

植物を用いた水質浄化に関する研究(1) —ポット植栽による湖沼水の浄化—

橋本 敏子 井澤 博文 岡本 拓

Studies on Water Purification by Plants (1) — Purification of Lake Water by Pot Plants —

TOSHIKO HASHIMOTO, HIROFUMI IZAWA and TAKU OKAMOTO

(Received Oct. 29, 1997)

緒 言

現在、水圏における環境問題は広域化し、かつ顕在化している。特に、生活排水や汚濁湖沼水の窒素及び磷削減については、依然として問題解決に至っていない。このような中で自然にやさしい浄化法の一つとして植物による窒素及び磷除去法が注目され、各地でその実用化が試みられている。植物による水質浄化対策として、これまではホテイアオイが主に用いられていた[1-8]が、最近ではヨシなどの抽水植物がその主流を占めるようになってきた[9-11]。

河川や湖沼、生活排水などに植物を用いた水質浄化を適用する場合、窒素や磷除去を目的とした嫌気、好気活性汚泥法など既存の処理方法と比較して、単位面積当たりの浄化能力が低いこと[9]や、植物によっては繁茂しすぎて回収が困難であったり、回収後の処分が難しいこと[5]などが問題点として指摘されている。

そこで、水質浄化能力が高く、回収後の処理が簡単な植物を見出すことを目的としてシュロガヤツリ、ツルヨシ、キショウブを用いた浄化実験を行った。今回は、シュロガヤツリの水質浄化能力が優れていることが明らかとなったので報告する。

実験の部

1. 供試植物の種類

供試植物は、①植物体が大きいこと、②抽水植物または湿性植物であること、③多年草であること、④在来性のもの、または植栽しても付近の植生を大きく変化させないものであること、⑤見た目が美しいものであること等を条件として、次の3種を選定した。

- (1) シュロガヤツリ (*Cyperus alternifolius* L.) (かやつりぐさ科, カヤツリグサ属) [12]

原産地はマダガスカル島の水湿地。高さ60~120cmになる多年草で、茎は三角で直立し、葉は退化して鞘状になる。総苞は葉状で、長さ10~20cm、茎の頂部に20個ほどかさ状につく。性質は強く、土質を選ばず、水湿の多い状態でよく生育し、大株になる。越冬は2~3℃でもよく、東京地方では庭の日だまりで越冬することもある。

- (2) ツルヨシ (*Phragmites japonica* Steudel) (いね科, ヨシ属) [13]

日本各地および朝鮮、台湾、中国、ウスリーに分布、河岸の砂地、谷川の岸に生える多年草。根茎は地表をはい、ときに3~5mになる。

- (3) キショウブ (*Iris pseudacoris* L.) (あやめ科, アヤメ属) [13]

ヨーロッパ原産で、1896年頃日本に輸入され、各地の湿地や池畔に繁殖し野生化している多年草。

2. 装 置

実験には槽内水の循環装置及び曝気装置を備えた水槽(各々の水槽の容量、1400×600×500mm=420リットルのもの4個、各水槽面積0.84m²)と、給水枘からなる水質浄化実験装置(図1)を使用した。各実験水槽は各種の植物ごと3系列と植物を植栽しないブランク1系列の4系列で、各系列には11個ずつの植物栽培ポット(図2)を入れた。植物栽培ポットは、直径20cm、高さ50cmで側面に径2cmの穴を約50個あけたものを使用した。培養土は3~5mm粒の日向土を用いた。

3. 浄化実験

A貯水池の敷地内に水質浄化実験装置を設置して浄化実験を行った。A貯水池は上水等を利水目的とした、貯水量約200万tの貯水池である。A貯水池の地先沖

約10m地点にブイを浮かべ、表面下約2m層から水中ポンプを用いて給水枡への湖沼水供給を行った。給水枡から各水槽へ、バルブで流量調整を行いながら常時一定流量を給水した。各水槽の水位調整は、排水管の傾斜角度を変えることにより行った。それぞれの水槽の水深は34cm（ポット土壌表面下約8cm、槽内水量220リットル）とした。湖沼水の平均滞留時間はシュロガヤツリ2.2時間、キシノウブ2.0時間、ツルヨシ2.2時間、ブランク2.1時間であった。湖沼水平均水質は、COD5.2mg/l、TN0.98mg/l、TP0.46mg/lであった。

