

憩の場における池の浄化と維持に関する研究

村上 定瞭*・竹内 正美*・深川 勝之*・三好十武士*
石川 宗孝**・兼安 彰***・西野 伸幸***

キーワード：池浄化・生物膜・マグネシウム接触・
紫外線照射

1. はじめに

都市化に伴い各自治体では、公園・庭園など住民の憩いの空間造りに苦心している。憩いの空間の重要な構成要素の1つに池がある。しかし池には生活廃水の流入やコイ・鳥の餌等による水質汚濁が水生微細藻類の発生する原因となっている。藻類が発生すると、透視度の悪化による景観の低下や異臭の発生など憩いの場としての機能が著しく低下する。従来池の藻類防止対策¹⁾として、①汚濁物質の流入阻止、②底質の除去、③人工水流法²⁾、④曝気法³⁾、⑤生物膜法¹⁾、⑥物理ろ過法³⁾、⑦紫外線照射法⁴⁻⁶⁾、⑧薬剤散布法⁷⁾等々、多数の方法が開発されている。これらの方法のうち、単独あるいは複数の組合せが採用されているが、個々の方法により水質改善には差異が見られる。しかし、根本的な藻類発生対策には困難が伴うのが現状である。

本研究では家庭から公園・庭園・ゴルフ場等の池(水量数 m^3 ~数千 m^3 レベル)を対象として、生物法・化学法および物理法を組合わせた藻類発生防止法の開発を試みた。①生物法は、微生物担体を充填したろ床に水を通し、微生物の動きにより有機性汚濁物質および死滅藻類を分解除去することを目的とする。ろ床は微生物保持量を増大させ、過大に増殖した微生物の剥離が容易で、ろ床の閉塞対策を考慮した構造とした。②化学法では水酸化マグネシウム $Mg(OH)_2$ ペレット(以下、Mg と略称する)との接触により、藻類の発生の主要な因子であるリンを固定化する。③物理法では紫外線照射により、藻類を殺傷するとともに藻類発

生の誘発成分の分解や死滅藻類の難分解性成分(主として細胞壁等)を生物分解性物質へ改質する。

実験水槽として、室内に設置した蛍光灯照射下の10 $d m^3$ 水槽およびビニールハウス内に設置した温度制御下の3 m^3 水槽を用いた。

2. 実験装置および方法

2. 1 室内10 $d m^3$ 水槽および浄化装置

図-1に実験水槽および浄化装置を示す。水を約10 $d m^3$ 満たし、藻類の発生したビニールハウスの水槽の水を100 cm^3 植種した。循環ポンプ①を用いて、生物ろ床②に通水する。滞留時間は約1分であった。エアリフト③により光合成によって発生した過飽和の酸素除去と炭素ガスの補給を行うと同時に、水の旋回を行った。Mgペレットは長径5 cm 、短径2.5 cm の楕円形状で20 g のものを1個を平均1 cm ぐらいの大きさに粉碎したものを④の部分に置いて水と接触させた。実験水槽を窓側に設置し、水面より15 cm 上の所に45Wの蛍

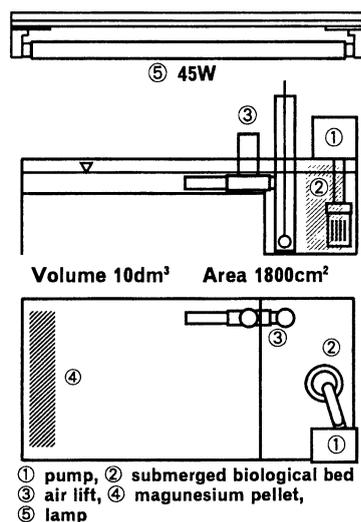


図-1 Apparatus for indoor algae removal test.

* 宇部工業高等専門学校 Sadaaki MURAKAMI, Masami TAKEUCHI, Masayuki FUKAGAWA, Tomuji MIYOSHI
** 大阪工業大学 Munetaka ISHIKAWA
*** 宇部化学工業株式会社 Akira KANEYASU, Nobuyuki NISHINO

光灯を1台吊り下げて一昼夜連続照射した。

実験水槽に金魚の餌（エンゼル色揚げ）を1日1.6g投与した。毎日250cm³の水を抜き取り、水道水を所定の位置まで補給し、水の滞留時間を40日とした。

Mgの効果を検討するため、Mgを添加しない同じ装置を用い同じ条件下で行った。以下、Mgを添加したものを実験水槽、Mgを添加しないものを対照水槽と略称する。

生物ろ床の装置を図-2に示す。容器は500cm³の塩ビ製で、底に9個の穴を開けたものである。この中に塩ビの糸を絡み合わせた断熱材を3.5cm×3.0cm×3.0cmに切断して400cm³充填した。

