

保全された抽水植物群落を伴う人工池沼における
動物プランクトン水平分布の不均一性について

Horizontal heterogeneity of zooplankton in artificial pond
with preserved emergent macrophyte community

田中明広* 浅枝隆*
Akihiro Tanaka Takashi Asaeda

ABSTRACT: The preserved or vegetated aquatic plant community will offer refugia of the large-bodied zooplankters from their visual predator. Large-bodied zooplankters graze phytoplankton intensively and increases water clarity. This study was carried out on artificial pond with preserved emergent macrophyte community (*Typha angustifolia*). The results reveals that density of large-bodied crustaceans were higher in the vegetation in than open-water. However, it was variable in species and season. Large-bodied limnetic species cladocera were harvoured when emergent vegetation was well developed, whereas large-bodied littoral species cladocera were harvoured constantly. These species are important phytoplankton grazer.

On the basis of results, we discussed this phenomena is related to growth of vegetation. Finally, we could evaluate the aquatic ecosystem structure and role of the vegetation.

KEYWORD: zooplankton, emergent macrophyte, eutrophication, aquatic ecosystem

1. はじめに

近年、池沼において沿岸帯や浅瀬帯の水生植物による緑化または水生植物群落の保全が試みられている。このようにして創出された水生植物群落は多様な生物群集の生息場となるため、親水効果と併せて水界生態系の改善に重要な役割を果たすと考えられている。

ここで水生植物群落は特に大型の甲殻類を中心とした動物プランクトンにとってプランクトン食魚からの隠れ家になると考えられており、バイオマニピュレーションでは植物プランクトンの制御に関し、動物プランクトンの摂食による役割の重要性に着目している。したがって、水環境改善のための水生植物群落の保全または緑化は、動物プランクトン相（種構成、優占度）への影響についても考慮に入れなくてはならない。

動物プランクトンは一般に、鉛直方向にも水平方向にも空間的に不均一に分布していることはよく知られている。この不均一性は、捕食者、競合関係、搾餌等の生物的要因と、風、湖流等の非生物的要因によって決定され、動物プランクトンのような小さく、遊泳力の弱い生物にとっては数センチメートルから数メートルといった範囲での空間の違いがその生態に重大な影響を与えると考えられる。

従来、動物プランクトンの生息場所の空間的不均一性については、魚類の捕食圧に関連づけて述べられている。古くから一般的に知られている、深い湖での日周期の鉛直移動はプランクトン食魚による捕食を避けるために、日中、無光層に生息し、夜間、真光層へ植物プランクトンを摂食するために上昇すると考えられており、また動物プランクトンの体長とプランクトン食魚の優占度、活性によって鉛直移動の振幅が変化することも報告されている^{5), 6)}。また、水平分布に関して、魚(*Lepomis cyanellus*)の移入とともに、*Daphnia magna*が水草帯に集まる、という実験結果を得ており³⁾、浅い湖においては鉛直移動に変わるものとして評価されている。野外調査では*Daphnia hyalina lacustris*が捕食を避けるために沿岸の水草(*Schoenoplectus lacustris*)が密に生えた水域に積極的に生息し、夜間、種内の

*埼玉大学理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

競合を避けるために開水域に移動するという結果が得られている¹⁾。

一方、水生植物帯や沿岸帯は稚魚など小魚が、肉食魚による捕食圧から逃れる場所になっているとも言われており、沿岸の水生植物帯に多く生息する稚魚のために、大型の枝角類が沖帯の方で多く生息するという報告もされている²⁾。したがって、動物プランクトンへの影響を決定づけるものとして、稚魚やプランクトン食魚の優占度、活性等に加え、肉食魚-プランクトン食魚-動物プランクトンの量的関係もまた重要な鍵になるものと思われる。

ここで、水環境改善を目的とした水生植物群落の保全、または緑化はその特性から部分的に行われることが多いため、空間的な不均一性を造り出す。従って、当然に動物プランクトンは水平的に不均一に分布していることが予想され、このような場における動物プランクトンの水平分布を調べることは、水界生態系の構造を解明するのに重要な情報を提供すると共に、緑化、または保全による環境改善についての効果を評価する上で必要なことである。

