

浮葉植物（ガガブタ）が繁茂するため池における生態系と水質およびその季節変化に関する現地調査

A FIELD OBSERVATION ON THE ECOSYSTEM AND WATER QUALITY AND THEIR SEASONAL VARIATIONS IN AN IRRIGATION POND WITH A FLOATING-LEAVED PLANT (*Nymphoides indica*) COMMUNITY

村田知也¹・丸山治朗¹・中井正則²・有田正光³

Tomoya MURATA, Jiro MARUYAMA, Masanori NAKAI and Masamitsu ARITA

¹ 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）

² 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）

³ 正会員 工博 東京電機大学教授 理工学部建設環境工学科（〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町）

A field observation was carried out to examine the effects of a floating-leaved plant (*Nymphoides indica*) community on the ecosystem and water quality in an irrigation pond. The appearance of the plant community and the values of various water quality items were monitored through a year (2003). The plant community suppressed multiplication of phytoplankton in the upper layer and generation of oxygen-deficient water masses in the lower layer and absorb a lot of nutrients from the water body and bottom mud in summer. In contrast, withering of the plant community leads temporary multiplication of phytoplankton and slightly gives negative influence on the ecosystem and water quality in fall and winter.

Key words : floating-leaved plant, *Nymphoides indica*, irrigation pond, ecosystem, water quality

1. はじめに

ため池はもともと、灌漑農業用水の確保を目的に人為的に造成された水域であるが、現在では多種多様な生物が生息し、豊かな生態系を形成する身近な水辺空間としての役割をも果たしている。しかし、近年の人為的富栄養化はため池の生態系や水質環境を著しく攪乱しており、大きな社会問題となっている。また、栄養塩負荷の増大もさることながら、護岸の建設等による大型水生植物群落の消失もこの問題を大きく加速化している。大型水生植物群落は一般に、抽水植物帯・浮葉植物帯・沈水植物帯の3点セットで構成されており、生態系の基礎となるばかりでなく、水質浄化機能を併せ持っていると言われており、ため池の水環境を健全に保つための鍵となる存在である。

大型水生植物に関する研究は、既に多数報告されており^{1),2)}、栄養塩の吸収に関して知見が蓄積されつつある。しかしながら、日射の遮蔽・吸収、あるいは枯死分解に伴う栄養塩の回帰など、大型水生植物が与える他の影響に注目し、詳しく検討した研究は少ない。特に、枯死分解時の栄養塩回帰については、小林・岩木³⁾、立本ら⁴⁾

が水質悪化に与える影響が大きいと指摘しているのに対し、岩熊・土谷⁵⁾、沖野⁶⁾、中井ら⁷⁾はその影響が小さいとしており、今後の十分な研究が必要である。また、既往の研究では抽水植物、沈水植物に注目した例が多く、浮葉植物に関する研究は少ない。

以上の点を踏まえて、本研究ではガガブタ（在来性浮葉植物：*Nymphoides indica*）が繁茂するため池において現地調査を行った。なお、著者ら⁷⁾は2002年にも同池の現地調査を実施しているものの、秋季から冬季にかけての分解期に限定したものであったため、ガガブタの生長期に関するデータは未取得であった。そこで、今回（2003年）は1年間を通じての現地調査を実施し、浮葉植物群落がため池の生態系と水質に与える影響およびその季節変化について詳しく検討を行った。

2. 現地調査

現地調査地点は埼玉県比企郡滑川町の西沼である。西沼は上下2段式のため池の下側に当たっており、池水は農業用水として現在も利用されている。また、西沼の上側には長沼があり、ゴルフ場からの排水が流入している。

