

## 休耕田を利用した水質浄化システムの構築に関する研究

Study on the water quality purification system using a fallow field

矢島 啓<sup>1</sup>

Hiroshi Yajima

吉川 栄<sup>1</sup>

Sakae Kikkawa

末継 洋子<sup>2</sup>

Yoko Suetsugu

**ABSTRACT :** In Chizu town located in the origin part of River Sendai, local residents felt uneasy for the discharge from the rural sewage system. In 2001, they took the lead and have started the water quality purification experiment by plants using a fallow field in cooperation with Tottori University, Chizu town office and related organizations. In this experiment, water quality as to nutrients, water temperature, pH, DO (Dissolved Oxygen), etc. were measured. As a result of the experiment, all planted plants grew up flourishing and the removal of nutrients in the field has been remarkable. Therefore, a water quality purification system using a fallow field is expectable. Moreover, events of the environmental study for schoolchildren were carried out to improve the local residents' consciousness to a water quality purification system. These events showed that the experimental field is suitable for the place of the environmental education where children can touch the natural environment. Finally, it is expected that the experimental field helps the interchange of local residents.

**KEYWORD ;** Rural sewage system , contaminated water , fallow field , purification , environmental education

### 1 はじめに

現在、植生浄化を利用した実験施設が注目され、植生浄化に関する様々な研究が行われている。農林水産省では「自然水質浄化機能活用実験事業」が平成11年から進められており、環境省では「生態系を活用した水質浄化事業」を行っている。平成12年3月には河川環境管理財団が国内の植生浄化施設の現状と事例をまとめている<sup>1)</sup>。それによると、全事例66の内41事例が河川を対象としたものであった。本研究で対象とした農業集落排水処理水を対象とした施設は少ないが、下流域での富栄養化の問題や農業用水の水質改善のためには、この処理水の浄化を実施する必要があると考えられる。

植物による水質浄化は、施設建設費および維持管理費が安く、資源循環型の水質浄化システムであり、自然の浄化機能の活用による潤いのある水辺景観の創造にも役立つ。そのため、農村地域に適した水質浄化法であるといえる。

著者らは、平成13年度から、鳥取県東部の主流河川である1級河川千代川(流域面積:1192km<sup>2</sup>, 幹川流路延長:52km)の源流部(図-1 参照)に位置する鳥取県八頭郡智頭町にお

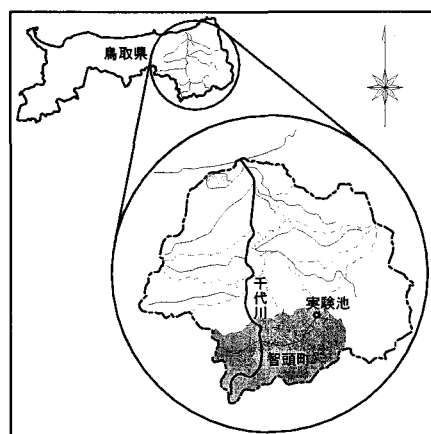


図-1 千代川流域及び実験池位置

<sup>1</sup> 鳥取大学工学部土木工学科 The department of civil engineering, Tottori University

<sup>2</sup> 元鳥取大学工学部学部生 Former undergraduate student of Tottori University

いて、農業集落排水処理水の3次処理として植物を用いた水質浄化実験<sup>2)</sup>に携わっている。本実験は、植物による栄養塩除去能を評価し、地域特性に応じた水質浄化施設の確立を目指すものである。さらに、環境教育や地域住民の交流等の場として社会環境システムの構築を図ることを目的としている。本論文では、実験を実施することとなった経緯と意義について述べるとともに、平成13年度の実験結果を踏まえ、平成14年6月から11月の間、実験池の水質調査を行った結果より得られた栄養塩除去能について報告する。

## 2 本実験の実施経緯と意義

### 2.1 本実験の実施経緯

近年、環境問題への関心が高まる中、智頭町においては、千代川の伏流水を飲料水として利用している地域もあることから、農業集落排水処理施設からの放流水に対する不安の声があがった。これに伴い、平成13年度から地域住民が主体となり、鳥取大学と同町並びに各関連機関の支援協力を仰ぎ、処理水の3次処理として休耕田を利用した植物による水質浄化実験を実施することとなった。

