

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

Habitat Assessment of Stony Coral by Using the PHSI Model and Formulating Restoring Nature Plan

安藝浩資¹・中野晋²・盛治夫³

Hiroshi AKI, Susumu NAKANO and Haruo MORI

The aim of this study is the habitat assessment of stony coral by using the PHSI and the formulation of restoring nature planning. The PHSI is introduced a probabilistic way of thinking into the HSI. We estimated the distribution of a colony of *Acropora tumida*(At) in 1972 and *Lithophyllum undulatum*(Lu) in 2003 by using this model in which five physics factors was involved. The estimated distributions well coincided with the observed them. And, we could formulate basic fundamental policies to increase the amount of residual flow by using the PHSI model.

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 (*Lithophyllum 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)。

自然再生計画を策定するためには、人為的再生行為による物理的変化を予測するだけでなく、その変化が生物相に及ぼす影響を評価することが不可欠である。この場合の問題点として、生物生息環境に対する最適範囲がほとんど分かっていないことや、現地調査から得られる生息環境等の情報が最適なものといえないこと。加えて、物理環境と生息環境の関連づけができないことなどが挙げられる。

著者らは、これらの問題に対処するために、これまでの調査結果を踏まえ、当海域に生息するAtの生息環境と物理因子の関係を整理した(安芸ら, 2007)。さらに、当海域の自然再生計画の策定に主眼をおいたサンゴの生息環境評価手法として、PHSI(Probabilistic Habitat Suitability Index)モデルを提案し、海中公園指定当時のAt分布を再現することから、その適用性を示した。しかし、現地実証データと対比されていなかったこと、競合関係にあるLuの生息環境への影響が未考慮であったことが課題であった。

本研究では、当モデルにより両種の生息環境評価を行い、エダミドリイシの幼体(以下Atc)を用いた現地実験

結果と対比することから評価結果を検証する。また、両種の競合関係を考慮した予測生息分布と実在区画を対比するとともに、生息環境の年代変化と再生計画の基本方針を示す。さらに再生計画について、生息環境の視点から検討と考察を加える。

2. PHSIモデルの構築と予測信頼度

生息環境評価を行うにあたり、図-1に示した対象海域をメッシュ分割(1区画: 10m×10m, 全10939区画)した。モデル構築に必要な生物の基礎情報としては、現在得られる情報の中で、最も良好なAt分布であった海中公園指定頃と、2003年時のLu分布を用いた。

生息環境を生存条件、生育条件、着生条件の3条件で表されると定義した。生存条件には底質と水深を、生育条件としては各年代の防波堤配置に対して求めた潮流流速(最強時)、残差流量、および底面摩擦速度を用いた。残差流量とは、ある時刻におけるNS流速、EW流速にその時の水深を乗じて求めた流量の1潮汐間の平均を、単位幅当たりで表したものである。ここでは、区画間の受光環境の相対的な違いを表わす指標として用いた。なお、いずれの物理量に対しても、内挿補間法(線形関数式)によりメッシュ中央点での値を求めた。着生条件に関し

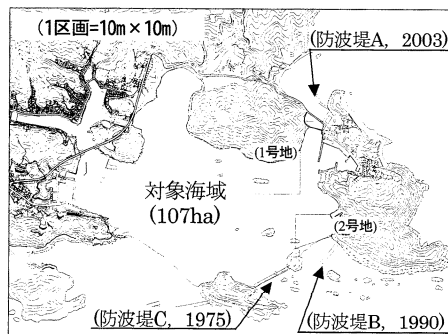


図-1 対象海域・メッシュ分割図

1 正 会 員 博(工) ニタコンサルタント株式会社 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 徳島県

