

南大阪の砂浜における底生生物の群集構造から捉えたウミホタルの指標種としての有用性

Usefulness of *Vargula hilgendorffii* as an Indicator Species from the Community Structure of Benthos at Sandy Beaches 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 investigated the usefulness of *Vargula hilgendorffii* as an indicator species from the community structure of benthos. The study areas included 36 stations at 5 sandy beaches in southern Osaka. The occurrence of benthos and environmental conditions were assessed by the Smith-McIntyre grab sampler. 142 species were identified from 3350 benthos. According to the results of two-way indicator species analysis (TWINSPAN), identified species were classified into 7 community types, and stations were classified into 6 groups. The community type to which *V. hilgendorffii* belongs included rare species and species for fisheries. As the results of indicator species analysis (INSPAN), *V. hilgendorffii* was extracted as an indicator species of a group I that much of benthos appeared. And the frequency of *V. hilgendorffii* in the group I (89.7%) was the highest among indicator species extracted by INSPAN. In addition, as 6 groups were ordered by detrended correspondence analysis (DCA), it revealed that the group I had the extremely narrow condition that sandy bottom is oxidized. These results suggested that *V. hilgendorffii* is useful as an indicator species of the sandy beach where should be given priority to conservation for benthos.

Keywords: *Vargula hilgendorffii*, indicator species, benthic community, Osaka Bay, TWINSPAN, DCA

キーワード: ウミホタル, 指標種, 底生生物群集, 大阪湾, TWINSPAN, DCA

1. はじめに

高度経済成長期以降の大規模な埋立て開発や産業活動に伴い、大都市を抱える内湾においては、砂浜や干潟などの浅場の大部分が消失し、夏季を中心に貧酸素水塊の発生や底質の悪化を招いており、そこに棲む生物相に多大な影響をもたらしている。一般に水生生物はそれらの生活型に基づき、浮遊生物（プランクトン）、遊泳生物（ネクトン）、底生生物（ベントス）に大別される。とりわけ内湾の底生生物は、水深の浅い岸近くにおいて出現種数や個体数が増える傾向が知られており¹⁾、移動性が少なく水質や底質環境の影響を受けやすい²⁾ため、人為的な影響に曝されやすい生物相といえる。また、底生生物は多くの水産有用種を含む食物連鎖の上位捕食者の餌資源として重要な役割を果たしている他³⁾、摂食活動により栄養塩濃度を調整するなど湾内の生態系に大きな影響を与えており⁴⁾、内湾の生物多様性保全に資する空間整備のあり方を考える上で、底生生物のあり様を捉え、その生息環境の健全性を評価することは重要な課題として位置づけられる。

これまで、底生生物群集の変化を内湾の環境指標として捉えた研究の歴史は古く⁵⁾、有機汚染を示す汚濁指標種の確立に関しても様々な検討が成されてきた⁷⁾。これらの知見を応用し、底生生物を指標に、漁場環境を評価する研究⁹⁾や、近年では浅場造成後の評価に用いた研究¹⁰⁾などが数多く見られる。しかしながら、底生生物にとって棲みやすい環境や保全の急がれる環境など、いわゆる健全な環境を示すとされる指標種については、ヒガシナメクジウオ¹¹⁾など一部の希少種を除いてほとんど検討されていない。また希少種についても、研究者不足などから未記載種が多くレッドデータブックへの掲載が不十分であることや¹²⁾、陸上の大型生物と異なり同定に専門的知識を要し、調査や採捕が困難なこと、生態的知見が確立されていない種が多くを占めることなどから、指標種として広く一般に活用することが難しい状況にある。

そこで、青白く発光することで人々の関心を惹き、全国各地で観察会が実施されている、ウミホタルの指標種としての可能性に

着目した。ウミホタル (*Vargula hilgendorffii*) は、体長 3mm ほどの肉食性甲殻類で、青森以南の内湾砂底に生息する底生生物である¹³⁾。陸からトラップを投げると誰でも採集でき、発光液を放出するので容易に同定できるという特徴を持つため、環境学習や市民参加型のモニタリング調査等での活用が期待される¹⁴⁾。

ウミホタルの生息に適した環境条件については、既往研究^{14)~16)}で明らかにされてきており、水質や底質が良好に維持された環境の指標となる可能性が示唆されている。しかしながら、ウミホタルの生息する環境が他の底生生物にとっても棲みやすい環境であるのかといった、ウミホタルと他の底生生物との関係や、他の底生生物と比べて指標種としてどの程度優れているのかといった、指標種としての有用性について検討されていない。

