

人工的な泥質干潟の創出技術に関する 基礎的研究

FUNDAMENTAL STUDY ON THE RECLAMATION TECHNOLOGY OF AN ARTIFICIAL MUDDY TIDAL FLAT

玉上和範¹・五明美智男²・杉浦琴³

Kazunori TAMAUE, Michio GOMYO and Koto SUGIURA

¹正会員 工修 特定非営利活動法人 海辺つくり研究会 (〒220-0023 横浜市西区平沼2-4-22-202)

²正会員 博(工) 特定非営利活動法人 海辺つくり研究会 (〒220-0023 横浜市西区平沼2-4-22-202)

³工修 東京工業大学 総合理工学研究科 (〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259-G5-4)

The purpose of this study is to obtain the fundamental knowledge for reclamation and management of muddy tidal flat. In this study, the habitation conditions of mudskipper which form a burrow in the muddy tidal flat located in the interior parts of the Tokyo bay were investigated on the basis of the field measured and previous knowledge. Field measurements were done in the muddy tidal flat of the Tama River estuary, which a mudskipper inhabits. The habitation conditions of mudskipper obtained were as follows: 1) land features which soft mud collects easily at. 2) There are shallow flow of water and tide-pool on the surface. 3) There are reed communities around it. 4) The moisture content of soft mud is more than 35%. And it proposes about the assessment indicator by making a trial calculation of bioturbating activity. The bioturbating activity in Tama River estuary is $1.33 \times 10^{-5} - 1.86 \times 10^{-4} / (\text{m}^2)$. This value is thought to be goal value in the mudskipper habitat located in the interior parts of the Tokyo bay at present.

Key Words : muddy tidal flat, mudskipper, habitation condition, burrow, bioturbating activity

1. はじめに

最近の自然再生への取組みの進展により、内湾の干潟の保全・再生も新たな展開を迎えている。その保全・再生技術を振り返った場合、主に砂質の前浜干潟が対象とされてきた。しかしながら、前浜干潟内のヨシ群落あるいは塩水遡上域に形成される河口干潟には泥質干潟が存在することもあるため、干潟生態系の多様性を確保する上でも、泥質干潟の創出技術に関する検討も不可欠と考えられる。本研究は、泥質干潟の構成材としての底質に着目し、巣穴を形成する生物群の生物生息条件を調査・整理することによって、泥質干潟創出の基礎的知見を得ようとして着手したものである。

海辺つくり研究会では、東京湾に流入する河川の河口域に残された泥質干潟として多摩川河口域(写真-1)にて、見学会を実施している。見学会ではトビハゼを1つのシンボル種として、2001年12月より2004年2月にかけて計7回実施した。またこの期間中に各1回ずつ江戸川放水路干潟、東京港野鳥公園でも見学会を実施した。見学会では、生物観察を中心にトビハゼの巣穴調査、生息場所の地形調査、生

息数調査等を実施している。また同時に近隣の郷土博物館の見学や周辺海域における漁師体験、トビハゼワークショップ等を開催し、干潟の歴史や周辺の特性、トビハゼの生態について情報を収集してきた。

本報告では、トビハゼの生態および東京湾内の他のトビハゼ生息地の既往知見、見学会で得られた調査・観察結果、見学会とは別に実施した詳細調査の結果をもとに、トビハゼの生息条件を明らかにした上で、巣穴を定量化した泥質干潟の評価指標についての提案を行う。

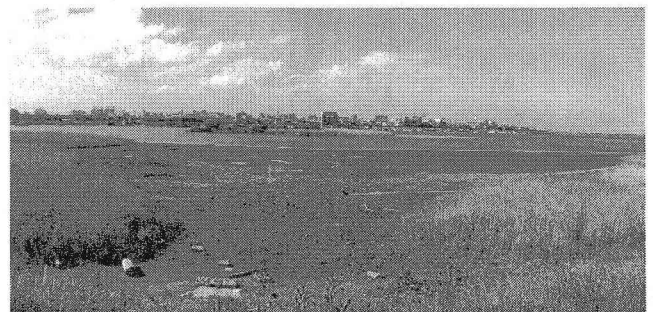


写真-1 多摩川河口域の泥質干潟

2. トビハゼの特性

(1) 分類・分布の概要、生活史

トビハゼ (*Periophthalmus modestus*) は、スズキ目ハゼ科 *Oxudercinae* 亜科に属する魚類で、エラのほかに皮膚呼吸を行うことにより水陸両生生活を行う¹⁾という特異な習性をもっている。汽水性の魚類で泥質の干潟が発達する河口域や内湾に生息する。成熟は生後約1年で寿命は2年とされ、全長は10cmに達する²⁾。

