

見島湖浄化に関する調査研究

—平成18年度の見島湖の水質について—

鷹野 洋，山本 淳，斎藤直己，中川周三*（水質第一科）

*環境管理課

【調査研究】

児島湖浄化に関する調査研究

—平成18年度の児島湖の水質について—

Studies on Purification of Lake Kojima

—Water Quality of Lake Kojima in 2006—

鷹野 洋, 山本 淳, 斎藤直己, 中川周三* (水質第一科)

*環境管理課

Hiroshi Takano, Jyun Yamamoto, Maomi Saitou,

Syuuzou Nakagawa

要 旨

平成18年度に児島湖とその流入河川で水質調査を実施し、COD、全有機体炭素（TOC）及び栄養塩等の挙動を検討した。湖心におけるCOD値は過去最低を記録したが、底泥からの溶出によって夏期にリン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）が、秋期にアンモニア性窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）の溶出が活発であったこと、TOCは秋から冬にかけてやや増加した。また、夏期の高水温にもかかわらず、緑藻類の出現が少なかったことが観測された。

[キーワード：児島湖, TOC, 栄養塩, 富栄養化, 難分解性有機物]

[Key words : Lake Kojima, TOC, Nutrients, Eutrophic, Recalcitrant dissolved organic matter]

1. はじめに

児島湖は岡山県南部に位置し、児島湾最奥部を締め切られて作られた人造湖である。しかし、河川河口部であることや流域の都市化等によって、富栄養化や汚濁が進行しており、水質保全計画を策定して水質改善を行っている¹⁾。

水質汚濁のメカニズム等を解明するためには、現在定期的に行われている公共用水域測定計画における測定項目（COD、全窒素、全リン等）だけでは十分ではない。そこで、第5期の湖沼水質保全計画を策定するに当たり、現在測定されていないが有機物指標としてCODよりも優れているTOCや、溶存態、懸濁態区分など水質汚濁のメカニズム等を解明するために必要とされている水質項目について調査することにより、水質保全計画策定推進のために必要な基礎資料を得ることを目的とした。

本報告では、その調査結果から児島湖及び流入河川でのCODや窒素、リンの挙動について報告する。

2. 方 法

2.1 児島湖及び流域の概要

児島湖は沿岸農地の用水不足と干害、塩害を一掃するとともに、低湿地の排水強化及び干拓堤防の安全を確保するために、昭和34年に児島湾を締め切られて作られた人造湖である。湖面積は10.88 km^2 、総貯水量は2,600万 m^3 、非かんがい期の平均水深は1.8mである。岡山市街地の南に位置し、岡山市、玉野市に面している。また、流域には6市町を含み、流域人口は約62万人である¹⁾。流域人口密度が約1,200人/ km^2 と多く、湖に対する人口、流域面積が大きい特徴を有している²⁾。

児島湖には生活排水や農業排水等が流入し、加えて有機物の湖内でも生産が盛んなこともあり、その水質は近年緩やかな改善傾向にあるものの、環境基準の約1.5倍程度で推移している³⁾。

また、飲料水、工業用水としての利用がないことや、一部を除きコンクリート製の護岸に取り囲まれ親水性に乏しい面があり、憩い、遊び、学べる水辺空間としての地理的、社会的条件がそろっているにもかかわらず、十

分な活用がなされていない状況にある¹⁾。

2.2 採水地点及び調査期間

採水地点は図1に示した児島湖内5地点と流入河川の4地点について表層水を採取した。また、湖内の採水地点では底層水の採水も行った。採取回数は、湖内は月2回、流入河川は月1回の頻度で、平成18年4月から平成19年3月までの1年間行った。

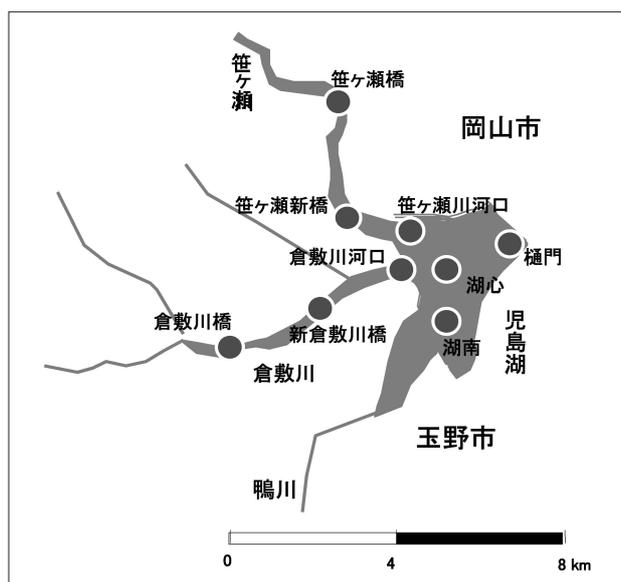


図1 調査地点

2.3 分析項目

分析項目はpH、溶存酸素 (DO)、全COD (T-COD)、溶存態COD (D-COD)、全有機体炭素 (TOC)、溶存態TOC (DOC)、BOD、全窒素 (T-N)、溶存態全窒素 (D-N)、アンモニア性窒素 (NH₄-N)、亜硝酸性窒素 (NO₂-N)、硝酸性窒素 (NO₃-N)、全リン (T-P)、溶存態全リン (D-P)、オルトポリリン酸態リン (Ortho-P)、リン酸態リン (PO₄-P)、クロロフィル-a (Chl-a)、懸

