

中海本庄工区の水質特性と潮通しの影響

藤岡克己¹・青井亜矢子¹・前田伊佐武¹・相崎守弘¹

Characteristics of water quality in the Honjo Area of brackish Lake Nakaumi and the effect of construction of tidal flow pipes to the water quality of this area

Katsuki Fujioka¹, Ayako Aoi¹, Isamu Maeda¹ and Morihiro Aizaki¹

Abstract: The Honjo area was surrounded by dikes for reclamation work and separated from Lake Nakaumi in 1981. The work has been frozen for 17 years. The survey for the decision whether the work will be continued or not have been carried out from 1997 to 1998. Tidal flow pipes were constructed for the evaluation of fishery promotion between Honjo area and Hokubushosuiro channel in March 1998.

Water quality of the Honjo area was surveyed from May 1997 to November 1998 at 7 sites in the area including 1 site in the Seibushosuiro and 1 site in the Lake Nakaumi. In order to evaluate the effect of tidal flow pipes, water quality data before and after was compared. No change was observed except one station near the pipes. A little change was observed at some stations.

Water was well mixed vertically and horizontally in Honjo area, so no strong halocline condition was founded. Total nitrogen concentration in Honjo area was lower than in Lake Nakaumi, but total phosphorus concentrations were almost similar in both area. So it was considered that Honjo area has ability to purify the water of Lake Nakaumi as to nitrogen under the exchange of water between both area.

Key words: brackish lake, exchange of water, Honjo area, Lake Nakaumi, quality of water

はじめに

中海本庄工区は、戦後まもなく、食糧危機の緩和及び山陰地方の活性化を目的として、国営干拓事業の対象となった。しかし1970年代のはじめから、米の供給過剰による減反政策が打ち出され、本来の目的が失われた。また、森山堤防が完成した1981年ごろから、霞ヶ浦で有名であったアオコが琵琶湖でも観測されるようになり、さらに宍道湖でも観測されるようになったため、人々の水質への関心が高まり、淡水化による中海、宍道湖の水質に及ぼす影響が一層

懸念されるようになった(伊達, 1998)。こうした社会情勢をうけて、干拓事業は一時凍結された。1995年島根県は、「宍道湖・中海に関わる水質予測事業」の結果を踏まえて、干陸化による他の水域への影響は無いとの判断から農林水産省へ干陸化事業の工事の再開を申し入れた。この申し入れに対し、激しい反対運動が起き、公共事業の見直し機運と相まって、農林水産省では事業の総合的評価を行う必要があるとの判断し、1997年度から1998年度にかけて調査を行い1999年度に判断されることとなった(徳岡, 1995)。本庄工区は、中海の5分の1をも占める、約1700ha

¹ 島根大学生物資源科学部

Faculty of Life Environment Science, Shimane University, Matue 690-8504, JAPAN

の水域である。当然、宍道湖、中海水系にとって非常に重要な水域であるが、本庄工区においては、これまで干拓による干陸化が前提となっていたため、本格的調査は行われていなかった。本庄工区の干陸が行われるにしても、中止になるにしても本庄工区水域の中海・宍道湖水域で果たしている機能を正確に把握する必要がある。本研究では、本庄工区の水質特性を明らかにし、中海の水質と比較することによって本水域の評価を行うことを目的とした。また、1998年3月に設置された潮通しパイプ交換水の水質特性については他に報告（福井ほか、1999）したが、本庄工区全水域への影響に関して設置前後の水質を比較することによって評価した。以下に、その結果について報告する。

調査方法

調査は、1997年5月から毎月一回行った。調査地点を図1に示す。本庄工区内に6地点（St.1～St.6）、西部承水路に1地点（St.7）、中海に1地点（St.8）の計8地点とした。この中でSt.1は、潮通しパイプの影響を最も受けると予想される地点として潮通しパイプより約100mの地点に、St.4は本庄町からの流入負荷の影響を最も受ける地点として本庄川河口近くに設定した。St.5は排水溝上の本庄工区湖心に設定した。

