

浮葉植物（ガガブタ）群落の栄養塩収支および 日射遮蔽に関する現地調査

A FIELD OBSERVATION ON THE NUTRIENTS BUDGET AND SHELTERING OF SOLAR RADIATION OF A FLOATING-LEAVED PLANT (*Nymphoides indica*) COMMUNITY

丸山治朗¹・中井正則²・有田正光²

Jiro MARUYAMA, Masanori NAKAI and Masamitsu ARITA

¹ 学生会員 修（工） 東京電機大学大学院理工学研究科応用システム工学専攻（〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂）

² 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石坂）

A floating-leaved plant (*Nymphoides indica*) community in an irrigation pond was investigated with respect to absorption and release of nutrients (N, P) and sheltering of solar radiation. In summer, the plant community grew up absorbing nutrients from the bottom mud, and then, both the values of the biomass and nitrogen content took a peak in July, however, the value of the phosphorus content exhibited a characteristic variation with two peaks both in July and August. In addition, multiplication of phytoplankton was largely suppressed due to sheltering of solar radiation by the floating-leaves in the plant community. In fall, the plant community released nutrients into the water body due to withering, and then, the value of Chl.-a greatly increased in the plant community with a time lag of about a month.

Key words : floating-leaved plant, *Nymphoides indica*, nutrient, biomass, phytoplankton, sheltering of solar radiation

1. はじめに

生態系における生産者は光合成を行うことによって増殖しており、各生産者の光合成に対する優位性の差異が生産者の個体数バランスに大きな影響を与えていると考えられる。ため池・湖沼などの水域では、生産者として大型水生植物・植物プランクトン・付着藻類の3者がよく知られているが、一般に大型水生植物（抽水植物・浮葉植物）が日射吸収の点において優位に立っており、このことが多様な生態系の形成に結びついている。

近年、閉鎖性水域では富栄養化が顕在化しているため、大型水生植物（抽水植物・浮葉植物）が存在しない場合には、植物プランクトンが十分な日射と栄養塩を獲得し、容易に異常増殖する。その結果、水域の透明度は低下し、底層に到達する光エネルギーが減少するため、付着藻類や沈水植物が衰退する。また、枯死した植物プランクトンが底層へ大量に沈降することによって急激な貧酸素化が発生し、多くの底生生物が死滅するとともに底泥から栄養塩の溶出が生じ、富栄養化がさらに加速化する。

一方、抽水植物・浮葉植物が生息している水域では、その群落によって日射が吸収されるため、植物プランクトンの異常増殖が抑制される。特に、浮葉植物の場合に

は、水面に展開している浮葉による日射遮蔽効果が顕著であると考えられる。また、これらの植物は生長に伴って水域の栄養塩を吸収するとともに、その植物体自身を付着藻類の基盤として提供している。このように、抽水植物・浮葉植物は生産者間の均衡を保ち、生態系の生物多様性に貢献するのみならず、水質維持の面においても大きく寄与している。しかしながら、これらの植物には、秋季の枯死分解によって栄養塩が植物体中から水中へ回帰し、水域の栄養塩濃度を増加させるという負の側面も存在している。

以上のような、大型水生植物（抽水植物・浮葉植物）が生態系と水質に与える効果のうち、栄養塩吸収については抽水植物を中心に既に多数の研究が行われている^{1) - 3)}。しかし、日射遮蔽に関するものは研究例が少なく、特に浮葉植物の顕著な日射遮蔽効果についてはほとんど研究がなされていない。この効果は、植物体の生長段階によって著しく変化することが予想されるため、今後の詳細な調査が必要不可欠である。また、秋季における大型水生植物群落の枯死分解については、回帰栄養塩による植物プランクトンの増殖が指摘されているものの、その影響の程度については意見が分かれている^{3) - 7)}。

