

Note

河口湖における枝角類動物プランクトンの 個体群動態と季節的形態変化（予報）

荒河 尚・吉田雅彦・吉澤一家*・平林公男

* 山梨県衛生公害研究所

The Population Dynamics and Cyclomorphosis of Cladoceran Zooplankton in Lake Kawaguchi (Pre-report)

Takashi Arakawa, Norihiko Yoshida, Kazuya Yoshizawa* and Kimio Hirabayashi

* *Yamanashi Institute for Public Health*

Key words : Zooplankton (動物プランクトン), Cladocera (枝角類), Population Dynamics (個体群動態)
Cyclomorphosis (季節的形態変化), Lake Kawaguchi (河口湖)

1. 緒 言

河口湖は山梨県南部の富士山麓に位置し、富士五湖の中で最も北部にあり、中央に鷯の島を有する東西に細長い堰止め湖である。湖面標高は832 m、湖面積は5.96 km²であり、湖盆は鷯の島と湖嶺藤ノ木鼻によって西湖盆、東湖盆、および船津湖盆に分かれている。本湖における陸水学的研究は多く知られるが¹⁾、生物相を季節的に追ったものはほとんどないのが現状である。

本湖において筆者らは1993年度より生物相に関する調査を含む定期観測を行っている。そのうち動物プランクトン群集の調査結果の一部については、荒河ら²⁾によって報告されており、黄色鞭毛虫 *Dinobryon* が非常に多く出現したことなどが明らかとなっている。

本湖の動物プランクトン群集は、現存量においておもに枝角類が優占しており、さらにその大部分はカブトミジンコ (*Daphnia galeata*) とゾウミジンコ (*Bosmina longirostris*) によって占められている (荒河ら, 投稿準備中)。*Daphnia* や *Bosmina* が季節的に形態や個体サイズを変化させること (Cyclomorphosis) は古くから知られており^{3), 4)}、すでに多くの事例が報告され、その変

化がある化学物質によって引き起こされることがわかっている⁵⁾。その化学物質はカイロモンと呼ばれ⁶⁾、各種の捕食者の“におい”と解される。この“におい”に反応して体の一部を伸長させ、捕食者に“捕まえられにくく”したり、成熟個体サイズを小さくして“捕食されにくく”するのである。このような形態変異が捕食者の存在によって直接的に引き起こされる事実は、これが対捕食者の適応であることを示唆している。体の一部を伸長させる反応はおもに無脊椎捕食者によって引き起こされる⁷⁾。すなわち、本湖において季節的形態変化を調査する事は、枝角類に対する捕食圧を推定するのに役立ち、種個体群の動態の解析に役立つものと考えられる。

本研究は河口湖の動物プランクトン群集の動態を解析することを目的としており、本稿においては、特にその重要な構成種である *D. galeata* と *B. longirostris* の個体群動態、およびその季節的形態変化について報告する。

2. 方 法

動物プランクトンの採集は1993年4月より1995年12月まではほぼ毎月1回、河口湖東湖盆定点において行った。*D. galeata* および *B. longirostris*

は口径 30 cm、メッシュオープン 94 μ m の丸川式層別定量ネットを用いて、鉛直方向に層別曳き (0–2 m, 2–6 m, 6–9 m もしくは 6 m–底泥直上) を行って採集した。採集した動物プランクトンは、直ちにグルタルアルデヒドを最終濃度 3–5 % になるよう加え、これをサンプルとして個体数と卵数の計数を行った。

また、動物プランクトンの餌環境の指標として湖水中のクロロフィル量を測定した。クロロフィル a 量の測定は、動物プランクトンの採集と同時に 0 m、2 m、6 m、9 m (水深が 9 m に満たない場合は底泥直上) の各深度より Van-Dorn 型採水器によって採水した湖水を用いて、UNESCO-SCOR 法⁹⁾により行った。

また、動物プランクトンの現存量の算出にあたっては、まずそれぞれの種において任意の 5–30 個体について体長 1 (BL1) を測定し (図 1)、平均値を求め、それぞれの種の体長–重量関係式^{9), 10)}にあてはめて一個体当たりの乾重量を算出し、さらにその値を個体群密度に乗じて計算値を求めた。

