

VII-4

停滞性水路周辺からの水質成分負荷量の連続調査と解析(第2報)

北海道開発局開発土木研究所 正員 大島 吾吾

1. まえがき

停滞性水域では、水域内の富栄養化の進行によって、アオコの発生に代表される富栄養化現象が問題となる場合がある。水域の富栄養化を進行させる要因として、水域周辺の土地利用形態が開発により変化し、それによって流出する水質成分負荷が増加し、水域の自浄能力を上回ってしまうことなどがあげられる。

これらの現象のメカニズムを解明し、さらに将来的な水質変化を予測するためにも、水域周辺の土地利用形態とともに流入してくる水質成分負荷(流出経路と量)の実態を把握することが重要な課題である。

先の報告¹⁾では、地形が低平地である水域において流入負荷を推算する場合は、外水による背水の影響を受ける水位の変化を考慮する必要があることを示した。一方、栄養塩の形態は出水時に特に懸濁性無機態リンと硝酸態窒素が支配的であり、藻類の増殖がリン制限にある水域では懸濁態物質の流入制御が富栄養化の抑制に効果的と考えられることを示した。

本報告では、先の報告に引き続き調査を実施し、その周辺の土地利用状況からみて、栄養塩を中心に従来の定期調査²⁾のほか、自動採水器により1ヵ月間連続で採水分析をおこない、栄養塩流入負荷量を水域の水文特性との関係で整理した。

さらに、流入する水質負荷量の推定をおこなった。ここでは、一般に用いられるL-Q式に替わる方法として、水位や流速、降雨量、流量を変数として組み込んだ重回帰分析によって推定した。

2. モデル水域の概要

モデル水域として、千歳川流域にあるネシコシ排水池を設定した。図-1にネシコシ排水池の位置図を示す。ネシコシ排水池は、平成元年までに段階的に掘削が進められ、流下方向に約2,000m、横断方向に約130m、水深約1.5m、勾配1/4500の形状となっている。周辺の土地利用状況は畑地が多く、融雪による出水と灌漑期が一致する春季には栄養塩の流入が大きい。気象概況は、まず、気温は夏季に30℃程度まで上昇し、冬季には-20℃程度まで低下する。降水量は年間1,000mmを越え、7~10月に多い。風速は、年間を通して5m/s以上で、夏季に南より冬季に北よりの風向が卓越している。池内は、水深に対して流下方向の距離が大きく水流が風の影響を強く受けるため、常時、混合状態にある。さらに、火山灰やシルト質を主体とした細粒成分が流入したり巻き上げられたりして水の濁りが顕著である。

池内の流出入状況は、主にSt.3とSt.5から流入し、St.4より千歳川へ流出している。なお、千歳川と排水池は樋門で連結されており、内水位が上昇した場合は排水機を運転して内水を千歳川に排除する。水路形状と観測位置を図-2に示す。



図-1 調査個所の位置

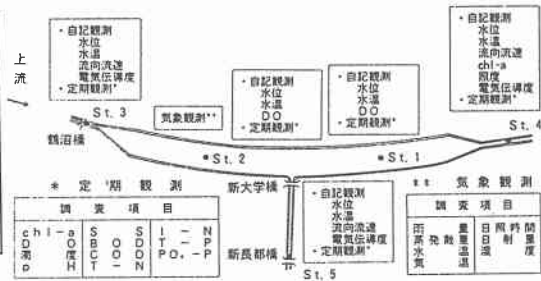


図-2 水路形状と観測位置

3. 調査方法

調査対象地点として図-2に示すSt.3を設定した。St.3の周辺からの集水面積は約20km²であり、水位は約4.0~5.8mで変動している。後で示すように当該水域は低平地で出水時は内水が貯留され、同時に外水(千歳川)の影響で水位の上昇とともに流量が減少する。また、内水位があるレベルまで達すると排水機場が稼働し、水位の下降とともに流量が増加する。この結果、通常河川流量の推定に用いられている水位-流量(H-Q)関係は適用できない。そこで、水位とともに自記流速計を設置し、両者によって流量を推定した³⁾。

また、水質成分については、当該水域へ流入する負荷量を連続的に把握するため、St.3に自動採水器を設置し、1996年8月5日~9月5日の1ヶ月間連続で1日毎のコンポジット採水をおこなった。ここで

