



Title	遊泳海域レジャーの持続可能性の検証：宮古群島 下地島・中の島ビーチ保全活動を例として
Author(s)	澤田, 恵梨子
Citation	北海道大学. 修士(環境科学) 47363
Issue Date	2017-03-25
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/76401
Type	theses (master)
File Information	sawada.pdf ()



[Instructions for use](#)

平成 28 年度

修士論文

遊泳海域レジャーの持続可能性の検証
～宮古群島 下地島・中の島ビーチ保全活動
を例として～

北海道大学 大学院環境科学院

環境起学専攻 人間・生態システムコース 修士 2 年

指導教員 藤井賢彦准教授

学生番号 76153006

氏名 澤田恵梨子

遊泳海域レジャーの持続可能性の検証
～宮古群島 下地島・中の島ビーチ保全活動を例として～

北海道大学 大学院環境科学院
環境起学専攻 人間・生態システムコース
澤田 恵梨子

【背景・目的】近年のサンゴを取り巻く環境は、地球温暖化や海洋酸性化といった全球規模の影響と、赤土流出やオニヒトデによる食害といった局所的な影響が複雑に絡み合っており、サンゴ礁の保全に向けた対策も多岐にわたる。そのため、地域の状況に応じた順応的かつ効果的な対策を講じるために、局所的な人為影響を軽減することは極めて重要かつ急務である。一方、サンゴ礁の全球規模の劣化に加えてインバウンド需要も高まってきた現状において、サンゴ礁海域レジャーの持続的発展が求められているが、遊泳被害に対する保全活動の効果検証は未だ不十分である。そこで、本研究では、Gao (2015)による宮古群島の下地島・中の島ビーチにおける遊泳被害パターンの調査結果に基づき、地元ダイビングショップ・エコガイドカフェとの協働で実施された遊泳被害に対する保全活動を例とし、サンゴ礁での遊泳海域レジャーの持続可能性の検証を行った。

【方法】Gao (2015)により設定されたサンゴへのノータッチマナーの普及活動（ノータッチ看板等の設置、サンゴ保全スタッフの配置）に対する、アンケートによる遊泳者のノータッチマナー意識調査と実際の行動調査をそれぞれ2015年8～10月と2016年8～9月に実施した。また調査期間には、スキューバ潜水によるサンゴ健全度調査も行った。意識調査ではサンゴへの様々なタッチ行為経験やノータッチマナー看板の効果に関して、118名分の有効な回答を得た。行動調査では、看板効果による遊泳行動の違いを把握するために、看板を「見た」・「見てない」等で遊泳者をラベリングし遊泳中の行動を把握した。Gao (2015)によると、サンゴに乗る行為が最も多く被害も大きいこと、そして保全に向けた主な注意喚起対象にもなっていることから、サンゴに乗る行為の程度から看板効果を評価した。

【結果・考察】サンゴ健全度調査により白化現象と遊泳者増加の影響によるサンゴの劣化が懸念されていたが、短期間内でも白化現象からの回復などが観察されたことから、サンゴ成育環境の保全活動の重要性が考えられた。意識調査の結果、タッチ項目が多い遊泳者ほど看板理解の割合が低いことなどから、看板理解の促進によりタッチ行為を減らす効果があると考えられる。一方、タッチ項目が少ない遊泳者に対する看板効果は顕著には認められなかった。また行動調査の結果、看板や保全スタッフの有無により遊泳者がサンゴに乗るといった行為の出現率に有意な差が見られたことから、看板設置と保全スタッフ配置は効果的と考えられる。

【結論・提言】重要なのはサンゴの成育環境の保全であり、遊泳被害などの局所的な影響を回避する取り組みが、全球規模の影響を含めたサンゴの劣化を軽減することにも繋がると考えられた。看板設置や保全スタッフ配置による保全活動は故意的タッチ行為軽減には効果があるが、その他のタッチ行為の軽減に関しては改善が必要であった。今後、観光客の増加等による環境負荷のさらなる増大が懸念される中、持続可能な遊泳海域レジャーの確立に向け、徹底された環境配慮理解の促進や、長期的なモニタリングを通じたサンゴの健全度の把握をした上での順応的な対策が必要になると考えられる。

目次

1	はじめに.....	4
1.1	持続可能な観光.....	4
1.2	サンゴ礁生態系.....	6
1.2.1	サンゴ礁の生態系サービス.....	6
1.2.2	サンゴ礁の重要性.....	8
1.2.3	沖縄県におけるサンゴ礁の現状.....	8
1.2.4	サンゴの白化現象.....	10
1.3	サンゴ礁の劣化.....	11
1.3.1	全球的な影響と局所的な影響.....	11
1.3.2	沖縄県宮古島における遊泳レジャーの影響.....	11
1.3.3	サンゴ礁保全対策.....	12
1.4	下地島・中の島ビーチにおけるサンゴ礁保全活動（スマートコントロール）.....	13
1.5	本研究の目的と基本構成.....	13
2	研究方法.....	14
2.1	研究対象.....	14
2.1.1	研究対象地 下地島・中の島ビーチ.....	14
2.1.2	エコガイドカフェ（エコツアーラボ合同会社）.....	15
2.1.3	サンゴ保全活動.....	15
2.2	調査方法.....	17
2.2.1	サンゴの健全度調査.....	17
2.2.2	遊泳者に対する意識調査.....	17
2.2.3	遊泳者に対する行動調査.....	18
2.3	データ分析.....	19

2.3.1 意識調査分析.....	19
2.3.2 行動調査分析.....	19
3 結果と考察	20
3.1 サンゴ健全度調査.....	20
3.1.1 一般的な光景.....	21
3.1.2 遊泳被害を受けやすい箇所の長期モニタリング	22
3.1.3 遊泳被害のあったサンゴの長期モニタリング.....	23
3.1.4 白化現象の短期モニタリング	25
3.1.5 白化現象の中期モニタリング	27
3.1.6 回復シーンの観察.....	30
3.1.7 稚サンゴ成長の観察.....	38
3.2 アンケートによる意識調査	40
3.3 遊泳者の行動調査.....	48
4 結論.....	53
謝辞	54
参考文献.....	55
補遺	59

1 はじめに

1.1 持続可能な観光

国連世界観光機関（UNWTO）の報告によると、2015年の国際観光客到着数（1泊以上の訪問客）は世界全体で4.6%増加し、前年比5,200万人増の11億8,600万人に達した。この結果、2009年の世界経済危機以降、6年連続で長期予測における年間平均を上回る成長を記録した。2015年の観光動向は、まれにみる激しい為替変動、石油およびその他の商品価格の下落、そして世界全体での安全および安心に対する懸念の高まりの3つの要因の影響が大きかった。また、2015年の世界全体の国際観光収入は、実質的に4.4%増加し、全体の収入額が1兆2,600億米ドル（1兆1,360億ユーロ）であった。UNWTOによると2010年から2030年までの20年間の観光の長期予測および評価である「UNWTO2030長期予測」（Tourism Toward, 2011）では、世界全体の国際観光客到着数は、2010年から2030年にかけて世界的に年平均3.3%増加すると予測している。成長率は2010年台の3.8%増から2020年台の2.9%増へ次第に緩やかになっていくが、国際観光客到着数は確実に増加するとみられている。絶対数では、1995年から2010年までの年平均2,800万人の成長に対し、2010年以降は年平均4,300万人のペースで増加すると予測している。また、世界全体での国際観光客到着数は、2020年までに14億人、2030年までに18億人に達すると予測している（UNWTO Tourism Highlights, 2016）。

このような成長基調の一方で、観光が環境に与える影響についても1970年代以降議論されてきた。1984年国連に設置された「環境と開発に関する世界委員会」（ブルントラント委員会）以来普及した「持続可能な開発」（sustainable development; SD）という考え方は、観光分野において「持続可能な観光」（sustainable tourism; ST）として提案されてきた。1988年には、UNWTOによりSTは「現在の旅行者と受入れ地域の需要に適合しつつ、次世代のための機会を守り、強化するものである。あらゆる資源を活用するにあたっては、文化の尊厳、大切な生態系環境、生態系の多様性、生命を支える仕組みを維持しながら、経済的、社会的、美的な必要性を満たさなければならない」と規定されている（九里ら, 2006）。さらにUNWTOは2004年に、持続可能な観光開発に必要な要件として以下の3点を挙げている。①生態系を維持し、自然遺産と生物多様性の保全に寄与するような、環境資源の最適な利用を図ること。②ホストコミュニティの社会文化的真正性を尊重し、文化遺産と伝統的な価値観を守るとともに、文化の相互理解に貢献するものであること。③すべてのステークホルダーに社会・経済的な利益をもたらし、その利益が安定した雇用と収入を得る機会、そしてホストコミュニティの社会的サービスなどが公正に分配され、貧困の軽減に貢献するような、実行可能で長期的な経済運営を確保すること（UNWTO, 2004）。

海外では、運輸、宿泊機関、ツアーオペレータはすでに組織のトップによる意思決定、マネジメントに組み込まれたガイドラインを持ち、取り組みが始まっている。しかし日本においてはいまだに実践例が少なく、例えば、日本旅行業協会（JATA）では、従来からコンプライアンス経営の取り組みとして、個人情報保護法や消費者基本法、児童買春等防止法などへの対応や、

JATA 環境基金事業などを行っているが、具体的な旅行業の持続可能性のための経営の指針は出していないなど、海外と比較すると非常に遅れているのが現状である。日本政府は第三次環境基本計画の中で「健全で恵み豊かな環境が地球規模から身近な地域までにわたって保全されるとともに、それらを通じて国民一人一人が幸せを実感できる生活を享受でき、将来世代にも継承することができる社会であり、そのためには、多様化する国民の期待が実現する社会の基盤としての環境が適切に保全されるとともに、経済的側面、社会的側面も統合的に向上することが求められる」と定義している（環境省, 2006）。しかし、実際には、観光地への効果・観光客の満足度・安全性・文化的財産の維持などの社会的側面と、観光地域社会（コミュニティ）及び観光地域への経済的利益・雇用・ビジネス競争力などの経済的側面からのアプローチを優先した観光が中心で、環境的側面を優先した観光が少ないのが現実である。また、直接的な環境影響が図りにくいことや、環境的側面の評価方法として、評価基準が地域によって状況が異なり、定めにくいということ、環境的側面を優先した一方で、社会的側面や経済的側面が疎かになり観光として成立しないということなどが原因の一つとなり、環境的側面を考慮した観光の発展が遅れていると考えられる。

近年、地球環境問題に対する認識・意識が高まっており、エコツーリズムという概念が期待されているが、その用語が広義に使われているため、その内容・妥当性が十分に検証されないまま人々に誤って認識・解釈されている可能性もある。エコツーリズムの実態の多くは、“nature-based tour”と呼ばれるべきもので、自然体験型ツアーから、環境配慮に関し任意の団体の認証を得たものまで幅広く存在し、エコロジカルツーリズムとはいえないものも存在する。

環境倫理学の父と呼ばれている Aldo Leopold は、生態系の持続可能性について、以下のように言及している。彼の著書「野生のうたが聞こえる」(Leopold, 1987) では、「自然保全とは、土地の健康状態のことであり保全は土地の健康ならびに資源の供給を意味する。土地の健康は集合的に土地を構成する土壌、水、植物、および動物の自己更新能力 (the capacity for self-renewal) である。」と述べられている。すなわち、生態系の利用が生態系の健全さを保てる範囲内のものであるかどうかは、①その生態系の固有の生物多様性が保たれているかどうか、②その多様な生物と無機的環境が統合的な機能系をなし、全体性が維持されているかどうか、③生態系を構成するメンバー（無機的環境も含めて）それぞれおよび生態系全体の自己再生・更新が十分に可能であるかどうか、④上記①～③の状態が安定的に維持されているかどうか、という観点から判断できる。

1.2 サンゴ礁生態系

サンゴ礁の面積は地球表面の0.1%程度を占めるに過ぎないが、サンゴ礁には9万種もの生物が生息しており、浅海域の生物の35%以上もの種の生存を支えているという報告もあり、サンゴ礁は単位面積あたりの生物種の数で地球上で最も多い場所のひとつである（環境省，2016，「サンゴ礁生態系保全行動計画2016-2020」）。また、3000万人もの人々が完全にサンゴ礁生態系に生息する食料資源やそれに関連する収入、生計などの恩恵を受けている（Sukhedv *et al.*, 2010）。サンゴ礁の恩恵はその生態系サービスに起因している（Moberg and Folke, 1999）。

1.2.1 サンゴ礁の生態系サービス

生態系サービスには、食料供給や調整、文化、基盤サービスが含まれている（Millenium Ecosystem Assessment, 2005）。食料供給に関しては、海洋生態系から得られる食料を指し、サンゴ礁も漁場や海産物資源などを供給している。サンゴ礁生態系は魚類や貝類、甲殻類、ナマコ、海藻のような様々な海産物を生み出している。一方で、サンゴ礁漁業は、魚に依存している何億人もの人々を支えている世界の漁業のうち約9-12%を占め、主にその海産物からタンパク質摂取をしている地域も多い（Smith, 1978; Whittingham *et al.*, 2003）。さらに、サンゴ礁は主要な石灰やモルタル及びセメントの製造の原材料を供給する役割もある（Dulvy *et al.*, 1995）。石灰は農業におけるpH調整剤としても使用され、一部地域ではサンゴ破片は集められ、粉碎され肥料として使用されていた（Kuhlmann, 1988）。

調整サービスは、気候の制御や洪水の制御など生態系のプロセスの制御により得られる利益を指す。サンゴ礁は海流、波、嵐によって引き起こされる浸食による土地の深刻な喪失が起こる沿岸海域を保護する重要な役割を果たしている。例えば、Cesar（1996）は、サンゴ礁破壊の結果として沿岸の保護が減少したため、インドネシアだけでも海岸線1kmあたり820-1,000,000米ドルに相当する経済損失が生じたと見積もった。また、サンゴ礁の波動エネルギー散逸能力は、ラグーンと堆積物を生成する海藻やマングローブの生態系の成長に有利な環境を与える（Birkeland, 1997）。また、サンゴ礁生態系は他の海洋生態系と比較して微生物やシアノバクテリアによる窒素固定力が高く、生産的な多様性を形成している（Moberg and Folke, 1999）。

文化的サービスは、生態系システム及びサンゴ礁から得られる感覚的な価値と同様に、独特の教育、社会、リクリエーションが組み込まれた非物質的利益を指している。例えば、ハワイではダイビングやシュノーケリングの年間リクリエーション価値は3億2500万米ドルに達する（Cesar and Van Beukering, 2004）。その他のサンゴ礁の存在に対する教育的価値などの無形利益がフィールドワークの経験により得られた環境に対する一般的な認識に間接的に影響を与える。サンゴ礁が、狩猟や医薬品収集、本能的直観などの場を設けることにより地元のローカルコミュニティの文化的および精神的な活動を支えてもいる（Drew, 2005）。

このように、豊かな生物多様性を育み、多くの恩恵をもたらしてくれるサンゴ礁生態系だが、世界資源研究所（WRI）が実施した調査によると、世界のサンゴ礁の75%が危機的状態に

あり、対策がこのままとられなければ、2030年までにサンゴ礁の90%以上が、さらに2050年までにはほぼ全てのサンゴ礁が危機的状態に陥る恐れがある（WRI, 2011, *Reefs at Risk Revisited*）。地球温暖化や海洋酸性化などの全球規模の要因と、乱獲、土地利用の変化、レクリエーション活動などの局所的な要因の両側面からの影響を受ける脆弱性の高い生態系としても知られている（Pandolfi *et al.*, 2003; Hoegh-Guldberg, 2011）。サンゴ礁の脆弱性を示す代表的な現象として、1997～1998年にかけて高水温によって引き起こされた地球規模での大規模な白化現象が挙げられる。年間を通して温暖である熱帯亜熱帯地域に広がる造礁サンゴは、生息地の最高水温がもともと限界に近く、夏の最高水温が平均より1℃高い時期が長期間続くと白化現象を起こす（環境省, 2016, 「サンゴ礁生態系保全行動計画 2016-2020」）。1997～1998年は全球的に高水温の海域が広がったため、世界の造礁サンゴの約16%が死滅し、地球規模の影響が現れた例として注目された。その他にもサンゴ礁生態系では、開発行為による破壊や陸域から流入する海洋汚染による劣化、オニヒトデなどのサンゴ食害生物の大発生による影響など、様々な問題を抱えている。こうしたことから、サンゴ礁生態系は特に保全の必要性が高い生態系の一つとして国際的に認識されており、国連生物多様性条約第10回締約国会議で決定された愛知目標の一つには「2015年までに、気候変動又は海洋酸性化により影響を受けるサンゴ礁その他の脆弱な生態系について、その生態系を悪化させる複合的な人為的圧力を最小化し、その健全性と機能を維持する」という目標が掲げられ、サンゴ礁生態系が重要指標となっている（環境省, 2010）。しかしこの目標は極めて厳しく、2014年に発足された「地球規模生物多様性概況第4版（GBO4）」では、状況はむしろ悪化していると評価された（生物多様性条約事務局, 2010）。

2016年に環境省が「平成27年度サンゴ礁生態系保全行動計画の達成状況等調査」を実施し「サンゴ礁生態系保全行動計画 2016-2020」の記載項目に対応した取組の実施状況をまとめ、達成状況について、これまで行動計画の策定に携わった有識者にアンケート調査を実施した。その結果、国立公園の回遊公園地区の指定や管理といった「重要地域の設定と管理」については、2014年に慶良間諸島が国立公園に新規指定されるなど、実施された取組数が多く、「個別課題に対する対策の確立」についても、オニヒトデ駆除やサンゴ増殖といった取組が多く行われており高く評価されている一方で、「調和型地域づくりのための連携促進」や「陸域とのつながりを考えた総合的な管理」については達成度が低いという指摘があった。今後、様々な主体が連携することにより、現場での実際の保全に繋がる取組をさらに効率的かつ効果的に進めていくことが求められている（環境省, 2016, 「サンゴ礁生態系保全行動計画 2016-2020」）。

1.2.2 サンゴ礁の重要性

これまでに述べたように、サンゴ礁は高い生態系サービスと共に多様な生物の共存を可能にさせるという重要な機能を有しており、特に造礁サンゴは世界的にも人々と密接に関わっている。豊かなサンゴ礁生態系は、生物多様性以外にも、地域の暮らしや人類の生存にとっても多くの恩恵をもたらしている。1 km²のサンゴ礁から水揚げされる魚介類などが 300 人以上の人々の暮らしを支えていると推定される豊かな漁場を提供したり（環境省，2016，「サンゴ礁生態系保全行動計画 2016-2020」）、サンゴ礁に生息する生物が装飾品や観賞用に利用されることも多く、ヤコウガイ等の貝類を加工したアクセサリなども土産物として利用されている。また、沖縄などの伝統的家屋では、サンゴ礁由来の石灰岩やサンゴ群体そのものが随所に用いられるなど、建築資材として利用されていたり、奄美群島の与論島や喜界島などはサンゴ礁が隆起することにより島が形成されたり、サンゴの骨格やサンゴ礁分布域に生息している有孔虫の殻は砂を供給したり、土地を提供するという機能もある。さらに重要な役割として、天然の防波堤としての役割を担っている。サンゴ礁生態系に生息している生物が持つ様々な物質が医療薬品や化粧品などの原料として用いられることもある。加えて、サンゴ礁は地域の代表的な自然として、教育の場と多くの教材を提供したり、サンゴ礁生態系に生息している魚類なども含め、多様で色とりどりの景観は大変美しく人々を癒し観光資源としての大きな価値があり観賞用として取引されることもある（環境省，2016，「サンゴ礁生態系保全行動計画 2016-2020」）。

1.2.3 沖縄県におけるサンゴ礁の現状

沖縄県は独特の自然環境や文化に恵まれていることから、その産業は平成 27 年度の産業就業者人口割合によると第三次産業が 79%を占めるなど、サービス業が中心である。実際、入域観光客数も観光収入も右上がり増加しており（図 1.1）、近年は特に外国人観光客が急増している。また、約 3 割の観光客がマリナクティビティーをしているという報告がある（図 1.2）。

さらに日本におけるサンゴ礁生態系の年間平均経済価値は、観光業とレクリエーション活動に関連する産業で最低でも 28 億円、漁業で 107 億円、海岸防護機能で 75～839 億円に及ぶと推定されている（環境省，2010）。したがって、サンゴ礁は沖縄県の経済にとって不可欠な要素になっている。この他にサンゴ礁生態系は様々な島文化に貢献している。沖縄県の人にとっては食や民族習慣を含めた独特の文化を創り出しているため、サンゴ礁と密接な関係がある（環境省，2010）。

