

若狭湾西部水域におけるカタクチイワシ仔魚餌料としての カイアシ類群集の季節変化*

井口 直樹¹⁾・和田 洋藏²⁾・平川 和正¹⁾

Seasonal Changes in the Copepod Assemblage as Food for Larval Anchovy in Western Wakasa Bay, Southern Japan Sea

Naoki IGUCHI¹⁾, Yozo WADA²⁾ and Kazumasa HIRAKAWA¹⁾

Abstract

This paper describes the seasonal variations in abundance and species composition of the copepod assemblage as a food source for larval anchovy (*Engraulis japonicus*) in western Wakasa Bay, southern Japan Sea. Samples were taken 1-3 times a month from May 1995 through April 1996 using NORPAC nets and 10 ℓ Van Dorn samplers. The total number of copepods (adults and copepodids) peaked in March-May (spring) and September (autumn). While the spring peak was mainly formed of a few temperate species (mostly *Calanus sinicus* and *Corycaeus affinis*), the autumn peak was characterized by many temperate-subtropical species such as *Eucalanus attenuatus*, *Oncaea venusta* and *Centropages furcatus* etc. The spring peak is considered to provide a food source for reproduction success of anchovy, and subsequently anchovy larvae showed a seasonal peak in abundance from June through July. We suggest that the food availability for spring larval anchovy depends on the naupliar abundance of several copepod species (*Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis*, *Oithona* spp., *Ctenocalanus vanus* and *Acartia omorii*) of which their egg production is closely associated with the spring phytoplankton bloom.

Key words : copepod assemblage, copepod nauplii, larval anchovy, phytoplankton, Wakasa Bay

緒 言

カイアシ類は動物プランクトンの中で最も優占する分類群であり、カイアシ類の卵、ノープリウス幼生、コペポダイトは天然海域における魚類仔魚の餌生物として重要であることが知られている(LAST 1980; TURNER 1984; 池脇・澤田 1991など)。イワシ類などの多獲性魚類ではその資源変動を引き起こす要因の一つとして、発育初期の餌不足(飢餓)による減耗が想定されており(HJORT 1926; LASKER *et al.* 1970; O'CONNEL and RAYMOND 1970など)、仔魚の摂餌が生残におよぼす影響を考える場合、餌生物の分布とその季節変動の把握は欠くことができない。ま

1998年12月7日受理 日本海区水産研究所業績A第528号

1998年12月7日受理 京都府立海洋センター業績第125号

¹⁾ 〒951-8121 新潟市水道町1丁目5939-22 日本海区水産研究所
(Japan Sea National Fisheries Research Institute, Suido-cho, Niigata 951-8121, Japan)

²⁾ 〒626-0052 京都府宮津市宇小田宿野 京都府立海洋センター
(Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science, Miyazu, Kyoto 626-0052, Japan)

*本研究は「漁場生産力モデル開発基礎調査」の一環として実施した。

た、一般に植食性カイアシ類の産卵数(産卵速度)はクロロフィル a 濃度と密接な関係をもつことから(CHECKLEY 1980; TISELIUS *et al.* 1991; UYE and SHIBUNO 1992など), それらのノープリウス幼生数は植物プランクトン現存量に依存するであろう。また, 産卵数は種類によっても異なることから(PAFFENHÖFER 1993など), カイアシ類の出現量・種組成と餌となる植物プランクトン現存量は, 魚類仔魚の餌料環境を質・量的に解析する上で重要な要素である。

カタクチイワシは日本海において主に対馬暖流域に分布し, 沿岸漁業にとって不可欠な漁獲対象種である(近藤 1971)。本研究の対象水域である若狭湾は, 日本海におけるカタクチイワシの主産卵場であり(近藤 1971; 銭谷ら 1995), 本湾の定置網漁業にとってカタクチイワシは重要な魚種である。また, 近年の若狭湾での漁獲は, 春生まれの個体群が卓越していることが知られている(和田 1997)。従来から, カタクチイワシ稚仔魚の主要餌生物としてはカイアシ類が報告されており(近藤 1971), 若狭湾西部水域におけるカタクチイワシ稚仔魚の消化管内容物組成調査(桑原・鈴木 1984)によると, 体長7mm未満の仔魚ではカイアシ類ノープリウスとコペポダイトが, 体長7mm以上の仔稚魚では*Oithona* sp., *Paracalanus parvus*およびコペポダイトが主な餌生物であった。しかしながら, 本水域におけるカイアシ類に関する知見は少なく, 和田(1984)により季節的消長が断続的に報告されているにすぎない。

本研究は, 若狭湾西部水域における餌料カイアシ類群集とカタクチイワシ仔魚との関係を把握するために, カイアシ類の出現個体数と種組成の季節変化を明らかにするとともに, それらと水温・塩分, 植物プランクトン現存量との関連を調べ, 低次生物生産構造からみたカタクチイワシ仔魚の餌料環境特性について考察した。

本文に先立ち, 標本の採集にご協力頂いた京都府立海洋センター調査船“平安丸”の船長並びに乗組員の方々に御礼申し上げる。

材 料 と 方 法

解析に用いた標本は, 若狭湾西部水域の2定点, Stn. a(沿岸, 水深約30 m)およびStn. c(沖合, 水深約115 m)(Fig. 1), において1995年5月から1996年3月にかけて月1~3回の頻度で

