

潮間帯における付着生物と水質を指標とした 漁場環境評価手法に関する研究

Evaluation method of fishery environment with water quality
and sessile organism in intertidal zone

市瀬友啓¹・島田広昭²・加藤官司³・高木英男⁴・中桐栄⁵

Tomohiro ICHISE, Akihiro SHIMADA, Kanji KATO, Hideo TAKAGI, Sakae NAKAGIRI

¹正会員 兵庫県農政環境部農林水産局水産課 (〒650-8567 兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

²正会員 博(工) 関西大学環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

³関西大学環境都市工学部都市システム工学科 (同上)

⁴兵庫県農政環境部農林水産局水産課 (〒650-8567 兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

⁵農修 兵庫県農政環境部農林水産局水産課 (同上)

To preserve the fishery resources, some maintenance works have been done in Japan. However, it is not easy to assess these project effects because of increasing research cost on the relation between fishery and environment. In this paper, a simple method to make an assessment of environment in a fishery has been proposed by using Habitat Evaluation Procedure Method (HEP). An model of HSI(Habitat Suitability Index) with two indexes is used to estimate the quality of biotope in an intertidal zone. These two indexes are water quality and number of attached organism there. From the results, it is found that HSI value is closely related to fish catches obtained by statistical data. This means that the method is available to assess the effect of environmental change on fishery resources in the intertidal zone.

Key Words : Intertidal zone, sessile organism, fishing ground environment, HEP

1. 研究の目的

水産資源の維持・増大を図り漁業経営を安定させることを目標に, 全国各地で漁場整備事業が実施されている。こうした事業実施に際しては, 事業効果の算定や事業規模の決定等に資するため生物環境調査が実施されることもあるが, 潜水士等により実施される潮下帯を含む大規模で継続的な調査は費用面からも難しいのが現状である。

そこで本研究では, 漁場周辺に設置されている石積突堤や人工磯等容易にアクセスできる潮間帯付近の付着生物と水質を指標としたハビタット評価手続き¹⁾(Habitat Evaluation Procedure 以下, 「HEP」)による予測モデルを構築し, 漁場環境を定量的に評価できる簡便な手法を提案しようとした。

2. 研究の内容

(1) 調査地点の設定と調査の概要

調査地点の選定は, 調査結果を漁場環境の評価に適用することを前提として既存の水質調査結果の有無, 既存の付着生物調査結果の有無, 統計資料の有

無, 地域の漁業実態, 現地調査の作業行程等を勘案し図-1に示す大阪湾, 播磨灘及び紀伊水道に面する6地点の人工海浜に設置された石積突堤や人工磯等の周辺を調査地点として設定した。

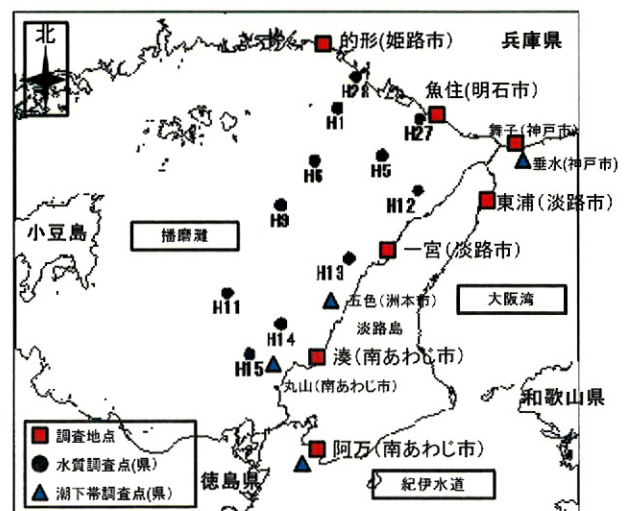


図-1 調査地点位置図

調査は、2009年10月から2010年1月にかけて合計3回実施し、気象、付着生物の確認種数及び水質（水温、塩分濃度、pH、DO、COD）を測定した。

なお、第1回調査で調査地点とした舞子（神戸市）については、付着生物の確認種調査が困難であったため調査地点を変更し、第2回調査より湊（南あわじ市）の調査地点を追加し、同地点で2009年12月から2010年1月にかけて合計2回実施した。

