

第 3 章

サンゴ礁モニタリング

1998年の高水温による白化現象により、世界のサンゴ礁は壊滅的な被害を受けた。その後も高水温は頻発し、熱帯・亜熱帯域のサンゴ群集は慢性的なストレスにさらされているといえる。また、国内ではオニヒトデが各地で異常発生を見せ、1980年代以来の大規模な大発生が危惧されている。さらに、陸域からの赤土流入や船舶の投錨によるサンゴの破壊など、人為的な攪乱もまだ根本的な解決を見ていない。このように様々な攪乱が頻発している今、サンゴ礁の状況を把握して異常を知り、いち早く対策を講じるために、モニタリングの重要性が認識されるようになった。

この章では、日本国内でこれまで行われているサンゴ礁のモニタリング、主にサンゴ群集を対象とした生物学的なモニタリングについて紹介する。また、より広域での効率の良いモニタリングとして近年急速に発達しているリモートセンシングについても、日本での研究例を中心に述べる。

3-1

日本におけるサンゴ礁モニタリング

木村 匡

1 はじめに

サンゴ礁の保全を考える上で、現状の把握は欠かせない。モニタリングとは、現在の状況を調査し、過去の状況と比較してその変化の様子を把握し、将来の予想をするために繰り返し行う調査のことである。定期健康診断ともいべきこのモニタリングは、平常時にはその必要性が認識されにくい、なんらかの異常事態が起こった際にその意義は大きい。

これまでわが国のサンゴ礁は、①1970～1980年代にかけて琉球列島で起こったオニヒトデ (*Acanthaster planci*) の大発生、②1970～1980年代の沖縄島での振興開発に伴う赤土流出、③1998年の高水温による世界的な白化現象、そして④2000年代に入って奄美群島や慶良間諸島で再び起きているオニヒトデの大発生により、大きな攪乱を受けてきた。これらの攪乱に際して、その被害の程度を的確に評価し、また大発生を事前に予測して対策を講じるためには、日常のモニタリング体制の構築が重要であることが認識されてきた（環境庁自然保護局 2000a；環境省自然環境局 2003a）。また、温帯域では水温の上昇傾向により造礁サンゴ（以下、サンゴ）の分布域の拡大、元来の生態系である藻場の縮小が確認されており、生態系の構造と機能の変化という新たな問題も予測され、今後もその動態を追跡していくことは重要である。

これらの認識の元に、これまで各地の研究機関や研究者、行政、ボランティア等により様々なモニタリングが実施されてきた。しかし、その多くでは互いに比較可能な過去のデータが共有・蓄積されておらず、白化現象等の広域的に同時多発する現象を把握することは困難である等の問題点を抱えている（中谷 2001）。この問題を解決するために、環境省や沖縄県により新たなモニタリング体制の構築が始まっている。

この章では、日本でこれまで行われてきたモニタリングの事例を紹介し、今後の方向と課題を整理する。

2 モニタリングとは

モニタリング monitoring の「モニター monitor」には、「監視する」あるいは「監督する」という意味がある（小学館 1984）。日本語でモニタリングと言う場合、「対象を監視・観測して記録し、それを過去の記録と比較して分析し、今起きていることを評価し、これによって未来の予測をし、何かの問題が予想された場合はそれに対応した対策を立てる」時に使われる（西平 2001）。日常生活の中では、気象観測や定期健康診断などがこのようなモニタリングと言える。「サンゴ礁のモニタリング」は同じ調査地点で時間をおいて繰り返し行われる調査であるが、サンゴ礁の現状を把握してその変化を評価したり、保全の施策の効果を判定、あるいは何らかの人間活動がサンゴ礁に与えている影響を検証するためなど（GBRMPA 1998）、その目的がサンゴ礁の保全に結びつけられる。

3 モニタリングの背景

わが国のサンゴ礁研究は、1930年代のパラオ熱帯生物研究所や東北大学での学術的研究に端を発し、1950年の琉球大学開学、1971年の琉球大学理学部附属臨海実験所（現：琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底実験所）設立によって、沖縄のフィールドを中心に生物学や地質学的研究を中心に発展してきた。しかし、サンゴ礁自体は、1970年代以降オニヒトデの大発生や、陸域の開発による赤土流出、白化現象等により、大きな負荷を与えられ、

危機的状況にあるといえる。一方で、サンゴ礁に対する大きな攪乱は、研究者や行政に危機感を認識させ、保全意識を高めることともなった。そして、オニヒトデの大発生以降、保全を意識したサンゴ礁モニタリングが行政や研究者によって実施されるようになった。

国内のサンゴ礁が様々な脅威にさらされつつ、それぞれの脅威に対するサンゴ礁モニタリングが試行錯誤される一方、世界のサンゴ礁でも破壊的漁業や開発による土砂流入など、人為的攪乱による破壊が大きな脅威となっていた (AIMS 1998)。そのため、1994年に米英豪日などを中心に国際サンゴ礁イニシアティブ (ICRI) が発足し、サンゴ礁保全が国際的な課題となった。ICRI では、世界各国が協力しながら、それぞれの国でのサンゴ礁保全の取り組みを推進していくことを理念とし、地球規模でサンゴ礁モニタリングを実施することが一つの目標とされた (ICRI 1995)。そのような状況の中、1998年に地球規模のサンゴの白化現象が起こったことにより、サンゴ礁の保全が世界共通の問題として人々に認識され、サンゴ礁モニタリングを地球規模で推進する重要性がさらに強調された。ICRI 推進メンバー国である日本も、国際的なサンゴ礁モニタリングの枠組みの推進に積極的に取り組むとともに、国内のモニタリング体制の構築を重要な課題としてサンゴ礁保全に取り組んでいる。

4 モニタリングの手法

わが国のサンゴ礁モニタリングには様々な手法が使われているが、大きく分けて、①マンタ法、②スポットチェック法、③ライン・インターセプト・トランセクト法、④コドラート法、⑤ベルトトランセクト法、⑥ラインポイント法、の6つの手法があげられる。これらの調査方法には、それぞれに長所短所があり、その目的に応じて選択される。以下に、それぞれの調査手法について簡単に紹介する。

①マンタ法

ボートの船尾から曳航板を垂らし、その板に捕まった観察者が船に曳航されながら、海底の状況を観察、記録する方法。曳航板に記録用紙を設置し、観察者自身が記録する方法と、船上の記録者に観察結果を伝え

て記録する方法とがある。広い海域のサンゴ被度やオニヒトデの調査に用いられる。広域を短時間で調査できるため、概況調査に適している。サンゴ被度は観察者が目測で見積もるため、主観的になりやすい短所がある。

②スポットチェック法

マンタ法のようにボートで曳航される代わりに、一定時間スノーケリングで遊泳しながら、サンゴ被度やオニヒトデの生息状況など海中の状況を観察し、記録する方法。船を曳航しにくい、パッチ状に分布するサンゴ礁域で、簡便な方法として有効である。短時間に広い範囲を調査でき、使用する機材も少なく安価である。短所は、マンタ法と同様、被度の見積もりを観察者が目視で行うため、結果が主観的になりやすいことである。(詳細は参考資料4を参照)

③ライン・インターセプト・トランセクト法 (LIT 法)

対象とする海底に一定の長さの調査測線を設置し、その測線が接している底質やサンゴ等の長さから、それぞれの相対被度を求める方法。マンタ法やスポットチェック法等の目視で観察する方法よりも、客観的な記録が得られる。短所は、線上の情報を集めているので、加入量や成長などの空間的な変化を調べる調査には適さない。

④コドラート法

対象とする海底に正方形の調査枠 (方形枠=コドラート) を設置し、枠内に出現する底質やサンゴ等の被度を記録する方法。空間的な詳細データが得られるため、被度や多様度だけでなく、加入量や成長量などを調査できる。調査に時間と手間がかかるため、広い範囲を対象にできない。

