

サンゴの病気と 阿嘉島における発生状況

和田 直久

日本大学生物資源科学研究科

Short review and occurrence of coral disease at Akajima area

N. Wada

E-mail: ocean_38@kra.biglobe.ne.jp

●はじめに

近年、残念ながら世界中でサンゴの病気が報告されています。しかし、発生状況に関する情報は限られており、病気の原因が特定されていないものも多いのが現状です。一般の方には、サンゴの異常を示す言葉としては、白化という言葉の方がイメージがわかりやすいかもしれません。病気と白化…、そもそもサンゴの病気とは、どのようなものを指すのでしょうか。

●サンゴの病気と白化

私がサンゴの病気について勉強を始めてから、よく知り合いに、病気 (coral disease) とは白化 (coral bleaching) のことなのかと訊かれました。これは、一般的にサンゴの異常を頭に浮かべると、新聞などでよく報道される白化現象が想起されるためでしょう。私自身、サンゴの病気を学び始めた頃、病気と白化の違いがよくわからず、混乱した記憶があります。そこでまず、サンゴの病気と白化の学術的な位置関係について概説したいと思います。

サンゴの病気のカテゴリーは、NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, アメリカ合衆国海洋大気局)によると、下記の6種類に分かれるとされています (Woodley et al. 2008)。

1) 白化 Bleaching

生物的 (細菌) もしくは非生物的 (水温、紫外線、塩分、毒性物質など) な要因によって褐虫藻が減少する現象。

2) 非感染症 Non-infectious diseases

環境ストレス (毒性物質、堆積物、海洋汚染など) によって、生理的、形態的に変性をきたす現象。

3) トラウマ Trauma

魚類、貝類、オニヒトデなどによる物理的なダメージ。

4) 寄生虫症 Parasitic infections

繊毛虫、吸虫、扁形動物、カイメンなどの生物の寄生。

5) 成長異常 Growth anomalies

腫瘍などの成長異常。

6) 感染症 Infectious diseases

ウイルス、細菌、真菌などの微生物に起因する群体の部分もしくは全体の死滅。

このように、白化は病気のカテゴリーに組み込まれています。以前の分類では、白化と病気は別のカテゴリー (Peters 1984; Richardson 1998) に区分されていました。しかし、白化はサンゴの組織にダメージもしくは機能の変化をもたらすことなどから再分類され、病気のカテゴリーの中に組み込まれるようになりました (Rosenberg and Ben-Haim 2002; Rosenberg 2004)。一方で、インターネットなどでサンゴの病気を検索すると、白化と病気を区分している報告も未だよくみられません (e.g. Brandt and McManus 2009; Yee et al. 2011; Rogers and Muller 2012)。これは、温度などの物理的要因による白化と感染性の病気を区別していることによります。つまり、広義的にみると白化は病気にカテゴライズされ、狭義的には感染症のみをサンゴの病気として、物理的要因による白化を含めないというのが、

現在の白化の位置づけといえるでしょう。なお、白化は物理的要因以外でも生じる場合があります。

●細菌性の白化

白化には、細菌感染を原因とするものもあります。先の NOAA のカテゴリーに沿うと 1) 白化の中に含まれてしましますが、このような生物的要因による白化は、感染症として分類する研究者が多いようです。

細菌性の白化とは、どのようなものなのでしょうか。これまでに *Vibrio shiloi* の感染に伴い白化した *Oculina patagonica* (Rosenberg and Falkovitz 2004) と *V. corallilyticus* を原因細菌とするハナヤサイサンゴ *Pocillopora damicornis* (Ben-Haim and Zicherman-Keren 2003) の白化の事例が報告されています。

Oculina patagonica の白化では、水温が上昇(25~30℃)する夏場において、原因細菌 *V. shiloi* が *O. patagonica* の組織表面上にあるβガラクトシドを含むレセプターに結合した後(Toren et al. 1998)、サンゴ組織の外胚葉構成細胞内に侵入し、増殖することが報告されています(図1; Banin et al. 2000)。その後、*V. shiloi* は増殖しながらプロリンリッチの毒素タンパク質を産生するようになります。その結果、褐虫藻の光合成は阻害され、更に褐虫藻そのものも溶解して白化が誘導されると考えられています(Ben-Haim et al.