濁物質 (SS)、強熱減量 (IL)、電気伝導度 (EC)、塩素イオン (Cl⁻)、植物プランクトン数とした。

溶存態成分はWhatman GF/Cでろ過したろ液を使用した。Ortho-Pは比色法のPO₄-Pとイオンクロマト法のPO₄-Pとの差とした。

TOCは島津製TOC5000、NO₃-N、PO₄-P、Cl⁻はダイオネクス製DX-320、pHは堀場製作所製F-14、ECは東亜電波製CM-20Sにより測定した。その他の項目はJIS-K0102⁴⁾及び海洋観測指針⁵⁾に準じて測定した。

また、T-CODとD-CODの差を懸濁態COD (P-COD)、TOCとDOCの差を懸濁態有機炭素 (POC) とした。

3. 結果

平成18年度の水質調査結果の概要は次のとおりであった。表1に湖心と樋門の表層水の結果を示した。CODの平均値は湖心で6.94 mg/Lであり、湖心における過去6年間³⁾の平均値7.52 mg/Lから9.10 mg/Lの変動範囲よりも低い値であった。また、樋門も6.94 mg/Lであり、過去6年間の平均値の変動範囲7.36 ~ 8.70 mg/Lよりも低い値であった。

全窒素の平均値は湖心で1.24 mg/Lであり、過去6年間の1.30 mg/Lから1.60 mg/Lよりも低く、前年度よりもやや改善して最も低い値であった。また、樋門は1.16 mg/Lで、こちらも過去6年間に比べて低い値であった。

全リンの平均値は湖心が0.214 mg/L、樋門は0.200 mg/Lであった。両地点とも、過去6年間の平均値の変動範囲内であり、改善はみられなかった。

また、有機物量を示すTOCは湖心で5.92 mg/L、樋門で5.97 mg/Lであり、DOCは湖心で3.90 mg/L、樋門で4.00 mg/Lであった。

表1 平成18年度児島湖水質の推移

(単位: mg/L)

項目	地点	年度	月												年間平均値	目標値 75%値 (平均)	環境 基準値										
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月													
COD	湖心	H. 18	7.9	8.0	8.7	8.4	6.3	8.1	8.6	7.6	8.1	6.5	6.1	5.7	5.9	5.9	6.1	7.0	6.3	7.2	5.4	6.3	6.7	5.1	6.5	8.2	6.94
		H12~H17平均	9.43		9.30		8.07		8.48		8.25		7.35		7.08		7.47		8.08		8.23		7.90		8.67		8.19
		H12~H17平均	9.27		9.02		7.85		8.60		8.07		7.05		6.60		7.33		7.70		7.52		8.22		9.13		8.03
全窒素	湖心	H. 18	1.7	1.5	0.91	1.3	1.1	0.93	1.2	1.4	0.95	1.0	1.0	1.3	0.88	0.73	1.2	1.2	2.5	1.3	1.3	1.5	1.3	1.1	1.1	1.3	1.24
		H12~H17平均	1.17		1.41		1.16		1.45		1.28		1.18		1.25		1.55		1.48		1.46		1.63		1.60		1.40
		H12~H17平均	1.18		1.41		1.14		1.37		1.25		1.18		1.23		1.45		1.48		1.43		1.60		1.53		1.35
全りん	湖心	H. 18	0.18	0.16	0.20	0.34	0.32	0.27	0.39	0.29	0.58	0.33	0.18	0.26	0.15	0.16	0.12	0.13	0.18	0.13	0.12	0.14	0.17	0.12	0.10	0.12	0.214
		H12~H17平均	0.130		0.217		0.320		0.308		0.317		0.212		0.158		0.122		0.162		0.123		0.125		0.120		0.194
		H12~H17平均	0.130		0.200		0.305		0.305		0.330		0.208		0.158		0.105		0.148		0.112		0.115		0.117		0.187
TOC	湖心	H. 18	6.4	7.2	4.9	5.6	3.9	5.5	6.5	5.1	6.3	5.1	4.8	3.6	5.6	5.9	6.2	6.2	6.4	7.4	5.4	6.4	6.8	5.6	6.9	8.6	5.92
		H. 18	6.0	6.8	5.4	5.3	3.0	5.6	6.3	5.6	5.2	5.5	5.2	5.1	5.9	5.3	6.5	6.3	6.5	7.1	6.7	6.5	6.0	4.8	7.6	9.2	5.97
		H12~H17平均	0.130		0.217		0.320		0.308		0.317		0.212		0.158		0.122		0.162		0.123		0.125		0.120		0.194
DOC	湖心	H. 18	3.3	3.1	2.4	2.9	2.0	2.4	5.2	3.2	4.7	4.1	4.1	3.3	4.3	4.3	3.9	3.4	5.0	4.4	4.6	4.3	4.7	4.1	5.6	4.4	3.90
		H. 18	3.4	2.9	2.6	2.7	2.3	2.4	4.3	3.4	4.3	4.4	3.8	3.7	5.0	4.3	3.9	4.3	4.9	4.0	5.0	5.0	4.4	4.3	5.5	5.1	4.00
		H12~H17平均	0.130		0.200		0.305		0.305		0.330		0.208		0.158		0.105		0.148		0.112		0.115		0.117		0.187

