

## 藻場による窒素固定の便益評価に関する一考察

### A Consideration on the Benefit Evaluation of Nitrogen Storage by Seaweed Beds, in Bisan-Seto, Seto Inland Sea

明田 定満\*・網中 宗利\*\*・中澤 公伯\*\*\*・末永 慶寛\*\*\*\*

Sadamitsu AKEDA, Munetoshi AMINAKA

Kiminori NAKAZAWA and Yoshihiro SUENAGA

**要旨**：藻場は稚仔魚の生息場、隠れ場、餌場としての機能に加えて、海域における栄養塩類や二酸化炭素を吸収固定する場としての機能が注目されている。藻場を形成する海藻類のうち、ホンダワラ類は春～夏季に流れ藻として流出（有機物を域外に排出）することから、海域の水質浄化に対する寄与が期待されている。本論では海域の水質浄化に対する流れ藻の寄与を検討するため、香川県高松市庵治地先の造成藻場を対象に、(1) 藻場を構成する海藻群落は栄養塩類をどれだけ吸収固定しているのか、窒素固定量を指標に検討するとともに、海藻群落の窒素固定が持つ社会経済的価値について、下水道整備費との比較から費用対効果分析を行った。(2) 流れ藻は域外に流出するのか、数値モデルを用いて流出過程を検討した。その結果、藻場造成手法毎に単位面積当たりの窒素固定量は異なるが、藻場造成による便益は年間 4-14 千円/m<sup>2</sup> 程度見込まれることが明らかとなった。また、対象海域では、春～初夏に卓越する西風に乗って、流れ藻は域外に流出することが現地調査、数値解析から確認された。

**キーワード**：藻場、流れ藻、栄養塩固定、数値モデル、費用対効果分析

## 1. 緒言

### 1.1 藻場の機能

日本の沿岸域は、暖流や寒流の影響を受けて多種多様な藻場が分布しており、世界的に見ても恵まれた環境となっているが、近年、全国的に藻場面積が減少しつつある。環境省の調査によると、昭和 53 年以降、日本全国で約 5,000ha の藻場が減少しており、本論の対象海域である備讃瀬戸においても、昭和 53 年以降、325ha の藻場が減少している<sup>1) 2)</sup>。

藻場は干潟とともに、海域における生物生産や環境負荷の低減に多くの役割を担っている<sup>3) 4)</sup>。藻場が持つ第一の機能は、海洋生物の幼稚仔を育

む「海のゆりかご」としての機能である。藻場は産卵場であるとともに、外敵生物に捕食され難い空間を提供する、餌料生物となる葉上葉間生物が豊富に生息する等、稚仔魚の着生場、生息場、隠れ場、餌場といった様々な機能を持つ。

第二の機能は、藻場を形成する海藻群落を持つ二酸化炭素の吸収固定機能である。森林が二酸化炭素の吸収固定能力を有しているのと同様に、「海の森」と呼ばれる藻場にも同様の能力があることから、藻場の造成と拡大は地球温暖化防止に少なからず寄与していると考えられる。

第三の機能は、藻場を形成する海藻群落を持つ栄養塩類の吸収固定機能である。海藻は窒素、リ

\* 正会員 香川大学大学院工学研究科博士後期課程 (独立行政法人水産総合研究センター)

\*\* 学生会員 香川大学大学院工学研究科博士前期課程

\*\*\* 正会員 日本大学生産工学部創生デザイン学科

\*\*\*\* 正会員 香川大学工学部安全システム建設工学科

ン、カリウム等の栄養塩類を吸収し、光合成を行い生長する。海水中の窒素やリンが高濃度な状態、富栄養化状態が続くと、植物プランクトンの異常増殖、赤潮が発生し易くなる。そこで、海藻群落は海水中の栄養塩類を吸収して、その濃度を低く保てば、植物プランクトンの増殖が抑制され、透明度が高くなり水質環境が良好に保たれる。

第四の機能は、第三の機能に関連して、藻場を形成する海藻が流れ藻になり、栄養塩類を域外に移出する機能である。栄養塩類を吸収固定した藻体は流れ藻となって域外に流出し、バクテリアや細菌等による生物化学作用を受けて徐々に無機態に変化する。そのため、海域の環境負荷を低減する観点からは、域内で無機化されるのではなく、域外で無機化される、または漁業活動（水産生物の場合は漁獲、海藻の場合は採草）を通じて、栄養塩類を吸収固定した有機体を、漁獲物として域外特に陸域に排出されることが重要となる。

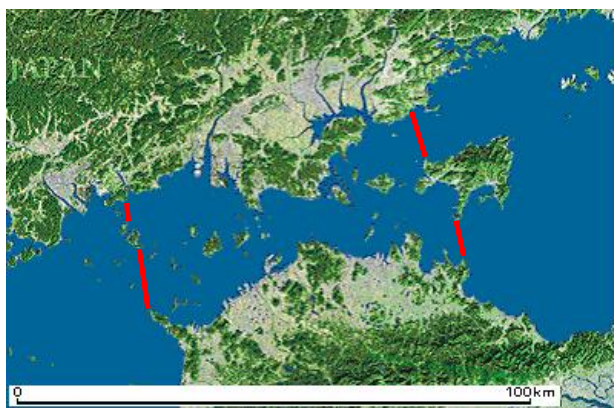


図 1.1 備讃瀬戸

## 1.2 備讃瀬戸の概要<sup>1) 2)</sup>

備讃瀬戸は図 1.1 に示すように、北は岡山県（一部広島県）、南は香川県に囲まれた東西 75km の細長い海域であり、最狭部である玉野市松ヶ鼻から対岸の香川県高松市大崎の鼻までの距離は、僅か 7km に過ぎない。備讃瀬戸は海釜、海底水道、砂州、砂堆等複雑な地形が分布しているとともに、瀬戸内海の湾、灘の中で最も浅く、5~20m 以浅