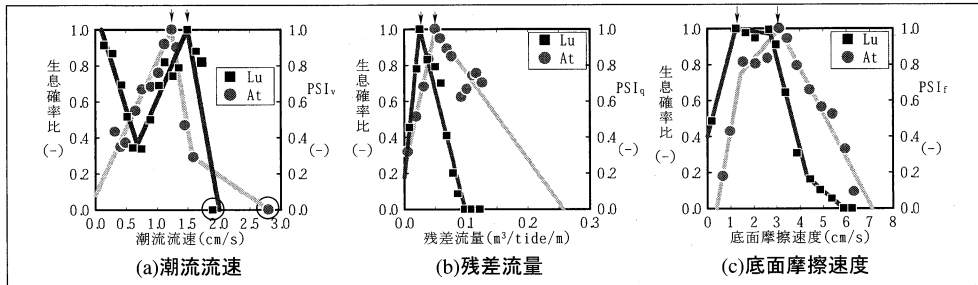


図-2 PHSI曲線群 (生育条件)

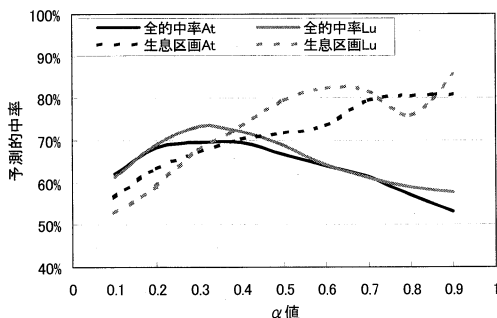
では、本来、着底・定着環境の場所ごとの差異を、相対的に考慮する必要があると考えられるが、ここでは全区画同一としている。生育条件に対する両種のPHSI曲線群を図-2に示す。図に示される各点は、全て統計学における95%信頼度区間、あるいは有意水準1%未満(図中の丸で囲まれた点)の条件を満たしている。これらのPHSI曲線から、全10939区画に対して、両種のPHSI値(=潮流流速 PSI_v ×残差流量 PSI_q ×底面摩擦速度 PSI_f)を求めた。これらの内、生存条件を満たさない岩・転石率1%未満および、干潮時水深1.0m未満の区画を除去した3335区画を評価対象とした。なお、岩・転石率は、航空写真と現地調査により求めた岩・転石分布面積の区画毎の割合である。

予測生息区画を式(1)で表した。

$$PHSI_i \geq \alpha \quad (1)$$

ここで生息区画とは、指定当時、被度10%以上で生息していたと考えられる区画であり、 α は生息区画とする閾値である。

予測信頼度を把握するため、 At については海中公園指定頃、 Lu については2003年時の分布状況の再現を行い、実在に対する的中率を求めた。ただし、設定される α 値に応じて的中率が変化するため、最高の的中率が得られる α 値を試行錯誤的に求めた。 At と Lu のそれぞれに対する α 値と的中率の関係を図-3に示す。図より実在の生息区画のみに対する的中率(図中の破線)は、 α 値の増加に

図-3 α 値と予測的中率の関係図

応じて徐々に高まり、80%程度までの中率を高めることができる(ただし、予測数は α 値の増加に応じて減少する)。一方、非生息区画をあわせた全的中率(3335区画)は、ある α 値で極値を持つ。表-1と表-2には At と Lu それぞれのピーク値での的中率を示した。3335区画に対する的中率は最高で約70%であった。

実際の使用に際しては、モニタリング箇所の特定や、生息適性度の高い箇所の推定など、目的に応じて α 値を設定することにより、より有効な情報を得ることが可能である。

表-1 At に対する的中率($\alpha_{At}=0.365$)

観測	予測値		
	非生息[1670]	生息[1665]	
生息[1670]	1165	505	
非生息[1665]	505	1160	全的中率
的中率	69.8%	69.7%	69.7%
[区画数]		(対象区画数3335)	

表-2 Lu に対する的中率($\alpha_{Lu}=0.305$)

観測	予測値		
	非生息[1923]	生息[1412]	
生息[1924]	1480	444	
非生息[1411]	443	968	全的中率
的中率	77.0%	68.6%	73.4%
[区画数]		(対象区画数3335)	

