

長期観測データのクラスター分析による大阪湾の水質分布特性

山根伸之*・寺口貴康**・中辻啓二***・村岡浩爾***

1. 緒 言

大阪湾の水質は我国の多くの水域で見られるように昭和40年代に著しく悪化し、赤潮が頻発するなど漁業等に多大な被害をもたらした。その後、湾内の水質は一時に比べて改善されてきているものの、CODにみる環境基準の達成率はここ数十年横ばい状態にある。大阪湾のさらなる水質改善を念頭におくとき、大阪湾の水質変化構造や物質循環構造を明らかにする必要がある。湾内の水質悪化はいつ頃から始まったのか、昭和40年代以前の水質はどのような状況であったのか、またその後どのような水質変化を示したのかについて明らかにすることは、大阪湾のみならず閉鎖性の強い海域の水質変化特性を把握するうえで重要である。大阪湾の水質は陸域からの負荷流入、海底からの負荷回帰、湾内流動による物質輸送、さらに輸送過程での粒子成分の沈降や内部生産、消滅等の各種生物・化学的、物理的変化過程により決定されている。湾内の水質分布データから海域区分を明確にしておくことは、湾内の物質循環特性を理解するのに役立つ。

本研究では、大阪湾の水質データを収集し、それらの統計的解析から、戦前からの水質汚濁の変遷、汚濁状況を踏まえた海域区分とその海域別の汚濁特性を分析した。

2. 観測データの概要

本研究で用いた水質観測データは、表-1に示すとおりである。戦前の観測は湾内のほぼ全域で実施されているが、それらは各1回のみの観測であり、観測時期が限定されている。一方、戦後の観測は概ね毎月1回定期に観測されており、水質の季節変化を知ることが可能である。ただし、昭和25年のデータは湾内長軸方向の観測地点のみの観測となっている。大阪湾では、筆者が調べた限りでは昭和20年代の観測以降、浅海定線調査が開始される昭和47年までの水質観測データが欠落している。

表-1 本研究で用いた大阪湾水質観測データ

観 測 名	観測年	観測月	観測点数	水 質 項 目
第二次 海洋観測調査	1928 (S 3)	6	16	透明度
第三次 海洋観測調査	1935 (S 10)	5	57	透明度、 COD、PO ₄ -P
定期 海洋観測調査	1950~51 (S 25~26)	1~12	8	PO ₄ -P、DO
浅海定線 観測調査	1972~92 (S 47~H 4)	1~12	20	透明度、COD、 PO ₄ -P、DO
公共用水域 水質測定	1984~92 (S 59~H 4)	概ね 1~12	30	透明度、COD、 PO ₄ -P、DO ほか

3. 長期観測データに基づく水質変化の分析

(1) 湾内水質の経年変化

大阪湾の流動構造(Nakatsuji, Fujiwara, 1997)を考慮して、図-1に示す東部湾奥海域と西部海域の代表2地点の水質変化特性を検討した。対象とした水質項目は透明度、表層のCOD、リン酸塩リンおよび底層の溶存酸素(DO)の飽和度の4項目である。昭和47年~平成4年の水質は浅海定線調査結果を用いた。

図-2は透明度の経年変化を示す。1928年は6月の観測結果であり、それ以外は5月の観測である。透明度の計測は単純なるがゆえに信頼度が高いことから選んだ。西部海域の透明度は戦前に8~9mあったものが近年では変動が大きいものの3~9mに低下している。一方、湾奥部の透明度は戦前の2~3mから近年では1~3mと