本実験に関わる主な関連機関は、以下の通りである。

#### (1) 智頭町親水公園連絡協議会

智頭町内には、これまで9ヶ所の親水公園が整備され、地域交流の核として機能している。同協議会は、この親水公園整備の中心となる組織である。発足経緯は、千代川の源流に位置する智頭町においても、護岸工事が進み、川と人との本来の関係が忘れられつつあるため、もう一度生活空間としての河川を取り戻そうと、平成6年8月に設立された。町内をネットワークし、地域の声を活かし、事業主体となる町や県との連絡調整や親水公園の維持管理・活用のあり方などを検討し、県・町・地域住民がお互いの知恵を出し合い、川を軸とする地域づくりを行っている。メンバーは、親水公園を有する7つの集落の代表者と鳥取県の県土整備局事務所、智頭町建設課など約25人で構成されている。

#### (2) 千代川流域圏会議<sup>3)</sup>

国・自治体・各種活動団体・個人等が一同に会し、千代川流域での地域おこしや川づくりを進めている組織である。同会議は、千代川を軸として、各地域で進めている取り組みの流域レベルでの交流・連携を図るとともに、流域全体の広い視野にたって千代川をより良くするための取り組みや地域活性化への取り組みを行うことを目的とし、平成9年12月に発足した。

### 2.2 本実験の意義・取り組み

本実験は、地域住民が中心となり、農村地域に適した植物による水質浄化実験を地域住民と官学が共同で実施したことに大きな意義があると考えられる。実験地では、水質浄化以外にも、毎年1回のペースで小学生を対象とした植生浄化実験の解説や実験池に棲む水生生物の観察会といった環境教育等のイベント（写真-1 参照）を実施し、水質浄化システムに対する一般住民の幅広い理解及び住民意識の向上に努めている。また、新たな地域活性化の取り組みとして、実験池で生育したガマを利用したガマ工芸品の製作（写真-2 参照）や実験場が地域住民の交流の場となるよう働きかけている。



写真-1 実験池におけるイベントの様子

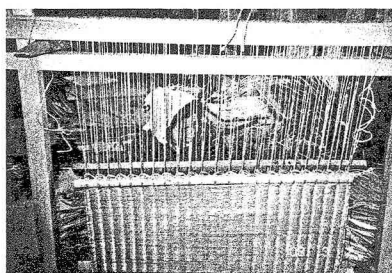


写真-2 ガマ工芸品製作の様子

### 3 実験概要

本実験池は、智頭町芦津地区にある奥山形農業集落排水処理施設に近接している休耕田を利用している。実験水には、その処理施設から放流される処理水を用いた。平成 14 年度には、より高い水質浄化効果を図るため、生育したガマを用いた工芸品製作による村おこし運動と連携し、実験池を当初の半反から一反に拡張した。また、平成 13 年度の経験を生かし、夏季における実験池内の水温上昇を抑えるため、6 月から 8 月の間は近接している川より河川水を流入させている。実験地の様子を図-2、写真-3 に示すとともに、以下に実験池の概要を示す。

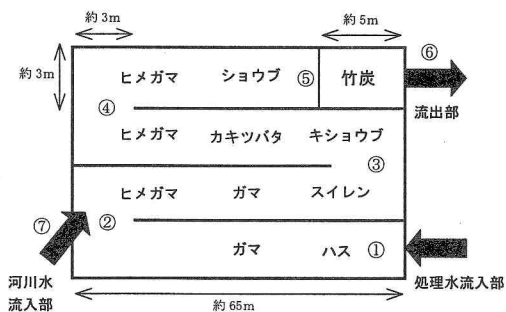


図-2 実験池概要

#### 3.1 実験池概要

- ・ 植栽面積：約 850m<sup>2</sup>（平成 13 年度：約 295m<sup>2</sup>）
- ・ 植栽植物：ハス、スイレン、カキツバタ、キショウブ、ショウブ、ガマ、ヒメガマ（ヒメガマのみ平成 14 年度から）
- ・ その他：竹炭(150kg)
- ・ 処理水量：約 103.8m<sup>3</sup>/日（平成 14 年度の実験期間中の平均）
- ・ 河川水量：45.8m<sup>3</sup>/日（河川水流入期間中の観測結果の平均値）
- ・ 平均水深：約 20cm
- ・ 滞留時間：約 39 時間（平成 13 年度：約 10.8 時間）
- ・ 滞留時間：約 26 時間（河川水流入期間）

