

# 霞ヶ浦における仔魚の初期餌料密度の季節変化

富永 敦\*1

Seasonal Changes of Rotifers and Nauplius in Lake Kasumigaura

Atsushi TOMINAGA

## Abstract

Seasonal succession of rotifers and nauplius as the initial feed of fish was observed in Lake Kasumigaura from January 2007 to January 2008. The standing crop of rotifers and nauplius increased gradually in May, reaching a maximum in August, and decreased since September. A large peak for the rotifers and nauplius biomass in August was ascribed to an increase in Rotifers: *Trichocera* spp., *Polyarthra* spp., and *Brachionus* spp.. The range of the change of rotifers and nauplius per every observation were large in summer, but were small in winter. The standing crop of rotifers and nauplius was correlated with water temperature and dissolved oxygen concentration.

キーワード: initial feed (初期餌料), rotifer (ワムシ), nauplius (ノープリウス),  
Lake Kasumigaura (霞ヶ浦)

## 目 的

霞ヶ浦では多種多様な魚類が生息し、冬季の一時期を除くほぼ周年が、何らかの魚種の産卵、ふ化時期になっている。例えば、冬季に産卵する魚種としてワカサギ(加瀬林・中野, 1961) やシラウオ(高橋ら, 1980; 富永, 2009) が、春季から夏季にかけて産卵する種としてはコイやフナ類(川前, 1991), クルメサヨリ(碓井ら, 2010), ヌマチチブ(KANEKO&HANYU, 1985), ブルーギル(半澤ら, 2005), チャネルキャットフィッシュ(半澤・野内, 2005) などがあげられる。そして、秋季には流入河川でアユが産卵する(根本ら, 1997)。

一般に、魚類の初期生残過程において、仔魚が食べる餌生物、いわゆる「初期餌料」の量は重要とされている。霞ヶ浦においてもワカサギ仔魚の生残率はワムシ類やかいあし類のノープリウス(以下「ノープリウス」と呼ぶ)などの初期餌料密度の影響を受けていると言われており(熊丸, 2003), その他の魚類にとってもワムシ類やノープリウスは重要な初期餌料になっていると考えられる。

茨城県水産試験場内水面支場では、ワカサギ仔魚の初期餌料環境を把握するため、1996年から毎年、ワカサギ卵がふ化する3月上旬~4月上旬に、霞ヶ浦の湖岸7地点、北浦の湖岸4地点で毎週1回、初期餌料の分布密度を調査し、その年のワカサギの資源状況を予測するための指標としている。しかし、3~4月以外の時期には初期餌料の調査は行われておらず、5月以降にふ化する仔魚の初期餌料環境についてはよく分かっていない。霞ヶ浦の動物プランクトンを周年定量採集した研究には、花里・安野(1984), 松原(1994a; 1994b), 中川ら(2000)などがあげられるが、これらの研究の採集頻度は月に1~2回であるため、世代交代の短いワムシ類を定量評価するには必ずしも十分とはいえない。

そこで、本研究では、周年にわたり、数日に1回の調査頻度でワムシ類やノープリウスの分布密度を調べ、初期餌料環境の季節的な変動等を明らかにした。

## 方 法

調査は、2007年1月~2008年1月に延べ120日(イサザアミ *Neomysis intermedia* の採集は延べ50日)実施した。調査地点は茨城県水産試験場内水面支場棧橋の先端部(距岸100m, 水深3.5m)とし(図1), 標

現所属

\*1 茨城県漁政課

本は午前 9 時に 15 リットルのバケツを用いて水深 20~30 cm から湖水 75 リットルを採水し、これを目合  $40\mu\text{m}$  のネットで濾過して得た。採集物はホルマリン 10% 溶液になるよう現場で固定し、後日、室内でワムシ類やノープリウスの検鏡と計数に供した。ワムシ類は水野 (1980) 及び建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所 (1980) を参考に同定した。湖水 1 リットルあたりのワムシ類やノープリウスの総個体数密度を「初期餌料密度」として仔魚の初期餌料環境の指標とした。なお、この採集方法は、初期餌料密度がワカサギ仔魚の生残率との間に相関関係があることを見いだした熊丸 (2003) の採集方法と同じものである。

また、初期餌料密度の短期変動の指標として、ある調査日とその次の調査日の初期餌料密度の差を算出し、この差の絶対値の平均値を季節ごと (春: 3~5 月, 夏: 6~8 月, 秋: 9~11 月, 冬: 12~2 月)

