

チチブの栄養段階に着目した尼崎運河の 環境改善方法に関する提案

上月 康則¹・山中 亮一²・岩見 和樹³・森田 海斗⁴
大谷 壮介⁵・橋上 和生⁴・田辺 尚暉⁶・齋藤 稔⁷

¹正会員 徳島大学教授 環境防災研究センター (〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)
E-mail: kozuki@tokushima-u.ac.jp

²正会員 徳島大学講師 環境防災研究センター (〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)
E-mail: ryoichi_yamanaka@tokushima-u.ac.jp

³非会員 名工建設 (株) 名古屋支店土木工事部 (〒450-0003 名古屋市中村区名駅 JRセントラルタワーズ)

⁴学生会員 徳島大学理工学部 (〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)

⁵正会員 大阪府立工業高等専門学校准教授 (〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町 26-12)

⁶学生会員 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 (〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1)

⁷正会員 山口大学大学院学術研究員 創成科学研究科 (〒755-0097 宇部市常盤台 2-16-1)

本研究では、チチブの栄養段階に着目して、尼崎運河の環境改善の方法について調査研究を行った。その結果、チチブは付着藻類を起点とする底生系の食物連鎖の上位にあり、またチチブを食する大型魚類の存在も示唆された。そこで、環境改善策として、積極的にチチブを保全し、運河内に過剰にある栄養塩をより多くの生物に利用されるようにすることを考えることができた。実際にチチブの保全のためのすみかを作成し、現地実験をした結果、適当なすみかの創出には、空隙がコロエンカワヒバリガイによって閉塞されないような工夫が必要であることがわかった。

Key Words: *Tridentiger obscurus*, *Amagasaki canal*, *Trophic level*, *Environmental improvement*, *Stable isotope analysis*

1. 緒論

かつては環境悪化が著しいレベルにあった大阪湾では、近年での葉湾口、湾央での栄養塩濃度の低下が顕著で、ノリの色落ちなどが大きな問題となっている。その一方で、湾奥部では栄養塩濃度は高く、未だ水質底質は悪化している。大阪湾再生行動部計画では、このような“栄養塩の偏在化”を解消し、再び豊かな海とすることが環境再生の目標の一つになっている¹⁾。

特に、大阪湾奥の尼崎運河は、多くの人が訪れ、見て・遊んで・食べて・学ぶことにより、大阪湾や大阪湾につながる森や川についての理解を深められるアピールポイントに指定されている。その一方で、「底層 DO 改善のための取り組みの強力な推進が必要」「積極的に生物の生息・生育場の整備を進めていくことが望ましい」ともされている¹⁾。実際に尼崎運河の水交換は悪く、慢性的な貧酸素化した状態にあり、基礎生産された有機物

の約 1/3 が沈降し、水底に堆積する傾向にある²⁾。環境改善に向けては、これまでも浚渫や生態系の物質循環機能を活かした水質浄化水路や干潟造成などの環境改善に向けた対策が講じられ、一定の成果が確認できている³⁾。例えば、水質浄化水路内では、夏期には水路に流入する窒素の 69% を浄化することができている。干潟にはヨシやベンケイガニ類などが定着し、時には鳥類が飛来、休憩、摂餌するといった、貴重な運河のビオトープとなっている。ただし、こういった施設整備には高額な費用を要するために、より安価で、簡便に環境改善可能な手法の開発も必要と思われる。

そこで、著者らは、小型の籠の中にナイロン製の網や小枝を詰めたものを生物生息場として運河に 1 年間設置したところ、9 科 13 種の魚類を確認することができた。特にハゼ科チチブは、夏期に減少するものの 1 年中確認され、全確認魚種の個体数の 9 割を占め、本種しか確認できなかったときが 4 か月あった⁴⁾。これは、チチブは

