

ちりとり型金網による河川底生動物採集上の問題点

渡辺 直・原田 三郎

Some problems in sampling stream fauna, with particular
reference to the variability of samples

Naoshi C. WATANABE and Saburo HARADA

Abstract

The results obtained by using a wire gauze shovel were analyzed statistically to determine the reliability of the figures. The place selected for the test was a broad and apparently uniform riffle on Hatsukagawa Creek near Sanda City, Hyogo prefecture.

Judging from the coefficient of variation among thirteen samples collected at random, the number of taxa in each unit area has a relatively small variability; on the other hand, both the total individual numbers and the total biomass have a great variability. Moreover, both of the two diversity indices—Shannon's and Simpson's—have very stable values. The greater variability of figures is, the more repeatedly samples must be collected to obtain any specified level of precision. For example, in order to estimate the total number of individuals within 10% of the true value at the 95% level of significance, no less than 39 repetitive samples with a 50 cm×50 cm quadrat are required in contrast to only six samples for the mean number of taxa. Practically speaking, error of the order of 30% must be permitted to estimate the number of individuals and biomass.

As to each single species, the variability of samples depends on the degree of aggregation of individuals. For example, *Eubrianax sp.*, *Baetiella japonica*, *Dugesia gonocephala* and *Hydropsyche ulmeri* show a very contagious distribution, so the variability is great. In opposition, *Mystrophola inops*, *Antocha spp.*, *Stenopsyche griseipennis* and *Ecdyonurus yoshidae* show a nearly random distribution and consequently, the variability is relatively small.

As regards quadrat size, sampling with a 25 cm×25 cm quadrat may be better than with a 50 cm×50 cm quadrat, considering the balance of variability of samples and effort for sampling.

This paper deals chiefly with sampling error in the statistical sense. Another important point in sampling procedure is selectivity of a sampling method. Further study on this point is needed.

1. はじめに

流水域において底生無脊椎動物の採集をするために現在までにさまざまな器具が考えられている (CUMMINS 1962, HYNES 1970, 1971 など) にまとめられている。そのなかでも世界的には SURBER sampler (SURBER 1936) が最も広く用いられてきたものであろうが、わが国においては SURBER sampler とならんでちりとり型金網 (津田 1962) も良く用いられている。これはわが国の河川は急流が多いため、器具の入口における逆流が生じにくい型が望ましいということが大きな理由であろう。

どのような採集器具を使うにせよ、定量採集をする場合には得られた値の精度が問題にされなくてはならない。底質や流速分布の不均一性、生物の集中性などが標本の抽出誤差を生じさせ、精度を下げる要因となる。繰り返して採集する場合、上の原因による標本間の値の変動が大きいほど一定の精度を得るために必要な採集回数は多くなる。

NEEDHAM & USINGER (1956) は SURBER sampler で採集した場合、個体数や現存量の信頼できる値を得るためには現実には不可能なほど多くの採集回数が必要であることを述べている。また最近 CHUTTER (1972) は上の報告の疑問点を洗い直して再検討した

結果、最終的にはやはり同様の結論に達している。

一方、DICKSON *et al.* (1971) は basket-type sampler で、また RANDFORD & HARTLAND-ROWE (1971) は cylinder sampler で、一定の精度を得るための採集回数を調べて採集器具の検討を行なっている。

一方、上で述べた精度とは意味が異なるが、GAUFIN *et al.* (1956) および CHUTTER & NOBLE (1966) はそれぞれ別の方法を用いて特定の採集回数でそこに生息する種の何%が採集できるかを調べている。

さて、ちりとり型金網の場合、広く用いられてきたのにもかかわらず上述のような点にはほとんど注意が払われてこなかった。本報では下に挙げる幾つかの点を調べ、ちりとり型金網を用いて採集したデータの信頼性について検討した。

- 1) 繰り返して採集した場合の標本間の変動の大きさは?
- 2) 決められた精度を得るために必要な採集回数はいくつ?
- 3) 一定の採集回数で全生息種のうち何%が採集されるか。

本文に先立ち、かなりの重労働の調査に最後まで快く協力して下さいった兵庫県環境局環境管理課の山崎卓三氏および原稿を校閲して適切な御助言を下された京都大学大津臨湖実験所の三浦泰蔵助教授に心からの謝意を表する。

2. 方 法

調査は1974年6月24~26日に行なった。調査を行なった場所は兵庫県の武庫川の支流羽束川の上流部である。調査地点の概観を Fig. 1 に示した。河川形態は川幅約8mの平瀬であり、見たところできるだけ一様な場所を選んで5m×5mの調査区画を設定した。



Fig. 1. General view of the sampling area on Hatsukagawa Creek.