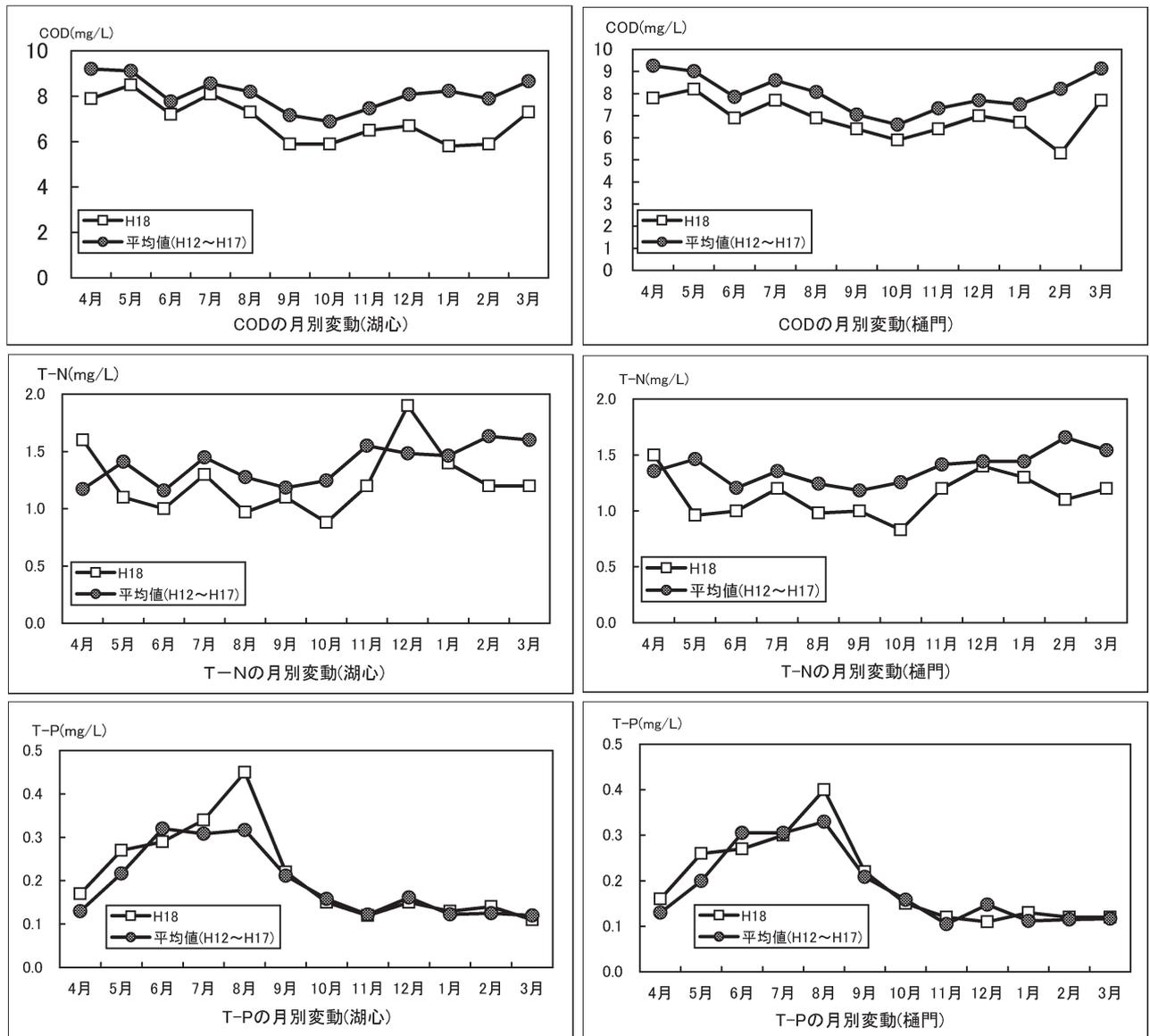


図2 湖心及び樋門におけるCOD、窒素、リンの月別変動

4. 考察

4.1 COD、窒素、リンの挙動

平成18年度の水質は全般的に過去の平均値よりも低濃度であったが、図2に示すように、夏期にリンが増加し、冬期に窒素が増加していた。平成18年の夏期はまれにみる高気温で⁶⁾、その影響は多方面に及んでいるが、児島湖もその例外ではなく、夏期を中心に全体的に水温が上昇していた。図3に湖心と過去の調査^{2),3)}の平均水温を示すが、8月に平均水温よりも高くなり、秋になってもなかなか水温が低下していなかったようすがみられた。この高水温が児島湖の水質に大きく影響したと思われる、夏期の全リンが過去6年間の平均の1.5倍程度まで増加し、リンの年間平均値を上昇させていた(表1, 図2)。

