和歌山県日置川における中・下流域の大型底生動物群集——

1. 河床型, 地域および季節間の比較

牧 岩 男

On Macro-benthos Communities in the Middle and Down Stream of the River Hikigawa, Wakayama Prefecture——1, Comparisons of the Community Structure Between Different Riverbed Types, Sampling Sites and Seasons

Iwao MAKI

Abstract

Macro-benthos communities in the middle and downstream of the River Hikigawa are compared statistically in terms of riverbed types, sampling sites and seasons. More than 90 species of animals inhabit this area, and most of them are aquatic insects. Although the number of taxa, total individual numbers and total biomass tend to be abundant at the Hayase rapids in the middle stream in summer and autumn, their differences in each type of riverbed are hardly detectable downstream and in all sites in winter and early spring. Comparisons of these three measurements among sampling sites reveal significant differences in all riverbed types and seasons. But no correlation is found between these measurements and the horizontal gradient of the riverbed in this area. They also change with the season in most riverbed types and sites. In the main stream, the variance ratios differ significantly at one percent probability levels in all sites, and the maximum amounts are attained between winter and early spring. Simpson's species diversity index does not show any seasonal periodicity when it is compared on the above three bases, although differences between them in terms of sites and seasons are often observed. This result may be mainly caused by the significant positive correlations between the number of taxa and total individual numbers.

1. は じ め に

和歌山県の日置川において、土砂による濁りの影響を調べる目的で、1972年から、大型底生動物の採集を年2回ないし4回行ない、これを汚濁に対する生物学的水質判定の資料にしてきた。

ところで、いわゆる生物学的水質判定法は、物理・化学的方法による判定法にはない勝れた側面を持つことは確かであるが、これは生物の生活内容ならびに群集構造に関する正確な知見のもとにはじめて発揮されることはいうまでもない。とくに、群集構造を判定に用いようとする場合には（たとえば、SIMPSONの多様度指数やSHANNONの指数など）、種数と現存量を使用しており、定量採集が必要となってくる。そして、信頼できる観測値を得るために、採集用具や採集回数については種々検討されてきている（NEEDAM *et al.*,

1956; DICKSON *et al.*, 1971; RANDFORD *et al.*, 1971; CHUTTER, 1972; 渡辺ほか, 1976など）。

さらに、この量は、生息場所の違いや生活環がからみあって、大きく変化するであろう。HYNES (1970) は底生動物相が季節に伴って変化することを指摘するとともに、この調査の必要性を説いている。

今回の報告では、1973年3月から1974年3月にかけての5回の資料を中心に、日置川の中・下流域における大型底生動物相の概要を記載するとともに、とくに、河床型、地域あるいは季節によって、群集構造にどのような差異が生じているかに力点を置いて記述することを心がけた。

この調査は近畿農政局日置川開拓建設事業所からの依頼によって行なわれている。調査にあたっては、とくに、同事業所用地課の方がたに種々御配慮をいただいた。また、標本採集は和歌山大学教育学部生物学教

室の学生諸氏の協力のもとに行なわれた。これらの方がたに心からの謝意を表したい。

2. 調査水域の概要ならびに調査方法

水域の概要：日置川の本流は奈良県と和歌山県を境する果無山脈に水源をもつが、大塔山系から流れでる前の川と將軍山から流れでる將軍川と合流して中・下流域を形成している。これら3河川の合流点にはダム（合川ダム）が造られている。本流の流程は約90 kmあり、流域のほとんどは漸新世から中新世初期にかけて堆積した牟婁層群からなり、河口近くで、わずかに田辺層群を横切っている。

調査は河口から約18 km上流の久木と約3 km上流の矢田との間で5カ所と、約25 km上流で本流に注ぐ小支流の城川の流入口付近で1カ所の計6カ所で行なった（Fig. 1）。

河川の勾配は、調査対象とした水域では、どこでもほぼ同じで、0.8 m/km から 1 m/km の間である。平水時の水面幅は本流の調査場所ではほとんど差がなく、早瀬の狭い所で 15 m から 20 m ある。支流の城川では、約 5 m である。久木から口ヶ谷にかけての河川形態は典型的な Bb 型で、瀬はこぶし大から頭大の礫からなる。田野井より下流になると Bb-Bc 移行

型となり、瀬の礫も少し小さくなるが、未だ砂だけの堆積はみられない。矢田では海水の影響を受けはじめる。

1973年3月、7月、10月および12月の各調査時に測定した気温と水温を Table 1 に示してある。水温の詳しい季節変化はこれだけでは解らないが、冬期の日中の温度は 8°C から 10°C ぐらい、夏期の日中には、20°C から 23°C ぐらいまで上昇している。季節を通じて上流の久木より下流の矢田の方が水温は多少高く、両地点の較差は冬には 1°C ぐらい、夏には 2°C ぐらいになる。

この水域には 18 種の淡水魚が確認されており、ほかに、汽水性あるいは海産の魚も数種獲れている。浮魚ではアユ (*Plecoglossus altivelis*)、ウグイ (*Leuciscus hakonensis*) およびオイカワ (*Zacco platypus*) が、底生魚ではチブ (*Tridentiger obscurus*)、ヨシノボリ (*Rhinogobius brunneus*) およびボウズハゼ (*Sicyopterus japonicus*) が多く獲れる（牧ほか、1974）。

調査方法：標本の採集にはサーバーネット型の網を用いた。すなわち、50×50 cm の方形枠を河床に置き、方形枠の下流側に 1 辺の長さが 50 cm の方形の口を持ち、GG40 の網地を帳った受け網を置いた。つぎに、

Fig. 1. Map of the middle-and-down stream of the River Hikigawa and its tributaries (upper) and their horizontal profile (lower), showing the area studied and sampling sites.

The horizontal scale in the lower figure starts from the river mouth.

Table 1. Air and water temperatures at each sampling sites when surveys were carried out.

