

〔報 文〕

浮葉植物による水質浄化と植栽・利用に関する研究（中間報告）

— 模擬水路を用いた水質浄化の検討 —

石川県保健環境センター 環境科学部 柿澤 隆一・小西 秀則・玉井 徹
亀井 とし・本田 和子

〔和文要旨〕

保健環境センター敷地内に設置した植栽・対照・遮光の三つの模擬水路において、河北潟の窒素・リンと同割合の栄養塩を添加した模擬湖沼水を使用し、河北潟在来種である浮葉植物のヒシによる栄養塩の吸収、及びヒシの葉の遮光効果による植物プランクトン抑制効果を検証した。

植栽模擬水路において、溶存態の窒素・リンは先にヒシに吸収され、植物プランクトンの発生がほとんど抑制された。また、遮光模擬水路において、水面の半分以上を覆った遮光効果によって植物プランクトンの発生が対照模擬水路と比較して半以下に抑制された。

水質汚濁を表すCODは、対照模擬水路では植物プランクトンにより懸濁態のCODが増え、ヒシを入れた植栽模擬水路は溶存態のCODが増えた。

キーワード：河北潟、湖沼、浮葉植物、ヒシ、水質浄化、模擬水路

1 はじめに

河北潟をはじめとする県内の閉鎖性水域の水質は、流域の下水道等生活排水処理施設の整備率が約90%となっているにもかかわらず、依然として環境基準を達成していないのが現状である。特に河北潟については、過去の当センターにおける調査により、水質汚濁の原因は春から秋にかけての植物プランクトンの大量発生による内部生産が大きな要因であることが判明している¹⁾。

このような植物プランクトンの大量発生による水質汚濁については、これまでも様々な水域で調査が行なわれ、大量発生の要因についても窒素、リン濃度等の栄養塩との相関性が高いことがよく知られている。

従って、閉鎖系水域の水質の浄化には、従来の下水道等生活排水処理施設の整備の推進もさることながら、植

物プランクトンの大量発生を抑制することにより内部生産を減少させる方法が有効な手段として考えられる。しかし、一口に植物プランクトンの抑制といっても、窒素、リン等の栄養塩の除去も含め、様々な方法が考えられ、また実際の閉鎖系水域への活用には、幾つかの問題点を解決しなければならない。

ここでは、典型的な閉鎖系水域である石川県の河北潟の水質浄化を見据え、まず、基本的な知見を得ることを目的とし、河北潟周辺に生育する在来種の浮葉植物であるヒシを用いて、浮葉植物による植物プランクトンの抑制効果について、模擬水路を使用し、浮葉植物の持つ遮光効果、栄養塩の吸収等による植物プランクトンの増殖抑制効果を検討するため、平成20年度から22年度までの実施計画で調査を行なうこととしている。今回は、20～21年度に得られた知見について報告する。

Studies on Purification of Lagoon Water by Floating-leaved Plant such as *Trapa japonica* and Its Planting and Utilization (Interim Report). by KAKIZAWA Ryuichi, KONISHI Hidenori, TAMAI Tohru, KAMEI Toshi and HONDA Kazuko (Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science)

Key words : L. Kahoku, lagoon, floating-leaved plant, *Trapa japonica*, water purification, creek model

