〈論 文〉

特定汚染源のない河川の底生動物相による 水環境評価

安 相 沢 治 郎* 嬰* 大 村 達 夫* 海 田 輝 之*
佐 藤 芳 光** 海 藤 剛***

Aquatic Environmental Evaluation by the Benthic Animal Species in the River with Non-point Pollution Source

An YING*, Tatsuo OMURA*, Teriyuki UMITA*, Jiro AIZAWA*,
Yoshimitsu SATO** and Takeshi KAITO***

* Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Iwate University, Ueda 4-3-5, Morioka 020 Japan

** Nihon Suido Consultant Co. Ltd., Ohkubo 2-2-6, Shinjuku-ku, Tokyo 169 Japan

*** Nihon Koei Co. Ltd., Kōjimachi 5-4, Chiyoda-ku, Tokyo 102 Japan

Abstract

The benthic communities in the Oh-kawa river with non-point pollution source were investigated in April and June, 1992, in order to evaluate aquatic environmental conditions. The water quality of the Oh-kawa river was characterized by the low BOD concentration and high concentrations of nutrients such as nitrate nitrogen and phosphorus.

The total recognized species of benthic animals were 56 and 71 in April and June respectively. The dominant species was *Hydropsyche ulmeri* in the upper reaches of the Oh-kawa river and *Antocha* sp. in the lower reaches.

The diversity index on the basis of dry weight was more significant than that on the basis of individual number in examining the structural change of the benthic animal community. The similarity index could be used to judge not only the change of environmental conditions at each sampling station but the stability of the benthic animal community. The pollution index was nearly correlated with water quality parameters such as BOD and so on, but would become the index for the decision of the water quality rank.

Percentages of number and standing crops for *Antocha* sp. were expressed by the function of $\text{NO}_3\text{-N}$ or $\text{PO}_4\text{-P}$ concentration respectively.

Key word: benthic animal, river with non-point pollution source, diversity index, similarity index, pollution index

1. はじめに

水生生物とその生息している水環境とは、作用・反

作用の関係にあって、お互いに影響しあっているのです。水生生物相は、その水環境の汚濁度を推定するための生物学的水質判定にしばしば用いられる。特に水生動

* 岩手大学工学部建設環境工学科 〒020 盛岡市上田 4-3-5

** ㈱日水コン 〒169 東京都新宿区大久保 2-2-6

*** ㈱日本工営 〒102 東京都千代田区麹町 5-4

物のうち底生動物は、体が大型で移動能力が弱いなどの特徴を持っているので、近年、家庭および産業排水の流入による河川水の水質汚濁の評価に底生動物相が利用されるようになった^{1)~3)}。しかしながら、主に農業地によって囲まれている河川における底生動物相、およびその底生動物相と水環境の調査についての報告は少ない。そこで、本研究においては岩手県大川の底生動物相を対象にして、底生動物相による河川の水環境評価を明らかにした。

2. 調査方法

2.1 調査地点および、流域の概要

大川は岩手県の南部の山地に源を発し、隣接する宮城県気仙沼市を貫流して気仙沼湾に注ぐ流程約27kmの河川である。

Fig. 1 Sketch map of the sampling stations

調査地点は5カ所であり、河口から約24km上流の柄勺田橋 (St. 1) と約12km上流の上前木橋 (St. 5) との間である (Fig. 1)。Fig. 1 に示した調査地点の流域では、人口、耕地および小規模な工場などは本川沿いに集中しているが、どちらかといえば第1次産業を中心とした農業地域となっている。

1991.6~1992.1月までに実施した水質および汚濁負荷量調査によれば、BOD 負荷量は家畜による負荷量が最も大きく、次に人口、山林、農地、工場、観光の順となった (Table 1)。すなわち家畜、家庭、農業および食品加工場からの排水が調査流域における汚染源となっている。

調査地点の St. 3 においては、支流の田茂木川からの影響を避けるために St. 3 の採集地点を6月では田茂木川との合流点より本川の上流方向に30m移動した。

2.2 底生動物調査方法

調査は1992年4月28日、6月26日に実施した。底生動物の採集については、各調査地点とも平瀬の石礫底で、水深約0.16~0.36m、流速約0.33~0.84m・s⁻¹の範囲にあり、0.5m×0.5mのコードラードのついたサーバーネット (38メッシュ・inch⁻²) を用いて、各地点で2回ずつ、合計0.5m²の面積で採集した。採集方法は、サーバーネットの枠内の石を静かに手で取り上げて、バケツに移し、岸に運び、ピンセットで石の表面に存在している底生動物を採集した。その後、石の表面を筆で洗い、水を入れたバケツあるいはバッドの中に付着物を採集した。また、コードラード内に残っている小石や砂などは手ですくい上げて、水流を利用して、できるだけネットの中に流し込むようにした。小さい石と砂はそのままネットから出して、水の入ったバケツに入れ、よく攪拌したあと、サーバーネットでこし、この操作を底生動物が採集できなくなるまで繰り返した。採集した標本は、5~10%のホルマリン溶液で固定した。採集した底生動物は実験室で実体顕微鏡を用

Table 1 BOD loading

	Basin 1	Basin 2	Basin 3	Basin 4	Total
Human	18870.2	24499.1	8654.6	15556.6	65547.5
Sightseer	0.0	1201.7	1201.6	0.0	2403.3
Industry	1075.2	1041.7	32.9	7182.0	9331.8
Livestock	65597.8	180660.4	89775.4	84884.4	420918.0
Agriculture	4043.8	3270.3	1888.6	3270.3	12473.0
Forest	9082.3	5601.7	6961.3	10061.2	31706.5
Total	98669.3	216241.9	108512.4	110839.6	544380.1

