HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	陸奥湾におけるマダラGadus macrocephalusの初期生活史に関する研究
Author(s)	高津, 哲也
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(水産学)
Dissertation Number	乙第5419号
Issue Date	1998-12-25
DOI	https://doi.org/10.11501/3146391
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/32724
Type	doctoral thesis
File Information	5419.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称	博士(水産学)	氏 名	高　津　哲　也

学 位 論 文 題 名

陸奥湾におけるマダラGadus macrocephalusの初期生活史に関する研究

青森県陸奥湾はマダラの産卵場のひとつであり(川村・小久保, 1950; Hattori et al., 1992), 毎年12月から2月にかけて産卵回遊群が底建網および底刺網などで漁獲されている。陸奥湾におけるマダラ漁獲量のおよそ3分の2を占める脇野沢村では, 1985～1990年度に720～1,305トンの高い漁獲水準を記録したがその後減少し, 1996年度漁期には16トンにまで落ち込んだ(青森県水産増殖センター, 1995; 青森県, 未発表)。このため1991年より, 青森県水産増殖センターと日本栽培漁業協会によってマダラ稚魚の種苗放流が行われている。陸奥湾における本種の生活初期に関しては, 仔魚の形態(Inaba, 1931), 仔稚魚の採集例(川村・小久保, 1950), 生活史のレビュー(Yusa et al., 1977)以外の報告はなく, 餌生物環境を含めた検討は陸奥湾を含めて過去に行われたことがない。本研究は陸奥湾に出現するマダラ仔稚魚の時空間分布, 食性, 餌生物環境を調べて初期生活史を明らかにすることで, マダラの資源量変動機構の解明を試みた。

青森県陸奥湾において1989年3月, 5月, 7月と1990年4月, 6月に北海道大学水産学部研究調査船うしお丸(107.85トン)を用いて, ビームトロールネット(網口: 2.0m×2.5m, 胴尻目合: 0.33mm)の中層曳きとオッタートロールネット(網口: 4.4m×5.9m, 胴尻目合: 12mm)の着底曳きによってマダラ仔稚魚を採集し, 消化管および胃の内容物を調査した。全長7mm以下のマダラ後期仔魚は初期餌料として体幅範囲67.5-195μmのかいあし類ノープリウス, 特にPseudocalanus属およびOithona属のノープリウスを捕食した。また, 全長7-70mmの仔稚魚はかいあし類カラヌス目コペポダイトを, 70mm以上の個体はヨコエビ亜目と魚類を主に捕食した。浮遊性巻貝, エビ類ゾエア, カニ類メガロパといった大型餌生物は, 主要餌生物がカラヌス目からヨコエビ亜目や魚類に転換する間, 代替の餌生物として重要な役割を果たしているものと推察された。

1991年および1992年冬季の陸奥湾において, うしお丸と青森県水産増殖センター所属のなつどまり(24.96トン)を用いて, マダラ仔魚の初期餌料であるかいあし類ノープリウス標本を採集し, 同定と計測を行った。体幅67.5-195μmのノープリウスは, 湾内では表層域で, 湾口部では密度躍層内で分布密度が高いことが明らかになった。ノープリウスの分類群組成は採集年によって大きく異なり, 1991年2月にはCentropages属が, 1992年1-2月にはOithona属ノープリウスが優占した。このような違いは津軽暖流水と湾内水との間に生じる密度差に起因する津軽暖流水の流入量の年変化と, メス成体が卵を抱えて運ぶか(Pseudocalanus属やOithona属), 卵を水中に放出するか(C. abdominalis)といった, かいあし類の再生産戦略の違いに起因するものと判断された。1992年1月上旬・下旬の水深10m層におけるノープリウスの分布密度は中央値で14.7 inds.•ℓ^{-1}, 13.3 inds.•ℓ^{-1}と幾分低かったが, 1991年2月と1992年2月の水深15m層における中央値はそれぞれ22.4 inds.•ℓ^{-1}と32.8 inds.•ℓ^{-1}であった。マダラ仔魚と形態的に類似し, 同様なノープリウス分類群を餌として利用するスケトウダラ仔魚の知見(Paul, 1983; Haldorson et al., 1989; Paul et al., 1991)を適用して考えると, 20 inds.•ℓ^{-1}を上回る両年2月下旬のこれらの分布密度はマダラ仔魚に

とっても生残に十分な餌密度と判断された。

1989年から1998年まで，うしお丸を用いてマダラ仔稚魚の分布調査を行った。その結果，2月および3月にはマダラ前期仔魚と小型の後期仔魚は湾口部で採集されたことから，陸奥湾ではマダラの産卵は主に湾口部で行われているものと推察された。また，湾口部海底上で孵化した仔魚は中層域へ浮上することで，十分な餌密度(かいあし類ノープリウス)を獲得するだけではなく，密度躍層よりも上層を占める津軽暖流水を利用して餌密度の高い湾内へ移動していた。4月にはマダラ仔稚魚は湾内に広く分布し，主要餌生物であるかいあし類カラヌス目コペポダイトの分布密度が高い水深層に分布した。5月以降のマダラ稚魚は昼間カラヌス目コペポダイトの分布密度が高い海底直上に分布し，稚魚の分布密度が高い水域には採集年による変動がみられた。また，マダラ稚魚の生息上限水温は約12℃と推定され，6月以降湾内の高水温と餌不足を避けて湾外へ移動するものと考えられた。

1991年，1993年，1995年にはマダラ着底稚魚の体重の増加に伴って胃内容物重量示数(SCI＝胃内容物重量(g)×100/{体重(g)－胃内容物重量(g)})は減少していたが，1997年には他の年に比べて摂餌強度が高く，大型の餌を捕食する割合が高かった。対応分析(Hill，1973)を用いてマダラ着底稚魚の食物組成の座標づけを行った結果，食物組成はまず第1に餌のサイズで規定され，そこへヤムシ類や浮遊性巻貝，エビ類ゾエアといった特異的に出現する餌生物が食物組成を大きく変化させるものと考えられた。マダラ着底稚魚がカラヌス目から大型の餌生物に転換する全長は年によって差がみられ，1991年のようにカラヌス目の分布密度が$1.0 \cdot 10^4$ inds.$\cdot m^{-2}$を超える場合には餌の転換は大型の体サイ

ズで生じたが，逆に1997年には小型の全長で餌を転換していた。着底稚魚の全長-体重関係の相対成長式と食物組成を比較した結果，全長70mm以下の小型の稚魚ではカラヌス目が餌として重要であり，全長70mmよりも大型の稚魚ではカラヌス目よりも大型の餌(仔稚魚，エビ類ジュベナィル，ワレカラ，ヤドカリ類メガロパ，カニ類メガロパ，ヨコエビ亜目，クラゲノミ亜目など)に遭遇する確率が高いことが生き残りに重要であると考えられた。

陸奥湾脇野沢村におけるマダラ成魚の漁獲量と，2月のマダラ仔稚魚の平均分布密度との間には比例関係がみられ，成魚の漁獲量と1995年を除いた4月の仔稚魚の分布密度との間にも比例関係が認められた。これらの結果から，冬季から4月までの陸奥湾ではマダラ仔稚魚の生残に著しく不利に働く条件はほとんどなく，年級群変動を生じさせる原因は4月以降にあると推定した。1995年と1997年のそれぞれ4月と6月におけるマダラ仔稚魚の分布密度と相対成長式の比較から，大型個体の栄養状態が良かった1997年の方が1995年に比べて生残率も高かったものと判断した。また，マダラが湾外へ移動するのに適した水温期間が長いことが，稚魚の生き残りに有利に働く可能性も考えられた。

今後は資源量変動を説明する様々な仮説を検証するために，耳石の微細構造解析に基づく絶対成長の評価，マダラ仔稚魚を捕食する生物の特定，親魚の年齢構成や産卵履歴の違いによる卵および仔魚の生残率の違い，稚魚が湾外へ移動した後の減耗要因を解明する必要があると考えられた。

図 書 掛

北海道大学大学院水産学研究科博士論文

陸奥湾におけるマダラGadus macrocephalusの初期生活史に関する研究

平成10年12月

高 津 哲 也

目 次

ページ

緒言……2
Ⅰ. マダラ仔稚魚の成長に伴う食物組成と餌サイズの変化……5
目的……5
材料および方法……5
結果……10
考察……19
Ⅱ. マダラ仔魚の餌生物としてのかいあし類ノープリウスの分類群組成と分布密度……25
目的……25
材料および方法……25
結果……29
考察……42
Ⅲ. マダラ仔稚魚とかいあし類の時空間分布……52
目的……52
材料および方法……52
結果……56
考察……75
Ⅳ. マダラ着底稚魚の食物組成と相対成長の年変動……84
目的……84
材料および方法……84
結果……88
考察……113
Ⅴ. マダラ仔稚魚の分布密度の年変動と生残過程……115
目的……115
材料および方法……115
結果……117
考察……120
要約……129
謝辞……132
文献……133

緒 言

本邦周辺海域にはマダラGadus macrocephalus, スケトウダラTheragra chalcogrammaおよびコマイEleginus gracilisの3種のタラ科(GADIDAE)魚類が分布する。これらのうちマダラは, 朝鮮半島西岸の黄海からアメリカ合衆国カリフォルニア沖に至る北太平洋大陸棚上と陸棚斜面に広く分布し(Ketchen, 1961), 本邦では島根県以北の日本海および茨城県以北の太平洋から北海道沿岸において様々な漁法により漁獲されている。青森県陸奥湾はマダラの産卵場の1つであり(川村・小久保, 1950; Hattori et al., 1992), 毎年12月から2月にかけて産卵群を対象とする底建網および底刺網漁業が行われている。陸奥湾における漁獲量のおよそ3分の2を占める脇野沢村では, 1985年度(1985年12月～1986年2月)から1990年度にかけて720トンから1,305トンと高い漁獲水準を記録したがその後減少し, 1996年度漁期には16トンにまで落ち込んだ(青森県水産増殖センター, 1995; 青森県, 未発表; Fig. 1)。このため1991年より, 青森県水産増殖センターと日本栽培漁業協会によって陸奥湾においてマダラ稚魚の種苗放流が行われている。

マダラ受精卵は直径0.98-1.08mm (Inaba, 1931)であり, 産卵直後は若干粘性のある沈性卵である(内田, 1936; Thomson, 1963; Forrester, 1977)。卵は6.3-7.0°Cの水温で10日で孵化し, 孵化直後の仔魚はおよそ4mmである(Inaba, 1931)。マダラの初期生活史に関連する知見は, 飼育実験による様々な環境要因に対する卵発生の観察(遊佐, 1954 ; 遊佐, 1961; Forrester, 1964 ; Forrester and Alderdice, 1966 ; Alderdice and Forrester, 1971; Forrester, 1977), タラ科仔稚魚の形態と分類(Inaba, 1931; 内田・田福, 1958; 橋本・阿部, 1962; Matarese et al., 1981; Dunn and Vinter, 1984 ; Matarese et al., 1989), 後期仔魚および稚魚期の食物組成(宮藤, 1929; 内田, 1936; 竹内, 1961; 橋本・阿部, 1962; Barraclough et al., 1968; 橋本, 1974; 與世田ら, 1992), 仔稚魚の分布(Walters, 1984; Boehlert et al., 1985; Rugen and Matarese, 1988; 與世田ら, 1992), および生活史の概要(内田, 1936 ; Yusa et al., 1977; Dunn and Matarese, 1987)など

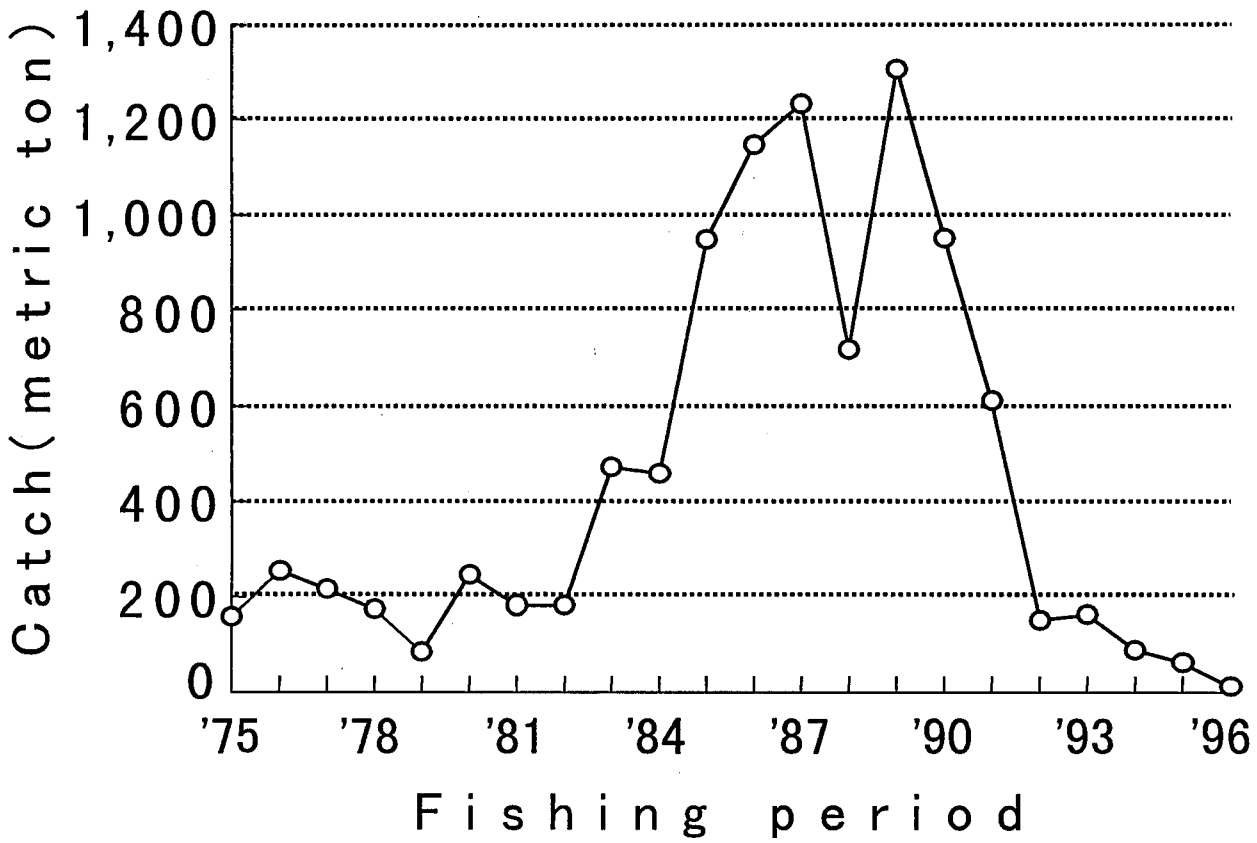


Fig.1. Commercial catches (metric ton) of Pacific cod at Wakinosawa Village from the 1975 fishing period (November 1975–March 1976) to the 1996 fishing period (from Aomori Prefectural Aquaculture Research Center, 1995; Aomori Prefecture, unpublished).

の報告がある。しかし陸奥湾における本種の初期生活史に関連する知見は，Inaba(1931) が仔魚の形態を記載し，川村・小久保(1950)が仔稚魚の採集例を報告し，Yusa et al.(1977)が生活史に関する既往の知見をまとめた以外にはなく，摂餌生態や餌料環境，初期生残過程に関する知見は未詳のままとなっている。

Hjort(1914)は「摂餌開始期の餌不足によって仔魚の大量減耗が生じ，その死亡の程度によって年級群豊度が決定する」という「critical period仮説」と，「摂餌を行う水域から餌の少ない水域に多量の仔魚が移送されると大量の減耗が生じる」という「輸送仮説」を提唱した。しかしその後1970年代までは，野外調査に基づくHjortのこれらの仮説の検証はほとんど行われていなかった。1970年代に入ると耳石日周輪による成長履歴解析法の確立に伴って，海産魚類の資源量変動の主要因を明らかにすることを目的として，このHjortの2つの仮説，特に「critical period仮説」が野外調査に基づいて検証されるようになった。以来，現在までに「海の安定度仮説(Lasker, 1975)」,「マッチ・ミスマッチ仮説(Cushing and Dickson, 1976; Cushing, 1978)」,「被食仮説(Hunter, 1981; Van der Veer, 1985; Van der Veer and Bergman, 1987; Houde, 1987)」,「卵質仮説(Kjesbu et al., 1996; Solemdal, 1997)」など，様々な仮説が提唱されてきた。これらはそれぞれが独立したものではなく，多かれ少なかれ「仔魚の出現時期と餌生物あるいは被食者との遭遇タイミング」を考慮する「マッチ・ミスマッチ仮説(Cushing and Dickson, 1976; Cushing, 1978)」の概念を取り入れている。また，最近では摂餌開始期などの短期間における大量死亡よりも，一定期間継続する死亡過程の累積効果のほうが年級群豊度を決定する重要な要因であり，成長速度が早ければ累積死亡率を低く抑えることが可能であるという仮説(Watanabe et al., 1995; Campana, 1996; Meekan and Fortier, 1996)が提示されている。

本研究では陸奥湾に出現するマダラ仔稚魚の時空間分布，食性，餌生物環境を調べることで「マッチ・ミスマッチ仮説」の検証を行い，マダラの資源量変動機構の解明を試みた。

Ⅰ. マダラ仔稚魚の成長に伴う食物組成と餌サイズの変化

目 的

マダラ仔魚の消化管からは，かいあし類の卵，ノープリウス幼生，コペポダイトがみられ(Barraclough et al., 1968; 與世田ら, 1992)，稚魚の胃からはかいあし類や端脚類などの様々な甲殻類がみられると報告されている(宮藤, 1929; 内田, 1936; 竹内, 1961; 橋本·阿部, 1962)。しかし，陸奥湾におけるマダラ仔稚魚の食物組成は知られていない。仔魚の餌利用度は死亡率と年級群変動に影響を与える重要な要因の1つと考えられており，野外における餌利用度の評価を行うためには，まず仔稚魚の食物組成と餌サイズを明らかにする必要がある。ここでは陸奥湾に分布するマダラ仔稚魚の体長の増加に伴う食物組成の変化を明らかにすることを目的とした。

材料および方法

マダラ仔稚魚の採集

マダラ仔稚魚は1989年3月1-4日，5月19-23日，7月22日と1990年4月26日，6月13日に青森県陸奥湾で採集した(Fig. Ⅰ-1)。3月と4月には仔稚魚はビームトロールネット(網口: 2.0m × 2.5m，目合: 20mm，胴尻目合: 0.33mm，前田ら, 1979; 中谷, 1987)の中層曳きによって採集し，5月から7月には稚魚はオッタートロールネット(網口: 4.4m × 5.9m，目合: 90mm，胴尻目合: 12mm，前田ら, 1979; 中谷, 1987)の着底曳きによって採集した。これらの採集器具の曳網水深はネットモニタ((株)カイジョー)で監視し，約1.5 m·sec^{-1}の速度で10-15分間曳網した。採集は昼間，北海道大学水産学部研究調査船うしお丸(107.85トン)で行った。船上で仔稚魚は直ちに5-10%中性海水フォルマリン溶液で固定し，24-36時間後には硬組織の脱灰を防ぐために70%エタノール溶液に移した。なお，本研究において稚魚の固定·保存液による全長の収縮や体重の損失は考慮していないが，6月に当海域で本研究と同様の方法で採集·固定·保

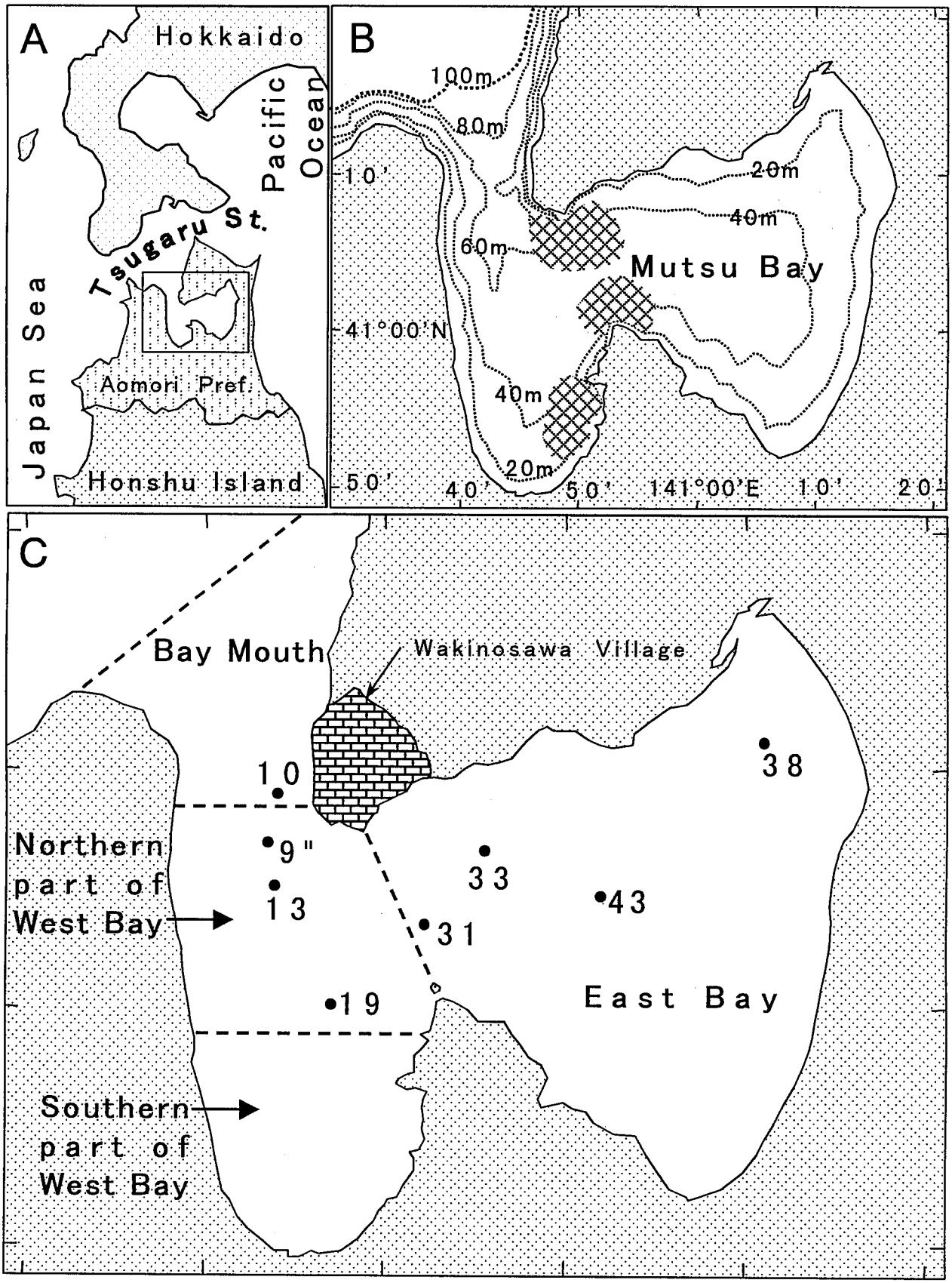


Fig. I-1. Location of Mutsu Bay (A), contours of depth and three locations of spawning grounds of Pacific cod (checkers) reported by Kawamura and Kokubo (1950) (B), and the locations of net sampling stations for gut and stomach contents analysis of Pacific cod (C).

存したマダラ稚魚が，206日経過後に全長が採集直後の96%に，体重が64%に減少することがわかっている(吉田，1998)。

タラ科仔稚魚の同定

陸奥湾にはマダラ仔稚魚とともにスケトウダラ仔稚魚が出現する(高津ら，1992)。標準体長(standard length，SL)20mm以下のこれら2種はMatarese et al.(1981)，Dunn and Vinter (1984)，Matarese et al.(1989)に従い，体表の黒色素胞の分布パターンにより判別した。標準体長20mmを超えるマダラの腹膜表面には，2列の小型黒色素胞が並ぶが(Matarese et al., 1989)，この2列の黒色素胞は陸奥湾で採集された標準体長28.10mmを超える個体では1列に変化する(Fig. I-2B～C)。これに対し，標準体長20mmを超えるスケトウダラの腹膜表面には黒色素胞が散在するが，決して列は形成せず(Fig. I-2F～I)，標準体長32.60mmを超える個体では腹膜表面に黒色素胞はみられなくなる(Fig. I-2J)。

マダラの触髭の長さは標準体長21.40mmで0.32mm，標準体長23.54mmでは0.35mmであった(Fig. I-2A)。一方スケトウダラの触髭の長さは，標準体長34.70mmで0.15mmであったが(Fig. I-2J)，これより小型のスケトウダラには触髭がみられなかった(Fig. I-2F～I)。

上顎と下顎の前後関係については，標準体長47mmを超えるマダラでは上顎が若干下顎よりも前方に突出するが，スケトウダラの上顎は成魚になるまで決して下顎よりも前方に突き出ることはなかった。

以上より，標準体長20-22mmのマダラとスケトウダラは腹膜表面の黒色素胞の分布パターンにより判別し，標準体長22mmよりも大型の個体は触髭の長さを用いて同定した。さらに標準体長50mmを超える個体は，上顎と下顎の前後関係および触髭の長さによって同定を行った。

マダラの仔魚と稚魚の区分

橋本・阿部(1962)は全長(Total length，TL)27mmを超えるマダラはすでに化骨が完

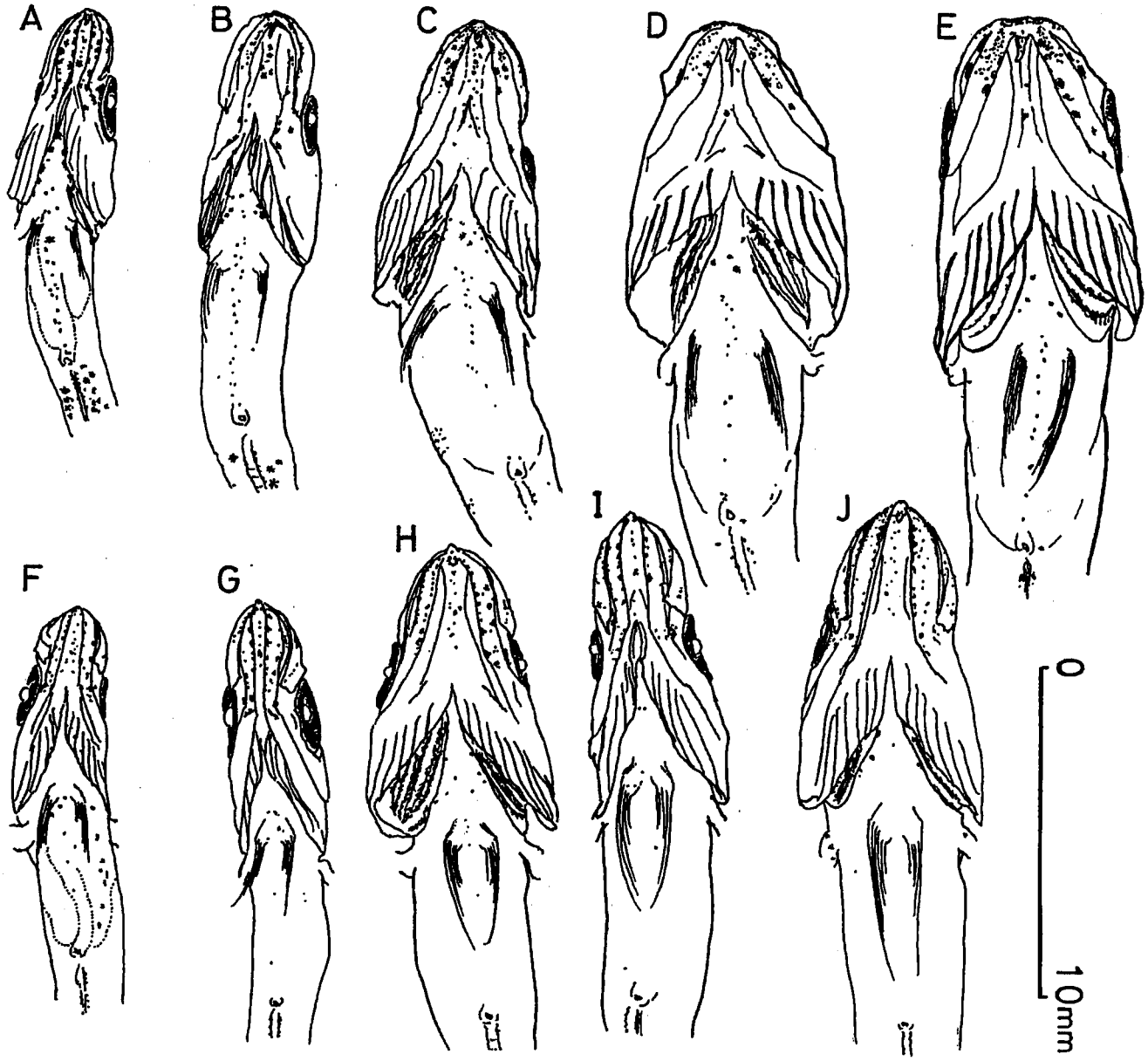


Fig. I-2. Diagnostic sketches showing ventral views of Pacific cod (Gadus macrocephalus); A- E and walleye pollock (Theragra chalcogramma); F- J. Samples were collected in Mutsu Bay. A, 23.54mm SL (26.97mm TL); B, 28.10mm SL (32.18mm TL); C, 31.13mm SL (34.73mm TL); D, 32.26mm SL (35.53mm TL); E, 35.68mm SL (39.71mm TL); F, 23.34mm SL (25.69mm TL); G, 27.78mm SL (30.50mm TL); H, 31.50mm SL (34.32mm TL); I, 32.60mm SL (36.36mm TL); J, 34.70mm SL (39.07mm TL).

了していると報告している。内田・田福(1958)は全長17.5mmのマダラは仔魚期に属し，全長26.0mmの個体は稚魚期に属すると報告している。本研究ではマダラの仔魚と稚魚の区分は，すべての鰭のうちで最も形成が遅い胸鰭の鰭条数で行った。白井(1983)によれば標準体長286～412mmのマダラの胸鰭鰭条数は18-19の範囲にある。しかし，陸奥湾で1989年7月に採集された全長60mmを超えるマダラの胸鰭鰭条数は20-22の範囲にあった(N=10，平均 ± 標準偏差=20.4 ± 0.70)。1989年3月および1990年4月に陸奥湾で採集された全長14.0-24.2mm(標準体長12.5-21.4mm)のマダラの胸鰭鰭条数は17-19であり，全長25.0-32.2mm(標準体長22.4-28.5mm)の胸鰭鰭条数は20-21であった。したがって本研究では全長25mm(標準体長22mm)以下の個体を仔魚とし，それを超える個体を稚魚として扱った。

<u>魚体測定と食物組成の解析</u>

全長11mmを超えるマダラ仔魚では胃と腸を明瞭に判別できる。そのため全長11mmを超えるマダラ仔稚魚は胃内容物のみ解析し，全長11mm未満の仔魚は消化管全体の内容物を解析した。1989年3月には，産卵場(川村・小久保，1950)に近い湾口部Stn. 10，西湾Stn. 19および東湾Stn. 31で採集したマダラ仔魚の胃あるいは消化管内容物を解析した(Fig. I-1)。1990年4月，1990年6月および1989年7月には，仔稚魚が多く採集されたStn. 33，Stn. 43，Stn. 9"のそれぞれ各月1地点で胃内容物を解析した。1989年5月には食物組成の地理的変化を明らかにするために，Stn. 13とStn.38の湾内2地点で胃内容物を解析した。

マダラ仔稚魚は電子ノギスを用いて全長および標準体長を0.01mm単位で測定し，電子天秤を用いて体重を1mg単位で計測した。全長10mm以上の個体についてはさらに口幅を0.01mm単位で測定した。消化管および胃内容物は実体顕微鏡下で同定し，個体数を計数した。かいあし類ノープリウスは第1触角および尾部後端の保護器官の特徴をもとに生物顕微鏡下で同定を行った(Oberg，1906; Lebour，1916; Gibbons and Ogilvie，1933; 花岡，1952; Ogilvie，1953; 古賀，1960; Faber，1966; Lawson and Grice，

1970; Lawson and Grice, 1973; 古賀, 1984; Pinchuk ,1997; Siefert, 1998)。消化管と胃から出現した餌生物は実体顕微鏡および生物顕微鏡の接眼マイクロメータにより1.25μmあるいは12.5μm単位で最大体幅を測定した。甲殻類の卵は卵径を，巻貝は殻径を計測した。4月から7月までの胃内容物は，主要な分類群ごとに1mg単位で湿重量を計測した。消化管および胃内容物は分類群ごとに出現頻度(F%)，個体数組成(N%)，重量組成(W%)を求めた。出現頻度(F%)と個体数組成(N%)の地点間の差はG検定を用いて検討した。Sokal and Rohlf (1983)はG検定を用いる場合，ウィリアムスの修正を常に行い，期待頻度が5を下回る分類群は他の分類群と一緒にして検定を行うことを推奨しており，ここでもそれに従った。

結 果

3月におけるマダラ仔魚の食物組成

1989年3月上旬，湾口部Stn. 10の中層域(45m層)において11個体のマダラ前期仔魚が採集され，その全長範囲は3.20mmから5.30mmであった(平均±標準偏差=4.41±0.650mm)。そのうち5個体は未だ開口しておらず，残りの6個体は開口していたが消化管内に餌生物はみられなかった。調査期間中採集された前期仔魚はこの11個体のみで，4月以降は採集されなかった。

同じ時期に採集された後期仔魚の餌生物は主に，甲殻類の卵(Table I-1 ; F%=45, N%=49.0)，かいあし類カラヌス目Pseudocalanus属のコペポダイト(成体を含む，F%=63, N%=20.5)，かいあし類ノープリウス幼生(F%=28, N%=13.1)であり，餌生物全体の個体数組成(N%)は地点によって有意に異なっていた(G検定，G_{adj}=163.5，df=12，$P=1.0\cdot10^{-28}$)。甲殻類卵の出現頻度(F%)は地点間で有意に異なっていたが(G検定，G_{adj}=8.44，df=2，P=0.015)，Pseudocalanus属コペポダイトの出現頻度には有意差がみられなかった(G検定，G_{adj}=2.64，df=2，P=0.27)。湾口部Stn.10では，かいあし類ノープリウスが高い比率で捕食されていた(F%=60，N%=34.9)。全長5.00mm以下のマダラ仔

Table I-1 . Percent frequency of occurrence (F%) and percent by number (N%) of food items in guts and stomachs of Pacific cod post-larvae in March 1989

	Stn.10		Stn.19		Stn.31		Total	
Food organism	F%	N%	F%	N%	F%	N%	F%	N%
Evadne nordmanni	0	0	0	0	5	0.4	2	0.2
Calanus pacificus	0	0	5	0.5	0	0	2	0.2
Paracalanus parvus	35	8.1	55	9.3	20	1.8	37	6.3
Pseudocalanus spp.	50	17.2	65	22.3	75	21.5	63	20.5
Centropages abdominalis	0	0	45	7.0	5	0.4	17	2.6
Acartia omorii	15	1.6	30	2.8	15	1.3	20	1.9
Unidentified calanoid copepods	30	5.9	45	6.5	30	2.7	35	5.0
Oithona spp.	5	0.5	35	3.3	0	0	13	1.3
Copepod nauplii	60	34.9	10	2.8	15	4.9	28	13.1
Crustacean eggs	25	31.7	40	45.6	70	66.8	45	49.0
Mean number of food organisms and s	9.3±14.3		10.8±10.4		11.2±11.1		10.4±12.1	
Number of fish examined	20		20		20		60	
Number of empty guts and stomachs	3		1		1		5	
Mean TL(mm) of fish examined	6.94		11.97		15.46		11.46	
Range of TL(mm)	4.35-20.07		4.40-21.34		4.54-22.57		4.35-22.57	

魚の個体数組成(N%)は97.1%がかいあし類ノープリウスによって占められていた(Fig. I-3)。また，全長5.01-7.00mmではノープリウスのN%は69.8%に減少し，全長7.01-9.00mmではさらに21.1%に減少し，全長8.02mmを超える個体には捕食されていなかった。一方甲殻類の卵とPseudocalanus属コペポダイトのN%はそれぞれ，全長5.01-7.00mmの2.3%および9.3%から全長7.01-9.00mmの21.1%および21.1%に増加した。以上のように全長7.00mmを超える個体は，全長7.00mm以下の主要餌生物であるかいあし類ノープリウスから甲殻類の卵およびPseudocalanus属コペポダイトに変化させていた。Table I-2にはマダラ後期仔魚に捕食されていたかいあし類ノープリウスの属組成を示した。同定に必要な形体が失われて同定できなかった個体を除いて，全体としてPseudocalanus属ノープリウスが最も多く捕食されていた(N%=27)。全長5.00mm以下の個体ではPseudocalanus属が21%，Paracalanus属が15%捕食されていたが，全長5.00mmを超える個体では主にPseudocalanus属とOithona属のノープリウスが捕食されていた。1989年3月上旬におけるマダラ後期仔魚の餌生物の体幅分布をFig. I-4に示す。全長5.00mm以下の仔魚は体幅67.5μm (Oithona N IIおよびParacalanus N III)から129μm (Pseudocalanus N IV)の範囲のノープリウスを捕食した。この時期に捕食されていたすべてのノープリウスのうち，Pseudocalanus属(83.8-195μm)は他のノープリウス(67.5-129μm)よりも比較的大型であった。一般に環境中の餌生物のサイズ組成は不連続であるため，捕食者と餌生物のサイズの関係を検討すると，捕食者がある体長に達すると突然大型の餌を捕食するようにみえる。このため捕食者と餌の最大サイズの関係は階段状になる。マダラ後期仔魚の場合でも，全長5.30mm，7.07mm，17.53mmに突然大型の餌が出現し，それぞれ245μm (Centropages abdominalisコペポダイト)，313μm (Pseudocalanus newmani adult)，503μm (Calanus pacificusコペポダイト)という大型の餌を捕食していた。しかし，甲殻類の卵のサイズは比較的小型であり，73.8-135μmの範囲にあった。

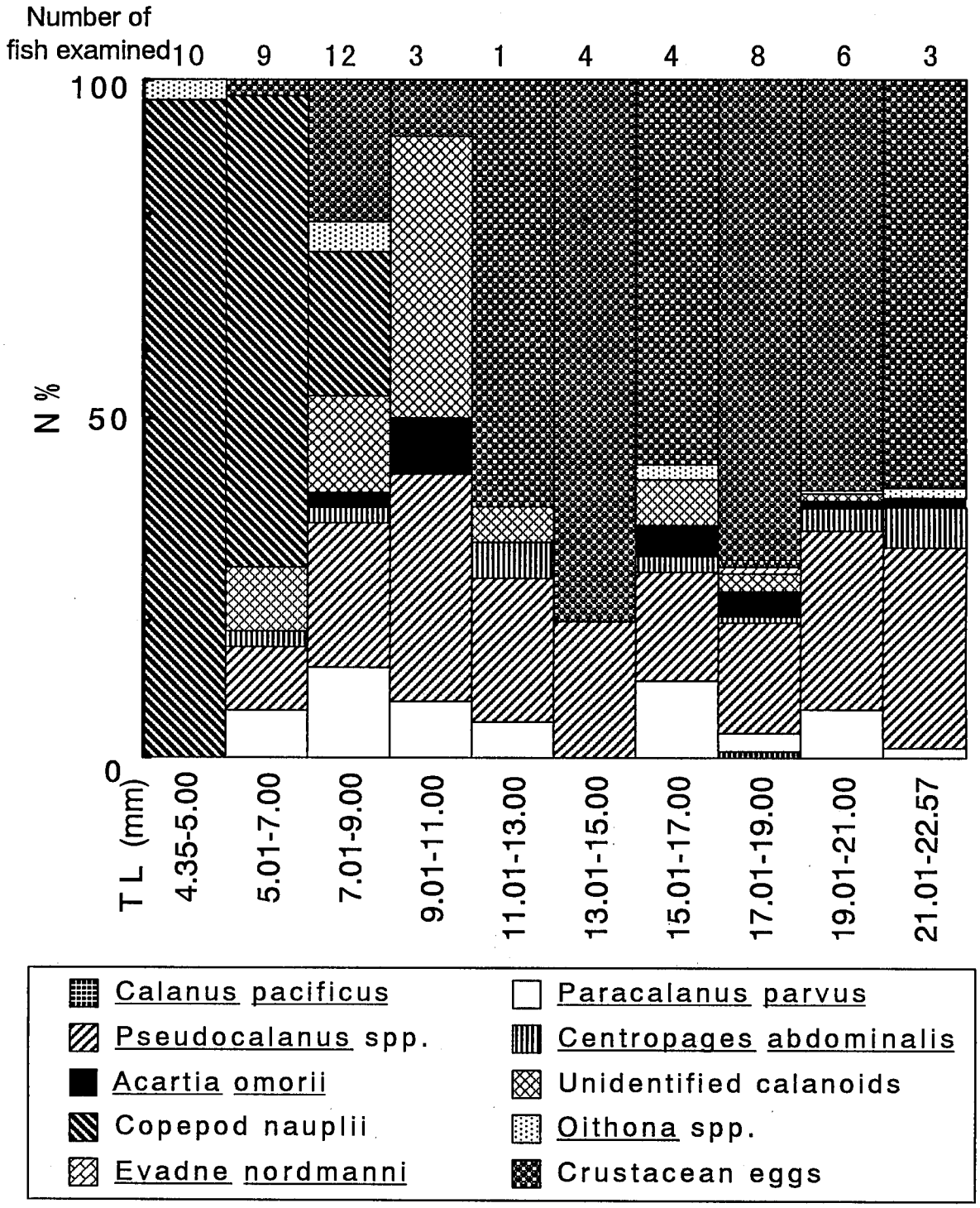


Fig. I-3. Diet compositions (percent by number) of Pacific cod post-larvae by size groups in Mutsu Bay on 1-4 March 1989.

Table I-2 . Composition of copepod nauplii in guts of Pacific cod post-larvae in March 1989

Taxa composition of nauplii	4.35-5.00mm(TL)		5.01-7.00mm(TL)		7.01-8.02mm(TL)		Total	
	Number of inds.	N%	Number of inds.	N%	Number of inds.	N%	Number of inds.	N%
Paracalanus	5	15	4	13	1	5	10	12
Pseudocalanus	7	21	12	40	3	16	22	27
Centropages	3	9	3	10	0	0	6	7
Acartia	2	6	0	0	0	0	2	2
Oithona	2	6	7	23	4	21	13	16
Unidentified	14	42	4	13	11	58	29	35
Total	33	100	30	100	19	100	82	100
Number of fish examined	10		9		7		26	
Number of empty guts	2		1		0		3	
Number of guts containing copepod nauplii	7		6		4		17	

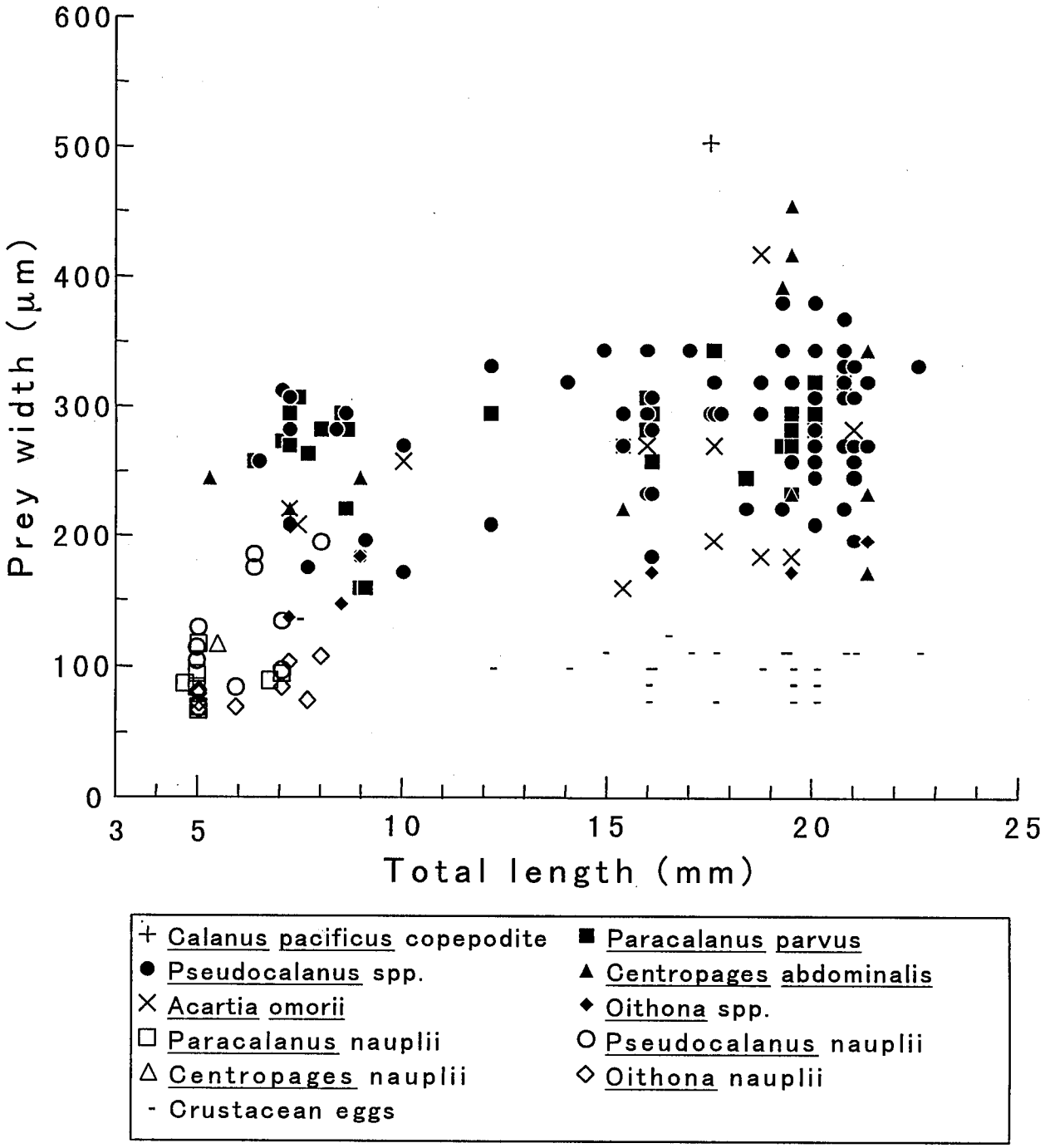


Fig. I-4. Relation between total length of Pacific cod post-larvae (mm) and their prey width (μm). Samples were collected in Mutsu Bay on 1-4 March 1989.