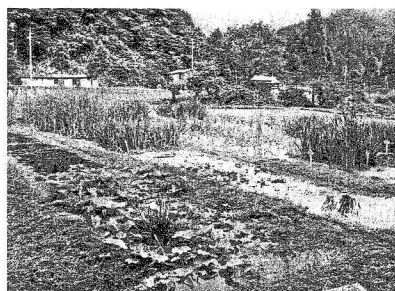


写真-3 実験池の様子

#### 3.2 調査内容

原則として月 2 回、晴天の 2～3 日続いた翌日に現地調査を行った。処理水流入部・河川水流入部・竹炭前・流出部の 4 箇所にて採水し、アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)・亜硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>-N)・硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N)・全窒素(T-N)・無機態リン(PO<sub>4</sub>-P)・全リン(T-P)について水質分析を行った。T-N・T-P については、加熱分解の後、測定(ハック社製 DR/2010 型使用)を行った。また、無機栄養塩の NH<sub>4</sub>-N・NO<sub>2</sub>-N・NO<sub>3</sub>-N・PO<sub>4</sub>-P については、0.45 μm のメゾンフィルターでろ過した試料を用いて測定(DR/2010 型使用)を行った。その他に図-2 の①～⑦における水温・pH・DO・水深(⑥・⑦を除く)及び平均的なヒメガマの高さ・処理水流入量・流出量・流入河川水量の測定を行った。水温に関しては、現地調査時に測定するほかに、実験期間中の時間的变化を知るために処理水流入部・流出部に水温計を設置し、1 時間毎の水温の測定(Onset 社製 Tidbit 使用)を行った。

処理水流入部・竹炭前・流出部での窒素・リン濃度を比較することで、植物による浄化能力と竹炭による浄化能力について検討する。また、各濃度と流量より、窒素とリンの収支を求め、河川水の影響を考慮した除去効果について検討する。

表-1 ヒメガマの測定結果

| 観測日   | 観測間<br>日数 | ヒメガマの<br>高さ(cm) | ヒメガマの伸び |        |
|-------|-----------|-----------------|---------|--------|
|       |           |                 | (cm)    | (cm/日) |
| 5/26  | -         | 30              | -       | -      |
| 6/4   | 17        | 60              | 30      | 1.30   |
| 6/21  | 16        | 85              | 25      | 0.96   |
| 7/4   | 12        | 150             | 65      | 2.60   |
| 7/18  | 13        | 165             | 15      | 0.60   |
| 8/6   | 18        | 205             | 40      | 1.43   |
| 8/20  | 13        | 240             | 35      | 1.75   |
| 9/8   | 18        | 240             | 0       | 0.00   |
| 9/20  | 11        | 250             | 10      | 0.45   |
| 10/3  | 12        | 240             | -10     | -0.40  |
| 10/17 | 13        | 210             | -30     | -2.31  |
| 11/7  | 20        | 200             | -10     | -0.45  |

## 4 調査結果および考察

### 4.1 植物の生育状況

実験池における 7 種の植物はいずれも旺盛に生育し、本実験地の気候や栄養塩濃度に適した植物であることが明らかとなった。実験開始の 6 月の時点では、実験池の水面が見える部分が顕著であったが、7 月になると急激に繁茂し実験池全体が緑で覆われている状態であった。また、ヒメガマの高さの測定結果を表-1 に示す。これより苗を移植した 5 月から 9 月にかけて著しく成長しているのがわかる。そのためこの時期の植物による栄養塩除去量の増加が期待される。