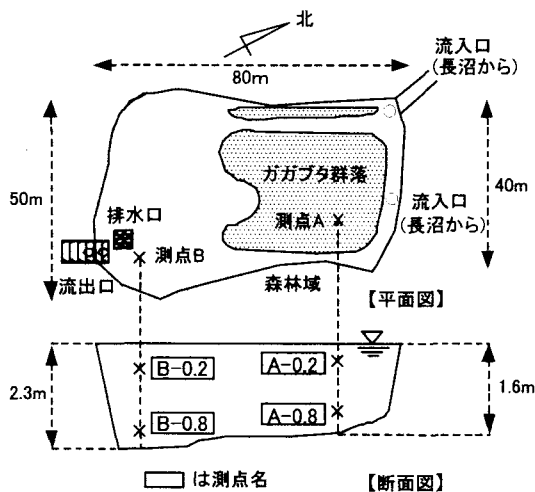


図-1 西沼の概要

西沼の諸元は、満水時の表面積 3477 (m²)、最大水深 3.5 (m)、平均水深 1.58 (m) である (図-1 参照)。また、このため池は表面積の約 50 (%) をガガブタ群落で覆われており、一部に人工的な護岸が施されているものの、周辺地域に対して貴重な水辺空間を提供している。なお、西沼の主な流入源は降雨および長沼からの流入であり、流出源は農業用水の取水である。

現地調査は、2003 年 2/25～12/23 に原則として週に 1 回のペースで実施し、ガガブタ群落の生育状況の観察と水質関連項目の測定を行った。測点は、ガガブタ群落内 (測点 A) およびガガブタ群落外 (測点 B) の 2 点であり、それぞれの 2 割、8 割水深で直接測定および採水を行った (図-1 参照)。測定した水質関連項目は、水深、透明度、水温、DO (溶存酸素) 濃度、pH (水素イオン濃度)、EC (電気伝導率)、濁度、Chl-a (クロロフィル a)、CO₂ (炭酸ガス) 濃度、TN (全窒素)、TP (全リン)、PO₄-P (リン酸態リン)、COD (化学的酸素要求量) である (TN、TP、PO₄-P は 2 週間に 1 回、COD は 4 週間に 1 回の測定である)。また、気象関連項目については、天候、気温、降水量に東京管区熊谷地方気象台のデータを用い、また、日射量には本学・水理実験室に設置されている全天日射計の測定値を用いた。

調査では、ゴムボートを用いて池上で以下の項目の直接測定を行った。水深は自作の水深計を、透明度はセッキ板を用いて測定した。また、水温、DO、pH、EC、濁度、CO₂ 濃度については東亜電波工業株製の水質チェッカと炭酸ガス計 (WQC-22A、CGP-1) を用いて測定した。さらに、自作の採水ビン (約 500ml) を用いて試料水を採水し、以下の項目を分析した。Chl-a の分析には、ターナーデザイン社製のポータブル蛍光光度計 (Aquafluor) を、TN、TP、PO₄-P、COD の分析には東亜電波工業株製のオートアナライザー (LASA1) をそれぞれ使用した (ただし、Chl-a は相対値である)。

3. 調査結果の概要および考察

本研究では、ガガブタ群落がため池の生態系と水質に与える影響の季節変化に注目しているため、ガガブタの生育状況に合わせて 1 年を (1)4～5 月、(2)6～7 月、(3)8～9 月、(4)10～11 月、(5)12～3 月の 5 期に分け、それぞれをガガブタの (1)萌芽期、(2)生長期、(3)最盛期、(4)分解期、(5)越冬期と位置付けた。以下では、気象・水質関連項目の月平均値をもとに、(1)～(5)の順に結果の概要を述べる。なお、用いた気象・水質関連項目は、日射量 (全平均 (数日の欠測あり) と調査日のみの平均)、水温、DO 飽和度、Chl-a (相対値)、TP、PO₄-P、TN であり、それぞれの月平均値の経月変化を図-2～8 に示す (図中の凡例については、例えば「A-0.2」は測点 A の 2 割水深を表している)。また、図-9 に西沼の月別総流入出量および月平均水位が示されている。ただし、月別総流入出量は、1 ヶ月間の正味の水位差から求めた水量にこの間の総蒸発量を加え、総降水量を差し引いたものである (したがって、ここでの水位と流入量は直接対応しない。また、総蒸発量については西沼のデータが入手できなかったため、霞ヶ浦のデータ⁸⁾で代用した)。

(1) 萌芽期 (4～5 月)

