

2006～2007 年の四万十川河口砂州の崩壊と回復が 河口域カイアシ類群集に及ぼした影響

坂口穂子¹⁾・上田拓史^{1)*}・磯部健太郎¹⁾・木下 泉¹⁾・東 健作²⁾・平賀洋之²⁾

¹⁾ 高知大学総合研究センター海洋生物研究教育施設, 〒781-1164 高知県土佐市宇佐町井尻 194

²⁾ 西日本科学技術研究所, 〒780-0812 高知県高知市若松町 9 番 30 号

Impacts of collapse and re-establishment of the sandbar at the Shimanto-gawa River mouth on copepod communities in the estuary during 2006–2007

Sakiko SAKAGUCHI¹⁾, Hiroshi UEDA¹⁾, Kentaro ISOBE¹⁾,
Izumi KINOSHITA¹⁾, Kensaku AZUMA²⁾, AND Hiroyuki HIRAGA²⁾

¹⁾ Usa Marine Biological Institute, Kochi University, 194 Inoshiri, Usa, Tosa, Kochi 781-1164, Japan

²⁾ Nishinihon Institute of Technology, 9-30 Wakamatsu, Kochi, Kochi 780-0812, Japan

*Corresponding author. E-mail: hueda@cc.kochi-u.ac.jp

Abstract The sandbar that stretches across more than half of the Shimanto-gawa River mouth disappeared following a typhoon in September 2005 but re-established by November 2006. The distributions and the densities of the copepod community in the estuary were studied to determine the potential effects of the sandbar on this community. Zooplankton samples were collected monthly from April 2006 to May 2007 at five stations along the axis of the estuary by vertical tows of a plankton net. Results indicated that copepods were the most dominant zooplankton within the estuary. The densities of the eutrophic warm-water copepod *Oithona davisae*, the dominant copepod, increased over time after the re-establishment of the sandbar in spite of seasonal progression to the colder temperatures. The stenohaline copepods, *Euterpina acutifrons* and *O. nana*, were more common in the lower part of the estuary, with densities of both species decreasing after the re-establishment of the sandbar. The brackish and warm-water copepod *Acartia tsuensis* was more common in the upper part of the estuary. *A. tsuensis* and the eutrophic warm-water copepod *Parvocalanus crassirostris* increased during the warmer season but decreased during the colder season. The mesotrophic copepod *Paracalanus parvus* s.l. increased in numbers in the lower part of the estuary in June 2006 before the re-establishment of the sandbar and in March 2007 after its re-establishment. No distinct effects of the sandbar on the three copepod species, *Acartia tsuensis*, *Parvocalanus crassirostris* and *Paracalanus parvus* s.l., were observed. Overall, the results indicate that the sandbar played a major role in water quality conditions by enhancing stagnation of water, which led to more eutrophic conditions in the lower part of the estuary; this in-turn favored more eutrophic copepod species as the sandbar reappeared. The sandbar furthermore became a barrier for more stenohaline copepods to enter the estuary from the sea.

Key words: copepod, estuary, sandbar, Shimanto-gawa River

はじめに

四万十川は高知県を流れ、太平洋へ注ぐ一級河川である。日本有数の流域面積をもつ河川ながら本流にはダムがなく、日本最後の清流として有名である。この河口域には顕著な塩分躍層がある弱混合型の汽水域が約6 km上流まで広がっている(井内ほか 2006)。河口には河口幅の半分ほどを塞ぐように延びた砂州があるが、2005年9月にこの砂州は台風によって崩壊し、消滅した(Fig. 1a)。この崩壊は過去数10年間に於いて初めての現象である。この約1年後の2006年11月に砂州は完全に回復した(Fig. 1b)。

河口域は海と川の影響を受ける複雑で変遷的な環境で、多くの物理的、化学的な環境因子の影響を受け、動物プランクトン群集は時空間的に変動する(マクラスキー 1994)。今までの研究の多くは、群集に影響を及ぼす環境因子として塩分、水温、濁度、クロロフィル量、流れを挙げている(Wooldrige & Erasmus 1980, Amadi 1990, Kimmerer 2002, Vieira et al. 2003, Ueda et al. 2004, Islam et al. 2006)。物理的な環境因子である流れや潮汐は河口地形とも関係するが、河口砂州のよう

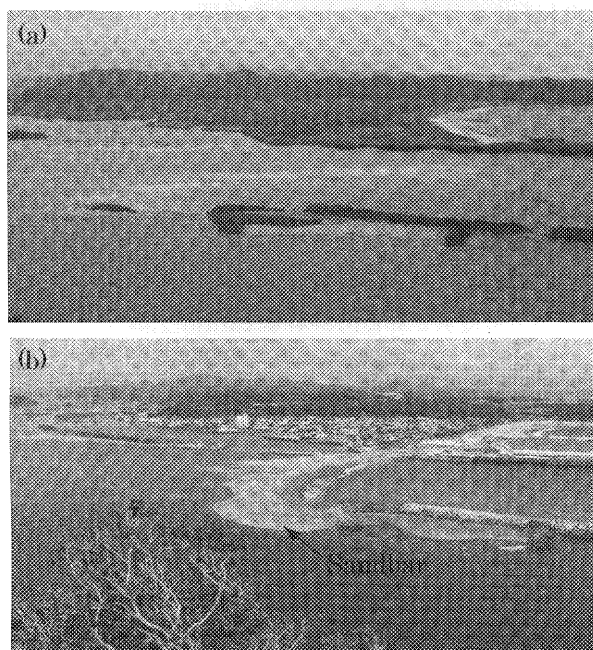


Fig. 1. Photographs of the Shimanto-gawa River mouth, (a) in September 2005, just after the sandbar of the river mouth collapsed due to a typhoon, and (b) in September 2007, ten months after the sandbar re-established itself in November 2006. The left side of the photograph is upstream.

