

海域水質環境の全国的相対比較

EVALUATION OF THE RELATIVE WATER QUALITY OF SEA AREAS IN JAPAN

山城 賢¹・入江 功²・山口義幸³・長山達哉⁴

Masaru YAMASHIRO, Isao IRIE, Yoshiyuki YAMAGUCHI and Tatsuya NAGAYAMA

¹正会員 博(工) 九州大学助手 大学院工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

²正会員 工博 九州大学名誉教授 大学院工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

³学生会員 九州大学工学部地球環境工学科 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

⁴学生会員 九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

To evaluate the water quality of sea areas in Japan, the public observation data on water quality were collected. And, the index of the water quality, which has obtained from the five factors (COD, TN, TP, DO and coliform group) at 952 observation points by the principal component analysis, was proposed. And, the relative water qualities at the 952 observation points were evaluated with the water quality index. The evaluation shows that the water qualities are relatively bad in sea areas near the big cities and in large harbors. Then, the relationship between the water quality index and physical conditions of bay (bay-opening-width, tides, average-bay-depth, etc.) were investigated about 56 bays. Except some bays of very bad water quality, it was found that the water quality becomes good with the increase of bay-opening width.

Key Words : water quality, water quality index, principal component analysis,
physical conditions of bay

1. まえがき

沿岸域の開発や環境保全, 環境修復を進める際には海域の環境を総合的に評価することが必要である。海域環境の評価においては, 水質や底質, 生物の様々な項目について調査し, 個々の項目について環境基準等と比較するなどして評価される。一方で, 底質の有機汚染指標¹⁾, 三村ら^{2), 3)}, 小島ら⁴⁾による環境評価法など様々な評価法が提案されている。これらの評価法は, 幾つかの項目から合成指標を算出してそれにより環境評価を行うというものであり, 代表指標で比較するため, 異なる海域の環境を相対的に比較することが容易であり, 開発予定地などを選定する際の1つの判断材料となり得る。しかし, これらの環境評価手法は, 未だ研究段階であり, 実用的な段階には至っていないものと思われる。

著者らは, 小島ら⁴⁾と同様に海域の環境は物理的要因(潮位差, 開口度など)と生物化学的要因(水質, 底質, 生物)に支配されるものとし, 前者を物理的環境度, 後者を生物化学的環境度と呼ぶ代表指標で表し, 海域環境を座標図上で表す評価法(環境座標図)を考案した⁵⁾。図-1は, 九州沿岸の12海域

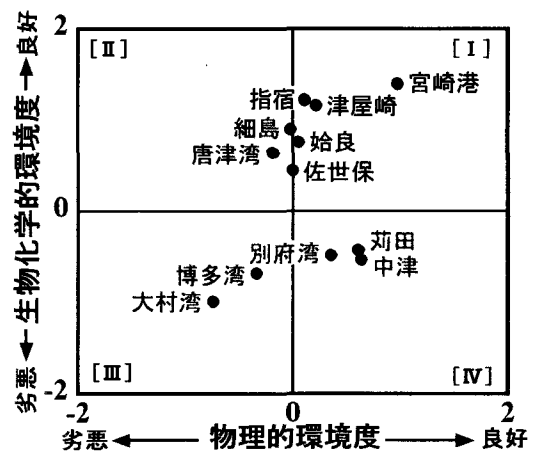


図-1 環境座標図 (九州沿岸12海域)

について評価した結果の一例であり, 外洋性の宮崎港は物理的環境度および生物化学的環境度がともに高く, 逆に閉鎖性海域である大村湾や博多湾が低く評価され, 概ね妥当な評価が得られたものと思われる。本研究ではこの環境評価手法を全国沿岸に応用し, 海域水質環境の総合指標を提案し, 全国的な比

較を行うとともに、海域の物理的要因と水質環境の関係について考察を加えた。

2. 全国沿岸の環境データの比較

(1) 環境データの収集

図-1に示す九州沿岸の12海域の環境データについては、水質、底質および生物項目について著者らが独自に調査を行った。しかし、本研究では、日本全国の沿岸を対象としているため、独自の調査は非常に困難である。そこで、公的機関により調査され公表されているデータを用いた。

