

海域構造物に付加された人工藻場の評価と予測

THE EVALUATION AND PREDICTION MODEL OF ARTIFICIAL ALGAE ZONE

WHICH ARE ADDED TO OFFSHORE STRUCTURES

谷野賢二¹・桑原伸司²

Kenji YANO and Shinji KUWABARA

¹正会員 博士(工学) 北海道東海大学教授 工学部海洋環境学科(〒005-8601 北海道札幌市南区南沢5-1-1-1)

²正会員 博士(水産科学) 北日本港湾コンサルタント株式会社技術部次長(〒003-0029 北海道札幌市白石区平和通2丁目北11-18)

About the artificial algae zone added to the offshore structures, we examined the elementary method, the characteristic of algae zone and construction examples. Moreover, from examples of failure, the influence and the countermeasures of grazing pressure were shown.

Next, the numerical model which predicts existing quantity of algae was developed, as the evaluation method of the structure which were added the artificial algae reclamation. The characteristic of this model is considering the environmental factor of offshore environment, and the grazing pressure.

The first conclusion of this research is, the relation of algae existing quantity was able to be clarified with offshore environment, the ecology characteristic, and the grazing pressure. The second conclusion is, proper wave condition generates the current which controls the grazing pressure. The third conclusion is, water depth which can obtain proper light, generation of sufficient algae zone is expectable.

Key words : Artificial algae zone, Prediction model, Grazing pressure, Reclamation

1. まえがき

藻場は、沿岸域で産卵場、幼稚仔育成場、餌料供給場として高い生物生産力を持つ重要な場である。そのため、浅海域の生態系を構成する要素として重視されている。海面埋立てや防波堤の建設においては、事業実施によって消滅する藻場の代償としてあるいは新たな環境の創出を期待して、海藻の着生に配慮した護岸が造られている。関西国際空港では護岸延長11.2kmの約80%を占める緩傾斜護岸に多種類の藻類の生息が確認された¹⁾。

こうした沿岸域における「持続可能な開発」を行うために、藻場の維持や再生に必要な要素技術の検討が進められている。本研究は、これまで得られた知見と施工事例について整理、分類し、人工藻場の設計について考察する。それとともに、海藻群落の着生量に基づく人工藻場の評価について、海域環境(波浪、潮流、水質、底質等)を指標とした藻場生産量式と平面分布モデルを構築し、実海域データにより検証を行うものである。

2. 人工藻場の要素技術

(1) 構造物の断面形状

藻場に必要となる光量を確保するために、構造物としては水平面あるいは緩傾斜面をできるだけ確保でき

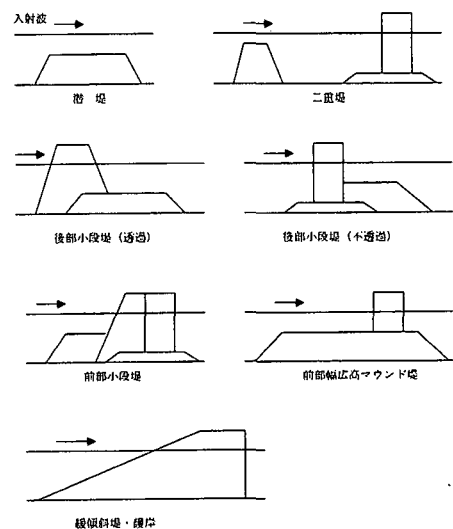


図-1 藻場機能付防波堤の基本断面形状

る断面形状が選択される。したがって、藻場機能を付加した防波堤、護岸の基本的な断面形状としては図-1のようになる。

二重堤の主堤(岸側)に作用する波力は堤体間距離と入射波波長の比によって変化する。山本ら²⁾は、合田波圧式を基本にして、副堤による波高の変形および水位上昇を取り入れた主堤直立部に作用する波力の実用的な算定法を提案している。前部幅広マウ

