

# 浮葉植物・植物プランクトン・付着藻類の相互作用に関する基礎実験

丸山治朗<sup>1</sup>・村田知也<sup>1</sup>・中井正則<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東京電機大学大学院理工学研究科建設工学専攻 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

<sup>2</sup>正会員 工博 東京電機大学助教授 理工学部建設環境工学科 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

E-mail:nakai@g.dendai.ac.jp

本研究では、浮葉植物が生態系と水質に与える影響を解明する目的で、生産者(浮葉植物・植物プランクトン・付着藻類)の相互作用について屋外実験池2基を用いて基礎実験を行った。実験は、一方の池にのみ浮葉植物(ガガブタ)を移植し、もう一方の池には水のみを入れて両池を比較する形式とし、生長期(夏季)・分解期(秋季～冬季)の2つの時期について実施した。生長期(夏季)の実験では、ガガブタの存在によって植物プランクトンが抑制され、付着藻類が増殖し、さらに付着藻類の大繁殖によって逆にガガブタが衰退した。一方、分解期(秋季～冬季)の実験では、ガガブタの枯死分解に伴う栄養塩の回帰は植物プランクトンにほとんど影響を与えず、付着藻類の増殖のみを促進した。

**Key Words** : floating-leaved plant, phytoplankton, attached alga, ecosystem, water quality

## 1. はじめに

かつては、多くの湖沼・ため池において沿岸域に大型水生植物の群落が形成されており、水域全体が多様な生物が息づく豊かな生態系空間であった。しかし、近年の人為的環境破壊により大型水生植物の衰退が著しく、それに伴う生物多様性の消失や富栄養化に代表される水質悪化が発生しており、大きな社会問題となっている。この問題は、水域の生産者が植物プランクトン単独となっている生態系構造が原因であり、大型水生植物は多様な生態系の形成や水質の保全を考えると不可欠な存在であることが示唆されている。

大型水生植物群落は、陸側から順に抽水植物帯・浮葉植物帯・沈水植物帯の3点セットで存在することが通常であり、顕著な生態系・水質保全機能を発揮すると言われている<sup>1)</sup>。したがって、大型水生植物群落の機能を評価するためには、まず、個々の植物帯の機能をよく理解する必要がある。3者のうち、抽水植物帯と沈水植物帯については、すでにいくつかの研究がなされており、両植物帯が生態系と水質に与える影響について知見が蓄積されつつある<sup>2)</sup>。これに対して、浮葉植物帯に関する研究はあまりなく<sup>3)</sup>、不明な点が数多く残されており、今後の十分な研究が必要である。

以上のことを踏まえて、本論文では生産者を中心に置いた実験生態系により、浮葉植物の動態(生長・枯死分解)に注目して、水域における生産者(浮葉植物・植物プランクトン・付着藻類)の相互作用について検討を行い、浮葉植物が生態系と水質に与える影響の解明を試みた。なお、浮葉植物には在来種(多年生)の代表格であるガガブタ(*Nymphoides indica*)を選定した(写真-1参照)。

なお、本研究の目指すところは、大型水生植物群落を水域の自然的環境保全システムの要と位置付け、その機能を明確化することによって、今後の生態系・水質管理に有効利用することである。また、本論文は、従来からあまり注目されてこなかった浮葉植物帯に焦点を当て、その役割を解明することにより、この目的の一助とするものである。

## 2. 実験方法

### (1) 両実験共通

実験には、東京電機大学理工学部建設環境工学科所有のモルタル製屋外実験池2基を使用し(写真-2、図-1参照)、生長期と分解期の両方について検討を行った。両

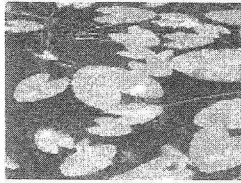


写真-1 ガガブタ

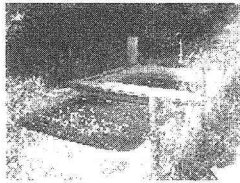


写真-2 屋外実験池

実験ともに一方の池には、ガガブタを池の中心付近にほぼ一様に移植し（以後、これをガガブタ池と称する）、3種類の生産者（浮葉植物・植物プランクトン・付着藻類）が共存する系とした。なお、ガガブタの株数は生長期の実験では約80株であり、分解期の実験では約60株であった。また、他方の池には水のみを入れて対照池とした。さらに、両池ともに池底に厚さ約5（cm）で土を敷き詰めた。

