

藻場創出や修復を目指した炭素材人工藻場の機能

上野信平¹・佐藤義夫¹・松永育之²・社家間太郎²・舟越善隆²・権田泰之³
(¹東海大学海洋学部・²㈱東海アクアノーツ・³木曾興業㈱)

藻場創出や修復を目指した炭素材人工藻場の機能

上野信平¹・佐藤義夫¹・松永育之²・社家間太郎²・舟越善隆²・権田泰之³

(¹東海大学海洋学部・²(株)東海アクアノーツ・³木曾興業(株))

概要:本研究では、藻場創出や修復の対策の一つとして生物親和性の高い炭素繊維と炭素含有ポリエチレン2種の炭素材を用いた人工藻場の機能を明らかにすることを目的とした。

その結果、炭素繊維人工藻場が海水流動の抑制や水質浄化に効果があり、付着珪藻を基盤とした生態系が形成され、天然藻場と同様の機能をはたすこと、また、海藻群落が形成されることが明らかとなった。しかし、炭素繊維は高価であり、実際の海域での耐久性にも問題があった。これに対し炭素繊維と比較して安価で耐久性にも優れた炭素含有ポリエチレンも、炭素繊維と同様に機能することが明らかとなった。

キーワード:人工藻場, 炭素, ポリエチレン

1. はじめに

高度経済成長期の沿岸域の開発は、高い生物生産力と環境保全機能をもつ藻場や有用海藻の衰退、あるいは消滅を惹起し社会問題となった^{1) 2)}。今日では沿岸域の機能の回復には藻場の創出や修復が重要な課題となっている。その対策として天然の藻体や人工の藻を用いた研究が講じられているが^{3) 4) 5)}、藻場の衰退した根本的原因が未解決であることが多く、十分な成果をあげるには至っていないのが現状である。

本研究では、その対策の一つとして天然の藻体ではなく、生物親和性の高い炭素繊維と炭素含有ポリエチレン2種の炭素材を用いた人工藻場を設置し、その機能を明らかにすることを目的とした。

2. 調査地点の概略と方法

実験海域は静岡県沼津市の久連の沖合100m、水深6mの砂底である(図-1)。本海域の水質は外洋的であるが⁶⁾、久連川が流入していることから降雨時には一時的に陸水の影響も受ける。

実験で使用した藻場材は、炭素100%の炭素繊維(CF)(12k×8本)と炭素含有量20%のポリエチレン発泡体(PE)の2種類である。2000年6月に長さ約1mのCF1600本を、2002年3月には長さ

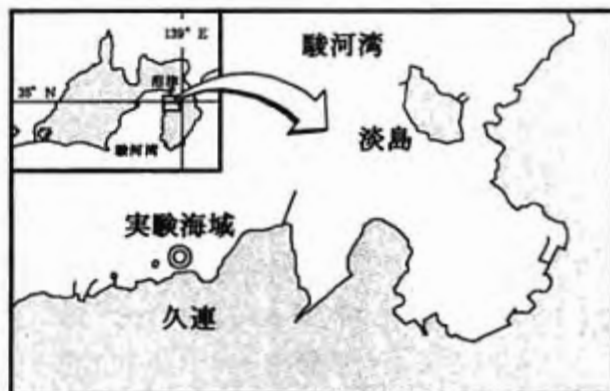


図-1 調査地点の概略

1m、幅3.0cm、厚さ0.2cmのPE900本を各々30×30cmのセラミックス製の固定基盤に取り付け、5×5mの範囲に市松模様になるように各々100基設置した。調査はSCUBA潜水により原則として月1回2日間実施し、現在も継続している。

非生物的環境として、CF人工藻場内外で2001年2~12月に水温、D.O、pH、COD、Si、P、NO₃、T-N、T-P、クロロフィルa、Sal(psu)の11項目について測定した。PE人工藻場内外では2002年3~12月に水温、D.O、pH、Sal(psu)の4項目について測定した。

流速は、2000年12月にCF人工藻場内の2地点と人工藻場外の3地点に石膏球を設置して、石膏球の重量差から流速を測定した。

また2000年11月に人工藻場から1本のCFを採取し、ペルオキシ二硫酸カリウム分解法を用いて炭素繊維上の付着物中のP濃度を測定した。

CF、PE人工藻場内と人工藻場に隣接した平坦な砂底に5×5mのコントロール区を設置し、人工藻場付近のアマモ場にも同様に5×5mのアマモ場区を設置した。CF人工藻場とコントロール区では2000年7月~2001年7月に、PE人工藻場とコントロール区では2002年4~12月に、アマモ場区では2002年6~12月に出現魚類の観察と種別個体数を計数した。