(2) 付着生物の確認種調査結果の考察

付着生物調査の結果について、6地点の現地調査を1日で実施しているため潮位状況の違いを考慮しそれぞれ平均的な生息状況にするため調査地点別平均値を算出し、付着生物の確認種数とした。

まず、付着生物調査で確認された付着生物種数のうち、貝類等の「軟体動物」とそれ以外のフジツボ類等の節足動物やゴカイ等の環形動物等を「その他」としてとりまとめて比較した。

図-2に示すとおり「軟体動物」及び「その他」の確認種数について、ともに阿万（南あわじ市）で最も多く確認され、的形（姫路市）で少ない傾向であった。「軟体動物」と「その他」を加えた合計の確認種数についても、阿万で最も多くその平均値は29種であり、播磨灘の調査地点である的形と魚住（明石市）における確認種数の平均値はともに14種であった。

図-3に示すとおり、調査日毎の確認種数について、その最大値は第3回調査時における阿万で32種であり、最小値は第2回調査時における的形で7種であった。

さらに、調査地点毎に確認された重複を含まない累積の確認種数についても、阿万で44種と最も多く確認され、的形と魚住ではともに23種であった。

よって、現地調査時の潮位状況について、調査地点毎にバラツキがあるものの、調査結果は調査地点毎に概ね同様の傾向を示しており、調査結果の妥当性が示唆された。

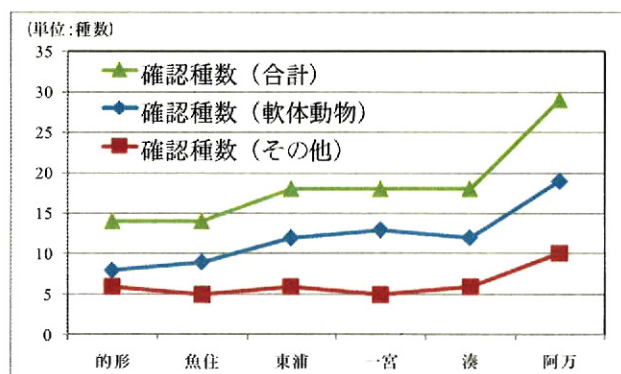


図-2 付着生物の確認種調査の平均値

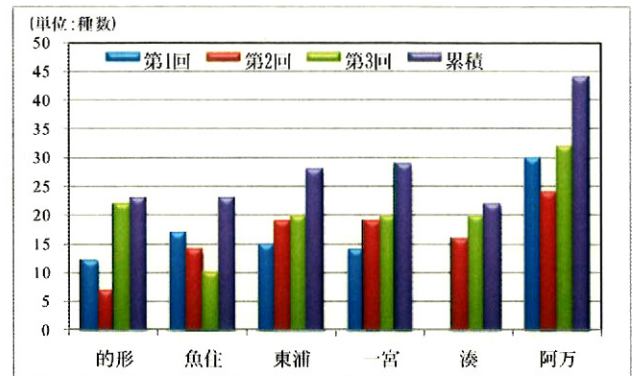


図-3 付着生物の確認種調査結果

(3) モデルの構築

本研究では、現地調査で得られた付着生物の確認種数と水質調査結果を用いてHEPによる予測モデルを構築しようとした。

まず、現地調査を実施した大阪湾、播磨灘及び紀伊水道に面する6調査地点をHEPによる比較対象として設定した。また、評価の対象は、調査地点で確認された付着生物とし、特定の付着生物を対象とするのではなく調査地点で確認された付着生物の種数を評価対象とした。

次に、HEPによるモデルの構築は、調査結果やその他の既存文献を勘案しつつ、基本的に橋中ら²⁾の方法に従い、塩分濃度（単位：PSU）、pH、DO（単位：mg/L）、COD（単位：mg/L）の4項目の適正指標モデル（Suitability Index 以下、「SI(x)」） SI_S 、 SI_p 、 SI_D 、 SI_C の構築を以下のとおり行った。

まず、付着生物の確認種調査における確認種数と水質の調査結果との関係を散布図にプロットし、それらの点の大部分を包絡するような直線を算出した。

確認種数の最大値をnとし、SIの最大値はnを $SI=1.00$ と設定した。また、確認種数の最小値をmとし、SIの最小値は $SI=x$ 、 $x=m/n$ と設定した。

