長期モニタリングからわかる藻場礁の要件

細澤 豪志, 安藤 亘, 斎賀 守勝（（株）海中景観研究所）

１．はじめに

1992 年にブラジルで開催された環境と開発に関する国際連合会議において採択された「アジェンダ 21」では，“海洋，閉鎖性及び準閉鎖性海域を含むすべての海域及び沿岸域の保護，及びこれらの生物資源の保護，合理的利用及び開発”が行動計画の一つとなった．これを機に，環境問題への関心はいっそう高まり，漁港漁場の整備においても埋め立てにより失われた藻場の回復や創出が行われるようになり，同時に藻場礁の開発も盛んとなった．2016 年には SDGs がスタートし，“海の豊かさを守る”ことは国際的な達成目標の一つとなり，持続可能な開発と生態系保全が社会的課題となっている．

“磯焼け”は，1980 年頃から認識が高まり，2015 年にはほぼすべての都道府県において認識されるようになった[1]．水産庁は，2004 年に開始した「緊急磯焼け対策モデル事業」の成果をまとめた「磯焼け対策ガイドライン」を 2007 年に発表，2015 年には改訂版を発表した．現在では，産官学の様々な主体が全国各地で磯焼け対策を行っている．

ただし，海藻類の増殖を目的として設置された藻場礁や石材が必ずしも効果を発現しているわけではなく，ブロック表面の溝や石材の隙間がウニ類の新たな棲み場となり，食害を受けてしまう事例が報告されている[2),3)]．近年では，植食動物の食害に対し無防備な従前の方法に変わり，食害に対応した新技術の活用やソフト対策との連携が重要視されるようになった[4)]．

島根県では，1989 年以降藻場の減少が確認され，藻場が比較的豊かであった隠岐諸島においても 2008 年以降は藻場が減少傾向にある[5)]．筆者らは，隠岐の島において，1990 年代初頭から藻場礁の研究開発を行ってきた．本稿では，隠岐の島に設置した柱状礁の長期モニタリングにより得られた知見から，藻場礁の要件を整理したので報告する．

２．材料及び方法

１）柱状礁の構造と諸元

柱状礁は，底版に柱を建てた構造の鉄筋コンクリート製で，基本構造は図-1 に示すとおりである．改良を加えつつも基本構造は変わっていない．現在の標準仕様には礁高の異なる 2 つのタイプがある（表-1）．

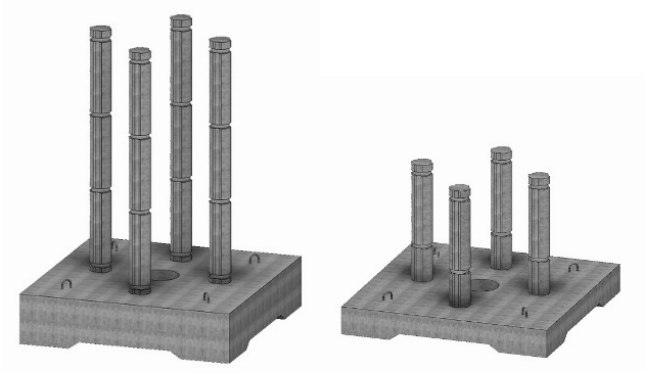

図-1 柱状礁（左 4m タイプ，右 2m 礁タイプ）

表-1 柱状礁のタイプと諸元

タイプ	重量（t）	表面積（m²）	縦・横・高さ(m)
4m	15.665	30.76	3.0×3.0×4.1
2m	8.124	19.92	3.0×3.0×2.1

２）設置位置および環境

柱状礁は，隠岐の島町内の 13 地点に設置した（図-2）．設置群は 29 箇所，各箇所の設置基数は最小 3 基，最大 26 基で構成した．設置時期の最も古いもので 1996 年 12 月（中村地区，蛸木地区），最新は 2018 年 11 月（犬来地区）である．設置水深は 8m～24m であり，海底はいずれも砂地である．また，いくつかの設置群には対照区として投石や 1.5m 型角型魚礁を同時に設置した．

