

都市河川河口域の底生動物と底質環境との関係

石井 裕一 和波 一夫 木瀬 晴美* 安藤 晴夫

(*非常勤研究員)

要 旨

沿岸浅海域における底生動物に関する基礎的情報の収集を目的とし、東京湾への流入河川の河口域および近隣の運河において調査を実施し、底生動物の種数、個体数、多様度および均衡度と底質に関するいくつかの環境因子との関係を検討した。調査対象とした水域では、生息する底生動物の種数が多いほど、それら全体の個体数も多くなる有意な相関関係が認められた。底生動物の種数と湿重量との関係を見ると、禁漁水域は他の水域に比べて種数に対して湿重量が多く、底生動物の棲息量に対する人為的な攪乱の影響が示唆された。各調査地点の多様度指数・均衡性指数を比較すると、いずれも地盤高の高い地点や下水処理水放流口直近の地点が低い傾向であった。重回帰分析の結果、多様度指数および均衡性指数は酸揮発性硫黄化合物 (AVS) 含有量が少ないほど高い値を示すことが確認された。

キーワード：底生生物、底質環境、多様度指数、都市河川河口部

Relationships between benthic species and sediment conditions in urban estuaries

ISHII Yuichi, WANAMI Kazuo, KISE Harumi*, ANDO Haruo

(*Associate researcher)

Summary

The species number, population, biomass, diversity index and evenness index of benthic species at river estuaries and canal in Tokyo bay were examined for obtainment of basic information concerning benthic species in shallow coastal area. The relationships between those biological indexes and some environmental factors on bottom sediment were investigated. A significant correlation between species number and population of benthic species was demonstrated. In the preserve area, the ratio of biomass to species number was high compared with other survived waters. It was suggested that the influence of an artificial disturbance on benthic species biomass could not be disregarded. The diversity and evenness indexes were low levels at high altitude sites and/or near of treated sewage discharging point. It was demonstrated by multiple linear regression analysis that the diversity index and evenness index were high value at lower AVS site.

Key Words : benthic species, sediment conditions, diversity index, urban estuaries

1 はじめに

集水域に人口密集地域を抱える東京湾内湾では様々な水質改善対策がなされているが、赤潮や青潮が頻発するなど、顕著な改善傾向は認められない¹⁾。また高水温期には底層を中心に貧酸素・無酸素水塊が形成され²⁾、底生生物の生息環境も依然として厳しい状況が継続している^{3, 4)}。しかしながら内湾部であっても、沿岸の浅瀬や干潟、河口域などは比較的生物相は豊かであり、レクリエーションや水質浄化など生態系サービスを提供している^{5~7)}。こうした都市域の浅瀬や干潟、河口域などは、生態系保全や生物多様性など様々な観点から研究が実施されている^{8~13)}。

東京都では2012年度に生物多様性地域戦略が策定され、生物多様性の保全に向けた様々な取り組みがなされている。東京湾においては、これまで内湾部を中心に詳

細な水質および底質調査が実施され¹⁾、環境因子と生息生物との関係性が検討されているが⁴⁾、沿岸の浅瀬や干潟、河口域についてはデータの蓄積は多くはない。また沿岸域や河口域は波浪や出水による環境変化が大きい場所であり^{14, 15)}、時空間的に詳細な調査が必要と考えられる。

本研究では、沿岸浅海域における生息生物、特に底生動物に関する基礎的情報の収集を目的とし、東京湾への流入河川の河口域および近隣の運河において調査を実施し、結果を整理した。併せて底質に関するいくつかの環境因子を計測し、底生動物の種数、個体数、多様度および均衡性との関係を検討した。

