

潮間帯付着生物相による海域環境の定量評価指数の提案 —大阪湾湾奥をケーススタディとして—

吉村直孝¹・上月康則²・村上仁士³

生物相による環境評価方法の一つに指標生物法がある。この方法は、環境を指標する種類の出現の有無によって簡単に環境を評価できる利点があるが、指標生物の出現が無い場合は評価ができず、定量的な取り扱いが困難等の欠点が指摘されている。本研究では、容易に観察が可能な潮間帯の付着生物を対象に、大阪湾湾奥 48 地点のコンクリート構造物で実施したフィールド調査の結果に基づき、海域環境の新しい数値評価方法として、指標生物の特性を利用した生物相評価指数 (IP) を提案する。この指数による海域環境の定量評価は、その場の水質環境をよく反映し、有用性が高いと考えられる。

1. 緒 言

生物調査で得られたデータに基づく海域環境の評価は、一般に出現種類数および現存量の多少によるものが多く、生物相の情報を利用した評価は少ない。

生物相を利用した環境評価方法の一つに指標生物法がある。この方法は、ある特定の環境条件に対応した分布特性を有する生物の生理および生態を利用した方法であり、環境を指標する種類の出現の有無によって簡単に環境を評価できる利点があるが、指標生物の出現が無い場合は評価ができず、定量的な取り扱いが困難であり、特に海域では指標生物の選定が困難である等の欠点が指摘されている (吉田, 1983; 伊藤, 1998)。

本研究は、容易に観察が可能な潮間帯の付着生物を対象に、大阪湾湾奥で実施したフィールド調査の結果から、新たに指標生物を選定し、指標生物の特性を利用した生物相による海域環境の新しい数値評価方法を提案し、その有用性について検討を行った。

2. フィールド調査

(1) 調査概要

フィールド調査の実施概要および調査地点の位置を図-1に示した。調査時期は夏季 (2004 年 9 月 11-12 日) および春季 (2005 年 5 月 4-5 日) とし、毎回 2 日間の調査を実施した。調査場所は、調査 1 日目が堺市 (堺泉北港) から泉佐野市 (りんくう公園前) までの 28 地点 (No.1-28)、調査 2 日目が大阪市 (大阪港) から神戸市 (須磨港) までの 20 地点 (No.31-50)、合計 48 地点とした (春季の調査地点 No.22 は未調査)。

調査地点はコンクリート製の直立ケーソン (スリット

を含む) または消波ブロックとし、沖側が閉ざされていない冲向きの基盤面のある箇所とした。

調査内容は潮間帯の付着生物 (付着植物および付着動物) の出現種類の確認、記録とし、調査方法は船上からの目視観察とした。具体的には、作業船 1 隻を借り上げ、調査地点まで海上を移動し、可能な限り基盤面に近寄り、船上から肉眼または双眼鏡を使って、海面上および海面下 (概ね D.L.+1.5 m から 0.0 m までの範囲) に分布している生物の種類を確認、記録し、種類の判別が困難な生物は所属の判別が可能な分類群を記録した。また、付着植物では藍藻綱および珪藻綱等の微小藻類、付着動物では潮上帯に生息する動物 (タマキビおよびイワフジツボ等) および魚類は調査対象から除いた。

