

(中村崇氏)

ご紹介ありがとうございます。琉球大学の中村崇です。よろしく申し上げます。私からは、今回石西礁湖の状態について少し詳しくかつ手短かに説明させていただきます。今回の話は全体で3つのパートに分かれておりまして、最後に対策についてのお話をいたします。まずは、調査の内容について簡単に説明させていただきたいと思います。今回ご紹介するのはサンゴの種別白化調査の結果です。全体的な白化が何%というよりも、どのような属・種がどれだけ白化していたかといったことに絞った話になります。今回の調査の概要ですけれども、環境省の群集モニタリング調査の一環として、石西礁湖の計35地点での潜水調査を行いました。これは毎年行われている調査の一環として行っておりまして、昨年度は9月3日から12日までの期間でこの白化状況についての調査をおこないました。なぜ、種別の白化調査をするのかという話なのですが、実はサンゴ白化というのは全ての種が一様に白化するという状況にはないことが多いです。白化をしやすい種がいたり、白化しにくいといわれる種もございます。また、白化した場合には死にやすいとか、死ににくい、そういった違いがございますので、そういった意味で、種別での白化状況調査をするということが重要です。いま示している図は、2004年のMcLanahanらの論文の図を引用しています。これは一つの例としてお示ししているだけで、世界的にこれらのサンゴ属・種が同様の応答を示すかどうかは、それぞれの地域で詳しく比べる必要があるかと思えます。ちなみに、今回対象になっているグループのいくつかがこちらの図に含まれています、ミドリイシ属とか、ハナヤサイサンゴ属、ショウガサンゴ属、キクメイシの仲間とか、ハマサンゴ属の仲間などが入っている状態です。実際に調査対象は11種類(属・種)に絞り込まれておりまして、これらは名前を見ただけでどんなものかちょっと判断しにくいかと思えますので、簡単な説明をさせていただきます。まず、最初のグループ、これらは枝状群体型を持つミドリイシ属に含まれる、成長が比較的早くて、サンゴ礁の被度データや変動を比較する際に重要な種類で構成されています。それに比べまして、真ん中の部分はトゲサンゴやショウガサンゴなど、ハナヤサイサンゴ科に含まれるサンゴ種であり、これらも枝状群体型を持つサンゴ種です。前述のミドリイシの種群と違うのは、この種群が世代ごとに空間的に広がっていく分散スピードが比較的限定されるというのが特徴です。さらに、最後の部類ですが、緑色のグループがキクメイシの仲間です。これらについては近年学名が変わってきていますが便宜上そのままの種名を示しています。また、塊状ハマサンゴの仲間については、サンゴ種の中でも非常に大型の群体を長い年月をかけて形成するサンゴとして知られておりまして、成長は遅い反面、比較的長生きし、非常に大型になるため、その環境に長い期間生きながらえてきたことが考えられる部類です。調査の分け方ですが、これは実際に潜って、目視でその周辺で各サンゴについて、最低20群体を目視で確認しながら、正常かどうか(正常というのは見た目には白化していないということです)、白化初期で薄くなっているものや、部分的に白化していたり、周辺部が白くなっている、そういったものは白化度2とするなど、数値化して記録していくやり方です。

実際に潜った場合、非白化群集は茶褐色がメインの景観なのですが、大規模に白化した時は、景観の中でも特に白い部分が目立つようになり、それぞれのサンゴ群体について目視計測を行うわけです。早速ですが、2016年度の調査の話に移っていきたいと思います。まずは、見てみるのが一番わかりやすいので、映像を見てください。これは調査期間のちょうど中間にあたる、9月6日にステーションKと呼ばれる黒島と小浜島の間くらいのある場所で撮影した映像です。このように潜ってみますと、海底に固着しているサンゴ群体のほとんどが真っ白になっているのが分かります。蛍光色になっているものも白化がかなり進んでいる状態です。遠景にも見渡す限り白化している群体が見えます。このように白化したサンゴ群体が海底面を覆っているというような悲惨な状態です。簡単にまとめますと、調査35地点で、計6400群体ほどについてのデータから、塊状ハマサンゴを除いて、他の10属・種ではそれぞれ98%以上が白化した状態、もしくは死亡しているといった状態でした。コブハマサンゴだけですが、これについては大体58%くらいが白化している状態です。自動車や建物サイズの群体でも真っ白になったものが確認されています。各11種について、この調査時の正常群体と白化・死亡群体数を表に示していますが、見ていただきたいのはこちらの白化率です。ほとんど100%の種といったものも含まれていて、唯一コブハマサンゴだけは、58.5%。これでもかなりの群体が白化しているということになります。実際に被害が大きかったグループの1つですが、クシハダミドリイシと呼ばれる種類で、見た目はこのようなテーブル状に大きくなるミドリイシですが、これは白化しているものが白、黒いものが死亡している群体です。その他の色は白化していないもので、場所によって白化率が違うところがあるということを見て取れるかと思います。下の景観ですけれども、これはお借りしてきた写真なのですが、調査点なかから2地点を選んで示しています。マルグーと言われる黒島北東側の離礁で、かなりサンゴが、2007年の大規模白化でやられた後、徐々に回復してきて、ミドリイシが礁の上面の浅瀬を覆い尽くしていた状態だったのですが、これが今年の大規模白化でやられまして、11月調査時に撮られた画像ではほとんど死んで、変色した骨格が並んでいるという状況になっています。下の竹富島東の方も同じくです。サンゴ被度や多様性が少しずつ回復していたところで白化にやられて、ほとんど生きたサンゴがないような状態になっている。悲惨な状態です。コブハマサンゴでは、白化率が58%くらいで、図中の緑色の部分が白化をしていない群体の割合を示しています。この種に関しては、数は少ないですが、ほとんど白化していない群体が見られるというような地点があります。環境省が継続して群集モニタリング調査をやって来られていて、元九州大学の野島哲先生らが中心になって、長年にわたって石西礁湖で続けてこられた2003年から2011年までの調査データをお借りして、各年の白化指数を示しています。白化指数は4というのが最もひどい状態です。0や1というのはほとんど白化していないということで、経年変化を見ていきますと2003年の時に高めの数値が出ていますが、この後に2007年に大規模な白化が起き、この時には数値が上がっています。この後は2008年から2015年までの期間、低い白化指数で

