

周防灘における動物プランクトンの 出現特性及び生産量

古賀文洋

The Occurrence and Production of Zooplankton in Suō-nada, Western Seto Inland Sea

Fnmihiro KOGA

Netzooplankton was collected in January, May, July and October, 1982, in Suō-Nada, western Seto Inland Sea by the vertical haul of a conical net with 0.1 mm mesh opening. The seasonal succession and variation of species composition, density, biomass and production were then analysed. The biomass and amount of carbon of the representative species were estimated through the length/weight and number of individuals method.

In July, the most abundant copepod species, *Paracalanus parvus* was concentrated in the southern coastal water ($66,045 \text{ individuals}\cdot\text{m}^{-3}$). In October, individual number of *Oithona brevicornis* reached $48,973\cdot\text{m}^{-3}$ in the same area. The area of abundance of *Microsetella norvegica* was found in wide range of coastal and offshore waters, $29,779 \text{ individuals}\cdot\text{m}^{-3}$ in July. The copepods biomass occupied 17% of the mean zooplankton biomass and was equivalent to 50% of the carbon value. *Doliolum denticulata*, Thaliacea, was significantly abundant in the central water through the entire season excluding July. However, this species did not appear in the western coastal water. The maximum number ($7,298\cdot\text{m}^{-3}$) and biomass ($21.5\text{g dry wt}\cdot\text{m}^{-2}$) were recorded in May. The biomass occupied at least 80% of the mean total biomass in dry weight, which was equivalent to about 50% in carbon value.

The zooplankton annual production and the total production in Suō-Nada as a whole were estimated to be $6 \text{ g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Yr}^{-1}$ and 18 kilo-ton, based on the assumption that annual turnover ratio of important species is 4. The improvement of parameters used need to be done to obtain precise figure of production.

周防灘は、瀬戸内海の西北部に位置し、山口県南部、福岡県西部及び大きく張出した大分県国東半島によって囲まれ、平均水深23.7m、総容積73.6km³の浅い海域である。南東部が深く、伊予灘に面して開放する。反対に、浅い西北部は、狭い関門海峡によって外海の響灘に通じている。この海峡からの海水の流出入はわずかであり、灘は半閉鎖的水域である。このため灘の沿岸域では富栄養化が進み、赤潮がしばしば発生している。一方、一部の水域には、外洋性のプランクトンなどが出現しており、サワラなどの回遊魚の漁場形成もみられている。このような周防灘の生物生産機構の中で重要な役割を果たす動物プランクトンについて、その分布、季節変化などの出現生態、及び現存量を測定し、生産量を推定した。更に、プランクトンからみた灘の特性も検討

した。

本研究は科学技術庁の振興調整費による海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究（第一期）の一部として実施したものであり、調査に協力を載いた当所のしらふじ丸小滝 操船長はじめ乗組員諸氏に厚くお礼申し上げる。なお、本稿について懇切な校閲を載いた本所の篠岡久夫 所長に深謝の意を表す。

方 法

1982年1月24～25日、5月27～28日、7月15～17日及び10月13～15日の4回、周防灘の19点 (Fig. 1) において動物プランクトンをネット（口径30cm, 円筒一円錐形ろ過部130cm, NXX-13, 目合0.1mm）の海底から海面までの垂直揚網によって採集した。同時に、環境特性の把握のため TS 水質モニター（鶴見精器製）によって水温及び塩分を、セッキ板によって透明度を測定した。これらと顕微鏡下で測定した採集試料中の種別の体長及び個体数から灘における動物プランクトンの出現、分布などの生態特性を把握した。一方、プランクトンの出現から灘の水域別特性も検討した。更に、主として HIROTA (1977)、弘田 (1981, 1985) による体長一体重換算式及び炭素含有率に基づいて、体長及び個体数から現存量（乾重量及び炭素量）を求めた。年間世代数を年間回転効率にして行う生産力の推定方法（CUSHING 1971, 科学技術庁資源調査所 1980）を用い、種々の動物プランクトンの年間世代数から仮定した年間回転効率によって年間平均現存量から生産量を推定し、日間回転率、転送効率などを得た。これらと IKEDA and MOTODA (1978) の呼吸代謝法による推定生産量及び他水域の動物プランクトン生産量とを比較し、現存量の年間回転効率による簡易生産量推定法について検討した。

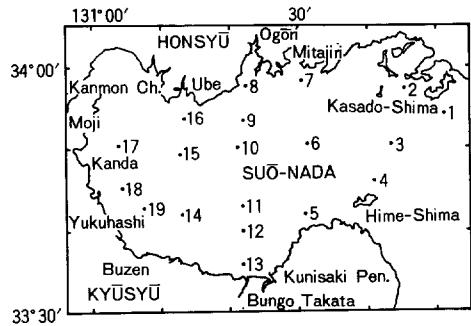


Fig. 1. Area of investigation and sampling stations.

結果及び考察

動物プランクトンの出現及び分布には一般的に環境の水温、塩分、透明度などの条件に基づく種特性がみられる。このことから周防灘における環境条件及び動物プランクトンの水域特性、季節変化などをみた。

1. 一般環境

(1) 表層水温

1月の水温は、浅い西～南部水域では低く、7～9℃であり、豊後高田沿岸域では最低であっ

周防灘における動物プランクトン

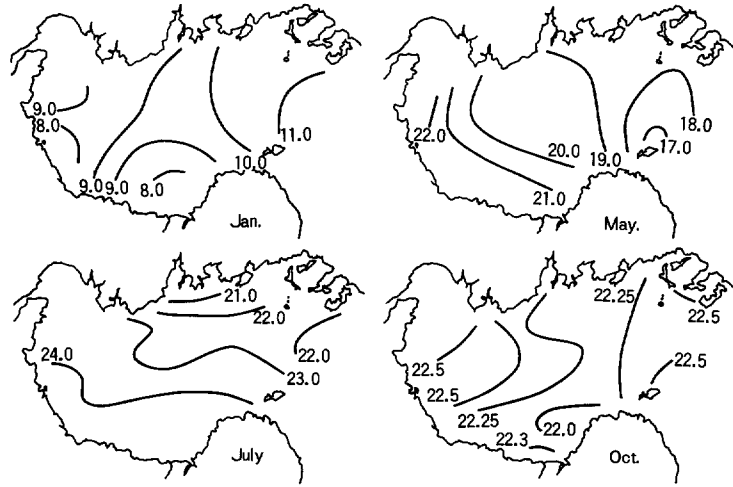


Fig. 2. Distribution of water temperature (°C) of the surface layer (1982).

た。深い東部水域では10~11°Cであり、笠戸島沖で最高の11.4°Cであった。5月の水温は、1月と異なり、西~南部水域では20~22°Cと高く、荻田沖では最高の22.06°Cであった。東部水域では17~19°Cであり、最低水温は姫島沖の16.7°Cであった。7月の水温は、東部水域では21~23°Cであり、西部水域の23~25°Cよりわずかに低かった。北部の小郡沿岸域では20.5°Cであったが、南部の豊後高田沿岸域では24.7°Cであり、灘の東西よりも南北に温度差がみられた。10月の水温は、中央部では22°Cと低く、東部及び西部では22.5°Cとやや高かった。けれども、その差はわずかに1°C以内であり、全体的に均一な水温分布を示した (Fig. 2)。

(2) 表層塩分

1月の塩分は灘の東部及び西部水域では33.0~33.7‰であったが、中央部の塩分は32.5~33.0

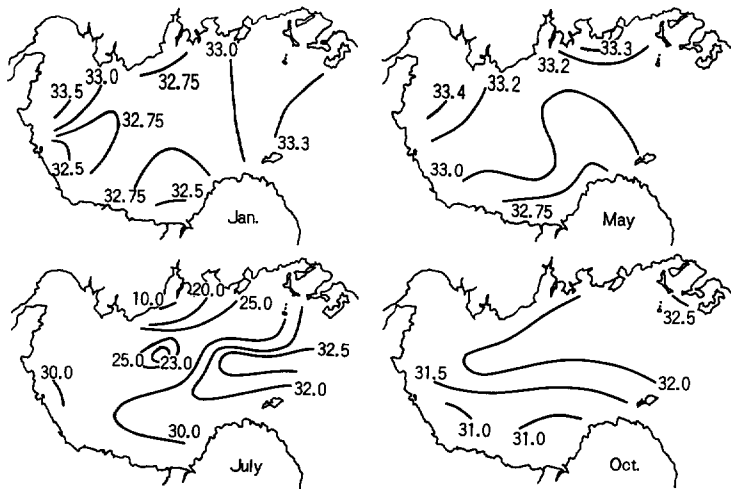


Fig. 3. Distribution of salinity (‰) of the surface layer (1982).