4月から6月までのマダラ仔稚魚の食物組成

4月から6月までマダラ仔稚魚は主にかいあし類カラヌス目を捕食していたが，主要餌種は採集月によって変化していた(Table I-3)。4月にはPseudocalanus属が高いN%を占めたが(N%=42.3)，5月と6月には低い割合であった。5月はStn. 13ではCentropages abdominalisの割合が比較的高く(N%=45.5)，Stn. 38でAcartia omoriiが同定できたカラヌス目の中で最も高いN%を占めた(N%=31.2)。6月にはマダラ稚魚は主としてCentropages abdominalisを捕食した(F%=100, N%=72.5)。重量組成(W%)では，5月のStn. 13で十脚類爬行亜目短尾族メガロパ幼生(Reptantia Brachyura megalopa, カニ類)が比較的高い割合を示したが(W%=36.5)，4月から6月まで常にカラヌス目が最も高い割合を占めた(W%=61.4-97.4)。

Figure I-5は4-6月におけるマダラ仔稚魚の全長と餌生物の体幅の関係を示している。4月に捕食されていたCalanus pacificusのコペポダイトと成体(体幅344-888μm)は他のカラヌス目(196-450μm)に比べて大型であった。5月にはカラヌス目の最大体幅は441μmで，浮遊性巻貝(GASTROPODA, 294-699μm)や十脚類爬行亜目短尾族メガロパ幼生(885-1,580μm)はカラヌス目に比べて大型であった。6月には1,000μmより大型の餌生物は出現しなかったが，十脚類遊泳亜目(Natantia, エビ類)のゾエア幼生(441-919μm)とCalanus pacificus(441-613μm)は他の餌生物に比べて大型であった。

7月におけるマダラ稚魚の食物組成

7月にはマダラ稚魚は主に底生性の端脚類ヨコエビ亜目(Amphipoda Gammaridea, F%=80, N%=33.2, W%=23.3)と魚類(PISCES adult and juvenile, F%=25, N%=5.8, W%=64.7)を捕食していたが(Table I-3)，6月まで主食としていたカラヌス目のW%は0.2%と著しく低かった。ヨコエビ亜目のうちSynchelidium属の1種(N%=13.9)とAnonyx ampulloides(N%=11.7)が高いN%を占めた。魚類ではスケトウダラ稚魚のW%が高かった(W%=64.3)。全長135.26mm未満のマダラ稚魚は魚類を捕食していなかったが，全長135.26mm以上の稚魚(5個体)はスケトウダラ稚魚を5個体，カレイ目を3個体，同定不能であった魚類を5個体捕食していた。ヨコエビ亜目(Anonyx ampulloides,

Table I-3. Percent frequency of occurrence (F%), percent by number (N%), and percent by weight (W%) of food items in stomachs of Pacific cod post-larvae and juveniles

Food organism	Apr., 1990			May, 1989						June, 1990			July, 1989		
	Stn. 33			Stn. 13			Stn. 38			Stn. 43			Stn. 9″		
	F%	N%	W%	F%	N%	W%	F%	N%	W%	F%	N%	W%	F%	N%	W%
GASTROPODA	0	0	0	65	1.5	1.5	10	0.1	<0.1	0	0	0	0	0	0
BIVALVIA	0	0	0	25	0.1	<0.1	15	0.1	<0.1	0	0	0	15	3.1	<0.1
POLYCHAETA	0	0	0	15	<0.1	<0.1	25	0.2	0.3	25	0.1	<0.1	5	0.4	2.4
CRUSTACEA															
Cladocera (Total)	60	14.1	2.2	35	0.2	<0.1	25	0.2	<0.1	50	0.2	<0.1	0	0	0
Podon leuckarti	45	2.4	<0.1	35	0.2	<0.1	25	0.2	<0.1	50	0.2	<0.1	0	0	0
Evadne nordmanni	55	11.7	2.2	10	0.1	<0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Copepoda															
Calanoida (Total)	100	73.0	97.0	100	95.3	61.4	100	98.5	91.1	100	97.6	97.4	45	40.4	0.2
Calanus pacificus	85	8.4		45	0.2		0	0		75	0.5		25	7.6	
Paracalanus parvus	50	0.8		95	4.1		55	1.1		100	4.4		15	2.2	
Pseudocalanus spp.	100	42.3		95	23.9		80	3.6		100	9.2		0	0	
Scolecithricella minor	0	0		0	0		0	0		5	<0.1		0	0	
Centropages abdominalis	85	13.0		95	45.5		100	16.5		100	72.5		25	6.7	
Pseudodiaptomus marinus	0	0		15	<0.1		0	0		0	0		0	0	
Acartia omorii	0	0		70	1.9		100	31.2		30	0.2		35	13.5	
Unidentified Calanoida	95	8.4		100	19.8		100	46.1		100	10.8		40	10.3	
Cyclopoida															
Oithona spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	<0.1	<0.1	5	1.3	<0.1
Poecilostomatoida (Total)	0	0	0	35	0.1	<0.1	10	0.1	<0.1	95	1.2	<0.1	10	1.3	<0.1
Oncaea spp.	0	0	0	15	0.1	<0.1	5	<0.1	<0.1	0	0	0	0	0	0
Corycaeus spp.	0	0	0	25	0.1	<0.1	5	<0.1	<0.1	95	1.2	<0.1	10	1.3	<0.1
Harpacticoida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.4	<0.1
Cumacea	0	0	0	0	0	0	5	0.1	0.7	0	0	0	30	6.3	0.2
Amphipoda															
Gammaridea (Total)	0	0	0	25	0.1	0.3	10	0.2	4.3	0	0	0	80	33.2	23.3
Anonyx ampulloides	0	0		0	0		0	0		0	0		55	11.7	
Synchelidium sp.	0	0		0	0		0	0		0	0		20	13.9	
Other Gammaridea	0	0		25	0.1		10	0.2		0	0		45	7.6	
Hyperiidea	0	0	0	5	<0.1	<0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Caprellidea	0	0	0	0	0	0	10	0.1	1.3	5	<0.1	<0.1	0	0	0
Euphausiacea calyptopis	15	0.1	0.7	50	0.3	<0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Decapoda															
Natantia adult and juvenile	0	0	0	5	<0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	10	1.3	3.8
Natantia zoea	5	0.1	<0.1	5	0.0	0.1	40	0.5	2.0	75	0.8	2.6	45	6.3	0.1
Reptantia brachyura megalopa	0	0	0	60	1.6	36.5	10	0.1	0.3	0	0	0	0	0	0
Reptantia brachyura zoea	0	0	0	10	<0.1	<0.1	0	0	0	5	<0.1	<0.1	0	0	0
Crustacean egg	35	12.7	<0.1	15	0.6	<0.1	5	<0.1	<0.1	0	0	0	0	0	0
Sagittoidea	0	0	0	0	0	0	5	<0.1	<0.1	5	<0.1	<0.1	0	0	0
PISCES adult and juvenile (Total)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	5.8	64.7
Theragra chalcogramma juvenile	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	2.2	64.3
Pleuronectiformes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1.3	0.4
Unidentified PISCES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	2.2	<0.1
PISCES egg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	<0.1	<0.1	0	0	0
Unidentfied food			0			0			0			0			5.2
Mean number of food organisms and s	101.0±70.9			383.6±227.2			161.6±78.7			383.6±117.8			11.2±11.5		
Mean weight of food organisms (mg) and s	6.9±28.3			39.7±16.0			15.4±62.7			30.8±9.7			119.6±282.3		
Number of fish examined	20			20			20			20			20		
Number of empty stomachs	0			0			0			0			0		
Mean TL(mm) of fish examined	33.79			59.98			63.58			69.30			111.9		
Range of TL(mm)	20.94-42.72			43.40-81.11			51.73-73.62			45.81-81.28			78.43-174.0		

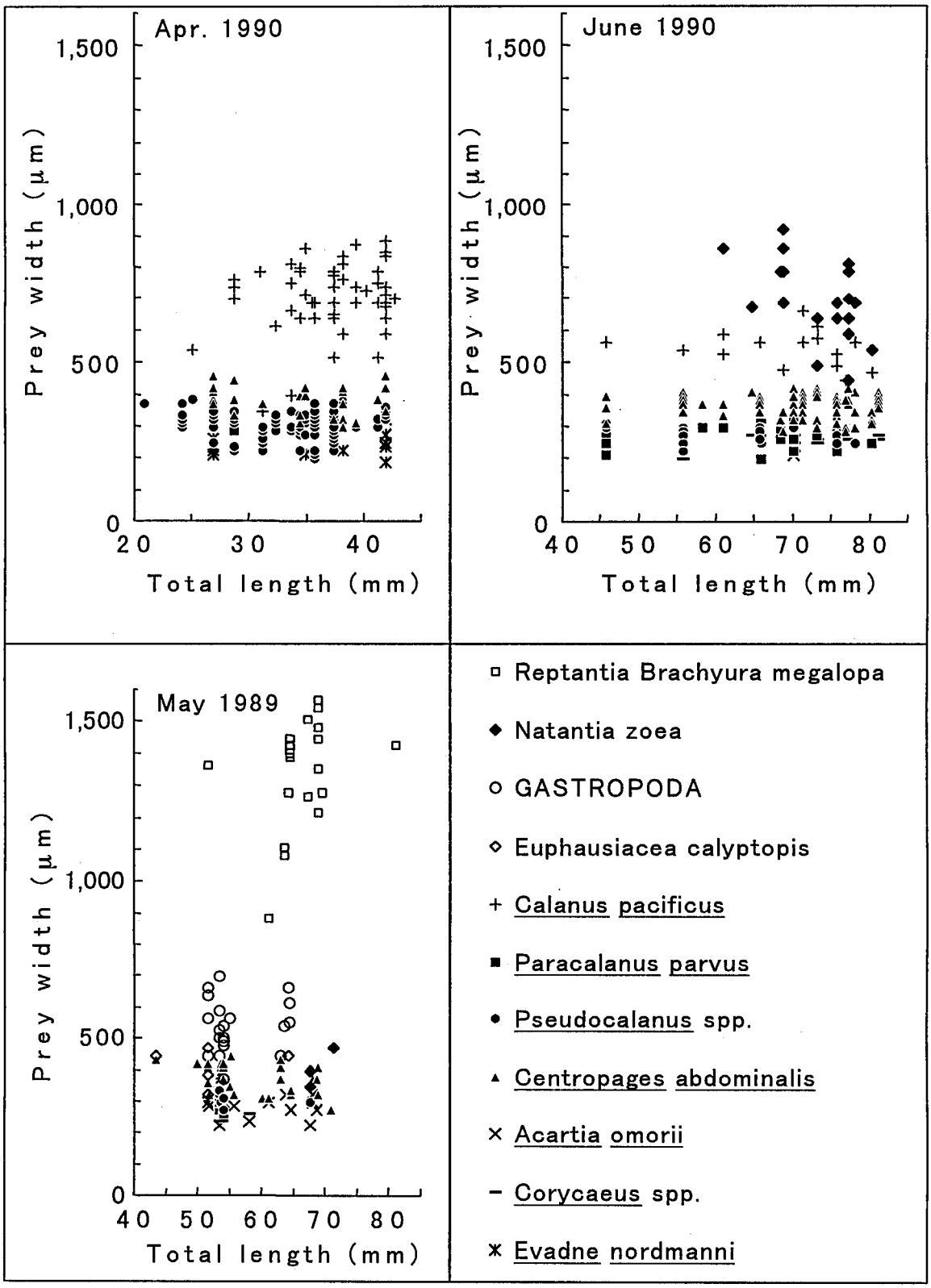


Fig. I-5. Relation between total length of Pacific cod post-larvae and juveniles (mm) and their prey width (μm). Samples were collected in Mutsu Bay on 19–23 May 1989, 26 April 1990, and 13 June 1990.

Synchelidium sp., Byblis japonica, Ampelisca sp.)は7月に採集されたほとんどすべての全長範囲のマダラ稚魚に捕食されており(Fig. I-6), 稚魚の胃から出現したSynchelidium属の1種とAnonyx ampulloidesの体幅範囲はそれぞれ0.39-1.17mmと1.32-3.68mmであった。かいあし類カラヌス目が胃中から出現したマダラの最大サイズは全長97.53mmであった。全長135.26mmの稚魚は体幅4.52mmのエビジャコ(Crangon affinis)を捕食し, 全長169.50mmのマダラ稚魚は体幅7.26mmのスケトウダラ稚魚を捕食していた。

考 察

多くの海産魚類が, 卵黄吸収中の前期仔魚から摂餌を開始することが知られている。Last (1978)は体長3.0-3.9mmの大西洋マダラ(Gadus morhua)仔魚(主に前期仔魚)の28%がすでに摂餌していることを示した。しかし本研究では, 開口していた6個体のマダラ前期仔魚すべてが摂餌していなかった。與世田ら(1992)は能登島に近い日本海沿岸でマダラ後期仔魚(6個体:3.79-4.77mm TL)がかいあし類ノープリウスを捕食していたことを報告している。本研究では全長7mm以下のマダラ後期仔魚が, かいあし類ノープリウスを主食としていることが示された(Fig. I-3)。Pseudocalanus属ノープリウスは他のノープリウスに比べて大型で(Fig. I-4), 最も多く捕食されていた(Table I-2)。全長7mmよりも大型の仔魚は, かいあし類ノープリウスからPseudocalanus属のコペポダイトと成体, 甲殻類の卵を多く捕食するようになった(Fig. I-3)。以上のようにマダラ仔魚にとってPseudocalanus属は, ノープリウス期から成体に至るまですべての発育段階で重要な餌生物であることが明らかとなった。一方甲殻類の卵は主として全長11mmを超える仔魚に捕食され, Pseudocalanus属やOithona属の成体とともに消化管あるいは胃から出現しており(Fig. I-3), 卵を抱えたかいあし類の成体とともに捕食された可能性が高い。これらの甲殻類卵は他の餌生物に比べて小型であり(Fig. I-4, Fig. I-7), 消化管が未発達である仔魚には消化されにくい餌と考えられている(Hunter, 1977; Bjørke, 1978; 田中,1980)。したがって甲殻類の卵はマダラ仔魚にとって補助的

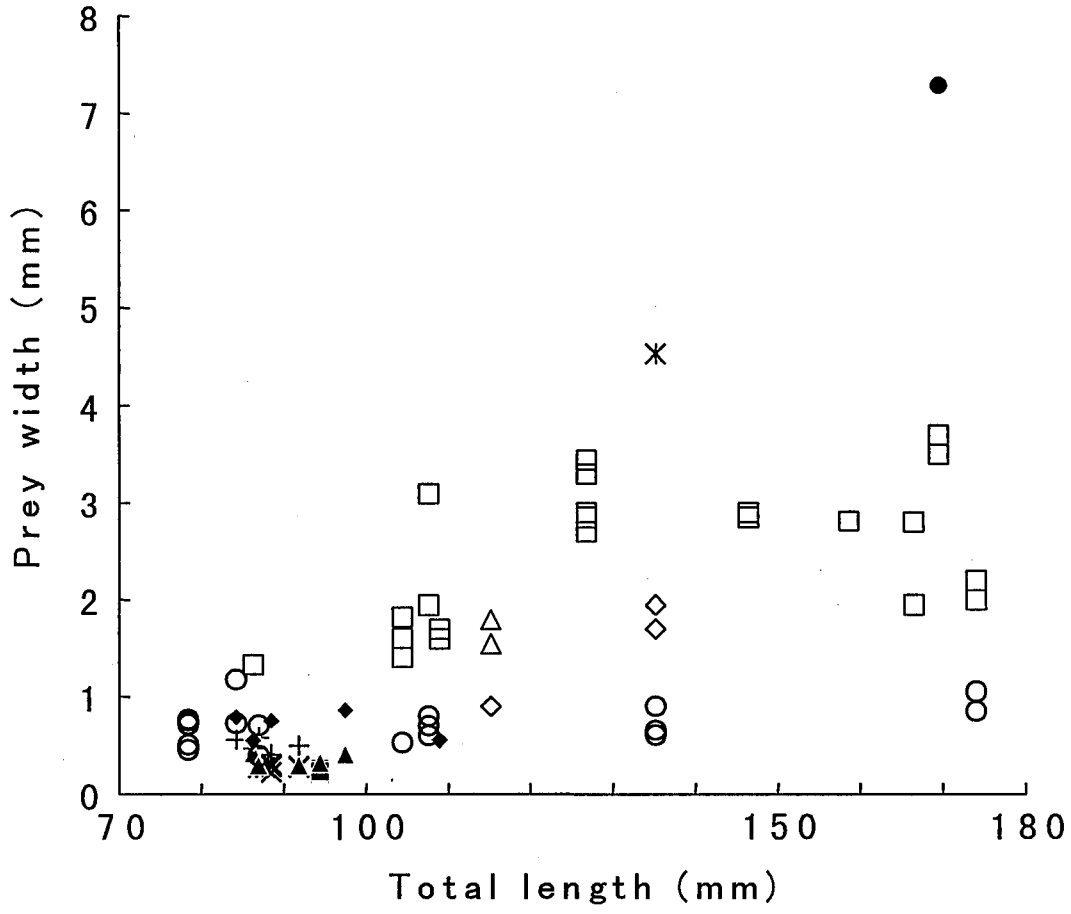


Fig. I-6. Relation between total length of Pacific cod juveniles (mm) and their prey width (μm). Samples were collected in Mutsu Bay on 22 July 1989.

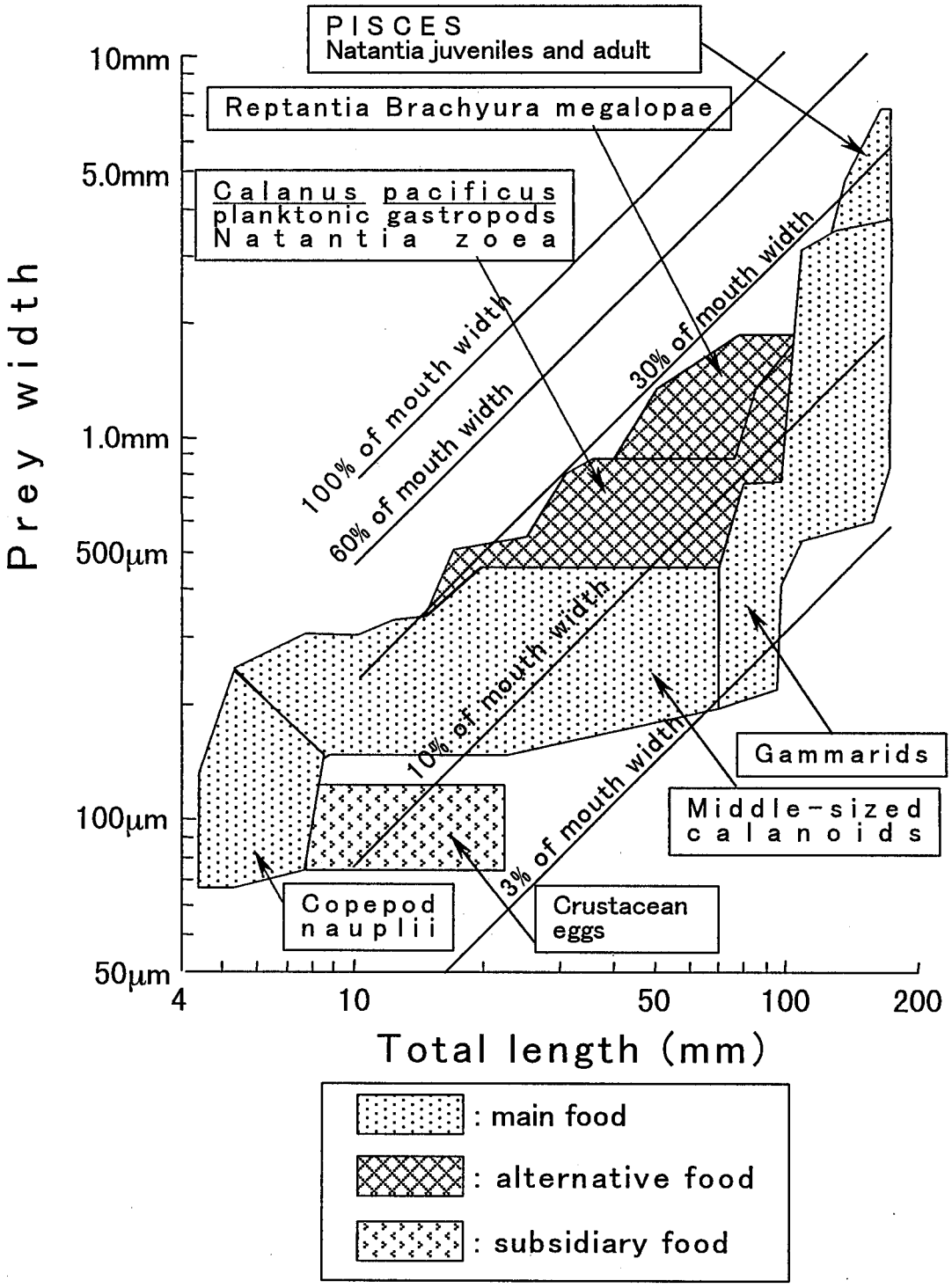


Fig. I-7. Schematic model of relation between total length of Pacific cod larvae and juveniles and their prey width in Mutsu Bay in 1989 and 1990. Regression line between total length of Pacific cod and their mouth width is shown as $Log_{10}(MW) = 1.13 \cdot Log_{10}(TL) - 1.25$ ($N=110$, $r^2=0.987$, TL range: 10.1-174mm).

な餌(subsidiary food)にすぎないものと考えられる。

内田(1936)は，朝鮮半島近海においてマダラ仔稚魚は主にかいあし類を捕食し，全長30mmを超える稚魚は端脚類と魚類仔魚を，全長70-90mmの稚魚は小型のカニ・エビ・イカ・魚類や多毛類を捕食すると報告している。竹内(1961)によると，北海道沿岸において標準体長29.3-74.0mmの稚魚の主要餌生物はかいあし類，特にParacalanus属およびPseudocalanus属であり，副次的な餌として十脚類の幼生，端脚類ヨコエビ亜目，オタマボヤ科である。橋本・阿部(1962)は，全長27-81mmの稚魚の主要餌生物はかいあし類カラヌス目(主にPseudocalanus属とCalanus属)であり，浮遊性の端脚類が副次的な餌であるとしている。陸奥湾ではマダラ仔稚魚の主要な餌生物は4月から6月までかいあし類カラヌス目であった(Table I-3)。副次的な餌生物には海域間で差があるものの，全長70mm未満のマダラ稚魚の主要餌生物はかいあし類カラヌス目であると考えられる。

マダラ稚魚が捕食する餌の体幅は稚魚の口幅のおよそ3-30%であったが(Fig. I-7)，全長70mm前後のマダラ稚魚の主要餌生物(カラヌス目とヨコエビ亜目)は稚魚の口幅に対して小型であり，およそ3-10%程度であった。また，マダラ稚魚の胃から出現した餌生物の平均重量を求めると，1個体の浮遊性巻貝，十脚類遊泳亜目ゾエア幼生，十脚類爬行亜目短尾族メガロパ幼生はそれぞれ，カラヌス目の1.3倍，3.9倍，29倍に相当する(Table I-4)。これらの大型餌生物は主要餌生物ではなかったが，全長70mm前後の稚魚が十分捕食できる体幅範囲にある(約8-30%，Fig. I-7)。7月にはマダラ稚魚は主に底生性の端脚類ヨコエビ亜目および魚類を捕食するようになるが，浮遊性巻貝，十脚類遊泳亜目ゾエア幼生，十脚類爬行亜目短尾族メガロパ幼生などの副次的な餌生物は，主要餌生物がカラヌス目からヨコエビ亜目や魚類に転換するまでの間の，alternative prey(代替の餌生物)として重要な役割を演じているものと考えられる。またこれらのalternative preyが主要餌生物にならなかったのは，1989年および1990年におけるalternative preyの環境中の豊度が十分でなかった可能性がある。したがってこの主要餌生物の転換期には他の採集年についてもさらに食物組成を調べ

Table I-4. Mean weight of major food organisms in stomachs of post-larval and juvenile Pacific cod in Mutsu Bay. These values were calculated from the data obtained in May and July, 1989 and April and June, 1990

Food organism	Total weight (mg)	Total number of individuals	Mean weight (μg)
Evadne nordmanni	3	236	12.7
Calanoida	1,439	19,714	73.0
GASTROPODA	11	118	93.2
Decapoda Natantia zoea	26	92	283
Decapoda Reptantia Brachyura megalopa	262	122	2,148
Gammaridea	568	87	6,529
PISCES adult and juvenile	1,535	13	118,077

る必要があるものと考え，第Ⅳ章で検討した。

Ⅱ. マダラ仔魚の餌生物としてのかいあし類ノープリウスの分類群組成と分布密度

目 的

前章では全長7mm以下のマダラ後期仔魚が初期餌料としてかいあし類ノープリウス，特にPseudocalanus属およびOithona属のノープリウスを捕食することを明らかにした。また，かいあし類ノープリウスは多くの海産魚類の初期餌料として重要であり(田中，1980)，魚類の初期生残機構を解明するためには，餌料密度の時空間変化を明らかにする必要がある。そこで1991年と1992年の冬季に，陸奥湾においてマダラ仔魚が捕食する体幅67.5-195μmのかいあし類ノープリウスの空間分布様式と分布密度を明らかにし，摂餌開始期のマダラ仔魚の生残に与える影響を検討した。

材料および方法

野外調査

調査海域である陸奥湾を湾口部，西湾北部，西湾南部，東湾の4つに区分し，これらのうち湾口部を除いた水域を湾内とした(Fig. II-1)。1991年2月26-27日(13地点)，1992年1月9日(7地点)，1992年1月29日(5地点)，1992年2月25-26日(13地点)の4回にわたり，北海道大学水産学部研究調査船うしお丸(107.85トン)と青森県水産増殖センター所属のなつどまり(24.96トン)で，合計57本のノープリウス標本を採集した(Table II-1)。採集を行った地点の水深範囲は36-64mであり，すべての標本採集は昼間行われた。ノープリウスはうしお丸ではバンドン採水器で20ℓの試水を採取し，なつどまりでは水中ポンプで汲み上げられた30ℓの試水を採取して，それぞれ40μmのハンドネットでろ過して得られた。ノープリウスの鉛直分布を明らかにするために，1991年2月26日には東湾Stn. 30，1992年1月9日には西湾北部Stn. 13，1992年1月29日には西湾南部Stn. 20'，1992年2月25日には湾口部Stn. 10においてそれぞれ5～6層で標

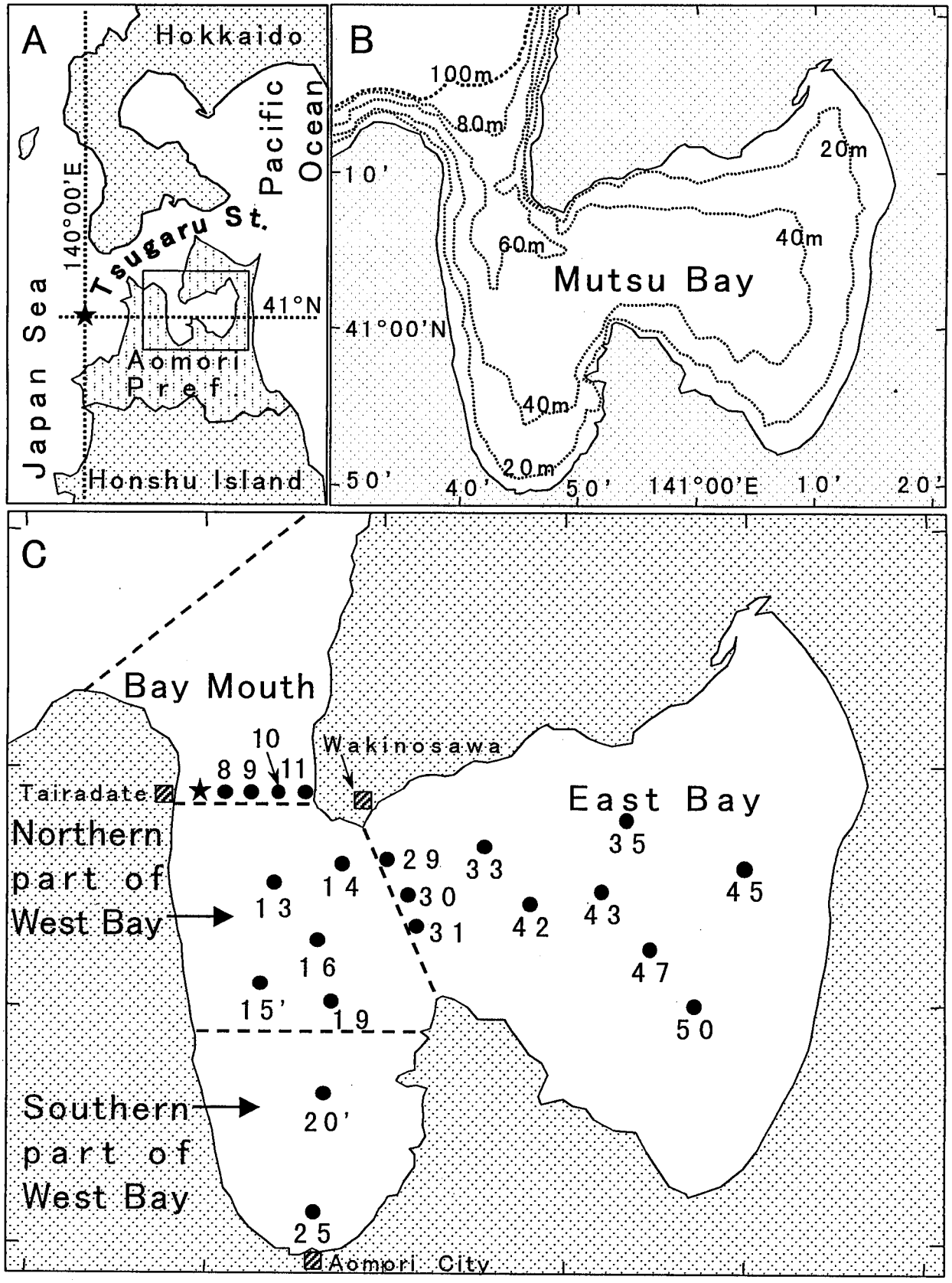


Fig. II-1. Location of Mutsu Bay (A), contours of depth (B), and locations of sampling stations (C). Locations of a station at 41°00'N, 140°00'E in the Japan Sea and a station off Tairadate are shown in A and C, respectively, with stars.

Table II-1. Zooplankton sampling data in Mutsu Bay

Vessel	Date	Sampling gear	Mesh size	Number of sampling stations	Number of samples	Number of samples used for developmental staging and body size measurement
Ushio-maru	26-27 Feb. 1991	Van-Dorn	40μm	13	19	19
		NORPAC	0.33mm	13	13	3 (only for Oithona spp.)
	25-26 Feb. 1992	Van-Dorn	40μm	13	18	18
		NORPAC	0.33mm	16	16	3 (only for Oithona spp.)
Natsudomari	9 Jan. 1992	Pump	40μm	7	11	11
	29 Jan. 1992	Pump	40μm	5	9	9

本を採集した。また，ノープリウスの水平分布を明らかにするために鉛直分布調査地点に加えて，1991年2月26-27日には湾内11地点の水深15m層，1992年1月9日には湾内6地点の水深10m層，1992年1月29日には湾内5地点の水深10m層，1992年2月25-26日には湾内および湾口部の12地点の水深15m層でノープリウスを採集した。ただし，1991年2月26日のStn. 25とStn. 30，1992年2月25日のStn. 10では水深15m層で採集を行わなかったので，水深10mと20m層のデータの平均値を15m層のデータとして用いた。

かいあし類ノープリウスとコペポダイトの分布密度の関係と，水塊交替とコペポダイトの分類群組成の関係を調べるために，1991年2月26-27日の13地点と1992年2月25-26日の16地点では，NORPACネット(口径: 0.45m，側長: 1.8m，目合: 0.33mm)の海底直上から水面までの鉛直曳きによってコペポダイトを採集した(Table II-1)。採集されたすべての動物プランクトン標本は直ちに5%中性海水フォルマリン溶液で固定した。

各調査地点では1991年2月はDBTにより水温を，1992年2月にはCTDを用いて水温・塩分を測定し，表層と15m層で採水した試水は実験室に持ち帰り，サリノメータで塩分値を測定した。さらに1992年1月の2回の調査ではノープリウスを採集した水深で棒温度計を用いて水温を測定した。

かいあし類ノープリウスとコペポダイトの計測と解析

かいあし類ノープリウス標本は60個体を上回るように適宜分割し，同定と各発育段階の判別を行った。ノープリウスは生物顕微鏡の接眼マイクロメータを用いて前体部幅(Prosome width, PW)の計測を行った。NORPACネットで採集されたOithona属成体は種まで同定したが，分類学的制約からコペポダイト期の3期から5期(C3-C5)までのOithona属は，Oithona similisとその他のOithona属に分離した。すべてのOithona属の成体およびコペポダイトもノープリウスと同様に前体部幅(PW)を計測した。

摂餌開始期のマダラ仔魚の利用可能な餌の分布密度は，前体部幅67.5-195μmの

かいあし類ノープリウスが1リットルあたりに含まれる個体数(inds.·ℓ^{-1})として求めた。コペポダイトの相対分布密度は1平方メートルあたりの個体数(inds.·m^{-2})であらわした。ノープリウスの分類群組成はG検定を用いて標本間の有意差の有無を検討した。母集団分布の同一性の比較には，2標本間の場合はマン·ホイットニーのU検定を，3つ以上の標本間の場合にはクラスカル·ウオリス検定を用いた。すべての検定の有意水準は0.05とした。

海況データの解析

1991年2月下旬には荒天のために，予定していた湾口部の調査が不可能であった。この時期の陸奥湾に流入する津軽暖流水の海水密度を推定するために，1991年3月11日と1992年2月29日に青森県水産試験場が日本海の1地点(41°00'N，140°00'E)で行った表層から100m水深までの平均水温·塩分値を引用した(Fig. II-1-A，青森県水産試験場，1995a; 1995b)。ただし，この時期の日本海1地点の水温と青森県水産増殖センターが平舘沖(Fig. II-1-C)で観測しているテレメータブイ45m層の水温の間には，1979年から1994年の間に有意な相関がみられ(N=16，P=3.0·10^{-4}，Fig. II-2；青森県水産増殖センター，1976，1979-1997；青森県水産試験場，1972-1995)，平均で平舘沖が1.1℃低い水温になっていた。そこで日本海1地点の水温値から1.1℃低下させた値を陸奥湾に流入する津軽暖流水の水温と推定した。また，青森市における9月から12月の合計降水量は，気象庁月報から引用した(気象庁，1973-1997)。

結 果

1991年と1992年の冬季における陸奥湾の海況

冬季および春季の陸奥湾には津軽暖流水(TWC)が主に湾口部西側の表層および中層から流入する(大谷·寺尾，1974)。冬季と春季には湾内へ流入した水塊は冷却され，湾口部東側の海底近くから湾外へ流出する。湾口部の中層には津軽暖流水と湾内の水塊との間に密度躍層が形成される。

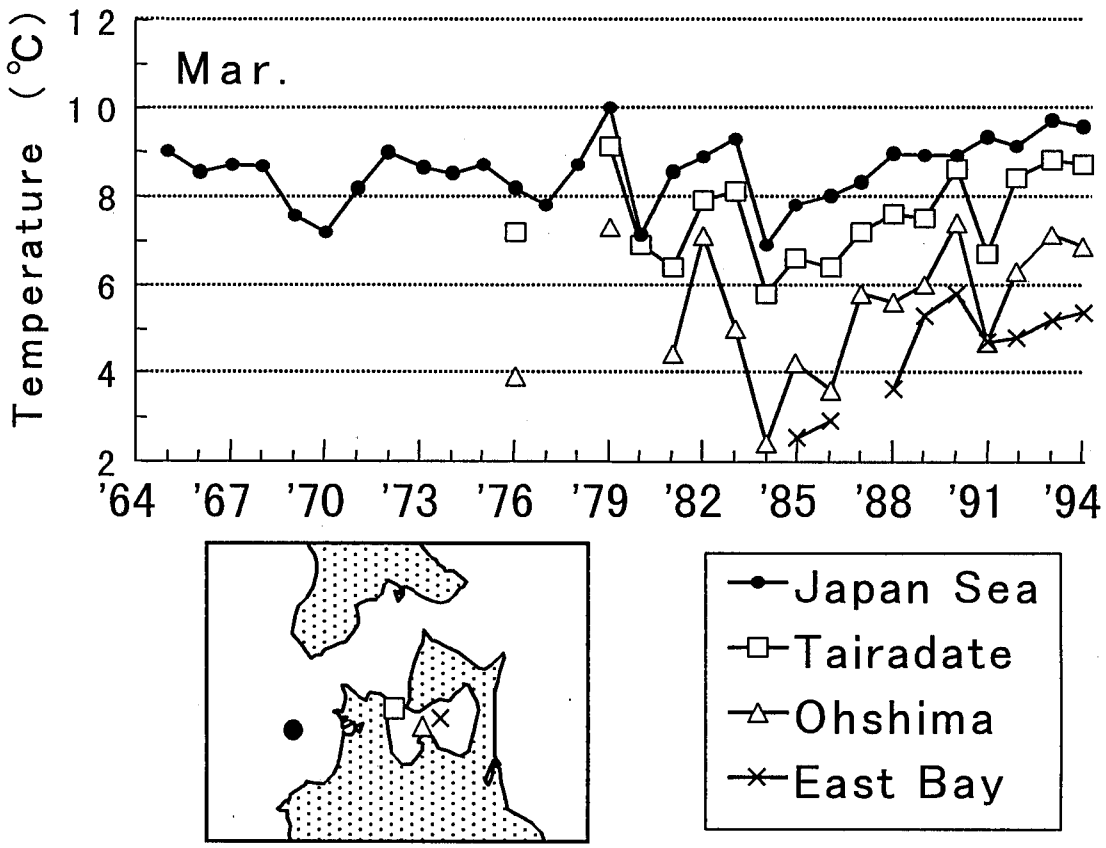


Fig. II-2 Annual fluctuations of water temperatures at a station of 41°00'N, 140°00'E in the Japan Sea (mean temperature from surface to 100m depth), a station off Tairadate (45m depth), a station off Ohshima (50m depth), and a station in East Bay (46m depth) in March 1964-1994 (Aomori Prefectural Fisheries Experimental Station, 1972-1997; Aomori Prefectural Aquaculture Research Center, 1976, 1979-1997).

1991年2月26-27日には湾内水深15m層の水温・塩分値の範囲は，4.2-5.9℃，33.18-33.42 PSUであった(Fig. II-3-A)。水深15m層における海水密度σ_tの平均値は26.32 kg·m^{-3}であり，その範囲は26.29 kg·m^{-3}(Stn. 35)から26.35 kg·m^{-3}(Stn. 31)であった(Fig. II-3-C)。ノープリウスの鉛直分布を調べたStn. 30では，表層から海底直上までほぼ均一の水塊で占められており，水温範囲は5.16-5.18 °C，塩分値は33.34-33.35 PSUであった。

1992年1月9日の水深10m層の水温は，7.4℃から10.1℃の範囲にあった(Fig. II-4-A)。1992年1月29日の水深10m層は，6.9-10.0°Cに低下した。(Fig. II-4-B)。1992年2月25-26日には，水深15m層の水温範囲は4.5-8.6°Cであり(Fig. II-3-B)，高水温・高塩分値は湾口部西側にみられ，低水温・低塩分値は東湾の北側寄りにみられた。この時期の水深15m層における海水密度σ_tは，1991年2月に比べて水平的な勾配が大きく，低密度の水塊が湾口部西側にみられた(Fig. II-3-D)。湾内15m層の平均σ_tは26.62 kg·m^{-3}であった。

1992年1月9日のStn. 13と1992年1月29日のStn. 20'における水温の鉛直較差は小さく(Fig. II-5)，水温範囲はそれぞれ8.7-9.0 °C，8.2-8.8 °Cであった。1992年2月25日のStn. 10では，水深20m以浅では8.2-8.5 °C，水深21-57mでは徐々に低下し，水深58m以深では4.97-4.99 °Cであった(Fig. II-5)。この時塩分値とσ_t値は表層の33.90 PSUと26.33 kg·m^{-3}から水深64mの33.68 PSUと26.63 kg·m^{-3}にそれぞれ変化した。

かいあし類ノープリウスの鉛直分布

1991年2月26日の東湾Stn. 30では，かいあし類ノープリウス(体幅67.5-195μm)は水深1m層で最も高い分布密度を示し(25.0 inds.·ℓ^{-1})，最低値を示した水深40m層(12.2 inds.·ℓ^{-1})のおよそ2.0倍であった(Fig. II-6)。採集水深による分類群組成には有意差はみられなかった(G検定，G_{adj}=21.4，df=20，P=0.37)。最も分布密度が高かった分類群はCentropages属であり(7.4-16.0 inds.·ℓ^{-1}，57-67%)，次いでOithona属が高い分

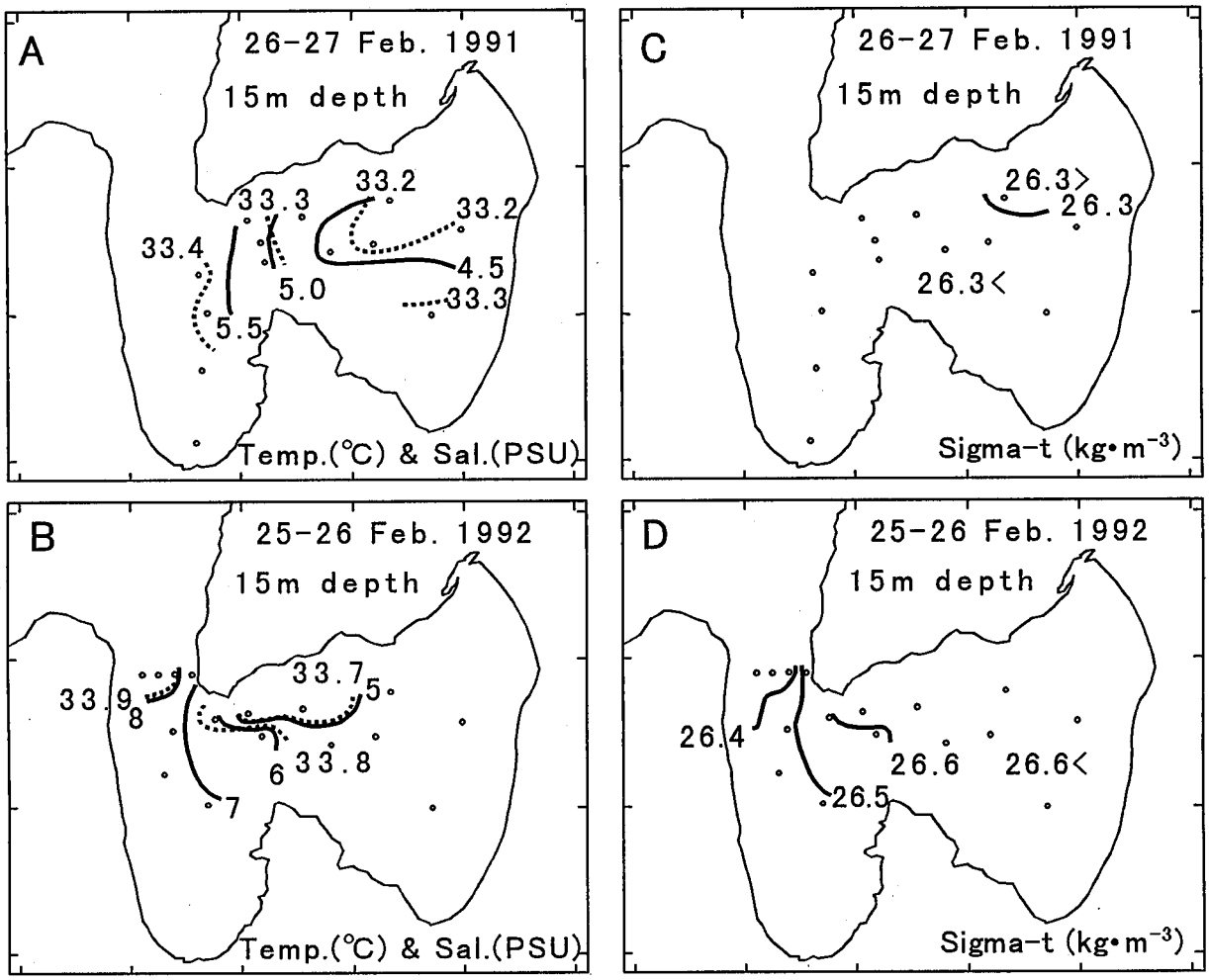


Fig. II-3. Distributions of water temperature (°C, solid lines in A and B), salinity (PSU, dashed lines in A and B), and sigma-t ($kg \cdot m^{-3}$, solid lines in C and D) at 15m depth during 26-27 February 1991 and 25-26 February 1992.

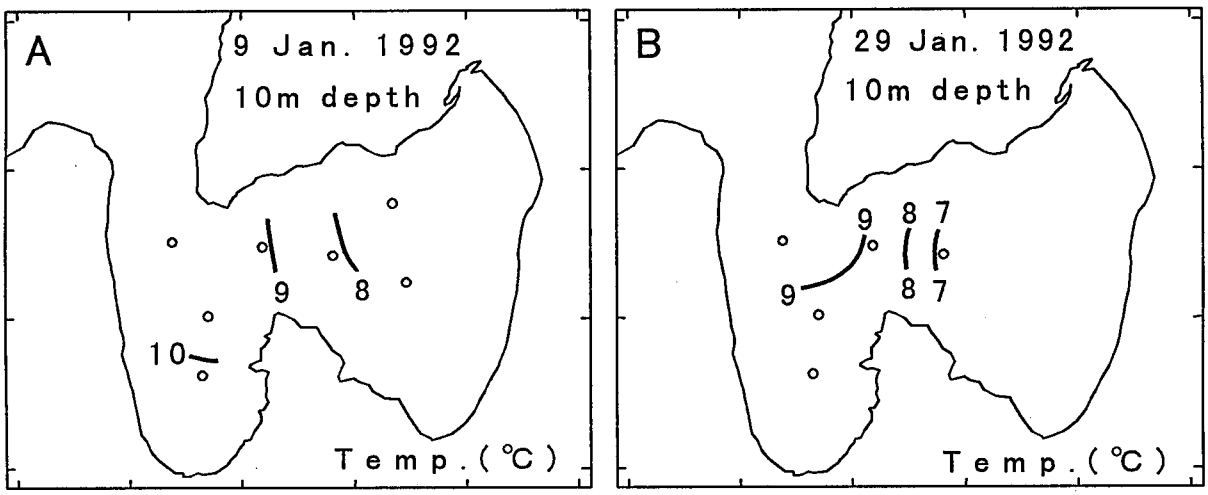


Fig. II-4. Distributions of water temperature (°C, solid lines) at 10m depth on 9 January 1992 and 29 January 1992.

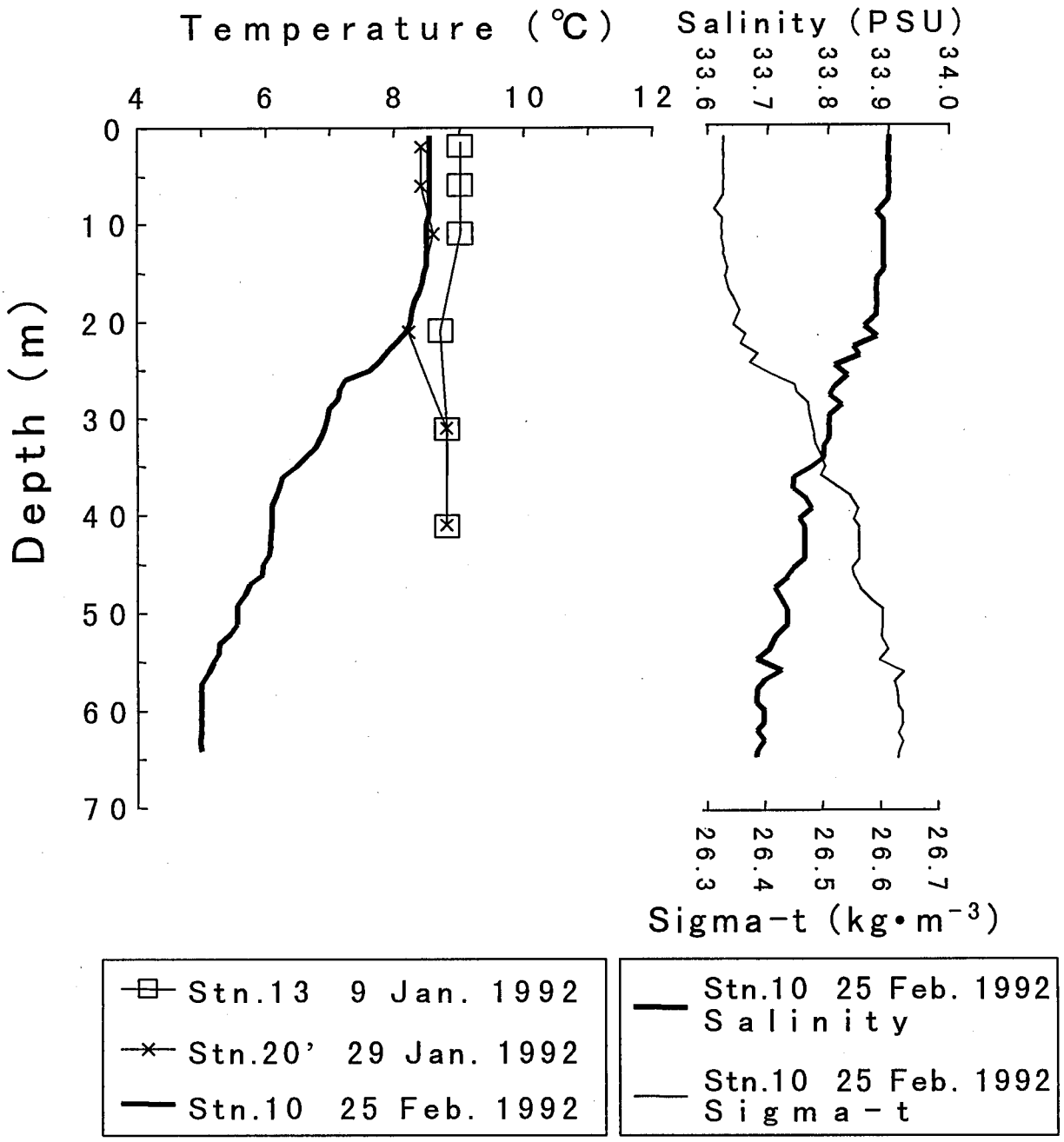


Fig. II-5. Vertical distributions of water temperature (°C) at three sampling stations from 9 January to 25 February 1992, and salinity (PSU), and sigma-t (kg•m^{-3}) at Stn. 10 on 25 February 1992.

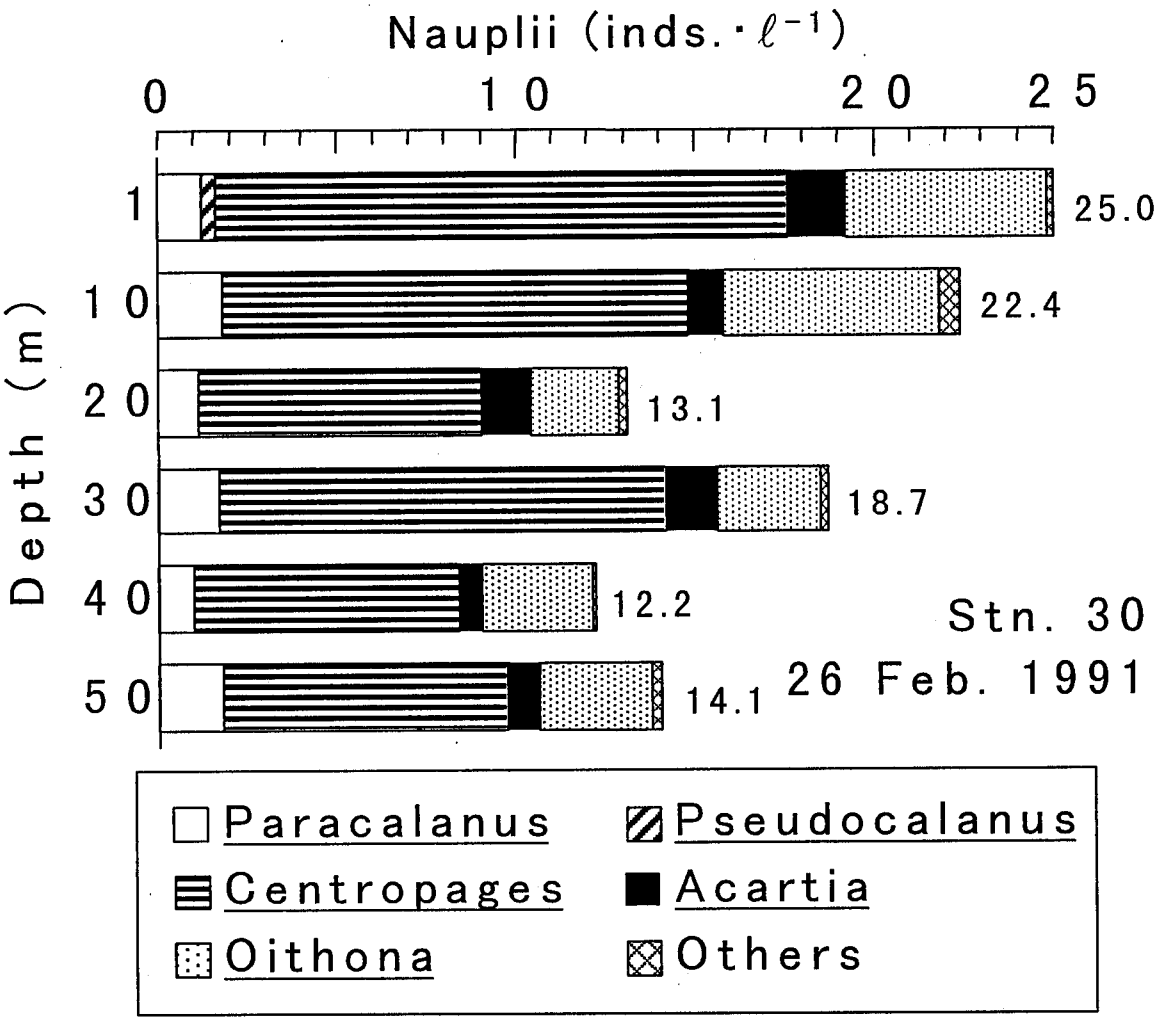


Fig. II-6. Vertical distribution of copepod nauplii measuring 67.5–195μm in prosome width obtained by filtering 20ℓ water collected with a pair of Van-Dorn bottles at Stn. 30 on 26 February 1991.