まず、水質データについては、全国の海域において統一的に整理されているものとして、国立環境研究所「環境データベース」(<http://www-gis.nies.go.jp/>)⁶⁾で公開されている公共用水域水質年間値(生活環境項目、全磷・全窒素)を利用した。公共用水域には河川・湖沼・海域を含めておよそ8,800の水質測定点があり、そのうち海域は約

2,300地点である。ただし、全ての測定点で全ての観測項目が得られているわけではないため、本研究においては、COD・DO・大腸菌群数・TN・TPの5項目のデータが得られた952地点を対象とした。本来、海域環境の評価を行うためには、水質に加え底質や生物についてのデータを用いるべきであるが、底質および生物については全国にわたり統一したデータが得られなかった。

また、海域の物理的要因としては財団法人エメックスセンター(<http://www.emecs.or.jp/>)⁷⁾で公開されている閉鎖性88海域についてのデータ(湾口幅・海域面積、湾内最大水深、湾口最大水深、閉鎖度)を利用した。なお、閉鎖性88海域とは閉鎖性海域の富栄養化の防止を図るため、窒素および磷の排水規制の対象海域として環境省(当時、環境庁)が定めた海域のことである。これらのデータに加え、日本海洋データセンター(<http://www.jodc.go.jp/>)⁸⁾で公開されている海上保安庁、気象庁、北海道開発庁の各検潮所の潮汐(毎時潮高)データを用いた。潮汐のデータは毎時潮高データから潮位差の1年間の

