

国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター
ニュースレター

Lagoon

ラグーン



2010. 3
No.14

国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター
 ニュースレター 第14号

目 次

	ページ
連載	
サンゴ礁のおとぎばなしその13 クモヒトデのアドバイス	土屋 誠 1
 著者紹介：琉球大学 理学部海洋自然科学科・教授。生物多様性をキーワードとしたサンゴ礁や島嶼生態系の動態に関する多面的な研究及び生態系の機能とサービスに関する研究を進めている。	
報告	
1. 日本のサンゴ礁地域にみる人間と自然の関係性	堀 信行 2
 著者紹介：奈良大学 文学部地理学科・教授。サンゴ礁地形形成やサンゴ礁と人間の暮らしとの関係について環境地理学的な研究に取り組んでいる。	
2. 台湾のサンゴ礁と黒色海綿テルピオス(<i>Terpios hoshinota</i>)の大発生	野澤 洋耕 5
 著者紹介：中央研究院(台湾) 生物多様性研究中心・アシスタントリサーチフェロー。主にサンゴの初期加入について、国内外で研究を進めている。	
3. 海洋酸性化とサンゴ礁域の生物	諏訪 僚太 7
 著者紹介：京都大学 フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所・特定研究員。主にサンゴの生殖、サンゴ礁棲刺胞動物の共生藻や無脊椎動物の環境ストレス応答についての研究を進めている。	
石西礁湖ニュース	
石西礁湖におけるオニヒトデ分布状況と対策について	佐藤 崇範 10
教えて！サンゴ礁博士 ①	12
<Photo Gallery> のぞいてごらん！素敵なサンゴ礁の世界 ④	14
国際サンゴ礁研究・モニタリングセンターのご利用について	14

表紙の写真 「珊瑚礁と魚の世界」

場 所：フィリピン・ボホールエリアのカピラオ島（2009年6月12日 撮影）
 撮影者：秦 利栄

連載 サンゴ礁のおとぎばなし—その13 クモヒトデのアドバイス

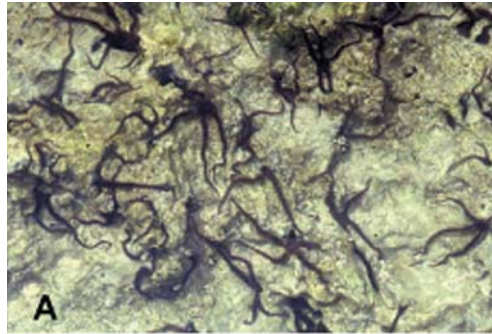
琉球大学 理学部海洋自然科学科 土屋 誠

子供の頃、「カラスが鳴くから帰ろう」と言いながら家路を急いだ記憶をお持ちの方も多いでしょう（ちょっと年配の方に限定された話題ですね）。サンゴ礁では細長い腕を持ったクモヒトデの仲間が私たちに「そろそろ潮が満ちてくるから岸に戻りなさい」と忠告してくれます。

サンゴ礁のタイドプールにはウデフリクモヒトデがたくさん棲んでいます(A)。このクモヒトデは潮が引いている時はあまり活発な動きを見せませんが、潮が満ちてくると盛んに腕を振り始めます。2、3本の腕が裏返しになって揺れています。中央の本体（盤と呼んでいます）や多くの腕は岩陰に入っています(B)。潮が満ちてくると危険ですから私たちは岸に戻らなければなりません。潮が満ちてくる時、外洋からサンゴ礁に入ってくる海水に対してウデフリクモヒトデは何らかの反応をしていると思われます。何をしていますのでしょうか？なぜ腕を反転させなければならぬのでしょうか？

謎を解くポイントは食事にあるようです。クモヒトデ類は細長い腕をしなやかに動かすことが出来ます。腕の裏側には無数の管足や棘があり、これらをうまく使って食物を摂取し、口に運んで食事をします。ウデフリクモヒトデは通常の状態(A)でも、また腕を反転させた状態(B)でも食物を摂取することができます。細かな棘に絡まった粘液状の物質が管足によって取り払われ、口に運ばれます。腕を反転させて食事をするのは潮が満ちてくるときが多く、腕を水と空気の境界面に差し出すようにしています。ここに食物が多いのでしょうか？

サンゴ礁の海面に浮いている泡(C)を見かけたことはありませんか。これはサンゴ礁の岩の上に存在する細か



い粒子などが波によって剥がされ、海面に浮いてくるときに形成されます。時間が経過するとともにその量は増加し、やがて大きな泡のあつまり（凝集体）が形成されます。ウデフリクモヒトデはこの泡を食物として利用しているのです。泡は水面に浮いていますから、ウデフリクモヒトデは腕を海面までのばす必要があります。海面に浮いている食物をとるわけですから腕を反転させ、多くの棘や管足を泡に接触させる必要があります。

最近サンゴ礁に棲んでいる生物が生産する粘液の役割がよく議論されるようになりました。サンゴの仲間が粘液を排泄していることはよく知られています。これは老廃物を体の外に出す目的があると考えられますが、その他にも赤土などが降りかかってきたときは、それを除去するためにも使われます(D:クサビライシの仲間が降りかかった粒子を粘液で固めて除去しています)。礁縁部に生息しているサンゴの表面についている粘液は潮が満ちてくると波によって剥がされ、礁池内に運ばれます。粘液自身が栄養分を含んでいますから、そのままでも小魚やプランクトンの食物として利用されます。この粘液にプランクトンやバクテリア、その他の有機物が絡まると、より栄養価の高い凝集体になります。魚類はそれを効率よく摂取して栄養を獲得します。また沈降して海底に堆積するとカニや貝などの

の良い食物になるでしょう。干潮時にサンゴ礁の外に流れ出る海水に含まれているこの凝集体は外洋域の食物連鎖に組み込まれ、多様な役割を果たしていると考えられます。

栄養分が少ないと考えられてきたサンゴ礁で多様な生物が生息可能になっている背景には、動物の食物源としての「泡」が果たしている重要な役割があるかも知れません。

日本のサンゴ礁地域にみる人間と自然の関係性

奈良大学 文学部地理学科 堀 信行

「ゆりむん」という言葉をご存知でしょうか？一般的に「漂着物」を意味する沖縄・奄美地方の方言ですが、この「ゆりむん」に対する考え方を紐解いていくと、そこには地域住民の人生観や地域の民俗文化を育んできた世界観が鮮明に広がってきます。

はじめに

筆者はかねてより沖縄・奄美地方で出会う「ゆりむん」（あるいは「ゆいむん」）、すなわち「より」（寄り）「むん」（物）、「漂着物」という考え方に注目し、この考え方が日々の生活や人生観にまで浸透した考え方であると思われるので、この考え方を一つの思想と呼んでもいいのではないかと考えている（堀 1991, 2004a, 2004b, 2009 など）。なお、この考え方は、例えば与論島の古称の「ゆんぬ」、この島の東海岸の「百合が浜」など地名にも反映されている（堀 1991, 2004b）。「ゆりむん」の考え方に基づいて、日本のサンゴ礁地域の沖縄・奄美における人間と自然との関係性について論じてみたい。ただし今回は紙幅の都合で、かつて筆者がこの地域の民俗文化を育んできた世界観の説明図（堀 1991, p.47）に加筆した図1についてまず述べてみたい。またサンゴ礁は、潮の干満にともなって礁縁を境に内海と外海の二つの海域に分かれたり、繋がって一つの海域になったりする。民俗文化においては陸域をオナリ神の女性の空間とみなし、またニライ・カナイにつながる海域を男性の空間とみなして、空間に特別な意味を与える。この観点から陸域と海域の範囲・形状が干満によって刻々と変化する空間に、いかなる民俗文化的な意味が付与されるかを説明した図2についても併せて述べたい。

「ゆりむん」の象徴としてのユイキ（寄り木）の世界

ユイキとは、「寄り木」のことである。すなわち海上に漂流する流木や、海岸に漂着した流木のことである。ユイキについて本質的と思われる昔話が各地にある。例えば、奄美の大和村には、次のような話がある。『漁夫が潮待ちの間にユイキを枕に寝込んでしまった。ふと男同志の話し声に気づいたが、寝たふりをして会話を聞いてしまう。一方の男が「近くの家で出産があるので、ユイキどんと二人で行って出産に立ち会いましょう」と誘う。ところが漁夫が寝ているためユイキどんは、「私は動けないのであなた一人で行って下さい」と云う。しば

