

研究論文

## 土佐湾のコリケウス科カイアシ類の群集構造と季節変化

上田拓史\*・湯浅正崇

### 要旨

土佐湾内の岸近くから陸棚縁までの3定点で2009年5月から12ヶ月間、目合0.1 mmのネットで日中層別採集した試料から、生態情報が少ない優占肉食性動物プランクトンであるコリケウス科カイアシ類の成体の群集構造、種毎の季節変化、水平鉛直分布を調べた。23種が同定され、春に特に増加する *Ditrichocorycaeus affinis* (最大平均成体密度は4月の  $154 \text{ ind. m}^{-3}$ ) が年間平均密度で全成体の66%を占めた。優占5種表層密度の水平分布の傾向は月によって異なり、かつ、定点間で密度が極端に異なる月もあり、パッチ状分布が示唆された。陸棚縁では、100 m以深の密度の方が高かった *Urocorycaeus furcifer* を除き、どの種もほとんど100 m以浅に分布が限られ、*Farranula gibbula* と *D. andrewsi* は50 m以浅に多くなる傾向があった。*D. affinis* の0~100 m層内の鉛直分布は月によって大きく異なったが、それと環境要因との関係は見られなかった。

キーワード：土佐湾、カイアシ類、Corycaeus、鉛直分布、季節変化

海洋プランクトンの中で個体数でもバイオマスでも最大の動物群はカイアシ類 Copepoda (節足動物門甲殻亜門アゴアシ綱カイアシ亜綱) であり、ほとんどの海域においてプランクトンネットで採集される動物の7割以上はカイアシ類であると言われる (上田2010)。そのため、カイアシ類は海洋一次生産のほとんどを消費する一方、仔稚魚や小魚など動物プランクトン食者にとって最も重要な餌になっている。浮遊性カイアシ類の食性は植食、肉食、雑食、糞食など多様である (大塚2006)。肉食性のカイアシ類の中で最も個体数が多いのはオンケア科 Oncaeidae で、次いでコリケウス科 Corycaeidae であり、この2科はこの海域でもプランクトンネットを曳けば必ずと言っていいほど採集されるほど数が多い。そのため、これらの肉食性カイアシ類はプランクトン生態系の中での食物連鎖で重要な役割を果たしているといえる。例えば、魚類の餌としての重要性では、オンケア科カイアシ類がカタクチイワシの主要な餌になっている報告がある (Tanaka *et al.* 2006)。一方、コリケウス科カイアシ類 *Corycaeus anglicus* は同程度の大きさのカイアシ類を1日最大14個体捕食するという報告がある (Landry *et al.* 1985)。肉食性カイアシ類の個体密度は優占カイア

シ類に比べると少ないが、仔稚魚よりはるかに多いため彼らは動物プランクトン食魚類にとって強力な競合

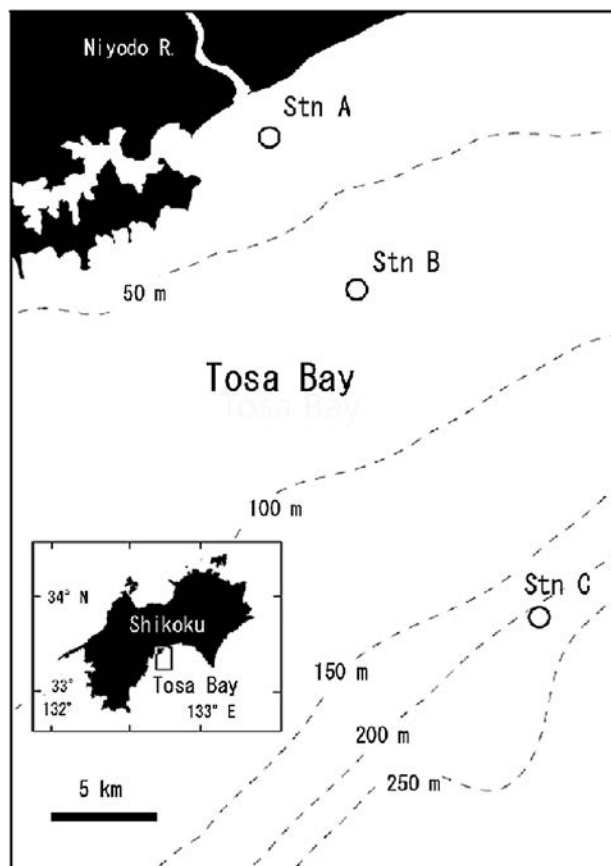


図1. 土佐湾の3定点の位置図。

Fig. 1. Location of three sampling stations in Tosa Bay.

2015年2月12日受領; 2015年2月23日受理  
高知大学総合研究センター海洋生物研究教育施設  
〒781-1164 土佐市宇佐町井尻194  
\*連絡責任者 e-mail address: hueda@kochi-u.ac.jp,  
hueda1125@gmail.com

者になることが考えられる。したがって、肉食性カイアシ類の詳しい季節変化や分布はプランクトン生態系を理解する上で重要になる。本研究で対象にするコリケウス科カイアシ類は、頭部前面を覆うほど大きな1対の透明なレンズ眼を持つという特徴的な形態があるため、プランクトン試料中でよく目立つ。にもかかわらず、その生態はほとんど知られていない。コリケウス科の群集構造や種別の季節的消長を明らかにした研究は世界でも稀であり、日本近海では駿河湾で行われた Itoh & Mizushima (1999) の研究しかない。

著者らの研究室では2006年から2014年まで高知県土佐湾内の数定点において、目合0.1 mmのプランクトンネットを用いて毎月動物プランクトンの定量採集を行っており、これまで高知大学農学部農学科海洋生物生産学コース(旧、栽培漁業学科)の卒業研究や同大学院農学専攻の学生の研究としてその試料を分析し、その内のいくつかの研究成果は学会発表等で公表してきた。出版された成果としては、浮遊性有孔虫の鉛直分布に関する廣田ら(2010)、ヤムシ類の群集構造、種別の季節的消長および優占種の水平鉛直分布に関する Ohnishi *et al.* (2014) の研究がある。本論文は、コリケウス科の群集構造とその季節変化についての情報不足を補うために、2009年5月から2010年4月までの全試料から抽出したコリケウス科カイアシ類成体を種同定し、計数した未発表データをまとめ直したものである。コリケウス科の種別の季節変化を明らかにした研究は、日本では Itoh & Mizushima (1999) に続く2例目になる。また、彼らの研究は1定点1層からの鉛直曳きなので、日本でコリケウス科の種別の水平鉛直分布を明らかにしたのは本研究が初めてである。彼らが調査した駿河湾は土佐湾と同じ黒潮沿岸にあるが、黒潮の最下流に位置し、水温は土佐湾より低い(Ohnishi *et al.* 2014)。そのため、黒潮沿岸域におけるコリケウス科群集構造の理解を深めるために、本研究の結果を彼らの駿河湾の結果と比較する。

調査海域である土佐湾は四国南岸ほぼ全域をカバーする日本最大の湾で、すぐ沖を流れる黒潮の影響を強く受けている。また、マイワシの産卵場として重要な海域である(石田 2006)。上述の廣田ら(2010)と Ohnishi *et al.* (2014) のほかに、学術誌等に掲載された土佐湾の動物プランクトンに関する量的情報として、カイアシ類ノープリウスの水平鉛直分布に関する鈴木・小西(1986)、動物プランクトンの湾内水平分布と季節変化に関する松村(1989)、およびオンケ

