

浦ノ内湾の水質調査

(窒素, リンを中心にして)

白 木 恭 一・伊 藤 瑞 穂(現中央保健所)・三 宅 教 資・行 弘 恵

1. はじめに

浦ノ内湾は高知県のほぼ中央部、高知市の南西約20kmにあり、土佐湾に面する水面積約12km²、奥行き約10km、湾幅400m～1000mの東西に細長い湾である。湾は湾口部の宇佐大橋付近(図1のU3地点)で湾幅350m、水深3～5mと最も狭く、その地点より湾奥には中小の多くの枝湾があり複雑に入り組んでいる。流入陸域面積は約46km²で主な流入河川は5つほどあるがいずれも中小河川で湾への流入水量は少ない。

これらの条件のため湾内の海水の入れ替えは十分行われず、湾内に排出された物質は長期間停留すると考えられている。宇佐大橋より湾奥では湾内水の半分が入れ替わるには、夏期で2週間前後、冬期で1～2ヶ月を要すると推定されている。^{1), 2)}

浦ノ内湾は以前は真珠養殖が盛んであったが、1960年頃より始まったハマチ養殖に取って代わられるようになり、養殖が盛んになり始めた1970年頃より毎年夏期を中心に赤潮が発生し、養殖ハマチやアサリに被害を出している。

環境庁により1993年に浦ノ内湾が窒素, リンの環境基準にかかる閉鎖性水域に指定されたことにより、類型指定を行うための調査の一環として、95年から96年にかけて湾内の水質調査を行ったので、窒素, リンを中心に報告する。

2. 調査の概要

1995年8月から1996年9月までの14ヶ月間、1太陰月に1回、小潮の日の10～12時頃に測定とサンプリングを行った。

調査地点は11地点、測定水深は0m, 2m, 5m, 10m, 15m, 20mを原則とした。調査地点を図1に示した。

今回考察の対象とした項目は水温, DO, 塩化物イオン, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, D-N, T-N, PO₄-P, D-P, T-P, Chl-aである。