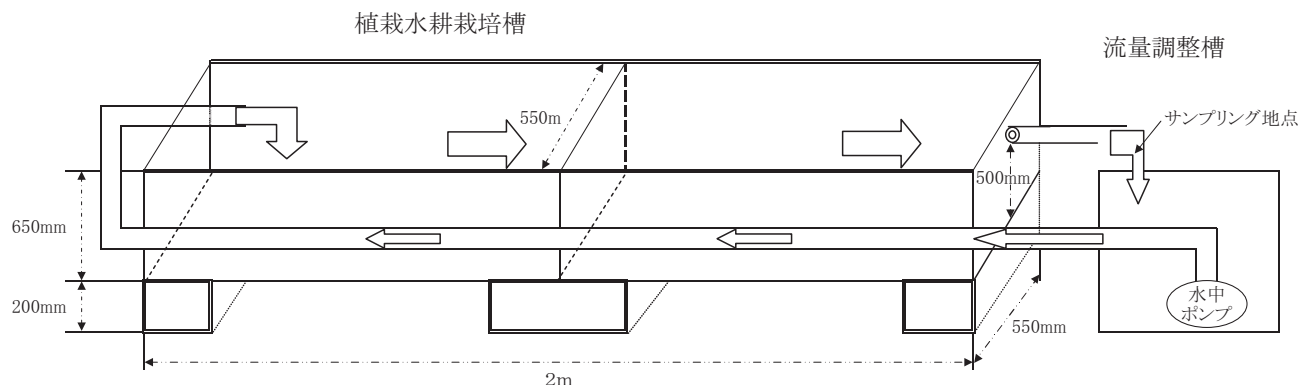


図1 実験用模擬水路概要

2 実験方法

2・1 実験施設

当センター敷地内に図1のような実験用模擬水路を設置した。また、模擬水路の側面と底面はアルミ箔で遮光した。

実験1年目である平成20年度は予備試験とし、植栽模擬水路と対照模擬水路の2台を設置し、ヒシの生育確認を行った。

2年目である平成21年度は本試験とし、予備試験では明確な差が表示されなかったため、ヒシの植栽数を倍とした植栽模擬試験と対照模擬試験に加えて、ヒシの植物的影響を受けない遮光模擬試験を追加した。

植栽模擬水路には、河北潟流入河川のひとつである大宮川で自生している浮葉植物を、充分水洗い後、葉の部分が水面部に浮遊するようにして植栽した。

遮光模擬水路は、ヒシの代わりに水面全体の約65%を発泡スチロールとアルミ箔で作った遮光体を浮かせることにより、遮光効果について実験した。

2・2 実験条件

各水路で使用する模擬湖沼水は、栄養塩として河北潟の濃度の1.5倍を想定して、水道水に硝酸性窒素（以下 $\text{NO}_3\text{-N}$ ）濃度が 1.5mg/L 、リン酸態リン（以下 $\text{PO}_4\text{-P}$ ）濃度が 0.15mg/L となるように硝酸ナトリウムとリン酸二カリウムを添加したものを用いた。

サンプリングは、模擬水路から流量調整槽へ流下している部分で行い、実験用試料とした。また、予備試験では、孔径 $1\mu\text{m}$ のろ紙によりろ過した試料を溶存試料として $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の測定を行った。さらに、本試験ではろ過前試料についても、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の測定を行った。

3 実験結果

3・1 予備試験結果

- (1) $\text{NO}_3\text{-N}$ は植栽模擬水路、対照模擬水路で実験開始日（0日目）から9日目までは両模擬水路にはほとんど差がなかったが12日目にそれぞれ 0.78mg/L 、 1.44mg/L となり植栽模擬水路の値が低くなった（図2）。
- (2) $\text{PO}_4\text{-P}$ は植栽模擬水路、対照模擬水路とも同等の挙動を示し、16日目には 0mg/L となった（図3）。

表1 実験方法

| 水路種別 | 実験目的 | 実験条件 | | 模擬水路仕様 | 実験水質 |
|--------|------------------------------------|-----------------|------------------------------|---|---|
| | | 予備試験 | 本試験 | | |
| 植栽模擬水路 | 浮葉植物による、栄養塩の吸収及び、浮葉植物の葉による遮光効果の確認。 | 浮葉植物 約30本を植栽 | 浮葉植物 約60本を植栽 | 模擬水路中の水量 長さ $2\text{m} \times$ 幅 $0.55\text{m} \times$ 深さ $0.5\text{m} = 0.55\text{m}^3$ （水量） 水路材質 アクリル製 側面及び底面は遮光状態とする。 模擬水路の水位は、 50cm で安定しており水量の増減は流量調整槽で吸収する。 流量調整槽中の水中ポンプ（約 3L/min ）で絶えず水を循環させている。 | 河北潟の栄養塩濃度の1.5倍を想定した。 水道水に $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が 1.5mg/L 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が 0.15mg/L となるように栄養塩を添加した。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、1年目はろ過した試料についてのみ測定していたが、2年目はろ過する前の試料についても測定した。 |
| 対照模擬水路 | 比較対照試験。 | 浮葉植物なし。 | 浮葉植物なし。 水面遮光なし。 | | |
| 遮光模擬水路 | 水面を無機物で覆い、遮光効果の及ぼす影響の確認。 | — | 2年目に増設。 水面の約65%をアルミ箔で覆った。 | | |