Continuous Observation and Analysis of Water Quality Load from the Area around the Stagnant Water Channel (No.2) by Shogo OHSIMA

なったコンポジット採水は、9時から翌日の8時までの毎正時24回のサンプリングを1試料とするように設定し、それを夏季に1カ月間(31日)おこなうことで、流入水の水質成分の平均的な濃度変化を抑えるものである。さらに、総雨量で約40mm以上の降雨が予想される場合にコンポジット採水を、1時間毎に3回のサンプリングを1試料とするように設定し、水位や流速の急激な変化に対応した詳細な水質濃度の変化を抑えるようにした。

ここで用いた自動採水器(ISCO社3700)は、冷蔵庫が装備されており気温の上昇する夏季においても試料の変化が起こらないように温度設定が可能である。自動採水器の採水ポンプの部分は、図-3に示すように観測地点の流心で水面から常時2割水深を保つように、可動式のプロートに固定し水位変動にあわせて採水できるようにした。

4. 水文特性と流出水質成分の特性

4.1. 夏季1カ月間の水質変化

図-4にSt.3の1996年の8月から9月までの水位、流量と降雨量の変化を示す。ここで水位と流量は、自記観測によって毎正時に得られる値を採水時間にあわせて9時から翌日8時までの平均値として処理して用いた。また、降雨量も採水時間にあわせて9時から翌日8時までの合計値とした。

図-4に、コンポジット採水によって得られたリンと窒素の変化も併せて示す。調査時の栄養塩濃度の傾向をみると、リン、窒素ともに平常時は概ね流量の変化に追従して変化している。しかし、観測期間中に総雨量が50mmを越えるような降雨が2回(8/22 79mm, 9/1 61mm)発生しており、この規模の出水時には急激な濃度上昇が見られた。ただし、観測期間中に総雨量20mm前後の降雨も2回(8/13, 8/16)発生しているが、この時の水質変化は平常時と同じように変化しており、前述のような急激な変化は見られなかった。

出水後の濃度変化は1995年の調査結果¹⁾と同じように、リンは急激に濃度が下がる傾向にあった。窒素は出水後も濃度の低下は緩慢であり、出水後は出水前より高い濃度が維持される傾向にあった。

次に図-5に観測期間中の窒素、リンの形態別の内訳を示す。まず、窒素では総窒素中に硝酸態窒素が占める割合は平均79%である。なお、硝酸態窒素の占

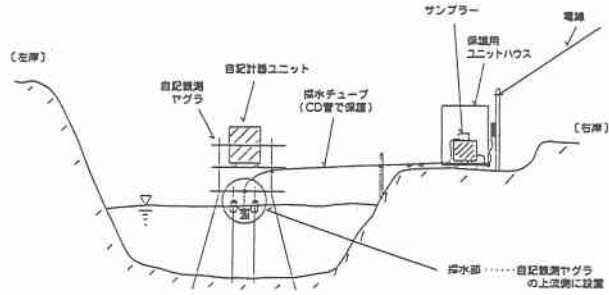


図-3 自動採水装置の設置状況

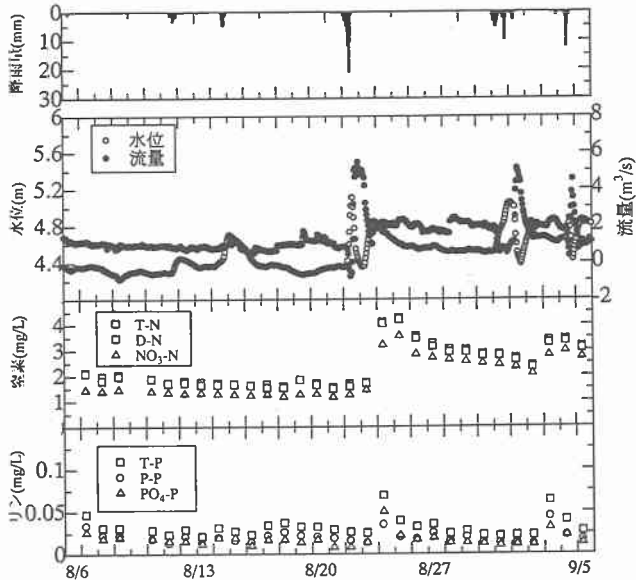


図-4 水位、流量、降雨量、窒素、リンの変化
(ネシコシ 1996年8月6日~9月5日)

