

サンゴ礁水域内の水理特性及び水質の日変化

——サンゴの光合成活動に着目して——

仲 座 栄 三*・津嘉山正光**・名 嘉 康 行***

1. はじめに

最近、地球規模の温暖化現象 (Global Warming) が問題になってきた。その原因としては、CO₂、フロンガスなど人為的に放出されるガスによるものと言われている。地球温暖化に関するシナリオにはいくつかあるが、人類によるこうしたガスの放出に何らかの制限が行われたとしても 100 年後には、少なくとも 1.5~4.5 度の気温上昇が起これ、その結果、海水面は約 60~100 cm 上昇するものと推定されている (IPCC, 1990)。このような状況下、CO₂ガスを効率よく分解・固定し得るサンゴや植生の光合成活動が注目されつつある。特に、サンゴの CO₂分解速度は、陸上植物の 3 倍にも達すると言われるが、その定量的な評価は未だ十分に行われていない。最近では、サンゴがむしろ CO₂のソースとして作用しているとする研究もあり、世界的にはこの方面からの支持が多い。

さらに、「サンゴの生育・活動に波の碎波によって取り込まれる酸素が重要な要素となっており、波の強弱がサンゴ礁の成長を決定している」との説もあるが、それが具体的に検討された研究例は筆者ら (1991) を除いて未だないようである。海岸工学的には、最近、海岸構造物に付着するサンゴの実態調査が報告され (森田ら, 1992)、今後、造礁サンゴによる礁形成を利用して人工構造物の波圧に対する緩衝効果を上げたり、人工構造物設置によって破壊された天然サンゴの蘇生化などの可能性が注目される。

サンゴは波及び流れに非常に敏感であることは周知の通りであり、サンゴの生態系を理解するためには、水理・海岸工学とサンゴ学とを合体させたいわゆる学際的な研究が必要不可欠と言える。

以上のような状況に鑑み、本研究では海岸工学的にサンゴの生育環境を明らかにすると共に、サンゴの光合成活動に着目してサンゴ礁内の水質の日変化を明らかにすることを主たる目的とした。

2. サンゴの光合成活動と CO₂固定

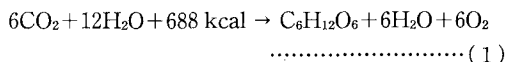
2.1 サンゴの生物学的概略

「サンゴ」とは、広義には、刺胞動物のうち、石灰質の骨格を形成するいくつかのグループの動物の総称である。また、狭義には、岩のような固い石灰質の骨格を持ち、サンゴ礁を形成するのに貢献するイシサンゴを指す (日高, 1988)。サンゴは、生物学的には動物となっているが、体内に自分の軟体部の重さにほぼ等しい褐虫藻 (共生藻は、黄色あるいは褐色をしているため、一般に褐虫藻と呼ばれる) を住まわしており、それが光合成を行うなどかなり植物に近い性質を有する。すなわち、半分動物であり半分植物であると言える。

2.2 サンゴの共生藻の光合成活動による CO₂ガスの消費と O₂ガスの生成

陸上の植物が光合成によって大気中の CO₂を消費していることは良く知られている。陸上の植物が人類によって急速に大量放出された CO₂を消費固定し得るかどうかは、地球全体としての植物による CO₂の物質収支を考えればよい。成長と腐敗を繰り返す植物を長期的に考えれば、陸上植物による CO₂ガスの循環は閉じていることになり、緩衝作用を持たないことになる。しかしながら、地球全体として植物体内への CO₂の蓄積量が正、すなわち、地球上の森林が発達期にあるとするならば、緩和作用を有することになる。また、退化期の樹林の多くが化石として地中に堆積された場合も、緩和作用を持つことになる。

陸上植物の光合成活動によって消費される CO₂ガスと生成物としての O₂ガスとの間には、次の化学式が成立する。



すなわち、消費される CO₂ガスと生成される O₂ガスとの間には、モル比で 1 対 1 の対応関係が成立する。

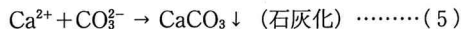
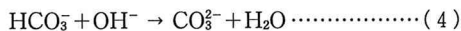
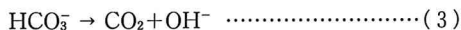
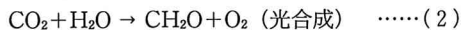
一方、サンゴは動物的な作用によって自分の骨格を造るのに CO₂を消費しており (固定)、さらに褐虫藻による光合成活動によって CO₂を消費する。この二重の作用によって海水中に溶解した CO₂ガスは、効率よく消費され

