潮位変動の影響を補正し構築したHSIモデルによる環境評価手法の提案

渡邊 義徳¹・市瀬 友啓²・古林 将³・島田 広昭⁴

¹学生会員 関西大学大学院理工学研究科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail: k608926@kansai-u.ac.jp

²正会員 兵庫県県土整備部土木局港湾課 (〒650-8567 兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

E-mail: tomohiro_ichise@pref.hyogo.lg.jp

³東亜建設工業 (〒163-1031 東京都新宿区西新宿3-7-1 新宿パークタワー31階)

⁴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)

E-mail: shimada@kansai-u.ac.jp

港湾・海岸事業の実施にあたっては、環境アセスメントを検討するため生物環境調査を行うことがあるが、費用面や工程等の事情により、調査時期等の条件が限定されることが多いのが現状である。本研究では、HEPを用いた予測モデルを構築し、港湾・海岸事業等における環境アセスメント等にも活用できる手法を提案しようとして以下の結論を得た。付着生物の確認種数調査には、波浪と潮位変動が大きく影響する。付着生物の確認種数と潮位変動との関係式を応用することにより概ね調査海域の付着生物の確認種数を再現できる。本研究において構築した簡便に定量的な評価ができるHEPを用いた環境評価予測モデルは、港湾・海岸事業等における事業評価や工事区域内外の環境アセスメント等にも活用でき、特に、調査時期、時間帯等の条件が限定される場合の環境評価手法として有効であることが示唆された。

Key Words : Intertidal zone, sessile organism, tidal fluctuations, assessment evaluation, HEP

1. 研究の目的

港湾・海岸事業の実施にあたっては、環境アセスメントを検討するための生物環境調査が実施されることがある。しかしながら、こうした調査の実施に際しては、費用面や工程等の事情により、調査時期、時間帯等の条件が限定されることが多いのが現状である。

そこで本研究では、生物生息環境を簡便に定量的な評価ができるハビタット評価手続き¹⁾ (Habitat Evaluation Procedure 以下、「HEP」)を応用し、「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²⁾」および「潮間帯における付着生物と水質を指標とした環境評価手法に及ぼす潮位の影響³⁾」において構築した予測モデルを、継続して実施した現地調査結果等の知見を加えて改良を行った上で、潮位変動や風向・風速等の自然環境条件を補正して構築した潮間帯付近の付着生物と水質を指標とする予測モデルにより、調査海域の付着生物の確認種数を再現することで、定量的な環境評価をしようとした。

2. 研究の内容

(1) 調査概要

調査地点の選定は、既存の水質調査結果の有無、現地調査の作業工程等を勘案し、図-1に示す大阪湾、播磨灘および紀伊水道に面した6地点の容易にアクセスできる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。調査は、2009年10月から2012年1月にかけて合計11回実施し、付着生物の確認種数調査(以下、「確認種数調査」)と水質(水温、塩分、pH、DO、COD)、および気象(気温・風向・風速等)の観測を行った。なお、湊(南あわじ市)の調査地点については、第2回調査より追加し、2009年12月から2011年10月にかけて合計10回実施した。また、表-1に示すように2012年1月の第11回調査では、荒天に伴う風浪の影響により、魚住、一宮および湊において付着生物の確認種数調査の実施ができなかった。

加えて、大阪湾、播磨灘および紀伊水道に面した6調査地点の中から3地点を選定し、同日の干潮時、満潮時

およびその中間付近における確認種数調査（以下、「潮位変動調査」）を2011年12月に東浦および一宮で、2012年10月に阿万において実施した。

図-1 調査地点位置図

表-1 第11回調査における魚住、一宮および湊の風向・風速

調査地点	風向	風速 (m/s)
魚住	西南西	8.5
一宮	西北西	7.8
湊	西南西	11.2

(2) 付着生物の確認種数調査

a) 調査の方法

確認種調査は、石積突堤や人工磯周辺の潮間帯付近に生息する付着生物について、過去に橋中ら⁴⁾が実施した調査結果等を参考に調査範囲に生息が見込まれる付着生物を事前にリストにしてまとめた上で、4名程度の調査員による目視観測で確認された種を記録する方法とした。事前作成のリストに記載のない不明種の発見があった場合は、試料瓶に保存して持ち帰り、後日図鑑⁵⁾等により同定した。調査時間は、各調査地点で30分程度とし、調査開始および終了時刻を記録した。

