

I-14 流入河川からのセディメント（堆積物）の抑制手法の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 14～平 17

担当チーム：河川生態チーム

研究担当者：天野邦彦、中村圭吾

【要旨】

流入河川からの堆積物を抑制する手法として、湖内湖浄化法を開発し、その効果を検証した。湖内湖浄化法とは、湖沼などに流入する河川の河口に仕切り堤などを用いて人工的に設置された小さな水域（湖内湖）を使用して流域から発生する主に非特定汚染源からの汚濁削減を図る浄化手法である。霞ヶ浦の川尻川に設置された湖内湖浄化施設を中心に、その後、霞ヶ浦に設置された3箇所の湖内湖を含む計4箇所の効果を検討した。効果は、湖内湖に底泥として新たに堆積した量を河川から流入する汚濁負荷量で除することにより年間の除去率を算出した。その結果、川尻川の湖内湖においては、流入負荷量に対しCOD_{Mn}の32%、窒素の27%（脱窒量を考慮すると32%）、リンの87%が湖内湖において除去されていることが分かった。また4つの湖内湖の汚濁負荷削減効果を比較し汚濁負荷削減効果を明らかにした。流入負荷量に対する堆積負荷量を除去率として求めた値は、CODで6.8～46%、全窒素で1.6～27%、全リンで8.2～87%となった。除去率は、湖内湖の時間・面積あたりの流入負荷量である負荷速度（g/m²/day）と最も関係が深く、負荷速度が設計諸元として重要であることが分かった。これらの成果から、設計の考え方について計画、設計、施工、維持管理、モニタリングの観点から取りまとめ「湖内湖設計の手引き」作成した（一部平成17年度のデータを加え、修正中）。また、湖内湖に堆積した底泥について、川尻川の湖内湖浄化施設を対象に処理方法を検討したその結果、現地での施工性、コスト面の比較から、水面清掃船を利用した手法がもっとも有利であることが分かった。

キーワード：湖内湖浄化法、湖沼、非特定汚染源、面源負荷、流入河川対策、エコテクノロジー

1. はじめに

湖沼水質対策としては、下水道の整備、底泥浚渫などの対策事業のほか、湖沼特別措置法などの法的整備も実施されてきた。しかしながら環境基準の達成率は平成16年度現在50.9%と河川(89.8%)や海域(75.5%)に比べて著しく低い水準にある¹⁾。湖沼においては、事業所や家庭からの特定汚染源のほか、農地や市街地からの非特定汚染源が水質汚濁の大きな原因となっており、その対策が急がれる。しかしながら、非特定汚染源には有効な対策技術が少なく、改善が進んでいない。そこで土木研究所と霞ヶ浦河川事務所では湖内湖浄化法という新しい非特定汚染源対策を提案し、その技術開発を実施した。

湖内湖浄化法とは、湖沼などに流入する河川の河口に仕切り堤などを用いて人工的に設置された小さな水域（湖内湖）を使用して汚濁削減を図る浄化手法をいう²⁾。琵琶湖の「内湖」の有する浄化機能を応用した技術で「湖内」に設置するので「湖内湖」と呼ばれる³⁾。平成10年に国土交通省霞ヶ浦河川事務所によって霞ヶ浦（茨城県）の川尻川河口に設置

されたのが最初の事例で、主な浄化の機構は沈殿・堆積、分解・脱窒等で、数年に一回の湖内湖の浚渫が必要である。また、湿地として生物生息場の創出も期待されている。

土木研究所では川尻川の湖内湖を中心に、その後、建設された梶無川、園部川、大円寺川の湖内湖を対象として国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所と協力しながら調査を実施した。本研究の達成目標は、①湖内湖浄化法の浄化効果の解明、②湖内湖浄化法の設計手法の開発、③湖内湖の堆積底泥対策手法の開発、であり、本稿では、これらの達成目標に対する成果を報告する。また、巻末に参考文献の他、本研究に関連する発表原稿を掲載したのでそちらも参考にしてもらいたい。

2. 研究方法

2. 1 湖内湖の汚濁負荷削減効果に関する検討

2. 1. 1 川尻川の湖内湖における汚濁削減効果

1) 実験場所

川尻川（茨城県かすみがうら市）に設置した湖内

湖の位置を図-1に示す。川尻川の流域の概要を表-1に示す。川尻川は流域面積9.02 km²で、流域人口は1,300人、山林、原野は流域の39%を占め比率が高い。また、家畜密度も高く、農地からの負荷も大きいと考えられる。流域における年間降水量は、約1200 mm (1986-1995年平均)である。川尻川河口には1970年頃には沿岸に約100m幅の植生帯が広がっていたが、現在は河口の右岸にわずかに残るのみである。



図-1 川尻川湖内湖の位置

表-1 川尻川の流域概要

流域面積	9.02 km ²
人口	1,300人
山林・原野	348 ha
水田・田畑	380 ha
家畜(豚)	4,193頭
家畜(牛)	294頭

2) 湖内湖の構造

湖内湖の諸元を表-2、平面図の概要を図-2に示す。湖内湖の対象流量は6 m³/sで、これは過去の調査事例⁴⁾を参考に総雨量70 mmの雨に対応するピーク流量として設定した。湖内湖は沈殿ピットと一般沈殿池に分かれており、対象流量に対する滞留時間がそれぞれ0.5 hと1.0 hとなるよう容量を設定した。これらの滞留時間は沈降実験より比較的早い沈降速度を持つグループと遅いグループに対応して設定した。したがって沈殿ピットの容量は10,800 m³ (6 m³/s×3600×0.5 h)、一般沈殿池の容量は21,600 m³ (6 m³/s×3600×1.0 h)となる。沈殿ピットの中に特に大粒径の懸濁物を除去するための深さ2 mの泥溜を設置した。この泥溜の維持管理としては定期的な浚渫を前提としている。その他の箇所は水深約1 mで、場所によっては50 cm程度である。湖内湖は右岸側に曲がった構造となっており、河口から離れた部分に湖内湖の水交換と魚類のための開口部を有し、常時30 cm~45 cmの水深を有する設計となっている。また湖内湖と霞ヶ浦を仕切る堤体は、通常湖水面より上にあり、内部の捨石(50-100 kg)とそれを覆う巨石(220-330 kg : t=500 mm)からなり、透過性となっている。堤体付近に、人工浮島が240 m² (20 m²×12ヶ)設置されているが、これは鳥類の生息場あるいは魚類の産卵場、避難場として設置したものであり、水質に与える影響は無視しようと考えられる。河口右岸にはヨシを中心とする植生帯が存在している。湖内湖の設置は建設省関東地方建設局

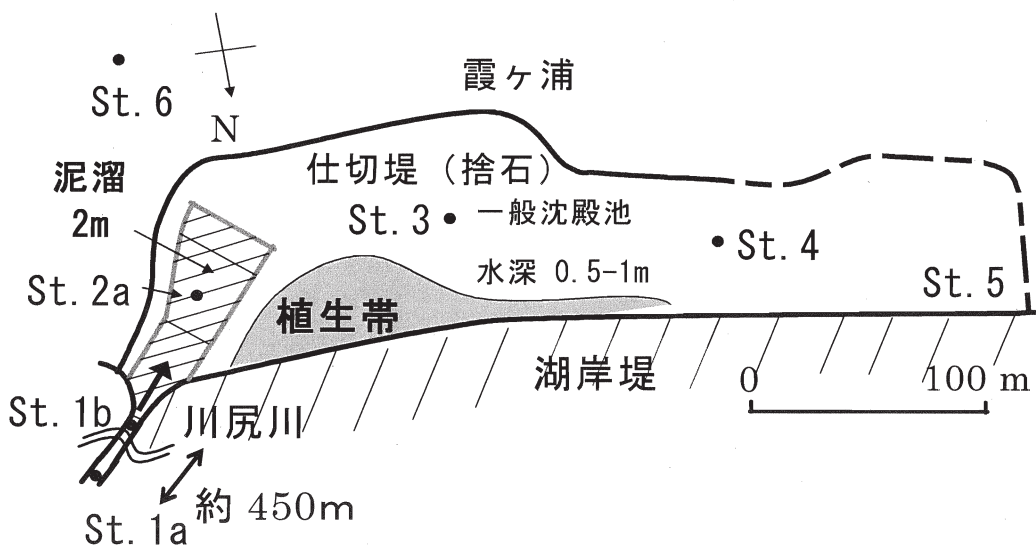


図-2 湖内湖の平面形及び調査地

霞ヶ浦工事事務所（当時）によって行なわれ、平成10年11月に完成した。

表-2 湖内湖の概要

	沈殿ピット	一般沈殿池
対象流量	6 m ³ /s(出水時ピーク)	6 m ³ /s
滞留時間	0.5 h	1.0 h
水深	約1.0 m (泥溜部2 m)	約1.0 m
容量	10,800 m ³	21,600 m ³
面積	7350 m ² (泥溜部2718 m ²)	21,600 m ²
幅	平均45 m	296 m
長さ	165 m	70-165 m

3) 調査方法

川尻川における調査項目と年度ごとの実施状況を取りまとめたものを、表-3に示す。

①湖内湖堆積量調査

湖内湖に堆積した懸濁物量を明らかにするために、各年11月に詳細な施設内外の地形測量を行った。各年の堆積物量はこの測量結果から計算した。

②水位・流量

水位については、川尻川下流の順流部（大正橋付近）で、自記水位計を用いて測定し、月1回程度実施した流量測定と比較することにより水位-流量式（H-Q式）を求め、流入流量とした。

③流入水質調査

平常時調査は、川尻川の流入河川、湖内湖の内部、また対照として湖内湖外の湖沼でも実施した。調査頻度は、調査期間中は一ヶ月に一回程度である。

出水調査は20 mm以上の雨が降ると予想される時に流入河川において実施した。降雨前から採水をおこない、降雨開始直後より、ピーク後水質データが安定するまで1時間毎を目安に採水を実施した。ただし、ピークの現れ方が急な場合は30分間隔で実施した。濁度などのデータより、水質分析をおこなうデータを10点程度選定して分析した。

④生物量調査

湖内湖の機能として、湿地環境の創出が期待されている。そこで、植物、魚類、底生動物、鳥類について調査した。調査年度については表-3に示したとおりである。

表-3 川尻川における調査項目の概要

	調査項目	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
浄化効果調査	河川水位	●	●	●		●	●	●
	河川水質	●	●	●		●	●	●
	堆積量	●	●	●	●	●	●	●
施設内調査	湖内湖水質	●	●	●		●	●	●
	湖内湖底質	●	●	●	●	●	●	●
生物調査	底生生物	●	●	●				●
	魚類調査	●	●	●				●
	動・植物プランクトン	●		●				
	鳥類調査			●				

2. 1. 2 湖内湖における発生窒素ガス量の検討

湖内湖のように閉鎖性が強く、底質の栄養塩も豊富にある場合、窒素の除去効果としては、堆積のほかに脱窒量も大きいと考えられる。そこで、脱窒量を簡易に推定する手法として、湖底から発生する窒素ガス量を直接測定する手法を試みた⁵⁾。