* 正会員 工博 琉球大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 工博 琉球大学教授 工学部土木工学科

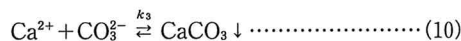
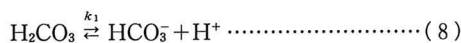
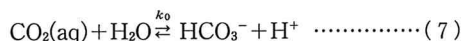
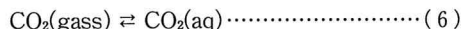
*** 沖縄総合事務局宮古工事事務所

と考えられている。光合成活動を伴うサンゴによる CaCO_3 の生成は、次の化学式にのっとって行われると考えられる (鈴木ら, 1990)。



2.3 海洋における炭素系の無機化学的平行状態

海洋における炭素系の無機化学的平行状態は、次の化学式によって表される。



海洋中で CaCO_3 が生成されると、式 (10)、(9) の反応が右に進むことになる。そうすると、 H^+ が増え、海水の PH 値が低下する。海水中には H^+ の 10 万倍の HCO_3^- が存在しているため、 H^+ の増加と共に式 (8) の反応が左に進むことになる (鈴木ら, 1990)。さらに、式 (7)、(6) の反応も左に進み、大気中に CO_2 が放出されることになる。もし、海洋で無機化学的に CaCO_3 の生成 (例えば、サンゴ礁が形成) されると、海洋は CO_2 ガスのソースとなる。

加藤 (1992) は、栄養塩の観点からこの問題を検討し、「光合成を行うのに必要な海水中のリンや窒素などの栄養塩がサンゴに奪われ、その分だけ他の植物などが光合成をできなくなり CO_2 が増えることになる」という説を提唱し、上述の鈴木らの説と真っ向から対立している。

サンゴが CO_2 ガスに対して Sink として働くのか、あるいは Source として作用するかには、現時点では非常に困難である。なぜならば、現時点では、この問題に答得る程の調査が未だ十分に行われていないからである。このような所に、本研究の意義もある。

3. 現地観測

3.1 現地観測の対象としたサンゴ礁海域の概略

図-1 に、観測の対象としたサンゴ礁水域の概略図を示す。この海岸は、沖縄本島南部具志頭村港川海岸周辺であり、図示のとおり、リーフは港川からの河川水の流入によって切れており、そのリーフ切れ込み部を利用して港川漁港が建設されている。この海域のリーフは礁嶺と礁池を有し、リーフ幅は約 600 m である。防波堤の西

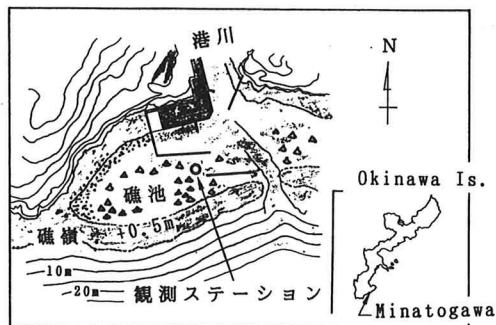


図-1 現地観測位置図



(a) ミドリイシサンゴ



(b) テーブルサンゴ

写真-1 サンゴの生息状況

側は、満潮時の水深が 1~3 m となる礁池である。リーフ先端付近で少し盛り上がった部分 (礁嶺) のレベルは約 D. L. +0.5 m であり、当海岸の平均潮位差が約 2.0 m であることから、潮の干満によって干出・水没を繰り返すことになる。また、リーフ前面の礁斜面は、平均的に 1/10 勾配である。図中の ▲ 印は造礁サンゴの群落を示し、■ は、海藻の繁殖域を示す。

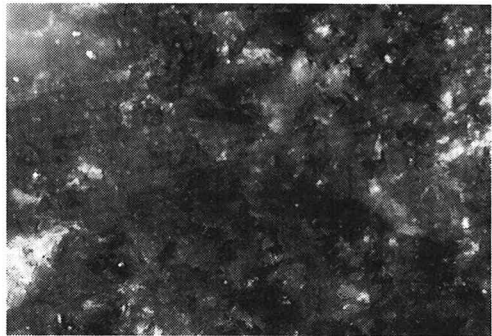
写真-1 に、観測ステーション付近のサンゴの生育状況を示す。写真 (a) は、枝サンゴ (ミドリ石サンゴ) が密集している群落を示している。また、写真 (b) は、テーブルサンゴの群落を示している。



