

尼崎運河でのハゼ科チチブの 人工魚礁創出実験

上月 康則¹・山中 亮一²・岩見 和樹³・田辺 尚暉⁴・橋上 和生⁵・
戸田 涼介⁶・齋藤 稔⁷・松重 摩耶⁸

¹正会員 徳島大学 環境防災研究センター
(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島 2-1)

E-mail: kozuki@tokushima-u.ac.jp

²正会員 徳島大学 環境防災研究センター
(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島 2-1)

E-mail: ryoichi_yamanaka@tokushima-u.ac.jp

³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姫路市役所 下水道局河川部

(〒671-1242 姫路市網干区浜田 1004 番地 16)

⁵(株)神鋼環境ソリューション 環境エンジニアリング事業本部
(〒651-0072 神戸市中央区脇浜町 1 丁目 4-78)

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 創成科学研究科
(〒755-0097 宇部市常盤台 2-16-1)

⁸正会員 徳島大学 環境防災研究センター
(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島 2-1)

過栄養化した尼崎運河の環境を改善するために、付着藻類から上位の生物にまで及ぶ食物網の経路を創出することを考えた。本研究では、まずその端緒の検討として、底生魚のハゼ科チチブの保全を目的にした魚礁の構造と設置方法を把握することを目的に現地実験を行った。3種類の生息場をつくり、酸素不足が生じない水面付近の上層、中層、下層の3つの水深に沈設した。

その結果、水底を選好するチチブであったが、夏期にはチチブは上層に移動、蟻集し、7月には下層の構造物にはチチブは確認できなくなった。ただし、夏期でも下層のDOは忌避行動をするようなレベルではなく、DOの他にも水温などが複合的に作用していることが示唆された。また構造物に独立した空隙を設けるとチチブの種内攻撃機会は減少し、小型のチチブも共に生息可能となることが推察された。

Key Words : *Tridentiger obscurus*, *Palaemon*, Amagasaki Canal, artificial reef, field experiment

1. 緒論

尼崎運河は大阪湾の湾奥に位置し、現在も舟運がみられ、運河内の水位は水門、開門によって管理されている。そのために運河の内外での水交換はされにくく、過栄養で慢性的に貧酸素化と底質の嫌気化が生じており、ときには全層が貧酸素化することもある。また運河の壁面は全て直立の鋼矢板護岸となっており、尼崎運河の環境は、水質面でも、物理的にも生物の生息場としては過酷な環境にある。このような環境を改善しようと、大阪湾再生行動計画(第二期)²⁾では尼崎運河は積極的に環境改善を進める地域であるアピールポイントにも設定されている。

尼崎運河での環境改善に関するナイロン繊維や小枝を入れた1辺50cmの立方体の籠を用いた沈設実験では、籠の中に1年間で延べ9科13種の稚魚が確認でき、小規模であっても適切な場づくりをすると生物の生息場として利用されることが示唆された³⁾。ただし、籠の中で年中確認できた生物はスジエビ属(*Palaemon sp.*)とハゼ科チチブ(*Tridentiger obscurus*)だけで、チチブの胃内からは付着藻類やスジエビ属が確認された。

ここで、過栄養な状態にある環境を改善する方法を考えると、排水規制や浚渫、覆砂など底質を改善する方法などの他に、過剰な栄養塩を藻類に固定させ、それを高次の動物に食させ、さらに大型の移動性の高い動物に捕

食させることで、系外に栄養塩を移動させるといった方法もある。運河内に設置した水質浄化水路では、運河の水をゆっくりと水路に流し、付着藻類に栄養塩を固定させ、それを取り上げ、堆肥化、利用する⁴⁾ことから、この浄化方法も栄養塩の移動による環境改善の一つの方法である。また著者らは、物理環境が単調な尼崎運河に、運河の航路利用、防災機能を損なわない生物生息場を設け、食物網を通じて栄養塩を移動させるといった方法を考えた。大阪湾では湾奥と湾口での栄養塩の偏在化²⁾が問題となっており、湾奥にある尼崎運河の栄養塩を系外に移動させるといった方法は湾レベルでの問題解決の一助にもなることも期待できる。ただし、この方法の検討には、付着藻類を食する一次捕食者の生息基盤の創出、二次、三次捕食者によって捕食され、栄養塩の系外移動といった効果を確認することなど、いくつかの課題がある。

