

網走湖における甲殻類プランクトン3種の鉛直分布

浅見大樹*

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Vertical distributions of three dominant crustacean plankton in a brackish lake, Lake Abashiri, eastern Hokkaido, in 2017

HIROKI ASAMI*

Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization,
Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan

The vertical distributions of crustacean plankton, namely, two cladocerans of *Bosmina longirostris* and *Diaphanosoma brachyurum*, and one copepod, *Sinocalanus tenellus*, were investigated at a central station in a brackish lake, Lake Abashiri, from June to November 2017. Zooplankton samples were spaced 2 m apart from 0 to 6 m distance, and another at 7 m using Van Dorn bottle. The boundary layers between fresh and salt-water were observed at 6 - 8 m depth from the salinity profiles throughout the investigations. In addition, the dissolved oxygen decreased sharply in these boundary layers. The individual densities of *B. longirostris* and *D. brachyurum* increased from mid-July to early August, and dense distributions of these species were observed in the boundary layer. At the same time, large number of *S. tenellus* adults was simultaneously concentrated at this boundary. The factors of this vertical distribution in relation to the boundary layer in summer were thought to be the light environment and avoidance of feeding by smelt juveniles.

キーワード：網走湖，鉛直分布，塩淡水境界層，甲殻類プランクトン

網走湖はヤマトシジミ (*Corbicula japonica*)，ワカサギ (*Hypomesus nipponensis*)，シラウオ (*Salangichtys microdon*) などの水産資源が豊富で，北海道はもちろん，全国的にも重要な内水面漁業の生産の場として著名な湖沼である。特に，網走湖産ワカサギから得られる種卵は全国各地の湖沼や人工湖に供給されており，種卵供給基地として重要な役割を担っている。

網走湖は大正末期までは淡水湖であったが，地形の変化により海水が網走川を通じて湖内に逆流し，湖の底層には徐々に海水が滞留してきた (中尾1984)。このため，表層水と底層水の混合が起こりにくくなり，極めて強固な密度躍層が周年発達し，網走湖はこの密度躍層以浅のみが循環する部分循環湖である (大槻・多田1984)。底層水は貧酸素状態にあり，表層と底層の境界は塩淡水境界層と呼ばれ，この独特な鉛直的な水塊構造が網走湖の最大の特徴である。このような特徴を持つ網走湖で，動物プ

ランクトンがどのような鉛直分布をしているかは興味を引くところである。

多くの動物プランクトンは鉛直的に一様な分布を示すことはない (安楽1979)。また，海洋，湖沼を問わず，動物プランクトンは昼夜で分布を変える日周鉛直移動を行うことも古くから知られており，多くの研究がある (例えば元田1972の総説)。網走湖において，動物プランクトンの鉛直分布を知ることは湖沼の栄養動態を論ずる際に重要であるとの考えのもと，動物プランクトンの鉛直分布に関する一連の調査研究が1950年前後に実施されている (元田・石田1949, 1950, 石田1951, 1952)。そして，網走湖の動物プランクトンの鉛直分布は塩淡水境界層が深く関与し，この層に多く分布する傾向があることが明らかにされている。一方，1950年前後は塩淡水境界層の深度は現在よりも深く，現在の網走湖の水塊構造とは異なる。このため，網走湖の動物プランクトンの鉛直分布も過去と

は異なることが充分考えられる。著者は2017年に西網走漁業協同組合の協力の下、網走湖の動物プランクトンの季節変化を調べる機会に恵まれた(浅見2023)。そして、甲殻類プランクトンとして優占して出現する3種、すなわち枝角類の*Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*, カイアシ類の*Sinocalanus tenellus*を挙げた。これらの種はいずれもワカサギの餌生物として重要であることが知られている(浅見 2004)。本研究では、これらの甲殻類プランクトンの日中の鉛直分布とその要因について考察した。

材料と方法

調査は網走湖の湖央(St. 9)の一定点において2017年6～11月までの間に、6月には月1回、7～8月には月2回、9～11月までには月1回の頻度で合計8回行った(Fig. 1)。定点名は鳥澤(1999)に従い、網走水試が1981年から現在まで用いているワカサギ資源調査の定点名とした。採集時間帯はどれも概ね午前中であった。プランクトンの鉛直分布を調べるために6 L容量のバンドン採水器を用いて、各深度から4回、合計20 Lの湖水を採水した後、40 μm の網目のプランクトンネットを用いて濾過することにより甲殻類プランクトンを採集した。採水深度は0, 2, 4, 6, 7 mとした。標本は採集後、船上で直ちに、標本容積の約2%に相当するホルマリン原液を注入して固定した。プランクトンの採集時にはCTD (JFEアドバンテックASTD102)により水温、塩分および溶存酸素量を観測した。水温と塩分は取得したデータの内、塩淡水境界層以浅の0～6 mまでの2 m間隔および7, 8 mの観測値を用いた。さらに、透明

