

(39) 山口湾におけるアマモ分布可能域の探索

Detection of *Zostera* marine habitat in Yamaguchi Bay

岡部勝一**, 関根雅彦*, 浮田正夫*, 今井剛*, 樋口隆哉*, 朝位孝二*, 佐藤秀樹**
 Shoichi OKABE**, Masahiko SEKINE*, Masao UKITA*
 Tuiyoshi IMAI*, Takaya HIGUCHI*, Kozi ASAI*, Hideki SATO**

ABSTRACT; *Zostera* bed is an important habitat for fish juveniles and other coastal living organisms. Thus, *Zostera* bed creation and/or remediation projects are operated in many places in Japan. When *Zostera* bed is created by planting seed, the environmental conditions need to be clearly understood for the region which may serve as *Zostera* bed. The purpose of this research is to determine the region which may serve as *Zostera* bed in Yamaguchi bay where *Zostera* bed remediation project is going on. By using bed conditions such as COD, IL, particle size, and the disturbance strength caused by wave and current, a HSC model was constructed to evaluate the *Zostera* bed habitat condition. Based on the bed condition HSCs, *Zostera* habitat might be spreading toward the north area of the present *Zostera* bed. By adding the disturbance HSCs, the north area of the present *Zostera* bed might be inappropriate, thus *Zostera* bed is limited in the present region.

KEYWORD; *Zostera*, habitat evaluation, habitat suitability criteria, Yamaguchi bay

表1 アマモの生育条件

項目	生育条件
生育基盤	砂泥域 ¹⁾
透明度	年間を通して2.0以上 ¹⁾
水深	5m以下 ¹⁾
海底勾配	1/100以下 ⁴⁾
年間平均光量推定値	約3mol/m ² /day ⁵⁾
塩分	好塩塩分は17~34‰、4‰以下で抑制 ³⁾
流速	底層流速は0.6m/s以下 ⁹⁾
	平均流速0.033~0.158m/s ¹⁰⁾
	小田湾では、流速0.15m/s程度が好適 ³⁾ 0.035~0.065m/s ⁸⁾
シールズ数	0以上0.6以下、0.1~0.4が最も好ましい ²⁾
泥分割合	19%以下 ⁷⁾
底質中央粒径	流速0~0.06m/sでは、粒径は影響せず ⁸⁾ 0.1~0.25mm ⁸⁾
強熱減量	4~5% ⁸⁾
栄養塩類	PO4-P最高: 3.0 μg-at/L以下 ⁴⁾
	NH4-N最高: 36.0 μg-at/L以下 ⁴⁾
COD	3.0mg/L以下 ⁴⁾
底質中のCOD	0.7~6.0mg/g乾泥 ⁸⁾
底質礫化物	0~0.3mg/g乾泥 ³⁾

1. 研究背景及び目的

アマモ場は魚類の産卵場、餌場、幼稚魚の生息場などの水産上重要な役割を果たしている一方で、栄養塩吸収、溶存酸素供給といった環境保全の機能も有している。このため、アマモ場を修復、造成するための研究が各地で行なわれているが十分な成果があらがらない場合も多い。アマモ場造成を行なう場合、アマモ場となり得る環境条件を満たす範囲を把握することが必要である。山口県でも、水産業振興施策の指針である水産山口チャレンジ計画において、藻場・干潟の保全及び改善を推進することとしており、沿岸域における漁場整備等による有効な藻場・干潟の造成手法を検討し、藻場・干潟造成の着実な推進を図ることを目的として、平成14年度より山口湾において藻場造成試験などを開始している。本事業では、アマモに適した生息環境の造成などの土木工事は行わず、単に播種や移植によるアマモ場の拡大を試みている。それにもかかわらず、湾内のどの場所が藻場造成に適しているかという検討は行われていなかった。一般に、生物の生息域は環境条件によって必然的に決まっており、単に移植や播種などによって人為的に生息域を拡大しても、それを維持することは難しいと

アマモに適した生息環境の造成などの土木工事は行わず、単に播種や移植によるアマモ場の拡大を試みている。それにもかかわらず、湾内のどの場所が藻場造成に適しているかという検討は行われていなかった。一般に、生物の生息域は環境条件によって必然的に決まっており、単に移植や播種などによって人為的に生息域を拡大しても、それを維持することは難しいと