本研究では、検討の端緒として、付着藻類などの捕食生物の生息基盤の構造と機能について検討を行った。まずこれまでの調査から付着藻類やスジエビ属を食していると思われる⁵⁾こと、運河環境に適応して年中確認できること³⁾、大型生物の餌資源としての価値も高いこと⁶⁾などから、尼崎運河では付着藻類から高次魚類への栄養塩の経路をつなぐ生物としてハゼ科チチブに着目し、研究対象とすることとした。具体的には、尼崎運河内に3種類の簡易な構造物を沈設し、そこに蟄集するチチブなどの生物種を毎月調査するといった現地実験を行った。評価した点は、「構造物は下層の貧酸素化の影響を緩和することができたのか?」「提案された構造物は、生息場、避難場所といった魚礁の機能を持つものなのか?」である。

2. 実験方法

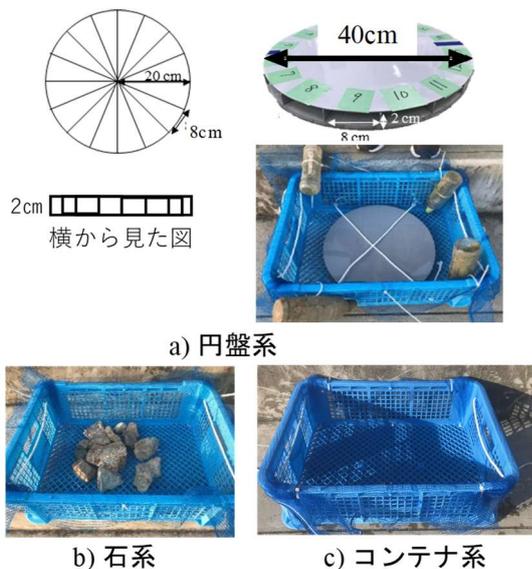


図-1 実験系

(1) 運河での実証実験

実験は、考案された円盤状の構造物をコンテナ内に置いた系(以下、円盤系)の他に対照とする系を設けて2018年10月から2019年12月までの14ヶ月間行った。円盤状の構造物は、直径40cmの円盤2枚の間に放射状に高さ2cmの仕切り板で仕切られた16個の独立した空隙を有する形状をしている⁵⁾。なお、円盤状の構造物はコンテナの底面上に直接設置しており、構造物とコンテナとの間に空隙はない。また対照の実験系として、こぶしほどの大きさの石を直径40cm程度の範囲内に引きつめたコンテナ(以下、石系)を設けた(図-1)。干潟などで観察すると、チチブは石と石の間にできる空隙や石の横にできる陰などに身を寄せている。この他に、物を何も置かないコンテナのみ(以下、コンテナ系)という系も設けた。これら3種類の実験系を北堀運河(図-2中の●赤印)の直立護岸から50cm沖側に離れた位置に、浮きとおもりで水面から深さ0.1m(以下、上層と呼ぶ)、1.0m(以下、中層)と底質から0.1m上の1.7m(以下、下層)の3層に各系1基ずつ定置させた。なお、構造物の大きさを直径40cmとしたのは、船の航行を妨げず、鋼矢板凹部の陰に設置できるサイズを考えたためである。

調査は月一回、各系を引き上げ、生物の種、個体数、特にチチブについては体長を測定し、水質は実験系を設置した場所から沖側に10m離れた運河中央部の地点で水質計(Hydrolab社DS5)を用いて測定した。また降水量のデータは西隣にある西宮市の月合計降水量⁸⁾を用いた。

(2) ハゼ科チチブ (*Tridentiger obscurus*) の生態

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。体の形はやや太短い円筒形をし、体色は黒から褐色、胸びれ基部が白または黄色の帯がある。産卵期は5月~9



図-2 尼崎運河と調査実験地点(●)

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ヶ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8cmほどまで成長する⁹⁾。水底や空隙を選好し、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¹⁰⁾。また著者らの実験によって、水底やチチブの25°Cでの1h-LC50は0.35mg/L、忌避を起こすDOは1.0mg/Lと、他の魚種に比較して貧酸素耐性が強いことや、高温となると呼吸数が増加を始めるDO値が高くなるなど貧酸素耐性が低下することを明らかにしている¹¹⁾。

