

草花による水質浄化システムの研究



青森県立名久井農業高等学校

TEAM FLORA PHOTONICS

園芸科学科 2 年

葛形小雪 佐藤晴香 四戸美希 野田寿樹

佐々木愛 種市雪菜 松橋奈美

1 現状と課題

人間生活によって湖沼や河川に過剰な窒素やリン酸が流れ込み、富栄養化を引き起こす水質汚染が各地で発生している。これにより過剰な栄養によりアオコと呼ばれる藻が大量発生し、水中の酸素濃度が減少するため水生生物に影響を与えている。なかでも都市公園の修景池やゴルフ場の池などは、水の交換が少ないため汚染されやすく、悪臭を発生することが多い。浄化装置によって水質浄化は可能だが、今日本は慢性的なエネルギー不足となっている。そこで従来からエコな水質浄化対策としてアシやホテイアオイという浄化力の高い水生植物を活用してきた。しかし近年、ホテイアオイは繁殖力旺盛なため、外来生物法で要注意外来生物に指定されてしまった。また都市公園ではホテイアオイやアシによる浄化は景観を損なう理由からまったく導入されていない。

アシによる水質浄化



富栄養化によるアオコの発生



環境問題といえば大自然をイメージするが、都市公園と地球の水系には境界線がない。つまり修景池の環境修復の取り組みは地球規模の水質修復につながるものである。私たちは植物研究チームである。そこで植物による新しい水質浄化の研究に取り組むことにした。

2 活動の目的

- (1) 都市公園に適した新しい水質浄化植物を考案する
- (2) 植物を活用した高性能でエコな水質浄化システムを開発する
- (3) 地域の公園で水質浄化ボランティアに取り組む

3 研究内容と結果

(1) 水質浄化の基本的な仕組み

植物は根から硝酸態窒素やリン酸などを養分として吸い上げる。吸い上げる力は、葉の気孔から水分が蒸散することによって生まれる。気孔とは光合成を行う際、二酸化炭素を吸収する場所である。したがって旺盛に二酸化炭素を吸収し光合成する植物は蒸散が多くそのため根から吸収する力も高い。サンパチェンスは気孔が多く旺盛な光合成を行う草花である。そこでサンパチェンスを用いて実験に取り組むことにした。

環境浄化植物サンパチェンス



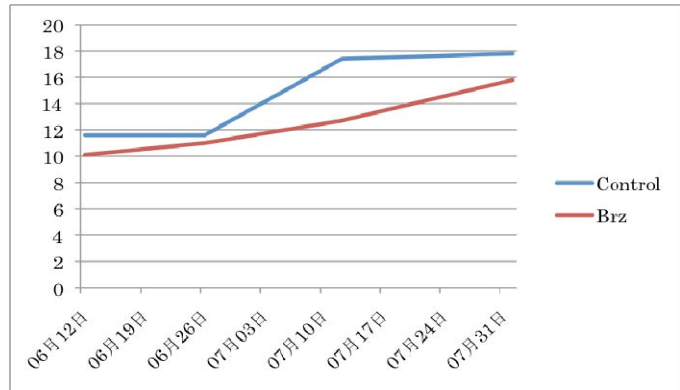
(2) 光合成能力向上の工夫

光合成は光がある程度強いほど促進される。植物ホルモン「ブラシノステロイド」の生成阻害剤ブラシナゾールを散布すると植物の光感受性が高まることがわかっている。そこでサンパチェンスの光合成能力をさらに高めるため処理を行った。手順は次の通りである。

- ① ブラシナゾール (Brz) 50ppm 水溶液を用意する。
- ② 2日に1回、計6回葉面散布する。

その結果、葉が濃くなり草丈がやや小型化した。これはBrzにより光感受性が高まったからだと思われる。私たちはこれをスーパーサンパチェンスと呼ぶことにした。

散布の有無による草丈の違い (cm)