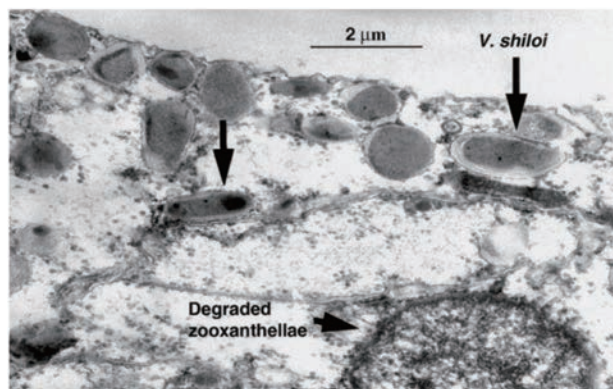


図1 *Oculina patagonica* の細胞内に侵入した *Vibrio shiloi* の透過型電子顕微鏡像(Banin et al. 2000)

1999; Banin et al. 2001)。そして、冬を迎えて水温が低下すると、*V. shiloi*によるSOD(スーパーオキシドディスムターゼ)という活性酸素の働きを抑える酵素の産生能が低下し、サンゴの活性酸素による生体防御機構によって沈静化されるといわれています(Banin et al. 2003; Rosenberg and Falkovitz 2004)。

この病気の興味深い知見として、蠕虫(fireworm)が病気の発生に重要な働きを担っている事が報告されています(Sussman et al. 2003)。それは、夏に感染したサンゴを摂食した蠕虫内に *V. shiloi* が取り込まれ、*V. shiloi*にとって厳しい冬の時期はその虫体内に定着して過ごすという、蠕虫が *V. shiloi*のベクター(病原体の仲介動物)として働いているというものです。このように、サンゴの病気には多様な生物が関わっている可能性があり、上記の研究事例は、病因特定が難しいとされるサンゴの病気研究の中でも詳細を解明した希有な1例と言えるでしょう(*V. shiloi*を原因とする白化現象については、環境ストレスによるサンゴの抵抗性の低下が主要因であるとの報告もあります; Ainsworth et al. 2008)。なお、この細菌性の白化は、1994年から2002年まで確認されましたが、それ以降みられなくなりました(Rosenberg et al. 2007)。サンゴに限らず自然界の病気には、“はやり”というものがよくあるようですが、この病気においてもその理由についてはよくわかっていません。

●サンゴの病気の発生状況や生態系に及ぼす影響

では、白化を除くサンゴの病気はどのような状況なのでしょう。サンゴの病気は1970年代前半に世界で初めてカリブ海で報告されました(Antonius 1973)。それ以後、世界の海域で少なくとも20以上の病例が確認され、複数の研究論文で、サンゴの病気が年々増加していることが指摘されています(Sutherland et al. 2004; Ward and Lafferty 2004; Weil et al. 2006)。

病気がサンゴの生態系に及ぼす影響については、サンゴの被度 (Nugues 2002) や群体数 (Richardson and Voss 2005) の減少などが報告されており、海域によってはかなり深刻な事態となっています。例えば、アメリカ合衆国フロリダ州のカリブ海に面する Loose Key では、1983 年から 17 年間で White pox という病気により、*Acopora palmata* が約 93%、*A. cervicornis* が約 98% 減少しました (Miller et al. 2002)。また、病気が発生した海域では、サンゴの生息域から藻類の繁茂域へのフェーズシフト (Aronson and Precht 2001) や、寿命の短いサンゴ種が優占するという生態系の変化も認められています (Bruckner and Bruckner 2006)。

日本におけるサンゴの病気の現状は、2000年にサンゴの骨格が異常に膨張する成長異常 (Yamashiro et al. 2000) が確認されて以降、沖縄県本島、石垣島と西表島の間に位置する石西礁湖、慶良間列島などで環境要因における白化やトラウマを含め計 12 種類の病気が報告されています (Weil et al. 2012)。