の海域が約 50% を占める。さらに備讃瀬戸は南北の幅が狭く、多くの島が存在するため、ほとんどの海域で 2 ノット以上の潮流となる。

備讃瀬戸は、大小様々な島々からなる複雑な地形と“潮”の流れに加えて、水産生物を育む浅場、藻場が多数点在することから、多種多様な魚介類が漁獲されてきた。また、入江が多く波浪が穏やかなことから、タイ類、ブリ、海苔、牡蠣等の養殖が盛んに行なわれてきたが、近年、沿岸域の都市化に伴う環境悪化、魚介類の乱獲等様々な要因により、漁獲量はピーク時の 1/3 程度まで減少している。備讃瀬戸の藻場は漁獲量の減少に併行するように、昭和 53 年(1978 年)から平成元年(1989 年)にかけて、埋立や海砂採取により 80ha、原因不明により 245ha が消滅している。

## 1.3 本論の目的と内容

本論では備讃瀬戸東部海域、香川県高松市庵治地先の造成藻場を対象に、海域の水質浄化に対する流れ藻の寄与を明らかにするため、

### (1) 海域の水質浄化に果たす藻場の役割

造成藻場を構成するホンダワラ群落が栄養塩類をどれだけ吸収固定しているのか、窒素固定量を指標に検討した。併せて、海藻群落の窒素固定が持つ社会経済的価値について、下水道整備費との比較検討から、藻場造成手法（藻礁構造物）別に藻場造成の費用対効果分析を行った。

### (2) 海域の水質浄化に果たす流れ藻の役割

造成藻場を構成するホンダワラ群落において、春から初夏に見られる流れ藻は、海域から栄養塩類を吸収固定した藻体を域外に移出させる現象であることを確認するため、数値モデルを用いて、風条件別に流れ藻の流出過程を検討した。

## 2. 材料と方法

### 2.1 藻礁構造物

香川県高松市庵治地先の造成藻場には、(1) 海

藻着生基質となる石材を敷設する投石礁、(2) 海藻着生基質がコンクリートである藻礁（以下、既存藻礁という）、(3) 海藻着生基質が多孔質基質である藻礁（以下、多孔質藻礁という）の3種類の藻礁構造物が設置されている。

投石礁は波、流れに対して安定な重量を有する石材（大割石や中割石）を積層して敷設する藻場造成手法であり、比較的安価に入手可能な石材が敷設されるため、全国的に藻場造成や磯根資源増殖場造成に常用されている。既存藻礁はコンクリート製異型ブロックが使われ、海岸保全施設や港湾・漁港施設で常用されている。多孔質藻礁は鉄鋼スラグを利用した多孔質基質を海藻着生基質として使用するものであり、単位面積当たりの海藻着生量が多い<sup>5) 6)</sup>。

藻礁構造物の一例として、多孔質藻礁<sup>7)</sup>の沈設状況を図 2.1 に示す。造成藻場における3種類の藻礁構造物の配置を図 2.2 に示す<sup>8)</sup>。藻礁構造物の設置場所、設置基数、設置水深、底質は以下の通りである。

- ①設置場所：香川県高松市庵治地先
- ②設置基数：60 基（既存藻礁）、8 基（投石礁）  
22 基（多孔質藻礁）
- ③設置水深：6.0～8.0m
- ④底質：砂、泥



図 2.1 多孔質藻礁の沈設状況

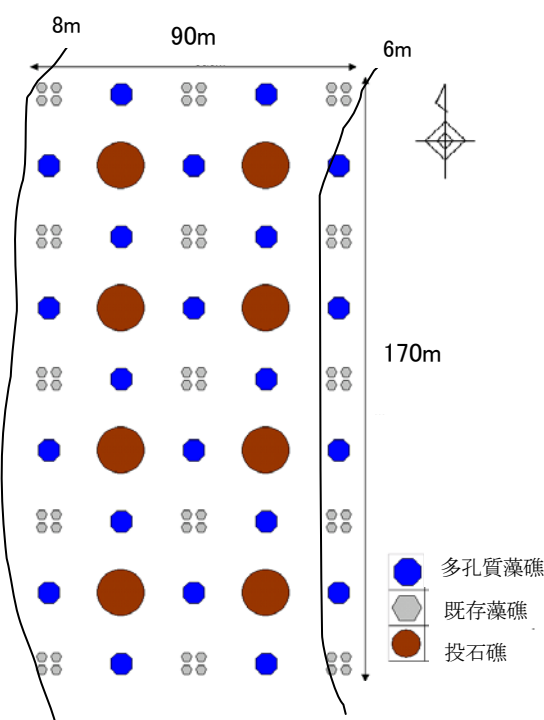


図 2.2 造成藻場内の藻礁構造物の配置

## 2.2 海藻群落による窒素固定量の推定

香川県高松市庵治地先の造成藻場を対象に、藻礁構造物（投石礁、既存藻礁、多孔質藻礁）別の海藻繁茂量結果に基づき、海藻群落の窒素固定量を推定する。なお、造成藻場の設置水深が6～8mであるため、海藻は各水深帯（6m、7m、8m）の中央付近に設置されている3種類の藻礁構造物（各1基）から採取した。

