

玄界灘並びに対馬東水道における 栄養塩類及びプランクトンの分布

池内 仁・神蘭 真人・杉野 浩二郎
(筑前海研究所)

Distributions of Nutrient and Plankton in the
Genkai-nada and the Eastern Tsushima Channel

Hitoshi IKEUCHI, Masato KAMIZONO and Kojiro SUGINO
(Chikuzenkai Laboratory)

玄界灘並びに対馬東水道は、九州北岸と対馬に挟まれた水深120m以内の比較的浅い海域で、東シナ海からの対馬暖流により周年にわたり暖流系水に覆われている。漁場として様々な漁業が営まれ、重要な漁業生産の場となっている。

当海域における海洋観測の歴史は古いが、栄養塩類やプランクトン等の低次生産に関する調査¹⁾は乏しい。低次栄養段階から高次栄養段階に繋がる生態系におけるエネルギー循環を定量的に把握し、海況や漁獲の変動に対する応答特性を明らかにすることは、水産資源の研究に必要な不可欠と考えられる。低次栄養に係わる栄養塩類やプランクトンの分布を把握することは重要である。

本報告では、当海域における栄養塩類の鉛直分布や季節変動を明らかにするとともに、その変動要因も検討した。さらに、植物及び動物プランクトンについても、分布密度やサイズの季節変動を明らかにした。

方 法

1996年4月から'97年2月にかけて、玄界島南岸から長崎県対馬比田勝沖に設定した10定点(図1)において毎月1回の観測を行い、海況並びに栄養塩類を測定した。

水温と塩分はクロロテック(アレック電子ACL-200)を用いて、表層から底層(底上2m)まで10m毎に測定し、栄養塩類(DIN・PO₄-P・SiO₂-Si)及びChl-aは表層、10m、20m、50m、75m及び底層の各層から採水、測定した。栄養塩類とChl-aの測定は海洋観測指針²⁾に準じた。

プランクトン類の採集は、5月、7月、10月及び2月

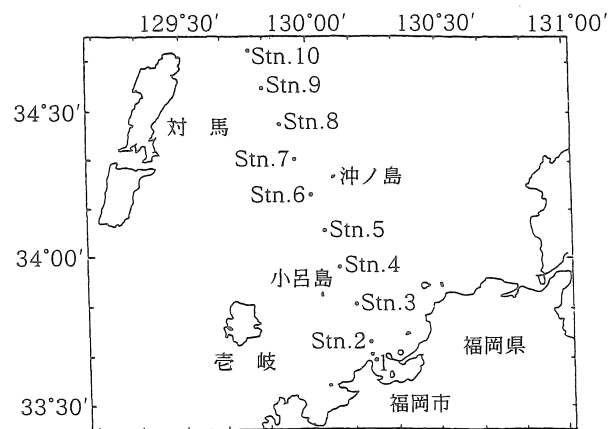


図1 調査定点

に行った。植物プランクトンは北原式定量ネット(XX 13:目合95 μ m)を用いて20m深から表層までの鉛直曳き、動物プランクトンはNORPACネット(GG54:目合345 μ m)を用いて底上2mから表層までの斜め曳きにより採集した。採集されたプランクトンはホルマリンで固定し、後日、種の同定と計数を行うとともに、優占種のサイズを計測した。なお、採水及びプランクトン採集とも昼間に実施した。

結 果

1. 水温、塩分、密度、栄養塩類及びChl-aの鉛直分布全点の観測が可能であった4、5、7、9、10、12、1及び2月について示す。

(1) 水 温(図2)

5月から10月にかけて成層が形成され、特に夏季(7

～9月)には著しく成層が発達する。水深50m付近に水温躍層がみられる。秋季及び冬季(12～4月)には、鉛直混合により成層が崩壊し躍層は消滅する。同時期には、沿岸域よりも沖合域で高水温を示し、逆に昇温期(5～7月)には沿岸域で高い。最高と最低の差は、表層で14～26℃、50m以深では14～18℃である。

(2) 塩 分 (図3)

水温と同様に5月から10月に成層が形成され、夏季に発達し塩分躍層は約40m付近にみられる。沖合域の表層では、夏季(7～9月)を除けば常時34.00以上の高塩分を示し、沿岸域では常時沖合域よりも低い。

(3) 密 度 (図4)

75m以深では常時25以上で安定しているが、夏季の表層では低密度を示し、9月の表層と底層の差は3以上に達する。また、この時の密度躍層は50m付近にあった。

(4) 栄養塩類 (図5～7)

DIN濃度は、4月から10月にかけて表層及び中層(0～50m)で5μM以下と低いが、底層(75m以深)では5～12μMと高い値を示す。冬季(12～2月)は鉛直混合により上下差が消失する。10月から2月に、対馬比田

勝沖(Stn.10)付近に高い値がみられる。

PO₄-PとSiO₂-SiについてもDINと同様の分布を示すが、夏季の表・中層のPO₄-P濃度は0.1μM以下と極めて低い。

(5) Chl-a (図8)

周年沿岸域で高く沖合域で低めの傾向にあり、特に沖合域の50m以深では0.5μg/l以下と極めて低い。表層では、4月、10月及び12月に高い値を示す。

2. プランクトンの分布

(1) 植物プランクトン

季節毎の珪藻類の出現密度を示した(図9)。珪藻類、渦鞭毛藻類、藍藻類及び黄色鞭毛藻類が出現していたが、珪藻類以外は極めて低密度であった。10月から2月にかけて密度が増加し、沿岸域では20cells/ml、沖合域では対馬東岸域(Stn.8～10)を除けば5cells/mlを超える。植物プランクトン全種による多様度指数(Shannon-Weaver)を示した(図10)。5月は多様度指数が低下し、10月に高い値を示す。また、沿岸域のStn.1では10月と2月に出現密度は高いものの、少数種優占のため沖合域

