

博多湾における自然環境特性について

ON THE NATURAL ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS IN THE HAKATA BAY

原喜則¹・藤岡将治²・小島治幸³・江崎政文⁴・山城賢⁵

Yosinori HARA, Syouji FUJIOKA, Haruyuki KOJIMA, Masafumi EZAKI, and Masaru YAMASIRO

¹学生会員 工修 九州共立大学大学院 環境・都市システム工学専攻 (北九州市八幡西区自由ヶ丘1- 8)

²非会員 学士 システム・センサー株式会社 (福岡市博多区博多駅東3丁目11-14)

³正会員 工博 九州共立大学 教授 工学部 土木工学科 (北九州市八幡西区自由ヶ丘1- 8)

⁴学生会員 学士 九州共立大学大学院 都市システム工学専攻 (北九州市八幡西区自由ヶ丘1- 8)

⁵正会員 博士 (工学) 九州大学大学院 助手 工学研究院 環境都市部門 (福岡市東区箱崎6- 10- 1)

Hakata Bay is an enclosing costal sea, whose hinterland is a large urban settlement with the population of about 1.4 millions. Construction of an artificial island has been carrying out at the inner part of the bay. The state of natural environments of Hakata Bay are main issues among the city government, citizen and scientists. The aim of this study is to investigate natural environmental characteristics of Hakata Bay by using data of various observation for water and sediment quality, benthos, marine planktons, and so forth. The multivariate statistical analysis and the proposed the environmental evaluation method are applied for studying natural environmental qualities of Hakata Bay and to verify validity of the proposed evaluation method. It is found that some of the water quality elements like T-P and SS have been constantly improving, although the physical environment is deteriorating due to construction of the artificial island. The proposed evaluation method clearly indicates this trend.

Key Words: *Environmental evaluation method, multivariate analysis, physical environment, bio-chemical environment*

1. はじめに

福岡県にある博多湾は、東西の延長が約20km、南北が約10km、面積が約133 km²に対して湾口幅が7.5kmと狭く、典型的な閉鎖性海域である。平均大潮時における潮位差が2.09mであり、東部(湾奥)に面積が約80haの和白干潟がある。北側の海の中道は自然の砂浜海岸が続き、南側は博多港の港湾施設で覆われている。また、和白干潟前面に面積約4km²の人工島が建設中で、1994年(H6年)に着工し、2001年(H13年)9月に護岸の約9割が完成した。博多湾の背後には人口約140万人の福岡市がひかえている。流入河川は、那珂川、御笠川、多々良川など二級河川が11水系37河川で、流域面積は690km²である。このように博多湾は、人為的な負荷が大きく、その負荷が自然環境に対してどのような影響を与えるかを把握することが重要な課題である。そのために各公的機関が定期的に多大な費用をかけ現地観測を行っているが、それらのデータを十分に活用できていないと言え難い。その一つの理由として、沿岸域の環境評価法が定まっていないためと考えら

れる。また、沿岸域の環境評価は、物理環境、水質・底質や生息生物を考慮した総合的な環境評価を行う必要があると考えられる。水質¹⁾、底質・底生生物^{2), 3), 4)}など個々の要素についての環境評価法の研究は増えてきたが、総合的に環境評価^{5), 6)}を行った研究は数少ないのが現状である。

本研究では、博多湾で実施されている各種観測調査から得られたデータを分析することにより水質・底質・底生生物・プランクトンなどの自然環境に対して、場所的変化および経年的変化を明らかにし、多変量解析を用いて博多湾の自然環境特性を把握する。また、著者ら⁷⁾が提案している物理、生物・化学的環境要素を考慮した評価法(環境座標系)を博多湾に適用し、環境評価を行うことを目的とする。特に、この評価法の妥当性を多変量解析の統計的な結果と比較し検証することを試みる。