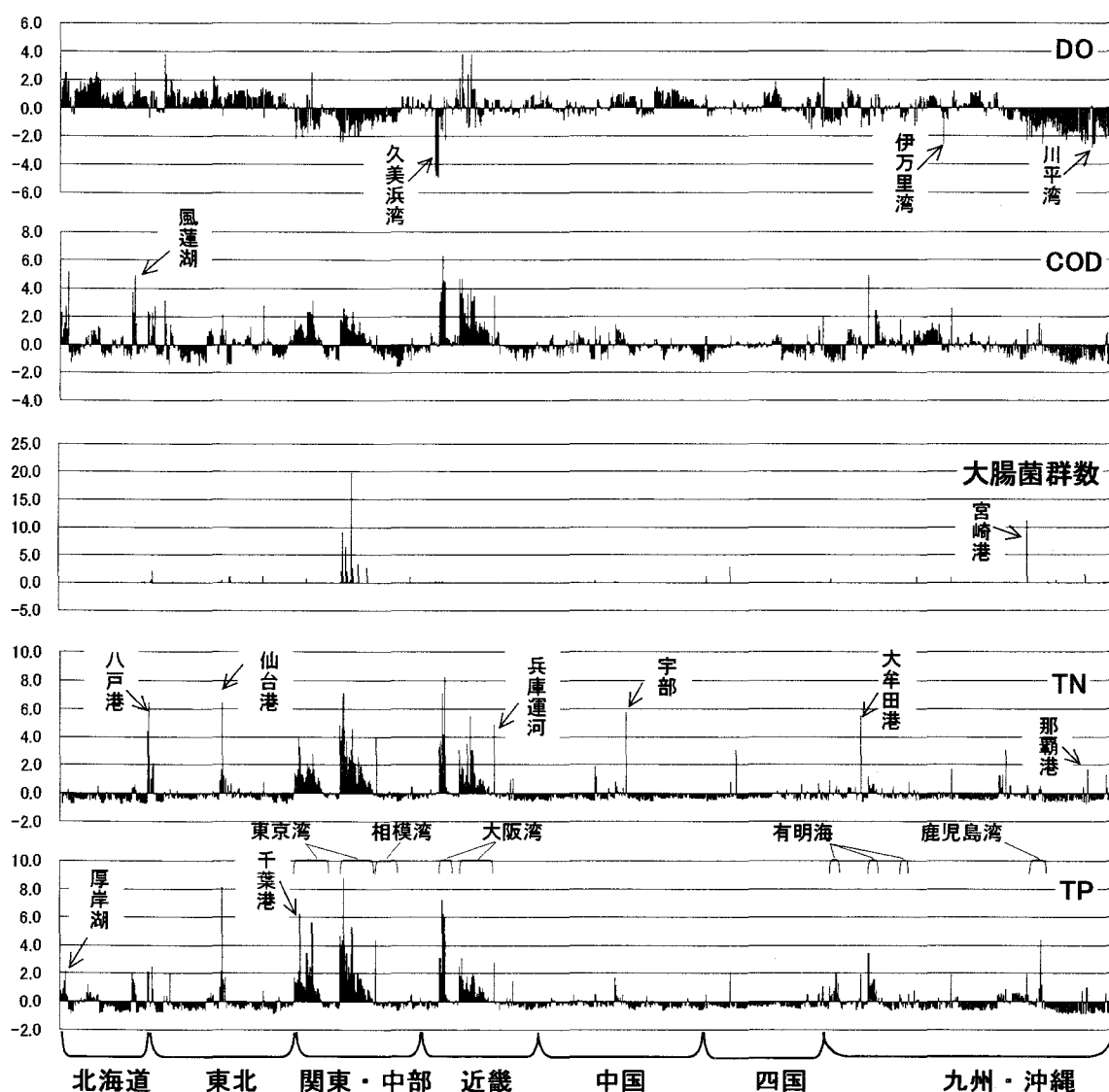


図-2 全国沿岸952地点における水質環境要因の比較

平均値を算定し以降の検討に用いた。なお、水質データおよび潮汐データは全て2001年のものである。

(2) 環境データの比較

図-2に全国沿岸の952地点における水質データの比較を示す。なお、各データは平均値と標準偏差を用いて基準化している。図にみられるように、観測点により数値が大きく異なっていることがわかる。図中には、とくに数値が大きい観測点の場所を明記しているが、東京湾や大阪湾などの大都市を背後に有する海域ではCODやTN、TPの値が非常に高い。また、それ以外でも、港湾内の観測点では同様にCOD等の数値が高くなっている。さらに、各項目の関係をみると、TNとTPは分布が非常に似ており、また、大腸菌群数については、一部の海域で突出した値となっている。各項目間の相関を表-1に示す。特にTN

表-1 水質項目の相関

	DO	COD	大腸菌群数	TN	TP
DO	1.00				
COD	0.19	1.00			
大腸菌群数	-0.14	0.19	1.00		
TN	-0.16	0.63	0.42	1.00	
TP	-0.13	0.67	0.43	0.86	1.00

とTPの相関が高く、次いで、CODとTN、TPの相関が高くなっている。逆に、DOや大腸菌群数と他の要因との相関は低い。

図-3に閉鎖性88海域における物理的要因の比較を示す。これらのデータについても、基準化して表示している。なお、図中の閉鎖度とは湾の閉鎖性を示す指標であり、開口度は著者らが独自に設定した指標で、閉鎖度と異なり水深を考慮していない。具体的にはそれぞれ以下の式で定義する。

$$\text{閉鎖度} = \frac{\sqrt{S} \times D1}{W \times D2} \tag{1}$$

$$\text{開口度} = W / \sqrt{S} \tag{2}$$

ただし、Wは湾口幅 (km)、Sは海表面積 (km²)、D1は湾内最大水深 (m)、D2は湾口最大水深 (m) である。また、潮差については得られたデータのうち閉鎖性88海域に対応した39海域についてのみ示している。図より、瀬戸内海を一つの海域として扱っているため湾口幅、面積において突出している。また、東京湾は他の海域に比べ湾口部付近で水深が非常に深い。閉鎖度については、京都府の久美浜湾が突出している。しかし、開口度で表示すると、水深を考慮していないことと、閉鎖度とは逆数の表示になっ

