

第 11 章 川の環境調査

1. COD の測定

ねらい

水は生活にとって不可欠であり、昔から集落は河川にそって発達してきた。宅地や工業団地の開発が川の上流域へ進むにつれて、生活排水や農薬・工業廃液が川に流入し、川の水質悪化が各地で問題になっている。生徒に川の環境調査を体験させることは、自分を取り巻く身近な環境問題に目を向けさせることになり、地球規模で取り組まねばならない環境問題についての意識を高めさせる契機となり有意義である。

川の水に溶けているもののうち、有機物、溶存酸素、アンモニウムイオン、重金属イオンなどの量の多少は、生物の生存に大きな影響を与える。ここでは、中学生でも比較的簡単な操作で定量ができる化学的酸素要求量（COD ; Chemical Oxygen Demand）を、近くの川の上・中・下流域で採水した水について調べ、比較させる。また、川の有機物の増加を防ぐ方策を考えさせる。

準 備

ゴム長靴、ゴム手袋（以上各自持参）、温度計、流速計（発泡スチロール球に 3 m の釣り糸をつけたもの）、250 ml のポリエチレンビン（ポリビン）、湯浴（または発泡スチロール容器）、ビューレット、200 ml の三角フラスコ、ホールピペット（10 ml、25 ml）、メスシリンダー（25 ml）、メスフラスコ（1000 ml）、試薬は「方法の 2」の項参照。

方 法

1) 川における採水と調査

- a) 同じ川の流域で環境の異なる 3 ヶ所以上の調査地点を設定する。
- b) 各調査地点では、まず川底の泥を巻き上げないよう静かにポリビン中に採水する。
- c) 次に川の水のにごり・匂い・色などを観察し記録する。

- d) 調査地点により川幅が広く深いときは、釣竿やひもを用いて採水を工夫する。
- e) 各調査地点の水温、流速を測定する。

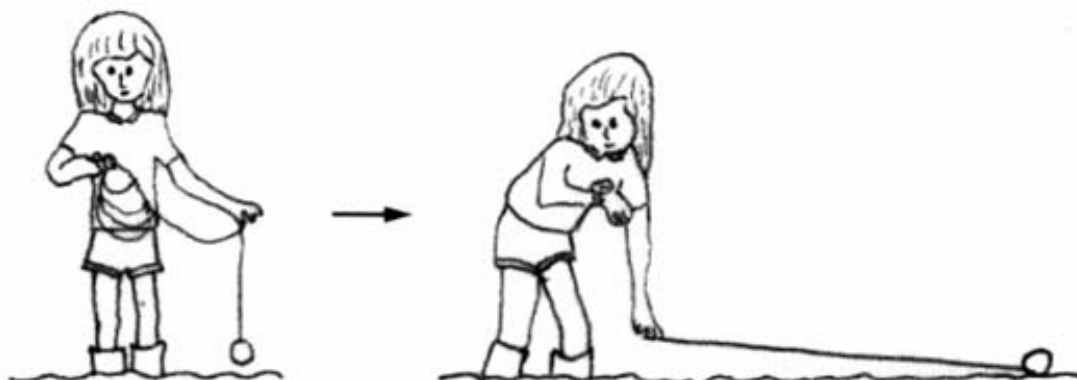


図1 流速の測定方法

2) 試薬の調製

a) 4.5 mol/l の希硫酸

濃硫酸を4倍の体積にうすめる（一定量の濃硫酸をとり、その3倍量の蒸留水に少量ずつ加える。冷却後蒸留水を加えて4倍にする）。

b) 0.05 mol/l のシュウ酸（またはシュウ酸ナトリウム）溶液

純粋なシュウ酸 ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 6.30 g（シュウ酸ナトリウムの場合は6.699 g）を蒸留水に溶かして1000 mlにする。この標準溶液を冷暗所に保存する。使用時10倍にうすめ0.005 mol/lにして使用する。

c) 約0.02 mol/l の過マンガン酸カリウム (KMnO_4) 溶液

KMnO_4 の結晶3.2 ~ 3.3 gを蒸留水100 mlに溶かす。10 ~ 15分煮沸後栓をして約1日放置する。ガラスフィルターで濾過し着色びんに入れ密栓して保存する。使用時に10倍にうすめ、約0.002 mol/l溶液として使用する（次の標定で正確な濃度を求める）。

d) KMnO_4 溶液の標定

三角フラスコに 0.005 mol/ml シュウ酸溶液 10 ml と 4.5 mol/ml 希硫酸 10 ml をとる。

湯浴で約 80℃に保ち、攪はんしながらこれに KmnO_4 溶液をビューレットで滴下する (60℃ 以下にならないこと)。紫紅色が消えなくなったら終点とする。

滴定に要した KmnO_4 溶液の量を a ml とする。

3) COD の定量

a) 三角フラスコに瀘過した試水 50 ml をとり、4.5 mol/ml 希硫酸 10 ml と調整し

た 0.002 mol/ml の KmnO_4 溶液 10 ml (A_1) を加え、金網上で沸騰するまで加熱する。

b) 100℃の湯浴に移して 15 分間保つ。 KmnO_4 の色が消えるようなら、さらに KmnO_4 溶液 10 ml (A_2) を加える。それ以上必要なら、試水をうすめてやりなおす。