** 山口大学大学院理工学研究科 (Department of Civil Engineering, Master Course, Yamaguchi University)

* 山口大学工学部社会建設工学科 (Department of Civil Engineering, Yamaguchi University)

考えることが妥当である。そうした意味では、本事業は、不適切な場所で無理な事業を進めている可能性があった。本研究では、すでに進行中の藻場造成事業に対する一助となることを目的として、既存のデータや文献情報を元に、アマモ場となりえる範囲を簡便迅速に抽出することを試みた。その結果、簡単な解析ながら現状の藻場分布を比較的良好に説明できたので、ここに報告する。

2. 研究方法

文献により収集したアマモの生育条件を表1にまとめる。本研究では、表に示された条件のうち、山口湾で問題となると判断される水深、海底勾配、泥分(粒子の径が0.075 mm未満のもの)、中央粒径、強熱減量、底質 COD、流速、シーلز数(砂を動かそうとする流体力と砂の抵抗比)をとりあげ、既往の知見と山口湾におけるアマモ場の環境を基にアマモの HSC (Habitat Suitability Criteria: 生息場適性基準) を作成した。そして HSC モデルから山口湾における各項目の SI (Suitability Index: 適性指標) 平面分布を求め、それらを重ね合わせることでアマモ分布可能域の抽出を行なった。水深、海底勾配、泥分、中央粒径、強熱減量、底質 COD の SI 平面分布については山口県による調査データから求め、流速については潮流シミュレーション、シーلز数については潮流シミュレーションおよび簡易な波浪解析により求めた。

3. HSC の作成

HSC とは、対象とする種についてのハビタットとしての適性を左右する限定要因と当該種の生息量との関係によって 0 (まったく不適) から 1 (最適) までの値で示された複数の SI を総合的に判断したものである。HSC を利用した生物生息環境評価モデルには、HEP¹³⁾ や PHABSIM¹⁴⁾ などがある。HEP は、主に鳥類や昆虫、野生動物などの陸上生物についての生息場評価モデルである。HEP で使用される HSC は USGS(アメリカ地質調査局)のホームページに多数公開されているが、主に食物、カバール(隠れ場)、水、再生産の4つの視点から生物種毎に異なる測定可能な環境指標を説明変数として生息場の価値を関数化したものである。当事者間で摩擦が予想される事業の場合には、HSC の決定においても細心の注意をもって研究が行われる。河川の生物を対照とした PHABSIM でもほぼ同様で、食物、再生産、生物間相互作用の視点から、水深、流速、カバール・底質を説明変数とした HSC を作成する場合がほとんどである。PHABSIM では、HSC として専門家の意見に基づく第一種から、季節