3. 調査実験結果

(1) 水質の経月変化

図-3に示す通り、水温は実験開始の冬期にはやや下層の方が上層よりも高かったが、その傾向は4月に逆転した。8月には1年で最も高くなり、10月以降、下層の方がやや高温となった。実験期間中の塩分は、最低9psu、最高23psuの範囲にあり、冬期は比較的变化なく安定していたが、7月~10月の期間は上層から下層までの塩分は低下し、特に9月には護岸付近の水深約2mまでの水の塩分は同値となった。DOは下層で低い傾向にあったが、12月~3月にかけては十分に酸素のある状態であった。しかし4月には水温が上下層で逆転したように、DOの鉛

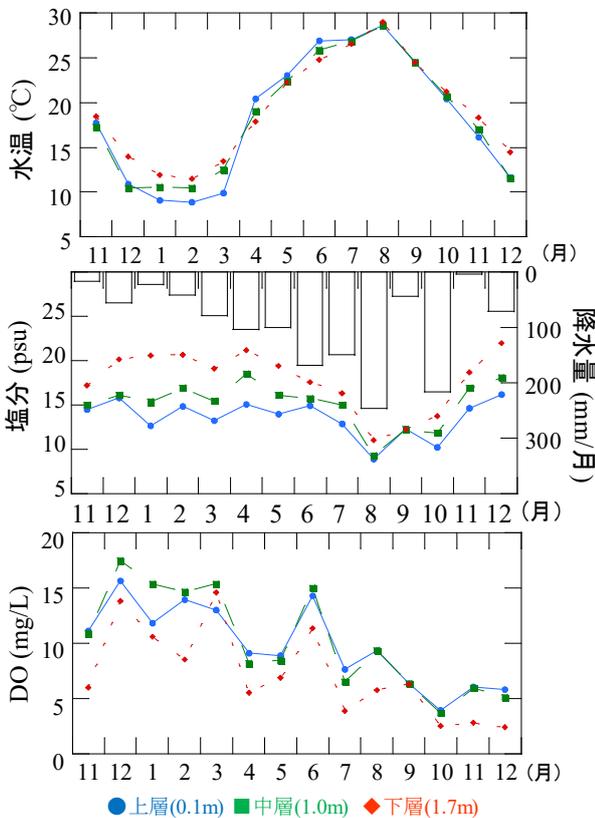


図-3 実験地点の水温、塩分、DO

直分布も変化、低下した。9月には上層~下層までのDOが同値下層では10月以降3mg/L以下の低い値となった。

(2) 各系の魚類相

各系の上層、中層、下層の3層に現れた魚類をまとめて表-1に示す。メジナ、トサカギンボ、シマイサキ、クサフグ、チチブ、ウロハゼ、マハゼの計7種類の魚類が確認でき、4種の生活型は汽水性であった。この内、円盤系には5種、石系には2種、コントロール系には3種出現した。

通年優占したチチブに着目すると、実験系を設置してから1ヶ月で周辺からチチブ51個体が3つの系に蟻集した。チチブは春~夏期にかけて個体数が死亡、9月頃に増加したのは、1ヶ月ほどの浮遊生活¹⁰⁾を送り、各系に定着したためと思われる。個体数を3系で比較すると、14ヶ月中、コンテナ系で多かったのは3ヶ月、同様に石系では5ヶ月、円盤系では7ヶ月あった。

(3) 上層、中層、下層のチチブ個体数

3つの系のチチブの個体数を層ごとに合算し、図-4にまとめた。その結果、実験開始直後の11月(33%)から

表-1 出現魚種一覧表

科	種	生活史型	系	2018年		2019年																					
				11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12										
メジナ	メジナ	海水	円盤																								
			石																								
			コンテナ															2	1								
コケギンボ	トサカギンボ	汽水	円盤																								
			石																								
			コンテナ																								1
シマイサキ	シマイサキ	海水	円盤	3	2				1			1															
			石		1								1														
			コンテナ																								
フグ	クサフグ	周縁	円盤																								
			石																								
			コンテナ																								1
チチブ	チチブ	汽水	円盤	16	27	31	28	13	25	40	19	17	8	49	60	46	26										
			石	19	39	23	12	22	15	21	10	11	11	34	33	49	62										
			コンテナ	16	17	0	5	29	4	10	12	8	10	56	53	49	60										
			合計	51	83	54	45	64	44	71	41	36	29	139	146	144	148										
			円盤																								
ハゼ	ウロハゼ	汽水	円盤																								
			石																								
			コンテナ																								
			円盤																								
			石																								
マハゼ	汽水	円盤																									
		石																									
		コンテナ																									