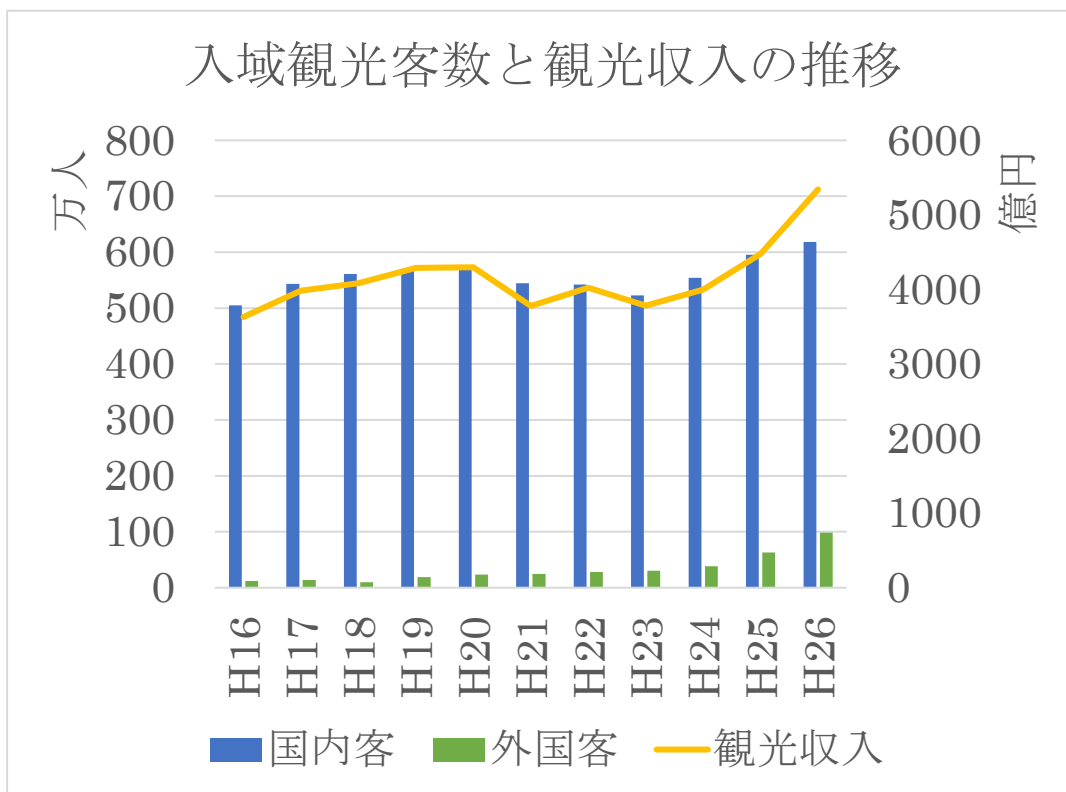


図 1.1 沖縄県の入域観光客数（人）と観光収入（円）推移。観光客数は沖縄県「入域観光客統計」、観光収入は沖縄県「観光統計実態調査」による。
 観光収入は平成 17 年度までは暦年の数値、平成 18 年度以降から年度の数値。
 外国客には特例上陸者を含む。

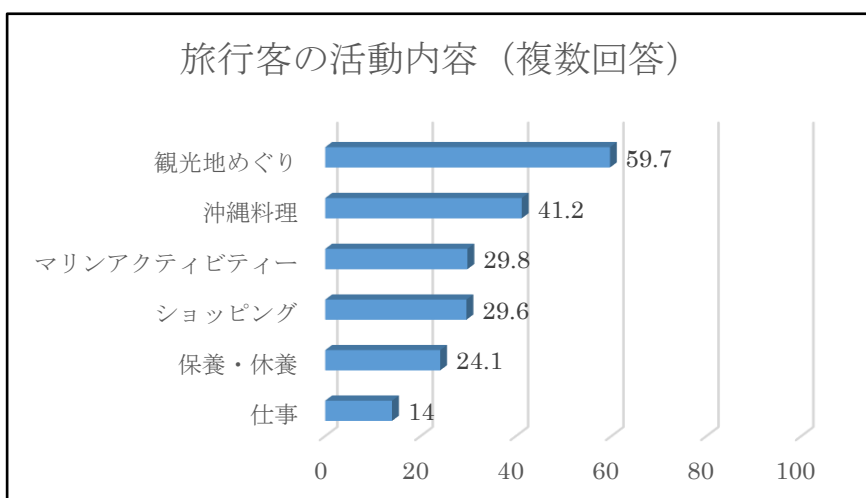


図 1.2. 旅行者の活動内容（沖縄県，2013，「観光統計実態調査」）

1.2.4 サンゴの白化現象

サンゴ礁の白化現象は、サンゴと体内の褐虫藻の共生の共生関係が崩れ共生藻密度や光合成色素量を減少することで、サンゴ礁の骨格が透けて見える状態を白化という。これは光の強さなど様々な要因によって引き起こされるサンゴのストレス反応であるが、海面水温（SST）の上昇によってより深刻で頻繁な症状が引き起こされる。そのストレス状態が続くと影響を受けたサンゴ礁群体は死ぬが、水温が下がれば回復する可能性があるといわれている。白化に対する耐性はサンゴの種類によって異なり、サンゴや共生藻がストレスに対して耐性を強めることでサンゴが抗酸化酵素や熱ショックタンパクを合成することによって高水温に順応することが報告されている（Coles and Brown, 2003）。さらに、サンゴが共生藻を入れ替えることによって新しい環境に適応することも示唆されている（日本サンゴ礁学会, 2011, 『サンゴ礁学』）。サンゴの複合的なストレスに対する応答およびそのメカニズムについては情報が少なく複合ストレスの影響や回復メカニズムなどについてはより詳細な研究を行う必要がある。

大規模のサンゴ礁白化は1979年以前の科学文献では報告されていない。しかし、1982年、1987年、1992年に重大な白化現象が報告され、1998年に記録された大規模の白化現象の時は、海水温の温暖化が各地で起こった。西インド洋では推定46%のサンゴが深刻な被害を受けたり、死亡したという報告があった。米国海洋大気局（NOAA）によると、2016年には世界各地でもサンゴ礁の白化現象が報告されており、サンゴの白化が沖縄県や鹿児島県を含め世界各地で広がった（https://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/research/coral_bleaching_report.php）。世界保全保護基金（WWF, 2016）によると、国内では1998年の大規模サンゴ白化現象以来の広範な被害になる恐れがあるという。白化が長く続くとサンゴは死滅する。被害の把握と対策に生かすため、研究者らが情報収集への協力を呼びかけている。2007年、2013年に一部の島で起きた白化より範囲が広くサンゴが大幅に失われるおそれがあると懸念されている。

1998年の白化被害は、エルニーニョ現象下の赤道海域で形成された巨大な暖水塊が海流とともに移動して、西太平洋のサンゴ礁を次々と飲み込むように引き起こされたといわれており、2016年は大規模な暖水塊の発生について聞かないことから、1998年と同様のメカニズムで引き起こされてはいない可能性も示唆されている（中野, 2016, サンゴ礁学会要旨）。気象庁（<http://www.jma.go.jp/jma/press/1609/01b/tenko1608.html>）によると、2016年8月は太平洋高気圧に覆われてほぼ全国的に月間日照時間が多く、強い日照を受けて全国的に月平均気温は高かった。特に黄海付近では高気圧の勢力が強く、上空も気圧の尾根となり背の高い高気圧に覆われたため、月平均気温は沖縄・奄美でかなり高く、月降水量が少なかった。NOAAによると、2016年夏の沖縄本島周辺の海水温は2001年以降最も高い水準で、白化の警戒レベルを超えたと考えられている。

1.3 サンゴ礁の劣化

1.3.1 全球的な影響と局所的な影響

サンゴ礁は、人間活動による直接的な影響と地球規模の気候変動などの組み合わせによる脅威から免れられない。大気中の二酸化炭素濃度の上昇による海洋酸性化や SST の上昇傾向は、サンゴの白化現象をはじめ、サンゴ礁生態系多様性の衰退を促進している（例えば Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007）。人間活動による二酸化炭素濃度の増加は、サンゴを含む海洋の石灰化生物の石灰化に負の影響を及ぼすと懸念されている（Orr *et al.*, 2005）。実際、海洋の性質を表す指標のひとつである水素イオン濃度（pH; 値が 7 未満だと酸性、7 だと中性、7 より大きいとアルカリ性）は工業化初期以降平均 0.1 程度低下している（環境省, 2013, IPCC WG1）。

海面上昇は、サンゴ礁の機能に影響を及ぼしている要因のひとつである。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 5 次評価報告書（AR5）第 1 部作業部会（WG1）によると、世界の平均海面上昇は 2065 年までに約 0.24m、21 世紀末までに 0.4~0.6m と予測されている（Lewis, 2014）。またサンゴは急速な海面上昇に追い付かず、将来の海岸沿いの脆弱や後退による被害に陥ると懸念される（Hoegh-Guldberg, 2011）。

地域レベルでは、サンゴ礁は水質の汚染や、主要な海洋生物の乱獲、公害、オニヒトデによる食害などの影響を受けている（Hughes *et al.*, 2003; Hoegh-Guldberg, 2011）。急速な人口増加による沿岸の過剰利用は、陸域からの土砂流出による沿岸域の富栄養化と水質汚染を引き起こす。加えて、過度なレクリエーション活動の負荷もサンゴ礁の劣化に関係しており広範囲に影響を与えている（Ward, 1990）。

1.3.2 沖縄県宮古島における遊泳レジャーの影響

沖縄県宮古市観光商工局（2016）によると、宮古群島への入域観光客数が近年急激に増加している(図 1.3)。このような状況下で 2015 年 1 月の伊良部島と宮古本土を結ぶ伊良部大橋架橋に伴い、訪問者の更なる増加が見込まれている。特に今までは船での行き来しか方法が無かった伊良部島への訪問者が急増している。

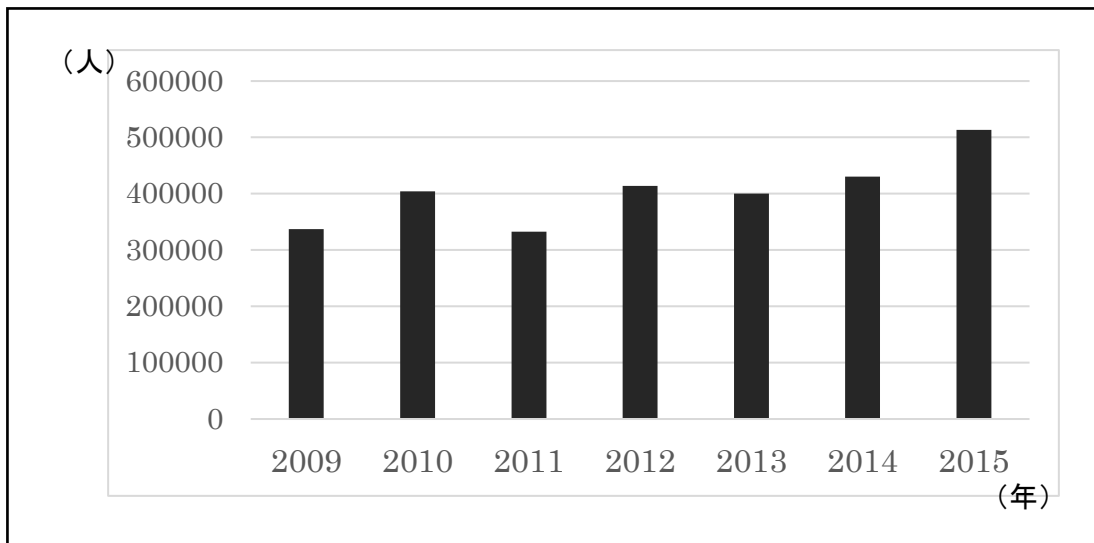


図 1.3 宮古入域観光客数（人）の推移（宮古市観光商工局，2016）

宮古島市では、市民一人ひとりが「宮古島市に住み続けたい」と実感できるよう、市民と行政の協働による島づくりを目指し、平成 19 年度から 10 年間を計画期間とする「第 1 次宮古島市総合計画」を策定し、地域の特性を生かした観光産業の振興として 2016 年までに来訪者は 50 万人を目指し、それを達成し、自然景観をはじめダイビングスポットなども貴重な観光資源とし、持続可能な観光産業を営み観光資源の活用と保全を図っている（宮古市企画制作部、2007、「第 1 次宮古島市総合計画 第 2 章」）。

一方、資源の非持続可能な利用者の数が急激に増えることが、サンゴ礁の健康に悪影響を及ぼしている（環境省，2010）。さらに敷田ら（2001）は、サンゴへの踏み付けやサンゴの枝を折るなどの直接的な物理的接触が、地球温暖化や海洋酸性化のような全球規模の気候変動の影響に対抗する復元力を妨げる規模の大きいサンゴ損傷に繋がると主張した。このように、局所的なレクリエーション被害を把握することはサンゴ礁保全の一環として不可欠である。

1.3.3 サンゴ礁保全対策

1994 年の国際サンゴ礁イニシアティブ（ICRI）設立以来、サンゴ礁保全やモニタリングに関する情報共有や沿岸域管理のための取り組みが実施されてきた。また様々なサンゴ礁関連活動はサンゴ礁保全に向けた繋がりを広げるために市民の参加を推奨している。日本自然保護協会（NACS-J）や阿嘉島臨海研究所（AMSL）などの科学研究機関と NPO の協働で公的な教育シンポジウムや現地調査を行っている場合もある。いくつかの企業も熱心にサンゴ保全活動を行っている。

例えば、宮古島市のダイビングショップであるエコガイドカフェは、サンゴに優しいレクリエーションマナーの実施や、オニヒトデ駆除の実施などを推進することによりエコツーリズムの促進に専念している。また、スタッフの日常業務や観光客向けのツアーの一環として、ビーチクリーンを行っている。これらの活動が評価され、2010年には日本エコツーリズム協会（JES）主催の第5回エコツーリズム大賞（特別賞）を受賞した。しかしながら、これらの取り組みは沖縄県でのサンゴ礁の劣化を補うにはまだ不十分である。

1.4 下地島・中の島ビーチにおけるサンゴ礁保全活動（スマートコントロール）

Gao (2015) は、宮古群島の重要サンゴ群集に指定されている下地島・中の島ビーチにおいて、サンゴ海域でのサンゴ礁保全によるレクリエーション被害の軽減のために、積極的に保全活動を実施しているエコガイドカフェの保全活動調査と潮汐変化による遊泳者が及ぼすサンゴ礁損傷被害パターンの推定、さらにサンゴに配慮した遊泳マナーを提案した。それを踏まえて、Shi (2015, サンゴ礁学会) が、エコガイドカフェが実施した持続可能なサンゴ礁海域の保全活動について、サンゴ礁へのノータッチマナー（サンゴに「触れない・蹴らない・歩かない・立たない・餌付け」）を開発し、遊泳負荷スマートコントロールを設定した。遊泳負荷スマートコントロールは、エコガイドカフェのゲスト以外のビーチに訪れる来訪者（ビジター）を対象を拡げてサンゴ保全への自発的で継続的な自覚と力量の向上を図るシステムであり、「ノータッチマナー」を促す看板を設置したり、エコガイドカフェスタッフによる説明・監視・注意などの教育啓発指導を行ったり、来訪者の自覚と力量を向上させる環境マネジメントを実施した。

1.5 本研究の目的と基本構成

近年のサンゴの劣化には、全球規模の影響と局所的な人為影響が複雑に絡み合っているため、対策も多岐にわたるが、地域の状況に応じた順応的かつ効果的な対策を講じるためには、局所的な人為影響を軽減することが極めて重要である。このような現状の中で、早急な対策が求められているが、全球規模でのサンゴ礁海域の悪化を防ぐことは極めて難しい。また、様々な要因が絡み合う中で、制御可能な要因対策を優先させることは持続可能な地域社会の構築と同時に、加速する地球温暖化に対するサンゴ礁の回復能力を維持するためのより良い解決策である(Yara *et al.*, 2014.)。

そこで、本研究では、サンゴ礁とその生態系の保全、及び沿岸域での持続可能な観光レジャー確立を目的として、2015年の伊良部大橋架橋による遊泳者急増と、2016年の世界的な白化現象と遊泳被害の両方の被害を受けている重要サンゴ群集・中の島ビーチを対象に、実際のサンゴの状態を調査すると同時に、サンゴ保全活動に対する遊泳者の意識と行動調査を行い、サンゴの遊泳被害に対する保全活動の評価・検証を行った。これらの結果から、サンゴ礁に遊泳被害を及ぼす可能性のある遊泳者の特徴を分析し、サンゴ礁保全の持続可能性や展望を模索する。

2 研究方法

2.1 研究対象

2.1.1 研究対象地 下地島・中の島ビーチ

下地島は、宮古列島の島のひとつであり 2005 年に宮古島市と合併し、沖縄県宮古島市に属する。2013 年の国土交通省国土地理院のデータによると、面積 9.54 km²、周囲 17.5 km、人口 48 人で日本唯一のパイロット訓練施設である下地島空港をもち、島全体が第四紀更新世の多孔質の琉球石灰岩で覆われている。琉球石灰岩は海水準変動や沈降により浅い海底となった時にサンゴ礁が発達してできたものである。北東側に隣接している伊良部島とは 6 つの橋が架けられており、さらに伊良部島と宮古島は 2015 年 1 月に全長 3,540m の伊良部大橋が架橋したことで人の行き来が容易になった。

下地島・中の島海岸は、伊良部島に隣接している下地島の西海岸に位置する海岸である

(図 2.1) インリーフの中央に大きな琉球石灰岩があり、そこを中の島と呼び中の島ビーチ(中の島海岸)と名付けたと言われている。また、周囲の琉球石灰岩の上部に、イネ科の多年草であるチガヤが多く見られ、方言でカヤと呼ばれることから、チガヤが多いビーチという意味のカヤツファビーチと呼ばれることもある。

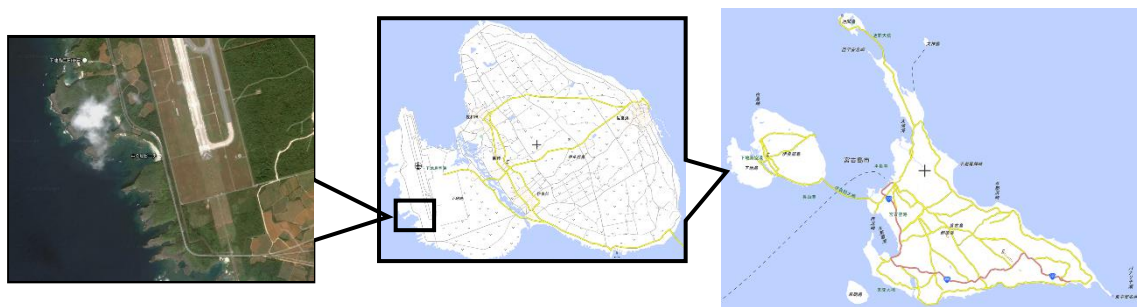


図 2.1 中の島ビーチの位置関係 (国土交通省国土地理院電子国土基本図 (2016), Google map を基に作成)

海岸の特徴としてはインリーフでも最大水深 7m ある宮古島特有の地形で、100 種類以上の熱帯魚や宮古島に生息する 350 種類のサンゴのうち 100 種類以上が生息している遊海域である。伊良部大橋架橋後にシュノーケルやダイビングポイントとして注目され始め、特に近年、外国人観光客を中心に来訪者が急増している。

2.1.2 エコガイドカフェ（エコツアーラボ合同会社）

エコガイドカフェは平成20年に猪澤也寸志代表により設立され主に観光サービス業、スノーケリング、体験スキューバーダイビング、修学旅行体験スノーケリング、サンゴラーニング、カンファレンス（会社チームビルディング）、マネージメントセミナー（サンゴから学ぶ）、地域観光とスケジューリングを事業内容として展開している。沖縄県には千に及ぶ事業者が海洋観光を営んでいるが、サンゴ保全をテーマとして収益事業を営んでいる事業者は珍しい。そんな中、エコガイドカフェは環境保全と経済成長の両輪を回しながら成長している。沖縄県未来観光の手本を示す事を社是とし、宮古島に訪れる観光客の環境負荷を小さくするため、環境マネジメント（ISO14001）を実施したり、弁当ゴミを減らすためにエコランチボックスを使用したり、サンゴ礁に配慮したエコシュノーケリング体験指導など、少しでも環境負荷を軽減するように配慮しているということで、2010年には環境省主催第5回エコツーリズム大賞特別賞を、2014年には日本政府観光局特別賞を受賞し、沖縄県新教育旅行商品開発支援事業の採択も受けている。

2.1.3 サンゴ保全活動

中の島ビーチに関して2014年以前は、宮古本島と伊良部島を結ぶ伊良部大橋が架かっていなかったため、エコガイドカフェのシュノーケルツアーやダイビングツアー参加者（以後、ゲストと呼ぶ）以外にほとんどおらず、個人的な遊泳客（以後、ビジターと呼ぶ）は1日6便しかないフェリーで行き来するしかなかったため、あまり多くはなかった。そのため、ビーチ内での遊泳者に対して、サンゴへの接触はしないように説明したり、環境に配慮したシュノーケル方法の説明をしたりと、ある程度コントロール出来ていた。Gao (2015) が、サンゴ礁損傷パターンを特定し、サンゴ礁保全対策としてサンゴ礁への“ノータッチマナー”（サンゴに「触れない・蹴らない・歩かない・立たない・餌付けしない」）を提言した。