植物の栽培は、当センター屋上で1995年3月22日にポットに3種の植物を植栽し、5月31日まで水道水による隔日灌水を行った。その後水槽に入れ水道水中で活着、生育を確認した後、6月13日にA貯水池に実験装置を移し、湖沼水の導水を開始した。1年目の発育が完了した後、12月中旬にツルヨシを、1月上旬にキシノウブを、4月上旬にシュロガヤツリを刈り取った。

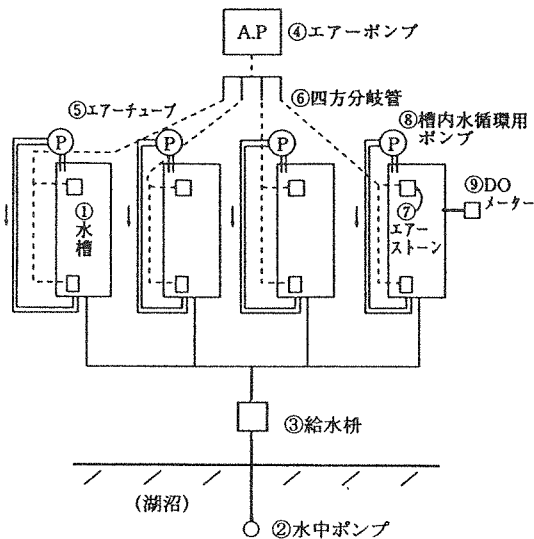


図1 水質浄化実験装置

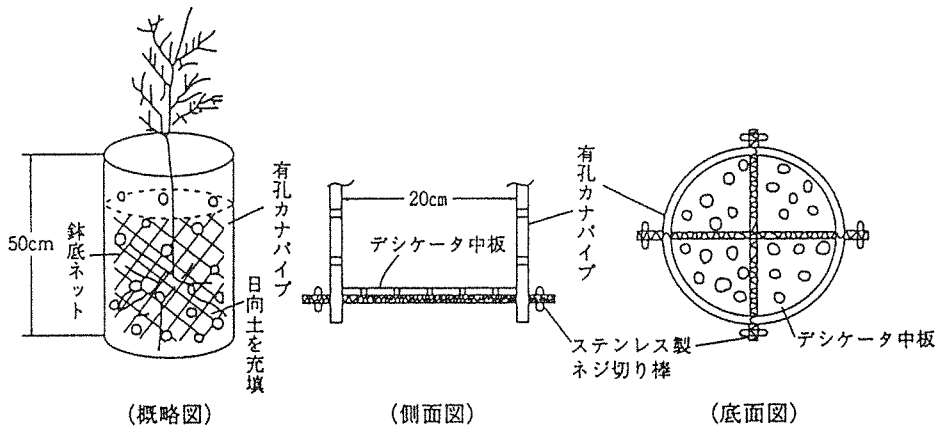


図2 植物植栽ポット

その後そのままの状態2年目の発育を待ち、1996年12月まで約18カ月間調査を続行した。以後、1995年7月から1996年3月の期間を1年目、1996年4月から12月の期間を2年目とした。

4. 水質調査及び水質浄化能の評価方法

水質調査は、調査期間中ほぼ週1回の割合で実施した。各調査日に各水槽に流入している水量の測定を行い、湖沼水（流入水）と各水槽からの流出水を持ち帰って窒素（TN）及び磷（TP）濃度を測定した。TNは柳本社製微量窒素分析装置TN-7型により、TPは規格JIS K0102[14]の方法で分解した後、テクニコン社製オートアナライザーⅡによりそれぞれ測定を行った。