らく後、片方が戻ってユイキどんに、「二人で行けなかったのだからこの女の子は婚礼時に土砂災害で死ぬだろうが、もしこの厄を回避できれば幸運に恵まれる子だ」と話す。この会話を心に秘めていた漁夫は、娘の婚礼時の災難を事前に察知し、無事に回避した。お陰で娘は幸せをつかんだ。』（長田 1978, pp.51-52；pp.88-89）。ここで海岸に立ち現われた人物は海の霊力、すなわちニライ・カナイの霊力を、そしてユイキどんと呼ばれた人物は、大地の霊力を吸い上げて成長した樹の霊力、すなわち地霊を象徴している。

ユイキは、本来陸地で大地の霊力を吸い上げて生育していたものが、土砂崩壊など何らかの原因で海に押し出され、流木として海上を漂うことになり、漂流中に海の彼方、ニライ・カナイの霊力も宿すことになる。したがってユイキには海と陸、両方の霊力を兼ね備えた畏れ多い存在とみなされた。それ故、ユイキの個人所有は禁忌であり、沈まない木として漁船の船木に用いられたりした。この内容を示すために図1の断面図の左側斜面の緑色の立木を傾け、それが海に押し出されることを緑破線で描き、海上を漂って漂着する過程を上側の平面図と下の断面図の各左側に緑の実線で示した。

また海上を生業の場とする漁師は、陸で待つオナリ神としての女性（姉妹）にまもられて漁をする。広い海原で船位を知り、漁場としての海底の岩礁の位置を知る山アテは、陸地の山や岬、あるいは樹木とかピシ（礁縁）の上に打ち上げられた巨石などを目標物にアテをする。この山アテができる海域が通常漁民が漁をする範囲である。また、これらの目標物は、ニライ・カナイにつながる海原の漁民にとってまさに命綱である。漁民（男性）にとって山アテの目標物は、陸地に待つオナリ神としての女性である。

海陸の境界がせめぎ合うところが海岸であり、そこに存在するのがサンゴ礁である。日本のサンゴ礁は裾礁である（堀 1980ほか）。すなわち礁縁（ピシ）を境に内海の浅い礁湖（イノウ）と深い外海に分けられる。この部分を詳細にみると、干満に従って海陸の位相は、図2のようになる。サンゴ礁が分布しない地方でも考え方は同じであるが、サンゴ礁ゆえに干満による海陸の差異は一

層顕著である。干潮時には礁縁やワタンジ（渡地）が陸化し、礁湖は陸地の延長部分として女性も歩いて漁ができる空間となる。民俗行事の浜下りには、オナリ神としての女性の空間に転化する。この時、海水にも触れることでタネ（種）をもたらす男性としてのニライ・カナイの空間と交わることになる。この意味で図2には、両義的空間とした。

ところで、ユイキをはじめとするニライ・カナイからの「ゆりむん」の漂着する場所は、通常ハマ（浜）である。したがって、そこは聖なる場所であり、ニライ・カナイへの祈りの場所であり、民俗行事に巡回の場所として表出する。ハマの砂礫は何よりも「ゆりむん」そのものである。さらに突き詰めれば、サンゴも「ゆりむん」であり、その構築物であるサンゴ礁、それどころか久高島のイシキ浜に漂着した壺の中の五穀、そして人間そのものも「ゆりむん」と認識できる。この文脈において、ニライ・カナイからの霊力（カミ）が漂着する場所は立神となり、「ゆりむん」は来訪神となり、マレビト（マロウド；客人）ともなる。

世界観にみる水霊循環と地霊循環

紙幅も尽きてきた。最後に図1の断面図に新たに加筆した水霊循環と地霊循環に言及したい。「ゆりむん」は海の彼方のニライ・カナイからの漂着物であるが、海の彼方は空と海が交わり、両者が一つになるところでもある。ゆえに、雨は空からの水であり、ニライ・カナイからの水でもある。雨乞いの際、ニライ・カナイに祈ることがうなずける。水にはニライ・カナイからの霊力が潜む。地表に降った雨水は地下水となり、一部は地表や海岸付近で浸み出し、カー（湧泉）となる。こうした場所は御嶽や拝所と祈りの場所になる。人為的に掘った井戸の水も天然水の水脈の一部であり、ニライ・カナイの霊力が循環する場所となる。それゆえ、井戸を破棄して埋めたのはよくないとして、埋土を取り除いた井戸が久高島にある。こうして水の霊力は、海と空と陸を循環する。本稿ではこれを水霊循環と命名した。一方、島（陸地）の樹木や作物は、大地の霊力を吸い上げ生育する。テダ（太陽）は、ニライ・カナイの大空間を日々循環する。