	Jyohgawa	Hisaki	Ago	Kuchigatani	Tanoi	Yada
Date	14, Mar.	14, Mar.	15, Mar.	15, Mar.	16, Mar.	16, Mar.
Air temp. (°C)	8.5	11.2	5.0	11.0	8.3	12.0
Water temp. (°C)	9.6	11.0	9.0	10.8	10.0	15.0
Date	3, July	3, July	4, July	4, July	4, July	5, July
Air temp. (°C)	31.0	23.2	29.1	29.5	24.0	28.2
Water temp. (°C)	22.1	21.8	21.5	23.1	21.2	23.5
Date	12, Oct.	12, Oct.	13, Oct.	13, Oct.	14, Oct.	11, Oct.
Air temp. (°C)	25.5	26.1	26.2	26.2	18.0	20.9
Water temp. (°C)	19.8	22.0	20.0	20.5	17.5	19.0
Date	19, Dec.	19, Dec.	20, Dec.	20, Dec.	21, Dec.	21, Dec.
Air temp. (°C)	7.8	8.0	6.8	7.4	11.0	10.7
Water temp. (°C)	10.2	9.3	9.0	9.6	9.9	11.0
Date	5, Mar.	5, Mar.	5, Mar.	6, Mar.	7, Mar.	4, Mar.
Air temp. (°C)	13.5	17.3	15.1	16.9	16.3	15.7
Water temp. (°C)	8.0	10.1	10.8	12.2	14.0	10.8

枠内の礫を静かにバケツにとりこみ、砂をかきまわして中の動物を網で受けた。礫に付着していた動物と受け網に流入した動物を合せて標本とした。標本は約5%のホルマリン液で固定して持ち帰った。

この操作を各調査場所の早瀬と平瀬で、それぞれ5回を基準に繰返し、各場所の標本とした。また、城川では淵でも同じ方法で標本を得た。

持ち帰った標本は津田 (1962) の検索表で種の同定を行なった後、種ごとの個体数と湿重量を計測した。重さの測定には0.1 mg まで測れる直示天秤を用いた。

3. 結 果

3-1. 採集面積と出現種数

採集面積をどの程度にすべきかは、採集標本が生息種をどの程度反映しているかということと関連して、河川の底生動物でもしばしば問題にされてきた (田中, 1959; 信夫, 1968; 渡辺, 1977)。1972年12月の調査では、安居、口ケ谷および田野井の3カ所の早瀬と平瀬でそれぞれ6回ずつ採集を行っており、今調査で最高の面積をカバーしているので、この資料を用いて、日置川での場合を検討しておく。

Fig. 2 は各調査場所の各河床型における採集面積と種数の関係を図示したものである。Fig. 2-a は6標本について、面積が50×50 cm の場合 (以下Sとする)、2S の場合、……、6S の場合のそれぞれについて、すべての組合せをつくり、おのおの面積について種数の平均値をプロットしたものである。採集面積が倍

Fig. 2. Relation between the quadrat size and the number of taxa collected (a), one between the log-scale quadrat size and the number of taxa (b) and one between the log-scale quadrat size and the log-scale number of taxa (c). Symbols $\times$, $\blacktriangle$ and $\triangle$ in the figure show the sample specimens at Ago, Kuchigatani, and Tanoi respectively. Regression lines and dotted lines refer to sample specimens at Hayase rapids and Hirase rapids respectively.

数的に増加するにつれて、種数の増えかたはだんだん少なくなっていくが、少なくとも 6S, すなわち 1.5 m² の広さまででは、種数は頭打ちになってはいない場合が多いことに注目してほしい。

PIELOW (1969) によれば、もし、ある群集の各種の個体数が FISHER の対数級数則に従うとするならば、面積と種数の関係はほぼ $Sq = \alpha \ln N / \alpha + \alpha \ln q$ の式で表わされる。ただし Sq は調査単位 q 個目の総個体であり、 N は単位面積あたりの総個体数、 α は定数である。したがって、面積を対数で表わした場合の両者の関係は直線で表わされることになる。Fig. 2-b は同じ標本について、面積を対数で表わしてみたものである。図中の直線（早瀬の場合）と点線（平瀬の場合）は標本から求めた回帰直線である。どの場合にも両者の関係はかなりきれいに直線になる。相関係数はどの標本でも 0.99 以上の値を示し、0.1% 以下の確率水準で有意である。回帰直線の傾斜の値は 6 から 11 の間にあり、場所による差がかなり出ている。少なくとも面積が 0.25 m² から 1.5 m² の間では、面積と種数の関係は PIELOW の式に良く一致していることがわかる。

いっぽう、Fig. 2-c は両者の関係を両対数目盛の座標軸にプロットしてみたものである。この場合にも、両者の関係はかなり良く直線にのっている。ただ、相関係数の値は前記の場合より多少小さくなり、0.98 から 0.99 の間の値をとる。回帰係数は 0.306 から 0.532 の間にある。MACARTHUR と WILSON (1967) は、もし、群集の種組成が PRESTON の対数正規則に従うならば、傾斜は 0.27 になるとしているが、この場合は少し大きい値になっている。

群集構成論はさておき、とりあえず重要なことは、採集面積が広がるにつれて、種数は面積の対数と直線関係を示すか、あるいは、種数の対数と面積の対数とが直線関係を示す傾向があり、種数は頭打ちにならないことである。したがって、河川の大型底生動物相の調査にあたって、わが国でよく用いられてきた「50×50 cm の方形枠で 2 回採集」というマニュアル（水野と御勢、1972）では生息種数が採集標本に十分反映されているとはいえない。今回の報告に用いた標本数は 5 を基準としている。渡辺と原田（1976）は、各河床型を有限母集団であるとするならば、95% の信頼度で誤差を平均値の 10% 以内におさえようとするれば、5.5 回の採集が必要だとしている。

3-2. 底生動物相

出現種：1973 年 3 月、7 月、10 月 および 12 月の 4 回の調査による標本について、採集種ならびに種ごと

の個体数の総計を調査場所ごとに Table 2 に示した。

採集された総種数は 80 種余りで、そのうちわけは昆虫綱 70 種余り、甲殻綱 1 種（ただし大型十脚類を除く）、渦虫綱 1 種およびヒル綱数種である。

これらのうち、すべての調査場所に共通して採集された種は 29 種、本流だけに限ると、共通種は 31 種にも達する。いっぽう、特定の場所に限って採集された種は 15 種で、そのうち 12 種は城川だけで採集されたものである。ただ、ここでは淵の標本も得ているので、数値にはこの影響も加味されている。本流だけに限ると、特定の場所だけで採集されたのはたった 3 種にすぎない。