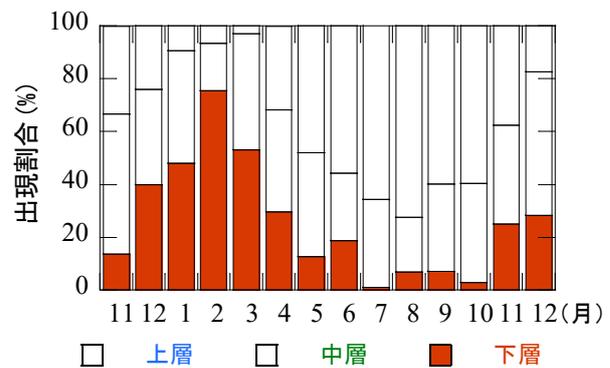


図-4 チチブの出現割合

チチブの上層での個体数の割合は減少する一方で、下層での割合が増加し、2月にはその割合は76%となり、3月には中層と下層に97%のチチブが生息していたことがわかった。その後、その割合は減少し、7月にはゼロとなった。再び、チチブが下層に移動始めるのは11月になってからで、12月には前年と同様に上層のチチブの割合は約20%となった。

(4) 各系でのチチブの体長個体数比率

各系に蟄集したチチブの体長の個体数比率(図-5)より、実験開始直後の11月からいずれの系でも体長の分布は右上方に移動し、4月頃に最大の大きくなり、7月には大型のサイズのチチブが消滅していることがうかがえる。また7月には浮遊期を終えた体長1~3cmのチチブの稚魚が石系と円盤系に新たに加わり、定着を始めていた。3つの系で体長分布を比較すると、1年間では、3月、9月を除く、10ヶ月で円盤系に最大体長のチチブが確認された。特に円盤系では実験開始直後の11月から他の系にはない9cm以上の大型個体が確認され、4月、5月には10cmを超える個体もあった。

また体長の特性を検討するために、14ヶ月間に確認できた全個体数をサンプルの母数(n=1,092)として体長の四分位数を求めた。3cm未満が第1四分位未満の小型チチブ(n=249)、3cm以上5cm未満が第1~第3四分位の中型

チチブ(n=446)、5cm以上を第3四分位以上の大型チチブ(n=397)とされ、そのデータを対象に各系の個体数についてカイ二乗検定、残差分析を行った(表-2)。その結果、小型のチチブは円盤系にも確認できたがその数は、コンテナ系に比べると有意に少なかった(p<0.01)。また円盤系の中型のチチブの個体数は石系に比べて有意に少なかった(p<0.01)。その一方で、大型のチチブは円盤系の個体数は他の2つの系よりも有意に多かった(p<0.01)。

(5) テナガエビ科スジエビ属

各系では、チチブ以外ではスジエビ属が確認された。実験開始直後には10個体以下であったが、6月頃からはどの系でも複数個体見られるようになり、10月には急増し、100個以上確認されるようになった(図-6)。これは浮遊期を過ぎて、各系内に定着、新規加入したものと思われる。11月には個体数は減少するが、それにはチチブの捕食圧の影響も推察できる。また3層で比較すると観測期間中では、上層で最も多い傾向にあった。