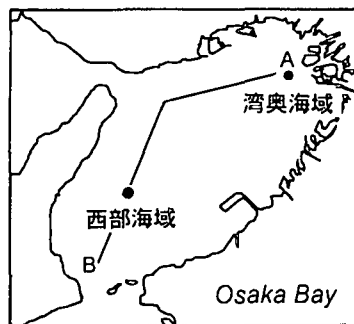


図-1 大阪湾の西部と湾奥海域の代表地点

* 正 会 員 (株)建設技術研究所大阪支社
 ** 学生会員 大阪大学大学院 工学研究科
 *** 正 会 員 工 博 大阪大学教授 工学部土木工学科

若干低下している。図-3は昭和3年(1928年)と近年10ヶ年平均(1983—1992年)の5月の透明度の平面分布を比較している。透明度が3m以上の各等値線は近年沖合いに移動しており、戦前に比べれば湾内全域で透明度が低下していることがわかる。しかしながら、ここで注目すべきことは湾奥部では透明度3m以下の水域が戦前より出現していたことである。

図-4は表層CODの5月観測値の経年変化を、図-5は昭和10年(1935年)と近年10ヶ年平均の5月観測値の平面分布を示す。西部海域のCODは戦前の2mg/l弱からほとんど変化はない。湾奥海域のCODは戦前から近年まで概ね3mg/l前後で推移し、大きな変化は見られない。COD平面分布においても戦前と近年に大きな変化が認められない。

図-6は表層のリン酸態リンの経年変化を示す。西部海域のリン酸態リンは戦前から近年まで大きな変化は見られない。一方、湾奥海域のリン酸態リンは昭和25年(1950年)までは低い値であったのが、昭和47年(1972年)頃より急激に上昇した。しかし、昭和57年(1982年)頃には急激に低下している。

図-7は底層のDO飽和度の経年変化を示す。年平均のDO飽和度は西部海域、湾奥海域ともに戦前から昭和47年にかけて低下しており、特に湾奥部での低下が顕著である。しかしながら、年平均のDO飽和度は昭和47年(1972年)以降の20ヶ年では大きな変化は見られない。また、夏季8月の湾奥海域ではDO飽和度は近年20%以下の値を示すことが多く、貧酸素化現象が明白であるが、昭和25年(1950年)においてもDO飽和度が既に20%以

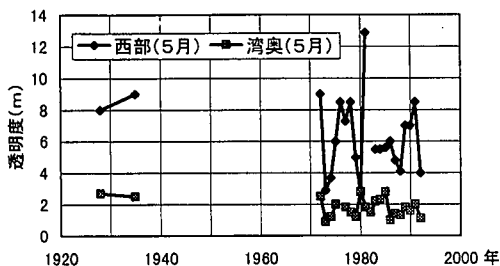


図-2 透明度 (m) の経年変化

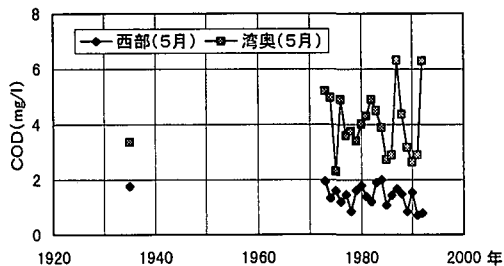


図-4 表層CODの経年変化

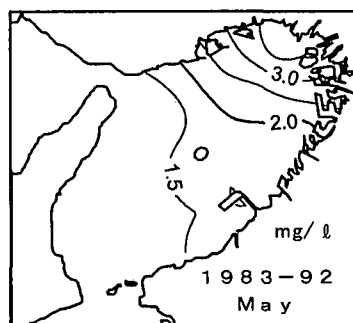
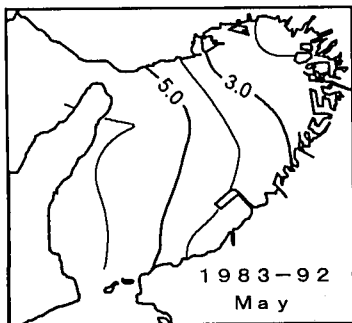
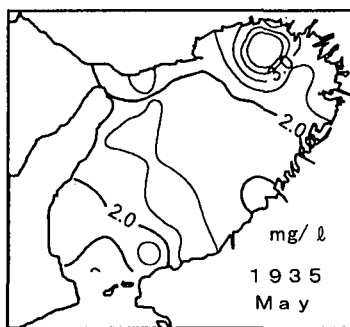
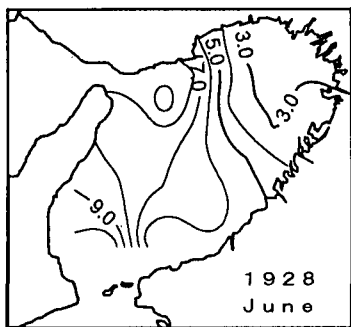