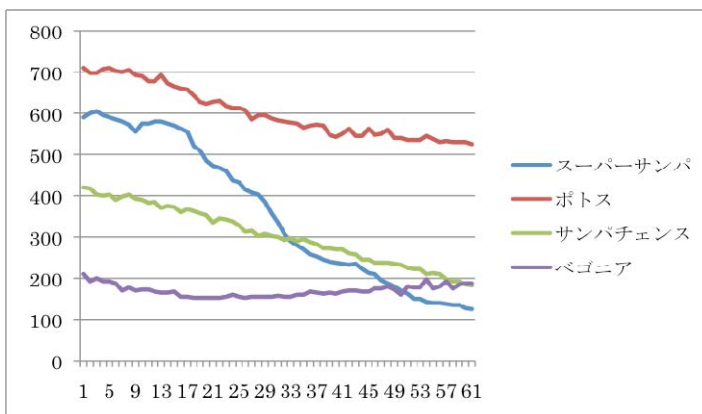
(3) 二酸化炭素吸収量及び蒸散量の調査

浄化力が二酸化炭素吸収量、蒸散量と比例することから能力を測定してみた。

① 植物の二酸化炭素吸収量

- ア 0.63 m³の水槽を用意し、中に植物と二酸化炭素センサーを入れる。
- イ 植物はスーパーサンパチェンス、サンパチェンス、ポトス、ベゴニアとした。
- ウ 容器を密閉し濃度を1分毎に60分間コンピュータで測定する。
- エ 気温は25℃、光量子量(明るさ)は40~60 μmol m⁻² s⁻¹とする。

二酸化炭素濃度の変化 (単位: ppm 横軸: 分)



測定の様子

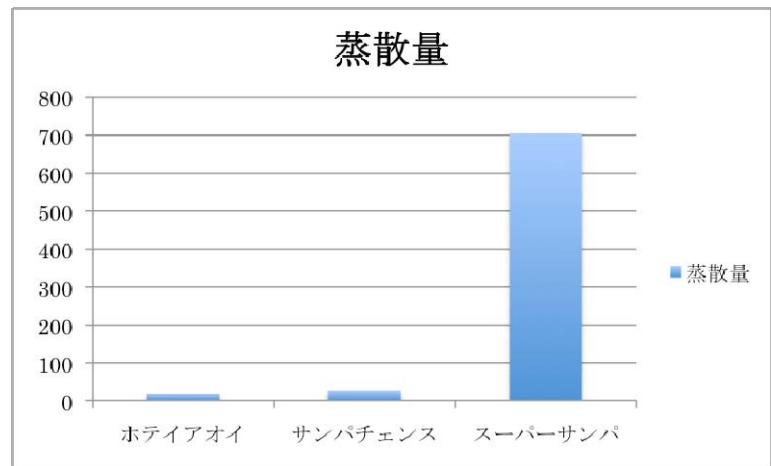


② 植物の蒸散量

- ア 0.63 m³の水槽に17Lの水を入れる。
- イ そこに鉢植えのスーパーサンパチェンス、サンパチェンスとホテイアオイをそれぞれ設置する。なおサンパチェンスは水生植物ではないため根腐れをおこさないよう事前に20日間、水を3cmためた容器に鉢を入れ水中根を発根させておく。
- ウ 設置したらどれくらい蒸散するのか4週間調査する。

実験の結果、ホテイアオイ、サンパチェンスよりも Brz 処理したスーパーサンパチェンスの方が二酸化炭素を吸収するとともに蒸散量が極めて多いことがわかった。これによりスーパーサンパチェンスの光合成が盛んになり、浄化力が高まっていると考えられる。この実験が成功したことで従来より優れた浄化植物を考案することができた。

1 週間の平均蒸散量 (単位 : ml)



(4) 水質浄化のサポート

サンパチェンスは陸上の植物である。この植物を水上で栽培するために次のような①から③を考案し、サンパチェンスをサポートすることにした。

①浄化をサポートする工夫 その1

- ・ 鉢底に小さな穴を開け、根が鉢から外に出られるようにする
- ・ 鉢底に 3 cm 程度の吸着物質ゼオライトを敷く
- ・ その上に培養土を入れ、スーパーサンパチェンスを植える
- ・ 鉢ごと水深 3 cm 程度のプールに浸け、水中根 (水中で生える根) を発生させる
- ・ 水中根を出たサンパチェンスの鉢底を水槽につけて浄化を行う。