本研究では、在来性の浮葉植物であるガガブタ (*Nymphoides indica*) が群落を形成する小規模なため池に

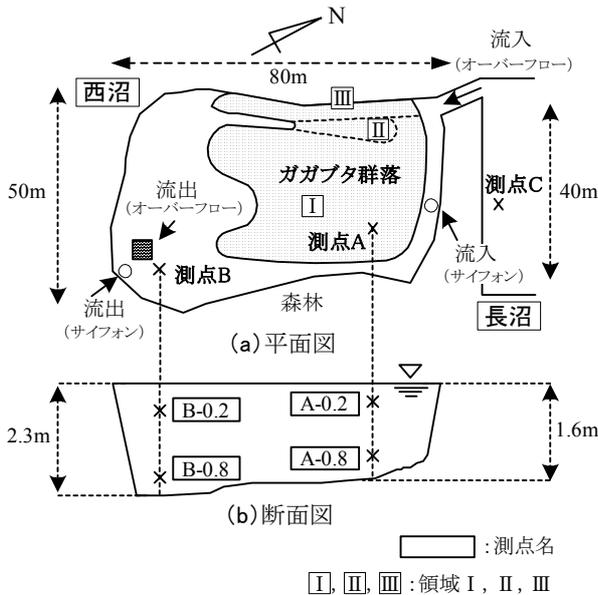


図-1 西沼の概要

において現地調査を実施し、浮葉植物群落の栄養塩収支と日射遮蔽について検討した。本研究のねらいは、ガガブタ群落の栄養塩吸収・回帰特性および植物プランクトンに対する日射遮蔽効果を定量的に評価し、今後の大型水生植物群落を要とした生態系の維持・管理システムを構築するうえでの基礎データを提供することである。

2. 現地調査

調査地点は埼玉県比企郡滑川町の西沼（ため池）であり、水深 2 (m) 程度以下の領域にガガブタが群落を形成している。西沼は上下 2 段式の灌漑農業用ため池の下側に当たっており、その上側には長沼（満水時の表面積約 6900 (m²)）がある。西沼の諸元は、満水時の表面積 3477 (m²)、総貯水量約 5600 (m³)、最大水深 3.49 (m)、平均水深 1.58 (m) であり、サイフォンとオーバーフローにより長沼の池水が西沼へ流入している。（図-1 参照）。調査期間は 2004 年 1 月 14 日～2004 年 12 月 21 日であり、原則として週に 1 回のペースで水質項目の測定を、月に 2 回のペースでガガブタ群落の調査を行った（ガガブタ群落の調査期間は、ガガブタが水面に浮葉を展開していた 2004 年 5 月 11 日～2004 年 11 月 17 日である）。

測定した水質項目は、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、CO₂（炭酸ガス）濃度、Chl-a（クロロフィル a）、T-N（全窒素）、T-P（全リン）、PO₄-P（リン酸態リン）である（ただし、T-N、T-P、PO₄-P の測定は月に 2 回のペースである）。測点は、ガガブタ群落内（測点 A）、ガガブタ群落外（測点 B）および長沼の流出口付近（測点 C）の 3 点であり、測点 A、B の 2 割・8 割水深および測点 C の水面下 20(cm) の位置で直接測定および採水を行った

（図-1 参照）。なお、DO 濃度は、東亜電波工業株製の水質チェッカ（WQC-22A）を用いて直接測定した。また、Chl-a、PO₄-P の値は、自作の採水ビン（500 (ml)）を用いて採水した試料水をもとに、ターナーデザイン社製のポータブル蛍光光度計（Aquafuor）と東亜電波工業株製の多項目水質計（LASA 1）を用いてそれぞれ分析した（他の水質項目については、本論文ではそのデータを使用しないため、測定方法を省略する）。

ガガブタ群落の測定項目は、群落の占有面積、単位面積当たりの浮葉・茎の現存量（乾重量）、浮葉・茎の乾重量に対する N・P 含有率であり、以下にその測定・分析方法を示す。群落の占有面積は、目測により求めた値に補正係数（1 回分の精密な測量値と目測値との比）を乗じて算出した。単位面積当たりの乾重量については、次の方法で算定した。測定日ごとに、まず、浮葉・茎を 8～16 組採取し、近似葉面積（中心軸の長さ×中心軸上端の横幅）を測定した後に浮葉・茎の乾重量を測定し、近似葉面積と浮葉・茎の乾重量との関係を求めた。また、密度（単位面積当たりの浮葉・茎の数）を 50 (cm) × 50 (cm) の領域内の浮葉枚数より算出した（1 枚の浮葉に 1 本の茎が対応している）。したがって、浮葉の密度と茎の密度は一致するので、以下では単に密度と表現する。つぎに、平均近似葉面積（十数枚の浮葉の平均値）を用いて、近似葉面積と浮葉・茎の乾重量との関係からそれに対する茎 1 本・浮葉 1 枚分の平均乾重量を求め、密度を乗じて単位面積当たりの浮葉・茎の乾重量を算定した。一方、浮葉・茎の N・P 含有率については、採取した植物体試料を粉碎し、ヤナコ分析工業株製の CHN コーダを用いて分析することにより N 含有率を、また、植物体試料と精製水を混合し、その試料水を多項目水質計を用いて分析することにより P 含有率を算出した。