推移しておりまして、私が調査にかかわるようになった2012年以降も、石西礁湖のサンゴ群集は地点間の際もありましたが、場所によっては着実に回復していたというような感じでした。しかし、昨年の調査時にはこのように数値が急激に上がっています。このピークの高さからも、過去と比較しても、2016年の白化被害が甚大だったということが分かります。続けて、2007年、前回の大規模白化との比較をしていきたいと思えます。こちらについても2003年から2011年までの環境省の群集モニタリング調査と合わせていますので、2007年のデータは野島先生らが取られたデータをお借りしています。これが各種、11対象属・種の結果ですが、10種に関しては2007年9月よりも既に2016年の9月の白化指数が高いということがかります。また、コブハマサンゴに関しては白化指数がちょっとだけ低いです、これは誤差範囲と思えます。何を読み取ればいいのかと言いますと、白化したかどうかはもちろん重要なのですが、まず、白化しただけでなく、死亡してしまっているかが実は大事で、これが2016年の調査と9月の調査時の死亡率のグラフになっております。これが2007年の9月の時点での死亡率です。数字が並んでるだけなので分かりにくいですが、このようにグラフにしますと2007年の時に白化被害を受けた属・種はもちろん昨年もやられているのですが、塊状の種類については2007年には大規模白化だったにも拘らず、ほとんど死亡率が記録されていなかったグループで、今回非常に高い死亡率が記録されているということです。ということは2016年の大規模白化被害がより広範なサンゴ種群に渡って広がっていたことを示していると考えます。例えば、2007年10月期の死亡率と比較してみます。白化がある程度落ち着いてきて死亡率が上がっている10月の死亡率を、2016年9月時点で既に越えているような種類もたくさんあるということで、改めて被害が甚大であることを示しています。まとめますと、白化、死亡率とも2007年の大規模白化現象時を既に上回っているということで、特に被害を受けやすい種もそうですが、一般的に被害を受けにくいと言われていた塊状のサンゴ種群でも白化・死亡などの被害が甚大であったということで、2016年の白化被害が深刻な状態にあるということが再確認できたと思えます。最後に対策についてということで、少し簡単に述べさせていただきます。基本的にサンゴ群集が健全に保たれているということは、その場所のサンゴ群集が活発に成長しながら生存しているだけでなく、別の場所にあるサンゴ群集から流れてきた新しい世代が入ってきて、赤ちゃんや子どもたちが元気に活動しているというような状態だと思います。大規模な白化が起きると、子供はもちろんやられるのですが、それを生み出すはずだった親のサンゴがどんどんいなくなりますので、新しい世代がなかなか供給されなくなる。その場合、もしわずかな数でも赤ちゃんが流れ着いたとして、周りにほとんどサンゴがない状態、サンゴ以外の競合生物が多くを占めた状態ならば、そこで生き残る確率はどんどん下がっていきます。同時に、サンゴ礁というのは、サンゴが作った大きな地形ですが、その表面をよく見ると、多様な生きたサンゴが入り混じって形成した複雑な構造が存在しています。この構造はサンゴが死ぬとむき出しになった骨格が劣化していき、少しずつ物理的な浸食や、ウニや魚などの生物によってかじられ