⑤ベルトトランセクト法

対象とする海底に調査測線を設置し、その測線に沿って一定幅内の底質やサンゴ等の被度を記録する方法。ライントランセクト法とコドラート法の併用。コドラート法と同様、調査に時間と手間がかかるが、空間的な詳細データが得られる。

⑥ラインポイント法

対象とする海底に調査測線を設置し、測線に沿って間隔を置いて測点を設け、その点の対象物を調査する方法。調査線に20m間隔で調査点を置き、調査点を中心とした半径3m円内を調査対象（間隔や調査範囲は状況に応じて変わる）としたり（環境庁自然保護局 1999a）、ラインに沿って撮影したビデオ画面に、パソコン上でランダムに発生させた点を調査点とする（AIMS 1997）などの方法がある。ライントランセクト法に比べ、比較的広い範囲を対象にして客観的なデータが得られる利点がある。

5 これまで行われてきた主なモニタリング

わが国でこれまで行われてきたサンゴ礁のモニタリングには、国が行うもの、都道府県や市町村など地方自治体が行うもの、大学や研究機関などの研究者が行うもの、ボランティアやNGOが行うものなど、様々な主体によるものがある。

また、人間の健康診断のように、異常を早期に発見するために広範囲で概括を把握するモニタリングや、オニヒトデや赤土、白化など特定の攪乱要因に着目し、その影響を評価したり回復を追跡するための、テーマを定めたモニタリング、あるいは海中公園地区など特定の場所を対象にしたモニタリングなど、目的も様々である。

ここでは、これまでわが国で行われてきた主なモニタリングをその目的によって、1. 概括モニタリング、2. 特定の地域を対象としたモニタリング、3. 特定のテーマに沿ったモニタリング、の3つに区分（中谷 2001）しながら紹介する。

1. 広域での概括モニタリング

白化やオニヒトデによる被害などのテーマを特に決めずに、サンゴ礁の基本的な分布や生育の状態を知るための調査を、ここでは概括モニタリングと呼ぶ。大規模なものでは環境省による「自然環境保全基礎調査」における全国レベルのサンゴ礁調査や、県内の状況を広域で把握するために沖縄県が実施した調査などがある。

1) 行政機関による概括モニタリング

a) 「自然環境保全基礎調査」(環境省)

最も大規模なものとしては、環境省の実施する「自然環境保全基礎調査」がある。この調査は、環境省が自然環境保全法に基づき、わが国の自然環境を保全することを目的に行う、自然環境に関する基礎的な情報を収集するための調査で、「緑の国勢調査」とも呼ばれる。その対象は、海域から陸域までの主な自然環境であり、サンゴ礁の分布は、1978年度からの第2回基礎調査、1989年度からの第4回基礎調査及び1995年度からの第5回基礎調査で調査されている。これらの調査では、日本国内の広域的なサンゴ群集の分布を把握するため、マンタ法とスポットチェック法による現地調査のデータを元に、航空写真の解析が行われた。1978年と1979年に実施された第2回調査では、現地での調査データと航空写真の解析から、沿岸域に存在するサンゴ群集の分布面積が各県ごとに算出された（環境庁自然保護局 1979）。1989年から1992年に実施された第4回調査では、県別のサンゴ群集の分布面積を算出する（環境庁自然保護局 1994a）とともに、奄美群島から琉球列島までのサンゴ群集分布図が作成された（環境庁自然保護局 1994b）。第2回調査の結果、サンゴ礁域の礁池の総面積は約83,000ha、第4回調査では96,000haであったが、この増加は調査面積の拡大によるものであった。第2回調査から第4回調査の間に、主に埋め立て等により1506.7haのサンゴ礁が消失したことが確認された。また、日本国内の非サンゴ礁域に分布する被度5%以上、面積0.1ha以上の造礁性サンゴ群集の面積は1,409.3haであり、第2回調査以降第4回調査までに減少した非サンゴ礁域のサンゴ群集の面積は約14.7haと試算された。これらの減少は、オニヒトデ、シロレイシガイダマシ類 (*Drupella*) の食害によるほか、埋立てや環境の悪化によるものと思われた。第5回調査では、サンゴ礁域の造礁サンゴ面積は33,531ha、非サンゴ礁海域では1,814.2haであった（環境庁自然保護局 1998c）。ただし、第5回目の調査では、水深10m以浅の浅海域の情報を抽出した点など第4回調査と異なった集計を行っているため、両調査のサンゴ分布面積を直接比較することはできない。なお、これら自然環境保全基礎調査の現地調査は、いずれも各都道府県に委託して実施された。

b) 「サンゴ礁実態調査（平成11年度～14年度）」（沖縄開発庁、現内閣府沖縄総合事務局）

沖縄開発庁が実施した「サンゴ礁実態調査（平成11年度～14年度）」では、サンゴ群集の変遷を継続的に追跡する調査の基礎となる情報の収集、及びモニタリング方法の検討を目的に、1999年から2002年まで沖縄県内のサンゴ群集を対象に調査された。1999年は沖縄本島周辺から八重山海域までの44地点を対象に、2000年は前年の調査地から選んだ本島周辺の12地点が、2001年は沖縄島周辺の3地点が調査対象となった。2002年の調査は、1999年調査の44地点から選ばれた9地点と2001年調査での3地点において行われた。1999年の調査では16個の1m×1mコドラート（方形枠）を用い、2001年の調査では5m調査線の両側に並べた50cm×50cmコドラートを用いて、コドラート内の群集毎の属名、被度、ミドリイシ（*Acropora*）小群体の数などが記録された。

沖縄島周辺12地点を対象とした2000年の調査では、残波岬の礁斜面浅部と本部町備瀬の礁斜面深部において、1999年に比較して明確なサンゴ被度の減少が見られた。那覇港沖と本部町大小堀川河口域、慶良間を比較した2001年の調査では、那覇港沖のサンゴ被度が2.56%、本部町河口で3.6%、慶良間で20.8%であった。2002年にはそれぞれの調査地点の再調査を行った結果、慶良間諸島の調査点でオニヒトデの食害による著しい被度の減少が見られた（内閣府 2001, 2002, 2003）。

c) 「沿岸海域実態調査」（沖縄県企画開発部）1993年、1994年

沖縄県企画開発部は、陸域の開発やオニヒトデの食害によって被害を受けている沖縄県内のサンゴ礁の実態を把握するため、1993年と1994年に「沿岸海域実態調査」を実施した。この調査では1993年に沖縄島周辺が、1994年に宮古・八重山周辺海域が対象とされた。調査は、礁原と礁斜面に5m×5mの方形区を想定し（実際に枠は張らず、目測で枠を決める）、枠内のサンゴ被度、サンゴ出現種、底生生物出現種を記録する方法で行われた。同時に、オニヒトデの個体数と食痕を10分間の遊泳中に記録した（スイムカウント法）。また、調査地の赤土堆積状況（5段階評価）と幼サンゴの加入状況（1m²当たりの幼サンゴの数）も観察された（沖縄県企画開発部 1993, 1994）。

調査の結果、沖縄島周辺では金武湾や名護湾周辺で赤土の堆積が多くてサンゴ群落の発達が悪く、南部周辺や残波岬、真栄田岬、奥付近で良好なサンゴ群集が見られた。周辺離島では慶良間諸島と伊是名島・伊平屋島で非常に良く発達したサンゴ群集が見られたが、久米島の西岸ではサンゴ被度が低い傾向にあった。宮古島、石垣島及び西表島周辺の調査では、赤土の堆積が多く見られた宮古島久松漁港付近や石垣島宮良湾でサンゴ群集がほとんど見られず、赤土の堆積が中程度の場所では、ハマサンゴ属（*Porites*）やシヨウガサンゴ属（*Stylophora*）、アナサンゴモドキ属（*Millepora*）が優占するサンゴ被度の低い群集が見られた。また、1993年夏季のこれらの調査では、宮古島の西部から南部、水納島、多良間島、石垣島名蔵湾及び西表島周辺のほとんどの海域で白化現象が観察された。オニヒトデについては、沖縄島周辺及び宮古島、石垣島、西表島のいずれの地域においても大規模な集団は確認されなかった。