な河口地形と動物プランクトン群集の関係を調べた研究は少ない。

海水と河川水の出入りを妨げる砂州の崩壊と回復は、四万十川河口域の環境に大きな変化をもたらし、その動物プランクトン群集に強い影響を与えることが予想される。雨期と乾期によって開放と完全な閉塞がおこる南アフリカの Mpenjati 河口域では、雨期の開放期は海水性の動物プランクトンが河口域に進入し多様性は高くなるが、塩分や濁度などの上昇により汽水種のバイオマスは小さくなる(Kibirige & Perissinotto 2003)。逆に、閉塞期には多様性は低くなるが、河口域の環境が安定するため汽水種のバイオマスは大きくなる。また、諫早湾干拓のために堤防で完全に閉塞された本明川河口域(調整池)では、閉塞直後に優占していた海水種が4ヵ月後には塩分10 psu 前後でほとんど汽水種に置き換わり、動物プランクトン密度が高くなった(Ueda et al. 2003)。四万十川の場合は砂州が河口を完全に塞がず、上げ潮時には常に海水が河口内へ入ってくるため、砂州回復前後において河口内の塩分変化は大きくない(国土交通省 四国地方整備局 中村河川国道事務所、未発表)。したがって、四万十川における砂州有無による動物プランクトン群集の変化は、大きな塩分変化がみられた Mpenjati 河口域や諫早湾調整池の例とは異なって塩分以外の要因も考えられる。

河口砂州の崩壊と回復は他河川でも見られる現象であり、また、四万十川では大型の台風や大雨の増加によって今後も想定される現象である。河口域の動物プランクトンは、河口域を成育場とする仔稚魚の重要な餌生物であり(高橋ほか 1990, 日比野ほか 1999, Fujita et al. 2002)、河口砂州の崩壊と回復が動物プランクトン群集に及ぼす影響を調べることは水産学的にも意義深く、また、河口域生態系食物連鎖や河口域の生産性の理解にもつながるであろう(Suzuki et al. 1987, Alpine & Cloern 1992)。本研究では、2005年に崩壊した四万十川河口砂州が消失中の2006年4月から回復後の2007年5月までの河口域にて行った動物プランクトン調査の試料をもとに、砂州の有無が河口域の優占動物プランクトンであるカイアシ類群集に及ぼした影響を解析した。

材料と方法

四万十川の流域面積は2,270 km²、幹川流路延長は196 km、計画高水流量は河口から9.5 kmほど上流の点(具同)で17,000 m³ s⁻¹である(国土交通省 四国地方整備局 中村河川国道事務所)。河口の幅は約500 m

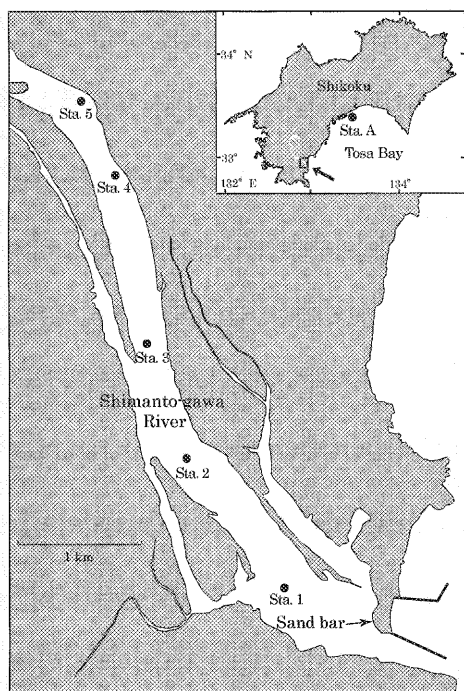


Fig. 2. Map of the Shimanto-gawa River estuary showing the sampling stations. The sandbar that collapsed in September 2005 is indicated by an arrow. Solid lines at the tip and base of the sandbar indicate artificial banks of concrete wall or blocks (see Fig. 1).

で、その左岸から長さ 300 m、幅 100 m、水面からの高さ 5 m 前後の砂州が河口中央部まで延びている (Fig. 2)。砂州南端と右岸の間には海と河川を繋げる流路があり、その流路への土砂流入を防ぐ目的で、砂州南端から沖方向へ長さ 500 m の導流堤が設置されている。また砂州の付け根から沖方向へ長さ 500 m の防波堤がある。砂州の上流側は、土砂の堆積を防ぎ、左岸にある下田港への出入港船の航路を維持するために、砂州に沿って 40 m 程の幅で浚渫された航路がある。

動物プランクトンの採集は、2006 年 4 月から 2007 年 5 月まで毎月 1 回、四万十川河口域に設けた 5 定点 (Stas. 1~5) で、船外機の付いた川舟を使って行った (Fig. 1)。各採集点では Compact Aqua Sonar (Aqua-Lung 製) で測深後、ろ水計 (離合社 5571-A) を付けたプランクトンネット (口径 30 cm、側長 120 cm、目合 100 μ m) の河床近くからの鉛直曳きを行った。採集したサンプルは直ちに中性ホルマリンで固定した (最終濃度 1~2%)。水温、塩分はハンディ S-C-T メーター (YSI Model 30) を用い、表層から底層まで 0.5 m 間隔で測定した。2006 年 4 月の Sta. 5 は欠測した。

