

ノート

大阪湾における水質の経年変化

永田誠一^{*1}・井口久和^{*2}・柴 宏有^{*2}・亀田賢一^{*1}・中谷明泰^{*1}・
中筋昭夫^{*1}・井川直人^{*1}・西田一豊^{*1}・谷田圭亮^{*3}

(1999年3月15日受付)

Interannual Variations of Water Quality in Osaka Bay

Seiichi NAGATA^{*1}, Hisakazu IGUCHI^{*2}, Hirotomo SHIBA^{*2}, Kenichi KAMEDA^{*2}, Akihiro
NAKATANI^{*1}, Akio NAKASUJI^{*1}, Naoto IKAWA^{*1}, Kazutoyo NISHIDA^{*1}, and Keisuke TANIDA^{*3}

キーワード：大阪湾，水質，経年変化

大阪湾は世界の他の海域と比較しても極めて高い生産力を誇っている海である。^{1,2}しかし、湾奥から湾東部にいたる海域では、淀川水系や大和川等の汚濁河川水が大量に流入することによる富栄養化が進み、表層では赤潮が頻発し、^{4,5}高温期には底層水の貧酸素化域が拡大し、^{6,8}底生魚介類にとって好ましい漁場環境とはいえない状況となっている。^{3,9}この様な現実を踏まえ、閉鎖性海域の環境改善という視点から、大阪湾への窒素、リンの流入負荷量と、それらの循環について、多くの研究者が報告している。^{10,11}

大阪湾全域を対象とした海況調査は、大阪府立水産試験場（以下大阪水試と略す）が1972年以降定期的を実施し、得られた調査成果はすでに引用した文献等^{12,13,14}に集約されている。また、兵庫県立水産試験場（以下兵庫水試と略す）は大阪湾中央部から西部海域を対象とした海況調査（瀬戸内海重要水族環境調査）を1968年以降、毎月中旬に定期的におこない、漁業者への参考資料として情報提供している。

著者らは、兵庫水試が毎月初めに実施している播磨灘を対象とする浅海定線調査および播磨灘漁場環境定期調査に準拠する形で、1984年頃からほぼ同日時に、大阪湾

全域漁場環境調査を開始し、現在も調査継続中である。初期は高水温期の赤潮監視を主な調査目的としていたが、その後、ノリ生産指導業務の一環として、大阪湾全域の栄養塩状況把握を主体とする漁場環境調査へと調査比重を傾斜させ、今日に至っている。

本報告は1985年1月から1998年3月までの約13年余にわたる大阪湾全域の水質調査結果を総括し、1980年代後半以降現在までの、大阪湾水質の平均的な現況、並びに経年変化を明らかにすると共に、既往の調査報告等と比較検討する。特に、著者らは溶存無機態窒素（NH₄-N, N O₂-N, NO₃-Nの総量、以下DINと称す）、溶存無機態リン（以下DIPと称す）分析は周年実施し、多くの調査結果を得たので、それらの経年変化等についても報告する。

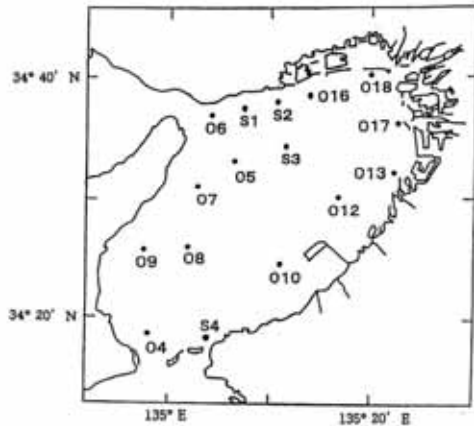
調査方法および分析方法

大阪湾の調査地点数は16点で（第1図、第1表）、これらの調査点のうちO4, O5, O6, O7, O8, O9は兵庫水試の瀬戸内海重要水族環境調査定点と、O10, O12, O13, O16, O17, O18は大阪水試の浅海定線調査定点と同一である。また、16地点の中で河川水の影響を大きく受ける地点は

^{*1}兵庫のり研究所 (Hyogo Nori Institute, Minami-Futami, Akashi 674-0093)

^{*2}神戸市漁業協同組合(Kobe Fishers Co-operative Association, Tarumi-ku, Kobe 655-0892)

^{*3}兵庫県立水産試験場 (Hyogo Prefectural Fisheries Experimental Station, Minami-Futami, Akashi 674-0093)



第1図 大阪湾調査地点

第1表 大阪湾調査地点位置

調査地点	北緯	東経
O 4	34° 18.8'	134° 58.6'
O 5	34° 32.6'	135° 07.4'
O 6	34° 36.3'	135° 04.0'
O 7	34° 30.7'	135° 02.8'
O 8	34° 24.5'	135° 01.7'
O 9	34° 24.3'	134° 57.8'
O 10	34° 24.3'	135° 11.0'
O 12	34° 30.2'	135° 17.0'
O 13	34° 32.1'	135° 22.8'
O 16	34° 38.0'	135° 14.2'
O 17	34° 36.0'	135° 23.1'
O 18	34° 40.6'	135° 20.0'
S 1	34° 36.8'	135° 07.7'
S 2	34° 37.3'	135° 11.0'
S 3	34° 33.6'	135° 11.3'
S 4	34° 18.4'	135° 04.2'

3点(O13, O17, O18)である。測定項目は、透明度、水温、塩分、pH、COD、DO、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、DIP、SiO₂-Si (以下DSiと称す)で、それらの測定方法、および測定機器は第2表に示した。また、観測採水層は、表層、10m層

第2表 大阪湾調査における測定項目、測定方法、および測定機器

測定項目	測定方法	測定機器	単位
透明度	目視	30cm 透明度板	m
水温	白金測温抵抗体	アレック電子製 ACT20-D	℃
塩分	電磁誘導型伝導度	同上	psu
pH	ガラス電極法	東亜製 HM-12P	
NH ₄ -N	インドフェノール法	テクニコン社製オートアナライザー AA II-C	μg at / l
NO ₂ -N	GR法	同上	μg at / l
NO ₃ -N	Cdカラム還元法	同上	μg at / l
DIP	アスコルビン酸還元法	同上	μg at / l
DSi	モリブデン酸青法	同上	μg at / l
COD	アルカリ法		mg / l
DO	隔膜電極法	EIL 製溶存酸素計	%

