

山口県瀬戸内海側における浅場造成適地の 評価方法の検討

INVESTIGATION ON THE EVALUATION METHOD OF SHALLOW WATERS CREATIONS IN THE AREA OF SETO INLAND SEA SIDE OF YAMAGUCHI PREFECTURE

西田芳浩¹・小林健二¹・城山顕伸¹・首藤啓²・畠山敦志³・斉藤政幸⁴
Yoshihiro NISHIDA, Kenji KOBAYASHI, Akinobu SHIROYAMA, Akira SUTO,
Atsushi HATAKEYAMA and Masayuki SAITO

¹国土交通省中国地方整備局 宇部港湾事務所 (〒755-0001 山口県宇部市沖宇部字沖の山5254-16)

²正会員 工修 (財) 港湾空間高度化環境研究センター (〒108-0022 東京都港区海岸3-26-1)

³ (財) 港湾空間高度化環境研究センター (〒108-0022 東京都港区海岸3-26-1)

⁴農修 (株) 東京久栄 福岡支店 (〒810-0072 福岡市中央区長浜1-3-4)

This study was carried out to investigate the evaluation method for shallow waters, as suitable area for the short necked clam breeding fields and the eelgrass beds in the area of Seto Inland Sea of Yamaguchi Prefecture. To evaluate the sites comprehensively, we utilize GIS on the analysis of the environmental and social conditions, combined HEP on habitat suitability. We observed the distributions of short necked clam and eelgrass in recent years along with important environmental factors for them. Comparison of our findings with the data obtained from the model analysis indicates that our evaluation method can be applied for the site selection in this area. Consequently, it is considered to be effective GIS with HEP for evaluating habitat suitability for the shallow-water sites.

Key Words : *Shallow waters creations, right lot evaluation, short-necked clam breeding fields, eelgrass beds*

1. はじめに

瀬戸内海環境修復計画 (国土交通省中国地方整備局, 水産庁漁港漁場整備部 平成 17 年 2 月) では, 今後約 20 年の期間において, 概ね昭和 50 年代以降に失われた干潟, アマモ場の約 6 割の面積 (約 850ha) を修復することを目標としている. また, 事業を効率的に進めていくため, 湾・灘のマクロ的なレベルで自然環境や社会環境を考慮して, 事業候補地の抽出を行い, 実施可能な場所から事業を進めていくこととしている.

一方, 供給土砂の性状や発生量などの制約もあることから, 環境修復に効果的な地点を選定し優先的に進めることは, 海域の環境改善を早めることになると考えられる. 従来, 事業場所の選定にあたっては, 実施できる場所が第一義的に存在し, 客観的に場所を比較検討する手法は, 確立されていないと考えられる. このような背景から, 本研究は, 山口県瀬戸内海側を対象として, 自然環境, 社会環境を踏まえた浅場造成の適地選定する評価方法を検討するものである. なお, 環境修復に際しては, 浅場造成

以外にも多くの方法があり, それぞれの方法に適した条件設定を行うことで, 汎用性のある評価方法となり得るものと考えられる.

2. 検討の手順

検討の手順は, 2つの段階から構成されている. まず, 海域の環境を把握する手段として地理情報システム (Geographic Information Systems: GIS) を活用し, 現状の環境特性からマクロ的に事業適地を把握した. 次に, 候補地点に対して, 生息場評価手続 (Habitat Evaluation Procedure: HEP) を適用することで, 浅場造成事業の効率的な場所を検討した. なお, HEP の適用にあたり, 本研究で浅場造成の対象としたアサリ場とアマモ場において, 現時点では対象海域の具体的な生息場適正指数 (Habitat Suitability Index: HSI) のモデルが整備されていない. そのため, 既往の研究成果から本研究で定量化が可能なモデルを用いて検討を行った.

