

群馬工業高等専門学校 専攻科環境工学専攻 ○日田 寛 青井 透

1. はじめに

利根川水系の上中流部に位置するほとんどの下水処理施設が窒素・リンの除去を行っていないため、下水道の普及に伴い、河川や湖沼における（茨城県霞ヶ浦や栃木県渡良瀬遊水池に代表される）富栄養化は進行しつつある。この富栄養化防止の方策は多数あるが、この中で水生植物を利用した栄養塩除去技術は水面と太陽エネルギーを利用するため、「エコリーかつエコバー」な技術である。筆者らはこの技術にアザオイに代わる植物としてウォーターレタスを取り上げ研究を行ってきた。このウォーターレタスは $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ が同時に存在する場合 $\text{NH}_4\text{-N}$ を優先的に除去することや¹⁾、梅雨時期における低日照量時、夏期における高水温時および冬期における低水温時のいずれの場合でもアザオイに比べ、高い増殖速度を示すことが分かっている²⁾。今回はこのウォーターレタスを用いて、屋外連続実験および大規模生育実験を行い、閉鎖性水域における実用化について検討を行ったので報告する。

2. 実験内容および方法

2・1 屋外連続実験 当高専合併処理浄化槽(1,100人槽)の消毒前処理水をオーバーフローに揚水し、このタンクから定量ポンプ（間欠運転）でウォーターレタスを浮かべた各容量12Lの36連ポンプタンクに供給し、窒素・リンなどの測定を行った。実験装置は図1内に設置したが、その外観を写真-1に示す。

2・2 大規模生育実験 本校実験室のゴムシート防水の平らな屋上の排水孔を30cm程度嵩上して池にして、窒素・リン源として無機塩を添加し水道水で満たした。面積70m²のこの池に当初面積1m²、湿重量6kgのウォーターレタスを浮かべ育成した。また、本校には長さ

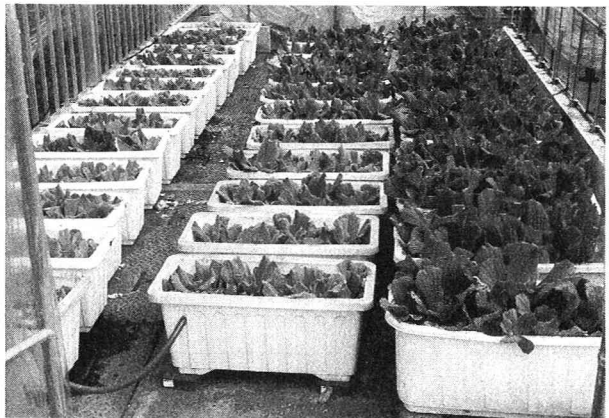


写真-1 屋外連続実験装置外観

約130m、幅約60m、水面積7850m²の農業用ため池（以下、西湖と称する）があるので、この西湖で大規模生育実験を行った。この西湖は高専周辺の市街化が進んだにもかかわらず、下水道が未整備であるため生活雑排水の混入が著しく、池の底には降雨時に水路の底から巻き上げられ流入した有機汚濁物がドロ状に沈積し嫌氣的分解をしている。また水質も劣化しているため、大きなコイおよびフナを除いては一切の魚が生育できない不毛の環境である。この西湖の水面の一部をフローティング（発泡スチロール使用、面積1500m²）で仕切り、実験室屋上で育成したウォーターレタスを移送して成長状況を観察した。また湖岸に50mm塩ビ管で囲み、底部に金網を張った浮揚性のフレーム（幅1.0m×長さ1.5m）を複数作成し、その中でウォーターレタスとアザオイを育成し増殖速度を観察した。

3. 結果および考察

3・1 屋外連続実験 今回行った屋外連続実験の概要を表-1に示す。またRUN3からRUN5の夏期連続実験における水質変化を、図-1から図-3に示す。この実験を行う前のRUN2の梅雨時期連続実験においては、約1.5日間の滞留で12mg/Lの窒素を除去した。RUN3からRUN5の夏期連続実験は、実験日が夏季休業中であるた

め流入負荷が小さいため、硝化反応により $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が 1 mg/L 以下でほとんどが $\text{NO}_x\text{-N}$ となっているが、最も植物が生長する夏期であるため窒素除去は良好であった。RUN3では滞留時間が70

表-1 屋外連続実験概要

略号	実験日	滞留時間	植物量	窒素($\text{NO}_x\text{-N}$) 除去速度
RUN1	1996. 6/4	17 4Hr	植物がプランター内飽和状態	
RUN2	1996. 6/7	32 5Hr	植物がプランター内飽和状態	8 mg/L/日
RUN3	1996. 8/12	70Hr	植物がプランター内飽和状態	10 mg/L/日
RUN4	1996. 8/19	32 5Hr	植物を約1/2に間引いた状態	5 mg/L/日
RUN5	1996. 8/26	32 5Hr	RUN 2後成長し飽和に近い状態	10 mg/L/日