2 方法

本調査は2011年9月から2012年3月までの期間に、

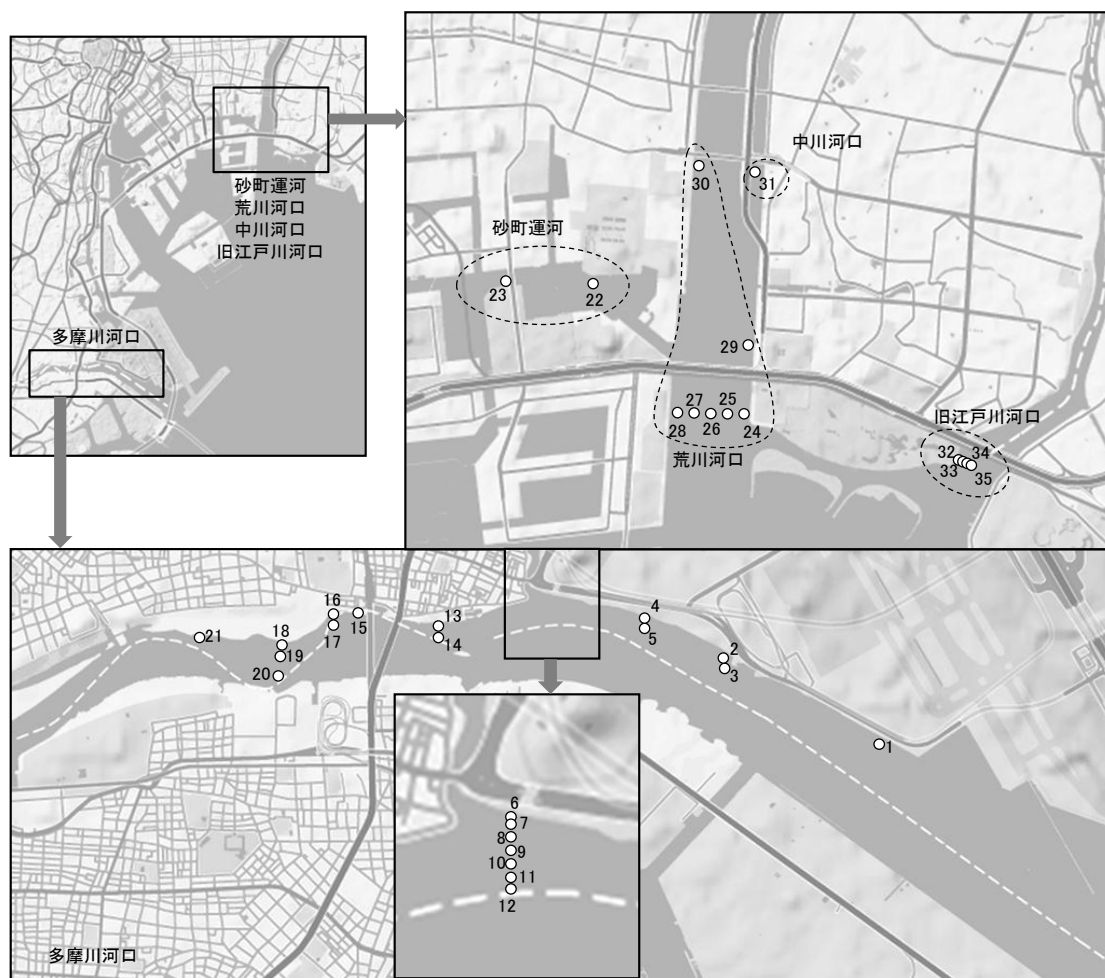


図1 調査地点図

2 ヶ月に 1 回の頻度で実施した。調査地として、図 1 に示す 5 ヶ所の水域を選定した。各水域内に合計 35 地点（多摩川河口：21 地点（St.1～St.21）、砂町運河：2 地点（St.22、St.23）、荒川河口：7 地点（St.24～St.30）、中川河口：1 地点（St.31）、旧江戸川河口：4 地点（St.32～St.35））の調査地点を設け、底生動物試料および底泥試料の採取、底生動物の同定・計数および底質試料分析を行った。底生動物の採取は調査船上からエクスマンバー型採泥器（0.15m×0.15m=0.0225m²）を用いて行った。調査船

の進入が困難な浅瀬や干出している地点では上陸し、ハンドスコップを用いて採泥器と同面積の底泥を深さ 10cm まで採取した。各地点において 3 回底泥を採取し、3 回分の混合試料（0.0225m²×3 回 = 0.0675m²）を 1mm メッシュのふるいで選別した。ふるい上に残った底生動物試料はホルマリン溶液で固定し、実験室に持ち帰り種同定および計数を行った。