3. 調査結果と考察

(1) ガガブタ群落の季節変遷と栄養塩吸収・回帰特性

本節では、ガガブタ群落の季節変遷に伴う栄養塩吸収・回帰の特性について検討する。

図-2 にガガブタ群落の占有面積の経日変化を示す（図中の領域 I は池中心付近の大きい浮葉が占有する領域、領域 III は池の端付近の小さい浮葉が占有する領域、領域 II は領域 I、III の中間に位置する、浮葉がまばらな領域である）。同図より、5/11 からガガブタ群落の占有面積は領域 I、III を中心にして増大し始め、また、5/26～6/8 には領域 II の面積が大きく増大していることがわかる。さらに、6/8 から領域 I の面積が再び大きく増大しており、この頃より池中心付近のガガブタが生長し始めている。7/20 にはガガブタ群落の占有面積（領域 I～III）が最大値 2297 (m²) を示しており、満水時の表面積の 66 (%) を占めている。その後、占有面積はわずかな増減を伴い

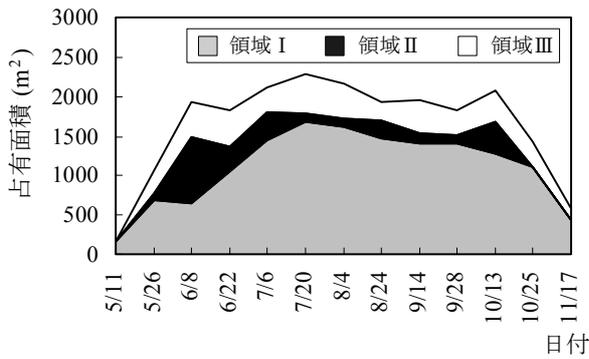


図-2 ガガブタ群落の占有面積の経日変化

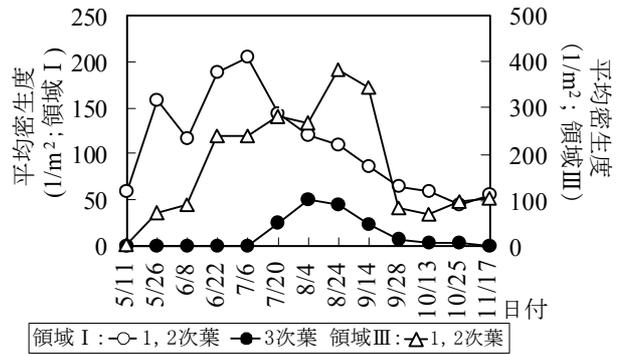


図-3 ガガブタ群落の平均密生度の経日変化

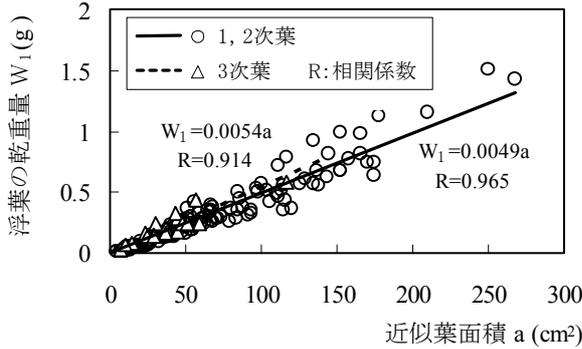


図-4 近似葉面積と浮葉乾重量の相関

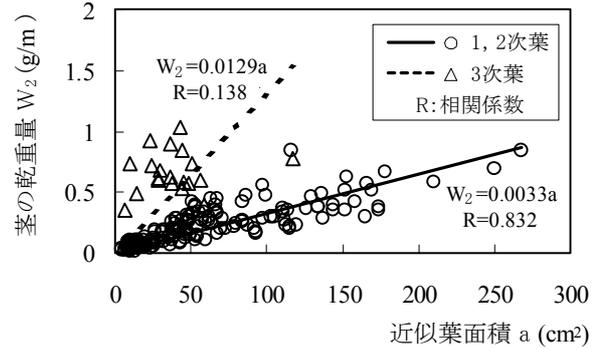


図-5 近似葉面積と茎乾重量の相関

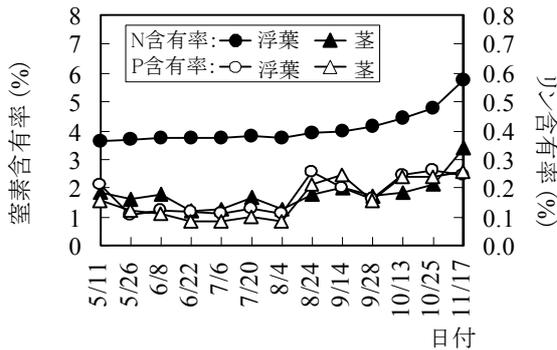


図-6 ガガブタの栄養塩(N, P)含有率の経日変化

ながら、ほぼ一定の値で推移し、10/13 から単調に減少している。

図-3 にガガブタの平均密生度 (領域 I, III) の経日変化を示す (図中の 1 次葉は生長初期に見られる小さい浮葉, 2 次葉は 1 次葉の枯死後に伸長し, 花芽・殖芽を形成する浮葉, また, 3 次葉は 2 次葉の殖芽の基部より伸長する浮葉である⁸⁾。なお, 領域 II は浮葉がまばらなため, 測定を省略した。また, 領域 III では 3 次葉は確認されなかった)。まず, 領域 I の結果について検討する。