

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

澤田 好史^{* **}

High density layer formation of Copepoda nauplii in the western Wakasa Bay

Yoshifumi SAWADA

Abstract

Subsurface distribution of copepod nauplii was investigated in the western Wakasa Bay, Central Japan. Samples were taken from a transect every month from May to August 1985, and in July 1988. Nauplii density was very high in June and July 1985, when *Oithona*, Paracalanidae and Pseudocalanidae nauplii formed high density (>50 inds/l) layers above 10 m depth and *Microsetella* nauplii formed deeper one below 10 m. The shallower high density layer was a few meters thick and the deeper one was 10 meters thick or more. These layers extended horizontally from several to some tens of kilometers. The shallower high density layers were formed mainly in the water affected by the run-off from Maizuru Bay and Yura River. Accordingly, the formation and extension of these layers principally depended on the extension of this water to offshore. The deeper high density layers were in the water of different physical property, especially in temperature, from that of the shallower layers. The formation mechanism of high density layers were discussed.

1. 緒言

カイアシ類のノープリウス幼生は天然海域における魚類仔魚期の餌生物として重要であり(例えば、池脇・澤田, 1991; 田中, 1980), 魚類の仔魚期における生残を考える場合その分布の把握は欠くことができない。日本沿岸のカイアシ類ノープリウス幼生の分布については、これまで太平洋岸や瀬戸内海での研究例はあるが、日本海側における調査研究があまり行われておらず、同海域での分布については不明な点が多い。

魚類では種によって仔魚の分布、仔魚の餌サイズ(Ikewaki and Tanaka, 1993; 魚谷ら, 1978)や種類(Last, 1978a, 1978b, 1980)が異なる。また、飼育実

験により推定した仔魚の生残可能な餌料密度より天然海域における平均的な餌料密度が小さいことから、餌料生物が高密度なパッチ状分布をすることの重要性が指摘されている(Laurence, 1974; O'Connell and Raymond, 1970)。

したがって、魚類仔魚の餌環境としてノープリウス幼生の分布を考える場合には、その構成分類群、パッチの規模や形成深度、さらには形成機構を明らかにすることが必要である。しかしながらこのような点について具体的に明らかにした研究はあまりない。

若狭湾は、日本海側においては富山湾とともに代表的な湾であり、その開口部は広く、湾口部は外洋的な性質が強いが、湾奥部に複数の枝湾と河川を持ち内湾的な性質を示す(朝岡ら, 1985)。また、同湾はカタチイワン日本海系群の主産卵場である(近藤, 1971)。

また、若狭湾西部海域は魚類仔魚の分布および食性について日本沿岸では最もよく研究されている(例えば、Ikewaki and Tanaka, 1993; 桑原・鈴木, 1983a;

1995年11月3日受理

* 京都大学農学部 Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606-01, Japan

** Present address 近畿大学水産研究所白浜実験場大島分室 Fisheries Laboratory, Kinki University, Oshima, Kushimoto-cho, Nishimuro-gun, Wakayama 649-36, Japan

南, 1984)。桑原・鈴木(1983b)が, 同海域で季節を変えて出現する主要仔魚12種の餌生物を調べた結果によれば, カイアシ類ノープリウス幼生が発生初期の仔魚の主な餌生物であった。しかしながら, 現在のところ若狭湾における仔魚の餌生物の分布については知見が乏しい。

本研究は, 若狭湾において仔魚の餌生物として重要なカイアシ類ノープリウス幼生の分布の特徴を分類群ごとに把握し, それらノープリウス幼生の濃密分布層形成機構について知見を得る目的で行った。

2. 材料と方法

解析に用いた資料は, 1985年5月から8月まで月1回の定線観測と, 同じ定線での1988年7月の観測によって得た。観測はいずれも日中に行った。観測地点は, 若狭湾湾奥の舞鶴湾口から北方向に5マイル(9.26 km)おきに6点設けた(Fig. 1)。定点の底深は最も浅い岸よりの定点Aで60mであり, 定点Eは最深で220mであった。

ノープリウス幼生の採集は, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30mの各深度において, 121バンドーン採水器を用いて行った。試水のうち500ml中に含まれるノープリウス幼生を属レベルで分類して計数した。分類については主として古賀(1984)を参照した。ParacalanidaeとPseudocalanidaeのノープリウス幼生は形態が類似しているため一括して計数した。

定点ではCTD観測を行った。またノープリウス幼生計数用試水を15 μ mメッシュのナイロンガーゼで濾過してノープリウス幼生の摂餌不可能な大型の植物プ

ランクトンを除去した後, 現場型蛍光光度計(Impulphysic社製 Variosenes II)によりクロロフィルa濃度を測定した。蛍光光度計のカリブレーションは, 後日海水から抽出したクロロフィルa濃度を蛍光光度計の測定値と対比させる方法で行った。

観測の結果, 個体数密度が50個体/lを越える高密度なノープリウス幼生の分布がみられたので, 本研究では以下これを濃密分布と称する。

3. 結果

3.1 定線断面における季節変化

1985年5月の30m以浅の水温は14.42°Cから17.36°C(平均15.67°C)の範囲にあった(Fig. 2a)。塩分は32.97から34.50(平均34.13)の範囲にあり, 最湾奥の定点Aの20m以浅では34.0以下の塩分値が観測された。クロロフィルa濃度は平均0.82 μ g/lであり, 湾奥の定点A及びBでは0.8 μ g/l以上, それより沖合の定点では0.8 μ g/l以下であった。