つぎに、全調査場所を通じて、採集個体数の多かった種を順に列挙してみると；*Antocha* sp. AA, *Epeorus latifolium*, *Hydropsychodes brevilineata*, *Stenopsyche griseipennis*, *Hydropsyche ulmeri*, *Ephemerella rufa*, *Ecdyonurus yoshidae*, *Baëtis thermicus*, *Ecdyonurus tobiironis*, *Rhithrogena japonica* の順になる（Table 2）。これらのうち 3 番目までの種の個体数がとびぬけて多く、また 4 番目と 5 番目の個体数もかなり多い。

調査場所ごとの採集個体数も、本流では、多少の順位の入れ替わりがあるものの、ほぼ、前記の順序に従っている。ただ、城川では、少し様子が違い、*Ephemerella rufa* と *Ecdyonurus yoshidae* は比較的少なく、かわって、*Goera japonica*, *Haploperla japonica* および *Paraleptophlebia* sp. PA の個体数がかかなり多くなっている。また、本流でも、*Hydropsyche ulmeri* は下流側で多少少なくなる傾向が表れている。

1973 年には採集されなかったが、その後採集された種がさらに 9 種あり、いずれも昆虫綱に属している。以下それらの種名を列記すると；*Ephemerella trispina*, *E. sp. nN*, *Amphinemura* sp., *Capnia japonica*, *Acroneuria jezoensis*, *Rhyacophila tacita*, *Parastenopsyche sauteri*, *Orectochilus* sp., *Holorusia* sp. HA である。

これらを加えると昆虫綱は 80 種余り、動物全体では 90 種余りが採集されたことになる。

主要種の季節差：各場所で採集された種ならびにそれらの現存量は季節に伴って大きく変化したことはいうまでもない。Fig. 3 は 1973 年 3 月から 1974 年 3 月までの 5 回の調査で得られた、場所ごとの方形枠あたり（50×50 cm）の個体数と湿重量を、主要種について、種ごとに図示したものである。図中の数字は平均

Table 2. Macro-benthos fauna in the middle-and-down stream of the River Hikigawa.
 Figures in the table give the total numbers of specimens captured by four times surveys in 1973.

	Jyohgawa	Hisaki	Ago	Kuchi-gatani	Tanoi	Yada	Total
Ephemeroptera							
<i>Ephemera japonica</i>	3						3
<i>Potamanthus kamonis</i>	5			1			6
<i>Paraleptophlebia</i> sp. PA*	124				3	1	128
<i>Choroterpes trifurcata</i>	19	46	11	92	208	118	494
<i>Ephemerella basalis</i>	46						46
<i>E. yoshinoensis</i>	31	23	129	23	35	29	270
<i>E.</i> sp. EB*	5	3					8
<i>E. rufa</i>	31	253	340	251	322	312	1509
<i>E.</i> sp. EC*		1					1
<i>E.</i> sp. ED*		8			1		9
<i>E. nigra</i>		14			1		15
<i>E.</i> sp. nG*		2	32				34
<i>Baëtis thermicus</i>	239	175	218	138	159	206	1135
<i>B.</i> sp.		74	98	87	67	217	543
<i>Baëtiella japonica</i>	1	20	7	7	2	11	48
<i>Isonychia japonica</i>		29	5	8	20	4	66
<i>Epeorus uenoi</i>			18	29	1	16	64
<i>E. latifolium</i>	238	1843	1124	1035	1748	1306	7294
<i>E. ikanonis</i>		2	3				5
<i>E. curvatulus</i>						3	3
<i>Ecdyonurus tobiironis</i>	95	1	309	69	199	181	854
<i>E. yoshidae</i>	43	135	82	59	404	508	1231
<i>E. kibunensis</i>	90		1			63	159
<i>Heptagenia kihada</i>	51	6	1				58
<i>Rhithrogena japonica</i>	65	109	207	160	132	150	823
<i>R.</i> sp.		5	148	160	45	46	404
<i>Cinygma hirasana</i>	12		1			2	15
Odonata							
<i>Lanthus fujiacus</i>	7			1			8
<i>Sieboldius albardae</i>	2						2
<i>Stylogomphus ryukyuanus</i>	7						7
<i>Onychogomphus viridicostus</i>	1						1
Plecoptera							
<i>Rhopalopsale subnigra</i>	1		5	1	3		10
<i>Oyamia gibba</i>	1	65	66	49	69	25	275
<i>Acroneuria stigmatica</i>	85	127	25	21	6	7	271
<i>Neoperla nipponensis</i>	113	74	68	13	108	65	441
<i>Gibosia thoracica</i>	49		2	1		1	53
Chloroperlidae	26						26
<i>Perla tibialis</i>			5			1	6
<i>Caroperla pacifica</i>	3						3
<i>Kiotina</i> sp.	2						2

<i>Haploperla japonica</i>	129	6	39	28	6	20	228
<i>Isogenus japonicus</i>	7	34	64	53	51	66	275
Megaloptera							
<i>Protohermes grandis</i>	2	13	3	1		2	21
Trichoptera							
<i>Rhyacophila yamanakensis</i>			1		2		3
<i>R. nigrocephala</i>	106	13	115	76	97	96	503
<i>R. sp. RE*</i>	2	3	19	11	2	1	38
<i>R. sp. RH*</i>	29	11	9		4	5	58
<i>R. brevicephala</i>		2				9	11
<i>R. niwae</i>	13	1	2			1	17
<i>Mystrophora inops</i>	25	11	121	76	38	34	305
<i>Stenopsyche griseipennis</i>	293	594	602	798	875	645	3806
<i>Polycentropus sp.</i>	7	11	61	190	22	11	302
<i>Hydropsychodes brevilineata</i>	429	1729	1969	1119	1227	821	7294
<i>Hydropsyche ulmeri</i>	166	785	1166	853	409	240	3617
<i>H. sp.</i>	21	13	1				35
<i>Leptocerus sp. LC*</i>	2	19	1		1	10	33
<i>Goera japonica</i>	173	3	7	22	37	5	247
<i>Micrasema sp.</i>	35	33	1	8	21	26	124
<i>Dinarthodes japonica</i>	100						100
<i>Gumaga okinawaensis</i>	10						10
Coleoptera							
<i>Mataeoapsephenus japonicus</i>	89	1	2	1		1	94
<i>Eubrianax sp.</i>	42						42
<i>Elmis sp.</i>	18	1	5	12	3	7	46
<i>Helichus sp. HB*</i>	1						1
Diptera							
<i>Antocha sp. AA*</i>	302	1883	1541	1070	928	1525	8249
<i>Eriocera sp. EB*</i>	46	8	21	12	3	5	95
<i>Tipula sp.</i>				1			1
<i>Atherixibis japonica</i>	5	1		1		1	8
Simuliidae	8	1	593	250	4	223	1079
Chironomidae	64	559	339	194	109	315	1580
Crustacea							
Gammaridae						1	1
Hirudinea	4	7			8	6	25
Tricladida							
Planariidae	21	19	32	10	36	40	158