度板により透明度の観測、および0, 2, 4, 6, 7 mの各層からバンドン採水器によりクロロフィルa分析のための湖水を採水した(ただし、8月7日は欠測)。採水した湖水は、クーラーバッグに収容して実験室まで運んだ。

動物プランクトンの標本は実験室に持ち帰った後、標本全量を目盛り付きメスシリンダーに移し、これから1/2～1/4の比率で標本を採取し、プランクトン計数板に収容して、実体顕微鏡および生物顕微鏡で種別に計数した。本研究で対象とした種は、枝角類の*Bosmina longirostris*, *Diaphanosoma brachyurum*, カイアシ類の*Sinocalanus tenellus*の3種とした。*Sinocalanus tenellus*についてはノープリウス、初期コペポダイト(C1-3)、後期コペポダイト(C4-5)および成体(C6)まで発育段階別に計数した。個体数は1 m^3 当たりの値に換算した。

クロロフィルa量は湖水100 mLをGFFフィルターで濾過後、暗所に冷凍保存し、後日、メタノールでクロロフィルaを抽出し、蛍光光度計(Turner Designs, 10-AU Fluorometer)で分析した。

結果

水理環境 Fig. 2 (a)に、調査時の水温、塩分、溶存酸素量の鉛直分布の季節変化を示した。また、Fig. 2 (b)にはクロロフィルa量の鉛直分布の季節変化を示した。さらに、付表1 (Appendix 1)にこれらの観測値を示した。水温は各調査日ともに表面から6あるいは7 mまで緩やかに下降したが、6～8 mあるいは7～8 mにかけて急激に変化した。表面水温は、調査期間を通じて11月15日の6.5 $^{\circ}\text{C}$ から8月7日の22.9 $^{\circ}\text{C}$ まで変動した。表面水温は6月29日に19.2 $^{\circ}\text{C}$ と既