以上の面的データをもとに, 本研究では, GIS に

よる検討と HEP による事業の効果的場所の選定を、同じような空間で両手法を併用して総合的に評価する方法を採用した。

3. GIS による現況環境特性の把握

本研究で作成した GIS の面的定量化レイヤを表-1 に示す。山口県瀬戸内海側海域において、既往の文献やインターネット上で公開されているデータベースや計算結果をもとに、自然環境、社会環境などを GIS データベースに入力した。地形的な特性として、水深、淡水影響域、岩礁域（岩礁性生態域の把握）、シールズ数¹⁾ ($\Psi_{ma}=0.5\Psi_m$, $\Psi_m=u_*^2/(s-1)gD$, ; Ψ_{ma} : 波のシールズ数の一周期平均) など、水質項目（2005 年度の年平均値）として、COD、底層クロロフィル-a、透明度、栄養塩など、社会条件として、区画漁業権、海水浴場など、合計 23 項目のデータによってレイヤを構成した。

浅場造成の際、底面剪断力と粒子自体の抵抗力との比であるシールズ数が重要なパラメータとなる。シールズ数の算定は、風向・風速のデータから沖波に年最大程度の有義波を算定し、200m 格子でエネルギー平衡法による波浪変形計算結果等から行った。

図-1 は、GIS による適地選定の手順を示し、浅場の砂面安定性の観点から、まず適地基本域（シールズ数 0.2 以下、水深 10m 以浅）を設定し、次にアサリ場及びアマモ場の生息・生育条件に重要な水質項目を重ね合わせ、適地を検討した。

図-2 は、アサリ場の重要な生息環境条件を重ね合わせたものであり、適地基本域にクロロフィル-a と近年のアサリ場(2000～2005)を重ねた図面である。アサリの餌料環境に影響を及ぼすクロロフィル-a は、柿野ら(1995)によると、 $3\mu\text{g/l}$ 以下とされており¹¹⁾、ここではより良い生息環境を選定するため、適地基準を $4\mu\text{g/l}$ 以上とした。アサリの餌料環境から山陽小野田市、周南市の沿岸が適しており、波浪条件からも良く、実際に漁場となっていることがわかる。

同じようにアマモ場については、適地基本域に透明度、COD（いずれも年平均値）及び近年のアマモ場の分布を重ね合わせ図-3 に示す。透明度は優良なアマモ場が保全されている場所で、年平均の最低値が 2.3m とされており¹²⁾、適地基準を 3m 以上とした。優良なアマモ場の COD は $0.5\sim 2.4\text{mg/l}$ の範