4. 考察

(1) 「構造物は貧酸素化の影響を緩和することができたのか？」

実験直後の11月から水温低下、下層DOが高くなる

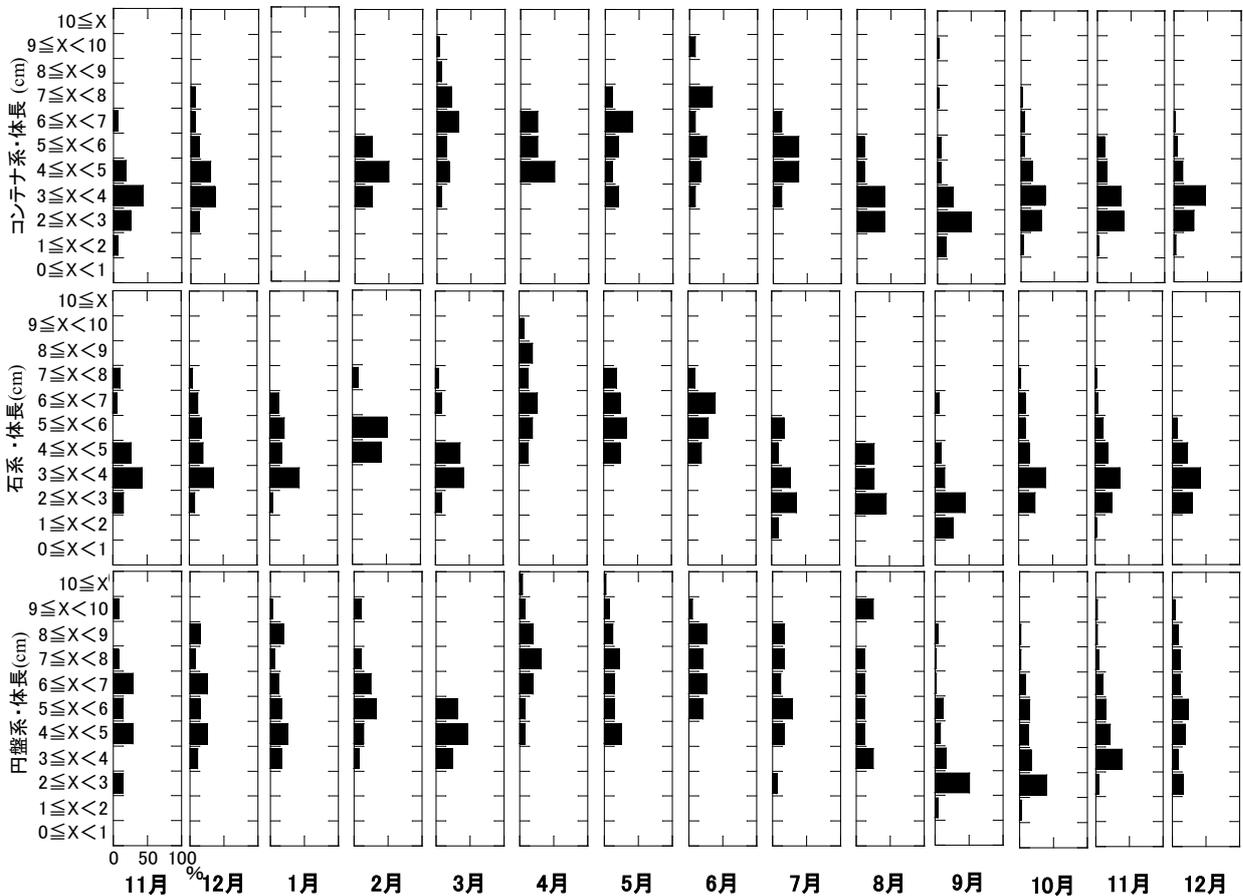


図-5 各系でのチチブの体長構成比率の経月変化

につれて(図-3), 下層のチチブの存在比(図-4)は高くなり, 2月にはピークを示し, それ以降は低下した. チチブは底生魚の一種で, 実際に水面よりも水底を強く好む⁷⁾¹⁰⁾ため, 下層よりも水面付近にチチブが偏在することは異常なことといえる.

ここで異常な行動を引き起こした要因について考えると, 第一に貧酸素水塊からの忌避行動が挙げられる. 著者らは, 室内実験の忌避 DO は 25°C で 1.0mg/L である¹¹⁾ことを明らかにしているが, 運河では 3 月以降にも下層の DO は 1.0mg/L 以上あるにもかかわらず, チチブは下層から上層に移動し, 下層のチチブの存在比は低下して

表-2 各系に蟻集したチチブの体長比較

体長(cm)	統計	円盤系	石系	コンテナ系	合計
小型 (<3)	個体数	62	82	105	249
	%	24.9	32.9	42.2	100.0
	期待度数	91.9	82.3	74.8	249.0
	調整済み標準化残差	-4.5**	0.0	4.8**	
中型 (3≤X<5)	個体数	125	183	138	446
	%	28.0	41.0	30.9	100.0
	期待度数	164.6	147.4	134.0	446.0
	調整済み標準化残差	-5.1**	4.7**	0.5	
大型 (5≤X)	個体数	216	96	85	397
	%	54.4	24.2	21.4	100.0
	期待度数	146.5	131.2	119.2	397.0
	調整済み標準化残差	9.1**	-4.7**	-4.7**	
合計個体数		403	361	328	1,092

