

サンゴの初期成長量を考慮した再生計画の効果評価手法について

Evaluation Method of Restoring Nature Plan Considering an Amount of Initial Growth of Stony Coral

安藝浩資¹・中野 晋²・岩瀬文人³

Hiroshi AKI, Susumu NAKANO and Fumihito IWASE

In this study, Cwe discuss about an evaluation method of restoring nature planning involving a reformation of breakwater. We have proposed PHSI(Probabilistic Habitat Suitable Index) model for evaluation method of marine environment by reforming breakwater. In this paper, we focus on the growth rate of children of stony coral (*Acropora tumida*) in two different PHSI points. We understand the relationship between PHSI value and the initial amount of coral growth. Then we evaluated to consider restoring nature plan from the initial amount of coral growth. PHSI value differs by 0.1, about three years, the amount of coral growth was found roughly 170% of the difference may occur.

1. はじめに

著者らは、四国東南部の竹ヶ島海中公園においてイシサンゴ類の一種であるエダミドリイシ (*Acropora tumida*, 以下 *At*) を再生指標とした自然再生事業に取り組んでいる。当海中公園は、*At*の群生地として1972年に指定された。ところが近年 *At*が減少し、代わって比較的濁りに強いカワラサンゴ (*Lithophyllon undulatum*, 以下 *Lu*) が増加するなど、優占サンゴ種に顕著な変化が生じている(中野ら, 2006)。

これまでの調査から生息環境の改善には海域の海水交換促進が不可欠であること、そのためには防波堤の改良が有効であることを示した(中野ら, 2006)。また、防波堤の改良による環境面からの評価手法としてPHSI (Probabilistic Habitat Suitable Index) モデルを提案し、防波堤の改良計画を *At*や *Lu*の生息環境の視点から評価・選定するツールとして活用できることを報告している(安藝ら, 2007, 2008)。

さらに、防波堤改良にあたっての基本的な考え方を、自然環境の側面だけでなく、漁業・観光等の利用面や防災面もふまえた総合的な見地からの改善を図ることとし、環境改善に伴う利用面への影響を定量的に評価する手法として、リスクマネジメント的な考え方をを用いることから、防波堤根元部60m撤去することが有利であることを報告している(安藝・中野, 2009)。

しかし、再生計画の効果として、これまで0から1の範囲で表されるPHSI値に閾値を設定し、閾値以上の区画を生息可能区画とし、その区画数の増減から環境改善度を求め評価していた。その場合、閾値を跨った変化が生

じない限り、再生効果としては表れることはない。PHSI値そのものの変化を再生計画の効果指標として用いるためには、PHSI値の差が実現象として、どの程度の違いとして現れるかを把握することが不可欠である。さらに、PHSI値の相対的な差を、実現象での違いとして、具体的にイメージしやすい形で示すことは、関係者間の合意を見出す点でも極めて重要である。

著者らは、*At*の生理・生態的特性を把握するため、平成18年7月末に採取した *At*の卵を、室内および現場海域で約1年間育成し、PHSI値の異なる2地点に *At*の幼体(以下、*Atc*)を放流し、成長過程を観察している(岩瀬ら, 2009)。

本論文では、*Atc*の3年間の追跡調査結果を示すとともに、PHSI値の異なる2地点での同種の成長量に着目することから、防波堤改良計画の効果をも *At*の初期成長量の視点から評価した結果について報告する。