囲であり¹²⁾、その範囲を適地基準とした。アマモの透明度や COD から県東部が生育に適しており、アマモ場の分布も多く確認される。

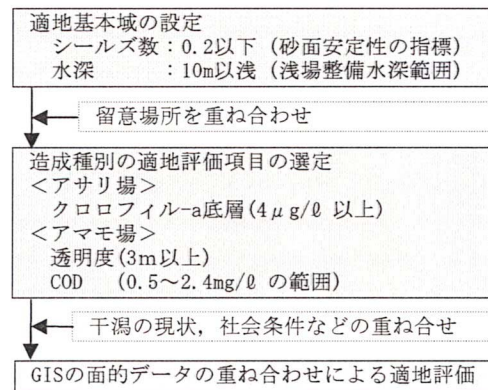


図-1 GIS による適地評価の手順

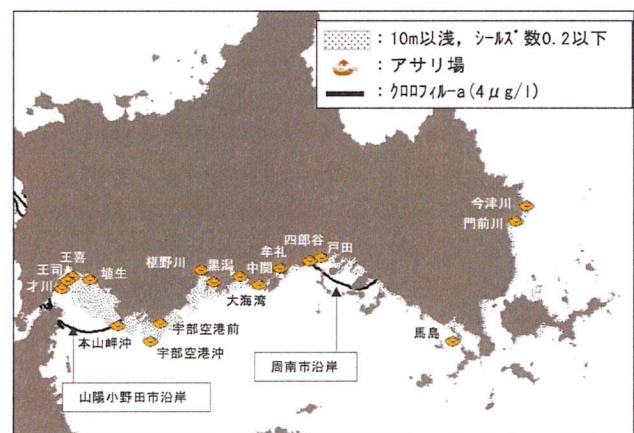


図-2 アサリ場とクロロフィル-a の分布

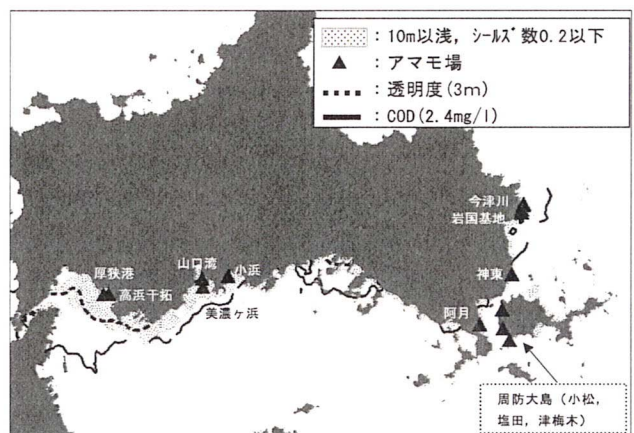


図-3 アマモ場と透明度、COD の分布

表-1 面的定量化に利用した項目

分類		面的定量化項目
共通項目	適地基本域	シールズ数：0.2以下，水深：10m以浅
	留意場所	淡水影響域 ^{2), 3)} ，泥質化傾向 ^{2), 4)} ，岩礁域 ⁵⁾ ，カブトガニ生息場 ²⁾
造成種類別項目	アサリ	クロロフィル-a ^{6), 7), 8)} ，アサリ漁場（過去，現在） ⁹⁾
	アマモ	透明度 ^{3), 6), 7)} ，COD ^{3), 6), 7)} ，アマモ場 ¹⁰⁾
干潟の現状		干潟の分布 ¹⁰⁾ ，干潟の底質 ²⁾ ，干潟へのアプローチ ²⁾
社会条件等 ⁵⁾		重要港湾区域，区画漁業権，海水浴場，干拓地，水質の類型指定等
その他の評価項目		T-N ^{3), 6), 7)} ，T-P ^{3), 6), 7)}

4. HEP による事業の効果的場所の抽出

(1) 浅場造成事業と SI 曲線への適用

浅場造成事業の適地選定を全域に対して検討するため、水深や底質について浅場の条件を面的に設定した。浅場造成の条件として、水深を現状 3~5m の範囲を 3m, 現状 5~10m の範囲を 5m にそれぞれ嵩上げし、周辺地域で入手可能な覆砂砂で底質の粒径 0.5mm, 泥分率 2% の砂質として設定した。

HEP による評価にあたっては、面的に整理された環境データをもとに、既往の構築された HSI モデルの SI 曲線を適用した。アサリ場及びアマモ場に対する SI モデルは、それぞれ浜名湖、及び東京湾における既往の研究を適用した。

アサリ場については、島多ら (2004)¹³⁾ のモデル $HSI = \text{Min}\{SI(\text{泥分}), SI(\text{シルズ数})\} \times SI(\text{干出率}) \times SI(D0)$ を適用した。それらの SI 曲線のうち、対象海域で浅場造成による影響がでる SI 項目として、図-4 に示すシルト・粘土含有量 (以下、泥分と呼ぶ) とシルズ数の SI 曲線から SI 値を算出した。その他の変化が想定されない SI 項目は 1 として HSI を算出し、面的に生息環境を図化した。

泥分率の SI 値は、山口県水産情報システム 海鳴りネットワークの底質分布データをもとに泥分率に換算した。シルズ数の SI 値は、前述した方法によって算出したシルズ数から、GIS データベースを作成した。

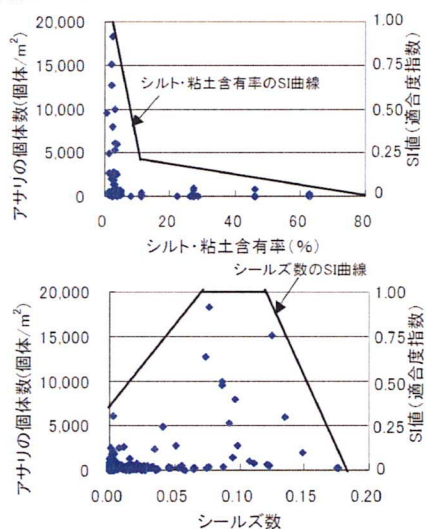


図-4 アサリ場に適用した SI 曲線

アマモ場については、高山ら (2003)¹⁴⁾ の $HSI = SI(\text{海底日射量}) \times SI(\text{シルズ数}) \times SI(\text{水深}) \times SI(\text{水温}) \times SI(\text{塩分})$ を適用した。

