

水生植物を活用した水質浄化実験（第4報） — 豊稔池の水質浄化の試み —

Experimental Studies on Water Treatment by Aquatic Plants (4)

岡井 隆 笹田 康子 石原 暁 田中 さと子
Takashi OKAI Yasuko SASADA Akira ISHIHARA Satoko TANAKA

要 旨

これまで、農業集落排水施設からの排水の高度処理を最終目的に設置された「水生植物を活用した水質浄化実験施設」において、豊稔池に流入する河川水を導水し、種々の水生植物を用いた水質浄化実証実験について報告している。今年度、農業集落排水施設は完成したものの水量が増えず排水の導入はできなかつたので、昨年度に引き続き、河川水を導水してヨシ、クレソン、キショウブ、シュロガヤツリによる水質浄化実験を行った。今年度は相次ぐ台風の襲来などにより、この地域では平年値の約1.8倍に相当する2084mmもの年間降水量を記録した。河川水中の栄養塩類濃度はT-Nが1.5mg/l、T-Pが0.12mg/lと低く、またそれらの吸収速度も窒素が0.16～0.18g/m²/日、リンが-0.008～0.010g/m²/日と低かつたが、除去率に関してはほぼ従来と同程度であった。また、住民の希望や親水空間としての機能を配慮した、植物の選定情報の提供を目的として、同施設を用いて各種花卉植物及び観葉植物の適用性について評価した。

キーワード：水質浄化，水生植物，吸収速度，除去率，親水空間

I はじめに

農業集落排水施設（以下「農集排」という）からの排水量が、当初見込み62 m³/日より大幅に少なく、水質浄化実験施設に供するには不十分な量であったため、昨年、一昨年度と同様¹⁾²⁾に河川水を施設に導水し、水生植物の浄化能を評価した。水生植物には同施設において越年して3年目のヨシ、クレソン、越年して2年目のキショウブ、シュロガヤツリを用い、平成16年4月から12月まで実証試験を実施した。平成17年1月以降は、シュロガヤツリの水路を各種花卉植物、観葉植物に植替えし、水耕栽培の適用性についても評価した。

本施設には隣接する農集排の計画排水量とほぼ同量の河川水約64 m³/日を柞田川から取水し、接触酸化処理を経て、4列の植物浄化水路（長さ20m、幅2m、深さ0.3m）に均等に分流、浄化された後、再び柞田川に放流される。



図1 水生植物を活用した水質浄化実験施設概略図

II 方法

1 水生植物を用いた水質浄化実証実験

本実験には昨年度と同様、豊稔池の上流域の柞田川左岸に設置した「水生植物を活用した水質浄化実験施設」を使用した（図1）。

昨年までと同様、ヨシ、クレソン、キショウブは「表面流れ方式による湿地型浄化法」³⁾、シュロガヤツリは「水耕栽培法」⁴⁾⁶⁾を用いて浄化実証実験を行った。シュロガヤツリは側面に30箇所程度に孔を開けた鉢（内径22cm、深さ26cm）に礫を入れ、植物を植付け、

水路中に約50cm間隔で計120鉢を木製筏で固定した。

(1) 調査期間及び調査頻度

調査期間は平成16年4月から平成16年12月までの9ヶ月間とし、水質調査は毎月1回の頻度で計9回を実施した。シュロガヤツリは12月初旬に全面撤去し、他の植物に植替えたため、12月を除く8ヶ月間で計8回の調査を実施した。

(2) 水質調査

a 調査地点

以下①～⑦の7箇所(図1参照)にて実施した。

- ① 河川水流入水
- ② 接触酸化処理水
- ③ 植物浄化水路(ヨシ)流出水
- ④ 植物浄化水路(クレソン)流出水
- ⑤ 植物浄化水路(キシヨウブ)流出水
- ⑥ 植物浄化水路(シュロガヤツリ)流出水
- ⑦ 浄化実験施設放流水

b 調査項目

調査項目は12項目(pH, EC, DO, BOD, COD, SS, T-N, T-P, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, PO₄-P)でJIS K 0102により分析した。

