

海域水質指標の作成と全国沿岸海域の水質評価

EVALUATION OF WATER QUALITIES OF SEA AREAS IN JAPAN USING A NEW WATER QUALITY INDEX

山城 賢¹・小野貴也²・長山達哉³・入江 功⁴

Masaru YAMASHIRO, Takaya ONO, Tatsuya NAGAYAMA and Isao IRIE

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)

³正会員 国土交通省 四国地方整備局 港湾空港部 (〒760-0017 香川県高松市番町3-4-18)

⁴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)

To evaluate the water quality of sea areas around Japan, a new water quality index was proposed using the data released by public organizations. First, to make the water quality index of sea areas, principal component analysis was applied for the data at 6008 observation points where the data of TN (total nitrogen), TP (total phosphorus) and COD (chemical oxygen demand) were gathered for four years from 1999 to 2002, and the first principal component was considered as the comprehensive index of water quality. Next, the water qualities of sea areas around Japan were compared by 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. And it is found that the value of the water quality index in polluted sea areas with organic substances is less than -1. In addition, the water quality of the Hakata bay for 20 years (from 1983 to 2002) was shown by using the proposed index, and the change of the water quality due to various developments was investigated.

Key Words : *water quality, water quality index, principal component analysis, evaluation of water quality of sea areas*

1. はじめに

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, 底質の有機汚染指標¹⁾, 三村ら^{2), 3)}, 小島ら⁴⁾, 中辻⁵⁾, 原ら⁶⁾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るという利点がある。

同様な観点から著者らは, 全国の沿岸海域における水質環境を評価するため, 公的機関によって公表されている水質データを収集し, いくつかの水質項目を合成することで簡便な水質評価指標(水質環境度と呼ぶ)を作成して, これにより全国沿岸海域の水質環境を比較した⁷⁾。しかしながら, そこで提案

した水質環境度は相対的な評価指標であり, 具体的にある海域について水質の状態を把握できるものではない。本研究では, より多くの水質データを用いて水質環境度を新しく提案し, 現行の環境基準値との対応を把握した。また, 水質環境度により全国沿岸海域の水質を評価し, その評価結果から水質環境度の数値と水質状態との関係を考察して, 水質環境度により示される水質状態を明らかにした。最後に, 博多湾を例にとり, 水質環境度を用いて海域水質環境の経年変化と環境改善事業との関連を調べた。

2. 水質評価指標の作成

(1) 水質データの収集

水質汚濁防止法に基づき全国の公共用水域において都道府県等が測定した結果を環境省が取りまとめ, 国立環境研究所が提供する「国立環境研究所環境データベース」(<http://www-gis.nies.go.jp/>)⁸⁾で公開されている公共用水域水質年間値を利用した。

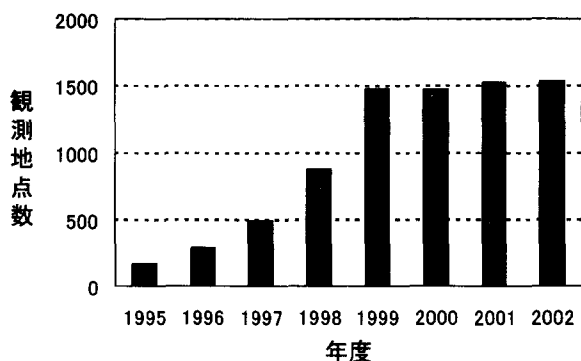


図-1 COD・TN・TPの3項目が観測されている観測地点数

公共用水域には河川・湖沼・海域を含めておよそ9,000の水質測定点があり、そのうち海域は約2,200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・TN・TPの3項目のデータが得られた地点を対象に1995～2002年度のデータを収集した。図-1は各年度におけるCOD・TN・TPの3項目が観測された地点数を示している。1995年度には観測地点数が少なく、しかも東京湾と大阪湾に集中しているが、徐々に観測地点が増え、1999年度以降は北海道から九州沖縄まで観測結果が整理されている。