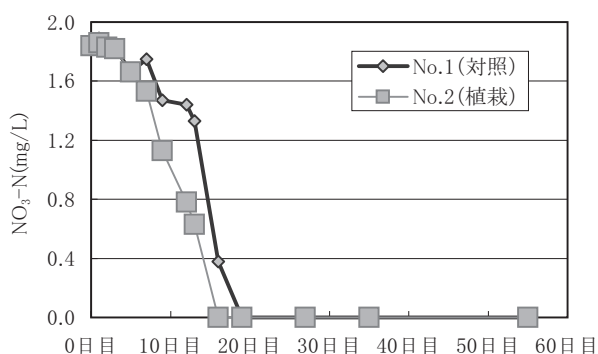
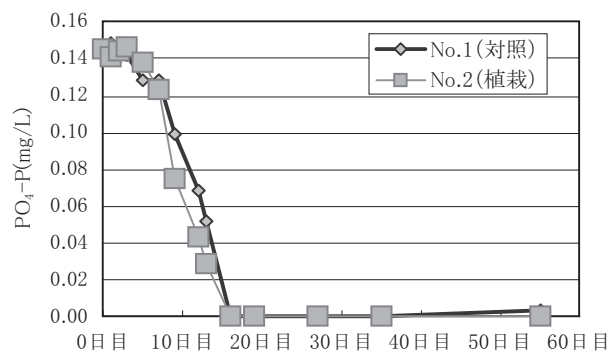
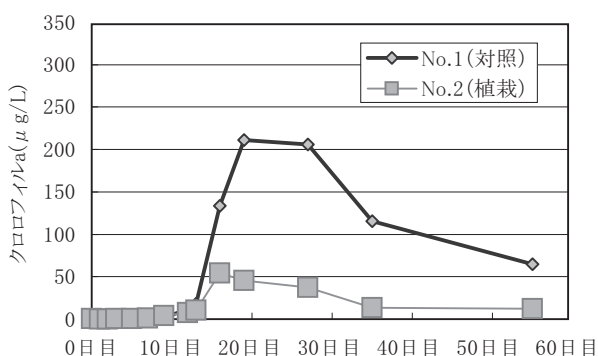
図2 NO₃-Nの経日変化 (予備試験)図3 PO₄-Pの経日変化 (予備試験)

図4 クロロフィルaの経日変化 (予備試験)

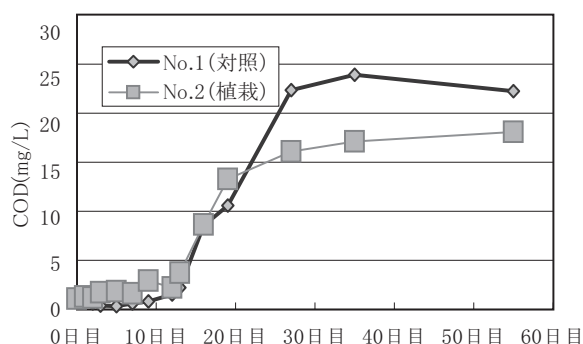


図5 CODの経日変化 (予備試験)

- (3) クロロフィル a が16日目に植栽模擬水路では0日目
の0.6 μg/Lから54.1 μg/Lに、対照模擬水路では0.1
μg/Lから133.8 μg/Lに増加した（水色は黄緑色に変
化）。クロロフィル a の値は、植栽模擬水路の方が低
かった（図4）。
- (4) 透視度は実験開始10日目まで30cm以上と良好で
あったが、19日目は植栽模擬水路：18.5cm、対照模擬
水路：9.0cmと低下した。なお、植栽模擬水路の透視
度は対照模擬水路より常に良好であった。
- (5) 全窒素（以下T-N）、全リン（以下T-P）及び浮遊
物質（以下SS）は植栽模擬水路の方がいずれも低
い結果であった。
- (6) pHは9日目以降、対照模擬水路のほうが高くなっ
た（19日目では対照模擬水路：10.7、植栽模擬水路：
9.8）。
- (7) 化学的酸素要求量（以下COD）は27日目に植栽模
擬水路で16.0mg/L（この時クロロフィル a は37.2 μ
g/L）対照模擬水路で22.2 mg/L（この時クロロフィ
ル a は205.7 μg/L）との差がみられたが、クロロフィ
ル a ほどの値の差は無かった（図5）。

