

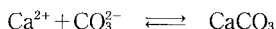
サンゴの光合成と二酸化炭素の固定に関する研究

仲 座 栄 三*・津 嘉 山 正 光**・清 家 邦 宏***

1. はじめに

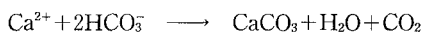
温室効果によって地球規模の気温上昇が起こり、100年後の地球の平均海面は60~100 cm程度上昇すると言われる。そのため、各国がそれぞれの立場から、その対策の検討を余儀なくされている。特に、海岸防災上の問題は深刻で、サンゴ礁上にある島々は、島そのものが水没する危険に瀕している。こうした状況下、サンゴによってCO₂が効率よく分解・固定できないか、あるいはサンゴ礁の形成は海面上昇に追従し得るのかなどの問題解明が急がれている。サンゴによるCO₂の放出・吸収に関する議論は、これまで机上計算が先行し、詳細なデータに基づいた検討結果はかならずしも十分でない。

サンゴは、石灰化により自分の骨格を形成する。それを化学式で示すと、

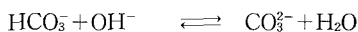


となり、単純に考えると石灰化によりCO₂が固定されるように思える。しかし、実際はそう単純でない。

サンゴがCO₂を海水中から大気中へ放出させる作用をするとする主張は、サンゴが石灰化を行うとき、CO₃²⁻が必要で、それをつくり出す過程でH⁺が増加し、それを相殺する方向に海水中の無機化学平衡反応が移行することに基づいている。その反応式は、次のように単純化される。



次に、サンゴはCO₂を吸収するとする主張は、サンゴの光合成活動に着目し、光合成の過程で生じるOH⁻の増大が鍵となり、



の反応で、CO₃²⁻を作り出すため、H⁺の増加を伴わず、サンゴによる石灰化が進むとすることに基づいている（鈴

木・中森・茅根, 1990)。

サンゴは、単純にはCO₂のシンクとして見なすことができないとする主張は、栄養塩や光合成産物である有機物の分解の面に基づくものもある（角皆, 1989）。

いずれの議論も十分なデータに基づくものではなく、実験や現地観測データの充実が急務とされている。特に、現地観測では、波や流れの作用下でのサンゴの光合成活動の違いや、サンゴ中の褐虫藻が作り出す有機物の行方の解明などが求められている。

本研究では、サンゴの光合成活動に着目した現地観測及び室内実験を行い、その結果からサンゴのCO₂吸収・放出特性を明らかにすると共に、サンゴ礁内の水理特性がサンゴのCO₂の吸収・放出に及ぼす影響を調べることを主たる目的とする。

2. 現地観測

現地観測は、1991年から継続して行われており、前報（仲座ら, 1993）で観測対象海域のサンゴ礁及び潮流概略について述べた。図-1に、観測海域及び観測ステーション位置を示す。観測ステーションの周りには、礁池内としては珍しいくらいに、良好な状態でミドリイシサンゴやテーブルサンゴが群生している。現地観測では、サン

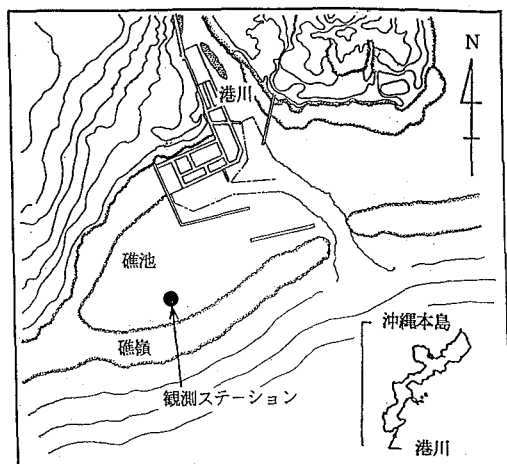


図-1 現地観測位置

* 正会員 工博 琉球大学助手 工学部環境建設工学科

** 正会員 工博 琉球大学教授 工学部環境建設工学科

*** 北九州市役所

ゴ礁内の波・流れを測定すると共に、全炭酸量 (TCO₂)、溶存酸素量 (DO), pH 値, 塩分濃度, 水温・気温, 光量, 風速の全 10 項目に関する観測を行った。現地観測装置の概略を図-2 に示す。また、観測の状況を写真-1 に示す。

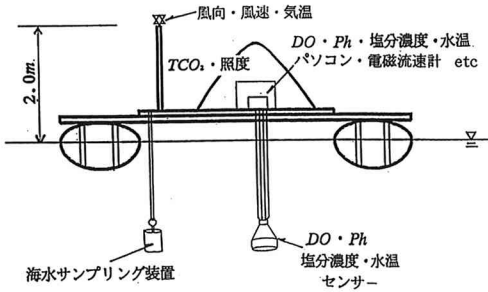


図-2 現地観測装置概要



写真-1 現地観測状況

観測は、16人が2交代で行った。

図-3に、観測時の潮位の変化を示す。また、図-4に、気温及び水温の経時変化を示す。図-5は、観測中の光量を示す。これらの図で示すとおり、日の出による光量の増加に追従する形で、気温及び水温の変化が生じている。