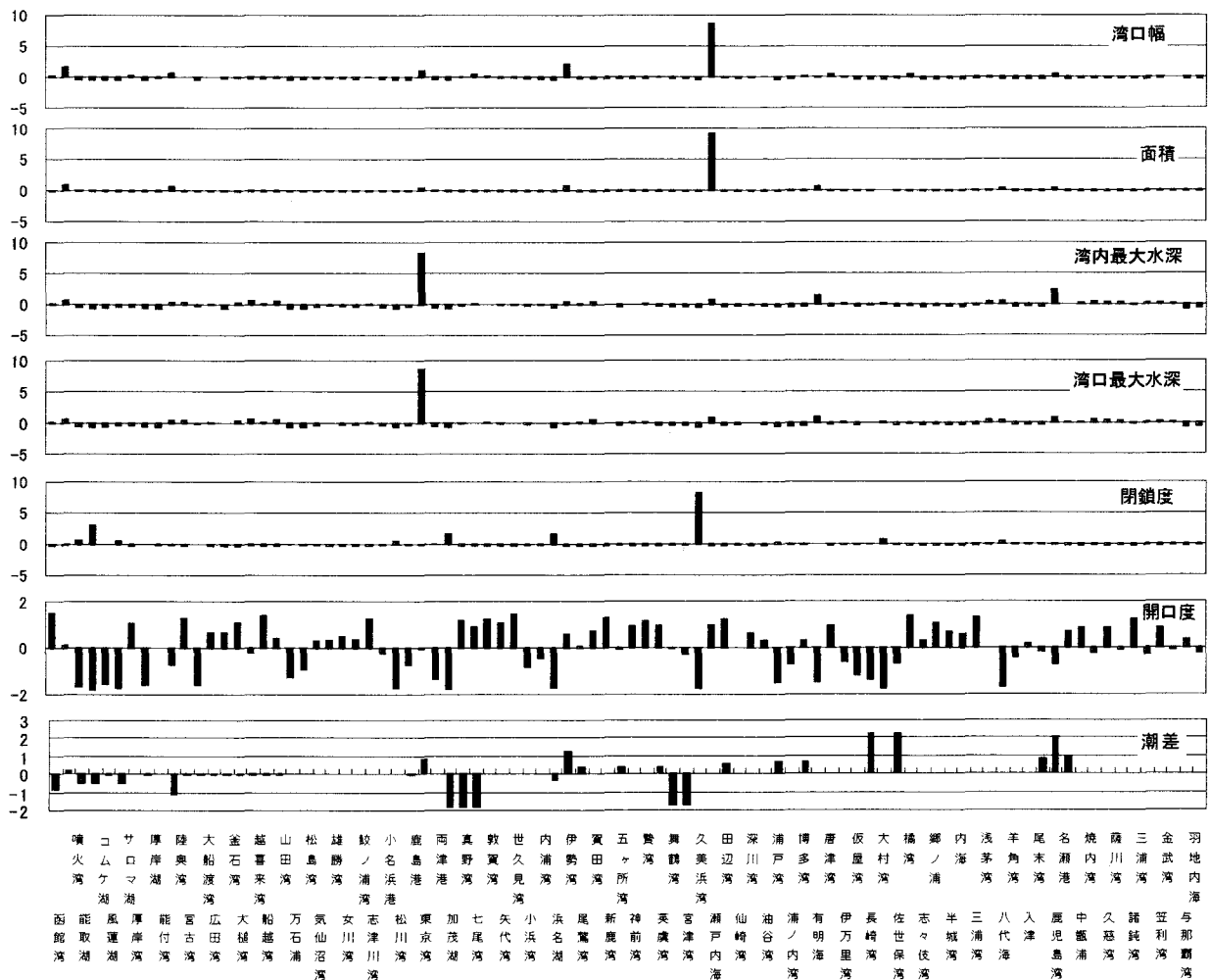


図-3 全国沿岸56海域における物理的要因の比較

ていることから、突出した海域はなく、比較しやすいものと思われる。

3. 水質環境度

(1) 水質環境度の算定

海域相互の水質環境レベルを比較することを考えた場合、図-2に示すような水質データを比較検討し、水質環境の優劣を判断することになるが、CODやTN、TP等の個々の水質データから総合的に海域水質環境の優劣を判断することは一般的に困難であると思われる。このとき、水質の総合指標のようなものがあれば、海域間の水質環境を容易に比較することが可能となる。そこで、本研究では水質の総合指標（水質環境度と呼ぶ）を提案する。利用する水質データの種類や数については議論の余地があるが、ここでは公共用水域水質データとして測定されている図-2に示すCOD・DO・大腸菌群数・TN（全窒素）・TP（全リン）の5項目（水質環境要因と呼ぶ）を利用することとした。