1) 現地調査法

調査は茨城県霞ヶ浦川尻川河口にある湖内湖浄化施設において、平成15年5月30日-31日、6月17日-18日、7月7日-8日、7月18日-19日、8月6日-7日、9月4日-5日および10月29日-11月5日の7回実施した。調査地点は、図-3に示す湖内湖内に川尻川河口から約50m間隔に9地点を、比較のために湖内湖外の霞ヶ浦沿岸で1地点を設定した。ここでは、発生窒素ガス量を求めるために現場ガストラップ法を採用した。本法は、現場にガス捕集トラップを一定時間設置して発生するガスを捕集する手法である。トラップはロートからなるガス捕集部とロート先端部に取り付けた試験管からなる。発生したガスが試験管内に捕集されるので、捕集されたガスを先端に直径2mmのテフロン管を取り付けた注射器で採集しガス容量を計量した後、その一部をバイアルビンに移し実験室に持ち帰りガス分析に供した。図-4にガストラップおよび調査法を図示した。この他に、調査時の水温および溶存酸素(DOメーターYSI社55型)を測定した。地温は泥に10cm程度センサーを差し込んで測定した。また、各調査地点の硝酸態窒素濃度も測定した。

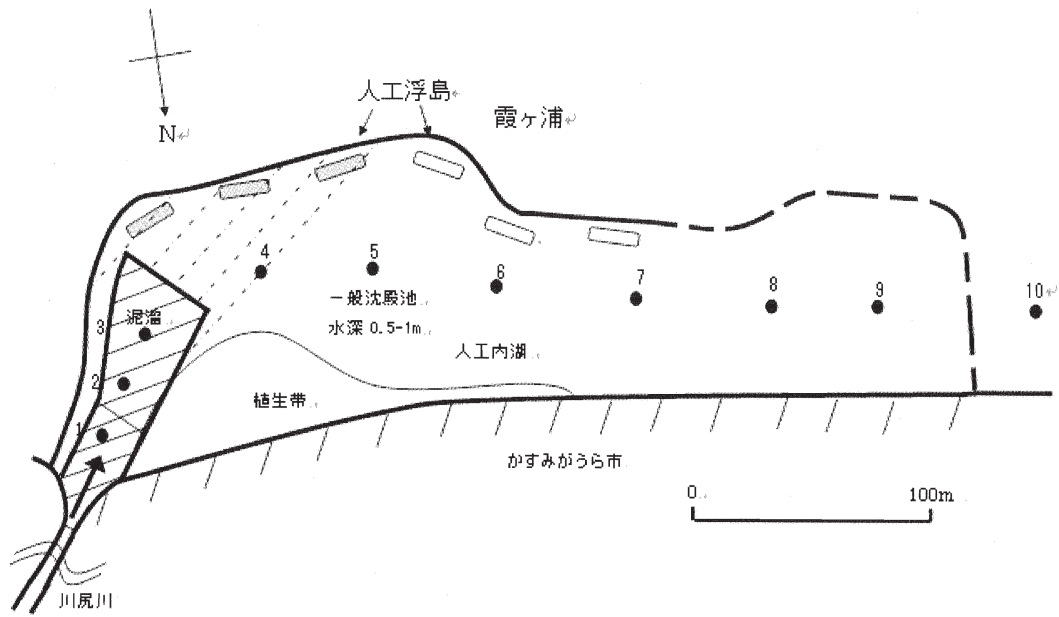


図-3 窒素ガス量測定地点

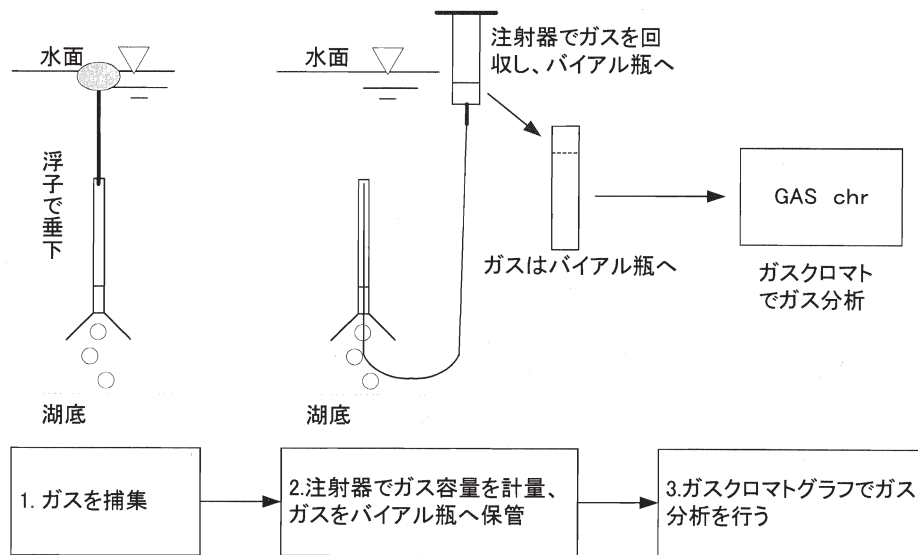


図-4 現場ガストラップ法の概要

2) ガス捕集法

直径 13 cm のポリエチレン製ロート上端に 30 ml のガラス製試験管を接続したガストラップを湖底から約 20 cm 上方にロートの上面が湖底面に、試験管が上方に向かうように固定、設置した。設置に際しては、ロートおよび試験管内の空気を完全に湖水で置換し、気泡のないことを確かめて所定の位置に浮子を用いて垂下した。ガストラップ設置から一定時間後に試験管内に捕集されたガス容量を前述の注射器で抜き取りガス容量を、その場で計量し、湖水中でガスの一部に湖水を満たした 5 ml バイアルビンに

移し替え、ゴム栓で密閉した後、大気のコントaminationを避けるために、地下水を満たした 2 リットルポリエチレン容器内にバイアルビンを収容し、バイアルビンが水中に保持された状態で実験室に持ち帰った。

3) ガス分析

モレキュラー・シーブ 13X を充填剤としたガラスカラム (内径 4 mm、長さ 2 m) を備えたガスクロマトグラフィー (日立 G3000、検出器 TCD、カラム温度 40°C) を用いた。キャリアーガスとしてヘリウムガスを 25 ml/min で流し、0.100 ml をマイクロシリン

ジでカラム内に注入して分析を行った。酸素、窒素、メタンの標準ガスを用いて検量線を作成してそれぞれのガスを特定、定量した。上記ガスの保持時間はそれぞれ0.97分、1.68分および2.78分であったので、それぞれの面積を求めて検量線から組成を算出した。

4) 脱窒速度の推定

上記の方法で捕集されたガスは主に脱窒作用によって発生する窒素ガスであると考えられるが、脱窒作用が嫌氣的代謝であるために同時に硫酸還元やメタン醗酵も起こるものと考えられる。しかし、浅いところにおいてガス捕集を行うために波浪によって大気中の窒素や酸素が混入することが考えられる。したがって、ガストラップで捕集された窒素ガスの起源として大気および脱窒の2つの経路が想定され、捕集されたガスが脱窒起源であることを確かめた上で脱窒速度を算定しなくてはならない。窒素ガスの起源は捕集ガス中に酸素ガスが含まれるかどうかによって特定することができる。酸素が確認されない場合には、脱窒作用起源と判別し、捕集ガス容量に窒素ガスの占める比率を乗じて脱窒速度を求めた。酸素ガスが確認された場合には、基本的には大気からの混入があったと判断するが、捕集ガス全体に占める酸素の比率が小さい場合には、酸素の占める比率から大気起源の窒素混入量を算出して捕集窒素ガス容量から大気起源の窒素ガス容量を差し引いて補正することができる。しかし、酸素の比率が10%以上の場合には棄却することとした。

2. 1. 3 四つの湖内湖の効果の比較

1) 各湖内湖の概要

霞ヶ浦の湖内湖浄化施設は、平成10年に建設された川尻川の湖内湖で一定の汚濁負荷削減効果が確認され³⁾、その後、平成12年に梶無川、平成14年に園部川、大円寺川(北浦)に設置された。各施設の概要を表-4に、施設の位置を図-5に示す。施設の大きさは大円寺川が最小で33,400 m²、園部川が最大で329,300 m²である。対象流量も4.35~51 m³/sと施設によって大きな開きがある。また、各施設の各年度の調査状況は表-5のとおりで、川尻川については平成11年~17年の調査結果であるがその他の結果については数年間の短期調査結果である。

表-4 各施設の概要

	川尻川	園部川	大円寺川	梶無川
建設年	H10年	H14年	H14年	H12年
大きさ	350 m (幅) × 80 m (奥行)	700 m (幅) × 470 m (奥行)	400 m (幅) × 240 m (奥行)	500 m (幅) × 200 m (奥行)
施設面積 (m ²)	34,100	329,300	33,400	77,000
流域面積 (km ²)	9.02	79.3	6.80	30.7
施設/流域 (%)	0.38	0.42	0.49	0.25
沈殿ピット (m ³)	10,800	91,800	9,500	(設定無)
施設容量 (m ³)	21,600	175,400	67,000	160,000
平均水深 (m)	0.8	0.5	0.7	1.6
浄化対象雨量 (mm)	70	70	70	70
対象流量 (m ³ /s)	6.0	51	4.35	7.26

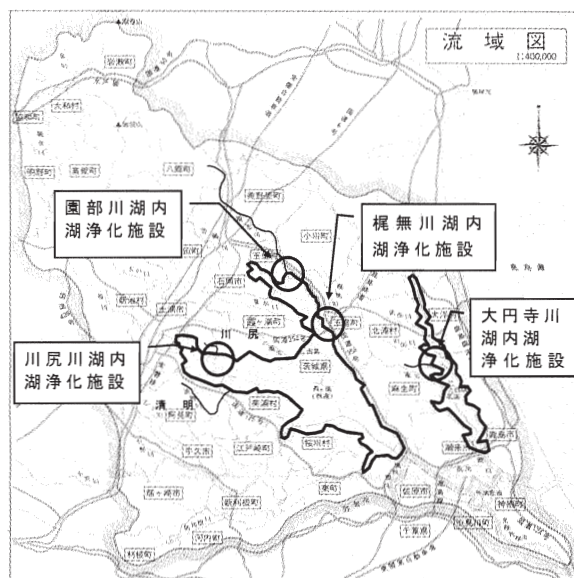


図-5 各施設の位置

表－5 各施設の調査内容・時期(年度)の一覧

河川名	調査項目	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17
川尻川	河川水位	●	●	●		●	●	●
	河川水質	●	●	●		●	●	●
	堆積量	●	●	●	●	●	●	●
	湖内湖水質	●	●	●		●	●	●
	湖内湖底質	●	●	●	●	●	●	●
園部川・大円寺川	河川水位					●	●	●
	河川水質					●	●	●
	堆積量				●	●	●	●
	湖内湖水質					●	●	●
	湖内湖底質					●	●	●
梶無川	河川水位					●		●
	河川水質					●		●
	堆積量					●		●
	湖内湖水質					●		●
	湖内湖底質					●		●