$\chi^2=92.4$, $df=4$, $p<0.01$ **: $p<0.01$

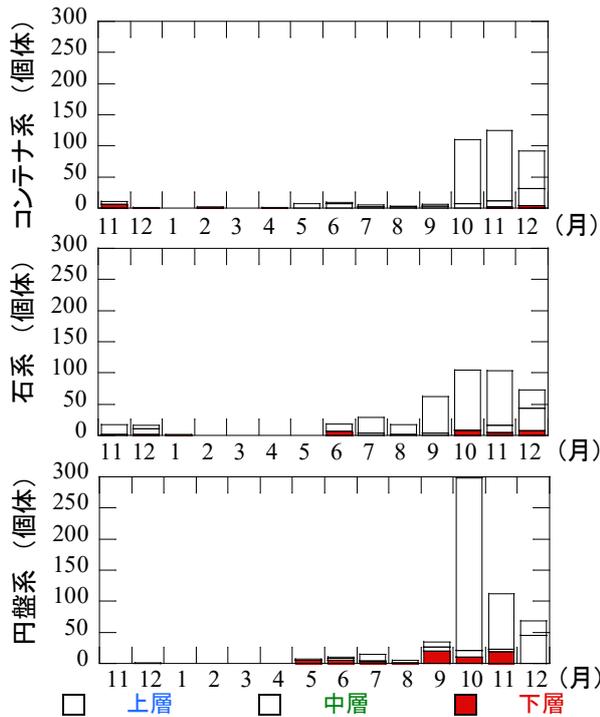


図-6 各系のスジエビ属の個体数

いった. さらに7月には DO は 3.9mg/L あったにもかかわらず, 下層でのチチブの存在比はゼロになっていた. DO 以外の環境要因としては水温の影響も考えられる. 例えば 25°C では 1h-LC50 は 0.35mg/L であるが, 5°C 水温が上昇した 30°C では 0.50mg/L とチチブの貧酸素耐性は低下した¹⁰⁾. また呼吸数に異常をきたす DO も 25°C では 3.0 mg/L であったが, 30°C では 5.0 mg/L と水温が高くなる¹¹⁾と, より高い DO でも異常な行動を示した.

このように DO が低下し, 水温が高くなる春から夏期にかけては多数のチチブが本来選好する下層の環境を避けて, DO が不足しにくい水面付近の構造物へと移動, 蟻集することがわかった. 今後は, 当初考えていた貧酸素化だけではなく, 水質の連続データなどを用いて, 上層への避難行動を引き起こす要因について詳細な検討を行っていく予定である.

以上のことから, 因果関係に課題は残るものの, 下層での水質変化に応じてチチブは上層に移動し, その時に上層に置かれた構造物を利用する. また冬期になると再び下層に移動するというように, 構造物はチチブの個体群を保全するように機能していたといえる.

(2) 「提案された構造物はチチブの魚礁の機能を持つものなのか？」

水面付近の構造物には多数のチチブが蟻集し, 特に独立した空隙のある円盤系には大型のチチブが他の系よりも多かった. 優位な立場にあるチチブは近づいてくる他の個体に威嚇, 攻撃などをするが, いったん空隙を占有するとチチブの攻撃回数は減少し, 他の個体も共存可能となることが室内実験で示唆されている⁹⁾. 具体的には, 大型のチチブが優占する円盤系でも小型の個体は確認できており, それらは大型のチチブの視界の外にある構造物の天端などで生息していたと推察される. 以後もデータを集積することで, 各系の構造物 1 つあたりのチチブの生息可能個数も推算できるようになると思われる.

またチチブの胃内容を観察すると, 藻類と系内に多数いるスジエビ属が観察されており, 系内で藻類, スジエビ属, チチブといった栄養塩の経路の存在が示唆された(写真-1a). 他にも 4~10 月の円盤系や石系の空隙にはチチブの卵も確認された(写真-1 b)ことから円盤構造物は餌場, 産卵場にもなっていた. 一般に魚礁には, 摂餌, 逃避, 休息, 生殖, 陰影といった 5 つの機能, 構造を備える必要があると言われているが, 尼崎運河の環境では水面付近に置かれた空隙を持つ構造物はチチブに対して, 魚礁の機能を有することが確認できた. また藻類からスジエビ, チチブまでの食物連鎖の経路が維持されることも示唆された.