布密度を示した(2.5–6.0 inds.·ℓ^{-1}, 16–27%)。これらに対してPseudocalanus属の分布密度は低かった(0–0.4 inds.·ℓ^{-1}, 0–1.6%)。

1992年1月9日の西湾北部Stn. 13における67.5–195μm PWの分布密度は水深20m層の10.4 inds.·ℓ^{-1}から5m層の19.2 inds.·ℓ^{-1}の範囲にあり, その中央値は15.5 inds.·ℓ^{-1}であった(Fig. II-7)。採集水深による分類群組成には有意差はみられず(G検定, G_{adj}=12.5, df=8, P=0.13), すべての採集水深でOithona属が優占した(6.9–13.9 inds.·ℓ^{-1}, 57–72%)。Pseudocalanus属はいずれの水深でも採集されなかった。

1992年1月29日の西湾南部Stn. 20'における67.5–195μm PWの分布密度の中央値は11.6 inds.·ℓ^{-1}であった(Fig. II-7)。採集水深による分類群組成の差はみられず(G検定, G_{adj}=23.1, df=24, P=0.51), Oithona属が優占した(6.3–10.1 inds.·ℓ^{-1}, 60–78%)。Pseudocalanus属の分布密度は低かった(0.1–0.7 inds.·ℓ^{-1}, 1.1–6.7%)。

1992年2月25日の湾口部Stn. 10における67.5–195μm PWのノープリウスの鉛直分布は, 密度躍層内(Fig. II-5)の水深30m層(13.8 inds.·ℓ^{-1})と40m層(12.9 inds.·ℓ^{-1})で分布密度が高く, 30m層は1m層の約4.3倍の分布密度を示した。水深による分類群組成には有意差がみられ(G検定, G_{adj}=43.5, df=10, P=4.0·10^{-6}), 全体としてOithona属が優占し(2.2–9.9 inds.·ℓ^{-1}, 48–74%), 次いでParacalanus属が高い分布密度であったが(0.4–2.6 inds.·ℓ^{-1}, 11–39%), Pseudocalanus属は低い分布密度であった(0.1–0.6 inds.·ℓ^{-1}, 2.2–6.8%)。Figure II-7の中ではその他"Others"に含めたが, Oncaea属とCorycaeus属は水深1–10m層で相対的に高い割合を占めた(Oncaea: 5.7–7.8%, Corycaeus: 3.1–5.7%)。

かいあし類ノープリウスの水平分布

1991年2月26–27日のStn. 25およびStn. 30では水深15m層でかいあし類ノープリウスの採集を行わなかったので, 水深10mと20m層における67.5–195μm PWのノープリウスの平均分布密度を用いた。それら2地点の水深10mと20m層の分類群組成の間

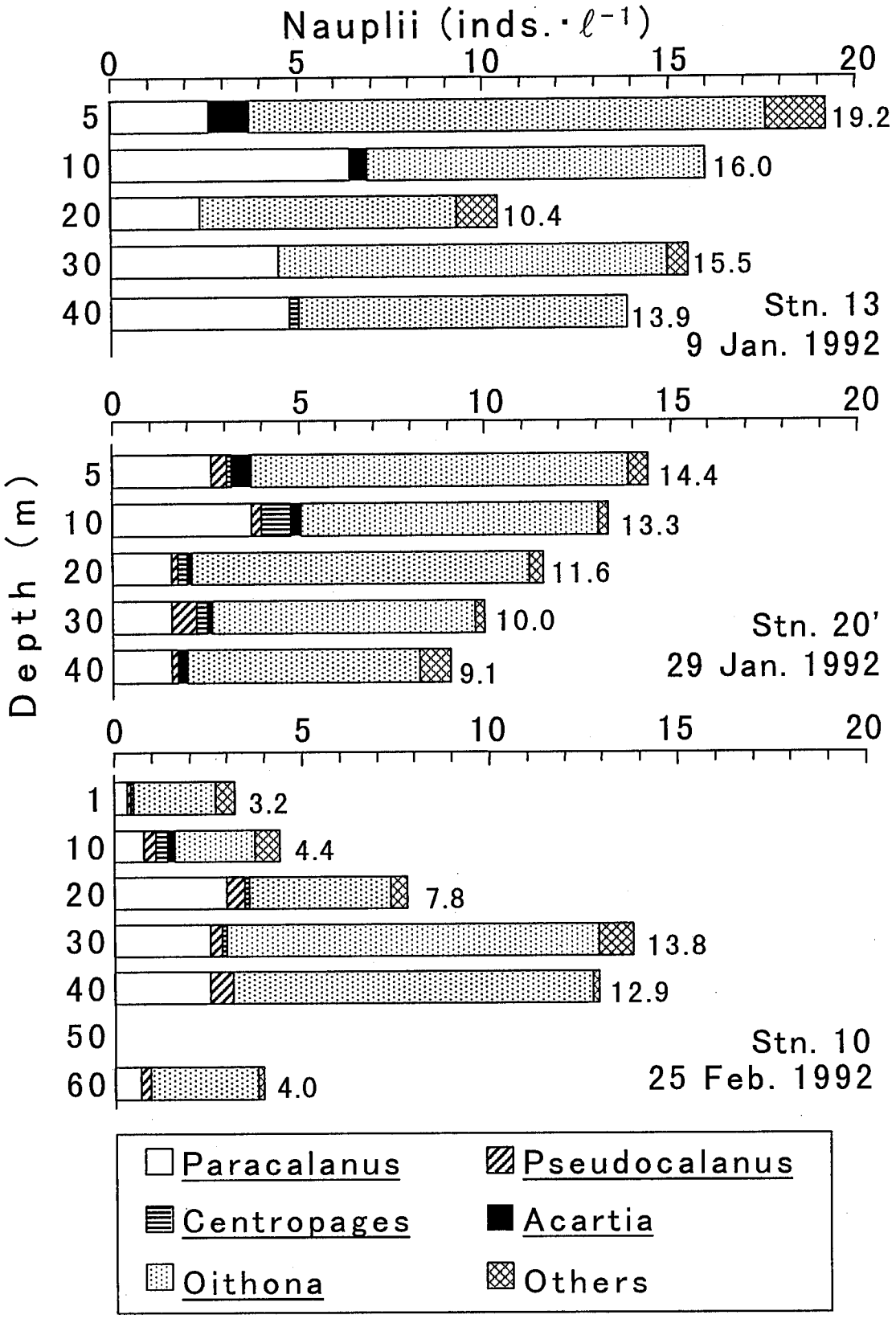


Fig. II-7. Vertical distributions of copepod nauplii measuring 67.5-195μm in prosome width obtained by filtering 30ℓ pumped water at Stn. 13 on 9 January and at Stn. 20' on 29 January 1992, and by filtering 20ℓ water collected with a pair of Van-Dorn bottles at Stn. 10 on 25 February 1992.

にはそれぞれ有意差がみられなかった(G検定, Stn. 25 : G_{adj}=7.4, df=4, P=0.12 ; Stn. 30 : G_{adj}=5.0 , df=4 , P=0.29) 。水深15m層における分布密度は17.8 inds.·ℓ^{-1}(Stn. 30)から26.8 inds.·ℓ^{-1}(Stn. 31)の範囲にあり, 中央値は22.4 inds.·ℓ^{-1}であった(Fig. II-8)。13地点における15標本間に分類群組成の差がわずかにみられた(G検定, G_{adj}=81.8, df=56, P=0.014)。また, すべての採集地点でCentropages属が優占し(最小値-中央値-最大値 : 9.2-12.8-18.4 inds.·ℓ^{-1}, 46-55-72%), 次いでOithona属が高い分布密度を示した(4.0-5.6-8.8 inds.·ℓ^{-1}, 19-25-40%)。Pseudocalanus属の割合は低く(0-0.1-1.2 inds.·ℓ^{-1}, 0-0.5-5.4%), 湾口部に近いStn. 16で最も高い分布密度を示した。

1992年1月9日の水深10m層における分布密度は11.5 inds.·ℓ^{-1}から22.9 inds.·ℓ^{-1}の範囲にあり, 中央値は14.7 inds.·ℓ^{-1}であった(Fig. II-9-A, C)。分布密度はStn. 30およびStn. 42で高かった。1992年1月29日の水深10m層における分布密度は8.8 inds.·ℓ^{-1}から18.7 inds.·ℓ^{-1}の範囲にあり, 中央値は13.3 inds.·ℓ^{-1}であった(Fig. II-9-B, C)。1992年2月25-26日の水深15m層における分布密度は, 湾口部で低く(Stn. 8, 9, 10, 11 : 6.2-7.4-15.2 inds.·ℓ^{-1}, Fig. II-10), 東湾で高かった(Stn. 30, 35, 42, 45, 50 : 21.2-36.8-44.0 inds.·ℓ^{-1})。かいあし類ノープリウスの分類群組成の採集地点による違いは, 1992年1月9日(G検定, G_{adj}=23.1, df=12, P=0.027)と1992年2月25-26日(G検定, G_{adj}=311.3, df=65, P=$7.7\cdot10^{-34}$)には有意差がみられたが, 1992年1月29日(G検定, G_{adj}=3.7, df=8, P=0.88)にはみられなかった。1992年1月9日のStn. 20'とStn. 30を除いて1992年の1月から2月まではOithona属が優占し(30-85%), 次いで1月9日(30-58%)と1月29日(20-26%)にはParacalanus属が, 2月25-26日には湾内でCentropages属(5.4-16%)の割合が高かった。1992年2月25-26日にOithona属の割合は湾口部で低く(2.2-3.4-8.6 inds.·ℓ^{-1}, 30-49-57%), 東湾では高かった(16.0-30.8-35.2 inds.·ℓ^{-1}, 76-80-85%) 。Pseudocalanus属は湾内に比べて湾口部Stn. 8とStn. 9 で高い割合を占めたが(それぞれ2.2 inds.·ℓ^{-1}と1.8 inds.·ℓ^{-1}, 30%と24%), Centropages属とAcartia属は逆の状態を示した。1992年2月の東湾で採集されたOithona属ノープリウスには発

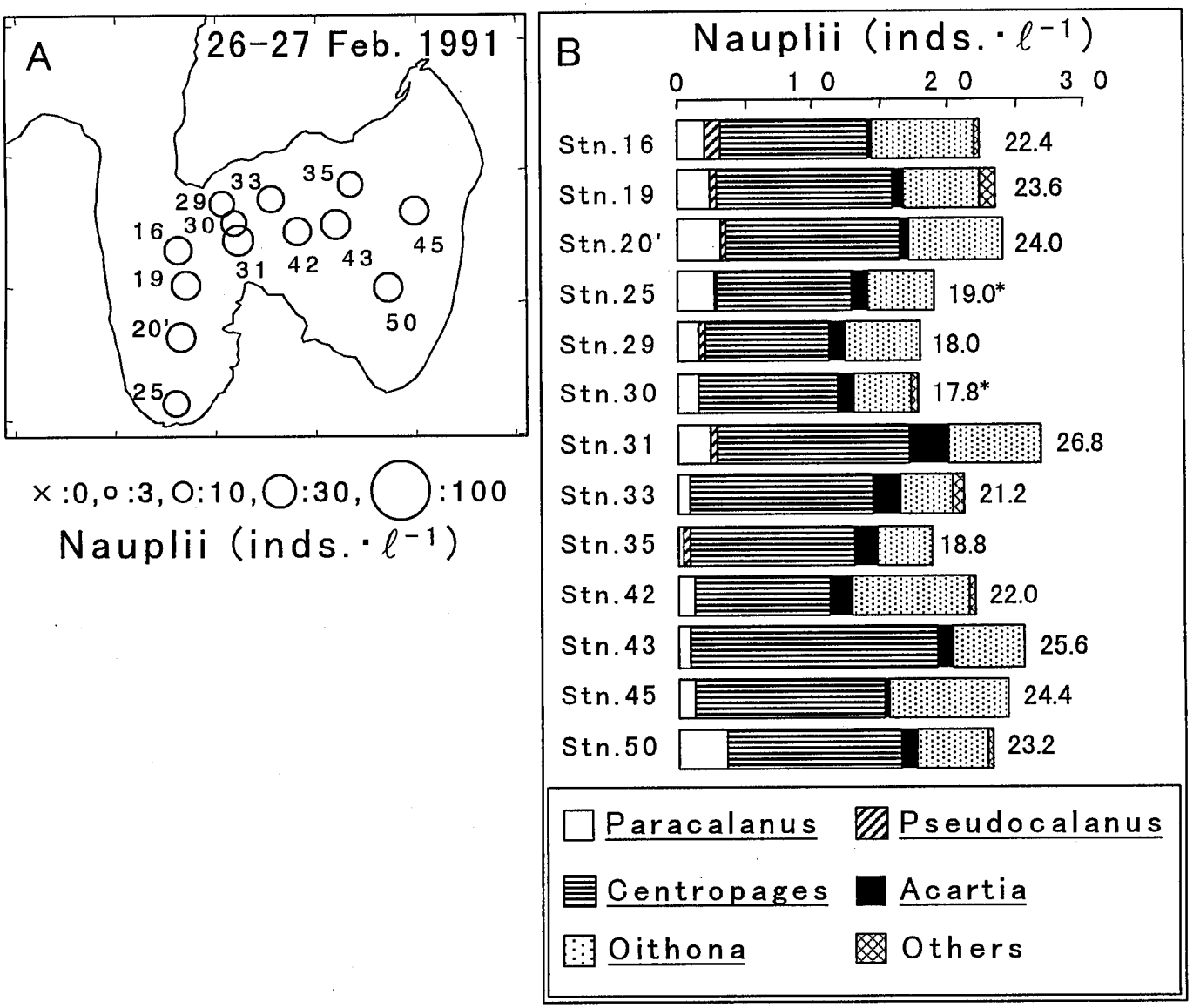


Fig. II-8. Horizontal distribution of copepod nauplii measuring 67.5-195μm in prosome width obtained by filtering 20ℓ water collected with a pair of Van-Dorn bottles at 15m depth during 26-27 February 1991. Numerals show station numbers, and the area of each circle is proportional to the concentration (inds.・ℓ^{-1}, A). Values at Stn.25 and Stn.30 with asterisks are mean densities of 10m depth and 20m depth samples.

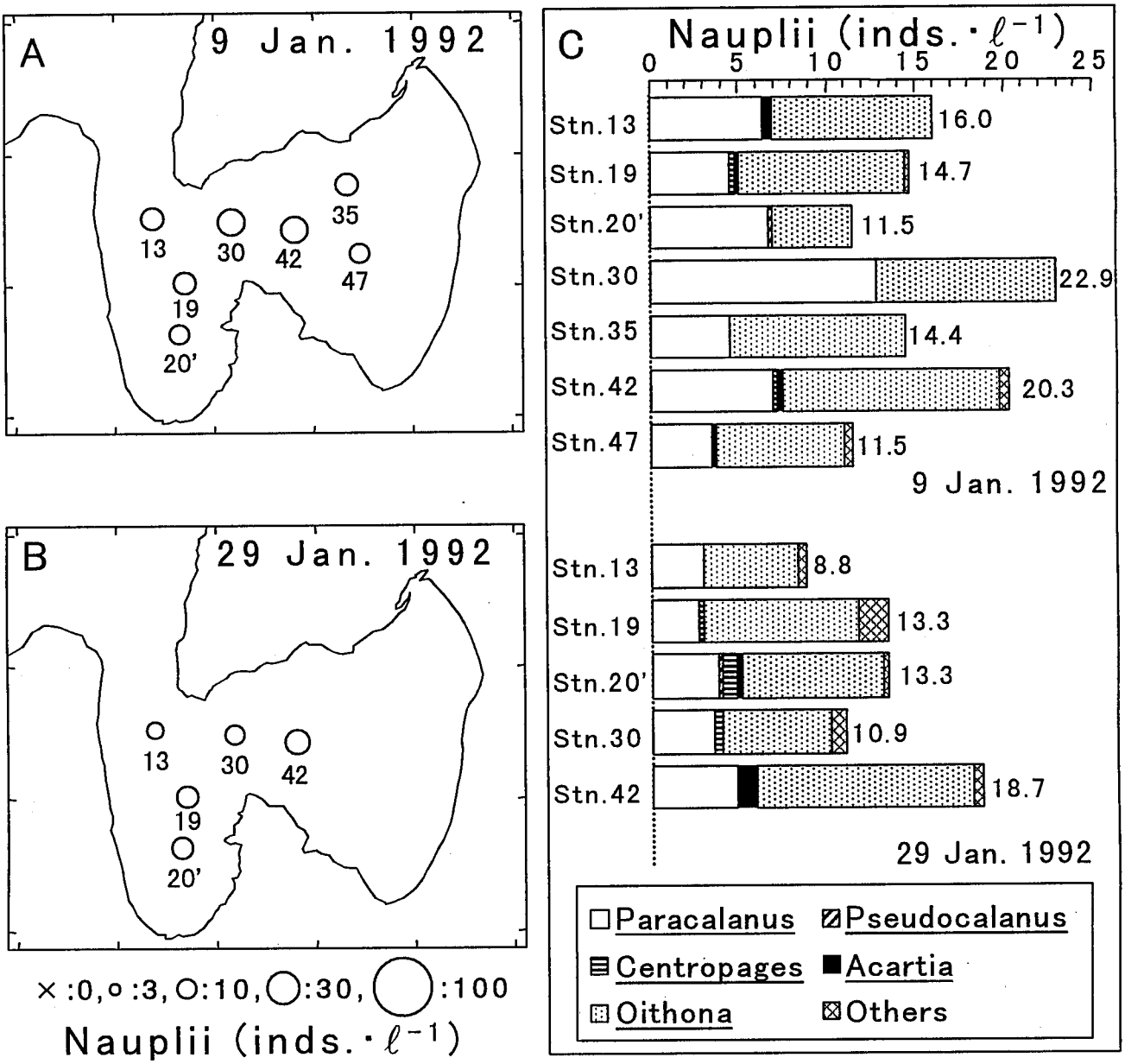


Fig. II-9. Horizontal distributions of copepod nauplii measuring 67.5–195μm in prosome width obtained by filtering 30ℓ pumped water at 10m depth on 9 January and 29 January 1992. Numerals show station numbers, and the area of each circle is proportional to the concentration (inds・ℓ^{-1}, A–B).

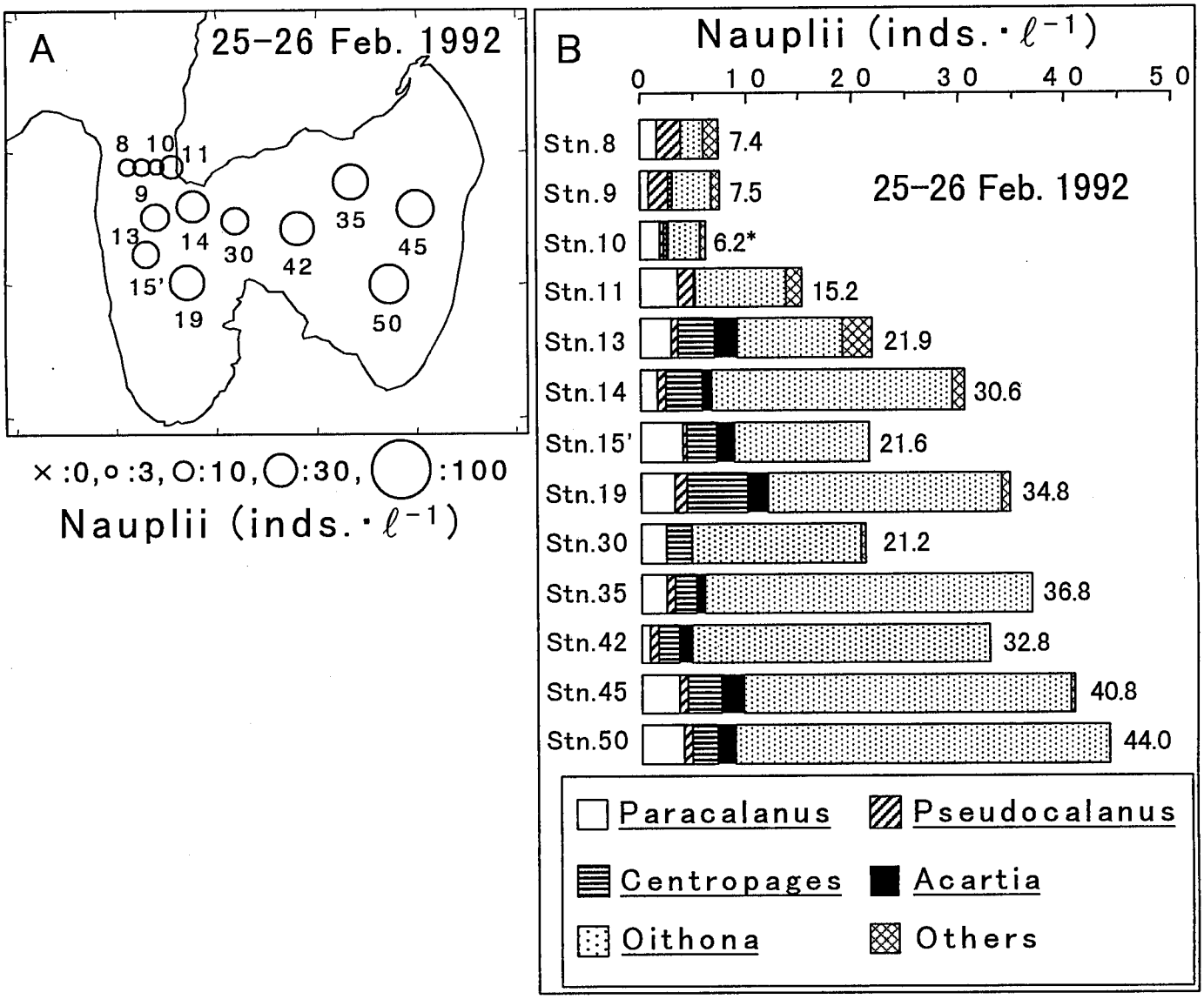


Fig. II-10. Horizontal distribution of copepod nauplii measuring 67.5–195μm in prosome width obtained by filtering 20ℓ water collected with a pair of Van-Dorn bottles at 15m depth during 25–26 February 1992. Numerals show station numbers, and the area of each circle is proportional to the concentration (inds.・ℓ^{-1}, A). The value at Stn.10 with asterisk is mean density of 10m depth and 20m depth samples.

達した油球を持つ個体がしばしばみられたが，それらの個体の計数は行っていない。

1991年と1992年2月におけるかいあし類コペポダイトの分布密度と分類群組成

1991年2月の西湾と東湾，1992年2月の湾口部，西湾，東湾の5つの水域において，NORPACネットの鉛直曳きにより採集されたかいあし類カラヌス目コペポダイトの分布密度の中央値は水域間で異なっていた(Fig. II-11)。クラスカル・ウオリス検定による比較ではこの5つの水域間に有意差がみられた($KW=18.1$, $df=4$, $P=1.2\cdot10^{-3}$)。1991年と1992年の両年ともに西湾と東湾の間で，分布密度に有意差はみられなかった(U検定，1991年：$Us=29$, $n=9,4$, $P>0.10$；1992年：$Us=20$, $n=8,4$, $P>0.20$)。両年ともに採集が行われた地点は湾内の9地点であり，これらの地点で分布密度を比較すると，1991年は1992年に比べて有意に高かった(U検定，$Us=76$, $n=9,9$, $P<0.002$)。1991年は1992年よりもParacalanus parvusとCentropages abdominalisの分布密度が高く，逆にPseudocalanus属の分布密度が低かった。

1991年2月の3地点では，Oithona属全体に対してOithona similisが占める個体数割合は低かった(Fig. II-12)。1992年2月も湾口部Stn. 8および西湾北部Stn. 19でもO. similisの割合は低かったが，東湾Stn. 50では高い割合を占めた(51%)。O. plumiferaとO. longispinaの成体はともに暖海性種であり(西田，1997)，陸奥湾では1992年にのみ採集された。NORPACネット(0.33mm目合)で採集されたすべてのOithona属の体幅(PW)は，127μmから344μmの範囲であり，全計測個体の99.6%が体幅330μm未満であった。このため，両年の間でOithona属の分布密度の比較は行わなかった。

考察

前体部幅(PW)67.5-195μmのかいあし類ノープリウスは，湾口部Stn. 10では密度躍層に集中し，鉛直的な分布密度の差は最大4.3倍と大きかった(Fig. II-5, Fig. II-7)。一方湾内ではノープリウスの分布密度は常に表層域で高かったが，鉛直的な分布密度

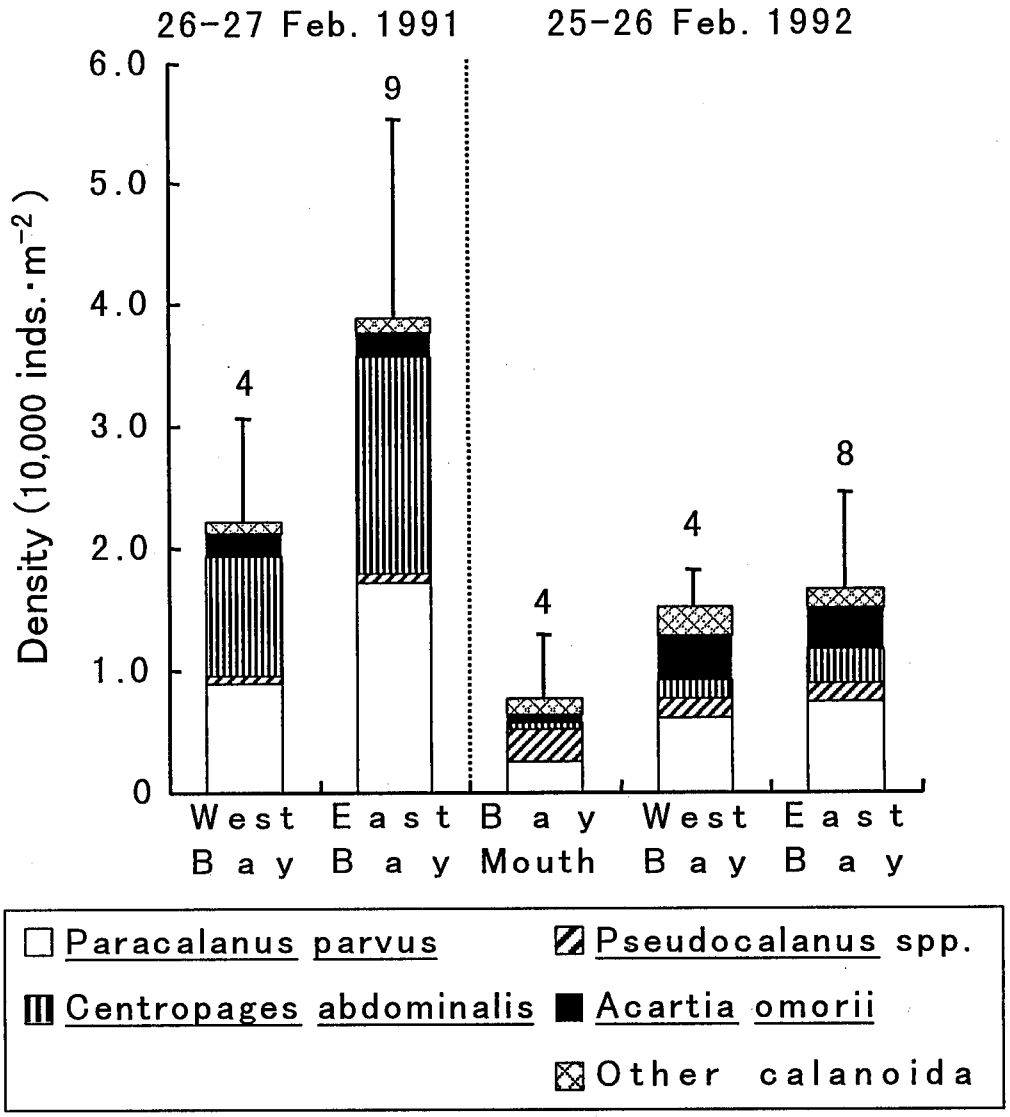


Fig. II-11. Median densities of calanoid copepods collected by vertical hauls with a NORPAC net (0.33mm mesh) in Mutsu Bay during 26-27 February 1991 and 25-26 February 1992. Each numeral and vertical bar shows sample size and median +1 standard deviation, respectively.

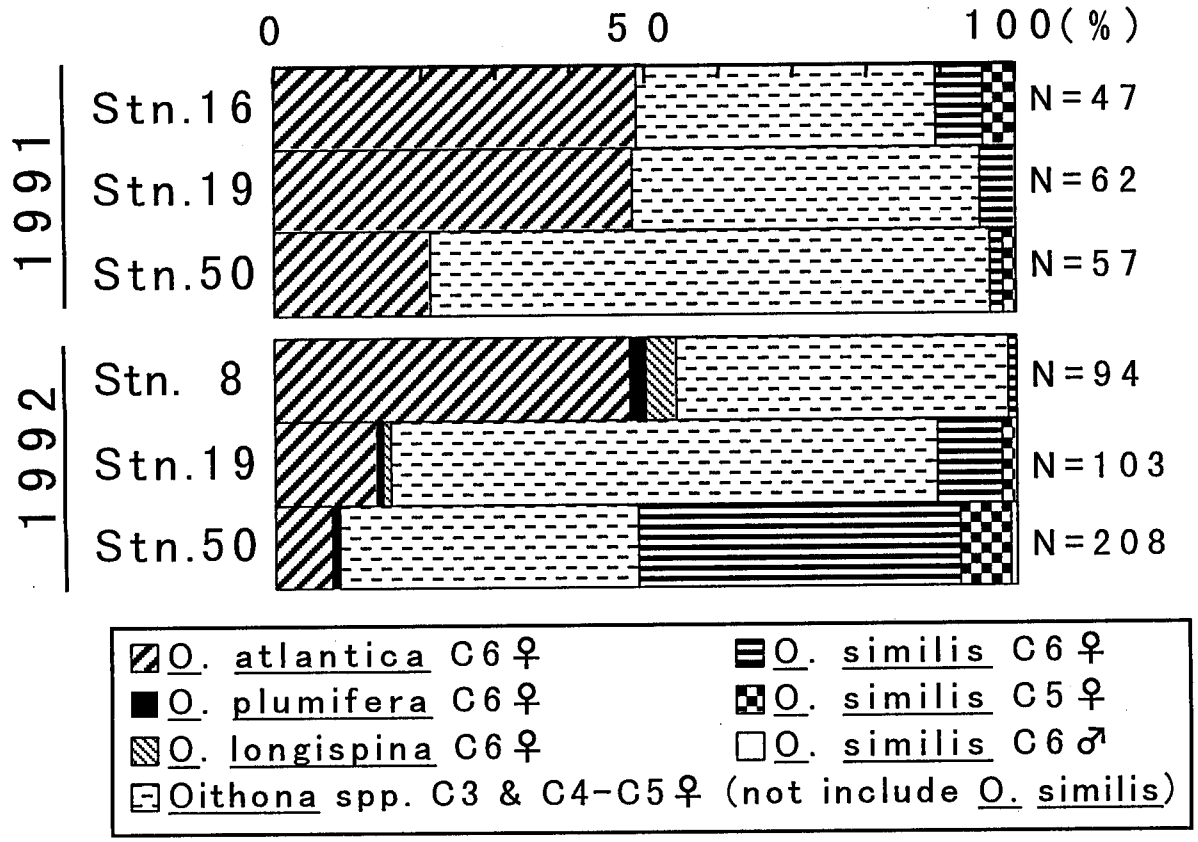


Fig. II-12. Species and developmental stage composition of Oithona spp. collected by vertical hauls with a NORPAC net (0.33mm mesh) in Mutsu Bay during 26-27 February 1991 and 25-26 February 1992. Oithona spp. copepodites (copepodite stage III to V) were distinguished between O. similis and other Oithona spp. N: number of individuals examined.

の差は2.0倍以下であった(Fig. II-6, Fig. II-7)。1992年2月25日のStn.10ではノープリウスの分類群組成に鉛直的な差がみられ，Oithona属は水深30-40m層で(Fig. II-7)，Paracalanus属は水深20-40m層で，Oncaea属は水深1-10m層で分布密度が高かった。これらの結果から，ノープリウスは鉛直混合が進んだ冬季の湾内では，湾口部に比べると分布密度の鉛直的な差は小さいものと考えられる。また湾口部ではノープリウスは密度躍層に集中し，表層を覆う津軽暖流水にはノープリウスは少ないものと考えられる。このような躍層の有無によるノープリウスの鉛直分布密度の違いは，Incze et al. (1996)によっても観察されており，ある程度一般的なものと考えられる。

1991年2月にはCentropages属ノープリウスの割合が高く(46-72%, Fig. II-8)，分類群組成の水平的な違いは有意ではあったが($P=0.014$)，1992年2月($P=7.7\cdot10^{-34}$)に比べるとその差は小さかった。1992年は1月，2月ともに主としてOithona属ノープリウスが優占した(30-85%, Fig. II-9, Fig. II-10)。また，水深15m層におけるかいあし類ノープリウスの分布密度の変動係数(CV%)は，1991年に比べて1992年は大きかった(Table II-2)。このような違いはおそらく津軽暖流水(TWC)の陸奥湾への流入量の差を反映した結果と考えられる。C. abdominalisとPseudocalanus属のコペポダイトは，秋季の陸奥湾には出現しない(永峰ら，1981)。北海道沖合の太平洋においてP. newmaniとP. minutusは10月にそれぞれ50m以深と200m以深に分布する(山口・志賀，1997)。陸奥湾に冬季に出現するPseudocalanus属コペポダイトは湾外から輸送され，1992年2月は1991年2月よりも分布密度が高かった(Fig. II-11)。Pseudocalanus属(Corkett and McLaren, 1978)やOithona属はメス成体が卵を抱えて運ぶため，ノープリウスは普通成体とともに出現するが，C. abdominalisは成体が出現しなくても湾内海底上に分布する休眠卵からノープリウスが孵化する(Kasahara et al., 1975)。C. abdominalisのコペポダイトは1991年2月には分布密度が高かったが，1992年は低かった(Fig. II-11, Table II-2)。つまり1991年は湾外と湾内の水塊交替量が少なかったために内湾を起源とするCentropages属ノープリウスが卓越し，1992年は交替量が多かったためにPseudocalanus属をはじめとする湾外を起源とする分類群の分布密度が高

Table II-2. Hydrographic conditions, abundance and taxa of nauplii measuring 67.5–195μm in prosome width as prey for Pacific cod post-larvae, and Calanoid copepodites in Mutsu Bay in February 1991 and in January and February 1992. Numerals show minimum-median-maximum values, respectively

			26–27 Feb. 1991	9 Jan. 1992	29 Jan. 1992	25–26 Feb. 1992	
			Inner part of the bay (West & East Bay)	Inner part of the bay	Inner part of the bay	Inner part of the bay (West & East Bay)	Bay mouth
Hydrographic conditions at 10m and 15m depth	Salinity (PSU)		33.18–33.34–33.42			33.64–33.78–33.89	33.87–33.91–33.93
	Temperature (°C)		4.2–5.0–5.9	7.4–9.0–10.1	6.9–8.6–10.0	4.5–5.6–7.7	7.1–8.5–8.6
	Sigma-t ($kg \cdot m^{-3}$)		26.29–26.32–26.35			26.44–26.62–26.68	26.34–26.35–26.51
Nauplii at 10m and 15m depth	Concentration of suitable size (67.5–195μm PW) as prey for Pacific cod larvae ($inds. \cdot \ell^{-1}$)		17.8–22.4–26.8	11.5–14.7–22.9	8.8–13.3–18.7	21.2–32.8–44.0	6.2–7.4–15.2
	CV%		13%	27%	28%	27%	46%
	Order of dominance	1	Centropages	Oithona	Oithona	Oithona	Oithona
	(high to low)	2	Oithona	Paracalanus	Paracalanus	Centropages	Paracalanus
		3	Paracalanus	Acartia	Oncaea	Paracalanus	Pseudocalanus
		4	Acartia	Oncaea	Centropages	Acartia	Oncaea
Calanoid Copepodites	Density (10,000 $inds. \cdot m^{-2}$)		1.0–3.1–7.4			1.0–1.6–3.5	0.23–0.74–1.4
	CV%		48%			41%	67%
	Order of dominance	1	Centropages			Paracalanus	Pseudocalanus
	(high to low)	2	Paracalanus			Acartia	Paracalanus
		3	Acartia			Centropages	Acartia
		4	Pseudocalanus			Pseudocalanus	Metridia

かったものと考えられる。ところでOithona属のコペポダイト1期から5期まで(C1-C5)は種レベルで同定できないため，冬季湾内に出現するOithona属のノープリウスの起源が秋季に湾内に分布する成体か，湾外に分布する種であるのか不明である。ただし，1992年2月の東湾Stn. 50ではO. similisの占める個体数割合が他の地点よりも高く(Fig. II-12)，この時期の東湾ではよく発達した油球を持つOithona属のノープリウスがO. similisのメス成体とともに出現していた。これらの結果より，1992年2月に東湾でみられたOithona属ノープリウスの高い分布密度は，主にO. similisによって支えられていたものと推察される。

1991年2月には，湾口部での海況データが得られていないが，湾内の水温と海水密度の水平勾配は1992年よりも緩慢であった(Fig. II-3)。1991年3月11日と1992年2月29日の日本海の1地点(41°00'N, 140°00'E)における海面から100m水深までの平均水温および塩分値はそれぞれ，9.3 °Cと33.81 PSU，9.2 °Cと33.87 PSUであった(青森県水産試験場，1995a; 1995b)。水温を1.1℃低下させてから求めたσ_tの値は，1991年が26.31 kg·m^{-3}，1992年が26.37 kg·m^{-3}であり，両年の間でσ_tの値に大きな差はみられない(Fig. II-13)。湾内における水深15m層の平均海水密度は1991年が26.32 kg·m^{-3}，1992年が26.62 kg·m^{-3}であり(Table II-2)，鉛直的にほぼ均質の水塊であった。これらの値からも1992年は水平的に広がったフロントが津軽暖流水と湾内水の間に生じ，密度流によって大量の水塊が交換されたものと考えられる。しかし1991年は，これら2水塊間の海水密度の差は小さく，1992年に比べてあまり水塊の交替が進まなかったことを裏付けているものと考えられる。1991年2月の湾内にみられた低密度水は，前年1990年秋季の多量の降水量に起因する淡水の流入があったため生じたものと考えられる(Fig. II-14，青森市における9月から12月の全降水量，1990年: 669mm; 1991年: 390mm，気象庁，1973-1997)。以上のように陸奥湾における冬季のかいあし類ノープリウスの分類群組成は，地域的な気象条件に起因する海洋構造の年変動によって変化するものと結論付けられる。

Paul (1983)は，摂餌開始期のスケトウダラ仔魚が必要とするかいあし類ノープリウ

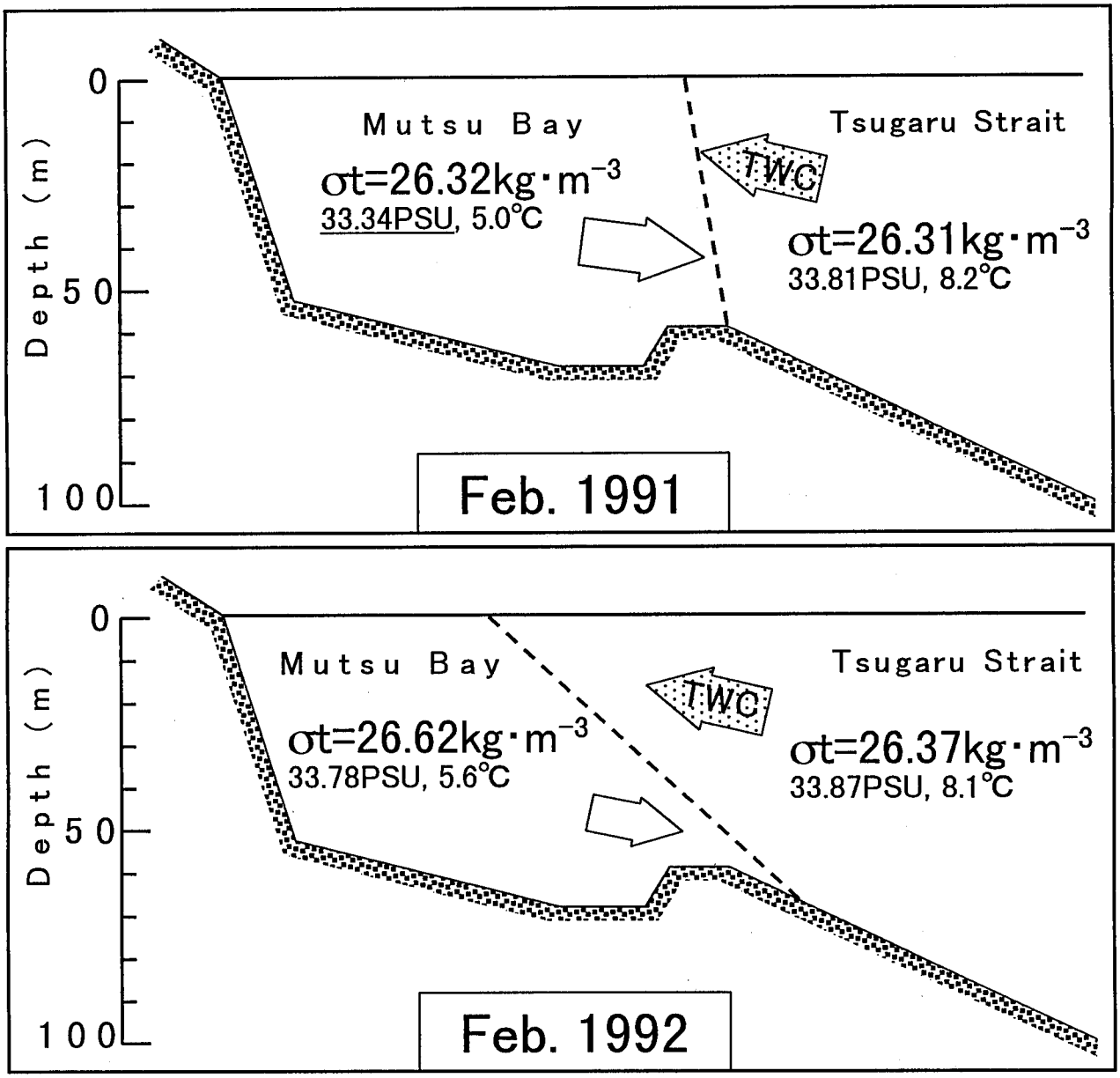


Fig. II-13. Diagram of oceanographic structure in Mutsu Bay and offshore waters in Tsugaru Strait during 26-27 February 1991 and 25-26 February 1992.

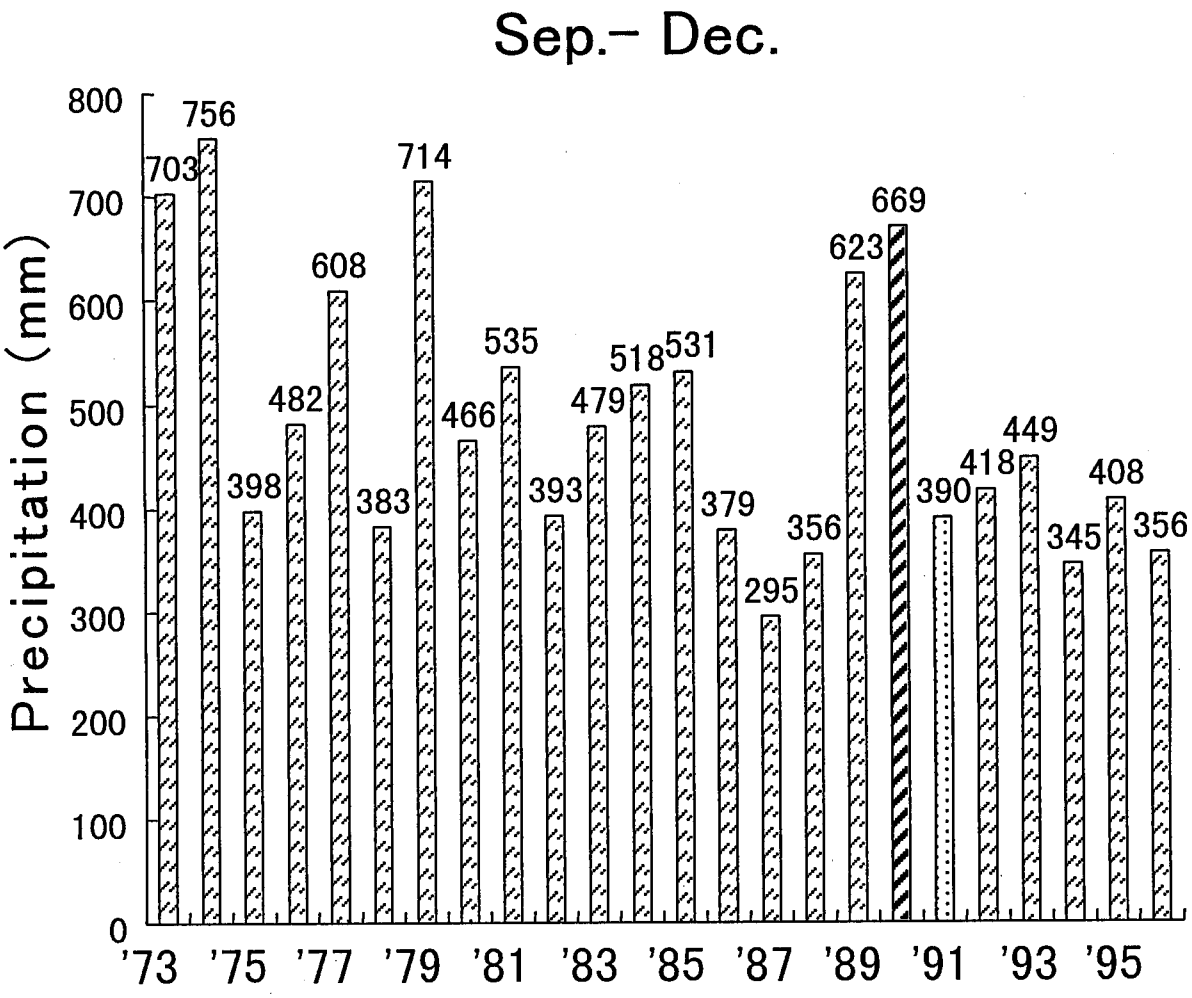


Fig. II–14. Annual fluctuations of total precipitation at Aomori City from September to December in 1973–1996 (The Japan Meteorological Agency, 1973–1997).

スの分布密度を飼育実験により8 inds.·ℓ^{-1}から10 inds.·ℓ^{-1}以上と推定している。Haldorson et al. (1989)はスケトウダラ仔魚が十分な摂餌を行うためには全長150–350μmのノープリウスが20 inds.·ℓ^{-1}以上必要であると推定している。Paul et al. (1991)は1986年から1989年の調査によってアラスカ州オーク湾では，おおよそ10–15 inds.·ℓ^{-1}という分布密度が，大量のスケトウダラ仔魚を死亡させる原因とはならないことを示した。マダラ仔魚が必要とするノープリウスの分布密度は知られていないが，摂餌開始期の仔魚が捕食するノープリウスのサイズはすでに前章で明らかにした通り体幅67.5–195μmであり，スケトウダラ(体幅84μm以上；Nakatani, 1995)に比べてやや小型のノープリウスも捕食する。しかしマダラ仔魚の形態(Matarese et al., 1981; Dunn and Vinter, 1984; Matarese et al., 1989)と生活様式(後述)は，スケトウダラのそれと非常に似通っており，同様なかいあし類ノープリウス分類群を利用する(Kendall et al., 1987, 第Ⅰ章)。ノープリウス(67.5–195μm PW)の分布密度の中央値は1992年1月9日の水深10m層では14.7 inds.·ℓ^{-1}，1992年1月29日の水深10m層では13.3 inds.·ℓ^{-1}であった(Table II-2)。また1991年2月下旬と1992年2月下旬の水深15m層における分布密度の中央値はそれぞれ22.4 inds.·ℓ^{-1}と32.8 inds.·ℓ^{-1}であった。スケトウダラ仔魚の知見を適用して考えると，20 inds.·ℓ^{-1}を上回る両年2月下旬のこれらの中央値はマダラ仔魚の生残にとっても，十分な分布密度であろう。しかし1992年1月には13–15 inds.·ℓ^{-1}と低く，仔魚の生残に対する影響をさらに検討する必要があるものと考えられる。

前章でも述べたようにPseudocalanus属ノープリウスは，マダラ仔魚とスケトウダラ仔魚の両者にとって相対的に大型の餌であり，他のノープリウスに比べて消化管から出現する割合が高い(Kendall et al., 1987, 第Ⅰ章)。また陸奥湾ではPseudocalanus属ノープリウスの分布密度は津軽暖流水の流入量に関連していた。1991年は津軽暖流水の流入量が少なかったため，分離浮遊卵であるスケトウダラの卵および表層近くに分布する仔魚は，湾外の産卵場(おそらくは日本海，高津ら，1992)から湾内へ輸送される個体が少なかったものと考えられる。一方マダラ成魚は湾内で産卵するため

(川村・小久保, 1950; Hattori et al., 1992), Pseudocalanus属を除いた湾内に高密度に分布するノープリウスを, 1991年と1992年の両年ともにマダラ仔魚は捕食可能であったものと思われる。すなわち, 陸奥湾はスケトウダラに比べてマダラの成育場として, より適している可能性がある。この差は産卵場が形成される場所と, 海洋構造の年変動に起因するものと考えられる。

本章では摂餌開始期のマダラ仔魚の餌であるかいあし類ノープリウスの分布密度を検討した。今後マダラ仔魚の生残率や成長様式を検討するためには, マダラ仔魚にとって必要な限界餌料密度を明らかにする必要がある。

Ⅲ. マダラ仔稚魚とかいあし類の時空間分布

目 的

第Ⅰ章では全長7mm以下のマダラ後期仔魚が初期餌料としてかいあし類ノープリウスを捕食し，全長7-70mmの仔稚魚はかいあし類コペポダイトを，70mm以上の個体は端脚類ヨコエビ亜目と魚類を主に捕食することを明らかにした。また，第Ⅱ章ではかいあし類ノープリウスの空間分布と分布密度を明らかにした。マダラ仔稚魚の空間分布に関しては，Walters (1984), Boehlert et al. (1985), Rugen and Matarese (1988), 與世田ら(1992)の報告があるが，陸奥湾における知見はない。魚類の初期生残機構を解明するためには，年級群変動を決定付けると考えられる仔稚魚期の時空間分布を明らかにする必要がある。ここでは陸奥湾におけるマダラ仔稚魚とその餌生物の空間分布との関係を明らかにすることを目的とした。

材料および方法

野外調査

調査は1988-1997年の2月から7月までの期間，陸奥湾において北海道大学水産学部研究調査船うしお丸(107.85トン後に128トン)と練習船おしょろ丸(1,383トン)を使用して行われた(Fig. Ⅲ-1, Table Ⅲ-1)。2月から4月の期間，マダラ仔稚魚はプランクトンネット(口径：1.0m，目合：0.33mm)，稚魚ネット(口径：1.3m，目合：0.62mm，胴尻目合：0.33mm)，ビームトロールネット(第Ⅰ章参照)の水平各層曳きによって採集した。このビームトロールネットは，網口から胴尻に向かって順に13mm，3.1mm，0.33mm (1989-1990年)あるいは13mm，3.1mm，0.72mm (1991-1997年)の目合で構成され，3.1mm目合の開口面積は0.90m^2，0.33mmおよび0.72mm目合の開口面積は0.16m^2である。5月から7月には稚魚はオッタートロールネット(第Ⅰ章参照)の中層あるいは着底曳きによって採集した。プランクトンネットと稚魚ネットにはフローメータを取り付け

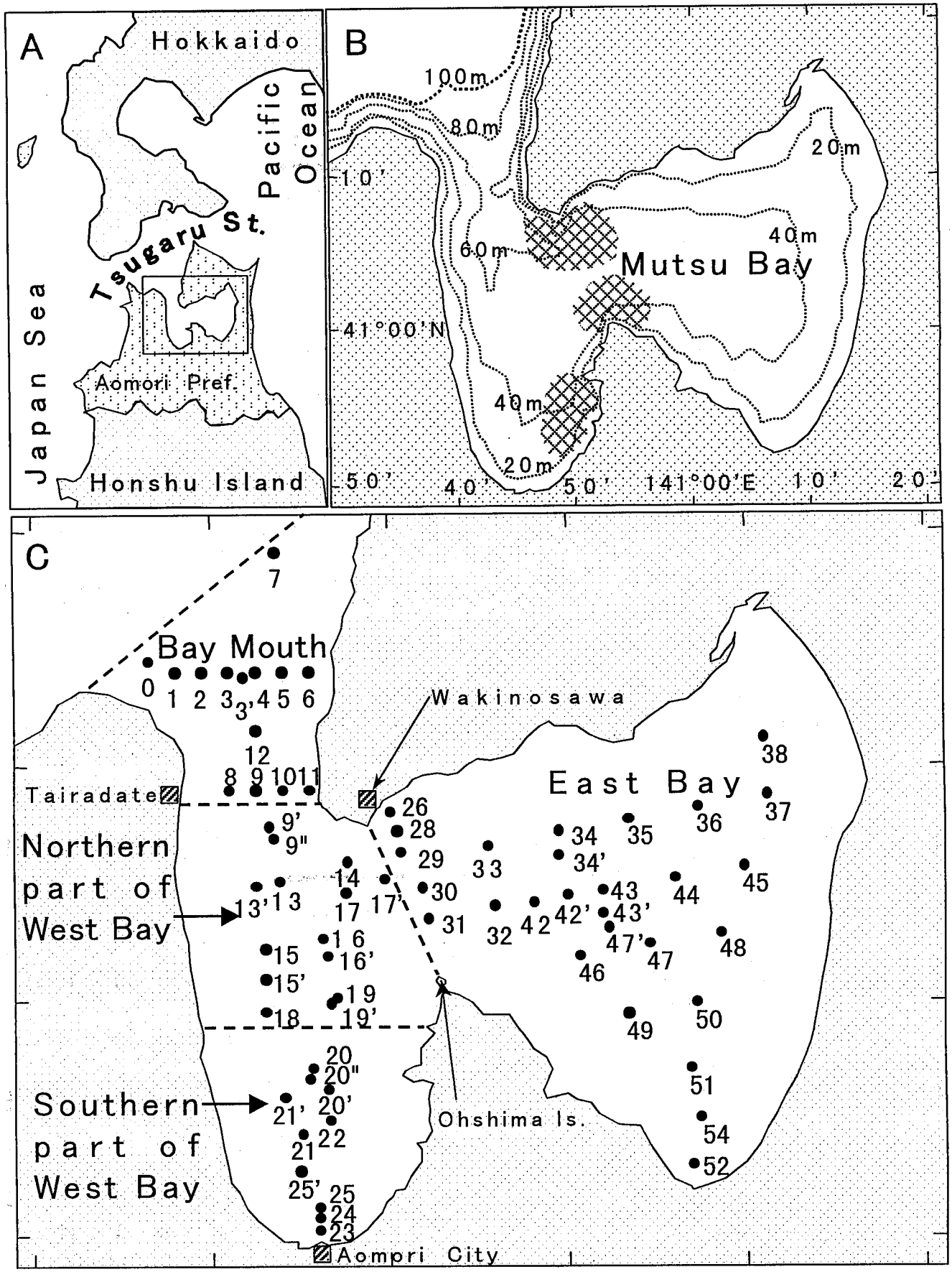


Fig. III-1. Location of Mutsu Bay (A), contours of depth and three locations of spawning ground of Pacific cod (checkers) reported by Kawamura and Kokubo (1950) (B), and locations of sampling stations (C).