時間(約3日間)と長いめほぼ半分の時間(1.5日間)でほぼ全量の窒素が除去されており、平均窒素除去速度は 10 mg/L/日 となる。この時の植物量は概ね 15 kgwet/m^2 であり、ほぼ飽和の状態であった。次にRUN4では滞留時間を33時間(1.5日間)と短縮して行ったが、この実験を行う4日前に植物を5割程度間引いたために見かけ上の窒素除去速度は 5 mg/L/日 と低下している。この後行った実験のRUN5では再び植物量が飽和状態となり、図-3のように最終段のプランターで窒素はちょうど除去されている(窒素除去速度 10 mg/L/日)。このように植物が最大に成長する夏期(水温約 30°C)ならば、滞留時間1日で窒素は 10 mg/L 程度除去できることが分かる。またRUN4の植物量はRUN3の約半分であるので、植物重量当たりの窒素除去速度を比較すればほぼ同等である。このことから本植物による窒素の除去は、植物の根に付着したバクテリアが窒素を消費しているのではなく、植物自体が窒素を吸収しているといえる。またRUN4におけるリン除去速度を最大植物量時に換算すると概ね $3\text{ PO}_4\text{-P mg/L/日}$ と窒素除去速度の約3分の1であった。

3・2 大規模生育実験 今回行った大規模生育実験の概要を表-2に示す。実験室屋上で育成したウォーターレタスを西湖に7月中旬に約 150 m^2 移送し、フートフェンスで囲んだ栽培水域(約 1500 m^2)に放流し実験を開始した。RUN6においては梅雨明けからの好天と高温にも恵まれ、非常に速い速度で水面を被覆していき、14日間でフェンス内は覆いつくされた。この3日後に大雨が降りフェンス内のウォーターレタスの3分の2が流出してしまった。残った植物をそのままにし、引き続き実験を継続した(RUN7)。この実験においても非常に速い速度で成長し、開始後13日でフェンス内を覆いつくした(写真-2)。この時に目視観察した毎日の成長記録を図-4

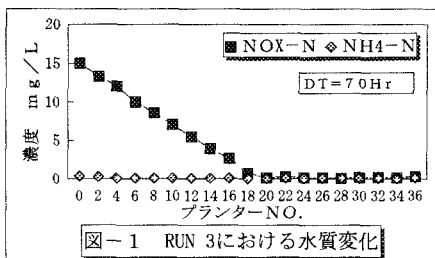


図-1 RUN 3における水質変化

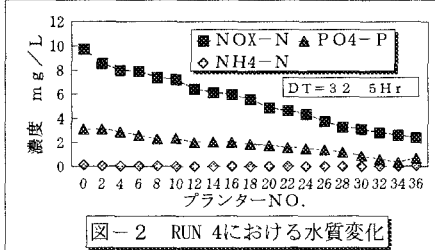


図-2 RUN 4における水質変化

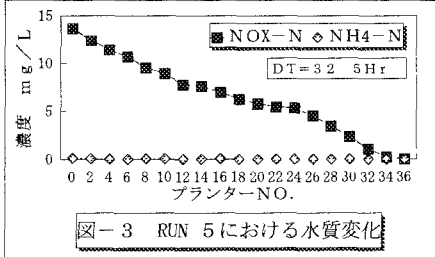


図-3 RUN 5における水質変化

表-2 大規模生育実験概要

略号	実験期間	備考
RUN 6	7/18~8/4	200m ² 程度放流 8/1に全面を被覆
RUN 7	8/5 ~8/28	3分の1程度から再スタート 8/17に全面を被覆
RUN 8	8/29~9/9	3分の1程度から再スタート 9/8に全面を被覆

(記) 各実験期間中に大きな降雨はなく植物の流失はない

に示す。過去の回分実験の結果では比増殖速度は最高で $0.11(1/D)$ であった²⁾が、比増殖速度が 0.1 ということは10日間で倍の重量になる計算であり、栽培水域を完全に被覆するまでには約1ヶ月かかるはずである。しかし予想に反して今回の実験では2週間で完全に被覆したことは、植物体が成長途中でまず横方向に成長するため、比増殖速度で計算したよりも速い速度で水面を被覆したものと思われる。また、湖岸に設置した塩ビ管 7 m 内では、ウォーターレタスと荻イロとの成長状況を比較するため8月初めに両植物とも7株ずつ放流した。その後観察を続けたが、14日後にウォーターレタスは 7 m 内を完全に被覆したが、荻イロは9月中旬によく全