c) 加熱を止め、0.005 mol/ml シュウ酸溶液 10 ml を加えて色を消す。

d) 残っているシュウ酸を 0.002 mol/ml の KmnO_4 溶液で滴定する (A_3)。

e) COD 量を計算する。

f) 同じ場所で採水した水について 3 ～ 4 回測定を行い平均値を求める。

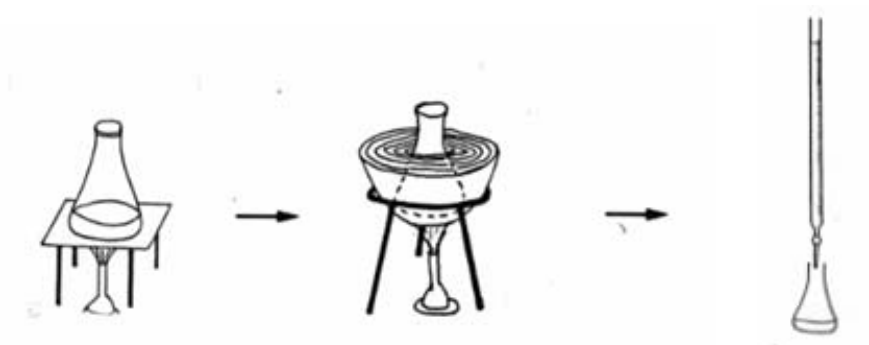


図2 CODの定量方法の手順

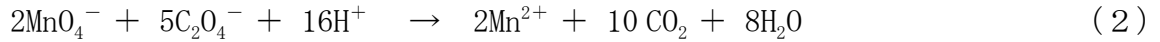
4) 原理

水中の、主に有機物を酸化するために要した酸化剤（過マンガン酸カリウム）の量を

測定し、消費された酸素量 (ppm = mg/l) で表わす。



残った KMnO_4 はシュウ酸 (またはシュウ酸ナトリウム) で分解する。



(2) 式からわかるように、過マンガン酸カリウム 2 mol とシュウ酸 5 mol とが反応する。

したがって、この過マンガン酸カリウム水溶液 1 ml 中に含まれている KMnO_4 は

$$0.005 \times 10/1000 \times 2/5 \times 1/a = 2 \times 10^{-5} \times 1/a \text{ mol となる。}$$

5) KMnO_4 の消費量の算出

$$\text{KMnO}_4 \text{ の総量は } A_1 + A_2 + A_3 = A \text{ (ml) で、}$$

$$(A \times 2 \times 10^{-5} \times 1/a) - (0.005 \times 10/1000 \times 2/5) = 2 \times 10^{-5} \times (A/a - 1) \text{ mol}$$

の KMnO_4 が試水 50 ml 中の有機物の酸化に消費されたことになる。

したがって、

試水 1000 ml 中の有機物の酸化に消費される KMnO_4 (1 mol = 158.04×10^3 mg) のミリグラム数 (ppm) は

$$\text{KMnO}_4 \text{ の消費量 (ppm) } = 2 \times 10^{-5} \times (A/a - 1) \times 1000/50 \times 158.04 \times 10^3$$

6) 酸素の消費量の算出

(3), (4) 式からわかるように、過マンガン酸カリウム 1 mol は電子 5 mol に、また、酸素 1 mol (32×10^3 mg) は電子 4 mol に相当するので、過マンガン酸カリウム 4 mol は酸素 5 mol にあたる。



したがって、

$$\text{COD (酸素量としての ppm) } = 2 \times 10^{-5} \times (A/a - 1) \times 1000/50 \times 32 \times 10^3 \times 5/4$$

まとめ

- 1) 川の上・中・下流域の各採水地点の COD の値を、各調査地点における水のにごり、匂い、色、流速の測定結果と比較し、考察する。
- 2) COD の値が 2 地点で大きく変化する場合には、さらに 2 地点間の川岸の環境を実地調査して地図上に記入し、その理由を考える。
- 3) COD の値は季節によっても異なる。毎月または季節ごとに川の同じ地点で採水を行い、継続的に COD を測定し、その値を比較する。

指導上の留意点

- 1) 大雨の後の採水は避け、水深が元に戻るのを待って行う。また、採水の 際の危険防止について注意する。
- 2) 採水した水は、できるだけ早い内に滴定を終了する方がよい。滴定まで に少し日数を要する場合には、採水した水を冷蔵庫に保存しておく。
- 3) 滴定の際、反応終点における色の変化が見にくく、発色の見方により実験誤差を生じ易いので、反応の終点が近づくと慎重に滴定を行わせる。
- 4) シュウ酸の標準溶液を調製するには 1 mg まで秤量が必要である。精密天秤がない場合には既製の標準溶液 (0.05 ml/1 溶液, 500 ml, 900 円) が市販 されているので利用するとよい。

学習の発展

- 1) 各採水地点において、川の水質を知るための指標生物について同時に調査し、COD の結果と比較させる。
- 2) 山のわき水や沼・池の水を採水して COD を測定、川の結果と比較して、その値が異なるわけを考えさせる。

参 考

表1 貝塚市近木川（左）と北摂箕面川（右）における COD の調査結果

調査地点	1988.10月	C O D(ppm)	
休場橋		3.2	
道陸神社		4.2	

調査地点	1989	C O D(ppm)	
		7月	10月
A 支流		1.8	/
B ダムの下流		2.8	2.9
C 滝の下流		3.9	3.3
D 石橋		/	3.4



図3 貝塚市近木川
上流の調査地点



図4 北摂箕面川の
調査地点

参考文献

- 1) 小島貞男・三村秀一・菅野明男：「上水・井戸水の分析」（講談社サイエンティフィク，1974）.
- 2) 大阪府：「大阪府環境白書」（大阪府環境保健部環境課 1989）.
- 3) 建設省河川局監修，日本河川協会：「日本河川水質年鑑」（山海堂，1989）.

2. 溶存酸素の測定

ねらい

水生動物にとって、水に溶けている酸素（溶存酸素）量の多少はその生命活動に大きく影響を与える。一般に川の流速の速い所（上流）では水はよく攪はんされ溶存酸素の量も多い。しかし、流速が低下し、生活排水や工業廃液が川に流入し、川の有機物量が多くなると、種々のバクテリアや微生物が増加し溶存酸素は大きく消費される。さらに水の汚濁が進み川底にヘドロが溜るとメタンガスが発生する。

ここでは近くの川の上・中・下流域について採水を行い、生物の生存に大きな影響を与える溶存酸素量を Winkler 法により化学的に定量し、各地点における水質の違いや生物の生存について考えさせる。

準 備

川の環境調査のための準備は「川の環境調査－1」を参照。

駒込ピペット、酸素ビン（100 ml 前後のもの）、試薬は「方法の2」の項参照。それ以外は「川の環境調査－1」を参照。

方 法

1) 川における採水と酸素の固定

- a) 各調査地点では、まず川底の泥を巻き上げないように、泡を立てないように静かに酸素ビンに水を採水する。
- b) 駒込ピペットから泡を出さないよう注意して MnCl_2 溶液 1.5 ml を酸素ビンの底の方に流し込む。次いで同様の方法で NaOH-KI 溶液をビンの中ほどに 1.5 ml 加え、ビンの中に気泡が残らないよう栓をする。