(kg/year)

いて、できるだけ種まで同定し、底生動物が蛹となっている場合の同定は科までとしたが、科までの同定もできない場合は、目までとしそれぞれ一種とした。*Baetis* spp. の場合は *Baetis sahoensis* および分類できた種を除いて残ったものを *Baetis* spp. として取り扱った。Chironomidae は種までの同定は困難であるので、緑色 (G-Type) と赤色 (R-Type) に区別し取り扱った。同定方法は主として津田⁴⁾、河田⁵⁾および上野⁶⁾に従って行い、カゲロウ (蜉蝣) 目 (Ephemeroptera) と毛翅目 (Trichoptera) の一部は川合⁷⁾、柴谷⁸⁾に従った。

同定した底生動物は種別ごとに個体数を計数した。その後、80°C 24時間乾燥し、デシケーター中に放冷後、電子天秤で各種の乾燥重量を測定し、各種の現存量とした。

2.3 生物学的水質評価法

生物学的水質評価法については多くの方法が提案され、それぞれの有効性について論じられてきている^{9)~11)}。本研究の考察においては、以下の指数を用いることとする。

(1) 群集組成での Shannon の Diversity Index (DI)⁹⁾

$$DI_{(N)} = -\sum (n_i/N) \log_2 (n_i/N)$$

$$DI_{(W)} = -\sum (w_i/W) \log_2 (w_i/W)$$

n_i , w_i : 個々の種の個体数および、乾燥重量 (mg)

N , W : 総個体数および、総乾燥重量 (mg)

(2) 群集構成での Simpson-McIntosh の Diversity Index (DI)¹⁰⁾

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

n_i , N : 個々の種の個体数および、総個体数

(3) 群集類似度指数 (C_λ)¹¹⁾

$$C_\lambda = \frac{2 \sum_{i=1}^N n_{1i} \times n_{2i}}{(\lambda_1 + \lambda_2) N_1 \times N_2}$$

$$\lambda_i = \frac{\sum_{i=1}^N n_{1i}(n_{1i}-1)}{N_1(N_1-1)}$$

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^N n_{2i}(n_{2i}-1)}{N_2(N_2-1)}$$

N_1 , N_2 : それぞれの標本の総個体数

n_{1i} , n_{2i} : それぞれの標本中の個々の種の個体数

(4) 汚濁耐忍種指数 (I)¹⁾

$$I = (t/s)/(T/S)$$

t : 各地点汚濁耐忍種数

s : 各地点の種数

T : 全地点汚濁耐忍種数

S : 全地点の種数

(5) 汚水生物体系での汚濁指数 Pollution Index; PI (N)³⁾

$$PI = \frac{\sum (S \times n_i)}{\sum N}$$

S : 汚濁階級指数

n_i : 指標種の個体数

N : 指標種の総個体数

os 指標種 (oligosaprobic) には $S=1$

β ms 指標種 (β -mesosaprobic) $S=2$

α ms 指標種 (α -mesosaprobic) $S=3$

ps 指標種 (polysaprobic) $S=4$

2.4 理化学的水質測定方法

採水は底生動物の採集と同時にを行った。なお、理化学的水質測定方法には、以下のように、BOD (ウィンクラー-アジ化ナトリウム変法¹²⁾)、 $\text{NH}_4\text{-N}$ (フェノール・次亜塩素酸法¹³⁾)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、(N-(1-ナフチル)エチレンジアミン・スルファニル酸法)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ (Cd-Cu還元後、 $\text{NO}_2\text{-N}$ として測定)、 $\text{PO}_4\text{-P}$ (アスコルビン酸法¹⁴⁾)、T-P (過硫酸分解後¹⁴⁾)、アスコルビン酸法)、TOC (SHIMAZU TOC-5000) をそれぞれ用いた。

3. 結果および考察

3.1 環境要因

各調査地点の環境要因を Table 2 に示す。調査地点水温は4月では全地点を通じ11.9°C~18.0°Cであるが初夏の6月では全地点を通じ16.5°C~21.1°Cで4月に

Table 2 The environmental factors at each sampling station in April and June when surveys were carried out

	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5	
	April	June	April	June	April	June	April	June	April	June
Air temp(°C)	—	24.0	—	22.5	—	23.8	—	22.0	—	24.5
Water temp(°C)	16.5	21.0	18.0	16.5	17.5	21.1	14.8	20.5	11.9	18.0
Velocity(m/s)	0.44	0.68	0.56	0.84	0.44	0.70	0.33	0.49	0.35	0.37
Depth(m)	0.22	0.25	0.25	0.28	0.16	0.25	0.34	0.36	0.27	0.32
Bottom factor	fist size stone		head size stone		head size stone		sand and stone		sand and stone	

比べると数°C高かった。各調査地点 (St. 1~St. 5) の流速は 4 月はそれぞれ 0.44, 0.56, 0.44, 0.33, 0.35 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) であるが, 2 カ月後の 6 月では, それぞれ 0.68, 0.84, 0.70, 0.49, 0.37 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) であり, 4 月に比べると, すべての地点において流速が増加し, 特に調査流域の上, 中流の St. 1~St. 3 で増加率が高かった。さらに, St. 1~St. 3 の流速は中, 下流の St. 4 と St. 5 に比べて速かった。水深は 4 月は 0.22, 0.25, 0.16, 0.34, 0.27 (m) であるが, 6 月においてはそれぞれ, 0.25, 0.28, 0.25, 0.36, 0.32 (m) であり, 4 月より全地点において水深も深くなった。St. 1~St. 3 では底質は石礫底であり, St. 4 と St. 5 では砂が比較的多い石礫底であった。