2. 研究方法

(1) 博多湾の既存資料調査および調査方法

既存資料調査は、福岡市環境局の福岡市水質測定結果報告書⁸⁾、独立行政法人国立環境研究所の公共用水域水質年間値データファイル⁹⁾、アイランドシティ整備事業環境監視結果¹⁰⁾を用いた。自然環境指標の項目は、水質、底質、プランクトン、底生生物とし、各環境要素は表-1に示すものとした。図-1は海域部の水質および底質の測点で、博多湾海域を外海部・湾口部・中央部2・中央部1・湾奥部と大きく5つに区分した。水質は、M, H, W, C, E測点で毎月測定しており、W-3, 6, 7, C-1, 4, 10, E-X2, E-2, 6では底質も測定している。底質と底生生物は図-2に測点を示し、海域部(T測点)と海浜部(H測点)に分けた。底質は夏季と冬季、底生生物は年度に4回測定している。H測点の底質では低・中・高潮位、底生生物ではH-7~10で低・中・高潮位、その他は各潮位の混合したもので測定している。プランクトンは、毎月測定され、その測点を図-3に示す。これら水質、底質、底生生物、プランクトンを各年度ごとの海域別または各測点で比較検討した。また、本研究では外海部のデータが少ないため省略した。

表-1 自然環境指標の項目

指標	環境要素
水質	(1)水温 (2)pH (3)透明度 (4)濁度 (5)SS (6)VSS (7)COD (8)DO (9)T-N (10)T-P (11)Cl ⁻ (12)クロロフィルa
底質	(1)COD (2)T-N (3)T-P (4)硫化物 (5)強熱減量 (6)粒度組成
プランクトン	(1)植物プランクトンの種数と細胞数と沈殿量 (2)動物プランクトンの種数と個体数と沈殿量
底生生物	(1)各種の種数と個体数と湿重量

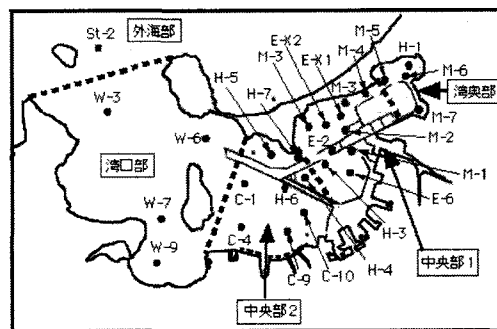


図-1 水質および底質の測点

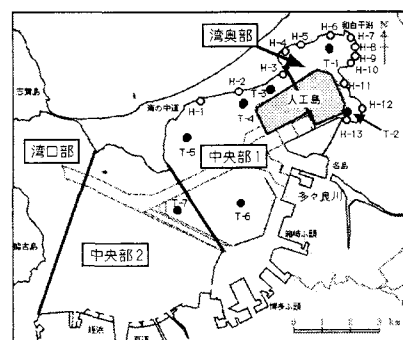


図-2 底質および底生生物の測点

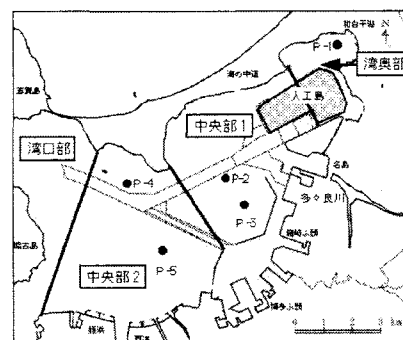


図-3 プランクトンの測点

(2) 環境評価法と多変量解析による検証について

博多湾の自然環境を評価するため、著者らが提案している環境座標系を用いて、海域ごと、湾全体などの経年の環境度を求め評価する。この評価法の特徴は、図-4のようにPBやPDの勾配がわかることである。この勾配が緩やかな場合は、物理的な環境の変化に生物・化学的環境があまり敏感に反応しない海域で、勾配がきつい海域は、物理的な環境の変化に生物・化学的環境が敏感に反応するということが考えられる。環境度は、相対評価法と絶対評価法の2種類を用いる。詳細は、原ら⁷⁾の参考文献を参照して頂きたい。

多変量解析¹¹⁾は、主成分分析とクラスター分析を海域ごと、湾全体などで行う。その結果から海域の類似性を調べ、また、その固有ベクトルの寄与の方向と内容を吟味し、自然環境特性を把握する。