Table III-1. Number of sampling stations and samples in Mutsu Bay. Samplings were carried out by T/S Oshoro-maru (asterisks) and R/V Ushio-maru

	Date	Sampling gear	Target	Number of sampling stations	Number of samples
	7-8 Feb. 1990	Ring net vertical haul	Pacific cod larvae	8	17
		Larva net horizontal haul	Pacific cod larvae	5	6
		Beam Trawl net	Pacific cod larvae	5	6
	25-26 Feb. 1992	Beam Trawl net	Pacific cod larvae	9	12
	26-27 Feb. 1991	Beam Trawl net	Pacific cod larvae	6	8
	1-6 Mar. 1989	Beam Trawl net	Pacific cod larvae	18	23
	2 Mar. 1989	Larva net horizontal haul	Pacific cod larvae	2	4
*	7-9 Apr. 1991	Beam Trawl net	Pacific cod larvae and juveniles	6	15
*	9 Apr. 1991	MTD nets	Calanoids	2	9
	9-11 Apr. 1991	Beam Trawl net	Pacific cod larvae and juveniles	14	14
	12-15 Apr. 1993	Beam Trawl net	Pacific cod larvae and juveniles	8	12
	14-16 Apr. 1992	Beam Trawl net	Pacific cod larvae and juveniles	12	16
	15-16 Apr. 1992	MTD nets	Calanoids	2	6
	24-27 Apr. 1990	Beam Trawl net	Pacific cod larvae and juveniles	11	17
	25-26 Apr. 1990	MTD nets	Calanoids	3	9
	18-23 May 1989	Otter Trawl net (mid-water)	Pacific cod juveniles	5	6
		Otter Trawl net (bottom)	Pacific cod juveniles	13	13
	3-6 June 1997	Otter Trawl net (bottom)	Pacific cod juveniles	7	7
	4-6 June 1996	Otter Trawl net (bottom)	Pacific cod juveniles	6	6
	5 June 1998	MTD nets	Calanoids	1	3
	7-8 June 1995	Otter Trawl net (bottom)	Pacific cod juveniles	6	6
	11-14 June 1991	Otter Trawl net (bottom)	Pacific cod juveniles	5	5
	13-14 June 1990	Otter Trawl net (bottom)	Pacific cod juveniles	5	5
	22-24 June 1993	Otter Trawl net (bottom)	Pacific cod juveniles	6	6
		MTD nets	Calanoids	3	9
	28-30 June 1994	Otter Trawl net (bottom)	Pacific cod juveniles	7	7
	12-18 July 1988	Smith-McIntyre grab	Gammarids	22	66
	18-22 July 1989	Otter Trawl net (mid-water)	Pacific cod juveniles	4	4
		Otter Trawl net (bottom)	Pacific cod juveniles	11	11

て濾水量を推定した。1990年2月には各調査地点で，プランクトンネットによる海底直上から海面までの鉛直曳き採集を行い，0.5 m·sec^{-1}の速度で1-3回繰り返した。稚魚ネットは1.0 m·sec^{-1}の速度で10分間水平曳きした。ビームトロールネットおよびオッタートロールネットは約1.5 m·sec^{-1}の速度で目的とする水深層で10-15分間曳網した。曳網水深は稚魚ネットの場合はワイヤの繰り出し長と傾角によって求めた。ビームトロールネットとオッタートロールネットはネットモニタ((株)カイジョー)で曳網水深を監視し，ワイヤ長によって曳網水深を維持した。マダラ仔稚魚は採集後直ちに5-10%の中性海水フォルマリン溶液で固定し，24-36時間後に70%エタノール溶液に移した。

1990-1992年4月と1993年6月，1998年6月には，フローメータを取り付けたMTDネット(口径：0.56m，目合：0.33mm，Motoda，1971)の3層同時曳網によってかいあし類カラヌス目コペポダイトを採集した(Table III-1)。動物プランクトン標本は採集後直ちに5%中性海水フォルマリン溶液で固定した。1988年7月12-18日には端脚類ヨコエビ亜目の水平分布密度を調べるために，Smith-McIntyre型採泥器(採泥面積：0.1m^2)による標本採集を行った(Table III-1)。各地点3回づつ採集された22地点分の表底堆積物は1.0mmの篩上で洗浄した後，残存物を10%中性海水フォルマリン溶液で固定した。各観測点では水温·塩分をVARIOSENS III (Impulsphysic GMBH)，CTD (Neil Brownおよび Sea Bird Electronics)，DBT (METOCEAN，水温のみ)で計測した。

<u>魚体測定と数値解析</u>

実験室でマダラ仔稚魚の個体数を計数し，電子ノギスで全長を測定した(仔魚は0.05mm単位，稚魚は0.1mm単位)。ビームトロールネットの開口面積は2-3月には0.16m^2，4月には0.90m^{2}とし，これに目的とする水深層を曳網する間に電磁ログによって積算された曳網距離を掛け合わせて濾水量を推定した。ただし，ここではビームトロールネットの濾水効率を100%と仮定している。また，全長19mmの仔魚の体高は3.1mmであり，1989年3月上旬に採集された個体の97%がこの全長19mm以下であり，4月に採集された仔稚魚の90%はこの全長を上回っていたために，これらの開口面積

を用いた。オッタートロールネットの開口面積は25.96m^2(網口：4.4m×5.9m)とし，ビームトロールネットと同様に目的とする水深層を曳網する間の曳網距離を掛け合わせて濾水量を推定し，濾水効率を100%と仮定している。

3標本以上の全長の比較には，一元配置の分散分析とシェフェのS検定による多重比較を用いたが，バートレット検定によって分散の等質性が保証されない場合は対数変換した全長を用い，対数変換した全長においてもバートレット検定によって等分散が仮定できない場合は，一元配置の分散分析のかわりにクラスカル・ウオリス検定を用いた。ただし1989年3月と5月の標本では全長組成のヒストグラムに対称性がみられなかったため，バートレット検定によって等分散が仮定されたとしても，2標本間の全長の比較ではマン・ホイットニーのU検定を，3標本以上の比較ではクラスカル・ウオリス検定とシェフェのS検定による多重比較を用いた。1991年4月のStn. 32におけるマダラ仔稚魚の鉛直分布を昼間・日没時・夜間の3つの時間帯間で比較するために，対数変換した分布密度を二元配置の分散分析によって検定した。2水域間の稚魚の分布密度の比較には，標本数が十分ではなかったためにマン・ホイットニーのU検定を用いて検定した。有意水準はすべて0.05を用いた。

結 果

2月および3月におけるマダラ仔魚の空間分布

卵黄を持っている前期仔魚は1990年2月上旬と1989年3月上旬の湾口部Stn. 10でのみ採集された(Table III-2)。1990年2月上旬には，全長3.95mmの前期仔魚1個体がStn. 10の水深30m層で採集された(Fig. III-2-B)。1989年3月上旬には全長3.20-5.30mm（平均±標準偏差=4.4±0.65mm)の前期仔魚がStn. 10の水深45m層から採集された(Fig. III-3, Table III-2)。これら12個体以外の前期仔魚は他のいずれの地点・時期にも採集されなかった。

卵黄をすでに吸収し尽くした後期仔魚は，1990年，1991年，1992年各年の2月には，

Table III-2. Total number of individuals, weighted mean total length (TL), and TL range of Pacific cod in Mutsu Bay from 1989 to 1997. Weighted mean lengths were calculated by cod densities at each sampling station

Sampling date	Number of individuals sampled			Total length (mm)		
	Yolk-sac larvae	Post larvae	Juveniles	Weighted mean	Minimum	Maximum
7-8 Feb. 1990	1	12	-	5.22	3.50	10.20
25-26 Feb. 1992	-	46	-	13.32	4.55	19.95
26-27 Feb. 1991	-	42	-	9.54	3.60	15.50
1-6 Mar. 1989	11	1,348	1	7.00	3.20	26.8
9-11 Apr. 1991	-	116	195	25.8	5.05	36.1
12-15 Apr. 1993	-	2	-	19.45	17.50	21.40
14-16 Apr. 1992	-	15	50	31.3	13.00	46.3
24-27 Apr. 1990	-	3	167	37.9	20.94	56.7
18-23 May 1989	-	-	1,099	59.3	37.0	107.6
3-6 June 1997	-	-	1,135	62.8	37.0	90.2
4-6 June 1996	-	-	902	54.1	36.4	86.1
7-8 June 1995	-	-	420	67.8	41.4	94.8
11-14 June 1991	-	-	525	69.4	51.7	87.4
13-14 June 1990	-	-	161	69.1	43.0	84.4
22-24 June 1993	-	-	250	64.9	52.3	86.1
28-30 June 1994	-	-	227	70.9	49.9	106.6
18-22 July 1989	-	-	139	103.2	73.8	174.0

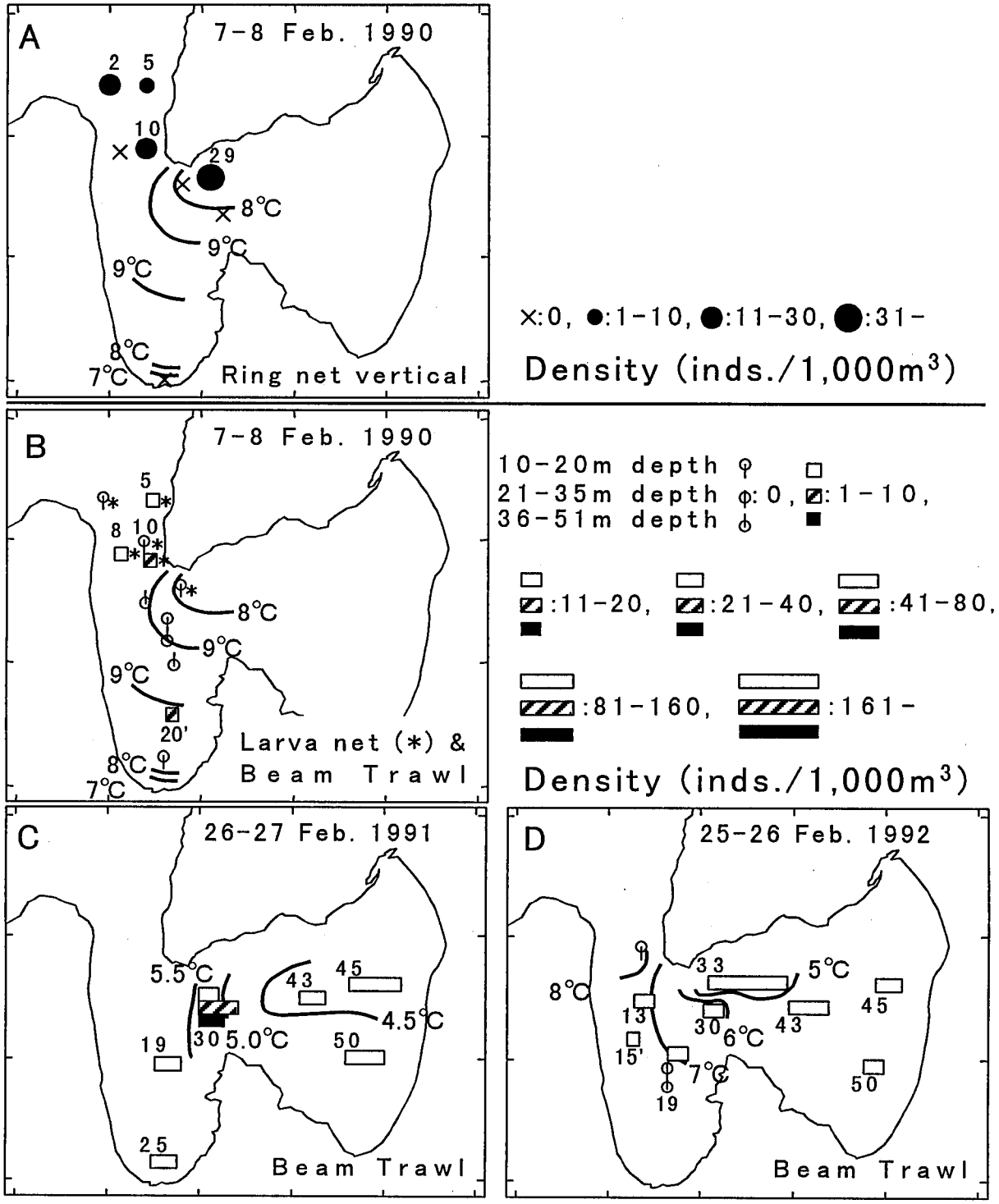


Fig. III-2. Spatial distributions of Pacific cod larvae (yolk-sac larvae and post-larvae) collected by vertical hauls with a ring net in A, horizontal hauls with a larva net in B with an asterisk, and a beam trawl net in B-D with contours of water temperatures (solid lines) at 15m depth in February 1990-1992. The densities of each towing depth in B-D were grouped into three strata. Each numeral shows station number.

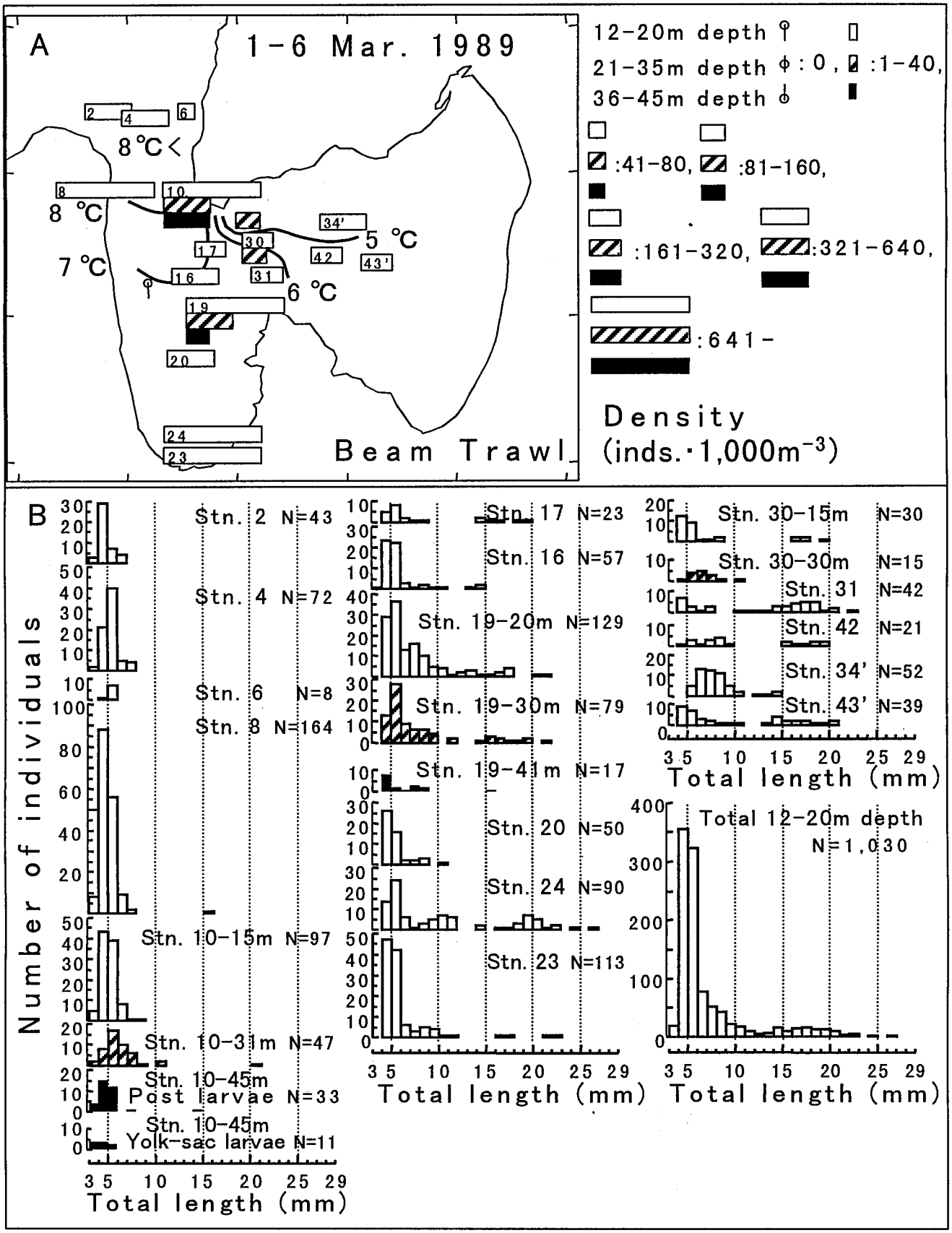


Fig. III-3. Spatial distribution of Pacific cod larvae and juveniles with contours of water temperatures (solid lines) at 15m depth (A) and length frequency distributions (B) of cod collected by horizontal hauls with a beam trawl net in 1-6 March 1989. The densities of each towing depth were grouped into three strata. Each numeral in A shows station number. Yolk-sac larvae and post larvae are separately shown in B. N: number of fish measuring.

水深10mから45mまでの範囲で採集された(Fig. III-2-B～D)。1990年2月には全長3.50-5.30mm (平均±標準偏差=4.4±0.62mm)の後期仔魚9個体が湾口部から採集され，これらの個体とは別に全長5.15mmの1個体が西湾南部Stn. 20'の水深30m層で採集された(Fig. III-2-A～B)。さらに比較的大型の仔魚2個体(全長9.00mmおよび10.20mm)が東湾脇野沢沖のStn. 29でプランクトンネットの鉛直曳きで採集された(鉛直曳き1回のみ実施，Fig. III-2-A)。

1991年2月下旬には，調査は湾内のみで行われた(Fig. III-2-C)。水深11-17m層においては，東湾Stn. 45で最も高い分布密度を記録した(81 inds.・1,000 m^{-3})。東湾Stn. 30では水深によって後期仔魚の全長に有意差は認められず(クラスカル・ウオリス検定，KW=0.22，df=2，P=0.90)，最も小型の仔魚(3.60mm TL)は，水深29m層で採集された。全長4.95mmと5.10mmの小型仔魚はそれぞれ東湾Stn. 50とStn. 45で採集された。これらを除く仔魚の全長範囲は6.00-15.50mmであった。

1992年2月下旬には後期仔魚は湾内に広く分布し，東湾Stn. 33(170 inds.・1,000 m^{-3})で最も分布密度が高く，この地点では水深15m層の水温が最も低かった(Fig. III-2-D)。西湾では2個体の小型後期仔魚（全長4.55mmおよび5.00mm）と，3個体の大型仔魚が採集された(全長13.65-14.65mm)。東湾における後期仔魚の全長は8.65mmから19.95mmの範囲にあり，小型の仔魚はみられなかった。

1989年3月上旬には合計1,348個体の後期仔魚と1個体の稚魚が採集された(Table III-2)。後期仔魚はStn. 28およびStn. 29の水深8mおよび10m層で採集されたが，表層と水深5mでは採集されなかった(Fig. III-4)。またこの時期，後期仔魚はビームトロールネットによって主に水深12-20m層で採集された(Fig. III-3-A)。湾口部Stn. 10で採集された後期仔魚の全長の中央値は，水深15m層で5.1mm(N=97)，水深31m層で5.8mm(N=47)，水深45m層で5.0mm(N=33)であった。これらの全長には有意差がみられ(クラスカル・ウオリス検定，KW=29.3，df=2，$P=4.3\cdot10^{-7}$)，シェフェの多重比較では水深15m層と水深31m層の間と(S検定：$|x_i-x_j|=44.3$，$V_E=2,218$，df=2，174，$P=2.2\cdot10^{-6}$)，水深31m層と水深45m層の間には有意差がみられたが(S検定：

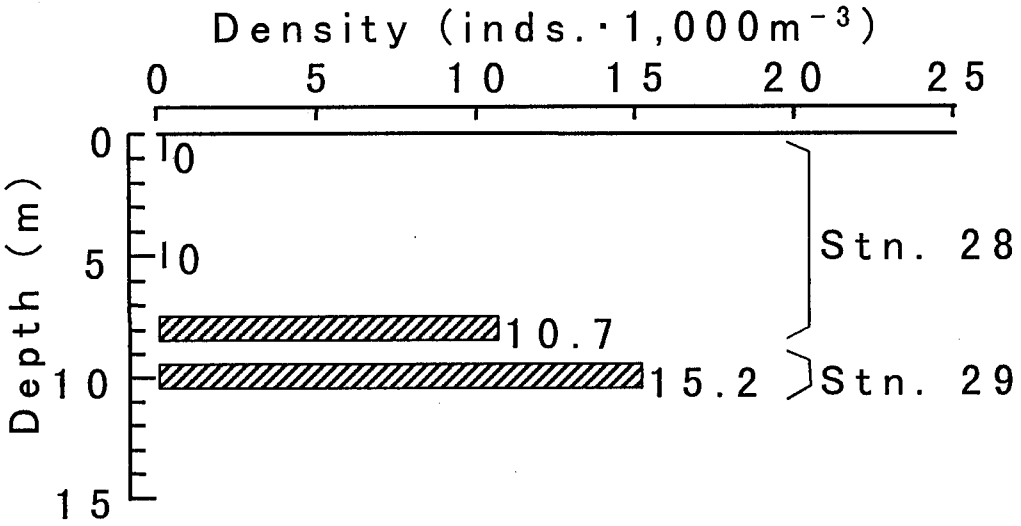


Fig. III-4. Vertical distribution of Pacific cod post-larvae by horizontal hauls with a larva net at Stn. 28 and Stn. 29 off Wakinosawa on 2 March 1989.

$|x_i-x_j|$=53.2, P=9.4·10^{-6}), 水深15m層と水深45m層の間には有意差がみられなかった(S検定: $|x_i-x_j|$=8.86, P=0.65)。すなわち水深31m層における後期仔魚は相対的に大型であった。西湾北部Stn. 19における全長の中央値は, 水深20m層では6.0mm(N=129), 水深30m層では5.9mm(N=79), 水深41m層では5.5mm(N=17)であり, 標本間に有意差はみられなかった(クラスカル・ウオリス検定, KW=3.74, df=2, P=0.15)。東湾脇野沢沖のStn. 30における全長の中央値は, 水深15m層で5.3mm(N=30), 水深30m層では6.6mm(N=15)であり, 標本間に有意差はみられなかった(U検定: *Us*=288.5, *n*=30,15, P=0.13)。

この1989年3月上旬には, 水深12-20m層におけるマダラ後期仔魚の最も高い分布密度は湾口部Stn. 8でみられた(1,200 inds.・1,000 m^{-3}, Fig. III-3)。水深12-20m層におけるすべての採集地点をまとめた全長組成では, 12.05-13.00mmの階級を境として小型個体と大型個体がみられ, 最頻値(モード)は4.05-5.00mmにみられた。また, 水深12-20m層における全長組成の最頻値は, Stn.34'では6.05-7.00mmに, Stn. 42では8.05-9.00mmにみられたが, その他の地点は4.05-5.00mmあるいは5.05-6.00mmにみられた。全長4.00mm以下の小型の後期仔魚は主に湾口部にみられたが(全28個体), 他の水域では西湾北部Stn. 16で1個体のみ出現しただけであった。また, 湾口部では全長13.00mmを超える仔魚はStn. 8で1個体, Stn. 10で2個体しか出現しなかった。

4月におけるマダラ仔稚魚とかいあし類カラヌス目の空間分布

第Ⅰ章において述べたように, マダラ仔稚魚の4月から6月までの主要餌生物はかいあし類カラヌス目コペポダイトである。1990-1992年4月の昼間には, 仔稚魚とカラヌス目コペポダイトは様々な水深に分布したが, カラヌス目の昼間の鉛直分布が得られていない1991年のStn. 32を除いて, カラヌス目の分布密度が高い水深で仔稚魚の分布密度も高かった(Fig. III-5, Fig. III-6)。ただし1990年4月下旬には, Stn. 10付近で海底近くに底建網が設置されていたために, ビームトロールネットによるマダラ稚魚の鉛直分布はStn.10のかわりにStn. 13で調査を行った。

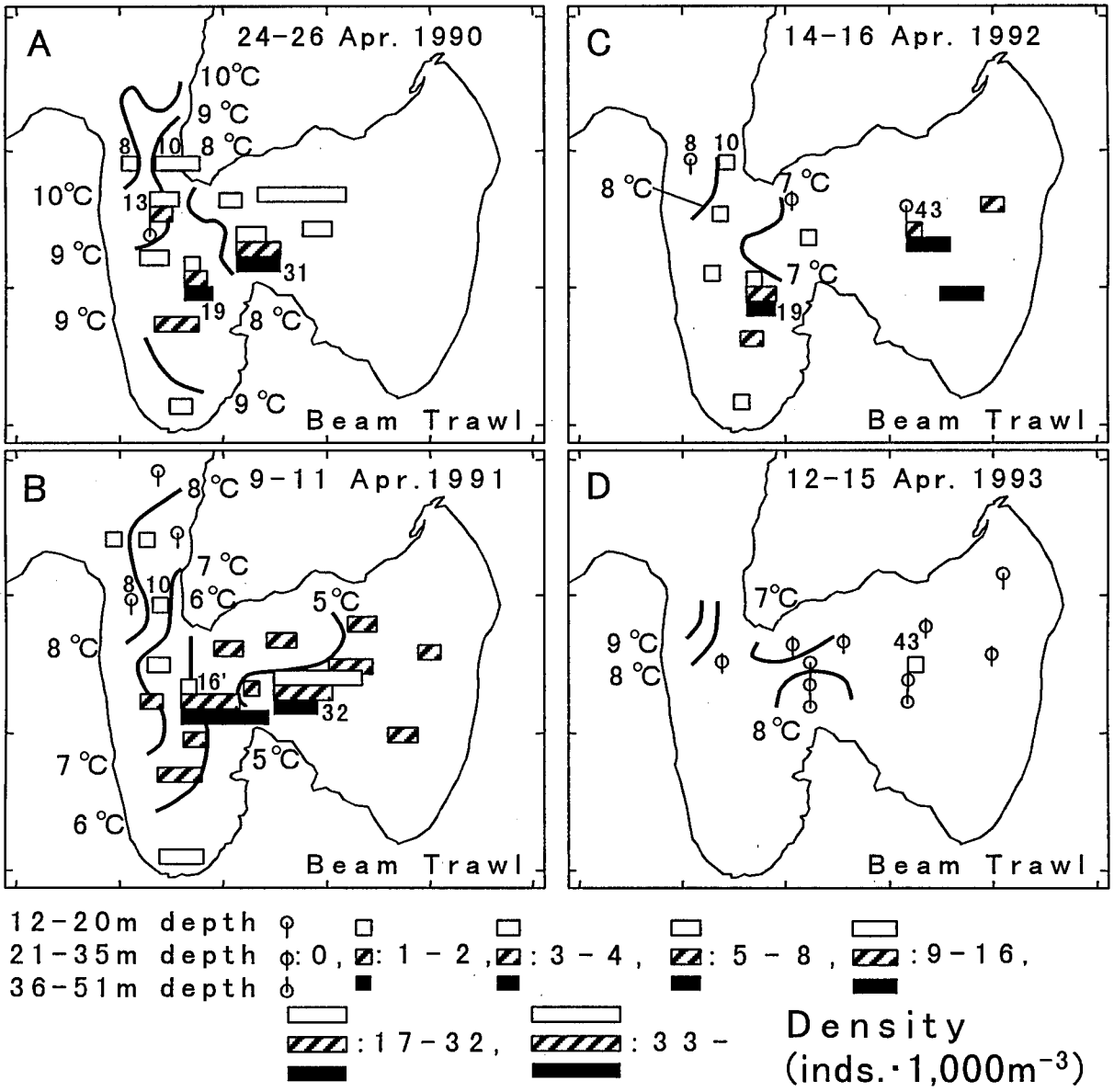


Fig. III-5. Spatial distributions of Pacific cod post-larvae and pelagic juveniles collected by horizontal hauls with a beam trawl net with contours of water temperatures (solid lines) at 30m depth in April 1990-1993. The densities of each towing depth were grouped into three strata. Each numeral shows station number.

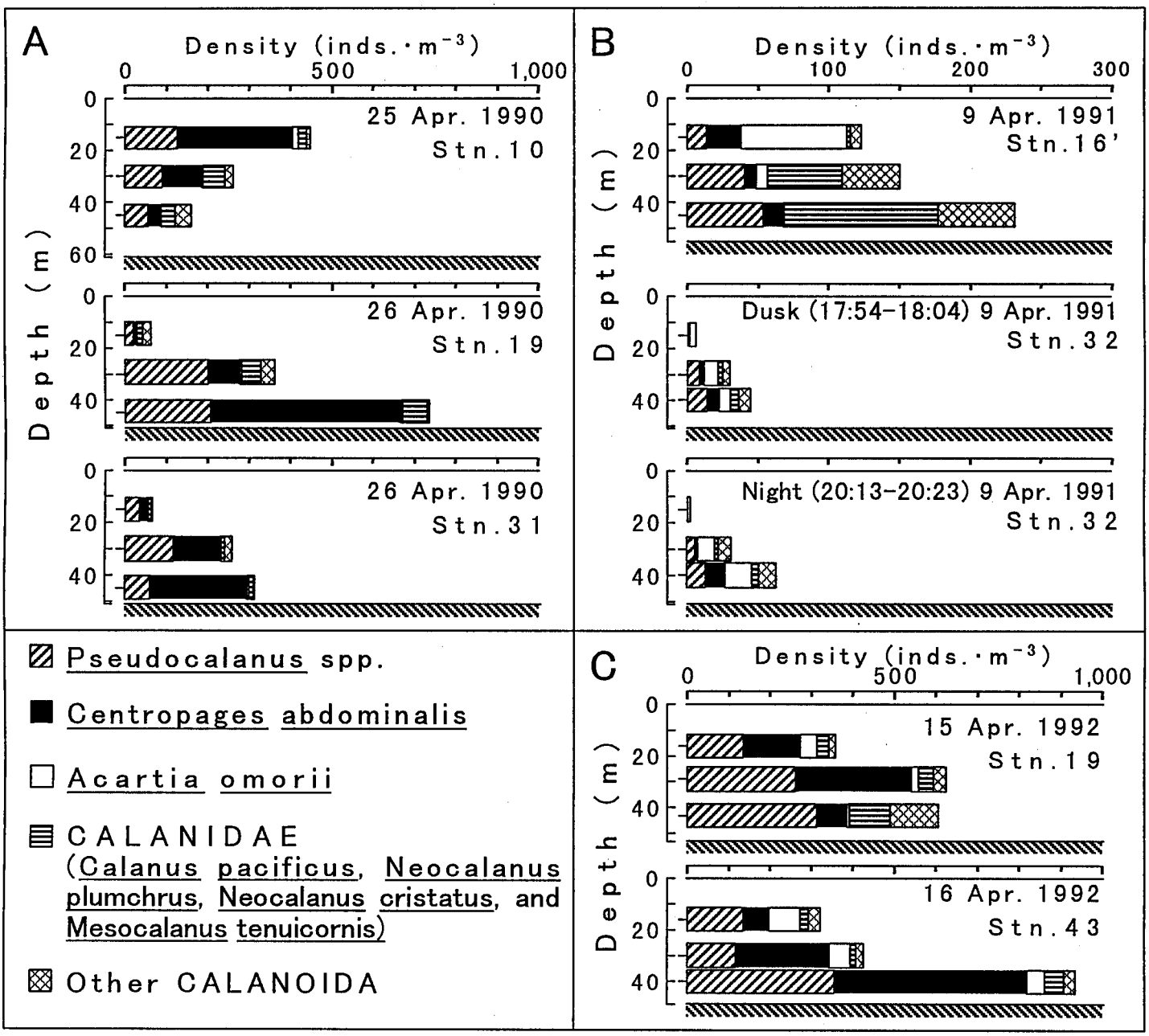


Fig. III-6. Vertical distributions of calanoid copepods collected by horizontal hauls with three MTD nets in April 1990 (A, Takatsu et al., 1992), 1991 (B), and 1992 (C).

1990年のStn. 13ではマダラ仔稚魚の高い分布密度は水深13m層でみられ(5.6 inds.・1,000 m^{-3}), カラヌス目はStn. 13に近いStn. 10において水深15m層で高い分布密度がみられた(450 inds.・m^{-3}, Fig. III-5-A, Fig. III-6-A, 高津ら, 1992)。Stn. 19では仔稚魚とカラヌス目はそれぞれ42m層(8.0 inds.・1,000 m^{-3})および45m層(730 inds.・m^{-3})で, Stn. 31ではそれぞれ42m層(14.4 inds.・1,000 m^{-3})および45m層(310 inds.・m^{-3})で分布密度が高かった。1991年4月にはマダラ稚魚とカラヌス目は, 西湾Stn. 16'ではそれぞれ水深40m層(43.1 inds.・1,000 m^{-3})および45m層(230 inds.・m^{-3}, Fig. III-5-B, Fig. III-6-B)で分布密度が高く, 東湾Stn. 32ではマダラ稚魚が水深15m層に多く出現した(39.5 inds.・1,000 m^{-3})。1992年4月にはマダラ稚魚の分布密度は西湾Stn. 19において水深31m層で8.0 inds.・1,000 m^{-3}, 46m層で5.6 inds.・1,000 m^{-3}を示し, カラヌス目は水深29m層で620 inds.・m^{-3}, 43m層で600 inds.・m^{-3}を示した(Fig. III-5-C, Fig. III-6-C)。1992年4月東湾Stn. 43では, マダラとカラヌス目はそれぞれ水深42m層と40m層で高い分布密度を示した(12.0 inds.・1,000 m^{-3}および930 inds.・m^{-3})。

1991年4月には東湾Stn. 32において, マダラ仔稚魚は昼間, 水深15m層で最も分布密度が高かったが, 日没直後と夜間はともに水深24m層で分布密度が高かった(Fig. III-7-A)。しかし, 採集層が昼間・日没時・夜間のそれぞれで3層しかなかったこともあり, 統計的には日周鉛直移動は有意ではなかった(二元配置の分散分析, 採集時刻による分布密度の差: P=0.33, 採集層による分布密度の差: P=0.35, Table III-3)。マダラ仔稚魚の全時刻を通じた全長範囲は12.8-36.1mmであり, 平均値と標準偏差は27.1±4.19mmであった(N=176, Fig. III-7-B)。合計9回の採集標本間で, 平均全長には有意差がみられ(一元配置の分散分析, P=7.7・10^{-6}), 昼間よりも夜間で大型になる傾向がみられた。しかし, それぞれの時間帯内における採集水深間の平均全長には有意差はみられなかった(一元配置の分散分析, 昼間: P=0.43, 日没時: P=0.84, 夜間: P=0.057)。この1991年4月のStn. 32におけるカラヌス目鉛直分布は, 昼間は不明であるが日没時と夜間にはいずれも水深40m層で高い分布密度を示し(Fig. III-6-B, 日没時: 45 inds.・m^{-3}; 夜間: 63 inds.・m^{-3}), マダラ仔稚魚の鉛直分布とは一致しなかっ

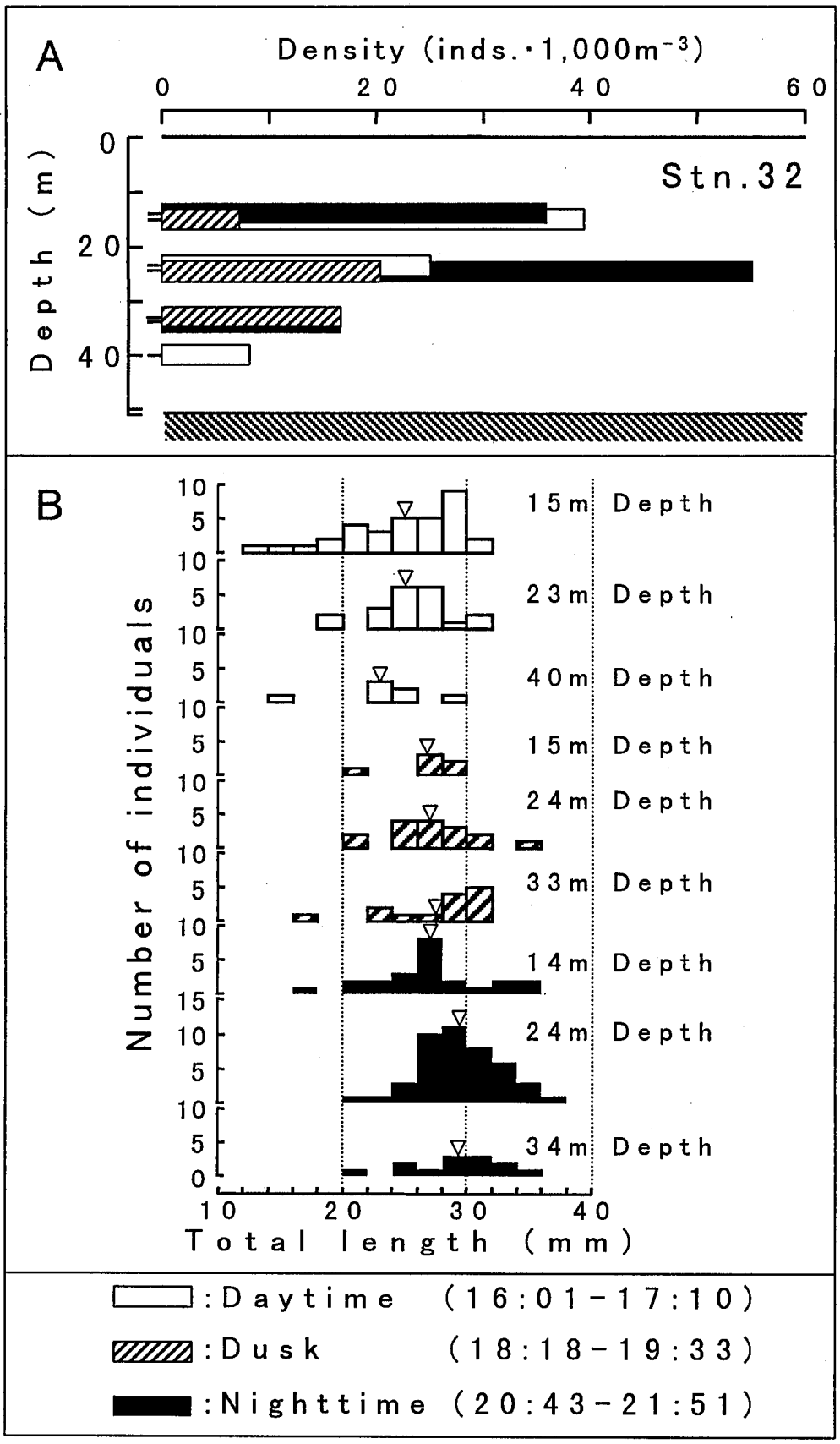


Fig. III-7. Diel vertical distribution (A) and length frequency distributions (B) of Pacific cod post-larvae and pelagic juveniles collected by horizontal hauls with a beam trawl net at Stn. 32 in East Bay on 9 April 1991. Upside-down triangles in B show the locations of mean TLs.

Table III-3. Result of two-way ANOVA of log densities* of Pacific cod larvae and juveniles collected with a baem trawl net at Stn. 32 in Mutsu Bay on 9 April 1991

Source	Sum of squares	d.f.	F	P
Sampling layer [a]	0. 179	2	1. 364	0. 354
Samplig period [b]	0. 192	2	1. 467	0. 333
Error	0. 262	4	–	–

*: $\log_{10}$ (density + 1) convert.

a: Upper (14–15m depth), middle (23–24m depth), and lower (33–40m depth) layers.

b: Daytime (16:01–17:10), dusk (18:18–19:33), and nighttime (20:43–21:51).

た(Fig. III-7-A)。

1990-1992年4月においてマダラ仔稚魚は陸奥湾湾内に広く分布した(Fig. III-5-A～C)。水深30m層の水温分布についてみると，各年とも湾口部西側に高水温域がみられた。水深12-20m層において，各年とも湾口部Stn. 8のマダラ仔稚魚の分布密度はStn. 10よりも低かった。1991年4月の湾口部Stn. 2およびStn. 5の水深15m層では，それぞれ全長5.05mmと6.10mmの合計2個体しか採集されなかった。

昼間に限定すれば，マダラ仔稚魚の7回の鉛直分布調査のうち6回は採集層別の平均全長に有意差はみられなかった(一元配置の分散分析，1990年のStn. 13：P=0.21，Stn. 19：P=0.20，Stn. 31：P=0.20，1991年のStn. 16'：P=0.28，Stn. 32(前述)：P=0.43，1992年のStn. 43：P=0.17)，(1992年のStn. 19：P=0.015)。このため採集層を考慮せずに平均全長を各地点で比較すると，1990-1992年の3年間でいずれの年でも有意差がみられ(一元配置の分散分析，すべてP<0.001)，主に小型の仔稚魚は湾口部に，大型の稚魚は東湾に出現した。

<u>5月から7月におけるマダラ稚魚の空間分布と6月におけるかいあし類カラヌス目の鉛直分布</u>

1989年5月にはマダラ稚魚は主に海底直上に分布し，1989年7月には海底上以外に分布する稚魚はみられなかった(Table III-4)。第Ⅰ章で述べたように，全長70mmより小型の稚魚の主要餌生物はかいあし類カラヌス目コペポダイトである。このカラヌス目コペポダイトは湾内3地点において1993年6月の昼間，海底直上に高密度に分布していた(Fig. III-8)。一方湾口部では1998年6月の昼間，海底直上よりも中層域で高密度であった(水深69m層：9.5 inds.$\cdot m^{-3}$)。

5月から7月においてマダラ稚魚の分布密度が高かった地点は，年によって様々であった(Fig. III-9)。1989年の5月と7月には，東湾とそれ以外の水域の分布密度には有意差がみられなかった(U検定，1989年5月：Us=30，n=7,6，P>0.20；1989年7月：Us=18，n=8,3，P>0.20)。1990-1991年と1993-1997年の6月には東湾とその他の水域の同様な比較は，十分な曳網回数が得られなかったために0.05水準でU検定は行えなかっ

Table III-4. Densities of Pacific cod juveniles collected with an otter trawl net in Mutsu Bay on 18-23 May and 18-22 July 1989. Densities are shown as number of individuals per 1,000 cubic meters filtered

Month	Station	Distance from the bottom (m)				
		0 (bottom)	5	10	20	30
May 1989	2	11.4	–	0	–	–
	5	5.8	–	–	0	–
	13	3.9	0.25	–	–	0.19
	19	1.1	0.042	–	–	–
	47	1.7	–	0.083	–	–
July 1989	5	0	–	0	–	–
	13	1.3	–	0	–	–
	19	0.2	–	0	–	–
	30	0.2	–	0	–	–

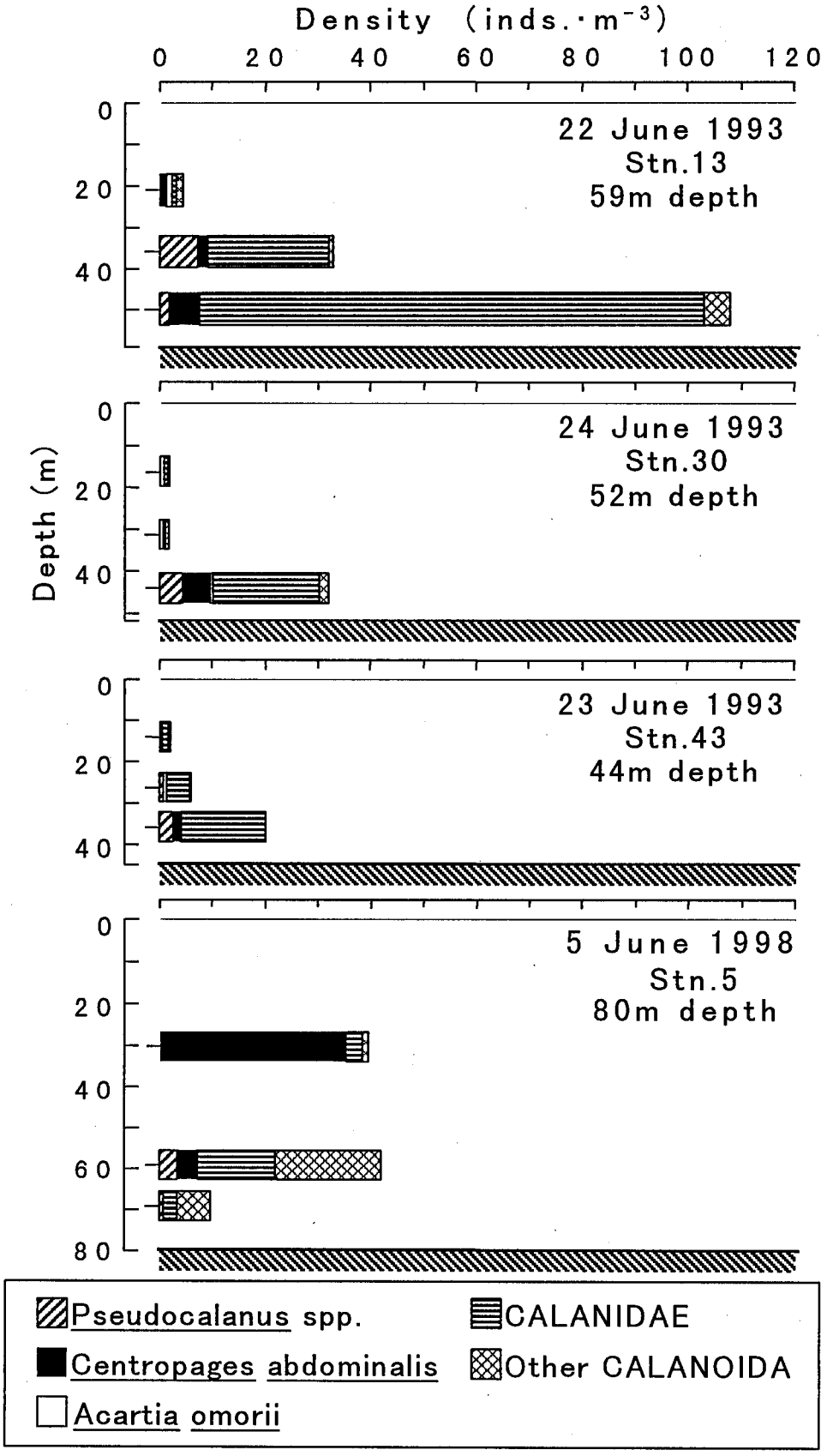


Fig. III-8. Vertical distributions of calanoid copepods collected by horizontal hauls with three MTD nets on 22–24 June 1993 and 5 June 1998.

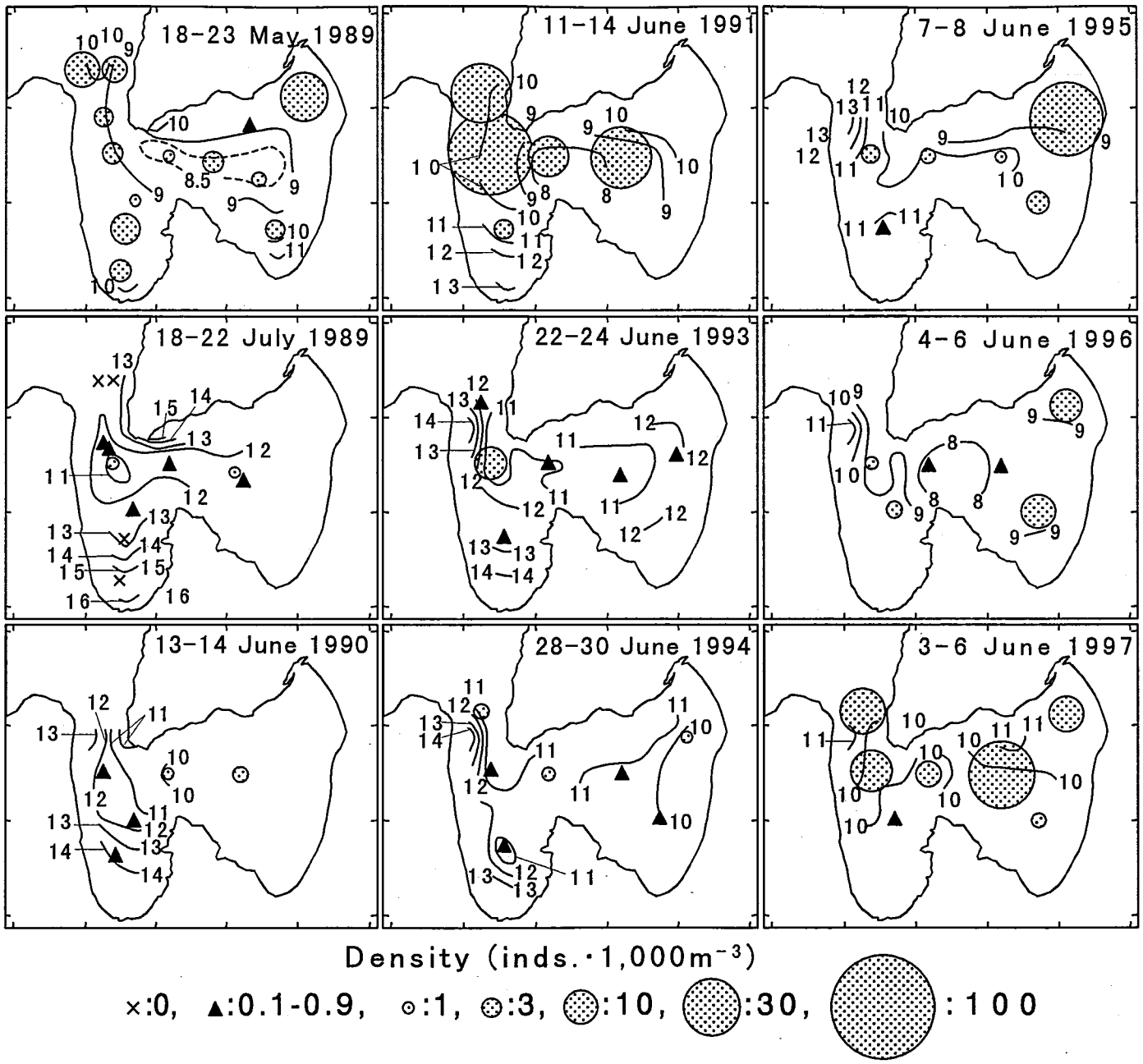


Fig. III-9. Horizontal distributions of Pacific cod juveniles collected by horizontal hauls with an otter trawl net on the bottom from May to July 1989-1997. The area of each circle (≥1.0 inds.·1,000m^{-3}) is proportional to cod density.

