

瀬底島周辺における造礁サンゴ被度の変遷—25年を振り返る—

酒井 一彦
琉球大学熱帯生物圏研究センター

Changes in hard coral cover around Sesoko Island, Okinawa: Looking back 25 years

K. Sakai

●はじめに

さんご礁は熱帯雨林と並び、地球上で単位面積当たりに生息する生物の種数が最も多い場所であるといわれている。元来さんご礁では、岩盤に固着して生育する第一次の空間利用者として造礁サンゴ（以下、サンゴ）が卓越する。サンゴが生育することによってさんご礁では、サンゴと共生する褐虫藻やサンゴ骨格に穿孔する藻類が豊富に存在し、また樹状サンゴの基部などに多様な大型藻類が生育し、一次生産者が豊富で一次生産量の多い生態系が成立する（大葉 2005）。また樹状サンゴの枝の隙間や塊状サンゴの骨格内では様々な生物が棲み込み連鎖を行い、種多様性の高いさんご礁生物群集が形成される（西平 1996）。このように、さんご礁生物群集が健全であるためには、サンゴが生きて存在することが必要条件であると言える。

さんご礁は高い種多様性に特徴付けられているが、近年、世界規模でサンゴが減少する傾向にあり、それには地球規模での気候変動と、地域的なさんご礁環境の変化の両方が影響している。

地球規模での気候変動、すなわち地球温暖化による水温上昇は、地球規模でサンゴの大規模白化を引き起す深刻な段階へと進みつつある（例えば Hoegh-Guldberg 1999）。1998 年は約 150 年前に観測が行われ始めて以来、世界の平均気温が最も高く、かつ強大なエルニーニョが起った年となり、世界各地のさんご礁で水温が上昇し、50 カ国以上でサンゴの大規模白化が報告された（Wilkinson 1998）。サンゴの大規模白化は沖縄県下のさんご礁でも広範囲に起った（Yamazato 1999）。しかも今後地球温暖化がさらに進めば、サンゴの高温耐性が上がることも予想されるものの（Hughes et al. 2003）、サンゴの白化はより頻繁に起ると考えられている（Hoegh-

Guldberg 1999）。

ジャマイカのさんご礁で起ったサンゴから藻類への相転移（phase shift）は、地域的な環境変化がサンゴの減少を引き起した典型的な例である。ジャマイカでは、サンゴ群集の定量的な調査が行われ始めた 1970 年代後半にはサンゴの被度が 40% 以上であり、1980 年に強いハリケーンがサンゴを物理的に破壊した（Hughes 1994）。ジャマイカでは、1960 年代から慢性的な過剰漁獲により藻食性魚類が減少し、1982 年から 1984 年にかけてガンガゼの一種（*Diadema antillarum*）が病気で減少し、その後個体群が回復しなかったために、藻類が繁茂しやすい環境となった（Hughes 1994）。このためハリケーンでサンゴが減少した後にサンゴが回復せず、さんご礁の第一次の空間利用者として、大型海藻が優占となった。Hughes（1994）はこれを、ジャマイカの地域的なさんご礁環境が、大型藻類が繁茂しやすいように変化し、ハリケーンによる大規模攪乱後のサンゴの新規加入が大型藻類に阻まれたためだと考えた。

琉球列島のさんご礁は高緯度にありながらも、高い種多様性を持つユニークな存在である（例えば Veron 1992）。しかし琉球列島のさんご礁は、近年様々な攪乱を受けている。特に沖縄本島のさんご礁は 1960 年代末から、オニヒトデの大発生（Nishihira and Yamazato 1972, 1973, 1974; 西平ら 1974; Sakai 1985; Yamaguchi 1986; Sakai et al. 1988）、陸からの赤土（Nishihira 1987; 大見謝ら 2000）および栄養塩の流入（比嘉ら 2001）など、様々な攪乱を受けてきた。また 1998 年の高水温による大規模白化により、沖縄本島のさんご礁では樹状サンゴの死亡率がきわめて高い場所が多かった（Loya et al. 2001; Stimson et al. 2002）。これらの攪乱のため、沖縄本島ではサンゴ被度が減少を続けた。中谷（2005）は