5月におけるノープリウス幼生分布密度はすべて50個体/l以下であった。

6月の水温および塩分は, 16.27°Cから21.09°C(平均18.81°C), 20.39から34.24(平均33.74)の範囲にあった(Fig. 2b)。梅雨期の降雨により, 5月と比較して表層の塩分が低かった。クロロフィルa濃度は平均0.41 μ g/lで5月より低く, 顕著な鉛直分布のピークは見られなかった。

6月には定点Eを除く定点の10m以浅でノープリウス幼生の濃密分布が形成されていた。また, 定点EとFでは30m付近にも濃密分布が観察された。定点における結果をみる限り, 10m以浅で観察された濃密分布の形状は, 南北方向では20km以上, 厚さ数mの薄い層状であったと考えられる。

濃密分布の主な構成分類群は, 10m以浅では*Oithona*属であり, 30m付近では*Microsetella*属であった。

7月の水温および塩分は, 19.19°Cから22.97°C(平均21.97°C), 18.87から33.98(平均32.58)の範囲にあった(Fig. 2c)。塩分は定線全体で6月よりさらに低下し, 特に表層では32.0以下の海水が定点Dより岸側を覆っていた。クロロフィルa濃度は平均0.43 μ g/lで6月とほぼ同じ濃度であり, 顕著な鉛直分布のピークは認められなかった。

7月におけるノープリウスの分布密度は, 平均64.8個体/l, 最高235.6個体/lと観測期間中最高となった。

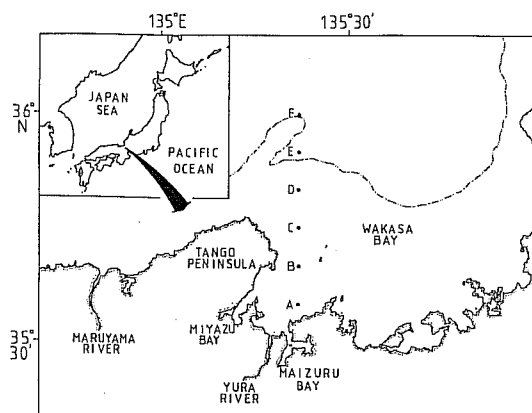


Fig. 1. Location of sampling stations. Dotted line indicates the 200m isobath.

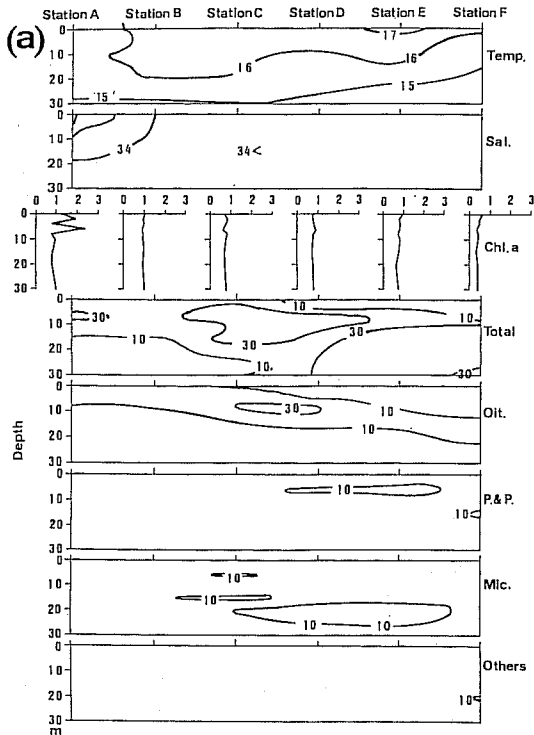


Fig. 2a. Vertical distribution of nauplii density (inds l/1), temperature, salinity and chlorophyll *a* concentration ($\mu\text{g l/1}$) along the transect on 17 May 1985. Total; nauplii of all genera, Oit.; *Oithona*, P. & P.; Paracalanidae and Pseudocalanidae, Mic.; *Microsetella*, Others; other nauplii. The distribution of chlorophyll *a* concentration was shown by the vertical profile at each sampling station not by the contour lines in the vertical section along the transect, because it changed too slightly and irregularly to draw contour lines.

優占したのは、6月と同様に *Oithona* 属、Paracalanidae 科及び Pseudocalanidae 科、*Microsetella* 属のノープリウス幼生であった。濃密分布は5m以浅の上層と10m以深の下層に形成された。上層における濃密分布は厚さ数mで、定点AからCまで約20kmにわたると、定点Eで観察された。10m以深で見られた濃密分布は、南北方向は定点AからDまでの30km程度の水平的な広がりを持ち、鉛直的には10-20m以上の厚さであった。濃密分布の主構成分類群は、上層では *Oithona* 属、Paracalanidae 科および Pseudocalanidae 科であり、下層では

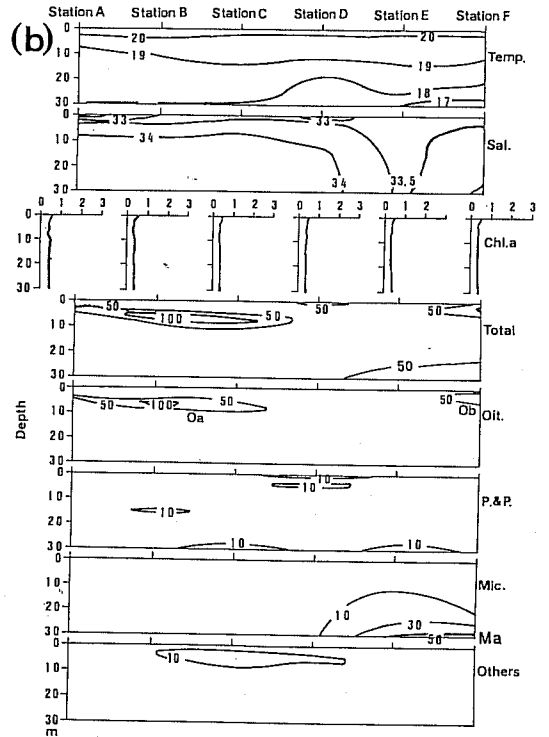


Fig. 2b. As in Fig. 2a, but for 27 June 1985. Oa and Ob are the *Oithona* nauplii high density areas, and Ma is that of *Microsetella* nauplii.