現地において透明度及び多項目水質計（ホリバU-10）を用いて水温、電気伝導度、pH、溶存酸素を測定した。採水は採水器（リゴーB号透明採水器）を用いて行い、表層は0.5mで採水した。水深の浅いSt.1, 2, 4, 及び8では、底層水として4mの水を採水した。水深の深いSt.3及び6では、4mと6mで採水した。またSt.5では、排水溝中の水を採取するため4mと7mで採水した。採水した水は速やかに研究室に持ち帰り、全窒素（TN）、全リン（TP）分析用にサンプルを採った後、ガラスフィルター（Whatman GF/F）を用いて濾過し、フィルターはクロロフィル分析用のサンプルとした。また、濾液は溶存態の栄養塩類分析用のサンプルとした。分析は以下の方法で行った。クロロフィルa濃度は100%メタノールで3時間以上抽出後上澄み液についてSCOR/UNESCO法で分析した。全窒素及び溶存態全窒素（DTN）濃度はアルカリ性下でペルオキシ二硫酸カリウムによりオートクレーブを用いて120℃、30分間加熱分解した後、硝酸態窒素濃度を測定した。全リン及び溶存態全リン（DTP）濃度はペルオキシ二硫酸カリウムで分解後、無機態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）を測定した。アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、

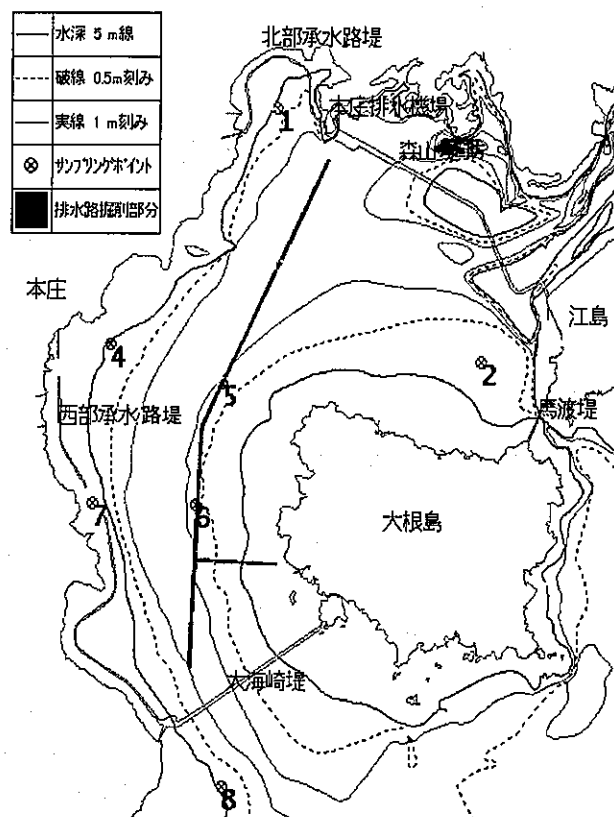


図1. 本庄工区水域の概要と調査地点。

Fig.1. Location map of the Honjo area of Lake Nakami and sampling sites.

亜硝酸態（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）、硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）及び無機態リン濃度はオートアナライザー（ブラン・ルーベ社、AA2型）を用いて分析した（大槻ほか、1984）。無機炭酸濃度は、酸素瓶に採水した水を速やかに持ちかえり、全有機体炭素計（島津社製、TOC-5000）を用いて分析した。

結果及び考察

1. 本庄工区の表層の水質特性

表層における各地点の調査結果の平均値を表1に示す。この表は各地点毎の1998年5月から11月まで計7回のデータの平均値を示したもので、水平方向についての水質の挙動、傾向を表す。平均値と比較し、本庄工区内は地点間でほとんど差がなく、水平方向によく混合した水域であると言える。また、地点別に見てみると、St.1の水質は他地点と比べての大きな違いは見られず、予想された潮通しパイプの影響は見られなかった。昨年度の調査（相崎・秋葉、1998）においてSt.4は、著しく富栄養化した状態を示していたが、今年度の調査結果では他の調査地点と大きな違いはみられなかった。

表1. 中海本庄工区各地点における表層水の平均水質 (1998年5月～11月, $n=7$).