に算出した (以後、「調査毎の平均変動値」と呼ぶ)。

ワムシ類やノープリウスの採集と合わせて、環境項目として表層 1m 層の水温と溶存酸素濃度 (以下「DO 濃度」と呼ぶ) 及び透明度を測定した。また、ワムシ類の捕食者の指標としてイサザアミ (春日, 1982) の採集を行った。水温と溶存酸素量は YSI 社製 OXYGEN Meter を用いて計測し、透明度はセッキ板での目視計測を行った。イサザアミの採集は、稚魚ネット (目合い  $500\mu\text{m}$ , 口径 70 cm) を栈橋沿いに底層 20m を水平曳きして採集した。なお、稚魚ネットを底層での水平曳きとしたのは、予備調査において鉛直曳きや表層の水平曳きではイサザアミの採集個体数が極めて少なく、一方、底層の水平曳きでは比較的多く採集された結果に基づくものである。採集したイサザアミはホルマリン 10% 溶液で固定し、後日、室内で選別して成体の個体数を計数した。

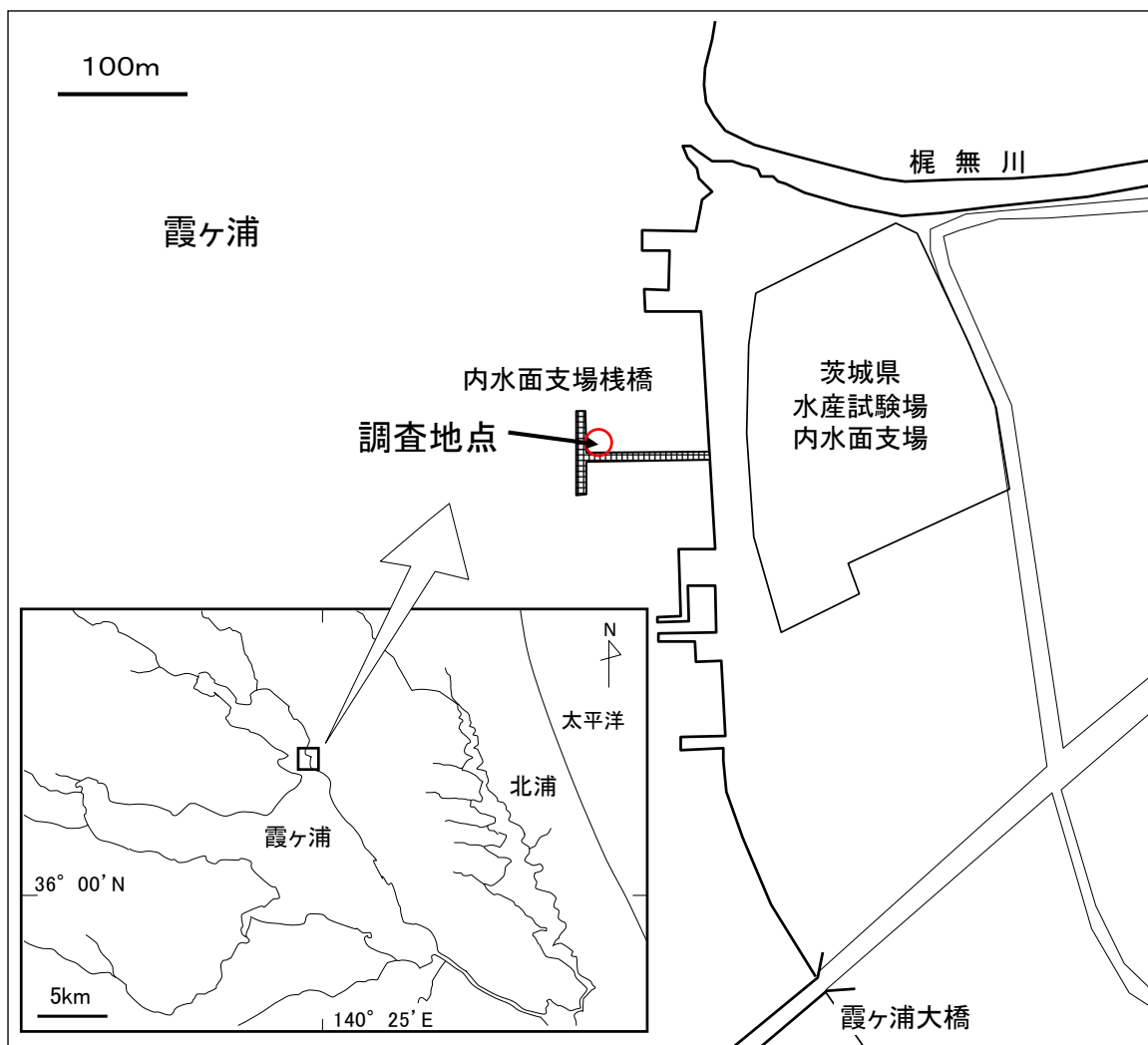


図 1. 調査地点図

## 結 果

### (1) ワムシ類とノープリウスの出現の季節変化

出現したワムシ類は、ミツウデワムシ *Filinia* spp. , カメノコウワムシ *Keratella* spp. , ツボワムシ *Brachionus* spp. , ネズミワムシ *Trichocerca* spp. , ハネウデワムシ *Polyarthra* spp. , ドロワムシ *Synchaeta* spp. , テマリワムシ *Conochilus* spp. , フクロワムシ *Asplanchna* spp. で、その他に同定できないワムシ類も若干あった。

ワムシ類及びノープリウスの出現傾向は、季節的に変化しており、また分類毎にその傾向は異なっていた(図2)。

ドロワムシは、調査した120日間の平均分布密度が95.5個体/ℓで、0個体/ℓから1,266個体/ℓの間で変動した(図2a)。季節的には1~7月に分布密度が高く、8~11月には低下し、12月以降は再び増加した。また、2007年3月8日に1,266個体/ℓ、2008年1月4日に650個体/ℓと2回観測された突発的な増加と、5~7月にみられた9~416個体の範囲で周期的に繰り返された増減が特徴的だった。

ネズミワムシは、平均分布密度が62.3個体/ℓで、0個体/ℓから945個体/ℓの間で変動した(図2b)。季節的には1~4月に4個体/ℓ以下と分布密度が極めて低い状態が続く、5月から徐々に出現し、8月に945個体/ℓのピークを迎えた。その後9~11月はごく短期間を除き100個体/ℓ以下の低い水準となり、12月以降はほとんど出現しなくなった。