サンプルを研究室で沈殿、濃縮させた後、検鏡した。

検鏡は全量または濾水量 70 L 相当以上を検鏡できるように分割した 1/2~1/8 量について行った。分割は改良型元田式プランクトン分割器を用いて行った。総合倍率 40 倍または 100 倍の生物顕微鏡下で動物プランクトンの同定、計数を行った。多く見られるカイアシ類 (ノープリウスを除く; 以下、カイアシ類と記した場合は同じ) は種で分類し、それ以外は属で分けた。同定は「日本産海洋プランクトン検索図鑑」(千原・村野, 1997) に従った。各月の動物プランクトンの平均密度は各採集点の密度を水深で加重平均して求めた。

河口域との比較のために、2006 年 7 月から 2007 年 5 月まで毎月 1 回、土佐湾の距岸 500 m の点 (Sta. A) で動物プランクトンを採集した (Fig. 1)。採集は、高知大学総合研究センター海洋生物研究教育施設所属の実習調査船豊旗丸で、ろ水計 (離合社 5571-A) を取り付けたノルパック型プランクトンネット (目合 100 μ m) による水深 10 m からの鉛直曳きを行った。採集したサンプルは直ちに中性ホルマリンで濃度 1~2% になるように固定した。水温、塩分は、2006 年 7~9 月は STD (Alec Electronics, AST500-P) を、それ以降は多筒採水器付 CTD (Alec Electronics) を用いて 0.5 m ごとに測定した。

研究室に持ち帰ったサンプルは沈殿、濃縮後、濾水量 100 L 前後を計数するように、改良型元田式プランクトン分割器を用いて 1/4~1/32 に分割し、検鏡した。カイアシ類成体は種レベルで分類し、同定困難なものは属でまとめ、幼体は科レベルで分類し、同定困難なものは「その他幼体」としてまとめた。Oithona 属の雌は種別に計数し、雄は属でまとめた。その他の同定、計数方法は四万十川のサンプルと同様に行った。

河川流量は、国土交通省四国地方整備局中村河川国道事務所から提供された河口から 12 km 上流の点 (具同第 2) で計測した流量データで、動物プランクトン採集日の日流量を用いた。なお、2007 年のデータは暫定値である。

結果と考察

水温、塩分および河川流量

水温は 10.6°C (2007 年 3 月 Sta. 5 の表層) から 28.9°C (2006 年 8 月 Sta. 1 の 3.5~7 m 層) の間で変化した。砂州回復前の高水温期は、9 月を除く 7~10 月で 23°C 以上になった (Fig. 3)。9 月は大雨によって流量が最も多くなり (Fig. 4)、水温が低下した。砂州回復後の低水温期は、表層より底層の水温が 4°C 以上高く、最低で

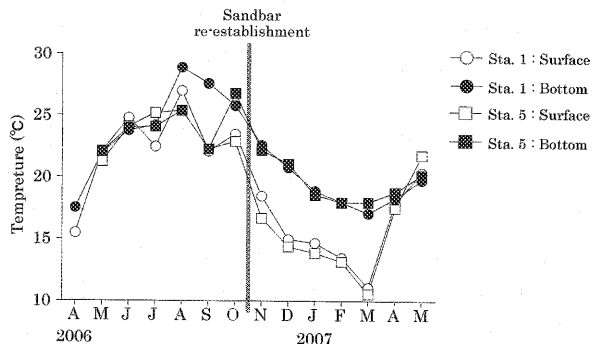


Fig. 3. Monthly changes in the surface and bottom water temperature at Sta. 1 and Sta. 5 in the Shimanto-gawa River estuary from April 2006 to May 2007.

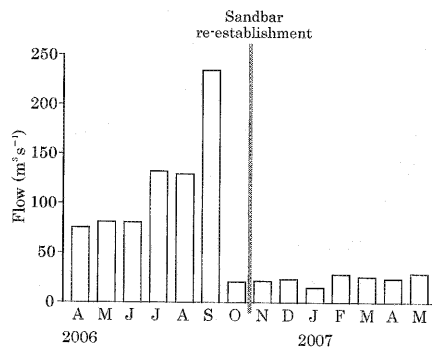


Fig. 4. River flow at the site 12 km up the Shimanto-gawa River on the sampling dates from April 2006 to May 2007. The flow data for this graph are courtesy of the Nakamura River and National Road Office, Shikoku Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism.

も 17°C 以上だった。塩分は 0 psu (2006 年 8 月 Sta. 5 の表層) から 33.7 psu (2006 年 4 月 Sta. 1 の 8.5 m 深) まで変化した。砂州回復前の表層塩分は 6 psu 以下だが、流量が減少した 2006 年 10 月から砂州回復後は高くなる傾向にあり、2007 年 1 月は全点で 12 psu 以上になった (Fig. 5)。砂州回復前の上流側の底層は 2006 年 8, 9 月の増水によって淡水化したが、それ以外の底層塩分は 25 psu 以上だった。砂州回復前の 2006 年 4, 5 月 (両月上げ潮時) と回復後の 2007 年 4, 5 月 (4 月下げ潮時, 5 月上げ潮時) の塩分鉛直プロファイルと比較すると、いずれも塩分躍層は深さ約 3 m 以浅にあり、弱混合型の水塊構造には大きな違いがみられなかった (Fig. 6)。土佐湾の Sta. A の水温は 17.3°C (2006 年 8 月 0.5 m) から 28.6°C (2006 年 9 月 0.5 m) まで、塩分は 26.0 psu (2006 年 7 月 0.5 m) から 34.7 psu (2007 年 2 月 10 m) までの範囲で変化した。

