

調査研究

有用植物を用いた湖沼水質改善に関する研究 —三方湖周辺における流入汚濁負荷の低減— (第1報)

南部浩孝・下中邦俊

Research on Water Quality Improvement of Lakes Using Useful Plants
—Reduction of the inflow pollution in the circumference of the Mikata lake— (1)

Hiroataka NANBU, Kunitoshi SHIMONAKA

湖沼の富栄養化対策として、水耕栽培による有用植物の窒素・りん吸収量を検討した。文献調査^{1),2),3)}で絞り込んだ27種類から、窒素・りん吸収量の高い11種類の植物を選定し、必須元素の影響を評価した。その結果、三方湖周辺流入河川水6地点に存在する必須元素の濃度は植物の生育に十分な濃度であることを確認した。また、成長段階におけるりん吸収率を調べたところ、一部の植物では発芽直後と開花前後の吸収率が高いことがわかった。

1. はじめに

湖沼の水質改善にあたっては、流入汚濁負荷の低減対策が重要である。三方五湖流域ではこれまで、農地での施肥の適正化や下水道整備などが実施されてきたが、依然として化学的酸素要求量(COD)、全窒素(T-N)、全りん(T-P)が環境基準を達成できていない状況である。

このような中、近年、水生植物を用いた自然生態系にやさしい水質浄化手法が注目されており、三方湖においてもヨシ植栽等による水質浄化が試みられているが、刈り取りに多大の労力を要し、刈り取り後の利用価値も低く課題が多い。

そこで、食用または観賞用として有用な植物による水質浄化技術開発を目的として、三方湖流域における有用植物の生育・生産可能性、高汚濁負荷地点での水質浄化能力の確認および栽培条件等について検討を行った。また、三方湖に流入する河川水について水質調査を実施し、各種必須元素等から有用植物栽培可能性を検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 窒素・りん吸収量評価

2.1.1 実験装置

有用植物の窒素・りん吸収能を検討するため、当センター内に一定の条件下での水耕栽培が可能な室内設備を整えた(図1、図2)。

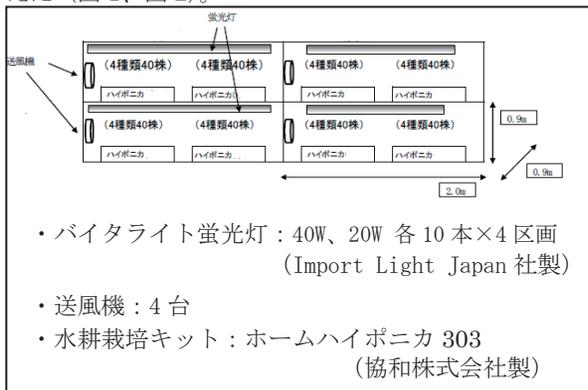


図1 水耕栽培用室内実験装置概要

本設備において、以下の条件で水耕栽培試験を行った。

2.1.2 栽培植物と栽培条件

表1の条件で水耕栽培を行った。

検討に用いた有用植物は、文献調査^{1),2),3)}で絞り込んだ27種類とし、1月間経過後における植物体中の窒素・りん量から吸収量の多い有用植物を11種類選定した。

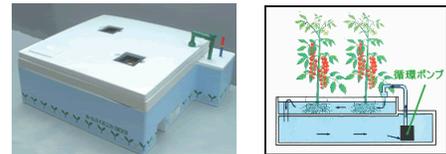


図2 水耕栽培用室内実験装置

表1 窒素・りん吸収量評価における栽培条件

栽培植物	葉菜類	セリ、クレソン、エンサイ、モロヘイヤ、ハウレンソウ、サラダ菜、サニーレタス、リーフレタス(赤、黄)、水菜、わさび菜、ソバ
	ハーブ類	レモンバーム、ラベンダー、ローズマリー、ミント、セージ
	花卉類	忘れな草、ピオラ、インパチェンス、ミソハギ、美女なでしこ、コスモス、サルビア、ひまわり、スイセン、菊
室温	20℃	
湿度	75~80%	
照明	12時間照射、12時間消灯(交互)	
	500~700lx(ハイポニカ上面)	
循環液	NO ₃ -N 2.0 mg/L、PO ₄ -P 0.2 mg/L	
	K、Mg、Ca 各1.0 mg/L Fe、Mn、B 各0.1 mg/L	
栽培期間	1月間	
栽培株数	各5株	