面を被覆した。この実験の結果から、西湖のような環境(本実験中の水質の一例は、全窒素量 2.6mg/L ($\text{NO}_x\text{-N } 1.4\text{mg/L}$, $\text{NH}_4\text{-N } 1.2\text{mg/L}$)、全リン量 0.6mg/L であった)において、ウォーターレタスはホテイアオイに比べ、より速い速度で成長することが確認された。大規模生育実験での植物量は単位面積当たり $15\sim 18\text{kgwet/m}^2$ であり、最大湿重量 350g/株 程度であった。この数値はより高い窒素・リン濃度の連続実験で生育した単位面積湿重量、個体湿重量とほぼ同等であった。

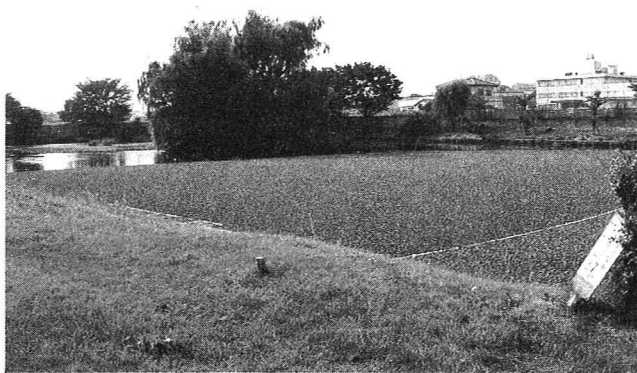


写真-2 大規模生育実験（最大繁殖時）

3・3 実用化の検討

これまでの結果から、関東地方以南ではこの植物を利用した閉鎖性水域の水質浄化の可能性は非常に高いといえる。既に富栄養化した水域では直接浄化の有効な手段がないことが多いが、この植物を春から生育開始すれば、梅雨期の低日照量でも高い増殖速度を示すために、急速に水面を覆うと共に生育量に見合った窒素・リンを除去する。また上記したような表面被覆速度を利用して、アオコの繁殖を抑制することも可能と推測される。回収植物体の有効利用の

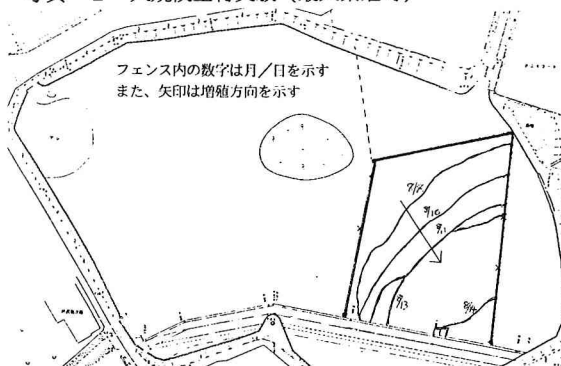


図-4 大規模生育実験での水面被覆状況の一例

可能性については別途検討中であるが、実用化の成否は余剰植物体の回収および有効利用の可能性にかかっており、本植物は最大に成長しても直径 25cm 程度、湿重量 400g 程度とホテイアオイのように過大に成長せず¹⁾また植物が相互に絡まないために、ラジコンボート等で回収し簡単なコンベアーで陸上に引き上げることが可能であり、余剰植物体の回収はホテイアオイに比べ容易と思われる。

4、まとめ

ウォーターレタスの屋外連続実験および大規模生育実験より以下のようなことが分かった。

- 1) 本高専合併浄化槽処理水を用いた屋外連続実験の結果、本植物の最大除去速度は窒素 ($\text{NO}_x\text{-N}$) 10mg/L/日 、リン 3mg/L/日 と非常に高い速度であることが分かった。
- 2) 生活雑排水で汚濁した農業用ため池での夏期大規模生育実験では概ね2週間という短い期間で水面を被覆することが分かった。
- 3) 本植物の成長個体は直径 25cm 、湿重量 400g 程度で相互に絡まない特性があり、陸上への回収は容易であると思われる。

謝辞：大規模生育実験に際してフロートフェンス製作、ウォーターレタスの重量測定等で本校土木工学科4年生の協力をいただいた。またウォーターレタスの移送については土木工学科1年生にも協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 青井透(1995)新しい浮遊性植物(ウォーターレタス)の栄養塩除去特性、第3回北海道大学衛生工学シンポジウム、pp48-53
- 2) 日田寛、青井透(1996)ウォーターレタスとホテイアオイの生育および窒素除去特性の検討、第30回日本水環境学会学年会講演集、p213
- 3) 青井透、日田寛(1996)ウォーターレタスによる水質の浄化と生態系の復元、「環境用水の汚濁とその浄化」第3回シンポジウム講演論文集、pp60-64
- 4) 日田寛(1996)ウォーターレタスによる水系からの窒素・リン除去、学位授与機構提出学修成果レポート(提出中)