●サンゴの病気調査

サンゴの病気の発生状況の調査は、ベルトランセクト法もしくはラインインターセプトランセクト法によって行われるのが一般的です。しかし両手法では、感染サンゴ種、発生群体数、および被度は求めることができるものの、発生群体間の位置関係を明らかにすることができません。位置関係の解析は、海底に長方形もしくは正方形の区画を設け、区画内の被度を算出するコードラート法を用いれば可能ですが、この手法も、大きくても十数m四方で実施されるのが普通であり、その海域全体の傾向なのか、区画周囲の限定的なものなのか区別することができません。私は、自然海域におけるサンゴの病気の発生形態を正確に把握・解析するためには、その海域における発生群体の位置関係情

報が重要と考え、阿嘉島地先のマジヤノハマとニシハマの2地点において、GPS座標を用いて1海域内の病気の発生位置を病気の種類毎に正確にマッピングすることを試みました。そして、その得られたデータから、同海域におけるサンゴの病気の発生状況を推定してみました。

●阿嘉島における発生状況

調査は、2010年および2011年の5月初旬から7月末にかけて慶良間列島阿嘉島のマジヤノハマ (St. A) およびニシハマ (St. B) の2地点、約4000~5000m²を調査海域として実施しました。両海域ともに水深8m以浅のサンゴ群体を対象にシュノーケリングで行いました。病気のサンゴを肉眼観察し、同時にGPS座標を記録しました。

その結果、2010年には Black Band Disease (BBD;

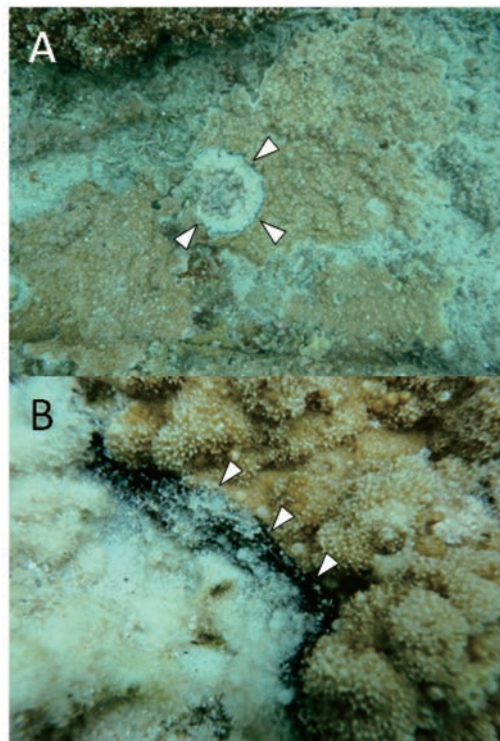


図2 阿嘉島で認められた BBD に罹病した被覆状コモンサンゴ属の一種 (A) とその黒色バンド部分 (B; △: 黒色バンド)

図 2)、Skeleton Eroding Band (SEB)、Growth Anomalies (Gas)、白化の 4 種類、2011 年には上記 4 種類に White Syndrome (WS) を加えた 5 種類の病気サンゴを確認しました。また、その発生数は、2010 年には St. A で 74 群体 (図 3A)、St. B で 21 群体であったのに対し、2011 年には St. A で 88 群体 (図 3B)、St. B で 65 群体と、両地点ともに増加しました。また、BBD に感染した被覆状のコモンサンゴ属サンゴ *Montipora* spp. が両年とも最も多く確認されました。

BBD は、1973 年にカリブ海で確認されてから、世界各地で報告されるようになったシアノバクテリアが形成する黒色バンド (バクテリアルマット) が特徴の病気です (Antonius 1973; Sutherland et al. 2004)。シアノバクテリアを含む細菌群の共同体が BBD を引き起こすとされていますが、病気の主要原因については不明な点が多く残されています (Bourne et al. 2009)。図 4 は、阿嘉島で確認した BBD に感染したコモンサンゴ属群体の病気が進行する様子を示したもので、群体上のこぶに発生した BBD が、約 40 日間でこぶ上のサンゴ組織の

