

大阪産業大学 学生員 香川大輔、正会員 樫木亨
東洋建設㈱ 正会員 田中裕作、寺田美香里

1. はじめに

筆者らは、捨石堤の海水浄化機能および生態系回復機能を検討するため、尼崎港奥部に仮置きされた捨石周辺の水質、生物種等の調査を1994年10月から4年間実施した。その調査結果のうち植物プランクトンの群集構造に着目し、多様度指数と水質測定結果を用いて主成分分析を行ない、これらの組み合わせによる環境評価指標としての有効性について考察した。

2. 調査内容

調査内容および分析項目を表-1に示す。水質分析および植物プランクトン分析には海面下0.5mで採取したサンプルを用いた。

表-1 調査内容および分析項目

水質	pH、SS、COD、DO、塩分、水温、クロロフィルa
	総窒素、アモニア態窒素、硝酸態窒素
生物	植物プランクトン
その他	調査前日の日照時間

3. 植物プランクトンの量と群集構造

一般的に、海域の富栄養化が進むほど一次生産量は大きくなる。その結果は見た目には海水の透明度の低下となって現れ、極端な場合には赤潮となる。また、水質測定結果としてはSS、COD、クロロフィルaなどの増加、生物調査結果としては植物プランクトン細胞数の増加という「量」の形で把握される。

一方、植物プランクトンの種構成の特性に着目すると、富栄養化が進むほど特定の種が優占しやすくなることから、生物群集構造の多様さを示す多様度指数が環境評価にとって重要な指標となる。ここでは多様度指数DIは次式で表されるShannon-Weaver(1949)の式を底を10として用いた。

$$DI = - \sum \frac{n_i}{N} \log \frac{n_i}{N} \quad \begin{array}{l} N: \text{試料中の総細胞数} \\ n_i: i \text{ 番目の種類の細胞数} \end{array}$$

これらの量を表す指標と群集構造を表す指標をそれぞれ単独ではなく、組み合わせて使うことによって海域環境の評価を試みた。

種々の組み合わせの中から、植物プランクトンの多様度

指数を縦軸に、クロロフィルaを横軸にとり、測定値をプロットした散布図を図1に示す。これをここでは多様度指数-クロロフィルa法と呼ぶ。

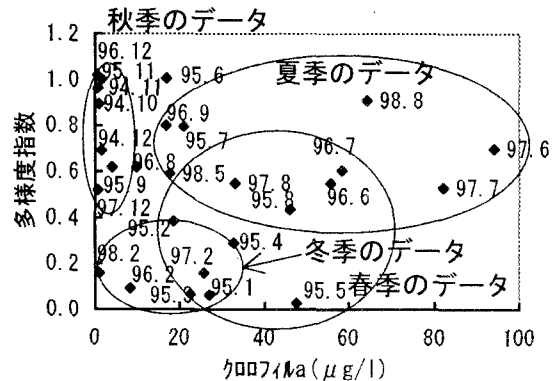


図1 多様度指数-クロロフィルa法

このグラフ上のデータは季節毎にグループ化できる。細胞数の少ない秋季(9~12月)は特に優占種がないため、クロロフィルaは小さく多様度指数は大きい。一方、冬季(1~3月)は *Skeletonema costatum* (スケレナ) のみが優占して増殖し、90%以上を占めるため、クロロフィルaはやや小さく多様度指数は小さい。春季(4~5月)はスケレナ以外の種も増えるため、クロロフィルaが大きく多様度指数は中程度である。夏季(6~8月)はそれ以外に他の珪藻類やプラシ藻類、鞭毛藻類などが増えるため、クロロフィルaも多様度指数も大きい値となった。季節による環境の変動が明瞭に見られる。以上の季節毎の特徴を表2にとりまとめる。

表2 多様度指数-クロロフィルa法により判定した季節毎の特徴

	春	夏	秋	冬
クロロフィルa	高い	高い	低い	やや低い
多様度	中程度	大きい	大きい	小さい

しかし、この図には採用した2つの指標以外の情報は盛り込まれていないため、海域の生物環境を十分に表現している保証はない。そこで、すべての測定項目を用いて主成分分析を行うことによって、より多くの情報から生物環境を判定し、多様度指数-クロロフィルa法から得られる知見と比較することによってこの方法の実用性を検討する。

4. 主成分分析

主成分分析は表1の測定項目すべてを用いて行った。ただし、総窒素、総リンは無機体成分を差し引いた有機態窒素、有機態リンとして扱った。また、植物プランクトンについては、個体数はクロフィラで表現できるため多様度指数(DI)のみを用いた。