2. 1. 3 植物体中の窒素・りん分析法

栽培した植物を 180℃で約 4 時間乾燥させ、Wonder Blender (大阪ケミカル社製) で粉碎・均一化し、乾燥重量を計測した。その 0.1g を分解瓶にとり、下記分解液 50mL を加え、オートクレイブ (BS-325、トミー精工製) で 121℃、30 分間加熱分解し、連続流れ分析装置 (SwAA(AACS V)、BLTEC 社製) で窒素・りんを分析した。

窒素測定時の分解液：3wt%ペルオキシ二硫酸カリウム
+4wt%水酸化ナトリウム

りん測定時の分解液：3wt%ペルオキシ二硫酸カリウム

2. 2 必須元素の欠乏障害と過剰障害の影響評価

植物は、各種元素を一定量摂取しないと欠乏障害や過剰障害を引き起こすことが知られている(図 3)^{4,5)}。

2.1 の試験により、窒素・りん吸収量の高い有用植物を 11 種類選定し、各種必須元素の適正な濃度範囲を調べた。

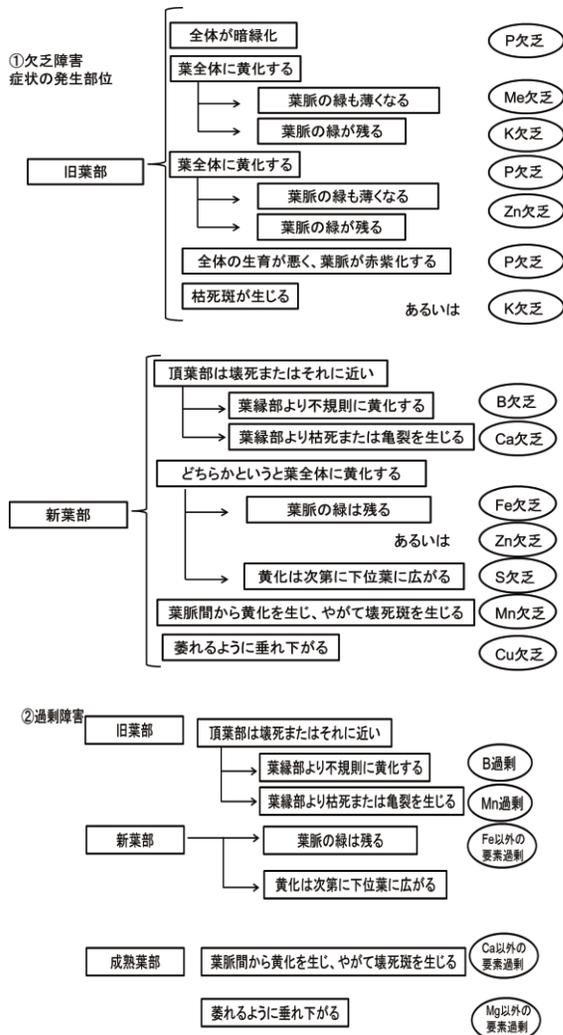


図 3 植物の欠乏障害と過剰障害

2. 2. 1 栽培植物と栽培条件

表 2 の条件で水耕栽培を行った。同表の循環液を基本組成として、各種必須元素濃度を変化させ、影響を調べた。

表 2 必須元素の影響評価における栽培条件

栽培植物	葉菜類	クレソン、モロヘイヤ、サニーレタス、わさび菜
	ハーブ類	ラベンダー、ローズマリー、ミント
	花卉類	忘れな草、インパチェンス、サルビア、菊
室温	20℃	
湿度	75~80%	
照明	12 時間照射、12 時間消灯 (交互) 500~700lx (ハイポニカ上面)	
循環液	NO ₃ -N 2.0 mg/L、PO ₄ -P 0.2 mg/L	
	K、Mg、Ca 各 10 ⁻³ ~10 mg/L Fe、Mn、B 各 10 ⁻⁴ ~1 mg/L	
栽培期間	1 月間	
栽培株数	各 5 株	

