

河口に設置した人工内湖による汚濁負荷制御

中村圭吾¹・森川敏成²・島谷幸宏³

¹正会員 建設省土木研究所環境部 河川環境研究室 研究員 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

²非会員 理修 (株)日水コン 河川事業部 技術第1部 技術第6課 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘1-7-107)

³正会員 博(工) 建設省土木研究所環境部 河川環境研究室 室長 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

霞ヶ浦に流入する川尻川の河口に設置された人工内湖は、失われつつある湖沼の沿岸環境の復元と非点源負荷対策を目的としている。人工内湖の面積は約 30,000 m²で、水深は約 1.0m である。人工内湖の汚濁負荷削減効果について、1999 年から 2000 年にかけて調査を実施した。人工内湖の水質は晴天時に湖沼と河川の中間的水質であった。雨天時には、SS の 11～54%、窒素の 7～17% (懸濁態窒素: 21～51%)、リンの 10～35% (懸濁態リン: 31～99%) を削減する効果があった。また、人工内湖の年間負荷削減量を 98 年 12 月～99 年 11 月の期間で推定した。河川からの年間負荷流入量と底泥として人工内湖に新たに堆積した量より除去率を算出した。その結果、流入負荷量に対し SS の 191%、窒素の 19%、リンの 83%が人工内湖に堆積していると推定された。SS 除去率が 100% 以上となったことは人工内湖が河川の流入負荷だけでなく、霞ヶ浦の SS も除去していることが原因と推察された。このことは静穏な湖沼沿岸帯の復元が、湖沼全体の水質浄化に大きく役立つことを示唆したものである。また、窒素の除去率が低いのは、脱窒により見かけ上低くなったと推定される。

Key Words: Lake Kasumigaura, Artificial lagoon, non-point pollutants, ecotechnology, restoration

1. はじめに

霞ヶ浦の環境問題は大きく分けて2つある。一つは、生態系の悪化で沿岸植生帯の減少、魚類の種構成の変化などが挙げられる。例えば、霞ヶ浦(西浦)では植生帯が急激に失われており、1972 年から 1999 年の間に面積で 6 分の 1 以下になっている¹⁾。もう一つは水質汚濁で、アオコに代表される湖沼の富栄養化の問題がある。水質対策のなかで遅れているのがノンポイント負荷対策である。霞ヶ浦においては 1995 年のデータによると面源負荷が窒素で 35.8%、リンで 21.9%を占め²⁾、その対策が重要である。湖沼のノンポイント負荷対策の一つとして流入河川における浄化対策があり、レキ間接触法に代表される接触酸化法などが実施されているが、これらの対策は水質に特化したものであり、総合的環境改善技術となっていない。そこで我々は、流入河川の汚濁除去と同時に急激に失われつつある湖沼の沿岸環境を復元する手法として、河口に人工内湖を設置する新しい浄化手法を提案した。人工内湖とは琵琶湖の周囲にあって、水質浄化や生物の生息場としての機能を有する内湖を人工的に建設したという意味である。琵琶湖では内湖を利用したノンポイント負荷の削減およびその評価が以前から試みられており^{3)～5)}、

内湖においてリンの 43.7%が沈降しているという研究報告もある⁷⁾。本論文では、人工内湖の汚濁削減効果を明らかにするため、1999 年 8 月～2000 年 3 月に実施した水質調査の結果から人工内湖の水質特性、出水時汚濁負荷の削減効果、また年間の負荷削減効果について検討する。

2. 実験方法

(1) 実験場所

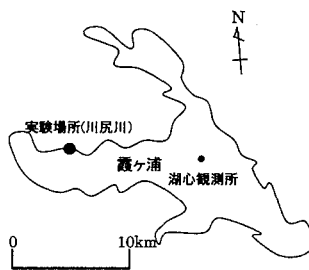


図-1 実験場所

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

表-2 人工内湖の諸元		
	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 1.0m(泥溜部 2m)	約 1.0m
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 45m	296 m
長さ	165m	70-165m