* Letters behind "sp." are taken after Tsuda (1962).

値である。

採集個体数が最も多い3月の種組成をみると、本流ではすべての場所に共通して、*Antocha* sp. AA, *Epeorus latifolium*, *Hydropsychodes brevilineata*, *Hydropsyche ulmeri*および*Stenopsyche griseipennis*の個体数が多く、これら5種で総個体数の70%から

80%を占めてしまう。このほかに、上流側の久木、安居および口ヶ谷では*Rhithrogena japonica*が、下流側の矢田と田野井では*Ephemerella rufa*の個体数が比較的多い。城川でも、ほぼ似た傾向を示すが、*Goera japonica*の数もかなり多い。

総個体数の少ない7月と10月には、目立って個体

Fig. 3. Seasonal changes of macro-benthos communities in each sampling sites.

Letters in the figure refer respectively to dominant species;

Bt: *Baëtis thermicus* Bs: *Baëtis* sp. El: *Epeorus latifolium*
 Et: *Ecdyonurus tobiironis* Rj: *Rhithrogena japonica* Og: *Oyamia gibba*
 Gj: *Goera japonica* Hb: *Hydropsychodes brevilineata* Hu: *Hydropsyche ulmeri*
 Sg: *Stenopsyche griseipennis* Aa: *Antocha* sp. AA

数の多い種は見当らない。 *Hydropsychodes brevilineata* と *Baëtis thermicus* がかなりの部分を占め、このほか、7月には *Ecdyonurus tobiironis* と *Choroterpes trifurcata* が、10月には *Epeorus latifolium*, *Rhithrogena japonica* と *Stenopsyche griseipennis* が比較的多い。

種ごとの湿重量に目を向けると、3月には *Stenopsyche griseipennis* が、全調査場所を通じて、最も多

く、ついで *Antocha* sp. AA と *Epeorus latifolium* の量が多い。さらに、*Hydropsyche ulmeri* と *Hydropsychodes brevilineata* も比較的多く、これら4種で全湿重量の90%ないしそれ以上を占めてしまう。支流の城川では、このほか *Goera japonica* と *Acroneuria stigmatica* も全体のかかなりの部分を占め、また、本流下流部の口ヶ谷と田野井では *Oyamia gibba* も比較的多い。

全湿重量が少ない7月と10月には見立って多い種は見当たらない。*Stenopsyche griseipennis* と *Hydropsychodes brevilineata* の重量が比較的多い。

このように、現存量は全体として、夏から秋にかけて少なく、冬から春先きにかけて急激に多くなり、しかも、数種の個体数あるいは湿重量がこの時期には大部分を占めてしまうという、顕著な季節周期性を示す。

3-3. 群集構造

前記のように、大型底生動物の種組成と現存量は場所により、季節によってかなり変化するので、種数、総個体数ならびに総湿重量、さらには、群集の複雑さにみられる河床型、地域ならびに季節による違いを総合的に検討してみることにする。

3-3-1. 種数、個体数ならびに湿重量

Table 3 は各調査場所の早瀬および平瀬（ただし、城川は淵も含む）で採集した標本について、方形枠あたりの種数、総個体数ならびに総湿重量を比較してみた結果である。表に示された分散比のうち F_1 は河床型間、 F_2 は採集場所間そして F_3 は季節間を比較した値である。

種数の差：3つの河床型の標本がそろっている城川での F_1 の値をみると、7月と10月の標本では、河床型間に1%以下の確率水準で有意差が得られている。Q法による逐次検定によると、この差は2つの瀬と淵との間の差で、瀬の種数が多い。しかし、12月と2度の3月の標本では、有意差はなく、冬から春先きにかけては、河床型間に種数の差が表われにくいことがわかる。早瀬と平瀬の間には、どの季節の標本をとっても差は得られていない。

本流での早瀬と平瀬を比較してみると、上流側の久木と安居の7月の標本で、1%の確率水準で有意差があり、早瀬での種数が多い。安居では、12月の標本でも、5%の確率水準で差が得られている。また、下流側の田野井と矢田では、10月の標本で、5%以下の確率水準で、それぞれ差があり、前者では早瀬の後者では平瀬の種数が多い。

しかし、残りの19標本では有意差は得られず、とくに、冬から春先きにかけては、早瀬と平瀬の間に差が表われにくいことがわかる。

つぎに、地域差 (F_2) に注目してみよう。種数は、12月の平瀬の標本をのぞくすべての河床型のすべての季節の標本で、5%以下の確率水準で有意差がある。同じ水系といえども、地域によって種数にはっきり差があることがわかる。

もっとも、比較を本流に限ると（括弧内の数字）、

7月、10月および1974年3月の早瀬の標本と1974年3月の平瀬の標本で差がなくなり、半数の標本で差が得られていない。早瀬では5標本のうち3標本で差がないことになり、とくに、早瀬で種数の地域相互の差が出にくくなっているのは群集構造を問題にする上で興味深い。