他の魚類に比較して高い貧酸素耐性を備えているが、底層が無酸素化する表層へ避難するといった性質によるものである⁵⁾。

そこで本研究では、これらの成果を基に新たな環境改善の方法を提案すること目的に、「チチブを保全し、その摂餌、被捕食の関係を介すれば、運河内の過剰な栄養がより多くの生物にも利用され、物質循環や生態系の改善につながる」という仮説を立て、調査実験を行った。具体的には、仮説検証の端緒として、この周辺に生息するプラクトン、魚貝類などの生物の安定同位体の分析と胃内容物調査に基づく食物網の推定と、運河内でのチチブの適切な生息場の構造を明らかにする現地実験を行った。なお、生物の栄養段階に着目して、環境改善を図る方法にはアサリを対象にした干潟造成⁶⁾がよく知られているが、魚類を対象にしたもの、また運河環境で行われたものは他になく、これらの点に本研究の新規性がある。

2. 調査実験方法

(1) 尼崎運河の概要

尼崎運河は、兵庫県尼崎市の臨海部にある5つの運河（北堀運河、南堀運河、西堀運河、東堀運河、中堀運河）の総称で全長は6.9 kmある（図-1）。国内の多くの運河は物流という当初の目的を失っているが、当運河では未だその役割があり、護岸は全て鋼矢板製で、浅場は南堀運河にわずかに残っている程度である。また高度経済成長期には、工場の地下水の汲み上げを原因とする地盤沈下が発生し、大きな浸水被害を度々受けるようになったために、その対策として閘門式防潮堤が建設された。このような結果、運河の水環境は閉鎖的で、生物生息場が非常に乏しい環境となった。



図-1 尼崎運河と調査地点

(2) ハゼ科チチブ (*Tridentiger obscurus*)

チチブは、汽水域に生息するハゼ科魚類であり、礫・転石などの周辺で見られ、その場所を占有する傾向がある。産卵期は5月~9月頃で、転石の下や空き缶などの中に卵を生み、雄が守る。孵化した仔魚は海で1か月ほどの浮遊期を経て、内湾や汽水域で着底する。多くの個体はその年のうちに成熟し、全長8 cmほどまで成長する⁷⁾。水底や空隙を好み、特に頭幅の2~5倍の大きさの穴を好むことが知られている⁸⁾。

(3) 魚類採捕調査と胃内容分析

南堀運河に残る浅場と北堀運河で、採捕調査を2018年8月28日、29日に行った。調査は1日目に漁具の設置、2日目に漁具にかかった魚類を回収した。漁具は、刺網（約30m×3m）、小型定置網、カゴ網を用いた。また両地点において、3回ずつの投網での採捕も実施した。採集した試料は現地にて同定した後、種ごとの個体数および湿重量を測定した。さらに、比較的個体の大きな魚類については採集した個体の体長を測定後、胃内容物を採取し、ホルマリン固定した。後日、固定した試料は実体顕微鏡下において胃内容物の分析を行った。

(4) 安定同位体分析

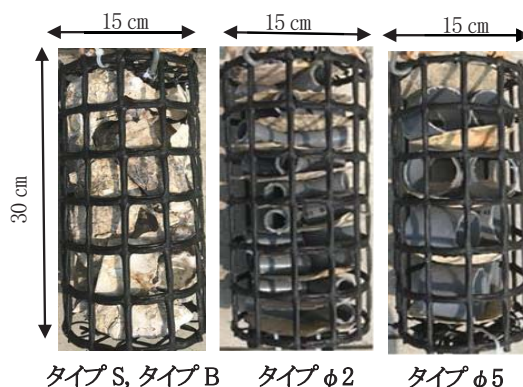
安定同位体分析や試料の前処理などは大谷らの方法⁹⁾に従って行った。懸濁物質については、ガラス繊維ろ紙（Whatman GF/C、保持粒子径1.2 μm）上に残ったものを懸濁態有機物（POM）とし、また2019年4月には、100 μmのプランクトンネットを用いて、ネットを通過しなかった試料を動物プランクトンとして、それぞれ3検体ずつ分析に供した。他にも、運河内に垂下されているボサ籠内⁴⁾のナイロン製の網への付着藻類もブラシで剥ぎ取り、3検体を安定同位体試料とした。