この区画内は最大で直径20cmぐらまでの大きさの石からなる石礫底である。区画内の各点における調査時の水深と底流速を Table 1 に示した。ただし、流速計が正しく作動していなかったらしく、流速の数値は全体に実際よりも小さいように思われる。地点間の相対的な違いを表わすだけのものとしてみた方が良い。この区画に杭を打って糸を張り(杭打ちは調査日の約一カ月前に行なった)、50cm×50cmのコードラートに区切ったのち、乱数表を用いて13個の採集点を選んだ。ほとんど埋まった大石などがあって採集不能な場合だけ乱数表で選んだ位置から採集点を少しずらした。実際には、ひとつのコードラートをさらに4つに分けて25cm×25cmの面積を1単位として計52サンプルを採集した。採集は下流から上流へと進めていった。詳しい採集手順を以下に述べる。用いたちりとり型金網を Fig. 2 に示した。間口30cm、奥行40cm、高さ15cmで網目は40 mesh/inchである。金網をコードラートのすぐ下に置き、これを片手または足でおさえ安定させようとしてコードラート内の石を手で静かに金網に移す。この際、コードラートの端にかかった石は視覚的に gain と loss を相殺して石をとりあげた。細かい砂利ばかりになったら手でかきあつめて砂利も一緒に金網に入れて岸に運ぶ。岸で直径約3cmよりも大きな石についている動物をピンセットでとりあげ、約10%のホルマリン溶液の入った管ビンに入れる。この操作が終った石はさらに水を入れたバケツの中で表面を手でこすって洗う。直径約3cm以下の石はそのままバケツの中に入れて40 mesh/inchのプランクトンネット地でこす。水を7~10回換えて手で激しくかきまぜ、汙過を繰り返す(動物の floating が確認できなくなったら最低2回行なう)。つぎにバケツの中の小石をバットにあげ、水を入れてしばらく放置したのち、これまでの操作でとり残されていた動物(ほとんどが、石から成る可携性巣をもった *Mystrophora inops* と *Goera japonica*) をピンセットでとりあげる。

汙過によりネット地に残った動物はゴミと一緒に約10%ホルマリン溶液に浸して持ち帰る。

ちりとり型金網は通常、数人で操作することが多いようであるが、今回は調査にあたった人員は3名であり、上に述べた一連の作業を厳密に規定したうえですべて一人ずつ独立に行なった。

実験室に持ち帰ったのち、動物を選別し、約70%エタノール溶液に入れ換えて保存した。その後適宜とり出して同定したのち種ごとに個体数と重量を測った。

Table 1. Water depths and velocities in sampling area.
 numerator : water depth, denominator : water velocity (m/sec.) near the bottom.

5 m							
	22	27	28	23	17	20	
	0.24	0.36	0.36	0.34	0.29	0.26	
	21	29	30	17	21	25	
	0.24	0.32	0.23	0.28	0.24	0.17	
	21	23	28	18	18	22	
	0.24	0.38	0.31	0.28	0.28	0.28	
	24	22	27	18	19	25	
	0.22	0.37	0.30	0.18	0.34	0.29	
	23	24	27	18	16	25	
	0.25	0.35	0.34	0.11	0.27	0.23	
	22	28	26	22	20	25	
	0.27	0.29	0.36	0.27	0.26	0.29	
flow direction ↓							5 m

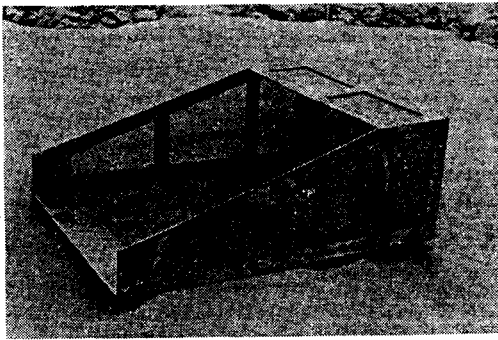


Fig. 2. Wire gauze shovel.

3. 結 果

50cm × 50cm の採集面積でまとめた場合の種数,

総個体数, 現存量, 2種類の多様性指数の値をその平均, 範囲および変動係数とともに Table 2 に示した。それぞれの一回のサンプルは 25cm × 25cm の面積で採集した 4 サンプルを合計したものである。表の右 2 つの欄は過去に提出されている数多くの多様性指数 (渡辺 1973, HEIP & ENGELS 1974 がまとめている) のうちで比較的良く実用化され, しかも満足すべき条件を備えていると思われる指数を挙げた。SHANNON 指数は近年最もよく用いられている多様性指数であり* (PIELOU 1966, WILHM & DORRIS 1968 など), また SIMPSON の指数は著者らが水質汚染の指標として有効であることを確かめているものである (渡辺ほか 1973, 渡辺・原田 1974)。表で変動係数をみると, 総個体数や現存量は値の変動が非常に大きいのに対し,

* ここで SHANNON 指数としてあげた式は, 本来は無限母集団からの標本に適用することによって母集団値の最尤推定値を与える式である (PIELOU 1966)。今回の場合, 母集団は一応有限ではあるが全数調査ではなく, また抽出の便宜上区画を仕切ただけであって, 同じような条件の平瀬全体が母集団であるともみなせるのでこの式を適用した。

Table 2. Number of taxa, number of specimens, biomass and values of diversity indices in each thirteen sample with mean, range and coefficient of variation.

	Number of taxa	Number of specimens	Biomass (mg/0.25m ²)	SHANNON'S diversity index*	SIMPSON'S diversity index**
1	31	914	3099.3	3.45	0.85
2	39	999	2801.4	4.00	0.92
3	31	1287	2188.4	3.59	0.88
4	31	1141	2348.7	3.42	0.85
5	42	2037	5253.4	4.09	0.92
6	39	1301	4243.8	3.72	0.88
7	34	727	2237.7	4.00	0.92
8	31	1289	3718.7	3.88	0.91
9	36	2010	7142.0	3.70	0.89
10	28	1088	2010.3	3.17	0.82
11	29	1007	2590.5	3.64	0.88
12	34	2290	6324.1	3.67	0.89
13	33	2630	4656.1	3.51	0.86
\bar{x}	33.7	1440.0	3739.6	3.68	0.88
R	14	1903	5131.7	0.92	0.10
C. V.	12.1%	39.8%	43.1%	6.9%	3.4%

$$* D. I. = -\sum_i (N_i/N) \log_2 (N_i/N) \quad (\text{SHANNON \& WEAVER 1963})$$

$$** D. I. = 1 - \frac{\sum N_i(N_i-1)}{N(N-1)} \quad (\text{SIMPSON 1949})$$

N: total number of individuals

N_i: the number of individuals in the i-th species

種数は比較的値の変動が小さく、さらに2つの多様性指数はいずれもきわめて安定した値を示していることがわかる。総個体数・現存量とも、最大の値と最小の値とを比較すると3.6倍もの違いがみられる。2つの多様性指数のうちではSIMPSONの式の方が変動係数の値が小さい。