水質環境度を提案するにあたり、当初、各要因の数値に重み付けをして加算するというのを考えた。しかしながら、各要因の重み（重要度）は不明であり、総合指標を提案することは、つまり、各要因の重要度を如何に決定するかという問題になる。既往の研究においては、三村ら³⁾、小島ら⁴⁾は各要因の重要度をアンケート調査に基づいて決定している。一方、底質の有機汚染指標¹⁾においては主成分分析を用いて合成指標を決定している。また、著者らが提案した環境座標図⁵⁾（図-1参照）においても、主成分分析を用いて総合指標を求めており、ここでも、主成分分析を用いて水質環境度を求めることとした。

図-4に全国952地点の水質環境要因を対象に主成分分析を行って得られた第1および第2主成分得点の分布図を示す。第1主成分は寄与率が53.6%であり、TN・TPの栄養塩やCODが高い東京湾や大阪湾の観測地点で高い得点となっている。第2主成分は寄与率が23.2%であり、DOとCODが高い地点ほど上位に位置し、大腸菌群数の高い地点が下位に位置している。この主成分得点分布図および各主成分の固有ベクトルから、第1主成分は海域汚濁の総合指標を表しているものと判断した。また、第2主成分は曖昧ではあるが、有機物汚染と糞便汚染との判別を表すものと思われる。以上の検討から第1主成分を水質環境度とし、劣悪なほど負の値となるよう、第1主成分の正負を逆にして次式で表すこととした。したがって、各要因の重要度は第1固有ベクトルで表される。

$$\begin{aligned} \text{水質環境度} = & 0.075 \times \frac{(\text{DO} - 8.085)}{0.768} - 0.473 \times \frac{(\text{COD} - 1.899)}{0.859} \\ & - 0.351 \times \frac{(\text{大腸菌群数} - 903.6)}{6005} - 0.565 \times \frac{(\text{TN} - 0.372)}{0.440} \\ & - 0.573 \times \frac{(\text{TP} - 0.031)}{0.032} \end{aligned} \quad (3)$$

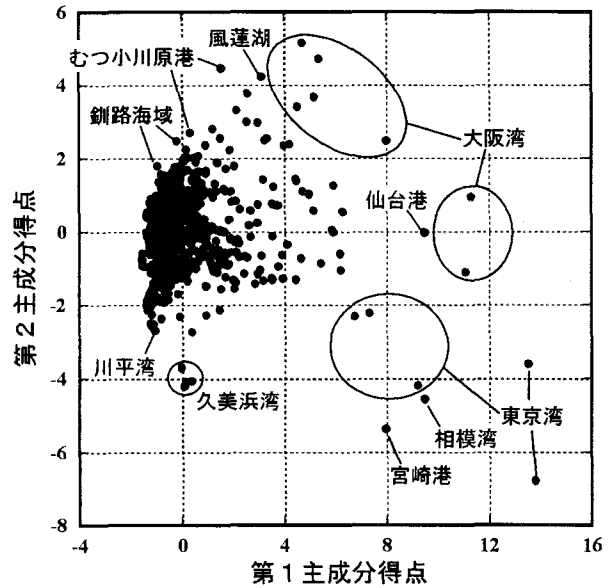


図-4 主成分得点分布図

ただし、各要因の単位は大腸菌群数ではMPN/100mlであり、その他の要因はmg/lであるため、要因値を基準化して主成分分析を行っている。したがって、水質環境度の各要因値は平均値を引いて標準偏差で除した形となる。なお、第3主成分以降については、寄与率が小さいため考慮していない。

(2) 水質環境度の比較

図-5に全国952地点の水質環境度を示す。水質環境度が0の地点は平均的な水質環境といえ、環境度が+の地点は相対的に水質環境が良好であり、-の地点は劣悪であるといえる。環境度が+となる海域は多くみられるものの、突出した地点はない。一方、東京湾や大阪湾などの大都市を背後に有する海域や港湾内などでは突出して劣悪な環境度となる地点がみられる。また、図-2に示した水質要因と比較すると、水質環境度の分布はTNやTPの分布に非常に類似している。この理由は、ここで提案した水質環境度はTNとTPの重要度が高く、また、TNとTPは相関が高く同じような分布になっているためである。この評価結果から、現状では水質環境度の数値により具体的な水質汚染の程度を判断することはできないが、全国の沿岸海域における水質環境の相対的な評価は概ね妥当であろうと思われる。