ア科カイアシ類の群集構造と種別鉛直分布に関する Nishibe *et al.* (2009) がある。

## 材料と方法

分析した動物プランクトン試料は、土佐湾内に設けた仁淀川河口から南東方向に向けたライン上の3定点(図1)において、高知大学総合研究センター海洋生物研究教育施設の実習調査船「ねぶちゅーん」で2009年5月から2010年4月まで毎月1回採集されたものである。3定点は岸から近い順に Stn A (距岸 1.8 km, 底深 22 m), Stn B (距岸 10.4 km, 底深 72 m), Stn C (距岸 30 km, 底深 210 m) とした。Stn A は、四国で3番目に流域面積が大きい仁淀川の河口間近に位置し、河川水の影響を強く受けると考えられる。Stn C は湾内の海域(足摺岬先端と室戸岬先端を結んだ線と海岸線で囲んだ水域)の中央部の陸棚縁に位置する。各月の調査日は天候と船の都合により一定せず、2009年5月15日、6月8日、7月13日、8月25日、9月9日、10月13日、11月20日、12月8日、2010年1月16日、2月23日、3月10日、4月19日となり、調査日の間隔は最短が8月と9月、および2月と3月の間の15日、最長が7月と8月の間の43日であった。調査は9時頃に土佐市宇佐港を出て Stn A から Stn C へ、または Stn C から Stn A へ順に行き、通常13~14時頃に終了した。

採集には5月から7月まで3ヶ月間は離合社の閉鎖式ノルパックネット(口径45 cm, 測長200 cm, 目合0.1 mm)を2連にしてボンゴネット型にしたものを、8月以降はメッセンジャーで操作する口径、測長、目合が同じボンゴ型開閉式ネット(上田 2013)を用い、Stn A では0~20 mの1層、Stn B では0~25 mと25~50 mの2層、Stn C では0~25 m, 25~50 m, 50~100 m, 100~200 mの4層の層別鉛直曳きを行った。本論文では Stn A の0~20 m層, Stns B, C の0~25 m層を「表層」と呼ぶことにする。ネットの水深は曳網用ワイヤーの線長計で測定したが、正確に目的の層から試料を得るために常にワイヤーが鉛直になるように操船しながら採集を行った。なお、前者のネットは、網口を開放したまま目的の水深まで降下させるため降下中に表層のプランクトンが多少混じる可能性がある。後者のネットはそれを防ぐために考案したものである。双胴型の2本のネットのそれぞれの試料は別々にサンプル瓶に移し、船上で直ちに中性ホル

マリンで濃度約1~2%になるように固定した。プランクトンネットの濾水量はそれぞれの網口に取り付けた濾水計(離合社, 3針)で測定した。採集時の水温, 塩分, クロロフィル量はアレック電子(株)製の多筒採水器付CTDまたはCompact CTDを用い, 水面から海底近くまで0.5 m間隔で測定した。

双胴型ネットで1層から採集した2本の試料のうち, 原則として濾水量の大きい方を分析した。まず, 試料を方眼入りシャーレに移して実体顕微鏡で観察し, 試料全量中から明らかに幼体とわかる個体を除き, すべてのコリケウス科カイアシ類を計数盤に取り出した。ただし, 珪藻プランクトンの増殖によりプランクトン沈殿量が大きく全量を検鏡することが困難な試料については, 元田式プランクトン分割器を使って1/2(沈殿量が非常に大きかった2010年4月Stn Cの0~25 m層と25~50 m層の2本は1/8)に分割した試料からコリケウス科カイアシ類を取り出した。抽出した個体は生物顕微鏡で成体の種同定と計数を行った。種の同定は原則として伊東(1997)の検索図を用いて行ない, 属名についてはWalter & Boxshall(2014)に従った。なお, 近縁種*Ditrichocorycaeus affinis*と*D. dahli*は, その検索図では雌の生殖複合節腹面の膨らみと第2胸肢外肢末端棘の曲がり具合, 雄の第4胸肢外肢外縁棘の長さで区別される。しかし, 本研究の観察ではそれらの形態には個体変異があり, 識別が困難な個体も少なくなった。例えば, 雌の第2胸肢外肢末端棘は検索図では*D. affinis*ではほぼ真っすぐで, *D. dahli*は内側に曲がるとされるが, 観察したほとんどの個体はやや内側に曲がっていた。Mori(1937, *C. japonicus*として記載)やKang *et al.*(1990)の*D. affinis*の図でもその棘は内側にやや曲がっていることから, その棘の曲がり具合は同定の基準にはしなかった。生殖複合節腹面の膨らみについても判断しにくい個体が少なくなかった。そこでChen *et al.*(1974)の検索表に従って雌雄とも尾肢の長さ(長さとの幅の比)を主な基準にし, 中間的な個体は近い方の種に同定した。しかし, その方法で見分けた*D. affinis*と*D. dahli*の年間割合は10:1程度で, 季節変化も分布はほとんど同じ結果になった。Itoh & Mizushima(1999)によれば*D. dahli*はむしろ*D. affinis*が少ない時期によく出現していることから, 本研究の結果は*D. dahli*として計数した個体がほとんど*D. affinis*であったことを示している。そのため, 本論文では両方の合計を*D. affinis*として扱う。これにより, *D. affinis*の密度の一部に*D. dahli*が含まれても, *D.*

*affinis*に対する*D. dahli*の割合は1/10よりはるかに小さいと考えられるため, *D. affinis*の季節変化や分布の結果に実質的に影響しないと言える。

平均密度は各採集層の採集個体数と濾水量から求めた密度( $D_i$ )を層長( $L_i$ )で加重した次式で計算した。

$$D_m = \frac{\sum (D_i \times L_i)}{\sum L_i}$$

定点間および採集層間の比較検定はパソコンソフト『エクセル統計2012』(株社会情報サービス)を用いてKruskal-Wallis検定を行った後, Steel-Dwass法によるノンパラメトリックな多重比較を行った。

## 結果

水温・塩分 各層の水温と塩分の季節変化は, それぞれ採集層内の平均値で以下に説明する。Stns A~Cの表層水温はいずれも9月に最も高く27.4~28.3°C, 3月に最も低く16.5~17.5°Cであった(図2)。Stn Bでは7, 8月に表層と25~50 m層との間に2~3°Cの違いがある躍層が見られたが, 10~3

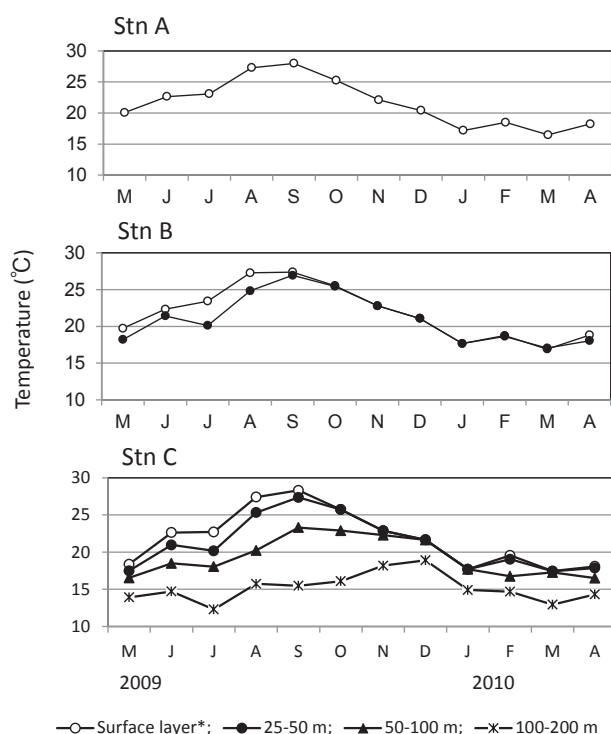


図2. 土佐湾の3定点における各採集層内の平均水温の季節変化。\*Stn Aでは0~20 m層, Stns BとCでは0~25 m層。

Fig. 2. Seasonal change in the mean temperature of each sampling layer at the three stations in Tosa Bay. \*0-20 m layer at Stn A, and 0-25 m layer at Stns B and C.