3. Atc 放流実験結果との比較

予測結果に対する実証を行うため、PHSI値の異なる2地点で行った Atc の放流実験結果と比較した。実験は Atc 放流後の5ヶ月間の生残量と成長量を観察し比較するものである。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着生させ、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ものである。放流地点は、後述の図-7に示すW6(水深5.4m, L.W.L時)とWB(同6.3m)で、平成19年9月28日に両地点に設置したコンクリート塊(重量3t)に、 Atc が付いた着生板を接着した。

放流後の Atc の生残・成長状況を知るために、放流時の平成19年9月28日、約2ヶ月後の平成19年12月1日、約5

ヶ月後の平成20年2月27日に追跡調査を行った。調査では、放流 Atc を着生板毎あるいは群体毎にメジャー計測する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の変化率を求め、成長率とした。

各地点に放流した Atc の生残率と成長率の推移を図-4に示す。なお、図中には両地点の半径10m内の平均PHSI値を併記している。

(1) 生残率の推移

W6では調査期間を通じて斃死した群体は無く、平成20年2月までの生残率は100%であった。一方WBでは、平成19年12月に3群体、平成20年2月に2群体が斃死し、生残率は87%であった。両地点の生残率を比較すると、W6よりもWBの生残率の方が低い傾向が見られた。

(2) 成長率の推移

両地点ともに、放流した9月から12月までに大きく成長していたが、WBよりもW6の成長率が高いことがわかる。また、12月から2月までの間は、W6ではさらに成長率が増加したが、WBでは僅かながら減少が見られ、成長率でもWBに比べてW6の方が良好であった。

(3) 平均PHSI値との比較

平均PHSI値はWBの0.318に対し、W6では0.513である。このことは、 At の生息環境においてWBよりW6の方が優れていることを示しており、PHSIモデルによる評価値は Atc の放流実験結果を良く表す結果となった。

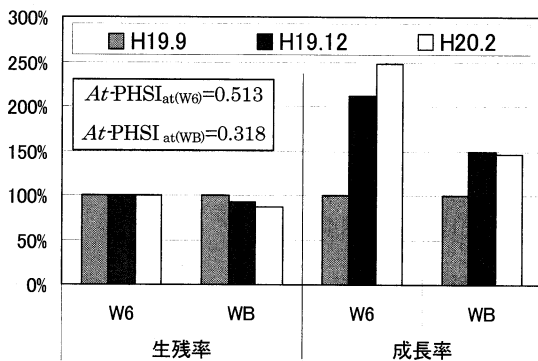


図-4 放流 Atc の生残率と成長率の比較

4. 生息環境の年代変化

防波堤の建設による流況変化が、両種の生息適性度どのような影響を与えてきたかについて検討するため、各年代での At と Lu それぞれの生息可能区画数を算定した。図-5は $PHSI \geq \alpha$ (At) 値=0.365と α (Lu) 値=0.305の区画数を比較したものである。ただし、区画数には両者のものが重複しており、競合関係は考慮されてない。なお、

年代区分は、概ね防波堤の建設時期に相当する。図-5より、 At の生息区画数が、徐々に減少し、2003年には1970年比約67%となっているのに対して、 Lu の生息区画数は増加し、同約125%となっている。一方、両種の生息可能区画の合計数には大きな変化は見られない(1970年比90%)。このことは現地でのヒアリング結果を裏付けるものであり、防波堤設置による流況変化が、両者の生息環境に与える影響を示唆するものである。

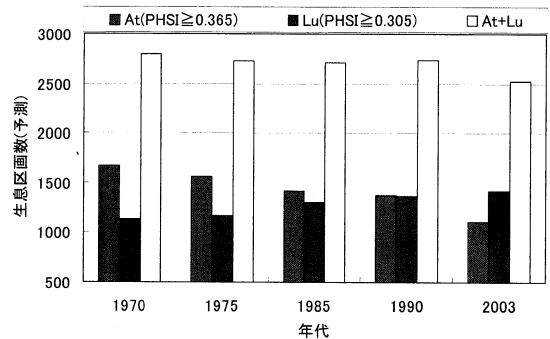


図-5 生息区画数(予測)と年代推移

5. 競合関係を考慮した分布予測と実在生息種の比較

自然再生計画を立案するにあたって、競合関係の把握は重要である。しかし生息競合区における両者の関係を明らかにすることは極めて難しい。さらに競合関係は At と Lu の間だけでなく、他のサンゴ種や岩礁性海藻などの間にも存在する。これらのことから、ここでは、区画内の優占種は何かというマクロ的な視点から考察する。