ンド堤については、マウンドの幅が狭い場合は「高基混成堤」^{3,4)}として設計することができる。

どのような断面形状を採用するのかは、設置予定地点の地形、構造物によって作り出される環境、対象となる海藻の生態、使用材料、人工藻場の面積、経済性などを考慮して適切に決定する。

(2) 基質の材料

日本における代表的な藻場造成手法は、捨石とそれを囲むコンクリートブロックで造られる人工岩礁(着定基質工)が一般的である。自然石が入手困難な場所や小型石では砂に埋没する危険のあるところではコンクリートブロックが自然石の代用として使われる。海藻が着生や成長しやすいように工夫されたコンクリートブロックを用いた実証試験も行われている⁵⁾。

海藻着生に対して基質による優劣がない^{6,7)}ことから、基質は海藻の固着した基質自身が剥離を起こさないようなものであれば何でもよい。可撓性に富んだ材質でも着生基質となる^{8,9)}。

藻場の機能として産卵場に特化すると、天然海藻を模した人工海藻を消波ブロックに取付けることにより、ハタハタの産卵を誘発して成功した例¹⁰⁾がある。

(3) 海藻着生における基質表面地形の効果

コンブ等大型海藻の着生様式の数多くの事例から、仮根の付着部位はブロックや自然石の縁辺部、平盤礁の溝の縁など隅角部に集中する¹¹⁾ことが知られている。基質の表面形状、すなわち表面の凹凸が海藻着生に有効であることはさまざまな研究で明らかにされた^{12~14)}。

凹凸があると海藻の着生がよいのは、凹凸の隅角部に生ずる渦流や滞流が大きな役割を果たしていると考えられる。川崎ら¹⁵⁾は基盤表面に仰角90度以上の突起物を設けると遊走子の着生が高められることを循環流水槽実験により明らかにした。また、古川ら¹⁶⁾は凸部への着生は「突起背後に形成される流れの滞留域による遊走子の捕捉一着生」という機構によるとしている。

(4) 食害対策

藻場の維持や再生を阻む難しい問題の1つは藻食動物による食害である。北海道日本海沿岸後志から渡島地方にわたる海域は、浅海域の有用海藻群落が消滅し、無節サンゴモが優先する磯焼け地帯となっている。ウニが海藻の芽を食べ尽くしてしまうことが磯焼け現象の主要な持続原因である。

一方、磯焼け海域でも局所的に毎年海藻群落を形成する場所がある。同様な傾向は防波堤等の海岸構造物でもみられる。そうした違いは、ウニの摂餌圧とその制限要因である波浪による流れ環境の違いによるものであると考えられている^{17~21)}。このよう

考えから、摂餌圧と流れの関係を考慮した藻場造成法も提案されている^{22,23)}。

谷野らは室内実験、現地実験から、基質表面に凹凸があるとその周辺で藻類の着生が促進されるとともに、窪みの中の幼芽は藻食動物の摂餌を免れる可能性があること、生き残った幼芽は生長し、大型になるものと考えられることを示した¹⁴⁾。

藻食性魚類による磯焼けはわが国の関東以南の黒潮の影響域や暖海域で見られる。綿貫²⁴⁾は、ウニの場合と同様に、海藻類の生育には問題が無いが、魚類の採食行動には向かない流速範囲が存在するものと考えている。

(5) 浮泥対策

海藻の着生・成長を阻害する主要な要因の1つに、浮泥の基質や海藻表面への堆積がある^{25,26)}。これは、浮泥が堆積することにより海藻類の遊走子の基質への付着を阻害したり、海藻表面に到達する光量や表面からの栄養吸収やガス交換を制限したりするためである。

浮泥の堆積の制御には波浪による自然エネルギーを利用することが有効である。浮泥堆積速度と堆積浮泥の払拭に必要な波浪出現頻度から波による堆積制御の可能性を推測できる^{27,28)}。

