

河川における底生動物採集方法の検討

渡 辺 直

Methods of Sampling the Stream Macro-invertebrates  
Naoshi C. Watanabe

Summary

Various sampling methods of the stream bottom fauna are described and some problems in quantitative sampling are discussed.

The sampling apparatus are classified into five groups basically in the same way as other authors did—shovel samplers, cylinder or box samplers, fixed nets, traps, and hand nets (including the stone-lifting method & the kicksampling method).

Selectivity of the sampling methods according to the construction and mesh size of the apparatus is discussed in connection with the behavioral difference among or within species.

The number of samples required to estimate the density and biomass on any specified level of precision is calculated and it is concluded that practically speaking, an error of 30% of the true mean at the lowest must be permitted.

As regards quadrat size, it is maintained that more samples with smaller units are generally better than fewer samples with larger units, considering the balance of variability of samples and effort for sampling, and that the quadrat of 0.25 square meters used by some workers is too large.

In addition, the relation between the number of species and sampling area, and personal bias in sampling are discussed.

1. はじめに

一般的に云って河川の底生動物を定量的に採集することは、湖沼などの場合に比べてより一層難しい。“流れる水”という川の基本的性格自体が動物の流失ロスなどを引き起すし、また流水に伴なって生ずる川床の不均一性や不安定性が動物自身の集中性ともからみあって採集誤差の原因を作っている。その上、底質など無機条件の場所による変化が著しいため、広い適用範囲を持った標準的な採集方法は確立していない。したがって河川での調査に際しては、目的や場所の条件に適し、かつ誤差の出来るだけ少ない採集方法をあらかじめ工夫する努力が止水域の場合よりも一層必要になってくる。生物生産や生物学的水質評価の問題などと関連して、河川の底生動物に関する報告が最近ますます増加している。しかしそれらの中で用いられている採集方法については、一般的

に云ってまだ多くの検討すべき余地が残されているように思われる。

本報は、河川の底生動物を定量採集する際における問題点を、個々に検討を加えながら総括的に述べたものである。調査の目的などによって採集時に留意すべき点は当然異なるが、多くの場合に共通する問題はおおよそ以下のようなものであろう。

①採集器具の種類にはどのようなものがあり、それぞれどのような特徴を持っているか？

②使用した採集器具によって、標本にどのような偏りを生ずるか？

③器具の網目の大きさによって標本にどのような偏りを生ずるか？

④特定の採集面積（採集回数）でその場所の生息種の何%が採集されるか？

⑥密度や現存量についての求めたい精度の推定値を得るためには、何回の繰り返し採集が必要か？

⑦単位採集面積はどの位の大きさが適当か？

⑧採集作業の個人差はどの程度問題になるか？

このほかに実験室内で動物を砂や植物破片などと選り分ける際の誤差や個人差も場合によっては問題になるが、ここでは採集時における問題に限定して、上にあげた諸点について以下に順を追って検討したい。

## 2. 1 いろいろな採集器具 (採集器具の特徴と選択性)

河川でも下流域などの流れが遅く砂底または泥底の場所では、エックマン型やピーターセン型の採泥器のような止水で用いられている器具をそのまま、あるいは必要に応じて改良を加えることによって底生動物の採集に使用することができよう。それらの器具についての記述は他の文献にゆずって (たとえば、日本鉱業会編「海底サンプリングハンドブック」ラテイス, pp.310, 1975), 以下では流れが比較的速く、水深がせいぜい50cm位までの石ないし礫底における採集器具に限定して述べる。

ひとくちに石礫底の場所といっても、石礫の大きさ、石礫層の厚さや堆積状態 (“浮き石”か “はまり石”かなど)に加えて水深や流速の違いなど全く千差万別である。あらゆる底質・水深・流速のところでも同時にすべての底生動物を採集する方法があれば非常に都合が良いわけであるが現実にはそのような方法はまずあり得ない。である以上、調査の目的や調査場所の状態に応じてそれぞれ異なる方法を用いて採集を行なわなければならない。過去においても非常にさまざまな採集器具が工夫されている。すでに Macan(1958)や Cummins(1962)はこれらの器具のレビューを行い、両者ともほぼ同様に5つの基本型に分類している。以下では、彼らの分類の基礎の上にそれ以後に考案された器具を考慮した修正を適宜加えて、いろいろな採集器具をおおまかにながめてみたい。

### A. シャベルサンプラー (Shovel sampler)

これは入口部分に刃のついたネットで一定面積の底質をスコップやシャベルのようにすくいとり方である。このタイプの器具は図に示した Allen (1940, Fig. 1 a), Dittmar (1955, Fig. 1 b), Macan (1958, Fig. 1 c) のほか Kamler & Riedel (1960) によっても用いられているが、使用できる底質が限定されており、石礫の層がうすく堆積状態も比較的ゆるい場所でないといふ文字通り刃が立たないのが欠点である。したがって、粗い石礫が何層にもがっちり重なった底質の多い

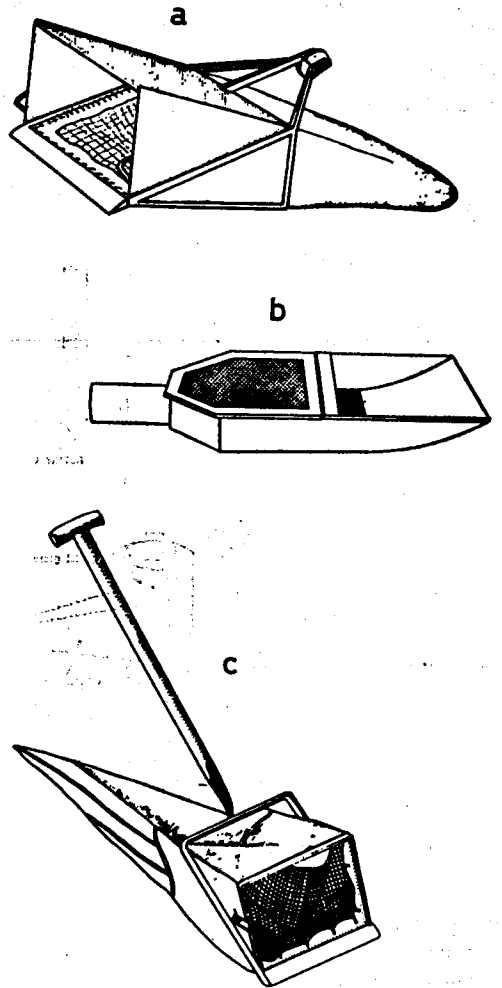


Fig. 1 Shovel samplers a. Allen (1940), b. Dittmar (1955), c. Macan (1958). Allen's sampler can be pulled as well as pushed.

我国の河川の上・中流域での使用はかなり難しいものと思われる。

なお、やや深い石礫底での採集用に Usinger & Needham (1956) は、上流側から引張って一定面積の石礫をはがしとる Drag-type sampler を用いているがこれも機能的にはこのタイプに含まれよう。

### B. ボックスサンプラーおよびシリンダーサンプラー (Box or cylinder sampler)

このタイプの器具は川底の一定面積を囲い込んでまわりから隔離したうえで、その中の底生動物を採集するというものである。囲いの中の比較的大きな石はとりあげて附着している動物を採集するところまではどの方法で

も共通しているが、残った礫や水中を遊泳している動物を採集するやり方がいろいろと工夫されている。原理的に最も簡単なものは Hynes (1971) が紹介しているようにシリンダー内部の底をかきまわしてはたも網ですくい

て金網を通して入る水流によって下流側の捕集ネットに動物が入るようにしている (Fig. 2 c)。これと基本的には同様であるが Hess (1941, Fig. 2 d) や Waters & Knapp (1961) はシリンダー自体を網で作っている。これらの工夫は水流を利用しながらもつぎの項で述べるサーバー・サンプラーなどにみられる入口での逆流や流下生物の混入を防ぐためのものである。ただ Hess のサンプラーは前面がかなり粗いメッシュ (1/2インチ) の金網で作られているので、上の機能は不十分でむしろ次項のタイプに近い。一方 Mundie (1971) は、上の機能を果たしかつ流れによる抵抗を最少限にするために五角形のボックスサンプラーを考案している (Fig. 2 e)。入口に金属製の蓋をゴム管で留めておき、下流側のネットに動物を流し込むための水流が必要な時には適当な広さだけ入口を開けることができるものである。