これらのサンゴ調査とオニヒトデ調査は、調査を実施した（財）沖縄県環境科学センターの自主研究としてその後も継続され、その結果は同センターの年報に発表されている（（財）沖縄県環境科学センター 2003）。

2) ボランティア／NGOによる概括モニタリング

各地でサンゴ礁の環境破壊が叫ばれる中、研究者や行政だけでなく、一般市民の間にも環境保全の意識が高まり、NGOやボランティアによるサンゴ礁のモニタリングが行われている。それらの活動はしばしば、国の事業に参加する形で行われたり、助成金などで支援されることがあるが、基本的には核となる団体や個人の活発な取り組みと活動に対して理解のあるダイビング事業者や研究者の支援等によって推進されている。

「リーフチェック」は、ボランティアによる概括モニタリングとして、1997年より世界各地で行われている。本部はカリフォルニアにおかれ、各地から集まったデータを解析し、サンゴ礁の世界的な変移を分析している（リーフチェック本部ホームページ^{*1}）。調査手法は、水深3mと10mにおいて100mラインに沿った4本の20m側線上で、0.5mごとのポイントに出現する底質やサンゴ等を記録し、サンゴ被度を求めるとともに、同側線の両側2mの範囲で攪乱の指標となる魚類や底生生物の出

現数も記録するという、独自に開発した方法を使用している。調査する指標生物は地域ごとに決められている。日本では、個人あるいは様々な団体が参加しているが、中でも NGO のコーラルネットワークは、各地での実施を推進すべく活発に調整活動を行っている。リーフチェックは、参加するボランティアの経験により収集されるデータの質にばらつきがある、という問題点が指摘されるが、一般のスポーツダイバーにサンゴ礁の保全の重要性を意識させるという啓発活動としての一面を持ち、重要な保全の取り組みの一つである。国内で得られた結果は、調査者からリーフチェック本部に直接送られると共に、日本でリーフチェックを推進しているボランティアダイバーのグループの一つである「コーラルネットワーク」でも取りまとめてホームページで公開されている(日本版リーフチェックホームページ²⁾)。

コーラルネットワークによる国内でのリーフチェックは、1997年に2地点で開始され、1998年は12地点、1999年は11地点、2000年は16地点、2001年は17地点、2002年は20地点、2003年は19地点で実施されている。これまでの調査から、1998年夏季の高水温による白化のため沖縄県内の広い範囲で大規模な白化の影響が示唆されたが、その後徐々に回復していることが明らかになっている。しかし、2001年には沖縄県久米島でシロレイシガイダマシ (*Drupella cornus*)、和歌山県串本町でヒメシロレイシガイダマシ (*D. fragum*) による食害が見られ、2002年には八重山海域でオニヒトデの増加や腫瘍も観察されたり、静岡県でのガンガゼ (*Diadema setosum*) による食害が懸念されるなど、サンゴ群集に対する近年の攪乱も報告されている。

2. 特定の場所を対象としたモニタリング

国立公園及び国定公園内に指定される海中公園地区や自然環境保全地域の海中特別地区などの保護区では、その保護区の状況を把握するためのモニタリングが実施されている。これらは、保護区を対象としてその管理のために行われているので、特定の場所を対象としたモニタリングとして扱った。また、各地の研究機関や研究者によって、調査研究のための情報を収集するためのモニタリングが行われており、白化などのイベントが起これば、追加調査を行って、その影響などが調査されている。

1) 行政機関が行う特定の場所を対象としたモニタリング

①国が行うもの

a) 沖縄県八重山郡「西表国立公園石西礁湖及びその近隣海域におけるサンゴ礁モニタリング調査」(環境省)
 (財海中公園センター・八重山海中公園研究所は、1980年代の石西礁湖でのオニヒトデ大発生に際し、サンゴ及びオニヒトデの分布を把握する事を目的に、1983年に石西礁湖でのサンゴ礁モニタリングとして、「石西礁湖におけるオニヒトデおよびイシサンゴ類の分布調査」を開始した。その後毎年行われたこのモニタリングは、1987年からは「石西礁湖及びその近隣海域におけるオニヒトデ及びサンゴ類の分布調査」と名称を変え、1997年まで竹富町と沖縄県環境保健部(当時)自然保護課、環境庁西表国立公園管理事務所(当時)の支援を受けながら実施された。1998年から2001年までは環境庁沖縄地区国立公園・野生生物事務所(当時)と同研究所との共同事業「西表国立公園石西礁湖及びその近隣海域におけるサンゴ礁モニタリング調査」として実施され、2002年からは環境省事業として現在まで継続されている。調査は、同研究所が開発したスポットチェック法を用い、石西礁湖及びその近隣海域において102カ所の定点で実施されている。

これまでの調査から石西礁湖内のサンゴ群集は、1980年代のオニヒトデ大発生により壊滅的な被害を受けた後約10年間は目立った被度の回復が認められなかったが、1991年ごろから急激に回復に向かい、1995年には多くの地点で高被度のサンゴ群集が復元した。しかし、1998年の夏季高水温による白化、1999年の冬季低水温による白化、2001年と2003年の夏季高水温による白化、2001年からのオニヒトデの増加、2003年の腫瘍などの病気が観察され、1998年以来様々な攪乱にさらされていることも事実である(竹富町 1983-1986, 1987-1997; 環境庁自然保護局 1998b, 1999b, 2000c; 環境省自然環境局 2001a, 2002a, 2003b)。

b) 沖縄県八重山郡「石垣島周辺海域におけるサンゴ礁モニタリング調査」(環境省)

環境庁(当時)は、八重山海中公園研究所と実施していた石西礁湖でのサンゴ礁モニタリングの調査範囲を拡大する形で、1998年に石垣島周辺でのサンゴ礁モニタリング「石垣島周辺海域におけるサンゴ礁モニタリング調査」

を開始した。手法は石西礁湖でのモニタリングと同じスポットチェック法を用い、石垣島周辺に75の調査地点を設置して実施している。

これまでの調査から、石垣島周辺のサンゴ群集は1998年の大規模な白化により大きな被害を受けたあと、1999年以降は回復傾向が続いてきた。しかし、オニヒトデやサンゴ食巻貝類の増加傾向や河口域での赤土流出によるサンゴ類への被害が見られているため、今後は回復過程に対する攪乱が懸念される（環境庁自然保護局 1998a, 1999c, 2000b；環境省自然環境局 2001b, 2002a）。

c) 沖縄県八重山郡「西表国立公園海中公園地区」のモニタリング（環境庁）

環境庁（当時）は、西表国立公園内に指定された海中公園地区の保全のため、1998年に海産生物相の現況を把握するための「生態系多様性地域調査（西表国立公園海中公園地区）」を実施した。この調査では、スポットチェック法による概況調査と、100m 側線上の25m 毎に5カ所のポイントを設け、その中心から半径3m の円内を調査区として、調査区内のサンゴや海藻類などの底生生物の被度を目視で記録する詳細調査が行われた。また、上記100m 側線の両側5m の範囲で魚類の目視観察も行われた。

調査の結果、枝状や卓状ミドリイシ群集が創り出すすばらしい海中景観により1977年に海中公園地区に指定された4つの海域は、いずれも1980年代のオニヒトデの大発生により大きな被害を受けたことが明らかとなった。その後、1990年代初めから急激に回復し、1990年代半ばには往時をしのばせる高被度のミドリイシ群集が出現した。1998年の白化現象による被害も1地区を除いては軽度であり、比較的早期の内にすぐれた海中景観が復元されると推定された（環境庁自然保護局 1999a）。

d) 沖縄県八重山郡「崎山湾自然環境保全地域」のモニタリング（環境省）

西表島最西端に位置する崎山湾は、1983年に自然環境保全地域に指定された。その後、保護区へのオニヒトデの侵入を警戒して、1983年から1984年に環境庁によるサンゴとオニヒトデの調査、「崎山湾自然環境保全地域保全対策緊急調査」が実施された。この調査では、1977年に撮影された空中写真の解析とマンタ法、スポットチェ

