

大阪府南部の砂浜における整備状況とウミホタルの生息条件との関係に関する研究

A Study on the Relationship between Habitats of *Vargula hilgendorffii* and Construction and Maintenance of the Sandy Beach in Southern Osaka

大平 和弘* 浦出 俊和* 上甫木 昭春*

Kazuhiro OHIRA Toshikazu URADE Akiharu KAMIHOGI

Abstract: In this study, we identified bottom environments suitable for habitation by *Vargula hilgendorffii*, or the sea-firefly, and the relationship between their habitats and the construction and maintenance of the sandy beach. The study areas included 7 observation lines at 5 sandy beaches in southern Osaka. The construction was assessed by the origin of sands and construction of artificial structures, and maintenance was assessed by leveling of sands and replenishment of sand. Bottom environments and the number of *V. hilgendorffii* were assessed using a Smith-McIntyre grab sampler. Statistical analysis of a classification and regression trees found the following suitable conditions for *V. hilgendorffii* inhabitation; oxidation-reduction potential of more than -5.5mV and sorting coefficient of less than 0.646. In addition, statistical analysis of a generalized linear model found habitats of *V. hilgendorffii* were created in the following places; places where without an artificial structure, places where water depth was shallow due to replenishment of sand. On the other hand, places where the bottom sediment was deoxidized due to offshore breakwaters and jetties hindering tidal currents were unsuitable for *V. hilgendorffii*. These results suggested that the difference of the construction and maintenance of the sandy beach influenced on the habitats of *V. hilgendorffii*.

Keywords: *Vargula hilgendorffii*, sandy beach, habitats, construction and maintenance, artificial structures

キーワード: ウミホタル, 砂浜, 生息条件, 整備状況, 人工構造物

1. はじめに

大都市に隣接した海岸部は、都市化や産業活動に伴う埋立て事業により、その大部分が改変された。大阪湾も例外ではなく、江戸初期における水面面積の約10%が陸地化し、生物生産活動にとって重要とされる水深5m以浅の浅場はほとんど残っていない¹⁾。こうした状況に対応して、大阪湾に関わる行政機関や公共団体からなる、大阪湾再生推進会議が平成15年に設置された。その再生行動計画として、堺2区における人工干潟整備や、神戸空港における人工ラグーン整備などの生物生息空間の再生を目的とした整備事業が進められており²⁾、様々な分野からの浅場の整備や生物相の再生に関する知見の集積が求められている。

近年、大阪府営せんなん里海公園内の人工造成された砂浜において、青白く発光することで知られるウミホタル (*Vargula hilgendorffii*) の生息が確認された³⁾。これを受け、環境啓発活動の一環とした観察会が毎年開催されるなど、当該砂浜の大きな魅力となっている。ウミホタルは浅海砂底に生息する体長3mmほどの甲殻類であり、良好な内湾環境の指標となる可能性が示唆されている⁴⁾ことから、本種の生息条件に関する知見は、浅場の生物相の再生に寄与し得るものと期待される。本種の生息条件に関しては、大阪湾東岸域の砂浜にて本種の分布状況と諸環境との関係について探った研究⁵⁾より、溶存酸素量・酸化還元電位・塩分濃度が高く、含泥率が低い環境を好み、河川からの影響が小さく潮流の流速がやや速い大阪府南部の砂浜に生息が限られていたことが明らかとされた。また、生息がみられた砂浜において、地点間で個体数に差が生じた要因として、人工構造物の設置状況などの砂浜の整備状況が影響している可能性が示唆された。しかしながら、上記の研究では、以下のような課題が残された。まず、高潮汀線から15~20m沖の地点を対象としたことから、構造物などによる影響が著しいと考えられる、より沖側も含めた整備状況と生息条件の明瞭な関係性の把握には至っていない。また、本種の分布状況をベイトトラップ法により評価しているため、生息

に適した環境が面的に広がっていた地点では、周辺からの個体の遊泳によって多くの個体が捕獲された可能性があり、地点環境と個体数との関係を、より直接的に把握する必要があると考えられる。さらに、大阪湾東岸域という広域において、本種の生息に関わる水質や底質などの影響力の大きさを求めたものであり、生息の閾値などの微細な生息条件については把握されていない。

そこで本研究では、既往研究⁵⁾において水質が比較的良好に維持されていた大阪府南部の砂浜を対象とし、船舶から直接底底を採取する採泥調査によって地点環境と本種の分布状況を把握する。これにより、主として底質と分布状況の關係に着目し、閾値などを含めた本種の生息条件を明らかにすることを目的とする。また、砂浜の整備状況の異なる場所に岸沖方向に調査測線を設けることにより、整備状況と生息条件との関係を明らかにし、本種の生息条件から捉えた砂浜の整備のあり方についても考察する。

2. 研究方法

(1) 調査対象地における調査測線と調査地点の設定

整備状況による地点環境や本種の分布状況の変化を明瞭に捉えるため、既往研究⁵⁾より河川からの影響が小さく概ね水質が良好に維持され、本種の生息が確認された、大阪府阪南市地先の西鳥取海岸・貝掛海岸・下荘海岸・箱作海水浴場、泉南郡岬町地先の淡輪海水浴場の5箇所の砂浜を調査対象地とした(図1)。

本研究では、調査対象地における整備状況を示す指標として、砂浜の成り立ち(自然堆積・人工造成)、人工構造物の設置状況、砂の新規入れの有無、重機による砂の敷均しの有無の4項目を用い、それらの状況の異なる場所にLineAからLineGの7本の調査測線を設けた(図1)。砂浜の成り立ちと砂の管理状況は、既往研究⁶⁾、および大阪府港湾局や下荘漁協、箱作漁協の他、任意で砂浜を管理されている近隣の方へのヒアリングによって把握した。人工構造物の設置状況は、現地踏査と航空写真(Google Earth, 2010)、および各自自治体発行の2500分の1地形図から把握し、

*大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

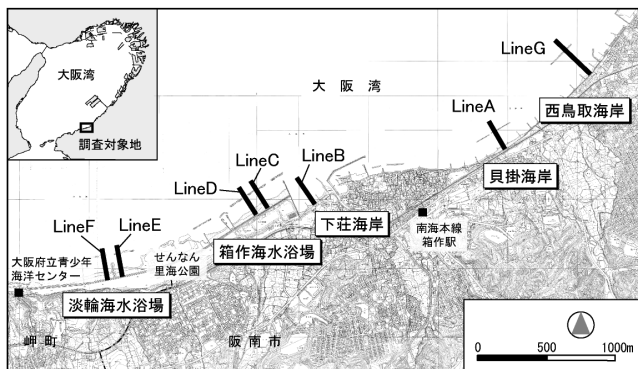


図-1 調査対象地および調査測線位置図

潜堤、構造物なし、離岸堤遮蔽、離岸堤開口、離岸堤開口・突堤、沖離岸堤の6つに分類した。

調査地点については、LineA から F では汀線から約120m 沖に構造物が存在したため、約20m 沖から約150m 沖までの間に各5地点、LineG のみ約250m 沖に離岸堤が存在したため、約280m 沖までの間に6地点とし、計36地点を設定した。なお、調査地点の詳細な位置は、後述の底質目視調査による底面の確認を行い、GPS (Leica GS5) を用いて緯度経度を設定した。