今回の調査結果について、確認種数の最大値nは阿万（南あわじ市）におけるn=32であったことからこれを基準点として $SI=1.00$ とした。

また、DOが0の環境、すなわち無酸素の環境では生物は生息できないと考えて、 $m=0$ と設定しSIの最小値を $SI=0$ と設定し、図-4に示すSIモデルを構築した。

さらに、 SI_S 、 SI_p 、 SI_D 、 SI_C を統合して式（1）に示す限定要因法によるハビタット適正指数（Habitat Suitability Index 以下、「HSI」）モデルを構築した。

HSIの構築についても、橋中ら²⁾の方法に従い、SIのうち最小のものが付着生物の生息環境に大きく影響を与え、そこに生息できる種数を制限するとした。

$$HSI = \min(SI_S, SI_p, SI_D, SI_C) \cdots (1)$$

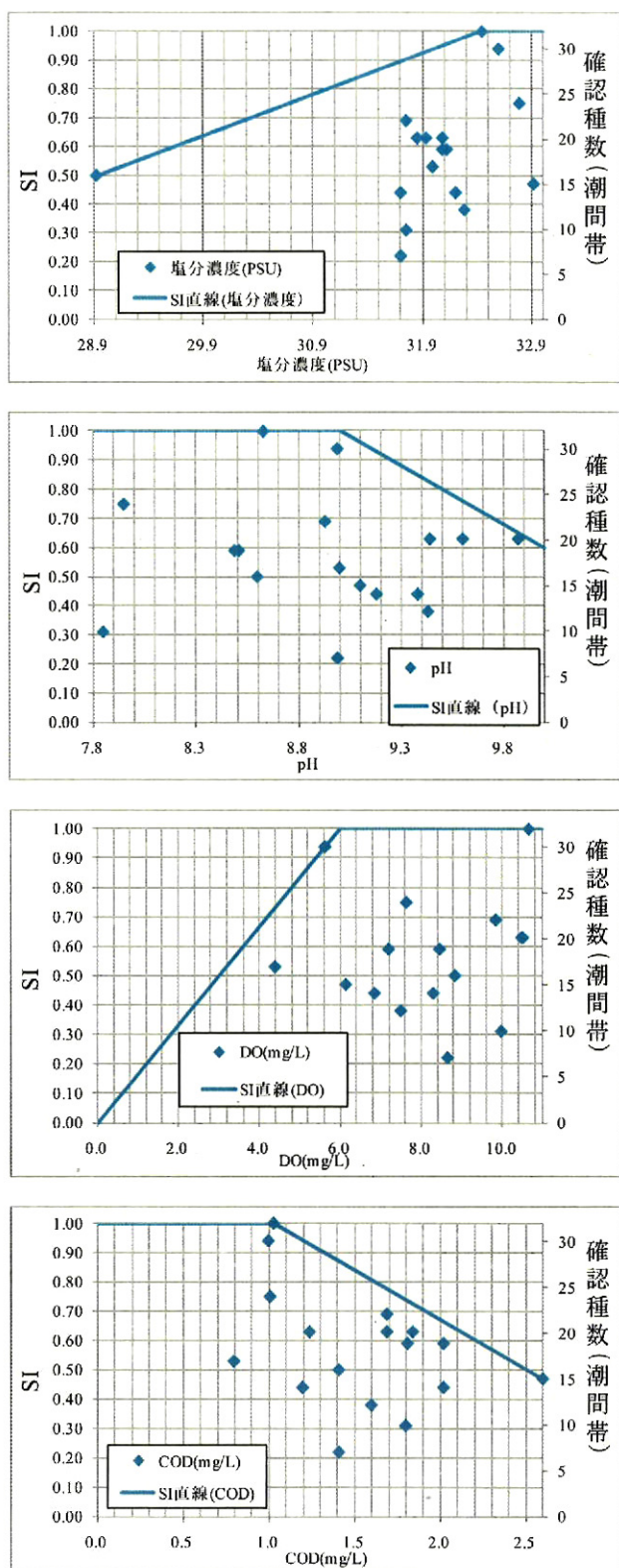


図-4 水質に関するSIモデル

(4) 構築モデルの検証

構築したHSIの妥当性を確認するため、図-5中には、HSIと付着生物の6調査地点における確認種数最大値との関係を●印で、HSIと最大値を除く付着生物の確認種数の関係を▲印で示した。

