

ノート

# 伊勢湾の水質環境の変遷

吉岡理

## Shift of Water Environment in the Ise Bay

Osamu YOSHIOKA

伊勢湾広域総合水質調査(環境省委託事業)データ(1978~1999年度)を用い、汚染物質濃度の経年変化、季節別地域別平均濃度、測定データ間の相互関係について解析を行ったところ、COD等伊勢湾に排出される汚染負荷量は削減されているにもかかわらず、表層におけるCOD、T-N、T-P等汚染物質濃度は横ばいのまま推移していた。CODは、クロロフィル-a、Org-NおよびOrg-Pと強い正の相関関係を有し、伊勢湾の有機汚濁が、陸上起源に加え内部生産起源の有機物に強く支配されていると考えられた。無機態窒素の主要成分であるNO<sub>3</sub>-Nは、表層において他の無機態栄養塩類と正の相関関係、塩分濃度と負の相関関係を有することから、陸域から流入したと考えられた。PO<sub>4</sub>-Pは、DOと負の相関関係を有することから、底質からの溶出、そしてさらに表層へ移動することが考えられた。

キーワード：伊勢湾，水質，閉鎖性水域，内部生産

### はじめに

伊勢湾は日本の中央に位置し、水域面積1738km<sup>2</sup>、平均水深19.5m、海水容積33.9km<sup>3</sup>の規模を持つ我が国最大級の内湾である。約20kmと狭い湾口部に大小の島々が存在し、かつ、湾内の海底地形が中央域で盆状であることから、外洋との海水交換が悪く、汚濁物質が蓄積しやすい閉鎖性水域となっている。さらに、本湾の特徴として、木曽川、長良川、揖斐川等主要河川が北部に集中し、降雨量も含めると、年間の総流入量は湾容積の約80%に達し、淡水の影響が大きい<sup>1)</sup>。

高度経済成長最盛期である1960年頃から、水質汚濁、富栄養化が顕著となり、水質保全体法に基づく規制が始まり、その後水質汚濁防止法が制定され、1978年からは、CODを指定項目として水質総量規制制度が導入されている。1999年度には、伊勢湾に排出されるCOD汚濁負荷量は1979年度の74%にあたる221トン/日に削減された<sup>2)</sup>ほか全窒素、全りんについても、1999年度には1979年度に比べそれぞれ27%、42%削減されているが、環境基準の達成状況は、未だ十分ではなく、赤潮や貧酸素水塊が多発している。2002年度からは、CODに加え、窒素及びりんを指定項目とする、第5次の総量規制が導入される。

今回、1978年度から実施している伊勢湾広域総合水質調査(環境省委託事業)の水質データを用いて、各種汚染物質の濃度推移および季節別地域別平均濃度、各種測定データ間の相互関係等について解析を行った

ので、その結果を報告する。

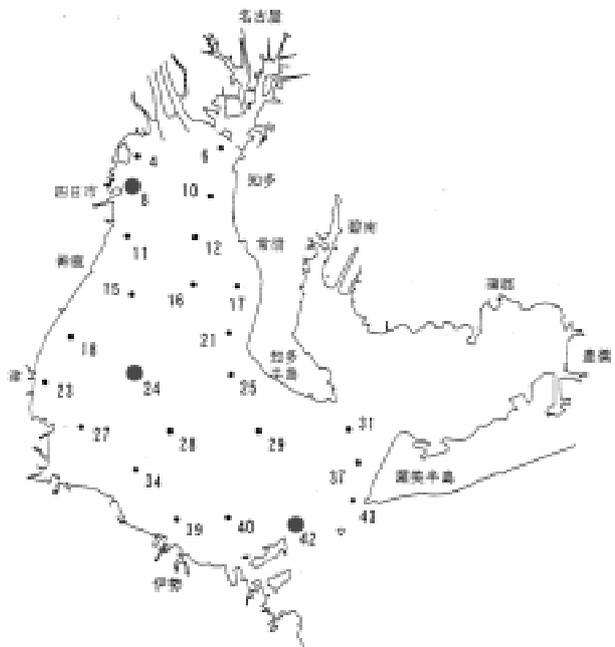


図1 伊勢湾広域総合水質調査地点図

### 調査方法

#### 1. 伊勢湾広域総合水質調査の概要

調査地点	調査地点は、図1に示す水質24地点（表層及び下層）である。
調査回数	年4回（各季節）
測定項目	pH, DO, COD, 全窒素, 全りん, クロロフィル-a等17項目
解析データ	1978～1999年度測定結果