Microsetella 属であった。

8月の定線の水温は7月に比べて高く、22.54°Cから28.40°Cの範囲(平均26.18°C)にあった(Fig. 2d)。塩分も32.36から33.43の範囲(平均33.77)にあり、7月に比べて高い傾向にあった。6、7月に岸よりの上層でみられた32.0以下の海域がなくなっていた。クロロフィルa濃度は平均0.42 $\mu\text{g/l}$ と7月とほぼ同じ水準であった。定線全域でノープリウス幼生の分布密度は低下し、最高でも41個体/1であった。

1988年7月は、水温は22.2°Cから16.0°C(平均20.61°C)の範囲で1985年7月に比べて平均では1.4°C低く、塩分は31.80から34.58平均34.06と高かった(Fig. 2e)特に1985年7月には観察された32.0以下の低塩分水域は定点Aの表層で僅かにみられるだけであった。クロロフィルa濃度は平均0.07 $\mu\text{g/l}$ と、定線のすべての定点で1985年7月に比較して低かった。ノープリウス幼生の分布密度は平均20.79個体/1と1985年7月と比較して著しく低かったが、最も沖合いの定点Fの表層

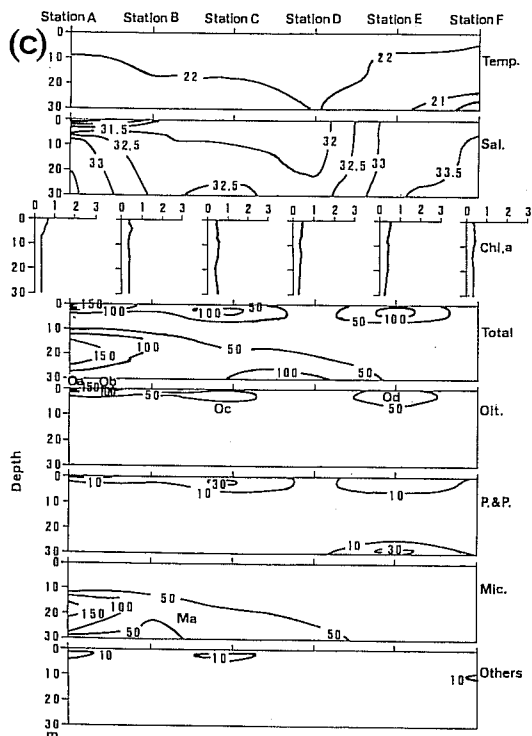


Fig. 2c. As in Fig. 2a, but for 15 July 1985. Oa, Ob, Oc, and Od are the *Oithona* nauplii high density areas, and Ma is that of *Microsetella* nauplii.

において100個体/lを越える濃密分布が観察された。この濃密分布の鉛直方向の厚さは4 m程度で、その主な構成分類群は *Oithona* 属であった。

3.2 濃密分布形成と環境要因

濃密分布の主な構成分類群である *Oithona* 属と *Microsetella* 属について、1985年6、7月と1988年7月の分布密度と水温・塩分値の関係を調べた (Fig. 3)。また、ノープリウス幼生の分布密度が特に高い部分に名称をつけ、その定線断面における位置をFig. 2の中に示した。

1985年6月の *Oithona* 属の濃密分布が形成された深度の塩分は湾奥から広がる低塩分水の塩分範囲にあたる33.3-33.5 (Ob)と33.8-34.1 (Oa)であった (Fig. 3a)。*Microsetella* 属の濃密分布は塩分33.4と34.1付近に形成された (Fig. 3b)。*Oithona* 属と *Microsetella* 属の両属が濃密分布を形成した塩分範囲は一部重なったが、水温範囲はそれぞれ19°C以下と17°C以下であり全く重ならなかった。

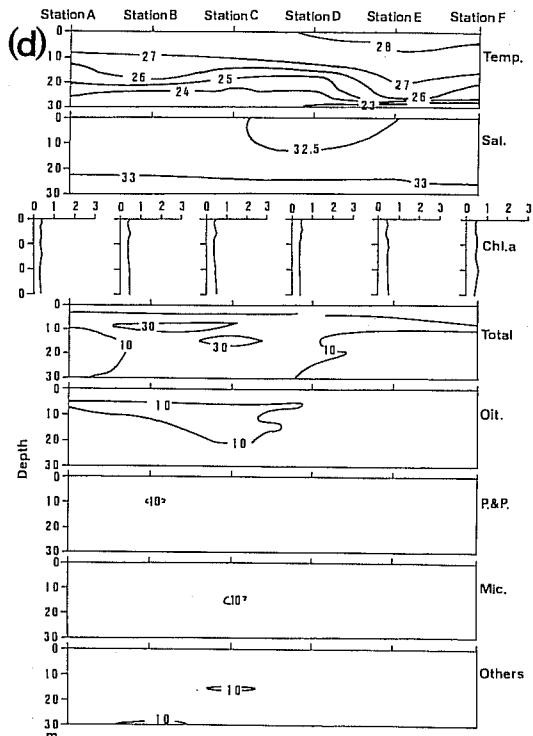


Fig. 2d. As in Fig. 2a, but for 22 August 1985.