なお、この図には理想的な算出結果を表すものとして、原点とHSI及び確認種数が最大の点〔HSI, n〕=(1, 32)を通る直線を記入した。

HSIの算出結果の妥当性は、プロットした点がこの直線よりも右下部にあり、かつ、この直線の付近にあることを基準に判断する。

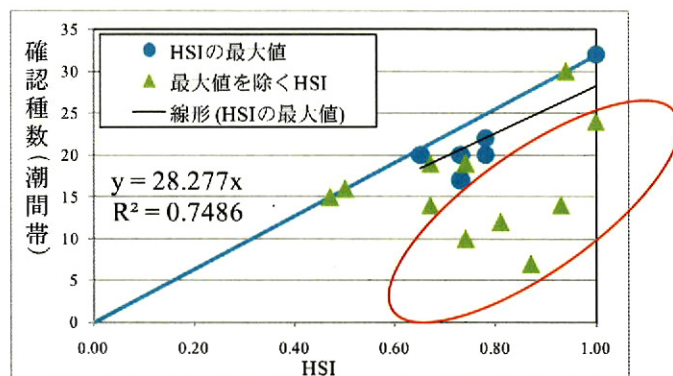


図-5 水質に関するHSIモデル

まず、HSIと付着生物の6調査地点における確認種数最大値との関係について、その相関係数は $R^2=0.74$ となり概ね調査地点周辺の付着生物の生息環境を再現したといえる。

次に、HSIと最大値を除く付着生物の確認種数との関係について、原点とHSI及び確認種数が最大の点〔HSI, n〕=(1, 32)を通る直線から下方に離れている5地点の原因を考察するため、調査時の潮位を調査地点近傍の検潮所の記録³⁾をもとに表-1に示した。

その結果、4点については、調査時の潮位が高い傾向にあったことが確認され、十分に確認種数を把握することができなかったものと示唆される。残りの1点は、魚住(明石市)の調査地点であるが、調査時に確認された調査地点周辺海面の褐色の濁りが影響したものと推察される。

よって、これらを総合的に勘案しても調査期間が4ヶ月間と短期間ではあるが、調査結果は全体として調査地点周辺の付着生物の生息環境を概ね再現しており、構築したHSIモデルにより後述する漁業実態との関係を考察することとした。

表-1 調査時の検潮記録(高潮位4傑)

調査回	調査地点	確認種数	潮位(T. P.) cm	潮位時刻	検潮所
第2回	的形(姫路市)	7	81	15:00	姫路
第1回	的形(姫路市)	12	79	10:00	姫路
第2回	阿万(南あわじ市)	24	53	12:00	福良
第1回	一宮(淡路市)	14	49	15:00	江井

(5) 評価海域への適用

構築したHSIモデルに、図-1に示した播磨灘の11箇所における1997年から2006年の10年間の水質観測結果⁴⁾（以下、「県水質観測」）を適用し、観測期間における10年間の平均HSIを算出した。

図-6に示したように姫路市地先の定点(H28)より時計まわりに南あわじ市地先の定点(H14)へ南下するほどHSIは上昇し、付着生物の生息環境評価は向上する結果となった。

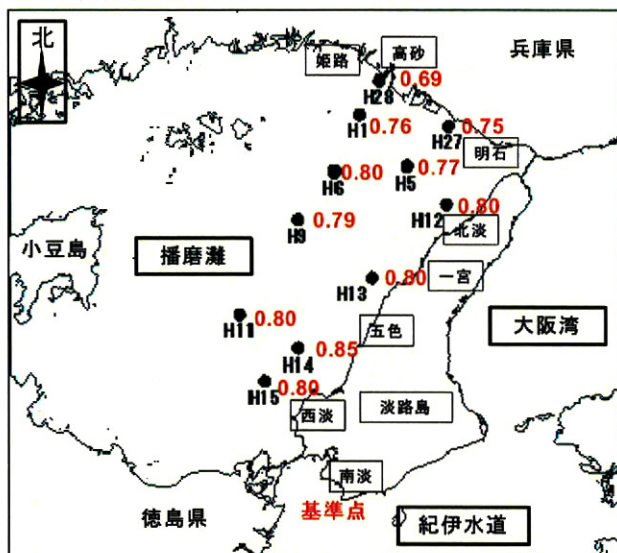


図-6 海域のHSIと漁業地域

(6) 潮下帯における付着生物環境への適用

本研究は、漁場環境を定量的に評価することを目的としているため、魚介類の餌料環境に重要な潮下帯の付着生物環境に適用可能か確認を試みた。

図-1に示した大阪湾、播磨灘及び紀伊水道に面する4地点で、兵庫県が実施した潮下帯において潜水士により採集した検体の分析結果⁵⁾（以下、「県調査」）と評価海域におけるHSIとの関係を検討した。