ック法による現況調査によりサンゴの分布を分析した。オニヒトデの調査では、マンタ法と10m 測線の両側1m を使ったベルトトランセクト法が併用された（環境庁自然保護局 1984）。

1989年にはその後の変化と現状を把握するため、環境庁により「崎山湾自然環境保全地域調査」が実施され、2m × 2m あるいは1m × 1m のコドラートを用いて、群体ごとのサンゴの被度と種組成が記録された（環境庁自然保護局 1990）。

環境庁では、さらにその追跡調査として、1997年に「生態系多様性地域〔崎山湾自然環境保全地域〕調査」を実施した。この調査では、1989年の調査を踏襲し、できる限り同じ地点で同じ手法が用いられた。

これらの調査の結果、自然環境保全地域に指定された当初は、サンゴ群集が良く発達していた（環境庁自然保護局 1983）が、1980年代に大発生したオニヒトデによる被害を受け、1989年まではその回復途上であったためにサンゴ被度は低かった。それが1997年には著しく被度が増加し、サンゴ群集の回復が進行しており、今後は多様性の高いサンゴ群集の回復がさらに進むと推定された（環境庁自然保護局 1999d）。

②都道府県／市町村が行うもの

a) 鹿児島県奄美大島周辺のモニタリング（鹿児島県名瀬市）

鹿児島県の奄美大島ではサンゴ礁の現状を把握するために、名瀬市が2002年に奄美大島沿岸の6カ所における「奄美大島周辺海域サンゴ礁環境調査」を実施した。調査では、30m × 0.5m の固定調査区を設置し、枠内に出現するサンゴの属レベルごとの被度が算出された。

調査の結果、奄美大島周辺では1998年の白化現象により、北西部の礁斜面で10～30%のサンゴ群集が死滅したが、2001年の夏季高水温による被害はなく、徐々に回復傾向にあった（興 2002；奄美海洋展示館ホームページ³）。

b) 沖縄県「沖縄海岸国定公園」海域におけるモニタリング（沖縄県文化環境部）

沖縄県文化環境部自然保護課は、沖縄海岸国定公園の海域（沖縄島と慶良間諸島）におけるサンゴ礁モニタリング調査を2000年度に実施した。調査は、沖縄島周辺に12地点、慶良間諸島に8地点の合計20地点において、

10m 測線を用いた LIT 法によって行われ、サンゴ群集の生育型別被度と、底質、目視による赤土の堆積状況、その他食害状況などが記録された（沖縄県文化環境部自然保護課 2001）。

調査の結果、サンゴの被度が沖縄島で平均8.9%と低くなっていることが分かった。慶良間諸島海域でのサンゴの平均被度は約39%と比較的高かったが、渡嘉敷島で多くのオニヒトデが見られた。

c) 沖縄県八重干瀬におけるモニタリング（沖縄県平良市）

宮古島の北西に位置する八重干瀬は、普段は海面下に沈む離礁であり、地元漁業者にとっては貴重な漁場となっている。また、毎年春の大潮干潮時には海面に干出し、地域住民や観光客が多数上陸しており、観光資源としても重要な役割を果たしている一方で、上陸によるサンゴ礁への影響が懸念されている。そこで、平良市水産課ではこれらの上陸利用者に対して教育啓発活動を行うと共に、利用による影響を把握するためのモニタリング、「八重干瀬造礁サンゴ類成長調査」を行っている。調査では、4 m²の永久コドラートを設置して写真撮影を行い、枠内に出現する造礁サンゴの種毎の被度を算出している。1999年より年2回の調査を継続している。

調査の結果、八重干瀬のサンゴ被度は、礁縁部で5%未満～20%、礁斜面で20～70%であり、1999年以来ほぼ横ばいであった。群体の成長は見られるが、冬季の寒波により、成長量と同程度死亡していると推定された（環境省自然環境局 2002b）。

2) 研究機関／研究者が行う特定の場所でのモニタリング

研究機関や研究者によっても、特定の場所のサンゴ群集の状況を追跡するモニタリングが行われていることがある。手法は、LIT 法やベルトトランセクト法、コドラート法など、実施者によって様々である。

a) 沼津市内浦湾でのサンゴ群集モニタリング（東海大学海洋研究所）

1991年に行われた第4回自然環境保全基礎調査によって、沼津市内浦湾でエダミドリイシ (*Acropora tumida*) が優占する大規模なサンゴ群集が発見された。東海大学海洋研究所は1995年よりこのサンゴ群集のモニタリングを実施し、群集の分布面積、被度、水質などを記録している。

サンゴ群集の面積は5,000m²あったが、1996年の低水温によって1/2以下に減少し、その後ガンガゼによる食害によって2001年には発見当初の5%にまで減少した（舟越・上野 2002）。その対策として、沼津市の事業でサンゴの保護ゲージを設置し、効果を上げている（6-2-1-b 参照）。

b) 和歌山県串本町周辺のモニタリング（株串本海中公園センター）

和歌山県串本町にある株串本海中公園センターでは、周辺のサンゴ群集の現況と変化の把握及び貴重な群集の保全を目的に、2000年よりモニタリングを実施している。周辺海域に3つの調査定点を設け、50m 側線による LIT 法により造礁サンゴの被度及び種組成を記録している。調査頻度は年1回、結果をセンターの機関誌「マリンパビリオン」や学術雑誌に発表している。この他サンゴ食巻貝であるヒメシロレイシガイダマシのモニタリングやリーフチェックも行っている。

これまでの調査によって、造礁サンゴは熊野灘～枯木灘にわたって広く分布するが、潮岬の西側で被度が高く、串本町周辺では80%の高被度サンゴ群集が見られる事がわかっている。しかし、これらの地域ではヒメシロレイシガイダマシによる食害も顕著であった（環境省自然環境局 2002b）。

c) 高知県大月町におけるモニタリング（財団法人黒潮生物研究所）

高知県大月町にある黒潮生物研究所は、周辺海域のサンゴ類の分布及び変化の傾向、食害生物や人為による攪乱の程度を把握するため、マンタ法によるモニタリングを実施している。

2002年（平成14年度）から開始したこの調査は、これまで大月町南岸の一部の海域と土佐清水市の竜串海域で実施されている（財団法人黒潮生物研究所 2003）。調査の結果、外海に面した場所や、内湾でも潮通しの良い場所のサンゴ被度は高く、土砂堆積が見られる場所のサンゴ被度は低いという傾向が見られた。

d) 熊本県「雲仙天草国立公園海中公園地区」周辺のモニタリング（九州大学大学院理学府附属天草臨海実験所）

熊本県天草郡にある九州大学大学院理学府附属天草臨

海実験所では、雲仙天草国立公園の2つの海中公園地区を含む天草市と牛深市および富岡町周辺の海域において、海水温の上昇が生物相に与える影響を把握するため、サンゴ群集と水温のモニタリングを実施している。1999年に開始されたこの調査では、調査定点を設置して群体をマーキングし、群体の大きさを追跡している。また、定着板を用いてサンゴ幼生の定着量を推定し、また稚サンゴとその捕食者であるウニ類の密度も調査している。サンゴ群集の調査頻度は年2回である。

これまでの調査から、天草周辺では高被度のサンゴ群集が見られ、大型海藻が消失してそれまで見られなかったエンタクミドリイシ (*Acropora solitaryensis*) が多く定着し始めている事が明らかになった (環境省自然環境局 2002b)。

e) 沖縄県本部町瀬底島周辺のモニタリング (琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底実験所)

沖縄本島本部町瀬底島にある琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底実験所では、1991年より地先のサンゴ群集の個体群及び群集動態を追跡するためのモニタリングを実施している。永久コドラートを設置して群体ごとの被度、種を記録し、白化後のサンゴの回復やオニヒトデの影響を監視している。