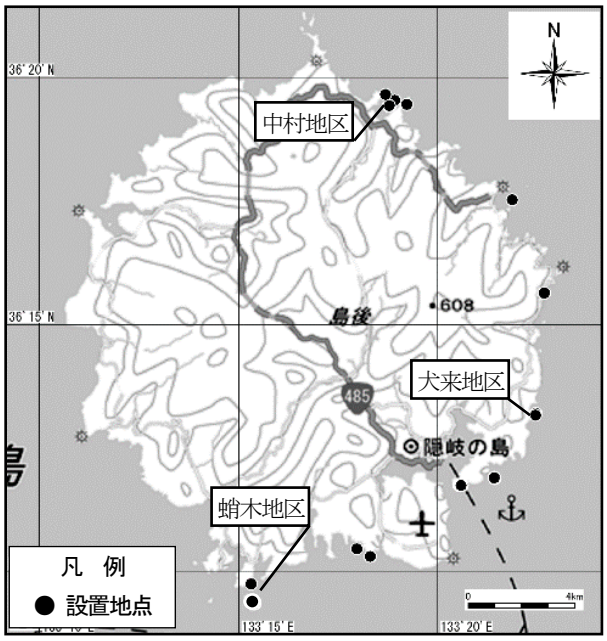

図-2 柱状礁の設置位置（島根県隠岐の島町）

3）モニタリング

モニタリングは，潜水目視観察を主体として実施した．ただし，すべての地点を定期的に調査することは労力的に困難であったため，継続的に藻場が確認できる程度の頻度（設置直後は頻度を多くし，数年後以降はクロメの寿命を考慮し，概ね 5 年程度の間隔）で実施した．直近の調査は 2014 年～2018 年に実施し，生育する海藻類の繁茂状況，魚介類の生息状況を確認した．海藻類は種類と被度（濃生，密生，疎性，点生）を，魚介類は 5 分間の確認数を記録した．

4）藻場形成の評価

29 箇所の設置群のうち，柱状礁だけが設置される 13 群について，「藻場」＝「海藻が繁茂し，多様な生物が生息し，“食う－食われる”の食物連鎖の関係が成立している環境（肉食性魚類が棲みつく環境）」を健全な藻場と考え，藻場生態系の上位捕食者である肉食性の根魚（クエ類，カサゴ類，コブダイ）を指標種に，整備面積と確認数（モニタリング時に確認された個体数）の関係を回帰分析し，藻場形成を評価した．

3．結果

1）長期モニタリングの結果

(1) 海藻類の着生とその傾向

柱状礁の柱状部には主にクロメ（コンブ目）が，柱状礁の底版，対照区の投石及び角型魚礁にはホンダワラ類（ヒバマタ目のノコギリモクやヤツマタモクなど）が着生した（表-2，写真-1）．

海藻類の着生は，設置時期が冬（11～12 月頃）の場合には，翌春にクロメの幼芽や単年生海藻のフクロノリが多く確認された．一方，設置時期が初春（2～3 月）の場合には，春には海藻の着生が確認されず，夏にフジツボ類やカンザシゴカイ類等の付着動物が多く着生し，海藻類の着生が阻害される傾向が窺えた．

クロメの着生は，設置後 1 年目では，礁全体ではなく，柱の上部や下部など部分的に着生する傾向があり，天端から 2m 程度の幅に集中することが多かった．柱状礁に着生したクロメは 5～10 年程度で密生～濃生の繁茂状態となり，その後はその状態が長期にわたり維持されていた（図-3）．蛸木地区，中村地区の 1996 年の設置群では，クロメは繁茂状態となった後，2018 年現在で 17 年間にわたり繁茂状態を維持していた．