### (2) 生長期実験

実験池の水には学内の調整池のものをを用い、水深は両池ともに約1.2（m）とした。また、両池の初期栄養塩濃度が  $T-P=0.250$ （mg/l）、 $T-N=2.50$ （mg/l）（ $N/P=10$ ）程度になるように、リン酸二水素カリウムを実験開始日の前日に添加した。実験期間は2003年7月25日～10月3日であり、ガガブタ・付着藻類の生育状況の観察と水質項目の測定を1週間に1回の割合で13時に行った。なお、測定点は両池の中心（測定点1：ガガブタ池、測定点2：対照池）における2割・8割水深である。

測定した水質項目は、溶存酸素（DO）濃度、水素イオン濃度（pH）、クロロフィルa（Chl-a）であり、以下にそれぞれの測定方法を示す。DO濃度、pHは、東亜電波工業㈱製の水質チェッカ（WQC-22A）を用いて直接測定した。また、Chl-aについては、自作の採水ビンで試料水を採水し、ターナーデザイン社製のポータブル蛍光光度計（Aquafluor）を用いて相対値（最大値を100とする）を測定した。

ガガブタの生育状況については、まず、浮葉を「緑色」・「黄色」・「茶色」に区別してカウントし、その総枚数を求めた。そのうえで、緑色の浮葉を生長中のものと考え、さらに、ガガブタの生物量がその総枚数に比例すると仮定した。そして、その値の最大値（生長飽和期）を100として、ガガブタの生物量を相対値で示した。

また、付着藻類の生育状況については、両池のChl-aとDO濃度（2割・8割水深の平均値）を用いて付着藻類によるDO生産量を算出し、付着藻類の生物量がその値に比例すると仮定した。具体的には、対照池のDO濃度に（ガガブタ池のChl-a）/（対照池のChl-a）を乗じたものをガガブタ池における植物プランクトンによる

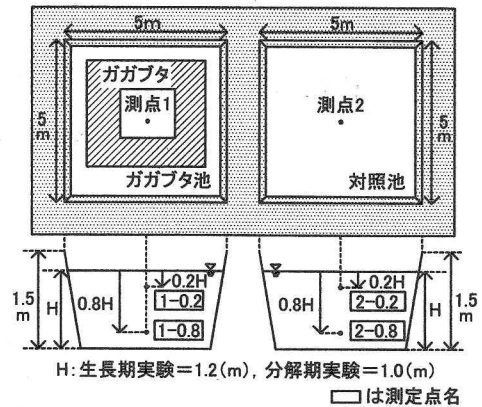


図-1 実験池の概要と測定点

DO生産分として、ガガブタ池のDO濃度からこの値を差し引いた値を付着藻類によるDO生産分とした。そして、付着藻類の生物量を最大値（生長飽和期）を100として相対値で示した。

### (3) 分解期実験

実験池の水には学内の調整池のものをを用い、水深は両池ともに約1.0（m）とした。また、両池の初期栄養塩濃度が  $T-P=0.300$ （mg/l）、 $T-N=3.00$ （mg/l）（ $N/P=10$ ）程度になるように、塩化アンモニウム、硝酸ナトリウム、リン酸二水素カリウムを実験開始日に添加した。実験期間は2003年10月21日～12月15日であり、ガガブタ・付着藻類の生育・枯死分解状況の観察と水質項目の測定を11月26日までは週2回、それ以降は約10日に1回の割合で13時に行った。