2. 放流実験

(1) 放流実験概要

放流 *Atc*は、平成18年7月末に海中公園周辺で採集した *At*の受精卵を水槽内でセラミック製の板に着生させ、

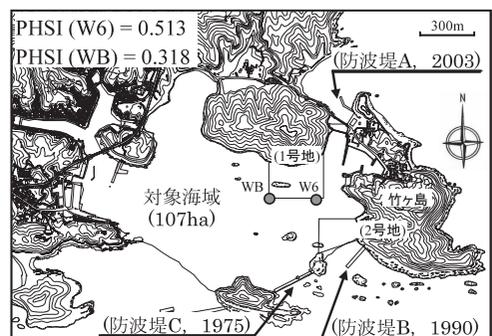


図-1 対象海域

1 正会員 博(工) ニタコンサルタント(株) 環境部次長
2 正会員 博(工) 徳島大学教授環境防災研究センター
3 理(修) 黒潮生物研究所所長

平成18年10月2日から平成19年9月28日まで竹ヶ島海域において中間育成した後、図-1に示すPHSI値の異なるW6(水深5.4m, L.W.L時)とWB(同6.3m)に設置したコンクリート塊(重量3t)に、Atcが付いた着生板を放流した。放流数はW6に20群体、WBに38群体である。図-1中には両地点の半径10m内の平均PHSI値を併記している。放流後のAtcの生残・成長状況を知るために、平成19年9月28日以降、2~4ヶ月に1回程度の割合で経過観察を行った。

調査では、放流Atcを着生板毎、あるいは群体毎にメジャーと共にデジタルカメラで撮影し、放流群体の生残・成長状況を記録した。Atcの成長は、撮影したデジタル画像から、各Atcの投影面積を測定した後、斃死した群体を排除した合計投影面積から求めた推計直径の変化量を成長量とした。なお、採卵時の推計直径は0cmとしている。ここに、推計直径とは、測定した群体の投影面積をもとに、各群体の合計投影面積を真円と仮定して求めたもので、式(1)で表す。

$$\text{推計直径} = 2 \times \sqrt{\text{投影面積} / \pi} \dots\dots\dots(1)$$

推計直径の増加量は、卓状のミドリイシでは枝の伸長量であると見なすことができる。この値は群体の成長を1次式で表わすことができる上、群体サイズを容易にイメージできる点で便利である。

(1) 生残数と生残率の推移

放流Atcの生残数の推移を表-1、生残率の推移を図-2に示した。なお、表-1中の融合数とは、近接したAtc群体が成長するにつれて境で接し、やがて群体間の境目が無くなり一体化したサンゴの数を指す。融合後は1つの群体として取り扱っている。また、分裂数とは、1つの群体が分かれて、2つ以上の群体になったものの数である。斃死数とは、斃死した群体の数を指す。

両地点の生残状況を比較すると、W6では、平成20年2月から6月までの間と、6月から10月までの間にそれぞれ1群体が斃死したが、それ以後斃死群体は見られず、平成21年11月時点での斃死数は2群体であることから、生残率は90%である。一方、WBでは調査する毎に1~4

群体の新たな斃死群体が見られ、平成21年11月時点での生残率は63%となり、WBよりもW6の生残率が高い傾向が見られた。なお、平成20年6月の調査では、WBのコンクリート基盤上に地元住民が設置したアオリイカ産卵用の柴が存在し、全てのAtcを観察することが不可能であった。そのため、観察できなかったAtcを「未確認数」として取り扱った。柴は、平成20年10月の調査時に取り除き、以降の観察を行った。

これらの図表からわかるように、生残率ではWBに比べW6が高い傾向にあることがわかる。

表-1 放流Atcの生残数の推移

		平成19年		平成20年			平成21年		
		9月	12月	2月	6月	10月	2月	9月	11月
W6	生残数	20	17	18	17	10	10	9	9
	斃死数		0	0	1	1	0	0	0
	融合数		3	0	0	6	0	1	0
	分裂数		0	1	0	0	0	0	0
WB	生残数	38	29	27	8	19	19	16	12
	未確認数		0	0	19	0	0	0	0
	斃死数		3	2	-	2	1	1	4
	融合数		6	1	-	7	0	2	0
	分裂数		0	1	-	1	1	0	0

(2) 成長量

図-3は両地点での推計直径(平均)の経年変化を示したものである。図中の実線は、両地点の成長量を採卵後(平成18年7月27日)からの経過年数に対して指数近似したものであり、それぞれ式(2)、式(3)で表される。

$$\text{成長量 (W6)} = 0.601 \times \text{経過年数}^{1.882} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{成長量 (WB)} = 0.675 \times \text{経過年数}^{1.208} \dots\dots\dots(3)$$