このタイプに属する器具は川底を十分に仕切ってしまえばその中の動物をほとんど完全に採集することも可能であろうが、どれだけ十分にまわりから隔離できるかが問題であり、それが工夫のポイントにもなっている。底質の違いによって隔離の程度が変わり、採集効率も異なることが考えられる。

### C. 固定ネット (Fixed net)

このタイプの器具はボックスサンプラーの原理を拡張したものともみることができる。採集区画を周囲から隔離することに重きをおかず、上流側は普通開いているので前のタイプとは一応別に分類したが、Fig. 2 と Fig. 3 とを比較してみると形態的に連続していることがわかる。このタイプの代表的なものに現在最も広く用いられているサーバー・サンプラー (Surber 1937, Fig. 3 a) がある。この器具は蝶番で2つの方形枠を留めて片方にネットをつけたもので、一方の枠によって採集区画を表示し、その中の石を手でとって附着している動物をネットの中に洗い流して採集する。コンパクトで持ち運びに便利であることがサーバー・サンプラーの大きな利点であるが、他方、入口部分で逆流が生じやすいことや上流からの流下生物が混入することなどの欠点が指摘されている (Hess 1941)。著者らは入口での逆流を防ぐためネット部分を長くして (網目によるが38メッシュを用いた場合の長さ120cm) その端を紐で結んで閉じ、ネットに入った動物やゴミはここを開けて水を入れたバケツに受けるようにしている。サーバー・サンプラーと基本的に同様の器具が Badcock (1949), Müller (1958), Slanina (1958, Fig. 3 b), 小野ほか (1973) などによって考案されている。

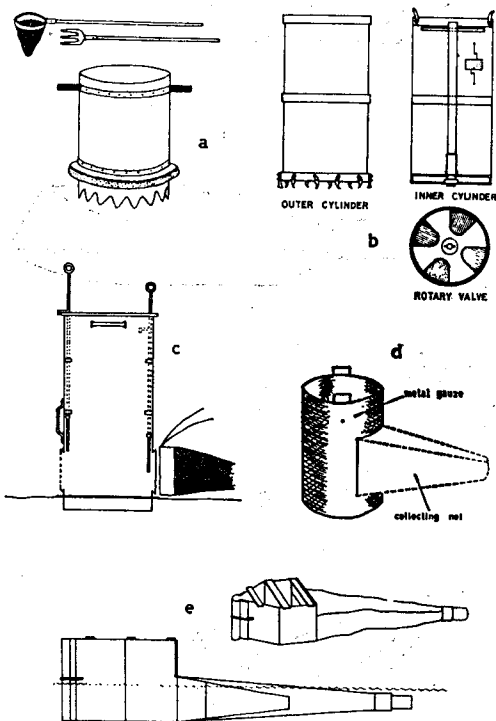


Fig. 2 Box or cylinder samplers a. Hynes (1971), b. Wilding (1940), c. Neill (1938), d. Hess (1941), e. Mundie (1970),

とるという作業を繰り返すやり方である (Fig. 2 a)。また Wilding (1940) はシリンダーを2層にして、外側のシリンダーで川底を囲い込み、中をよくかきまわしたのち水中に浮遊している生物をそっくり別の (内側の) シリンダーに移してしまうという方法を考案している (Fig. 2 b)。内側のシリンダーの底部は上からのハンドル操作で開閉できる回転弁になっており、底を開けた状態で外側のシリンダーの中に押し込んだのち底を閉めて引き上げるというわけである。Kamler & Riedel (1960) はシリンダーを川底に押し込んだのち鉄板を下に差し入れて底質をすっぽり持ち上げてしまう方法をとっているが、これは我国の河川ではほとんど不可能であろう。

Neill (1938) はシリンダーの上・下流側にあたる部分に開閉可能な窓をつけ、底をかきまわした後に窓を開け

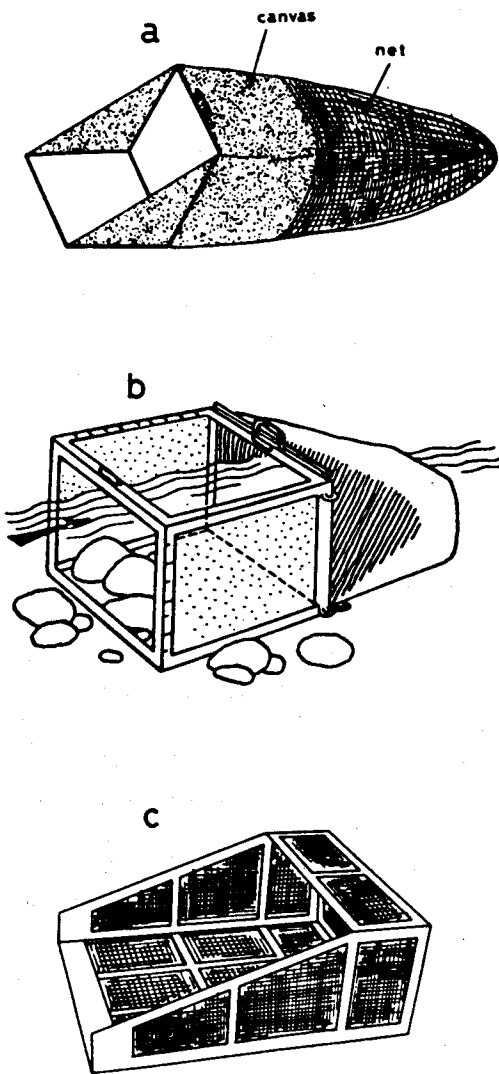


Fig. 3 Fixed nets a. Surber (1937), b. Slanina (1958), c. Tsuda (1962),

一方、我国においてサーバー・サンプラーと並んでよく用いられてきたものにチリトリ型金網がある(津田 1962, Fig. 3 c)。川底に置いた方形枠の下流に接してこの器具を固定し、区画内の石や砂利を手で器具上に移して岸に運ぶ。動物はバケツの中で石を洗うなりピンセットで拾い上げるなりして採集する。また佐藤・伊藤 (1960) はサーバー・サンプラーの底部を丈夫な布にし、さらにその下に金網の石受けをつけて、とりあげた石をそのままネットの中に入れて岸に運んで処理する方法を紹介している(詳しい説明は伊藤・御勢 1968)。

このタイプの器具はさきにサーバー・サンプラーに關

して述べた欠点を一般にもまぬがれないうえに、1回の採集に比較的時間がかかるためその間の動物のロス(とくに遊泳力のある種)に注意を払う必要がある。

#### D. トラップ (Trap)

これは人工的な底質を川底に置いたり水中に吊したりして一定期間放置したのち、引き上げて附着している動物を採集するというものである。このタイプのサンプラーを使う場合の考え方として2通りがある。ひとつはトラップの底質をまわりの川底に出来るだけ近づけてその場所の生物群集を出来るだけ良く反映した標本をとろうというやり方である。Moon (1935, 1940) はまわりの底質と同じ石や砂利を満たした布製の皿を湖や川で用いている。Wene & Wickliff (1940) も金網のバスケットを用いて同様のやり方をしている。また Randford & Hartland-Rowe (1971) や Coleman & Hynes (1970, Fig. 4 a) は円筒型の器具を底に埋め、中に石や砂利をつめてトラップにしている(これらをシリンダー・サンプラーと呼ぶ場合があるがBのタイプとは機能的に全く異なる)。

このようなやり方の場合はトラップの底質を自然状態に近づけようという努力を充分に行ったとしてもやはり、得られたデータの扱いには気をつけなければならず、採集された標本がその場所の生物群集を正しく反映しているという前提を単純に置くことはできない。

もうひとつの方法は調査場所の川底の状態とは無関係に、特定の人工的な底質を用いるものである。Britt (1955) は簡単なコンクリートブロックをトラップとして用いている。さきに述べた Wene & Wickliff (1940) と同様の金網かごの中に一定の大きさの石や磁器製の球を入れる方式(バスケットサンプラー Basket sampler, Fig. 4 b) や何枚かの板を重ねてボルトで留める方式多重板サンプラー Multiplate sampler, Fig. 4 c) も比較的最近よく用いられている(Hester & Dendy 1962, Fuller 1971, Dickson et al 1971, Mason et al 1973)。こちらの考え方はその場所の生物群集構成そのままを反映した形で採集しようとするものでもともとなく、生物群集のうちの特定の部分を選択的に採集するか、ある場合には本来ならばその場所に生息しない動物を採集することになる。しかし底質以外の要因について地点間を比較する場合、たとえば水質汚濁の影響をみる場合などには有効な方法であろう。岩盤などの他の方法は使いにくい底質のところでも採集できる点や、採集に要する労力・時間が軽減される点は便利である。さらに群集としてではなく特定の種を対象として調査する場合には、そ