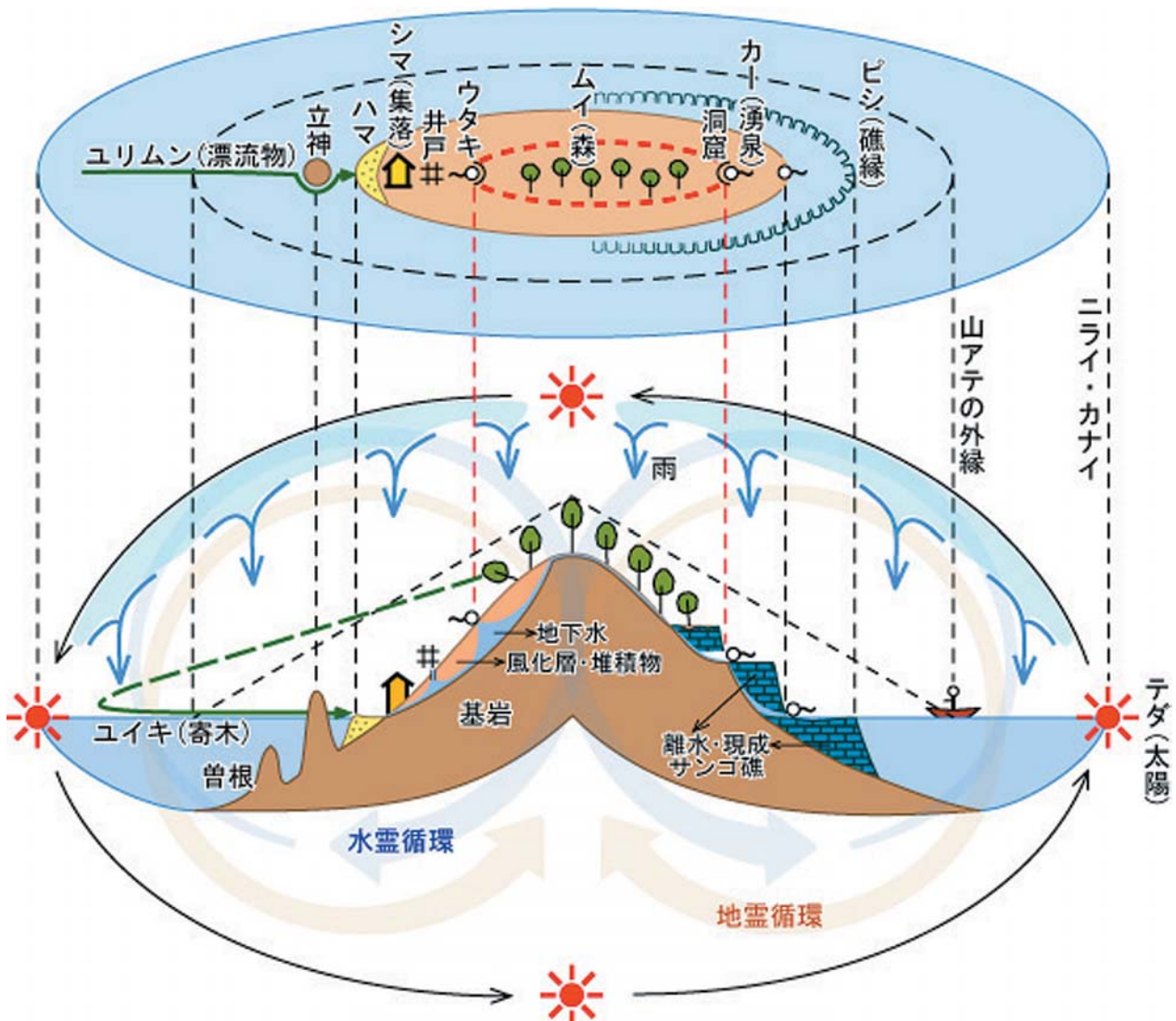


図1. 日本のサンゴ礁地域にみる原風景を育んだ世界観を説明する概念図（堀 1991の図を一部改変）。

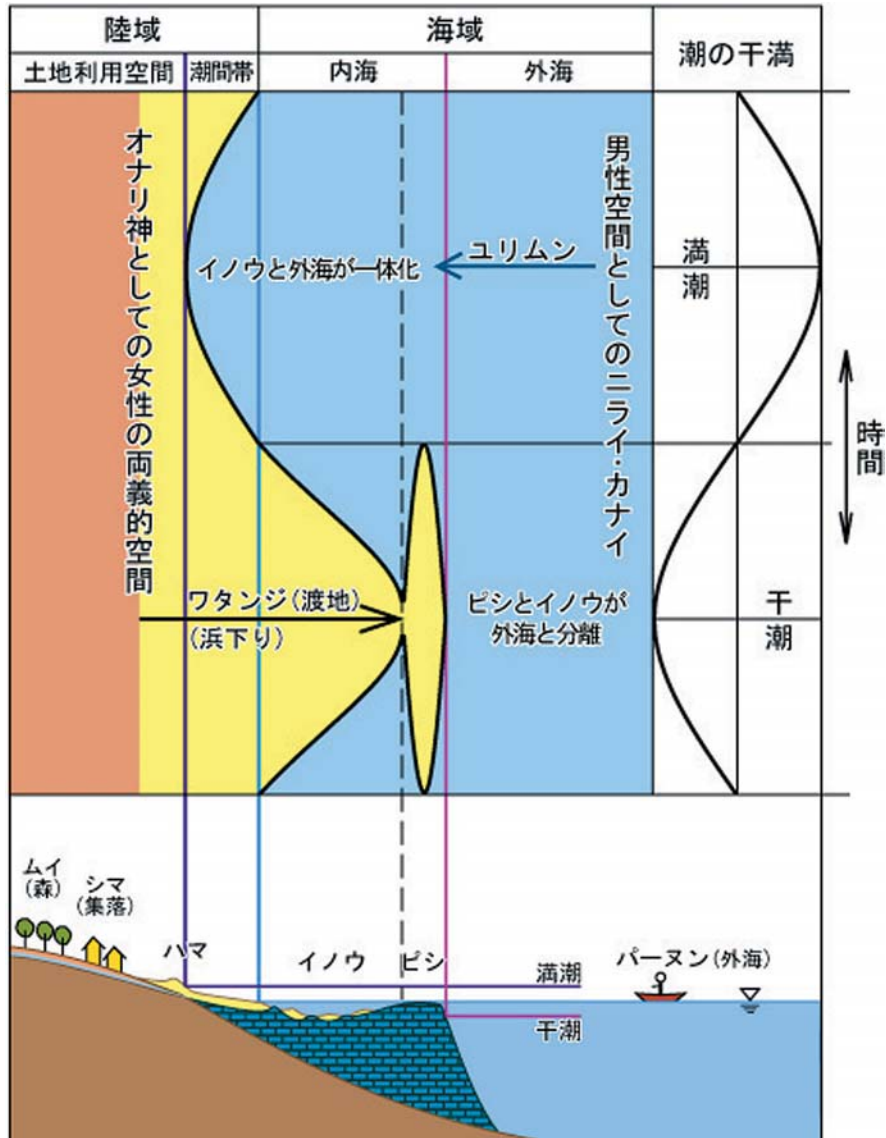


図2. 裾礁における潮位変化がもたらす民俗空間の海／陸関係にみる位相。

海の彼方、ニライ・カナイの語源と原義は、「土の屋・日の屋」であるという（中本 1985, 堀 1991, p.46）。農業をはじめとして太陽の循環があつての命の世界である。またヒヌカン（火の神）は水界にあった自然石を三個置くが、火と太陽を含めこれを総称して地霊循環と命名した。かくして、われわれの生存空間は、水霊循環と地霊循環の二つが相互補完的に存在し、この二つの循環あつての生命であるといえよう。先に述べた奄美大島大和村のユイキの昔話の本質は、地霊循環と水霊循環、二つの霊力の循環あつての命であることが理解される。そしてサンゴ礁という命の集合体でできた構築物の示す大小の地形的凹凸は、生命が生命を宿す生命体である。そして海の呼吸ともいえる干満によって、サンゴ礁地形の干出は、それに呼応した地の生命体である。多くの事例を示しながら論じられなかったが、沖縄・奄美に広く認められる「ゆりむん」の思想やオナリ神信仰に根ざす世界観を図示することは難しいことであるが、更なる思考を深めたい。

【引用文献】

長田須磨（1978）奄美女性誌．農山漁村文化協会，228p
 中本正智（1985）ニライカナイの語源と原義．ユリイカ・詩と批評17（1）：166-182
 堀 信行（1980）日本のサンゴ礁．科学 50（2）：111-122
 堀 信行（1991）土のイメージ・石のイメージ：方名・地名・物語にみる自然とひととの交流．サンゴ礁地域研究グループ（編）熱い心の島：サンゴ礁の風土誌（日本のサンゴ礁地域2）．古今書院，pp 31-47
 堀 信行（2004a）聖なる空間の創造：「ゆりむん」の世界と琉球王朝．菊池俊夫（編）風景の世界：風景の見方・読み方・考え方．二宮書店，pp 40-49
 堀 信行（2004b）「ゆいむん」地名考：与論島の百合が浜から斎場御嶽のユインチ（寄満）．南島の地名6：171-176
 堀 信行（2009）サンゴ礁と「ゆりむん（寄り物）」の思想．日本地理学会発表要旨集，76：45

台湾のサンゴ礁と黒色海綿テルピオス(*Terpios hoshinota*)の大発生

中央研究院 (台湾) 生物多様性研究中心 野澤洋耕

琉球列島に沿って北上し本州の南岸を洗う黒潮は、サンゴの生息環境とも深い関わりがあります。その流れを少し溯ると、そこには台湾があります。黒潮の上流にある台湾のサンゴの現状を知ることは、私たちの目の前にあるサンゴ礁をもっとよく理解することに繋がるはずで

台湾のサンゴ礁

台湾は、沖縄・八重山諸島のすぐ南西にある九州ほどの大きさの島です (図1)。陸域には富士山よりも高い玉山 (ユイシャン、3,952m) があり、熱帯から寒帯までの幅広い気候帯に多様な生物を見ることが出来ます。海域の環境もまた多様性に富んでおり、台湾の西海岸は大陸の大きな河川の影響により形成された広大な干潟環境であるのに対して、東海岸は陸域から一気に海面下4,000mまで落ち込む海溝に面しています。また、台湾北部は、冬季に中国沿岸より南下してくるとも冷たい水塊の影響により、海水温度が16度付近まで落ち込むのに対し、台湾南部の海水温度は一年を通して約20-28度と安定しています (詳しくは、Chen (1999) を参照)。このような多様な海域環境に、コーラル・トライアングル (フィリピン、インドネシア、マレーシアなどを含む海域からなる、海洋生物の多様性が世界中で最も高いと言われているエリア) から、様々な海洋生物の卵や幼生が黒潮流などに乗って台湾沿岸に運ばれて来て、多様な生物群集を形成しています。

この様に豊かな生物群集がみられる台湾ですが、沖縄に比べて、なぜかサンゴ礁の発達は良くありません。多くの場所でサンゴ礁が海面まで到達していないので、沖縄では普通に見られるサンゴ礁地形である礁池 (ラグーン) や、主にサンゴの死んだ骨で出来た白い砂浜などはほとんど見られません。私が主な研究場所としている台湾南東に浮かぶ島、緑島 (リュータオ) でも (図1)、多くのサンゴ種が高い被覆度で生息していますが、海面