- c) 次に、ビンの底と栓を指ではさんで、ビンに4～5回転倒させ、できる沈殿をよく攪はんする。
- d) 調査地点により川幅が広く深いときは、釣竿やひもを用いて工夫する。
- e) 各調査地点の温度、流速を測定する(川の環境調査－1 参照)。

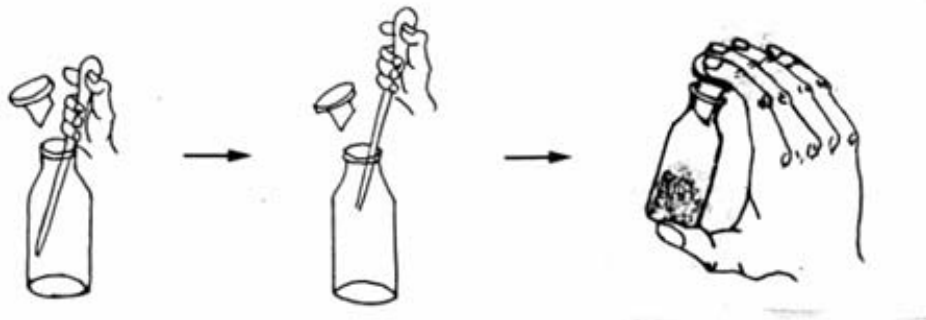


図1 酸素ビンによる水中の酸素の固定法

2) 試薬の調製

a) MnCl_2 溶液

$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (分子量 197. 91) 40 g を蒸留水 100 ml に溶かす。

b) NaOH-KI 溶液

NaOH 36 g を蒸留水 100 ml に溶かし、冷えてから KI を 10 g 加えて溶かす。

c) HCl 溶液

濃塩酸の原液を使用する。

d) 1 % デンプンのり

水 100 ml に可溶性デンプン 1 g を加えて加熱溶解した後、濾過して用いる。

e) 0.01 mol/l のチオ硫酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 溶液

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (分子量 248. 19) をメスフラスコに 2. 48 g とり、蒸留水を加えて 100 ml

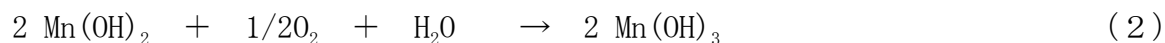
にする。

3) 溶存酸素の定量

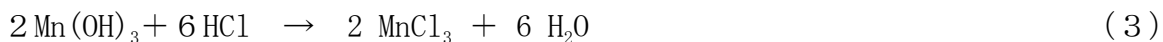
- a) 水の中の酸素を固定させて持ち帰った酸素ビン（一昼夜静かに沈殿させる）の栓をとって、その上澄み 5ml ほどを駒込ピペットで捨てる。
- b) 次にビンの中へ、濃塩酸 3 ml を加え、よくビンをふって完全に沈殿を溶かす。
- c) 酸素ビンの中の液を三角フラスコにとり、1 % デンプンのりを 2 ~ 3 滴加えてから 0.01 mol/l の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ をビュレットにとり、ヨウ素デンプン反応の青紫色が消えるまで滴定する。
- d) 滴定に要した $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ の量から 1000 ml 中の溶存酸素量を計算する。

4) Winkler 法の原理

酸素が溶けている水に、 MnCl_2 と NaOH を加えると、 MnCl_2 と NaOH が反応して Mn(OH)_2 の白色沈殿を生じ、これが O_2 と反応して褐色の Mn(OH)_3 となる。



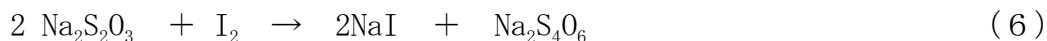
沈殿完了後 HCl を加えると、 Mn(OH)_3 は MnCl_3 となるが（これは不安定でただちに分解する）。



この Cl_2 を KI と反応させると I_2 が遊離する。



この I_2 を $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ で滴定する。



5) 溶存酸素量の算出

1000 ml の水に溶けている溶存酸素量の計算

酸素ビンの容量 = v ml

酸素ビンに加えた MnCl_2 と NaOH-KI 溶液の体積の合計量 = a ml

滴定による 0.01 mol/ml の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ の使用量 = n ml

1000 ml の水に溶けている溶存酸素量を x ml (0°C , 1 気圧) とすると、(2) ~ (6)

の反応式から、 $1/2 \text{ mol}$ の酸素を消費するのに必要な $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ は 2 mol となる。

0°C , 1 気圧で 1 mol の酸素は 22.390 ml/mol を用いて計算すると、

$$\begin{aligned} x \text{ ml} &= \frac{0.01 \text{ mol/l} \times \frac{n}{1000} \times \frac{1}{4} \times 22390 \text{ ml/mol}}{\frac{(v-a) \text{ ml}}{1000 \text{ ml}}} \\ &= \frac{0.05597 \times n \times 1000}{v - a} \end{aligned}$$

したがって、100 ml の酸素ビンで、 $a = 3 \text{ ml}$ のときに 0.01 mol/l の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1 ml を使用した場合の酸素消費量は $0.5770 \text{ ml}/(\text{水 } 1000 \text{ ml})$ (0°C , 1 気圧) に相当する。

まとめ

- 1) 川の上・中・下流の各測定地点における溶存酸素量を計算し、それと各地点の流速等の環境とを比較し、考察する。
- 2) 各測定地点における溶存酸素量の変化をそれぞれの地点の COD 値と比較し、考察する。

指導上の留意点

- 1) 採水時期、採水時の危険防止については「川の環境調査－1」参照。
- 2) 採水した酸素ビンに MnCl_2 と NaOH を加えよく攪はんしても、 $\text{Mn}(\text{OH})_2$ の白色沈殿が完

全に褐色の $\text{Mn}(\text{OH})_3$ とならない場合には、 MnCl_2 と NaOH の加える量を両方とも増やして操作をやり直す。

- 3) 滴定終了後しばらく置くとヨウ化物イオンが酸化されて再びヨウ素デンプン反応の青紫色が現れることがある。最初の青紫色が消えた時点が反応の終点である。
- 4) 濃塩酸の使用および NaOH-KI 溶液の運搬には特に注意が必要である。

学習の発展

- 1) 各採水地点において、川の水質を知るための指標生物について同時に調査し、溶存酸素量の結果と比較させる。
- 2) 沼・池の水を採水して溶存酸素量を測定し、川の結果と比較し、違うわけを考えさせる。
- 3) 水草の多い池の水を日照時間の変化にあわせて酸素ビンに採り、溶存酸素量を測定して、それが変化する理由を考察させる。

参考文献

- 1) 気象庁：「海洋観測指針」（気象協会，1963）p. 148-156.
- 2) 三宅泰雄・北野康：「新水質化学分析法」（地人書館，1985）p. 89-93.