b) 調査の結果

確認種数調査で出現した付着生物の代表種は表-2、各調査地点における付着生物の確認種数の最小値および最大値は、表-3のとおりであった。

阿万では、最小値が16種、最大値が44種であり、調査時期によらず付着生物の確認種数が高い傾向がみられた。一方、的形では、最小値が7種、最大値が28種であり、調査時期によらず付着生物の確認種数が低い傾向がみられた。

(3) 確認種数調査に影響を及ぼす海象条件

a) 付着生物の確認種数と潮位との関係

本研究における現地調査は、調査工程の事情により6地点の現地調査を1日で実施しているため、各調査地点

表-2 確認種数調査で出現した付着生物の代表種

門	綱	科
環形動物	多毛	ゴカイ
軟体動物	多板	くさずりガイ
軟体動物	腹虫	ヨメガカサガイ
軟体動物	腹虫	ニシキウズガイ
軟体動物	腹虫	タマキビ
軟体動物	二枚貝	イガイ
軟体動物	二枚貝	イタボガキ
節足動物	甲殻	イワフジツボ
節足動物	甲殻	フジツボ
節足動物	甲殻	ミョウガイ

表-3 付着生物の確認種数の最小値および最大値

調査地点	最小値	最大値
的形(姫路市)	7	28
魚住(明石市)	10	30
東浦(淡路市)	15	37
一宮(淡路市)	13	32
湊(南あわじ市)	11	32
阿万(南あわじ市)	16	44

で調査時の潮位状況が異なっている。そのため、その影響について考慮することが重要であると考えて、付着生物の確認種数と調査時の潮位との関係について、調査地点において実施した水準測量の結果および調査地点近傍の検潮所の記録⁶⁾を基に考察した。その結果、図-2に示すとおり、潮位が干潮時に近づくほど付着生物の確認種数が高くなる傾向がみられた。しかしながら、その相関係数は $R^2=0.48$ であり高いものではなかったことから、潮位以外の要因もあるものと考えられる。

図-2 付着生物の確認種数と潮位の関係

b) 付着生物の確認種数と風浪との関係

本研究において実施した確認種数調査は、潮間帯における目視観測により実施しているため、風浪の影響を受けると確認種数調査結果にも影響すると考えて、調査時の風浪の影響を現地調査時に実施した風向・風速の観測結果を活用して考察しようとした。特に、付着生物の確認種数と風浪の関係については、古林ら³⁾の研究でも指摘されているように、調査時に4m/s以上の風速が観測された調査地点では、波高が大きく目視観測が困難であっ

たことを踏まえつつ、閾値として設定しようとして、表-4に示すとおり風速条件を1m/s刻みに変化させて考察した。その結果、図-3に示すとおり、付着生物の確認種数と潮位の関係については、調査時に4m/s以上の風速が観測された調査結果を控除した場合、その相関係数は $R^2=0.58$ となり、控除しない場合と比較して相関性は1割程度向上した。

よって、本研究では調査時に4m/s以上の風速が観測された場合を閾値として設定の上、考察することにした。

表-4 風速と相関係数との関係

風速	控除後数量	相関係数 (R^2)
2m/s以上控除	12	0.5729
3m/s以上控除	22	0.5920
4m/s以上控除	38	0.5803
5m/s以上控除	50	0.5206
全体	62	0.4896

図-3 付着生物の確認種数と風浪との関係

c) 付着生物の確認種数と地形を考慮した風浪との関係

本研究において設定した調査地点は、各調査地点で地形条件が異なり、風浪の影響を受けにくい風向もあると考えてその影響についても考察しようとした。

調査時に閾値として設定した4m/s以上の風速が観測された場合においても、地形条件により風浪の影響を受けにくい場合がある。それらの調査結果は控除せず、残りの4m/s以上の風速が観測された調査結果のみを控除して考察したところ、図-4に示すとおり、5点が控除から外れることとなった。その相関係数は $R^2=0.59$ となり、僅かではあるが相関性は向上した。今後、さらなるデータの拡充による検証が必要であるものの、地形の影響を評価する指標として有効である可能性があるといえる。