2003年1~12月に、PE人工藻場と2002年9月に新たに設置したCF人工藻場、アマモ場について葉上動物群集の調査を実施した。毎月CF、PEを各5本、アマモ5株を任意に採取し、10%海水ホルマリンで固定した後、目合い1mmの篩にかけ、種別の個体数と湿重量を計測した。

2001年4~7月にCF人工藻場よりCF10本を、2001年8月~2002年3月に5本を毎月基盤より任意に採取した。2003年1月~2004年3月にPE人工藻場よりPE5本を毎月任意に採取した。各々の試料に着生した海藻を調査終了後直ちに10%海水ホルマリンで固定し、種を同定し、種別の湿重量を測定した。

3. 結果と考察

3-1. 非生物的環境

2001年2~12月の調査期間を通してCF人工藻場内外とも、pHは8.0~8.3、Sal(psu)は33~35とほぼ安定し、CODの平均は1.63ppmと水質は外洋的で環境基準の類型Aに相当する清澄さであった。Si、P、NO₃は春季に高く夏季には低下するが、秋~冬季に再び増加してChl.aや海藻の総湿重量の変化傾向と逆の関係にあった。Pは藻場内で0.01~0.52μM、藻場外で0.02~1.06μMであった。2001年の3月の藻場内外の値は他の月と比べ極端に低く、Chl.aの変化傾向と逆の傾向となった。このようなPとSiの季節的变化は、植物プランクトンの吸収の影響を強く受けた結果と考えられた。

2002年3~12月の調査期間を通してPE人工藻場では、D.Oが内側で6.96~10.24mg/l、外側が9.26~10.44mg/lであり、内側、外側ともに3・4・10・11月は高い値であった。pHは、内側で8.0~8.4、外側が7.8~8.3であった。Sal(psu)は、内側で34~36、外側で35~36であった。したがってD.O、pH、Sal(psu)はいずれも外洋的な値であり、CFの場合と大差ないことが明らかとなった。

2000年12月に測定した流速は、人工藻場外では3.19~4.68cm/sであるのに対し、人工藻場内では検量限界以下~1.51cm/sと遅く、CF人工藻場による海水流動の抑制効果は明らかであった。自然界の藻場でも、藻場内は周辺より流速が遅いことが報告されている⁷⁾。

天然藻場では、藻体自体がPやNを吸収することで海水を浄化しているが、CF人工藻場でも同様の機能のあることが報告されている^{8) 9)}。しかし本研究の調査海域の水質は外

洋的で清澄なうえに、人工藻場が5×5mと小規模であることから水質の浄化能は明確ではなかった。自然界でも小規模な藻場では藻場内外で水質にほとんど差は認められないことが報告されている¹⁰⁾。しかし、2000年11月のCFの付着物中のPは0.235mg/gであり、CF人工藻場全体のP吸着量は3685.240mgと算出された。これは浸積6ヵ月のCF人工藻場で920tの海水からPを全て除去したことを意味しており、人工藻場も天然藻場と同様にPを吸着し海水を浄化していることが明らかである。

3-2. 魚類群集の特徴

CF、PE人工藻場の周囲は砂底であり魚類は少ないが、2000年6月のCF人工藻場設置後、直ちに魚類の群集が確認された。2000年設置のCF人工藻場と、2002年設置のPE人工藻場、アマモ場区、コントロール区の魚類群集についてみると、種数はPE人工藻場で20~35種と高位で安定し、CF人工藻場も21~25種で安定して出現した(図-2)。出現魚種ではネブツダイ *Apogon semilineatus*、クロホシイシモチ *Apogon notatus* が卓越し、調査期間を通してペラ科 Labridae、ハゼ科 Gobiidae が高頻度で出現した他、高次魚食魚のカサゴ *Sebastes marmoratus*、メバル *Sebastes inermis*、ハタ科 Serranidae や、藻場常在種のアミメハギ *Rudarius ercodes*、ニジギンボ *Petrosciartes breviceps* も高頻度で出現した。またマアジ *Trachurus japonicus* の群れの来遊と摂餌も確認された。一方、コントロール区では、砂底生の2~7種しか出現しなかった。アマモ場区ではアマモの繁茂期¹¹⁾にテンジクダイ科 Apogonidae、ペラ科、ニジギンボ、アミメハギなどが10~14種出現したが、アマモの衰退と共に減少し11・12月には共に2種にまで減少した。