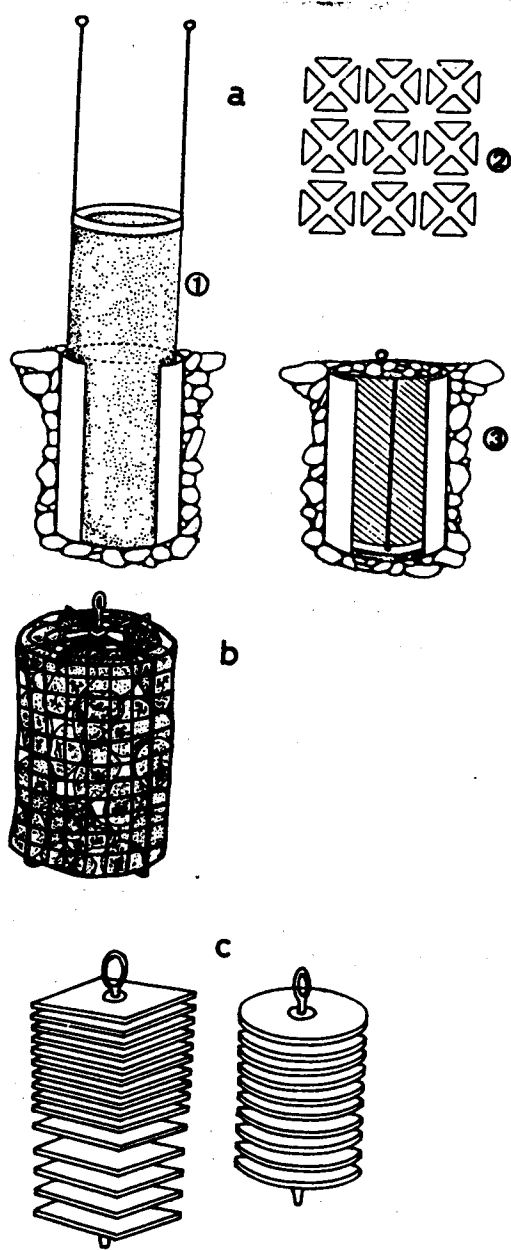


Fig. 4 Traps a. Coleman and Hynes (1970); ①the position being lifted, ②aluminum mesh of cylinders, ③the position in situ. The sampler consists of an outer and an inner cylinder of the same material (②), and of a nylon bag which is folded at the base of the cylinders during the colonization period. At the time of lifting, the inner cylinder is enclosed by the nylon bag. b. Basket sampler by Mason et al (1967). c. Multiplate sampler by Hester and Dendy (1962).

の種に適した底質を工夫してトラップとすれば魚などのモンドリと同様の有効性は発揮できる。

トラップを用いる場合、水からひき上げるときに動物が逃げる可能性が考えられるが、Mundie (1956) や Hilsenhoff (1969) はこの点を工夫した器具を考案している。また、とくに我国ではトラップを放置しておく期間の人為的な影響が問題になる。

#### E. たも網 (Hand net)

ここで述べる方法には大きく分けて石単位採集法 (Stone-lifting method) とキックサンプリング法 (Kick-sampling method) とがあるが、いずれの場合も普通はたも網かそれに類するものを用いるため、器具の名称としてひとつのタイプに含めた。

石単位採集法は川底の石を手で静かにとりあげ、水中でたも網の中に入れて水から持ち上げるやり方で、石についている動物は手で網の中にこすり落して採集する。おおよその石の大きさを決めてとって良いし、もっと正確には石の面積を紙に移して測る (Schröder 1932, Albrecht 1961)。この方法は多くの場合ある程度以上の大きさの、それも比較的表層にある石だけを調査の対象に限定せざるを得ないため、得られた標本はその場所の生物群集全体を反映したものとは限らない。

一方キックサンプリング法はたも網で受けておいてすぐ上流の川底を足でかきまわしたりひっかいたりする方法であり、一定時間を限ってかきまわしたり足でひっかく距離および回数を定めて行う (Hynes 1961, Morgan & Egglisshaw 1965)。これは定量的な正確さはある程度犠牲にして、労力的・時間的にみて出来るだけ簡単に地点間の比較などを行おうという方法で、川の上流から下流までの生物相を概略的におさえようとする場合などには有効であろう。水質汚濁の調査ではベック・津田-β法 (津田1972) などとして同様のやり方が用いられている。

#### 2. 2 採集器具による標本の偏り

前節でいろいろな採集器具の簡単な説明を行なったが、どの器具がすぐれているかということを一般的な形で議論することはできない。さきにも述べたように、どの器具にもそれぞれ特徴があり、調査の目的や調査場所の状況に応じてそれに合った器具を使いわけなければならない。と同時に、特定の器具で採集された標本が母集団のうちのどの部分に相当するのか、逆にどの部分が見逃がされているのかという点につねに注意を払わなければならない。

Macan (1958) は同じ網目 (180メッシュ/インチ)

Tab. 1 Comparison of the proportions of the various size groups of various species caught by shovel sampler and fine net (Macan 1958).

|                                 | mm long : | 0-1  | 1-2  | 2-3  | 3-4 | 4-5 | 5-6 | 6-7 | 7-8 | 8-9 | Total |
|---------------------------------|-----------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| <i>Rhithrogena semicolorata</i> |           |      |      |      |     |     |     |     |     |     |       |
|                                 | 4½ net    | —    | 16   | 84   | 102 | 58  | 24  | —   | —   | —   | 284   |
|                                 | 9 shovel  | 1    | 165  | 232  | 123 | 40  | 7   | —   | —   | —   | 568   |
| <i>Ecdyonurus torrentis</i>     |           |      |      |      |     |     |     |     |     |     |       |
|                                 | 5 net     | —    | 3    | 21   | 29  | 20  | 20  | 12  | 3   | 1   | 109   |
|                                 | 10 shovel | 1    | 8    | 18   | 24  | 13  | 13  | 4   | 5   | —   | 86    |
| <i>Baetis rhodani</i>           |           |      |      |      |     |     |     |     |     |     |       |
|                                 | 5 net     | 1441 | 5098 | 1156 | 274 | 88  | 81  | 45  | 10  | 2   | 8195  |
|                                 | 10 shovel | 55   | 240  | 201  | 100 | 34  | 16  | 13  | —   | —   | 659   |
| <i>Baetis pumilus</i>           |           |      |      |      |     |     |     |     |     |     |       |
|                                 | 5 net     | 12   | 110  | 136  | 103 | 10  | 3   | —   | —   | —   | 374   |
|                                 | 10 shovel | 3    | 160  | 78   | 14  | 6   | 1   | —   | —   | —   | 262   |
| <i>Gammarus pulex</i>           |           |      |      |      |     |     |     |     |     |     |       |
|                                 | 5 net     | —    | —    | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 232   |
|                                 | 10 shovel | —    | —    | —    | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 173   |

のシャベルサンプラー (Fig. 1 c) ととも網とによって採集された標本を比較している (Table 1)。表でヒメヒラタカゲロウ *Rhithrogena* とタニガワカゲロウ *Ecdyonurus* とを比較した場合、両者は系統的にも近縁で体形も比較的良く似ているのにもかかわらず採集のされ方が全く異なっている。前者は 3 mm 以下の小型個体がシャベルサンプラーで良く採集されているのに対してとも網 (石単位採集法) では少ない。一方後者は、体長との関係において両方の器具ともほぼ同様な傾向で採集されている。この理由として、タニガワカゲロウは一生を大型の石に附着して過ごすのに対し、ヒメヒラタカゲロウは小さいうちは下層の小型の石についており成長するにつれて表層の大型の石に附着するようになる。したがってヒメヒラタカゲロウの小型個体は大型の石だけを対象とした石単位採集法では採集されないのであると Macan は説明している。また 2 種のコカゲロウ *Baetis* については、とくに大型個体でシャベルよりもとも網の方がはるかに多く採集されており、大型になると十分な遊泳力のあるこれらの種ではシャベルからはたやすく逃げてしまうことが示されている。*B. rhodani* では小型個体でもとも網による方が圧倒的に多く採集されているが、これは多分布の集中部に当たったためであろうという。石のかげに産卵する習性からみて小型個体は大石の下などに集まっていることが考えられるが、比較的大型の石だけを対象とする石単位採集法の方が集中部に当たりやすいことになる。いずれにせよ Table 1 の結果は、いわゆる生活型——遊泳型、匍匐型等々——といったも