また、成熟個体と幼若個体の区別については、それぞれ期間中得られた抱卵個体の最低サイズ、すなわち *D. galeata* においては体長 1 (BL1) 0.8 mm を境とし、*B. longirostris* においては体長 1 (BL1) 0.3 mm を境として、それ以上を成熟個体、それ以下を幼若個体とした。

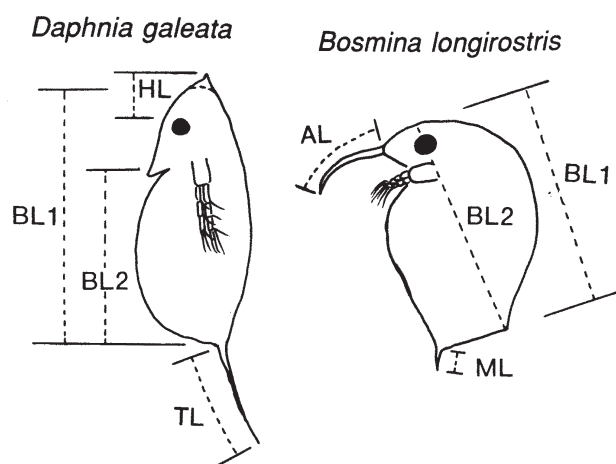


図 1 *Daphnia galeata* および *Bosmina longirostris* の体長 (BL1, BL2)、頭部長 (HL)、尾刺長 (TL)、第一触角長 (AL)、殻刺長 (ML) の測定

さらに季節的形態変異の調査のため、*D. galeata* においては体長 2 (BL2)、頭部長 (HL) および尾刺長 (TL) を測定し¹¹⁾、体長と頭部長または

尾刺長の比率 (HL/BL2, TL/BL2) を求めた (図 1)。また *B. longirostris* においては体長 2 (BL2)、第一触角長 (AL) および殻刺長 (ML) を測定し^{12), 13)}、体長と第一触角長または殻刺長の比率 (AL/BL2, ML/BL2) を求めた。

3. 結 果

3-1. *Daphnia galeata* の個体群動態および季節的形態変化

D. galeata は初夏期から秋期にかけて多くみられた (図 2)。1993 年においては 4 月より 11 月の間出現し、5 月及び 7 月にそれぞれ 7.8 個体/ℓ、3.1 個体/ℓ の個体群密度のピークを示した。1994 年においては、6 月に 6.1 個体/ℓ に達し、その後減少した。出現期間は 5 月より 12 月の期間であった。1995 年においては 1 月より 9 月の期間出現し、5 月および 8 月に、他の二年と比べて小さな個体群密度のピークを示した (各 2.3 個体/ℓ, 3.6 個体/ℓ)。

成熟個体の割合は大きく変動したが、もっぱら 50–80 % の間を推移し、初夏期および秋期に増加し盛夏期に減少する傾向を示した。

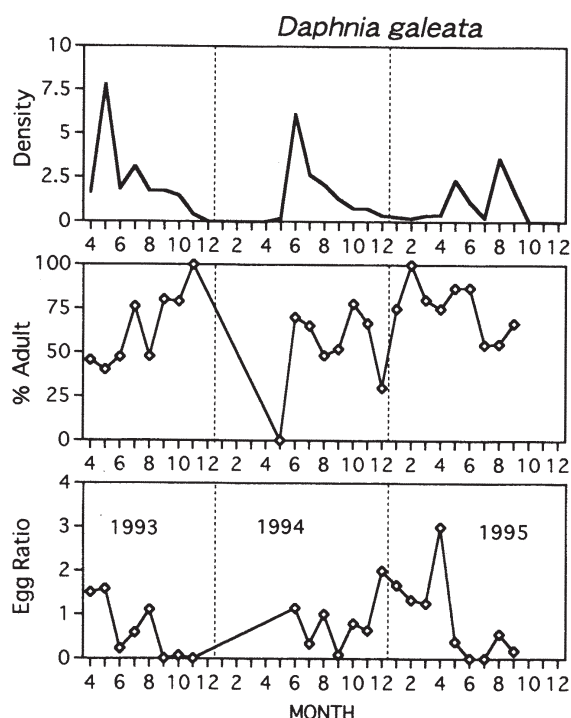


図 2 *Daphnia galeata* の個体群密度 (個体/ℓ・上段)、成熟個体の割合 (%・中段)、抱卵率 (一成熟雌個体あたりの卵数・下段) の季節的変動