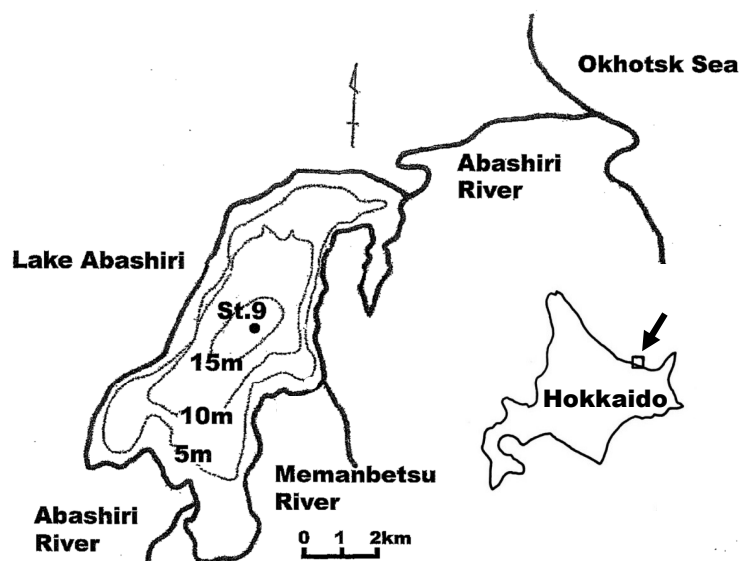


Fig. 1 Lake Abashiri and sampling station (St. 9) from June to November 2017

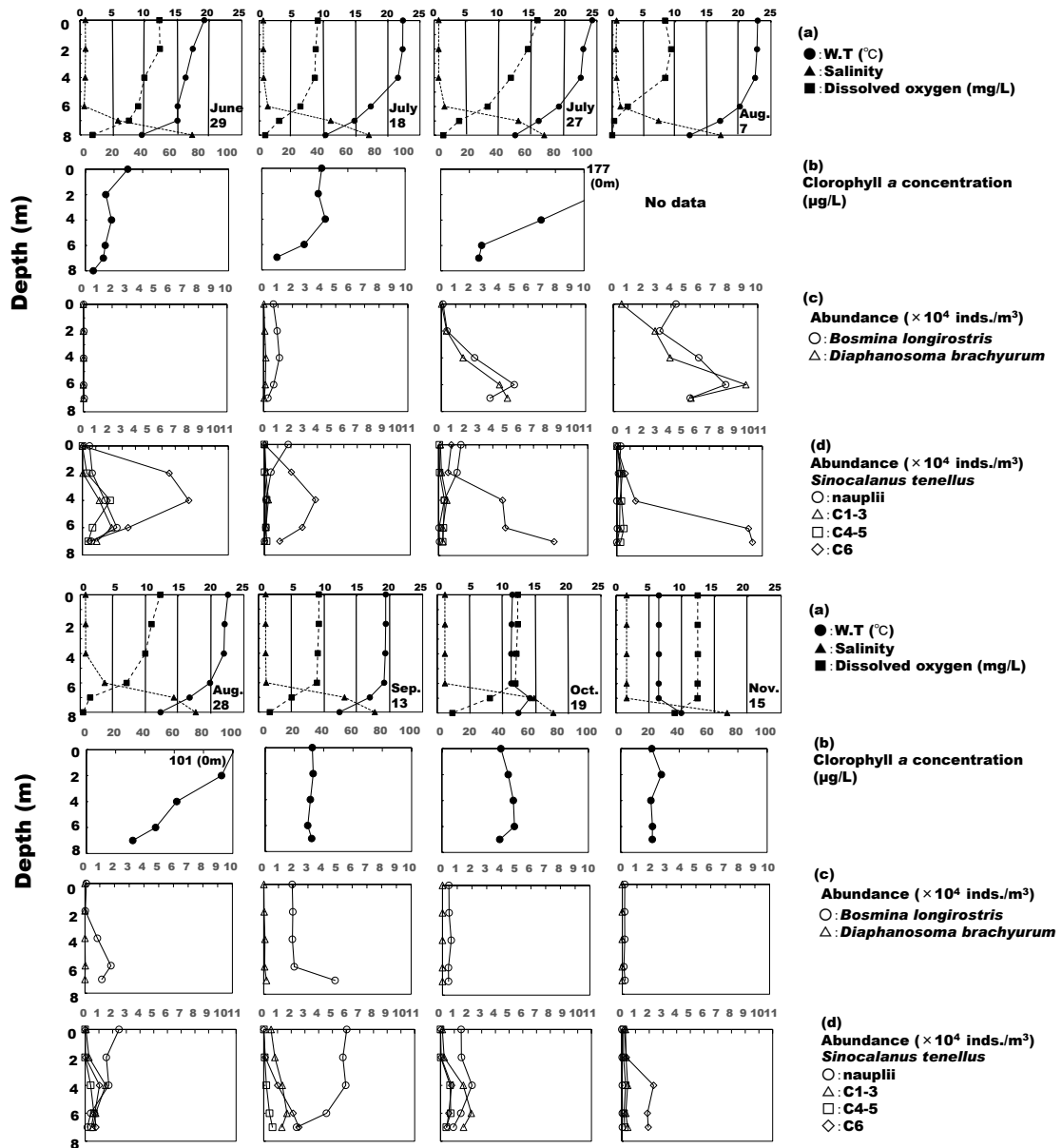


Fig.2 Vertical profiles of (a) water temperature (°C), salinity and dissolved oxygen (mg/L), (b) chlorophyll a concentration, (c) abundances of *Bosmina longirostris* and *Diaphanosoma brachyurum*, (d) nauplii, copepodites and adults of *Sinocalanus tenellus*

に20℃近かった。そして、8月にかけて昇温し、8月7日には22.9℃に達した。それ以降9月13日には19.4℃となり、11月までには急激に下降し6.5℃となった。塩分は、11月15日を除いて、0~6mまでほぼ均一だったが、7m以深では急激に上昇した。11月15日には8m以深で塩分は急激に上昇した。塩分が概ね均一な層では6月下旬から8月下旬にかけてはほぼ1.0以下であった。しかし、9月以降1.0以上となり、11月15日には1.6と年最高の値を示した。溶存酸素量は11月を除いて各調査日ともに表面から緩やかに減少し、6~8mにかけて急激に減少した。11月15日には7~8mにかけて約12 mg/Lから9 mg/Lとなった。表面の溶存酸素量は8月7日の8.3 mg/Lから7月27日の15.9 mg/Lまで変動

した。表層(0~4m)の溶存酸素量は周年を通じて約8~16 mg/Lの範囲にあった。クロロフィルa量は9月から11月までは鉛直的にほぼ均一であったが、それ以外の調査日には表層から深度が深くなるにつれて減少した。表面のクロロフィルa量は11月15日の21.3 µg/Lから7月27日の177.0 µg/Lまで変動し、クロロフィルa量は周年を通じて高濃度であった。透明度は、7月27日と8月28日の約30 cmから6月29日と11月15日の約150 cmまで変動した(Fig.3)。透明度は7~8月の夏季に浅くなる傾向があった。透明度の2倍を有光層とした結果、有光層は約0.5mから3.0mであり、夏季に浅く春季と秋季に深くなった。

甲殻類プランクトン各種の鉛直分布 Fig.2 (c) (d)に甲

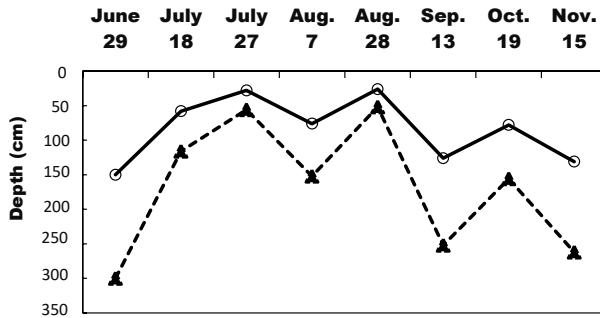


Fig. 3 Seasonal changes of transparent (○) and euphotic layers (twice the transparent depth, ▲) at St. 9 from June to November 2017