測定した水質項目は、DO濃度、pH、Chl-a（相対値）であり、使用機器・測定方法は生長期実験と同様である。また、測定点も同様に両池の中心（測定点1：ガガブタ池、測定点2：対照池）における2割・8割水深である。ガガブタの枯死分解状況については、まず、浮葉を「緑色」・「黄色」・「茶色」に区別してカウントし、その総枚数を求めた。そのうえで、ガガブタの生物量が浮葉の総枚数に比例すると仮定し、その値の最大値（実験開始日）を100として相対値で示した（枯死分解した生物量は、消失した浮葉の枚数に比例する）。

## 3. 実験結果と考察

### (1) 生長期実験

#### a) 観察結果

ガガブタ池では、実験開始直後（7/25～8/1）にガガブタの茎に少量の付着藻類が出現し、8/5までは増殖した

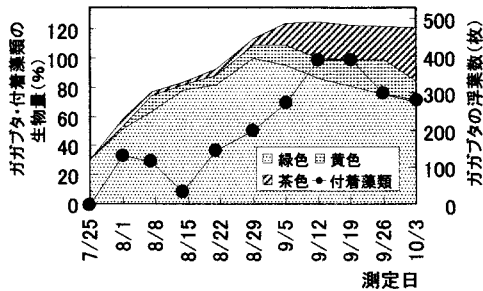


図-2 ガガバタ・付着藻類の生育状況の経日変化

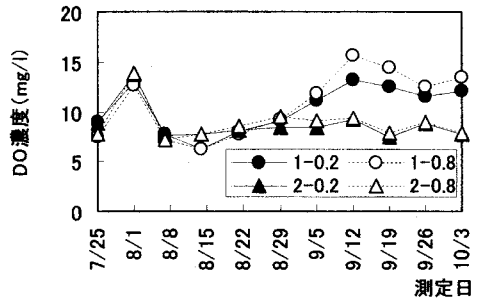


図-4 DO濃度の経日変化（生長期）

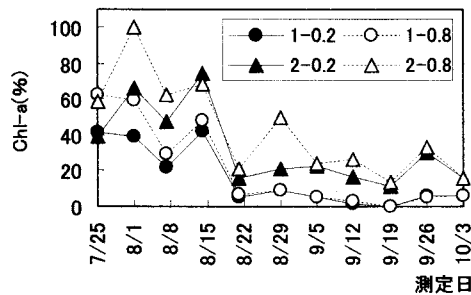


図-3 Chl-aの経日変化（生長期）

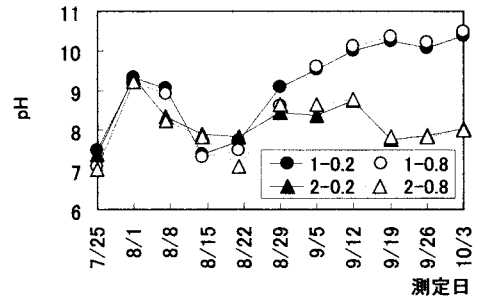


図-5 pHの経日変化（生長期）

が、その後は徐々に減少し、8/14にはごくわずかとなった。しかし、いったん減少した付着藻類は8/18から再び増殖し始め、また、側壁にも出現し、9月中旬ごろにはかなりの量となった。一方、対照池については、付着藻類は実験の終盤にわずかに確認された程度であった。

また、ガガバタの浮葉は実験開始日（7/25）にはまばらな状態であり、その占有面積は生長飽和期の約25（%）であった。その後、ガガバタは徐々に生長し、8/29には生長飽和期となり、多くの浮葉が水面に展開した（浮葉の水面占有率は30～40（%）であった）。しかし、ガガバタはその後、枯死分解に伴って徐々に衰退し、実験最終日（10/3）における浮葉の占有面積は生長飽和期の約70（%）になっていた。

b) 測定結果

図-2にガガバタ・付着藻類の生育状況の経日変化を示す。また、図-3、4にChl-aおよびDO濃度の経日変化を示す（図中の凡例については、例えば、「1-0.2」は測定点1の2割水深を表している）。図-4より、実験開始直後（7/25～8/1）にDO濃度が両池ともに増大していることがわかる。また、同時期の生産者の変動については、図-2、3よりわかるように、ガガバタ池では付着藻類が増殖し、一方、対照池では植物プランクトン（Chl-a）が増殖している。つまり、ガガバタ池においては主として付着藻類が、対照池においては主として植物プラ