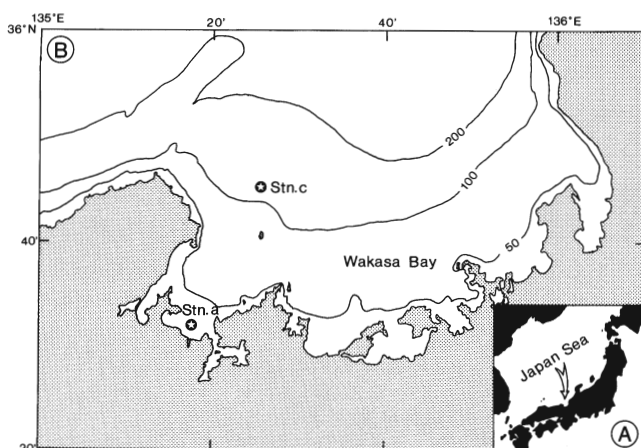


Fig. 1. (A) Location of Wakasa Bay in southern Japan Sea. (B) The sampling stations (circled stars) in Wakasa Bay; 50, 100, and 200 m depth contours are superimposed.

京都府立海洋センター調査船“平安丸”により採集した。①カイアシ類のコペポダイト・成体およびカタクチイワシの卵・仔魚を採集するために、目合0.35 mmの改良型ノルパックネットを用い、海底直上から表面までの鉛直曳を行った。②カイアシ類ノープリウス幼生を採集するために、バンドーン採水器(10 ℓ容)を用いてStn. aでは表面、30 mの2層、Stn. cでは表面、30 m、50 mの3層から海水各10リットルを採取した。海水は直ちに目合0.02 mmのネットをろ過し、ノープリウス幼生を採集した。いずれの採集でも、得られた標本は直ちに中性ホルマリンを最終濃度が10%になるように加え船上で固定した。

各定点では採集と同時にCTD(Neil Brown社製)を用いて海底までの水温と塩分を測定した。また、バンドーン採水器を用いてStn. aでは表面、10、20、30 mの4層、Stn. cでは表面、10、20、30、40、50 mの6層で海水500 mlを採水し、各層におけるクロロフィルa濃度をバリオセンス法(珪藻*Chaetoceros gracilis*の培養株を検定に使用)によって測定し、植物プランクトン現存量の指標とした。

陸上実験室に持ち帰ったホルマリン固定標本は以下の手順で処理した。①目合0.35 mm改良型ノルパックネット採集試料は、最初にカタクチイワシ卵、前期仔魚、後期仔魚を全試料から抜き出しそれぞれ計数した。その後、フォルサム型分割器で同じ試料を1/8～1/16に分割し、それら分割試料を用いてカイアシ類(コペポダイト・成体)をできる限り種まで査定した。カイアシ類の群集構造の季節的推移を知るため、下記のSHANNON and WEAVER (1963)の式から情報理論指数を算出し、種多様度を表わした。

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

ここで H' は情報理論指数、 S は総種数、 N は総個体数、 n_i は第 i 番目の種に属する個体数である。さらに、カイアシ類群集の優占種は下式(細川ら1968)のように定義した。

$$N_i > (1/S) \sum_{i=1}^S N_i$$

ここで N_i は第 i 番目の種の出現個体数、 S は総種数である。②採水採集試料はカイアシ類ノープリウス幼生を識別・計数した。

結 果

1 海洋構造

Stn. aとcにおける水温・塩分の鉛直分布の季節変化をFig. 2に示す。Stn. aの表面水温は6月下旬から大きく上昇し始め、6月下旬から10月にかけては20℃以上を示し、特に8月中旬に年間最高水温(29.0℃)に達した。これに伴い6月下旬から表層に水温躍層が形成され始め、8月には海底付近まで達した。降温期の9月以降は、表面から鉛直的に等温となり始め、12月下旬から翌年4月中旬までは表面から海底付近まで水温はほぼ一定となった。表面の年間最低水温(9.3℃)は3月上旬に観察された。低塩分水(≦33.0)は4月を除いて表面付近に通年出現し、特に8月から11月にかけては海底付近まで広がっていた。この夏・秋季における低塩分化は、長江など大陸河川水の流入によって東シナ海で形成された低塩な対馬暖流表層水(水温：20℃以上、塩分：30～34)の影響であることが示唆される(川辺1987)。34.0以上の高塩分水は表面では存在せず、5～7月と2月以降の底層付近で出現した。

Stn. cにおける表面水温も6月下旬から大きく上昇し始め、8月中旬に年間最高水温(28.7℃)に達した。水温躍層は6月下旬から形成され始め、9月中旬の90 m深付近で最も強くなった。

