

浮葉植物（ガガブタ）が繁茂するため池の現地調査

A FIELD OBSERVATION OF AN IRRIGATION POND WITH A FLOATING-LEAVED PLANT (*Nymphoides indica*) COMMUNITY

中井正則¹・丸山治朗²・有田正光³

Masanori NAKAI, Jiro MARUYAMA and Masamitsu ARITA

¹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)

²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)

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 in an irrigation pond with a floating-leaved plant (*Nymphoides indica*) community to make clear the effects of aquatic plants on the ecosystem and water quality. In the observation, the appearance of the plant community and the values of various water quality items were monitored from fall to winter in 2002. Although a lot of nutrients (N, P) discharged from the plant bodies into the pond water due to withering, their concentrations quickly decreased after the temporary increases in the plant community and then phytoplankton cannot greatly multiply. Concerning phosphorus, in particular, this fact resulted from that the recycled phosphorus rapidly fell down as detritus and also being adsorbed by suspended solids after dissolution. In conclusion, it was shown that the recycle of nutrients due to withering of plant bodies scarcely gives negative influence on the ecosystem and water quality in an irrigation pond.

Key Words : floating-leaved plant, irrigation pond, nutrient, transparency, withering

1. はじめに

わが国では、灌漑農業用のため池は灌漑用水の貯水という本来の目的だけに留まらず、生物多様性が維持された豊かな生態系を形成する水辺空間としての役割をも担ってきた。実際、ため池では、水生植物、昆虫類、魚類、両生類などのさまざまな生物の生息が確認されており、ため池の持つ生態学的価値が広く認識されている^{1)~5)}。しかしながら、近年、ため池は周辺地域の都市化に伴う埋め立てなどにより、急速に姿を消しつつある。また、現存しているため池においても、流入水の栄養塩負荷の影響を受けて富栄養化が進行しており、生物種の種数および個体数が激減するなど、生態系の崩壊が生じている。なかでも、いわゆる大型水生植物が堤防・護岸の建設などによって全国のため池より大量に消失しており^{3), 6)}、多数の在来性水生植物が絶滅の危機に瀕している。

大型水生植物は陸域から水域への遷移域(エコトーン)を形成し、さまざまな生物が生息する豊かな生態系を維持するための基礎となる役割を果たすのみならず、自らの成長を通じて水域中の栄養塩を吸収するなどの水質浄化機能をも併せ持っている^{7), 8)}。実際に後者の点に注目

し、水生植物を閉鎖性水域の富栄養化対策に利用することは最近の流行であり、さまざまな具体例が提案されている⁹⁾。しかし、その一方で、外来種の使用や秋季から冬季における枯死分解に伴う栄養塩の回帰など、数多くの問題を抱えている。特に、枯死分解時の栄養塩回帰については、小林・岩木¹⁰⁾、立本ら⁹⁾および中村・鈴木¹⁰⁾がそれに起因する水質の悪化を指摘しているのに対し、岩熊・土谷⁷⁾および沖野¹¹⁾はそれが水質に与える影響は小さいと述べており、いまだ十分な知見が得られていない(ただし、これらの知見には現地調査のみならず基礎実験に基づくものも含まれており、また、水生植物として抽水植物・浮葉植物など種々のものが取り扱われている)。

以上の点を踏まえて本研究では、ため池において水生植物が生態系と水質に与える影響を解明し、水生植物の在り方および利用の仕方に関する知見を得るための一助とすることを目的として、現地調査を実施した。調査対象とした水域は、絶滅危惧Ⅱ類(VU)に指定されているガガブタの群落が存在する小規模のため池であり、秋季から冬季にかけてのガガブタの生育状況と水質変化について検討を行った。これは、水生植物のなかでも浮葉植物に関する研究例が抽水植物・沈水植物に比べて少な