トビハゼは、現在世界で13種確認されているトビハゼ属魚類の1種であり、トビハゼ属の中で最も北に生息する種の1つである³⁾。本種の日本における分布は、東京以西の太平洋岸各地および瀬戸内海、日本海側では北は下関までである⁴⁾。また東京湾奥部と沖縄島では他の分布地と地理的に隔離され個体群が孤立状態にあり、環境省のレッドリストで「絶滅のおそれのある地域個体群 (LP)」に指定されている。東京湾奥部では、千葉県市川市の江戸川放水路⁵⁾と新浜、習志野市の谷津干潟²⁾、東京都江戸川区の葛西海浜公園東なぎさ⁶⁾、品川区の東京港野鳥公園⁷⁾、多摩川河口域⁸⁾などで生息が確認されている。

トビハゼの生活史は、夜間の気温が15℃以上に安定する初夏から秋までの活動期⁵⁾と泥の中で冬眠する越冬期の2期に分けられる。活動期には干潟表面を活発に動き回り小動物を捕食する。また産卵期には泥中に深さ20～30cmの巣穴を掘り、ここで産卵および卵保護を行う。越冬期には泥中の巣穴に隠れ活動を休止する。東京湾および有明海における産卵期は5月下旬～8月中旬³⁾で、産卵は産卵巣穴の中で行われ1巣穴あたりの卵数は約6,000個程度である⁹⁾。東京湾や有明海では8～9月に全長約15mmの稚魚が干潟上に現われるが、浮遊期の生態については知られていない²⁾。

この様に、本種は1年を通して底質と密着した生活を送る底質依存型の魚種であり¹⁰⁾、泥質干潟の指標性が期待できる。

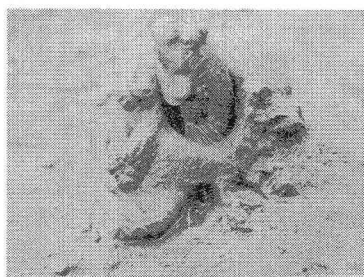


写真-2 多摩川河口域の泥質干潟のトビハゼ

(2) 生息巣穴

トビハゼは干潟の泥中に深さ20～30cmの巣穴をつくる。巣穴は、泥を口にくわえそれを吐き出す行動をくり返すことによって掘られていく。そのため、巣穴の周りにはトビハゼが吐き出した長さ1cmほどの泥粒が多数堆積しているのが観察できる (写真-

2)。巣穴内は干潟が干出した時も干潟表面からわずかに下がったところまで水で満ちている¹¹⁾。

巣穴には活動期につくられる標準型、クレーター型、越冬期につくられるチムニー型の3つのタイプがある (図-1) ことが知られている¹¹⁾。

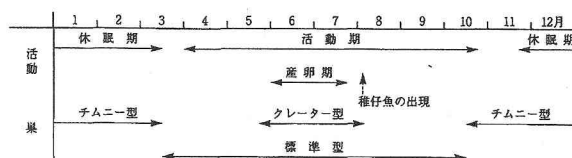


図-1 江戸川放水路のトビハゼの活動と巣の形状¹¹⁾

標準型とよばれる巣穴には、産卵期につくられる産卵巣穴とそれ以外に2大別される。産卵巣穴とは産卵期に成熟雄がつくる巣穴のことで、そこに成熟雌を誘導して産卵活動を行う。巣穴の形状は、干潟表面に1～2個の出入口を持ち、これが地下でつながったほぼ垂直の坑道とその末端が上方へ屈曲した産卵室からなり、JもしくはYJ型をなす (図-2A, B)。巣穴は最深部が干潟表面から約30cm程度で、産卵室の高さは約10cmである。一方、産卵期以外の巣穴とは外敵や夏の暑さを避けるためにつくる巣穴のことで、形状は出入口が2個の産卵巣穴から産卵室を取り除いたようなY型をなしている (図-2C)。