しかし、2015年3月の伊良部大橋架橋以降、遊泳客の増加によるサンゴ礁劣化が懸念されたため、ゲストだけではなくビジターに対象者を広げた保全・対応策が必要となった。これを踏まえ、施ら(2015)は、エコガイドカフェと協働でビーチへの出入りにノータッチマナーを周知させる看板（図2.2(a)）とビーチへのエントリー場所を示した看板（図2.2(b)）を設置したり、ゲストだけでなくビジターに対してもビーチでの正しい遊泳方法の教育啓蒙のために監視員・説明員や指導員などを配置したりし、来訪者全員がサンゴ礁保全に対する持続的で自発的な自覚と力量を向上させる「スマートコントロール」を位置づけ実施してきた。サンゴへのノータッチ看板（図2.2(a)）の内容としては、①サンゴへのノータッチマナー、②入海口、③岩場や石の上にも稚サンゴが成育していること、④白化が進行している現状、が示されている。ビーチ監視に関しては、遊泳者の安全面はもちろん、サンゴタッチ、主にサンゴ礁の上に乗っている遊泳者に対して明瞭な声で注意し説明することで、同時にその周りにいる遊泳者に対しても周知させる効果が期待できる。

2016年には、持続可能な保全活動として、サンゴ礁の生育環境の保全に重点を置いてきた。枝状サンゴは折損してもその枝が定着できる環境にあれば、そこからサンゴ礁群体を形成することが可能であり、稚サンゴの定着も含め生育環境を整えることが重要だとした。つまり、岩場であろうと、死滅したサンゴ群集の上であろうと、サンゴが定着し群集を形成することが可能な場所に対して遊泳者が及ぼす環境負荷を軽減することに注力してきた。

また、これまで継続的に行ってきたビーチ環境保全活動として、ビーチクリーンが挙げられる。これには、スタッフが随時ビーチ清掃を行うことで、その場にいる遊泳者もゴミを置いて帰ることをやめるという効果も含まれる。他に、希望するゲストに対しては、地元の食材を用い、かつゴミを出さないランチパックでのエコランチを提供する取り組みも行ってきた(図2.3)。



図 2.2 設置された看板 (a)ノータッチ看板、(b)エントリー看板



図 2.3 エコガイドカフェが提供しているエコランチの一例

2.2 調査方法

2.2.1 サンゴの健全度調査

サンゴの実際の被害状況を把握するために、2015年8～10月、2016年8～9月と2016年12月に、スキューバ潜水によるサンゴの健全度調査を行った。平均水深2～3m、最大水深7mに生息しているサンゴを写真撮影やビデオ撮影、目視で観察し記録した。コブハマサンゴ・パラオハマサンゴ・ハナヤサイサンゴ・ユビエダサンゴ・ミドリイシ・コモンサンゴなど中の島ビーチでの代表的なサンゴを中心に記録し、遊泳者の集まる場所や主な遊泳経路を任意に選び観察した。スキューバ潜水による撮影は、安全性の確保の観点から、エコガイドカフェの猪澤也寸志代表やスタッフとバディーを組んで行った。

2.2.2 遊泳者に対する意識調査

エコガイドカフェの行っている上記の保全活動の効果を検証するために、中の島ビーチを訪れる遊泳者のノータッチマナーに対するアンケートを通じた意識調査を行った。

調査期間は2015年8月から2015年10月で、中の島ビーチの出入口付近において、中の島ビーチに来る遊泳者全員を対象者として、帰っていく遊泳者が多い時間帯に配布し、任意回答を求めた。

アンケート内容は、エコガイドカフェの猪澤也寸志代表や現場スタッフとの議論内容とGao (2015) の遊泳被害パターンを踏まえて作成した。すなわち、サンゴへのタッチ行為要因（足蹴り、ぶつかり、つかまり、サンゴで場休息、着地・歩行・素潜り・ダイビング・餌付け）の経験とその理由、ノータッチマナー看板を理解したかどうか、ノータッチマナーに対する感想等を選択項目として設定した（補遺参照）。なお、「サンゴノータッチマナー」に関する質問項目の有無によって回答にバイアスが生じる可能性を排除するため、サンゴへのタッチ経験要因を問う質問項目を先に、ノータッチ看板に関する質問項目を後に示した。回答時には、被験者にはサンゴ保全活動の一環としての質問紙調査であることのみを伝え、保全活動の有効性に対する調査であることは伏せて行い、質問項目の理解ができない場合には補足説明しながら回答してもらった。

スタッフによると、中の島ビーチでの遊泳者は、10時から15時までの時間帯に多く、1日に1～2回、人が入れ替わるため、本研究では11時半～12時半頃を中心に調査した。ちなみに、ビーチまでの交通手段はレンタカーがほとんどで、タクシーは稀であり、バスは通っていない。観光バスが通るが、ゲスト送迎以外のバスは止まらない。トイレやシャワールームは無く、駐車場20台ほどが駐車できるスペースがあるだけでほとんど整備されていないため、駐車場の許容範囲を超えた場合は道路駐車をしている状況であった。ビーチへの入り口は一つで、ノータッチ看板はその通路の途中の誰でも目に付く位置に設置した（図2.4）。図2.2(b)に示したエントリー看板は、海への入城口の妨げにならないビーチの中心付近に設置した。



図 2.4 ノータッチ看板設置位置

2.2.3 遊泳者に対する行動調査

中の島ビーチに訪れる遊泳者がエコガイドカフェの行っている保全活動の実際の効果を検証し、上記の遊泳者に対する意識調査との結果の比較を行うために、遊泳者のノータッチマナーに関する行動調査を行った。具体的には、2016年8月から9月の繁忙期に、中の島ビーチの出入口の付近において、中の島ビーチに来る遊泳者全員を対象者として、行動を観察した。時間帯は主に午前10時から12時の間で、前半1時間に以下に述べる方法で来訪者の分類にラベリングをし、後半1時間にビーチで遊泳者の行動を観察した。遊泳者のラベリングは、ノータッチマナー看板の見える位置から、来訪者が看板を(i)自ら声を掛け読んでもらった遊泳者、(ii)視野に入っただけの遊泳者、(iii)立ち止まって読んでいた遊泳者、(iv)見ていない遊泳者、の4分類とした。(i)に分類される遊泳者には、保全スタッフが看板にすべて目を通してから遊泳するように声を掛けた。また、午前と午後の遊泳者行動を比較するために任意に選んだ3日間の13時から15時にかけても同様の調査をした。

また、保全活動の一つである注意喚起の対象となる主な行為として、「サンゴの上に乗る行為」が挙げられる。この行為は、Gao (2015) の調査報告でも、遊泳行為の中で特に影響があるとして指摘されている。加えて、陸側からサンゴに乗っている遊泳者の姿が把握できるため、注意対象になっており、必要に応じて、陸で説明して理解を求めたりして、徹底した対応を行っている。そこで調査対象として、注意された遊泳者または注意対象者となる遊泳者(v)に着目し、その人数や特徴、また(i)～(iv)のどのグループに所属しているかを調査した。

2.3 データ分析

2.3.1 意識調査分析

意識調査で取得されたデータを以下のように分析した。なお、アンケート回収時は遊泳後であるため、最小限の設問数で行うべきであったこと、保全対象者が“中の島ビーチに来訪する遊泳者全員”としていたため、性別や年齢などの属性の回収を求めておらず、属性による分析は行わなかった。

まず、主な保全活動対象行為である“サンゴに乗る行為”に該当する「サンゴで休息」・「岩場で休息」の経験と、その他のタッチ行為経験の有無によるクロス集計を行った。つまり、回答者を① サンゴに乗る行為と他のタッチ行為経験がある、② サンゴに乗る行為経験はあるが他のタッチ行為経験はない、③ サンゴに乗る行為経験はないが、他のタッチ行為経験はある、④ サンゴに乗る行為と他のタッチ行為のいずれの経験もない、という4つのグループに分類した。さらに、10項目ある、その他のタッチ行為項目数の集計を行い、それぞれの項目数に該当する人数を集計した。そして、その他のタッチ項目数が0であるグループを「ノータッチ遊泳者(A)」、1～2であるグループを「ノータッチマナー実行型遊泳者(B)」、3以上のグループを「ノータッチマナー非実行型遊泳者(C)」の3つに分類した。分類方法は、品質管理などの管理手順の際によく用いられる、在庫分析手法の一つであるABC分析を参考に、項目ごとの人数を5:3:2に近い値でA、B、Cの3グループに分類した。そして、それぞれのグループの看板理解度やその他のタッチ項目の内訳、ノータッチマナーに対する感想など、他のアンケート項目との関係を分析し、行動調査結果との比較と共に、それぞれのグループの特徴を明らかにすることで、順応的なサンゴ保全策に向けた考察を行った。

2.3.2 行動調査分析

まず、調査時間内にビーチにいる遊泳者の人数、調査日の天候、看板設置状況や保全スタッフ配置状況など、調査期間中のビーチ状況の基本情報を整理した。また、調査日毎に、看板を(i)自ら声を掛け読んでもらった遊泳者、(ii)視野に入れただけの遊泳者、(iii)立ち止まって読んでいた遊泳者、(iv)見ていない遊泳者の数を集計し、主に注意喚起対象となる行為である「サンゴの上に乗る行為」の出現率を比較した。つまり、その出現率が遊泳者の来訪時間帯や天候によって有意な影響を受けるかに対してt検定を行って調べた。天候については沖縄県下地の気象データ

(http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=91&block_no=1490&year=&month=&day=&view=)を利用した。これを気象庁の天気予報で用いられている用語に変換して天気の良い日から順に晴(ア)、晴のち曇(イ)、晴のち雨(ウ)、晴一時雨(エ)、曇のち晴(オ)、曇(カ)、曇一時雨(キ)となり、天気による注意率のt検定をア-イウエオカキ・アイ-ウエオカキ・アイウ-エオカキ・アイウエ-オカキ・アイウエオ-カキのそれぞれで行った。

次に、ビーチの保全活動状況による保全対象行為出現率の違いを調べた。台風前後は強風や大雨、大波などによって壊される可能性のある看板類は全て撤去している。また、荒天時はエコガイドカフェのツアーも実施しないため、保全スタッフも不在の場合がある。そこで(a) ノータッチ看板もエントリー看板も設置してあり、保全スタッフも配置されている通常状態、(b) 強風のためにノータッチ看板が一部破損し、保全スタッフの配置もない状態、(c) 台風前後のためノータッチ看板もエントリー看板も撤去し、保全スタッフの配置はある状態、(d) 台風前後のためノータッチ看板もエントリー看板も撤去し、保全スタッフの配置もない状態という4つのグループに分類した。出現率の違いを調べるために、(a)と(b)(c)(d) で検証した。

さらに、対象者のグループ(v) に属する注意された遊泳者または注意対象者となる遊泳者の特徴をつかむために、看板を見た遊泳者(ii)と(iv)と見ていない遊泳者(iii) がそれぞれ、ライフジャケットや浮輪などの浮力体を持っていたかどうか、のクロス分析を行ったうえで、グループ間で有意な差が見られるかどうかをフィッシャーの直接確率計算法により検定した。また、(i)~(iv) に属する母集団と保全対象行為出現数がそれぞれ全体に対して、何%を占めているかを算出し比較した。

3 結果と考察

3.1 サンゴ健全度調査

サンゴ健全度調査の結果、以下の7つの特徴が記録された。

- 1) 一般的な光景の長期モニタリング
- 2) 遊泳被害を受けやすい箇所の長期モニタリング
- 3) 遊泳被害のあったサンゴの長期モニタリング
- 4) 白化現象の短期モニタリング
- 5) 白化現象の中期モニタリング
- 6) 回復シーンの観察
- 7) 稚サンゴ成長の観察

3.1.1 一般的な光景

中の島ビーチでの代表的な光景として図 3.1 に示すように、2016 年夏は、2015 年夏と比較して多くのサンゴ種で白化現象が見られ、蛍光色のサンゴも目立った。さらに、2016 年夏後半には、サンゴと藻類が競合をしている様子がみられ、藻類に覆われるサンゴが増加した。しかし、2016 年冬になると、白化していたサンゴが回復していたり、藻類に覆われていたサンゴが下から藻類を押しのけたり、新たなポリプが形成されたりする様子が観察された。3.1.2～3.1.7 で詳細を示す。



図 3.1 一般的な光景の長期モニタリン

3.1.2 遊泳被害を受けやすい箇所の長期モニタリング

中の島ビーチの中心にあり、サンゴや魚も多く見られ、さらに水深も約1~2mの場所に位置するため、遊泳者によるストレスや被害を受けやすいと考えられる場所の長期モニタリングの結果を図3.2.1と図3.2.2に示す。サンゴの破損は見られたが、稚サンゴも成長しており、群体全体としては回復傾向にあるといえる。

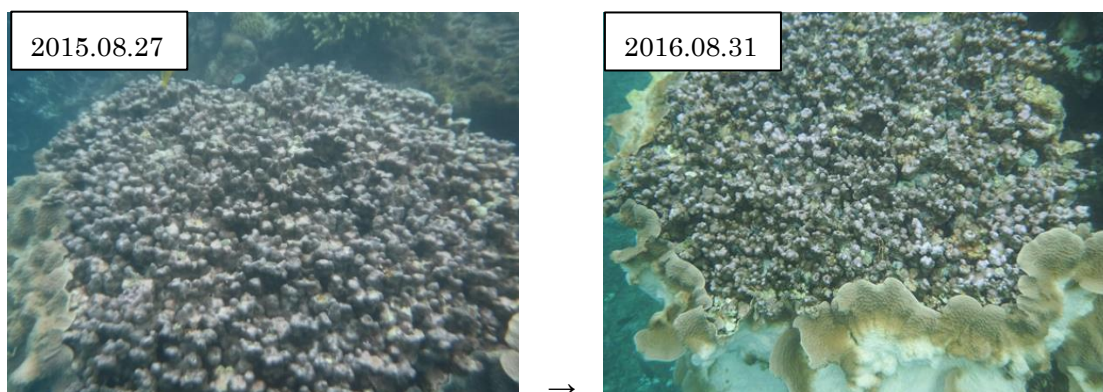


図 3.2.1 遊泳被害を受けやすいと考えられる場所のパラオハマサンゴ

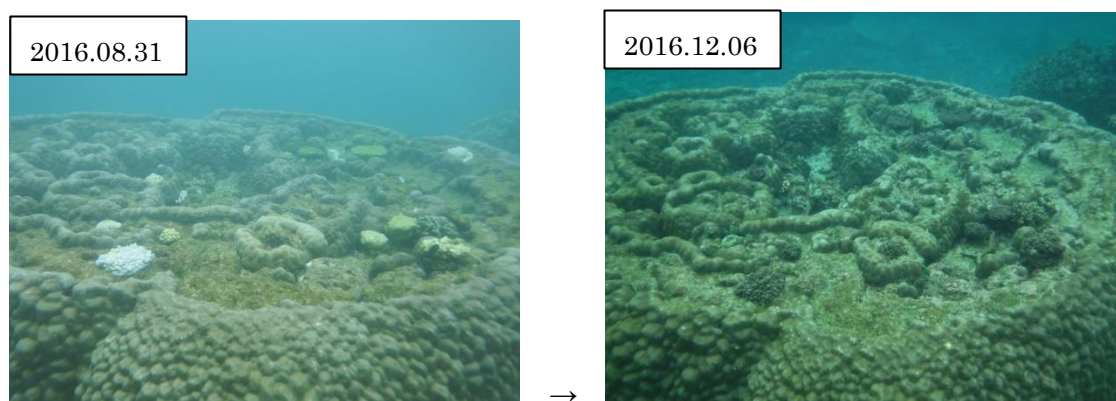


図 3.2.2 遊泳者によるストレスを受けたとされるコブハマサンゴの上に様々なサンゴが定着している様子

3.1.3 遊泳被害のあったサンゴの長期モニタリング

2015年に遊泳被害による損傷被害が報告されているように（Shi, 2014）、2015年の遊泳被害のあった一部のサンゴのモニタリングでは、図3.3.1や図3.3.2に示すように2016年夏には白化現象がみられたものの、遊泳被害が拡大している様子は認められず、むしろ、破損部分が再生していたり、成長している様子が見られた。夏の後半には、藻類に覆われるサンゴが多かった。この動向が多くサンゴで観察された。

サンゴ礁の調査方法の一つであるスポットチェック法

（<http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/index.html>）を用いて環境省那覇自然環境事務所が実施・公表している調査結果では、2016年11～12月の石西礁湖のサンゴは一部白化等

（18.4%）、全体が完全に白化（2.9%）、全体が死亡（70.1%）と報告されている

（http://kyushu.env.go.jp/naha/pre_2017/post_28.html）。このスポットチェック法の基準によると、中の島ビーチのサンゴ礁も同様の結果になると判断されるが、3.1.7で示す回復兆候を考えると、白化の程度は石西礁湖ほど深刻ではなかったと考えられる。

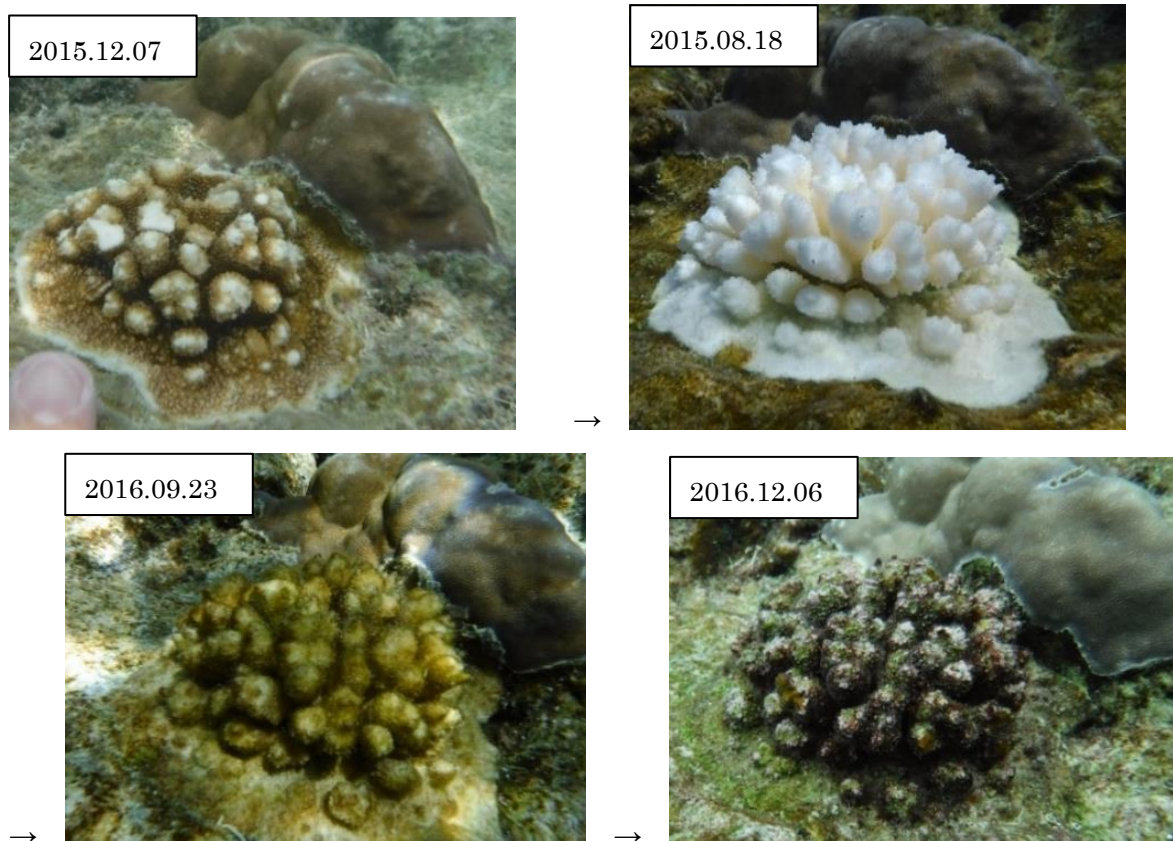
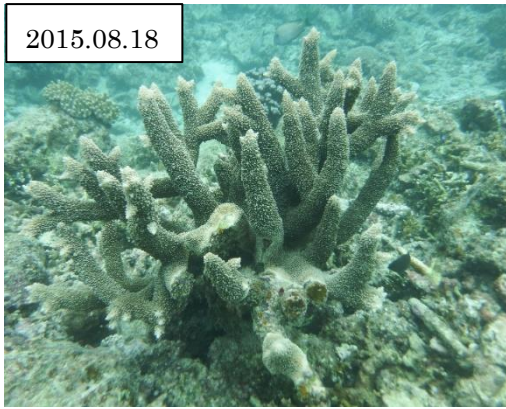
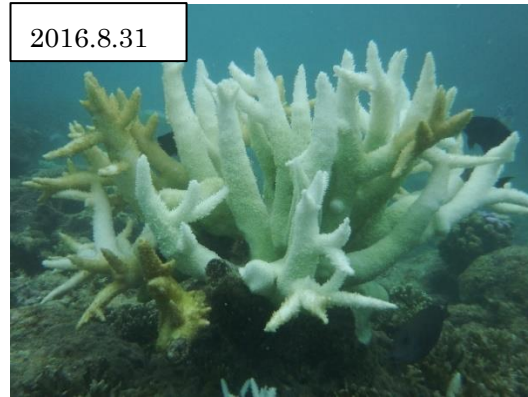