(2) 主成分分析を用いた水質評価指標の作成

著者らが以前に提案した水質環境度は、公共用水域水質データとして測定されているCOD・DO・大腸菌群数・TN・TPの5項目（水質環境要因と呼ぶ）の値を用いて、それぞれの要因に重み付けをして加算し算出するものである。ただし、各要因の重み（重要度）は不明であるため、底質の有機汚染指標¹⁾と同様に主成分分析を用いて合成指標を求め、水質の優劣を表すと思われる第1主成分を水質環境度と定義した。

$$\begin{aligned} \text{水質環境度} = & 0.075 \times \frac{(\text{DO}-8.085)}{0.768} - 0.473 \times \frac{(\text{COD}-1.899)}{0.859} \\ & - 0.351 \times \frac{(\text{大腸菌群数}-903.6)}{6005} - 0.565 \times \frac{(\text{TN}-0.372)}{0.440} \\ & - 0.573 \times \frac{(\text{TP}-0.031)}{0.032} \end{aligned} \quad (1)$$

上式で提案した水質環境度においては各要因の係数（第1主成分の固有ベクトル）が重要度を表しており、DOの重要度が特に小さい。また、この時に利用したデータは5項目のデータが揃っている全国沿岸の952地点における2001年度の年間平均値であったが、図-1で示したように、COD・TN・TPの3つの要因に絞れば、2001年度の観測地点数は約1500あり、より多くの地点のデータを反映できる。そこで、本研究では水質環境度は富栄養化による有機物汚染を示す指標として考え、COD・TN・TPの3項目により再度定式化を行うこととした。図-1より観測地点数がほぼ一定である1999年度から2002年度の合計6008地

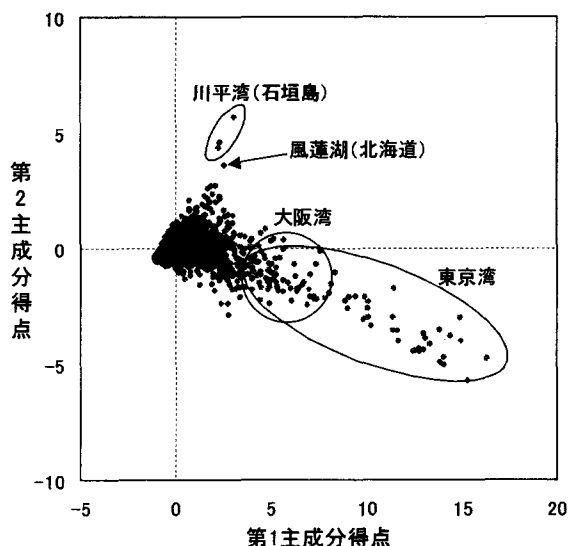


図-2 主成分得点分布図

表-1 第1主成分の固有ベクトルと因子負荷量

	固有ベクトル	因子負荷量
TP	0.603	0.968
TN	0.580	0.931
COD	0.548	0.880

点のデータをもとに主成分分析を行った。図-2に主成分得点の分布図を、表-1に第1主成分の固有ベクトルと因子付加量を示す。寄与率は第1主成分が85.9%であり、各観測地点の特徴はほぼ第1主成分で説明される。各要因の固有ベクトルと因子負荷量をみると、ほぼ同程度であり、第1主成分が有機物汚染の程度を示す指標であると判断した。第2主成分以降は寄与率が小さいため考慮していない。

したがって、水質環境度は第1主成分得点が高いほど負の値となるよう-1を乗じて、固有ベクトルで表される各要因の重要度を合計すると1になるように調整して(2)式で表すこととした。なお、各要因の単位は異なるため、主成分分析を行う際に要因値を基準化しており、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っている。

$$\begin{aligned} \text{水質環境度} = & -0.317 \times \frac{(\text{COD}-2.100)}{1.499} - 0.335 \times \frac{(\text{TN}-0.487)}{0.907} \\ & - 0.348 \times \frac{(\text{TP}-0.042)}{0.072} \end{aligned} \quad (2)$$