3. 結果と考察

(1) 博多湾の自然環境特性

a) 海域別における物理環境の特性

図-5は、物理要素である開口度と海表面積を各海域ごとに経年的に示している。開口度とは山城ら¹⁾にしたがい、(開口幅)と(海表面積の平方根)の比である。海表面積は海図等から得たものである。人工島の建設によりH6年度からH10年度にかけて湾奥部の海表面積と開口幅が減少したため、開口度も減少した。

b) 海域部における水質、プランクトンの特性

図-6は、水質要素の年平均値を各海域ごとに平均したものであり、上からSS, COD, T-N, T-Pの

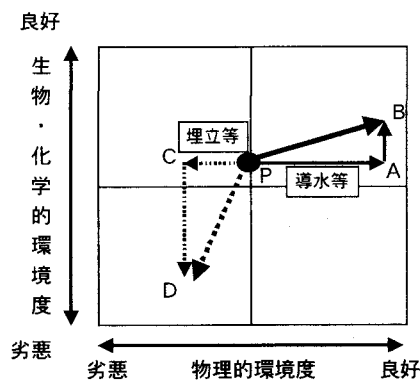


図-4 環境座標系の概念図

経年的変化を示している。水質要素に関して、海域によって異なる傾向がみられた。それは、湾奥に向かうほど値が大きくなる傾向があり、その傾向は特にT-N、T-Pで顕著にあらわれた。博多湾が閉鎖性海域であるため湾奥に行くほど高い値となると考えられるが、CODでは、湾奥部と中央部1、2の値が3mg/l 前後、湾口部では2mg/l 前後であり海域全般において差があまりないことが分かる。

次に、経年的な変化をみると、SS、T-Pにおいてほぼ全ての海域で減少傾向がみられ、特に湾奥部でのSSはH13年度に約6mg/l、T-PにおいてもH14年度には約0.04mg/l と他の海域とほぼ同じ値である。CODにおいては、中央部2以外は減少傾向であり、約0.5mg/l 減少している。これらの要因として図-7に示す下水道の普及率が考えられる。中央部1に流入している多々良川の処理区ではH6年度から供用が開始され、H15年度には普及率が57%に達している。他の河川では、8割以上の普及率である。

図-8に示す動・植物プランクトンの多様度指数 λ' では、海域による差はあまりない。動物プランクトンは全海域で0.7前後になりますます良好な環境であると言える。しかし、植物プランクトンではH10、11年度で0.5前後になり良好とはいえない年がある。また、植物プランクトンの方が λ' の変動が大きい傾向が見られる。

c) 海域部における底質、底生生物の特性

海域部における底質特性を図-9に示す。これらも水質同様に海域ごとに平均したものである。上からCOD、強熱減量、全硫化物、T-N、T-Pである。まず、場所的な特徴からみると、中央部1の値が最も高くなり、その次に値が高いのは中央部2、値が低いのが湾奥部、湾口部となった。CODと強熱減量では、湾口部と湾奥部の値がほぼ同じとなった。また、CODでは中央部1、2で約20mg/gと湾口部、湾奥部の約10mg/gとでは2倍程度の違い、強熱減量ではそれぞれ約12%と約4%となり3倍程度の違いがある。図は載せていないが粒度組成の粘土+シルト分が、中央部1、2で85%以上ありヘドロ状であり、湾奥部では粘土+シルト分が55%以下であった。

次に、経年的な変化として、CODでは中央部1、2は減少傾向である。特に、中央部1のH5年度とH14年度を比較すると約8mg/g減少している。T-Nも減少傾向である。全硫化物の中央部1は変動が大きく、増加傾向である。強熱減量、T-Pはほぼ一定である。

底生生物の種類数と多様度指数 λ' を図-10に示す。海域別の種類数(上図)をみると、中央部1が最も少ない傾向にあり、経年的には湾奥部でH7年度以降は増加傾向である。また、中央部1においてH5年度から増加しH9年度の約20種をピークにそれ以降は減少傾向にある。多様度指数 λ' (下図)における経年的変化は、中央部2では変動が大きい、H8年度をピークにH12年度まで減少し、それ以降は増加傾向である。中央部1は変動が小さく、湾奥部とともにH11年度以降は若干減少傾向である。