確認種数調査に影響を及ぼす海象条件について、以上の結果をまとめると、各調査地点における風向・風速の観測結果と付着生物の確認種数との関係より、調査地点が風浪の影響を受ける風向時において、4m/s以上の風速が観測された場合については、確認種数調査結果に風浪が影響を及ぼすことが示唆された。

なお、本研究では、地形の影響を考慮した上で、調査時に4m/s以上の風速が観測された調査結果を控除しない場合と控除した場合について、前者を「風浪の影響を考

慮しない」ものとして、後者を「風浪の影響を考慮した」ものとして取り扱うこととした。

図-4 付着生物の確認種数と地形を考慮した風浪との関係

(4) 付着生物の確認種数と潮位変動との関係

前節では、干潮時に近づくほど付着生物の確認種数が高くなる傾向が確認されたが、本研究においては、調査時期の異なる確認種数調査結果を比較していることから、その影響についても考慮することが重要と考えた。

そこで、同日の干潮時から満潮時の潮位変動が確認種数調査に及ぼす影響を定量化するために実施した「潮位変動調査」結果についても考察した。

東浦における潮位変動調査結果については、干潮時付近の付着生物の確認種数は37種であり、満潮時付近では18種であった。一方、一宮における潮位変動調査結果については、干潮時付近の付着生物の確認種数は30種であり、満潮時付近では12種であった。また、阿万における潮位変動調査結果については、干潮時付近の付着生物の確認種数は28種であり、満潮時付近では6種であった。

これらの結果をとりまとめたものが図-5,6,7であるが、東浦、一宮および阿万すべての調査地点において、潮位と付着生物の確認種数とのあいだに相関がみられた。なお、参考に「風浪の影響を考慮した」確認種数調査における線形についてもプロットしたが、潮位変動調査における線形と概ね同様の傾向を示している。

よって、調査時期の違いによる確認種数調査結果への影響を控除するために実施した潮位変動調査より、潮間帯における付着生物の確認種数は潮位変動が大きく影響することが明らかになった。

(5) 付着生物の確認種数調査と水質との関係

HEPによる予測モデルの構築に先立ち、付着生物の確認種数に影響を及ぼす気象・海象条件について比較検討するため、各調査地点における付着生物の確認種数最大値と水質調査結果の平均値との関係について考察した。なお、考察は、「風浪の影響を考慮した」上で行った。その結果、図-8に示すとおり、塩分(単位:PSU)が高く、COD(単位:mg/L)が低い場合に付着生物の確認種数が高くなる傾向がみられ、本研究において実施した調査海域においては、塩分とCODの指標が付着生物の生息条件に大きく影響することが示唆された。

図-5 付着生物の確認種数と潮位変動調査の関係 (東浦)

図-6 付着生物の確認種数と潮位変動調査の関係 (一宮)

図-7 付着生物の確認種数と潮位変動調査との関係 (阿万)

図-8 確認種数調査と水質との関係

(6) 予測モデルの構築

a) HEPによる予測モデルの構築

本研究では、確認種数調査で得られた「風浪の影響を考慮しない」場合と「風浪の影響を考慮した」場合の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。なお、予測モデルの構築方法は、風浪の影響の有無によらず同様の方法とした。

b) HEPによる比較対象と評価対象

本研究では、現地調査を実施した大阪湾、播磨灘およ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。評価の対象は、調査地点で確認された付着生物とし、市瀬ら²⁾の研究結果を踏まえて、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。

c) 適正指標(SI)モデルの構築

HEPによる予測モデルの構築は、現地調査結果やその

他の既存文献を勘案しつつ、基本的に橋中ら⁴⁾の方法に従い、図-9に示すとおり塩分(単位: PSU), pH, DO(単位: mg/L), COD(単位: mg/L)の4項目の適正指標(Suitability Index 以下, 「SI_{ij}」)モデルの構築を以下の方法により行った。

