

養殖場人工基盤に成立したサンゴ群集を用いた周辺サンゴ礁の再生と、養殖場の影響評価

畑 啓生

愛媛大学 大学院理工学研究科

奄美大島の南端、花天湾では、クロマグロの海面生簀養殖が行われている。水深 60 m の沿岸域に直径 40 m の生簀を固定するため、水面下 3 m に直径 5.0 cm の側張りロープが吊られているが、そのロープ上には設置後 10 年で豊かなサンゴ群集が形成されている。そこで、養殖場と周辺サンゴ礁との相互作用を理解しマグロ養殖の持続的な管理とサンゴ礁の保全に貢献するため、ロープ上のサンゴ群集の構造を明らかにした。ロープ上にライントランセクトを設置し、サンゴ組成の調査を行った。また一年を通してサンゴの白化や被食の有無を調べた。周辺海域においても、花天湾の西隣でかつては豊かなサンゴ礁であったが現在はサンゴの覆度が著しく低い管鈍と、花天から大島海峡を隔てた加計呂間島にあり、オニヒトデの駆除など手厚い保護により高い被度でサンゴ群集が見られるデリキョンマ崎にて、ライントランセクトを設置して、サンゴ群集を調べた。

結果、生簀ロープ上には 17 属 60 種のサンゴが出現した。一方デリキョンマ崎では 20 属 64 種、管鈍では 25 属 59 種のサンゴが見られた。ロープ上では、群体数にして約 72% を塊状のキクメイシ科が占めた。一方でデリキョンマ崎では枝状のミドリイシ科とハナヤサイサンゴ科が 29% と 25% を占めた。管鈍では 35% がミドリイシ科で、キクメイシ科は 26% であった。2009 年 8 月では、管鈍で 51%、デリキョンマ崎で 20%、ロープ上で 11% のサンゴ群体に一部白化が見られた。生簀ロープ上は干満の影響を受けず、高水温の影響を免れ白化の頻度も低く、かつオニヒトデの接近を拒むことが、多様性の高いサンゴ群集が形成

される要因と考えられる。このように、マグロ養殖場は期せずしてサンゴに新しい生育基盤を提供していた。このサンゴ群集は、サンゴ移植のドナーとなり、また周辺海域への幼生供給にも貢献している (図)。

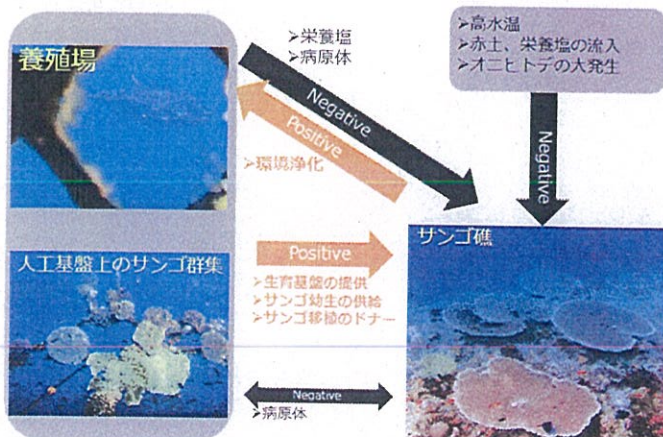


図. 養殖場と周辺サンゴ礁との相互作用。

養殖場人工基盤に成立したサンゴ群集を用いた周辺サンゴ礁の再生と、養殖場の影響評価

畑 啓生

愛媛大学 大学院理工学研究科

1. はじめに

サンゴ礁は地球上で生物多様性が最も高い場所の一つであるが、沿岸の浅海域に発達するため人為的な影響を受けやすく、また近年では地球規模での水温の上昇など環境ストレスを受け、世界中で急激な減少が危惧されている。すでに世界のサンゴ礁の 2 割は埋立てなどで失われ、残された大半も消滅の危機にあるとされる(Hughes 1994; Hoegh-Guldberg 1999; Bellwood et al. 2004)。日本では八重山諸島や奄美諸島に豊かなサンゴ礁を残すが、その奄美大島でも 2001 年からオニヒトデが大発生し、10 年間で 1 億円掛けて駆除が行われようやく数カ所の保護海域を守っている状況である(Hirata 1980; Yamaguchi 1986)。一方奄美大島は、温暖で穏やかな内海環境を持つため、クロマグロや真珠の養殖が盛んである(Masuma et al. 2008; Masuma 2011)。申請者は 2009 年よりクロマグロ養殖場の人工基盤上のサンゴを対象としてモニタリング調査を行ってきた。養殖生簀を固定するため 10 年以上に亘って固定されている直径 60 mm 長さ 900 m のロープ上に多種多様なサンゴが生育しているのだ(図 1)。このロープは、水深 50m ほどの海域で、潮の干満にかかわらず常に水深 3m の位置に設置されており、光や水温の条件が好適で、海底の堆積物やオニヒトデなど定生動物の影響を受けないなど、サンゴの生育に適した環境を提供していると考えられる。