上記のうち、対象海域で浅場造成による影響がでる SI 項目として、海底日射量とシルズ数の SI 値は、図-5 に示す SI 曲線から、その他の変化が想定されない項目は 1 とした。

アマモの海底日射量の SI 値は、透明度から消散係数の算出を Persons et al. (1984)¹⁵⁾ にしたがって換算し、石川ら (1986) の消散係数と海面日射量及び水

深をもとに、ある水深帯の日射量を算出する式¹⁶⁾にしたがい、海底日射量を面的に算出した。これらのデータも GIS データベースに入力した。

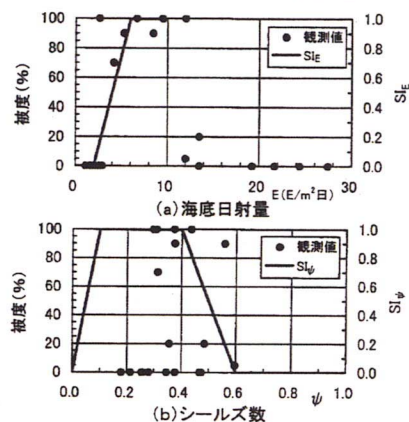


図-5 アマモ場に適用した SI 曲線

(2) 事業効果の算定

用いたモデルによる現状のアサリ場の HSI の計算結果を図-6 に示す。山口県の漁場は全体的に HSI が低いことが分かる。アサリ場の事業後の HSI は、図-7 に示すとおり、嵩上げや覆砂により、泥分とシルズ数の SI 値が変化し、事業前の HSI が 0.25 以下がほとんど全域に分布していたのに対し、事業後の HSI は、0.25 以上に改善されている。

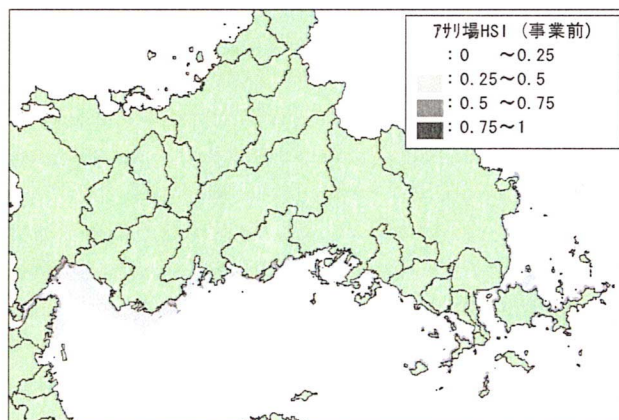


図-6 アサリ場の HSI (事業前)

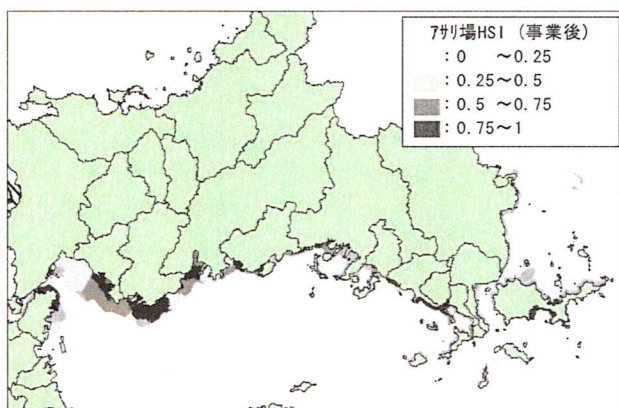


図-7 アサリ場の HSI (事業後)

図-8 は、事業効果として、将来（図-7）から現状（図-6）を差し引いた数値であり、県下全域に効果の高い場所があり、その中でも山口県西部では広い海域で事業効果が高いことが認められる。