(2) 調査・分析方法

調査は、本種の活動が活発であり、整備状況の違いによる水質や底質の差が生じやすいと考えられる夏季(海水浴期間終了直後)に行うこととし、既往研究⁵⁾、および沿岸環境調査マニュアル⁷⁾を参考に以下の調査・分析を行った。

【底質確認調査】2010年8月31日から9月3日、シュノーケリングにて調査測線上を沖へと泳ぎ、アオサ (*Ulva spp.*) やアマモ (*Zostera marina* L.) などの底面植生の被覆状況の把握、調査地点の詳細位置の決定、後述の採泥調査の航路の確認(暗礁や漁業用工作物の有無の把握)を行った。【採泥調査】2010年9月5日から9日、GPS (Leica GS5) を用いて小型船舶 (YAMAHA Tackle-23) にて調査地点へ移動し、水深の測定他、底層水の採水および水質の測定、底泥の採取および底質の測定⁸⁾、底質分析用試料と生物採集用試料の保管作業を行った。i)水深は樹高計を用いて測定し、水温と溶存酸素量は測定器 (DO メーターID-100) のセンサーを底面直上まで沈めて測定した。ii)pH と塩分濃度は、バンドーン型採水器を用いて底層水を採水し、測定器 (水質モニター FUSO Model-7200・デジタル塩分濃度計 YK-31SA) にて測定した。iii)スミス・マッキンタイヤグラブ式採泥器 (採泥面積 0.05m²) を船壁から人力にて投入・揚収し、調査地点の底泥を採取した。iv)底泥の表層から3cm 程度を生物が混入しないよう約150ml 採取して混合させたものを底質分析用試料とし、臭気、色相 (標準土色帖) を確認し、泥温、酸化還元電位を測定器 (ORP Meter LINE SEIKI ER-1000) にて測定した。v)底質分析用試料を採取した残りを生物採集用試料として持ち帰った。【ソーティングおよび同定】生物採集用試料は、かきまぜ法^{9),10)}と、0.5mm 篩^{11),12)}による篩い分けを併用して余分な泥を洗い流し、残留物を直ちに10%ホルマリンにて固定した後、生物を選び分けた。選び分けた生物は80%エタノールにて再固定して、実体顕微鏡 (Kyowa TSZ-TL) を用いながら同定し、本種の個体数を調査地点ごとに計数した。なお廃液は適切に回収・処理した。【粒度分析】持ち帰った底質分析用試料を乾燥炉 110±5°C で24時間以上乾燥させ、うち約100g を Wentworth の粒度区分にもとづく4mm, 2mm, 1mm, 500μm, 250μm, 125μm, 63μm の7種の篩で篩い分けし、篩上の残留物の質量を測定した。そして、63μm の篩を通過したものを泥として、含泥率を算出した。また、篩ごとの通過質量パーセントを φ スケール換算 ($\phi = \log_2$ 直径 mm) した値を用

いて粒度累積曲線を作成し、累積率50%の値を中央粒径、粒子サイズのばらつきを示す標準偏差の値を淘汰度として算出した。

(3) 解析方法

まず、本種の生息条件を明らかにするため、本種の個体数を目的変数、地点環境の各変数を説明変数とした回帰樹木 (Classification and Regression Trees) による解析を行った。回帰樹木を用いたのは、数値変数と因子変数を同時に扱え、説明変数間の交互作用を処理でき、2進木状の構造を持つために、変数の閾値が求められるためである。樹木作成の際には、交差確認法¹³⁾による尤離度から最適な葉数を求めて剪定を行った。また、説明変数による分離前と分離後の尤離度の差から、DWS (Deviance Weighted Score : 分離貢献度)¹⁴⁾を説明変数ごとに求め、目的変数への影響力を把握する基準とした。解析に用いる地点環境の変数として、汀線からの距離、水深¹⁵⁾の他、既往研究⁵⁾を参考に、水温、pH、溶存酸素量、塩分濃度、泥温、酸化還元電位、含泥率、中央粒径、淘汰度、底面植生 (相対的に3段階にランク分け) を用いた。上記の解析には、R 2.12.0 を用いた。

次に、整備状況と生息条件との関係を把握するため、上記の解析によって抽出された生息条件の各項目を目的変数、整備状況の各項目、および空間整備に関わる項目として水深を説明変数とし、汀線からの距離を重み付け変数とした GLM (Generalized Linear Model : 一般化線形モデル) による解析を行った。汀線からの距離を重みとして用いたのは、汀線近くの碎波帯は構造物の設置状況に関係なく環境が類似する¹⁶⁾とする報告のように、汀線からの距離が異なれば、整備状況による影響が大きく異なると考えられ、汀線からの距離によるばらつきを補正するためである。整備状況の各項目は数量化を行い、砂浜の成り立ち、および人工構造物の設置状況については、該当する測線上の全ての地点に値を与えた。また、砂の埋入れについては、構造物が存在する場合は堤内の地点に、敷均しについては、最も岸寄りの1地点にのみ値を与えた¹⁷⁾。モデル構築の際には、対数尤度の最も大きな変数を最初に投入した後、変数増加法により AIC (赤池情報量基準) が最小となるモデルを選択した。また、各説明変数で説明された尤離度の差の割合を算出し、各説明変数の説明率を求めた。上記の解析には、PASW Statistic (ver.18) を使用した。

3. 結果

(1) 整備状況

調査測線ごとの整備状況を表1に示した。まず、LineA は自然堆積の砂浜で、汀線から約120m 沖に潜堤 (干潮時以外は水面下に没する汀線に平行な消波構造物) を設置しており、民間の貸しボート業者が重機による砂の敷均しを行っていた。LineB は、自然堆積の砂浜で、構造物の設置や砂の管理などの整備は行われていなかった。LineC から F は、昭和50~60年代にかけて人工的に造成された砂浜で、夏季に海水浴場を開設していた。汀線から約120m 沖の離岸堤 (水中に没することのない汀線に平行な構造物) により堤内の砂が守られ、毎年海水浴期間前に重機による砂の敷均しが行われていた。LineC は離岸堤で遮蔽されていたが、LineD・E・F は、堤内の海水交換を目的として離岸堤が開口していた。また、LineE・F は、離岸堤開口部に突堤 (汀線から垂直に約70m 沖まで突き出した構造物) を設置して砂を安定させており、LineE が突堤の東側、LineF が西側に位置した。さらに、LineD・E においては潮流が遮られないため、砂の流出が顕著なことから、砂の新規埋入れがほぼ毎年行われていた。しかし、沖からの潮流が北西から南東方向に卓越するため、LineF は砂の流出が免れる立地となり、埋入れは行われていなかった。最後に LineG は、自然堆積の砂浜で、汀線から約250m 沖に離岸堤を設置し、人為的な砂の移動はされていないことが確認された。