図-6~8に、それぞれ溶存酸素量, pH, HCO₃⁻の経時変化を示す。前報でも示したとおり、溶存酸素量は光量の増加に伴い増加し、午後1時頃をピークに減少し、深夜から朝方にかけて最小値を示している。pHの値も、DOの変化とほぼ同様な変化を示している。海水中のpH

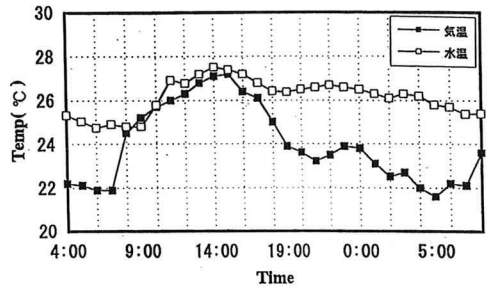


図-4 気温及び水温の経時変化

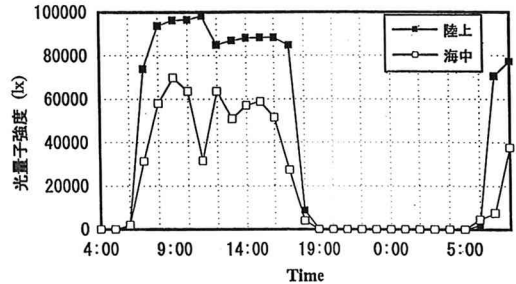


図-5 光子強度変化

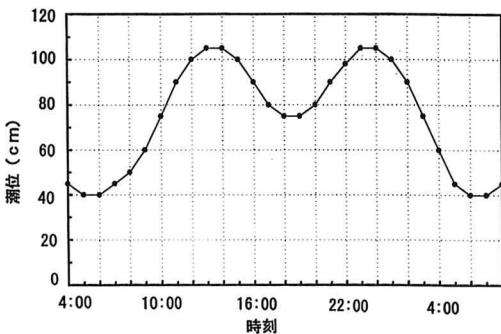


図-3 潮位変化

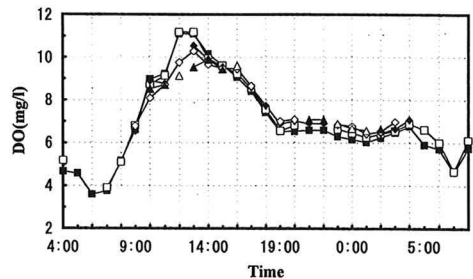


図-6 溶存酸素の経時変化
(水表面下測点までの鉛直距離: ● 30 cm, ○ 45 cm, ■ 60 cm, □ 75 cm, ▲ 90 cm, △ 105 cm, 以下に示す図面においても同じ記号表示)

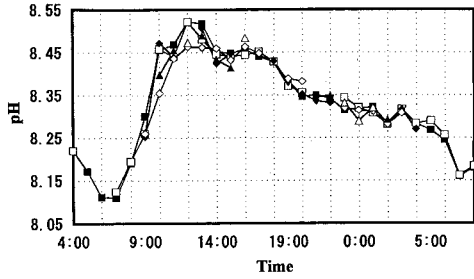


図-7 pHの経時変化

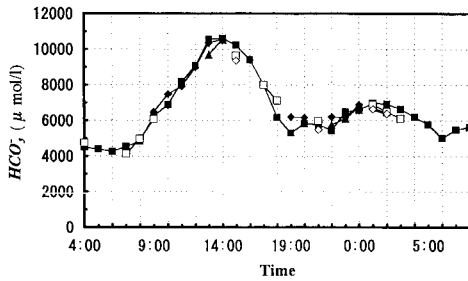


図-8 炭酸水素イオンの経時変化

が変化するのは、主に炭酸量の変化に関係しており、 CO_2 が海水に溶解するとpH値が低下する。午前7時頃から増加するpH値は、まさしくサンゴ体内の褐虫藻が光合成によって CO_2 を消費し、水酸イオンを放出することによるものである。図-8で、全炭酸量でなく HCO_3^- を表示したのは、 CO_3^{2-} や H_2CO_3 が HCO_3^- に比較して1/20以下であることによる。海水中の炭酸量は、日中に最大値をとり、午後9時頃に最小値を示した後、さらに増加するという二山型の変化を示している。光合成により炭酸量が減少するはずなのに、この結果では逆に増加している。また、大森(1993)らの実験結果とも異なる。ここでは、これ以上の解釈はせず、後に、実験的に詳細に検討することとする。