ハネウデワムシは、平均分布密度が46.3個体/ℓで、0個体/ℓから462個体/ℓの間で変動した(図2c)。季節的には1~5月には20個体/ℓ以下と低い状態が続いたが、6月から増加し8月に462個体/ℓのピークを迎えた。9,10月は14~278個体/ℓの範囲で増減する状態が続く、11,12月は10個体/ℓ前後の低水準となった。しかし、2008年1月には29~51個体/ℓの範囲でわずかに増加した。

カメノコウワムシは、平均分布密度が36.6個体/ℓで、0個体/ℓから258個体/ℓの間で変動した(図2d)。9月に200個体/ℓを超えることが2回あったが、その他は100個体/ℓ未満が多く、特徴的な季節変動は無かった。

ツボワムシは、平均分布密度が34.3個体/ℓで、0個体/ℓから1,426個体/ℓの間で変動した(図2e)。8~10月に分布密度が増加したが、8~10月以外の期間は0~22個体/ℓの範囲で低い分布密度だった。8月6,9

日には1,000個体/ℓを超える突発的な増加があった。

フクロワムシの平均分布密度は1.4個体/ℓ、ミツウデワムシは1.0個体/ℓ、テマリワムシは0.8個体/ℓといずれも周年を通じて低い分布密度だった。その他同定出来なかったワムシ類の周年の平均分布密度は2.8個体/ℓだった。

ノープリウスは、平均分布密度が71.3個体/ℓで、7.0個体/ℓから443個体/ℓの間で変動した(図2f)。季節的には1~3月に少なく、4月に100個体/ℓ以上に増加したが、5~6月には100個体/ℓ以下と4月の密度より低下した。その後、7月に急増して443個体/ℓのピークを迎えた。8月以降は徐々に減少し、11月以降は多くの調査日で100個体/ℓを下回る低水準となった。

### (2) 初期餌料密度の季節変化

ワムシ類とノープリウスの総個体数密度である初期餌料密度は、調査した120日間の平均分布密度は352.3個体/ℓで、50個体/ℓから2,342個体/ℓの範囲で変動した(図3)。季節的にみると1~4月は3月8日の突発的な増加を除いて50~344個体/ℓの低い分布密度で推移し、5月以降に増加して6月以降500個体/ℓを上回るようになり、8月には2,342個体のピークに達した。9月以降は徐々に減少し、10月には500個体/ℓ下回るようになり、11月には100個体/ℓ前後の低い分布密度となった。12月以降は多くが86~270個体/ℓの範囲で推移したが、1月4日に853個体/ℓと突発的な増加が認められた。また、5~7月に増加する過程では周期的に繰り返される増減が特徴的だった。

各季節の調査毎の平均変動値は、春季が159.4個体/ℓ/回、夏季が379.9個体/ℓ/回、秋季が155.0個体/ℓ/回、冬季が90.3個体/ℓ/回であり、夏季は分布密度が高い一方で変動が激しく、冬季は分布密度は低いが安定している傾向が示唆された(表1)。