(2) 地点環境

地点環境の各項目の結果を表2に示した。整備状況との関係を踏まえながら、以下項目ごとに説明する。まず水深は、潜堤や離岸堤などの堤内では、堤外に比べて浅く維持されており、構造物によって砂の流出が防がれていることが窺えた。自然堆積のLineA・B・Gでは、汀線から約70m沖あたりまで水深1.5m前後の浅場が維持されており、構造物のないLineBでは、約150m沖の地点でも水深4m程度と遠浅であった。

次に、水質項目については、水温は、どの測線でも相対的に岸近くで高く、堤外においても高い地点がみられた。溶存酸素量は、底生生物への影響が懸念される3.0mg/l以下となるような貧酸素状態や明らかな過飽和状態は観測されず、概ね岸に近いほど高く(概ね6.0mg/l前後)、LineEからGでは、堤外でも高い(6.0mg/l前後)傾向がみられた。pHは、環境省の定める「生活環境の保全に関する水質の環境基準(海域)」の水産1級(7.8~8.3)を全地点で満たしており、測線ごとの差異も特にみられなかった。また、塩分濃度は、底生生物の分布に影響を及ぼす可能性が考えられる3.0%以下となるような低塩分状態は観測されなかったが、LineC・Dの堤内において3.1%前後のやや低めの値を示した。

次に底質項目では、泥温は概ね水温と同様の傾向を示した。また、酸化還元電位と中央粒径は概ね同様の傾向を示し、岸近くで値が大きくなり(酸化還元電位:概ね0mV以上、中央粒径:概ね0.5mm前後)、構造物に近くなるにつれて小さくなる(酸化還元電位:概ね-200mV以下、中央粒径:概ね0.0mm)という傾向がみられ、堤外では若干値が大きくなった。これに対し、構造物のないLineBや離岸堤開口のLineD・Eでは、より沖まで値が大きく維持されていた(酸化還元電位:概ね-150mV以上、中央粒径:概ね0.2mm以上)。一方、含泥率と淘汰度も概ね同様の傾向を示し、岸近くで値が小さくなり(含泥率:概ね1.0%前後、淘汰度:概ね1.0前後)、構造物に近づくにつれて値が大きくなった(含泥率:約4.4~93.2%、淘汰度:概ね1.5前後)。特に淘汰度においては、堤外においても概ね高くなる(概ね1.5以上)傾向がみられた。また、人工造成よりも自然堆積の測線において淘汰度が低く維持される(概ね1.0以下)傾向がみられた。底面植生のアマモについては、自然堆積かつ人為的な砂の移動のないLineB・Gに高密度な自生がみられた。アオサは、構造物が設置された堤内に高密度な堆積がみられた地点が存在したのに対し、構造物なしのLineB、離岸堤開口のLineD、沖離岸堤のLineGに堆積はみられなかった。

(3) ウミホタルの分布状況

調査地点36地点中13地点で本種を採集できた結果となった。表2および図2より、概ね岸寄りに生息が限られており、汀線から50m沖前後で個体数が多くなる傾向がみられた。

調査測線ごとにみると、自然堆積に潜堤設置、砂の敷均しありのLineAでは、岸寄りの2地点で生息がみられ、A2で41個体と比較的個体数が多かった。自然堆積で整備していないLineBでは、B2・B3で20個体以上の比較的多数の生息がみられた。人工造成された離岸堤遮蔽部のLineCでは、全く生息がみられなかった。対して、人工造成の離岸堤開口部であるLineDでは、D1からD3までやや沖の地点まで生息がみられた。人工造成の離岸堤開口部で突堤の東側に位置し、砂の埋入れが行われているLineEでは、E3を除く4地点で生息がみられ、岸寄りのE1・E2で20個体以上の比較的多数の生息がみられた。また、離岸堤前後のE4、E5においても2個体と、わずかに生息がみられた。一方、人工造成の離岸堤開口部で突堤の西側に位置し、砂の埋入れのないLineFでは、岸近くのF1のみの生息となった。自然堆積で沖に離岸堤が設置されたLineGでは、G2のみ生息がみられ、個体数が調査地点内で最多の67個体であった。

表-1 調査測線ごとの整備状況

| 調査測線 | 海岸名 | 成り立ち | 人工構造物 | 砂の埋入れ | 砂の敷均し |
|-------|--------|------|----------|-------|-------|
| LineA | 貝掛海岸 | 自然堆積 | 潜堤 | - | ○ |
| LineB | 下荘海岸 | 自然堆積 | 構造物なし | - | - |
| LineC | 箱作海水浴場 | 人工造成 | 離岸堤遮蔽 | - | ○ |
| LineD | 箱作海水浴場 | 人工造成 | 離岸堤開口 | ○ | ○ |
| LineE | 淡輪海水浴場 | 人工造成 | 離岸堤開口・突堤 | ○ | ○ |
| LineF | 淡輪海水浴場 | 人工造成 | 離岸堤開口・突堤 | - | ○ |
| LineG | 西鳥取海岸 | 自然堆積 | 沖離岸堤 | - | - |