表-2　多年生海藻類の確認位置と生育状況

種名＼確認位置	柱状礁		投石	角型魚礁
	柱	底版		
クロメ	●	○	△	△
ホンダワラ類	△	○	●	●

●：濃生・密生，○：疎生，△：点生・極点生
注）表は基質が砂に埋もれない場合の状況である．

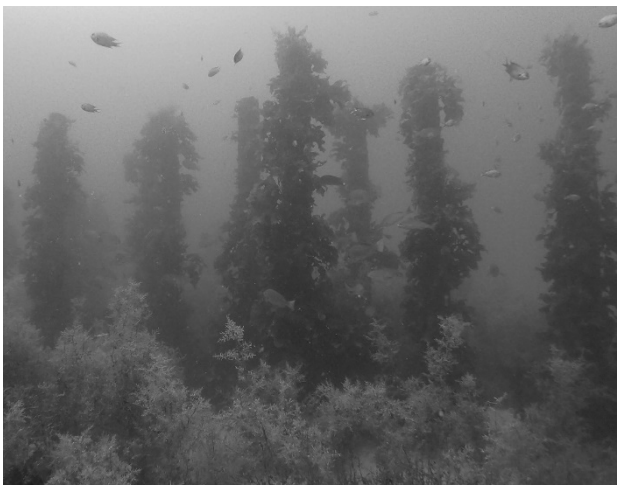

写真-1　蛸木地区の柱状礁
（2016 年 7 月　設置後 20 年）

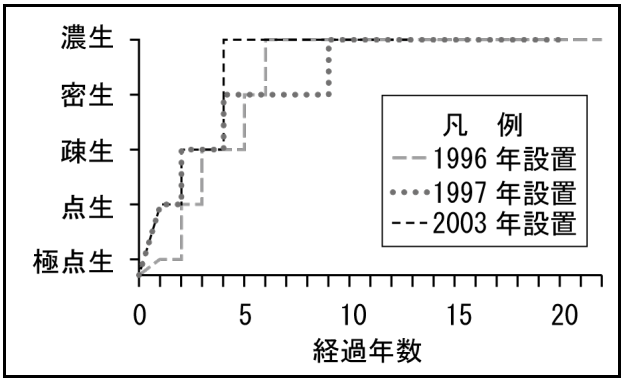

図-3　柱状礁のクロメ被度の経年変化（蛸木地区）
注）1996 年の設置群は設置後 22 年経過まで，1997 年の設置群は設置後 20 年経過まで，2003 年の設置群は設置後 13 年経過までを表示．

(2) 海藻類の変動とその傾向

クロメ，ノコギリモクともに晩秋に衰退し，春に繁茂する季節消長を繰り返したが，砂の影響度合いに応じて変動の差が窺えた．例えば，大規模な砂の移動と堆積がみられた中村地区（図-2 参照）では，砂の堆積厚が最大で 1.3m あり，柱状

礁の底版（高さ 60cm）や投石（高さ 60cm 程度），角型魚礁（高さ 1.5m）の一部が埋没したため，そこに着生していた海藻類は消失した．また，砂の堆積と流出を繰り返す地点では，底版上の海藻は消失と着生を繰り返すことを確認した．さらに，短期的に基質表面を砂が薄く（数 mm 程度）覆う地点では，単年生海藻が消失することはあっても，多年生のホンダワラ類は消失しなかった．

中村地区では砂の移動は激しかったが，4m タイプの柱状礁を設置したため，下部の一部が砂に埋没しても全体が埋没することはなく，柱状部のクロメは継続的に繁茂していた．（写真-2）．

写真-2　砂の動きの激しい場所の柱状礁（中村地区）
（2017 年 7 月　設置後 21 年）

⑶ 魚類の蝟集とその傾向

魚類は，沈設直後はスズメダイやメジナ等が一時的に訪れる程度であった．しかし，2～3 年が経過し海藻類が増えると，餌料生物（アミ類等）が蝟集するようになった（写真-3）．その後は，スズメダイやチャガラ等の小型魚，マアジやカタクチイワシなど回遊魚が見られはじめ，5～6 年が経過すると根魚（キジハタ，メバルなど）が棲み付き始めた．アイゴ，メジナ等の植食性魚類も確認されたが，微細藻を摂食する行動は見られるものクロメを食害する様子は観察されなかった．

⑷ 巻貝類・ウニ類の蝟集とその傾向

サザエは 1～2 個体／m^2 程度の低密度であり，底版が砂で埋没した地区では確認されなかった．また，アワビ類やその他の巻貝類も少なく，ウニ類はほとんど確認されなかった．投石礁では，砂に埋没していない石材の隙間にガンガゼやアカウニが 3～5 個体／m^2 程度で確認された．

写真-3　柱部に蝟集した餌料生物（アミ類）

２）藻場形成の評価

設置群の整備面積と肉食性魚類の確認数との関係には相関（R^2＝0.69，N=13）が見られ，規模が大きく海藻が繁茂している設置群では肉食魚の確認数が増える傾向がみられた（図-3）．