毎回の調査で得られた各地点における種数および個体数の同定・計数結果から、Shannon-Wiener の多様度指

表 1 各調査地点における出現種数（種 / 0.0675m²）および総個体数（個体 / 0.0675m²）一覧

水域	地点名	St. No.	9月		11月		1月		3月	
			種数	総個体数	種数	個体数	種数	個体数	種数	個体数
多摩川	1	1	8	47	9	12	5	9	8	33
	2-1	2	10	67	6	10	11	87	14	76
	2-2	3	9	106	11	579	18	100	17	78
	3-1	4	5	28	9	52	19	1,059	17	101
	3-2	5	6	20	14	42	18	142	16	123
	4-1	6	5	33	7	20	11	147	10	46
	4-2	7	2	5	0	0	6	35	6	18
	4-3	8	3	72	8	121	9	195	15	317
	4-4	9	4	19	14	140	21	285	17	255
	4-5	10	6	34	19	111	21	290	14	130
	4-6	11	7	77	18	323	23	583	18	266
	4-7	12	5	41	5	8	8	88	7	28
	5-1	13	2	46	11	134	13	610	11	90
	5-2	14	8	46	19	189	19	181	13	115
	7	15	3	41	6	43	10	434	9	62
	8-1	16	3	32	7	84	13	680	12	100
	8-2	17	4	6	8	35	15	141	15	120
	9-1	18	2	6	8	53	11	184	9	30
	9-2	19	6	6	10	248	12	275	11	83
	9-3	20	6	125	7	66	13	496	10	224
	10	21	4	12	3	5	12	375	12	115
砂町運河	1	22	0	0	3	3	2	9	4	67
	2	23	0	0	4	26	8	57	18	99
荒川	1-1	24	6	35	17	164	16	548	22	1,361
	1-2	25	4	11	9	68	19	1,189	18	1,633
	1-3	26	2	2	13	202	19	551	21	786
	1-4	27	3	58	17	198	22	491	21	378
	1-5	28	6	22	13	59	16	391	24	365
	3	29	2	7	13	187	20	922	23	877
	4	30	3	7	18	119	16	251	16	206
中川	1	31	8	152	7	68	12	142	14	261
旧江戸川	2-1	32	6	46	12	25	8	30	12	157
	2-2	33	5	12	14	173	8	130	18	306
	2-3	34	7	33	9	47	9	113	12	110
	2-4	35	3	19	9	97	13	296	18	405

数 (H')¹⁶⁾、Simpson の優占度指数 (λ)¹⁷⁾ および Pielou の均衡性指数 (J')¹⁸⁾ をそれぞれ次式により算出した。

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \quad p_i = n_i/N$$

$$\lambda = \sum_{i=1}^S \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

$$J' = H' / H'_{max} \quad H'_{max} = \log_2 S$$

ここで、 N 、 i および S は、それぞれ各調査地点で採取された底生生物の総個体数、 i 番目の種の個体数および種数である。また Simpson の優占度指数については、本報では Murawski (1996)¹⁹⁾ を参考に λ の逆数 ($1/\lambda$) をとり、これを多様度指数として扱った。 H' は種数の増加と共に大きくなる²⁰⁾ ことから、種の豊富さに重点が置かれた指数であり、 λ は個体数の多い普通種に重点が置かれた指数であることから²¹⁾、その逆数は希少種の影響を大きく受ける。また J' は H' から種数の影響を除き、個体数分布の均一性をみる指数である。

底質試料については底生生物試料と同様の方法で採取し、現地にて泥温を計測した。また底泥の還元状態の指標となる酸化還元電位 (ORP : Oxidation - Reduction Potential) を併せて測定した。採取した底泥試料はスチロール瓶に封入し、冷温状態で実験室に持ち帰った後、有機物量の指標となる強熱減量 (IL : Ignition Loss) および生物対する毒性物質の指標となる酸揮発性硫黄化合物 (AVS : Acid Volatile Sulfides) 含有量を測定した。

3 結果および考察

(1) 出現種数および個体数

各調査地点において採取された底生動物の種数 (種 / 0.0675m^2) および総個体数 (個体 / 0.0675m^2) を表 1 に示す。詳細な出現種については、和波ら (2012)²²⁾ を参照されたい。多摩川河口域では、9 月には 2~10 種、5~125 個体が採取された。最下流に近い St.2 および St.3 は種数・個体数ともに比較的多くなっていた。また St.20 ではヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) が比較的高密度 (115 個体 / 0.0675m^2) で分布していた。11 月以降は種数・個体数共に増加する地点が多く、その範囲は 11 月