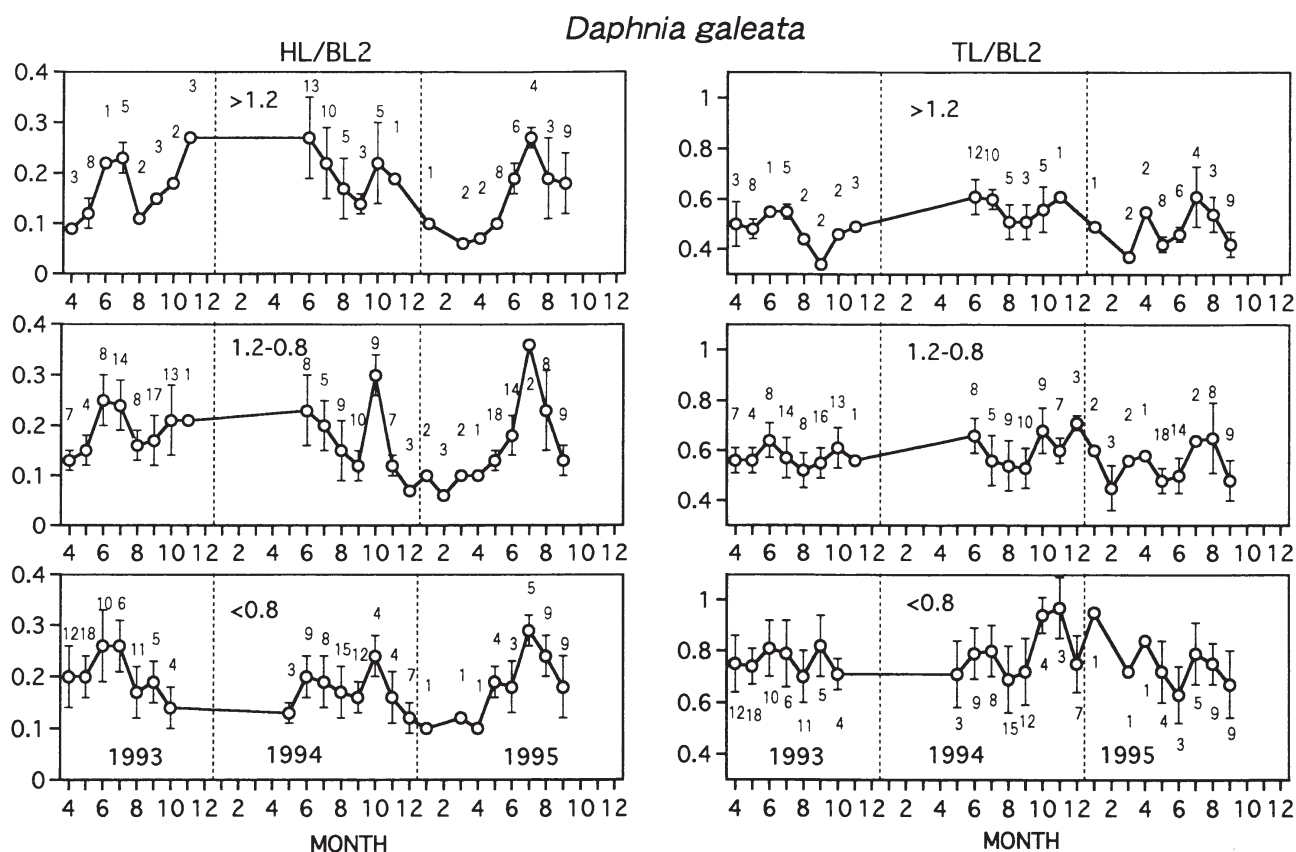


図3 *Daphnia galeata* の体長2と頭部長の比率 (HL/BL2)、及び体長2と尾長比率 (TL/BL2) の体長別 (体長1による・単位はmm) の季節的変動 (縦線は±1標準偏差・数字は標本数)

抱卵率 (一成熟雌個体あたりの卵数) は1994年冬期から1995年春期にかけての時期が最も高かった。また季節的には、成熟個体率の変動とは逆に盛夏期に高くなる傾向を示した。最大値は1995年4月における3.0であった。