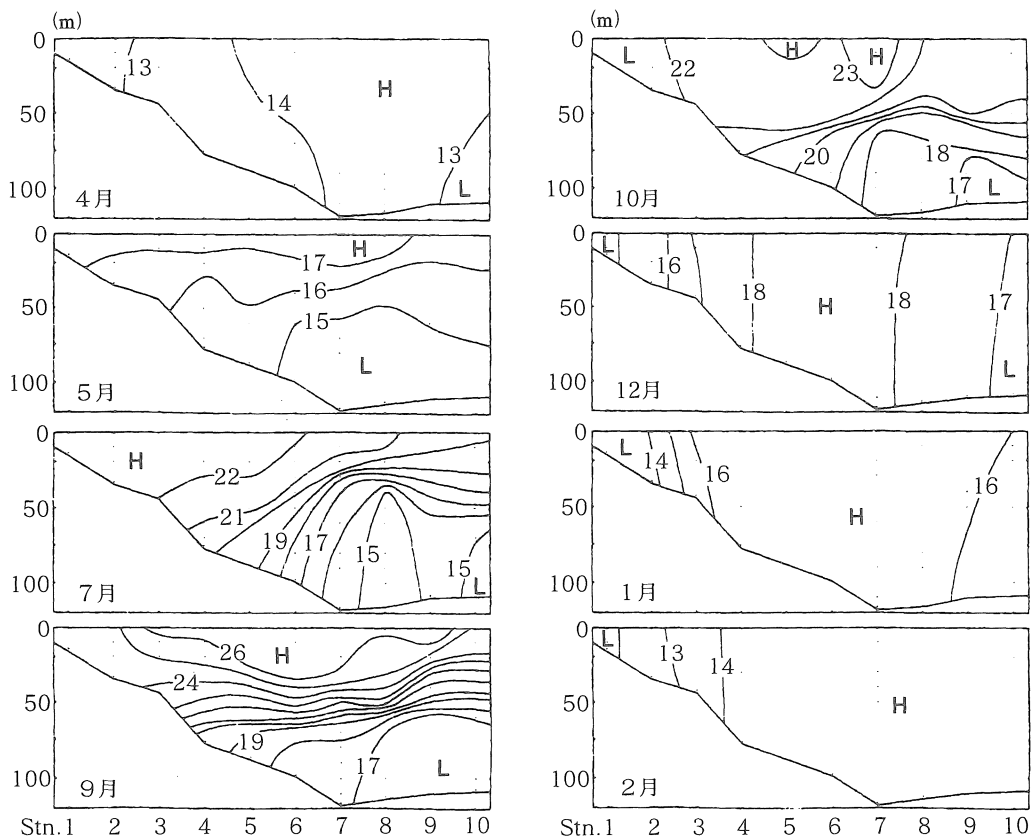


図2 水温の沿直分布(°C)