この時期のガガブタはまだ本格的な生長の前であり、水中で殖芽が生長しつつあるにすぎない。したがって、結果の考察に際してガガブタ群落の影響はあまり重要視しなくてよいだろう。4 月は、両測点の表層 (A-0.2、B-0.2) において DO 飽和度が 2、3 月と同様に高い値を示している (図-4 参照)。これは、日射量がほとんど不変であるものの、水温の上昇に加えて栄養塩類 (リン・窒素) が増大したため (図-2、3、6、8 参照)、植物プランクトンが徐々に増殖したことを反映している。一方、底層 (A-0.8、B-0.8) の DO 飽和度の減少は、越冬期に池底に堆積していたデトリタスが、水温の上昇に伴ってバクテリアにより一気に酸化分解されたためと思われる。また、5 月に入ると、DO 飽和度は全測点で減少傾向を示している。底層については、バクテリアによるデトリタスの酸化分解が続いている影響と考えられ、一方、表層については、日射量の減少に伴う植物プランクトンの光合成活性の低下が原因と推察される (図-2 の調査日平均のデータ参照)。

(2) 生長期 (6～7 月)

6、7 月は、両測点の表層 (A-0.2、B-0.2) の DO 飽和度がともに増大傾向にある (図-4 参照)。これは、植物プランクトンが光合成活性の増大に伴って増殖したことが原因と考えられる。実際に、図-5 において、Chl-a が全測点で越冬期 (12～3 月) よりも明らかに高い値を示