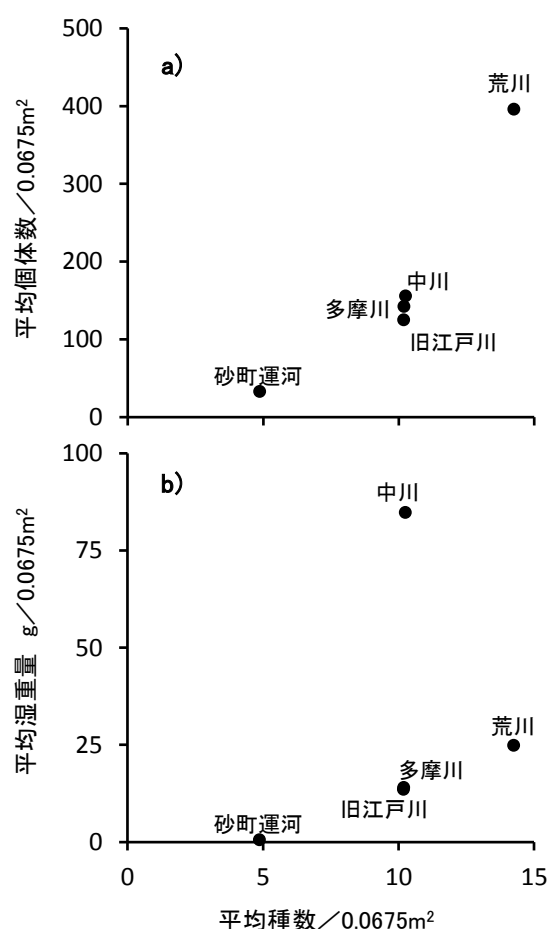


図 2 多摩川河口、砂町運河、荒川河口、中川河口および旧江戸川河口における底生動物の種数と a) 個体数、b) 湿重量との関係

には 0~19 種・0~579 個体、1 月には 5~23 種・9~1,059 個体、3 月には 6~18 種・18~317 個体であった。他の地点に比べ地盤高の高い St.7 は 11 月には底生動物は出現しなかった。また 1 月には St.4 でヤマトスピオ (*Prionospio (Minuspio) japonica*) が 824 個体 / 0.0675m^2 と比較的多く出現し、総個体数を押し上げていた。砂町運河の 2 地点は 9 月は底生動物は出現しなかった。11 月以降はイトゴカイ科 (*Capitella capitata*) を中心に種数・個体数が若干増加し、11 月には 3~4 種・3~26 個体、1 月には 2~8 種・9~57 個体、3 月には 4~18 種・67~99 個体であった。荒川河口では 9 月には 2~6 種・2~58 個体、11 月には 9~18 種・59~202 個体、1 月には 16~22 種・251~1,189 個体、3 月には 16~24 種・206~1,633 個体であった。荒川河口水域における総個体数の増加は、ヤマトスピオおよびホソエリタスピオ