まず、確認種調査における付着生物の確認種数と水質との関係を散布図にプロットし、付着生物の確認種数の最大値をnとし、SIの最大値はnをSI=1.0と設定した。また、付着生物の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は、付着生物の確認種数の最大値nは阿万におけるn=44であったことからこれを基準点としてSI=1.0とした。

なお、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と設定した。

次に、4項目の水質指標に関する観測値の範囲内で、それらの点の大部分を包絡するような直線を算出した。また、直線の変化点については、基本的にプロットされた点を包絡するように変化点を設定し、SI_p, SI_D, SI_Cについては、水産用水基準⁸⁾における海域の基準値を踏まえつつ設定した。

なお、本研究において構築したSIモデルについては、これまで継続して実施してきた現地調査結果が蓄積されてきたこと、各調査地点において干潮時付近での確認種数調査結果が得られたこと等により、「風浪の影響を考慮しない」場合と「風浪の影響を考慮した」場合のいずれについても、同様の結果となった。

図-9 構築したSIモデル

d) ハビタット適正指標(HSI)モデルの構築

ハビタット適正指数(Habitat Suitability Index 以下, 「HSI」)モデルの構築についても、橋中ら⁴⁾の方法に従い、SIのうち最小のものが付着生物の生息条件に大きく

影響を与え、そこに生息できる種数を制限するとして、限定要因法により4項目のSIモデルを統合して式(1)に示すHSIモデルを構築した。

$$HSI = \min(SI_s, SI_p, SI_D, SI_C) \quad (1)$$

e) 構築したHSIモデルの検証

構築したHSIモデルの妥当性を確認するため、6調査地点におけるHSI値と付着生物の確認種数との関係を図-10に示す。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値および付着生物の確認種数が最大の点{(HSI_{max})=(1,44)}を通る直線を記入した。HSI値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。

6調査地点におけるHSI値と付着生物の確認種数最大値との関係については、図-10に示すとおり、直線よりも右下部にあり、かつ、この直線の付近にプロットされている。また、その相関係数は $R^2=0.87$ となったことから、概ね調査地点周辺の潮間帯における付着生物の確認種数を再現したといえる。

HSI値と付着生物の確認種数最大値以外の関係については、調査時の潮位がTP-30cmを下回った時、すなわち、干潮時に近づいた時には、直線よりも右下部にあり、かつ、概ねこの直線の付近にプロットされている。一方、潮位が上昇するほど、すなわち、満潮時に近づいた時には、直線よりも右下部にはあるものの、直線から離れており、ばらつきが大きくなっている。また、風浪の影響を受けた調査結果についても、直線よりも右下部にはあるものの、直線から離れており、ばらつきが大きくなっている。

これらの結果からも、HSIモデルの構築にあたっては潮位と風浪の影響を考慮することで、より精度の向上が図れることが示唆された。

図-10 構築したHSIモデルの検証

(7) 付着生物の確認種数の予測

本研究では、構築した予測モデルに評価対象地点の水

質観測結果を適用することにより、評価対象地点における付着生物の確認種数を再現できれば、評価対象地点と周辺海域との相対的な関係を数値で表現できると考えて、付着生物の確認種数の予測を試みた。

風浪の影響を考慮したHSIモデルに図-1に示す播磨灘の6箇所における1997年から2006年の10年間の水質観測結果⁹⁾を適用し、観測期間における10年間の平均HSI値を算出することにより、評価海域における付着生物の確認種数の「予測値」を算出した。また、確認種数調査で得られた付着生物の確認種数の実測値については、潮位変動調査で得られた関係式を踏まえて、潮位変動式(2)を構築し、各調査地点における干潮時付近の付着生物の確認種数に補正した（以下、「実測補正值」）上で、先に算出した予測値と比較した。

$$y = -0.18x + b \quad (2)$$

ここで、 x を潮位（単位：cm (T.P.)）， y を付着生物の確認種数、 b を調査地点により定まる定数とし、各調査地点における潮位と付着生物の確認種数最大値の関係から b を算出し、これらの結果を図-11に示す。湊の調査地点では、予測値が実測値および実測補正值を4種から6種程度上回る傾向がみられたのは、湊の調査地点が三原川の河口部に位置していることから、河川からの出水の影響を受けやすいためと推察される。このことは、図-8に示す水質調査結果においても塩分が低く、CODの指標が高くなっていることから明らかである。一方、的形および魚住の調査地点については、予測値が実測補正值を若干上回る傾向がみられたものの、一宮の調査地点については予測値を再現できた。

