

大和堆における動物プランクトン群集の季節変化 およびそれらと海洋構造との関連

平川 和正¹⁾・森田 晃^{2,3)}・長田 宏^{1,4)}・平井 光行¹⁾

Seasonal Variability of the Zooplankton Assemblage and Its Relationship with Oceanographic Structures at Yamato Tai, Central Japan Sea

Kazumasa HIRAKAWA¹⁾, Akira MORITA^{2,3)}, Hiroshi NAGATA^{1,4)} and Mitsuyuki HIRAI¹⁾

Abstract

This paper describes the seasonal variability in biomass (wet weight) and taxonomic composition of the zooplankton assemblage, in relation to the hydrographic conditions at Yamato Tai, central Japan Sea. Samples were taken 1-5 times a year by vertical hauls (0-500 m depth) with a NORPAC net from 1987 to 1997. According to the combined monthly data, the total zooplankton biomass increased from winter to spring with an annual maximum in April. Of the four dominant groups (copepods, amphipods, chaetognaths and euphausiids), copepods were the most important and accounted for 43% of the total biomass. The typical herbivorous groups, copepods and euphausiids (mostly *Euphausia pacifica*) mainly peaked in spring and played a major role in determining the seasonal pattern of the zooplankton biomass. For carnivorous groups, amphipod (mostly *Themisto japonica*) showed several seasonal peaks (spring, autumn and winter), whereas the chaetognath biomass markedly increased in summer (July). The spatio-temporal distributions of the zooplankton groups at Yamato Tai were closely associated with the interrelation between the cold- and warm-water masses (i.e., the "Subarctic Water", "Deep Water" and "warm Tsushima Current"), and also affected by upwellings and the different ecological characteristics of the zooplankton groups to such local hydrographic events.

Key words : amphipods, chaetognaths, copepods, euphausiids, spatio-temporal distribution, water masses, Yamato Tai, zooplankton biomass

1998年11月11日受理 日本海区水産研究所業績A第526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⁾ 〒631-0052 奈良市中町3327-204 近畿大学農学部水産学科
(Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Kinki University, Naka-machi, Nara 631-0052, Japan)

³⁾ 現住所 : 〒950-0994 新潟市上所1-2-1 新潟東警察署
(Present address: Niigata Higashi Police Station, Kamidokoro, Niigata 950-0994, Japan)

⁴⁾ 現住所 : 〒850-0951 長崎市国分町49 西海区水産研究所
(Present address: Seikai National Fisheries Research Institute, Kokubu-machi, Nagasaki 850-0951, Japan)

緒 言

大和堆は、ほぼ日本海の中央部に位置し、高温・高塩分の対馬暖流系水と低温・低塩分の亜寒帯系水とが周年を通じて出会う亜寒帯前線(フロント)域にあたり、常に2つの異質な水塊の影響を受けている。このような水塊特性を反映して、本水域は、暖海性のマサバやスルメイカ、寒海性のスケトウダラ、カラフトマス、サクラマスなどの日本海における代表的沖合漁場として古くから知られている。フロント水域に好漁場が形成される理由として、(1)潮境では渦動が生じることにより、収束域と発散域が接続し、栄養塩供給が起こり、その結果植物プランクトンの高い生産が維持されること、(2)それに伴い動物プランクトンが繁殖し、索餌魚群が濃密に集合すること、他方(3)潮境が環境障壁として作用し魚族を集積させること、が仮説として取り上げられてきた(宇田 1960 参照)。しかしながら、日本海ではフロント水域における生物生産に関する基礎的知見が不足しているため、本研究では、これらの生物的・非生物的諸要素のうち、まず、大和堆漁場の形成機構を解明していく上で重要な要素の一つと考えられる餌料生物(動・植物プランクトン)群集—海洋の食物連鎖の基盤—とその環境との関連に焦点を合わせ、これらの仮説の妥当性について検討した。

大和堆水域における既往の動物プランクトンの調査研究から、夏季の動物プランクトン現存量は暖水域より冷水域で多く、動物プランクトン群集の中ではカイアシ類が主要分類群となることが明らかとなった(海洋水産資源開発センター 1992)。また、日本海中央部および南部における春季のカイアシ類群集の分布特性を調べたMESHCHERYAKOVA(1960)によれば、本水域においてカイアシ類は冷水性種の他に暖水性種も多量に出現する特徴を示した。更に、西濱ら(1995)は、ヤムシ類の種組成が海洋構造の季節変化に対応して変動し、夏季から秋季には表面水温の上昇と季節的水温躍層の発達および対馬暖流系水の優勢に伴い、冷水性種に加え暖水性種や混合水域種も出現することを報告した。しかしながら、本水域における動・植物プランクトン群集の分布生態に関する研究報告は、黒潮や親潮など他のフロント水域における知見(古橋 1984; 小谷・小達 1985; YAMAMOTO and NISHIZAWA 1986; YAMAMOTO *et al.* 1988; 服部 1991など)と比較して少なく、また、その季節変化や低次生産構造に関する知見は見当たらない。

本研究では、大和堆漁場の形成要因として不可欠な餌料動物プランクトンの生産過程を把握するため、動物プランクトンの分類群組成および主要分類群の季節変化を調べるとともに、それらと水塊構造、栄養塩濃度および植物プランクトン現存量(クロロフィル a 濃度)との対応関係を明らかにすることを目的とした。

本文に先立ち、野外採集調査にご協力頂いた日本海区水産研究所漁業調査船“みずほ丸”および諸官公庁所属調査船の船長および乗組員並びに日本海区水産研究所前海洋環境部(現日本海洋環境部)の研究員の方々に御礼申し上げる。また、本研究を進めるにあたり、数々の有益なご助言を頂いた近畿大学農学部故津田良平教授および田中祐志前講師(現東京水産大学水産学部助教授)に心から謝意を表す。

材 料 と 方 法

大和堆は日本海の中央部(北緯 $39^{\circ}20'$ 、東経 $135^{\circ}00'$)を中心に、西南西から東北東にかけて亜寒帯前線域を約230 kmにわたって広がっている(Fig. 1)。この水域において、1987~1997年までの11年間にわたり、日本海区水産研究所漁業調査船“みずほ丸”を主とする諸機関の調査・観測船などによる動物プランクトン調査が冬季(1月)から秋季(10月)の期間中、十字状に

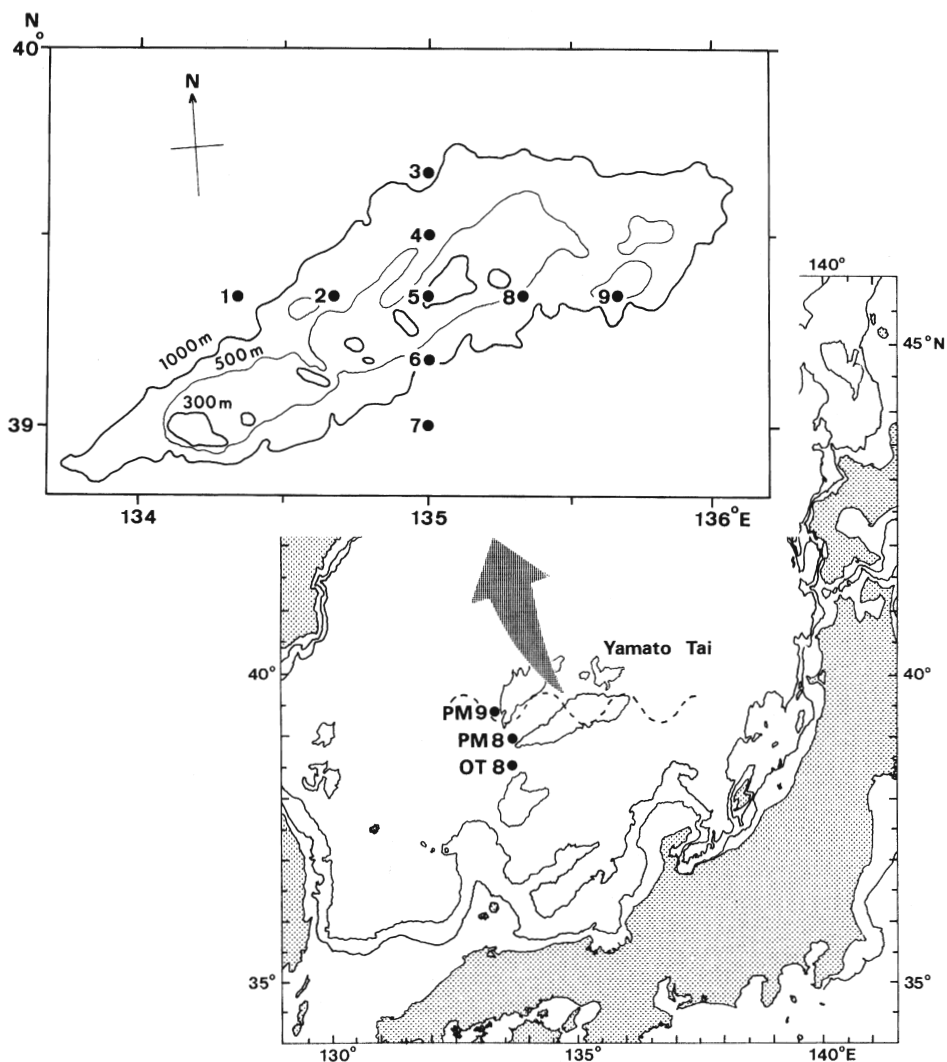


Fig. 1. Maps showing the location of Yamato Tai (lower panel), and the position of the present study (Stns. 1-9) and reference (Stns. PM 8, PM 9 and OT 8) sampling stations at Yamato Tai and its adjacent waters (upper and lower panels, respectively). Bathymetric contours (300, 500 and 1000 m) for Yamato Yai are also given. The broken line denotes schematically the position of the subarctic front.