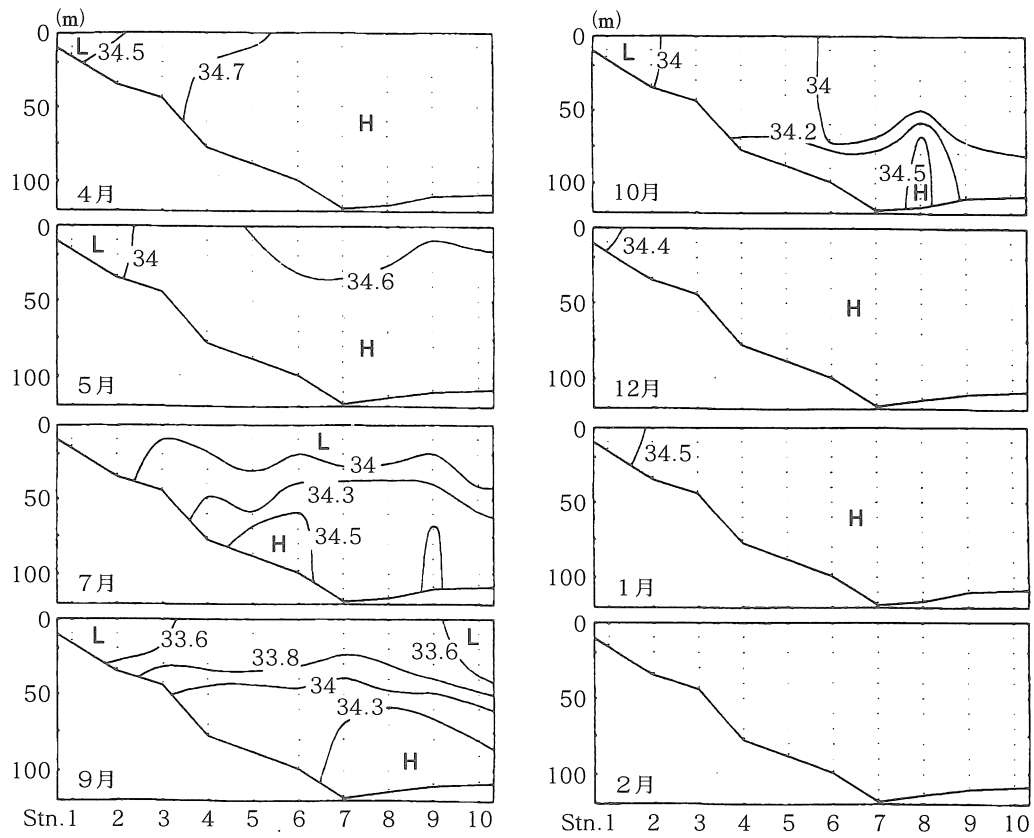


図3 塩分の沿直分布

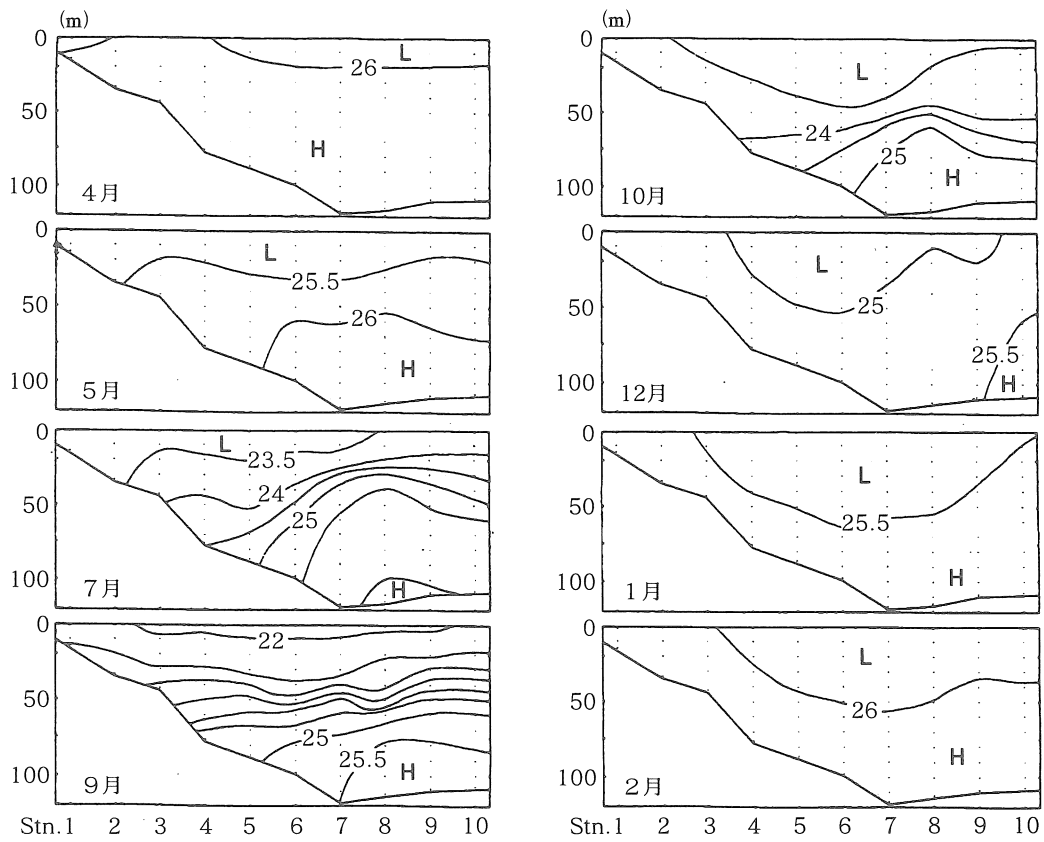


図4 密度の沿直分布

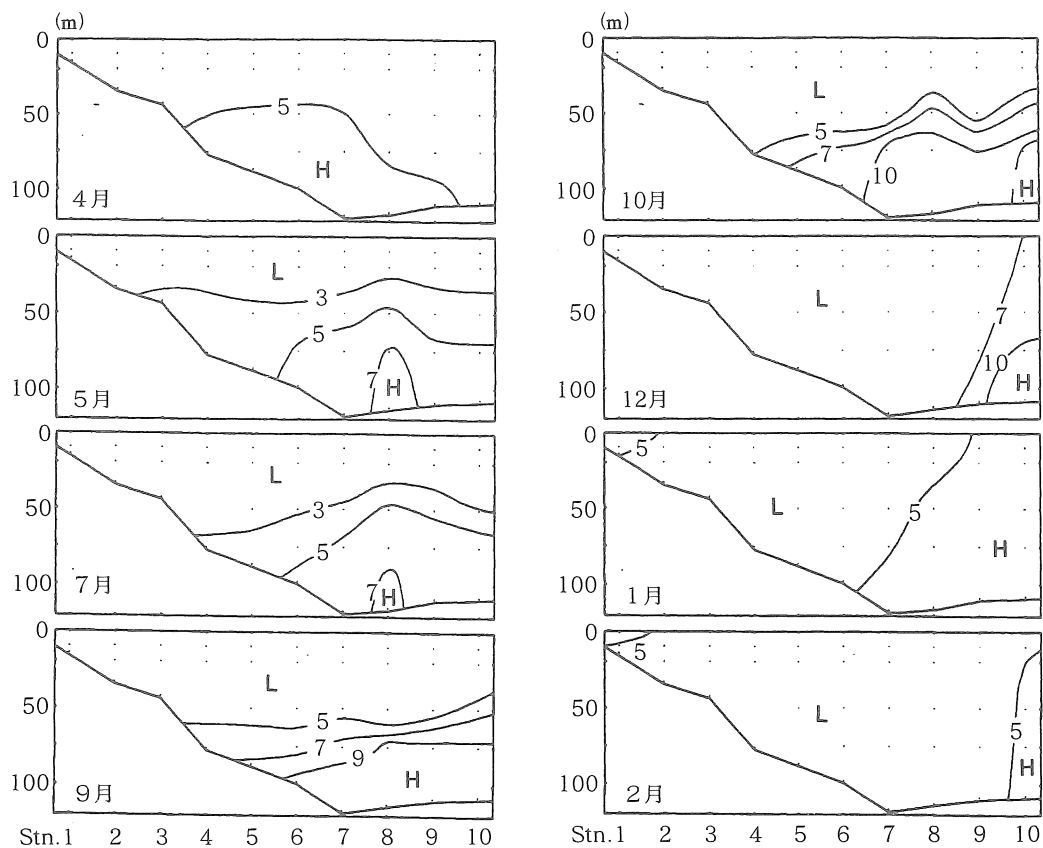


図5 DINの沿直分布 (μM)

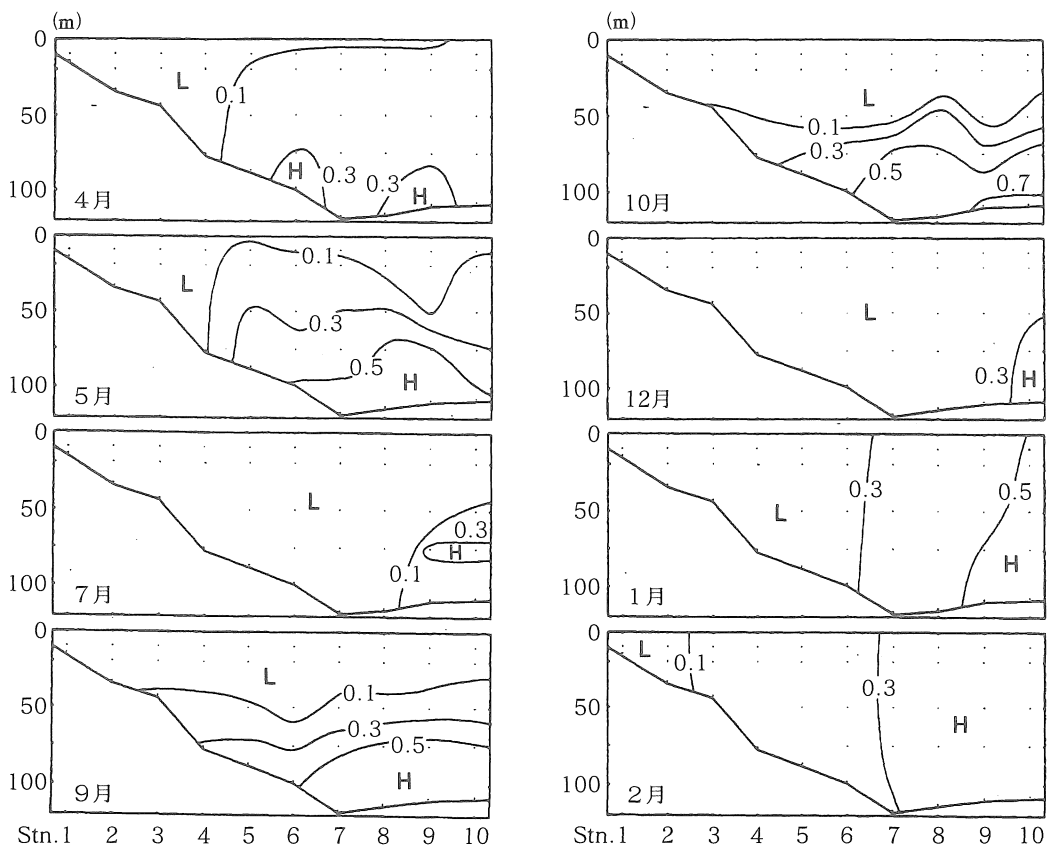


図6 $\text{PO}_4\text{-P}$ の沿直分布 (μM)