既存の資料を整理し、1972年から2004年の間に、沖縄本島のさんご礁全域でサンゴの被度が大きく減少したことを示した。中谷（2005）の解析は、広域での変化を概観したものである。ここでは沖縄本島北西部に位置する瀬底島周辺のさんご礁2地点におけるサンゴの被度の変遷をより詳細に振り返る。

●方法

筆者は1980年から、瀬底島南東岸に位置する琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底実験所前のさん

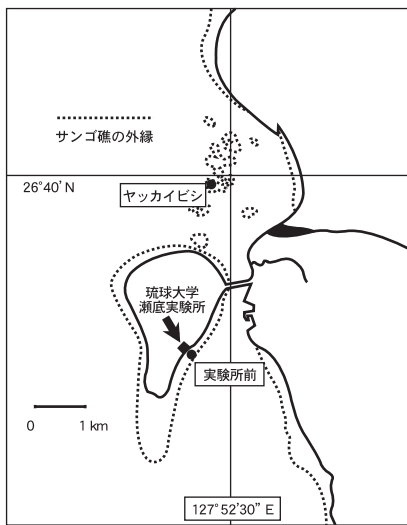


図1. 瀬底島周辺における造礁サンゴ被度の変遷を追跡した地点

ご礁で（図1）、サンゴの生態学的な研究を開始した。1980年以降様々な目的で研究を続けてきたが、調査の基礎となってきたのはいずれの目的においても、直接のスケッチあるいは写真撮影による、サンゴ群集の平面への投影図であった。瀬底実験所前では亜潮間帯上縁部（満潮時の水深2m）で、調査単位区域が1×1mであったデータを年ごとにまとめ、サンゴ被度の平均値（±標準誤差）を算出した。研究目的によって調査した区域の数は異なるが、各年の区画数は4以上である。瀬底実験所前以外でも瀬底島北の離礁のヤッカイビシ礁原（満潮時の水深3m）で（図1）、1991年よりサンゴ群集の調査を開始したので、同様なデータ取りまとめを行った。また既存の文献に各地点のサンゴ被度が記録されている場合には、それらの値を上述のデータに加えた。観察が3年以

上空いた場合には、グラフ上でそれらの点を破線で結んだ。

●サンゴ被度の変遷

瀬底実験所前

瀬底島周辺では、1970年代初頭にオニヒトデの大発生が起り、サンゴの被度が著しく低下した（Nishihira and Yamazato 1972, 1973, 1974）。瀬底実験所前でも1973年夏までに、かつてミドリイシ属、コモンサンゴ属、ククメイシ科のサンゴを主体として美しい景観を持っていたサンゴ群集がオニヒトデの捕食を受けて、サンゴの墓場と化した（仲宗根ら1974; 西平ら1974）。西平ら（1974）によれば1973年5月には、瀬底実験所前亜潮間帯上縁部でサンゴの被度は10%程度に減少していた。1970年代のオニヒトデ大発生前のサンゴ被度の定量的な記録はないが、一面サンゴに覆われていたということが記憶されている（西平守孝、仲村茂夫 私信）（図2）。

筆者が観察を始めた1980年には、瀬底実験所前のサンゴ群集は十分な回復を見せていた。亜潮間帯上縁部でもサンゴの被度は50%を超え、樹状のミドリイシ属サンゴを主体に、種多様性の高いサンゴ群集が成立していた（図2,3）。1980年10月に強い台風が沖縄本島に接近し、樹状や葉状のサンゴが台風によって壊れたために、1981年にはサンゴ被度が30%にまで減少した。