(a) 水質の測定状況



(b) ガスの放出



(c) ヒトエグサの生息状況

写真-2 海藻の生息状況

写真-2に、汀線付近に密集する海藻を示す。写真(c)は、長さ約50cmの海藻が密集して生育している状況であり、写真(b)は光合成によって作られた O_2 が海藻表面で気泡化し、自らの浮力によって水表面に向けて上昇の様子を示している。写真(a)は、ボートを用いた水質の平面的な測定状況を示している。

図-1及び写真-1で判断されるとおり、観測対象とした海岸の礁池内は、造礁サンゴが極めて良好な状態で繁殖しているサンゴ礁水域である。

3.2 観測方法

大気から海水中への CO_2 の流入フラックス量が分か

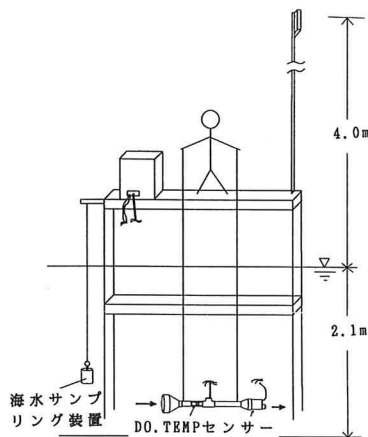


図-2 観測装置概要図

れば地球温暖化への海洋の緩衝作用が定量的に見積もられることになるが、現時点では現地で海水中の炭酸量を精度良く測定し得る測定器がないことなどから、本研究ではサンゴの光合成活動に主眼を置いて測定を行った。しかしながら、化学式で示したように、光合成による CO_2 の消費と酸素の生成量とは等モルの関係にあるので、サンゴ礁内の溶存酸素量(DO)やPH値の変動を測定することによって、 CO_2 の消費量を逆推定することも可能である。

観測では、流速・波高、気温・水温、風向・風速、日射量・水中光量、DO濃度、PH値、塩分濃度の11項目を測定した。水質の日変化に関する測定は、写真-3に示す観測ステーションにて行い、水底付近のサンゴ上端部より水表面に向けて30cm間隔で行った。図-1に◎印で観測ステーション位置を示す。また、水質の平面的な測定には、写真-2(a)に示すようにボートを用いて礁池内を移動測定した。

図-2に観測ステーションに設置した測定装置の概要を示す。図示のとおり、溶存酸素量、塩分濃度、PH及び水温など水質の測定には、各々専用のセンサーを用い、それを直径5cmの筒の中に設置した。筒の内部には電導ポンプにより約10.0cm/sの流れを起こした。また、流速及び波高の測定には、6台の電磁流速計と圧力式水位計を用いた。

4. 観測結果及び考察

図-3(a),(b)及び(c)に、1昼夜観測で得られた礁池内の流れの概要を示す。図(a)の下側の図は潮位の時間変動を示し、図中の①~⑮は、潮位と流れとの時間の対応を示している。図(b)及び(c)は、■で示す礁嶺が干出している場合と水没している場合におけるリーフ内の流況を示している。これらの図で示すとおり、礁

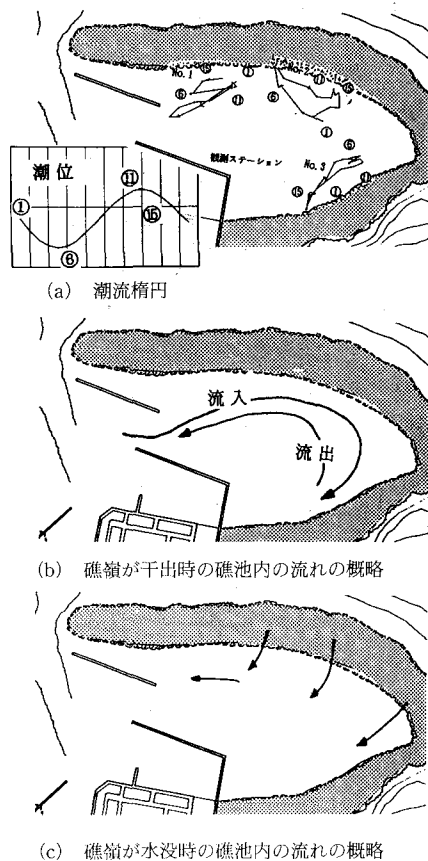


図-3 礁池内流れの概要

池内への外洋水の出入りは、基本的には漁港口となっているリーフ切れ込み部を介して行われ、ほぼ礁嶺の内側沿いに時計回り（あるいは、半時計回り）に行われる。しかし、礁嶺の水没直後には、外洋水が直接礁嶺を越えて礁池内に流入するため、流れが一時的に図(c)のようなパターンとなる。また、波向きは、礁嶺にほぼ垂直であった。