## 結果及び考察

### 1. 濃度推移

湾奥、湾央、湾口の各地点の代表として、St8、St24およびSt42の主要測定項目の年平均値の推移を図2に示す。

透明度は、湾奥、湾央、湾口の各地点とも変動はあるが、ほぼ横ばいで推移している。湾奥は、湾央、湾口に比べやや低い。

CODは表層で、湾奥、湾央、湾口の各地点とも変動はあるが、ほぼ横ばいで推移している。下層は、水深が特に浅く上下の混合が進んでいると考えられるSt23を除き、上層より1 mg/l程度低く、変動も小さい。なお、わずかではあるが、湾奥の地点で減少傾向がみられた。

T-Nは表層で、湾奥の特にSt8において1988年度以前他地点に比べ高いレベルにあったが、1989年度以降は湾奥の他地点と同濃度レベルで推移している。その他湾奥、湾央、湾口の各地点とも変動はあるが、ほぼ横ばいで推移している。湾奥の地点は湾央、湾口に比べやや高い濃度で推移している。下層では、湾奥、湾央、湾口の各地点とも変動はあるが、ほぼ横ばいで推移している。湾奥の地点は、湾央、湾口に比べやや高い。上層より全般的に低濃度で、湾奥では濃度差が大きく、湾央、湾口では小さい。

Org-Nは表層で、各地域と変動はあるが、ほぼ横ばいで推移している。下層では、全般的に表層よりやや低濃度で、1989年度以降湾奥、湾央ではわずかに減少傾向がみられる。

DINは表層で、TNと同様湾奥のSt8において1988年度以前他地点に比べ高いレベルにあったが、その他はほぼ横ばいで推移している。下層では、湾奥ではほぼ横ばい、湾央、湾口ではほぼ横ばいではあるが、1989年度以降はそれ以前に比べわずかに低いレベルである。

T-Pは上層で、湾奥、湾央、湾口の各地点とも変動はあるが、ほぼ横ばいで推移している。湾奥の各地点特に最奥部のSt4およびSt8では湾央、湾口に比べ高いレベルで推移している。湾央のSt23は他の湾央地点よりも高く、湾奥の地点レベルで推移している。下層では、湾奥、湾央、湾口の各地点とも変動はあるが、ほぼ横ばいで推移している。濃度レベルは、湾奥でやや高く、湾口でやや低い。上層と下層の濃度差は小さく、下層の方が高い場合も多い。