切った測線上の9定点(Fig. 1)において毎年1~5回, 計23回実施された(Table 1). これらの動物プランクトン採集定点は大和堆における5つの異なる区域に設定された〔東部: Stns. 8および9(水深: 530~610 m), 西部: Stns. 1および2(水深: 530~2000 m), 南部: Stns. 6および7(水深: 1000~2800 m), 北部: Stns. 3および4(水深: 740~1020 m), 中央部(堆頂部): Stn. 5(水深: 310 m)〕. 動物プランクトン試料は, ノルパックネット(口径: 45 cm, 網目: 0.33 mm)を用いて, 動物プランクトンの日周鉛直移動による昼夜間での動物プランクトン現存量の差異をできる限り小さくするため, 500 m深(但し, 水深500 m以浅のStn. 5では300 m深)から表面までの鉛直曳きによって昼夜を問わずに採集された. 採集の際, ネットの口部には濾水計(離合社

Table 1. Data on the zooplankton sampling at Yamto Tai and adjacent waters in 1987-1997

| Sampling No. | Sampling date | No. of station | Research Vessel |
|--------------|----------------------|----------------|-----------------|
| 1 | 16-18 April 1987 | 9 | Tanshu-Mar |
| 2 | 18-23 June 1988 | 8 | Mizuho-Mar |
| 3 | 20-21 September 1988 | 8 | Mizuho-Mar |
| 4* | 10-11 October 1989 | 8 | Mizuho-Mar |
| 5* | 9-10 May 1990 | 9 | Mizuho-Mar |
| 6** | 13 February 1991 | 1 | Ohtori-Mar |
| 7* | 6-7 October 1991 | 9 | Mizuho-Mar |
| 8 | 23-24 July 1992 | 7 | Mizuho-Mar |
| 9 | 21-22 August 1993 | 9 | Mizuho-Mar |
| 10 | 2-3 October 1993 | 9 | Mizuho-Mar |
| 11* | 20-21 April 1994 | 9 | Mizuho-Mar |
| 12* | 23-25 August 1994 | 9 | Mizuho-Mar |
| 13* | 8-10 October 1994 | 9 | Mizuho-Mar |
| 14** | 22 February 1995 | 2 | Seihu -Mar |
| 15 | 25 April 1995 | 7 | Mizuho-Mar |
| 16 | 16 June 1995 | 5 | Mizuho-Mar |
| 17* | 25-30 August 1995 | 9 | Mizuho-Mar |
| 18 | 27-29 October 1995 | 8 | Mizuho-Mar |
| 19 | 21 April 1996 | 1 | Mizuho-Mar |
| 20 | 21-22 October 1996 | 7 | Mizuho-Mar |
| 21 | 17-24 January 1997 | 5 | Kaiyo-Mar |
| 22 | 28 April 1997 | 4 | Mizuho-Mar |
| 23 | 6 October 1997 | 6 | Mizuho-Mar |

* double hauls at Stn. 5

** Reference data

製)を装着し、その回転数からネットの濾水量を求め、単位水量当たりの動物プランクトン現存量(湿重量)を算出した。

採集試料は船上で10%中性ホルマリン海水を用いて固定した後、陸上研究室に持ち帰り選別を行った。大型の動物プランクトン(体長:約2 mm以上)は全サンプル(1/1)から肉眼で選別・計数し、残りは小型動物プランクトン(体長:約2 mm以下)としてフォルサム型プランクトン分割器で等分割(1/2~1/8)した後、それらを双眼実体顕微鏡下で選別・計数した。個々の分類群の湿重量は電子天秤(精度:0.001 g)を用いて測定した。

また、同時に各定点で、CTD(Neil Brown社製或いはSea Bird社製)による海洋観測を行い、0~1000 m深の水温・塩分を測定した。更に、ロゼット採水器を使用し、標準深度(0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 150および200 m深)におけるクロロフィル a および栄養塩の濃度測定用の採水を行った。クロロフィル a 濃度の測定は船上で試水200 mlを濾過した後、濾紙(Whatman GF/F)を凍結保存(-20°C)し、それらを $N-N$ ジメチルホルムアミドに浸漬して色素を抽出し、分光蛍光光度計(日本分光FP-777)を用いて蛍光法により行った(SUZUKI and ISHIMARU

1990). 栄養塩濃度の測定は試水を凍結(-20℃)して持ち帰り, STRICKLAND and PARSONS(1968)に準じて, オートアナライザー II 型(プラン・ルーベ社製)を用いて行った. これらの海洋環境に関するデータのうち, 本研究では同一年において動物プランクトンの一連の季節別試料が揃っている1995年(4月, 6月, 8月および10月)における測定結果(但し, 6月は水温・塩分のみ)を使用した.

結 果

1 動物プランクトン群集の季節変化

大和堆水域に出現する動物プランクトン群集の季節変化の概要を把握するため, 動物プランクトンの現存量(湿重量: mg/m³)からみた分類群組成および主要分類群の季節変化を1987年4月から1997年10月までの全データを用いて解析を行った.

Table 2. Percentage composition in biomass of the 11 zooplankton groups at Yamato Tai, according to totaled data over the study period (1987-1997).

| Zooplankton | % |
|---------------------------------|------|
| Copepoda | 42.6 |
| Amphipoda | 18.0 |
| Chaetognatha | 17.3 |
| Euphausiacea | 8.5 |
| Hydromedusae | 6.2 |
| Ostracoda | 3.7 |
| Mysidacea | 1.3 |
| Appendicularia | 0.9 |
| Gastropoda | 0.6 |
| Non-pelagic invertebrate larvae | 0.2 |
| Others | 0.7 |

(1) 群集組成: 全調査期間を通じ, 全動物プランクトンの合計現存量に対するCopepoda(カイアシ類), Amphipoda(端脚類), Chaetognatha(ヤムシ類)および Euphausiacea(オキアミ類)など11分類群の出現割合をみると, これら分類群のうち, カイアシ類は全体の42.6%を占め, 最も多く出現した(Table 2). カイアシ類に続いて, 端脚類(18.0%), ヤムシ類(17.3%), オキアミ類(8.5%)の順で出現割合が高く, いずれの分類群も全体の約10%以上を示した. このことから, 本水域における動物プランクトン主要構成群は, カイアシ類, オキアミ類, 端脚類およびヤムシ類の4分類群であることが明らかとなった.

(2) 季節変化: 全動物プランクトンおよび主要動物プランクトンの4分類群(カイアシ類, オキアミ類, 端脚類およびヤムシ類)の現存量の季節変化を調べるために, 全データを月別に組み合わせ, その推移を全期間の平均値を便宜的な基準として追跡した.