浦ノ内湾

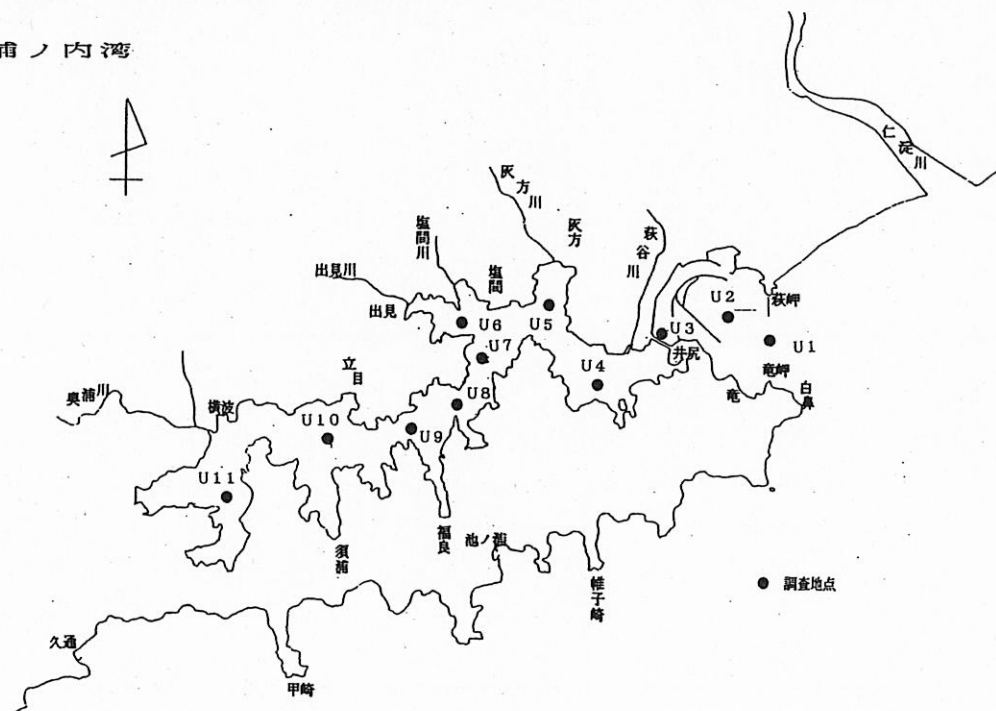


図1 調査地点

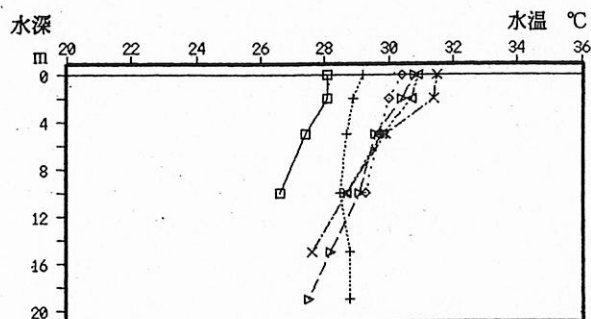
D-N, D-P は試料をガラス繊維濾紙でろ過後、水酸化ナトリウム+ペルオキシ2硫酸カリウムによる同時分解を行った後、ブランルーベ社製 TRAACS-800にかけ分析を行った。

3. 結果と考察

浦ノ内湾を湾口部(U1~U4), 湾中部(U5~U9), 湾奥部(U10~U11)に分けて考えた。

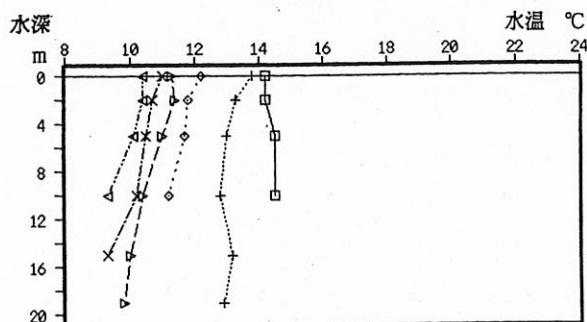
水温, DO 及び塩化物濃度から浦ノ内湾の潮流について若干の考察を行った。

水温の鉛直分布の代表例を図2-1, 2に示した。水温は年間を通して大気温とほぼ同様のパターンを示し, 各測定点とも8月に最高, 2月に最低であった。湾奥部は湾口部に比べ夏期には水温が約3℃高く, 冬期には約4℃低かった。また夏冬の水温差は湾口部で15℃, 湾奥部で20℃あった。これらから湾奥ほど陸域からの温度影響が大きいと考えられた。また4月から9~10月にかけてはU5より湾奥では下層より上層の水温が高く, 成層が形成されていた。



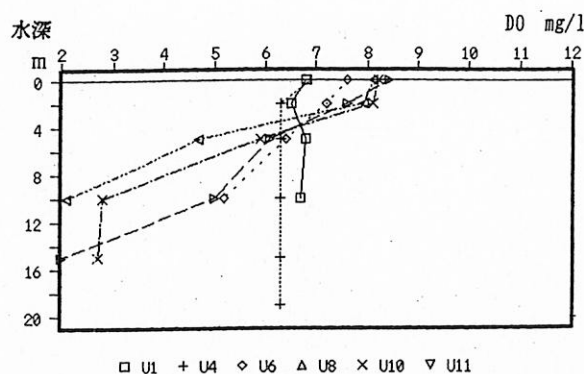
□ U1 + U4 ◇ U6 △ U8 × U10 ▽ U11

図2-1 水温鉛直分布 (1996年8月)



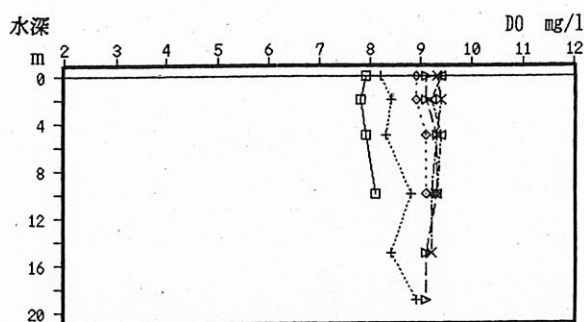
□ U1 + U4 ◇ U6 △ U8 × U10 ▽ U11

図2-2 水温鉛直分布 (1996年2月)



□ U1 + U4 ◇ U6 △ U8 × U10 ▽ U11

図3-1 DO鉛直濃度 (1996年8月)



□ U1 + U4 ◇ U6 △ U8 × U10 ▽ U11

図3-2 DO鉛直濃度 (1996年2月)