図-6は、PHSIモデルによる At と Lu の予測生息可能区画が重複した場合、いずれの種が優勢であるか、次の4つのケースについて検討した。CASE1: At 優勢、CASE2: Lu 優勢、CASE3: PHSI値の高い種が優勢、およびCASE4: それぞれの α 値に対するPHSI値比、すなわち $PHSI/\alpha_{At}$ 、 $PHSI/\alpha_{Lu}$ が高い種が優勢とした場合である。図より、いずれか一方を優勢とした場合には、それぞれのモデル構築の基礎データとした年代において的

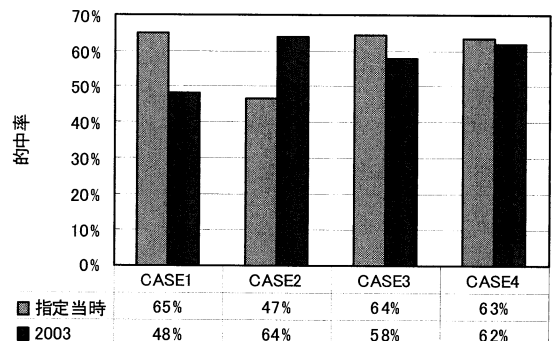


図-6 競合関係の評価方法による的中率の違い

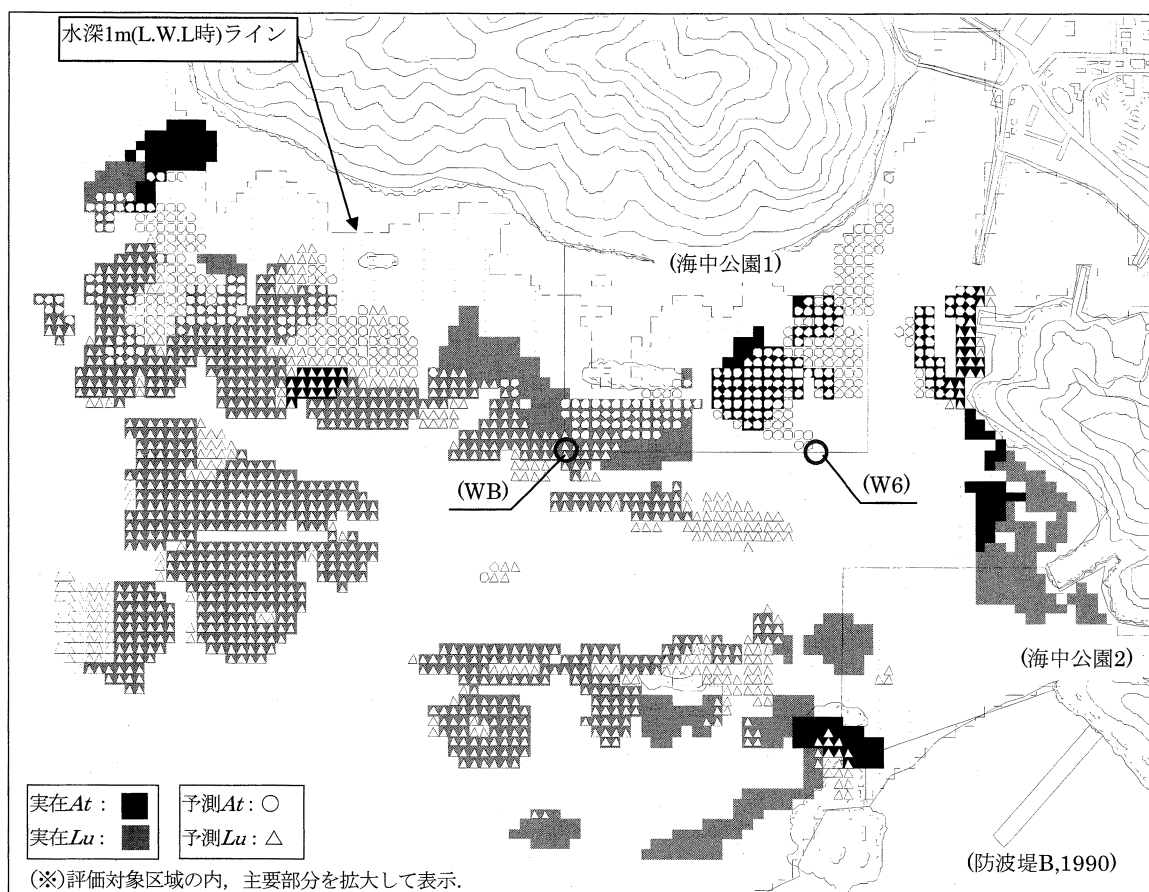


図-7 2003年時のAtとLuの予測生息可能区画と実在区画の対比 (CASE4)

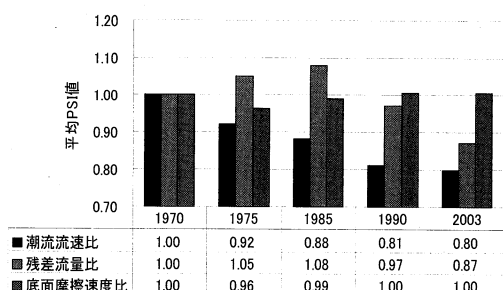
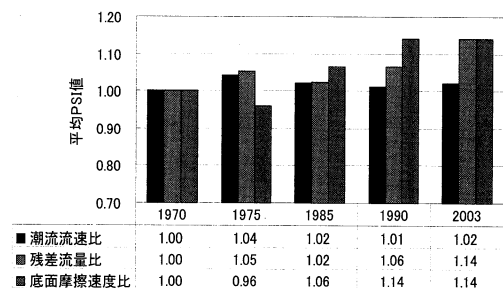
中率が高く、他方は低くなっている (CASE1, CASE2). これらに対しPHSI値を比較したCASE3の場合には、両種ともの中率が高くなっている。さらに、 α 値に対するPHSI値比を比較したCASE4の場合には、いずれの年代に対しても60%を超える的中率が得られている。CASE4で評価した2003年時のAtとLuの予測生息可能区画と実在区画を対比し図-7に示した。図より一部、評価できていない部分も見られるが、概ね両種の分布状況を再現しているといえる。なお、紙面の都合上、指定当時の対比図を示すことができないが概ね同様である。