た。5月から7月の海底直上における分布密度が最も高かったのは，1991年6月の西湾北部Stn. 13であり(64.2 inds.・1,000 m^{-3})，その他に1989年5月の東湾Stn. 38 (21.5 inds.・1,000 m^{-3})，1991年6月の東湾Stn. 43 (34.8 inds.・1,000 m^{-3})，1991年6月の湾口部Stn. 12 (32.9 inds.・1,000 m^{-3})，1995年6月の東湾Stn. 37 (50.1 inds.・1,000 m^{-3})，1997年6月の東湾Stn. 43 (41.1 inds.・1,000 m^{-3})で相対的に分布密度が高かった。また，5月から6月上旬に調査が行われた年(1989年5月，1995年6月，1996年6月，1997年6月)は最も分布密度が高かった地点が東湾にみられたが，6月下旬から7月(1989年7月，1993年6月，1994年6月)には西湾北部あるいは湾口部でみられた。6月中旬では1990年が東湾で，1991年は西湾で分布密度が高かった。水温とマダラ稚魚の分布密度の関係に注目すると，1989年5月中下旬と1996年6月上旬には，海底直上の水温が低い陸奥湾中央部には稚魚はあまり多くは出現していなかった。一方1989年7月には，稚魚はほぼ水温12℃未満の水域に出現していた。

1989年5月の全長には地点によって有意差がみられた(クラスカル・ウオリス検定，KW=166.4, df=12, $P=2.5\cdot10^{-29}$, Fig. III-10)。西湾と湾口部では青森市沖Stn. 25を除いて55.1-60.0mm TLの階級に最頻値がみられ，Stn. 25では50.1-55.0mm TLにみられた。東湾ではStn. 51では50.1-55.0mm TLに，Stn. 47では55.1-60.0mm TLに，Stn. 38とStn. 42では65.1-70.0mm TLに最頻値がみられ，採集個体数が少なかったStn. 30およびStn. 35を除いて南から北に向かって稚魚は大型化していた。また東湾では，全長82.6mmよりも大型の個体はみられなかったが，西湾および湾口部ではこのような大型の個体が出現し，特に西湾南部Stn. 20では82.6mmよりも大型の個体が42%を占めた。

Figure-III-11は稚魚採集の曳網回数と採集個体数が比較的多かった1997年6月の全長組成を示している。全長には1989年5月と同様に地点間で有意差がみられた(クラスカル・ウオリス検定，KW=76.6, df=6, $P=1.8\cdot10^{-14}$)。全長の中央値が最も小さかったのは西湾北部Stn. 19であり(55.0mm TL)，逆に最も大きかったのは東湾Stn. 37であった(65.7mm TL)。湾口部Stn. 12，西湾Stn. 13およびStn. 19，東湾西端のStn. 30で

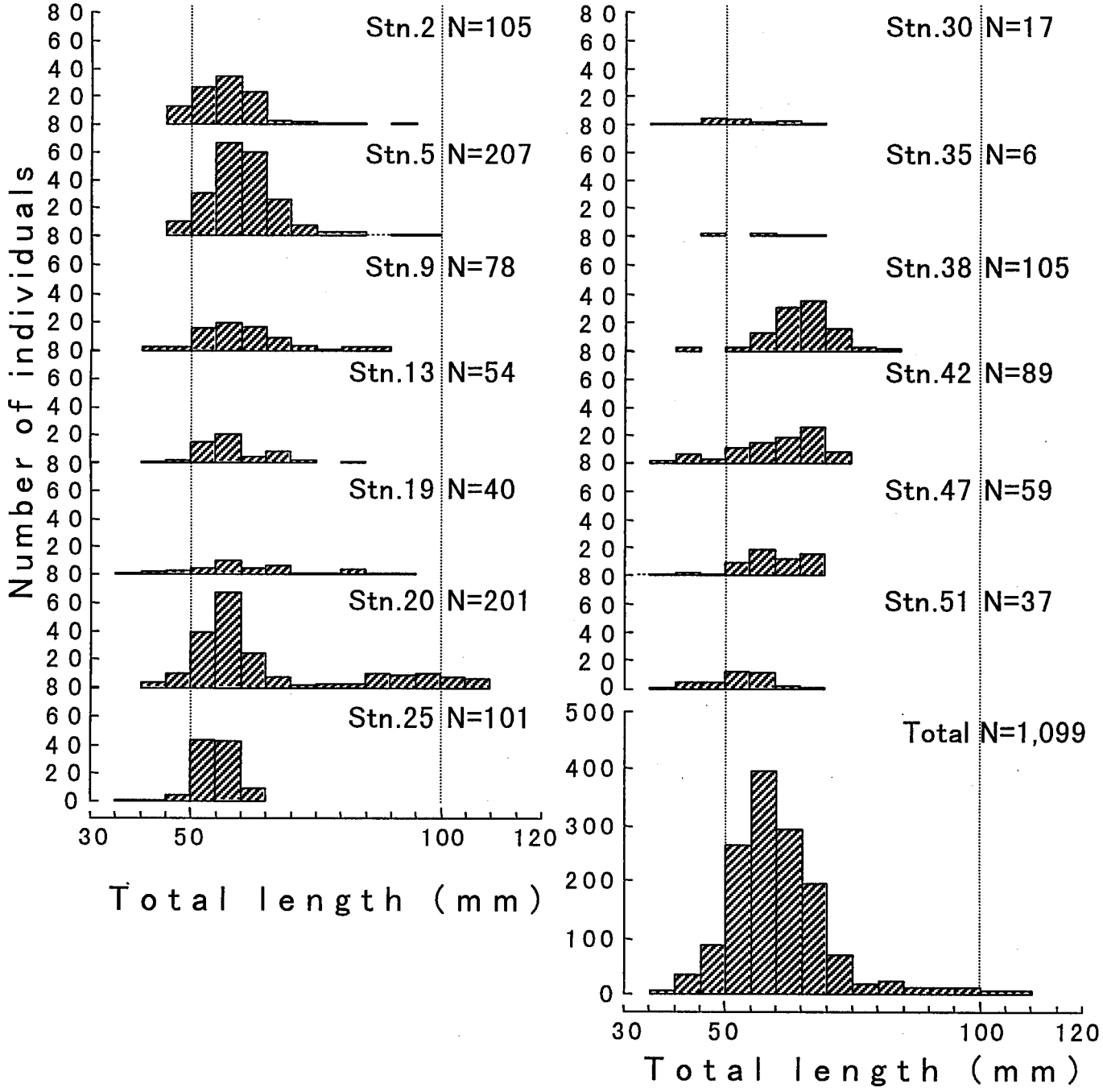


Fig. III-10. Length frequency distributions of Pacific cod juveniles on the bottom in Mutsu Bay collected during 18-23 May 1989. N: Number of fish measuring.

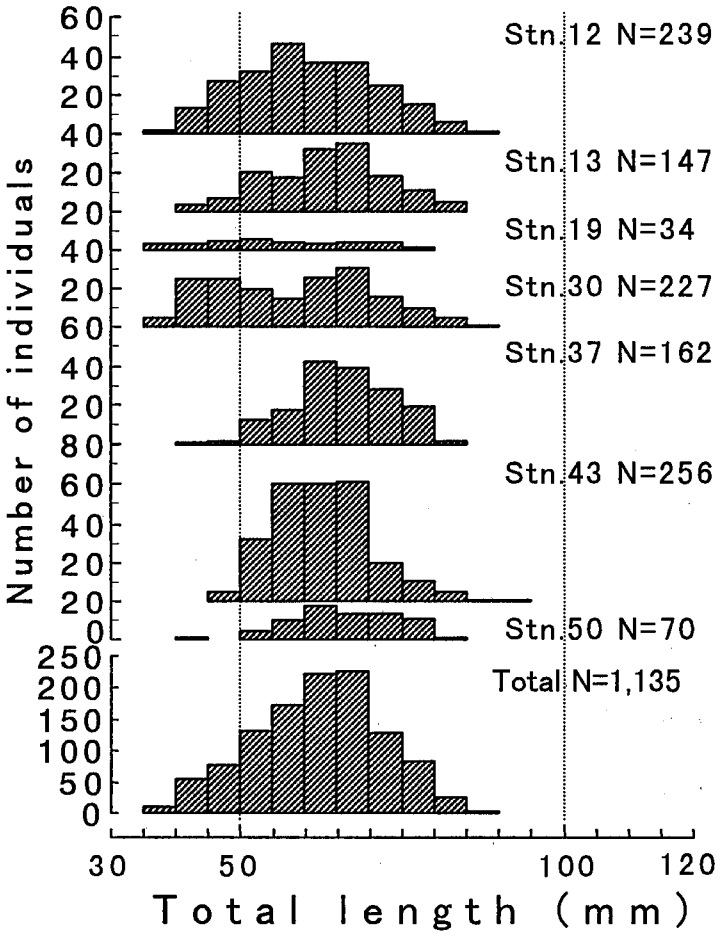


Fig. III-11. Length frequency distributions of Pacific cod juveniles on the bottom in Mutsu Bay collected during 3-6 June 1997. N: Number of fish measuring.

は，全長50mm以下の稚魚が6.8-32.4%を占め，全長の標準偏差は9.16-11.8mmの範囲であった。一方，東湾Stn. 37, Stn. 43, Stn. 50では全長50mm以下の個体が占める割合は1.4-2.0%と低く，標準偏差も7.61-7.79mmの範囲にあり小さかった。またStn. 13, Stn. 19, Stn. 30では二峰型の全長分布を示していた。

1988年7月における端脚類ヨコエビ亜目の水平分布

第Ⅰ章で述べたように，端脚類ヨコエビ亜目は魚類とともに全長70mmを超える稚魚の主要餌生物である。端脚類ヨコエビ亜目は1988年7月には主に湾口部に分布していた(Fig. III-12, 40.0-443.3 inds.・m^{-2})。湾内では水深42mよりも浅い水域でわずかな個体が採集されたが(0-23.3 inds.・m^{-2})，水深43-65mの範囲では，Stn. 14(水深64m, 10.0 inds.・m^{-2})を除いてヨコエビ亜目は採集されなかった。

考 察

川村・小久保(1950)は1940年代の調査に基づいて，マダラの産卵は12月から1月の期間，湾内の泥砂質で行われていると報告している(Fig. III-1-B)。本研究においてマダラ前期仔魚は陸奥湾湾口部でのみ採集され，全長4.00mm以下の後期仔魚も主に湾口部で採集された。したがって，マダラの産卵は少なくとも最近では主に湾口部で行われているものと推察される(Fig. III-13, Fig. III-14)。與世田ら(1992)は日本海能登島沖で海底上に分布するマダラ卵を採集し，産卵は主に水深60mで行われていると述べている。陸奥湾の湾口部もおよそ60m前後の水深であるが，マダラ卵の分布については明らかではない。このため産卵場を特定するには12月から1月に湾口部から湾内において受精卵と前期仔魚の分布調査を行う必要があるものと考えられる。

第Ⅱ章で述べたように，湾内表層域はかいあし類ノープリウスが高密度に分布する(Fig. II-6, Fig. II-7, Fig. III-13)。しかし1989年3月上旬には，マダラ仔魚は表層から水深5m層では採集されなかった(Fig. III-4)。Olla and Davis(1990)の室内実験によれば，スケトウダラ仔魚(体長4-8mm)は，表層域の擾乱と強い光を避けて水槽内の下

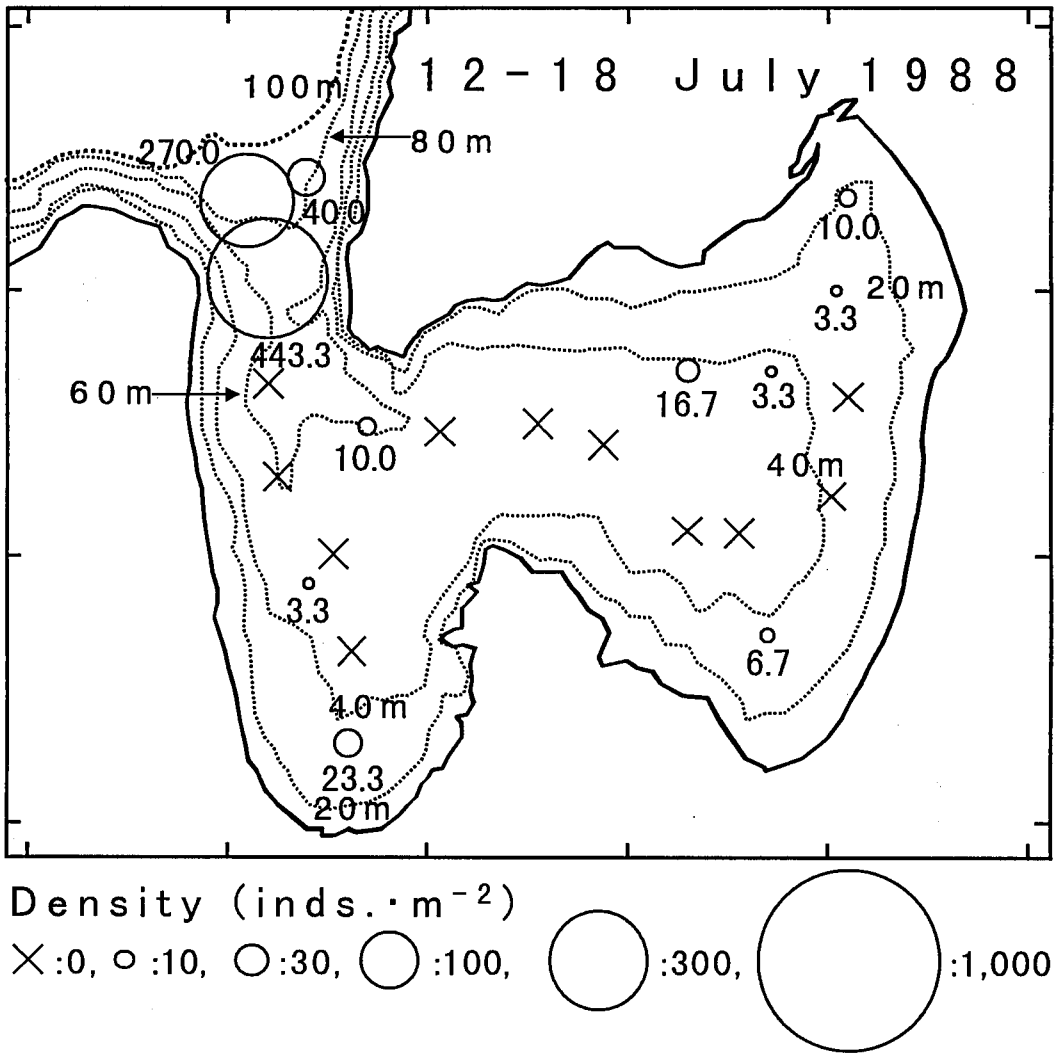


Fig. III-12. Horizontal distribution of gammarid amphipods on the bottom collected with a Smith-McIntyre grab (covering 0.10m^2) three times at each station during 12-18 July 1988. The area of each circle is proportional to the gammarid density.

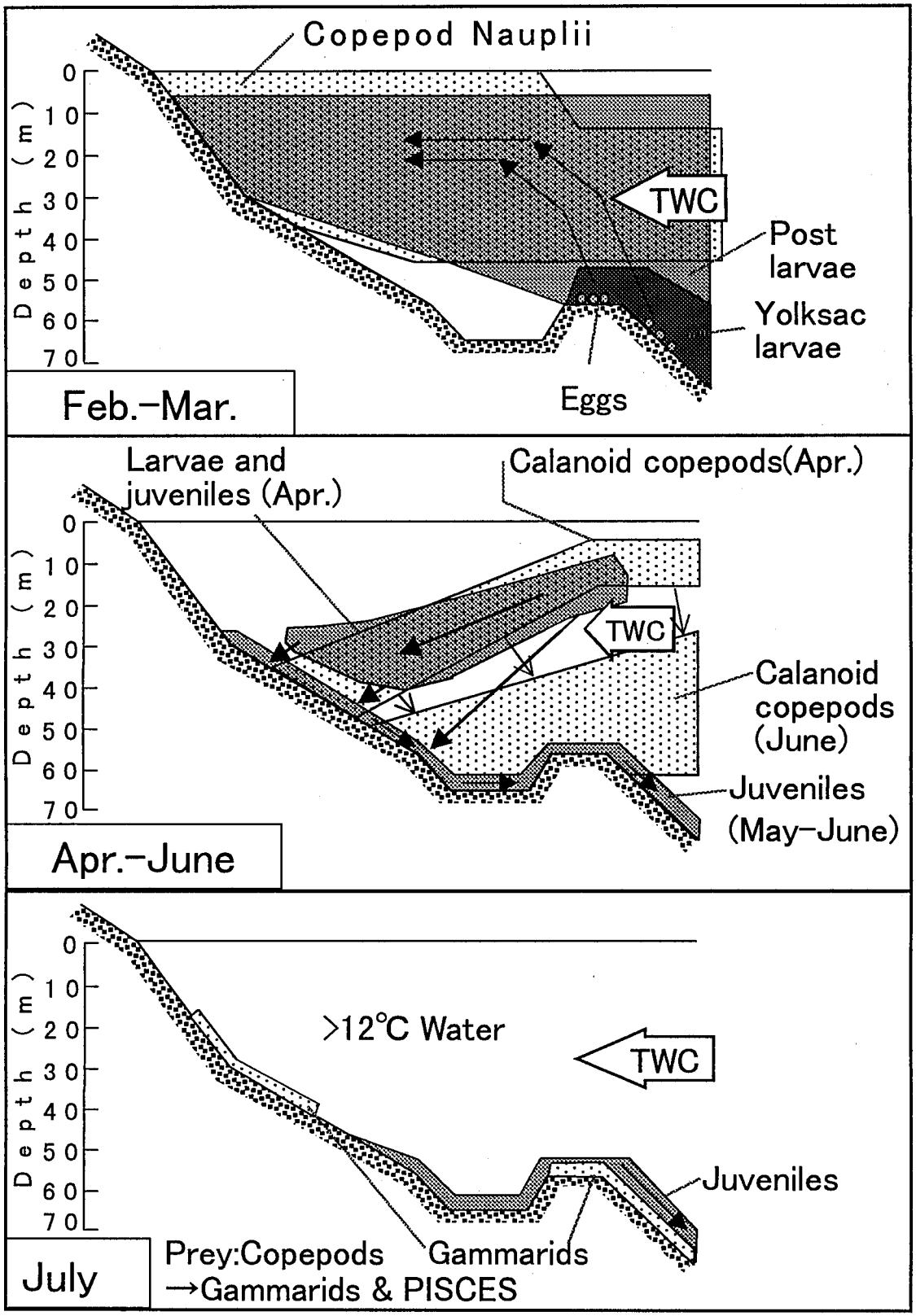


Fig. III-13. Schematic model of vertical distribution of Pacific cod larvae and juveniles and their food organisms in Mutsu Bay and its bay mouth from February to July. Naupliar patch was shown as ≥10 inds.·ℓ^{-1} consumed by Pacific cod larvae (67.5–195μm in prosome width) from the result of January–February 1992. Calanoid copepod patches in April and June were shown as ≥300 inds.·m^{-3} and ≥30 inds.·m^{-3} from the result of MTD nets hauls, respectively. TWC in each figure indicates that Tsugaru Warm Current water entered the bay.

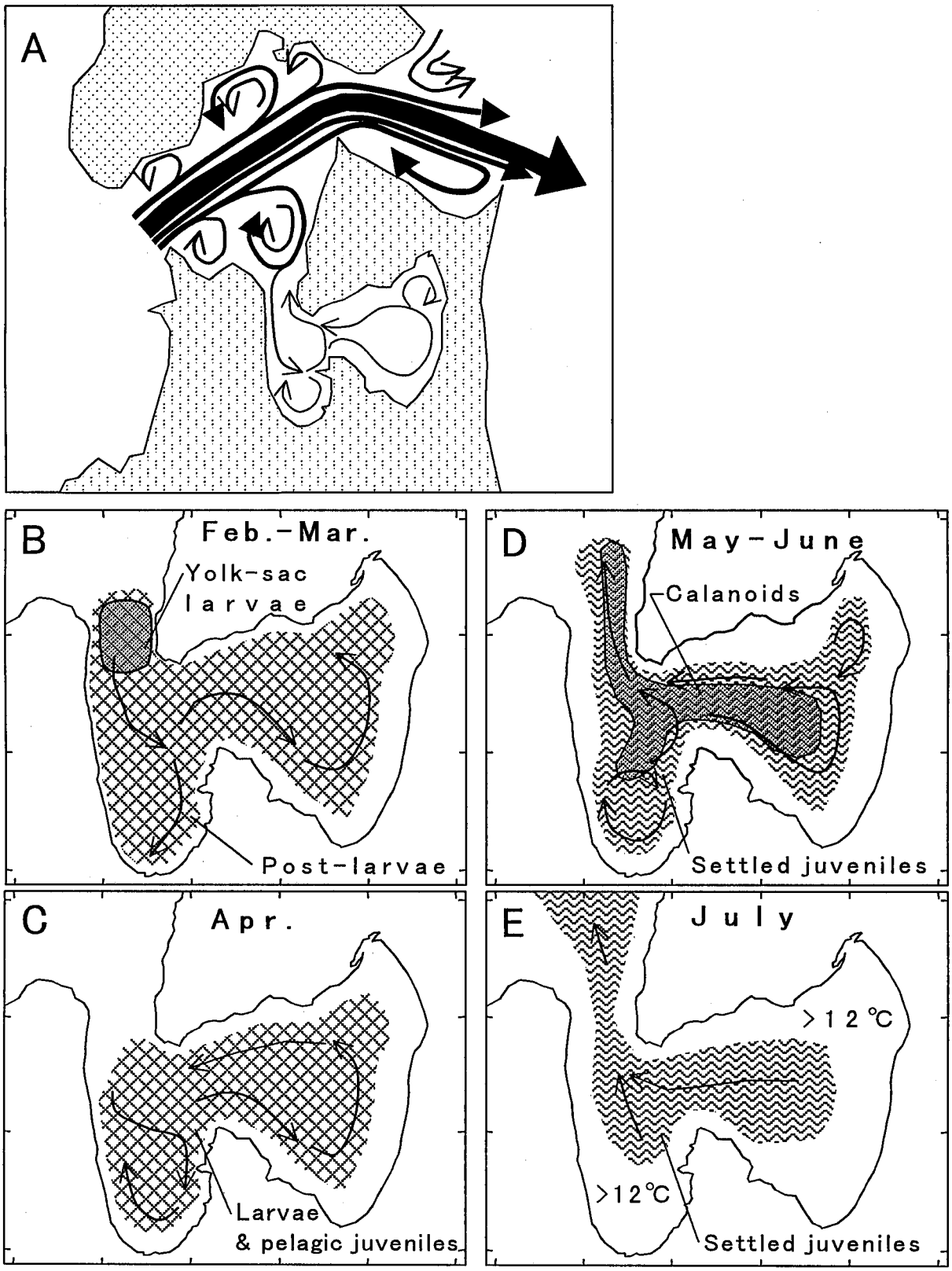


Fig. III-14. Schematic diagram of the current pattern in Tsugaru Strait and Mutsu Bay (from Hakodate Marine Observatory, 1964; Ohtani and Terao, 1974; Ohtani and Nakamura, 1985; A), and schematic model of horizontal distribution of Pacific cod larvae and juveniles in Mutsu Bay and its bay mouth from February to July (B-E). Arrows in boxes B-E mean cod migrations estimated from cod size and current patterns. In box D, abundant areas of Pseudocalanus spp. and Centropages abdominalis in mid-late May are superimposed.(Takatsu et al., 1992)

方に分布することを観察している。おそらくマダラ仔魚も同様な理由によって表層域を避けて分布しているものと考えられる。

冬季および春季の陸奥湾には，主に湾口部西側の表層と中層域から高温・高塩分の津軽暖流水(TWC)が流入し，流入した水塊は湾内で希釈・冷却されて湾口部東側海底近くから湾外へ流出する(大谷・寺尾，1974)。1989年3月上旬には湾口部Stn. 10において水深45m層でマダラ前期仔魚が11個体採集されたが，後期仔魚は水深15m層で多く採集された(Fig. III-3)。この時Stn. 10では水深43m層から50m層にかけて水温躍層(6.6-7.8ºC)が形成されていた。この躍層は津軽暖流水(水深42m以浅，7.9-8.4ºC，34.0 PSU以上)と，湾内から流出する水塊(水深51-61m，6.4-6.5ºC，33.9 PSU未満)との間に形成されていた。津軽暖流水中に分布する仔魚は湾内へ移送されるものと考えられ，仔魚の全長組成の地理的変化は湾内への輸送過程を反映しており，湾奥ほど大型個体が出現していた(Fig. III-3)。第II章で明らかにした1月と2月のかいあし類ノープリウスの鉛直分布から判断して，湾内と湾口部のいずれにおいても海底直上のノープリウス分布密度は，表層に近い層あるいは密度躍層に比べて低いものと考えられる(Fig. III-13)。また，表層に近い層ではノープリウスは湾口部よりも湾内で分布密度が高かった。したがって湾口部海底上で孵化した仔魚の浮上は，単に十分な餌密度を獲得するためだけではなく，密度躍層よりも上層を占める津軽暖流水を利用して餌密度の高い湾内へ移動するものと考えられる。

Paul (1983)は，スケトウダラ仔魚が捕食可能な限界照度は0.4 luxであり，その照度はベーリング海では水深30mに匹敵することを明らかにした。Hillgruber et al. (1995)は，ベーリング海に分布するスケトウダラ仔魚にとって水深30m層は適水温かつ餌密度も高い水深層であり，そこでは仔魚の体長が水柱中で最も大型であったと述べている。1989年3月上旬に湾口部Stn. 10の水深31m層では，他の水深に比べてマダラ仔魚が大型であり(Fig. III-3-B)，スケトウダラ仔魚と同様に大型の仔魚ほど餌密度が高い層に集中することを示している可能性がある。ただし，本研究では1989年3月のStn. 10におけるノープリウスの鉛直分布の結果は得られていない。また，湾内(1989

年3月のStn. 19とStn. 30, 1991年2月のStn. 30)ではマダラ仔魚の鉛直的な全長の差がみられなかった(Fig. III-3-B)。このことは，湾内のようにノープリウスの分布密度が最大でも2倍程度の差しかない場合には，仔魚の鉛直的なサイズの差は生じないのかもしれない。今後はマダラ仔魚とかいあし類ノープリウスの同時採集と仔魚の捕食可能照度の測定を行って，仔魚の鉛直的なサイズの差とノープリウスの鉛直分布密度の関係を確認する必要がある。

Boehlert et al. (1985)は7月のオレゴン州沖合において，標準体長9-19mmのマダラ仔魚が昼間水深20-30m層で分布密度が高く，夜間は海底に近い水深50mよりも深い層に分布したことを報告している。本研究でも1991年4月にマダラ仔稚魚の夜間沈降が認められたが統計的には有意ではなく，その程度はおおよそ10m以内であった(Fig. III-7-A)。現在のところこの夜間沈降の原因は明らかではないが，少なくとも仔稚魚の摂餌活動に起因するとは考えられない。なぜなら，マダラ仔稚魚は昼間にはカラヌス目コペポダイトの高密度層に分布したが(Fig. III-5, Fig. III-6)，夜間にはこれらの一致がみられず(Fig. III-6-B, Fig. III-7-A)，主に昼間摂餌を行うと考えられるからである。また，昼間に水深による仔稚魚サイズの差はみられず，後述するような水温12℃を上回るような仔稚魚の分布を制限する水温は4月には観測されていなかった。これらの事実は，4月のマダラ仔稚魚に生じた鉛直分布の地理的変異は，仔稚魚の個体発生的な移行を反映したものというよりは，カラヌス目の鉛直分布に応じて分布層を変化させている状況を示していると考えられる。ただし，夜間には昼間に比べて平均全長の増加が認められたことから，魚体の大型化に伴ってビームトロールネットの採集効率が減少しており，4月の昼間に採集されるマダラ仔稚魚のサイズおよび分布密度を過小評価している可能性がある。

5月下旬以降マダラ稚魚は主に海底直上に分布し(Table III-4)，6月にはカラヌス目コペポダイトも湾内では海底に近い層に集中していた(Fig. III-8)。陸奥湾とその湾口部におけるマダラ稚魚の全長の地理的変異は，津軽暖流水による輸送過程を示すものと考えられる(Figs. III-10, Fig. III-11, Fig. III-14)。産卵期の早い時期と遅い時期に

産まれた個体は主に西湾と湾口部に出現し，中間的な時期に生まれた個体は主に東湾に分布したものと考えられる。1989年5月中下旬と1996年6月上旬には多くの稚魚が，湾口部を除いた湾内の比較的水深の浅い水域に出現した(Fig. III-9)。1989年5月には，マダラ稚魚の主要餌生物であるPseudocalanus属やCentropages abdominalisなどのカラヌス目は，海底直上の水温が相対的に低い(およそ9℃以下)水域で分布密度が高く(高津ら，1992；Fig. III-15，Fig. III-16)，稚魚とその餌生物の水平分布の一致はみられない(Fig. III-9)。これは，マダラ稚魚の着底が主に水深30m前後の浅海域で生じ，その後稚魚は水温の上昇とカラヌス目の減少に伴って水深の深い水域に移動するためと考えられる(Figs. III-13，Fig. III-14)。4月にはマダラ仔稚魚は湾口部にはほとんど分布していなかったが(Fig. III-5)，1989年5月には稚魚は湾口部にも分布していた(Fig. III-9)。このことは5月中下旬には一部のマダラ稚魚は湾外へ移動し始めることを示しているものと考えられる。

マダラの成魚および未成魚は水温12℃を上回る水域にはほとんど出現しない(内田，1936；川村・小久保，1950；橋本，1974)。7月のマダラ稚魚は主に端脚類ヨコエビ亜目とスケトウダラ稚魚を捕食し(第Ⅰ章)，ヨコエビ亜目は主に湾口部に分布した(Fig. III-12)。また餌となるスケトウダラ稚魚も，6月以降陸奥湾から湾外へと移動する(高津ら，1992)。したがってマダラ稚魚は高水温と餌不足を避けて，湾外へ移動するものと考えられる。

本章では陸奥湾におけるマダラ仔稚魚の時空間分布を明らかにし，仔魚期から稚魚期を通じて湾内のかいあし類ノープリウスとカラヌス目コペポダイトの再生産を通じて成育場として利用していることが確認された。4月および6月におけるマダラ仔稚魚の分布密度の年変動については次章以降で検討する。

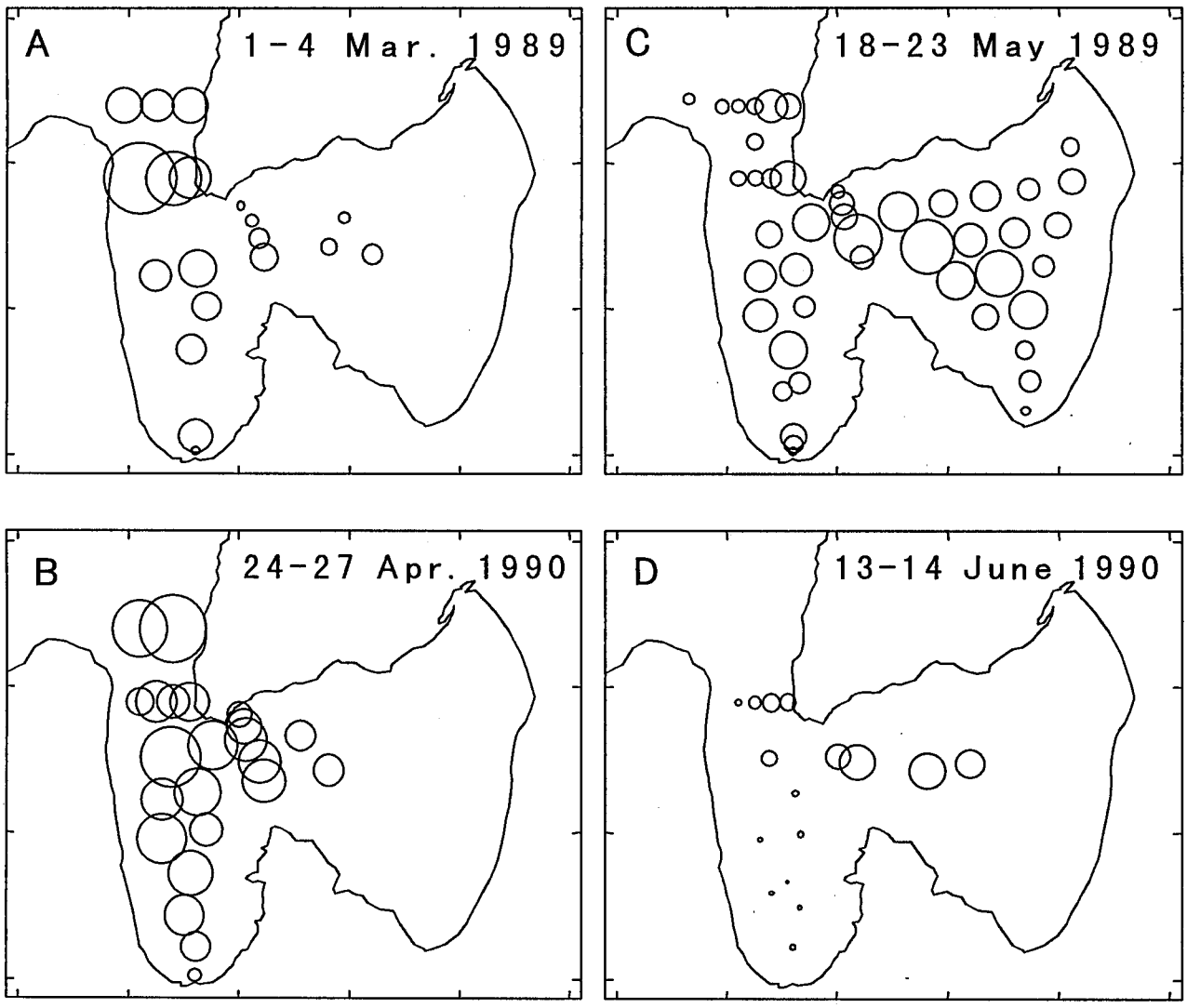


Fig. III-15. Monthly change in distributions of Pseudocalanus spp. collected by vertical hauls with a NORPAC net (0.33mm mesh) during 1-4 March 1989 (A), 24-27 April 1990 (B), 18-23 May 1989 (C), and 13-14 June 1990 (D) (Takatsu et al., 1992).

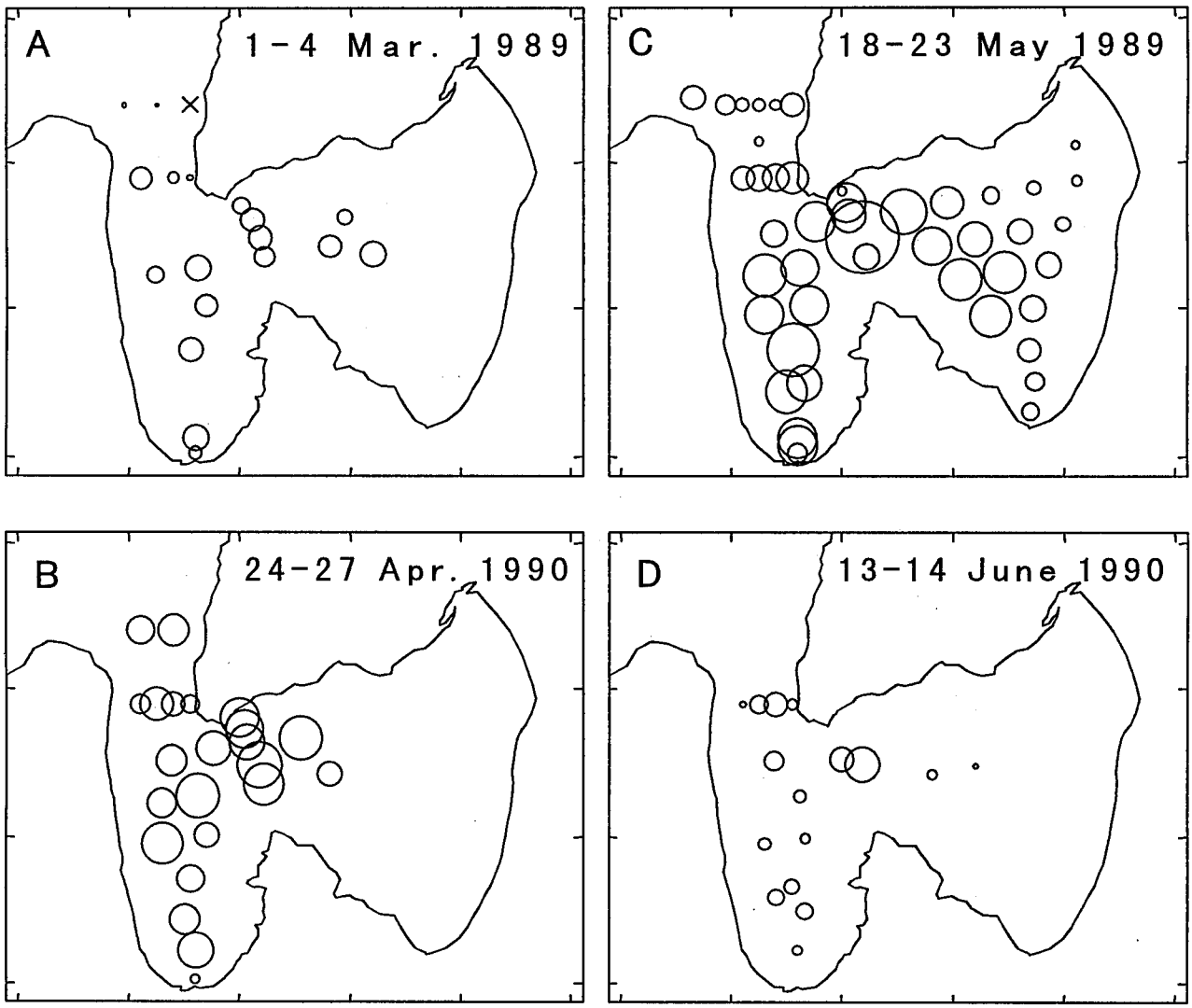


Fig. III-16. Monthly change in distributions of Centropages abdominalis collected by vertical hauls with a NORPAC net (0.33mm mesh) during 1-4 March 1989 (A), 24-27 April 1990 (B), 18-23 May 1989 (C), and 13-14 June 1990 (D) (Takatsu et al., 1992).

Ⅳ. マダラ着底稚魚の食物組成と相対成長の年変動

目 的

前章で示したように陸奥湾で採集されるマダラ稚魚は，年によって採集個体数が大きく異なることが明らかとなった。ここでは個体の生残に直接作用する要因の1つとして着底稚魚の食物組成を調べ，その年変動が稚魚の栄養状態におよぼす影響を検討した。

材料および方法

マダラ着底稚魚の採集と魚体・胃内容物の測定

陸奥湾の湾内および湾口部におけるマダラ稚魚の胃内容物組成を1991年は5地点，1993年は4地点，1995年は5地点，1997年は7地点，1998年は湾口部の1地点で調べた(Fig. Ⅳ-1)。マダラ稚魚は前章と同様に，オッタートロールネットの着底曳きによって採集し，5-10%の中性海水フォルマリン溶液で24-36時間固定した後，70%エタノール溶液に移して保存した。また各採集地点ではNORPACネット(目合: 0.33mm)による海底直上から海面までの鉛直曳きによってかいあし類カラヌス目コペポダイトを採集した。

合計513個体の稚魚の全長(0.1mm単位)，体重(1mg単位)，胃内容物重量(1mg単位)を計測し，胃内容物の同定・計測・計数を行った。食物組成は各採集地点ごとに出現頻度(F%)，個体数組成(N%)，湿重量組成(W%)であらわした。胃内容物重量示数(SCI)は各個体ごとに以下の式で計算した。

胃内容物重量示数(SCI)＝胃内容物重量(g)×100/{体重(g)－胃内容物重量(g)}

個体の体重(胃内容物重量を除く)と胃内容物重量示数(SCI)の関係を検討した際には，胃内容物中において湿重量で最も高い値を示した餌項目と，その餌の体サイズ(体幅)をもとに，稚魚を5つのカテゴリーに分類した。カテゴリーはまず「カラヌス目を主食

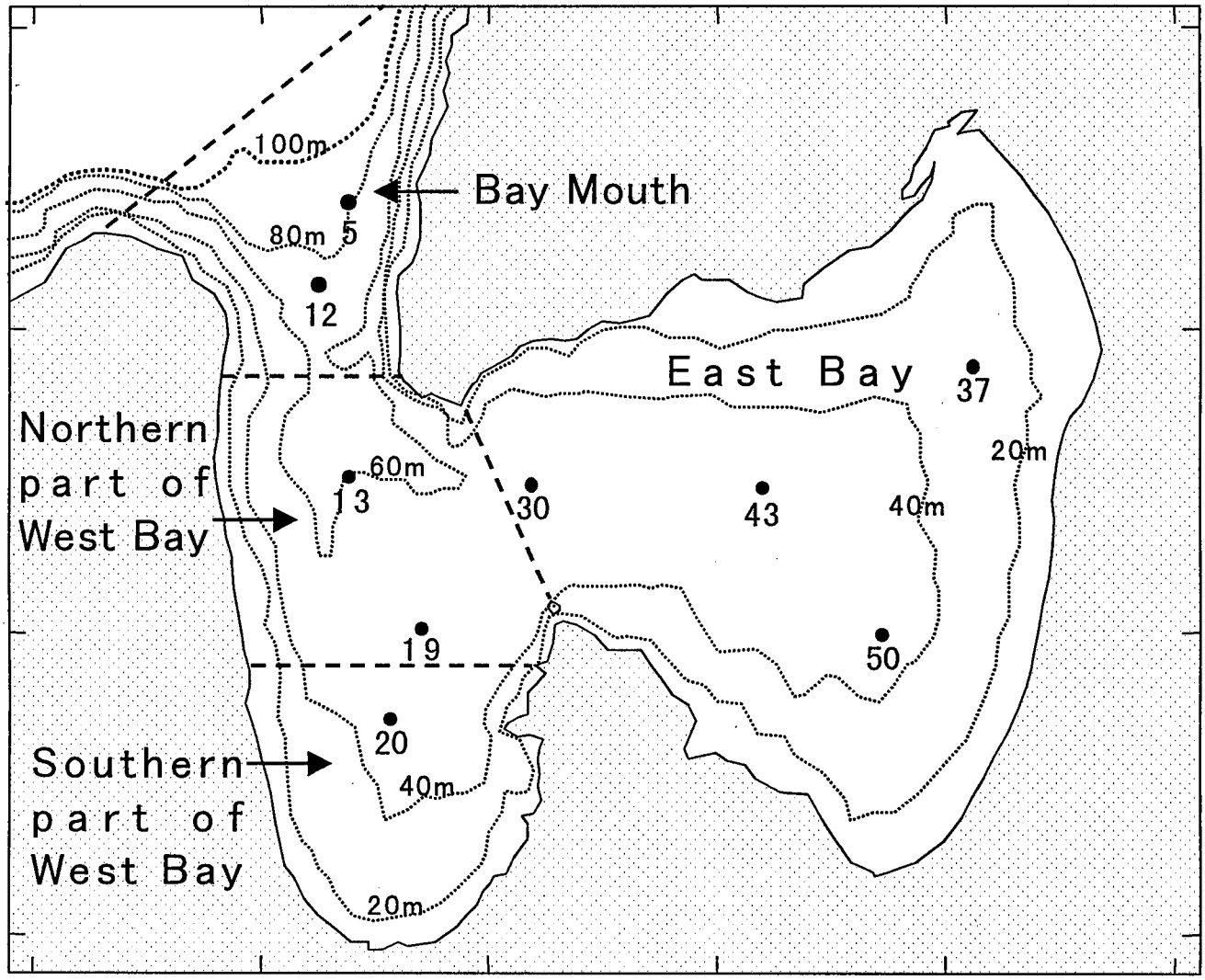


Fig. IV-1. Locations of net sampling stations for stomach contents analysis of Pacific cod juveniles and contours of bottom depth. Samplings were conducted on the sea bottom with an otter trawl net.

としていた稚魚(Calanoid feeder)」と「カラヌス目以外を主食としていた稚魚」に分けたのち，後者はさらに主食としていた餌のサイズをもとにして，小型餌食者(Small-sized prey feeder, S, カラヌス目を含まない平均体幅0.6mm以下の餌生物食者)，中型餌食者(Middle-sized prey feeder, M, 平均体幅0.6mmより大きく1.0mm以下の餌生物食者)，大型餌食者(Large-sized prey feeder, L, 平均体幅1.0mmより大きく2.0mm以下の餌生物食者)，超大型餌食者(Very-large-sized prey feeder, LL, 平均体幅2.0mmを超える餌生物食者)の4つに分類した。胃内容物から出現した各餌生物の体幅はTable IV-1に示した通りである。

マダラ着底稚魚の食物組成の座標づけ

マダラ稚魚の食物組成が採集年や地点ごとに，どのような要因によって変化するのかを明らかにするために，餌項目×地点の出現頻度データ(胃からその餌が出現したマダラ稚魚の個体数)に対応分析(correspondence analysis, CA; Hill, 1973)を用いて座標づけ(ordination)を行った。座標づけによる解析は，餌項目と地点のデータを分類可能であるだけではなく，連続的に変化するデータの相互関係を多次元空間中に散らばる位置づけとしてあらわし，各次元の座標軸の持つ意味を解釈することで，データを変化させる因子との関係を求めることができる(小林，1995)。なお，種×地点の個体数データにCAを適用する場合の注意点などについては，Hill and Gauch (1980), Digby and Kempton (1987), 小林(1995), 品川・多部田(1998a, 1998b, 1998c)に詳しく述べられている。対応分析の計算にはMVSP Plus Ver.2.2i (Kovach, 1995)を使用した。

マダラ着底稚魚の相対成長と食物転換サイズの解析

マダラ稚魚の全長と体重との関係式は，摂餌量が体重の最大9.8%を占める個体もあったため，本研究では体重から胃内容物重量を引いた値を用いて求めた。なお，稚魚の固定・保存液による全長の収縮や体重の損失は，この解析では考慮していない。

Table IV-1. Truncated names and body width (Minimum-Mean-Maximum in mm) of food organisms in stomachs of Pacific cod juveniles in Mutsu Bay in June. N: Sample size of food items measured. Class: Size class of five categories used in Fig. IV-3 (C: Calanoida, S: Small-sized prey, M: Middle-sized prey, L: Large-sized prey, LL: Very-large-sized prey)

Food organism	Truncated name	Body width of food Mean & Range (mm)	N	Class
Limacina sp.	Limacina	0. 29-0. 54-0. 89	23	S
Calanoida (Total)	Calanoida	0. 20-0. 34-0. 66	220	C
Calanus pacificus		0. 29-0. 51-0. 66	24	C
Paracalanus parvus		0. 20-0. 26-0. 31	30	C
Pseudocalanus spp.		0. 22-0. 28-0. 33	29	C
Centropages abdominalis		0. 23-0. 36-0. 49	106	C
Acartia omorii		0. 21-0. 27-0. 34	31	C
Other Calanoida		-	-	C
Unidentified Calanoida		-	-	C
Corycaeus spp.	Corycaeus	0. 20-0. 25-0. 28	21	S
Cumacea	Cumacea	1. 46-1. 48-1. 50	3	L
Gammaridea	Gammarid	0. 40-0. 74-1. 58	49	M
Hyperiidea	Hyperiid	0. 33-0. 89-1. 70	21	M
Caprellidea	Caprellid	0. 11-0. 68-1. 67	45	M
Euphausiacea furcilia	Euph-fur	0. 43-0. 51-0. 58	20	S
Natantia juvenile	Nat-juv	1. 04-2. 41-3. 70	8	LL
Natantia zoea	Nat-zoea	0. 34-0. 69-1. 26	38	M
Reptantia Anomura zoea	RA-zoea	0. 58-0. 61-0. 64	3	M
Reptantia Anomura megalopa	RA-megal	0. 74-1. 10-1. 80	42	L
Reptantia Brachyura zoea	RB-zoea	0. 41-0. 76-1. 36	8	M
Reptantia Brachyura megalopa	RB-megal	0. 88-1. 66-3. 40	48	L
Sagittoidea	Sagittoid	0. 32-0. 36-0. 40	16	S
PISCES larva and juvenile	PISCES	1. 28-2. 36-3. 32	8	LL

マダラ稚魚がかいあし類カラヌス目から，大型の餌に転換するサイズを検討するために各採集地点ごとに転換全長(Shifted TL)を以下の式で求めた。

転換全長(Shifted TL, mm)＝[max{TL_1}+ min{TL_2}]/2

max{TL_1}:カラヌス目を主として捕食していた最大個体の全長

min{TL_2}:カラヌス目より大型の餌を主として捕食していた最小個体の全長

ここで「主として捕食していた餌」とは，各個体ごとに胃内容物中において湿重量で最も多く捕食していた餌生物のことである。なお，餌生物を十分捕食しておらず，「主として捕食していた餌」を判定できない個体は解析から除外した。また，同一地点で解析を行ったすべての個体がカラヌス目を捕食していた場合，転換全長は解析を行った個体の最大全長より大きいと判断し，逆にすべての個体がカラヌス目より大型の餌を捕食していた場合は，転換全長は解析を行った個体の最小全長より小さいと判断した。

結 果

マダラ着底稚魚の摂餌強度の時刻変化

陸奥湾の湾内および湾口部におけるマダラ稚魚の摂餌強度を，採集時刻ごとに胃内容物重量示数(SCI)の中央値で示した(Fig. IV-2)。全22回の採集のうちで最も早い時刻(08:41)に採集された1991年の湾口部Stn. 12においてSCIの中央値は0.07と低かったが，09:01に採集された1997年の東湾Stn. 50では2.0と比較的高い値を示した。10:08～11:13には相対的に高い値(1997年のStn. 19と1997年のStn. 37)と低い値(1995年のStn. 43, 1997年のStn. 12, 1995年のStn. 13)がともにみられ，11:13～13:13にはSCI=0.5以下の中央値がみられなかった。しかし，13:13～15:08までは再びSCIの中央値が高い地点と低い地点がともにみられた。採集時刻が比較的近く(14:13～15:08)，同一地点で採集が行われた1991年，1993年，1995年，1997年のStn. 30では，いずれの年もカラヌス目を多く捕食しており(後述)，SCIの中央値は1991年と1997年

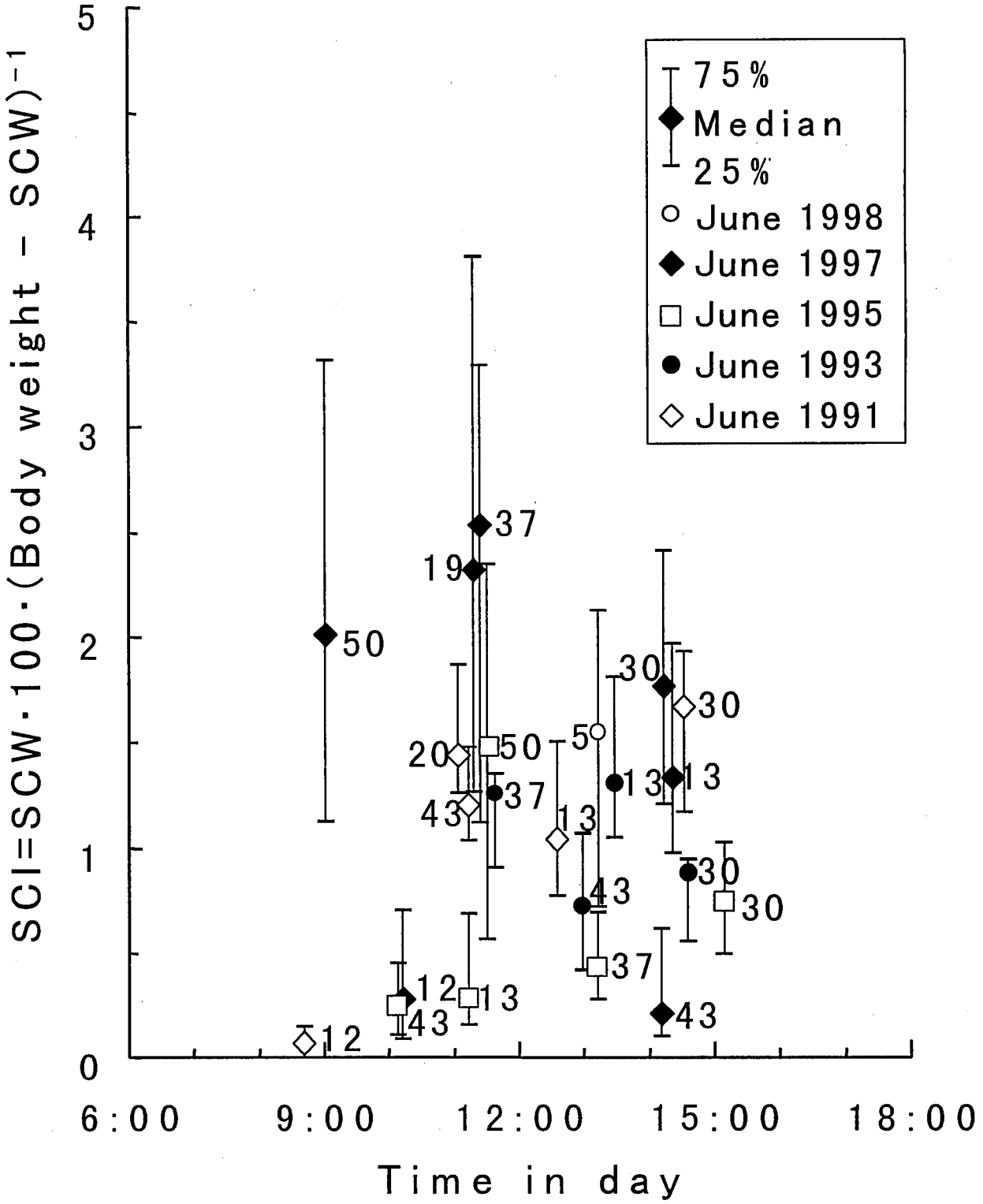


Fig. IV-2. Changes with time in stomach contents indices (SCI) of Pacific cod juveniles in Mutsu Bay in June. Numerals show station numbers.