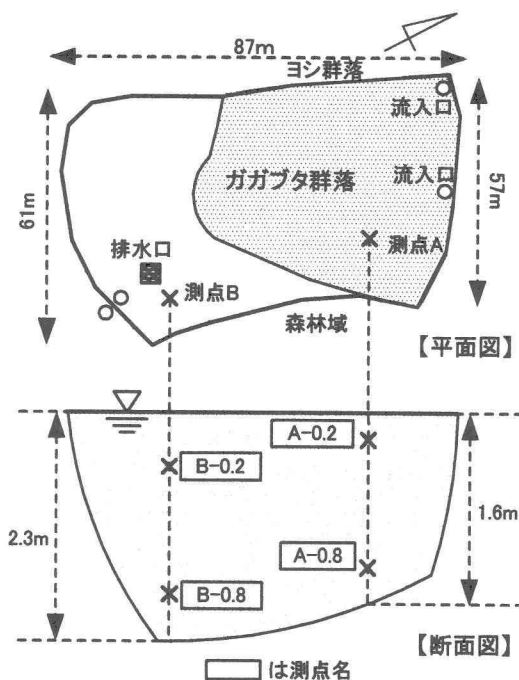


図-1 西沼の概要

いこと、および枯死分解時の知見が不十分なことを考慮したためである。なお、ガガブタ (*Nymphoides indica*) は淡水中に生息する在来性・多年性の浮葉植物であり、一般に pH=5.5~10 程度の中栄養の水域に生育し、生育限界水深は 1.6~1.7(m) 程度である¹²⁾ (写真-1 参照)。

2. 現地調査

調査対象地点は埼玉県比企郡滑川町の西沼であり、表面積と平均水深はそれぞれ約 3500 (m²)、約 2 (m) である (写真-2、図-1 参照)。西沼は、なだらかな勾配を利用して造成された灌漑用のため池であり、隣接するため池の富栄養水がサイフォンにより流入する構造になっている (なお、全貯水量に対する流入・流出量 (9 月~12 月の総量) の割合は小さい (ともに 20% 程度以下) と考えられる)。現地調査は 2002 年 9 月 27 日~12 月 20 日の期間に実施し、ほぼ一週間に 1 回の割合でガガブタの生育状況の観察と水質項目の測定を晴天日に行った。測定地点は図-1 に示すように、ガガブタ群落内 (測点 A: 水深約 1.6 (m))、ガガブタ群落外 (測点 B: 水深約 2.3 (m)) の 2 点であり、それぞれの点の 2 割水深と 8 割水深において測定と採水を行った。

水質測定項目は、水温、溶存酸素 (DO) 濃度、炭酸ガス (CO₂) 濃度、水素イオン濃度 (pH)、透明度、全リン (T-P)、全窒素 (T-N)、化学的酸素要求量 (COD) である。このうち、水温、DO 濃度は東亜電波工業㈱製の専用測定器機 (DO-21P) により、また、透明度は自作のセッキ板を用いて、それぞれ現地で測定した (ただ



写真-1 ガガブタ

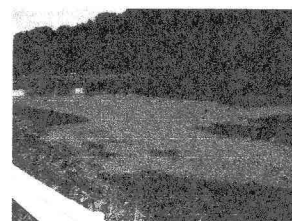


写真-2 西沼
(2002年8/22)



(a) 10月25日



(b) 12月20日

写真-3 ガガブタ群落の変化

し、水温は 2 割・8 割水深のみならず、鉛直方向に 10 (cm) 間隔で測定した)。また、pH、CO₂ 濃度、T-P、T-N、COD については、自作の採水ビンで採水した試料水をクーラーボックスに入れて実験室に持ち帰り、東亜電波工業㈱製の専用測定機器 (HM-20、CGP-1) とオートアナライザー (LASA-1) を使用してそれぞれ測定した (ただし、T-P、T-N、COD はほぼ 2 週間に 1 回の割合で測定した)。

