

米代川に於ける底生動物の生息状況と 物理・化学的環境要素との関係について

Relationship between benthos habitat conditions
and physical-chemical attributes in Yoneshiro River

堺 茂樹¹・川又正徳²・水野伸一³・笹本 誠⁴・赤川正一⁵・野崎 一⁵

Shigeki SAKAI, Masanori KAWAMATA, Shin-ichi MIZUNO,
Makoto SASAMOTO, Shouichi AKAGAWA, Hajime NOZAKI

¹正会員 工博 岩手大学助教授 工学部 建設環境工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田四丁目 3-5)

²学生会員 岩手大学大学院 工学研究科 建設環境工学専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田四丁目 3-5)

³学生会員 岩手大学大学院 工学研究科 生産開発工学専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田四丁目 3-5)

⁴正会員 岩手大学技官 工学部 建設環境工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田四丁目 3-5)

⁵正会員 建設省 東北地方建設局 能代工事事務所 (〒016-0802 秋田県能代市川反町 9-3)

Field investigations were carried out to study the habitat conditions of benthos in Yoneshiro River basin. At the same time, physical-chemical attributes were also measured. Family number of benthos was not so different in each station, but total population in branches was larger than that in main stream. The importance and effectiveness of using families was examined by field data, and some diversity indices were examined. To develop prediction models of benthos diversity indices, which are total population, family number, Shannon's diversity index and Simpson's, multiple regression analysis was carried out. The accuracy of prediction is poor for the population in the case with each family, but good for the family diversity in the case with all families.

Keywords: benthos, family, prediction model, multiple regression analysis, diversity

1. はじめに

近年、生態系の保全に対する関心が高まり、河川においても安全性の確保のみならず、良好な河川環境の保全・創出が求められている。治水・利水・環境の三者を満足するための多自然型工法も全国的に普及してきている。しかし、河川の物理的あるいは化学的環境は河川毎に特有なものであり、それに対応して河川生態系も各河川に固有なものとなる。したがって、各種工事に於いて選定される工法は各河川毎に固有な生態系と調和する必要がある。生態系との調和とは、単に工事による生態系への影響を最小限にすることに止まらず、現在では現状よりも良好な生息環境を創出することを意味している。各河川に於ける最適な工法を選定するためには、河川全

域の生物生息状況を把握する必要がある。さらに、工事による物理的環境変化の生物生息状況に対する影響を予測するためには、各河川の物理・化学的環境と生物生息状況との相関を明らかにしておくことが重要である。

本研究では、米代川水系における現地観測及び資料解析・重回帰分析による底生動物の生息状況と物理・化学的環境との関係について検討を行い、これらの環境要素の変化から底生動物の生息状況の変化を予測する手法について検討を行うものである。

2. 現地観測

(1) 対象流域

観測の対象とした米代川は、秋田県北部に位置し、流域面積 4100km²、幹線流路延長 136km を有し、全流域

面積のうち山地が 88%、平地が 12%を占めている 1 級河川である。現在の水質は極めて良好であるが、かつては環境基準を上回る鉛が河川水中に検出された時期（昭和 48 年）があり、これは上流部に多く存在する鉱山あるいは鉱山跡からの排水が原因であったことから、排水のパイプライン化などの対策が講じられた。これにより、水質は大幅に改善され、平成 9 年度に測定された BOD の年平均値で見た場合、東北地方の 1 級河川 12 水系中、第 3 位の清流となっている。水質が良好であることから、河川生態系の多様性も保たれており、全国的に見た場合はもちろんのこと、自然が多く残されている東北地方の他の河川に比べても、自然豊かな河川のひとつである。