Table 1. Horizontal changes in average concentration (May-November, 1998, $n=7$) of several items in surface water of the Honjo area of Lake Nakaumi.

		st1	st2	st3	st4	st5	st6	平均
PO4-P	($\mu\text{g/l}$)	21	23	27	31	21	23	24
DTP	($\mu\text{g/l}$)	36	40	39	45	42	39	40
TP	($\mu\text{g/l}$)	68	63	70	74	73	62	68
NH4-N	($\mu\text{g/l}$)	10	13	11	33	4	17	15
NO2-N	($\mu\text{g/l}$)	1	1	1	2	1	1	1
NO3-N	($\mu\text{g/l}$)	8	12	113	6	2	8	25
TIN	($\mu\text{g/l}$)	18	25	125	40	7	26	40
DTN	($\mu\text{g/l}$)	249	247	303	283	332	281	282
TN	($\mu\text{g/l}$)	478	401	458	429	447	401	436
Chl-a	(mg/l)	5.7	3.3	2.9	2.9	4.6	4.6	4.0
TN/TP		7.0	6.4	6.6	5.8	6.2	6.4	6.4
TIN/PO4-P		0.9	1.1	4.7	1.3	0.3	1.1	2
透明度	(cm)	254	253	248	269	232	247	250
SS	(mg/l)	5.7	5.4	5.0	5.1	5.3	5.8	5.4
salinity	(‰)	13.8	14.8	13.9	14.7	14.3	13.7	14.2

2. 本庄工区の水質の鉛直特性

次に深度別の平均水質を表2に示す。この表は、1998年5月から11月までの全地点の調査結果を平均して、深度別に表したもので、水質の鉛直方向の傾向を示している。表から、塩分濃度などが示すように、本庄工区では水平方向同様、鉛直方向にもよく混合していることが分かった。しかし、底層付近ではDOの低下が見られ、かなり嫌氣的となっていた。本庄工区の水質を特徴付ける因子として、比較的高塩分濃度でありながら、強い塩分躍層を生じていない点が挙げられる。これは西部承水路が3m程度と浅く、中海の表層水のみと交換しているためと考えられる。このことは、鉛直混合を容易にし、夏場の汽水環境において一般である貧酸素水塊を制限している因子となり得る。1998年に得られた結果は1997年度の結果(崎崎・秋葉, 1997)と一致しており、本庄工区内のほとんどは同一水塊とみなすことが可能と考えられた。

3. 無機炭酸の挙動

図2に、本庄工区及び中海の表層水と4m層における1998年6月から1999年2月までの無機炭酸濃度及び塩分濃度変化を示す。無機炭酸濃度は、本庄工区、中海ともに表層においては、塩分濃度の変化に依存した変動を示していた。一般に、海水中には淡水中と比べて10倍程度の無機炭酸が溶解しており、従って汽水域においては海水と淡水の混合する割合、つまり塩分濃度と無機炭酸濃度が依存していると考えられる。これに対して各々の4m層においては、表層と異なった変動を示しており、微生物による分解等の影響を強く受けていることを示している。

表2. 中海本庄工区における各種水質項目の垂直変化 (1998年5～11月 平均, $n=7$) 0.5mと4m層は本庄工区6地点の平均濃度、6m層はSt.3 7m層はSt.5地点での濃度。

Table 2. Vertical changes in average concentrations (May-November, 1998, $n=7$) of several items in the Honjo area of Lake Nakaumi. (0.5m & 4m, average of 6 sites in the Honjo area; 6m, st.3; 7m, st.5).