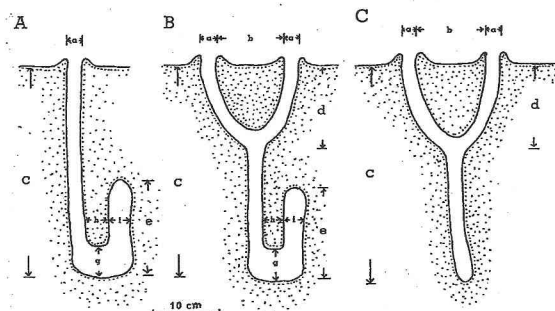


図-2 トビハゼの生息巣穴断面⁹⁾

3. 多摩川河口域の干潟調査

(1) 調査内容

干潟調査は、多摩川河口域の泥質干潟におけるトビハゼの生息状況とその条件を明らかにすることを目的として行った。調査項目は、干潟周辺の地盤高、干潟の表層底質、底生生物の分布、トビハゼの生息数および産卵巣穴数、底質の鉛直構造である。

(2) 調査干潟

多摩川河口域の干潟は、河口より2.5kmの大師橋周辺から下流にかけて位置する。調査は、大師橋周辺から下流側に続く大規模なヨシ群落に湾入する形で存在する干潟 (河口より約2.0km) を対象として行った。図-3に調査干潟における調査測線、地点、区域ならびに地盤高コンターを示す。

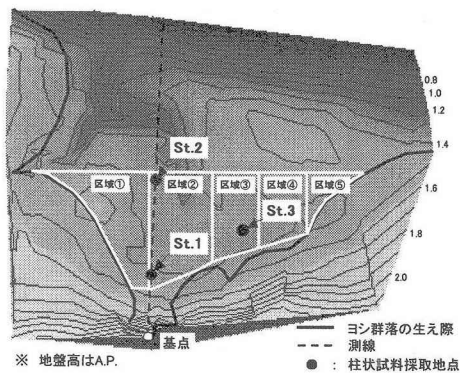


図-3 調査測線、地点、区域ならびに地盤高

(3) 干潟の地形と生物分布

干潟の全体地形は、湾入した干潟をヨシ群落が囲み、河川の主流域に面する前面にはほぼ同じ空間スケールの中洲が存在する。また干潟には微地形としてミオスジ、タイドプール等があり、底生生物の巣穴が多数存在する。

2003年6月の2日間に干潟の底生生物の分布調査として定点観察を行った。図-4は観察結果を示したものであり、干潟上にはトビハゼ、ヤマトオサガニ、チゴガニ、アシハラガニ等の生息が確認された。トビハゼの生息域は、堤防法尻の一部を除き干潟全域に分布するヤマトオサガニの生息域と重複していた。

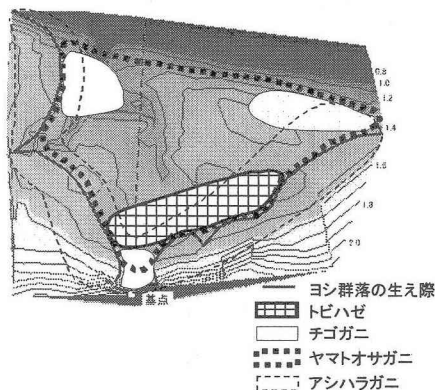


図-4 底生生物分布

(4) 地盤高と底質

干潟周辺の地盤高の測定は、2002年12月、2003年5～6月に3回の測量を行った。また2003年6月に表層5cmの底質を採取し、表層底質の含水率・粒径分布の分析を行った。採取地点は、測線（図-3）上の地点で堤防法尻の基点から10m間隔の10地点である。図-5に干潟の測線上における地盤高と底質の調査結果を示す。

干潟の地盤高は、ヨシ群落に囲まれた中央部に広い平坦部（勾配1/1800）があり、基点より80m以降において河川の主流域に向かって急勾配（勾配1/25）になる。また河川の主流域側の一部には、周囲より地盤高の10cm程度高いマウンドが存在した。