2) 流入負荷量

浄化施設の流入水量については、水位自動観測の結果および平時（ほぼ観測期間の各月）、出水時（年数回程度）の流量観測より、各年について水位-流量式(H-Q式)を算定した。

水質観測は、調査年と調査箇所により多少異なるが、平時調査はほぼ観測期間の各月に実施した。また各年に数回の出水時調査においては、1時間程度ごとに採水し、出水の状況から一出水に対し、10検体ほど分析するようにし、出水時の負荷量を評価できるようにした。このようにして求めた平時と出水時の流量と水質の結果から流量-負荷量の関係(以下L-Q式)を求め、流量の連続観測結果から負荷量を求めた。

3) 削減負荷量・汚濁負荷削減効果

湖内湖において流入負荷量については、河川の順流部の水質・流量を測定することにより定量的に把握できるが、流出量については、平時流速もほとんどなく、また仕切り提を通じての水交換も可能であるため流量、水質を定量的に把握することができない。そこで、一定期間内に湖底に新たに堆積した底泥量を汚濁削減量として汚濁負荷削減効果を求めた。各年11月頃に湖内湖の底面の精密な測量を実施し、その底面高の変化から、新たに堆積した堆積量を求め、堆積物に含まれる窒素やリンなどの含有比率から各成分の堆積量を求めた³⁾。

2. 2 湖内湖の設計手法の検討

これまで設置した4つの湖内湖における実施事例、調査結果などより、「湖内湖設計の手引き(案)」を作成した(一部平成17年度のデータを加え、修正中)。湖内湖浄化施設は川尻川については平成10年に設置され、8年ほどのデータが存在するが、その他の湖内湖については数年のデータが存在するのみである。したがって、今回の設計の手引きは、今後データの蓄積により随時加筆する必要のあるものである。この手引きでは、湖内湖の設計の考え方について計画、設計、施工、維持管理、モニタリングについて取りまとめた。

2. 3 湖内湖の堆積底泥処理工法の検討

湖内湖浄化法は、流入するセディメントをトラップし、堆積させることが主な浄化機構である。したがって、堆積した底泥は定期的に除去することが、湖内湖の浄化能力を維持する上で必須条件である。ここでは、実際に底泥の浚渫が必要となってきた川尻川の湖内湖を対象に堆積した底泥の性状を分析し、適応可能な浚渫技術を比較検討し、優劣を比較した。

3. 研究結果

3. 1 湖内湖の汚濁負荷削減効果

3. 1. 1 川尻川の湖内湖における汚濁削減効果

1) 流量調査

川尻川の流量観測の結果を表-6に示す。調査期間中の平均流量は、0.20 m³/sであった。また、調査期間中の最大流量は平成16年10月10日の台風22号上陸時に観測された6.3 m³/sであり、ほぼ設計時に想定した計画流量と同様であった。しかしながらこのときの前日の降雨量は135 mmと設計に用いた70 mmの倍近い値であり、川尻川は想定していたよりも比流量の小さい河川であったことが分かる。

表－6 川尻川流量観測結果

年度	期間	観測日数 (日)	川尻川流量(m ³ /s)	
			最大	平均
平11	H11.8.30~H12.3.31	215	0.484	0.026
平12	H12.4.1~H13.3.18	352	4.215	0.107
平13	H13.7.31~H14.3.31	209	2.175	0.241
平14	観測無し	-	-	-
平15	H15.9.17~H16.3.11	177	2.660	0.555
平16	H16.7.14~H17.3.28	258	6.310	0.202
平17	H17.4.29~H18.1.7	254	1.248	0.072
期間平均			6.31	0.201

表-7 湖内湖浄化施設内の平均水質

項目	SS(mg/l)				COD(mg/l)				T-N(mg/l)				T-P(mg/l)			
	1b	2a	3	4	1b	2a	3	4	1b	2a	3	4	1b	2a	3	4
平成11年度	—	34	33	35	—	9.2	9.8	9.8	—	2.14	1.87	1.67	—	0.248	0.205	0.212
平成12年度	—	22	23	26	—	8.6	9	9.4	—	2.53	2.19	2	—	0.409	0.368	0.298
平成13年度	—	20	36	26	—	9.1	12.8	9.7	—	2.83	2.43	1.6	—	0.337	0.337	0.24
平成15年度	48	40	52	44	8.4	7.4	8.3	7.6	3.17	2.58	2.38	2.19	0.235	0.203	0.225	0.188
平成16年度	29	32	39	43	8.3	8.3	8.2	7.8	3.21	2.82	2.32	1.84	0.323	0.263	0.207	0.214
平成17年度	42	41	26	27	12.4	12.9	10.9	9.5	3.09	2.56	2.11	1.9	0.35	0.315	0.231	0.206
平均	40	32	35	34	9.7	9.3	9.8	9	3.16	2.58	2.22	1.87	0.303	0.296	0.292	0.226

2) 水質調査

湖内湖浄化施設内における平常時水質の年度毎、調査地点毎の平均値の変化を表-7に示す。湖内湖は年々底質が堆積するため施設内では経年的に水質が悪化するのではないかと想定されたが、この結果からはそのような変化は観測されず、湖内湖の水質は毎年同程度であった。一方、湖内湖の場所ごとの水質変化を見ると、窒素・リンなどでは上流で値が大きく、下流で小さい傾向があった。これは、流入河川の窒素やリンの濃度が湖沼に比べ大きく、流下するにしたがって湖沼水によって希釈されたと考えられる。これらの結果から、湖内湖浄化施設内の平常時水質は経年的に大きな変化がなかったと考えられる。ただし、湖内湖浄化施設内の水質の変動は、一般的に湖沼水質よりも大きく³⁾、特に夏季に晴天が続くと湖内湖浄化施設内で植物プランクトンが発生し、クロロフィルaの値がかなり大きくなる時もあった。したがって、生物に与える影響を考えると平時のある時期に極端に湖内湖浄化施設内の水質が悪化しないよう開口部を設ける、透過可能な提体構造とするなど、適度に湖沼水との水交換が可能な施設設計とする必要がある。

平常時および出水時の流量、水質の観測結果より川尻川において、L-Q式を求めた。溶存態であるリン酸態リン以外は良好なL-Q式を得ることができた。

これらの結果より、川尻川における流入水量、負荷量の平均値は表-8のように求められた。

表-8 平均流量・負荷量

	①流量・平均 (m³/s)	②負荷量(g/s)			
		SS	COD	T-N	T-P
平11	0.026	0.49	0.20	0.075	0.005
平12	0.107	4.2	1.0	0.25	0.032
平13	0.241	14.5	2.5	0.51	0.090
平14	—	—	—	—	—
平15	0.555	51.5	6.6	1.0	0.26
平16	0.202	11.1	2.1	0.44	0.072
平17	0.072	2.3	0.64	0.18	0.019
平均	0.201	11.0	2.1	0.44	0.071

3) 堆積量調査

川尻川の湖内湖浄化施設における堆積は当初、流入部に設置した泥溜の部分を中心に堆積し、その後泥溜部の湖底高が周辺の一般沈殿域とさほど変わらなくなると徐々に一般沈殿域における堆積が進行した。泥溜部における堆積速度は0.30m/年程度であり、その他の一般沈殿域では0.04m/年であった。平成11年~17年の堆積の状況を表-9に示す。

表-9 平均堆積泥量、堆積速度

湖内湖浄化施設		堆積泥量 (m³/年)	堆積厚(堆積速度) (m/年)	対象期間	
川尻川	全体	1,413	0.04		平11.11 ~平17.1
	内訳	堀削部	484	0.28	
		非堀削部	929	0.03	

4) 汚濁削減効果

湖内湖における年間の流入負荷量に対する湖内湖堆積量負荷量の比を除去率として、湖内湖の年間負荷削減効果について検討する。検討期間は平成11年3月から平成17年1月の約6年間である。

CODや窒素などの底質の各成分比は、平成17年度の調査結果を用いた。その結果、川尻川における堆積負荷量、除去率はCOD、T-N、T-Pでそれぞれ32%、27%、87%であった(表-10)。

しかしながら平成15年度までにまとめたデータ

では、除去率はCOD、T-N、T-Pでそれぞれ30%、15%、49%であり(表-11)、それ以後急激に流入負荷量、堆積負荷量が上昇していることが分かる。このことについては2つの原因が考えられる。一点は、平成16年は戦後最多の台風が上陸した年であり、川尻川においても135mmといった激しい雨が降り、過去数年間動かなかったような土砂が大量に流入したことであり、もう一点は、川尻川上流で河川工事がこの期間で実施されたことである。したがって、表-10の結果は誤りではないが、後段の4つの湖内湖と比べてもやや過大な効果見積りといえるかもしれない。このように、湖内湖は基本的に流入する土砂を堆積させて負荷を削減する技術であるので、ダム湖の堆積土砂同様、激しい雨のあとには短時間で大量の土砂が流入する。またこのような土砂は比較的粒径が大きいと考えられるので、今回のような算出の仕方では除去率が大きくなると考えられる。

表-10 流入負荷量・堆積負荷量・除去量(平17まで)

	流入負荷量 (t/年)	堆積負荷量 (t/年)	除去率 (%)
COD	64.9	20.9	32
T-N	10.9	2.94	27
T-P	2.65	2.31	87

表-11 流入負荷量・堆積負荷量・除去量(平15まで)

	流入負荷量 (t/年)	堆積負荷量 (t/年)	除去率 (%)
COD	42	12.7	30
T-N	8.2	1.27	15
T-P	1.56	0.76	49

5) 生物量調査

湖内湖浄化法は非点源汚染源からの負荷削減とともに湖岸域における生息場としても機能も期待されている。しかしながら、今回の生物調査の結果を見ると、湖内湖浄化施設は粘土・シルトが堆積し、生物生息空間としては必ずしも良好ではなかった。ただし、鳥類については、霞ヶ浦の沿岸では貴重な静穏域として、カモ類、オオバンを中心によく利用されていた。植物については静かな浅瀬を作ることで沈水植物の再生を期待していたが、沈水植物は観察

されなかった。ただし、波浪を抑制することによって抽水植物群落の保全効果はあったと考えられる。全体として、建設当初に生物量が減少した後、徐々に生物量が回復してきている。ただし、粘土・シルトの底質を好む底生生物、あるいは止水域に生息する魚類相に変化している。以下に生物量調査の結果概要を述べる。