図-3 透明度 (m) の平面分布比較

図-5 表層CODの平面分布比較

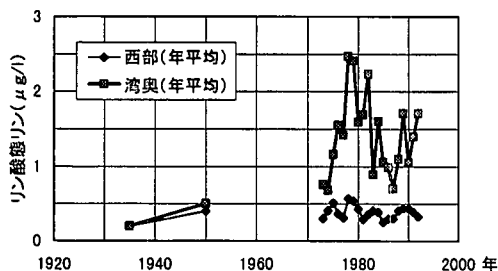


図-6 リン酸態リンの経年変化

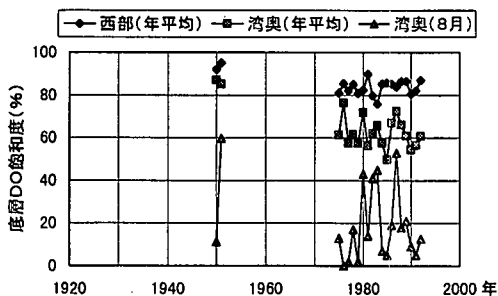


図-7 底層 DO 飽和度の経年変化

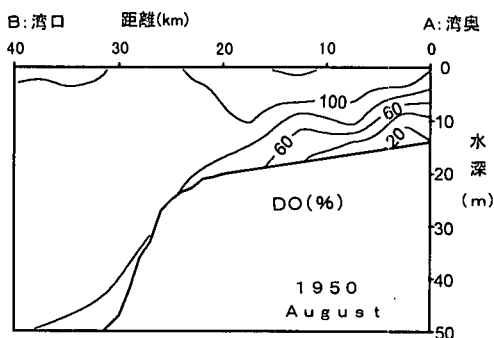


図-8 大阪湾長軸方向の DO 飽和度の鉛直断面分布

下という値が観測されている。図-8は昭和25年(1950年)8月に観測されたDO飽和度の湾内長軸方向(図-1のA-Bライン)に沿った水質鉛直分布を示す。水深20mより湾奥側で低酸素化が進んでいることが分かる。城(1986)によれば、大阪湾の貧酸素海域の形成は1950年代から湾奥部の海域で認められはじめ、その後急増大して1970年代の最盛期には湾のおよそ1/3が貧酸素化するようになった。

(2) 水質変化の特性

海域の水質変化は、長期的には陸域から流入する汚濁負荷量の増減が最も大きな影響要因となる。この汚濁負荷量は流域の生活排水や各種工業、農業排水、さらには市街地や山林等から流出する自然系の負荷が主要な汚濁

源となっている。なかでも、戦前から戦後にかけて汚濁負荷量を大きく増減させた要因として大阪湾後背地の人口・産業の発展が考えられる。大阪府を例に示せば、戦前から戦後にかけて300～500万人だった人口は平成2年現在870万人となっている。また、工業出荷額は戦前の10倍以上に増加している。さらに、人為的な沿岸域の埋立開発は経済発展を担うこともあって積極的に実施され、戦前においても既に1,700ha(明治以降)、戦後においても6,300haにも及ぶ。その結果、流れの停滞する海域が増加して水質汚濁を増進することにもなった。

戦前・戦後から現在に至る大阪湾内の水質悪化は、これら汚濁負荷量の増大や地形改変によるものと考えられるが、透明度、COD、底層のDO飽和度に見られるように既に戦前から現状レベルの水質が観測されていることは注目に値する。一方、リン酸態リンは、1970年代初めに急上昇し、70年代終わりに急激に低下している。今回取り上げた水質項目の中でも特異な変化を示している。このうち、1970年代終わりの水質低下について、城(1986)は1970年後半頃より始まる流域におけるリン規制によるものとしている。このように、水質項目によっては沿岸域の陸側の社会状況の変化と密接に関連して変化するものと見られる。