逆に、窒素は主に夏期に平均値以下を示し、これは脱窒が盛んであったと推定された(表1, 図2)。その結果、窒素不足により、植物プランクトンによる内部生産の低

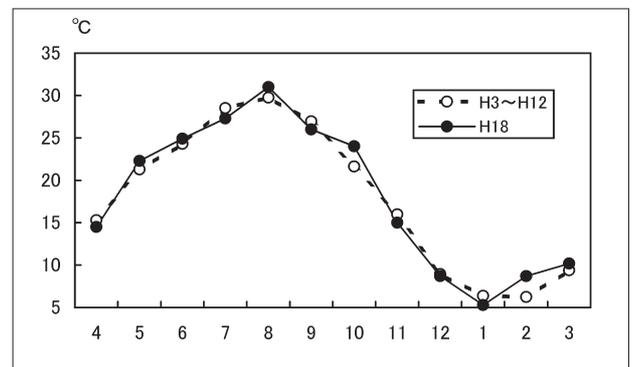


図3 平均水温とH18の水温の変動

表2 相関行列

単相関透視度	水温	透視度	DO	Chl-a	pH	EC	T-COD	D-COD	BOD	T-P	D-T-P	Ortho-P	PO4-P	T-N	D-T-N	NO2-N	NO3-N	NH4-N	Cl	TOC	DOC	SS(GF/C)	
DO	-0.1388																						
Chl-a	-0.7496	-0.0695																					
pH	-0.3181	-0.4947	0.6591																				
EC	-0.6600	-0.2290	0.8696	0.7696																			
T-COD	-0.3054	-0.2839	0.2142	0.1850	0.2973																		
D-COD	0.0275	-0.7005	0.2434	0.6855	0.3826	0.1952																	
BOD	0.5122	-0.3967	-0.3600	0.0066	-0.3064	-0.0435	0.6127																
T-P	0.1003	-0.3998	0.2454	0.5634	0.3874	-0.0342	0.5700	0.3156															
D-T-P	0.6419	-0.3474	-0.4792	0.0225	-0.3838	-0.3386	0.5022	0.7316	0.3000														
Ortho-P	0.7785	-0.0358	-0.6725	-0.3605	-0.6428	-0.4810	0.1042	0.6654	0.1033	0.8644													
PO4-P	0.7825	-0.0356	-0.6761	-0.3677	-0.6449	-0.4833	0.0927	0.6566	0.1194	0.8549	0.9970												
T-N	0.7931	-0.0979	-0.6612	-0.3201	-0.5809	-0.4342	0.1308	0.6505	0.1616	0.8351	0.9614	0.9655											
D-T-N	-0.4278	-0.0863	0.2762	0.1826	0.1313	0.1479	0.1937	0.0678	0.0275	-0.0139	-0.1311	-0.1265	-0.1932										
NO2-N	-0.3197	0.1615	0.0535	-0.1964	-0.1527	0.0837	-0.1425	0.0075	-0.2081	-0.0987	-0.0289	-0.0230	-0.1132	0.9019									
NO3-N	-0.1588	0.3125	0.1209	0.0041	-0.0211	-0.2588	-0.2238	-0.2188	-0.0564	-0.0466	0.0368	0.0453	0.0200	0.5039	0.5455								
NH4-N	-0.3566	0.1191	0.1382	-0.1174	-0.0496	0.1677	-0.1420	-0.0947	-0.1964	-0.2279	-0.1731	-0.1655	-0.2373	0.8716	0.9431	0.4799							
Cl	-0.0150	0.2684	-0.2791	-0.4391	-0.4165	-0.1708	-0.3955	-0.1006	-0.3702	0.0734	0.2141	0.2155	0.1488	0.3067	0.4805	0.4959	0.2475						
TOC	-0.2648	-0.2558	0.1791	0.1736	0.2779	0.9475	0.1181	-0.1141	-0.0078	-0.3414	-0.4684	-0.4683	-0.4049	0.0232	-0.0281	-0.2505	0.0290	-0.1068					
DOC	-0.4349	-0.4879	0.5821	0.7281	0.6187	0.3778	0.7657	0.2857	0.3620	0.0128	-0.3378	-0.3536	-0.3121	0.3596	0.0392	-0.0279	0.0643	-0.3126	0.2922				
SS	-0.3479	-0.2193	0.3043	0.2257	0.2548	0.3292	0.4332	0.4120	0.0110	-0.0355	-0.1614	-0.1852	-0.1782	0.3426	0.2262	-0.0075	0.2010	-0.0870	0.2239	0.7538			
IL	0.0751	-0.5846	-0.0625	0.3361	0.0649	0.1990	0.6686	0.3433	0.2329	0.4698	0.0538	0.0465	0.0751	0.0607	-0.1795	-0.3206	-0.2132	-0.1462	0.1794	0.4096	0.1345		
	-0.1609	-0.6462	0.3418	0.7340	0.5021	0.2563	0.8180	0.2295	0.4680	0.2854	-0.1776	-0.1798	-0.1370	0.1508	-0.2187	-0.2345	-0.1964	-0.3499	0.2338	0.6667	0.2063	0.7967	