鉢底に穴をあける



水中根の発根促進

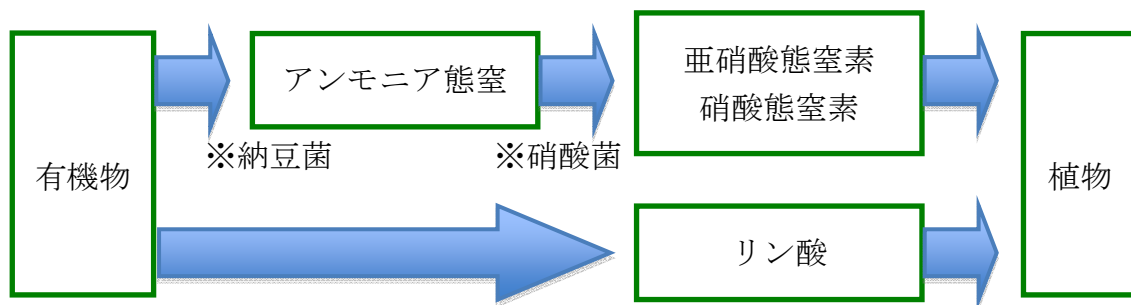


②浄化をサポートする工夫 その2

富栄養化した池にはアンモニア態窒素の形で汚染物質が流入してくる。しかし植物の多くは、このアンモニア態窒素を根から吸収できない。微生物によって亜硝酸態窒素を経て硝酸態窒素に分解されてはじめて吸収できるのである。これらの微生物は水中や土壤中に存在するが、人工的に作られた修景池では底やへりがコンクリートのため自然界より活動は停滞していると思われる。そこで有機物をアンモニア態窒素へ、そして硝酸態窒素に変

換し積極的にサンパチェンスへ提供するために微生物の力を借りることにした。有機物をアンモニア態窒素に変換する微生物は「納豆菌」を用いる。誰もが知っている安全な菌である。次にアンモニア態窒素から硝酸態窒素に変換する微生物は「硝酸菌」。こちらも養魚に用いる安全な菌である。

有機物が分解され植物に吸収される過程

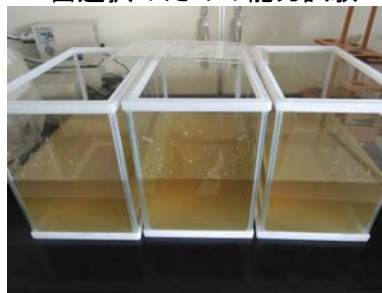


微生物は液体培養される。しかし微生物を液体で池に投入すると、最初は効果が期待できるもののすぐに水とともに流出してしまい効果は消えてしまう。そこで微生物が流れ出ないように人工イクラの技術を用いて、ゲル状のビーズ（小さなボール）内に閉じ込めて用いることにした。1鉢わずか50mlの菌を直径3mmのビーズに閉じ込めることで表面積はなんと約0.27㎡にもなり、効率よく水と接触することができる。微生物はビーズの中に入ってくるアンモニア態窒素を含む池の水と反応して、サンパチェンスが吸収できる硝酸態窒素に変換し放出する。この方法では微生物が池から流れでることなく長い間効果が持続する。さらにサンパチェンスを設置した場所にだけピンポイントで設置することで、効率的に栄養分を供給することができると思われる。そこで試験を行った。