の2層で、表層はポリバケツで、10m層は市販採水器（リゴー社製、B号、5023A）を用いて採水した。調査日は原則として毎月5日とし、約6時間で調査を終了した。当日実施できない場合、最大でも前後1週間以内に調査を終えた。今回報告する内容は、1985年1月から1998年3月までおこなった計153回分（途中6回欠測）の調査結果である。

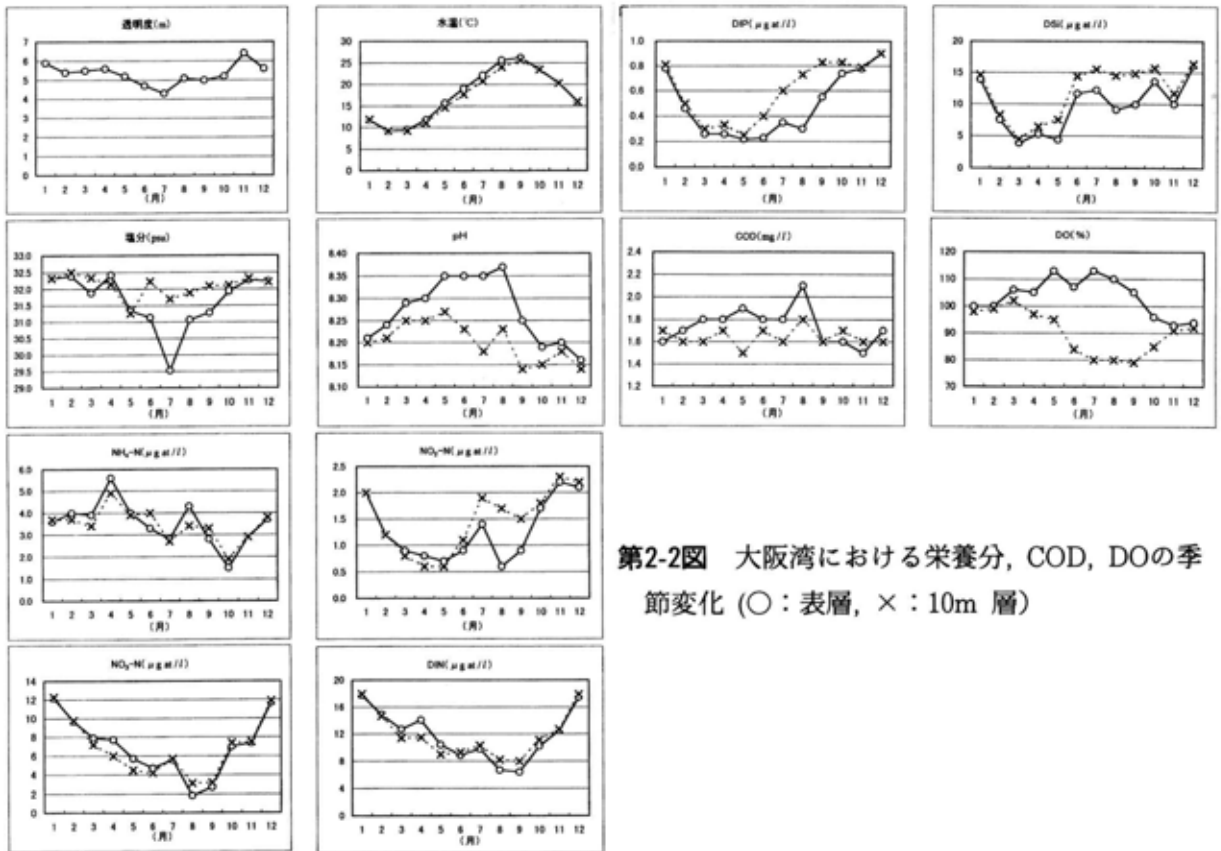
結果と考察

第3表には1985年1月から1998年3月にかけて調査した大阪湾における各層（表層、10m層）の水質の平均値（表層はO13, O17, O18を除く13点平均、10m層は16点平均）を月別に表し、第2-1図、第2-2図には季節変化を図示した。第3-1図、第3-2図には各項目別、各層別の平均的水平分布を示した。第4-1図、第4-2図、第4-3図には項目別に各月の平均値（表層はO13, O17, O18を除く13点平均、10m層は16点平均）を12ヶ月移動平均処理した経年変化を示した。第4表には各月のDIN、DIP平均値（表層はO13, O17, O18を除く13点平均、10m層は16点平均）から算出した毎月の各層別DIN/DIP比を表し、第5図には各層別DIN、DIP およびDIN/DIP比の経年変化を示した。

第3表 大阪湾における各層の水質の季節変化(1985.1~1998.3の平均値)