このように、種数の地域差はかなり顕著であるが、これは主として支流と本流の差であり、本流の上流側から下流側へ向かう地形の傾斜に沿った変化は認めにくい。

季節差を表わす F_3 の値は場所ごとに2つあるいは3つ示されているが、上から早瀬相互、平瀬相互および淵相互の比較の結果をそれぞれ表わしている。

城川では、早瀬、平瀬とも季節間に差は得られていないが、淵では冬から春先きにかけての種数が多い。いっぽう、本流では、すべての標本について、0.1%という確率水準で差が表われており、すべての地域のすべての河床で、季節間に種数の差があることは明白である。

さらに、その変化を季節を追ってみてみると (Fig. 4)、種数は7月ないし10月に少なく、12月ないし3月に多くなり、この傾向は下流側の口ヶ谷や田野井でより明瞭である。

本流の各場所では、種数は冬から春先きにかけて多くなる。これに対して支流では、瀬での季節変化は顕著でなく、年間を通じて、比較的多い状態が続く。

総個体数の差：城川の河床型間では、1973年3月と7月の標本で、それぞれ5%以下の確率水準で有意差が得られている。そして、逐次検定によれば、この差は瀬と淵との差で、前者の総個体数の方が多い。

本流では、調査場所と季節を含む24標本のうち、早瀬と平瀬の間で5%以下の確率水準で有意差が得られたのは12標本である。これらのうち、11標本は早瀬の総個体数が平瀬より多いが、1標本、すなわち、田野井での12月の標本だけは平瀬の個体数の方が多い。そして、これらは、どちらかといえば、上流側の調査場所に多く、ここでは早瀬の総個体数が多い。逆に、下流側の矢田では、有意差の得られた標本は1つも無い。また、季節的には、7月と10月の標本で差が得られている場合が多く、3月の標本では逆に少ない。

地域差を表わす F_2 の値は、1973年3月の平瀬での標本をのぞき、すべての標本で5%以下の確率水準で差が得られている。比較を本流だけに限ってみても、7月の平瀬の標本で差がなくなるだけである。同一水

Letters in the table refer respectively to; n: sample size, $\bar{X}$: sample mean, F_1 : value of the variance ratio between riverbed types, F_2 : value of the variance ratio between sampling sites and F_3 : value of the variance ratio between seasons. One, two and three asterisks show significant at 5%, 1% and 0.1% probability levels respectively. Figures in brackets are results compared between main stream sites only.

[illegible]

Fig. 4. Seasonal changes of the number of taxa in each sampling sites. Symbols ●, ○ and × in the figure show Hayase rapids, Hirase rapids and pools respectively. Fine vertical lines designate the confidence limits of the sample mean at 95% levels.

系の同じ河床型相互でも、地域によって総個体数にかなり差があることがわかる。

季節差 (F_3) は、瀬では、すべての標本で 1% 以下の確率水準で差が得られている。そして、ここでも本流の各場所では、冬から春先にかけて、総個体数が多くなるという季節周期性がかなり明瞭に表われている (Fig. 3-a)。

ところが、支流の城川では、季節間に差はあるものの、はっきりした周期性は認めにくく、年間を通じて、総個体数はかなり多い。

総湿重量の差：城川では、1974 年 3 月の標本以外はすべて 1% の確率水準で差が得られ、瀬の総湿重量は淵に比べて多い。

本流では、比較結果 24 例のうち、5% 以下の確率水準で差が得られたのは 15 例、得られなかったのは 9 例である。差が得られたもののうち、早瀬の湿重量が多いのは 13 例で、逆に、平瀬のそれが多いのは 2 例あり、下流側の矢田と田野井のものである。得られた結果を場所あるいは季節を基準に整理してみても、あまりはっきりした傾向は認めにくい。どちらかといえば、上流側で得られている場合が多く、この場合には早瀬の重量が大きい。これに対して、下流側では、両者の差が出にくくなり、平瀬の重量が多い場合さえある。

つぎに、地域差 (F_2) をみてみると、10 標本のうち 7 標本で差が得られ、7 月の早瀬と平瀬および 10 月の早瀬の 3 標本では差がない。この結果は地域を本流に限っても変わらず、7 月と 10 月といった暖かい季節には、重量の地域差は表われにくいようである。

本流と支流とを比べると、冬から春先にかけては、ほとんどの本流の場所の湿重量が支流より多い傾向を示している。

季節差 (F_3) に移ろう。この量には明瞭な差があり、すべての標本について、0.1% の確率水準で差がある。そして、すでに Fig. 3-b で見てきたように、本流、支流を問わず、夏から秋にかけて重量は少なく、冬から春先にかけて急激に多くなるという、極めて強い季節周期性を示す。

種数と総個体数の関係：本流では、種数の季節に伴う増減と現存量のそれとは平行して起こっているように見えた。前記 29 標本を用いて、種数の平均値と総個体数の平均値とを対数目盛の座標平面にプロットしてみたのが Fig. 5 である。

座標平面の各点はかなりばらつくものの、種数が多い標本では総個体数も多いという傾向がかなり明瞭に見られる。相関係数は 0.856 で、0.1% の確率水準で有意である。ただ、城川での標本および上流側の久木と安居の 7 月の標本が回帰直線からかなりはずれていることに同時に注目しておこう。

3-3-2. 多様度指数

最後に、SIMPSON の種の多様度指数 (SIMPSON, 1949) を用いて、方形枠あたりの値で得られた数値について、前記 3 つの基準で比較検討してみよう。SIMPSON の多様度指数は $D = 1 - \sum_j N_j(N_j - 1) / (N(N - 1))$ で表わされる。ただし、 N は総個体数、 N_j は j 番目の種の個体数である。Table 4 はその結果をまとめたもので、標本数、方形枠あたりの指数の平均値ならびに前記 3 つの基準で比較された分散比 F_1 , F_2

Fig. 5. Relation between the number of taxa and the number of specimens. Symbols in the figure refer respectively to; ●: Johgawa, ○: Hisaki, ×: Ago, ▲: kuchigatani, △: Tanoi and ■: Yada. The value of the correlation coefficient between them is 0.856 and significant at 0.1% probability levels.