殻類プランクトン各種の鉛直分布を示した。また、付表2と3 (Appendix 2, 3) には数値を示した。6月29日、まだ低密度だった*B. longirostris*は0~7 mまで $0.02\sim 0.06 \times 10^4$ 個体/ m^3 、*D. brachyurum* は $0.00\sim 0.02 \times 10^4$ 個体/ m^3 と極く低密度で一様に分布した。7月18日には、*B. longirostris*は表面の 0.7×10^4 個体/ m^3 から水深4 mの 1.1×10^4 個体/ m^3 まで徐々に増加し、7 mの 0.3×10^4 個体/ m^3 まで緩やかに減少した。*D. brachyurum* は*B. longirostris*よりも低密度ではあるが、*B. longirostris*と同様に0~4 mまで徐々に増加し、7 mまで再び減少した。7月27日には両種ともに0 mと2 mでは 1.0×10^4 個体/ m^3 以下であったが、それ以深では急激に増加し、*B. longirostris*は6 mで 5.1×10^4 個体/ m^3 、*D. brachyurum*は6~7 mで $4.0\sim 4.6 \times 10^4$ 個体/ m^3 に達した。8月7日には密度はさらに増加し、*B. longirostris*は0~2 mで $3.2\sim 4.3 \times 10^4$ 個体/ m^3 、それ以深では急激に増加し、6 mで 7.8×10^4 個体/ m^3 の最大密度に達した。さらに、7 mでも 5.3×10^4 個体/ m^3 の高密度を維持していた。*D. brachyurum*も同様に深度が深くなるほど増加し、0 mで 0.6×10^4 個体/ m^3 、4 mで 3.9×10^4 個体/ m^3 、6 mでは 9.2×10^4 個体/ m^3 と急激に増加した。7 mでは若干減少するが 5.4×10^4 個体/ m^3 の密度を維持した。8月28日には両種ともに密度は大きく減少し、*B. longirostris*は0~2 mまで $0.02\sim 0.09 \times 10^4$ 個体/ m^3 、4 m以深では若干増加し、6 mで 1.8×10^4 個体/ m^3 となった。*D. brachyurum* は大きく密度を減じ、6 mで 0.02×10^4 個体/ m^3 が分布したに過ぎなかった。9月13日には*B. longirostris*の密度はやや回復し、0~6 mまで約 2.0×10^4 個体/ m^3 の密度で一様に分布し、水深7 mでは 4.8×10^4 個体/ m^3 と増加した。*D. brachyurum*は依然として0~7 mまで一様に低密度であった。10月以降は両種ともに低密度で一様に分布した。このように、両種ともに個体数が急激に増加した7月27日から8月7日には、6~7 mに顕著に濃密に分布した。これ以降*D. brachyurum* は個体数密度は大きく減少し、*B. longirostris*は8月下旬と9月中旬には6~7 mに多く分布した。