調査の結果、瀬底島周辺では1998年と2001年の高水温による白化や台風のため、ユビエダハマサンゴ (*Porites cylindrica*) の優占する被度80%の群集以外は、多くが10%以下の低被度のサンゴ群集であった (環境省自然環境局 2002b)。

f) 沖縄県慶良間諸島阿嘉島周辺のモニタリング (阿嘉島臨海研究所)

慶良間諸島阿嘉島にある阿嘉島臨海研究所では、阿嘉島周辺の4カ所において1998年よりサンゴ礁モニタリングを行っている。1998年の白化現象をきっかけに開始されたこのモニタリングの目的は、白化後の変化を含めたサンゴ礁の状況把握である。調査では、0.5m × 30mの調査区を設置し、ビデオ撮影によって得た画像の解析を行って、調査区内における造礁サンゴの群体ごとの被度と種を記録している。調査頻度は年1~2回、白化などのイベント時は適宜追加の調査を行っている (谷口ら 1999)。

調査の結果より、阿嘉島周辺の定点では1998年の白化以降目立ったサンゴ被度の減少は見られず、回復傾向にあると言える (環境庁自然保護局 2002b)。

g) 沖縄県八重山郡石垣島周辺におけるモニタリング (藤岡・大葉)

藤岡・大葉は2000年から2002年にかけて、石垣島周辺の16調査海域において、造礁サンゴ類と海藻類の群集組成と環境条件の関係を解明するためのモニタリングを実施した。調査は、50m × 4mのベルトトランセクト法を用いた広域のサンゴ分布調査と、海岸から礁縁部までを横切る幅1mのベルトトランセクト法によるプロファイル調査、1m × 1mの固定コドラートを設置して行う定点モニタリングの3種の調査で構成された。広域分布調査では出現種と群体被度、群体数、底質、プロファイル調査では水深、底質とサンゴ種及び被度、定点モニタリングでは出現種、群体数、群体サイズ、被度を調査項目とした。

調査の結果、石垣周辺では塊状ハマサンゴ群集や枝状コモンサンゴ (*Montipora*) 群集が多く見られたが、分布に関して北部と南部の間の違いを分析することはできなかった。ただし、新規加入と見られる小群体は北部海域に偏在していた (藤岡・大葉 2003)。

h) 沖縄県八重山郡石垣島浦底湾におけるモニタリング (水産庁西海区水産研究所石垣支所)

水産庁西海区水産研究所石垣支所では、サンゴ礁を取り巻く環境とそこに生息する生物群集との関係を明らかにすることを目的に、研究所地先の浦底湾に定点を設け、サンゴ及び魚類群集のモニタリングを実施している。1995年より開始されたこの調査では、100mの固定測線を用い、LIT法によって造礁サンゴを、ライン上両側2mずつの目視観察によって魚類相のモニタリングを行っている。通常は年2回実施されるが、白化などのイベントがあるときは適宜追加の調査を行っている。結果は、学会発表や地域の自然保護団体への情報提供の形で公表される。

これまでに、浦底湾では1997年の台風と1998年の大規模な白化により、ミドリイシ属のサンゴ群集が選択的に被害を受けたこと、成長の早いミドリイシ属は残った群体からかなり早く回復すること、全滅した場合は幼生の

加入を待つために回復に時間がかかること、などが報告されている（橋本ら 1999；渋野ら 1999）。

i) 沖縄県八重山郡石垣島周辺のモニタリング（東京大学）

東京大学では、白保の礁池を対象に1998年よりサンゴ礁のモニタリングを行っている。方法は、海岸線から礁縁までを結ぶ調査側線に沿った幅1mのベルトトランゼクト法を用い、サンゴ被度と優占群集の属（一部は種）を記録している。この調査により、調査開始直後に発生した高水温によるサンゴの白化の状況が把握された。石垣島川平湾では同様のモニタリングを1995年から実施している。川平ではベルトトランゼクトの他に20mラインを使ったLIT法も併用されている。

調査の結果、1998年の高水温による白化により、サンゴ群集の被度が約50%減少した。枝状のコモンサンゴ属とミドリイシ属、ハマサンゴ属が最も白化の影響を受け死亡率も高かったが、塊状のハマサンゴ類の白化は中程度で、回復も比較的早かった。また、アオサンゴ（*Heliopora coerulea*）は白化しにくく、死亡率も低いことが分かった（茅根ら 1999；Kayanne *et al.* 2002）。

j) 沖縄県八重山郡石垣島白保のモニタリング（国土館大学／WWFJ）

国土館大学では、WWFJに協力し、白保のサンゴ礁モニタリングを実施している。調査は1995年に開始され、定点の側線調査、固定コドラート調査、側線のVTR撮影記録を行っている。また、石垣島周辺においても同様の調査やスキューバによる30分潜水観察を実施している。

調査の結果から、1998年の白保のサンゴ群集は、白化に先立つ雨季の降雨による赤土の影響を受けたまま高水温にさらされたため、大きな被害を受けたと思われた（長谷川ら 1999；目崎 1991；WWFJ・石垣市 1998）。

k) 沖縄県八重山郡黒島周辺のモニタリング（原島ら）

原島らは、水中立体画像によるサンゴの成長のモニタリング手法を開発するため、1994年から2001年にかけて黒島周辺の定点において、1m×1m永久コドラートのステレオ写真によるモニタリングを行った（原島・功刀 2003）。また、調査船に設置したビデオカメラを用いた、航走撮影によるサンゴのモニタリングの検討も行った（原島 1997）。

調査から、黒島周辺の海水交換の良い調査点では、1980年代のオニヒトデ食害により裸地になった後、1994年ごろには新規加入したサンゴの成長や一部の生残部分からの再生が見られ、1998年までに元の被度に回復したことが分かった。

3) ボランティア／NGOが行う特定の場所でのモニタリング

白保や石西礁湖などでは、地元NGOやボランティアによるモニタリングが行われており、時には行政の事業の一部として実施されることもある。

a) 東京都三宅島周辺のモニタリング（日本海水魚保護ネットワーク）

2000年に火山の噴火により住民が避難した三宅島では、海中まで流出した火山灰の泥によってサンゴ群集の一部が埋もれた。ボランティアグループである日本海水魚保護ネットワークでは1999年より、三宅島の代表的なサンゴの生息地である富賀浜においてモニタリングを行っていた。1m×1mの永久方形区と100m調査側線に沿った5m×5mの調査区を用いて被度を目視で算出した。このモニタリングは、2000年7月まで継続されたが、同年8月以降は火山の噴火活動のために中断されている。

調査の結果から、調査地のサンゴ被度は、1999年から2000年にかけて数%の増加を示していたが、陸水の影響は確認されなかった。調査が中断されたために噴火活動による火山灰の影響は確認されていないが、その後調査地で小規模の土石流が発生していることから、その影響が懸念される（WWFJ 1999^{*4}，2000^{*5}）。

b) 鹿児島県屋久島周辺のモニタリング（屋久島海洋生物研究会）

鹿児島県の屋久島では、地元有志による研究組織、「屋久島海洋生物研究会」が設立されている。この研究会では、1999年に屋久島で行われた環境省の生物多様性調査をきっかけに、海中公園地区のモニタリングの必要性を認識し、2003年には環境省の海中公園地区等保全事業として、サンゴ群集と魚類のモニタリングを行った。このモニタリングでは、サンゴ群集を30m側線を用いたLIT法で、魚類を30mの側線上の目視観察によって調査した。