水質浄化能の評価については、流入水と各々の系の流出水のTN及びTP濃度の差を算出し、それにそれぞれの流入量を乗じて1日当たりのTN及びTP除去量を算出した。ここで得た除去量は水槽面積0.84m²当たりであることから1m²に換算した。このTN及びTP除去量の数値の高低により、3種の植物の年次別及び季節別水質浄化能の比較を行った。

5. 発育量調査

発育量の測定は、シュロガヤツリとツルヨシはポット1個当たりの植物体について、それぞれ1本ずつ全部の草高及び稈（カヤツリグサ科やイネ科の茎のこと）径を測定し、体積を算出した。その一部を持ち帰り重量を測定して体積と重量の比を算出した。その比により、ポット1個当たりの植物体全体の重量を推定した。キシノウブは草高及び葉幅を測定し、面積を算出して、同様に植物体量の推定を行った。

実験結果及び考察

1. 植物の発育状況

実験期間中の植物の発育状況（草高及び本数）を表1に示す。

シュロガヤツリは8月下旬までは1年目より2年目の方が草高及び本数ともに多かったが、それ以後は2年目より1年目の方が優った。ツルヨシ及びキショウブは、1年目より2年目の方が草高及び本数ともに優った。

外見上の発育状況は5月上旬にキショウブが開花し、9月中旬にはツルヨシが出穂した。ツルヨシは3種の植物のうちでは最も早く10月中旬に枯れ始め、12月初旬に全部枯れた。キショウブは12月初旬に枯れ始め、その後新芽が出芽したが1月初旬には新芽以外は枯れた。シュロガヤツリは1月初旬から葉が枯れ始めたが、2月中旬でも茎の中部から下部にかけてはまだ緑色を呈していた。2年目も同様の発育状況を示した。

2. 植物体量の推移

ポット1個当たりの植物体量の推移は図3のとおりである。

3種の植物を比較すると、1年目は9月18日にシュロガヤツリがツルヨシの1.5倍、また、キショウブの3倍の植物体量を示した。また、植物体量はツルヨシ及びキショウブが9月18日～10月2日に最大量を示し、シュロガヤツリはそれより遅れて10月31日に最大量を示した。これらのことから、シュロガヤツリの1年目は他の2種に比べ発育が良く、植物体が秋まで増殖可能であることが明らかとなった。

植物ごとに1年目と2年目の発育量を比較すると、シュロガヤツリは8月までは1年目より幾分成長が良かったが、その後1年目のような飛躍的な成長は認め

表1 植物の発育状況

	シュロガヤツリ		ツルヨシ		キショウブ	
	草高(cm)	本数(本)	草高(cm)	本数(本)	草高(cm)	葉数(枚)
1995/ 6/14	10-70	27	20-60	17	20-70	26
8/7	30-130	78	20-100	24	20-110	53
8/28	30-170	98	20-100	37	20-120	70
10/31	40-180	170	40-120	42	20-120	79
12/4	40-180	180	-	-	-	-
1996/ 7/2	30-100	50	20-100	80	40-140	110
8/8	30-160	110	20-130	93	40-180	110
8/28	30-180	110	20-140	93	40-180	110
10/22	40-180	150	-	-	-	-
11/6	40-180	160	-	-	-	-