3. アンモニウムイオンの測定

ねらい

大規模な合成肥料の使用と家庭排水（尿尿を含む）の処理の増加は土中バクテリアによる脱窒化の能力をはるかに超え、河川に流れ込む窒素量は増加の傾向にある。

ここではインドフェノール法により、身近な川の上・中・下流域で採水した水の中のアンモニウムイオンを定量・比較し、これ以上川のアンモニウムイオン濃度を高くしない方策を考えさせる。

準 備

川の環境調査のための準備および化学操作に必要な器具類は「川の環境調査－１」を参照。試薬は「方法の２」、の項参照。

方 法

1) 川における採水と環境調査

「川の環境調査－１」に同じ。

2) 試薬の調製

a) ナトリウムフェノレート溶液

フェノール 5 g とニトロプルシドナトリウム 0.025 g を 200 ml の蒸留水に溶かす。

b) 次亜塩素酸ナトリウム溶液

5%次亜塩素酸ナトリウム 5 ml と水酸化ナトリウム 2.5 g を 200 ml の蒸留水に溶かす。

c) アンモニウムイオン標準溶液

硫酸アンモニウム 0.0367 g を 1000 ml の蒸留水に溶かす。アンモニウムイオンにして

100 ppm の溶液が得られる。

3) 操 作

- a) 試水 5 ml をとり、これにナトリウムフェノラート溶液と次亜塩素酸ナトリウム溶液をそれぞれ 1 ml ずつ加える。
- b) これを 20 ～25 ℃の湯に 30 分間つけておいて、十分青色に発色させる。
- c) 発色した試水を比色してアンモニウムイオンの含有量をはかる。

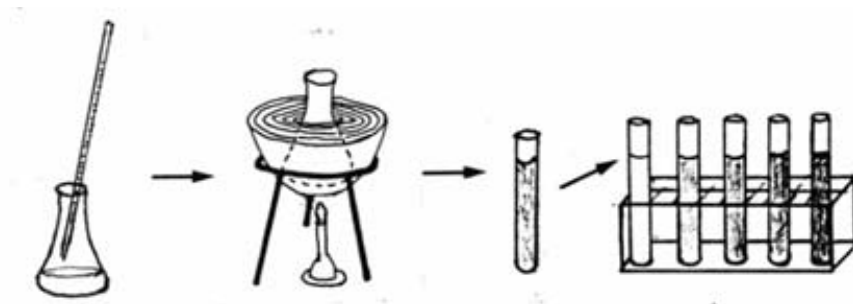


図1 発色までの操作過程と試験管での比色

4) インドフェノール法の原理

アンモニウムイオンが次亜塩素酸イオンの存在下で、フェノールと反応して生成するインドフェノール（青色）の吸光度を測定して、アンモニウムイオンを定量する。

5) 比色によるアンモニウムイオン濃度の決定

A. 光電比色計または分光光度計による比色

- a) アンモニウムイオン標準溶液を薄めて 1.0 ppm の溶液を調製する。この溶液を操作 3) a) b) の方法で発色させる。
- b) 発色した溶液をさらに薄めて、濃度 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8 ppm の各溶液を調製する。
- c) それぞれの溶液の吸光度を光電比色計または分光光度計（波長 630 nm）で測定する。

- d) アンモニウムイオンの濃度と吸光度との関係をグラフに描く（検量線）。
- e) 発色させた試水の吸光度を測定し、検量線からアンモニウムイオンの濃度を知る。
- f) 試水のアンモニウムイオン濃度が標準溶液のそれより大きく、比色できない場合は、試水を蒸留水で何倍かに薄める。

B. 試験管での比色

- a) 4) のA. a) で調製した 0.1 ～ 1.0 ppm の溶液をそれぞれ試験管に入れ、濃さの順に並べる。
- b) 発色させた試水を試験管に入れ、a) の標準溶液の色と比較して、濃度を決める。
- c) 試水のアンモニウムイオン濃度が標準溶液のそれより大きく、比色できない場合は、試水を蒸留水で何倍かに薄める。

C. 定性的比色

比色定量しなくても、ある川の上・中・下流で採水し、発色させて色の濃さを比較し、アンモニウムイオンの含有量の多少を知ることができる。

まとめ

- 1) 川の上・中・下流の各演習地点におけるアンモニウムイオンの含有量を測定し、それと各地点の環境とを比較し、考察する。
- 2) 各測定地点におけるアンモニウムイオンの含有量の変化を、それぞれの地点の COD 値・溶存酸素量と比較し、考察する。