表-2 調査地点ごとの地点環境とウミホタルの分布状況

| 地点名 | 汀線からの距離(m) | 水質項目 | | | | 底質項目 | | | | | | | |
|-----|------------|-------|--------|-------------|------|---------|--------|------------|--------|----------|------|------|-----------|
| | | 水深(m) | 水温(°C) | 溶存酸素量(mg/l) | 水質pH | 塩分濃度(%) | 泥温(°C) | 酸化還元電位(mV) | 含泥率(%) | 中央粒径(mm) | 淘汰度 | 底面植生 | 分布状況(個体数) |
| A1 | 20 | 1.14 | 29.7 | 6.0 | 8.09 | 3.26 | 28.8 | 92 | 0.34 | 0.79 | 0.61 | 0 | 41 |
| A2 | 45 | 1.12 | 29.8 | 5.8 | 8.09 | 3.17 | 30.2 | 53 | 0.61 | 0.65 | 0.63 | 0 | 9 |
| A3 | 70 | 1.43 | 29.3 | 5.6 | 8.04 | 3.28 | 28.3 | -151 | 1.91 | 0.27 | 0.68 | 0 | 0 |
| A4 | 95 | 2.77 | 29.2 | 5.4 | 8.10 | 3.20 | 32.0 | -227 | 4.36 | 0.05 | 0.96 | 2(u) | 0 |
| A5 | 150 | 4.97 | 29.0 | 4.8 | 7.86 | 3.15 | 32.2 | -153 | 3.48 | 0.09 | 1.86 | 1(u) | 0 |
| B1 | 20 | 1.27 | 29.1 | 6.0 | 7.96 | 3.25 | 27.4 | -83 | 1.19 | 0.44 | 3.44 | 2(z) | 0 |
| B2 | 50 | 1.32 | 29.1 | 4.9 | 8.05 | 3.29 | 28.2 | 63 | 0.83 | 0.56 | 0.58 | 0 | 31 |
| B3 | 80 | 1.92 | 29.0 | 4.8 | 8.07 | 3.09 | 29.8 | 98 | 0.30 | 0.81 | 0.54 | 0 | 24 |
| B4 | 120 | 2.71 | 28.8 | 4.5 | 7.99 | 3.12 | 31.0 | 39 | 1.28 | 0.41 | 0.66 | 0 | 0 |
| B5 | 150 | 4.18 | 28.6 | 4.4 | 7.93 | 3.17 | 30.1 | -83 | 3.42 | 0.09 | 1.30 | 0 | 0 |
| C1 | 20 | 0.94 | 31.1 | 6.6 | 8.09 | 3.01 | 31.8 | 171 | 0.25 | 0.84 | 1.11 | 0 | 0 |
| C2 | 45 | 3.48 | 29.5 | 4.8 | 8.12 | 3.04 | 31.4 | -302 | 32.63 | 0.00 | 2.33 | 0 | 0 |
| C3 | 70 | 4.84 | 28.9 | 4.8 | 7.97 | 3.13 | 30.5 | -294 | 93.17 | 0.00 | 4.79 | 2(u) | 0 |
| C4 | 95 | 5.97 | 29.2 | 5.1 | 7.98 | 3.13 | 29.6 | -254 | 82.27 | 0.00 | 2.11 | 2(u) | 0 |
| G5 | 150 | 6.10 | 30.0 | 5.0 | 7.95 | 3.17 | 29.3 | -163 | 11.83 | 0.00 | 2.49 | 0 | 0 |
| D1 | 20 | 1.62 | 31.2 | 6.7 | 8.22 | 3.01 | 32.4 | 128 | 0.28 | 0.82 | 1.33 | 0 | 9 |
| D2 | 45 | 2.48 | 30.0 | 5.8 | 8.29 | 3.03 | 29.1 | 109 | 1.28 | 0.41 | 1.05 | 0 | 24 |
| D3 | 70 | 3.96 | 29.8 | 5.7 | 7.93 | 3.10 | 29.3 | -42 | 1.85 | 0.28 | 0.60 | 0 | 8 |
| D4 | 95 | 4.69 | 28.3 | 4.1 | 7.98 | 3.16 | 29.0 | -160 | 7.86 | 0.00 | 1.22 | 0 | 0 |
| D5 | 150 | 4.91 | 28.2 | 4.0 | 7.84 | 3.23 | 30.0 | -123 | 9.48 | 0.00 | 2.14 | 0 | 0 |
| E1 | 20 | 1.24 | 28.7 | 5.4 | 8.04 | 3.26 | 27.6 | 31 | 0.74 | 0.60 | 0.71 | 0 | 24 |
| E2 | 45 | 1.45 | 28.6 | 5.6 | 8.06 | 3.29 | 28.2 | 118 | 1.22 | 0.43 | 0.66 | 0 | 36 |
| E3 | 70 | 2.31 | 28.6 | 5.4 | 8.09 | 3.27 | 28.9 | 81 | 1.10 | 0.47 | 0.73 | 1(u) | 0 |
| E4 | 95 | 3.67 | 28.2 | 3.9 | 8.07 | 3.24 | 28.7 | -75 | 3.76 | 0.07 | 1.34 | 0 | 2 |
| E5 | 150 | 5.52 | 28.2 | 6.0 | 7.94 | 3.26 | 28.0 | -107 | 2.23 | 0.21 | 1.11 | 0 | 2 |
| F1 | 20 | 0.95 | 28.9 | 7.0 | 8.01 | 3.12 | 29.5 | 78 | 1.58 | 0.34 | 1.00 | 0 | 16 |
| F2 | 45 | 2.71 | 28.5 | 4.5 | 7.84 | 3.25 | 28.2 | -224 | 5.43 | 0.02 | 1.53 | 2(u) | 0 |
| F3 | 70 | 4.30 | 28.1 | 4.6 | 7.98 | 3.23 | 28.2 | -316 | 10.86 | 0.00 | 2.31 | 1(u) | 0 |
| F4 | 95 | 4.78 | 28.1 | 5.7 | 8.03 | 3.27 | 28.0 | -226 | 8.70 | 0.00 | 1.51 | 0 | 0 |
| F5 | 150 | 5.41 | 28.1 | 5.7 | 7.90 | 3.26 | 28.5 | -176 | 6.45 | 0.01 | 1.81 | 0 | 0 |
| G1 | 20 | 0.57 | 28.0 | 5.7 | 7.97 | 3.08 | 27.7 | -83 | 3.06 | 0.12 | 1.17 | 2(z) | 0 |
| G2 | 65 | 0.88 | 27.9 | 5.3 | 7.97 | 3.34 | 26.3 | 110 | 0.59 | 0.66 | 0.59 | 0 | 67 |
| G3 | 110 | 3.25 | 28.0 | 5.3 | 7.81 | 3.18 | 27.2 | -78 | 2.60 | 0.17 | 0.69 | 2(z) | 0 |
| G4 | 155 | 3.40 | 27.8 | 4.6 | 7.95 | 3.31 | 27.1 | -141 | 6.86 | 0.01 | 0.83 | 0 | 0 |
| G5 | 220 | 3.47 | 28.3 | 6.9 | 7.88 | 3.29 | 28.8 | -172 | 29.92 | 0.00 | 1.51 | 0 | 0 |
| G6 | 280 | 6.11 | 28.5 | 6.7 | 7.98 | 3.28 | 30.0 | -132 | 5.76 | 0.02 | 1.71 | 0 | 0 |