なお、一般に $\delta^{13}\text{C}$ 値は食物連鎖を通じてほとんど変化せず、消費者の $\delta^{13}\text{C}$ 値は同化した餌の値とほぼ同じとなり、一栄養段階あたり $\delta^{13}\text{C}$ 値は約1%増加することが知られている¹⁰⁾。一方、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は一栄養段階あたり3.4%増加することが報告されており、栄養段階を示す指標として利用することができる¹¹⁾。これらの経験則を用いて、生態系内の食物網が推定される。

(5) チチブの“すみか”の構造に関する実験

実験は北堀運河で行い、“すみか”は空隙の大きさなどを変えて、適当な構造を見出すこととした。具体的には、“すみか”は直径15 cm、長さ30 cmのメッシュ状の容器に、口径2 cm（タイプφ2）、5 cm（タイプφ5）の異なる塩ビパイプを詰めた2種類のもの作成し、水面付近に沈設した（写真-1）。なお、塩ビパイプは、空隙

に入った状態で他のチチブの個体を認識することができないようにパイプの向きを変えて、設置した。また設置水深の影響を見るために空隙を設けずにカキ殻を詰め込んだものを一つずつ、水面付近の水深0.5m(タイプS)と水底より直上0.1mの水深2.4m(タイプB)に設置した。実験は、2019年7月に“すみか”を設置し、2020年2月まで月1回それらを引き上げ、外観、生息していたチチブの生息数などを観察、記録した。なお、貝殻などの材料間にあった空隙がコウロンカワヒバリガイの付着によって閉塞されていく状況を把握するために、5cm四方の網目に残る空隙の割合を空隙率(%)として計測した。またこの調査時には、多項目水質計(HYDROLAB社, DSS)を用いて各水深の水温、塩分、DOを測定した。



タイプS, タイプB タイプφ2 タイプφ5
写真-1 実験に用いたチチブのすみか

表-1 採捕された魚類、甲殻類 (内の数字は個体数)

北堀運河	南堀運河
スズキ(1)	コノシロ(7) ギマ(1) シマイサキ(3)
コノシロ(65)	トウゴロウイワシ(25) ヒイラギ(1)
サツパ(1)	ウロハゼ(2) マハゼ(25) チチブ(32)
トウゴロウイワシ(2)	スズエビモドキ(64) ヨシエビ(1)

3. 調査実験結果

(1) 魚類採捕調査

調査によって採捕された魚種を表-1に示す。定置網調査で採捕された北堀運河の魚種は4種、68個体、961.5gあり、その内65個体がコノシロであった。大半のコノシロは水面付近に設置された刺網で採捕され、下層で採捕されたものはわずか1個体であった。南堀運河の浅場では、甲殻類も含めると10種、161個体、549gの生物を採捕することができ、浅場に置いたカゴ網には、北堀運河で確認できなかったマハゼ、ウロハゼといった底生魚が採捕された。なお、今回チチブは南堀運河だけで採捕されたが、底生魚の中では最も数が多かった。

(2) 胃内容物分析と安定同位体比

胃内容物の調査には比較的大型の魚種を対象に9個体について行った。その結果、表-2に示すように、空胃の魚種が多く、また胃内では種の判別が十分にできないものもあった。例えば、スズキの胃内容からは2個体のエビとみられるものと、チチブの頭部1つが確認できた。またウロハゼの胃内容からは1個体のエビ、チチブの胃内容からは1個体のエビとみられる個体を確認することができた。

一般に富栄養化した海域での植物プランクトンの炭素・窒素安定同位体比は季節変動が大きい、図-2より今回は当水環境の夏期の値として、POMの $\delta^{13}C$ は $-22.9 \pm 0.20\%$ 、 $\delta^{15}N$ は $7.40 \pm 2.30\%$ であった。特に、炭素の安定同位体比の値は一般の海洋の植物プランクトンの値である20‰に近い値であった¹²⁾。

また動物プランクトンの炭素・窒素安定同位体比はそれぞれ $-20.1 \pm 1.07\%$ 、 $9.95 \pm 0.49\%$ 、表層のナイロン繊維の付着藻類などの付着物は、 $-18.6 \pm 0.30\%$ 、 $7.56 \pm 0.35\%$