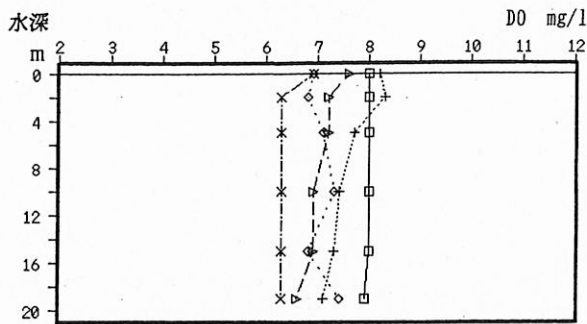
温度勾配は湾奥ほど大きい傾向がみられることから, 湾奥ほど湾外水の流入が少ないことが示唆された。9~10月から3月にかけては全調査地点とも上下層の水温差はほとんどなく, 上下層の海水の循環は十分行われていると考えられた。

DO 濃度の鉛直分布について代表例を図3-1, 2に示した。

湾外水と考えられる U1では年間を通し7~8 mg/lと安定していたが, U5より湾奥では4月から9~10月にかけて下層ほどDOが低い傾向がみられた。成層化により上層からの酸素の供給が十分でなくなることが要因の一つとして考えられた。

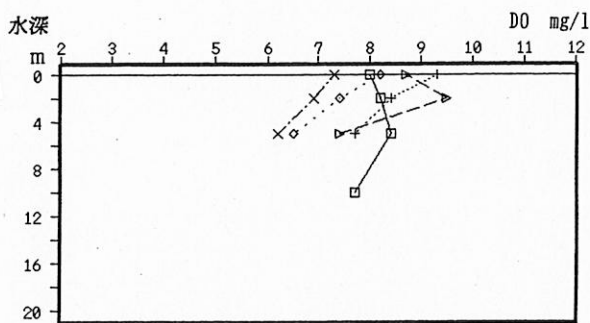
U4地点は水深約20mであるが, 周辺は4~8mの水深が多く, 干潮時には州になるところもある海域である。DO 濃度は1年を通して上下層の差はほとんど認められず, これは宇佐大橋付近の最狭部において海水が均一化され流入出しているためと考えられた。図4-1~3にU4~U6の成層期のDOの鉛直濃度を示した。夏期に湾口部のU4で濃度勾配がみられないのに対し, 湾中部のU5で濃度勾配がみられるので, 夏期には流入水の大部分は湾口部に留まり湾中部までは流入して

いないのではないかと推測された。



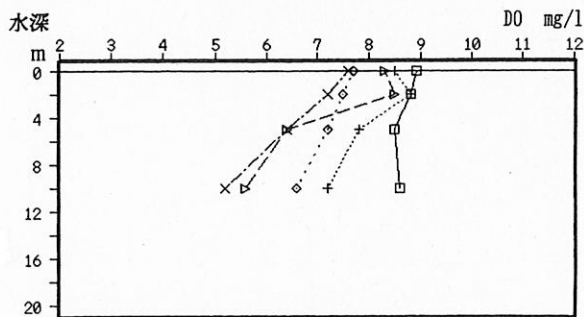
□ 96/4 + 96/5 ◇ 96/6 △ 96/7 × 96/8

図4-1 DO鉛直濃度(調査地点U4)



□ 96/4 + 96/5 ◇ 96/6 △ 96/7 × 96/8

図4-2 DO鉛直濃度(調査地点U5)



□ 96/4 + 96/5 ◇ 96/6 △ 96/7 × 96/8

図4-3 DO鉛直濃度(調査地点U6)

塩化物濃度は1年を通し18,000~19,000mg/l前後と湾内全域でほぼ均一であったが、7月はサンプリング日の2日前に約50mmの降雨があり、U5より湾奥の表層で表1に示すように11,000~15,000mg/lと濃度が低かった。流域に降った雨水は短時間で湾に達すると考えられるので、降雨後から採水まで約4潮汐の時間が経過しているが塩化物濃度が通常値に回復していないことから、夏期には湾中部より奥では湾外水との交換があまりないことが示唆された。

表1 降雨後の塩化物濃度

塩化物イオン

単位: 1,000mg/l

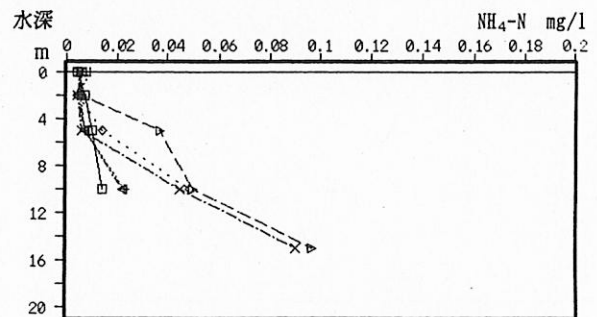
測定点 水深	U11	U10	U9	U8	U7	U6	U5	U4	U3	U2	U1
0 m	15	15	15	15	16	11	15	17	18	18	13
2 m	18	17	18	18	18	17	17	18	18	19	18
5 m	19	18	18	18	19	18	18	18		18	17