本研究では、大阪府南部の砂浜を対象に、船舶を用いた採泥調査によって底生生物の採集と環境条件の測定を行い、底生生物の群集構造とウミホタルとの関係を明らかにする。これにより、底生生物群集におけるウミホタルの位置づけと、指標種としての有用性について考察することを目的とする¹⁷⁾。

2. 研究方法

(1) 対象地および調査地点の設定

大阪湾の中でも底生生物の種数が多く確認されている、大阪府南部¹⁹⁾における砂浜（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）を対象地とした。そして、図-1に示すように岸沖方向に調査測線を7本設定し、測線上の汀線から約20mより沖の潮下帯に、計36箇所の調査地点を設定した。

(2) 調査・分析方法

予備調査より、ウミホタルの安定した個体数が採集されること、一般に底質等の悪化により底生生物の出現状況が地点間で差が生じやすく、群集構造が多様になると考えられることから、採泥調査を晩夏（2010年9月5日から9日）に実施した。

*大阪府立大学大学院生命環境科学研究科

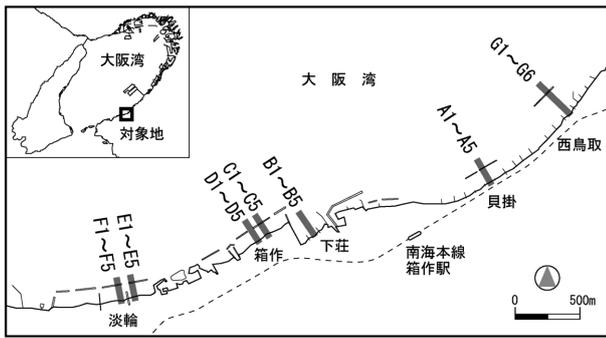


図-1 対象地および調査地点の位置

まず、船上にて水深、水温、溶存酸素量を測定した (DO メーターID-100)。次に、バンドーン型採水器にて底層水を採水し、pH と塩分濃度を測定した (水質モニター FUSO Model-7200, デジタル塩分濃度計 YK-31SA)。次に、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・揚収することにより底泥の採取を行い、底泥表層から 3cm 程度を生物が混入しないよう約 150ml 採取した試料の臭気、色相 (標準土色帖)、泥温、酸化還元電位 (ORP Meter LINE SEIKI ER-1000) を直ちに測定した。また、実験室にて乾燥炉 110±5°C で 24 時間以上乾燥させた試料約 100g を、Wentworth の粒度区分に基づく 63μm~4mm の 7 種の篩で篩い分けし、2mm 以上を礫、63μm 未満を泥として、含礫率と含泥率を算出した。さらに、篩ごとの通過質量から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。一方底生生物は、採泥器にて採取した試料をかきませ法²⁰⁾と 0.5mm 篩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 10%ホルマリンにて固定した後、バット上で選り分けて抽出した。抽出後 80%エタノールにて再固定し、実体顕微鏡を用いて 1 個体ずつ同定し、調査地点ごとの個体数と湿重量を計数した (サンプルの状態や文献への記載状況により spp. や科までとした生物も 1 種と計数した)。なお廃液は適切に回収・処理した。

(3) 解析方法

底生生物の群集構造を把握するため、TWINSpan (Two-Way Indicator Species Analysis : 2 次元指標種分析)²¹⁾により、底生生物の種組成および出現傾向に基づき、地点および種のグループ分けを行うとともに、分割の際の区分種を求めた。分析対象の調査地点は、分割途中に単独の地点グループとなった C1 を除外した 35 地点、分析対象種は出現が 2 地点未満の種、および spp. など複数種を含むものを除いた 68 種とした。各出現種の出現個体数を地点別に入力し、cut level は初期設定 (0 個体, 1 個体, 2-4 個体, 5-9 個体, 10-19 個体, 20 個体以上の 6 段階) とした。分割回数は、解釈が複雑になるのを避けるため 3 段階までとした。また、TWINSpan により分けられた地点グループの指標種を抽出するため、INSPAN (Indicator Species Analysis : 指標種分析)²²⁾により、2,000 回のモンテカルロ検定の結果、単一の地点グループに有意に偏って出現した種を、その地点グループの指標種と定めた。次に、地点グループ間の相対的な関係性や影響する環境条件の環境傾度など、地点グループの特性について把握するため、地点別の出現個体数を用いて DCA (Detrended Correspondence Analysis : 除歪対応分析)²³⁾による序列化を行った。固有値が大きかった 1 軸と 2 軸を解析に使用し、各軸のスコアを地点ごとに求め、35 地点における DCA スコアと環境条件の項目 (汀線からの距離、水深、水温、pH、溶存酸素量、塩分濃度、泥温、酸化還元電位、含礫率、含泥率、中央粒径、淘汰度、底面植生) との相関分析を行った。これらの解析には、PC-ORD ver.5 (MjM Software Design) を使用した。

