

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2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— (2)

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りん吸収量を検討した。第1報では、文献調査で絞り込んだ27種類から、模擬河川水の水耕栽培でりん吸収量の高い11種類の植物を選定した¹⁻⁴⁾。りん吸収量は葉菜類が一番多く、ついでハーブ類、花卉類の順であった。本報告では、4地点の三方湖流入河川水を用いた水耕栽培を行ったところ、ハーブ類の生育が良好ではなかったため、りん吸収量は葉菜類が一番多く、ついで花卉類、ハーブ類の順という傾向を示し、最大で1株当たり0.03g/月のりん吸収量を示した。この結果をもとに、単位面積当たりのりん吸収量の概算値を算定し、三方湖流入河川水のりん負荷量削減可能性について考察した。

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問題がある⁵⁻⁷⁾。

そこで、食用または観賞用として有用な植物栽培を利用した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を行い、いくつかの知見を得たため報告する。

第1報では、植物体のりん吸収量だけでなく窒素吸収量についても検討したが、三方五湖・はす川は藻類生産潜在能力(AGP)試験の結果から藻類増殖制限因子はりんであり、りん濃度を下げることによって藻類発生を抑制できることを報告した⁸⁾。藻類増殖は他の水質項目を悪化させるため、りん濃度の低減が重要である⁹⁾。そのため、植物体の吸収量評価はりん含有量のみで行うが、全窒素が環境基準超過している現状を踏まえ、循環水中の窒素濃度変化に関しても評価を行った。

2. 実験方法

2. 1 りん吸収量評価と循環水の窒素濃度変化

2. 1. 1 実験装置

平成23年度、24年度は循環水に模擬排水を用いた水耕栽培試験を実施したが、平成25年度は実際の三方湖流入河川水を用いて試験した。実際の河川水では浮遊物質(SS)の影響による循環水量の低下が懸念されたため、一定の流速を維持するために、循環用ポンプをWUZ3-325-0.15S(揚水量0.09m³/min.)からWUZ3-326-0.15S(揚水量0.11m³/min.)に変更した。

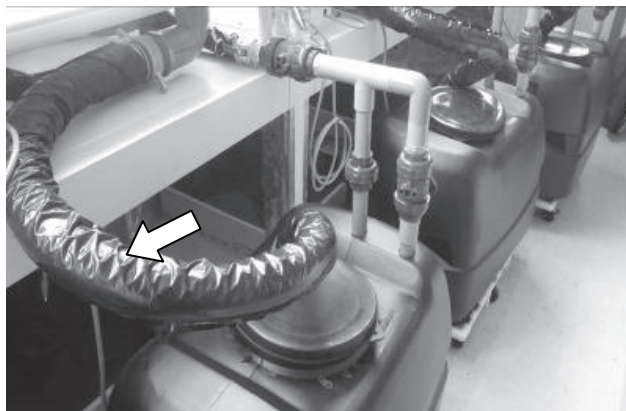


図1 ホース部分の遮光（遮光ビニール被覆）

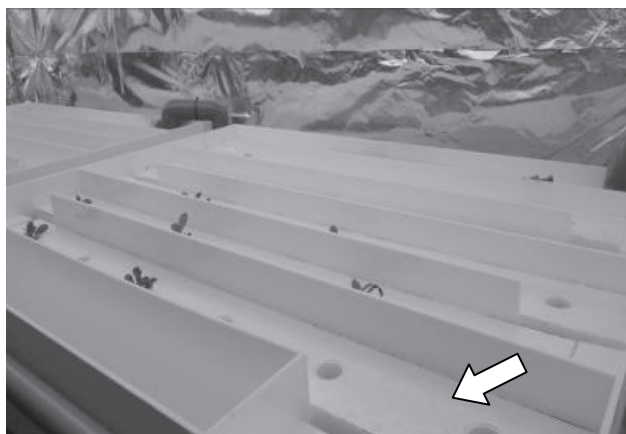


図2 栽培槽の遮光（発泡スチロール）

また、平成24年度は遮光が不十分であり、水耕栽培試験中に大量の藻が発生する問題があったため、平成25年度は栽培槽から河川水タンクへの配管を黒いビニールで被覆して遮光し、栽培槽の上面は、隙間なく発泡スチロールを浮かべることで藻の発生を抑えた。ホース部の遮光ビニールと栽培槽の発泡スチロールを図1と図2に示し、水耕栽培プラントの模式図を図3に示す。