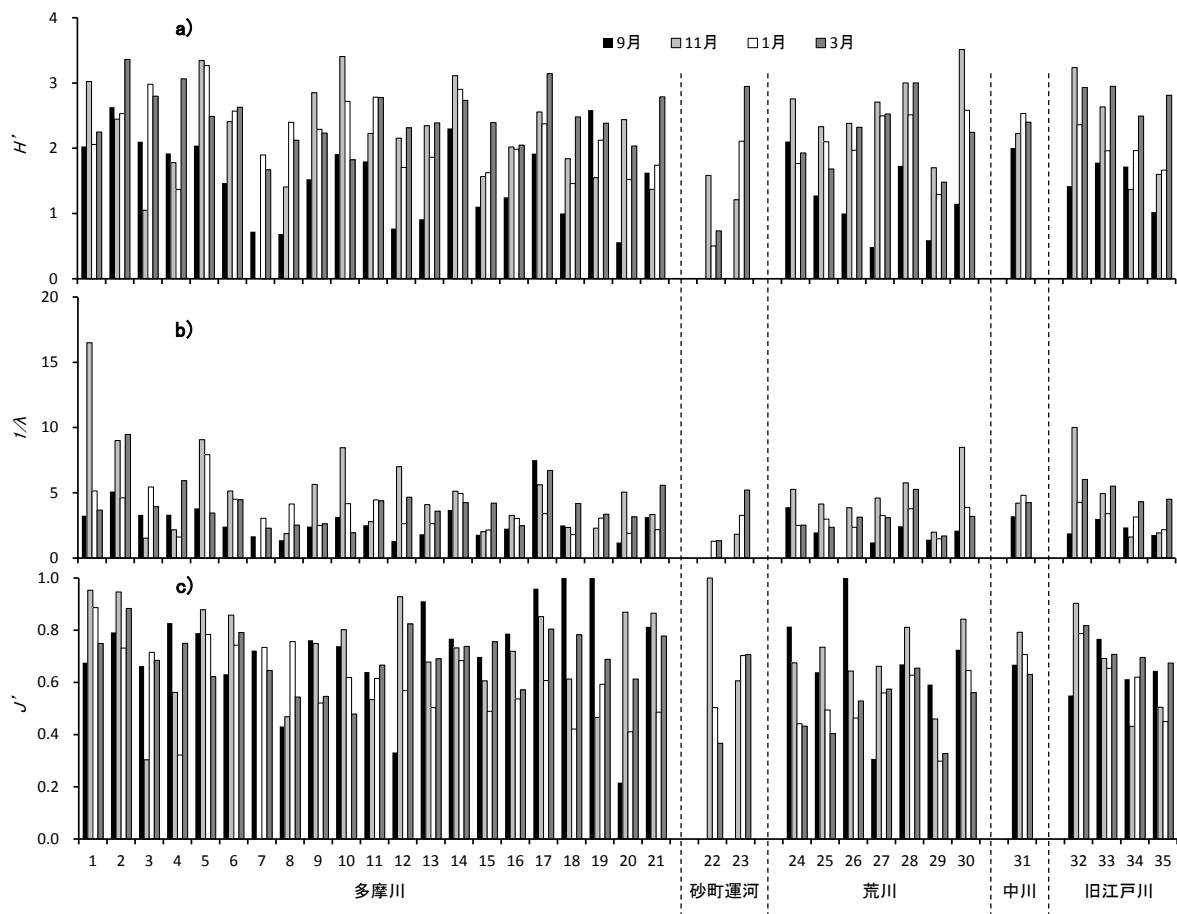


図3 各調査地点における a) Shannon-Wiener の多様度指数 (H')、b) Simpson の多様度指数 ($1/\lambda$) および c) Pielou の均衡性指数 (J')

(*Streblospio benedicti japonica*) の2種の増加の寄与が大きかった。中川河口は、9月には8種・152個体、11月には7種・68個体、1月には12種・142個体、3月には14種・261個体であり、ヤマトシジミの個体数が多いのが特徴的であった。旧江戸川河口は9月には3~7種・12~46個体、11月には9~14種・25~173個体、1月には8~13種・30~296個体、3月には12~18種・110~405個体であった。St.33ではホトトギスガイ (*Musculista senhousia*)、St.35ではアサリ (*Ruditapes philippinarum*) が総個体数の増減に影響していた。

本調査で採取された底生動物の種数と個体数および湿重量との関係を図2に示す。それぞれのデータは水域ごとの平均値として図示した。図2a)に示すように、平均種数と平均個体数との関係には強い正の相関が認められた ($r=0.91$, $p<0.05$)。調査対象とした5つの水域では、荒川河口が平均種数・平均個体数ともに最も多

く、多摩川河口、中川河口および旧江戸川河口が中程度、平均種数・平均個体数が最も少ないのは砂町運河であった。この結果から、出現種数が多い水域ほど、生息する底生動物の個体数が多いことが確認された。一方、湿重量との関係をみてみると、中川河口域では、他の水域に比べ出現種数に対して生息する底生動物の湿重量が大きく、全体として有意な相関関係は認められなかった。古賀ら (2005)²³⁾ は、南西諸島から北海道に至る国内10ヶ所の干潟において出現種数と湿重量との関係を検討し、種数が多い干潟ほど湿重量が大きいという有意な正の相関関係があることを報告している。中川河口域の底生動物の湿重量は、毎回の調査においてその大部分をヤマトシジミが占めていた (98.0~99.5%)。中川河口域は川幅が狭く、安全性の観点からシジミ漁の禁漁水域となっており、他の水域と比べ人為的攪乱が少ない水域である。この攪乱強度の違いが底生生物の湿重量に影響し