および F_3 の値が示されている。

河床型間の差：城川では10月と1974年3月の標本で5%以下の確率水準でそれぞれ有意差がある。そして、10月の差は瀬と淵の間の差で、前者の値が大きく、3月の差は3つの河床型間の差で、値は早瀬、淵、平瀬の順に小さくなっている。

本流の各場所については、10月の矢田で1%、1974年3月の口ケ谷と田野井で5%の確率水準でそれぞれ差が出ている。そして、10月の矢田と3月の田野井では平瀬での値が大きく、3月の口ケ谷では早瀬の値が大きい。残りの21標本では差が得られていない。

このように、多様度指数を用いると、前記種数ならびに総個体数の比較の場合に得られていた河床型間の差（とくに、総個体数の場合に多かった）は本流の多くの場所で捨棄されてしまい、しかも、必ずしも早瀬の指数が大きい値を示すとはかぎらないのである。

地域差：全標本10例のうち7例で、1%以下の確率水準で差が得られている。したがって、群集の複雑さには地域間にかなりの差があると見なすべきだろう。

比較を本流の地域に限ってみると、差が得られる標本は5例に減る。そして、差が得られない標本は1973年3月の早瀬と平瀬、12月の早瀬と平瀬、および、1974年3月の早瀬とすべて冬と春先の値である。

いっぽう、地域差が表われている例については、地形の傾斜に沿った変化の傾向は認めにくい。

季節差：全標本のうち9例で有意差が得られている。すなわち、城川の早瀬、平瀬および淵、久木の平瀬、安居の早瀬と平瀬、口ケ谷の平瀬、田野井の早瀬、および、矢田の早瀬である。

そして、早瀬と平瀬の両方で差が得られている安居での標本について季節を追って指数の変化をみると（Fig. 6）、他の季節に比べて7月の値がはっきりと小さい。同じ傾向はもう一つ上流側の久木でも得られている。

これに対して下流側にある口ケ谷では、早瀬の値には差がなく、平瀬では12月と3月に小さい値を示す傾向が表われている。しかし、全体としては、むしろ、季節を通じて似た値を示す傾向が読みとれる。同様の傾向はさらに下流の田野井と矢田でも認められ、また、支流の城川の標本も季節周期性を示すとはいえない。ただ、平均値の95%水準での信頼区間は12月と3月にどの地域でも、他の季節に比べて、小さくなる傾向が表われている。

このようにみえてくると、多様度指数に季節周期性があるかどうかの判断はむずかしい。そして、種数ならびに総個体数に見られた顕著な周期性は、これらの値を用いて計算した多様度指数では、ほとんど捨棄されてしまうのである。

4. 考 察

生息種数：日置川の中・下流域では90種余りの大型底生動物が確認されているが、とりあえず、この数を近畿周辺の各河川で得られている結果と比較してみよう。淀川水系では、汚濁が進んでいる水域を除くと、種数は30から40ぐらいを数える場合が多く、とくに多い例で50から70種ぐらいに達している（津田ほか、1972、1973a、1973b）。また、兵庫県の新加川では52種（渡辺ほか、1974）、円山川では54種（原田ほか、1973）という記載がある。さらに、水野ほか（1966a、b、c）と水野（1967）によれば、紀の川の中流から下流にあたる五条と六十谷の種数はそれぞれ49種である。

しかし、これらの記載の多くは年1回かあるいは2回の調査の、1箇所2標本という内容に基づくものであり、しかも、調査は春から秋にかけての暖かい季節に実施されている。そして、種数がとくに多い例は、これに対して、冬あるいは春先に行なわれたものである。日置川での種数は冬から春先にかけて増加し、

Table 4. Comparisons of Simpson's species diversity index between different riverbed types, sampling sites and seasons. Letters in the table mean the same as in Table 3.

Month and river-bed types	Johgawa			Hisaki			Ago			Kuchigatani			Tanoi			Yada			F ₂
	n	$\bar{X}$	F ₁	n	$\bar{X}$	F ₁	n	$\bar{X}$	F ₁	n	$\bar{X}$	F ₁	n	$\bar{X}$	F ₁	n	$\bar{X}$	F ₁	
Mar., '73																			
Hayase rapids	5	0.810	0.106	5	0.840	0.230	5	0.791	1.44	5	0.822	0.59	5	0.854	2.59				1.164
Hirase rapids	5	0.825		5	0.833		5	0.844		5	0.739		5	0.737					1.001
Pool	5	0.790																	
July, '73																			
Hayase rapids	5	0.801	3.76	4	0.626	0.25	5	0.560	0.41	5	0.855	0.56	5	0.836	2.43	5	0.860	1.44	6.017**
Hirase rapids	5	0.799		5	0.638		5	0.591		5	0.838		5	0.798		5	0.810		6.240**
Pool	5	0.707																	
Oct., '73																			
Hayase rapids	4	0.876	8.86**	5	0.801	4.48	5	0.847	1.57	5	0.860	0.31	5	0.852	3.95	5	0.663	23.14**	12.443**
Hirase rapids	5	0.879		5	0.874		5	0.809		5	0.870		5	0.755		5	0.822		4.532**
Pool	5	0.789																	
Dec., '73																			
Hayase rapids				4	0.819	0.17	5	0.833	0.35	5	0.834	3.40	5	0.790	4.82	4	0.789	1.34	(1.216)
Hirase rapids	5	0.741	2.33	5	0.830		5	0.840		5	0.812		5	0.843		5	0.818		5.614**
Pool	5	0.593																	(1.093)
Mar., '74																			
Hayase rapids	5	0.890	6.29*	5	0.802	0.03	5	0.837	0.03	5	0.819	11.86**	5	0.798	8.20*	5	0.822	0.75	4.787**
Hirase rapids	5	0.739		5	0.796		5	0.832		5	0.750		5	0.834		5	0.793		(0.943)
Pool	5	0.875																	4.341**
																			(3.105)
F ₃																			
Hayase r.	7	1.14***		2	3.12		13	3.78***		1	1.57		3	1.45*		10	7.72***		
Hirase r.	4	4.49***		5	5.920**		11	0.99***		9	9.778***		1	1.474		0	0.286		
Pool	3	3.106*																	

牧

Fig. 6. Seasonal changes of values of Simpson's diversity index in each sampling sites. Symbols and vertical lines in the figure designate the same as in Fig. 4.