調査の結果から、2003年のサンゴ被度は20.3～49.0%であり、1999年の調査と比較して大きな変化はみられず、

オニヒトデの出現も確認されなかった（環境省自然環境局 2003a）。

c) 沖縄県八重山郡石垣島周辺及び白保周辺のモニタリング（WWFJ サンゴ礁保護研究センター）

沖縄県石垣市白保の沿岸は、1979年に県による空港建設が計画され、地元住民と一体となった空港建設反対運動が展開されてきた。その中心となった白保地区においてWWFJは、2000年に「サンゴ礁保護研究センター（通称：しらほサンゴ村）」を設立し、地元でのサンゴ礁保全活動の一環として、サンゴ礁のモニタリングを実施している。これまで、白保の定点における年次モニタリングと、1989年からは5年に1度の石垣島周辺全域を対象とした全島調査を実施してきた。年次モニタリングでは、1m×1mの永久方形区の写真撮影と350m側線を使ったLIT法によってサンゴなどの底生生物の被度を調査し、全島調査では、50m側線を使ったLIT法による生サンゴ被度、出現サンゴ属数、オニヒトデ個体数の調査と、チョウチョウウオ類とクマノミ類の種、個体数の調査を行っている。

調査の結果から、過去10年の間に全体としてサンゴ礁環境の悪化が進行していることが認められ、特に従来からサンゴ生育が良好な地点でも、1998年の白化現象によるダメージからの回復が十分でないことが判明した（WWFJ ホームページ^{*6}）。

d) 沖縄県八重山郡石西礁湖周辺でのモニタリング（八重山サンゴ礁保全協議会）

八重山サンゴ礁保全協議会は環境庁西表国立公園管理事務所（現環境省自然保護事務所）と財海中公園センター八重山海中公園研究所の呼びかけにより、地域のダイビング業者、漁業者、行政機関、研究者が参加するボランティア組織である。

協議会は、「マイポイントチェック」と呼ばれるモニタリングを実施するとともに、サンゴ礁に関する情報ネットワークの構築を目指している。「マイポイントチェック」とは、会員が自分の担当する地点を決め、サンゴの生育状況やオニヒトデの生息状況などを年1～2回モニタリングするものであり、白化の状況や、オニヒトデの発生状況を早期に把握することに効果を上げている。「マイポイントチェック」の結果は、事務局である「環境

省国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター」が取りまとめ、会報やホームページ^{*7}で広く公開しており、八重山地域のサンゴ礁の状況を多くの人に伝えるという普及啓発効果も高い。

3. 特定のテーマに基づいたモニタリング

オニヒトデの大発生や高水温による白化など、大きな攪乱が起こると、その影響を把握するための緊急調査が行われる。そのような調査は、再び起こるであろう攪乱に備えて、しばしば継続して行われるモニタリングの契機となったり、同じような攪乱が再発した際に、被害状況を比較するために、過去の調査と同じ手法で実施される場合もある。ここでは、1回限りの調査であっても、繰り返しの効果が得られるものはモニタリングとして取り扱った。

なお、ここでは調査の主体ではなくテーマ毎に紹介する。

1) オニヒトデに関するモニタリング

a) 沖縄島周辺における1970年代のオニヒトデ大発生（環境庁／沖縄県）

環境庁は1971年に沖縄島とその属島80地点において、1972年には久米島周辺20地点において、オニヒトデの個体数と食痕を10分間の遊泳中に記録するスイムカウント法によって調査した（環境庁自然保護局 1973）。また、1976年には沖縄県観光開発公社によって、環境庁が調査を行った沖縄本島周辺に設置された80地点のうちの37地点と、新規に3地点を加えた計40地点において、10分間のスイムカウント法によるオニヒトデの個体数と食痕の調査が行われた（沖縄県観光開発公社 1976）。沖縄県企画開発部でも、1992年と1993年に行った「沿岸海域実態調査」のなかで、10分間のスイムカウント法によるオニヒトデの調査を行っている（沖縄県企画開発部 1993, 1994）。さらに、1999年には沖縄観光コンベンションビューローが、沖縄島、宮古島、石垣島、西表島及び周辺離島の85地点において、オニヒトデの個体数と食痕、サンゴ被度についての10分間のスイムカウント法による調査を実施した（沖縄観光コンベンションビューロー 2000）。

これらの調査から、オニヒトデは1972年の調査では沖縄島の北西部で、1976年には南部で10分間当たり600以上の個体数が見られていたが、1992年の沖縄島の調査で

はほとんどの海域で10個体以下の発見数しか得られなかった。また、1999年の調査では、局所的な分布は確認されたが、大規模な分布は見られなかったことから、この時点においてオニヒトデ個体群の大発生は沈静化していたと推定された。

b) 沖縄島周辺における1970年代のオニヒトデ大発生 (Sakai ら)

Sakai らは1987年に沖縄島周辺の84カ所において、オニヒトデ大発生によるサンゴの被害を評価するために、Nishihira and Yamazato の使用した10分間スイムカウント法 (Nishihira and Yamazato 1974) にて、サンゴ被度、個体数、食痕数を調査した (Sakai *et al.* 1988)。

その結果、サンゴ被度の平均値は、1972年の7.2%から、1984年は46.2%に増加し、10分間遊泳によるオニヒトデ密度の平均値は1972年の11.8匹から、1984年は3.9匹に減少した。このことから、沖縄島周辺では1984年の時点において、オニヒトデ個体群の大発生は沈静化に向かっていたと推定された。

c) 沖縄島、慶良間諸島における2000年のオニヒトデ大発生 (沖縄県)

沖縄県文化環境部自然保護課は、2000年の沖縄島、慶良間諸島でのオニヒトデ大発生に対してオニヒトデ協議会を発足させ、オニヒトデのモニタリング手法を開発し、対策を進めようとしている。モニタリングの手法は、スポットチェックを元にした15分間のスイムカウント法である。

2003年の調査では、沖縄島の慶佐次沖や慶良間諸島の前島周辺で20個体以上の大量発生状態が確認された (沖縄県文化環境部自然保護課 2003)。

2) 白化に対するモニタリング

a) 沖縄県八重山郡石西礁湖周辺及び石垣島周辺における1998年の白化 (環境庁)

環境庁は1998年夏の高水温によるサンゴの白化現象に対し、緊急調査を行った。石西礁湖で地形やサンゴの斃死に特徴のある8地点において、属、群体レベルで50m測線についてLIT法でサンゴの被度と白化、斃死状況を記録した。1999年4月と10~12月に、魚類を同50mラインの両側5mずつの範囲で、目視観察による出現種

と量(4段階)を記録した。また、4月に採集した17群体のハナヤサイサンゴ (*Pocillopora damicornis*) の白化及び死亡率と共生生物の出現数の調査も行い、サンゴの白化の共生生物への影響を調査した。(野村ら 2000)。また、この調査の中で、1998年の石西礁湖モニタリングで白化の影響を大きく受けた石垣島周辺の17地点において、その後の回復状況を調べるために、1999年5月にスポットチェック法による調査を実施した (吉田・本宮 2000)。

調査によると、石西礁湖では1998年の高水温により礁池や岸の近くなど海水交換の悪い場所や礁原部の浅い所で白化の度合い、被度の減少が大きく、場所により80%以上の被度の減少が見られた。一方島から離れた離礁では白化の度合いが低かった。この傾向は石垣島周辺でも同様であり、浅い海域や礁池、波浪が少なく閉塞しやすい場所で白化の被害が大きく、90%近い斃死率を示すところもあった (環境庁自然保護局 2000a)。

b) 沖縄県八重山郡石垣島浦底湾周辺における1998年の白化 (水産庁西海区水産研究所)

水産庁西海区水産研究所石垣支所も1998年の白化現象に対し、石垣島浦底湾の調査定点において、サンゴの白化に伴う群集構造のモニタリングを行った。3調査点において10m×10mコドラート1個を設置し、1998年9月、1999年1月、同年3月に種レベルで群体数、生サンゴ被度、白化サンゴ被度、死亡サンゴ被度を調査した (藤岡・渋谷 1999)。

また、浦底湾湾内の100m固定測線(1本)を用いて、1977年8月、10月、1998年7月、10月、1999年1月、3月に、定期モニタリングと同じLIT法により、サンゴを属、科レベルで調査して、白化の影響を評価した (橋本ら 1999)。