※ 底面植生: 0 = なし, 1 = やや被覆, 2 = ほとんど被覆 / (u) = アオサ, (z) = アマモ

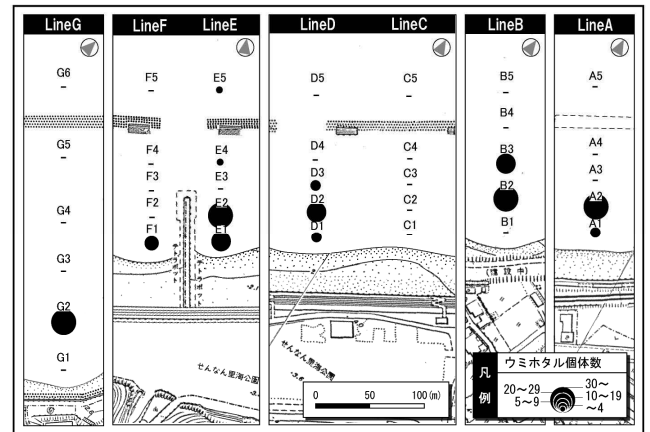


図-2 調査対象地におけるウミホタルの分布状況

(4) ウミホタルと地点環境との関係性

本種の個体数を目的変数、地点環境の各項目を説明変数とした回帰樹木による解析の結果、図3に示すように、酸化還元電位と淘汰度の2変数が抽出された。また、DWSの値から説明変数の影響力は、酸化還元電位(72.6%)、淘汰度(27.4%)の順と判断された。回帰樹木による結果は2進木状をとり、説明変数の記載条件を満たす場合は左に進む、満たさない場合は右に進む。図3では、酸化還元電位が-5.5mV未満の還元状態を示すと、本種の平均個体数は0.5個体(23ケース)、酸化還元電位が-5.5mV以上で淘汰度が0.646以上であれば、13.6個体(8ケース)、酸化還元電位が-5.5mV以上で淘汰度が0.646未満であれば、34.4個体(5ケース)となることを示しており、酸化還元電位と淘汰度によって個体数が3段階で説明された結果となった。

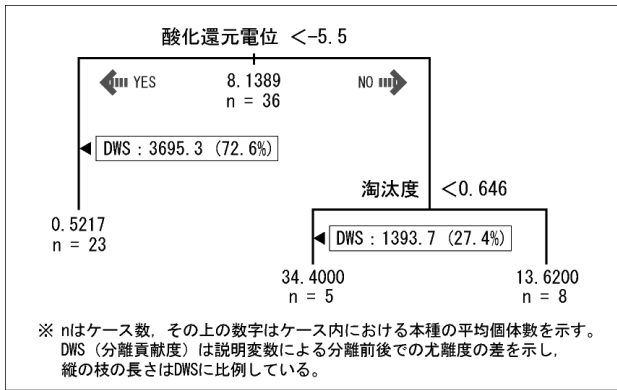


図-3 ウミホタルと地点環境との関係における回帰樹木の結果

表-3 整備状況と生息条件との関係における GLM の結果

| 酸化還元電位 (モデルの説明率: 59.1%) | | | | 淘汰度 (モデルの説明率: 52.2%) | | | |
|-------------------------|--------|---------|-------|----------------------|-------|---------|-------|
| 変数 | 偏回帰係数 | 説明率 (%) | 有意確率 | 変数 | 偏回帰係数 | 説明率 (%) | 有意確率 |
| 構造物なし | 142.89 | 18.3 | 0.000 | 離岸堤遮蔽 | 1.15 | 28.2 | 0.000 |
| 埋入れあり | 109.28 | 15.6 | 0.001 | 水深 | 0.20 | 24.0 | 0.001 |
| 水深 | -26.63 | 14.3 | 0.002 | (切片) | 1.66 | - | 0.000 |
| 敷均しあり | 150.99 | 6.2 | 0.040 | | | | |
| 沖離岸堤 | 53.61 | 4.7 | 0.075 | | | | |
| (切片) | 393.50 | - | 0.000 | | | | |

※汀線からの距離を重み付け変数として用いた。なお各説明変数の説明率は、その変数によって説明された尤難度の差の割合を示す。

(5) 整備状況と生息条件との関係性

本種の生息条件として抽出された酸化還元電位と淘汰度それぞれを目的変数、整備状況の各項目と水深を説明変数、汀線からの距離を重み付け変数とした GLM の結果を表 3 に示した。酸化還元電位については、5 つの説明変数によって 59.1% の説明率でモデルが構築され、構造物なし (説明率: 18.3%)、埋入れあり (15.6%)、水深 (14.3%)、敷均しあり (6.2%)、また 10% 以下の有意水準ではあるが、沖離岸堤 (4.7%) の順に説明率が高い結果となった。一方、淘汰度については、2 つの説明変数によって 52.2% の説明率でモデルが構築され、離岸堤遮蔽 (28.2%)、水深 (24.0%) の順に説明率が高い結果となった。

4. 考察

(1) ウミホタルの生息条件

大阪湾東岸の砂浜全域を対象とした研究⁵⁾では、本種の生息が主として、溶存酸素量、酸化還元電位、塩分濃度、含泥率で説明できることが示唆されている。本研究では、概ね水質が良好と考えられる大阪府南部の砂浜を対象としており、実際の測定結果においても、本種の生息を阻む可能性が考えられる貧酸素や低塩分状態は観測されなかった。したがって、図 3 における回帰樹木による解析結果では、地点間に顕著な差が生じた底質項目のみで生息が説明されたものと考えられる。DWS の値より、酸化還元電位が高い値 (-5.5mV 以上) を示すことが生息に大きな影響力を持つことが示された。酸化還元電位は、底質の環境において支配的な化学種間の混合電位を示しており、酸素を含む酸化的な底質において高く (+)、硫化水素を含む還元的な底質では低く (-) となり、海水の流れが速い場所で酸化状態を、海水の停滞性の強い有機物の堆積しやすい場所で還元状態を示すことが知られている¹⁸⁾。さらに、図 3 より酸化還元電位が高いことに加え、淘汰度の値が小さければ (0.646 未満)、より多く生息するという可能性が示された。淘汰度は、粒径のばらつきを示す標準偏差であり、値が小さいほど粒径の揃った淘汰の良い砂が堆積していることを示している。浅海底においては、波や流れ (潮流など) によって堆積物が粒径別に篩い分けられるため、淘汰の良い砂の存在は、波や潮流によって常に適度な底面の攪乱を受けている環境であることを示している。これらのことから、水質が概ね良好に維持され

ている環境下において、本種が生息するためには、底質に酸素が十分供給されている必要があり、加えて、適度に波や潮流の影響を受ける淘汰の良い砂が存在する環境が、本種に適していると考えられる。また、数値的には、酸化還元電位が -5.5mV の閾値を下回るとほとんど生息せず、-5.5mV 以上、かつ淘汰度が 0.646 未満を示す環境が、生息に適した条件である可能性が示された。

ただ、既往研究⁵⁾で言及された含泥率が本研究では抽出されなかった。含泥率の値が地点間で大きくばらついたことが影響した可能性が考えられる。本種と泥との関係については、反復調査や他地域での研究を重ねて改めて検討する必要があるといえる。