月はほとんど2層間に水温差がなかった。Stn Cでは、表層と50~100 m層間に6月から9月まで4℃以上(最大8月の7.2℃)の躍層あり、8月から10月にかけて表層と25~50 m層間より25~50 m層と50~100 m層間の違いが顕著になり、混合層が深くなっていく傾向が見られた。Stn Cの100~200 m層の平均水温は年間を通して19℃以下で、表層の季節変化とは独立した変化を示し、12月に最も高く(18.9℃)、7月に最も低くなった(12.3℃)。

表層塩分は、3点とも6月に344以上あった塩分が7月に340以下に低下し、33台の低塩分が11月か12月まで続いた(図3)。表層の塩分低下は春季にも観察され、Stn Aでは3月、Stns B, Cでは2月に33台になった。25~50 m層の夏季の塩分低下は表層より1ヶ月遅れ、9月に最低塩分338~339になったが、9月以降は表層とほぼ同塩分に回復した。50~100 m層では夏季の塩分低下はさらに遅れて9月以降にわずかに見られた。100~200層では年間ほぼ一定で344~346の範囲を変動した。

温帯域沿岸では一般に3月から5月にかけて春季珪藻ブルームが起こるが、調査期間中に表層のクロロフィル濃度が $1.0 \text{ mg m}^{-3}$ 以上になったのは5月 Stn

B, 3月 Stn A と Stn B, 4月 Stn A と Stn Cで、月によってブルームが起こっている場所が異なった(図4)。土佐湾では夏季にも植物プランクトンの増加が起こることが知られているが(広田ら2002)、本研究ではStn Aの7月表層( $0.9 \text{ mg m}^{-3}$ )とStn Cの6月25~50 m層( $0.8 \text{ mg m}^{-3}$ )で一時的なピークを観測した。水温躍層が形成される6~9月のクロロフィル濃度は、Stn Cの7月を除き、表層より25~50 m層が高くなり、垂表層クロロフィル極大層が形成された。Stn Cの100~200 m層では周年 $0.1 \text{ mg m}^{-3}$ を下回った。

出現種と年間平均種組成 同定された種の一覧と、全試料から計算した成体の年間平均密度、月平均密度、1試料での最大密度、および種が出現した試料数を表1に示した。また、駿河湾でのItoh & Mizushima (1999)の表層採集の結果と比較するために、表層試料から計算した年間平均密度と月最大密度も併せて表示した。

コリケウス科カイアシ類は *Urocorycaeus*属3種, *Ditrichocorycaeus*属4種, *Agetus*属3種, *Onychocorycaeus*

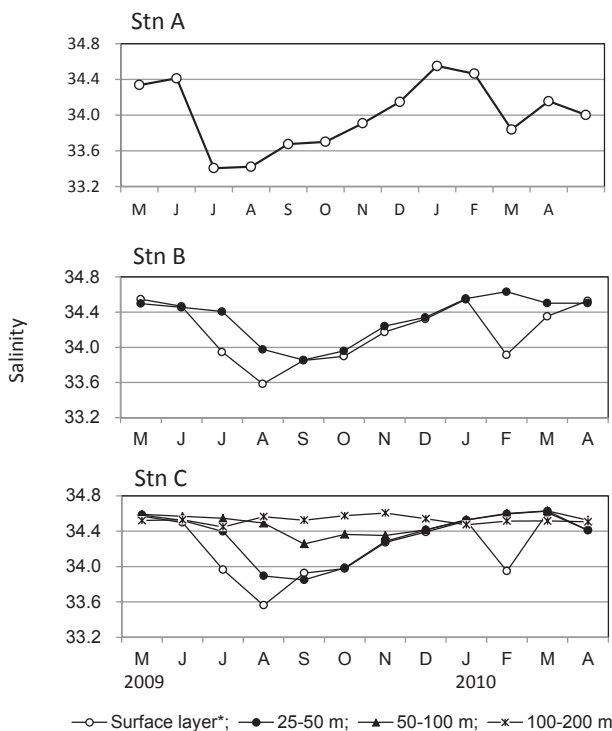


図3. 土佐湾の3定点における各採集層内の平均塩分の季節変化。\*図2参照。

Fig. 3. Seasonal change in the mean salinity of each sampling layer at the three stations in Tosa Bay. \*See Fig. 2.

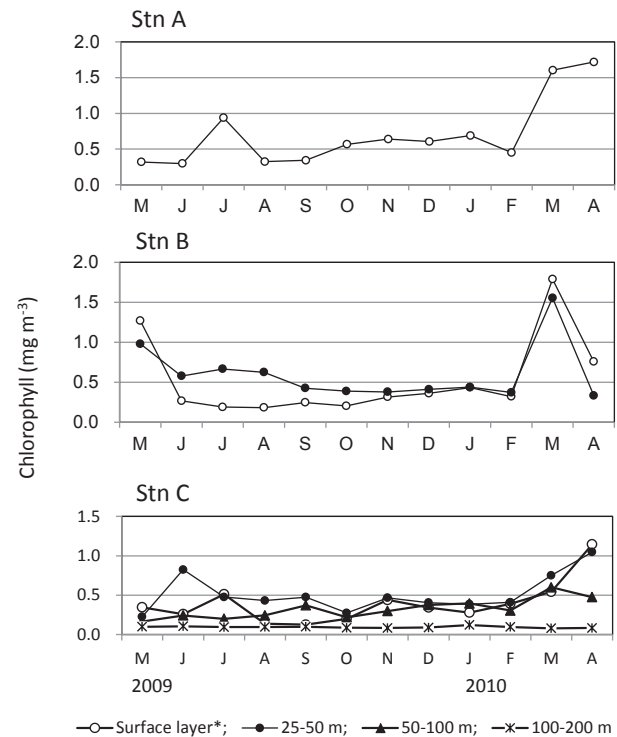


図4. 土佐湾の3定点における各採集層内の平均クロロフィル量の季節変化。\*図2参照。

Fig. 4. Seasonal change in the mean chlorophyll concentration of each sampling layer at the three stations in Tosa Bay. \*See Fig. 2.

表 1. 土佐湾のコリケウス科カイアシ類の種と成体密度。YMD, 全試料から計算した年平均密度; HMMD, 同最高月平均密度; YMDT, 全最表層試料から計算した年平均密度; HMMDT, 同最高月平均密度; HDS, 1 試料での最高密度; HS, 種が出現した試料数。密度の単位は ind. m<sup>-3</sup>。平均密度は式  $\Sigma(D_i \times L_i) / \Sigma(L_i)$  で求めた ( $D_i$ ,  $L_i$  はそれぞれ採集層  $i$  の個体密度と層長)。

**Table 1. List of corycaeid species in Tosa Bay and their adult copepod densities. YMD and HMMD, the yearly mean and the highest monthly mean densities, respectively, in all samples; YMDT and HMMDT, those in all samples collected from the top layers; HDS, the highest density in a sample; NS, the number of samples in which the species occurred. The unit of density is ind. m<sup>-3</sup>. The mean densities are calculated as  $\Sigma(D_i \times L_i) / \Sigma(L_i)$ , where  $D_i$  and  $L_i$  are copepod density and length of the sampling layer  $i$ , respectively.**