干潟の底質は、干潟内の地点によって異なってい

た。特に基点から20～40mの地点ではシルト分以下の細粒分が多く高含水率である軟泥が多く堆積し、その地点より河川の主流域側に向かって軟泥の堆積は減少する。軟泥が多く堆積する地点は、底生生物の分布調査におけるトビハゼの生息域の分布（図-4）と概ね一致することがわかった。つまりトビハゼはこの軟泥の堆積地域に多く生息しており、その生息域はヨシ群落と平行して横に広がっている。

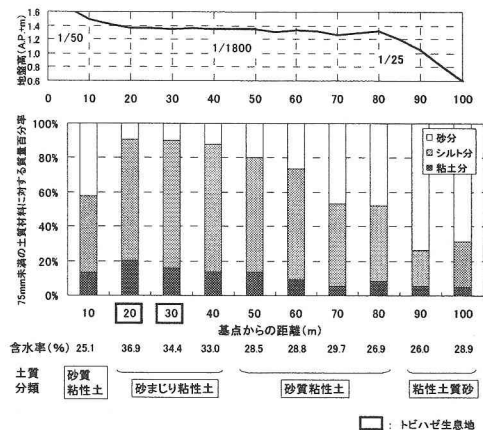


図-5 地盤高と底質

(5) トビハゼの生息数および産卵巣穴数

トビハゼの生息数調査は、2003年10月に干潟上でトビハゼ個体を目視計数する方法で行った。その結果、生息数は288個体であった。しかしながら、トビハゼは動きのある生物であるため、このような調査では正確に個体数を把握するのは難しいと思われる。また、今回の調査時期が活動期と越冬期の端境期に行われたために、計数できたトビハゼ個体が実数に比べて少ない可能性があると考えられる。そのため、トビハゼの生息調査はトビハゼの産卵期の巣穴を計数する代替方法を用いることとし、1999年～2003年の毎年8月に行われた産卵巣穴調査結果（柵瀬らの調査、未公表）を引用し、その計数結果について考察を加える（表-1）。

産卵巣穴数は1999年を除いて概ね一定した数で推移していることから、トビハゼが安定して生息し増殖していることがわかった。また、表-2に干潟内の区域（図-3）毎に示した2003年度の巣穴調査結果を示す。結果より、産卵巣穴数は生息域内で区域により大きく違いがあり、特にヨシ群落際のタイドプールがある区域に多いことが確認された。

巣穴密度とは巣穴数を調査干潟におけるトビハゼの生息域面積（約2,500m²）で割ったもので、調査干潟の巣穴密度は平均0.06（0.01-0.14）個/m²であった。これは、東京湾最大のトビハゼ生息地である江戸川放水路で1999年に実施された同様の調査結果³⁾より計算した江戸川放水路全体での平均0.02（0.02-0.09）個/m²の巣穴密度の約3倍に相当する。また、トビハゼの生息数が多いとされる有明海諫早湾の本明川河口域での調査結果⁴⁾で示された平均巣穴密度0.37個/m²に比べると、平均では約1/6と小さ

いが区域毎の最大巣穴密度で見ると約1/3となる。
 今回の調査干潟は、全体では有明海諫早湾に比べて生息密度が低いが局所的にはそれに匹敵する巣穴密度であることがわかった。また、東京湾内では江戸川放水路に比べて生息面積は少ないが生息密度が高いことが確認された。

表-1 トビハゼの産卵巣穴調査結果

調査年度	産卵巣穴数 (個)	巣穴密度 (個/m ²)
1999	53	0.02
2000	191	0.08
2001	186	0.07
2002	177	0.07
2003	134	0.05
平均	147	0.06

表-2 区域毎の産卵巣穴調査結果 (2003年度)

	生息面積 (m ²)	産卵巣穴数 (個)	巣穴密度 (個/m ²)
区域①	716	10	0.01
区域②	735	21	0.03
区域③	456	22	0.05
区域④	376	52	0.14
区域⑤	210	29	0.14
区域計	2,493	134	0.05

