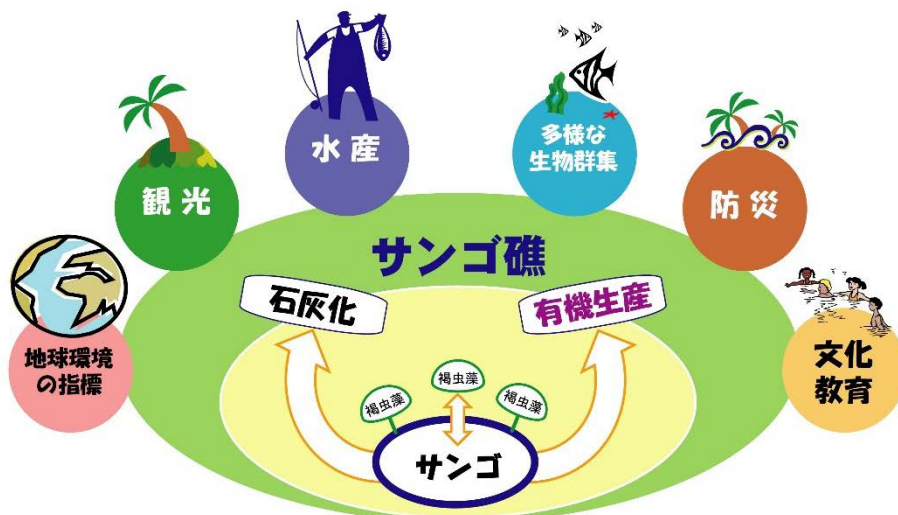


図 I.1-8 サンゴと褐虫藻の共生関係によって形成されるサンゴ礁の主な機能

1) 多種多様な生物を共存・生産する機能

全海水魚類の約4分の1の4,000種がサンゴ礁魚類であり (Spalding et al. 2001)、サンゴ礁は、生物種の最も豊富な生態系の一つである。サンゴ礁域は貧栄養塩濃度の海域であるが、サンゴの体内に共生する褐虫藻によって基礎生産が行われ、サンゴから放出される粘液が多くの魚類や底生動物の餌になり、複雑な食物連鎖が形成される。

熱帯・亜熱帯の海洋では透明度が高く栄養塩濃度が低いことから、生産性が低いように誤解を受けるが、寒冷な海洋とは異なり、溶存有機物質は食物網を通じてすみやかに可視的サイズの生物に捕食されるので清澄なのであり、生産性が低いわけではない。

また、海中のカルシウム分を蓄積した骨格による立体構造は、多種多様な生物の生活場を提供する (図 I.1-9)。さらには、サンゴ礁の海底に堆積した砂質地盤には海草藻場が形成され、サンゴと同様、一次生産等の役割を担う。サンゴ礁の生物多様性が高いことも、十分な生産性があるからこそ成り立っている。

地球上の生物相は、基本的には太陽光を同化することができる植物を一次生産者として形成されており、一次生産量の高い地域ではそれらを利用する動物の環境収容力が高くなる。海域では、一次生産量の高い地域が水産資源量の高い海域であると言い換えることができる。表 I.1-3 に地球上の主な純一次生産量の一覧表を示す。海域は、外洋、湧昇流海域、大陸棚、藻場とサンゴ礁、入江に区分されており、藻場とサンゴ礁では単位面積当たりの純一次生産量の平均値が $2,500\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$ で最も高く、陸域の熱帯多雨林の値 ($2,200\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$) 以上であり、地球上で最も純一次生産量の高い地域であることを示している。藻場とサンゴ礁が併記されているのは、サンゴは体内に共生する褐虫藻の光合成量が藻場と同程度であることを示している。



図 I.1-9 サンゴに群がる魚たち

表 I.1-3 主な生態系の純一次生産量

生態系のタイプ	面積 10^6km^2	単位面積あたりの純一次生産 $\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$		世界の純一次生産 $10^9\text{t}/\text{年}$	単位面積あたりの生物量 kg/m^2		世界の生物量 10^3t
		範囲	平均		範囲	平均	
熱帯多雨林	17.0	1000~3500	2200	37.4	6~80	45	765
熱帯季節林	7.5	1000~2500	1600	12.0	6~60	35	260
外洋	332.0	2~400	125	41.5	0~0.005	0.003	1.0
湧昇流海域	0.4	400~1000	500	0.2	0.005~0.1	0.02	0.008
大陸棚	26.6	200~600	360	9.6	0.001~0.04	0.01	0.27
藻場とサンゴ礁	0.6	500~4000	2500	1.6	0.040~4	2	1.2
入江	1.4	200~3500	1500	2.1	0.010~6	1	1.4
海洋合計	361.0		152	55.0		0.01	3.9

ホイタッカー (1979) をもとに作成

サンゴ礁に流入してくる有機態の浮遊物や海底に堆積した有機物はサンゴや他のベントスによって摂食され、その量が減少する。海水中の懸濁態粒子は、サンゴや有孔虫由来の砂により濾過され、海底上のベントスの糞は底質中のバクテリアによって分解されて無機化される。このようにサンゴ礁はサンゴを中心とした物質循環を通して、海水を浄化する機能を有している（図 I.1-10）。

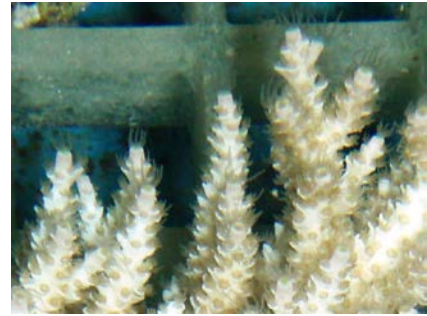


図 I.1-10 触手を伸ばして海中の有機物を摂餌

2) 観光・景観機能

図 I.1-11 に沖縄県の観光収入の推移を示す。沖縄県の観光客数や観光収入は増加傾向にある。観光客数は昭和 47 年（1972 年）の 56 万人と比較して、44 年後の平成 28 年（2016 年）では 877 万人と 15 倍以上、観光収入は 20 倍以上に増加している。観光客の約 36.2% が海水浴・マリンレジャー・ダイビングを目的としていることから（沖縄県 2017a）、サンゴ礁は大きな観光資源になっている（図 I.1-12）。

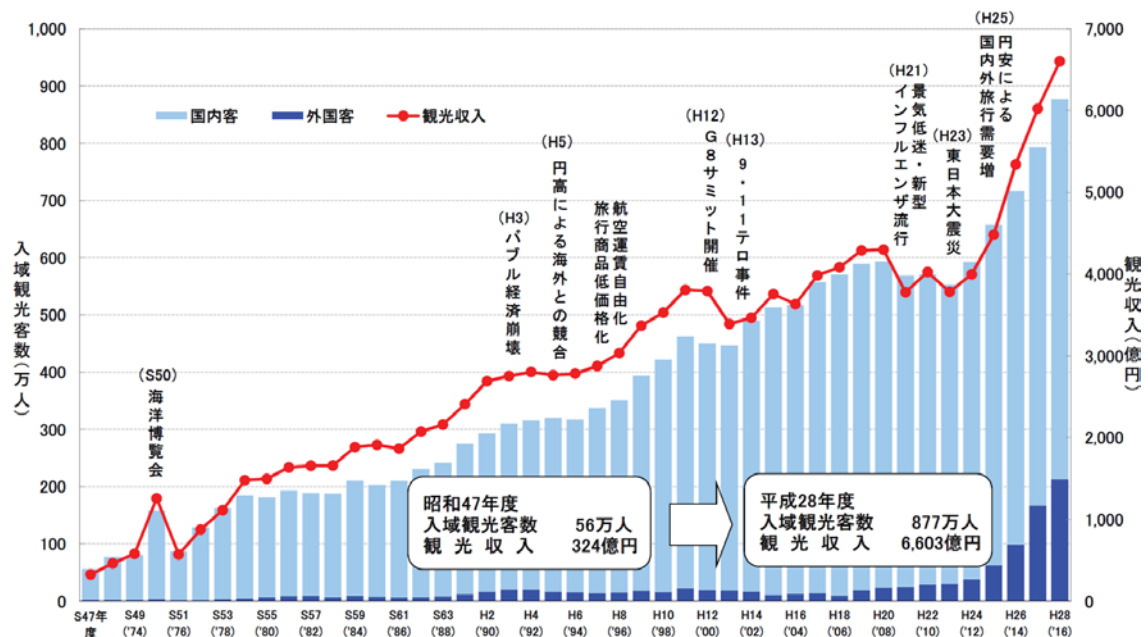


図 I.1-11 沖縄県の観光客数と観光収入の推移
(沖縄県 2017a)