ている可能性が考えられた。

(2) 多様度指数および均衡性指数の算出

本調査で得られた種数および個体数に関する結果から算出した Shannon-Wiener の多様度指数 (H')、Simpson の多様度指数 ($1/\lambda$) および Pielou の均衡性指数 (J') を図 3 に示す。多様度指数 H' は全体として夏季に小さく、秋季以降増加する傾向であった。多摩川河口域では、21 地点の平均値は 9 月は 1.56 (最低値: 0.56 ~ 最高値: 2.63)、11 月は 2.14 (0.00 ~ 3.41)、1 月は 2.20 (1.37 ~ 3.27)、3 月は 2.47 (1.67 ~ 3.36) であった。多摩川河口域内で地盤高が比較的高い St.7 や St.8 は多様度指数 H' は低い傾向であった。砂町運河では、9 月は St.22、St.23 の両地点で生物は採取されず H' は 0、11 月は St.22 が 1.58、St.23 が 1.21、1 月は St.22 が 0.50、St.23 が 2.11、3 月は St.22 が 0.73、St.23 が 2.95 であり、下水処理水放流口に近い St.22 で特に低い値であった。荒川河口域では、7 地点の平均値は 9 月は 1.19 (0.49 ~ 2.10)、11 月は 2.63 (1.70 ~ 3.51)、1 月は 2.10 (1.29 ~ 2.58)、3 月は 2.17 (1.48 ~ 3.00) であり、砂町運河と同様に下水処理水放流口の直近地点である St.29 は水域内の他の地点よりも低い傾向であった。中川河口域では、9 月は 2.00、11 月は 2.22、1 月は 2.53、3 月は 2.40 であり、他の水域に比べ季節変動は小さかった。旧江戸川河口域では、4 地点の平均値は 9 月は 1.49 (1.02 ~ 1.78)、11 月は 2.21 (1.37 ~ 3.24)、1 月は 1.99 (1.66 ~ 2.36)、3 月は 2.80 (2.49 ~ 2.95) であった。多様度指数 $1/\lambda$ については、多様度指数 H' とほぼ同様の傾向であり、多様度指数 H' との相関係数は $r = 0.77$ ($p < 0.01$) と有意な正の相関関係が認められた。均衡性指数 J' についても多様度指数 H' と有意な相関関係が認められた ($r = 0.59$, $p < 0.01$)

(3) 底泥中の ORP、IL および AVS と多様度との関係

各調査地点における底泥中の ORP、IL および AVS を図 4 に示す。各データは水域ごとの平均値として図示した。ORP の平均値は、多摩川河口および旧江戸川では正の値であったが、砂町運河、荒川河口および中川河口の 3 水域では負の値であった。特に砂町運河が還元度合が強く、調査期間を通じて常に負の値となっていた。IL および AVS については、ORP が正の値であった 2 水域で低く、負の値であった 3 水域で高い傾向が確認された。ORP、IL および AVS のそれぞれの関係は図 5 に示すとおりで、いずれも有意な相関関係が認められた。泥