2. 1. 2 三方湖流入河川水の採取

三方湖流入河川水を鳥浜排水路、高瀬川、はす川、島之内排水機場の4地点で採水した。採水地点を図4～8に示す。

水耕栽培プラント上面俯瞰図

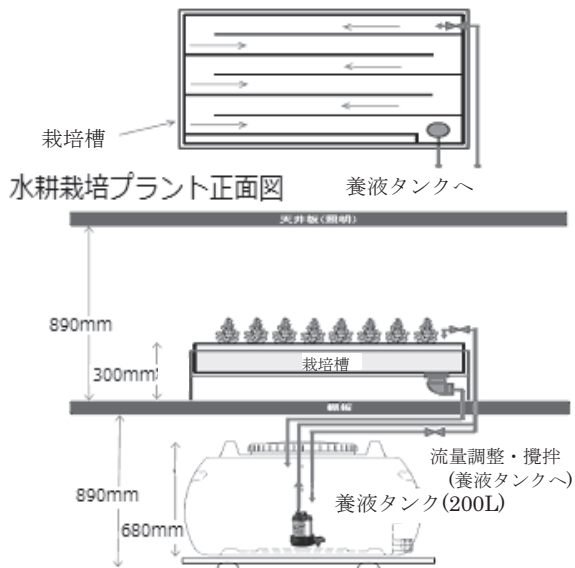


図3 水耕栽培プラント模式図

2. 1. 3 栽培植物と栽培条件

平成25年度の水耕栽培試験では、平成23年度に選定した11種類の栽培植物をそれぞれ3株ずつ1か月間生育した。栽培植物(11種類)と栽培条件を表1に示す。

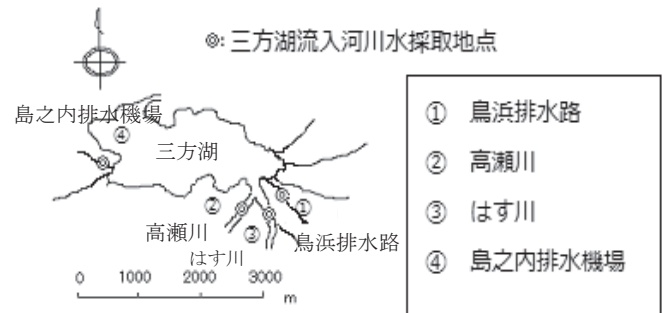


図4 三方湖流入河川負荷量調査地点



図5 鳥浜排水路



図6 高瀬川



図7 はす川



図8 島之内排水機場

2. 1. 4 循環水の水質分析

水耕栽培試験の前後における循環水の水質の変化を調べた。水質分析項目と分析法を表 2 に示す。

2. 1. 5 植物体中のりん分析法

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、3wt%ペルオキソ二硫酸カリウム 50mL を加え、オートクレイブ (BS-325、トミー精工製) で 121℃、30 分間加熱分解した。この検液のりん酸態りん濃度を連続流れ分析装置 (SwAAt (AACS V)、BLTEC 社製) で測定し、植物体中のりん含有量を求めた。

表 1 栽培植物 (11 種類) と栽培条件

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 (栽培プラント上面)
栽培期間		1 か月間
栽培株数		各 3 株

表 2 循環水の水質分析項目と分析法

項目	分析法
pH	pH 電極法 JIS Z 8802
COD	過マンガン酸カリウム滴定法 JIS K 0102 17
SS	ろ過重量法 JIS Z 8814
T-N	銅・カドミウムカラム還元法 JIS K 0102 45.4
T-P	ペルオキソ二硫酸カリウム分解法 JIS K 0102 46.3.1
NO ₃ -N	銅・カドミウムカラム還元・ナフチルエチレンジアミン吸光光度法 JIS K 0102 43.2.3
NO ₂ -N	ナフチルエチレンジアミン吸光光度法 JIS K 0102 43.1.1
NH ₄ -N	インドフェノール青吸光光度法 JIS K 0102 44.2
PO ₄ -P	モリブデン青吸光光度法 JIS K 0102 46.1.1
K	イオンクロマトグラフ法 JIS K 0102 49～51
Mg	
Ca	
Fe	1,10- フェナントロリン吸光光度法 上水試験方法
Mn	過よう素酸銀カリウム吸光光度法 上水試験方法
B	クルクミン吸光光度法 上水試験方法