3.2 理化学的水質結果

各調査地点の理化学的水質結果を Table 3 に示す。BOD は 6 月の方が 4 月より上流からやや高くなるが, 4 月と 6 月の 2 カ月の BOD 値は A 類型環境基準にほぼ満足し, 有機性汚濁は軽微と考えられる。NO₃-N, T-P および PO₄-P の値が高く, 調査流域内水質の特徴的な点となっている。

3.3 底生動物相

3.3.1 出現種

一例として, 6 月に採集された底生動物のリストを Table 4 に示す。4 月と 6 月で採集された総種数は 95 種で, そのうち, 昆虫綱 86 種, 甲殻綱 1 種, 貧毛綱 4 種, 蛭綱, 線虫綱および渦虫綱それぞれ各 1 種である。4 月, 6 月のどちらの場合も底生動物相は水生昆虫に属する種数が圧倒的に多い。4 月と 6 月のすべての調査地点に共通して採集された種すなわち共通種は 4 種で, それぞれ *Hydropsyche ulmeri*, *Antocha* sp., Chironomidae (G-Type) と *Baetis* spp. である。

次にそれぞれの月ごとに種数を見ると, 4 月においては 5 地点の総種数は 56 種であった。調査流域内の上流の St. 1 と St. 2 で種数は 30~31 と高い値を示したのに対して, 中流の St. 3, St. 4 および下流の St. 5 は

20~22 と低い値となった。そのうち共通種は 8 種であり, Ephemeroptera の *Epeorus latifolium*, *Ephemerella bifurcata*, *Ephemerella rufa* と *Baetis* spp., Trichoptera の *Hydropsychodes brevilineata* と *Hydropsyche ulmeri*, Diptera の *Antocha* sp. と Chironomidae (G-Type) であった。

2 カ月後の 6 月では, 出現種数は 4 月より増加した。特に増加率が高いのは下流の St. 5 で, 4 月の 21 種から 34 種まで増加した。6 月での 5 地点の総種数は 71 種であった。共通種は 8 種で, Ephemeroptera の *Ephemerella setigera* と *Baetis* spp., Trichoptera の *Hydropsyche ulmeri*, Diptera の *Antocha* sp., Eriocera sp. ED と Chironomidae (G-type) と Diptera pupae, Oligochaeta の *Nais* sp. であった。6 月の共通種を見ると, Ephemeroptera の *Epeorus* 属は減少するのに対して, Diptera の種類は増え, 特に汚濁耐忍種としての *Nais* sp. が調査全流域範囲に出現した。4 月と比較すると, 非水生昆虫の種数が 5 種増加し, 主に St. 2 と St. 3 で出現した。

3.3.2 優占構成種と多様性指数 (DI)

調査結果から各採集地点における群集の第 6 位以内優占構成種の個体数およびそれらの相対優占率, 汚濁耐忍性, および水質階級指数を Table 5 に示す。*Baetis sahoensis* を除いた *Baetis* spp. に含まれる種はほぼ同じ水質階級指数と考えられるから¹⁵⁾, *Baetis* spp. は属レベルの水質判定ができるものと考えた。第 1 位優占種についてみると, 4 月の St. 1 と St. 2 では *Hydropsyche ulmeri*, St. 3 では汚濁耐忍種の *Baetis* spp. であり, 中, 下流の St. 4 と St. 5 では *Antocha* sp. となった。すなわち, 4 月では第 1 位優占種は調査流域範囲内の上流から下流へ *Hydropsyche ulmeri* → *Baetis* spp. → *Antocha* sp. と変化した。また, 第 2 位, 3 位優占種はいずれも Ephemeroptera, Trichoptera と Diptera に属することが明らかになった。各地点の第 1 位から第 3 位までの優占種の個体数は各地点の総個

Table 3 Water quality in the Oh-kawa River in April and June 1992

	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5	
	April	June	April	June	April	June	April	June	April	June
DO (mg/l)	9.02	8.28	9.27	8.92	9.12	8.42	10.24	9.54	10.88	10.59
BOD (mg/l)	1.07	2.19	1.02	1.10	0.87	2.02	2.33	2.17	1.73	1.90
NH ₄ -N (mg/l)	0.005	0.010	0.030	0.003	0.039	0.011	0.205	0.042	0.040	0.015
NO ₃ -N (mg/l)	0.627	0.854	0.995	0.786	0.564	0.728	1.252	—	1.033	—
NO ₂ -N (mg/l)	0.007	0.006	0.010	0.004	0.007	0.006	0.008	0.007	0.011	0.009
PO ₄ -P (mg/l)	0.017	0.028	0.020	0.027	0.012	0.025	0.067	0.041	0.031	0.031
T-P (mg/l)	0.036	0.031	0.062	0.030	0.056	0.041	0.116	0.069	0.059	0.100
TOC (mg/l)	2.381	1.325	2.147	1.068	1.289	1.182	1.146	1.306	1.156	1.258

Table 4 Species of benthic animals found at each station in the Oh-kawa River in June 1992