① 魚類

平成9年度からの平成13年度までの調査で確認された魚類は、浄化施設内外及び河川を合わせると、タイリクバラタナゴ、モツゴ、ブルーギル等の6目10科30種であった。浄化施設内のみを見ると、浄化施設建設後の平成10年度以降は、ボラや、ヌマチチブなどのハゼ科魚類の出現が少なくなっており、ブルーギルは平成11年度以降ほとんど見られなかったが、平成13年度調査で以前同様多く確認された。逆に、タイリクバラタナゴ、フナ類、モツゴといった止水域を好む種が、平成13年度調査では多く見られた。その他の地点も合わせて、全体地点を経時的に見ると、河川では種数、個体数共に経時的に増加傾向が見られ、浄化施設内の図-2のSt.3とSt.4の個体数にも経時的に増加の傾向が表れている可能性も考えられる(図-6)。平成17年は魚類5目10科25種、介類3目3科3種が確認された。このうち、浄化施設内で23種の魚類が確認され、モツゴやタイリクバラタナゴの確認個体数が多かった。浄化施設外では16種の魚類が確認され、タイリクバラタナゴやアメリカナマズの確認個体数が多い結果となった。過去、5年度分の調査で6目11科34種の魚類が確認された。

② 鳥類

浄化施設建設前の平成9年度と建設後の平成13年度共に個体数の多かったのはマガモ、コガモといったカモ類であったが、平成13ではその数、種類ともに増加した。カモ類は、石積み堤や周辺に形成された砂州上で休息する個体が多く見られ、浄化施設に建設により新たに形成された環境がカモの休息場に適するものであり、周辺のカモ類が集まってきたものと思われる。その他抽水植物のある池などの止水域でよく見られ、繁殖に水辺の草やヨシ原を利用するバン、オオバンが平成13年度は比較的多く観察されている。

③ 底生動物

平成9年度からの調査で確認された底生動物は、浄化施設内外及び河川を合わせると、イトミミズ科、

エリユスリカ亜科、ユスリカ属等、7綱10目11科28種であった。浄化施設内のみを見ると、浄化施設建設後の平成10年度以降は、いずれの年度もミミズ綱やユスリカ属といった泥質や砂泥質に生息する、水質汚濁に強いとされる種が目立っていたが、その内訳は年度によって異なっている。平成11年度及び平成12年度の傾向は似ておりミミズ綱の種が多く、平成10年度ではハエ目の種が多くなっていた。平成13年度では、イトミミズ科のみが極端に多い結果となっていた。その他の地点も合わせて、全体地点を経時的に見ると、いずれの地点も出現種はミミズ綱やハエ目がほとんど全てを占めており、確認種数は、砂質の浄化施設外で最も少なく、粘土シルト質の浄化施設内では、それよりもやや多い傾向があった。

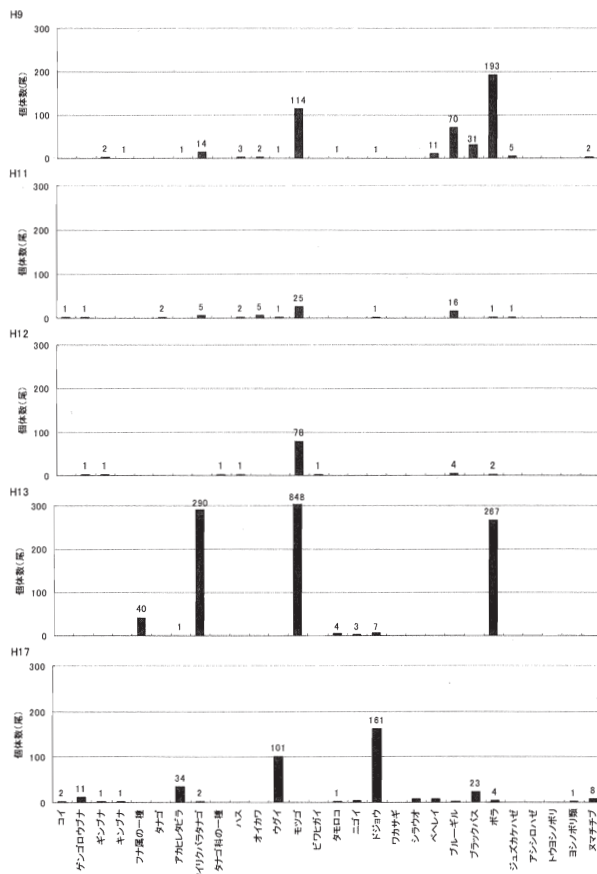


図-6 浄化施設内における魚類出現状況の経年比較

④植物

川尻川では事前の平成9年度に1回、その後平成11年、13年、17年の3回の調査が実施されている。川尻川では、現地確認種数が平成9年～11年の間に93種から42種に減少したものの、その後増加し、平成17年度の調査では184種が確認された。湖内湖の植物相を特徴づけ、水環境の変化の影響を受けや

すいと考えられる水生植物の推移を表-12に示す。水生植物については、平成9年度から減少傾向であったが、平成17年度には増加に転じ、13種が確認された。しかしながら、内訳をみるとオオアカウキクサ、イボクサなど水田に見られるような種が増加しており、湖内湖の止水的環境を反映した結果と考えられる。

表-12 水生植物確認種数の経年変化

科名	種名	H9	H11	H13	H17
アカウキクサ	オオアカウキクサ				●
マツモ	マツモ	●			
オモダカ	オモダカ	●	●		
トチカガミ	トチカガミ	●			
ミズアオイ	ホテイアオイ	●			
アヤメ	キショウブ				●
ツユクサ	イボクサ				●
イネ	アシカキ	●			
	キシウスズメノヒユ				●
	ヨシ	●	●	●	●
	マコモ	●	●	●	●
サトイモ	ショウブ	●			●
	ボタンウキクサ	●		●	
ウキクサ	アオウキクサ	●			●
	コウキクサ	●	●		
	ウキクサ	●	●		●
ガマ	ヒメガマ		●	●	●
	ガマ		●		●
カヤツリグサ	フトイ		●	●	●
	ウキヤガラ		●		●
合計		7科12種	5科9種	4科5種	8科13種

3. 1. 2 湖内湖における発生窒素ガス量の検討

1) 溶存酸素

底層（湖底から10cm）の溶存酸素量は、河口直下のSt.1-3の底層では、6月から9月の間に低めの濃度を示すことが多く、6月18日には2 mg/l以下を、7月19日にはSt.1, 2 および4で5 mg/l以下を、また、8月7日にはSt.2 および3で3 mg/l以下に低下した。

St.4から下流では酸素量が5 mg/l以下に低下することは殆どなかったが、5月31日にSt.6で3.1 mg/l、7月19日にSt.5で4.8 mg/lが観測された。

2) 硝酸態窒素濃度

脱窒速度を左右する条件の一つとして硝酸態窒素の供給がある。今回の調査では7月8日、7月19日および8月7日に各地点で硝酸態窒素を測定し、河川から流入して湖内湖から流出するまでの過程における硝酸態窒素の分布を見た。硝酸態窒素は、河口直下のSt.1付近で1.1-2.5 mg/lの高い値を示していた。硝酸態窒素は流下にとまって低下する傾向

が見られた。7月19日の例ではSt.1で2.4 mg/lであったが、流下にともなって急激に低下し、St.4では0.4 mg/lにまで低下した。その後、硝酸態窒素は上昇に向かいSt.6付近では1.5 mg/lに達したが、その後、濃度をやや減少させながら湖内湖外に流出した。

3回の観測結果の平均値でみると川尻川から湖内湖に流入した後、硝酸態窒素は低下に向かったが、St.4よりも下流でも1.0 mg/l程度の比較的高い水準を維持して流下し、湖内湖外に流出した。

これらの結果は、河川が湖沼よりも硝酸態窒素濃度が高く、湖内湖流入後、主に混合により濃度が低下していると解釈される。

3) ガス捕集量

底層付近で発生するガスを直径12 cmのロートで捕集した。5月30日には湖内湖の導入部付近で2.0 ml程度のガスが捕集されている。5月31日には、水温が上昇し前日の20℃から22℃に上昇し、ガス捕集量も急増した。湖内湖の導入部(St.1-3)および上流部(St.4-6)では、St.3を除いて、6.8-9.5 mlのガスが捕集された。下流部のSt.7では3.6 mlと少なく、霞ヶ浦湖岸ではガスは捕集されなかった。

6月18日にも湖内湖導入部のSt.1-3で5.5-6.6 mlのガスが、また、湖内湖の上流でも1.5-5.8 mlが捕集された。St.7でも0.8 mlが捕集されたが、St.8, 9および10では、ガスは捕集されなかった。

7月8日には、地温が20.2-21.3℃に低下し、ガス捕集量もSt.1の10 mlを除いて、全地点で3 ml以下に留まった。

7月19日には、湖内湖の地温が23.7-24.2℃に上昇し、ガス捕集量も、St.1-7の範囲で3.2-12.5 mlに達し全期間中で最も多かった。しかし、St.8, 9および10ではガスは捕集されなかった。地温が最も高かった8月7日にはSt.1および2ではガス捕集量は高かったが、その他の地点ではガスは殆ど捕集されなかった。

9月以降になるとガス捕集量は低下し11月5日には、St.1で若干のガス捕集はみられたものの他の地点では1 ml以下であった。

4) ガス組成

捕集した試料の16検体について、ガスクロマトグラフィーによって分析を行い表-13の結果を得た。

表-13 捕集したガスの組成(%)

採集月日	地点No.	N ₂	CH ₄	O ₂
6.17	2	38.4	58.8	2.8
	3	40.3	57.0	2.7
	4	39.3	56.8	3.9
	5	49.0	47.2	3.8
7.08	1	38.0	57.1	4.9
	2	36.2	59.3	4.5
	3	40.6	57.0	2.4
7.19	1	34.1	64.0	1.9
	3	38.0	59.3	2.7
8.07	1	47.3	51.9	0.9
	2	34.5	62.9	2.6
	3	35.5	62.2	2.3
9.05	1	38.9	59.3	1.9
	2	23.1	73.4	3.5
	5	50.9	48.6	0.5
	6	42.5	53.9	3.6
平均値		39.2	58.0	2.8

捕集されたガスは、窒素ガスとメタンであり、若干の酸素が混在した。平均値で見るとメタンが58.0%、窒素ガスが39.2%を占めた。窒素ガスの占める比率は、23.1-50.9%の範囲にあった。季節変化はみられなかった。地点毎にみると導入部のSt.1-3で窒素ガスの占める比率がやや低かった。メタンの占める比率は、47.2-73.4%の範囲にあった。窒素ガスと同様に季節変化は見られなかったが、地点別に見るとSt.1-3でやや高め値を示すようであった。酸素ガスについては、最大で4.9%で平均値は2.8%であった。同時に観測した各地点の底層の溶存酸素量から考えると、多くの場合、未飽和状態にあったので溶存酸素が気化し、気体として捕集されることはないものと考えられる。したがってガス捕集やガスのサンプリング時、搬入中における混入ではないかと考えられる。