表-2 胃内容物分析結果

運河	魚種名	胃内容物調査
北堀	スズキ	エビ:2尾, 魚類1尾, その他は消化済み特定できず
南堀	ウロハゼ	消化済みで特定ならず
南堀	マハゼ	空胃
南堀	マハゼ	空胃
南堀	ウロハゼ	空胃
南堀	ウロハゼ	消化管からスズエビ1匹, その他は粒状物質
南堀	マハゼ	空胃
南堀	マハゼ	空胃
南堀	チチブ	エビ1匹

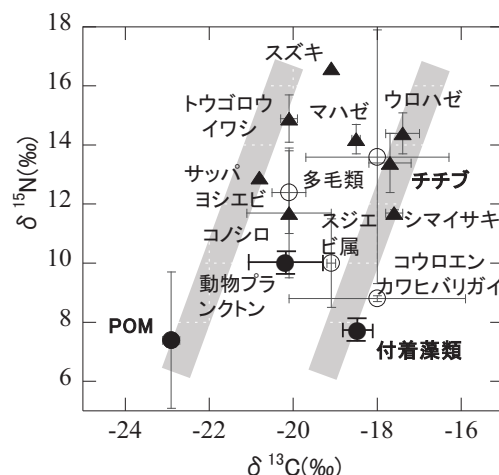


図-2 運河内の生物の安定同位体比(平均値±標準偏差)

であった。また、魚類の中で最も高い窒素安定同位体比を示したのはスズキの16.6‰であり、スズキの栄養段階が高いことが示された。さらに、餌資源であるPOMとスズキの窒素同位体比の比較から、少なくとも3段階の栄養段階があることがわかった。また底生魚のハゼ科で

あるマハゼ、ウロハゼおよびチチブの炭素・窒素安定同位体比はそれぞれ-18‰, 14‰の周辺にプロットされており、特にチチブの炭素・窒素安定同位体比は -17.7 ± 0.50 ‰, 13.4 ± 1.00 ‰であった。これらの底生魚は浅場の底質表面上や護岸壁面上の付着藻類やスジエビ属を餌資源にしていると考えられた。

(3) チチブのすみかの構造に関する実験

チチブのすみかを設置した地点で、実験期間中の水温は8月にピークを示し、約30℃となったがその後は水深2.4m(水底より直上0.1m)の方が水温は高くなりつつ、低水温化していった(図-3)。なお水深2.4mの水温が15℃を下回ったのは1月のことであった。またDOは0.5mで3mg/L以下の貧酸素化することはなかったが水底では8月、9月を除くと冬期でも2mg/L以下であった。

実験開始から1か月後は容器やカキ殻に付着藻類が付き、茶色く呈色する程度であった。しかし、2か月後の9月には、オセアニア原産の国外外来種であるコウロエンカワヒバリガイのカキ殻への付着が確認された。特に、カキ殻を詰めて水深0.5mの水面付近に置いたタイプSのものには、3か月後にはわずかな貝殻と貝殻の間の隙間をなくすようにコウロエンカワヒバリガイが付着し、空隙率は0%となった(写真-2)。塩ビパイプを詰めたタイプφ2、タイプφ5でも、3か月後にはそれぞれ空隙率は50%、80%と減少していた。

対象としていたチチブは、すみかの設置1か月後の8月には、それぞれのタイプに蟻集していることが確認できた(図-4)。ただし、10月には完全に目詰まりしたタイプS(写真-2)では、個体数は増えず、チチブの体長も4cm以上のものはほとんど見あたらなかった。タイプφ2には、約5個体のチチブが確認できたが、閉塞の影響もあり、7cm以上のチチブは確認できなかった。その一方で、タイプφ5には、空隙の数が限られているために、個体数は少ないものの、6cmを超える大型のチチブが毎月確認できた。

また水底に置いたカキ殻を詰めたタイプBには、コウロエンカワヒバリガイの付着は全く見られなかった。チチブは12月までは毎月2個体しか確認できなかったが、1月には10個体以上のチチブを確認することができた。

4. 考察

(1) 食物網および環境改善方法に関する考察

干潟や浅海部では浮遊系と底生系の2つの食物連鎖の経路があり¹³⁾、浅海域の魚類生産に付着藻類は重要な役割を果たしていると言われてきた¹⁴⁾が、汚濁の進んだ運河においても底生魚などの生産は水底や護岸などの