3. 調査結果と考察

(1) 観察結果

2002 年 8/22 に、滑川町・西沼においてガガブタ群落を発見した。この時には、水面の約 7 割がガガブタの浮葉に覆われていた (写真-2 参照)。しかし、測定を開始した 9/27 頃からガガブタは徐々に枯れ始め、10 月下旬には水中茎が腐り、浮葉をつけた殖芽が浮遊するのが見られた (写真-3 (a) 参照)。また、10/25 に測点 A で採水した試料水には大型のデトリタスが混入しており、色は普段より濃い緑色を呈していた。これは、明らかにガガブタの枯死分解の影響と考えられる。さらに、この頃には観察当初 (9 月下旬) に見られなかった付着藻類がガガブタの茎に出現し始めていた。その後もガガブタの枯死分解は徐々に進行し、観測最終日 (12/20) には浮葉がわずかに残っているに過ぎなかった (写真-3 (b) 参照)。また、付着藻類の大繁殖は確認されなかった。なお、植物プランクトンについては緑藻類・珪藻類・藍藻類などが確認されているものの、優占種については不明である。

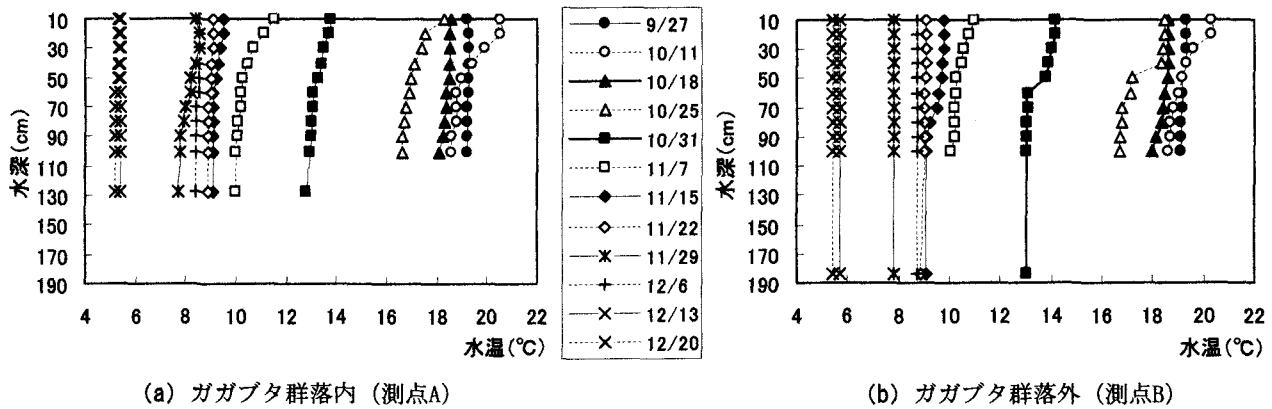


図-2 水温鉛直分布の経日変化

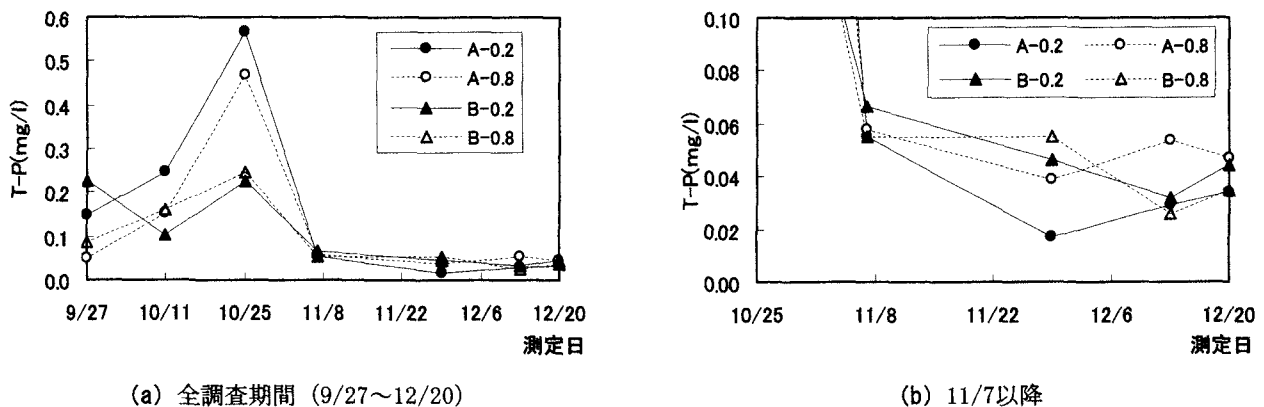


図-3 T-Pの経日変化

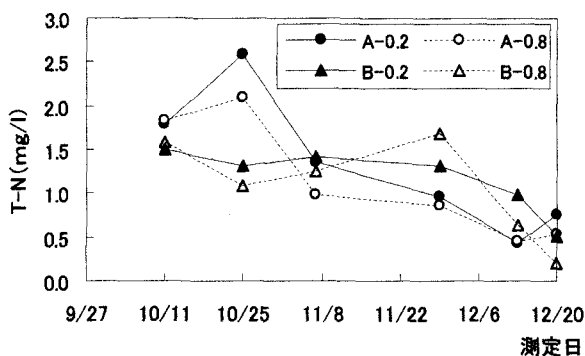


図-4 T-Nの経日変化

(2) 測定結果

本節では、水質に関する諸項目の経日変化について、ガガブタ群落内（測点A）と群落外（測点B）での差に注目しながら説明する。