(2) 観測地点

米代川には「河川水辺の国勢調査」の観測地点が 12 地点あり、過去に行われた「河川水辺の国勢調査」の調査結果との比較を可能とするため、本研究でも同一の地点で観測を行った。ただし、観測地点 1 は汽水域にあり、河床が砂泥底であるため、生物相及びその採集方法が他の地点と異なることから、本調査では除外した。また、河川形態が特徴的である地点、あるいは底生動物の生息に関して重要と思われる地点を本川及び支川から 7 地点を選定し、図-1 に示す観測地点 2～19 の計 18 地点で現地観測を行った。

現地観測は、1998 年 10 月・12 月、1999 年 3 月・6 月・10 月・12 月、2000 年 6 月の 7 回行った。

(3) 底生動物の採集

各観測地点における底生動物の採集は、河川水辺の国勢調査マニュアル（底生動物調査編）¹⁾に基づき、平瀬・早瀬などの流れのある場所と、河岸付近の抽水植物帯などの 2 カ所で行った。平瀬・早瀬では、コドラート付サーバネットを用いて採集を行ったが、この採集方法は「河川水辺の国勢調査」をはじめ、底生動物生息調査では最も一般的なものであり、定量的な比較が可能であるとされている。一方、河岸付近に於ける採集は、瀬に比べて水際の状態が非常に複雑かつ多様であるため、現在のところ採集方法の統一がなされていない。そのため、河岸付近での底生動物の生息状況を定量的に検討した例は少ない。しかし、底生動物の生息場所としての重要性は平瀬・早瀬に劣らず、極めて多様な生物相を形成している上、平瀬・早瀬に生息しないトンボやヨコエビなどの底生動物の生息状況を調べることが出来るため、河川の自然環境や生物の生息について検討する場合には、河岸付近に於ける採集も重要である。本研究の現地観測では、河岸付近の抽水植物帯に於ける採集も瀬に於ける採集と同様、採集回数を統一することにより定量的に比較・検討を行うことが可能であるものとして扱った。

(4) 底生動物の分類

本研究では、採集した底生動物の分類を「科」までとしたが、その理由は以下の通りである。

一般に、底生動物を用いた河川環境の検討を行う場合には、「種」を基本単位として検討を行う。しかし、すべての「種」を同定するには、専門家でなければ非常に困難であり、また多大な時間と費用を必要とする。一方、「科」までの分類は、専門家でなくても、ある程度の専門知識と訓練により分類を行うことが可能であるため、底生動物の調査に費やす時間と費用を節約でき、より多くの事前調査や追跡調査が可能となる。

(5) 環境要素の観測項目

底生動物をはじめ、河川に生息する生物に影響を与えと考えられる物理・化学的環境要素（表-1）について観測を行った。物理的環境要素の観測は、底生動物の採集と同時にを行い、また化学的環境要素は観測時に採取した河川水を用いて測定した。なお、河床材料粒径は河川水辺の国勢調査マニュアル（底生動物調査編）¹⁾に基づき、目視で行った。

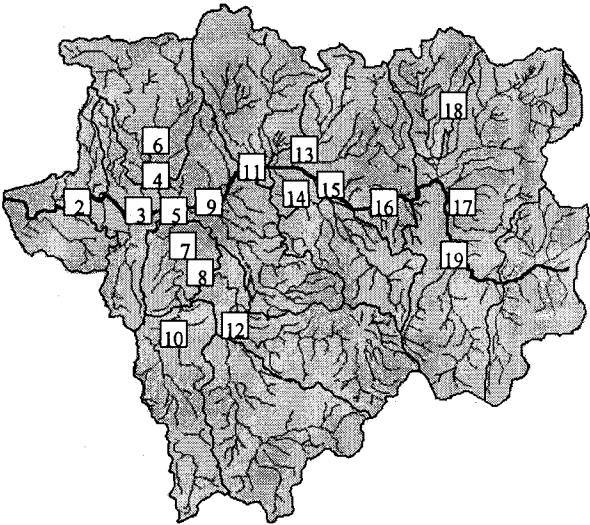


図-1 米代川流域及び観測地点

表-1 観測項目

物理的環境項目	化学的環境項目
水温	硫化物
流速	硝酸性窒素
水深	アンモニア性窒素
河床材料粒径 (最大、最小、優占)	全窒素
底質	全リン
河岸の状況 (抽水植物、護岸等)	溶存酸素
	水素イオン濃度
	電気伝導率
	濁度
	二酸化炭素