図1. 沖縄-台湾地図。



図2. 緑島沿岸。海面下には豊かなサンゴ群集が広がるが、サンゴ礁地形の発達は弱く、ラグーンなどは見られない。

まで達するようなサンゴ礁は全く見られません (図2)。これは、沖縄より南にあるのだからさぞかし発達したサンゴ礁が見られることだろう、と単純に考えていた私にとって大変に意外な事実であり、逆に、なぜ沖縄ではこのようにすばらしいサンゴ礁地形が発達しているのかという興味深い研究テーマを、台湾のサンゴ礁から投げ返されているような感じがしています。

黒色海綿テルピオスの大発生

私は、2009年よりこの緑島で主にサンゴの研究を行っています。緑島は小さな島ですが、多くの人が住む台湾



図3. 緑島のサンゴ群集。

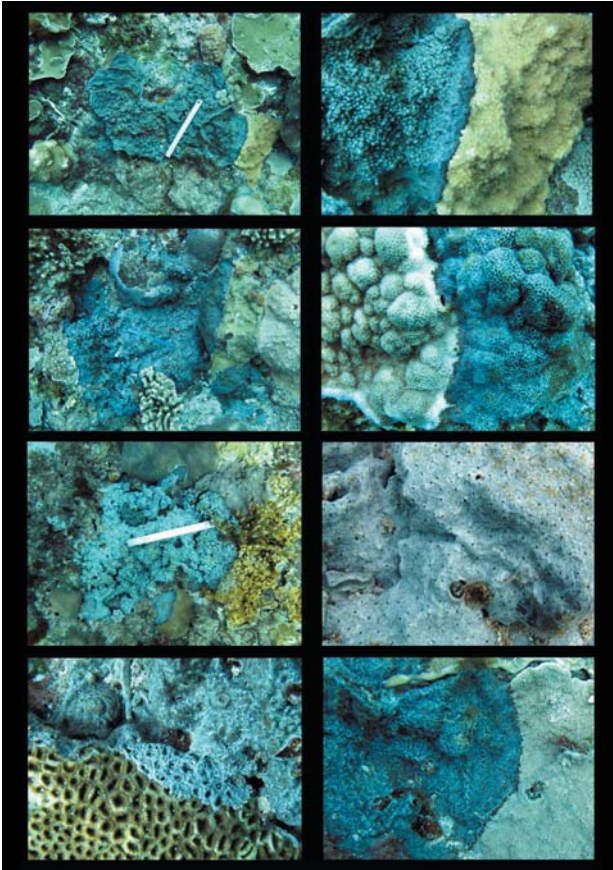


図4. テルピオス群体。主に黒灰色だが、白いものも稀に見られる。写真中の定規の長さは17cm。

本島から離れているため透明度が高く、そこに広がるサンゴ礁もより健全であると考えられています(図1、3)。その緑島で、2006年に台湾で初めて黒色海綿テルピオスの大発生が起きました(Liao et al. 2007)。テルピオスは厚さ1mm程の大変に薄っぺらい海綿で、色は主に黒灰色(群体の一部、または全体が褐色、白色のものもある)、体内に数多くの共生性藍藻類を持っています(図4、5)。驚くべきことは、このテルピオスの分散・成長スピードと、他の底生生物に対する圧倒的な競争的優位性です。緑島に突如として現れ、みるみるうちにサンゴを含むその他ほぼ全ての底生生物との競争に勝ち、それらを覆いつくしてしまったのです。場所にもよりますが、最大約30%もの海底が一年も経たないうちにテルピオスにより覆われてしまいました。このテルピオスの大発生は、1970年代にグアムで(Bryan 1973)、1980年代には沖縄や奄美諸島でも報告されています(Rützler and Muzik 1993)。グアムでの最悪の観察例では、テルピオスが約1kmに渡って水深32mまでのサンゴ礁域を覆い尽くしていたという報告もあります。

台湾では2006年からのテルピオスの大発生を受けて、2007年から2008年にかけて、緑島におけるテルピオスの大発生についての状況調査が行われました。その結果、大発生は主に緑島の北部と東部で起こっていること、テルピオスの多くは大変浅い海域(>5m)でのみ見られ、約10mより深くではほとんど見られないことなどが分かってきました。現在、緑島のテルピオスについての調査は更に3年間継続されることが決まっており、私はこの調

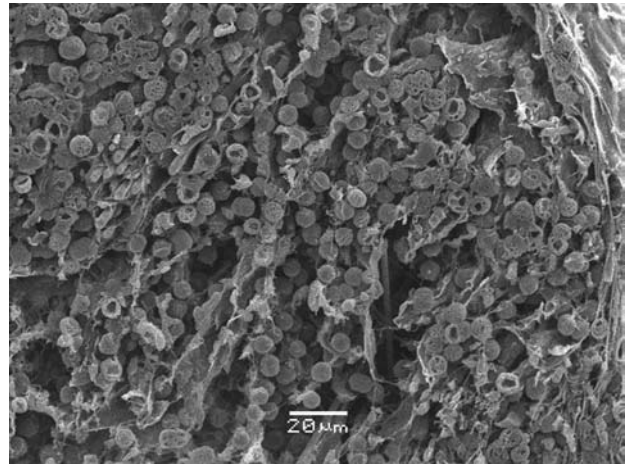


図5. テルピオス組織の電子顕微鏡写真。球状に見えるものが共生性の藍藻類。藍藻の密度が大変に高いことが分る。

査チームの一員として、テルピオスの大発生のメカニズム、大発生後のテルピオス个体群の変動、そしてテルピオス大発生の底生生物への影響についての調査に加わっています。2009年夏から始まったこの調査では、今のところ、テルピオスが浅海域にのみ見られるという傾向は維持されている様子ですが、発生海域は北部と東部のみに限らず、西部でも多く見られるようになって来ていることが報告されています。

テルピオスのようにサンゴ礁域で大発生する生物は、他にもオニヒトデやサンゴ食性巻貝シロレイシガイダマシ類などがよく知られています。特に、オニヒトデや今回のテルピオスなどの場合、大発生後はサンゴ礁生態系を支えている造礁サンゴ類が壊滅的な打撃を受けるため、生態系が維持されず、死サンゴの骨から成る礫などで覆われた、生き物の少ない寂しい海域となります。私自身は大発生する生き物自体を単純に“悪者”と決め付ける気持ちは毛頭ありませんが、大発生している海域に潜るたびに、「なぜ大発生する必要があるの?」とその生き物に直接問いかけたくなるような気持ちになります。彼ら自身もそんなこと知らないのかも知れませんが。

【引用文献】

- Bryan PG (1973) Growth rate, toxicity and distribution of the encrusting sponge *Terpios* sp. (Hadromerida: Suberitidae) in Guam, Mariana Islands. *Micronesica* 9: 237-242
- Chen CA (1999) Analysis of scleractinian distribution in Taiwan indicating a pattern congruent with sea surface temperature and currents: examples from *Acropora* and *Faviidae* corals. *Zoological Studies* 38: 119-129
- Liao MH, Tang SL, Hsu CM, Wen KC, Wu H, Chen WM, Wang JT, Meng PJ, Twan WH, Lu CK, Dai CF, Soong K, Chen CA (2007) The "black disease" of reef-building corals at Green Island, Taiwan - outbreak of a cyanobacteriosponge, *Terpios hoshinota* (Suberitidae; Hadromerida). *Zoological Studies* 46: 520
- Rützler K, Muzik K (1993) *Terpios hoshinota*, a new cyanobacteriosponge threatening Pacific reefs. *Scientina Marina* 57: 395-403

海洋酸性化とサンゴ礁域の生物

京都大学 フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所 諏訪 僚 太

近年頻発する夏場の異常高海水温はサンゴの白化現象を引き起こし、世界規模でサンゴ礁生態系に悪影響を及ぼしています。主な原因は大気中への人為起源の二酸化炭素排出と考えられていますが、今回は大気中の二酸化炭素増加が引き起こす問題として新たに認識されつつある、海洋酸性化とサンゴ礁棲生物の関係に関する研究を紹介します。