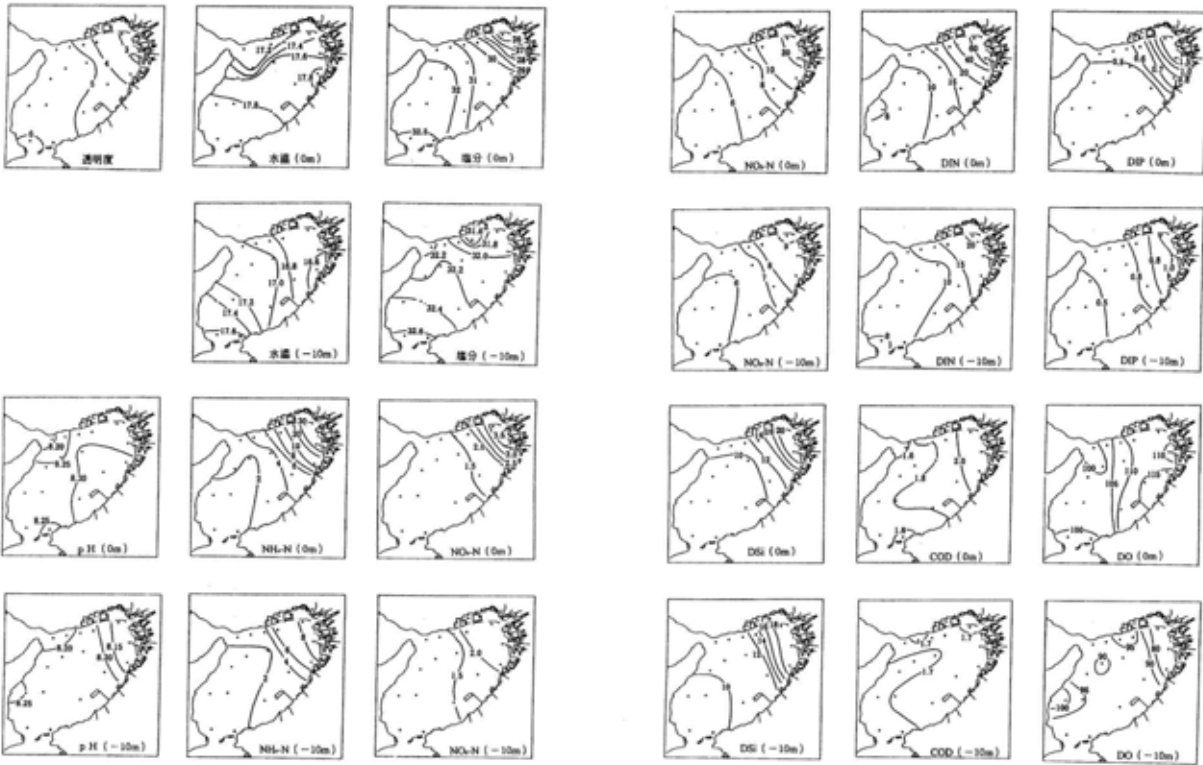
(0m)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
透明度 (m)	5.9	5.4	5.5	5.6	5.2	4.7	4.3	5.1	5.0	5.2	6.4	5.6	5.3
水温 (°C)	11.71	9.16	9.43	11.73	15.62	19.05	22.19	25.64	26.19	23.51	20.31	15.95	17.54
塩分 (psu)	32.32	32.39	31.88	32.42	31.34	31.14	29.53	31.07	31.28	31.93	32.27	32.23	31.65
pH	8.21	8.24	8.29	8.30	8.35	8.35	8.35	8.37	8.25	8.19	8.20	8.16	8.27
NH ₄ -N (μg at/l)	3.6	4.0	3.9	5.6	4.0	3.3	2.8	4.3	2.8	1.5	2.9	3.7	3.5
NO ₂ -N (μg at/l)	2.0	1.2	0.9	0.8	0.7	0.9	1.4	0.6	0.9	1.7	2.2	2.1	1.3
NO ₃ -N (μg at/l)	12.2	9.7	7.9	7.7	5.7	4.7	5.6	1.8	2.7	7.0	7.4	11.7	7.0
DIN (μg at/l)	17.8	14.9	12.7	14.1	10.4	8.9	9.8	6.7	6.4	10.2	12.5	17.5	11.8
DIP (μg at/l)	0.78	0.46	0.26	0.26	0.22	0.23	0.35	0.30	0.55	0.74	0.78	0.90	0.49
DSi (μg at/l)	13.9	7.5	3.9	5.3	4.4	11.6	12.2	9.1	9.9	13.6	10.0	16.1	9.8
COD (mg/l)	1.6	1.7	1.8	1.8	1.9	1.8	1.8	2.1	1.6	1.6	1.5	1.7	1.7
DO (%)	100	100	106	105	113	107	113	110	105	96	93	94	104

(-10m)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
水温 (°C)	11.83	9.23	9.24	11.01	14.65	17.67	20.79	24.02	25.63	23.47	20.34	16.02	16.99
塩分 (psu)	32.32	32.50	32.34	32.15	31.26	32.23	31.70	31.89	32.09	32.11	32.32	32.21	32.09
pH	8.20	8.21	8.25	8.25	8.27	8.23	8.18	8.23	8.14	8.15	8.18	8.14	8.20
NH ₄ -N (μg at/l)	3.7	3.7	3.4	4.9	3.9	4.0	2.7	3.4	3.3	1.9	2.9	3.8	3.5
NO ₂ -N (μg at/l)	2.0	1.2	0.8	0.6	0.6	1.1	1.9	1.7	1.5	1.8	2.3	2.2	1.5
NO ₃ -N (μg at/l)	12.3	9.8	7.2	6.0	4.5	4.2	5.7	3.1	3.2	7.4	7.5	11.9	6.9
DIN (μg at/l)	18.0	14.7	11.4	11.5	9.0	9.3	10.3	8.2	8.0	11.1	12.7	17.9	11.9
DIP (μg at/l)	0.81	0.50	0.30	0.33	0.25	0.40	0.60	0.73	0.83	0.83	0.79	0.90	0.61
DSi (μg at/l)	14.6	8.3	4.5	6.4	7.5	14.4	15.5	14.5	14.8	15.7	11.7	16.4	12.0
COD (mg/l)	1.7	1.6	1.6	1.7	1.5	1.7	1.6	1.8	1.6	1.7	1.6	1.6	1.6
DO (%)	98	99	102	97	95	84	80	80	79	85	91	92	90



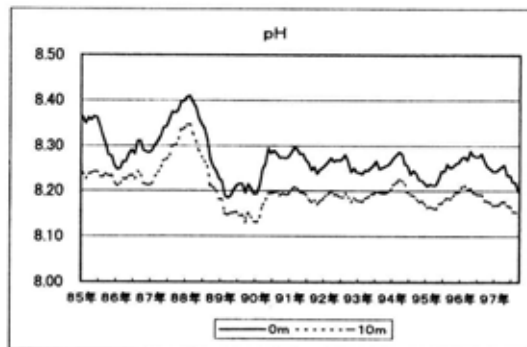
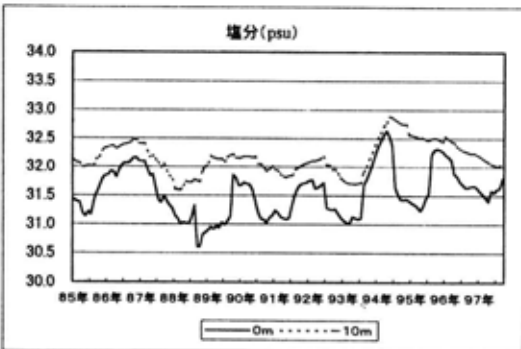
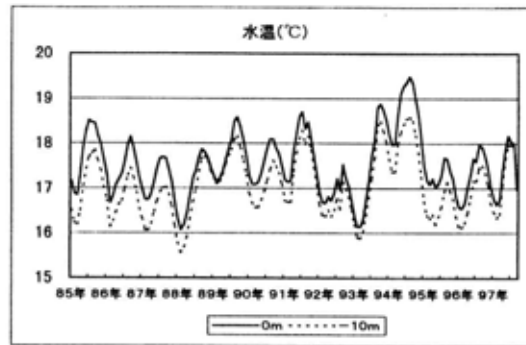
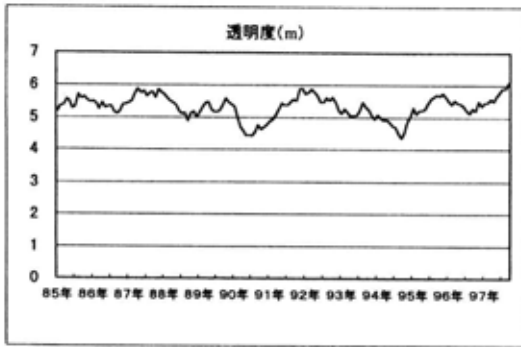
第2-2図 大阪湾における栄養分, COD, DOの季節変化 (○:表層, ×:10m層)