体長と頭部長および尾長比率 (HL/BL2, TL/BL2) は体のサイズにより、また季節により変化した (図3)。季節的には、各体長ともに初夏期と秋期に高く、盛夏期に低くなる傾向があった。また、HL/BL2比率の方がTL/BL2比率よりも顕著な季節変化を示し、体長 (BL1による) の最も小さい群 (<0.8 mm) はその他の群 (>1.2 mm, 1.2-0.8 mm) に比べ変動幅が小さかった。

3-2. *Bosmina longirostris* の個体群動態および季節的形態変化

B. longirostris のおもな出現期間は冬期から初夏期にかけての時期であった (図4)。1993年は5月および11・12月に出現し、12月における個体群密度の増加は1994年1月に最大となった (8.6個体/ℓ)。その後1994年の3・4月には1個体/ℓ以下に減少したが、5月に再び6.8個体/ℓ

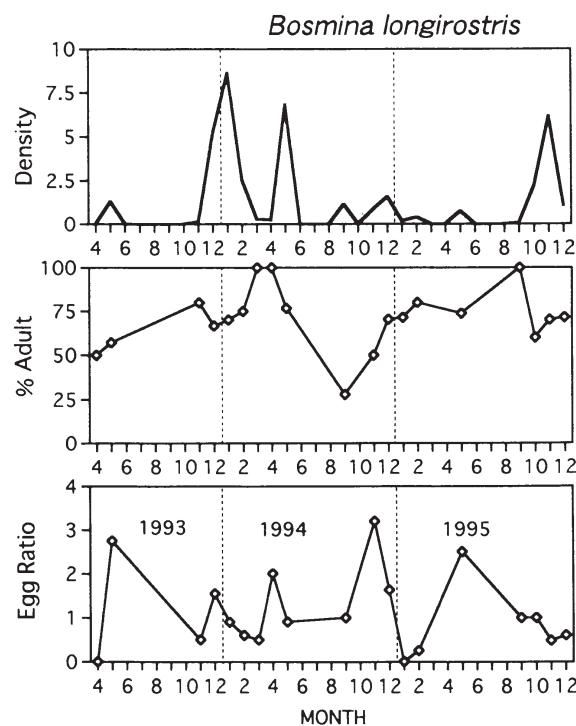


図4 *Bosmina longirostris* の個体群密度 (個体/ℓ・上段)、成熟個体の割合 (%・中段)、抱卵率 (一成熟雌個体あたりの卵数・下段) の季節的変動