### 4.2 水温・pH・DO について

#### (1) 水温

処理水流入部・流出部における 1 時間毎の水温観測結果を図-3 に示す。処理水流入部では、6 月中の変動が大きくなっている。この時期は、植物の生長が小さいため実験池内の水面の露出部が多く、日射や気温の影響を受けやすいことと、昼間の気温が高くなる季節であるため、その気温の変化が影響していると考えられる。一方、7・8 月の変動が小さいのは、夜間の気温がそれほど下がらないことと、植物が生長し大きな葉を広げていたため、水面に日光が直接当たらず昼間の水温上昇が抑制されたと考えられる。流出部では、夏季において 1 日のうちでの変動がそれほどみられなかったのは、昼間の水温上昇が抑制されたことが考えられる。この要因としては、竹炭区間に藻が繁殖し、日光を遮断した影響もあると考えられるが、河川水の流入を中止した 9 月からの変動をみると、最高水温がそれ以前より高くなっていることから河川水による影響が大きいと考えられる。

現地調査時に行った水温の測定結果を図-4(a) に示す。各観測ポイントの水温は、①で 5.8~25.9℃、②で 9.4~27.9℃、③で 7.9~27.1℃、④で 7.0~25.9℃、⑤で 7.4~26.1℃、⑥で 7.8~26.7℃、⑦で 17.3~21.0℃の値をとっている。各ポイントでの観測値に差異はあるが、夏季における水温が 30℃を超える日がなく、植物にとっても適した状態であり、栄養塩を除去するのに良い環境であったといえる。

#### (2) pH(水素イオン濃度)

図-4(b) に pH の測定結果を示す。各観測ポイントの pH は、①で 7.08~7.73、②で 6.58~8.26、③で 5.67~7.78、④で 5.80~8.58、⑤で 5.72~9.92、⑥で 5.31~8.90、⑦で 6.62~8.12 の値となっている。6 月 4 日と 7 月 18 日に各ポイントにおける観測値の差異は大きいですが、それ以外は毎回近い値を示している。実験期間を通して、実験池の pH は 5.31~9.92 の間であり、pH9 を超えたのは 6 月 4 日の⑤のみであった。また、この日は、前後の④と⑥の pH も 8.58、8.90 と高くなっていることから、実験池において植物や植物プランクトンによる光合成が活発に行われたことが考えられる。光

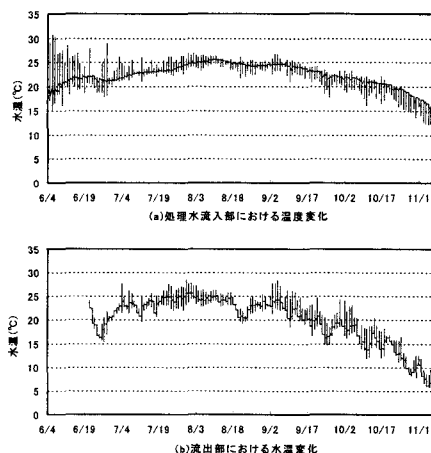


図-3 水温変化

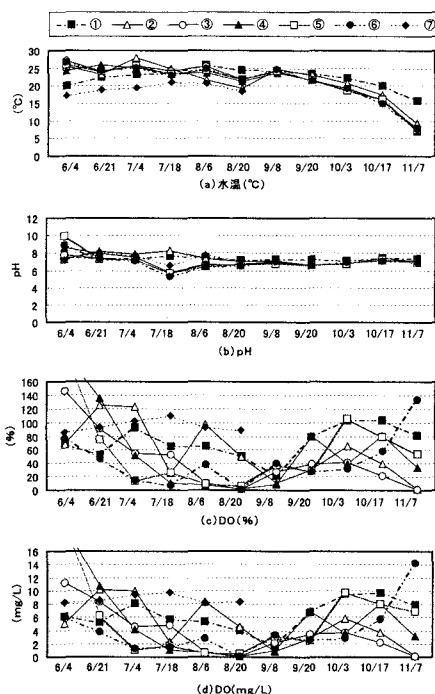


図-4 水温・pH・DO の変化

合成を行う場合、植物は空中や水中の二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) を消費するが、その時に水酸化イオン ( $\text{OH}^-$ ) が生じるために pH が上昇するのである。一般に植物の養分吸収に影響が現れるのは、pH4 以下あるいは pH9 以上の場合であるといわれている<sup>4)</sup>。したがって、pH に関しては、植物の生育しやすい状況であったといえる。