Species	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	Total	Species	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	Total
Ephemeroptera													
<i>Epeorus curvatulus</i>		2				2	<i>E. sp.</i>	5	4	1	4		14
<i>E. latifolium</i>		1				3	<i>Stenelmis sp. SC</i>	3	4				7
<i>E. napaicus</i>					2	2	<i>S. sp. SA</i>			1			1
<i>Rhithrogena satsuki</i>					2	2	<i>Akabus sp.</i>	1					1
<i>Potamanthus kamonis</i>					2	2	<i>Ordobrevia sp.</i>	1					1
<i>Choroterpes trifurcata</i>					4	4	<i>Hydrochus sp.</i>		1				1
<i>Ephemerella nigra</i>	2				1	1	<i>Luciola cruciata</i>					1	1
<i>E. rufa</i>	2				2	4	Elmidae	5					5
<i>E. (Drunella) bifurcata</i>					17	19	Hemiptera						
<i>E. yoshinoensis</i>	1	1		1	1	4	<i>Apheleochirus vittatus</i>		2		2	2	6
<i>E. (Serratella) setigera</i>	14		3	1		18	Gerridae		1				1
<i>Pseudocloeon noseogawaensis</i>	343	388	237	520	292	1780	<i>Mesovelia vittigera</i>	1					1
<i>P. japonica</i>		2			1	3	Diptera						
<i>Baetis sp. E</i>		8	17			25	<i>Eriocera sp. EB</i>	5	9			4	18
<i>B. sp. J</i>		4		1	33	38	<i>E. sp. ED</i>	1	11	4	6	27	49
<i>B. sahoensis</i>				1	1	2	<i>Antocha sp.</i>	636	1306	611	1748	1245	5546
<i>B. thermicus</i>		105	33	61	5	144	<i>Dicranota sp. DA</i>	26	5			1	32
<i>B. spp.</i>	5	380	110	8	47	603	Tipulidae (pupae)	1	6	2	1		2
Ecdyonuridae							<i>Psychoda alternata</i>						
Odonata					2	2	Chironomidae (Red-Type)						
<i>Trigomphus citinus tabei</i>	1			2		3	<i>C. (Green-Type)</i>	169	313	209	74	309	1074
Trichoptera							<i>Rheotanytarsus sp.</i>	2		4	18		2
<i>Hydropsychodes brevilineata</i>	2					2	Diptera (pupae A)	4		32	20	37	111
<i>Hydropsyche ulmeri</i>	968	319	331	97	42	1757	<i>D. (pupae B)</i>	2			1		3
<i>H. nakaharai</i>			1	6	8	15	<i>D. sp.</i>			3			3
<i>Hydropsyche sp. (pupae)</i>	5					5	Simuliidae	6				1	7
<i>Hydropsychidae (pupae)</i>	20					20	<i>Atherix ibis</i>			1			1
<i>Rhyacophilidae (pupae)</i>	11			3		14	Crustacea						
<i>Goera japonica</i>						1	<i>Asellus hilgendorffii</i>			2			2
<i>Dinarithrum sp.</i>	3	1			1	1	Gastropoda	3	5	1			9
<i>Apatania sp.</i>						3	Planorbiidae						
<i>Stenopsychidae (pupae)</i>				1	1	2	Annelida						
<i>Leptoceridae (pupae)</i>	11					11	<i>Erpobdella lineata</i>	2	1	2			5
<i>Mytrophora inops</i>	1					1	<i>Mais sp.</i>	4	31	35	141	1018	1229
Plecoptera							<i>Tubifex (A)</i>		2				2
<i>Caroperla pacifica</i>				1		1	<i>T. (B)</i>			1	1		2
Coleoptera							<i>T. (C)</i>			2			2
<i>Elmis sp. EC</i>	3					3	Nematoda						
<i>E. sp. ED</i>				1	1	9	Nematoda	5	6	8		1	20
<i>E. sp. EE</i>			1	4	6	11	Turbellaria						
<i>E. sp. EF</i>	1	2				9	<i>Phagocata kawakatsui</i>					1	1
							Total	2275	2946	1648	2712	3137	12718

Table 5 The species in order of the number of individuals and the respective number proportion (%) to total, grade and tolerance of organic pollution

