

有明海におけるカイアシ類ノープリウスの分布・変動特性

岡崎雄二^{†1}, 細江祐子², 野中裕子³, 中田英昭⁴

Spatial and Temporal Distribution of Copepod Nauplii in Ariake Bay

Yuji OKAZAKI^{†1}, Yuko HOSOE², Yuko NONAKA³ and Hideaki NAKATA⁴

We examined the spatial and temporal distribution of copepod nauplii in Ariake Bay. Surface density of copepod nauplii was high in the inner and center part of the bay, and lower toward the outer bay. Nauplii density increased in summer, which attained to over 9000 individuals l^{-1} , and declined in winter. Their density was high in the upper layer (0-5 m depth) during summer and autumn, and the high density was correspondent with high chlorophyll *a* concentration. Most of the copepodites (including adult stage) were *Oithona* spp.; they were the most abundant in summer. Chlorophyll *a* concentration and copepod nauplii density were higher in the neap tide comparing to those in the spring tide, suggesting that differences in oceanographic conditions (eg. transparency and vertical stratification) due to the change in intensity of tidal mixing may strongly control plankton distribution in Ariake Bay.

Key words: Ariake Bay, copepod nauplii, copepodites, chlorophyll *a*, tidal mixing

はじめに

有明海は典型的な閉鎖性内湾であるが、大きな潮汐、筑後川をはじめとする大小の河川からの懸濁物による濁りと広大な干潟域の存在によって特徴づけられ、国内の他の内湾（例えば東京湾や伊勢湾）とは環境が大きく異なる。こうした特異な海洋環境はそこに生息する生物の分布や生態などに大きな影響を及ぼし、高い漁業生産を生み出す要因となっていると考えられる。有明海には250種以上の魚類が生息しており、これらの魚類はその生態から、有明海の独立系群、産卵来遊群、普遍的な沿岸性・内湾性群および湾外・外洋性群の4グループに分けられる（田北、2000）。4グループのうち前3者に属する魚類は、有明海を主な産卵・成育場としており、様々な魚種について初期生活史に関する研究が行われている（田北、1974；松宮ほか、1981；

田北・Intong, 1991）。有明海に分布する魚類の稚魚・幼魚期の成育場は、湾奥部の河口域や干潟域周辺に形成される場合が多い（日本海洋学会沿岸海洋研究部会編、1990）。ところが、魚種によっては産卵場と稚魚・幼魚期の成育場とは必ずしも一致しておらず（例えばスズキやマナガツオ）、また産卵場と成育場が近接する魚類（例えばハゼ類やコノシロ）においても多くの種類で浮遊仔魚期を送ることが知られている（道津、1979；山本ほか、1997）。浮遊仔魚期の生残の多寡はその後の加入量変動にも関係するため、産卵場と成育場をつなぐ浮遊仔魚期における生残過程の把握は重要な課題と考えられる。

カイアシ類ノープリウスが、仔魚の消化管内容物に見いだされることは広く知られている（田中、1980；池脇・澤田、1991）。上述したように有明海は様々な魚類の産卵・成育場として利用されているが、カイアシ類やそのノープリウスに関する調査は1970年代から1980年代にかけて行われているものの（Hirota and Tanaka, 1985；Hirota, 1990；広田、1970；中島、1983）、それ以降の研究は少なく、湾全体を総観した餌料生物に関する研究は乏しい。

そこで、本研究では有明海におけるカイアシ類ノープリウスの水平・鉛直分布の季節変化を明らかにし、水温、塩分およびクロロフィル*a*濃度との対応関係について検討した。また、潮差や濁りが大きな内湾では、大潮期・小潮期の成層構造の相違によってクロロフィル*a*量に変化することが報告されている（Cloern, 1991）ので、大潮期と小潮期

2004年7月26日受付、2004年11月24日受理

¹ 独立行政法人水産総合研究センター東北水産研究所
Tohoku National Fisheries Research Institute, 3-27-5 Shinhana,
Shiogama, Miyagi 985-0001, Japan

² 長崎大学大学院生産科学研究科
Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University, 1-14
Bunkyo-Machi, Nagasaki 852-8521, Japan

³ 株式会社タケエイ
Takeei Co. Ltd, 7-20-10 Nishikasai, Edogawa, Tokyo 134-8611, Japan

⁴ 長崎大学水産学部
Faculty of Fisheries, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-Machi,
Nagasaki 852-8521, Japan

[†] okazakiy@affrc.go.jp

Table 1. Sampling date and method for oceanographic observation and depth layers of water sampling.

Year	Date	Sampling stations	Oceanographic observation	Sampling layer (m)
2001	14 June	10	STD	0
	11 July	13	STD	0
	25 October	16	Clorotec	0
	1 November	17	Clorotec	0
	14–16 December	15	Clorotec, CTD	0, 10, 20, 30
2002	2 July	8	Clorotec	0
	22 August	18	Clorotec	0
	28 August	14	Clorotec	0
	2 October	12	Clorotec	0
	1–3 November	6	CTD	0, 10, 20, 30
2003	23–24 April	6	CTD	0, 10, 20, 30
	2 July	18	Clorotec	0, 5, 10, 20
	22 July	18	Clorotec	0, 5, 10, 15, 20
	6 August	18	Clorotec	0, 3, 5, 10
	11 September	18	Clorotec	0, 3, 5, 10*
	17–19 October	6	CTD	0, 10, 30
	22 October	18	Clorotec	0, 3, 5, 10*

* 3, 5 and 10 m layer samples for copepod nauplii did not collected.