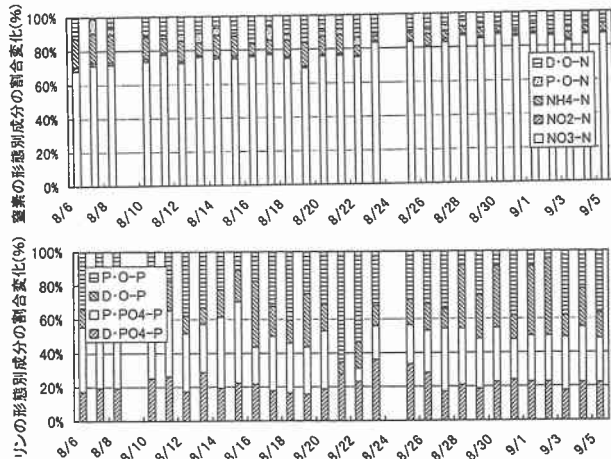


図-5 窒素とリンの形態別成分の割合変化

める割合は、8月22日の出水前に70~75%で推移していたものが出水を契機に80~90%まで高くなり、この割合を維持して変化しているのが特徴的である。なお、アンモニア態窒素や亜硝酸態窒素は、出水時も含めほとんど変化しない傾向にあることが確認された。リンでは、総リン中に懸濁性無機態リンが占める割合は概ね20~45%で変化しており、また、観測期間中の平均は30%である。

4.2. 降雨出水時の水質変化

モデル水域における水文特性は、特に降雨出水時の水位上昇期には流量が減少し、水位下降期には流量が増加するといった現象が確認されている。前者は、内水の貯留とともに千歳川の背水の影響を受けて流下能力が低下すること、後者は水位上昇があるレベルに達すると排水機場の運転が開始され、水位低下とともに流れが促進されることによるものと考えられる。

ここで降雨出水時におこなった詳細調査の結果から水文、水質変化の関係を考察する。観測事例として観測期間中の8月22日~23日にかけて発生した総雨量で

79mmの降雨出水時を対象とした。図-6に出水時の水位、流量、降雨量の変化を窒素、リンの変化とともに示す。ここで特徴的なのは、降雨後の初期段階に水位が徐々に上昇し始めるが、水質濃度はほとんど変化しない。しかし、水位があるレベルに達すると千歳川との合流点にある排水機場が稼働し、排水池から千歳川への強制排水がおこなわれる。この強制排水によって排水池内の水量が減少し、それとともに流域内に貯留されていた水が集水され水路内を流下する。その結果、流速が増しこれとともに流入する流量も増加する。この流速の増加は水路内に堆積していた物質をファーストフラッシュ的に押し流し、流域から流入する水質負荷成分を増加させている。なお、この傾向は懸濁性成分が多く占めるリンだけでなく、溶解性成分が大部分を占める窒素についても同様である。

しかし、減衰時においてはリンは流量変化に追従して変化し概ね1日後には出水前の濃度に戻っている。それに比べて、窒素は、1日後でもピーク時の濃度を維持している。前者については懸濁態が支配的であるとともに、水位が低下し排水機場の停止とともに強制的な集水力も低下し、さらに、8月のこの時期は水路内全面に水草が繁茂しているため、これが流下の障害になって掃流力が落ち、懸濁物が沈降しやすくなり濃度が減少すると考えられる。後者については、現地状況が出水直後で千歳川の水位が高いため合流点は樋門で閉じられており、さらに周辺の農地を経由した高濃度の水質が排水池へ流入し、排水池内の濃度が希釈されないためと考える。

5. 水質負荷成分の流出量の推算

5.1. 主成分分析による水文特性の解析

一般に流入する水質負荷成分は流量との関係式(負荷量=流量(L-Q)式)で推定することが多い。しかし、モデル水域のように低平地でH-Q式の成立しない水域では、水質負荷成分を流量との関係であるL-Q式で推算するには限界があると考えられる。