3. 藻場機能付構造物の実施事例

表-1はこれまでに施工された藻場機能に配慮した防波堤、護岸の例である。北海道では傾斜堤の背後

表-1 藻場機能付防波堤の施工例

断面形状	工法	地名(都道府県)	特徴		
断面形状	消波	田辺(和歌山)			
	2重堤	宇都呂(北海道)			
		*1) 谷形(北海道)			
		八森(秋田)			
	前部小段堤	富来(石川)	遊水部内に捨石敷設		
		*1) 浦河(北海道)			
	幅広高マウンド堤	乙浜(千葉)			
		藪田(富山)	潜堤付き		
		丸山(兵庫)	潜堤付き		
		丸山(兵庫)	水産物製被覆ブロック		
		浜田(島根)	潜堤付き		
		向島(佐賀)			
		有喜(長崎)			
		泊ヶ内(大分)	潜堤付き		
		後部小段堤	透過	元地(北海道)	
				寿都(北海道)	
	不透透		江良(北海道)		
			篠原(北海道)		
			イタンキ(北海道)		
			別荘(北海道)		
礼文(北海道)					
高千(新潟)					
*1) 谷形(北海道)					
釧路(北海道)			浸透土砂マウンド		
緩傾斜堤(護岸)	関西国際空港(大阪)				
	深目(大阪)	幅広マウンド			
表面微地形	消波ブロック	川瀬(沖縄)	幅広マウンド		
		高千(新潟)	溝		
		間人(京都)	溝		
		有喜(長崎)	溝		
		浜田(島根)	溝		
	被覆ブロック	乙浜(千葉)	溝		
		高千(新潟)	溝、溜み、石埋め込み		
		有喜(長崎)	溝		
		その他	小才角(高知)	増殖材プレートを付けた消波・被覆ブロック	

注: *1)は港湾を表す。その他は関西国際空港を除いてすべて漁港。

に小段をつけた後部小段堤が多く施工され、他府県では幅広高マウンド堤が多い。マウンドの沖側先端には潜堤を併置し、波高減衰を図っている。海藻着生促進あるいはアワビ、サザエの棲みかとして溝をつけた消波ブロックや被覆ブロックの併用も行われている²⁹⁾。

これまでのところ、藻場形成の成否は近隣の天然藻場の規模、植食動物の多寡、藻場マウンド上の底面波浪流速が影響していると考えられている^{30,31)}。特に北海道の磯焼け地帯ではウニ対策が藻場形成に重要な鍵を握っている。

4. 構造形式選定の視点

これまで計画・施工された藻場機能付き海域構造物のうち、前部マウンド型あるいは二重堤型は従来の構造形式に比べ、過大となることが多い(図-2)。

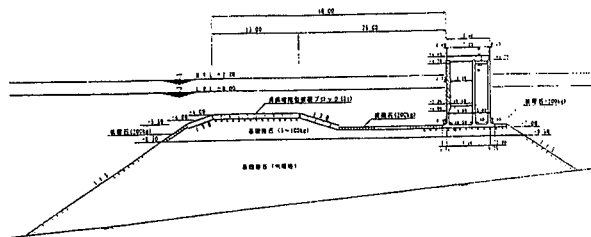


図-2 前面幅広高マウンド堤の例³²⁾

埋立てや防波堤の築造によって消失する藻場の代替として設計されたものであるが、公共事業の縮小、建設費の縮減が求められるなかで、経済性との調和を図るためには、構造物の構造形式を選定するとき、『付加する機能に求められる構造が構造物の本来の機能とどう結びつくのか』を考慮することが大事である。たとえば、前出の前部小段方式は消波性能を向上させる³³⁾ことから、本来機能の向上が藻場機能の付加と結びついている。

また、防波堤の本来機能とまったく関係が見出せない捨石マウンドが防波堤前面に敷設された例もある。ミチゲーションの視点に立つならば、藻場の復元場所はオフサイトでもよいのではないか。