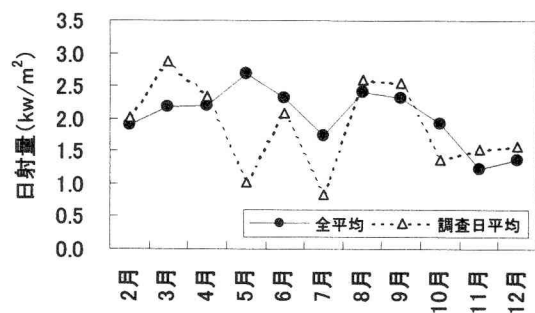


図-2 日射量の経月変化

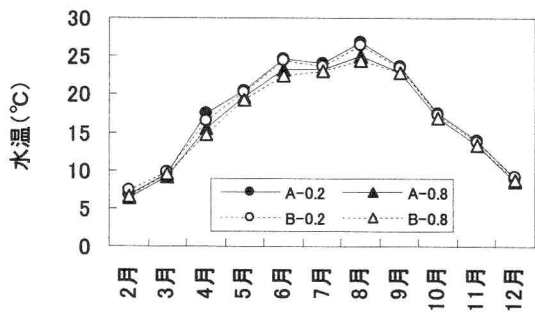


図-3 水温の経月変化

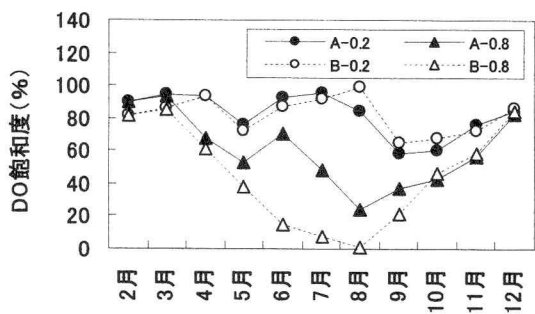


図-4 DO飽和度の経月変化

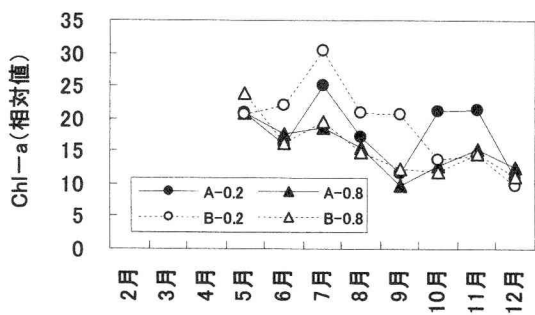


図-5 Chl-a (相対値)の経月変化

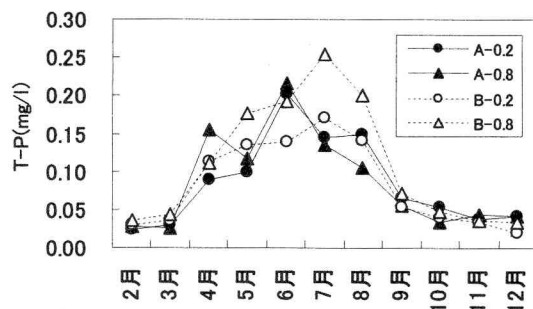


図-6 T-Pの経月変化

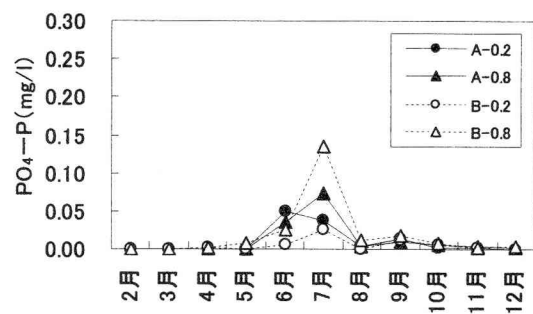


図-7 PO₄-Pの経月変化

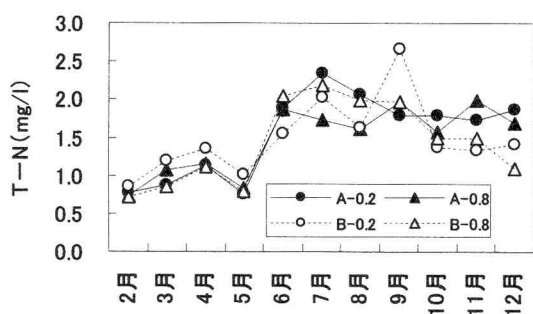


図-8 T-Nの経月変化

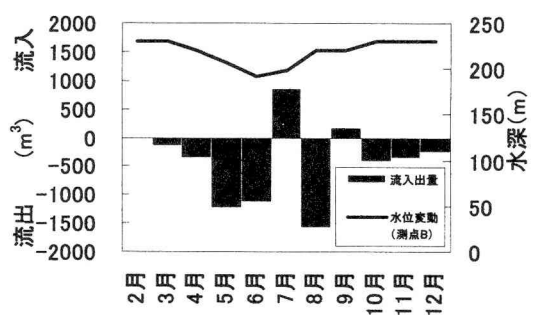


図-9 月別総流入出量と月平均水位の経月変化

している。また、Chl-aはA-0.2の方がB-0.2に比べて低くなっている。これは、測点Aではガガブタの浮葉が日射を吸収することや、ガガブタの根が栄養塩を吸収することによって植物プランクトンの増殖を抑制しているためである。

つぎに、底層について見ると、B-0.8のDO飽和度が相当低下しており、7月に至ってはほぼ無酸素状態になっている。これは、表層で増殖した植物プランクトンが死滅してデトリタスとなり、底層に沈降した後にバクテ

リアによって分解されるためである。その際に、底層でDOが消費される反面、水温成層の形成(図-3参照)により上下混合が抑制され、表層から底層へのDOの輸送がほとんど生じない。これが、この時期における底層の貧酸素化のメカニズムであり、従来からよく知られているものである⁹⁾。

これに対して、A-0.8では6、7月においてもそれほど激しい貧酸素化が生じていない(図-4参照)。これは前述のように、ガガブタ群落が表層の植物プランクトンを

抑制するためであり、ガガブタ群落は底層の貧酸素化の軽減にも大きく貢献している。ところで、A-0.8 では 6 月に DO が増大傾向を示している。この原因の 1 つとして、ガガブタの根が浮葉から浮葉や茎の通気組織を通じて送られる酸素に依存して呼吸するため、その酸素の一部が底泥から底層水中へ拡散したことが考えられる¹⁰⁾。また、生長初期のまだ水面に展開していない水中葉による光合成の影響も大きいと考えられる。これらの点においても、ガガブタ群落が底層の貧酸素化を抑える効果があると言える。

