

果たしてバイオロック技術はサンゴの増殖に有効か？

大森 信
阿嘉島臨海研究所

Is Biorock technology effective to restore coral reefs?

M. Omori

バイオロック技術を使ってさんご礁の修復を進めている Global Coral Reef Alliance (地球のさんご礁友の会 <http://www.globalcoral.org>) の活動は、インターネットなどのメディアをとおして世界に広く知られている。海中に巨大なジャングルジムのような鉄筋の構造物 (モジュール) を設置し、それを陰極として、近くに置いた陽極から低電圧の電流を流し、陰極側に炭酸カルシウムを析出させると、鉄筋に固定したサンゴの断片がきわめて速く成長し、生残率も高く、また白化現象にも強い群体が得られるという。

バイオロック技術は Global Coral Reef Alliance の会長である Tom Goreau 博士とその基礎となった電着技術の発明者の Wolf Hilbertz 博士によって開発され、主に熱帯の島嶼国で、これを用いたサンゴ修復事業が進められている。しかし、これまで関係者がほかの研究者との交流に積極的ではなかったために、データの提供を断られた人びとの間にはその効果を疑問視する声がある。実際、これまでに催された二度のバイオロックに関するワークショップにはジャーナリストは参加したが、現場でバイオロック技術を視察したサンゴ研究者はほとんどいない (Henderson 2002)。

昨年 (2005 年 11 月 21 - 27 日)、第 3 回ワークショップがインドネシア、バリ島のペムテランで催された。私は沖縄県受託事業「海洋関連産業ビジネス創出促進調査業務」に関する視察調査の一環として、(財) 亜熱

帯総合研究所から旅費等の助成を受けてこれに参加し、リーダーの Goreau 博士らと忌憚のない意見を交わした。それができたのは、これまでに Goreau 博士との文通があったことと、彼自身が阿嘉島臨海研究所の活動に興味を持っていてくれたためであった (このことは彼と面談してから知った)。

この機会を与えられた (財) 亜熱帯総合研究所にお礼を申し上げる。

1. バイオロック技術

電着技術を、移植したサンゴ断片の成長促進、生残率の向上、幼生着生率の増加など、さんご礁修復に効果がある部分に応用した技術である。電着技術とは、海水中に溶存しているカルシウムイオンやマグネシウムイオン (通常海水中にはカルシウムイオンが 300 - 400ppm、マグネシウムイオンが 1270ppm 含まれている) を電気分解により陰極面に無機系の電着物として析出させて、さまざまな機能と形状を持ったコンクリート状の構造物を海水中で構築しようという技術で、1970 年代に Hilbertz 博士によって特許が取られた (現在、特許権は終了)。その用途は主に栈橋の腐りかけた木杭の補強 (木杭に針金を巻いてそれを陰極として電気を流す) などに使われ、多くの実績を上げてきた。日本でもある企業が実証実験を行い、その有効性を確かめている (古賀 1988)。

電着の原理は次の通りである。海水中に陽極と陰極を浸透して、直流電流を介して 3 - 5 V の電圧を負荷し、微弱電流を流すと、陰極界面の極近傍 (0.05 - 0.1mm) でアルカリ雰囲気が形成され、pH の変化が生じる。これによって液相反応が生じ、炭酸カルシウム (CaCO_3) や水酸化マグネシウム (Mg(OH)_2) などの電着物が析出する。電着物の厚さは海域の諸条件によって異なるが、通常、3 - 5 ヶ月で 10mm 前後になり、30 - 50mm まで成長させることができる。電着物は酸素拡散の障壁となるので、鉄の腐食を著しく抑制する効果がある。電着物としての炭酸カルシウム (結晶型はアラゴナイト即ち霰石) と水酸化マグネシウム (結晶型はブルーサイト即ち水滑石) の比は温度と電流密度によって変化し、

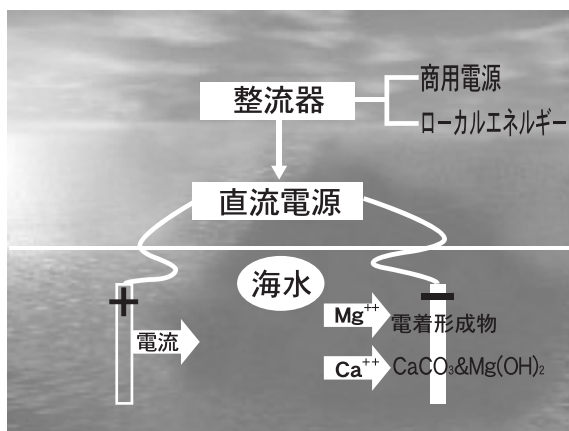


図 1. 電着技術



図2. 第3回Biorockワークショップ(2004年11月)で電着モジュールBiorockを海中に設置しようとしているところ
(Global Coral Reef Alliance提供)



図3. 2003年にBiorockに移植したサンゴ
(2005年11月 大森 信撮影)