本研究では沿岸帯の一部分と中心部において抽水植物のヒメガマ(*Typha angustifolia*)やヨシ(*Phragmites communis*)群落が発達した極めて浅い人工池で動物プランクトンの水平分布の経月変化を調べ、水生植物群落の保全がもたらす水界生態系への影響について評価した。

2. 調査現場の概要

この調査は東京近郊のある都市公園内に位置する人工池Aで行った。この池の概略図を図-1に示す。この池は以前、放棄水田中心の湿地帯(谷津)であったものを、公園の造成と共に止水域を設けて造られた。栄養状態は富栄養である。水表面積は0.05km²で、水深は湖岸を除き一様に約70cmから80cmで、底面は全域に渡って平坦な形状になっている。主水源は地下水で1000m³/dayの割合で供給されている。したがって、この池は湿地帯と池沼の中間に位置づけられるものと考えられる。

他と比較してこの池の際立った特徴は人工的な護岸と保全された水生植物群落が共存していることである。(図-1)池の南岸はコンクリートで湖底から階段状に造られ、西岸と東岸は積み上げられた自然石で造られている。これらの沿岸域は湖底に向かって急速に深くなっている。反対に、池の北側と北東側は底面勾配が緩やかであり、部分的に抽水植物の群落(ヒメガマ、ヨシ)が発達しており、池の中心部もヒメガマ群落が高密度に発達している。これらの群落が発達する時期では茎の太さが平均60mmで密度が25-35本/m²、丈の長さが3mになる。図-1の点で示した部分が最も発達した時期における抽水植物群落の範囲である。

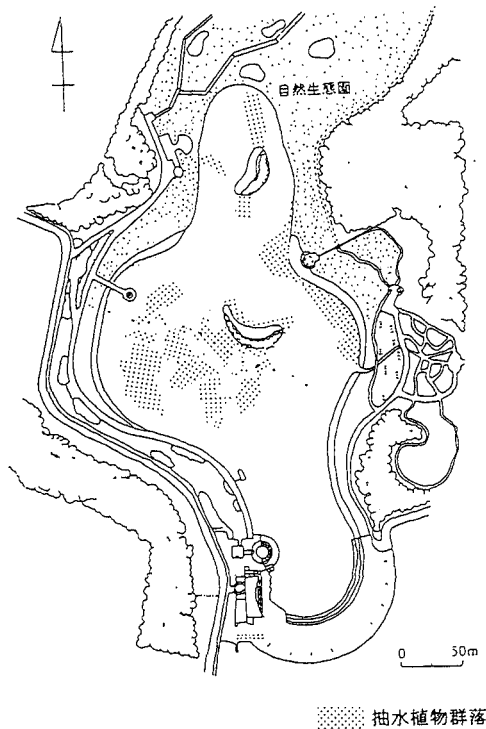


図-1 調査現場の概略図

3. 分析方法

動物プランクトンのサンプリングは1996年の4月23日から1997年の3月21日までほぼ一ヶ月毎に行った。採集地点は池の地勢的特徴に合わせて約30地点選定した。それぞれの地点でボート上から、水表面から水深30cmの範囲より、それぞれの地点について3ℓの

池水を10回採水し、目合72 μ mのネットで濾過して動物プランクトンを採集した。また、水深30cmから池底までの範囲についても数地点採集したが、量的な違いは見られなかったため、上層での値が各地点での動物プランクトン相を代表しているものと思われる。採集後はグルタルアルデヒド溶液で固定（最終濃度2%v/v）し、後の同定、計数に備えた。プランクトンの採集は10a.m.から3p.m.までに終えた。