でのクロロフィル a 濃度の変化がノープリウス分布に与える影響について合わせて検討した。

材料と方法

調査は2001年6月から2003年11月の間に計17回を実施した (Table 1)。調査点は年によって異なるが、Fig. 1に示したように湾口部の口之津沖から湾奥の竹崎沖までの範囲に設定した。なお、2001年は湾口から湾奥まで広く観測し、2002年と2003年は湾中央から湾奥部にかけて重点的に観測した。

各観測点では、水温・塩分などの測定をSTD (AST-1000, アレック電子製) やクロロテック (ACL220-PDK, アレック電子製) またはCTD (SBE-911 plus, SeaBird製) を用いて行った。同時に、バケツで表面海水を採水し、カイアシ類計数およびクロロフィル a 測定用のサンプルとした。また、ニスキン採水器を用いた2001年12月、2002年11月および2003年4月と10月の調査では全測点で各層採水を行い、2003年7月から10月の調査ではバンドン採水器を用いて基本的に一測点おきに各層採水を行った。採水層はTable 1に示した。

カイアシ類サンプルは、海水1lを小型のプランクトンネット(20 μ m)で濾過濃縮して、中性ホルマリンで最終濃度が5%となるように固定した。カイアシ類ノープリウス期 (以下、ノープリウス) は種類に分けず全数計数し、コペポダイト期 (以下、コペポダイト) は *Oithona* (オイト

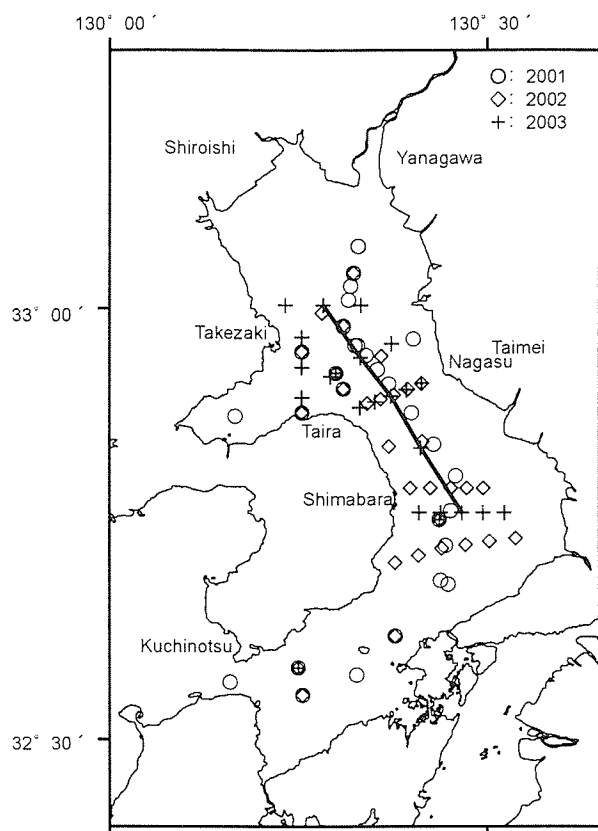


Figure 1. Location of the sampling stations in 2001(○), 2002 (◇) and 2003 (+). The bold line indicates the transect for vertical profiles shown in Figs. 7 and 8.

ナ属)、Calanoida (カラヌス目)、その他に分けて計数した。クロロフィル a 濃度は、採水した海水50mlをGF/Fフィルターで濾過後、ジメチルホルムアミド (N,N-Dimethylformamide) で抽出し (Suzuki and Ishimaru, 1990) 蛍光法で測定した。また、実測したクロロフィル a データによってクロロテックによって得られた蛍光値の較正を行った。湾内の密度成層と密接に関わる降水量のデータとしては、気象庁アメダスの福岡県柳川、佐賀県白石、熊本県岱明における値を用いた (Fig. 1)。

結果

カイアシ類の水平分布

Fig. 2は、有明海の湾口から湾奥部にかけての縦断面 (Fig. 1) における表層クロロフィル a 濃度、ノープリウスおよびコペポダイトの個体数密度の分布パターンを示したものである。湾口部の口之津沖から湾奥に向かうにしたがいクロロフィル a 濃度とノープリウス密度は増加傾向にあり (Fig. 2)、両者の間には有意な正の相関関係がみられた (Spearman ρ , $n=240$, $r=0.48$, $p<0.01$)。とくに、湾奥部の竹崎沖付近でノープリウス密度は高くなり、最大密度は

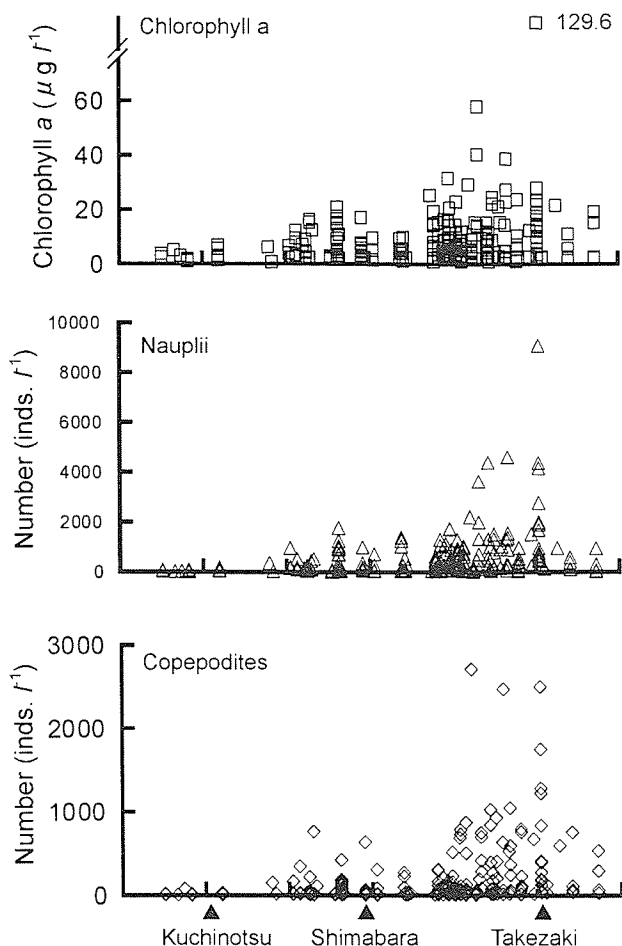


Figure 2. Spatial distributions of chlorophyll *a* concentration and densities of copepod nauplii and copepodites (including adult stage) in the surface water along the latitudinal order in Ariake Bay. Left hand and right hand side correspond to outer and inner bay, respectively.