Species	YMD	HMMD	YMDT	HMMDT	HDS	NS
<i>Urocorycaeus furcifer</i>	0.11	0.33 (Sep)	0.03	0.20 (Aug)	0.84 (Sep, Stn C, 100-200 m)	26
<i>Urocorycaeus lautus</i>	0.004	0.03 (Jun)	0.006	0.08 (Dec)	0.27 (Dec, Stn A, 0-20 m)	2
<i>Urocorycaeus longistylis</i>	0.007	0.03 (Sep)	0	0	0.21 (Jun, Stn C, 25-50 m)	5
<i>Ditrichocorycaeus erythraeus</i>	0.06	0.41 (Jun)	0.18	1.1 (Jun)	3.8 (Jun, Stn A, 0-20 m)	13
<i>Ditrichocorycaeus andrewsi</i>	0.66	1.9 (Oct)	1.94	5.8 (Sep)	9.7 (Oct, Stn B, 0-25 m)	51
<i>Ditrichocorycaeus asiaticus</i>	0.044	0.14 (Aug)	0.097	0.39 (Aug)	1.3 (Apr, Stn C, 50-100 m)	13
<i>Ditrichocorycaeus affinis</i> *	10.7	70.7 (Apr)	20.2	153.6 (Apr)	257.5 (Apr, Stn C, 0-25 m)	78
<i>Agetus limbatus</i>	0.07	0.20 (Jun)	0.08	0.30 (Jun)	1.3 (May, Stn B, 25-50 m)	25
<i>Agetus typicus</i>	0.11	0.25 (Jun)	0.14	0.53 (May)	1.3 (May, Stn A, 0-20 m)	27
<i>Agetus flaccus</i>	0.09	0.19 (Jul)	0.09	0.38 (Jul)	1.1 (Jan, Stn C, 0-25 m)	25
<i>Onychocorycaeus agilis</i>	0.17	0.44 (Jun)	0.39	1.5 (Aug)	3.9 (Apr, Stn C, 25-50 m)	28
<i>Onychocorycaeus giesbrechti</i>	0.03	0.14 (May)	0.04	0.38 (Jul)	1.1 (Jul, Stn C, 0-25 m)	12
<i>Onychocorycaeus pacificus</i>	0.64	1.6 (Jul)	1.41	3.8 (Jul)	7.3 (Jul, Stn B, 0-25 m)	53
<i>Onychocorycaeus catus</i>	0.55	1.1 (Jun)	1.32	3.1 (Sep)	5.8 (Sep, Stn C, 0-25 m)	54
<i>Onychocorycaeus pumilus</i>	0.25	0.44 (Oct)	0.60	0.95 (May)	2.6 (Jun, Stn A, 0-20 m)	42
<i>Corycaeus speciosus</i>	0.37	0.87 (Jun)	0.84	1.5 (Aug)	4.4 (Oct, Stn A, 0-20 m)	55
<i>Corycaeus clausi</i>	0.31	1.3 (Jun)	0.53	1.1 (Apr)	9.1 (Jun, Stn B, 25-50 m)	44
<i>Corycaeus crassiusculus</i>	0.15	0.90 (Jun)	0.31	1.8 (Jun)	5.0 (Jun, Stn C, 0-25 m)	26
<i>Farranula rostrata</i>	0.17	1.2 (Jul)	0.23	1.6 (Jul)	6.6 (Jul, Stn B, 25-50 m)	19
<i>Farranula concinna</i>	0.25	1.5 (Jun)	0.81	4.9 (Jun)	8.4 (Jun, Stn B, 0-25 m)	23
<i>Farranula carinata</i>	0.26	1.5 (Jul)	0.44	2.8 (Jul)	7.3 (Jul, Stn B, 25-50 m)	20
<i>Farranula gibbula</i>	1.1	5.1 (Sep)	3.0	12.9 (Sep)	17.7 (Sep, Stn C, 0-25 m)	45
Total adult copepods	16.2	75.4 (Apr)	32.7	165.3 (Apr)	276.3 (Apr, Stn C, 0-25 m)	84

\*わずかに *D. dahli* を含む。

\*including a small number of *D. dahli*.

属 5 種, *Corycaeus* 属 3 種, *Farranula* 属 4 種の計 6 属 22 種が同定された。ただし, *D. affinis* として計数した *D. dahli* を含めると計 23 種になる。月毎の種数 (*D. dahli* を除く) は 1 月から 5 月が 16 ~ 17 種, 11 月 (17 種) を除いて 6 月から 12 月が 18 ~ 21 種で, 暖水期にやや種数が多くなる傾向があった。

コリケウス科全体の年間平均成体密度は 162 ind. m<sup>-3</sup> で, そのうち 66.2% が *D. affinis* (年間平均成体密度 10.7 ind. m<sup>-3</sup>) であった。次いで *F. gibbula* (7.1%), *D. andrewsi* (4.1%), *O. pacificus* (4.0%), *O. catus* (3.4%)

の順に多く, これら上位 5 種で全体の 84.8% を占めた。月平均密度でも *D. affinis* は 153.6 ind. m<sup>-3</sup> (4 月) になり, 他の優占種を圧倒した。以降, これらを優占 5 種と呼ぶことにする。表層試料だけで計算したコリケウス科全体の年間平均密度 (32.7 ind. m<sup>-3</sup>) は全試料から計算した値の 20 倍であった。

1 試料あたりの最大密度では *D. affinis* が最も高く 257.5 ind. m<sup>-3</sup> で, 次いで *F. gibbula* (17.7 ind. m<sup>-3</sup>), *D. andrewsi* (9.7 ind. m<sup>-3</sup>), *C. clausi* (9.1 ind. m<sup>-3</sup>), *F. concinna* (8.4 ind. m<sup>-3</sup>) と続いた。そのうち優占 5 種

ではない *C. clausi* と *F. concinna* は1ヵ月だけ多かった種で、年間平均密度での割合はそれぞれ0.3%, 0.2%と優占5種に比べて非常に小さかった。

優占5種についてそれぞれ総採集個体数が20以上の月の成体性比(雄:雌)をみると、*D. affinis* 0.6~2.0(20個体以上の月は10ヶ月)、*F. gibbula* 0.7~3.8(同

6ヶ月)、*D. andrewsi* 0.7~2.4(同4ヶ月)、*O. pacificus* 0.5~1.5(同5ヶ月)、*O. catus* 0.9~1.7(同4ヶ月)となり、各種ともメスが多い月も雄が多い月もあった。しかし、年間採集個体での性比は *D. affinis* 1.5、*D. andrewsi* 1.8、*O. catus* 1.7となり雄の割合が多く、*F. gibbula* と *O. pacificus* はそれぞれ0.8、0.7となり、雌が多かった。