に高く，1993年と1995年に低かった(1991年：1.7，1993年：0.87，1995年：0.76，1997年：1.8)。

次に稚魚の個体ごとのSCI値と体重の関係をFig. IV-3に示した。1991年にみられるSCI値が0.5未満の低い値を示した個体はすべて08:41にStn. 12で採集された個体であり，これらを除くと胃内容物重量(SCW)は0.01gから0.05gの範囲にあった。またSCI=0.5以上の個体は4個体を除いてすべてカラヌス目を捕食しており，稚魚の大型化に伴ってSCI値が減少する傾向がみられた。このようなSCI値の減少は1993年と1995年にも観察されたが，1995年のStn. 37で採集された大型の2個体のうち体重4.8g(全長TL:92.5mm)の個体が主にワレカラ(Caprellidea)を，体重5.0g(全長TL:92.4mm)の個体がコモチジャコAmblychaeturichthys sciistiusを捕食しており，それぞれSCI値0.9と3.4という大型個体にしては高い値を示した。一方1997年には大型個体でも高いSCI値を示す個体が多数みられ，他の年には全くみられないSCI値6以上の個体が218個体中9個体出現した。この年，カラヌス目を主食としていた個体の最大胃内容物重量(SCW)は0.026gであり，0.1g以上を示した個体の多くは体幅2.0mm以上の仔稚魚(LL，Very-large-sized prey)と十脚類遊泳亜目ジュベナィル(Natantia juvenile，エビ類，LL)を捕食していた。採集時間の中央値に年変動はあるが，1991年のStn. 12を除いて各年の摂餌量の中央値を求めると，1991年(採集時刻の中央値：11:54)は0.021g，1993年(13:13)は0.020g，1995年(11:20)は0.007g，1997年(11:24)は0.018g，1998年(13:13)は0.014gであった。また，摂餌量には採集年によって有意な差が認められ(クラスカル・ウオリス検定，KW=52.7，df=4，$P=9.9\cdot10^{-11}$)，1995年とその他の年の間には有意差が認められた(シェフェのS検定：$|x_i-x_j|=115.1$，$V_E=19{,}563$，df=4, 504，$P=1.9\cdot10^{-9}$)。

マダラ着底稚魚の食物組成

マダラ稚魚の各年各地点別胃内容物組成を出現頻度(F%，Table IV-2)，個体数組成(N%，Table IV-3，Fig. IV-4)，重量組成(W%，Table IV-4，Fig. IV-5)で示した。1991年

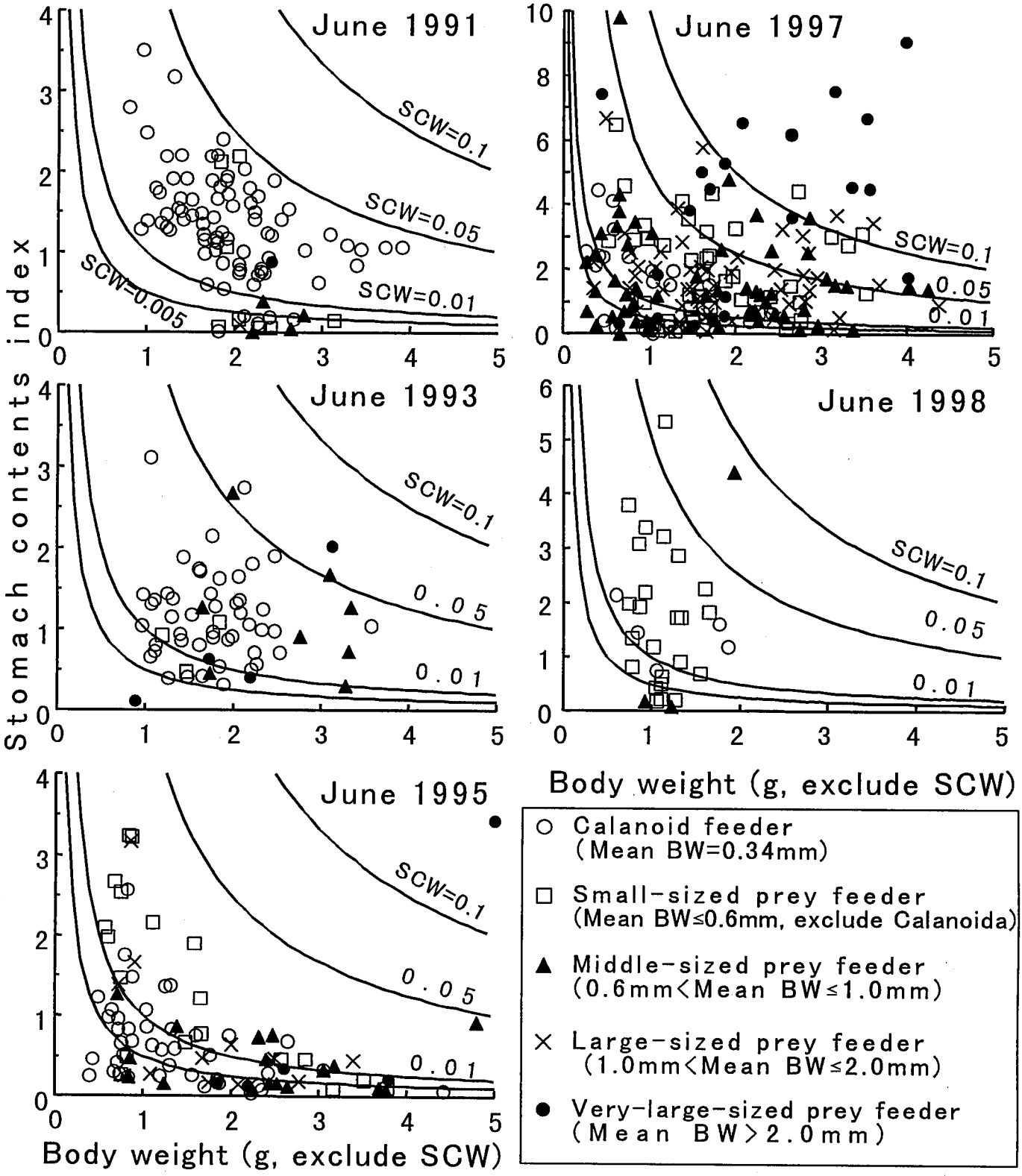


Fig. IV-3. Relation between body weight and stomach contents index (SCI) in Pacific cod juveniles in Mutsu Bay. Cod juveniles were categorized into five groups by the size of the main prey items.

Table IV-2. Occurrence of food items based on number of Pacific cod juveniles and percent frequency of occurrence of food items (F%, in parentheses) in Mutsu Bay in June. Correspondence analysis (CA) was performed using this table based on juveniles' number of individuals with asterisks at the left of "Food organism" column

	1991					1993				1995					1997							1998
Food organism	Stn.12	Stn.13	Stn.20	Stn.30	Stn.43	Stn.13	Stn.30	Stn.37	Stn.43	Stn.13	Stn.30	Stn.37	Stn.43	Stn.50	Stn.12	Stn.13	Stn.19	Stn.30	Stn.37	Stn.43	Stn.50	Stn.5
* Limacina sp.	0	2	1	3	2	1	0	0	0	1	1	2	6	19	0	0	0	6	3	9	14	5
	(0)	(10)	(5)	(15)	(10)	(5)	(0)	(0)	(0)	(5)	(5)	(10)	(30)	(95)	(0)	(0)	(0)	(19)	(9)	(28)	(44)	(16)
* Calanoida (Total)	13	20	20	20	20	22	7	13	19	17	19	16	16	20	9	13	4	30	5	18	3	30
	(65)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(95)	(85)	(95)	(80)	(80)	(100)	(28)	(43)	(13)	(97)	(16)	(56)	(9)	(94)
Calanus pacificus	6	20	20	20	20	22	6	13	18	3	4	8	0	3	4	5	2	20	1	5	2	12
	(30)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(86)	(100)	(90)	(15)	(20)	(40)	(0)	(15)	(13)	(17)	(7)	(65)	(3)	(16)	(6)	(38)
Paracalanus parvus	1	3	20	9	0	21	3	0	17	0	2	1	0	0	0	2	2	25	0	3	2	0
	(5)	(15)	(100)	(45)	(0)	(95)	(43)	(0)	(85)	(0)	(10)	(5)	(0)	(0)	(0)	(7)	(7)	(81)	(0)	(9)	(6)	(0)
Pseudocalanus spp.	2	18	20	20	20	14	1	2	18	14	19	16	13	17	0	4	2	17	0	5	0	9
	(10)	(90)	(100)	(100)	(100)	(64)	(14)	(15)	(90)	(70)	(95)	(80)	(65)	(85)	(0)	(13)	(7)	(55)	(0)	(16)	(0)	(28)
Centropages abdominalis	1	20	20	20	20	3	1	10	8	16	18	15	8	16	2	5	3	27	2	13	2	0
	(5)	(100)	(100)	(100)	(100)	(14)	(14)	(77)	(40)	(80)	(90)	(75)	(40)	(80)	(6)	(17)	(10)	(87)	(6)	(41)	(6)	(0)
Acartia omorii	0	8	3	4	0	1	0	0	3	2	2	1	0	2	1	0	0	1	3	2	0	0
	(0)	(40)	(15)	(20)	(0)	(5)	(0)	(0)	(15)	(10)	(10)	(5)	(0)	(10)	(3)	(0)	(0)	(3)	(9)	(6)	(0)	(0)
Other Calanoida	1	1	18	14	13	8	0	1	4	0	1	0	0	0	4	2	1	1	0	3	1	29
	(5)	(5)	(90)	(70)	(65)	(36)	(0)	(8)	(20)	(0)	(5)	(0)	(0)	(0)	(13)	(7)	(3)	(3)	(0)	(9)	(3)	(91)
Unidentified Calanoida	5	20	20	20	20	19	6	11	19	9	8	13	3	2	0	0	0	7	0	0	0	1
	(25)	(100)	(100)	(100)	(100)	(86)	(86)	(85)	(95)	(45)	(40)	(65)	(15)	(10)	(0)	(0)	(0)	(23)	(0)	(0)	(0)	(3)
* Corycaeus spp.	5	17	20	11	16	16	6	6	16	12	8	2	3	6	0	3	3	4	0	2	0	8
	(25)	(85)	(100)	(55)	(80)	(73)	(86)	(46)	(80)	(60)	(40)	(10)	(15)	(30)	(0)	(10)	(10)	(13)	(0)	(6)	(0)	(25)
* Cumacea	2	2	2	5	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0
	(10)	(10)	(10)	(25)	(10)	(5)	(14)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(6)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(3)	(0)
* Gammaridea	2	0	3	0	0	0	0	1	3	3	3	1	1	2	13	15	22	5	3	1	3	10
	(10)	(0)	(15)	(0)	(0)	(0)	(0)	(8)	(15)	(15)	(15)	(5)	(5)	(10)	(41)	(50)	(73)	(16)	(9)	(3)	(9)	(31)
* Hyperiidea	1	0	1	0	1	6	0	0	0	5	1	0	1	0	8	8	17	4	3	1	1	11
	(5)	(0)	(5)	(0)	(5)	(27)	(0)	(0)	(0)	(25)	(5)	(0)	(5)	(0)	(25)	(27)	(57)	(13)	(9)	(3)	(3)	(34)
* Caprellidea	0	1	0	2	2	3	1	3	10	2	4	7	3	0	0	19	13	16	9	17	18	0
	(0)	(5)	(0)	(10)	(10)	(14)	(14)	(23)	(50)	(10)	(20)	(35)	(15)	(0)	(0)	(63)	(43)	(52)	(28)	(53)	(56)	(0)
* Euphausiacea furcilia	1	20	20	16	4	20	0	0	0	4	5	1	0	1	1	2	3	6	0	0	0	25
	(5)	(100)	(100)	(80)	(20)	(91)	(0)	(0)	(0)	(20)	(25)	(5)	(0)	(5)	(3)	(7)	(10)	(19)	(0)	(0)	(0)	(78)
* Natantia juvenile	1	0	0	0	0	2	0	0	0	5	3	3	1	0	4	2	7	0	2	0	2	0
	(5)	(0)	(0)	(0)	(0)	(9)	(0)	(0)	(0)	(25)	(15)	(15)	(5)	(0)	(13)	(7)	(23)	(0)	(6)	(0)	(6)	(0)
* Natantia zoea	1	7	5	2	0	4	3	13	17	1	15	7	0	0	0	12	3	4	2	2	2	2
	(5)	(35)	(25)	(10)	(0)	(18)	(43)	(100)	(85)	(5)	(75)	(35)	(0)	(0)	(0)	(40)	(10)	(13)	(6)	(6)	(6)	(6)
* Reptantia Anomura zoea	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	0	0	0	3	0
	(0)	(0)	(5)	(0)	(15)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(10)	(10)	(0)	(3)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(9)	(0)
* Reptantia Anomura megalopa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	5	10	13	0	6	9	26	0
	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(10)	(5)	(0)	(0)	(0)	(16)	(33)	(43)	(0)	(19)	(28)	(81)	(0)
* Reptantia Brachyura zoea	2	4	3	1	6	16	0	2	1	4	4	4	1	10	4	4	7	1	0	0	7	1
	(10)	(20)	(15)	(5)	(30)	(73)	(0)	(15)	(5)	(20)	(20)	(20)	(5)	(50)	(13)	(13)	(23)	(3)	(0)	(0)	(22)	(3)
* Reptantia Brachyura megalopa	0	0	1	0	1	0	0	1	0	4	3	11	3	0	0	16	9	2	0	9	19	0
	(0)	(0)	(5)	(0)	(5)	(0)	(0)	(8)	(0)	(20)	(15)	(55)	(15)	(0)	(0)	(53)	(30)	(6)	(0)	(28)	(59)	(0)
* Sagittoidea	5	0	1	0	3	13	1	0	0	0	0	1	0	2	0	8	2	27	30	1	0	22
	(25)	(0)	(5)	(0)	(15)	(59)	(14)	(0)	(0)	(0)	(0)	(5)	(0)	(10)	(0)	(27)	(7)	(87)	(94)	(3)	(0)	(69)
* PISCES larva and juvenile	0	0	0	0	0	0	3	1	3	2	0	2	0	0	2	3	4	0	4	1	6	0
	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(43)	(8)	(15)	(10)	(0)	(10)	(0)	(0)	(6)	(10)	(13)	(0)	(13)	(3)	(19)	(0)
Others	1	16	20	20	20	9	7	7	20	12	10	11	11	20	2	14	10	8	15	5	10	1
	(5)	(80)	(100)	(100)	(100)	(41)	(100)	(54)	(100)	(60)	(50)	(55)	(55)	(100)	(6)	(47)	(33)	(26)	(47)	(16)	(31)	(3)
Digested food	16	17	19	20	18	12	2	12	12	16	6	9	14	7	20	6	19	14	6	18	12	8
	(80)	(85)	(95)	(100)	(90)	(55)	(29)	(92)	(60)	(80)	(30)	(45)	(70)	(35)	(63)	(20)	(63)	(45)	(19)	(56)	(38)	(25)
Number of fish examined	20	20	20	20	20	22	7	13	20	20	20	20	20	20	32	30	30	31	32	32	32	32
Number of empty stomachs	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	4	0	1	0	1	0	1	0

Table IV-3. Percent by number (N%) of food items in stomachs of Pacific cod juveniles in Mutsu Bay in June

	1991					1993				1995					1997							1998
Food organism	Stn. 12	Stn. 13	Stn. 20	Stn. 30	Stn. 43	Stn. 13	Stn. 30	Stn. 37	Stn. 43	Stn. 13	Stn. 30	Stn. 37	Stn. 43	Stn. 50	Stn. 12	Stn. 13	Stn. 19	Stn. 30	Stn. 37	Stn. 43	Stn. 50	Stn. 5
Limacina sp.	0	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0	0	0	0.3	0.3	0.3	2.7	73.8	0	0	0	0.7	0.9	7.4	14.2	1.2
Calanoida (Total)	26.3	62.6	65.5	97.5	83.9	72.3	79.1	84.9	85.1	76.1	89.9	87.0	65.6	15.3	11.3	12.2	13.1	86.4	0.5	13.7	13.8	33.5
Calanus pacificus	15.8	24.6	16.5	4.2	8.3	51.3	55.3	58.9	5.2	0.6	0.5	3.7	0	0.1	5.7	1.7	0.6	0.7	0.1	1.1	1.1	0.4
Paracalanus parvus	1.1	0.4	3.1	0.2	0	15.2	11.2	0	17.6	0	0.1	0.1	0	0	0	1.7	0.9	11.0	0	0.7	0.7	11.2
Pseudocalanus spp.	2.1	8.7	22.8	64.9	5.9	2.0	0.6	0.5	45.1	25.4	50.8	35.8	50.0	8.6	0	1.7	1.1	2.3	0	2.0	2.0	0.7
Centropages abdominalis	1.1	15.3	9.4	18.1	50.8	0.2	0.3	17.5	2.7	41.8	33.6	31.1	14.1	6.4	1.4	6.6	10.2	71.9	0.2	6.5	6.5	0
Acartia omorii	0	0.6	0.1	<0.1	0	0.1	0	0	0.1	0.3	0.3	0.1	0	<0.1	0.7	0	0	<0.1	0.3	2.7	2.7	0
Other Calanoida	1.1	0.7	4.0	0.3	0.6	0.6	0	0.1	0.2	0	0.1	0	0	0	3.5	0.7	0.3	<0.1	0	0.7	0.7	21.0
Unidentified Calanoida	5.3	12.2	9.6	9.9	18.2	2.8	11.8	7.9	14.2	8.1	4.5	16.0	1.5	0.1	0	0	0	0.4	0	0	0	0.2
Corycaeus spp.	14.7	5.6	26.9	0.2	0.7	7.4	9.7	0.8	9.7	10.0	0.9	0.6	0.7	0.2	0	1.7	2.0	0.2	0	0.4	0	0.9
Cumacea	3.2	0.2	<0.1	0.1	<0.1	0.1	0.3	0	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0	0	0	0.2	0
Gammaridea	2.1	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0.6	2.1	0.1	0.2	<0.1	11.3	9.2	35.5	0.2	0.3	0.2	0.8	1.2
Hyperiidea	1.1	0	<0.1	0	<0.1	0.5	0	0	0	0.8	0.1	0	0.2	0	52.5	5.6	10.5	0.2	0.6	0.2	0.2	1.1
Caprellidea	0	0.1	0	<0.1	<0.1	0.6	0.9	0.4	0.7	0.3	0.2	2.7	0.7	0	0	14.9	6.0	1.4	1.9	5.6	11.0	0
Euphausiacea furcilia	4.2	27.0	2.6	0.4	0.1	4.7	0	0	0	0.6	0.6	0.1	0	<0.1	3.5	0.7	0.9	0.2	0	0	0	50.6
Natantia juvenile	1.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.8	0.3	0.4	0.2	0	2.8	0.7	2.3	0	0.2	0	0.4	0
Natantia zoea	3.2	0.8	0.1	<0.1	0	0.5	2.6	12.4	3.2	0.3	4.1	1.6	0	0	0	7.6	1.7	0.1	0.2	0.7	0.4	0.1
Reptantia Anomura zoea	0	0	<0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.6	0.5	0	0.7	0	0	0	0	0	0.6	0
Reptantia Anomura megalopa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.1	0	0	0	7.8	10.9	11.1	0	1.1	2.9	29.7	0
Reptantia Brachyura zoea	2.1	0.2	0.1	<0.1	0.3	2.0	0	0.3	<0.1	0.7	0.2	1.1	0.2	0.4	5.0	1.3	2.8	<0.1	0	0	2.5	0.1
Reptantia Brachyura megalopa	0	0	<0.1	0	<0.1	0	0	0.1	0	1.0	0.2	1.9	0.7	0	0	8.6	4.0	0.1	0	8.7	16.9	0
Sagittoidea	41.1	0	<0.1	0	0.1	11.2	0.3	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0	13.5	0.6	10.3	85.9	0.2	0	11.2
PISCES larva and juvenile	0	0	0	0	0	0	7.1	0.3	0.3	0.3	0	0.6	0	0	1.4	1.0	1.4	0	0.4	0.2	1.5	0
Others	1.1	3.4	4.6	1.7	14.7	0.6	<0.1	0.8	0.9	8.1	1.1	2.9	28.0	10.2	2.1	12.2	8.2	0.3	7.8	59.6	7.6	0.1
Number of fish examined	20	20	20	20	20	22	7	13	20	20	20	20	20	20	32	30	30	31	32	32	32	32
Number of empty stomachs	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	4	0	1	0	0	1	1	0

Table IV-4. Percent by wet weight (W%) of food items in stomachs of Pacific cod juveniles in Mutsu Bay in June

	1991					1993				1995					1997							1998
Food organism	Stn. 12	Stn. 13	Stn. 20	Stn. 30	Stn. 43	Stn. 13	Stn. 30	Stn. 37	Stn. 43	Stn. 13	Stn. 30	Stn. 37	Stn. 43	Stn. 50	Stn. 12	Stn. 13	Stn. 19	Stn. 30	Stn. 37	Stn. 43	Stn. 50	Stn. 5
Limacina sp.	0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0	0	0	<0.1	8.8	<0.1	6.2	74.9	0	0	0	0.5	0.1	1.5	3.4	0.8
Calanoida	1.6	50.5	54.8	70.1	68.0	69.0	71.4	51.5	49.6	34.7	44.1	15.1	19.8	14.6	2.5	0.3	0.2	34.0	<0.1	1.0	0.3	19.7
Corycaeus spp.	<0.1	0.9	11.5	<0.1	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	5.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0	<0.1	<0.1	<0.1	0	<0.1	0	0.1
Cumacea	3.2	0.7	0.5	0.7	0.6	<0.1	<0.1	0	0	0	0	0	0	0	5.0	0	0	0	0	0	0.2	0
Gammaridea	9.5	0	0.7	0	0	0	0	<0.1	1.2	6.3	4.0	0.8	1.2	1.4	22.4	5.4	19.3	1.5	0.4	0.1	0.6	9.9
Hyperiidea	<0.1	0	<0.1	0	<0.1	0.5	0	0	0	2.1	<0.1	0	<0.1	0	16.6	3.2	9.8	0.9	1.4	0.1	1.4	0.7
Caprellidea	0	0.5	0	<0.1	<0.1	3.3	<0.1	<0.1	4.9	<0.1	0.9	16.7	11.1	0	0	23.6	4.4	19.0	4.5	9.9	15.9	0
Euphausiacea furcilia	1.6	28.1	5.8	1.3	0.2	2.9	0	0	0	<0.1	0.9	<0.1	0	0.3	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	0	0	0	52.2
Natantia juvenile	33.3	0	0	0	0	9.6	0	0	0	6.3	5.3	5.3	11.1	0	33.6	12.4	35.9	0	0.4	0	0.2	0
Natantia zoea	4.8	1.8	1.4	0.1	0	0.5	3.3	38.6	17.9	1.1	26.4	0.8	0	0	0	2.5	0.5	0.3	0.1	0.9	0.1	0.2
Reptantia Anomura zoea	0	0	<0.1	0	0.4	0	0	0	0	0	0	1.6	1.2	0	0.4	0	0	0	0	0	0.3	0
Reptantia Anomura megalopa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	2.2	0	0	0	5.0	12.3	6.5	0	2.2	7.2	29.0	0
Reptantia Brachyura zoea	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.4	1.8	0	0.3	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	1.7	0.2	0.7	0.1	0	0	0.4	<0.1
Reptantia Brachyura megalopa	0	0	0.2	0	0.2	0	0	0.6	0	9.5	0.4	9.0	17.3	0	0	19.1	5.0	0.9	0	22.0	13.4	0
Sagittoidea	7.9	0	<0.1	0	<0.1	7.0	<0.1	0	0	0	0	<0.1	0	1.4	0	2.3	<0.1	36.1	61.4	<0.1	0	15.6
PISCES larva and juvenile	0	0	0	0	0	0	23.1	0.3	1.6	2.1	0	40.3	0	0	3.7	2.5	8.0	0	24.6	47.2	22.5	0
Others	<0.1	<0.1	4.4	<0.1	3.2	0.3	<0.1	0.6	0.4	<0.1	<0.1	2.7	6.2	4.1	0.8	12.2	8.0	3.3	4.3	5.5	9.8	<0.1
Digested food	38.1	17.6	20.7	27.6	27.1	4.4	2.2	8.1	18.7	36.8	7.0	7.7	25.9	3.1	7.5	4.0	1.7	3.3	0.7	4.3	2.3	1.0
Number of fish examined	20	20	20	20	20	22	7	13	20	20	20	20	20	20	32	30	30	31	32	32	32	32
Number of empty stomachs	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	4	0	1	0	0	1	1	0

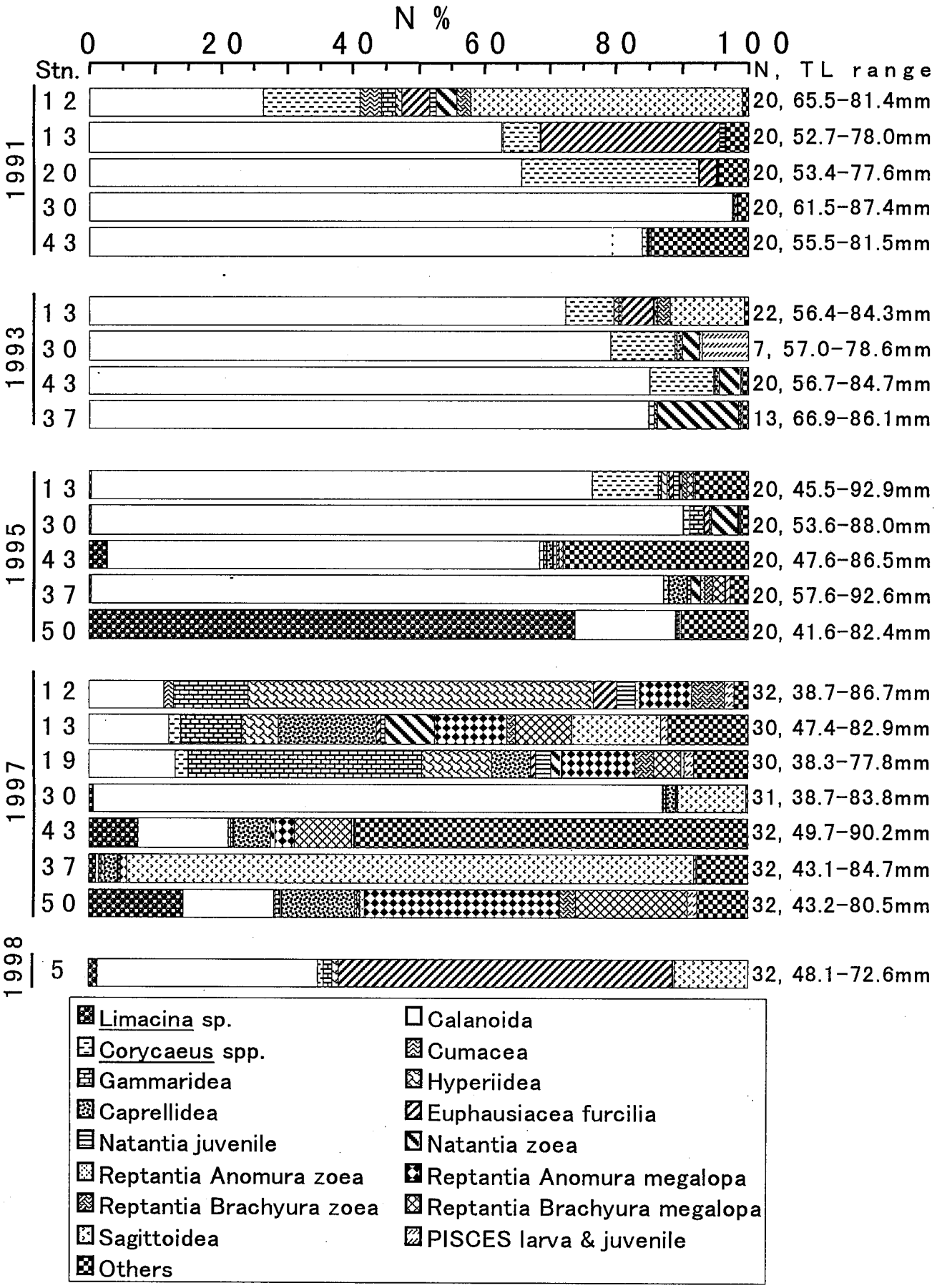


Fig. IV-4. Diet compositions (percent by number) in stomachs of Pacific cod juveniles by sampling stations in Mutsu Bay in June. N: number of fish examined.

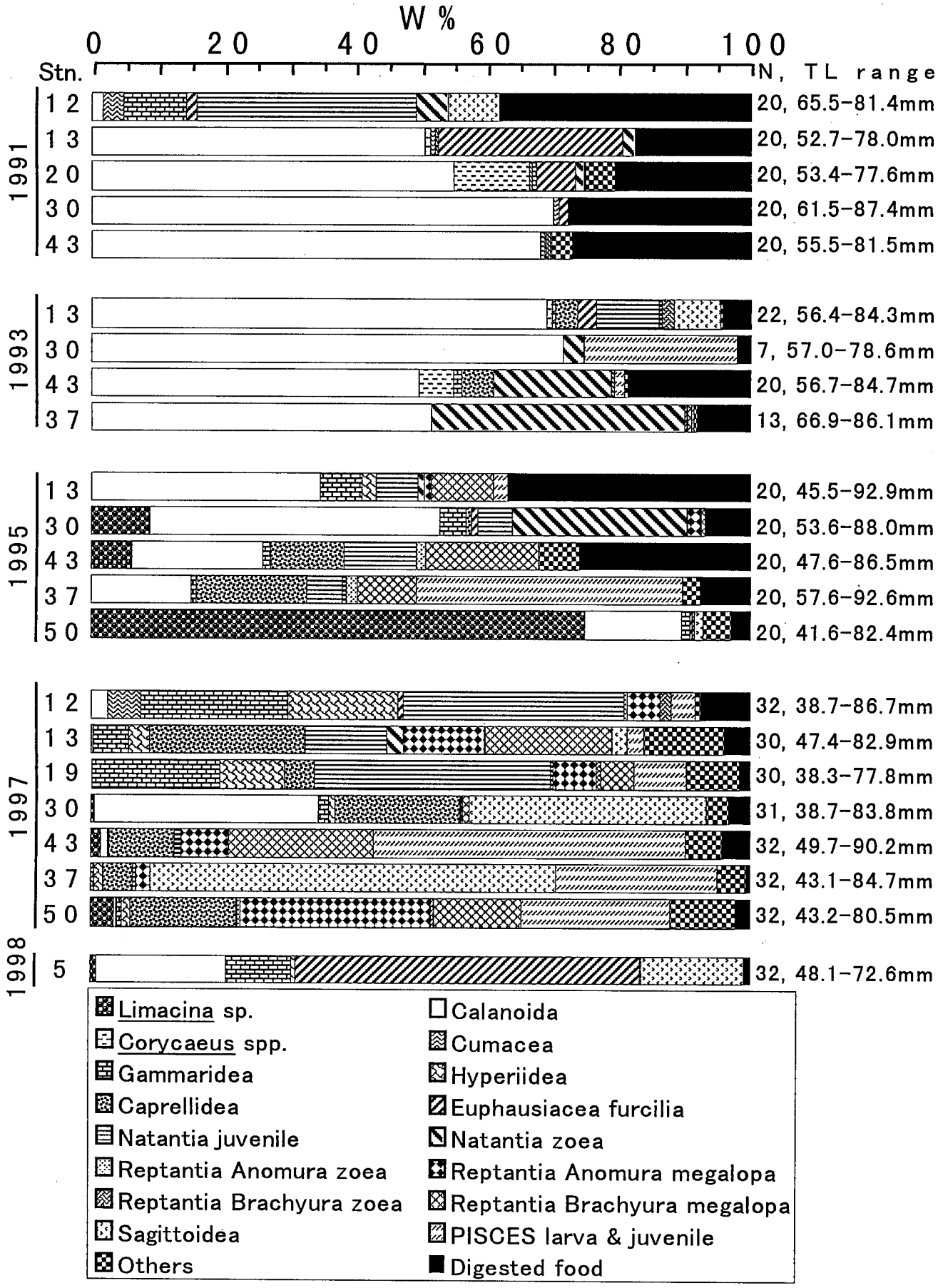


Fig. IV-5. Diet compositions (percent by wet weight) in stomachs of Pacific cod juveniles by sampling stations in Mutsu Bay in June. N: number of fish examined.

および1993年には摂餌強度が低かった1991年のStn. 12を除いてF%, N%, W%ともにかいあし類カラヌス目が高い値を示した(1991年: Stn. 12を除いてF%=100, N%=62.6-97.5, W%=50.5-70.1, 1993年: F%=95-100, N%=72.3-85.1, W%=49.6-71.4)。1991年のStn. 12ではN%ではヤムシ類(Sagittoidea, 主にSagitta elegans)が高かったが(41.1%), W%では十脚類遊泳亜目ジュベナィルが高い割合を占め(33.3%), これは体重1.62g(全長74.5mm)の1個体が0.021gのエビ1個体を捕食していたためである。

1995年もStn. 50を除いた4地点でカラヌス目のF%とN%が高い値を示した(F%=80-95, N%=65.6-89.9)。W%でもカラヌス目はStn. 13, Stn. 30, Stn. 43の3地点で消化物(Digested food)を除いて第1位を占めたが, その範囲は19.8-44.0%であり1991年および1993年に比べて低かった。このうちStn. 43では20個体中3個体が十脚類爬行亜目短尾族メガロパ幼生(Reptantia Brachyura megalopa, カニ類)を捕食し, W%で17.3%と比較的高い値を示した。Stn. 37では20個体のうち2個体が魚類を捕食し(1個体のマダラ稚魚がコモチジャコを捕食し, 他の1個体は同定不能の魚類を捕食), W%は40.3%を占めた。Stn. 50ではN%とW%ともに浮遊性巻貝Limacina属の1種が卓越した(F%=95, N%=73.8, W%=74.9)。

1997年はStn. 30でカラヌス目の捕食比率が高く(F%=97%, N%=86.4%, W%=34.0%), その他の地点ではいずれも低かった(F%=9-56%, N%=0.5-13.8%, W%=0.0-2.5%)。1997年の平均W%で上位から順に, 仔稚魚(PISCES larvae & juveniles, 15.5%), ヤムシ類(14.3%), 十脚類遊泳亜目ジュベナィル(11.8%), ワレカラ(Caprellidea, 主にイバラワレカラCaprella acanthogaster, 11.0%), 十脚類爬行亜目歪尾族メガロパ幼生(Reptantia Anomura megalopa, ヤドカリ類, 8.9%), 十脚類爬行亜目短尾族メガロパ幼生(8.6%), ヨコエビ亜目(Gammaridea, 7.0%), クラゲノミ亜目(Hyperiidea, 4.8%, 同定可能な個体はすべてThemisto japonica)などの様々な餌生物が捕食されていた。Stn. 43で「その他(Others)」がN%で59.6%を占めたのは, 32個体のマダラ稚魚のうち4個体が合計169個体の二枚貝の幼生(BIVALVIA larva)を捕食していたためである(N%=37.9)。

1998年のStn. 5ではオキアミ目ファーシリア期(Euphausiacea furcilia)が多く捕食さ

れ(F%=78, N%=50.6, W%=52.2), 次いでカラヌス目の占める割合が高かった(F%=94, N%=33.5, W%=19.7)。

個体数組成でカラヌス目の占める割合が高かった地点で, カラヌス目の種組成をみると(Fig. IV-6), Calanus pacificusが優占した地点は13地点中4地点, Pseudocalanus属は6地点, Centropages abdominalisは3地点であった。1991年には地点によってN%の高い種が様々であり, Stn. 13ではC. pacificusが, Stn. 20とStn. 30ではPseudocalanus属が, Stn. 43ではC. abdominalisが多く捕食されていた。1993年はC. pacificusが比較的多く捕食されていたが, Stn. 13, Stn. 30, Stn. 43ではParacalanus parvusの割合が他の年(0-12.8%)に比べて16.6-21.1%と高かった。1995年はPseudocalanus属とC. abdominalisが多く捕食され, その他の種の割合は4.2%以下であった(同定不能であったカラヌス目を除く)。1997年のStn. 30ではC. abdominalisが多くみられた。

マダラ着底稚魚の食物組成の座標づけ

マダラ稚魚の胃にみられる餌の出現頻度をマダラ稚魚の個体数であらわしたデータ(Tabel IV-2)を対応分析(CA)にあてはめて座標づけを行い, 胃内容物組成の特徴を解析した。CAによって得られた第1軸から第5軸までの固有値はそれぞれ, 0.364, 0.212, 0.163, 0.140, 0.078であり(Fig. IV-7, Table IV-5), 各軸の寄与率は31.7%, 18.4%, 14.2%, 12.2%, 6.8%と計算された。また, 第1軸から第4軸までの累積寄与率は76.5%, 第1軸から第5軸までの累積寄与率は83.3%となった。第4軸と第5軸の固有値には大きな差がみられ(Fig. IV-7), 第4軸までの要素が大きく影響すると判断されたため, 第1軸から第4軸までの餌生物別スコア(Table IV-5)と採集地点別スコア(Table IV-6)結果を示した。また, 各軸間の地点別座標づけの結果はFig. IV-8のA-CおよびG-Iに, 餌生物別座標づけの結果をFig. IV-8のD-FおよびJ-Lに示した。

地点別座標づけの結果のうち, 最も変動要素が大きい第1軸とそれに続く第2軸の座標づけをみると(Fig. IV-8-A), 1991年のStn. 12を除いて同じ年の採集地点はそれ

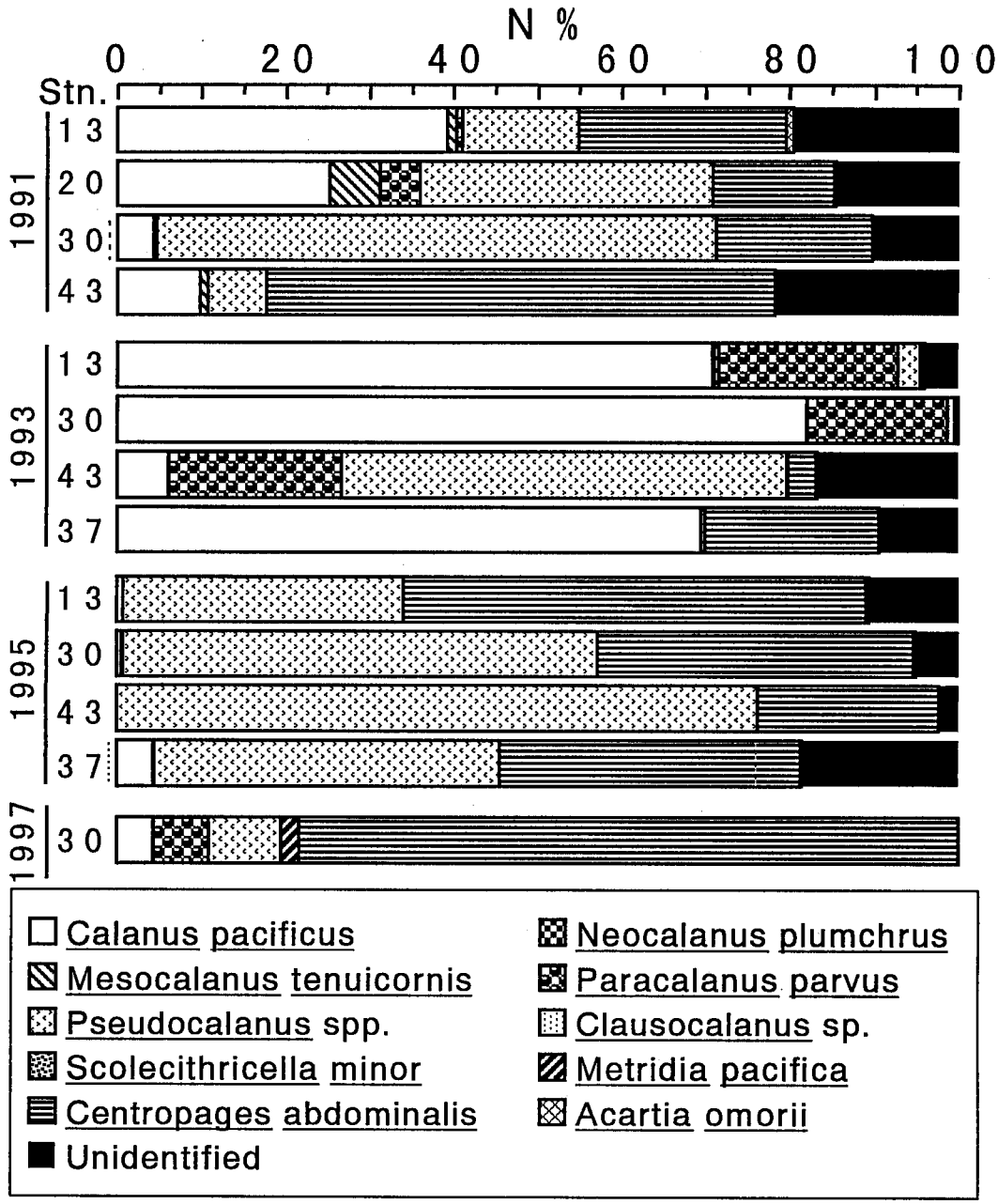


Fig. IV-6. Calanoid copepods compositions (percent by number) in stomachs of Pacific cod juveniles by sampling stations in Mutsu Bay in June.

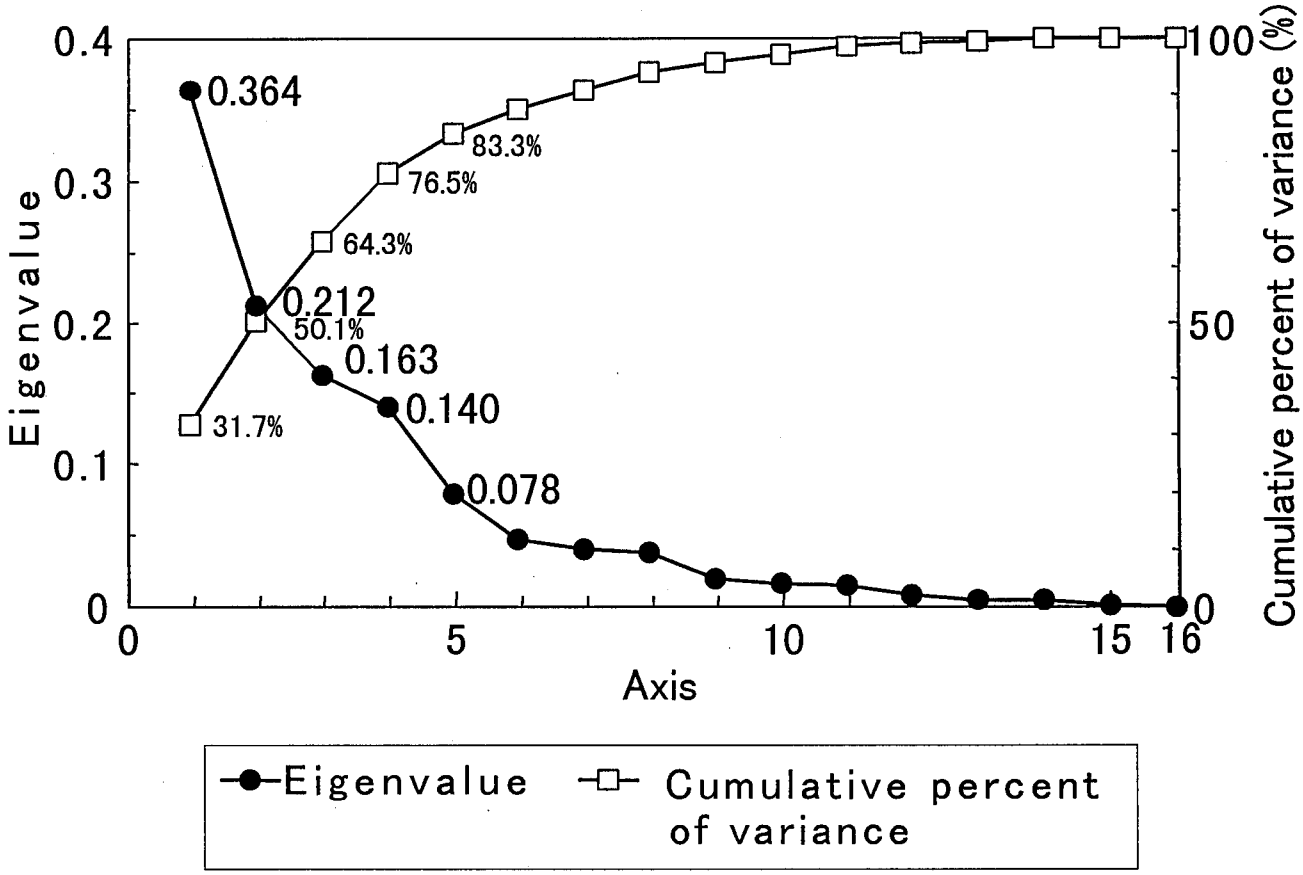


Fig. IV-7. Eigenvalues of correspondence analysis (CA) ordination of the 22 stations and 16 prey categories based on the prey occurrence from the stomachs in Pacific cod juveniles collected in Mutsu Bay in June.

Table IV-5. Prey scores derived from correspondence analysis (CA) of stomach contents in Pacific cod juveniles in Mutsu Bay in June

	Axis			
Food organism	1	2	3	4
Limacina sp.	0.51	−0.61	3.09	−1.63
Calanoida	−0.73	−0.22	0.34	0.11
Corycaeus spp.	−1.46	−0.74	−0.25	0.15
Cumacea	−1.61	−0.61	−0.63	−1.60
Gammaridea	1.13	0.71	−2.05	−0.66
Hyperiidea	0.80	1.25	−1.98	−1.09
Caprellidea	1.33	−0.15	0.53	1.08
Euphausiacea furcilia	−1.82	0.39	−0.52	−1.13
Natantia juvenile	1.13	0.02	−1.91	−0.72
Natantia zoea	−0.40	−1.13	−0.73	2.73
Reptantia Anomura zoea	0.62	−1.68	1.11	−1.44
Reptantia Anomura megalopa	2.77	−0.43	0.03	−0.86
Reptantia Brachyura zoea	−0.19	−0.51	0.03	−1.18
Reptantia Brachyura megalopa	2.01	−1.25	0.27	0.07
Sagittoidea	0.00	3.37	1.12	0.96
PISCES larva and juvenile	1.54	−0.22	−0.46	0.96
Eigenvalue	0.364	0.212	0.163	0.140
Percent of variance	31.7%	18.4%	14.2%	12.2%
Cumalative percent of variance	31.7%	50.1%	64.3%	76.5%

Table IV-6. Station scores derived from correspondence analysis (CA) of stomach contents in Pacific cod juveniles in Mutsu Bay in June

Station number and sampling year	Axis 1	2	3	4
Stn.12, 1991	−0.56	0.30	−0.04	0.00
Stn.13, 1991	−1.10	−0.30	−0.10	−0.12
Stn.20, 1991	−1.01	−0.21	−0.20	−0.19
Stn.30, 1991	−1.08	−0.24	0.02	−0.34
Stn.43, 1991	−0.68	−0.26	0.19	−0.22
Stn.13, 1993	−0.68	0.26	−0.06	−0.20
Stn.30, 1993	−0.48	−0.34	−0.07	0.60
Stn.37, 1993	−0.37	−0.61	−0.17	0.97
Stn.43, 1993	−0.33	−0.52	−0.17	0.89
Stn.13, 1995	−0.08	−0.21	−0.34	−0.20
Stn.30, 1995	−0.28	−0.43	−0.25	0.45
Stn.37, 1995	0.03	−0.42	0.59	−0.28
Stn.43, 1995	0.36	−0.51	0.12	0.30
Stn.50, 1995	−0.25	−0.28	1.03	−0.67
Stn.12, 1997	0.63	0.20	−0.98	−0.65
Stn.13, 1997	0.80	0.00	−0.29	0.27
Stn.19, 1997	1.01	0.14	−0.79	−0.29
Stn.30, 1997	−0.03	0.74	0.41	0.31
Stn.37, 1997	0.59	1.44	0.45	0.47
Stn.43, 1997	0.81	−0.37	0.58	0.06
Stn.50, 1997	1.46	−0.53	0.44	−0.29
Stn.5, 1998	−0.50	0.75	−0.07	−0.21

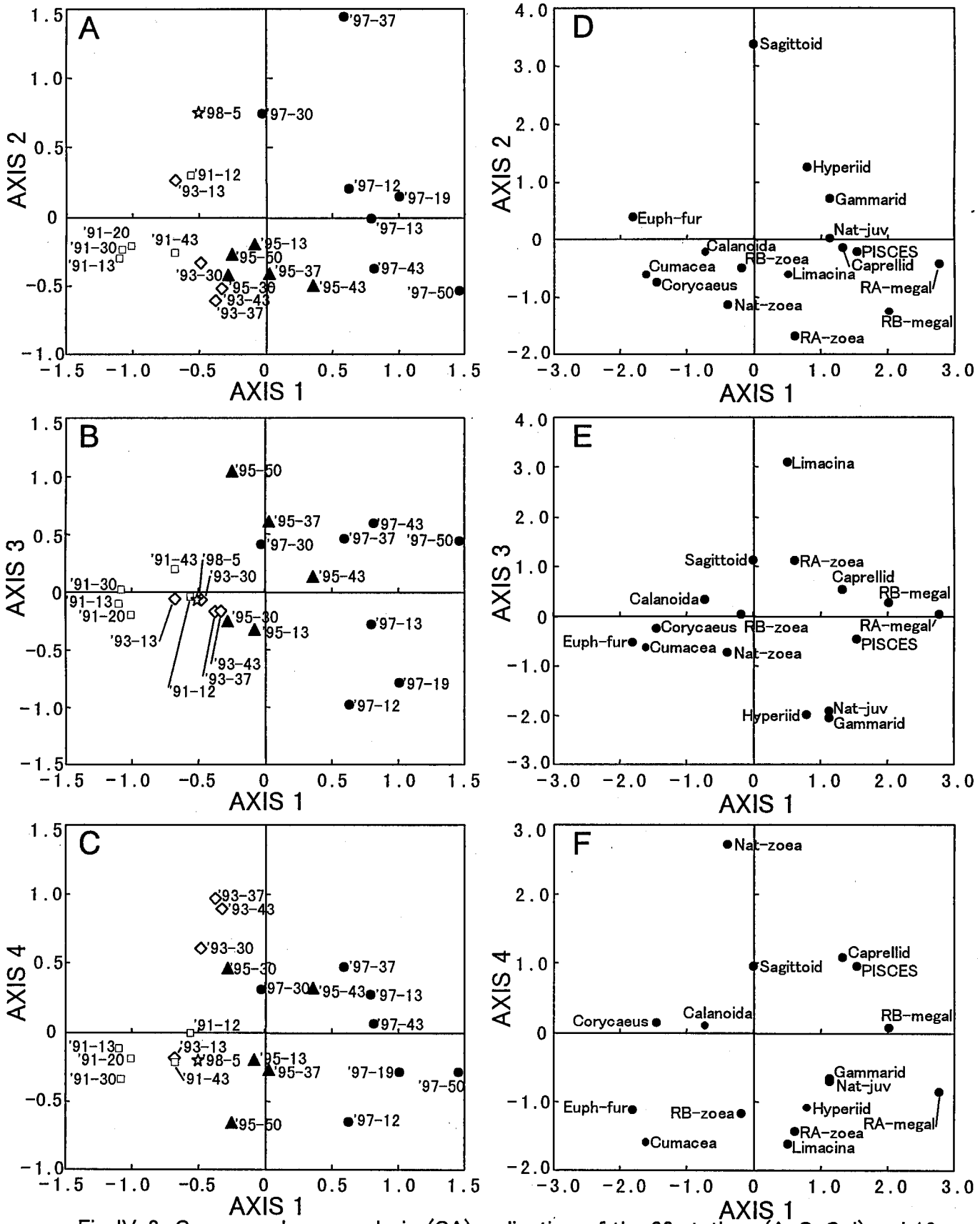


Fig. IV-8. Correspondence analysis (CA) ordination of the 22 stations (A-C, G-I) and 16 prey categories (D-F, J-L) based on the prey occurrence from the stomachs in Pacific cod juveniles collected in Mutsu Bay in June. Each code on the station score shows 'sampling year-station'. Each code on the prey score is truncation of the taxonomic name in Table IV-1.