県調査は、垂水（神戸市）が2007年2月、五色（洲本市）が2006年10月と2007年1月、丸山（南あわじ市）が2006年8月と9月、阿万（南あわじ市）が2007年11月と2008年1月に実施された。投石礁における付着生物調査の検体数は、垂水が11検体、五色が6検体、丸山が4検体、阿万が2検体実施された。

加えて、同時に天然礁や魚礁等の調査も実施されており、投石礁を含めた合計の調査検体数は、垂水が35検体、五色が18検体、丸山が6検体、阿万が6検体実施された。これら県調査結果より付着生物の確認種数を調査地点毎に整理し、これを「確認種数（潮下帯）」とした。

県調査結果について、調査時期、調査回数、調査検体数のバラツキがあることを考慮し、付着生物の確認種調査を実施した漁場周辺に設置されている石積突堤や人工礁の造成材料と類似する投石礁の確認種数（潮下帯）の平均値と投石礁、魚礁、天然礁を含めた全体の確認種数（潮下帯）の平均値について

比較した結果、それらは図-7に示すとおり若干天然礁や魚礁等の種数が多い傾向にあったが、概ね同様の傾向を示した。よって、確認種数（潮下帯）は、投石礁の付着生物調査結果を採用することとした。

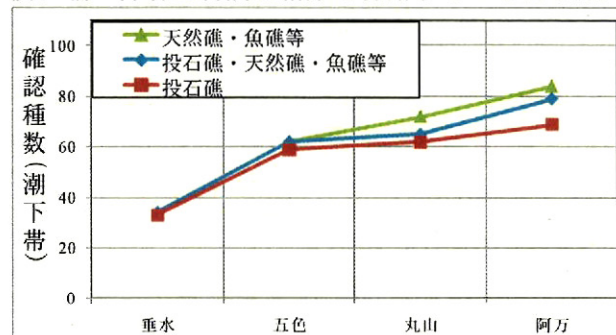


図-7 県調査における確認種数（潮下帯）の比較

次に、調査地点のHSIについて、阿万を基準点としてSI=1.00と設定し、五色、丸山については先に算出したH13、H14海域のHSIを適用した。

垂水海域のHSIの算出に必要な水質調査結果について、県水質観測の定点は播磨灘のみに設定されていることから、新たに垂水海域の水質調査結果を取得する必要性が生じたため1997年から2006年における10年間の公共用水域調査結果⁶⁾及び瀬戸内海総合水質調査結果⁷⁾よりHSIを算出した。なお、比較のため第1回調査時に実施した舞子（神戸市）の水質調査結果を適用した場合の垂水海域のHSIも算出したが、算出されたHSIは0.54で同程度の値となることを確認した。

確認種数（潮間帯）と確認種数（潮下帯）を比較すると、調査方法、調査水深等の調査条件、環境条件等が異なることから、確認種数（潮下帯）は、確認種数（潮間帯）に比べて高くなる傾向となった。

構築したHSIの検証に使用した図-5に確認種数（潮下帯）をプロットしたものが図-8である。これによると、HSIと確認種数（潮下帯）との関係について、その相関係数は $R^2=0.95$ となり確認種数（潮下帯）は、確認種数（潮間帯）と同様の傾向を示すことを確認した。このことから、構築したHSIは潮下帯への適用が可能であり、HSIが高い海域ほど確認種数（潮下帯）も高く、付着生物を餌料とする魚種にとって餌料環境のポテンシャルが高い海域であることがわかる。