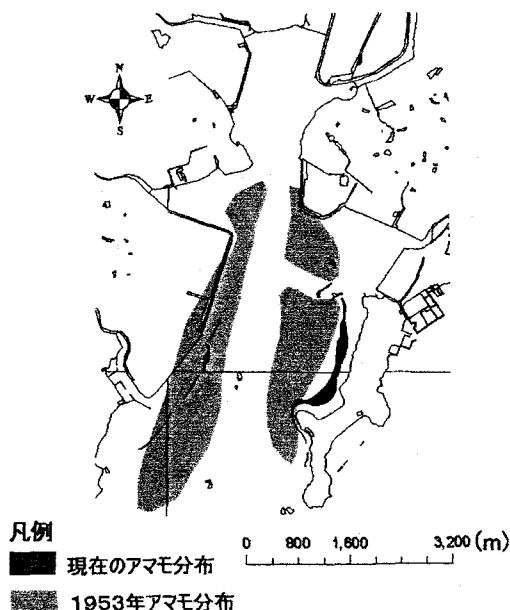


図2 山口湾におけるアマモ分布

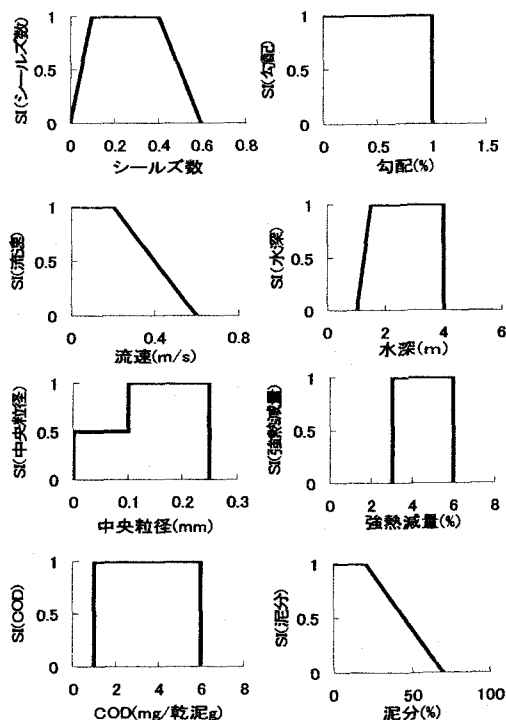


図3 アマモの HSC

には、HSC の決定においても細心の注意をもって研究が行われる。河川の生物を対照とした PHABSIM でもほぼ同様で、食物、再生産、生物間相互作用の視点から、水深、流速、カバール・底質を説明変数とした HSC を作成する場合がほとんどである。PHABSIM では、HSC として専門家の意見に基づく第一種から、季節

変化などの複雑な条件を考慮して現地調査などから求める第四種までを設定し、事業の困難さ（合意形成の難しさ）に応じて適切に使い分けるとしている。本研究では、合意形成の難しさという点での問題はなく、迅速に評価を行う必要があることから、PHABSIMの第一種HSCの考え方を採用し、表1のアマモの生育条件と山口湾における現存するアマモ場の環境を基にアマモのHSCを作成した。表1のアマモ生育条件は、強熱減量とCOD、泥分と中央粒径など、かならずしも独立しているとは言えない項目が含まれていることや、HEPにおけるHSCの4つの視点のような明快な意味づけができるわけでもないことなど、項目選定理由が不明確なこととは否めないが、情報が少ない中で利用可能なものを活用するという意味ですべて利用することにした。第一種HSCは、専門家の意見や文献情報に基づいた半定量的なものであるため、複雑な関数形が用いられることは少なく、ほとんどの場合「適(SI=1)」、「不適(SI=0)」の2段階か「可(SI=0.5)」を加えた3段階、あるいは「適」と「不適」の間を直線で結んだ関数形とする。表1に基づいて作成した第一種HSCを図3に示す。表1と大きく異なるものとしては、中央粒径、強熱減量、泥分があげられる。中央粒径については表1では0.1~0.25mmの範囲アマモが生息しているとされているので0.1~0.25mmでSI=1とし、山口湾では0.15mm以下の場所にもアマモが生息していることから0~0.10mmでSI=0.5とした。強熱減量については表1の4~5%に対し山口湾では3~6%の範囲に生息していることから3~6%でSI=1とした。泥分については表1では19%以下とあるが、山口湾では泥分70%の場所にもアマモが生息していることから、19%以下をS=1、70%以上をSI=0とし、その間を線形補間した。

4. 山口湾の環境条件

4.1 山口湾の底質環境 山口県が2003年6月に実施した底泥調査結果を用い、GISソフトウェア(ArcView8.2)によって限られた数のサンプル・データ・ポイントから、50mメッシュごとの値を推定した。その結果を図4~7に示す。また海図よりよみとった水深コンターをGISソフトウェアを用いてメッシュデータとしたものを図8に、水深分布から求めた海底勾配分布を図9に示す。