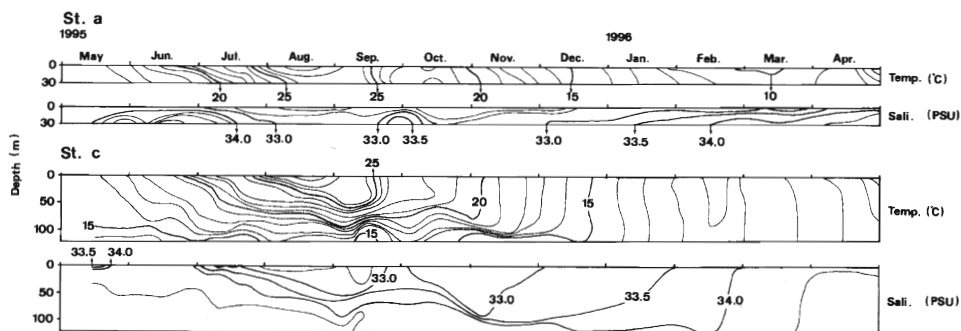


Fig. 2. Seasonal variations in temperature (upper) and salinity (lower) at Stn. a and Stn. c in western Wakasa Bay.

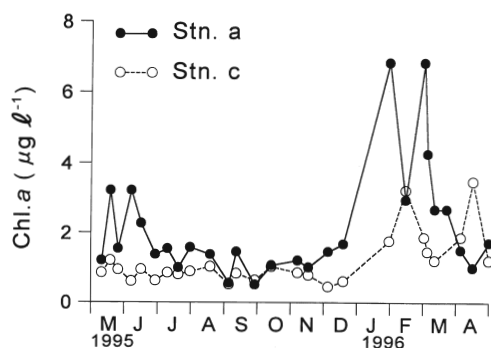


Fig. 3. Seasonal variations in maximum chlorophyll *a* ($\mu\text{g l}^{-1}$) in the water column at Stn. a and Stn. c.

12月下旬から翌年4月中旬まで等温層が海底まで達し、表面水温は3月中旬に年間最低(10.3°C)となった。33.0以下の低塩分水は、7月中旬から11月下旬にかけて出現し、最初表面にのみ出現したが、11月上旬には90 m以浅にまで広がった。これはStn. aと同様に対馬暖流表層水の影響と考えられる。他方、34.0以上の高塩分水は表面では3～6月にのみ出現し、8～9月ではおおよそ50 m以深に存在した。

Stn. aとStn. cの水柱中におけるクロロフィル*a*濃度の最大値は、両定点ともに冬・春季に高く、特にStn. aでは1月と3月上旬に著しく高い値($6.8\mu\text{g l}^{-1}$)を示した。また、Stn. cでは2月と4月に年間のピーク(各々 $3.2, 3.5\mu\text{g l}^{-1}$)がみられたが、時間的にはStn. aより約1～2ヶ月遅れて出現した。調査期間をとおして、より沿岸であるStn. aのクロロフィル*a*濃度がStn. cよりも高い傾向を示した(Fig. 3)。

2 カイアシ類群集の季節変化

(1) 目合0.35 mm改良型ノルパックネット試料

本研究で同定されたカイアシ類は両定点合わせて57種(Calanoida 38種, Poecilostomatoida 10種, Cyclopoida 7種, Harpacticoida 2種)であった(Table 1)。また、全調査期間をとおして1回でも優占したカイアシ類はStn. aでは24種、Stn. cでは25種(分類群)であり、そのうち、暖水性種が全体の79～80%を占め、卓越した。

Stn. aにおけるカイアシ類の総個体数の季節変化をみると(Fig. 4)、春季(3～5月)と秋季

Table 1. List of the copepod species identified from western Wakasa Bay from May 1995 through April 1996. ○: Warm-water species, ●: Cold-water species, △: Eurythermic species.

Order CALANOIDA

Family Calanidae

- *Calanus minor* (CLAUS)
- *Calanus sinicus* BRODSKY
- *Mesocalanus tenuicornis* (DANA)
- *Cosmocalanus darwini* (LUBBOCK)
- *Undinula vulgaris* (DANA)
- *Canthocalanus pauper* (GIESBRECHT)

Family Eucalanidae

- *Eucalanus bungi bungi* JOHNSON
 - *Eucalanus attenuatus* (DANA)
 - *Eucalanus crassus* GIESBRECHT
 - *Eucalanus subcrassus* GIESBRECHT
 - *Eucalanus subtenuis* GIESBRECHT
- Eucalanus* spp.

Family Paracalanidae

- *Paracalanus aculeatus* GIESBRECHT
- *Paracalanus parvus* (CLAUS)
- *Acrocalanus gracilis* GIESBRECHT

Family Calocalanidae

- *Calocalanus plumulosus* (CLAUS)
- *Calocalanus pavo* (DANA)

Family Pseudocalanidae

- *Clausocalanus arcuicornis* (DANA)
- *Clausocalanus farrani* SEWELL
- *Clausocalanus minor* SEWELL
- *Clausocalanus furcatus* (BRADY)
- *Clausocalanus pergens* FARRAN
- *Clausocalanus parapergens* FROST & FLEMINGER
- △ *Ctenocalanus vanus* GIESBRECHT
- *Pseudocalanus newmani* FROST

Family Euchaetidae

Eucheata spp.