全動物プランクトン(Fig. 2): 全動物プランクトン現存量は, 1~2月から4月にかけて増加し, また, 10月には再び若干ながら増加する傾向を示したが, 全体して春季から夏・秋季にかけて減少した. 日本海における動物プランクトン現存量に関する既往の知見(森岡 1985)によると,

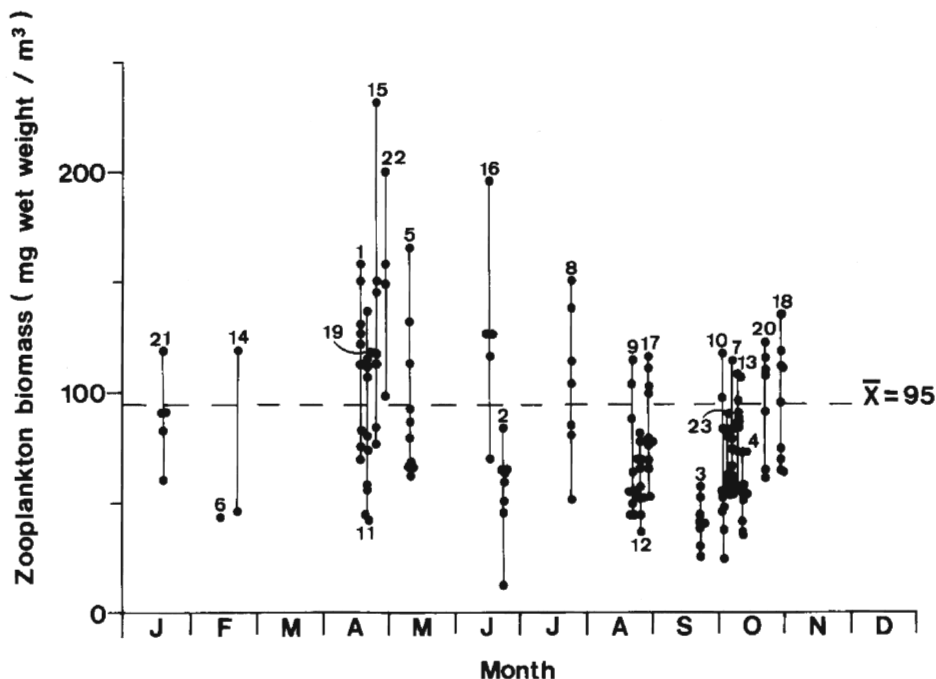


Fig. 2. Seasonal variation in the total biomass (wet weight) of zooplankton at Yamato Tai, according to the combined monthly data in 1987-1997. Numbers in figures denote the sampling numbers in Table 1. “ \bar{X} ” denotes the mean value for all stations over the study period.

各々試料採集層が異なるので直接的比較は困難であるが、本研究で観察された春季(4月)の平均現存量(112 mg/m^3)は100 m深の水温が 10°C 未満の寒海域の、一方夏・秋季(8~10月)の平均現存量(72 mg/m^3)は暖海域(100 m深水温： 10°C 以上)から寒海域にかけての平均現存量にほぼ等しいことが判った。

カイアシ類(Fig. 3 上図)：カイアシ類の現存量は、冬季(1~2月)から春季(4月)に増加し、年間最大(142 mg/m^3)を記録する定点がみられた。また、秋季(10月)には小さな増加を示したものの、総じて夏・秋季(8~10月)にかけては春季と比べ低い値を示した。一般に、冬季から初夏(6月)にかけての現存量は、夏・秋季のそれらと比較し、定点間で顕著な差異を示し、より大きく変動した。

オキアミ類(Fig. 3 下図)：オキアミ類の現存量は、カイアシ類の現存量とほぼ同様に冬季(1~2月)から春季(4月)にかけて増加し、夏・秋季(6~10月)には低い現存量を持続した。春季には年間最大(100 mg/m^3)と同時に年間最低($<0.1 \text{ mg/m}^3$)を示す定点がみられ、その変動幅は、他の季節の変動幅と比べ著しく大きかった。

端脚類(Fig. 4 上図)：端脚類の現存量は、冬季(1月)、春期(4月)および秋季(10月)には局所的ではあるが、各々季節的ピークを形成し、特に1996年10月では本調査期間を通して最大(93 mg/m^3)に達した。しかしながら、これらの値を除けば、現存量は定点間でより大きな差異を示さず、比較的安定した季節変化を示した。

ヤムシ類(Fig. 4 下図)：ヤムシ類の現存量は、冬季(1~2月)から春季、更に夏季にかけて次第に増加し、7月には最大(58 mg/m^3)に達した。その後、本現存量は、8~9月に減少したが、10月には少量ながら増加する傾向を示した。多量に出現した夏季(7月)における現存量の変動

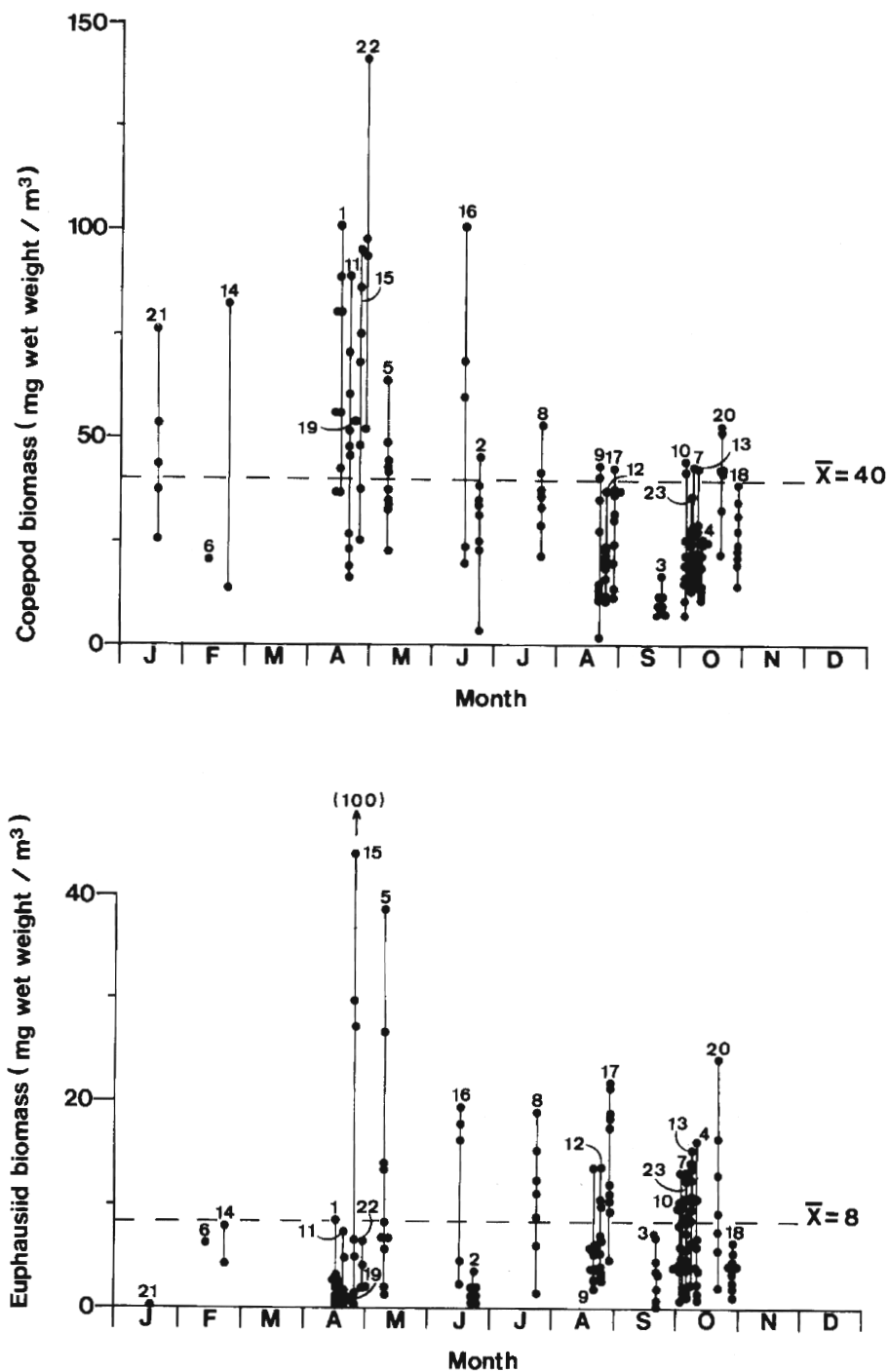


Fig. 3. Seasonal variations in the biomass (wet weight) of copepods (upper panel) and euphausiids (lower panel) at Yamato Tai, according to the combined monthly data in 1987-1997. Numbers in figures denote the sampling numbers in Table 1. " \bar{X} " denotes the mean value for all stations over the study period.