2003年7月22日に9065個体 l^{-1} であった。また、コペポダイトの密度もノープリウスと同様に湾奥部で高い傾向を示し、クロロフィル*a*濃度との間に有意な正の相関関係がみられた (Spearman ρ , $n=240$, $r=0.56$, $p<0.01$)。Fig. 2には採集を行った全点のデータをプロットしたため、年変化や季節変化などの影響を受けて変動は大きいものの、湾奥部のノープリウスやコペポダイトの高密度分布は基本的に高いクロロフィル*a*濃度の影響を受けているものと考えられる (Fig. 3)。

カイアシ類個体数密度の季節変化

月別平均表面水温は、春から夏にかけて上昇し、夏から冬にかけて下降する季節変化を示した (Fig. 4a)。一方、月別の平均表面塩分は、7月と9月に30 psu以下になるほかは年間を通して30 psu以上であり、冬季から春季にかけてはとくに塩分が高くなる傾向がみられた (Fig. 4b)。表面のクロロフィル*a*濃度の増加は塩分低下と一致していたが、

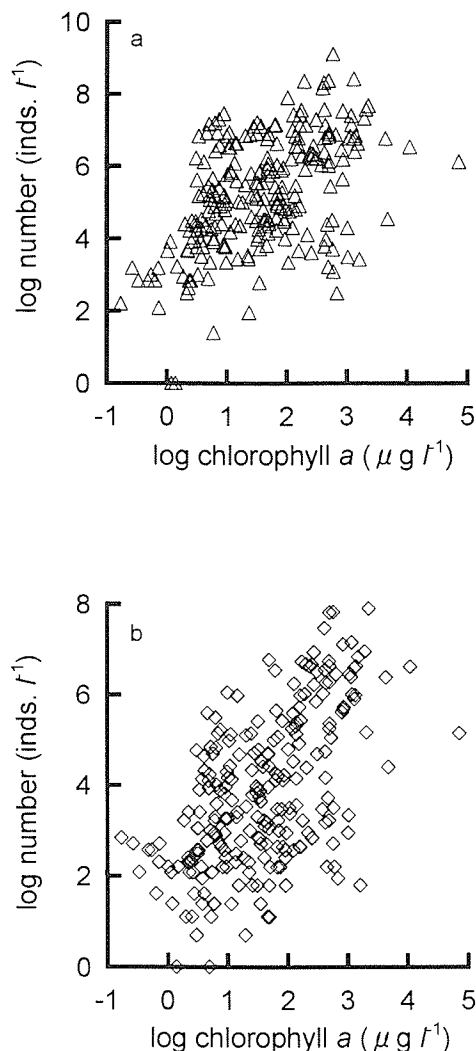


Figure 3. Relationships between chlorophyll *a* concentration and densities of copepod nauplii (a) and copepodites (b) in the surface water.

10月は塩分の上昇にもかかわらずクロロフィル*a*濃度は高い傾向にあった (Fig. 4c)。表面のノープリウスとコペポダイトの個体数密度は、7月、9月に高く、低塩分・高クロロフィル*a*濃度に対応して増加する傾向を示した (Fig. 4d)。クロロフィル*a*濃度が高かった10月には、ノープリウスの増加は認められず、冬から春にはノープリウス・コペポダイトともに個体数密度は低下した。

コペポダイトの群集組成をみると夏季を中心に *Oithona* 属 (大多数は *Oithona davisae*) が卓越していたことが分かる (Fig. 5)。また、*Oithona* 属は、6月から10月まで平均で78.2%を占め、7月 (92.8%) に最も卓越していた。各年の *Oithona* 属の個体数密度の最大値は、7月にそれぞれ910個体 l^{-1} (2001年)、736個体 l^{-1} (2002年) および2705個体 l^{-1} (2003年) であった。

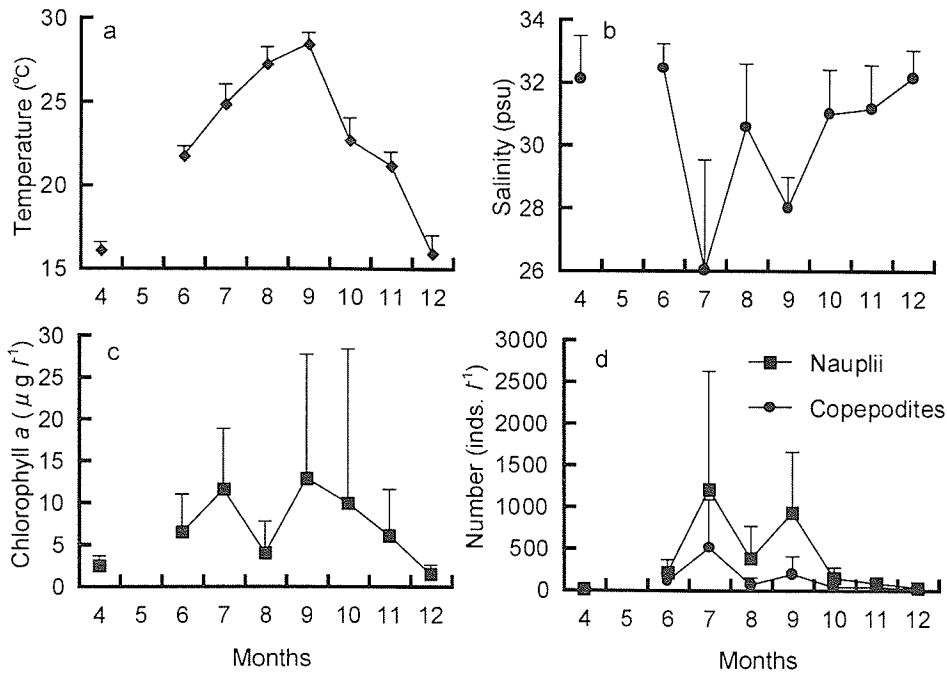


Figure 4. Seasonal variations in surface water temperature (a), salinity (b), chlorophyll *a* concentration (c) and copepod nauplii and copepodites densities (d) in Ariake Bay. Symbols and vertical bars show mean values and standard deviations, respectively.