指導上の留意点

- 1) インドフェノール法はきわめて鋭敏な反応であるので、試薬の調製にあたっては脱イオン化した蒸留水を使用する方がよい。

2) フェノールは酸化されて色がつきやすいので、この試薬の調製はなるべく使用直前にするのがよい。

学習の発展

1) 各測定地点におけるアンモニウムイオンの含有量変化を、それぞれの地点の水質階級を示す指標生物の種類と比較し、考察する。

参 考

安威川（平成2年1月14日）の上・中・下流で採水した水を分光光度計で比色定量した例を以下に示す。

表1 安威川の3地点における吸光度と NH_4^+ 濃度

	A 下音羽	B 竜仙峡	C 永久橋
吸 光 度	0.014	0.038	1.186
NH_4^+ 濃度 (ppm)	0.01	0.027	0.85

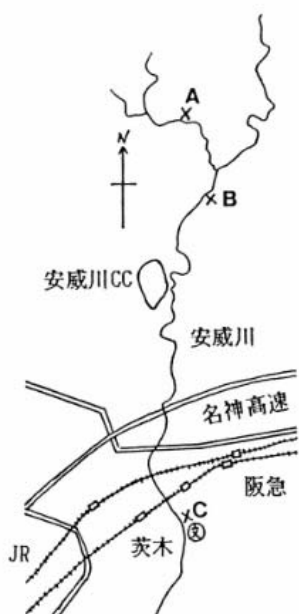


図2 安威川における採水地点

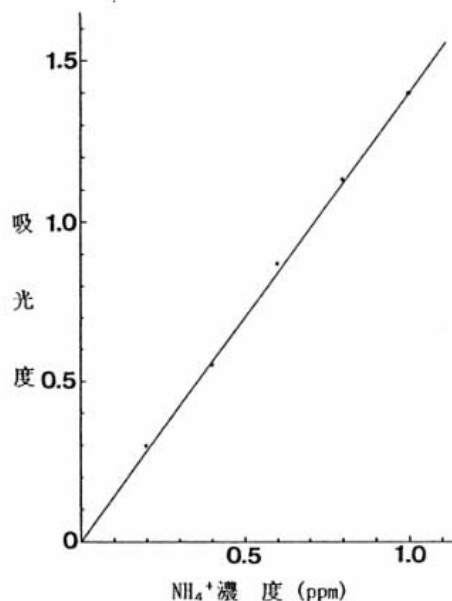


図3 NH_4^+ 濃度と吸光度（検量線）

参考文献

- 1) Sagi, Takeshi : Determination of ammonia in sea water by the indo-phenol method and its application to the coastal and off-shore waters. The Oceanographical Magazine, **18**(1966), No. 1-2, p. 43-51.

4. 指標生物による川の水質判定

ねらい

川の水質を比較するには採水した水を直接化学的に分析する方法（CODやアンモニウムイオンの測定など）がある。しかし、その値が低いからといってその地点の水質が良好であると安心はできない。すなわち、川は常に流れがあるため一時的に流された家庭排水や工業廃液等は直接チェックすることは難しい。その地点の水が概ね良好であるか否かの判断は、そこに住む生物を通して間接的に判断することができる。それは一時的にせよ生物にとって有害な汚水が流されると、汚水に弱い生物ほどその種の生存数は減少する。

ここでは近くの川の上・中・下流域について、そこに住む指標生物（汚水環境の程度により比較的生存が明瞭な動物）を調べることにより、それぞれの流域の水質や環境を判定させる。さらに生息する生物と水質のかかわりを知ることにより、環境保全への関心を高める態度を養う。

準 備

ピンセット、虫メガネ、歯ブラシ、ゴム長靴、ゴム手袋（以上各自持参）、方形枠（50×50cmの針金の枠）、白色バット、折れ尺、温度計、流速計（発泡スチロール球に3mの糸をつけたもの）、移植ごて、1～2mm程度の目の受け網（ステンレス製でも可）、水生昆虫図鑑および調査用紙（以上各班に一组）、250ml ポリエチレンビン（ポリビン）、エチルアルコール。

方 法

1) 同じ川の流域で環境の異なる2ヶ所以上の調査地点を設定する。

- 2) 各調査地点ごとに川の水のにごり・匂い・色などを観察し記録する。
- 3) 折れ尺を基準にして目測で川幅、温度計で水温を測る。
- 4) 川の中に2ヶ所の測定地点を定め、各地点での流速・水深を測る（流速の測定方法は環境調査－1 参照）。
- 5) 測定地点の川の瀬に方形枠（50cm×50cm）を置き、その川下に受け網を設置し、枠内の石を持ち上げバットの中へ移す。受け網に逃げた虫はバットに移す。川底が小石の場合は移植ごてで10cm ぐらいの深さまですくいあげる。川底が砂や泥の場合にはスコップか移植ごてで川底をかき混ぜ流れる虫を受け網で受ける。
- 6) バット内の石に付着している生物は歯ブラシで軽く擦り取る。



図1 方形枠と受け網の置き方

まとめ

- 1) 「指標生物調査用紙」に記載されている動物につき、肉眼で見える大きさのものは種類を調べ、その数を記録する。記録後、動物は川に戻す（図鑑参照）。
- 2) 特徴が見にくいものや種の確定が困難な動物は測定地点ごとに少量の水 と共にポリビンの中に入れ、エチルアルコールを加えて最終濃度約70%に して持ち帰り、種類を調べる。

河川の指標生物調査用紙

河川名	近木川	調査地点	1			
調査年月日	'88.10.24	天候	晴	班名	A	
川に入る前の感じ 水のにごりにおい	にごり, におい特になし			川幅 2.5m	水温 11.5°C	
方形枠 (NO)	1	2	方形枠は50x50 cm			
調査時刻	11時					
採集位置	瀬					
水深	10.3cm					
流速	0.23%					
川底の状態	礫		合計	得点数	備考	
水質階級	指標生物	大変多い◎				
I	1. カワゲラ類	7		7	1	
	2. クロツ・ナシトビケラ	3		3	1	
	3. ヒラタカゲロウ類	4		4	1	
	4. ブユ類					
	5. ヘビトンボ類	24		24	1	
	6. ヨコエビ類	2		2	1	
	7. サワガニ類	8		8	1	
I・II	8. プラナリア類	68		68	2	◎
	9. 2以外のトビケラ類	12		12	1	
	10. 3 13以外カゲロウ類	100		100	2	◎

方 形 枠 (NO)		1	2	合 計	得点数	備 考
水質階級	指 標 生 物	大変多い◎				
II	11. ヒラタドロムシ類	4		4	1	
	12. カワニナ類					
III	13. サホコカゲロウ					
	14. ヒル類	2		2	1	
	15. ミズムシ					
	16. モノアラガイ					
III・IV	17. サカマキガイ					
IV	18. 赤いユスリカ類					
	19. 赤いイトミミズ類					
	20. ハナアブ類					

水 質 階 級	I	II	III	IV	合 計
1. 各水質階級の得点数	11	6	1	0	18
2. 各水質階級ごとの得点数の割合	61	33	6	0	100
3. 割合の最も高い水質階級に○	○				
4. この地点の水質階級の判定は	I				

(水質階級)	(川の水の状態)	(生物学的水質階級)
I	きれい	貧腐水性
II	少し汚れている	β 中腐水性
III	汚れている	α 中腐水性
IV	大変汚れている	強腐水性