%であり、東及び西部のそれよりやや低かった。5月の塩分は、南部の豊後高田沿岸域で最低の32.52%であり、西部の荻田沖では最高の33.44%であった。けれども、その差は1%以下であった。7月の塩分は、北部の小郡沿岸域では最低の9.58%であり、南部の豊後高田沿岸域でも低く、26.16%であった。伊子灘に接する東部水域では比較的高く、笠戸島沖では32.78%であった。7月の調査時期は豪雨直後であり、西及び南部の浅い沿岸域における表層水の塩分の異常な低下がみられた。10月の塩分は、南部の宇島～豊後高田沿岸域では低く、30.72～30.88%、北東部の笠戸島周辺では高く、32.53%であり、灘の南北に塩分較差がみられた (Fig. 3)。この塩分分布はクロロフィル a の分布とよく一致する (神戸海洋気象台海洋課 1985) ため、低塩分水域にはクロロフィル a が多く、動物プランクトンの餌が豊富であるとみられる。

(3) 透明度

1月の透明度は、東部の笠戸島沖及び北部の宇部沖では9.5mであり、比較的高かったが、西部の荻田沖では低く、2.4mであった。5月の透明度は、12.5mが観測された笠戸島周辺から灘中央部では高いが、西部沿岸域では低く、荻田沖では3.3mであった。7月の透明度は、笠戸島沖で最も高く、16mであったが、灘沿岸域では低く、1～2mであり、その較差が大きかった。10月の透明度は、灘中央部では高く、11.2～12.4mであったが、西部の荻田沖では低く、2.4mであった。一般的にみて周防灘の透明度は、東部から中央水域では高く、西部をはじめ沿岸水域では低かった (Fig. 4)。この透明度はクロロフィル a 量と高い負相関があり (山口・安楽 1984)、低い透明度水域に動物プランクトンの餌が多いとみられる。

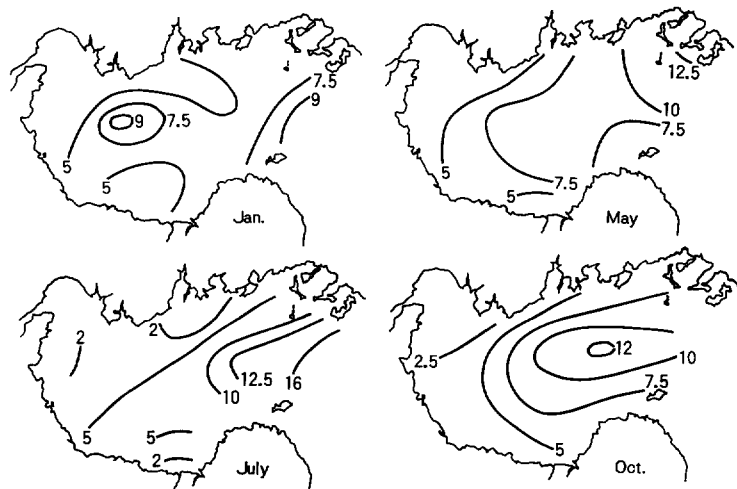


Fig. 4. Distribution of transparency (m) (1982).

2. 出現種

周防灘における動物プランクトンの主な出現種は橈脚類14、枝角類3、矢虫類2、尾虫類2、タリア類1の計22種であった (Table 1)。このほか、橈脚類の *Eucalanus crassus*, *E. pileatus*,

Table 1. Main species identified from the samples collected in Suō-nada.

CRUSTACEANA	Branchiopoda
Copepoda	<i>Penilia avirostris</i> DANA
<i>Calanus sinicus</i> BRODSKY	<i>Podon polyphemoides</i> LEUCKART
<i>Paracalanus parvus</i> (CLAUS)	<i>Evaadne tergestina</i> CLAUS
<i>Parvocalanus crassirostris</i> (DAHL)	CHAETOGNATHA
<i>Euchaeta plana</i> MORI	Sagittidea
<i>Centropages abdominalis</i> SATO	<i>Sagitta crassa</i> f. <i>naikaiensis</i> TOKIOKA
<i>Centropages yamadai</i> MORI	<i>Sagitta enflata</i> GRASSI
<i>Pseudodiaptomus marinus</i> SATO	PROTOCHORDATA
<i>Acartia omorii</i> BRADFORD	Appendicularia
<i>Tortanus forcipatus</i> (GIESBRECHT)	<i>Oikopleura dioica</i> (FOL)
<i>Oithona brevicornis</i> GIESBRECHT	<i>Oikopleura</i> sp.
<i>Oithona similis</i> CLAUS	Thaliacea
<i>Oncaea media</i> GIESBRECHT	<i>Doliolum denticulata</i> QUOY & BERNER
<i>Corycaeus affinis</i> McMURRICH	
<i>Microsetella norvegica</i> BOECK	

Temora turbinata, *Labidocera rotunda*, *Oncaea venusta*, *Corycaeus* sp., *Euterpina acutifrons*, 枝角類の *Podon schmackeri*, 矢虫類の *Sagitta nagae*, *S. crassa*, *S. enflata*, *S. neglecta*, 尾虫類の *Oikopleura* sp., 更に, 臨時プランクトン (Meroplankton) の蔓脚類, 多毛類及び魚類の幼生などは, 一部の調査点に極少数の個体が出現したが, 現存量及び生産量にはほとんど影響がないので除外した。従属栄養藻類である鞭毛藻の *Noctiluca scintillans* は, 多数個体が採集されることがあったが, 動物プランクトンから除外した。一方, 橈脚類のコペポディド後期の個体が多数採集されたので, その数及び体長を測定し, 成体とともに検討した。なお, コペポディド期の体長はネット採集標本のものである。

主な動物プランクトンの分布, 季節変化などの特性は以下のとおりである。

(1) 橈脚類

出現した種及び個体数ともに多いグループである (出現数の単位は個体数・ m^{-3})。

Calanus sinicus 体長, 成体2.9~3.1mm, 平均3.0mm。コペポディド期0.7~2.5mm, 平均1.56mm。外洋, 冷水系であり, 多数の個体は, 伊予灘に接する東部から北部水域に出現したが, 西~南部の浅い沿岸域には少なく, ほとんど出現しない水域もみられた。1月には国東半島沿岸部及び笠戸島周辺域の590個体, 5月には笠戸島沖の

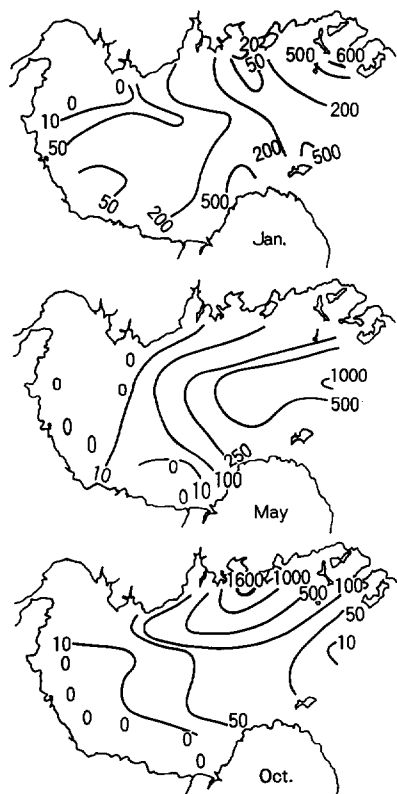


Fig. 5. Seasonal distribution of *Calanus sinicus* (No. · m^{-3}). No individual was found in July.

1,065個体，最大数は10月の三田尻沿岸域の1,653個体であった。7月には出現しなかった (Fig. 5)。

Paracalanus parvus 体長，成体0.8~1.1mm，平均0.83mm，コペポディド期0.3~0.7mm，平均0.54mm。灘中央部より沿岸域，特に，南部の豊後高田沿岸域に多く，周年出現する優先種の一種である。若い個体は多数個体が周年出現するが，7月及び10月に特に多かった。このことから本種はこの灘では常に繁殖するが，夏~秋季がその増殖適期であると判断される。各期の最大出現個体数は，1月9,025個体，5月14,302個体，7月66,045個体，10月47,276個体であった (Fig. 6)。

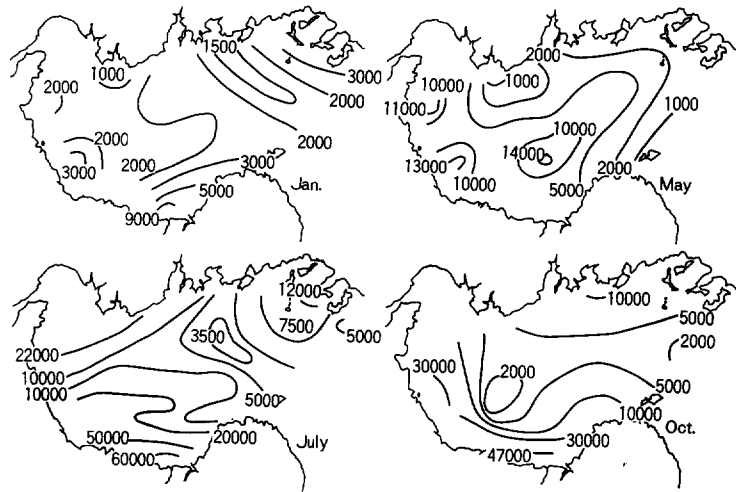


Fig. 6. Seasonal distribution of *Paracalanus Parvus* (No. · m⁻³).

Parvocalanus crassirostris (= *Paracalanus crassirostris*) 体長0.3~0.5mm，平均0.46mm。主に10月に出現する体長0.5mmの小型種である。1981及び1982年の両年ともに灘西部の荊田沖から南部の豊後高田沿岸域に多数出現しており，最大数は1982年の9,752個体であった。10月以外では，5月の北部沿岸域の35個体以外はほとんど出現しなかった (Fig. 7)。

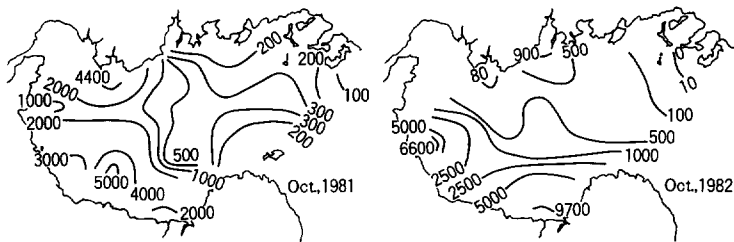


Fig. 7. Distribution of *Parvocalanus crassirostris* in October, 1981 and 1982. (No. · m⁻³).