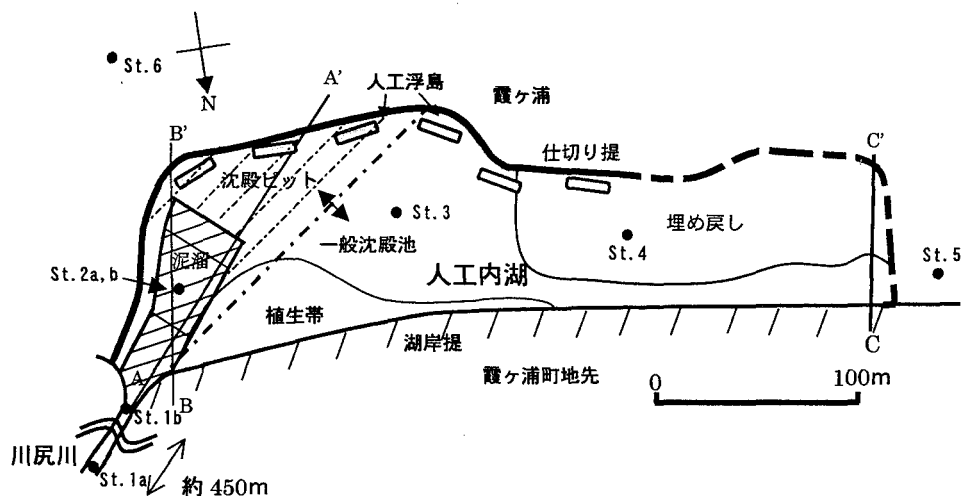


図-2 人工内湖の平面形及び調査地点

今回、人工内湖を設置したのは図-1 に示す霞ヶ浦の支川、川尻川(茨城県霞ヶ浦町)の河口である。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、主たる汚濁原因は家畜負荷とノンポイント負荷である。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。

(2) 人工内湖の構造

人工内湖の諸元を表-2、平面図の概要を図-2 に示す。人工内湖の対象流量は 6m³/s で、これは過去の調査事例⁸⁾を参考に総雨量 70mm の雨に対応するピーク流量として設定した。人工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 0.5h と 1.0h 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 10,800m³ (6m³/s×3600×0.5h)、一般沈殿池の容量は 21,600m³ (6m³/s×3600×1.0h) 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 2m 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。水深 2m は施設規模を約 200m と考えたとき、風によって底泥が舞い上がらない水深⁹⁾として設定した。泥溜の掘削した土砂は、一般沈殿池の図-2 に示す範囲に埋め戻し、建設残土の残らない工法をとった。その他の箇所は水深約 1m で、場所によっては 50cm 程度である。したがって、時間がたつにつれ抽水植物をはじめ、霞ヶ浦で減少している浮葉植物や沈水植物の復活が期待できる。人工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人工内湖の水交換と魚類のための開口部を有し、常時 30cm~45cm の水深を有する設計となっている。また人工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(50-100kg)とそれを覆う巨石(220-330kg : 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 240m²(20 m×12 ヶ)設置されているが、これは鳥類

表-3 調査項目と測定頻度

調査項目	測定項目	調査地点	調査頻度	調査時期(期間)
堆積量調査		全域	1回(11月)	
水位・雨量		St.1a	毎時(水位は10分毎)	1999年8月～2000年3月
流量観測		St.1a	毎月及び出水時	1999年8月～2000年3月
流入水質連続調査	水温、DO、pH、EC、濁度	St.2(水深1m)、 St.4(水深0.5m)、 st.5(水深0.5m)	毎時	1999年8月～2000年3月
定期水質調査	現地測定:透視度、水温、DO(0.1m 毎垂直分布) 水質分析:DO、pH、EC、濁度、SS、BOD、CODMn、TOC、 T-N、粒子性 T-N、DT-N、NH ₄ -N、NO ₃ -N、T-P、PO ₄ -P、 chl _a 、フェオフィチン、植物プランクトン(定量)、動物プラン クトン(定量)*プランクトンに関しては St.1, St.2b は除く	St.1a、St.2a(水深 0.2m)、St.2b(底 上 0.5m)、St.3、 St.4、St.5、St.6	毎月、計8回	1999年8月～2000年3月
定期底質調査 (エクマンバージ調査)	現地測定:ORP、泥温 底質分析:TOC、強熱減量、硫化物、T-N、T-P、粒度分布	St.1～St.6(ただし、 St.1 は図-2 に示す St.1b で 実施)	毎月、計8回	1999年8月～2000年3月
出水時調査	現地測定:透視度、水温 水質分析:DO、pH、EC、濁度、SS、BOD、CODMn、TOC、 T-N、粒子性 T-N、DT-N、NH ₄ -N、NO ₃ -N、T-P、PO ₄ -P	St.1a	3 出水(1 出水に つき 10 サンプル)	1999年8月～2000年3月
セジメントトラップ調査	SS、TOC、T-N、T-P、強熱減量	St.2(水深1.0)、 St.4(水深0.2m)	晴天時3回、出水 時3回	1日:1999年8 月～2000年3 月の間に6回

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。人工内湖の設置は建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所によって行なわれ、1998年11月に完成した。