(1)式と(2)式を比較すると、(1)式の場合、各要因の重要度の合計が1になるような調整は行っていないが、COD・TN・TPの重要度はほぼ同じ比となっている。ただし、各要因を基準化するための平均値と標準偏差はいずれも(2)式の方が大きくなっている。主成分分析を用いたデータの数は(1)式の952に比べ(2)式では6008と6倍以上であることから各要因の平均値や標準偏差も(2)式の方が信頼性は高いと思われる。

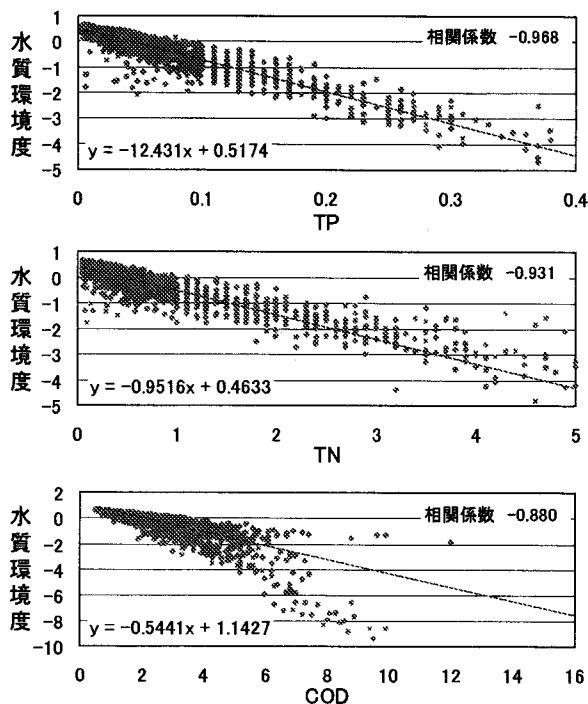


図-3 COD・TN・TPと水質環境度の関係

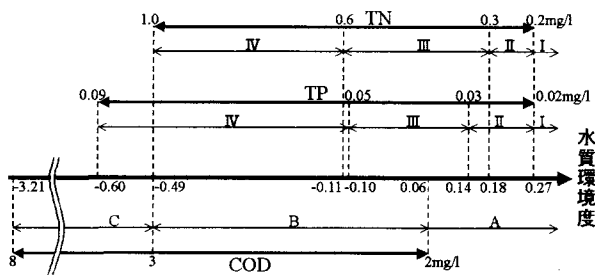
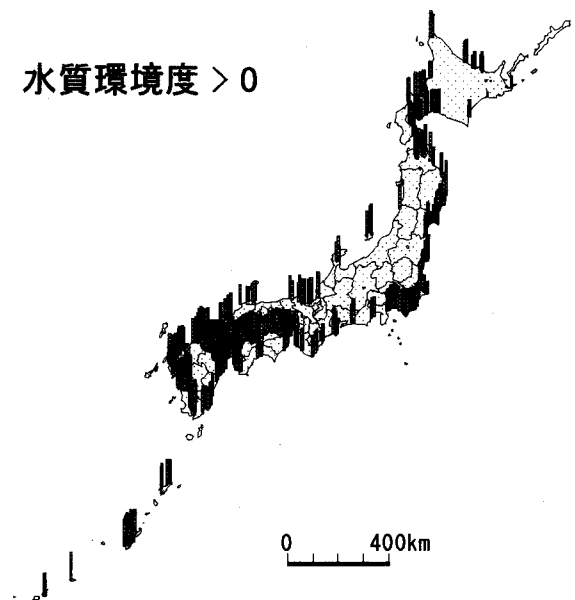