6月29日、*S. tenellus*のノープリウスと初期コペポダイトは表面から6 mにかけて増加し、6 mでノープリウスは 2.6×10^4 個体/ m^3 、初期コペポダイトは 2.2×10^4 個体/ m^3 となった。後期コペポダイトも表面から深度とともに増加し、4 mで 2.1×10^4 個体/ m^3 となった。成体も後期コペポダイト同様に2~4 mにかけて $6.5\sim 8.0 \times 10^4$ 個体/ m^3 となり4 mで分布量は最大となった。7月18日にはノープリウスは0~2 mにかけて $0.5\sim 1.8 \times 10^4$ 個体/ m^3 であったが、それ以深は深度とともに減少した。初期コペポダイトおよび後期コペポダイトは個体数を減じ、ほぼ水柱様に分布した。成体は、2~6 mにかけて多く分布し、6月同様、4 mで 3.9×10^4 個体/ m^3 と最大となった。7月27日には、ノープリウスは0~2 m、初期コペポダイトおよび後期コペポダイトも4 m以深に多い傾向があった。成体は0~2 mまでは約 1.0×10^4 個体/ m^3 以下であったが、4~7 mにかけて急激に増加し、特に7 mでは 8.5×10^4 個体/ m^3 の最高密度に達した。8月7日、ノープリウスは0~2 m、初期コペポダイトは2 mで比較的多かった。後期コペポダイトは4 m以深にかけて増加し、6 mで 0.5×10^4 個体/ m^3 となった。成体は0~2 mまではほぼ 1.0×10^4 個体/ m^3 以下であったが、4 m以深で急激に増加し、6~7 mにかけて約 10.0×10^4 個体/ m^3 と顕著に増加した。8月28日、ノープリウスは再び増加し、表面で多くそれ以深では徐々に減少した。初期コペポダイトおよび後期コペポダイトは4 m以深で多く、それぞれ、4 mで 1.5×10^4 個体/ m^3 、6 mで 0.6×10^4 個体/ m^3 と最も多かった。成体の個体数密度は大きく減少し、4 mで 1.0×10^4 個体/ m^3 となった。9月13日、ノープリウスは表面で 6.1×10^4 個体/ m^3 と周年で最も多く、4 m以深で減少した。初期コペポダイトおよび後期コペポダイトは4 m以深で増加し、初期コペポダイトは6 mで、後期コペポダイトは7 mで増加した。10月19日にはノープリウスは4 mで若干多かったが、ほぼ一様に分布した。初期コペポダイトと後期コペポダイトは4 m以深で個体数が増加し、水深4~6 mで、初期コペポダイトは $1.7\sim 2.2 \times 10^4$ 個体/ m^3 、後期コペポダイトは $0.4\sim 0.7 \times 10^4$ 個体/ m^3 であった。成体も4~6 mで若干多かったものの、ほぼ一様に分布した。11月15日には、ノープリウスは低密度でほぼ水柱様に分布した。同様に、初期および後期コペポダイトも4 m以深で若干個体数は多かったものの、ほぼ水柱様に分布した。成体は4 mで 2.3×10^4 個体/ m^3 、それ以深でも約 1.9×10^4 個体/ m^3 の密度で分布した。このように、調査期間を通じて*S. tenellus*のノープリウスは6月29日に6 mに多く分布した以外は、ほぼ0~4 mに分布した。ノープリウス以外は、より深層に分布する傾向があった。すなわち、初期コペポダイトおよび後期コペポダイトはともに6月以外、それぞれ2~4 m以深および4 m以深に多く分布した。成

体は6月には4 mに多かったが、それ以外は後期コペポダイト同様に4 m以深に多く、特に7月27日と8月7日には6~7 mに濃密に分布した。

考 察

本研究で鉛直分布を詳しく観察した枝角類2種は夏季、7月下旬から増加し始め8月上旬に最高密度となり、その後、*B. longirostris*は徐々に、*D. brachyurum*は急激に減少した。そして、この増加時期には水深6~7 mに濃密に分布した。両種ともにこの最大密度の分布層は塩淡境界層の6~7 mに一致した。元田・石田(1949)は網走湖の湖心において、各層2 m間隔で水深14 mまで、これら2種の鉛直分布を6~11月まで観察している。示されている図表を見ると、この時の塩淡境界層(ここでは変水層と呼んでいる)は8~10 mであり、8 m以深で急激に塩素量が増加していた。7~9月の水温は0~8 mで概ね20~25℃の範囲にあった。*B. longirostris*は7月に最も多く、その最大の分布水深は6 mにあった。*D. brachyurum*は7~8月にかけて増加し、その分布水深は7月には4 m、8月には8 mであった。これらの結果と今回の観察結果を比較すると、*B. longirostris*は必ずしも本研究で見られたようにその増加時期には塩淡境界層には分布していない。また、*D. brachyurum*についても、8月には塩淡境界層に最高密度があったが、7月にはそれ以浅の4 mに極大があった。これらのことから今回の結果では、枝角類はその増加時期に塩淡境界層に分布するという特徴がより顕著に観察された。

本研究で*S. tenellus*については、発育段階毎の鉛直分布は異なっており、ノープリウスは表層あるいは水柱様に分布する傾向があったが、6月のみノープリウスが6 mに多く分布した。この時、成体の分布は4 mに極大があった。*S. tenellus*は同種のノープリウス幼生を摂食する共食いの習性が飼育下で知られている(Hada 1991)。ノープリウスが6 mに分布したのは、同種間で共食いを避ける行動を示唆しているのかもしれない。成体を含みコペポダイトは概して、より深層に分布する傾向があった。成体は7月下旬(7月27日)から8月上旬(8月7日)には枝角類同様に、6~7 mの塩淡境界層に濃密に分布した。元田・石田(1949)によれば、ノープリウス幼生は観察していなかったが、コペポダイトも成体も概ね4 m以深に多く、特に成体は変水層(塩淡境界層)(8~10 m)に多く分布する傾向があったことを報告している。これらのことから、本研究で観察した*S. tenellus*の日中の鉛直分布の特徴は当時と変わらないものと考えられる。

本研究で観察された最大の特徴は、7月下旬から8月上

旬にかけて*B. longirostris*、*D. brachyurum* および*S. tenellus*の成体が顕著に塩淡境界層に分布したことである。元田・石田(1949)は*S. tenellus*が変水層に多いのは有機物の蓄積が多く、これを利用しているとの考えを示唆しているが、本研究のクロロフィルa量の結果では少なくとも植物プランクトンは多くない。また、透明度から推定して塩淡境界層には光はほとんど届いていないものと推察される。