図-3は釧路港で計画・建設されている大規模な藻場機能を持つ島防波堤の断面図である³⁴⁾。港湾建設に伴って生ずる浚渫土砂を防波堤背後に盛土することにより、浚渫土砂の陸上処分にかかる経費を節減し、あわせて大規模な藻場を造成しようとするものである。防波堤直立部の堤体幅も縮小できる。防波堤延長2500mのうち1600mに渡って背後盛土を造成する計画である。

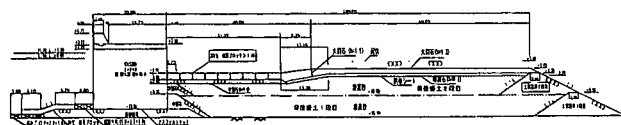


図-3 釧路港島防波堤

5. 藻場現存量予測モデル^{35,36)}

(1) 生産量式

基本とした生産量式は、光合成-光曲線と群落の葉量と入射光の光強度から、陸上植物群落の総生産力を推定する Monsi & Saeki³⁷⁾ の提案式である。

$$Pg = \frac{b}{Ka} \ln \frac{1 + aK I_0}{1 + aK I_0 \exp(-KF)} \quad \dots(1)$$

ここで、

- Pg : 群落の総生産量 (g wet wt./m²/day)
- a : b/P_{max} P_{max} は光飽和値での光合成量 (無次元量)
- b : 光合成-光曲線の立上り勾配 (無次元量)
- K : 群落吸光係数 (無次元量)
- I_0 : 群落の葉層上面の水平光強度 ($\mu E/m^2/s$)
- F : 葉層全体の葉面積指数 (m²/m²)

桑原ら³⁶⁾は、この算定式が生態特性に由来する指標 (a , b , m , K , F) を用いた光合成法に基づく式であるため、北海道日本海側の代表種であるホソメコンブを対象に、以下の方法で海域環境を指標とする式に改めた。

- a) a , b , m を定数 (年平均値) として求めた生産量を $P1$ 、環境変化による $P1$ の変動率 (生産率) を β として、 Pg を $P1$ と β の積 ($Pg = P1 \times \beta$) であらわした。
- b) 変動率 β は、水温による変動率 β_1 と流速・栄養塩による変動率 β_2 の積 ($\beta = \beta_1 \times \beta_2$) であらわした。
- c) K (群落吸光係数) と F (葉面積指数) は群落の生産とともに変化する係数であるため、生産量を指標に定式化した。
- d) Pg は光合成で生産される総生産量で、実際の生産量 Pn とするにはホソメコンブの付着器や葉状体の呼吸量を差引く必要があるため、係数 Pn/Pg で換算した。

(2) 変動率の設定

松山³⁸⁾が忍路湾で行った調査結果および、桑原^{35,36)}が行った栄養塩濃度別の流速-重量増加率 α (%) の関係から、変動率を以下のように設定した。ここで重量増加率 α (%) とは、ホソメコンブの茎~30cm間の日あたり重量増加率である。

- a) 水温による変動率 β_1 は、月別の水温変化による相対光合成から年平均値を求め、それを 1.0 とした各月の相対光合成量を規格化した。
- b) 流速・栄養塩濃度と成長率の関係より、変動率 β_2 は α (%) をホソメコンブ全体 (茎~先端) に換算し、 $(1 + 0.340 \alpha/100)^n$ とした。ここで n は経過日数である。なお、栄養塩を成長に利

用する効率は成長とともに低下するため、実験結果を基に利用効率を栄養塩濃度に乗じる。

c) 係数 P_n/P_g は、忍路湾での調査結果を用いた。

(3) 現存量の算定

実海域での適用を可能とするためには、生産量からキタムラサキウニの摂餌や先枯れ等の損失を差引き、次式のように現存量を算定する必要がある。

$$\text{(現存量)} = \text{(生産量 } P_n) - \text{(摂餌量)} - \text{(先枯れ量)} - \text{(流出量)} \dots (2)$$