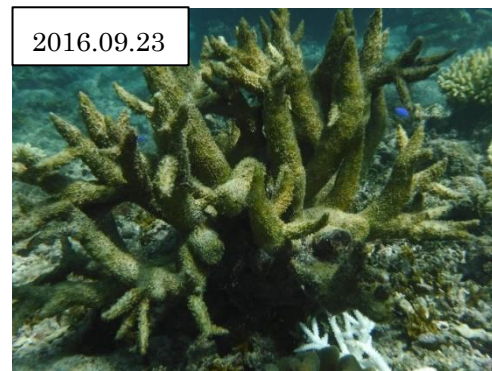
図 3.3.1 長期モニタリングに遊泳被害が認められたオヤユビミドリイシ



→



→



→



→

図 3.3.2 浅瀬にある比較的大きなスギノキミドリイシ

3.1.4 白化現象の短期モニタリング

中の島ビーチでは2016年8月初・中旬の降水量が例年よりも少なく、水温が高い状態が続いたことから、高水温ストレスによるサンゴの劣化が見られた。特に、白化現象は日々進行していく様子がみられた。また、白化だけではなく、高水温や強光による環境ストレス反応の一つと言われている（Palmer *et al.*, 2009）、蛍光色のサンゴも見られた（図 3.4.3）。しかし、9月になり台風の影響で雨が降ったり水温が少し下がったりしたことから、1ヶ月も経たない短期間のうちに、サンゴの種類によっては回復している様子がみられた（図 3.4.1 や図 3.4.2）。8月に劣化が顕著に見られたサンゴの中には、藻類との競合に勝てず、藻類に覆われていくものも見られた（図 3.4.3 や図 3.4.4）。

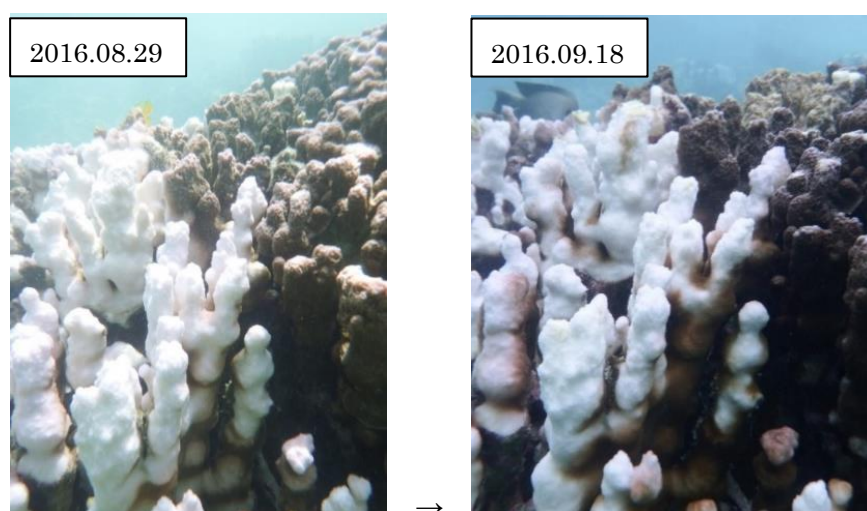


図 3.4.1 短期モニタリング期間中のパラオハマサンゴ

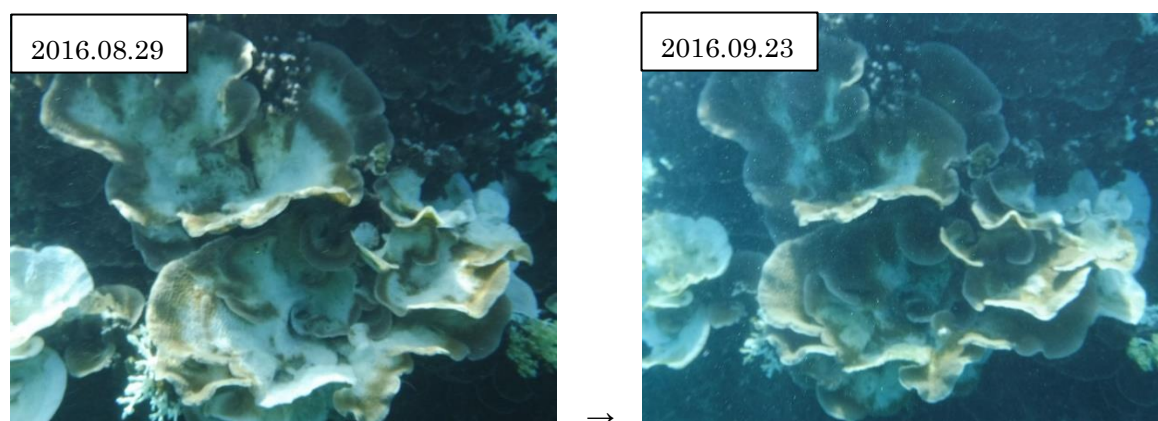
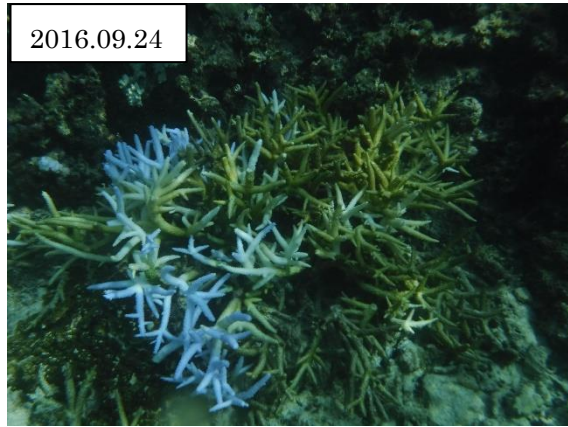


図 3.4.2 短期モニタリング期間中のコモンサンゴ



→
図 3.4.3 短期モニタリング期間中に見られた、蛍光色のスギノキミドリイシ



→
図 3.4.4 短期モニタリング期間中のオヤユビミドリイシ

3.1.5 白化現象の中期モニタリング

2016年8～9月の調査から約3ヶ月後の12月初旬の調査では、8～9月に比べて水温は3～4°C下がり、図3.5.1や図3.5.2のような白化状態や、図3.5.3のような蛍光色のサンゴが目立たない程度に回復したり、図3.5.4のように再生したりしている様子がみられた。図3.5.5のように白化部分が未だ多いサンゴも存在しており、サンゴの種類による回復スピードの違いは認められたが、多くの種類で回復傾向が観察された。中には図3.5.6や図3.3.7のように表面の大半が藻類に覆われているサンゴも存在していたが、藻類を浮かせてその藻類の下でポリプを形成したり、藻類を押し除けるようにしたりして健全なサンゴが覆い始めている様子がみられた。その様子については3.1.6に詳述する。

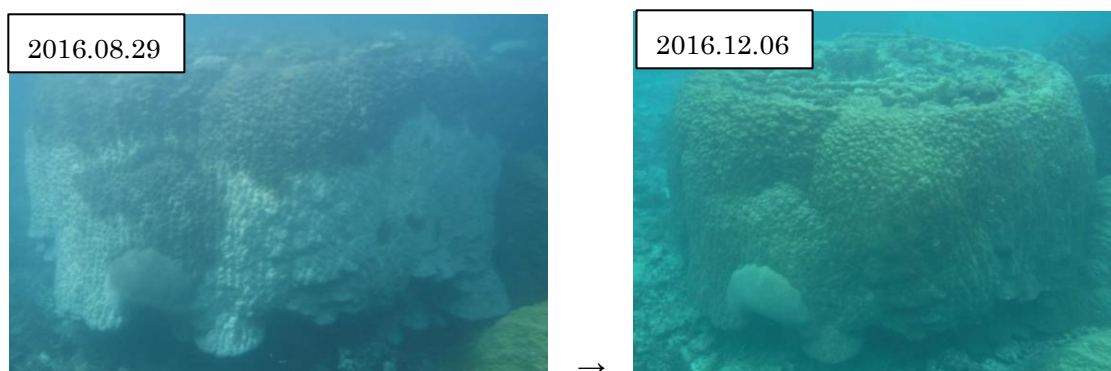


図 3.5.1 下半分が白化していたコブハマサンゴ

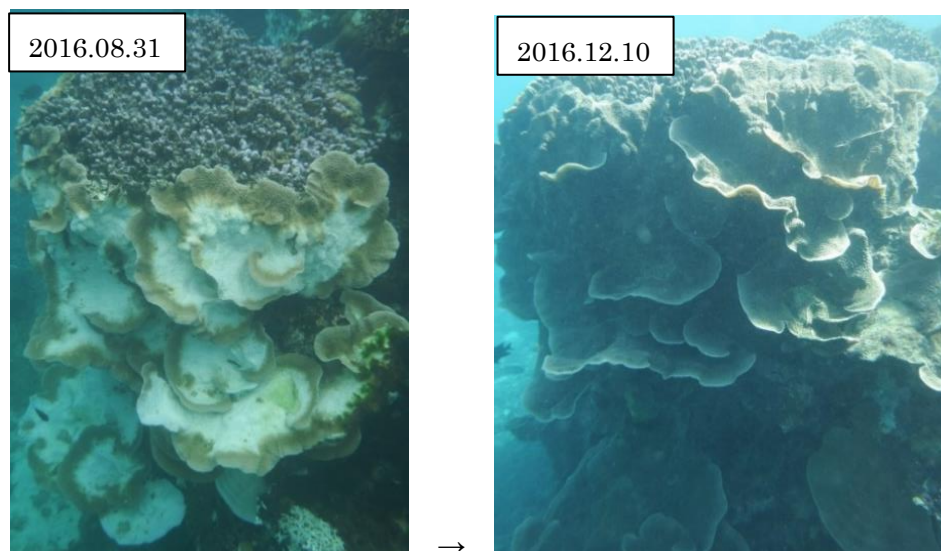


図 3.5.2 比較的回復スピードの速かったコモンサンゴ

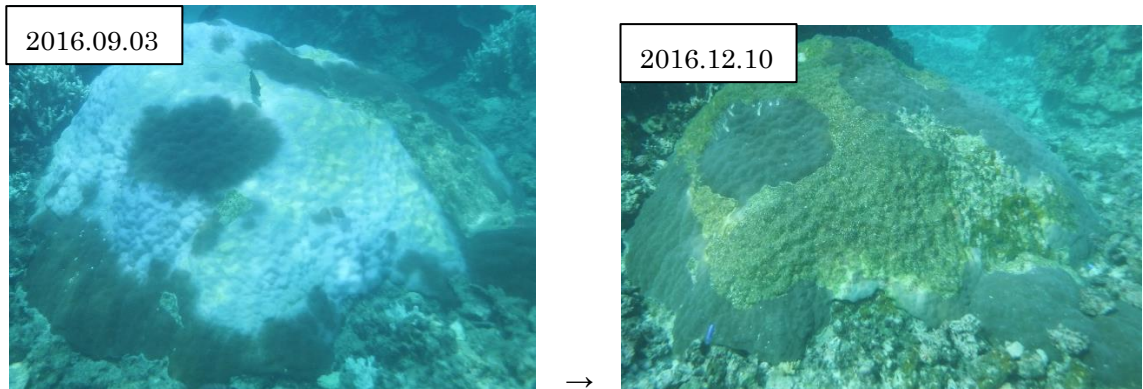


図 3.5.3 一部蛍光色になったコブハマサンゴ



↓



図 3.5.4 白化かつ損傷の見られたアオサンゴ

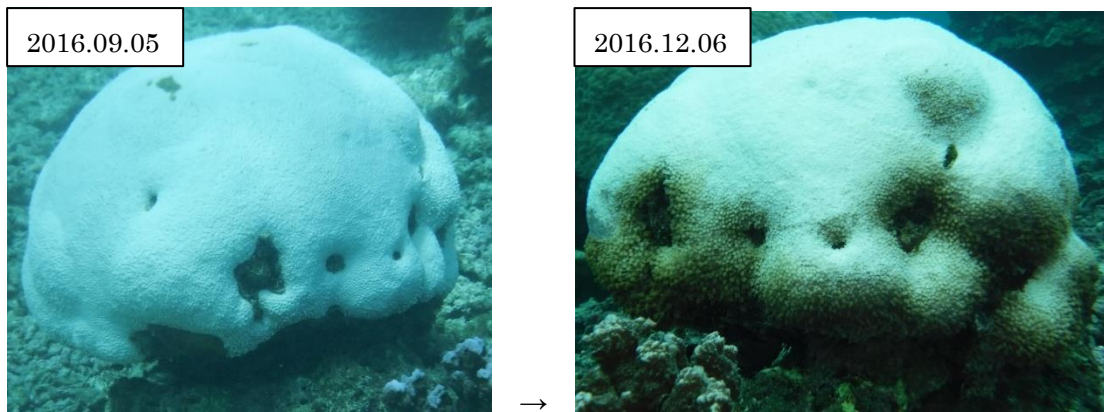


図 3.5.5 白化していたが、ポリプは生存していたハナガササンゴ

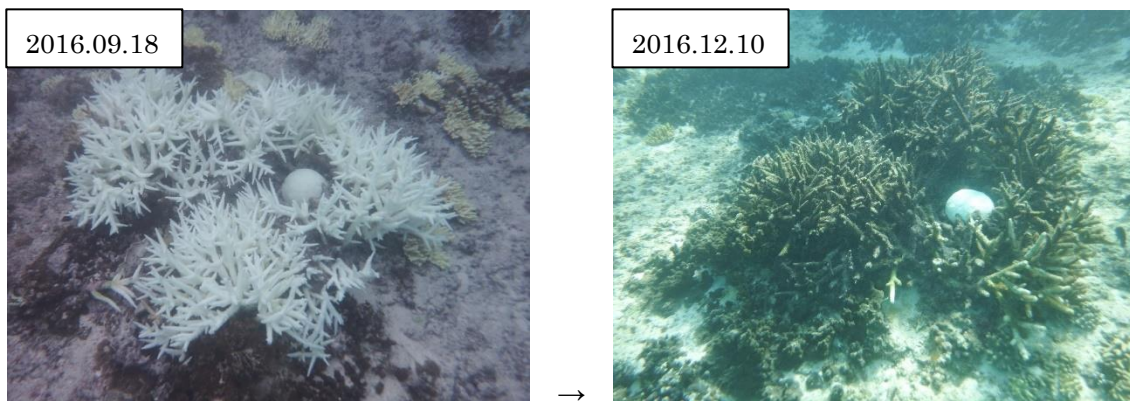


図 3.5.6 全体が白化していたスギノキミドリイシ

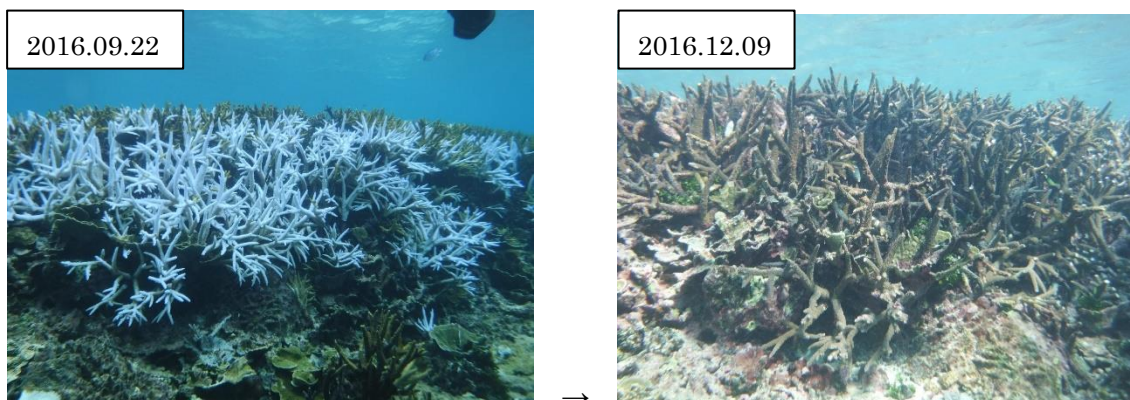


図 3.5.7 海表面に比較的近い場所に存在していた一面蛍光色のスギノキミドリイシ

3.1.6 回復シーンの観察

2016年12月に観察された回復傾向にあるサンゴの詳細写真を示す。健全なサンゴが藻類を押しつけて成長していたり（図3.6.1～図3.6.7）、藻類の下からポリプを形成し、藻類を浮かせながら回復していたり（図3.6.8～図3.6.17）、白化している状態から褐虫藻が戻ってきて色づき始める様子（図3.6.17～図3.6.19）も見られた。一見、図3.6.20のようにカイメンの仲間の一つであるテルピオスに覆われてしまったようなサンゴや、図3.6.14のように死亡と判断される水準にあるサンゴでも、回復傾向が見られたサンゴは多く、藻類との競合にも負けていない様子が観察された。

今後、再び元の状態に戻るのか、今回観察された劣化や白化と回復のサイクルが繰り返される適応の一環であるのか、あるいは今回の調査期間に限って見られた特殊な変化なのかについては、サンゴの一般的な回復速度との比較ともう少し長期的な調査を試みないと断言できない。