(6) 干潟の鉛直構造と堆積環境

a) 底質

干潟の深さ方向の底質分析は、2004年2月にst. 1～3 (図-3) の3地点にてバイブレーションコアサンプラー (径10cm長さ200cm, 日本ミクニヤ株) を用いて柱状試料を採取して行った。分析項目は、底質の含水率、粒径分布、強熱減量である。なお採取した柱状試料は、表層60cmまでは5cm間隔に、60cm以降は20cm間隔に分割して分析に供した。

図-6にst. 1～3の深さ方向の粒径分布 (シルト分以下の割合) と地形の関係について示す。結果より、シルト分以下の割合が85%以上である細粒分が多い軟泥は、主に基点から20～40mの地点に表層から35～60cmの深さで堆積していた。またこの軟泥の含水率は概ね32～40%であった。これらは、この干潟内で特にこの地点に軟泥が表層から厚く堆積していることを示しており、トビハゼの生息場として巣穴の形成を可能にしていると考えられる。

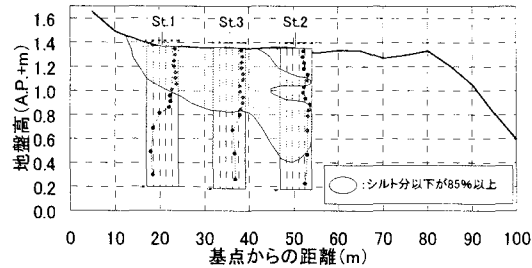


図-6 深さ方向の粒径分布 (st. 1～3) と地盤高

図-7にst. 2, 3の深さ方向の強熱減量結果について示す。結果より、表層15cmまではst. 2 (トビハゼ非生息域) が3.9～4.2%に対してst. 3 (トビハゼ生息域) が5.1～5.7%と高い値を示し、一方20cm以降は

30cm付近と55cm付近でピークを示すなどほぼ同じ傾向を示した。これは、トビハゼの生息域と非生息域では表層15cmまでの底質が大きく異なり、生息域の方が表層にシルト分以下の軟泥が堆積していると同時に有機物含量が多いことを示している。それゆえ、特に表層15cmまでの底質の違いがトビハゼの生息域と非生息域を分ける要因の1つであると思われる。

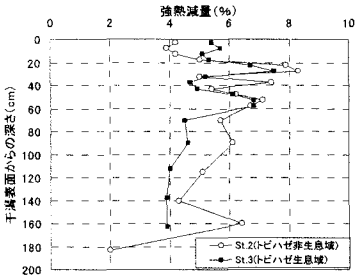


図-7 深さ方向の強熱減量 (st. 2, 3)

b) 間隙水

干潟底質中の間隙水の採取は、2004年3月にst. 3 (図-3) にて行った。底質をカーボネイト製パイプ (径10cm長さ150cm) に採取した後、直ちに採水を行い分析に供した。採水はコア全体を圧縮し、上層5cmが1cm毎に、15cmまでは2.5cm毎に、30cmまでは5cm毎に、以下10cm毎にシリンジ採水し、0.22μmのフィルターを用いてろ過した。間隙水の分析項目は、NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, 塩分濃度である。

図-8に深さ方向の間隙水の分析結果を示す。NO₂⁻, NO₃⁻は表層で高く、それ以深では10, 30cm付近でピークを示すが深さと共に減少している。一方、NH₄⁺は表層を除いて15cmまでは微増しており、それ以深25～30cmの深さで低下している。また、この低下部位とNO₂⁻, NO₃⁻のピークは概ね一致した。これは、巣穴の存在する底質中の無機態窒素の垂直分布¹⁴⁾と同様の傾向を示しており、採取地点において巣穴が底質に影響を与えているものと思われる。また詳細に見ると、30cm付近のNO₃⁻のピークは硝化の促進による増加のためと推測される。この硝化に必要な酸素の供給源としては、巣穴底部からとヨシの地下茎からの可能性が考えられるが、現時点では明らかでない。

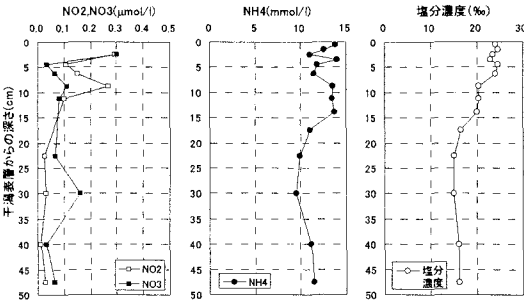


図-8 深さ方向の間隙水分析結果 (st. 3)