(3) 調査方法

a) 人工内湖堆積量調査

表-3に調査項目の一覧を示す。人工内湖に堆積した懸濁物量をあきらかにするために、1999年11月15日～20日に人工内湖の地形測量を実施した。測量は泥溜で横断方向に2測線、縦断方向に1側線(AA')行ない、一般沈殿域は図-2の実線BB'、CC'の間を10m毎に35測線測量した。また、測量実施地点において透明アクリル管(φ=50mm)を用いて、目視により人工内湖が完成した後の堆積泥厚を測定した。

b) 雨量・水位

調査期間中(1999年8月1日～2000年3月)の川尻川の流量を明らかにするために、St.1aに水位計(離合社製RMD-5225圧力式)を設置し、水位の連続調査を実施した。出水時の変化を捉えるために測定は10分間隔で実施した。また、2週間に1回のメンテナンスを実施した。雨量に関しては毎時調査を雨量計(CTIS社C64F型時時期雨量計:転倒マス式)によりSt.1aで実施した。

c) 平常時調査

人工内湖内で水質・底質に関して1999年8月30日、

9月22日、11月5日、11月25日、12月16日、2000年1月14日、2月24日、3月21日の8回の定期調査を行なった。調査項目は表-3に示すとおりである。St.2に関しては2水深(St.2a:0.2m、St.2b:底上0.5m)で採水した。底質調査は河口のSt.1bをSt.1とし、底質のサンプリングはエクマンバージ(20cm×20cm)を用い、1箇所につき1-2回程度採泥した。また、水温・DOに関してはSt.2～5において10cm毎に鉛直分布を測定し、水温躍層等の位置を確認した。

d) 出水時調査

出水調査は20mm以上の雨が降ると予想される時にSt.1a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、ピークのあらわれ方が急な場合は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点選定し分析した。分析項目は表-3に示すとおり。調査は10月27日～29日、11月15日～17日の2回実施した。

e) セジメントトラップ調査

St.2(水深1.0m)およびSt.4(水深0.2m)において、晴天時3回(8月30日、11月25日、2月24日)、出水時に2回(出水時調査と同日程)実施した。設置時間は1日、出水調査においてはピーク含む期間とした。使用したセジメントトラップは直径10cm長さ30cmの円筒形で、1地点につき2本横に並べて設置した。固定方法はトラップにアンカーを付け、水面からの距離を固定するためにブイによって浮かせた。

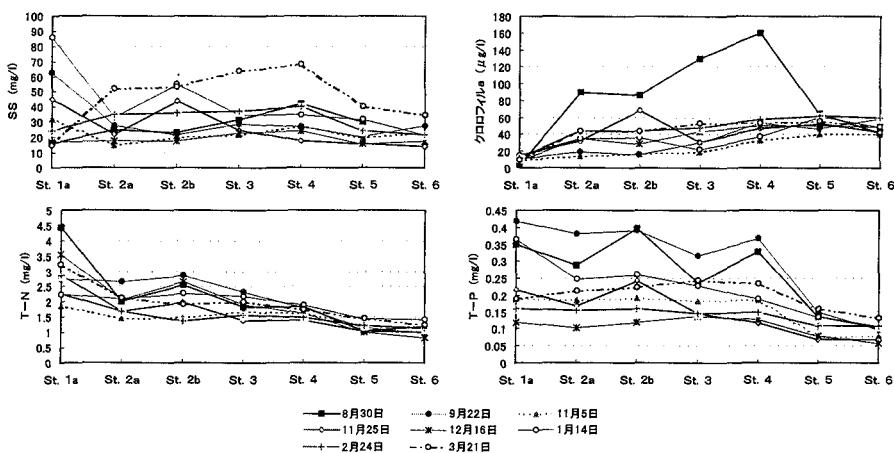


図-3 平常時水質

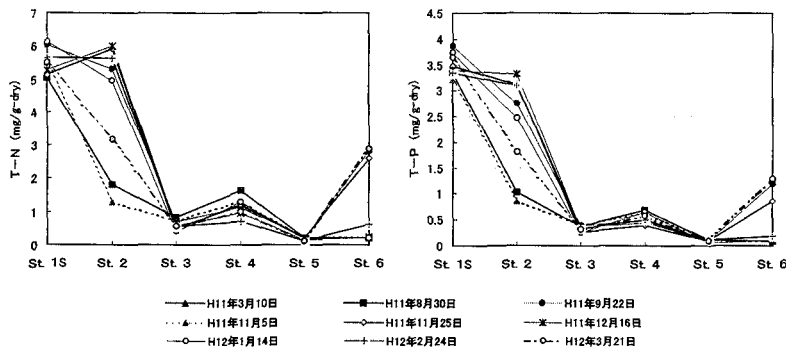


図-4 底泥表層の窒素, リン含有率

3. 調査結果および考察

(1) 平常時調査

調査期間中 (1999年8月1日～2000年3月31日) の総降雨量は406mm, 川尻川の平均流量は0.026m³/s (8月30日～3月31日) で, 人工内湖の平均滞留日数は14日であった。8回の平常時の水質調査結果について図-3に示す。SSに関しては大きな変化は見られない。比較的流量が多く, 滞留日数が10日以下の時にSt. 1aのSSが高くなっている。chl.aに関しては, 全体として河川から霞ヶ浦に向かって濃度が上昇している。8月30日のデータに関しては, 人工内湖でchl.aが高い。この理由として, 30日の前3日間ほど雨が無く気温も高く, 流量も0.009m³/sと少ないことが挙げられる。窒素, リンに関しては全体として河川から湖沼にかけてほぼ横ばいか, やや減少する状況が確認できた。St. 1を河川水, St. 2a, 3, 4を人工内湖, St. 5, St. 6を湖水と