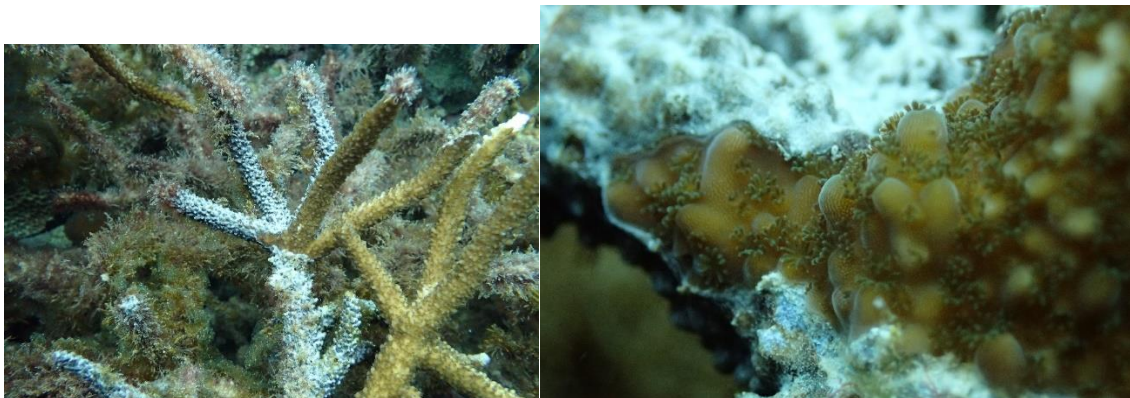


図 3.6.1 健全なミドリイシが押しつけている様子（写真提供：エコガイドカフェ猪澤也寸志代表）

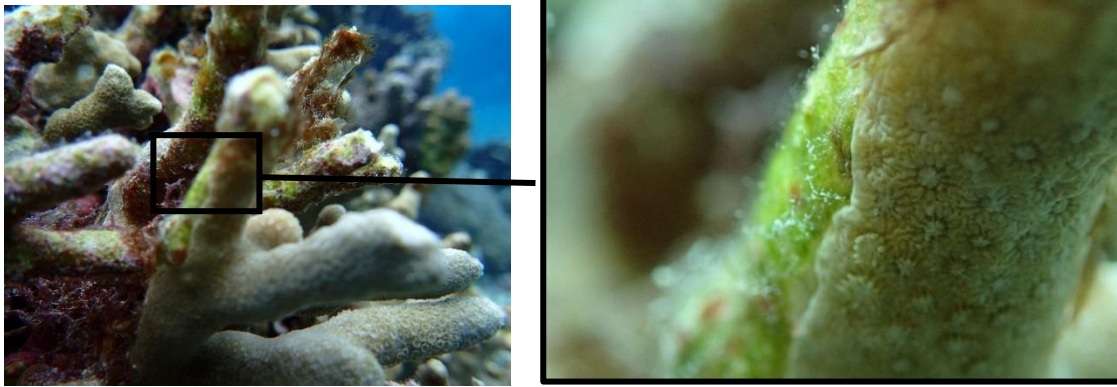


図 3.6.2 健全なユビエダサンゴが藻類を押しのけている様子（写真提供：猪澤也寸志代表）

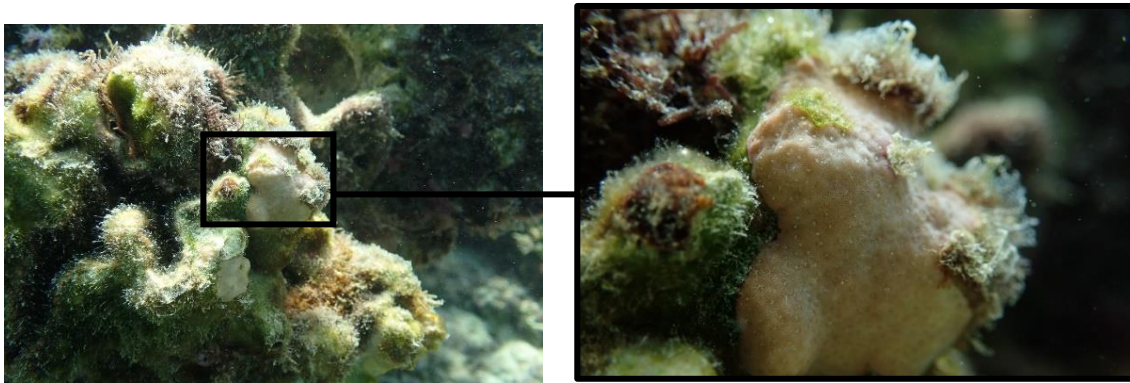


図 3.6.3 健全なイシサンゴが藻類を押しのけている様子

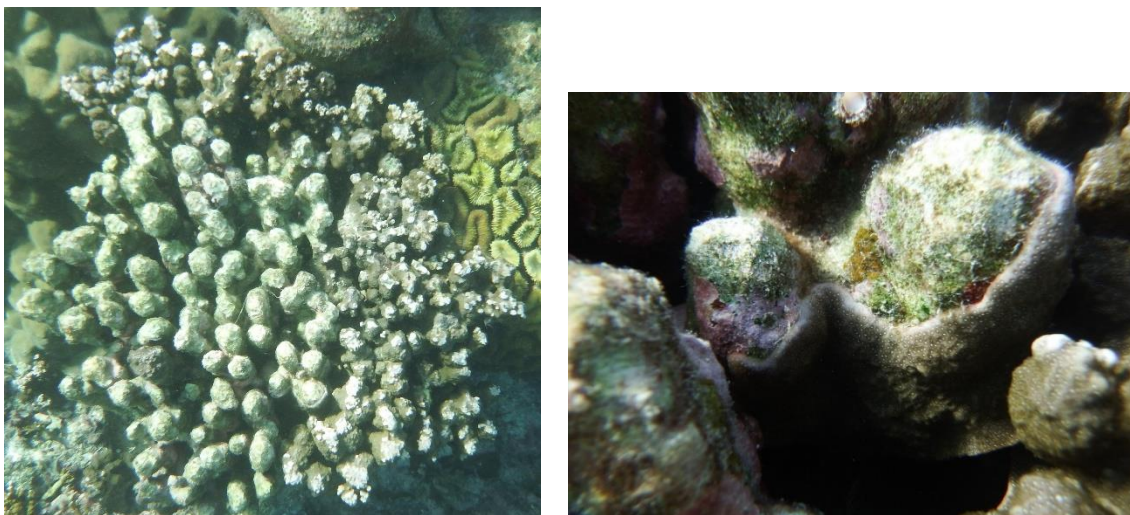


図 3.6.4 健全なパラオハマサンゴが藻類を押しのけている様子

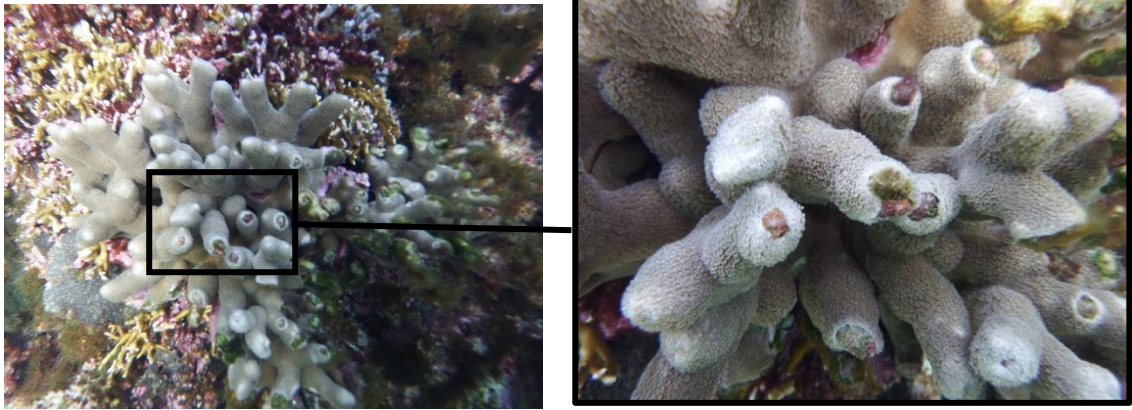


図 3.6.5 健全なユビエダハマサンゴが藻類を押しのけている様子

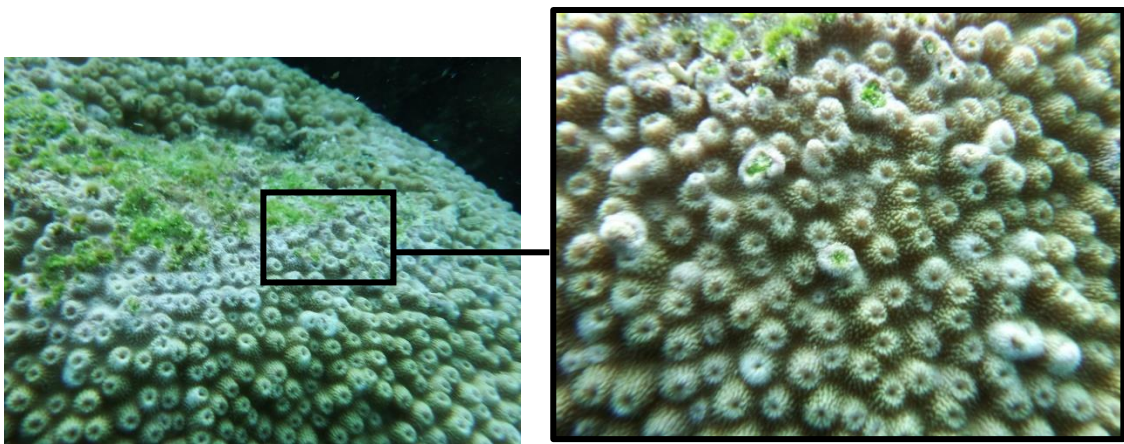


図 3.6.6 健全なアナサンゴが藻類を押しのけている様子

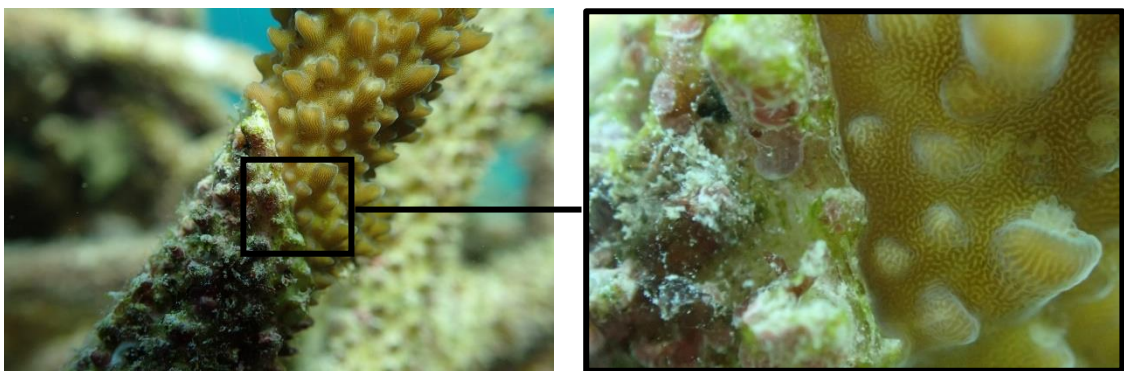


図 3.6.7 健全なミドリイシが押しのけている様子 (写真提供：猪澤也寸志代表)

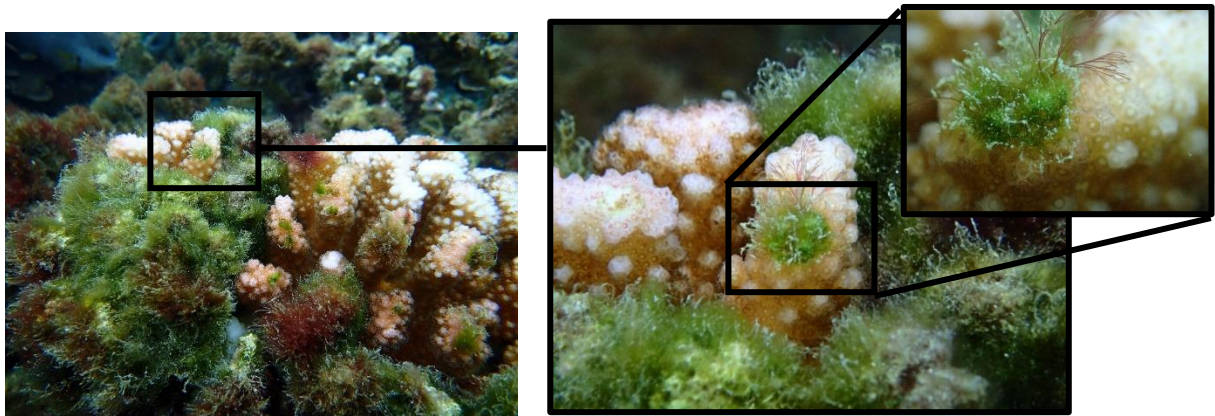


図 3.6.8 健全なハナヤサイサンゴが藻類を浮かせている様子 (写真提供：猪澤也寸志代表)

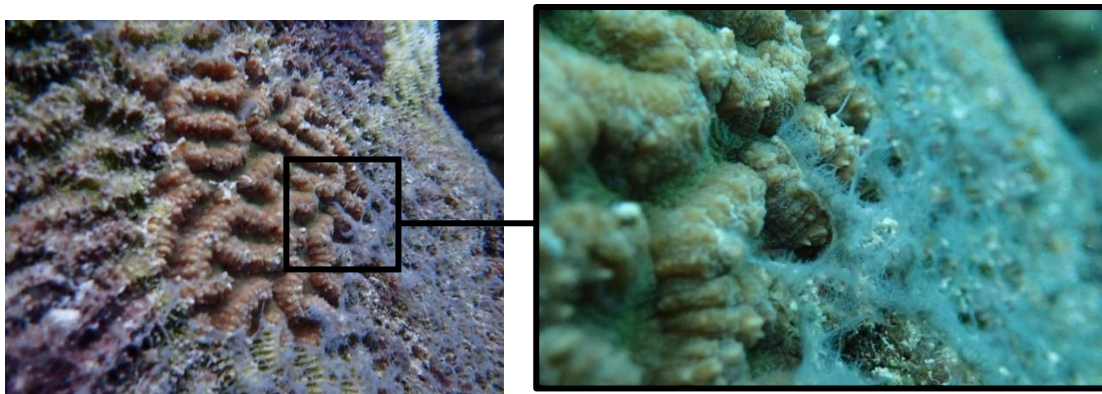


図 3.6.9 健全なイシサンゴが藻類を浮かせている様子 (写真提供：猪澤也寸志代表)

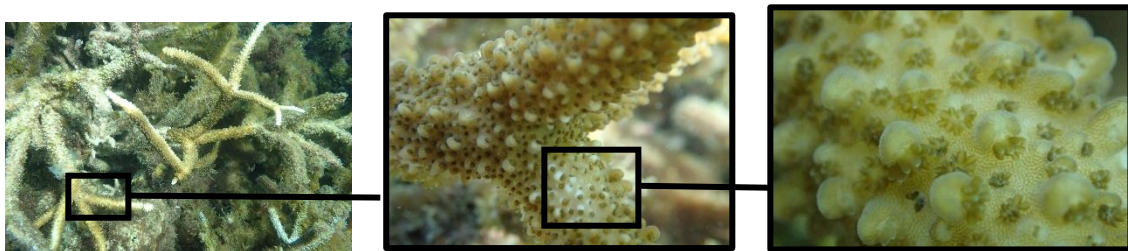


図 3.6.10 新しいポリプが形成されている様子 (写真提供：猪澤也寸志代表)