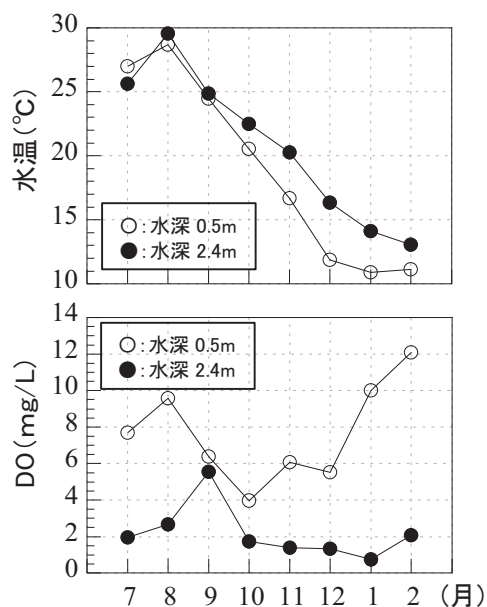


図-3 実験期間中の水温とDO



写真-2 コウロエンカワヒバリガイの付着状況

付着藻類によって支えられていると推察された。干潟や藻場では、魚類へは付着藻類から多毛類や葉上動物といった経路が一般的であるが、尼崎運河で数多く確認されたものはスジエビ属であった。エビ類は大顎で食物を破碎するため消化管内容物の同定が困難であり、日本国内においてユビナガスジエビの食性を詳細に調べた研究は認められない。しかし、河川汽水域での底生動物群集の安定同位体を用いた食物網解析では、スジエビ属ユビナガスジエビやスジエビモドキは付着性微細藻類を主に利用する系に属することが示されている¹⁵⁾。またヨーロッパでも、スジエビ属ユビナガスジエビは主に小型の底生動物を食べながらも、藻類などを部分的に利用することが報告されている¹⁶⁾。以上の先行事例と、本調査の安定同位体分析でもスジエビ属は付着藻類を食している系にあることから、当環境のスジエビ属も付着藻類を摂餌していると考えられた。

またスジエビ属はボサ籠の調査でも通年にわたり多数確認されていた⁴⁾ことから、一次消費の経路に多様性はないが、消失することはないと思われる。このスジエビ属を食するチチブは、干潟、砂浜といった浅場が無くて