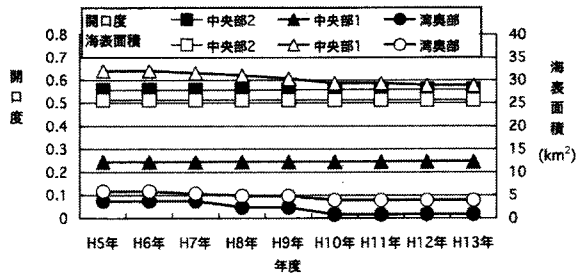


図-5 海域物における物理要素の経年変化

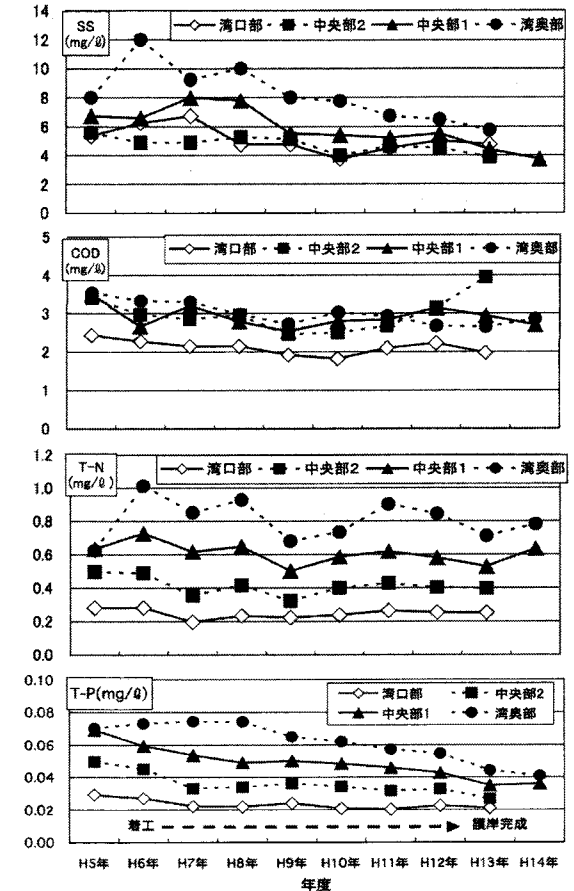


図-6 海域別における水質の経年変化

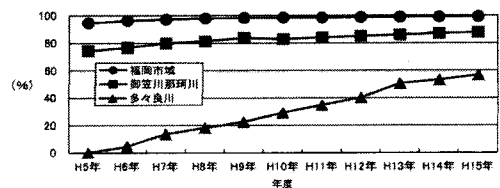


図-7 下水道の普及率

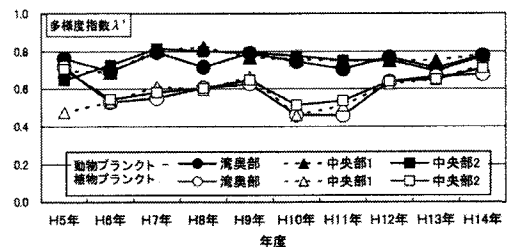


図-8 海域別におけるプランクトンの経年変化

d) 海浜部における底質、底生生物の特性

海浜部（H測点）における底質要素のCOD、強熱減量、全硫化物に対する場所的变化を図-11に示す。これは、各測点ごとに全ての年の観測値を平均したものである。3つの要素とも沿岸に沿って値が高い区域と低い区域があらわれた。H-1～3の砂浜海岸である海の中道付近は値が小さく、H-4～6の奈多付近で増加し、H-7～10の和白干潟で減少し、人工島背後のH-11～13で増加する傾向がある。また、粒度組成の粘土+シルトをみると、H-1～3では2%、H-4～6では3.5～7%、H-7～10では2.5～4%、H-10～13では9～35%となり、粘土+シルトが多い区