Rank	April St. 1 species	number	%	grade of organic pollution Index	tolerance of organic pollution	Rank	June St. 1 species	number	%	grade of organic pollution Index	tolerance of organic pollution
1	<i>Hydropsyche ulmeri</i>	229	38.5	1	A	1	<i>Hydropsyche ulmeri</i>	968	42.5	1	A
2	<i>Beatis</i> spp.	170	28.6	2	B	2	<i>Antocha</i> sp.	636	28.0	1	A
3	<i>Hydropsychodes brevilineata</i>	71	12.0	2	B	3	<i>Ephemerella (Dnanella) bifurcata</i>	343	15.1	1	A
4	<i>Antocha</i> sp.	33	5.6	1	A	4	Chironomidae (Green-Type)	169	7.4	2	A
5	Nematoda	17	2.9			5	<i>Dicranota</i> sp. DA	26	1.1		
6	Chironomidae (Green-Type)	15	2.5	2	B	6	<i>Hydropsyche</i> (pupae)	20	0.8	1	A
Rank	April St. 2 species	number	%	grade of organic pollution Index	tolerance of organic pollution	Rank	June St. 2 species	number	%	grade of organic pollution Index	tolerance of organic pollution
1	<i>Hydropsyche ulmeri</i>	534	45.2	1	A	1	<i>Antocha</i> sp.	1306	44.3	1	A
2	<i>Antocha</i> sp.	240	19.9	1	A	2	<i>Ephemerella (serrateella) setigera</i>	388	13.2	1	A
3	Chironomidae (Green-Type)	152	12.7	2	B	3	<i>Beatis</i> spp.	380	12.9	2	B
4	<i>Beatis</i> spp.	101	8.4	2	B	4	<i>Hydropsyche ulmeri</i>	319	10.8	1	A
5	<i>Hydropsychodes brevilineata</i>	71	5.9	2	B	5	Chironomidae (Green-Type)	313	10.6	2	B
6	<i>Ephemerella rufa</i>	1	1.3	2	B	6	<i>Baetis sahoensis</i>	105	3.6		
Rank	April St. 3 species	number	%	grade of organic pollution Index	tolerance of organic pollution	Rank	June St. 3 species	number	%	grade of organic pollution Index	tolerance of organic pollution
1	<i>Beatis</i> spp.	94	41.1	2	B	1	<i>Antocha</i> sp.	611	37.1	1	A
2	Chironomidae (Green-Type)	44	19.1	2	B	2	<i>Hydropsyche ulmeri</i>	331	20.1	1	A
3	<i>Ephemerella (Dnanella) bifurcata</i>	26	11.4	1	A	3	<i>Ephemerella (serrateella) setigera</i>	237	14.2	1	A
4	<i>Ephemerella</i> spp.	12	5.2			4	Chironomidae (Green-Type)	209	12.7	2	B
5	<i>Ephemerella trispina</i>	8	3.9	1	A	5	<i>Beatis</i> spp.	110	6.7	2	B
6	<i>Hydropsyche ulmeri</i>	8	3.9	1	A	6	<i>Nais</i> sp.	76	4.6	2	B
Rank	April St. 4 species	number	%	grade of organic pollution Index	tolerance of organic pollution	Rank	June St. 4 species	number	%	grade of organic pollution Index	tolerance of organic pollution
1	<i>Antocha</i> sp.	211	50.4	1	A	1	<i>Antocha</i> sp.	1748	64.5	1	A
2	<i>Hydropsyche ulmeri</i>	80	19.1	1	A	2	<i>Ephemerella (serrateella) setigera</i>	520	19.2	1	A
3	Chironomidae (Green-Type)	37	8.8	2	B	3	<i>Nais</i> sp.	141	5.2	2	B
4	<i>Hydropsychodes brevilineata</i>	28	6.7	2	B	4	<i>Hydropsyche ulmeri</i>	97	3.6	1	A
5	<i>Ephemerella (Dnanella) bifurcata</i>	14	3.4	1	A	5	Chironomidae (Green-Type)	74	2.7	2	B
6	<i>Epeorus latifolium</i>	9	2.1	1	A	6	<i>Beatis</i> spp.	61	2.7	2	B
Rank	April St. 5 species	number	%	grade of organic pollution Index	tolerance of organic pollution	Rank	June St. 5 species	number	%	grade of organic pollution Index	tolerance of organic pollution
1	<i>Antocha</i> sp.	128	39.9	1	A	1	<i>Antocha</i> sp.	1245	39.7	1	A
2	Chironomidae (Green-Type)	118	36.8	2	B	2	<i>Nais</i> sp.	1018	32.5	2	B
3	<i>Hydropsyche ulmeri</i>	15	4.7	1	A	3	Chironomidae (Green-Type)	309	9.9	2	B
4	<i>Hydropsychodes brevilineata</i>	14	4.4	2	B	4	<i>Ephemerella (serrateella) setigera</i>	292	9.3	1	A
5	Nematoda	10	3.1			5	<i>Beatis</i> spp.	47	1.5	2	B
6	<i>Epeorus latifolium</i>	7	2.2	1	A	6	<i>Hydropsyche ulmeri</i>	42	1.3	1	A

体数の71.7%～81.4%を占めた。

2カ月後の6月では、St. 1および中、下流のSt. 4とSt. 5の3カ所の第1位優占種は4月と変わらないのに対して、St. 2とSt. 3ではそれぞれ*Antocha* sp.

となった。特にSt. 3で第1位優占種が変化したことは採集地点が上流へ30m移動したことに原因があると思われる。したがって、調査流域範囲内の上流から下流まで第1位優占種は*Hydropsyche ulmeri*から

Antocha sp. へ推移し、4月にSt.3でみられた*Baetis* spp. は第1位優占種ではなくなった。すなわち、すべての採集地点での第1位優占種は汚濁非耐忍種となった。次に第2位、3位優占種についてみると、St.5で非水生昆虫の汚濁耐忍種*Nais* sp. が第2位優占種として現れたことを除けば、第2位、3位優占種も4月と同じEphemeroptera, TrichopteraとDipteraに属した。これらの結果によって、各採集地点の種数および個体数の多少は主にこれらの3目の種数および個体数の増減によることがわかった。

各地点の群集構造を調べるために、それぞれShannonとSimpson-McIntoshのDI(N)値およびShannonのDI(W)値を、Fig. 2に示した。まず、月ごとの各地点のDI(N)値を見ると、4月には全地点をとおり、ShannonとSimpson-McIntoshのDI(N)値はそれぞれ2.37~2.67と0.68~0.78であり、ほとんど変動

はなかった。すなわち、第1位優占種がSt.1~St.5へと変化したにもかかわらず、DI(N)値がほとんど変化しなかったことは群集構造の変化が調査流域内におけるDI(N)値にほとんど影響を及ぼさなかったことを示している。このことは第1~3位までの優占種の優占率が非常に高く、DI(N)値がこれらの優占種の優占率によってほぼ決定されてしまうからである。6月の調査結果でも特に第1位優占種である*Antocha* sp. の優占率が64.5%と高いためDI(N)値が非常に小さくなったSt.4を除いて、4月の調査結果とほぼ同様な傾向がみられた。Fig. 3に6月の調査結果から得られたすべての出現種数と、第1~3位までの優占種を除いた出現種数および第1~6位までの優占種を除いた出現種数からそれぞれ得られたDI(N)値を示した。このことは、優占種を含めた場合のDI(N)値はたとえ出現種数が増加したとしてもほとんど変化がなく、第6位

Fig. 2 Change of diversity indexes (Shannon DI (N), Simpson-McIntosh DI (N), Shannon DI (W)) in April and June

Fig. 3 Relationships between Shannon DI (N) and number of species.