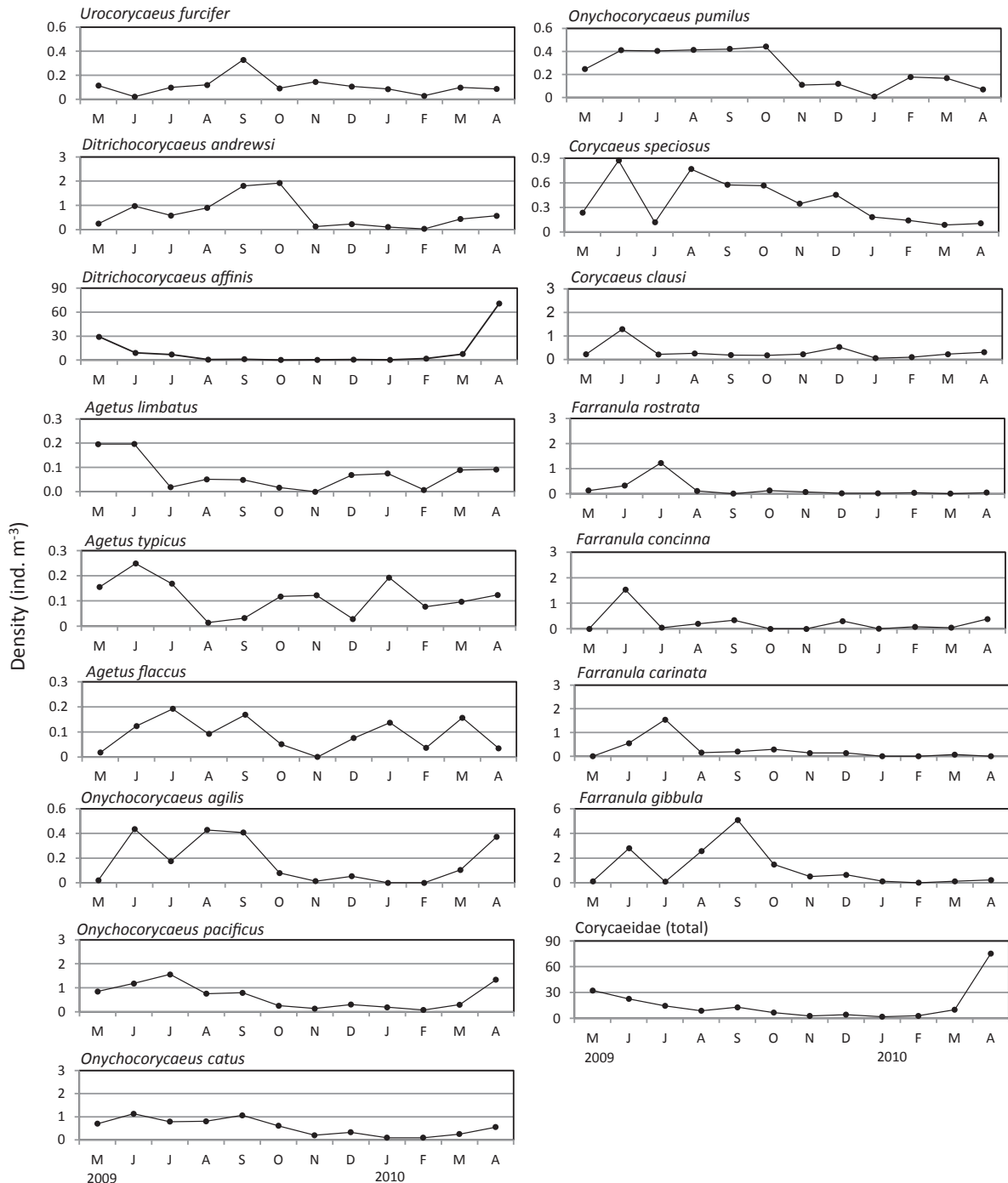


図5. 土佐湾におけるコリケウス科カイアシ類成体の平均密度の季節変化。年間平均成体密度でコリケウス科全体の0.5%未満の6種は除く。各月の平均密度の計算方法は表1を参照。

Fig. 5. Seasonal changes in the mean adult copepod density of corycaeid species in Tosa Bay. Species occupying <0.5% of the yearly mean density of adult corycaeid copepods are omitted. See Table 1 for calculation of the mean density.

各種の季節的消長 コリケウス科成体の年間平均密度の割合が0.5%未満の6種 (*Agetus limbatus*, *Ditrichocorycaeus erythraeus*, *D. asiaticus*, *Onychocorycaeus giesbrechti*, *Urocorycaeus longistylis*, *U. lautus*) を除く16種と、コリケウス科合計の季節変化を各月の平均密度で図5に示す。優占5種と *U. furcifer*, *A. typicus*, *O. pumilus*, *Corycaeus speciosus* の計9種は年間を通して採集された。

優占5種の季節変化は、*D. affinis* は春4～5月に増加し、夏から冬(8月～1月)に少なくなる春型、*O. pacificus* と *O. catus* は春から夏(6～9月)に多く、秋冬(11月～2月)に減少する春夏型、*D. andrewsi* と *Farranula gibblula* は夏(8～10月)に最も増加し、秋～春(11～5月)に少ない夏型に分けられる。

優占5種以外では、*O. agilis*, *O. pumilus*, *C. speciosus* が6月から9～10月まで多くなる春夏型、*U. furcifer* は9月に多くなる夏型であった。*Agetus typicus* と *A. flaccus* は増減を繰り返しながら年中出現し、特定の季節に偏る傾向は見られなかった。それ以外の、*A. limbatus*, *C. clausi*, *F. rostrata*, *F. concinna*, *F. carinata* の5種はいずれも5月から7月までに増加する春型に近く、そのうち *A. limbatus* 以外の4種は6月か7月のどちらかだけに増加して1.0 ind. m<sup>-3</sup>を超えたが他の月は極めて低い密度だった。

月別の群集構造では1～7月は *D. affinis* が最優占

し、とくに2～5月はコリケウス科成体の過半数を占めた(図6)。この種が少なくなる8月から12月までは *Farranula gibbula* か *D. andrewsi* が最優占した。コリケウス科群集内の多様度(Shannon-Wienerの  $H'$ ) は、種数があまり大きく季節変動しないため、主に最優占種 *D. affinis* の優占度によって変動し、2～5月に低く、6～1月に高くなった。

水平・鉛直分布 優占5種の3定点表層における水平分布と、Stn Cにおける鉛直分布をそれぞれ図7と図8示す。季節変動と空間変動の両方によって密度が大きな範囲を変動するため、どちらも密度を対数目盛で表示した。

水平分布はどの種も月によって最も密度が高くなる定点が異なり、岸から沖への一定した密度の変化は見られず、例えば *Ditrichocorycaeus affinis* が高密度になった5月と4月のように分布傾向が逆になることもあった(図7)。また、ある点である程度の密度があるにもかかわらず他の定点でまったく採集されなかったり、1/10倍以下になったりすることが少なくなく、分布に大きな偏りがあることが示された。12ヶ月分の表層密度データを使い3点間の比較を行った結果、*Onychocorycaeus catus* 以外は定点間に有意差はなかった。有意差 ( $p = 0.027$ ) が見られた *O. catus* は、Stn AがStn Cより有意に密度が高い結果になった ( $p =$

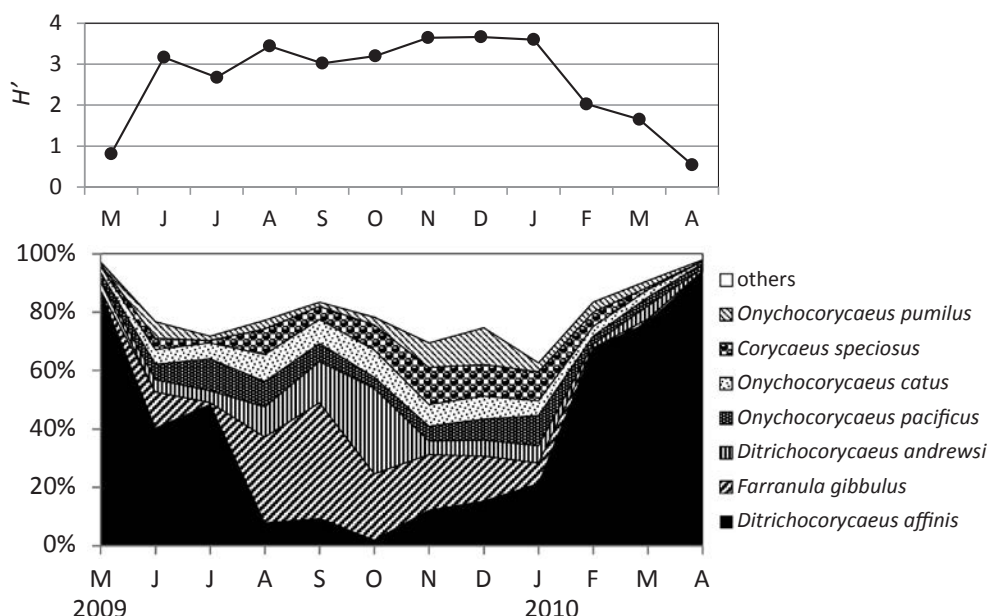


図6. 土佐湾におけるコリケウス科カイアシ類成体の種多様度(Shannon-Wiener index,  $H'$ ) (上)と群集構造(下)の季節変化。

Fig. 6. Seasonal changes in the species diversity (Shannon-Wiener index,  $H'$ ) (top) and the community structure (bottom) of adult corycaeid copepods in Tosa Bay.