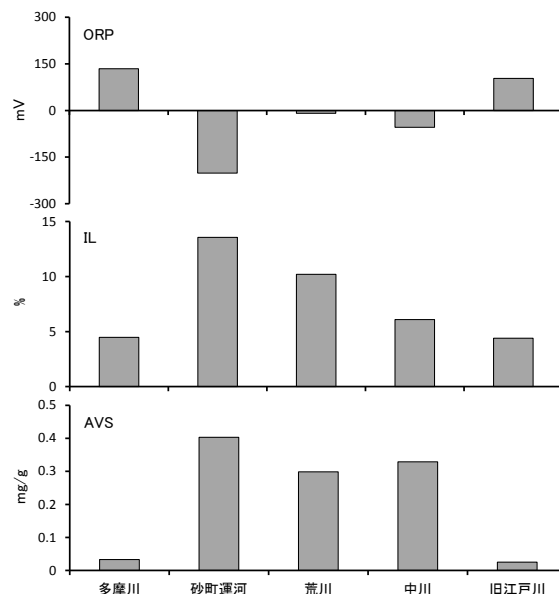


図 4 各水域における底泥中の ORP、IL および AVS の比較

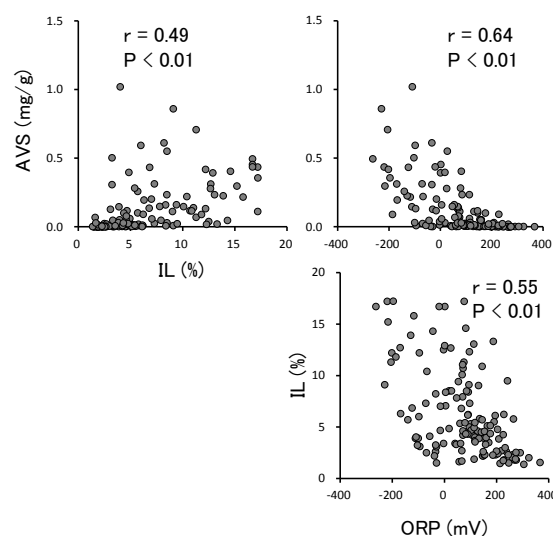


図 5 ORP、IL および AVS の相関

表 2 底泥環境と種数、個体数、多様度指数および均衡性指数の重回帰分析結果

	R^2	定数項	係数		P値	
			AVS	泥温	AVS	泥温
S	0.41	21.0	3.70	-0.71	—	<0.01
N	0.24	480	332	-22.0	<0.01	<0.01
H'	0.21	3.04	-0.73	-0.06	<0.05	<0.01
$1/\lambda$	0.04	4.58	-2.21	-0.04	<0.05	—
J'	0.10	0.59	-0.23	0.01	<0.01	<0.05

温については、ここでは図示しないが、地点間で明確な差異はなく、35 地点の平均値で 9 月は 22.5℃、11 月は 17.2℃、1 月は 9.9℃、3 月は 10.9℃であった。また ORP、IL および AVS のそれぞれと有意な相関関係は認められなかった。

毎回の調査で採取された底生動物の種数 S 、個体数 N 、Shannon-Wiener の多様度指数 H' 、Simpson の多様度指数 $1/\lambda$ および Pielou の均衡性指数 J' について、底質に関する環境因子の中で互いの相関関係が小さかった AVS と泥温を説明変数とし、それぞれ重回帰分析を行った。その結果、種数 S 、個体数 N 、多様度指数 H' および均衡性指数 J' について有意な重回帰式が推定された。重回帰分析の結果を表 2 に示す。種数 S については泥温のみが、個体数 N については AVS と泥温の両方が有意な説明変数となっていた。個体数 N については AVS の係数の符号は正であった。荒川河口域では AVS 含有量の多い地点で、ヤマトスピオやホソエリタテスピオなどのスピオ科が高密度で生息しており、これらスピオ科の個体数が影響しているものと考えられた。多様度指数 H' および均衡性指数 J' については、いずれも AVS と泥温の両方が有意な説明変数となっていた。AVS の係数の符号はいずれも負であり、AVS 含有量が少ない地点ほど生物の多様度や均衡性が高いと推定された。また H' 、 J' 共に泥温と有意な相関が認められたが、それぞれの係数の符号は異なっていた。これは低水温期には種数・個体数ともに増加し多様度は上昇するが、スピオ科など大量発生する個体群の影響により均衡性が低下するものと推察された。

4 まとめ

複数の都市河川河口部において底生動物の生息状況に関する調査を行い、その多様度および均衡性を比較した。さらにそれらと環境因子との関係を検討した。得られた知見は以下のようにまとめられる。

- (1) 調査対象とした水域では、生息する底生動物の種数が多いほど、それら全体の個体数も多くなる有意な相関関係が認められた。
- (2) 底生動物の種数と湿重量との関係をみると、禁漁区域である中川河口域は他の水域に比べて種数に対して湿重量が多く、人為的な攪乱強度の違いが生息する底生動物の湿重量に影響する可能性が示唆された。