図 I.1-12 美しいサンゴ礁の景観は安らぎを与え、レジャーの場となる

3) 防災機能

海岸線がサンゴ礁に取り囲まれていることで、津波や台風などの高波浪を砕波し、背後集落の人命・財産を海岸災害から保護している。この場合のサンゴ礁は自然の防波堤と言える。また、サンゴの骨格や有孔虫の殻はサンゴ礁内の砂となり、砂浜の形成に大きく貢献するとともに、海岸保全の重要な役割を果たしている（図 I.1-13）。



サンゴ礁は大波浪から島を護る

サンゴの骨格や有孔虫の殻で砂浜が造られる

図 I.1-13 サンゴ礁は防波堤の機能を持ち、サンゴは海浜を造る

4) 文化・教育研究の場としての機能

サンゴ礁域の住民は生活・文化・経済等においてサンゴ礁に大きく依存しており、サンゴ礁との関わりの中から神事や行事などの独自の文化が発達している。海の幸や航海の安全を祈願した海神祭やハーリーなどの神事のように、サンゴ礁がもたらす豊富な漁獲物なくして、これらの伝統的な文化の継承も難しい。健全なサンゴ礁生態系の存在は、これらの地域の持続・発展にとって重要である。

人間活動と環境との関わり方の理解と認識を養う環境教育の場や、学問研究の場としてもサンゴ礁は利用されている。水産庁では「水産多面的機能発揮対策事業」の中で、漁業者が中心となってサンゴ礁の保全活動に取り組むための、教育・学習の場として活用されている（図 I.1-14）。



図 I.1-14 水産多面的機能発揮対策事業（水産庁）

5) 地球環境変動の指標としての機能

サンゴの発育は地球の環境変動の影響を受け、残された骨格を調査することで過去の環境条件が推察できる。例えば、大型のハマサンゴからコアを採取してその年輪を用いて過

去数百年にわたる水温や降水量の復元を試みることができる。また、骨格の中から 酸素同位体比やマグネシウム／カルシウム比など古気候のよい指標となる化学成分の探索が可能である。サンゴ礁の分析から、エルニーニョと沖縄の気候の関係などが明らかにされるなど、サンゴ礁は地球環境変動の指標になっている。

1. 6 サンゴ礁の漁場としての機能

1) サンゴ礁の漁場としての機能

サンゴ礁はさまざまな生物の繁殖・成育・索餌場であり、水産生物の資源涵養の場である。サンゴ礁に囲まれている沖縄県では、伝統的に一本釣、延縄、小型定置網、潜水漁業、追い込み網漁、刺し網、採貝などの漁業やモズク、ヒトエグサ、タカセガイやシャコガイなどの養殖業が行われている。独特な漁法である追い込み網や電灯潜り漁では、タカサゴ類、ブダイ類、ハタ類、タコ、イカ、シャコガイなどの貝類などが漁獲されている。典型的なサンゴ礁漁業では、魚類だけでも 200～300 種が漁獲され、温帯域に比べて魚種が多いことが特徴である（図 I.1-15、図 I.1-16）。



図 I.1-15 サンゴ礁で漁獲される色彩豊かな魚介類



イノの魚垣（ナガキイ）



追い込み網



電灯を用いた素潜り漁

図 I.1-16 サンゴ礁域での伝統的漁法

(1) サンゴ礁海域の魚類相

サンゴ礁海域では、サンゴが生息しない砂地などに比べ、多様な魚類群集が形成されていることが一般的に知られている。その魚類群集の主要構成種は、スズメダイ類、ベラ類、チョウチョウウオ類、ニザダイ類、ブダイ類、イソギンポ類、ハタ類などである。サンゴは極めて多様な魚種を育ており、その一部が漁業を通じて利用されている。

サンゴ礁に生息する魚介類はサンゴ食性、プランクトン食性、藻食（植食）性、肉食性などが複雑な食物連鎖を形成しているが、このうち水産上の主な有用魚介類についての食物連鎖を図 I. 1-17 に示す。動物プランクトンを食べる魚種は、タカサゴ類、アイゴの稚魚、キビナゴ類などである。また、食物連鎖の上位に位置する魚介類はアオリイカやスジアラ、ハマフエフキなどであり、小魚やサンゴに依存して生息するエビ・カニ類などの小動物を餌として利用する。つまり、食物連鎖のピラミッドの底辺を構成するサンゴ依存の小動物の存在が肉食性魚介類の生産を支えている。また、アイゴ類、イスズミ類、ブダイ類の多くはサンゴ礁に生育する藻類を食べ、ブダイ類のなかにはサンゴを直接餌として利用しているものもいる。