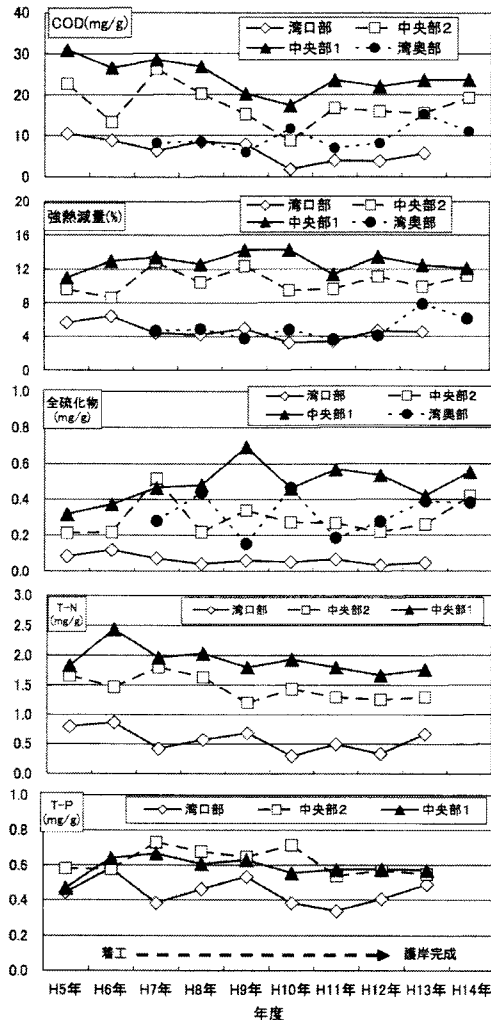


図-9 海域別における底質の経年変化

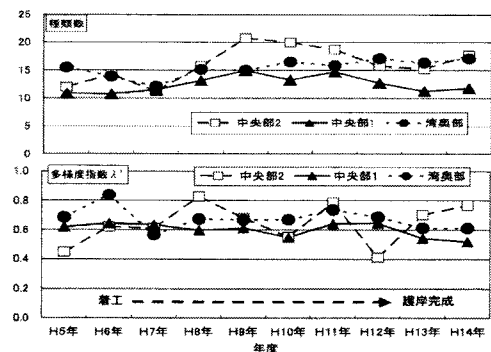


図-10 海域別における底生生物の経年変化

間では3つの要素が高くなる傾向にある。

これらの傾向が似ている場所をH-1～3、H-4～6、H-7～10、H-11～13の4つに区分けし、区分内で平均した値の経年変化を調べた結果が図-12であり、上からCOD、全硫化物、強熱減量となっている。CODからみると、H-1～3とH-7～10、それぞれ1mg/gと2mg/g前後を取りほぼ一定である。H-4～6ではばらつきが大きい若干増加傾向にある。H-11～13は、H6年度に前年度の3mg/gから4.2mg/gと1.2mg/g増加し、その後も若干の増加傾向である。全硫化物においては、着工後のH6年度に全区間で増加している。特にH-11～13では約2倍に増加し、その後H10年度までは減少し、それ以降は増加している。H-1～3とH-7～10はH6年度で若干増加するがその後はほぼ一定である。強熱減量では、H-11～13で若干の減少傾向であるが、全体的にはほぼ一定となっている。

海浜部における底生生物の種類数（上図）と多様度指数 λ' （下図）を図-13に示す。種類数のH-1～3とH-4～6では、5種類程度の増加傾向である。和白干潟のH-7～10と人工島背後のH-11～13ではH11年度以前は16～17種類でほぼ同じ値になっているが、H11年度以降は両区域で減少傾向である。多様度指数 λ' では、和白干潟や人工島背後のH-7～13の方が、H-1～6よりも値が大きく生物が豊かである。経年的にはH-1～6が増加傾向で、近年区域による違いが少なくなっている。

(2) 多変量解析と環境評価手法の結果

a) 多変量解析結果

図-14、15は、各要素を中央部1、2、湾奥部（以降、湾全域とする）で平均した年度ごとの値に対するクラスター分析と主成分分析の結果である。図-14のクラスター分析から経年的にA、B、Cグループの3つに分けることができる。図-15は、主成分分析の散布図であり、横軸に第1主成分、縦軸に第2主成分を取り、クラスター分析のグループを表示したものである。第1主成分における固有ベクトルの絶対値において、開口度、海表面積、T-P（水質）、COD（底質）、SS、T-N（底質）が大きいことから物理環境と化学的環境をあらわしていると考えられ、第2主成分は、T-P（底質）、動物プランクトン、全硫化物が高いことから、動物プランクトンの豊かさと底質環境をあらわしていると考えられる。Aグループは、物理環境は良いが水質および底質の有機物などが多い。Bグループは、人工島の建設により物理環境は悪化してきており、水質、底質の一部が悪化した。Cグループは、さらに物理環境が悪化し、H13年度には護岸が完成したが、水質および底質の有機物などが減少している。特にT-P、SSがかなり減少し水質が改善している。