### (3) D0(溶存酸素)

D0 の観測結果を図-4(c)・(d) に示す。各観測ポイントの D0 は、①で 1.79~9.66mg/L、②で 0.27~10.24mg/L、③で 0.06~11.2mg/L、④で 0.14~10.74mg/L、⑤で 0.57~9.8mg/L、⑥で 0.1~14.21mg/L、⑦で 8.23~9.75mg/L の値となっている。各ポイントで観測値の差異が大きいが、実験池全体では、夏季に比較的小さい値となっている。ほぼ一定の値を示しているのは河川水流入部 (⑦) だけである。河川水は毎回高い値であることから、実験池内に酸素を供給する役割もあったと考えられる。また、全体の値がばらついているのは実験池中に多数のプランクトンや微生物が存在し、それらの呼吸や活発な活動によって水中の酸素が消費されると同時に、植物と植物プランクトンの光合成により水中に酸素が供給され、実験池内において常時酸素の消費と供給が行われているためと考えられる。6月4日のポイント④・⑤の D0 が高いということは、光合成が活発に行われていたことを示し、前述した pH の上昇につながっている。

### 4.3 T-N, Inorg-N, および T-P, PO<sub>4</sub>-P の濃度変化

図-5 に流入部・竹炭前・流出部における T-N・Inorg-N・T-P・PO<sub>4</sub>-P の変化の様子を示す。ここで、Inorg-N とは無機態窒素のことで  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$  の合計で表される。図-5 より、窒素においてはすべての観測日で流入部の濃度より、竹炭前の濃度の方が低くなっており、リンに関しては8月20日を除いたすべてで濃度の低下をみせている。竹炭前から流出部においては大きな濃度変化がなく、本実験において竹炭による栄養塩除去効果は見られなかった。実験期間の平均として、T-N において流入部で 21.74mg/L、竹炭前で 11.60mg/L、流出部で 11.78mg/L となっている。Inorg-N において流入部で 17.70mg/L、竹炭前で 7.85 mg/L、流出部で 7.92 mg/L となっている。T-P において流入部で 4.09mg/L、竹炭前で 2.00mg/L、流出部で 2.06mg/L となっている。PO<sub>4</sub>-P においては流入部で 2.35mg/L、竹炭前で 1.66mg/L、流出部で 1.60mg/L となっている。6~8 月の濃度低下には、河川水による希釈の影