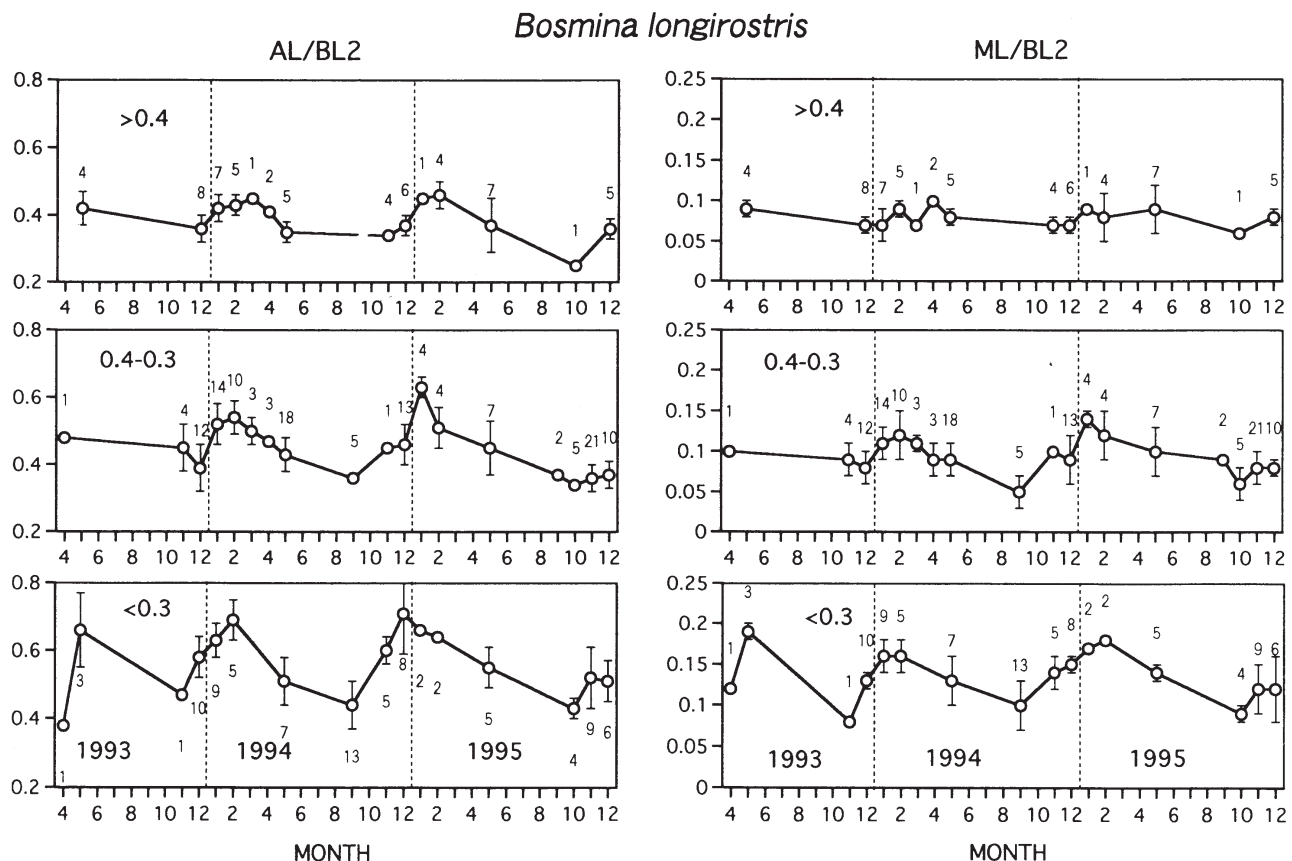


図5 *Bosmina longirostris* の体長2と第一触角長の比率 (AL/BL2)、及び体長2と殻刺長の比率 (ML/BL2) の体長別 (体長1による・単位はmm) の季節的変動 (縦線は±1標準偏差・数字は標本数)

に増加し、6月に消滅した。その後9月に1.2個体/ℓ、および12月に1.6個体/ℓとの個体群密度のピークを示した。1995年は1月から3月、5月および9月より12月に出現し、11月には6.2個体/ℓまで増加した。

成熟個体の割合は *D. galeata* と同様に、おもに50～80%の間を推移した。季節的には初冬期と初春期に増加し、厳冬期に減少する傾向を示した。

抱卵率は大きく変動し、初冬期および初春期に増加する傾向が見られたが、成熟個体の割合の増加時期とは時期がずれており、まず成熟個体の割合が増加し、のちに抱卵率が上昇する傾向があった。最大値は1994年11月における3.2であった。

B. longirostris の体長と第一触角長および殻刺長の比率 (AL/BL2, ML/BL2) もまた *D. galeata* と同様、体のサイズにより、また季節により変化した (図5)。季節的には、各体長グループともに AL/BL2 比率、ML/BL2 比率が初冬期および初春期に低く、厳冬期に高くなる傾向があった。また、AL/BL2 比率の方が ML/BL2 比率よりも

顕著な季節変化を示し、体長 (BL1 による) の小さい群ほど形態変化が顕著である傾向があった。

3-3. *Daphnia galeata* および *Bosmina longirostris* の現存量の季節的変動

D. galeata および *B. longirostris* の個体群は入れ替わるように出現しており、夏期は *D. galeata* が優占し、冬期は *B. longirostris* が優占する傾向がみられた (図6)。両種の個体群の入れ替わり現象は1993年は年11～12月、1994年は5～6月、1995年は9～10月にみられ、また、1993年5月および1995年5月においては、両種の個体群が同時に現れ、*D. galeata* の個体群密度が *B. longirostris* の個体群密度を大きく上回っていた。両種をあわせた枝角類現存量の変動は *D. galeata* の変動によるところが大きく、現存量の最大値は *D. galeata* の個体群密度の変動と同様、1994年6月に示され、328 mg dry・wt/m² であった。一方、1995年の最大値は120 mg dry・wt/m² であり、1993年の最大値266 mg dry・wt/m² (5月) と比較しても明らかに低かった。