同図のように, 1・2 次葉の平均密生度は 5/11~5/26 に急激に増大した後, 5/26~6/8 に約 25 (%) 減少している。これは, 5/11~5/26 には多くの 1 次葉が伸長するものの, 5/26~6/8 にその 1 次葉が 2 次葉に生え変わる時に枯死するためであり, 浜島の観察結果⁸⁾ とよく一致している。また, 6/8 以降は 1・2 次葉の平均密生度が再び増大傾向を示しており, 2 次葉が 6 月上旬より本格的に生長していることがわかる。しかし, 7/6~7/20 には 1・2 次葉の

平均密生度が減少し, 3 次葉のそれが増大している。これは, 3 次葉の伸長に伴って古い 2 次葉が徐々に枯死したためであり, この時期より 2 次葉の枯死が観察され始めた。その後も, 3 次葉の平均密生度はしばらくの間 (7/20~8/4) 増大し続けるが, 8/4 以降は 1・2 次葉, 3 次葉ともに平均密生度がほぼ単調に減少している。つぎに, 領域 III におけるガガブタの平均密生度を見ると, 1・2 次葉のそれは 6/8~8/24 の約 2 ヶ月半にわたってほぼ単調に増大していることがわかる (特に, 6/8~6/22, 8/4~8/24 の増大は急激である)。一方, 8/24 以降は平均密生度が一気に減少している。

図-4, 5 に 1・2 次葉, 3 次葉における浮葉の乾重量と近似葉面積の関係, および茎の乾重量と近似葉面積の関係を示す (図中には最小二乗法によって求めた直線が挿入してある。なお, 茎の乾重量は単位長さ (1m) 当たりの重量で表している)。図-4 よりわかるように, 1・2 次葉, 3 次葉ともに近似葉面積と浮葉の乾重量は良好に相関しており, ほぼ比例関係にある (その比例係数は両者でほぼ同一の値となっている)。また, 図-5 より, 1・2 次葉の近似葉面積と茎の乾重量も良好に相関しており, 乾重量の大きい茎 (太い茎) には面積の大きい浮葉がついていることがわかる。一方, 3 次葉については, データがかなりばらついている (ただし, 3 次葉は最大でも全浮葉の約 30 (%) を占めるにすぎず, また, その茎の長さが短いため, 群落の乾重量に与える影響は 2 (%) 以下である)。