(3) 水質浄化能の評価

各植物の水質浄化能は、水質調査により得た窒素(T-N),りん(T-P)の値から次式により「除去率」と「吸収速度」を算出し、比較評価した。

$$\text{除去率}(\%) = (\text{流入濃度} - \text{流出濃度})(\text{mg}/\ell) \div \text{流入濃度}(\text{mg}/\ell) \times 100$$

$$\text{吸収速度}(\text{g}/\text{m}^2/\text{日}) = (\text{流入濃度} - \text{流出濃度})(\text{mg}/\ell) \times \text{流量}(\text{m}^3/\text{日}) \div \text{植物帯面積}(\text{m}^2)$$

2 花卉植物及び観葉植物の水耕栽培の適用性の評価

植物を活用した水質浄化システムの機能の一つであるビオパークとして水辺景観の創造を重視する場合、水耕栽培によって栄養塩類を吸収して浄化機能を発揮できるものであれば、水生植物に限らず、親水性のある花卉植物や観葉植物等植物の選択性は広くなり、我々は既にナバナ、インパチェンスが水耕栽培に有用であることを報告した。

平成16年12月以降(平成17年8月時点においても継続中)は、シュロガヤツリに変えて、表1に示す各種花卉植物及び観葉植物⁷⁾を植栽し、水耕栽培の適用性を評価した。

尚、ナバナ、ハボタン、カレンデュラ及びインパチェンスについては石原らが水耕栽培に有望である事を報告している⁸⁾。

表1 水耕栽培の適用性調査に用いた各種花卉植物及び観葉植物の特徴

| 科名 | 種名 | 学名 | 生活型 | 開花月 | 利用型 | 花色 | 草丈(cm) |
|----------|--------------|---------------------------------------|--------|------|-----|-----------|--------|
| アブラナ科 | ナバナ | <i>Brassica campestris</i> | 1年 | 12~5 | 花卉 | 黄 | 40~80 |
| | ハボタン | <i>Brassica leracea var. acephala</i> | 1年 | 11~3 | 観葉 | 紫・白 | 30~80 |
| キキョウ科 | ロベリア | <i>Lobelia erinus</i> | 1年, 多年 | 5~8 | 花卉 | 紫・白・桃 | 20~25 |
| キク科 | カレンデュラ | <i>Calendula officinalis</i> | 1年 | 2~5 | 花卉 | 橙 | 20~30 |
| | クリサンセマム | <i>Chrysanthemum</i> | 1年 | 3~5 | 花卉 | 白・黄 | 20~30 |
| | アゲラタム | <i>Ageratum houstonianum</i> | 1年, 多年 | 4~10 | 花卉 | 紫・白・桃 | 20~40 |
| | フレンチマリーゴールド | <i>Tagetes patula</i> | 1年 | 6~10 | 花卉 | 黄・朱・橙 | 30~40 |
| | ジニア | <i>Zinnia elegans</i> | 1年, 多年 | 6~10 | 花卉 | 赤・橙・白・桃 | 30~60 |
| キツネノマゴ科 | ヒポエステス | <i>Hypoestes phyllostachya</i> | 多年 | 6~10 | 観葉 | 赤・緑 | 20~40 |
| キョウチクトウ科 | ニチニチソウ | <i>Catharanthus roseus</i> | 1年 | 5~10 | 花卉 | 桃・白 | 20~30 |
| ゴマノハグサ科 | トレニア | <i>Torenia fournieri</i> | 1年, 多年 | 7~10 | 花卉 | 桃・紫 | 20~30 |
| シソ科 | サルビア・スプリンデス | <i>Salvia splendens</i> | 1年, 多年 | 5~10 | 花卉 | 赤・紫 | 30~60 |
| | コリウス | <i>Solenostemon scutellarioides</i> | 1年 | 6~10 | 観葉 | 赤・緑・桃 | 20~40 |
| ツリフネソウ科 | インパチェンス | <i>Impatiens walleriana</i> | 1年 | 4~10 | 花卉 | 赤・橙・白・桃 | 20~50 |
| ツルナ科 | リビングストーンデージー | <i>Dorotheanthus bellidiformis</i> | 1年 | 4~5 | 花卉 | 白・桃 | 20~30 |
| ナス科 | ペチュニア | <i>Petunia X hybrida</i> | 1年, 多年 | 3~10 | 花卉 | 赤・橙・白・桃・紫 | 20~25 |
| ナデシコ科 | ダイアンサス(セキチク) | <i>Dianthus chinensis</i> | 1年, 多年 | 4~6 | 花卉 | 白・桃 | 20~30 |
| ムラサキ科 | ワスレナグサ | <i>Myosotis sylvatica</i> | 1年, 多年 | 4~5 | 花卉 | 青・白・桃 | 20~25 |
| | シノグロッサム | <i>Cynoglossum amabile</i> | 1年 | 5~6 | 花卉 | 紫・白・桃 | 20~30 |