1981年以降1997年までは、サンゴ被度は増加を見せることもあったが、長期的に減少する傾向にあった。この期間サンゴの被度減少をもたらした最大の要因は、低い密度で慢性的に存在していたオニヒトデによるサンゴの捕食であったと考えられる。サンゴ群集の種多様性については、被度が減少すれば種多様性も減少するという傾向にあった（Sakai and Yamazato 1987）。

このように1980年代から1990年代にかけて、長期減少傾向にあった瀬底実験所前のサンゴ群集は、1998年に起ったサンゴの大規模白化によって著しい

影響を受けた。Loya et al. (2001) は、瀬底実験所前の礁原全体で 1997 年と 1999 年のサンゴ群集構造を比較し、この 2 年間でサンゴの被度、群体密度、種密度がそれぞれ 73%、50%、61% 減少したことを示した。また白化による死亡率は樹状の群体形の種で高く、塊状の群体形の種で低かったことも明白であった (Loya et al. 2001)。

1998 年の大規模白化後、瀬底実験所前のさんご礁ではサンゴ被度の増加、すなわちサンゴ群集の回復は、あまり進んではいない。大規模白化から 7 年経過した 2005 年秋の時点では、大規模白化後加入したと考えられる直径 10cm 前後のミドリイシ群体の密度が $5.8 \pm 0.7/m^2$ (± 標準誤差, N = 5) であったが、サンゴ被度の平均値は $5.9 \pm 0.5\%$ と低かった (図 2)。

1998 年の大規模白化後のサンゴ被度の回復は、1972 年にオニヒトデ捕食によってサンゴ被度が減少した後の被度の回復よりも、著しく遅い。1972 年のオニヒトデ大発生後は、8 年後の 1980 年にサンゴ被度が 50% 以上にまで回復していた。また定量的な記録はないものの、海水の濁りは 1980 年から 2005 年にかけて、明らかに増加している (図 3)。

ヤッカイビシ

ヤッカイビシでは 1973 年にオニヒトデの大発生を被り、1973 年 4 月までにはほとんど全てのミドリイシ属サンゴが捕食されていた (Nishihira and Yamazato 1973)。その後ヤッカイビシでの群集回復の記録はないが、1980 年代初めにオニヒトデの二次的な大発生が起り (Sakai 1985)、1984 年にはサンゴ被度は 10% 未満に減少していた (図 4、Chou and Yamazato 1990)。

筆者がサンゴ群集調査を開始した 1991 年には、長径 20cm 以下のテーブル状のミドリイシ属サンゴを主体に、サンゴ被度は 40% 程度であった。1992 年にはテーブル状ミドリイシ属サンゴの成長によってサンゴの被度は 85% まで上昇し、1993 年にはサンゴの被度は約 90% となった。しかしその後、サンゴの被度が高い状態は続かず、1994 年にはサンゴ被

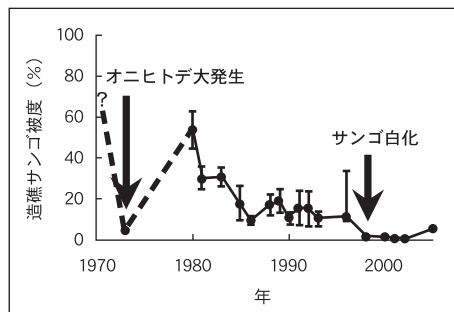


図2. 琉球大学瀬底実験所前のさんご礁亜潮間帯上縁部における造礁サンゴ被度の変遷
1973年の値は西平ら (1974) からの引用。1972年以前に定量的な記録はないが、一面サンゴに覆われていたということが記憶されている (西平守孝、仲村茂夫 私信) ことから、60%以上であると推測した。