3. 結果と考察

3. 1 りん吸収量評価と循環水の窒素濃度変化

3. 1. 1 循環水の水質変化

図 4 に示す 4 地点で採取した三方湖流入河川水の水質を表 3 に示す。

平成 23 年度、24 年度に実施した三方湖負荷量調査の水質データとほぼ同程度の数値を示した¹⁾。またカリウム (K) 濃度は 0.1mg/L 以上、ホウ素 (B) 濃度は 0.1mg/L 以下であり、植物が生育する上で必須元素の過剰障害、欠乏障害による生育阻害を受けない濃度範囲であった¹⁾。

表 1 に示す栽培条件で、生育後の三方湖流入河川水 (循環水) の水質を表 4 に示す。生育後の三方湖流入河川水 (循環水) からは硝酸態窒素 (NO₃-N)、アンモニア態窒素 (NH₄-N)、りん酸態りん (PO₄-P) は検出されず、植物の生育に消費されたと考えられる。

また、T-N 濃度と T-P 濃度について生育前後の低下率 (栽培後の濃度低下量/栽培前の濃度) 表 5 に示す。4 地点とも T-N 濃度、T-P 濃度ともに 90% 以上の低下が確認された。

3. 1. 2 植物体中のりん吸収量

2.1.5 に示す方法で求めた、栽培植物のりん吸収量を表 6 に示す。全体的にハーブ類の生育が悪く、りん吸収量も少ない結果となった。平成 23 年度に行った模擬排水を用いた水耕栽培試験では、葉菜類が一番多く、ついでハーブ類、花卉類の傾向が見られたが、平成 25 年度に行った三方湖流入河川水を用いた水耕栽培試験では葉菜類が一番多く、ついで花卉類、ハーブ類の順であった¹⁾。平成 25 年度ハーブ類のりん吸収量が少ない結果は、生育不良が原因と考えられるが、その原因は不明である。

3. 2 栽培面積あたりのりん吸収量の概算について

1m² 当たりには生育できる植物を 100 株 (10 株×10 株) と仮定して、また栽培期間 1 か月でのりん吸収量を 0.03g/株としたときのりん吸収量を概算すると、1m² 当たり 3g/月となる。

一方、三方湖流入河川水のりん負荷量の大部分は、はす川からのりん負荷量であり、負荷量調査の結果からおおよそ 3kg/日 (≒90kg/月) とわかっている^{1)~10)}。

従って、30,000 m² の土地を利用して植物の水耕栽培を行えば、理論的には三方湖に流入するりん負荷量の全てを吸収することができることとなる。

表3 生育前の三方湖流入河川水(循環水)の水質調査結果

項目	地点名			
	鳥浜排水路	高瀬川	はす川	島之内排水機場
pH	7.8	7.3	7.5	7.3
COD (mg/L)	2.6	0.81	1.3	0.97
SS (mg/L)	3	<1	1	2
T-N (mg/L)	1.3	1.5	1.2	1.0
T-P (mg/L)	0.23	0.13	0.15	0.10
NO ₃ -N (mg/L)	1.1	1.3	1.1	1.0
NO ₂ -N (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NH ₄ -N (mg/L)	0.02	0.01	0.02	0.05
PO ₄ -P (mg/L)	0.23	0.12	0.13	0.10
K (mg/L)	2.7	2.4	2.5	3.2
Mg (mg/L)	2.2	2.1	2.0	1.8
Ca (mg/L)	10	10	10	10
Fe (mg/L)	0.15	0.10	0.12	0.14
Mn (mg/L)	0.11	0.12	0.11	0.12
B (mg/L)	0.020	0.017	0.013	0.015

表4 生育後の三方湖流入河川水(循環水)の水質調査結果

項目	地点名			
	鳥浜排水路	高瀬川	はす川	島之内排水機場
pH	8.2	7.5	7.6	7.5
COD (mg/L)	2.4	1.1	0.92	0.88
SS (mg/L)	<1	<1	<1	<1
T-N (mg/L)	0.10	0.10	0.10	0.10
T-P (mg/L)	0.010	0.010	0.010	0.010
NO ₃ -N (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO ₂ -N (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NH ₄ -N (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
PO ₄ -P (mg/L)	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
K (mg/L)	1.8	1.2	1.5	1.5
Mg (mg/L)	1.8	1.9	1.9	1.7
Ca (mg/L)	10	10	10	10
Fe (mg/L)	0.13	0.10	0.10	0.13
Mn (mg/L)	0.10	0.11	0.10	0.12
B (mg/L)	0.020	0.016	0.013	0.015