図-4に、水中光量の経時変化を示す。図示のとおり、サンゴの表面部分で得られた光量は、日の出と共に上昇し、午後2時頃にピークとなり、その後、急激に落ちている。12:00頃、日射量が一時期低下したのは、この時間帯に雲の帯が通過した為であり、午後2時以降の急激な変化は、かなり厚い雨雲が接近した為である。

図-5は、水温の経時変化である。図中に水深(m)として示した値は、サンゴの表面から水表面へ向けて測った値である。図示のとおり、水温は夜間の間ほぼ22.0°Cであり、6:00頃から外気温の低下と風速の増加につれて低下している。さらに、12:00頃からは日射量と共に気温も上昇したため水温の上昇が見られる。さらに、最大干潮時から2時間後の14:00時には、礁嶺が水没し、

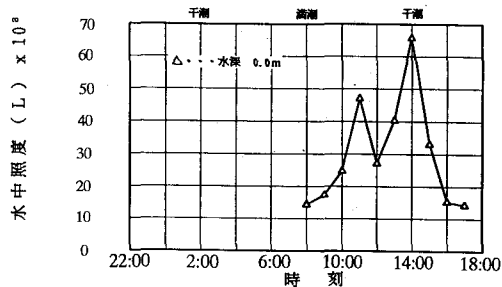


図-4 水中光量の経時変化

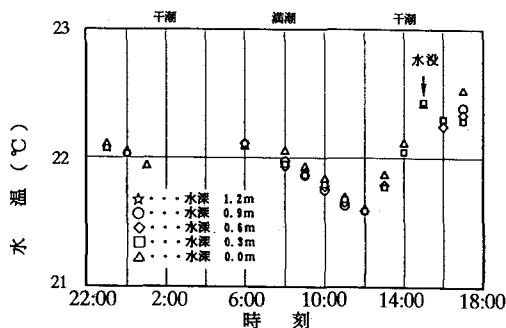


図-5 水温の経時変化

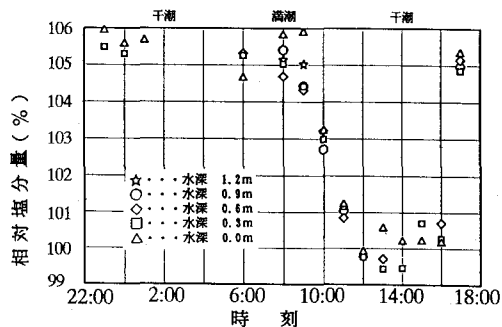


図-6 相対塩分濃度の経時変化

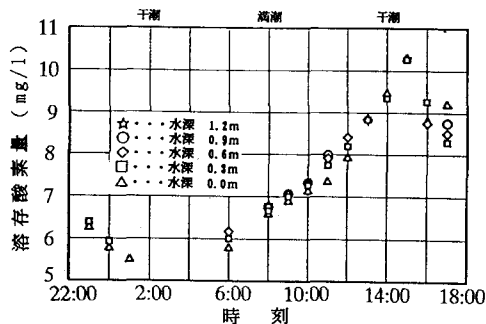


図-7 溶存酸素量の経時変化

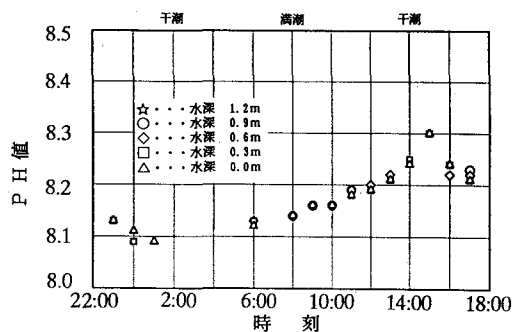


図-8 PH 値の経時変化

外洋水が直接礁嶺を越えて来るため、その時間帯に急激な水温の低下が生じている。

図-6 に塩分濃度の経時変化を示す。この図の縦軸は、干潮時の塩分量を 100 とした相対的な塩分量を示している。この場合も気温と同様な変化を示している。しかしながら、塩分量は水温が上昇を示す 12:00 時から 14:00 時の間もあまり変化していない。一方、外洋水が直接リーフ先端を通して進入する時間では、急激に上昇している。