2. 2 ビニールハウス内3 m³水槽および浄化装置

実験水槽を図-3に示す。サイズW4.1m×D1.6m×H0.7mの水槽の底①に厚さ5cmに川砂を敷いた。この水槽に水道水3 m³を満たし（水深0.5m）、水中ポンプ（66.5 m³/日）③により生物ろ床④に池水を通水して池に戻した。生物ろ床④の上部に15W低圧水銀ランプ（主波長253.7nm）⑤を2台設置して紫外線を照射した。ポンプの前段にMgペレット②20kgを充填して通水した。

生物ろ床を図-4に示す。高さ0.9m、間隔0.05mの同心円状のスペーサ2枚を有する0.52mφ×1.1mの容器に0.05 m³の断熱材を充填した。この断熱材は糸状のものを絡ませた塩ビ製の素材で、W1.8m×H0.9m×T0.03mのもの1枚を裁断して詰めたものである。池水を①から導入して、オーバーフローして②より池に戻した。週1回池水を抜き取り、水道水を補給して水の滞留時間を40日とした。

上記浄化システムを評価するため、対照実験を行った。図-3に示すように対照水槽は実験水槽と全く同じものである。水槽の循環ポンプ側にT社製塩ビ製

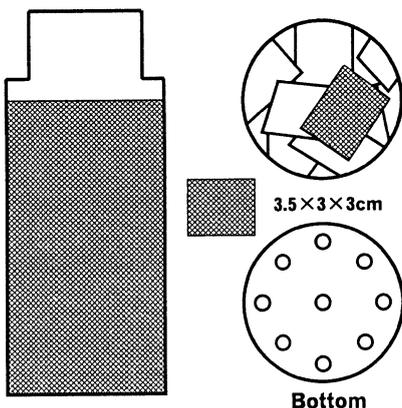


図-2 Submerged biological bed for 10dm³ aquarium.

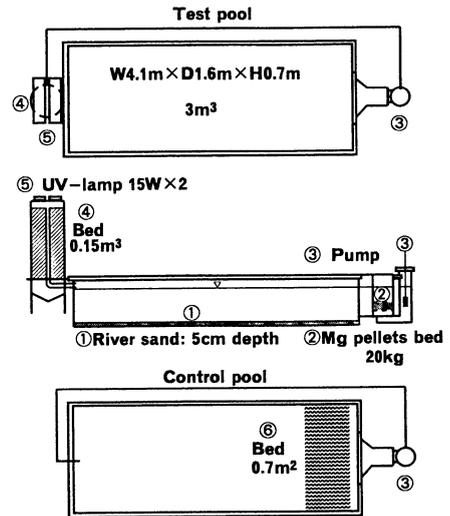


図-3 Apparatuses for outdoor algae removal tests.

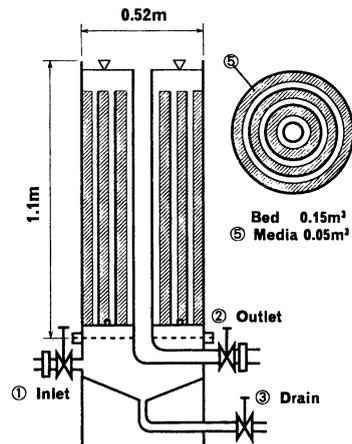


図-4 Submerged biological Bed for outdoor test.

波形充填剤⑥を設置し、浸漬部分は0.7m²であった。対照水槽は0.12m³/分で曝気した。この方法は池の浄化法の一つとして実用化されている。

実験水槽に体長10~18cmのヒナ25匹を飼育し市販のコイのエサ60gを1日1回投与した。対照水槽にもエサ60gを投与した。これらの水槽はビニールハウス内に設置し、気温の低い季節にはヒーターにより藻類増殖の最適温度に保った。

3. 結果

3. 1 屋内10d m³水槽実験

水温 実験初期は1994年7月から11月であった。

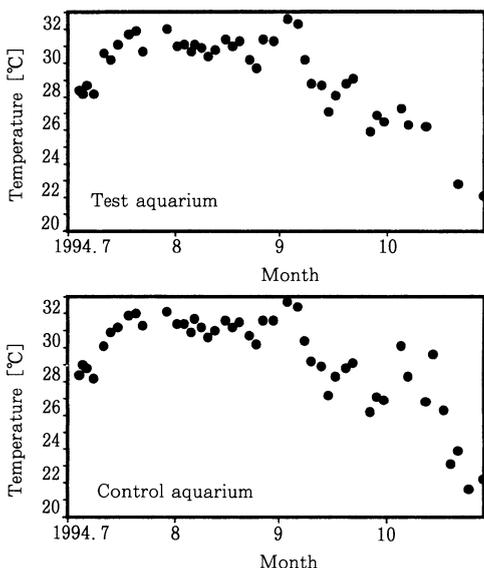


図-5 Monthly changes of temperature in indoor aquaria.