はじめに

現在までの数十年間でサンゴ礁域の生態系は大きく変わっていることが知られており、世界中のサンゴ礁域において生物多様性の低下が報告されています。こうした変化の殆どの原因は人間活動による環境攪乱によるものですが、その種類は地形変化や農薬流入、富栄養化、過剰な漁獲、サンゴの捕食者であるオニヒトデの増加といった現象から、地球温暖化に伴う異常な海水温上昇というグローバルな現象まで様々です。こうした環境変動とサンゴ礁棲生物との関係については、室内実験から野外調査、コンピューター解析まで様々な研究が行われてきました。そして、最近になってサンゴ礁生態系にとっての危機として新たに認識され始めたのが海洋酸性化です。海洋酸性化とは、言葉通り海の酸性度が高くなることを意味していますが、こういった仕組みで起こり、サンゴ礁棲生物にどういった影響を及ぼしうるのかについて紹介したいと思います。

海洋酸性化とは？

海洋酸性化とは、人間社会から大気中に排出された二酸化炭素 (CO_2) が海水中に溶解することで、海水のpHが低下する現象のことをいいます。海洋酸性化が起こる仕組みは次の通りです。まず大気中の CO_2 濃度が上昇すると、海の表層では海水中に溶け込む CO_2 量も増加する気液平衡状態と呼ばれる状態になっています。溶解した CO_2 の一部は水分子を取り込み炭酸 (H_2CO_3) となり、炭酸はさらに炭酸水素イオン (HCO_3^-) と水素イオン (H^+) になり、海水中の水素イオン濃度が上昇するためpH低下 (=酸性化) が生じます。海洋酸性化は、人類の化石燃料使用量の増加に伴って急速に進み、産業革命から現在までに既に0.1のpH低下が生じており、 CO_2 排出が現在のペースで進むと、2300年頃には最大約0.77のpH低下が起こることが計算によって予測されています (Caldeira and Wickett 2003)。海洋酸性化の進行に関する予測は、表層海洋の炭酸系が大気 CO_2 の変化にはほぼ追従するため、今後の大気中 CO_2 の増加予測 (CO_2 放出シ

ナリオ) より、どのくらい海水のpHが低下するか、比較的正確に知ることができる (Zeebe et al. 2008) と考えられています。

また、海洋酸性化の生物への影響は、何世紀も先ではなく、一部の高緯度海域では今世紀中の数十年のうちに現れ始める可能性が指摘されており (Orr et al. 2005)、実際に室内における検証実験によって、近未来の海で予測されているpHが様々な生物に影響を及ぼす可能性が指摘されています。どの程度の酸性化が海洋の生物や生態系にどのような影響を引き起こすかについて、科学者が信頼性の高い科学的知見を提供することは、今後の CO_2 排出削減対策に関わる議論の後押しになると期待されています。

海洋酸性化がサンゴ礁棲生物に及ぼしうる影響

サンゴ礁域の生物において海洋酸性化との関係が最も注目されているのが、サンゴ礁地形の形成という重要な役割を担っている石灰化生物と呼ばれる生物群です。

サンゴ礁域の石灰化生物には、主に石灰藻やサンゴ、有孔虫、貝等が含まれます。サンゴ礁はその砂から岩まで生物によって形成されたものであり、これらの生物が残した炭酸カルシウム骨格が元となっています。炭酸カルシウム骨格の生成には、炭酸イオン (CO_3^{2-}) とカルシウムイオン (Ca^{2+}) が用いられます。大気中の CO_2 濃度が上昇し、海洋酸性化が起こると海の中の水素イオン (H^+) 濃度が上昇することは前述しましたが、この増えた水素イオンが、炭酸カルシウム骨格の材料である炭酸イオンと結合することで炭酸水素イオン (HCO_3^-) となり、石灰化に用いることができなくなる可能性があります。つまり、海洋酸性化が石灰化生物の石灰化に影響を及ぼすわけですが、このことは造礁サンゴ類を対象とした数多くの実験によって示されています。例えば、トゲスギミドリイシ (*Acropora intermedia*) とフカアナハマサンゴ (*Porites lobata*) を対象とした、8週間の CO_2 ガスの添加によって海水のpHを低下させた実験によると、pH 8.00–8.40での結果に比べて、pH 7.80–7.95とpH 7.60–7.70の条件化での石灰化速度が、それぞれ80%と



図1. コクビミドリイシの成熟群体。

60%前後に低下することが報告されています (Anthony et al. 2008)。同じ報告内では、石灰藻類の一種アナアキイシモ (*Porolithon onkodes*) も実験に用いられており、サンゴと同様に石灰化量の低下が示されています。

また、海洋酸性化の影響は、生物の初期生活史段階に特に大きな影響を及ぼす可能性がある (Raven et al. 2005) ことが指摘されています。筆者らによる造礁サンゴ類の一種コクビミドリイシ (図1) の生後12日目の稚サンゴ (図2) を用いた10日間の室内実験において、酸性化の処理をしていないpH 8.03の条件よりも、CO₂添加によってpH 7.64に調整した海水で飼育した稚サンゴの方が、14%前後その表面積が小さくなることが分かっています (Suwa et al. 2010)。有孔虫の一種ゼニイシ (*Marginopora kudakajiensis*) の無性生殖で増えた幼個体を、塩酸 (HCl) と水酸化ナトリウム (NaOH) によってpHを調整した静止海水中で10週間培養した実験でも、pH 8.3からpH 7.7へと低下するに従って、殻の重量と直径が減少することが確認されています (Kuroyanagi et al. 2009)。

もっと広い視点から、海洋酸性化による石灰化速度の低下がサンゴ礁に及ぼす悪影響についての指摘もなされていますが、その理解のために少し知っておかなければならないことがあります。まず、サンゴ礁の分布は、海水中の炭酸カルシウム結晶の過飽和度と呼ばれる値が、およそ3.3以上の海域に限られていることが報告されています (Kleypas et al. 1999)。この「炭酸カルシウム結晶が過飽和である」というのは、カルシウムイオンと炭酸イオンが海水中に溶存しているものの、その濃度が十分に高いため、溶存イオンの状態で存在するよりも固体である炭酸カルシウム結晶になった方が、より安定な状態であることを意味します。で

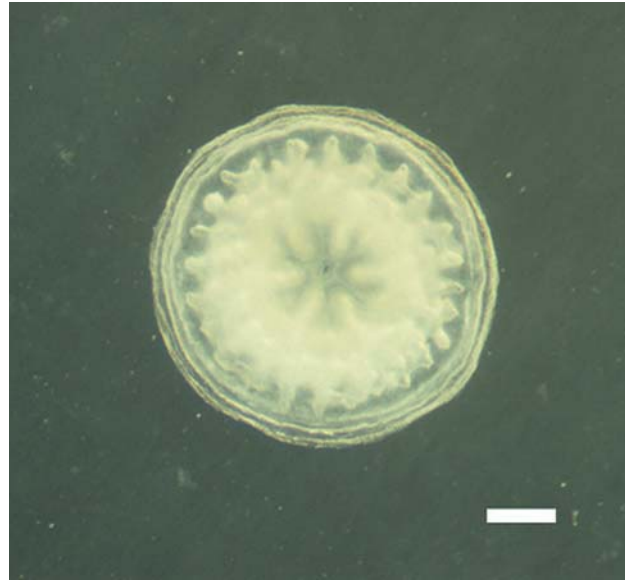


図2. コクビミドリイシの生後12日目の稚サンゴ (白線: 200 μ m)。

は何故、サンゴ礁の分布が炭酸カルシウム結晶の過飽和度が1ではなく3.3以上の海域に限られているのでしょうか。堆積物中では、海洋酸性化の影響が無くても微生物の呼吸によって局所的にpHが低下し、石灰質基質の脱灰 (溶解) が起こっています。そして、石灰化生物による石灰質基質の付加が、この脱灰のスピードを上回る海域が、過飽和度3.3以上の海域であろうと考えられています。もし、現在のまま大気中のCO₂濃度が増加を続けられれば、炭酸イオン濃度の低下からこの過飽和度は下がり続け、サンゴ礁の侵食が生物による石灰化速度を上回ってしまう海域が100年以内に現れると予測されています (図3、Kleypas and Langdon 2006)。