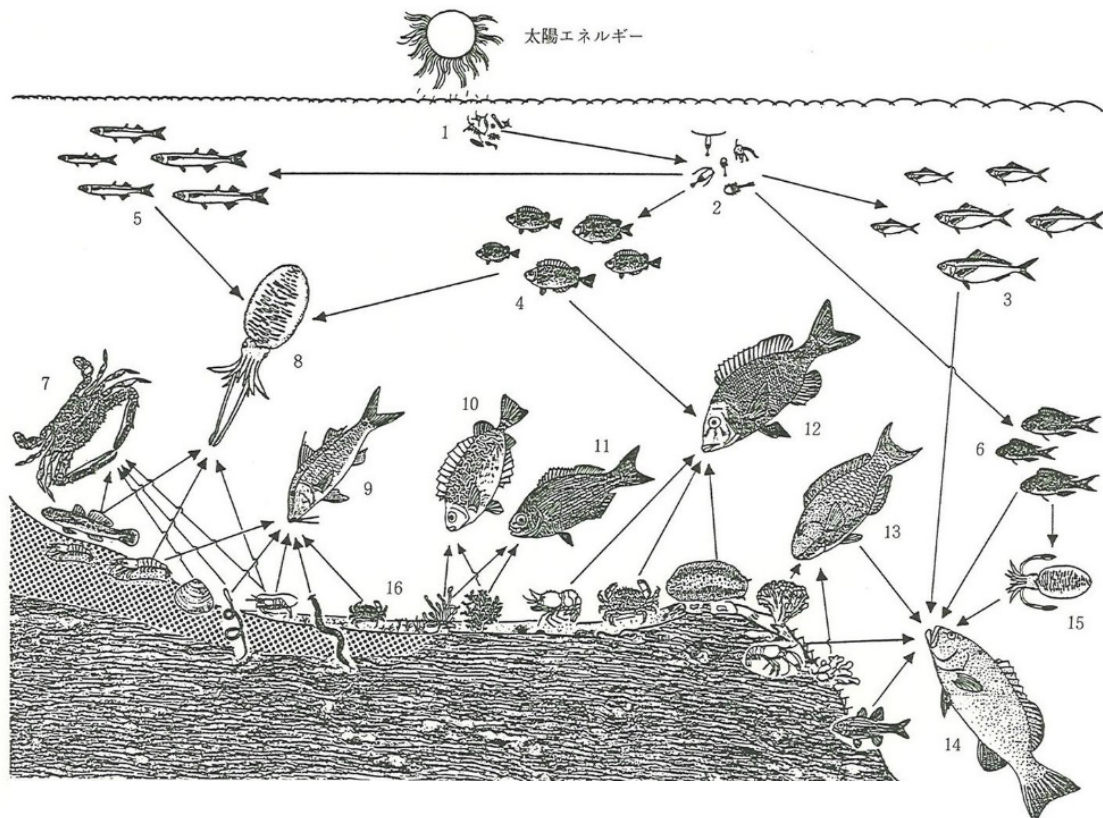


図 I. 1-17 サンゴ礁海域の有用魚介類を中心とする食物連鎖

（諸喜田 1988）

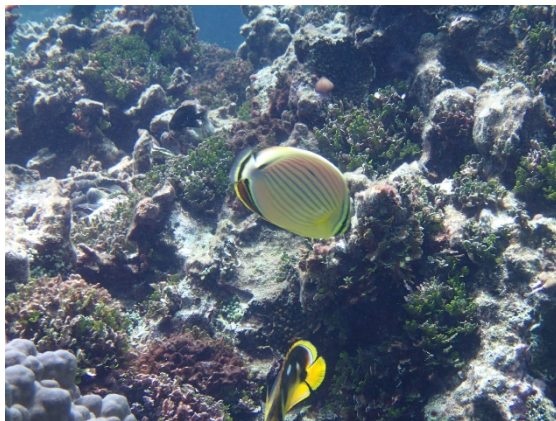
1. 植物プランクトン 2. 動物プランクトン 3. タカサゴ類（グルクン） 4. アイゴ類の稚魚（スク）
5. キビナゴ類 6. スズメダイ類 7. タイワンガサミ 8. アオリイカ 9. ヒメジ類 10. アイゴ類
11. メジナ類 12. ハマフエフキ（タマン） 13. イロブダイ 14. スジアラ（アカジン） 15. イカ類
16. その他底生生物

(2) サンゴと魚類との関係

サンゴと魚類との関わり方について、①サンゴを餌として利用する魚類、②サンゴがつくりだす立体的構造を生息場や餌場として利用する魚類という2つに大別することができる。

①サンゴを餌として利用する魚類

サンゴはそれ自身が魚類の餌となっている。佐野（1995）は、沖縄県のサンゴ礁域で採集した155種の魚類のうち、サンゴを専食していた魚（サンゴ食魚）は16種（約10%）、サンゴを餌の一部としていた魚は10種（約6%）で、全体の約16%がサンゴを餌としていたことを報告している。また、西表島の樹枝状ミドリイシ類からなるサンゴ群集域での調査でも、全確認種の21%、全確認個体の29%がサンゴを餌としていたことを報告している。チョウチョウウオの仲間などの多くのサンゴ食魚類は、サンゴ枝を突ついたり、その表面をかじったりして、サンゴの粘液やポリプのみを食べるが、コクテンフグやブダイの仲間等は、くちばし状の歯で、サンゴ枝の先端部を5mmぐらい切り取って、骨格ごと飲み込むことも知られている（図I.1-18）。



ミスジチョウチョウウオ（上）、シテンチョウチョウウオ（下）



オニハゲブダイ

図I.1-18 サンゴを餌として利用する魚類

②サンゴがつくりだす立体的構造を生息場や餌場として利用する魚類

サンゴによって形成される立体的構造が魚類の生息空間として利用されることが知られている。佐野（1995）は、西表島の樹枝状サンゴ群集域と対照区として砂地に対照域を各20 m²設けて調査し、サンゴ群集域では平均27種、155個体の魚類が生息していたのに対し、砂地では4種、6個体と圧倒的に少なかったと報告している。

また、サンゴ礁が魚類に対して果たしている役割を表I.1-4に示す5つに区分し、種類数は「採餌場・ねぐらグループ」や「採餌場・隠れ家グループ」が、個体数では「隠れ家グループ」が多くみられるとしている。これらの結果から、サンゴ骨格の複雑な構造は餌となる小動物に対する微細な住み場所や藻類に対する付着基盤を提供するため、多くの餌生物が生息可能であり、サンゴ骨格の立体構造は魚類の生息場所形成において不可欠な存在となっているとしている（図I.1-19）。

このように、サンゴ礁は多くの小動物や小型魚類に餌や隠れ場を提供し、食物連鎖の高次に位置する魚食性の大型魚類が小型魚類を求めてサンゴ礁に集まることにより、水産機能が発揮されている。

表 I.1-4 サンゴの利用タイプからみたカテゴリー分け

区 分	特 徴	魚 種
採餌場・隠れ家グループ	常にサンゴ枝の間やその近くにおいて、危険が迫るとすぐにサンゴの基部に逃げ込む。活動範囲は狭く、採餌場は隠れ家の中やその周辺にあり定住性が強い種類	スズメダイ類の多く、イギス類、ハセ類などの小型魚、中型のハセ類
採餌場・ねぐらグループ	昼間はサンゴ群集域の広い範囲を移動しながらサンゴ枝に住む魚類を含めた小動物や藻類を食べ、夜になるとサンゴ枝の間や基部等で寝る種類	ブダイ類、ニザダイ類、アイゴ類、ペー類（ニシペー属、タビペー属、モリノ属）、チョウチョウ類、ハヤガラ
採餌場グループ	サンゴ群集域の広い範囲をそこに棲む小動物を食べながら泳ぎ回り、夜はサンゴ群集以外（砂中）で寝る種類	カニハペー属やキューセン属などの中型のペー類
隠れ家グループ	サンゴの少し上に定位し、流れてくるプランクトンなどを食べているが、危険がせまるとすぐにサンゴの間に逃げ込む種類	サンゴ枝に棲んでいない生物を主な餌とする定住性が強い魚で、ネタイスメダイやミジリョウキウスメダイなどのスズメダイ類の一部を含む
ねぐらグループ	昼間はサンゴ礁上の中層や表層を広い範囲に遊泳し、動物プランクトンを食べるが、夜になるとサンゴの間や基部で寝る種類	デバスズメダイなどのスズメダイ類の一部の成魚

佐野（1995）をもとに作成



サンゴ礁の隙間に隠れるアオノメハタ



サンゴ礁内を遊泳するナンヨウカイワリ

図 I.1-19 サンゴ礁を生息場や餌場として利用する魚類

2) 水産業への影響

サンゴ礁海域に生息する魚類を多く漁獲する沖縄県の漁獲量は年々減少しており、サンゴ礁の衰退との関係が指摘されているところである。図 I.1-20 に沖縄県のサンゴ礁域の主な魚介類の漁獲量の経年変化を示す。これによると、ほとんどの種で漁獲量は減少傾向にある。平成 18 年（2006 年）の漁獲量を昭和 61 年（1986 年）の漁獲量と比べると、漁獲量の多い「その他のタイ類（ハマフエフキやその他）」は約 20%に、「ブダイ類」は約 40%に落ち込んでいる。特に、タカサゴ類（地方名；グルクン）は昭和 56 年（1981 年）には 1200 トン以上あった漁獲量が、平成 17 年（2005 年）には 200 トン強に減少した。これは、最近のサンゴ礁の荒廃による影響と乱獲による水産資源の減少（例えば、鹿熊 2004）が原因とされている。