図-2 は水温鉛直分布の経日変化を示したものである。10/11、10/25、10/31には、測点Bにおいて微弱な水温躍層が形成されている（水温躍層内の温度変化は最大で2（℃）程度である）。一方、測点Aでは10/11にのみ水温躍層が存在し、他の二日については明確な水温躍層が認められない。このように、10/25、10/31の二日に対しては両測点で若干の差がある。しかし、10/11を含めて

他の観測日の結果は両測点で概ね一致しており、水温環境は測点A、Bともにほぼ同一と考えられる。また、測点A、Bともに10/25を境にして水温が急激に低下している。後述のように、このことが生物環境に与える影響は非常に大きいと思われる。なお、一部の観測日で8割水深（最深点）のデータが欠落しているが、この点の水温は水深100（cm）の水温とほぼ同一であることが2003年度の同一時期の測定データより確認されている。

図-3（a）にT-Pの経日変化を示す（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）。同図よりわかるように、測点Aでは10/25にT-Pが非常に大きい値を示しているが、これはもちろんガガブタが枯れたことに起因している。また、同日は測点BにおいてもT-Pがやや大きめの値をとっている。一方、11/7以降については測点A、BともにT-Pが相対的に非常に小さくなっている。なお、図-3（b）に11/7以降におけるT-Pの変化の拡大図を示しておく（富栄養化に対するT-Pの基準は概ね0.02~0.03（mg/l）以上であり¹³、11/7以降にも十分な量の植物プランクトンが存在したと考えられる）。以上の結果については、後ほど詳しく考察する。