摂餌量は、 $\text{(摂餌量)} = \{ \text{個体の摂餌量 (月で規定)} \} \times \{ \text{個体の摂餌圧 (流速で規定)} \} \times \{ \text{個体の分布数 (流速で規定)} \}$ であらわした。ここで個体当りの摂餌量は菊池ら³⁹⁾による3年目のキタムラサキウニのもの、流速の影響は川俣²²⁾の報告によった。

先枯れ・流出量は、松山の忍路湾での調査結果より、以下の2式を用いた。

$$\text{(損失量 : kg/m}^2\text{/月)} = 1500 \exp(-0.0253D) / \{1 + 169 \exp(-0.0253D)\}^2 \dots (3)$$

$$\text{(損失量 : kg/m}^2\text{/月)} = 39840 \exp(-0.0303D) / \{1 + 2739 \exp(-0.0303D)\}^2 \dots (4)$$

ここで、D : 12月1日からの経過日数 (day) である。

6. 実証海域での検討

モデルの妥当性を検証するため、図-4に示す北海道南西部の日本海側に位置する江良漁港周辺を実証海域に選定した。

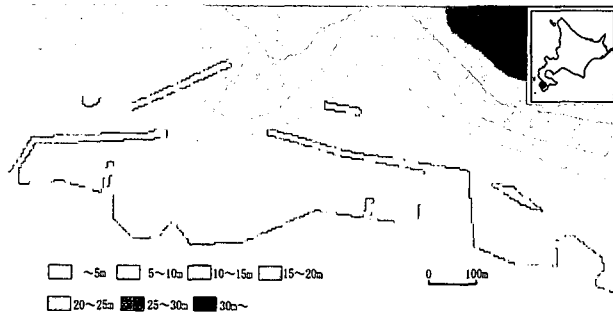


図-4 江良漁港水深図

計算条件を表-2に示す。なお、波高分布の計算は、非定常緩勾配方程式を用いた。

ホソメコンブの被度調査が行われている7月の計算結果を、図-5に示した。図中には被度調査の側線も併せて示している。また、被度調査結果を表-3に示した。

測線間の比較では、測線①②で被度が低く側線③で被度が高い状況を、計算では再現している。また、測線の中での被度変化については、被度が高く比較しやすい測線③に着目すると、沖側で被度が低い状況を計算では再現している。これらは、適度な波当

りがキタムラサキウニの摂餌を抑制する程度の流速を発生させ、また海藻の成長に必要な光量を得られるような水深であれば、海藻群落が発生することを再現している。

以上より構造物による藻場創出を事前に予測する際には、本モデルを用いて検証することが可能である。

7. あとがき

本研究の主な結論は以下の通りである。

- (1) 人工藻場造成の要素技術についてこれまでの研究事例を取りまとめた。
- (2) 全国の施工事例から人工藻場の特徴と構造物断面計画上の留意点を示した。
- (3) 藻場造成の失敗の主な原因をウニによる食害とし、食害動物の影響も考慮した藻場現存量予測モデルを開発した。
- (4) 本モデルにより、海域環境・生態特性・食害動物と生産の関係を明らかにすることができた。構造物の藻場造成機能を定量的に評価・検討する際、本モデルの活用は非常に有効であることを確認した。
- (5) 適度な波当たりがキタムラサキウニの摂餌を抑制する程度の流速を発生させ、また海藻の成長に必要な光量を得られるような水深であれば、十分な海藻群落の発生が期待できる事が明らかにできた。

一般的に、漁港や港湾構造物の建設により海域環境は様々な影響を受ける(波浪や流況・水質の変化、濁りの発生など)。これらの海域環境の変化は、海生生物の生息場にも影響を与えるため、藻場への影響を最小限に留める方策の検討や環境アセスメントのために、本研究のようなモデルの開発は今後不可欠なものである。