図-4 COD・TN・TPの環境基準と水質環境度の対応

(3) 水質環境度と現行の基準値との対応

前述したとおり、(1)式や(2)式で表される水質環境度は相対的な評価指標であり、水質環境度が0であれば平均的な水質で、正であれば比較的良好な水質、負であれば比較劣悪な水質ということになる。したがって、このままでは海域間における相対的な水質の優劣は判断できるものの、水質環境度が示す数値自体で水質の状態を判断することはできない。そこで、水質環境度と現行のCOD・TN・TPの環境基準（生活環境の保全に関する環境基準）との対応を調べた。図-3に、1999～2002年度における全国沿岸6008地点のCOD・TN・TPの観測値と、(2)式で算定した水質環境度との関係を示す。表-1に示した因子負荷量（第1主成分と要因との相関）からも分かりますとおり、COD・TN・TPと水質環境度の相関は非常に高い。この関係から各水質項目の環境基準値と水質環境度との対応を調べると図-4のようになる。なお、図中のIからIVおよびAからCは類型を示している。

水質環境度 > 0



水質環境度 < 0

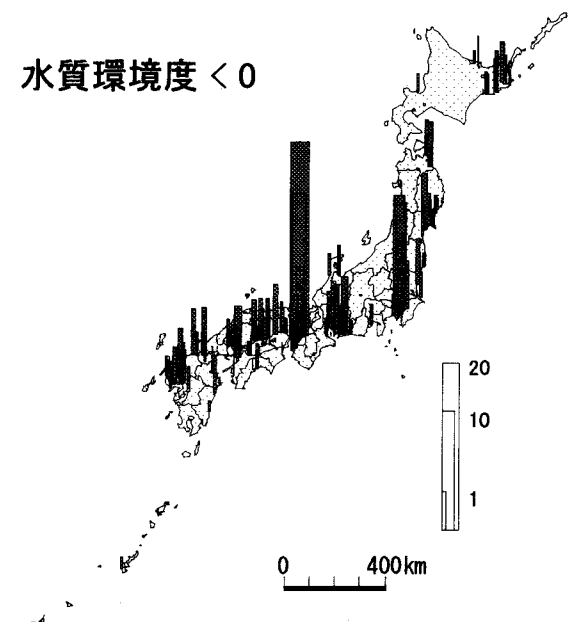


図-5 全国沿岸海域の水質環境度(2002年)

3. 水質環境度による全国沿岸海域の水質評価

(1) 全国沿岸海域の水質環境の比較

図-5は一例として2002年度における1532地点の水質環境度を地図上に示したものである。上図は水質環境度が正で相対的に水質環境が良好な地点を示し、下図は水質環境度が負で相対的に水質環境が劣悪な地点を示している。また、棒グラフの大きさは水質環境度の絶対値の大きさを表している。図より、東北地方の日本海沿岸は水質環境度が示されていないが、これは観測データが得られなかったためであり、東北地方を除けば、水質環境が相対的に良好な地点は全国に数多くある。逆に、水質環境が相対的に劣悪な地点は、東京湾や大阪湾、伊勢湾などの大都市を背後に有する海域や瀬戸内海、有明海などの閉鎖

性の海域に多く、また、水質環境度の絶対値も大きい。特に大阪湾の水質環境度の絶対値は他に比べてとりわけ大きくなっているが、これほど大きな値を示しているのはこの年だけで、他の年についてはこれほど大きな値ではない。

(2) 水質環境度が示す水質状態

表-2は1999～2002年度について、水質環境度を0.5刻みで8つの階級に分け、各階級に含まれる観測地点数と各年度の全観測地点に占める割合を示したものである。いずれの年においても水質環境度が0.0から0.5の範囲にある観測地点が70%程度で、平均的な水質環境である観測地点が多いといえる。

表-2 水質環境度による階級化

水質環境度	1999年 (1477地点)	2000年 (1472地点)	2001年 (1527地点)	2002年 (1532地点)
～0.5	54(3.7%)	53(3.6%)	72(4.7%)	61(4.0%)
0.5～0.0	1030(69.7%)	1018(69.1%)	1044(68.4%)	1099(71.7%)
0.0～-0.5	247(16.7%)	235(16.0%)	233(15.3%)	218(14.2%)
-0.5～-1.0	69(4.7%)	76(5.2%)	83(5.4%)	70(4.6%)
-1.0～-1.5	27(1.8%)	32(2.2%)	44(2.9%)	30(2.0%)
-1.5～-2.0	17(1.2%)	22(1.5%)	19(1.2%)	20(1.3%)
-2.0～-2.5	11(0.7%)	5(0.3%)	8(0.5%)	11(0.7%)
-2.5～	22(1.5%)	31(2.1%)	24(1.6%)	23(1.5%)