(2) 砂浜の整備状況とウミホタルの生息条件との関係

酸化還元電位は、表 3 の偏回帰係数の符号より、人工構造物がない地点、砂の埋入れがある地点、水深が浅い地点、敷均しがある地点、また 10% 以下の有意水準ではあるが、より沖に離岸堤を設置した地点において値が高くなる傾向が示された。構造物と酸化還元電位の関係については、離岸堤や防波堤の設置によって有機物の堆積や還元化がみられたとする報告¹⁹⁾とも一致しており、構造物のない状態が最も酸化的な底質となると考えられる。また、砂の埋入れや敷均しについては、覆砂による底質改善整備と捉えることもできる。覆砂によって底質の酸化状態が維持されることが明らかとされており²⁰⁾、本研究においても同様の効果が確認できたといえる。また、水深との関係については、酸化還元電位が地盤高により変化していたとする事例²¹⁾などが多くみられ、本研究とも一致した。水深が深くなるにつれて底質に酸素が供給されにくくなるとともに、堆積された有機物の分解過程により、還元状態になると推察される。このように、これらの整備状況は底質の酸化状態を維持する上で重要な項目であると考えられる。

一方淘汰度は、表 3 より離岸堤によって遮蔽された地点、水深の深い地点において淘汰が悪くなる傾向が示された。離岸堤と淘汰度の関係については、離岸堤建設前後の底質の経年変化を追った研究²²⁾においても、離岸堤建設基数の増加に伴って粒径の不均一化が進行したことが示されている。また、水深が深い地点では波や潮流の影響を受けにくく、淘汰が悪くなるものと推察される。

以上のことから、砂浜の整備状況の違いが本種の生息条件である酸化還元電位と淘汰度に影響を与えていることが示された。

(3) ウミホタルの生息条件から捉えた砂浜の整備のあり方

一般に、酸化的な底質において多様な底生生物が生息することが示されており²³⁾、既往研究^{4) 5)}で示唆されるように、本種の生息条件を満たす環境は、他の生物にとっても良好な環境である可能性が考えられる。以下は、上述した整備状況と本種の生息条件との関係を踏まえ、本研究対象地における砂浜の整備状況と生息条件、および実際の分布状況との関係について項目ごとに整理するとともに、本種の生息条件から捉えた内湾性の砂浜における整備のあり方について考察したい。図 4 は、調査測線ごとの断面に、整備状況と生息条件、および実際の分布状況を模式的に示したものである。生息条件は、回帰樹木によって得られた結果から、酸化還元電位が -5.5mV 以上かつ淘汰度が 0.646 未満であれば「良 (2 重丸)」、酸化還元電位が -5.5mV 以上かつ淘汰度が 0.646 以上であれば「可 (丸)」、酸化還元電位が -5.5mV 未満であれば「不可 (黒丸)」として、地点ごとに 3 段階評価したものである。

1) 人工構造物との関係について

GLM による解析結果では、LineB のように構造物のないことが生息条件を維持し、LineC のように離岸堤 (汀線から約 120m 沖) で遮蔽されると、生息に悪影響を及ぼす可能性が示された。図 4 においても、LineB では生息条件が「良」や「可」となる地点が比較的沖まで連続し、多数の生息 (30 個体以上) がみられた地点が存在したのに対し、LineC では C1 を除く地点で「不可」となり全ての地点で生息がみられなかった。特に C3・C4 では堆

積したアオサ下の底泥から腐卵臭を確認したことから、猛毒の硫化水素が発生していたと推察される。しかし、LineCに近接した離岸堤開口部のLineDでは、D1・D2において非常に酸化的で、汀線から約70m沖のD3まで生息がみられた。離岸堤開口部は、遮蔽部に比べて生息条件が良好に保たれる可能性があるといえる。

また、GLMによる解析結果では、LineGのように、より沖（汀線から約250m沖）に離岸堤を設置することも少なからず生息条件を維持する可能性が示された。これは、より沖に離岸堤を設置したことにより、沿岸方向の流れが遮られにくいためと考えられる。加えて、GLMでは抽出されなかったが、汀線から約120m沖に潜堤が設置されたLineAでは、A1・A2で「良」となり生息がみられ、特にA2では多くの生息（41個体）がみられた。これは、潜堤が水面下の構造物であるため、離岸堤に比べて堤内の海水交換が良かったことが影響した可能性が考えられる。しかし、LineA・Gともに構造物に近い地点では、生息条件が「不可」となったことから、構造物から離れた岸近くの場所において、良好な生息条件となる可能性があると考えられる。

さらに、離岸堤開口部に突堤を設置したLineEでは、E1からE3において「可」となり、堤外のE5まで生息がみられた。しかし、構造物の設置状況が同様のLineFでは、生息がF1に限定され、底質が著しく還元化した地点も存在し、LineEとは様相が全く異なった。これは、沖からの潮流が南東方向に卓越する立地条件から、突堤の東側のLineEでは、離岸堤と突堤の間から潮流が進入するために潮通しが良いが、西側のLineFでは離岸堤と突堤に遮られて流れが滞留するため、アオサや有機物が堆積しやすかったと考えられる。このような潮流の向きによって部分的な淀みが発生する現象は、離岸堤・突堤による流況分布を把握した研究²⁴⁾においても確認されており、構造物によって潮流が妨げられるか否かが生息条件を大きく左右したと考えられる。

以上のことより、人工構造物の設置状況のあり方として、底面の潮通しが悪くならないよう配慮することが重要であると考えられる。砂浜の侵食防止や防災の観点から構造物の設置はやむを得ず、LineBのような未整備の砂浜も、後背地の土地利用によっては、将来的に何らかの構造物の設置が必要になると考えられる。構造物を新設する際には、できるだけ開口部を増やし、なるべく岸から離して設置するなど、堤内の海水交換を図るよう設計することや、潜堤などの海水交換の良い構造物へ切り替える整備を進めることなどが望まれる。また、LineE・Fでは、潮流の向きを考慮しない線対称な構造となっており、西側ではアオサが大規模に堆積し、本種の生息は岸近くに限定された。内湾の浅場における浮遊性アオサ類の堆積は、底質を還元化させ、生物生息環境に悪影響を及ぼすことが明らかとされており²⁵⁾、定期的なアオサの除去や、アオサが堆積しにくい潮通しの良い浅場を整備する必要がある。今後は、安価で画一的な整備ではなく、潮流の向きを考慮した構造物のデザインを場所ごとに検討するなど、各々の砂浜の特性に合った整備方法を模索していく必要があると考える。