図-6 はガガブタの植物体について, 部位ごとの N 含有率, P 含有率の経日変化を示したものである。浮葉の

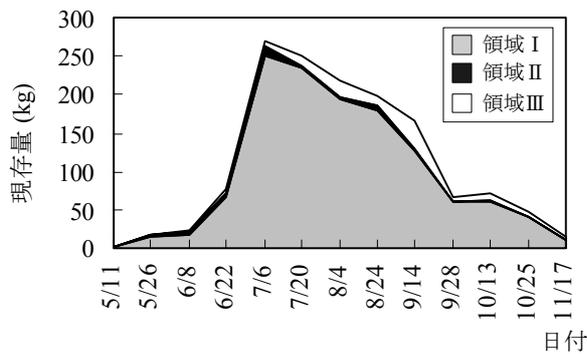


図-7 ガガブタ群落の現存量の経日変化

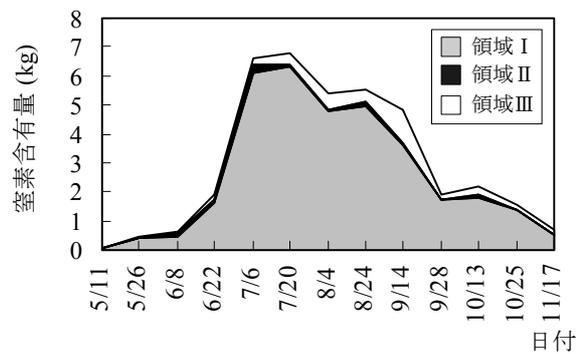


図-8 ガガブタ群落の窒素(N)含有量の経日変化

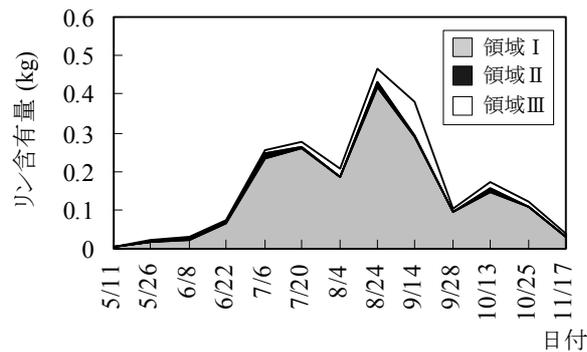


図-9 ガガブタ群落のリン(P)含有量の経日変化

N含有率は、全測定期間を通じて茎のその2倍強程度となっている。これは、光合成器官である浮葉にクロロフィル a ($C_{55}H_{72}N_4O_5Mg$) など、Nを含んだ物質が多く存在しているためである。これに対して、P含有率は全測定期間を通じて浮葉・茎ではほぼ同一の値を示している。また、N・P含有率の季節変動については以下のような。図-6より、N・Pともに8/4を境に含有率が上昇していることがわかる。しかし、N含有率の上昇が緩やかであるのに対し、P含有率のそれは8/4~8/24に急激に生じている(浮葉:0.11→0.26(%), 茎:0.08→0.21(%))。これは、底層が嫌気的環境になるに従って底泥に吸着していたリン酸態リン(PO_4-P)が遊離し、ガガブタの根がそれを吸収するためと推察される。実際に、8/24には底層のDO濃度が0.78(mg/l)とかなり低い値を示しており(嫌気的環境にあり)、そこでの PO_4-P 濃度は0.027(mg/l)と比較的高かったことが確認されている。

図-7-9にガガブタ群落の現存量(乾重量), N含有量, P含有量の経日変化を示す(この3者については、単位面積当たりの浮葉・茎の乾重量, 浮葉・茎のN・P含有率, 群落の占有面積をもとに算出した)。図-7よりわかるように、群落の現存量は領域Iの占有面積の増大と同調して6/8より増大し、6/22~7/6の2週間で最大値270(kg)まで一気に到達している。その後、現存量は減少し始め、9/28には7/6のその約25(%)となっている(なお、領域Iの現存量の減少は8/24より激しくなっている)。つぎに、ガガブタ群落のN・P含有量について検討する。図-8より、N含有量は現存量のそれとほぼ同様の傾向で増減しており、やはり、8/24以降急激に減少し

