

石垣島白保サンゴ礁における白化現象の分布と水温の関係

鈴木倫太郎^{*1}・前川 聡^{*2}・佐川鉄平^{*2}・
柴田 剛^{*3}・市川清士^{*4}・後藤慶之^{*5}・
長谷川均^{*6}

I. はじめに

1997年から1998年にかけて、世界中のサンゴ礁でサンゴの白化現象が観察された(Wilkinson 1998)。白化とは、造礁サンゴが環境ストレスにより褐虫藻を失い、透明なサンゴ組織を通して白い骨格が透けて見える現象である(写真1, 日高 2006)。環境ストレスの中でも、高海水温が持続する場合、海水温ほぼ30℃が白化の起こる臨界温度と考えられており、わずかに1℃高くなっただけで白化が起こる(西平・Veron 1995)。さらに、造礁サンゴ類が白化を起こす環境ストレスは、光(紫外線ストレス等)、温度(高温/低温ストレス)、塩分濃度、堆積物、干出、高栄養塩、農業、細菌感染など様々な要因があげられる(中村ほか 2006)。

日本では、1998年に九州から八重山諸島にかけ、広範囲に造礁サンゴ類の白化現象が報告された(中野 2004)。これ以前にも、琉球列島では造礁サンゴ類の白化現象が報告されているが(Yamazato 1981, 亀崎・宇井 1984), 1998年の白化現象は、過去の白化現象を上回る規模で発生したことが報告されている(Yamazato 1999)。その後2007年、琉球列島の各地で造礁サンゴ類の白化現象が発生し、八重山諸島石垣

島の東海岸に位置する白保サンゴ礁海域では、浅礁湖内の造礁サンゴ類が広く白化する現象が認められた(前川・鈴木 2007)。この年に筆者らは、白保サンゴ礁海域において、空中写真を用いた造礁サンゴ類の分布について詳細な分布地図の作製を試み、現地調査を実施中であった(鈴木ほか 2008)。調査海域では広い範囲にわたり白化現象が観察されたため、造礁サンゴ類の分布とともに、白化した造礁サンゴの調査もあわせて実施した。

本論では、石垣島白保サンゴ礁浅海域における造礁サンゴ類と白化現象の平面的な分布図を作製し、その分布形態を把握することを第一の目的とした。さらに、白化現象に影響を与えると考えられるサンゴ礁内の水温について、白化現象時に調査海域に設置してあった海水温計測ロガーのデータと、浅礁湖内の表層と下層の水温を計測したデータを解析し、白化現象の分布との関係を考察した。

II. 調査対象地域の概要

琉球列島の南西、八重山諸島に位置する石垣島は面積222.85 km²の島である(図1)。東海岸では、陸と並行した明瞭な帯状構造を有する裾礁タイプのサンゴ礁を見ることができる。石垣

^{*1} 駒澤大学応用地理研究所所員 ^{*2} WWF ジャパン ^{*3} (株)エアロ・フォト・センター ^{*4} 駒澤大学非常勤講師 ^{*5} 横浜市立青葉台小学校 ^{*6} 国士舘大学文学部



写真1 白化したサンゴ群落
(2007年8月7日WWF ジャパン撮影)



写真2 C1における水温ロガー設置状況
(2010年9月2日鈴木撮影)



写真3 C2における水温ロガー設置状況
(2010年9月2日鈴木撮影)

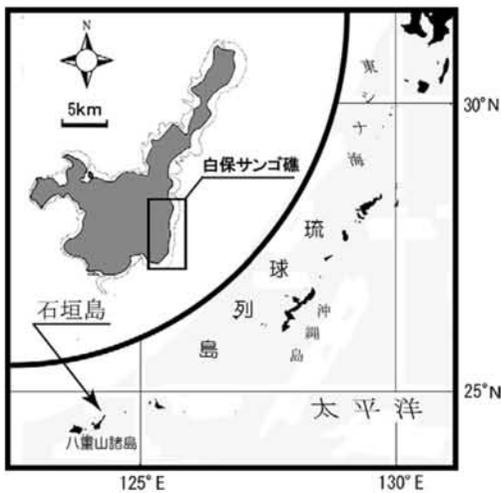


図1 調査地域位置図

島周辺の浅礁湖や礁斜面では、363種の造礁サンゴが確認されている(西平・Veron 1995)。

調査対象とした白保サンゴ礁は、石垣島の東海岸汀線から礁縁部までが約800mであり、南北方向の汀線と平行に明瞭な礁嶺が発達する。礁嶺と汀線の間には、深さ1~3mを有する浅礁湖があり、礁嶺によって外洋側と区別される。浅礁湖は、礁嶺によって外洋からの波が遮られるため、浅礁湖内は外洋側と比較して穏やかな海域となっている。調査対象地域とした海域は、白保サンゴ礁の中でも造礁サンゴの被覆率が高い。深さ2~3mの深さを持つ浅礁湖には、塊状ハマサンゴ (*Porites* spp.) をはじめと

する様々な造礁サンゴ類が分布する。この海域は、古くから漁労の場として地域の人々に利用されてきたほか、近年は造礁サンゴを観察するための観光遊覧船や、シュノーケリングを行うツアーなどの観光業の場としても利用されている（長谷川・山野 2004）。

III. 造礁サンゴと白化状況の分布

1. 調査方法

サンゴ礁のような浅海域では、正確な等深線や位置情報を有した地図がないため、調査と分布地図を作製するための基本図を整備した。基本図は、国土地理院発行の空中写真（2004年撮影1/10,000、カラー空中写真）を基にした。しかし、空中写真には様々な理由で大きな歪みが存在する。そのため、DGPS（Differential Global Positioning System）を用いて地点の現地座標情報を取得し、これを基準点とした幾

何補正をおこない、空中写真の歪みを除去したオルソ化空中写真を作製した（図2、鈴木ほか 2008）。

分布と生息状況調査では作製した画像を携帯し、造礁サンゴ群落の分布を確認しながら、生息状況を記載した。調査は、2007年8月28日～9月8日にかけて実施した。調査対象は造礁サンゴ類のみとし、ソフトコーラル、海藻類などの付着性生物は対象外とした。造礁サンゴ類の被覆率の計測は目視により実施した。また、造礁サンゴ類は、狭い範囲に多くの種が存在する場合が多いため、詳細な種ごとの被覆率を広範囲で計測することは困難である。そのため、本研究では、同じ種および同様の種構成が連続する場所の範囲を括り、区分された範囲ごとに造礁サンゴ類が占める被覆率を記録した。さらに、範囲ごとに生息する造礁サンゴ類の上位5種の属名もしくは生活型を記録した。調査海域において多く生息するハマサンゴ属（*Porites* spp.）