玄界灘，対馬東水道の栄養塩類とプランクトン

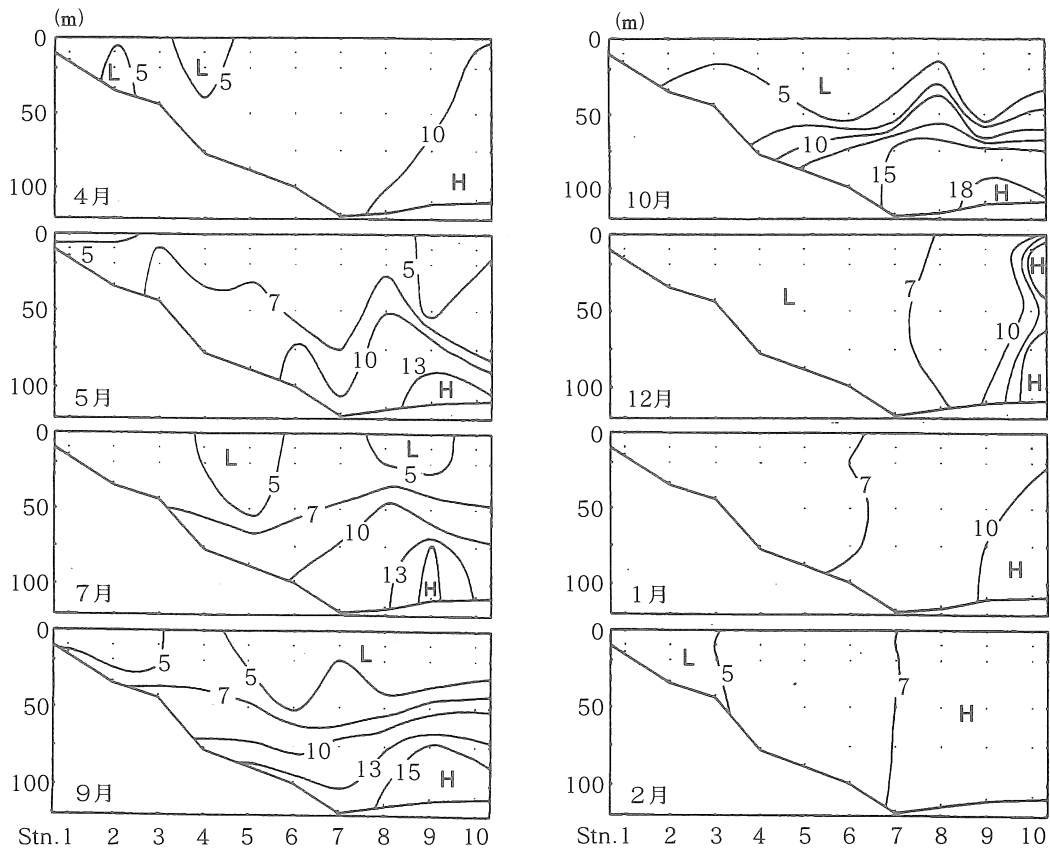


図7 SiO₂-Si の沿直分布 (μM)

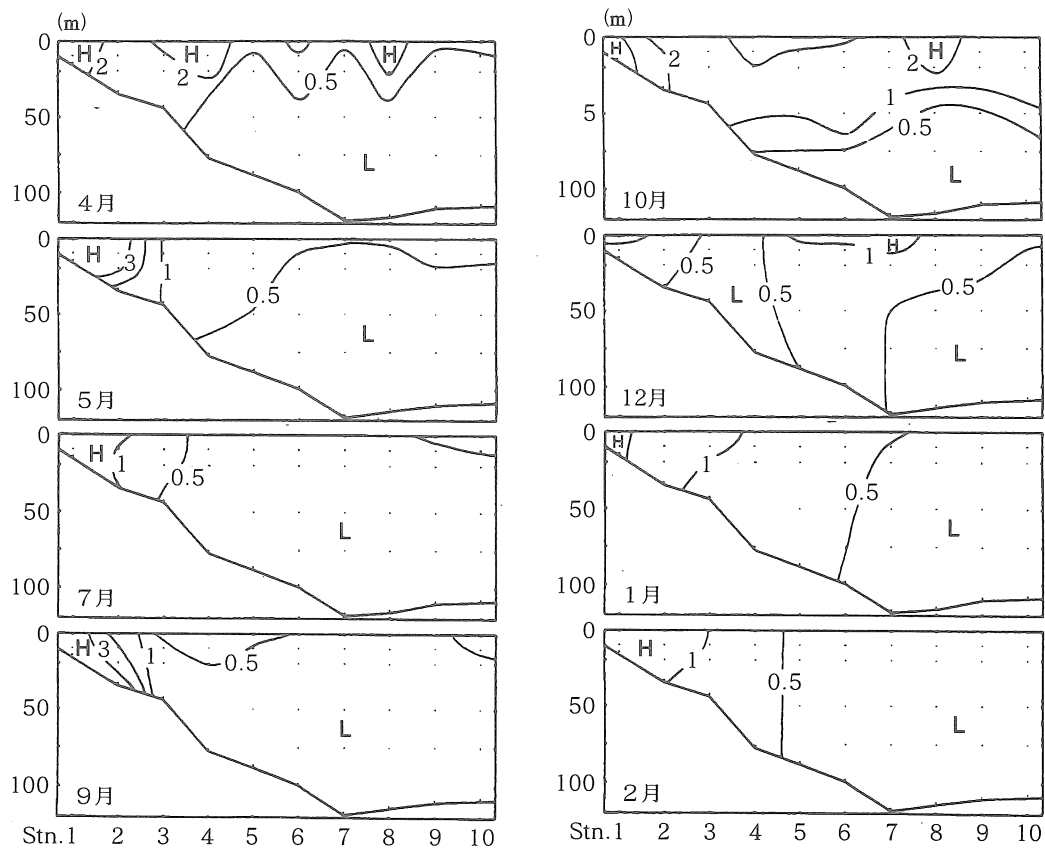


図8 Chl-a の沿直分布 (μg/l)