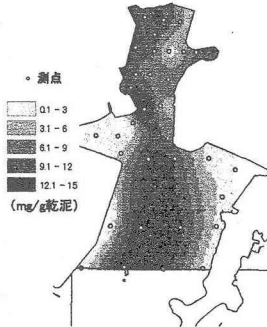


図4 底質COD分布

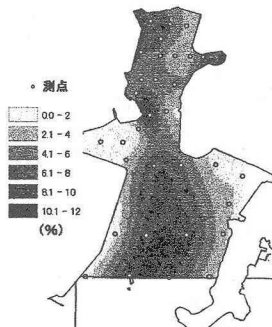


図5 強熱減量分布

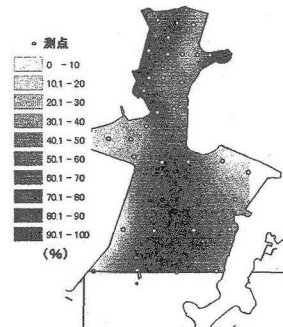


図6 泥分分布

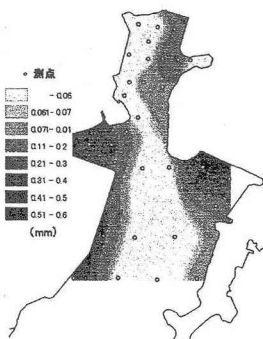


図7 中央粒径分布

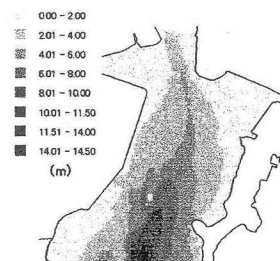


図8 水深分布(平均水面下)

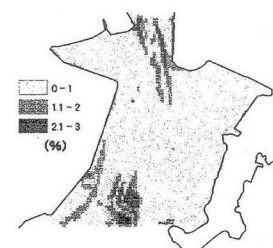


図9 海底勾配分布

4.2 山口湾の潮流シミュレーションによる流速推定

Osaka Daigaku Estuary Model¹²⁾を用いてシミュレーションを行なった。計算条件は潮汐周期を 12.42 時間、潮位振幅を中潮時 0.97m、大潮時 1.40m とし、正弦波として開境界に与えた。計算期間は 10 潮汐である。水平方向の空間差分間隔は 50m、鉛直方向は 12 層に分割した。計算パターンは中潮・平水流量(潮位振幅 0.97m)、中潮・最大流量、大潮・平水流量(潮位振幅 1.40m)、大潮・最大流量の 4 パターンとした。最も大きな流速が発生した大潮・最大流量時の流速分布を図 10 に示す。

4.3 シールズ数の算定

丸山ら⁽¹¹⁾が提案したシールズ数(砂を動かそうとする流体力と砂の抵抗比)の計算式(1)、(2)を用いて山口湾における底質の安定性を求め、アマモが生息可能な範囲を求めた。

$$\psi = \frac{u^{*2}}{(s-1)gD} \quad \cdot \cdot (1) \quad \frac{U}{u^*} = 5.75 \log_{10}(h/D) + 6 \quad \cdot \cdot (2)$$

ここで、s は底質の比重、g は重力加速度、D は底質の粒径、h は水深である。また、U は水平流速を鉛直方向に平均した値、u* は摩擦速度である。図 11 に最も大きな流速が発生した大潮・最大流量時におけるシールズ数を示した。

4.4 波浪によるシールズ数の算定

山口湾における吹送距離を求めると湾の南部では吹送距離が最大となる方向は東南東であり、約 100km が波浪の発達区域、湾奥では南南西への約 50km が波浪発達区域であることがわかった。そこで、風速 10m/s の風が波が十分発達するまで吹き続けたとして吹送距離 50km、100km の 2 通りについて SMB 法により有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ を求めた。今回は湾での浅水変形は無視し、水理公式集に記載されている回折図をもとにして、回折による波高の減衰だけを考え、丸山ら⁽¹¹⁾が提案したシールズ数の計算式(3)、(4)、(5)、(6)よりもとめた。

$$\bar{\psi}_m = 0.5\psi_m \quad \cdot \cdot (3) \quad \psi_m = \frac{u^{*2}}{(s-1)gD} \quad \cdot \cdot (4)$$

$$u^* = (0.5f_w u_b^2)^{1/2} \quad \cdot \cdot (5) \quad u_b = \frac{\pi H}{T \sinh kh} \quad \cdot \cdot (6)$$

ここで、 $\bar{\psi}_m$ は波のシールズ数の一周平均、 u_b は波の底面流速振幅、 f_w は Jonsson の摩擦係数である。波によるシールズ数の算定結果を図 12 に示す。