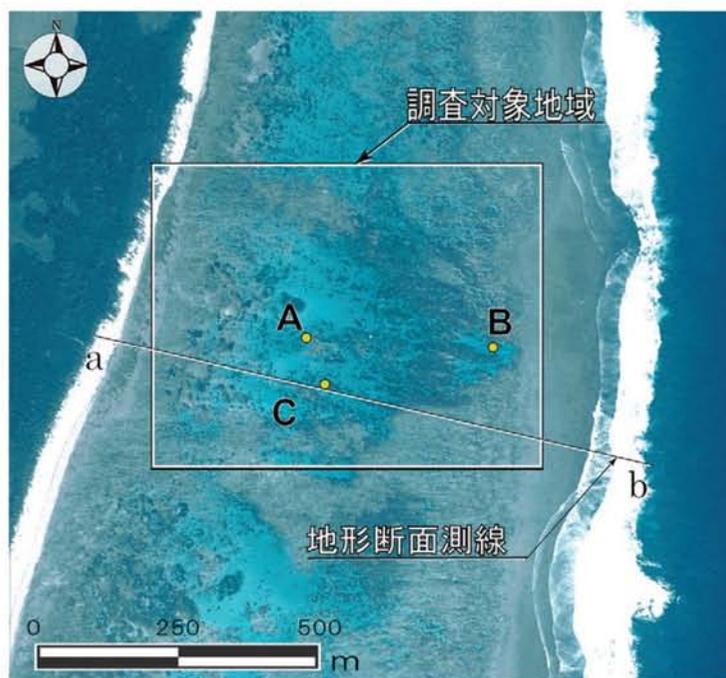


図2 調査対象地域と地形断面測線位置図
(A・B・Cは水温計設置場所)

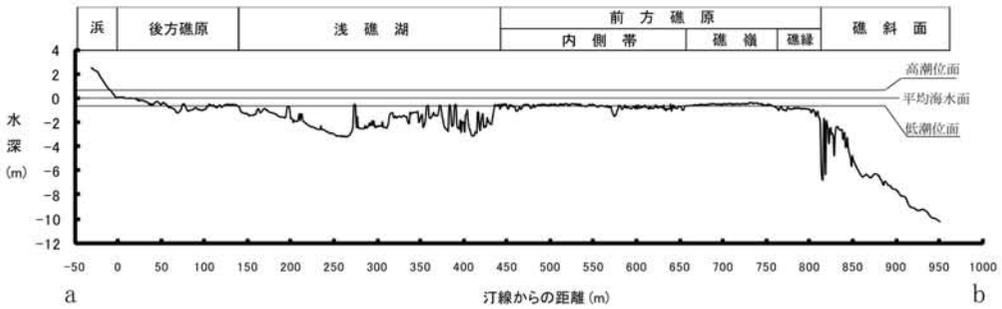


図3 a-bにおける地形縦断面図
(Suzuki 2005を一部修正)

については、ユビエダハマサンゴ (*Porites cylindrica*) と、その他のハマサンゴを区別した。白化現象については、範囲ごとの白化している造礁サンゴ類の被覆面積の割合を、目視により10%単位で計測し記録した。また、調査範囲内における地形断面図a-b (図3) は、Suzuki (2005) の結果を一部修正して用いた。

また、浅礁湖内において垂直方向の水温差を計測するため、調査地域内のC地点 (図2) において、水深の異なる2点で同時に水温の記録を行った。計測期間は2010年9月2日～10月22日である。計測はHOBO Water Temp Pro Ver.2を使用し、水温の測定間隔を10分間隔に設定した。水深の深い場所 (C1) は、水深307 cmの砂床に設置されている鉄製の単管に固定した。一方、水深が浅い場所 (C2) は、C1より東側に生息する塊状ハマサンゴが形成したマイクロツール上、水深78 cmの場所にそれぞれ固定した (写真2, 3)。

2. 造礁サンゴ類の平面分布

調査地域における造礁サンゴ類の分布を図4に示す。海域における造礁サンゴ類は、前方礁原内側帯から浅礁湖の中央部にかけて分布する。調査の結果、造礁サンゴ類の生息範囲を163に区分した。各範囲における造礁サンゴ類の分布は、一つの種および属が40%以上の割合を占めるものを「優占」とし、3種類以上の

サンゴが全体の種構成の30%以上を占める範囲を「多種混成」と分類した。

調査地域において最も多い種構成の範囲は、ハマサンゴ属優占が41範囲であった。次いでユビエダハマサンゴ優占が38範囲であった。これらのサンゴは、分布する場所の特徴が異なる。ユビエダハマサンゴが優先する範囲は、浅礁湖と前方礁原内側帯の境界付近や浅礁湖の浅い場所に分布が集中する (図4 Area-1・2)。一方、ユビエダハマサンゴ以外のハマサンゴ属は、塊状の生活型を呈するものが主であり、海底から鉛直方向に直径1 mを超える大型の群体を形成する。特に水深が深い場所では、水平方向に直径3 mを超えるものも見られ、海面付近にまで達した群体は、平均海面の高さで頂部が平坦になるマイクロツールと呼ばれる樽状の群体を形成する。これらのハマサンゴ属は、ユビエダハマサンゴとは異なり、水深が深い浅礁湖中央部に分布が集中する (図4 Area-3)。

調査海域では、多種の造礁サンゴ類が混在している状況が多く見られ、ハマサンゴ属優占に次いで多種混成の範囲が多く認められた。これらを構成する主な造礁サンゴ類は、枝状のハマサンゴ、ミドリイシ属 (*Acropora* spp.)、コモンサンゴ属 (*Montipora* spp.) をはじめ、シコロサンゴ属 (*Pavona* spp.)、ハナヤサイサンゴ属 (*Pocillopora* sp.)、キクメイシ属 (*Favia* spp.) 等であった。これら多種混成の範