2. 2. 3 各種イオンの定量方法

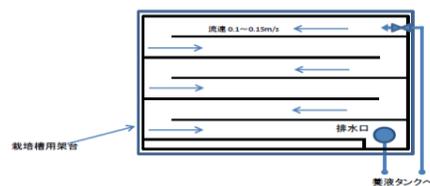
K、Mg、Ca イオンは、イオン分析計 IC-2001(東ソー製) を用いて行った。Fe は 1,10- フェナントロリン吸光光度法、Mn は過よう素酸銀カリウム吸光光度法、B はクルクミン吸光光度法により吸光光度計 V-660(日本分光製) を用いて行った。各測定は上水試験法に基づいて行った⁶⁾。

2. 3 植物の成長段階におけるりん吸収量評価

2. 3. 1 実験設備

植物の生育段階における吸収率を把握するために、図 1 に示した 4 区画の棚の 1 つに小規模栽培プラントを設置し、検討を行った (図 4、図 5)。

水耕栽培プラント設置場所を上から見た図



水耕栽培プラント設置場所を正面から見た図

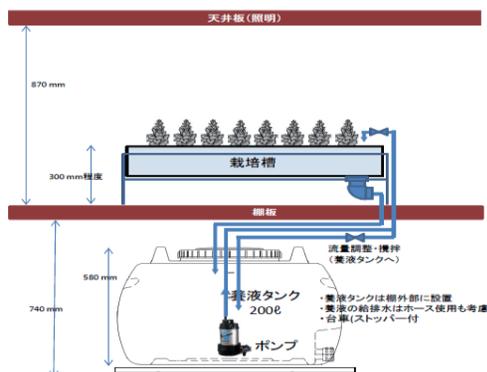


図 4 小規模栽培プラント模式図



図5 小規模栽培プラント写真

2. 3. 2 栽培植物、栽培条件

表3の条件で水耕栽培を行った。

3回/週の頻度で、循環液のりん量を分析し、りん吸収率を調べた。

表3 成長段階ごとのりん吸収量評価における栽培条件

栽培植物	わさび菜、忘れな草
室温	20℃
湿度	75~80%
照明	12時間照射、12時間消灯(交互) 600~700lx(小規模栽培プラント上面)
循環液	NO3-N 2.0 mg/L、PO4-P 0.2 mg/L K、Mg、Ca 各 1.0 mg/L Fe、Mn、B 各 0.1 mg/L
栽培期間	1月間
栽培株数	各 50株

2. 4 三方湖周辺における負荷量調査

平成23年度は三方湖に流入する河川の窒素・りん負荷量を把握するため、図6に示す9地点で調査を実施した。

平成24年度は三方湖に流入する河川からの各種必須元素濃度を把握するため、6地点(窒素・りん負荷量が少なかった①中山川、②観音川、③山古川の3地点を除く)で調査を実施した。

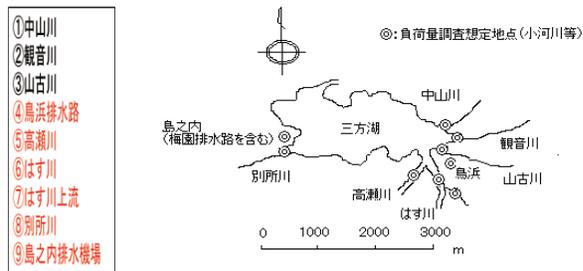


図6 三方湖流入河川負荷量調査地点

H23 調査月：4、5、6、7、8、9、10、11、1月(9回)
調査項目：流量、溶存態COD(D-COD)、
溶存態窒素(D-N)、溶存態りん(D-P)

H24 調査月：4、6、8、11、1、3月(6回)
調査項目：K、Mg、Ca、Fe、Mn、B

3. 結果と考察

3. 1 窒素・りん吸収量が多い有用植物の選定

有用植物の窒素・りん吸収量の結果を示す(図7~図12)。葉菜類ではわさび菜、クレソン、モロヘイヤ、サニーレタスが、ハーブ類ではミント、ローズマリー、ラベンダーが、花卉類ではインパチェンス、忘れな草、サルビア、菊の吸収量が多かった。