4. 海域の物理的要因と水質環境度の関係

(1) 全国56海域における水質環境度の比較

図-5に示す952地点の水質環境度は、個々の観測点の水質環境を比較したものであり、湾のようなある一定の海域の水質環境を表すものではない。そこで、952地点の水質要因をもとに、湾などの海域について水質環境度を算定することとした。このようにして、海域の物理的要因と水質環境との関係を調

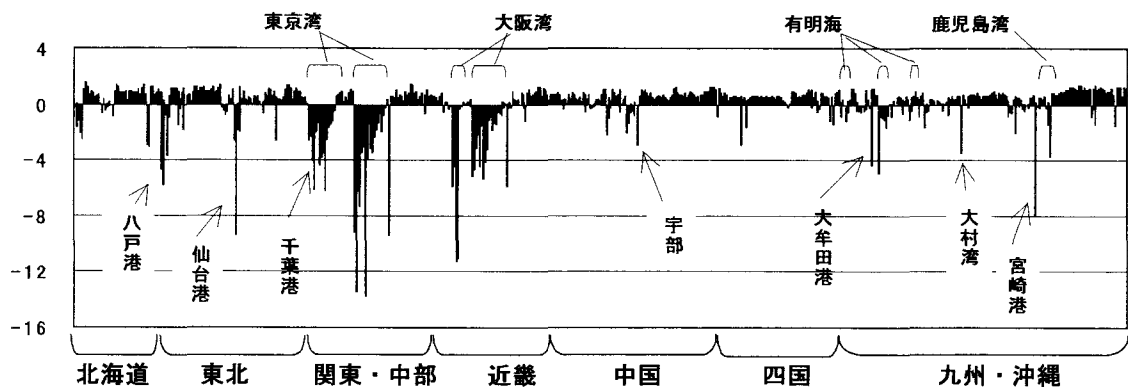


図-5 全国沿岸952地点における水質環境度

べた。対象とした海域は、物理的要因を収集した閉鎖性88海域のうち、公共用水域水質データの調査地点に対応する56海域である。図-6に対象海域を示す。海域の水質環境度は対象海域に含まれる水質データを平均し、それを用いて水質環境度を算定している。したがって、海域の範囲内に満遍なく観測点が存在する場合には、海域の平均的な水質環境を表すことになるが、水質が劣悪な地点に観測点が多く含まれるような場合は、海域全体の水質環境も低く見積もることになる。

図-7に56海域の水質環境度を地図上に示す。色が濃いほど相対的に劣悪な環境であることを示している。東京湾が飛び抜けて劣悪であるほか、伊勢湾の環境が劣悪であるのも人口密集地を背後に抱えている影響が大きいものと思われる。また、北海道の風蓮湖や厚岸湖などの汽水湖で環境度が低い。逆に、太平洋側に面した三陸海岸の各湾は良好な値を示している。それ以外では地域的に大きな偏りはなく全国に渡って良好な海域と劣悪な海域が混在している。