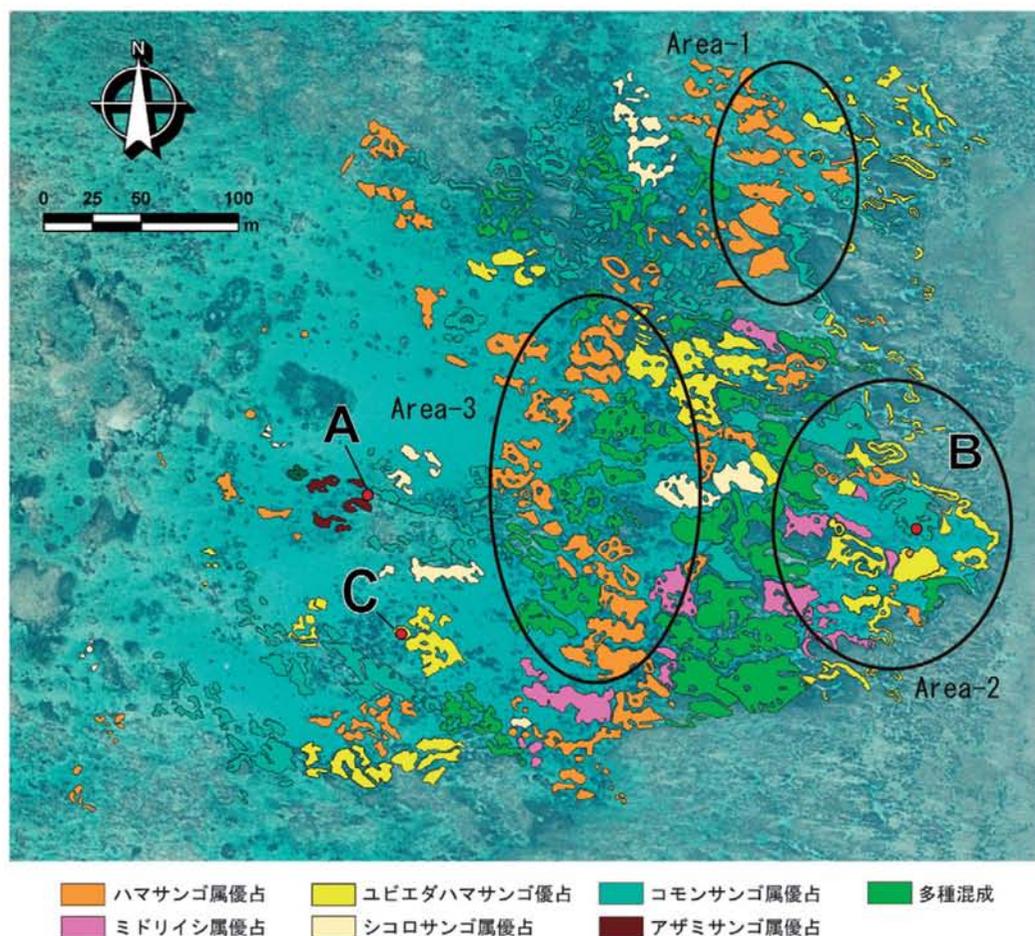


図4 調査範囲内における造礁サンゴ類の分布

図は、浅礁湖の浅い場所及び浅礁湖に向かって傾斜する前方礁原内側帯に多く分布が見られる。また、コモンサンゴ属優占とミドリイシ属優占の範囲は、浅礁湖の浅い場所や浅礁湖と前方礁原内側帯の境界付近に分布が集中する。一方、シコロサンゴ属優占の範囲は浅礁湖の水深が深い場所に、アザミサンゴ属優占の範囲は、浅礁湖の陸側に分布が集中する。

3. 白化現象の分布

造礁サンゴ類の分布を調査すると同時に、白化現象の状況についても調査を実施した。その結果、163に区分した範囲のうち、162カ所で造礁サンゴ類の白化現象が認められた（図5）。

調査範囲内における造礁サンゴ類の白化の割合（図6）は、ミドリイシ属とコモンサンゴ属において40%以上の群体が白化している範囲が70%以上の割合で確認され、高い割合で群体が白化している。これに対し、ユビエダハマサンゴを含むハマサンゴ属とシコロサンゴ属が優占する範囲では、範囲内の白化現象の割合が40%以上の範囲がおよそ20～40%と少ない。調査地域内における白化現象の分布をみると、サンゴ礁の浅礁湖内において白化現象の度合いに場所による差があることが認められる。特に白化の割合が81～100%と高い場所は、浅礁湖の沖側と前方礁原内側帯に分布する（図5 Area-2）。最も白化割合が高い場所である前