- : Obtained by number of species excluding six predominant species,
- △ : Obtained by number of species excluding three predominant species,
- : Obtained by number of species

までの優占種を除いた場合にのみ、出現種数の増加にともない、DI(N)値が増加することを示しており、調査流域内のDI(N)の変化がほとんどみられなかった原因を端的に表している。

次に表には示さないが、底生動物の現存量からみた第1位優占種は4月のSt. 1, St. 2およびSt. 4の3地点で、いずれも造網型の *Hydropsyche ulmeri* であり、その優占率はそれぞれ66.0%, 74.5%, 43.0%と高かった。このために群集優占構成種の優占性の集中度は高く、均等性は低くなり、St. 1, St. 3とSt. 4でのShannonのDI(W)値はそれぞれ1.85, 1.09と2.16となり、DI(N)値に比べて低くなった。6月にはSt. 2で現存量の第1位優占種はやはり *Hydropsyche ulmeri* であったが、その優占率は4月の74.5%より6月の35.6%にまで下がり、DI(W)値は4月の1.64より2.23まで上がった。これは *Hydropsyche ulmeri* のような造網型昆虫優占型の安定した群集構成の崩れにしたがい、固着性巣室や捕獲網などの構築物による他の昆虫類の生存空間への圧迫が減少し、*Antocha* sp., *Ephemerella setigera* およびChironomidae (G-type) などの他の昆虫類が多数生存することが可能となったことによるものと考えられる。すなわちSt. 2の4月と6月では、群集構成に大きな差が生じたけれどもDI(N)値によって群集構成の変化を明らかにすることができなかったが、DI(W)値では、大きな差がありDI(W)値によって群集構成の変化を明確にすることができる可能性を示唆している。

3.3.3 群集類似度指数 (C_s)

各地点間のサンプルが同一母集団から得られたものかどうか、各地点間の底生動物群集の類似度を調べるために、Morishita (1954) の群集類似度指数 C_s 値をTable 6に示した。この C_s 値は2地点間の共通種が非常に多い場合、2地点間の類似性が極めて高く、その値は1に近くなる。共通種が少ない場合には0に近づくことになる。

St. 1からSt. 5までのデータが同一母集団から得られたものとして考えるならば、Table 6に示した C_s 値はすべて1に近い値を取ると考えられる。そこで4月の隣接した2地点間の C_s についてみると、St. 1とSt. 2およびSt. 4とSt. 5のそれぞれの C_s 値が大きいことは上流のSt. 1とSt. 2との間および下流のSt. 4とSt. 5との間の群集構造が類似することを示している。これと比べて、St. 2とSt. 3およびSt. 3とSt. 4のそれぞれの C_s 値が非常に小さいことから、St. 3の底生動物群集構造が隣接地点のSt. 2とSt. 4とでは異なっていることが考えられる。すなわち、St. 1とSt. 2のデータは同一母集団から得られたもの、St. 3のデータ

Table 6 Similarity Index (C_s) of benthic animals community in the Oh-kawa River

a. Similarity Index [C_s (N)] in April 1992

	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
St. 1	0.85	0.60	0.42	0.21
St. 2		0.32	0.71	0.54
St. 3			0.14	0.32
St. 4				0.82

b. Similarity Index [C_s (N)] in June 1992

	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
St. 1	0.72	0.86	0.59	0.47
St. 2		0.96	0.90	0.76
St. 3			0.82	0.73
St. 4				0.80

c. Similarity Index in the same station between April and June 1992

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
C_s	0.71	0.63	0.31	0.93	0.84

は単独の母集団、St. 4とSt. 5のデータは同一母集団から得られたもの、つまり3つの母集団から得られたデータと考えられる。Table 5に示したように、St. 3の底生動物群集の主な構成種はDipteraのChironomidae (G-type)とEphemeropteraの *Ephemerella* と *Baetis* spp. であり、このことはSt. 2およびSt. 4における優占種である造網型水生昆虫およびDipteraの *Antocha* sp. がきわめて少なかったことによるものと思われる。この原因として4月のSt. 3の底生動物相は採集地点が支流の田茂木川との合流点から近く、田茂木川の影響をより強く受けていることが原因として考えられる。

次に、6月では4月と比べて各地点間の C_s 値は相対的に高く、すべてのデータが同一母集団から得られたものと考えられる。ただし、St. 1とSt. 4およびSt. 1とSt. 5との間の C_s 値が若干小さいことを考えると、St. 1のデータは他の母集団から得られたものと考えられるかも知れない。

以上の類似度指数による4月と6月の調査結果の差は、St. 3の採集地点が変わり、田茂木川の影響によって生じたものと推察され、類似度指数によって、採集

地点などの状況変化や、同一母集団からのデータであるかどうかなどを判断することができるものと考えられる。

また、調査月間による同じ地点での C_h 値を見ると、St. 1～St. 3 の類似度と比較して、中、下流の St. 4 と St. 5 の底生動物群集構造の C_h 値がそれぞれ 0.93 と 0.84 と高いことから、大川調査流域の中、下流の底生動物相は、上、中流より安定しているものと考えられる。同時に、St. 3 における類似度指数において、値が非常に小さいことは採集地点の相違を端的に表している。したがって、前述した類似度指数の有用性に加えて、底生動物群集の安定度を調べるのに対しても有用な指数と思われる。