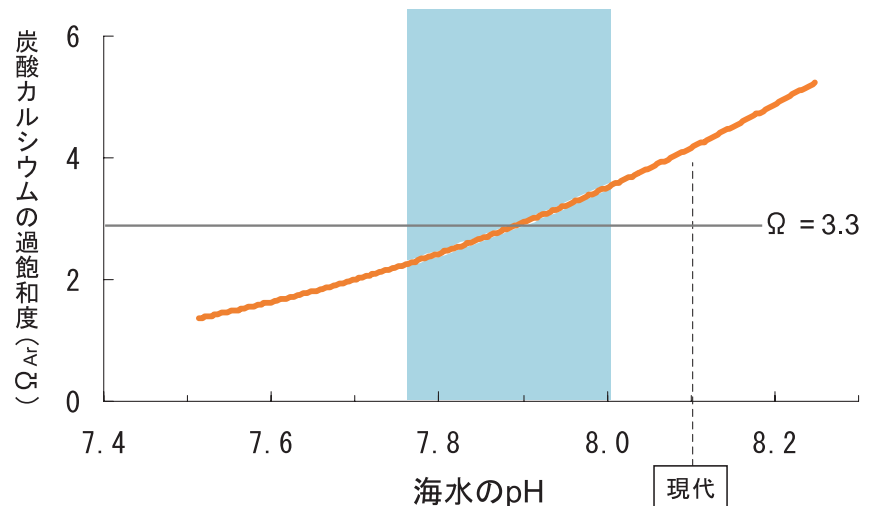


図3. 海水のpHとあられ石の炭酸カルシウム結晶の過飽和度の関係。灰色の線は過飽和度が3.3を示し、青色の部位は気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第4次評価報告書*によって提示されているCO₂排出量安定化シナリオ群による、2050年の大気中CO₂濃度の目標値を元に、サンゴ礁域を想定して海水温29.5℃で計算した場合のpHの幅を示す。

*IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007

ここまで海洋酸性化と生物の石灰化の関係について述べてきましたが、海洋酸性化の影響は石灰化以外の生物現象にも影響する可能性があります。例えば、筆者らの研究グループが行った実験では、コユビドリイシの精子をCO₂添加によりpH 7.77に調整した海水に曝すと、遊泳精子率(全精子数に対する遊泳している精子数の割合)が酸性化処理をしていない条件の69%から46%に低下し、棘皮動物のクロナマコ属の一種 (*Holothuria* spp.) の遊泳精子率も、73%からpH 7.69の海水において30%以下に低下することを確認しています (Morita et al. 2009)。海洋酸性化が魚類に与える影響についての報告は数少ないですが、サンゴ礁域に生息するクマノミの一種 *Amphiprion percula* の稚魚では、pH 7.8の海水中において嗅覚機能の低下が生じることが報告されており、稚魚が親の居場所や生息するのに適した場所を特定できなくなる可能性が指摘されています (Munday et al. 2009)。これらの事例は全体のほんの一部ですが、海洋酸性化がサンゴ礁生態系全体に及ぼす影響は、サンゴ礁地形の維持に重要な生物の石灰化への影響を始め、様々な種の生物現象に多様な変化を引き起こす可能性があるため、計り知れないことが窺えます。

最後に

海洋酸性化の生物影響についての研究は数多くなされていますが、まだ分からないことも多くあります。室内実験は比較的短期な酸性化海水への暴露によってその影響を評価しますが、実際の海洋酸性化はじわじわと長期的に起こるものであり、海洋生物がこの変化に順応又は適応できる可能性を評価する研究は殆ど進んでいません。また、現在の海は多様な環境ストレスが存在し進行しているため、海洋酸性化と他ストレスとの共作用についても調べる必要があります。例えば、今後海水温が上昇することが予想されるので、サンゴは海洋酸性化と高海水温の両方の影響を受ける可能性があります。今後はこうした様々な条件の模擬実験を正確に行うことや、生物影響のメカニズムの解明、生態レベルでの影響評価から、信頼性の高い新たな科学的知見を得ることが望ましいと考えられています。

*pHの値は測定方法の違いによって数値に差が生じます。測定方法については各引用文献をご参照ください。

【引用文献】

Anthony KR, Kline DI, Diaz-Pulido G, Dove S, Hoegh-Guldberg O (2008) Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 17442-

- 17446
 Caldeira K, Wickett ME (2003) Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365
 Kleypas JA, Langdon C (2006) Chapter 5, Coral reefs and changing seawater chemistry. In: Phinney JT, Hoegh-Guldberg O, Kleypas J, Skirving W, Strong A (eds) *Coral Reefs and Climate Change: Science and Management*, Vol. 6. AGU Monograph Series, Coastal and Estuarine Studies. Am. Geophys. Union, Washington DC, pp73-110
 Kleypas JA, McManus JW, Menez LAB (1999) Environmental limits to coral reef development: Where do we draw the line? *American Zoologist* 39: 146-159
 Kuroyanagi A, Kawahata H, Suzuki A, Fujita K, Irie T (2009) Impacts of ocean acidification on large benthic foraminifers: Results from laboratory experiments. *Marine Micropaleontology* 73: 190-195
 Morita M, Suwa R, Iguchi A, Nakamura M, Shimada K, Sakai K, Suzuki A (2009) Ocean acidification reduces sperm flagellar motility in broadcast spawning reef invertebrates. *Zygote* doi:10.1017/S0967199409990177
 Munday PL, Dixson DL, Donelson JM, Jones GP, Pratchett MS, Devitsina GV, D'Avina KB (2009) Ocean acidification impairs olfactory discrimination and homing ability of a marine fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106: 1848-1852
 Orr JC, Fabry VJ, Aumont O, Bopp L, Doney SC, Feely RA, Gnanadesikan A, Gruber N, Ishida A, Joos F, Key RM, Lindsay K, Maier-Reimer E, Matear R, Monfray P, Mouchet A, Najjar RG, Plattner GK, Rodgers KB, Sabine CL, Sarmiento JL, Schlitzer R, Slater RD, Totterdell IJ, Weirig MF, Yamanaka Y, Yool A (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437: 681-686
 Raven J, Caldeira K, Elderfield H, Hoegh-Guldberg O, Liss P, Riebesell U, Shepherd J, Turley C, Watson A (2005) Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. Policy Document 12/05, Royal Society, London
 Suwa R, Nakamura M, Morita M, Shimada K, Iguchi A, Sakai K, Suzuki A (2010) Effects of acidified seawater on early life stages of scleractinian corals (Genus *Acropora*). *Fisheries Science* 76: 93-99
 Zeebe RE, Zachos JC, Caldeira K, Tyrrell T (2008) Carbon emissions and acidification. *Science* 321: 51-52

石西礁湖ニュース

石西礁湖におけるオニヒトデ分布状況と対策について

環境省 石垣自然保護官事務所 佐藤 崇 範

オニヒトデの分布状況

石西礁湖及びその周辺海域では、オニヒトデの大発生時にできるだけ速やかに対策を講じることができるよう継続的な分布調査が行われています。

環境省では、平成15年度からモニタリングサイト1000の調査の一部として、石西礁湖内の102地点でオニヒトデの観察個体数を計測してきました（石西礁湖内では、海中公園センターなどが昭和58年度より同様の調査手法で広域調査を実施しており、それらのデータと連続的に比較することができます）。また、同じく平成15年度から、石西礁湖自然再生事業の一環として、モニタリングサイト1000の調査地点とは異なる150地点において、オニヒトデ分布調査も実施しています。

これらの調査により、石西礁湖におけるオニヒトデの観察個体数は、平成13年度頃から少しずつ増え、平成19年度に急激に増加したことがわかっており、現在でも多くのオニヒトデが分布しております（図1）。