3・2 本試験結果

- (1) NO₃-Nは、植栽模擬水路において10日目で0.17mg/
Lまで下がり16日目では0.1mg/L未満になった。対照

模擬水路は0日目から7日目まではゆるやかに下がり、
以降急激に減少し、17日目では0.1mg/L未満となった。
予備試験と違い明確な差が出た原因は、ヒシの植栽量
を多くしたためと思われる。65%遮光実験は植栽模擬
水路と比較してゆるやかな減少を描いていた（図6）。

- (2) PO₄-Pは、NO₃-Nと同様の減少傾向を示していた。
しかし、対照模擬水路のろ過前試料では12日目に最低
値の0.012mg/Lとなり、その後増加を開始し19日目に
0.059mg/Lとなった。以降ゆるやかに増加した（図7）。
- (3) クロロフィル a は、植栽模擬水路で最大8.1 μg/L
までしか上昇しなかったのに対し、対照模擬水路では
17日目に203.2 μg/Lに増加した。また遮光模擬水路で
は24日目までに88 μg/Lまで緩やかに上昇した。水色
は、対照模擬水路と遮光模擬水路は予備試験と同様に
黄緑色に変化した。植栽模擬水路は透明な赤茶色を
示した（図8）。
- (4) 透視度は予備試験と同様、実験開始12日目まで
30cm以上と良好であったが、14日目で対照模擬水路
は透視度10cm以下となり、遮光模擬水路は38日目で
20cmを示した。植栽模擬水路の透視度は実験期間を
通じて30cm以上であった（図9）。
- (5) CODは、植栽模擬水路では10日目まで増え続け以
降横ばい状態であり、対照模擬水路は14日目までは緩

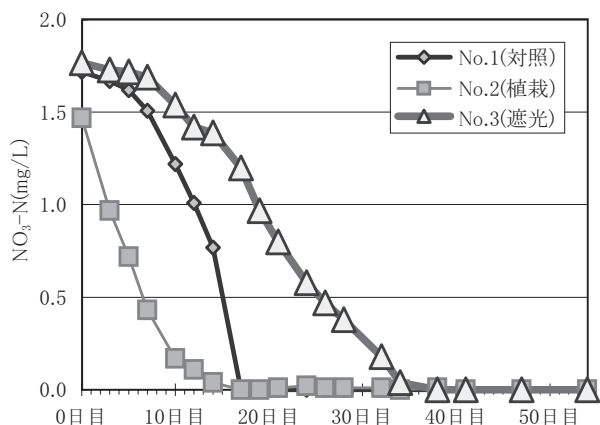
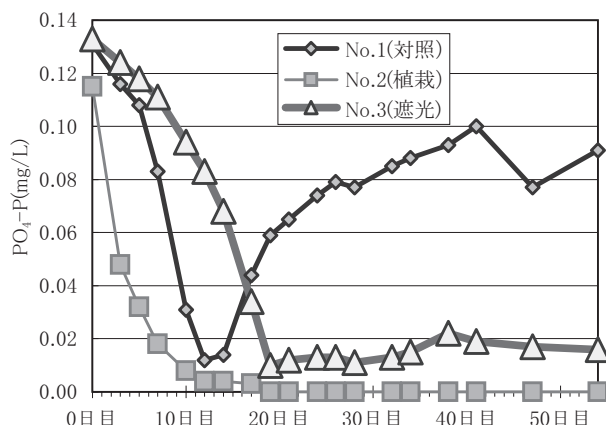
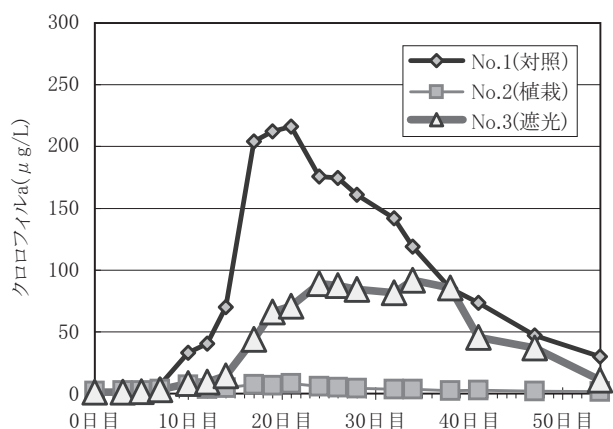
図6 NO₃-Nの経日変化（本試験）図7 PO₄-Pの経日変化（本試験）