Euchaeta plana 体長，成体3.0~3.2mm，平均3.16mm。コペポディド期2.2~2.6mm，平均2.39mm。1月の笠戸島から小郡沖の水域に少数の個体が出現し，最大数でも191個体であり，他調査

期には出現しなかった。

Centropages abdominalis 体長1.6~1.8mm, 平均17.4mm。コペポディド期1.1~1.4mm, 平均1.3mm。低水温期の1月のみに少数の個体が出現した。最大数は850個体であり, 灘中央部から西部水域に比較的に多かった。東部水域には少なかった。笠戸島周辺には373個体が遊離して出現していた。

Centropages yamadai 体長1.5~1.6mm, 平均1.58mm。コペポディド期1.1~1.4mm, 平均1.14mm。高水温期に出現する種である。5月には豊後高田沖の474個体, 7月には小郡沿岸の220個体及び宇島沖の219個体が最大数であったが, このほかの水域及び時期にはほとんど出現しなかった。

Pseudodiaptomus marinus 体長1.5~1.7mm, 平均1.63mm。5月の三田尻沿岸域に50個体, 国東半島北部沿岸域に130個体が出現したが, 他点及び他季節には出現しなかった。

Acartia omorii 体長1.1~1.3mm, 平均1.19mm。コペポディド期0.5~0.9mm, 平均0.61mm。低水温期に出現する種で, 1月には灘中央から西部に比較的に多数出現し, 最大数は荻田沖の18,199個体であった。5月には20℃以上の西~南部水域には出現せず, 小郡沿岸域の1,785個体が最大であった。

Tortanus forcipatus 出現数は少なかったが, 第1期コペポディドから成体まで得られた。第1期0.44mm, 第2期0.66mm, 第3期1.04mm, 第4期1.28mm, 第5期1.54mm, 成体1.9~2.0mm, 平均1.98mm。7月には国東半島~宇島沿岸域に最大の32個体が出現した。

Oithona brevicornis 体長0.4~0.6mm, 平均0.52mmの小型種である。10月には中央部に少ないが, 西~南部水域に多数分布し, 豊後高田沿岸域に最大数の48,973個体が出現した (Fig. 8)。1月には1, 4, 10, 13の4点のみに少数出現し, 笠戸島沖 (Stn. 1) の225個体が最大であった。

Oithona similis 体長, 成体0.7~0.8mm, 平均0.77mm。コペポディド期0.4~0.6mm, 平均0.51mm。周年出現する種である。1月には西部水域に少なく, 1,000個体であった。東部の笠戸島周辺に最高の5,475個体がみられた。5月には笠戸島から灘中央部に多数分布しており, 最大は17,501個体であった。7月には減少したが, 灘中央部から東部水域に多数分布し, 最大は笠戸島沖の4,380個体であった。10月には灘中央部の個体数は361に減少したが, その東及び西側水域には1,632及び1,379個体の出現がみられた (Fig. 9)。

Oncaea media 体長, 雄0.3~0.4mm, 平均0.37mm, 雌0.5~0.6mm, 平均0.56mmの小型種である。1月には西~南部水域に多く, 最大数は豊後高田沿岸域の10,617個体であった。5月には出現数が減少し, 比較的に多かった灘中央部でも最大数は148個体に過ぎなかった。7月の出現数は5月同様に少なく, 西部の行橋沿岸域に少数の82個体, 中央部に77個体が出現したが, 13~17及び19点には出現しなかった。10月には南部沿岸域には出現せず, 中央部から東部笠戸島水域に多

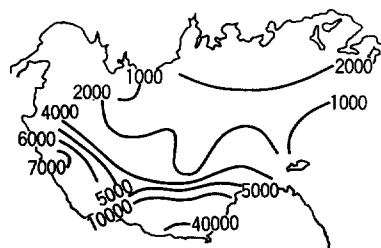


Fig. 8. Distribution of *Oithona brevicornis* in October (No. · m⁻³).

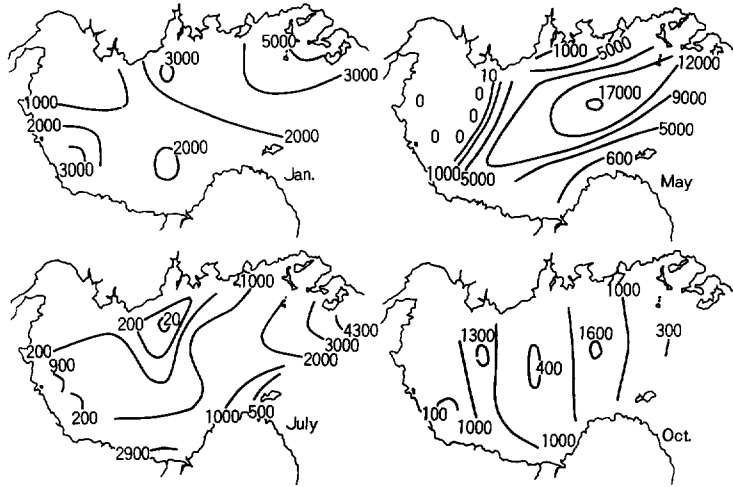


Fig. 9. Seasonal distribution of *Oithona similis* (No. · m⁻³).

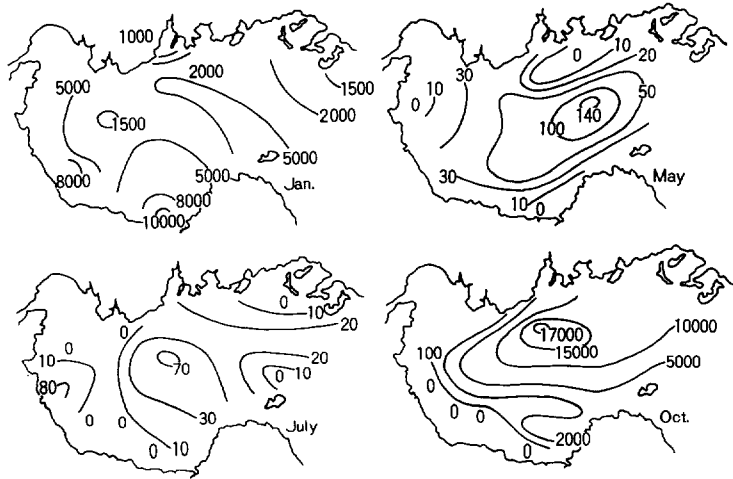


Fig. 10. Seasonal distribution of *Oncaea media* (No. · m⁻³).

数出現し、最高は17,274個体であった。このように本種は、周年出現するが、5月及び7月には少なく、10月及び1月に多かったことから秋～冬季の増殖種とみられる (Fig. 10)。

Corycaeus affinis 体長0.8~0.11mm, 平均0.95mm。1月には灘の西～南部の豊後高田沿岸域に多く、最大数は1,517個体であった。5月には西部及び東部水域の笠戸島周辺に多く、最大数は宇部沖の1,386個体であった。7月には西部水域に少なく、笠戸島沖に最大の1,405個体が出現した。10月には灘北部の三田尻沖に最大の953個体が出現したが、笠戸島周辺では減少しており、南部水域には出現しなかった。

Microsetella norvegica 体長, 成体0.58~0.7mm, 平均0.67mm。コペポディド期0.33~0.52mm,

平均0.47mm。1月には北部の小郡沖に1,678個体、南部の豊後高田沖に18,785個体の多数が出現した。けれども、中央部、東部及び西部水域には比較的になかった。5月には小郡沖に最大数の18,817個体が発生し、東部の笠戸島周辺にも9,498個体が発生した。南部では減少し、豊後高田沿岸域には出現しなかった。7月には中央から西部水域に多数個体が発生し、最大数は中央部の29,779個体であった。10月には豊後高田沖に最大数の31,476個体、小郡沖に21,330個体が発生したが、西部水域にはなかった。この分布傾向は1月に類似していた。本種は、周年出現し、特に、夏～秋季に増大していたが、若い個体の出現から判断すると常に繁殖するものとみられる (Fig. 11)。

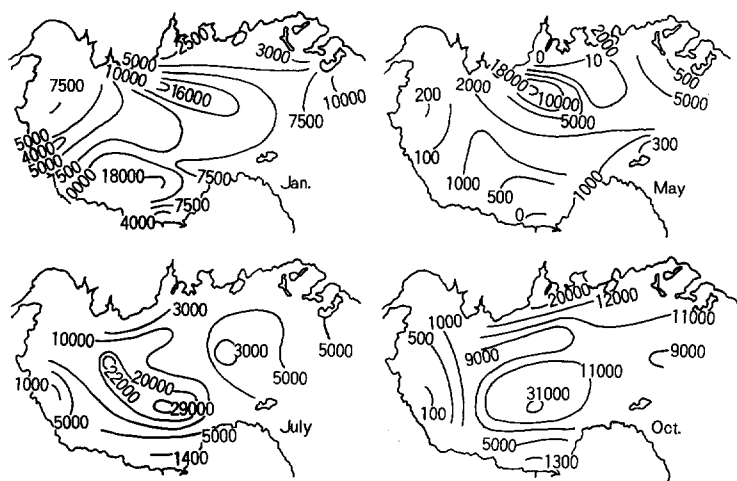


Fig. 11. Seasonal distribution of *Microsetella norvegica* (No. · m⁻³).

(2) 枝脚類

Penilia avirostris 体長0.3~0.5mm, 平均0.48mm。7月には北部の小郡沿岸域に多かった。最大数は20,724個体であったが、笠戸島周辺にも15,445個体が発生した。けれども、10月には587個体に減少し、1月及び5月には出現しなかったため、夏季の増大種とみられる (Fig. 12)。

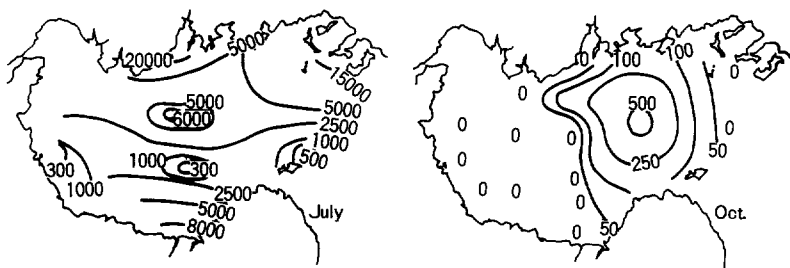


Fig. 12. Seasonal distribution of *Penilia avirostris* (No. · m⁻³). No specimen was found in January and May.