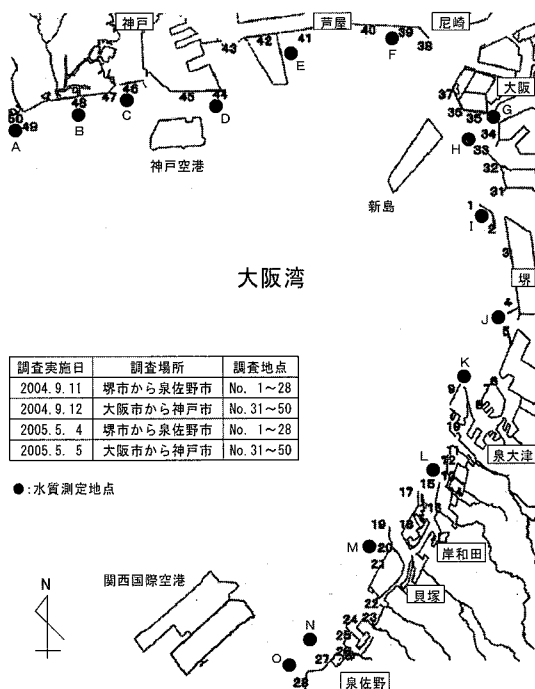


図-1 フィールド調査の実施概要と調査地点等の位置

1 学生会員 水産修 徳島大学大学院工学研究科
2 正 会 員 博(工) 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部助教授
3 フェロー 工博 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部教授

表-1(a) 付着植物の出現種類リストと出現地点数

分 類	種類名 (●は既知の指標生物を示す)	夏	春
紅藻綱	●アマノリ属 <i>Porphyra</i> sp.		2
	●マクサ <i>Gelidium elegans</i>	1	3
	●ツノマタ属 <i>Chondrus</i> spp.	12	8
	フダラク <i>Grateloupia lanceolata</i>	1	27
	●ムカデノリ科 <i>Halymeniaceae</i>	1	10
	●オキツノリ <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>		2
	●ベニスナゴ <i>Schizymenia dubyi</i>	2	
	●カバノリ <i>Gracilaria textorii</i>		2
褐藻綱	イギス目 <i>Ceramiales</i>	3	12
	フクロノリ <i>Colpomenia sinuosa</i>		2
	●ワカメ <i>Undaria pinnatifida</i>		17
	●カジメ属 <i>Ecklonia</i> sp.	1	
	クマハハキモク <i>Sargassum muticum</i>		4
アオサ藻綱	●アオサ属 <i>Ulva</i> sp.	34	42
	●アオノリ属 <i>Enteromorpha</i> spp.	38	
	●シオグサ属 <i>Cladophora</i> sp.		4
	●ハネモ属 <i>Bryopsis</i> sp.		3
	ミル <i>Codium fragile</i>	5	1
全 48 地点における出現種類数		10	15

なお、付着生物の表記については、目より上位の分類単位に属する分類群の名称および配列は八杉ほか (1996) に従い、科より下位の分類単位に属する分類群の名称は、付着植物で田中・中村 (2004)、付着動物では西村 (1992・1995)、特に軟体動物門に属する動物については奥谷 (2000) に従った。

(2) 調査結果

フィールド調査による潮間帯の付着植物の出現種類リストおよび種類別出現地点数を表-1(a)に示した。確認された付着植物は、夏季が10種類であったのに対して、春季は15種類とやや多く、夏季に比べて春季の方が多い傾向を示した。全体では紅藻綱が9種類、褐藻綱が4種類、アオサ藻綱が5種類、合計18種類が確認された。2回のフィールド調査を通して最も多くの調査地点で確認された種類はアオサ属であり、次いでアオノリ属、フダラク、ツノマタ属の順に多かった。

また、フィールド調査による潮間帯の付着動物の出現種類リストおよび種類別出現地点数を表-1(b)に示した。確認された付着動物は、夏季が18種類であったのに対して、春季は27種類とやや多く、付着植物と同様の傾向を示した。全体では軟体動物門が10種類、節足動物門が6種類、脊索動物門が4種類、その他の動物門が7種類、合計27種類が確認された。2回のフィールド調査を通して最も多くの調査地点で確認された種類はイボニシおよびマガキであり、次いでムラサキイガイ、タテジマイソギンチャク、ツタノハガイ亜目、カラマツガイの順に多かった。