(1) 供試植物及び栽培法

供試植物として、表1に掲げる12科19種の市販の花弁植物及び観葉植物を用いた。これらの種は一年生、多年生で色彩に富み、開花期も広範に及んでいる。供試植物は写真1に示したように、市販のプラスチック製のカゴ（幅15～30cm、深さ11～17cm、側面及び底部に約1cm四方の孔を有す）に中粒のひゅうがが軽石を入れ、植物を1株ないし2株植付けた。

カゴは浄化水路中に約25cm間隔で配置し、植物の成長点を水没させないように、木製筏の高さを調整した（写真2）。更に、冬季の強風による供試植物の倒伏を避けるため、浄化水路の周囲を高さ約2mの防風ネットで囲った。

また、当初は河川水のみで生育を試みたが、水温の低下に伴いナバナに窒素欠乏状態を示唆する葉の黄変⁹⁾が見られるようになったため、平成17年2月以降、施肥することとした。

供試肥料には大塚ハウス肥料1号（窒素、りん酸、カリを各10, 8, 27%含有）を1.5mg/lに、大塚ハウス肥料2号（窒素11%含有）を1.0mg/lの濃度に調製したものを3:2の割合で混合した。浄化路上流部で窒素濃度（T-N）が農集排放流水の計画水質10mg/l程度になるように、ペリスタティックポンプで水路に添加した。



写真1 供試植物の植付け（ハボタン）



写真2 供試植物の浄化水路への配置（ハボタン）

(2) 観葉植物の水耕栽培の適用性の評価方法

表1に掲げる植物の地上部、根部の生育量、活性度、草勢を総合的に判断して3段階の評価をし、水耕栽培植物として最適、適、不適で表示した。

III 結果と考察

1 水質調査

表2に各項目の水質調査結果（16年4月から平成16年12月までの平均値）を、流入水の接触酸化処理後のT-N、T-Pの経月変化をそれぞれ図3、図4に示した。今年度T-Nは年間平均1.5（年間変動0.9～2.0mg/l）で、平成14、15年度それぞれの年間平均2.5、1.9mg/lと比較しても低い値であった。

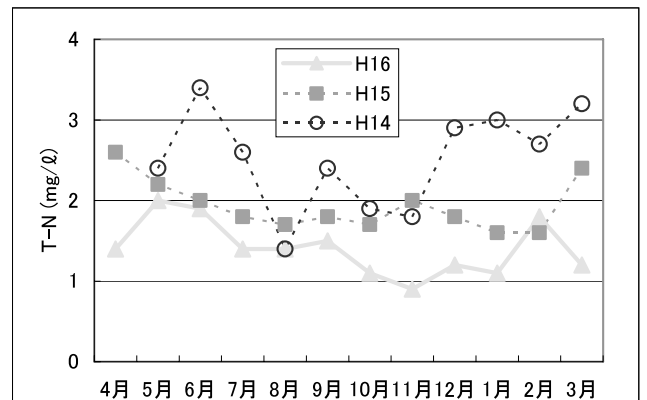


図3 流入水の接触酸化処理後のT-Nの経月変化

T-PはH14, 15年度の平均値がそれぞれ0.18, 0.10 mg/lであったのに対し, 今年度は0.09 mg/lと低い値であった。今年度は年間降水量が2084mmを記録し, 平年値1172mmの約1.8倍と非常に多い年であったので, 流入水のT-N及びT-P濃度の低下に寄与したものと推定された。

