

B-14 人工内湖の汚濁負荷除去効果の評価に流出水中の粒径分布と粒径別汚濁負荷量を与える影響

○加藤 伸悟^{1,2*}・増田 貴則¹・細井 由彦¹・小川 愛子³

¹鳥取大学大学院工学研究科（〒680-8550 鳥取市湖山町南4丁目101番地）

²応用技術株式会社（〒531-0074 大阪市北区本庄東1-1-10 RISE88）

³株式会社オリエンタルコンサルタンツ（〒532-0003 大阪市淀川区宮原4-1-14 住友生命新大阪ビル）

* E-mail:shingok@apptec.co.jp

1. 目的

閉鎖性水域である湖沼は、流入した汚濁物質が蓄積しやすく、水質汚濁が進行しやすい上に、一度水質が汚濁すると改善が容易でないという特性を有している。汚濁の一因である特定汚染源負荷量は減少傾向にあるものの、非特定汚染源負荷量の削減は進んでおらず、全体の負荷量に対する非特定汚染源負荷の占める割合は増加傾向にある¹⁾。非特定汚染源負荷対策の一つである農地排水対策では、施肥量の削減や循環灌漑施設の建設、農業用水の反復利用の促進など様々な対策が考えられ、実施されつつある²⁾。しかし、農業排水は毎年発生しており、目に見える形でそれら対策の効果が現われていないのが現状である。

このような中、湖沼に直接流入する河川・農業排水の汚濁負荷を河口部で削減する人工内湖（湖内湖）が新たな非特定汚染源対策として提案されている³⁾。人工内湖とは、水質浄化作用や生態機能を有する「内湖」を人工的に建設し、これらの作用・機能を再現しようとしたものであり、霞ヶ浦において実証実験が行われ、汚濁負荷削減効果の定量的把握および人工内湖設計条件の検討が行われてきた。実証実験結果を用いた検討³⁾においては、人工内湖に流入する汚濁負荷（T-N, T-P, COD, SS）と人工内湖への堆積負荷から河川負荷除去率を算出し、滞留時間や水面積負荷との関係から、人工内湖設計の際の規模参考となる手法が示されている。

人工内湖の主な浄化メカニズムは懸濁態物質の物理的沈降である³⁾が、それら懸濁態物質はその粒径に応じて沈降形態（速度）が大きく異なる。また、粒状態物質は粒径の小さな微粒子ほど単位重量あたりの栄養塩を多く含有しており⁴⁾、人工内湖の浄化効果評価に対しても、このような点を考慮することが必要と考えられる。

本研究では、鳥取県湖山池流域河川・農業排水路の流

出調査に基づいて推定評価方法の異なる数種類の負荷流出モデルを構築、人工内湖設置を想定したシナリオ解析を行うことにより、人工内湖汚濁負荷除去効果を事前評価する際に重要となる因子を把握することを目的とした。

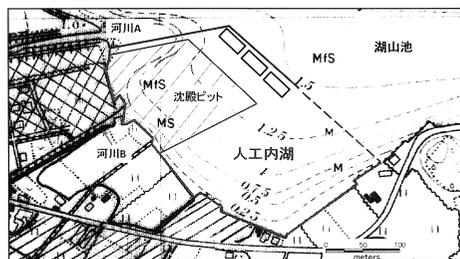


図 - 1 人工内湖の設置イメージ

2. 方法

2.1 研究方法の概要

本研究は大きく二つに分けることができる。流域からの流出特性の推定と人工内湖の設置を想定した除去効果のシナリオ解析である。

流域からの流出汚濁負荷量推定では、河川における定期観測と雨天時調査、河床底質調査を実施し、水文、水質、粒度分布などを調査してL-Qモデル（負荷量推定法の異なる式を数種類設定）を構築、降雨量等を条件としたタンクモデルにより推定される経時流量を用いて、経時流出汚濁負荷量を算定する。