一株一月あたりの窒素・りんの吸収量でみると植物の乾燥重量が重いほど窒素・りん吸収量が多くなる傾向を示しており、乾燥重量が重い葉菜類>ハーブ類>花卉類の順で吸収量が多かった。今回は考察していないが、吸収効率(単位乾燥重量あたりの窒素・りん吸収量)等でも評価していく必要がある。

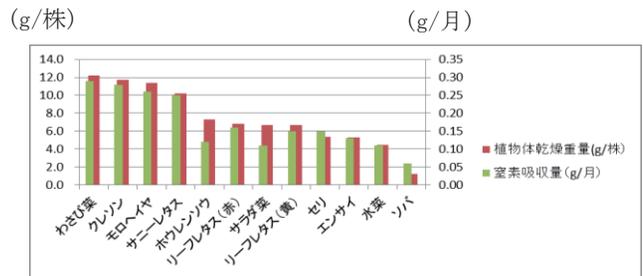


図7 葉菜類の窒素吸収量と乾燥重量

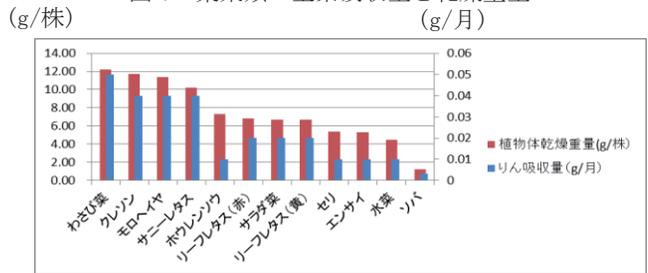


図8 葉菜類のりん吸収量と乾燥重量

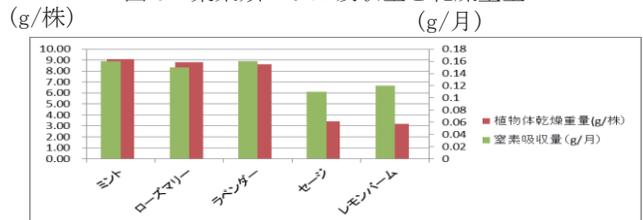


図9 ハーブ類の窒素吸収量と乾燥重量

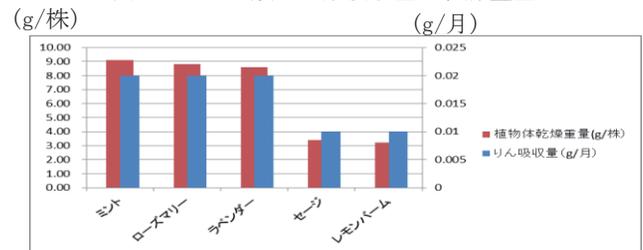


図10 ハーブ類のりん吸収量と乾燥重量

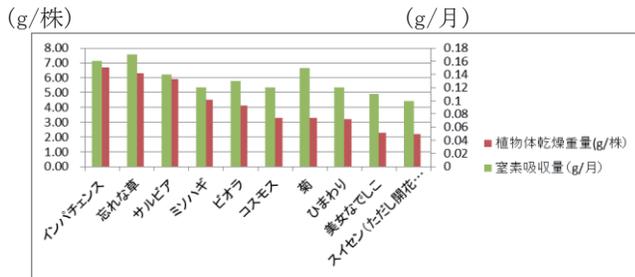


図 11 花卉類の窒素吸収量と乾燥重量

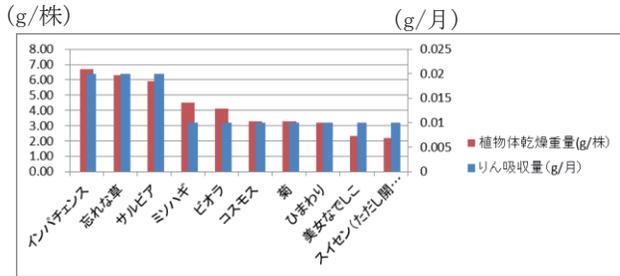


図 12 花卉類のりん吸収量と乾燥重量

3.2 各種必須元素の欠乏障害と過剰障害の影響

有用植物における各種必須元素の影響を表 4～表 14 に示す。5 株中 0～1 株が生育障害を受けた場合○、2～3 株が生育障害を受けた場合△、4～5 株が生育障害を受けた場合×を記した。