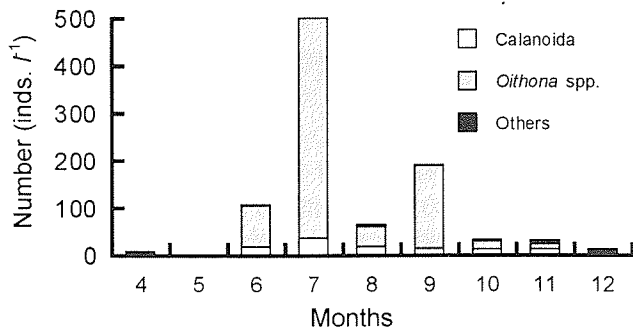


Figure 5. Seasonal variation of copepodites (including adult stage) in Ariake Bay. The height of bars show monthly mean values.

ノープリウス個体数密度の鉛直分布

ノープリウスの鉛直分布を Fig. 6 に季節別に示す。夏季 (6月, 7月および8月) は, 垂表層 (3~5m) で800~1200個体 l^{-1} と高く下層に向けて減少した。秋季 (9月, 10月および11月) は海表面で200個体 l^{-1} 程度の密度を示したが, 夏季のような垂表層の極大は見られなかった。冬季 (12月) や春季 (4月) は鉛直方向の密度変化は夏季や秋季に比較して小さく, 密度も10~20個体 l^{-1} 程度と低かった。クロロフィル *a* 濃度は, 夏季から秋季にかけて表層付近 (5m以浅) で高かった (Fig. 6)。クロロフィル *a* 濃度とノープリウスの鉛直分布には, 春季を除いて有意な正の相関関係が認められた (Spearman ρ ; 夏季: $n=219, r=0.57,$

$p<0.01$; 秋季: $n=132, r=0.58, p<0.01$; 冬季: $n=32, r=0.46, p<0.01$)。

大潮期・小潮期におけるノープリウス分布の変化

大潮期・小潮期での密度成層構造の違いがクロロフィル *a* 濃度とノープリウス分布におよぼす影響を明らかにするために, 夏季の観測例 (大潮期: 2002年8月22日, 2003年7月2日, 小潮期: 2003年7月22日, 2003年8月6日) について解析した。内湾の密度成層には, 降雨量の変化に対応した塩分変化が大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで, 観測日前日から5日前までの降水の有無に注目しながら, 湾中央を縦断する測線 (Fig. 1) について大潮期・小潮期の塩分, シグマ t およびクロロフィル *a* 濃度 (較正值) とノープリウス個体数密度の鉛直分布の変化を比較した。2002年8月22日には各層採水を行っていないためノープリウス分布は表層のみを図示した。柳川, 白石および岱明の5日間の累積降水量は2002年8月22日と2003年8月6日は0mmであり, 2003年7月2日と2003年7月22日はそれぞれ73~122mm (平均: 104mm) と11~165mm (平均: 97mm) であった。

降水が無い場合 (Fig. 7), 大潮期・小潮期ともに湾奥部から湾中央にかけての表層低塩分水の形成は (Fig. 7a, b), 降水が多い場合 (Fig. 8a, b) に比べて顕著ではなく, シグマ t の鉛直分布に示されるように, 大潮期は鉛直的によく混合していたのに対して (Fig. 7c), 小潮期には垂表層付近 (水深約5m) に強い密度躍層が見られた (Fig. 7d), これに対

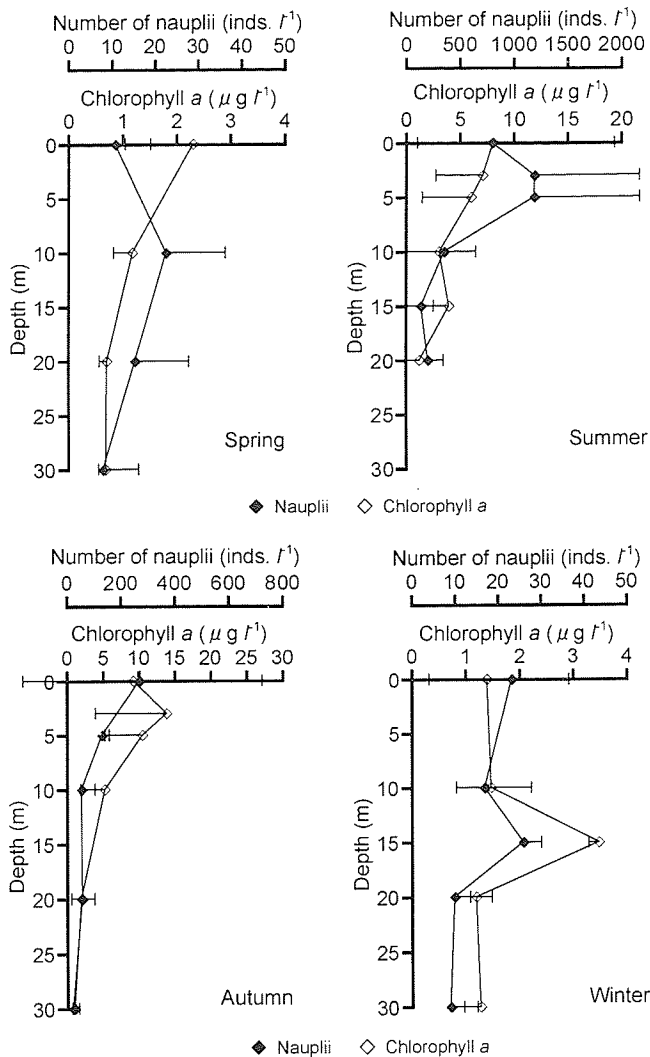


Figure 6. Vertical distributions of copepod nauplii and chlorophyll a in spring (April), summer (June, July and August), autumn (September, October and November) and winter (December).