よって、付着生物の確認種数と潮位変動との関係式を応用することにより、概ね調査海域における付着生物の確認種数を再現でき、潮位変動による影響を補正できることが示唆された。

図-11 付着生物の確認種数の予測

3. 主要な結論

本研究で得られた主要な結論を以下に示す.

- 1) 調査地点が風浪の影響を受ける風向時に4m/s以上の風速が観測された場合は, 確認種数調査結果に風浪が影響を及ぼすことが示唆された.
- 2) 潮位変動調査結果より, 潮間帯における付着生物の確認種数調査結果に潮位変動が大きく影響することが明らかになった.
- 3) 付着生物の確認種数調査結果と水質調査結果より HSI モデルを構築することで, 付着生物の確認種数を再現できた. しかし, HSIモデルの構築にあたっては潮位と風浪の影響を考慮する必要があることが示唆された.
- 4) 付着生物の確認種数と潮位変動との関係式を応用することにより, 概ね調査海域の付着生物の確認種数を再現でき, 潮位変動による影響を補正できることが示唆された.

以上をまとめると, 本研究において構築した予測モデルを活用すれば, 評価対象地点の水質を調査することによって, その水域における付着生物の生息環境ポテンシャルを予測できるうえ, 評価対象地点と周辺海域との相対的な関係を定量的に表現できることがわかった.

よって, 本研究において構築した簡便に定量的な評価ができるHEPを用いた環境評価予測モデルは, 漁場造成の適地選定, 港湾・海岸事業等における事業評価や工事区域内外の環境アセスメント等にも活用でき, 特に, 調査時期, 時間帯等の条件が限定される場合の環境評価手法として有効であることが示唆された.

4. 今後の課題

本研究は, 約3年の現地調査結果を基に予測モデルを構築したが, 更なる予測モデルの精度向上のためには, 干潮時付近における現地調査を中心に調査を継続するとともに, 干潮時以外の調査結果の活用方法についても検

討の余地がある. また, 潮位変動調査については, 調査地点の拡充と継続した調査を実施することで, 付着生物の確認種数と潮位変動との関係式の精度の向上を図る必要がある. さらに, 本研究で構築した予測モデルを水質条件が異なる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といえる.

謝辞: 本研究の遂行にあたり, 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) 市瀬友啓, 島田広昭, 加藤官司, 高木英男, 中桐栄: 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, 海洋開発論文集, 第26巻, pp.1281-1286, 2010.
- 3) 古林 将, 島田 広昭, 市瀬 友啓: 潮間帯における付着生物と水質を指標とした環境評価手法に及ぼす潮位の影響, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 67, No. 2, pp.346-351, 2011.
- 4) 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.
- 5) 波部忠重 監修: 学研生物図鑑 貝 I・貝 II, 学習研究社, 1991.
- 6) 兵庫県海の防災情報: <http://hyogo-kouwan.info/>
- 7) 気象庁潮位観測情報: <http://www.jma.go.jp/>
- 8) 社団法人日本水産資源保護協会: 水産用水基準 (2005年版), 平成18年3月.
- 9) 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).

Construction of the Evaluation method with water quality and sessile organism with considering tidal fluctuations

Yoshinori WATANABE, Tomohiro ICHISE, Masaru KOBAYASHI,
and Hiroaki SHIMADA

In the port and coastal construction projects, there is environmental research for environmental assessment. However, the investigation time is often limited for cost and process. In this study, a proposed method using a HEP the following conclusions were obtained. The adhesion of sessile organism and their habitat was affected by waves and tidal fluctuations. The model can reproduce the number of sessile organism by applying the relationship between tidal fluctuations and the number of sessile organism. It can also apply into the environmental assessment evaluation, in the port and coastal construction projects.