クロロフィル a 量は初夏期および初冬期に多く、動物プランクトン現存量の変動とは一致していなかった。特に 1995 年の 6・7 月、および 10・11 月にクロロフィル a 量は高い値を示したが(各 121 mg/m^2 , 123 mg/m^2 , 126 mg/m^2 , 116 mg/m^2)、これは同時期に渦鞭毛藻 *Peridinium* sp. による淡水赤潮現象が現れていたことによるものである。

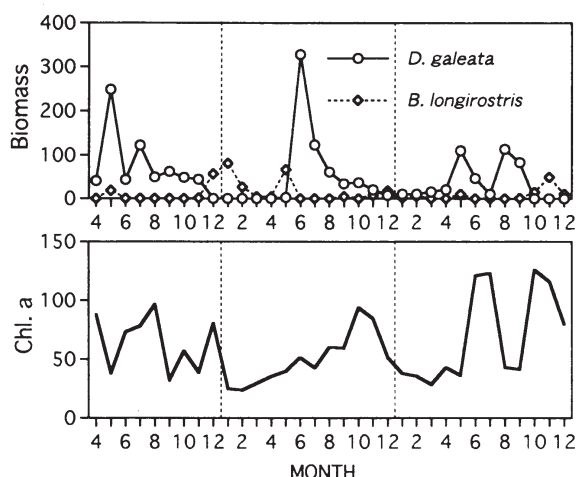


図 6 *Daphnia galeata* および *Bosmina longirostris* の現存量 (mg dry wt/m^2 ・上段)とクロロフィル a 量 (mg/m^2 ・下段)の季節的変動

4. 考 察

河口湖において *D. galeata* の個体群は主として初夏期に増加しており、盛夏期以降には減少していることがわかった。また、*B. longirostris* の個体群は主に初冬期から春期に確認され、*D. galeata* の存在する時期においてはあまりみられないことがわかり、両種個体群間の競争関係の存在が示唆された。*Daphnia* と *Bosmina* の競争関係については、餌となる藻類との関係や個体サイズによる生殖速度の違いなどが理由に挙げられている^{14)~16)}。

枝角類の有力な捕食者として、河口湖において確認されているものは、カイアシ類 (Copepoda)、ノロ (*Leptodora*)、魚類などが挙げられる。高橋ら¹⁷⁾は、本湖において春期から初夏期にかけてワカサギ (*Hypomesus transpacificus nipponensis*) の稚魚の消化管内容物を調査し、その中に枝角類の存在を確認している。このためワカサギの稚魚は、枝角類の有力な捕食者となっていると考えら

れるが、本稿においては稚魚の採集を行っていないため、確認できなかった。魚類に対する *Daphnia* の形態変異反応として、ブルーギルそのもの、もしくはそのカイロモンの存在下で、*Daphnia* が個体の成熟サイズや、仔虫のサイズを縮小することが、実験的に証明されている^{7), 18)}。

本研究において、*D. galeata* は初夏期と秋期の年 2 回、頭部および尾刺を伸長させていた。体の一部を伸長させた個体は、そうでない個体よりも有意に捕食者に食われにくく^{19)~21)}、その結果個体群を維持できると考えられている。各年一度目の頭部および尾刺の伸長は 1993 年 7 月、1994 年 6 月、および 1995 年 8 月の個体群密度の増加に大きく関わったと考えられる(図 2, 3)。しかしながら、この形態変異を引き起こすような無脊椎捕食者が何であったかは不明である。

各年の盛夏期における個体群密度の減少傾向は、抱卵率が高かったにもかかわらず起きており、成熟個体の割合が減少していることなどから、捕食要因によるものと考えられる。しかし同時期、頭部や尾刺は短い状態であった(図 2, 3)。このことから、盛夏期における個体群密度の減少は、魚類による捕食が原因であった可能性が高い。

また、1993 年と 1995 年には前述の時期よりも前に一度個体群の増加が起きているが、これは頭部・尾刺の伸長を伴わず、高い抱卵率を示していたことなどから、好適な餌条件および低い捕食圧の条件下における個体群増加であったといえる。しかしながら、1994 年には春期の個体群増加がみられなかった。同時期、すなわち 1994 年 4 月においては、ワムシ類 *Kellicottia longispina* が他の二年と比べて大きく増加したことが確認されており(荒河ら、投稿準備中)、また 5 月においては *B. longirostris* が大きく増加していた(図 4)。このことから、1994 年春期の *D. galeata* の不在は他種との競争関係が原因であったことが示唆される。