図-5に示すように、水温は28°Cから32°Cに達した後、9月からは少しずつ低下して10月の末には22°Cに低下した。

濁度 藻類発生に伴う濁度(単位: Klett unit)の変化を図-6に示す。実験水槽では7月中旬に約50に達したのち、少しずつ減少して8月中旬から9月中旬まで0の値を示している。9月中旬からばらつきが認められるが、少しずつ増加している。対照水槽では

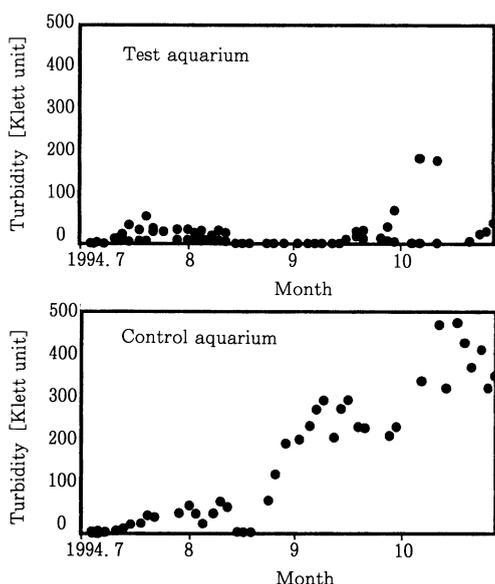


図-6 Monthly changes of turbidity in indoor aquaria.

実験開始と同時に濁度は増加し、8月中旬に一旦0に急変したが、再び増加して10月中旬には400以上に達している。実験水槽と対照水槽の比較により、Mgを添加すると明らかに藻類発生の抑制効果があることが分かる。

透視度 濁度は藻類濃度を評価する指標としては適当であるが、実際に鑑賞池としての機能を評価するには肉眼的な検査である透視度が適切である。図-7は透視度の経日変化を示している。実験水槽では、実験開始とともに透視度は低下して水質が悪化している。

8月10日ごろから急激に改善されて、透視度は100cm以上となった。この状態が約1月間つづいたが9月中旬から透視度は低下し、その後回復は見られなかった。一方、対照水槽では実験開始とともに透視度は低下して8月中旬に一時的に改善されたが、再び悪化して極めて悪い状態が続いた。

pH 図-8は実験期間中のpHの変化を示す。実験水槽は実験開始直後を除いてpHは9から9.5の間で維持されている。これはMgのpH緩衝能力によるものと思われる。一方、対照水槽ではpHは7.5から9.5の間で大きく変動している。これは天候による日照量の変動があるために、光合成量と呼吸量のバランスが変化するためと思われる。

塩化物, 亜硝酸, 硝酸イオン マグネシウムによる藻類抑制のメカニズムを解明するために実験水槽と対照水槽の水質を比較した。水質分析はろ紙GF/Cを

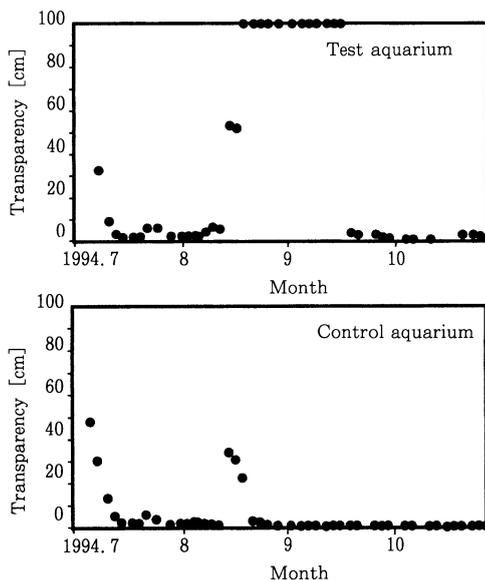


図-7 Monthly changes of transparency in indoor aquaria.