表-4 平常時調査平均水質・標準偏差

		河川水		人工内湖		霞ヶ浦	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
DO	mg/l	9.4	1.9	10.7	1.8	11.3	2.0
pH		7.5	0.2	7.8	0.6	8.0	0.3
EC	ms/m	27.4	4.5	29.0	5.5	31.6	4.9
濁度	度	25.0	18.0	25.2	11.9	19.9	7.5
SS	mg/l	37.3	25.8	32.3	13.5	24.3	6.5
BOD	mg/l	3.4	1.3	3.4	0.9	2.8	1.0
COD _{mn}	mg/l	9.3	2.5	9.6	1.1	8.3	0.9
TOC	mg/l	6.6	2.2	7.4	1.2	6.6	1.1
T-N	mg/l	2.9	0.8	1.8	0.3	1.2	0.2
DT-N	mg/l	2.5	0.9	1.3	0.3	0.7	0.2
NH ₄ -N	mg/l	0.39	0.10	0.14	0.11	0.04	0.03
NO ₃ -N	mg/l	1.71	1.00	0.78	0.23	0.34	0.17
T-P	mg/l	0.25	0.11	0.21	0.06	0.10	0.02
PO ₄ -P	mg/l	0.18	0.08	0.14	0.05	0.05	0.01
クロロフィルa	μg/l	10.6	3.6	49.3	35.6	51.4	7.4
フェオフィチン	μg/l	5.2	2.2	7.6	4.1	5.2	4.0

して8回の調査の平均値・標準偏差を表-4に示す。全体として人工内湖は河川水と湖水の中間的な値を示している。人工内湖においてCODとTOCはやや高く, またchl.aの標準偏差が大きくなっており, 人工内湖における藻類の増殖が懸念される。藻類除去対策とし

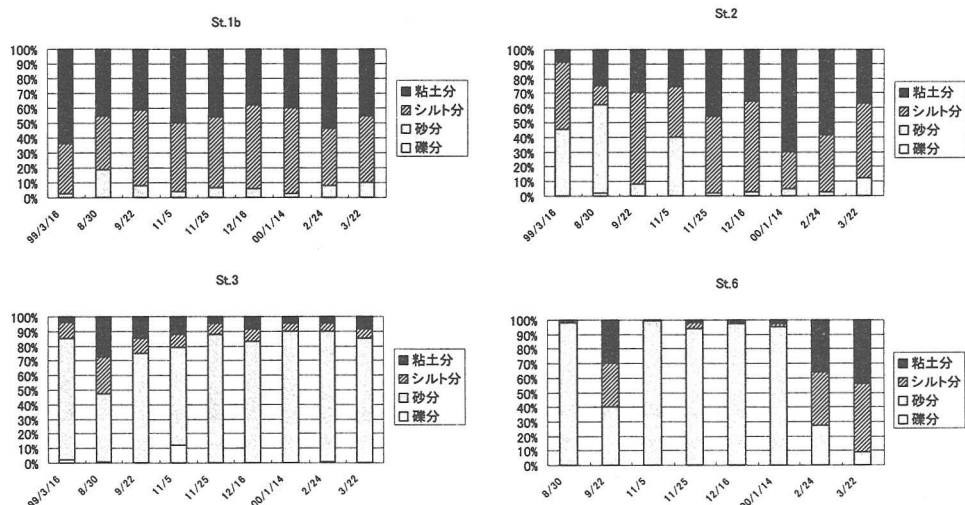


図-5 底泥の粒度分布の時系列変化

表-5 セジメントトラップ調査結果(晴天時)

設置地点	St. 2: 沈殿ピット			St. 4: 一般沈殿域		
	晴天時 調査日	晴天時 調査日	晴天時 調査日	晴天時 調査日	晴天時 調査日	晴天時 調査日
SS堆積量(g/m ² /d)	8月30日 30.6	11月25日 6.6	2月24日 9.1	8月30日 32.4	11月25日 6.8	2月24日 5.4
VSS堆積量(g/m ² /d)	17.4	2.1	4.0	16.2	1.8	1.9
VSS/SS	57%	32%	44%	50%	26%	35%
TOC堆積量(g/m ² /d)	1.000	0.610	0.956	0.869	0.528	0.818
T-N堆積量(g/m ² /d)	0.515	0.210	0.296	0.282	0.148	0.183
T-P堆積量(g/m ² /d)	0.154	0.035	0.026	0.094	0.027	0.019