大半を死滅させていることがわかります。

本研究では、一定数の病気サンゴが確認された St. A において、GPS 座標を基に、BBD の発症群体を対象とした空間分析を行ってみました。空間分析は、K 関数法 (Ripley 1981) によるモンテカルロシミュレーション (Metropolis and Ulam 1949) で検定を行いました。結果として、2010 年ではどの BBD 群体同士の距離間でも集合するように発生していたと判定されたのに対し (図 5A)、2011 年では約 15m 以内では集合型に傾きましたが、BBD 群体間の距離が離れるに連れて発生がランダムに起こっているとの評価になりました (図 5B)。つまり、2010 年で認められた BBD は調査海域においてところどころで集合的に BBD 発生が起きているとされたのに対し、2011 年になると規則性なく発生していると評価された訳です。

現在、学術論文における発表を目指して更に解析を進めていますが、自然界におけるサンゴの病気の発生要因 (伝染性? 環境要因?) の推定やその拡大予測を行っていくためには、病気の種類やその構成比率を知るだけでなく、本研究で試みているような一定海域において群体別に位置関係を記録・解析していくような研究が必要であると考えています。

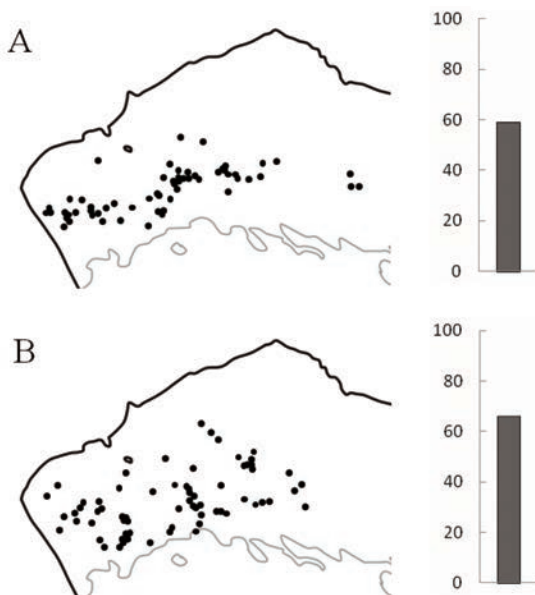


図 3 マジャノハマ (St. A) で 2010 年 (A) および 2011 年 (B) に認められた BBD 感染サンゴ群体の発生分布と発生数

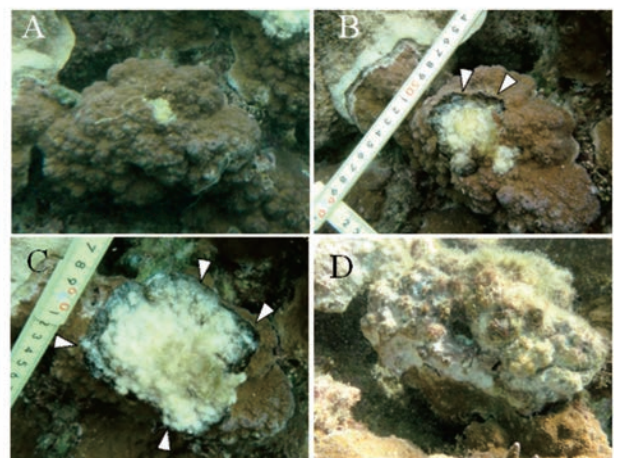


図 4 BBD に伴う被覆状コモンサンゴの一種のバクテリアルマット (△) と進行状況
観察初日 (A)、13 日後 (B)、20 日後 (C)、42 日後 (D)。