高温条件下・低電流密度で炭酸カルシウムの割合が高い。電着物の強度は組成によって異なるが、炭酸カルシウムの割合が50%程度の電着物はコンクリート以上の強度を持つ。

Goreau 博士は 1985 年頃に陰極面に付いたサンゴの成長が極めてよいことに気がつき、Hilbertz 博士と組んでバイオロック技術を立ち上げた。技術的な特徴は電流を調整して、陰極面に炭酸カルシウムが多く析出するようにすること(6-12V、2Amps/m²)、陽極に海中での腐食に強いチタン網を使っていることなどである。

2. 観察と疑問、そしてこれから

今回のワークショップが催されたのはバリ島の北海岸にあるペムテランのリゾートであった。周りは貧しい漁村、乾燥地帯で陸上は樹木が乏しく、海中は数年前に、ダイナマイトや青酸カリを用いた違法漁獲のためにサンゴがほとんどなくなったという。そこに Global Coral Reef Alliance は地元の観光業者や村人たちの協力を得て、2001 年からバイオロック技術によるサンゴ修復事業をはじめた。現在は海岸沿いの 220 m (水深 3-7m) に、形の違った 22 個のモジュールを設置して、サンゴ断片を移植し、ダイビングスポットにして観光客に提供している。

実際のモジュールと電気設備を詳細に見て、Goreau 博士たちと話を交わし、前からの疑問について直接尋ねてみる事ができたのはほんとうによかった。また、討論をとおして、サンゴの増殖・修復についての面白

そうな研究課題がいくつか出てきたことは収穫だった。しかし、残念なことにバイオロック技術の優れた特色として宣伝されているいくつかの項目については、信頼できる科学データが存在しないことが明らかになった。そのいくつかを以下に示す。

a. バイオロックモジュール上の移植サンゴの成長量は、それ以外のものの 3-5 倍である。

インドネシアの数人の研究者の予備的研究(未公表)や修士論文があるが、コントロールとの比較方法などに問題があるので、簡単に結果を肯定できない。電着によって直径が 5cm にも太くなった鉄筋に巻きつくように成長しているテーブル状ミドリイシサンゴの群体は、大きなものでは直径 90cm、根元の太さ 10cm にもなっていたが、移植時の断片の大きさが記録されていないので、成長速度がわからない。

b. ヒーリング(治療)効果があり、移植時、断片切断面からの粘液の流出がすぐに止まる。

私は確認できなかったが、観察者の話を総合すると、ありうることと思われる。

c. 断片は径 2mm の針金でモジュールの鉄筋に巻いている。接着が極めて速い。

確かに炭酸カルシウムの電着は効果があり、断片の安定を早めるようだ。

d. 白化に強いサンゴができる。

1998年の白化の時、モジュールでほかの（全体の）サンゴの生残率が5%以下であったが、モジュール上では80%が生き残ったというが、経験および写真からの推定で信頼できるデータはない。

e. 魚礁効果が期待できる。

確かにモジュール（移植サンゴ）の周りには多くの魚が集まっている。

f. モジュールへのサンゴ幼生の着生数が多い。

奇妙なことに、移植したサンゴが大きく育っている設置4年目のモジュール上に、それ以後に自然着生したと思われるサンゴ群体が見られなかった。電着物にサンゴのポリプが埋められてしまったか、幼生の供給量が少なかったためではないかと話しているが、理由は良くわからない。ちなみに同様の電着実験をしているドイツのSchumacher教授（ドイスブルグ・エッセン大学）は、確かに陰極に用いた金網の電着物の上には多くの幼生が着生するが、それは単なる水理学的条件のためだろうと述べている。

g. なぜ移植サンゴの成長が速いのか？

興味深い仮説はあるが、検証と説明にはかなり高度な実験と研究が必要である。

日本でも、早くからこの技術に注目し、1986年頃、海洋科学技術センター（現：独立行政法人海洋研究開発機構）が沖縄本島南部の南城市で4年間にわたって行った「サンゴ造園技術の開発」で鋼鉄製の人工ノルの金網部分にサンゴ断片を固着して成長を観察したが、効果はいまひとつだったという。残念なことに、結果と、なぜ期待された成果が得られなかったのかについては考察されていない（工藤ら1990）。

Goreau博士らの現在の興味はコミュニティーベースのサンゴ礁修復活動であって、研究より成果を重視する姿勢は変わらないだろう。信頼できるデータはなかったが、彼らが強調するバイオロック技術には簡単に無視することのできない電着効果がいくつもあるようにも思われた。彼らを沖縄に招聘し、テストサイトを作って慎重に実験計画を練り、バイオロック技術の信頼性を再検討してはどうだろうか。

●参考文献

- Henderson, C. 2002. Electric reefs. New scientist. July 2002 (<http://www.globalcoral.org/Electric%20Reefs.htm>)
- 古賀哲郎 1988. 電着技術（コーラルプロセス）の紹介. 配管技術, 増刊号: 151 - 157.
- 工藤公明・大西 毅・本田 牧 1990. サンゴ移植: 観測システムについて. 海洋科学技術センター試験研究報告 R23: 345 - 369.