さらに、浦底湾湾内に1m×9mの調査区も設置し、1998年8月と1999年2月に写真撮影を行って、属、科レベルでサンゴの被度を調査した (橋本ら 1999)。

加えて、白化現象の魚類群集への影響を評価するために、100m固定測線の両側2mずつの範囲で90~120分間の目視観察を実施し、魚類の種と出現数を記録している。調査は1997年10月、1998年4月、10月、1999年1月の4回行われた (渋谷ら 1999)。

また、底生生物と藻類の現存量(クロロフィル量)の変化を調査するため、1998年11月と1999年1月、3月に

は、浦底湾礁池1カ所、礁斜面（礁縁）2カ所において、死亡したテーブル状サンゴを採集し、隙間に生息する生物相の調査と、群体先端部のクロロフィルa量の測定を行った（高田ら1999）。

さらに、白化に伴うサンゴ群体の代謝の変化を調査するため、1998年2月と9月、1999年3月に、コブハマサンゴ（*Porites lutea*）2群体について有機・無機炭素生産と栄養塩収支の野外測定を行った（林原ら1999）。

これらの調査の結果、1998年の高水温による白化によって、浦底湾の調査点では、出現種数、群体数、被度のいずれも減少した。特にミドリイシ属は最も被害が大きく、生残率はわずかに5.2%であり、礁原部ではほぼ全滅していた（水産庁西海区水産研究所1999）。

c) 沖縄県八重山郡石垣島周辺における1998年の白化（水産庁西海区水産研究所）

水産庁西海区水産研究所石垣支所では、石垣島沿岸における白化の影響も追跡した。魚類群集調査では、石垣島周辺に14調査地点を設け、1997年11月から1999年3月の間に2～8回、ビデオ撮影による魚類の個体数調査を行った（水戸ら1999）。また、サンゴの状況は、1999年3月に石垣島周辺の10地点において、礁原と礁池の2カ所に100m×4mの調査区域を設け、サンゴの出現種、被度、白化状況、魚類と大型底生生物の出現種と数を調査した。

石垣島周辺ではほとんどの地点で白化の影響が大きく、比較的生残が多く見られたのは吉原の礁池、白保の礁原、川平の礁原と礁池であった。また、サンゴが多く死滅した場所では魚類等も少なかった（新井ら1999）。

3) 赤土流出／水質に関するモニタリング

沖縄県では1972年の本土復帰以降、急速に開発事業が進み、道路建設や土地改良などにより赤土のサンゴ礁への流出が大きな問題になった。そのため、サンゴ礁に対する赤土の影響を評価するための調査が実施されている。

a) 沖縄県八重山郡石西礁湖周辺における堆積物モニタリング（環境省）

環境省では実証地域モニタリングとして、堆積物のサンゴへの影響をテーマに手法検討のためのモニタリングを行っている。石西礁湖周辺に6カ所の調査地点が設

定され、直径5cmのセディメントトラップを用いた堆積物量調査と、15m固定側線の両側に1m×1mコドラートを設置し、コドラート内のサンゴの種別被度を記録するサンゴ調査が行われている。セディメント調査は2000年から2001年に、サンゴ調査は2000年から2003年まで実施された。

堆積物は轟川の河口付近で高い値を示し、陸域からの赤土の流出が示唆されたが、崎山湾の礁縁部でも非常に高い値を示すことがあり、陸域からの影響ではなく波浪による生物由来の堆積物ではないかと推定された（環境省自然環境局2001c, 2002b, 2003a）。

b) 沖縄県八重山郡石垣島浦底湾における堆積物モニタリング（水産庁西海区水産研究所）

水産庁西海区水産研究所石垣支所では、1994年から1996年の間に、石垣島浦底湾において堆積物と高水温がサンゴの分布に与える影響を把握するための調査が実施された。この調査のサンゴ分布調査では、各調査点につき3個の1m×1m方形枠を10調査地に設置し枠内のサンゴの分布を調べるコドラート法と、各調査地点において10m×10mまたは20m×20mの方形枠を1または2個設置する大コドラート法が併用された。堆積物の測定には、25cm×25cmコドラート上の堆積物をポンプ採集する方法と、直径2.5mmのセディメントトラップ3個を用いて採集する方法が併用された。

調査から、セディメントトラップで採集された堆積物量は、台風の接近に伴って著しく増加しており、大量降雨時に河川から陸域起源の堆積物が海中に流出するだけでなく、沿岸域に既に堆積したものが再懸濁し、台風等の波浪の影響で拡散、移動することが示唆された（藤岡1997）。

c) 沖縄県八重山郡石垣島轟川河口域における赤土モニタリング（沖縄県環境保健部）

沖縄県環境保健部では、赤土のサンゴ礁への影響を把握するための手法開発を目的に、石垣島轟川河口域を対象とした赤土流出モニタリング「サンゴ礁生態系保全調査」を1994年度から1997年度まで行った。1994年度と1995年度には、対象海域のサンゴの分布調査と類型化を行ってモニタリング地点と手法の選定が行われ、1996年度と1997年度にモニタリングが実施された。サンゴ礁の分布状況はコドラート法（1994年は5つの2m×2m

方形枠、1995年は4つの1m×1m方形枠)で行われ、モニタリング(1996年と1997年)には5m×5m永久方形枠を用いた枠内のサンゴ群体のマッピング法が採用された。また、赤土堆積物量は「底質中懸濁物質含量簡易測定法(SPSS法)」(詳細は2-5参照)で計測された。

1996年と1997年に轟川河口周辺の5地点で行われたモニタリングの結果から、枝状のコモンサンゴやユビエダハマサンゴが優占する群集で被度の増加が見られたが、塊状ハマサンゴが優占している群集では礫や砂礫が底質を覆ったために被度、種数とも減少した(沖縄県環境保健部1994, 1995, 1996, 1997)。

d) 沖縄県赤土汚染モニタリング(沖縄県衛生環境研究所)

沖縄県衛生環境研究所 水質・赤土研究室では、河川から流出される赤土の堆積量を簡便にはかる方法として、SPSS(Suspended Particles in Sea Sediment)法を開発し、この手法を用いた赤土堆積量とサンゴの被度のモニタリングである赤土汚染モニタリングを、沖縄県内14海域において1995年以降毎年実施している。SPSS法と並行して行うサンゴの被度調査は、各調査地において設置した2m×2mの永久方形枠内の目視観察による。

調査の結果、1980年代に農地開発事業による赤土流出が著しかった恩納村赤瀬海岸では、1990年代になってSPSSが顕著に減少し、1990年前後は1%以下であったサンゴ被度が、1998年には50%以上に回復した。金武町加武川河口域でも1997年以降、SPSSがやや減少する傾向にあり、1998年の生サンゴ被度が1996年に比べ3~15%高くなった。しかし、大度海岸では、農地侵食に由来する濁水が海岸に流出する現象が1998年以降、頻繁に発生しており、定点のSPSSの増加とともに生サンゴ被度の低下が見られた(仲宗根ら2000)。

e) 沖縄島と西表島及び黒島周辺における水質モニタリング(油井・酒井)

沖縄県本部町瀬底島周辺と八重山郡西表島の網取湾周辺及び黒島周辺において、1995年から1996年に油井と酒井によって、栄養塩や堆積物などの水質とサンゴ群集の分布および幼生の加入の関係を把握するためのモニタリングが実施された。サンゴ群集の分布調査には、ランダムに設置した4個の永久コドラート内の群体ごとの被度を属レベルで記録する方法を用い、幼生加入調査には、

10cm×10cmのスレート板2枚を2cmの間隙で上下に重ねてボルトで固定したものを定着版として用いた。堆積物の採集には、内径9cm高さ30cmの塩化ビニール製の筒状トラップを用い、堆積物の乾重量、強熱減量、粒度組成が測定された。また、水質(水温・塩分・水中懸濁浮遊物質・全窒素・アンモニア・硝酸態窒素・亜硝酸態窒素・全リン)も分析された。