さらに、栄養塩濃度について検討する。図-6 では、測点 A において TP が 7 月に 2 割・8 割水深ともに大きく低下しているが、これはガガブタが根からリンを吸い上げた影響と考えられる。一方、図-8 ではガガブタの窒素の吸い上げ効果は明確ではない。これは、ガガブタがリンを効率よく吸収するためと思われるが、その詳細なメカニズムは不明である。また、図-7 より、両測点の底層では 6、7 月に底泥から $\text{PO}_4\text{-P}$ が溶出していることがわかる。特に、B-0.8 では $\text{PO}_4\text{-P}$ が 7 月に極端に大きい値をとっており、前述の底層の激しい貧酸素化が反映されている。以上のように、ガガブタ群落は夏季における水中栄養塩の削減に貢献している。

(3) 最盛期 (8~9 月)

両測点ともに、8 月には底層の貧酸素化がさらに進行し、9 月には逆にその解消へと向かっているが (図-4 参照)、この貧酸素化の解消の主原因は水温成層の消失と考えられる。図-3 よりわかるように、9 月には表層と底層との水温差がほとんどゼロになっており、そのため、表層から底層への DO の輸送が活発に行われたと推察される。また、9 月にはすべての測点で TP が急激に低下している (図-6 参照)。これは、DO 飽和度の上昇によって底泥からのリンの溶出が抑えられ、逆に底泥へのリンの吸着が促進されたからと推察される。さらに、TP の低下に伴って 9 月には Chl-a も大きく低減している (図-5 参照)。ただし、B-0.2 においてのみ Chl-a がほぼ横ばいであり、特異な傾向を示している。これは、図-8 において B-0.2 の TN が 9 月に大きく増大していることと関係している可能性があるが、その詳細は不明である。

(4) 分解期 (10~11 月)

10~11 月において 1 番注目すべき点は、A-0.2 における Chl-a および TP、TN の増大である (図-5, 6, 8 参照)。この 3 者ともに、A-0.2 の値が B-0.2 のそれに比べて 10~50 (%) 程度大きい。これは、10~11 月にかけてガガブタの枯死分解が起こり、栄養塩が池水中へ回帰したこと、およびこれと池水中へ入射する日射量が (ガガブタの浮葉の消失に伴って) 増大したことにより、植物プランクトンが増殖したことを意味している。しかしながら、A-0.8 の DO 飽和度は上昇しており、ガガブタ

起源のデトリタスの酸化分解の影響は特に表れていない (図-4 参照)。これは、以下の 2 点が原因と考えられる。第 1 点は、水温成層が形成されておらず (図-3 参照)、表層から底層への DO の輸送が生じていたことである。また、第 2 点は 10 月になって水温が低下し、バクテリアの分解速度が大きく低減したことと推察される。つまり、ガガブタの枯死に伴って底層に大量のデトリタスが供給されるものの、そのすべてが速やかに溶存無機態まで分解されるのではなく、底層に残存・堆積したものが徐々に分解されていくと考えられる。(なお、越冬期後まで残存するデトリタスは最終的には(1)で述べたように、次の萌芽期に一気に分解される)。

(5) 越冬期 (12~3 月)

12~3 月はガガブタの浮葉および茎がほぼ完全に枯死し、植物体として水中に存在しているものは殖芽だけである。したがって、ガガブタ群落がため池の環境に与える影響は小さいと考えられる。実際に、DO 飽和度、Chl-a などの結果を見ても、両測点でほとんど差は見られない (図-4, 5 参照)。DO 飽和度は 80~100 (%) という高い値で安定しており、また、Chl-a は低い値で安定している。しかし、測点 A の TP、TN は 12 月に高い値を示している (図-6, 8 参照)。これは、前述のようにガガブタ起源のデトリタスの分解が続いていることを意味しており、ガガブタ群落の影響が全くないわけではない。