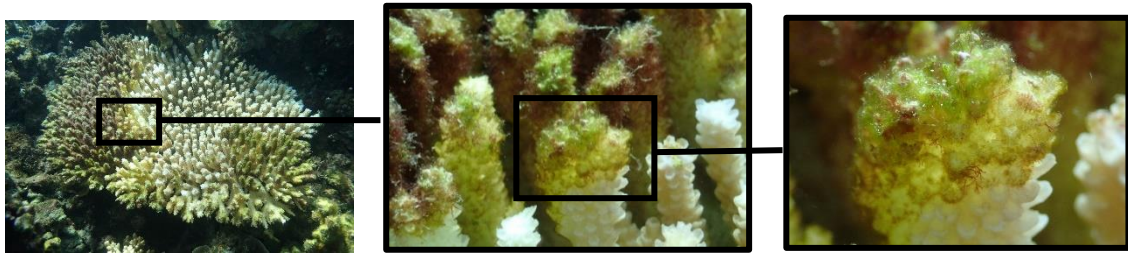


図 3.6.11 健全なクシハダミドリイシが藻類を浮かせている様子（写真提供：猪澤也寸志代表）

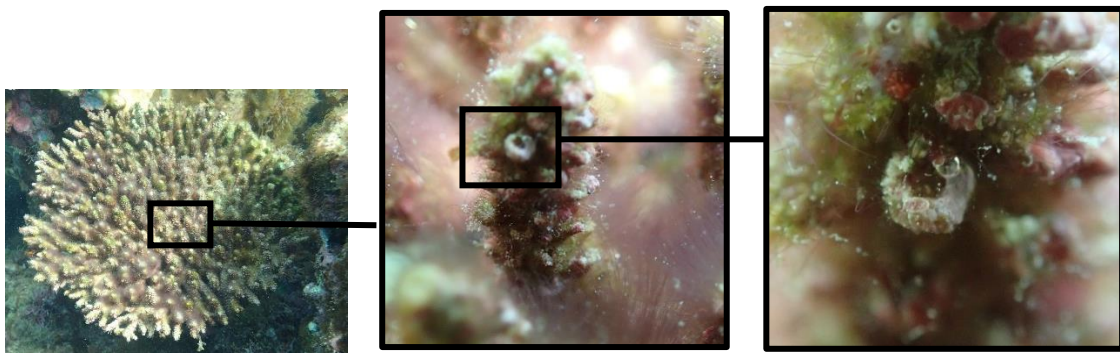


図 3.6.12 藻類の下で新たなポリプを形成しているクシハダミドリイシの様子（写真提供：猪澤也寸志代表）

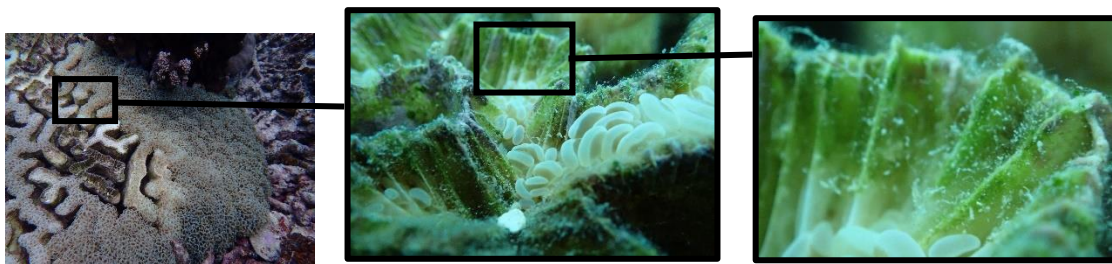


図 3.6.13 健全なイシサンゴが藻類を浮かせている様子（写真提供：猪澤也寸志代表）

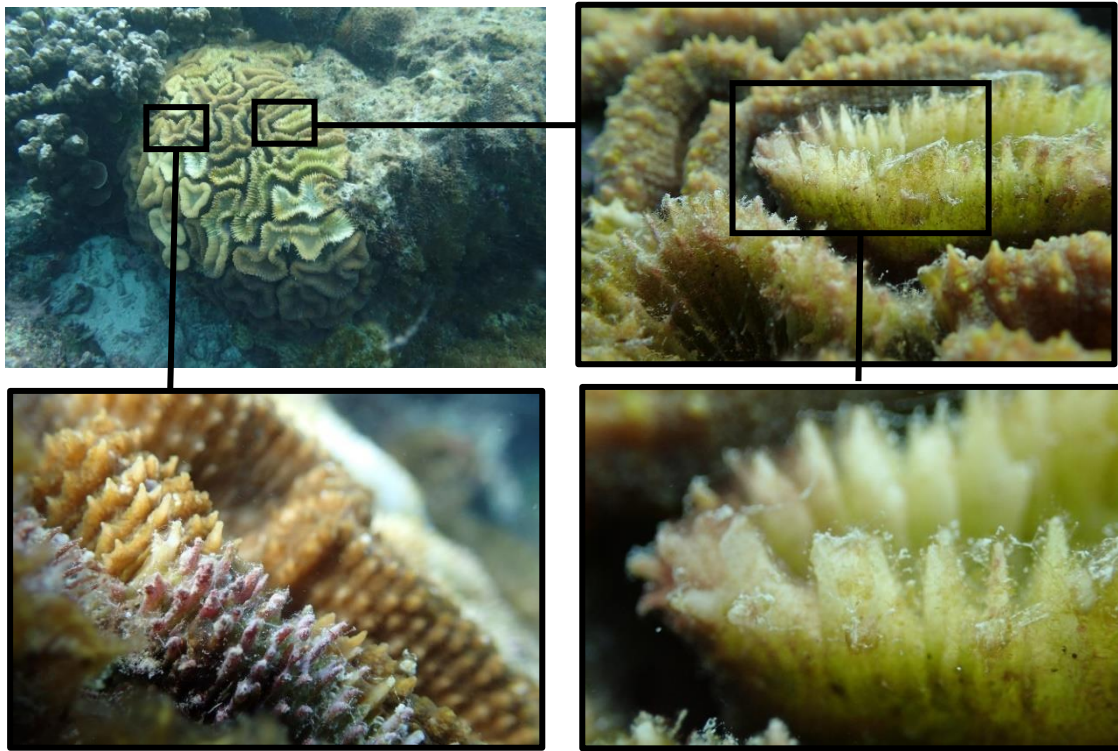


図 3.6.14 健全なイシサンゴが藻類を浮かせている様子（写真提供：猪澤也寸志代表）

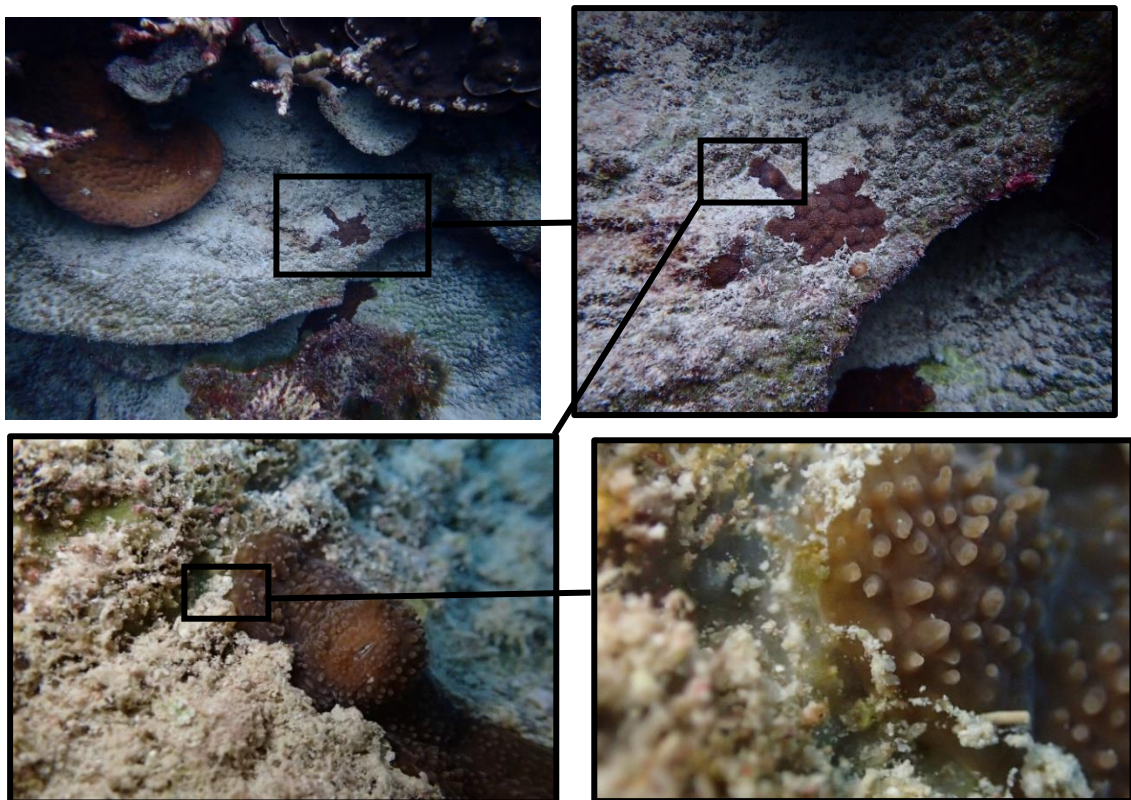


図 3.6.15 健全なミドリイシが拵がっていく様子（写真提供：猪澤也寸志代表）

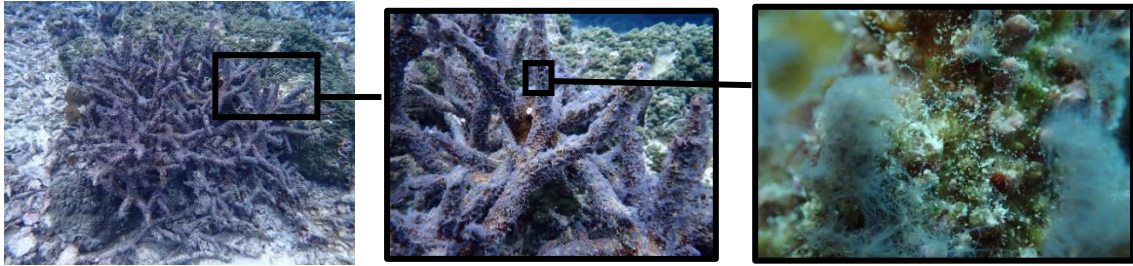


図 3.6.16 藻類の下で新たなポリプを形成しているスギノキミドリイシの様子（写真提供：猪澤也寸志代表）

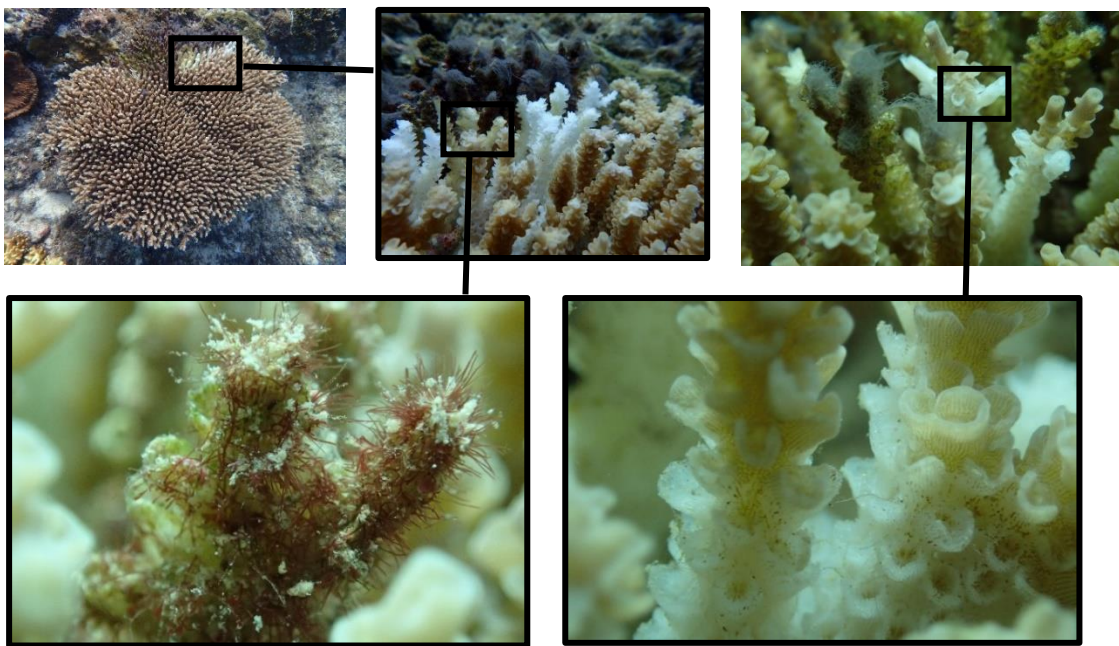


図 3.6.17 健全なクシハダミドリイシが藻類を浮かせている様子や色づき始めている様子（写真提供：猪澤也寸志代表）

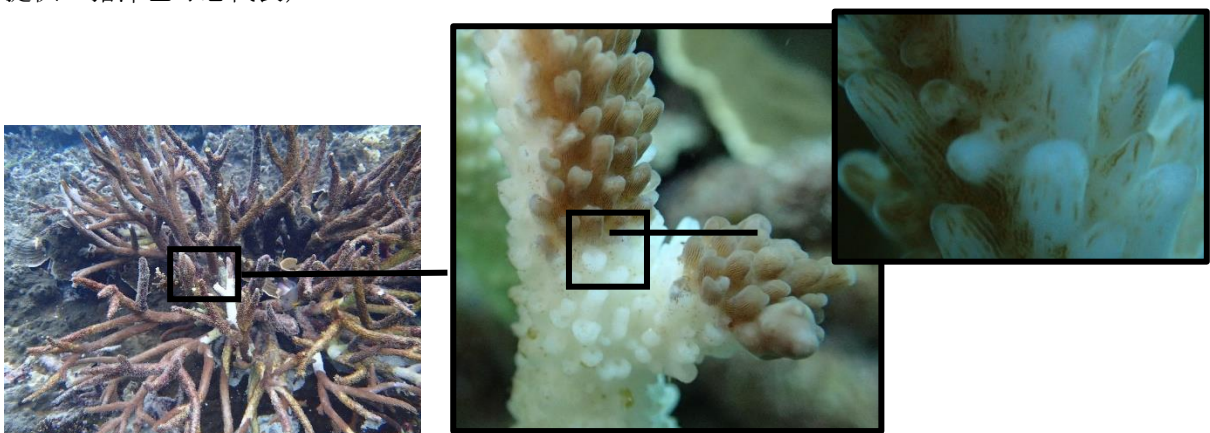


図 3.6.18 白化したスギノキミドリイシが色づき始めた様子（写真提供：猪澤也寸志代表）

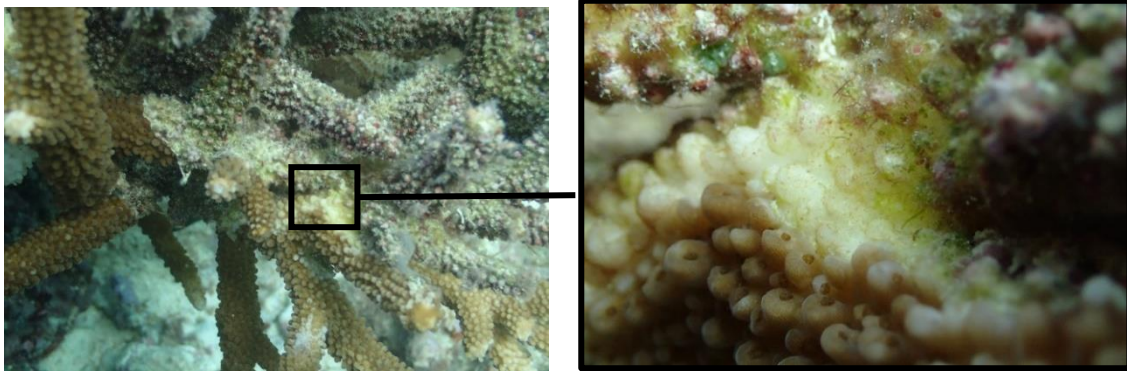


図 3.6.19 藻類を押しつけ、その白化した部分から色づき始めているスギノキミドリイシの様子
 (写真提供：猪澤也寸志代表)

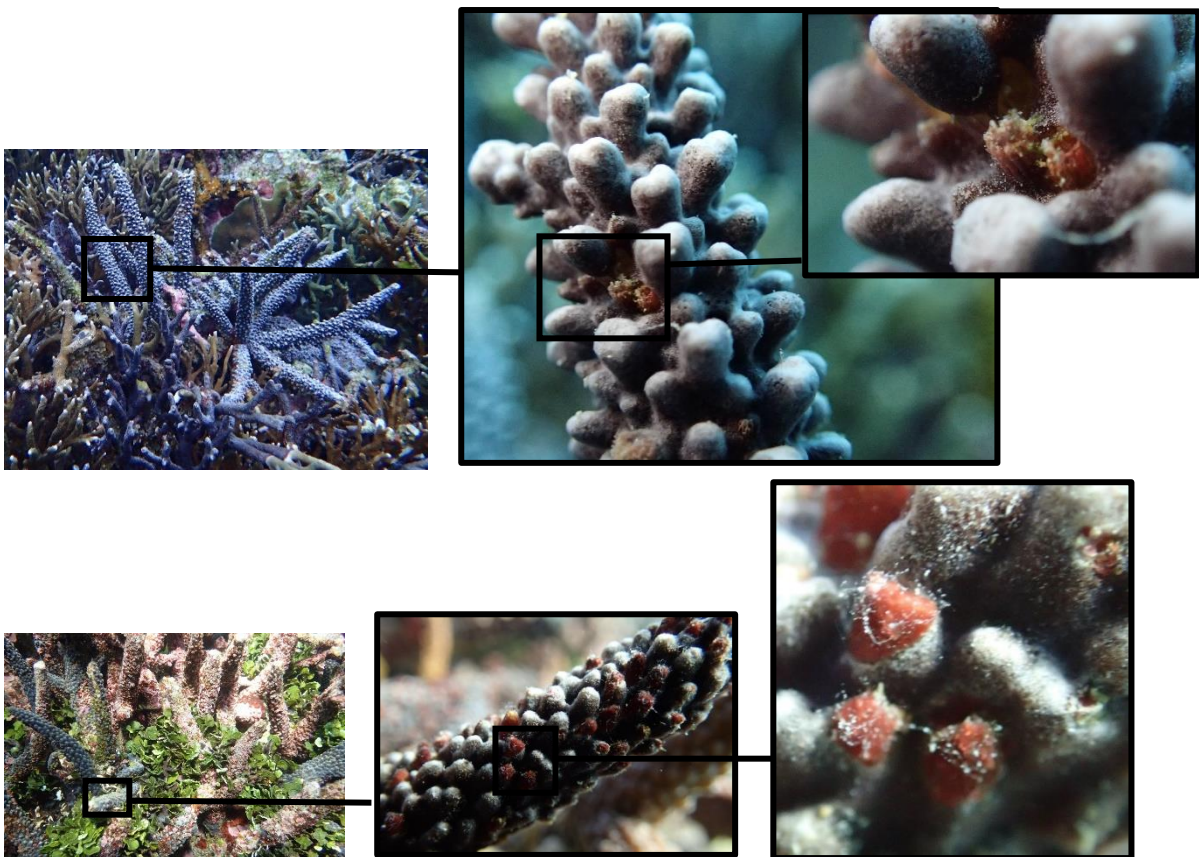


図 3.6.20 テルピオスに覆われているスギノキミドリイシが下から健全なポリプを形成している様子
 (写真提供：猪澤也寸志代表)

3.1.7 稚サンゴ成長の観察

遊泳被害が大きいと考えられる浅瀬の場所における稚サンゴの観察でも様々な種類の稚サンゴが観察された（図 3.7.1～図 3.7.2）。さらに、劣化した親サンゴから新たなポリプを形成し広がり始めている様子（図 3.7.3）や藻類に覆われているサンゴの上から覆うようにして成長し始めているサンゴの様子などが観察された。

サンゴ礁のない場所は、サンゴ礁が存在する場所と比較して、遊泳者が足を踏み入れやすい。そのストレスを加え続けると、稚サンゴが定着しうる場所でも定着できない可能性が高くなる。そのため、保全活動の一環として、エントリー場所の周知や、サンゴに乗る行為への注意喚起を中心に啓発活動を行っている。この啓発活動の効果を厳密に検証するためには、同じ海域に同じ条件で足を踏み入れたりしてストレスを与え続ける場所とストレスを与えない場所との稚サンゴの定着率やサンゴの成長率の比較を行う必要がある。稚サンゴは数 cm 程度に成長した時点で定着をしているため、その環境保全に向けた啓発活動の厳密な効果測定は出来なかったが、その重要性は考えられた。稚サンゴが定着・成長できない限り、サンゴに関する持続可能なレジャーは成立しないため、白化現象を含め地球温暖化や海洋酸性化などの全球規模の現象による影響を抑えると同時に、サンゴの成長を促す環境保全も鍵となる。つまり局所的な影響を回避する取り組みが、全球規模の影響を緩和することにも繋がると考えられる。



図 3.7.1 浅瀬に定着し始めている様々な種類の稚サンゴなど



図 3.7.2 定着している稚サンゴ(左：コブハマサンゴ、右：ソフトコーラル)

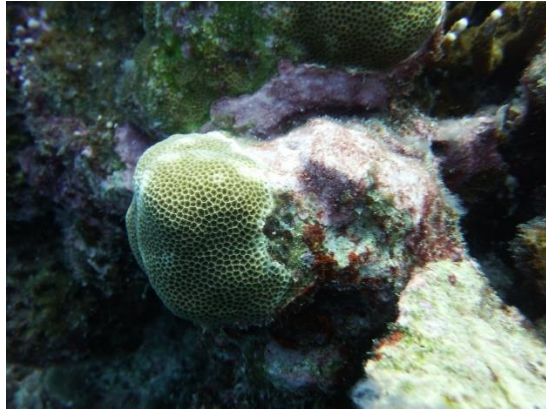


図 3.7.4 劣化した親サンゴから新たなポリプを形成し広がり始めているユビエダハマサンゴ (左) とコブハマサンゴ (右)



図 3.7.3 藻類に覆われている親サンゴの状態に新たなポリプから広がり始めているパラオハマサンゴ (左) とコモンサンゴ (右)

3.2 アンケートによる意識調査

118名分の有効なアンケートを回収した。ノータッチ看板の内容を理解した人は38%、看板を見た人は40%、見なかった人は7%、無回答者は15%という結果であった（図3.8）。内容を理解している割合と見ている割合は同程度であった。つまり、遊泳者全体の8割程度に対して看板効果が期待できると示唆される。

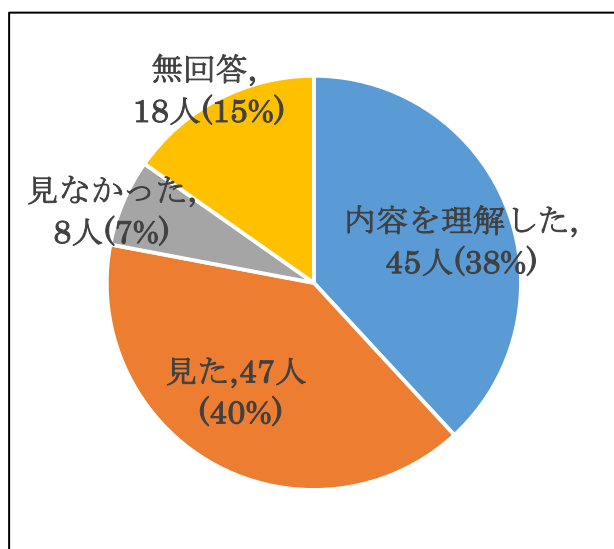


図 3.8 ノータッチ看板についての割合（N=118）

アンケート質問用紙には各タッチ行為要因に対して【過去・本日・将来】の選択肢があり、それぞれの経験を問うたが、「将来」はどの項目も該当者がなく、以後の解析からは外した。また、過去についても、本日という1日単位の回答と過去という無制限単位の回答は単純に比較できないため、過去か本日かのいずれかに該当している者は全て、そのタッチ行為要因の”経験者”として扱うこととした。サンゴへのタッチ行為要因は、経験人数の多い順に「岩場で休息」「足蹴り」「ぶつかり」「つかまり」と続いた（図3.9）。

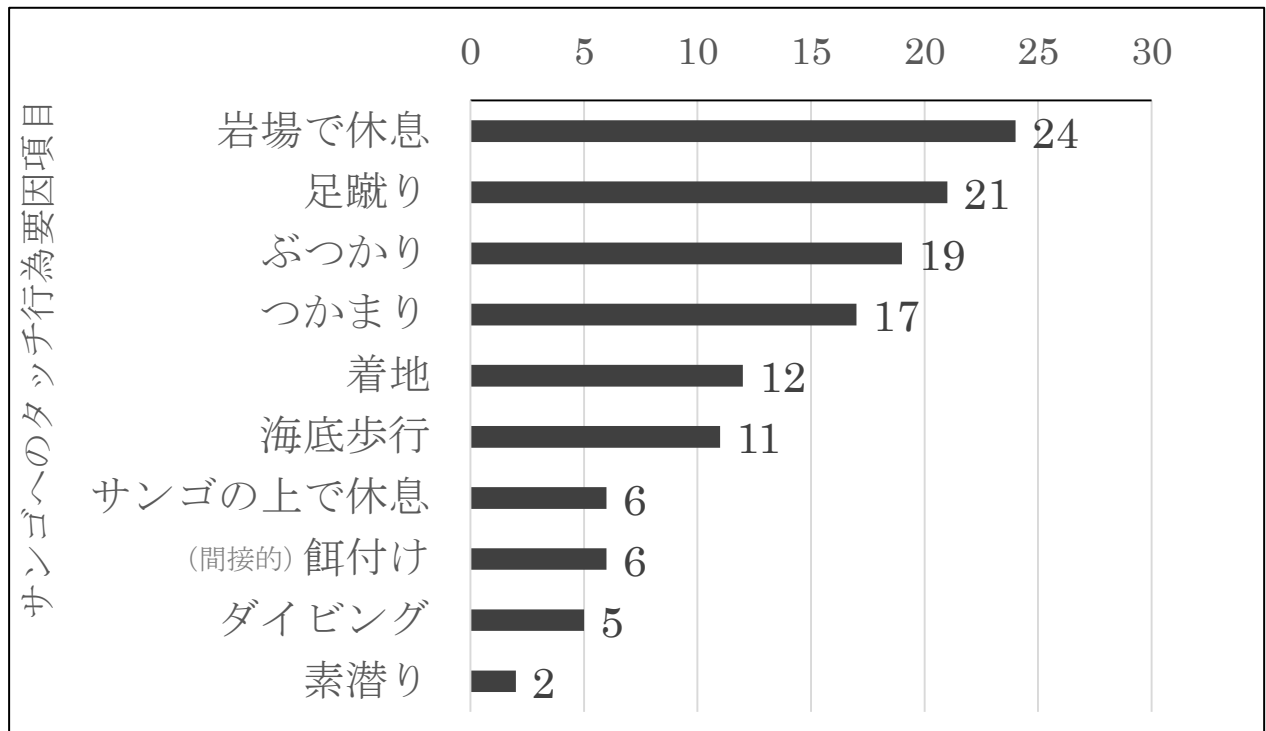


図 3.9 サンゴへの各タッチ行為要因に対する経験人数 (N=118)

最も経験者が多かった「岩場で休息」行為は「サンゴの上で休息」との認識が異なるだけで、事実に「サンゴに乗る」と同じ行為であり、さらに、サンゴに乗る行為はサンゴ礁保全活動の一つである注意喚起の主な対象行為であるため、サンゴに乗る行為経験の有無とその他のタッチ経験の有無との間の関連性を 2x2 分割表に示した (表 3.1)。① サンゴに乗る行為と他のタッチ経験がある、② サンゴに乗る行為経験はあるが他のタッチ経験はない、③ サンゴに乗る行為経験はないが、他のタッチ経験はある、④ サンゴに乗る行為と他のタッチ行為のいずれの経験もない、という 4 つのグループに分類され、①～④の各グループの群間差を調べるために χ^2 乗検定を行ったところ、P 値は 0.14 (>0.05) となり、有意な差は認められなかった。

どのタッチ行為要因項目にも該当しなかったエコ遊泳者であるグループ④は 53 人 (約 45%) であった。しかし、グループ④の中には、全ての項目に無回答の人が含まれる可能性があるため、誤差を含んでいると考えられる。また、主な注意喚起の対象が「サンゴ・岩場に乗る」行為であるため、保全対象に該当するのはグループ①と②の 28 人 (23.7%) であり、これに対して保全対象に該当せずサンゴにタッチ行為をしているグループ③が 37 人 (31.4%) であった。最も多いタッチ行為である「サンゴに乗る」行為 (岩場で休息) を保全対象としているため、一見効果的であると考えられるが、保全対象者 (①+②) の人数の方がグループ③と比較して少ないことが示唆された。そのため、保全スタッフ配置の効果は全体の約 24% に対して効果的であるといえる。グループ③に対しては保全対象を広げることで更なる保全効果が期待できる。

表 3.2 サンゴ・岩場タッチ経験とその他のタッチ経験の有無に関する 2×2 分割表

		サンゴ・岩場タッチ経験		計
		あり	なし	
その他の タッチ経験	あり	① 16 人(13.6%)	③ 37 人(31.4%)	53 人
	なし	② 12 人(10.2%)	④ 53 人(45.0%)	65 人
計		28 人	90 人	118 人

さらに、グループ①～④の特徴を明確にするために、各グループに看板の理解度を分析した結果、グループ①では他グループよりも看板を理解した人の割合が少なく、見ていない人が多かった（図 3.10）。そのため、看板を見て理解することで、グループ②や③に属する可能性があるといえる。しかしグループ②や③のように理解した人が約 5 割いたとしてもタッチ行為をしてしまう理由としては、看板だけではノータッチマナーの啓発には不十分であることが挙げられ、看板内容にも改善の余地があると考えられる。今後、インバウンド観光重要が高まる中で、年齢・国籍を問わず、遊泳者理解し自覚の向上を図れる看板を作成する必要がある。ちなみに、グループ④はエコ遊泳者であるにも関わらず、看板を理解している人の割合が②や③より低い理由としては、先に述べたようにグループ④には全ての項目に無回答の人が含まれる可能性があるため、誤差を含んでいると考えられ過小評価されている結果という点が理由からでも考えられる。