のだけではなくもっと具体的な動物の習性が採集効率に大きく関係してくることを示唆している。

Albrecht (1961) は石単位採集法とサーバー・サンプラーおよびショベルサンプラーの 3 つを比較している (Table 2, Hynes 1970 による。Albrecht 自身の 1961 年の論文ではこの表のようにはまとめられていない)。数値の分散が大きいため、総個体数や総重量については 3 つの方法による差は有意ではない。しかし個々の種ごとにみると幾つかの種で器具による違いが明瞭である。たとえばユスリカ Chironomidae では他の方法に比べて石単位採集法で圧倒的に多く採集されているが、逆に貧毛類 Oligochaeta はこの方法による採集個体数が最も少ない。これは石単位採集法は表層の石のみを対象としているのに対し、サーバー・サンプラーやシャベルサンプラーはもっと下層まで採集していることと、動物側についてみればユスリカは比較的表層の大型の石に多く附着しているのに対して貧毛類はより下層におもに生息するということの両者が結びついた結果と考えられる。

Kroger (1972) はダムによって川の水がせき止められて下流の川底が露出する前にサーバー・サンプラーで採集を行い、水が干上がったすぐ後に同じ面積の露出した底質からも手で採集して互いの標本を比較している (Table 3)。サーバー・サンプラーの方が採集した底質もやや深いにもかかわらず、表でみるように個体数にして露底採集の ¼ 程度しか採集されていない。また平均個体重がサーバー・サンプラーによる標本の方がかなり重いことから、小型個体が抜けていることがわかる

Tab.2 The numbers and weights of animals per  $\frac{1}{4}$ sq. m. collected by three methods from the River Polenz, Germany, on 31 October 1958. Standard errors are shown after some of the means. From data incorporated in pre-print of Albrecht (1961) (Hynes 1970).

| Sampling method<br>Sample no. | Schröder's      |       |       |                |     |     |                |     |     |
|-------------------------------|-----------------|-------|-------|----------------|-----|-----|----------------|-----|-----|
|                               | 10-stone method |       |       | Surber sampler |     |     | Shovel sampler |     |     |
|                               | 1               | 2     | 3     | 1              | 2   | 3   | 1              | 2   | 3   |
| <i>Dugesia</i>                | 32              | 15    | 17    | 11             | 5   | 16  | 16             | 32  | 14  |
| Oligochaeta                   | 23              | 105   | 98    | 200            | 278 | 178 | 598            | 148 | 706 |
| <i>Erpobdella</i>             | 4               | 1     | 8     | —              | 7   | 1   | 4              | —   | —   |
| Acarina                       | —               | —     | 1     | 3              | 1   | 1   | 2              | 2   | —   |
| <i>Nemoura</i>                | —               | 3     | 2     | 2              | 3   | —   | —              | 6   | —   |
| Perlodidae                    | 2               | —     | 2     | 5              | 4   | 2   | 4              | —   | 2   |
| <i>Baetis</i>                 | 87              | 118   | 132   | 117            | 51  | 62  | 122            | 74  | 74  |
| <i>Chitonophora</i>           | 98              | 208   | 100   | 465            | 405 | 329 | 318            | 340 | 158 |
| <i>Habroleptoides</i>         | —               | —     | —     | —              | —   | 2   | —              | 2   | —   |
| <i>Torleya</i>                | —               | —     | —     | —              | —   | 2   | —              | 2   | —   |
| <i>Ephmera</i>                | —               | —     | —     | —              | —   | —   | 1              | —   | —   |
| <i>Hydropsyche</i>            | 62              | 80    | 69    | 79             | 46  | 36  | 106            | 84  | 42  |
| <i>Tinodes</i>                | 6               | 6     | 5     | 3              | 2   | 2   | 4              | 2   | 2   |
| <i>Rhyacophila</i>            | 2               | —     | —     | —              | —   | —   | —              | —   | —   |
| Sericostomatinae              | —               | 1     | —     | 8              | 8   | 4   | 10             | 2   | 4   |
| <i>Silo</i>                   | —               | —     | —     | —              | 1   | —   | —              | —   | —   |
| <i>Elmis</i>                  | 11              | 13    | 8     | 8              | 5   | 13  | 11             | 24  | 8   |
| <i>Limnius</i>                | —               | —     | 2     | 1              | —   | 2   | 5              | —   | —   |
| Chironomidae                  | 490             | 1,839 | 1,076 | 23             | 13  | 7   | 104            | 52  | 8   |
| <i>Atherix</i>                | —               | 6     | 8     | 22             | 13  | 7   | 24             | 20  | 30  |
| <i>Pericoma</i> , etc.        | —               | 6     | —     | 1              | —   | —   | —              | —   | 2   |
| <i>Ancylus</i>                | 21              | 31    | 33    | 22             | 20  | 35  | 12             | 38  | 18  |
| Total mean number             | 1,604±808       |       |       | 844±139        |     |     | 1,096±252      |     |     |
| Without Chironomidae          | 469             |       |       | —              |     |     | —              |     |     |
| Without Oligochaeta           | —               |       |       | 625            |     |     | 612            |     |     |
| Total mean weight (g.)        | 0.8145±0.243    |       |       | 1.1040±0.182   |     |     | 1.5711±0.459   |     |     |
| Without Chironomidae          | 0.7624          |       |       | 1.1035         |     |     | 1.5662         |     |     |
| Without Oligochaeta           | 0.7442          |       |       | 0.9924         |     |     | 1.2510         |     |     |

Tab.3 Organisms collected in five 0.093-m<sup>2</sup> (1 ft<sup>2</sup>) samples taken from a riffle before and during exposure. A=Total number collected; B=total weight; C=mean weight (in mg) (Kroger 1972).

|                                                    | Surber samples |         |     | Hand collections |          |      |
|----------------------------------------------------|----------------|---------|-----|------------------|----------|------|
|                                                    | A              | B       | C   | A                | B        | C    |
| <i>Alloperla</i> sp.                               | —              | —       | —   | 1                | 1.0      | 1.0  |
| <i>Isoperla</i> sp.                                | 463            | 486.0   | 1.0 | 1,348            | 993.0    | 0.7  |
| <i>Ephemerella inermis</i> Eaton                   | 777            | 837.0   | 1.1 | 1,681            | 973.0    | 0.6  |
| <i>Baetis tricaudatus</i> Dodds                    | —              | —       | —   | 2                | 2.0      | 1.0  |
| <i>Baetis</i> sp. probably <i>bicaudatus</i> Dodds | —              | —       | —   | 1                | 1.0      | 1.0  |
| <i>Paraleptophlebia</i> sp.                        | —              | —       | —   | 1                | 1.0      | 1.0  |
| <i>Rithrogena hageni</i> McDunnough                | 6              | 6.0     | 1.0 | 32               | 24.0     | 0.8  |
| <i>Hydropsyche</i> sp.                             | 1,491          | 4,159.0 | 2.8 | 3,119            | 8,542.0  | 2.7  |
| <i>Hydroptila</i> sp.                              | 5              | 2.8     | 0.6 | 1                | 1.0      | 1.0  |
| <i>Glossosoma montana</i> Ross                     | 605            | 477.0   | 0.8 | 1,552            | 1,057.0  | 0.7  |
| <i>Oecetis</i> sp.                                 | 38             | 64.0    | 1.7 | 2                | 1.0      | 0.5  |
| Chironomidae                                       | 746            | 210.0   | 0.3 | 6,054            | 1,669.0  | 0.3  |
| <i>Simulium</i> sp.                                | 115            | 34.0    | 0.3 | 1,689            | 257.0    | 0.2  |
| <i>Atherix variegata</i> Walker                    | —              | —       | —   | 1                | 30.0     | 30.0 |
| <i>Metachela</i> sp.                               | 1              | 0.8     | 0.8 | 3                | 2.2      | 0.7  |
| Elmidae                                            | 6              | 4.8     | 0.8 | 2                | 1.0      | 0.5  |
| Acarina                                            | 1              | 0.4     | 0.4 | 1                | 0.3      | 0.3  |
| <i>Stagnicola bulimoides</i> Lea                   | 8              | 25.0    | 3.1 | —                | —        | —    |
| <i>Pisidium</i> sp.                                | 24             | 5.2     | 0.2 | —                | —        | —    |
| Totals                                             | 4,286          | 6,312.0 |     | 15,490           | 13,555.5 |      |
| Mean                                               |                |         | 1.5 |                  |          | 0.9  |