5. 山口湾における SI 平面分布の作成

底質 COD、強熱減量、中央粒径、泥分、水深、シールズ数、海底勾配、流速について HSC モデルから山口

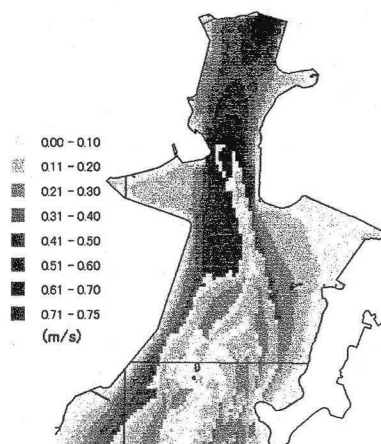


図 10 大潮・最大流量時の流速

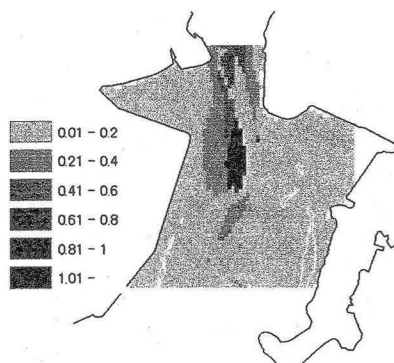


図 11 大潮・最大流量時のシールズ数

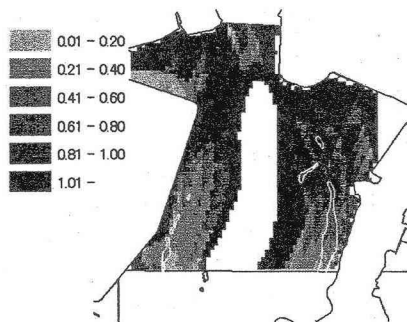


図 12 波浪によるシールズ数

湾における各項目のSI平面分布を求めた。その結果を図13に示す。

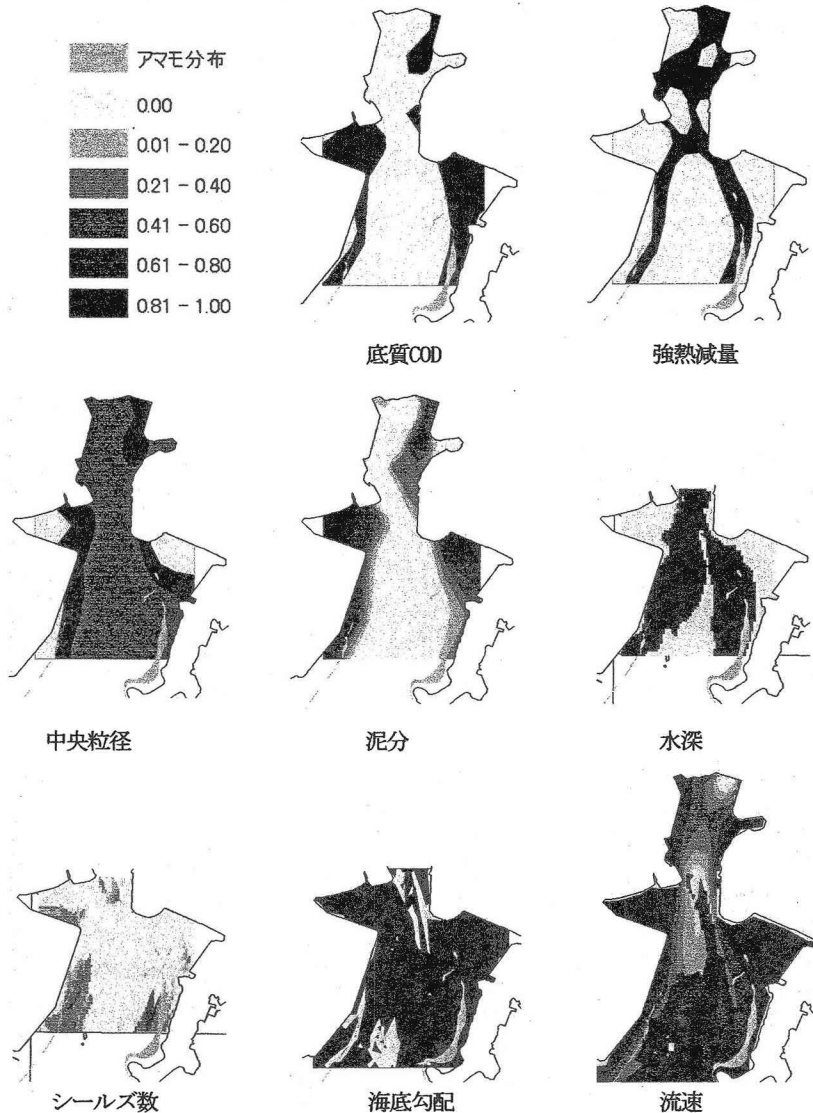


図13 山口湾におけるSI平面分布図

6. アマモの生育可能域の抽出

各環境条件の適性指標SIの分布をGISソフトウェアを使用して重ね合わせることでアマモの生息可能な場所を抽出した。静的条件(底質COD, 強熱減量, 中央粒径, 泥分, 水深, 海底勾配)だけで計算した合成SI($SI_{\text{静的条件}} = SI_{\text{底質COD}} \times SI_{\text{強熱減量}} \times SI_{\text{中央粒径}} \times SI_{\text{泥分}} \times SI_{\text{水深}} \times SI_{\text{海底勾配}}$)を図14に、動的条件(流速, シールズ数)も加えた全項目で計算した合成SI($SI_{\text{全項目}} = SI_{\text{静的条件}} \times SI_{\text{流速}} \times SI_{\text{シールズ数}}$)を図15に示す。図14より波、流れを考慮しない環境条件からは東岸、西岸のアマモ場とともに現在より北部まで帯状にアマモ場が広がる可能性があることがわかった。全ての項目を考慮した図15では、図14に存在していた北部の帯状の生育可能域がなくなり、現在のアマモ分布に近い範囲が生育可能域として抽出された。このことより、現在の状態でアマモ場造成を