下と自浄作用の活発化によってCODが減少したと考えられた。表2の相関分析では、窒素の項目はChl-aやCOD、TOCと無相関または弱い負の相関であり、窒素が律速因子であったことを示している。

ところで、湖心が樋門よりもCODが平均的にやや高い数値を示すが、これは地理的に河川水の影響を直接受けやすいためと思われた。

4.2 TOC, DOCの挙動

児島湖においても以前から生物的に難分解性のD-CODがT-CODの半分以上を占めているが、その起源や挙動については全く明らかにされていない。そこで、難分解性を含め有機物指標として優れているとされるTOCとDOCを測定し、CODなどの他の項目との関係を調べた。

TOCに占めるDOCの割合は湖心が75%、笹ヶ瀬橋74%、倉敷川橋70%と、倉敷川での割合が少なかった。湖心でのTOCはT-CODの92%、DOCはD-CODの94%であった。笹ヶ瀬橋では82%と78%、倉敷川橋では92%と90%であり、笹ヶ瀬川がやや化学的に分解されにくい物質を比較的多く含んでいた。また、BODに対しては湖心136%、笹ヶ瀬橋123%、倉敷川橋173%であった。倉敷川は内部生産が盛んであり、生分解性に富んだ物質を比較的多く含んでいたと考えられた。表2の相関分析では、TOCは内部生産を示す項目であるChl-aとT-CODと相関が高かった。DOCはT-CODとD-COD、TOCに相関が高いたいで、他の項目とは相関が弱く、独特の変動をしており、DOC単独の浄化対策を検討する必要があると思われた。

4.3 水質浄化対策の効果

児島湖は各種汚濁負荷削減対策が継続的に行われており、湖心の経年的な変化をみると、最近の7年間でCODと窒素は徐々に減少する傾向がみられ、流域の下水道整備等の効果が現れ始めていると考えられる(図4-1, 図4-2)。

ところが、リンはここ数年増加する傾向がみられた(図4-3)。生活排水対策によってリンの排出負荷量は減少している²⁾ことから、生活系以外の負荷の影響が大きくなっていると思われる。図5に各測定点における各態

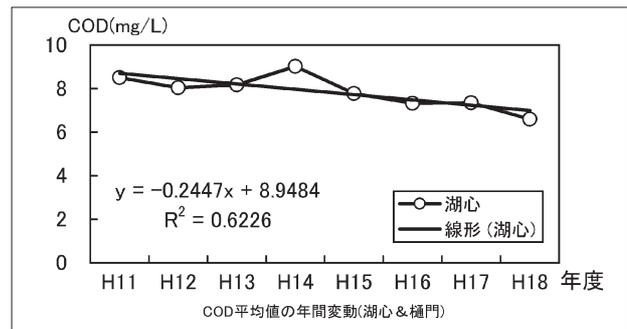


図4-1 湖心におけるCOD平均値の年間変動

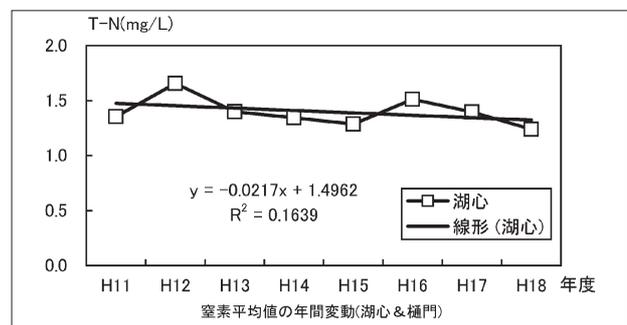


図4-2 湖心における全窒素平均値の年間変動

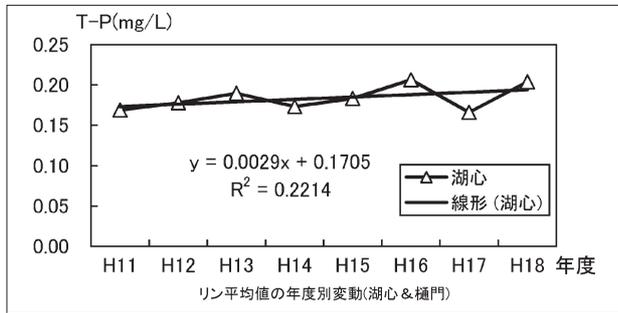


図4-3 湖心における全リン平均値の年間変動

リンの挙動を示すが、注目されるのは倉敷川である。倉敷川は湖心や樋門とよく類似した変動を示し、湖内よりも高濃度であった。図6に示す倉敷川橋でのリンの経年的な変動を見ると、平成10年度頃までは減少傾向であったが、最近5年間程度はやや上昇傾向がみられ⁷⁾、水質

改善の効果が現れていない。

倉敷川は明治以前に運河として形成され、その後干拓農地からの排水路として整備された経緯を持つ⁸⁾ことから、農地排水の影響を受けやすい特徴を持っている。さらに、自然水がもともと少ないところに下水道の整備によって流入水量が減少し、河川水量全体が減少して、停滞性がより強くなっている。その結果、底質からの溶出が盛んになり、リンの改善がなかなか進んでいないと推定された。図5では夏期に $PO_4\text{-P}$ が急激に増大しているが、これは底泥からの溶出が主な要因と考えられた。