Podon polyphemoides 体長0.3~0.5mm, 平均0.42mm。5月には西~南部沿岸域に多く, 荻田沖に最大数の29,900個体が出現したが, 中央及び東部水域には少なかった (Fig. 13-(1))。7月には北部水域にわずかに50個体が出現したが, 10月及び1月には出現しなかった。近縁の *Podon schmackeri* は1981年10月に451個体, 1982年1月には1個体が北部沿岸域に出現したのみであり, これ以外には出現しなかった。

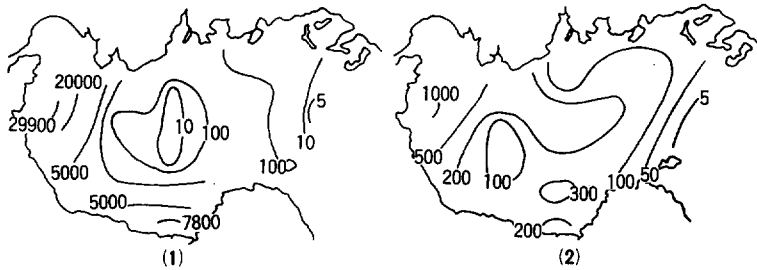


Fig. 13. Distribution of *Podon polyphemoides* (1) and *Evadne tergestina* (2) in May, 1982 (No. · m⁻³).

Evadne tergestina 体長0.4~0.5mm, 平均0.42mm。1月には中央部に少数の個体が出現したが, 他の水域には出現しなかった。5月には西部の荻田沖に最大数の1,066個体が出現したが, 東部水域には少なかった (Fig. 13-(2))。また, 7月及び10月には出現しなかった。

(3) 矢虫類

Sagitta crassa f. *naikaiensis* 体長1.5~6.5mm, 平均3.41mmの小型種である。1月には灘中央部に最大数の139個体が出現したが, 灘周辺部には少なかった。5月では灘中央から東部水域には出現せず, 西部の荻田沖に最大数の648個体が出現した。7月でも東部水域には少なく, 荻田沖に最大数の3,098個体が出現した。10月では西~南部水域に少なく, 北部の小郡沿岸域に最大数の1,258個体が出現した。

Sagitta crassa 及び *S. enflata* は1月の西部沿岸域に少数個体が出現したのみである。また, *S. nagae* も出現したが, 極めて少なかった。

矢虫類の出現数は, *S. crassa naikaiensis* の荻田沖の3,098個体が最大であり, 瀬戸内海の他水域でも少なく (KADO 1957, KADO and HIROTA 1957, 弘田 1959, 村上 1958, 1959), 優占種にはならなかった。

(4) 尾虫類

Oikopleura dioika 軀幹長0.6~0.7mm, 平均0.63mm, 尾部2.4~2.8mm, 平均2.58mm。1月には中央部に出現せず, 沿岸域のみに出現した。最大数は小郡沿岸域の671個体であった。5月には中央部に少なく, 西部荻田沖に最大数の1,804個体が出現した。7月には中央部には出現せず, 北部の宇部沖に最大数の1,947個体が出現した。10月には中央部から南部水域には少なく, 北部及び西部水域, 特に, 西部の行橋沖に最大数の6,670個体が出現した。一般的に, 本種は灘中央から東部水域に少なく, 西部水域に多数出現する傾向を示した (Fig. 14)。

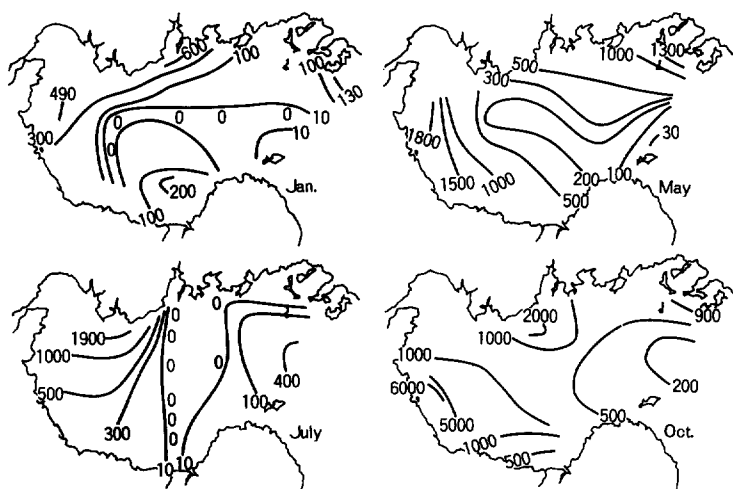


Fig. 14. Seasonal distribution of *Oikopleura dioica* (No. · m⁻³).

(5) タリア類

Doliolum denticulata 体長2.0~17.0mm, 平均7.45mm。

西~南部沿岸域には出現せず, 中央部に多数個体が出現した。最大数は, 1月では宇島沖の716個体, 5月及び10月では灘中央部の7,298及び2,440個体であった。7月にはほとんど出現しなかった (Fig. 15)。

(6) 優占種及び分布特性

i) 優占種

長期優占種 周防灘の動物プランクトンの中で優占群を構成し, 周年出現する種は主に橈脚類の *Paracalanus parvus*, *Microsetella norvegica*, *Oithona similis*, *Oncaea media* などである。瀬戸内海ではこれまで橈脚類の出現個体数についての報告が少なく, それらとの具体的な比較検討ができなかった。

Paracalanus parvus (Fig. 6) は, 透明度の低い沿岸域, 特に, 灘南部の夏~秋季に増大し, 最大数は66,000個体であった。

Microsetella norvegica (Fig. 11) は, 1月及び5月には他種よりも卓越したが, 出現個体数では7月及び10月に多く, その最大数は31,476個体であった。分布は広島湾 (YAMAZI 1952) 及び福岡湾 (古賀他 1974) と同様に, 灘の沿岸部と中央部, すなわち, 高塩分水と低塩

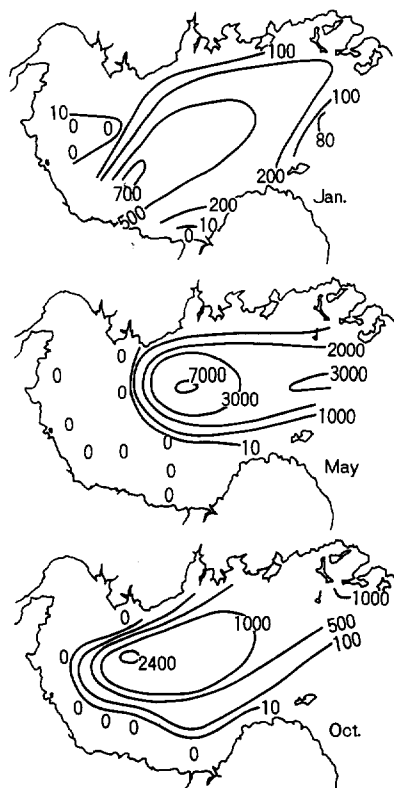


Fig. 15. Seasonal distribution of *Doliolum denticulata* (No. · m⁻³).

分水との中間水域に多数出現する傾向を示した。本種は瀬戸内海では備後灘 (HIROTA 1961)、燧灘 (HIROTA 1964)、更に、それより東部の水域 (HIROTA 1968b) にも多数分布する。燧灘では周防灘と同様に夏季に出現し (遠部 1984)、更に、夏～冬季にかけても多数の出現が記録されている (HIROTA 1977)。 *M. norvegica* は瀬戸内海以外の水域にも多数出現する。九州西部の大村湾には周年出現するが、最大数は1月の41,500個体であった (伊藤・飯塚 1979)。三河湾には10月に湾北部の沿岸域で優占し、最大数375,082の報告がある (門田他 1981)、けれども、隣接の伊勢湾では優占種にならなかった (SEKIGUCHI 1978)。

Oncaea media (Fig. 10) は、周防灘では *Microsetella* と同様に、沿岸部と中央部の中間水域に周年出現するが、秋～冬季に一時的に増大した。この現象は、伊予灘及び広島湾 (HIROTA 1969) などの他水域においてもみられる本種の特徴である。

Oithona similis (Fig. 9) は、周防灘では水温が冬季に高く、夏季に低い水域、すなわち、豊後水道から流入する外海水の影響を受ける水域に出現し、春季に増殖する種である。このような条件で、塩分も比較的に高く、更に、透明度が5m以上の水域に出現する種である *Calanus sinicus* (Fig. 5) は秋～冬季にわずかに出現した。このほかに透明度が5m以上で、灘の中央部から東部に出現し、春及び秋季に増大する種として *Doliolum denticulata* がみられた。

以上のように長期間優占する種類には橈脚類が多く、これらは灘の生産力を維持する重要なグループである。

短期優占種 枝角類は短期間に多数個体が出現し優占する傾向を示した。なお、橈脚類の中にも沿岸、内湾性種に短期間に増大し、優占する特性がみられた。

Oithona brevicornis (Fig. 8) は、10月の豊後高田沿岸域に最大数の48,973個体が出現した。大村湾には7月に46,300個体 (伊藤・飯塚 1979)、福岡湾には14万個体 (古賀ほか 1974) が出現した。広島湾の太田川河口域には近縁種の *Oithona aruensis* (遠・今林 1984) が9月に45万個体出現しており、本種は塩分及び透明度の低い水域に多数出現する傾向を示した。ただし、福岡湾及び大村湾では周防灘と異なり長期間多数の個体が出現している。

Parvocalanus crassirostris (Fig. 7) は西部水域に多く、10月の9,752個体が最大数であった。本種も *O. brevicornis* と同様に低塩分及び低透明度の水域に分布する傾向を示した。大村湾では7月の28,200個体が最大数であり (伊藤・飯塚 1979)、 *O. brevicornis* と同様に長期出現していた。

Penilia avirostris (Fig. 12) は、7月、小郡沿岸域に最大20,724個体が出現した。備後灘でも7月に多く、最大数は25,000個体 (遠部 1968)、伊勢湾では夏～秋季に多く、最大数は34,640個体 (SEKIGUCHI 1975) で、夏季の増大種である。福岡湾でも8月に多いが、最大数は1,800個体であり (古賀 1980) 瀬戸内海より少なかった。