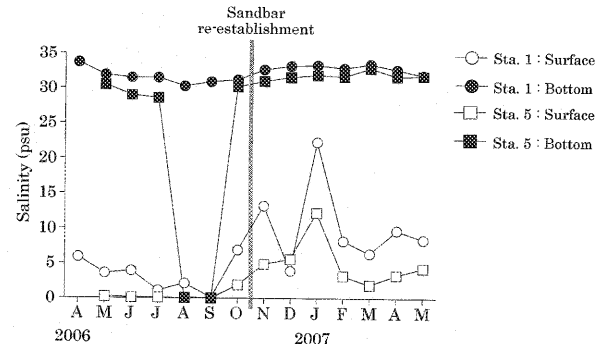


Fig. 5. Monthly changes in the surface and bottom water salinity at Sta. 1 and Sta. 5 in the Shimanto-gawa River estuary from April 2006 to May 2007.

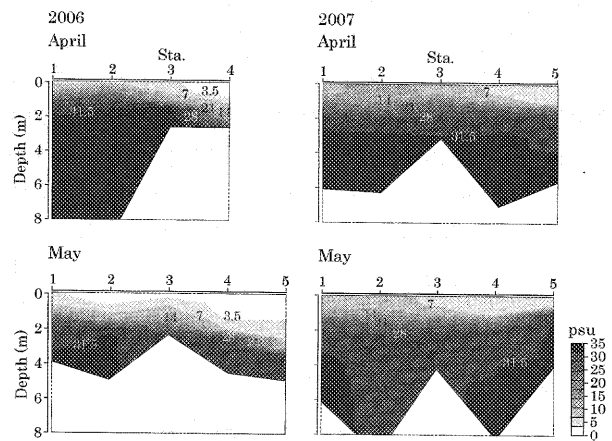


Fig. 6. Vertical section of salinity along the axis of the Shimanto-gawa River estuary on flood tides in April and May 2006 (before sandbar re-establishment) (left), and on ebb tide in April and flood tide in May 2007 (after sandbar re-establishment). The bottom depth of each station varied slightly due to differences in the exact points of the sampling stations.

カイアシ類

四万十川河口域の動物プランクトンのうちカイアシ類が 76.8% (5 採集点の平均密度を全期間で平均した値から計算) を占めた。カイアシ類の月平均密度の最低は 2006 年 5 月の 1.1 ind. L⁻¹, 最高は 2007 年 4 月の 105.3 ind. L⁻¹ であった。砂州回復前の 7 ヶ月間の月平均密度は平均 5.2 ind. L⁻¹ だったが、砂州回復後の 7 ヶ月間平均密度は平均 49.5 ind. L⁻¹ となり、砂州回復前と比べて約 10 倍増加した。出現した主なカイアシ類は砂州回復前後ともに *Oithona davisae*, *Acartia tsuensis*, *Parvocalanus crassirostris*, *Paracalanus parvus* s. l., *Euterpina acutifrons*, *Oithona nana* で、それぞれの全期間平均密度はカイアシ類中 81.9%, 7.7%, 3.9%, 1.3%, 1.0%, 0.6% を占めた。汽水種は *Acartia tsuensis*, それ

以外は海水性の沿岸種である。以下、河口内と河口外（土佐湾 Sta. A）におけるこれら6種の季節変化を示した上で、河口内の個体群に及ぼす砂州の影響を考察する。なお、河川流量が大きかった砂州回復前の2006年7~9月では各種とも密度が低かった。この原因として、河川流量の増加によって河口外への流出、淡水化による死滅、プランクトンネット鉛直曳きで採集できない近底層への移動などが考えられる。したがって、2006年7~9月の低密度は砂州の影響ではなく、以下の考察ではそれについて言及しない。淡水性カイアシ類は2006年4~7, 10, 12月, 2007年4月に 0.02 ind. L^{-1} 以下の密度で出現し、非常に低密度であった。

砂州回復前の *Oithona davisae* は極めて少なく、平均密度 0.3 ind. L^{-1} 以下であった (Fig. 7)。砂州回復直後の2006年11, 12月は回復前と同様に低密度だったが、2007年1月以降密度が増加し、最高密度は2007年3月 Sta. 6 で $188.3 \text{ ind. L}^{-1}$ 、最高平均密度は2007年4月に $102.2 \text{ ind. L}^{-1}$ に達した。砂州回復後にカイアシ類全体密度が回復前より大幅に増えたのは本種の増加によるものである。土佐湾 Sta. A で *O. davisae* は全く採集

されなかった。本種は主に富栄養な内湾に多く分布し、夏は高密度、冬は低密度になる暖水種であることが知られている (穴久保・村野 1991, Ueda 1991)。しかし、本研究では、砂州回復前は低密度で、砂州回復後の冬に高密度になった (2006年12月から2007年3月までの平均密度は 41.4 ind. L^{-1})。中海では $10 \sim 15^\circ\text{C}$ の水温下、 $12 \sim 20 \text{ psu}$ の塩分下でも、水の閉鎖性が強いことや餌となる植物プランクトンが多いなど他の条件が整えば爆発的に増加することが知られている (大塚ほか 1999)。本研究では栄養塩は測定しなかったが、砂州消失中は河口内に海水が入りやすくなったことによって栄養塩濃度は砂州回復後より低かったことが考えられる。したがって、増水した時期を除き砂州回復前で低密度となった理由として、水温、塩分は適していたにもかかわらず、本種の生息に適した富栄養な環境ではなかった可能性が考えられる。本河口域での砂州回復後の冬期底層水温は繁殖可能となる 17°C 以上あり、砂州回復2ヶ月後の著しい増加は河口内の富栄養化がもたらした結果ではないかと推察される。