図2 河川の指標生物調査用紙とその記入例

- 3) 各調査地点ごとに「指標生物調査用紙」一枚を用い、該当する種類ごとにその数を記入し、合計数も記入する。
- 4) 大変数の多かった種類に◎を付ける。
- 5) ◎には2点、他には1点を与え、指標生物ごとに得点数を記入する。
- 6) 各水質階級ごとに（2階級にまたがっている指標生物は両方の階級に数える）その得点数の合計点を最後の水質階級覧に記入する。
- 7) 各水質階級毎にその得点の割合を算出し記入する。
- 8) 各地点の水質階級を推定するには、5割以上の得点をもつ水質階級を、その地点の水質階級とする。5割以下の値が並ぶ場合は、値の大きい二つの水質階級の間型とする。
- 9) 調査地点が一覧できる地図を作り、村落、住宅団地、工場等の分布を記入すると、川の汚れの原因等が考えやすい。
- 10) 一つの川の上流から下流迄多地点で調査した場合には、その川の水質階級地図を作成する。

指導上の留意点

- 1) 地図（2万5千分の1）で調査地点を設定し現地の様子を前もって確認し、川への入りやすさ、移動時間、調査人数などを考慮し、危険防止に注意する。
- 2) 水深が30cm前後で比較的流れが速く（流速30～40cm/秒）川底にこぶし大から頭大の石が多い場所に調査地点がとれるような川（大阪府下では北部の北摂山地に源を発する余野川、箕面川、安威川、田熊川など、また、南部の和泉山脈に源を発する犬鳴二瀬川、近木川、牛滝川、石川など）が適当である。川底がコンクリートのところや海水が混じりあっているところ、川の流れがないところは避ける。

- 3) 一年を通して調査する場合には各季節毎に一回が理想的である。年一回 の場合には3～5 月（水生昆虫が大きくて、多い）がよい。なお調査のまえの数日間に大雨が降った場合には増水による危険防止と生物が流されて いることを考慮して、水深が元にもどるのを待って調査させる。
- 4) 大変汚い水質階級以外は長靴およびゴム手袋は不要である。しかし、怪我を防ぐズック靴および軍手の着用は必要である。
- 5) 採集動物について種まで同定する必要はない。指標動物の特徴（参考資料参照）を頭に置いて、さらに「参考文献の 1」等を参照すれば水生昆虫についての仲間わけは容易である。

学習の発展

- 1) 季節ごとや毎年同じ時期に同じ地点を調査し、季節や年毎に指標生物の 種類や大きさがどのように変化するか、それぞれの原因について考えさせる。
- 3) 指標生物以外によく見かける生物の種類を調べ、それらが住んでいる水質階級を判断させてみる。

参 考

次ページ以下



図3 クロヅットビケラ

溪流の流れのある岩上に集まって生息する。分泌物を螺旋状に巻き重ねた黒色の長い円錐形の筒巣をつくる。頭胸部のキチン板は黒褐色。体長10mm前後。



図4 ナガレトビケラの一つ

溪流の水中の岩の間に生息。筒状の巣は作らない。頭胸部は黒褐色。腹部に気管鰓はない。体長15mm前後。



図5 ヘビトンボ

俗名「孫太郎虫」。比較的きれいな溪流の石の下に生息。体長50mm前後。腹部に総状の鰓をもつヘビトンボ(上)と、もたないクロスジヘビトンボ(下)に区別できる。



図6 サワガニ

本州で清流に生息するカニはこの種だけ。甲らの幅は20~40mmで赤褐色から淡褐色。

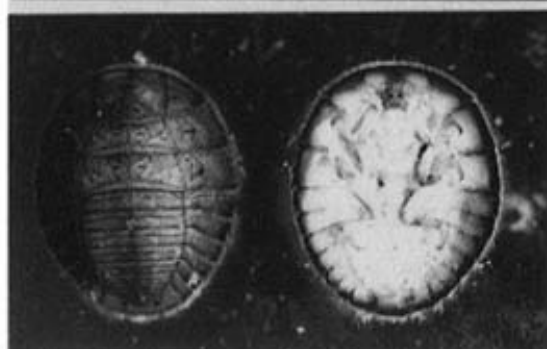


図7 ヒラタドロムシの一つ

流れのやや緩やかな上・中流域の石底に生息する。体長10×8mm前後の楕円形で扁平。背側(左)は鎧状の傘、腹側(右)には3対の脚と分枝した気管鰓が見られる。



図8 オオヤマ
カワゲラ
溪流の石の下に
生息。胸部に叢状
の鰓がある。



図9 ナミヒラタ
カゲロウ
山地激流部に生息。
体長12mm前後。尾2
本で体長と同大。体
偏平。頭部前縁丸い。



図10 ユミモン
ヒラタカゲロウ
山地激流部に生息。体
長12mm前後。尾2本で体
長の1.5倍。頭部前縁中央
に相対のc字淡色紋(矢印)。



図11 シロタニガワ
カゲロウ
川の急流域の石面
に生息。体長12mm前
後。尾は3本。頭部
前縁に4つの小円紋。



図12 コカゲロウ
の一種
溪流性のものから
比較的汚染に強い種
までいる。体長はい
ずれも10mmまで。



図13 ニホンヨコエビ
(上)とミズムシ(下)
いずれも甲殻類で体
長10mm前後。前者は背
腹に厚く左右に偏平。
後者は逆に左右に広い。



図14 ウルマーシマトビケラ

上・中流域に広く分布する。砂粒・植物片で巢室をつくり、その前方に絹糸でロート状の網を張る。体長15mm前後、腹部に房状の気管鰓が並ぶ。

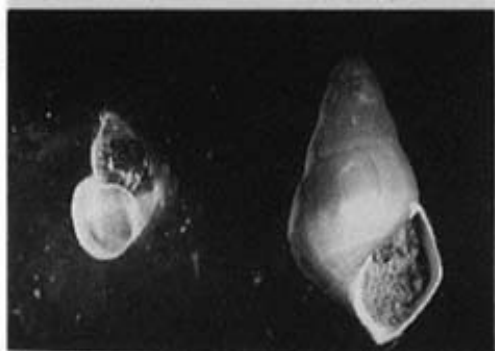


図15 カワニナ (右) と

サカマキガイ (左)