また、アマモ場についても同様な手順で事業効果が算定でき、その結果を図-9 に示す。

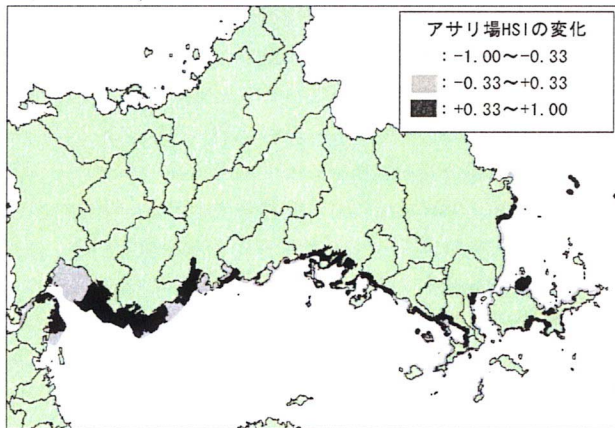


図-8 事業前後のアサリ場 HSI の変化

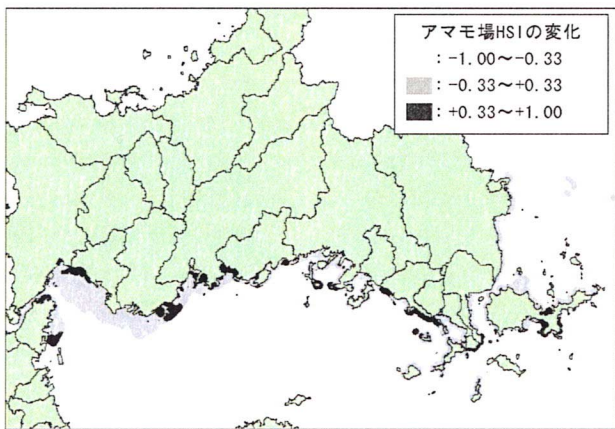


図-9 事業前後のアマモ場 HSI の変化

5. 検討モデルの適用性

(1) アサリ場の適用性

餌料環境の指標とした下層のクロロフィル-a の分布とアサリ漁獲量の関係を図-10 に示す。クロロフィル-a が増加すると漁獲量も多くなる傾向が認められ、餌料環境については、GIS の結果を準用することは有効な方法であると考えられる。また、近年漁獲¹⁷⁾がある漁場でのアサリ場の HSI（事業前）と漁獲量との関係を図-11 に示す。牟礼地先と中関地先では、漁獲量が少ないにもかかわらず HSI が高くなっているが、その他の漁場では漁獲量と HSI との間にある程度の相関傾向が認められた。

なお、現状適地と評価された場所でも、近年アサリの生息量が少ない理由としては、浮遊幼生不足やナルトビエイ等の食害による減耗等が挙げられる。そのため、山口県瀬戸内海側のアサリの生息環境を評価する上では、餌料環境や浮遊幼生密度あるいは食害の SI 曲線の構築により、より精度の高い評価

が可能となると考えられる。

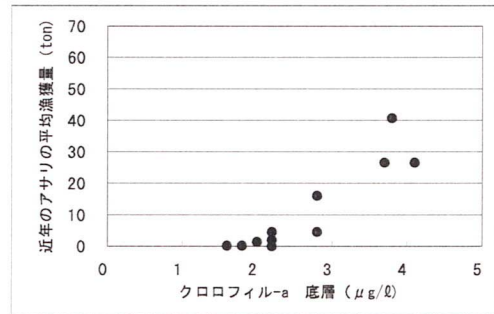


図-10 クロロフィル-a とアサリ漁獲量の関係

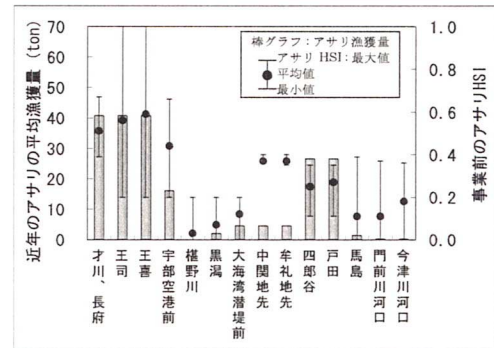


図-11 アサリ場の HSI（事業前）とアサリ漁獲量の関係

(2) アマモ場の適用性

山口県のアマモ場の現存については、厚狭湾、山口湾、周防大島等の島嶼地域、岩国港などで県東部を主体に広く分布している。それらの定量的な被度や株密度などのデータは整備されていないため、検討結果との比較は、アマモの生育が確認された場所での水質やアマモ HSI との比較に限られる。