第2-1図 大阪湾における透明度,水温,塩分, pH, 栄養塩の季節変化 (○:表層, ×:10m層)

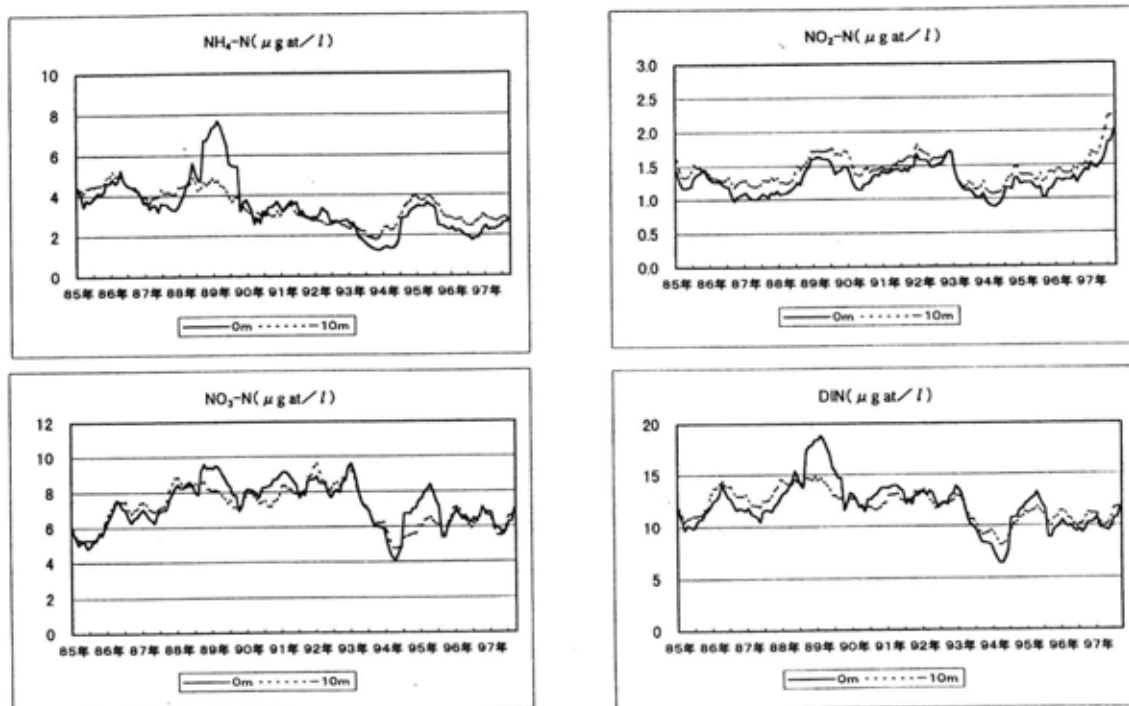


第3-1図 大阪湾における各層別, 透明度(m), 水温(°C), 塩分(psu), pH, 栄養塩(µg at/l)の平均的水平分布

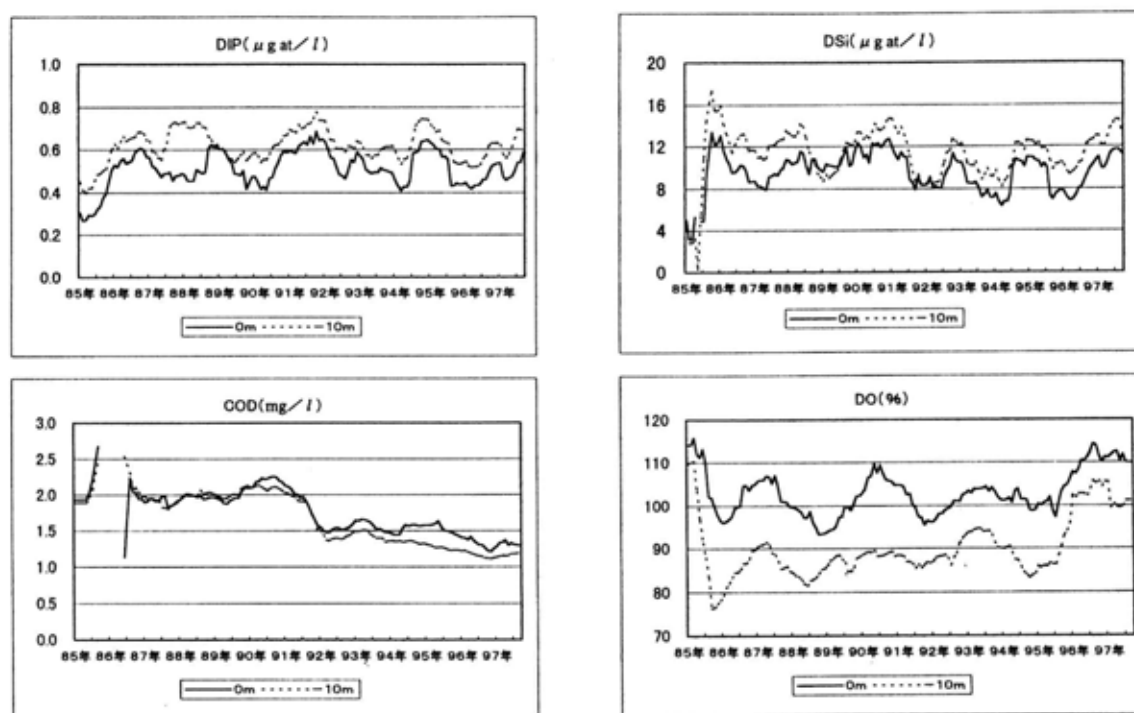
第3-2図 大阪湾における各層別, 栄養塩(µg at/l), COD(mg/l), DO(%)の平均的水平分布