2) 砂浜の成り立ちとの関係について

図4より生息条件が「良」であった地点は、成り立ちが自然堆積であるLineA・B・Gにのみ存在し、人工造成されたLineCからFにおいては存在しなかった。また、自然堆積で水深の浅かったG2において個体数が最多（67個体）となったことが特筆される。GLMによる解析結果では、成り立ちに関する項目は抽出されず、自然者・人工者による違いはみられなかった、とする東京湾内の底生生物群集を比較した研究²⁶⁾とも一致した。しかし、GLMによる解析結果では、酸化還元電位、淘汰度ともに水深との関係が示された。図4より、自然堆積の砂浜が人工造成の砂浜に比べて遠浅である傾向があり、そのことが、生息条件に良い影響を与えた可能性が考えられる。いずれにせよ、本研究対象地に

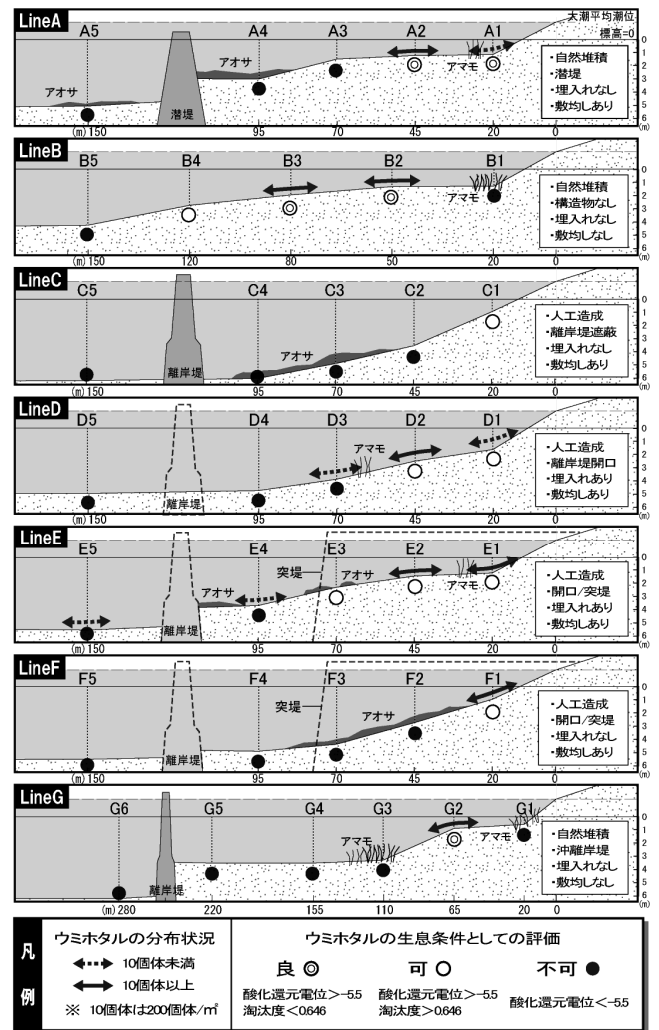


図4 砂浜の整備状況とウミホタルの生息条件および分布状況

において自然堆積の砂浜は、本種にとって良好な生息条件を示したことから、これ以上改変されないよう最小限の整備で環境を維持していく必要があるといえる。一方、人工造成の砂浜においても、多数の生息がみられたことから、生物生息空間として一定程度機能していると考えられるが、比較的急深なために底質が還元化しやすいことが懸念される。したがって、砂浜を新規造成する際には、自然堆積の砂浜に倣って底面勾配が小さくなるよう設計することや、C3・C4のような硫化水素の発生源となる既存の深場は、水深が浅くなるよう再整備することなどが望まれる。

3) 砂の埋入れや敷均しとの関係について

GLMによる解析結果では、両項目とも酸化還元電位との関係が示され、これらの砂の管理は、良好な生息条件の維持につながる可能性が示された。具体的には、LineD・Eにおいて本種が比較的沖まで生息した要因として、離岸堤が開口して潮通しが良いことに加え、定常的な砂の埋入れが、比較的遠浅な砂浜断面を維持し、底質の還元化を防いでいる可能性が考えられる。一般に離岸堤開口部は、潮流によって砂が流出するため、遮蔽部に比べて底面勾配が大きくなると考えられるが、図4に示すように、LineD・Eは、LineCと比べ、比較的遠浅に整備されており、埋入れによる覆砂効果を窺わせる。LineCからFの砂浜は、岩礁や転石の浜を埋立て造成した浜であり³⁾、持続可能な環境形成という観点も加味すると、一部は底質が良好な緩勾配の浅場を沖まで維持するよう定常的な砂の管理を継続し、一部はかつての転石浜として再整備するなど、本来の自然特性に合わせて現実的な砂浜の整備方

針を考えていく必要があるといえる。

一方、砂の管理がされていない B1・G1 においてアマモが高密度に自生し、生息条件が「不可」となった。これは、人為的な砂の攪乱がないため、アマモが繁殖しやすく、地下茎により底質が安定して還元状態となったと考えられる。アマモ場は、砂底性の生物相とは異なる生物の生息場として機能することから、沿岸域の生物多様性を総合的に捉えた場合、砂浜の潮下帯をアマモ場造成区・砂底性生物生息区にゾーニングして砂の管理頻度を変えるなど、対象生物に合った管理を行うことが望ましいと考えられる。

5. おわりに

本研究では、大阪府南部の砂浜を対象として、整備状況の異なる場所に岸沖方向に調査測線を設け、ウミホタルの分布状況と地点環境を把握することで、ウミホタルの生息条件を明らかとし、整備状況と生息条件との関係を明らかにすることを目的とした。

まず、生息条件については、回帰樹木による解析の結果、酸化還元電位と淘汰度が抽出され、酸化還元電位が -5.5mV の閾値を下回るとほとんど生息がみられず、 -5.5mV 以上かつ淘汰度が0.646未満の条件が、生息に適した条件であることが示された。

一方、砂浜の整備状況と生息条件との関係では、汀線からの距離で重み付けした GLM による解析の結果、酸化還元電位は59.1%の説明率でモデルが構築され、構造物なし、埋入れあり、水深、数均しあり、沖離岸堤が説明変数として抽出された。また、淘汰度については52.2%の説明率でモデルが構築され、離岸堤遮蔽、水深が説明変数として抽出された。このことから、整備状況が生息条件に影響を与えていることが明らかとなり、生息に適した条件を維持するためには、離岸堤などの人工構造物で遮蔽される場所をできるだけなくし、より沖に離岸堤を整備するなど、堤内の海水交換を図るよう整備することや、必要であれば砂の定期的な埋入れや数均しを行い、緩勾配の浅場を沖まで維持することが重要であると考察された。