Acartia tsuensis は温帯域から熱帯域の低塩分域に分布する汽水性暖水種である (Ito 1956, Ohno & Oku-

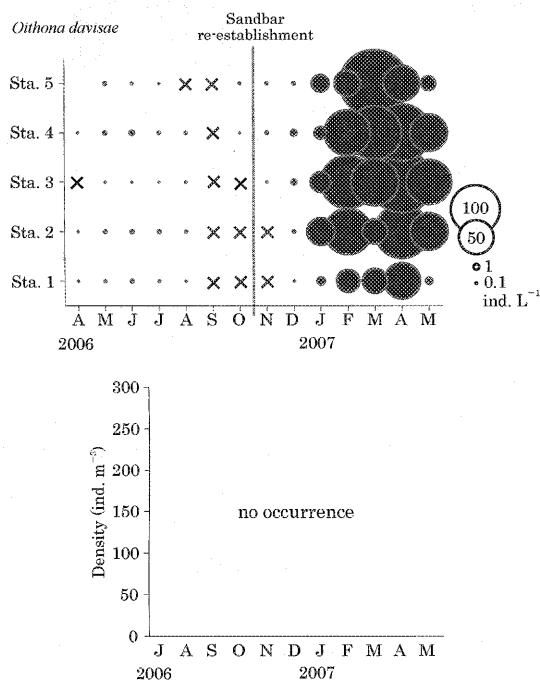


Fig. 7. *Oithona davisae*. Seasonal and regional distributions in the Shimanto-gawa River estuary from April 2006 to May 2007 (top), and the seasonal distribution in nearshore waters in Tosa Bay from July 2006 to May 2007 (bottom). Areas of the circles represent the density of copepods (ind. L^{-1}). The 'x' indicates that no copepods were found.

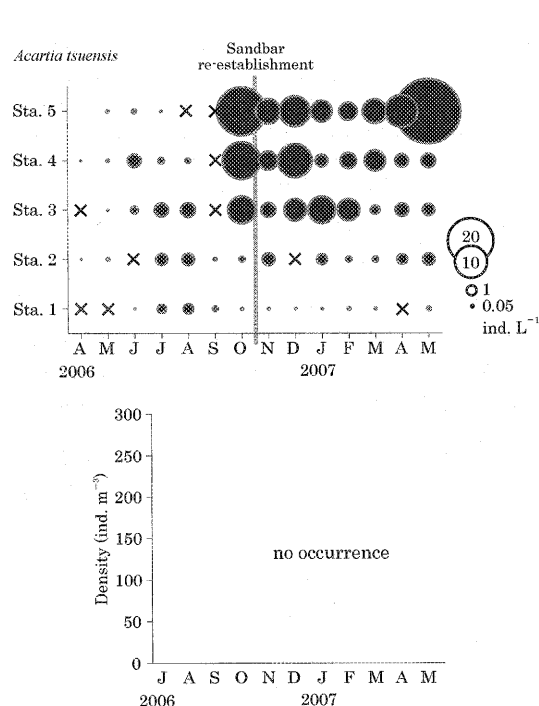


Fig. 8. *Acartia tsuensis*. Seasonal and regional distributions in the Shimanto-gawa River estuary from April 2006 to May 2007 (top), and the seasonal distribution in nearshore waters in Tosa Bay from July 2006 to May 2007 (bottom). See Fig. 5 for further explanation.

mura 1988, 岡・税所 1994, Lo et al. 2004). 本種の密度は砂州回復するまでは低かったが, 砂州回復直前の河川流量が低下した 2006 年 10 月に急に高密度になった (Fig. 8). 砂州回復後の冬は減少したが, 2007 年 5 月に再び高密度になった. 2006 年 10 月以降, いずれの月も上流側で密度が高かった. 土佐湾の Sta. A では *A. tsuensis* は採集されなかった. これらの分布状況から, 本種は河口内に分布が限られ, 主な繁殖域は上流側にあると考えられる. Takahashi & Ohno (1996) の飼育実験によれば, *A. tsuensis* の死亡率は水温に影響され, 22.5~25.0℃で最も低く, これより水温が低下するにつれて高くなる. また, 繁殖最適水温は 25℃とされている. 砂州回復後の密度変化は, 冬の水温低下による減少と, 春の水温上昇による増加の結果だと推察される. また, 砂州回復前に急に増加したことについては, 好適水温範囲にあり, かつ, 河川流量が低下したためと考えられ, 砂州の影響とはみなしにくい. 塩分については, 密度変化がみられた砂州回復直前の 2006 年 10 月から 2007 年 5 月までは 2006 年 11 月, 2007 年 1 月を除き, ほぼ一定に推移しており, 塩分は本種の密度に影響しなかったと考えられる. 回復後の砂州回復後の 2007

年 4~5 月に対して, より高水温であった回復前 2006 年 5~6 月のほうが低密度であった理由についても, 2006 年 5~6 月の河川流量が砂州回復後より大きかったことが挙げられる (Fig. 3). 本種の密度変化は砂州の影響による結果とはいえ, 上流側に多く分布する本種に対する砂州の影響は大きくないことが示唆される.