3. 結果

(1) 調査結果

本研究対象地において、計 3,350 個体の底生生物が採集され、12 動物門 16 綱 38 目 89 科 142 種が確認された。1 地点あたりの出現種数は、B1 における 29 種が最多となり、最少は 1 種 1 個体のみ出現した C1 (ヒライソガニ) と C3 (ヒメシラトリガイ) となった。出現個体数が最多となった地点は、B2 (265 個体) であった。また、出現個体数が最多となった種は、ホトトギスガイ (824 個体) であり、出現箇所数が最多となった種は、ウミホタルモドキ科の 1 種 (21 地点) であった。本研究対象のウミホタルは、13 地点で出現がみられ、計 301 個体が確認された。

(2) TWINSpan による群集構造の把握

調査地点 35 地点、出現種 68 種を対象とし、TWINSpan により 3 段階まで分割させた結果、7 つの種群と 6 つの地点グループに分けられた (図-2)。種群と地点グループの関係に着目すると、[種群 a] は、サシバゴカイ科の 1 種などの一部の種を除き、グループ I に多く出現がみられる傾向があった。一方 [種群 b] は、グループ I・II に出現する傾向があるのに対し、[種群 c] は、グループ I~III を主として全域に出現し、[種群 d] は比較的全域にまばらに出現した。また、[種群 e] は主としてグループ II・III・V に、[種群 f] はグループ II・IV~VI に、[種群 g] はグループ V に出現する傾向が読み取れ、地点グループの I~VI への変化に合わせて、概ね種群が a~g へ移行している傾向が認められた。

ウミホタルは、7 種群の中で最も構成種が多い [種群 a] に属し、構成種の内での出現地点数が最も多かった。また、図-2 下部に示す地点グループの分割に用いられた区分種に着目すると、ウミホタルが 3 段階の分割全てにおいて区分種として機能していた。

(3) INSPAN による指標種の抽出

各地点グループにおける指標種を抽出するため、INSPAN を実行した結果、1%の有意水準で 10 種 (図-2 濃網掛)、5%水準で 10 種 (図-2 淡網掛) の計 20 種が抽出された。ウミホタルは地点グループ I・II にまたがって出現したが、出現個体数が 5 個体以上 (表中表記で 3 以上) の地点がグループ I に集中し、グループ I の指標種と位置づけられた。また、1%の有意水準で抽出された指標種について、各地点グループにおける出現率を表-1 に示した。ウミホタルはグループ I において 89.7%の出現率であり、他の指標種と比べて最も高い値であったことから、本研究において、指標種としての適性に最も優れた種であることが示された。

(4) DCA による地点グループの特性の把握

DCA による序列化の結果、第 1 軸の固有値が 0.728、第 2 軸の固有値が 0.417 となり、図-3 のように調査地点が図示され、概ね地点グループごとの分散がみられた。第 1 軸が増加するに従い、概ねグループ I→II→IV→III・V・VI の順に移行しており、第 2 軸が増加するに従い、概ねグループ IV→V→I・II・III→VI の順に移行していた。地点グループ間に着目すると、グループ II は、グループ I の各地点の領域と重なる地点が存在し、グループ I とグループ V・VI、グループ IV とグループ VI とは、比較的遠い関係にあることが読み取れた。また、グループ I は他のグループに比べて地点の領域が狭かった。

表-2 に各軸のスコアと環境条件との相関分析の結果を示した。第 1 軸は 0.1%の有意水準で、酸化還元電位、底面植生、淘汰度との関係性が認められ、第 2 軸は含泥率との関係性が認められた。

4. 考察

(1) 底生生物群集におけるウミホタルの位置づけ

本研究の分析対象とした種が、既往知見においてどのように位置づけられているかについて検討するため、種ごとのレッドデータブック (RDB) 掲載状況^{24,25)}、水産有用種、汚濁指標種と既往

対して、[種群 b] [種群 c] [種群 d] は、希少種や水産有用種はほとんど存在せず、弱から強まで既知群集型に定まりがなかった。特に後者 2 種群については、本研究対象地において多くの地点で出現がみられた普通種で構成されていると判断される。