図7に各態窒素の挙動を示すが、窒素の挙動はリンとは異なり、流入河川では冬期に $NH_4\text{-N}$ や $NO_3\text{-N}$ が増加するが、湖内では夏期に $NO_3\text{-N}$ がやや減少するものの、目立った変動は見られなかった。前述したが、児島湖は

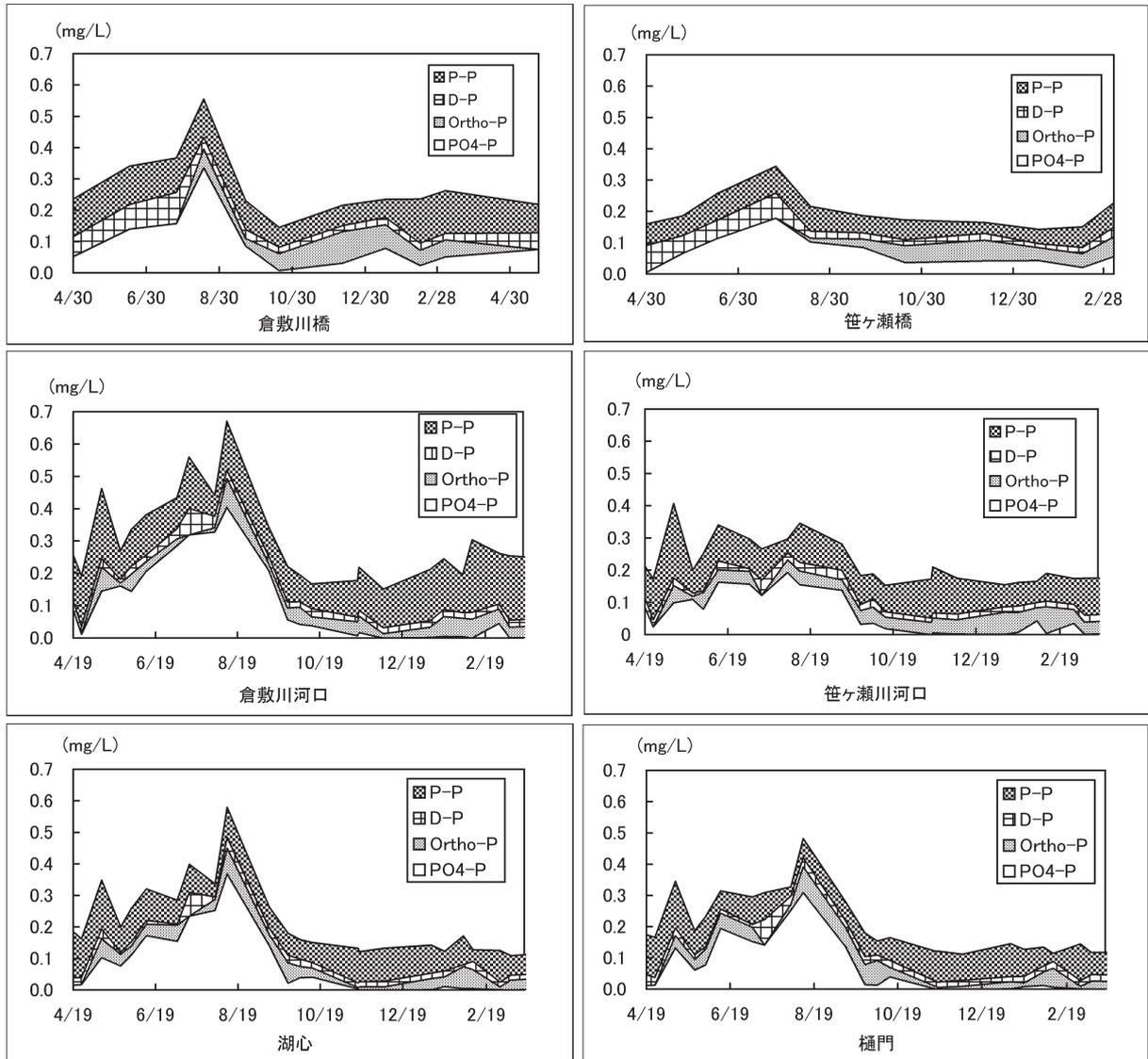


図5 各地点における各態リンの変動

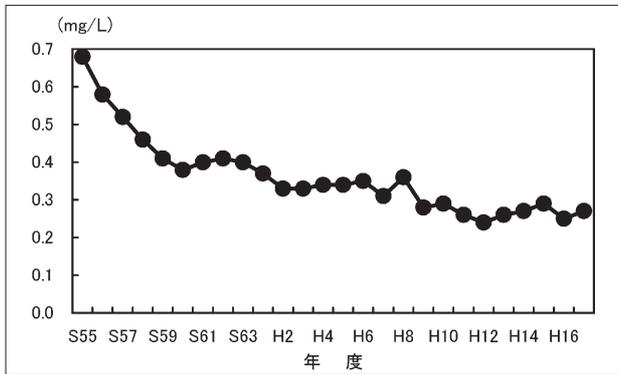


図6 倉敷川橋でのリンの経年変化

窒素が律速因子であると考えられ、河川から流入した窒素は脱窒や植物プランクトン等の吸収により、速やかに水中から除去されていると考えられた。

4.4 汚濁負荷の要因

図8には湖心と笹ヶ瀬橋、倉敷川橋のD-CODとP-CODについて示したが、P-CODは初夏と初冬に増加しており、内部生産の影響と思われる。湖心のD-CODは夏から冬にかけて減少し、春から夏に増加する傾向がみられた。この挙動は、田淵ら⁹⁾も観測しており、同様の観測が行われている霞ヶ浦¹⁰⁾とは若干異なった挙動であり、児島湖特有の変動と思われる。変動要因の解明が溶解態有機物の削減につながると考えられる。