第4-1図 大阪湾における透明度, 水温, 塩分, pHの経年変化(12ヶ月移動平均)



第4-2図 大阪湾における栄養塩の経年変化(12ヶ月移動平均)



第4-3図 大阪湾における栄養塩, COD, DOの経年変化(12ヶ月移動平均)

透明度 第3表より、透明度の年平均は5.3mで、最小は7月の4.3m、最大は11月の6.4mであった。過去の報告²¹⁾との比較で、透明度は1980年代より幾分高くなっているようにも思われる。第3-1図の平均的水平分布では、湾奥から湾中央部にかけては5m以下、湾西部は5m以上で、20mの等深線と透明度5mの境界線は比較的良く対応している。第4-1図の経年変化では、透明度は概ね5~6mで推移しているが、1990年4月から1991年8月と、1994年9月から1995年5月の計2回、5mを若干下回っている。透明度が低くなる要因としては、懸濁質量、植物プランクトン発生量の増大等が考えられる。1990年4月から1991年8月については、スケルトネマ及びヘテロシグマ等の長期にわたる赤潮発生が確認されていること、^{22,23)} また、1990年は明石で年間降水量1437mmを記録し、²⁴⁾ 近年にない多雨年であり、陸からの懸濁質流入量も多かったことが推察されるが、これらが透明度低下原因になったものと考えられる。1994年9月から1995年5月については、1993年夏の低温、多雨、日照不足から、1994年夏の高温、少雨へと、近年まれに見る気象変化を示し、その結果、播磨灘において水温、塩分環境に大きく影響したことが報告されているが、²⁵⁾ 大阪湾においても異常気象が植物プランクトン発生、例えば余り報告例のないタラシオシラ、²⁶⁾ 或いはスケルトネマ等の赤潮発生に、直接、間接的に影響を与え、透明度低下の一因になったものと考えられる。

水温 第2-1図より、水温は4月頃より成層が形成され始め、8月には表層と10m層の水温差が最大の1.6℃となり、10月には成層は消滅している。また、2月に最低水温、9月に最高水温を記録している。第3-1図の平均的水平分布で、表層では北部沿岸で水温が低く、南下するにつれて次第に高くなっているのに対し、10m層では湾奥で低く、湾口に向かって同心円状に上昇がみられる。第4-1図の経年変化では、1988年7月から10月と、1993年7月から10月には、16.5℃以下に若干低下している。一方、1994年11月から1995年4月は19.0℃以上と高い傾向にあった。1988年については、明石における定置観測結果からも水温が低かったことが報告されており、²⁷⁾ 1993年についても播磨灘での報告²⁸⁾ともよく対応している。他方、高水温に振れた1994年11月から1995年4月は、前述の報告²⁹⁾にある様な気象要因がかなり影響しているものと思われる。

塩分 第2-1図、第3表より、塩分は10m層は年間を通じてほぼ32 psu 前後で推移しているが、表層では7月に29 psu 台まで下がっている。塩分は降水量と関係がある³⁰⁾ことは透明度の項で述べた。6月~9月の積算雨量は、年間降水量の約5割を占め、年間降水量と相関が高いことが明らかにされている。³¹⁾ 6月~9月に認められる2層間の塩分差は、この期間、多量の淡水が流入することにより、表層の塩分濃度が低下したことに加え、水温上昇に伴う密度差が増大し、成層がさらに強まったことにより生じたものと考えられる。第3-1図の平均的水平分布では、表層塩分は、湾奥で26 psu 以下と最も低く、湾中央部の31 psu線まで急勾配に塩分濃度が高くなっている。この分布状況は、すでに報告された分布³²⁾状況とよく似ており、塩分分布は1970年代後半から1980年代初期の頃と、それ以降では、基本的には大きく変化していないことを示している。10m層では、北部沿岸から湾奥にかけて31 psu 台で、南下するに従って32 psu台へと幾分高くなっている。第4-1図の経年変化は、10m層の方が表層より若干変動が小さいものの、両層ともやや規則的な上下動を繰り返しているように思われる。1989年3月から11月は31 psu以下に観測されている。1989年は1990年に次ぐ年間降水量が観測され、なかでも6月、9月に雨量が多かった³³⁾ことが塩分濃度に影響したものと考えられる。一方、1994年6月から12月と、1996年2月から9月は、32 psuをかなり上回っていた。1994年については、前述の播磨灘での塩分環境³⁴⁾と関連づけられる。1996年については、年間降水量は際だって少なくなかったものの、春先および梅雨時期の少雨、³⁵⁾ 或いは他の要因が関係しているのかもしれない。

pH, COD 第2-1図、第3表より、pHは成層形成期の5月~8月の表層では8.35にまで上昇している。このpH上昇は活発な植物プランクトン増殖によるものと推察される。³⁶⁾ 一方、10m層は年間を通し、8.20 前後で比較的安定している。第3-1図の平均的水平分布は、表層では湾東部で高く、明石海峡部で低い分布をしている。10m層では湾奥、明石海峡部でやや低いものの、湾内には特徴的な偏りはみられない。第4-1図の経年変化では、1985年7月から1986年3月と、1987年3月から1989年2月は、8.30以上

に振れているが、1990年9月以降は表層、10m層とも余り大きな変化は認められない。pHが8.30以上の高値を示した時期は、植物プランクトンが活発に増殖したことに起因したものと考えられる。