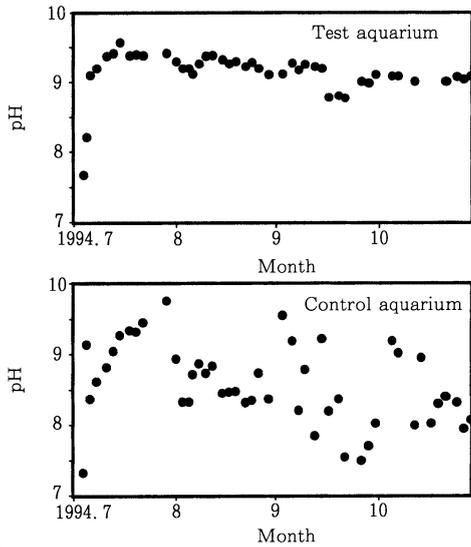


図-8 Monthly changes of pH in indoor aquaria.

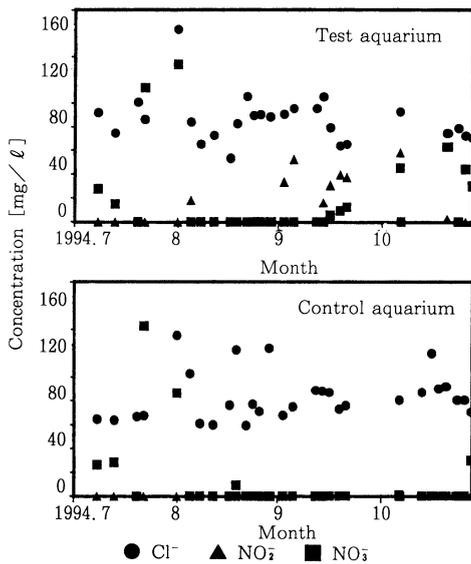


図-9 Monthly changes of nutrient salts in indoor aquaria.

用いたろ液について調べた。液体クロマトグラフ法により測定した塩化物、亜硝酸、硝酸の各イオンの濃度変化を図-9に示す。塩化物イオンは餌の投入により補給されたもので、実験水槽と対照水槽の間に顕著な違いは認められないと推定されたが、実験結果も予想どおりであった。

硝酸イオンは実験開始直後の1ヶ月は増加しているが8月から9月にかけては消失している。ところが実験水槽では9月中旬以降、硝酸イオンが少しずつ蓄積している。対照水槽では8月以降、硝酸イオンの蓄積

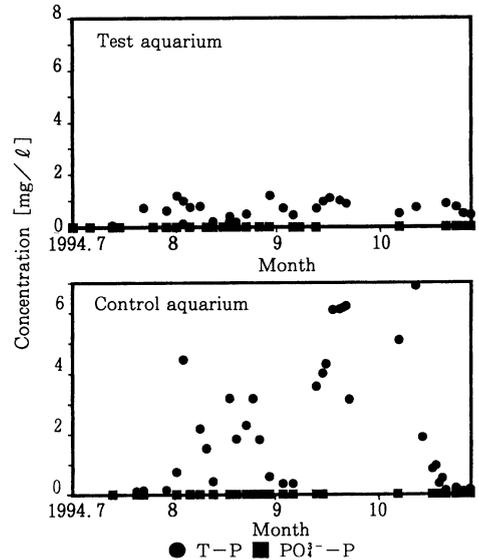


図-10 Monthly changes of T-P and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in indoor aquaria.

が見られない。これは多量に発生した藻類が水槽の底に沈降して嫌気性部分を形成し、硝酸還元菌の活動が促進され、窒素ガスとして大気中に揮散したからと思われる。

リン 図-10にリンの濃度変化を示す。実験水槽、対照水槽いずれも $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ は検出限界 ($0.1\text{mg}/\ell$, 分析は液体クロマトグラフ法によった) 以下である。しかし、T-Pについては実験水槽では $1\text{mg}/\ell$ 前後で推移しているのに対して、対照水槽では徐々に蓄積して $6\text{mg}/\ell$ に達している。ただし10月中旬からの

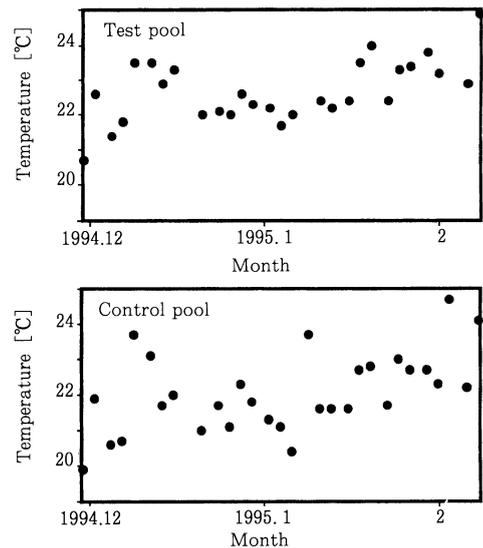


図-11 Monthly changes of temperature in pools.