図-6は図-5に示す2002年度の水質環境度の分布を階級別に地図上に示しており、水質環境度が0.5以上の水質が良好な地点は、沖縄をはじめ外洋に面した位置にある。逆に水質環境度が負の値になるにつれ内湾や内海の地点が示されており、-1.0以下になると、大都市を背後に有する東京湾、大阪湾、伊勢湾、閉鎖性海域である有明海や瀬戸内海、北海道の汽水湖、および八戸港などの工業港といった限られた地点のみとなっている。なお、水質環境度が-1.0以下の地点は1999～2002年度に亘りほとんど変化していない。以上の検討から、水質環境度が示す水質の状態は、0.5以上で良好、0.0から0.5程度で平均的もしくはそれ以上といえ、負の値になると平均的な水質状態より悪くなり、-1.0以下では劣悪といえる。

4. 水質環境度による水質の経年変化の評価

(1) 博多湾の概況

博多湾を対象に沿岸域における開発事業や環境改善事業による水質の経年的な変化を水質環境度により評価することを試みる。博多湾は閉鎖性の強い海域であり、背後に福岡市を擁することから多量の生活・産業排水が流入し富栄養化による環境被害も頻繁にみられる海域である。また、近年では湾奥部に人工島の開発も行われている。博多湾における環境基準の類型指定は、図-7に示すように博多湾を湾口から湾奥に向かって西部・中部・東部海域に分け、