図より放流後1年程度(採卵後2年程度)は、両地点ともに同程度の成長量である。しかし、それ以降は、WBに比べW6の成長量は格段に大きくなっていることがわかる。

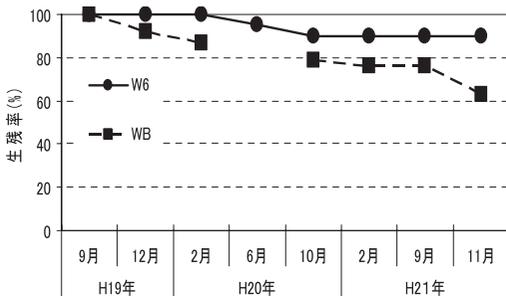


図-2 放流Atcの生残率の推移

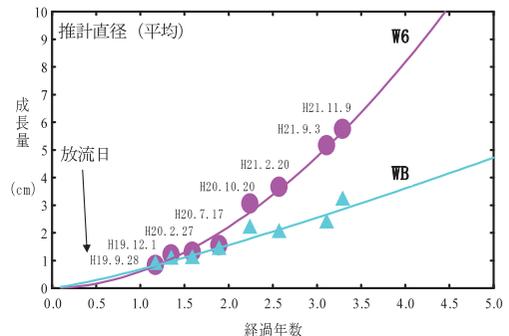


図-3 放流Atcの成長量の推移

平成21年11月9日時点の両地点の最も良好な *Atc* 群体を写真-1～写真-2に示した。写真中の群体の長さは最大値を示しており、推計直径とは異なる。

これらの写真からも、W6の放流 *Atc* は、WBに比べて約2倍程度に成長していることがわかる。これらのことより、生残率だけでなく成長量も2地点間で大きな差があることが明らかである。



写真-1 放流 *Atc* の状況 (W6)

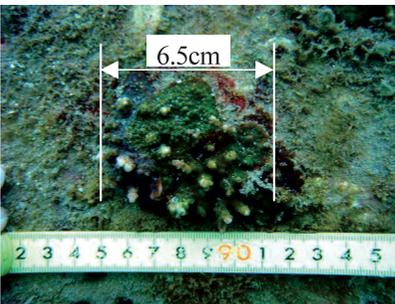


写真-2 放流 *Atc* の状況 (WB)

(3) *Atc* の成長速度

式(4)と式(5)は、成長量の近似曲線式(2)と式(3)を経過年数に対して、それぞれ微分することにより求めた成長速度と経過年数の関係式である。図-4には、式(4)と式(5)の関係を採卵後0.5年経過時点より図示した。これは、採卵後2～3ヶ月間は、室内水槽で着生させるためである。

$$\text{成長量 (W6)} = 1.131 \times \text{経過年数}^{0.882} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{成長量 (WB)} = 0.816 \times \text{経過年数}^{0.208} \dots\dots\dots (5)$$

図より成長速度は両地点で大きく異なっており、PHSI値の高いW6で成長速度が速く、例えば、採卵後3年経過時には成長速度に約3倍の違いがあることがわかる。

こうした生残率、成長量、および成長速度の違いから、両地点での *At* の生息環境が大きく異なることがわかる。すなわち、WBに比べてW6の生息環境が *At* にとってより好適であることを強く示唆している。WBは対象海域

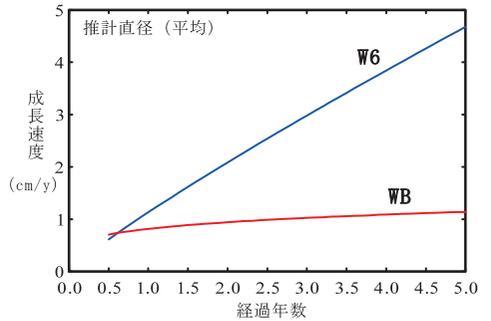


図-4 放流 *Atc* の成長速度

内でも濁りが激しい地点であり、水道部に近く海水の交換が比較的良好なW6に比べて明らかに海水の濁りが強い。このことは、幼体期に受ける光量などにも違いが生じているものと推測され、*At* の自己増殖にとって重要な着生直後の生育環境に大きな影響を与えていると考えられる。