ている。これは、ガガブタの植物体のN含有率が全測定期間にわたって大きな変化がなく、8/4以降の上昇も緩やかであるためと考えられる(図-6参照)。これに対して、P含有量は8/4までは現存量・N含有量とほぼ同様の傾向を示すものの、8/4~8/24に急激に増大し、8/24には最大値0.47(kg)に達している(図-9参照)。これは前述のように、この時期がガガブタの植物体のP含有率が急激に上昇した時期に当たっており、その影響を強く受けているからである(図-6参照)。また、8/24以降のP含有量の減少は現存量, N含有量のそれと比較して特に激しい。以上の結果を総合して判断すると、8/24頃より本格的な枯死分解が始まっており、それに伴って大量の栄養塩が池水中へ回帰したと考えられる。なお、本格的な枯死分解以前(7/6~8/24)の現存量の減少は、役目(殖芽・三次葉の生産)を終えた一部の二次葉の枯死が原因である(茎はその後も残存しており、本格的な植物体の枯死は始まっていない)。

(2) ガガブタ群落による日射遮蔽と植物プランクトンの動態

本節では、ガガブタの浮葉による日射遮蔽効果が植物プランクトンの動態に与える影響を検討する。ここで、ガガブタ群落の日射遮蔽効果を表す指標として、被覆率(平均密度($1/m^2$)×平均近似葉面積(m^2)×100(%))を用いる(密度が高くなる時期(被覆率で70(%)程度以上)には浮葉同士が重なり合うため、その時の実質の被覆率はここで示す数値より小さく、概ねその0.6~0.9倍である)。

図-10に表層におけるChl-aの経日変化をガガブタ群落の被覆率との関係において示す(図中のA-0.2, B-0.2はそれぞれ測点A, Bの2割水深を表している)。最初に、被覆率の経日変化とガガブタ群落の占有面積のそれ(図-2参照)を比較する。図-2, 10より、ガガブタ群落の占有面積は5/11~6/8に大きく増大するのに対し、被覆率は緩やかな増大に留まっていることがわかる。これは、ガガブタが生長初期に群落全体にわたって1次葉を展開するため、占有面積は一気に拡大するものの、1次葉の葉面積が非常に小さいためにその影響が被覆率にあまり反映されないことを示している。一方、枯死分解が本格的

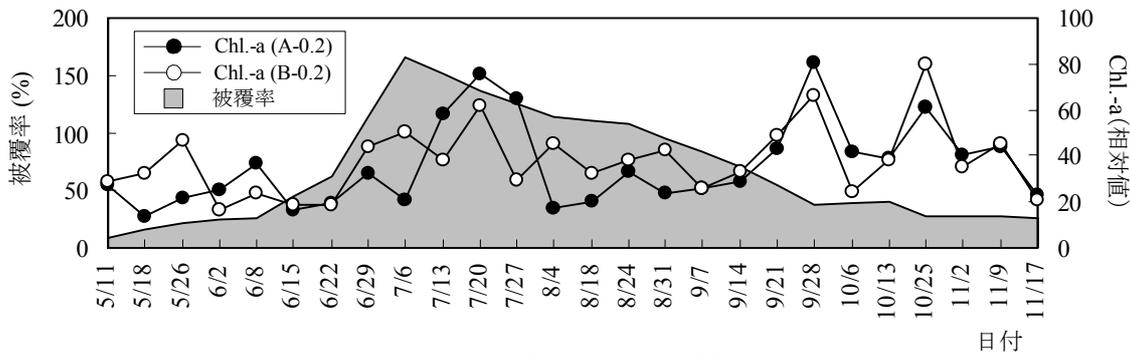


図-10 ガガブタ群落の被覆率とChl.-a(表層)の経日変化

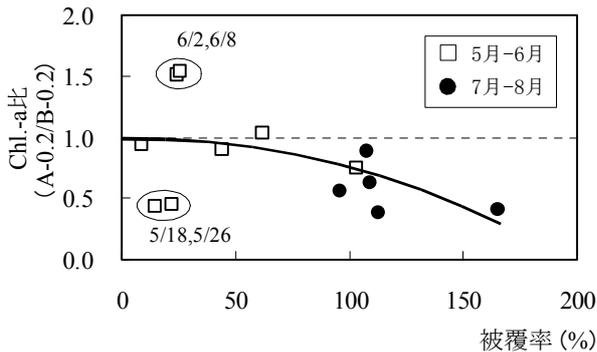


図-11 ガガブタ群落の被覆率とChl.-a比の関係

に始まった後の約1ヵ月間(8/24~9/28)については、被覆率が急激に減少するのに対し、占有面積は最盛期とほぼ同様な値を保っている。これは、ガガブタの枯死分解が群落全体にわたって緩やかに進行するため、その影響が占有面積にはあまり表れず、密生度にもみ顕著に表れるからである(図-3参照)。