応じて、小潮期にはクロロフィルaの垂表層極大が形成されており (Fig. 7f), そこでノープリウス密度も高くなる傾向にあった。大潮期はクロロフィルaの垂表層極大は見られずその濃度や表層のノープリウス密度も全体に低かった (Fig. 7e)。このように、降水の影響が少ない場合は、成層が強くなる小潮期にクロロフィル極大が垂表層に形成されそこでノープリウス密度も高くなることが分かった。

一方、降水が多い場合は (Fig. 8), 大潮期・小潮期ともに低塩分水が湾奥から湾央の表層に広がり (Fig. 8a, b), 塩分分布に対応して表層付近 (0~5 m) に密度躍層が見られ (Fig. 8c, d), とくに湾奥部の表層でクロロフィルa濃度とノープリウス密度は高い傾向を示した (Fig. 8e, f)。河川からの淡水流入は成層化と栄養塩の供給に結びつくことから

(堤ほか, 2003), クロロフィルa濃度は大潮期・小潮期ともに表層付近で増大してノープリウス密度もそこで高くなっていた。また、鉛直混合が弱まる小潮期のクロロフィルa濃度とノープリウス密度はいずれも大潮期に比べて高い値を示した。

考察

有明海におけるカイアシ類ノープリウス密度は湾口部で低く湾奥部に向けて高くなる傾向を示した。一般にノープリウス密度は、沖合で低く沿岸、内湾で高くなる傾向を示し (田中, 1981b), 過去の有明海における調査においても湾奥部に向けて密度の増加が認められている (中島, 1983)。また、ノープリウス密度は夏季を中心に高くなる明瞭な季節変動を示し、これは伊勢湾・三河湾の結果 (船越ほか, 1983) とよく一致していた。これらは、本研究で得られた有明海のノープリウス分布のパターンやその季節変動が国内の一般的な内湾と同様であることを示している。しかしながら、夏季における密度は平均で1000個体 l⁻¹程度であり、最大で9000個体 l⁻¹を超えていた。このような高密度分布は、日本の代表的な内湾である東京湾の湾奥部 (最大密度5600個体 l⁻¹, 平均2600個体 l⁻¹; 丸茂ほか, 1976), 広島湾 (最大密度3876個体 l⁻¹; 上・山岡, 1990) および三河湾 (最大密度1514個体 l⁻¹; 船越ほか, 1983) に匹敵するかそれ以上であり、極めてノープリウス密度の高い海域と言える。仔魚の生残に必要な限界餌密度は、1リットルあたりカイアシ類ノープリウス100~1000個体程度であり、また種苗生産の現場においてはシオミズツボムシ1000~5000個体 l⁻¹程度で飼育を行っている (田中, 1981a)。このことは、夏季の有明海の湾央から湾奥部が仔魚の餌環境として極めて良好であることを示唆している。そのため、この海域に生息する魚類資源の加入には餌環境よりもむしろ輸送条件や被食の影響が大きいと考えられる。一方、冬季から春季にかけてのノープリウス密度は数10個体 l⁻¹程度と低く、この時期に出現する仔稚魚にとっては餌条件は厳しいことが示唆される。

有明海では1970年代に行われた調査報告でも *Oitona* 属の卓越が報告されており、5月から7月にかけての全カイアシ類 (成体とコペポダイト) に占める *O. davisae* の割合は70%以上、最大で99.8%に達すると報告されている (Hirota and Tanaka, 1985)。本研究においても、*Oitona* 属の全コペポダイトに占める割合は、6月から10月までの期間の平均で78.2%、最大であった7月に92.8%を占めた。また、*Oitona* 属の個体数密度も7月に最大となり、個体数密度の最大値は2000個体 l⁻¹を超えていた。このように、有明海の *Oitona* 属の卓越程度は30年前からほとんど変化していないが、分布密度に関しては Hirota and Tanaka (1985) によって報告された最大密度 (1337個体 l⁻¹) を大きく超える測点も存在しており注目される。東京湾では底層での貧