Table 2 から、個体数や現存量を推定する場合に比べて種数を調べる場合にはより少ない採集回数で望む精度が得られ、多様性指数を計算する場合にはさらに少ない採集回数で良いだろうということが予想される。

必要な採集回数を算定する方法を以下に示す。今回の場合、抽出の無作為性をできるだけ完全にするための抽出単位のリストアップの方法として川床を5m×5mに仕切ってその区画内で採集したため、母集団は有限である。有限母集団の場合、次式で必要採集回数が求められる(津村 1956)。

$$n \geq \frac{t^2 C^2 / \epsilon^2}{1 + t^2 C^2 / N \epsilon^2} \quad (1)$$

ここでNは有限母集団の大きさを、コードラート面

積の倍数で表わしたものである。Cは変動係数(s/ \bar{x})、tは'studentのt'であり、 ϵ は平均値に対するパーセントで表わされた抽出誤差の許容限界である。tの値は普通は95%以上の信頼度を与える値として2を用いる。実際の計算にあたっては、まず

$$n_0 \geq t^2 C^2 / \epsilon^2 \quad (2)$$

を計算する。これは抽出率 n_0/N が無視できる場合のnの近似値であり、無限母集団とみなした場合の式(SOUTHWOOD 1966 参照)と同じものである。抽出率が無視できる場合(ここでは津村 1956 にならって $n_0/N < 0.05$ を用いる)は(1)式の代わりに(2)式の n_0 が必要採集回数となる。もし n_0/N がある程度以上大きくて無視しえないならば、つぎに

$$n = \frac{n_0}{1 + n_0/N} \quad (3)$$

を計算すれば良い。本報では採集回数や精度についてのおおよその目安を求めれば良いわけであるから、扱った統計量は一応すべて正規分布をするものと仮定した。

まず、底生動物群集の種数を求める場合の必要採集

Table 3. The number of replicates required to estimate the number of taxa per unit area within a defined range of the population mean. Formulae (2) and (3) were used for calculation.

Unit area	Number of quadrat	Mean number of taxa	s. d.	Number of replicates required				
				permissible error				
				10%	20%	30%	40%	50%
50×50 cm	13	33.7	4.1	5.5	1.5	0.6		
25×25 cm	13	25.0	3.9	9.5	2.4	1.1	0.6	0.4

回数について Table 3 に示した。表では 50cm×50cm の面積で採集した場合と 25cm×25cm で採集した場合のそれぞれを分けて表わしてある。25cm×25cm の面積の場合は、それぞれの 50cm×50cm の区画を 4 つに分けたうちから再度無作為にひとつをとり出して計 13 回のデータから計算したものである。表より、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と、50cm×50cm の面積で 6 回、25cm×25cm の面積で 10 回の採集回数が必要ということになる。(2) 式からもわかるように、抽出率が小さい場合には誤差の許容限界を 2 分の 1 にすると必要採集回数はほぼ 4 倍になる。

全く同様に、総個体数および総現存量を推定する場合に必要な採集回数をそれぞれ Table 4, Table 5 に示した。どちらの場合も、95% の信頼度で誤差の許

容限界を 10% 以内という高い精度で推定しようとするれば、実際上不可能なほど多くの採集回数が必要であることが表からわかる。野外調査においては一般に許容せざるを得ないレベルとして誤差範囲を 30% まで広げれば、総個体数を推定する場合には 50cm×50cm のコードラートで 7 回、25cm×25cm では 14 回となり、また総現存量に関してはそれぞれ 8 回、13 回の採集が必要ということになる*。

つぎに、2 つの多様性指数の値を算出する場合には (Table 6), 計算上、SHANNON Index では 25cm×25cm の面積で 3 回、SIMPSON Index では 1 回採集すれば 95% の信頼度で誤差範囲を 10% 以内におさえられることになる。

多様性指数については、一定の面積で採集した場合の値の変動のほかに、サンプル・サイズによって値が

Table 4. The number of replicates required to estimate the total number of animals per unit area within a defined range of the population mean.

Unit area	Number of quadrat	Mean number of animals per unit area	s. d.	Number of replicates required				
				permissible error				
				10%	20%	30%	40%	50%
50×50 cm	13	1440.0	572.8	38.8	13.7	6.6	4.0	2.5
25×25 cm	13	385.2	211.6	92.7	28.1	13.4	7.5	4.8

Table 5. The number of replicates required to estimate the total biomass within a defined range of the population mean.

Unit area	Number of quadrat	Mean biomass per unit area (mg)	s. d.	Number of replicates required				
				permissible error				
				10%	20%	30%	40%	50%
50×50 cm	13	3739.6	1613.4	42.7	15.7	7.6	4.7	3.0
25×25 cm	13	969.2	520.4	89.5	26.9	12.8	7.2	4.6

* 必要採集回数が 50cm×50cm では総個体数よりも総現存量の場合の方が多く、25cm×25cm では逆になっているのは、25cm×25cm の場合は 4 つのサンプルのうちからランダムにひとつを選んだという操作によるものである。

Table 6. The number of replicates required to estimate the values of diversity indices within a defined range of the population mean.