そこで流量のほかに水位、流速、降雨量の各要因を集約し、これを新たな変数として水質成分負荷量との関係を導き出せないか検証した。ここでは1カ月間のデータを用いて水位、流速、降雨量、流量の4項目を変数として主成分分析をおこなった。図-7に、主成分スコアの散布図を示す。この結果から第1主成分で正に分布しているデータは降雨の影響の有無を表し、第2主成分は流出を促す要因を集約した成分と考えられる。すなわち、第2主成分が正に分布する場合は流速が速くなるなど流出に寄与しているものと考えられる。このことは、表-1に示したものと各変数と各主成

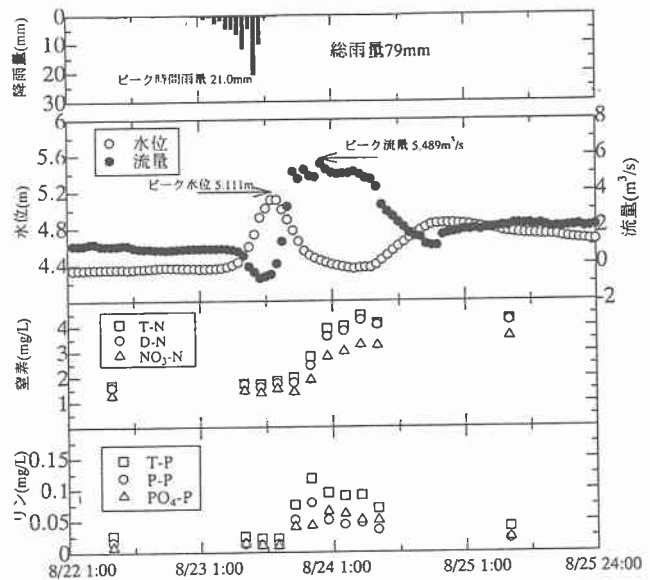


図-6 出水時の水位、流量、降雨量、窒素、リンの変化
(ネシコシ 1996年8月22日~8月25日)

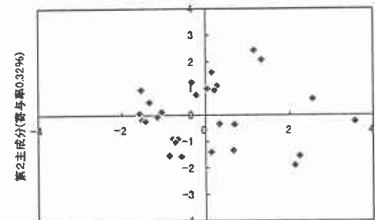


図-7 主成分スコア散布図

表-1 因子負荷量

	第1主成分	第2主成分
水位	0.8831	0.2580
流速	-0.5312	0.6872
降雨量	0.7795	-0.2795
流量	0.4237	0.8381

分の相関係数を表す因子負荷量からもわかる。第1主成分は、水位や降雨量の変数が強く係わっていることから、降雨の影響により水位が上昇する流出初期段階を示すものである。第2主成分は、流速や流量の変数が強く係わっていることから、流入量の増加に関係しており平常時や出水時の排水機場が稼働し流域からの集水が多くなる段階などが当てはまると考える。

5.2. 水質負荷成分の流出量の推算方法の検討

次に、L-Q式に替わる水質負荷量の推算方法として、下記の2種類の方法について検討をおこなった。ここでは窒素、リンの形態別成分中でも出水時、平常時にかかわらず総量に対して占める割合の多い硝酸態窒素と懸濁性無機態リンを対象とした。

1) は、水質成分と水文要因(水位、流速、降雨量、流量の4項目)との重回帰分析をおこない水質負荷量を求める方法である。ここでは、対象とする水質成分を目的変数、水文要因の4項目を説明変数とした。まず、最適な回帰式を求めるために総当たり法により変数の選択をおこなう。回帰式の変数の組み合わせは15パターンであり、それぞれの回帰式の優劣を自由度二重調整済み寄与率を算出し判別した。この結果、硝酸態窒素は水位、流速、降雨量の3項目を説明変数とした回帰式が、懸濁性無機態リンは、降雨量の1項目を説明変数とした回帰式がもっとも予測精度が高い結果となった。

2) は、「5.1」で主成分分析により求めた各成分と水質成分との相関関係から推算する方法である。

ここで求めた回帰式を表-2に示す。なお、ここで水文要因として水位、流速、降雨量、流量の4項目を取りあげた。この理由はこれらが自記観測による連続データの取得が可能であり、これによって連続的な水質負荷量の推算を可能とすると考えたためである。