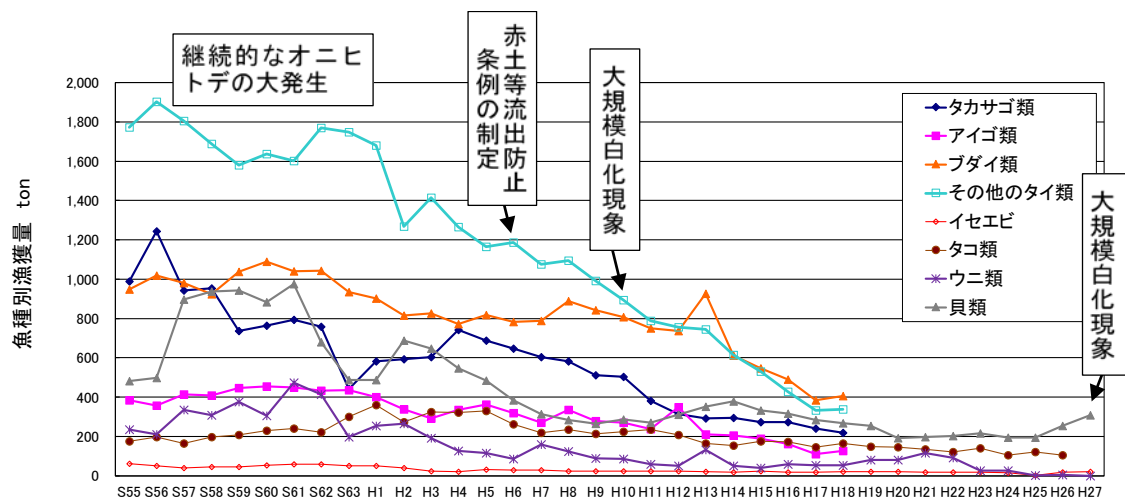


図 I.1-20 サンゴ礁域の主な魚介類の漁獲量推移
内閣府沖縄総合事務局農林水産部(2017)等 をもとに作成

(1) サンゴの減少と魚類との関わり

佐野（1995）は、西表島で樹枝状サンゴ群集域とオニヒトデの食害によりサンゴのつくりだした立体的構造が減少した場所で魚類相を比較している。これによると、立体的構造が部分的に壊れた状態では魚の種類数は65%、個体数は30%に減少し、立体的構造が完全に消滅した状態では生息する魚類の種類数はサンゴが生きていた時の28%に、個体数は8%に減少したと報告している（表I.1-5）。このことから、サンゴの減少は生息する魚類の種数、個体数の減少をもたらし、特に多くの種類からなるサンゴ群集が作る立体的構造が崩壊した後は魚類の種数や個体数の減少が一層顕著になることを明らかにした。

つまり、サンゴの減少は漁獲対象魚種の減少につながり、漁業にも決定的な影響を与えらると言える。

表 I.1-5 樹枝状サンゴの生死および死亡後の崩壊の程度と魚類の種類及び個体数の関係

	サンゴが生きている状態	サンゴが死滅し部分的に立体的構造が崩壊	サンゴが死滅し完全に立体的構造が崩壊
魚の種類/20㎡	34.6 (100%)	22.6 (65%)	9.8 (28%)
魚の個体数/20㎡	218 (100%)	66.4 (30%)	18.4 (8%)

注) () 内の数値はサンゴが生きている状態での種類数、個体数に対する割合を示す。

佐野(1995)をもとに作成

(2) サンゴの減少と漁獲量の関係

沖縄県の漁業を種類別に分類すると、①遠洋・近海・沿岸を漁場とするカツオ・マグロを対象とする一本釣、延縄漁業、②サンゴ礁外の大陸棚で営まれる曳縄（カツオ・マグロ）、延縄漁業（マチ類等）とソデイカを対象とする沿岸イカ釣り漁業、③サンゴ礁の礁斜面及びサンゴ礁域で営まれる刺網、一本釣、大型定置網漁業、④主としてサンゴ礁域で営まれている敷網、小型定置網、採貝、採藻、建干網、追込み網、潜水器、その他の漁業の4つに大別できる。①、②はサンゴ礁の生態系とは独立しているのに対し、③と④の漁業はサン

ゴ礁と深くかかわる漁業である。

サンゴの大規模白化が起こった 1998 年前後 3 年間の漁場区分別の年平均生産量を表 I.1-6 に示す。沖縄県の総漁獲量は年々減少の一途を辿っているが、中でもサンゴ礁域周辺での漁業生産の減少が著しい。サンゴ礁の縁辺部やサンゴ礁内での漁業の割合は、全漁獲量の 1/4 程度を占めているが、大規模白化後の生産量は大きく落ち込み、漁業生産全体に占めるシェアも低下している。

表 I.1-6 サンゴ礁海域の主な魚介類の漁獲量推移（沖縄県）

漁場区分	3ヶ年の平均生産量(トン)			割合(%)		
	92～94	98～00	04～06	92～94	98～00	04～06
1. カツオ・マグロ漁業	14,308	9,747	9,612	52	44	52
2. リーフ外の漁業	5,552	6,249	4,737	20	28	26
3. 準サンゴ礁の漁業	3,422	2,684	1,816	12	12	10
4. サンゴ礁の漁業	4,459	3,277	2,322	16	15	13
合計	27,762	21,958	18,487	100	100	100
3～4の合計	7,881	5,960	4,138	28	27	22

内閣府沖縄総合事務局農林水産部(2010)等 をもとに作成

以上のとおり、サンゴの減少は、魚類の餌や魚類自体の減少をもたらし、さらにはサンゴ礁の立体的構造が消滅することにより、その減少がより一層顕著になることが伺える。それに伴い、サンゴ礁周辺での漁獲量も減少し、水産業に決定的な影響を与えることが指摘されており、水産振興の観点からもサンゴ礁の保全・再生が強く求められている。

1. 7 サンゴ礁の価値

サンゴ礁の多様な機能に対して、それらの価値を定量的に評価する試みがなされている。サンゴ礁の価値を分類すると利用価値と非利用価値に大別され、利用価値はさらに、漁業、観賞魚の漁獲、建設資材（石灰岩や砂）、観光（ダイビング、海水浴、エコツアー等）などの直接利用価値と、海岸保護や漁業生産の基盤となる生態系の維持などの間接利用価値に分類される。これらの価値は比較的試算が容易であり、様々な試算がなされている。Cesar et al. (2003) は、世界のサンゴ礁がもたらす経済的利益について、年間約 298.3 億ドル、日本のサンゴ礁で年間約 16.7 億ドルと試算している（表 I.1-7）。

また、環境省では、国内のサンゴ礁の保全を推進するための行動計画を 2008～2009 年にかけて検討しており、「サンゴ礁生態系保全行動計画」（環境省 2010）が策定された。この中では、日本のサンゴ礁域（沖縄、奄美、小笠原）を対象に経済的価値を試算しており、年間で、「観光・レクリエーション」 2,399 億円、「漁業（商業用海産物）」 107 億円、「海岸防護機能」 75.2 億～839 億円と試算している。

表 I.1-7 地域ごとのサンゴ礁の潜在的年間純利益と正味現在価値

単位：100 万米ドル

	東南アジア	カリブ海 (米国を除く)	インド洋	太平洋 (米国を除く)	日本	米国	オーストラリア	世界
サンゴ礁面積(km ²)	89,000	19,000	54,000	67,000	3,000	3,000	49,000	284,000
漁業	2,281	391	969	1,060	89	70	858	5,718
沿岸の保護	5,047	720	1,595	579	268	172	629	9,009
観光業/レクリエーション	4,872	663	1,408	269	779	483	1,147	9,621
生物学的価値	458	79	199	172	529	401	3,645	5,483
合計	12,658	1,853	4,171	2,079	1,665	1,126	6,278	29,830
NPV(3%で)	338,348	49,527	111,484	55,584	44,500	30,097	167,819	797,359

Cesar et al. (2003) をもとに作成

一方、非利用価値は、子孫に残す遺産価値や美しい景観、貴重な生態系が存続する存在価値がある。NGO などの多くの寄付は遺産価値であり、サンゴ礁で行われている祭事などは存在価値になる。これらの価値は一般的には試算しにくい。呉 (2008) は、2002 年に慶良間諸島、恩納村、那覇市内でアンケート調査を行い、仮想評価法 (CVM) によりサンゴ礁の非利用価値を試算しており、日本のサンゴ礁が 3 千億円以上の非利用価値があると試算されている。

1. 8 サンゴ礁の現状

近年、地球温暖化やエルニーニョ現象等による大規模な白化現象、陸域からの排水や土砂流出等の人為的な影響、オニヒトデ等による食害による被害など、サンゴ群集の衰退が各地で深刻化している。特に、1997～1998年には世界的に大規模な白化現象が認められ、2016～2017年にも世界的に大規模な白化現象が認められた。