1995 年夏期においては、*D. galeata* の個体群密度は他の二年に比べ低かったが(図 2)、これは 5 月に抱卵率が高く成熟個体の割合が多かったこと、その後個体群の減少に伴って抱卵率、成熟個体の割合がともに低下したことなどから、まず幼若個体の生存率低下などの要因があり、後に餌不足によって個体群の崩壊が起きたことを示して

いる。本湖においては、同時期（1995年6～7月）に渦鞭毛藻 *Peridinium* sp. による淡水赤潮現象が確認されている（図6）。この *Peridinium* はサイズの直接 *D. galeata* の餌とはなりにくく、また大量発生することにより他の藻類に必要な栄養塩類を消費してしまう。よって前述の餌不足は淡水赤潮現象によって引き起こされたものであると考えることができる。すなわち淡水赤潮の発生は、本湖の動物プランクトン群集に大きな影響を与えたものと考えられる。

しかしながら、同時期（1995年7月）に頭部および尾刺の伸長がともに最大値に達しており（図3）、淡水赤潮による餌不足だけでは説明できない可能性がある。Hanazato & Dodson²²⁾ は *Daphnia pulex* を用いた実験を行い、捕食者のカイロモンにさらされた個体の抱卵数が少なくなったことを示している。このことはカイロモンに対する形態変化等の反応により、*Daphnia* がエネルギーの消費を余儀なくされた結果と考えられている。すなわち、1995年夏期における *D. galeata* の個体数の低下は、何らかの原因による形態変化によって、抱卵率が低下したことが原因であるとも考えられる。

B. longirostris は冬期に一度だけ第一触角および殻刺を伸ばしたが、そのことが個体群を維持させるような例はみられなかった。すなわち、1994年は1～3月に、1995年は1～2月に第一触角・殻刺を伸ばしたが、それはいずれも個体数が減少傾向にある時期であった。このことは、これらの個体数減少の原因が無脊椎捕食者による捕食であったことを示唆している。

B. longirostris の形態変異については、捕食者カイアシ類の現存量と正の相関が見いだされている^{13), 23)}。本湖においてもこの時期、カイアシ類 Cyclopoida の存在が確認されており（荒河ら、投稿準備中）、先の無脊椎捕食者が Cyclopoida であった可能性を示唆している。しかしながら、同時に抱卵率の低下が起きているため、*D. galeata* の場合と同様、単一の理由による説明は難しいようである。Kerfoot²⁴⁾ は *Bosmina* についても *Daphnia* と同様に形態変化を起こした個体について抱卵率が低くなることを報告している。

また、前述したように *B. longirostris* は1994年5月に個体群密度の大きな増加を示したが（図

4）、他の二年は小さな増加ピークを示したにすぎなかった。1993年と1995年の同時期に *B. longirostris* は抱卵率が高く、成熟個体の割合が低かったが、第一触角および殻刺はいずれも短い状態であった。このことは *D. galeata* の場合と同様に魚類による捕食があったことを示唆しているものといえる。しかしながら、1993年5月において *D. galeata* の個体群密度は増加しており、成熟個体の割合は低かった。これより、この時期 *D. galeata* と *B. longirostris* は同様の捕食圧にさらされていたが、より *B. longirostris* の方が捕食者に食われやすい状態にあった可能性がある。この場合、小型の枝角類を専食する稚魚がその捕食者であったと考えられる。

河口湖における枝角類の動態は捕食や餌不足その他の要因が複雑に絡み合っていると考えられ、その要因については枝角類個体群のみの解析では説明しにくいようである。今後は枝角類の捕食者を突きとめるとともに、餌環境についても解析を進める必要があるものと考えられる。

謝 辞

本調査を行うにあたり、ボートの御協力をいただいた戸沢レジャーセンターの方々に感謝いたします。また湖水の分析にあたり、御協力いただいた山梨県衛生公害研究所の研究管理幹 堤充紀氏、水質部長 飛田修作氏、研究員 堀内雅人氏に感謝致します。また、信州大学理学部教授 花里孝幸氏には多くのご助言を頂きました。ここに記して御礼申し上げます。