Org-Pは、表層、下層とも変動はあるが、ほぼ横ばいで推移している。地域差は少ないが、St23は湾央の他地点より高めで推移している。表層と下層の差は小

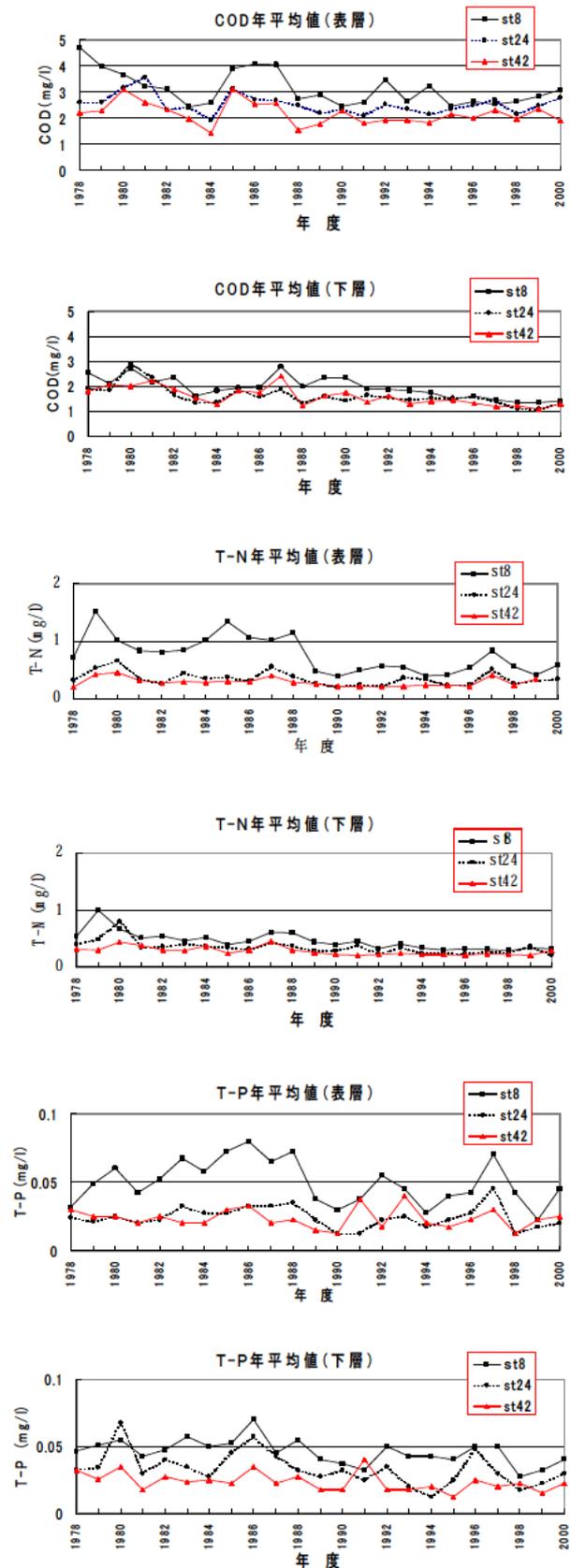


図2 主要測定項目の年平均値の推移

さい。

PO<sub>4</sub>-Pは表層で、各地域とも変動はあるが、ほぼ横

ばいで推移している。湾奥のSt4, St8は他地点に比べ、やや高い濃度で推移している。下層では、全般に表層より濃度が高いが、ほぼ横ばいで推移している。湾央

のSt23及び湾口では、他地点より低いレベルで推移している。

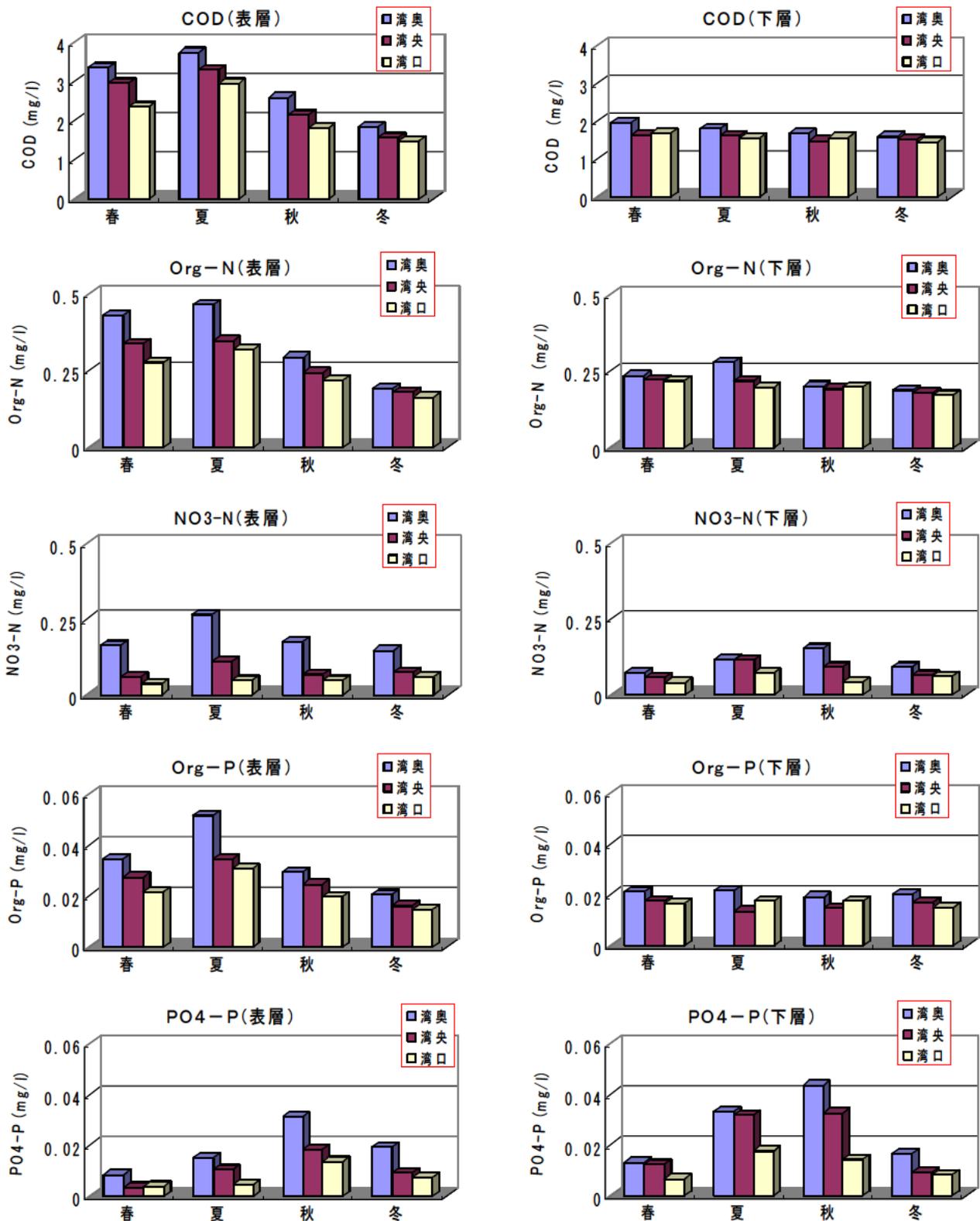


図3 主要測定項目の季節別地域別濃度

## 2. 季節別地域別濃度

測定地点を湾奥，湾央，湾口の3地域に分類し，それぞれの季節別平均濃度を算出し，図3に示した。

COD は表層で湾奥，湾央，湾口の順で，また，夏，春，秋，冬の順で高くなっている。一方下層では地域差，季節差は小さい。

Org-N は，COD に類似した挙動を示したが，一方無機態窒素の主成分である NO<sub>3</sub>-N は，表層で湾奥が湾央，湾口の約2～3倍の高濃度を示し，夏で最高を示した。下層では湾奥，湾央が夏，秋に高かった。表層は，下層より高濃度で，湾奥においてその差が大きかった。

Org-P は，COD，Org-N に類似した挙動を示した。PO<sub>4</sub>-P は表層で，秋に湾奥で高く，下層では，夏，秋に湾奥，湾央で高かった。また，下層の方が表層より高濃度であった。