2 水質浄化能の評価

(1) 窒素の除去効果

① ヨシ

ヨシの生育は期間中良好であり, 11月に全面刈取りを実施した。図5に平成14年度から3カ年のヨシ水路の窒素除去率の経月変化を示した。昨年及び一昨年度の除去率がそれぞれ年平均値12 (-9~35)%, 10 (4~38)%であったのに対し, 今年度は平均28 (5~45)%の除去率であり, 約2倍高い値を示した。特に夏季(6~9月)の除去率が平均36%と高かった。これはヨシの生育が良好であったためと思われた。

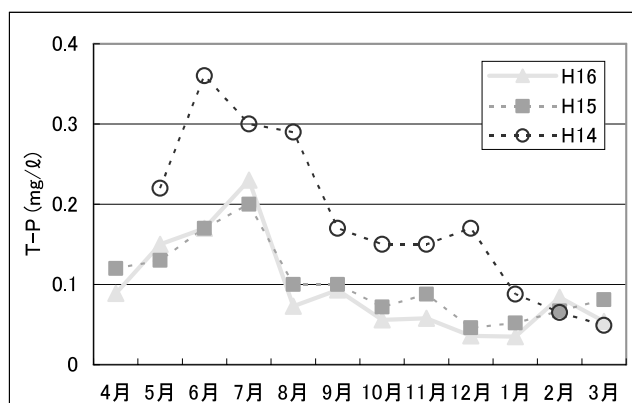


図4 流入水の接触酸化処理後のT-Pの経月変化

② クレソン

クレソンの生育は5月に刈取りをするまでは, 生育が悪く, 水路中央部が空白域の状態であった(写真3)が, 7月以降は草丈は低いものの, 浄化水路全体に繁殖した。図6に3カ年のクレソン水路の窒素除去率の経月変化を示した。

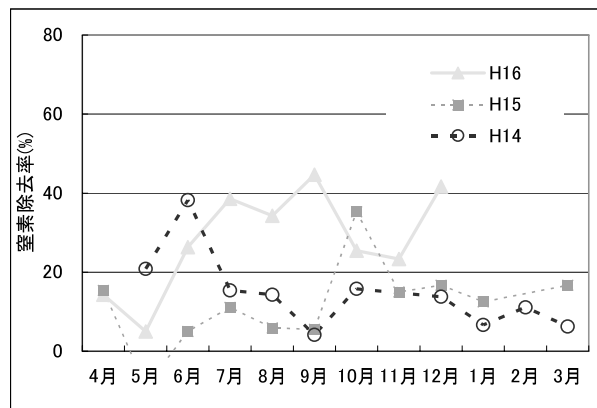


図5 ヨシ水路の窒素除去率の経月変化

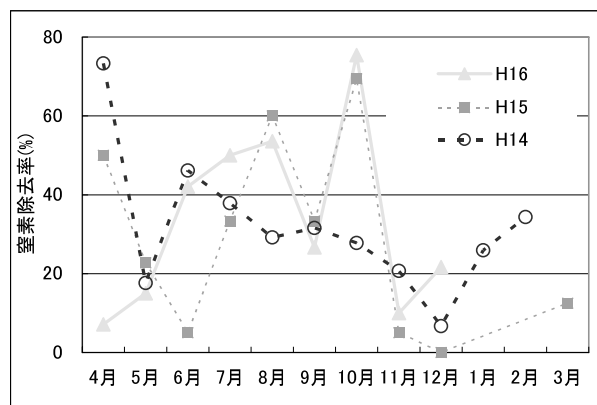


図6 クレソン水路の窒素除去率の経月変化

表2 水質調査結果(年間平均値)