1985年7月の *Oithona* 属の濃密分布は、湾奥から定地点Dまで広がる塩分32.0以下の低塩分水内で3つの異なる塩分、すなわち18.9, 30.3および31.6付近に形成された (Fig. 3c)。これらはFig. 2cおよびFig. 3c中ではそれぞれOa, Ob, Ocである。また、これとは別により塩分の高い (33.3) 沖合の海水にも濃密分布は形成された (Fig. 2cおよび3cではOd)。*Microsetella* の濃密分布は、塩分31.9以上の海水中に形成された (Fig. 3d)。7月の *Oithona* 属および *Microsetella* 属の濃密分布と水温・塩分の関係は6月とほぼ同じであった。すなわち、濃密分布が形成された水温範囲は前者で22.5°C以上で後者ではそれ以下と異なるが、塩分範囲では一部一致した (Fig. 2cおよびFig. 3c, 3dではOdとMa)。

1988年7月には *Oithona* 属の濃密分布は、沖合いの塩分33.9-34.0の海水中に形成された (Fig. 3e)。

1985年6、7月および1988年7月のいずれの月においても、クロロフィルa濃度の鉛直分布とノープリウスの濃密分布が形成された深度を比較したが、両者には明らかな対応関係が見られなかった。また、ノープ

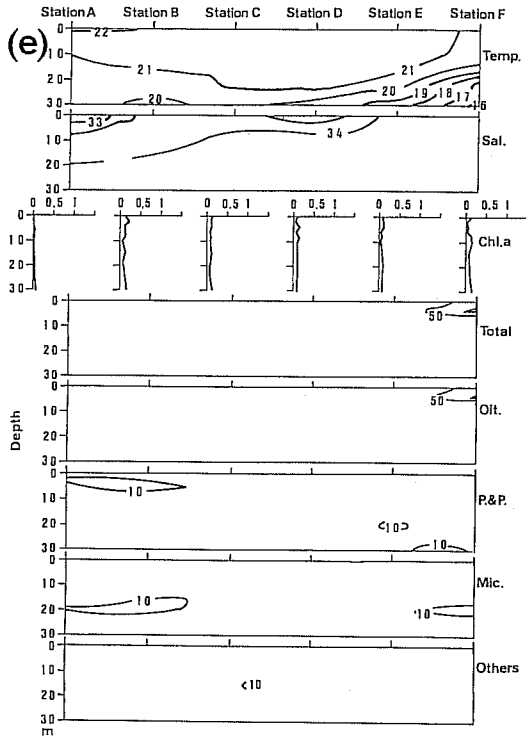


Fig. 2e. As in Fig. 2a, but for 5 July 1988.

ナウプリウス幼生密度とクロロフィルa濃度の鉛直分布の関連を、各定点ごとに Spearman の順位相関係数を算出して統計的に検討したところ、*Oithona* 属や Paracalanidae 科および Pseudocalanidae 科のナウプリウス幼生分布密度とクロロフィルa濃度の間には、6月以降有意な相関が認められる場合があった (Table 1) が、7月の定点C, Eのように濃密分布が

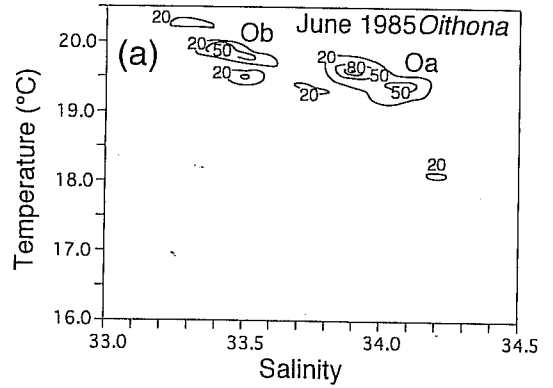


Fig. 3. Nauplii densities (inds l^{-1}) shown on temperature, salinity coordinates. (a) June 1985 *Oithona*, (b) June 1985 *Microsetella*, (c) July 1985 *Oithona*, (d) July 1985 *Microsetella* and (e) July 1988 *Oithona*.

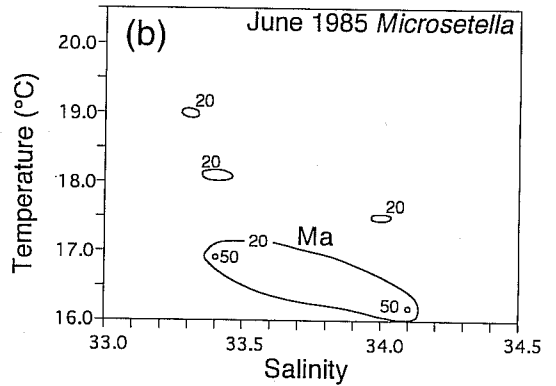


Fig. 3. (b)

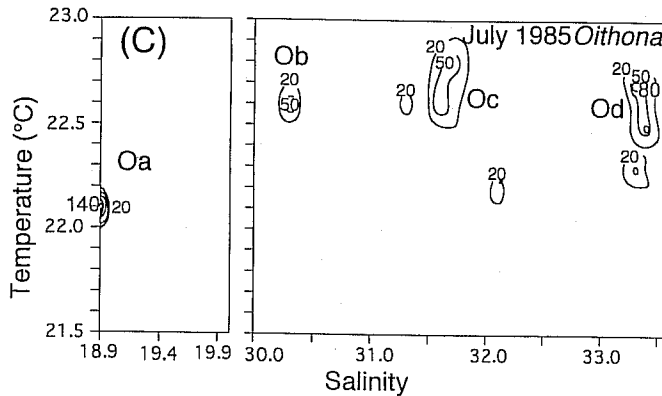


Fig. 3. (c)