甲殻類プランクトン3種が塩淡境界層に濃密に分布した7月下旬から8月上旬にかけては表層から約4 mまでは約20℃以上の水温があり、6~7 mでは約16~<20℃であった。これら3種は表層の高水温環境を避けたことも考えられる。Hanazato and Yasuno(1985)は、*B. longirostris*と*D. brachyurum*を含む数種のミジンコ類を実験室内で15~30℃の5℃間隔で飼育した結果、*D. brachyurum*は30℃でよく成長し、*B. longirostris*は30℃では成長しなかったが、それ以下の温度では成長したことを報告している。網走湖で*D. brachyurum*は水温20℃以上で大増殖したことも観察されている(浅見1997)。また、水温5~30℃の間の6段階の水温での*S. tenellus*の成長速度はノープリウスもコペポダイトも水温の上昇とともに指数関数的に上昇することが知られている(Kimoto et al. 1986)。これらのことから、より低水温がこれらの種を塩淡境界層に分布させたことは考えにくい。

ところで、元田・石田(1950)は、網走湖の呼人湾の水深7 mの地点で、1974年8月24日午前5時から25日午前5時の一昼夜にわたり、1時間おきに水深0、1、2、4、6 mの各層からプランクトン定量採集器でプランクトンを採集し、*B. longirostris*、*D. brachyurum*、*S. tenellus*の日周鉛直移動を調べた。その結果、3種ともに朝方に6 mまで最も著しく下降し、また、午後は午前よりも分布層が浅くなった。夕刻暗くなったときには急激に上昇して夜間は水柱均等に分布した。そして、夜間の各種の採集量は日中のそれよりも極めて多かったため、日中は採集を行わなかった湖底直上に分布していると考えた。そして、この日周鉛直移動の要因として、光の刺激が関係し、朝方に光の刺激を受けるとこれを逃れ、夕刻、光の刺激から解放されると負の走地性を生じ、夜間になり暗黒が続くと走地性が消失して重力に無関係の分布をすると考察している。光環境は動物プランクトンの日周鉛直移動のタイミングに影響する最も重要な環境要因として考えられている(斎藤 2002)。今回観察した塩淡境界層での3種の濃密な分布は光環境が関与しているのかもしれないが、今後は日夜を通じた観測が必要である。

さらに、石田(1951)は、網走湖呼人湾の水深が2 m前後の極く浅い水域で、1950年7月11日の午前6時から翌日の午前5時まで1時間おきに0 mと1 mからプランクトン

定量採集器で動物プランクトンを採集した結果, *S. tenellus*の成体とコペポダイトは夜間に表面で多く採集されたとしている。そして, その要因を光環境の他, 魚などの捕食者と被捕食者との関係から考察することの必要性を示唆している。湖沼の甲殻類プランクトンは捕食者から逃避するために鉛直的に分布水深を変化させることが多くの研究によって知られている(例えば, Zaret and Suffern 1976)。カナダ, プリチィッシュコロンビアの湖沼域に分布する植食性枝角類*Bosmina*は, 視覚捕食者のいない湖沼では日周鉛直移動を行わないが, 視覚捕食者であるベニザケ稚魚等が表層に分布する環境では日周鉛直移動を行う(Levy 1990)。網走湖において, これら甲殻類プランクトンの重要な捕食者はワカサギである。ワカサギは春季から夏季にかけて仔魚から稚魚となり, 餌生物をこれまでの輪虫類から枝角類やカイアシ類の甲殻類プランクトンへとシフトさせ, 急激に成長する(浅見 2004)。浅見・伊藤(2003)は, 網走湖において*S. tenellus*の個体群動態を調べた結果, 夏季8月以降, 後期コペポダイトと成体の死亡速度が大きくなることを明らかにし, この要因をワカサギによる捕食と考えた。このことから, 夏季のこれら甲殻類プランクトンの顕著な塩淡境界層での分布は, ワカサギの捕食から逃避した可能性も考えられる。元田・石田(1950)が観察したように, これら3種は日周鉛直移動を行い, ワカサギは甲殻類プランクトンの浮上や下降のタイミングに遭遇することによってこれらを捕食しているのかもしれない。