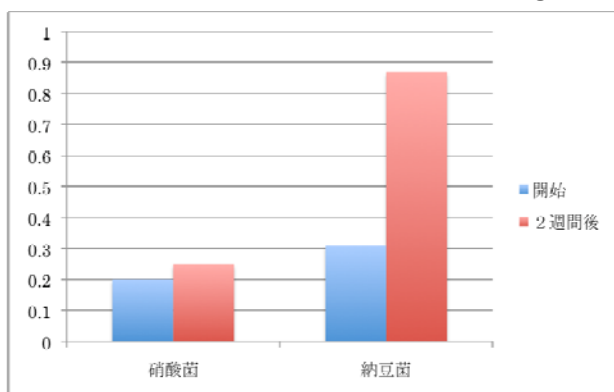
自作した微生物ビーズ



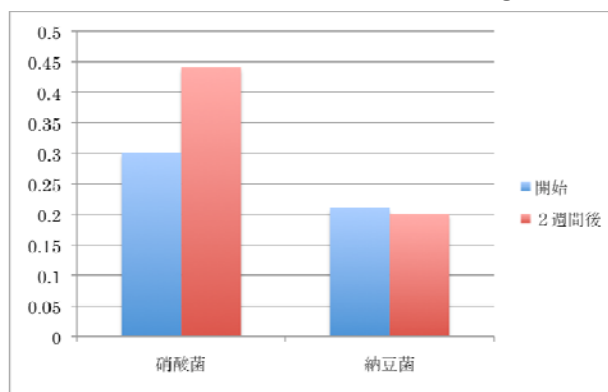
菌選択のための能力試験



アンモニア態窒素の生産量比較（単位 mg/L）



硝酸態窒素の生産量比較（単位 mg/L）



上のグラフは私たちが行った納豆菌と硝酸菌が2週間で生産する窒素量の違いを測定した実験結果である。実験に用いたのは本校のビオトープの水である。実験の結果、納豆菌は硝酸菌よりも3倍以上も有機物をアンモニア態窒素へ変換できることがわかった。逆に納豆菌よりも硝酸菌の方がアンモニア態窒素から硝酸態窒素へ2倍以上も変換できることがわかり、私たちの仮説通りの結果となった。

しかし富栄養化した湖沼の汚染原因はアンモニア態窒素である。アンモニア態窒素がすでに過剰に増えている状態である。検討の結果、早く浄化するには、アンモニア態窒素を硝酸態窒素にする硝酸菌ビーズを利用するのが効果的という結論に達した。

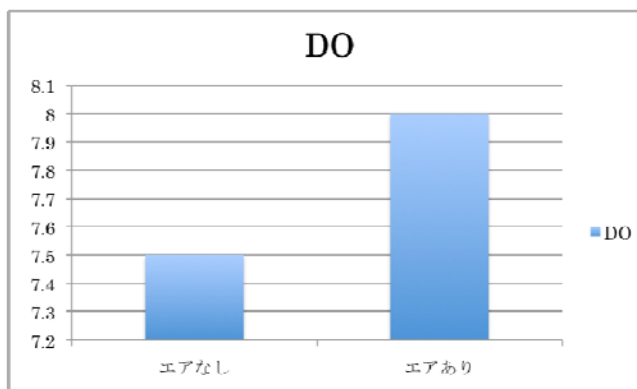
③浄化をサポートする工夫 その3

植物は根でも呼吸している。したがって水中に土壤根をいきなり入れてしまうと根腐れが起きる。そこで馴化させ水中根を事前に発生させているが、水中の溶存酸素は多い方がいい。またサポートとして導入する微生物も好気性細菌のため、働くには十分な酸素が必要である。そこで水中に空気を送り込むこと（エアレーション）にした。その結果、エアレーションすると水中の酸素量が増えることがわかった。これにより微生物ビーズがより旺盛に機能すると思われる。

鉢底にビーズとゼオライトを入れる



エアレーションによる溶存酸素量の比較 (mg/L)



(5) 水質浄化実験

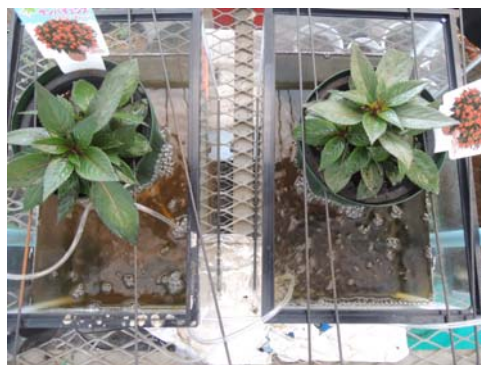
光合成能力を高めたスーパーサンパチエンスと微生物やエアレーションなどのサポート技術の組み合わせを水質浄化用「バイオエンジン」と名付けた。そこで実際に富栄養化した水を浄化する実験を行った。

<実験手順>

- ① 水槽にビオトープの水 17L と液肥ハイポネックス (6-10-5) 1.7ml 添加して人工的に富栄養化の水（成分は下表）を作る。

主な成分等	mg/L
アンモニア態窒素 (NH ₄ -N)	3.15
硝酸態窒素 (NO ₃ -N)	1.03
リン酸態リン (PO ₄ -P)	1.6
濁度	84.3