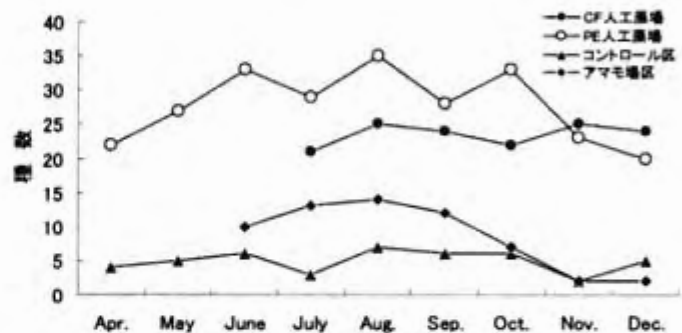


図-2 魚類の出現種数

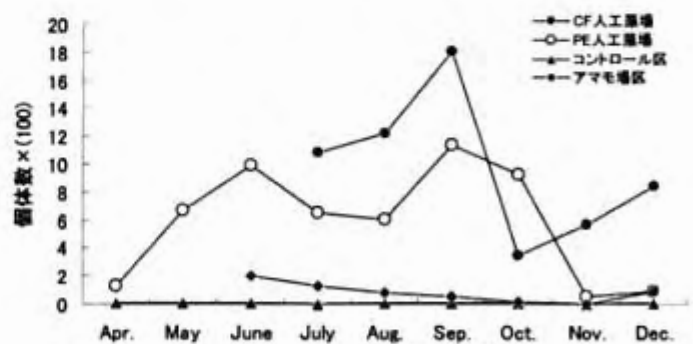


図-3 魚類の出現個体数

また出現個体数では、CF人工藻場で7月の1,085個体から増加して、9月に1,810個体と最大となり、以後急減したがその後増加して12月には840個体出現した(図-3)。PE人工藻場では4~6月にかけて増加し、その後8月まで減少したが9月に再び増加して1,134個体と最大となり、以後11月まで減少した。これらCF、PE人工藻場の出現個体数の大きな変動は、マアジの群などの遇来種や、ネブツダイなどの卓越種の増減によるものである。これに対しコントロール区では、期間を通して4~12個体の出現にすぎず、出現総個体数は70個体と極めて低水準であった。アマモ場では繁茂期に多く、アマモの衰退と共に減少し、出現総個体数は577個体であった。

したがって、種数では、アマモ場区、コントロール区と比較してCF、PE人工藻場が

圧倒的に多く、その変動も小さく安定的であった。出現個体数では、CF、PE人工藻場がアマモ場区より1桁多く、コントロール区より2桁多く出現し、CF、PE人工藻場が天然藻場と同様な蛸集効果があることが明らかとなった。

またCF、PE人工藻場はテンジクダイ科の卓越した魚類群集であったが、藻場常在種のアミメハギやニジギンボが出現し、メバルやカサゴ等の小型肉食魚の出現から、単純ではあるが一つの生態系が構成され、餌場としても機能していることが明らかとなった。さらにホンベラ *Halichoeres tenuispinnis* やメバルなどの稚魚、ネンブツダイ等の繁殖行動、口内保育も確認され、稚魚の保育・育成場としても機能していることが明らかとなった。

3-3. 葉上動物群集

上述したようにCF、PE人工藻場の魚類の蛸集効果は明らかであるが、人工藻場の魚類群集の餌の量と質については、ほとんど明らかになっていない。2003年1~12月のCF、PE人工藻場とアマモ場の葉上動物群集についてみると、調査期間中に出現した種は、CFで202種、PEで163種と人工藻場で多く、アマモ場では46種と低かった。単位面積当たりの個体数では、CFで1,131個体/cm²、PEで221個体/cm²であったが、アマモ場では1~2桁低い26個体/cm²個体であった。