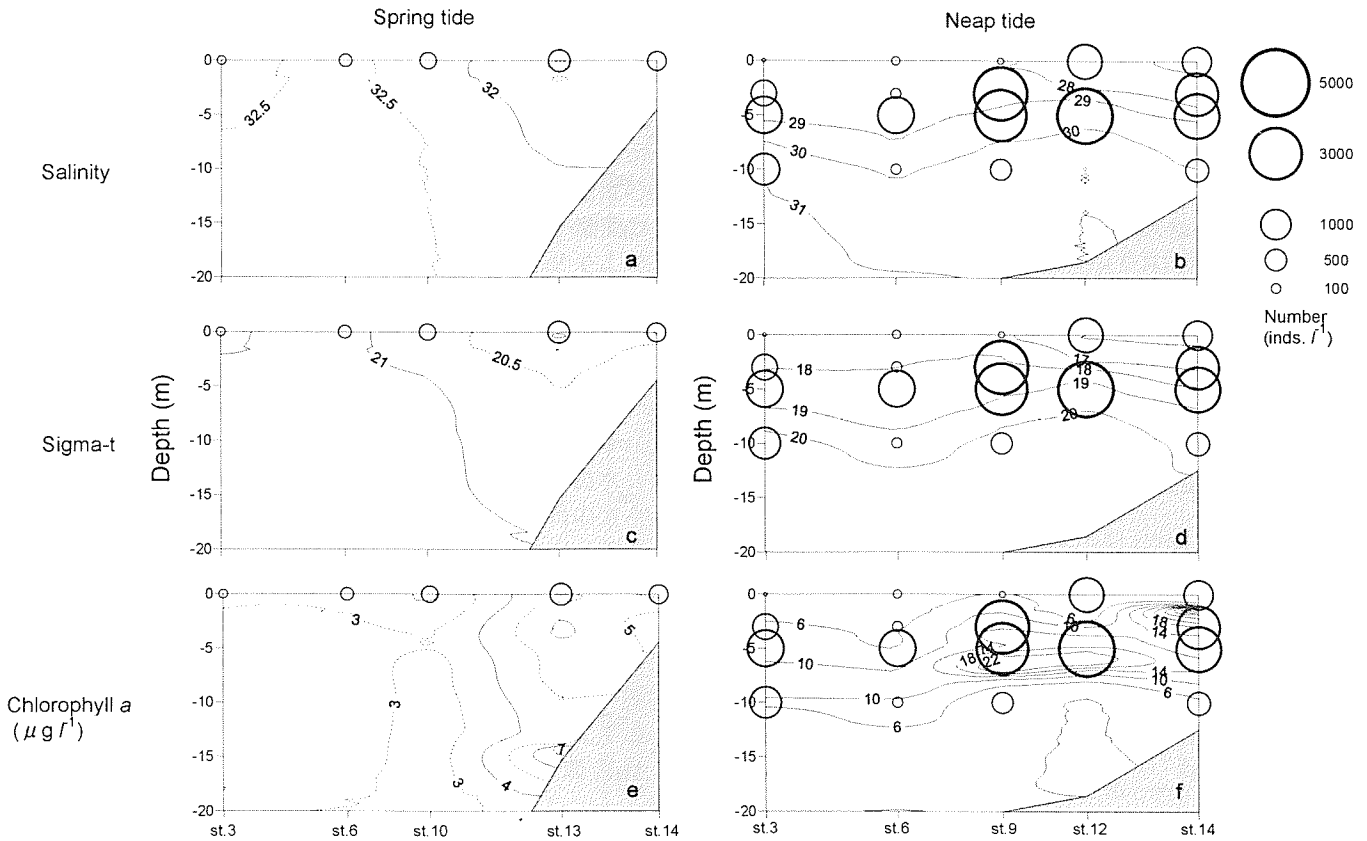


Figure 7. Vertical sections of salinity (a, b), sigma-*t* (c, d) and chlorophyll *a* concentrations (e, f) along the transect (shown in Fig. 1) for the spring tide (left panels; 22 August 2002) and the neap tide (right panels; 6 August 2003). Diameters of the circles are proportional to copepod nauplii density as scaled in the figure. Vertical sample collections for copepod nauplii did not conducted in the spring tide.

酸素の進行が非抱卵型のカイアシ類 (*Acartia* や *Paracalanus*) の卵の生残率を低下させ、抱卵型のカイアシ類である *Oithona* 属の卓越を加速させた可能性が指摘されており (Uye, 1994)、湾奥部底層での貧酸素水塊の形成 (東, 2000) や渦鞭毛藻・ラフィド藻による赤潮の頻発 (堤ほか, 2003) がみられるようになった有明海においても、今後 *Oithona* 属の卓越程度がさらに進む可能性がある。カイアシ類の種類やサイズの組成変化は、それを餌とする仔稚魚の生残やその後の加入量変動に密接に関連することから (Beaugrand *et al.*, 2003)、今後の推移について注意を払う必要がある。

瀬戸内海における *O. davisae* の密度についても夏季を中心に高くなることが報告されているが (Uye and Sano, 1995)、それはクロロフィル *a* 濃度の季節変化とは必ずしも一致しない。この不一致の要因として、*O. davisae* がケイ藻より渦鞭毛藻を主に摂餌していること (Uchima and Hirano, 1986) や夏季の高水温による成長阻害さらにはクラゲ類などによる被食の影響が示唆されている (Uye and Sano, 1995)。本研究においても水温の高い8月やクロロ

フィル *a* 濃度の高い10月にノープリウスや *Oithona* 属コペポダイトの密度の低下が見られた。本研究では植物プランクトン組成や捕食者の調査を行っていないためカイアシ類の餌組成や被食の影響についての詳しい検討はできないが、有明海では秋季から冬季にケイ藻の赤潮が見られることが報告されており (堤ほか, 2003)、また目視ではあるが2002年と2003年の8月の調査時には大量のクラゲ類の出現を確認した。カイアシ類成体の餌の質的变化や捕食者の出現が、*Oithona* の卓越する有明海においてもノープリウス密度の変動を左右している可能性がある。

ノープリウスの鉛直分布については、クロロフィル極大層との一致やそれに対応したノープリウス自身の能動移動との関連などが示唆されている (船越, 1984; 上・山岡, 1990; 澤田, 1996)。本研究の結果、クロロフィル *a* 濃度とノープリウス密度の間には、水平分布・鉛直分布のいずれについても正の相関関係が見られたことから、有明海のノープリウス密度は基本的にクロロフィル *a* 濃度の変化に対応して変化しているものと考えられる。