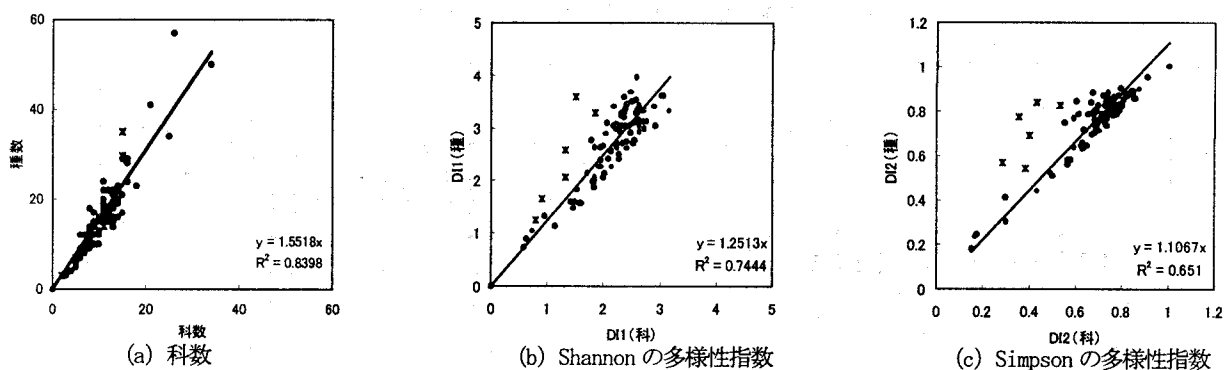


図-2 「種」と「科」とを用いた生物多様性指標の関係

3. 生物多様性指標

表-2 採集した底生動物の一例

底生動物の生息状況を表す指標として、一般に「種数」、「Shannon の多様性指数」²⁾、「Simpson の多様性指数」²⁾ が用いられる。式 (1)、(2) は、それぞれの多様性指数の定義式である。生物多様性指標は「種」の多様性を示す指標であるので、これらを求めるには「種」までの分類が行われていなければならないが、本研究では「科」までの分類としているため、上記のような指標を求めることが出来ない。しかし、式 (1)、(2) 中の種毎の個体数に替え、科毎の個体数とした、いわば「科」の多様性が本来の「種」の多様性と相関があれば、科までの分類からでも多様性を推定することができる。

「河川水辺の国勢調査」では種までの分類が行われていることから、東北地方の日本海側に河口を持つ1級河川である岩木川、雄物川、子吉川、最上川、赤川で実施された「河川水辺の国勢調査」^{3)~7)}での調査成果を用いて、「科」を用いた生物多様性指標と「種」を用いた生物多様性指標との関係を検討した。図-2は、両者の比較を示したものである。それぞれ明瞭な相関が見られ、「科」を用いることで「種」の多様性を概ね予測することができる。なお、図中に*で示したものは、優占する種が存在する地点であることを意味する。この様な地点では、「科」を用いて求める多様性指数が、「種」を用いた多様性指数より小さくなるので注意しなければならない。