4. 最近観測データに基づく大阪湾の海域区分

大阪湾の公共用水域水質測定で得られた水質データをもとに、大阪湾の水質特性から見た海域区分をクラスター分析により行った。水質データは湾内30地点(図-11に点で示した)ごとの昭和59年～平成4年までの夏季7月の9ヶ年平均水質を用いた。水質項目は表層の水温、透明度、pH、DO、COD、全窒素、全リン、リン酸態リン、クロロフィルaの9項目である。

(1) 主成分分析による水質特性

主成分分析は大阪湾表層の9項目の水質データから大阪湾の水質特性因子を導くものであり、この主成分ファクター・スケールをもとに水質および観測地点の類似性を明らかにすることが可能である。主成分の数は2とした。主成分分析にもとづく各水質項目の主成分負荷量を図-9に示す。主成分1はCOD、クロロフィルaが同程度の高い正、リン酸態リンがやや低い正、透明度が高い負の主成分負荷量を示す。このことから、主成分1は海域の懸濁性の有機物や植物プランクトンの増殖による濁り成分が主因である汚濁程度を示す因子であると考えられる。主成分2はリン酸態リンが高い正、pH、DOが高い負の主成分負荷量を示すことから、海域有機物の分解程度の高さを示す因子と考えられる。

(2) クラスター分析による海域区分

各観測地点の主成分負荷量をもとに水質特性が類似す

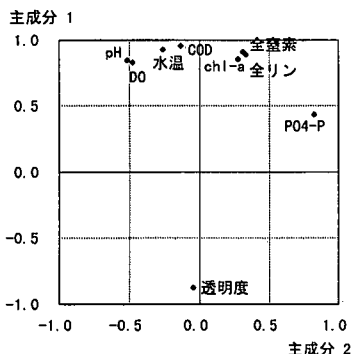


図-9 水質項目別の主成分負荷量

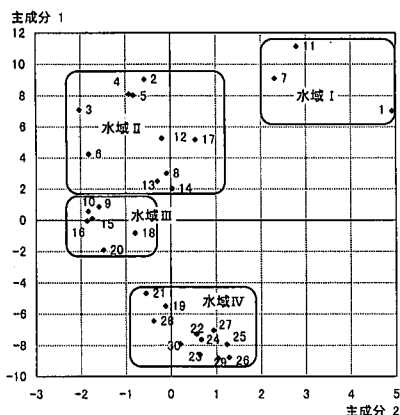


図-10 観測地点別の主成分負荷量とクラスター分類

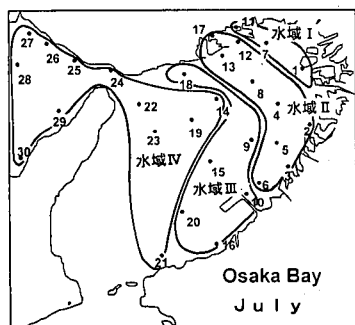


図-11 クラスター分析による大阪湾の海域区分

る海域をクラスター分析により分類した。クラスターは4区分とした。各観測地点の7月の主成分負荷量の分布とクラスター分析により得られた海域分類を図-10に示す。各クラスターの特徴は次のとおりである。

水域Ⅰ：濁り程度が大きく、有機物分解能も大きい。

水域Ⅱ：濁り程度がやや大きく、有機物分解能は中程度からやや低い水域である。

水域Ⅲ：濁り程度が中程度で有機物分解能はやや低い。

水域Ⅳ：濁り程度が低く、有機物分解能はやや高い。

クラスター分析により分類された大阪湾7月の海域区分を図-11に示す。図-11における水域ⅡとⅢの境界は、大阪湾の20 m等深線上に形成される密度フロントの位置とほぼ一致している。水域Ⅳは、大阪湾の西部海域と播磨灘が類似の水質特性を有することを示しており、明石海峡を通じて水交換が活発に行われていることがわかる。