3. 屋外水槽実験

実験には、現地観測を行った海域から採取した重量約2kgfのサンゴ2個を用いた。また、使用する海水についても現地のものを用いた。図-9に、実験に用いた装置の概要を示す。図示のとおり、採取されたサンゴをそれぞれ70×50×40cmの別々の水槽に入れ、同量の海水で満たした。その水槽の一つには、電動ポンプを用いて空気を混入させた。また、サンゴが存在しない場合に関する比較水槽として、同種のを2つ用意し、それにサンゴ水槽と同量の海水をひたし、その一つにはサンゴ水槽と同様に空気を混入させた。観測項目は、現地観測の場

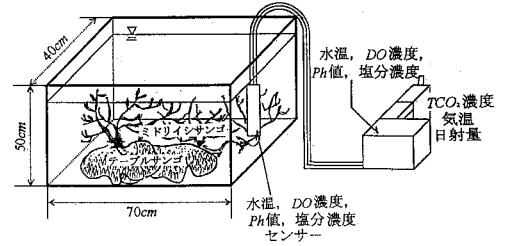


図-9 屋外水槽実験装置概要

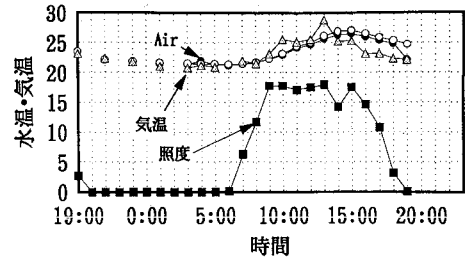


図-10 照度、気温及び水温の経時変化

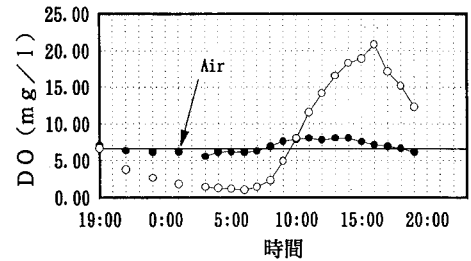


図-11 溶存酸素の経時変化

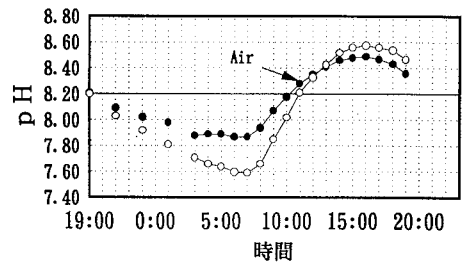


図-12 pHの経時変化

合と殆ど同じである。

図-10に、照度及び水温・気温の経時変化を示す。水温は、日射量と共に増加し、日中には21~27°Cまで変化した。図-11に、DOの経時変化を示す。ここに示す値は、サンゴ水槽から参照水槽を引いた値を示してある。また、

図中の直線は、参照水槽の平均値である。以下に示す他の測定結果に関しても、同様な方法で算出したものである。図示のとおり、空気を混入しない水槽のDOの変化は、サンゴの呼吸と光合成活動の影響と判断される変化を示し、ほぼ現地観測で得られたような傾向を示している。しかしながら、空気混入を行った水槽による結果は全く異なり、DOの値は、日中わずかに上昇するものの、空気混入の無い場合に比較して、殆ど変化していない。

図-12に、pHの変化を示す。pH値については、空気混入の有無の違いによる変化はあるものの、DOほどの違いは生じていない。この違いは、酸素が海水に対して殆ど溶解しないということから説明される。すなわち、日中サンゴによって生成された酸素は、海水中に混入された空気による混合や、海水中の気泡に付着する形で、速やかに大気中に放出され、DOについては殆ど飽和濃度を上回ることはないものと判断される。夜間においても、空気混入の水槽では酸素が常に供給されるため、サンゴの呼吸による酸欠状態は無くなる。また、pHについても同様なことが言えて、本来ならば夜間にサンゴの呼吸により、CO₂が過飽和になり、著しいpHの低下が生じるはずであるが、空気混入水槽では、DOの場合と同様に、サンゴが放出するCO₂ガスの一部は、大気中に放出されたものと判断される。しかしながら、CO₂ガスは、海水に対して溶解性が極めて高く、比較的早い化学反応によってイオン化され、その殆どがHCO₃⁻に変化する。実験で用いた水深は、40 cmとかなり浅いため、CO₂ガスの一部は十分なイオン化がなされないまま大気中に放出されたものと考えられる。そうすると、pH値の時間変化がDOの変化と異なることも説明し得る。また、空気混入水槽の日中pH値が、空気混入なしの水槽に比較してわずかに低めに押さえられるのは、混入された空気中のCO₂ガスの一部がpH値を押さえる方向に反応を起こすことによるものと判断される。