Podon polyphemoides (Fig. 13-(1)) は、5月、荻田沖に最大29,900個体出現したが、他の季節にはほとんど出現しなかった。けれども、本種は、米国大西洋岸のチェサピーク湾には6月に最大数の60,560個体、12月にも19,620個体が出現しており (BOSCH and TAYLOR 1973) 春～夏季及び秋～冬季に増殖することが考えられる。

Evadne tergestina (Fig. 13-(2)) は、5月、刈田沖に最大1,066個体出現したが、備後灘では9月に多く、最大数は26,430個体 (ONBE 1978)、伊勢湾では7~8月に多く、最大数は13,600個体 (SEKIGUCHI 1978) であり、周防灘と異なる出現傾向がみられた。

Doliolum denticulata (Fig. 15) は、5月に最大数の7,298個体が出現したが、7月にはほとんど出現しなかった。備後灘に面した向島沿岸域に多数の *Salpa fusiformis* (1949年6月) 及び *Doliolum gegenbauri tritonis* (1949年12月) が出現し、まもなく消失している (KADO 1954)。このことからみて *D. denticulata* の周防灘での7月の減少は、豪雨による塩分低下の影響が考えられるが、多数個体が突然に出現し、消失するこの類の生態によることも考えられる。

ii) 分布特性

神戸海洋気象台海洋課 (1985) の報告によると周防灘は豊後水道外洋系水、灘固有混合水、山口県沿岸水、福岡・大分県側沿岸水、更に、関門海峡外洋系水の5水塊に区分されている。動物プランクトンの種組成による海域区分もそれと類似の傾向を示した。けれども、関門海峡外洋系水を含む北西部沿岸水には富栄養、内湾性種が多く、この水域を富栄養水域とした。更に、山口県沿岸水と福岡・大分県沿岸水に区分された水域の出現種の特性は類似しており、両者を単に沿岸水域とした。このように水塊の性質からは5水塊に区分された周防灘を動物プランクトンの出現特性から外洋水、灘固有混合水、沿岸水、富栄養水の4水域に区分した (Fig. 16)。

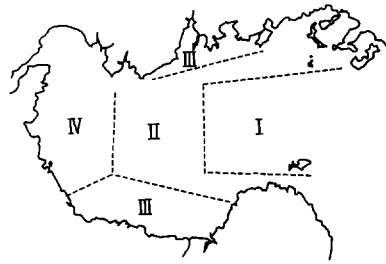


Fig. 16. Schematic partitioning of Suō-nada by zooplankton compositions.

- I: Off shore water zone
- II: Characteristic mixed water zone
- III: Coastal water zone
- IV: Eutrophic water zone.

すなわち、I—水域では *Calanus sinicus*, *Doliolum denticulata*, *Oithona similis*, II—水域では *Microsetella norvegica*, *Oncaea media*, III—水域では *Oithona brevicornis*, IV—水域では *Paracalanus parvus*, *Parvocalanus crassirostris*, *Podon polyphemoides*, *Evadne tergestina* などが代表的指標種である。これらの種以外に生息域の区分の不明確な種がみられたことは、生態的区分のほかに、調査点間の標本採集の時間差と潮流の影響も考えられる。

以上のことから周防灘の動物プランクトン個体数では大阪湾 (城・宇野 1983) より多く、三河湾 (門田他 1981) に近いが、種組成ではやや異なっていた。出現した種類は HIROTA (1961, 1962, 1964, 1968a, b, 1969) に類似していた。ただし、*Doliolum denticulata* が多く、*Acartia omorii* 及び外洋性の橈脚類が少ないことなどの種組成に周防灘動物プランクトンの特性がみられた。

3. 現存量

現存量調査のためのネット採集試料には動物プランクトン以外に植物プランクトン及び混雑物が多数存在する。この中から数 μg の小さな動物プランクトンのすべてを選別し、重量及び炭素

量を測定することは困難である。幸いにプランクトンの体長と体重、化学組成との関係が中井 (1942), CURL (1962), BEERS (1966), OMORI (1969), HIROTA (1977), SHIGA (1976), DURBIN and DURBIN (1978), MADIN et al (1981), LE BORGNE (1982), 弘田 (1981, 1985) などによって研究されており、体長から現存量を求めることが可能である。この方法の試料処理は個体数と体長の測定からなり、多量の試料が比較的少ない労力と時間で処理でき、しかも、小さくて計量の困難な動物プランクトンの体重及び炭素量を容易に求められる実際的な手法である。本研究では主として HIROTA (1977), 弘田 (1981, 1985) による瀬戸内海プランクトンの測定値に基づき、動物プランクトンの種別に測定した体長(尾虫類では軀幹長)及び個体数から、乾重量及び炭素量を算出し、現存量を求めた。

周防灘動物プランクトンの乾重量としての現存量・ m^{-2} は、1月には4,128.2mg (1,022.5mg-C) であり、その58%の2,386.5mg (228.1mg-C) はタリア類の *Doliolum denticulata*, 40%の1,644.3mg (751.4 mg-C) は橈脚類であった。5月には21,504.8mg(2,626.4mg-C) であり、*D. denticulata* はその大部分の93%の19,919.2mg (1,904.3 mg-C) を占め、橈脚類は6%の1,368.5mg (625.4 mg-C) に過ぎなかった。7月には905.4mg (408.2 mg-C) であり、*D. denticulata* の減少のため他季節のそれより少なく、74%の666.7mg (304.7 mg-C) を橈脚類、14%の127.9mg (53.5mg-C) を矢虫類が占めた。10月には9,506.2mg (1,866.1 mg-C) であり、この中の72%の6,840.5mg (654.0mg-C) は再び増加した *D. denticulata* で、24%の2,314.9mg (1,057.9mg-C) は橈脚類であった。

このように周防灘の動物プランクトン現存量は、5月に最も多く、7月に最も少なかった。年

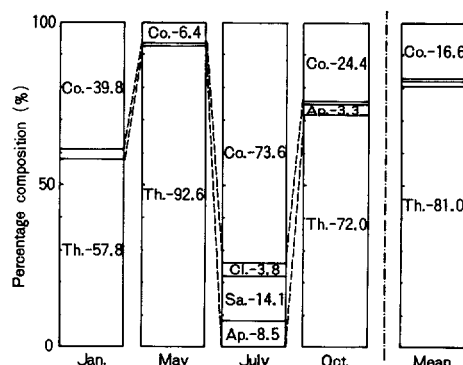


Fig. 17. Seasonal changes of composition of major organisms in Suo-nada zooplankton biomass.
Co.: Copepoda; Cl.: Cladocera;
Sa.: Sagittidea; Th.: Thaliacea;
Ap.: Appendicularia

Table 2. Netzooplankton biomass ($mg \cdot m^{-2}$) and carbon value ($mg-C \cdot m^{-2}$) estimated through the length/weight and number of individual technique.

	Jan. 24-25		May 27-28		July 15-17		Oct. 13-15		mean	
	(9.21°C)		(17.69°C)		(22.21°C)		(22.11°C)			
	dry wt	mg-C	dry wt	mg-C	dry wt	mg-C	dry wt	mg-C	dry wt	mg-C
Copepoda	1644.3	751.4	1368.5	625.4	666.7	304.7	2314.9	1057.9	1498.6	684.9
Cladocera	0.013	0.006	29.2	13.9	34.2	16.2	0.6	0.3	16.0	7.6
Sagittidea	5.1	2.1	9.4	3.9	127.9	53.5	35.7	14.9	44.5	18.6
Appendicularia	92.5	40.9	178.5	78.5	76.6	33.8	314.5	139.0	165.5	73.2
Thaliacea	2386.5	228.1	19919.2	1904.3	0.0	0.0	6840.5	654.0	7286.6	696.6
Total	4128.4	1022.5	21504.8	2626.0	905.4	408.2	9506.2	1866.1	9011.2	1480.7

周防灘における動物プランクトン

平均現存量は $9,011.2\text{mg} (1,480.9\text{mg-C}) \cdot \text{m}^{-2}$ 、または $380.2\text{mg} (62.5\text{mg-C}) \cdot \text{m}^{-3}$ であり、この中の81%の $7,286.6\text{mg} (696.6\text{mg-C})$ が *D. denticulata*、17%の $1,498.6\text{mg} (684.9\text{mg-C})$ が橈脚類であった。*D. denticulata* は、個体数では橈脚類に劣ったが、現存量では灘における重要な種であった (Fig.17, Table 2)。

次に、周防灘の現存量と他水域の動物プランクトン現存量とを比較検討した (Table 3)。もちろん、これらには採集時期、方法、水深などの差が含まれている。

瀬戸内海中央部の備後一燧灘の現存量 (*Noctiluca* を除く) は $1,617.2 \sim 3,868.4\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ 、平均 $2,927.0\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ であり、この中の55~72% ($1,216.1 \sim 2,452.9\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$)、平均63% ($1,830.7\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$) は橈脚類であった (弘田 1977)。この現存量は周防灘のもの約1/3であり、燧灘のみの現存量は $188\text{mg} \cdot \text{C} \cdot \text{m}^{-2}$ (科学技術庁資源調査所 1980) と評価され、周防灘の現存量の1/3であった。平均水深を27.5mとして城・宇野 (1983) から求めた大阪湾の現存量 (*Noctiluca* を除く) は $1,174.0 \sim 3,209.5\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ 、平均 $1,296.3\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ であり、この中で橈脚類は21~58% ($612.4 \sim 715.3\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$)、平均33% ($671.0\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$) であった。この現存量は周防灘のもの約1/2である。なお、周防灘の橈脚類現存量は備後一燧灘のそれと同様であり、その最大値は大阪湾のそれの約2倍である。三河湾の橈脚類現存量は、 $190.66 \sim 1,728.66\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ ($85.8 \sim 777.9\text{mg-C}$) 平均 $596.8\text{mg} (268.6\text{mg-C}) \cdot \text{m}^{-2}$ であり (門田・広海 1983)、周防灘のそれより少ない。