浄化試験の様子



- ② 水槽に馴化処理したスーパーサンパチェンス、サンパチェンスの鉢をつける。その際、スーパーサンパチェンスの鉢底には約 950 粒の硝酸菌ビーズとゼオライトを入れる。
- ③ この他にまったく植物を入れない Control 区、ホテイアオイ区を設ける。
- ④ エアレーションはスーパーサンパチェンスとサンパチェンス区に設定する。ホテイアオイにエアレーションを施さなかったのは自然状態に近づけるためである。
- ⑤ 測定項目は蒸散量、アンモニア態窒素量、亜硝酸態窒素量、硝酸態窒素量、リン酸量、DO (溶存酸素量)、pH、EC (電気伝導率)、濁度を 1 週間ごと 4 週間調査した。分析は吸光度計を用いて自分たちで測定した。ここでは主なデータを報告する。

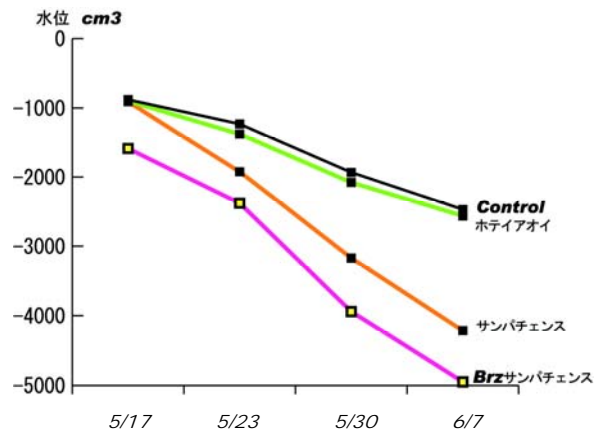
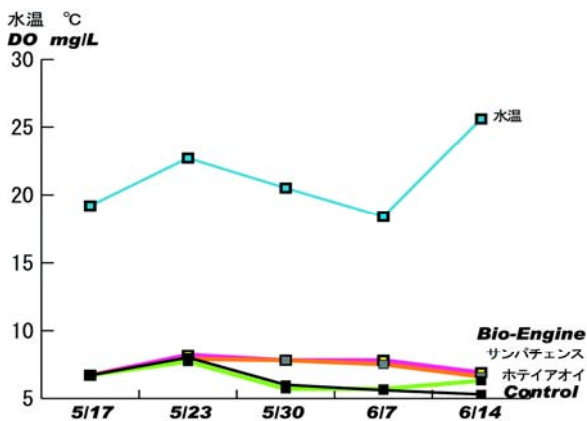
<結果>

① DO (溶存酸素量)

エアレーションしているバイオエンジンとサンパチェンス区の酸素量が 6.9 以上と高くなった。エアレーションしない区は酸素が 5 mg 前後と低く悪臭が出てきた。

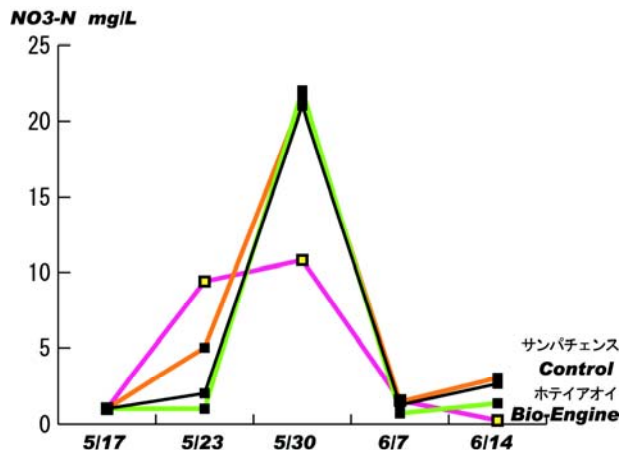
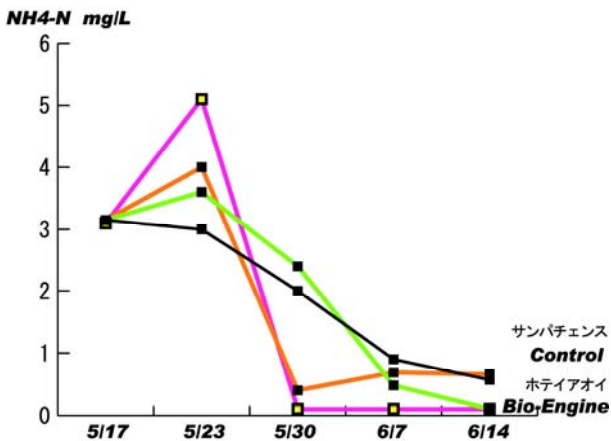
②蒸散量 (水量の変化)