前者は殻高15~30mmで細長く口径は殻高の半分以下。後者は殻高5~10mmで殻薄く半透明。口径は殻高の半分以上。殻の巻方が逆方向。

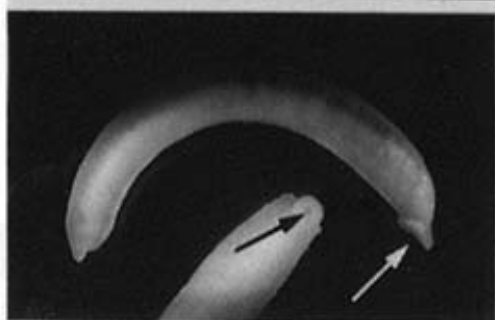


図16 シマイシビル

流れの緩やかな水中の石の裏面に生息。体長30~40mm。激しく伸び縮みする。体は平たく体節あり。腹面の前後端に吸盤がある。後部の吸盤は大きい (矢印)。

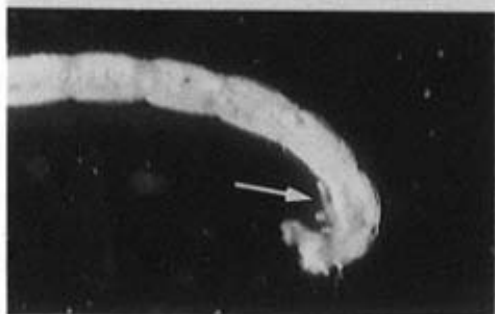


図17 セスジユスリカ

緩やかな流れに泥のチューブ状の巣をつくって生息する。体長10mmぐらいで赤色。擬足があるが足はない。腹鰓 (矢印) がある。

参考文献は「川的环境調査-5」参照。

5. 生物種数や個体数量による水質の判定

ねらい

生物の種はそれぞれが好む環境に住んでおり、種によって好む環境条件も異なる。したがって、ある種の水生生物の好む環境条件を知っておれば、その生物の存在からその川の水質環境を知ることができる。

ここでは、先人たちが主として水生昆虫の調査を通して積み上げてきた特徴（好む環境）をもとに、身近な川の上・中・下流域で採集した水生動物を同定することにより、その川の水質環境を比較・判断させる。さらに、川の流速や川底の様子などの環境が異なると、そこに生息する動物の体構造にも違いが見られることを発見させる。

準備

各自の持参品および測定のための器具は「川の環境調査－4」参照。

方法

川の環境調査と生物の採集方法については「川の環境調査－4」参照。

まとめ

- 1) 1 方形枠内の肉眼的な大きさの全動物につき、その種類を調べ、それぞれの数を記録する。記録後、動物は川に戻す。
- 2) 種の確定が困難な動物は測定地点ごとに水の入ったポリビンの中に入れ、エチルアルコールを加えて最終濃度約 70%にして持ち帰り種類を調べる。
- 3) 生物による水質階級の算出には次の二つの方法がよく用いられる。

A. Beck—Tsuda法

これは種数が多い方が環境がよいという考えに基づくもので、 α 法と β 法がある。 α 法では50cm×50cmの方形枠を川の瀬の水底に置き、その範囲内の肉眼的動物全部を採集して種の同定を行ない、汚濁非耐忍性の種（A； ほぼ貧腐水性階級のものをあてる）と汚濁耐忍性の種（B； ほぼ中腐水性および貧腐水性階級のものをあてる）と汚濁耐忍性の種（B； ほぼ中腐水性および強腐水性階級のものをあてる）に2分する[参考文献2]のp. 98—103参照]。

○生物指数の計算は下記の通り。

$$\text{生物指数} = 2A + B$$

(Biotic index)

○水質階級は下表によって判定する

水質階級	生物指数 (2A + B)
きれい	20以上
少し汚れている	11～19
汚れている	6～10
大変汚れている	0～5

B. Pantle u. Buck法

水生生物の種数とその量の両者を組み合わせて、川の水質階級を数的に表わそうとするものである。

採集した全生物を汚濁の4階級指標種に分類する[参考文献2]のp. 98-103, 3)のp. 156—157 および p. 186—188, 4)のp. 141—179を参照]。

○汚濁階級指数 (s) として、

貧腐水性指標種	1
中腐水性指標種	2
中腐水性指標種	3
強腐水性指標種	4

の得点を与える。

○量の多少度 (h) として、

偶在	1
多い	2
すこぶる多い	3

の得点を与える。

○汚濁の指数の計算は下記の通り。

○水質階級は下表によって判定する。

水質階級	汚濁の指数
------	-------

$$\text{汚濁の指数 (S)} = \frac{\Sigma (s \times h)}{\Sigma h}$$

(Pollution index)

きれい	1.0～1.5
少し汚れている	1.5～2.5
汚れている	2.5～3.5
大変汚れている	3.5～4.0

- 4) 生物指数と汚濁の指数の値から導き出された水質階級を指標生物による水質階級（川の環境調査－4）の結果と比較し考察する。
- 5) 生物指数と汚濁の指数の値から導き出された水質階級を比較し、川の環境を加えて考察する。
- 6) 川の流速や川底の様子などの環境が異なると、そこに生息する動物の体構造にどのような違いや特徴が見られるか、考察する。
- 7) すこしよごれた水質階級の所では、種数は少ないが同種の個体数が多く生息するわけを考えてみる。
- 8) 調査地点の水質がこれ以上悪化しないためには、どんなことが必要かを考える。

指導上の留意点

- 1) から 3) は「川の環境調査－4 の留意点」参照。
- 4) 生物指数の値による水質階級は水質が悪くなくても、生物の定着度の悪い川（瀬が少なく流速が遅いなど）では底生動物の種数が少なく、結果的に水質階級が下がるので注意が必要である。
- 5) 汚濁の指数の値による水質階級と指標生物による水質階級（川の環境調査－4）の結果は比較的良好に一致する。
- 6) 水生昆虫の種の確定は最初は難しいが、「参考文献の 1)」等を採集地へ持参して調べると大方の種の確定は可能である。さらに「参考文献の 9)」で目・科を詳しく検索するとよい。

学習の発展

- 1) クラブ活動等で動物種の同定に熟達すれば、Pantele u. Buck 法または、Beck-Tsuda 法を用いて水質を判定するのが望ましい。また同時に採水して水中のCOD、溶存酸素量、アンモニウムイオンなどの化学的定量を行なえばより水質の判定は正確になる（川の環境調査 1-3 参照）。
- 2) 季節毎や毎年同じ時期に同じ地点を調査し、季節や年毎に生物の種類や大きさがどのように変化するか、それぞれの原因について考えさせる。

参 考

表1 近木川上流域の2地点で秋期に採集された水生底生動物の種類と#あたりの量(1987年と1988年の2回の調査合計)