幅は、カイアシ類、オキアミ類および端脚類の多量出現期のそれらと同様に、定点間での差異は顕著であった。

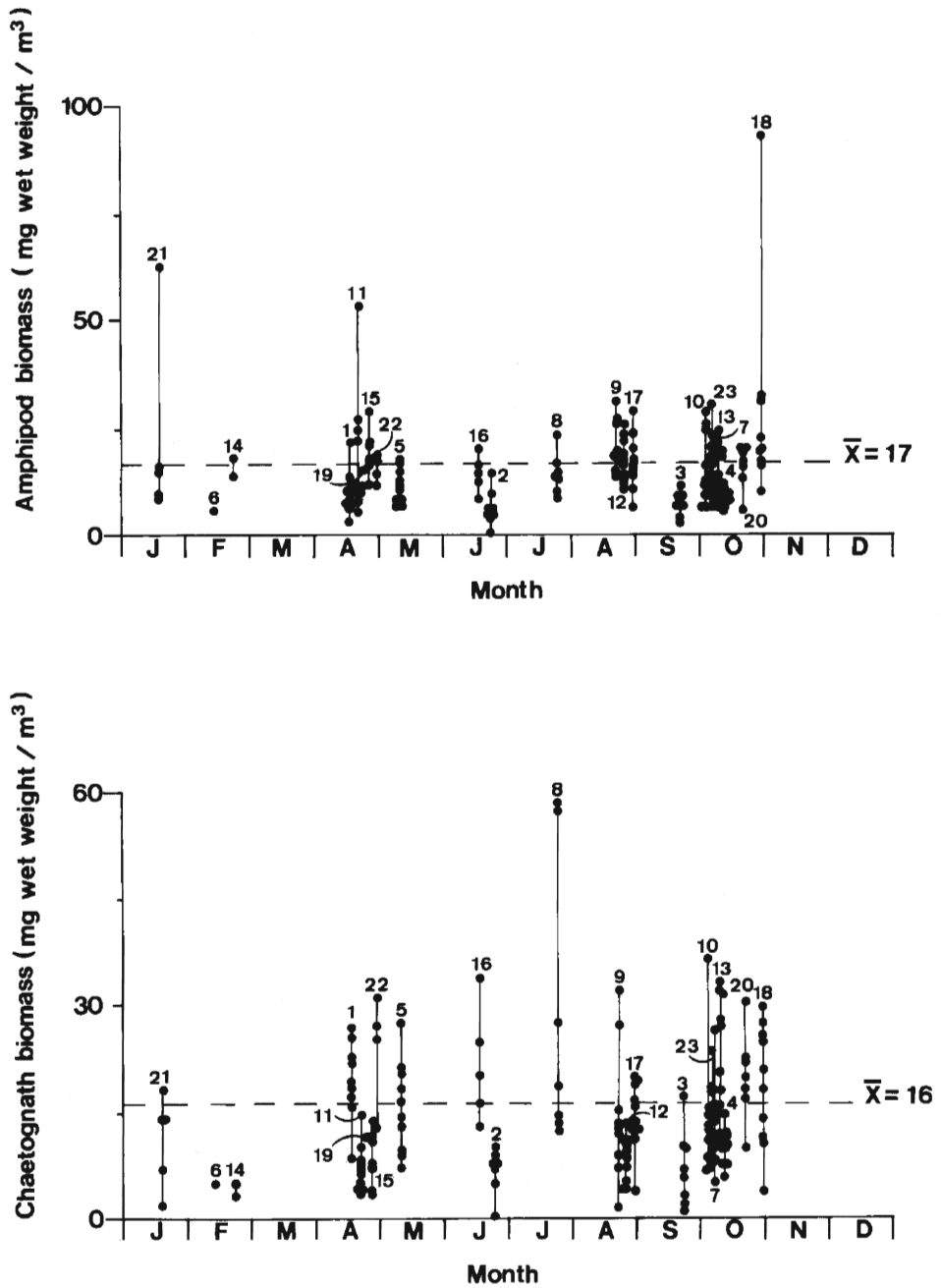


Fig. 4. Seasonal variations in the biomass (wet weight) of amphipods (upper panel) and chaetognaths (lower panel) at Yamato Tai, according to the combined monthly data in 1987-1997. Numbers in figures denote the sampling numbers in Table 1. " \bar{X} " denotes the mean value for all stations over the study period.

カイアシ類およびオキアミ類の現存量は、主として春季に増加したことから、これら両分類群の季節変化のパターンは全動物プランクトン現存量の季節パターンと類似した傾向を示した。また、端脚類(殆ど、ニホンウミノミ *Themisto japonica*)の季節的増加は複数にわたっており、カイアシ類およびオキアミ類が増加した春季にも見出された。富山湾においても、端脚類は主要な増加期である夏季の他に春季にも増加することが報告されている(IKEDA *et al.* 1992)。このことから、端脚類は、大部分が植食者によって占められるカイアシ類およびオキアミ類(主に、ツノナシオキアミ *Euphausia pacifica*)とともに、本水域における春季の植物プランクトン生産に対する動物プランクトンの応答を速やかに捉える上で、同じ肉食者であるヤムシ類と比較し、より有効な分類群であるといえる。

2 1995年春季、夏季及び秋季における海洋調査

(1) 海洋環境

水温・塩分の鉛直断面(Fig. 5)：1995年4月、6月、8月および10月における400 m以浅の水温と塩分の鉛直分布を東西(Stns. 1, 2, 5, 8, 9)と南北(Stns. 3, 4, 5, 6, 7)の断面でみると、200~300 m以深の水温・塩分は各月の全定点を通してほぼ均一であった。この水塊は“日本海固有水”或いは“深層水”(水温： $<1.0^{\circ}\text{C}$ ，塩分：34.05~34.10 PSU)として区分され、日本海全体に分布する(NISHIMURA 1969)。

4月には東部の100 m以浅、および南端部(Stn. 7)の40 m以浅において高温・高塩分(水温：10~12 $^{\circ}\text{C}$ ，塩分：34.3~34.5 PSU)を示す水塊がみられた。一方、西部と南端部付近(Stn. 6)では水温・塩分は、どの深度においても他の定点に比べて共に低く、特にStn. 2では冷水(5~8 $^{\circ}\text{C}$)が著しく盛り上がる特徴を示した。これら暖水および冷水塊は各々高温・高塩な“対馬暖流系中層水”(水温：10~20 $^{\circ}\text{C}$ ，塩分：34.2~34.6 PSU)および低温・低塩な“亜寒帯系水”(水温：5~18 $^{\circ}\text{C}$ ，塩分： <34.1 PSU)として定義される(海洋水産資源開発センター 1992)。6月には“対馬暖流系中層水”の影響は西・南部においてより強かったが、東部では認められなかった。“亜寒帯系水”は北・東部において下層から上層へと上昇する傾向を示した。8月の水塊構造は、全域の30 m以浅にみられた“対馬暖流表層水”(小川 1981 参照)と呼ばれている高温・低塩分水(水温： $>20^{\circ}\text{C}$ ，塩分： <34.1 PSU)の流入によって特徴づけられた。その下層(30~50 m深)には高温・高塩分の水塊(“対馬暖流系中層水”)が中央部を除く全域でみられたのに対して、中央部では“亜寒帯系水”がドーム状に分布していた。8月と同様に、10月の全域でも“対馬暖流表層水”および“対馬暖流系中層水”が流入していたが、その水平・鉛直分布の範囲は8月よりも広がった。しかしながら、水温は海面冷却により、8月に比べると低くなり、その結果鉛直混合(最大深度：約40 m)が始まった。一方、“対馬暖流系中層水”の下には低温・低塩分の“亜寒帯系水”が変質しないまま存在し、東部ではドーム状分布を示した。

本水域における海洋構造の大きな特徴は主として冷水塊(“日本海固有水”および“亜寒帯系水”)および暖水塊(“対馬暖流表層水”および“対馬暖流系中層水”)の時空間分布によって決定されることである。すなわち、“亜寒帯系水”による四季を通しての湧昇および“対馬暖流表・中層水”の季節的増加が挙げられる。更に、春季(4月)の海洋構造は冬季鉛直混合の影響による水温の深度変化が小さく不安定であつたが、夏季(8月)には二層構造の発達により高い安定性を示した。これは顕著な季節的水温躍層(10~50 m深付近)の形成と表層への低塩分水の流入に起因する。

栄養塩類の鉛直断面(Fig. 6)：4月、8月および10月における200 m以浅でのリン酸塩と硝酸塩の鉛直分布を各々東西方向と南北方向の断面で示した。これら栄養塩の鉛直分布と水塊構造と