葉菜類、ハーブ類、花卉類ともに K の欠乏障害と B の過剰障害の影響が大きかった。どちらの障害も、発芽が遅くなり、徐々に黄化が進んだことから図 3 の症状に合致していると考えられる。また個体差により影響の度合いが大きく異なったため、K が 0.1mg/L 以上、B が 0.1mg/L 以下を維持する必要がある。

3.3 植物の成長段階における窒素・りん吸収量の推移

わさび菜と忘れな草のりん吸収率の結果を図 13、図 14 に示す。どちらも発芽以前はほぼ吸収がなく、発芽以降に吸収が増える傾向があった。また忘れな草は開花後もりん吸収量が増えた。

発芽直後と開花直後は時間あたりのりん吸収率が高かったため、開花しない葉菜類、ハーブ類は種からの水耕栽培、花卉類については開花直前の苗か種からの水耕栽培が高効率でりんを吸収できると考えられる。

表 4 クレソンの必須元素

	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L	10 mg/L
K	×	△	○	○	○
Mg	○	○	○	○	○
Ca	○	○	○	○	○
	10 ⁻⁴ mg/L	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L
Fe	○	○	○	○	○
Mn	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	×

表 5 わさび菜の必須元素

	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L	10 mg/L
K	×	△	○	○	○
Mg	△	△	○	○	○
Ca	△	○	○	○	○
	10 ⁻⁴ mg/L	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L
Fe	○	○	○	○	○
Mn	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	×

表 6 モロヘイヤの必須元素

	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L	10 mg/L
K	×	○	○	○	○
Mg	○	○	○	○	○
Ca	△	○	○	○	○
	10 ⁻⁴ mg/L	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L
Fe	○	○	○	○	○
Mn	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	×

表 7 サニーレタスの必須元素

	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L	10 mg/L
K	×	△	○	○	○
Mg	△	△	○	○	○
Ca	○	○	○	○	○
	10 ⁻⁴ mg/L	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L
Fe	○	○	○	○	○
Mn	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	×

表 8 忘れな草の必須元素

	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L	10 mg/L
K	×	×	○	○	○
Mg	△	○	○	○	○
Ca	△	○	○	○	○
	10 ⁻⁴ mg/L	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L
Fe	○	○	○	○	△
Mn	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	×

表9 インパチェンスの必須元素

	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L	10 mg/L
K	×	△	○	○	○
Mg	○	○	○	○	○
Ca	△	○	○	○	○
	10 ⁻⁴ mg/L	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L
Fe	○	○	○	○	△
Mn	○	○	○	○	△
B	○	○	○	○	×

表12 ラベンダーの必須元素

	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L	10 mg/L
K	×	△	○	○	○
Mg	△	○	○	○	○
Ca	△	○	○	○	○
	10 ⁻⁴ mg/L	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L
Fe	○	○	○	○	○
Mn	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	×

表10 サルビアの必須元素

	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L	10 mg/L
K	×	×	○	○	○
Mg	△	○	○	○	○
Ca	△	○	○	○	○
	10 ⁻⁴ mg/L	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L
Fe	○	○	○	○	△
Mn	○	○	○	○	○
B	○	○	○	△	×

表13 ミントの必須元素

	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L	10 mg/L
K	×	△	○	○	○
Mg	○	○	○	○	○
Ca	○	○	○	○	○
	10 ⁻⁴ mg/L	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L
Fe	○	○	○	○	○
Mn	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	×

表11 菊の必須元素

	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L	10 mg/L
K	×	△	○	○	○
Mg	△	○	○	○	○
Ca	○	○	○	○	○
	10 ⁻⁴ mg/L	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L
Fe	○	○	○	○	○
Mn	○	○	○	○	○
B	○	○	○	△	×