図-4にT-Nの経日変化を示す。10/25には、測点AにおいてT-Nが（T-Pと同様に）非常に大きい値を

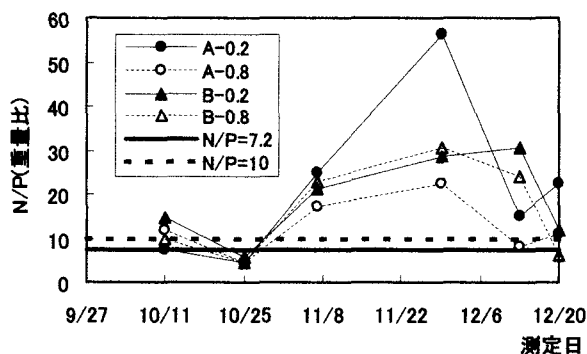


図-5 N/P（重量比）の経日変化

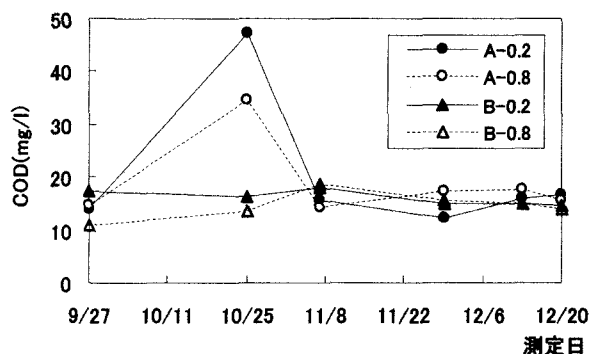


図-6 CODの経日変化

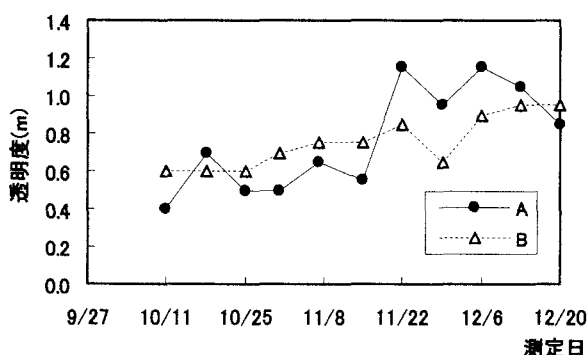


図-7 透明度の経日変化

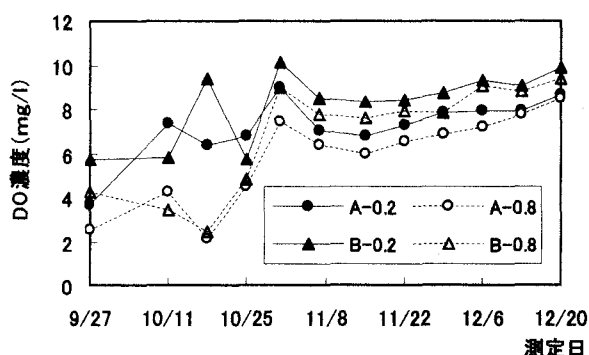


図-8 DO濃度の経日変化

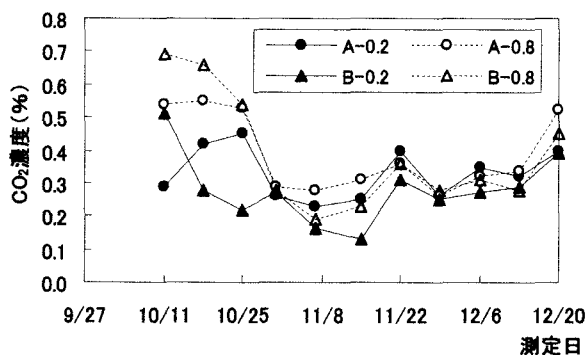


図-9 CO₂濃度の経日変化

示している。しかし、測点Bでは値が逆に低下しており、T-Pの変動特性とは異なっている。一方、11/7以降は測点A、BともにT-Nが緩やかに低下しており、T-Pのように極端な低下は見られない。

図-5はN/P（重量比）の経日変化を示している。なお、同図にはレッドフィールド比 N/P （重量比）=7.2、およびよく使用される N/P （重量比）=10¹⁴の直線も挿入されている。同図より、西沼はほとんどの期間においてP制限であり、10/25に限ってN制限になっていることがわかる。この原因はガガブタが枯れたことであり、ガガブタは枯死分解によってリンを相対的に多く放出するためと考えられる。

図-6にCODの経日変化を示す。CODは、測点Bで

は全調査期間を通じて10~20（mg/l）程度の値で推移しているのに対し、測点Aでは（T-P、T-Nと同様に）10/25に非常に大きい値（35~45（mg/l）程度）を示している。このことより、ガガブタの枯死分解が一時的にガガブタ群落内の有機態総量を大きく増大させたと推察される。なお、増大した有機物は主としてガガブタが枯死分解される途中で生じるデトリタスと考えられる。