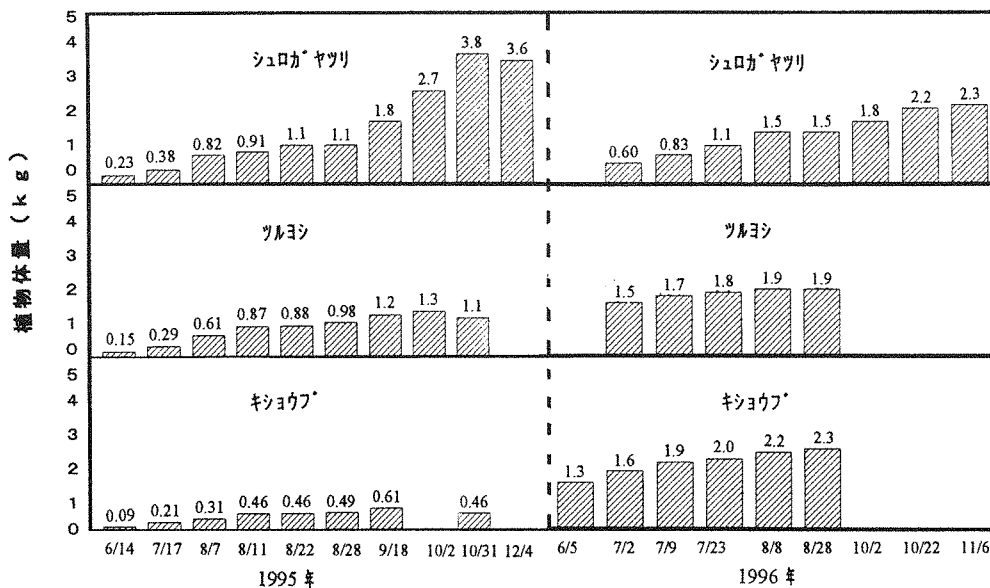


図3 ポット1個当たりの植物体量の推移

られなかった。これは、シュロガヤツリの株が1年目にポット全体に増殖し、植物体の刈り取りを行ったものの、残った稈がポットを埋めつくしたことにより2年目の発育が抑制されたためと思われる。ツルヨシ及びキシノウブは8月28日には1年目より2年目のほうがそれぞれ約2倍、約5倍の発育量を示した。両者は、1年目ではポット全体に広がっていないなど余裕のある発育状況であったため、2年目の発育が良かったものと思われる。特にキシノウブは他の2種と比較して2年目の発育が最も良かった。これは、1年目の終わりに新芽が数多く出て、発育が促進されたためと思われる。

3. TN及びTP除去量の経月変化

実験期間中の1日当たりTN及びTP除去量を月平均値で求めたものの経月変化を図4及び図5に示す。

シュロガヤツリの場合は6~12月に高いTN除去量が確認され、1~5月はほとんどTNは除去されていなかった。ツルヨシの場合はシュロガヤツリと同様に6~12月に高いTN除去量が確認され、1~5月にもある程度の除去量が認められた。キシノウブの場合は季節が若干遅れて10~1月に高いTN除去量が、5~7月に低い除去量が認められた。1年目と2年目との比較では、シュロガヤツリは1年目に比較して、2年目の除去量が低かったが、ツルヨシとキシノウブはほぼ同じ除去量を示した。

TP除去量はTN除去量とほぼ同じパターンを示し

たが、2年目の4~9月は、いずれの植物も低い除去量にとどまった。

これらTN及びTP除去量と図3の植物体量の推移を比較すると、シュロガヤツリについては発育の良否がTN及びTP除去量に反映していた。ツルヨシとキシノウブは2年目のほうが1年目に比べて発育が良好であったにもかかわらず、TN及びTP除去量は1年目と2年目で差がなかった。これは、ツルヨシは1年目の刈り取り後に残った稈が肥料となり、植物の発育に寄与したものと考えられる。キシノウブは、刈り取り後に残った植物の肥料効果に加えて、根が芋状で栄養分が蓄積されており、このことが2年目の植物体の増量につながり、みかけの窒素除去量を下げていると考えられる。キシノウブの特徴である11~1月の高いTN及びTP除去量については、この時期が新芽が出る時期であることが、原因の1つであると考えられる。