以下では、図-10をもとにして、被覆率の季節変動が表層の植物プランクトンの動態に与える影響を検討する。最初に、ガガブタの生長期である5/11~7/6に注目する。5/11~6/22については、両測点(A-0.2, B-0.2)のChl.-aはかなり変動するものの、全体としてほぼ同程度の値を示している。したがって、この期間においては、ガガブタ群落の日射遮蔽による植物プランクトンの抑制効果はあまり表れていないと言える。これは、群落の占有面積が拡大しているものの(図-2参照)、被覆率が9~62(%)と低いため、十分な量の日射が群落内の表層へ入射したからと考えられる。なお、5/18, 5/26のB-0.2におけるChl.-aの高い値は測点Bの底層が貧酸素化し、底泥から栄養塩の供給があったことが原因と推察される。測定データによれば、5/11, 5/18, 5/26における測点Bの底層(8割水深)のDO濃度は0.90, 0.82, 5.18(mg/l)であり、5/26にやや増大するものの、2週間程度にわたって嫌気的環境が続いており、 $PO_4\text{-P}$ が溶出していた可能性が高い(ただし、実際の $PO_4\text{-P}$ 濃度は植物プランクトン増殖後のため、ほぼ0(mg/l)であった)。

その後、被覆率は6/22~7/6に急激に増大し、7/6には最大値165(%)を示している。両測点のChl.-aはともに6/22~6/29に増大するが、B-0.2の増大はA-0.2のそれ

より顕著である。さらに、6/29~7/6にはB-0.2のChl.-aが増大するのに対し、A-0.2のそれは減少しており、被覆率の増大に伴って両測点のChl.-aの差が広がっている。これは、この期間にガガブタ群落の被覆率が急激に増大したため、群落内の表層へ入射する日射が浮葉によって遮蔽され、A-0.2では植物プランクトンの増殖が大きく抑制されたからである^{7), 9)}。7/6~8/24はガガブタ群落の最盛期である(図-2参照)。図-10では、被覆率が7/6に最大値を示した後に緩やかな減少傾向を示しているものの、どの測定日においても100(%)以上の高い値を保っている。この時期のChl.-aの値は、(7/13~7/27を除いて)A-0.2のそれがB-0.2のそれを下回っており、ガガブタ群落の日射遮蔽に基づく植物プランクトンの抑制効果が顕著に表れている。なお、7/13~7/27においてはChl.-aの逆転現象(A-0.2の値がB-0.2のそれよりも高い)が生じている。これは、西沼の流入源である長沼でアオコが発生したため、大量の植物プランクトンが西沼へ流入し、ガガブタの茎や浮葉に接触することにより群落内に滞留した影響と考えられる(長沼・西沼は灌漑用水として使用されているため、一時的な大量流出・流入がある)。

前述のように、8/24からガガブタの枯死分解が始まっており、被覆率は8/24~9/28に単調に減少している(図-10参照)。同時期のChl.-aの変動を見ると、8/31まではA-0.2よりB-0.2の方が高い値を示しているが、9/7, 9/14には両測点でほぼ同じ値となっている。また、9/14~9/28には両測点ともにChl.-aが増大傾向を示しており、最終的にA-0.2の値がB-0.2のそれを上回っている。このA-0.2における高い値は、ガガブタの枯死分解によって栄養塩が水中へ回帰すること、浮葉の減少(被覆率の低下)に伴って群落内の表層へ入射する日射量が増大することの2つの原因によって、A-0.2で植物プランクトンの増殖が活発になったためと考えられる。ただし、この時の両者(被覆率とA-0.2のChl.-a)の変動を詳しく見ると、8/24にガガブタ群落の被覆率が低下した後、1ヵ月程度のタイムラグを伴って9/21にA-0.2で植物プランクトンの激しい増殖が起きていることがわかる(なお、この時、B-0.2においても同時に植物プランクトンの増殖が見られるが、これはガガブタの枯死分解に伴う回帰栄養塩が移流と拡散によって測点Bへ輸送されたためと推察される)。