図-7 は、溶存酸素量の経時変化である。図示のとおり、溶存酸素量は夜間の間減少しており、夜明けの 6:00 時頃から増加し、15:00 時にはピークをとり、リーフの礁嶺が水没する 16:00 時から急に減少している。夜間の溶存酸素量の減少は、まさしくサンゴの呼吸による酸素量の減少と考えられ、日中の増加はサンゴの光合成によるものと判断される。ここで、時間当たりの変化率を示していないので判断しづらいが、DO の変化率は水中光量の変化とほぼ一致する。

図-8 は、海水中の PH の経時変化である。夜間の平均的な PH 値は約 8.12 であり、日射量が増加し、サンゴの光合成が活発になる時間帯には、PH 値は最大 8.3 まで増加している。7:00~8:00 時の満潮時の PH 値は外洋水の PH 値に近いことが想定され、サンゴが光合成をやめ、呼吸のみを行っている時間帯でもこの礁池内の PH 値は外洋のそれよりも極端に低下することはないものと推測される。すなわち、日中に極端に高くなった PH 値は、夜間にサンゴの呼吸や石炭化の過程で低くなる量を上回り、トータルでは PH 値を上げる傾向にあり、結果としてサンゴ礁は大気から CO₂ を吸い込む傾向にあることになる。

最後に、砕波による気泡の海水中への取り込みがサンゴ礁内の溶存酸素量を増加させ得るかどうかの検討を行う。図-7 において、16:00 時頃には、これまで干出していた礁嶺が水没し、その結果、礁池とリーフ外の水隴とは直接触れるようになり、リーフ先端付近の砕波による

流れは直接礁池内に流入することになる。すなわち、波の砕波によって取り込まれた酸素は、この時間帯には礁池内に移流してくるはずである。しかしながら、図-7 に示すように、水表面での DO 濃度はこの時間帯にはむしろ低下している。すなわち、砕波によって取り込まれる酸素は、短時間に放出され、しかも決して溶存飽和度を越えることはない。波のダイナミックな作用で混入させられた溶存酸素量は砕波点直下を除いては、礁池内でのサンゴ活動には殆ど影響を及ぼさないことが推測される。しかしながら、波の存在は明らかにサンゴ礁の形状を左右する。この作用は、酸素の取り込みということよりも、むしろ物質の混合と流れの形成という形で現れるものと考えられる (仲座ら, 1991)。

5. おわりに

本研究では、サンゴ礁内の水質の日変化を調べることを通じて、サンゴの光合成活動による DO の生成量、呼吸活動による DO の変化などを明らかにした。この結果により、CO₂ の消費量を光合成活動から捉えた場合、サンゴの CO₂ 消費量は極めて大きいものと判断される。今回の現地観測期間中の水温は約 22°C であり、サンゴの最適生育条件である水温 28°C よりもかなり低い。夏場のサンゴの活動は、ここで示したものよりさらに活発なものと判断され、サンゴによる CO₂ の消費及び酸素の生産に関する年変化量も興味ある問題である。

ここで得られた知見は、CO₂ の固定量の問題への適用のみでなく、古来より格好の娯場となってきた礁池 (イノー) 内の水理学・生物学的な解明へもつながるものと考えられる。今後は、直接的な溶存 CO₂ の測定や流れの測定をも実施し、サンゴの CO₂ 固定量を定量評価すると共に、サンゴの生活環境をさらに明らかにして行きたい。

謝辞: 本研究の一部は、教育研究学内特別経費 (代表者: 仲座栄三) の援助の一部を受けて行われたものである。ここに記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 加藤喜久夫 (1992): サンゴの生育による大気 CO₂ 濃度増加と海面上昇の予測, 日本海洋学会。
- 鈴木淳・中森亨・茅根創: Alkalinity depletion method によるサンゴ礁低生生物群集の生産量測定, 第 2 回サンゴ礁研究会。
- 仲座栄三・津嘉山正光・赤嶺好祐 (1991): 大台礁を利用した外洋性人工ビーチの創造, 海洋開発論文集, pp. 259-264。
- 日高道雄 (1986): サンゴの生物学, 沖縄のサンゴ礁, 琉球大学公開講座, 第 5 章。
- IPCC (1990): Climate Change, The IPCC Scientific Assessment, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 365 p.