土佐湾のコリケウス科カイアシ類

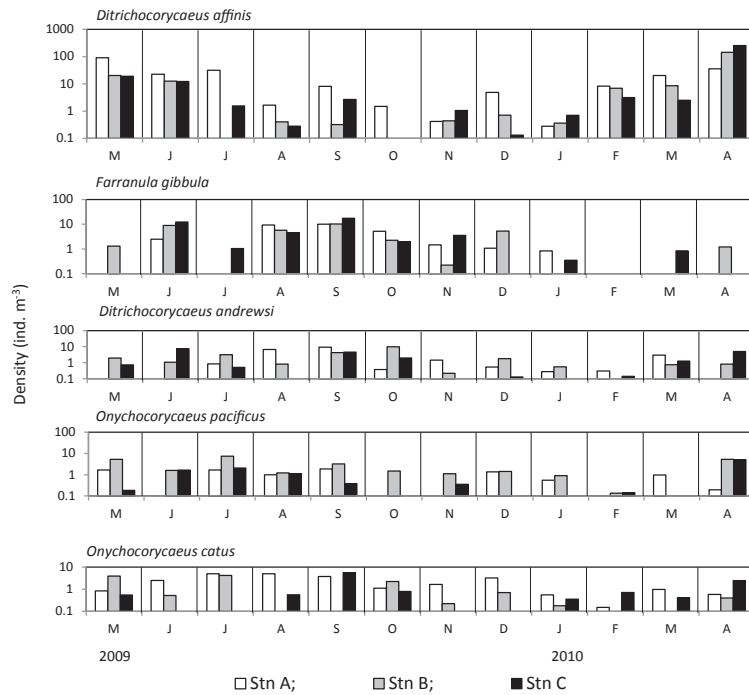


図7. 土佐湾3定点表層（最上層）におけるコリケウス科カイアシ類優占5種成体の水平分布。密度は対数で表示。

Fig. 7. Horizontal distribution of adult copepods of the top 5 dominant corycaeid species in the top sampling layers in Tosa Bay. Note that densities are shown in log scale.

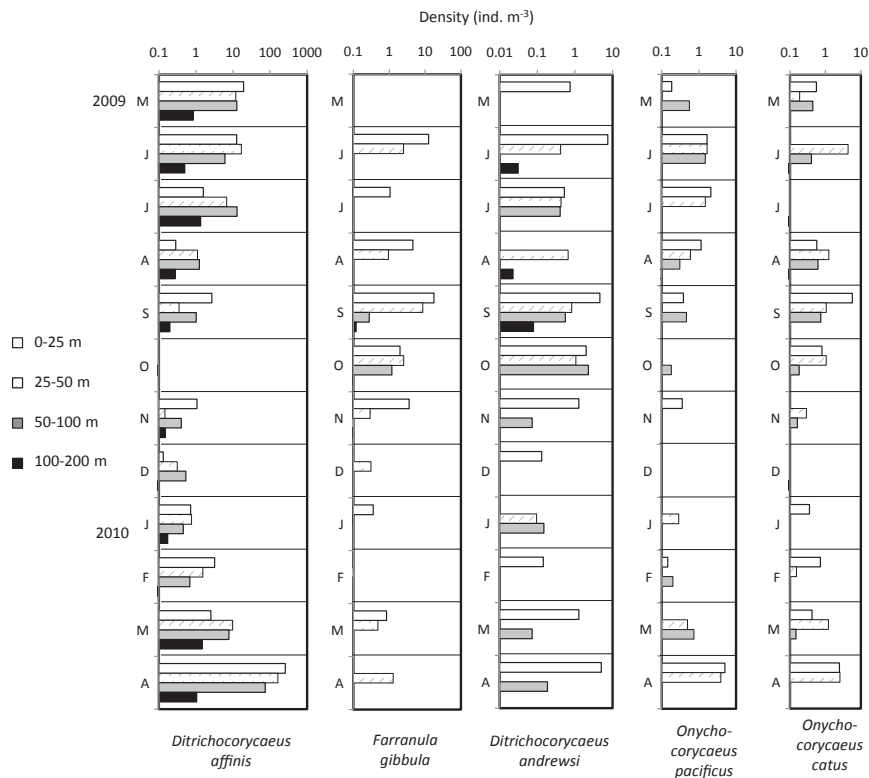


図8. 土佐湾Stn Cにおけるコリケウス科カイアシ類優占5種成体の鉛直分布。密度は対数で表示。

Fig. 8. Vertical distribution of adult copepods of the top 5 dominant corycaeid species at Stn C in Tosa Bay. Note that densities are shown in log scale.



0.043)。

鉛直分布については、優占5種はともに100 m以浅の層より100～200 m層で密度が低くなり、*D. affinis* 以外は100～200 m層で0.1 ind. m<sup>-3</sup>を超えることは稀であった(図8)。100 m以浅に分布する個体の割合を各層の年平均密度から計算すると*D. affinis* 96.8%, *F. gibbula* 98.8%, *D. andrewsi* 98.4%, *O. pacificus* 99.7%, *O. catus* 99.8% になり、5種ともほとんどの個体が100 m以浅に分布した。100 m以浅の3層間の分布では、*Farranula gibbula* が50～100 m層からほとんど採集されず、0～50 m層に集中した分布になり、とくにStn Cでの密度が比較的高い6月から11月までの6ヵ月間で5ヵ月は表層(0～25 m層)で最大密度になった。比較検定でも50～100 m層の密度は上2層の密度より有意に低くなった(0～25 m層とは  $p = 0.028$ , 25～50 m層とは  $p = 0.007$ )。種の高密度期に表層で最大密度になる傾向は*D. andrewsi* も同じであった。最優占種*D. affinis* の100 m以浅の鉛直分布の型は月によって大きく変わり、9, 11, 2, 4月では表層側に多く、逆に7, 8, 12月では下層に多くなった。また、鉛直分布と環境要因(水温, 塩分, クロロフィル量)との間に注目すべき関係は見られなかった。

優占5種以外の種も概ね同様に50 m以浅または100 m以浅に高く、100 m以深に低くなった。年間でStn Cから30個体以上採集されている種で100 m以深から全く採集されなかったのは*Corycaeus crassiusculus*, *F. rostrata*, *F. carinata* の3種で、逆に100 m以深に分布する個体の割合が10%を超えたのは*Urocorycaeus furcifer* (65.0%), *Agetus limbatus* (22.3%), *O. giesbrechti* (10.9%), *A. flaccus* (10.2%) の4種であった。*Urocorycaeus furcifer* は100 m以深の割合が例外的に高いが、50 m以深だと95.2%になり、ほとんどの個体が50 m以深に分布した。

## 考察

**群集構造** 本研究の結果を、土佐湾と同じ黒潮沿岸に位置する駿河湾でコリケウス科カイアシ類の季節変化を明らかにしたItoh & Mizushima (1999)の結果と比較するため、先に彼らの研究方法について概説する。採集は駿河湾の湾奥にある三保岬近くの水深38 mの定点にて、1979年4月から1, 2週間おきに1980年6月まで口径45 cm, 目合0.33 mmのノルパックネットで水深30 mから鉛直曳きによ