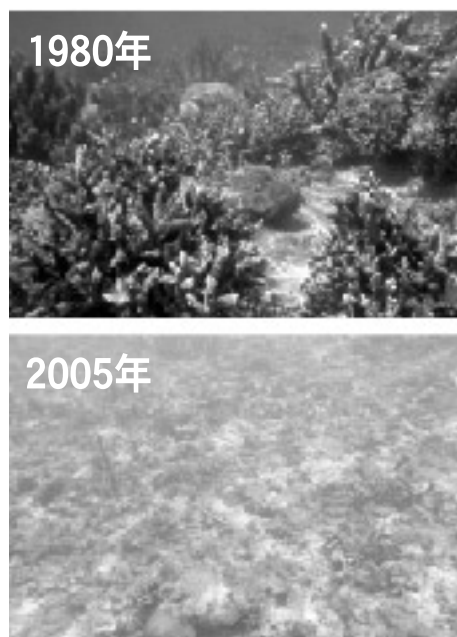


図3. 琉球大学瀬底実験所前亜潮間帯上縁部の1980年および2005年の海中景観

度は 50% に減少した。この減少は、台風によるサンゴの物理的破壊と、低密度ながら慢性的に出現し始めたオニヒトデによってサンゴが捕食されたことによる。1995 年にはサンゴ被度は増加したものの、1996 年には 30% 程度にまで減少した (図 4、5)。

1998 年のサンゴの大規模白化により、サンゴの被度は 1% 未満にまで減少し、その後サンゴ群集の回復は見られず、大規模白化後 7 年が経過した 2005

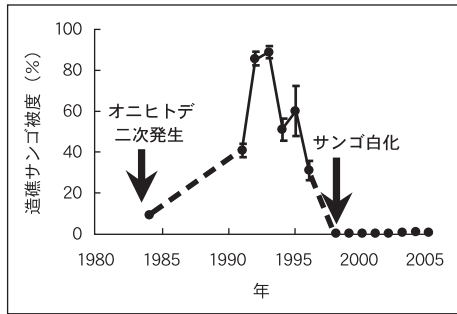


図4. 瀬底島北の離礁ヤッカイビン礁原における造礁サンゴ被度の変遷
1984年の値はChou and Yamazato (1990) から引用。

年夏の時点では、サンゴ被度は $0.6 \pm 0.3\%$ ($N = 5$) にすぎなかった。1984年にはオニヒトデの捕食を受けて10%未満にまで減少したサンゴ被度が、7年後に40%、8年後には85%まで回復したことに比較して、1998年の大規模白化後のサンゴ群集の回復は、明らかに進んでいない(図5)。

●意味すること

瀬底島周辺2地点におけるサンゴ被度の変遷は、ともに1998年に起ったサンゴの大規模白化による大量死の後に、サンゴ群集の復元力が著しく低下していることを示している。さらに大規模白化以前も、サンゴ群集は復元力を保ってはいたものの、長期間高い被度を維持することはなかった。瀬底島周辺では、1980年代からサンゴ群集は長期的に緩やかな低落傾向にあり、大規模白化が急激なサンゴ群集の荒廃をもたらしたと言える。

サンゴ群集の復元力が低下したのは、大規模白化後サンゴ幼生の加入がなくなったからではない。筆者らの瀬底島周辺での人工定着基盤を用いたサンゴ幼生加入量調査の結果は、大規模白化後1999年と2000年にはサンゴ幼生加入量が著しく減少したことを示した(酒井ら、論文原稿準備中)。これは白化の影響が、サンゴの繁殖に白化後少なくとも1年は残ること(Omori et al. 2001)と関係していると考えられる。しかし2001年には、大規模白化前のサンゴ幼生加入量が多かった年と同等のサンゴ幼生加入が