図4を年度別及び季節別(春; 3~5月, 夏; 6~8月, 秋; 9~11月, 冬; 12~2月)に区分して数値化したものが表2である。

TN除去量については、1年目の結果はシュロガヤツリが年間平均 $0.72 \text{ g/m}^2/\text{日}$ で最も高く、ツルヨシやキシノウブの1.2~1.4倍の数値を示した。特に、秋の9~11月にはシュロガヤツリは $1.3 \text{ g/m}^2/\text{日}$ と非常に高い数値を示した。2年目では、ツルヨシが $0.55 \text{ g/m}^2/\text{日}$ で最も高かった。2年間を通した季節別結果ではシュロガヤツリは秋に、ツルヨシは春と夏に、キシノウブは春と冬に高かった。TN除去量の

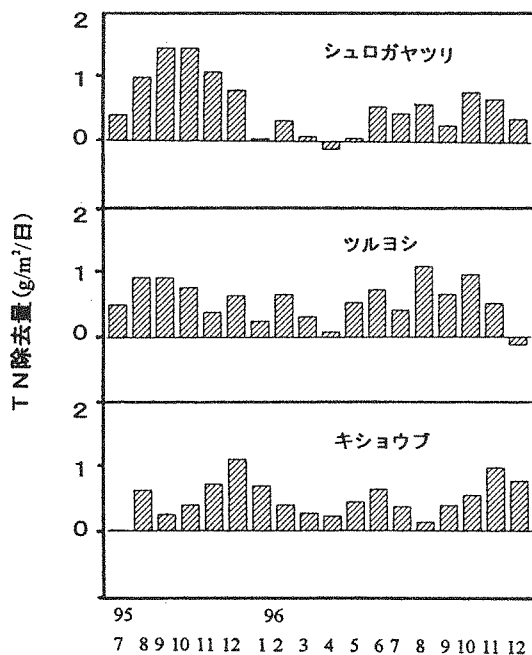


図4 植物による窒素除去量の経月変化

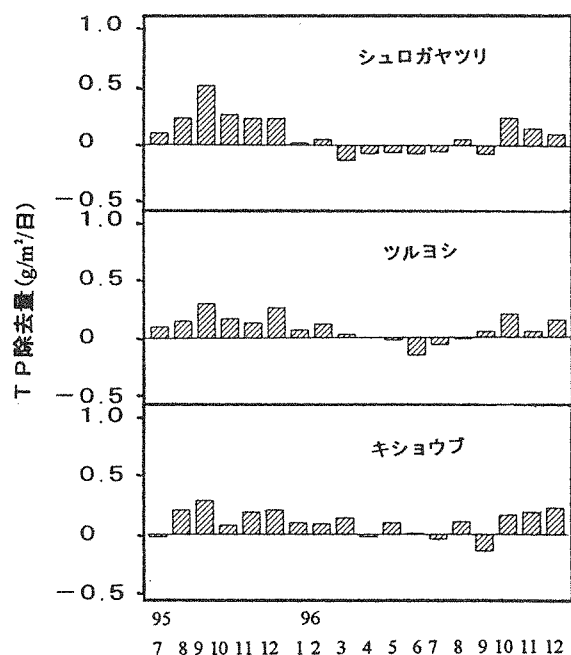


図5 植物による燐除去量の経月変化

表2 各植物の年度別, 季節別の窒素除去量

季節	年度	試料数	TN除去量 (g/m ² /日)			TP除去量 (g/m ² /日)		
			シュロガヤツリ	ツルヨシ	キシヨウブ	シュロガヤツリ	ツルヨシ	キシヨウブ
春	1995	3	0.07	0.32	0.27	-0.13	0.03	0.14
	1996	9	-0.04	0.31	0.33	-0.07	-0.01	0.04
	平均	12	0.00	0.31	0.31	-0.09	0.00	0.07
夏	1995	8	0.69	0.73	0.32	0.17	0.13	0.10
	1996	12	0.52	0.75	0.38	-0.02	-0.07	0.03
	平均	21	0.58	0.74	0.36	0.05	0.01	0.05
秋	1995	13	1.32	0.70	0.46	0.33	0.20	0.19
	1996	12	0.56	0.72	0.64	0.11	0.10	0.07
	平均	25	0.94	0.71	0.55	0.22	0.15	0.13
冬	1995	12	0.37	0.52	0.73	0.10	0.15	0.13
	1996	3	0.36	-0.12	0.77	0.10	0.15	0.23
	平均	15	0.37	0.36	0.74	0.10	0.15	0.16
年間	1995	36	0.72	0.60	0.50	0.17	0.15	0.14
	1996	36	0.39	0.55	0.50	0.02	0.02	0.07
	平均	72	0.56	0.58	0.50	0.10	0.09	0.11