また、図8からは笹ヶ瀬川のCOD濃度が低く、倉敷川のCOD濃度が高い傾向にあることがわかる。平成4年度から行われた浚渫事業（国営総合農地防災事業）で湖内の水の流れが変化した^{11~13)} ことにより、児島湖内部の

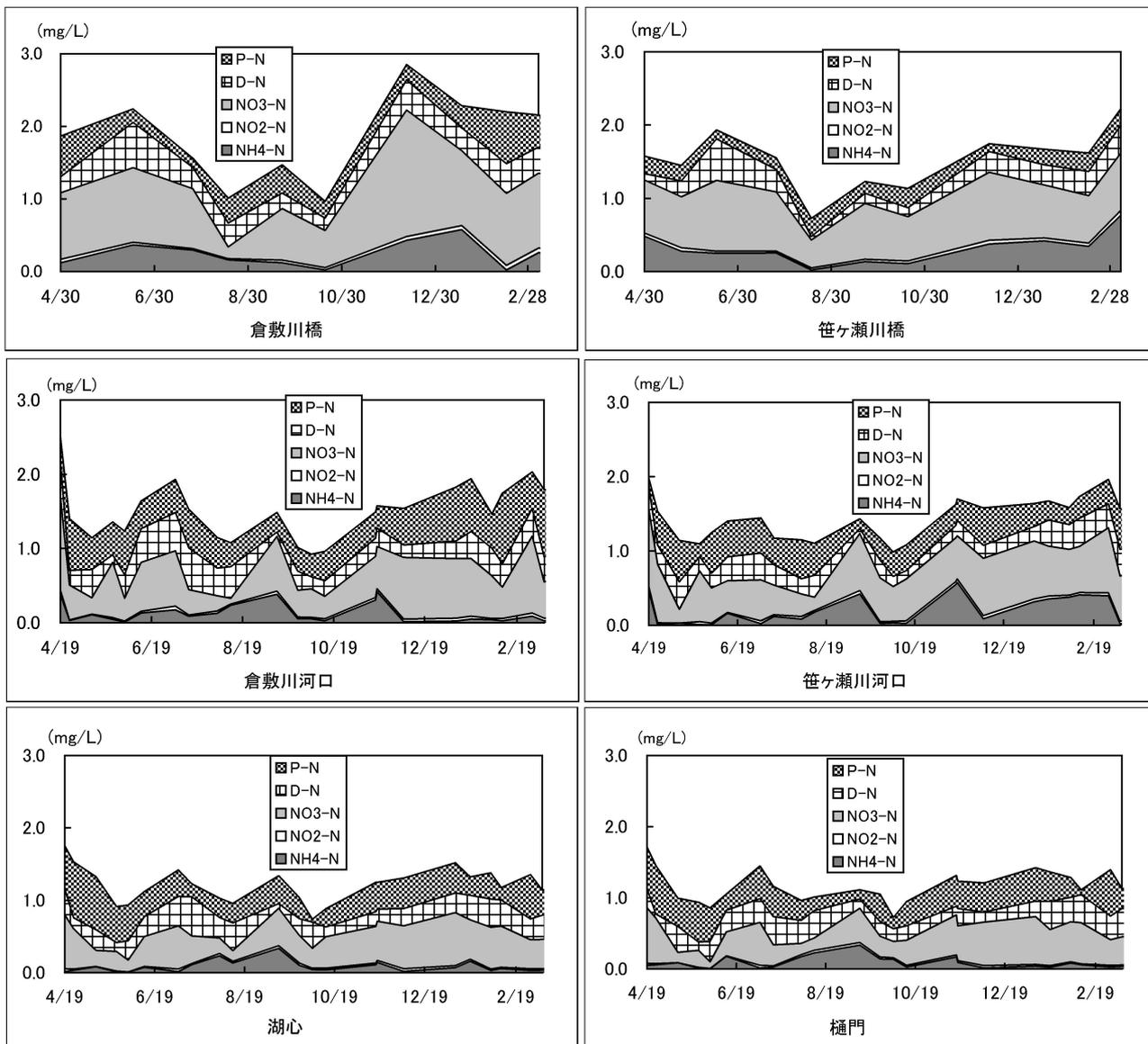


図7 各地点における各態窒素の挙動

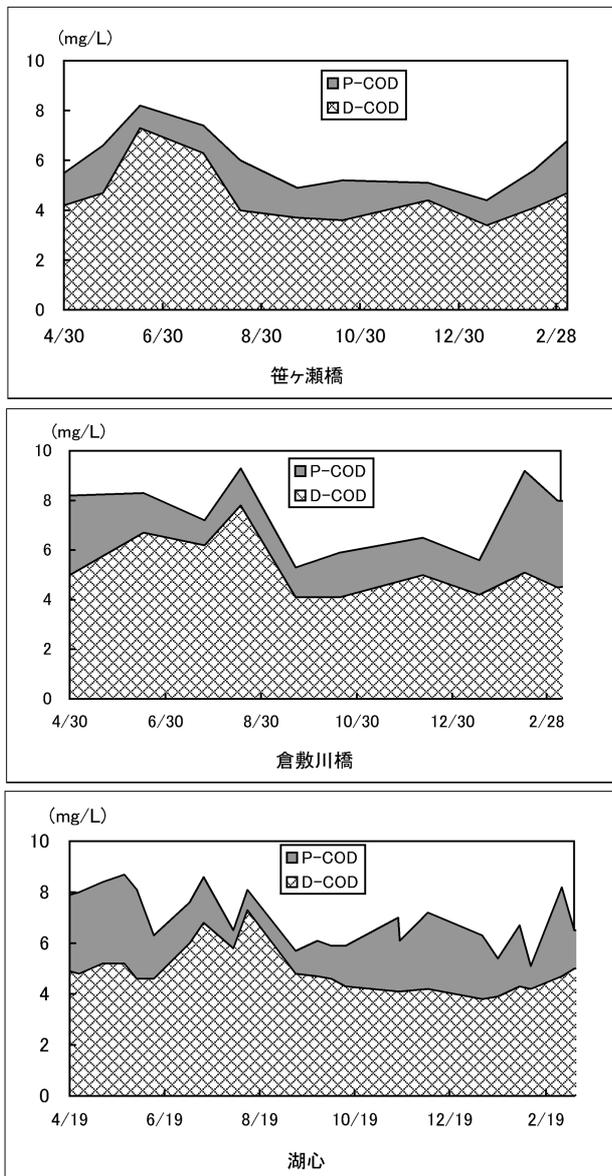


図8 湖心及び流入河川における各態CODの挙動

水環境構造が変化しており、今後も観測を継続する必要性が認められた。

表2には各項目ごとの相関係数を示した。有機汚濁に関連した項目同士は相関が高かったが、内部生産に関連する窒素の項目は夏期の脱窒によって除去されていたことから、独自の挙動であることを示していた。また、懸濁物質や強熱減量は有機性項目と相関が高く、内部生産有機物の影響が強いことを示していると考えられた。

5 まとめ

平成18年度に実施した児島湖の水質測定結果をもとに、湖内での栄養塩等について検討を行った。その結果、CODは過去最低を記録するまで改善したなかで、夏期に

底泥から $PO_4\text{-P}$ が、秋期に $NH_4\text{-N}$ の溶出が活発であった。窒素減少の影響からか夏期の高水温にもかかわらず緑藻類の植物プランクトンの出現が少なかった。TOCは秋から冬にかけてやや増加していたことが観測された。

また、湖内よりも倉敷川で $PO_4\text{-P}$ 濃度が高かったことから倉敷川からの流入負荷や底泥からの溶出を調査するとともに、周辺農地からの汚濁負荷を調査する必要性が認められた。