環境省では、2003年度より「重要生態系監視地域モニタリング推進事業（以下、「モニタリングサイト1000」という）を開始し、サンゴ礁生態系においても造礁サンゴ類を指標生物としてモニタリング調査を実施し、2013年度までの10年間の調査結果をとりまとめている。これによると、主なサンゴ礁域でのサンゴ被度は、白化現象、台風、オニヒトデの大発生等により減少傾向が認められ、その後もサンゴ被度は十分に回復していないことが報告されている（環境省 2015a）。

さらに、2016～2017年の世界的な海水温の上昇により、広範囲で大規模な白化現象が発生した。グレートバリアリーフでは、2年連続で白化現象が確認され、一部海域では全体の2/3が白化現象で死滅したことが報告されている（Hughes et al. 2017）。日本では、宮古島～西表島にかけての先島諸島でサンゴ被度の低下が顕著であり、前述のモニタリングサイト1000の結果では、石西礁湖において平均白化率90%以上、死亡率2/3以上の調査結果が報告されている（図 I.1-21）。



図 I.1-21 サンゴの白化現象

このように、サンゴ礁は地球温暖化による海面上昇や海水温の上昇などの地球的規模で起こる環境ストレスに曝されている。加えて赤土の流入や海水の富栄養化などの地域的な環境ストレスが複合して作用するため、サンゴ礁は危機的な状況にある。以下に、サンゴ礁形成の阻害要因を示す。

1) 地球規模で起こる環境ストレス

(1) 高水温によるサンゴの白化現象

地球温暖化の影響により、高水温の発生する頻度が高くなり、高い海水温が継続するとサンゴに共生している褐虫藻が体内から喪失する。その結果、サンゴ自体の骨格が透けて、白く見えるサンゴの白化現象が起こる。さらに、この状態が長く続くとサンゴは褐虫藻から栄養を受け取ることができず、やがて死滅する。広範囲に及ぶサンゴの白化現象は、サンゴ礁の衰退を招く大きな原因の一つである。サンゴの白化現象は、高水温の他に低水温、強い光、紫外線、低塩分などの強いストレスが原因となることもある。

我が国では、1980年に初めて大規模な白化現象が観察され、その後、各地で頻繁に白化現象が発生している。近年では、1998年と2015～2016年にかけて起きた世界的な海水温上昇に伴う大規模な白化が、サンゴ礁に大きな影響を及ぼした。

白化現象と高水温の閾値については、国内では平均水温が30℃を上回ると白化する可能性が高いことが示されていた。近年では対象とする海域の過去の最暖月の水温を基準にし

て週積算高水温値(DHW: Degree Heating Week)による評価が NOAA により提唱されている(Liu et al. 2006)。

(2) 台風の巨大化によるサンゴの破壊

台風が通過した後に、礁嶺に成育する大きなテーブル状のサンゴが根元から折れることがある。台風の巨大化により、波高が増大すると、それに比例して波圧や流速が増大するため、今後、図 I.1-22 に示すようにサンゴの破壊が進行することが危惧されている。さらに、海面上昇によって多くの外洋の波浪エネルギーがサンゴ礁や海岸に到達するようになることが予想され、台風の巨大化とあいまって、サンゴ礁の破壊が進んで防災機能が損なわれることが危惧されている(Hongo et al. 2012)。

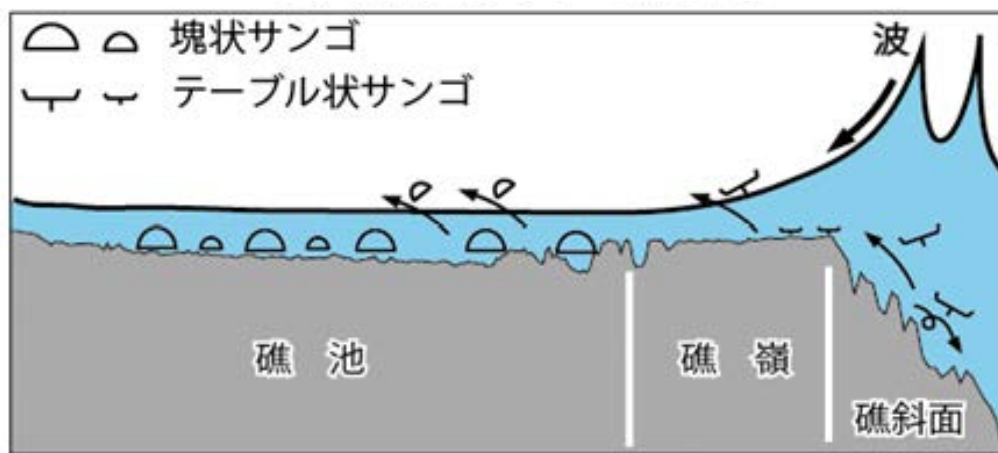


図 I.1-22 台風の巨大化によるサンゴ礁の破壊
Hongo et al. (2012)より作成

(3) 海洋の酸性化によるサンゴの衰退の恐れ

二酸化炭素の増加はサンゴ礁に大きな影響を与える恐れがある。大気から海に取り込まれる二酸化炭素は、水と反応して pH を低下させ、アルカリ性 (pH8.1~8.2) から中性 (pH7) に近づく。この反応は「海洋の酸性化」と呼ばれている。「海洋の酸性化」は、石灰化に必要な炭酸イオン濃度を下げるため、炭酸カルシウムを主成分とするサンゴや有孔虫あるいは無節サンゴモなどの成長が阻害される恐れがある(日本サンゴ礁学会 2011 等)。

「海洋の酸性化」は、一部の高緯度海域で数十年のうちに現れ始めると警告されている(Orr et al. 2005)。気象庁(2017)は、2016 年の世界の二酸化炭素濃度の平均濃度は前年と比べて 3.3ppm 増えて 403.3ppm となっているとしている。今後、大気中の二酸化炭素が毎年 1ppm 以上上昇すると、100 年以内に二酸化炭素濃度は 450~500ppm に達し、サンゴ礁の浸食が石灰化速度を上回ることが懸念されている(Kleypas・Langdon 2006)。

【コラム】白化指標としての DHW（週積算高水温）の評価

NOAA は、衛星によって得られた海面水温データから DHW を求めて、これに基づいて白化の警告予報を出している。過去の大規模白化の記録と DHW とを比較して、DHW の白化指標としての有効性を検証した (Liu et al. 2006)。

DHW とは、当該海域において週平均海面水温が同海域の最暖月平均水温 (=白化の閾値) を 1°C 以上超える週を対象に、週平均海面水温が最暖月平均水温を超過する値を 12 週間分積算した値 (年間で積算値が最大となる連続した 12 週間を設定) である。DHW が 4°C を超えると白化が発生し、 8°C を超えると大規模な白化とサンゴの斃死が起これとされる。

Kayanne (2017) は、北西太平洋の 8 地点 (串本、高知、奄美大島、沖縄本島、石垣島、小笠原諸島、グアム、パラオ) を検証地点として、1982 年から 2015 年までの大規模白化の記録と DHW とを比較した。その結果、これらの地点における大規模白化の年は DHW が 8°C 以上を超えており、白化と DHW は正の相関があることを確認した。

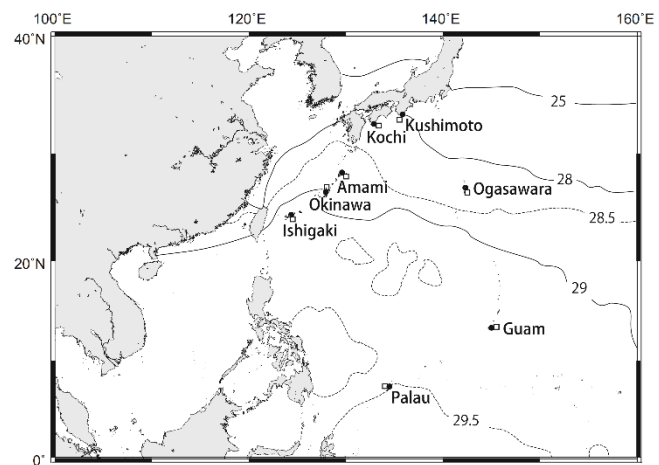


図 1 検証地点および最暖月平均水温 ($^{\circ}\text{C}$)