この傾向は本流で著しい。同じ現象が他の河川で起こっていてもおかしくなろう。事実、季節を考慮して調査された石川県の町野川水系では7目115種の水生昆虫が記載されている(谷口, 1974)。また、紀の川でも、五条より上流では、1967年2月に昆虫類73種余り、その他5種、計78種余りが記載されている(水野, 1967)。このようにみえてくると、日置川での種数は自然が比較的良く保たれている河川の中・下流域に見られる極めて標準的な数といえそうである。ちなみに Elton (1933) は、現在の調査方法では、温帯の群集における大型動物の種数は150種を越えない数だろうとしている。

河床型間の差: 可児 (1944) によれば、各河床型に生息する底生動物の種数は、早瀬、平瀬、淵の順に少なくなる傾向があるという。今回の調査で3つの河床型の標本がそろっている城川では、夏と秋には、確か

に、瀬の種数が淵より多いが、早瀬と平瀬の間では差が得られず、しかも、冬と春先きには瀬と淵の間にも差が表われていない。本流での早瀬と平瀬の比較結果でも、上流側の、主として夏の標本に早瀬の種数が多いという例があるが、冬から春先きにかけては差が表われにくくなっている。

総個体数についても、水野 (1966a) が、どちらかといえば早瀬、平瀬、淵の順に少なくなる傾向があるとしている。日置川では、城川の場合は種数の傾向と同じであり、本流では、ほぼ半数の標本で早瀬の総個体数が多いという結果が得られたが、上流側の河床の夏と秋の標本にその例が多い。そして、ここでも冬と春先きに差が表われにくくなっている。

湿重量については、津田 (1950) が、一般的傾向としては前記の順序に従うとしている。日置川の場合、この順序に従うのは、やはり、主として支流と上流側の、暖かい季節の標本である。下流側では、逆に、平瀬の湿重量が多いという結果さえ出て来ている。

このように、今回の結果は、各河床型で5回ずつ採集という、かなり多い標本数であるにもかかわらず、早瀬は種数、現存量ともに豊富であるという傾向はなかなか検出しにくいことを示している。とりあえず、この傾向は中流域の、暖かい季節に限って適用しておいた方が無難ではなかろうか。事実、水野ほか (1966a) や手塚ほか (1960) も Aa 型の河床での例外を認めている。

さらに、SIMPSON の多様度指数を比較すると、前記の傾向はいっそうあいまいとなる。城川で3つの河床型間で有意差が得られたのは5標本のうち1標本にすぎない。本流の早瀬と平瀬の間の差も、24例中3例で得られたにとどまり、しかも、早瀬の指数が必ずしも大きいとは限らない。動物相の豊富さを群集構造の「複雑さ」の意味に使用するならば、早瀬は豊富であるとはますますいいにくくなる。

多様度指数を用いると河床型間の差がよりあいまいとなる原因の1つは、結果の項でも触れたように、種数と総個体数の間に正の相関があるからである。群集構造からみると、早瀬、平瀬および淵は、それぞれ、それなりの複雑さを備えているともいえる。

地域差: 今回の調査では、全地域に共通して出現した種は29種、本流だけに限ると31種にも達している。逆に、本流の特定の場所に限って採集された種はわずかに3種である。田中 (1966) も、栃木県の鬼怒川上流域の水生昆虫相についてみられた似た現象について触れ、これは対象水域の全般にわたって、水生昆虫の

分布を規制する諸要因が近似していることを指標するものであろうとしている。

しかし、日置川では、種数、総個体数あるいは湿重量といった量的側面の比較を行なうと地域差はかなり明瞭になる場合が多い。そして、多様度指数を用いても同じ傾向が維持される。しかも、今回のように中・下流域に限るならば、地域差が上流と下流といった地形の傾斜とも結びつきにくく、いささか極論するならば、この差は別の環境条件の差を反映したものであるといえよう。もっとも、この点に関しては WILHM *et al.* (1965) が、SHANNON の指数は最下流で最大値を示すとしているが、彼等の場合には源流から合流点までをひっくりめた、環境傾斜のより著しい区間相互についての論議である。

季節周期性：今回の調査では、季節変化に応じて、種類構成が変わるばかりでなく、種数、総個体数あるいは湿重量が変化し、各量は冬から春先きにかけて最大となり、この傾向は本流で著しいことがわかった。この変化は基本的には季節に紐込まれた各種の生活環境に起因し、その累積結果によるものであろう。

ところが、多様度指数を用いると周期性ははっきりしなくなり、種数の増加と総個体数の増加の間にみられた平行現象は、とくに、季節に結びついて起こっていることがうかがわれる。SIMPSON の多様度指数が群集構造の複雑さをより良く反映しているものとするならば（渡辺，1973），季節に応じて種数と総個体数に変化が起こり、群集はそれぞれの季節に対応した複雑さを備えていることになる。もっとも、標本ごとの指数の振れは冬から春先きにかけて小さくなり、この時期に群集はより安定した様相を示す。

このようにみえてくると、SIMPSON の多様度指数は、とりあえず河川の中・下流域では、河床型、上流と下流および季節にあまりとらわれずに地域を比較でき、もし自然の河川の大型底生動物群集の複雑さが環境と密接に結びついているとするならば、環境を判定する指標として、種数や現存量をそのまま用いるよりは勝れた方法であるといえよう。さらには見つけにくい指標生物を捜すよりも、この指数を用いる方が便利で精度が高いともいえよう。

摘 要

1) 和歌山県日置川の中・下流域における大型底生動物群集を河床型、調査場所および季節相互で比較した。標本採集には 50 cm の方形枠を持つサーバーネット型の用具を用い、支流を含む 6 カ所で、早瀬と平

瀬を中心に、5 標本ずつ採集した。比較には 1973 年 3 月から 1974 年 3 月にかけての 5 回の調査資料を用いた。

2) 90 種余りの動物が採集され、そのほとんどが水生昆虫類で、他にヨコエビ類、ヒル類および渦虫類も採集されている。これらのうち、すべての場所で共通にみられた種は 29 種を数えるが、逆に、特定の場所を標徴するような種はみつけにくい。