て、流出口にロックフィルターを設置する手法¹⁰⁾がよく取られる。人工内湖は周囲がレキの堤体に囲まれているため同様の効果を有すると考えられるが、今回の調査では明らかでない。また、泥溜部におけるD0・水温の鉛直分布調査により、8月30日と11月15日の調査時に水温躍層が見られ、8月30日の調査時には水深1m以下はD0:1~5 mg/lであった。

底質調査による調査地点ごとの窒素、リンの含有率の変化を図-4示す。結果には99年3月に霞ヶ浦工事事務所が実施した調査結果も含む。St.2において時間の経過とともに窒素、リンの含有率が増えている傾向が分かる。St.1b、St.4、St.6においては変化しているものの一定の傾向は無く、サンプリング前の気象条件等が大きく影響していると考えられる。またその他の地点においては、大きな変化は見られない。図-5に粒度分布の時間的変化を示す。St.2においては、時間が経過するにつれ粘土分、シルト分が増加しており、粒径の細かなものが堆積していることが分かる。これらの事実より、人工内湖における主な堆積はSt.2

周囲の泥溜を中心に起こっていると推察される。ただし、これは他の地点で沈降したものが、巻き上げによる再浮上などの過程を経てSt.2に付近に堆積しているものも含まれていると考えられる。その他の地点ではSt.6が冬季に粘土、シルト分が増えている。これは、風が夏季には南よりが卓越し、冬季は北よりが卓越することが原因として考えられる。

セジメント調査は、平常時3回行った。結果の概要を表-5に示す。8月30日は植物プランクトン量が多く、その沈降によって平常時としては大きな値となっている。その他のデータを見るとSSで5~9 g/m²/d、VSSで2~4 g/m²/dであった。また、St.2の方がSt.4より常に沈降量が多く、St.2においてSt.4より流入負荷に対する除去が行なわれていると考えられる。

(2) 出水時調査

2回の出水調査の概要を表-6に示す。2回の調査は降水量が約40mmで同程度の出水となった。これらの降雨は調査期間中では最大のものである。第2回の調査

表-6 出水調査の概要

	第1回出水調査	第2回出水調査
日時	10月27日-29日	11月15日-17日
総降水量	44.5 mm	40 mm
ピーク降水量	7.5 mm/時	6.0 mm/時
ピーク流量	0.906 m³/s	0.789 m³/s
人工内湖滞留時間（ピーク時）	9.9 時間	10.4 時間

表-7 セジメントトラップ調査結果（出水時）

設置地点	St. 2: 沈殿ピット		St. 4: 一般沈殿域	
調査日	出水時 10月27日	出水時 11月16日	出水時 10月27日	出水時 11月16日
SS堆積量(g/m2/d)	19.8	116.7	16.4	27.8
VSS堆積量(g/m2/d)	10.5	25.0	8.8	8.5
VSS/SS	53%	21%	53%	31%
TOC堆積量(g/m2/d)	0.641	2.206	0.564	0.635
T-N堆積量(g/m2/d)	0.232	1.073	0.212	0.273
T-P堆積量(g/m2/d)	0.093	0.442	0.064	0.089

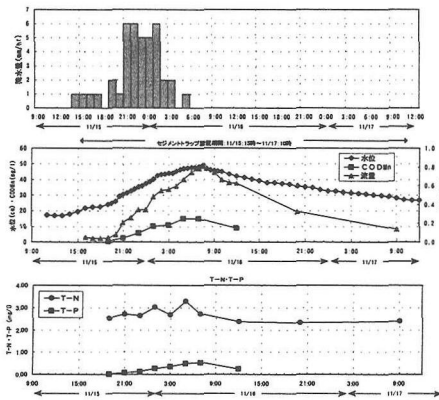


図-6 第2回出水時調査結果

結果を図-6に示す。出水ピークは降雨ピークのおよそ6時間後であり、SS、COD、リンなどの濃度ピークは流量ピークの1時間前であった。窒素に関しては出水直後から濃度が上昇している。これは、窒素に関しては溶存態の流出が多いためであろう。また、全ての項目において負荷量のピークは出水ピークと同じであった。

出水時のセジメントトラップ調査結果を表-7に示す。堆積量はSSで16~28 g/m²/dで平常時の約3倍であった。また、第2回調査時のSt.2のSS堆積量は116.7 g/m²/dで極めて大きいものとなった。これは第2回調査前の半月ほど大きな出水がなかったためSt.1aからSt.2の間の河道に堆積していたものがフラッシュされてトラップされたものと考えている。第1回調査は直前1週間は雨が降っていないものの、2週間前に2回