人工内湖の汚濁負荷除去効果のシナリオ解析では、数種類の負荷量推定モデルと、水質特性が異なる流入河川の組み合わせによるシナリオ解析を行い、懸濁態物質（SS, PN: 懸濁態窒素, PP: 懸濁態リン）の除去率から汚濁負荷除去効果を評価する際の重要な因子について検討する。

2.2 負荷流出モデル

負荷流出モデルについては、懸濁態物質の粒径に応じた水中での挙動（沈降減少）および栄養塩含有量の違いを表現することを目的に、河川の定期および雨天時調査によって得られた流量および SS 濃度と粒度試験結果を元に、粒径区分ごとの負荷量を用いて「粒径別 SSL-Q モデル」を構築した。一方、別手法での粒径別の SS 負荷量算定として、SS 全粒径負荷に関する L-Q 式を作成し、各河川の平均的粒度組成を乗じることにより「代表粒径による粒径別 SSL-Q モデル」を構築した。

PN および PP の粒径別汚濁負荷算定については、各河川・農業排水路の河道内底質中含有量が流出中の含有量と同等であると仮定し、河道底質調査結果から粒径と窒素・リン含有量の回帰式を求め、上記 2 種類の SSL-Q 式に乗じること、2 種類の「含有量粒径別 PN・PPL-Q モデル」を構築した。また一方で、粒径別の含有量の違いを考慮しないモデルとして、「含有量一定 PN・PPL-Q モデル」を構築した。粒径別 L-Q モデルと同様に河道底質の含有量を用い、全粒径を混合させた状態での含有量を用いて、上記の両 SSL-Q 式に乗じること、2 種類の「含有量一定 PN・PPL-Q モデル」を構築した。

2.3 人工内湖のシナリオ解析

前節に示した、粒径別 SS の負荷組成変化を考慮するか否か、粒径別の栄養塩含有形態を考慮するか否かによって構築された負荷流出モデルを用いたシナリオ解析を行い、負荷量算定モデルによって人工内湖の汚濁負荷除去効果評価にどのような差が生じるかを明らかにする。

水質および粒径特性の異なる 3 パターンの流入河川ケースを想定し、SS および PN・PP 負荷量推定モデルとの組み合わせ計 12 ケースのシナリオ解析を行った。検討ケースを表-2 に示す。

人工内湖の浄化効果については、理想沈澱池の機能を有していると考え、人工内湖内に流入した懸濁態物質は、滞留時間と沈降速度そして水深の関係から、除去される割合が算定されるものとした。懸濁態物質の沈降は Rubey 式により算定することとした。人工内湖設置を想定した平水年 1 年間の計算を行い、流入負荷量、人工内湖内への沈降水量、人工内湖による除去率を比較評価した。

表-2 負荷量推定方法と流入河川によるシナリオ

ケース	粒径別 NP 負荷量推定モデル	粒径別 SS 負荷量推定モデル	流入河川	施設面積
1	含有量粒径別 NP	粒径別 SS	河川 A (流量大 水質良 粒径大)	30000m ²
2		代表粒度 SS		
3		粒径別 SS		
4		代表粒度 SS		
5	含有量粒径別 NP	粒径別 SS	河川 B (流量小 水質悪 粒径小)	
6		代表粒度 SS		
7		粒径別 SS		
8		代表粒度 SS		
9	含有量粒径別 NP	粒径別 SS	河川 A + 河川 B	
10		代表粒度 SS		
11		粒径別 SS		
12		代表粒度 SS		