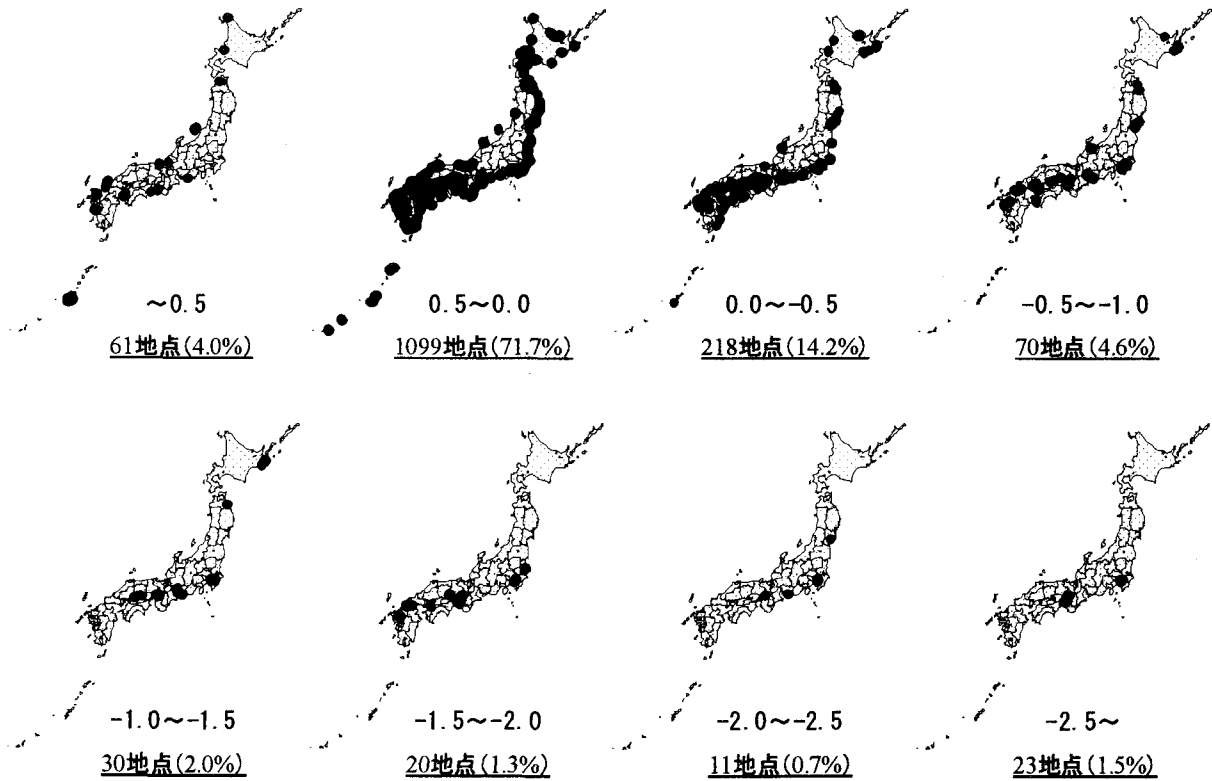


図-6 水質環境度の階級別分布(2002年)

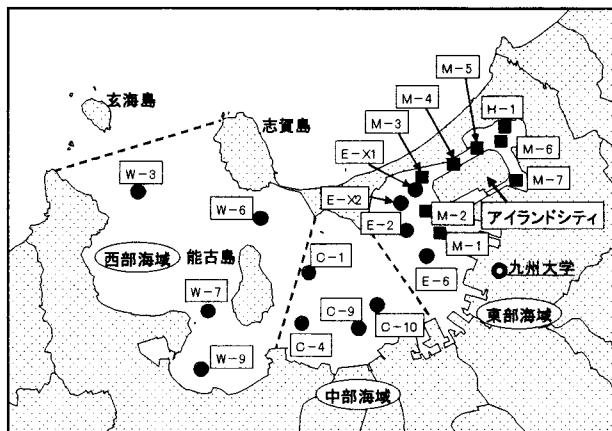


図-7 博多湾における水質観測点

TN・TPについては類型Ⅱ・Ⅲ・Ⅲに、CODについては類型A・A・Bに指定されており、福岡市環境局により水質調査が行われている。また、湾奥部の人工島建設に伴い、福岡市港湾局により湾奥部の水質調査が行われている。環境局による水質調査結果は福岡市水質測定結果報告書⁹⁾として纏められており、1983年度から2002年度における水質データを収集した。また港湾局による調査結果はアイランドシティ整備事業環境監視結果¹⁰⁾として纏められており、1993年度から2002年度のデータを収集した。これらの水質データをもとに水質環境度を算定した。

(2) 博多湾における水質環境度の妥当性

図-8に図-7中のE-2地点におけるCOD・TN・TPと水質環境度を示す。COD・TN・TPは1993年頃まで増加しており、その後、TPは減少しているが、CODとTNは変動しつつも概ね横這いといえる。一方、水質環境度は各要因の変動を反映して徐々に減少し1993年に最低値を示した後、TPの減少に対応して回復し、それ以降はほぼ一定値を示している。他の地点についても、図-8と同様に水質環境度はCOD・TN・TPの変化を妥当に反映していることを確認している。また、図-9には、1983年度から2002年度の博多湾の全観測点におけるCOD・TN・TPと水質環境度の相関を示しており、各項目と水質環境度が高い相関を示していることがわかる。以上の確認をふまえ、以降の議論においては、本研究で提案した水質環境度が博多湾の水質状態を妥当に表すものと考え、水質環境度の変化と開発事業等との関連について検討する。

(3) 博多湾の水質環境の経年変化

図-10に博多湾の各水質観測点における水質環境度の経年変化を示す。図中の東部海域(2)および(3)については、アイランドシティ整備事業に伴う水質調査結果を用いているため、1993年度以降のデータとなっている。一般的な閉鎖性海域の水質がそうであるように、博多湾においても、湾口に近く外海との海水交換が活発な西部海域の水質は良好で湾奥に向かうほど劣悪になっている。また、どの海域にお