今回の報告は1年間のデータに基づく検討結果であるため、詳しい検討を行うにはより長期間の観測データに基づく必要があると思われる。

謝辞

この調査は平成18年度環境省委託「湖沼水質保全計画策定支援調査」の一部として行われた。また、一部試料の採取には岡山市環境規制課の協力を得た。

参考文献

- 1) 岡山県：児島湖に係る湖沼水質保全計画（第4期），2002
- 2) 岡山県：平成18年児島湖ハンドブック，2006
- 3) 岡山県：平成12年度～平成17年度公共用水域及び地下水の水質測定結果
- 4) 日本工業標準調査会：工場排水試験法（JIS-K0102），1998
- 5) 日本気象協会：海洋観測指針（気象庁編），1990
- 6) 気象庁：気象統計情報（岡山），2006
- 7) 環境省：湖沼水質保全対策・総合レビュー検討調査報告書（琵琶湖），2005
- 8) 昌子住江：日本の道と緑と人 人の利用と道 水辺の道と緑—水運都市の面影，道路と自然，VOL.23，No.2 p5～p7，1996
- 9) 田淵太一，石川雅恵，宮永政光，野上祐作：児島湖湾干拓地の田面水中に存在する溶存態有機物質の分画，第41回日本水環境学会年会講演集，pp146，2007
- 10) 国立環境研究所特別研究報告：湖沼において増大する難分解性有機物の発生原因と影響評価に関する研究，1997～1999

- 11) 名合宏之, 河原長美: 兎島湖の流動特性, 文部省「環境科学」特別研究「兎島湖集水域」研究報告, 1981
- 12) 中国四国農政局: 兎島湖沿岸農地防災事業計画, 1992

- 13) 農業土木学会, 中国四国農政局山陽東部土地改良建設事務所: 兎島湖浚渫の効果と今後の展望, 2002