$$DI_1 = -\sum (n/N) \log_2(n/N) \quad (1)$$

$$DI_2 = 1 - \sum \frac{n(n-1)}{N(N-1)} \quad (2)$$

DI_1 : Shannon の多様性指数

DI_2 : Simpson の多様性指数

n : 種毎の個体数

N : 総個体数

4. 底生動物の生息状況の把握

平成9年度に行われた米代川の河川水辺の国勢調査では、93 科 218 種の底生動物が採集されている。本研

綱	目	科
ウズムシ	三岐腸	ブラナリア科
貧毛	原始貧毛	イトミミズ科
		ミズミミズ科
ヒル		グロシフォニ科
		イシビル科
腹足	中腹足	カワニナ科
	基眼	サカマキガイ科
甲殻	端脚	ヨコエビ科
	等脚	ミズムシ科
		イソコツブムシ科
	十脚	テナガエビ科
昆虫	蜻蛉	フタオカゲロウ科
		ヒラタカゲロウ科
		コカゲロウ科
		トビロカゲロウ科
		マダラカゲロウ科
		カワカゲロウ科
		モンカゲロウ科
	トンボ	カワトンボ科
		サナエトンボ科
		トンボ科
	カワゲラ	オナシカワゲラ科
		クロカワゲラ科
		アミメカワゲラ科
		カワゲラ科
	広翅	ヘビトンボ科
	トビケラ	ヒゲナガカワトビケラ科
		シマトビケラ科
		ナガレトビケラ科
		ケトビケラ科
	鞘翅	ガムシ科
		ヒラタドロムシ科
	双翅	ガガンボ科
		ブユ科
		ユスリカ科
		ミズアブ科
		アブ科

● 瀬 (本川) ○ 瀬 (支川) ■ 河岸 (本川) □ 河岸 (支川)

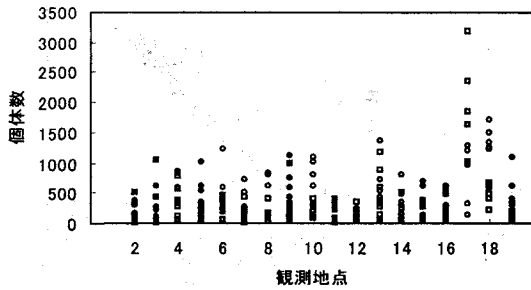


図-3 観測地点毎の個体数

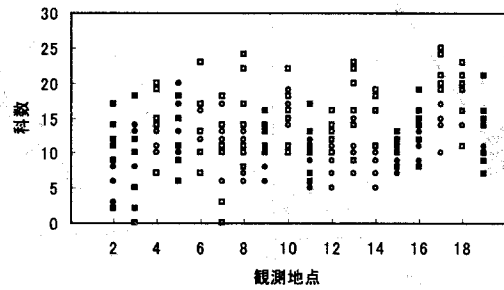


図-4 観測地点毎の科数

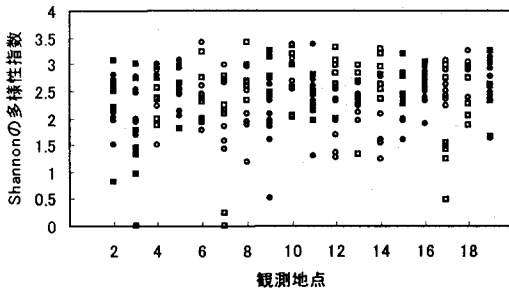


図-5 観測地点毎の
Shannon の多様性指数

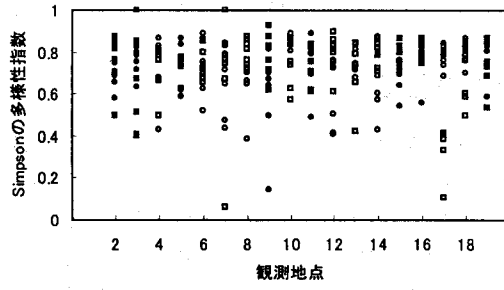


図-6 観測地点毎の
Simpson の多様性指数

表-3 米代川流域における底生動物の
個体数と生物多様性指標

	本川		支川	
	瀬	河岸	瀬	河岸
個体数	250	156	464	509
科数	19.3	24.3	23.6	33.8
Shannon の 多様性指数	2.67	2.51	2.56	1.87
Simpson の 多様性指数	0.80	0.76	0.76	0.74