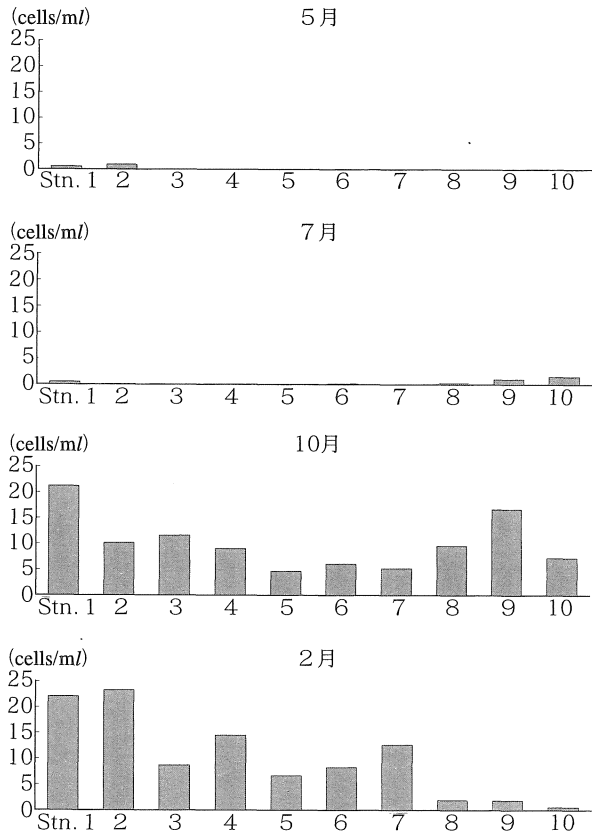
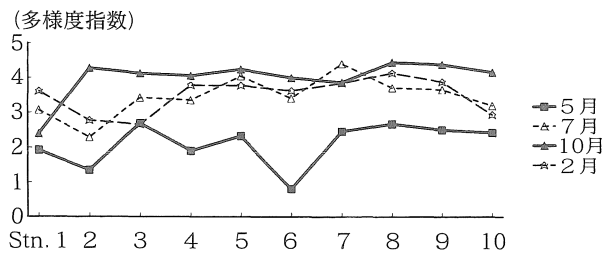


図9 珪藻の出現密度

図10 植物プランクトンの多様度指数
(Shannon-Weaver)

に比べ多様度指数が低い値を示していた。次に、主要種のサイズ別出現密度を示した(図11)。出現密度は、10定点の単純平均を用いた。5月は中型(200~500 μ m)の*Rhizosolenia styliiformis*が多いものの、他の季節は小型(200 μ m未満)の*Chaetoceros spp.*がほとんどを占めている。大型(500 μ m以上)の*Noctiluca miliaris*や*Rhizosolenia calcaravis*もみられるが、密度は極めて低い。

植物プランクトンの優占種である珪藻類の出現種について検討するため、沿岸(Stn. 1~2)と沖合(Stn. 3

~7)の組成(細胞数構成比)を示した(図12)。沿岸では、5月に*Rhizosolenia*属、7月と10月は*Chaetoceros*属、2月は*Chaetoceros*属と*Thalassiosira*属が優占する。沖合は、5月に*Nitzschia*属と*Chaetoceros*属が優占し、他の月は沿岸と同様のパターンを示す。5月を除けば沿岸と沖合の構成種は似ている。

(2) 動物プランクトン

季節毎の種類別出現密度を示した(図13)。カイアシ類、枝角類、ヒドロ虫類、矢虫類、端脚類、尾虫類、サルバ類が出現していたが、密度の高い4種類のみを示す。出現密度は、10月に最大(1~4個体数/1)、2月に最小(1未満)となるが、その変動幅は植物プランクトンに比べて小さい。7月には局所的(Stn. 2及び3)に枝角類(*Penilia avirostris*: 暖海沿岸性)が卓越するが、それ以外の季節ではカイアシ類が種・量とも優占する。動物プランクトン全種による多様度指数を示した(図14)。5月と7月に多様度指数が低い傾向を示すが、特に、7月のStn. 2及び3では1種(*Penilia avirostris*)の卓越により低下する。また、出現密度が最大の10月と最小の2月とも多様度指数は高い。植物プランクトンと同様に主要出現種のサイズ別出現密度を示した(図15)。各月とも2mm未満の小型種が種類、密度とも卓越する。2mm以上の中・大型種は、10月の矢虫(*Sagitta enflata*)が比較的高密度を示したものの、他の種は極めて密度が低い。

本海域の優占種であり魚類の重要餌料³⁾でもあるカイアシ類について、珪藻と同様に沿岸と沖合の出現密度(親・幼生)を示した(図16)。親は10月に最大、7月に最小となり、幼生は10月と2月に増加する。親と幼生の季節変化は若干異なっており、最大と最小の比率も親は20倍、幼生は10倍と差がみられた。沖合では、2月を除けば沿岸より親・幼生とも高密度を示す。また、カイアシ類の種組成(個体数構成比)を示した(図17)。沿岸では、5月は*Acartia*属、7月と2月は*Paracalanus*属が優占し、最大密度の10月は多数種で構成されている。沖合では、5月に*Corycaeus*属、7月に*Oithona*属と*Paracalanus*属、10月に*Clausocalanus*属、2月に*Paracalanus*属が優占している。5月と10月では沿岸と沖合の構成種に差がみられ、2月はほぼ一致している。