## 2.3 流れ藻の流出状況に関する計算<sup>11) 12)</sup>

### 2.3.1 粒子追跡モデル

流れ藻は、気泡により浮力を得て海面付近を潮流に乗って移動するため、流れ藻の移動状況を検討する場合、吹送流（海面付近を吹く風により支配される表層流）を考慮することが重要である。故に、風向風速等の条件は、流れ藻の移動状況を大きく左右する。備讃瀬戸に繁茂するホンダワラ類の多くは、春季4月頃から流れ藻になり始め初夏まで続くが、最盛期は5月頃とされる<sup>9)</sup>。流れ藻の盛期である4～5月は、備讃瀬戸では西風が



卓越するため<sup>10)</sup>，風条件を変化させて，流れ藻の移動状況の解析を行う必要がある．流れ藻の域外への流出状況を検討するために，最初に3次元マルチレベルモデルを用いて潮流計算を行い，次にオイラー・ラグランジュ法を用いて流れ藻に見立てた粒子の追跡計算を行った．なお，流れ藻の移動状況の解析には，陸上風速を海上風換算（陸上風速×2倍）した海上風速を使用した．

### 2.3.2 計算領域

備讃瀬戸東部における計算領域は，図 2.3 に示すように，領域を水平方向 1,000m 間隔でそれぞれ東西 65 格子（65km=1,000m×65），南北 82 格子（82km=1,000m×82），鉛直方向格子は 2 層である．流動場及び流れ藻に見立てた粒子の移動計算を行った．なお，計算領域は，後掲（図 4.1）の流れ藻流出検査断面内の流動計算結果が潮汐流実測値を再現し得る領域とした．また，藻場造成が行われた香川県高松市庵治地先の詳細な流動場を検討するために，水平方向 100m 間隔の格子を用いて計算を行った．大領域の計算で用いた境界設定位置と境界条件を表 2.1，計算条件を表 2.2 に示す．

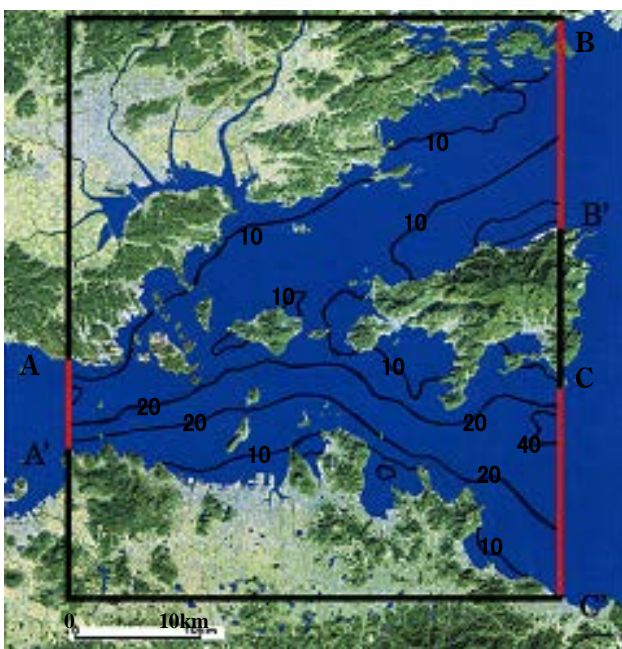


図 2.3 計算領域

表 2.1 境界設定位置と境界条件

境界	経度 (東経)	緯度 (北緯)	潮位振幅 (m)	周期 (時間)	遅角 (度)
A	133°26'	34°26'	0.673	12.42	322.9
A'	133°26'	34°23'	0.889	12.42	327.2
B	134°20'	34°44'	0.430	12.42	324.4
B'	134°20'	34°34'	0.389	12.42	330.5
C	134°20'	34°26'	0.385	12.42	324.4
C'	134°20'	34°15'	0.358	12.42	333.2

表 2.2 計算条件

緒元	1層	2層
格子間隔 (m)	1000 (大領域), 100 (小領域)	
格子数	5330 (大領域 65×82), 810 (小領域 90×90)	
時間間隔 (sec)	1.0	
層厚 (m)	5.0	5.0~海底
境界摩擦係数	1.3×10 <sup>-3</sup>	
海底摩擦係数	2.6×10 <sup>-3</sup>	
海面摩擦係数	1.3×10 <sup>-3</sup>	
水平渦動粘性係数 (m <sup>2</sup> /sec)	0.1	
卓越風 (m/sec)	無風, 東風 (2, 4, 6), 西風 (2, 4, 6) 北風 (2, 4)	
水温初期値 (°C)	9.13	9.10
水温水平拡散係数 (m <sup>2</sup> /sec)	10.0	
水温鉛直拡散係数 (m <sup>2</sup> /sec)	1.0×10 <sup>-5</sup>	
塩素量初期値 (PPT)	18.6	18.7
塩素量水平拡散係数 (m <sup>2</sup> /sec)	10.0	
塩素量鉛直拡散係数 (m <sup>2</sup> /sec)	1.0×10 <sup>-5</sup>	
開境界数	A-A', B-B', C-C'	
潮位振幅 (m)	0.5	