第2-1図より、CODは年間を通し、表層、10m層とも余り大きな変化は見られない。ただ例外的に8月の表層では2.1とやや高くなっている。これは植物プランクトン等が影響しているものと思われる。第3-1図の平均的水平分布は、表層では湾奥がやや高い傾向が認められる。この理由として、河川水の流入や、それに伴う赤潮発生などが影響しているものと推察される。10m層では特に偏りは見られない。第4-2図の経年変化は、1992年5月を境にして、それ以降は若干、減少傾向にあり、城³⁾が指摘しているように1980年代以降、徐々に水質が改善されてきている様にも思われる。

DO 第2-2図より、DO飽和度は、表層で5月～8月の成層形成期には植物プランクトンの増殖等³⁾により若干上昇している。10m層は逆にその時期、特に7月～9月期には飽和度80%前後にまで下がっている。この現象は、すでに城らが明らかにしている、高温期には底層水が貧酸素化する現象⁴⁾の一端を捉えたもので、10m層にも底層水の酸素不足の影響が及んでいることを示している。また、第3-1図の平均的水平分布は、表層では湾奥から湾東部にかけて110%以上とやや高く、明石海峡部、湾口部に向かってやや低くなっている。一方、10m層では湾奥部のみが飽和度70%台にあり、この海域を除けばほぼ全域で飽和度90%台であった。今回の個々の全調査を見ても、湾奥部(O13, O17, O18)の10m層で、年次によって出現頻度の多少はあるものの、ほぼ毎年、6月頃から飽和度50～60%以下の貧酸素状態が観測され始め、8月、9月には飽和度30%以下の強い貧酸素状態の頻度が高くなり、場合によっては飽和度10%以下の極貧酸素状態も観測されている。このことは、1990年代になっても依然として大阪湾での貧酸素化現象が続いていることを示している。第3-1図のDOについての表層、10m層の水平分布パターンは、すでに述べたpHの各層の水平分布とよく似た状況を示している。DOとpHとの相互的な関連性が播磨灘において指摘されているが、³⁾大阪湾の場合もこの点に関しては同様なことがいえよう。第4-2図の経年変化を

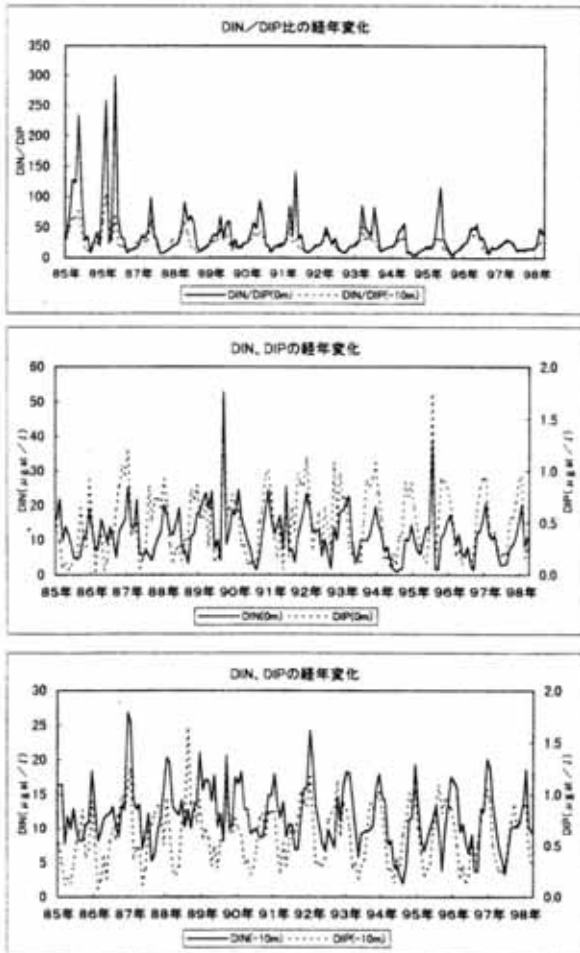
みると、酸素低下に傾いた時期が、10m層では表層より数ヶ月早く観測されている（表層：1986年7月から8月、1989年4月から6月、1992年4月、10m層：1986年3月、1988年11月から12月、1992年1月から3月）。この現象は、真鍋ら⁵⁾が播磨灘のDOの表層と底層の観測結果から推察している、植物プランクトンの底層への蓄積およびその分解によって生じる時間差の1か月とは少し開きがあり、大阪湾では他のメカニズムが働いているのかも知れない。また、10m層では徐々にではあるが、傾向として、貧酸素状態が改善されつつある様にも思われる。

栄養塩 第2-1図、第2-2図より、NH₄-Nの月別平均値は4月にはやや多く、10月には少ないが、季節による特徴は見られない。これに対し、NO₂-N、NO₃-Nは冬季に多く、夏季に少ない傾向を示している。また、表層と10m層の比較では、NO₂-Nのみが7月～9月に10m層で多いが、NH₄-N、NO₃-Nについては2層間で顕著な差は認められなかった。DIPは、表層では10月～1月に0.7 μgat/l以上の高い濃度であり、3月～8月には0.4 μgat/l以下であった。10m層は6月～9月には表層より濃度が高く観測されている。両層におけるDIP濃度差は、成層形成に伴い、表層で植物プランクトン等により消費された結果によるものと推察される。DSiは表層、10m層とも、年間を通じ3月～5月に低い傾向がみられる。しかし、5月～10月には10m層の濃度が表層より高くなっており、これもDIPの場合と同様な理由によるものと思われる。平均的水平分布は第3-2図より、DIN、DIP、DSiとも、湾奥部で最も濃度が高く、湾口に向かって低くなっていくパターンを示しており、水平分布に関してDIN、DIP、DSiそれぞれの強い相関がうかがえる。この現象は播磨灘での調査結果からもすでに明らかにされており、³⁾大阪湾においても播磨灘とはほぼ同じ状況にあるといえる。10m層の水平分布は第3-2図より、表層の様に濃度勾配は大きくないが、基本的な分布パターンは表層とよく似ている。経年変化については第4-2図、第4-3図より、NH₄-Nは、表層では1988年11月から1990年3月に5 μgat/l以上を記録しているが、表層、10m層とも1980年代半ば頃からすれば現在、若干減少傾向にあるように思われる。