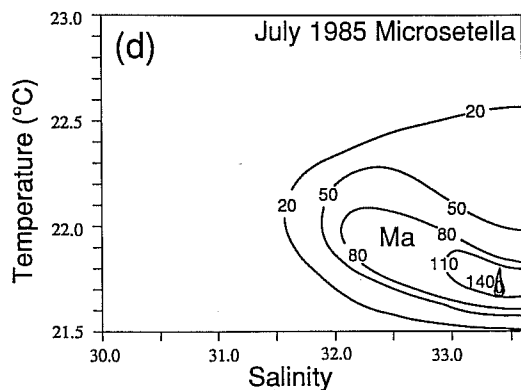


Fig. 3. (d)

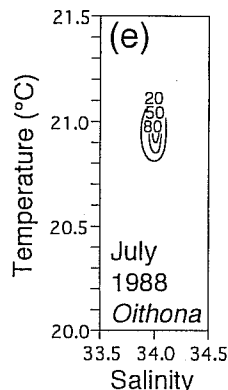


Fig. 3. (e)

Table 1. Spearman's rank correlation between nauplii density and chlorophyll *a* concentration over depths sampled at each station in 1985. The marks +++, ++ and + indicate positive correlation at $P < 0.01$, $P < 0.05$ and $P < 0.1$ respectively. The mark - indicates not significant correlation.

Month	May						June						July						August					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
<i>Oithona</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	+	+++	-	-	-	++	-	-	-	-	-	-
P. and P.	-	-	-	-	-	-	++	-	-	++	-	-	+++	-	-	++	+	-	-	-	-	-	+	-
<i>Microsetella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+++	-	-	-	+++	-	-	+	-	-	++	-
Total	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-

形成された定点においても相関が有意でない場合が複数あり、一貫した関係は見いだせなかった。また、*Microsetella* 属では分布密度とクロロフィル *a* 濃度の鉛直分布には有為な相関が全く認められなかった。

4. 議論

4.1 過去の研究例との比較と考察

日本の内湾と外洋を除く沿岸域でのノープリウス幼生出現ピークの季節については以下の報告がある。日本海山県沖では3-4月と9-11月の春秋2回(中原・小川, 1972), 豊後水道で6月と10月(能津, 1966), 遠州灘から駿河湾では春季, 相模灘から房総沖では夏季(農林水産技術会議, 1962), 駿河湾から熊野灘の内湾域では夏季, 外海では春季から夏季と秋季のいずれか(船越ら, 1984; 西村, 1984)に出現ピークがあった。このように日本沿岸では早春から夏季にかけてと秋季の年2回もしくはどちらかに1回ピークが見られる海域が多い。

若狭湾で動物プランクトン分布の季節変化を多年度

にわたり調べた資料はないが, 和田ら(1984)が1983年に若狭湾西部で4月から11月まで毎月動物プランクトンの出現状況を調べた結果では, 湾奥までの内湾部を除くと7月にカイアシ類の分布密度が高かった。また, 著者が1984年に5月, 6月, 8月に同海域で表面40cm深における水平分布を湾奥湾口方向に連続サンプリングしてノープリウス幼生分布密度を調べた結果, 6月には他の月に比べて広い範囲で50個体/lを越える密度が得られた(澤田未発表)。これらの結果と本研究での結果から, 若狭湾では, 太平洋岸など他の多くの沿岸域と同様に, 少なくとも夏季の6, 7月にカイアシ類ノープリウス幼生の分布密度のピークがあるものと考えられる。

内湾や外洋域を除いた日本の沿岸域での分類群ごとのノープリウス幼生分布の知見は少ない。内湾域ではこれまでに, *Oithona* 属, *Paracalanus* 属, *Acartia* 属, 特に *O. davisae*, *P. crassirostris*, *A. omorii* のノープリウス幼生の高密度な分布が報告されている(Sekiguchi, 1985; 上・山岡, 1990; Ueda, 1987)。

また、外洋でも黒潮フロントでは *Oithona* 属と *Paracalanus* 属が高密度で分布することが報告されている (Nakata, 1990)。若狭湾では10m以浅で他の海域と同様に *Oithona* 属と *Paracalanidae* 科または *Pseudocalanidae* 科が濃密分布を形成した。これに加えて10m以深では *Microsetella* 属のノープリウス幼生が濃密分布を形成した。日本沿岸では同属のノープリウス幼生がこのような高い密度で分布することはこれまでに報告がない。当海域では6, 7月に25m深を中心に *M. norvegica* が分布することから (和田ら, 1984), この濃密分布は *M. norvegica* の幼生が主体であると考えられる。

1985年6, 7月では同一日に行われた調査では、*Oithona* 属のノープリウス幼生の分布密度が不連続な複数の塩分範囲で高かった。このことは当海域に高密度に出現した *Oithona* 属のノープリウス幼生が複数の種からなる可能性を示唆する。7月の湾奥の定点Aにおける塩分18.9の海水は、近くに開口する舞鶴湾あるいは由良川河口由来の海水であると考えられる。この時期にはそれらの場所で *O. davisae* が優占する (澤田未発表; 上田, 1992)。したがって定点A付近の低塩分層に形成された濃密分布は同種のノープリウス幼生が主体であったと考えられる。しかしながらこれと離れて沖合いの高塩分な海水中に形成された *Oithona* 属主体の濃密分布は6, 7月に当海域で優占する *O. nana* または *O. brevicornis* の幼生である可能性が高い。分類群ごとのノープリウス幼生の分布は、分布密度の季節変化や場所による分布の違いを説明するには欠かせない情報であり、今後は成体の分布も含めた研究が必要である。