外洋域の現存量は、北海道海域では $590\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$ 、三陸沖海域では $259 \sim 1,869\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$ 、伊豆沖海域では $419 \sim 738\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$ 、東シナ海では $339 \sim 1,134\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$ 、日本海では $625\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$ (科学技術庁資源調査所 1980) であり、太平洋西部の黒潮流域の動物プランクトン現存量

Table 3. Zooplankton biomass measured in different localities.

region	range	mean	references
Seto-Inland Sea			
Suō-nada	$905.4 \sim 21,504.8\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ ($408.2 \sim 2,626.4\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$)	$9,011.2\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ $1,480.7\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$	This study
Bingo~Hiuchi-nada Hiuchinada	$3,214.3 \sim 5,379.9\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ $188\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,927.0\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$	HIROTA (1977) Kagakugijutsuchou, Shigen-chousasho (1980)
Osaka Bay	$45.8 \sim 123.1\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-3}$	$75.9\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	JOH and UNO (1983)
Mikawa Bay: Copepoda	$190.7 \sim 1,728.7\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ ($85.8 \sim 777.9\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$)	$596.8\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ $268.6\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$	KADO and HIROMI (1983)
estuaries near Beaufort off south Hokkaido	$3.3 \sim 28.7\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$ $589\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$	$11.5\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$	WILLIAMS et al (1968) Kagakugijutsuchou, Shigen-chousasho (1980)
off Sanriku	$259 \sim 1,869\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$		"
off Izu	$419 \sim 738\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$		"
Japan Sea	$625\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$		"
Eastern China Sea	$339 \sim 1,134\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$		"
off west Kyushu	$1,134\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$		"
Kuroshio and adjacent seas off La Jolla	$100 \sim 500\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ $390 \sim 6,173\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,816.3\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2}$	IKEDA and MOTODA (1978) MULLIN and BROOKS (1970b)
various areas	$0.65 \sim 9.76\text{g-C} \cdot \text{m}^{-2}$		CUSHING (1971)

は $100\sim 500\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (IKEDA and MOTODA 1978) である。これらに比較し、周防灘の現存量は、 $905.4\sim 21,504.8\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ ($38.0\sim 907.2\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-3}$)、平均 $9,011.2\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ ($380.2\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-3}$) であり、日本周辺の高い現存量域に相当していた。

炭素量でみた周防灘現存量の $408.2\sim 2,626.4\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ 、平均 $1,480.9\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ は、米国のビューホート沿岸域の動物プランクトン現存量の $3.3\sim 28.7\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ 、平均 $11.5\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ (WILLIAMS et al 1968) よりはるかに多く、外洋域の南カリフォルニア沖の現存量、 $390\sim 6,173\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ 、平均 $1,816.3\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ (MULLIN and BROOKS 1970b)、及び CUSHING (1971) による各地の水域の現存量、 $0.65\text{g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ (セイロン、インド洋) $\sim 9.76\text{g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ (ベンゲラ沿岸、アフリカ南西部) にほぼ相当していた。

周防灘の動物プランクトン現存量と植物プランクトンのそれとの関係を見ると、植物プランクトン量が $0.1\sim 1.84\text{g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ 、平均 $0.89\text{g}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ (山口・安楽 1984) であり、動物プランクトン量 ($408.2\sim 2,626.4\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$ 、平均 $1,480.9\text{mg}\cdot\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$) よりやや少なかった。このような現象は南カリフォルニア沖でもみられ (MULLIN and BROOKS 1970b)、周防灘だけの特異な現象ではない。植物プランクトン現存量は、動物プランクトンの捕食作用の影響を大きく受けられるので、スクリップスの研究者はその実際の現存量を測定値の約4倍ではないかと考えている。動物プランクトン現存量についても、実際には増殖しながら一方で捕食されて減少している現存量を調査したことになる。けれども、このような複雑な仕組みは、生態モデルを用いた詳細な検討を必要とするので本研究では触れなかった。

4. 生産量

動物プランクトンの生産量評価法には、等間隔採集標本 (HEINLE 1966)、採集動物の一定時間の恒温飼育 (KIMMERER 1983)、等間隔採集物中の発育段階標本の成長、摂餌及び成長率 (MULLIN and BROOKS 1970a, TAGUCHI and ISHII 1974, GAUDY 1975, WILLIAMS and LINDLEY 1980, DURBIN and DURBIN 1981, LE BORGNE 1982, UYE et al 1983)、呼吸代謝 (IKEDA and MOTODA 1978) などによる現存量及び日間生産量からの評価法がある。更に、動物の寿命及び年間世代数 (CUSHING 1971, BANSE and MOSHER 1980, 科学技術庁資源調査所 1980)、成体のエネルギー代謝量 (TREMBLAY and ROFF 1983) などによる現存量及び回転効率からの生産量評価などがある。この中の科学技術庁資源調査所 (1980) が日本周辺水域の生産力を既往のデータに基づいてまとめて解析した方法は、東北大学西沢教授の提唱によるもので、種の平均寿命 (回転期間)、年間世代数 (回転効率)、及び年平均現存量から生産力を評価するものである。単一種の個体群生態を扱ったもので、NEESS and DUGDALE (1959)、WATER (1969)、ALLEN (1971) などの現存量及び回転効率 (年間世代数) による生産量評価法がある。これはコホート (同一発生群) の生涯生産量 (生残—成長関係曲線 (アレン曲線) 内の積分値) と平均現存量との関係、すなわち、回転率の研究による生産量の簡易評価法である。けれども、このアレン曲線による方法では多回産卵の多数の種から構成される動物プランクトンについて生涯を通して生産量を把握することは不可能に近い。多回産卵の単一個体群については生命表分析法によって世代時間、成長率な

どを評価することができるが、多数の種が混在する場合は複雑になり、生活史の不明な種については分析できない。

生産量の推定：本研究では年間世代法及び呼吸代謝法で推定を行った。最初に、CUSHING (1971) 及び科学技術庁資源調査所 (1980) の報告に基づき年間世代数を年間の回転数とし、これに年平均現存量を乗じて生産量を推定した。

動物プランクトンでは寿命及び年間世代数の明らかにされた種が甚だ少なく、比較的よく研究されているのは橈脚類である。例えば、*Paracalanus parvus* などの1～4世代 (弘田 1985), *Acartia longiremis*, *Acartia clausi* などの4～7世代 (EVANS 1977), *Microcalanus pygmaeus*, *Centropages hamatus* などの3～8世代 (McLAREN 1978, MARSHALL 1949), *Pseudodiaptomus marinus* の4世代 (UYE et al 1983) などのように数種の年間世代数が報告されている。けれども、*Calanus finmarchicus* には3 (McLAREN 1978), 4 (MARSHALL et al 1934, MARSHALL 1949, MARSHALL and ORR 1955), 及び8 (MULLIN and BROOKS 1967) の異なった世代数が報告され、*Acartia clausi* では3 (弘田 1980), 5 (McLAREN 1978), 7 (EVANS 1977), 2～7 (上田 1978) 世代などが報告されている。このように、橈脚類の世代数は同一種についてみても生息地の水温、餌などの環境条件によって変化することが知られている。橈脚類以外の種についてみると、海産枝角類には少なくとも年2世代 (BOSCH and TAYLOR 1973, ONBE 1978), 矢虫類には4 (村上 1959, 永沢・丸茂 1978) 及び2 (DUNBER 1962), 尾虫類には4 (HIROTA 1980) 世代があるとみられる。以上のこと及び CUSHING (1971) が使用した世代数が2.96～9.67, 平均4.58であることなどから、本研究では動物プランクトンの年間世代数 (年回転数) を4と仮定した。このことは周防灘における動物プランクトンの平均寿命 (回転期間) を約90日 (3か月) と仮定したことにある。

現存量とその仮定の年間回転数 (仮定年間世代数) から推定した周防灘の動物プランクトン生産量では、日間生産量 (dP) が $16.2 \text{ mg-C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ($0.7 \text{ mg-C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$), 年間生産量 (aP) が $5,923.6 \text{ mg-C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Yr}^{-1}$ ($249.9 \text{ mg-C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Yr}^{-1}$) である。これから、灘全体の動物プランクトンによる生産量 (炭素量) は年間1.8万トンとみられる。

一方、比較のため呼吸代謝法 (IKEDA and MOTODA 1978) によって生産量を試算した。その結果によると、日間生産量が $266.58 \text{ mg-C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ($11.2 \text{ mg-C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$), 年間生産量が

Table 4. Netzooplankton production ($\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Yr}^{-1}$) in Suō-nada.
1): after CUSHING(1971); 2): after IKEDA and MOTODA(1978).

	generation method ¹⁾	respiration method ²⁾
Copepoda	2,739.4 (46.3%)	45,640.0 (46.9%)
Cladocera	30.4 (0.5%)	423.87 (0.5%)
Sagittidea	74.4 (1.3%)	1,055.36 (1.1%)
Appendicularia	292.2 (4.9%)	3,252.59 (3.3%)
Thaliacea	2,786.4 (47.0%)	46,928.96 (48.2%)
Total	5,922.8 (100.0%)	97,300.82 (100.0%)

97,300.82mg-C · m⁻² · Yr⁻¹ (4,105.52mg-C · m⁻³ · Yt⁻¹) であり、灘全体の年間生産量 (炭素量) は30.16万トンとなった。

次に、周防灘の生産量について仮定世代法及び () 内に示した呼吸代謝法による各種の値を比較検討した (Table 4)。

灘の総生産量中の主なグループの構成比率についてみると、タリア類は47%、8,638トン (48%、145,480トン) 橈脚類は46%、8,493トン (47%、141,484トン)、尾虫類は5%、908トン (3%、10,083トン)、矢虫類は1.3%、231トン (1.1%、3,272トン)、枝脚類は0.5%、94トン (0.5%、1,314トン) であった。この構成種の出現率には推定方法の相違による差が認められず、タリア類及び橈脚類が生産量の中の大部分を構成していた。