て行われている。水深5 mの塩分が夏期はほとんど33を下回り、時には31以下になっていることから、本研究の調査点より陸水の影響を受けやすい海域である。水深5 mの水温は12.3～26.8℃の範囲にあり、本研究の表層(Stn Aでは0～20 m層, Stns B, Cでは0～25 m層)の平均水温が16.5～28.3℃である土佐湾と比較すると明らかに低い。とくに深さによる水温の違いがほとんどない冬季の最低水温12.3℃は土佐湾の最低表層平均水温16.5～17.5℃より4℃以上低い。試料分析の方法は本研究と同様に成体のみの同定で、密度には幼体は含まれていない。希少種が採取されるかどうかはネットの濾水量に依存するが、同じ口径のネットを使い、駿河湾で30 mの鉛直曳きを毎週か隔週に行ったのと本研究の月1回3定点での鉛直曳きでは年間総濾水量に大きな差はないと考えられる。採集法の違いは、本研究では駿河湾で行われていない50 m以深の採集を行っていることと、プランクトンネットの目合の違い(駿河湾0.3 mm, 土佐湾0.1 mm)である。

同定されたコリケウス科の種は駿河湾も土佐湾も23種であった。日本産コリケウス科カイアシ類は25種が知られているが(伊東1997), 両湾ともほとんどの日本産種が出現したことになる。採集されなかった種は土佐湾では*Monocorycaeus robustus* と*Corycaeus vitreus* であり、駿河湾では*M. robustus* と*Farranula rostrata* であった。土佐湾で出現しなかった*C. vitreus* は駿河湾では11月のみわずかに採集された種であり、土佐湾ではたまたま採集されなかった可能性がある。しかし、この種の記載は雄しかなく(伊東1997), Walter & Boxshall (2015)では疑問種(taxon inquirendum)として扱われている。この種は尾肢の形状が*C. clausi* と同じで形態的に似ているため、本研究ではそれと混同した可能性も考えられる。

駿河湾で出現しなかった*Farranula rostrata* は土佐湾では84試料中19試料に出現し、稀にしか採集されない希少種ではない。また、50 m以深に多い種でもない。そのため、駿河湾でたまたま採集されなかったとか、採集深度が浅かったためとは考えにくい。土佐湾で*F. rostrata* が多かった7月の表層水温は23℃前後で(図2参照), 駿河湾の最高水温より低く、両湾の水温環境の違いが理由であるとも考えにくい。この種は同属種の中で最も小型で体長は雌0.77～0.85 mm, 雄0.69 mmである(伊東1997)。体型からみて体幅は0.2 mm前後になり、駿河湾で使われた目合0.3 mmのプラン

クトンネットでは容易に網目を抜けることが考えられる。土佐湾では7月以外の月では非常に低い密度であったが、駿河湾では調査期間中にこの種が一時的に増えることがなかったか、目の粗いネットを使ったため低密度の個体群が捉えられなかった可能性が考えられる。

最優占種は土佐湾も駿河湾も *Ditrichocorycaeus affinis* で、この種は沿岸性とされ (Kang *et al.* 1990, Itoh & Mizushima 1999), 北太平洋, インド洋沿岸に広く分布している (Razouls *et al.* 2005-2015)。土佐湾での *D. affinis* の表層平均密度は最大  $154 \text{ ind. m}^{-3}$  で、駿河湾で最大密度約  $160 \text{ ind. m}^{-3}$  (Itoh & Mizushima 1999 の fig. 5 より計測) とほぼ同等である。Itoh & Mizushima (1999) の季節変化の図 (fig. 5 と fig. 6) で優占種の最大密度を見ると、*D. affinis* の次に高い密度は *Onychocorycaeus pacificus* の約  $32 \text{ ind. m}^{-3}$  で、次いで掲載順に挙げると *Corycaeus crassiusculus*, *C. speciosus*, *D. andrewsi*, *Onychocorycaeus catus* が約  $7 \sim 10 \text{ ind. m}^{-3}$  で並び、その後に *Farranula gibbula* が約  $4 \text{ ind. m}^{-3}$  で続いている。これらのうち、*C. crassiusculus* と *C. speciosus* は土佐湾では優占5種に含まれないが、1試料の最大密度はそれぞれ  $50, 44 \text{ ind. m}^{-3}$  あり、駿河湾と同じオーダーになる。これらの種は *Ditrichocorycaeus* 属や *Onychocorycaeus* 属より大型である。土佐湾での密度が低い理由の1つとして、駿河湾より目の細かいネットを使用したために曳網中の抵抗が大きくなり、遊泳力のあるカイアシ類は網口逃避のために過少評価していたことが考えられる。

季節変化 Itoh & Mizushima (1999) は駿河湾のコリケウス科10種ついて年間の密度変化を図示し、夏-秋型、春/夏型、春型に分けた。本研究では優占種を春型、夏秋型、夏型に分けたが、両湾とも冬に増加する種はいない。春型は両湾とも最優占種 *D. affinis* である。駿河湾では4月から *D. affinis* の増加が始まり1979年では6月に最大密度に達しているが、土佐湾では2009年春は5月に高密度だった個体群が6月には密度が大きく低下し、土佐湾のほうが早く繁殖期が終息している。他の種はすべて暖水期に多くなる種であるが、その出現期間の長さに両湾の違いが見られた。すなわち、土佐湾で優占5種と *Urocorycaeus furcifer*, *Agetus typicus*, *Onychocorycaeus pumilus*, *Corycaeus speciosus* は年間を通して出現したが、Itoh & Mizushima (1999) の table 1 によれば駿

河湾で周年出現したコリケウス科の種は *D. affinis* だけであった。土佐湾で周年出現したその他の種は駿河湾では、例えば *D. andrewsi* は7~11月の5ヵ月、*Farranula gibbula* は7~12月の6ヵ月であった。土佐湾で春型の *D. affinis* の繁殖期が早く終息し、夏から秋に多くなる暖水性種の出現期間が長いのは、駿河湾に比べて水温が高いことが要因と考えられる。

水平・鉛直分布 優占5種の表層密度を定点間で比較した結果、どの種も岸から沖への一定した傾向は見られず、かつ、しばしば偏りが激しい分布をすることが示された。12ヶ月のデータで検定した結果では *Onychocorycaeus catus* が Stn C より Stn A で密度が有意に高くなる結果になった。しかし、日本産コリケウス科では *Ditrichocorycaeus affinis* 以外の種は外洋暖海性とされており (伊東 1997), *O. catus* に岸近くで密度が高くなる分布特性があるとは考えられない。実際、*O. catus* は9月、2月、4月には Stn A より Stn C で密度が高くなっており (図7参照)、本研究の検定結果は不均一分布と12ヶ月の少ないデータで検定をしたことによる見かけの傾向であると考えられる。

コリケウス科の種別の鉛直分布に関する研究は極めて少ない。紅海でオンケア科カイアシ類などと共に水深450mまでのコリケウス科数種の鉛直分布を調べた Böttger-Schnack (1990a, 1990b) は、*Agetus limbatus* の雌は水深300mあたりまでである程度の密度で分布するが、その幼体や他の種 (*Farranula carinata*, *F. rostrata*, *Corycaeus speciosus*) はほとんど100m以浅に分布が限られることを示した。土佐湾での本研究の結果は、優占5種を含めてほとんどの種は100m以深には少ないか、まったく採集されない100m以浅の表層種であることを示しており、Böttger-Schnack (1990a, 1990b) の結果と一致する。また、*A. limbatus* は土佐湾でも100m以深に分布する割合が他の多くの種より高く、*A. limbatus* が他の種より深くまで分布した紅海での結果と一致した。本研究の結果では、100m以深に分布する個体の割合は *Urocorycaeus furcifer* が *A. limbatus* よりさらに高くなったが、その結果はこの種がコリケウス科では例外的に200m以深の中深層にも分布する種であることを示唆している。

Itoh & Mizushima (1999) は1996年9月に相模湾で調べたコリケウス科の種別の0~60m層内の鉛直分布を未発表データとして図示 (fig. 7) してい