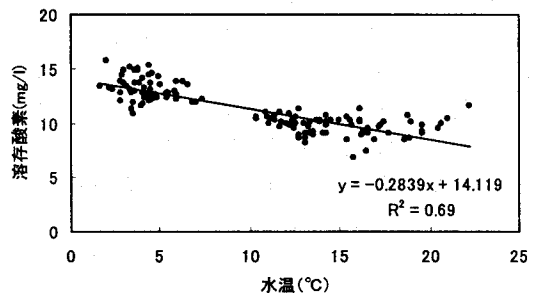


図-7 水温と溶存酸素

究の現地観測で採集された底生動物は、表-2に示した底生動物を含む56科であった。この違いは、河川水辺の国勢調査では定量採集と定性採集が行われているのに対して、本研究での瀬に於ける底生動物の採集を定量採集のみとしているためと考えられる。

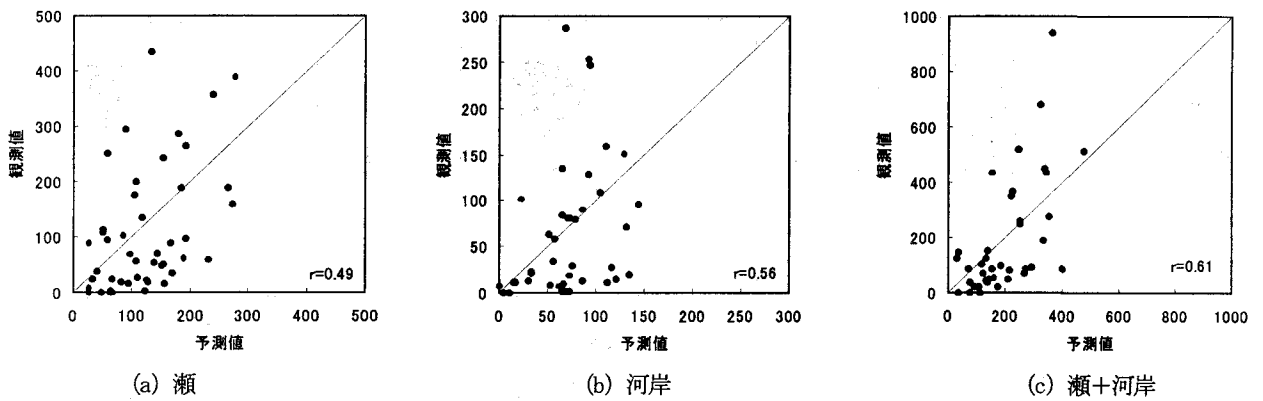
底生動物の生息状況を把握するために観測地点毎の個体数および生物多様性指標を検討した。図-3は、観測地点毎の採集個体数を示しており、河口からの距離に従って左から右へと並べてある。個体数は本川では大きな違いが見られなかったが、本川に比べて支川で採集された個体数の方が多く、上流部にある支川ほどこの傾向は顕著となる。観測地点毎の生物多様性指標を示した図-4、図-5、図-6では、いずれの地点でも高い多様性が見られ、本川と支川との違いなどは見られなかった。また、瀬と河岸の比較では、表-3に示すように、河岸の方が瀬より大きくなっている。このことから、個体数は上流の支川ほど多くなるものの、科数ははじめ多様性指標は全域でほぼ同程度であり、多彩な生物相を構築しているといえる。

5. 重回帰分析

(1) 科毎の個体数

現地観測において多く採集された底生動物の個体数と物理・化学的環境要素との関係について重回帰分析を行った。重回帰分析を行う際、ある要素が他の要素と高い相関を持つ場合には、両者を用いると予測精度が低下するため、一方を除く必要がある。本研究では、図-7に示す水温と溶存酸素との関係以外には相関を持つ環境要素はなかった。米代川に於いて水温と溶存酸素に高い相関がある理由としては、一般に溶存酸素は水温と有機汚濁物質などに依存するが、米代川は有機汚濁物質が少ないため、水温が溶存酸素に対して支配的になったと考えられる。なお、重回帰分析の際は水温を用いた。