表14 ローズマリーの必須元素

	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L	10 mg/L
K	×	○	○	○	○
Mg	○	○	○	○	○
Ca	△	○	○	○	○
	10 ⁻⁴ mg/L	10 ⁻³ mg/L	10 ⁻² mg/L	0.1 mg/L	1.0 mg/L
Fe	○	○	○	○	○
Mn	○	○	○	○	○
B	○	○	○	○	×

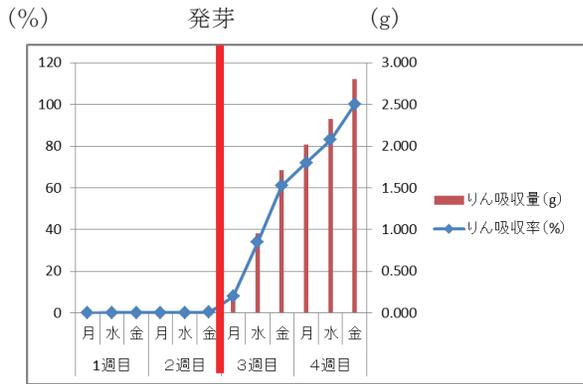


図 13 わさび菜のりん吸収率の推移

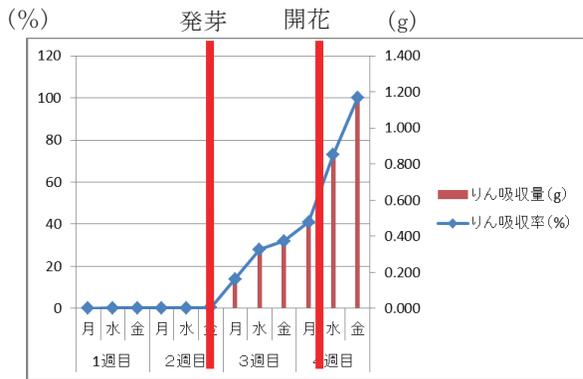


図 14 忘れな草のりん吸収率の推移

3. 4 三方湖周辺における負荷量調査

平成 23 年度三方湖周辺調査の結果を図 15～図 18 に示す。はす川の流量が多いため、はす川の負荷量が大い結果となった。濃度に関しては、窒素は高瀬川で、りんは鳥浜排水路で高い値を示した。

平成 24 年度三方湖周辺調査の結果を図 19～図 24 に示す。K は 1～4mg/L、Mg は 1～3mg/L、Ca は 8～14mg/L、Fe は 0.07～0.23mg/L、Mn は 0.05～0.22mg/L、B は 0.005～0.030mg/L の範囲内で推移していた。3.2 の試験結果から、三方湖周辺の流入河川 6 地点では生育阻害を受けずに生育が可能であると考えられる。