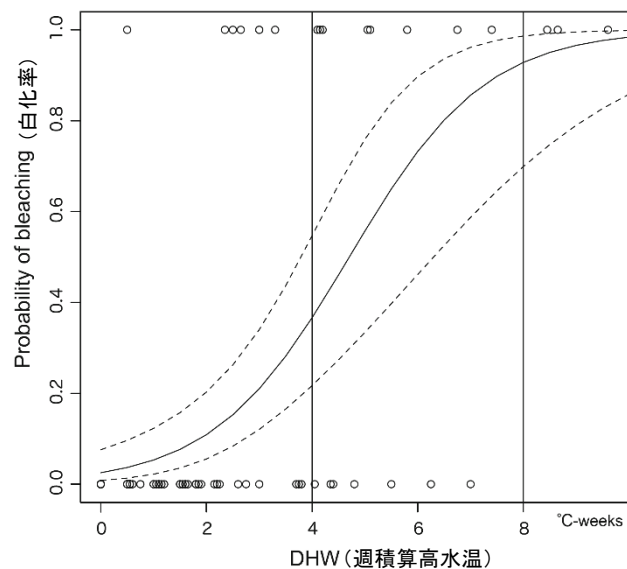


図 2 1982～2015 年における DHW と白化率の相関図

2) 地域的な環境ストレス

地球規模の環境ストレスに対して、地先のサンゴ礁では表 I.1-8 に示すような地域的な環境ストレスが考えられる。

表 I.1-8 地域的な環境ストレス

ストレス	概 要
食害生物の増加	食害動物（オニヒトデやシロレイシガイダマシ類など）の増加によりサンゴの生残や成長が阻害される。特に、オニヒトデの大発生は広い範囲でサンゴの死滅をもたらす。
サンゴの加入量不足	白化現象や食害により、親サンゴが広範囲に死滅すると、海域の総産卵量が減り、受精の機会が減ってしまうため、幼生が不足し、幼生の加入が難しくなる。
海藻類の増加	植食動物（アイゴ、タカセガイなど）の減少や海中の富栄養化が原因で、海藻や微細藻類が繁茂し、基盤を優占すると幼生の加入が阻害される。
瓦礫の移動によるサンゴの破壊	波によりサンゴ瓦礫が大きく移動する海底では、サンゴ瓦礫が海底を摩耗するため、幼生の成長を阻害したり、サンゴを破壊したりする。
透明度の低下と浮泥の堆積	汚濁河川水の流入により、濁りが透明度を低下させ、長期にわたって光量不足が続くと成長が阻害される。また、浮泥の堆積は、幼生の加入や成長を阻害する。
赤土の流入	赤土の流入は、濁りで透明度を低下させ、長期にわたって光量不足が続くと、サンゴの成長が阻害される。また、赤土の堆積はサンゴのへい死をもたらす。
富栄養化	農地からの肥料や畜産ふん尿、あるいは生活雑排水が流入し、富栄養化した海中では、基盤上に海藻類が繁茂し、幼生の加入や成長を阻害することがある。また、植物プランクトンが増殖して透明度が低下し、サンゴの成長が阻害される。
過剰な観光利用・乱獲	海水浴やマリレジャーは、故意ではなくても踏みつけやフィンなどでサンゴを折損・破壊することがある。また、乱獲による水産生物の減少は、サンゴ礁の生態系に影響を与え、例えば、藻食性魚類が乱獲によって減れば、海藻類が増えて、サンゴが減少することがある。
サンゴの病気	近年、いろいろなストレスで弱ったサンゴにブラックバンドディーズ（黒帯病＝細菌による壊死）やホワイトシンδροーム（サンゴの組織が帯状に白く壊死する病気）などの感染症や腫瘍（骨格形成異常）が広がっている。

(1) 食害生物の増加

サンゴの食害生物としてはオニヒトデ、シロレイシガイダマシ類、ブダイ類の一部、ガンガゼなどが代表的である。その中でも、オニヒトデやシロレイシガイダマシ類の大発生はサンゴ礁に大きな影響を与える（日本サンゴ礁学会 2011 等）。

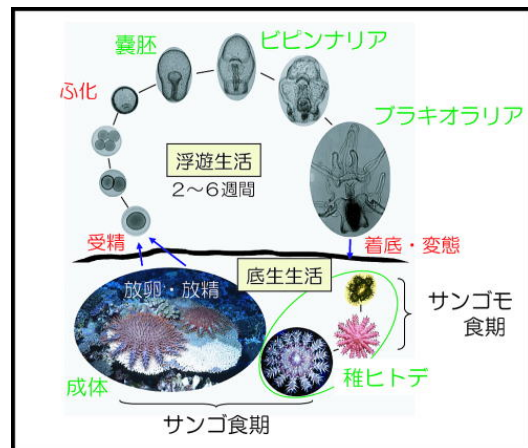
● オニヒトデ

太平洋やインド洋に分布し、大きいもので直径 50cm 位になる。腕は 13～15 本あり、背面は棘で覆われ、体色は灰色・オレンジ色・紫色で棘の先端は赤色。6～7 月に産卵し、受精後、海面近くを浮遊幼生として数週間ほど漂い、着生後にヒトデ型に変態する。稚ヒトデは海藻のサンゴモ（石灰藻）等を餌料とし、直径 8～10mm に成長するとサンゴを捕食する。寿命は 6～8 年。摂食時は口から胃を出して裏返しに広げてサンゴに押し付け、消化吸収する。1 匹で 1 年に 5～13 m² のサンゴを食べる。天敵はホラガイ、フリソデエビ、フグの仲間、モンガラカワハギ等である（図 I.1-23）。

沖縄県では、1970 年代に大発生し、1970 年代末には沖縄本島のサンゴ礁がほぼ全滅した。1990 年代に入ってしばらくはオニヒトデが減少し、サンゴが回復する兆しがみられたが、2000 年から 2006 年頃に再びオニヒトデが増加し、八重山諸島を含めて全域で食害による被害がみられた。オニヒトデの大発生の原因は明らかではないが、自然発生説と人為的な要因で沿岸域に流出した過剰な栄養塩がオニヒトデ幼生の餌となる植物プランクトンを増やし、結果としてオニヒトデの大発生につながるという説が有力である。また、オニヒトデ幼生の捕食者（魚類）の減少が一因とも考えられている。



オニヒトデによるサンゴの捕食



オニヒトデの生活史
横地(2004)

図 I.1-23 オニヒトデ

● シロレイシガイダマシ類

シロレイシガイダマシ類は、時々大発生してサンゴに被害を与える巻貝である。殻長は 4cm 以下で、多くは本州中部以南のサンゴ生息域に分布する。この種は歯舌によってサンゴの軟組織を掻き取るように食べる。これまで、東京都の三宅島、宮崎県の日南海岸、四国の足摺・宇和海、長崎県の天草などで大発生してサンゴに被害を与えている。琉球列島

でもシロレイシガイダマシ類の食害が報告されているが、オニヒトデのような広範囲にわたる被害には至っていない（図 I.1-24）。

シロレイシガイダマシ類は分散して生息するのではなく、サンゴの 1 群体に数個から十数個が集団となって分布し、大発生すると 1 群体に数千個の貝が蟄集する。食害や外傷によるストレスを受けたサンゴが分泌する粘液に誘引される（谷口 2005）。