ンクトンが有機物生産を行ったわけである。なお、ガガバタ池において植物プランクトンが増殖しなかった理由として、水面に展開したガガバタの浮葉が日射を遮蔽・吸収したことや、ガガバタ・付着藻類が栄養塩を吸収したことなどが考えられる。

その後、付着藻類（ガガバタ池）は8/14までに減少し、一方、植物プランクトンはガガバタ池と対照池とで一定の差を維持しながら同傾向で増減し、8/21に両池ともに急激に減少している（図-2、3参照）。これは、栄養源である $PO_4-P$ の欠乏が直接の原因と考えられる（図省略）。また、植物プランクトンの減少に伴って、植物プランクトン起源のデトリタスが大量に発生・沈降したと考えられるが、ガガバタ池ではその一部が沈降途中に付着藻類に捕捉され、バクテリアによって分解されたうえで利用されたことが推察される。実際に、ガガバタ池では付着藻類が8/21以降に再増殖し、また、それに伴ってDO濃度が大幅に上昇しており、このことが裏付けられている（図-2、4参照）。さらに、対照的に植物プランクトンが衰退していたことより（図-3参照）、この時期のガガバタ池では藻類生産者として付着藻類が優占していたと言える。

最後に、図-5にpHの経日変化を示す。pHはDO濃度と正の相関があることが知られており、今回の測定結果においても、植物プランクトン・付着藻類がDO生

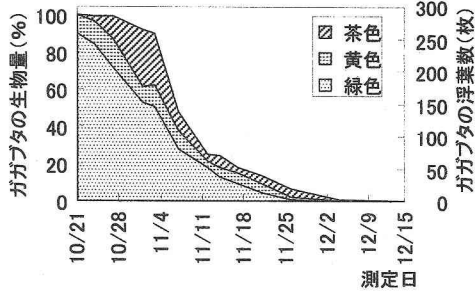


図-6 ガガブタの枯死分解状況の経日変化

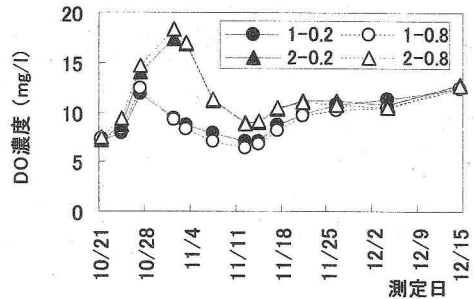


図-8 DO濃度の経日変化 (分解期)

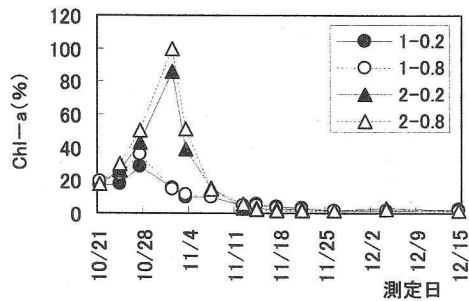


図-7 Chl-aの経日変化 (分解期)

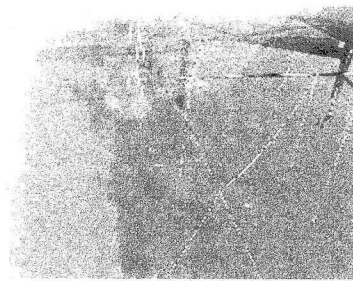


写真-3 沈降したガガブタの茎 (12/15)