測定日 1996年7月9日

無機3態窒素について夏期(成層期)と冬期(循環期)別の濃度を表2に示した。

NH₄-Nは9~10月から3月にかけての循環期には上下層とも0.01mg/l前後で安定していたが、4月から9~10月の成層期には湾中部より奥では底層の濃度が高く、底泥からの溶出が要因の一つとして考えられた。一例を図5に示した。

NO₂-Nは夏期の湾中奥部の底層で0.015mg/lと高いケースがみられたが、全体的には年間を通して0.002mg/l前後で安定しており、あきらかな傾向は認められなかった。



□ U1 + U4 ◇ U6 △ U8 × U10 ▽ U11

図5 NH₄-N鉛直分布(1995年8月)

NO₃-Nは湾全体の平均濃度は年間を通し0.01~0.02mg/lと安定していたが、表2に示したように冬期に湾口部で濃度が高く、湾奥にいくほど濃度が低くなる傾向がみられた。詳しくは今後の調査検討を待たねばならないが、湾外水が湾奥部近くまで流入している可能性も考えられた。

夏期の底層でNH₄-Nが高い傾向にあったことから底泥からのNH₄-Nの溶出が考えられたので、溶出に影響を及ぼすとされている水温とDO³⁾について、湾中奥部の調査地点の最下層の測定点でNH₄-Nとの関連をみた。相関係数を表3に、代表例を図6-1, 2と図7-1, 2に示した。測定

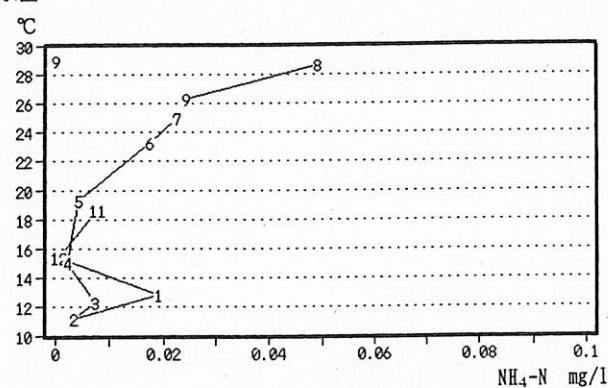
表2 夏冬別の無機3態窒素濃度

NH ₄ -N		mg/l	
地点	水深 m	成層期 6-8月	循環期 12-2月
U1	0	0.00	0.01
	2	0.00	0.01
	5	0.00	0.01
	10	0.00	0.01
U4	0	0.01	0.00
	2	0.01	0.01
	5	0.01	0.01
	10	0.01	0.01
	15	0.01	0.01
	19	0.02	0.01
U6	0	0.00	0.00
	2	0.00	0.01
	5	0.01	0.00
	10	0.03	0.00
U8	0	0.01	0.00
	2	0.00	0.00
	5	0.02	0.01
	10	0.04	0.00
	15	0.04	0.00
	19	0.15	0.00
U10	0	0.00	0.00
	2	0.00	0.00
	5	0.01	0.00
	10	0.03	0.00
	15	0.09	0.00
U11	0	0.01	0.00
	2	0.00	0.00
	5	0.00	0.00
	10	0.03	0.00
平均		0.02	0.00

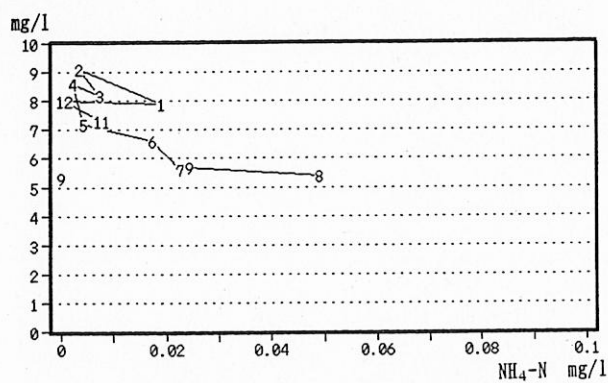
NO ₂ -N		mg/l	
地点	水深 m	成層期 6-8月	循環期 12-2月
U1	0	0.00	0.00
	2	0.00	0.00
	5	0.00	0.00
	10	0.00	0.00
U4	0	0.00	0.00
	2	0.00	0.00
	5	0.00	0.00
	10	0.00	0.00
	15	0.00	0.00
	19	0.00	0.00
U6	0	0.00	0.00
	2	0.00	0.00
	5	0.00	0.00
	10	0.00	0.00
U8	0	0.00	0.00
	2	0.00	0.00
	5	0.00	0.00
	10	0.00	0.00
	15	0.00	0.00
	19	0.00	0.00
U10	0	0.00	0.00
	2	0.00	0.00
	5	0.00	0.00
	10	0.00	0.00
	15	0.01	0.00
U11	0	0.00	0.00
	2	0.00	0.00
	5	0.00	0.00
	10	0.01	0.00
平均		0.00	0.00