注1) 春; 3~5月, 夏; 6~8月, 秋; 9~11月, 冬; 12~2月である。

2) 表中の網掛けは, 期間中最も高いTN及びTP除去量を示す。

季節的な特徴はシュロガヤツリは0~0.9g/m²/日と季節間で差が見られるのに対して, ツルヨシとキシヨウブは0.3~0.7g/m²/日と季節間で差が少ないことである。

TP除去量については, 1年目はTNの場合と同様にシュロガヤツリが年間平均0.17g/m²/日で, ツルヨシやキシヨウブの1.1~1.2倍の数値を示した。2年目ではキシヨウブが0.07g/m²/日で最も高かった。2年間を通した季節別結果ではシュロガヤツリが夏と秋に, キシヨウブが春, 夏, 冬にTP除去量が高い数値を示した。ツルヨシは, 特に春と夏にTN除去量が高かったにもかかわらずTP除去量は低い数値を示し, TP除去能力の低さが明らかとなった。

このようにTN及びTP除去能力が優れた時期は植物により異なることから, 植物を用いて水質浄化を図るためには, 季節的な条件を考慮した上で植物を選定する必要がある。植物によるTN及びTP除去能力の評価に関しては, これまで多くの報告[10,15-19]がなされている。それらを取りまとめた尾崎らの報告[16]によると, ホテイアオイやウキクサ, ヨシ, オランダガラシなどを用い, TN濃度0.4~25mg/l, TP濃度0.05~10mg/lの湖沼水や人工汚水などで行った実験から, TN除去量は0.13~1.6g/m²/日, TP除去量は0.024~0.34g/m²/日であるとしている。これらの文献値は実験水のTN及びTP濃度や, 実験方法の違いにより異なった結果となるため, 今回の実験

結果と単純には比較できない。しかし, 1年目のシュロガヤツリの結果は他の2種の植物と比較して高い数値を示し, 特に秋にはTN除去量1.32g/m²/日, TP除去量0.33g/m²/日で, 既報の結果[16]と比較すると上限付近にあることから, シュロガヤツリの水質浄化能力が他の植物に比べて優れていることが明らかとなった。また, その他の要因として枯葉等が付近に散乱しないことや, 長期間にわたり緑色を呈しており, 景観に良いことなど他の植物に優っている点が数多く認められることから, シュロガヤツリは水質浄化植物として有用であることが明らかになった。

結 語

河川や湖沼, 生活排水などに植物を用いた水質浄化を適用するために, 水質浄化能力が高く, 回収後の処理が簡単な植物を見出すことを目的として, 湖沼水(COD5.2mg/l, TN0.98mg/l, TP0.46mg/l)を用いて3種の植物の浄化実験を行った。その結果次のことがわかった。

1) シュロガヤツリは2年目より1年目のほうが, ツルヨシとキシヨウブは1年目より2年目のほうが発育が良いことがわかった。シュロガヤツリの発育が2年目に悪かった原因はポット全体に株が増殖し, 刈り取りは行ったものの残った程によりポットの表面が埋めつくされ, 2年目の発育が抑制されたため