(ネットの網目はオープニング0.5mm)。種ごとにみると、ユスリカ Chironomidae とブユ *Simulium* が他の種に比べてより一層サーバー・サンプラーでは採集されにくい。

Randford & Hartland-Rowe (1971) はサーバー・サンプラーをシリンダー型のトラップと比較し、サーバー・サンプラーでは採集されないような下層にも多くの動物がいること、採集標本の種構成が両方の器具で大きく異なることを指摘している。川底のかなり深い底質の層にも多くの動物がいることはやはりトラップを用いた Coleman & Hynes (1970) や Bishop (1973) の結果でも示されている。しかし前節でも述べたようにトラップ内の底質が周囲の自然の底質と同じである保証がないため、上記の結果をもって決定的な事実とは云い難い。

一方御勢ほか (1967) はサーバー・サンプラーとチリトリ型金網とを比較して、前者は大型動物のロスが、後者は小型動物のロスが多いと述べている。さらに長谷川ほか (1971) はサーバー・サンプラー、石単位採集法、バスケットサンプラーの3つを比較し、同じ種でも器具によって採集個体の大きさが異なることを報告している。

### 2.3 網目による標本の偏り

つぎに同じ器具でも網目の大きさが採集標本に与える影響を問題にしたい。

Table 4 は網目の粗いもの (20メッシュ/インチ) と細かいもの (180メッシュ/インチ) との2種類のたも網を用いて石単位採集法で採集した結果を比較したもの

Tab. 4 Numbers of Ephemeroptera of various sizes taken in 65 parallel collections with a coarse net and a with fine net (Macan 1958).

| size<br>mm | <i>Rhithrogena</i> |        | <i>Ecdyonurus</i> |        | <i>Heptagenia</i> |        | <i>Baetis rhodani</i> |        | <i>B. pumilus</i> |        |
|------------|--------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-----------------------|--------|-------------------|--------|
|            | fine               | coarse | fine              | coarse | fine              | coarse | fine                  | coarse | fine              | coarse |
| 0-1        | —                  | —      | 1                 | 0      | —                 | —      | 19,986                | 25     | 92                | 0      |
| 1-2        | 104                | 20     | 124               | 13     | 8                 | 1      | 21,872                | 226    | 727               | 6      |
| 2-3        | 303                | 131    | 153               | 108    | 73                | 40     | 7,730                 | 252    | 930               | 21     |
| 3-4        | 397                | 373    | 165               | 156    | 126               | 113    | 2,657                 | 424    | 657               | 44     |
| 4-5        | 354                | 448    | 112               | 133    | 74                | 46     | 1,244                 | 724    | 331               | 93     |
| 5-6        | 290                | 252    | 110               | 136    | 27                | 18     | 787                   | 761    | 206               | 169    |
| 6-7        | 126                | 157    | 69                | 96     | 7                 | 5      | 320                   | 409    | 41                | 69     |
| 7-8        | 123                | 136    | 45                | 78     | 1                 | 3      | 174                   | 311    | 8                 | 6      |
| 8-9        | 84                 | 80     | 51                | 49     | 3                 | 3      | 107                   | 152    | —                 | 2      |
| 9-10       | 34                 | 35     | 39                | 23     | 1                 | 1      | 10                    | 76     | —                 | —      |
| over10     | 16                 | 3      | 51                | 55     | —                 | —      | 17                    | 46     | —                 | —      |

である (Macan 1958)。同じ科に属するヒメヒラタカゲロウ *Rhithrogena*、タニガワカゲロウ *Ecdyonurus*、~~ヒメヒラタカゲロウ~~ ヒラタカゲロウ *Heptagenia* の3種はいずれもほぼ同じパターンで採集されており、小型個体は粗いネットから抜けるが、ある程度以上体長が大きくなると両ネットの差はなくなる。一方、遊泳型であるコカゲロウの2種 *Baetis rhodani* および *B. pumilus* では、粗いネットで小型個体の多くが抜けることは上と同様であるが、両種とも体長6mm以上になると逆に粗いネットの方が採集個体数が多くなる。これは細かいネットでは入口での水流が遅くなったり、逆流したりすることによって、遊泳力のある大型個体が逃げた結果と考えられる。

田中 (1967) は、23メッシュ/インチと39メッシュ/インチの2重の受網をとりつけたサーバー・サンプラーを用いて両方の受網で採集された標本を比較した結果、

39メッシュの網を用いれば水生昆虫の種数や重量はかなり適確に把握されると述べている。また、両方の受網による標本中の2種のカゲロウについてそれぞれの体長組成をみると (Fig. 5)、体長が同じであっても平べったい体型のヒラタカゲロウと細長いコカゲロウとでは網目からの抜け落ちやすさが大きく異なることが示されている。

以上で述べた採集器具や網目による標本の偏りが重要な意味を持つてくる例を1, 2あげよう。たとえば特定の生活型を持つ動物の群集全体に対する割合 (造網型係数など) を考える場合には、生活型による採集効率の違いに注意しなければならない。チリトリ型金網を例にあげると、この器具はコカゲロウなど遊泳力のある種のかかり多くの部分が逃げてしまうものと思われ、造網型係



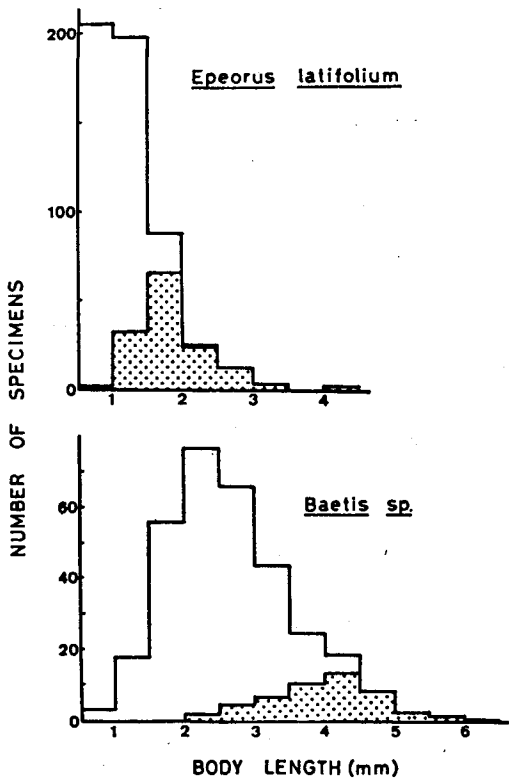


Fig. 5 Size distribution of two mayfly species collected by Surber type sampler with double nets. Shaded areas: the specimens caught by the inner coarse net (23mesh/in.), White areas: the specimens caught by the outer fine net (39mesh/in.) (Tanaka 1967)

数は実際よりも高い値となることが考えられる。異なる器具による結果を混合して論ずることは避けるべきである。

一方、二次消費者係数（水生昆虫全体のなかでの二次消費者の重量パーセント、津田1959）などを問題にする場合には網目の大きさに気をつけなければならない。粗い網を使った場合には小さな植食性昆虫のロスによって係数値が高くなることが考えられる。

### 3. 採集面積（回数）と出現種数との関係

比較的均一な条件をもったひとつの河床型の中で採集面積を少しずつ増していくと、はじめは種数は急激に増加するがそのうちだいに増加速度がなぶり、ついにはそれ以上増えなくなって一定の種数になる。ところで実際の調査では、あまり採集面積を増やしても労力のわりに得られる情報量は少なくなって効率は低下するし、多くの場合あらゆる種が出つくしてしまうまで面積を増やすことは困難である。そこで、効率良く、ほぼ総合的に

群集を把握するために必要な採集面積としてはどの位が適切かという問題が生ずる。

始めに結論から云うならば、今のところ上の問いに対する明確な答えはない。以下では採集面積を決める際の参考として、面積の増加に伴う種の出現率の増加についての2、3の例をあげるにとどめたい。