る。それによると分布は種によって大きく異なり、*D. andrewsi*, *O. pacificus*, *C. speciosus* の3種は20 m以浅に多く、*O. catus* は全層の比較的一様に分布し、*D. affinis*, *A. limbatus*, *A. flaccus* の3種は20 m以浅に少なく、最下層(50~60 m)で最大密度になっている。本研究の結果では、優占5種の中で0~25 m層に多い傾向が見られたのは*F. gibbula* と *D. andrewsi* で、後者については相模湾での結果と符号する。また、*A. limbatus* と *A. flaccus* が100~200 m層に分布する個体の割合が比較的高かったことも、相模湾で下層に多かった結果と符号する。しかし、*D. affinis* の水深100 mまでの3層間の分布については、最下層に多かった相模湾の結果と符号する月もあるが、逆の傾向になる月もあり、鉛直分布の型は月によって異なった。また、その鉛直分布と環境要因との関係も見られなかった。この種は、ほとんどの種が外洋性であるコリケウス科の中で例外的に沿岸性である(伊東1997)。沿岸性であることは外洋性の種よりも環境変化に耐性があることを意味するが、*D. affinis* の100 m以浅の鉛直分布の大きな変化は、その性質によって0~100 m層を広く利用しているという見方ができるかもしれない。

## 謝辞

本研究の試料採集においてご協力頂いた調査船「ねぶちゅーん」船長の井本善次高知大学総合研究センター海洋生物研究教育施設技官、甲板員の橋村徳司元非常勤職員、および同施設動物プランクトン研究室の学生諸氏にお礼申し上げる。本研究はJSPS科研費(25450257, 代表上田拓史)の助成を受けたものである。

## 引用文献

- Böttger-Schnack, R. 1990a. Community structure and vertical distribution of cyclopoid copepods in the Red Sea. I. Central Red Sea, autumn 1980. *Mar. Biol.*, 106: 473-485.
- Böttger-Schnack, R. 1990b. Community structure and vertical distribution of cyclopoid copepods in the Red Sea. II. Aspects of seasonal and regional differences. *Mar. Biol.*, 106: 487-501.
- Chen, Q., Zhang, S. and Zhu, C. 1974. On planktonic copepods of the Yellow Sea and the East China Sea
- II. Cyclopoida and Harpacticoida. *Studia Marina Sinica*, 9: 27-76, pls.1-24.
- 廣田深・伊谷行・池原実・上田拓史・木下泉. 2010. 土佐湾沿岸域における浮遊性有孔虫群集. 高知大学海洋生物教育研究センター研究報告, 26: 1-7.
- 広田祐一・市川忠史・森本晴之・坂本久雄. 2002. 土佐湾における夏季の植物プランクトンの一時的増加. 黒潮の資源海洋研究, 3: 35-46.
- 石田 実. 2006. 日本太平洋岸のマイワシ産卵量の急減と土佐湾に継続する産卵場の特性. *水産海洋研究*, 70(3): 170-175.
- 伊東 宏. 1997. Family Corycaeidae コリケウス科. 千原光雄・村野正昭(編)「日本産海洋プランクトン検索図説」, 東海大学出版会, 東京, pp. 962-982.
- Itoh, H. and Mizushima, T. 1999. Seasonal occurrence of the pelagic poecilostomatoid copepods off Miho Key, Suruga Bay, Japan. *Bull. Inst. Oceanic Res. Develop. Tokai Univ.*, 20: 113-125.
- Kang, Y.-S., Huh, S.-H. & Lee, S.-S. 1990. Taxonomy and distribution of Corycaeidae (Copepoda: Cyclopoida) in the Korean Waters in Summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25(2): 49-61.
- Landry, M.R., Lehner-Fournier, J.M. and Fagerness, V.L. 1985. Predatory feeding behavior of the marine cyclopoid copepod *Corycaeus anglicus*. *Mar. Biol.* 85: 163-169.
- 松村春樹. 1989. 土佐湾におけるマクロプランクトンの季節変化. 南西外海の資源. *海洋研究*, 5: 9-17.
- Mori, T. 1937. "The pelagic Copepoda from the neighbouring waters of Japan", The Soyo Co. Inc. Tokyo.
- Nishibe, Y., Hirota, H. and Ueda, H. 2009. Community structure and vertical distribution of oncaeid copepods in Tosa Bay, southern Japan. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, 89(3): 491-498.
- Ohnishi, T., Ueda, H. and Kuroda, K. 2014. Community structure and spatial distribution of chaetognaths in Tosa Bay on the temperate Kuroshio coast of Japan. *Plankton Benthos Res.*, 9(3): 176-187.
- 大塚 攻. 2006. 「カイアシ類・水平進化という戦略 海洋生態系を支える微小生物の世界」, NHK ブックス 1069, 日本放送協会, 東京.
- Razouls, C., de Bovée, F., Kouwenberg, J. and Desreumaux, N. 2005-2015. Diversity and Geographic

Distribution of Marine Planktonic Copepods.  
Available at <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en> (Last access 11 February 2015)

- 鈴木智之・小西芳信. 1986. 土佐湾中部沿岸における仔稚魚とコペポーダノープリウスの分布 1981年4月14, 15日. 南西外海の資源・海洋研究, 2: 15-25.
- Tanaka, H., Aoki, I. and Ohshimo, S. 2006. Feeding habits and gill raker morphology of three planktivorous pelagic fish species off the coast of northern and western Kyushu in summer. J. Fish Biology, 68: 1041-1061.
- 上田拓史. 2010. 海の米粒カイアシ類. 田中 克・川合真一郎・谷口順彦・坂田泰造 (編) 「水産の21世紀 海から拓く食料自給」, 京都大学出版会, 京都, pp.199-213.
- 上田拓史. 2013. 鉛直曳網用の新型メッセンジャー式開閉プランクトンネットと新型二段離脱器. 日本プランクトン学会報, 60: 11-17.
- Walter, T.C. and Boxshall, G. 2015. *Corycaeus Dana, 1845*. In: Walter, T.C. and Boxshall G. (eds.) "World of Copepods database". <http://www.marinespecies.org/copepoda/aphia.php?p=taxdetails&id=128634> (Last access February 2015)

### Community structure and species-specific spatio-temporal distribution of Corycaeidae (Copepoda) in Tosa Bay

Hiroshi Ueda\* and Masataka Yuasa  
Usa Marine Biological Institute, Kochi University,  
Usa, Tosa, Kochi 781-1164, Japan

### Abstract

Community structure, species-specific seasonal abundance and horizontal/vertical distributions of corycaeid copepods, the dominant carnivorous zooplankton, were investigated in Tosa Bay, western Japan. Little is known concerning the ecology of these species. The adult copepods were analyzed in samples collected monthly from discrete layers at three stations, which were lined from near the shore to the shelf edge, by vertical hauls of a 0.1-mm mesh, closing or opening/closing, net from May 2009 to April 2010. A total of 23 species were identified. *Ditrichocorycaeus affinis* was highly abundant especially in the spring with the highest adult density of 154 ind. m<sup>-3</sup> in April, and composed 66% of the yearly mean density of adult corycaeid copepods. This species and the four subdominant species *Farranula gibbula*, *D. andrewsi*, *Onychocorycaeus pacificus* and *O. catus* showed no species-specific consistent horizontal distribution in the surface layer (0–20 or 0–25 m depth), and their densities sometimes varied widely among the stations, suggesting that they were patchily distributed. At the shelf-edge station, their distribution was primarily limited to a surface layer of <50 or 100 m deep. Among the other species, only *Urocorycaeus furcifer* showed a higher yearly mean density in the 100–200 m depth than in the shallower depths. The present results of species-specific vertical distributions largely agree with those of the previous studies, except for *D. affinis*, of which the vertical distribution within the 0–100 m layer greatly varied with no notable correlation with environmental factors.

**Key words:** Tosa Bay, Copepoda, *Corycaeus*, vertical distribution, seasonal change