これらのことと、先に示した現地実験との対比結果を勘案すると、 α 値に対するPHSI値比を一つの指標として優占種を予測できる可能性を示していると言える。ただし、競合関係は非常に複雑であり、また、幼生の着生期が重要であると考えられることから、今後、幼生期や成長期の競合関係を実験等で把握した上で明確にする必要がある。

6. 自然再生計画の策定

(1) 再生計画の基本方針

図-8と図-9は、それぞれ上記したAtとLuの生息適性度

の変化要因を分析するために、物理量毎に求めた対象海域全域での平均PSI値の推移を1970年比で示したもので、生息適性度の変化に対する各物理量の影響度を表す。図-8に示すAtの平均PSI値の変化を見ると、潮流流速、残差流量に対する値が1970年に比べて大きく低下し、潮流流速比で0.8%、残差流量比で0.87%となっている。特に、残差流量については1985年以降の低下が著しい。底面摩擦速度に対する値には大きな変化は見られない。図-9に示すLuの平均PSI値の変化を見ると、全体的に適性度が増加しており、特に、1985年以降、残差流量比、底面摩擦速度比の増加傾向が顕著である。潮流流速に対しては1975年以降、大きな変化は見られない。これらのことから、Atの生息適性度が低下した物理的要因として、残差流量と潮流流速の変化を挙げることができる。なお、1990年以降に限ってみれば、残差流量の変化である。一方、Luの適性度の増加要因としては、残差流量と底面摩擦速度の変化であり、1990年以降では、Atと同様、残差流量の変化であることがわかる。このことは残差流量をできるだけ1970年の状態に回復させる必要があることを示すものである。