急激な減少は餌の投入を中止したためと思われる。以上のことより、Mg 接触は T-P の除去に効果的であることが分かる。

3. 2 ビニールハウス内 3 m³水槽実験

水温 実験は 1994 年 11 月下旬より開始し現在進行中である。実験期間中の水温を図-11に示す。水温は 20~24℃の間で保たれた。この範囲は藻類の発生に最適の温度である。

濁度 図-12に藻類の発生に伴う濁度の変化を示す。実験水槽では実験開始と同時に濁度が増加した。12

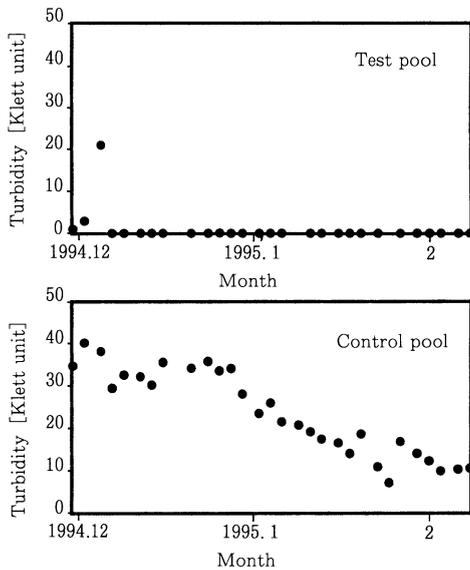


図-12 Monthly changes of turbidity in pools.

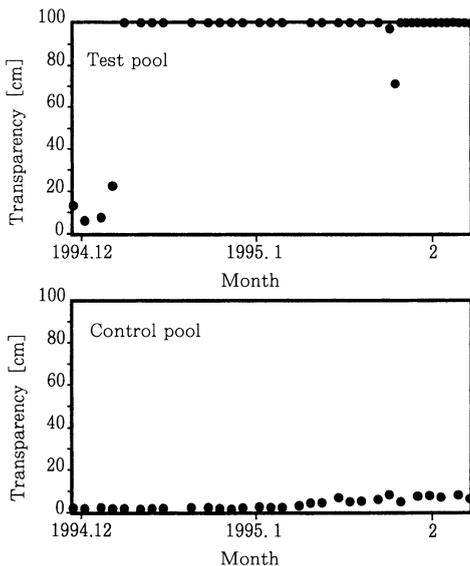


図-13 Monthly changes of transparency in pools.

月 7 日から紫外線を照射したところ、3 日後には濁度は 0 となった。水槽の水を培養したところ、バクテリアの増殖は認められたが、藻類は観察されなかった。これは水槽内には浮遊性藻類は存在しないことを示している。対照水槽では、12 月中は 30~40 の濁度を示しているが、1 月から少しずつ減少している。おそらく日照時間の減少によるものと思われる。

透視度 図-13に透視度の経日変化を示す。実験水槽では紫外線照射開始と共に 100cm 以上となり、極めて清浄な水質が得られた。1 月下旬の急激な低下は、紫外線ランプの寿命と思われたので、新しいランプと交換した。同時に、この際ろ床の再生も行った。その後 2 日間で、元の清浄な状態に復帰した。対照水槽の透視度は 2~3 cm で水質は極めて悪い状態である。1 月以降、少しずつ改善されているが日照時間の減少が原因と思われる。

pH 図-14に示すように実験水槽では pH は 8 前後で推移し、対照水槽では 8.5 前後で推移しており、2 つの水槽に顕著な差異は認められなかった。

BOD ろ紙 GF/C を用いたろ液についての BOD を調べた。実験水槽では 2~4 mg/l で、対照水槽の約 1/3 程度低い値を示した。

COD 図-15は池水とそのろ液(ろ紙 GF/C)の COD を示す。実験水槽では池水とろ液との間に、大きな差異はなく、懸濁性の物質が極めて少ないことを示している。対照水槽では懸濁性 COD と溶解性 COD の値がほぼ同じ濃度で、全 COD は 30mg/l に達している。この懸濁性 COD は発生した藻類によるものと思われる。

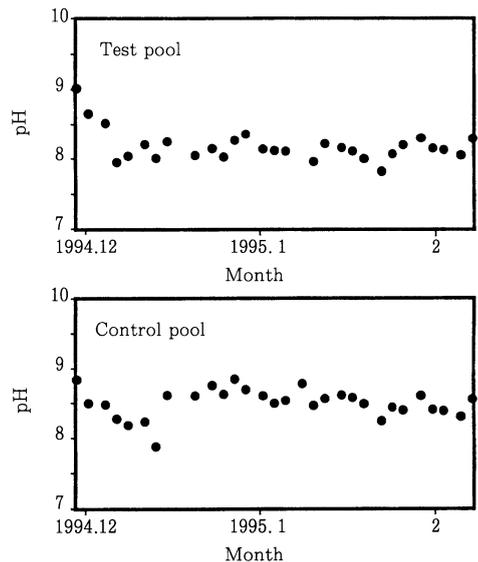


図-14 Monthly changes of pH in pools.