図-7は透明度の経日変化を示したものである。同図より、透明度が測点Bでは緩やかに上昇しているのに対し、測点Aでは10/31まではほぼ一定値を示し、11/7~11/22の間に大幅に上昇していることがわかる。注意すべき点として、10/25にガガブタの枯死分解によってリンが大量に供給されたにもかかわらず、同日の測点Aの透明度があまり低下していないことが挙げられる。これは、リンの供給に伴う植物プランクトンの増殖が予想外に少なかったことを意味している。これらの結果については後ほど考察する。

図-8、9にDO濃度およびCO₂濃度の経日変化をそれぞれ示す。両図より、10/31までは測点A、Bともに概ね、DO濃度の上昇に伴ってCO₂濃度が減少していることがわかる。これは、植物プランクトンの生産・増殖活動が活発に行われていることを意味している。また、11/7以降は双方ともに安定した値を示している。これは、植物プランクトンなどによるDOの供給が少なく、生物の呼吸などで消費される分のDOが主に大気からの溶解

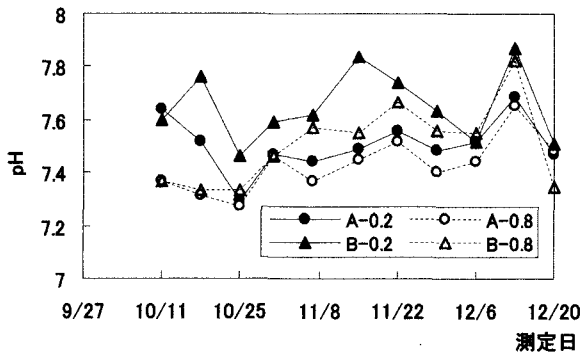


図-10 pHの経日変化

によって補給されている状態を示唆している（ただし、DO 濃度の緩やかな上昇には水温低下に伴う飽和 DO 濃度の上昇が影響しており、DO 飽和度で見るとほぼ一定であることが確認されている）。

図-10 に pH の経日変化を示す。同図より、pH は両測点ともに変動幅が小さく、いずれもガガブタの生息条件範囲（pH=5.5~10 程度）に収まっていることがわかる。

(3) 考察

本節では、ガガブタの枯死分解に伴って水中に回帰した栄養塩（リン）のその後の挙動、およびそれと関連する植物プランクトンの挙動について詳しく考察する。

図-11 は T-P と透明度の相関関係を示したものであり、図中の実線はガガブタが激しく枯れていた 10/25 のデータを除外して求めた近似曲線である。この近似曲線は T-P の増大に従って透明度が減少するという、既往の知見¹³⁾をよく反映しており、しかも両者の相関の度合いはかなり高い。ここで注目すべき点は、測点 A のデータが 10/25 のみ近似曲線より大きくずれており、リンが大量に存在するにもかかわらず、透明度が相対的に高いことである。これは前述のように、ガガブタの枯死分解によってリンが大量に池水中に回帰するものの、植物プランクトンの増殖が大きく抑制されていたことを意味している。

さらに、このことより、回帰したリンの存在形態についての示唆が得られる。ガガブタの枯死分解によるリンの回帰プロセスは、バクテリア等による分解に支配されており、デトリタスから溶存有機態リンを経て溶存無機態リンに至る。この中で、植物プランクトンが利用可能な形態は溶存無機態リンのみであり、植物プランクトンの増殖が抑制されたことはこの形態のリンが少なかったことを意味している。

なお、図-11 では、同日（10/25）の測点 B のデータも近似曲線からやや右側へずれており、同測点においても定性的には測点 A と同様の状況が出現していたと考えられる。この原因として、ガガブタより回帰したリンが