図-8 各物理量の平均PSI値(A_t)の年代変化図-9 各物理量の平均PSI値(L_u)の年代変化

(2) A_t と L_u の生息環境からの計画評価

図-10は、 A_t の生息可能区画数と、 L_u と両種の混在区画数の2003年に対する変化率を指標とした再生計画の効果予測例である。予測は岩・転石有無の条件を考慮した9600区画に対して行った。なお、競合関係は考慮していない。これは当再生事業の目標を「 A_t が健全な状態で生き続けていける環境」としているため、 A_t の生育環境の変化に評価の主眼をおいたためである。また、図中には改良対象の防波堤A(図1参照)を完全に撤去した場合に相当する場合(1990年)も参考として併記した。図から、防波堤Aの先端部撤去案(TM)や、中央部撤去案(CM)の比べ、付け根部撤去案(BM)の効果が高いことがわかる。さらに、TM案やCM案の場合に見られるように、再生指標である A_t の生息可能区画数が減少する場合もあることから、計画策定にあたっては物理的視点だけでなく、

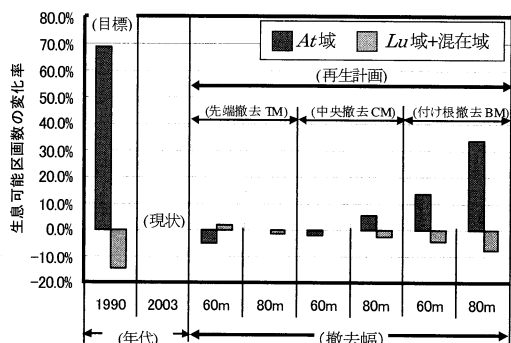


図-10 再生計画の効果予測(2003年比)

生物的視点からの評価が重要であることがわかる。

7. おわりに

本論文では、PHSIモデルによる生息適性度評価結果と自然再生計画の策定について述べた。PHSIモデルとは、「生息確率を指標にした相対的な適性度評価モデル」といえる。95%信頼度区間、および有意水準1%未満という統計学的な条件を設定することにより、データの信頼度を確保していること、また、生息確率を指標として相対的に適性度を評価している点にその特徴がある。これは、点情報に基づく出現頻度分布や出現個数分布を指標としたものではなく、分布域という面情報に基づく生息確率を指標としている点で、その意味合いは大きく異なる。以下に本研究で得られた主要な知見を記す。

- ① PHSIモデルによる評価値は、現地2カ所での A_t の放流実験結果を良く表す結果となった。
- ② PHSIモデルを自然再生の対象種である A_t と L_u に適用した。 A_t については指定当時の分布状況の再現、 L_u については2003年時の再現を行い、実在のものと比較した。その結果、約70%の予測的中率が得られた。
- ③ 両種の競合関係についても検討した。両者の生息可能区画が重複した場合、 α 値に対するPHSI値比を比較することにより、指定当時で62%、2003年で63%の的中率が得られた。
- ④ 当海域での環境変化要因について、PHSIモデルを用いて生物的な視点から考察した。その結果、 A_t の優占域が減少し、 L_u が増加した点について、潮流流速、底面摩擦速度、および残差流量の3つのうち、残差流量の変化が最も大きな影響を与えたことがわかった。このことから、残差流量の増加を図ることを再生計画の基本方針とした。また、再生計画の評価例を示すことから、生物的視点からの評価の重要性を示した。

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、特に、 A_t の現地実験について貴重な助言、データ提供を頂いた黒潮生物研究所の岩瀬文人氏に謝意を表す。

参考文献

- 安芸浩資・中野晋・内田紘臣・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。
- 中野晋・安芸浩資・内田紘臣・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。