CF、PE人工藻場の卓越種は、環形動物ではツルヒゲゴカイ *Platynereis bicanaliculata*、アケノサシバ *Genetyllis castanea*、カンザシゴカイ科 *Serpulidae*、カスリオフェリア *Polyophthalmus pictus* の4種であったが、アマモ場ではツルヒゲゴカイのみであり、これらの種は周年平均的に出現した。節足動物では、人工藻場でワレカラ属 *Caprella* spp.、サンカクフジツボ *Balanus trigonus*、*Zeuxo* sp. であり、アマモ場では、トゲホホヨコエビ *Paradexamine barnardi*、*Jassa* sp.、ホソヨコエビ *Erichthonius pugnax* と異なる種が出現し、1~8月に多く出現する傾向であった。軟体動物では、人工藻場でタマエガイ *Musculus cupreus*、ヒメヨウラク *Ergalatax contractus* が卓越し、アマモ場では、シマハマツボ *Alaba picta*、ノミニナモドキ *Zafra mitriformis* であり、これらの種は、8~12月に多く出現する傾向であった。したがって、CF、PE人工藻場に出現する葉上動物群集は、節足動物が優占する1~8月と軟体動物の優占する8~12月の2期に区分されることが明らかとなった。

CF、PE人工藻場とアマモ場の群集構成はHornの重複度指数 R_o でみると、CF、PE人工藻場では R_o が0.6以上で類似している時期が12カ月のうち10カ月を占め、類似していると考えられる。これに対しアマモ場は、 R_o が0.6未満の月が12カ月のうち11カ月もあることから人工藻場とは類似せず、独特の群集構成であることが明らかとなった。なおアマモ場と人工藻場の群集構成が類似する7月はアマモの繁茂期にあたる¹¹⁾。

このような相違が生じた要因の一つは、アマモには季節的消長があるのに対し、CF、PEには変化はないことによると推察される。また、藻場のもつ餌料供給機能の面からみると、人工藻場では天然のアマモ場と比較して、種数、個体数ともに1~2桁も多いことから、天然の藻場以上の機能をもつことが明らかとなった。

3-4. 海藻群落

CF人工藻場に形成された海藻群落をCF10mでみると、種数では2001年4~6月は24~31種と多く、8~12月は18~20種であった。2002年1~3月は11~14種と低位で推移

した。総湿重量は4月に1,579gと調査期間を通して最大であるが、5・6月に減少し、7月には345gと急減した。8~11月は166~1gとさらに減少するが、12月には増加傾向となり、2002年2月には937gに達するが、3月には再び398gと減少した。ヒロメ *Undaria undarioides* は2001年4月には1,375gと総湿重量の87.1%を占め独占的であり、人工藻場を覆い尽くした。しかし5月以降は減少し、7月には確認されなかった。その後12月に2gと再び着生が確認され、2002年2月には増加して680gと総湿重量の72.6%を占め再び優占した。次いで湿重量の多かったフクロノリ *Colpomenia sinuosa* は、2001年4月に129gと最も多く、以後減少し8月には確認されなかった。その後12月に再び着生が確認され、2002年3月には31gまで増加し、ヒロメと同様の推移を示した。カバノリ *Gracilaria textorii* は調査期間を通して7月以外の月で着生が確認されており、2001年5月に489gと最も多く、冬春季に多く、夏季に少ない傾向であった。ヒロメ以外の海藻はいずれも小型海藻で、その他の種については一定の出現傾向は認めにくかった。

一方、PE人工藻場の種数は、2003年1~4月に22~28種と高水準で推移し、以後急減し7~11月では12~14種と低水準であった。しかし12月に17種と増加しはじめ、2004年3月には29種にまで達した。また、PE5m当たりの海藻の総湿重量では、2003年1月の85gから急増し、4月には1,912gに達した。その後5月には13gと急減し、7~12月では1~4gと低水準で推移したが、2004年1月には61gと急増し、3月には1,320gに達した。2003年1~4月と、2004年1~3月の急増は、大型海藻のヒロメによるもので、この種は2003年1~4月に48~1,829gと急増し、4月には総湿重量の95.7%を占め独占的に優占した。その後夏季には消失したが、2004年1月に24g、3月に1,161gと総湿重量の87.9%を占め、再び独占的に優占した。このように総湿重量の増減は海藻の生長によることは明らかである。その他の種については、一定の出現傾向は認めにくい。カバノリでは2003年4月に13g、2004年3月に26gと高く、7~12月では1gと低い値で推移したが、調査期間中すべての月で着生が確認された。フシツナギ *Lomentaria catenata* もカバノリと同様に推移し、いずれも冬春に高く、夏秋に低い傾向であった。また、フサノリ *Scinaia japonica* やツカサノリ科 *Kallymeniaceae*、ベニスナゴ *Schizymenia dubyi* などは1~5月の冬春季のみ着生が確認されている。