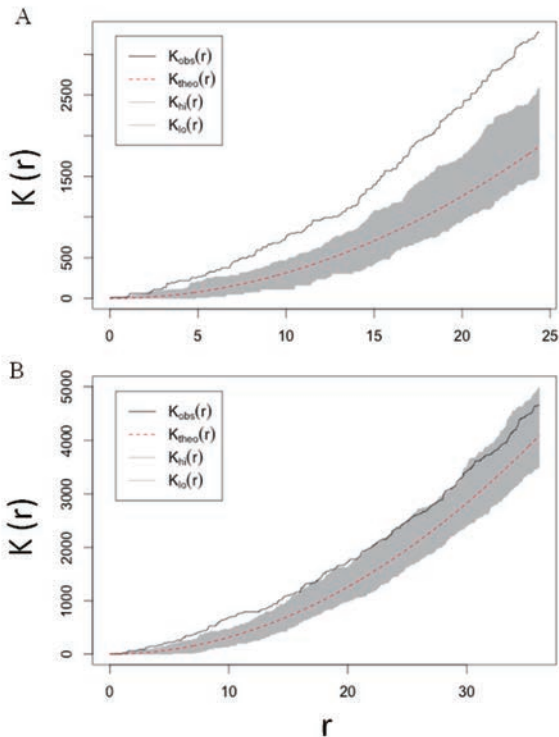


図 5 2010 年(A)および 2011 年(B)にマジャノハマで認められた BBD の K 関数法による空間分析結果
 黒のラインが本調査の BBD 群体の互いの位置関係性を意味している。つまり、2010 年と 2011 年を比較してみると、2011 年の黒のラインが灰色のランダムを示すシミュレーションのゾーンに近くに近接し、それだけランダムに発生している傾向にあるといえる。

●謝辞

本調査を進めるにあたり、阿嘉島臨海研究所の保坂三郎理事長をはじめ大森 信所長、岩尾研二研究員、谷口洋基研究員、上林利寛氏には多大な恩恵を受けました。また私の指導教員である日本大学生物資源科学部海洋生物資源科学科の間野伸宏先生には常に熱く、時に厳しく導いて頂いております。この場をお借りし厚く感謝申し上げます。

●参考文献

Ainsworth TD, Fine M, Roff G, Hoegh-Guldberg O (2008) Bacteria are not the primary cause of bleaching in the Mediterranean coral *Oculina patagonica*. *ISME Journal* 2: 67–73
 Antonius A (1973) New observations on coral destruction in reefs. 10th Meeting of the

Association of Island Marine Laboratories of the Caribbean 10: 3

Aronson RB, Precht WF (2001) White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs. In: Porter JW (ed) *The Ecology and Etiology of Newly Emerging Marine Diseases*. Springer Netherlands, pp 25–38

Banin E, Israely T, Kushmaro A (2000) Penetration of the coral-bleaching bacterium *Vibrio shiloi* into *Oculina patagonica*. *Applied and Environmental Microbiology* 66: 3031–3036

Banin E, Khare S, Naider F (2001) Proline-rich peptide from the coral pathogen *Vibrio shiloi* that inhibits photosynthesis of zooxanthellae. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 1536–1541

Banin E, Vassilakos D, Orr E, Martinez RJ, Rosenberg E (2003) Superoxide dismutase is a virulence factor produced by the coral bleaching pathogen *Vibrio shiloi*. *Current Microbiology* 46: 418–422

Ben-Haim Y, Banim E, Kushmaro A, Loya Y, Rosenberg E (1999) Inhibition of photosynthesis and bleaching of zooxanthellae by the coral pathogen *Vibrio shiloi*. *Environmental Microbiology* 1: 223–229

Ben-Haim Y, Zicherman-Keren M (2003) Temperature-regulated bleaching and lysis of the coral *Pocillopora damicornis* by the novel pathogen *Vibrio corallilyticus*. *Applied and Environmental Microbiology* 69: 4236–4242

Bourne DG, Garren M, Work TM, Rosenberg E, Smith GW, Harvell CD (2009) Microbial disease and the coral holobiont. *Trends in Microbiology* 17: 554–562

Brandt ME, McManus JW (2009) Disease incidence is related to bleaching extent in reef-building corals. *Ecology* 90: 2859–2867

Bruckner AW, Bruckner RJ (2006) Consequences of yellow band disease (YBD) on *Montastraea annularis* (species complex) populations on remote reefs off Mona Island, Puerto Rico.