図 1. クロマグロ養殖場のロープ上のサンゴ群集。多くのテーブル状や塊状のサンゴが生育し、サンゴ礁性魚類の住み場所ともなっている。

養殖場のロープ上に見つかったこの豊かなサンゴ群集は、周辺サンゴ礁再生のための幼生の供給源や、サンゴ移植のドナーとなる可能性がある。またサン

ゴは浮遊有機物やプランクトンをポリプで捕食するため、養殖場の余剰残渣や糞尿の除去にも効果があるかもしれない。一方で、紅海では養殖場由来の病原性ウイルスや細菌による周辺海域でのサンゴの感染が知られるが (Garren et al. 2008; Garren et al. 2009)、このサンゴ群集はこれらの病原体のバッファークやシンクとなる可能性もある。そこで、このクロマグロ養殖場にどのようなサンゴ群集が成立するか記述すること、生簀ロープ上の環境ストレスは周辺サンゴ礁とどのように異なるのか明らかにすること、最後に、生簀ロープ上サンゴ群集によって、養殖場とサンゴ礁との間に新たに生じうる関係性について明らかにすることを本研究の目的とした。

## 2. 研究方法

調査地は鹿児島県、奄美大島南端の大島海峡に面した花天湾と周辺サンゴ礁域とした(図 2)。花天湾には 1997 年よりクロマグロ養殖場が設置されている(Miyashita 2008)。ここでは、直径 30 m の生簀 6 つが側張ロープによって水中に保持される、浮体支持枠方式が採用されている(図 3)。この直径 60 mm の側張ロープは常に水深 3 m の水中に沈められている。この生簀ロープ上と、同時に養殖場周辺の保全区デリキョンマ、非保全区で攪乱区の管鈍、花天東のサンゴ礁を対象とし、サンゴの組成、成長、白化や病気の発生状況、水温や濁度等の環境条件をモニタリングした。これにより、ロープ上のサンゴ群集を評価し、周辺海域への移植の意義を明らかにした。また、サンゴの生育に適した人工基盤の設置条件を明らかにした。さらに安定同位体比分析を用いて養殖場と周辺ロープ上サンゴの間での炭素、窒素のやりとりを調べた。

## 3. 結果

サンゴ群集は、生簀ロープ上と、保全区、攪乱区で大きく異なった (図 4, ADONIS,  $F = 5.59$ ,  $R^2 = 0.37$ ,  $P < 0.01$ )。ロープ上のサンゴ群集は塊状のキクメイ