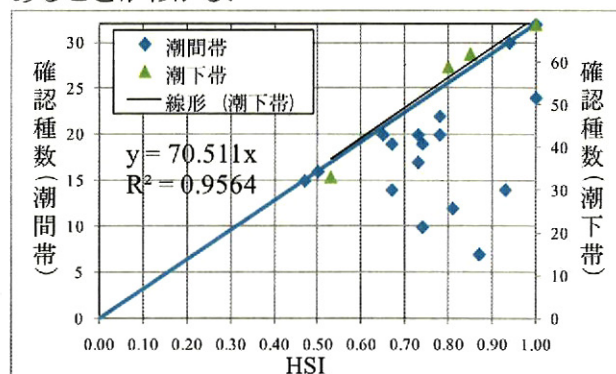


図-8 潮間帯と潮下帯の確認種数

(7) 漁業実態との関係

本研究では、構築したモデルの海域毎の漁業実態を考察するための基礎資料として統計資料³⁾を用いた。使用した統計資料は、主とする漁業種類別経営体数、漁業地域別経営体階層別経営体数、漁業地域別漁業種類別漁獲量（属人）、漁業地域別魚種別漁獲量（属人）の4種類である。なお、主とする漁業種類別経営体数と漁業地域別経営体階層別経営体数の経営体数、漁業地域別漁業種類別漁獲量（属人）と漁業地域別魚種別漁獲量（属人）の漁獲量について、統計上それぞれの合計は同じ値となる。

a) 漁業地域

調査地点周辺の漁業実態との関係を考察するため、まとめた漁業地域の合計海面漁業経営体数が同程度の規模となるように整理し、図-6に示すとおり姫路高砂、明石、北淡一宮、五色西淡、南淡に漁業地域をまとめて考察した。

b) 経営体数

主とする漁業種類別経営体数について、「底びき網」、「船びき網」、まき網・刺網・敷網を「刺網等」、はえ縄・釣を「釣」、「その他」、「養殖」の6分類に整理した。

また、漁業地域別経営体階層別経営体数について、漁船漁業については漁船の動力別に「3t未満」、「3-5t未満」、「5-10t未満」、「10t以上」に整理し、加えて「その他」、「養殖」の合計6分類に整理した。分類に従って漁業地域別及び年次別に整理し1997年から2006年の10年間の平均経営体数を算出し図-9、10に示した。

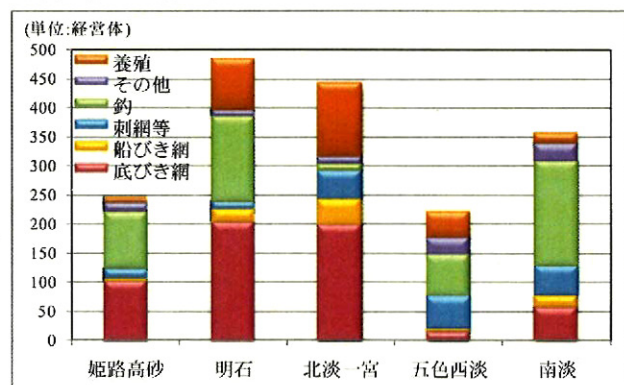


図-9 漁業地域別漁業種類別経営体数

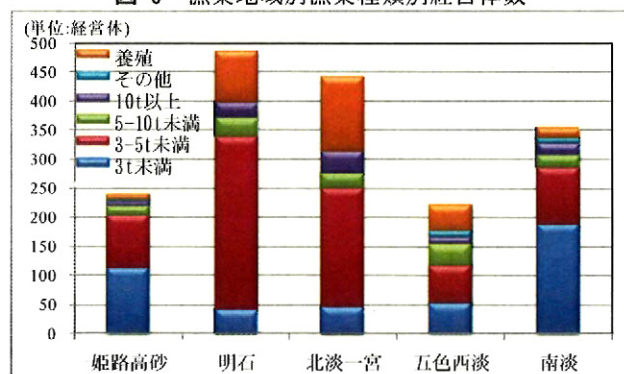


図-10 漁業地域別経営体階層別経営体数

その結果、明石、北淡一宮では、「底びき網」の経営体数が多い傾向であり、ついでノリ養殖に代表される「養殖」の経営体数が多い傾向となった。

一方、南淡では「釣」の経営体数が最も多く、「底びき網」の経営体数の割合は少ない。なお、「3t未満」の漁船が半数程度を占めており小規模な経営体の割合が高い実態が明らかになった。

c) 漁獲量

漁業種類別漁獲量（属人）については、「底びき網」、まき網・刺網・敷網を「刺網等」として、はえ縄・釣を「釣」、「その他」の4分類に整理した。

魚種別漁獲量（属人）については、しらす等のいわし類・いかなごを除く魚類を「魚類」、「エビカニ」、「イカタコ」、「その他」の4分類に整理した。それぞれの漁獲量について、漁業地域別及び年次別に整理し1997年から2006年における10年間の平均漁獲量を算出し図-11、12に示した。