NO ₃ -N		mg/l	
地点	水深 m	成層期 6-8月	循環期 12-2月
U1	0	0.01	0.04
	2	0.01	0.05
	5	0.01	0.04
	10	0.01	0.04
U4	0	0.01	0.03
	2	0.01	0.03
	5	0.01	0.02
	10	0.01	0.02
	15	0.01	0.02
	19	0.01	0.02
U6	0	0.12	0.01
	2	0.00	0.01
	5	0.01	0.01
	10	0.01	0.01
U8	0	0.00	0.01
	2	0.00	0.01
	5	0.01	0.01
	10	0.01	0.01
	15	0.01	0.01
	19	0.01	0.01
U10	0	0.01	0.01
	2	0.00	0.00
	5	0.00	0.00
	10	0.01	0.00
	15	0.01	0.00
U11	0	0.01	0.00
	2	0.00	0.00
	5	0.00	0.00
	10	0.01	0.00
平均		0.01	0.01

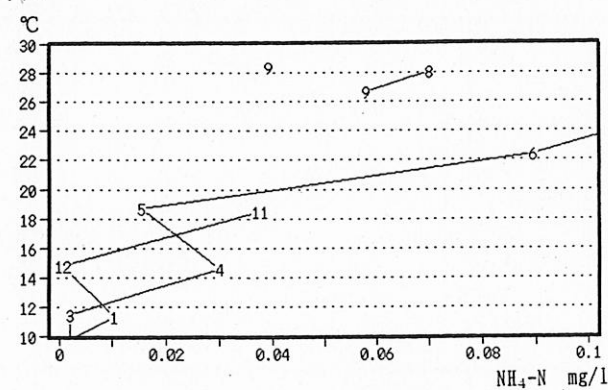
水温

図6-1 底層のNH₄-Nと水温との関連 (調査地点U6-10)

DO

図7-1 底層のNH₄-NとDOとの関連 (調査地点U6-10)

水温

図6-2 底層のNH₄-Nと水温との関連 (調査地点U9-15)

DO

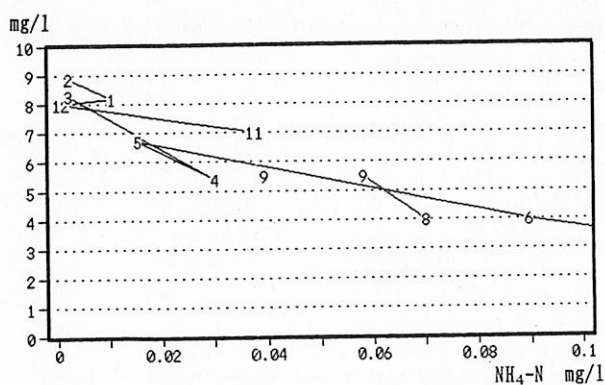
図7-2 底層のNH₄-NとDOとの関連 (調査地点U9-15)

表3 水温, DOとNH₄-Nとの相関, 重相関

調査地点-水深	水温, DO	水温	DO
U6-10	0.59	0.53	0.57
U7-15	0.80	0.47	0.79
U8-19	0.93	0.66	0.91
U9-15	0.93	0.71	0.93
U10-15	0.86	0.75	0.86
U11-10	0.87	0.55	0.82

点は水面からの距離であり, 海底面からの距離でないため正確な評価は出来ないものの, 底泥からのNH₄-Nの溶出には水温, DOの影響が大きく, 特に貧酸素化によるDO濃度の減少はNH₄-Nの溶出を増大させていると考えられた。

D-N, T-N および懸濁態N (T-N からD-Nを引いて求めた) について夏期(成層期)と冬期(循環期)別の濃度を表4に示した。

D-Nは成層期に底層で濃度が高く, 上層で低くなる傾向が見られたが, 湾全体の平均濃度は成層期と循環期の差はほとんどなく年間を通して安定していた。成層期の底層の高濃度は底泥からのNH₄-Nの溶出によるところが大きいと考えられた。