図8 クロロフィルaの経日変化（本試験）

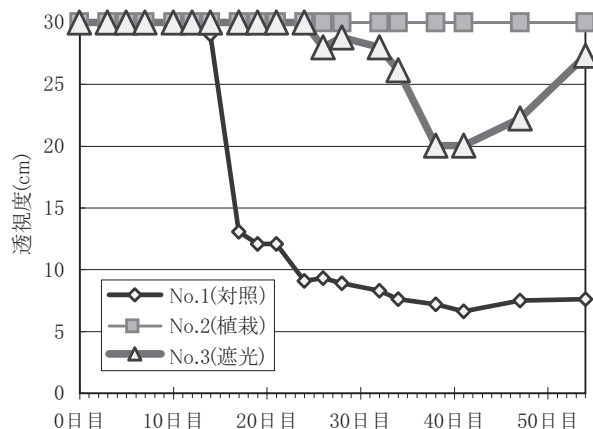


図9 透視度の経日変化（本試験）

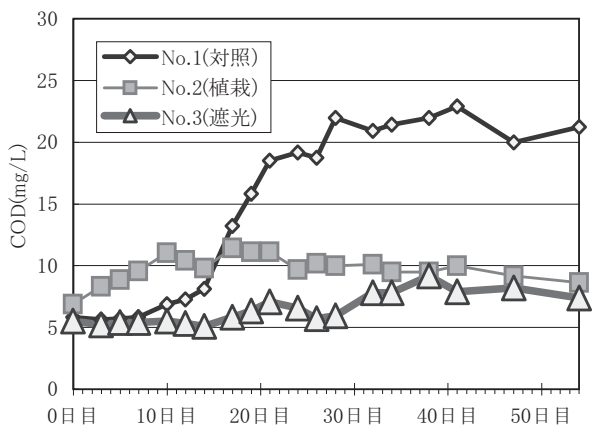


図10 CODの経日変化（本試験）

やかに増えていたが、14日から21日目まで急速に増えた。遮光模擬水路は、30日過ぎまで緩やかに増え、以降は横ばい状態となった（図10）。

(6) 対照模擬水路と遮光模擬水路を比較すると、クロロフィルaは、ピーク時で215.2 μ g/Lが91.4 μ g/Lに、透視度は6.5cmが20cmに、CODは22mg/Lが8.8mg/Lにと、すべて遮光植栽模擬水路の方が半分以下の値を示した。

4 考 察

クロロフィルaを植物プランクトンの増殖の指標²⁾として考察した（図11～16）。

(1) 植栽模擬水路と対照模擬水路の比較

ア 対照模擬水路は、クロロフィルaが増加するのは7日目以降であり予備試験は20日目で、本試験は17日目ではほぼピークに達している。この期間に溶存状態のNO₃-N、PO₄-P（以下D-NO₃-N、D-PO₄-P）が急激に減少している。すなわち、植物プランクトンの増殖には、D-NO₃-N、D-PO₄-Pが必要であることが推察される。

イ 本試験の植栽模擬水路では、対照模擬水路で植物プランクトンが大量増殖する直前である10日目の段階で、D-NO₃-N、D-PO₄-Pがそれぞれ0.17mg/Lと0.008mg/Lに減少している。これは、ヒシに先に吸収されたものと考えられる。このことが、植栽模擬水路が対照模擬水路に比べ植物プランクトンの増殖が抑えられた原因と考えられる。