行なうとすれば、西岸、東岸とも現在のアマモ場の北部に行なえば、台風などの天災が生じない間はアマモ場の維持が可能であると考えられる。また天災時にも西岸北部のアマモ場の一部は維持される可能性がある。

アマモ場の環境因子として、最近の研究では光条件と海底の物理的攪乱が重視され、底泥環境条件は考慮されていない場合がある²⁾。光と攪乱が第一義的に重要であることは間違いないだろう。しかし山口湾におけるアマモ生息可能域は、図13からも見て取れるようにCOD、強熱減量などの底泥環境条件により規定されていると考えられる部分も多く、底質環境条件についても考慮していくことが必要であると考えられる。

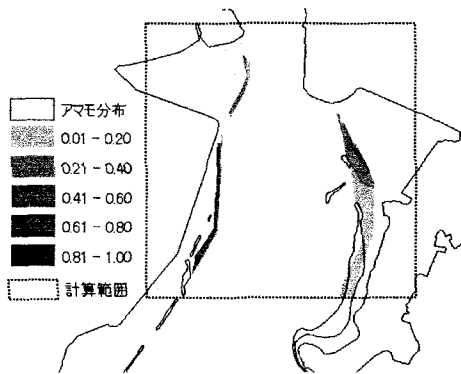


図14 波、流れを考慮しない合成SI分布

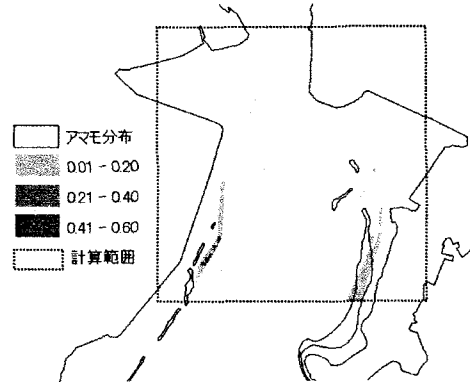


図15 全ての項目を考慮した合成SI分布

7. 結論

本研究では、既存のデータや文献情報を元に、アマモ場となりえる範囲を簡便迅速に抽出することを試みた。主要な結論を以下に示す。

- ① 水深、海底勾配、泥分、中央粒径、強熱減量、底質 COD、流速、シールズ数をとりあげ、既往の知見と山口湾におけるアマモ場の環境を基にアマモのHSCを作成した。
- ② 全HSCより算出した山口湾の合成SI分布と現状のアマモ分布は良好な一致を示した。また流速、シールズ数を除いた合成SI分布では、現状のアマモ分布の北部にも生育可能域が抽出された。
- ③ 山口湾において、播種や移植によりアマモ場を造成する場合には、現在のアマモ生息域の北部に行えば、台風などの天災が生じない間はアマモ場の維持が可能であると考えられる。