第4表 各月の各層別、DIN/DIP比

(0m)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
1985年	33.6	71.1	128.4	123.5	234.4	94.8	29.3	35.0	8.3	26.3	42.5	20.7	70.7
1986年		258.5	24.0	42.3	299.3	61.8	34.7	30.9	7.9	14.5	13.8	16.7	73.4
1987年	21.2	35.6	32.5	44.2	99.0	36.7	28.8	6.7	7.8	11.1	14.8	19.7	29.8
1988年	21.9	25.7	43.5	91.5	61.1	69.4	57.6	20.8	9.8	13.6	16.4	20.5	37.7
1989年	32.8	39.2	35.3	68.4	30.5	57.0	60.6	17.3	30.0	15.8	19.4	24.3	35.9
1990年	25.3	39.8	57.9	47.7	94.1	67.8	22.7	19.2	9.9	19.4	19.1	24.4	37.3
1991年	21.0	33.5	85.1	36.4	140.2	31.0	37.4	11.8	8.4	11.2	16.5	21.4	37.8
1992年	21.0	27.1	49.6		21.8	32.2	15.9		7.5	12.8	20.1	19.0	22.7
1993年	25.0	28.4	85.9	49.4	42.1	35.5	83.6		11.0	13.3	16.4	18.2	37.2
1994年	19.0	22.6	41.0	48.2	56.5	8.2	8.6	4.2	4.8	11.7	13.0	16.4	21.2
1995年	16.4	16.2	26.3		116.1	31.2	22.5	10.9	3.2	11.6	13.3	18.0	26.0
1996年	24.5	27.5	45.4	49.9	52.1	34.0	33.5	21.2	6.9	19.3	15.2	17.1	28.9
1997年	22.6	21.9	30.7	27.6	24.7	14.2		15.3	14.3	15.8	16.0	16.9	20.3
1998年	21.4	49.2	39.5										36.7

(-10m)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
1985年	31.2	51.0	64.9	65.8	76.5	41.6	17.6	12.7	9.7	27.0	24.4	19.7	36.9
1986年		103.4	59.7	29.4	68.6	22.1	20.0	18.4	11.1	13.6	15.3	25.4	35.2
1987年	20.5	38.3	26.6	28.8	60.3	33.7	19.0	7.4	7.6	10.9	13.9	30.9	24.8
1988年	21.5	29.9	51.7	57.4	39.9	19.4	14.9	7.9	11.1	14.3	18.6	22.2	25.7
1989年	27.3	26.5	29.8	46.2	36.8	36.0	22.7	13.2	18.8	15.4	16.9	22.9	26.0
1990年	24.9	30.5	39.1	36.6	41.9	34.5	21.2	11.3	10.7	18.5	18.2	17.9	25.4
1991年	21.5	28.8	48.5	26.6	29.5	19.2	15.6	10.9	8.9	11.4	17.2	17.9	21.3
1992年	20.7	25.9	38.3		26.1	18.2	13.0		8.2	13.0	18.6	17.8	20.0
1993年	21.5	27.1	50.6	30.5	33.7	31.0	26.8		10.9	12.2	16.4	17.5	25.3
1994年	17.8	25.1	27.6	31.4	31.8	12.9	9.6	3.2	6.4	11.3	13.6	18.6	17.4
1995年	20.1	19.4	32.0		30.8	17.3	14.8	8.6	4.8	10.3	14.2	20.4	17.5
1996年	23.4	32.4	49.1	36.1	56.3	30.6	16.2	11.0	7.1	17.4	14.8	19.2	26.2
1997年	20.1	28.1	28.8	27.5	21.6	11.4		13.9	11.7	14.6	15.4	14.9	18.9
1998年	20.8	24.7	32.0										25.8



第5図 大阪湾における各層別、DIN、DIP およびDIN/DIP比の経年変化

NO₂-Nは表層で1985年7月から1986年5月と、1994年7月から12月に6μgat/lをやや下回ったが、他の期間は概ね6~10μgat/l濃度間で推移している。NO₃-Nは表層、10m層とも大きな変化はなく推移している。また、DINは上述したNH₄-N、NO₃-Nの一時的な増減を反映した形で経年変化しているが、1996年2月以降はそれまでと比較して若干低く推移している様に思われる。DIP、DSiはともにかなり規則的な変動を示し、1980年代半ばと現在では濃度差に余り変化がないように思われる。

DIN/DIP比 表層でのDIN/DIP比(以下NP比と称す)は第4表より、100を越えた月が全調査153回中7回あり、年次では1985年、1986年、月では5月に集中している。年平均は、1985年、1986年では上記の理由により70台と高いが、それ以降は20~38の範囲にあった。城は大阪湾の表層のNP比は1970年代は25~35、1980年代は30~40で、10年間で5前後NP比が上がった³⁾としているが、今回、著者らの調査から、1980年代は多少、例外はあるものの、城の報告と同様、概ね30~40で推移していることが確認された。また、1990年代は1980年代よりNP比がやや下がり、概ね20~30で推移していることが明らかとなった。1990年代になりNP比が下がった理由としては、栄養塩の経年変化の項で述べた様に、経年的にはDIP濃度の増加は余り顕著でないことから、DIN濃度がやや減少していることによるからではないかと考えられる。また、NP

比の四季別の特徴について、城は、四季毎の測定値でNP比が50を越える季節が1970年代は5月であったが、1980年代は5月以外に、2月、8月も頻度が高かったことを報告している。³⁾ 今回、著者らの毎月の調査でNP比が50を越えた月は、1980年代は5月の他に6月、4月、7月、2月、3月、2月から7月までは50を越える場合が多かった。1990年代に入ると5月以外に、頻度に差があるものの、3月、7月、4月がNP比50を越える回数が多い月であった。

10m層のNP比は第4表より、全般に表層ほど高くなく、1985年～1986年は平均30台であった。その後1993年までは20～30で推移し、1994年以降現在まで、1996年を除いては10台であった。また、50を越えるNP比を観測した月は、1980年代では、5月以外に3月、4月、2月が、1990年代は3月、5月が頻度的に多く観測された。最近、海域での植物プランクトンの増殖に及ぼす要因として、水温、塩分、窒素、リン量等の他にNP比が重要であることが指摘され、大阪湾、播磨灘、²⁾東京湾奥域、³⁾における主要植物プランクトン出現種とNP比、並びにギムノディニウム、⁴⁾ヘテロシグマ⁵⁾高密度発生とNP比の関連性について積極的に論じられてきている。今後この様な観点から、さらに多くの証拠が提供され、活発な論議が展開されてくるものと期待される。本報告では、この点について詳しくは言及できなかったが、この方面で議論する上で、今後参考資料として資するものと思われる。