表-1(b) 付着動物の出現種類リストと出現地点数

分 類	種類名 (●は既知の指標生物を示す)	夏	春
海綿動物門	●ダイダイソカイメン <i>Halichondria japonica</i>	9	2
	普通海綿綱 <i>Demospongiae</i>		4
刺胞動物門	タテジマイソギンチャク <i>Haliplanella lineata</i>	34	27
	イソギンチャク目 <i>Actiniaria</i>	1	3
軟体動物門	●ウスヒザラガイ亜目 <i>Ischnochitonina</i>	18	9
	ツタノハガイ亜目 <i>Patellina</i>	20	30
	イボニシ <i>Thais clavigera</i>	45	30
	レイシガイ <i>Thais bronni</i>		2
	カラマツガイ <i>Siphonaria japonica</i>	4	45
	●ムラサキイガイ <i>Mytilus galloprovincialis</i>	20	49
	ミドリイガイ <i>Perna viridis</i>		1
	●ナミマガシワ <i>Anomia chinensis</i>		6
	●ケガキ <i>Saccostrea kegaki</i>		3
	●マガキ <i>Crassostrea gigas</i>	45	30
環形動物門	●カンザシゴカイ科 <i>Serpulidae</i>	13	4
	●カメノテ <i>Capitulum mitella</i>	7	2
節足動物門	●クロフジツボ <i>Tetractita japonica</i>	15	21
	●アカフジツボ <i>Megabalanus rosa</i>	1	2
	●タテジマフジツボ <i>Balanus amphitrite</i>	2	1
	フナムシ <i>Ligia exotica</i>	14	3
	●イソガニ <i>Hemigrapsus sanguineus</i>	13	4
	苔虫動物門 ●フサコケムシ科 <i>Bugulidae</i>	7	2
棘皮動物門	イトマキヒトデ <i>Asterina pectinifera</i>	3	
脊索動物門	エボヤ <i>Styela clava</i>		3
	●シロボヤ <i>Styela plicata</i>	3	4
	●ユウレイボヤ属 <i>Ciona</i> sp.		1
	ホヤ綱 (群体性) <i>Ascidacea</i>		4
全 48 地点における出現種類数		18	27

3. 検討結果

(1) 海域環境のランク分け

吉田 (1983)、横浜市環境保全局 (2002) を参考に、海域環境の指標である3つの項目 (富栄養度、内湾性、水の汚れ) および項目間の関連性に着目し、潮間帯の付着生物相により評価する海域環境をIからVまでの5段階にランク分けした。その結果を表-2に示した。

また、各ランクが示す海域環境の目安として、吉田 (1983) による夏季の水質 (5項目) を示すと、ランクI (過栄養) では透明度が3m以下、CODが3-10 O₂ ppm、DINが10-100 μg-at.N/L、DIPが1-10 μg-at.P/L、Chl.aが10-200 mg/m³、ランクIII (富栄養) では透明度が3-10 m、CODが1-3 O₂ ppm、DINが2-10 μg-at.N/L、DIPが0.2-1.0 μg-at.P/L、Chl.aが1-10 mg/m³、ランクV (貧栄養) では透明度が10m以上、CODが1 O₂ ppm以下、DINが2 μg-at.N/L以下、DIPが0.2 μg-at.P/L以下、Chl.aが1 mg/m³以下となり、ランクII (弱過栄養) およびランクIV (弱富栄養) はそれぞれ前後のランクの間中となる。

表-2 海域環境のランク分けと各ランクに相当する環境指標項目および付着生物の該当種類

ランク	I	II	III	IV	V
富栄養度	過栄養	弱過栄養	富栄養	弱富栄養	貧栄養
内湾性	強内湾性	中強内湾性	中内湾性	中弱内湾性	弱内湾性
水の汚れ	非常に汚い	とても汚い	汚い	やや汚い	きれい
付着植物	アオサ属・アオノリ属	アマノリ属・イギス目	フダラク・ムカデノリ科 シオグサ属・ハネモ属・ミル	ツノマタ属・オキツノリ・ベニスナゴ カバノリ・フクロノリ・ワカメ タマハハキモク	マクサ・カジメ属
付着動物	タデマイソギンチャク・イボシ・カラマツガイ ムラサキイガイ・マガキ・カンザシガイ科 タデマフジツボ・ユウレイボヤ属	普通海綿綱・ミドリイガイ フナムシ・イトマキヒトデ・シロボヤ ホヤ綱 (群体性)	レイシガイ・ナミマガシワ クロフジツボ・イソガニ フサコケムシ科・エボヤ	ダイダイソカイメン イソギンチャク目 ウスヒザラガイ亜目 ツツノハガイ亜目	ケガキ・カメノテ アカフジツボ