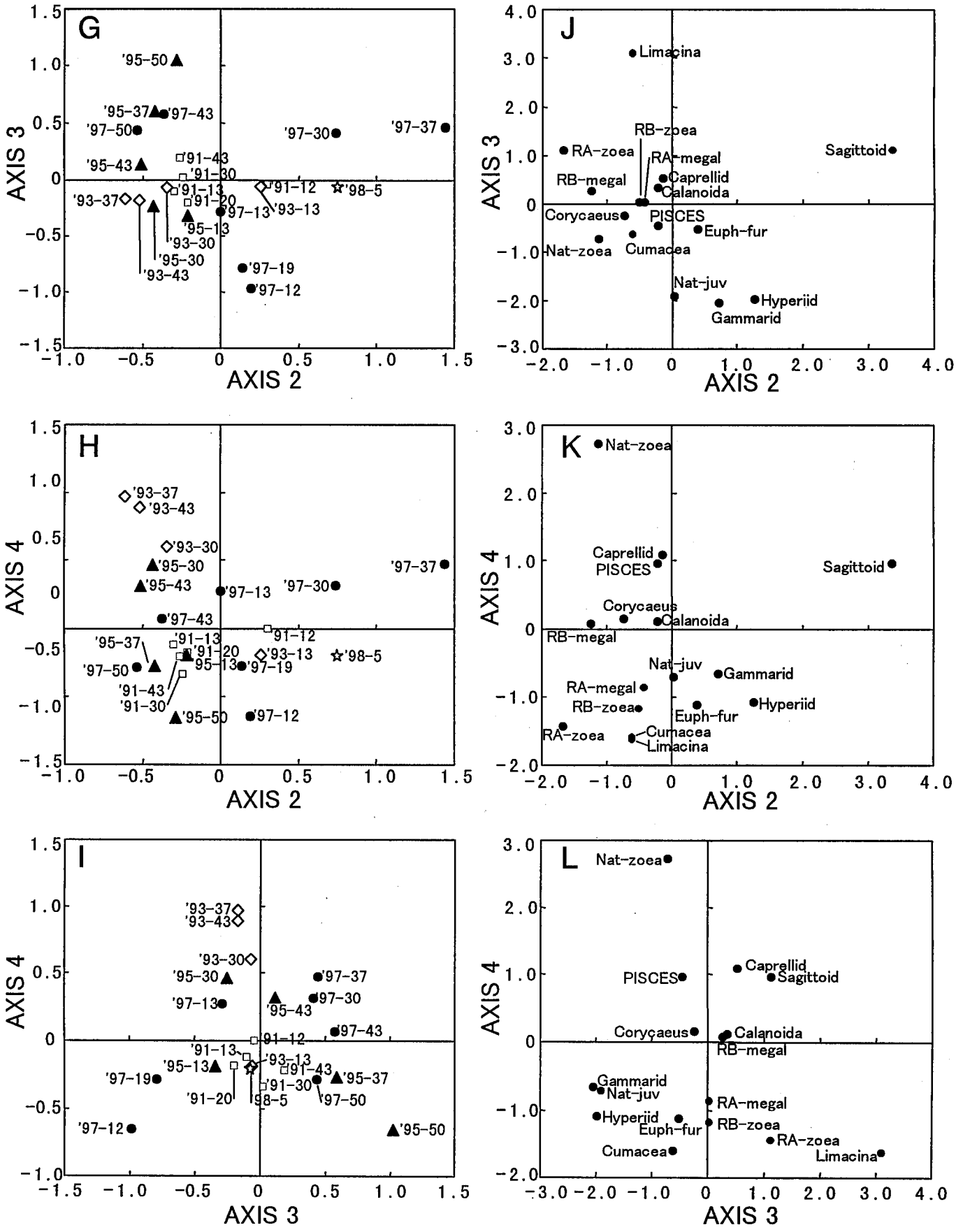

G
'95-50
'95-37
'97-43
'97-50
'97-30
'97-37
'95-43
'91-43
'91-30
'91-13
'91-12
'98-5
'93-37
'91-20
'97-13
'93-13
'95-13
'93-30
'95-30
'93-43
'97-19
'97-12
AXIS 3
AXIS 2
J
Limacina
RB-zoea
RA-zoea
RA-megal
Sagittoid
RB-megal
Caprellid
Calanoida
Corycaeus
PISCES
Euph-fur
Nat-zoea
Cumacea
Nat-juv
Hyperiid
Gammarid
AXIS 3
AXIS 2
H
'93-37
'93-43
'93-30
'95-30
'97-37
'95-43
'97-13
'97-30
'97-43
'91-12
'95-37
'91-13
'91-20
'93-13
'98-5
'97-50
'95-13
'97-19
'91-43
'91-30
'95-50
'97-12
AXIS 4
AXIS 2
K
Nat-zoea
Caprellid
PISCES
Sagittoid
Corycaeus
Calanoida
RB-megal
Nat-juv
Gammarid
RA-megal
Hyperiid
RB-zoea
Euph-fur
RA-zoea
Cumacea
Limacina
AXIS 4
AXIS 2
I
'93-37
'93-43
'93-30
'95-30
'97-37
'97-13
'97-30
'95-43
'97-43
'91-12
'91-13
'93-13
'95-13
'91-43
'97-19
'95-37
'91-30
'91-20
'98-5
'97-50
'97-12
'95-50
AXIS 4
AXIS 3
L
Nat-zoea
Caprellid
PISCES
Sagittoid
Coryçaeus
Calanoida
RB-megal
Gammarid
Nat-juv
RA-megal
Hyperiid
RB-zoea
Euph-fur
RA-zoea
Cumacea
Limacina
AXIS 4
AXIS 3

Fig. IV-8. (cont.)

ぞれまとまって分布し，年による出現頻度の相違が地点による相違よりも大きい結果となった。餌生物の中では相対的に小型であるカラヌス目を主食としていた1991年の4地点は，第1軸の値が小さい座標系の左側の狭い範囲に位置したのに対して，1997年は逆に右側に位置し，また1991年よりも第2軸方向に広がって配置された。CAでは餌生物別座標づけの結果は地点別座標づけの結果と位置的に対応関係がとられるように配置されるので，たとえば相対的に座標系の左側に位置した1991年の4地点で捕食頻度が高いカラヌス目も左側に座標づけされる(Fig. IV-8-A, Fig. IV-8-D)。また，座標系で最も右側に位置づけられた十脚類爬行亜目歪尾族メガロパ幼生(記号: RA-megal)は，1997年のStn. 30以外の6地点で頻繁に捕食されたため(F%: 16-81%)，地点別座標づけでもやはり右側に配置された。餌生物別座標づけでヤムシ類が第2軸のスコアが高く(Fig. IV-8-D)，地点別座標づけではヤムシ類を相対的に頻繁に捕食していた1997年のStn. 37 (F%=94)や1997年のStn. 30 (F%=87)，1998年のStn. 5 (F%=69)，1993年のStn. 13 (F%=59)が第2軸に関するスコアが高かった(Fig. IV-8-A)。

第1軸と第3軸の座標づけの結果をみると，餌生物別座標づけでは浮遊性巻貝のLimacina属の1種が第3軸に関して大きな値をとり(Fig. IV-8-E)，この餌を頻繁に捕食していた1995年のStn. 50 (F%=95)の標本も地点別座標づけで他の地点よりも上方にプロットされた(Fig. IV-8-B)。

第1軸と第4軸の座標づけでは，餌生物別座標づけでは十脚類遊泳亜目のゾエア幼生(Natantia zoea)が第4軸に関して大きな値をとり(Fig. IV-8-F)，この餌を頻繁に捕食していた1993年のStn. 37 (F%=100)，1993年Stn. 43 (F%=85)，1995年Stn. 30 (F%=75)の標本も地点別座標づけで他の地点よりも上方にプロットされた(Fig. IV-8-C)。第2軸と第3軸，第2軸と第4軸，第3軸と第4軸の座標づけの結果は，Fig. IV-8のG-Lに示した。

次に第1軸から第4軸までの生態学的な意味を解釈するために，各軸のスコアと関連が想定されるデータをスピアマンの順位相関係数(r_s)によって相関の有無を調べ(Table IV-7-1, Table IV-7-2)，その結果をプロットした(Fig. IV-9, Fig. IV-10)。まず胃

Table IV-7-1. Spearman's rank correlation coefficients between mean body widths of preys and prey scores derived from correspondence analysis (CA) of stomach contents in Pacific cod juveniles in Mutsu Bay in June

Character	Axis 1	2	3	4
Mean prey width	0.597*	−0.029	−0.447	−0.096

*: Significant at 0.05

**: Significant at 0.01.

Table IV-7-2. Spearman's rank correlation coefficients between biotic/abiotic characters and station scores derived from correspondence analysis (CA) of stomach contents in Pacific cod juveniles in Mutsu Bay in June

Character	Axis 1	2	3	4
Occurrence of Sagittoidea [a]	0.028	0.726**	0.262	0.094
Occurrence of Limacina sp. [a]	0.126	−0.046	0.801**	−0.357
Occurrence of Natantia zoea [a]	−0.116	−0.316	−0.402 *	0.705**
Distance from Stn.5	0.241	−0.569**	0.590**	0.188
Water temperature at station	−0.082	0.183	−0.418 *	0.541**

*: Significant at 0.05

**: Significant at 0.01

a : based on number of fish.

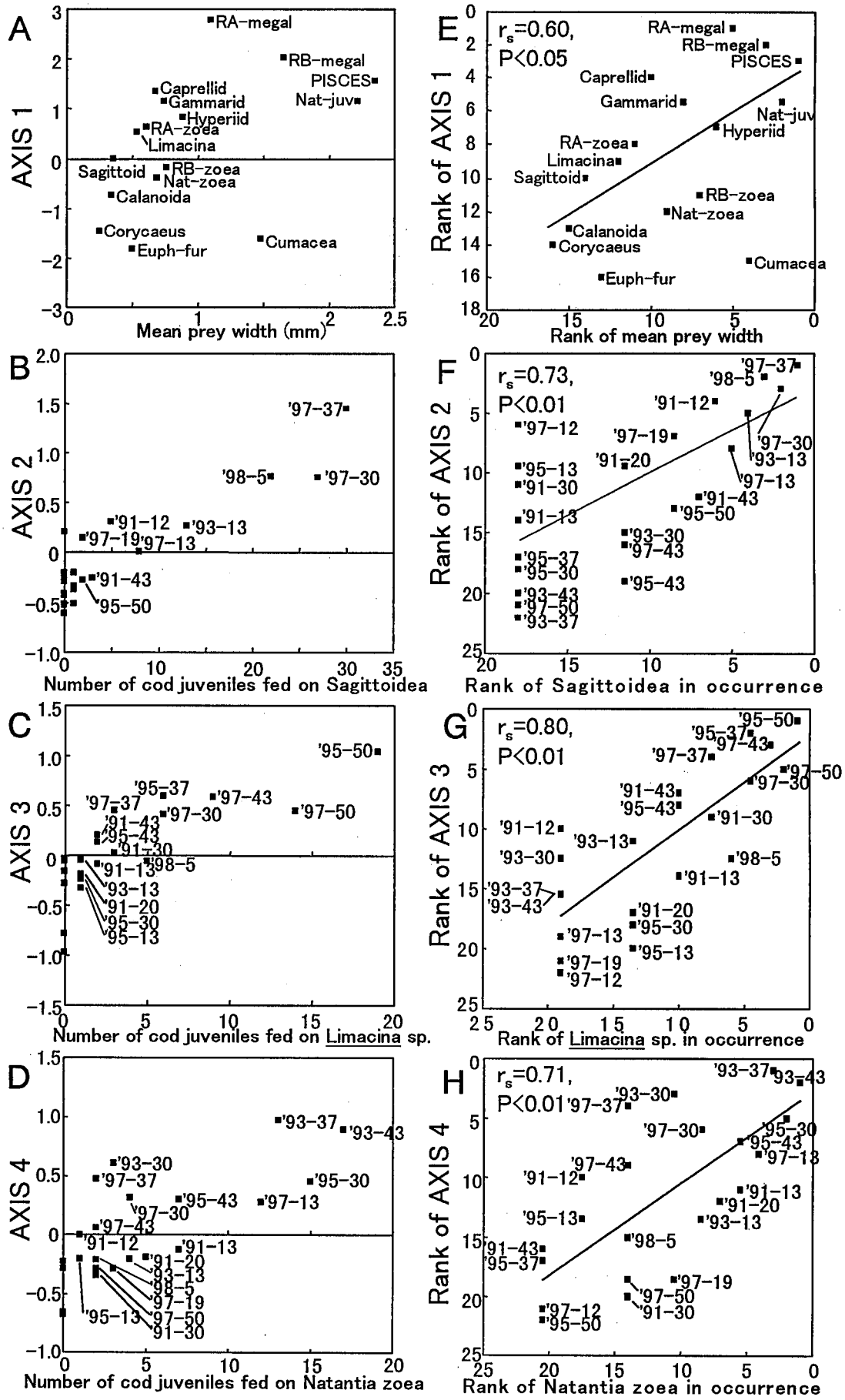


Fig. IV-9. Relationships between mean prey width and score of prey category in the axis 1 (A, E), occurrence of Sagittoidea from stomachs and score of station in the axis 2 (B, F), occurrence of Limacina sp. from stomachs and score of station in the axis 3 (C, G), and occurrence of Natantia zoea from stomachs and score of station in the axis 4 (D, H). Each r_s shows Spearman's rank correlation coefficient.

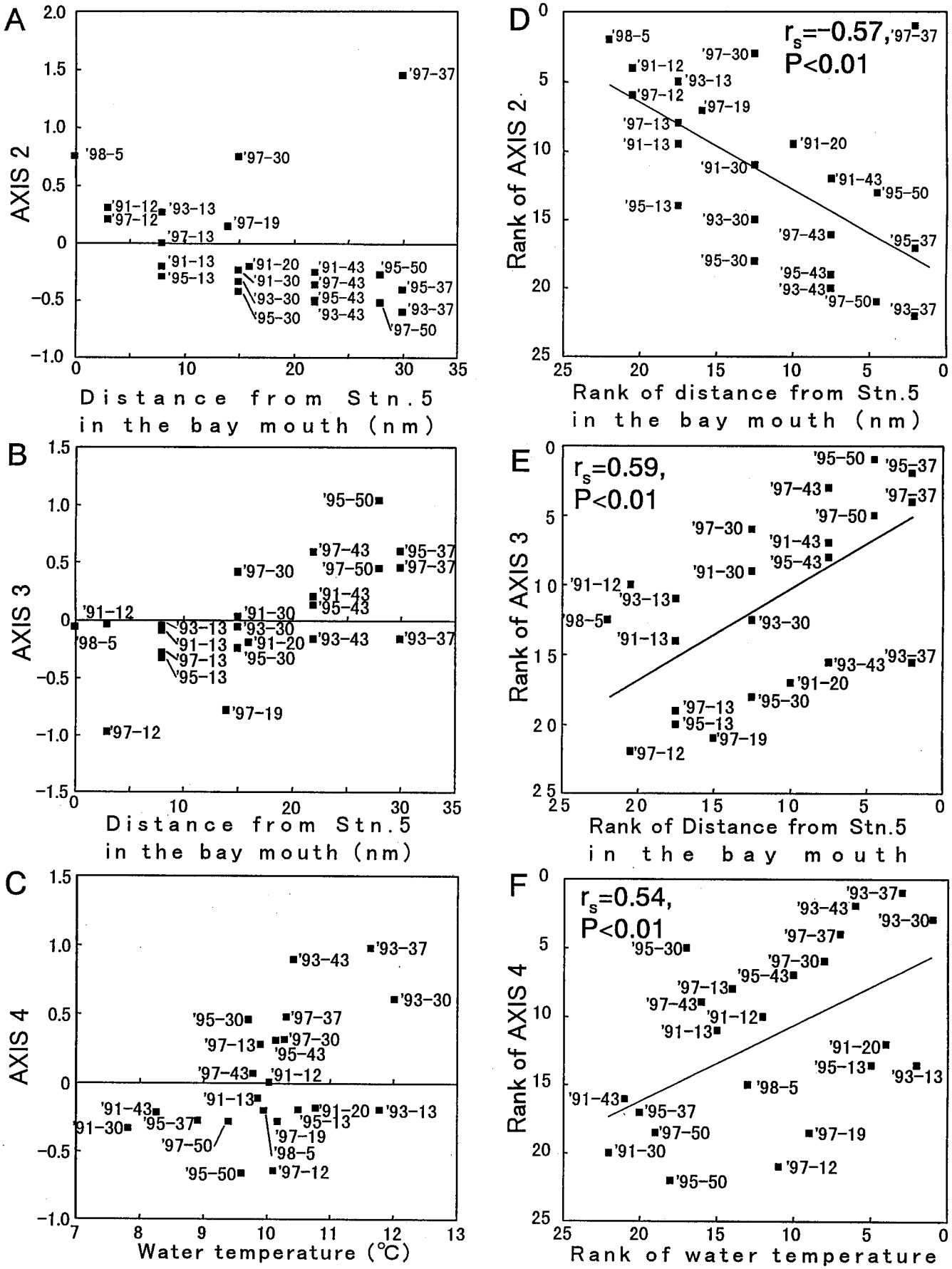


Fig. IV-10. Relationships between geographical distance from Stn.5 and score of station in the axis 2 (A, D), geographical distance from Stn.5 and score of station in the axis 3 (B, E), and water temperature on the sea bottom and score of station in the axis 4 (C, F). Each r_s shows Spearman's rank correlation coefficient.

内容物中に出現した餌生物の平均体幅(mm)と餌項目に関する第1軸から第4軸までのスコアを比較すると，第1軸のスコアとの間に有意な正の相関がみられた(r_s=0.597, P<0.05, Table IV-7-1, Fig. IV-9-A, Fig. IV-9-E)。すなわち，第1軸は餌生物のサイズを示しており，スコアが大きいほど大型の餌であると考えられる。別の見方をすれば第1軸の値が高い地点は相対的に大型の餌を多く捕食していたことになり，1998年を除いて採集年が進むにつれて大型の餌を捕食する傾向があるといえる(Fig. IV-8-A)。次にヤムシ類の出現頻度と地点に関する第1軸から第4軸までのスコアを比較すると，第2軸のスコアと有意な正の相関がみられた(r_s=0.726, P<0.01, Table IV-7-2, Fig. IV-9-B, Fig. IV-9-F)。すなわち，ヤムシ類の出現頻度は第2軸との関連性が強い。浮遊性巻貝Limacina属の1種の出現頻度と地点に関する第1軸から第4軸までのスコアを比較すると，第3軸のスコアと有意な正の相関がみられた(r_s=0.801, P<0.01, Table IV-7-2, Fig. IV-9-C, Fig. IV-9-G)。また，十脚類遊泳亜目ゾエア幼生の出現頻度と地点に関する第1軸から第4軸までのスコアを比較すると，第4軸のスコアと有意な正の相関がみられ(r_s=0.705, P<0.01, Table IV-7-2, Fig. IV-9-D, Fig. IV-9-H)，相関係数の絶対値は小さいが第3軸のスコアとも有意な負の相関がみられた(r_s=−0.402, P<0.05, Table IV-7-2)。すなわち，第4軸は十脚類遊泳亜目ゾエア幼生の出現頻度を示すが，Limacina属の1種とは逆の出現様式を示すものと考えられる。

湾口部Stn. 5から湾内最深部に沿って測った距離(mile)と地点に関する第1軸から第4軸までのスコアを比較すると，ヤムシ類を多く捕食していた1997年のStn. 37 (F%=94)はこの関係からはずれてプロットされたが，第2軸のスコアと有意な負の相関がみられ(r_s=−0.569, P<0.01, Table IV-7-2, Fig. IV-10-A, Fig. IV-10-D)，第3軸のスコアとの間にも有意な正の相関がみられた(r_s=0.590, P<0.01, Table IV-7-2, Fig. IV-10-B, Fig. IV-10-E)。また，マダラ稚魚が採集された海底直上の水温(℃)と地点に関する第1軸から第4軸までのスコアを比較すると，第4軸のスコアと有意な正の相関がみられ(r_s=0.541, P<0.01, Table IV-7-2, Fig. IV-10-C, Fig. IV-10-F)，第3軸のスコアとの間にも有意な負の相関がみられた(r_s=−0.418, P<0.05, Table IV-7-2)。この

ように生物および非生物要因と，地点に関する第2軸から第4軸までのスコアと間の対応関係は必ずしも一義的ではなかった。

マダラ着底稚魚の相対成長の年変動

Figure IV-11にマダラ稚魚の全長－体重関係を採集年ごとに示した。求めた回帰式の間には共分散分析(ANCOVA)によって相対成長係数(指数部分)に有意差がみられた($P=2.4\cdot10^{-5}$)。1991年は他の年に比べて約70mm以下の全長で体重が重く，始原成長示数(定数部分)は$8.31\cdot10^{-6}$と他の年よりも大きく，小型個体が太っていたことを示している。また1991年の大型個体では1993年とほぼ同様な体重であった。1993年は1995年と類似した全長－体重関係であったが，すべての全長範囲で1995年に比べて体重が重かった。1997年は他の年に比べて始原成長示数が最も小さく($1.32\cdot10^{-6}$)，相対成長係数は最も大きかった(3.35)。また小型個体では1993年とほぼ同様な体重であったが，大型個体で体重が重くなっていた。1991年と1997年の交点は全長74mmであった。4年間のうちで，すべての全長範囲で体重が最も軽かった1995年を基準に比較を行うと，全長55mmでは1991年，1993年，1997年の体重はそれぞれ+22%，+7%，+8%であり，全長80mmではそれぞれ+8%，+4%，+12%であった。

マダラ着底稚魚の食物転換サイズ

マダラ稚魚がカラヌス目からより大型の餌に転換するサイズと，環境中のカラヌス目の分布密度との関係を検討した。6月の昼間，陸奥湾湾内においてカラヌス目は，マダラ稚魚が分布する海底直上に主として分布し，湾口部では海底直上よりも中層域で分布密度が高かった(Fig. III-8)。このため湾内でNORPACネットの鉛直曳によって採集されたカラヌス目の分布密度をマダラ稚魚にとって利用できるカラヌス目の豊度とみなし，湾口部のNORPACネット資料および食物転換サイズの資料はこの解析では用いなかった。転換全長が計算できた地点のみで回帰分析を行うと有意な相関は認められなかったが($P=0.14$)，カラヌス目の分布密度が高くなるほど転換全長が大型になる傾向がみられた(Fig. IV-12)。カラヌス目の分布密度が湾内4地点ともに$1.0\cdot10^4$ inds.$\cdot m^{-2}$を上回っていた1991年は，胃内容物を解析した80個体のうち，Stn. 13で

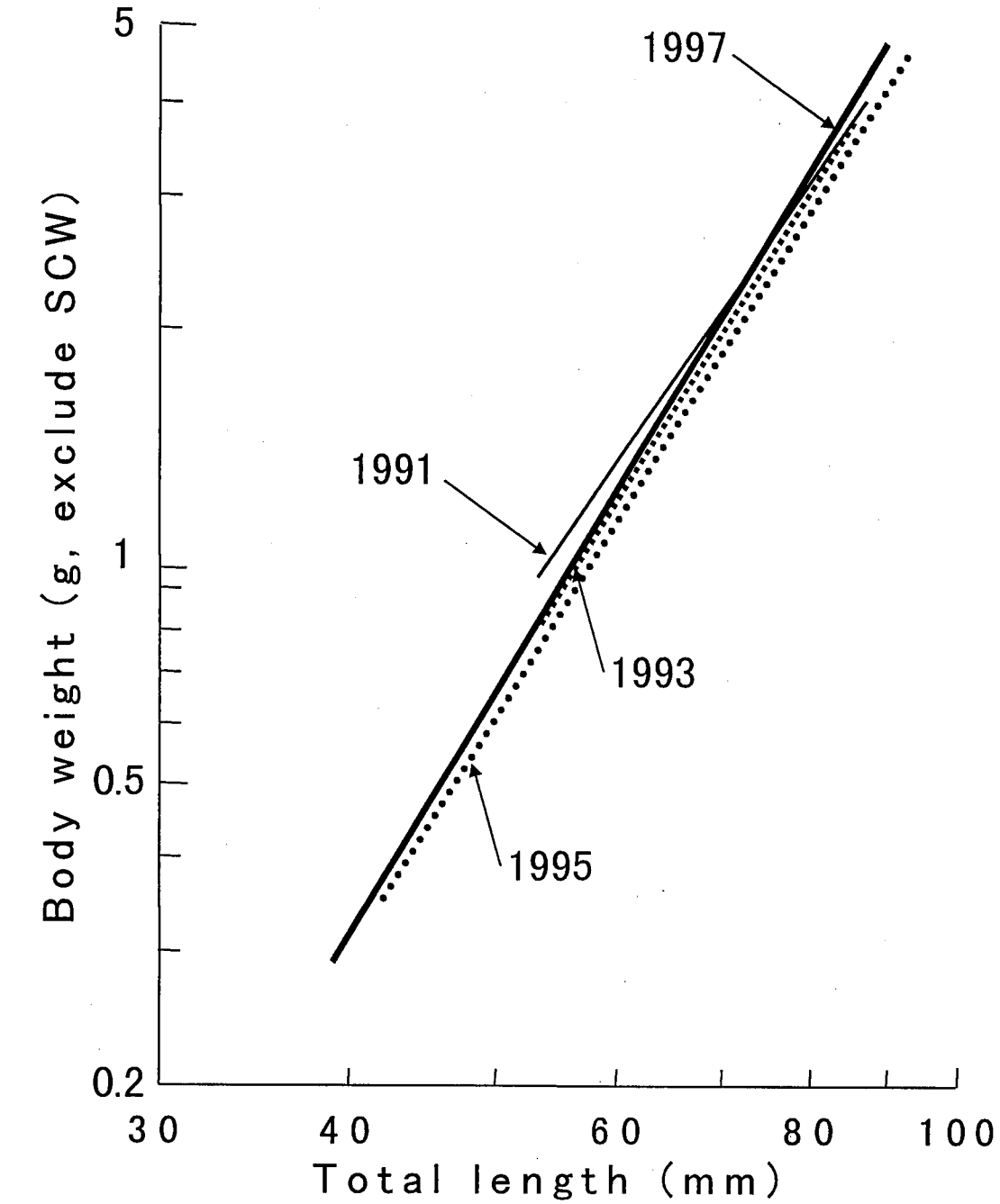


Fig. IV-11. Allometric growth of Pacific cod juveniles between total length (mm) and body weight (g, exclude stomach contents weight) in Mutsu Bay in June.

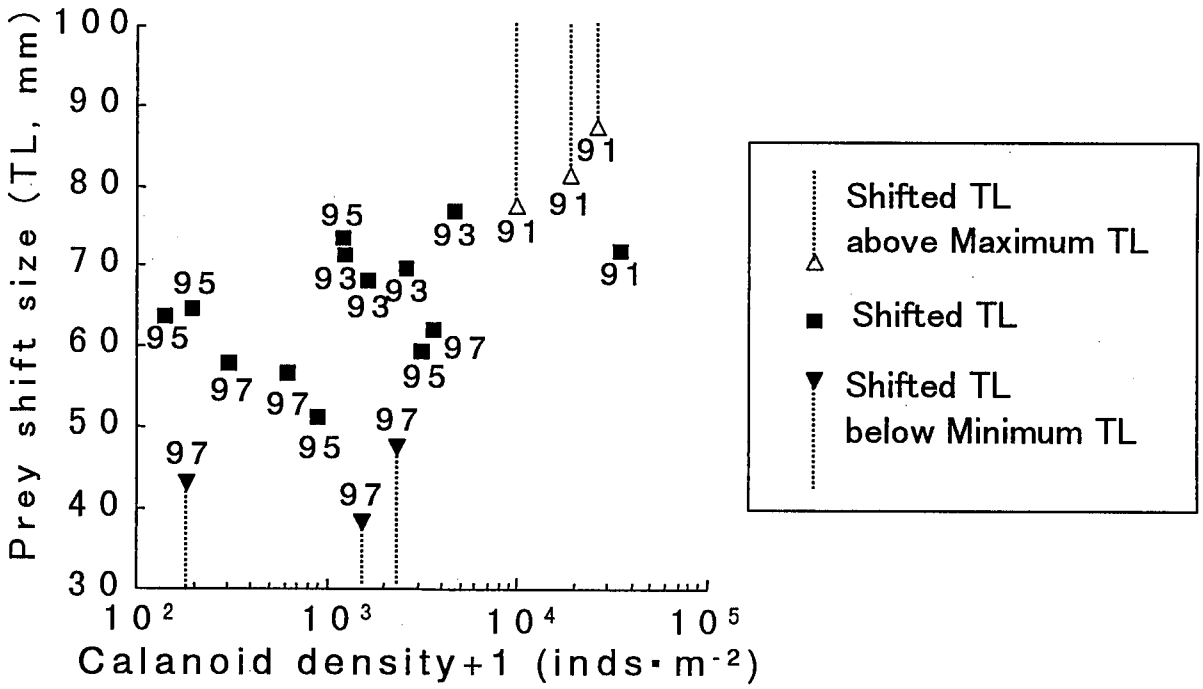


Fig. IV-12. Relation between density of calanoid copepods (individuals per square meter) collected by vertical hauls with a NORPAC net (0.33mm mesh) and prey shift size in total length of Pacific cod juveniles (mm) in Mutsu Bay in June. Each prey shift size was calculated from the maximum total length of calanoid feeder and the minimum total length of other large-sized food feeder in each sampling station.

採集された3個体(オキアミ目を主食)を除いて残りの77個体(96.3%)がカラヌス目を主食としており，全4地点の転換全長はいずれも71.5mm以上であった。一方1997年は湾内で主食としていた餌生物が判定できた181個体のうち，カラヌス目を主食としていた個体はわずか21個体であり(11.6%)，湾口部Stn. 12を除く6地点の転換全長はいずれも61.6mm以下であった。このようにマダラ稚魚の食物転換サイズには年変化がみられた。

考 察

マダラ着底稚魚の摂餌活動の日周性は不明瞭であったが，11:13～13:13に低いSCI値がみられないこと，その後SCI値は徐々に低下することから，消化速度を上回る摂餌は主に正午前に行われるものと推察される(Fig. IV-2)。稚魚の体重とSCI値との関係をみると(Fig. IV-3)，1997年を除いて体重の増加に伴ってSCI値は減少しており，1997年には他の年に比べて摂餌強度が高い大型個体がみられた。

マダラ稚魚の食物組成の座標づけを行った結果，各軸のスコアと固有値から6月のマダラ稚魚の食物組成を変化させる要因は，まず第1に餌のサイズで規定され，続いてヤムシ類やLimacina属の1種，十脚類遊泳亜目ゾエア幼生といった採集地点に特異的に出現する餌生物が食物組成を大きく変化させるものと考えられる。Figure IV-8のD-F，J-Lをみてもわかるようにこれらの餌生物は，他の餌生物とはかけ離れて第2軸，第3軸および第4軸のスコアで大きく，たとえばカラヌス目やCorycaeus属のように同じ採集年であれば地点によってあまり出現頻度が変わらない餌に比べて，突発的に出現することが多い(Table IV-2)。これらの特異的な餌生物は，通常マダラ稚魚が捕食する餌が環境中に豊富に存在しない場合摂餌される餌と考えられ，カラヌス目に比べれば大型であり(Fig. I-7，Table IV-1)代替の餌生物 (alternative prey)となり得るが(第 I 章)，稚魚にとっての重要性はそれほど高くないものと考えられる。第Ⅲ章でも述べたように6月の陸奥湾においては，比較的水温が高い水域では冷水性のカイアシ類の豊度が相対的に低い。また，第2軸，第3軸，第4軸は，湾口部からの地理的

距離や水温とも有意な相関がみられたことから(Fig. IV-10), カラヌス目の豊度が低い高水温域ではヤムシ類, Limacina属の1種, 十脚類遊泳亜目ゾエア幼生などが捕食されやすいことを反映しているものと考えられる。

1991年のように$1.0 \cdot 10^4$ inds.$\cdot m^{-2}$を超えるカラヌス目の分布密度に稚魚が遭遇した場合, マダラ稚魚は餌生物を探索する時間が少なくて済み, 摂餌コストを低く抑えることができるためにカラヌス目を優先的に捕食し, 結果的に大型の餌に転換する体サイズが大型化するものと考えられる。しかしこのようなカラヌス目の高い分布密度に稚魚が遭遇してカラヌス目を専食したとしても, 全長およそ70mm(胃内容物を除いた体重約2.1g)までの個体にしか有効な餌とは考えられない。なぜならこの1991年は, 摂餌強度が大型個体ほど低く(Fig. IV-3), 全長—体重関係でみても全長70mm以上の個体の体重は他の年に比べて重くはない(Fig. IV-11)。またカラヌス目を主食としていたが, $1.0 \cdot 10^4$ inds.$\cdot m^{-2}$未満の分布密度であった1993年と1995年も, 一部の大型個体を除いて摂餌強度は大型個体ほど低く(Fig. IV-3), 餌の種類に拘らず相対的に痩せており(Fig. IV-11), 結果として十分な量の摂餌を行っていたとは考えられない。一方他の年に比べて1997年には, 小型の全長で餌を転換していたが(Fig. IV-12), 約70mm以下の小型個体は1991年のように太ってはいなかった(Fig. IV-11)。これは1997年の小型個体にとって, その餌の大きさゆえに捕食した場合の利益は大きいが, 捕食成功率が低いかあるいは餌の消化時間を含めた処理時間(handling time)がカラヌス目よりも多く必要となるために, 十分な体成長には至らなかったものと考えられる。また1997年の大型個体では他の年に比べて十分太っており, カラヌス目より大型の餌を十分捕食できた餌生物環境にあったものと考えられる。

以上をまとめると, 全長70mm以下の小型の稚魚にとってはカラヌス目が餌として重要であり, 全長70mmよりも大型の稚魚にとってはカラヌス目よりも大型の餌(たとえば仔稚魚, 十脚類遊泳亜目ジュベナィル, ワレカラ, 十脚類爬行亜目歪尾族メガロパ幼生, 十脚類爬行亜目短尾族メガロパ幼生, ヨコエビ亜目, クラゲノミ亜目などの餌生物)が重要であると考えられる。

Ⅴ. マダラ仔稚魚の分布密度の年変動と生残過程

目 的

第Ⅲ章では陸奥湾のマダラ仔稚魚の時空間分布パターンを明らかにした。また第Ⅳ章では6月に陸奥湾に分布する着底稚魚は，稚魚の体サイズと捕食する餌生物の違いによって栄養状態が異なることを指摘した。本章では，陸奥湾におけるマダラ仔稚魚の分布密度の年変動(1990-1997年)を示し，陸奥湾の海況と餌生物環境の変動が稚魚の生き残りに与える影響を検討した。

材料および方法

マダラ仔稚魚の採集

マダラ仔稚魚の採集は第Ⅲ章で述べた通りである。ただし本章ではこれらに加えて北海道大学水産学部研究調査船うしお丸(128トン)を使用して，1994年2月16-18日，1994年4月18-20日，1995年4月26-28日，1996年4月22-24日，1997年4月21-22日にそれぞれ7回，13回，10回，10回，5回のビームトロールネットの斜行曳きによって採集したマダラ仔稚魚を扱った。1993年まで行ったビームトロールネットの水平曳きのかわりに斜行曳きで採集した理由は，限られた調査船利用日数の範囲でなるべく広範囲に分布調査を行うためである。ビームトロールネットの水平曳きと斜行曳きの違いは，ワープの繰り出し速度と停止時間，および曳網水深にあり，船速や網の仕様などは同一である。水平曳では目的とする水深層まで約0.6 $m \cdot sec^{-1}$の速度でワープを繰り出し(対水速度約0.9 $m \cdot sec^{-1}$)，その水深層に達するとワープの繰り出しをとめて10-15分間曳網し(対水速度約1.5 $m \cdot sec^{-1}$)，再び0.6 $m \cdot sec^{-1}$の速度で回収した（対水速度約2.1 $m \cdot sec^{-1}$)。これに対して斜行曳きは表層から海底上2mまで0.35 $m \cdot sec^{-1}$の速度でワープを繰り出し(対水速度約1.15 $m \cdot sec^{-1}$)，海底上2mで1分間停止させた後，表層まで0.35 $m \cdot sec^{-1}$の速度で回収した(対水速度約1.85 $m \cdot sec^{-1}$)。水平曳きの場合

着水してから回収するまでの時間は19分から27分の範囲であったのに対し，斜行曳きは15分から26分の範囲であった。また，陸奥湾ではマダラ仔稚魚は水深8m以深で採集されたので(Fig. III-4)，水平曳きも斜行曳きも水深8mより深い層にネットがあった時の曳網距離と開口面積0.16m^2(2月)あるいは0.90m^2(4月)の値を用い，濾水率100%を仮定して分布密度を推定した。また第Ⅲ章で述べたように，4月にはマダラ仔稚魚が高密度に分布する水深は場所によって異なる(Fig. III-5)。そこで本章では水平曳きの採集層による違いは無視して平均分布密度を求めた。求めた平均分布密度の精度に問題があるかもしれないが，マダラ仔稚魚のおおよその分布密度を反映しているものとして解析を行った。1990-1997年6月のマダラ稚魚の平均分布密度は第Ⅲ章で得られたオッタートロールネットによる着底曳きの値の平均である。なお，1992年6月と1993年2月は調査船の代船建造のために調査は行っていない。

1994年2月，1994年4月，1995年4月，1996年4月，1997年4月にそれぞれ8地点，18地点，17地点，15地点，9地点においてCTDを用いて水温・塩分値を測定し，2月と4月は表層と水深15mで，6月は表層と海底直上で採水を行い，サリノメータで塩分値を求めた。1991年，1993年，1995年，1997年の4月および6月には，CTD観測を行った地点でNORPACネット(口径: 0.45m，側長: 1.8m，目合: 0.33mm)の海底直上から水面までの鉛直曳きによって，かいあし類カラヌス目コペポダイトの採集を行った。

1975-1994年度11月～3月の脇野沢村漁業協同組合のマダラ漁獲量データ(青森県水産増殖センター，1995)および1995-1996年度の漁獲量(未発表)を陸奥湾に来遊したマダラ親魚量の指標として用いた。また水温については，青森県水産増殖センターによって観測されているテレメータブイのデータ(青森県水産増殖センター，1976，1979-1997)も用いた。

結 果

マダラ仔稚魚の分布密度の年級群変動

第Ⅲ章で示した1991-1992年2月の水平曳き採集と1994年2月の斜行曳き採集によって得られたマダラ仔魚の平均分布密度，1990-1993年4月の水平曳き採集と1994-1997年4月に斜行曳き採集によって得られたマダラ仔稚魚の平均分布密度，1990-1997年6月の海底上に分布する稚魚の平均分布密度と，陸奥湾脇野沢村におけるマダラ成魚の漁獲量の関係をFig. V-1に示した。1994年2月には湾内で7回の採集を行ったがマダラ仔魚は全く採集されなかった(Fig. V-1-A)。また2月におけるマダラ仔魚の平均分布密度は3年間でみる限り，11-3月のマダラ成魚の漁獲量にほぼ比例していた。4月におけるマダラ仔稚魚の平均分布密度は，1995年級群(1995年1-2月生まれ)を除いて11-3月のマダラ成魚の漁獲量に比例していた(Fig. V-1-B)。6月のマダラ着底稚魚の平均分布密度はマダラ成魚の漁獲量とは明瞭な関係がみられず(Fig. V-1-C)，1991年6月におけるマダラ稚魚の平均分布密度は高かったが，1990年，1993-1997年の6月は1991年の2分の1以下の分布密度を示した。また，6月のマダラ着底稚魚の平均分布密度は，4月の平均分布密度とも関連がなく(Fig. V-1-D)，1997年は4月の仔稚魚の分布密度に比べて6月の稚魚の分布密度が高く，逆に1990年および1995年は4月の仔稚魚の分布密度に比べて6月の稚魚の分布密度は低かった。

4月および6月の海洋構造の年変動と1991年，1995年および1997年のカラヌス目の分布密度

Figure V-2は，1990～1997年の4月における表層の水温･塩分値の分布を示しており，各図中左上の数字は津軽暖流水が流入する湾口部Stn. 8における表層の塩分値を示している。また斜線部分はStn. 8の塩分値よりも0.5-1.0PSU低い水域を，点を打った水域は1.0PSUよりも低い水域を表している。各年4月の調査時期が中旬から下旬にわたっているため水温の高低は単純に比較できないが，1991年は他の年に比べて明らかに低塩分の水塊が広範囲に湾内表層を覆っていた。1995年も1991年ほど

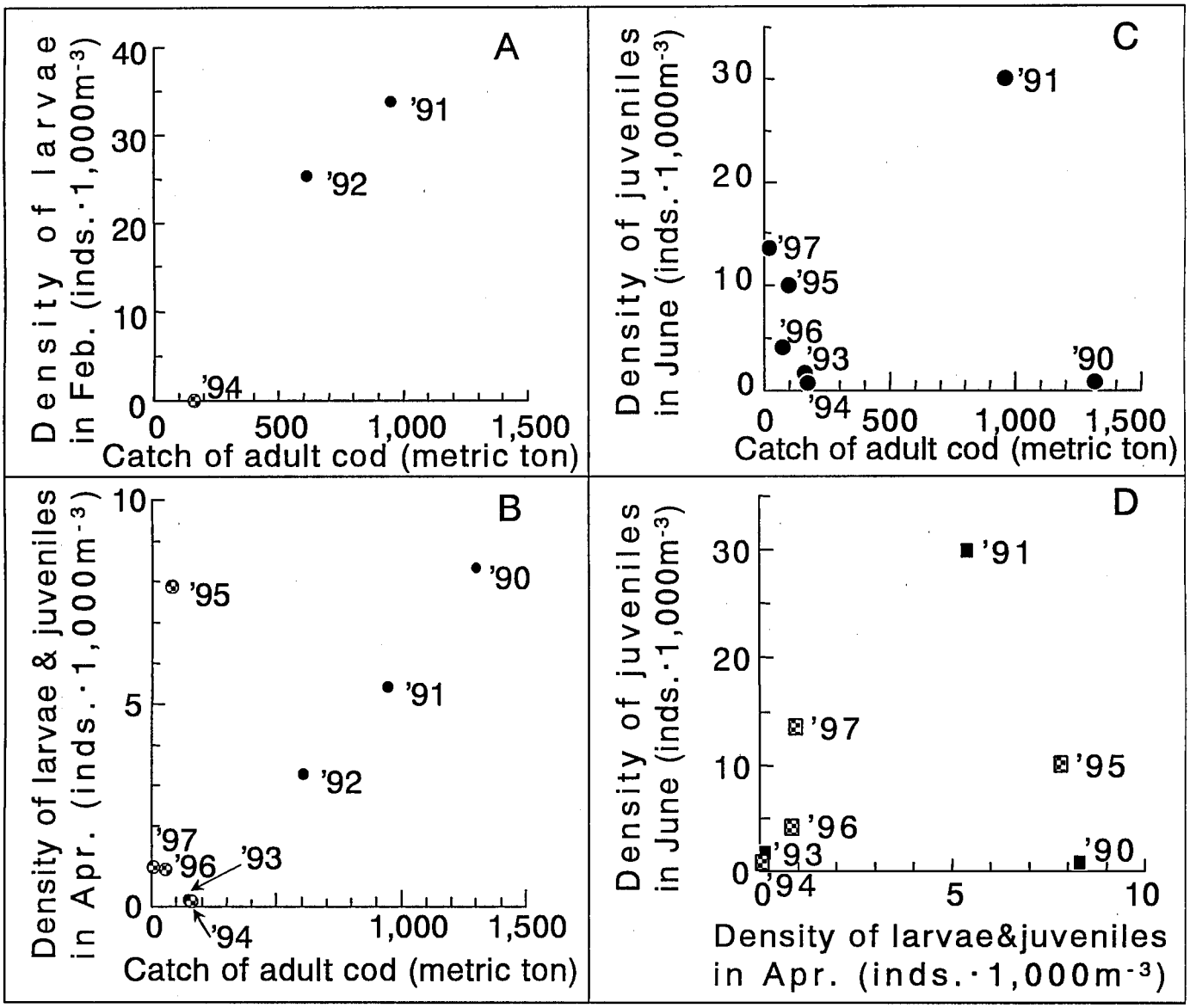


Fig. V-1. Relation among commercial catch (metric ton) of Pacific cod at Wakinosawa Village (from Aomori Prefectural Aquaculture Research Center, 1995; Aomori Prefecture, unpublished), mean density of Pacific cod larvae with a beam trawl net in February (inds.·1,000m^{-3}), mean density of Pacific cod larvae and juveniles in April with a beam trawl net (inds.·1,000m^{-3}), mean density of Pacific cod juveniles in June with a otter trawl net (inds.·1,000m^{-3}). Hatched characters show the samples collected by oblique tows with a beam trawl net and solid characters show the samples collected by horizontal tows with a beam trawl net or an otter trawl net.

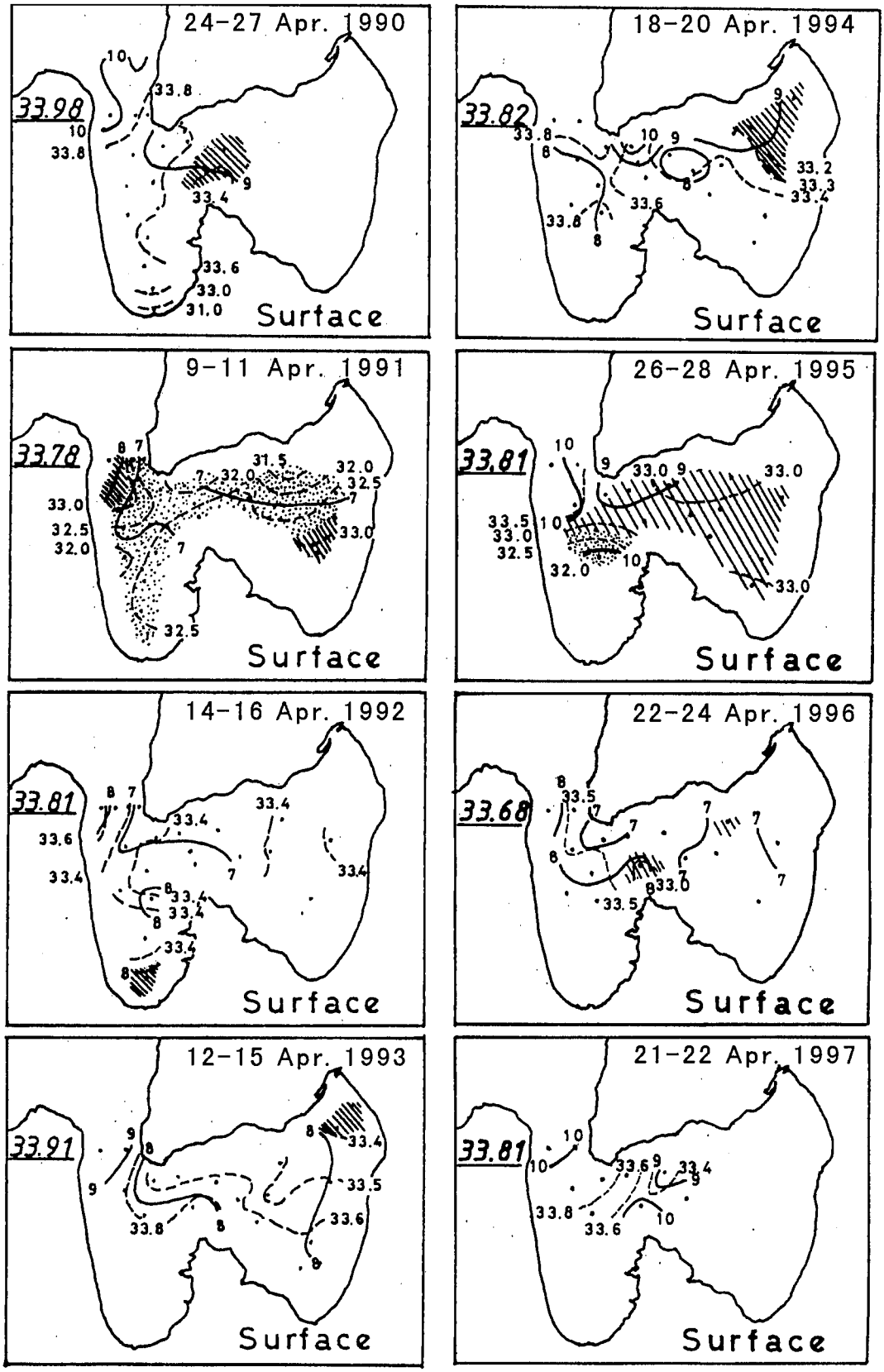


Fig. V-2. Horizontal distributions of water temperature and salinity at the surface in April 1990-1997. Each numeral in italic shows the salinity at Stn. 8 (off Tairadate). Hatched area shows the area 0.5-1.0PSU lower than the salinity at Stn. 8 and dotted area shows the area >1.0PSU lower than the salinity at Stn. 8.