4. トビハゼの生息条件

トビハゼの生息条件については、江戸川放水路での柵瀬らの研究⁵⁾により明らかにされている。しかし、これらは江戸川放水路のトビハゼの生息条件をまとめたものであることから、ここでは東京湾奥部全体での生息条件を比較検討し、トビハゼの生息条件を明らかにする。

対象生息地は、今回調査を行った多摩川河口域の干潟と東京湾奥部の生息地で比較的情報がある江戸川放水路、東京港野鳥公園である。また参考として諫早湾の本明川河口についても示す。表-3に各干潟におけるトビハゼの生息条件について比較したものを示す。これらより、トビハゼの最適な生息条件をまとめると以下のとおりとなる。

- ①周辺環境：干潟の周囲に干潟に来襲する風波を防ぐような遮蔽物（橋脚、中洲、マウンド、ヨシ群落等）があること。これにより、泥が堆積し易く流出し難い環境であり泥質干潟を維持する。
- ②地形条件：勾配は平坦に近く、地盤高は東京湾奥部において110～160cmの範囲で潮間帯の中では比較的干出時間の長い高潮帯であること。
- ③微地形：底生生物の巣穴が多数存在し、巣穴の作成により出来たと思われる小さな凸凹がある。この凸凹に水が溜まったタイドプールや浅いミオスジが点在していること。
- ④植 生：背後および周囲にヨシ群落があること。これは、潮が満ちてきた時や外敵が来た時のトビハゼの逃げ場となる。
- ⑤水 質：汽水域であること。但し塩分に対しては適応性が広い（4～24‰）。
- ⑥底 質：含水率が35%以上の保水性のよい軟泥が巣穴形成を可能にしている。

さらに底質について詳細に検討すると、多摩川河口域と江戸川放水路で軟泥の性質は多少相違する。その要因を探るために底質の含水率とシルト分以下の割合の関係について比較した（図-9）。その結果、

トビハゼ生息域の底質含水率は概ね35%以上で一致したが、シルト分以下の割合は各干潟で異なる傾向（江戸川50～70%、多摩川85～90%）を示した。これらが前述した生息密度の違いに影響を及ぼしているものとすれば、シルト分以下の割合が多いほど生息密度が高くなる傾向があるものと推測される。

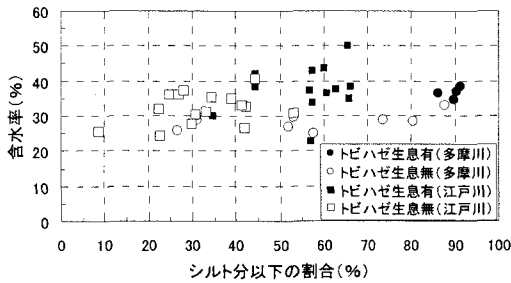


図-9 干潟底質の含水率と粒径の関係

5. 泥質干潟の評価指標

ここでは泥質干潟を創出・保全する際に、その干潟がトビハゼ生息地として健全かどうかを評価する指標について提案する。そのための評価指標としてバイオタベーション量を挙げる。バイオタベーションとは、底生動物が底質中を移動し、巣穴を形成し、また堆積物や底質を食べ糞として排泄する等の底質に対する作用のことを一般にいう。その作用は大きく5つに分けられている¹⁴⁾が、その中でも巣穴を形成することにともなう底質の質的变化に着目する。

(1) 泥質干潟の評価指標

泥質干潟には底生生物の巣穴が多数存在することから、従来の生物量に加え、泥質干潟の評価法として巣穴を指標とする方法が考えられる。試みに、今回報告したトビハゼの巣穴を指標化するために、一