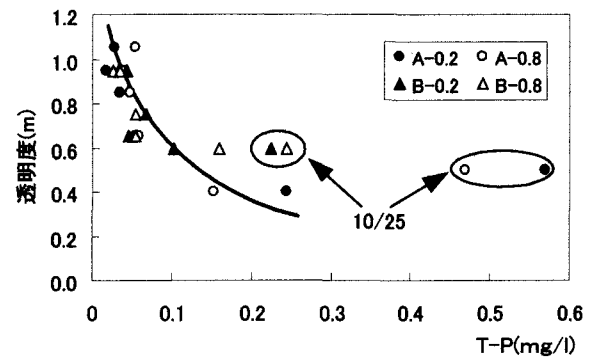


図-11 T-Pと透明度の相関

移流と拡散によりガガブタ群落外へ輸送されたことが挙げられる。しかし、図-3 (a) において 10/25 の測点 B の T-P が増大しているものの、図-4 において同日・同測点の T-N が増大しておらず（ガガブタより回帰した窒素の影響が確認できない）、移流と拡散による物質輸送以外のことが測点 B のこの現象に対する原因となっている可能性がある（現段階では、その具体的な内容については不明であるため、ここでは暫定的に「移流と拡散による回帰リンの輸送」をこの現象の原因と仮定しておく）。

つぎに、ガガブタより回帰したリンのその後の挙動（測点 A）について考察する。前述のように、全回帰リン中に占める溶存無機態リンの割合が低かったことが推察されている。しかし、ガガブタの茎や浮葉には大量のバクテリアが付着していることを考えれば、かなりの量の回帰リンがバクテリアによって溶存無機態リンにまでいったん分解され、その後にその大半が速やかに浮遊物質（SS）に吸着し、粒状無機態リンになったと考えることが自然だろう。なお、文献¹⁴⁾により、溶存無機態リンは SS に容易に吸着することが指摘されている。

ところで、図-3 (a) において測点 A の T-P が 11/7 以降相当に小さくなっており、池水中よりリンが急速に消失している。これは、リンが SS に吸着した粒状無機態リンおよびデトリタスとして沈降したためと考えられる（ここでの「デトリタス」は、SS に含まれない大型のものを指している）。なお、SS やデトリタスの沈降には、ガガブタの流水抵抗としての効果や接触材としての効果、ならびにデトリタス自身の SS に対する接触材としての効果が大きく影響しており、そのため、予想外に速い沈降が生じたものと思われる。そして、この SS やデトリタスの沈降が測点 A における透明度上昇（11/7~11/22、図-7 参照）の一因になっていると推察される（透明度上昇には他の原因も考えられ、これについては後述する）。

また、沈降したデトリタスはバクテリアにより分解され、栄養塩が底層水中に徐々に回帰する。しかし、前述のように測点 A の T-P（8 割水深）が 11/7 以降低い値

で安定していることより、リンの回帰速度は非常に小さく、バクテリアの活動は相当に抑制されていたと考えられる(窒素についても同様の現象が生じていたと思われる)。これは、図-2より明らかなように、水温が10/25を境にして急激に低下したことが一因だろう。実際に、図-8によれば、測点AのDO濃度(8割水深)は10/31以降ほぼ一定値(6~8 (mg/l))で推移しており、バクテリアの分解活動に伴うDOの激しい消費を確認できない。ただし、底層のデトリタスの分解は非常に緩慢ながら確実に進行すると考えられ、これが翌春以降の水質悪化の一因となる可能性がある。以上は、測点Aに対する考察である。測点Bにおけるリンの挙動については、10/25にT-Pが上昇した原因も十分明らかではないため、ここでは考察を省略した。

さらに、10/25以降の植物プランクトンの挙動について考察する。DO濃度は測点A、Bともに10/31に増大しており(図-8参照)、ガガブタの枯死分解によって回帰した大量のリンの一部(溶存無機態リン)を植物プランクトンが利用し、幾分増殖したと考えられる(この時期に透明度の明確な低下を確認できないため(図-7参照)、植物プランクトンの大繁殖は考えにくい)。なお、植物プランクトンが大繁殖しなかった原因の1つは、もちろん溶存無機態リンが少なかったためと考えられるが、他の原因としてやはり水温の問題が挙げられる。前述のように水温は10/25を境にして急激に低下しており(図-2参照)、このため植物プランクトンの活性が低下し、増殖が抑制された可能性がある(多くの植物プランクトンの最適増殖水温は18~25 (°C)である¹⁶⁾)。