T-Nは1月から4月を除く各月で湾口部に比べ湾中奥部で濃度が高く, 特に成層期の湾中奥部の底層で濃度が高かった。D-Nが年間を通しあまり変動がないのに対し, T-Nは夏期に高い傾向にあった。懸濁態Nをみると冬期に比べ夏期が高く, 夏期の湾中奥部では上層ほど懸濁態Nの割合が大きい傾向にあった。これは下層部でのNH₄-Nの溶出や上層付近でクロロフィル濃度が高いためと考えられた。また養殖魚への給餌は4月から12月頃まで行われているが, これらとの関連の可能性も考えられた。懸濁態Nとクロロフィル濃度の代表例を図8, 図9にそれぞれ示した。

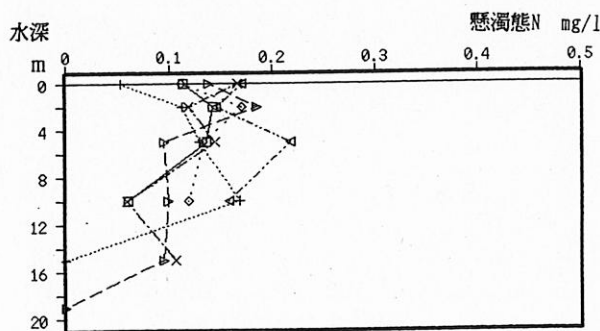
PO₄-P, D-P および T-P 濃度について夏期(成層期)と冬期(循環期)別の濃度を表5に示した。

表4 夏冬別のD-N, T-N および懸濁態N濃度

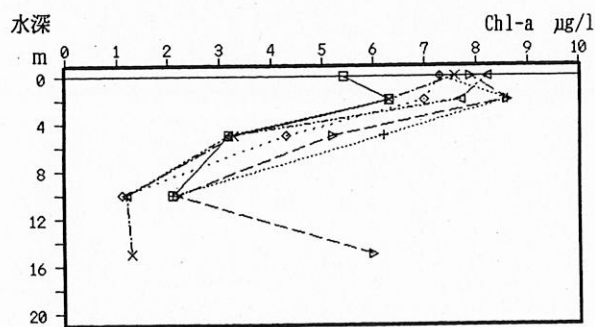
D-N mg/l				T-N mg/l				懸濁態N mg/l			
地点	水深 m	成層期 6-8月	循環期 12-2月	地点	水深 m	成層期 6-8月	循環期 12-2月	地点	水深 m	成層期 6-8月	循環期 12-2月
U1	0	0.07	0.13	U1	0	0.11	0.13	U1	0	0.04	0.00
	2	0.08	0.13		2	0.13	0.14		2	0.05	0.01
	5	0.06	0.11		5	0.11	0.12		5	0.05	0.01
	10	0.06	0.12		10	0.08	0.12		10	0.02	0.00
U4	0	0.15	0.10	U4	0	0.21	0.11	U4	0	0.06	0.01
	2	0.13	0.15		2	0.17	0.19		2	0.04	0.04
	5	0.11	0.11		5	0.17	0.12		5	0.06	0.01
	10	0.10	0.14		10	0.18	0.15		10	0.08	0.01
	15	0.10	0.14		15	0.10	0.15		15	0.00	0.01
U6	0	0.27	0.09	U6	0	0.31	0.10	U6	0	0.04	0.01
	2	0.12	0.12		2	0.30	0.14		2	0.18	0.02
	5	0.11	0.11		5	0.19	0.12		5	0.08	0.01
	10	0.16	0.11		10	0.20	0.12		10	0.04	0.01
U8	0	0.16	0.11	U8	0	0.25	0.14	U8	0	0.09	0.03
	2	0.16	0.11		2	0.24	0.15		2	0.08	0.04
	5	0.14	0.12		5	0.20	0.14		5	0.06	0.02
	10	0.17	0.11		10	0.20	0.15		10	0.03	0.04
	15	0.15	0.13		15	0.21	0.18		15	0.06	0.05
U10	0	0.14	0.12	U10	0	0.24	0.13	U10	0	0.10	0.01
	2	0.13	0.11		2	0.24	0.15		2	0.11	0.04
	5	0.11	0.12		5	0.19	0.14		5	0.08	0.02
	10	0.16	0.11		10	0.19	0.14		10	0.03	0.03
U11	0	0.12	0.13	U11	0	0.26	0.15	U11	0	0.14	0.02
	2	0.13	0.12		2	0.23	0.17		2	0.10	0.05
	5	0.12	0.12		5	0.20	0.17		5	0.08	0.05
	10	0.16	0.13		10	0.23	0.18		10	0.07	0.05
平均		0.14	0.12	平均		0.21	0.14	平均		0.07	0.02