## 3. 測定データ相互間の関係

表層及び下層の各測定データ間の相関行列を表1に示す。

表層の COD は，クロロフィル a，Org-N，Org-P と強い正の相関があり，植物プランクトン等による内部生産に由来する有機物が，多いことがわかった。また，塩分と負の相関関係があることから，河川水流入による陸上起源の有機汚濁物の影響も大きいと考えられた。伊勢湾においては，成層が発達する春から秋にかけて，

湾奥に流入した河川水が表層を通過して湾口に広がり，ここで外洋水と混合され下層を湾奥に向かって流れる密度流がある<sup>3)</sup>ことが知られており，河川水の影響が湾奥から湾口まで，湾全域に及んでいると考えられる。なお，湾口部では塩分との負の相関が湾奥，湾央に比べ高くなっており，これは清浄で高塩分の外洋水との混合による影響と考えられる。

NO<sub>3</sub>-N については，表層において NH<sub>4</sub>-N，NO<sub>2</sub>-N，PO<sub>4</sub>-P と正の相関関係，塩分と強い負の相関関係があるが，河川流量の多い夏季に濃度が高いことから，河川水の影響が強いことがうかがえる。また，湾奥部と湾口部の差が大きいくちについては，拡散によるほかに移流途中の光合成による取り込みも原因と考えられる。下層においては，PO<sub>4</sub>-P と正の相関関係，DO と負の相関関係があり，DO の低い夏・秋に濃度が高いことから，懸濁態有機物質からの分解等が影響していると考えられる。