Gaufin et al (1956) は、10回の繰り返し採集データにもとづいてある採集回数で始めて出現する種の数を確認率的に計算し、採集回数と種の出現率との関係を求めている (Fig. 6)。図からわかるように10回の採集による総出現種数を基準にした場合、瀬においてはサーバー・サンプラー (1ft<sup>2</sup>) による1回の採集で約45%、3回で約70%、5回では80%以上が出現している。また、それぞれ別の適当な方法を用いて採集した川岸や淵では瀬よりも採集効率が若干低くなっている。Chutter & Notke (1966) は、瀬におけるサーバー・サンプラーを用いた10回の採集標本にもとづき、1個から9個までそれぞれのすべての組合わせを作って各採集回数による平均出現種数を計算した結果、1回の採集で総出現種数の43—70%、3回で64—85%、5回で77—94%が採集されると述べている。上記2報告における総出現種数に対する少ない採集回数での出現率は、瀬においては比較的良く一致している。一方、著者らはちりとり型金網を用いて平瀬で0.25m<sup>2</sup>の単位面積で13回採集した標本にもとづき、Gaufin et al の方法に従って計算した結果、総出現種数に対して1回の採集で約51%、3回で約69%、5回で約80%の種が採集されることを示した (渡辺・原田 1976)。

上記3報告の種数—面積（採集回数）関係においては、いずれも、全採集回数を累積した段階でも種数が飽和的にならず多少増加しているため、各採集回数での出現率は全生息種数に対するものではない。本来は累積種数が一定になるまで採集を繰り返したデータが欲しいところであるが、しかし、均一な群集であれば上述の報告以上に採集回数を増した場合でもそれほど大幅に種数が増えることはないと思われるので、上の例は採集面積を決める際のおおよその目安になろう。

一方、Cain (1943) や Archibald (1949) は、種数—面積曲線から植物群落の調査における最小面積を求める方法を提案しており、これらを底生動物の調査に適用することもできる。しかし、いずれの方法も求められた最小面積が群落にとっての何を表わすものかが明白ではなく、便宜的に決めたものにすぎない (篠崎 1959 および伊藤・村井 1977 による)。

さて、一般に生息種数の少ない場所では種当りの平均

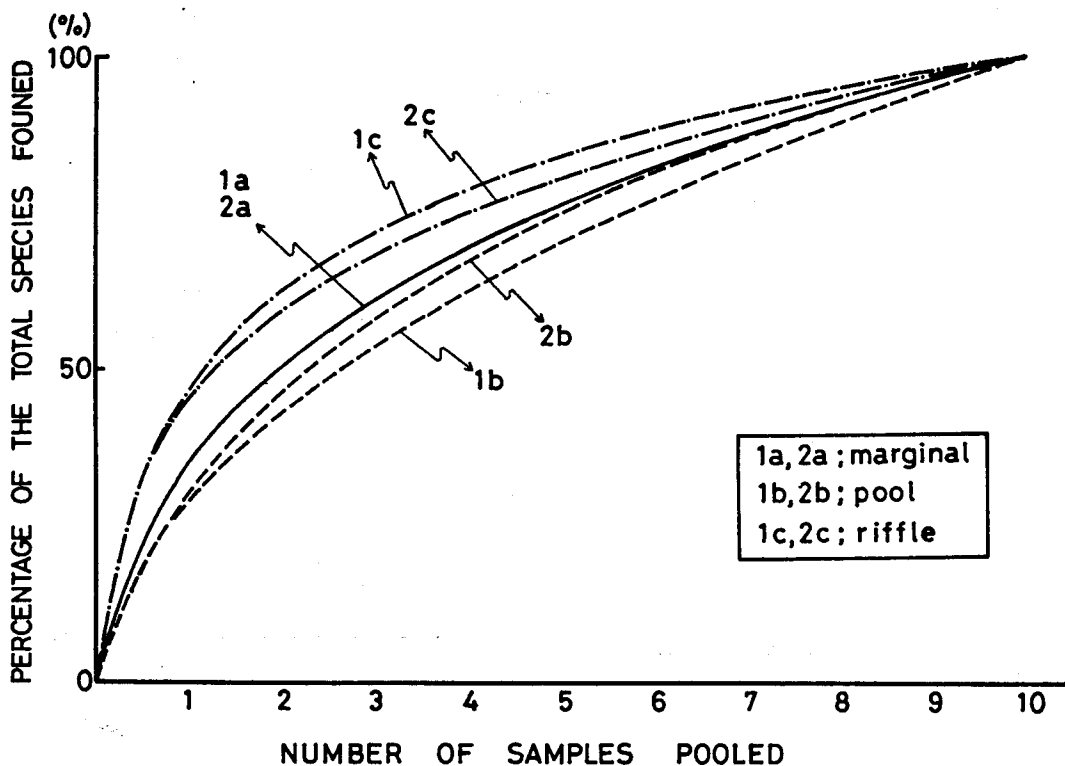


Fig. 6 Estimates of the number of species in 1 to 10 pooled Surber samples expressed as percentages of the total (data from Gaufin et al 1956).

個体数が多いのが普通であるが、これと関連して出現種数を問題にする際に注意すべき点は、総生息種数の少ない場所では小さな採集面積で種数の増加が飽和に達してしまう場合が多いことである。Fig. 7 は底生動物の種数一面積曲線の 1 例である (渡辺ほか1973, ただし植生調査などにおける種数一面積曲線は方方法や帯状法などによって連続的に面積を増やしていく方法が普通であるのに対して、ここではランダムに採集した方形区を累計している)。曲線の形は標本の順序を入れ替えることによって多少変化するので本来は前述した Gaufin et al や, Chutter & Noble の方法などで平均的な出現種数として表わした方が良いのであるが、ここでは簡単のため実際に採集した順序に従って標本を累計していった。図から明らかなように、水質汚染の影響を強く受ける地点では 3 回の採集で出現種数はほぼ横ばいになるのに対して、清冽な地点では 5 回採集してもなお種数は増加の傾向を示している。一般に水質汚染の影響調査などでは各地点 2 回などと回数を決めて採集することが多いが、この場合群集構成の単純な地点ではほとんどすべての種が採集されているのに対し、群集構成の複雑な別の地点では 50

%程度しか採集されていないなどということになり、地点間での種数の違いを実際よりも過少に見積っていることが考えられる。この場合にはあくまでも「一定の採集回数 (面積) で出現した種数」を尺度とした地点間の比較であって、そのまま総生息種数の多少を量的に正しく反映するものではないことに気をつけなければならない。

#### 4. 得られた推定値の精度 (数値の変動の大きさと必要採集回数)

密度や現存量を推定する場合、同じ場所でたとえば 5 回採集した時に得られた 5 個の数値が全く同じことはありえず、一定の幅をもって変動する。その変動の幅が大きいほど 5 個の標本値から得られた母数推定値の信頼度は低くなる。信頼度を高めようとすれば標本の数を増やさなければならないわけで、数値の変動の大きさと採集回数との関係が問題になってくる。

Needham & Usinger (1956) は  $1 \text{ ft}^2$  のサーバー・サンプラーで採集する場合、個体数についての信頼できる推定値を得るためには 73 回、現存量については 194 回