考 察

水温と塩分の鉛直分布の特徴は、5月から成層が形成され夏季に著しく発達することである。夏季には水温・

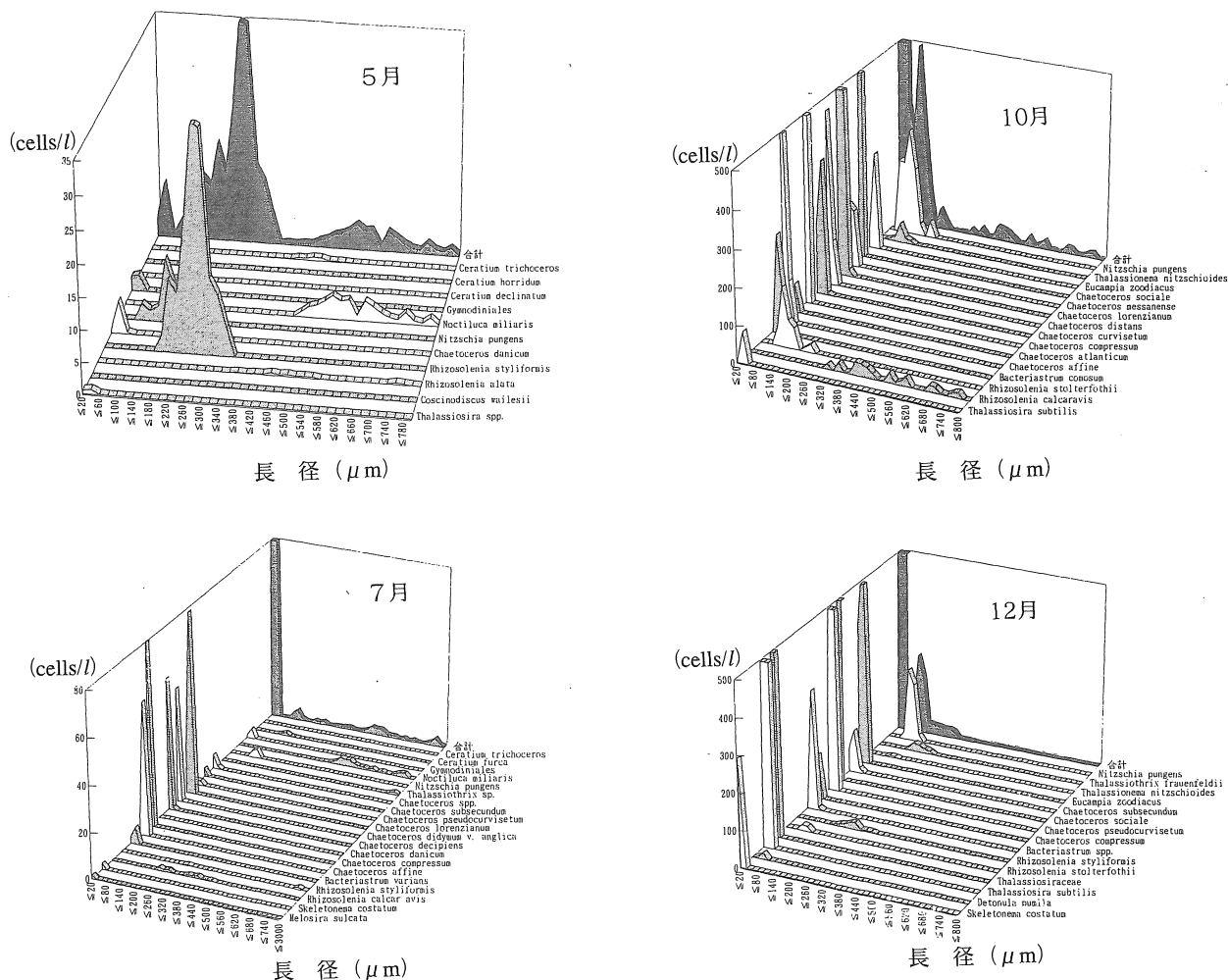


図11 植物プランクトン主要種のサイズ別出現密度

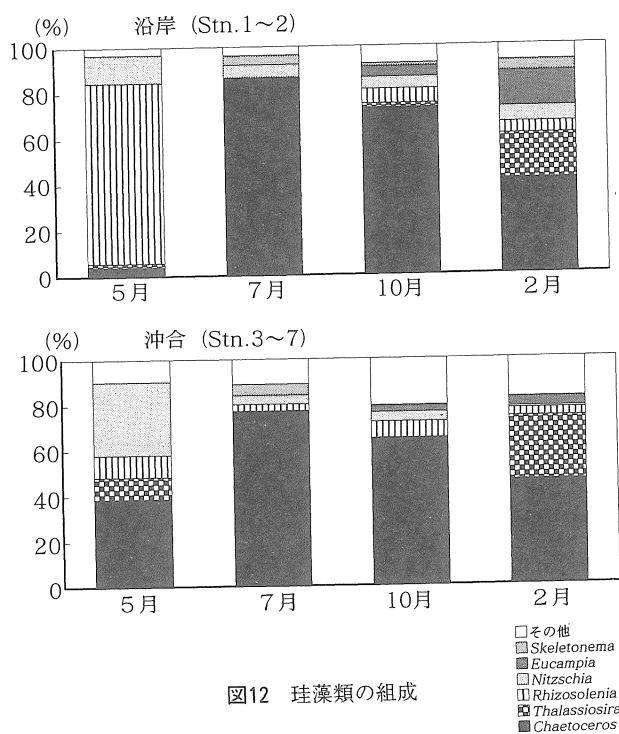


図12 珪藻類の組成

塩分躍層が水深40~50m付近にみられ、躍層を境に上下2層が分離し、上層が高水温・低塩分、下層が低水温・高塩分で、高い鉛直安定度を示す。12月から4月には鉛直混合が生じ成層が崩壊し、沿岸域で低水温・低塩分、沖合域で高水温・高塩分を示す。

栄養塩類は上記の水温・塩分の鉛直分布に対応し、夏季の成層形成期には表層で低濃度、底層で高濃度となる。鉛直混合期には夏季の底層に蓄積された栄養塩類が表・中層へ供給される。表層のChl-aも鉛直混合期に高い値がみられた。このような栄養塩類の季節変動は、'85年の川上ら¹⁾の調査と一致している。また、渡辺⁴⁾による東シナ海における栄養塩の調査でも、5~9月において表層の栄養塩濃度は低く、中・底層で高い濃度を示しており、100mから200mの濃度は本海域の底層の値よりも遙かに高い値であった。いずれにしても、本海域での栄養塩類の変動には、成層化や鉛直混合が大きく影響して