表-3 各地のトビハゼの生息条件

地 域		東京湾湾奥部			諫早湾
干 潟 名		多摩川河口域	江戸川放水路	東京港野鳥公園 潮入の池	本明川河口
所 在 地		神奈川県川崎市	千葉県市川市	東京都品川区	長崎県諫早市
位置概要		河口から約2km 川崎大師橋を挟んで両岸に位置	河口から約3km 新行徳橋を中心にして東西両岸に位置	2ヵ所の水門から潮汐により海水が流通する人工の潟湖干潟	河口から約1km付近 不知火橋のすぐ上流の左岸域
地形	周辺	前面に中洲	上流に橋脚	外海から遮断	両岸に護岸用の石垣
	植生	背後にヨシ群落	周囲にヨシ群落 (背後と一部前面)	周囲にヨシ群落(植栽)	なし(背後に3m幅の径30～40cmの礎石有)
	微地形	浅いミオスジ、タイドプール	浅いミオスジ、タイドプール	ミオスジを造成	中央部にミオスジ
	地盤高	140cm程度	110～160cm (平均潮位から10～20cm程度高い)	120～140cm付近	大潮の干潮時に約70mの幅で干出
水質	勾配	1/1800	1/200～250程度	—	—
	水温	24～27℃ (7月)	8～37℃	—	—
	塩分	4～10‰ (7月)	15～25‰	—	—
	栄養塩	—	—	—	—
底質	溶解酸素	—	3.41ppm	—	—
	地温 (深さ10cm)	—	8～26℃	—	2.2～33.4℃
	粒径分布	シルト分以下が85%以上	シルト分以下が50%以上	—	—
	含水率	35～40%	35～50%	—	素足で歩くと膝まで埋まる軟泥
トビハゼ	堆積深さ	5.1～5.4%	2.1～4.9%	—	—
	酸化還元電位	—	-188mV	—	—
	堆積深さ	35～60cm (シルト分以下が85%以上)	20cm以上	—	—
	生息域面積	約2,500m ²	西岸7,550m ² 東岸15,100m ²	—	—
トビハゼ	巣穴密度	平均0.06個/m ² (0.01-0.14)	平均0.02個/m ² (0.02-0.09)	—	平均0.37個/m ²
	巣穴分布	ヨシ群落際のタイドプールの付近に多い	人工干潟では消波用の蛇かゴ背面に集中	—	干潟上の浅いミオスジの付近に多い
	個体数	288	—	20-30	—
	参考文献	本調査結果	2) 5) 13)	7) 12)	4) 9)

定面積の巣穴数（巣穴密度）に巣穴体積を掛け合わせ、それを深さ30cm（巣穴深さ平均）までの底泥体積で割った値をバイオタベーション量と定義して算出し、評価する。

(2) トビハゼの巣穴体積

トビハゼの巣穴の大きさについては、有明海の3ヵ所の干潟にて1971年6～7月のトビハゼの産卵期に行われた巣穴の径、長さ等の測定結果¹⁰⁾がある。その測定結果をもとに巣穴体積を概算すると、平均385 (246-486) cm³/巣穴であった。また、多摩川河口域の干潟にて産卵期が終わり冬眠期まであと1ヶ月程となる2002年9月下旬に、見学会で採取されたトビハゼの巣穴型（写真-3）の体積を測定すると約420cm³/巣穴となり、ほぼ同様な結果であった。

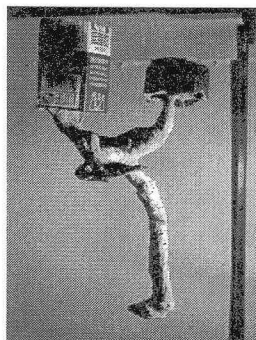


写真-3 採取した巣穴型

(3) バイオタベーション量

多摩川河口域の干潟における面積1m²当りのトビハゼのバイオタベーション量は、(2)の結果より400cm³と仮定すると、前述した巣穴の計数結果より以下のように計算される。

巣穴密度×巣穴体積/底泥体積

$$= 0.01-0.14 \text{ (個/m}^2\text{)} \times 400 \text{ (cm}^3\text{)} / 300,000 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$= 1.33 \times 10^{-5} - 1.86 \times 10^{-4} \text{ (/m}^2\text{)}$$

これは、泥質干潟として健全性が高いと思われる本明川河口域での調査結果⁴⁾による計算結果4.93×10⁻⁴ (/m²) に比べ小さい。しかしながら、東京湾奥部において、比較的高い生息密度でトビハゼ個体群が維持されている多摩川河口域の干潟の値として、東京湾奥部におけるトビハゼ生息地の再生や保全を考える上で、当面の目標値になるものと思われる。