(3) 各調査地点の多様度指数および均衡性指数を比較すると、いずれの指数も地盤高の高い地点や下水処理水放流口直近の地点が低くなる傾向を示した。

(4) 底質に関する環境因子を説明変数とし重回帰分析を行った結果、多様度指数および均衡性指数は AVS 含有量が少ないほど高い値を示すことが確認された。

謝 辞

本研究の遂行に際し、国環研と地環研とのⅡ型共同研究「藻場・干潟等浅海域と陸水域の生態系機能評価と生息環境修復に関する研究（平成 24 年度～）」において有益な討議をさせていただいた。ここに記し関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 安藤晴夫、柏木宣久、二宮勝幸、小倉久子、川井利雄：1980 年以降の東京湾の水質汚濁状況の変遷について— 公共用水域水質測定データによる東京湾水質の長期変動解析—、東京都環境科学研究所年報 2005、pp.141-150 (2005)
- 2) 木村賢史、西村修、川井利雄、稲森悠平、秋山章男、須藤隆一：東京都内湾の底層水域環境と底生動物との関係、日本水環境学会誌、20、pp.411-418 (1997)
- 3) 松川康夫、張成年、片山知史、神尾光一郎：我が国のアサリ漁獲量激減の要因について、日本水産学会誌、74、pp.137-143 (2008)
- 4) 安藤晴夫、川井 利雄：東京都内湾における底生生物生息状況の解析結果について、東京都環境科学研究所年報 2007、pp.77-84 (2007)
- 5) 木村賢史、鈴木伸治、西村修、稲森悠平、須藤隆一：葛西人工海浜における生物生息環境の不安定化に係わる環境因子の検討、土木学会論文集、664、pp.55-63 (2000)
- 6) 小林達明、野田泰一、鈴木奈津子、稲田陽介、清水良憲、桑原茜、高橋輝昌：東京湾の自然渚・人工渚における底生動物群集のハビタット分析、日本緑化学会誌、29、pp.62-67 (2003)
- 7) 青木茂、柳内健、水野佑亮、岡本研、日野明德：東京湾内湾における人工および天然干潟の二枚貝相とその生態系サービス、日本水産学会誌、77、pp.606-615 (2011)

- 8) 中川原将之、渡辺泰徳：多摩川河口干潟における底質とヤマトシジミの分布(予報)、地球環境研究、9、pp.25-30 (2007)
- 9) 新保裕美、田中昌宏、池谷毅、林文慶：干潟における生物生息環境の定量的評価に関する研究－多毛類を対象として－、海岸工学論文集、48、pp.1321-1325 (2001)
- 10) 田中ゆう子、岡村知忠、岩本裕之、鈴木秀男：東京湾の護岸部における小規模な生物生息場の創出に関する研究、海岸工学論文集、51、pp.1206-1210 (2004)
- 11) 西栄二郎、田中克彦：多摩川河口川崎側の干潟における底生動物相、神奈川自然誌資料、27、pp.77-80 (2006)
- 12) 小林弘明、永山恵、岩渕美香：多摩川河口干潟の生物及び底質調査結果 (2010 年度)、川崎市公害研究所年報、38、pp.83-92 (2011)
- 13) 上原直子、石井彰：山下公園前海域における水質改善実験－2008 年度から 2009 年度まで－、横浜市環境科学研究所所報、36、pp.17-21 (2012)
- 14) 内山雄介：冬期の東京湾盤洲干潟における浮遊砂生成機構および短期地形変動について、土木学会論文集、677、II -55、pp.129-140 (2001)
- 15) 有路隆一、八木宏、灘岡和夫、中川康之、小川浩史、下迫健一郎、木村俊介：東京湾多摩川河口周辺域における底質環境の時空間変動特性、土木学会論文集 B2、66、pp.446-450 (2010)
- 16) Margalef D.R. : Information theory in ecology、Gen. Syst、3、pp.36-71 (1958)
- 17) Simpson E.H. : Measurement of diversity、Nature、163、p.688 (1949)
- 18) Pielou E.C. : An introduction to mathematical ecology、John Wiley & Sons. Inc. (1969)
- 19) Murawski S.A. : Factors Influencing By-catch and Discard Rates: Analyses from Multispecies/Multifishery Sea Sampling、J. Northw. Atl. Fish. Sci.、19、pp.31-39 (1996)
- 20) Krebs C. J. : Ecological methodology, 2nd edn.、Addison Wesley Longman、p.624 (1999)
- 21) Odum E.P. 著、三島次郎訳：基礎生態学、培風館、pp.455 (1991)
- 22) 和波一夫、石井裕一、安藤晴夫：都内河口域の水生物調査結果、東京都環境科学研究所年報 2012、pp.77-84 (2012)
- 23) 古賀庸憲、佐竹潔、矢部徹：マクロベントス相における種の豊富さ、現存量、多様度指数、絶滅危惧種を用いた干潟の評価、保全生態学研究、10、pp.35-45 (2005)