ウ 植栽模擬水路は対照模擬水路に比べ透視度が良く、また、SSの値も低かった。これは、植物プランクト

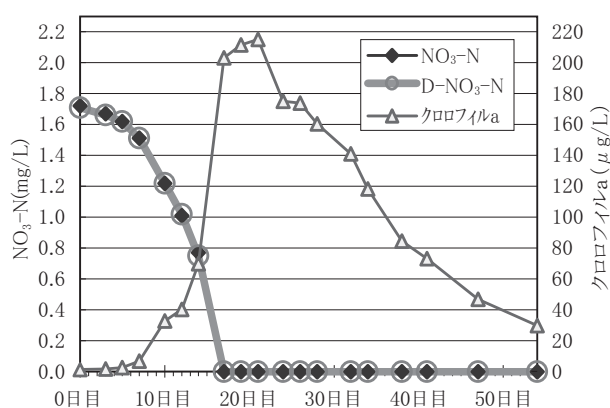


図11 対照模擬水路 (本試験)

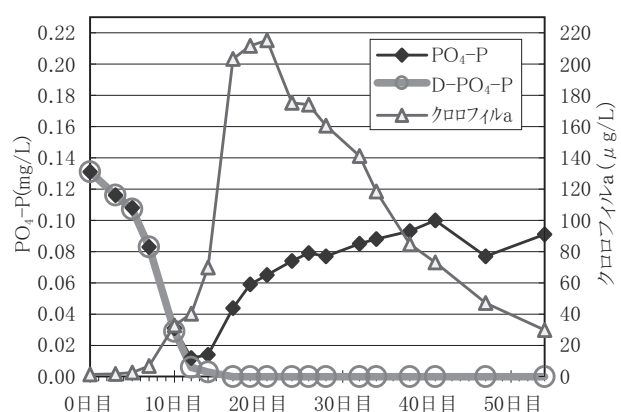


図12 対照模擬水路 (本試験)

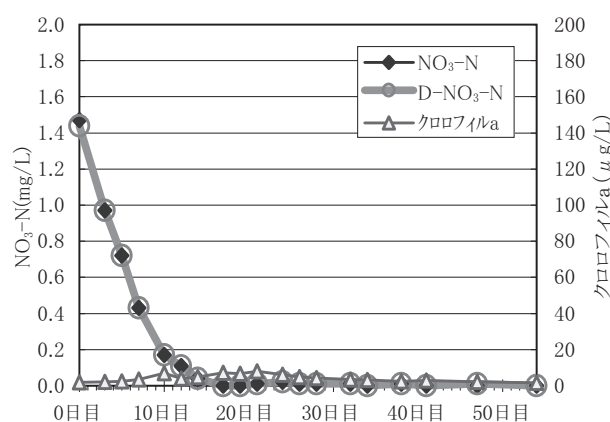


図13 植栽模擬水路 (本試験)

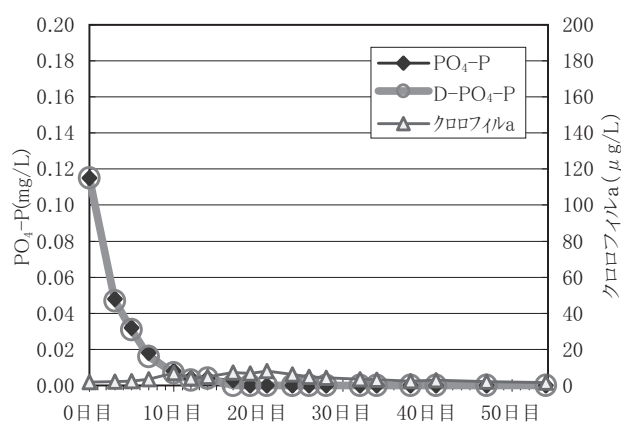


図14 植栽模擬水路 (本試験)