3.3.4 底生動物相による生物学的水質判定

大川における 4 月と 6 月の底生動物相から得られた水質判定に関する生物学の指数の値を Table 7 に示した。

まず I 値は汚濁耐忍種指数で、各採集地点ごとの汚濁耐忍種数の割合を全流域内の汚濁耐忍種数の割合で除したものであり、地点ごとの汚濁耐忍種の割合を相対的に表したものである。4 月の I 値は上流の St. 1 と St. 2 で小さい値を示し、St. 3、St. 4 と St. 5 へと順に増加した。すなわち上流から下流へ汚濁耐忍種の種数の相対的割合が大きくなり、水質が St. 1～5 へと悪くなることを示唆している。6 月では、St. 1 と St. 4 の I 値は若干低い値になったが、全地点でほぼ同じ I 値になったと考え、類似度指数での考察でも述べたように、同一母集団からのデータと考えることができる。したがって、汚濁耐忍種の相対的な割合が全地点でほぼ同じ値になったことは、水質がほぼ全地点で同程度であると見なすことができるものと思われる。

PI 値についてみると、4 月では St. 1～St. 5 において、1.5、1.3、1.7、1.2、1.5 となった。PI 値による水質階級の判定においては、PI 値が 1.0～1.5 の場合は貧腐水性 (os)、1.5～2.5 では中腐水性 (β -ms) といわれており⁹⁾、St. 3 の 1.7 を除いて os 階級となった。津田の方式¹⁰⁾では貧腐水性の場合は BOD 値で 0～2.5 ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) 中腐水性では 2.5～5.0 ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) の範囲となっており、Table 3 に示した BOD 値から判断してほぼ一致した結果となった。しかし、各採集地点における PI 値と BOD 値との直接的な相関関係はな

く、PI 値は BOD 値で示される有機性汚濁の代替としての生物学的な水質指標とはなり得ず、ある範囲、例えば os や β -ms のような水質階級を決定するのには有効となり得ることが考えられる。

このことは、6 月の調査結果も PI 値は 1.1～1.5 ですべて os 階級となり、Table 3 の BOD 値も 0～2.5 ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) の範囲であること、および両値に相関関係もないことから、4 月の調査結果と同様であることが明らかとなった。

このように、本調査流域のように特定の汚染源がないような、比較的汚染度の低い河川における PI 値は、ある範囲を持った水質階級の特定には有効と考えられるが、BOD 値が 0～2.5 ppm 狭い範囲にある場合には、BOD 値に代わる生物学的な水質指標として、PI 値は無意味であることが明らかとなった。

また、Table 3 に示した他の水質項目とも相関がなく他の水質汚濁指標としてもあまり期待できないと考えられる。

3.4 底生動物相と水環境要因

水質以外の環境要因である水温、底質、流速などが直接的に底生動物の構成や分布に影響を与えることが津田によって論じられた⁹⁾。

水温は、水生動物の発育、成長、特に生活環において重要な影響要因の一つである。6 月の水温が 4 月より数℃高くなったことが、出現種数、個体数および現存量の著しい増加の一因として考えられる。主な優占種ではないが、4 月に出現した *Ephemera trispina* は 6 月に出現せず、また 4 月に全地点で多数分布していた *Ephemera (Drunalla) bifurcata* は 6 月では St. 3 に出現せず、他の St. で各 1 匹ずつ採集された。このことは水温の増加によって、これらの種が羽化したことを示唆している。したがって、底生動物調査においては底生動物の生活環を考慮し、今後、検討していく必要があるものと思われる。

流速は造網型昆虫の分布に影響を及ぼすことが知られているが、特に流速がある範囲内にあるときは、造網型昆虫にとって有利といわれている⁹⁾。4 月と 6 月の調査によって、*Hydropsyche ulmeri* はおもに流速 0.60～0.70 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ぐらいの上、中流に分布して、*Antocha* sp. はおもに 0.36～0.44 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ぐらいの中、下流に分布していた。このことは、流速が底生動物の住み分

Table 7 Tolerant species index and pollution index

	St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5	
	April	June	April	June	April	June	April	June	April	June
I	0.96	0.86	0.84	1.11	1.24	1.27	1.40	0.98	1.76	1.13
PI	1.5	1.1	1.3	1.3	1.7	1.3	1.2	1.1	1.5	1.5

けに影響を及ぼしているものと考えられる。

底質は底生動物相に影響を及ぼすと考えられるが、St. 1～St. 3 までは Table 2 に示したように、頭大または拳大の礫で構成され、St. 4～St. 5 は砂混じりの礫となっている。礫の大きさが大きいほど、底生動物相は安定であり、特に造網型の底生動物が優占的であるといわれている。本調査の結果は4月のSt. 1とSt. 2において造網型昆虫の *Hydropsyche ulmeri* が第1位優占種となり、底質の影響も考慮できるが、6月においてはSt. 1のみで *Hydropsyche ulmeri* が第1位優占種となった。したがって、本調査においては底質による影響を明確にすることはできなかった。

3.5 理化学的水質結果と生物学的評価指数

本調査流域内においては、前述したように有機性汚濁は軽微であり、BOD 値環境基準の A ランクをほぼ満足しているが、特徴的な点は、NO₃-N、T-P および PO₄-P の濃度が非常に高いことにある。したがって、3.3.4で述べたように生物学的な水質判定の指標として利用される PI 値などと BOD 値を含めた他の水質との間にはほとんど相関がなく、底生動物相から得られた生物学的指標は水質汚濁に関して直接的な指標とはなり得なかった。しかし、本調査で得られた主要な優占種である *Antocha* sp. の個体数および現存量、そしてそれぞれの優占率と、特徴的な NO₃-N および PO₄-P 濃度との間にはかなりの相関がみられた (Table 8)。このことは、NO₃-N や PO₄-P 濃度の増加に伴い河底の付着藻類の繁殖が助長され、それを餌とする *Antocha* sp. が優占種となった理由の1つと考えられる。ここで、*Antocha* sp. の個体数および現存量、優占率と NO₃-N および PO₄-P との関係を次式に示す。