たりして、徐々に壊れて、サンゴなどの造礁生物がつかなくなってしまうと、最終的には滑らかな構造の海底に向かっていくという過程があります。この複雑な立体構造の有無により、そこに生息できる生物群の多様性なども影響を受けやすいということがいえます。その例を1つ簡単にご紹介します。この図は2008年のMundayらの論文に掲載された図を引用しています。図中の0年の時にサンゴの大規模白化が起きたとすると、サンゴの被度が急激に下がっています。この図はサンゴ被度が回復しなかった場合のことを想定しています。この図では、例えば「フェイズシフト」と言われるサンゴが基礎生物として成立していた生態系から、藻類やその他の生物が主に改訂表面を覆ってしまうような生態系にシフトしてしまい、それが安定的に続いていくと、生物種の多様性が低下したり、地形の複雑さが同時に低下しなまま回復しなかったり、非常に長期にわたってこの状態が続くという可能性が示されています。特に、考えなければならないのは白化が大規模に起きたということをもっと受け止めたうえで、高水温による白化の被害を広げてしまう要素や、その影響をより長引かせてしまう要素というのがもちろん考えられます。ただこれらの要素の多くは意外ととらえにくいものが多くて、水質だとか生物条件など、常に変動・移動している要素が関わっているとすると、そういったものは定期的に詳しく調べないととらえにくいということになります。人の目で判別できる間接的な指標としては図のように藻類が速やかに増えて海底面を覆ってしまう場合などがあります。特に陸域からの影響で海水中の栄養分が多くなるといったのが優占的に増えていきますので、ここに新しいサンゴがつく可能性は著しく低下し、万が一海底に固着できたとしても、より大型に生長した藻類と太陽光を得るために競争しながら生き残っていきける可能性はどんどん下がっていくということになります。そういったことを考えた対策を取っていく必要があるという風に考えます。ここで、対策として考えられることをいくつか挙げていきたいと思うのですが、まずはこのようなフェイズシフトと呼ばれるようなものが起きる場合、その指標となる生物や環境要素をちゃんと把握しておくことが重要です。具体的に藻類の増減がどれくらい起きているか、サンゴ種や関連生物の多様性がどう変化しているか、海底の微地形がどう変わっているかなどです。過去に取られているデータとともに被害が慢性化しているところはどこなのか、被害があってもすぐに回復ができるような場所がどこなのかを明らかにしていくことも大事です。特に、新しい世代のサンゴ幼生を充分かつ安定的に供給できるような海域がどこかにないだろうか、そういったところを明らかにしていく必要があります。前半で塊状ハマサンゴの話をしました。実際には非常に大型の群体になります。大きいものでこの会場の半分くらいの群体が複数見られるほどです。そういうサンゴ群体が実際にその大きさになるということは、数百年単位でそこでの環境にさらされながら生きながらえているということです。それらがここ十年ほどで次々に死んでいくということは、恐らく非常に長い期間保たれていた、サンゴの生育に適した環境が急激に失われているということを示すわけです。陸上でたとえたとすると、屋久島の万年杉がいきなり死んでしまうような事態です。こういったことがどこで起きるのか？いつ起こったのかという

のをちゃんと把握しておく必要があるのだと考えます。さらに、意外と忘れられがちなところについて触れたいと思います。今後はサンゴばかりを見るだけでなく、サンゴ礁生態系の全体の機能ということを考えていくと、例えば石西礁湖をはじめ、サンゴ礁海域には広大な砂地が存在していて、そこでは砂地の生物やバクテリアなどが活発に活動しながら、例えば窒素分やリンの量のある程度バッファーとして低減化・安定化したり、浄化する機能があったりします。こういった機能が実は近年温暖化と並行して、別の原因によって充分機能しなくなっている可能性などが考えられます。例えば、そこに生存している、意外と着目されていない生物群が過剰な利用によって急激に減ったりすると、機能が半減したりなどが考えられます。何を見ておくべきかという、普段なかなか見えないものがたくさんありますので、これらを見えるようにするのが対策の柱になるのだと考えます。見えるものについてはある程度低減策をとることが大事ですので、この辺りは、水質のモニタリングを定期的にしっかりやっていくということが重要です。また、沖縄周辺は特に、河川を通じて流れこむ部分はもちろんですけど、例えば石灰岩質の岩盤を通して地下水としてゆっくり流れ込んでくる部分などがより慢性的な影響を与えている可能性もあったりしますので、そういったものを見ることだと思います。最後に、人間による海域への直接影響としては、海域利用や海底地形の改変なども考慮すべきと考えます。例えば、航路を広げるためにどんどん浚渫したりする場合に、底質に含まれている粒子だけでなく、微小なバクテリアが海水中に一気に放出されたりするなど考えられますので、そういったところを十分に考慮していく必要があると考えています。以上、今回の発表とさせていただきます。どうもありがとうございました。