表5 夏冬別の $\text{PO}_4\text{-P}$, D-P および T-P 濃度

$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/l				D-P mg/l				T-P mg/l			
地点	水深 m	成層期 6-8月	循環期 12-2月	地点	水深 m	成層期 6-8月	循環期 12-2月	地点	水深 m	成層期 6-8月	循環期 12-2月
U1	0	0.002	0.007	U1	0	0.006	0.011	U1	0	0.009	0.014
	2	0.006	0.008		2	0.010	0.012		2	0.014	0.013
	5	0.003	0.007		5	0.007	0.011		5	0.009	0.013
	10	0.003	0.007		10	0.007	0.010		10	0.009	0.013
U4	0	0.004	0.007	U4	0	0.017	0.009	U4	0	0.023	0.012
	2	0.005	0.006		2	0.016	0.012		2	0.021	0.015
	5	0.006	0.006		5	0.016	0.010		5	0.020	0.015
	10	0.008	0.006		10	0.016	0.010		10	0.020	0.013
	15	0.004	0.006		15	0.014	0.012		15	0.016	0.014
U6	0	0.005	0.005	U6	0	0.020	0.012	U6	0	0.028	0.014
	2	0.003	0.006		2	0.016	0.011		2	0.024	0.014
	5	0.008	0.005		5	0.019	0.011		5	0.027	0.013
	10	0.020	0.006		10	0.029	0.010		10	0.029	0.014
U8	0	0.005	0.007	U8	0	0.020	0.009	U8	0	0.025	0.013
	2	0.004	0.010		2	0.018	0.011		2	0.028	0.013
	5	0.012	0.005		5	0.025	0.010		5	0.031	0.014
	10	0.024	0.006		10	0.032	0.009		10	0.032	0.012
	15	0.040	0.005		15	0.051	0.011		15	0.053	0.016
U10	0	0.005	0.005	U10	0	0.019	0.009	U10	0	0.027	0.014
	2	0.005	0.003		2	0.019	0.007		2	0.030	0.012
	5	0.012	0.003		5	0.024	0.006		5	0.034	0.011
	10	0.033	0.003		10	0.042	0.006		10	0.042	0.011
U11	0	0.008	0.003	U11	0	0.022	0.006	U11	0	0.037	0.012
	2	0.010	0.002		2	0.023	0.006		2	0.036	0.010
	5	0.018	0.003		5	0.031	0.006		5	0.040	0.011
	10	0.033	0.003		10	0.044	0.007		10	0.050	0.015
平均		0.016	0.005	平均		0.027	0.009	平均		0.033	0.013



□ U1 + U4 ◇ U6 △ U8 × U10 ▽ U11
図8 懸濁態N鉛直分布 (1995年8月)