一方、[種群 e] [種群 f] [種群 g] は、汚濁指標種や既知群集型において強内湾性とされる種を含んでいる。[種群 e] は、ツルヒゲゴカイやサンハチウロコムシなど一般に海藻や礫などの付着基質のある環境を好む種で構成され、[種群 f] は、シズクガイやカタマガリギボシイソメなどの汚濁指標種を含む砂泥底の種、[種群 g] は、アンピソエ属の 1 種やヤマトモエビなどのモ場の葉上生物と、硫化水素を含む腐泥でも生息可能なヒメシラトリガイなどの汚濁指標種⁹⁾を含む泥底の種で構成されている。これらの種群は、葉上生物などを含むため一概に言及することは難しいが、本研究対象地において相対的に汚濁の進んだ場所に出現した種群であると捉えることができる。

以上より、ウミホタルは、汚濁の少ない場所に出現する多様な動物門で構成される種群に位置し、希少種や水産有用種など保全が優先される種と同所的に出現することが明らかとなった。

(2) ウミホタルの指標種としての有用性

表-2 の DCA 各軸と環境条件との相関関係より、図-3 は右へ行くほど酸化還元電位と淘汰度が低く、底面植生が存在する傾向が強くなり、上へ行くほど含泥率が高く、下へ行くほど礫を含む傾向が強いと考えられる。表-2 の地点グループ別の環境条件の平均値や、調査時の底面性状の観察結果に基づき、各地点グループの特性とウミホタルとの関係について考察する。

まず、INSPAN によりウミホタルが指標種として抽出されたグループ I は、泥や底面植生がほとんどない酸化的な砂底であった。これは、ウミホタルに関する既往知見¹⁴⁻¹⁶⁾と一致がみられた。加えて、グループ I は各地点の領域が極端に狭いことから、出現種が以通った地点で構成されていることが特筆される。これは言い換えると、非常に限定的な環境条件を持つ同質的な地点で構成されていると捉えることができる。次に、グループ II は、グループ I の領域と重なる地点があり、ウミホタルの出現がみられた地点も存在するが、やや還元的な砂泥底の地点を含んでいた。一方、ウミホタルの出現が全くみられなかったグループ III はアマモの生える砂礫底、グループ IV は溶存酸素が低下傾向の泥を含む砂礫底、グループ V は溶存酸素が低下傾向でアオサが堆積するような著しく還元化した砂泥底、グループ VI は著しく還元化した泥底を示す傾向にあった。これらのことから、ウミホタルは底質が酸化的な砂底という限定的な環境にのみ出現する狭適応種であり、指標種としての適性に優れていると考えられる。

また、図-2 のグループ別の総出現種数や個体数に着目すると、底質が酸化的な砂底であるグループ I は、相対的に他のグループより多くの種数・個体数が出現していることが判る。したがってウミホタルは、内湾の砂浜における生物多様性の観点から重要と考えられる健全な環境の指標となる可能性が示唆される。

さらに、TWINSPAN において、ウミホタルは地点グループの区分種として大きく寄与していたことに加え、INSPAN により抽出された指標種の内、指標種としての適性に最も優れていたことが統計的に確認された結果となった。

5. おわりに

以上のことから、ウミホタルは、内湾における生物多様性や水産資源の観点から保全が優先されるべき、健全な砂浜環境を示す指標種として有用であると結論される。

今後、ウミホタルを指標種として広く一般に活用していくためには、他時期や他地域においても調査を重ねる必要があると考えられる。また、底生生物間の捕食-被食関係や、底生生物以外の生

物も含めた生態系レベルでのウミホタルの位置づけを検討することなども今後の課題と考える。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、大阪府水産技術センターの鍋島靖信氏に多大なご指導を頂きました。また、底生生物に関する知見や同定に關しまして、大阪市立自然史博物館の山西良平氏、大阪府水産技術センターの有山啓之氏をはじめとする大阪湾海岸生物研究会の方々、水産大学の林健一氏、東北大学の若山典史氏のお力添えを頂きました。さらに現地調査では、大阪府港湾局や各漁港の漁業協同組合の方々にご協力頂き、日本ミクニヤ株式会社岩井克巳氏のご助言、大阪府立青少年海洋センターのスタッフの方々と大阪府立大学の学生の皆様のご尽力を賜りました。記して謝意を表します。