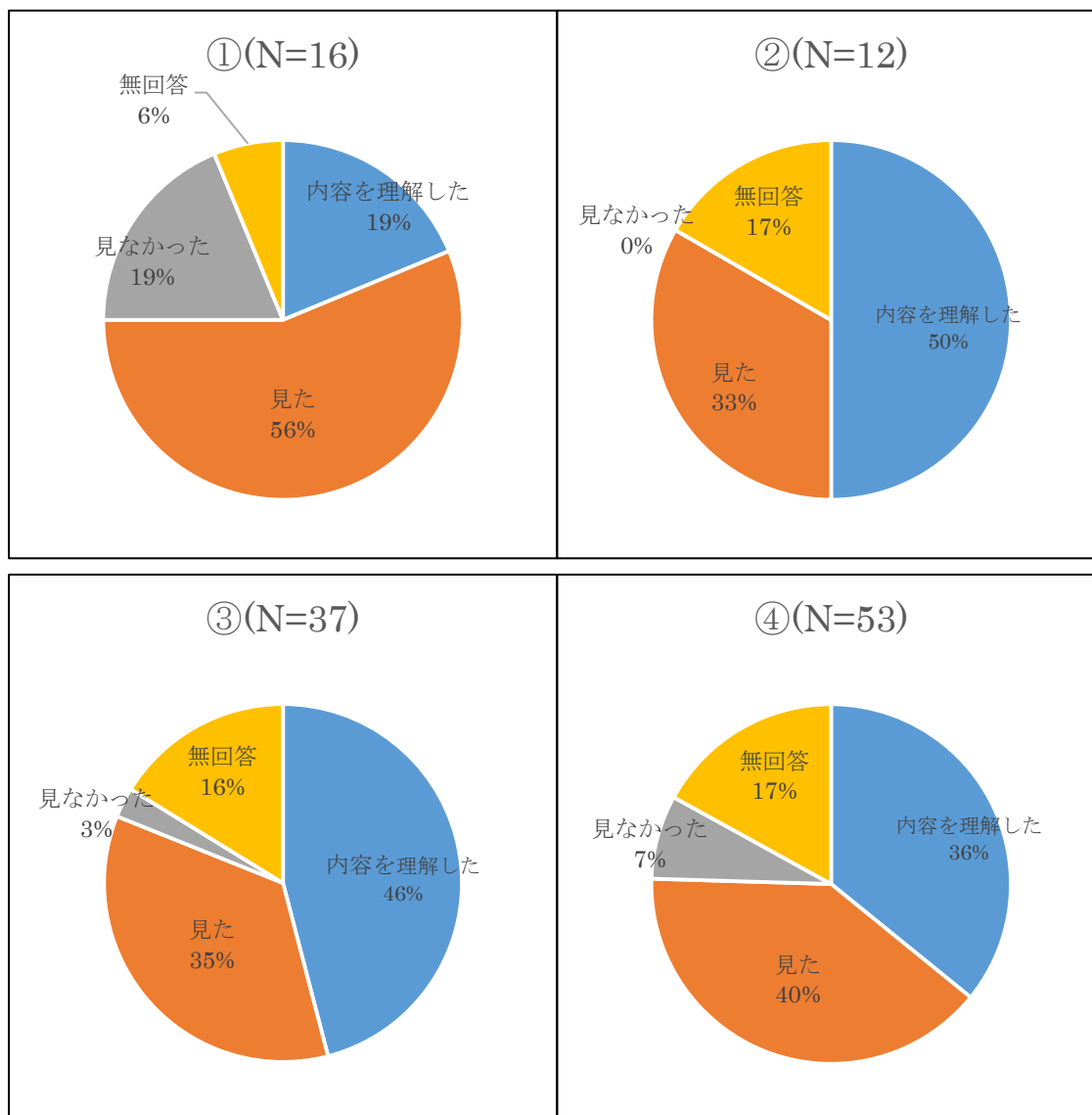


図 3.10 各グループに対する看板理解の割合

さらに、グループ①と③に関して、その他タッチ行為要因の詳細を集計した結果、以下の特徴が明らかになった（図 3.11、図 3.12）。グループ①に属し、かつ「サンゴ・岩場タッチ」経験者である遊泳者は、「つかまり」、「着地」、「海底歩行」が特に多く、故意的なタッチ要因が多い傾向がある。それに対して、グループ③に属し、かつ「サンゴ・岩場」未経験者である遊泳者は、「足蹴り」、「ぶつかり」といった過失的なタッチ要因が多い傾向があった。グループ①に対する対応策は自覚向上、グループ②に対する対応策はサンゴの理解、グループ③に対する対応策はノータッチマナーを実行できる力量の向上、などが考えられ、それぞれの対応したサンゴ保全に向けた対策の改善の余地があると思われる。

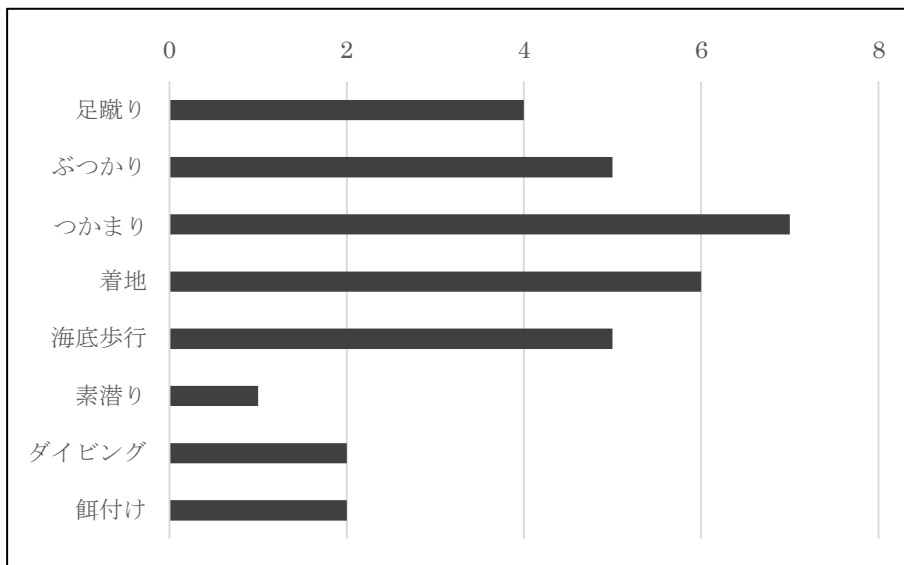


図 3.11 グループ①のその他のタッチ行為要因 (N=16)

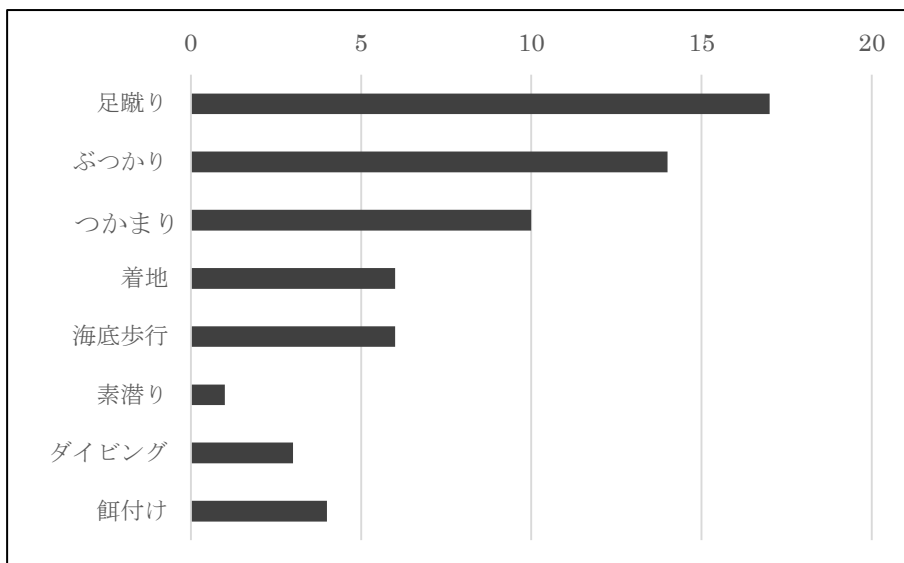


図 3.12 グループ③のその他のタッチ行為要因 (N=37)

続いて、「足蹴り」・「ぶつかり」などの10項目のタッチ行為要因に対して、タッチ経験の項目数を集計し、ABC分析を参考に項目数ごとの人数を5:3:2に近い値でA、B、Cの3つのグループに分類した結果、タッチ項目該当数が0の遊泳者である「エコ遊泳者 (A)」は53人、タッチ項目該当数が2~3の遊泳者である「ノータッチマナー実行型遊泳者 (B)」は49人、タッチ項目数が3以上の遊泳者である「ノータッチマナー非実行型遊泳者 (C)」は16人となった (図 3.13)。因みに、最大項目数は7項目であった。

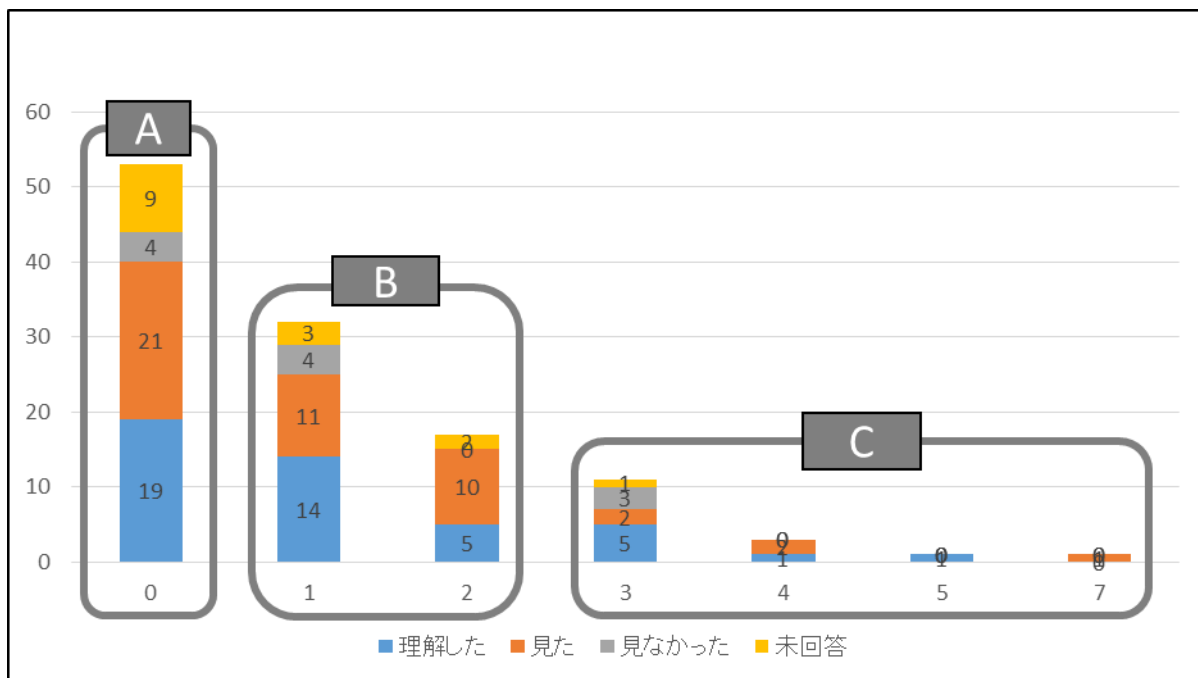


図 3.13 タッチ行為項目数ごとの人数、グループ化（A、B、C の 3 分類）と看板理解に対する内訳

また、グループ A・B・C の各グループでの看板理解度を比較した結果、有意な差は認められなかったが、他のグループと比べてグループ C を看板理解した人の割合が低く、見ていなかった人の割合が多かった（図 3.14）。グループ A と B では、同程度の割合であった。従って、グループ C の遊泳者が、看板を見て理解することでタッチ項目数が減り A や B のグループに属する可能性が示唆され、看板は効果的であると考えられる。一方、グループ B に対する看板効果は顕著には認められなかったため、環境一般型遊泳者に対しては現状の看板では効果は期待できず、グループ B に対しては、看板の内容改善やその他の保全策が必要であると考えられる。

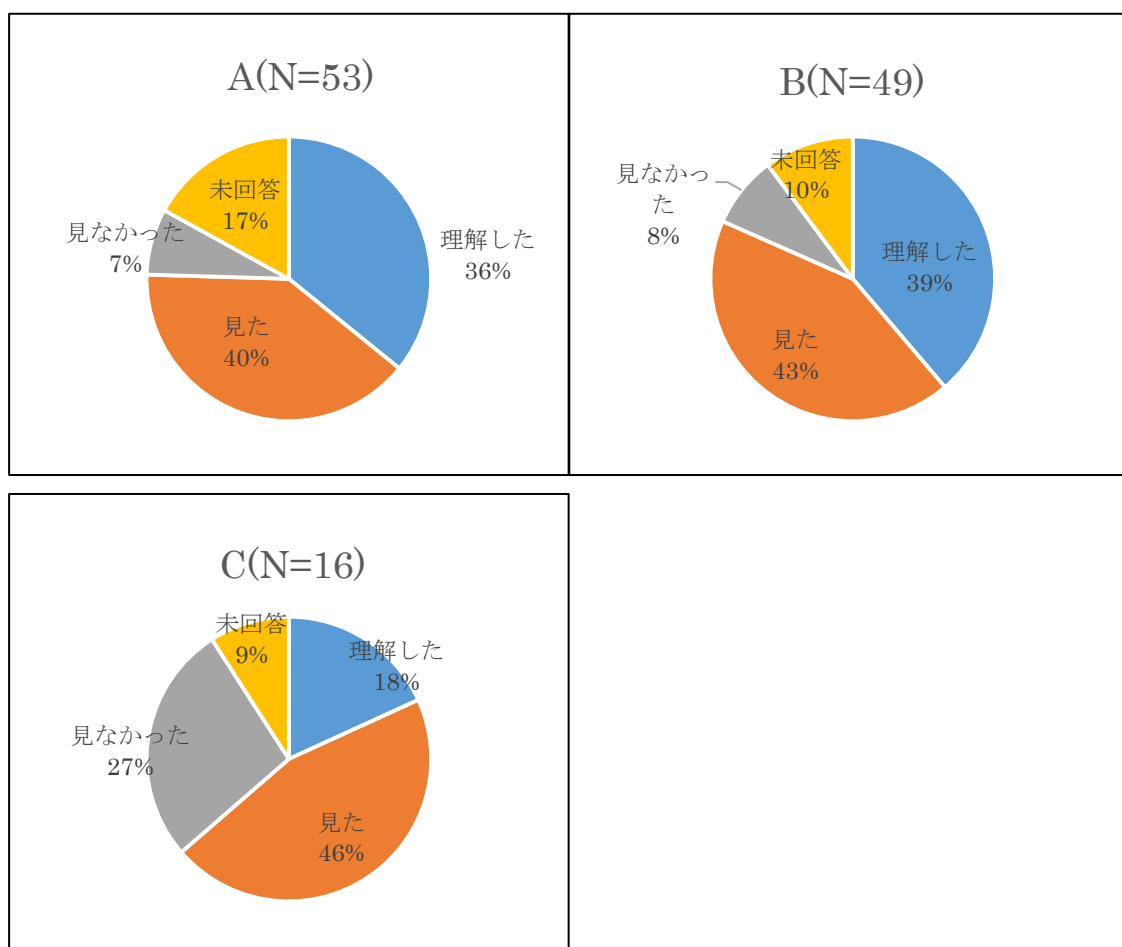


図 3.14 グループ A・B・C の看板理解に関する割合

各グループのノータッチマナーに対する感想を集計した結果を表 3.2 に示す。グループ A～C の各群間に有意差が認められるかどうかを比較するために、母集団の正規性や等分散性を仮定しないノンパラメトリック検定の多重比較法である Steel-Dwass 法を用いて検定した。検定の有意水準を 5% とするとグループ A-B 間と A-C 間で有意差が認められ、B-C 間では有意差が認められなかった。つまり、グループ A と B、グループ A と C では異なる性質を持つことが示唆された。

ノータッチマナーに対する感想の内容には、ノータッチマナーを実行することに対して消極的な意見への同意はほとんどなかった。「ノータッチは当たり前」という意見に対してグループ A では 94% とほぼ全員が同意しているが、「次回もノータッチマナーを守る」や「ノータッチマナーを伝えたい」、「ノータッチビーチが増えればよい」などの、ノータッチマナーに対する肯定的な意見はグループ B や C の方が割合が高かった。グループ A にはノータッチマナーに対する自覚があり、サンゴへのノータッチ意識も高いことは予想されたが、グループ B や C の方が

ノータッチマナーに対して積極的な感想を得られたのは、グループ A の遊泳者の中には無回答が多いことも一因と考えられるが、グループ B や C のようなタッチ経験があることで罪悪感を持つ遊泳者もいたためと考えられる。つまり、このアンケート調査に答えることにより、ノータッチマナーに対する自覚が向上した遊泳者もいると考えられる。

表 3.2 ノータッチマナーに対する感想の集計（人）

	A(53)	B(49)	C(16)
ノータッチは当たり前	50	37	11
窮屈だが次回もやる	2	4	2
今度こそノータッチでやる	1	11	4
家族や友人にも伝えたい	6	12	8
ノータッチビーチが増えればいい	7	11	10
楽しさを優先したい	0	1	0
ノータッチは無理	0	0	0
ノータッチしてもサンゴ保全できない	0	0	0
子供のケアができない	0	0	0
サンゴ礁や岩場での休息はどうしても必要	0	0	0

3.3 遊泳者の行動調査

まず、調査日ごとの調査地の基本状況として、平均気温、降水量、天候、風向を沖縄県下地の気象データ

(http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=91&block_no=1490&year=&month=&day=&view=) を利用し、透明度は現場スタッフに毎日聞き取り調査を行い記録した結果を、そして看板設置・保全スタッフ配置状況を表 3.3 に整理した。分類は(a) ノータッチ看板もエントリー看板も設置しており、保全スタッフも配置されている通常状態、(b) 強風のためにノータッチ看板が一部破損し、保全スタッフの配置もなし、(c) 台風前後のためノータッチ看板もエントリー看板も撤去したが、保全スタッフの配置はあり、(d) 台風前後のためノータッチ看板もエントリー看板も撤去し、保全スタッフの配置もなし、という 4 つにグループ分けを表している。また、天候ごとのグループ分けの結果を天気の良い日から順に晴 (ア)、晴のち曇 (イ)、晴のち雨 (ウ)、晴一時雨 (エ)、曇のち晴 (オ)、曇 (カ)、曇一時雨 (キ) として表 3.4 に示す。

表 3.3 調査日ごとの調査地の基本状況。「看板」は○：配置、△：一部破損、×：無配置の 3 分類、「保全スタッフ」○：配置、×：無配置の 2 分類で示し、両方配置されている状態が通常状態である。分類に関しては、a：看板が○かつ保全スタッフも○、b：看板が△、保全スタッフが×、c：看板は×、保全スタッフは○、d：看板も保全スタッフも×である。

日付	平均気温(°C)	総降水量(mm)	天候	最多風向	海中の透明度	看板	保全スタッフ	分類
2016/8/31	27.8	0	曇	東北東	良好	○	○	a
2016/9/1	28.9	0	曇のち晴	北	不良	○	○	a
2016/9/2	28.8	0	晴	南南東	やや不良	○	○	a
2016/9/3	30.3	0	晴のち曇	東北東	不良	○	○	a
2016/9/4	30.5	0.5	晴	東北東	良好	○	○	a
2016/9/5	29.5	0	晴のち曇	東北東	良好	○	○	a
2016/9/8	28.6	24	曇一時雨	南西		△	×	b
2016/9/9	28.0	0	曇	北西	普通	△	×	b
2016/9/11	28.8	6.5	雲のち晴	西南西	良好	○	○	a
2016/9/12	29.2	5.5	晴のち雨	北	良好	○	○	a
2016/9/13	29.0	1	雲	東	良好	○	○	a
2016/9/16	29.6	9	晴のち曇	東南東	やや不良	×	×	d
2016/9/18	28.1	2	曇	西	良好	×	○	c

2016/9/20	27.8	0	曇時々雨	北北東		×	○	c
2016/9/21	27.8	0	曇	北東	良好	○	○	a
2016/9/23	28.0	0	曇のち晴	北東	良好	○	○	a
2016/9/24	28.4	0	晴	北北東	良好	○	○	a
2016/9/25	28.8	0	晴一時雨	北東	良好	○	○	a
2016/9/28	28.5	4.5	曇のち雨	南東	不良	×	○	c
2016/9/29	28.1	0.5	晴一時雨	南南東	良好	×	○	c