アマモの生育条件に重要な水質項目として、透明度と COD を選び、アマモ場として確認された 14 カ所での水質とを比較した。図-12 は、透明度 3m 以上、COD 0.5~2.4mg/l に対して、アマモ場での水質を示している。これによると、概ね該当する範囲に入っていることが分かる。一方、アマモ HSI モデルとの比較を図-13 に示すが、山口湾周辺を除き HSI は低い。この原因は、柳井湾などは波浪の影響が少ないが、潮流などの流れが速い瀬戸に位置しており、波浪や潮流などの流れが共存した場でのシールズ数の適用が必要と考えられる。

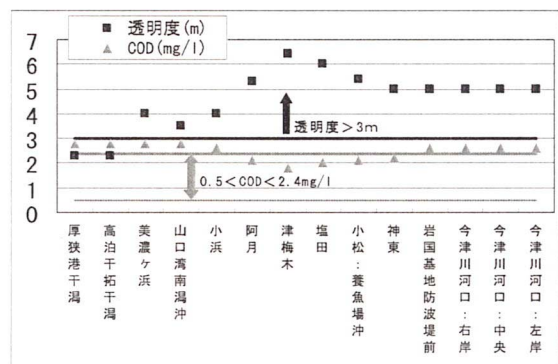


図-12 アマモ場と水質の関係

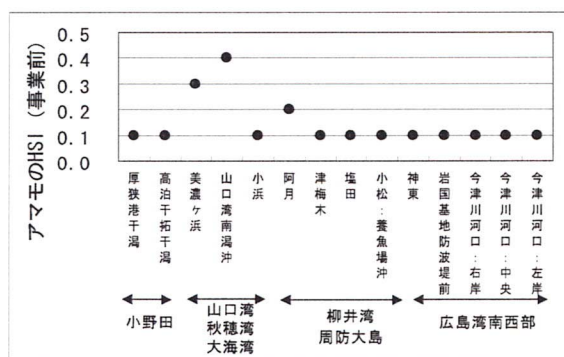


図-13 アマモ生育場所毎のHSI

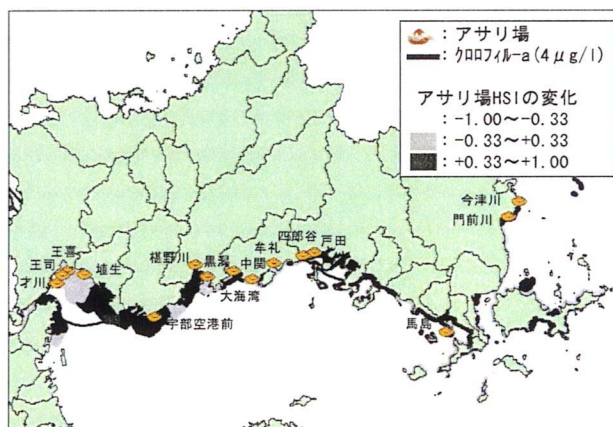


図-14 アサリ場の総合評価（山口県）

6. 総合的な適地選定

GISやHSIモデルで考慮されている要素は、既往のデータのみでは、組み込んだ項目に限りがある。また、社会環境については、事業者・使用者の立場によって評価が異なるために、定量化が難しい項目もあり、実用化に供するまでには至っていないと考えられる。また、収集したデータには、漁業権などの社会環境もあり、各地点での優先条件によっては、技術的な条件の優先度が低くなる場合もありえる。

本研究では、GISで整理した現況の水質項目等で適地範囲として選定した範囲の中で、さらに事業前後で対象種の生息環境が改善される場所、すなわちHSIの変化度が向上する場所を踏まえ、浅場造成適地として評価した。

(1) アサリ場の適地選定

山口県の近年の主なアサリ場のクロロフィル-aは、図-14に示すとおり県西部の埴生地先や周南市戸田で高い傾向にあり、山口県でのアサリの生息条件の1つの指標である「餌料環境」でみるとアサリ場の造成場所としては適している。