(2) 既知の指標生物のランク分け

フィールド調査により確認された付着生物の種類のうち、既知の指標生物は、新崎 (1975)、梶原 (1975)、吉田 (1983)、横浜市環境保全局 (2002) および吉村ほか (2005) を参考に、一部の種では所属する上位分類群 (属、科および亜目) を指標生物と見なし、付着植物では 13 種類、付着動物では 15 種類、合計 28 種類が挙げられた。既知の指標生物各種および分類群を表-1(a) および表-1(b) の各表中の●印で示した。これら指標生物が指標する海域環境に基づき、既知の指標生物を前項で設定した各ランクにそれぞれ振り分けた (表-2)。

(3) その他の付着生物のランク分け

フィールド調査により確認された付着生物の種類のうち、既知の指標生物以外の種類については、各種類の生理および生態を参考に、前項でランク分けした既知の指標生物の調査地点別の出現状況を基準として、各種類の出現状況を照合し、両者の出現状況の類似性に基づいて相当するランクを類推して振り分けた (表-2)。これにより、既知の指標生物の出現が無い調査地点の評価が可能となる。

(4) 生物相評価指数の算出方法

潮間帯の付着生物相に基づいて調査地点の海域環境を

数値評価するため、先の 5 段階のランクに対し、I から V の順に 1, 3, 5, 7, 9 の点数を与えた。各調査地点における付着生物の出現種類に基づき、付着植物および付着動物に区分して、各ランク毎に 1 種類以上の該当する種類があれば、ランクに対応する点数を与えることとし、全 5 ランクの点数の合計値を該当のあったランク数で除することにより付着植物相および付着動物相の定量評価指数 (小数第二位四捨五入) をそれぞれ算出した。これらの指数を生物相評価指数 (IF: Index of Flora and Fauna) とし、以降 IF と略記する。なお、同じランクに複数種類の該当があった場合の補正は行わない。

IF は、1 種類以上の付着生物の出現があれば、計算上 1.0-9.0 点の範囲を取り、付着生物の出現が無い場合は 0 点とする。ランク別の付着生物の出現状況と IF の算出例を表-3 に示した。一般に、海域環境のランクが低い調査地点では、特定の付着生物の種類に出現が限られる傾向が強いと考えられるのに対して、海域環境のランクが高い調査地点では、多様な付着生物の種類が出現する傾向が強いと考えられることから、フィールド調査における IF は、付着生物の出現が全ランクで見られる場合 (表-3 のケース 5) に最大値 5.0 点を取ると予想される。このことから、海域環境のランクに対する IF の