有明海の筑後川河口域における植物プランクトン量の消

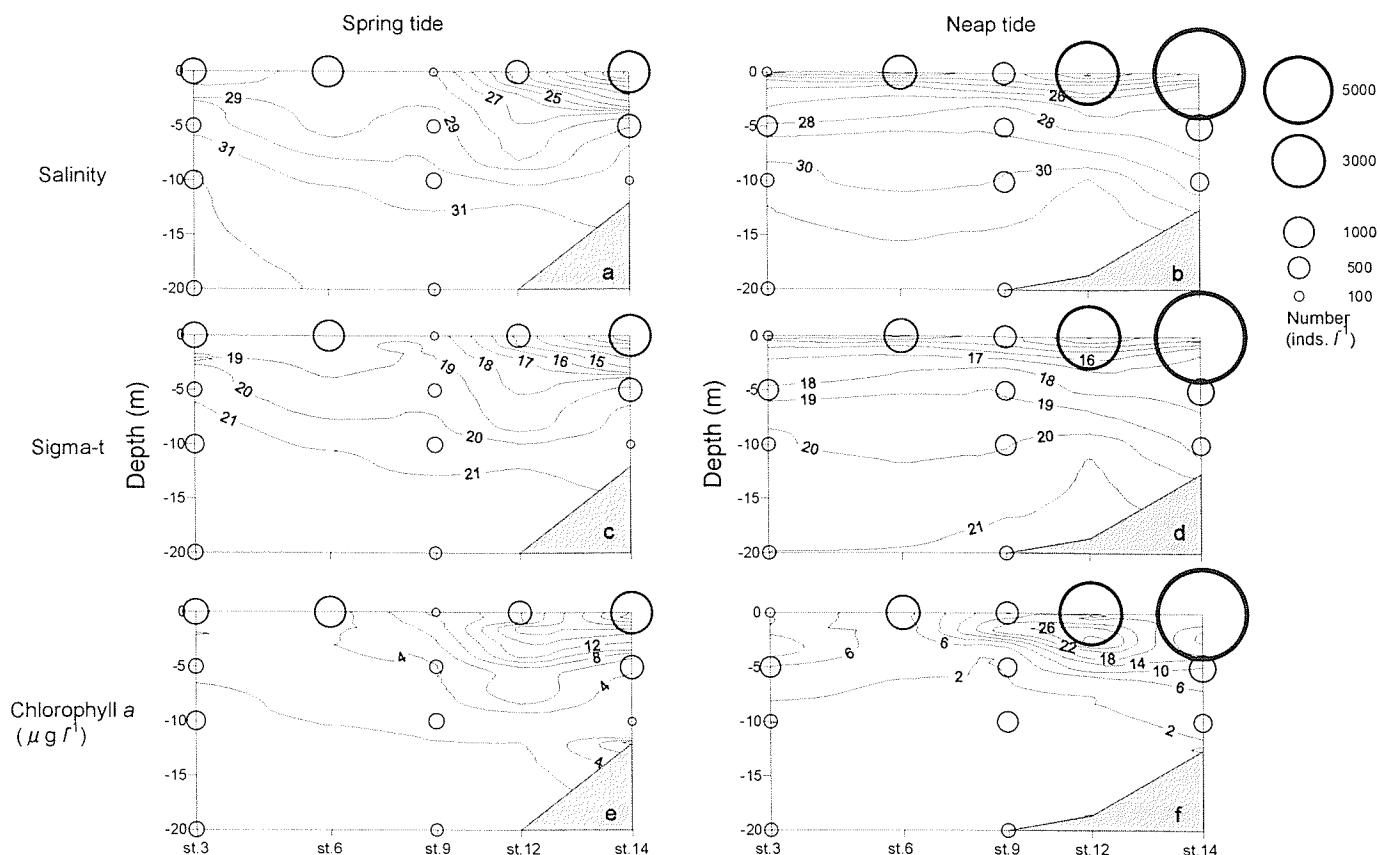


Figure 8. Vertical sections of salinity (a, b), sigma-t (c, d) and chlorophyll a concentrations (e, f) along the transect (shown in Fig. 1) for the spring tide (left panels; 2 July 2003) and neap tide (right panels; 22 July 2003). Diameters of the circles are proportional to copepod nauplii density as scaled in the figure. These sections were obtained after more rain conditions than those shown in Fig. 7 (see the text for detailed).

長には、潮汐混合に伴う浮泥が大きく影響しており、小潮時の潮汐混合の低下が透明度を上昇させ植物プランクトンの増殖を促していることが示されている(田中ほか, 2004)。また、北米・サンフランシスコ湾では、植物プランクトンの春季ブルームが小潮時に発生することが知られており、潮汐周期の鉛直成層構造の変化が植物プランクトン量の変動要因の一つとなっていることが報告されている(Cloern, 1991)。Fig. 7で示したように、小潮期の成層化は亜表層でのクロロフィル極大層を形成し、そこではノープリウスの高密度分布が見られた。このようなノープリウス極大層の形成には、小潮期の鉛直混合の低下による成層化(Cloern, 1991)と透明度の上昇(田中ほか, 2004)がクロロフィルa濃度を増加させカイアシ類の生産速度を増大させていることが重要な要因と考えられる。すなわち、潮汐周期の鉛直成層構造と透明度の変化は基礎生産を経由して二次生産にも大きな影響を及ぼしていることを示唆している。このような潮汐混合に伴う植物プランクトン量の変化についてはいくつか報告されてきたが、動物プランクトン量に及ぼす影響についてはこれまでよく分かっていなかった。大潮期

における成層構造とノープリウス密度の関係は表面採集のみの検討であり、今後、大潮期から小潮期にかけて連続調査を行い、潮汐周期のプランクトン量の変動をより詳細に明らかにする必要がある。

ノープリウス極大層の形成には他に、好適な環境への移動とそこで滞留するノープリウスの能動遊泳行動が集中分布に大きく関与することが示唆されている(澤田, 1996)。また、成層構造とノープリウス分布の関連性は不明であるが、密度躍層中では鉛直拡散係数が小さいことから(高杉ほか, 1996)生物の滞留が生じやすい可能性が考えられる。一方、有明海の浅海域(水深4~5 m)における*O. davisae*の微細分布に関する研究(Hirota, 1990)から、潮流が弱まった際に表層付近にそのスームが形成されることが報告されている。本研究では潮汐の位相に合わせた調査は行っていないが、小潮期(調査開始から終了までの時間帯は上げ潮時)における亜表層のノープリウス高密度分布は全点で見られており(Fig. 7)、潮流の変化によるスームと亜表層極大の形成の関連性は小さいと考えられる。したがって、小潮期におけるノープリウスの亜表層極大の形成

は、クロロフィル a 濃度の増加に伴うカイアシ類の卵生産の増大に加え、躍層中の鉛直拡散の減少とノープリウスの能動遊泳行動が影響を及ぼしていると推察される。

以上をまとめると、有明海では夏季を中心にカイアシ類ノープリウス密度が極めて高く、河川流入の増大が植物プランクトンを増殖させ、それがさらにノープリウス密度の増加を促していることが推察された。それに加え小潮期の成層化は、クロロフィルの亜表層極大を発達させそこでノープリウス密度を増大させることが分かった。これは、濁りと潮汐振幅の大きな有明海の浮遊生態系における生物生産メカニズムの特徴を示すものといえよう。