ではないが低塩分水が観測された。6月の表層と海底直上の水温・塩分値の水平分布をみると(Fig. V-3), 1991年6月は1991年4月と同様に東湾を中心として表層域で低塩分水がみられ, 海底直上でも相対的に低い塩分値が観測された。このことは1991年の場合6月になっても湾内水と津軽暖流水の交替量が少なかったことを示している。1991年4月の湾内表層の塩分値は他の年に比べて平均0.99 PSU低く(Fig. V-2), 表層と15m層の密度差(σt)も平均0.78と大きかったが, 1991年を除く4月の平均密度差は-0.02から0.39の範囲であった(Fig. V-4)。第Ⅱ章で述べたように, 1991年冬季は前年秋の降水量によって(Fig. II-14), 津軽暖流水と湾内水の間の海水密度の差が小さくなり(Fig. II-13), 津軽暖流水と湾内水の交替量が少なく, 4月以降も低塩分水が湾内の表層に停滞したために(Fig. V-2)強い成層が維持され, 表層は加熱されたが底層は逆に昇温しにくかった。結果として1991年6月の海底直上の水温は他の年よりもおよそ1.5-2.0℃低くなったと考えられる(Fig. V-3)。

全長70mm未満のマダラ稚魚の重要な餌生物であるかいあし類カラヌス目（第Ⅰ章, 第Ⅳ章)のうち, 最も分布密度が高かったPseudocalanus属コペポダイトの分布密度をFig. V-5に示す。1991年4月の分布密度は1990年, 1993年, 1995年および1997年に比べて湾口部・湾内ともに分布密度が低かった。しかし6月には4月とは逆に1991年に分布密度が高く, 他の年は低い値を示した。

考 察

第Ⅱ章では, 1991年2月と1992年2月における体幅67.5-195μmのかいあし類ノープリウスの分布密度は20 inds.・ℓ^{-1}を上回っており, マダラ仔魚の生残にとって十分な分布密度と考えられた。しかし1992年1月には13-15 inds.・ℓ^{-1}と低く, 仔魚の生残にとって十分な分布密度であるか否か結論を下せなかった。陸奥湾脇野沢村におけるマダラ成魚の漁獲量と2月のマダラ仔稚魚の平均分布密度はわずか3年分ではあるが比例関係がみられた(Fig. V-1)。1995年4月にはPseudocalanus属(Fig. V-5)をはじめとするカラヌス目の分布密度が他の年に比べて高かったことは, 1995年の高い仔稚魚分

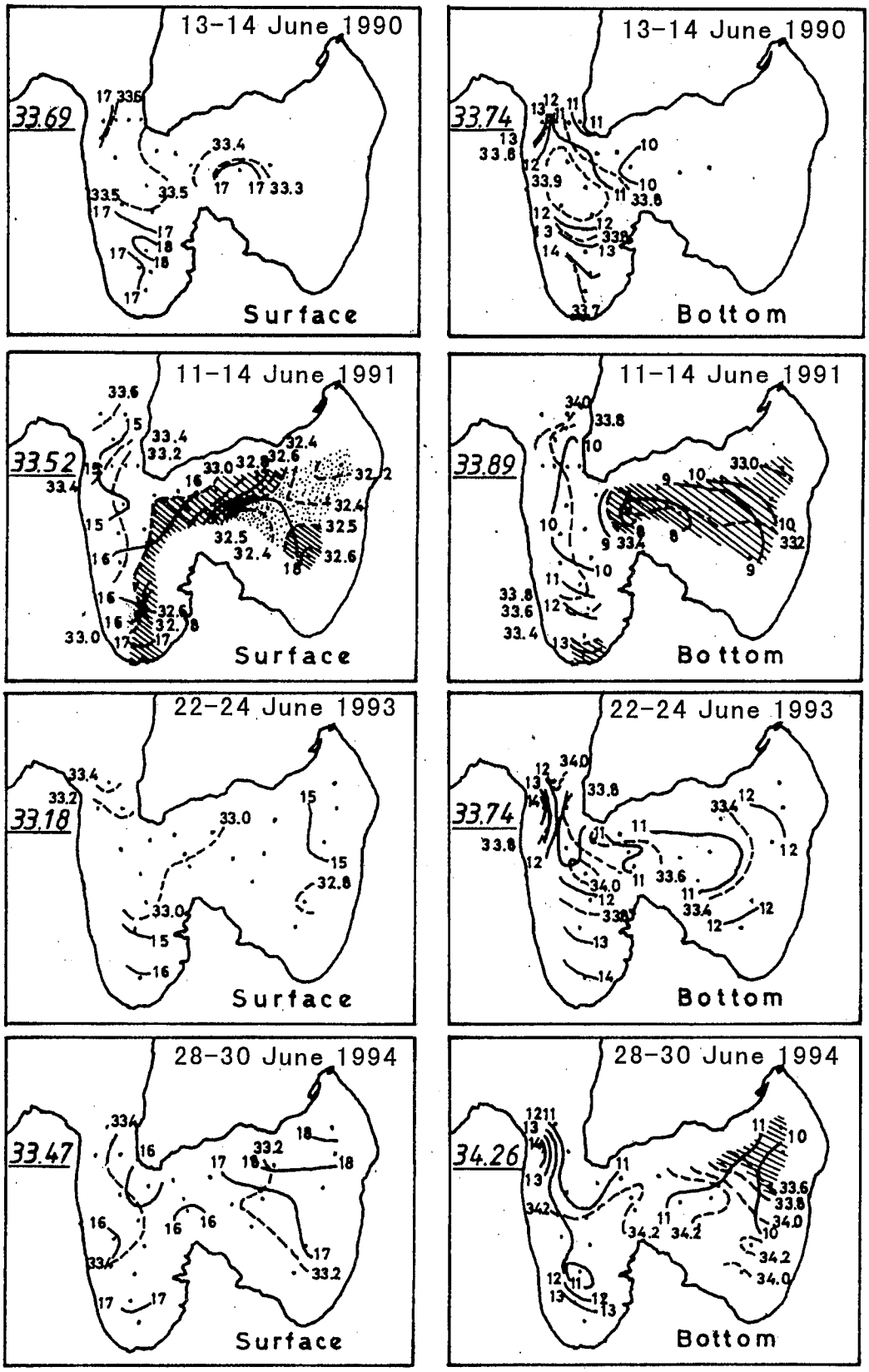


Fig. V-3. Horizontal distributions of water temperature and salinity at the surface (left) and on the bottom (right) in June 1990–1991 and 1993–1997. Each numeral in italic shows the salinity at Stn. 8 (off Tairadate). Hatched area shows the area 0.5–1.0PSU lower than the salinity at Stn. 8 and dotted area shows the area >1.0PSU lower than the salinity at Stn. 8.

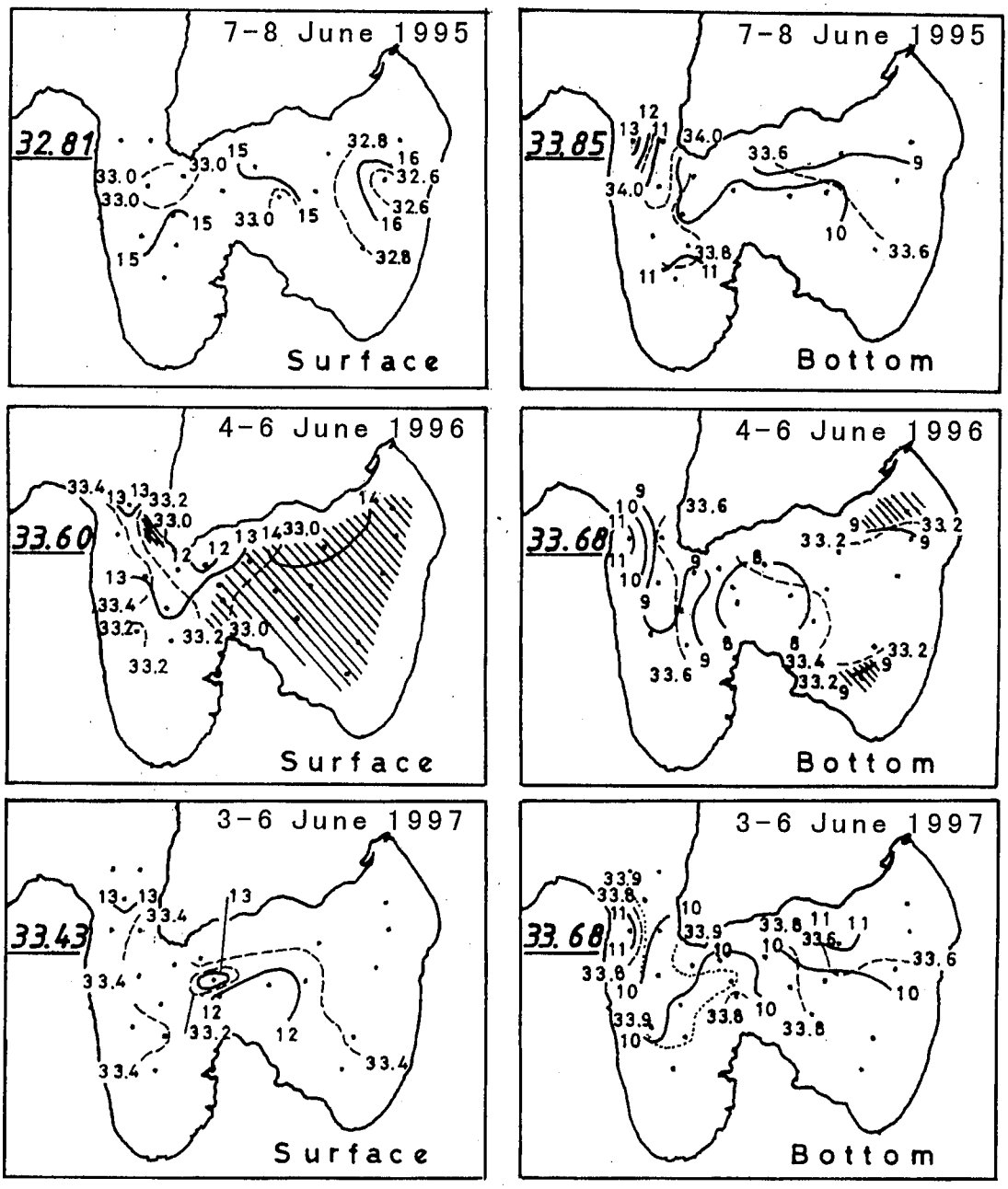

7-8 June 1995
32.81
Surface
7-8 June 1995
33.85
Bottom
4-6 June 1996
33.60
Surface
4-6 June 1996
33.68
Bottom
3-6 June 1997
33.43
Surface
3-6 June 1997
33.68
Bottom

Fig. V-3. (cont.)

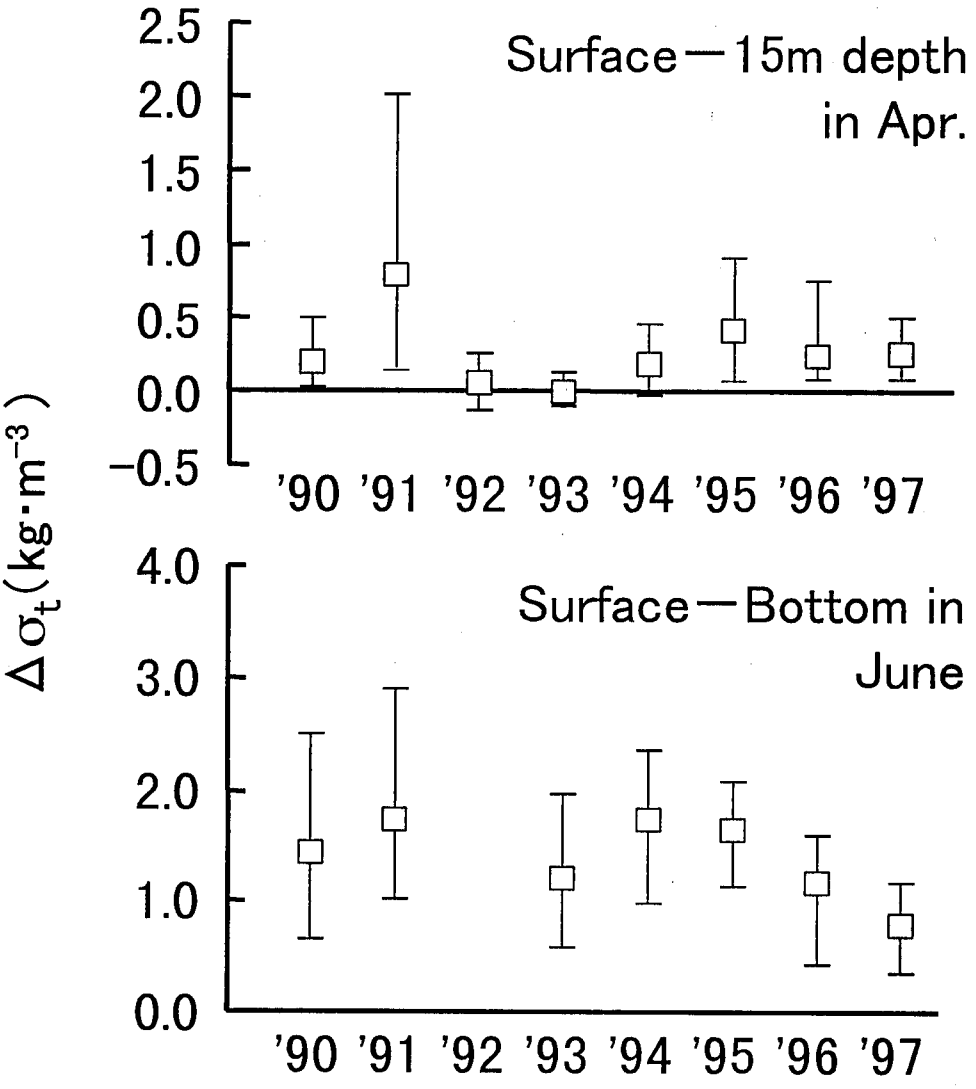


Fig. V-4. Annual fluctuations of the differences in sigma-t ($kg \cdot m^{-3}$) between surface and 15m depth in April and between surface and bottom in June. Each square shows the mean and each vertical bar shows the range.

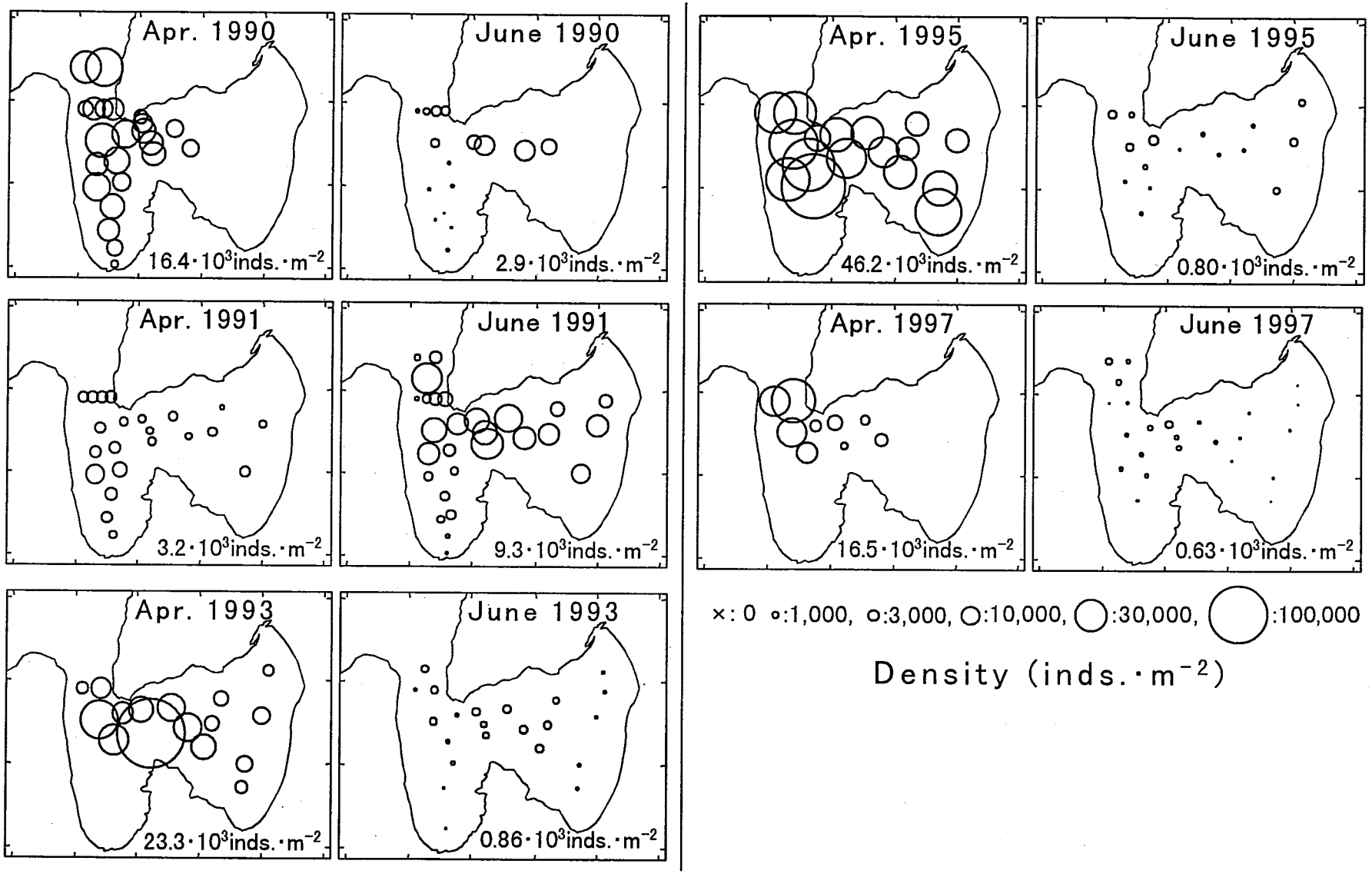


Fig. V-5. Horizontal distribution of Pseudocalanus spp. collected by vertical hauls with a NORPAC net (0.33mm mesh) in April and June. Mean densities are shown at bottom right corners in panels. Data in 1990 was quoted from Takatsu et al., 1992.

布密度と関連があるのかもしれないが，4月以前の調査を行っていないので明らかではない。この1995年を除いた4月のマダラ仔稚魚の分布密度は成魚の漁獲量に比例しており，マダラ成魚の漁獲量が多い年に4月の仔稚魚の分布密度が低い事例は，1990-1997年の8年間では全く観測されていない。このことは少なくとも調査を行った期間については，冬季陸奥湾のノープリウス分布密度はマダラ後期仔魚に飢餓を生じさせるような低い分布密度ではなかったものと考えられる。また1990-1997年の冬季から4月までの陸奥湾では，マダラ仔稚魚の生残に極端に不利な条件がみられなかったことを意味し，年級群変動を生じさせる原因は4月よりも後の時期にある可能性が高いものと考えられる。

1995年と1997年の4月と6月の調査はほぼ同じ時期に行われた(4月から6月の経過日数は1995年：42日，1997年：45日)。また，両年6月における稚魚の分布密度が最も高かった地点は東湾にあったことから湾外へ移動している稚魚は少なく(Fig. III-9)，両年のマダラ仔稚魚の4月から6月にかけての分布密度の低下過程の差違は，ほぼ生残率を反映しているものと考えられる。第IV章でアロメトリー式(Fig. IV-11)から求めた栄養状態は，1997年6月の大型個体の体重が重く，逆に1995年は4年のうちで最も摂餌強度が低く全長に対する体重が軽かった。また，1997年は4月の仔稚魚の分布密度に比べて6月の稚魚の分布密度が高く(Fig. V-1-D)，逆に1995年は4月の仔稚魚の分布密度に比べて6月の稚魚の分布密度は低かった。したがってマダラ稚魚が餌をカラヌス目からより大型の餌に転換するサイズが小さいほど栄養状態がよく(第IV章)，栄養状態から生残率を推定できる可能性を示すものとして重要と考えられる。

1991年級群(主に1991年1-2月生まれ)が，陸奥湾産卵群の主群をなす4-5歳魚(桜井・福田，1984)となって陸奥湾に回帰したと考えられる1994年度(1994年11月-1995年3月)と1995年度の脇野沢における漁獲量はそれぞれ88トンと62トンであり，さらに1996年度には戦後最低の12トンを記録した(緒言Fig. 1)。すなわち，1991年級群の着底稚魚の分布密度は高かったが，その後の生き残りがよかったとは考えられず，6月以降の生残過程にも年級群変動を引き起こす要因があることが示唆される。マダ

ラ稚魚が餌を底生性の大型生物に転換したあとは，低温でしかも広い海域を利用できると思われる湾外にいかに早く移動できるかが生き残りの鍵となる。しかし，陸奥湾の湾口部は狭隘で浅く，高温の津軽暖流水に曝されている。平舘ブイが記録する底層のデータ(半旬ごとの平均値)によると，湾口部底層の水温が12℃を超える時期は年によって異なっている(Fig. V-6)。年級群豊度が高く，その後の高水準の漁獲量につながったと考えられる1984-1986年級群が成育した年は少なくとも湾口部の水温上昇が遅かった年であり，マダラが湾外へ移動するのに適した水温期間が長いことが，その後の生き残りに有利に働いた可能性がある。1991年6月の東湾は他の年に比べて低水温であったが(Fig. V-3)，6月上旬の湾口部平舘ブイの水温は対馬暖流水と連動して平年と同様に10℃以上であった(Fig. V-3, Fig. V-6)。このように，1991年6月のマダラ稚魚の平均分布密度は1990年以来最高の値を示したが，湾外への回遊経路に当たる津軽海峡の高温が障壁となって生残率が低下したのかもしれない。

寒海性魚種のうちで初期生残過程が重点的に研究されているスケトウダラでは，当歳稚魚の死亡率が加入量に影響を与える年もあるが，摂餌開始期から仔魚期の終わりまでの死亡率が最も加入量に影響し，この時期の仔魚の移送，降水量に起因する傾圧不安定渦の存在，風による表層での乱流が主な原因と考えられている(Megrey et al., 1996; Kendall et al., 1996)。しかし，陸奥湾のマダラの場合，年級群変動を生じさせる死亡率変動が大きい時期は4月以前の仔魚期にはなく，4月以降の着底期とそれに続く湾外への移動過程における海洋環境と餌生物環境が年級群強度を決定しているのではないかと考えられる。陸奥湾のマダラ稚魚にとって最も生残に有利な条件は，全長70mmまではかいあし類カラヌス目の豊度が高く，その後は餌とする底生大型生物に遭遇する確率が高いことであろう。また低い水温はカラヌス目の豊度を高く維持するが(Fig. V-3, Fig. V-5)，12℃を超える水温と急激な水温上昇は稚魚にとって不利であると考えられる(Fig. III-9)。マダラの再生産戦略として12月以前に産卵を終了すれば稚魚期の高水温を避けられるが，陸奥湾湾口部の水温は11月末までは例年12℃を超えており，親魚が湾内に回遊できる水温環境にはない。このよう

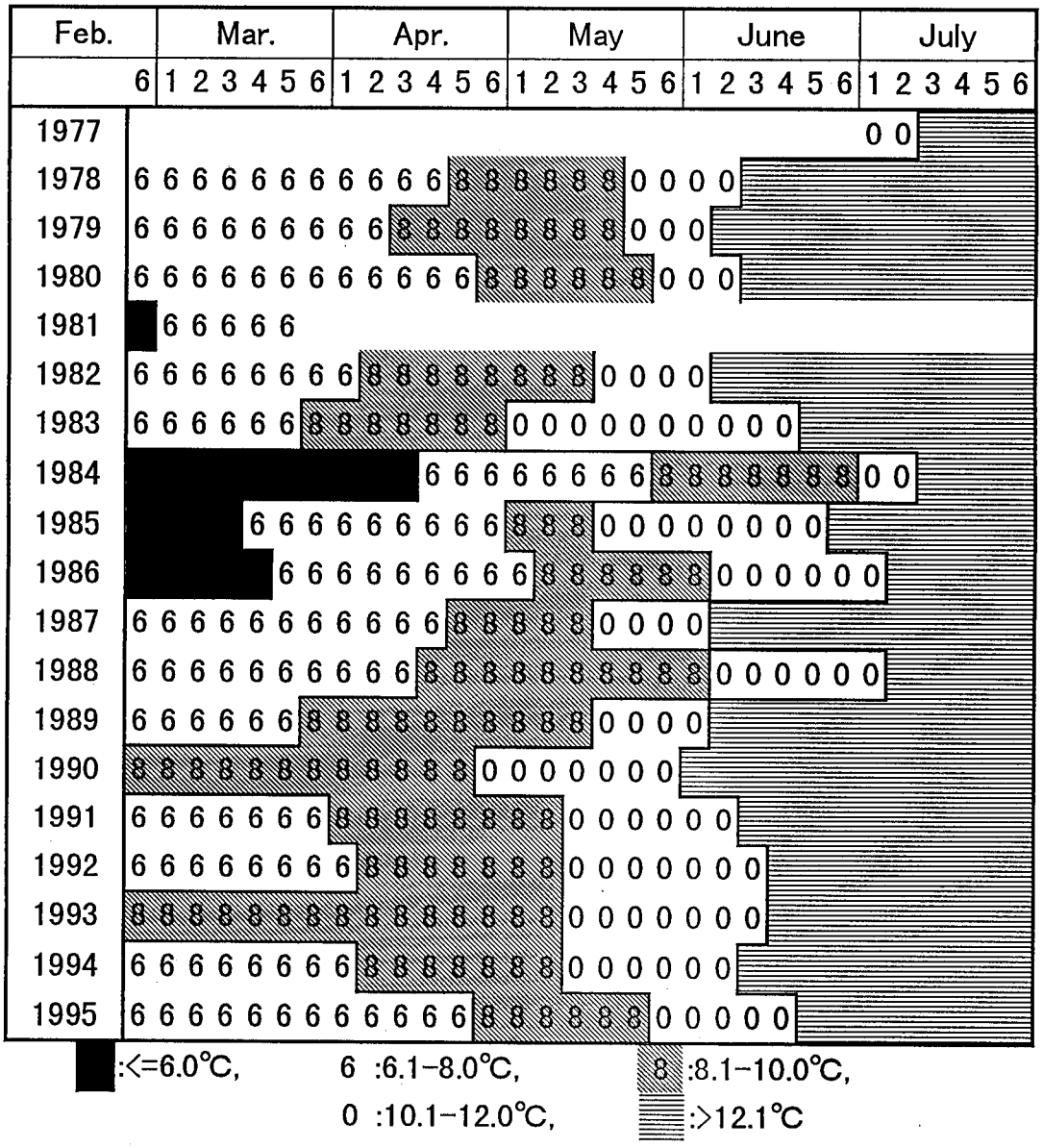


Fig. V-6. Water temperatures at 45m depth of a station off Tairadate by five days from February to July in 1977-1995 (Aomori Prefectural Aquaculture Research Center, 1979-1997).

な水温環境は，別の見方をすれば，陸奥湾がマダラの産卵場としてほぼ南限に位置することを示す証拠とも考えられる。

最近では摂餌開始期などの短期間における大量死亡よりも，一定期間継続する累積死亡率のほうが年級群豊度を決定する重要な要因であり，成長速度が早ければ累積死亡率を低く抑えることが可能であるという仮説が提唱されている(Watanabe et al., 1995; Campana, 1996; Meekan and Fortier, 1996)。陸奥湾におけるマダラの初期生活期において累積的死亡と年級群豊度との関係は，着底期以降の減耗過程が大きく作用するものと考えられるが，今後相対成長だけでなく耳石の微細構造解析に基づく絶対成長の評価を行うことで明らかにする必要があるものと考えられる。「海の安定度仮説(Lasker, 1975)」は外洋域において植物プランクトンの成層が維持されると仔魚の生残率が高まるという仮説であり，いわば鉛直的な仔魚と餌とのマッチ･ミスマッチを中心に考えており，摂餌開始期に注目している点で陸奥湾のマダラについて適用することは難しい。「被食仮説(Van der Veer, 1985; Van der Veer and Bergman, 1987; Houde, 1987)」は生残率が仔魚期あるいは稚魚期の被食量に依存し，捕食者との時空間的なマッチ･ミスマッチを問題とする。「卵質仮説(Kjesbu et al., 1996; Solemdal, 1997)」は，生残率の高い卵および大型の仔魚を産む高齢魚は産卵期の初期に偏って産卵し，高水温年には初期餌料であるかいあし類ノープリウスも産卵期の初期に分布密度が高いため，結果として高水温年に発生した年級群の豊度が高くなるという仮説である。これらの仮説を陸奥湾のマダラについて検証するには，マダラを捕食する生物の特定と，親魚の年齢構成や産卵履歴の違いによる卵･仔魚の質の違いを調査する必要があり，現時点で評価することはできない。また今後は稚魚が湾外へ移動した後の減耗要因を解明する必要がある。

要 約

陸奥湾に出現するマダラGadus macrocephalus仔稚魚の時空間分布，食性，餌生物環境を調べ，マダラの資源量変動機構の解明を試みた。

1. 全長7mm以下のマダラ後期仔魚が初期餌料としてかいあし類ノープリウス，特にPseudocalanus属およびOithona属のノープリウスを捕食し，その体幅範囲が67.5-195μmであることを明らかにした。
2. 全長7-70mmの仔稚魚はかいあし類カラヌス目コペポダイトを，70mm以上の個体は端脚類ヨコエビ亜目と魚類を主に捕食した。浮遊性巻貝，十脚類遊泳亜目ゾエア幼生，十脚類爬行亜目短尾族メガロパ幼生といった大型餌生物は，主要餌生物がカラヌス目からヨコエビ亜目や魚類に転換する間，代替の餌生物として重要な役割を果たしているものと推察された。
3. 1991年および1992年冬季の陸奥湾において，マダラ仔魚の初期餌料であるかいあし類ノープリウス(体幅：67.5-195μm)の空間分布を調査し，湾内では表層域で，湾口部は密度躍層内で分布密度が高いことを明らかにした。
4. ノープリウスの分類群組成は採集年によって大きく異なり，1991年2月にはCentropages属が，1992年1-2月はOithona属ノープリウスが優占した。このような違いはかいあし類分類群による再生産戦略の違いと，陸奥湾に流入する津軽暖流水の流入量の違いに起因することを明らかにした。
5. 1992年1月水深10m層におけるノープリウスの分布密度は中央値で13.3-14.7 inds.·ℓ^{-1}と幾分低かったが，1991年2月と1992年2月の水深15m層における中央値はそれぞれ22.4 inds.·ℓ^{-1}と32.8 inds.·ℓ^{-1}であり，両年2月のこれらの値はマダラ仔魚の生残にとって十分な分布密度と判断された。
6. 2月および3月には，マダラ前期仔魚と小型の後期仔魚は湾口部で採集されたことから，陸奥湾ではマダラの産卵は主に湾口部で行われているものと推察された。また，湾口部海底上で孵化した仔魚は中層域へ浮上することで，十分な餌密度を

獲得するだけではなく，密度躍層よりも上層を占める津軽暖流水を利用して餌密度の高い湾内へ移動していた。

7. 4月にはマダラ仔稚魚は湾内に広く分布し，主要餌生物であるかいあし類カラヌス目コペポダイトの分布密度が高い水深層に分布し，カラヌス目の高い豊度を通じて陸奥湾を成育場として利用することが確認された。
8. 5月以降のマダラ稚魚は昼間カラヌス目コペポダイトの分布密度が高い海底直上に分布し，稚魚の分布密度が高い水域には採集年による変動がみられた。また，マダラ稚魚の体長組成の地理的変異から，産卵期の早い時期と遅い時期に産まれた個体は主に西湾と湾口部に出現し，中間的な時期に生まれた個体は主に東湾に分布する移動過程を推定した。マダラ稚魚の生息上限水温は約12℃と推定され，6月以降湾内の高水温と餌不足を避けて湾外へ移動するものと考えられた。
9. 1991年，1993年，1995年にはマダラ着底稚魚の体重の増加に伴って胃内容物重量示数(SCI)は減少していたが，1997年には他の年に比べて摂餌強度が高く，大型の餌を捕食する割合が高かったことを明らかにした。
10. 対応分析を用いてマダラ着底稚魚の食物組成の座標づけを行った結果，食物組成を変化させる要因は，まず第1に餌のサイズで規定され，続いてヤムシ類や浮遊性巻貝Limacina属の1種，十脚類遊泳亜目ゾエア幼生といった採集地点に特異的に出現する餌生物が食物組成を大きく変化させるものと考えられた。
11. マダラ着底稚魚がカラヌス目から大型の餌生物に転換する全長は，年によって差がみられ，1991年のようにカラヌス目の分布密度が$1.0 \cdot 10^4$ inds.$\cdot m^{-2}$を超える場合には餌の転換は大型の体サイズで生じたが，逆に1997年には小型の全長で餌を転換していた。
12. 着底稚魚の全長-体重関係の相対成長式(アロメトリー式)と食物組成を比較した結果，全長70mm以下の小型の稚魚ではカラヌス目が餌として重要であり，全長70mmよりも大型の稚魚ではより大型の餌(仔稚魚，十脚類遊泳亜目ジュベナイル，ワレカラ，十脚類爬行亜目歪尾族メガロパ幼生，十脚類爬行亜目短尾族メガロパ

幼生，ヨコエビ亜目，クラゲノミ亜目などの餌生物)が重要であると考えられた。

13. 陸奥湾脇野沢村におけるマダラ成魚の漁獲量と，2月のマダラ仔稚魚の平均分布密度との間には比例関係がみられ，成魚の漁獲量と1995年を除いた4月の仔稚魚の分布密度との間にも比例関係が認められた。マダラ成魚の漁獲量が多いにもかかわらず4月の仔稚魚の分布密度が低い年は，1990-1997年の8年間では全く観測されなかった。これらの結果から，冬季から4月までの陸奥湾ではマダラ仔稚魚の生残に極端に不利な条件はほとんどなく，年級群変動を生じさせる原因は4月以降にあると推定した。

14. 1995年と1997年のそれぞれ4月と6月におけるマダラ仔稚魚の分布密度と相対成長式の比較から，大型個体の栄養状態が良かった1997年の方が1995年に比べて生残率も高かったものと推定した。また，全長70mmまではかいあし類カラヌス目の豊度が高く，その後は餌とする底生大型生物に遭遇する確率が高いことが生き残りに重要であると考えられた。

15. 過去のマダラ成魚の漁獲量とマダラ稚魚が湾外へ移動する時期の湾口部底層水温の年変動データから，マダラが湾外へ移動するのに適した水温期間が長いことが，稚魚の生き残りに有利に働く可能性を示した。

今後は資源量変動を説明する様々な仮説を検証するために，マダラ仔稚魚の相対成長だけでなく耳石の微細構造解析に基づく絶対成長の評価，マダラ仔稚魚を捕食する生物の特定と，親魚の年齢構成や産卵履歴の違いによる卵および仔魚の生残率の違い，稚魚が湾外へ移動した後の減耗要因を解明する必要があるものと考えられた。

謝 辞

本論文を取り纏めるにあたり，終始御指導をいただき御校閲を賜った北海道大学水産学部高橋豊美教授，同菅野泰次教授，中谷敏邦助教授，本研究をはじめる機会を与えて下さった同前田辰昭名誉教授，貴重な御意見を賜った同池田　勉教授，磯田　豊助教授，村上　敬教官に対して，深甚なる謝意を表する。また，貴重な標本を提供していただいた青森県水産増殖センター早川　豊氏，塩垣　優博士，涌坪敏明氏，松原　久氏をはじめ，同センターの各位，青森県水産試験場の各位に対して心から御礼申し上げる。洋上での採集に多大な御協力をいただいた北海道大学水産学部練習船おしょろ丸元船長増田紀義名誉教授はじめ1991年当時の乗組員の方々，同研究調査船うしお丸元船長松島寛治教官ならびに船長大越金蔵教官はじめ乗組員の方々，青森県水産増殖センター調査船なつどまりの乗組員の方々，北海道大学水産学部漁場学講座・資源生態学講座元大学院生横山信一博士，藤岡　崇氏，武藤卓志氏，宮本孝則氏，軍司康博氏，大矢正樹氏，筒井浩之氏，羽生勝和氏，高木繁郎氏，澤村正幸氏，松本明男氏，伊勢諭至氏，高木(佐々木)美枝子氏，吉田裕幸氏，漁具漁法学講座元大学院生米沢　崇氏，現資源生態学講座大学院生井口謙氏，小岡孝治氏，杉本晃一氏，中神正康氏，鈴木祐輔氏，蜜谷法行氏，梅崎真大氏の各氏ならびに昭和63年度～平成10年度講座学生諸氏に対して，厚く感謝の意を表する。

文 献

Alderdice, D. F. and C. R. Forrester (1971): Effects of salinity, temperature and dissolved oxygen on early development of the Pacific cod (Gadus macrocephalus). *J. Fish. Res. Board Can.*, **28**, 883-902.

青森県水産試験場(1972-1997):昭和52年度～平成6年度定線海洋観測結果表.

青森県水産増殖センター(1976):陸奥湾漁業開発基本計画調査最終報告書, 青森県, 272 pp.

青森県水産増殖センター(1979-1997):青森県水産増殖センター事業概要(昭和52年度～平成7年度), 第8-26号.

青森県水産増殖センター(1995):特定海域新魚種量産技術開発事業総括報告書(青森県:マダラ). 青森県水産増殖センター, 9 pp.

Barraclough, W. E., D. G. Robinson, and J. D. Fulton (1968): Data record. Number, size composition, weight, and food of larval and juvenile fish caught with a two-boat surface trawl in Saanich Inlet April 23-July 21, 1968. *Fish. Res. Board Can. MS Rep.*, **1004**, 305pp.

Bjørke, H. (1978): Food and feeding of young herring larvae of Norwegian spring spawners. *Fisk. Dir. Skr. Ser. HavUnders.*, **16**, 405-421.

Boehlert, G. W., D. M. Gadomski, and B. C. Mundy (1985): Vertical distribution of ichthyoplankton off the Oregon coast in spring and summer months. *Fish. Bull., U.S.*, **83**, 611-621.

Campana, S. E. (1996): Year-class strength and growth rate in young Atlantic cod Gadus morhua. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **135**, 21-26.

Corkett, C. J. and I. A. McLaren (1978): The biology of Pseudocalanus. *Adv. mar. Biol.*, **15**, 1-231.

Cushing, D. H. and R. R. Dickson (1976): The biological response in the sea to climatic change. *Adv. mar. Biol.*, **14**, 1-112.

Cushing, D. H. (1978): Biological effects of climate change. *Rapp. P.-v. Réun Cons. int. Explor. Mer*, **173**, 107-116.

Digby, P. G. N. and R. A. Kempton (1987): Multivariate Analysis of Ecological Communities, London, Chapman and Hall Ltd., 206 pp.

Dunn, J. R. and A. C. Matarese (1987): A review of the early life history of northeast Pacific gadoid fishes. *Fish. Res.*, **5**, 163-184.

Dunn, J. R. and B. M. Vinter (1984): Development of larvae of the saffron cod, Eleginus gracilis, with comments on the identification of gadid larvae in Pacific and Arctic waters contiguous to Canada and Alaska. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **41**, 304-318.

Faber, D. J. (1966): Free-swimming copepoda nauplii of Narragansett Bay with a key to their identification. *J. Fish. Res. Board Can.*, **23**, 189-205.

Forrester, C. R. (1964): Laboratory observations on embryonic development and larvae of the Pacific cod (Gadus macrocephalus TILESIUS). *J. Fish. Res. Board Can.*, **21**, 9-16.

Forrester, C. R. (1977): Effects of temperature on survival of some marine fish eggs in the laboratory and on survival and distribution of some marine species in nature. *Res. Inst. N. Pac. Fish., Hokkaido Univ.,* Spec. Vol., 69-121.

Forrester, C. R. and D. F. Alderdice (1966): Effects of salinity and temperature on embryonic development of the Pacific cod (Gadus macrocephalus). *J. Fish. Res. Board Can.,* **23,** 319-340.

福田慎作・横山勝幸・早川 豊・中西広義(1985):青森県陸奥湾口部におけるマダラ成魚の標識放流について. 栽培技研, **14,** 71-77.

Gibbons, S. G. and H. S. Ogilvie (1933): The development stages of Oithona helgolandica and Oithona spinirostris, with a note on occurrence of body spines in cyclopoid nauplii. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.,* **18,** 529-550.

函館海洋気象台(1964):津軽海峡特別観測報告. 函館海洋気象台要報, 特別号, pp. 1-149.

Haldorson, L., A. J. Paul, D. Sterritt, and J. Watts (1989): Annual and seasonal variation in growth of larval walleye pollock and flathead sole in a southeastern Alaska bay. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer,* **191,** 220-225.

花岡 資(1952): 独立生活橈脚類のノープリウスに関する研究. 内水研報告, **1,** 1-36.

橋本良平(1974): 東北海区漁場におけるマダラの食性と生息水深の変動に関する研究. 東北水研研究報告, **33,** 51-67.

橋本良平・阿部 進(1962): 東北海区のスケトウダラ・マダラの稚魚について. 底魚情報, 東北水研八戸, **31,** 9-15.

服部 努・桜井泰憲・島崎健二(1992):マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式. 日本水産学会誌, **58,** 1203-1210.

Hattori, T., Y. Sakurai, and K. Shimazaki (1992): Maturation and reproductive cycle of female Pacific cod in waters adjacent to the southern coast of Hokkaido, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi,* **58,** 2245-2252.

Hattori, T., Y. Sakurai, and K. Shimazaki (1993): Maturation and reproductive cycle based on the spermatogenesis of male Pacific cod, Gadus macrocephalus, in waters adjacent to the southern coast of Hokkaido, Japan. *Sci. Rep. Hokkaido Fish. Exp. Stn.,* **42,** 265-272.

Hill, M. O. (1973): Reciprocal averaging: An eigenvector method of ordination. *J. Ecol.,* **61,** 237-249.

Hill, M. O. and H. G. Gauch, Jr. (1980): Detrended correspondence analysis, an improved ordination technique. *Vegetatio,* **42,** 47-58.

Hillgruber, N., L. J. Haldorson, and A. J. Paul (1995): Feeding selectivity of larval walleye pollock Theragra chalcogramma in the oceanic domain of the Bering Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.,* **120,** 1-10.

Hjort, J. (1914): Fluctuations in the great fisheries of northern Europe, viewed in the light of biological research. *Rapp. P.-v. Réun Cons. int. Explor. Mer,* 20, 228pp.

Hunter, J. R. (1977): Behavior and survival of northern anchovy Engraulis mordax larvae. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest.,* Rep., **19,** 138-146.

Hunter, J. R. (1981): Feeding ecology and predation of marine fish larvae, in "Marine Fish Larvae" (ed. by R. Lasker), Washigton Sea Grant, Washigton, pp. 33-77.

Houde, E. D. (1987): Fish early life dynamics and recruitment variability. *American Fisheries Society Symposium,* **2,** 17-29.

Inaba, D. (1931): On some teleostean eggs and larvae found in Mutsu Bay. *Rec. Oceanogr. Wk. Japan,* **3**, 53-62.

Incze, L. S., P. Aas, and T. Ainaire (1996): Distributions of copepod nauplii and turbulence on the southern flank of Georges Bank: implications for feeding by larval cod (Gadus morhua). *Deep-Sea Res. II,* **43,** 1855-1873.

Kasahara, S., S. Uye, and T. Onbe (1975): Calanoid copepod eggs in sea-bottom muds. II. Seasonal cycle of abundance in the population of several species of copepods and their eggs in the Inland Sea of Japan. *Mar. Biol. U.K.,* **31,** 25-29.

川村輝良·小久保清二(1950): 陸奥灣産鱈(Gadus macrocephalus TIL.)に就て. 青森県水産資源調査報告, 青森県庁, **1**, 186-191.

Kendall, A. W. Jr., M. E. Clarke, M. M. Yoklavich, and G. W. Boehlert (1987): Distribution, feeding, and growth of larval walleye pollock, Theragra chalcogramma, from Shelikof Strait Gulf of Alaska. *Fish. Bull., U.S.,* **85,** 449-521.

Kendall, A. W. Jr., J. D. Schumacher, and S. Kim (1996): Walleye pollock recruitment in Shelikof Strait: applied fisheries oceanography. *Fish. Oceanogr.,* **5,** 4-18.

Ketchen, K. S. (1961): Observations on the ecology of the Pacific cod (Gadus macrocephalus) in Canadian waters. *J. Fish. Res. Board Can.,* **18**, 513-558.

気象庁(1973-1997):気象庁月報. 東京, 気象庁, pp.1-2.

Kjesbu, O. S., P. Solemdal, P. Bratland, and M. Fonn (1996): Variation in annual egg production in individual captive Atlantic cod (Gadus morhua). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.,* **53,** 610-620.

小林四郎(1995):生物群集の座標づけ.「生物群集の多変量解析」, 東京, 蒼樹書房, pp.115-147.

古賀文洋(1960): Centropages abdominalis SATOのノープリアス幼生. 日本水産学会誌, **26**, 877-881.

古賀文洋(1984):かいあし類ノープリウスの形態, 生態, 分類, ならびに分化に関する研究. 南西水研報告, **16**, 95-229.

Kovach, W. L. (1995): MVSP Plus Ver.2.2i. Wales, U. K., Kovach Computing Services.

Lasker, R. (1975): Field criteria for survival of anchovy larvae: The relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. *Fish. Bull. U. S.,* **73,** 453-462.

Last, J. M. (1978): The food of three species of gadoid larvae in the eastern English Channel and southern North Sea. *Mar. Biol. U. K.,* **48**, 377-386.

Lawson, T. J., and G. D. Grice (1970): The developmental stages of Centropages typicus KRØYER (Copepoda, Calanoida). *Crustaceana,* **18**, 187-208.

Lawson, T. J., and G. D. Grice (1973): The developmental stages of Paracalanus crassirostris DAHL, 1894 (Copepoda, Calanoida). *Crustaceana,* **24**, 43-56.

Lebour, M. V. (1916): Stages in life history of Calanus finmarchicus (Gunnerus), experimental reared by Mr. L. R. Crawshay in Plymouth Laboratory. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **11**, 1-17.

前田辰昭·中谷敏邦·高橋豊美·上野元一(1979): スケトウダラ稚仔の沿岸水域での生活. 水産海洋研究, **34**, 81-85.

Matarese, A. C., A. W. Kendall, Jr., D. M. Blood, and B. M. Vinter (1989): Gadidae, in "Laboratory guide to early life history stages of northeast Pacific fishes". *NOAA Tech. Rep. NMFS*, **80**, 189-199.

Matarese, A. C., S. L. Richardson, and J. R. Dunn (1981): Larval development of Pacific tomcod, Microgadus proximus, in the northeast Pacific Ocean with comparative notes on larvae of walleye pollock, Theragra chalcogramma, and Pacific cod, Gadus macrocephalus (Gadidae). *Fish. Bull. U.S.*, **78**, 932-940.

Meekan, M. G., and L. Fortier (1996): Selection for fast growth during the larval life of Atlantic cod Gadus morhua on the Scotian Shelf. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **137**, 25-37.

Megrey, B. A., A. B. Hollowed, S. R. Hare, S. A. Macklin, and P. J. Stabeno (1996): Contributions of FOCI resarch to forecasts of year-class strength of walleye pollock in Shelikof Strait, Alaska. *Fish. Oceanogr.*, **5**, 189-203.

宮藤勝太郎(1929): 慶南近海に於ける鱈の習性に就ての豫察(上). 朝鮮水産會機關雜誌, 朝鮮之水産, **56**, 24-28.

Motoda, S. (1971): Device of sample plankton apparatus V. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, **22**, 101-106.

永峰文洋·天野勝三·早川 豊·三津谷 正·浜田勝雄·尾鷲政幸·高橋克成·松尾和英(1981):昭和55年度漁況海況予報事業浅海定線調査結果報告書(陸奥湾). 青森県水産増殖センター, 32pp.

中谷敏邦(1987): 海産魚類初期生活史研究の手法, 5. 魚卵·稚仔魚および餌生物の採集法. 海洋と生物, **9**, 108-110.

Nakatani, T. (1995): Monthly change in food size of larval walleye pollock Theragra chalcogramma at the initial feeding stage in Funka Bay and surrounding vicinity in Hokkaido. *Fisheries Sci.*, **61**, 387-390.

西田周平(1997):キクロプス目.「日本産海洋プランクトン検索図説(千原光雄·村野正昭, 編)」, 東京, 東海大学出版会, pp.935-951.

Oberg, M. (1906): Die metamorphose der plankton-copepoden der Kieler Bucht. *Wiss. Meeres.*, N. F., **9**, 37-103.

Ogilvie, H. S. (1953): Index des fishes d' identification du zooplankton copepoda nauplii (I). *Cons. Int. Explor. Mer.*, Sheet **50**, 1-4.

大谷清隆·仲村俊毅(1985):第5章陸奥湾, II物理.「日本全国沿岸海洋誌(日本海洋学会沿岸海洋研究部会編)」, 東京, 東海大学出版会, pp.178-186.

大谷清隆·寺尾豊光(1974):むつ湾の海洋構造. 北大水産彙報, **24**, 100-131.

Olla, B. L. and M. W. Davis (1990): Effects of physical factors on the vertical distribution of larval walleye pollock (Theragra chalcogramma) under controlled laboratory conditions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **63**, 105-112.

Paul, A. J. (1983): Light, temperature, nauplii concentrations, and prey capture by first feeding pollock larvae Theragra chalcogramma. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **13**, 175-179.

Paul, A. J., K. O. Coyle, and L. Haldorson (1991): Interannual variations in copepod nauplii prey of larval fish in an Alaskan Bay. *ICES J. mar. Sci.*, **48**, 157-165.

Pinchuk, A. I. (1997): Naupliar development of Metridia pacifica (Copepoda: Calanoida) reared in the laboratory. *J. Crustacean Biol.*, **17**, 343-351.

Rugen, W. C. and A. C. Matarese (1988): Spacial and temporal distribution and relative abundance of Pacific cod (Gadus macrocephalus) larvae in the Western Gulf of Alaska. NWAFC Processed Report, 88-18, Northwest and Alaska Fish. Cent., Natl. Mar. Fish. Serv., NOAA, Seattle, 53pp.

桜井泰憲・福田慎作(1984): 陸奥湾に来遊するマダラの年齢と成長. 青森県水産増殖センター研究報告, **3**, 9-14.

品川汐夫・多部田修(1998a): 数値実験の比較による, 関係類似度を用いたRsn法の利点. 日本水産学会誌, **64**, 56-64.

品川汐夫・多部田修(1998b): マクロベントスの調査データによる対応分析法とRsn法の比較. 日本水産学会誌, **64**, 418-426.

品川汐夫・多部田修(1998c): 河口域干潟における底生動物群集の経年変化についてのRsn法による解析. 日本水産学会誌, **64**, 796-806.

白井 滋(1983): マダラGadus macrocephalus TILESIUS, 「東北海域・北海道オホーツク海域の魚類(尼岡邦夫, 仲谷一宏, 新谷久男, 安井達夫編)」, 日本水産資源保護協会, 東京, pp. 104-105.

Siefert, D. L. (1998): Distinguishing between Stage I and Stage II nauplii of the copepods Metridia and Pseudocalanus from the Bering Sea. *J. Plankton Res.*, **20**, 1061-1072.

Sokal, R. R. and F. J. Rohlf (1983): 頻度の分析. 生物統計学(藤井宏一, 訳), 東京, 共立出版, pp. 349-378.

Solemdal, P. (1997): Maternal effects – a link between the past and the future. *J. Sea Res.*, **37**, 213-227.

高津哲也・高橋豊美・中谷敏邦・前田辰昭・大越金蔵(1992): 陸奥湾におけるスケトウダラ卵および仔稚魚の分布と移動. 日本水産学会誌, **58**, 2235-2243.

竹内 勇(1961): 北海道沿岸のタラ科幼魚の餌料. 北水試月報, 18, 329-336.

田中 克(1980): 海産仔魚の摂餌と生残-I. 天然海域における食性. 海洋と生物, **2**, 440-447.

Thomson, J. A. (1963): On the demersal quality of the fertilized eggs of Pacific cod, Gadus macrocephalus TILESIUS. *J. Fish. Res. Board Can.*, **20**, 1087-1088.

内田惠太郎(1936): 朝鮮近海のタラに就いて. 朝鮮水産會機關雜誌, 朝鮮之水産, **130**, 24-39.

内田惠太郎・田福正治(1958): マダラGadus macrocephalus TILESIUS. 「日本産魚類の稚魚期の研究, 第1集(内田惠太郎・今井貞彦・水戸 敏・藤田矢郎・上野雅正・庄島洋一・千田哲資・田福正治・道津喜衛)」九州大学農学部水産学第二教室, 福岡, 89p.+Plate 83&86.

Van der Veer, H. W. (1985): Impact of coelenterate predation on larval plaice Pleuronectes platessa, and flounder Platichthys flesus in the western Wadden Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **25**, 229-238.

Van der Veer, H. W. and M. J. N. Bergman (1987): Predation by crustaceans on a newly settled 0-group plaice Pleuronectes platessa population in the western Wadden Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **35**, 203-215.

Walters, G. E. (1984): Ecological aspects of larval and juvenile Pacific cod (Gadus macrocephalus), walleye pollock (Theragra chalcogramma), and Pacific tomcod (Microgadus proximus) in Port Townsend, Washington. MS thesis, University of Washington, Seattle, 129pp.

Watanabe, Y., H. Zenitani, and R. Kimura (1995): Population decline of the Japanese sardine Sardinops melanostictus owing to recruitment failures. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **52**, 1609-1616.

山口 篤・志賀直信(1997):北海道南西部恵山沖におけるPseudocalanus minutusとP. newmani (Copepoda; Calanoida)の鉛直分布および生活史. 日本プランクトン学会報, **44**, 11-20.

與世田兼三・広川 潤・長倉義智・有瀧真人・小林真人(1992):石川県能登島周辺海域におけるマダラ成魚の成熟状況と卵・稚仔魚の分布. 栽培技研, **21**, 21-30.

吉田裕幸(1998):陸奥湾におけるマダラ稚魚耳石微細構造と孵化日組成. 北海道大学大学院水産学研究科修士論文, 函館, 42pp.

遊佐多津雄(1954): マダラGadus macrocephalus TILESIUS, "North Pacific cod" の發生. 北海道区資源調査要報, **9**, 63-66.

遊佐多津雄(1961): 孵化水温がマダラGadus macrocephalus TILESIUS稚魚の筋節と色素細胞分布との関係に及ぼす影響について. 底魚情報, 東北水研八戸, **28**, 9-12.

Yusa, T., K. Kyushin, and C. R. Forrester (1977): Outline of life history information on some marine fish. *Res. Inst. N. Pac. Fish., Hokkaido Univ.*, Spe. Vol., 123-173.