Parvocalanus crassirostris は, *Acartia tsuensis* と同じく, 砂州回復直前の 2006 年 10 月に密度が急に増加した (Fig. 9). 砂州回復後は密度が徐々に減少し, 2007 年 2 月以降は全く採集されなかった. 土佐湾 Sta. A では, 2006 年 8~10 月は高密度だったが, 11 月以降は密度が低くなり, 2007 年 3 月, 5 月は採集されなかった. *P. crassirostris* は富栄養沿岸種であり, 内湾に多く分布し, 夏から秋にかけて高密度, 冬に低密度になる暖水種である (Ueda 1991, Lo et al. 2004). 土佐湾 Sta. A の密度変化はこの種本来の季節変化であり, 河口内の密度変化も, 流量が減少した 2006 年 10 月以降は本来の季節変化であると言える. 塩分に関しては *A. tsuensis* と同じく, 本種の密度変化には影響しなかったと考えられる. 本種は *Oithona davisae* と同様, 富栄養な内湾でしばしば優占するが, 砂州回復後の冬に河口内に全く出現

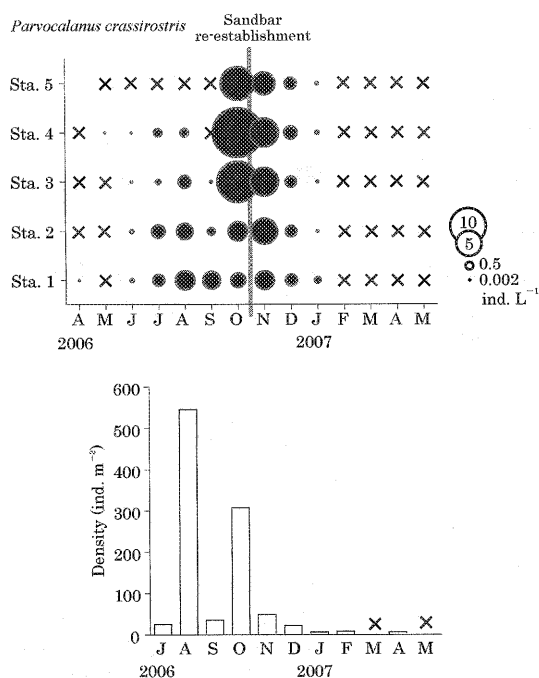


Fig. 9. *Parvocalanus crassirostris*. Seasonal and regional distributions in the Shimanto-gawa River estuary from April 2006 to May 2007 (top), and the seasonal distribution in nearshore waters in Tosa Bay from July 2006 to May 2007 (bottom). See Fig. 5 for further explanation.

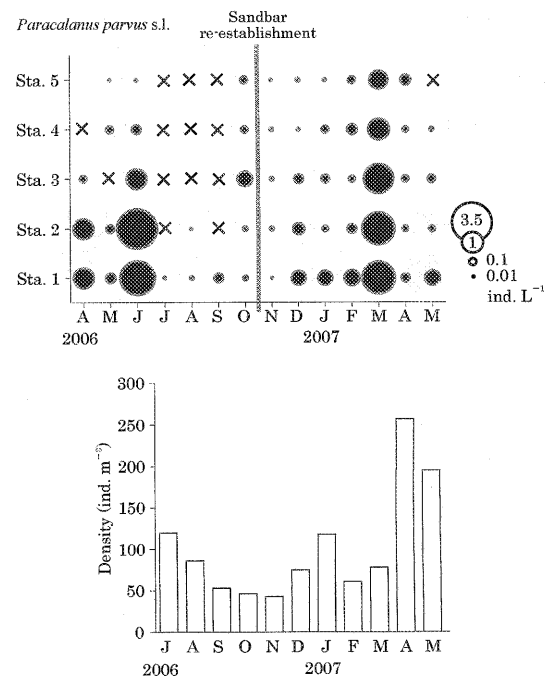


Fig. 10. *Paracalanus parvus* s.l. Seasonal and regional distributions in the Shimanto-gawa River estuary from April 2006 to May 2007 (top), and the seasonal distribution in nearshore waters in Tosa Bay from July 2006 to May 2007 (bottom). See Fig. 5 for further explanation.

しなかったことは *O. davisae* と比べて低温に耐性を欠くためだと考えられる。繁殖期が夏から秋に限られる本種についての砂州の影響を検討するためには2007年の夏まで調査を継続する必要があったが、本研究は5月で調査を終了したため砂州の影響について明確にすることはできない。

Paracalanus parvus s.l. の密度は、砂州回復前の2006年6月と回復後の2007年3月に下流域で増加し、最高 3.5 ind. L^{-1} (2006年6月 Sta. 2) に達した (Fig. 10)。それ以外の月では、相対的に密度が高い下流域でも 1.0 ind. L^{-1} 未満であった。土佐湾 Sta. A では2007年4、5月に密度が高く (194 ind. m^{-3} 以上)、他の月では $43.1 \sim 120.3 \text{ ind. m}^{-3}$ の範囲で変動した。本種は中栄養沿岸種で、日本沿岸では年中出現し、瀬戸内海では夏に (Liang & Uye 1996)、東京湾では秋から冬に多くなる傾向がある (穴久保・村野 1991)。本河口域では、砂州回復後の2007年3月に増加したが、土佐湾 Sta. A では2007年4～5月に増加し、河口内と海域とで増加時期が異なった。これは河口内と海域の個体群が分断されている可能性を示唆する。また、その分断は砂州の回復によって引き起こされたのかもしれない。