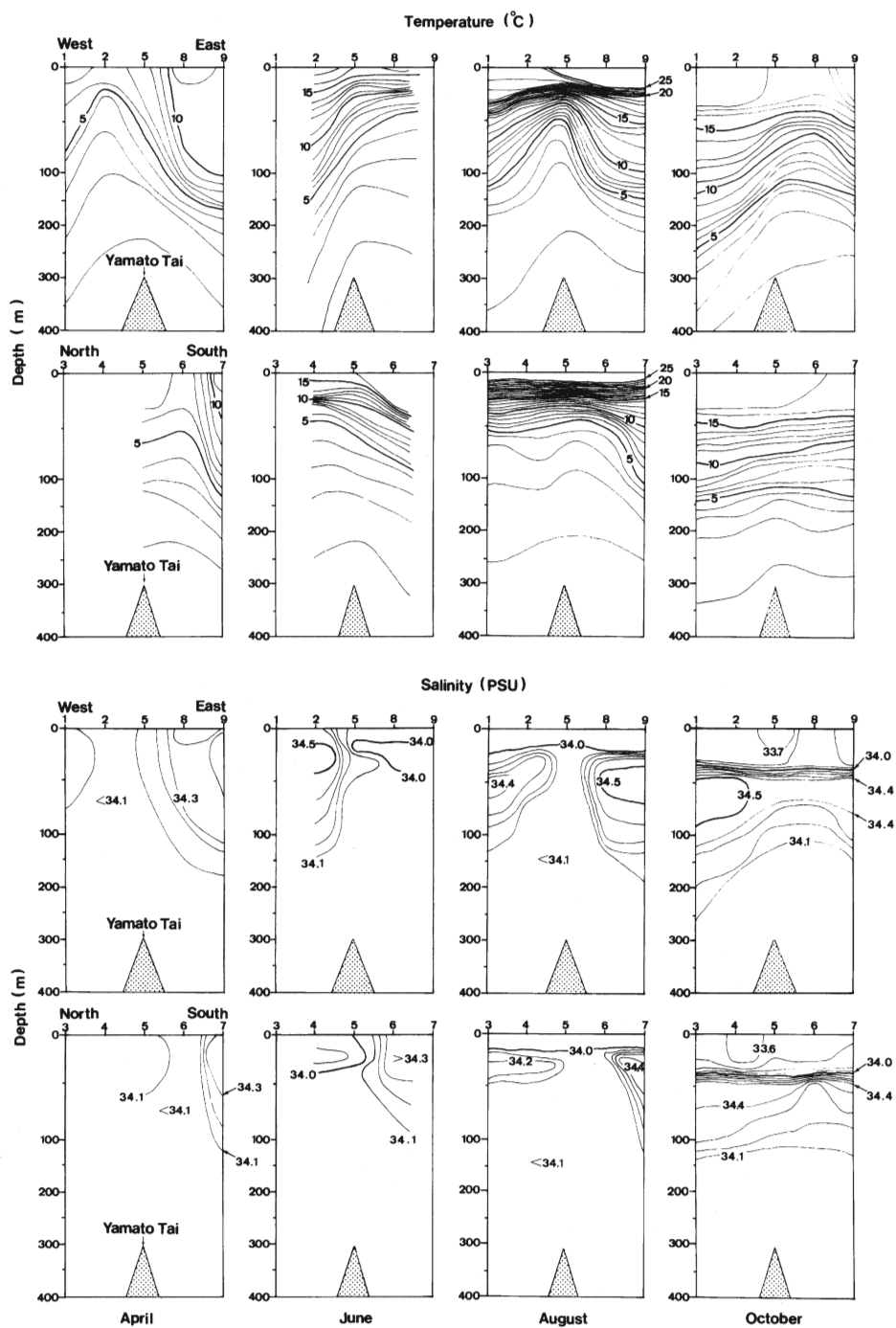


Fig. 5. Vertical distributions of temperature (upper two panels) and salinity (lower two panels) in the upper 400 m of the east-west and south-north sections of Yamato Tai in April, June, August and October, 1995.

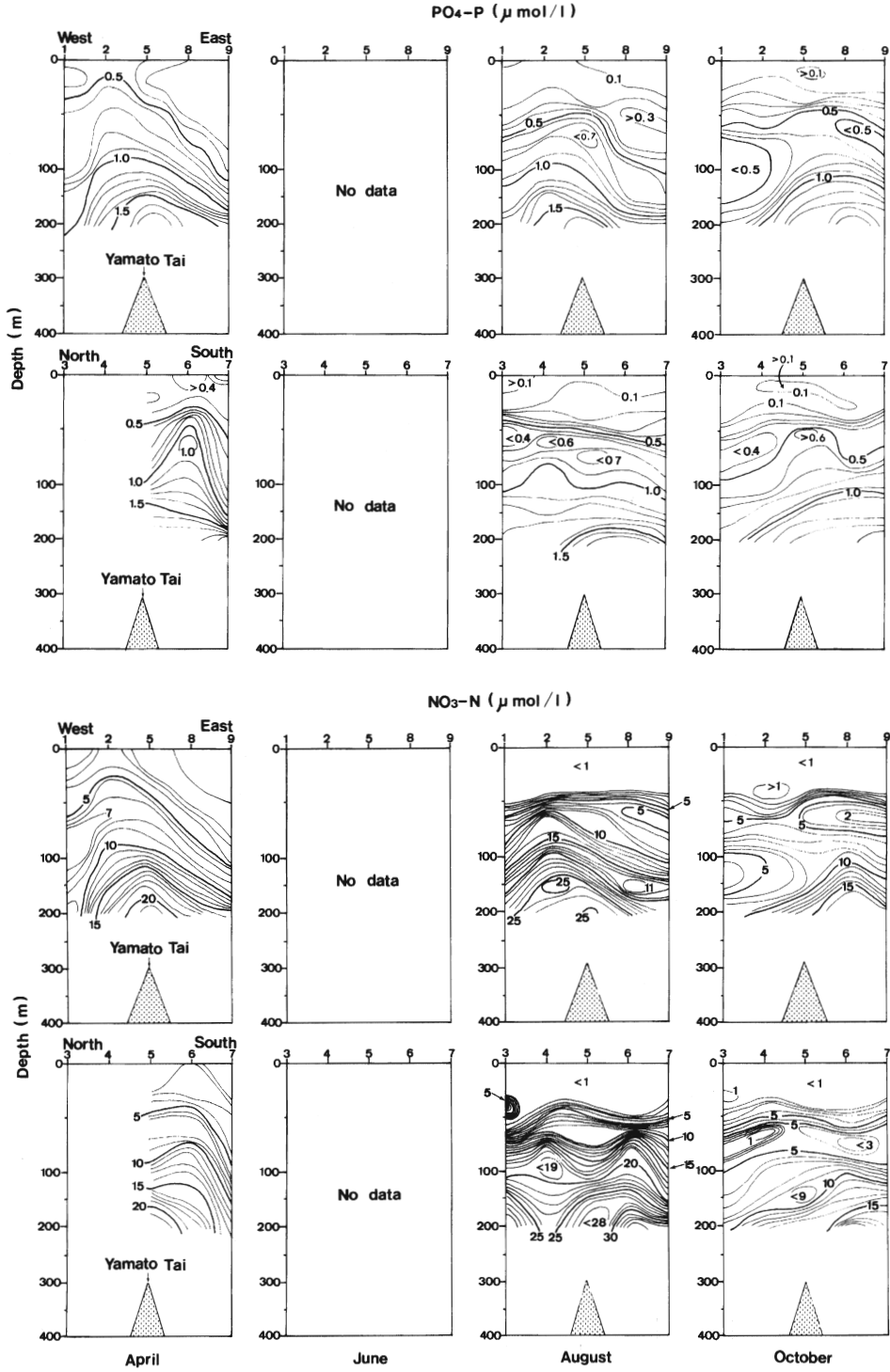


Fig. 6. Vertical distributions of PO₄-P (upper two panels) and NO₃-N (lower two panels) in the upper 200 m of the east-west and south-north sections of Yamato Tai in April, June, August and October, 1995.

の関連をみるために、水温・塩分の鉛直断面(Fig. 5)とを比較すると、リン酸塩では $0.5 \mu\text{mol/l}$ 以上の等値線の、また硝酸塩では $5 \mu\text{mol/l}$ 以上の等値線の分布が共にドーム状の盛り上がりを見せ、それらの位置は各季節ともに“亜寒帯系水”の上昇域とほぼ一致していた。“亜寒帯系水”の上端部は高水温域と接しており、このような異質水塊との隣接域、例えば、1988年秋季(10月)の能登半島沖の対馬暖流縁辺部では栄養塩類の濃度は多くなることが報告されている(今井ら 1990)。これらのことから、栄養塩の挙動は水塊構造とよく対応していることが明らかとなった。特に、春季(4月)にはリン酸塩および硝酸塩の等値線(各々、 $0.5 \mu\text{mol/l}$ および $5 \mu\text{mol/l}$)が共に最も大きな盛り上がりを見せていることから、この時期には深層部から上層部への高濃度の栄養塩類の供給が盛んであったことが示唆される。

クロロフィルa濃度の鉛直断面(Fig. 7)：4月、8月および10月の200 m以浅におけるクロロフィルa濃度の鉛直分布を各々東西方向と南北方向の断面で示した。クロロフィルaの高濃度域の値は春季($>2.0 \sim 3.0 \mu\text{g/l}$)から秋季($>0.8 \mu\text{g/l}$)にかけて減少したが、各季節共に上層部(10~50 m深)においてみられた。4月には東・西・南部で濃度が高くなった。また、8月には50 m深付近にクロロフィルa濃度の極大層が出現し、中央部を除く全域でパッチ状に分布した。しかしながら、この夏季の亜表層極大値は10月には消失し、鉛直的な濃度差は小さくなり、クロロフィルa濃度も減少した。1969年秋季(10月)の山陰沖では塩分躍層(低塩分水の流入)によって安定度の高い水塊構造が発達しているにもかかわらず、そこでのクロロフィルa濃度の鉛直分布(最大分布深度：20~30 m)は湧昇現象と関連していることが報告されている(OHWADA 1971)。