	Unit area	Number of quadrat	\bar{x}	s. d.	Number of replicates required	
					permissible error 10%	20%
SHANNON Index	50×50 cm	13	3.68	0.25	1.9	0.5
	25×25 cm	13	3.62	0.27	2.1	0.5
SIMPSON Index	50×50 cm	13	0.88	0.03	0.4	
	25×25 cm	13	0.88	0.03	0.5	

変化する場合があるため、この点を考慮して採集面積、採集回数を決めなければならない (WILHM & DORRIS 1968, 渡辺 1973). Table 7 はコードラートをランダムに抽出し、25cm×25cm (0.0625m²) から始めて採集面積を随意的に増加させた時の多様性指数値の変化

Table 7. Change in values of the two diversity indices with increasing area.

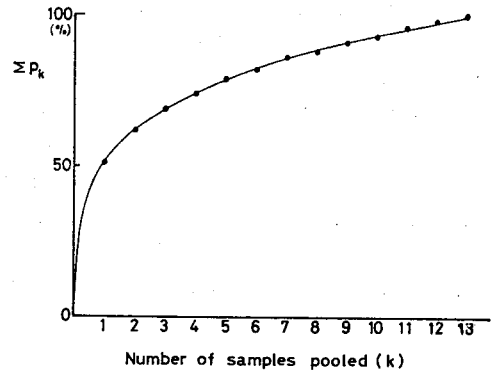
Number of samples	Area (m ²)	SHANNON Index	SIMPSON Index
1/4	0.0625	3.73	0.90
2/4	0.1250	3.87	0.90
3/4	0.1875	3.92	0.91
1	0.25	3.72	0.88
2	0.50	3.86	0.90
3	0.75	3.95	0.91
4	1	3.88	0.90
8	2	3.89	0.90

を示している。0.25m²までは隣りあったコードラートを加え、それ以上では無作意に選んだコードラートを加えて面積を増した。表からわかるように、採集面積を増加させても2つの多様性指数値とも大きな変化はせず、25cm×25cmの採集面積で充分であることを示している。

さて、ある比較的少ない採集回数でその採集区画にいる全種数のうちのどの位の割合が採集されているかということをつぎに問題にしたい。Fig. 3 は GAUFIN *et al.* (1956) によって提出された P_k の累計を採集回数との関係で示したものである。 P_k はある種が n サンプルのうちの k 番目で始めて出現する平均的な確率を示し、次式で表わされる。

$$P_k = \frac{n-k+1}{\sum_{i=1}^{n-k+1} n C_i \times (i)} \cdot \frac{S_i}{S} \quad (4)$$

ここで S_i は n サンプル中で i サンプルだけに出現する種の数であり、 S は全出現種数である。 P_k の累

Fig. 3. Relation between number of replicates and cumulative P_k values.

計値 (縦軸) は全 13 回の採集で出現した総種数を 100 とした場合、より少ない採集回数 (k) で平均的に何%の種が採集されるかを示したものである。図で例えば、50cm×50cm 1 回の採集で総種数のうち約 51% が採集され、2 回で約 62%、5 回で約 80% が採集されていることになる。 P_k の累計値は本来、調査区画に生息する総種数を 100 として計算して始めて意味を持つものであろうが、そのためには図の曲線がほぼ頭打ちになるまで採集回数を増やす必要がある。今回の採集回数は P_k を計算するためには少なすぎたといえる。またこのことは同時に、総生息種数を調べる目的のためには 50cm×50cm の面積で少なくとも 13 回より多くの採集をする必要があったことを示している。

ここまでは群集としての取り扱いをする場合について述べてきたが、つぎに個々の種ごとに扱う場合について述べる。Table 8 は全出現種をトビケラ類、カゲロウ類およびその他に分けてそれぞれのうちから個体数が多い順に 5 種ずつ選び、計 15 種について個体数および現存量を推定する場合の必要回数を示したものである。ここでは 50cm×50cm の採集面積として

Table 8. The number of replicates required to estimate the density and biomass(mg/0.25m²) of each species within a defined range of the population mean. The mean and standard deviation was calculated with thirteen 50cm×50cm quadrat samples.

Species		\bar{x}	s. d.	Required replicates				
				permissible error				
				10%	20%	30%	40%	50%
<i>Stenopsyche griseipennis</i>	N	25.6	12.6	96.5	24.1	10.7	6.0	3.9
	W	1154.3	649.3	126.6	31.6	14.1	7.9	5.1
<i>Hydropsyche gifuana</i>	N	19.8	15.2	233.7	58.4	26.0	14.6	9.3
	W	108.9	85.2	244.9	61.2	27.2	15.3	9.8
<i>Hydropsychodes brevilineata</i>	N	31.2	26.6	292.3	73.1	32.5	18.3	11.7
	W	44.7	40.0	319.7	79.9	35.5	20.0	12.8
<i>Mystrophora inops</i>	N	105.2	39.3	55.9	14.0	6.2	3.5	2.2
	W	366.4	138.1	56.8	14.2	6.3	3.6	2.3
<i>Goera japonica</i>	N	20.8	18.9	329.5	82.4	36.6	20.6	13.2
	W	143.9	120.0	278.0	69.5	30.9	17.4	11.1
<i>Baetis thermicus</i>	N	282.0	177.7	158.8	39.7	17.6	9.9	6.4
	W	138.7	118.7	292.9	73.2	32.5	18.3	11.7
<i>Choroterpes trifurcata</i>	N	48.7	29.4	145.6	36.4	16.2	9.1	5.8
	W	31.7	17.7	124.5	31.1	13.8	7.8	5.0
<i>Epeorus latifolium</i>	N	121.0	111.2	337.8	84.4	37.5	21.1	13.5
	W	81.6	62.5	235.1	58.8	26.1	14.7	9.4
<i>Ephemerella rufa</i>	N	95.2	70.4	218.5	54.6	24.3	13.7	8.7
	W	47.8	36.9	238.4	59.6	26.5	14.9	9.5
<i>Ephemerella sp. EB</i>	N	125.6	73.5	136.8	34.2	15.2	8.6	5.5
	W	129.4	55.2	72.8	18.2	8.1	4.5	2.9
<i>Antocha spp.</i>	N	244.8	97.1	63.0	15.7	7.0	3.9	2.5
	W	283.6	122.6	74.8	18.7	8.3	4.7	3.0
Chironomidae	N	37.9	18.6	96.6	24.1	10.7	6.0	3.9
	W	9.6	3.8	62.1	15.5	6.9	3.9	2.5
<i>Eubrianax sp. EC</i>	N	11.8	26.7	2051.4	512.8	227.9	128.2	82.1
	W	1.1	2.0	1291.9	323.0	143.6	80.8	51.7
<i>Atherix ibis japonica</i>	N	7.8	5.2	180.6	45.2	20.1	11.3	7.2
	W	24.7	12.0	94.4	23.6	10.5	5.9	3.8
<i>Dugesia gonocephala</i>	N	3.3	4.7	823.2	205.9	91.5	51.5	32.9
	W	3.5	5.5	970.0	242.6	107.8	60.6	38.8