| | ①流入水 | ②処理水 | ③ヨシ | ④クレソン | ⑤キョウブ | ⑥シュロガヤツリ | ⑦放流水 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|
| pH | 7.6 | 7.3 | 7.0 | 7.3 | 7.2 | 7.5 | 7.3 |
| EC (mS/m) | 9.2 | 9.3 | 9.3 | 8.9 | 9.5 | 9.2 | 9.3 |
| DO (mg/l) | 11 | 8.9 | 10 | 11 | 10 | 11 | 9.8 |
| BOD (mg/l) | 3.1 | 1.4 | 1.4 | 2.6 | 1.5 | 1.3 | 1.5 |
| COD (mg/l) | 4.4 | 3.4 | 3.5 | 4.6 | 4.0 | 3.6 | 3.9 |
| SS (mg/l) | 12 | 5.6 | 3.1 | 5.6 | 3.8 | 6.5 | 5.0 |
| T-N (mg/l) | 1.5 | 1.4 | 1.0 | 0.95 | 1.1 | 1.1 | 0.98 |
| T-P (mg/l) | 0.12 | 0.11 | 0.11 | 0.12 | 0.096 | 0.12 | 0.12 |
| NO ₃ -N (mg/l) | 1.2 | 1.2 | 0.87 | 0.69 | 0.92 | 0.88 | 0.83 |
| NO ₂ -N (mg/l) | <0.01 | 0.01 | <0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | <0.01 |
| NH ₄ -N (mg/l) | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| PO ₄ -P (mg/l) | 0.075 | 0.084 | 0.081 | 0.074 | 0.071 | 0.083 | 0.080 |

昨年及び一昨年度の除去率がそれぞれ年平均値 29 (0~69) %, 33 (7~73) %で、今年度は平均 34 (7~75) %であった。今年度の春季の除去率が低いのは植物の生育が不十分であったためと考えられる。このような生育障害が発生した原因は不明であるが、浄化施設設置から3年が経過し、浄化水路中の土壌が目詰まりして、流入水が十分に浸透していなくなっていることや連作障害が原因の一つとして推定される。

③ キショウブ

キショウブは5月に開花し、9月下旬に枯れ始めるまでの生育は概ね良好であった。図7に3カ年のキショウブ水路の窒素除去率の経月変化を示した。昨年度の窒素除去率は年平均値 27 (15~47) %で、今年度は平均 24 (14~43) %の除去率であった。



写真3 クレソン水路 (平成17年4月24日撮影)

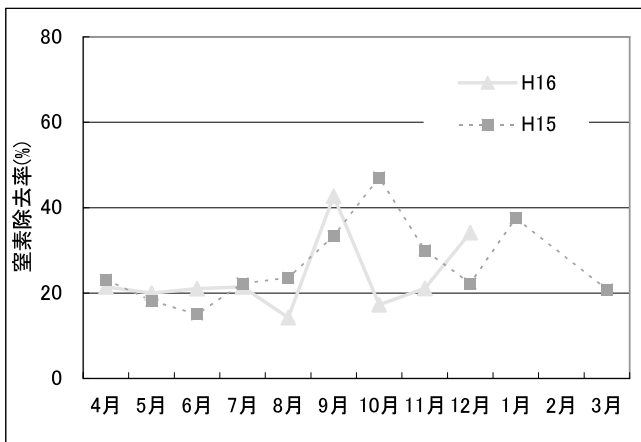


図7 キショウブ水路の窒素除去率の経月変化

④ シュロガヤツリ

シュロガヤツリの生育は期間中、概ね良好であった。図8に3カ年のシュロガヤツリ水路の窒素除去率の経月変化を示した。昨年度の除去率が年平均値 18 (5~35) %で、今年度は平均 27 (15~54) %の除去率であった。