### (3) 環境項目の季節変化と初期餌料密度との相関

#### ①水温

水深1m層の水温は、冬季は低く夏季は高くなる季節変動を示した(図4a)。2007年1月12日に5.9℃を示し、その後徐々に上昇して8月17日に31.8℃の最高値を示した後は、低下し2008年1月28日に4.4℃の最低値を示した。

調査を行った延べ120日における水温値と主なワムシ類及びノープリウス、初期餌料密度値とで相関を検討した結果(表2)、ドロワムシは有意な負の相関関係が認められ、ネズミワムシ、ハネウデワムシ、カメノコウワムシ、ツボワムシ、ノープリウス、初期餌料密度はいずれも有意な正の相関関係が認められた。

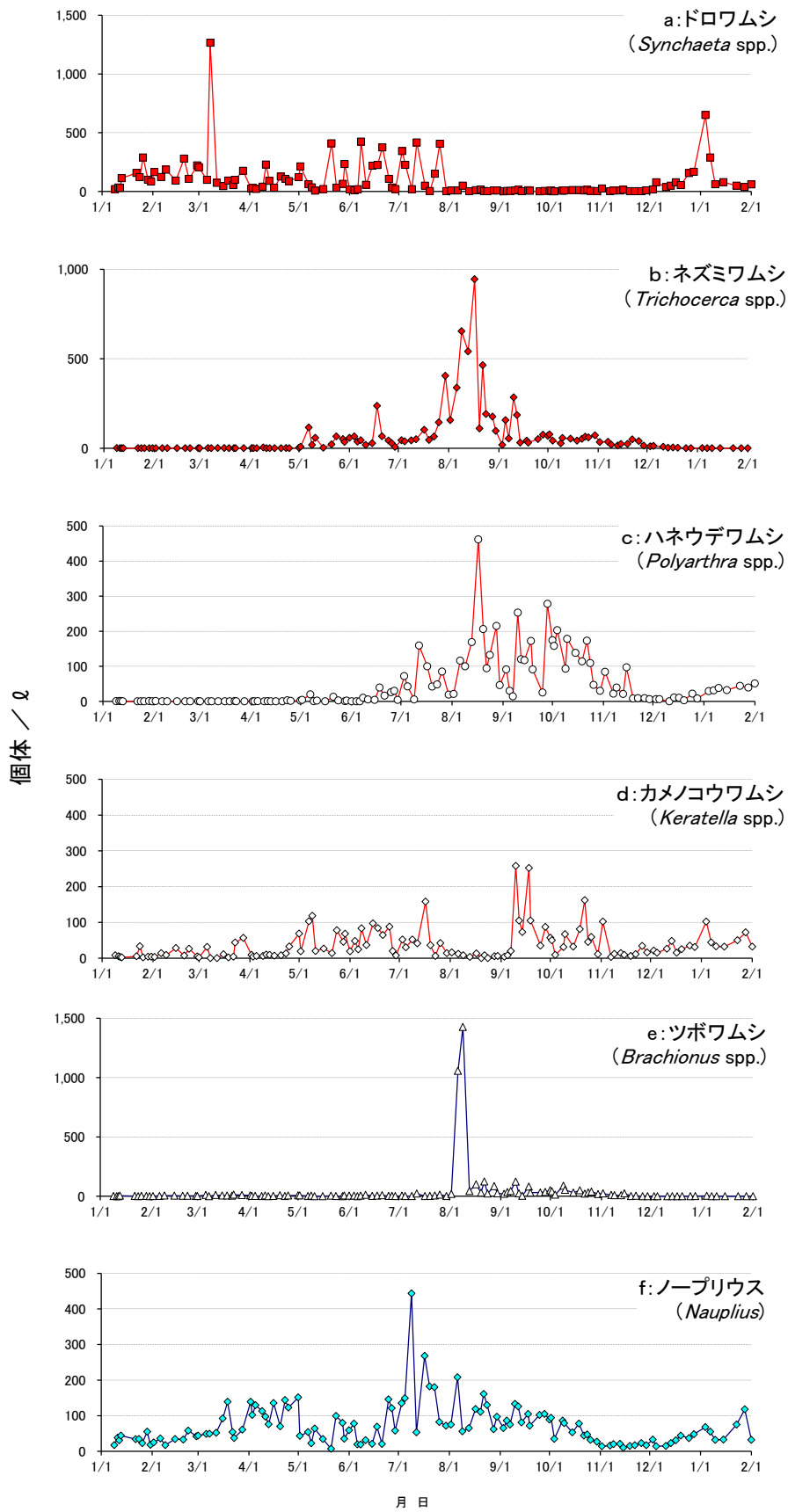


図2. ワムシ類とノープリウスの分布密度の季節変化

表1 初期餌料密度の平均値及び調査毎の平均変動値の季節間比較

区分	冬 (12,1,2月)	春 (3,4,5月)	夏 (6,7,8月)	秋 (9,10,11月)
延べ調査回数(回)	31	29	30	30
平均密度(個体/ℓ)	205.7	270.7	611.5	323.3
調査毎の平均変動値(個体/ℓ/回)	90.3	159.4	379.9	155.0