本研究の一部は全労済より助成金を受けて行われた。

参考文献

- 1) 田中正明 (1992) : 日本湖沼誌. 名古屋大学出版会.
- 2) 荒河尚・吉澤一家・堀内雅人・吉田雅彦・平林公男 (1996) : 河口湖における陸水学的調査 (1994年度) - 生物調査 - . 山梨衛公研報, 39 : 62-65.
- 3) Woltereck, R. (1909) : Weitere experimentelle Untersuchungen über Artveränderung, speziell über das Wesen quantitativer Artunterschiede

- bei Daphniden. Ver. Deutsh. Zool. Ges., 1909 : 110-172.
- 4) Hutchinson, G. E. (1967) : A treatise on limnology, vol. 2. John Wiley and sons.
- 5) 花里孝幸 (1994) : 湖沼の動物プランクトン群集におけるカイロモンを介した捕食者-被食者関係. 日生態会誌, 44 : 61-77.
- 6) Brown, W. L. Jr., T. Eisner and R. H. Whittaker (1970) : Allomones and kairomones : trans-specific chemical messengers. BioScience, 20 : 21-22.
- 7) Dodson, S. I. (1989) : The ecological role of chemical stimuli for the zooplankton : predator-induced morphology in *Daphnia*. Oecologia, 78 : 361-367.
- 8) UNESCO (1966) : Determination of photosynthetic pigments in seawater. UNESCO, Paris.
- 9) Dumont, H. J., I. Van de Velde and S. Dumont (1975) : The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. Oecologia, 19 : 75-97.
- 10) Hanazato, T. and M. Yasuno (1985) : Population dynamics and production of cladoceran zooplankton in the highly eutrophic Lake Kasumigaura. Hydrobiologia, 124 : 13-22.
- 11) Hanazato, T. and M. Yasuno (1989) : Zooplankton community structure driven by vertebrate and invertebrate predators. Oecologia, 81 : 450-458.
- 12) Sprules, W. G., J. C. H. Carter and C. W. Ramcharan (1984) : Phenotypic associations in the Bosminidae (Cladocera) : Zoogeographic patterns. Limnol. Oceanogr., 29 : 161-169.
- 13) Hanazato, T. (1992) : Population dynamics and cyclomorphosis of *Bosmina longirostris* in Lake Yunoko. Jpn. J. Limnol., 53 : 13-25.
- 14) Vanni, W. J. (1986) : Competition in zooplankton communities : suppression of small species by *Daphnia pulex*. Limnol. Oceanogr., 31 : 1039-1056.
- 15) Urabe, J. (1990) : Stable horizontal variation in the zooplankton community structure of a reservoir maintained by predation and competition. Limnol. Oceanogr., 35 : 1703-1717.
- 16) Hanazato, T. and M. Yasuno (1991) : Insights into competition in zooplankton communities derived from studies using experimental ponds. Verh. Internat. Ver. Limnol., 24 : 1572-1580.
- 17) 高橋一孝・桐生透・岡崎巧・大浜秀規 (1995) : ワカサギの資源生態学的研究-I. 山梨水技セ事報. 23 : 54-92.
- 18) Hanazato, T. (1995) : Life history responses of two *Daphnia* species of different sizes against a fish kairomone. Jpn. J. Limnol., 56 : 27-32.
- 19) Wong, C. K. (1981) : Cyclomorphosis in *Bosmina* and copepod predation. Can. J. Zool., 59 : 2049-2052.
- 20) Mort, M. A. (1986) : *Chaoborus* predation and the function of phenotypic variation in *Daphnia*. Hydrobiologia, 133 : 39-44.
- 21) Perejko, K. (1990) : *Mochlonyx* predation on typical and spined juvenile *Daphnia*. Freshwat. Biol., 25 : 211-217.
- 22) Hanazato, T. and S. I. Dodson (1992) : Complex effect of a kairomone of *Chaoborus* and an insecticide on *Daphnia pulex*. J. Plankton Res., 14 : 1743-1755.
- 23) O'Brien, W. J. and D. Schmidt (1979) : Arctic *Bosmina* morphology and copepod predation. Limnol. Oceanogr., 24 : 564-568.
- 24) Kerfoot, W. C. (1977) : Competition in cladoceran communities : The cost of evolving defences against copepod predation. Ecology, 58 : 303-313.

(1996年12月20日受理)