## 3. 海藻群落による窒素固定量の推定結果と考察

藻礁構造物（投石礁，既存藻礁，多孔質藻礁）別に海藻繁茂量（着生本数（本/m<sup>2</sup>），生産量（kg/基））を算出するとともに，海藻別の窒素含有量（乾燥重量に対する含有率%）に基づき，藻礁構造物別の窒素固定量を推定する．

### 3.1 藻礁構造物別のホンダワラ類現存量

毎年春先に行われる視認調査では，ガラモ場の代表的な海藻種であるアカモク *Sargassum horneri*，シダモク *Sargassum filicinum* が優占しており，タ

マハキモク *Sargassum muticum*, ヤツマタモク *Sargassum patens*, ヨレモク *Sargassum siliquastrum*, マメタワラ *Sarugassum piluliferum* が確認できた。なお、これらの海藻は初夏までに流れ藻となって流出し、春先には再び海中林を形成する(図 3.1)。

流れ藻盛期の調査(平成 20 年 5 月, 6 月)ではホンダワラ類は付着器から離れ、流れ藻となり流失した後であり、藻礁構造物上に残った付着器のみが確認できた。平成 18~20 年の 3~4 月に実施した坪刈り調査に基づき、投石礁、既存藻礁及び多孔質藻礁の基質面に着生した海藻類の現存量を表 3.1 に示す。ホンダワラ類生産量は年間最大現存量に年間生産量と最大現存量の比を掛けて推定した(表 3.1)。



図 3.1 海中林の形成状況

坪刈り調査によれば、多孔質藻礁の多孔質な基質部分に着生するホンダワラ類の単位面積当たりの着生本数は 120.63 (本/m<sup>2</sup>)<sup>13)</sup> であり、既存藻礁の約 2 倍、投石礁の 3 倍強であった。平成 21 年 4 月の時点でも同様な繁茂状態であることが確認されている。多孔質藻礁は、水理構造的に常時に潮流を制御することが可能であるとともに<sup>5) 6)</sup>、海藻着生基質として使用した多孔質基質の微小な凹凸が、①海藻胞子の着生効果を高める、②藻食性ベントスの食害強度を抑制することから、多孔質藻礁に対する海藻類の着生が優れていた<sup>5) 6)</sup>。

平成 20 年 5 月に、新たな多孔質基質として炭化 FRP 材<sup>注)</sup>を藻礁構造物上に設置した。平成 21 年 4 月に実施した坪刈り調査では、炭化 FRP 材を使った海藻着生基質へのホンダワラ類の単位面積当たり着生本数は 102.48 (本/m<sup>2</sup>) であった。他の藻礁構造物と炭化 FRP 材の設置時期、経過時間が異なるため、厳密な意味での比較検討は困難であるが、炭化 FRP 材への着生本数は、既存藻礁や投石礁の単位面積当たり着生本数を上回り、多孔質基質と同程度であることから、藻場造成基質としての可能性が示唆された。炭化 FRP 材が海藻着定基質のみならず餌料生物の培養基質として活用されるためには、小型甲殻類等の潜孔性餌料生物

表 3.1 藻礁構造物別の窒素固定量の算出過程

構造物種類	単位面積当たり着生本数 (本/m <sup>2</sup> )	着生基質面積 (m <sup>2</sup> /基)	現存量 (乾燥重量) (kg/基)	ホンダワラ類生産量 (kg/基)	1 基当たりの窒素固定量 (kg/基)	窒素固定量 (kg)	備考施設量 (基)
既存藻礁	59.6	11.68	178.1	213.78	3.31	198.81	60
多孔質藻礁	120.63	15.96	492.69	591.23	9.16	201.52	22
投石礁	37.1	84.59	803.1	963.74	14.94	119.52	8

(備考)

多孔質藻礁のホンダワラ類の着生面積、着生本数は上面のみ計算、鉛直面は加えていない<sup>13)</sup>

現存量(乾燥重量)への換算は、1 本あたりの湿重量: 314(g/本)<sup>5)</sup>、乾湿重量比: 0.815<sup>5)</sup>を用いた<sup>13)</sup>

ホンダワラ類生産量=年間最大現存量×(年間生産量/最大現存量); (比率: 1.2)<sup>13)</sup>

藻礁構造物別 1 基当たりの窒素固定量=(ホンダワラ類生産量)×(平均窒素含有率)<sup>13)</sup>

藻礁構造物別の窒素固定量=(1 基当たりの窒素固定量)×(施設量)<sup>13)</sup>

注) 炭化 FRP 材は、廃 FRP 漁船の解体時に排出される FRP 破砕材を炭化焼成処理して得られる。FRP を構成するガラス繊維の表面や間隙に、プラスチック樹脂起源のポーラスかつ表面活性を有する炭素が付加したような形態をしており、木質系炭化物である「炭」や炭素繊維と同様に、生物親和性が期待される。

の好適間隙空間サイズを明らかにする必要がある。

### 3.2 窒素含有率及び窒素固定量

表 3.2 にホンダワラ類の種別窒素含有率<sup>9)</sup>、藻礁構造物別の 1 基当たりの窒素固定量 (表 3.1)、造成藻場内の藻礁構造物別の窒素固定量 (表 3.1) を示す。なお、視認調査により各藻礁にはアカモク、タマハハキモク、ヨレモク、ヤツマタモク、マメタワラの 5 種類のホンダワラ類が着生していたことから、窒素固定量の計算には表 3.2 に示す窒素含有率の平均値 (1.55%) を用いた。各藻礁構造物の年間の単位面積当たりの窒素固定量は、既存藻礁 0.28 (kg/m<sup>2</sup>)、多孔質藻礁 0.57 (kg/m<sup>2</sup>)、投石礁 0.18 (kg/m<sup>2</sup>) となり、投石礁、既存藻礁と比べて、多孔質藻礁の単位面積当たりの窒素固定量が大きく、多孔質藻礁の窒素固定機能が優れていた。一方、各藻礁構造物の規模は異なるが、m<sup>3</sup> 当たりの事業費に換算するとほぼ同額になることから<sup>13)</sup>、多孔質藻礁>既存藻礁>投石礁の順で経済的と考えられた。