堆積物量と水質については地点間で変異は見られたものの、海域間での明瞭な差異は認められなかった(油井・酒井1997)。

f) 沖縄県八重山郡石垣島周辺における赤土モニタリング(赤土監視ネットワーク)

ボランティアによるモニタリングとして、石垣島では1999年に八重山漁業協同組合、八重山ダイビング協会、赤土流出を考える会を中心に発足した赤土監視ネットワークにより、「市民赤土汚染調査」として2000年から2002年まで年1回、石垣島沿岸の礁池内における堆積物の計測(SPSS法)を行ない、結果を赤土監視ネットワークホームページ**に公表している。

3年間の調査結果から、2000年にはなかった、SPSS法の最高値であるランク8(立っただけで足がめり込む状態)が、2002年には8カ所に増え、明らかに人為的な影響を受けているとされるランク6以上の調査地点が、2000年の21%から2002年の67%に増加していた。

g) 沖縄県八重山郡石垣島白保における赤土モニタリング(WWFJサンゴ礁保護研究センター**6)

石垣島白保にあるWWFJサンゴ礁保護研究センターでも、2000年8月以降ボランティアによる赤土モニタリングが実施されている。白保の礁池内32カ所の調査定点において年4回の頻度で堆積物の測定(SPSS法)が行われている。

2000年から2002年までの3年間の調査結果から、白保礁池全域のSPSSの3カ年平均値は14.8kg/m³であり、県の基準では「生き生きとしたサンゴ礁生態系の上限で、注意してみると底質表層に懸濁物質の存在が分かる」状態を示している。白保礁池内で3年間の平均値が、県基準で「明らかに人為的な赤土等の流出による汚染がある」と判断される50kg/m³以上を示したのは、轟川河口北側の岸周辺の4定点であり、河口北東に位置するリーフの

切れ目に集中して赤土が堆積していた。また、礁池全体の堆積量に季節間の変化は見られなかったものの、轟川河口北側周辺海域は、降雨量の多くなる夏から秋にかけて堆積のピークがあり、その後は徐々に堆積量が減っていく季節的な傾向が明らかになった。

4. その他

その他に、アセスメントに関する現況調査や影響予測のために行われるモニタリング、移植試験などにもなる効果検証のための事後モニタリングなども行われている。

a) 東京都小笠原空港建設アセスメント調査（東京都港湾局）

東京都港湾局では1999年度および2000年度に「小笠原空港建設アセスメント調査・造礁サンゴ類生息状況」として、小笠原の造礁サンゴのモニタリングを行った。調査では、父島巽中海岸、父島小港海岸を対象に、空港建設に伴う土砂流入で底生生物相が受ける影響を評価する事前調査として、空港建設前の底生生物相の経年変化を把握することを目的とした。手法は永久コドラート（1 m × 1 m）を各海岸4地点、計8地点に設置し、各コドラート内の造礁サンゴ種数と被度、その他底生生物種数と被度が記録された。調査頻度は6カ月に1回、2年にわたって実施された（東京都2000, 2001）。

海中の浅所に設置した2地点は海況条件が悪く調査できなかった。2年間の調査の結果、巽中の1地点ではサボテンミドリイシ（*Acropora florida*）群体が一つ消失してサンゴ被度が51.7%から40.3%に減少し、小港の1地点ではサボテンミドリイシ群体が一つ加入しサンゴ被度が50.0%から63.2%へ増加した。他の4地点はサンゴ被度に大きな変化は見られなかった。空港建設が白紙撤回になったため、事前調査のみとなった。

6 これまでのモニタリングにおける問題点

以上、国内においてこれまで実施されてきた主なモニタリングについて述べてきたが、多くは特定の問題や特定の場所を対象として実施されている。そのため、白化やオニヒトデなどの広域で同時に発生する現象に対して迅速な対応をとることが難しい。また、一部を除いて長

期間継続されているものは少ないことや、同じ目的のモニタリングではあっても手法が様々であり、単純にその結果を比較することは難しい。また、収集されたデータも、多くはそれぞれ調査実施者、あるいは実施団体の作成する報告書として特定の機関や関係者に配布されることが多く、それら関係者以外の者がデータを入手して、保全の取り組みに活用するためには、時間と労力がかかる。

7 新しい体制

このような問題点をふまえ、広域でサンゴ礁の状況を把握し、問題が起こった際に迅速に対処する体制を作るために、長期の継続を目指した新しいモニタリング体制の構築が試みられている。

環境省の呼びかけを契機に、国内各地でサンゴの調査研究を行っている研究者は、2002年からお互いに情報を交換する緩やかなネットワークを形成している。環境省ではこのような研究者のネットワークを活用し、これまでの国立公園を対象とした長期モニタリングを発展させ、国内各地におけるサンゴ礁についての統一モニタリングを推進している（モニタリングサイト1000事業）。これまで、このネットワークでは、地球規模サンゴ礁モニタリングネットワーク（GCRMN）が発行する「世界のサンゴ礁現況報告書 Status of Coral Reefs of the World」への情報提供を行っており、現在は、統一的な手法によるモニタリングの検討を行いながら、実施体制の整備を進めている。

また、日本サンゴ礁学会にはサンゴ礁の保全を議論するため、学会員の枠にとらわれず、興味を持つ者が誰でも参加できる「保全委員会」が設置された。この委員会の中には、国内のモニタリング情報の収集と評価、活用について検討するため、モニタリング部会が設置されている。

8 今後の課題

統一的な手法による広域のサンゴ礁モニタリング活動の整備は少しずつ前進している状況であるが、今後は、どのような質のデータを収集するか、どこを調査地点と

して選定するかなどの調査デザインについて、あるいは収集したデータの利用の仕方についても明確な議論が必要である。また、このような広域での統一モニタリングが検討される一方で、各地で行われている様々なモニタリングに対しても、それらの貴重な情報をどのように収集してどう整理し、どのように活用できるかを検討することは、もう一つの大きな課題である。

そのような情報の収集と利用を考える際には、データベースを使って整理し、誰もが利用できるように保管する、データセンターとしての機能が求められる。その機能を整備するためには、情報の収集や保管の方法、集められた情報の所有権や利用のあり方など、明確にすべき課題は多い。

また、そのような機能ができた場合、今度は世界に向けて情報を発信し、他国に対しても貢献する事が期待されているし、国内においても、何よりもモニタリング情報を如何にサンゴ礁の保全に反映させるかが、最も重要なことである。

そのためには、研究者だけでなく、行政や NGO、地域住民などサンゴ礁に関わる様々な関係者を含めたより大きなネットワークのもとで、モニタリング情報の収集や管理、利用が行われることが望まれる。

その一つの方向としては、大学や研究機関の研究者、ボランティアや NGO など様々な既存のネットワークをリンクさせ、より大きな枠組みとして機能させることが考えられ、現在形成されつつあるモニタリングのネットワークや保全に関する枠組みなどを有効に利用することで実現されるかもしれない。そのような枠組みの中で積極的にサンゴ礁のモニタリングを推進し、保全に反映させることを通して、国内のサンゴ礁イニシアティブが生まれ、海外に対しても貢献できることを期待したい。

引用 URL :

- * 1 : <http://www.reefcheck.org/>
- * 2 : <http://hs.st41.arena.ne.jp/reefcheckjapan/>
- * 3 : <http://www.synapse.ne.jp/kaiyo/news/0204.html>
- * 4 : <http://www.wwf.or.jp/enetwork/josei/1999/no9913.htm>
- * 5 : <http://www.wwf.or.jp/enetwork/josei/2000/no9913.htm>
- * 6 : <http://www.wwf.or.jp/shiraho35vil/>
- * 7 : <http://www.coremoc.go.jp/>
- * 8 : <http://coral.h2o.co.jp/akatuti.html>