

学術論文

## 天然藻場修復のパイロットとしての炭素繊維人工藻場

上野信平（東海大海洋学部）・松永育之（㈱東海アクアノーツ）

林 大・佐藤義夫（東海大海洋学部）

白石 稔（東海大開発工学部）・小島 昭（群馬工業高等専門学校）

# 天然藻場修復のパイロットとしての炭素繊維人工藻場

上野信平 (東海大海洋学部)・松永育之 ((株)東海アクアノーツ)

林 大・佐藤義夫 (東海大海洋学部)

白石 稔 (東海大開発工学部)・小島 昭 (群馬工業高等専門学校)

## 1. はじめに

本邦沿岸の藻場は、近年の沿岸開発やその他の人間活動により、減少の一途をたどっている。一方で藻場のもつ水産的な重要性の認識から、その修復や創出の努力がなされているが、必ずしも成功していないのが現状である。砂底や磯やけ帯に設置した炭素繊維人工藻場は、天然藻場と同様の機能を果たすことが明らかになっている<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。

そこで本研究では生物親和性の高い炭素繊維<sup>5)</sup>を用いた人工藻場を、かつては藻場であったが現在は転石が散在するだけの海底に設置し、そのような環境でどのように機能するのか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

長崎県松浦市の火力発電所前のピンガ瀬は砂底に転石が散在し、立体的構造の乏しい単純な地点である(図-1)。有用魚類は少なく、貝類やイトマキヒトデなどの無脊椎の底生動物が多い。このピンガ瀬に2001年5月26~31日に長さが1mで、1本が12k×8本の炭素繊維(CF)よりなるロープ400本を備えた2×2mのネットを2枚設置し、これを(ネット+CF)区とした(写真-1)。また30×30cmのセラミックス5枚を水平に鉄枠で固定したブロックを41基砂底に設置した。これらのブロックは1×1mの範囲に4基設置し、ブロックの上端にはタキロン製のネットに9本の上記と同一の炭素繊維ロープを固定し、これを(セラミックス+CF)区とした(写真-2)。これらとは別に2×2mのコントロール区を隣接して設置した。これらの設置地点はいずれも、水深4.2mで、底質は転石と砂底である。調査はSCUBA潜水により2001年7, 8, 10月、2002年2月に実施した。調査では、出現魚類の種別個体数を計数し、付着海藻は炭素繊維100本を100%として被度を目視観察により求めた。非生物的環境としては、水温、pH、溶存酸素(DO)、塩分(psu)、COD、Si、P、NO<sub>3</sub>、T-N、T-P、Chl aを測定した。ただし水温については比較のため同一湾内のノー瀬でも測定した(図-1)。



図-1 調査海域の概要



写真-1 (May 31, 2001) (ネット+CF) 区

## 3. 結果と考察

### 1) 非生物的環境

2001年7月14日から2002年2月2日までの2時間ごとの水温は自記式水温計(オンセットコンピューター社、テイドビット)による測温では、ノー瀬で最高が28.9℃、最低が12.8℃であり、ピンガ瀬では最高が

32.5°C, 最低が 12.5°Cであった (図-2)。全体的にビンガ瀬がノー瀬と比較して高い傾向にあり, 日較差も大きいことから, ビンガ瀬が火力発電所の排水の影響を強く受け, 出現生物の相違にも大きく関係することが考えられる。この傾向は7~9月に顕著になるが, 2月には僅差となる。



写真-2 (July 14, 2001) (セラミックス+CF) 区

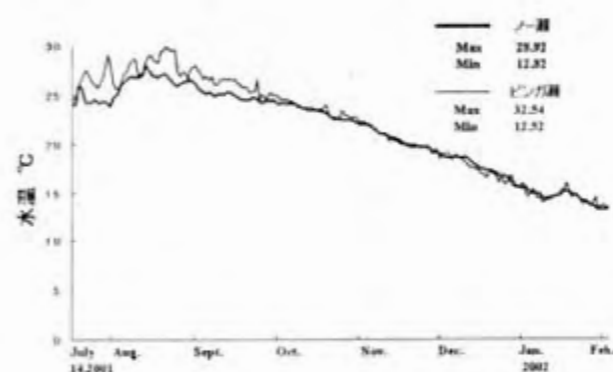


図-2 ノー瀬とビンガ瀬における水温変動

表-1 非生物的環境 (July 14, 2001)