本研究は、本種の生息条件を砂浜の整備状況やそれに伴う環境の変化に関して、主として底質に着目して研究したものであり、一方で生息条件と実際の分布状況が一致しない地点も存在した。まず、図4より生息条件が「可」であった B4 において生息がみられなかった。B4 のソーティングにおいて、本種以外の底生生物も貧困な印象であったことから、過去に高水温等による一過性の貧酸素水塊が発生していた可能性が考えられる。同じく本種の生息がみられなかった C1 においても無生物に近かった。すぐ沖の C3・C4 の底泥において腐卵臭を確認しており、硫化水素が発生していたと推察されることから、湧昇した硫化水素が潮汐などで移動し、C1 にも影響を与えた可能性がある。また E3 では、一時的なアオサの被覆を避けて本種が移動した可能性が考えられる。一方、生息条件が「不可」であった D3 や E4・E5 において生息がみられた要因としては、離岸堤開口部のため潮通しが良いこと、岸寄りの D2 や E1・E2 に多数の生息がみられたことから、これらの個体が潮流によって沖へ流入した可能性が考えられる。このような一時的な水質の変動や本種の移動については、数回の調査の反復においてその動向を捉えることは困難であると考えられ、本種以外の底生生物の種数や種組成についても詳細に把握し、その関係性を踏まえて評価することなどが今後の課題と考える。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、調査方法の立案に際しましては、大阪府水産技術センターの鍋島靖信氏、日本クニヤ株式会社の岩井克巳氏にご指導を頂きました。また、底生生物や本種の既往知見に関しましては、大阪市立自然史博物館の山西良平氏、東北大学の若山典史氏にご助言を賜りました。現地調査では、大阪府港湾局や漁業協同組合をはじめとする砂浜の管理者の方々にご協力頂き、大阪府立青少年海洋センターのスタッフの方々、大阪府立大学の学生の皆様にご尽力を賜りました。厚く御礼申し上げます。

補注及び引用・参考文献

- 1) 社団法人瀬戸内海環境保全協会 (2010) : 平成 21 年度 瀬戸内海の環境保全資料集
- 2) 大阪湾再生推進会議 (2011) : 平成 16 年度から平成 21 年度までの活動報告
- 3) 鍋島靖信 (2008) : 大阪湾の生物相の現状、大阪湾の自然と再生:扶桑印刷社, 26-73
- 4) 七都府市首脳会議環境問題対策委員会 (2000) : 全国公害研究会誌 25, 7-13
- 5) 大平和弘・上浦木昭春 (2011) : 大阪湾東岸域におけるウミホタルの生息に適した底層環境と影響する周辺特性: ランドスケープ研究 74(5), 491-496
- 6) 押田佳子・上浦木昭春 (2003) : 大阪湾沿岸域における海浜植物の現状への影響検討: ランドスケープ研究 66(5), 559-564
- 7) 日本海洋学会 (1986) : 沿岸環境調査マニュアル: 恒星社厚生閣, 217-257
- 8) 水質は、調査対象地に隣接する大阪府設置の水質観測地点「淡輪港内」(月1回、水深約 5.5m)、および調査対象地沖における大阪府水産技術センターの漁場監視調査・浅海定線調査(月2回、水深約 15m)のデータより、本研究の測定結果に問題のないことを検討した。底質については、比較的変動が少なく、海域の平均的情報を過去から現在まで連続して有する⁷⁾ことから、晩夏⁸⁾の1回の測定で調査地点における夏季の平均的な底質を把握できると判断した。
- 9) 小型の底生生物を効率良く採集するため、試料に海水を入れてよくかき混ぜ、上澄み水を目の細かい網で濾す作業を反復する方法。¹⁰⁾
- 10) 山西良平 (1979) : かきませ法によるメイオベントス抽出の効率: ベントス研究会連絡誌 17/18, 52-58
- 11) 遊泳を開始する本種の 1 齢幼体のサイズが $0.8\text{--}0.9\text{mm}$ ¹²⁾であるため。
- 12) Jean Vannier and Katsumi Abe (1993) : Functional morphology and behavior of *Vargula hilgendorfii* from Japan, and discussion of its crustacean ectoparasites: preliminary results from video recordings: Journal of Crustacean Biology, 13:51-76
- 13) Clark, L.A. and Pregibon, D. (1992) : Tree-based models. In: Chambers, J.M. and Hastie, T.J. eds. Statistical Models in S, California: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software: Pacific Grove, 377-419
- 14) Matsui T., Yagihashi T., Nakayama T., Tanaka N. and Taoda H. (2004) : Climatic controls on distribution of *Fagus crenata* forests in Japan: Journal of Vegetation Science 15, 605-614
- 15) 気象庁の潮汐データを用い、調査時刻から淡輪地点の潮位を求め、標高 (T.P.) からの深さに換算した。
- 16) 上野信平・境道男・長嶋佳孝・中戸真一・石田一弥・落合一男・社家間太郎 (2004) : 海岸構造物岸側の砕波帯における底生動物群集の構成的特徴: 日本水産工学会学術講演会講演論文集 16, 191-194
- 17) 砂の埋入れや数均しがどの程度沖まで影響しているかについては、ヒアリング調査、および目視による底質確認調査により検討した。
- 18) 塩沢孝之・川名吉一郎・星加章・谷本照巳・滝村脩 (1979) : 瀬戸内海の底質: 中国工業技術試験所報告 4, 1-24
- 19) 上月康則・村上仁士・伊藤慎彦 (1995) : 海岸構造物周辺の底生動物群集に関する現地調査: 海岸工学論文集 42, 1201-1205
- 20) 岡本庄市・矢持進・大西徹・田口敬祐・小田一紀 (2002) : 大阪湾南 2 区人工干潟現地実験場の生物生息機能と水質浄化に関する研究: 海岸工学論文集 49, 1286-1290
- 21) 清水良恵・桑原茜・高橋輝昌・浅野義人・小林達明 (2002) : 東京湾盤洲干潟におけるヨシとアイアシの生育に及ぼす諸要因の影響: 日本緑化工学会誌 28(1), 313-316
- 22) 安永義博・山本正昭 (1984) : 離岸堤の造成による周辺水域の理化学環境およびプランクトン・ベントス相の変化に関する事例解析: 水産工学研究所技報水産土木 5, 13-50
- 23) Pearson T. H. and R. Rosenberg (1978) : Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment: Oceanography and Marine Biology an Annual Review 16, 229-311
- 24) 佐藤昭二・加藤始・木村久雄・高松恭文 (1976) : 須磨レクリエーション海浜における突堤・離岸堤の海水交換にあたる影響: 港湾技研資料(243), 3-27
- 25) 工藤教男・児玉真史・徳永貴久・松永信博 (2003) : 干潟におけるアオサの消長が生物生息環境に及ぼす影響: 海岸工学論文集 50, 1081-1085
- 26) 小林達明・野田泰一・鈴木奈津子・稲田陽介・清水良恵・桑原茜・高橋輝昌 (2003) : 東京湾の自然者・人工者における底生動物群集のハビタット分析: 日本緑化工学会誌 29(1), 62-67