そのうち、徳山下松港周辺では、図-15に示すとおり現状干潟でアサリ場があり、また餌料環境も良いことから、アサリ場の造成候補地として適している。現状のアサリ場と餌料環境を踏まえると、クロロフィル-a が $4\mu\text{g}/\ell$ で、HSI（生息環境）の向上がみられる徳山港周辺の干潟や前面の島の入江等が広く適地と考えられる。

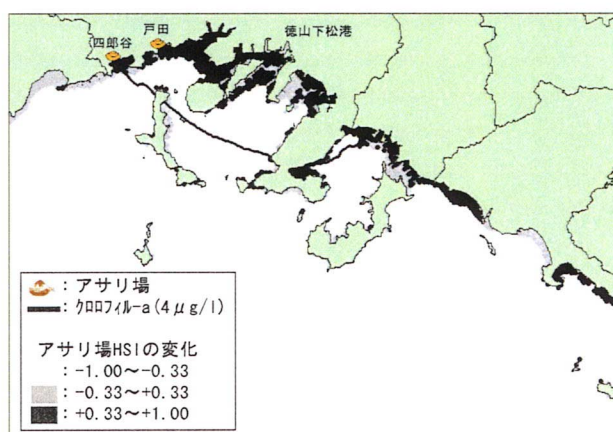


図-15 アサリ場の総合評価（徳山下松港）

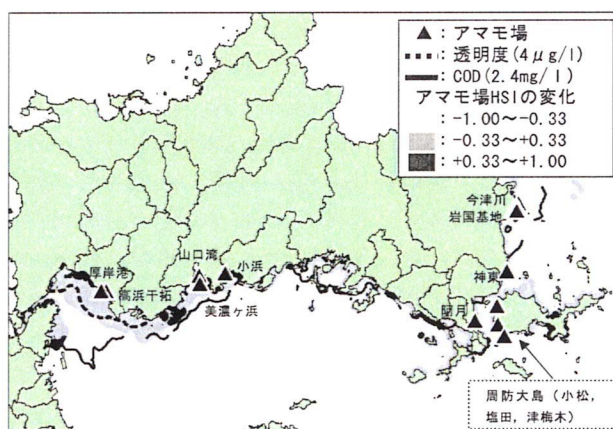


図-16 アマモ場の総合評価（山口県）

(2) アマモ場の適地選定

アマモ場が分布する県東部では、図-16に示すとおり、アマモの生育適地範囲のCODが $0.5 \sim 2.4 \text{ mg/l}$ 、透明度が3m以上を満たしている海域が多い。浅場造成による嵩上げにより、広くアマモ場を拡大できる可能性がある。そのうち、山口県南東部では、図-17に示すとおり、一部を除きほぼ全域で透明度が3m以上、CODは、柳井湾、平生湾を除き、 $0.5 \sim 2.4 \text{ mg/l}$ の範囲でアマモの生育環境として適地である。また、現存するアマモ場が多く、HSIが向上