香川県高松市庵治地先の造成藻場<sup>8)</sup>には、既存藻礁 60 基、投石礁 8 基、多孔質藻礁 22 基が設置されており、造成藻場におけるホンダワラ類による窒素固定量は、既存藻礁 198.81kg、投石礁 119.52kg、多孔質藻礁 201.52 kg、合計 519.85kg と推計された。日本人の年間窒素排出量は約 44kg/人年と言われており<sup>13)</sup>、造成藻場における窒素固定量は年間約 12 名分の生活排水浄化能力に相当すると言える。

表 3.2 窒素含有率<sup>9)</sup>

ホンダワラ類の種類	窒素含有率 (乾重量あたり)
アカモク	1.16 %
タマハハキモク	1.73 %
ヨレモク	1.67 %
ヤツマタモク	1.46 %
マメタワラ	1.73 %
平均	1.55 %

### 3.3 海藻群落の窒素固定による便益額

備讃瀬戸東部海域、香川県高松市庵治地先に造成された造成藻場<sup>8)</sup>において、藻場を構成するホンダワラ群落が、春から初夏に見られる流れ藻は、0.18-0.57kg/m<sup>2</sup>の窒素を吸収固定した藻体が、域外に流出する現象と解釈できる。栄養塩類の域外への排出を広義の水質浄化と捉えれば、流れ藻は海域の水質浄化に寄与することになる。そこで、藻場造成による栄養塩類 (窒素) の吸収固定による便益額<sup>13) 14)</sup> について、下水道整備費との比較検討を行った。

平成 18-21 年春季 (3-4 月) の坪刈り調査結果から、3 種類の藻礁構造物に繁茂するホンダワラ類は毎年同様の繁茂状況を示し、ホンダワラ類現存量は設置 1 年後と概ね同程度で安定していた。また、既存藻礁、多孔質藻礁、投石礁のうち、最も年間窒素固定量の大であった多孔質藻礁 1 基の設置工事費は 838,725 円/基<sup>13)</sup> である。それに対して、多孔質藻礁 1 基当たりの年間窒素固定量から算定される便益額は、窒素固定量 kg 当たりの年間下水道費用 25,984 円<sup>13)</sup> を用いて、238,013 円/基となる。多孔質藻礁を 22 基設置した場合、設置工事費を差し引いた設置 1 年目の便益額 (設置工事費 - 年間便益額) は -600,712 円/基となり、22 基の総計では -13,215,664 円/年となる。設置後 2 年目以降は設置工事費が不要となるため、設置 4 年目に便益額の総計が投資額 (設置工事費) を上回り、設置 5 年目以降は 5,236,286 円/年の便益が期待できる。同様にして、既存藻礁と投石礁の年間窒素固定量から算定される便益額を単位面積当たりで比較すると、多孔質藻礁 14,811 円/m<sup>2</sup>、既存藻礁 7,276 円/m<sup>2</sup>、投石礁 4,677 円/m<sup>2</sup> と推計された<sup>13)</sup>。

公共事業の費用対効果分析<sup>14)</sup> において、便益の評価は、割引率を用いて現在価値化される。そこで、費用対効果分析の前提条件として、施設の設置工事は 1 年目のみ、割引率を 5%/年、施設の耐用年数を 30 年として、香川県高松市庵治地先の



造成藻場を対象に費用対効果分析を行った結果、多孔質藻礁を用いた藻場造成の場合、便益額総計は設置4年目から、既存藻礁の場合9年目から、投石礁の場合17年目から投資額を上回るようになる。

以上の結果から、海藻群落の窒素固定量を指標とした環境負荷低減効果の便益額は、多孔質藻礁 > 既存藻礁 > 投石礁の順となり、多孔質藻礁の経済的優位性が確認された<sup>13) 16)</sup>。多孔質藻礁<sup>5) 6)</sup>は流動制御パネルにより湧昇流、渦流、滞流域を発生させ、藻礁周辺の流動や底質を改善することから、既存藻礁や投石礁に比べ生物親和性に富む構造物と言える。そのため、海藻類の着生繁茂環境だけでなく、小型甲殻類等の潜孔性餌料生物にも良好な環境を形成するが、本論では藻場による炭素固定<sup>15)</sup>や藻場による餌料生物培養に関する便益の検討は実施しておらず、今後の検討が必要である。

#### 4. 流れ藻の流出状況に関する解析結果と考察

備讃瀬戸東部海域、香川県高松市庵治地先（志度湾）において、流れ藻が発生する季節（春～初夏）の卓越風向が西～西北西であることから、本論では無風時、西風時を事例に、流れ藻流出特性について検討した。

##### 4.1 流れ藻流出検査断面

流れ藻の域外への流出状況を検討するために、3次元マルチレベルモデルを用いて潮流計算を行い、次にオイラー・ラグランジュ法を用いて、流れ藻に見立てた粒子の追跡計算を行った。粒子が図4.1に示す流れ藻流出検査断面をから流出した時点で、流れ藻が域外に流出したと判断する。なお、流れ藻流出検査断面は香川県が実施した藻場による水質浄化便益額報告書<sup>13)</sup>に従い定めた。粒子の初期位置は、志度湾（香川県高松市庵治地先）