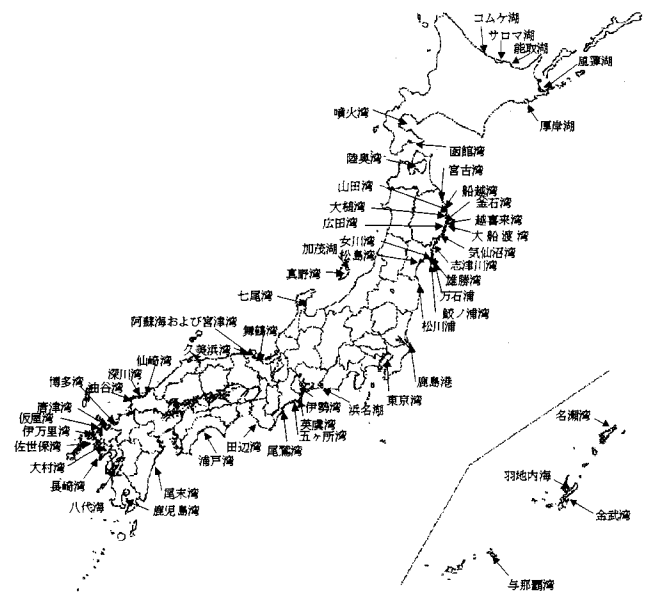


図-6 水質環境度算定対象56海域

(2) 海域の物理的条件と水質環境度の関係

図-7に示したように、大都市を背後に有する海域で水質環境度が低く、その理由については人為的負荷が大きいことが原因であると容易に推測される。地域的には三陸海岸で良好であるものの、それ以外には地域的に顕著な差は認められない。本来、湾形状等の海域の物理的要因は、地域に拠らず、海域固有のものであり、海域の物理的要因が水質環境に大きく影響していると考えられる。そこで、図-7に示した56海域の水質環境度と海域の物理的要因との関係を調べることにした。海域の物理的要因としては、図-3に示す物理的要因のうち、特に水質環境に大きく影響すると思われる開口度と潮差を取り上げる。

図-8に56海域の水質環境度と開口度との関係を示す。なお、開口度は基準化して表示している。全体的に開口度が高い海域ほど水質環境度も良好な傾向がみられる。水質環境度と開口度の関係について回帰直線を求めると実線で示す直線が得られた。東京湾など大きく外れた海域があるため、この回帰直線は相関が低いものの、海域の開口度により決定する標準的な水質環境を表しているものと思われる。そ

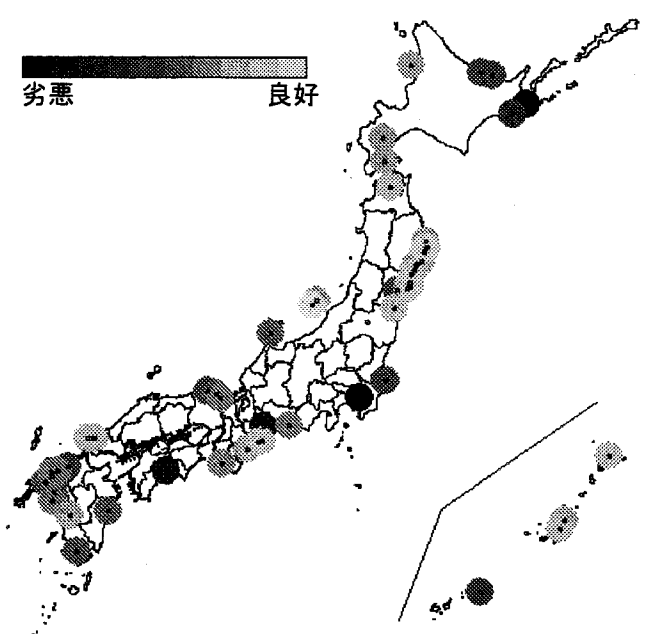


図-7 全国沿岸56海域の水質環境度

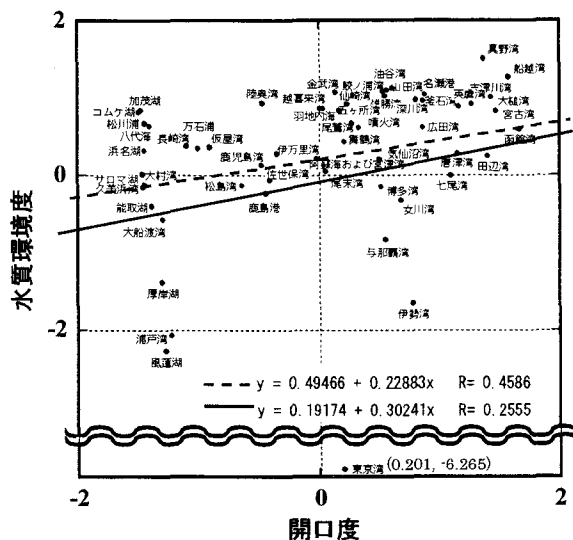


図-8 水質環境度と開口度の関係

のように考えると、東京湾や伊勢湾などは本来期待できる水質環境から大きく低下しているといえる。なお、図中の破線はとりわけ水質環境度が低くなっている与那覇湾から下の6海域を除いた場合の回帰直線で、相関係数が高くなっていることがわかる。