4. ガガブタ群落の影響に関する考察

本節では、生長期~分解期 (6~11 月) の詳細なデータをもとに、ガガブタ群落が生態系と水質に与える影響についてさらに詳しく考察する。

図-10 に、生長期~最盛期 (6~9 月) における TP と Chl-a の相関を示す。同図 (a)、(b) はそれぞれ 2 割水深と 8 割水深の結果を示しており、また、測点ごとに最小二乗法により求めた回帰直線も挿入してある (ただし、同図 (b) の左上部分にプロットされている 2 つのデータはいずれも隣接する長沼にアオコが発生していた日 (7/16, 8/26) のものであり、西沼にもそのアオコが流入していたと考えられる。このことが、水質分析に何らかの特殊な条件を与えていた可能性があるため、回帰分析に際してこの両点を割愛した)。なお、ここで栄養塩濃度として TP を選んだ理由は、このため池が一年を通じてほぼリン制限になっているからである。図-10 (a) を見ると、A-0.2、B-0.2 ともに TP と Chl-a が良好に相関しており、栄養塩の増大に伴って植物プランクトンが増殖するという既往の知見をよく表している。しかし、回帰直線の傾きは A-0.2 の方が B-0.2 より明らかに小さく、同一の TP の値に対して、A-0.2 では B-0.2 より植物プランクトンの増殖が抑制されることがわかる。この結果