6. おわりに

本研究では、巣穴を形成するトビハゼの特性を踏まえた上で東京湾奥部のトビハゼの生息条件の調査・整理を行い、泥質干潟の底質を中心にトビハゼの生物生息条件について明らかにした。また泥質干潟の評価指標についても提案を行った。巣穴の計数は比較的簡易であることから、慣れると市民にも簡単にできる調査であると思われる。本提案が、今後泥質干潟を創出する際のモニタリング手法の一助と

なれば幸いである。

謝辞：本研究の遂行にあたりデータの一部は国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所、鹿島建設技術研究所の柵瀬信夫氏、東亜建設工業技術研究所よりご提供を賜った。また、調査・見学会の実施にあたりご指導頂いた神奈川県水産総合研究所の工藤孝浩氏、東邦大学理学部の木下今日子氏、見学会の際に便宜を図って頂いた国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所、太田区立郷土博物館、東京港野鳥公園、そして見学会に参加して頂いた市民の方々のご協力に対し、ここに記して関係各位に謝意を表する。最後に、本研究における見学会は財団法人とうきゅう環境浄化財団の助成（「多摩川河口干潟におけるトビハゼの生息環境に関する調査研究-泥質干潟形成との関連性について-」：代表五明美智男）により行われたものである。ここに付記し謝意を表する。

参考文献

- 1) 石松 惇, 吉田 雄, 糸岐直子, 鳥羽敦史, 竹田達右：トビハゼ・ムツゴロウの再生産と空気の利用, 月刊海洋, Vol. 35/No. 4, pp. 222-225, 2003.
- 2) 日本水産資源保護協会：日本の希少な野生水生生物に関する基礎資料（Ⅲ）トビハゼ, pp. 136-141, 1998.
- 3) 仲里裕子：トビハゼとミナミトビハゼの繁殖、遺伝, 54巻11号, pp. 44-49, 2000.
- 4) 的場 実, 道津善衛：有明海産トビハゼの産卵前行動, 長崎大学水産学部研究報告, 43, pp. 23-33, 1977.
- 5) 柵瀬信夫, 中村華子, 林 文慶, 越川義功, 金子謙一：江戸川放水路トビハゼ生息干潟の特性, 海洋開発論文集, 第16巻, pp. 357-362, 2000.
- 6) 木村賢史, 西村 修, 太田祐司, 三嶋義人, 柴田則夫, 稲森悠平, 須藤隆一：人工海浜造成後の魚類、鳥類、水辺植生の遷移に関する研究, 土木学会論文集, No. 720/VII-25, pp. 15-25, 2002.
- 7) 中瀬浩太, 林 英子：埋立地に造成した人工干潟の環境変化と環境管理 東京港野鳥公園の事例, 海洋開発論文集, 第18巻, pp. 31-36, 2002.
- 8) 伊東 宏, 石原 元, 近 磯晴, 瀬能 宏：多摩川河口干潟におけるトビハゼの出現, 神奈川自然誌資料, (20), pp. 39-43, 1999.
- 9) 小林知吉, 道津善衛, 田北 徹：有明海産トビハゼの巣について, 長崎大学水産学部研究報告, 32, pp. 27-40, 1971.
- 10) 征矢野清：有明海泥干潟域における環境エストロゲン汚染, 海洋と生物, 144, pp. 15-20, 2003.
- 11) (財)千葉県史料研究財団編：千葉県の自然誌, 本編6 千葉県の動物1, 陸と淡水の動物, 県史シリーズ45, 2002.
- 12) 中瀬浩太, 林 英子：市民参加による人工干潟の環境管理, 日本沿岸域学会研究討論会2000講演概要集No. 13, pp. 14-17, 2000.
- 13) 柵瀬信夫, 鈴木信洋, 萩原清司, 北島洋二：干潟の生態に関する研究（その1）, 鹿島技術研究所年報第39号, pp. 335-342, 1991.
- 14) 栗原 康編：河口・沿岸域の生態とエコテクノロジー, 東海大学出版会, pp. 65-77, 1988.