表2 ワムシ類、ノープリウス、初期餌料密度と水温、DO濃度、透明度、イサザアミ分布密度との相関係数

区分	水温	DO濃度	透明度	イサザアミ分布密度
ドロワムシ( <i>Synchaeta</i> spp.)	-0.185 *	0.237 *	-0.099	0.239
ネズミワムシ( <i>Trichocerca</i> spp.)	0.570 *	-0.434 *	0.260 *	-0.046
ハネウデワムシ( <i>Polyarthra</i> spp.)	0.561 *	-0.491 *	0.234 *	-0.039
カメノコウワムシ( <i>Keratella</i> spp.)	0.283 *	-0.275 *	0.110	0.159
ツボワムシ( <i>Brachionus</i> spp.)	0.272 *	-0.158	0.108	-0.111
ノープリウス(Nauplius)	0.404 *	-0.437 *	-0.102	0.183
初期餌料密度	0.504 *	-0.361 *	0.159	0.078

\* $p < 0.05$ 

## ②DO濃度

水深1m層のDO濃度は、水温と相反するように冬季は高く夏季は低くなる季節変動を示した(図4b)。2007年1月から3月の間は10.7~14.3mg/ℓで推移し、4月以降から低下傾向を示しはじめた。8月20日に最低値の4.0mg/ℓを示した。それ以降徐々に上昇し、2008年1月には11.1~12.8mg/ℓに達した。

水温と同様に相関を検討した結果、ドロワムシは有意な正の相関関係が認められ、ネズミワムシ、ハネウデワムシ、カメノコウワムシ、ノープリウス、初期餌料密度はいずれも有意な負の相関関係が認められた。ツボワムシは有意な相関は認められなかった。

## ③透明度

透明度は、明瞭な季節変動はみられなかった。2007年1月から4月の間は概ね50~60cmで推移し、5月以降は概ね60~80cmで推移した(図4c)。9月7日に

は、大雨等の気象変化に伴い9月5日の62cmから21cmに低下し、その後10日には70cmに回復するなどの短期的な変動も認められた。

水温と同様に相関を検討した結果、ネズミワムシとハネウデワムシについては有意な正の相関関係が認められたが、他のワムシ類、ノープリウス、初期餌料密度では有意な相関は認められなかった。

## ④イサザアミ

イサザアミは、2月から8月上旬まで採集されたが、8月中旬以降は採集されなかった(図4d)。特に、3月下旬から7月中旬にかけては、6回の調査でそれぞれ1,000個体/網を上回る採集があった。