謝 辞

本研究を行うにあたり, 調査に御協力をいただいた西網走漁業協同組合の佐々木昇常務, 川尻敏文参事, 他職員の皆様に深く感謝いたします。

引用文献

- 浅見大樹. 網走湖における動物プランクトンの季節変動および年変動. 北海道立水産孵化場研究報告 1997; 51: 31-43.
- 浅見大樹・伊藤和雄. 網走湖におけるカイアシ類 *Sinocalanus tenellus* (Kikuchi)の個体群動態と生産量の見積もり. 日本プランクトン学会報, 2003 50(2): 67-78.
- 浅見大樹. 網走湖産ワカサギの初期生活に関する生態学的研究. 北海道立水産試験場研究報告 2004; 67: 1-79.
- 浅見大樹. 網走湖における動物プランクトン優占種の出現状況. 北海道水産試験場研究報告 2023; 103: 1-8.
- 安楽正照. プランクトン研究ノート (1) 動物プランクトンの微細分布 <研究の歴史>. 海洋と生物 1979; 1(5): 66-72.
- Hada A. Effect of cannibalism on the laboratory cultured population of the brackish-water copepod *Sinocalanus tenellus*. *Bull. Plankton Soc. Japan*. 1991; 38(1): 43-52
- Hanazato T, Yasuno M. Effect of temperature in the laboratory studies on growth, egg development and first parturition of five species of Cladocera. *Jpn. J. Limnol.* 1985; 46: 185-191.
- 石田昭夫. 湖沼甲殻類プランクトンの定量採集と水平分布についての二三の観察. 水産孵化場試験報告 1951; 6: 181-190.
- 石田昭夫. 網走湖の研究 浅い湾内での甲殻類プランクトンの昼夜移動の観察. 水産孵化場報告1952;7: 127-131.
- Kimoto K, Uye S, Onbe T. Growth characteristics of a brackish-water calanoid copepod *Sinocalanus tenellus* in relation to temperature and salinity. *Bull. Plankton Soc. Japan*. 1986; 33(1): 43-57.
- Levy, D. A. Reciprocal diel vertical migration behavior in planktivores and zooplankton in British Columbia lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1990; 47, 1755-1764.
- 元田茂. 動物プランクトンの生態特に日周鉛直移動の習性について. 日本海洋学会誌 1972; 28, 278-292.
- 元田茂, 石田昭夫. 網走湖の研究特にプランクトン層に就いて (第二報). 水産孵化場試験報告1949; 4: 1-9.
- 元田茂, 石田昭夫. 夏季網走湖に於ける甲殻類プランクトンの昼夜垂直移動の観察. 水産孵化場試験報告 1950; 5: 105-112.
- 中尾欽四郎. 網走湖の湖環境変遷. 北海道の自然 1984; 24: 30-40.
- 大槻知寛, 多田匡秀. 網走湖の環境について. 北水試だより1984; 23: 1-8.
- 斎藤宏明. 特集 海産生物の行動と周期性 動物プランクトンの日周鉛直移動の適応意義 海洋と生物 2002;143 (vol. 24 no. 6): 499-504.
- 鳥澤雅. 網走湖産ワカサギの生活史多型分岐と資源変動機構. 北海道立水産試験場研究報告 1999;56:1-117.
- Zaret TM, Suffern JS. Vertical migration in zooplankton as a predator avoidance mechanism. *Limnol. Oceanogr.* 1976; 21: 804-813.

Appendix 1 Seasonal and vertical values of water temperature, salinity, dissolved oxygen and chlorophyll *a* concentration at St. 9 from June to November 2017**W.T. (°C)**

Depth (m)	June 29	July 18	July 27	Aug. 7	Aug. 28	Sep. 13	Oct 19	Nov. 15
0	19.2	22.4	24.3	22.9	22.6	19.4	11.5	6.5
2	17.4	22.3	22.9	22.8	22.0	19.4	11.4	6.5
4	16.3	21.6	22.5	22.5	21.9	19.3	11.3	6.5
6	15.1	17.4	19.2	20.1	19.8	19.1	11.3	6.5
7	15.1	14.8	16.1	17.0	16.7	17.0	14.1	6.5
8	9.5	10.3	12.4	12.2	12.3	12.3	12.4	9.9

Salinity

Depth (m)	June 29	July 18	July 27	Aug. 7	Aug. 28	Sep. 13	Oct 19	Nov. 15
0	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	1.1	1.2	1.6
2	0.9	0.6	0.7	0.6	0.8	1.1	1.2	1.6
4	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	1.1	1.2	1.6
6	0.7	1.3	1.6	1.3	3.7	1.2	1.2	1.6
7	5.9	11.1	12.9	7.3	14.3	13.1	14.8	1.6
8	17.3	17.1	16.9	17.1	17.6	17.7	17.7	16.8

DO (mg/L)

Depth (m)	June 29	July 18	July 27	Aug. 7	Aug. 28	Sep. 13	Oct 19	Nov. 15
0	12.3	9.1	15.9	8.3	12.2	9.2	12.3	12.4
2	12.3	8.8	14.4	9.3	10.9	9.2	12.3	12.4
4	9.9	8.6	11.8	8.3	9.9	9.0	12.1	12.4
6	9.0	6.4	8.2	2.5	7.1	8.9	11.9	12.4
7	7.5	3.1	3.8	0.3	1.5	5.1	8.0	12.3
8	2.0	0.9	1.4	0.0	0.4	1.7	2.3	8.9