若狭湾でのノープリウス幼生濃密分布は、鉛直スケールが数mから数10mであるのに対し、その水平スケールが数kmから数10kmと広く、ある深度に集中した層状をしていた。カイアシ類のノープリウス幼生がある深さに高密度に分布することはこれまでも報告されている。例えば日本沿岸では、遠州灘西部の5-10m深に (船越, 1985), また広島湾では0-5m及び15-25m深の2深度に分布密度の極大が形成された (上・山岡, 1990)。またMULLINら (1985) は南カリフォルニア沖で、同様の現象を報告している。田中 (1981) は、魚類後期仔魚期の鉛直移動の適応的意義として仔魚の生残において餌生物との遭遇の可能性を高めることを指摘しており、ノープリウスの鉛直的な集中分布は、魚類仔魚の餌分布として重要であると考えられる。

4.2 濃密分布の形成機構について

若狭湾に見られるようなノープリウス幼生濃密分布層の形成要因としては、まずカイアシ類の産卵量が多いことが必要である。カイアシ類の産卵速度は水温 (KIMOTO *et al.*, 1986; MCLAREN, 1966; UYE, 1988) 及び餌密度 (CHECKLEY, 1980; Klein BRETELER *et al.*, 1982) に依存することが知られている。

若狭湾では、1985年の結果に示されているように、6, 7月は水温の上昇期にあたる。また梅雨期の降雨量の増加により栄養塩の豊富な河川水の流出量が増加する時期である。実際に6, 7月の10m以浅の濃密分布層は概ね河川水の影響を受けた低塩分水内に形成されていた。したがって、基本的には、6, 7月の水温上昇と栄養塩が豊富な陸水の流出増加による餌条件の好転が当海域のカイアシ類の産卵量の増加を引き起こし、濃密分布層形成を促すものと考えられる。

しかしながら、若狭湾では1985年6, 7月のクロロフィルa濃度は、5月と8月に比較して特に高くなく、カイアシ類の餌条件は現存量からみれば限り6, 7月に特に良かったとは言えない。にもかかわらず、この時期にカイアシ類ノープリウスの濃密分布層形成が観測された。この餌条件と幼生分布の不一致の原因としては以下のようなことが考えられる。

若狭湾は湾口が広く奥行きが浅いため外洋性の強い湾であり (朝岡ら, 1985), 湾内西部での海水の滞留時間は、餌条件と幼生分布に関連が報告されている瀬戸内海の広島湾 (上・山岡, 1990) や伊勢湾 (船越ら, 1984) に比べて短く、水の交換が速いと考えられる。そのため栄養塩供給による第一次生産の局所的な増加と続いて起こる幼生の分布密度の増加には時間的にずれがあるために、餌条件の良い海域と幼生の濃密分布層の広がり方が常に一致するとは限らないのであろう。

また、若狭湾湾奥部の濃密分布層形成種と考えられる *O. davisae* は餌となる植物プランクトン種に対して選択性を持つことが知られている (UCHIMA, 1988)。本研究では植物プランクトン量として $<15\mu\text{m}$ の植物プランクトンのクロロフィルa濃度を基準とし、種別の植物プランクトン量を把握しているわけではない。このことも湾奥部での幼生密度の鉛直分布と $<15\mu\text{m}$ のクロロフィルa濃度に明確な対応が見られない原因と考えられる。

濃密分布層形成機構として、成体の産卵量の増加の次に重要なものはノープリウス自身の遊泳による深度調整である。カイアシ類ノープリウス幼生の比重は海

水よりも大きく、その沈降速度は 10^{-3} cm/secから 10^{-2} cm/sec程度である(澤田ら, 1994)。したがって静止水中で全く遊泳行動をしなければ、1日あたり数m程度沈降し、一定層に滞留できない。それゆえ、濃密分布層のような鉛直方向への著しい集中にはノープリウス幼生の遊泳行動が大きく関与していると考えられる。

まず、ノープリウス幼生の遊泳による深度調節能力について述べる。内湾・沿岸性カイアシ類のノープリウス幼生は、発育の進行にともなって数mから数10mの規模で遊泳深度を変えることが知られている(SEKIGUCHI, 1985; UEDA, 1987; UYE *et al.*, 1990)。この現象はカイアシ類の個体発生に伴う鉛直移動とよばれ、典型的なパターンでは、ノープリウス期には発育の進行とともに遊泳深度が浅くなり、コペポディド期では発育の進行とともに遊泳深度が深くなる。このような鉛直移動現象はカイアシ類はノープリウス期においても遊泳による深度調節を行うことが可能であることを示している。これは濃密分布層形成の重要な機構であると考えられる。

次に、遊泳行動の種特異性について述べる。若狭湾の枝湾の1つである舞鶴湾では、*O. davisae*と*Paracalanus crassirostris*の両種のノープリウス幼生の濃密分布層は成層期には異なる深度に形成されたが、成層が崩れると分布深度に違いがなくなった。(澤田, 1991)。このことは、種が異なるノープリウス幼生では遊泳において環境への対応の違いがあり、これにより濃密分布層の形成深度が異なることを示唆している。種による環境への対応の違いは、種ごとに異なる深度での濃密分布層形成の重要な機構であると考えられる。