産を活発に行った時期 (7/25~8/1 (両池), 8/21~10/3 (ガガブタ池)) に増大している (図-2, 3, 4 参照)。ところで、浜島<sup>4)</sup>は大型水生植物の生息状態と pH との関係を紹介しており、ガガブタの生育状況も pH と密接に関係しているものと思われる。このことについて、ここで簡単に考察する。図-5において、付着藻類の生長飽和期の一週間前 (9/5) に pH がガガブタの生育上限値 (pH=9.6) 前後まで達しており、その後は、さらにその値を上まわっている。一方、図-2 よりわかるように、ガガブタは 8/29 に生長飽和期を迎えているが、それ以降は本来の分解期以前であるにも関わらず、枯死が始まっている。これらのことより、8/29 以降にガガブタが枯死した直接的な原因は、藻類生産者として付着藻類が優占し、過剰な DO 生産を行ったことによる pH の大幅な増大と考えられる。

## (2) 分解期実験

### a) 観察結果

実験開始から約一週間後 (10/27) には、ガガブタの浮葉の枚数が茶色に変化しており、11/3 にはその枚数がさらに増大した。また、11/21 までには枯死分解の進行に伴って浮葉の総枚数が大幅に減少しており、実験最終日 (12/15) にはすべての浮葉が消失した。なお、枯死したガガブタの浮葉は水面で細分化されるため、比較的

短時間で分解されるものの、茎については原型を留めたまま池底に沈降しているものも多く、実験最終日(12/15)まで残っているものもあった (写真-3 参照)。

付着藻類については、11/12 にガガブタの茎に出現しているのが確認され、また、11/14 以降は両池の側壁にも出現した。その後、付着藻類は実験最終日まで両池ともにほぼ同程度の増殖を示したものの、生長期実験で見られたような大幅な増殖は見られなかった (ただし、対照池の付着藻類の増殖は、付近の落葉樹からの落葉を回収するために用いていた網 (両池共用) に残っていたガガブタ池の付着藻類が、誤って対照池に混入したためと思われる。対照池については本来、付着藻類がほとんど増殖しないと考えられる)。

### b) 測定結果

図-6 にガガブタの枯死分解状況を示す (実験開始日 (10/21) におけるガガブタの浮葉の総枚数は 289 枚であり、289 枚から「緑色」・「黄色」・「茶色」の浮葉の総枚数を差し引いたものを枯死した浮葉の枚数と定義している)。同図より、前述のように、10/27 から茶色の浮葉の割合が増大しており、11/1 には本格的な枯死分解が始まっていることがわかる。特に、11/4~11/7 に 122 枚 (42%)、11/8~11/12 に 65 枚 (22%) の浮葉が枯死分解により消失しており、この 9 日間で半分以上のガガブタが枯死している。その後は、実験最終日までほぼ一定

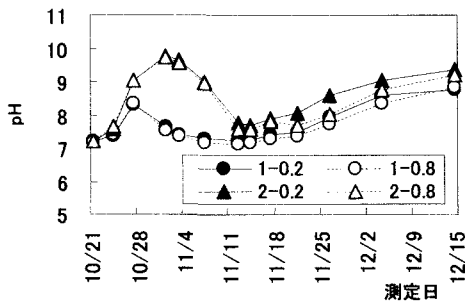


図-9 pHの経日変化 (分解期)

の割合で枯死していき、最終的にすべてのガガブタが枯死している。

図-7, 8に両池のChl-aおよびDO濃度の経日変化を示す。図-8よりわかるように、両池ともにDO濃度が実験開始日(10/21)から順調に増大し、ガガブタ池においては10/27に、対照池においては11/1にピーク値を示している。これは、両池ともに実験開始直後から池内の生産者が活発な有機物生産を行っていたことを意味している。また、両池より、実験開始日から11/12までのDO濃度の変化がChl-aのそれとほぼ同様の傾向を示していることがわかる。このことより、この時期の両池における主たる藻類生産者が植物プランクトンであることが示唆される。