このように、ガガブタ群落の被覆率の低下と植物プランクトンの増殖に時間差が生じる理由として、つぎの2点が考えられる。第1に、ガガブタの枯死分解が始まった直後の8/24~9/14においては、被覆率の低下が緩やかであるため、ガガブタ群落は依然として日射遮蔽効果を維持しており、植物プランクトンが十分な量の日射を利用できなかったことである。実際に、8/24~9/14における被覆率は108(%)から71(%)へ減少しているものの、比較的高い値を示しており、この時期は群落による日射遮蔽効果が継続していたことが確認できる。第2に、ガガブタ起源のデトリタスの分解速度が小さいことである。一般に、大型水生植物起源のデトリタスは数十日かかって植物プランクトンが利用可能な溶存無機態へ分解されることが知られている^{10), 11)}。西沼においては、ガガブタの枯死分解が始まった8/24から植物プランクトンの増殖が確認された9/21までの約1ヵ月間に、ガガブタの植物体に含まれている易分解性物質が溶存無機栄養塩まで分解されたと推察される。

最後に、ガガブタ群落の日射遮蔽による植物プランクトンの抑制効果を定量的に評価する。図-11にガガブタの生長期~最盛期(5月~8月)における群落の被覆率とChl-a比(A-0.2とB-0.2のChl-aの比)の関係を示す(被覆率の欠測日については、前後の測定日の値を用いて補間することによってその値を算出した。また、前述のように、7/13~7/27のデータは特殊なケースと考えられるので、ここでは削除した)。同図より、被覆率が50(%)程度以下の範囲ではChl-a比がほぼ1を示しており、群落による日射遮蔽効果がほとんどないことがわかる。それに対して、被覆率が90(%)程度を超える範囲ではChl-a比が0.38~0.88を示しており、ガガブタ群落の日射遮蔽による植物プランクトンの抑制効果が顕著に表われている。なお、5/18, 5/26および6/2, 6/8のデータは実線(ベストフィットライン)より大きくずれているが、前者については前述のように、測点Bで底層の貧酸素化に伴う底泥からの栄養塩の溶出があり、これによってB-0.2におけるChl-aが増大したことが原因である。後者については原因が不明であるが、この場合には日射以外の要因が両測点の植物プランクトン量を支配していると思われる。

4. まとめ

本研究では、光合成に対して優位である大型水生植物に注目し、その一種である浮葉植物(ガガブタ)が群落を形成する小規模なため池において詳細な現地調査を実施した。以下に、本研究より得られた主要な知見を示す。

1) ガガブタ群落は6月上旬より生長し始め、6月下旬~7月上旬に一気に生長を遂げるとともに、栄養塩を大

量に吸収する。群落のN・P含有量については、Nが群落の現存量とはほぼ同様の傾向で推移し、7月にピークを示すのに対し、Pは2つのピーク(7, 8月)を持つ特異な特性を示す。

- 2) ガガブタ群落は9月以降、枯死分解によって栄養塩を放出するが、ガガブタ起源のデトリタスが溶存無機栄養塩へ分解されるには数十日かかるため、植物プランクトンは枯死分解から約1ヵ月のタイムラグを持って増殖する。
- 3) ガガブタ群落の被覆率が50(%)程度以下の時期については、その日射遮蔽効果が弱く、植物プランクトンの増殖はほとんど抑制されない。しかし、被覆率が90(%)程度以上になると、日射遮蔽効果が強く発揮され、植物プランクトンの増殖は大きく抑制される。

謝辞：本研究の一部は東京電機大学総合研究所研究費により行われたものであり、ここに謝意を表します。

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) 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) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 村田知也, 丸山治朗, 中井正則, 有田正光：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遷に関する現地調査, 水工学論文集, 第49巻, pp.1267-1272, 2005.
- 8) 浜島繁隆：ガガブタの観察 おもに生活環と形態, 水草研究会会報, 第22号, pp.2-4, 1985.
- 9) 生嶋功：水界植物群落の物質生産I, pp.55-56, 共立出版, 1972.
- 10) 桜井善雄, 国土交通省霞ヶ浦河川事務所：霞ヶ浦の水生植物-1972~1993. 変遷の記録, pp.234-237, 信山社サイテック, 2004.
- 11) 松本史郎：鳥屋野潟(新潟市)の水質および堆積物に及ぼす高等水生植物の影響, 水草研究会会報, 第27号, pp.2-15, 1987.

(2005. 9. 30 受付)