内の造成藻場とした。図4.2は志度湾の海底地形、図4.3は表層における無風条件下の東流最強時流況の計算結果である。

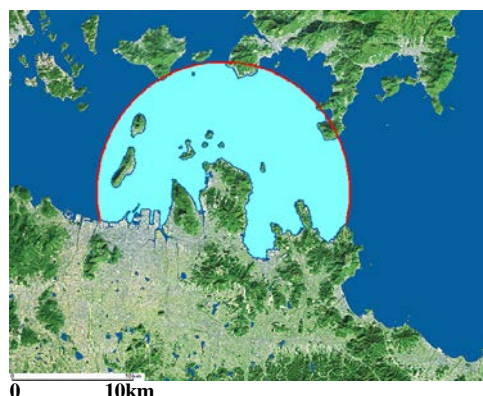


図 4.1 流れ藻流出検査断面

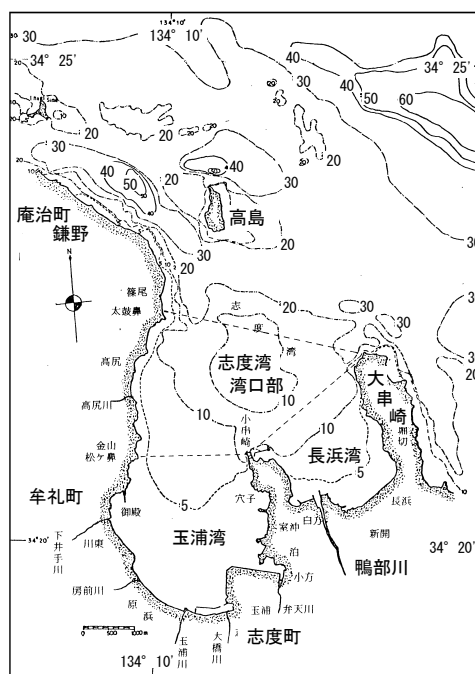


図 4.2 高松市庵治地先志度湾の海底地形

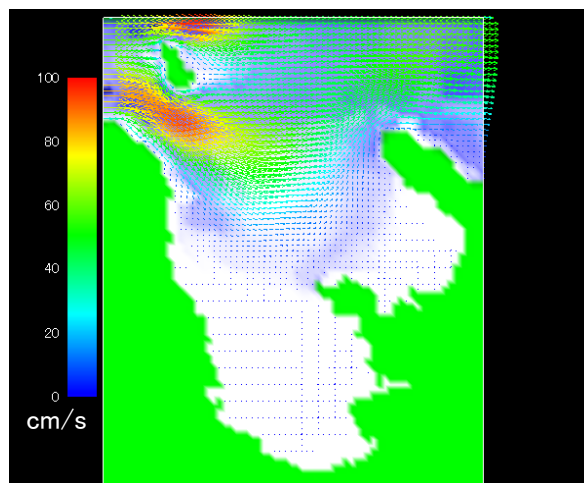


図 4.3 東流最強時の流況（無風時）

## 4.2 無風条件

無風条件における流れ藻の移動状況を図 4.4 に示す。実海域では、4 週間にわたり無風であることは、生起し得ない条件であるが、風の影響を検討するため、比較検討対象として無風条件下での流れ藻の移動計算を行った。無風条件下では、流れ藻は散乱することなく、海表面付近に群をなして移動し、初期位置を出発して1週間後に小串半島先端を通過し、4週間後に大串半島西岸に漂着する傾向が強かった。これは志度湾の海底地形が台形状を呈しており、この地形的影響を受けたためと考えられる。

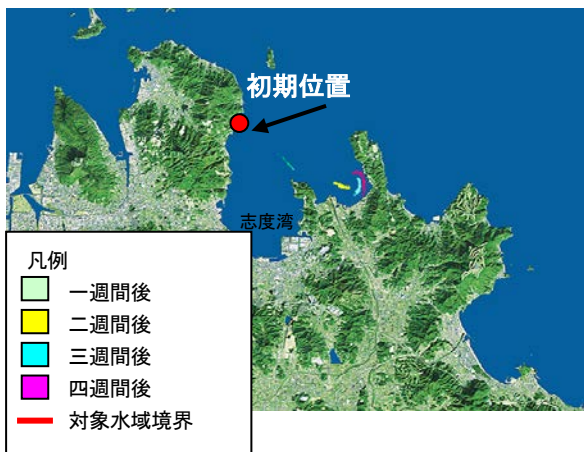


図 4.4 無風条件における流れ藻の移動状況

## 4.3 西風条件

西風 2m/sec を連吹させた場合、1週間後には無風条件と同様に志度湾の地形的影響を受け、小串半島先に達する。2週間目から湾外に流出し始め、3週間後には大部分の流れ藻が流れ藻流出検査断面外に流出した。しかし、一部の流れ藻（湾内に近い粒子）は、潮流の影響を受け志度湾内に留まった。西風 2m/sec を連吹させた場合、無風条件下に比べ、2週間後から流れ藻はばらつき始めた。西風 4m/sec を連吹させた場合、図 4.5 に示すように、2週間で完全に流れ藻流出検査断面外に流出した。西風 2m/sec を連吹させた場合に比べ、流れ藻は志度湾外に流出した後も散らばることなく、ほぼ固まって移動していくことが判った。さらに、