計算してある。これをさきの Table 4, Table 5 と比較するとわかるように、総個体数や総現存量よりも、個々の種の個体数や現存量を推定する場合の方が一般には多くの採集回数を必要とする。例外としては、*Mystrophora inops* が個体数、現存量のいずれについても全動物相の場合よりも必要回数が少なく、また *Antocha spp.* は個体数、現存量とも必要回数が全体でのそれにほぼ等しい。さらに現存量では *Eubrianax sp. EC* と Chironomidae が少ない値を示している。一方、個体数と現存量とでどちらが大きな変動(す

なわち必要採集回数)を示すかについてはいちがいということではできないが、トビケラ類は現存量の方が大きな変動を示す傾向がみられる。表で精度が高いところでは必要採集回数が100以上というような結果がでているが、これは標本誤差以前に母集団自体のバラツキが大きく、そのような精度を求めることが無理であることを示している。

つぎに Table 8 の 15 種も含め、50cm×50cm のコードラート13回のうち7回以上出現する 31 種について、分布の集中度と必要採集回数との関係を Fig. 4

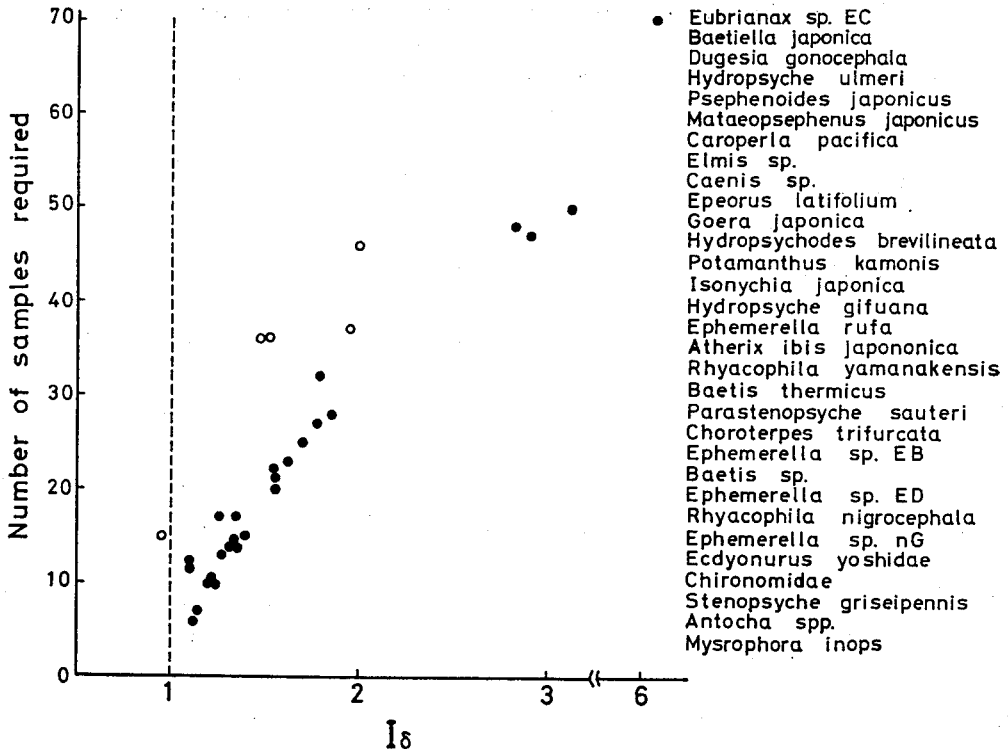


Fig. 4. Relation between I_s -index and number of replicates required to estimate the number of individuals within 30% of the population mean with a confidence of 95%. Open circles represent the species having a low density ($\bar{x} < 3.0$). Species are arranged according to the order of increasing the replicates required on the right side of the figure.