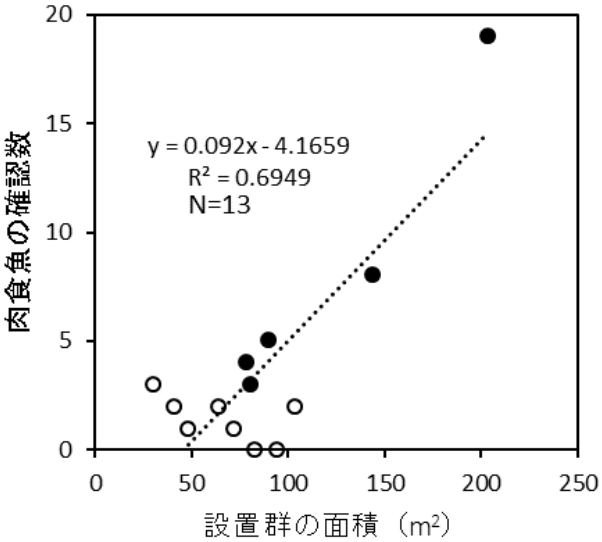

図-3　設置群の面積と肉食魚の確認数の関係
※図中の●は海藻が繁茂（濃生・密生）している柱状礁，○は海藻の着生が少ない（疎性・点生・極点生）柱状礁を示す．

４．考察

隠岐の島町内のおよそ 29 箇所に設置された柱状礁は，古いもので 22 年が経過する．この間に隠岐の島内では藻場の衰退が進行する事態が起こっていた [5]．しかし，砂地に設置された柱状礁では，藻場が長期間形成されていた．このことから，藻場礁の要件を以下のように考察する．

1）食害の回避

磯焼けの持続要因の一つとされる食害動物のウニ類や小型巻貝は, 砂地に設置された柱状礁では, 生息密度が低かった．このことから，食害から海藻類を守るには砂地に設置することが有効であることが示唆された.

ただし, 砂による埋没, 砂の堆積を考慮して，背が高く安定性のある構造とする必要がある.

2）海藻のタネの供給

隠岐ではクロメの子嚢斑形成は 10 月下旬～12 月下旬頃に見られ，この時期に設置した設置群には翌春にクロメが着生した．海藻の成熟前，あるいは成熟中に藻場礁の設置を行ったことで，近傍の天然藻場からの海藻のタネの供給をうけ，早期に想定した海藻が着生したと考えられた．このことから，タネのある時期を考慮し設置することが有効であると示唆された.

また，天然からのタネの供給は一様ではなく，礁の一部に着生したことから，背の高い構造で幅広い水深帯に海藻の着生基質を提供できる構造が有効であると考えられた.

なお，タネの供給源からの距離も重要な要件と考えられるが本報では十分なデータ検証ができなかった.

3）藻場の形成

肉食性の根魚を指標とした藻場形成の評価では, 海藻の少ない設置群は肉食性の根魚の定着が低く, 広い面積で海藻が繁茂している設置群となるほどに肉食性の根魚が増える傾向を確認した．また, 肉食性の根魚が住み付いた設置群は，長期にわたり藻場が安定しており，植食動物による食害の影響が小さいと考えられ，食害が抑制されていると推察された．このことから，藻場を安定的に形成するにはある程度の規模で藻場造成を行う必要があると示唆された.

以上のことから，藻場礁を用いて藻場を早期に形成させ，維持して行くための要件は，次のとおりと考える.

① 砂地に設置することでウニや小型巻貝による食害を回避させる (植食動物の棲場と海藻の生育場を分離させる)．ただし，砂地に設置する場合には, 砂による埋没等の影響を受けにくい構造にする必要がある.

② 藻場礁は繁茂させる海藻の成熟期直前か期間中までに設置する.

③ 藻場礁は高さのある構造物で幅広く水深を確保し多様な海藻の着生を促進させることが有効である.

④ 多くの肉食性魚類（生態系の上位捕食者）が生息できる規模の藻場は, 安定した藻場が形成される.

5．最後に

本報は，長期間の膨大なデータの整理に留まり，内容が概説的となっている．今後もデータの精査に務めたい．しかし，本報の上位の捕食者を指標とした評価手法は，藻場形成を評価するうえで有効な方法であると考えているので, より精度を上げて行きたい. また, 今後は，磯焼け海域における藻場礁の構造や配置の考え方，藻場礁と天然礁のネットワークの関係性などの調査を実施し，より有効な藻場礁の開発をして行く予定である.

参考文献

1) 水産庁, 改訂磯焼け対策ガイドライン, 2015.
2) 水産庁, 藻場資源消滅防止対策ガイドライン, 2009.
3) 綿貫啓, 磯焼け地帯で順応的に進めるコンブ増殖場造成（総説）, 水産工学, 51: pp.33-37, 2014.
4) 一般社団法人 漁港漁場新技術研究会, 人工基質を用いた磯焼け対策, 2017.
5) 吉田大輔, 島根県沿岸における藻場の状況と磯焼けに関する聞き取り調査, 島根県水産技術センター研究報告, 9: pp.37-42, 2016.