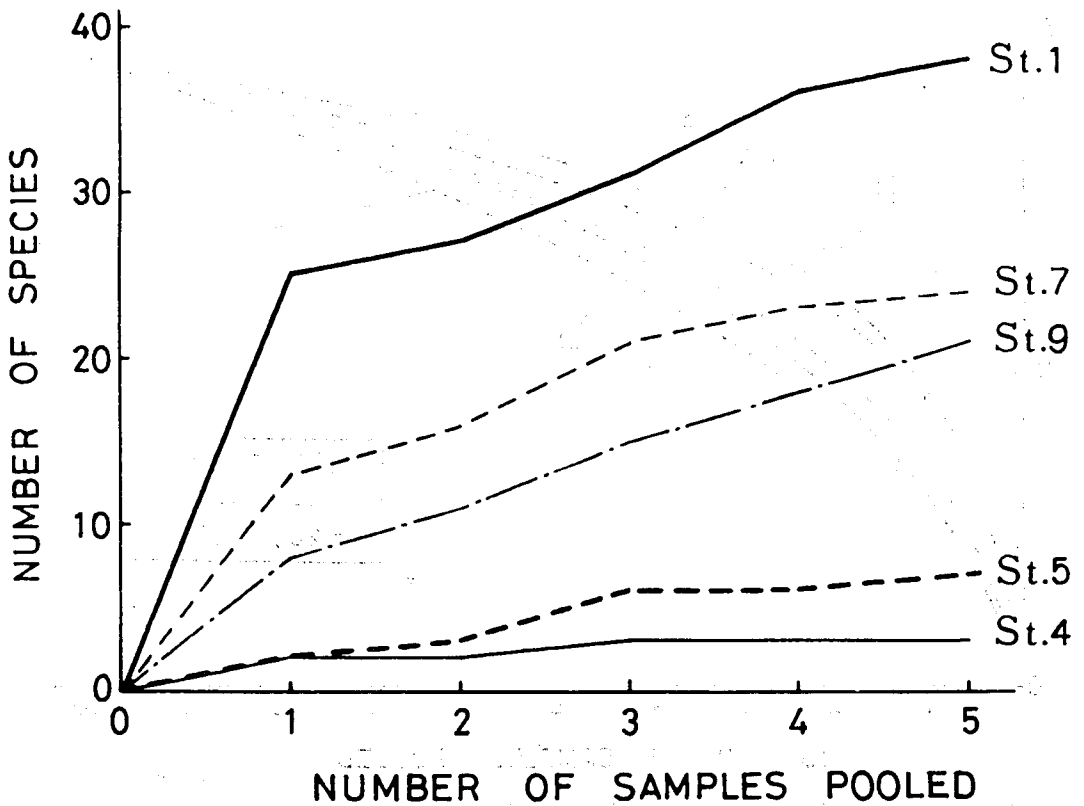


Fig. 7 Increase in number of species with increasing area. The abscissa indicates the number of samples collected by Surber type sampler covering an area of 0.09 square meters. Stations are located in numerical order from upper stream to lower. St. 4 is just below the discharge point from a mine.

の採集が必要であるというかなり衝撃的な報告を行った。しかし彼らの結果は計算方法が明確ではなく、その他にも幾つか問題があるため、それらの疑問点を洗い直したうえで同じデータを使って Chutter (1972) が計算した結果が Table 5 である。必要採集回数の計算には次式を用いている。

$$n = \left( \frac{t s}{D \bar{x}} \right)^2$$

ここで  $\bar{x}$  は平均値、 $s$  は標準偏差、 $t$  は "Student の  $t$ " であり、 $D$  は許容誤差範囲を表わす (有限母集団の場合には補正因子を入れた式を用いる。津村1956)。  $t$

Tab. 5 Total numbers of animals per square foot. Predictions of the numbers of samples necessary to give mean values within a defined range of the population mean (A) and of the variability of the sample mean with the number of samples defined (B), both at the 95% level of confidence. Based on Needham and Usinger's (1956) data corrected for bias (Chutter 1972).

|                                      | A   |     |     | B    |      |      |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|
|                                      | 5%  | 10% | 20% | 3    | 5    | 10   |
| All samples                          | 448 | 112 | 28  | ±61% | ±47% | ±33% |
| Samples from water ≥30.48cm deep     | 595 | 149 | 32  | ±70% | ±53% | ±39% |
| Samples from water <30.48cm deep     | 350 | 87  | 22  | ±54% | ±42% | ±30% |
| Samples from water 7.62-20.32cm deep | 292 | 73  | 18  | ±49% | ±38% | ±27% |

Tab.6 Relation between the number of replicates and confidence range of means in estimating the density and biomass of freshwater macroinvertebrates by using the wire gauze shovel (Watanabe & Harada 1976).

|                                        |   | x      | s      | Number of replicates |      |     |     |
|----------------------------------------|---|--------|--------|----------------------|------|-----|-----|
|                                        |   |        |        | 1                    | 3    | 5   | 10  |
| Total number of individuals            |   | 1440.0 | 572.8  | 79%                  | 45%  | 35% | 24% |
| Total biomass (mg/0.25m <sup>2</sup> ) |   | 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% |

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。表から明らかなように、誤差を平均値の20%程度までにおさえようとすれば20ないし30回の採集が必要である (A欄)。また10回採集したとしても30%以上の誤差を含んでいることになる (B欄)。

Table 6 は著者らが行ったちりとり型金網での結果である (渡辺・原田1976)。単位採集面積は0.25m<sup>2</sup>であって上の例よりもはるかに広いが、10回採集しても20%以上の誤差を含んでいる。また、2、3の例外はあるが一般的には、総個体数や総現存量を求める場合よりも個々の種についての値を求める場合の方が数値の変動が大きく、一定の精度を得るためにより多くの採集回数を必要とすることがわかる。

実際の調査においては労力的にみても、川床を荒らすことによる影響を後に残さないためにも、回数を無制限に増やすことのできないのは言うまでもない。最も適当な採集回数は調査の目的によっても異なるが、多くの場合少なくとも平均値の30%程度の誤差は許容せざるを得ないように思われる。Chutter & Noble (1966) は、

1 回ごとの採集個体数が経験的に対数正規分布に従うことを利用して採集回数の増加に伴う分散の減少を計算し、始めは1回増すごとに急激に分散が減少するのちには緩やかになるという結果を示して、普通の調査においては1ft<sup>2</sup>の面積で3回採集すれば充分であると結論している。いずれにせよ、最も重要なことは得られた推定値に含まれる誤差の程度を十分に認識しておくことであり、さもないと無理な結論を引き出すことになりかねない。

##### 5. 単位採集面積の大きさ

川底の一定面積を単位として採集する方法で個体数や現存量を推定する場合には、その単位採集面積をどの程度の大きさにしたら良いかという問題が生ずる。

Table 7 は概観的にはほぼ一様な平瀬の場所で50cm 平方のコードラートを13箇所ランダムに設定し、それぞれをさらに4等分して25cm 平方の大きさを採集単位としてチリトリ型金網で採集したデータにもとづくものである。各コードラートの集計単位面積を4段階に変えて計

Tab.7 Variability of values in estimating the density and biomass with different sizes of unit areas.

| 〔Density〕                        |           |        |       |
|----------------------------------|-----------|--------|-------|
| sampling unit (cm <sup>2</sup> ) | $\bar{x}$ | s.d.   | C.V.  |
| 625                              | 345.4     | 130.8  | 37.9% |
| 625×2                            | 698.1     | 235.7  | 33.8% |
| 625×3                            | 1135.3    | 388.2  | 34.2% |
| 625×4                            | 1440.0    | 572.8  | 39.8% |
| 〔Biomass〕                        |           |        |       |
| sampling unit (cm <sup>2</sup> ) | $\bar{x}$ | s.d.   | C.V.  |
| 625                              | 882.9     | 373.4  | 42.3% |
| 625×2                            | 1856.8    | 727.3  | 39.2% |
| 625×3                            | 2993.9    | 1251.0 | 41.8% |
| 625×4                            | 3739.6    | 1613.4 | 43.1% |

$\bar{x}$ ; mean, s.d.; standard deviation, C.V.; coefficient of variation

算した個体数と現存量の平均値を変動係数と共に示してある。常識的には単位面積が大きいほど条件が平均化されるので数値の変動は少なくなると考えられがちであるが、この例では集計単位面積が増加しても変動係数が減少するとは云えない。このような場合には採集にかかる時間や労力からみて小さい単位面積で採集した方が効率の良いことは云うまでもない。さらに、上の例では各場合とも等しい標本数で計算しているが実際の調査では労力や時間が限られているため、単位面積を大きくした場合には採集回数を少なくせざるを得ないことによってかえって母数推定値の信頼性を減少させることにもなる。したがって一般的にも小さい単位面積で多数の標本をとった方が効率の良い場合が多い。河川での底生動物の採集には30cm平方（あるいは1ft平方）や50cm平方の単位面積が多く用いられてきたが、上の意味からして50cm平方の面積は多くの場合大きすぎるように著者には思える。表の例では石の大きさからみて25cm平方がこの場所での最小採集面積に近いが、底質の細かい場所ではもっと小さな面積を単位とした方が効率の良い場合もある。

一方、動物の分布型を問題にする場合には、単位面積によって結果が異なることがあるので注意する必要があるが、逆に単位面積をしないで大きくしていくことによって分布型をより精密に解析することも可能である (Morisita 1959, 邦訳1979)。

## 6. 採集作業の個人差

Needham & Usinger (1956) はサーバー・サンブラーを用いて採集した結果の個人差について述べている。彼らの場合5人の採集者のうち4人の間には有意な違いはみられなかったが1人だけは明白に他よりも多く採集していた。原因はこの1人が枠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、同一人がすべての標本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。著者自身の経験でも、河川では場所による数値の変動が大きい場合もあって、同じ調査を何人かでやる時でも採集手順のとり決めをしっかりとっておきさえすれば個人差が検出されることはないと思う。しかし採集作業全般にわたって個人差に注意を払う意識の必要なことは云うまでもない。