このようなクロロフィルa濃度の鉛直断面と前述の栄養塩濃度の鉛直断面、更に水塊構造と

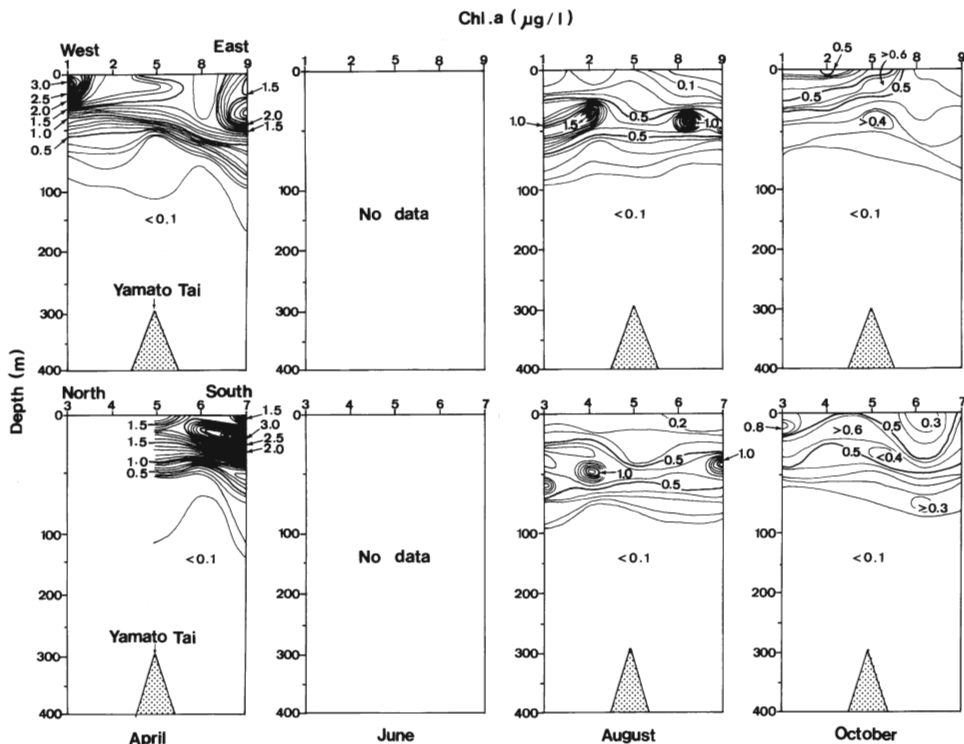


Fig. 7. Vertical distribution of chlorophyll *a* in the upper 200 m of the east-west and south-north sections of Yamato Tai in April, June, August and October, 1995.

の関連から、大和堆水域における植物プランクトンの高い現存量(クロロフィル a 濃度)は湧昇した栄養塩豊富な低温・低塩分の水塊(“亜寒帯系水”)にはみられず、混合・拡散によりその影響を受けた周辺水塊—高温・高塩分の水塊、主として対馬暖流中層水—toに分布することが明らかとなった。

(2) 主要餌料動物プランクトン3群の水平分布と海洋環境(水温)との関連(Fig. 8)

春季の主要動物プランクトン群であり、かつ魚介類の主要餌料でもあるカイアシ類、オキアミ類および端脚類の分布生態を明らかにするため、4月、6月、8月および10月におけるそれら現存量(Appendixes 1~4 参照)の水平分布と暖水塊(“対馬暖流表・中層水”)と冷水塊(“日本海固有水”および“亜寒帯系水”)の境界深度に当たる100 m深での水温分布との関連を調べた。

カイアシ類：カイアシ類の主分布域は4月には南・東部に形成された約5~10℃の暖水域にみられたが(75~96 mg/m³)、6月および8月には5℃以下の冷水域へと移行した(6月：60~102 mg/m³、8月：30~43 mg/m³)。また、本群は10月には再び中央部から北・西部にみられた7~10℃の暖水域で多量に分布する特徴を示した(27~39 mg/m³)。

オキアミ類：オキアミ類の主分布域(27~100 mg/m³)は4月には5℃以下の冷水域(中央部から

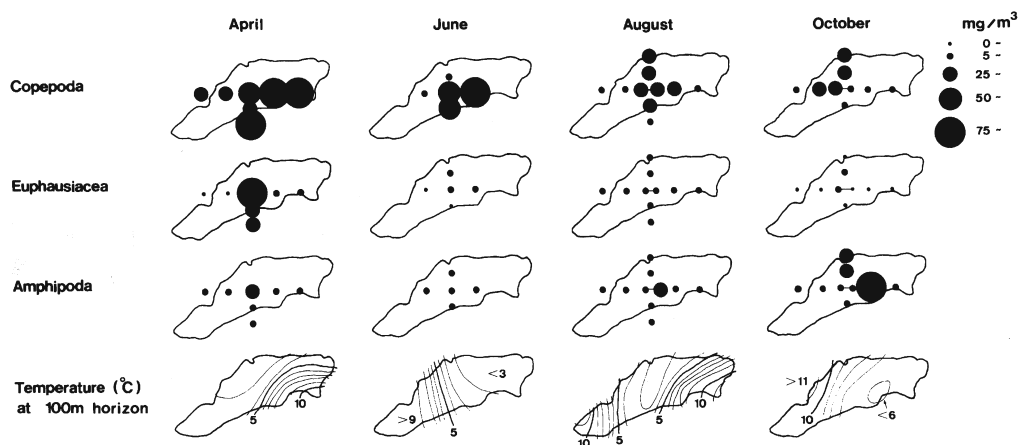


Fig. 8. Horizontal distributions of the biomass (wet weight) of copepods (top panel), euphausiids (second panel from the top), amphipods (second panel from the bottom) in the upper 500 m and temperature contours at the 100 m depth horizon (bottom panel) at Yamato Tai in April, June, August and October, 1995.

南部)でみられた。しかしながら、6月、8月および10月になると、その現存量は低下するとともに、全域にわたりほぼ一様に分布し(<22 mg/m³)、本群の水平分布と水温分布との間に明瞭な対応関係は認められなかった。

端脚類：端脚類の主分布域(28 mg/m³)は4月には5℃以下の冷水域(中央部)でみられたが、6月には全域においてほぼ一様に分布した(<20 mg/m³)。しかしながら、8月になると、再びその主分布域は中央部の冷水域(<5℃)でみられた。更に、本群は10月には北部暖水域と比較し、最低水温(<6℃)を示した東部冷水域(Stn. 8)で多量に分布し、本調査期間を通して最大現存量(93 mg/m³)を記録した。

これらの結果から、カイアシ類は季節によって高水温域或いは低水温域のどちらかに主分布域を形成するのに対して、オキアミ類および端脚類は共に高水温域を回避し、首尾一貫して低水温域に主分布することが認められた。したがって、大和堆水域における動物プランクトン群

集の水平分布構造(500 m以浅)は水塊の配置とともに、分類群の特性に密接な関連をもつことが指摘される。

考 察

動物プランクトンのうち、主要群であるカイアシ類、オキアミ類および端脚類は大和堆水域における動物プランクトン現存量の季節変化のパターンを決定する上で、より重要であることが明らかとなった。オキアミ類や端脚類は各季節を通して冷水域に分布の中心をもつが、カイアシ類では卓越する生息環境が季節により替わることが見出された。このような相違は、本水域におけるオキアミ類や端脚類は、冷水性のほぼ単一種によって代表されるが(各々、*Euphausia pacifica*および*Themisto japonica*)、他方カイアシ類は全体として多数の冷水性種および暖水性種から構成され、両グループの出現割合は季節とともに変化すること(DOLGANOVA *et al.* 1999)、また同一グループに属しても種によって分布(水温耐性)範囲が異なること(MORIOKA *et al.* 1977; 古橋 1984; 服部 1991)など、種の多様性に起因するものと解釈される。大和堆水域と類似した海洋構造をもつ日本海南部の富山湾などにおける代表的冷水性カイアシ類の生活史から判断すると(MILLER and TERAZAKI 1989; HIRAKAWA and IMAMURA 1993; YAMAGUCHI *et al.* 1998)、本水域における冷水性カイアシ類は夏季(6月および8月)の昇温期(季節的水温躍層の発達期)には不適な高水温を避け、低水温域へ移動したものと考えられる。