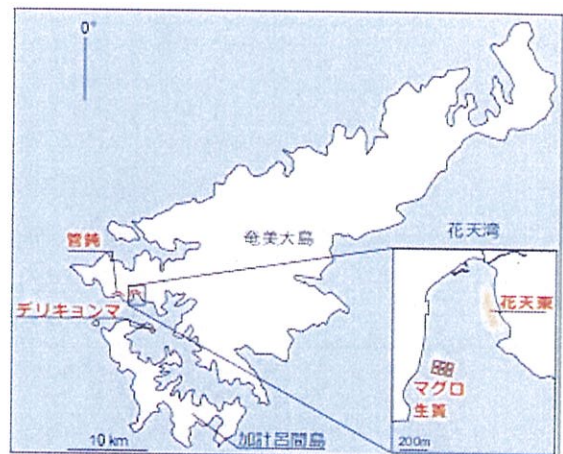


図 2. 鹿児島県奄美大島と、調査地。

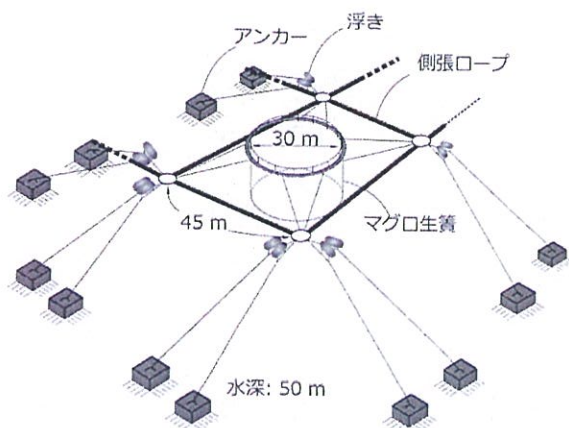


図 3. マグロ養殖場の構造と、サンゴの生育基盤となる側張ロープ。

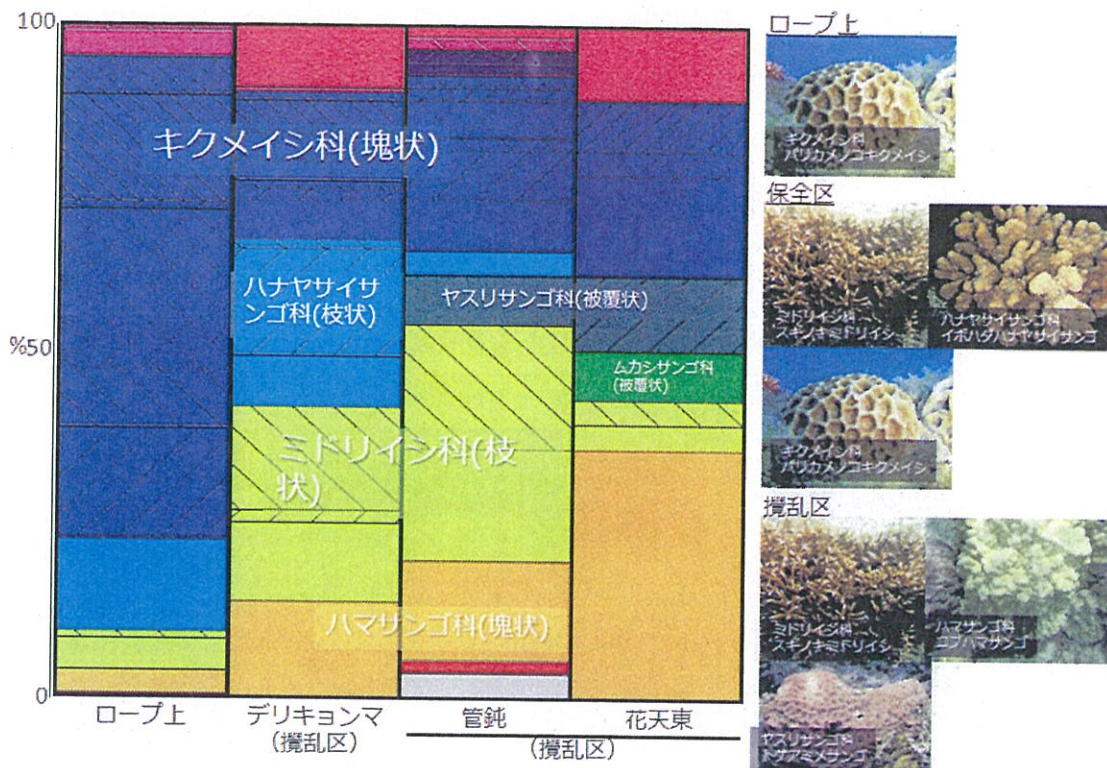


図4. 生簀ロープ上、デリキョンマ、管鈍および花天東海域のサンゴ群集。各色がサンゴの科を示し、パターンはサンゴの属を示す。

シ科サンゴが優占していたが、保全区では枝状のハナヤサイサンゴ科やミドリイシ科が優占していた。一方攪乱区では塊状のハマサンゴ科やヤスリサンゴ科が比較的多かった。ロープ上では平均してサンゴの被度は40%であり、ロープ10mあたり15種30群体のサンゴが出現した(図5)。また全部で60種ものサンゴがロープ上には出現した。このロープ上のサンゴ群集は、被覆度、群体系数、種数、総出現種数いずれについても、保全区と同等かそれ以上に高く、また攪乱区と比べればいずれも有意に高かった。