以上述べたように、野外では濃密分布層形成機構に重要と考えられる現象が観察されているが、一方で、実験的研究では、動物プランクトンの遊泳深度調節能力がより具体的に実証されている。これまでに物理環境要因では放射照度(FORWARD, 1989)、水温と塩分(LANCE, 1962)、水圧(RICE, 1962)等が深度調整に影響する要因として知られている。若狭湾奥での濃密分布の主な形成種と考えられる*Oithona davisae*でも実験的研究により、水温・塩分の鉛直勾配がそのノープリウスの鉛直分布に影響を与えることが示されている(澤田・坂本, 1993)。

このようにノープリウス幼生での段階でも物理要因に反応して行動することが可能であることから、物理要因は個体発生に伴う鉛直移動の表現において深度調整の役割を果たし、ノープリウス幼生の好適条件がと

とのった一定層への集合と滞留、すなわち濃密分布層形成を引き起こしうるものと考えられる。

以上の議論を考慮すれば、今回の結果を次のように説明することができる。1985年6、7月には調査海域は成層していた。このとき、*Oithona*属と*Microsetella*属が上層と下層で形成した濃密分布の塩分範囲に重なりはあったが、水温範囲には全く重なりがなかった。したがってこのような濃密分布の種による形成深度の違いは、幼生の好適水温の違いによると考えられる。また、10m以浅の濃密分布が形成された表層付近は、水温・塩分特に塩分の鉛直勾配が大きいので、表層付近は水温・塩分を深度調節機構として持つようなノープリウス幼生には一定層への集中と滞留が容易であることが予想される。

さらに、カイアシ類はこのような物理環境要因のみでなく、生物環境要因である餌となる植物プランクトンの濃密分布(BAINBRIDGE, 1953)や植物プランクトン由来のアミノ酸(POULET and OUELLET, 1982)にも反応して行動することが知られており、ノープリウス幼生の濃密分布の形成要因として、餌である植物プランクトンの豊富な深度への移動と滞留は可能性として十分考えられる。これまでに、遠州灘西部(船越ら, 1984)や広島湾(上・山岡, 1990)では、ノープリウスの鉛直分布とクロロフィルa濃度の鉛直分布との関連が報告され、ノープリウス幼生の餌の豊富な層への集中の間接的証拠となっている。

しかしながら、これらの例においても詳細に見れば、ノープリウスの分布密度極大層とクロロフィルa濃度の極大層の深度は常に一致するとは限らない。さらに若狭湾西部の場合は、ノープリウスの分布密度とクロロフィルa濃度には一貫した鉛直的な関連は見られなかった。現在のところこれらの理由は明らかではない。

ノープリウス幼生は個体発生に伴う鉛直移動で見られるように、好適な環境条件を求めて遊泳深度を変える能力を持つ。このとき移動方向を第一義的に決定するのは物理環境であり、餌密度は幼生が植物プランクトンの濃密層に遭遇した場合にその層への滞留を促すことで物理環境とともに深度調節の役目をするのであろう。しかしながら現場海域では、このような物理および生物要因の双方が幼生の移動と滞留に影響するために現象が複雑になり、どちらか片方だけに注目しても因果関係に関して一貫した結果が得られることが少ないのではなかろうか。今後はさらに現場海域での観察例を増やすとともに、実験的研究を行って濃密分布

層形成機構を解明することが必要である。

6. 謝辞

本研究を進めまた纏めるにあたり貴重な御助言をいただいた前京都大学農学部川合英夫教授、ならびに京都大学農学部坂本巨教授、同中原紘之教授に感謝いたします。また、快く設備を提供され、観測にご協力いただいた京都大学農学部附属水産実験所の職員の皆様にはお礼申し上げます。