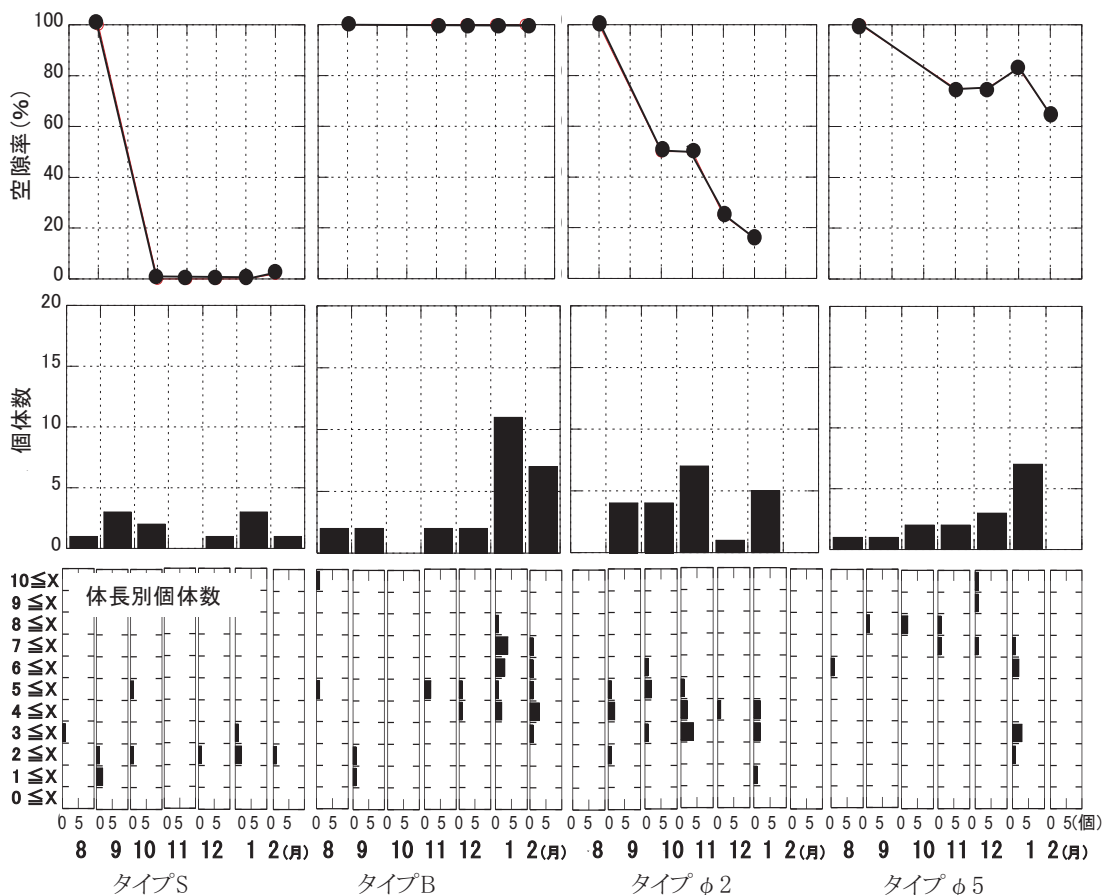


図-4 実験生息場の空隙率および増集したチチブの個体数、体長

も、垂下されたわずかなボサ籠内のナイロン繊維にも卵を産みつけ、再生産する、生活史を通じて運河内を利用できる唯一の滞在型の魚種である⁴⁾。

尼崎運河での環境悪化の特徴の一つは、栄養塩が植物プランクトンによって摂取され、枯死、水底に堆積するといった流れが卓越すること²⁾にある。しかし本調査の結果から、付着藻類が繁茂する光が届く水深帯に、スジエビ属、チチブの生息場を設けると、底生系の食物連鎖が創出され、栄養塩の流れが改善される可能性を示唆することができた。

また大型の魚類のスズキの主な餌資源は、今回の安定同位体の分析結果からチチブではなくトウゴロウイワシやサッパなどの浮遊系の魚類であった。ただし、兵庫県の瀬戸内海沿岸域でスズキを採集し、胃内容調査の事例¹⁾では、スズキの餌料生物について次のように報告されている。体サイズが大きくなるにつれて、餌生物が浮遊性の甲殻類(カイアシ類)から魚類主体になると報告されている。その餌生物となる魚類は、浮魚類が主体であるが、チチブと同属のアカオビシマハゼも餌料生物に

含まれていた。本調査でも、実際にスズキの胃内にチチブが確認されており、運河においてチチブを安定して増やすことができた場合には、スズキの主要な餌生物としてチチブが利用され、運河外への栄養塩の移動につながることが期待される。

今後、さらにこの環境改善方法の妥当性を示すためには、①生息場の創出方法、②効果の評価方法、③他の魚種への影響評価などの課題がある。例えば、①はチチブなどの生物生息場を護岸近傍に創出できることを現場実験で示すこと、②は高次の生物に栄養塩が利用される分だけ底質への負荷が低下することを確かめること、③については、チチブの個体数を増やした結果、スズキなどの主な餌生物になることを確かめる必要がある。またチチブは他の魚類の稚魚を捕食することの影響も危惧されており、その影響も注意深く検討する。

(2) 尼崎運河でのチチブのすみかの構造について

尼崎運河に適当な構造物を設置するとチチブが増集することが確認できた。ただし、水面付近に設置すると 3

か月程度でコウロエンカワヒバリガイの付着による魚礁の空隙の閉塞が始まり、チチブの生息空間が失われた。塩ビパイプなどでしっかりと空隙を設けておいても閉塞する傾向にあり、少なくとも 2 cm 以上の空隙を設けておく必要があると思われる。口径 5 cm の空隙を設けると最大体長に近い 10 cm のチチブの蛸集も確認できたが、そこでは小型のチチブはほとんど見られなかった。チチブは場を占有する強い性質を持つ¹⁸⁾ことから、小型の個体を追いやったと推察できる。幅広い体長のチチブが生息できるようにするためには、様々な大きさの空隙を設ける必要があることが示唆された。