Euterpina acutifrons と *Oithona nana* は、砂州回復前は2006年6、10月に密度が高く、砂州回復後は回復前より低密度で、徐々に密度減少した (Figs. 11, 12)。とくに *O. nana* は2007年2月以降 Sta. 3 から上流側では採集されなかった。土佐湾 Sta. A では、*E. acutifrons* は2006年7～10月に密度が高く、11月以降は低密度になったが、2007年3月から密度が増加した。一方、*O. nana* は調査開始2006年6月から2007年3月まで密度が低く、4月に増加した。中栄養沿岸種のこの2種は春から夏に増加する種である (Ueda 1991, Villate 1991)。砂州回復後に河口内で減少し続け、土佐湾で繁殖期になっても河口内の密度は高くなり、また、砂州回復前の河口内での2種の季節変化は同じであった。この結果は、これら2種の河口内の個体群は海からの進入によって維持され、河口内では繁殖していないことを示している。また、砂州が崩壊にすることによって、表層の河川水が海に出やすくなり、その分、底層を通じて海水が河口内に入りやすくなることが考えられる。Jeffries (1967) によれば、こうした種は狭塩性海産 (stenohaline marine) 種として区分されている。

本研究では、崩壊した四万十川河口砂州の回復前後に

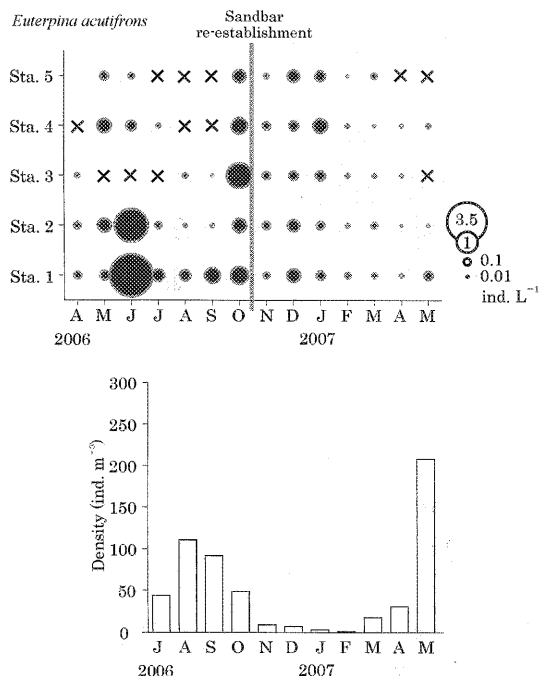


Fig. 11. *Euterpina acutifrons*. Seasonal and regional distributions in the Shimanto-gawa River estuary from April 2006 to May 2007 (top), and the seasonal distribution in nearshore waters in Tosa Bay from July 2006 to May 2007 (bottom). See Fig. 5 for further explanation.

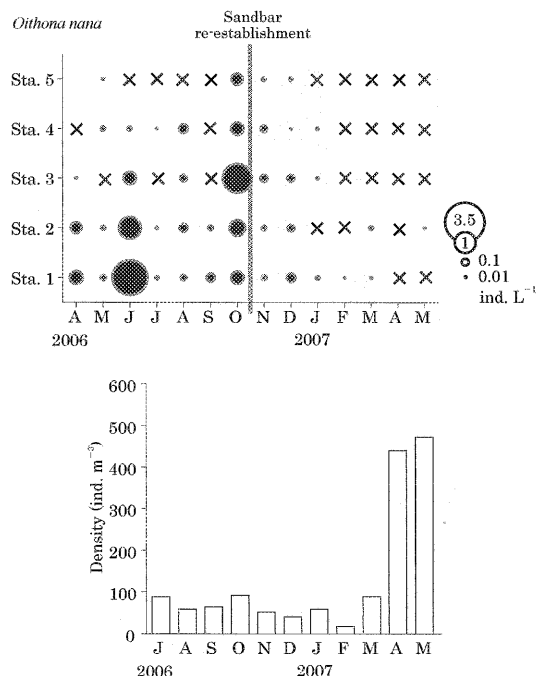


Fig. 12. *Oithona nana*. Seasonal and regional distributions in the Shimanto-gawa River estuary from April 2006 to May 2007 (top), and the seasonal distribution in nearshore waters in Tosa Bay from July 2006 to May 2007 (bottom). See Fig. 5 for further explanation.

合わせて1年余りのカイアシ類プランクトン群集を調べることにより、河口砂州が河口内のカイアシ類の種によって異なる影響を及ぼしていることを明らかにした。すなわち、砂州の回復は、汽水域上流で繁殖する汽水種には影響が少ないものの、河口内で繁殖する内湾性種の増加と、海水と共に海域から進入する狭塩性海産種の減少をもたらした。その要因として、砂州が河口内外の水の交換を妨げることによって河口内の水が停滞し、内湾種が繁殖するのに適当な環境が河口内に形成され、また、狭塩性海産種が海から進入しにくくなることが推察された。こうした結果と考察は、理屈の上では河口砂州と動物プランクトン群集の間に予想される因果関係であり、新しい発見や理論ではない。しかし、河口砂州の有無が動物プランクトン群集にどう影響したかを1年あまりに渡って、実際に砂州が完全に崩壊または回復した現場で調査した研究は他になく、本研究はプランクトンに対する河口砂州の生態学的意義を例証する一例として位置付けられる。河口砂州が河口内の動物プランクトン群集に及ぼす影響の度合いは、河川の混合形態や河口砂州の大きさ、形状によって異なる。四万十川の場合、砂州は河口の半分ほどを塞いでいるが、それでも河口砂州の存在によって河口内のプランクトン相に明白な影響があることがわかった。