図 I.1-24 シロレイシガイダマシ類とその食害によるサンゴの白化



図 I.1-25 その他の食害動物（左：ブダイ、右：ガンガゼ（提供 松永育之氏））

(2) サンゴの加入量不足

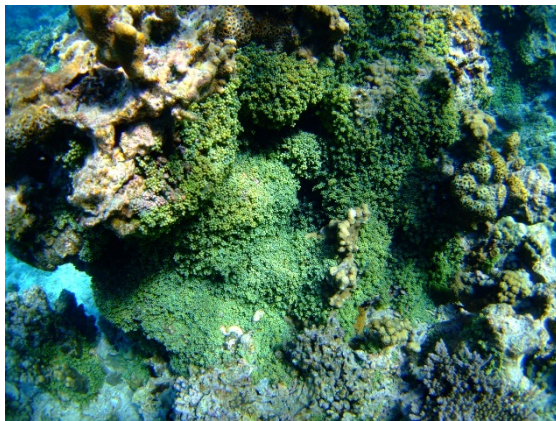
白化現象や食害により、親サンゴが広範囲に死滅すると、海域の総産卵量が減り、受精の機会が減ってしまうため、幼生が不足し、新規加入が難しくなる（日本サンゴ礁学会 2011 等）。

多くのサンゴは同じ種で違う親から生まれた卵と精子が受精する。同じ親から生まれた卵と精子は受精しない。したがって、受精のためには同じ種の複数の親群体が近くにあって、それぞれの卵と精子が混じり合う必要がある。大規模な白化や食害で広範囲にサンゴが衰退するとサンゴ群体間の距離が広がり、群体間の有効な受精が期待されなくなる。受精率が低下すると、幼生の新規加入量が減少し、サンゴ礁の回復が遅くなることが懸念される（大森・岩尾 2014）。

(3) 海藻類の増加

植食動物（アイゴ、タカセガイなど）の減少や海中の富栄養化が原因で、海藻や微細藻類が繁茂し、これらが基盤を優占すると幼生の加入が阻害される。

サンゴが成育する岩礁には、イワズタ類やウミウチワ類、ホンダワラ類などの海藻も着生する。また、サンゴ群体がへい死すると、骨格上を覆うように生長の速いラン藻などが着生する。海藻類とサンゴは基盤を競合する関係にあるため、栄養塩濃度の高い河川水が豊富に流入したり、藻食性魚類が漁獲されて数を減らした場所では、海藻類が著しく増えて基盤面を覆い、幼生の加入や成長を阻害することがある（日本サンゴ礁学会 2011 等）（図 I.1-26）。



イワズタ類



ホンダワラ類



ウスユキウチワ（提供 二宮早由子氏）



マット状に岩面を覆うラン藻

図 I.1-26 サンゴ礁に分布する藻類

(4) 瓦礫の移動によるサンゴの破壊

激浪時の漂砂がサンゴ幼生の加入や成長を阻害することが知られている（安藤ほか 2009 等）。死んだサンゴの骨格は、強い波や流れなどによって次第に崩壊し、瓦礫となって海底に溜まる（図 I.1-27）。海底近くに着生、成育したサンゴは、砂やサンゴ瓦礫の移動・衝突によって、壊れたり擦られたり、あるいは、砂に埋没して成長が阻害されることがある（図 I.1-28）。



図 I . 1-27 サンゴの瓦礫



図 I . 1-28 砂に埋没したサンゴ

(5) 透明度の低下と浮泥の堆積

サンゴに共生する褐虫藻は、光合成産物をサンゴに提供している。しかし、濁った河川水の流入や海域の富栄養化によって、海水中の懸濁物が増えると透明度が低下し、褐虫藻の光合成が阻害されて、サンゴの成長が阻害される。また、サンゴの上に積もった浮泥をサンゴは触手や粘液で払拭するが、それにエネルギーを消耗し、摂餌の機会が減少するため、成長が阻害されることがある（山里 1991 等）（図 I . 1-29、図 I . 1-30）。



図 I . 1-29 透明度の低い海底の状況



図 I . 1-30 浮泥の堆積したサンゴ

(6) 赤土の流入

サンゴ礁の島々を覆う粘土質の酸性土壌（赤土）は、降雨時に農地や開発地域などから海へ流れ込むことがある。この粘土やシルト分が多い赤土は粒径が小さいため、水中での沈降速度が遅く、濁りが継続する。そのため、褐虫藻の光合成が阻害されて、サンゴの成長が阻害される。堆積した赤土は波浪によって懸濁することで影響を長期化させる。また、赤土がサンゴの上に堆積すると、サンゴの呼吸が妨げられ、へい死に至るとされている（土屋・藤田 2009 等）。

沖縄県では道路建設や農地の改良事業で赤土の流出が増加したため、平成 7 年（1995 年）に「沖縄県赤土等流出防止条例」が施行された。大規模な開発事業からの流出量は、施行前の平成 5 年（1992 年）の 16.7 万トン/年から平成 23 年（2011 年）は 2.5 万トン/年まで減少した。しかし、農地からの赤土流出量は一向に減らない状況が続いている（図 I.1-31、図 I.1-32）。

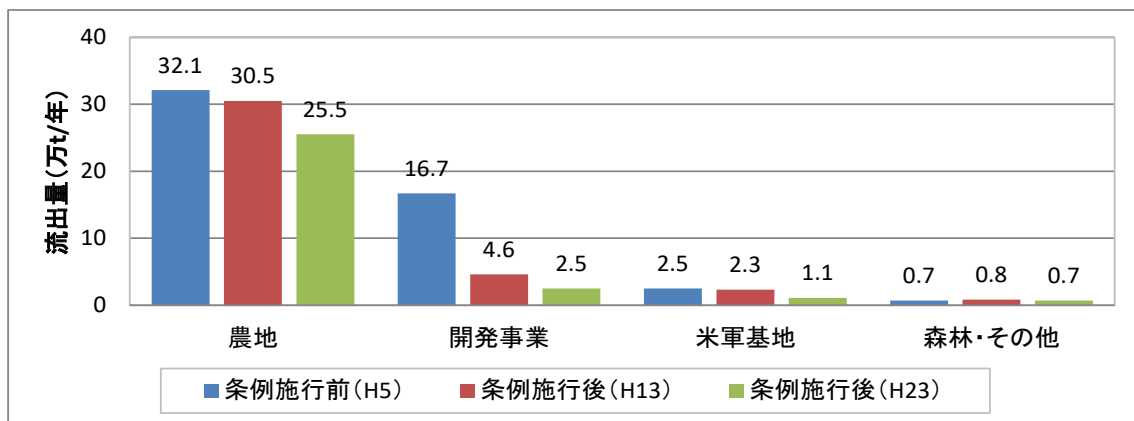


図 I.1-31 赤土等の年間流出量の推定
沖縄県（2013）をもとに作成



図 I.1-32 赤土の流入状況

(7) 富栄養化

降雨が続くと農地の肥料や畜産業で発生するふん尿等から、窒素やリン等の栄養塩が海に流入することがある。また、生活雑排水も河川を通じて海に流入することがある。このような栄養塩濃度の高い水が海水交換の少ない湾や入江に流入すると、海水は富栄養状態へと移行する。サンゴ礁海域で富栄養化が進むと、着生場所を競合する海藻が優占し、サンゴが減少する傾向がある（日本サンゴ礁学会 2011 等）。

さらに富栄養化が進むと、海水中の植物プランクトンが異常に発生するなどして海水を汚濁するため、褐虫藻の光合成が阻害されて、サンゴの成長が阻害される。また、付着藻類が増殖しやすくなり、基盤にマット状の藻類が繁茂すると、サンゴの幼生の着生場所が不足する。仮に基盤上にサンゴの幼生が着生できたとしても、付着藻類に覆われて、サンゴの成長が阻害される。

(8) 過剰な観光利用・乱獲

海水浴やマリネレジャーは、故意ではなくてもサンゴを折損・破壊することがある。また、乱獲による水産生物の減少は、サンゴ礁の生態系に影響を与える。例えば、藻食性魚類が乱獲によって減ると海藻類が増えて、サンゴが減少することがある（日本サンゴ礁学会 2011 等）。