に示した。必要回数は95%の信頼度で誤差範囲を平均値の30%として計算してある。横軸はMORISITA (1959)の I_s 指数であるが、この値が1より大きい場合には集中型の分布を示し、1の場合はランダムな分布、1より小さい場合には一様な分布を表わしている。 I_s の値はコードラート・サイズによって変化する性質を持つが、今回の場合、25cm×25cmから、その2倍、3倍および4倍の50cm×50cmまでコードラート・サイズを増加させても、この範囲ではいずれの種の I_s もあまり変化しなかったため、ここでは50cm×50cmとして計算した値を使ってある。図から明らかのように、*Parastenopsyche sauteri*が1よりやや小さい値を示すほかは、どの種も I_s は1以上を示しており、多くの種が集中型の分布をしていることがわかる。集中性が高くなるほど必要採集回数が多いのは当然のことであり、MORISITA (1964) および小野 (1967) は I_s から必要採集回数を求める方法を考えている。ただ、図で*Psephenoides japonicus*, *Mataeo-*

psephenus japonicus, *Elmis sp.*, *Caroperla pacifica*, *Parastenopsyche sauteri*など個体数の平均値が小さい種(図の白丸)では I_s から期待される以上に必要採集回数が多い。これは I_s は平均値(\bar{x})にほとんど影響されないのに対し、(1), (2)式は影響されることによるものであろう(例えば、Poisson分布の場合 $s^2 = \bar{x}$ を(2)式に代入すると $n \geq t^2/\bar{x} \cdot e^2$ となる。また集中型分布の最も良く知られた型である負の二項分布の場合は $s^2 = \bar{x} + \bar{x}^2/k$ 、これを(2)式に代入すると $n \geq (t/e^2)(1/\bar{x} + 1/k)$ となり、どちらの場合も \bar{x} が小さい場合には n は増加する)。図の右側に必要採集回数の多い方から順に種を並べているが、*Eubrianax sp.*が、 I_s が非常に大きく、必要回数もとび抜けて多い。この種の13回のサンプルのうち個体数の中央値が1(平均値11.8)であるのに対し、範囲が102であるという極端な集中性によるものであろう。そのほか*Baetiella japonica*, *Dugesia gonocephala*, *Hydropsyche ulmeri*といった種はとくに集中性が高

く、したがって一定の精度を得るのに多くの採集回数が必要である。逆に *Mystrophora inops*, *Antocha spp.*, *Stenopsyche griseipennis*, *Ecdyonurus yoshiidae*, Chironomidae といった種は集中性が小さく、採集回数も少なくても良い。系統的なグループや生活型グループ (津田 1962) による一定の傾向はとくに見られない。

4. 考 察

単純任意抽出の場合に標本の大きさ (採集回数) を決めるための方法はここで用いた(1)式のほかに、はじめから抽出率を無視して(2)式を使う方法 (Southwood 1966 参照) および集中度指数 I_0 から計算する方法 (MORISITA 1964, 小野 1967, これと本質的に同じものに IWAO & KUNO 1968 による平均密度に対する平均こみあい度 m^* の回帰関係から計算する方法がある) がある。實際上採集可能な程度の回数の範囲ではどの方法を使って計算してもほとんど差はない。(2)式が過去に河川の底生動物調査において用いられているが (RANDFORD & HARTLAND-ROWE 1971, CHUTTER 1972), この方法の場合は無限母集団とみなしているため抽出単位のリストを必要としない。河川の底生動物を任意採集する場合、何らかの方法ですべての抽出単位のリストアップを行なわないと抽出の任意性に疑問が残るように思われる。

一方、採集する際の個人差も考えられることであるが、これについても NEEDHAM & USINGER (1956) が調べている。彼らの場合は SURBER sampler による結果であるが、5人の採集者のうち4人の間では有意な違いはみられなかったが1人は明白に他よりも多く採集していた。原因はこの1人が岸の外からも石をとっていたためであるとしており、このことから彼らは同じ人間がすべてのサンプルをとる必要はないが、採集者の十分な訓練が要ると述べている。今回の場合、3人の採集者の間で事前に具体的な作業手順のとり決めをしたうえで、作業の過程においてもチェックをしながら進めていったので個人差はとくに考慮しなかった。

さて、はじめに述べた SURBER sampler での結果 (NEEDHAM & USINGER 1956, CHUTTER 1972) と同じく、ちりとり型金網による場合もすでにみてきたように個体数や現存量などを推定する場合高い精度を得ようと思えば実際上不可能なほど多くの採集回数が必要であることが多い。このような場合、実際に可能な程度の少ない回数で我慢することになるが、この場合

でも得られた値の精度を知っておくことが重要である。この意味から、Table 4, 5, 8 とは逆に、特定の採集回数で採集した場合の個体数や現存量の推定値の精度を示す表を Appendix に掲げた。過去においては精度に注意を払わないまま2, 3回の採集ですませた場合が多い。このような過去のデータのおおよその精度の見当を表からつけることができよう。

今回は単純任意抽出を行なったが、層別抽出をすればもっと少ない採集回数で良い精度をあげることができよう。しかし河川では實際上、早瀬、平瀬、淵といった程度以上に細分化した層別化は多くの場合不可能である。一方、個体数や現存量推定の場合とは違って底生動物相から生物学的水質判定を行なう場合のように採集場所を厳密に規定して採集することができるならば、かなり少ない回数でも良いであろうということも考えられる。

得られた値の変動の大きさに関して、ちりとり型金網での今回の結果と他の採集方法による結果とを比較することは、採集場所の条件や採集面積の違いにより困難である。あえて比較するならば、CHUTTER (1972) が NEEDHAM & USINGER (1956) のデータから計算して $1 \text{ ft}^2 (=929 \text{ cm}^2)$ の SURBER sampler で個体数を推定する場合、95%の信頼度で誤差範囲を10%にするためには112回、20%では28回採集することが必要であるとしているが、これを Table 3 と比較すると少なくとも大きな差はないということができよう。