したがって総湿重量の増減は、大型海藻のヒロメの生長に大きく左右され、種数、総湿重量はともに冬春に高く、夏秋にかけて低いことから、このような変動は藻類の生活史¹²⁾に基づくことは明らかである。しかし、人工藻場に大量の大型藻類が着生し、それぞれの生活史に基づき海藻群落が季節消長を示すことは、周辺への胞子の供給や、葉上動物の生活基盤の提供という点で、人工藻場の機能をさらに高めていることが明らかとなった。

4. まとめ

CF、PE人工藻場では、冬春季に人工藻場を覆い尽くすほどの海藻群落が形成された。人工藻場に形成された海藻群落は、新たな立体構造を生み出し、魚類の増集効果を高めるだけでなく、天然の藻体上にも葉上動物群集が形成されることから、餌料供給機能も高めることが明らかとなった。また、CF人工藻場は海水浄化に効果があることが明らかとなったが、天然の藻体による浄化能も期待され、人工藻場に形成された海藻群落が周辺海域への新たな胞子の供給源として機能することも明らかとなった。

引っ張り強度は鉄よりも強いとされる炭素繊維ではあるが、人工藻場の設置から18ヵ月が経過した2001年11月頃になると、魚類の摂餌活動などにより炭素繊維は千切れ、流失しはじめたことから、CFは海域での人工藻場材としての耐久性に問題があることが明らかとなった。一方、PE人工藻場では設置から1年後の冬春季には、冬季一年生海藻を中心とした海藻群落形成され、2年後の冬春季にも種数、総湿重量の増加とともに再び海藻群落形成された。

したがって、CF、PEの人工藻場は、ともに天然藻場と同様な機能を有するが、魚類の集積効果、葉上動物の豊富さ、海藻群落の形成の点では天然藻場以上の機能を有することが明らかとなった。また実海域での耐久性の点では、PEの方がCFより優れていることが明らかとなった。

引用文献

- 1) 環境庁自然保護区、(財)海中公園センター：第4回自然環境保全基礎調査、海域生物環境調査報告書(干潟、藻場、珊瑚礁調査)－藻場－、2、400p、1994。
- 2) 寺脇利信：藻場、pp.1-30。大野正夫(編)、21世紀の海藻資源－生態機構と利用の可能性－、緑書房、東京、260p、1996。
- 3) 運輸省港湾局：港湾構造物と海藻草類の共生マニュアル、財団法人 港湾空間高度化センター 港湾・海域環境研究所、東京、pp.2-12、1998。
- 4) 川崎保夫・寺脇利信：藻場の造成、pp.74-85。磯部雅彦(編)、海岸の環境創造－ウォーターフロント学入門－、朝倉書店、東京、208p、1994。
- 5) 青田 徹・綿貫 啓・廣瀬紀一・古屋秀史：浮泥の堆積の多い海域における人工海草に着生した生物、平成14年度日本水産工学会学術講演会講演論文集、pp.93-94、2002。
- 6) 小坂 剛・小松恒久・大久保明彦・上野信平：低水温被害を受けた駿河湾のエダミドリイシ群集の変遷(1992～2000年)、東海大学紀要海洋学部、52、pp.57-67、2001。
- 7) 小河久郎：藻場、pp.161-172。栗原 康(編)、河口・沿岸域の生態系とエコテクノロジー、東海大学出版会、東京、335p、1988。
- 8) 増田憲大・佐藤義夫・上野信平・白石 稔：炭素繊維を用いた海水浄化、第27回炭素材料学会年会要旨集、pp.178-179、2000。
- 9) 山崎隆志・古川悦子・三根 勤・大神邦明：海洋における炭素繊維の有効活用、第27回炭素材料学会年会要旨集、pp.224-225、2000。
- 10) 斎藤雄之助：ガラモ場、(3)まとめ、沿岸海域藻場調査藻場環境生態調査報告書2、(生物、環境関係)、pp.184～185、1979。
- 11) 吉田司・芝修一・小山善明・新井義昭・鈴木輝明：アマモ場造成に必要な生育環境条件に関する研究、水産工学、Vol. 40 No3、pp.205～210、2004。
- 12) 堀 輝三(編)：藻類の生活史集成 第2巻 褐藻・紅藻類、内田老鶴圃、東京、345p、1993。