測定項目	人工藻場内	環境水
pH	8.1	8.2
DO	8.1	8.6
塩分 (psu)	35.0	35.0
COD (ppm)	2.21	2.36
Si ( $\mu$ M)	9.0	10.0
P ( $\mu$ M)	0.00	0.04
NO <sub>3</sub> ( $\mu$ M)	0.54	0.68
T-N ( $\mu$ M)	14.57	23.14
T-P ( $\mu$ M)	0.31	0.40
Chl.a ( $\mu$ g/l)	1.36	0.88

水温以外の非生物的環境は, いずれの地点とも, ほぼ外洋的な値であり, 人工藻場の内外差は小さく炭素繊維による浄化機能は特に認められなかった (表-1)。これは人工藻場の面積に対して海水流動の効果が大きかったことによると考えられる。またこれらの環境要因は水温以外はいずれも生物の生息を制限しない値と考えられる。ただし Chl.a については季節的な変動が認められた。

表-2 出現魚類リスト

和名	学名	(ネット+CF)区	(セラミックス+CF)区	(コントロール)区
アオヤガラ	<i>Fistularia petimba</i>	○	○	
メバル	<i>Sebastes inermis</i>	○		
カサゴ	<i>Sebastes marmoratus</i>	○	○	
アサヒアナハゼ	<i>Pseudoblennius cicutoides</i>	○	○	○
ネンブツダイ	<i>Apogon semilineatus</i>	○	○	
クロホシイシモチ	<i>Apogon notatus</i>	○	○	
オオスジイシモチ	<i>Apogon doederleini</i>	○		
マダイ	<i>Pagrus major</i>	○	○	○
フエダイ	<i>Lutjanus scellatus</i>			○
ヨコシマタマシラ	<i>Scolopsis lineata</i>			○
コロダイ	<i>Diagramma pictum</i>		○	
タカノハダイ	<i>Goniistius zonatus</i>			
インダイ	<i>Oplegouathus fasciatus</i>	○	○	○
ソラスズメダイ	<i>Pomacentrus coelestis</i>		○	
オハグロベラ	<i>Pteragogus flagellifer</i>	○		
ササノハベラ	<i>Pseudolabrus japonicus</i>	○	○	
カミナリベラ	<i>Stethopodus interruptus terima</i>	○	○	
ホシベラ	<i>Halichoeres tenuispinus</i>	○	○	○
ニシキベラ	<i>Thalassoma cupido</i>	○	○	
キューウセン	<i>Halichoeres poecilopterus</i>	○	○	○
ニジギンボ	<i>Parascirtes brevicauda</i>	○	○	
コウライイトウギス	<i>Parapercis snyderi</i>		○	○
ツツワハゼ	<i>Itigobius campbelli</i>	○		
サビハゼ	<i>Siganus genetionema</i>	○	○	○
キヌハシ	<i>Pterogobius elapoides</i>		○	
チャガラ	<i>Pterogobius zosteroleucus</i>	○		
ホシハゼ	<i>Asterropteryx semipunctata</i>	○		
アイゴ	<i>Siganus fuscus</i>	○	○	
カワハギ	<i>Stephanolepis cirrifer</i>	○	○	
アミメハギ	<i>Rudarius ercodes</i>	○	○	
ウマノラハギ	<i>Thamnaconus modestus</i>		○	○
カサフグ	<i>Takisfugu niphobles</i>	○		
計	32	24	22	10

## 2) 魚類群集

調査期間に確認された魚類は合計 32 種であった (表-2)。いずれも小型の魚種か, あるいは幼魚であった。最も多かったのは 2001 年 10 月で 23 種, 最も少なかったのは 2002 年 2 月の 5 種であった。出現種自体に大きな変動はなかったが, 全体的には設置期間の経過にもない 10 月まで増加傾向にあった。しかし, 2月になると出現種数, 個体数ともに急減した。この急減が人工藻場の衰退によるものでないことは, ほとんどの魚類が行動的ではなく, 転石の間隙に静止しているという観察結果から明らかであり, 季節的な変動と推察された。