表-2 計算条件

	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	
生態特性値	a	0.0537											
	b	0.2542											
	m	0.19											
	Pn/Pg	0.616	0.495	0.534	0.693	0.656	0.610	0.509	0.389	0.349	0.161	-0.090	-0.549
物理特性	D (h)	7	9	11	11	12	14	14	14	13	12	11	9
	I_M ($\mu E/m^2/s$)	365	400	518	757	948	785	912	1125	895	973	890	417
	透明度(m)	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4
	硝酸態窒素濃度 ($\mu g \cdot at / \cdot$)	4.8	3.7	3.8	3.2	8.8	2.7	0.8	0.5	1.5	0.5	0.7	1.8
	水温($^{\circ}C$)	4.6	4.9	4.2	5.4	8.0	11.2	15.3	19.9	22.7	20.9	16.6	11.4
文献	ウニの摂餌量 (g/個)	36.89	35.03	22.96	25.11	30.60	44.95	69.90	91.14	112.22	101.40	79.36	51.00
現地調査	ウニ個体数 (個/ m^2)	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
	恒流 (m/s)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
波浪	波高 (m)	1.8	1.8	1.4	1.1	0.8	0.7	0.4	0.4	0.4	0.6	1.1	1.5
	周期 (秒)	6.5	6.5	6.0	5.7	5.3	5.2	4.9	4.9	4.9	5.1	5.7	6.1

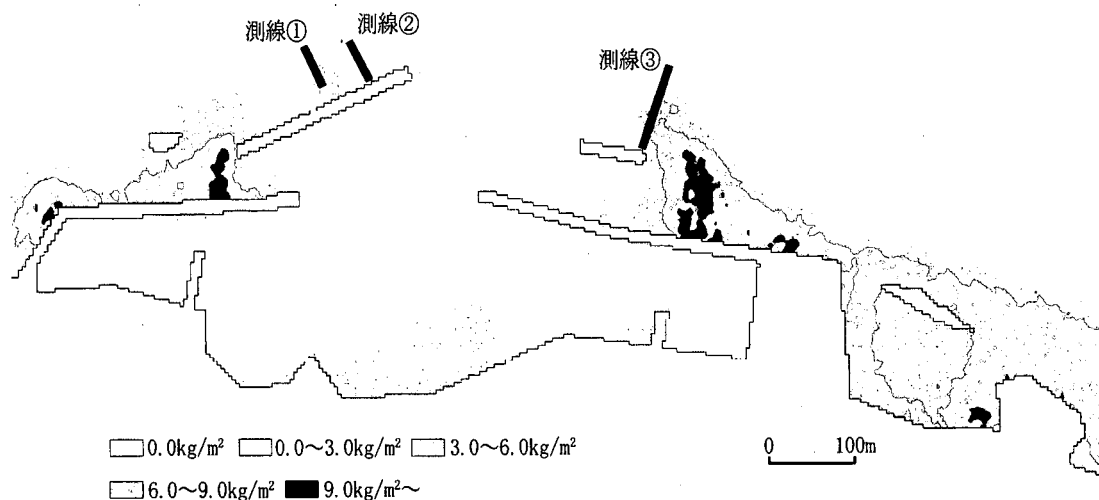


図-5 現存量計算結果 (7月)

表-3 被度調査結果

測線①	沖出距離 (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	海藻被度 (%)	0	0	0	0	0	5	5<	0	0	0	0
測線②	沖出距離 (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	海藻被度 (%)	<5	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
測線③	沖出距離 (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	海藻被度 (%)	5	5	<5	<5	5	5	5	0	5	0	<5
	沖出距離 (m)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
	海藻被度 (%)	0	<5	<5	<5	<5	<5	0	0	0	0	

参考文献

- 尾崎正明・伊藤利加・奥田泰永・二宮早由子：関西国際空港島護岸の藻場造成による環境創造効果について、海岸工学論文集，第47巻，pp.1196-1200，2000。
- 山本泰司，水野雄三，鈴木孝信，山中浩次，吉田稔：

二重堤直立部に作用する波力の算定法について，海岸工学論文集，第43巻，pp.766-770，1996。

- 下迫健一郎，高橋重雄，斉藤祐一，Markus Muttray，Hocine Oumeraci，細川泰廣：高基混成堤の水理特性および耐波安定性に関する大型模型実験，海岸工学論文