3. 生息可能区画数の変化による再生計画の評価

対象とする再生計画は、図-1に示した防波堤Aを改良することにより、対象海域の海水交換機能を向上させ、海中公園を対象海域の環境改善を図ることを目的とするものである。そのため、防波堤Aの改良方法による環境改善効果を予め評価する必要がある。

図-5は、図-6に示す防波堤Aの先端部、中央部、および根元部の60m、80mをそれぞれ撤去した場合の6ケース(表-2)を例に挙げ、これらを行った場合に生じる効果を環境改善度として表したものである。ここで、環境改善度は *At* の生息可能区画数の変化を指標として式(6)で表される。図-5中には改良対象の防波堤Aを完全に取り除いた場合に相当する1990年のものと、現在の状態である2003年時のものも併記している。

$$\text{環境改善度}(\%) = \frac{At(\text{計画}) - At(2003)}{At(1990) - At(2003)} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

ここに、式中の *At* は対象3335区画のうち、*At* の生息が可能と評価される区画数である。ここでは、PHSI値0.365以上の区画としている。式中の括弧内の数字は、基準年である1990年時と2003年時を意味する。

図-5から、先端部、中央部、および根元部の60m撤去案(TM60、CM60、BM60)、80m撤去案(TM80、CM80、BM80)の改善度を比較すると、いずれも根元部の改良案の効果が高く、根元部を80m撤去するBM80の場合に最大となり、その改善度は50%程度(BM80)であることなどがわかる。

しかし、閾値(PHSI値0.365)を境にした生息可能区画数の増減による評価では、図-7のパターン2やパターン3の改善効果は反映されていない。これらの変化も改

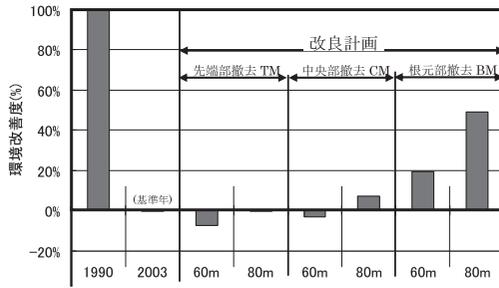


図-5 各改良計画による環境改善度

表-2 改良計画の例

計画	概要
TM60	先端部60mを撤去
TM80	先端部80mを撤去
CM60	中央部60mを撤去
CM80	中央部80mを撤去
BM60	根元部60mを撤去
BM80	根元部80mを撤去

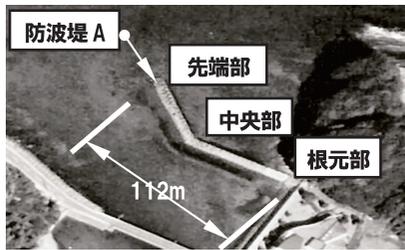


図-6 防波堤A周辺の拡大図

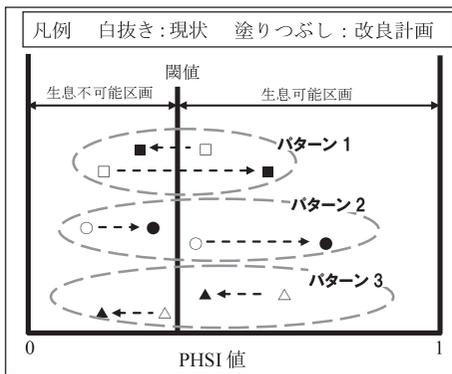


図-7 生息可能区画による方法の模式図

善効果であり、その変化も評価に含まれるべきである。ところが、閾値を跨がない変化の場合には、評価値としての0-1の範囲における相対的な変化としての理解は可能であるが、 A_t に対して、どういった変化が生じることになるのかを具体的にイメージすることは困難である。これを容易に可能にすることは、関係者間の改良効果に対する共通の認識を得る上でも極めて重要である。