-
- Diseases of Aquatic Organisms 69: 67–73
- Metropolis N, Ulam S (1949) The Monte Carlo Method. *Journal of the American Statistical Association* 44: 335–341
- Miller M, Bourque A, Bohnsack J (2002) An analysis of the loss of acroporid corals at Looe Key, Florida, USA: 1983–2000. *Coral Reefs* 21: 179–182
- Nugues M (2002) Impact of a coral disease outbreak on coral communities in St. Lucia: What and how much has been lost? *Marine Ecology Progress Series* 229: 61–71
- Peters E (1984) A survey of cellular reactions to environmental stress and disease in Caribbean scleractinian corals. *Helgol Meeresunters* 137: 113–137
- Richardson L, Voss J (2005) Changes in a coral population on reefs of the northern Florida Keys following a coral disease epizootic. *Marine Ecology Progress Series* 297: 147–156
- Richardson LL (1998) Coral diseases: What is really known? *Trends in Ecology and Evolution* 13: 438–443
- Ripley BD (1981) *Spatial Statistics*. John Wiley & Sons, New York. 252pp
- Rogers CS, Muller EM (2012) Bleaching, disease and recovery in the threatened scleractinian coral *Acropora palmata* in St. John, US Virgin Islands: 2003–2010. *Coral Reefs* 31: 807–819
- Rosenberg E (2004) The bacterial disease hypothesis of coral bleaching. In: Rosenberg PE, Loya PY (eds) *Coral Health and Disease*. Springer Berlin Heidelberg, pp 445–461
- Rosenberg E, Ben-Haim Y (2002) Microbial diseases of corals and global warming. *Environmental Microbiology* 4: 318–326
- Rosenberg E, Falkovitz L (2004) The *Vibrio shiloi/Oculina patagonica* model system of coral bleaching. *Annual Review of Microbiology* 58: 143–159
- Rosenberg E, Koren O, Reshef L, Efrony R, Zilber-Rosenberg I (2007) The role of microorganisms in coral health, disease and evolution. *Nature Reviews Microbiology* 5: 355–362
- Sussman M, Loya Y, Fine M, Rosenberg E (2003) The marine fireworm *Hermodice carunculata* is a winter reservoir and spring-summer vector for the coral-bleaching pathogen *Vibrio shiloi*. *Environmental Microbiology* 5: 250–255
- Sutherland K, Porter J, Torres C (2004) Disease and immunity in Caribbean and Indo-Pacific zooxanthellate corals. *Marine Ecology Progress Series* 266: 273–302
- Toren A, Landau L, Kushmaro A, Loya Y, Rosenberg E (1998) Effect of temperature on adhesion of *Vibrio* strain AK-1 to *Oculina patagonica* and on coral bleaching. *Applied and Environmental Microbiology* 64: 1379–1384
- Ward J, Lafferty K (2004) The elusive baseline of marine disease: Are diseases in ocean ecosystems increasing? *PLoS Biology* 2: 542–547
- Weil E, Irikawa A, Casareto B, Suzuki Y (2012) Extended geographic distribution of several Indo-Pacific coral reef diseases. *Diseases of Aquatic Organisms* 98: 163–170
- Weil E, Smith G, Gil-Agudelo DL (2006) Status and progress in coral reef disease research. *Diseases of Aquatic Organisms* 69: 1–7
- Woodley CM, Bruckner AW, McLenon AL, Higgins JL, Nicholson JH (2008) *Field Manual for Investigating Coral Disease Outbreaks*. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 80 and CRCP 6. National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD. 85pp
- Yamashiro H, Yamamoto M, van Woesik R (2000) Tumor formation on the coral *Montipora informis*. *Diseases of Aquatic Organisms* 41: 211–217
- Yee SH, Santavy DL, Barron MG (2011) Assessing the effects of disease and bleaching on Florida Keys corals by fitting population models to data. *Ecological Modelling* 222: 1323–1332
-