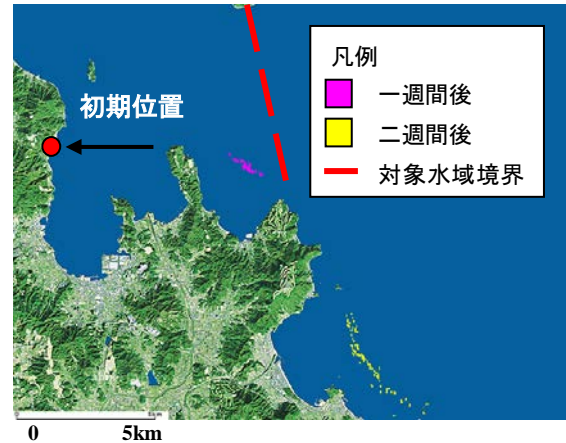


図 4.5 西風 4m/sec 連吹における流れ藻の移動状況

西風 6m/sec を連吹させた場合、1週間後にはほとんどの流れ藻が流れ藻流出検査断面外に流出した。

## 4.4 流れ藻の域外への流出率

流れ藻盛期に卓越する西風条件（風速 2m/sec, 4m/sec, 6m/sec で連吹）における流れ藻の域外流出率を図 4.6 に示す。これまでの検討結果から判るように、西風条件（2m/sec, 4m/sec, 6m/sec で連吹）の場合、ほとんどの流れ藻は1ヶ月以内に流れ藻流出検査断面外に流出する。過去 10 年間の 4 月の最多風向が西～西北西、平均風速が 5.10m/sec<sup>10)</sup> であることから、実海域においても、流れ藻は西風に押されて小串半島、大串半島方面に流され、1ヶ月以内で流れ藻流出検査断面外に流出することが推測される。このことは漁業者に対する聞き取り調査結果<sup>17)</sup> から、対象海域では初夏に小串半島、大串半島に大量の流れ藻が漂着することからも、計算結果の妥当性を検証するための一事例となり得る。

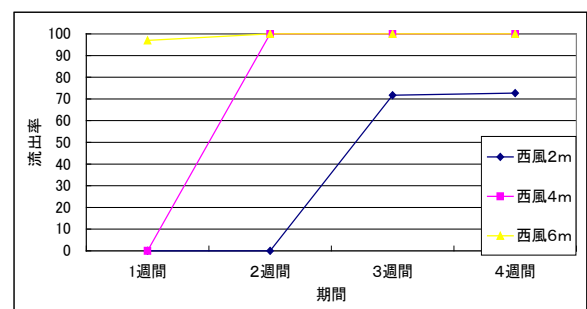


図 4.6 各風速における流れ藻の域外流出率



## 5. 結言

本論では、備讃瀬戸東部海域、香川県高松市庵治地先の造成藻場を対象に、海域の水質浄化に対する流れ藻の寄与を明らかにするため、海域の水質浄化に果たす藻場の役割、並びに海域の水質浄化に果たす流れ藻の役割を検討した。主要な結論は以下の通りである。

①造成藻場を構成するホンダワラ群落の窒素吸収固定量は投石礁  $0.18\text{kg/y/m}^2$ 、コンクリート製既存藻礁  $0.28\text{kg/y/m}^2$ 、多孔質藻礁  $0.57\text{kg/y/m}^2$  であり、海藻着生基質や藻場造成手法による相違が見られた。また、海藻群落の窒素固定が持つ社会的価値について、下水道整備費との比較から費用対効果分析を行った結果、造成藻場の便益は、投石礁  $4,677$  円/ $\text{y/m}^2$ 、コンクリート製既存藻礁  $7,276$  円/ $\text{y/m}^2$ 、多孔質藻礁  $14,811$  円/ $\text{y/m}^2$  であることが示された。窒素の吸収固定を指標にした藻場造成手法の優劣は、備讃瀬戸東部、香川県高松市庵治地先の造成藻場の事例では、多孔質藻礁（多孔質）>既存藻礁（コンクリート）>投石礁（石材）の順となった<sup>13) 16)</sup>。

②造成藻場を構成するホンダワラ群落において、春から初夏に見られる流れ藻は、海域の栄養塩（窒素） $0.18\text{-}0.57\text{kg/y/m}^2$  を吸収固定した藻体を域外に流出させる現象であることを現地調査、数値解析から確認した。

今後の課題として、水産生物の増殖のみならず、海域の富栄養化対策、藻場干潟の再生や環境修復技術として期待される藻場造成について、海藻着生の高い藻場造成手法や藻礁の開発、造成藻場の機能や効果の定量的評価法、藻場造成の便益評価法等を確立しておく必要がある。

## 引用文献

- 1) <http://www.seto.or.jp/seto/index.htm>（瀬戸内海  
の環境情報）
- 2) 中国四国農政局高松統計・情報センター編

集：第52次香川水産統計年報，社団法人香川  
農林統計協会，pp.15-35，2006.