5) 脱窒速度

上記の捕集ガスの分析結果から、湖内湖の導入部および上流域各地点の底層付近から発生するガスがメタンおよび窒素ガスであることが分かった。また、酸素ガスが検出されることがあるが、その比率は前述したように数%であるので観測上の誤差と考えられた。したがって、捕集された窒素ガスは脱窒作用によると考えられる。そこで捕集された窒素ガスを脱窒作用によるものとして脱窒速度を求めた。脱窒

速度の算定は、方法の項で述べた通りであるが、捕集ガス全体に占める窒素ガス比を表-13の結果の平均値 0.392 とし、脱窒速度を求めた (図-7)。

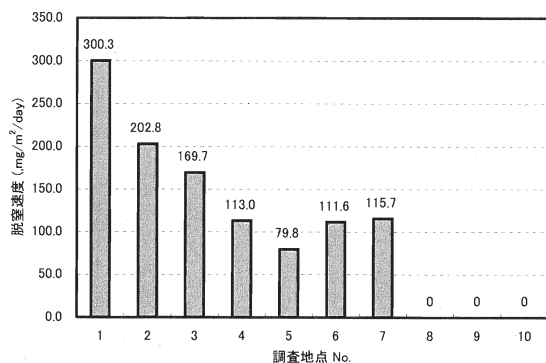


図-7 調査地点毎の脱窒速度の平均値

脱窒速度は、5月31日には河口直下の St.1 および 2 で高く約 300 mg/m²/day であった。St.3 でやや低めの値を示した後、St.4 か St.7 で再び 300-400 mg/m²/day に上昇した。

6月18日にはやや低めの値を示したが、7月19日には湖内湖の導入部の St.1 および 2 で 450-500 mg/m²/day の高値を示した。St.3 から St.7 までの間でも脱窒が確認されたが、脱窒速度は川尻川河口直下の St.1 および St.2 の 2 分の 1 の約 200 mg/m²/day であった。

8月7日には川尻川河口直下の St.1 から St.3 で脱窒作用が確認され、特に St.1 で 440 mg/m²/day の高値が確認された。St.4 から下流では確認できなかった。9月以降になると脱窒速度は急激に低下し、最大で 140 mg/m²/day (9月5日 St.2) であった。

6) 湖内湖の浄化機能における脱窒の役割

今回の調査結果から、湖内湖における脱窒の役割の概略を検討する。図-7に示す St.1、2、3の平均値が沈殿ピット(2700 m²)の脱窒速度を表し、St.4-9が一般沈殿池(31,800 m²)の脱窒速度を代表していると仮定すると湖内湖全体の脱窒速度は、2830 g/day となる。この値を5月-10月の高水温期における湖内湖脱窒速度の平均値と考え、その他の月は低温水期で脱窒作用はほとんどない(脱窒速度 0)と仮定すると、一年間の脱窒量は、2830 g/day×365日/2 ≒ 520 kg/year となる。平成13年の収支と比較すると、窒素の年間流入量は、7840 kg/year であり、およそ 6.6% (= 520/7840×100) が脱窒により除去されていると考えられる。平成13年の湖内湖に

よる窒素除去量とみなした湖内湖における窒素堆積量は1120 kg/year であるので脱窒を考慮することによりこの除去量は 46%ほど増加することになる。したがって、湖内湖の浄化効果として脱窒は無視できないことが分かる。

3. 1. 3 四つの湖内湖における効果の比較

1) 流入負荷量

霞ヶ浦沿岸の土浦市における降水量および各湖内湖浄化施設に流入する河川水量を図-8に示す。川尻川においては、平成11年から、園部川、大円寺川、梶無川においては平成15年からのデータである。流量が0となっている期間は未観測である。

各河川の平時と出水時の流量、水質調査から L-Q 式を求めた。各河川における L-Q 式の係数およびその相関係数を表-14に示す。リン酸態リンについては相関係数が低いがその他の項目については高い相関を示しており、流入負荷量の評価には問題ない精度を有している。L-Q 式より求めた各河川の平均負荷量、水質を表-15に示す。COD、T-P では、川尻川の濃度が高く、T-N に関しては、園部川、梶無川において高かった。

表-14 各河川における L-Q 式の係数

河川名	水質項目	a	b	r ²
川尻川	SS	126.04	1.5203	0.9567
	COD _{Mn}	12.962	1.1453	0.9756
	T-N	1.7354	0.8621	0.9581
	T-P	0.5508	1.2745	0.9398
園部川	PO ₄ -P	0.1875	1.4432	0.5206
	SS	6.0407	2.2401	0.9237
	COD _{Mn}	2.9282	1.7027	0.9494
	T-N	6.7506	0.8578	0.9422
大円寺川	T-P	0.1356	1.5859	0.8250
	PO ₄ -P	0.0689	1.0007	0.6390
	SS	124.48	1.9118	0.9277
	COD _{Mn}	16.235	1.4556	0.9654
梶無川	T-N	2.6286	0.9509	0.8764
	T-P	0.5112	1.4891	0.8508
	PO ₄ -P	0.0599	1.1848	0.8248
	SS	41.725	2.1771	0.9011
梶無川	COD _{Mn}	10.557	1.8273	0.9538
	T-N	4.9614	1.0018	0.9629
	T-P	0.207	1.7582	0.9580
	PO ₄ -P	0.041	1.2468	0.9170

(ただし、L=a×Q^b、L: 負荷量 (g/s)、Q: 流量 (m³/s)、r: 相関係数)

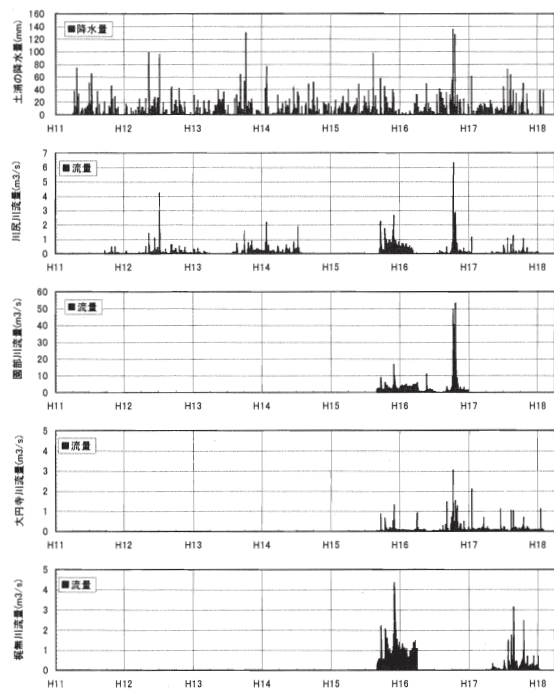


図-8 土浦市における降水量と各河川の流量

表-15 各河川の平均流量、負荷量、水質

	①流量 (m³/s)	②負荷量(g/s)				③水質(mg/l)			
		SS	COD	T-N	T-P	SS	COD	T-N	T-P
川尻川	0.201	11.0	2.1	0.44	0.071	55	10.4	2.19	0.353
園部川	2.92	66.6	18.2	16.9	0.74	23	6.2	5.79	0.253
大円寺川	0.114	2.0	0.69	0.33	0.020	18	6.1	2.89	0.175
梶無川	0.602	13.8	4.2	3.0	0.085	23	7.0	4.98	0.141

2) 削減負荷量及び浄化効果

湖内湖に堆積した負荷量を削減量ととらえ、湖内湖に堆積した底泥量と底泥に含まれる各底質成分の比より、調査期間における堆積負荷量を推定した。この堆積負荷量とL-Q式から求めた流入負荷量から除去率を表-16のように求めた。この結果、CODの除去率は6.8~46%、T-Nの除去率は1.6~27%、T-Pの除去率は8.2~87%となった。園部川では堆積負荷量は大きいものの、流入負荷量が大きいため除去率としては低くなっている。流域面積によって除去率が大きく異なり、流域面積の小さい川尻川、大円寺川で除去率が大きく、面積の大きい梶無川、園部川では除去率が小さい結果となった。

表-16 湖内湖浄化施設での負荷量削減と除去率

湖内湖 浄化施設	COD			T-N			T-P			対象期間
	流入負 荷量 (t/年)	堆積負 荷量 (t/年)	除去率 (%)	流入負 荷量 (t/年)	堆積負 荷量 (t/年)	除去率 (%)	流入負 荷量 (t/年)	堆積負 荷量 (t/年)	除去率 (%)	
	川尻川	64.9	20.9	32	10.9	2.94	27	2.65	2.31	
園部川	1523	144	9.5	479	11.8	2.5	50.9	4.17	8.2	H15/3~ H17/1
大円寺川	40.1	18.5	46	8.81	1.40	16	1.18	0.64	54	
梶無川	349	23.6	6.8	87.8	1.40	1.6	7.2	0.6	8.2	

※堆積負荷量=湖内湖貯留負荷量-霞ヶ浦に対する負荷削減量
 ※除去率(%)=(堆積負荷量)÷(流入負荷量)×100

3) 浄化効果を規定する要因

湖内湖の浄化効果に影響を及ぼす要因および浄化効果を表す指標として滞留時間、水面積負荷(流量÷施設面積)、除去率、流入負荷量、負荷速度(施設面積あたりの流入負荷量)、堆積負荷量および除去速度(施設面積・時間あたりの堆積負荷量)を表-17に示す。また、参考値として、推定した川尻川における脱窒量を示した。湿地浄化法の場合、除去率は滞留時間や流入量を施設面積で除した水面積負荷の関数であると言われている。また、Carletonら⁶⁾は、米国などで盛んに実施されている雨水処理湿地(stormwater treatment wetland)においても長期的には植生浄化同様に滞留時間あるいは水面積負荷と除去率に関係があることを示している。湖内湖は施設の目的、規模からすると雨水処理湿地による浄化と似ており、同様の傾向があると考えられる。そこで4施設の水面積負荷と除去率、滞留時間と除去率の関係を比較した(図-9)。湿地浄化同様、水面積負荷が増えるにしたがって除去率は減少する傾向があったが、施設面積、流入河川の比較的小さい川尻・大円寺川と施設面積、流入河川ともに比較的大きい梶無、園部川において大きな傾向の差があった。つまり、川尻・大円寺では、水面積負荷の増大とともに除去率が減少し、滞留時間の増大とともに除去率が増加したが、梶無、園部については必ずしもそのような関係はみられなかった。大円寺川においては、水面積負荷がかなり大きいにもかかわらず、CODの除去率が大きくなったが、これは湖内湖で発生した植物プランクトンの沈降などによる影響が考えられる。これらのことから浄化効果を規定する要因として水面積負荷、滞留時間は適切ではないと考えられる。