動物プランクトンはSediwick-Rafter計数枠が付いた罫線入りスライドガラスに1ml取り、メカニカルステージを備えたステレオ式の顕微鏡下で端から順に同定しながら計数した。検鏡に当たっては100個体以上確認するようにし、数の少ない種についてはその後、数回に渡って繰り返し検鏡して定量した。すべての個体数は採水濾過した池水について1リットル当たりの値に換算して示す。

そこで、水生植物群落が動物プランクトンの水平分布に及ぼす影響について調べるために、開水域と植生内部とに生息する個体数の平均の差を、等分散を仮定しないt検定を使って整理した。

4. 結果及び考察

この池には甲殻類、輪虫類共に多くの種類が出現した。枝角類では、沖帯を主な生息場所とする種では、*Daphnia*（主に、*Daphnia pulex*, *Daphnia galeata*, *Daphnia longispina*）、*Diaphanosoma brachyurum*, *Bosmina longirostris*が優占し、沿岸帯を主な生息場所とする種では*Simocephalus vetulus*とChydorid（主に、*Chydorus gibbus*, *Alona quadrangularis*）が優占した。また、カイアシ類(Copepoda)では*Cyclops vicinus*, *Thermocyclops hyalinus*, *Eucyclops serrulatus*, *Paracyclops fimbriatus*を確認した。輪虫類では特に長期間に渡って優占したものは*Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*, *Brachionus caudatus*, *Brachionus angularis*, *Brachionus dimidiatus*, *Pompholyx complanata*, *Testudinella patina*であった。

ちなみにこの池における魚相はギンブナ(*Carassius gibelio langsdorfi*)、コイ(*Cyprinus carpio*)、モツゴ(*Pseudorasbora parva*)、カダヤシ(*Gambusia affinis affinis*)、オオクチバス(*Micropterus salmoides*)、ブルーギル(*Lepomis macrochilus*)が報告されている。また、定量的には調べていないが、5月から9月の間、ヒメガマ群落内や人工護岸付近で体長1cm前後のブルーギルの稚魚を動物プランクトンと一緒にしばしば捕獲した。そこで、これら稚魚を含めた魚類が動物プランクトンの生息場所の選択に大きな影響を与えていることが推測できる。