Family Scolecitrichidae

- *Scolecithrix danae* (LUBBOCK)

Family Centropagidae

- *Centropages abdominalis* SATO
- *Centropages bradyi* WHEELER
- *Centropages furcatus* (DANA)
- *Centropages yamadai* MORI

Family Pontellidae

- *Lapidocera japonica* MORI

Family Candaciidae

- *Candacia bipinnata* (GIESBRECHT)
- *Candacia catula* (GIESBRECHT)

Family Temoridae

- *Temora discaudata* GIESBRECHT

Family Metridinidae

Pleuromamma spp.

Family Lucicutiidae

- *Lucicutua flavicornis* (CLAUS)

Family Acartiidae

- *Acartia danae* GIESBRECHT
- *Acartia omorii* BRADFORD
- *Acartia hudsonica* PINHEY

Family Tortanidae

- *Tortanus forcipatus* (GIESBRECHT)

Order POECILOSTOMATOIDA

Family Corycaeidae

- *Corycaeus affinis* McMURRICH
- *Corycaeus agilis* DANA
- *Corycaeus asiaticus* F. DAHL
- *Corycaeus catus* F. DAHL
- *Corycaeus crassiusculus* DANA
- *Corycaeus pacificus* F. DAHL
- *Corycaeus speciosus* DANA

Family Oncaeidae

- *Oncaea conifera* GIESBRECHT
- *Oncaea media* GIESBRECHT
- *Oncaea venusta* PHILIPPI

Family Sapphirinidae

- *Sapphirina* spp.

Order CYCLOPOIDA

Family Oithonidae

- *Oithona similis* CLAUS
 - *Oithona atlantica* FARRAN
 - *Oithona longispina* NISHIDA
 - *Oithona plumifera* BAIRD
 - *Oithona setigera* DANA
 - *Oithona nana* GIESBRECHT
 - *Oithona davisae* FERRARI & ORSI
- Oithona* spp.

Order HARPACTICOIDA

Family Ectinosomatidae

△ *Microsetella norvegica* (BOECK)

Family Miraciidae

- *Euterpina acutifrons* (DANA)

(9月)に加え、冬季(1月)にも比較的大きなピークが観察された。日本海南西部水域(山口県沖)におけるカイアシ類群集では、出現個体数と種多様度との間に逆相関が観察されたが(HIRAKAWA and OGAWA 1996)、本研究では、種多様度の大きい秋季にもかかわらず、同時にカイアシ類総個体数は年間の最大ピーク(約1000個体 m^{-3})に達していた。カイアシ類優占種24種の個体数の季節変化を見ると(Fig. 4)、春季ピークは暖水性種のうち、主に温帯性種である*Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis*, *Centropages abdominalis*, *Paracalanus parvus*の4種で構成されていた。また、冬季ピークはほとんど*Paracalanus parvus* 1種であった。これに対して、秋季ピークは春季卓越種(*Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis*)の他に、*Eucalanus attenuatus*, *Oncaea venusta*, *Centropages furcatus*, *Paracalanus aculeatus*など多数の温帯-亜熱帯性種により形成されていた。

Stn. cにおける総個体数の季節変化をみると(Fig. 5)、年2回のピークが春季(4~5月)と秋季(9月)に観察され、春季ピークが年間最大値(約1500個体 m^{-3})を示した。秋季ピークは、総個体数については春季ピークより少ないが、多種にわたるカイアシ類から構成されていた。この高い種多様度は総個体数が減少する冬季(12~1月)においても持続される特徴を示した。また、カイアシ類優占種25種の個体数による季節変化をみると(Fig. 5)、春季ピークは温帯性の2種(*Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis*)によって構成されていたのに対して、秋季ピークはStn. aと同様に多数の温帯-亜熱帯性種(*Eucalanus attenuatus*, *Temora discaudata*, *Centropages furcatus*など)によって形成されていた。

(2) 採水試料

カイアシ類ノープリウス幼生の各採集層を通した季節変化をみると(Fig. 6)、両定点の7~8月とStn. cの4月を除き、その最大値の大部分は表面に出現する傾向を示した。表面のノープリウス幼生数はStn. aでは3月中旬に年間最大(7.44×10^4 個体 m^{-3})を示した。他方、Stn. cでは特定の時期における年間最大は見られず、複数の時期(9月中旬, 2月中旬, 4月下旬~5月上旬)にStn. aと比較して小規模なピーク($3.35 \sim 3.84 \times 10^4$ 個体 m^{-3})が出現した。

3 カタクチイワシの卵および仔魚

カタクチイワシ卵は両定点とも春季(5月)に増加する傾向を示し、特にStn. aでは多量(1曳網あたり205個)に出現した(Fig. 7)。仔魚(前期+後期)は卵のピーク後の6月中旬~7月上旬に最大値(Stn. a: 71個体, Stn. c: 7個体)を示し、卵と同様にStn. aで多く出現する傾向を示した。

考 察

若狭湾西部水域におけるカイアシ類優占種の出現は季節的に遷移し、全体として冬季・春季には種多様度の小さい温帯性のカイアシ類群集(*Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis*, *Centropages abdominalis*, *Paracalanus parvus*)が卓越し、秋季には種多様度の大きい温帯-亜熱帯性のカイアシ類群集が卓越する特徴を示した(Figs. 4, 5)。本研究におけるカイアシ類群集の季節変化を、同じ対馬暖流域に位置する山口県沖(HIRAKAWA and OGAWA 1996)と富山湾(井口・辻本 1997)におけるそれらと比較すると、3海域ともカイアシ類総個体数の季節的増加は春季と秋季に起こり、秋季ピークは多様な温帯-亜熱帯性種によって構成される点では同じであった。しかしながら、春季ピークの主要構成種は山口県沖では温帯性カイアシ類*Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus*, *Ctenocalanus vanus*であり、若狭湾と似た傾向を示したが、富山湾に