採集単位の大きさについていえば、労力が面積と比例するとしたならば、Table 3, 4, 5 に示したように種数、個体数、現存量のいずれを推定する場合でも $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ よりも $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ の面積で採集した方が同じ精度を得るためには明らかに効率が良いことになる。ただ、労力が採集面積に比例するとは必ずしもいえない面もあるため、この点を考慮し、かつ、調査にあたる人数の配分なども考えあわせて決めるべきであろう。今回の調査区域は、石の大きいものでは直径 20 cm 位あるような比較的粗い底質の場所であるため、 $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ がほぼ最小の採集単位に近い。もっと底質の細かい所ではさらに小さな面積を単位として採集した方が効率の良いということも考えられる。

本報で述べた結果は、同じ場所で継続的な底生動物の調査を行なうための予備調査として行なわれたものであり、厳密には特殊な場所、特殊な時期における一例にすぎない。しかし、少なくとも似たような条件の平瀬の場所における目やすを与えるものではあろう。

さて、本報で問題にした標本の母集団は、正しくは5m×5mの調査区域内にすむ全底生動物群集ではなく、そのうちで今回の採集方法で潜在的に採集可能な部分であるということになり、これまで述べてきたことは後者を推定するのにいかにすべきかということである。したがって前者を問題にしたい場合には、後者が前者のうちのどの部分に相当するのか、言い換えれば、採集器具・方法の選択性が一方で問題にされなくてはならない。とくに各種の relative abundance や size distribution を考える場合にはこの選択性が重要な意味を持ってくる。遊泳力のある動物が人の接近を感じて事前に逃げ去ったり採集器具にいったん入ったのち入口から逃げることや、小型個体が網目を抜けることなどは特定の種や大きさに対する選択的採集の原因になる。異なる器具を用いて採集した標本を比較した場合には種によって各器具での採集効率が異なるという結果は MACAN (1958), HYNES (1961), ALBRECHT (1961) および KROGER (1972) によって示されており、前2者はそれを動物の体の大きさや習性および遊泳能力の違いによって説明している。同じ器具でもネットのメッシュ・サイズによって採集効率が変わることは幾つか報告されており (MACAN 1958, HYNES 1960, 田中 1967)、一般にはメッシュが粗いと網目を抜ける小型個体が多くなり、メッシュが細かい場合にはネットを抜ける水流がゆるくなったり、入口で逆流することにより遊泳能力のある大型個体が逃げやすくなるといえよう。

ちりとり型金網についていえば、御勢ほか (1967) はこの器具を SURBER sampler と比較し、前者で採集された標本の方が後者のそれに比べて個体数で少なく重量で多いという結果を得ている。その理由として SURBER sampler は入口での逆流による大型生物のロスがあり、ちりとり型金網は小型生物のロスがあるためと考えている。両方の器具ともネットのメッシュ・サイズは述べられていない。

SURBER sampler の場合でもネットの全体が水中に没するような深いところでは生物が逃げやすいという点が懸念されているが (CHUTTER 1972)、ちりとり型金網の場合は高さがせいぜい 15cm 程度までであるため全体が水中に没する場合にはネットの上側からの流失は一層大きいことが考えられる。

ちりとり型金網で採集する場合の流失ロスや選択性によるサンプルの偏りなどについての知識はまだきわめて不十分であり、今後問題が残されている。

5. 摘 要

ちりとり型金網を用いて河川の底生動物を調査する際、一定の精度でデータを得るために必要な採集回数を調べた。調査場所は兵庫県三田市近辺にある羽束川の比較的広く外見上一様な平瀬である。13回の繰返しサンプル間の変動をみると、種数の値は変動が少なく、したがって比較的少ない採集回数で良い精度を得ることができるのに対し、総個体数や総現存量は大きな変動を示し必要採集回数も多い。精度と採集回数の関係からみて個体数や現存量を推定する場合には平均値の30%位までの誤差は実際上許容せざるを得ないものと思われる。個々の種ごとにみた場合にはサンプル間の数値の変動はその種の個体の集中性の強さに関係したもので、*Eubrianax sp.*, *Baetiella japonica*, *Dugesia gonocephala*, *Hydropsyche ulmeri*などは集中性が強く、一定の精度を得るのに多くの採集回数が必要である。コードラート面積については、精度と労力との損得を考えると、50cm×50cmよりも25cm×25cmの方が適当であるように思われる。ちりとり型金網で採集する場合の流失ロスや採集の選択性については今後問題が残されている。

文 献

- ALBRECHT, M. L. (1961): Ein vergleich quantitative Methoden zur Untersuchung der Makrofauna fließender Gewässer. *Verh. int. Verein. theor. angew. Limnol.*, 14: 486-490.
- 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.
- CHUTTER, F. M. and R. G. NOBLE (1966): The reliability of a method of sampling stream invertebrates. *Arch. Hydrobiol.*, 62: 95-103.
- CUMMINS, K. W. (1962): An evaluation of some techniques for the collection and analysis of benthic samples with special emphasis on lotic waters. *Amer. Midl. Nat.*, 67: 477-504.
- DICKSON, K. L., CAIRNS, J. Jr. and J. C. ARNOLD (1971): An evaluation of the use of a basket-type artificial substrate for sampling macroinvertebrate organisms. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 100: 553-559.
- GAUPIN, A. R., HARRIS, E. K. and H. J. WATER