ところで、この時期のガガブタ池と対照池のChl-aの値を比較すると、ガガブタ池のそれは対照池のそれと比べて大幅に低いことがわかる。これは、ガガブタの浮葉が日射を遮蔽・吸収するため、ガガブタ池では植物プランクトンが利用できる光量が少なくなり、その増殖が抑制されたからと考えられる。また、ガガブタ池では11/1~11/12にChl-aがほぼ一定値を示しているにもかかわらず、DO濃度が減少している(図-7, 8参照)。これは前述のように、この期間にガガブタが大量に枯死分解したことと関係しており、枯死した浮葉や茎がバクテリアに分解される過程においてDOが消費されたためと推察される。

実験後半期に入ると(11/13以降)、DO濃度が両池ともに緩やかに増大している(図-8参照)。また、Chl-aが両池ともに大きく低下しており(図-7参照)、植物プランクトンが衰退している。前述のように、この時期は附着藻類が両池に出現した時期と一致していることから、藻類生産者の中心が植物プランクトンから附着藻類へ移行したと考えられる。また、図-9に示したpHの経日変化を見ると、pHは両池ともに緩やかに増大しているにすぎず、生長期実験で見られたような附着藻類の有機物生産に伴う急激な増大はないことがわかる。これは、この時期特有の日射量・水温の低下などの物理的要因に

より、附着藻類の活性が抑制されたためと考えられる。

最後に、ガガブタ池においてガガブタの枯死分解が植物プランクトンと附着藻類に与えた影響について考察する。前述のように、ガガブタは11/4~11/12に激しく枯死していたが、Chl-aはこの時期に単調に減少しており(図-7参照)、ガガブタの枯死分解に伴う植物プランクトンの増殖は見られない。これに対して、附着藻類は11/12以降にガガブタの茎や池の側壁に出現し、その後も増殖している。これは、植物プランクトンと附着藻類を比較すると、附着藻類の方が栄養塩獲得に対して優勢であり、附着藻類が枯死したガガブタからの回帰栄養塩を効率的に吸収したためと考えられる(対照池の附着藻類の増殖は前述のように、いわば実験ミスに端を発するものである。しかしながら、附着藻類が増殖した理由はガガブタ池と同様に、附着藻類の方が栄養塩獲得に対して植物プランクトンより優勢であったためと考えられる。なお、ここでの栄養塩は植物プランクトンの枯死によるものである)。このように、ガガブタの枯死に伴って池水中に回帰した栄養塩の大部分は植物プランクトンの増殖に利用されていないことが示唆される。

なお、枯死したガガブタの茎については、前述のように、池底に原型を留めた形で沈降しているものが確認されている。これは、この時期のバクテリアの分解速度がそれほど速くなかったためである。このように、ガガブタの茎の一部は栄養塩として池水中に回帰せず、茎の原型あるいはデトリタスとして池底に留まっていたことになるが、このことも附着藻類にとって有利に作用しているだろう。なぜなら、附着藻類は沈降した茎にも着生し、そこから直接栄養源を摂取して増殖することが可能であるのに対し、植物プランクトンは茎、デトリタスともに栄養源として活用できないからである。

#### 4. まとめ

本論文では、浮葉植物(ガガブタ)の生長期および分解期に対して、水域における生産者(浮葉植物・植物プランクトン・附着藻類)の相互作用について実験的に検討を行い、浮葉植物が生態系と水質に与える影響の解明を試みた。以下に各実験結果の要点を示し、さらに、今後の展望を含めて総括を述べる。

##### (1) 生長期実験

生長期の実験では、ガガブタ池においてのみ附着藻類が大繁殖した。つまり、ガガブタ池の生産者は浮葉植物・植物プランクトン・附着藻類の3者であり、対照池のそれはほぼ植物プランクトンのみであった。ガガブタ池では、ガガブタや附着藻類が栄養塩を吸収すること、ガガ