	PO4-P	TP	NH4-N	NO3-N	TN	Chl-a	TN/TP	DO	salinity
	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)		(mg/l)	(‰)
0.5m 層	24	68	15	8	436	4.0	6	8.4	14.2
4 m 層	34	72	27	15	426	3.1	6	6.0	14.5
6 m 層	34	83	56	16	424	2.5	5	3.6	15.6
7 m 層	77	97	222	20	487	1.6	5	2.3	17.7

4. 潮通しの影響評価

図3に1997年5月から1998年11月までの底層部における溶存酸素及び、塩分濃度の季節変動を示す。St.1の値は、潮通しの影響を直接受ける可能性が高い地点として示した。また、我々の別の調査(福井ほか, 1999)において7月には、潮通しパイプより25%以上の濃い塩分濃度の流入が観測され、そのまま水塊として排水溝付近に潜り込むのではないかと考えられた。このため、潮通しパイプに近い排水溝近辺の地点の水質変化について検討した。図3において、点線で示す潮通しパイプ設置前後の溶存酸素量の比較により、St.1及びSt.3で若干、夏場の貧酸素化が抑えられている傾向がみられ、潮通しパイプの影響が推察された。しかし、前述したごとく、本庄工区全体の水質への影響は見られなかった。この要因としては、北部承水路がその地理的形状と貯木場などの存在により閉鎖的になっており、本庄工区の水質と大きな違いが生じなかったためと考えられる。