Chl.a (µg/L)

Depth (m)	June 29	July 18	July 27	Aug. 7	Aug. 28	Sep. 13	Oct 19	Nov. 15
0	29.6	41.8	177.0	No data	101.0	32.2	40.3	21.3
2	14.3	39.4	109.0	NO data	92.3	32.8	45.3	27.8
4	18.3	44.3	70.1	NO data	61.7	30.9	48.8	20.7
6	13.9	29.6	28.6	NO data	47.3	29.1	49.5	21.7
7	12.6	10.6	26.6	NO data	31.7	31.8	39.5	21.6

Appendix 2 Seasonal and vertical abundance of *Bosmina longirostris* and *Diaphanosoma brachyurum* at St. 9 from June to November 2017***Bosmina longirostris* ($\times 10^4$ inds./m³)**

Depth (m)	June 29	July 18	July 27	Aug. 7	Aug. 28	Sep. 13	Oct 19	Nov. 15
0	0.02	0.68	0.12	4.34	0.09	1.93	0.43	0.17
2	0.04	0.94	0.40	3.21	0.02	1.97	0.45	0.16
4	0.02	1.10	2.31	5.91	0.84	1.94	0.59	0.17
6	0.02	0.70	5.06	7.78	1.76	2.07	0.40	0.11
7	0.06	0.30	3.38	5.32	1.14	4.84	0.41	0.19

***Diaphanosoma brachyurum* ($\times 10^4$ inds./m³)**

Depth (m)	June 29	July 18	July 27	Aug. 7	Aug. 28	Sep. 13	Oct 19	Nov. 15
0	0.00	0.02	0.02	0.57	0.00	0.01	0.00	0.00
2	0.00	0.08	0.37	2.89	0.00	0.03	0.00	0.00
4	0.02	0.16	1.51	3.93	0.00	0.08	0.00	0.00
6	0.00	0.12	4.04	9.18	0.02	0.06	0.00	0.00
7	0.02	0.04	4.58	5.38	0.00	0.18	0.00	0.00

Appendix 3 Seasonal and vertical abundance of nauplii, C1-3 copepodites, C4-5 copepodites and C6 (adults) at St. 9 from June to November 2017

***Sinocalanus tenellus* nauplii ($\times 10^4$ inds./m³)**

Depth (m)	June 29	July 18	July 27	Aug. 7	Aug. 28	Sep. 13	Oct 19	Nov. 15
0	0.54	1.80	1.65	0.30	2.47	6.05	1.51	0.01
2	0.74	0.50	1.37	0.13	1.54	5.77	1.53	0.03
4	1.70	0.14	0.42	0.01	1.72	5.98	2.30	0.04
6	2.60	0.12	0.04	0.04	0.40	4.57	1.48	0.04
7	0.68	0.02	0.07	0.00	0.16	2.39	0.93	0.05

***S. tenellus* copepodite C1-3 ($\times 10^4$ inds./m³)**

Depth (m)	June 29	July 18	July 27	Aug. 7	Aug. 28	Sep. 13	Oct 19	Nov. 15
0	0.00	0.04	0.13	0.01	0.06	0.53	0.13	0.27
2	0.04	0.12	0.21	0.42	0.27	0.81	0.26	0.31
4	1.28	0.30	0.61	0.24	1.50	1.35	1.66	0.43
6	2.20	0.12	0.31	0.20	0.76	1.69	2.24	0.29
7	1.08	0.00	0.32	0.04	0.56	1.32	1.68	0.43

***S. tenellus* copepodite C4-5 ($\times 10^4$ inds./m³)**

Depth (m)	June 29	July 18	July 27	Aug. 7	Aug. 28	Sep. 13	Oct 19	Nov. 15
0	0.00	0.00	0.06	0.02	0.00	0.02	0.01	0.12
2	0.34	0.02	0.08	0.28	0.00	0.07	0.02	0.13
4	2.10	0.18	0.43	0.35	0.40	0.19	0.70	0.28
6	0.76	0.12	0.36	0.54	0.64	0.42	0.74	0.16
7	0.44	0.18	0.31	0.28	0.44	0.64	0.42	0.22

***S. tenellus* C6 ($\times 10^4$ inds./m³)**

Depth (m)	June 29	July 18	July 27	Aug. 7	Aug. 28	Sep. 13	Oct 19	Nov. 15
0	0.05	0.02	0.94	0.00	0.00	0.00	0.01	0.20
2	6.54	2.04	0.70	0.64	0.02	0.11	0.04	0.33
4	8.02	3.86	4.72	1.42	1.04	1.01	0.81	2.32
6	3.44	2.86	4.93	9.96	0.70	2.14	0.60	1.87
7	0.52	1.16	8.52	10.26	0.78	2.56	0.47	1.93