⑤ 放流水

水質浄化実験施設全体としての窒素除去率は昨年度が年平均値 23 (5~51) %で、今年度は年平均値 31 (21~42) %であった。

次に平成14年度から3カ年の各植物の窒素吸収速度を表3に示した。今年度はいずれの植物を用いた場合でも 0.16~0.19 g/m²/日とほぼ同程度の窒素吸収速度であった。また、年度間での比較では、今年度は全体的に低い値に留まった。特にクレソンに関しては今年度は 0.19 g/m²/日で、初年度 0.45 g/m²/日の半分以下にまで減少し、雅楽川等¹⁰⁾の値 0.65 g/m²/日と比較しても低い値に留まった。

表3 年度別の窒素吸収速度

| | 窒素吸収速度 (g/m ² /日) | | |
|---------|------------------------------|--------------|------------------|
| | H14 (年平均) | H15 (年平均) | H16 (4~12月平均) |
| ヨシ | 0.14 | 0.14 | 0.17 |
| クレソン | 0.45 | 0.34 | 0.19 |
| キショウブ | - | 0.32 | 0.16 |
| シュロガヤツリ | - | 0.22 | 0.16 |

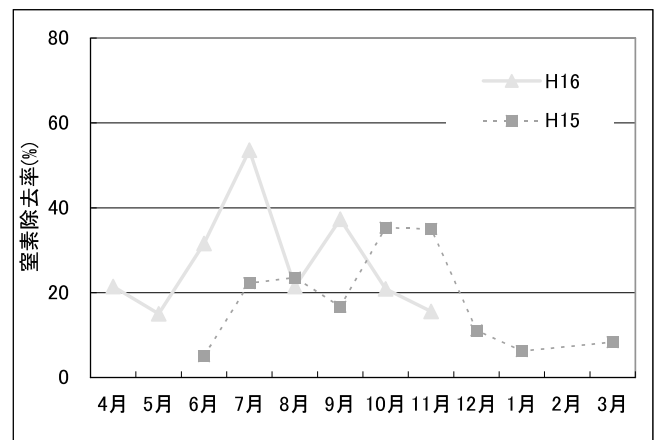


図8 シュロガヤツリ水路の窒素除去率の経月変化

(2) りんの除去効果

表4に各植物の年度別のりん除去率を示した。今年度、キショウブは年平均値13%と最も高かったが、昨年度の0.5倍程度であった。ヨシは年平均値5%であり、昨年度と同程度であった(図9)。クレソンは4月に除去率-110%、5月に-60%と大きく負の値を示した(図10)ことが、全体の除去率を引き下げ、年平均値-11%に留まった。このように今年度のりんの除去効果については、各植物全般で低調であった。

シュロガヤツリ(図11)についても年平均値-9%と負の値であった。表5に各植物のりん吸収速度を示した。シュロガヤツリの年平均値は0.010g/m²/日であったが、それ以外の植物はりん吸収速度が負の値であった。年度別に比較すると、ヨシ、クレソンについては昨年度及び一昨年度と同程度の値であったが、キショウブは-0.008g/m²/日と負の値を示した。一方、シュロガヤツリは0.010g/m²/日と正の値に転じた。

3 各種花卉植物及び観葉植物の水耕栽培の適用性評価

表6に水耕栽培の適用性の評価結果及び縣ら⁶⁾の結果の一部を参考に併記した。表より水耕栽培した植物12科19種のうち、最適種が63%、適種が21%

表4 年度別のりん除去率

| | りん除去率(%) | | |
|---------|--------------|--------------|------------------|
| | H14 (年平均) | H15 (年平均) | H16 (4~12月平均) |
| ヨシ | -6 | 6 | 5 |
| クレソン | 11 | 3 | -11 |
| キショウブ | - | 27 | 13 |
| シュロガヤツリ | - | 4 | -9 |

表5 年度別のりん吸収速度

| | りん吸収速度(g/m ² /日) | | |
|---------|-----------------------------|--------------|------------------|
| | H14 (年平均) | H15 (年平均) | H16 (4~12月平均) |
| ヨシ | -0.002 | 0.000 | -0.001 |
| クレソン | 0.002 | 0.000 | -0.003 |
| キショウブ | - | 0.016 | -0.008 |
| シュロガヤツリ | - | -0.003 | 0.010 |