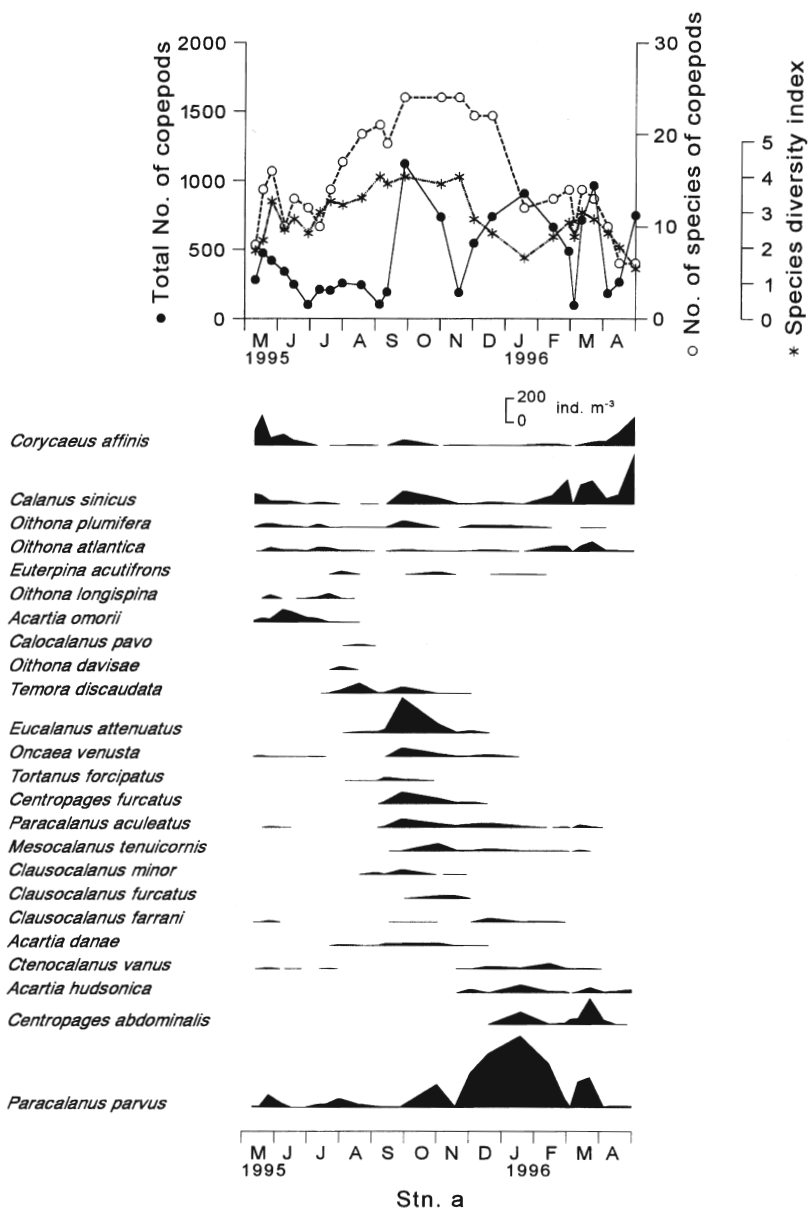


Fig. 4. Seasonal variations in the total number of individuals (ind. m⁻³), number of species and SHANNON-WEAVER diversity index of copepods (upper), and abundance (ind. m⁻³) of the dominant copepod species (lower) at Stn. a in western Wakasa Bay.