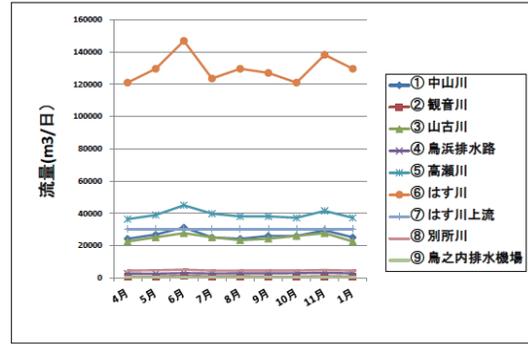


図 15 三方湖流入河川流量結果

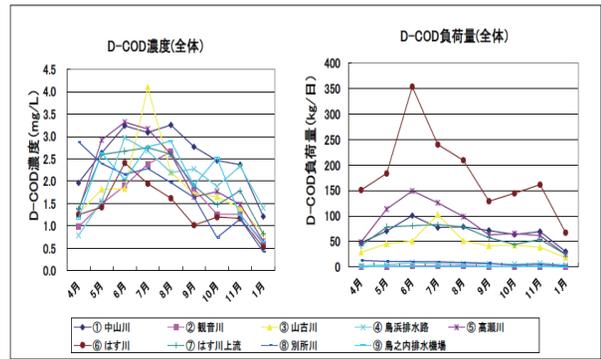


図 16 D-COD 濃度と負荷量

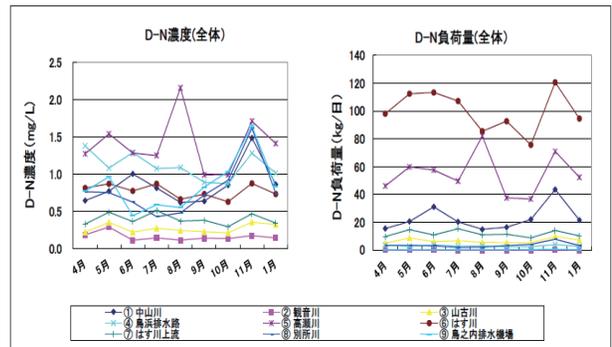


図 17 D-N 濃度と負荷量

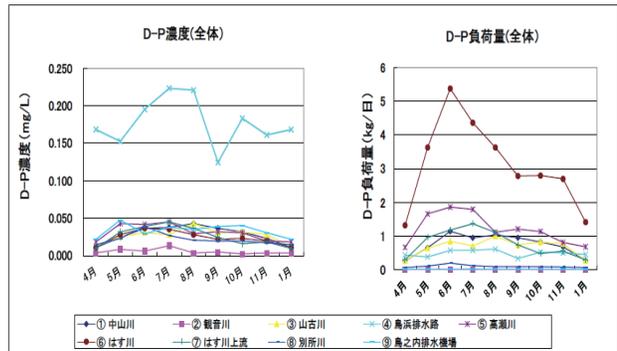


図 18 D-P 濃度と負荷量

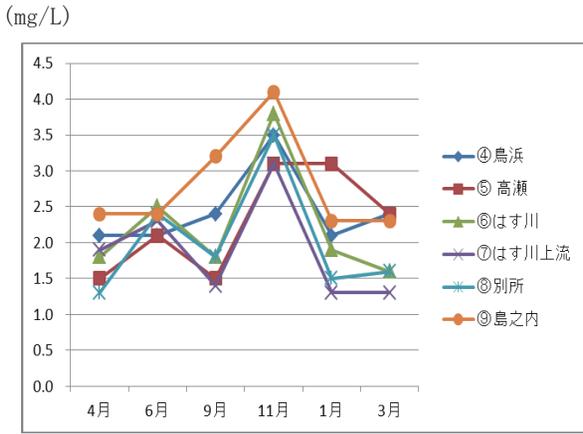


図19 K濃度の推移

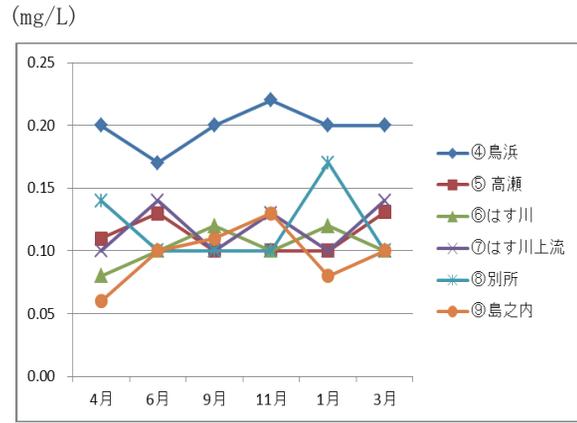


図23 Mn濃度の推移

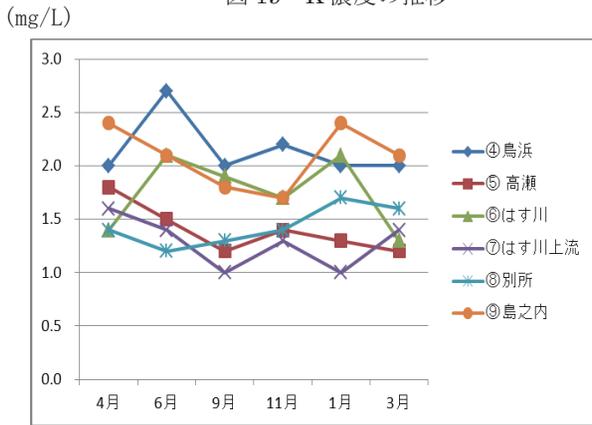


図20 Mg濃度の推移

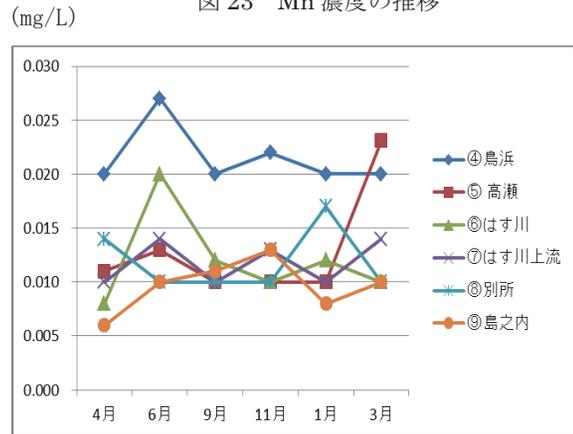


図24 B濃度の推移

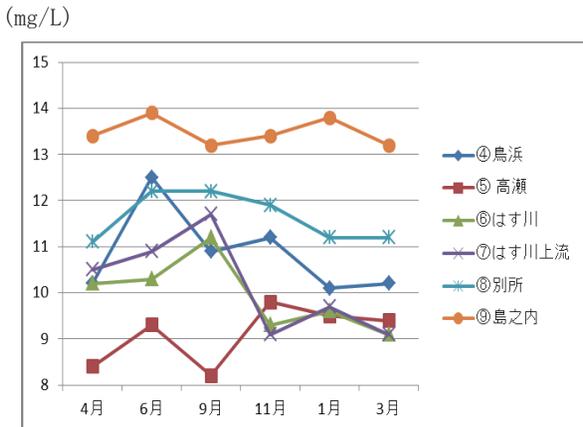


図21 Ca濃度の推移

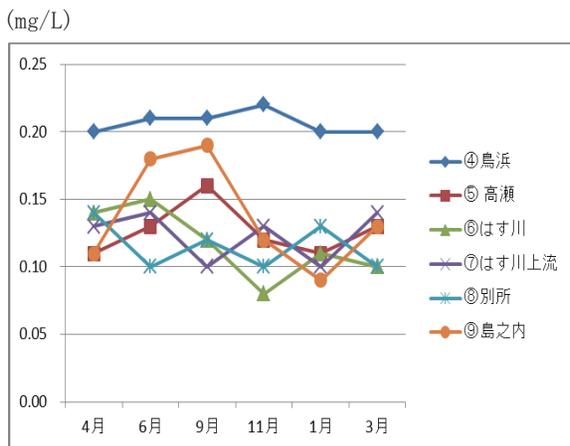