となり、最適以上の種が84%を占めた。このように水耕栽培に最適種または適種の植物はいずれも根系の発達が良好であり、その生育状況の一例を写真4に示した。

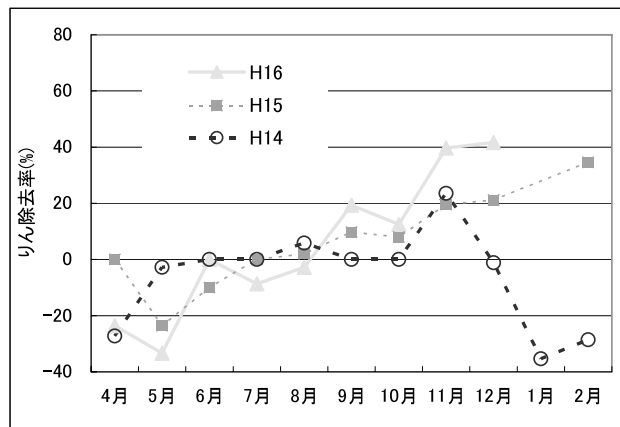


図9 ヨシ水路のりん除去率の経月変化

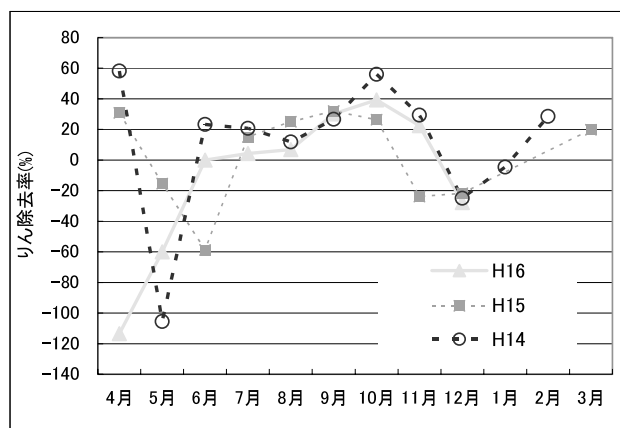


図10 クレソン水路のりん除去率の経月変化

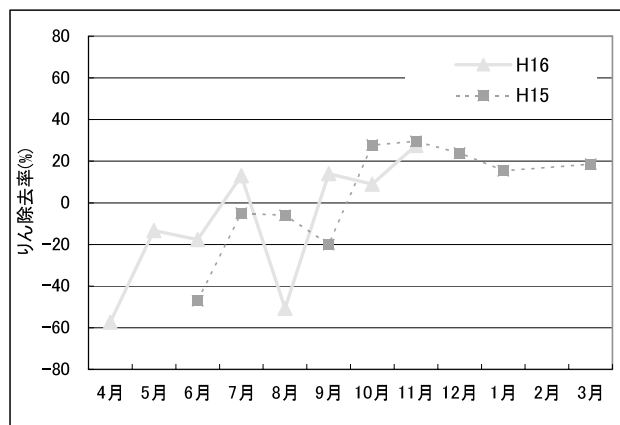


図11 シュロガヤツリ水路のりん除去率の経月変化

表6 各種花卉植物及び観葉植物の水耕栽培の適用性の評価結果

| 科名 | 種名 | 開花月 | 花色 | 生育 | 適正 | 縣らの 評価 | |
|----------|---------------|------|-----------|-----|----|-----------|---|
| アブラナ科 | ナバナ | 12~5 | 黄 | ++ | 適 | 最適 | |
| | ハボタン | 11~3 | 紫・白 | ++ | 適 | | |
| キキョウ科 | ロベリア | 5~8 | 紫・白・桃 | +++ | 最適 | | |
| キク科 | カレンデュラ | 2~5 | 橙 | +++ | 最適 | | |
| | クリサンセマム | 3~5 | 白・黄 | ++ | 適 | | |
| | アゲラタム | 4~10 | 紫・白・桃 | +++ | 最適 | | |
| | フレンチマリーゴールド | 6~10 | 黄・朱・橙 | +++ | 最適 | | |
| | ジニア | 6~10 | 赤・橙・白・桃 | + | 不適 | | |
| キツネノマゴ科 | ヒポエステス | 6~10 | 赤・緑 | +++ | 最適 | | |
| キョウチクトウ科 | ニチニチソウ | 5~10 | 桃・白 | +++ | 最適 | | |
| ゴマノハグサ科 | トレニア | 7~10 | 桃・紫 | +++ | 最適 | | |
| シソ科 | サルビア・スプリンデス | 5~10 | 赤・紫 | + | 不適 | | 適 |
| | コリウス | 6~10 | 赤・緑・桃 | +++ | 最適 | | |
| ツリフネソウ科 | インパチェンス | 4~10 | 赤・橙・白・桃 | +++ | 最適 | | |
| ツルナ科 | リビングストーンデージー | 4~5 | 白・桃 | + | 不適 | | |
| ナス科 | ペチュニア | 3~10 | 赤・橙・白・桃・紫 | + | 不適 | 適 | |
| ナデシコ科 | ダイアンサス (セキチク) | 4~6 | 白・桃 | +++ | 最適 | 適 | |