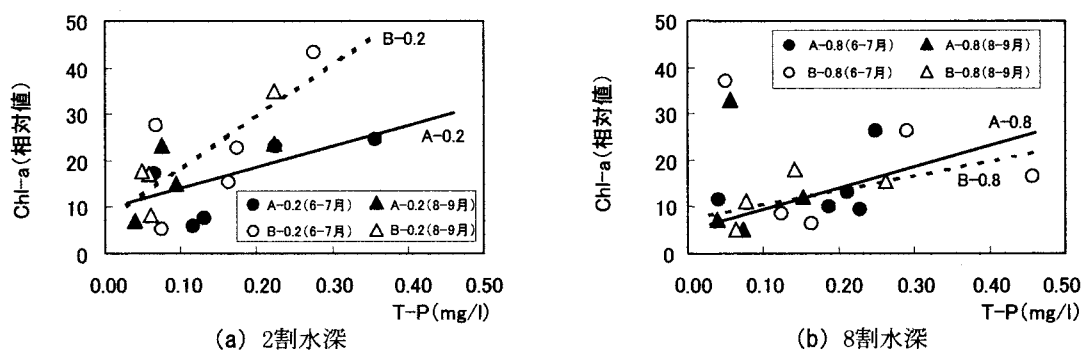


図-10 T-PとChl-aの相関関係

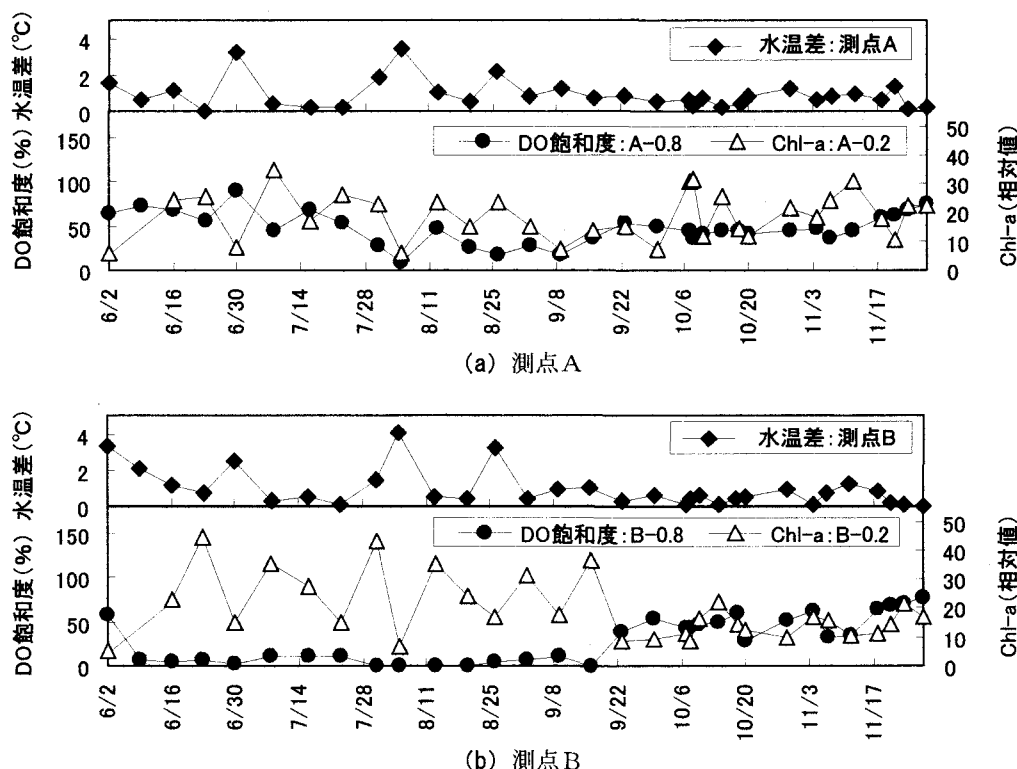


図-11 DO飽和度(8割水深), Chl-a(2割水深), 水温差の経日変化

は、前述した「水面に展開しているガガブタの浮葉が日射を遮蔽・吸収し、植物プランクトンの増殖を抑制した」ことを明確に裏付けている。なお、A-0.2 では植物プランクトンが抑制されたことにより、 $\text{PO}_4\text{-P}$ が増大すると考えられるが、実際に図-7においてこのことが確認できる(6月は特に顕著である)。一方、同図(b)でも、(先ほどの2点を除いて)A-0.8、B-0.8ともにTPとChl-aが良好に相関しており、この場合には両回帰直線の傾きがほぼ同一である。これは、底層(8割水深)では到達する日射量がもともと少なく、ガガブタ群落の日射の遮蔽・吸収効果がほとんど影響しないことを意味している。以上のように、ガガブタ群落が表層の植物プランクトンを抑制することが実証された。

つぎに、ガガブタ群落が底層のDO環境に与えた影響について詳しく検討する。図-11に、6～11月における各測定日の測点A、Bに対する底層(8割水深)のDO

飽和度、表層(2割水深)のChl-a、および表層(2割水深)と底層(8割水深)との水温差を示す。まず、生長期～最盛期(6～9月)について検討する。同図(a)、(b)より、A-0.2のChl-aは7/8を除いて25(相対値)以下であるのに対して、B-0.2のそれは1～2測定日おきに25以上の高い値を示していることがわかる。これは前述のように、ガガブタ群落が植物プランクトンの増殖を抑制したからであり、両測点における底層のDO飽和度に強く影響している。両図よりわかるように、A-0.8ではDO飽和度が6～7月中旬において50～80(%)で推移しており、その後も20～50(%)程度の値を保っている。これに対して、B-0.8のそれは6月初旬と9月下旬を除いて10(%)以下であり、測点Bでは底層に強い貧酸素化が生じている。以上のように、ガガブタ群落は表層における植物プランクトンの抑制を通じて、底層の貧酸素化を大きく抑制することが実証された。ただし、測点B

は測点 A に比べて水深が若干大きく、底層まで到達する日射量が相対的に少ないため、底層における植物プランクトンの DO 生産量が小さい。また、測点 B は排水口付近に位置しており、ため池への水の流入出（図-9 参照）に伴って貧酸素水塊が停滞しやすい。このように、測点 B にはもともと貧酸素化を助長する特性が備わっており、定量的な議論においてはこのことを考慮する必要がある。

なお、両測点の表層と底層との水温差については、6 月上旬を除いて全期間（6～9 月）にわたってほぼ一致しており、水温成層が底層の貧酸素化に与える影響の度合いは両測点でほぼ同程度であった。また、6/30、8/5、8/26 の表層と底層との水温差は特に大きく（ただし、8/26 は測点 B のみ）、それに伴って表層の Chl-a が低下している。これは、底層でデトリタスの分解に伴って回帰した無機態栄養塩が、強い水温成層の存在によって表層まで輸送されなかったからである。