謝辞

調査点設定に始まり、大阪湾調査が軌道にのるまで様々なご指導し、ご鞭撻いただいた兵庫県立水産試験場増殖部長、眞鍋武彦博士に深謝いたします。また、本文をまとめるにあたり有益な助言をいただいた、兵庫県立水産試験場主任研究員、堀 豊氏に深謝いたします。長期にわたった本調査の現場観測には、共著者以外にも多数の方々にご協力いただきました。ここに併せて謝意を表します。

文献

- 1) 城 久：大阪湾。「漁業と環境」(吉田陽一編)、水産学シリーズ53、恒星社厚生閣、東京、1984、pp. 29-42.
- 2) 城 久：大阪湾。「漁場環境容量」(平野敏行編)、水産学シリーズ87、恒星社厚生閣、東京、1992、pp. 49-68.
- 3) 城 久：大阪湾の開発と海域環境の変遷。沿岸海洋研究ノート、29(1)、3-12 (1991).
- 4) 城 久：赤潮。「漁業からみた閉鎖性海域の窒素・リン規制」(村上彰男編)、水産学シリーズ62、恒星社厚生閣、東京、1986、pp. 32-47.
- 5) 矢持 進：大阪湾。「水域の窒素：リン比と水産生物」(吉田陽一編)、水産学シリーズ95、恒星社厚生閣、東京、1993、pp. 84-95.
- 6) 城 久・矢持 進・安部恒之・河合 章：大阪湾の貧酸素底層水における無機栄養塩濃度について。日水誌、50(10)、1693-1700 (1984).
- 7) 城 久：大阪湾の貧酸素水塊。沿岸海洋研究ノート、26(2)、87-98 (1989).
- 8) 中島昌紀：大阪湾東部沿岸域における貧酸素水塊について。大阪水試研報、(9)、1-10 (1995).
- 9) 吉田陽一：汚濁海域における物質の動きと微生物。「海洋の生態系と微生物」(日本水産学会編)、水産学シリーズ10、恒星社厚生閣、東京、1975、pp. 71-84.
- 10) 柳 哲雄・柴木秀之・武岡英隆：播磨灘・大阪湾の塩分、窒素、リン収支。沿岸海洋研究ノート、22 (2)、159-164 (1985).
- 11) 城 久：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およぼす影響について。大阪水試研報、(7)、1-174 (1986).
- 12) 門谷 茂・岡市友利：大阪湾・播磨灘のC・N・P循環におけるプランクトンの役割。沿岸海洋研究ノート、25(2)、158-164 (1987).
- 13) 門谷 茂・三島康史・岡市友利：大阪湾の富栄養化の現状と生物によるNとPの循環。沿岸海洋研究ノート、29(1)、13-27 (1991).
- 14) 門谷 茂：窒素・リンの環境基準導入と水質浄化。資源環境対策、29、2-10 (1993).
- 15) 浮田正夫・山原康嗣・中西 弘：大阪湾における流入負荷量の推移と内部生産。沿岸海洋研究ノート、29(1)、51-59 (1991).
- 16) 城 久：大阪湾におけるリンの循環。沿岸海洋研究ノート、24(2)、158-168 (1987).

- 17) 湯浅一郎・上嶋英機・橋本英資・山崎宗広：大阪奥部の循環流とリンの循環。沿岸海洋研究ノート, 31(1), 93-107 (1993).
- 18) 青山英一郎ほか：赤潮発生状況調査, 赤潮予察調査。平成2年度大阪水試事報, 22-36 (1990).
- 19) 青山英一郎ほか：赤潮発生状況調査, 赤潮予察調査。平成3年度大阪水試事報, 25-41 (1991).
- 20) 宮原一隆・長井 敏：明石における定置観測結果の整理。兵庫水試研報, (32), 37-54 (1995).
- 21) 堀 豊：1993, 1994年度の播磨灘の特異な水温, 塩分環境について。兵庫水試研報, (33), 39-50 (1996).
- 22) K. Miyahara, S. Nagai, S. Itakura, K. Kamamoto, K. Fujisawa, T. Iwamoto, S. Yoshimatsu, S. Matsuoka, A. Yuasa, K. Makino, Y. Hori, S. Nagata, K. Nagasaki, M. Yamaguchi, and T. Honjo: First Record of a Boom of *Thalassiosira diporocyclis* in the Eastern Seto Inland Sea. Fisheries Science, 62(6), 878-882 (1996).
- 23) 山本圭吾ほか：赤潮発生状況調査, 赤潮予察調査。平成6年度大阪水試事報, 25-39 (1994).
- 24) 山本圭吾ほか：赤潮発生状況調査, 赤潮予察調査。平成7年度大阪水試事報, 25-35 (1995).
- 25) 日本気象協会神戸支部：平成8年兵庫県気象年報 (1996).
- 26) 眞鍋武彦・反田 實・堀 豊・長井 敏・中村行延：播磨灘の漁場環境と植物プランクトンの変動-20年間のモニタリングの成果-。沿岸海洋研究ノート, 31(2), 169-181(1994).
- 27) 堀 豊・宮原一隆・長井 敏・辻野耕実・中島昌紀・山本圭吾・吉田陽一・荒木伸生・酒井康彦：大阪湾および播磨灘における主要植物プランクトンとDIN:DIP 比等との相互関係。日水誌, 64(2), 243-248 (1998).
- 28) 吉田陽一・三嶋義人・佐藤正春：東京湾奥域における主要植物プランクトンとDIN:DIP比等との相互関係。日水誌, 64(2), 259-263 (1998).
- 29) 吉田陽一・小玉一哉・酒井康彦・辻野耕実・中島昌紀・山本圭吾・堀 豊・西川哲也・宮原一隆・長井敏：大阪湾および播磨灘におけるギムノディニウムの高密度発生と水質, 気象要因との関係。日水誌, 64(6), 1006-1012 (1998).
- 30) 吉田陽一・小島伸一・佐藤正春：東京湾奥域におけるヘテロシグマの高密度発生と水質, 気象要因との関係。日水誌, 64(6), 1013-1019 (1998).