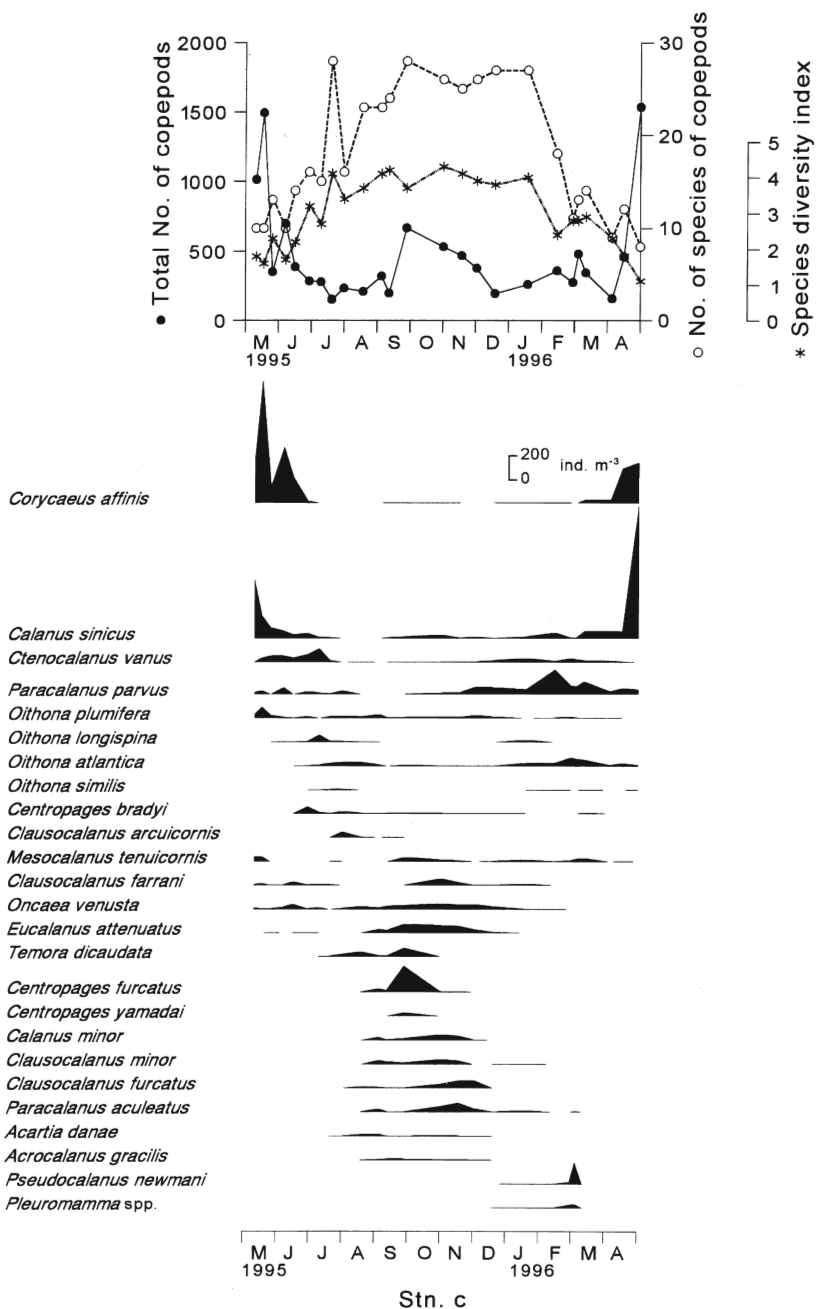


Fig. 5. Seasonal variations in the total number of individuals (ind. m^{-3}), number of species and SHANNON-WEAVER diversity index of copepods (upper), and abundance (ind. m^{-3}) of the dominant copepod species (lower) at Stn. c in western Wakasa Bay.

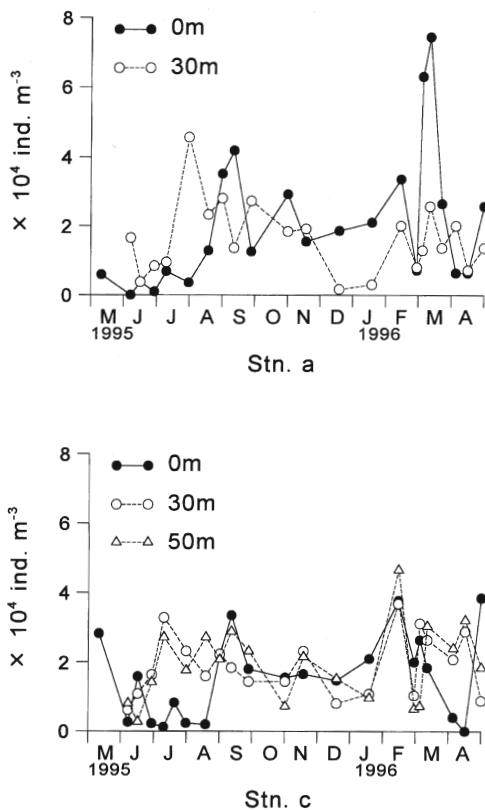


Fig. 6. Seasonal variations in the number of copepod nauplii collected from the surface water and 30 m depth (Stn. a) and surface, 30 m and 50 m depth (Stn. c) in western Wakasa Bay.

における主要構成種は冷水・広温性種が中心であり, *Oithona atlantica*, *Metridia pacifica*, *Pseudocalanus newmani*, *Corycaeus* spp. (主として *Corycaeus affinis*) であった. 従って, 若狭湾西部水域, 特に冬季ピークをもたない Stn. c (沖合) におけるカイアシ類群集の季節変化は, 山口県沖におけるそれと類似しているといえる.