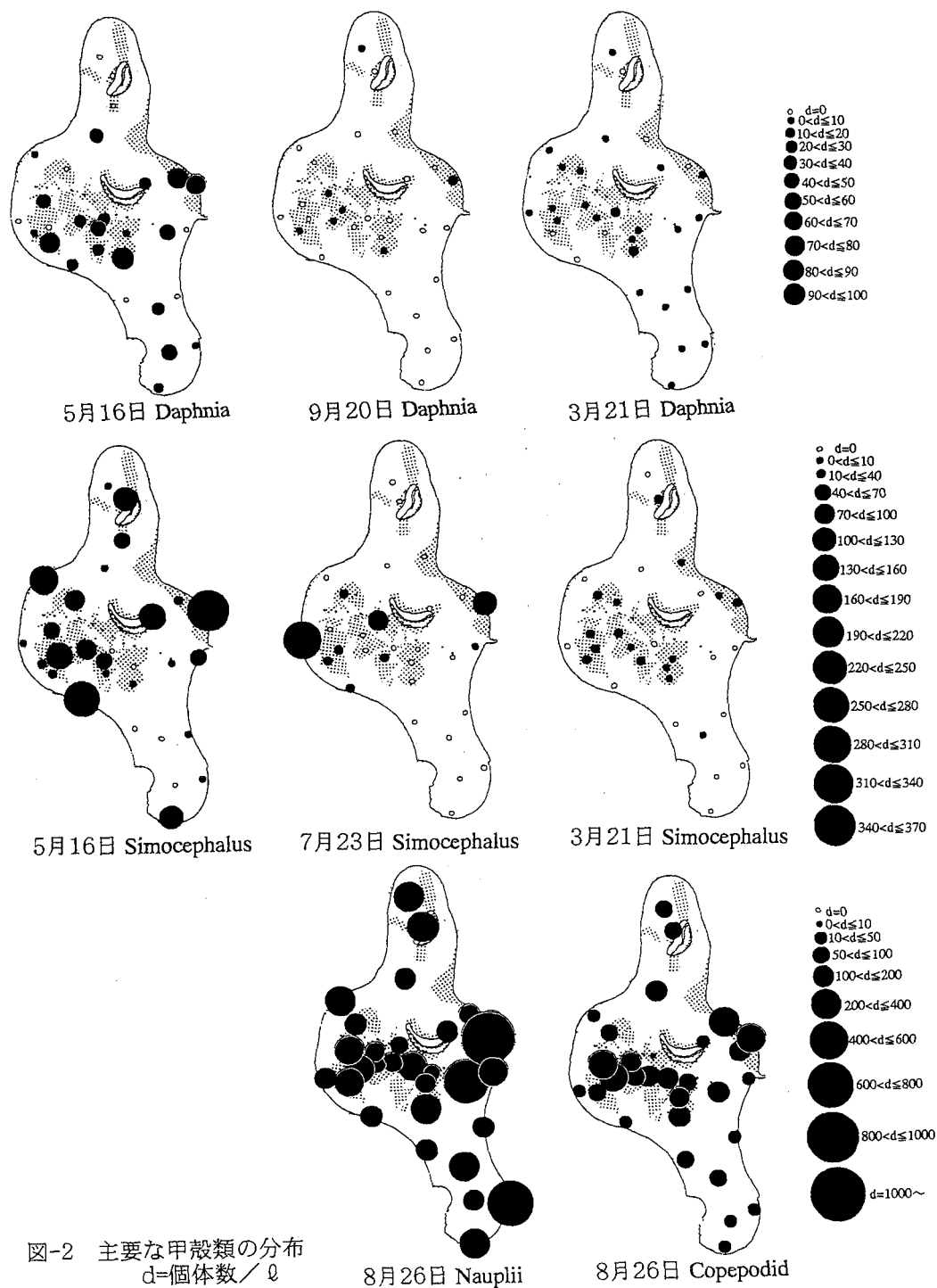
図-2に、*Daphnia*と*Simocephalus vetulus*、Cyclopoid copepodid、Naupliiの分布図を示す。

また、図-3に*Daphnia*、*Diaphanosoma brachyurum*、*Bosmina longirostris*、*Simocephalus vetulus*、Chydorid、nauplii、copepodid、輪虫類(Rotifera)について個体数の経月変化を植生域と開水域に分けて示す。それぞれの値は平均値である。

これら動物プランクトンの分布傾向は、カイアシ類、枝角類、輪虫類でそれぞれ異なり、その中でも枝角類については沖性と沿岸性、体長の大小によって異なることがわかった。

沖性の枝角類について、体長の大きさは*Daphnia*(1.0~2.0mm)、*Diaphanosoma brachyurum*(約1.0mm)、*Bosmina longirostris*(約0.5mm)の順であり、図-3より体長の大きな種ほど個体数は少なくなるが、植生域に生息する傾向が強いことがわかる。これは魚類の捕食が関係しているものと考えられる。魚類は視覚をもとに動物プランクトンを捕食するため、大型の個体ほど捕食されやすく、植生内は水面下の葉茎による構造的効果と日光の遮蔽効果によって捕食効率が低下する⁹⁾。したがって、*Daphnia*は3月と4月を除いて常に植生内で多いのに対し($P<0.05$)、*Diaphanosoma brachyurum*は5月と9月でのみ多く($P<0.05$)、*Bosmina longirostris*は年間を通じて有意差がない、という結果になっている。

また、*Daphnia*と*Diaphanosoma brachyurum*は枯れたヒメガマが大部分水面下に倒壊している3月と4月については、3月は有意差がなく、4月は開水域で多い($P<0.05$)という結果になった。これはヒメガマが倒壊して水面上に現れている部分が少ない時期には日光の遮蔽効果が弱く、*Daphnia*に関しては捕食を回避する効果が弱いことによるものと考えら