- 集, 第 44 卷, pp.826-830. 1997.
- 4) 森昌也, 梅沢信敏, 早川哲也, 木村克俊, 菊池博明, 遠藤強: 消波型高基混成堤のマウンド被覆材の耐波安定性, 海岸工学論文集, 第 48 卷, pp.906-910. 2001.
 - 5) 鳴海日出人・小林 創・小金崎清人・川島昭二: 石炭灰廃棄物を利用した効果的な藻礁(ビオユニット)の研究, 海洋開発論文集, VOL.12, pp.485-490, 1996.
 - 6) 明田定満, 谷野賢二, 中内勲, 高橋義昭, 小野寺利治: 表面処理の相違によるコンクリート面への海藻着生状況について, 海岸工学論文集, 第 43 卷, pp.1246-1250, 1996.
 - 7) 明田定満, 山本泰司, 小野寺利治, 鳴海日出人, 斎藤二郎, 谷野賢二: 複断面構造を有する港湾構造物への海藻群落形成について, 海岸工学論文集, 第 44 卷, pp.1131-1135. 1997.
 - 8) 谷野賢二: 防波堤における環境共生技術の現状と課題, 北海道東海大学紀要理工学系, 第 11 号, pp. 61-75, 1998.
 - 9) 山下俊彦・中川将志・坪田幸雄: 人工海藻によるウニの移動・摂餌制御に関する実験的研究, 海洋開発論文集 VOL. 16, pp. 339-345, 2000.
 - 10) 北原繁志・中川学之・伊藤卓也・永田晋一郎・村上俊哉・谷野賢二: 人工基質による魚類産卵場の開発, 海洋開発論文集, VOL. 17, pp. 141-146, 2001.
 - 11) 川島昭二: コンブの着生基質と着生様式についての提言, 海藻魚礁ニュース, No. 14, pp. 35-41, 1992.
 - 12) 綿貫 啓・山本秀一・新井章吾: ソルアラメ幼体の入植に及ぼす基質表面形状の影響. 水産増養殖 第 35 卷 2 号, 1987.
 - 13) 寺脇利信: 海中林造成技術の基礎的検討 第 2 報 カジメ幼体の入植と人工基盤の表面形状. 電力中央研究所報告 U88037, 1988.
 - 14) 谷野賢二・黄金崎清人・佐々木秀郎・北原繁志・袖野宏樹・鳴海日出人: 基質の表面微地形による海藻着生促進と摂餌圧軽減の効果について, テクノオーシャン '98, pp. 353-356, 1998.
 - 15) 川崎保夫・寺脇利信・長谷川寛・平口博丸・後藤弘・荒木洋・飯塚貞二: 海中林造成技術の実証 第 3 報 三浦半島西部における造成技術, 電力中央研究所報告, 研究報告 U91023, 1991.
 - 16) 古川恵太・善一郎・細川恭史: 港湾構造物への生物着生一凸部周辺の流速分布に関する検討一. 港湾技術研究所報告 第 33 卷 第 3 号, 1994.
 - 17) 川俣 茂・足立久美子・山本正昭: キタムラサキウニに及ぼす波浪の影響, 平成 6 年度日本水産工学会 学術講演会 講演論文集, 1994.
 - 18) 谷野賢二・明田定満・佐藤 仁・松山恵二・吾妻行雄・中多章文: ウニの摂餌行動におよぼす物理環境要因について. TECNO OCEAN'94 Proceedings Vol. 1, 1994.
 - 19) 桑原久実・川井唯史: 北海道忍路湾における波浪・ウニの摂食および海藻の関係, 海岸工学論文集, 第 45 卷, 土木学会, 1998.
 - 20) 道津光生・野村浩貴・太田雅隆・岩倉祐二: 北海道南西部沿岸の磯焼け海域におけるホソメコンブ群落の形成要因について, 日本水産学会誌, 第 65 卷第 2 号, 1999.
 - 21) 道津光生・太田雅隆・斎藤二郎・山下和則: 海岸構造物上におけるキタムラサキウニの分布密度と波浪の関係, 水産増殖, 45 卷 4 号, 1997.
 - 22) 川俣 茂: 磯根漁場造成における物理的撓乱の重要性, 水産工学 Vol.31-2, 1994.