空隙の大きさを維持する上ではコウロエンカワヒバリガイの過剰な付着が課題であるが、当種の寿命は 1 年といわれている¹⁸⁾ため、死亡→脱落→空隙の回復というサイクルが起こることも期待できる。今後もモニタリングを継続し、適切な初期の空隙の大きさ、維持管理について確かめる予定である。なお、脱落個体が生じる場合には、軟体部から栄養塩が水中に溶脱しないように、適宜回収できるようにすみかの構造を工夫することも検討する。

また図-4 より、水底では 1 月になるとチチブの蛸集がみられたが、これは冬期にはこのような“すみか”が多くチチブの生息場となることを示唆しており、水底にも生息場を設置しておく必要があることがわかった。ただし、この時期の DO をみると、2 mg/L 程度と貧酸素環境下であり、むしろ夏期の方が DO は高く、DO だけでチチブの挙動を説明することは難しいことも示された。冬期に水底に蛸集した理由として考えられるのは、チチブが水底を強く選好する性質^{7) 17)}を有していることに加え、水温低下も影響している⁵⁾と思われる。またこれら DO、水温だけでなく、毒性のあるアンモニア性窒素との複合影響についても今後検討すべき課題の一つと考える。

4. 結論

本研究での調査実験の結果、次の成果を得ることができた。

尼崎運河には、POM を起点とする浮遊系と付着藻類を起点とする底生系の食物連鎖が存在していることを確認することができた。特に、底生系の食物連鎖では、スジエビ属からチチブにつながるものが主な経路となっており、それはスズキなどの大型の魚類の餌資源になる可能性を示唆することができた。

またチチブは空隙をもつ構造物を選好、蛸集したが、外来種のコウロエンカワヒバリガイの付着による空隙の閉塞によってその生息個体数が減少した。閉塞を防ぐた

めには、2 cm 上の空隙を設けておく必要があることがわかった。

このように、チチブの個体を安定して増やし、過剰な栄養塩が高次生物の生産に利用されることを促し、環境を改善させる方法を提案し、その妥当性の緒となる成果を調査、実験で示した。今後はこの方法の実用化を目指し、①生息場の創出方法、②効果の評価方法、③他の魚種への影響評価などを明らかにしていく予定である。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 17K01921、大阪湾広域臨海環境整備センターの平成 30 年度「大阪湾圏域の海域環境再生・創造に関する研究助成事業」の助成を受け、また兵庫県阪神南県民センター・尼崎港管理事務所、五洋建設(株)・中瀬浩太氏、海洋建設(株)・田原実氏、徳島大学大学院・戸田涼介氏、宮内尚輝氏、同学理工学部・久保健人氏、徳島大学環境防災研究センター学術研究員・松重摩耶氏の支援を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) 大阪湾再生推進会議：大阪湾再生行動計画（第二期），pp.11-14，2014.
- 2) 中西敬，上月康則，森紗綾香，川井浩史，辻博和，上嶋英機：尼崎港内運河における環境修復の取組み開門・水門を利用した流況制御・水質改善実験，海洋開発論文集，第 23 巻，pp.757-762，2007.
- 3) 一色圭祐，山中亮一，上月康則，大熊康平，杵掛安宏，森紗綾香，角元陽一，川井浩史，中西敬，橋丘真：尼崎運河水質浄化施設の水質浄化機能と生態系サービスの評価，土木学会論文集 B2，Vol.71，No.2，pp. I_1489- I_1494，2015.
- 4) 竹山佳奈，山中亮一，河野博，岩本裕之，宮本一之，平川倫，上月康則：都市部運河域を利用する魚類を対象とした生物共生護岸に関する実験的検討，土木学会論文集 B3，Vol.73，No.2，pp. I_845- I_850，2017.
- 5) 上月康則，平川倫，竹山佳奈，松重摩耶，西上広貴，岩見和樹，山中亮一，宮本一之：酸素・塩分勾配水槽を用いたチチブの貧酸素応答に関する実験的研究，土木学会論文集 B3，Vol.73，No.2，pp. I_839- I_844，2017.
- 6) 大谷 壮介，上月康則，中西敬，石垣衛，鈴木嘉一，村上仁士：大阪湾湾奥の自然海浜“御前浜”に新たに設置された浅場の環境改善効果に関する-考察，海洋開発論文集，23 巻，pp.645-650，2007.
- 7) 梅澤俊一，本池平二，山中裕史：チチブの穴への進入行動，動物学雑誌，88 巻，3 号，pp.239-253，1979.
- 8) 中坊徹次監修：日本魚類館，小学館，p.408，2018.
- 9) 大谷 壮介，上月康則，倉田健悟，仲井薫史：河口干潟における堆積有機物の起源と底生生物群集の餌資源，土木学会論文集 G（環境），Vol.68，No.7，III483-492，2012.
- 10) Fry, B., Sherr, E.: $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems, *Contributions in Marine Science*, 27, 13-47, 1984.