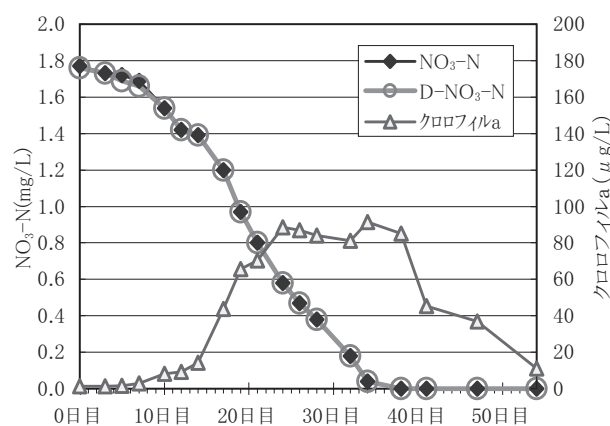


図15 遮光模擬水路 (本試験)

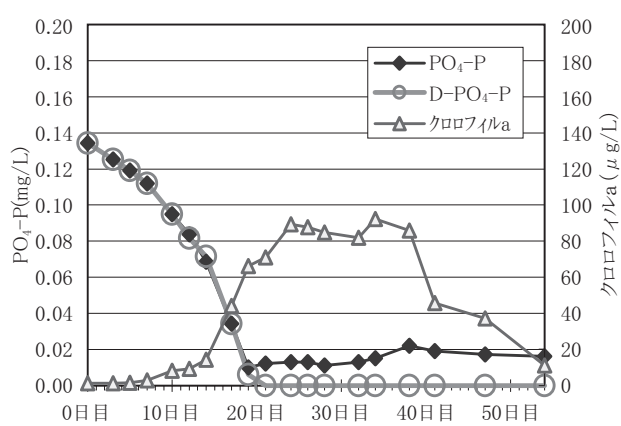


図16 遮光模擬水路 (本試験)

ンの増殖が抑えられたためと考えられる。

エ pHは通常7～8の範囲内にあるが、クロロフィルaが増加した対照模擬水路においては、最大9.89まで大きくなった。対照模擬水路では植物プランクトンが植栽模擬水路に比べ増加していることにより、植物プランクトンの炭酸同化作用が活発に行われ、pHが高くなったものと思われる。

オ 本試験の対照模擬水路の $\text{PO}_4\text{-P}$ は、最初は急激な減

少を示したが、クロロフィルaの増加にあわせて、12日目以降増加している。しかし、溶存状態の $\text{PO}_4\text{-P}$ は12日目以降も減少し、17日目以降は、ほとんど検出されていない。すなわち、12日目以降増加したものは懸濁状態の $\text{PO}_4\text{-P}$ であり、これは、クロロフィルaの増加に合わせて増加しているため、植物プランクトン中の $\text{PO}_4\text{-P}$ を検出したものと推察される。予備試験の $\text{PO}_4\text{-P}$ が下がったままなのは、溶存試料で測定したた