また、底生動物を用いて解析を行う際には、底生動物のライフサイクルを考慮する必要がある。特に水生昆虫の羽化は、水中のバイオマスを大きく変動させるため、本研究では米代川に生息する水生昆虫の羽化が集中する4月から10月と、比較的羽化が少ない11月から3月との期間に分けて解析を行った。さらに、瀬、河岸、瀬+



図－8 マダラカゲロウ科の個体数の予測値と観測値（羽化がない期間）

河岸に分けて検討した。このような時期及び観測場所を分けた解析は、ライフサイクルを考慮する上では望ましいことではあるが、一方では個々の重回帰分析でのデータ数が少なくなり、重回帰分析の信頼度が 95%未満の場合もあり、統計学上の厳密さに欠けることは否めない。個体数と物理・化学的環境要素との重回帰分析の結果、いずれの科についても高い相関は得られなかった。図－8 は最も多く採集されたマダラカゲロウ科の個体数の予測値と観測値を示している。予測値とは、 X_1 から X_{15} の観測値と重回帰分析によって算出された偏回帰係数と定数項を用いて式（3）によって求めたものである。重回帰分析の重相関係数が低いため、予測値と観測値の相関が極めて低く、現段階では物理的・科学的環境要素から個体数を予測することは難しいと思われる。

$$Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5 + fX_6 + gX_7 + hX_8 + iX_9 + jX_{10} + kX_{11} + lX_{12} + mX_{13} + nX_{14} + oX_{15} + p \quad (3)$$

- | | |
|-----------------|------------------|
| X_1 : 水温 | X_9 : アンモニア性窒素 |
| X_2 : 流速 | X_{10} : 硫化物 |
| X_3 : 水深 | X_{11} : 全リン |
| X_4 : 水素イオン濃度 | X_{12} : 全窒素 |
| X_5 : 電気伝導率 | X_{13} : 最小粒径 |
| X_6 : 濁度 | X_{14} : 優占粒径 |
| X_7 : 二酸化炭素 | X_{15} : 最大粒径 |
| X_8 : 硝酸性窒素 | |

（2）生物多様性指標

生物多様性指標と物理・化学的環境要素との重回帰分析の結果を示したものが表－4 である。羽化を考慮した場合の重相関係数を見ると、羽化を考慮しない場合に比べ高くなっている。図－9 は羽化を考慮しない場合の予測値と観測値を示し、図－10 は羽化を考慮した場合の予測値と観測値を示している。図－9 の羽化を考慮しない場合に比べ、図－10 の羽化を考慮した場合は予測値と観測値のばらつきは小さくなり相関も高くなることから、底生動物のライフサイクルを考慮することにより予測精度が向上することが明らかになった。特に、Shannon の多様性指数については、最も高い予測精度が得られた。

表－5 の標準回帰係数は、絶対値が大きいほど生物多様性指標に影響を及ぼすことを意味するが、一般的に底生動物の生息に重要であると考えられる水温、流速、濁度が生物の多様性に大きく影響を及ぼしていることが重回帰分析の結果からも示された。さらに、これらを含む環境要素が生物の多様性に与える影響を定量的に評価することが可能となったことから、河川工事などによる環境変化がどのように多様性を変化させるかを予測することが可能となる。ただし、ここで得られた重回帰式は米代川固有のものであり、他の河川に対しては同様な手法による解析が別個必要であり、またこのような手法による予測精度を向上させるためには、今後のデータの蓄積が必要である。