調査区別にみると (ネット+CF) 区では 7 月に 394 個体と, 個体数は調査期間中最大であった。しかし 8 月 37 個体, 10 月 55 個体と急減し, 2 月は最小の 4 個

体であった。7月から8月にかけての急減は7月にチャガラが366個体と突出して多いことによるものであり、チャガラを除けば32個体となり7、8、10月で大きな変化はない。種数は10~18種と10月までは大差ないが、2月は3種4個体に急減した。

(セラミックス+CF)区の個体数は7月の34個体、8月に36個体、10月に24個体と安定していた。しかし、2月には7個体と急減した。10月までの種数は10~16種で大差ないが、2月は僅か3種であった。このような個体数と種数の推移は(ネット+CF)区の場合とほぼ同様である。

コントロール区の個体数は7~10月までいずれも9個体であったが、2月には0個体となった。種数は5~7種と10月までは低位安定であったが、2月には0種となった。したがってコントロール区の魚類の出現状況は(ネット+CF)区や(セラミックス+CF)区とは大きく相違していたことが明らかである。

これらの個体数と種数から人工藻場に出現した魚類群集の構造をShannon-Weaverの多様度指数 $H'$ でみるといずれの月もコントロール区と比較して(ネット+CF)区、(セラミックス+CF)区はともに高く、群集構造がより複雑であることが明らかである(表-3)。

表-3 出現魚類群集のShannon-Weaverの $H'$ による多様度

地点名	July	Aug.	Oct.	Feb.
(ネット+CF)区	0.61 (3.41)	2.62	3.14	1.50
(セラミックス+CF)区	2.99	3.65	2.92	1.45
コントロール区	2.06	2.06	2.41	0.00

( )はチャガラを除いた値

まとめると(ネット+CF)区と(セラミックス+CF)区はコントロール区と比較して個体数、種数ともに多く、人工藻場として魚類の集積機能を持ち、幼稚子の出現は育成場としても機能していることを示唆していると考えられる。またカサゴやメバルなどの肉食性魚類の出現は人工藻場の設置により、新たに創出された環境に単純ではあるが系が形成され、その系が時間の経過にともない、より複雑化していることを示唆する考えられる。このことは(セラミックス+CF)区で魚類ではないがアオリイカが20個体確認され(写真-3)、これらの個体は(セラミックス+CF)区の内さま

で入り込み索餌していたことから支持されよう。したがって、炭素繊維人工藻場は魚類群集からみると天然藻場修復のパイロットとしての機能を十分備えていると考えられる。



写真-3 (Oct. 6, 2001) (セラミックス+CF)区のアオリイカ

### 3) 海藻群落

調査期間に確認された海藻は合計26種であった(表-4)。確認された海藻はいずれも小型種で、しかも幼体が多く量的には貧弱であった。最も多かったのは2002年2月で25種、最も少なかったのは2001年7月の6種であった。全体的に設置期間の経過にともない増加傾向にあったが、夏から冬にかけて藻類の生活史に基づく季節的な変動と推察された。このような海藻群落の季節的消長は他の海域の人工藻場でも報告されている<sup>9)</sup>。

それぞれの区について時期別にみると、設置後2ヵ月を経過した7月では、コントロール区で4種と最も多く、ミル、マクサ、無節サンゴモ類が卓越していた。また、(ネット+CF)区、(セラミックス+CF)区ではシオグサ属とイギス科の2種しか出現せず顕著な海藻類の着生はみられなかった。これは設置から2ヵ月しか経過していないことによると考えられる。10月でも各調査区で若干の種数の増加がみられたものの、6~7種と海藻相としては7月と同様に貧弱であった。しかし2月になると(ネット+CF)区で18種と最も多く、次いで(セラミックス+CF)区の10種、コントロール区でも9種と増加した。そこで設置後間もない7月を除いて、10月から2月の変化を調査区別にみると、(ネット+CF)区で6種から18種に、また(セラミックス+CF)区では7種から10種に増加した。コントロール区でも7種から9種に増加していることから、(セラミックス+CF)区はコントロール区とほ

ほぼ同様と考えられる。しかし(ネット+CF)区の増加は顕著であった。(ネット+CF)区、(セラミックス+CF)区の炭素繊維の設置区でもこのような相違が生じた要因の一つに設置密度の差が考えられる。(セラミックス+CF)区は30×30cmのブロックが4基/m<sup>2</sup>であり炭素繊維の設置密度は(ネット+CF)区と比較して少ない。