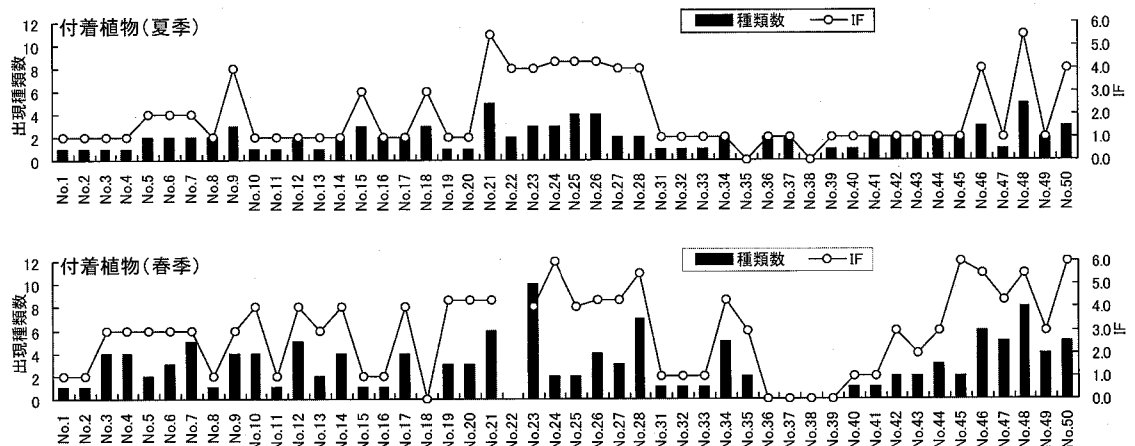


図-2(a) フィールド調査による付着植物の出現種類数および IF

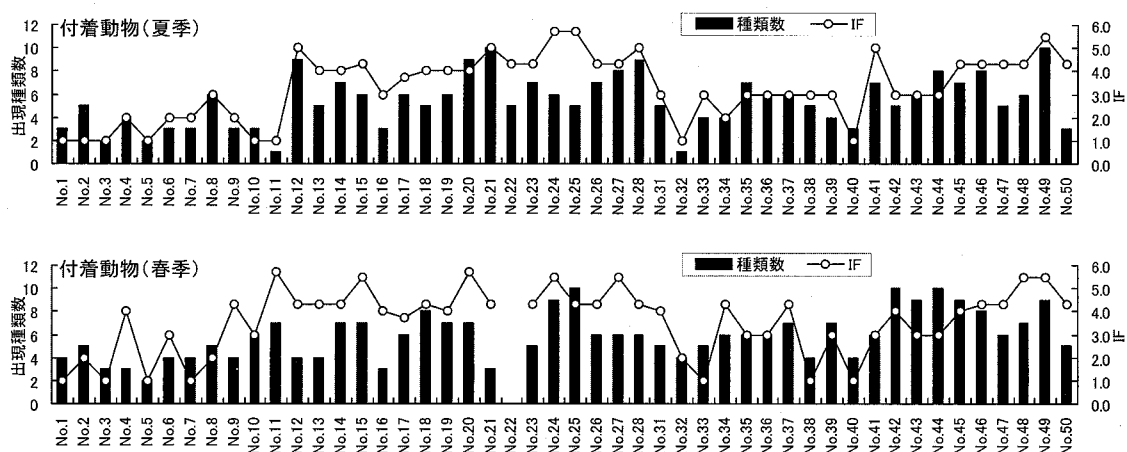


図-2(b) フィールド調査による付着動物の出現種類数および IF

目安として、ランクⅠが1前後、以降、ランクが一つ増える毎に IF は1ずつ高くなり、ランクⅤの IF は5前後と予想される。

(5) 生物相評価指数の算出結果

フィールド調査による付着植物の出現種類数および IF を図-2(a)に示した。付着植物相の IF は、夏季では最大 5.5 点、最小 0 点、全 48 調査地点の平均は 1.9 点、春季では最大 6.0 点、最小 0 点、全地点の平均は 2.9 点であり、夏季に比べて上昇した。

フィールド調査による付着動物の出現種類数および IF を図-2(b)に示した。付着動物相の IF は、夏季では最大 5.7 点、最小 1.0 点、全 48 調査地点の平均は 3.3 点、春季では最大 5.7 点、最小 1.0 点、全地点の平均は 3.6 点であり、夏季に比べてやや上昇した。

4. 考 察

(1) 生物相評価指数の変化傾向

フィールド調査による付着生物の IF を見ると、付着植物及び付着動物とも夏季に比べて春季の方が高い値を示し、海域環境が良好であると評価できた。これは、季節変化に伴って付着生物相に変化が生じたためであり、その要因としては、水温等の海域環境の変化による影響、