図-16は、湾奥部における水質要素と物理要素の主成分分析の結果であり、図は示さないがクラスター分析からA、B、Cに分けた。一部のデータがないH5、H14年度は省略した。第1主成分の固有ベ

クトルの絶対値において、透明度、海表面積、開口度、透明度が大きいことから、第1主成分は物理環境と水のすみ具合をあらわしていると考えられ、第2主成分はT-N、T-Pが大きいことや、図-6の湾奥部のT-Nと同じような変化をしていることから、栄養塩類の量をあらわしていると考えられる。これらを考慮すると、Aグループは、物理環境が良好だが栄養塩類が多く水が濁っている。Bグループは、物理環境が悪化してきたが、水のすみ具合が改善傾向にある。Cグループは、物理環境が最も悪いが、水のすみ具合やT-Pは改善された。湾奥部では、人工島の影響で物理環境が悪化するが、下水道整備な

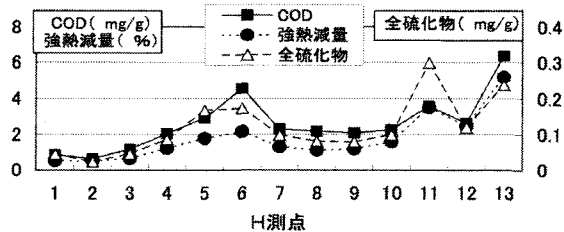


図-11 海浜部における底質の場所的变化

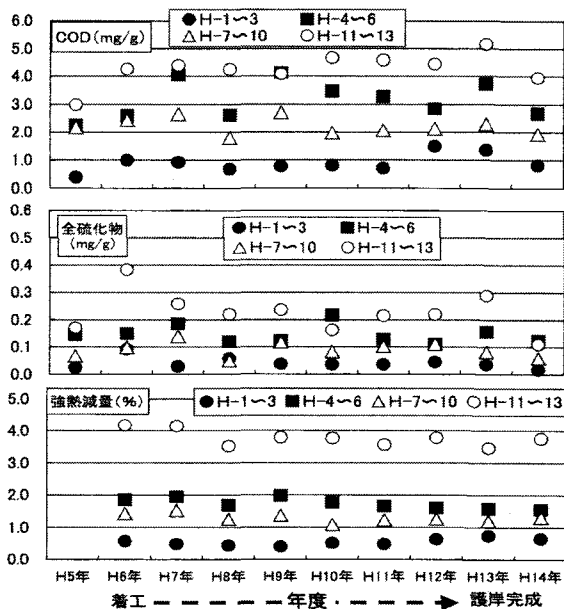


図-12 海浜部における底質の経年変化

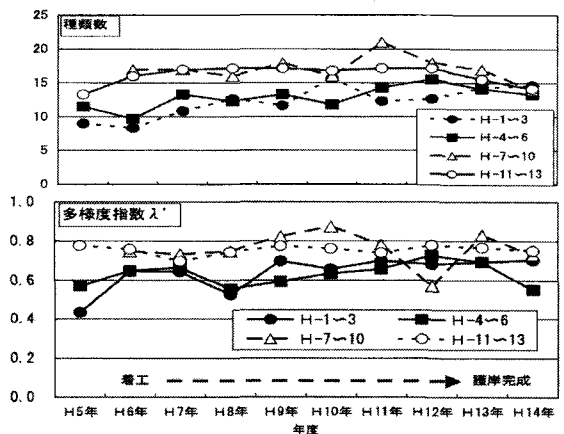


図-13 海浜部における底生生物の経年変化

どの影響で水質の改善効果が分析結果に表れていると考えられる。

b) 環境評価手法結果

博多湾全域における各年度の環境要素に対して、著者らが提案している環境評価法⁷⁾を適用した結果を図-17に示す。相対評価法(左図)と絶対評価法(右図)であり、縦軸が生物・化学的環境度、横軸が物理的環境度である。生物の項目には、多様度指数 λ' を用いた。両評価法ともに、H5年度～H7年度の物理的環境は良好だが、人工島の建設が進みH8年度以降は、物理的環境が悪化するが、生物・化学的環境度は経年的に上昇傾向にある。相対評価法の生物・化学的環境度を見ていくと、水質・底質などの実測でも劣悪な環境と思われるH6年度の評価が低く、それ以降は、水質の改善傾向とともに上昇している。H10年度の評価が低いのは、多様度指数全般が低いなどの理由が考えられる。