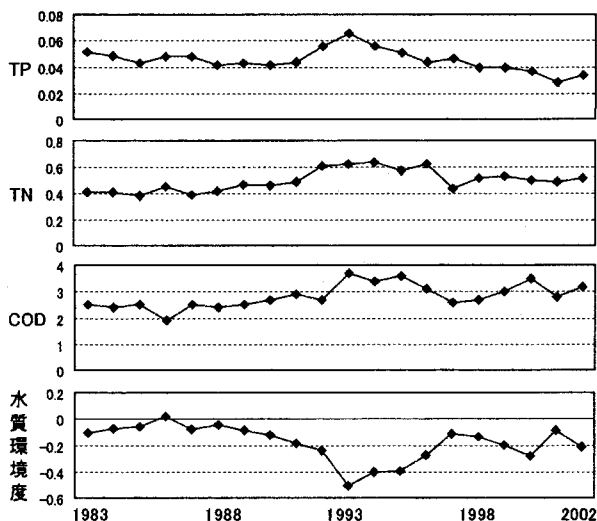


図-8 COD・TN・TPと水質環境度の経年変化(E-2)

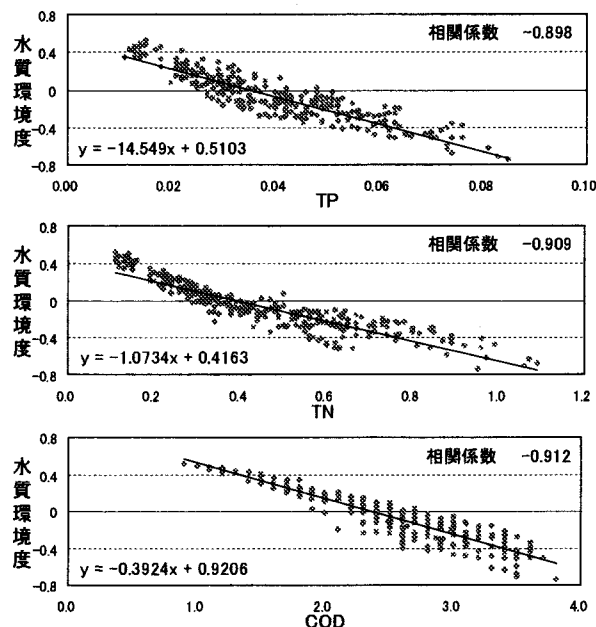


図-9 COD・TN・TPと水質環境度の関係(博多湾)

いても1990年頃から徐々に水質が悪化しており、1993年に急激に悪化している。この水質悪化の原因については、「日本の水環境 7 九州・沖縄編」¹¹⁾によれば、博多湾流域の人口の増加により博多湾への汚濁負荷が増大したためであると考えられるが、その背景として下水道の整備が博多湾への栄養塩負荷の増大に影響したことが次のように説明されている。下水道が整備される以前は、し尿は田畑に肥料として還元されるか、あるいは収集され、処理、未処理に関わらず外洋に投棄され、博多湾への負荷になることはなかったが、博多湾では1980年頃から急速に下水道が普及しており、それに伴ってし尿を含む家庭排水は下水処理場へ集水され、その処理水は博多湾内へと放流されることになった。下水処理ではBODで表される有機汚濁物質はかなり除去できるものの、窒素や磷の栄養塩を除去することは一般的