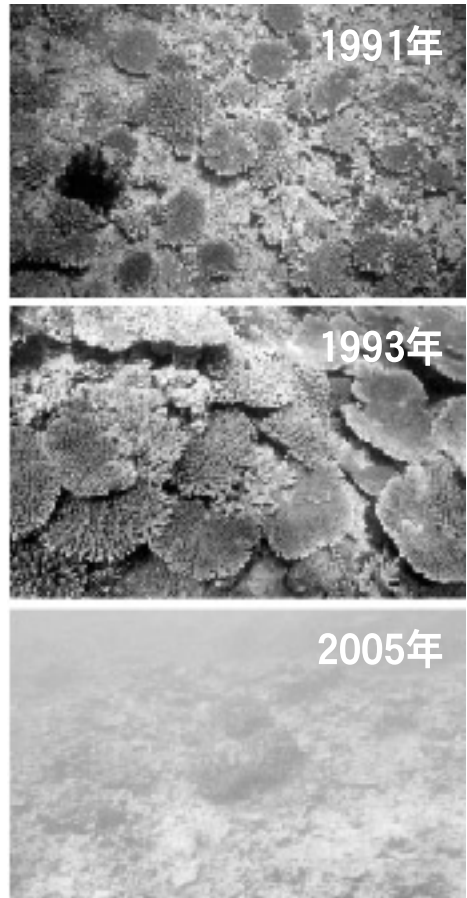


図5. 瀬底島北の離礁ヤッカイビン礁原の1991年、1993年および2005年の海中景観
2005年の写真中央に見えるのは、ソフトコーラル群体。

見られた(酒井ら、論文原稿準備中)。このことから、瀬底島周辺ではサンゴ幼生の加入があっても、幼サンゴが生存しにくいさんご礁環境となっていることが示唆される。

瀬底島周辺でサンゴの復元力を回復させるためには、さんご礁環境を復元する必要があるだろう。瀬底島周辺で1998年の大規模白化以降、幼サンゴの死亡要因のなかで最も多かったのは、オニヒトデによる捕食であったと推定される(酒井ら、論文原稿準備中)。また漁獲圧が高く藻食性魚類が減少し、かつ海水が富栄養化すれば、幼サンゴの競争相手である大型海藻が増えて、サンゴ群集の復元力が減少すると言いう見解もある(Bellwood et al. 2004)。オニヒトデの増

加には海水の富栄養化が関係しているという主張もあり (Fabricius 2005)、沖縄のオニヒトデの増加にも、海水の富栄養化が原因となっている可能性がある。したがって瀬底島周辺で加入してきた幼サンゴの生存率を上げるためには、短期的には直接オニヒトデを駆除する必要があるとともに、長期的には藻食性魚類が豊富に存在し、富栄養化していない元来のさんご礁環境を復元することが必要であると思われる。

●謝辞

共同研究者である向草世香氏、岩田幸一氏に感謝します。科学研究費補助金基盤研究 (B) 16310158 と、琉球大学 21 世紀 COE プログラム「サンゴ礁島嶼系の生物多様性の総合解析」から一部支援を受けました。