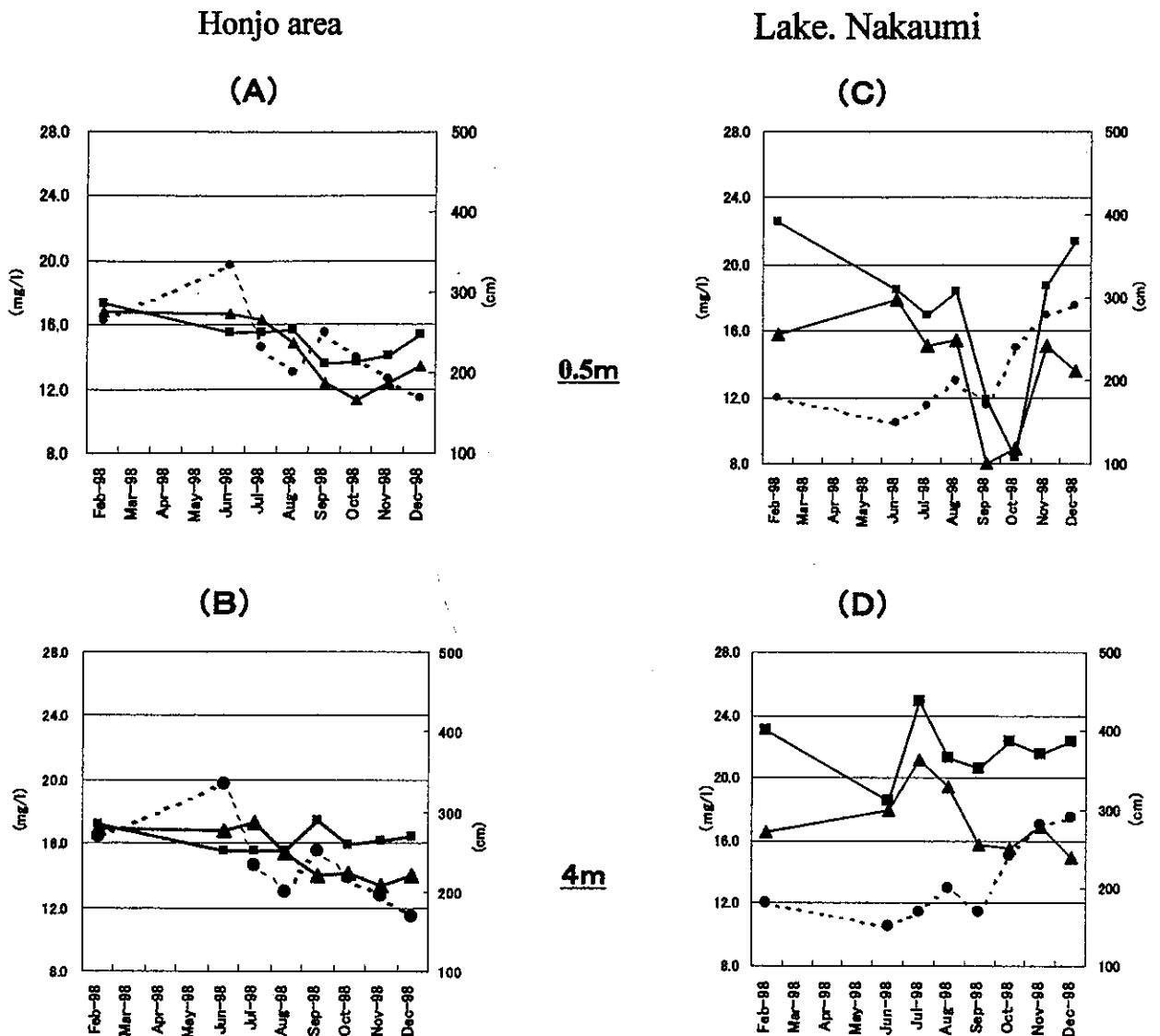


図2. 本庄工区及び中海における無機炭酸、塩分濃度及び透明度の経月変化。

A: 本庄工区の表層 B: 本庄工区の4m層 C: 中海の表層 D: 中海の4m層 DIC (▲), 塩分濃度 (■), 透明度 (●).

Fig.2. Monthly changes in average concentrations of DIC and salinity and transparency in Honjo area and Lake Nakaumi. DIC (▲), salinity (■), transparency (●).

5. 本庄工区の水質特性

図4にSt.4及び本庄工区全調査地点の表層における平均総窒素濃度及び総リン濃度の経月変化を示す。また図5には松江地方の降雨量を月別で示した(松江地方気象台資料)。図4より、総リン濃度の増加は底層における溶存酸素濃度の低下した時期と一致していることがわかった。つまり、底層の貧酸素化によって底質からのリンの溶出が引き起こされていることが示唆された。これは、一般に報告されている現象で、リンは溶存酸素濃度が高い湖水においては三価の鉄と結合しているが、貧酸素化すると鉄が還元され二価となって溶出し、同時にリンもリン酸態リン

として水中に放出される機構が考えられている(中村, 1997)。これに対して窒素(図4)はむしろ降雨量との関係を示している(図5)。明確な相関は得られなかったもののSt.4において特に顕著であり、本庄川等の流入する河川から窒素が供給されていることが考えられた。このことは、降雨の多い時期と重なる6, 7月及び9月に窒素濃度(図4)が高い値をしめしていることから推察される。

本庄工区における水質特性についてさらに検討するため図6に底層(全地点4m層の平均)における窒素、リン及び溶存酸素濃度の経月変化を全地点の平均値を用いて示す。底層のリン濃度、窒素濃度のい

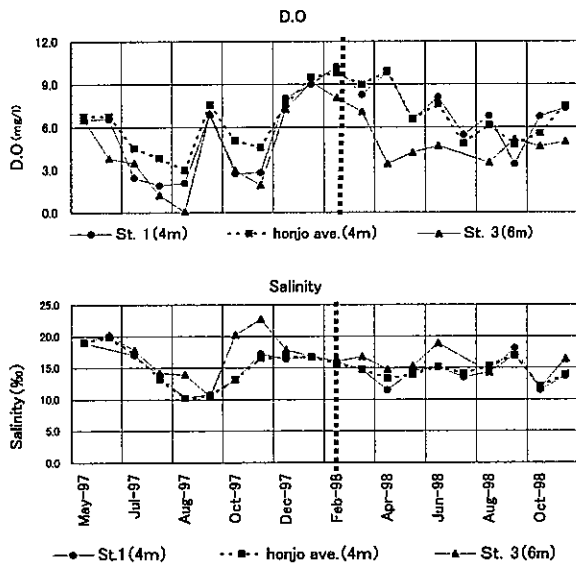


図3. 本庄工区各地点における底層水の溶存酸素及び塩分濃度の経月変化。

Fig.3. Monthly changes in DO concentration and salinity in the bottom water of several sites of Honjo area.