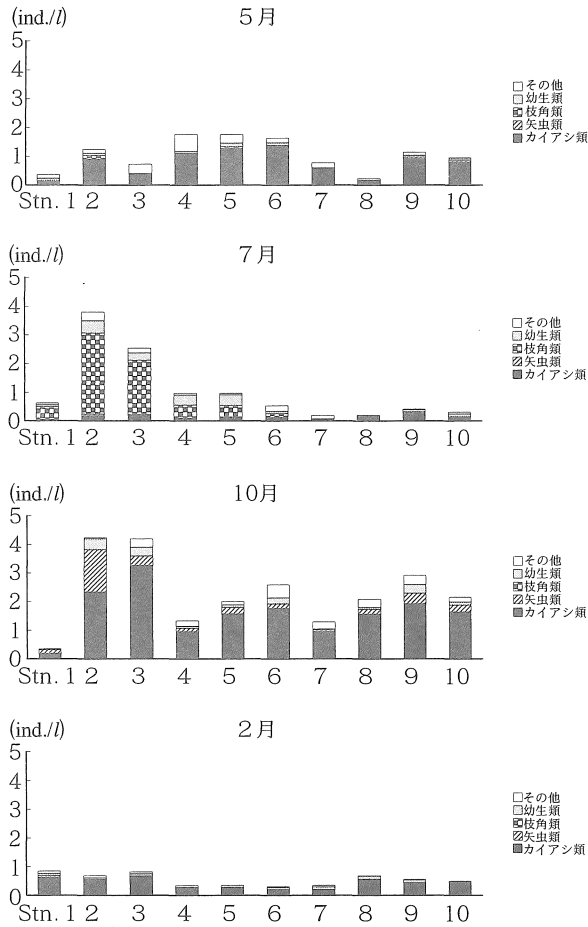


図13 動物プランクトンの出現密度

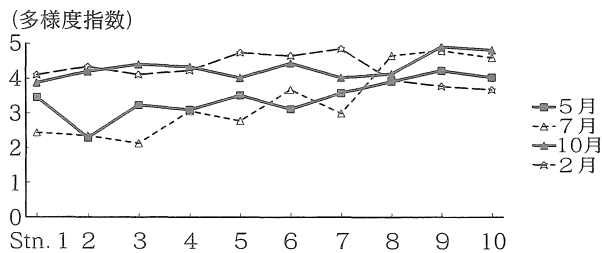


図14 動物プランクトンの多様度指数 (Shannon-Weaver)

いと推察される。そこで、沖合域のStn. 5において、表層から50m (透明度の約3倍) を有光層とし、層内の栄養塩類 (DIN) 及びChl-aの積算値と鉛直安定度の季節変動を示した (図18)。項目間の比較をし易いように値を基準化している。5月以降の鉛直安定度の上昇とともにDINが減少し、9月からの鉛直安定度の低下とともにDINが増加に転じており、安定度とDINが逆の季節変動を示している。Chl-aも一月ほど遅れてDINと同様の

傾向を示し、5月と10月にピークがみられる。このことから、鉛直安定度の低下、すなわち鉛直混合による有光層への栄養塩類の供給と植物プランクトンの増殖が確認された。

また、冬季の対馬比田勝沖周辺で栄養塩類濃度が高かったが、大村ら⁵⁾の対馬西水道の底層冷水の流向が北西-南東であることから、これは対馬西水道の中・底層に由来すると思われる。このことは、本海域の栄養塩類濃度の変動を考える場合、鉛直混合による供給に加えて、西水道からの供給も考慮する必要がある。

プランクトンの分布では、植物プランクトンの出現密度は10月と2月に増加するが、有光層におけるChl-a積算値の傾向とは異なっていた (5月及び2月)。この原因としては、採集層の差 (ネットは表層~20m, 有光層積算は表層~50m) はあるものの、プランクトン自体のサイズの影響も考えられる。すなわち、5月はサイズが大きい低密度でも高いChl-aを示し、2月は逆の現象を生じたためと考えられる。これに対し、動物プランクトンの出現密度は10月に最大、2月に最小となり、平均サイズも10月に大きい。植物プランクトンの出現密度と比較すると、10月に高密度を示すことで一致するものの、2月の両者の出現密度は逆の結果を示している。このことは、10月には豊富な植物プランクトンを利用して動物プランクトンが増加し、2月には低水温のため動物プランクトンが減少するものと考えられる。John H. Martin⁶⁾も、NARRAGANSETT BAYの湾奥において、冬季に植物プランクトンが増加し動物プランクトンが減少することを観察しており、カイアシ類のAcartia属やOithona属の増殖には水温が低すぎるとしている。いずれにしても、さらに詳しい調査が必要であろう。

また、植物プランクトンと動物プランクトンの出現密度は約5000倍の差がみられたが、多様度指数では共に3~5で差がなかった。しかし、植物プランクトンの主要出現種である珪藻では、沿岸、沖合ともChaetoceros属が優占するのに対し、動物プランクトン主要出現種のカイアシ類では、優占する属が季節で変化し、沿岸と沖合でも違いがみられた。このことは、Chaetoceros属がほぼ独占的に増殖するのに対し、カイアシ類では属間の世代交代や競合が激しいためと思われる。カイアシ類の出現密度の親と幼生間の季節変化や最大最小比の差も含めて、さらに検討する必要がある。