これら主要動物プランクトンの基礎的餌料となる植物プランクトンの生産過程をまとめてみると、まず(1)中央部或いはその周辺において低温・低塩分の亜寒帯系水が深層部から湧昇し(Fig. 5)、(2)それに伴い高濃度の栄養塩類が有光層へ供給され(Fig. 6)、(3)植物プランクトンが亜寒帯系水によって影響(混合・拡散)を受けた高温・高塩分水(主に対馬暖流中層水)で増殖する(Fig. 7)。この一連の生物・物理過程は、季節的水温躍層(成層構造)が形成され始める春季に、いわゆる“春季ブルーミング”として最も促進されるであろう。本研究によって確認された湧昇から植物プランクトンの生産までの過程は、次に動物プランクトンの生産へと連結していくことから、従来のフロント域で提唱されている生物生産過程(宇田 1960 参照)の一端を明らかにすることができた。しかしながら、湧昇がどのようにして起きたのか、その要因としては大和堆(亜寒帯前線)水域における海洋構造の顕著な特徴である暖水渦の挙動(磯田ら 1992; ISODA 1994)の他に、海底地形(海堆)による影響(ZUENKO 私信)も列挙されるが、本研究ではその発生メカニズムを明らかにすることはできなかった。

日本海中央部における有用魚介類の食性(胃内容物)調査によると、カイアシ類(主として*Neocalanus plumchrus*)はマサバ(KUN 1951)、オキアミ類(主として*Euphausia pacifica*)はスルメイカ(沖山 1965)およびサクラマス(深滝 1969)、また端脚類(*Themisto japonica*)はスルメイカ(沖山 1965; 中井ら 1973)およびカラフトマス(深滝 1967)の好餌料として知られている。これら餌料動物プランクトンのうち、大部分が植食性種によって占められるカイアシ類およびオキアミ類の生産は、肉食性種(より高次生産者)である端脚類と比べて、湧昇による植物プランクトン生産の直接的影響を受けやすいといえよう。

したがって、本研究で得られた動物プランクトン群集の生態的知見、すなわち、(1)栄養段階による出現特性および(2)分類群による多様性の相違は、餌料プランクトンの生産過程に及ぼす湧昇効果を通して漁場形成機構を解明していく上で重要な意義をもつことが明らかとなった。

文 献

- DOLGANOVA, N. T., HIRAKAWA, K. and TAKAHASHI, T. (1999) Seasonal variability of the copepod assemblage of the copepod assemblage and its relationship with oceanographic structures at Yamato-Tai, Central Japan Sea. *Bull. Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst.*, (49), 13-35.
- 深滝 弘 (1967) 1965年春期の日本海におけるカラフトマスの食性. 日水研報告, (17), 49-66.
- 深滝 弘 (1969) 日本海沖合におけるサクラマス成魚の食性. 日水研報告, (21), 17-34.
- 古橋賢造 (1984) 北海道南方海域の動物プランクトンの分布に及ぼす暖水塊の影響. 月刊海洋科学, **16**, 457-461.
- 服部 寛 (1991) 三陸沖暖水塊(86B)とその周辺親潮域における動物プランクトンの鉛直分布. 特に橈脚類の出現記録. 北水研報告, (55), 59-77.
- HIRAKAWA, K. and IMAMURA, A. (1993) Seasonal abundance and life history of *Metridia pacifica* (Copepoda: Calanoida) in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **40**, 41-54.
- IKEDA, T., HIRAKAWA, K. and IMAMURA, A. (1992) Abundance, population structure and life cycle of a hyperiid amphipod *Themisto japonica* (BOVALLIUS) in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **39**, 1-16.
- 磯田 豊・永延幹男・渡辺秀俊 (1992) 大和嶺上の暖水渦. 愛媛大学工学部紀要, **12**, 355-365.
- ISODA, Y. (1994) Warm eddy movements in the eastern Japan Sea. *J. Oceanogr.*, **50**, 1-15.
- 今井正直・榎原資嗣・沖村英幸 (1990) 日本海における化学成分の分布 IV. 対馬暖流中の鉛直分布. pp183-194. 昭和63年度黒潮の開発利用調査研究成果報告書, 科学技術庁研究開発局, 東京.
- 海洋水産資源開発センター (1992) 日本海大和堆海域. 平成3年度沖合漁場総合整備開発基礎調査報告書(総括編), 平成3年度 No.15, 海洋水産資源開発センター, 東京, 125.
- 小谷祐一・小達和子 (1985) 暖水塊およびその周辺のマクロプランクトンの分布と時間的变化. 月刊海洋科学, **17**, 414-419.
- KUN, M. S. (1951) The feeding of mackerel in the Sea of Japan, according to data of 1948 and 1949. *Izv. TINRO*, **34**, 67-69 (In Russian).
- MESCHERYAKOVA, I. M. (1960) Seasonal modifications of plankton in the open waters of the Sea of Japan. *Izv. TINRO*, **46**, 95-144 (In Russian) [日本海沖合水域におけるプランクトンの季節変化. 日ソ漁業科学技術協力翻訳印刷文献(資源・海洋編), 水産庁, 69pp.]
- MILLER, C. B. and TERAZAKI, M. (1989) The life histories of *Neocalanus flemingeri* and *Neocalanus plumchrus* in the Sea of Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **36**, 27-41.
- 森岡泰啓 (1985) 日本海における動物プランクトン分布. 水産海洋研究会報, (47/48), 63-66.
- MORIOKA, Y., NAGAHARA, M. and KOMAKI, Y. (1977) Calanoid copepods as indicators of the cold water mass in the Japan Sea. *Bull. Japan Sea Reg. Fish. Res. Lab.*, (28), 51-58.
- 中井甚二郎・工藤盛徳・平尾利嗣・沢本彰三 (1973) 大和堆におけるスルメイカ漁場形成に関する餌料生物主にウスムラサキウミノミ *Parathemisto japonica* の役割について, 予報. 水産海洋研究会報, (22), 149-151.
- 西濱士郎・井口直樹・平川和正 (1995) 日本海中央部大和堆水域におけるヤムシ類の出現量および種組成の季節変化. 日水研報告, (45), 47-58.
- NISHIMURA, S. (1969) The zoogeographical aspects of the Japan Sea. Part V. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **17**, 67-142.
- 小川嘉彦 (1981) 日本海南西沿岸水域の海況特性とその漁業生物学的意義. 山口外海水試研報, **18**, 1-96.
- OHWADA, M. (1971) Distribution of chlorophyll and phaeophytin in the Sea of Japan. *Oceanogr. Mag.*, **23**, 21-32.
- 沖山宗雄 (1965) 日本海沖合におけるスルメイカ *Todarodes pacificus* (STEENSTRUP) の食性. 日水研報告, (14), 31-41.
- STRICKLAND, J. D. H. and PARSONS, T. R. (1968) *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. 1st ed., *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, **167**, 1-311.
- SUZUKI, R. and ISHIMARU, T. (1990) An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using N, N-dimethylformamide. *J. Oceanogr. Soc. Japan.*, **46**, 190-194.
- 宇田道隆 (1960) 海洋漁場学. 水産学全集 16, 恒星社厚生閣, 東京, 76-88.
- YAMAGUCHI, A., IKEDA, T. and SHIGA, N. (1998) Population structure and life cycle of *Pseudocalanus minutus* and *Pseudocalanus newmani* (Copepoda: Calanoida) in Toyama Bay, southern Japan Sea. *Plankton Biol. Ecol.*, **45**, 183-193.
- YAMAMOTO, T. and NISHIZAWA, S. (1986) Small-scale zooplankton aggregations at the front of a Kuroshio warm-core ring. *Deep-Sea Res.*, **33**, 1729-1740.

YAMAMOTO, T., NISHIZAWA, S. and TANIGUCHI, A. (1988) Formation and retention mechanisms of phytoplankton peak abundance in the Kuroshio front. *J. Plankton Res.*, **10**, 1113-1130.