調査を行った延べ50日におけるそれぞれのイサザアミ採集個体数と主なワムシ類及びノープリウス、初期餌料密度とで相関を検討した結果、有意な相関は認められなかった。

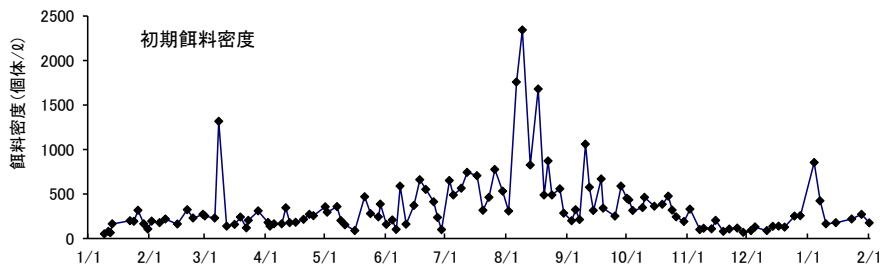


図3. 初期餌料密度の季節変化

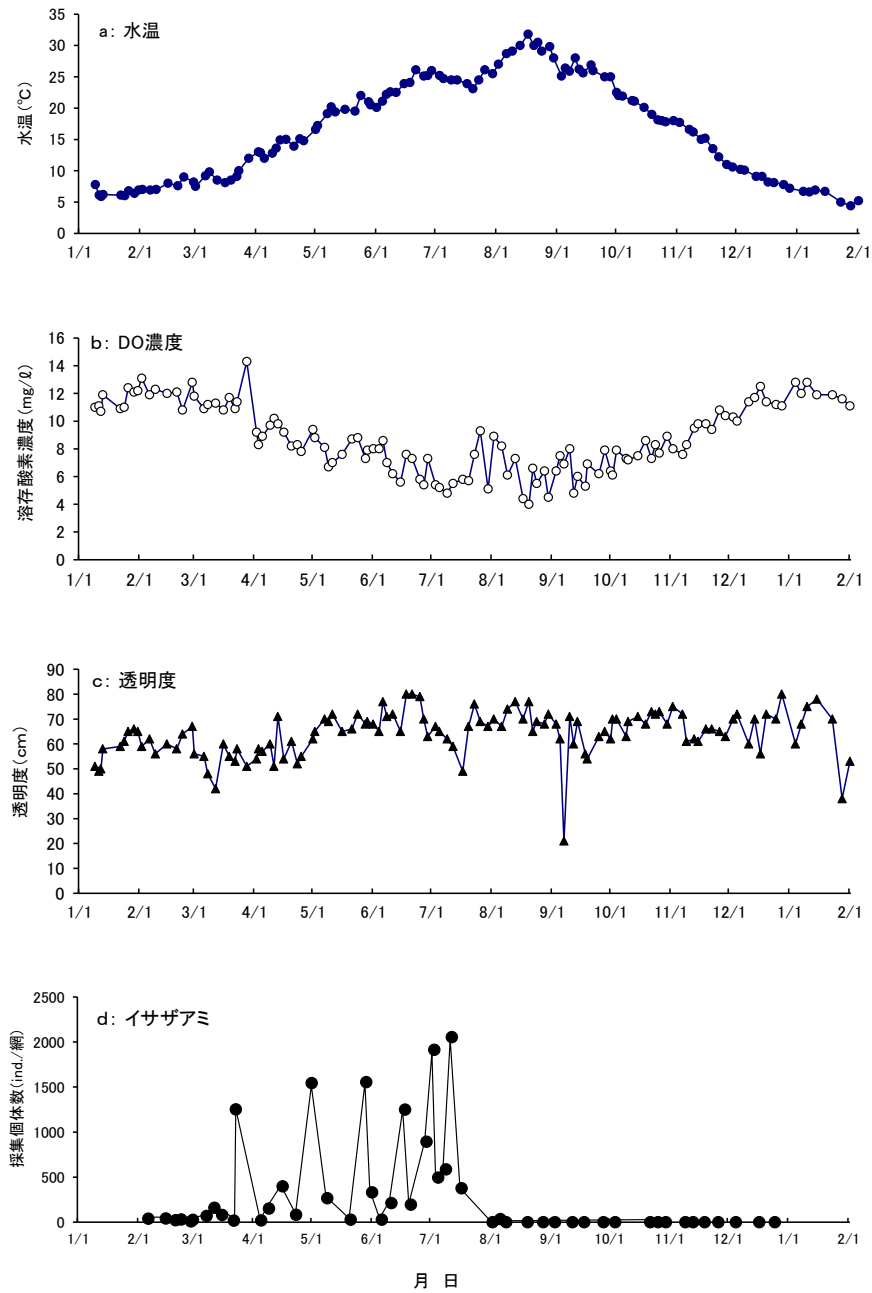


図4. 環境項目の季節変化 (a: 水温, b: DO, c: 透明度, d: イサザアミ)

## 考 察

### (1) 霞ヶ浦における初期餌料密度の変動の特徴

霞ヶ浦の湖岸域における主なワムシ類であるネズミワムシ、ハネウデワムシ、ツボワムシやノープリウスは、夏季に分布密度のピークを迎えた。ワムシ類やノープリウスの総個体数密度である初期餌料密度も、1~4月や10~1月に低く、5~9月に高くなる季節変動が認められた。霞ヶ浦の高浜入り沖合で、1996年から1998年に実施した調査では、年による違いがあるものの、ワムシ類は6~11月に出現個体数が増加し、ノー

プリウスは4~10月に出現個体数のピークを迎えている(中川ら, 2000)。霞ヶ浦では、初期餌料密度は冬季に低く夏季に高くなるのが、基本的な季節変動パターンであると考えられる。

本研究では、主なワムシ類やノープリウスの分布密度と水温、DO濃度、透明度、イサザアミ分布密度との相関関係を検討した。その結果、多くのワムシ類やノープリウスとの有意な相関関係が認められた水温とDO濃度は、分布密度の変動に影響を及ぼしていると考えられる。ただし、本研究で観察された特徴的な短期