図-9は潮差と水質環境度との関係を示している。なお、図には56海域のうち対応するデータが得られた39海域についてのみ示している。また、潮差についても基準化して表示している。一般的に、外海との海水交換の点から、潮差が大きいほど海水交換は活発であり水質環境は良好と考えられる。図をみると、東京湾や伊勢湾等の水質環境度が低い海域を除くと、潮差が比較的大きく水質環境度も高いと評価される第1象限に多くの海域が含まれていることから、潮差が大きいほど水質環境は良好といえなくもないが、潮差が小さくても、水質環境が良好な海域も多く、図-8に示した開口度の場合に比べて、潮差と水質環境との明確な相関は認められない。

他の物理的要因についても、同様に水質環境度との関係について調べてみたが、いずれも水質環境度との明確な関係は認められず、本研究で考慮した物理的要因の中では、開口度が最も水質環境に影響する要因であるといえる。

5. あとがき

公的機関により公表されている水質データを用いて、水質の総合指標（水質環境度）を提案し、日本全国の沿岸海域の水質環境を総合的に評価した。この評価指標では、TN、TPの栄養塩やCODが高い海域の評価が低くなるため、大都市を背後に有する海域や港湾などで評価が低く、ある程度妥当な評価ができているものと思われる。また、海域の物理的要因と水質環境との関係を調べたところ、潮差や海域面積

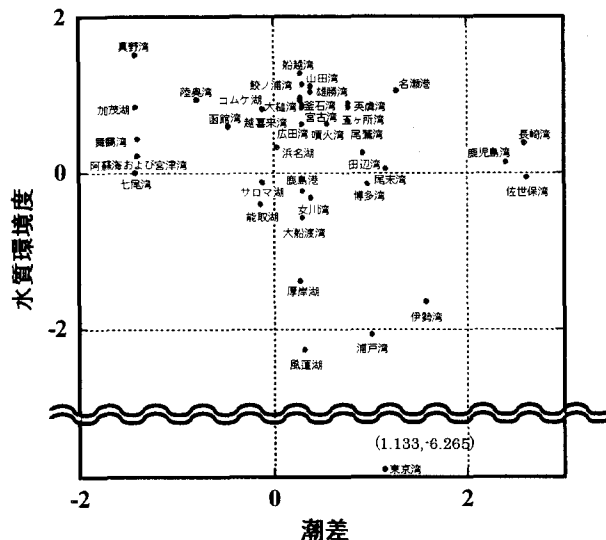


図-9 水質環境度と潮差の関係

などに比べて、海域の開口度と水質環境に最も明確な関係がみられ、開口度が高いほど水質環境は一般的に良好であることがわかった。しかしながら、海域の物理的特性は様々な要因が複雑に影響しているため、単に開口度のみで判断することは難しく、開口度が等しくても水質環境が良い海域もあれば劣悪な海域も存在する。また、海域の水質環境に最も影響する要因は、流入負荷などの人為的要因であることはいまでもなく、今後、物理的要因および人為的要因と海域の水質環境との関係について整理し、ある海域が本来有する水質環境を把握することができれば、環境修復における一つの目標を定められるのではないかとと思われる。

参考文献

- 1) 日本水産資源保護協会：底質改良事業実施指針，1985.
- 2) 三村信男，関 和美，古米弘明：環境特性の指標化と沿岸域の特性評価に関する研究，海岸工学論文集，第40巻，pp. 1041-1045，1993.
- 3) 三村信男，平山貴彦，町田 聡：沿岸特性数値地図を用いた海岸環境の評価，海岸工学論文集，第41巻，pp. 1151-1155，1994.
- 4) 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.
- 5) 山城 賢，入江 功，長山達哉，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.
- 6) 国立環境研究所環境情報センター：環境数値データベース，<http://www.nies.go.jp/>
- 7) (財)国際エメックスセンター：日本の閉鎖性海域（88海域）ガイドブック，177p.，2001.，
<http://www.emecs.or.jp/>
- 8) 日本海洋データセンター，<http://www.jodc.go.jp/>