Appendix 1. Wet weight (mg / m³) of the 11 major zooplankton groups at Yamato Tai in April, 1995.

| Sampling date | Apr. 25 | Apr. 25 | Apr. 25 | Apr. 25 | Apr. 25 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Stn. No. | 1 | 2 | 5 | 6 | 7 |
| Sampling time | 10:42-10:50 | 08:11-08:20 | 05:34-05:52 | 14:40-15:05 | 17:04-17:32 |
| Total wet wt.(mg / m ³) | 83.5 | 74.9 | 231.2 | 112.8 | 151.3 |
| Copepoda | 37.5 | 25.6 | 68.0 | 48.1 | 86.0 |
| Amphipoda | 11.9 | 20.4 | 27.8 | 20.1 | 16.0 |
| Chaetognatha | 11.5 | 11.3 | 13.8 | 3.0 | 3.8 |
| Euphausiacea | <0.1 | 1.1 | 99.7 | 27.1 | 29.5 |
| Hydromedusae | 18.9 | 7.5 | 13.4 | 6.9 | 6.0 |
| Ostracoda | 2.6 | 3.8 | 7.5 | 5.3 | 6.9 |
| Mysidacea | 0.4 | 2.2 | <0.1 | 1.3 | 1.3 |
| Appendicularia | <0.1 | 0.1 | <0.1 | 0.3 | 0.6 |
| Gastropoda | 0.1 | 2.7 | - | - | 0.4 |
| Non-pelagic invertebrate larvae | - | - | 0.2 | <0.1 | 0.2 |
| Others | 0.5 | 0.2 | 0.8 | 0.7 | 0.6 |

| Sampling date | Apr. 25 | Apr. 25 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|
| Stn. No. | 8 | 9 |
| Sampling time | 02:54-03:20 | 00:12-00:30 |
| Total wet wt.(mg / m ³) | 116.6 | 145.1 |
| Copepoda | 75.4 | 95.8 |
| Amphipoda | 17.5 | 16.7 |
| Chaetognatha | 7.1 | 7.4 |
| Euphausiacea | 4.8 | 6.5 |
| Hydromedusae | 3.9 | 9.8 |
| Ostracoda | 4.3 | 6.0 |
| Mysidacea | 2.4 | 0.3 |
| Appendicularia | <0.1 | 0.4 |
| Gastropoda | 0.9 | 0.1 |
| Non-pelagic invertebrate larvae | 0.3 | 0.5 |
| Others | <0.1 | 1.6 |

- : absent

Appendix 2. Wet weight (mg / m³) of the 11 major zooplankton groups at Yamato Tai in June, 1995.

| Sampling date | Jun.16 | Jun.16 | Jun.16 | Jun.16 | Jun.16 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Stn. No. | 2 | 4 | 5 | 6 | 8 |
| Sampling time | 11:01-11:13 | 13:36-13:45 | 18:14-18:21 | 19:54-20:06 | 16:03-16:12 |
| Total wet wt.(mg / m ³) | 69.6 | 74.9 | 115.6 | 126.8 | 194.6 |
| Copepoda | 23.8 | 19.9 | 60.1 | 68.4 | 101.7 |
| Amphipoda | 16.1 | 12.8 | 8.5 | 20.0 | 14.4 |
| Chaetognatha | 13.4 | 16.2 | 24.6 | 20.1 | 33.7 |
| Euphausiacea | 4.4 | 19.2 | 17.5 | 2.2 | 16.0 |
| Hydromedusae | 8.5 | 2.2 | 2.6 | 5.6 | 5.1 |
| Ostracoda | 1.7 | 0.7 | 0.3 | 3.3 | 9.5 |
| Mysidacea | 0.7 | 3.5 | - | 3.7 | 9.8 |
| Appendicularia | 0.5 | <0.1 | 1.3 | 3.2 | 2.6 |
| Gastropoda | 0.3 | 0.3 | - | - | 0.2 |
| Non-pelagic invertebrate larvae | <0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.6 |
| Others | 0.2 | <0.1 | 0.6 | 0.2 | 1.0 |

- : absent

Appendix 3. Wet weight (mg / m^3) of the 11 major zooplankton groups at Yamato Tai in August, 1995.

| Sampling date | Aug. 30 | Aug. 30 | Aug. 25 | Aug. 25 | Aug. 25 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Stn. No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5-1 |
| Sampling time | 09:10-09:22 | 06:57-07:07 | 12:14-12:33 | 14:05-14:25 | 15:46-16:01 |
| Total wet wt. (mg / m^3) | 77.9 | 77.4 | 78.4 | 98.8 | 64.9 |
| Copepoda | 20.0 | 24.2 | 30.4 | 37.5 | 38.8 |
| Amphipoda | 14.8 | 16.7 | 15.5 | 20.0 | 14.0 |
| Chaetognatha | 19.2 | 12.5 | 13.2 | 15.9 | 4.1 |
| Euphausiacea | 18.0 | 17.3 | 9.2 | 11.7 | 4.8 |
| Hydromedusae | 0.9 | 0.7 | 5.2 | 9.6 | 2.0 |
| Ostracoda | 2.5 | 2.6 | 3.5 | 1.9 | 0.2 |
| Mysidacea | 0.3 | 1.7 | 0.9 | 1.8 | - |
| Appendicularia | 1.3 | 1.3 | 0.1 | 0.1 | 0.7 |
| Gastropoda | 0.5 | - | - | 0.2 | - |
| Non-pelagic invertebrate larvae | - | 0.1 | 0.1 | <0.1 | - |
| Others | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.3 |

| Sampling date | Aug. 25 | Aug. 25 | Aug. 26 | Aug. 30 | Aug. 29 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Stn. No. | 5-2 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Sampling time | 04:41-04:31 | 18:25-18:35 | 11:53-12:12 | 01:33-15:59 | 12:13-12:42 |
| Total wet wt. (mg / m^3) | 115.3 | 110.1 | 68.9 | 102.2 | 51.3 |
| Copepoda | 43.0 | 39.2 | 13.9 | 31.8 | 12.0 |
| Amphipoda | 28.9 | 13.3 | 10.6 | 23.6 | 6.6 |
| Chaetognatha | 16.3 | 12.5 | 19.4 | 18.7 | 11.1 |
| Euphausiacea | 21.2 | 21.5 | 10.9 | 18.3 | 10.3 |
| Hydromedusae | 4.1 | 19.7 | 7.1 | 4.0 | 6.4 |
| Ostracoda | 0.6 | 2.1 | 2.7 | 3.1 | 2.3 |
| Mysidacea | - | 0.3 | 2.1 | 1.2 | 0.2 |
| Appendicularia | 0.7 | 1.3 | 1.6 | 0.8 | 1.1 |
| Gastropoda | - | - | - | 0.1 | 0.1 |
| Non-pelagic invertebrate larvae | - | - | <0.1 | <0.1 | - |
| Others | 0.5 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 1.2 |

- : absent

Appendix 4. Wet weight (mg / m³) of the 11 major zooplankton groups at Yamato Tai in October, 1995.

| Sampling date | Oct. 28 | Oct. 28 | Oct. 29 | Oct. 29 | Oct. 27 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Stn. No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5-1 |
| Sampling time | 04:10-04:38 | 01:34-02:02 | 03:35-04:05 | 01:25-02:00 | 23:30-20:46 |
| Total wet wt.(mg / m ³) | 75.2 | 94.6 | 110.3 | 118.1 | 63.9 |
| Copepoda | 21.4 | 27.2 | 31.7 | 34.5 | 19.6 |
| Amphipoda | 9.4 | 17.5 | 32.9 | 31.5 | 19.6 |
| Chaetognatha | 20.7 | 24.9 | 25.6 | 27.3 | 11.2 |
| Euphausiacea | 4.1 | 3.9 | 2.6 | 6.2 | - |
| Hydromedusae | 11.0 | 9.4 | 6.8 | 8.2 | 10.0 |
| Ostracoda | 2.8 | 3.0 | 2.9 | 4.8 | 0.4 |
| Mysidacea | 0.3 | 6.1 | 2.8 | 1.7 | - |
| Appendicularia | 2.3 | 1.6 | 2.7 | 2.4 | 1.9 |
| Gastropoda | 0.2 | - | 0.1 | 0.1 | - |
| Non-pelagic invertebrate larvae | - | - | 0.1 | - | <0.1 |
| Others | 3.0 | 1.0 | 2.1 | 1.4 | 0.3 |

| Sampling date | Oct. 28 | Oct. 28 | Oct. 27 | Oct. 27 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Stn. No. | 5-2 | 6 | 8 | 9 |
| Sampling time | 23:27-23:40 | 21:45-22:00 | 20:30-20:46 | 17:50-18:15 |
| Total wet wt.(mg / m ³) | 111.3 | 69.0 | 134.4 | 63.9 |
| Copepoda | 39.0 | 23.1 | 24.0 | 14.1 |
| Amphipoda | 19.3 | 16.7 | 93.1 | 22.4 |
| Chaetognatha | 29.5 | 14.0 | 3.7 | 10.6 |
| Euphausiacea | 5.0 | 3.4 | 1.8 | 4.2 |
| Hydromedusae | 8.9 | 5.8 | 5.7 | 6.7 |
| Ostracoda | 0.9 | 3.3 | 3.3 | 2.4 |
| Mysidacea | - | 0.4 | 0.9 | 0.2 |
| Appendicularia | 3.5 | 1.9 | 0.5 | 0.8 |
| Gastropoda | - | - | 0.1 | - |
| Non-pelagic invertebrate larvae | 0.3 | <0.1 | 0.1 | - |
| Others | 4.9 | 0.4 | 1.2 | 2.5 |

- : absent