今回の解析では、アマモ減少の原因については深く追求せず、現在の環境条件下でのアマモ場造成の可能性についてのみ検討した。このため、アマモにとって最も重要とされる光条件は、単に水深のHSCとして扱われている。実際には、図13における水深についてのSI分布と図2における1953年のアマモ場分布が類似していることから推察されるように、本研究では扱われていない濁度の上昇などの水質の変化が透過光量を制限し、アマモ場の縮小の一因となっている可能性がある。実際、底泥の泥分は1953年と比べて現在は山口湾全体で格段に高くなっているという知見もあり、底泥の巻上げの増加による海底の光量の低下やアマモ葉上への浮泥の堆積の増加などが、水深HSCから予測されるより浅い範囲に現在のアマモ分布域を限定している可能性も指摘されている。底泥の微細化の原因については鋭意研究されているが、河川も含めた流域全体に関わる問題であるため現在のところ結論を導くことができていない。今後は、アマモ減少の原因を追及し、根本的な対策を考えていく必要がある。一方で、手軽な第一種HSCでもアマモの生育域が説明できる場合があることもわかった。HSCを用いれば、波浪抑制や底質改善など、種々のアマモの生息可能域拡大手法を検討していくことも可能となる。第一種HSCは信頼性などの問題から敬遠される傾向もあるが、事業の性格や目的によっては利用を推進してもよいのではないかと考える。

謝辞：本研究で使用した山口湾の観測データは、山口県環境生活部環境政策課よりご提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 京都府海洋センター：藻場の回復、造成に向けて 3. アマモの増殖，京都府立海洋センター季報，vol172, p13, 2001 年
- 2) 高山百合子，上野成三，勝井秀博，林文慶，山木勝則，田中昌宏：江奈湾の藻場分布データに基づいたアマモの HIS モデル，海岸工学論文集，vol150, p1136-1140, 2003 年
- 3) 川崎保夫，飯塚貞二，後藤弘，寺脇利信，渡辺康憲，菊池弘太郎：アマモ場造成法に関する研究，電力中央研究所我孫子研究所総合報告，1988 年
- 4) 米倉吉彦，円見和宏：藻場造成適地選定システムの開発について，中国地方整備局管内技術研究会論文集，vol152, p149-152, 2001 年
- 5) 野田英明，依藤正典，中谷英明：ニューラルネットワークを利用したアマモ場造成手法に関する研究，海岸工学論文集，vol144, No. 2, p1206-1210, 1997 年
- 6) 福田富男：アマモ場造成に関する研究Ⅴ天然におけるアマモの生育状況と環境条件，岡山県水産試験場報告，vol2, p21-26, 1987 年
- 7) 中瀬浩太，田中雄一，檜山博昭：アマモ場造成工法の開発(その 3)海浜流シミュレーションによるアマモ場成立条件の検討，五洋建設技術研究所年報，vol122, p159-164, 1992 年
- 8) 中瀬浩太，田中雄一，檜山博昭：アマモ場造成工法の開発(その 1)，五洋建設技術研究所年報，vol120, p7-14, 1991 年
- 9) 森田健二，竹下彰：アマモ場分布限界水深の予測評価手法，土木学会論文集，vol1741, p39-48, 2003 年
- 10) 松原雄平，野田英明，依藤正典，中谷英明：アマモ場造成による生態系修復技術に関する研究，海洋開発論文集，vol113, p693-698, 1997 年
- 11) 丸山康樹，五十嵐由雄，石川祐介，川崎保夫：アマモ場造成適地の砂地版安定度の推定方法，電力中央研究所我孫子研究所総合報告，vol114, p233, 1988 年
- 12) 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻：ODEM ユーザーマニュアル ver. 3.0 (1998)
- 13) アメリカ合衆国内務省/国立生物研究所 原著作・発行 財団法人リバーフロント整備センター編集発行：IFIM 入門
- 14) 日本生態協会：HEP 国際セミナー2002 講義テキスト