学理工学部・森田海斗氏, 久保健人氏, 大阪府大高専・大谷壮介准教授の支援を受けて行われたものである。

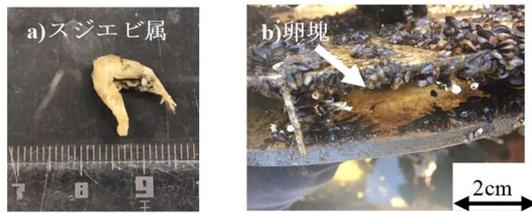


写真-1 チチブの胃内容物のスジエビ属と卵塊

今後の魚礁の検討には, チチブを捕食し, 系外に移動させるスズキなどの大型魚類の一時的な滞在場所の構造と設置方法などの検討も必要である。またこういった魚礁を設置し, そこでチチブが優占することで, さらに運河の生物多様性を低下させるといった悪影響にも留意し, 現地実験を行っていく予定である。

5. 結論

過栄養化した尼崎運河の環境を改善するために, 付着藻類を起点とする食物連鎖の経路を活用し, 魚類によって栄養塩を系外に移動させる方法を考え, 現地実験を行った。その結果, 多数のチチブは構造物に蟄集し, 夏期には上層の構造物を避難場所として利用した。また構造物に独立した空隙を設けた系には, 大型のチチブが優占したが, 小型の個体もある程度生息していた。これは空隙を設けたことでチチブの攻撃行動が減少したためと思われた。また下層の忌避行動は複合的な要因が作用していることも示唆された。今後は, 栄養塩を移動させる大型魚類を蟄集させる方法や魚礁設置による生物多様性への影響把握などを課題に調査実験を行う。

謝辞: 本研究は, JSPS 科研費 17K01921 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, 徳島大学大学院・宮内尚輝氏, 同

参考文献

- 1) 東輝明, 山田真知子, 門谷茂, 広谷純, 柳哲雄: 過栄養な内湾洞海湾における貧酸素水塊の形成過程とその特性について, 日本水産学会, 64(2), pp.204-210, 1998.
- 2) 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.
- 3) 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.1-845-850, 2017.
- 4) 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, Vol.71, No.2, pp.1-1489-1494, 2015.
- 5) 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, 海洋開発論文集, Vol.75, No.2, pp.1001-1006, 2019.
- 6) 原田真実, 久米学, 望岡典隆, 田村勇司, 神埼東子, 橋口峻也, 笠井亮秀, 山下洋: 大分県国東半島・宇佐地域の伊呂波川と桂川に設置したウナギ石倉かごにより採集されたニホンウナギと水生動物群集, 日本水産学会誌, 84号, pp.45-53, 2018.
- 7) 山崎耿二郎: ハゼ類の飼料としての価値について, 茨城県内水面水産試験場研究報告, 11号, pp.77-83, 1973.
- 8) 気象庁: 気象データベース (2020年4月5日閲覧)
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/monthly_a1.php?prec_no=63&block_no=1588&year=2018&month=&day=&view=p1
- 9) 中坊徹次監修: 日本魚類館, 小学館, p.408, 2018.
- 10) 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.
- 11) 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. 839- I_844, 2017.

(Received February 6, 2020)

(Accepted May 1, 2020)

FIELD EXPERIMENT TO CREATE AN ARTIFICIAL FISH REEF FOR *Tridentiger obscurus* IN THE AMAGASAKI CANAL

Yasunori KOZUKI, Ryoichi YAMANAKA, Kazuki IWAMI, Naoki TANABE, Kazuki HASHIGAMI, Ryosuke TODA, Minoru SAITO and Maya MATSUSHIGE

To improve the environment of the Amagasaki Canal, a method for moving nutrients out of the system using a food web pathway derived from attached algae to fishes was investigated and field experiments were conducted. It was found that *Tridentiger obscurus* with bottom-dwelling properties gather in structures with some gap spaces installed near the water's surface. During the summer when water quality deteriorated, *T. obscurus* used the structures as a refuge. Such a structure would also reduce intraspecific competitions and allow for smaller *T. obscurus* to cohabit around the shelter with the larger fish occupying the interstices of the structures. The stomach contents of *T. obscurus* suggested that they were feeding on attached algae and the shrimp in the structures. In addition, the *T. obscurus* were laying their eggs in the gap space of the structure.