謝 辞

観測にご協力頂いた、長崎大学水産学部練習船「鶴水」、「鶴洋丸」および「長崎丸」の船長ならびに乗組員の方々に感謝申し上げます。また、クロロフィル a データの一部を提供して頂いた長崎大学水産学部の石坂丞二教授ならびに東家康晴氏に御礼申し上げます。さらに、調査の実施にあたり協力を頂いた長崎大学水産学部中田研究室の大学院生ならびに4年生各位に感謝の意を表す。なお、本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(S)「有明海の環境変化が漁業資源に及ぼす影響に関する総合研究(課題番号13854006)」によって実施された。

引用文献

- 東 幹夫 (2000) 諫早湾干拓事業の影響。有明海の生き物たち—干潟・河口域の生物多様性—, 佐藤正典編, 海游社, 東京, 320-337.
- Beaugrand, G., K. M. Brander, J. A. Lindley, S. Souissi and P. C. Reid (2003) Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. *Nature*, **426**, 661-664.
- Cloern, J. M. (1991) Tidal stirring and phytoplankton bloom dynamics in an estuary. *J. Mar. Res.*, **49**, 203-221.
- 道津喜衛 (1979) ハゼ亜目魚類の卵と仔稚魚, 月刊海洋科学, **11**, 111-116.
- 船越茂雄・村中文夫・池田 正 (1983) カタクチイワシの初期餌料環境と生残り-I—駿河湾から熊野灘海域における橈脚類ノープリウス幼生の分布—, 水産海洋研究会報, **44**, 76-86.
- 船越茂雄 (1984) カタクチイワシの初期餌料環境と生残り-II—クロロフィル a および橈脚類ノープリウス幼生の極大層と仔魚の分布—, 水産海洋研究会報, **45**, 21-30.
- 広田禮一郎 (1970) 有明海・八代海のプランクトン相, II. 有明海のプランクトン既知種, *CALANUS*, **2**, 31-46.
- Hirota, R. and Y. Tanaka (1985) High abundance of *Oithona davisae* (Copepoda: Cyclopoida) in the shallow waters adjacent to the mud flats in Ariake-kai, western Kyusyu. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **32**, 169-170.
- Hirota, R. (1990) Microdistribution of the marine copepod *Oithona davisae* in the shallow waters of Ariake-kai mud flats, Japan. *Mar. Biol.*, **105**, 307-312.
- 池脇義弘・澤田好史 (1991) 海産仔魚の食性, 魚類の初期発育, 田中 克編, 恒星社厚生閣, 東京, 86-104.
- 丸茂隆三・村野正昭・中井俊介・石丸 隆・西田周平 (1976) 東京湾の有鐘織毛虫(Tintinninea), 東京湾の生物群集と有機汚濁の関心の解析的研究, 宝月欣二編, 34-42.
- 松宮義晴・上之蘭修一・田中 克・代田昭彦・山下輝昌 (1981) 有明海筑後川河口域におけるスズキ稚魚に関する研究—I, 河口域における分布と現存量, 水産海洋研究会報, **38**, 6-13.
- 中島純子 (1983) 有明海における低次生物生産量の推定—I, 陽光丸調査研究報告, **5**, 188-191.
- 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編 (1990) 有明海, 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版協会, 東京, 815-878.
- 澤田好史 (1996) 若狭湾西部におけるカイアシ類ノープリウス幼生の濃密分布層形成, 水産海洋研究, **60**, 26-35.
- Suzuki, R. and T. Ishimaru (1990) An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using n,n-dimethylformamide. *J. Oceanogr.*, **46**, 190-194.
- 高杉山夫・安田秀一・肥後竹彦・埜口英昭 (1996) 周防灘西部における海洋構造と鉛直混合強度の分布, 中国工業技術研究所報告, **47**, 1-14.
- 田北 徹 (1974) 有明海産コイチの初期生活史に関する研究, 長崎大学水産学部研究報告, **38**, 1-55.
- 田北 徹・S. Intong (1991) 有明海におけるトラフグとシマフグの幼期の生態, 日本誌, **57**, 1883-1889.
- 田北 徹 (2000) 魚類, 有明海の生き物たち—干潟・河口域の生物多様性—, 佐藤正典編, 海游社, 東京, 213-248.
- 田中勝久・児玉昌史・熊谷 香・藤本尚伸 (2004) 有明海筑後川河口域における冬季のクロロフィル蛍光と濁度変動, 海の研究, **13**, 163-172.
- 田中 克 (1980) 海産仔魚の摂餌と生残り—I, 天然海域における食性, 海洋と生物, **11**, 440-447.
- 田中 克 (1981a) 海産仔魚の摂餌と生残り—II, 生残に必要な限界餌料密度の推定, 海洋と生物, **12**, 63-68.
- 田中 克 (1981b) 海産仔魚の摂餌と生残り—IV, 天然海域における餌生物の密度, 海洋と生物, **15**, 293-299.
- 堤 裕昭・岡村絵美子・小川満代・高橋 徹・山口一岩・門谷 茂・小橋乃子・安達貴浩・小松利光 (2003) 有明海奥部海域における近年の貧酸素水塊および赤潮発生と海洋構造の関係, 海の研究, **12**, 291-304.
- Uchima, M. and R. Hirano (1986) Food of *Oithona davisae* (Copepoda: Cyclopoid) and the effect of food concentration at the first feeding on the larval growth. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **33**, 21-28.
- 上 真一・山岡 達 (1990) 広島湾におけるカタクチイワシ仔魚の餌料環境: 橈脚類ノープリウスの鉛直・水平分布, 水産海洋研究, **54**, 341-351.
- Uye, S. (1994) Replacement of large copepods by small ones with eutrophication of embayments: cause and consequence. *Hydrobiologia*, **292/293**, 513-519.
- Uye, S. and K. Sano (1995) Seasonal reproductive biology of small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **118**, 121-128.
- 山本圭吾・中島昌紀・辻野耕實 (1997) 大阪湾における魚類卵稚仔の鉛直分布について, 大阪府立水産試験場報告, **10**, 1-17.