図-13に、全炭酸量の経時変化を示す。この場合、現地観測の結果と異なり、夜間に炭酸濃度が高くなり、日中に低くなっている。すなわち、夜間には炭酸量が増加し、日中には減少するという傾向を示している。この場

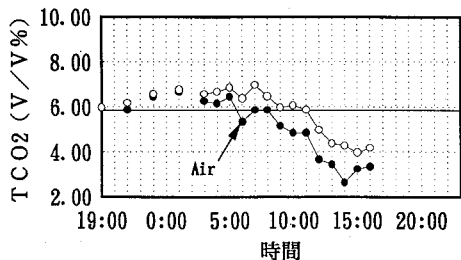


図-13 全炭酸濃度の経時変化

合でも、炭酸濃度は空気混入のあるサンゴ水槽で低くなっており、サンゴによるCO₂の分解・固定は空気を混入した場合が、効率よく作用していることになる。さらに、空気混入を行った場合の水槽のpH値が日中に低くなった理由を、大気中のCO₂がpHを押さえる方向に作用したことによる低下として説明したが、それは修正される必要がある。なぜならば、大気からCO₂が入り込めばその分だけpHは下がり炭酸濃度は高くならなければならない。しかしながら、全炭酸量の測定結果は、日中、空気混入した場合が低くなっている。となると、これはサンゴによる石灰化として説明しなければならない。この場合は、石灰化によってpHが下がり、さらに全炭酸濃度も減少することになる。空気混入の有無による全炭酸量の差は、光合成活動でpH値が増加する時に顕著となっており、サンゴによる石灰化は日中光合成活動が盛んな時に主に行われるものと推察される。そうすると、はじめに述べたサンゴの石灰化作用によるpH値の極端な低下は実際には生じず、むしろpH値が高くなった状態でサンゴの石灰化によってCO₂の固定が有利に行われるものと判断される。すなわち、「サンゴは大気中のCO₂に対してsinkとして作用する」との結論が出せる。

ところで、天然のサンゴ礁は、波の強弱に影響され、平面的には波の作用が激しい所ほど良く発達している。水深-15~5 m程度の所で波に向かって成長するサンゴ礁の形成過程には、上述のような波による空気の海水への混入や物質拡散という作用が有効に働いているとの見方もできる。さらには、貧栄養の海で、しかも-15 mと比較的深いところのサンゴには、波の碎波による気泡混入という形で、大気中の窒素が受け渡されているのかもしれない。こうした現象解明も含めて、さらに詳細な現地観測が今後望まれる。

4. おわりに

本研究では、現地観測によりサンゴ礁内の溶存酸素量や全炭酸量などを系統的に調べることによって、サンゴの光合成活動と水理特性との関連を明らかにした。現地観測では、サンゴ礁内の溶存酸素量及びpH値がサンゴの呼吸や光合成によって大きく変化することを示した。日中のCO₂の変化については従来の実験結果と異なる傾向にあることを示した。現地観測値がサンゴの密集地の一点でのみ測定されており、それに関して十分な検討が行えなかった。そこで、このことを屋外水槽実験を用いて詳細に検討した。実験では、サンゴの入った水槽と海水のみの水槽(参照水槽)との差分を取ることで、サンゴの効果をダイレクトに引き出すことにした。その結果、日中は炭酸濃度が低下し、夜間には上昇することが分かった。日中のT CO₂の低下に関しては、サンゴの石灰化

によるものとの判断を行った。すなわち、サンゴによる石灰化は光合成が盛んに行われる日中で主に行われるものと判断される。そのため、サンゴによる石灰化作用は海水の酸性化をもたらすことがなく、サンゴは大気中のCO₂ガスに対してシンクとなり得る可能性が高いことを示した。今後、現地での詳細な観測が望まれる。

謝辞：本研究で述べた現地観測や屋外水槽実験では、多くの方々の協力を得た。特に、琉球大学工学部環境建設工学科の宇座俊吉技官及び大泊富一郎君を始め、学部学生及び院生の協力を得た。ここに記し感謝の意を表し

ます。

参 考 文 献

- 大森 保 (1993): サンゴによる石灰化と二酸化炭素の固定—サンゴ飼育水槽実験—, 地質ニュース, 465号, pp. 26-31.
- 角皆静男 (1989): 炭素などの物質循環と大気環境—地球環境の変化における海洋の重要性—, 科学, 59, pp. 593-601.
- 鈴木 淳・中森 亨・茅根 創 (1990): Alkalinity depletion method によるサンゴ礁底生生物群集の生産量測定, 第2回サンゴ礁研究会概要集.
- 仲座栄三・津嘉山正光・名嘉康行 (1993): 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—, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 1031-1035.