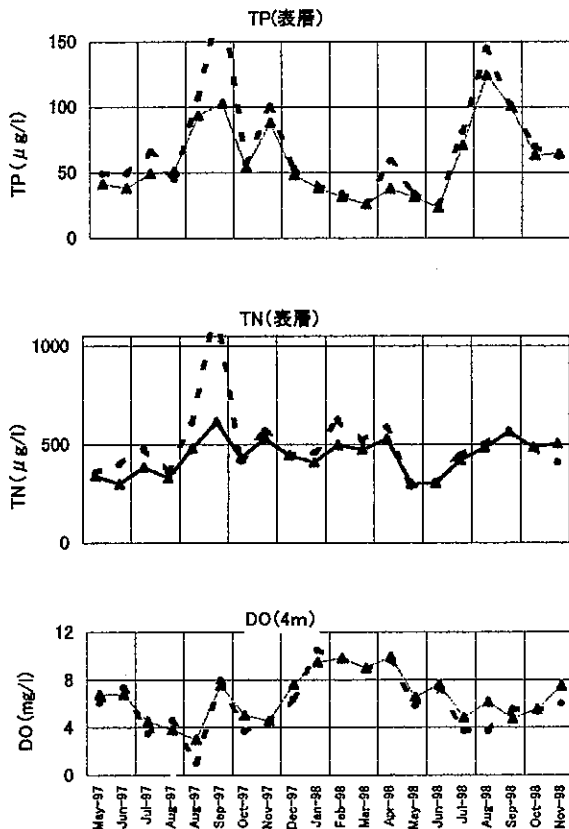


図4. 本庄工区における表層水のTN,TP及び、4mにおける溶存酸素の経月変化。破線, St. 4; 実線, 本庄全域平均値。

Fig.4. Monthly changes in the TN, TP in the surface water of Honjo area and DO concentration at 4m depth. Dotted line, St. 4; Solid line, average of Honjo area.

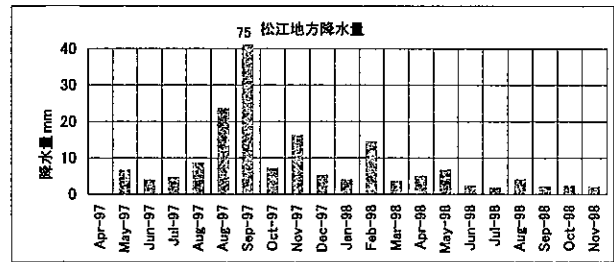


図5. 松江地方における降水量。

Fig.5. Precipitation amount in Mataue area (Mataue meteorological station).

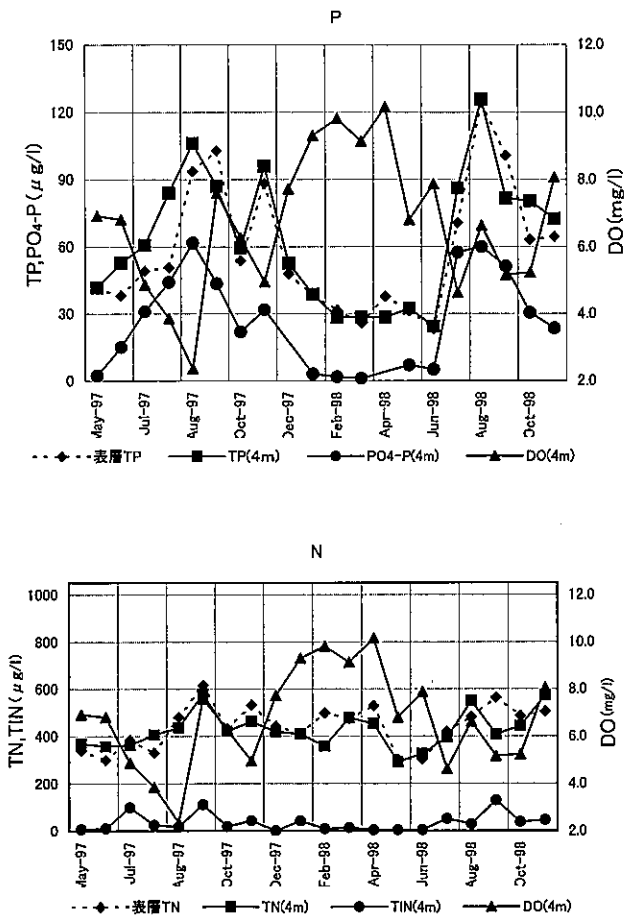


図6. 本庄工区の表層及び底層における窒素、リン及び溶存酸素の経月変化。

Fig.6. Monthly change in the TN, TP in the surface water of Honjo area and TP, PO₄-P, TN, TIN, D.O. at 4m depth.