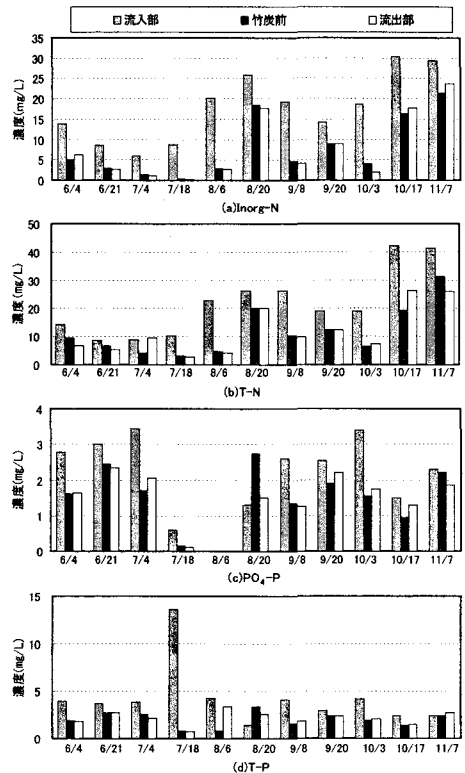


図-5 栄養塩濃度変化

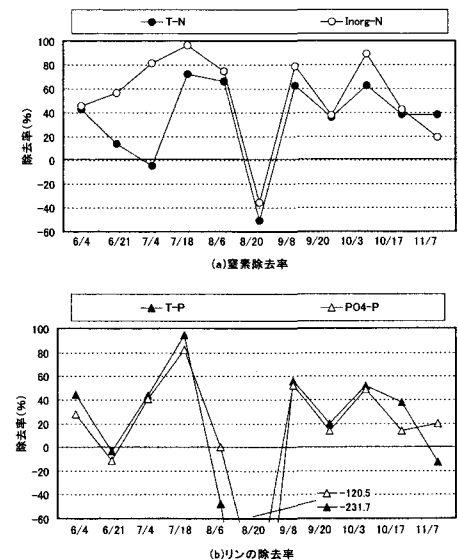


図-6 栄養塩除去率

響があると考えられるが、河川水の流入を中止した 9 月以降に於ける濃度低下は植生による栄養塩除去であるといえる。

#### 4.4 栄養塩の除去率の評価

本実験池における栄養塩の各濃度と流量(①処理水流入量:本実験の観測流量ではなく、処理施設記録の流量,②河川水量:観測流量,③流出量:①と②の合計)から栄養塩量の収支を求め、河川水の影響を考慮した実験池全体の除去率を算定した。その結果を図-6 に示す。除去率は平均で Inorg-N:53.0%, T-N:34.0%,  $PO_4$ -P:16.6%, T-P:4.7% となっており、実験を開始した平成 13 年度の結果(Inorg-N:-16%, T-N:-10%,  $PO_4$ -P:-4%, T-P:8%)とは異なり、高い除去率となった。これは、実験開始時は休耕田を耕したために、底質から栄養塩が溶出したが、2年目からはその影響がなくなり、本来の植生浄化の効果が表れてきたと考えられる。6月から8月にかけて Inorg-N の除去率が高いのは表-1 に示したように植物の生長が活発な時期であるため、植物による栄養塩の吸収量が増加したためであると考えられる。7月4日において、Inorg-N が高い除去率を示しているにもかかわらず、T-N が負の除去率となっている。これは、水中に多く存在するプランクトンの死骸や排泄物が懸濁態となり、有機態窒素の増加を招いたのではないかと考えられる。さらに、Inorg-N が有機態窒素に変化したことも考えられる。8月20日に窒素・リン共に負の除去率となっている。リンに関しては、この日の実験池内の DO が 0.2mg/L 以下の所もあることから、底質からリンの溶出があったと考えられる。

#### 5 まとめ

農業集落排水処理水の3次処理として休耕田を利用した植物による水質浄化実験を行った。その結果から、実験池における水質変化と栄養塩の収支を明らかにし、実験池全体の栄養塩除去能について評価した。植栽した植物はすべて旺盛に生育し、実験池の気候や、栄養塩濃度に適した植物であることが明らかとなった。また、実験池は良好な「ビオトープ」として機能しており、カエルやヘビ、水生昆虫等が多数みられた。実験池を通じてあらたな生態系が形成されたと考えられる。

実験池全体の栄養塩除去効果としては、平均除去率において、Inorg-N:53.0%, T-N:34.0%,  $PO_4$ -P:16.6%, T-P:4.7%の成果を得ることができた。窒素・リンが除去される作用としては、植物による吸収だけでなく、プランクトンによる吸収、それらの死骸への吸着・沈降、硝化・脱窒や土壌への吸着等が挙げられる。効果的な栄養塩除去を行うためには、植物の栄養塩除去能をより詳細に検討することが必要である。

本実験を通じて水質浄化以外にも、小学生を対象とした環境学習等を実施し、実験地を事前環境の体験・学習できる環境教育の場とすることができた。さらに、地域住民の工芸品製作による地域の活性化等の多目的な利用にも役立てる見通しがついた。

謝辞:本実験を実施するにあたり、智頭町親水公園連絡協議会、千代川流域圏会議、智頭町役場、芦津住民の方々の支援協力を受けました。また、本実験は、平成15年度から(財)河川環境管理財団の河川美化・緑化調査研究助成を受けています。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 財団法人河川環境管理財団河川環境総合研究所:植生浄化施設の現状と事例,河川環境総合研究所資料第3号,2000.
- 2) 矢島啓・前橋登志行他:千代川源流智頭町における休耕田を利用した水質浄化プロジェクト,第6回水資源に関するシンポジウム論文集,pp.195-200,2002.
- 3) <http://www.tottori-mlit.go.jp/conference/>.
- 4) 村山登,平田熙,矢先仁也,但野利秋,堀口毅,嶋田典司,前田乾一共著:作物栄養・堆肥学,文永堂出版,pp57~60,1984.