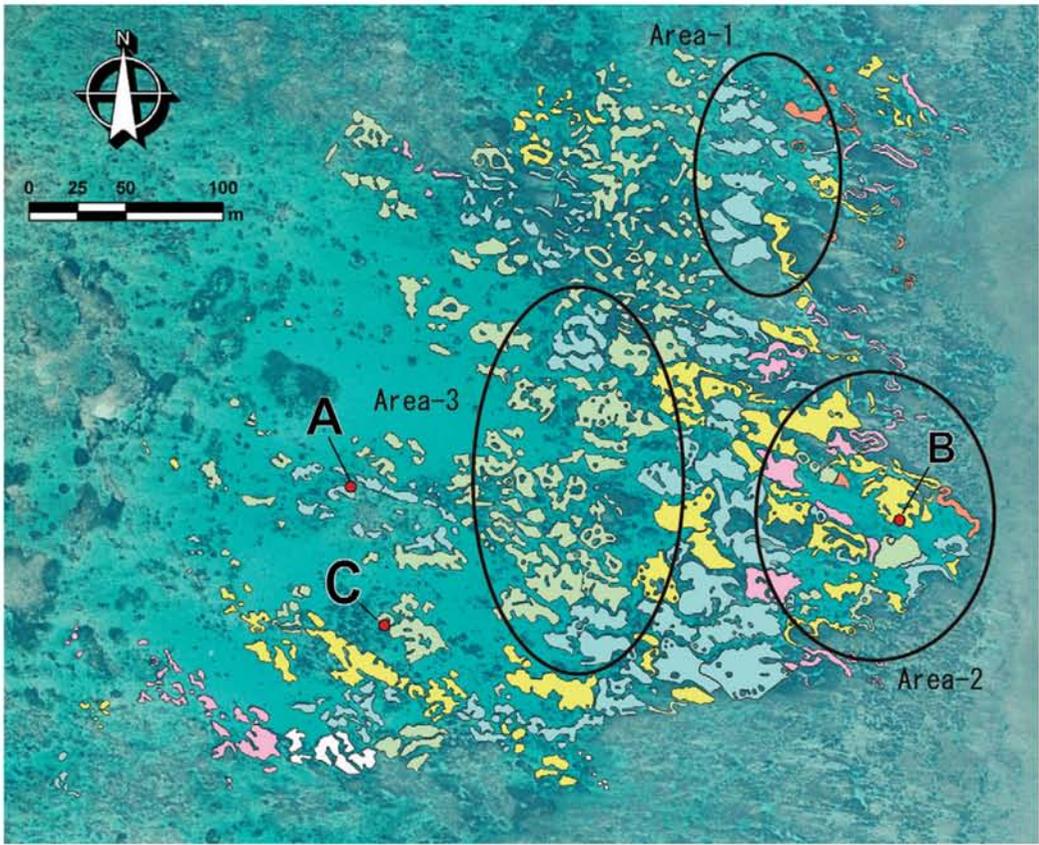


図5 造礁サンゴ類の白化割合の分布

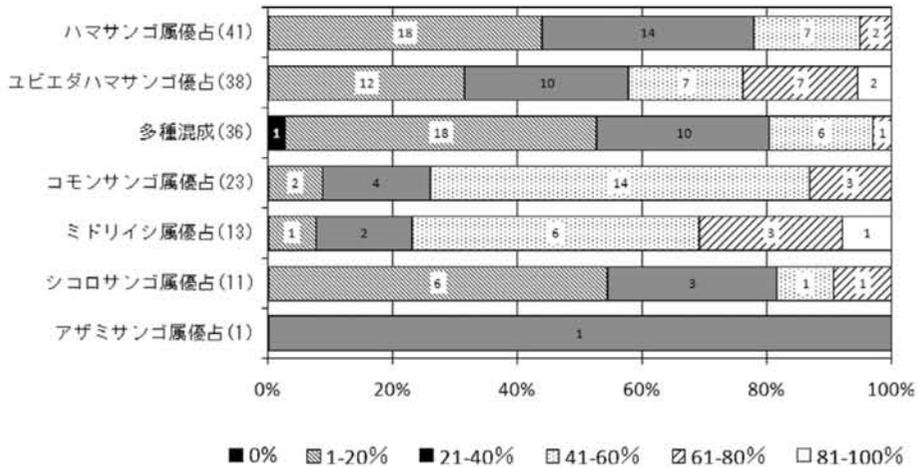


図6 各範囲内における造礁サンゴ類の白化の割合
(括弧内・グラフ内の数字は範囲数)

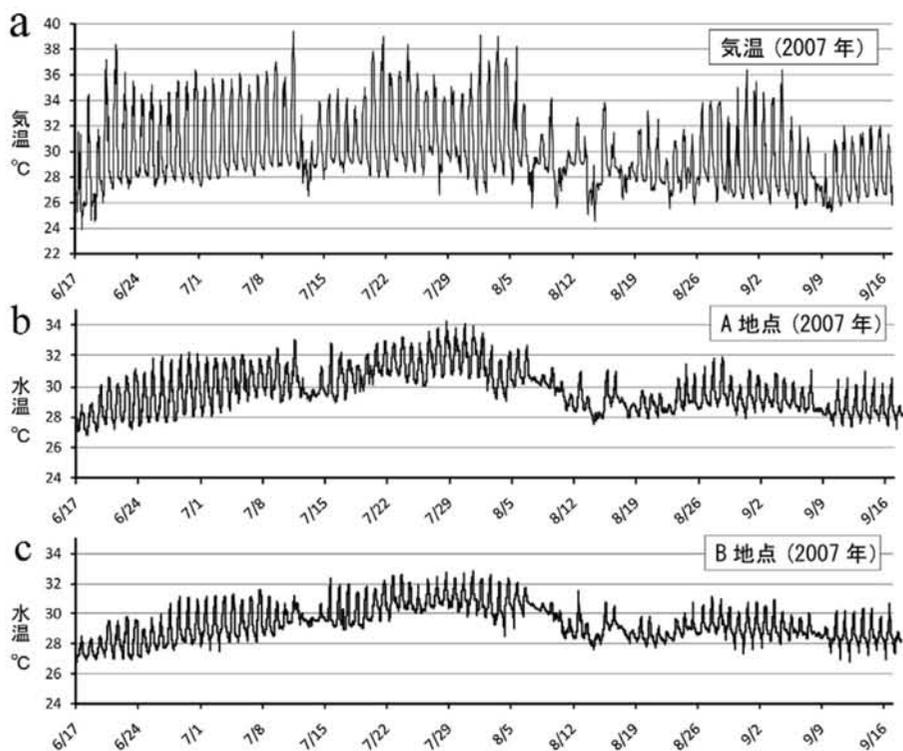


図7 2007年6月17日～9月16日におけるa) 気温、b) A地点の水温、c) B地点の水温

方礁原内側帯は、水深が80～30 cmと浅い。一方、白化割合が1～20%と低い場所は、浅礁湖の中央部に集中する(図5 Area-3)。この浅礁湖中央部は、断面a-bにおいて最も水深が深い場所(図3)に相当し、平均海面から200～320 cmの水深を有する海域である。これらのことから、サンゴ礁浅礁湖内における白化現象は、種による差に加え、浅礁湖内の水深の差により白化現象の差が認められる。

IV. サンゴ礁内の水温と気温

1. 白化現象時の水温と気温

WWFサンゴ礁保護研究センターでは、調査海域内のA地点とB地点(図2)に水温データロガー(HOBO Water Temp Pro Ver.2)を設置し、10分間隔で水温の記録をおこなっている。このうち、白化現象が顕著にみられた2007年

6月17日～9月17日の水温データを図7に示す。A地点は浅礁湖の陸側に位置し、水深が平均海面下102 cmである。B地点は、浅礁湖が前方礁原内側帯に切れ込む場所であり、水深が255 cmである。また、調査海域より南南西に2.5 kmに位置するWWFジャパンサンゴ礁保護研究センターでは、気温の計測も実施している。ここで計測した、白化現象が起きた期間の気温データを図7aに示す。期間中における平均気温は27.8°Cであり、最高気温は7月11日14:00の39.4°Cであった。調査範囲内における平均水温は、A地点29.4°C、B地点29.0°Cであり、最高水温はA地点において7月28日15:50に34.3°C、B地点において7月31日15:30に32.9°Cを記録した。日較差はA地点において0.3～4.0°C、B地点において0.2～3.3°Cの範囲である。この水温の変化は、気温の周期にほぼ同調する。両地点ともに6月の半ばから7月の