と思われる。

- 2) TN及びTP除去量に関しては、シュロガヤツリとツルヨシは6～12月に高い数値を示した。それに対して、キショウブは10～1月に高かった。この時期は、発芽の時期と一致することから、発芽期に多量のTNやTPが植物体に吸収されるものと思われる。
- 3) シュロガヤツリは1年目と2年目で発育の良否がTN及びTP除去量に反映していた。ツルヨシとキショウブは2年目の方が1年目と比べて発育が良好であったにもかかわらず、TN及びTP除去量は1年目と2年目で差がなかった。この原因は、刈り取り後に残った稈や葉が、また、キショウブについては、それに加えて芋状の根に栄養分が蓄積され、2年目の肥料として働くことにより、みかけのTN及びTP除去量の低下を招いたものと推察される。
- 4) 1年目のシュロガヤツリのTN及びTP除去量は、他の2種の植物と比較して高い数値を示した。特に、秋(9～11月平均)はそれぞれ $1.32\text{ g/m}^2/\text{日}$ 、 $0.33\text{ g/m}^2/\text{日}$ で、既報[16]の上限付近にあることから、シュロガヤツリのTN及びTP除去能力が優れていることが判明した。

文 献

- [1] 沖 陽子, 中山恭二郎: 自然水域におけるホテイアオイ個体群の成長と群落構造の解析, 文部省「環境科学」特別研究「児島湖集水域」研究報告 (1981).
- [2] 森井正弘, 土山和英, 形山順二: ホテイアオイによる窒素・リンの吸収について, 大阪農業技術センター研究報告, 26, 11-15 (1990).
- [3] 喜納政修, 屋良朝徳: ホテイアオイの成長, 硝酸性窒素吸収および窒素含有率におよぼす硝酸性窒素納の影響, 水質汚濁研究, 9, 445-452 (1986).
- [4] 本橋敬之助, 笹原 豊: ホテイアオイの植栽と水質—手賀沼を例にして—, 水処理技術, 32, 265-270 (1991).
- [5] 笹 文彦, 勝矢淳雄: ホテイアオイ (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) を用いた廃水処理について(1), 環境技術, 11, 215-221 (1982).
- [6] 笹 文彦, 勝矢淳雄: ホテイアオイ (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) を用いた廃水処理について(2), 環境技術, 11, 287-292 (1982).
- [7] 青山 勲: 水生植物を利用した水質改善, 用水と廃水, 24, 87-94 (1982).
- [8] 徳永隆司: 水生生物の水質汚濁防止への利用, 用水と廃水, 23, 127-135 (1981).
- [9] 細見正明, 須藤隆一: 湿地による生活排水の浄化, 水質汚濁研究, 14, 674-681 (1991).
- [10] 竹倉新吉: 霞ヶ浦の水質浄化対策, 河川, 539, 37-44 (1991).
- [11] 堀江 毅, 細川恭史, 三好英一, 関根好幸: 植物体(ヨシ)による浄化能力の検討, 港湾技研資料, 591, 1-18 (1987).
- [12] 浅山英一: 原色図譜, 園芸植物(温室編), 平凡社, 東京, 1977, p199.
- [13] 牧野富太郎: 原色牧野植物大図鑑, 北隆館, 東京 1986, p646, p763.
- [14] 福原元一: 日本工業規格工場排水試験方法, 日本規格協会, 東京, 182 (1993).
- [15] 桜井善雄: 水辺の緑化による水質浄化, 緑の読本(公害と対策臨時増刊) 24, 899-909 (1988).
- [16] 尾崎保夫, 阿部 薫: 植物を活用した資源循環型水質浄化技術の課題と展望—潤いのある農村景観の創出を目指して—, 用水と廃水, 35, 771-783 (1993).
- [17] 横浜市環境科学研究所: キショウブによる水質浄化法—実験報告書—, 1-11 (1994).
- [18] 橋本 奨, 尾崎保夫, 山本 司: 水生生物による汚水処理と食糧生産に関する研究(第1報)—バックブンの成育に及ぼす窒素, 磷, 有機汚濁物の濃度の影響について—, 下水道協会誌, 20, 24-30 (1983).
- [19] 平野浩二, 吉田克彦: 団地浄化槽処理排水による盛花時における花卉の水耕栽培と栄養塩除去に関する研究, 29, 11-18 (1993).