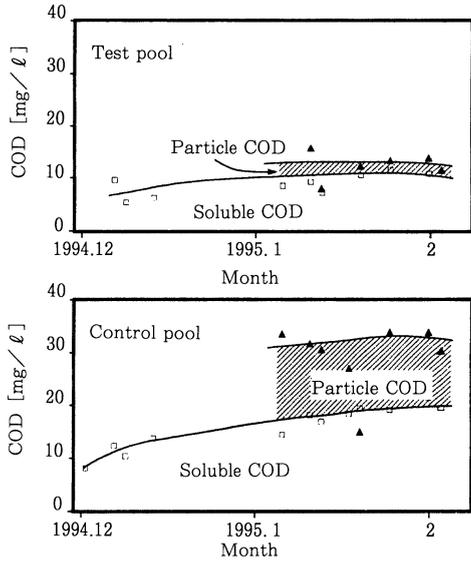


図-15 Monthly changes of COD in pools.

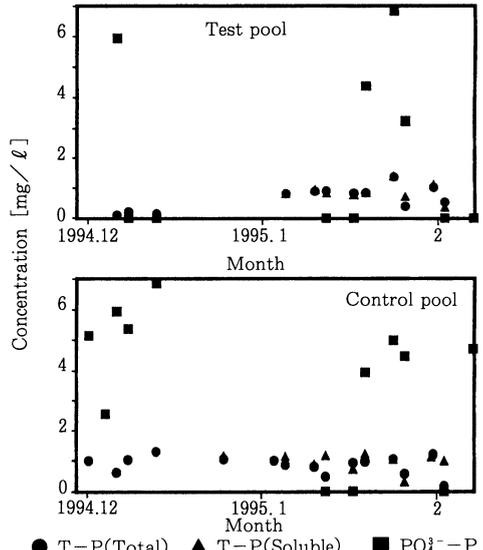


図-17 Monthly changes of phosphorus in pools.

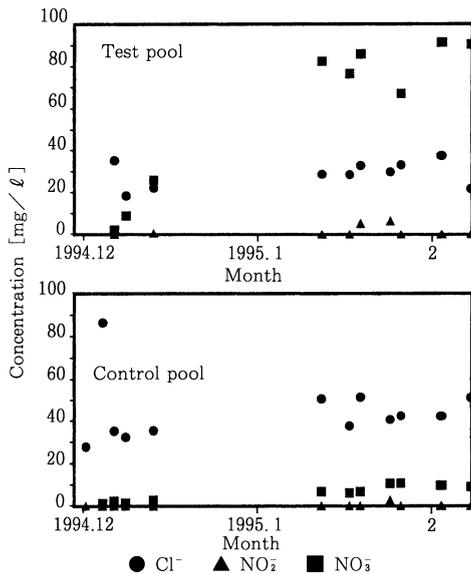


図-16 Monthly changes of nutrient salts in pools.

塩化物, 亜硝酸, 硝酸イオン 各イオンの濃度変化を図-16に示す。塩化物イオンは投与したエサの量を示す指標であるが実験水槽, 対照水槽の間に顕著な差は認められない。亜硝酸イオンは少なく硝化反応は両者ともおおむね順調に行われている。

硝酸イオンについては, 実験水槽では日数の経過と共に蓄積しているが, 対照水槽ではその蓄積量は極めて小さい。この理由は実験水槽ではヒブナがバクテリアや原生動物を捕食するため, 底質を掘り返し, 底質が好気性に保たれ微生物による硝酸還元反応が抑制さ

れるためと思われる。ところが, 対照水槽では藻類が異常に発生し, これが沈降して底質は嫌気性状態にあるため, 硝酸還元反応が促進され, 窒素は窒素ガスとして大気中に揮散されるからと思われる。

リン リンの結果を図-17に示す。PO₄³⁻-Pは紫外線が照射されている期間は検出限界以下に保たれている。T-Pは実験水槽の方が低い値を示している。ただし, 実験期間が短いので, リンについての明確な考察は難しい様に思われる。

4. 考 察

4. 1 生物-マグネシウム接触による藻類発生抑制機構

屋内実験の結果, 微生物-マグネシウム接触により藻類増殖の抑制が明らかになった。この抑制機構を図-18のように推定した。

魚の排泄物や死滅藻類は①式のように微生物によってCO₂, NH₄⁺, PO₄³⁻, 難分解性有機物(主として藻類の細胞壁を構成する成分)等に分解される。難分解性有機物は遅い速度で分解される。NH₄⁺は微生物によって③式のように物質変換される。①, ②式で生じたPO₄³⁻はMgと接触して固定化される。