オニヒトデ対策について

オニヒトデはサンゴ礁生態系の一員であり、主にサンゴを食べて生きています。基本的には、オニヒトデが食べるサンゴの量よりも、サンゴが成長する量が明らかに多ければ、オニヒトデがサンゴ群集に与える影響もそれほど大きなものではないでしょう。これまでの研究から、オニヒトデが一年間に食べるサンゴの量は、1個体あたり6～12m²と試算されています（Endean 1974）。また、以前、崎山湾周辺で実施した調査によれば、サンゴ被度（サンゴが海底を覆っている割合）が約30%の1km四方の海域で、サンゴが一年間に成長する面積は、約0.03km²と見積もられました（環境庁 1984）。これらの値から計算すると、サンゴ被度が約30%の50m四方の範囲内に、オニヒトデが6.3～12.5個体いる場合、一年間にオ

ニヒトデがサンゴを食べる速度と、サンゴの成長速度が同程度になると推定できます。

人間の生活と密接に関係のあるサンゴの生息海域で、オニヒトデの個体数がこのような「許容範囲」を明らかに越えた場合には、サンゴ群集の保護を目的としたオニヒトデ対策を講じる必要性が生じてきます。

現在行われているオニヒトデ対策のほとんどは、オニヒトデを直接駆除するというものです。しかし、広い海域に数万～数十万個体以上のオニヒトデが生息するよう

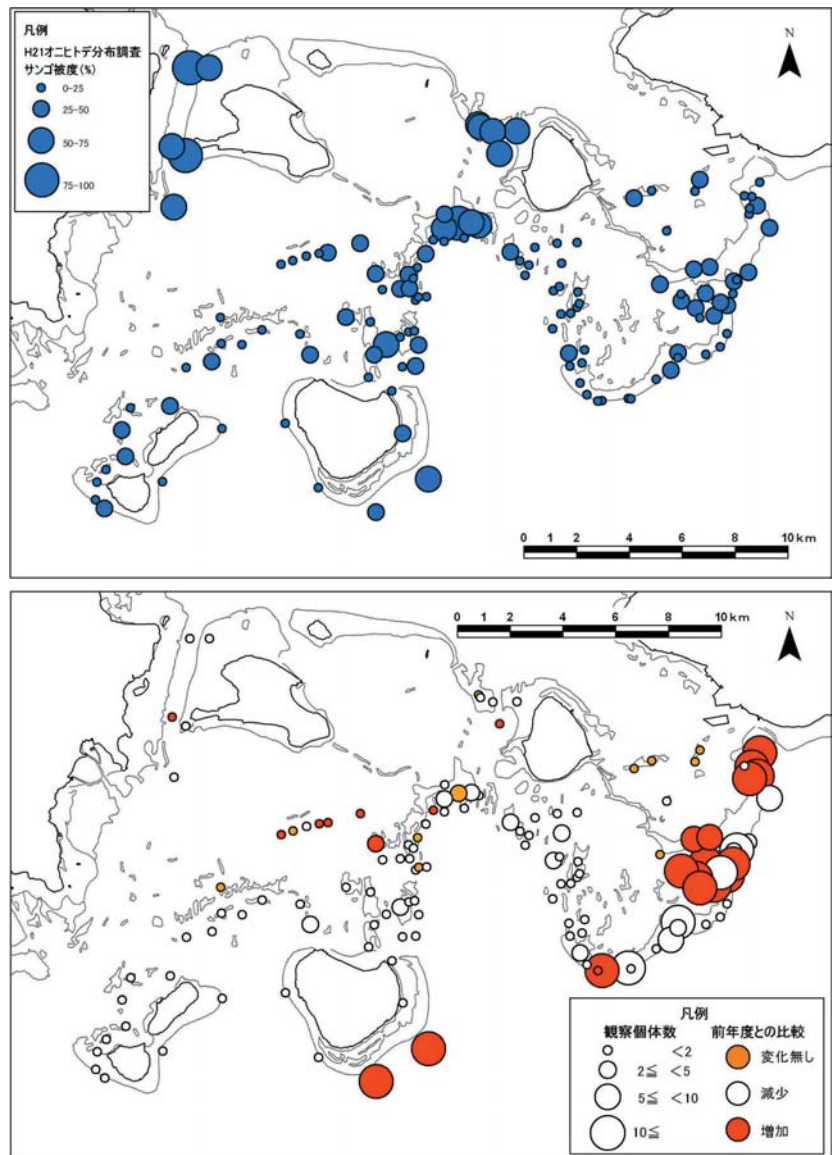


図1. 石西礁湖におけるサンゴ被度とオニヒトデ観察個体数の現状（H21年度オニヒトデ分布調査）。上：各調査地点におけるサンゴ被度。下：各調査地点におけるオニヒトデ観察個体数と前年度調査からの増減。



図2. 八重山オニヒトデ対策協議会で話し合われた、各主体によるオニヒトデ駆除事業対象地（平成22年2月3日現在）。

な状況の場合、その全てを取り除くことは現実的ではありません。また、サンゴ礁生態系の一員であるオニヒトデを根絶させることは、目標設定としても適切ではありません。

オニヒトデ対策（駆除）の目標設定・考え方として、地域の関係者がサンゴ礁の中でも特に「守るべき、守りたい、守れる」と考えるサンゴ生息域を重要海域として選定し、その海域だけはオニヒトデ個体数が常に少なく保たれるよう徹底的に駆除する、というものがああります。駆除数や駆除効率（一回のダイビングで駆除したオニヒトデの数）の推移をみながら対策を継続し、最終的に守ることができたサンゴ群集の面積や被度によって、対策の成果を評価します。現在、環境省が石西礁湖で実施しているオニヒトデ駆除は、このような方針に基づいています。

- 守るべき：サンゴの幼生供給源として重要な海域、健全なサンゴ群集が残っている海域等
- 守りたい：地元の関係者にとって有益である海域
- 守れる：年間通した駆除活動を行える海域



サンゴを食べているオニヒトデ。

八重山オニヒトデ対策協議会の発足

Lagoon11号（平成20年9月発行）では、地域住民がオニヒトデ対策について情報交換を行う場として開催されていた、八重山地区オニヒトデ対策連絡会議の経緯についてご紹介いたしました。

その後、八重山諸島周辺でオニヒトデが急増したこともあり、関係者・関係機関の取組への意思統一及び情報共有などが急務であるとの考えから、平成21年8月に八重山オニヒトデ対策協議会が発足しました。この協議会は、「八重山の海に関わる多様な主体が、サンゴ及びオニヒトデの状況について情報の共有及び開示、相互の意志の疎通及び連絡体制の確立等を図りつつ、八重山周辺海域での効果的なオニヒトデ対策

を協働して行うための方針について協議を行うこと」を目的としています。これまでに3回の協議会を開催し、八重山でのオニヒトデ対策関係者らが、重要海域や駆除方針の確認、駆除の進捗状況、八重山全域のサンゴやオニヒトデに関する意見交換等を行っています。その上で、オニヒトデ対策が実施されています。

オニヒトデの大発生がいつ収束するのか、今のところ誰にもわかりません。その間には、多くのサンゴがオニヒトデに食べられてしまうでしょう。しかし、何年か後にオニヒトデの大発生が終わった時、八重山のサンゴ礁が回復するための幼生供給源となるサンゴ群集が、少しでも良い状態で残っているよう、関係者と連携しながら、オニヒトデ対策を進めていきたいと思ひます。

【引用文献】

- Endean R (1974) *Acanthaster planci* on the Great Barrier Reef. Proc 2nd Int Coral Reef Symp 1: 563-576
- 環境庁 (1984) 崎山湾自然環境保全地域保全対策緊急調査報告書. 134p



八重山オニヒトデ対策協議会の様子。

教えて！サンゴ礁博士 ①

サンゴ礁の海にはナゾがいっぱいです。普段、何気なく眺めている海も、ちょっと観察してみると思っていた以上にびっくりすること、不思議なことが見えてきます。これまで国際サンゴ礁研究・モニタリングセンターにいただいたスルドイ質問・面白い質問をピックアップして、専門家の方に答えを伺ってみました！

質問①：2007年夏の白化の後（9月）にスノーケリングした時、前年まではキレイだったサンゴの多くが白化し、藻が絡まった状態のものもあって愕然としました。ところが翌年の7月に同じ場所に行ってみると意外なほどサンゴが回復？してキレイにみえました。逆に、1998年の白化以降、全く回復せずにサンゴの墓場のようになっているところも……。どうしてこんな違いが生じるのですか？（石垣市在住・吉竹さん）