4. A_t の初期成長量を考慮した再生計画の評価

(1) PHSI値と初期成長量の関係

表-3はW6とWBの両地点での各観測時点の推計直径と放流直後にあたる平成19年9月28日時点を基準とした成長率を示したものである。推計直径は前述の図-3に対応する。表より、W6とWBでは、採卵後約3年で概ね成長率に2倍以上の差が生じることがわかる。

図-8はPHSI値に対する成長率(3.11年後)の関係を一例として示したものである。図中に示される直線近似式の傾きより、PHSI値0.1の差は約3年後には成長率に約1.7(170%)の違いが現れることがわかる。

(2) 初期成長量を考慮した評価

図-8のPHSI値-成長率関係を用いることにより、 A_t の初期成長量を考慮して改良計画の効果を評価した。図-9は区画毎に得られるPHSI値を、図-8に示される関係式に当てはめて求めた区画毎の成長率であり、過去と現在(2003)、および計画後の A_t 成長率を対象海域全体で平均したものである。図より、成長率は1970年以降、徐々に低下し、2003年には、1970年当時の半分程度の成長率になっていることがわかる。

図-10は改良対象としている防波堤が無かった1990年と2003年の A_t 成長率の差に対して、改良計画後の成長率を相対的に示したもので、生息可能区画数の変化を指標

表-3 推計直径(平均)と成長率

経過年数	推計直径(平均)	推計直径(平均)		成長率		成長率比 W6/WB	備考 (調査年月日)
		W6 (cm)	WB (cm)	W6	WB		
1	1.17	0.83	0.84	0%	0%	1.00	平成19年9月28日
2	1.35	1.21	1.06	45%	27%	1.68	平成19年12月1日
3	1.59	1.31	1.07	57%	28%	2.04	平成20年2月27日
4	1.89	1.60	1.52	92%	81%	1.13	平成20年6月17日
5	2.24	3.21	2.21	285%	164%	1.74	平成20年10月20日
6	2.57	3.66	1.99	339%	138%	2.47	平成21年2月20日
7	3.11	5.16	2.41	519%	188%	2.77	平成21年9月3日
8	3.29	5.76	3.17	590%	278%	2.12	平成21年11月9日

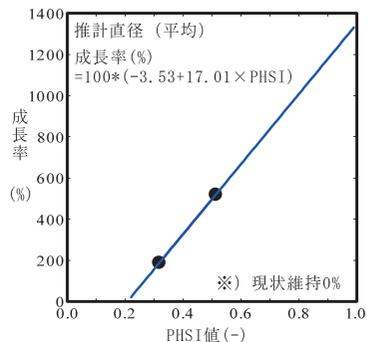


図-8 成長率とPHSI値の関係(3.11年後)