的変動, つまり, 2007年3月と2008年1月に一度ずつ観測された突発的な増加や, 5~7月にみられた周期的に繰り返される増減変動については, 水温やD0濃度では説明できず, 他の要因の存在が示唆される。

霞ヶ浦において動物プランクトン分布密度に影響を及ぼす環境要因については, 安野ら(1981)が水温や捕食が影響を及ぼしていると述べ, 春日(1982)や松原(1994a), 中川ら(2000)は高密度のイサザアミの出現が影響を及ぼしていると述べている。また, 花里・安野(1984)は, *Microcystis aeruginosa* の水の華が影響を及ぼしていると報告している。これらの知見からも, 水温やD0濃度以外にも様々な要因がワムシ類やノープリウスの分布密度に複合的に影響していると考えられる。今後は, フィールド調査だけでなく, 水槽実験など方法も併用しながら研究を進める必要がある。

## (2) 初期餌料密度と仔魚の生残り

霞ヶ浦で2005年から2006年にかけて実施された湖岸帯の仔稚魚調査では, 通年, 何らかの仔稚魚が採集されるが, 特に5月から9月の間に出現個体数が多く(半澤ら, 2009), これは本研究の初期餌料密度が高い時期と一致する。

霞ヶ浦の湖岸帯で, 張網調査により実施した魚類相調査では, 1986年から2005年の20年間のうち, 平均入網個体数で優占種となったのはヌマチチブ(延べ8年), ブルーギル(延べ6年), モツゴ(延べ2年), ウキゴリ(延べ2年), トウヨシノボリ(1年), チャネルキャットフィッシュ(延べ1年)であるが(富永ら, 2013), これらの魚種の本湖での産卵期は, ヌマチチブが5~8月, ブルーギルが5~7月, モツゴが4~8月, ウキゴリが3~5月, チャネルキャットフィッシュが5~7月で, ウキゴリと流入河川で産卵するトウヨシノボリを除けば初期餌料密度が高い季節に産卵していることになる。

初期餌料密度は, 冬春季のワカサギ仔魚の生残りだけでなく(熊丸, 2003), 各季節においても多くの仔稚魚の生残りを左右し, その結果, 優占種などの湖沼の魚類相にも影響していることが考えられる。

本研究では, 平均約3.25日間で採集調査を行ったが, 初期餌料密度の調査毎の平均変動値にも季節ごとに特徴が認められ, 夏季は変動が激しく, 冬季は安定している傾向が示された。このように季節によって初期餌料密度の短期変動の幅が異なることについては, 霞ヶ浦では報告例が無く, とても興味深い現象である。

マイワシの摂餌開始期の仔魚は, 約2日間の絶食後に餌を与えても多くの個体が摂餌できずに死亡するという。さらに, 成長した仔魚でも3~4日間の絶食で瀕死の状態になることが報告されており(松岡・三谷, 1989), 豊富かつ“安定的”な初期餌料環境の重要性が示唆されている。1986~2005年の霞ヶ浦における魚類の変動を調査した富永ら(2013)は, 湖内で産卵し, かつ比較的寿命の短い種は資源が減少傾向にあることを示し, その原因として湖内における仔魚の生残りが不安定になっている可能性を述べている。魚種によって飢餓耐性は異なるが, 霞ヶ浦で5~8月にふ化を迎える魚類仔魚にとっては, 数日間での初期餌料密度の増減は, 生残りに影響を与える要因の一つとなっていることが考えられる。今後, 初期餌料密度の短期的な増減について, その要因の解明や, 水平・垂直方向の密度分布の濃淡, さらに仔魚の生残りに及ぼす影響等についての研究が期待される。

## 要 約

- (1) 周年を通じてワムシ類やノープリウスの分布密度を調べ, 季節的な変動の特徴を明らかにした。
- (2) 調査は, 2007年1月~2008年1月に延べ120日実施した。茨城水試内水面支場の棧橋で表層水75リットルを採水して目合40 $\mu$ mのネットで濾過し, ワムシ類とノープリウスを採集した。1リットルあたりのワムシ類やノープリウスの総個体数密度を初期餌料密度として仔魚の餌料生物環境の指標とした。
- (3) 調査期間の平均初期餌料密度は352.3個体/ℓだった。季節的には1~4月は50~344個体/ℓの低い分布密度で推移し, 5月以降増加して7月には500個体/ℓ前後になり, 8月には2,342個体/ℓのピークに達した。9月から10月は徐々に減少し11月には100個体/ℓ前後の低い分布密度となった。12月以降は多くが86~270個体/ℓの範囲で推移した。また, 特徴的な短期変動として, 冬季の2度の突発的な増加と, 5~7月に周期的に繰り返される増減が観察された。
- (4) 各季節の調査毎の平均変動値は, 春季が159.4個体/ℓ/回, 夏季が379.9個体/ℓ/回, 秋季が155.0個体/ℓ/回, 冬季が90.3個体/ℓ/回で, 夏季は分布密度の変動が激しく, 冬季は安定している傾向が示唆された。
- (5) 主なワムシ類やノープリウスの分布密度と水温, D0濃度, 透明度, イサザアミ分布密度との相関関係を検討した結果, 水温とD0濃度は, 3つのワムシ類やノープリウスとの有意な相関関係が認められた。