謝 辞

本研究の調査を行うにあたり御協力頂いた高知大学総合研究センター海洋生物研究教育施設のスタッフの方々、学生諸氏に深く感謝の意を表す。本研究の一部は高知大学特別研究プロジェクト「黒潮流域圏総合科学の創成」の経費を使用した。

引用文献

- Alpine, A. E. & J. E. Cloern 1992. Trophic interactions and direct physical effects control phytoplankton biomass and production in an estuary. *Limnol. Oceanogr.* **37**: 946-955.
- Amadi, A. A. 1990. A comparative ecology of estuaries in Nigeria. *Hydrobiologia* **208**: 27-38.
- 穴久保 隆・村野正昭 1991. 東京湾における動物プランクトンの季節変化. 東京水産大学研究報告 **78**: 145-165.
- 千原光雄・村野正昭編著 1997. 日本産海洋プランクトン検索図説. 東海大学出版会, 東京, 1574 pp.
- Fujita, S., I. Kinoshita, I. Takahashi & K. Azuma 2002. Species composition and seasonal occurrence of fish larvae and juveniles in the Shimanto Estuary, Japan. *Fish. Sci.* **68**: 364-370.
- 日比野 学・上田拓史・田中 克 1999. 筑後川河口域におけるカイアシ類群集とスズキ仔稚魚の摂餌. 日本水産学会誌 **65**: 1062-1068.
- 井内美郎・井上卓彦・中原知明・徳岡隆夫・吹田 歩 2006. 四万十川の塩水溯上. *Lugna* **13**: 63-77.
- Islam, M. S., H. Ueda & M. Tanaka 2006. Spatial and seasonal variations in copepod communities related to turbidity maximum along the Chikugo estuarine gradient in the upper Ariake Bay, Japan. *Estur. Coast. Mar. Sci.* **68**: 113-126.
- Ito, T. 1956. Three new copepods from brackish-water lakes of Japan. *Paci. Sci.* **10**: 468-473.
- Jeffries, H. P. 1967. Saturation of estuarine zooplankton by congeneric associates, pp. 500-508. In *Estuaries* (ed. Lauff, G. H.). Am. Assoc. Adv. Sci., 83, Washington, D.C. 757 pp.
- Kibirige, I. & R. Perissinotto 2003. The zooplankton community of the Mpenjati Estuary, a South African temporally open/closed system. *Est. Coast. Shelf Sci.* **58**: 727-741.
- Kimmerer, W. J. 2002. Effects of freshwater flow on abundance of estuarine organisms: physical effects or trophic linkages? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **243**: 39-55.
- Liang, D. & S. Uye 1996. Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. III. *Paracalanus* sp. *Mar. Biol.* **127**: 219-227.
- Lo, W. T., C. L. Chung & C. Shin 2004. Seasonal Distribution of Copepods in Tapong Bay, Southwestern Taiwan. *Zool. Stud.* **43**: 464-474.
- マクラスキー, D. C. 1999. エスチャリーの生態学. 生物研究社, 東京, 246 pp. (中田喜三郎訳)
- Ohno, A. & Y. Okumura 1988. Propagation of the calanoid copepod, *Acartia tsuensis*, in outdoor tanks. *Aquaculture* **70**: 39-51.
- 大塚 攻・星名照美・清家 泰・大谷修司・國井秀伸 1999. 中海本庄工区内外における動物プランクトン群集の季節変動. *Laguna* **6**: 73-87.
- 岡 慎一郎・税所俊郎 1994. 奄美大島住用湾の動物プランクトン. 鹿児島大学水産学部紀要 **43**: 51-59.
- Suzuki, T., K. Ishii, K. Imao & Y. Matsukawa 1987. Box model analysis on phytoplankton production and grazing pressure in a eutrophic estuary. *J. Oceanogr. Soc. Japan* **43**: 261-275.
- 高橋勇夫・木下 泉・東 健作・藤田真二・田中 克 1990. 四万十川河口域に出現するアユ仔魚. 日本水産学会誌 **56**: 871-878.
- Takahashi, T. & A. Ohno 1996. The temperature effect on the development of calanoid copepod, *Acartia tsuensis*, with some comments to morphogenesis. *J. Oceanogr.* **52**: 125-137.
- Ueda, H. 1991. Horizontal distribution of planktonic copepods in inlet waters. *Bull. Plankton Soc. Japan Spec. Vol.* **143**: 143-160.
- Ueda, H., F. Okada & M. Azuma 2003. Temporal changes of zooplankton in the detention pond closed off in 1997 from Isahaya Bay, Kyushu, in relation to desalination. *Plankton Biol. Ecol.* **50**: 10-16.
- Ueda, H., A. Terao, M. Tanaka, M. Hibino & M. S. Islam 2004. How can river-estuarine planktonic copepods survive river floods? *Ecological Research* **29**: 625-632.
- Vieira, L., U. Azeiteiro, P. Ré, R. Pastorinho, J. C. Marques & F. Morgado 2003. Zooplankton distribution in a temperate estuary (Mondego estuary southern arm: Western

- Portugal). *Acta Oecologica* **24**: S163-S173
- Villate, F. 1991. Annual cycle of zooplankton community in the Abra Harbour (Bay of Biscay): abundance, composition and size spectra. *J. Plankton Res.* **13**: 691-706.
- Wooldrige, T. & T. Erasmus 1980. Utilization of tidal currents by estuarine zooplankton. *Estur. Coast. Mar. Sci.* **11**: 107-114.