10mm以上の降水量を記録している。

(3) 出水時の汚濁負荷削減効果

出水時の流入負荷量と出水時に行なったセジメントトラップ調査より、人工内湖の出水時汚濁負荷削減効果を検討する。流入負荷量は水質分析結果より、堆積負荷量はセジメントトラップ調査結果より以下の式(1)、(2)に基づいて計算した。ここでは、St.2が沈殿ピットを、St.4が一般沈殿域における沈降水量を代表しているものとして計算した。

$$\begin{aligned}
 \text{流入負荷量} &= \sum \{n\text{時} \sim n+1\text{時の区間負荷量}\} \\
 &= \sum \{[(n\text{時の負荷量}) + (n+1\text{時の負荷量})] \\
 &\quad \times (n+1\text{時} - n\text{時}) + 2\} \\
 &= \sum \{[(n\text{時の水質濃度} \times \text{流量}) + (n+1\text{時の水質濃度} \times \text{流量})] \\
 &\quad \times (n+1\text{時} - n\text{時}) + 2\}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 \text{堆積負荷量} &= \text{沈殿ピット堆積量} + \text{一般沈殿域堆積量} \\
 &= (\text{St.2の単位堆積あたりの堆積量}) \times \text{沈殿ピット面積} \\
 &\quad + (\text{St.4の単位面積あたりの堆積量}) \times \text{一般沈殿域面積}
 \end{aligned}$$

(2)

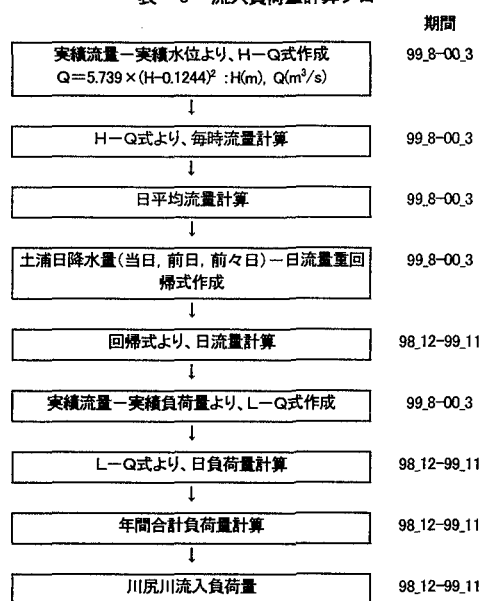
計算結果を表-8に示す。人工内湖の出水時の除去率=(堆積負荷量)÷(流入負荷量)×100とすると、人工内湖は今回の規模の出水においてはSSで11~54%、窒素で7~17%、リンで10~35%の除去率があると計算された。また、懸濁態に関しては窒素で21~51%、リンで31~99%とかなりの浄化効果が期待されることが分

表-8 出水時の浄化効果

	流入負荷量 (kg)	堆積負荷量 (kg)	除去率 (%)
SS	9,310	1,032	11.1%
VSS	—	550	—
TOC	828	34.9	4.2%
T-N	181	13	7.2%
PT-N	62.4	—	20.8%
T-P	43.5	4.3	9.9%
PT-P	13.7	—	31.4%
期間	10/27 12:00~ 10/29 10:00	10/27 10:20~ 10/29 12:30	—

	流入負荷量 (kg)	堆積負荷量 (kg)	除去率 (%)
SS	4,850	2,601	53.6%
VSS	—	654	—
TOC	624	53	8.5%
T-N	144.4	24.6	17.0%
PT-N	48.3	—	50.9%
T-P	26.23	9.20	35.1%
PT-P	9.32	—	98.7%
期間	11/15 16:00~ 11/17 9:00	11/15 15:00~ 11/17 10:00	—

表-9 流入負荷量計算フロー



かった。ただしセジメントトラップ調査においては湖底から舞上がった底泥成分も含まれている可能性もあり¹⁰⁾、除去率はやや過大評価となっていることもありうる。今後さらに検討が必要である。

(4) 年間負荷削減効果の推定

人工内湖における年間の流入負荷量と人工内湖堆積量調査による堆積状況の結果より、人工内湖の年間負荷削減効果について検討してみる。検討期間は人工内湖が完成した翌月の1998年12月から堆積量調査をおこなった1999年11月までの1年間とする。流入負荷量を推算するために表-9に示すフローにしたがって作業を行なった。まず、実際の平常時、出水時の実測水位と実測流量よりH-Q式を求めた。自動測定の水位結果ををこのH-Q式に当てはめ毎時流量を求め、これより日平均流量を求めた。川尻川における降水量測定は1999年8月以降しか行っていないため、測定地か

ら5kmほど離れた土浦の降水量より8月以前の検討期間の日平均流量を求めることとした。ここでは、土浦の降水量(当日、前日、前々日)と川尻川の流量の関係を重回帰分析によって求めた。調査期間中の流量と土浦における降水量より式(3)を得た。相関係数は $R=0.87$ である。

$$Q(m^3/s) = 0.0046 + 0.0040 \times \text{当日降水量(mm)} + 0.0079 \times \text{前日降水量(mm)} + 0.0017 \times \text{前々日降水量(mm)} \quad (3)$$