3. 結果と考察

3.1 流入汚濁負荷量

各ケースの粒径区分ごとの流入負荷量推定結果を図-2 に示す。

SS について、粒径別 SSL-Q モデルよりも代表粒径 SSL-Q モデルを用いたケースの負荷量が大きく、その傾向は河川 B を人工内湖の対象とした場合（ケース 5・6 など）で顕著に現れている。粒径区分それぞれの L-Q 式により流出形態（洗い出し型と希釈型）を考慮した結果と考えられる。PN について、含有量粒径別 PNL-Q モデルを用いたケース（1・2、5・6、9・10）は、他ケースと比較して流入負荷量が大きい。含有量一定 PNL-Q モデルは含有量粒径別 PNL-Q モデルに比べて、含有量を過小評価している可能性が示された。PP について、含有量粒径別 PPL-Q モデルを用いたケースと含有量一定 PPL-Q モデルを用いたケースとで大きな差が生じた。リンは粒径ごとの含有量の差が大きく、特にシルト成分（粒径 75μm）以下がより多くのリンを含有しているためと考えられる。

SS については「河川 A ケース < 河川 B ケース」の関係にあるが、PN では逆関係となっている。各河川の粒径ごとの窒素含有特性、ここでは河川 A は大きな粒径の粒子に比較的多くの窒素が含有されていることが影響した結果と考えられる。一方、PP については両河川の粒径ごとのリン含有特性が類似していることから SS に見られる関係と類似している。

PN および PP について、SS 負荷量推定モデルによる負荷量差（ケース 1-2 間など）に比べて、N・P 負荷量推定モデルによる差（ケース 1-3 間など）が大きく現れており、含有量を粒径ごとに考慮することの重要性が示された（特に PP はその傾向が顕著）。

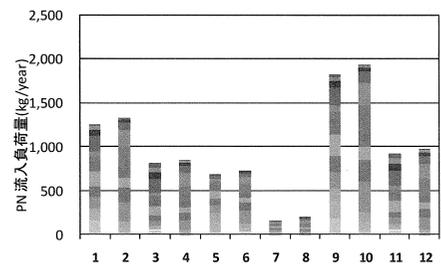
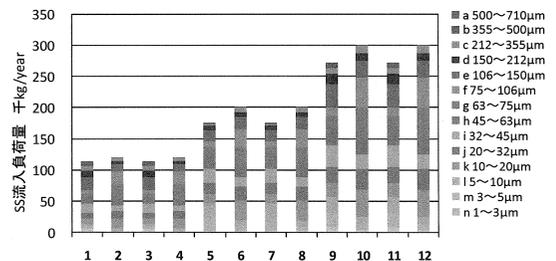


図-2(1) 流入負荷量（上：SS，下：PN）

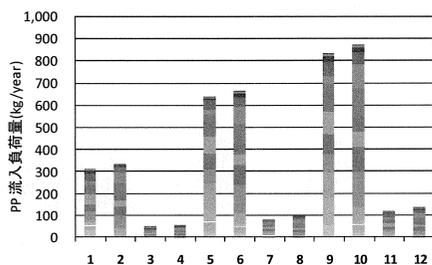


図 - 2 (2) 流入負荷量 (PP)

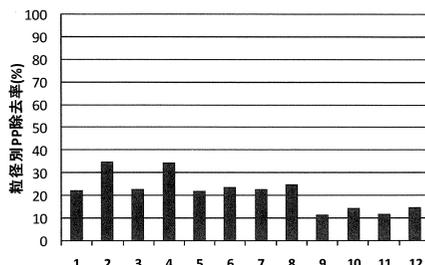


図 - 3 (2) 粘土成分の人工内湖負荷除去率 (PP)

3.2 負荷除去率

負荷除去率 (沈降量÷流入負荷量) を表-3 に示す。SS について、粗粒比率が高い代表粒度 SSL-Q モデルを用いた場合 (ケース 2・4・6・8・10・12) の除去率が高い。PN・PP についても同様の傾向であるが、粒径別 SSL-Q モデルかつ含有量粒径別 PN・PPL-Q モデルを用いた場合 (ケース 1・5・9) の除去率がさらに低く、人工内湖において沈降作用を受けにくい細粒分に多くの栄養塩が含有していることが影響していると考えられる。