PO<sub>4</sub>-P については，下層で NO<sub>3</sub>-N と正の相関関係，DO と負の相関関係があり，DO の低い夏・秋に濃度が高いことから，底質からの溶出<sup>4,5)</sup>，懸濁態有機物質からの分解等が影響していると考えられる。表層では，下層と同様な相関関係があり，一般に下層より低濃度であること，気温が下降し，成層がくずれ鉛直混合が始まる秋季に濃度が高くなることから，下層からの浮上による影響が大きいと考えられる。

表1 各測定データ間の相関行列 (表層および下層)

表層	Tr	WT	pH	DO	COD	NH4	NO2	NO3	DIN	Org-N	TN	PO4-P	Org-P	TP	Chl-a	Pheo	Sal
Tr	1	-0.363	-0.164	-0.195	-0.496	-0.096	0.116	-0.292	-0.237	-0.317	-0.400	0.044	-0.412	-0.318	-0.298	-0.222	0.571
WT	-0.363	1	0.264	-0.264	0.368	-0.140	-0.223	0.038	-0.058	0.251	0.175	0.012	0.269	0.232	0.188	0.121	-0.495
pH	-0.164	0.264	1	0.418	0.423	-0.252	-0.380	-0.432	-0.440	0.313	0.006	-0.446	0.039	-0.229	0.212	0.078	-0.078
DO	-0.195	-0.264	0.418	1	0.292	-0.082	-0.190	-0.126	-0.137	0.177	0.067	-0.388	0.146	-0.105	0.182	0.114	-0.121
COD	-0.496	0.368	0.423	0.292	1	0.013	-0.190	0.015	0.005	0.666	0.555	-0.062	0.610	0.473	0.467	0.373	-0.398
NH4	-0.096	-0.140	-0.252	-0.082	0.013	1	0.387	0.349	0.758	0.015	0.450	0.409	0.149	0.365	-0.048	0.060	-0.109
NO2	0.116	-0.223	-0.380	-0.190	-0.190	0.387	1	0.425	0.540	-0.082	0.244	0.467	-0.018	0.259	-0.054	0.094	0.036
NO3	-0.292	0.038	-0.432	-0.126	0.015	0.349	0.425	1	0.874	-0.038	0.473	0.412	0.228	0.433	-0.017	0.088	-0.603
DIN	-0.237	-0.058	-0.440	-0.137	0.005	0.758	0.540	0.874	1	-0.023	0.558	0.511	0.227	0.489	-0.039	0.095	-0.458
Org-N	-0.317	0.251	0.313	0.177	0.666	0.015	-0.082	-0.038	-0.023	1	0.817	-0.009	0.436	0.359	0.637	0.463	-0.230
TN	-0.400	0.175	0.006	0.067	0.555	0.450	0.244	0.473	0.558	0.817	1	0.287	0.493	0.581	0.506	0.439	-0.455
PO4-P	0.044	0.012	-0.446	-0.388	-0.062	0.409	0.467	0.412	0.511	-0.009	0.287	1	-0.044	0.550	-0.090	0.028	-0.031
Org-P	-0.412	0.269	0.039	0.146	0.610	0.149	-0.018	0.228	0.227	0.436	0.493	-0.044	1	0.810	0.285	0.315	-0.393
TP	-0.318	0.232	-0.229	-0.105	0.473	0.365	0.259	0.433	0.489	0.359	0.581	0.550	0.810	1	0.186	0.280	-0.347
Chl-a	-0.298	0.188	0.212	0.182	0.467	-0.048	-0.054	-0.017	-0.039	0.637	0.506	-0.090	0.285	0.186	1	0.630	-0.172
Pheo	-0.222	0.121	0.078	0.114	0.373	0.060	0.094	0.088	0.095	0.463	0.439	0.028	0.315	0.280	0.630	1	-0.181
Sal	0.571	-0.495	-0.078	-0.121	-0.398	-0.109	0.036	-0.603	-0.458	-0.230	-0.455	-0.031	-0.393	-0.347	-0.172	-0.181	1