図-8に水質濃度、水質負荷量の実測値と推算値を示す。窒素は濃度、負荷量ともに多少のばらつきはあるが高い精度で推定できている。リンは濃度が0.01mg/Lを越える濃度で頭打ちとなり推算できていない。これはリンの形態別成分として懸濁性が多く占めており、今回作成した回帰式に懸濁性成分の平常時、出水時を含めた沈降や巻き上げと言った挙動を十分反映できていないためと考える。ただし、濃度に流量を乗じた負荷量であれば多少のばらつきはあるものの十分推定できていると考える。

6. あとがき

今回の調査結果から以下のような知見が得られた。

当該水域のような低平地における水質負荷成分の流出量を推算する際に、重回帰分析や主成分分析による推定方法の有効性を確認した。この際、流量だけでなく水位や流速、降雨量を変数として組み込むことにより高精度の推算が可能となることを確認した。

今回の報告では、重回帰分析や主成分分析を用いて日単位の流出負荷量を推算できることを示した。

今後は、モデル水域の水文要因が出水時などに時間単位で急激な変化をしていることを踏まえ、今回用いた方法が水文要因の急激な変化にともなう水質成分の変化を反映できるか検証するとともに、通常の河川における流出負荷量の推算の精度向上に寄与できないか検討をおこないたいと考える。

参考文献

- 1) 大島省吾, 藤田満土, 中津川誠, 坂井一浩: 停滞性水路周辺からの水質成分負荷量の連続調査と解析, 土木学会北海道支部年次学術発表会論文集, pp.394~397, 第52号(B), 1996 2) 大島省吾, 中津川誠, 佐藤徳人, 山崎真一, 船木淳悟, 平野令緒, 坂井一浩: 停滞性水路における水質現象の観測と解析, 土木学会北海道支部年次学術発表会論文集, pp.336~339, 第51号(B), 1995 3) 池田共実, 米津仁司, 高嶋守仁: 停滞性水路における水収支観測手法について - H-Q式に替わる手法の検討 -, 第40回(平成8年度)北海道開発局技術研究発表会発表要集(3), pp.111~116, 1997

表-2 水質濃度、水質負荷量の推算に用いた回帰式

水質項目	重回帰分析	主成分分析	
		第1主成分	第2主成分
硝酸態窒素	$y = 4.6863 \cdot X_1 + 10.7063 \cdot X_2 - 0.032 \cdot X_3 - 19.5024$	$y = 0.2145 \cdot X + 1.8728$	$y = 0.4021 \cdot X + 1.8728$
懸濁性無機態リン	$y = -0.0001 \cdot X_3 + 0.0101$	$y = -0.001 \cdot X + 0.0093$	$y = 0.0004 \cdot X + 0.0093$

ここで、X1:水位、X2:流速、X3:降雨量

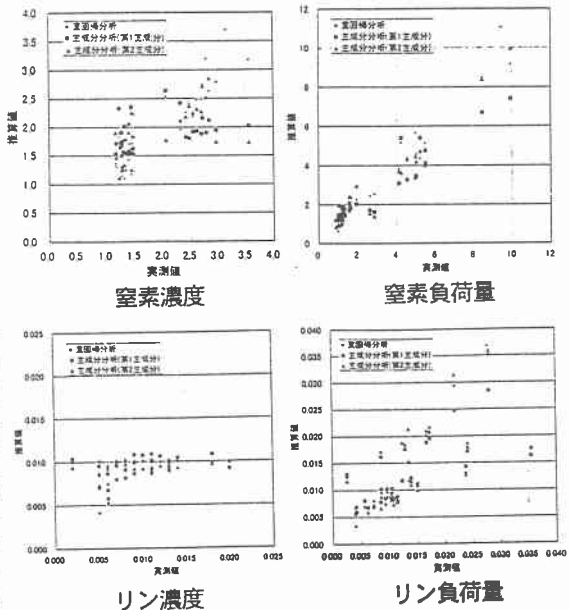


図-8 水質濃度、水質負荷量の実測値と推算値の比較