3) *Stenopsyche griseipennis*, *Antocha* sp., *Epeorus latifolium*, *Hydropsyche ulmeri* および *Hydropsychodes brevilineata* の現存量がとくに多い。種組成は季節によって差があり、冬から春先きにかけて、前記 5 種の現存量が著しく多くなる。

4) 種数、総個体数および湿重量を河床型間で比較すると、上流側の夏と秋の標本で有意差が得られる場合が多く、早瀬での各量が大きい。冬と春先きの標本では差が出にくい。

5) 前記 3 量を調査場所間で比べると、すべての河床型と季節を通じて、かなり明瞭な差が得られる。しかし、各場所での量と上流と下流といった関連性は認めにくい。

6) 同じ 3 量は季節間でもかなり差がある。とくに本流では、すべての場所の河床型で季節相互に 1% 以下の確率水準で差が得られ、冬から春先きにかけて最大量になる。

7) 種数と総個体数の間には正の相関があり、種数の多い場所あるいは季節では総個体数も多い。

8) SIMPSON の多様度指数を河床型、調査場所および季節相互で比較すると、前記の河床型間の差および季節周期性の多くは捨象され、場所間の差だけが比較的明瞭に残る。河川の大型底生動物群集はそれぞれの河床型と季節に対応する複雑さをそなえているといえよう。

文 献

- CHUTTER, F. M. (1972) : A reappraisal of Needham and Usinger's data on the variability of a stream fauna when sampled with a Surber sampler. *Limnol. Oceanogr.*, 17: 139-141.
- DICKSON, K. L., J. J. R. CAIRNS and J. C. ARNOLD (1971) : An evaluation of the use of a basket type artificial substrate for sampling macro-invertebrate organisms. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 100: 553-559.
- ELTON, C. S. (1933) : *The ecology of animals*.

- Methuen.
- 原田三郎・渡辺 直・北村弘行・渡辺 弘 (1973) : 公共有水域における生物学的浄化機能に関する研究 (III), 河川汚濁による水生生物相の変化, b 底生動物相からみた円山川の汚濁, 兵庫県公害研報, 5: 33-37.
- HYNES, H. B. N. (1970) : *The ecology of running waters*. Liverpool Univ. Press.
- 可児藤吉 (1944) : 溪流棲昆虫の生態. 日本生物誌, 昆虫, 上巻, 研究社.
- MACARTHUR, R. H. and E. O. WILSON (1967) : *The theory of island biogeography*. Princeton Univ. Press.
- 牧 岩男・竹原都二・藤原優二 (1974) : 日置川中・下流域の魚類およびそれらの餌生物. 末松四郎教授退官記念誌: 41-55.
- 水野信彦 (1967) : 奈良県吉野川での底生動物の現存量 V. 1966 年 2 月. 大教大紀要, 16, III (2): 9-15.
- 水野信彦・岩崎 優・西村正昭 (1966a) : 奈良県吉野川での底生動物の現存量 I. 1965 年 2 月. 日生態会誌, 16: 113-116.
- 水野信彦・岩崎 優・西村正昭 (1966b) : 奈良県吉野川での底生動物の現存量 II. 1965 年 4 月・5 月. 日生態会誌, 16: 157-165.
- 水野信彦・岩崎 優・西村正昭 (1966c) : 奈良県吉野川での底生動物の現存量 III. 1965 年 8 月. 日生態会誌, 16: 219-225.
- 水野信彦・岩崎 優・西村正昭 (1967) : 奈良県吉野川での底生動物の現存量 IV. 1965 年 10 月. 日生態会誌, 17: 104-111.
- 水野信彦・御勢久右衛門 (1971) : 河川の生態学, 築地書館.
- NEEDHAM, P. R. and R. L. USINGER (1956) : Variability in the macrofauna of a single riffle in Prosser Creek, California, as indicated by the Surber sampler. *Hilgardia*, 24: 382-409.
- PILLOW, R. C. (1969) : *An introduction to mathematical ecology*. Wiley-Interscience.
- RANDFORD, D. S. and R. HARTLAND-ROWE (1971) : Subsurface and surface sampling of benthic invertebrates in two streams. *Limnol. Oceanogr.*, 16: 114-120.
- SIMPSON, E. H. (1949) : Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.
- 信夫つや子 (1968) : 水生昆虫の定量における最小面積. 奈良陸水生物学報, 1: 13-15.
- 田中 光 (1959) : 種々の河床型における底生昆虫の現存量について. 淡水研報告, 8 (1): 1-6.
- 田中 光 (1966) : 栃木県鬼怒川上流域における水生昆虫の生態学的研究. 淡水研報, 15: 123-147.
- 谷口正成 (1974) : 町野川水系の底生動物相. 金沢大日本海域研報, 6: 61-87.
- 手塚洋子・亀谷敬子 (1960) : 宇川の付着藻類と水生昆虫. 日生態会誌, 10: 201-207.
- 津田松苗 (1959) : 川の底生動物の現存量をめぐる諸問題, 特に造網型昆虫の重量性について. 陸水雑, 20: 86-92.
- 津田松苗 (編) (1962) : 水生昆虫学. 北隆館.
- 津田松苗 (編) (1972) : 淀川水系生物調査報告, 第 1 報.
- 津田松苗 (編) (1973a) : 淀川水系生物調査報告, 第 2 報.
- 津田松苗 (編) (1973b) : 淀川水系生物調査報告, 第 3 報.
- 渡辺 直・原田三郎 (1976) : ちりととり型金網による河川底生動物採集上の問題点. 陸水雑, 37: 47-58.
- WILHM, L. W. and T. C. DORRIS (1965) : Species diversity of benthic macroinvertebrates in a stream receiving domestic and oil refinery effluents. *Amer. Mid. Natur.*, 76: 427-449.
- (著者: 牧 岩男, 和歌山大学教育学部生物学教室, 和歌山市真砂町 1 の 1 ; Iwao MAKI, Biological Laboratory, Faculty of Education, Wakayama University, Masago-chō 1-1, Wakayama, 640)

1979年8月22日 受理