表－4 生物多様性指標についての分析結果（信頼度、重相関係数）

	生物多様性指標	羽化を考慮した場合						羽化を考慮しない場合		
		羽化がある期間			羽化がない期間					
		瀬	河岸	瀬+河岸	瀬	河岸	瀬+河岸	瀬	河岸	瀬+河岸
信頼度	科数	99%	99%	95%	—	—	95%	99%	99%	99%
	Shannonの多様性指数	—	—	99%	95%	99%	99%	95%	99%	99%
	Simpsonの多様性指数	—	—	99%	95%	—	95%	95%	99%	99%
重相関係数	科数	0.71	0.68	0.62	0.62	0.69	0.71	0.51	0.54	0.52
	Shannonの多様性指数	0.57	0.46	0.67	0.72	0.76	0.8	0.48	0.53	0.56
	Simpsonの多様性指数	0.43	0.52	0.69	0.7	0.71	0.72	0.47	0.55	0.58

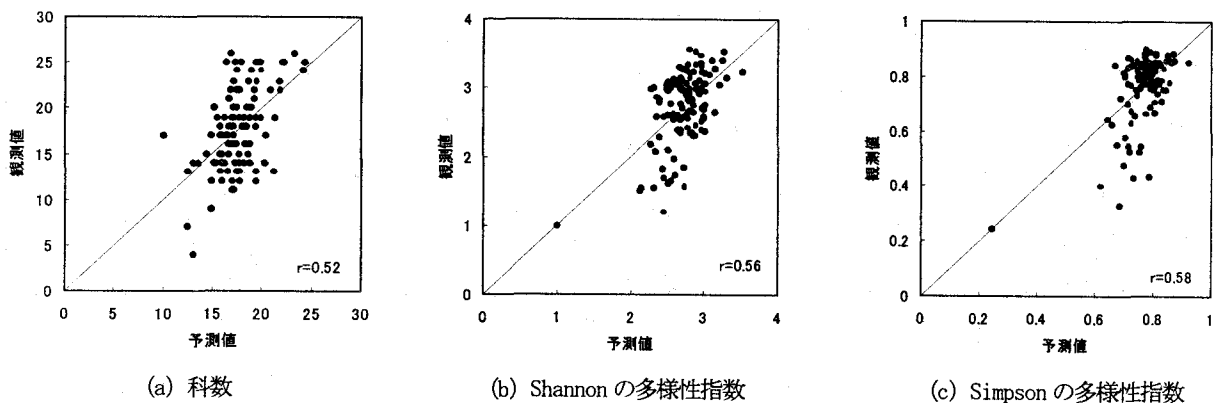


図-9 羽化を考慮しない場合の多様性指数の予測値と観測値（瀬＋河岸）

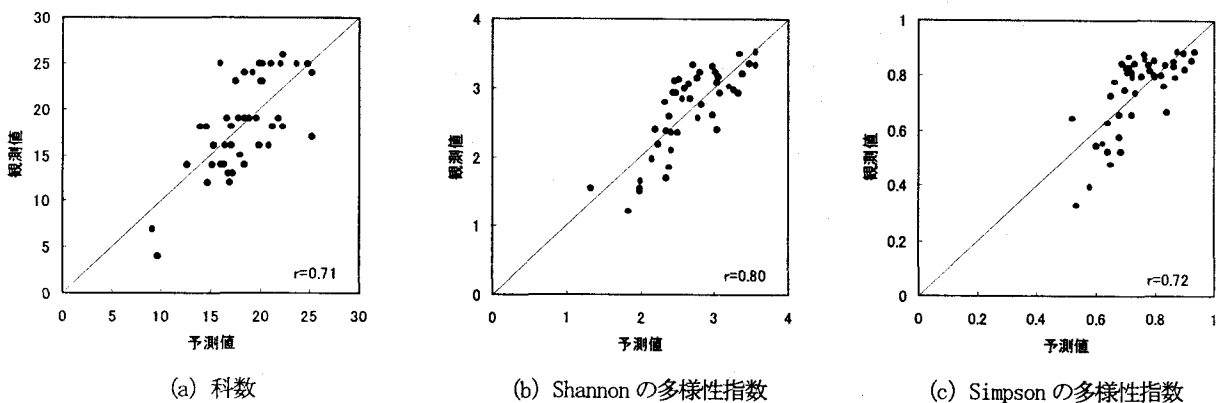


図-10 羽化がない場合の多様性指数の予測値と観測値（瀬＋河岸）

表-5 標準偏回帰係数

	科数			Shannonの多様性指数			Simpsonの多様性指数		
	瀬	河岸	瀬＋河岸	瀬	河岸	瀬＋河岸	瀬	河岸	瀬＋河岸
X_1	-0.205	-0.270	-0.317	0.201	-0.185	-0.003	0.386	-0.091	0.087
X_2	-0.075	0.179	0.182	0.166	-0.073	-0.295	0.153	-0.129	-0.390
X_3	0.073	-0.133	-0.107	0.216	0.157	0.264	0.248	0.200	0.255
X_4	0.002	0.113	0.043	-0.041	-0.138	-0.122	-0.048	-0.156	-0.116
X_5	-0.267	-0.048	-0.144	-0.226	0.140	-0.096	-0.177	0.192	-0.008
X_6	0.153	0.374	0.414	-0.077	0.543	0.310	-0.215	0.462	0.235
X_7	0.034	-0.050	-0.062	0.088	-0.137	0.024	0.058	-0.128	0.043