表5 生育前後の T-N および T-P 濃度の低下率 (%)

項目	地点名			
	鳥浜排水路	高瀬川	はす川	島之内排水機場
T-N	92	93	92	90
T-P	96	92	93	90

表6 栽培植物1株当たりのりん吸収量 (g/月)

植物名		地点名			
		鳥浜排水路	高瀬川	はす川	島之内排水機場
葉菜類	クレソン	0.03	0.03	0.03	0.03
	モロヘイヤ	0.03	0.02	0.02	0.02
	サニーレタス	0.03	0.03	0.03	0.03
	わさび菜	0.03	0.03	0.03	0.03
ハーブ類	ラベンダー	0.01	0.01	0.01	0.01
	ローズマリー	0.01	0.01	0.01	0.01
	ミント	0.01	0.01	0.01	0.01
花卉類	忘れな草	0.02	0.02	0.02	0.02
	インパチェンス	0.02	0.02	0.02	0.02
	サルビア	0.02	0.02	0.02	0.02
	菊	0.03	0.02	0.02	0.02

4. まとめ

三方湖流入河川水を用いて水耕栽培試験を行ったところ、循環水の T-N および T-P 濃度の 90%以上を削減することができた。また、植物体のりん吸収量は葉菜類が一番多く、次いで花卉類、ハーブ類の傾向を示し、1株当たり最大 0.03g/月であった。

1m²あたりに生育できる植物を 100 株 (10 株×10 株) と仮定して、また表 3 から栽培期間 1 か月当たりのりん吸収量を 0.03g/株とした時の、1m² 当たりでのりん吸収量を概算すると 3g/月となる。

一方、三方湖流入河川水のりん負荷量の大部分は、はす川からのりん負荷量であり、負荷量調査の結果からおおよそ 3kg/日 (≒90kg/月) である。りん負荷量を削減するために必要な栽培面積は、りん負荷量をりん吸収量で割ることで求められ、概算で 30,000m² の土地を利用して水耕栽培を行うことにより、有用植物栽培を利用した手法で三方湖流入河川水のりん負荷量を削減できることとなる。

今回の調査の結果、藻類増殖因子がりんである三方湖流域におけるりん負荷量削減手法として、室内試験においては有用植物の水耕栽培は一定の効果を確認することができた。

湖沼の水質浄化について、全国的に様々な浄化法が検討

されているが、単一手法では水質改善にまでには至っていない。湖沼水質を浄化するためには、複数の浄化法を組み合わせて対応していく必要があると考え、今後、過去の調査結果とともに本調査結果を関係機関等に情報提供していく。

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、御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) 南部浩孝他：有用植物を利用した湖沼水質浄化に関する研究(第1報)，福井県衛生環境研究センター年報, 11, 51-57 (2012)
- 2) 田村良三他：植物を利用した水質浄化システム（第3報），新潟県保健環境科学研究所年報, 16, 76-83 (2001)
- 3) 田村良三他：植物を利用した水質浄化システム（第4報），新潟県保健環境科学研究所年報, 17, 89-93 (2002)

- 4) 田村良三他：水生植物を利用した水質浄化実験（第1報），香川県環境保健研究センター年報, 2, 47-56 (2003)
- 5) 水田一枝他：有用植物による汚水中の窒素・リンの浄化機能及びその遮光による影響，日本作物学会紀事, 67, 568-572 (1998)
- 6) Koru Abe et al. : Evaluation of Useful Plants for the treatment of Polluted Pond Water with Low N and P Concentrations, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 45, 409-417 (1999)
- 7) Koru Abe et al. : Evaluation of Plant Bed Filter Ditches for the Removal of T-N and T-P from Eutrophic Pond Water Containing Particulate N and P, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 45, 737-744 (1999)
- 8) 石田敏一他：三方五湖のAGP試験，福井県環境科学センター年報, 21, 96-100 (1991)
- 9) 八木光行他：藻類による河川の水質変化について，福井県環境科学センター年報, 22, 72-77 (1992)
- 10) 持田荘一他：はす川流域の汚濁負荷，福井県環境科学センター年報, 22, 72-77 (1992)