5. 大阪湾の海域別汚濁特性

大阪湾における4つの水域区分から代表点を選定し、各代表点における水質の季節変動、水域区分別の水質項目間の相関特性、代表的汚濁指標であるクロロフィルaを目的変数とする重回帰分析を行うことにより湾内水質汚濁の支配的要因について明らかにする。

(1) 海域区分別の水質季節変化状況

大阪湾の4水域の代表点として、公共用水域水質調査の観測地点No. 1, 7, 11 (水域Ⅰ), No. 4, 8, 13 (水域Ⅱ), No. 15, 18, 20 (水域Ⅲ), No. 23 (水域Ⅳ)を抽出し、各水域別の9ヶ年平均の月別水質を算定した。このうち、透明度、COD、クロロフィルa、リン酸態リンの月別変化を図-12に示す。透明度は水域ⅣからⅠに向かうにしたがい低くなっており、またこの順に季節変化が大きくなる。各水域の透明度の低下はCODの上昇と密接に関連している。クロロフィルaの季節変化は水域Ⅰ、Ⅱにおいて大きく、8月に最高となり、その後9月で急激に低下する。透明度、COD、クロロフィルaから判断すると大阪湾の水質は11月から12月にかけて最も汚濁の程度が低い。一方、リン酸態リンはクロロフィルaが最も低下する11月から12月にかけて高くなり、夏期に低下する傾向にある。これら4つの水質指標は相互に密接に関連していることがうかがわれる。

(2) 海域区分別の水質相互の相関特性

海域別の水質汚濁特性を把握するため、水域Ⅰ～Ⅲについて代表地点における9ヶ年平均の月別水質データをもとに水質項目相互の相関解析を行った。このうち、透明度、クロロフィルaと他の水質項目との相関係数を表-2に示す。透明度は全水域でpHと負の相関があり、水域Ⅰ、Ⅱでは透明度はO-P (有機態リン)、CODと負の相関がみられる。汚濁海域の透明度の低下は有機物量が影響していると考えられる。クロロフィルaは、水域ⅠではO-N (有機態窒素)、O-Pとの相関係数が0.8以上となっている。相関係数だけではクロロフィルaの支配要因が不明確である。そこで、クロロフィルaを目的変数とし水温、pH、DO、I-N (無機態窒素)、I-P (無機態リン)の内部生産に係わる項目を説明変数とする重回帰分析を行い、クロロフィルaへの寄与率を検討し