式(3)に検討期間の土浦降水量を代入し、日平均流量を得た。ただし、1999年8月以降の日平均流量については観測水位より得られた流量を用いた。これらより検討期間中の年間流量は、 $1,440,000 \text{ m}^3$ となった。一方、平常時及び出水時の水質調査と日平均流量の関係より日平均流量と負荷量の関係式L-Q式(4)をもとめる。これより、日平均負荷量を算出し、検討期間における流入量を推定した(表-10)。

$$L = a \times Q^b \quad (4)$$

a, b : 定数, L : 負荷量(g/s), Q : 日平均流量(m^3/s)

つぎに、堆積量調査の結果より、年間堆積量を推定する。底泥調査の結果より、堆積は主に泥溜の部分で発生していると考え、そこでアクリル管を用いた泥厚の測定結果より、泥溜部に堆積している汚泥量 V_s は 870 m^3 と計算された。したがって、堆積汚泥質量 $M1$ は式(5)によって得られる。ここで1997年の川尻川河口調査より、重量比含水率 R_w を0.823、堆積土土粒子密度 ρ_s を 2.44 g/cm^3 、水密度 ρ_w を 1.00 mg/cm^3 とすると体積比含水率 R_v は式(6)によって計算され0.919となる。したがって、堆積汚泥質量は $170 \times 10^3 \text{ kg}$ となる。これに、8回の底質調査の結果得られた汚泥含有量の

表-10 年間流入負荷量, 堆積量, 除去率

	a係数	b係数	流入負荷量(kg/年)	堆積負荷量(kg/年)	除去率(%)
SS	131	1.41	89,000	170,000	191
TOC	12.0	1.18	12,000	3,800	32
T-N	2.29	0.931	3,800	730	19
PT-N	0.743	1.19	740	-	-
T-P	0.499	1.20	480	400	83
PT-P	0.153	1.23	140	-	-

平均値を乗ずることにより, TOC, T-N, T-P の堆積量が計算される. 表-10に式(4)の係数 a, b と年間流入負荷量, 堆積負荷量, そこから計算される除去率を示す. これより, 人工内湖の泥溜部には流入量の約2倍SSが堆積しており, リンに関しても流入量の83%にあたるリンが堆積していることが分かる. 最も保存性が高いと考えられるSSが流入量の倍近く堆積したことは興味深い結果である. この原因としては, 1)一般沈殿池にもともと堆積していた堆積物が巻き上げによって, 再浮上し泥溜に堆積した. 2)人工内湖の開口部を通じて湖内に流入したSSが堆積した. 3)出水時の湖水位が高い時に流入した湖水のSS分が堆積した. 4)内部生産による植物プランクトンの堆積, などが考えられる. 原因解明については今後の課題である. この汚泥堆積量を人工内湖の面積当たりにすると $5,900 \text{ g/m}^2/\text{y}$ となり, 霞ヶ浦における底泥堆積速度 $600 \sim 800 \text{ g/m}^2/\text{y}$ ¹¹⁾の7~10倍である. リンに関しては堆積物が河川由来とは限らないが, 川尻川の1年間の流入量に匹敵する量を堆積できたことは本施設の大きな成果と言える. 窒素の除去率が低いのは泥溜において脱窒が起こっており, 見かけ上低くなったものと考えられる. 脱窒によって, 流入負荷の20%が除去されている事例も報告されており¹¹⁾, 今後詳細な調査が必要である.

$$M1 = Vs \times (1 - Rv) \times \rho_s \quad (5)$$

ここで, $M1$:堆積汚泥質量(ton), Vs :堆積汚泥体積(m^3), Rv :体積比含水率, ρ_s :堆積汚泥土粒子密度($\text{g/cm}^3 = \text{ton/m}^3$)

$$Rv = Vw / (Vs + Vw) \\ = Rw / \{(1 - Rw)(\rho_w / \rho_s) + Rw\} \quad (6)$$

ここで, Vw :水体積(m^3), Rw :重量比含水率, ρ_w :水の密度($\text{g/cm}^3 = \text{ton/m}^3$)

内湖やため池による浄化に関して, これまでの研究

では, 出水時には効果があるものの平常時を含めると自濁に作用しているという結論の事例も多い¹⁰⁾¹³⁾. 大久保¹³⁾は, 池などを利用してT-N, T-P流出負荷量を削減することは容易でないとし, 池による負荷削減のためには1)プランクトンの増殖抑制, 2)およびその流出抑制, 3)底泥の巻き上げの抑制, 4)堆積した汚泥からの栄養塩の溶出などが必要としている. 今回の人工内湖においては, プランクトンの増殖はあったものの霞ヶ浦と比べて同程度かやや低く, また人工内湖がレキ層に囲まれているため流出も抑制できたと考えられる. また, 底泥の巻き上げ抑制のために一部, 水深の深い泥溜を設定した. その他の部分は水深を浅くし, 嫌気化による栄養塩の溶出を抑制する構造とした. 泥溜に関しては浚渫を前提としているため, 長期的にも栄養塩の溶出は抑制できると考えられる. ため池や内湖を浄化に使用する場合は, 蓄積した汚泥を何らかの方法で除去する必要がある. 人工内湖には水深1m以下の箇所もあるため, 今後水生植物が繁茂し, 日射量の抑制, 植物体に付着する生物による分解・栄養塩の吸収, 植物体自体の栄養塩吸収, 沈降の促進などによって人工内湖の植物プランクトン抑制も可能になると考えられる.