表-17 各施設の浄化に関する諸元

	川尻川	園部川	大円寺川	梶川
平均流量 (m³/s)	0.201	2.92	0.342	0.602
日流量 (m³/d)	17366	252288	29549	52013
滞留時間 (day)	1.244	0.695	2.267	3.076
水面積負荷 (m³/m²/day)	0.509	0.766	0.885	0.675
COD除去率 (%)	32	9.5	46	6.8
TP除去率 (%)	87	8.2	54	8.2
TN除去率 (%)	27	2.5	14	1.6
流入負荷量 COD (t/year)	64.9	1,523	40.1	349
流入負荷量 T-N (t/year)	10.9	479	8.81	87.8
流入負荷量 T-P (t/year)	2.65	50.9	1.18	7.2
負荷速度 COD (g/m²/d)	5.21	12.67	3.29	12.42
負荷速度 T-N (g/m²/d)	0.88	3.99	0.72	3.12
負荷速度 T-P (g/m²/d)	0.21	0.42	0.10	0.26
堆積負荷量 COD (t/year)	20.6	144	18.5	23.6
堆積負荷量 T-N (t/year)	2.94	11.8	1.4	1.4
堆積負荷量 T-P (t/year)	2.31	4.17	0.64	0.6
除去速度 COD (g/m²/d)	1.66	1.20	1.52	0.84
除去速度 T-N (g/m²/d)	0.24	0.10	0.11	0.05
除去速度 T-P (g/m²/d)	0.19	0.03	0.05	0.02
脱窒量 (t/year)	0.52	-	-	-

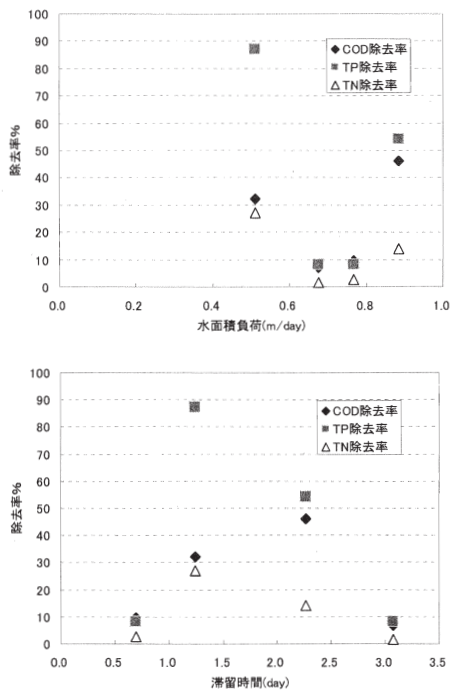


図-9 水面積負荷、滞留時間と除去率

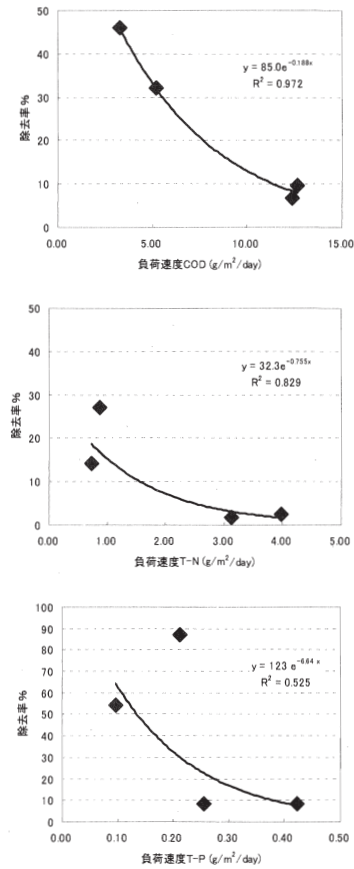


図-10 負荷速度と除去率

次に負荷速度と除去率、負荷速度と除去速度の関係を図-10、図-11に示す。図-10に示されるように除去率は負荷速度の指数関数として比較的相関よく表現できる。しかし、リンにおいては川尻川の除去率が突出しており、相関が悪くなっている。この理由として、川尻川の湖内湖の浄化効果で説明したように平成16年度に、出水が非常に多かったこと、また上流の河川工事の影響が考えられる。

そこで、参考のために川尻川については大量に土砂が堆積したと考えられる以前の平成16年3月までのデータをもとに負荷速度と除去率を比較したものを図-12に示す。平成16年度以前のデータを使うことにより、リンについても負荷速度と除去率の相関が高くなるのが分かる。つまり、川尻川の結果については、平成16年度以降のイベントの影響が大きいことが考えられる。しかし、平成16年度以降の出水に関しては、他の3河川においても影響があるはずであり、川尻川においては上流部の河川工事の影響が大きかったのかもしれない。

図-10、図-12より、浄化効果を規定する要因としては、負荷速度を正確に把握することが重要

と考えられる。今回、霞ヶ浦で負荷速度を比較的正確に把握できたのは、定期的な平時の水質調査に加え、出水時の比較的详细な調査結果を準備した成果と考えられる。したがって、設計時には今回と同じレベルの流入負荷量調査を事前に最低1年程度実施することが望ましい。

一般的に、除去速度は、負荷速度が増加するにしたがって増加するが、今回の結果では、減少する結果となった(図-11)。

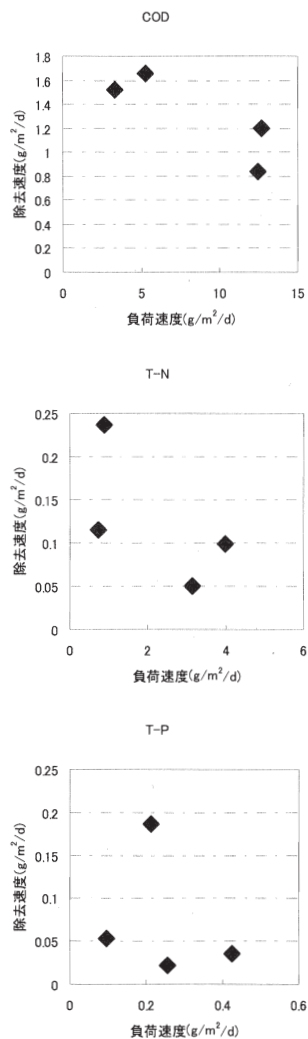


図-11 負荷速度と除去速度

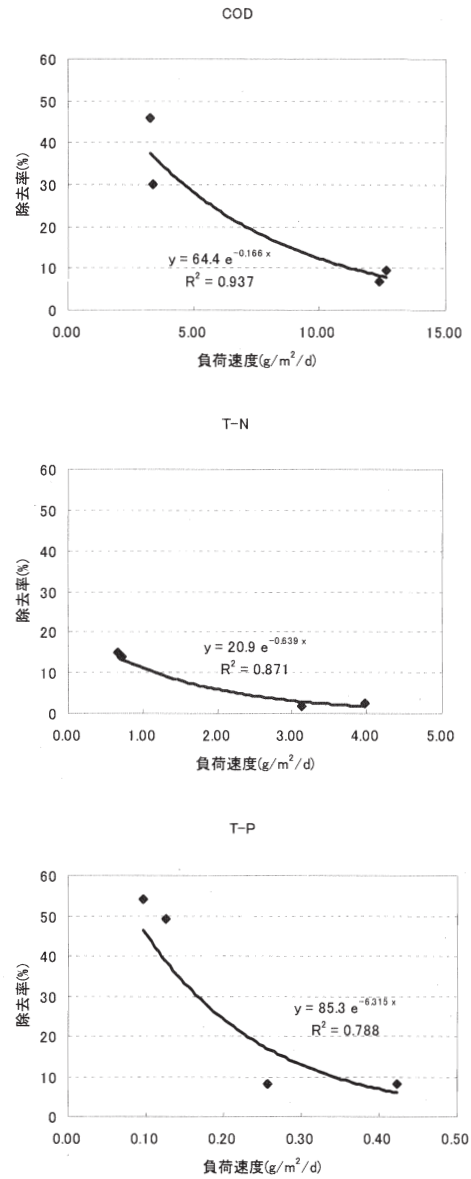


図-12 負荷速度と除去率
(川尻川の結果をH16までとした場合)

4) 湿地浄化法との比較

湖内湖浄化法は、ある種の雨水処理湿地であり、Carletonら⁶⁾によると雨水処理湿地の通年の浄化効果は、湿地浄化法と近いとされる。そこで、既存の日本の湿地浄化法の効果⁷⁾と湖内湖浄化法の効果を比較する。比較する項目は全窒素と全リンである。結果を図-13と図-14に示す。全窒素についてみると、滞留時間とともに除去率が増加する傾向があるが、湖内湖においては20時間前後から除去率が減少する傾向がある。これは、滞留時間が增大するにつれて脱窒量が増えることや底泥からの窒素の再溶出が要因であると考えられる。一般的に負荷速度が増えると除去率は減少するが、除去速度は増加する。しかし湖内湖においては負荷速度が大きい梶無川、園部川の除去速度が低くなっている。次にリンについてみる。リンにおいても湖内湖においては、滞留時間が長いと除去率が低下する傾向があった。

窒素、リンについては、データの幅は大きいものの、湖内湖における結果は、植生浄化のデータ範囲とそれほど変わらないオーダーであり、植生浄化法と比較しながらデータを整理することは有効であると考えられる。

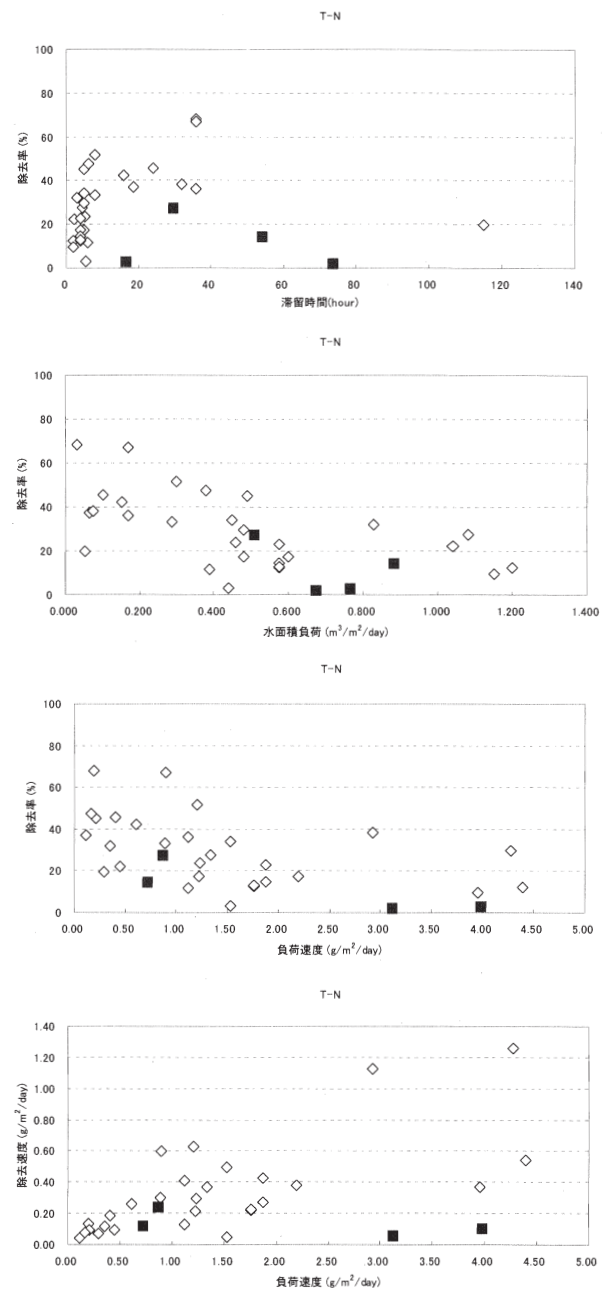


図-13 湿地浄化法と湖内湖の比較 (窒素)
(ただし ■ : 湖内湖、◇ : 湿地浄化)