玄界灘，対馬東水道の栄養塩類とプランクトン

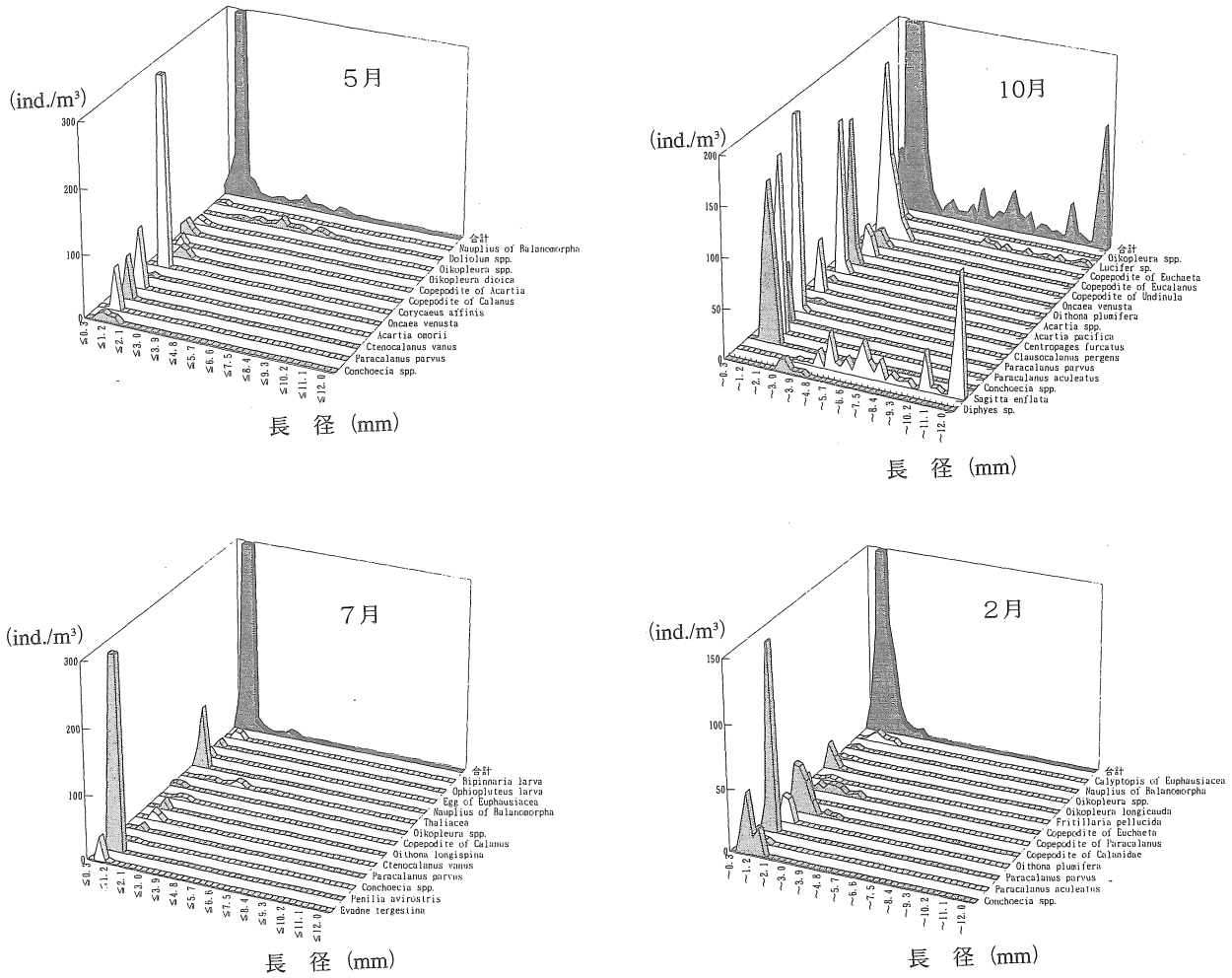


図15 動物プランクトン主要量のサイズ別出現密度

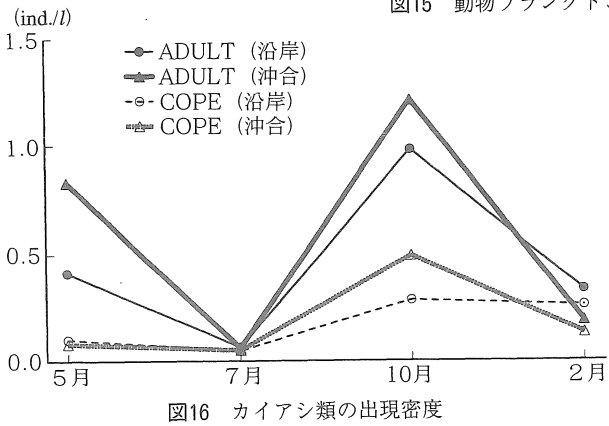


図16 カイアシ類の出現密度

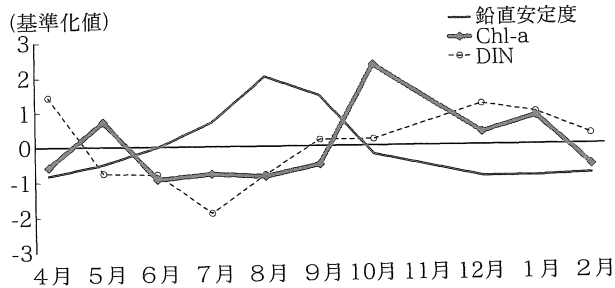
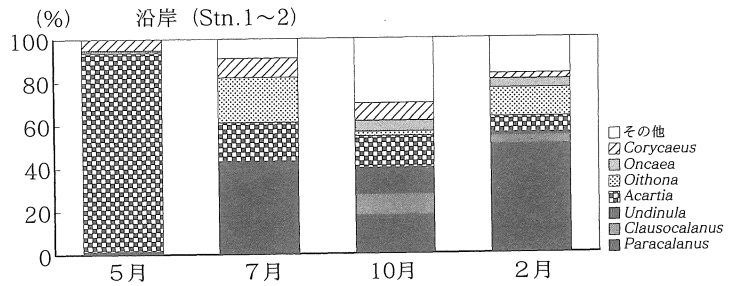


図18 鉛直安定度と積算値 (DIN·Chl-a)

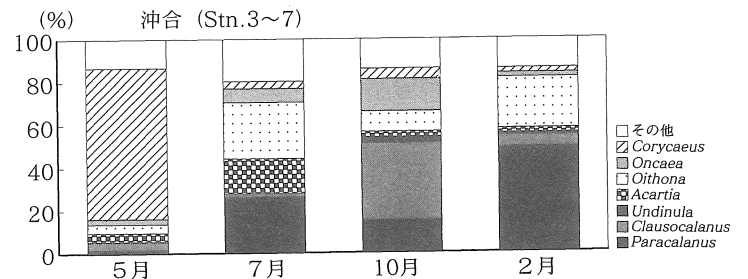


図17 カイアシ類の組成

要 約

- 1) 水温と塩分の鉛直分布では、5月から成層が形成され夏季に著しく発達する。12月から4月には鉛直混合が生じ成層が崩壊する。
- 2) 栄養塩類は水温・塩分の鉛直分布に対応し、夏季の成層形成期には表層で低濃度、底層で高濃度となる。鉛直混合期には夏季の底層に蓄積された栄養塩類が表・中層へ供給される。
- 3) 鉛直安定度、栄養塩類及びChl-aの検討により、鉛直混合による有光層への栄養塩類の供給と植物プランクトンの増殖が確認された。
- 4) 植物プランクトンの出現密度と有光層におけるChl-a積算値の比較から、5月はプランクトン自体のサイズが大きいため低密度でも高いChl-aを示し、2月は逆の現象を生じたことが示唆された。
- 5) 冬季の対馬比田勝沖周辺では栄養塩類濃度が高かったが、対馬西水道の中・底層に由来すると思われた。
- 6) 植物プランクトンと動物プランクトンの出現密度の比較から、10月には豊富な植物プランクトンを利用して動物プランクトンが増加し、2月には低水温のため動物プランクトンが減少することが示唆された。
- 7) 植物プランクトンと動物プランクトンの出現密度は

約5000倍の差がみられたが、多様度指数(Shannon-Weaver)では共に3~5で差がなかった。

- 8) 珪藻とカイアシ類の種組成の比較から、*Chaetoceros*属がほぼ独占的に増殖するのに対し、カイアシ類では属間の世代交代や競合が激しいことが示唆された。

文 献

- 1) 川上, 伊藤, 山本: 対馬東水道海域における化学成分の分布と季節変動, 福岡水試研究業務報告(昭和60年度), 293-300 (1987)
- 2) 気象庁, 188-199 (1970)
- 3) 上, 山岡: 広島湾におけるカタクチイワシ仔魚の餌料環境, 水産海洋研究, 54, 341-351 (1990)
- 4) 渡辺康憲: 東シナ海の栄養塩の分布, 海と空, 69, 181-190 (1993)
- 5) 大村, 川建: 対馬海峡西水道における底層冷水の流況・海況特性, 沿岸海洋研究, 34, 65-70 (1996)
- 6) John H. Martin: PHYTOPLANKTON - ZOOPLANKTON RELATIONSHIPS IN NARRAGANSETT BAY, *Limnol. Oceanogr.*, 10, 185-191 (1965)