4. まとめ

霞ヶ浦に流入する川尻川の河口に琵琶湖の内湖のような効果を期待して人工内湖を設置した. 主な目的は出水時のノンポイント負荷の削減と失われつつある沿岸帯の環境を復元し, 水生植物の復元や魚類の産卵場を創出することである. 本稿では, 人工内湖の負荷削減効果について調査した結果およびその考察について述べた. 得られた結果は以下のものである.

1) 平常時の人工内湖の水質は河川と湖沼の中間的な水質であり, 著しい植物プランクトンの増殖はなかった. ただし, 内部生産によると思われるCODの増加が見られた.

2) 出水時には人工内湖において, SSが11~54%, 窒素が7~17%, リンが10~35%除去されていることが分

かった。懸濁態では窒素の 21~51%, リンの 31~99% が除去された。

3) 年間流入負荷量に対する人工内湖の除去量を堆積量より推定した。その結果、除去率は SS が 191%, TOC が 32%, T-N が 19%, T-P が 83% となった。堆積物には河川流入負荷だけでなく、湖沼からの流入物も含まれていると考えられるが、1 年間に河川から湖沼に流入するリンの約 8 割を人工内湖によって削減できることが分かった。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、ご協力いただいた建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所及び関係者の方々に感謝いたします。

参考文献

1. 中村圭吾:未発表.
2. 霞ヶ浦工事事務所:霞ヶ浦, 建設省霞ヶ浦工事事務所パンフレット.
3. 倉田亮:内湖—その生態学的機能, 琵琶湖研究所所報, 1983.
4. 倉田亮:水草帯と内湖—その現況と機能—, 琵琶湖研究—集水域から湖水まで—, pp.142-163, 1988.
5. 倉田亮:内湖の浄化機能, 国立公害研究所 自然浄化シンポジウム, pp.69-76, 1985.
6. 大久保卓也:琵琶湖流域における汚濁負荷削減対策, 平成 8 年度農業工学研究所水工研究会資料, pp. 25-31, 1997.
7. 中川元男:赤野井湾流入河川での負荷削減対策の取り組み—琵琶湖水質保全対策行動計画—, 琵琶湖研究所ワークショップ「面源汚濁負荷削減に向けての研究の現状と課題」講演資料集, 2000.
8. 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.
9. 水資源開発公団試験所:貯水池の水質, 1986.
10. 大久保卓也:ため池, 内湖を利用した水質浄化, 用水と排水, Vol. 40(10), pp. 35-45, 1998.
11. 大坪国順, 相崎守弘, 福島武彦, 岩田敏, 村岡浩爾, 高松武次郎:霞ヶ浦底泥の物性と栄養塩の分布特性(1) 物性の分布特性, 国立公害研究所研究報告, 第 51 号(R-51-84), pp. 157-173, 1984.
12. 橘治国, 井上隆信:浅い湖沼における沈降物量の評価, Jpn. J. Limnol., 57, 2, pp163-171, 1996
13. 大久保卓也:ため池(内湖)による汚濁負荷削減効果—滋賀県エカイ沼での調査結果—, 琵琶湖研究所ワークショップ「面源汚濁負荷削減に向けての研究の現状と課題」講演資料集, 2000

POLLUTANTS CONTROL BY THE ARTIFICIAL LAGOON

Keigo NAKAMURA, Toshinari MORIKAWA, and Yukihiro SHIMATANI

Artificial lagoon that aims restoration of littoral zone in lake and non-point pollutants control was constructed in 1998 at the river mouth of Kawajiri River which flows into Lake Kasumigaura in Japan. This artificial lagoon has an area of ca. 30,000 m² and a depth of 1.0 m. The function of artificial lagoon for pollutant control was surveyed in 1999 and 2000. Water quality in artificial lagoon is mid-range between river and lake under normal weather condition. Artificial lagoon cuts 10-50 % of SS, 20-50 % of T-N, and 30-99 % of T-P of runoff of rainwater. Annual removal ration of artificial lagoon was estimated between December '98 and November '99. Removal ratio was calculated as the ratio between sedimentation weight in artificial lagoon and annual load of Kawajiri river. 191% of SS, 19% of T-N, and 83% of T-P was removed by artificial lagoon. This SS probably includes not only river load but also lake load.