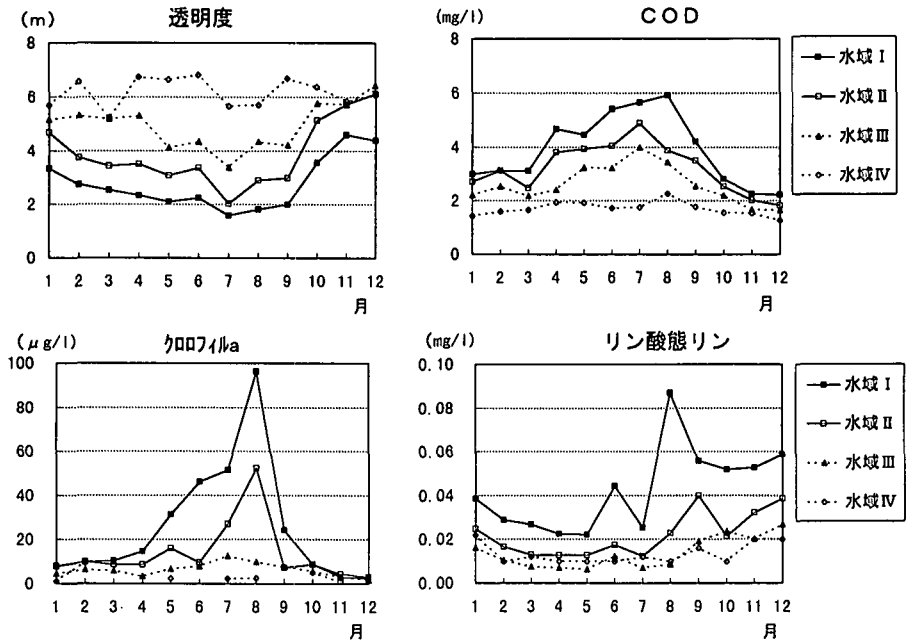


図-12 海域区分別の9ヶ年平均水質の月変化

表-2 海域区分別の水質項目相互の相関係数

項 目	透明度との相関係数			クロロフィル a との相関係数		
	水域 I	水域 II	水域 III	水域 I	水域 II	水域 III
水温	-0.34	-0.37	-0.47	0.56	0.42	0.48
透明度	1.00	1.00	1.00	-0.62	-0.49	-0.73
pH	-0.81	-0.82	-0.80	0.77	0.53	0.78
DO	-0.47	-0.58	-0.43	0.27	0.15	0.38
COD	-0.85	-0.81	-0.74	0.65	0.32	0.81
O-N	-0.74	-0.71	-0.44	0.89	0.60	0.51
I-N	0.14	0.41	0.57	-0.30	-0.36	-0.38
O-P	-0.87	-0.82	-0.69	0.82	0.74	0.69
I-P	0.11	0.35	0.54	0.45	0.27	-0.37
クロロフィル a	-0.62	-0.49	-0.73	1.00	1.00	1.00

表-3 クロロフィル a を目的変数とする重回帰解析結果

	水域	水 温	pH	DO	I-N	I-P
標準偏回帰係数	I	0.053	0.680	0.192	0.019	0.556
	II	-0.115	0.468	0.475	-0.401	0.877
	III	0.453	0.525	0.571	0.162	0.234
偏相関係数	I	0.051	0.563	0.185	0.034	0.751
	II	-0.053	0.210	0.278	-0.371	0.717
	III	0.193	0.227	0.309	0.180	0.220

た。各説明変数のクロロフィル a への寄与率を表す標準偏回帰係数と偏相関係数を表-3 に示す。水域 I, II では I-P の偏回帰係数, 偏相関係数ともに高くなっており, 内部生産に I-P が強く係わっていることがわかった。

6. ま と め

本研究で得られた結果を次に示す。

(1) 大阪湾の湾奥海域では戦前より既に水質が悪化

しており, 特に透明度, COD, 夏季底層の DO 飽和度などは現在の水質レベルと大きく違わなかった。この間, 流域の人口, 産業の発展は著しいものであったが, その影響は解析した水質項目では直接的に評価できなかった。ただし, 湾奥海域のリン酸態リンについては他の水質項目と異なり, 沿岸域の社会状況の変化に密接に関連していることがわかった。

(2) 水質の測定値の統計的解釈に基づいて大阪湾の物質循環や水質構造を明確にすることを目的にしたので, 物理過程を強く反映する塩分をあえて除外した。それにもかかわらず, 得られた解析結果は海域区分に見られるように物理機構と強い相関があることを示唆している。

参 考 文 献

大阪府水産試験場 (1972~1992): 浅海定線調査, 大阪府水産試験場事業報告。
大阪府 (1984~1992): 公共用水域水質測定結果報告。
兵庫県 (1984~1992): 公共用水域水質測定結果報告。
神戸海洋気象台 (1928): 大阪湾第 2 次海洋観測報告。
神戸海洋気象台 (1935): 大阪湾第 3 次海洋観測報告。
神戸海洋気象台 (1950~51): 大阪湾定期観測, 海洋時報, II, 2, 1 号~3, 2 号。
城 久 (1986): 大阪湾における富栄養化の構造と富栄養化が漁業生産に及ぼす影響について, 大阪府水産試験場報告, 第 7 号, pp. 1-174。
Nakatsuji, K. and Fujiwara, T. (1997): Residual Baroclinic Circulations in Semi-enclosed Coastal Seas. J. Hydraulic Engng. ASCE, Vol. 123, No. 4, pp. 362-377。