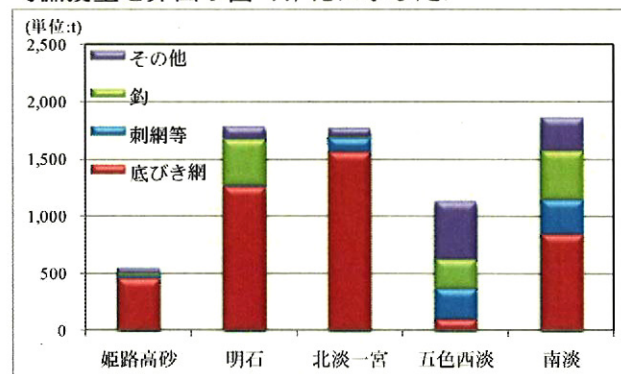


図-11 船びき網を除く漁業種類別漁獲量

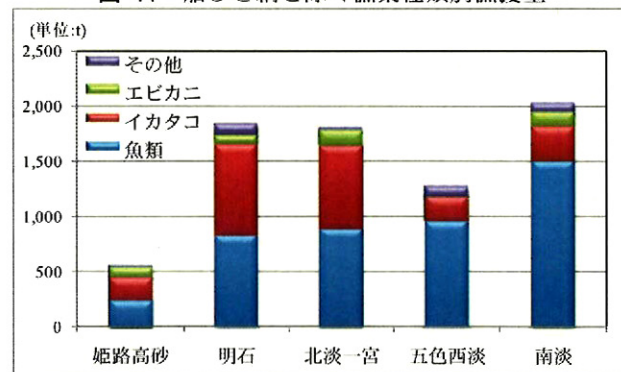


図-12 浮魚を除く魚種別漁獲量

その結果、明石、北淡一宮、南淡では同程度の漁獲量となり、姫路高砂で漁獲量が少ない傾向となった。また、姫路高砂、明石、北淡一宮では「底びき網」による漁獲量が大半を占めたが、五色西淡、南淡では「刺網等」や「釣」による漁獲量の占める割合が高い傾向であった。

さらに、明石、北淡一宮では「魚類」の漁獲量に続いて「イカタコ」の漁獲量が大半を占め、南淡では「魚類」の漁獲量が全漁業地域の中で最も多かった。

なお、「浮魚」と呼ばれるしらす、いわし、いかなごの漁獲量は、全体の漁獲量に占める割合が大きいこと、漁獲量の年変動が大きいこと、一般的に

「船びき網」で漁獲されること等を勘案し、本研究の検討から除外した。また、秘密保護上数値を公表しない箇所を含むため、合計値が若干異なっている。

d) 漁業実態とHSIとの関係

図-12より魚類の漁獲量を抽出し、漁業地域別の魚類の漁獲量とHSIとの関係を図-13に、また、漁業地域別漁業種類別漁獲量（属人）を主とする漁業種類別経営体数で除することで1経営体当たりの漁獲量を算出し、各年の値より10年間の平均値を算出したものとHSIとの関係を図-14に示した。

漁業地域毎に利用漁場の面積や経営体数が異なること、漁業種類や漁業形態による差があること、明石及び北淡一宮は冬期にノリ養殖を営み漁船漁業を休業する経営体があること等、漁業地域毎の状況を勘案して比較する必要があるものの、HSIの高い海域ほど魚類の漁獲量及び1経営体当たりの漁獲量が多い傾向にあることが統計資料の考察より明らかになった。