現存量 (B) と日間及び年間生産量 (dP 及び aP) と各種の関係についてみると、日間回転率 (dP:B, daily turnover rate) は1.1% (18.0%)、回転期間 (平均寿命) (B:dP, turnover time) は91.26日 (5.55日)、年間回転効率 (aP:B, annual turnover ratio) は4.0 (65.71) である。更に、基礎生産量 (PP) に対する動物プランクトン生産量 (ZP) の割合、すなわち、転送効率 (ZP:PP, transfer efficiency) または、生態効率 (ecological efficiency) についてみると、周防灘の平均的基礎生産量が380mg-C · m⁻² · d⁻¹ (山口・安楽 1984) であることからその効率は4.3% (70.2%) になる。

以上のように呼吸代謝法によって求めた生産量及び各種の効率は仮定世代法 (回転効率4) の約16倍であった。

他水域の生産量との比較： 黒潮流域の生産量は10~60mg-C · m⁻² · d⁻¹ であり (IKEDA and MOTODA 1978), CUSHING (1971) の表から推定した各水域の年間生産量は1.9~45.1g-C · m⁻² · Yr⁻¹ であった。これらと比較した時、周防灘の仮定世代法による生産量は、低生産水域に相当するが、科学技術庁資源調査所 (1980) による黒潮流域の生産量0.5~2.8g-C · m⁻² · Yr⁻¹ との比較ではその2~10倍であった。けれども、高い生産力を示す水域、例えば、*Noctiluca* を除く大阪湾の生産量の2.2~12.3mg-C · m⁻³ · d⁻¹、平均6.5mg-C · m⁻³ · d⁻¹ (城・宇野 1983)、及び地中海の生産量の1.14~3.74mg-C · m⁻³ · d⁻¹ (GAUDY 1976) との比較では、これらの 1/10であった。一方、呼吸代謝法で推定した周防灘の生産量 (11.2mg-C · m⁻³ · d⁻¹) はそれらの2~3倍であった。

二つの方法で得られた日間回転率 (dP:B)、回転期間 (B:dP) 及び年間回転効率 (aP:B) についてみると、周防灘では現存量の1% (18%) が毎日生産され、それは回転期間 (寿命) の91.3日 (5.6日) 間に現存量に等しい生産量になり、現存量は年間4回 (65.7回) 回転することになる。仮定世代法による日間回転率の1%は CUSHING (1971) による各水域の日間回転率0.7~1.9%に相当し、呼吸代謝法による高い日間回転率の18%は地中海の日間回転率11~18% など (GAUDY 1976) に相当した。けれども、周防灘におけるこれらの推定値はチェサピーク湾の40% (HEINLE 1966)、南東大西洋の35% (LE BORGNE 1982)、大阪湾の28% (城・宇野 1983) などの高い日間回転率には及ばなかった。

転送効率 (ZP:PP) についてみると、周防灘の仮定世代法 (回転効率4) から得られた転送

周防灘における動物プランクトン

効率の4.3%は、南カリフォルニア沖の橈脚類の6.9及び3.3% (MULLIN and BROOKS 1970b), 大阪湾の動物プランクトンの8.4% (城・宇野 1983), 各地の沿岸域における橈脚類の1~8% (上 1984)などに相当した。一方、呼吸代謝法から得た周防灘の転送効率は、70.2%であり、仮定世代法及び他水域の効率より甚だしく高かった。CUSHING (1971)によれば転送効率は、3~30%の範囲にあって、基礎生産の増大に伴った低下の傾向を示す。このことから周防灘の転送効率は、低い基礎生産のために高くなることが考えられるが、CUSHINGの効率の範囲をはるかに超えていた。更に、同一の呼吸代謝法から導いた城・宇野(1983)及び上(1984)の転送効率に比較してもかなり高い値であった。

このように、動物プランクトンの生産量は用いる手法によって当然のことながらかなり変動する。今後は、適正な回転期間(寿命)、回転効率など、手法の内容や係数を改良して、精度を向上させることが必要と思われる。

摘 要

半閉鎖的水域の周防灘で、動物プランクトンについて出現生態の把握、生産量の評価を行った。1982年の四季にプランクトンネットの海底からの垂直揚網によって採集し、計測した種別の個体数及び体長から現存量、更に、炭素量を求め、生産量を推定した。

一般環境：表層水温は、1月には灘西~南部の浅海域で低く、7℃、東部水域では10~11℃、5月には東部水域で17~19℃、西~南部水域で20~22℃、7月には東部水域で21~23℃、西部水域で23~25℃、10月には灘中央部で22℃、東部及び西部で22.5℃であった。表層の塩分は、一般に32~34%であったが、7月の豪雨後の北部沿岸域では9.58%まで低下した。透明度は、沿岸域では常に2mが観測された。けれども、7月の東部笠戸島沖では最高の16mが観測された。

主要種の分布及び季節変化(個体数 \cdot m⁻³): 橈脚類の *Paracalanus parvus* は灘の周辺部に多く、コペポディド期を含む総数は7月の南部水域で最高の66,045個体であった。*Oithona brevicornis* は10月の南部沿岸域に多く、最高48,973個体であった。*Oithona similis* は、中央部に多く、5月の1,750個体が最高であった。*Microsetella norvegica* は、10月に最高の31,476個体であり、沿岸及び沖合の中間水域に多かった。枝角類の *Penilia avirostris* は、夏~秋季に出現し、最高が北部沿岸域の20,724個体であった。矢虫類の *Sagitta crassa naikaiensis* は夏~秋季の西部水域に多く、最高が1,782個体であった。昆虫類の *Oikopleura dioika* も西部水域に多く、10月の6,630個体が最高であった。タリヤ類の *Doliolum denticulata* は西部水域には出現せず、灘中央に多く、5月に最高の7,298個体であった。

現存量及び生産量：周防灘における動物プランクトンの現存量 \cdot m⁻²は、1月には4.1g(1.0g-C)であり、この中の58%が *Doliolum denticulata*, 40%が橈脚類であった。5月には21.5g(2.6g-C)であり、この中の93%が *D. denticulata* であった。7月には0.9g(0.4g-C)であり、*D. denticulata* は減少し、74%が橈脚類、14%が矢虫類であった。この現存量は他の季節より少なかった。10月には9.5g(1.9g-C)であり、72%が *D. denticulata* 24%が橈脚類で

あった。年平均現存量は9.0g (1.5g-C) であり、81%が *D. denticulata*, 17%が橈脚類であった (Fig. 2)。

年間回転効率を4にして推定した日間生産量は $16.2\text{mg-C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 年間生産量は $5.9\text{g-C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Yr}^{-1}$, 灘総生産量 (炭素量) は年間1.8万トン, 転送効率は4.3%であった。これらは, 呼吸代謝法による周防灘の生産量 ($97.3\text{g-C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Yr}^{-1}$, 30.2万トン) 及び転送効率 (70.2%), 更に, 他水域の生産量と比較した時, 低い値であり, より適正な回転効率による評価が必要である。

引用文献

- ALLEN, K. R., 1971. Relation between production and biomass. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 28, 1573-1581.
- BANSE, K. and S. MOSHER, 1980. Adult body mass annual production/biomass relationships of field populations. *Ecol. Monogr.*, 50(3), 355-379.
- BEERS, I. R., 1966. Studies on the chemical composition of the major zooplankton groups in the Sargasso Sea off Bermuda. *Limnol. Oceanogr.*, 11(4), 520-528.
- BOSCH, H. F. and W. R. TAYLOR, 1973. Distribution of the Cladoceran *Podon polyphemoides* in the Chesapeake Bay. *Mar. Biol.*, 19, 161-171.
- CURL, H. JR., 1962. Analysis of carbon in marine plankton organisms. *J. Mar. Res.*, 20(3), 181-188.
- CUSHING, D. H., 1971. Upwelling and the production of fish. *Adv. Mar. Biol.*, 9, 255-334.
- DUNBER, M. J., 1962. The life cycle of *Sagitta elegans* in Arctic and Subarctic seas, and the modifying effects of hydrographic differences in the environment. *J. Mar. Res.*, 20(1), 76-91.
- DURBIN, E. G. and A. G. DURBIN, 1978. Length and weight relationships of *Acartia clausi* from Narragansett Bay, R. I. *Limnol. Oceanogr.*, 23(5), 958-969.
- DURBIN, E. G. and A. G. DURBIN, 1981. Standing stock and estimated production rates of phytoplankton and zooplankton in Narragansett Bay, Rhode Island. *Estuaries*, 4(1), 24-41.
- EVANS, F., 1977. Seasonal density and production estimates of the commoner planktonic copepods of Northumberland coastal waters. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 5, 223-241.
- GAUDY, P. R., 1976. Etude de plankton de la zone nord de la rade Villefranche-sur-Mer a la fin de printemps (17 Mai 71 an 16 Juin 71). III. Production secondaire des copepodes pelagiques. *Vie Milieu, ser. B*, 26(1), 77-106.
- HEINLE, D. R., 1966. Production of a calanoid copepod, *Acartia tonsa*, in the Patuxent river estuary. *Ches. Sci.*, 7(2), 59-74.
- 弘田礼一郎, 1959. *Sagitta crassa* の形態について, 日本海洋学会誌, 15(4), 191-202.
- HIROTA, R., 1961. Zooplankton investigations in the Bingo-nada region of the Setonaikai (Inland Sea of Japan). *J. Sci. Hiroshima Univ., ser. B, Div. 1*, 20, 83-145.
- HIROTA, R., 1962. Species composition and seasonal changes of copepod fauna in the vicinity of Mukaishima. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, 18(1), 35-40.
- HIROTA, R., 1964. Zooplankton investigations in Hiuchi-nada in the Setonaikai (Inland Sea of Japan), I. The seasonal occurrence of copepods at the three stations in Hiuchi-nada. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, 20(1), 24-31.