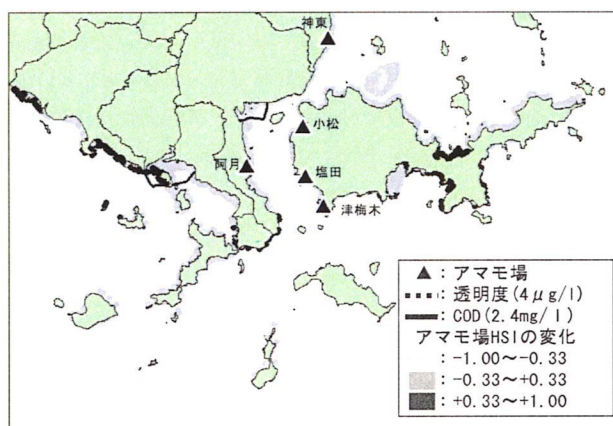


図-17 アマモ場の総合評価（山口県南東部）

する複雑な海岸地形や島影などを利用して水深を嵩上げすることでアマモ場を造成できる場所が多い。

7. まとめ

山口県瀬戸内海側の広範囲の海域を対象として、浅場造成適地の評価方法を提案した。本研究で得られた主な結論を以下に示す。

- ・GIS と HEP を併用することで、広域でより客観的に事業適地を選定できることを示した。
- ・GIS による現況把握、HEP による事業の効果的な場所の抽出というステップにより、適地の合理的な検討が可能になる。
- ・GIS による面的定量化にあたっては、アサリ場では餌料環境の指標となるクロロフィル-a、アマモ場では、生育環境の指標となる透明度、COD について適地基準値を設定し、近年のアサリ場やアマモ場の分布の重ね合わせより、概ね適地基準の範囲に分布することを明らかにした。
- ・HEP による事業の効果的な場所の抽出にあたっては、既往の HSI モデルを適用し、事業前と事業後の HSI を算定し適地評価を行った。事業前後の HSI の比較では、アサリ場やアマモ場を指標とした事業後の HSI が向上する範囲が示された。

また、今後、浅場造成適地評価の精度を高めるためには、山口県での自然環境データの整備及び HEP モデルの確立が必要であり、そのためには次のような課題が挙げられる。

- ・検討モデルの適用性の検討から、収集できる範囲の生物データと HSI とにある程度の相関傾向は得られたものの、生物の生息場所、生息密度、時系列変化のデータなどが不十分なこと、実情に即した SI の設定が難しいことが明らかになった。
- ・浅場の安定に際しては、西側は波浪、東側は潮汐（潮流）の影響も大きいと推察され、波浪単独で求めたシールズ数では東部海域のアマモの生息状況との整合性に課題があった。

謝辞：本研究の遂行にあたり、平成18年度及び19年度管内造成浅場検討業務委員会（委員長：関根 山口大学教授）からは、熱心なご指導を戴いた。また、山口県から社会情勢等の情報、及び自然環境等のデータの提供を戴いた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 丸山康樹，ほか：アマモ場適地選定手法，第 34 回海岸工学講演会論文集，pp. 227-231，1987.
- 2) 中国地方整備局 宇部港湾事務所：平成 18 年度管内浅場適地検討業務報告書，2007.
- 3) 環境省：水環境総合情報サイト，公共用水域水質測定データ，2005.
- 4) 環境庁：第 4 回自然環境保全基礎調査 日本の干潟，藻場，サンゴ礁の現況 第 2 巻 干潟，1997.
- 5) 山口県環境生活部環境政策課：快適環境づくりシステム GIS ビューアー.
- 6) 社団法人 瀬戸内海環境保全協会：せとうちネット，瀬戸内海の環境情報 広域総合水質調査データ，2005.
- 7) 国土交通省：瀬戸内海総合水質調査ホームページ，水質データ，2005.
- 8) 和西昭仁，馬場俊典：浅海定線調査，山口県水産研究センター事業報告，2005.
- 9) 陣之内征龍，ほか：アサリ漁場環境調査，山口県内海水産試験場報告 第 21 号，1992.
- 10) 環境省自然環境局生物多様性センター：生物多様性情報システム，第 5 回自然環境保全基礎調査 海辺調査.
- 11) 柿野純，ほか：東京湾盤州干潟における冬季のアサリのへい死要因について，水産工学，Vol. 32，No. 1，pp. 2-32，1995.
- 12) 社団法人 日本水産資源保護協会：環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための『判断基準』と『事例』，1992.
- 13) 島多義彦，袋昭太：干潟再生による生物生息環境改善効果の定量的評価手法に関する研究，フジタ技術研究報告，第 40 号，pp. 57-62，2004.
- 14) 高山百合子，ほか：江奈湾の藻場分布データに基づいたアマモの HSI モデル，海岸工学論文集，第 50 巻，pp. 1136-1140，2003.
- 15) Persons, T.R. et al.：生物海洋学 2 粒状物質の一次生成，東海大学出版会，pp. 90，1984.
- 16) 石川雄介，ほか：電源立地点の藻場造成技術の開発第 9 報，水中の光条件に基づくアマモ場造成限界深度の推定方法，電力中央研究所報告 U88010，pp. 20，1986.
- 17) 中国四国農政局山口統計・情報センター：山口農林水産統計年報，第 48～53 次，2000～2005.