文 献

- 朝岡 治・橋本祐一・片山恭男 (1985) 第24章若狭湾 II 物理 日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会 沿岸海洋研究会編) pp. 958-968, 東海大学出版会, 東京
- BAINBRIDGE, R. (1953) Studies of the interrelationships of zooplankton and phytoplankton. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **32**, 385-447.
- CHECKLEY, D. M. Jr. (1980) The egg production of a marine planktonic copepod in relation to its food supply: Laboratory studies. *Limnol. Oceanogr.*, **25**, 430-446.
- FORWARD, R. B. Jr. (1989) Depth regulation of larval marine decapod crustaceans: test of a hypothesis. *Mar. Biol.*, **102**, 195-201.
- 船越茂雄・村中文夫・池田 正 (1984) 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 (1985) カタクチイワシの初期餌料環境と生残り-II. クロフィル-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.
- 池脇義弘・澤田好史 (1991) 海産仔魚の食性 魚類の初期発育 (日本水産学会編) pp. 86-104, 恒社厚生閣, 東京
- IKEWAKI, Y. and M. TANAKA (1993) Feeding habits of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) larvae in the western part of Wakasa Bay, the Japan Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**, 951-956.
- KIMOTO, K., S. UYE and T. ONBE (1986) Egg production of a brackish-water calanoid copepod *Sinocalanus tenellus* in relation to food abundance and temperature. *Bull. Plankt. Soc. Japan*, **33**, 133-145.
- KLEIN BRETELER, W. C. M., H. G. FRANTS and S. R. GONZALEZ (1982): Growth and development of four calanoid copepod species under experimental and natural conditions. *Neth. J. Sea Res.*, **16**, 195-207.
- 古賀文洋 (1984) 橈脚類ノープリウスの形態, 生態, 分類ならびに分化に関する研究. *南西水研報*, **16**, 95-229.
- 近藤恵一 (1971) カタクチイワシの生態と資源. *水産研究叢書*, **20**, 日本水産資源保護協会.
- 桑原昭彦・鈴木重喜 (1983a) フサカサゴ 3 科仔魚の鉛直分布と食性. *日本水産学会誌*, **49**, 515-520.
- 桑原昭彦・鈴木重喜 (1983b) 若狭湾西部海域に出現する主要仔魚の食性と餌生物の関係について. *日本水産学会誌*, **49**, 1507-1513.
- LANCE, J. (1962) Effects of reduced salinity on the vertical migration of zooplankton. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **42**, 131-154.
- LAST, J. M. (1978a) The food of four species of pleuronectiform larvae in the eastern English Channel and southern North Sea. *Mar. Biol.*, **45**, 359-368.
- LAST, J. M. (1978b) The food of three species of Gadoid larvae in the eastern English Channel and southern North Sea. *Mar. Biol.*, **48**, 377-386.
- LAST, J. M. (1980) The food of twenty species of fish larvae in the eastern English Channel and southern North Sea. *Fish. Res. Tech. Rep.*, **60**, 44pp.
- LAURENCE, G. C. (1974) Growth and survival of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) larvae in relation to planktonic prey concentration. *J. Fish. Res. Board Can.*, **31**, 1415-1419.
- MACLAREN, I. A. (1966) Predicting development rate of copepods eggs. *Biol. Lab. Woods Hole*, **131**, 457-469.
- 南 卓志 (1984) イシガレイの初期生活史. *日本水産学会誌*, **50**, 551-560.
- MULLIN, M. M., E. R. BROOKS, F. M. H. REID, J. NAPP and E. F. STEWART (1985) Vertical structure of plankton off Southern California: a storm and larval fish food web. *Fish. Bull.*, **83**, 151-168.
- NAKATA, K. (1990) Abundance of nauplii and protein synthesis activity of adult female copepods in the Kuroshio front during the Japanese sardine spawning season. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **46**, 219-229.
- 中原民男・小川嘉彦 (1972) 沿岸漁場の特性に関する研究, 第4報, 植物プランクトンおよび Copepoda nauplius の季節変動. *水産海洋研究会報*, **21**, 22-29.
- 西村昭史 (1984) 熊野灘におけるコペポダ分布-I 1982~1983年の水平分布. 昭和57年度三重県浜島水試年報, 77-81.
- 能津純治 (1966) 豊後水道における copepoda の nauplius 期幼生の分布密度とカタクチイワシの卵・稚仔出現量の季節変動. *日本水産学会誌*, **32**, 233-236.
- 農林水産技術会議 (1962) イワシ類後期仔魚期の食餌と加入量の関係. 昭和36年度水産資源に関する共同研究推進会議報告書, 102-121.
- O'CONNELL, C. P. and P. RAYMOND (1970) The effect of food density on survival and growth of early post yolk-sac larva of the northern anchovy (*Engraulis mordax* Girard) in the laboratory. *J. exp. Mar. Biol. Ecol.*, **5**, 187-197.
- POULET S. A. and G. OUELLET (1982) The role of amino acids in the chemosensory swarming and feeding of marine copepods. *J. Plankt. Res.*, **4**, 341-361.
- RICE, A. L. (1962) Response of *Calanus finmarchicus* (Gunnerus) to changes of hydrostatic pressure. *Nature*, **194**, 1189-1190.
- 澤田好史 (1991) かいあし類ノープリウス幼生の濃密分布層形成機構に関する研究. pp. 62. 京都大学提出学位論文.

カイアシ類ノープリウス幼生の濃密分布層形成

- 澤田好史・坂本 亘 (1993) 水温・塩分の勾配がカイアシ類 *Oithona davisae* の鉛直分布におよぼす影響—室内実験—. 日本プランクトン学会報, **39**, 87-96.
- 澤田好史・藤原建紀・坂本 亘 (1994) 個体の遊泳行動に基づくカイアシ類個体群の鉛直分布モデル. 海の研究, **3**, 196-180.
- SEKIGUCHI, H. (1985) Biology of cladocerans and copepods in Ise Bay-2 Vertical distribution of neritic copepods in relation to their life histories. Bull. Fac. Fish., Mie Univ., **12**, 1-12.
- 田中 克 (1980) 海産仔魚の摂餌と生残—I 天然海域における食性. 海洋と生物, **2**, 440-447.
- 田中 克 (1981) 海産仔魚の摂餌と生残—V 魚卵・仔魚の垂直分布と垂直移動. 海洋と生物, **3**, 379-386.
- UCHIMA, M. (1988) Gut content analysis of neritic copepod *Acartia omorii* and *Oithona davisae* by new method. Mar. Ecol. Prog. Ser., **48**, 93-97.
- UEDA, H. (1987) Small-scale ontogenetic and vertical distribution of neritic copepods in Maizuru Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser., **35**, 65-73.
- 上田拓史 (1992) 内湾における浮遊性カイアシ類の量的変動に関する研究. pp. 77. 京都大学提出学位論文.
- 魚谷逸朗・出羽 敦・浅井克敏 (1978) カタクチシラスの食性と摂餌選択について. 日本水産学会誌, **18**, 164-167.
- UYE, S. (1988) Temperature-dependant development and growth of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the laboratory. Hydrobiologia, **167/168**, 285-293.
- UYE, S., C. HUANG and T. ONBE (1990) Ontogenetic diel vertical migration of planktonic copepod *Calanus sinicus* in the Inland Sea of Japan. Mar. Bil., **104**, 386-396.
- 上 真一・山岡 達 (1990) 広島湾におけるカタクチイワシの餌料環境: ノープリウスの鉛直・水平分布. 水産海洋研究, **54**, 341-351.
- 和田洋蔵・桑原昭彦・宗清正廣・傍島直樹 (1984) 若狭湾西部海域における1983年春季～秋季の動物プランクトンについて. 京都府立海洋センター研報, **8**, 23-30.