- HIROTA, R., 1968a. Zooplankton investigations in the Setonaikai (Inland Sea of Japan), I. Occurrence of zooplankton in the western half of the Setonaikai in June, 1963. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, **24**(5), 203-211.
- HIROTA, R., 1968b. Zooplankton investigations in the Setonaikai (Inland Sea of Japan), II. Occurrence of zooplankton in the eastern half of the Setonaikai in September, 1963. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, **24**(5), 212-219.
- HIROTA, R., 1969. Zooplankton investigations in the Setonaikai (Inland Sea of Japan), III. Occurrence of zooplankton in the sea regions from Iyo-nada in the winter of 1964. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, **25**(3), 19-26.
- HIROTA, R., 1977. Zooplankton. pp. 299-308, in "JIBP SYNTHESIS 1977. Tokyo Vol. 14, Productivity of biocenoses in costal region of Japan" (ed. K. HOGETSU et al), Univ. Tokyo Press, Tokyo.
- 弘田礼一郎, 1981. 瀬戸内海における重要動物プランクトンの乾燥重量と化学組成. *日本プランクトン学会報*, **28**(1), 19-24.
- 弘田礼一郎, 1985. 動物プランクトンの体長/体重関係, 炭素量, ライフスパン. "海洋生物資源の生産能力と海洋環境に関する研究(第1期)成績報告書"(科学技術庁研究調整局): pp. 243-250.
- IKEDA, I. and S. MOTODA, 1978. Estimated zooplankton production and their ammonia excretion in the Kuroshio and adjacent seas. *Fish. Bull.*, **76**(2), 357-367.
- 伊藤栄樹・飯塚昭二, 1979. 大村湾における動物プランクトンに関する研究—I. 橈脚類の季節的出現. *長崎大学研報*, **45**, 5-14.
- 城久・宇野史郎, 1983. 大阪湾における動物プランクトンの現存量とそれから見積られる生産量. *日本プランクトン学会報*, **30**(1), 41-51.
- KADO, Y., 1954. The seasonal change of plankton and hydrography of the neighbouring sea of Mukaishima. *J. Sci. Hiroshima Univ. ser. B, Div. 1*, **15**(6), 193-204.
- KADO, Y., 1957. The seasonal change of the chaetognath and pelagic copepod fauna of Hiroshima Bay in the Inland Sea of Japan, with special references to the appearance of oceanic species. *J. Sci. Hiroshima Univ. ser. B, Div. 1*, **17**(9), 121-129.
- KADO, Y. and R. HIROTA, 1957. Further studies on the seasonal variation of *Sagitta crassa*. *J. Sci. Hiroshima Univ. ser. B, Div. 1*, **17**(10), 131-136.
- 門田定美・広海十郎・愛知水試, 1981. 内湾での動物プランクトンの月別現存量・生産量の把握. pp. 95-98. "内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明に関する研究. 昭和55年度研究成績報告書"(東海水研他).
- 門田定美・広海十郎, 1983. 動物プランクトン. pp. 112-121. "内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明に関する研究 五年間の研究成果"(東海水研他).
- 科学技術庁資源調査所, 1980. 海洋生物の生産力に関する調査(資料第81号資源調査会編), (11)+289 pp., 科学技術庁資源調査所, 東京.
- KIMMERER, W. J., 1983. Direct measurement of the production: biomass ratio of subtropical calanoid copepod *Acrocalanus inermis*. *J. Plankton Res.*, **5**(1), 1-4.
- 古賀文洋・渡辺一民・大隈 迪, 1974. 魚類の初期餌料としての動物プランクトンの大量培養の研究—I. Copepoda の出現生態. 昭和47年度福水試研報, pp. 104-115.
- 古賀文洋, 1980. 魚類の初期餌料としての動物プランクトンの探索と培養研究—VII. 海産枝角の出現生態について. 昭和53年度福水試研報, pp. 153-157.
- 神戸海洋気象台海洋課, 1985. 周防灘の海況—1982~1983年度特殊観測結果. *神戸海洋気象台彙報*, **204**, 23-37.
- LE BORGNE, B., 1982. Zooplankton production in the eastern tropical Atlantic Ocean: net growth efficiency and P:B in terms of carbon, nitrogen, and phosphorous. *Limnol. Oceanogr.*, **27**(4), 681-698.

- MADIN, L. P., C. M. CETTA and V. L. McALISTER, 1981. Elemental and biochemical composition of salps (Tunicata: Thaliacea). *Mar. Biol.*, **63**, 217-226.
- MARSHALL, S. M., A. G. NICHOLLS and A. P. ORR, 1934. On the biology of *Calanus finmarchicus* V: Seasonal distribution, size, weight and chemical composition in Loch Striven 1933 and their relation to the phytoplankton. *J. Mar. Biol. Assoc., U. K.*, **19**, 793-828.
- MARSHALL, S. M., 1949. On the biology of the small copepods in Loch Striven. *J. Mar. Biol. Assoc., U. K.*, **28**, 45-122.
- MARSHALL, S. M. and A. P. ORR, 1955. The biology of a marine copepod. pp. vii +188. OLIVER & BOYD, Edinburg.
- McLAREN, I. A., 1978. Generation lengths of some temperature marine copepods: Estimation, prediction, and implications. *J. Fish. Res. Board Can.*, **35**, 1330-1342.
- MULLIN, M. M. and E. R. BROOKS, 1967. Laboratory culture, growth rate, and feeding behaviour of a planktonic marine copepod. *Limnol. Oceanogr.*, **12**(4), 657-666.
- MULLIN, M. M. and E. R. BROOKS, 1970a. Growth and metabolism of two planktonic marine copepods as influenced by temperature and type of food. pp. 74-95. in "Marine food chain" (ed. J. H. STEELE), OLIVER & BOYD, Edinburg.
- MULLIN, M. M. and E. R. BROOKS, 1970b. The ecology of the plankton off La Jolla, California, in the period April through September, 1967 (ed. J. D. H. STRICKLAND) Part VII Production of the planktonic copepod, *Calanus helgolandicus*. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.*, **17**, 89-109.
- 村上彰男, 1958. 内湾・内海に於ける浮遊性毛顎類の出現(1) 東京湾及び瀬戸内海中西部海域における出現状況. *内海水研報*, **11**, 357-384.
- 村上彰男, 1959. 瀬戸内海産浮遊性毛顎類に関する海洋生物学的研究. *内水研報*, **12**, 1-186.
- 永沢祥子・丸茂隆三, 1978. 駿河湾における *Sagitta nagae* ALVARINO の生殖と生活史. *日本プランクトン学会報*, **25**(1), 67-84.
- 中井甚二郎, 1942. 重要海産プランクトン10種の化学成分, 容積, 重量及び大きさ. *日本海洋学会誌*, **1**, 45-55.
- NEESS, J. and R. C. DUGDALE, 1959. Computation of production for populations of aquatic midge larvae. *Ecology*, **40**(3), 425-430.
- OMORI, M., 1969. Weight and chemical composition of some important oceanic zooplankton in the North Pacific Ocean. *Mar. Biol.*, **3**, 4-10.
- 遠部 卓, 1968. 海産枝角類に関する研究-I. *Penilia* の生態について. *広大水畜産学部紀要*, **7**(2), 269-279.
- ONBE, S., 1978. Gamogenetic forms *Evadne tergestina* CLAUS (Branchipoda, Cladocera) of the Inland Sea of Japan. *J. Fish. Anim. Husband.* **17**, 43-52.
- 遠部 卓, 1984. 動物プランクトン. "瀬戸内海の環境評価のための総括的研究" (昭和59年度科研費 特別研究「環境科学」) (小坂ほか編): pp. 146-156.
- 遠部 卓・今林博道, 1984. 太田川放水路における動物プランクトンと環境. "環境科学研究報告書". B204-R01-2, pp. 77-85.
- SEKIGUCHI, H., 1978. Biology of cladocerans and copepods in Ise Bay, central Japan-I. Seasonal cycles of the dominant species. *Bull. Fac. Fish., Mie Univ.*, **5**, 13-23.
- SHIGA, N., 1976. Maturity stages and relative growth of *Oikopleura labradoriensis* LOHMANN (Tunicata, Appendicularia). *Bull. Plankton Soc. Japan*, **23**(2), 81-95.
- TAGUCHI, S. and H. ISHII, 1974. Shipboard experiments on respiration, excretion, and grasping of *Calanus cristatus* and *C. plumchrus* (Copepoda) in the northern North Pacific. *Res. Inst. North Pacific Fish., Fac. Fish. Hokkaido Univ., Collected Reprints, 1970-1973*, **3**, 419-431.
- TREMBLAY, M. J. and J. C. ROFF, 1983. Production estimates for Scotian shelf copepods based on

- mass specific P/B ratios. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **40**, 749-753.
- UYE, S., Y. IWAI and S. KASAHARA, 1983. Growth and production of the inshore marine copepod *Pseudodiaptomus marinus* in the central part of the Inland Sea of Japan. Mar. Biol., **73**, 91-98.
- 上 真一, 1984. 内湾性かいあし類の個体群動態と生産に関する研究. 日本海洋学会誌, **40**(2), 163-174.
- 上田拓史, 1978. 内湾性かいあし類の世代解析—特に *Acartia clausi* について. 日本プランクトン学会報, **25**(1), 55-66.
- WATERS, T. F., 1969. The turnover ratio in production ecology of fresh water invertebrates. Amer. Natur., **103**(930), 173-185.
- WILLIAMS, R. B., M. B. MARDOCH and L. K. THOMAS, 1968. Standing crop and importance of zooplankton in a system of shallow estuaries. Ches. Sci., **19**(1), 42-51.
- WILLIAMS, R. and J. A. LINDLEY, 1980. Plankton of the Fladen Ground during FLEX 76 III. Vertical distribution, population dynamics and production of *Calanus finmarchicus* (Crustacea: Copepoda). Mar. Biol., **60** 47-56.
- 山口峰生・安楽正照, 1984. 瀬戸内海西部周防灘における基礎生産について. 南西水研報, **17**, 135-149.
- YAMAZI, I., 1952. Plankton investigation in inlet waters along the coast of Japan V. The plankton of Hiroshima Bay in the Seto-naikai (Inland Sea). Publ. Seto Mar. Biol. Lab., **11**(2), 319-330.