水質基準などを用いた評価法の絶対評価法においては、生物・化学的環境度の経年変化は相対評価法ほどの上昇は見られないが、全般にプラス側にきている。これは、今回用いた基準で評価すると、博多湾の自然環境は劣悪でないことを表している。

湾奥部における水質要素と物理要素のみのデータに対して環境評価法を適用した結果を図-18に示し、縦軸が水質環境度、横軸が物理的環境度である。相対評価法は、先程の全域と同じような傾向である。絶対評価法は全般的にマイナスとなっており、湾奥部の水質が環境基準などと比較するとやや劣悪な環境だということを表している。また、経年的には上昇傾向でH13年度にはプラスになっており、湾奥の経年的水質特性と一致している。

(3) 主成分分析と環境評価法の比較

図-15の主成分分析の結果と図-17の両評価法ともに、物理環境は良いが生物・化学的環境があまり良くないH5～7年度、物理環境が悪化し始めたが水質が改善に向かい始めたH8～9年度、物理環境はかなり悪化するが下水道整備などの影響で水質などが改善されてきたH10～13年度などを表現することができた。既存資料調査から得られた博多湾全域の自然環境特性と合致する評価結果が得られたと考える。

湾奥部の図-16の主成分分析の縦軸は栄養塩類の量に大きく左右されることから、自然環境の良さ悪さが判断しづらい図になったが、固有ベクトルの内容で考えると環境評価がある程度できる。図-18の両評価法は、主成分分析の結果と比べると水質の環境の変化がかなり見やすくなり、湾奥の環境特性を妥当に表現した結果と考える。

多変量解析でも自然環境の評価がある程度できた。その結果と環境座標系を比較することにより、環境座標系について統計学的な検証がある程度行えたと考える。また、主成分分析では、環境の良さ悪さを定性的にしか評価できないが、絶対評価法では定量的な評価結果を得ることができる。

4. まとめ

本研究により次のことを明らかにした。

- 1) 博多湾の自然環境特性として、水質は閉鎖性海域のため湾奥に行くほど悪化する傾向があるが、SSやT-Pの値は経年的に減少傾向にある。底質の海域部では中央部1, 2, 海浜部ではH-4~6とH-11~13で各要素の値が高くなる場所的特性があらわれた。
- 2) 提案している環境評価法により博多湾の自然環境を経年的に評価すると平成6年度以降、人工島の埋立てなどで物理的環境が悪化するにも関わらず、水質の改善に伴い生物・化学的環境度はよくなっている。これは、物理的環境の変化による影響よりも下水道普及率などの環境改善事業の効果が現れた結果と考えられる。しかし、湾奥部の水質環境は、環境基準等と比較すると必ずしも良好とは言えない。
- 3) 多変量解析の結果および博多湾の自然環境の経年的な特性と比較して両評価法の検証はある程度できたと考える。今後の課題としては、評価方法の検証方法、生物あるいは生態系の評価の方法、絶対評価法の仕切値の設定などのさらなる検討が必要である。