一方、10/31以降については、測点A、BともにDO濃度が非常に緩やかに上昇している(DO飽和度はほぼ一定値を保っている)ことより、植物プランクトンの増殖が相当に抑制されていると考えられる。また、図-3

(b)において測点A、BともにT-Pが全体として低下傾向を示しており、このことが裏付けられている。この一因として、もちろん水温のさらなる低下による植物プランクトンの活性の低下が挙げられるが、より直接的な原因として、前述のように(測点A、Bともに)栄養源であるリンの大部分が11/7までに池水中より消失したことが挙げられる(図-3(a)参照)。

このことを11/7~11/29の測点Aに限定してより詳しく見てみる。図-3(b)より、T-Pはこの期間に2割水深で約1/3に、8割水深で約2/3に低減しており、測点Aで植物プランクトンの個体数が大きく減少していることがわかる。この結果の意味するところは重要である。つまり、11/7~11/29は図-7において透明度が大幅に上昇した時期(11/7~11/22)とほぼ一致しており、透明度上昇のもう1つの原因はここで述べた栄養塩(リン)不足による植物プランクトンの個体数の減少と結論できる。

4. まとめ

現地調査の結果より、西沼では10月下旬を中心にガガブタが激しく枯れ、それにともなって大量の栄養塩が池中に回帰するものの、これが水質に与える負の影響はそれほど大きくないことがわかった。それは、ガガブタの枯死分解によって回帰した栄養塩(リン)の大部分が植物プランクトンに利用されることなく、速やかに池底へ沈降するからである。このように、秋季から冬季における浮葉植物の枯死分解が水質に与える影響について貴重な知見が得られたものの、生物多様性など生態系と直接結びつく問題については十分解明できなかった。

参考文献

- 1) 下田路子：広島県豊栄町のため池の植物，水草研究会会報，第63号，pp. 21-25，1998。
- 2) 中優：三重県松阪市のため池における水草相，水草研究会会報，第72号，pp. 5-16，2001。
- 3) 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。
- 4) 近藤繁生，高崎保郎：ため池の昆虫(ユスリカとトンボ)，水環境学会誌，第26巻，第5号，pp. 257-261，2003。
- 5) 梅村算二，秋山繁治：ため池の脊椎動物(魚と両生類)，水環境学会誌，第26巻，第5号，pp. 262-265，2003。
- 6) 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。
- 7) 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。
- 8) 須藤隆一：環境修復のための生態工学，pp. 40-48，講談社サイエンティフィック，2000。
- 9) 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，オニビン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。
- 10) 中村圭吾，鈴木宣人：調整池における水質の季節的変動と水生植物の占有率，土木学会第54回年次学術講演会概要集第Ⅶ部，pp. 38-39，1999。
- 11) 沖野外輝夫：湖沼の生態学，pp. 171-188，共立出版，2002。
- 12) 浜島繁隆：池沼植物の生態と観察，pp. 15-17，pp. 49-50，ニューサイエンス社，1979。
- 13) 岩佐義朗：湖沼工学，pp. 224-228，山海堂，1990。
- 14) 手塚泰彦 訳：陸水学，pp. 167-174，京都大学学術出版会，1999。
- 15) 浜島繁隆，土山ふみ，近藤繁生，益田芳樹：ため池の自然-生き物たちと風景，pp. 53-56，信山社サイテック，2001。
- 16) 手塚泰彦，渡辺泰徳，渡辺真利代 共訳：藻類の生理生態学，pp. 52-56，培風館，1987。

(2003. 9. 30 受付)