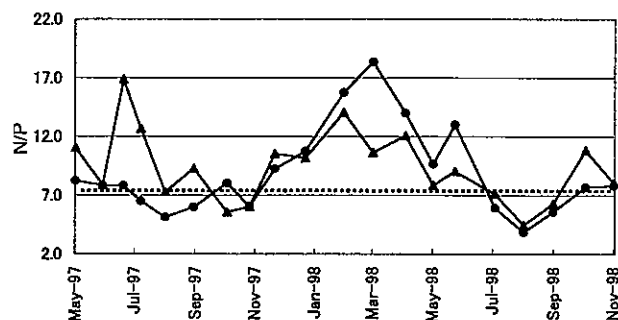


図7. 本庄工区及び中海における表層水のN/P比の経月変化. 本庄工区(●), 中海(▲).

Fig.7. Monthly changes in N/P ratio in the surface water of Honjo area and Lake Nakaumi. Honjo area (●), Lake Nakaumi (▲).

れも表層の動きと一致して変動していた。

6. 本庄工区のN/P比の季節変化

植物プランクトンの平均的組成は $(\text{CH}_2\text{O})_{106}(\text{NH}_3)_{16}\text{H}_3\text{PO}_4$ と表す事が出来る。この組成式から植物プランクトン中の炭素、窒素、リンの元素比は平均で106:16:1であり、質量比としては約40:7:1となる(Healey & Hendzel, 1980)。従ってC/N, N/P, C/P比はそれぞれ5.6, 7, 40となる。ここでは、N/P比7を基準として検討する。図7に1997年5月から1998年11月までの本庄工区全地点平均、西部承水路(St.7)、中海(St.8)における表層水のTN/TP比を示す。この図から、本庄工区において夏場のリンの溶出によるTN/TP比の著しい低下がみられ、窒素制限が示されたが、逆に溶存酸素の豊富な時期にはリン制限の状態となっていることも示された。また、St.7における値は、本庄工区の平均値とSt.8の値の間にあり、西部承水路における水の交換が激しく行われている事も示された。

ま と め

- ①潮通しパイプ交換水により潮通しに近いSt.1, St.3では、夏季の貧酸素化が減少する傾向がみられたが、全水域に対しての影響はみることができなかった。
- ②本庄工区の水質は、水平方向にも鉛直方向にもよく混合していることがわかった。
- ③本庄工区のN/P比の検討から夏季には窒素制限であることがわかった。
- ④底層水が貧酸素化しやすい夏場には、リンが底質から溶出していると推定された。

参 考 文 献

- 相崎守弘・秋葉道宏(1998)；中海本庄工区の水質特性 LAGUNA, No.5, p. 175-182.
- 大槻 晃・岩熊敏夫・河合崇欣・相崎守弘(1984)霞ヶ浦における富栄養化現象の傾向。国立公害研究所研究報告, R-51, 1-10.
- 清家泰・近藤邦男・伊達義夫・石田祐三郎(1986)汽水湖中海における窒素代謝Ⅲ—低酸素濃度下における硝化・脱窒。日本陸水学雑誌, 47:133-141.
- 徳岡隆夫(1995)中海干拓と水環境—宍道湖・中海水質予測事業中間報告書—(本庄工区水質予測)についての検討。汽水域研究センター特別報告書第二号, 52p.
- 中村由行(1997)境界層における貧酸素化とリンの溶出。沿岸海洋研究, 35:15-25.
- 福井真司・青井亜矢子・藤岡克己・前田伊佐武・三浦真吾・相崎守弘(1999)中海本庄工区に設置された潮通しパイプ交換水の水質特性, LAGUNA(汽水域研究). 6:37-42.
- Healy, F. P. and L. L. Hedzel (1980) Physiological indicators of nutrients deficiency in lake phyto-plankton. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 442-453