一方、全く独立に仕事をしている研究者同志の間では同じ採集器具を用いても細かい作業手順が異なることによって採集効率も異なることは考えられないことではない。にもかかわらず、とりわけ我国の報告では採集方法についての記述が簡単すぎる場合の多いように思われる。結果を公表する際には採集器具や網目はもちろんのこと、採集手順を出来るだけ具体的に明記することによりデータの比較が正しく行なえるようにしたい。

## 7. おわりに

すでに述べたことをもう一度まとめとして繰り返すならば、どんな採集器具・方法を用いたとしても、つねに選択性による標本の偏りはあるし、また得られた数値には多かれ少なかれつねに誤差が伴っているわけである。標本の偏りや誤差を出来るだけ少なくする努力はもちろんしなければならないが、同時にそれらの程度を正しく把握し、それにみあったデータの使い方をすることが重要である。

## 引用文献

- Albrecht, M.L., 1961, Ein Vergleich quantitativer Methoden zur Untersuchung der Makrofauna fließender Gewässer. Verh. Internat. Verein. Limnol., 14, 486-490.
- Allen, K.R., 1940, Studies on the biology of the early stages of the salmon (*Salmo salar*). 1. Growth in the River Eden. J. Anim. Ecol., 9, 1-23.
- Archibald, E.E.A.\*, 1949, The specific character of plant communities. J. Ecol., 37, 260-273, 274-288.
- Badcock, R.M., 1949, Studies in stream life in tributaries of the Welsh Dee. J. Anim. Ecol., 18, 193-208.

- Bishop, J.E., 1973, Observations on the vertical distribution of the benthos in a Malaysian stream. *Freshwat. Biol.*, 3, 147-156.
- Britt, N.W., 1955, New methods of collecting bottom fauna from shoals or rubble bottoms of lakes and streams. *Ecol.*, 36, 524-525
- Cain, S.A.\*, 1943, Sample-plot technique applied to alpine vegetation in Wyoming. *Amer. J. Bot.*, 30, 240-247.
- 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., R.G., Noble, 1966, The reliability of a method of sampling stream invertebrates. *Arch. Hydrobiol.*, 62, 95-103.
- Coleman, M.J., H.B.N., Hynes, 1970, The vertical distribution of the invertebrate fauna in the bed of a stream. *Limnol. Oceanogr.*, 15, 31-40.
- Cummins, K.W., 1962, A 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., J. Jr., Cairns, 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.
- Dittmar, H., 1955, Ein Sauerlandbach. *Arch. Hydrobiol.*, 50, 305-552.
- Fullner, R.W., 1971, A comparison of macroinvertebrates collected by basket and modified multiple-plate samplers. *Jour. Wat. Poll. Cont. Fed.*, 43, 494-499.
- Gaufin, A.R., E. K., Harris, Walter, H.J., 1956, A statistical evaluation of stream bottom sampling data obtained from three standard samplers. *Ecol.*, 37, 643-648.
- 御勢久右衛門・長谷川恩・横山宣雄, 1967, 水生昆虫定量法の比較検討。吉野川合同調査報告, 27-29。
- 長谷川恩・阿刀田光紹・松山洋子, 1971, 河川における水生昆虫定量法の問題点について。JIBP-PF ユーラップ川生産研究報告, 2, 4-8。
- Hess, A.D., 1941, New limnological sampling equipment. *Limnol. Soc. Amer. Spec. Publ.*, 6, 1-5.
- Hester, F.E., J.S., Dendy, 1962, A multiple-plate sampler for aquatic macroinvertebrates. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 91, 420-421.
- Hilsenhoff, W.L. 1969, An artificial substrate device for sampling benthic stream invertebrates. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 465-471.
- 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.
- Hynes, H.B.N., 1971, *A Manual on Methods for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters*. IBP Handbook No. 17, p.66-74.
- 伊藤猛夫・御勢久右衛門, 1968, 流水域の底生動物の生産力測定法。陸水生物生産力測定法, 第II部 55-74。
- 伊藤嘉昭・村井実, 1977, *動物生態学研究法*, 558pp, 古今書院。
- Kamler, E., W., Riedel, 1960, A method for quantitative study of the bottom fauna of Tatra streams. *Polsk. Arch. Hydrobiol.*, 8, 95-105.
- 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. Internat. Verein. Limnol.*, 8, 1-21.
- Mason, W.T., C.I., Weber, P.A., Lewis, Julian, E.C., 1973, Factors affecting the performance of basket and multiplate macroinvertebrate samplers. *Freshwat. Biol.*, 3, 409-436.
- Moon, H.P., 1935, Methods and apparatus suitable for an investigation of the littoral region of oligotrophic lakes. *Int. Rev. Gesamt. Hydrobiol. Hydrogr.*, 32, 319-333.
- Moon, H.P., 1940, An investigation of the movements of freshwater invertebrate faunas. *J. Anim. Ecol.*, 9, 76-83.
- Morgan, N.C., H.J., Egglislaw, 1964, A survey of the bottom fauna of stream in the Scottish Highlands. *Hydrobiologia*, 25, 181-211.
- 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, (邦訳) 個体の散布度の測定と分布様式の解析。森下正明生態学論集, 2, 147-167.

- 思索社 (1979)。
- Müller, K., 1958, Beitrag zur Methodik der Untersuchung fließender Gewässer. Arch. Hydrobiol., 54, 567-570.
- Mundie, J.H., 1956, A bottom sampler for inclined rock surfaces in lakes. J. Anim. Ecol., 25, 429-432.
- Mundie, J.H., 1971, Sampling benthos and substrate materials, down to 50 microns in size, in shallow streams. J. Fish. Res. Bd. Can., 28, 849-860.
- Needham, P.R., R.L., Usinger, 1956, Variability in the macrofauna of a single riffle in Prosser Creek, California, as indicated by the Surber sampler. Hilgardia, 24, 383-409.
- Neill, R.M., 1938, The food and feeding of the Brown Trout (*Salmo trutta* L.) in relation to the organic environment. Trans. Roy. Soc. Edinb., 59, 481-520.
- 小野勇一他14名, 1973, 福岡市周辺河川の都市汚染による生物分布の変化に関する調査研究報告書, 52pp, 福岡市衛生局公害部
- Randford, D.S., R., Hartland-Rowe, 1971, Subsurface and surface sampling of benthic invertebrates in two streams. Limnol. Oceanogr., 16, 114-120.
- 佐藤隼夫・伊藤猛夫, 1960, 無脊椎動物採集・飼育・実験法, 446pp, 北隆館。
- Schröder, Th. \*, 1932, Über die Möglichkeit einer quantitativen Untersuchung der Boden-und Ufer-tierwelt fließender Gewässer. Z. Fischerei, 30, 105-127.
- 篠崎吉郎, 1959, 種の分散構造。植物生態学〔I〕 (生態学大系, 1), 185-229, 古今書院。
- Slanina, K. \*, 1958, Die Verarmung von Fließgewässerbiocoenosen durch Flotationsabgänge. Wasser und Abwasser Bd. 1958, 3-23.
- 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, 採集網の目合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。淡水研報告, 17, 1-6.
- 津田松苗, 1959, 川の底棲動物の現存量をめぐる諸問題特に造網型昆虫の重要性について。陸水雑, 20, 86-92。
- 津田松苗, 1962, 水生昆虫学, 269pp, 北隆館。
- 津田松苗, 1972, 淀川水系生物調査報告書, 1, 1-2。
- 津村善郎, 1956, 標本調査法, 215pp, 岩波書店。
- Usinger, R.L., P.R. \*, Needham, 1956, A drag-type riffle-bottom sampler. Progre. Fish. Cult., 18, 42-44.
- 渡辺直・原田三郎, 1976, ちり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。
- 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。兵庫県公害研報告, 5, 27-32。
- Waters, T.F., R.J., Knapp, 1961, An improved stream bottom fauna sampler. Trans. Amer. Fish. Soc., 90, 225-226.
- Wene, G., E.L., Wickliff, 1940, Modification of a stream bottom and its effect on the insect fauna. Canad. Ent., 72, 131-135.
- Wilding, J. L. \*, 1940, A new square-foot aquatic sampler. Limnol. Soc. Amer. Spec. Publ., 4, 1-4.
- \* 印は直接に参照できなかったもの。  
(渡辺直：神戸市須磨区行平町, 兵庫県公害研究所)