●引用文献

- Bellwood, D. R., T. P. Hughes, C. Folke and M. Nyström. 2004. Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 429: 827-833.
- Chou, L. M. and K. Yamazato 1990. Community structure of coral reefs within the vicinity of Motobu and Sesoko, Okinawa and the effects of human and natural influences. *Galaxea*, 9: 9-75.
- Fabricius, K. E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 125-146.
- 比嘉榮三郎・仲宗根一哉・大見謝辰男・満本裕影 2001. 沖縄島の河川河口から海域へのSS 及び栄養塩の流出. 亜熱帯総合研究所平成12 年度内閣府委託調査研究: サンゴ礁に関する調査研究. p.150-163.
- Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Mar. Freshwater Res.*, 50: 839-866.
- Hughes, T. 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science*, 265: 1547-1551.
- Hughes, T. P., A. H. Baird, D. R. Bellwood, M. Card, S. R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J. B. C. Jackson, J. Kleypas, J. M. Lough, P. Marshall M. Nyström, S. R. Palumbi, J.M. Pandolfi, B. Rosen and J. Roughgarden 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*, 301: 929-933.
- Loya, Y., K. Sakai, Y. Nakano, H. Sambali, and R. van Woiesik 2001. Coral bleaching: the winners and the losers. *Ecology Letters*, 4: 122-131.
- 仲宗根幸男・山里 清・西平守孝・香村真徳・新本洋允 1974. 瀬底島サンゴ礁生物の生態分布 (予報). 琉球列島の自然とその保護に関する基礎的研究, 1: 213-236.
- 中谷誠治 2005. 沖縄本島周辺海域における効率的移植可能域の検討: 環境要因と利用の観点から. 平成16年度沖縄産学官共同研究推進事業「地下浸透海水を利用した低コストサンゴ生産による環境保全技術の開発及び生態系リサイクル養殖システムによる高商品価値の水産物養殖技術の開発」成果報告書. 亜熱帯総合研究所. p.196-207.
- 西平守孝 1996. 足場の生態学. 平凡社, 東京. 267pp.
- Nishihira, M. 1987. Natural and human interference with the coral reef and coastal environments in Okinawa, *Galaxea*, 6: 311-321.
- Nishihira, M. and K. Yamazato 1972. Brief survey of *Acanthaster planci* in Sesoko Island and its vicinity, Okinawa. *Sesoko Mar. Sci. Lab. Tech. Rep.*, 1: 1-20.
- Nishihira, M. and K. Yamazato 1973. Resurvey of the *Acanthaster planci* on the reefs around Sesoko Island, Okinawa, 1973. *Sesoko Mar. Sci. Lab. Tech. Rep.*, 2: 17-35.
- Nishihira, M. and K. Yamazato 1974. Human interference with the coral reef community and *Acanthaster* infestation of Okinawa. *Proc. 2nd Inter. Coral Reef Symp.*, Brisbane, 1: 577-590.
- 西平守孝・山里 清・仲宗根幸男・香村真徳・新本洋允 1974. 瀬底島周辺サンゴ礁のオニヒトデによる攪乱に関するノート. 琉球列島の自然とその保護に関する基礎的研究, 1: 237-254.
- 大葉英雄 2005. サンゴ礁の植物たち: サンゴ礁の異変と海藻の繁茂. *Lagoon (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)*, (5): 2-5.
- 大見謝辰男・仲宗根一哉・満本裕影・大原陸男・大城 哲 2000. 赤土汚染がサンゴに及ぼす影響. *全国公害研会誌*, 25: 23-28.
- Omori, M., H. Fukami, H. Kobinata, and M. Hatta, 2001. Significant drop of fertilization of *Acropora* corals in 1999: an after-effect of heavy coral bleaching? *Limnol. Oceanogr.*, 46: 704-706.
- Sakai K. 1985. Brief observations on the population of *Acanthaster planci* (L.) and coral assemblages around Sesoko Island, Okinawa in 1983. *Galaxea*, 4: 23-31.
- Sakai, K. and K. Yamazato 1987. Preliminary list of hermatypic corals around Sesoko Island, Okinawa with a note on the decrease of the species richness from 1980 to 1986. *Galaxea*, 6: 43-51.
- Sakai, K., K. Muzik, S. Nakamura and M. Nishihira 1988. A note on resurvey of coral communities and *Acanthaster* populations around Okinawa Island in 1984. *Galaxea*, 7: 41-51.
- Stimson J., K. Sakai and H. Sembali 2002. Interspecific comparison of the symbiotic relationship in corals with high and low rates of bleaching-induced mortality. *Coral Reefs*, 21: 409-421.
- Veron J. E. N. 1992. *Hermatypic corals of Japan*. Australian Institute of Marine Science, Townsville. 234 pp.
- Wilkinson, C. 1998. *Status of Coral Reefs of the World: 1998*. Australian Institute of Marine Science and the Global Coral Reef Monitoring Network, Townsville, Australia. 184pp.
- Yamaguchi, M. 1986. *Acanthaster planci* infestations of reefs and coral assemblages in Japan: A retrospective analysis of control efforts. *Coral Reefs*, 5: 23-30.
- Yamazato, K. 1999. Coral bleaching in Okinawa, 1980 vs 1998. *Galaxea, JCRS*, 1: 83-88.