- 3) 中澤公伯，岩下圭之，大木宜章，宮崎隆昌，  
神野英毅：広域空間情報による藻場形成要因  
の把握と利活用に関する一考察，沿岸域学会  
誌，Vol.21，No.4，pp.81-96，2009.
- 4) 京都府立海洋センター編著：ホンダワラ藻場  
の環境浄化機能，季報第86号，pp.1-12，2006.
- 5) 宮川昌志，末永慶寛，山岡耕作，松島学，堀  
田健治：流動制御構造物による海域底質改善  
技術，生態工学会誌 Journal of Eco-Engineering，  
Vol.20，No.2，pp.67-78，2008.
- 6) 安岡かおり・山中稔・末永慶寛・松山哲也・  
星野高士・竹田弘之・白木渡：スラグを利用  
した多孔質基質による海域改善技術に関する  
研究，漁場造成技術，第1巻第1号，pp.23-28，  
2004.
- 7) 株式会社クロシオ：Sea Mark Reefパンフレッ  
ト，pp.2-4，2006.
- 8) 香川県水産課：漁場施設の幼稚魚保護育成機  
能効果調査報告書，pp.1-9，2006.
- 9) 山本昌幸・藤原宗弘・山賀賢一・栩野元秀：  
瀬戸内海中央部における流れ藻の構成種，  
pp.1-2，水産増殖，第50巻第3号，pp.375-376，  
2002.
- 10) <http://www.pref.kagawa.jp/suisanshiken/>（香川県  
水産試験場）
- 11) 末永慶寛，河原能久，山本直樹，田中陽二：  
海域生物環境改善技術の開発，土木学会論  
文集，環境部門 No.755/VII-30，pp.29-36，2004.
- 12) 安岡かおり，末永慶寛，松島学，増田光一：  
閉鎖性海域における水産養殖からの負荷を考  
慮した環境影響評価に関する研究，日本建築  
学会環境系論文集，第618号，pp.123-129，2007.
- 13) 香川県水産課：ガラモによる水質浄化便益額  
報告書，pp.1-2，2006.
- 14) 水産庁漁港漁場整備部：水産基盤整備事業費

用対効果分析のガイドライン（暫定版），  
pp.1-90，2002.

- 15) 伊藤靖，中野喜央，松下訓，三上信雄，横山純，桐原慎二，能登谷正浩：藻場による炭素固定量の試算，水産工学，VOL.46，NO.2，pp.135-146，2009.
- 16) 末永慶寛：瀬戸内海の藻場造成と環境負荷低減に関する研究，平成19年度地域貢献経費による研究報告書，香川大学，pp.33-42，2008.
- 17) 星野高士，君川佳司：志度湾沿岸における流れ藻の漂着状況報告書，pp.2-6，2009.



### 著者紹介

#### 明田定満（正会員）

香川大学大学院工学研究科博士後期課程（香川県高松市林町2217-20），昭和33年生まれ，昭和55年3年香川大学農学部卒業，昭和56年4月水産庁，水産庁水産工学研究所を経て，

平成21年4月(独)水産総合研究センター研究推進部研究開発コーディネーター，E-mail:akeda@fra.affrc.go.jp

#### 網中宗利（学生会員）

香川大学大学院工学研究科博士前期課程（香川県高松市林町2217-20），昭和62年生まれ，平成21年3月香川大学工学部安全システム建設工学科卒業，E-mail:s09g401@stmail.eng.kagawa-u.ac.jp

#### 中澤公伯（正会員）

日本大学生産工学部創生デザイン学科助教（千葉県習志野市泉町1-2-1），昭和48年生まれ，平成14年3月日本大学大学院生産工学研究科建築工学専攻博士後期課程修了，(株)環境形成研究所を経て，平成16年より現職，博士（工学），E-mail:nakazawa.kiminori@nihon-u.ac.jp

#### 末永慶寛（正会員）

香川大学工学部安全システム建設工学科（香川県高松市林町2217-20），昭和39年生まれ，平成5年日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学専攻博士後期課程修了，平成5年7月東京大学海洋研究所研究生，平成8年4月香川大学農学部助手，平成9年10月工学部助手，平成12年4月工学部助教授を経て，平成21年4月香川大学工学部教授，博士（工学），E-mail:suenaga@eng.kagawa-u.ac.jp

## A Consideration on the Benefit Evaluation of Nitrogen Storage by Seaweed Beds, in Bisan-Seto, Seto Inland Sea

Sadamitsu AKEDA, Munetoshi AMINAKA,  
Kiminori NAKAZAWA and Yoshihiro SUENAGA

**ABSTRACT:** The Japanese coastal zones are affected by the warm current and the cold current. The various kinds of seaweed beds are distributed in Japan. In late years, the seaweed beds are decreasing nationwide. The seaweed beds are so-called "a cradle of the sea" bringing up the juvenile fish of many fishery resources. The functions of seaweed beds are the habitation area, the hiding area and the feeding area of the juvenile fishes. Furthermore, the seaweed beds have the function to absorb nutrient and carbon dioxide. Seaweeds become "the drifting algae", flow out into the offshore and change into inorganic matter. In this paper, firstly the process of the drifting algae have analyzed by numerical model. Secondly, several artificial seaweed reefs were compared the quantity of nitrogen absorption of the seaweed beds. Finally, the cost-effectiveness analysis of the seaweed bed creation in Bisan-Seto, Seto Inland Sea has carried out. Main results are as follows. The nitrogen absorption of seaweed beds is 0.18-0.57kg/year/m<sup>2</sup>, and its economical benefit is about 4,000-14,000 yen/year/m<sup>2</sup>. The drifting algae have the function to flow out nutrient into the offshore.

**KEYWORDS:** *Seaweed Bed, Drifting Algae, Nutrient Assimilation, Numerical Mode, Cost-Effectiveness Analysis*