サンパチェンス、スーパーサンパチェンスとも気孔が多いため蒸散量がホテイアオイの 2 倍もあり、水位の低下が早かった。これにより根から旺盛に水や富栄養化物質を吸収していることが想像できる。



③アンモニア態窒素量 (NH₄-N)

ホテイアオイは2週間後でも約 0.6mg までしか浄化できなかった。しかしバイオエンジンは下水並みに多かったアンモニア態窒素をわずか2週間で雨水並みの 0.2mg まで浄化した。これはバイオエンジンに組み込まれた硝酸菌が分解したものである。これによりバイオエンジンはホテイアオイの 3 倍の浄化力をもちことがわかった。



④硝酸態窒素量 (H03-N)

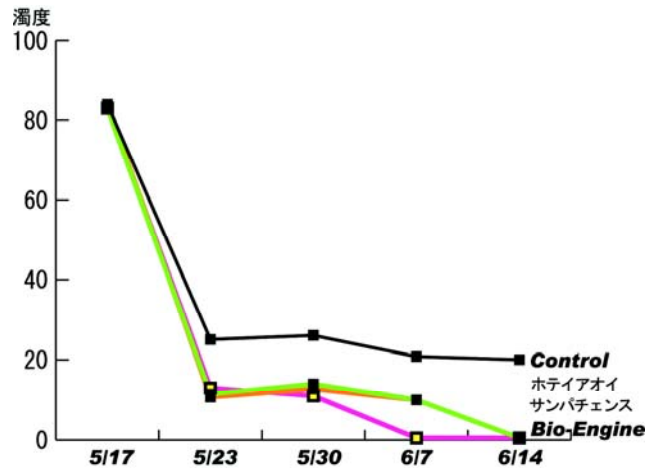
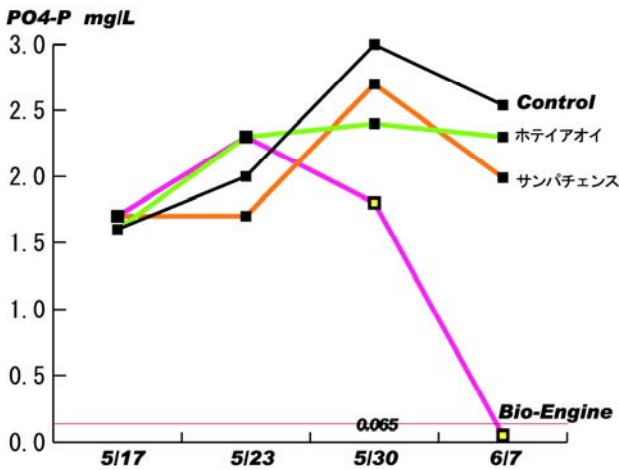
バイオエンジン以外の区は実験開始から2週間後に硝酸態窒素が23mg 前後まで高くなった。これは水に含まれている自然の硝酸菌によるものである。しかしバイオエンジンは高くても12mg 程度であった。これはバイオエンジンに付加された硝酸菌が作った硝酸態窒素をスーパーサンパチェンスがすぐに吸収しているからだと思われる。

⑤リン酸態リン (P04-P)

アンモニア態窒素と並ぶ富栄養化の指標であり、汚染の基準は0.065mg 以上といわれている。3週間たってもサンパチェンス、ホテイアオイは基準まで浄化できないが、バイオエンジンはこのように3週間で0.05mg と湧き水並みに浄化した。光合成能力が高まったスーパーサンパチェンスの優れた浄化力があらわれた成果である。