主成分分析の計算結果より、第1主成分Z1と第2主成分Z2は以下の式で表せる。

$$Z1 = [31(\text{chl. a}) - 2(\text{NO}_3 \cdot \text{N}) + 1(\text{NO}_2 \cdot \text{N}) - 19(\text{NH}_4 \cdot \text{N}) + 33(\text{orgN}) + 5(\text{PO}_4 \cdot \text{P}) + 47(\text{orgP}) + 45(\text{COD}) - 38(\text{塩分}) + 22(\text{pH}) - 4(\text{DO}) + 35(\text{水温}) + 8(\text{日照時間}) + 14(\text{DI})] / 100$$

$$Z2 = [-16(\text{chl. a}) - 10(\text{NO}_3 \cdot \text{N}) + 5(\text{NO}_2 \cdot \text{N}) - 6(\text{NH}_4 \cdot \text{N}) + 16(\text{orgN}) + 37(\text{PO}_4 \cdot \text{P}) - 6(\text{orgP}) - 17(\text{COD}) + 21(\text{塩分}) - 13(\text{pH}) - 63(\text{DO}) + 31(\text{水温}) + 15(\text{日照時間}) + 43(\text{DI})] / 100$$

上式において各測定値にかかる係数を固有ベクトルといい、主成分Z1およびZ2の性格を決定づける。それを視覚的に表現するため、横軸に第1主成分、縦軸に第2主成分の固有ベクトルをとった散布図を図2に示す。

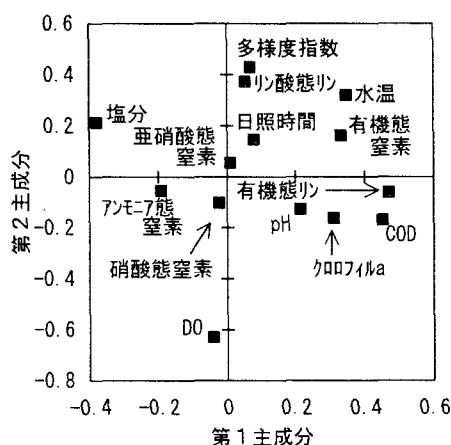


図2 固有ベクトルの散布図

図2において、第1主成分についてはCOD、有機態窒素、有機態リン、クロフィラに高い係数がかかっていることから、有機汚濁度が高いほど値が大きいことが読み取れる。同様に、水温が高いほど、塩分が低いほど値が大きいという性格を持っている。第2主成分については、多様度指数が大きいほど値が大きく、DOが低いほど値が大きいという性格である。

このような第1、第2主成分の性格を把握した上で、測定値を上出のZ1、Z2計算式に当てはめて各測定単位の主成分スコアを算出する。ここでは、同一日、同一測点の14項目の測定値の集まりを測定単位と呼

ぶ。主成分スコアの値は、それぞれの測定単位が各主成分の性格を持つ度合いを示している。横軸に第1主成分、縦軸に第2主成分をとり、各測定単位の主成分スコアをプロットした散布図が図3である。

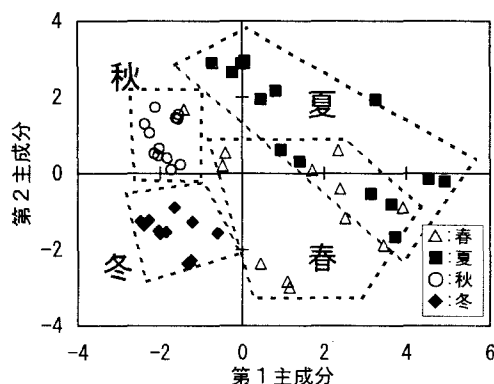


図3 主成分スコアの散布図

主成分スコアの散布図を見ると、各測定単位が季節毎にグループ化されていることが分かる。例として春のデータを前述の各主成分の性格付けと合わせて判定すると、第1主成分が大きいことから有機汚濁度が高く、水温が高く、塩分が低いことが分かる。第2主成分がやや小さいことから多様度指数がやや小さく、DOがやや高いことが分かる。同様に、季節毎の特徴を散布図より読み取った結果を表3に示す。

表3 主成分分析により判定した季節毎の特徴

	春	夏	秋	冬
有機汚濁	高い	高い	低い	低い
多様度	やや小	大きい	大きい	小さい
水温	高い	高い	低い	低い
塩分	低い	低い	高い	高い
DO	やや高い	低い	低い	高い

5. 評価結果の比較

多様度指数-クロフィラ法による季節毎の特徴の判定結果(表2)と主成分分析による判定結果(表3)を比較する。クロフィラは植物プランクトンの量を表す指標であるため、これを有機汚濁度と読み換えると、有機汚濁度と多様度に関して2つの判定結果はほぼ一致する。その他の表2にない項目のうち、水温の年間変動は自明のことである。残る塩分とDOについては多様度指数-クロフィラ法では表現できない項目である。以上より、多様度指数-クロフィラ法を用いて生物環境を評価する試みは、主成分分析よりも表現できる情報量は少ないが、評価の正確さという点では実用に値すると考えられる。