初旬にかけて水温が高い状態が続き、A地点では7月17日～8月2日、B地点では7月21日～7月31日にかけて夜間の水温も30℃を下回らない状態が継続した。両地点において最高水温が記録された7月28日～8月1日の期間は、最干潮時間後の午後4時にその日の最高水温が記録されている。この期間は、潮位差が大きい大潮の期間であることに加え、8月1日の12:00には気温が39℃に達する高い状態であり、浅礁湖内の水温も同調して高い状態を示している。この結果から、浅礁湖内の水温変化は潮位に影響されることが明らかである。しかし、計測期間中における浅礁湖の水温と潮位は必ずしも同調せず、潮位と水温の間に明瞭な相関関係は認められなかった。昼間における干潮時においても、曇天や降雨により日照がない場合や、大気気温が低い状況では水温は上昇しない。実際に8月13日～15日の期間は大潮であったが、A・B両地点において水温は低い状況である。この期間の天候は曇天および雨天であり、特に8月の期間中最も水温が低下した14日は、日照はなく、一日の最高気温も29.7℃であった。そのため、7月から継続した高水温の状態であった浅礁湖内の水温は、気温の低下と同調して急激に下降する結果となった。このように、調査海域におけるサンゴ礁浅海域の水温は、気温と同調する形で周期的な変化を繰り返すことに加え、潮位の変化と気象条件に強い影響を受ける。

2. 浅礁湖内の水温差

浅礁湖内における白化現象の分布差は、水深

が浅い場所と深い場所における違いが認められるが、この分布差は浅礁湖内における垂直方向の水温差によるものと考えられる。A地点とB地点では水温が異なるが、場所が離れているため、礁池内の水温の垂直方向における差として捉えることは難しい。本研究では、浅礁湖内において垂直方向の水温差を明らかにすることを目的とした水温の計測を、C地点(図2, C1: 水深307 cm C2: 水深78 cm)において実施した。

計測の結果を表1と図8に示す。C1における計測期間中の平均水温は28.4℃、最高水温30.9℃、最低水温は25.5℃であった。C2では、平均水温は28.6℃、最高水温32.1℃、最低水温は25.7℃である。C1とC2では平均、最低値について明確な差はないが、C2の水温がC1を上回る。さらに、C2における日ごとの最高水温は、計測期間中C1の値を上回る結果となった。両地点ともに水温は、気温と同調する形で周期的な変化を繰り返し、水温の変化は気温に影響される。日最高水温の平均値と日最低気温の平均値(表1)の差を比較すると、C1地点が1.6℃、C2地点が2.2℃と平均値より大きな差を示す。これは、2点における日較差が、水深の浅いC2地点で大きいことを示す。また、水温と潮位との関連についても検証したが、明瞭な相関関係は認められなかった。しかし、C2において32℃以上の水温が記録された9月7・21・23日は、最干潮の2～3時間後に最高水温が記録された。この時の気象状況は晴天で、潮位が低い時間帯に日射が重なり、水温が上昇し

表1 C地点(C1・C2)における水深と水温

No.	水深 (cm)	水温 (°C)				
		平均	最高	最低	最高	最低
C1	307	28.4	29.2	27.6	30.9	25.5
C2	78	28.6	29.6	27.4	32.1	25.7

石垣島白保サンゴ礁における白化現象の分布と水温の関係（鈴木ほか）

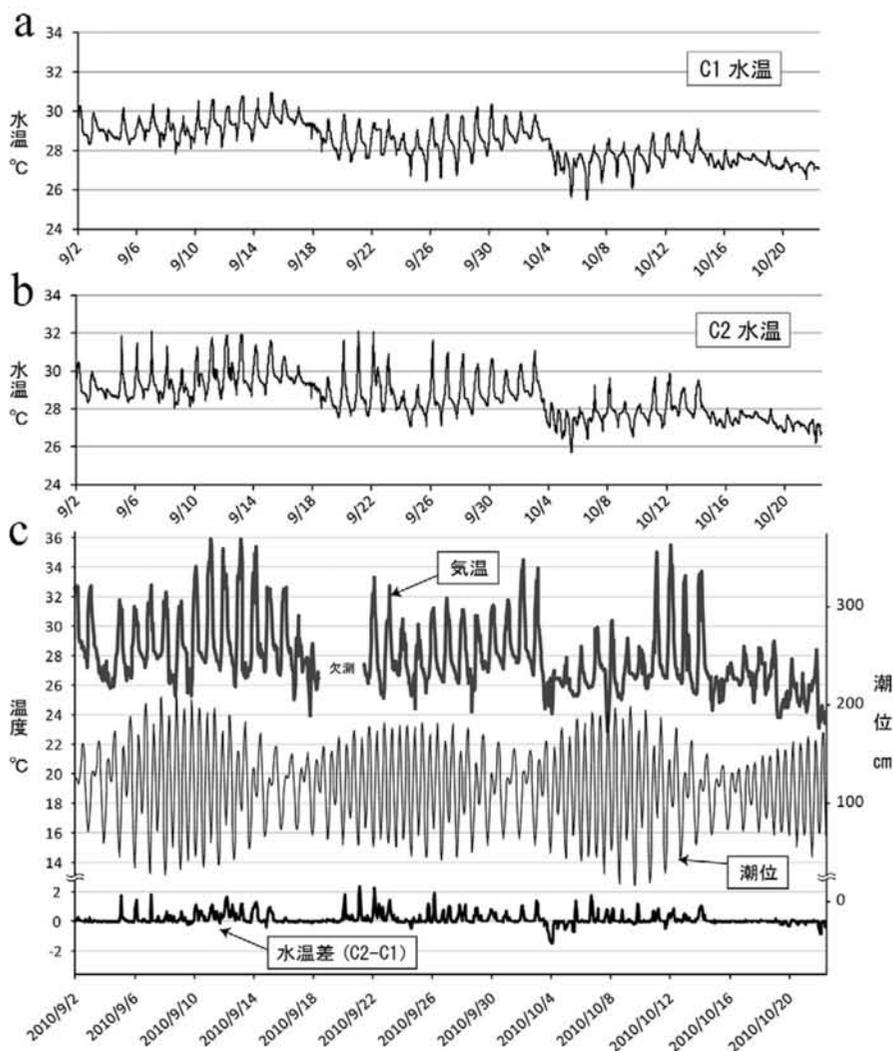


図8 2010年9月2日～10月20日における a) C1地点の水温、b) C2地点の水温、c) 気温・潮位の変化とC1とC2の水温差 (C2-C1)