5月、8月および2月のモニタリングの結果、ロープ上では白化の頻度が有意に低かった(図6)。海水温は、ロープのある水深3m付近ではほぼ20.0°Cから30.0°Cの範囲内で、白化を引き起こす閾値となる30.0°Cを超えることはほとんどなかった(図7)。また窒素安定同位体比の分析により、ロープ上のコブハマサンゴは、おなじ湾内の花天東のコブハマサンゴにくらべ、栄養段階が高いことが分かった(図8,  $t$ -test,  $t = 4.16$ ,  $P < 0.05$ )。

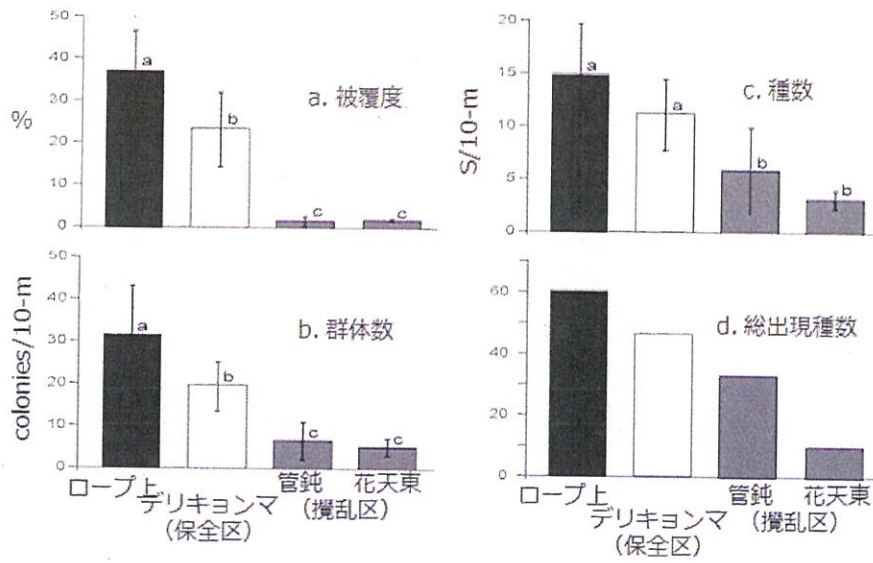


図5. 生簀ロープ上、デリキヨンマ、管鈍および花天東海域のサンゴ群集の a) 被覆度、b) 群体系数、c) 種数、d) 総出現種数。

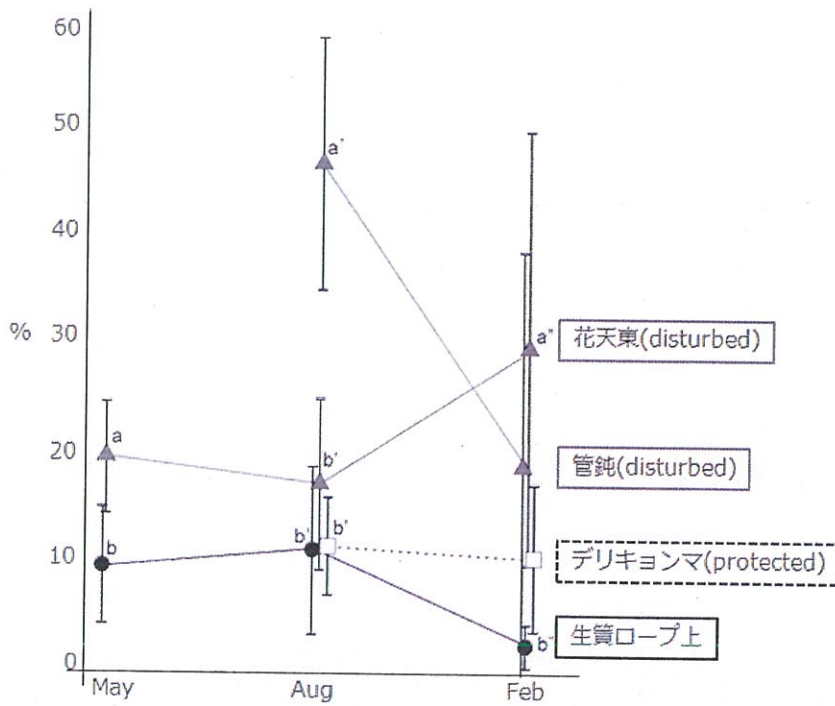


図6. 5月、8月、2月におけるサンゴの白化割合。

#### 4. 考察

マグロ生簀養殖場の人工基盤はサンゴ群集に好適な生息場所を提供していた。ロープが水深 50 m の海域に常に水深 3 m の位置に係留されているため、サンゴの捕食者のオニヒトデが接近できないこと、堆積物の影響を受けないこと、また高水温にもさらされることがないためと考えられる(Shafir et al. 2006)。ロープ上には計 60 種のサンゴが出現したが、これは奄美大島で知られている 220 種の 27.3% に相当する(Nishihira and Veron 1995)。