ブタが水面に浮葉を展開し、日射を遮蔽・吸収することにより、植物プランクトンの増殖が抑制された。また、対照的に付着藻類は大繁殖し、実験の後期（9月上旬以降）にはそれに伴ってガガブタが衰退した。このガガブタの衰退は、付着藻類の活発な有機物生産（DO生産）によりpHが大幅に上昇し、ガガブタの生育上限値を上まわったことが原因と考えられる。このように、藻類生産者として植物プランクトンが優占する場合のみならず、付着藻類が優占する場合にも浮葉植物が衰退する可能性が示唆された。

### (2) 分解期実験

分解期の実験では、実験の初期（10月下旬）には両池ともに藻類生産者として植物プランクトンが支配的であった。ただし、ガガブタ池では生長期の実験と同様に、植物プランクトンの増殖が大幅に抑制されていた。また、ガガブタ池においては11月上旬にガガブタが一気に枯死したが、それに伴う植物プランクトンの大繁殖は生じなかった。これは、枯死したガガブタの分解速度がそれほど大きくなかったこと、および分解後に回帰した栄養塩の大半をガガブタの茎に出現していた付着藻類が吸収したことが原因と考えられる。一方、実験の後期（11月中旬以降）には、ガガブタ池において側壁にも付着藻類が出現し、藻類生産者の中心が植物プランクトンから付着藻類へ移行した。このように、浮葉植物の枯死分解は直ちに植物プランクトンの大繁殖に結び付かないことがわかった。

### (3) 総括

最後に、本研究の今後の展望を含めて本論文の総括を行う。本実験の結果より、浮葉植物は生長期（夏季）に植物プランクトンの増殖抑制効果を発揮すること、また、

分解期（秋季～冬季）には栄養塩を回帰させるものの、それに伴う植物プランクトンの増殖はほとんどないことが明らかになった。

ここで、これらの特徴が生態系に与える影響について考えると、本実験の範囲ではいずれも付着藻類の増殖につながっており、生産者の多様性に結び付いているように見えるが、実際には付着藻類が藻類生産者として優占していると考えの方が妥当と思われる。このように、本実験の結果は生態系の多様性について重要な示唆を与えていると考えられるものの、その解釈が相当に難しいため、ここではあえて結論を控える。一方、浮葉植物が水質に与える影響については、生長期（夏季）に植物プランクトンの増殖を抑制していることより、アオコに代表されるような極端な水質悪化を防止でき、浮葉植物は大きな正の貢献をする。また、枯死分解に伴う植物プランクトンの増殖がほとんどないことから、浮葉植物が水質に与える負の影響は最小限に抑えられる。

このような浮葉植物の特徴を現地水域の水質管理に応用すれば、富栄養化した水域においても夏季の異常な水質悪化を防止することが十分可能であり、抽水植物、沈水植物との3点セットでの自然的環境保全システムとしての活用も有望と思われる。

### 参考文献

- 1) 沖野外輝夫：湖沼の生態学、共立出版、pp.90-97, 2002.
- 2) 須藤隆一：環境修復のための生態工学、講談社サイエンスフィク、pp.40-48, 2000.
- 3) 岩熊敏夫、土谷岳令：生育期のヒシによる湖水からの栄養塩除去の実験的研究、国立公害研究所研究報告、第96号、pp.101-125, 1986.
- 4) 浜島繁隆：ため池の水草、水環境学会誌、第26巻、第5号、pp.252-256, 2003.

## Laboratory experiments of the interaction among floating-leaved plant, phytoplankton and attached algae

Jiro MARUYAMA, Tomoya MURATA and Masanori NAKAI

The interaction among floating-leaved plant, phytoplankton and attached algae was investigated by laboratory experiments using two water tanks with and without *Nymphoides indica* both during the growing-up and withering seasons from the viewpoints of ecosystem and water quality. In the experiment during the growing-up season, the floating-leaved plant suppressed phytoplankton and multiplied attached algae and then decayed due to the great multiplication of attached algae. In the experiment during the withering season, on the other hand, the recycle of nutrients from the floating-leaved plant due to withering scarcely influenced phytoplankton and largely accelerated multiplication of attached algae.