藻類の増殖は炭酸ガスと窒素とリンを主要な栄養源として増殖するが, 添加した固形マグネシウムによってリンが固定されるために実験水槽において藻類の増殖が抑制されるものと思われる。しかし, 図-7のように藻類発生防止は不完全で, 透視度を安定に100cm

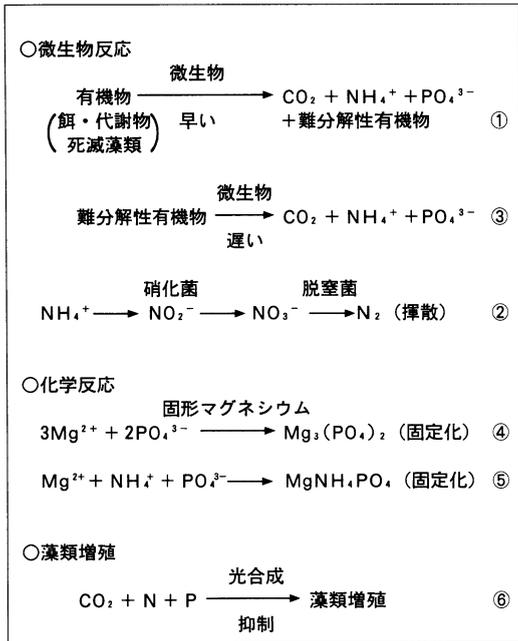


図-18 藻類増殖抑制のメカニズム

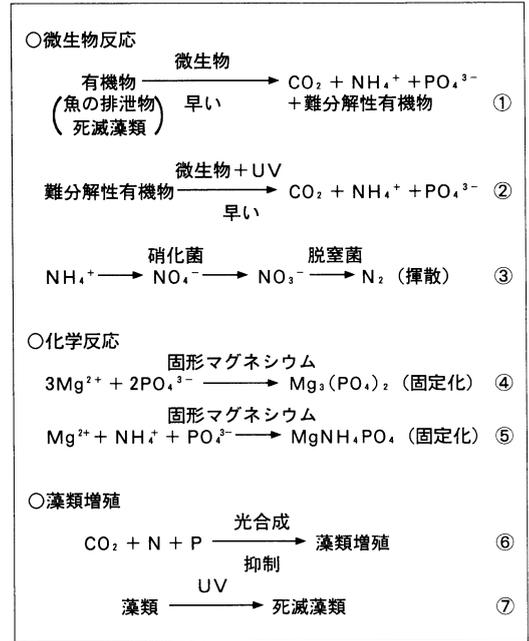


図-19 藻類発生防止のメカニズム

以上に保つことは困難であった。

4. 2 生物-マグネシウム接触-紫外線照射による藻類発生防止機構

ビニールハウス内の実験水槽と対照水槽の実験結果の比較より、微生物-マグネシウム接触-紫外線照射により、図-13に示すように藻類の発生をほぼ完全に防止でき、透明度を安定に100cm以上に保つことが可能となった。この藻類発生防止機構を図-19のように推定した。

有機物は微生物によって①式のように CO_2 、 NH_4^+ 、 PO_4^{3-} 、難分解性有機物などに分解する。難分解性有機物は微生物と紫外線の相乗効果⁹⁾によって②式のように速やかに分解される。 NH_4^+ は硝化菌や脱窒菌により③式のように物質変換される。微生物反応①、②によって生じた PO_4^{3-} は固形マグネシウムに吸着して固定化される。

藻類はマグネシウムによってリンが固定されるために増殖が抑制される。発生した藻類は紫外線によって殺藻される。死滅藻類は①、②式に示すように微生物により分解される。このようにして、藻類の除去が行われるものと思われる。

4. 3 装置の設計と維持管理

生物装置 充填材内の微生物が増殖し保持量が飽和に達すると、池内で微生物が増殖し池水の濁度が増加

する。図-4に示すように充填材とスパーサに間隙があるので飽和に達しても床の閉塞は起こらない。増殖が飽和に達した場合には、循環水をバイパスさせてドレインを開放し、装置の上部からの散水により微生物を容易に剥離することが可能であった。生物装置の充填材内の微生物汚泥の沈降性は極めて良好であった。この汚泥を沈降分離後、1昼夜放置した濃縮汚泥量は充填材(規格品 W1.80m×H0.90m×T0.03m)1枚当たり20d³であった。池の面積、水量、餌の投与量と充填材の必要量・再生までの期間に関しては、今後継続実験により決定する計画である。