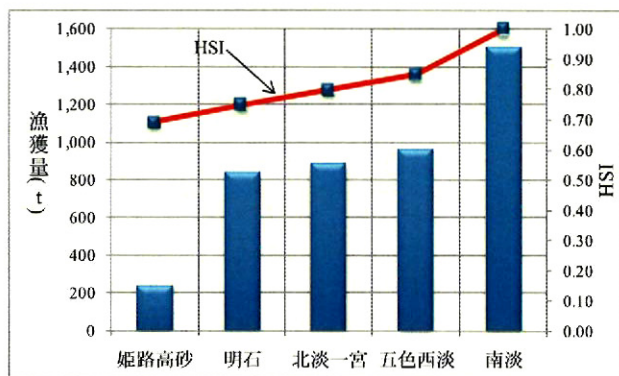


図-13 魚類の漁獲量とHSIとの関係

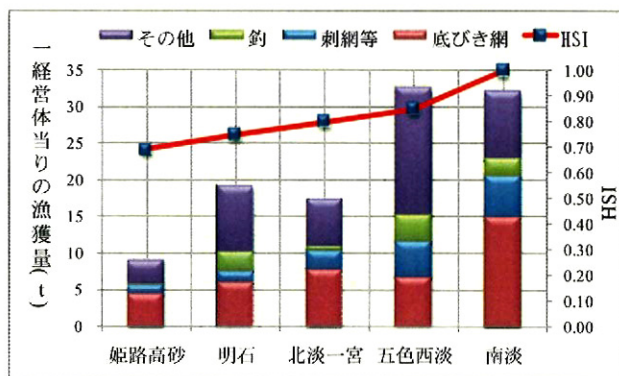


図-14 1経営体当たりの漁獲量とHSIとの関係

(8) 主要な結論

本研究で得られた主要な結論を以下に示す。

- 現地調査で得られた付着生物の確認種数と水質調査結果よりHEPによるHSIモデルを構築し、潮間帯での付着生物の生息環境を再現することができた。
- HSIの高い海域では確認種数（潮下帯）も高くなり、確認種数（潮間帯）と同様の傾向を示すことが確認された。
- 構築したHSIは潮下帯への適用が可能であり、HSI

が高い海域ほど潮下帯の確認種数は多く、付着生物を餌料とする魚種にとって餌料環境のポテンシャルが高い海域であるといえる。

- 統計資料による漁業実態とHSIとの関係については、HSIの高い海域では魚類の漁獲量及び1経営体当たりの漁獲量のいずれも多く、HSIモデルの応用により漁場環境の評価に活用できることが示唆された。

(9) 今後の課題

本研究は、4カ月間という短期間の現地調査結果を基にHEPによるHSIモデルを構築した。そのため、継続した調査と調査地点の拡充等によりさらなるモデル精度の向上が不可欠であり、さらに、別の海域に適用した場合の再現性についても検証の余地がある。

また、漁業実態との考察については、統計資料より調査地点周辺の漁業実態について整理し、構築したHSIとの関係について考察した。しかし、統計資料では確認できない漁業実態等について、必要に応じて漁業関係者へのヒアリングや漁獲調査等を実施することで地域の実情も反映したモデルとすることが重要である。

漁場環境を定量的に評価したうえで漁場整備事業等を実施することは極めて重要であり、より信頼性の高いモデルを構築することで、事業効果の算定や事業規模の決定等に資するための一助となることを切望する。

謝辞：本研究は、兵庫県の委託研究生制度によって著者が関西大学先端科学技術推進機構へ派遣され、その間の成果をとりまとめたものである。本研究の遂行にあたり、兵庫県関係者、現地調査に助力してくれた関西大学環境都市工学部の学生諸君ならびに貴重なデータをご提供いただいた関係官庁の各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田中章：HEP入門＜ハビタット評価手続き＞マニュアル，朝倉書店，2006。
- 2) 橋中秀典，井上雅夫，島田広昭，田中賢治，西澤博志：豊かな付着動物相の形成を目指した人工磯の適地選定手法，海岸工学論文集，第50巻，pp. 1216-1220，2003。
- 3) 兵庫県海の防災情報：<http://hyogo-kouwan.info/>
- 4) 水質観測結果：（兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター調べ）。
- 5) 付着生物調査結果：（兵庫県調べ）。
- 6) 公共用水域調査結果：<http://www-gis.nies.go.jp/>
- 7) 瀬戸内海総合水質調査結果：
<http://www.pa.cgr.mlit.go.jp/gicyo/suishitu/>
- 8) 兵庫農林統計協会：兵庫県水産業の動き（平成9-18年）。