 - 23) 道津光生・太田雅隆・斎藤二郎: 海岸構造物における岩礁性動植物の生息場効果とその活用, 沿岸海洋研究, 第 33 卷第 2 号, 1996.
 - 24) 綿貫 啓: 水産工学と藻場研究, 水産工学 Vol. 39 No. 1, pp. 1-4, 2002.
 - 25) 吉川浩二・斎藤雄之助: 泥の堆積および濁りがワカメの配偶体と芽胞体の成長に及ぼす影響について, 南西海区水産研究所, 本四架橋漁業影響調査書(生理・生態班試験研究結果集), pp. 159 - 168, 1972.
 - 26) 寺脇利信・川崎保夫・本多正樹・山田貞夫・丸山康樹・五十嵐由雄: 海中林造成技術の実証 第 2 報 三浦半島西部でのアラメおよびカジメの生態と生育特性, 電力中央研究所 研究報告, U91022, 69P., 1991.
 - 27) 福田光男・坪田幸雄・丸山修治: 藻場の着生に影響を及ぼす堆積砂の払拭実験, 平成 13 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 45 - 48, 2001.
 - 28) 森 信幸・橋詰知喜・丸山修治・坪田幸雄: 釧路港藻場創出機能付き防波堤の堆積砂制御について, 平成 14 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 141-144, 2002.
 - 29) 柗澤秀行: 高千漁港石和地区(新潟県)について, (社)全国漁港協会, 「漁港」特集(自然との調和を目指した漁港づくり), 38 卷 3 号, pp.14-16, 1996.
 - 30) 安藤 直: 藻場造成について~第二回: 自然調和型漁港づくりにおける藻場造成について~, (社)全国漁港協会, 「漁港」特集長(期計画関係・個別事業計画の事例), 44 卷第 3 号, pp.68 - 71, 2002.
 - 31) 森 信幸・坪田幸雄: 北海道の自然調和型構造物の藻類着生状況と今後の課題, 第 46 回全国漁港建設技術研究発表会講演集, pp. 30-41, 2001.
 - 32) 篠田昌伸: 大分県泊ヶ内漁港における自然調和漁港づくり, 第 43 回全国漁港建設技術研究発表会講演集, pp. 128-133, 1998.
 - 33) 榎木 亨・柳 青魯・楠見正人: 複合断面捨石堤の低反射効果について, 第 32 回海岸工学講演会論文集, pp. 495 - 499, 1985.
 - 34) 中内 勲: 釧路港エコポート事業, 沿岸域学会, 沿岸域 第 15 卷第 2 号, pp. 22-23, 2003.
 - 35) 桑原伸司・北原繁志・佐々木秀郎・松山恵二・清野克徳・谷野賢二: 藻場生産力予測シミュレーションモデルの開発, 海岸工学論文集第 45 卷, pp. 1101-1105, 1998.
 - 36) 桑原伸司・松山恵二・竹田義則・北原繁志・清野克徳・金川 均・谷野賢二: 藻場生産力予測シミュレーションモデルの開発(第 2 報), 土木学会, 海岸工学論文集第 46 卷, 1156-1160, 1999.
 - 37) Monsi & Saeki: Über den Lichtfaktor In den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion, Jap. Jour. Bot., pp. 22-52, 1953.
 - 38) 松山恵二: 忍路湾に生育するホソメコンブの光合成及び生産力, 北海道大学水産学部学位論文, pp. 1-132, 2001.
 - 39) 菊地省悟・浮 永久: 植食動物密度の管理基準 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究, 水産庁東北水産研究所, pp. 1-4, 1984.