つぎに、分解期（10～11 月）に注目する。図-11（a）、

（b）において両測点の表層（2 割水深）の Chl-a を比較すると、A-0.2 では B-0.2 より全体的に高い値を示していることがわかる。これは前述のように、ガガブタの枯死分解によって栄養塩が回帰すること、および浮葉の消失に伴って水中に入射する日射量が増大することが原因である。しかし、A-0.8 の DO 飽和度は全期間（10～11 月）にわたってほぼ 50（%）以上を保っており、貧酸素化は生じていないことがわかる。また、この値は B-0.8 のそれと比較しても全く遜色がない（なお、表層と底層との水温差は両測点ともに最大 1.5（℃）程度であり、全期間を通じて明確な水温成層が形成されていない）。このように、ガガブタの枯死分解の影響は Chl-a、TP、TN に若干表れるものの（図-5、6、8 参照）、底層の DO 飽和度にはほぼ全く表れないことが確認された。

ところで、ガガブタの枯死分解にもかかわらず、測点 A の底層が貧酸素化しない原因の一つは前述のように、水温低下に伴うバクテリアの分解速度の低減であるが、より詳細に考えると、これにはさらにガガブタの植物体構造が強く関係していると思われる。ガガブタの水中部位（根部を除く）のバイオマスの割合は浮葉部が約 40～50（%）、茎部が約 50～60（%）であり、茎部のバイオマスが全体の半分程度を占めている。また、部位ごとに枯死分解のプロセスを述べると、浮葉は水面で細かく粉碎された後にデトリタスとして池底へ沈降し、植物プランクトンと同様にバクテリアによって比較的短期間で分解される。一方、茎は浮葉の消失に伴って原型を留めたまま池底へ沈降し、そこで緩やかに分解される。ガガブタの枯死分解はバイオマスの割合から考えて、茎部の

その影響を強く受けており、そのため、分解速度が緩やかになると推察される。なお、このことは著者ら¹¹⁾の基礎実験によって実際に確認されている。

5. おわりに

本研究では、年間を通じての現地調査を行い、ガガブタ群落がため池の生態系と水質に与える影響を季節ごとに検討した。以下に、本研究の結論をまとめる。

ガガブタ群落は、夏季には水中の栄養塩を吸収し、また、表層の植物プランクトンの増殖を抑制するとともに、底層の貧酸素化を軽減するなど、ため池の生態系と水質に対して大きな正の貢献をする。その反面、秋季～冬季には枯死分解に伴って栄養塩を溶出し、負の影響を与えるものの、その程度はそれほど大きくない。なお、これらの結論は、アサザ群落など他の種類の浮葉植物の場合にも定性的に同様と推察されるが、定量的な議論については種ごとに行う必要がある。

参考文献

- 1) 桜井善雄：水辺の緑化による水質浄化、公害と対策、第 24 巻、pp.899-909、1988。
- 2) 宗宮功：自然の浄化機構、pp.134-148、技報堂出版、1990。
- 3) 小林節子、岩木晃三：印旛沼の水草の衰退と水質への影響、水草研究会会報、第 63 号、pp.11-20、1998。
- 4) 立本英機、栗原真理、小泉利明、相川正美、生嶋功：西印旛沼における浮葉植物、オニビシ群落内外の水質の比較、水環境学会誌、第 18 巻、第 10 号、pp.803-807、1995。
- 5) 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。
- 6) 沖野外輝夫：湖沼の生態学、pp.171-188、共立出版、2002。
- 7) 中井正則、丸山治朗、有田正光：浮葉植物（ガガブタ）が繁茂するため池の現地調査、水工学論文集、第 48 巻、pp.1339-1344、2004。
- 8) 近藤純正：水環境の気象学、pp.180-181、朝倉書店、1994。
- 9) 有田正光 編：水圏の環境、pp.250-253、東京電機大学出版局、1998。
- 10) 巖佐庸、松本忠夫、菊沢喜八郎 編：生態学辞典、p.295、共立出版、2003。
- 11) 丸山治朗、村田知也、中井正則：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、第 32 回環境システム研究論文発表会講演集、pp.565-570、2004。

（2004. 9. 30 受付）