表 - 3 人工内湖負荷除去率

ケース	1	2	3	4	5	6
SS	91.9%	97.3%	91.9%	97.3%	89.1%	95.7%
PN	82.0%	94.8%	91.8%	97.3%	84.0%	91.8%
PP	83.2%	94.7%	92.2%	97.4%	82.8%	92.0%
ケース	7	8	9	10	11	12
SS	89.1%	95.7%	87.3%	94.8%	87.3%	94.8%
PN	93.1%	96.5%	79.9%	92.0%	91.0%	96.3%
PP	89.6%	95.8%	77.9%	90.3%	87.5%	94.8%

人工内湖から流出し、湖内水質に影響を与えらる粘土成分 (粒径 5 μ m) 以下の PN・PP 除去率を図-3 に示す。沈降速度の小さな細粒分に対しては、人工内湖への流入水量の影響が強く現れており、流入水量が最も大きなケース 9~12 の除去率が小さい。PN については、河川 B を対象とする場合の除去率が高く、一方で PP については河川 A を対象とする場合の除去率が高い。河川 A を対象とする場合は、ケース 1・2 とケース 3・4 の除去率の差が大きく、河川 B を対象とする場合は、ケース 5・7 とケース 6・8 の除去率の差が大きい傾向にあり、除去効果の評価に対する重要因子が、河川 A を対象とする場合は「粒度分布」であり、河川 B を対象とする場合は「含有量」であることを示している。

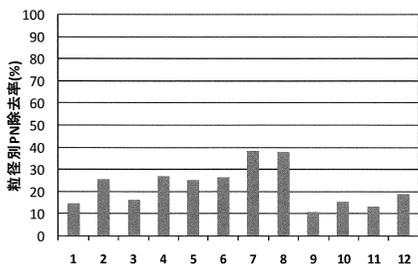


図 - 3 (1) 粘土成分の人工内湖負荷除去率 (PN)

4. 結論

河川・農業排水路の流出調査に基づいて推定評価方法の異なる数種類の負荷流出モデルを構築し、人工内湖による汚濁負荷除去効果を評価する際の重要な因子を把握することを目的として、シナリオ解析を行った。負荷流出モデルは、人工内湖における負荷除去効果が大きい懸濁態物質について、負荷流出および栄養塩含有特性を大小様々な粒径ごとに L-Q 式によってモデル化したものである。検討結果の概要を以下に示す。

- 全粒径区分において一定の窒素およびリン含有量を仮定して流出モデルを構築した場合、負荷量および除去率を過小評価する可能性があることが示された。特にシルト成分のリン含有量は、PP 負荷に大きく関係する。したがって、流入河川中懸濁物質の栄養塩含有特性は、人工内湖の浄化率を評価する上で重要な因子となることが示唆された。
- 一方で、人工内湖から流出し湖内水質に影響を与える細粒分の浄化率については、水質項目や浄化対象河川により影響する因子が異なることが示された。このことから、人工内湖の水質改善効果を評価する際には、流入河川の特長や、どの水質項目を指標として重要視するかによって、重要な因子が異なってくることを示唆される。

謝辞：本研究の一部は鳥取県環境学術研究振興事業研究助成により行った。また、鳥取県東部総合事務所および鳥取県衛生環境研究所のご担当者より各種データをご提供頂いた。記して感謝いたします。

参考文献

- 国土交通省、農林水産省、環境省：湖沼水質のための流域対策の基本的考え ～非特定汚染源からの負荷対策～、平成18年3月
- 大久保卓也：内湖・ため池における水質浄化機能、琵琶湖研究所記念誌 (所報22号)、pp. 87 - 91、2005
- 中村圭吾、森川敏成、島谷幸宏：河口に配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
- 史承煥、細井由彦、増田貴則：中山間地における非点源水質汚染源の潜在力評価、水工学論文集、第48巻、pp. 1429 - 1434、2004