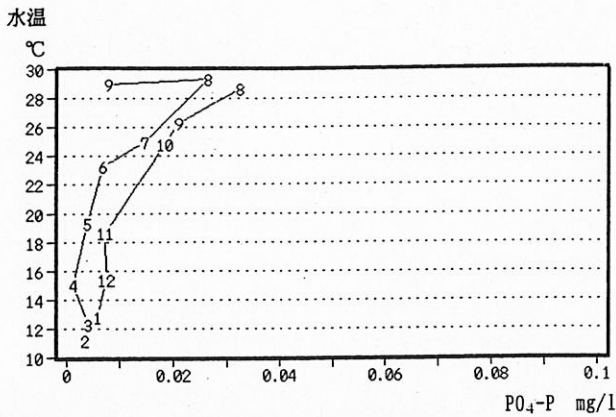
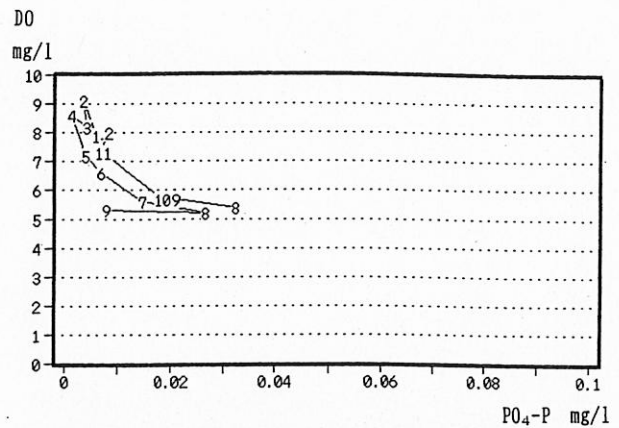
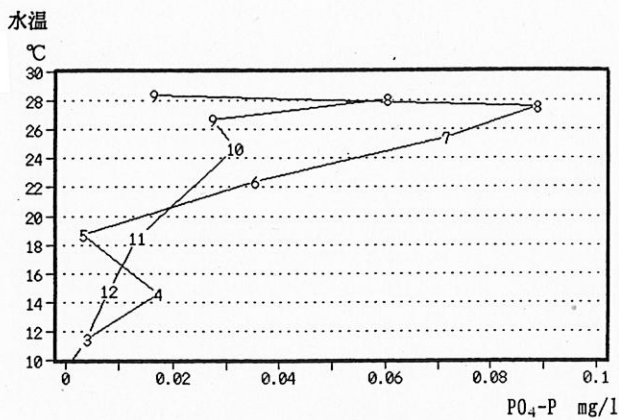
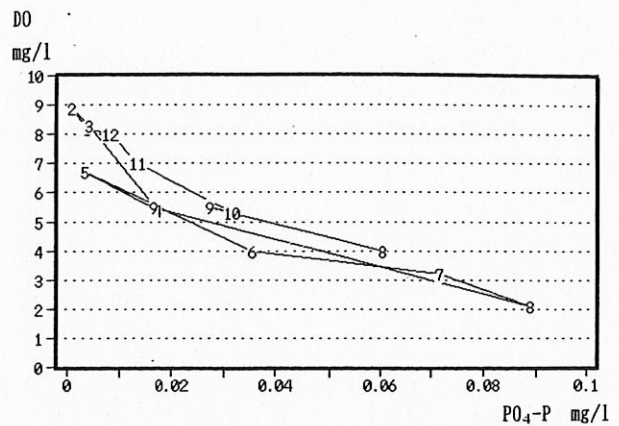
□ U1 + U4 ◇ U6 △ U8 × U10 ▽ U11
図9 クロロフィル-a鉛直分布 (1995年8月)

$\text{PO}_4\text{-P}$ は冬期に湾奥にいくほどやや濃度が低く、これは $\text{NO}_3\text{-N}$ と似た傾向であった。夏期には貧酸素化している底層 (U7~U11) で濃度が非常に高く (0.033~0.12mg/l)、底泥からの溶出が大きいことをうかがわせた。 $\text{NH}_4\text{-N}$ と同様に水温と DO との相関係数を表6に、代表例を図10-1, 2と図11-1, 2に示した。

D-N, T-P については $\text{PO}_4\text{-P}$ と同様な傾向を示し、夏期の底層では T-P に占める D-P, その中でも特に $\text{PO}_4\text{-P}$ の占める割合が高くなっていた。

表6 水温, DO と $\text{PO}_4\text{-P}$ との相関, 重相関

調査地点-水深	水温, DO	水温	DO
U6-10	0.78	0.76	0.78
U7-15	0.86	0.64	0.85
U8-19	0.91	0.66	0.88
U9-15	0.92	0.73	0.92
U10-15	0.94	0.75	0.87
U11-10	0.91	0.80	0.91

図10-1 底層の $\text{PO}_4\text{-P}$ と水温の関連 (U6-10)図11-1 底層の $\text{PO}_4\text{-P}$ と DO の関連 (U6-10)図10-2 底層の $\text{PO}_4\text{-P}$ と水温の関連 (U9-15)図11-2 底層の $\text{PO}_4\text{-P}$ と DO の関連 (U9-15)

4. まとめ

閉鎖性水域である浦ノ内湾は外海水との交換が少なく、夏期の通常時には外海水の流入は湾中部の入り口くらいまでしか流入していないと推測された。冬期には湾中部まで流入している可能性が示唆されたが、今後の調査検査が必要と考えられた。

湾中奥部では4月頃から成層が形成されはじめ、成層は9月頃まで続くことが確認された。

夏期には湾中奥部の底層では貧酸素化が進み、底泥からの窒素、リンの溶出が盛んであり、その大部分は窒素では $\text{NH}_4\text{-N}$ 、リンでは $\text{PO}_4\text{-P}$ として溶出していると考えられた。

参考文献

- 1) 水産試験場：昭和60年度赤潮対策技術開発試験報告書，62～63
- 2) 宗景志浩ら：浦の内湾の窒素収支と富栄養化機構に関する研究，海洋工学論文集，第40巻，1087-1088，1993
- 3) 松梨順三郎編：環境流体汚染，216，森北出版，1993