紫外線 紫外線ランプは15W×2台を使用した。照射量は充分であった。そこで透明度を90~100cmを維持するために、ON-OFF制御を行った。2月~3月上旬における実験日数および照射日数より算定した池の単位表面積当たり必要W数として1.7W/m²が求められた。紫外線の必要W数は水温や日射量により異なるので、屋外実験における各季節によるデータが必要である。また、ON-OFF制御により任意の透明度に水質を維持することが可能である。

マグネシウム 固形水酸化マグネシウムペレットは20kg使用したが、現時点で3カ月間が経過しているが、pHに変動がなく交換の必要は認められない。マグネシウムの使用量と有効期間に関しては、今後の継続実

験より確認する計画である。

4. 4 今後の課題

生物法、マグネシウム接触法および紫外線照射の組合せにより、藻類の発生をほぼ完全に防止することが可能となった。今後の課題として、池の面積、水量および汚濁負荷量に対するろ材容積、ポンプの循環量、紫外線の W 数およびマグネシウム量の設計基準を決定する必要がある。さらに数百、数千 m³ レベルの池での実証実験が必要である。現在、100 m³ のモデル池を用いた実証実験が進行中であり、本法の評価ならびに維持管理の省力化、特にろ床の再生や紫外線の ON-OFF 制御についての自動化を検討している。

5. ま と め

池の藻類発生防止実験を行い、次のような知見が得られた。

①生物法にマグネシウム接触法を組み合わせると藻類の増殖が制御されたが、完全な発生防止は困難であった。マグネシウム添加による藻類の抑制効果は、増殖

の必須元素であるリンがマグネシウムに固定されるからと思われる。

②微生物法、マグネシウム接触法および紫外線照射法の組合せにより藻類発生をほぼ完全防止できることが可能となった。この方法は紫外線の ON-OFF により、任意の透明度に池水を制御できる。本浄化法による藻類発生防止のメカニズムを明らかにした。

参 考 文 献

- 1) 石川宗孝, 村上定瞭, 中西 弘, 岩井重久: 環境技術, 19, 88-93 (1990).
- 2) 福永 勲, 伊藤忠男, 山本 智: 環境技術, 23, 332-335 (1994).
- 3) 浜田英明, 長川秀実: 環境技術, 23, 328-331 (1994).
- 4) 村上定瞭, 竹内正美: 鱗光, No.273, 140-144, No.274, 152-156 (1990).
- 5) 横田正明, 貴志忠之, 山西健之: 環境技術, 23, 360-362 (1994).
- 6) 錦織宏介, 野崎誠夫: 環境技術, 23, 363-366 (1994).
- 7) 高島正信, 高木弘康: 環境技術, 23, 351-355 (1994).
- 8) 村上定瞭, 竹内正美, 深川勝之, 石川宗孝: 環境技術, 23, 429-436 (1994).

海外環境情報

紫外線センサーによる地下水の汚染モニタリング UV Sensing : From Explosives to Contaminants

アイダホ国立工学研究所 (INEL) では、地下水の汚染を簡単かつ費用をかけずに検出できるセンサー技術を開発した。

硝酸塩による地下水汚染が国家的な問題として広がっており、湖や川では酸素が減少し、飲料水としても安全でないものとなっている。このため、紫外線光源と窒素酸化物検出器を用いて、水中の硝酸塩レベルを連続してモニタリングすることができる測定システムが開発された。同装置では、まずサンプル水を採取し、ポンプを用いて空気を注入する。同時に、キセノンフラッシュランプを照射する。これによって硝酸塩が窒素酸化物のガスに変化し、このガスを測定する。ガスの測定では、電気化学的検出器と化学発光検出装置を

使用する。現在、INELでは、現場で使用するプロトタイプ計測装置を開発中である。

この新技術の最大の利点は、そのスピードであり、サンプル分析をおよそ45秒で完了できるという。従来の方法では、サンプルを試験室まで運ばなければならない他に、染料や溶剤などの環境にとって有害な物質を使用していた。

当初、この窒素酸化物センサーは、爆発物を検出するために開発され、その後、実験室で、微量でもこの技術を適用できることが実証された。爆発物は、紫外線に照射されると劣化し、窒素酸化物が発生する。窒素酸化物は、市販の化学発光検出器で測定することができた。この技術では、容器の中を見ることはできないが、蒸気圧が低いことから、爆発物の周辺に残留する物質を検出することはできる。

Photonics Spectra Vol.28, No.10, October 1994

(科学技術国際交流センター発行 MOVEMENT 第21号より転載)