参考文献

- 1) 山城賢，入江功，山口義幸，長山達哉：海域水質環境の全国的相対比較，海洋開発論文集，第20巻，pp.559-604，2004
- 2) 中村俊昭，和野信一，稲田勉，伊藤鉄文，寺中啓一郎：環境修復プロセスの評価手法の研究，日本沿岸域会議論文集，第7巻，pp.37-50，1995
- 3) 和野信市，榛澤芳雄，長尾義三，近藤健男，寺中啓一郎，古谷純一：生物多様性を考慮した海底環境評価手法，日本沿岸域学会論文集，第9巻，pp.27-39，1997
- 4) 岡部順，藤井敬宏：沿岸域における環境価値の評価に関する研究，日本沿岸域学会論文集，第10巻，pp.15-25，1998
- 5) 小島治幸，上殿高広，岡野太樹，原喜則，入江功，山城賢：北部九州沿岸における自然環境指標の特性に関する研究，海岸工学論文集，第49巻，pp.1146-1150，2002
- 6) 山城賢，入江功，長山達也，小島治幸：九州沿岸の環境破壊脆弱性の評価に関する研究，海岸工学論文集，第50巻，pp.1271-1275，2003
- 7) 原喜則，小島治幸，入江功，山城賢：沿岸域の自然環境評価手法に関する研究，海洋開発論文集，第20巻，pp.425-430，2004
- 8) 福岡市環境局：福岡市水質測定結果報告書，平成10年度版～平成12年度版
- 9) 独立行政法人国立環境研究所：公共用水域水質年間値データファイル，1971～2000年度版
- 10) アイランドシティ整備事業環境監視結果：平成5年度版～平成13年度版
- 11) 柳井晴夫，高木廣文：多変量解析ハンドブック，現代数学社，pp.1-239，1995
- 12) 小笹博昭，村上和男，浅井正，中瀬浩太，綿貫啓，

山本秀一：多様度指数を用いた波高・港湾構造形式別の付着生物群集の評価，海岸工学論文集，第42巻，pp.1216-1220，1995

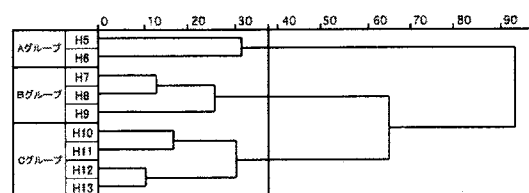


図-14 博多湾全域における樹形図

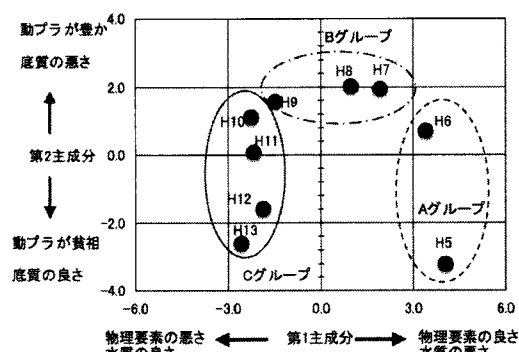


図-15 博多湾全域における主成分散布図

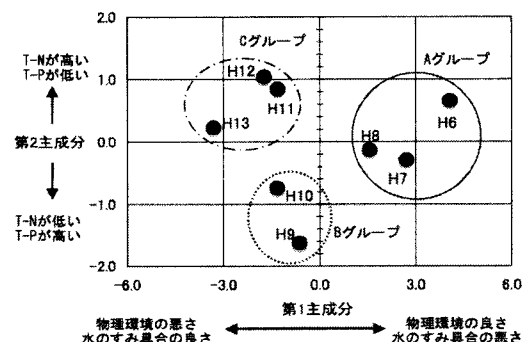


図-16 博多湾の湾奥部における主成分散布図

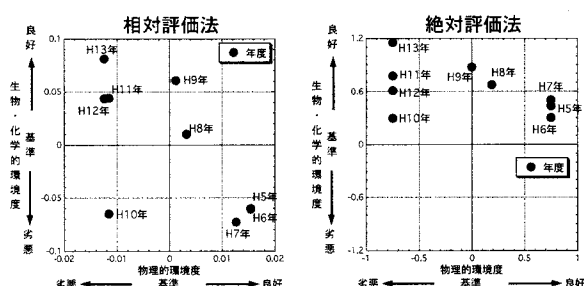


図-17 博多湾全域における環境度

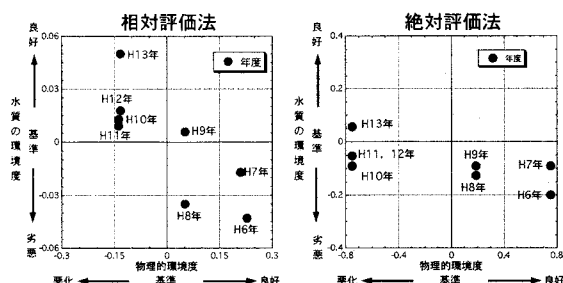


図-18 湾奥部における水質に関する環境度