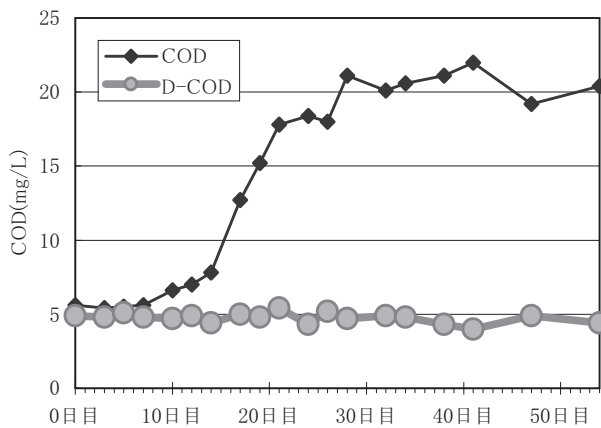


図17 対照模擬水路（本試験）

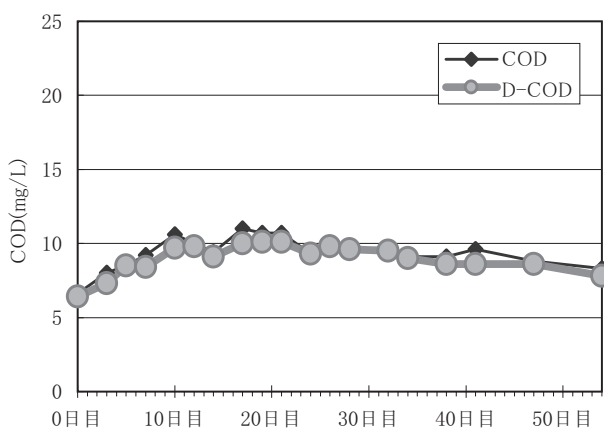


図18 植栽模擬水路（本試験）

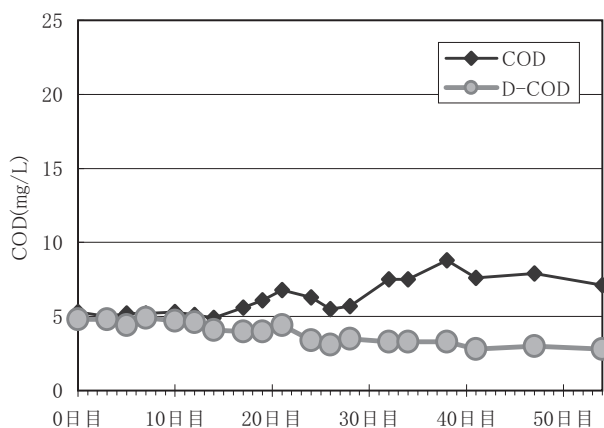


図19 遮光模擬水路（本試験）

めであり、本試験のD-PO₄-Pは、これと同様の傾向を示している。

カ 植栽模擬水路は、ヒシを投入したことにより、溶存態のCOD（以下D-COD）が対照模擬水路と比較して増大したと思われる。その差が顕著で分かりやすいため2年目の結果よりD-CODを比較する（図17、18）。

10日目の段階で対照模擬水路は4.7mg/L、植栽模擬水路は9.7mg/Lと倍近くの差がある。植栽模擬水路

の水は茶褐色の水色がついた透視度の高い性状を示しており、CODは殆どがこのD-CODである。また、D-CODが増加しているのは植栽模擬水路だけである。よって、これはヒシ自身から溶出した成分によるものが原因物質ではないかと思われる。図17より、対照模擬水路のCOD成分のうち、増加分は懸濁成分のCODであり、これは植物プランクトン自身が原因となっていると考えられる。そのため図10のように、14日目を境として対照模擬水路と植栽模擬水路のCOD値が逆転した。

（2）遮光模擬水路と対照模擬水路の比較

遮光模擬水路を対照模擬水路と比較すると、光のさしこむ水面を約65%遮光することにより、植物プランクトンの発生を半分以上抑制することができ（図8）、D-CODの発生量もピークで1/3程度に抑制できた（図17、図19）。

今回、遮光に用いたものは、発泡スチロールの枠組みにアルミ箔を何重にも巻いて作成したものであり、ほぼ100%の遮光効果が期待できる。しかし、実際のヒシの葉は多少の透過光性があると考えられることから、ヒシの葉による遮光効果については、今後更なる検討が必要と考えている。

5 まとめ

河北潟という閉鎖性水域の自然環境のなかでは、あまりに多くの変動係数があり、因果関係を解明するのは至難の業である。そこで、今回は限定された条件を比較することができる模擬水路内で実験を行った。

その結果、栄養塩である溶存態の窒素・リンが、ヒシにより吸収されることにより、植物プランクトンの発生が抑制され、他にも単純な遮光効果によって植物プランクトンの増殖を抑制することが検証できた。また、水質汚濁を表すCODについても植物プランクトンが由来となったものは懸濁態であり、今回ヒシが由来となったCODは溶存態の性状であった、といった様々な知見を得た。

調査研究3年目の平成22年度は、得られた結果を参考に、継続した栄養塩の添加、及びヒシを投入することによって生じるメリット、デメリットの検証実験を継続して行っていく。

文 献

- 1) 橋田哲郎, 澤田道和, 竹田正美, 安田和弘, 本田和子: 河北潟のプランクトンと水質について, 石川県保健環境センター研究報告書, **43**, 96-103 (2006)
- 2) 社団法人日本水質汚濁研究会編-公害対策技術同友会: 湖沼環境調査指針 (1982)