X_8	0.114	0.163	-0.011	0.069	-0.350	-0.025	0.097	-0.453	-0.050
X_9	0.118	0.219	0.223	-0.057	0.150	0.117	-0.044	0.114	0.122
X_{10}	-0.033	0.073	0.103	-0.005	-0.028	0.104	-0.017	-0.062	0.060
X_{11}	0.170	0.000	0.045	0.039	-0.125	-0.098	0.021	-0.119	-0.091
X_{12}	0.107	-0.032	0.122	0.277	0.130	0.073	0.228	0.191	0.032
X_{13}	0.264	—	0.154	0.129	—	0.063	0.087	—	0.031
X_{14}	-0.003	—	-0.131	-0.006	—	0.066	-0.035	—	0.070
X_{15}	0.165	—	-0.013	0.356	—	0.241	0.355	—	0.214

6. まとめ

本研究成果を要約すると以下のようになる。

- (1) 米代川水系においては、底生動物の科数・個体数は本川より支川の方が多く、また瀬より河岸に底生動物の多様性が確認された。
- (2) 「科」を用いた生物多様性指標（種数、Shannon の多様性指数、Simpson の多様性指数）と「種」を用いた生物多様性指標には明瞭な相関が見ら

れ、「科」を用いることで「種」の多様性を予測できることがわかった。

- (3) 科毎の個体数に関しては、精度の高い予測モデルを提案するには至らなかった。しかし、生物多様性指標、特に Shannon の多様性指数については、物理・化学的環境から生物多様性指標を予測することが可能であることが示された。

参考文献

- 1) 平成7年度河川水辺の国勢調査マニュアル（案）（底生動物編），建設省，1997.
- 2) 森谷清樹：多様性指数による水域環境の生物学的評価，用水と排水，Vol. 18, No. 6, pp729-748, 1976.
- 3) 平成6年度岩木川水辺の国勢調査（底生動物）報告書，建設省，1995.
- 4) 平成7年度雄物川水辺の国勢調査（底生動物）報告書，建設省，1996.
- 5) 平成7年度子吉川水辺の国勢調査（底生動物）報告書，建設省，1996.
- 6) 平成4年度最上川水辺の国勢調査（底生動物）報告書，建設省，1993.
- 7) 平成4年度赤川水辺の国勢調査（底生動物）報告書，建設省，1993.

（2000. 10. 2受付）