- (1956): A statistical evaluation of stream bottom sampling data obtained from three standard samplers. *Ecol.*, 37: 643-648.
- 御勢久右衛門ほか (1967): 水生昆虫定量法の比較検討. IBP-PF 吉野川合同調査報告: 27-29.
- HEIP, C. and P. ENGELS (1974): Comparing species diversity and evenness indices. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 54: 559-563.
- HYNES, H. B. N. (1960): The Biology of Polluted Waters. 202pp. *Liverpool Univ. Press, Liverpool.*
- HYNES, H. B. N. (1961): The invertebrate fauna of a Welsh mountain stream. *Arch. Hydrobiol.*, 57: 344-388.
- HYNES, H. B. N. (1970): The Ecology of Running Waters. 555pp. *Liverpool Univ. Press, Liverpool.*
- HYNES, H. B. N. (1971): 1. Methods of Collection 1.4 Benthos of flowing water. In Edmondson, W. T. and G. G. Winberg (ed.) IBP Handbook No. 17 A Manual on Methods for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters. 358pp. *Blackwell Sci. Publ., Oxford and Edinburgh.*
- IWAO, S. and E. KUNO (1968): Use of the regression on mean crowding on mean density for estimating sample size and the transformation of data for the analysis of variance. *Res. Popul. Ecol.*, 10: 210-214.
- 可児藤吉 (1944): 溪流性昆虫の生態. 古川晴男編; 日本生物誌, 昆虫上巻 pp. 171-317, 研究社, 東京.
- KROGER, R. L. (1972): Underestimation of standing crop by the Surber sampler. *Limnol. Oceanogr.*, 17: 475-478.
- MACAN, T. T. (1958): Methods of sampling the bottom fauna in stony streams. *Mitt. intern. Verein Limnol.*, 8: 1-21.
- MORISITA, M. (1959): Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E (Biol.)* 2: 215-235.
- MORISITA, M. (1964): Application of I_s -index to sampling techniques. *Res. Popul. Ecol.*, 6: 43-53.
- 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.
- 小野勇一 (1967): 動物の個体数調査法. 生態学実習懇談会編; 生態学実習書 pp. 87-107, 朝倉書店, 東京.
- PIELOU, E. C. (1966): Shannon's formula as a measure of species diversity: Its use and misuse. *Amer. Natur.*, 100: 463-465.
- RANDFORD, D. S. and R. HARTLAND-ROWE (1971): Subsurface and surface sampling of benthic invertebrates in two streams. *Limnol. Oceanogr.*, 16: 114-120.
- SHANNON, C. E. and W. WEAVER (1963): The mathematical theory of communication. *Univ. of Illinois Press, Urbana.* (原著未検討)
- SIMPSON, E. H. (1949): Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.
- SOUTHWOOD, T. R. E. (1966): Ecological Method with Particular Reference to the Study of Insect Populations. 391pp. *Methuen, London.*
- SURBER, E. W. (1937): Rainbow trout and bottom fauna production in one mile of stream. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 66: 193-202.
- 田中 光 (1967): 採集網の目の差異による河川の水生昆虫試料の組成の変化について. *淡水研報* 17: 1-6.
- 津田松苗 (1962): 水生昆虫学 269pp., 北隆館, 東京.
- 津村善郎 (1956): 標本調査法 215pp., 岩波書店, 東京.
- 渡辺 直 (1973): 多様性指数による生物学的な水質判定. 用水と廃水 15: 725-730.
- 渡辺 直・原田三郎 (1974): 河川汚濁による水生生物相の変化. c. 底生動物相からみた加古川の水質汚濁. 兵庫公害研報告 6: 7-13.
- 渡辺 直・原田三郎・北村弘行・渡辺 弘 (1973): 河川汚濁による水生生物相の変化. a. 市川の底生動物相におよぼす鉱山廃水の影響. 兵庫公害研報告 5: 27-32.
- WILHM, J. L. and T. C. DORRIS (1968): Biological parameters for water quality criteria. *Bio. Science*, 18: 477-481.
- (著者: 渡辺 直・原田三郎, 兵庫県公害研究所; Naoshi C. WATANABE, Saburo HARADA; Environmental Science Institute of Hyogo Prefecture)

Appendix

Relation between the number of replicates and confidence range of means.

採集回数と精度との関係

		\bar{x}	s	Number of replicates			
				1	3	5	10
Total number of individuals		1440.0	572.8	79%	45%	35%	24%
Total biomass (mg/0.25 m ²)		3739.6	1613.4	86%	49%	38%	26%
<i>Stenopsyche griseipennis</i>	N	25.6	12.6	98%	56%	43%	29%
	W	1154.3	649.3	112%	64%	49%	34%
<i>Hydropsyche gifuana</i>	N	19.8	15.2	152%	87%	67%	46%
	W	108.9	85.2	156%	89%	68%	47%
<i>Hydropsychodes brevilineata</i>	N	31.2	26.6	170%	97%	75%	51%
	W	44.7	40.0	178%	102%	78%	54%
<i>Mystrophora inops</i>	N	105.2	39.3	74%	43%	33%	22%
	W	366.4	138.1	75%	43%	33%	23%
<i>Goera japonica</i>	N	20.8	18.9	181%	103%	79%	54%
	W	143.9	120.0	166%	95%	73%	50%
<i>Baetis thermicus</i>	N	282.0	177.7	125%	72%	55%	38%
	W	138.7	118.7	170%	97%	75%	51%
<i>Choroterpes trifurcata</i>	N	48.7	29.4	120%	69%	53%	36%
	W	31.7	17.7	111%	63%	49%	33%
<i>Epeorus latifolium</i>	N	121.0	111.2	183%	105%	80%	55%
	W	81.6	62.5	153%	87%	67%	46%
<i>Ecdyonurus yoshidae</i>	N	28.1	14.1	100%	57%	44%	30%
	W	18.2	12.0	131%	75%	57%	40%
<i>Ephemerella rufa</i>	N	95.2	70.4	147%	84%	64%	44%
	W	47.8	36.9	154%	88%	67%	46%
<i>Antocha spp.</i>	N	244.8	97.1	79%	45%	35%	24%
	W	283.6	122.6	86%	49%	38%	26%
Chironomidae	N	37.9	18.6	98%	56%	43%	29%
	W	9.6	3.8	78%	45%	34%	24%