やすい条件が高温の状態を形成したものと考えられる。10月4日と20日の1:00～5:00の間では、水深が深いC1の水温が、C2の水温を上回る期間が存在する。この時間は、気温が低い夜間に降水が重なり、下層の水温が高くなる状況が生じた結果と推測される。

このように、調査海域における水温は上層と下層で異なり、特に日中の最高水温を示す時間は上層の水温が下層を大きく上回る。また浅礁湖内の水温は、気温と同調する形で周期的な変

化を繰り返すことに加え、潮位の変化と気象条件に強い影響を受けることが明らかである。

V. 考 察

1. 造礁サンゴ類と白化現象の分布

造礁サンゴ類・白化現象の分布と浅礁湖内の水温から、サンゴ礁浅海域における白化現象の平面的な広がりについて考察する。

調査海域の造礁サンゴ類は、ハマサンゴ属が

優占的に分布するとともに、多くの種が混成することが特徴である。また、これら造礁サンゴ類の分布は、種によって分布する場所に違いがみられる。さらに、白化現象についても、造礁サンゴの分布同様にその割合に分布差が認められた。造礁サンゴは、種によって白化の反応が異なり、白化しやすい種、白化しても回復しやすい種、白化後に死亡しやすい種などが報告されている (Bird and Marshall 2002)。茅根ほか (1999) は、本研究の調査範囲から南約300 mの海岸線と直交する測線において、1998年に起きた造礁サンゴの白化状況の調査を行い、生サンゴのうち白化しているサンゴの割合は、枝状コモンサンゴ類が100%、枝状ミドリイシ類が80%以上、枝状ハマサンゴ類が60~80%、塊状ハマサンゴ類が0~80%、アオサンゴの白化率は0~40%と、サンゴによって白化率が異なることを明らかにした。また、大見謝ら (2000) は、1998年に沖縄本島の複数のサンゴ礁海岸で造礁サンゴ類の白化現象の調査を実施した。この研究において、最も白化耐性が強いと評価された造礁サンゴは塊状のハマサンゴ類であった。また、ユビエダハマサンゴも樹枝状サンゴの中では最も白化耐性指数が高かったが、糸満市大度海域では、最大直径が50 cm以下のユビエダハマサンゴが死滅し、この海域で最も白化耐性が弱いのはユビエダハマサンゴと評価された。一方、恩納村太田では、ユビエダハマサンゴの大群落がみられ、大きな群体の被害はわずかであったが、小規模な群体が全体死しているのを観察した。これらの点から、ユビエダハマサンゴは群体の大きさにより白化耐性が異なることが示唆された。このように、各地域において造礁サンゴの種により白化の割合に違いがあることが報告されている。

本研究においても、ユビエダハマサンゴを含むハマサンゴ属が優占する範囲では、範囲内の白化の割合が40%を下回る範囲が多くを占め

る。一方、ミドリイシ属とコモンサンゴ属における白化の割合は60%を超え、種による白化現象の分布差が認められる。また、浅礁湖の中央部、塊状のハマサンゴ属の分布が集中するArea-3では、白化の割合も低い (図5 Area-3)。しかし、調査範囲の北側にも、ハマサンゴが分布する場所が認められる (図4 Area-1)。この場所 (Area-1) は調査範囲中央部 (Area-3) と比較し、水深が1~2 mと浅い場所であるが、白化の割合が20%以下と低い。これは、水深に関係なく、造礁サンゴの種構成が白化の面的分布に影響を与える要因であることを示すものである。これらのことから、サンゴ礁の白化現象の分布は、第一に造礁サンゴが持つ白化に対する耐性の強弱に依存するものと考えられる。

2. 白化現象と水温との関係

造礁サンゴ類は、種による耐性の違いはあるが、水温ほぼ30°Cが白化現象の起こる臨界温度と考えられている (西平・Veron 1995)。日本では、1998年に九州から八重山諸島にかけ、広範囲に造礁サンゴの白化現象が報告された (中野 2004)。1998年における夏季の気温は例年より平均で1~3°C高く、特に8月は、沖縄本島周辺や石垣島周辺において、水平的にも垂直的にも広い範囲で30°C以上の高水温が長い間継続した (鹿熊 2000)。石垣島における1998年の白化現象は、梅雨期に例年より多い降水量があり、河川から流出した赤土や淡水がサンゴ礁内に流入した。さらに、7月から9月にかけて高海水温の状態が継続したことが複合的に作用し、広範囲な白化現象が起こった (長谷川ほか 1998)。このように、調査地域における白化現象は、高水温が主たる要因と考えられる。

一方、2007年に調査海域で発生した白化現象は、まず6月末に調査地域北側の轟川河口付近の海域において、水深の浅い場所で塊状ハマ

サンゴとシコロサンゴの白化が確認された。その後、7月20日に本研究の調査範囲内のA地点付近でトゲサンゴ (*Seriatopora hystrix*) を中心とした小型群体の白化が確認され、さらに広範囲にわたる造礁サンゴの白化現象が進行した。気象庁石垣島気象台の観測によると、この年は6月から気温が高い状態が続き、この年の6月3日には6月における観測史上最高気温の34.6°Cを記録した (WWF ジャパン 2007)。