- 11) Minagawa, M., Wada, E.: Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age, *Geochimica Cosmochimica Acta*, 48, 1135-1140, 1984.
- 12) Rau, G.H., Sweeney, R.E., Kaplan, I.R.: Plankton ^{13}C : ^{12}C ratio changes with latitude: differences between northern and southern oceans, *Deep Sea Research*, 29, 1035-1039, 1982.
- 13) 伊藤絹子, 佐々木浩, 南卓志: 河口・汽水域生態系における底生微細藻の果たす役割, *沿岸海洋研究*, 第47巻, 第1号, pp.51-60, 2009.
- 14) Emily.S. Antonio, Takai, N., Yorozu, A., Tanimoto, T., Hoshika, A., Yoshihara, K.: Transport pathways of microphytobenthos-originating organic carbon in the food web of an exposed hard bottom shore in the Seto Inland Sea, Japan, *Marine Ecology Progress Series*, 284, pp.97-108, 2004.
- 15) Emily, S., Antonio, Akihide, K., Masahiro, S.: Spatial variation in organic matter utilization by benthic communities, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 86, pp.107-117, 2010.
- 16) 上月康則, 田辺尚暉, 岩見和樹, 平川倫, 齋藤稔, 山中亮一: チチブを対象とした長時間の全層貧酸素化の生態影響を緩和させる生物避難場に関する調査実験, *土木学会論文集 B3*, Vol.75, No.2, pp. I_1001-I_1006, 2019.
- 17) 宮原一隆, 大谷徹也, 島本信夫: 播磨灘におけるスズキ *Leteolabrax japonicus* の食性, *兵庫水試研報* (32), pp.1-8, 1995.
- 18) 国立環境研究所: 侵入生物データベース, コウロエンカワヒバリガイ, <https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/DB/detail/70370.html> (閲覧日: 2020年3月21日)

(Received March 30, 2020)

(Accepted August 24, 2020)

PROPOSALS FOR METHODS TO IMPROVE THE ENVIRONMENT OF THE AMAGASAKI CANAL, FOCUSING ON TROPHIC LEVEL OF *Tridentiger obscurus*

Yasunori KOZUKI, Ryoichi YAMANAKA, Kouta NAKASE, Kazuki IWAMI, Kaito MORITA, Sousuke Otani, Kazuki HASHIGAMI, Naoki TANABE and Minoru SAITO

This study focused on fish species to investigate methods for improving the environment of the Amagasaki Canal. Analysis of the food web revealed that a benthic fish species *Tridentiger obscurus* has an important role in transferring energy from primary producers to organisms at higher trophic levels. The result suggests that protection of the bottom dwelling *T. obscurus* is effective for improving the environment of the canal by making excessive nutrients ingestible for other organisms. When artificial shelters for *T. obscurus* was set in the canal, a large amount of mussel *Xenostrobus securi* attached to the shelter. The result insists that further improvements are needed to prevent clogging by the shells and make shelters available for *T. obscurus*.