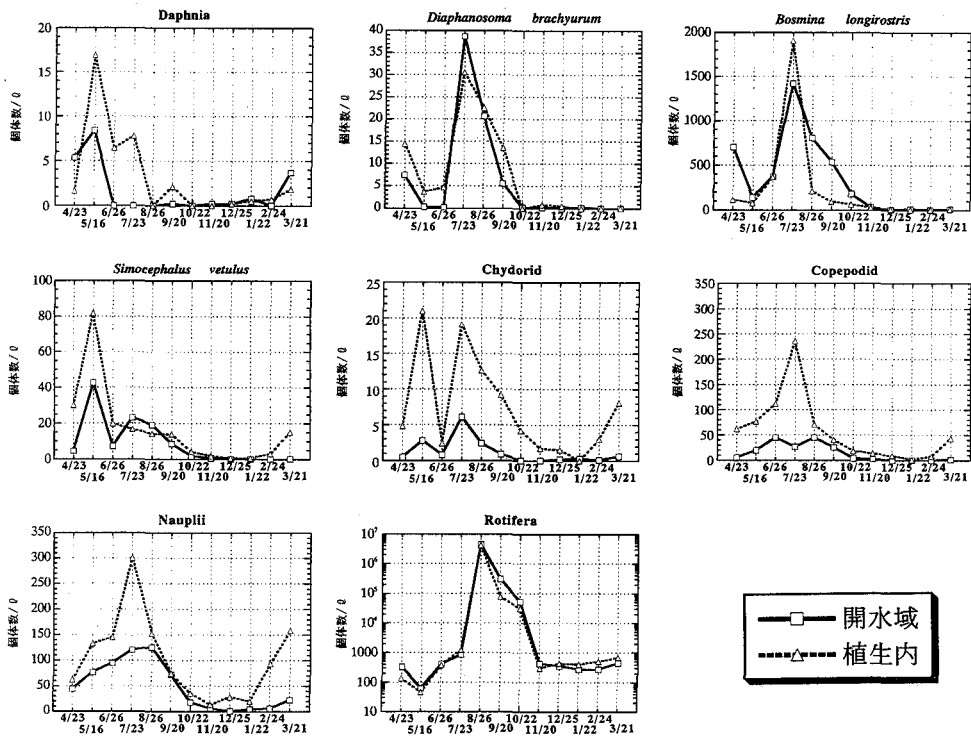


図-3 動物プランクトンの経月変化

れる。

沿岸性の枝角類については大型の*Simocephalus vetulus*(1.0~2.0mm)、小型のChydorid(約0.3~0.5mm)ともに植生内で多く生息している。これらの種は水生植物などの基体に着いたり、離れたりという生活形態を採るために、大規模なヒメガマ群落のあるこの池で優占したものと考えられる。したがってこれらの種はヒメガマが大部分倒壊している3月、4月においても、水面下に残っている古い葉茎と、水面上に現れていない新しい葉茎を利用して植生内に多く生息するものと考えられる($P<0.01$)。

しかしながら*Simocephalus vetulus*については、ピーク時の5月から減少し始める9月までの間は植生内で多く生息すると共に、中央の群落に近い西側の石積み護岸付近で所々群れをなして生息しているのが確認された(図-2)。これはこの時期に植生内で多く生息していたブルーギルの稚魚による影響が考えられる。他の肉食魚からの捕食を逃れるために植生内で多く生息するブルーギルの稚魚は、*Simocephalus vetulus*等の沿岸性の大型枝角類を主要な餌にするため⁸⁾、*Simocephalus vetulus*の個体数は植生内で相対的に低くなったものと思われる。

カイアシ類(Cyclopoida)はnauplii, copepodidとも植生内の方が開水域よりも個体数が多いが、copepodidの方がその傾向は顕著である(図-3)。これも体長の大きな個体ほど開水域で捕食されやすいことによるものと思われる。