調査海域の水温も、A地点29.4°C、B地点29.0°Cであり、最高水温はA地点において7月28日に34.3°C、B地点において7月31日15:30に32.9°Cを記録し、例年より高い状態が継続した。この高水温が継続した状態が、調査海域における白化現象を引き起こした主たる要因と考えられる。特に、昼間の最干潮時に晴天の状態では日照が重なると、浅礁湖内で高水温の状態が生じる。調査海域におけるサンゴ礁地形は、礁嶺を境に外洋側と浅礁湖側に区分される (図3)。中潮位から高い潮位時にかけては、礁嶺は海面下に位置し、外洋からの波が礁嶺を乗り越えて浅礁湖側に流入する。石垣島東海岸では、卓越風高が冬は北-北東、夏は南と変化するため、風向に影響された海水流動パターンを示すが、年間を通じては北風が卓越するため、卓越流は北風時のものと考えられている (Yamano *et al.* 1998)。調査海域では、東側の外洋側から礁嶺を乗り越えた海水が流入し、浅礁湖内で北から南に向かう流れとなる。その流れは、南側に存在するサンゴ礁地形の帯状構造と直交する高まりに阻まれ、東側の礁嶺の切れ目から外洋に流れ出す。そのため、外洋からの海水は浅礁湖内を流れて排出される循環を持ち、外洋の海水が浅礁湖内の水温上昇を抑える効果をもたらす。一方低潮位時は、浅礁湖の沖側に発達する明瞭な礁嶺によって外洋と遮断される停留現象が起こる (Nakamori *et al.* 1992, Kayane *et al.* 1995)。そのため、浅礁湖内の潮

流は留まる状況となり、より閉鎖的な環境が生じることから水温が上昇する。特に夏の昼間の干潮時に水温が上昇する現象は、このような地形的条件が浅礁湖内の高水温に影響を及ぼす要因であると考えられる。

調査地域における白化現象の分布は、種による分布差が認められるが、浅礁湖内の水深の差によっても白化現象の割合の差が認められる。水深が102 cmのA地点周辺では、白化現象の割合は低い。一方B地点は、水深が255 cmと深い場所であり、この場所における白化現象は、調査海域の中でも高い割合を示す。特に、白化耐性が強いユビエダハマサンゴやハマサンゴ属も、B地点付近の水深が浅い浅礁湖や前方礁原内側帯で白化の割合が高い。この原因として考えられるのは、浅礁湖内と前方礁原内側帯における水温差である。C地点では、浅礁湖内のほぼ同地点において表層78 cmと深層370 cmの水温を同時に記録した結果、C1とC2では平均・最低値について明確な差はないが、C2の最高水温はC1を上回る結果となった。C地点で比較した垂直方向の水温差を考慮すると、A地点のサンゴ生息水深よりもB地点の周辺のサンゴ生息水深における水温は高い状態であったと考えられる。さらに、表層の水温は気温の影響を強く受けるため、気温が高い状況では、水深が浅い場所ほど水温も高い状態になる。2007年の7月21日～7月31日にかけては気温も高く、水深が深いB地点においても、夜間の水温が30°Cを下回らない状態が継続した (図7b)。そのため、この期間におけるB地点の表層付近の水温は高い状態が継続し、B地点周囲の水深が浅い場所における白化現象の割合が高くなったものと考えられる。

このように、サンゴ礁浅海域における水温は水深が浅いほど気温の影響を受けやすく、造礁サンゴは生息する水深が浅いほど白化現象を起こしやすい。よって、外洋側から陸に向かって

水深が変化する裾礁タイプのサンゴ礁では、地形要因による海流や気象条件が重なり、白化現象に分布差が生じるものと考えられる。

VI. まとめ

本研究では、石垣島白保サンゴ礁において、空中写真を基にした画像を用い、造礁サンゴ類と白化現象の分布を明らかにした。これまでの研究では、白化現象を面的に把握することは困難であったが、空中写真を基とした画像を使用することにより、白化現象の分布差を把握することが可能となった。また、白化時の水温と浅礁湖内の垂直方向の水温差について検討と調査をおこない、白化現象の分布との関係について考察した。

本研究の結果は、以下のようにまとめられる。

1. 調査地域におけるサンゴ群集の分布は、ハマサンゴ属が優占的に分布するとともに、多くの種が混成する。
2. 浅礁湖内の水温は、気温変化の周期に調和的に変化し、さらに潮位と気象条件にも影響を受ける。また、垂直方向で水温差があり、水深が浅いほど気温の影響を受ける。
3. 調査地域における2007年の造礁サンゴの白化現象は、造礁サンゴの分布とサンゴ礁内における水温差によって分布差が生じると考えられる。

サンゴ礁浅海域における白化現象の分布は、高温によるストレスが影響している。しかし白化現象の要因は、淡水や陸域からの土壌の流入によるストレス等も含まれるため、他の要因との関係についても更なる検討が必要であり、今後の課題としたい。

近年、温暖化と連動した海水温度の上昇が大規模なサンゴ白化の主な原因であることが指摘されている(中村ほか 2003)。また、鈴木ほか

(2005)は調査海域のコブハマサンゴ(*Porites lutea*)の骨格を分析し、高水温と降水によって1998年と1988年に著しく成長量が低下した年が存在したことを確認した。この結果は、白保サンゴ礁では造礁サンゴの成長を阻害する要因が、過去に繰り返して起こったことを示すものである。これらのことから今後、白保サンゴ礁においてこのような白化現象が再度起こる可能性は高いものと考えられる。本研究における成果が、今後の白保サンゴ礁の環境変化を考察する上での基礎資料となることを望みたい。

謝 辞

本研究は、WWFジャパンの事業委託により実施し、研究の一部は駒澤大学応用地理研究所の研究費を使用した。現地調査においては、WWFジャパンの上村真仁氏・鈴木智子氏、小林孝氏に協力をいただいた。また、日本自然保護協会の安部真理子氏には、造礁サンゴ類の分類について助言をいただいた。ここに記し、厚く御礼申し上げたい。

参 考 文 献

- 大見謝辰男・仲宗根一哉・満本裕彰・上原睦男・大城 哲 2000. サンゴの赤土耐性と白化耐性の比較. 沖縄県衛生環境研究所報 34: 69-76.
- 鹿熊信一郎 2000. 1998年夏の沖縄周辺海域の高水温. 沖縄県水産試験場事業報告書 平成10年度: 45-49.
- 亀崎直樹・宇井晋介 1984. 八重山列島における造礁サンゴ類の白化現象. 海中公園情報 61: 10-13.
- 茅根 創・波利井佐紀・山野博哉・田村正行・井手陽一・秋元不二雄 1999. 琉球列島石垣島白保・川平の定測線における1998年白化前後の造礁サンゴ群集被度変化. *Galaxea* 1: 31-39.