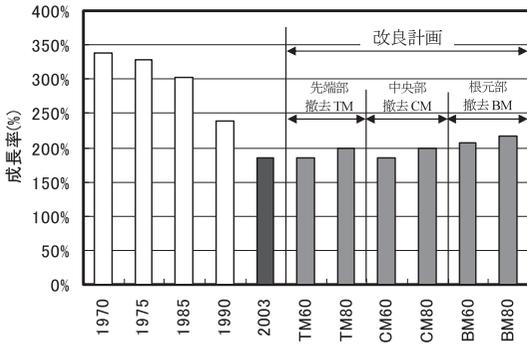


図-9 成長率の経年変化と改良計画後の予測

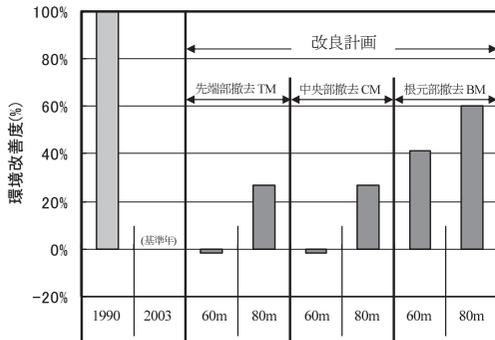


図-10 Atの初期成長量を考慮した環境改善度

とした図-5に対応している。改良効果を図-10で見た場合、図-5の生息可能区画数による評価に比べ、全体的に環境改善度が高くなっていることがわかる。

(3) 地点毎の成長率変化による評価

図-11は防波堤Aの根元部60mを撤去するBM60実施後のAt成長率（3年後）の現状（2003年時点）からの変化を一例として示したものである。現状維持とは2003年との成長率の差が±50%未満、増加とは+50%以上、減少は-50%以上の領域である。At成長率は、海域全体で一様に改善されるのではなく、部分的には成長率が低下する場所もあり、自然再生の重要な場所の一つである海中公園（1号地）東側付近では、成長率が現状に比べて低下するという結果を示している。このことから、海域全

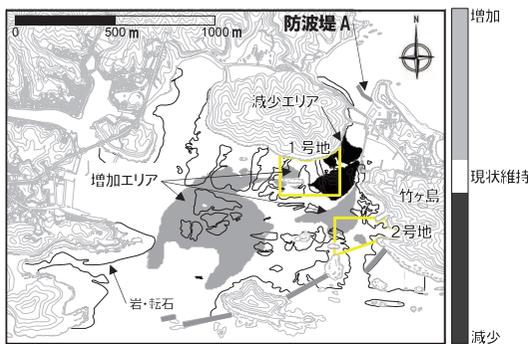


図-11 計画実施の効果予測（BM60対2003年）（3年後）

体の評価だけでなく、地点毎の改良効果も評価対象として考慮することが重要であるといえる。

5. おわりに

本論文では、Atの生息環境の適性を表すPHSI値の異なる海域に放流したAtの成長率に着目し、PHSI値とAtの初期成長率を関連付けることから、防波堤の改良計画を評価した結果について報告した。

以下に本研究で得られた主要な知見を記す。

- ① W6とWBの放流Atの3年間の追跡調査では、生残率、成長量、および成長速度ともにW6の方が良好であった。このことから、WBに比べてW6の環境がAtに対してより好適であることが示唆される。
- ② 放流Atの追跡調査結果と、放流地点のPHSI値の比較から、PHSI値の0.1の差は約3年後には、Atの成長量で概ね170%の差になることがわかった。今後この差が、どのように推移するかについては、追跡調査を継続的に行うことにより、明らかにする必要がある。
- ③ 地点毎のAt成長率の変化で見た場合には、自然再生の重要な場所の一つである海中公園（1号地）東側付近では、成長率が現状に比べて低下する結果となった。
- ④ 自然再生では、環境の変化や再生計画の効果を出来るだけ具体的に、かつ地域住民も含めた関係者にとってわかりやすい形で表現することが極めて重要である。そのため、再生計画の評価を、0-1などの指標的な数値や、生息可能区画の数の増減だけでなく、サンゴの初期成長量や成長速度など実現現象を指標とした再生計画の評価手法は不可欠である。

謝辞：本論文は、竹ヶ島海中公園自然再生事業の一環として行った検討結果をとりまとめたものである。それらに関わった、協議会・専門委員会や事務局の方々に謝意を表す。

参考文献

安藝浩資・中野 晋 (2009)：機会損失リスクを考慮した自然再生計画の評価手法，海岸工学論文集，第56巻，pp. 1186-1190。
 安藝浩資・中野 晋・盛 治夫 (2008)：PHSIモデルによるサンゴの生息環境評価と自然再生計画の策定，海岸工学論文集，第55巻，pp. 1116-1120。
 安藝浩資・中野 晋・内田絃臣・岩瀬文人・御前 洋 (2007)：沿岸域の自然再生計画における順応的管理へのHSIモデルの適用性，海洋開発論文集，第23巻，pp. 501-506。
 岩瀬文人・中野 晋・安藝浩資・岡田直也・清水里香 (2009)：エダミドリイシの有性生殖による増殖法に関する現地試験，海岸工学論文集，第56巻，pp. 1216-1220。
 中野 晋・安藝浩資・内田絃臣・岩瀬文人・川口 始・吉崎仁美 (2006)：サンゴを対象とした自然再生事業における普及啓発活動とその効果，海洋開発論文集，第22巻，pp. 63-68。