| ムラサキ科 | ワスレナグサ | 4~5 | 青・白・桃 | ++ | 適 | | |
| | シノグロッサム | 5~6 | 紫・白・桃 | +++ | 最適 | | |



写真4 各種花卉植物の水耕栽培の様子（左端ナバナ，中央ニチニチソウ，右端フレンチマリーゴールド）

IV まとめ

昨年度に引き続き、河川水を導水してヨシ、クレンソウ、キショウブ、シュロガヤツリによる水質浄化実験を行った。河川水中の栄養塩類濃度はT-Nが1.5mg/l、T-Pが0.12mg/lと低く、またそれらの吸収速度も窒素が0.16~0.18g/m²/日、リンが-0.008~0.010g/m²/日と低かったが、除去率に関してはほぼ従来と同程度であった。また、各種花卉植物及び観葉植物の水耕栽培の適用性を評価した。実験期間が冬季、春季だったため水温が低く、河川水の栄養塩類濃度が低い悪条件下で実施したため、施肥する状況となった。水質浄化の観点からは、施肥は望ましいとは言えないが、今後、農業集落排水施設からの排水が計画通りに導入できる状況になれば、水温の確保と高濃度の栄養塩類によって水質浄化機能の向上が図られ、花卉植物及び観葉植物により安定した水質浄化能の可能性を検討したい。

文献

- 1) 笹田 康子等：水生植物を活用した水質浄化実験（第1報）—豊稔池の水質浄化の試み—，香川県環境保健研究センター所報，2，47-56，（2003）
- 2) 岡井 隆等：水生植物を活用した水質浄化実験（第2報）—豊稔池水質浄化の試み—，香川県環境保健研究センター所報，3，58-63，（2004）
- 3) 細見 正明：ヨシ人口湿地による水質浄化法，用水と排水，36（1），40-41，（1994）
- 4) 神奈川県環境科学センター企画調整部：草花を用いた水質浄化ハンドブック，24-29，神奈川県環境科学センター，（1994）
- 5) 平野 浩二：花卉の水耕栽培による団地浄化槽2次処理水中の栄養塩除去，資源環境対策，31（12），49-50，（1995）
- 6) 縣 和一，宋祥甫：水質浄化と水辺の修景，26-28，ソフトサイエンス社，（2002）

- 7) 金田 初代: 知りたい花の名前が分かる花の辞典,
西東社, (2004)
- 8) 石原 暁等: 水生植物を活用した水質浄化実験(第
3報) — 模擬排水による浄化実験 —, 香川県環境
保健研究センター所報, 3, 64-71, (2004)
- 9) 渡辺 和彦監修: 野菜の要素欠乏と過剰症, 53,
タキイ種苗株式会社 (1983)
- 10) 雅楽川等: 植物を利用した水質浄化システム—新
潟県に適した水辺植物の選定, 新潟県保健環境科
学研究所年報, 14, 79~87 (1998)