⑤濁度

水の濁りを示す濁度についてもバイオエンジンは浄化力の高いホテイアオイよりも早く数値を下げ、水を透明化できることがわかった。

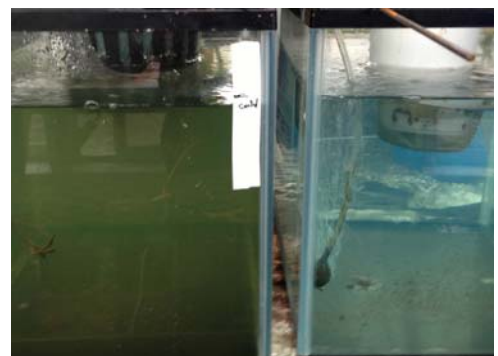


以上のようにスーパーサンパチェンスは高い浄化能力を示した。また1日当たりの平均吸収量は他の水生浄化植物と比較しても遜色ないことがわかった。景観の問題からアシやホテイアオイが使えない都市公園の修景池においてこれは朗報である。

1日当たりの一般的吸収量 (g/m3/日)

濁度 (左: サンパ 右: バイオエンジン)

主な成分等	NH4-N	P04-P
スーパーサンパチェンス	0.4~0.5	0.04~0.07
アシ	0.1~0.5	0.02~0.08
ホテイアオイ	0.6~2.7	0.05~0.5



微生物が発生する炭酸ガスの泡

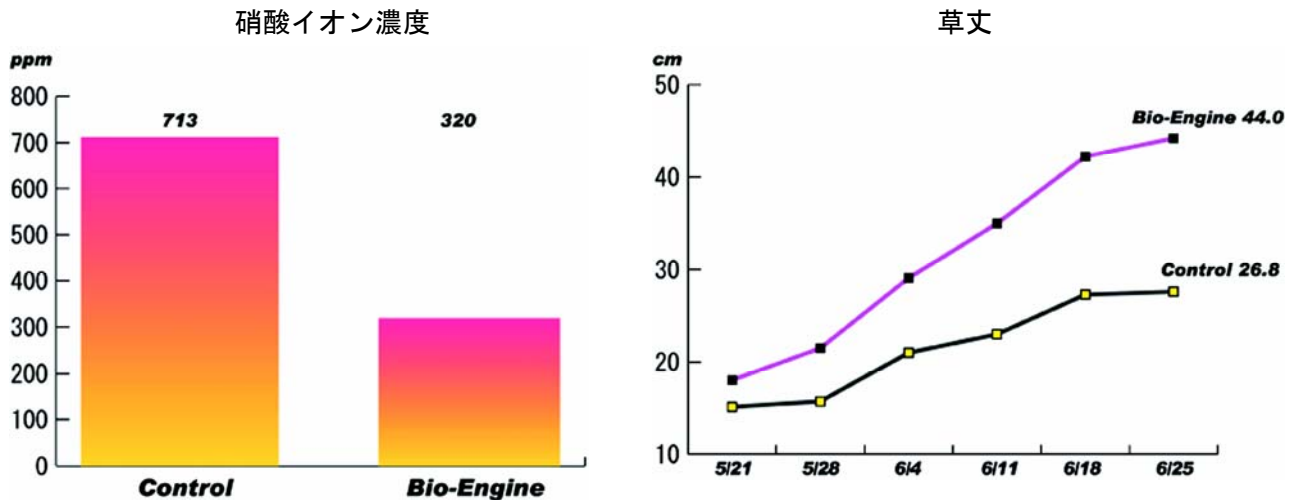


(6) 植物体の分析

どの程硝酸態窒素を吸収したのか4週間後のサンパチェンスの茎に含まれている硝酸イオン濃度を測定してみた。

①硝酸イオン濃度

分析の結果、無処理のサンパチェンス (Control) よりもバイオエンジンの方が茎の硝酸イオンが 320ppm と半分以下であった。たくさん吸収したので大量に蓄積されていると想像していたので驚いた。



② 草丈

硝酸イオン濃度が低い理由は草丈に隠されていた。Brz を散布すると光感受性が高まり、光を求める必要がなくなり小型化するのが普通である。しかしこの実験では Brz を散布したバイオエンジンの草丈が約 20cm も高くなっている。硝酸イオンは植物内でアンモニアに変わり、光合成で合成された糖と反応して植物体を作るアミノ酸やタンパク質になる。おそらくたくさん吸収した硝酸態窒素は光感受性が高まったサンパチェンスにより活発にタンパク質合成に使われと思われる。草丈が大きく硝酸イオン濃度が低かったのはこれが原因だと考える。