表 3.4 調査日の天候ごとの分類分け（天候順）

	天候	日付
ア	晴	2016/8/20・8/21・8/23・8/24・9/2・9/4
イ	晴のち曇	2016/9/3・9/5
ウ	晴のち雨	2016/9/12・9/16
エ	晴一時雨	2016/9/29
オ	曇のち晴	2016/8/25・8/28・9/11・9/1
カ	曇	2016/8/31・9/9・9/13・9/18
キ	曇一時雨	2016/9/8

さらに、調査日ごとに看板を、(i) 自ら声をかけて読んでもらった人数、(ii) 立ち止まって読んだ遊泳者、(iii) 視野に入れただけの遊泳者、(iv) 見ていない遊泳者④グループにラベリングしその集計数と、(v) 保全活動注意喚起対象行為である「サンゴに乗る行為」の出現(注意対象)人数、及びその総人数に対する割合を出現率として集計・計算を行った結果、総人数の1日あたりの平均63人のうち、(v)の1日の平均人数は約4.9人であり、出現率は約9.2%であった(表3.5)。

表 3.5 調査日毎の(i)~(v)のラベリング人数と注意対象行為出現率の調査結果。ビーチ状況の分類は、表 3.3 に示した看板・保全スタッフの状況に応じて分類。

			(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	
ビーチ状況分類	日時	総人数	声かけ人数	立ち止まって見た人数	視界に入れた人数	見てない人数	注意対象人数	出現率(%)
a	8/31	85	10	8	10	9	2	2.4
a	9/1	78	18	14	16	9	4	5.1
a	9/2	89	16	21	10	13	5	5.6
a	9/3	32	22	10	12	5	0	0.0
a	9/4	85	25	7	6	8	5	5.9
a	9/5	55	35	8	5	5	1	1.8
b	9/8	22	19	5	4	3	5	22.7
b	9/9	63	41	0	0	0	0	0.0
a	9/11	96	39	10	6	4	4	4.2
a	9/12	64	34	5	4	3	5	7.8
a	9/13	67	28	5	11	7	5	7.5
d	9/16	36	0	0	0	19	7	19.4
c	9/18	32	0	0	0	22	6	18.8
c	9/20	56	4	0	0	34	11	19.6
a	9/21	50	15	9	2	4	2	4.0
a	9/23	88	10	17	18	22	6	6.8
a	9/24	95	3	10	14	13	8	8.4
a	9/25	79	0	6	10	13	7	8.9
c	9/38	32	0	0	0	16	6	18.8
c	9/29	56	0	0	0	23	9	16.1
	合計	1260	319	135	128	232	98	
	一日平均	63	15.95	6.75	6.4	11.6	4.9	9.2

まず、上記出現率と天候との間の関連性を調べるため、表 3.6 に示すグループのアイウエオカキ、アイ-ウエオカキ、アイウ-エオカキ、アイウエ-オカキ、アイウエオ-カキ、の群間でそれぞれ t 検定を行った。有意水準を 5% として比較すると、P 値は全ての群間で 0.05 より大きい値となったため、いずれの群間で有意な差は認められなかった。また、出現率と遊泳者の来訪時間帯との間の関連性を調べるために、午後の時間帯に同様の調査をした結果（表 3.6）と比較して t 検定を行った結果、P 値は $0.57 > 0.05$ となり、有意差は認められなかった。上記の検定結果より、注意喚起対象行為の出現率は、遊泳者の来訪時間帯や天候による影響を受けないと示唆される。これは、中の島ビーチに訪れる遊泳者のほとんどが観光客であり、限られた日程の中で調整が難しいため、遊泳者の特徴が日や時間によって顕著には表れないためと考えられる。

表 3.6 任意に選ばれ同様に行われた午後の行動調査結果。集計方法は表 3.5 と同様。

			(ii)	(iii)	(iv)	(v)	
ビーチ状況分類	日時	総人数	立ち止まって見た人数	視界に入れた人数	見ていない人数	注意対象人数	出現率 (%)
a	8/31	47	8	10	6	3	6.4
a	9/1	38	9	16	8	5	13.2
a	9/2	78	11	10	8	7	9.0

続いて、ビーチ状況の違いが注意喚起対象行為の出現率に影響するかを調べるため、グループ(a)～(d)の間で、通常状態である(a)と、看板もしくは保全スタッフのいずれかが欠如しているグループ(b)、(c)、(d)との群間において、出現率に対して t 検定を行った結果、P 値は 0.006 となり、有意水準 5% とすると、有意差が認められた。したがって、サンゴに乗るという行為の出現率は、看板や保全スタッフの有無に大きく影響していることが明確になり、保全活動の効果があることが示唆された。

さらに、注意喚起対象者の中で把握できる限りの対象者を(i)～(iv)に分類分けしたところ、(iv)での出現率が 13.6%と、他のグループと比較して明らかに高かった（表 3.7）。また、総人数と注意対象者の母数（それぞれ 1260 人、98 人）に対する割合は(iv)のみで、全体に対する割合より明らかに高かった。この結果と、アンケートによる意識調査結果（表 3.8）から、サンゴに乗る行為経験者（意識調査においては「サンゴ・岩場タッチ経験者」、行動調査においては「注意対象者」）の中で看板を見ていない人の割合は、全体（総人数）の中で看板を見ていない人の割合に比べて、明らかに高いことが共通点として認められた。

表 3.7 注意対象者の(i)～(iv)グループの分類とそれぞれのグループの中での注意喚起対象者の出現率。括弧内は、全体に対する割合（総人数の母数は 1260 人、注意対象者の母数は 98）

	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(i)～(iv)に属していない人	合計
	声をかけた人	立ち止まって読んだ人	視野に入れた人	見ていない人		
総人数	319 人 (25%)	135 人 (11%)	128 人 (10%)	232 人 (18%)	446 人 (35%)	1260 人
注意対象者	6 人 (6%)	0 人 (0%)	7 人 (7%)	35 人 (36%)	50 人 (51%)	98 人
出現率(%)	1.9	0	5.5	13.6	11.2	

表 3.8 比較するための意識調査結果によるサンゴ・岩場タッチ経験者の中での看板理解による分類。括弧内は、全体に対する割合（総人数の母数は 118、サンゴ・岩場タッチの母数は 28）

	理解した人	見た人	見ていない人	無回答	合計
総人数	45 人 (38.1%)	47 人 (39.8%)	8 人 (6.8%)	18 人 (15.3%)	118 人
サンゴ・岩場タッチ	10 人 (35.7%)	11 人 (39.3%)	4 人 (10.7%)	3 人 (10.7%)	28 人
割合 (%)	22.2	23.4	50.0	16.7	

最後に、注意喚起対象にある「サンゴに乗る行為者」の特徴として、看板を見た遊泳者と見かけた遊泳者に関して、浮力体の携帯の有無が関係するかを同時に 2×2 分割表にまとめ、有意水準を 5% としてフィッシャーの直接確率計算法により検定した結果、P 値は 0.035 (<0.05) となり、有意差が認められた（表 3.9）。従って、浮力体携帯の有無がサンゴに乗る行為の出現数を左右すること、つまり浮力体を携帯することでサンゴに乗る行為を減少させられる可能性が示唆された。

表 3.9 看板を読んだ遊泳者と見ていない遊泳者の注意喚起対象人数と浮力体の有無に関する 2×2 分割表（人）

	浮力体あり	浮力体なし	計
(i)+(ii)の注意喚起対象者数	4	2	6
(iv)の注意喚起対象者数	8	28	36
計	12	30	42

4 結論

本研究では、地球温暖化や海洋酸性化などの全球規模影響によるサンゴ礁の劣化に加えてインバウンド観光需要も高まり始めた昨今、サンゴ礁保全と両立した観光の在り方の一つとしてサンゴ礁海域レジャーの持続的発展が求められている。その上で、これまで遊泳被害に対する保全活動の効果検証が不十分だったことに本研究の意義を見出した。そこで、沖縄県宮古群島を対象に、現場で実際に起きているサンゴ礁の現状を調査すると同時に、遊泳者の意識調査・行動調査を行いサンゴの遊泳被害を防止する保全活動の検証を行った。

サンゴ健全度調査の結果から、サンゴの成育環境の保全活動の重要性が示唆され、遊泳者が及ぼす人的被害などの局所的な影響を回避する取り組みが、全球規模の影響を緩和することに繋がると考えられた。遊泳者の意識調査や行動調査の結果により、保全活動の一つである看板の設置や保全スタッフ配置による保全活動に一定の効果があると示唆された。しかし、看板を理解したにも関わらずノータッチ非実行者がいることや、保全スタッフの注意喚起対象行為を行った人数より多い遊泳者が他のサンゴへのタッチ行為をしていることが明らかになったことなどから、サンゴ礁海域レジャーの持続的発展を追求していくためには行動とサンゴ被害の関連を強調したり、サンゴの生態自体の理解を促したりし、サンゴ保全対策の質を高め、地域性や季節性などに鑑みて順応的に講じていく必要性が示唆された。

今後、観光客の増加等による環境負荷の更なる増大が懸念される中、持続可能な遊泳海域レジャーへの確立に向け、徹底された環境配慮理解の促進や、長期的なモニタリングを通じたサンゴ健全度と遊泳者の意識や行動との間の関係性を把握した上での対策が必要と考えられる。

謝辞

本研究の遂行にあたり、数多くの方々からのご協力とご支援を頂きました。はじめに、私の指導教員として親切丁寧なご指導とご鞭撻を頂きました、北海道大学大学院地球環境科学研究院の藤井賢彦准教授に心から感謝いたします。また、御多忙の中、副指導教員として分析手法などを熱心にご指導いただき有用なコメントとアドバイスを頂きました同研究院の山中康裕教授に深く御礼申し上げます。本論文をご精読頂き、副審査員を快く担当していただき温かくご指導下さいました、同研究院の渡辺悌二教授にも感謝申し上げます。

そして、インターンシップ研修生としてお招き下さると共に、研究対象として快く引き受けて頂き、多大な研究協力に加えて貴重な助言、データ提供などを頂いた、宮古島ダイビングショップ・エコガイドカフェ猪澤也寸志代表をはじめ、エコガイドカフェスタッフの皆様には2年間大変お世話になりました。共に過ごした時間に様々な貴重な経験をさせて頂き、視野や見解を拡げることができた大変有用な時間でありました。この場をお借りして深く感謝の意を表します。

沖縄県宮古島群島にてアンケート調査にご協力していただいた方々、快くヒアリング調査に対応していただいた方々、本研究調査の際にご指導頂いた、多くの方々に御礼申し上げます。

最後に、たくさんの方々を支えられた研究生活でしたが、様々の方々と出会い、助けられた中で築いてきたこの繋がりは、私のこの2年間の中でかけがえのないものです。関わって下さった全ての方々に感謝しています。研究室では意見交換や情報交換、知見の共有を行い、時には励まし応援し合いながら苦楽を共に乗り越えてきた同輩の川添優氏、澤舘隆宏氏、施明カイ氏、曾傑氏をはじめ、先輩方や後輩の方々にも支えられ、皆様に心より感謝致します。

参考文献

- Birkeland C (1997) "Life and death of coral reefs", Springer Science & Business Media
- Cesar H (1996) "Economic analysis of Indonesian coral reefs. Environmentally Sustainable Development Vice Presidency", World Bank.
- Chapman & Hall. Cesar HS, Van Beukering P (2004) "Economic valuation of the coral reefs of Hawai'i.", Pacific Science 58.2, pp231-242.
- Coles, Steven L., Barbara E Brown (2003) "Coral bleaching — capacity for acclimatization and adaptation.", Advances in marine biology 46, pp 183-223
- Drew JA (2005) "Use of traditional ecological knowledge in marine conservation", Conservation biology 19.4, pp186-1293
- Dulvy NK, Stanwell-Smith D, Darwall WR, Horrill CJ (1995) "Coral mining at Mafia Island, Tanzania: a management dilemma", Ambio, pp358-365.
- Hoegh-Guldberg O (2011) "Coral reef ecosystems and anthropogenic climate change.", Regional Environmental Change 11.1, pp 215-227
- Hoegh-Guldberg O, Mumby P, Hooten A, Steneck R, Greenfield P, Gomez E, Harvell C, Sale P, Edward A, Caldeira K (2007) "Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification.", science 318.5857, pp 1737-1742.
- Hughes TP, Baird AH, Bellwood DR, Card M, Connolly SR, Folke C, Grosberg R, Hoegh-Guldberg Jackson OJBC, Kleypas J, Lough JM, Marshall P, Nyström M, Palumbi SR, Pandolfi JM, Rosen B, Roughgarden, J. Hughes TP, Baird AH, Bellwood DR, Card M (2003) "Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs.", science 301.635, pp 929-933.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) IPCC 第5次評価報告書 (AR5), 第1部作業部会 (WG1)
- 環境省 (2006) 「第三次環境基本計画—環境から拓く 新たな豊かさへの道—」
(https://www.env.go.jp/policy/kihon_keikaku/thirdplan_gaiyou.pdf) (アクセス;2016/1/23)

環境省 (2010) 条約新戦略計画

<https://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=16471&hou_id=13104> (アクセス;2016/1/23)

環境省 (2010) サンゴ礁生態系保全行動計画

<https://www.env.go.jp/nature/biodic/coralreefs/pamph/pamph_full.pdf> (アクセス;2016/1/23)

環境省 (2016) サンゴ礁生態系保全行動 2016-2020

<<http://www.env.go.jp/press/files/jp/102395.pdf>> (アクセス 2016/1/30)

気象庁 (2016) < <http://www.jma.go.jp/jma/press/1609/01b/tenko1608.html> > (アクセス : 2016/01/22)

Kuhlmann D (1988) “Sensitivity of Coral Reefs to Environmental Pollution.”.

九里徳泰・小林裕和 (2006) 「持続可能な観光論—歴史・理論・戦略」, 日本観光研究学会第 21 回全国大会学術論文集, pp81-84

Leopold A (1987) A Sand County Almanac, (邦訳 アルド・レオポルド『野生のうたが聞こえる』, 1997, 講談社学術文庫)

Lewis A (2014) IPCC Findings, Potential Solution. Sea Technology

Millenium Ecosystem Assessment (2005) “Ecosystem and Human Well-being, Synthesis.”, Island, Washington, DC .

Moberg F, Folke C (1999) “Ecological goods and services of coral reef ecosystems.”, Ecological economics 29.2, pp215-233.

中野義勝・金城浩二・新里宙也・座安佑奈・藤村弘行・伊藤通浩・須田彰一郎・竹山春子 (2016) 「2016 年のサンゴの白化から、気象災害として今後の対応を考える」, サンゴ礁学会要, p.30

日本サンゴ礁学会・鈴木款・土屋誠・大葉英雄 (2011) 『サンゴ礁学—未知なる世界への招待—』, 東海大学出版会

Orr, J. C., Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., Key, R. M. (2005) "Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms.", *Nature* 437.7059, 681-686.

Palmer, C. V., Modi, C. K., & Mydlarz, L. D. (2009) "Coral fluorescent proteins as antioxidants." *PLoS One* 4.10, e7298

Pandolfi JM, Bradbury RH, Sala E, Hughes TP, Bjorndal KA, Cooke RG, McardleD, Mcclenachan L, Marah JH Newman, Paredes G, Warner RR, Jermy BC Jackson (2003) "Global Trajectories of the Long-Term Decline of Coral Reef Ecosystems.", *Science* 301.5635, pp 955-958

生物多様性条約事務局 (2010) 地球規模生物多様性概況第4版 (GBO4)
<<http://www.env.go.jp/nature/uplode/upfile/gbo4/gbo4-jp-lr1.pdf>> (アクセス;2016/1/23)

敷田麻実・横井謙典・小林崇亮 (2001) 「ダイビング中のサンゴ擾乱行動の分析：沖縄県におけるダイバーのサンゴ礁への接触行為の分析」, *日本沿岸域学会論文集* 13, pp 105-114.

施明カイ・澤田恵梨子・猪澤海・猪澤也寸志・藤井 賢彦 (2015) 宮古島・カヤツファビーチにおける遊泳負荷スマートコントロール実証検証, *日本サンゴ礁学会第18回大会要旨集*

Smith SV (1978) "Coral-reef area and the contributions of reefs to processes and resources of the world's oceans.", *Nature* 273, pp225-226.

Sukhedv P, Wittmer H, Schröter-Schlaack C, Nesshöver C, Bishop J, Ten Brink P, Gundimeda H, Kumar P, Simmons B (2010) "The economics of ecosystems and biodiversity: mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB", *European Communitie*"

Ward F (1990) Florida's coral reefs are imperiled.

<<http://news.nationalgeographic.com/2016/05/160502-reef-florida-acidification-fish-miami/>> (アクセス;2016/2/28)

Whittingham E, Campbell J, Townsley P, Britain G, Commission IO (2003) "Poverty and reefs.", IMM Limited.

World Resources Institute (世界資源研究所) (2011) Reefs at Risk Revisited (危機に瀕するサンゴ礁再考) < <http://www.wri.org/news/2011/02/press-release-75-world%E2%80%99s-coral-reefs-currently-under-threat-new-analysis-finds> > (アクセス;2016/1/23)

World Tourism Organization (国連世界観光機関) (2011) UNWTO2030 長期予測 Global overview, < http://media.unwto.org/sites/all/files/pdf/unwto_2030_ga_2011_korea.pdf > (アクセス;2016/1/22)

World Tourism Organization (国連世界観光機関) (2004) Indicators of sustainable Development for Tourism Destinations
<<http://www.adriaticgreenet.org/icareforeurope/wp-content/uploads/2013/11/Indicators-of-Sustainable-Development-for-Tourism-Destinations-A-Guide-Book-by-UNWTO.pdf>> (アクセス;2016/1/23)

World Tourism Organization (国連世界観光機関) (2016) UNWTO Tourism Highlights.
< <http://unwto-ap.org/wp-content/uploads/2016/09/Tourism-Highlight-s-20116.pdf> > (アクセス;2016/1/23)

World Wide Fund for Nature (世界自然保護基金) (2016)
< <http://www.wwf.or.jp/activities/2017/01/1351912.html> > (アクセス : 2016/01/22)

Yara Y, Vogt M, Fujii M, Yamano H, Hauri C, Steinacher M, Grube N, Yamanaka Y (2012) “Ocean acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habitats around Japan.”, *Biogeosciences* 9.12, pp 4955-4968.

ノータッチ！いいね！アンケート

サンゴの赤ちゃんが育つ海底や岩盤もノータッチでお願いします。

1, サンゴへのタッチ体験を教えてください。

- 1) 足蹴タッチ（立ち泳ぎ時など）
□過去にした □本日した □今後ほしい
タッチの理由: □ライジャケ未着用 □マスク未使用 □シュノーケル未使用 □子供のケア
- 2) 浮遊タッチ（ぶつかり）
□過去にした □本日した □今後ほしい
タッチの理由: □浮き輪使用 □水中メガネ未使用 □子供のケア
- 3) 支えタッチ（つかまり）
□過去にした □本日した □今後ほしい
タッチの理由: □写真撮影 □クマノミ等の鑑賞 □バランスの確保 □潮流対策 □子供のケア
- 4) 休息タッチ（サンゴで休息）
□過去にした □本日した □今後ほしい
タッチの理由: □泳ぎ疲れて □装着器材の修正 □溺れかけて □子供のケア
- 5) 休息タッチ（岩場で休息）
□過去にした □本日した □今後ほしい
タッチの理由: □岩場にはサンゴがないと思った □前問サンゴの理由と同じ
- 6) 海底タッチ（着地時）
□過去にした □本日した □今後ほしい
タッチの理由: □海底にサンゴはないと思った □少しくらいならいいと思った
- 7) 海底タッチ（歩行時）
□過去にした □本日した □今後ほしい
タッチの理由: □海底にサンゴはないと思った □少しくらいならいいと思った
- 8) 潜水タッチ（素潜り時）
□過去にした □本日した □今後ほしい
タッチの理由: □身体が浮くので支えた □水中撮影のため支えた □浮上するため蹴った
- 9) 潜水タッチ（ダイビング時）
□過去にした □本日した □今後ほしい
タッチの理由: □浮力調整を失敗した □バランスを崩した □着底は問題ないと思った
- 10) 間接タッチ（餌付）
□過去にした □本日した □今後ほしい
タッチの理由: □沢山の魚を見たかった □魚が喜ぶと思った □昔、ツアーガイドに教わった
- 11) 捕獲タッチ（あみ）
□過去にした □本日した □今後ほしい
タッチの理由: □サカナや生物を持ち帰りたかった □捕えても放流するつもりだった

2, ノータッチ看板について

□看板を見た □看板内容を理解した □看板をみなかった

3, ノータッチ！いいね！体験、いかがでしたか？（複数選択可）

- 賛成 □ノータッチは当たり前 □窮屈だけど次回ほしい □今度こそノータッチでやる
□家族や友人にも伝えたい □ノータッチビーチが増えれば良い
- 反対 □楽しさを優先したい □ノータッチは無理 □ノータッチしてもサンゴ保全できない
□子供のケアができない □サンゴ礁や岩場での休息はどうしても必要
- ECO シュノーケラー □スキルを身につけたい □装備だけ身につけたい □不要

ご協力どうもありがとうございました。