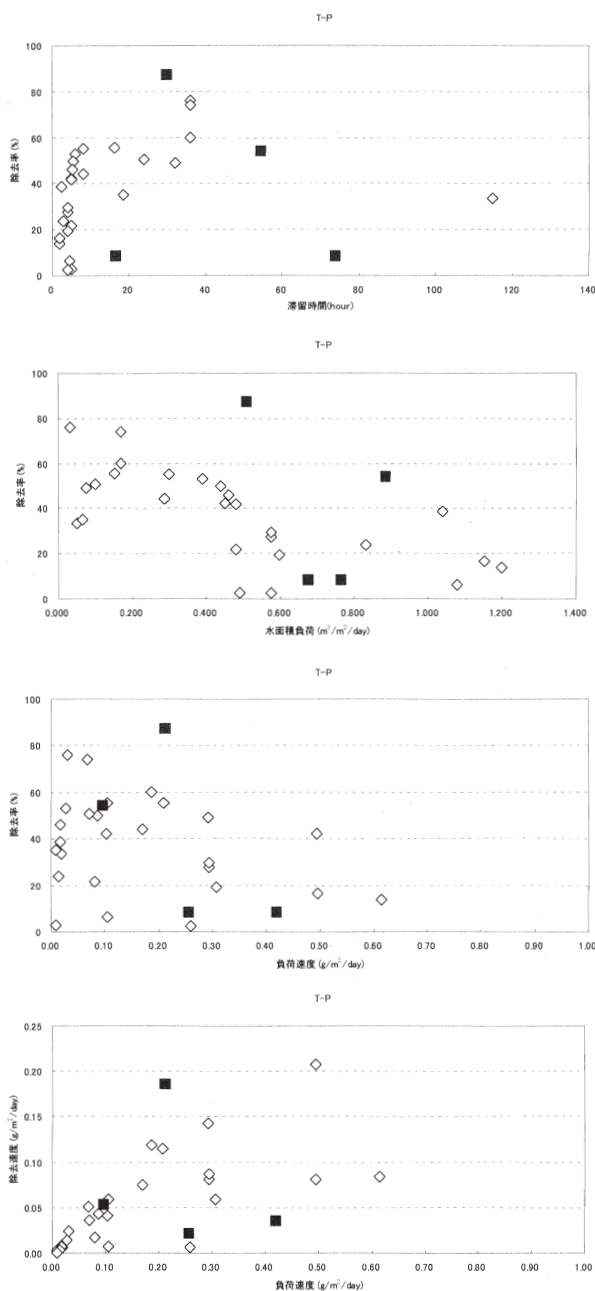


図-14 湿地浄化法と湖内湖の比較（リン）
（ただし■：湖内湖、◇：湿地浄化）

3.2 湖内湖浄化法の設計手法の開発

湖内湖浄化法を適用する場合の設計の考え方について計画、設計、施工、維持管理、モニタリングなどの観点から「湖内湖浄化法設計の手引き（案）」を作成した。この資料は、公開資料として印刷する予定である。手引きの目次を表-18に示す。以下にこの設計の手引きの概要について述べる。

表-18 湖内湖浄化法設計の手引き（案）の目次

第1章 概説
1-1 湖内湖浄化法の定義
1-2 湖内湖浄化法の特徴
1-3 本書の目的
第2章 湖沼等の水質保全計画における湖内湖浄化施設の位置付け
2-1 湖内湖浄化施設の目的と必要性
2-2 浄化対象水の設定
2-3 参考・基礎データの整理について
第3章 適用の可能性
3-1 対象水の性状から判断する適用性
3-2 沿岸の地形や湖底の地質などの制約条件
3-3 環境の制約条件
第4章 浄化目標と浄化対象規模の決定
4-1 浄化対象河川等の負荷量特性
4-2 削減負荷量の目標の設定
4-3 浄化対象の濁質特性
4-4 浄化対象水量の設定
4-5 参考・自然環境への配慮について
第5章 施設設計
5-1 施設諸元の検討
5-2 施設の規模形状の検討
5-3 施設平面配置の検討
5-4 仕切堤構造の検討
第6章 維持管理計画
第7章 モニタリング計画

3.2.1 設計手順

湖内湖浄化施設の設計のフローを図-15に示す。まず、湖沼水質保全計画などにおける「浄化施設の位置付け（第2章）」を明確にし、それに基づいた「浄化目標や浄化水量（第4章）」の決定を行う。それと同時に「適用の可能性（第3章）」を流入水の性状や設置に関する地形条件、支持地盤条件、あるいは自然環境に与える影響から検討する。ここで言う、流入水の性状とは特に流入水に占める懸濁態負荷の割合などである。懸濁態負荷が少なく、溶存性の負荷が多い流入水では湖内湖における浄化はあまり期待できないと考えるからである。

浄化目標や浄化水量を明らかにしたうえで、適用性に問題が無い場合は、「施設設計（第5章）」を行う。施設の設計は、流入水の沈降特性から必要な滞

留時間に対応した施設面積とし、再浮上防止のための必要水深から、施設規模を決定する。また、堤体の構造・安定性、平面形の美しさ、などについて通常の土木的検討を行う。また、沿岸帯に設置するものであるから自然環境についても十分配慮する。

3. 2. 2 浄化目標と浄化対象規模の設定

浄化対象河川の負荷量の特徴については、下記の負荷量特性についてまとめる。

- ・年間の総負荷量
- ・平常時・出水時の負荷量比
- ・出水規模別の負荷量

また、湖内湖浄化施設で削減する目標の負荷量について、下記の事項を踏まえ設定を図る。

- ・対象湖沼等の水質保全から望まれる削減負荷量
- ・対象河川の負荷量特性からの整理

さらに、湖内湖浄化施設の施設規模（浄化対象水量）を検討する重要な因子として、下記の濁質特性を把握する。

- ・浄化対象水の粒径別の沈降特性
- ・堆積した濁質の掃流力

これらの検討に基づき、浄化目標及び浄化対象規模を設定する。

3. 2. 3 施設設計

この手引きの中では、すでに効果の確認されている³⁾川尻川の設計をひとつの標準として、設計手順を記述した。

川尻川においては、総雨量の70 mmの出水時の流量 $6\text{ m}^3/\text{s}$ に対して、十分な浄化効果が期待できる滞留時間として1.5時間を設定した。また、水面積負荷としては、水面積負荷は粒径の大きい粒子を対象にする領域を $70\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ 程度、小さい粒子を対象にする領域を $18\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ 程度を標準として設定した。これらの実績値をひとつの標準とし、4つの湖内湖における実績などを参考に、各河川に応じた施設設計をするものとする。

3. 3 湖内湖の堆積底泥処理工法の検討

3. 3. 1 底泥の堆積状況

1) 沈殿ピットでの堆積状況

沈殿ピットでの堆積状況は竣工後1ヶ年で0.8～1 m程度の堆積があり、その後、0.1 m/年～0.3 m/年程度で堆積が進行、竣工後6.5ヶ年の平成17年3月現在で、沈殿ピット掘削前の湖底高を越える堆積

が確認されている。

建設当初の沈殿ピットの滞留時間が維持できる容積を確保する浚渫量はとして $6,300\text{ m}^3$ である。この場合の沈殿ピット浚渫深度は $6,300\text{ m}^3 \div 7,000\text{ m}^2$ （沈殿ピット面積） $=0.9\text{ m}$ となる。また、一般沈殿域での回復を図るため $6,300\text{ m}^3$ （0.23 m）の除去が必要であり、合わせて約 $13,000\text{ m}^3$ の浚渫土量が見込まれた。

3. 3. 2 工法適用性の検討

1) 一般的浚渫工法の適用性の検討

一般的な浚渫工法としてはクラブ式浚渫、バックホウ式浚渫、ポンプ式浚渫、高濃度式浚渫及び真空式浚渫がある。それらの湖内湖堆積底泥への適用可能性の概要を以下に述べる。

①クラブ式浚渫：型式により異なるが浚渫による一時的な濁りがあり、騒音もやや大きい。また、浚渫の対象が流動性のある軟弱なシルト・粘土であるため当工事への適用は難しい。

②バックホウ式浚渫：浚渫による一時的な濁りがある。また、湖内湖の内部にアプローチできないこと、浚渫の対象が流動性のある軟弱なシルト・粘土であるため当工事への適用は難しい。

③ポンプ式浚渫：含泥率が10%程度であるため余水処理設備が大きくなる。また、長距離になると中継ポンプが必要だが、当工事への適用は可能性がある。

④高濃度式浚渫：硬質土・砂礫等には適していない。実績及び現有設備が少ないが、当工事への適用は可能性がある。

⑤真空式浚渫：硬質土・砂礫等には適していない。現有設備が少なく、ゴミ等の障害物がある場合には施工能力が落ちる。また、湖内湖の内部にアプローチできないため当工事への適用は難しい。