輪虫類について、一番出現する時期の7月と8月は主に、*Brachionus caudatus*, *Brahionus angularis*, *Brachionus dimidiatus*が優占し、その他の月は*Polyarthra vulgaris*と、1月と2月を除き*Keratella cochlearis*が優占した。輪虫類については年間を通じて植生内と開水域との間

で有意差はほとんど見られなかった(図-3)。輪虫類は全体的に体長が小さいために魚類からの捕食はほとんどないことから、植生内と開水域の区別なく一様に分布しているものと考えられる。

6. おわりに

Irvine et al.(1990)は透明度の高い水質を確保するための植物プランクトン制御を目的として、魚からの捕食を受けやすい大きな枝角類の生息場所として、小さなスケールで人工的な構造物を使った実験を行っている。それによれば、特に*Daphnia*と*Ceriodaphnia*が複雑な構造物において生息密度が高まり、*Daphnia*については開水域よりも人工的な避難場所において体長が大きくなるという結果を得ている。このことは、すなわち、小魚が複雑な構造物内では、捕食する効率が低下することを示している。

今回対象とした、抽水植物群落を中央部に保全した浅い池の場合、大型で沖性の枝角類に対し魚類からの捕食圧を低下させる効果は、植物体の季節的消長によって変動する。しかしながら、沿岸性で植物体に付着する性質を持つ*Simocephalus*等は水面下に残っている古い葉茎と、まだ水面上に現れていない新しい葉茎によって定常的に生息が可能となることがわかった。この種もまた重要な植物プランクトン食者となる。そしてCyclopoid copepodaや付着藻食者のChydoridsもまた、常に群落内で多く生息していることもわかった。したがって、浅い池で大規模に抽水植物群落を保全した場合、水面下において複雑な構造と、水面上の葉茎が造り出す暗闇とによって、魚類による捕食を低下させるため、甲殻類の生息場所を提供する。したがって、結果的に植物プランクトンの量を制限することができると考えられる。

7. 謝辞

本研究を行うにあたり、様々な便宜を図って下さった藤野助手に感謝します。そして調査や分析に際し、助力を惜しまなかった当時大学生の新津武史君(現在、大学院生)、清水直樹君(現在、大学院生)、村方陽太君(現在、株式会社ハザマ)、中安智洋君(現在、株式会社アイ・エヌ・エー)そして大学院生のManatunge君に謝意を表します。

8. 参考文献

- 1) Davis, J., 1985. Evidence for a diurnal horizontal migration in *Daphnia hyalina lacustris* Sars. *Hydrobiologia* 120:103-105
- 2) Irvine, K., B. Moss & H. Balls, 1989. The loss of submerged plants with eutrophication II. Relationships between fish and zooplankton in a set of experimental ponds, and conclusions. *Freshwat. Biol.* 22:89-107
- 3) Lauridsen, T. L. & D. M. Lodge, 1996. Avoidance by *Daphnia magna* of fish and macrophytes: Chemical cues and predator-mediated use of macrophyte habitat. *Limnol. Oceanogr.* 41:794-798
- 4) Moss, B., 1990. Engineering and biological approaches to the restoration from eutrophication of shallow lakes in which aquatic plant communities are important components. *Hydrobiologia* 200/201:367-377
- 5) Gliwicz, M. Z., 1986. Predation and the evolution of vertical migration in zooplankton. *Nature* 320:746-748
- 6) Lampert, W., 1989. The adaptive significance of diel vertical migration of zooplankton. *Functional Ecology* 3:21-27
- 7) Gliwicz, Z. M. & A. Rykowska, 1992. 'Shore avoidance' in zooplankton: a predator-induced behavior or predator-induced mortality? *J. Plankton Res.* 14:1331-1342
- 8) Crowder, L. B. and Cooper, W. E. (1982) Habitat structural complexity and the interaction between Bluegills and their prey, *Ecology* 63:1802-1813
- 9) Diehl, S. (1988) Foraging efficiency of three freshwater fishes: effect of structural complexity and light. *OIKOS* 53:207-214