若狭湾西部水域においてカタクチイワシ仔魚が出現した 6~7 月は (Fig. 7), カイアシ類 (コペポダイト・成体) 群集の春季ピーク後に相当するが, 春季ピークで主要構成種であった *Corycaeus affinis* および *Calanus sinicus* に加えて, *Ctenocalanus vanus*, *Acartia omorii* などが引き続き優占していた (Figs. 5, 6). 山口県沖と富山湾におけるカタクチイワシ仔魚の消化管内容物組成調査では, カタクチイワシ消化管内のノープリウス幼生は環境中のカイアシ類群集組成を反映していたことから (HIRAKAWA and OGAWA 1996; HIRAKAWA *et al.* 1997), 若狭湾西部水域のカタクチイワシ仔魚は上記のカイアシ類種のノープリウス幼生を主要餌料源として利用し, 成長していると判断される. ただし, 今回採集に用いたネットの目合 (0.35 mm) を通り抜けてしまう小型のカイアシ類である *Oithona* 属が, 採水や目合の細かいネットによる採集では若狭湾に多く出現することが報告されており (安田 1984; 和田ら 1984), 本研究中でもカイアシ類ノープリウス幼生用の採集試料から多くの *Oithona* 属が観察されている (和田 未発表) ことから, 本属 (*Oithona similis*, *O. nana*) の初期餌料としての寄与も想定される. 以上のことから, イワシ類仔魚の餌料として以前から注目されてきた Calanoida (おそらく *Calanus sinicus*, *Paracalanus*

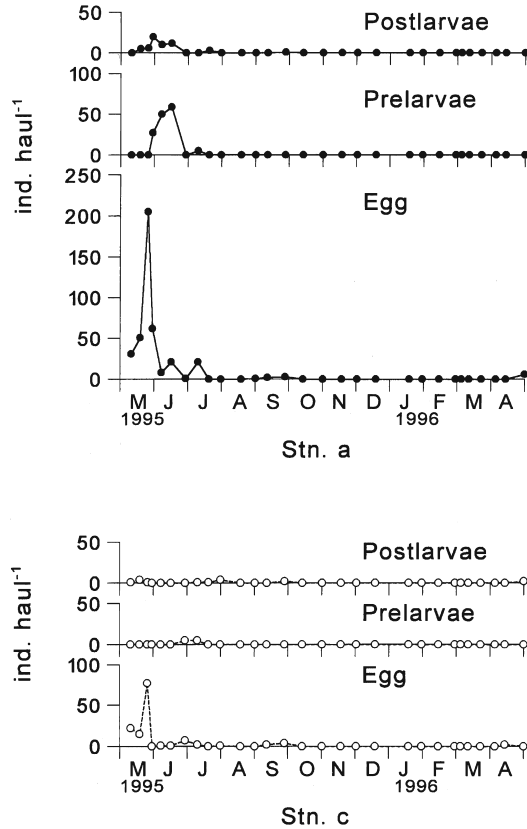


Fig. 7. Seasonal variations in the number of eggs, prelarvae and postlarvae of anchovy at Stn. a and Stn. c in western Wakasa Bay.

purvus) のノープリウス幼生 (NAKATA 1990 ; MULLIN 1994 ; NAKATA *et al.* 1994) のみならず, Poeciliostomatoida (*Corycaeus affinis*) や Cyclopoida (*Oithona* 属) のノープリウス幼生が春季の若狭湾西部水域におけるカタクチイワシ後期仔魚の生残に重要な役割を担っているものと推測される. カリフォルニア沖でもマイワシの初期餌料として, 小型カイアシ類, 特に *Oithona similis* の重要性が示唆されている (ARTHUR 1977).

カタクチイワシの生態的特徴として, 餌環境の良否に伴って短時間で産卵を繰り返し, その産卵水温は15℃以上であることが知られている (鶴田 1992). よって, 両定点における5月(表層水温: >15℃)のカタクチイワシの卵生産 (Fig. 7) には4~5月のカイアシ類個体数のピーク (Figs. 4, 5) が餌として重要な役割を担っていると考えられる. また, これらの卵から発生したと推定されるカタクチイワシ仔魚は6~7月に出現している (Fig. 7). このカタクチイワシ仔魚の主要餌生物であるカイアシ類ノープリウス幼生は, Stn. c では Stn. a と比較して顕著な季節的変動を示さず, 春季から夏季にかけても緩やかに減少したことから, 6~7月に出現したカタクチイワシ仔魚の餌環境は沖合域 (Stn. c) のほうが沿岸域 (Stn. a) より安定していたといえる. これらの両定点間におけるノープリウス幼生の季節的出現パターンの相違には, カイアシ類成体の餌となる植物プランクトンの増殖時期, 更に, 物理・化学的環境条件の相違が関連していると考えられる.

両定点において表面の年間最低水温を記録する前に、冬季～春季の植物プランクトン増殖が観察された(Figs. 2, 3). この理由として、① Stn. a では河川(由良川)からの栄養塩補給と同時に、低塩分による密度躍層形成(鉛直混合の抑制)が起こったことにより、② 他方、Stn. c では冬季鉛直混合(Fig. 2)の早い段階から海底付近の栄養塩が上層へ供給され表層に栄養塩が豊富であったことに加え、河川水が沖合域へ拡散したことにより、各々日照時間の増加に伴い植物プランクトンが増殖したと考えられる。さらに、冬～春季における植物プランクトンの増殖がStn. c よりもStn. a で早くしかも量的に多く発生した理由については、Stn. a が河口域(由良川)に位置することによる、早い時期における河川からのより豊富な栄養塩の供給が考えられる。この様な沿岸・沖合いにおける春季の植物プランクトン増殖時期のずれや、餌料カイアシ類の再生産応答の遅早などがノープリウス幼生の生産を規定し、春生まれカタクチイワシ群の“Food availability(餌利用能)”, ひいてはそれらの生残・成長に影響していると推察される。