ロープ上には種多様性が高く、かつ塊状のキクメイシ科のサンゴが優占する特異なサンゴ群集が成り立っていた。これは不安定なロープ上という基質の性質のため、基盤に強く着定する塊状サンゴの生存率が高かったためだと考えられる(Perkol-Finkel et al. 2006a)。またサンゴの種多様性が高いのは、近くにサンゴ保全区のデリキョンマがあり、そこから多種のサンゴ幼生が供給されたと考えられること、また基盤設置後 13 年という短い期間のためロープ上サンゴ間で競争排除が生じる以前であるためと考えられる(Perkol-Finkel and Benayahu 2005; Perkol-Finkel et al. 2006b)。この人工基盤上に成立した特異なサンゴ群集は、この海域の  $\gamma$  多様性の向上にも貢献していると言えるだろう。窒素安定同位体比の分析により、ロープ上のサンゴは周辺サンゴ礁と比べ栄養段階が高いことが分かった。これは、ロープ上のサンゴが養殖場から排出される養殖の残餌や糞尿などを餌としているためと考えられる(Aguado et al. 2004)。

この研究により、奄美大島のクロマグロ養殖場の人工基盤上には種多様性の高いサンゴ群集が成立していることが分かった。このようなサンゴ礁は養殖場と周辺サンゴ礁とを結ぶ一つのノードとして生態学的機能を有する。すなわち、ロープ上のサンゴ礁は、オニヒトデの大発生によりサンゴの生育が限られる周