並びに付着生物の各種類が有する生活史の特性等によるものと考えられる。なお、付着植物については、夏季の透明度の低下による水中光量の減少による影響が考えられ、付着動物については、夏季の貧酸素化による溶存酸素の減少による影響が考えられるが、潮間帯を対象とするため、その影響は小さいと考えられた。

また、付着動物の IF は付着植物に比べて高い傾向を示した。これは、基盤に固着し、光合成により生長する付着植物に対して、一部の固着動物を除き、基盤表面を移動し、呼吸により酸素を消費し、摂餌により成長する付着動物とでは海域環境の関わり方が大きく異なり、付着動物に比べて付着植物の方が生育条件としてより良好な海域環境を必要することを示唆するものと考えられた。

(2) 生物相評価指数と水質の関連関係

兵庫県 (1999-2004)、大阪府 (2000-2005)、大阪府立水産試験場 (2001-2005) より、フィールド調査地点に

表-4 フィールド調査地点に対応させた水質測定地点

フィールド調査	水質測定	文献 (測定地点)
49-50	A	兵庫県 (No.70)
48	B	兵庫県 (No.67)
46-47	C	兵庫県 (No.66)
44-45	D	兵庫県 (No.62)
41-43	E	兵庫県 (No.65)
38-40	F	大阪府立水産試験場 (No.18)
34-37	G	大阪府 (O-3)
31-33	H	大阪府 (C-3)
1-2	I	大阪府 (S-1)・大阪府立水産試験場 (No.17)
3-5	J	大阪府 (C-4)
6-10	K	大阪府立水産試験場 (No.13)
11-18	L	大阪府 (C-5)
19-21	M	大阪府立水産試験場 (No.19)
22-27	N	大阪府 (A-3)
28	O	大阪府立水産試験場 (No.11)

表-3 ランク別の付着生物の出現状況と IF の算出例

ランク	点数	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
Ⅰ	1	有	有	有	有	有
Ⅱ	3	無	有	有	有	有
Ⅲ	5	無	無	有	有	有
Ⅳ	7	無	無	無	有	有
Ⅴ	9	無	無	無	無	有
点数合計 (T)		1	4	9	16	25
出現ランク数 (C)		1	2	3	4	5
IF (T/C)		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

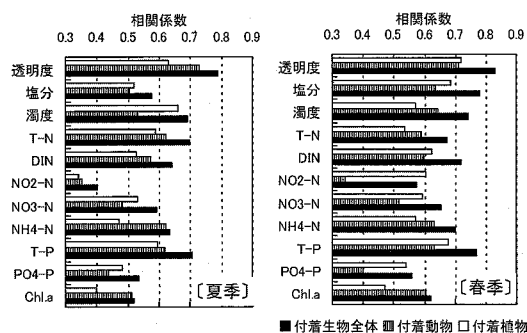


図-3 調査地点別の IF と水質の相関分析結果

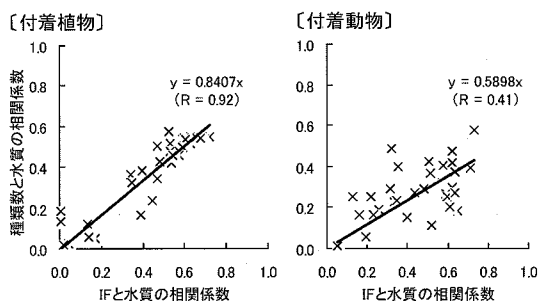


図-4 IF および出現種数と水質の相関分析結果の比較

近い公共用水域水質測定地点及び浅海定線調査地点 16 地点の過去 5 年間 (1999~2003) の平均値を集計し, IF と水質 16 項目 (透明度, 水温, pH, DO, 塩分, 濁度, SS, COD, T-N, DIN, NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, T-P, PO₄-P, Chl.a) の平均値の相関分析を行った。フィールド調査地点に対応させた水質測定地点を表-4, 調査地点別の IF と水質の相関分析結果を図-3 にそれぞれ示した。