## 謝 辞

環境項目の測定やデータ整理にあたっては、内水面水産試験場臨時職員（当時）の羽生幸代さんと大塚久美子さんに御助力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 花里孝幸・安野正之（1984）：霞ヶ浦における動物プランクトンの季節変動と生産（1981-1982）．国立公害研究所研究報告，51，57-72.
- 半澤浩美・荒山和則・富永 敦（2009）：霞ヶ浦湖岸帯における仔稚魚を中心とした魚類相とその季節変化．2009年10月魚類学会年会要旨集.
- 半澤浩美・谷村明俊・野内孝則（2005）：霞ヶ浦北浦のブルーギルについて．2003年度茨城内水試事業報告，pp. 49-57.
- 半澤浩美・野内孝則（2005）：霞ヶ浦におけるチャネルキャットフィッシュの産卵生態-産卵期，抱卵数，成熟サイズ．茨城内水試研究報告，40，1-6.
- Kaneko, T. & Hanyu, I., 1985. Annual reproductive cycle of the chichibu-goby *Tridentiger obscurus*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 51: 1645-1650.
- 加瀬林成夫・中野 勇（1961）：霞ヶ浦におけるワカサギの漁業生物学的研究IV．茨城内水試調査研究報告，6，1-64.
- 春日清一（1982）：イサザアミ (*Neomysis intermedia*) の食性と，その霞ヶ浦における生態的地位，国立公害研究所調査報告，22，139-156.
- 川前政幸（1991）：フナ，コイの産卵場としての水生植物帯の機能について．茨城県内水面水産試験場調査研究報告，27，135-166.
- 建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所（1980）：霞ヶ浦の生物．茨城県行方群潮来町.
- 熊丸敦郎（2003）：霞ヶ浦における近年のワカサギ資源変動要因について．茨城県内水面水産試験場調査研究報告，38，1-18.
- 松原尚人（1994a）：霞ヶ浦・北浦におけるプランクトンの動態Ⅰ．茨城県内水面水産試験場調査研究報告，30，78-96.
- 松原尚人（1994b）：霞ヶ浦・北浦におけるプランクトンの動態Ⅱ．動物プランクトン個体数の長期的変動．茨城県内水面水産試験場調査研究報告，30，97-106.
- 松岡正信・三谷卓美（1989）：長崎港近海で採集され

たマイワシ卵のふ化飼育（予報）．西海区水研報，67，15-22.

- 水野壽彦（1980）：日本淡水プランクトン図鑑．保育社，大阪.
- 中川 恵・高村典子・松重一夫（2000）：霞ヶ浦における水質及びプランクトン群集の季節変動．国立環境研究所研究報告，153 (R-153-2000)，173-190.
- 根本隆夫・久保田次郎・中村 誠・杉浦仁治（1997）：霞ヶ浦水系におけるアユの生態学的研究-Ⅱ 北浦産1995年級群について．茨城県内水面水産試験場，33，1-16.
- 高橋 惇・位田俊臣・中村 誠・鈴木健二（1980）：北浦におけるワカサギ産卵場の堆積物の粒度組成について．ミチューリン生物学研究，16 (1, 2)，91-107.
- 富永 敦・半澤浩美・野内孝則・荒山和則（2013）：霞ヶ浦における魚類および甲殻類の現存量の経年変化．陸水学雑誌，74，1-14.
- 富永 敦（2009）：北浦潮来地先における1980年頃と2007年のワカサギとシラウオの産卵状況の比較．茨城内水試研究報告，42，15-19.
- 碓井 星二・加納 光樹・荒山 和則・中里 亮治（2010）：北浦の沿岸帯におけるクルマサヨリ稚仔魚の生息場所利用パターン．日本生物地理学会会報，65：29-38.
- 安野正之・森下正彦・花里孝幸（1981）：霞ヶ浦高浜入の動物プランクトンの現存量の推移．国立公害研究所研究報告，22 (R-22-'81)：149-157.