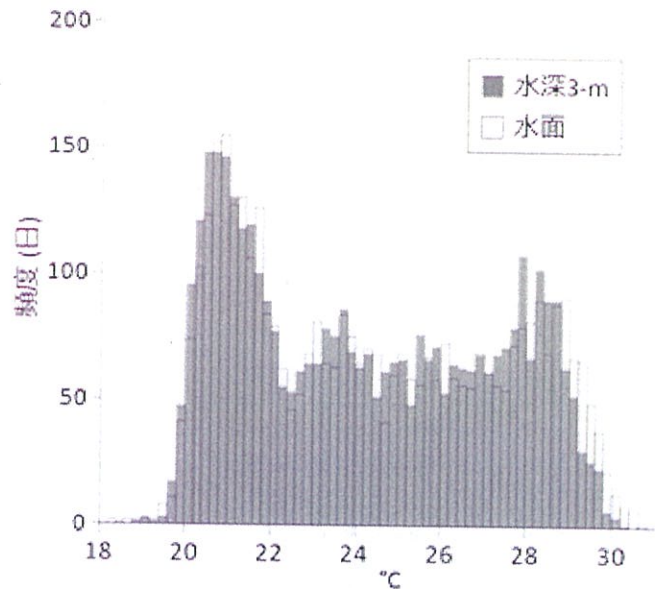


図7. 1999年から2010年における花天湾クロマグロ養殖場の一日の最高水温の頻度分布。

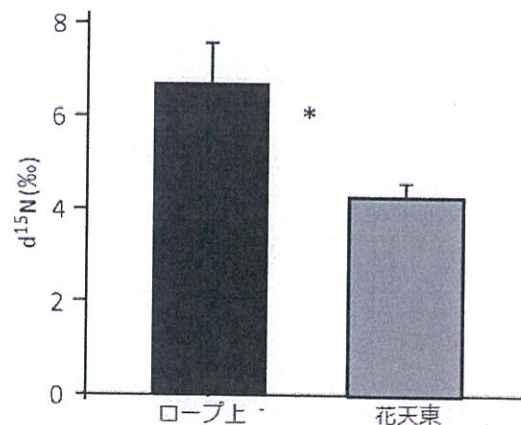


図8. 生簀ロープ上と花天東サンゴ礁域のコブハマサンゴの窒素安定同位対比。

辺海域に、幼生を供給し、また移植のドナーを提供しえる。さらに養殖場が排出する栄養塩を吸収するバッファーとしての機能も持つと考えられる(Perkol-Finkel et al. 2006a; Tselmel et al. 2006)。一方で養殖場は病原体のソースとなることも知られているため(Garren et al. 2008; Garren et al. 2009)、今後も注意深く見守っていく必要があるだろう。現在、世界規模でサンゴ礁再生の取り組みが進んでいるが (Shafir et al. 2006; Horoszowski-Fridman et al. 2011)、本研究は新しい視点とツールを提供することでそれに資すと考えている。

#### 謝辞

本研究は公益信託エスペック地球環境研究・技術基金（エスペック環境研究奨励賞）の援助の下で行いました。近畿大学水産研究所には野外調査に協力頂きました。心より感謝申し上げます。

#### 引用文献

- Aguado F, Martinez FJ, Garcia-Garcia B (2004) *In vivo* total nitrogen and total phosphorous digestibility in Atlantic Bluefin Tuna (*Thunnus thynnus thynnus* Linnaeus, 1758) under industrially intensive fattening conditions in Southeast Spain Mediterranean coastal waters. *Aquacult Nutr* 10:413-419
- Bellwood DR, Hughes TP, Folke C, Nystrom M (2004) Confronting the coral reef crisis. *Nature* 429:827-833
- Garren M, Smriga S, Azam F (2008) Gradients of coastal fish farm effluents and their effect on coral reef microbes. *Environ Microbiol* 10:2299-2312
- Garren M, Raymundo L, Guest J, Harvell CD, Azam F (2009) Resilience of coral-associated bacterial communities exposed to fish farm effluent. *PLoS ONE* 4:e7319
- Hirata K (1980) Outbreaks of crown-of-thorns starfish in Amami National Marine Park. *Sizen-aigo* 6:2-4
- Hoegh-Guldberg O (1999) Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Mar Freshw Res* 50:839-866
- Horoszowski-Fridman YB, Izhaki I, Rinkevich B (2011) Engineering of coral reef larval supply through transplantation of nursery-farmed gravid colonies. *J Exp Mar Biol Ecol* 399:162-166
- Hughes TP (1994) Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* 265:1547-1551

- Masuma S (2011) Maturing and egg spawning. In: Kumai H, Arimoto M, Ono S (eds) Aquaculture industry of bluefin tuna: development of technology and business. Kouseisha Kouseikaku, Tokyo, pp42-52
- Masuma S, Miyashita S, Yamamoto H, Kumai H (2008) Status of bluefin tuna farming, broodstock management, breeding and fingerling production in Japan. Rev Fish Sci 16:385-390
- Miyashita S (2008) The history of marine aquaculture facilities and the net-cage culture system. Journal of Fisheries, Technology 1:13-19
- Nishihira M, Veron JEN (1995) Hermatypic corals of Japan. Kaiyusha, Tokyo
- Perkol-Finkel S, Benayahu Y (2005) Recruitment of benthic organisms onto a planned artificial reef: shifts in community structure one decade post-deployment. Mar Environ Res 59:79-99
- Perkol-Finkel S, Zilman G, Sella I, Miloh T, Benayahu Y (2006a) Floating and fixed artificial habitats: effects of substratum motion on benthic communities in a coral reef environment. Mar Ecol Prog Ser 317:9-20
- Perkol-Finkel S, Shashar N, Benayahu Y (2006b) Can artificial reefs mimic natural reef communities? The roles of structural features and age. Mar Environ Res 61:121-135
- Shafir S, Van Rijn J, Rinkevich B (2006) Steps in the construction of underwater coral nursery, an essential component in reef restoration acts. Mar Biol 149:679-687
- Tsemel A, Spanier E, Angel DL (2006) Benthic communities of artificial structures: effects of mariculture in the Gulf of Aqaba (Eilat) on development and bioaccumulation. Bull Mar Sci 78:103-113
- Yamaguchi M (1986) *Acanthaster planci* infestations of reefs and coral assemblages in Japan: a retrospective analysis of control efforts. Coral Reefs 5:23-30