- 鈴木倫太郎・雪野 出・安村茂樹・佐藤昌憲・
権田雅之 2005. イメージングプレートを用
いたハマサンゴの成長に及ぼす環境要因の考
察—石垣島白保サンゴ礁産のハマサンゴ試
料—. 駒澤地理 41: 79-94.
- 鈴木倫太郎・長谷川 均・前川 聡・市川清
士・柴田 剛・後藤慶之 2008. 石垣島白保
サンゴ礁における造礁サンゴ類の詳細分布地
図 その2 —保全活動のためのベースマップ
作成—. 日本サンゴ礁学会第11回大会予稿
集. p120.
- 中村 崇・山崎征太郎・神木隆行・山崎秀雄
2006. サンゴ礁のストレス事情—浅瀬のサ
ンゴの我慢比べ—. 琉球大学21世紀COEプ
ログラム編集委員会編『美ら島の自然史』
132-146. 東海大学出版会.
- 中村 崇・神木隆行・山崎秀雄 2003. 海洋生
態系への—サンゴ礁生態系を中心として. 大
政謙次・原沢英夫・(財)遺伝学普及会編『地
球温暖化—世界の動向から対策技術まで—』
128-136. 裳華房.
- 中野義勝 2004. 地球環境変動と白化現象. 環
境省・日本サンゴ礁学会編『日本のサンゴ
礁』44-50. 環境省.
- 西平守孝・J. Veron 1995. 『日本の造礁サンゴ
類』海游舎.
- 長谷川 均・市川清士・小林 都・小林 孝・
星野 眞・目崎茂和 1999. 石垣島における
1998年のサンゴ礁の広範な白化. *Galaxea* 1:
31-39.
- 長谷川 均・山野博哉 2004. 石垣島, 八重
山群島, 日本各地のサンゴ礁の現状. 環境
省・日本サンゴ礁学会編『日本のサンゴ礁』
220-226. 環境省.
- 日高道雄 2006. 褐虫藻の多様性と造礁サンゴ
のストレス耐性. 琉球大学21世紀COEプ
ログラム編集委員会編『美ら島の自然史』
147-164. 東海大学出版会.
- 前川 聡・鈴木智子 2007. 石垣島白保サンゴ
礁における2007年の大規模白化の状況なら
びに被度の変化. 日本サンゴ礁学会第10回
大会予稿集 p122.
- WWF Japan 2007. 「緊急レポート 白保サンゴ
礁でサンゴが大量白化」 [http://www.wwf.or.jp/
shiraho/topics/2007/sr20070807brcrep.html](http://www.wwf.or.jp/shiraho/topics/2007/sr20070807brcrep.html) (最
終閲覧日2011年1月25日)
- Bird, A. H. and Marshall, P. A. 2002. Mortality,
growth and reproduction in scleractinian corals
following bleaching on the Great Barrier Reef.
Marine Ecology Progress Series 237: 133-141.
- Kayane, H., Suzuki, A. and Saito, H. 1995. Diurnal
changes in the partial pressure of carbon dioxide
in coral reef water. *Science* 269: 214-216.
- Nakamori, T., Suzuki, A. and Iryu, Y. 1992. Water
circulation and carbon flux on Shiraho coral reef
of the Ryukyu Islands, Japan. *Continental Shelf
Research* 12: 939-949.
- Suzuki, R. 2005. Characteristics of Bioerosion by
Echinometra mathaei on the Fringing reef of the
Ishigaki Island, the Ryukyus, Japan. *Regional
Views* 18: 1-39.
- Wilkinson, C. 1998. The 1997-1998 mass bleach-
ing event around the world. *Status of coral reefs
of the world: 1998*, Australian Institute of Marine
Science, Queensland, 15-38.
- Yamano, H., Kayane, H., Yonekura, N., Nakamura,
H and Kudo, K. 1998. Water circulation in a
fringing reef located in a monsoon area: Kabira
Reef, Ishigaki Island, Southwest Japan. *Coral
Reefs* 17: 89-99.
- Yamazato, K. 1981. A note on the expulsion of
zooxanthellae during summer, 1980, by the Okinawan reef-building corals. *Sesoko Marine laboratory Technical Report* 8: 9-18.
- Yamazato, K. 1999. Coral bleaching in Okinawa,
1980 vs 1998. *Galaxea* 1: 83-87.

Distribution of Coral Bleaching and its Relation to Water Temperature in the Shiraho Reef in Ishigaki Island

Rintaro SUZUKI^{*1}, Satoshi MAEKAWA^{*2}, Teppei SAGAWA^{*2}, Tsuyoshi SHIBATA^{*3},
Kiyoshi ICHIKAWA^{*4}, Yoshiyuki GOTO^{*5} and Hitoshi HASEGAWA^{*6}

In 2007, bleaching events of scleractinian corals occurred in various locations of the Ryukyu Islands. In Shiraho reef located in the east coast of Ishigaki Island, many bleached corals were observed in shallow lagoon areas. In this study, the relationship between distribution of corals and the degree of coral bleaching was examined in the coral reef in a shallow area of Shiraho reef.

The distribution of the corals was different by species, depth and zone. Especially, the distribution of massive *Porites* spp. was concentrated in the deep sea areas. The ratio of the degree of coral bleaching was also different by depth, thus a high ratio of corals in shallow areas was more damaged by bleaching. On the other hand, the ratio of coral bleaching was lower in the places where a lot of corals with high tolerance for bleaching were distributed.

The difference in distribution of bleached corals was examined by comparison between the surface and the deep water temperature of the year 2010, and the temperature at which bleaching occurred. As a result of the investigation of the highest water temperature, the surface temperature of a shallow lagoon was shown to be higher than that of the deep water area. This is because the water temperature of the lagoon was influenced by the air temperature, the sea level, and the weather conditions.

In conclusion, distribution of corals differs by various conditions such as water depth. Hence the distribution of the bleached corals differs as the tolerance to bleaching differs for each species. In addition, the surface water temperature of lagoon is higher than that of deep areas which makes corals in shallow areas more susceptible to bleaching. It is thought that the difference of coral bleaching distribution occurred because of these factors in the shallow coral reef area.

^{*1} Senior Research Fellow, Institute for Applied Geography, Komazawa University

^{*2} WWF Japan

^{*3} Aero Photo Center Co., Ltd.

^{*4} Part-time Lecturer, Komazawa University

^{*5} Aobadai Elementary School of Yokohama City

^{*6} Professor, Department of Geography, Kokushikan University