文 献

- ARTHUR, D. K. (1977) Distribution, size, and abundance of microcopepods in the California Current system and their possible influence on survival of marine teleost larvae. *Fish. Bull.*, **75**, 601-611.
- CHECKLEY, D. M., Jr. (1980) Food limitation of egg production by a marine, planktonic copepod in the sea off southern California. *Limnol. Oceanogr.*, **25**, 991-996.
- HIRAKAWA, K., GOTO, T. and HIRAI, M. (1997) Diet composition and prey size of larval anchovy, *Engraulis japonicus*, in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst.*, (47), 67-78.
- HIRAKAWA, K. and OGAWA, Y. (1996) Characteristics of the copepod assemblage in the southwestern Japan Sea and its implication for anchovy population dynamics. *Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst.*, (46), 45-64.
- HJORT, J. (1926) Fluctuations in the year classes of important food fishes. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **1**, 5-38.
- 細川隆英・加藤陸奥雄・北沢右三・野村健一・田口亮平・鳥居西蔵・八木誠政 (1968) 新編 生態学汎論. 養賢堂, 東京, 154-155.
- 井口直樹・辻本良 (1997) 富山湾におけるカタクチイワシ仔魚餌料としてのカイアシ類群集の季節変化. 水産研報告, (47), 79-94.
- 池脇義弘・澤田好史 (1991) 海産仔魚の食性. pp.86-104. 日本水産学会編 魚類の初期発育, 恒星社厚生閣, 東京.
- 川辺正樹 (1987) 対馬暖流. pp.359-361, 和達清夫監修 海洋大事典, 東京堂出版, 東京.
- 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**, 1-57.
- 桑原昭彦・鈴木重喜 (1984) 若狭湾西部海域におけるカタクチイワシ卵・稚仔魚の鉛直分布の昼夜変化. 水産誌, **50**, 1285-1292.
- LASKER, R., FEDER, H. M., THEILACKER, G. H. and MAY, R. C. (1970) Feeding, growth, and survival of *Engraulis mordax* larvae in the laboratory. *Mar. Biol.*, **5**, 345-353.
- LAST, J. M. (1980) The food of twenty species of fish larvae in the eastern English Channel and southern North Sea. *MAFF Fish. Res. Tech. Rep.*, (60), 1-44.
- MULLIN, M. M. (1994) Distribution and reproduction of the planktonic copepod, *Calanus pacificus*, off southern California during winter-spring of 1992, relative to 1989-91. *Fish. Oceanogr.*, **3**, 142-157.
- 長田 宏・小川嘉彦・平井光行・平川和正 (1996) 日本周辺海域における透明度の地理的分布と季節変動. 水産研報告, (46), 1-24
- 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.
- NAKATA, K., NAKANO, H. and KIKUCHI, H. (1994) Relationship between egg productivity and RNA/DNA ratio in *Paracalanus* sp. in the frontal waters of the Kuroshio. *Mar. Biol.*, **119**, 591-596.
- O'CONNEL, C. P. and RAYMOND, L. P. (1970) The effect of food density on survival and growth of early post yolk-sac larvae of the northern anchovy (*Engraulis mordax* GIRARD) in the laboratory. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **5**, 187-197.
- PAFFENHÖFER, G. -A. (1993) On the ecology of marine cyclopoid copepods (Crustacea, Copepoda). *J. Plankton Res.*, **15**, 37-55.
- SHANNON, C. E. and WEAVER, W. (1963) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press,

- Urbana, 117.
- TISELIUS, P., NIELSEA, T. G., BREUEL, G., JAANUS, A., KORSHENKO, A. and WITEK, Z. (1991) Copepod egg production in the Skagerrak during SKAGEX, May–June 1990. *Mar. Biol.*, **111**, 445-453.
- 鶴田義成 (1992) カタクチイワシの成熟・産卵と再生産力の調節に関する研究. 水工研報告, (13), 129-168.
- TURNER, J. T. (1984) The feeding ecology of some zooplankters that are important prey items of larval fish. *NOAA Technical Report NMFS*, **7**, 1-28.
- UYE, S. and SHIBUNO, N. (1992) Reproductive biology of the planktonic copepod *Paracalanus* sp. in the Inland Sea of Japan. *J. Plankton Res.*, **14**, 343-358.
- 和田洋藏 (1997) 若狭湾周辺海域におけるカタクチイワシ資源. 水産海洋研究, **61**, 307-309.
- 和田洋藏・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. 京都海洋センター研報, (8), 23-30.
- 安田 徹 (1984) II-4-4 富山湾における動物プランクトンの分布. 海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究, 北陸沿岸地域調査成果報告, 日水研, 365-375.
- 銭谷 弘・石田 実・小西芳信・後藤常夫・渡邊良朗・木村 量 (1995) 日本周辺水域におけるマイワシ, カタクチイワシ, サバ類, ウルメイワシ, およびマアジの卵仔魚とスルメイカ幼生の月別分布状況: 1991年1月～1993年12月. 日本周辺水域における主要浮魚類の卵仔魚分布 水産庁研究所資源管理研究報告シリーズA1, 1-368.