$$N_A = 3.14 \times 10^2 \times (\text{NO}_3\text{-N})^{4.06}$$

$$N_A = 5.72 \times 10^6 \times (\text{PO}_4\text{-P})^{2.80}$$

$$P_{NA} = 3.70 \times 10 \times (\text{NO}_3\text{-N})^{3.95}$$

$$P_{NA} = 8.42 \times 10^4 \times (\text{PO}_4\text{-P})^{2.29}$$

$$D_A = 3.97 \times 10^2 \times (\text{NO}_3\text{-N})^{5.44}$$

$$D_A = 1.70 \times 10^7 \times (\text{PO}_4\text{-P})^{3.15}$$

$$P_{DA} = 2.43 \times 10 \times (\text{NO}_3\text{-N})^{4.40}$$

Table 8 Correlation coefficients between *Antocha* sp. and NO₃-N, PO₄-P

	NO ₃ -N	PO ₄ -P
number	0.52	0.64
% (to total number)	0.76	0.82
dry weight	0.59	0.75
% (to total weight)	0.62	0.66

$$P_{DA} = 3.25 \times 10^5 \times (\text{PO}_4\text{-P})^{2.77}$$

ただし、

N_A : *Antocha* sp. の個体数

P_{NA} : *Antocha* sp. の個体数の優占率 (%)

D_A : *Antocha* sp. の乾燥重量 (mg)

P_{DA} : *Antocha* sp. の乾燥重量の優占率 (%)

このように、有機汚濁の顕著でない、NO₃-N および PO₄-P 濃度が比較的高い点の特徴である河川における底生動物の優占種の個体数、現存量および優占率は、それらの特徴的な水質指標で表現され得ることが明らかとなった。

4. ま と め

有機性汚濁の濃度が低く、NO₃-N や PO₄-P の濃度が比較的高い河川の岩手県大川の底生動物相調査によって、以下の点が明らかになった。

1) 底生動物相は4月の各採集地点ではそれぞれ20～31種類(5地点の総種数56種)、6月では23～38種類(5地点の総種数71種)の底生動物がそれぞれ出現した。そのうち水生昆虫が圧倒的に多く、とりわけ蜉蝣目 (Ephemeroptera)、毛翅目 (Tricladida) および双翅目 (Diptera) が大部分を占めた。特に、上、中流では *Hydropsyche ulmeri*、中、下流では *Antocha* sp. がそれぞれ優占種として出現した。

2) Shannon, Simpson-McIntosh の DI(N) 値によって、底生動物の群集構成の変化を明らかにすることはできなかったが、Shannon の DI(W) 値ではその変化を明らかにすることができる可能性がわかった。

3) 群集類似度指数 (C_s) 値は採集地点などの状況変化や、同一母集団からのデータであるかなどの判断に利用できるものと考えられる。また、底生動物群集の安定度を調べるのに対しても有用な指数と思われる。

4) 比較有機汚濁度の低い河川における PI 値は、ある範囲を持った水質階級の特定には有効と考えられる。しかし、BOD 値で示される有機性汚濁が狭い範囲内にある場合には、その代替の生物学的な水質指標としては無意味である。

5) 底生動物の構成や分布は、水質およびその他の環境要因に影響されるが、底生動物の生活環も考慮に入れて、検討する必要があるものと思われる。

6) 本調査流域内のように、有機性汚濁が顕著でなく、NO₃-N および PO₄-P 濃度が比較的高い点の特徴である河川においては、底生動物の優占種の個体数、現存量およびそれぞれの優占率が、それらの特徴的な水質指標で表現され得ることが明らかになった。

(原稿受付 1993年3月16日)

(原稿受理 1993年8月10日)

参 考 文 献

- 1) 原田三郎 (1983) 底生動物相から見た加古川水系の水質汚濁, 用水と廃水, **25**, 575-582.
- 2) 上田直子 (1987) 底生動物相および付着珪藻類による都市河川の水質評価, 用水と廃水, **29**, 537-542.
- 3) 小田泰史 (1991) 底生動物相を指標とする生物学的水質評価—熊本県内河川において—, 水質汚濁研究, **14**, 99-108.
- 4) 津田松苗編 (1974) 水生昆虫学, 269pp., 北隆館.
- 5) 河田薫ら編 (1984) 日本幼虫図鑑, 712pp., 北隆館.
- 6) 上野益三編 (1973) 日本淡水生物学, 760pp., 北隆館.
- 7) 川合禎次 (1985) 日本産水生昆虫検索図説, 409pp., 東海大学出版会.
- 8) 柴谷篤弘 (1990) 日本の水生昆虫 種分化とすみわけをめぐって, 184pp., 東海大学出版会.
- 9) 津田松苗, 森下郁子 (1974) biotic index と pollution index, 水処理技術, **15**, 457-462.
- 10) 森谷清樹 (1976) 多様性指数による水域環境の生態学的評価, 用水と廃水, **25**, 575-582.
- 11) Morishita, M. (1959) Measuring of interspecific association and similarrity between communities, *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ., Ser. E (Biol)*, **3**, 65-80.
- 12) 日本下水道協会 (1974) 下水試験法, 137pp.
- 13) 日本分析化学会北海道支部 (1983) 水の分析, 210pp.
- 14) 16th Ed. American Public Health Association, Washington D.C. (1985) Standard Method for the examination of water and wastewater, 437pp.
- 15) 津田松苗, 森下郁子 (1974) 生物による水質調査法, 238pp., 山海堂.