九州大学の野島哲先生にお伺いしました

『結論から言いますと、現在のところ詳細はわかっていません。1998年の大規模白化の時は小浜島の北側を中心に白化の影響が大きく、また今回2007年の白化は、主として石西礁湖の南側で被害がより深刻であったという結果が得られています。このように、大まかにみても、白化現象に地域的な差があることは明白なのですが、その後の回復過程も含めて、なぜそのような差が生じるかについては、はっきりとした答えはできていません』

ーそのメカニズムを解明するためには、どんなところがポイントになりますか？

『サンゴの白化現象がどのようにして起こるかを考えますと、今回のご質問に対しての答えを考える上でいくつかの重要なポイントがあります。ご存知のように、白化現象とは、サンゴの体内に共生する褐虫藻がサンゴの体内で死んだり、体外に逃げ出したりすることで生じます。結果的に透明になったサンゴのポリプを透して、白い石灰質の骨格が見えることから白化現象と呼ばれるようになりました。一般的には「白化現象は海水温が30℃を超える日が長く続くと起こる」と言われており、石西礁湖でも海水温の高い海域ほどサンゴの白化が進行する傾向があります。海水温は水深、潮流、海底地形、気温など多くの環境条件で変化しますから、狭い海域での海水温は微妙に違いがでてきますし、同じ海水温であるはずの

同じサンゴ礁でも、サンゴの種類によって白化しやすいサンゴと、白化しにくいサンゴがあります。場所によって白化しにくいサンゴの多いところでは、一見すると白化していないように見えますし、その逆では白化がひどいということになります。また、サンゴは白化の進み具合で、死亡するケースや回復するケースもあり、なかなか複雑です』

ー現在、研究はどこまで進んでいるのでしょうか？

『幸い2004年から環境省の自然再生事業が始まり、今回の2007年の白化の時にはこれまでに得られなかったような白化に関する基礎的なデータを得ることが出来ました。現在そのデータを細かく解析している最中ですが、その解析が終了すれば満足して頂ける回答が可能になると思います』

野島先生、ありがとうございます。

白化やオニヒトデによる食害でサンゴがほとんどいなくなった海域が、その後どのように回復していくのか（または回復しないのか）、毎年各地で実施されている様々なサンゴのモニタリング情報を収集・分析することが、将来予測には欠かせないようです。

皆さんの観察記録も、きっと未来のサンゴ礁を占う貴重な資料になることと思いますので、何か変化を観察されましたら、国際サンゴ礁研究・モニタリングセンターまで情報提供していただけたらと思います。



質問②：川平湾では、たまにウミガメが泳いでいるのをみかけます。サンゴを食べているところを目撃することもあり、ナガレハナサンゴの触手を食べていることが一番多いように感じます。次に多いのは、触ると痛い枝状のアナサンゴモドキです。「こんなの食べて大丈夫かな？」と心配になります。他にもモドリイシをバリバリ食べている姿もみられました。この様にウミガメがサンゴを食べるのは一般的なことなのでしょうか？（石垣市在住・三輪さん）

日本ウミガメ協議会黒島研究所の亀田和成さんにお伺いしました

『ウミガメがサンゴを食べることは一般的ではありません。日本で見られる5種のウミガメのうち、八重山諸島で普通に見られるウミガメは、アオウミガメとタイマイです（図1、2）。アカウミガメも生息していますが、普段は沖合にいます。このため繁殖期で沿岸に近寄っている時、もしくは外洋に面した岬などで観察されます。アオウミガメは周年、岸の近くに住んでおり、目にする機会が多いウミガメです。

アオウミガメは草食でアマモ、テングサ、ミルを好んで食べます（図3）。タイマイも周年見ることが出来ます。カイメンという岩に付着して生活をするかたまり状の生物を食べます。カイメンはたくさんの種類がありま

すが、タイマイはナンコツカイメンとジンゾウナンコツカイメンという特定のグループを好んで食べています（図4）。これらのカイメンは、死んだサンゴの隙間に生息しています。このためタイマイがサンゴの隙間に口を突っ込んでいる時や、サンゴごとくわえている場面が観察されています。』

—それでは、目撃されたウミガメはタイマイの可能性が高そうですね。といってもウミガメは普段からサンゴを好んで食べるわけではないようですが…

『当研究所で日頃ウミガメを飼育している経験から、ウミガメはなんでもかじることがわかります。クマノミが住処として利用しているハタゴイソギンチャクを、ウミガメが食べてしまったこともあります。ウミガメはお腹が減ると、とりあえず食べられそうなものを口にするようです。そして食べられると学習すると、どんどん食べるようになります。つまり自然では利用しやすく好きな餌を食べています。しかし、それしか食べられないという訳では無いようです。川平湾で観察されたウミガメは何かのきっかけでサンゴをかじり、お気に入りの餌と覚えてしまったのかも知れません。

それにしても、ウミガメがサンゴをバリバリ食べるという今回の質問には驚きました。食べたサンゴは消化できないでしょうから、確かに心配になりますね。』

亀田さんありがとうございました。

野外の観察だけでなく、飼育しているウミガメを観察することで見えてくる事実もあるようです。ウミガメがいろいろな生物を食べることは、勉強になりました。



図1. アオウミガメ（撮影 広島大学 坪井美由紀）。



図2. タイマイ
（撮影 日本ウミガメ協議会 水野康次郎）。



図3. アオウミガメの好む餌 シマテングサ；矢印の鳥羽状の海藻（撮影 亀田和成）。



図4. タイマイの好む餌 ジンゾウナンコツカイメン（撮影 亀田和成）。

*このコーナーで専門家の方に聞いてみたい疑問・質問を募集しております。サンゴ礁について普段から不思議に思っていること、スノーケリングやダイビング中に気になったことなど、お気軽にお寄せ下さい！連絡先については、14ページ下の欄をご参照下さい。

<Photo Gallery> のぞいてごらん！ 素敵なサンゴ礁の世界 ④



「伊良部島佐良浜インシャー(漁師)のアギヤー(追い込み網漁)」

撮影者：相楽 充紀

(姫路市立水族館学芸員)

撮影場所：八重干瀬沖(水深25~40m)

撮影時期：2004年4月30日

コメント：潮の流れ、魚群の逃げ道、袖網・袋網を張る地形等を瞬時に判断し、カヴァーグルクン(タカサゴ)等の魚群を规律的集団で追い込む。漁獲量漸減が、漁獲効率向上に因る漁獲圧過剰か、サンゴ礁生態系劣化に因る資源涵養力の低下か、その複合かは明らかではない。が、サンゴ礁の豊かさを持続的に享受するにはサンゴ礁生態系の保全が不可欠だ。



「パラオの源」

撮影者：吉水 剛志

(元青年海外協力隊パラオ隊員)

撮影場所：パラオ共和国 ガムリス島

撮影時期：2008年3月14日

コメント：青年海外協力隊パラオ隊員の休日。私達はパラオの美しいサンゴ礁から満ち溢れるパワーを頂き、日々元気に活動しています。

右上の写真はパラオのベラウ・モデクゲイ高校における環境教育の風景。

生徒達からのメッセージ：「僕達の国はサンゴのおかげで成り立っています。本当にありがとう。必ず未来に残します。」



国際サンゴ礁研究・モニタリングセンターのご利用について

環境省国際サンゴ礁研究・モニタリングセンターは、石垣島の市街地にあり、サンゴ礁保全や環境保全について研究・活動をされる方はどなたでもご利用いただけます。

センターの実験室は、簡単な実験を行う場所として、また、野外調査の拠点として利用することができます。会議や講演会を行うことのできるレクチャー室、サンゴ礁の生物に関する文献や石西礁湖を中心としたモニタリング調査の報告書等が備えられた資料室などの設備もあります。詳しくは、右記ホームページをご参照ください。

ご利用に際しては事前のお申し込みが必要となりますので、右記までお電話でご連絡ください。また、施設見学等も随時行っております。



国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター

〒907-0011 沖縄県石垣市八島町2-27

TEL：0980-82-4902 FAX：0980-82-0279

電子メール：okironc@coremoc.go.jp

ウェブサイト：http://www.coremoc.go.jp/