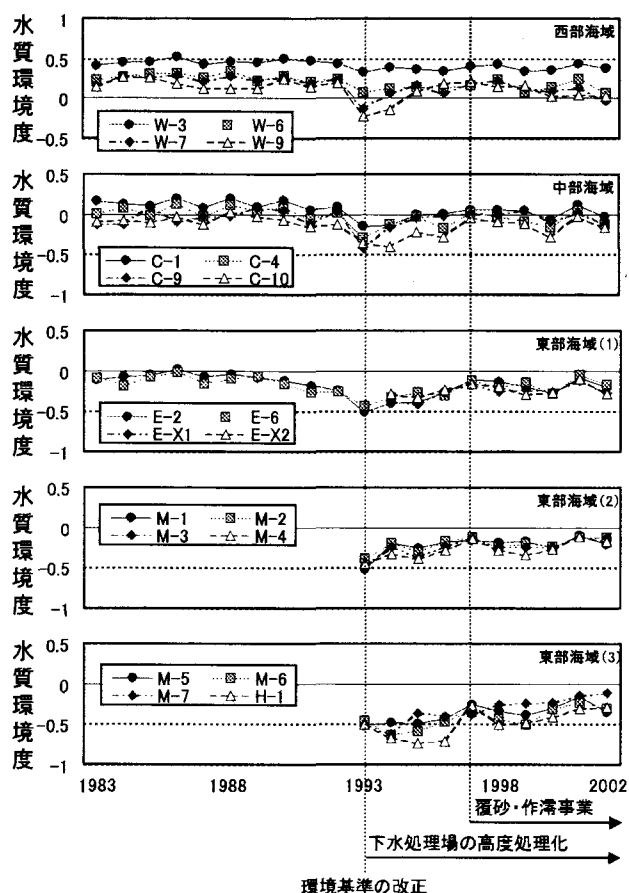


図-10 博多湾における水質環境度の経年変化

に難しく、下水道の整備に伴い家庭排水が直接流入していた流域内の河川の水質は改善されたが、博多湾への栄養塩の負荷は増大していくことになった。このような理由により、博多湾の水質が悪化していたと考えられる。しかし、1993年度以降では水質環境度は増加し、水質は改善されている。これは1993年に環境基準の改正が行われ、下水処理場の高度処理化が進められたことによる。この高度処理により、処理排水中の栄養塩が削減され、それに伴い海水中の栄養塩も減少していることが確認されている。このことから、水質改善には排水処理の整備が非常に効果的であることが分かる。また、1994年から東部海域では湾奥部で人工島（アイランドシティ）の建設が始まり、湾奥の水質環境は悪化すると考えられていた。しかし、前述した下水の高度処理が非常に効果的であり、現実には湾奥の水質環境度の変化にみられるように水質は改善されている。また、人工島背後のM-7地点では1997年より覆砂と作渚による環境改善事業が行われており、周辺の観測地点に比べて水質の改善効果が現れていることが確認できる。

5. おわりに

全国沿岸で観測されている水質項目のうち、TN・TP・CODを合成し、有機物汚染の程度を評価する簡便な水質評価指標として水質環境度を提案した。この評価指標は本来相対的な水質の優劣を示す指標であるが、水質環境度と現行の環境基準との対応を調べ、また、水質環境度を用いて全国沿岸の観測地点における水質を評価した結果から、水質環境度が示す水質状態について考察したところ、水質環境度が0.5以上で良好な水質、-1.0以下で劣悪な水質であることがわかった。ついで、水質環境度を用いて、博多湾を例に水質環境の経年的な変化を調べ、開発事業や環境改善事業と水質環境との関連を把握することができた。ここで提案した水質指標は3つの水質項目しか考慮していない極めて単純なものであるが、海域の有機物汚染の程度を良く表していることから、ここで示したように異なる海域間での水質の優劣やある海域における水質の経年変化だけではなく、例えば、ある海域における水質改善の目標設定などにも利用できるものと考えられる。

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) 中辻啓二：沿岸域水環境の保全・再生技術の総合的評価法，2003年度（第39回）水工学に関する夏期研修会講義集，Bコース，pp. B-6-1-B-6-19，2003。
- 6) 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。
- 7) 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. 599-604，2004。
- 8) 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/>
- 9) 福岡市環境局：福岡市水質測定結果報告，1992，1997，2002。
- 10) 福岡市港湾局：アイランドシティ整備事業環境監視結果資料編，2003。
- 11) 日本水環境学会編：日本の水環境 7 九州・沖縄編，pp. 144-pp. 155，2000。