付着植物および付着動物の IF では透明度のみ, 相関係数 0.7 以上の高い相関が見られ, 付着生物全体として両者を加算した合計値では透明度, 塩分, 濁度, T-N, DIN, NH₄-N, T-P の 7 項目で相関係数 0.7 以上の高い相関が見られた。

(3) 生物相評価指数と出現種数数の比較検討

IF の有用性を検討するため, 生物調査により海域環境を評価する際に最も基本的な指標となる出現種数数を比較対照として, 出現種数数と前項の水質の相関分析を行った。IF および出現種数数と水質の相関分析結果の比較を図-4 に示した。付着植物および付着動物とも, IF との相関係数の方が高い傾向を示すことが分かった。このことから, IF による海域環境の評価は出現種数数に比べて有用性が高いと評価できた。

5. 結 論

本研究では, 指標生物の特性を利用した生物相による海域環境の新しい数値評価方法として, 指標生物法の欠点を補った生物相評価指数 (IF) を提案し, IF と水質の相関関係から有用性が高いことを示した。

また, 海域環境の最も直接的な指標は水質であるが, 現地観測される水質データは瞬間値であるため, 一時的な海域環境の側面しか捉えられず, 同時に多くの地点のデータを得ることも難しい。これに対して, 移動性に乏しい付着生物のデータの場合, 海域環境の積分値に相当するものと考えられ, 付着生物相の IF による海域環境の評価は, 水質の欠点をカバーできるものと言える。

今後は, データの蓄積, 他の海域および生物群等に適用範囲を拡大するとともに, 簡易な評価方法である特性を活かして環境教育等への応用を試みたい。

最後に, 本研究を進めるに当たり, フィールド調査の機会を与えていただいた生態系工学研究会, フィールド調査に参加された生態系工学研究会の会員諸氏, 堺市漁業協同組合の関係各位, 調査等に協力いただいた総合科学 (株) 海域環境部のスタッフに感謝します。

参 考 文 献

- 新崎盛敏(1975): 生物指標としての海藻, 環境と生物指標 2 (水界編), 共立出版, pp. 215-224.
- 伊藤信夫(1998): 環境指標生物, 沿岸の環境圏, フジ・テクノシステム, pp. 814-831.
- 大阪府(2000-2005): 公共用水域水質測定調査, 平成 10-15 年度大阪府域河川等水質調査結果報告書.
- 大阪府立水産試験場(2001-2005): 浅海定線調査, 平成 11-15 年度大阪府立水産試験場事業報告.
- 奥谷喬司(2000): 日本近海産貝類図鑑, 東海大学出版会.
- 梶原武(1975): 海洋環境の指標としての付着動物, 環境と生物指標 2 (水界編), 共立出版, pp. 274-283.
- 田中次郎・中村庸夫(2004): 日本の海藻 (基本 284), 平凡社.
- 西村三郎(1992): 原色検索日本海岸動物図鑑 (I), 保育社.
- 西村三郎(1995): 原色検索日本海岸動物図鑑 (II), 保育社.
- 兵庫県(1999-2004): 公共用水域水質測定調査, 平成 10-15 年度公共用水域の水質等測定結果報告書.
- 八杉龍一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆編(1996): 生物分類表, 岩波生物学辞典 (第 4 版), 岩波書店, pp. 1535-1617.
- 横浜市環境保全局(2002): 生物指標から見た水質汚染状況, 横浜の海岸の生きものたち (川と海の生き物シリーズ 6).
- 吉田陽一(1983): 生物指標法, 漁業環境アセスメント (吉田多摩夫編), 水産学シリーズ 48, 恒星社厚生閣, pp. 25-46.
- 吉村直孝・上月康則・三好順也・村上仁士・亀田大悟(2005): 小型水中カメラを用いた直立構造物における簡易的な付着生物調査方法の提案, 海洋開発論文集, 第 21 巻, pp. 241-246.