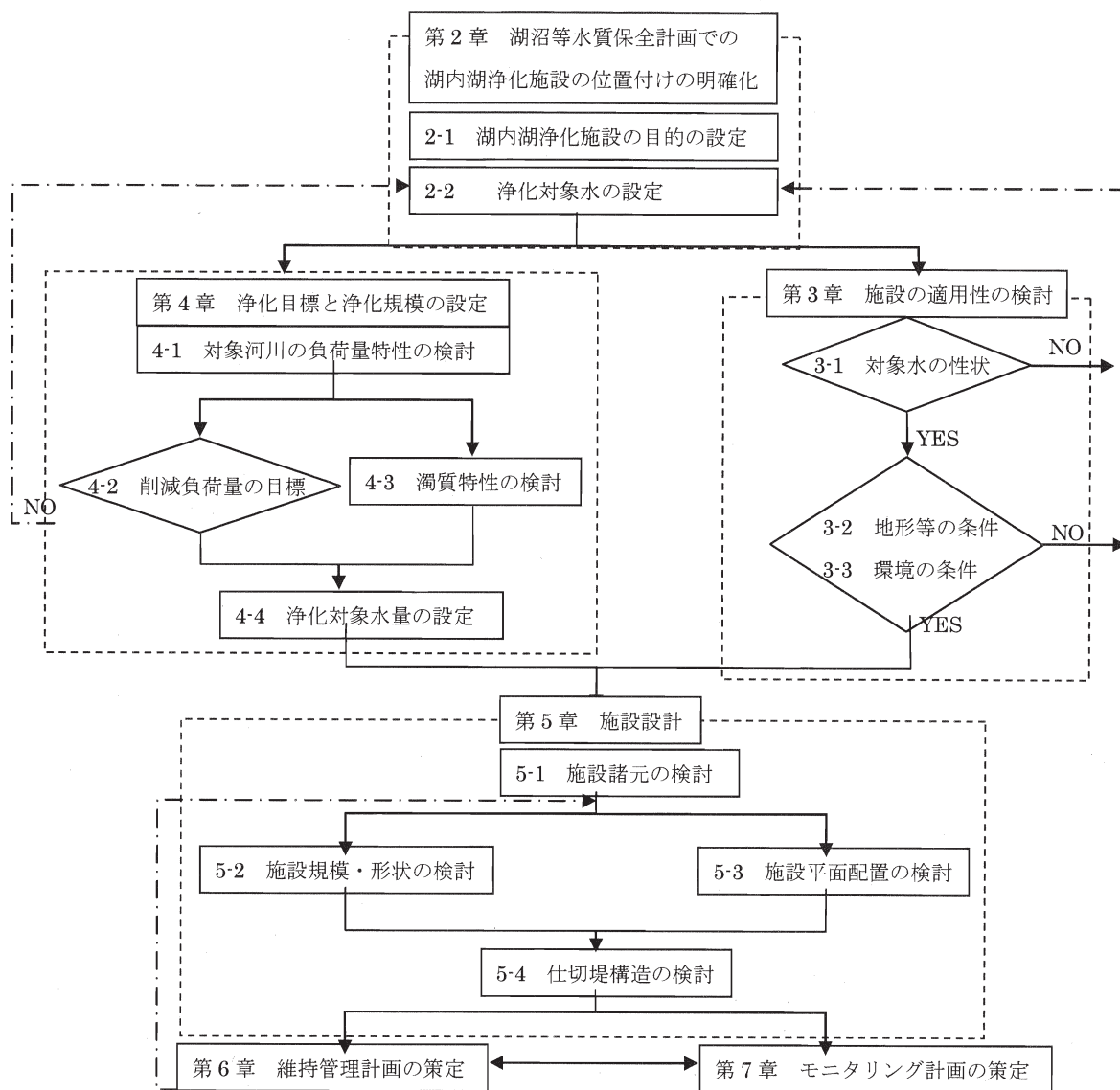


図-15 湖内湖浄化法の設計手順

2) 湖内湖に適した浚渫方法の選定

当工事の浚渫方法の比較検討案として、上記の検討により可能性があると考えられたポンプ式浚渫および高濃度式浚渫に加え、霞ヶ浦河川事務所がすでに所有するアオコの回収船の有効利用、新技術（NETIS）からの適用可能性のある工法として、水中排砂ロボットを検討工法に加えた。適用可能性について以下に概要を述べる。

① **水面清掃船**：長距離を圧送する場合は中継ポンプが必要で、回収フロート及び回収パイプの改修が必要であるが、既存の設備を有効利用でき経済性で有利であることから当工事への適用は可能である。ただし、処理能力の関係から既堆積土砂を1年間で浚渫することができないため、

数年間にわたって浚渫するか別途施設を併用する必要がある。

② **水中排砂ロボット**：施工能力が小さく、施工費も高い。含泥率が10%程度であるため余水処理設備が大きくなり、現有設備が4台と少ない等問題点はあるものの当工事への適用は可能である。ただし、処理能力の関係から既堆積土砂を1年間で浚渫することができないため、数年間にわたって浚渫するか別途施設を併用する必要がある。

③ **ポンプ式浚渫**：含泥率が10%程度であるため余水処理設備が大きくなり、長距離になると中継ポンプが必要である上、吸泥部が船体と一体構造のため堤体越しに湖内湖の内部の底泥吸い込みにアプローチできる領域が狭く（設備の改修

は困難)当工事への適用は難しい。

- ④ **高濃度式浚渫**：硬質土・砂礫等には適していない。実績及び現有設備が少なく、吸泥部が船体と一体構造のため堤体越しに湖内湖の内部の底泥吸い込みにアプローチできる領域が狭く(設備の改修は困難)当工事への適用は難しい。

これらの結果から、水面清掃船、水中排砂ロボットの適用可能性が高いと判断された。

水面清掃船および水中排砂ロボットを適用した場合の浚渫工法のフローを図-16に示す。

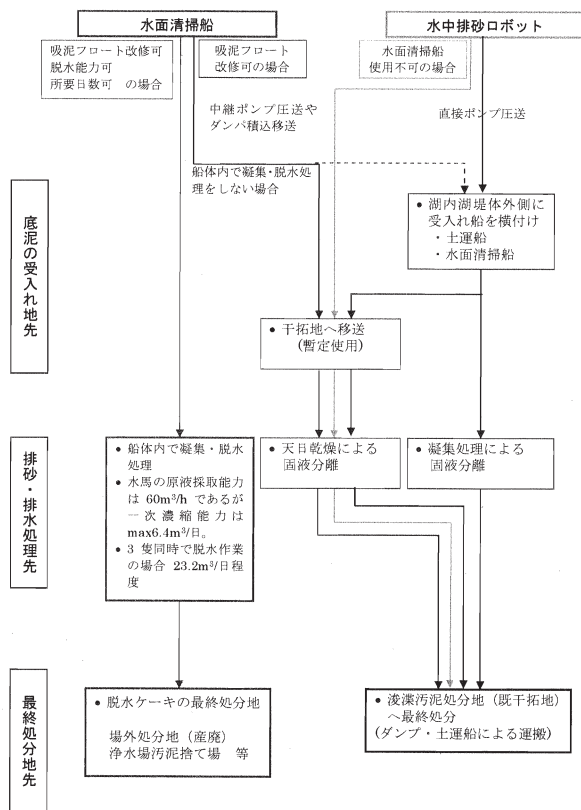


図-16 湖内堆積土砂浚渫工法のフロー

両工法とも湖内湖浄化施設での適用が可能であるが、コスト面を考えると水面清掃船の利用が霞ヶ浦の川尻川湖内湖浄化施設においては、もっとも適した工法であると考えられる。

湖内湖浄化施設は、堆積した底泥の除去が前提であるので、設計段階から浚渫工法を検討し、浚渫のための用地、進入路などをあらかじめ検討しておくことが重要である。

4. まとめ

湖沼水質を保全するために、流域からの非特定汚染源に対する新しい浄化対策手法として湖内湖浄化

法を開発し、その汚濁削減効果、設計手法を検討した。研究は霞ヶ浦の川尻川に設置された湖内湖浄化施設を中心に、霞ヶ浦内のその他の3つを含む計4箇所の湖内湖浄化施設を対象として実施した。以下にその結果の概要を述べる。

① 川尻川においては、流入負荷量に対し COD_m の32%、窒素の27% (脱窒量を考慮すると32%)、リンの87%が湖内湖において除去されていることが分かった。

② 4つの湖内湖の汚濁負荷削減効果を比較し、効果を明らかにした。流入負荷量に対する堆積負荷量を除去率として求めた値は、CODで6.8~46%、全窒素で1.6~27%、全リンで8.2~87%となった。除去率は、湖内湖の時間・面積あたりの流入負荷量である負荷速度と最も関係が深いことが分かった。

③ これまで設置した4つの湖内湖における実施事例、調査結果などより、湖内湖の設計の考え方について計画、設計、施工、維持管理、モニタリングについて取りまとめ「湖内湖設計の手引き(案)」を作成した。

④ 湖内湖に堆積した底泥の処理工法について堆積底泥の質、量を分析し、堆積底泥の処理方法の考え方、使用できる工法を整理した。施工能力、施工費の観点から、霞ヶ浦においては水面清掃船の利用が最適と考えられた。

参考文献

- 1) 環境省 水・大気環境局：平成16年度公共用水域水質測定結果、2005。
- 2) 中村圭吾：湖内湖浄化、「陸水の事典」、日本陸水学会編集、(株)講談社、p.167、2006。
- 3) 中村圭吾、森川敏成、島谷幸宏：河口に設置した湖内湖による汚濁負荷制御、環境システム研究論文集、Vol. 28、pp.115-123、2000。
- 4) 海老瀬潜一：降雨時流出負荷量の算定モデル、国立公害研究所研究報告、R-50-'84、pp.59-88、1984。
- 5) Horiuchi E, Tsuchiya T: Effects of emergent plants on gas emission from soil surface in water, Jpn. J. Limnol. 60, pp.291-297, 1999。
- 6) Carleton JN, Grizzard TJ, Godrej AN, Post HE: Factors affecting the performance of stormwater treatment wetlands, Wat. Res. 35(6), pp. 1552-1562, 2001。
- 7) 千葉知由、佐藤和明、森田靖則、細見正明、中村圭吾、田仲成男：ヨシを用いた植生浄化施設の全国実態調査結果、第6回水資源に関するシンポジウム、

- pp. 449-454、2002.
- 8) Keigo Nakamura, Yukihiro Shimatani: Non-point pollution control by the artificial lagoon, IWA 2nd World Water Congress, Berlin, Abstracts, p.142, 2001.
 - 9) 中村圭吾: 河口に設置した湖内湖による汚濁負荷制御、琵琶湖研究所、所報 19、第 19 回琵琶湖研究シンポジウム記録3、pp.97-100、2002.
 - 10) 中村圭吾: 湖岸・水辺植生の工学的保全技法、水域生態系保全－II・考え方と技法、(社)日本水環境学会九州支部、応用生態工学会、pp.49- 54、2003.
 - 11) 中村圭吾: エコテクノロジーによる水質浄化技術、コンパクトウエットランドと湖内湖浄化法についての紹介、環境浄化技術 7 月号 特集 河川湖沼浄化技術、Vol.2、No.7、pp.59-62、2003.
 - 12) 中村圭吾: 「蘇れ！湖沼」、本格始動した湖沼の自然再生、6 月 26 日 日刊建設工業新聞、第 2 部 03 環境特集、p.21、2003.
 - 13) 西廣淳、中村圭吾: 湖岸植生帯の現状とその水質浄化機、「エコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化」、島谷幸宏、細見正明、中村圭吾編集、ソフトサイエンス社、2003.
 - 14) 市場研究「湖沼や内湾の水質浄化」、日経コンストラクション 3-14、2003
 - 15) 中村圭吾: 湖沼における新しい水質浄化技術と環境復元の事例、一日土研シリーズ 土木技術相談集 河川・ダム・砂防編、独立行政法人 土木研究所編、(株)山海堂、pp.87-88、2004.
 - 16) 中村圭吾: 利用 Ecotechnology 的水質浄化技術 -Compact wetland 和湖内湖浄化法、the proceedings of “Symposium for pollution control and ecological restoration techniques of water environments in China”, pp. 351-356, 中国、湖北省、宜昌市、中国水環境汚染制御と生態再生技術にかかわるハイレベルセミナー、2005.