浄化試験3週間後の水質

分析項目	開始時	ホテイアオイ	サンパチェンス	バイオエンジン
アンモニア態窒素	3.15	0.48	0.69	0.2 以下
亜硝酸態窒素	0.01	2.2	0.11	0.03
硝酸態窒素	1.03	0.71	1.45	1.53
リン酸態リン	1.6	2.3	1.99	0.05
EC (μ S/cm)	210	200	260	380
pH	7.0	7.7	7.5	7.8
DO	5.6	5.7	7.5	7.8
濁度	84.3	10.8	10.0	10.0 以下

(7) 実用化試験

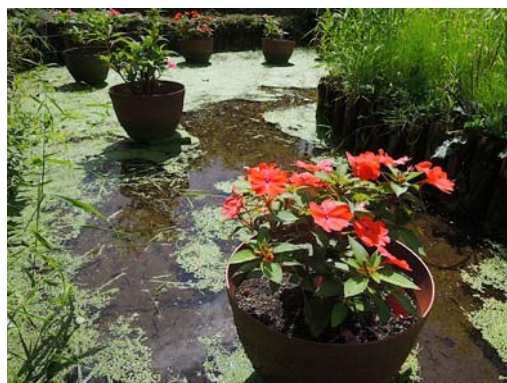
青森県南部町にふれあい公園という都市公園がある。この公園の修景池 (約 40 m²) は町

民の憩いの場であるが、農地で使う肥料等の影響のためか春から夏にかけて富栄養化傾向となる。そこで町の協力を得て水質浄化と美しい景観を目的にバイオエンジン19鉢を設置した。

ふれあい公園で花を咲かせるスーパーサンパチェンス

ふれあい公園の水質分析 (mg/L)

分析項目	5/27	7/9
アンモニア態窒素	0.44	0.2
硝酸態窒素	0.65	1.03
リン酸態リン	0.19	0.08
COD (化学的酸素消費量)	7.4	2.0 以下



約1ヶ月半後、水槽でおきた現象が上記表のように実際の池でもおき、ゆっくりではあるが浄化されていることがわかった。

特に7.4mgと下水並みの汚染を示したCOD (化学的酸素消費量)が雨水並みの2mg以下まで浄化したのには驚いた。確実にバイオエンジンの効果があらわれたものと思う。現在は八戸市と連携して都市公園「三八城公園」の修景池「ひょうたん池」にも設置してモニタリングを開始している。また美しい景観を作り始めていることから地元新聞に「草花を活用した水質浄化と景観形成」と取り上げられ広く紹介されている。

ひょうたん池での浄化試験



※導入試験中のソーラーエアポンプ

4 研究のまとめ

今回、私たちはサンパチェンスの光合成能力を高めることで飛躍的に浄化力をアップさせることに成功した。さらに陸生植物のサンパチェンスが水上でも浄化力を発揮できるよう微生物ビーズとエアレーションを付加したがこれも浄化力向上に大きな効果を発揮した。私たちはこの組み合わせをエコ水質浄化システム「バイオエンジン」と名付けて実用化に入っている。サンパチェンスによる水質浄化は各地で試験が行われている。しかしこのような発想なシステムは私たちだけのものである。今後はもっと普及させたいと考えている。また私たちが主催したスーパーサンパチェンスを活用した地元中学生への環境教室も人気である。さらに公園での浄化活動中に多くの方から激励と花を愛でる言葉をいただいた。水上に咲く美しい花は見応えがあり、水上ガーデニングとし

中学生のための環境教室



て景観作りに大いに貢献している。将来は世界各地の公園をこのバイオエンジンで飾りたいものである。最後になったが、研究にご協力くださった(株)サカタのタネ、岡山大学、八戸市、南部町他、多くの方々に感謝する。

5 参考資料

- (1) 水質浄化と水辺の修景 (ソフトサイエンス社)
- (2) 水調べの基礎知識 (オーム社)
- (3) 水質浄化の基礎データ
(file:///Users/kimuratohru/Desktop/水質浄化 k 基準.webarchive)