補注及び引用・参考文献

- 1) 玉井恭一 (1982) : 大阪湾におけるマクロベントス群集の季節変動 : 南西海区水産研究所報告 14, 55-69
- 2) 日本海洋学会 (1986) : ベントス調査 : 『沿岸環境調査マニュアル』, pp.217-257, 恒星社厚生閣
- 3) 玉井恭一 (1998) : マクロベントスの分布と生産 : 『沿岸の環境』 (平野敏行監修), pp.244-253, フジ・テクノシステム
- 4) Cloern, J.E. (1982) : Does the benthos control phytoplankton biomass in South San Francisco Bay? Marine Ecology Progress Series 9,203-210
- 5) 宮地伝三郎・増井哲夫・渡辺忠重 (1944) : 内湾度と内湾の生物群集型型に就て : 京大文学部生理生態学研究業績 3, 1-20
- 6) 菊池泰二 (1975) : 環境指標としての底生動物(1)群集組成を中心に : 『環境と指標生物(2)』 (日本生態学会環境問題専門委員会編), pp.245-254, 共立出版
- 7) 北森良之助 (1975) : 環境指標としての底生動物(2)指標生物を中心に : 『環境と指標生物(2)』 (日本生態学会環境問題専門委員会編), pp.265-273, 共立出版
- 8) 堀越増興・今島実 (1976) : 東京湾汚泥域における小型マクロベントスの生物量の季節変化 : 文部省特定研究・海洋環境保全・東京湾の生物群集と有機汚濁の関係の解析的研究, 研究業績報告, 43-53
- 9) Gowen R.J., D.P. Weston and A. Ervik (1991) : Aquaculture and the benthic environment : A review. In: Nutritional Strategies and Aquaculture Waste, eds. C.B. Cowey, C.Y. Cho, Fish Nutrition Research Laboratory, University of Guelph, Canada, 187-205
- 10) 今尾和正・鈴木輝明・浮田達也・高倍昭洋 (2003) : 底生動物の出現動向から見た人工干潟の効果評価 : 水産工学 40(1), 29-38
- 11) 西川謙昭・水岡繁登 (1990) : ナメクジウオ知られざる天然記念物 : 採集と飼育 52, 152-155
- 12) 木村妙子 (2005) : 国内のレッドデータに掲載された海産・汽水産無脊椎動物, その特徴と問題点 : 日本ベントス学会誌 60, 2-10
- 13) 阿部勝己 (1994) : 海蛭の光 : 筑摩書房, 214pp
- 14) 大平和弘・浦出俊和・上南木昭春 (2012) : 大阪湾東岸域の砂浜におけるウミホタルの HSI モデルの構築に関する研究 : 環境情報科学術研究論文集 26, 329-334
- 15) 大平和弘・上南木昭春 (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
- 16) 大平和弘・浦出俊和・上南木昭春 (2012) : 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 : ランドスケープ研究 75(5), 451-456
- 17) 本研究において「指標種」とは、「環境条件に対してごく狭い幅の要求をもつ生物種(狭適応種)で、環境条件をよく示し得る種」¹⁹⁾を指し、研究対象とする底生生物は、採泥器にて採集可能な 0.5mm 以上の動物(主としてマクロベントス)とする。
- 18) 八杉龍一編 (1996) : 岩波生物学辞典 4 版 : 株式会社岩波書店, 2027pp
- 19) 山西良平 (1997) : ベントスの世界 : 『海底の動物-ベントスの世界-』 (大阪自然史博物館編), pp.2-17, 東洋館製本株式会社
- 20) 山西良平 (1979) : かきませぬ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
- 21) Hill, M.O. (1979) : TWINSPAN, a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. : Cornell University Press, Ithaca
- 22) Dufrene, M. and Legendre, P. (1997) : Species assemblages and indicator species The need for a flexible asymmetrical approach : Ecological Monograph 67, 345-366
- 23) Hill, M.O. (1979) : DECORANA, a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. : Cornell University Press, Ithaca
- 24) 特定非営利活動法人野生物調査協会・特定非営利活動法エンヴィジョン環境保全事務所 : 日本のレッドデータ検索システム
(<http://www.jpnrdb.com/index.html>), 2012.5.17 更新, 2012.8.1 参照
- 25) 日本ベントス学会編 (2012) : 干潟の絶滅危惧動物図鑑-海岸ベントスのレッドデータブック : 東海大学出版会, 285pp
- 26) 風呂田利夫 (1986) : 東京湾千葉県内湾域の底生・付着生物の生息状況, 特に群集の衰退が底底の酸欠の指標となり得る可能性について検討, 酸欠期の底生動物相と海底環境指標生物 : 千葉県臨海開発地域等に係る動植物影響調査, 351-369
- 27) 堀越増興 (1990) : 日本周辺海域のベントスについて : 『日本全国沿岸海洋誌 総説・増補編』 (日本海洋学会沿岸海洋研究部編), pp.283-311, 東海大学出版会