したがって(ネット+CF)区はコントロール区と比較して種数が多く、周辺では確認されていない海藻が炭素繊維やネットに着生していることが確認されており、当調査区に海藻類の胞子の供給があることは明らかである。また着生後間もない幼体が多いため量的には貧弱であるが冬から春にかけての成長が期待される。しかし魚類調査において藻類食のアイゴが確認されており、それらによる食害が懸念される<sup>7),8)</sup>。確認されたアイゴはいずれも幼魚であるが、十数個体が群れをなし、炭素繊維に着生する海藻類を摂食しているのが確認されている。天然藻場の修復には魚類による食害防止が重要となるが、これに対しては人工藻場の規模の拡大が有効な方法の一つと考えられる。なかでも(ネット+CF)区はコントロール区と比較して海藻類の出現種数が多いことから有効と考えられる。(セラミックス+CF)区も設置規模を拡大することで同様な効果が期待される。

表-4 出現海藻リスト

綱	和名	学名	(1)+(CF)	(2)+(CF)	(3)+(CF)
			区	区	区
緑藻綱	71/1属	<i>Enteromorpha</i> sp	○		
	71/1属	<i>Ulva</i> sp	○		
	71/1属	<i>Cladophora</i> sp	○	○	
	71/1属	<i>Bryopsis plumosa</i>	○		○
褐藻綱	14	<i>Codium fragile</i>			○
	17/1	<i>Colpomenia sinuosa</i>		○	
紅藻綱	17/1属	<i>Sphaerularia Lyngbye</i> sp	○	○	○
	17/1	<i>Gelidium elegans</i>		○	○
	17/1属	<i>Gelidium</i> sp	○	○	○
	17/1	<i>Pterocladia capillacea</i>	○		
	17/1属	<i>Amphiroa zonata</i>			○
	17/1属	<i>Amphiroa</i> sp	○	○	
	無節ナマコ目	Melobesioideae	○	○	○
	17/1	<i>Grateloupia filicina</i>	○		
	17/1科	Halymeniaceae	○		○
	17/1科	Kallymeniaceae	○		
	17/1科	Peyssonneliaceae	○		○
	17/1	<i>Chondracanthus intermedius</i>			○
	17/1	<i>Gracilaria textoris</i>	○	○	
	17/1属	<i>Ginacilaria</i> sp	○		
17/1属	<i>Hypnea</i> sp	○			
17/1	<i>Chryssymena wrightii</i>	○			
17/1科	Ceramiales	○	○	○	
17/1科	Dasyaceae	○			
17/1属	<i>Polysiphonia</i> sp	○	○		
17/1	<i>Symphocladia pennata</i>		○		
	21	26	20	11	11

## 引用文献

- 1) 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.
- 2) 上野信平・小坂 剛・佐藤義夫・白石 稔：炭素繊維を用いた人工藻場の機能。第27回炭素材料学会年会要旨集, pp. 180-181, 2000.
- 3) 林 大・上野信平・佐藤義夫・松永育之・白石 稔・小島 昭：設置時期の異なる炭素繊維人工藻場に出現した魚類群集の変遷。第28回炭素材料学会年会要旨集, p. 45, 2001.
- 4) 上野信平・小坂 剛・杉浦泰博・安部春夏・佐藤義夫・白石 稔：炭素繊維を用いた人工藻場の魚類群集。平成13年度日本水産学会春季大会講演要旨集, p. 45, 2001.
- 5) 大石正人・白石 稔・大谷杉朗：炭素繊維への海洋微小生物の固着。東海大学紀要開発工学部, (8), pp. 78-88, 1998.
- 6) 松永育之・林 大・上野信平・佐藤義夫・白石 稔・小島 昭：炭素繊維人工藻場に出現した海藻群落の消長。日本海洋学会創立60周年記念大会講演要旨集, p. 132, 2001.
- 7) 野田幹雄：藻食性魚類の食害による磯焼けの現状。平成13年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 229-232, 2001.
- 8) 新井章吾：海藻植生による藻場診断と藻場の回復手法。平成13年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 229-232, 2001.