美しいサンゴ礁は、海水浴やマリネレジャーの場として利用されている。沖縄県の観光客は年間数百万人で、海水浴・マリネレジャー・ダイビング・釣などを楽しむ観光客はその 1/3 を占めている。ゴミの投棄、釣り餌の投棄、釣り糸の放置（図 I.1-33）、サンゴ礁への立ち入り、遊泳による踏みつけ、不慣れなダイビングによるサンゴの折損、プレジャーボートの投錨によるサンゴの破壊（図 I.1-34）等は、サンゴ礁に様々な悪影響を与える。

サンゴ礁の漁業資源は、健全なサンゴ礁生態系が維持されないと保てない。水産生物の乱獲はサンゴ礁の破壊に繋がる（日本サンゴ礁学会 2011）。特に、海藻を食べるブダイ、クロハギやハクセイハギ等を乱獲すると、海藻を繁殖させ、サンゴ礁の衰退の原因となる。ブダイ類の一部はサンゴの食害生物でもあるが、獲りすぎには注意が必要である。



図 I.1-33 釣り糸が絡んだサンゴ
(提供 山木克則氏)



図 I.1-34 投錨によるダメージ
(提供 松永育之氏)

サンゴ礁生態系に悪影響があると言われている漁法には、爆弾漁、シアン化合物漁、養殖、カゴ漁、追込網などがある。日本では爆弾漁やシアン化合物漁等の破壊的漁業は現在行われていない。また、カゴ漁はサンゴを折損することがあり、追込網もサンゴを破壊して魚を追いつめることがあるため、フィリピンやインドネシアでは禁じられている（鹿熊 2007）。

(9) サンゴの病気

近年、黒帯病（ブラックバンドディゼイズ＝細菌による壊死）やホワイトシンドローム（サンゴの組織が帯状に白く壊死する病気）などの感染症や腫瘍（骨格形成異常）が広がっている（日本サンゴ礁学会 2011 等）。

高水温や水質汚濁を原因とする指摘もあるが、実際の因果関係ははっきりしていないため、今後の研究が待たれる。日本で確認されている主な病気を表 I.1-9 に示す。

黒帯病は最も古くから確認されている病気である。サンゴの軟組織に細菌が侵入し、黒い帯状となるので容易に認識できる。また、ホワイトシンドロームはサンゴの体組織が壊死して剥がれ落ち、骨格が露出する病気で、病変部の拡大が速いのが特徴である。原因は解明されておらず、2003 年頃から石西礁湖や慶良間で確認されている。その他、ハマサンゴ類紅斑病は原生動物が原因の病気である。この病気によく似た色素沈着が、沖縄本島の備瀬の礁池などで確認されている（日本サンゴ礁学会 2011）。腫瘍は骨格が盛り上がり、褐虫藻の密度が低下するので判りやすい病気である。骨格が脆くなり生殖異常を起こすため病気とされている。慶良間や与那国では、特定のサンゴ種に大量に発症していることが報告されている（日本サンゴ礁学会 2011 等）（図 I.1-35）。

なお、種苗生産時には細菌性の感染症として Rapid tissue necrosis により稚サンゴの組織が壊死することがある。

表 I.1-9 我が国で確認されている主なサンゴの病気

疾病名	英 名	略 号	病 因	罹患生物
黒帯病	Black band disease	BBD	細菌群	造礁サンゴ、八放サンゴ
ホワイトシンドローム	White syndrome	WS	不明	造礁サンゴ
ハマサンゴ類の紅斑病	Porites pink blotch disease	PPBD	原生動物	造礁サンゴ

日本サンゴ礁学会（2011）をもとに作成

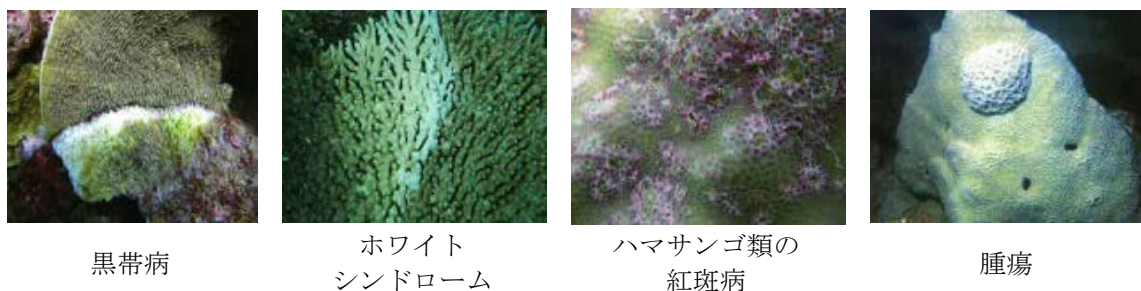


図 I.1-35 サンゴの病気 日本サンゴ礁学会（2011）

1. 9 新たな取り組み

近年の気候変動の影響によりサンゴ礁の衰退は著しく、保全・再生に向けた新たな取り組みが始まっている。

1) 国の取り組み

気候変動による様々な影響に対し、政府全体として整合のとれた取組を総合的かつ計画的に推進するため、2015年11月25日の第3回気候変動の影響への適応に関する関係府省庁連絡会議において、「気候変動の影響への適応計画（閣議決定案）」が取りまとめられ、「気候変動の影響への適応計画」が閣議決定された（環境省 2015b）。分野別施策の基本的方向として自然生態系の沿岸生態系に関する適応の農林水産省と環境省の基本的な施策として、藻場・干潟・サンゴ礁域においてモニタリングを重点的に行うことと、必要に応じて保全・再生を行って生態系ネットワークの形成を推進することが示されている。

2) 環境省の取り組み

環境省では、2010年度に策定された「サンゴ礁生態系保全行動計画」を改訂し、2016年度以降の5か年間のサンゴ礁生態系の保全のための行動計画として新たに「サンゴ礁生態系保全行動計画 2016-2020」を策定した（環境省 2016）。サンゴ群集が発達している「サンゴ礁域」に加えて、九州本島以北の「高緯度サンゴ群集域」も対象とする生態系としている。重点課題としては、陸域に由来する赤土等の土砂及び栄養塩等への対策の推進、サンゴ礁生態系における持続可能なツーリズムの推進、地域の暮らしとサンゴ礁生態系のつながりの構築をあげている。

2016年の石西礁湖の大規模な白化・衰退によるサンゴ礁の危機的状況を受けて2017年4月には「サンゴ大規模白化緊急対策会議」が開催され（環境省 2017）、白化の現状と白化対策に関する最新の知見を共有し、意見交換を通じて緊急宣言が取りまとめられている。

具体的な取り組みとしては、環境省は2006年から石西礁湖自然再生協議会を支援して国内最大のサンゴ礁である石西礁湖のサンゴ礁再生に取り組んでいる。

3) 水産庁の取り組み

水産庁では、水産基盤整備事業で生態系全体の生産力の底上げを目指し、水産生物の生活史に対応した良好な生息環境空間を早期に修復・再生する事業を実施している。2013年からは水産多面的機能発揮対策事業として、藻場、干潟、ヨシ帯に加えてサンゴ礁についても環境・生態系保全を支援する活動を行っている。サンゴ礁の保全については、漁業者等が行うサンゴの種苗生産、サンゴの移植、食害生物の除去、保護区域の設定、浮遊・堆積物の除去、モニタリング等について支援が可能である。オニヒトデの駆除やサンゴの移植等の実績がある。

4) 沖縄県の取り組み

沖縄県環境部自然保護課では、2011年度から沖縄県サンゴ礁保全再生事業を実施しており、「面的広がりのあるサンゴ植付け」を目標として2016年度までに恩納村、読谷村、座間味村で合計3.42haの範囲に15万本以上のサンゴ種苗の植え付けを行った。