図22 Fe濃度の推移

4. まとめ

有用植物27種類の中から1ヶ月間の窒素・りん吸収量が高い11種類を選定した。また、各種必須元素の影響を検討したところ、特にKの欠乏障害とBの過剰障害の影響が大きく、Kが0.1mg/L以上、Bが0.1mg/L以下であれば生育阻害を受けずに生育が可能であり、三方湖周辺の流入河川6地点では、Kは1~4mg/L、Bは0.005~0.030mg/Lであり、植物の生育に適正な濃度範囲を保っていることが確認できた。

謝辞

本研究は、特別電源所在県科学技術振興事業「湖沼水質浄化事業」の一環として実施したものであり、ご協力を賜りました関係者の方々に深謝いたします。

参考文献

- 1) 田村良三他：植物を利用した水質浄化システム（第3報），新潟県保険環境科学研究所年報,16, 76~83(2001)
- 2) 田村良三他：植物を利用した水質浄化システム（第4報），新潟県保険環境科学研究所年報,17, 89~93(2002)
- 3) 田村良三他：水生植物を利用した水質浄化実験（第1報），香川県環境保険研究センター年報,2, 47~56(2003)
- 4) 渡辺和彦：生理障害の診断法（1998）
- 5) 加藤徹：野菜の生育障害（1986）
- 6) 日本水道協会：上水試験方法 - 1993年度版 -