下層	WT	pH	DO	COD	NH4	NO2	NO3	TN	PO4-P	TP	Chl-a	Pheo	DIN	Org-N	Org-P	Sal
WT	1	-0.009	-0.642	0.067	-0.120	0.007	0.152	0.136	0.330	0.318	-0.035	-0.126	0.046	0.126	0.020	-0.297
pH	-0.009	1	0.012	0.014	-0.006	0.029	-0.063	-0.017	-0.067	-0.069	0.033	0.016	-0.046	0.007	-0.010	0.014
DO	-0.642	0.012	1	0.098	-0.125	-0.080	-0.444	-0.211	-0.627	-0.507	0.245	0.177	-0.411	-0.004	0.090	0.012
COD	0.067	0.014	0.098	1	-0.002	-0.131	-0.075	0.392	-0.177	0.067	0.352	0.132	-0.074	0.478	0.301	-0.452
NH4	-0.120	-0.006	-0.125	-0.002	1	0.258	0.051	0.367	0.149	0.173	-0.082	0.020	0.637	0.052	0.047	-0.026
NO2	0.007	0.029	-0.080	-0.131	0.258	1	0.139	0.145	0.180	0.156	-0.115	0.058	0.384	-0.054	-0.011	0.134
NO3	0.152	-0.063	-0.444	-0.075	0.051	0.139	1	0.296	0.529	0.420	-0.166	-0.063	0.791	-0.114	-0.086	-0.040
TN	0.136	-0.017	-0.211	0.392	0.367	0.145	0.296	1	0.187	0.333	0.172	0.133	0.446	0.865	0.212	-0.275
PO4-P	0.330	-0.067	-0.627	-0.177	0.149	0.180	0.529	0.187	1	0.687	-0.246	-0.154	0.502	-0.073	-0.302	0.137
TP	0.318	-0.069	-0.507	0.067	0.173	0.156	0.420	0.333	0.687	1	0.034	0.031	0.431	0.130	0.485	-0.043
Chl-a	-0.035	0.033	0.245	0.352	-0.082	-0.115	-0.166	0.172	-0.246	0.034	1	0.437	-0.185	0.296	0.341	-0.275
Pheo	-0.126	0.016	0.177	0.132	0.020	0.058	-0.063	0.133	-0.154	0.031	0.437	1	-0.028	0.164	0.226	-0.053
DIN	0.046	-0.046	-0.411	-0.074	0.637	0.384	0.791	0.446	0.502	0.431	-0.185	-0.028	1	-0.063	-0.039	-0.027
Org-N	0.126	0.007	-0.004	0.478	0.052	-0.054	-0.114	0.865	-0.073	0.130	0.296	0.164	-0.063	1	0.258	-0.292
Org-P	0.020	-0.010	0.090	0.301	0.047	-0.011	-0.086	0.212	-0.302	0.485	0.341	0.226	-0.039	0.258	1	-0.221
Sal	-0.297	0.014	0.012	-0.452	-0.026	0.134	-0.040	-0.275	0.137	-0.043	-0.275	-0.053	-0.027	-0.292	-0.221	1

## まとめ

伊勢湾広域総合水質調査（環境省委託事業）データ（1978～1999年度）を用い、汚染物質濃度の推移、季節別地域別平均濃度、測定データ間の相互関係について、解析を行ったところ、以下の知見が得られた。

1. COD等伊勢湾に排出される汚染負荷量は、削減されているにもかかわらず、表層におけるCOD、T-N、T-P等汚染物質濃度は、年度別の変動はあるものの、ほぼ横ばいで推移していた。
2. CODの起源は、クロロフィル-a、Org-N、Org-Pと正の相関関係、塩分濃度と負の相関関係があることから、内部生産および陸上からの流入と考えられた。
3. COD、Org-N、Org-Pは表層で、夏、春、秋、冬の順、また、湾奥、湾央、湾口の順で高かった。下層では、表層より低濃度で、季節差、地域差とも小さかった。
4. 無機態窒素の主要成分のNO<sub>3</sub>-Nは、湾奥の表層で高く、陸上起源と考えられた。PO<sub>4</sub>-Pは、夏季、秋季の下層で高く、底質からの溶出に起因すると考えられた。

## 文献

- 1) 武本行正：伊勢湾地域の総合的利用と保全研究報告書(1999)
- 2) 三重県環境部：平成13年版三重県環境白書(2002)
- 3) 藤原建紀，笠井亮秀：伊勢湾の生態系の回復に関する研究報告書(2001)
- 4) 佐々木克之：沿岸生態系における物質循環(2002)
- 5) 香月幸一郎，本多邦隆，松尾征吾：大村湾におけるリン濃度の変動，水環境学会誌，9，616-621（1997）