水 生 底 生 動 物 名			調査地点1 (休場橋)	調査地点2 (道徳神社)
蜉 蝣 目 (カゲロウ)	エルモンヒラタカゲロウ	<i>Epeorus latifolium</i>	+	+
	タニヒラタカゲロウ	<i>E. napaensis</i>	+	+
	クロタニガワカゲロウ	<i>Ecdyonurus tobiironis</i>	r	-
	シロタニガワカゲロウ	<i>E. yoshidaei</i>	+	+
	E A タニガワカゲロウ	<i>E. sp. EA</i>	+	-
	キョウトキハダヒラタカゲロウ	<i>Heptagenia kyotoensis</i>	r	-
	フタホシモンカゲロウ	<i>Ephemera japonica</i>	r	-
	モンカゲロウ	<i>E. strigata</i>	+	+
	チラカゲロウ	<i>Isonychia japonica</i>	+	+
	クロマダラカゲロウ	<i>Ephemerella nigra</i>	-	+
	オオマダラカゲロウ	<i>E. basalis</i>	-	r
	キイロカワカゲロウ	<i>Potamonthus kamonis</i>	-	+
	ヒメトビイロカゲロウ	<i>Choroterpes trifurcata</i>	-	r
	ナミトビイロカゲロウ	<i>Paraleptophlebia chocolata</i>	-	+
	コカゲロウの一種	<i>Baetis sp.</i>	+	-
蜻 蛉 目 (トンボ)	シロハラコカゲロウ	<i>B. thermicus</i>	-	+
	ミヤマカワトンボ	<i>Calopteryx cornelia</i>	-	r
	オオカワトンボ	<i>Mnais nawai</i>	-	r
	コオニヤンマ	<i>Sieboldius albardae</i>	r	r
	オナガサナエ	<i>Onychogomphus viridicostus</i>	-	r
	ヤマサナエ	<i>Gomphus melaenops</i>	r	r
	オジロサナエ	<i>Stylogomphus Suzukii</i>	-	r
	ヒメクロサナエ	<i>Lanthus fujicatus</i>	r	-
襁 螂 目 (カワゲラ)	キイロヤマトンボ	<i>Macromia daimoji</i>	-	r
	ヤマトフタツメカワゲラ	<i>Neoperla niponensis</i>	+	+
広 翅 目	ヒメオオヤマカワゲラ	<i>Ovania seminigra</i>	+	-
	ヘビトンボ	<i>Protohermes grandis</i>	+	+
毛 翅 目 (トビケラ)	クロスジヘビトンボ	<i>P. continentalis</i>	+	+
	ヒゲナガカワトビケラ	<i>Stenopsyche marmorata</i>	+	-
	クロツツトビケラ	<i>Uenoa tokunagai</i>	+	-
	マルツツトビケラ	<i>Micrasema quadriloba</i>	r	-
	ウルマーシマトビケラ	<i>Hydropsyche orientalis</i>	+	+
精 翅 目 (甲 虫)	ヤマトトビケラの一種	<i>Glossosoma sp.</i>	+	+
	ヒラタドロムシの一種	<i>Mataeocephalus sp.</i>	-	+
	マルヒラタドロムシの一種	<i>Eubrianax sp.</i>	+	+
	チビヒゲナガハナミノの一種	<i>Ectopria sp.</i>	-	r
双 翅 目	ゲンジボタル	<i>Luciola cruciata</i>	-	r
	ガガンボの一種	<i>Prinocera sp. PA</i>	+	+
	ウスバヒメガガンボの一種	<i>Antocha bifida</i>	+	+
	ミヤマナガレア	<i>Atherix basilica</i>	+	-
昆虫以外の 底 生 動 物	ユスリカの仲間	<i>Chironomidae sp.</i>	-	+
	サワガニ	<i>Geothelphusa dehaani</i>	+	r*
	ニホンヨコエビ	<i>Rivulogammarus nipponensis</i>	+	-
	カワニナ	<i>Semisulcospira bensoni</i>	r*	+
	ナミウズムシ	<i>Rhinogobius flumineus</i>	+	+
	ミズムシの一種	<i>Asellus sp.</i>	-	+
	イトミミズの仲間	<i>Tubificidae sp.</i>	-	+
	シマイシビル	<i>Erpobdella lineata</i>	r	-

r : 5匹未満 + : 5匹以上~25匹未満 * : 25匹以上~125匹未満 # : 125匹以上 - : 0匹

* : 標準より特に小型のもの

太字は文中に出てくる動物の種名を示す。



図1 ノギカワゲラ
流れのやや緩やかな川の石の下や湿岩上に生息。体長 6mm 前後。頭部より前胸部の方が大きい。



図2 オジロサナエ
川の淀みに生息。体長20mm前後。頭部前方にうちわ型の触角（矢印）がある。



図3 シマアメンボウ
溪流に生息。体長 6 mm 前後。あざやかな縞模様がある。脚は体長の約 4～5 倍。



図4 ニンギョウトビケラ
川の中流域まで生息。砂粒の円筒巢で、対称的な位置に 3～4 個大型の砂粒を付ける。体長10～13 mm 前後。幼虫の腹部に気管鰓あり。

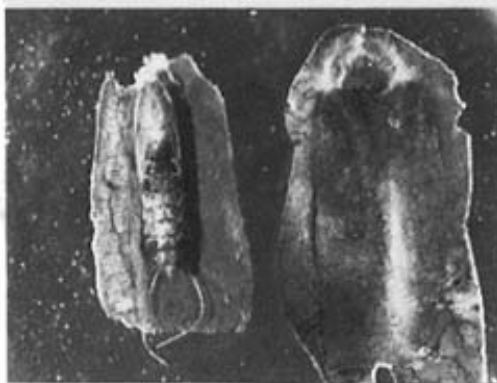


図5 コバントビケラのさなぎ（左）
川の淀みに生息。幼虫の体長17 mm 前後。水底の落葉をかみきって 2 枚の葉で小判型の筒巢（右）をつくる。

参考文献

- 1) 津田松苗・六山正孝：「水生昆虫」(保育社カラー自然ガイド, 1973).
- 2) 津田松苗・森下郁子：「生物による水質調査法」(山海堂, 1974) p. 98-103.
- 3) 日本生態環境問題専門委員会編：「環境と生物指標 2 - 水界偏」(共立出版, 1975) p. 126-136, p. 153-188.
- 4) 森下郁子：「生物からみた日本の川」(山海堂, 1978) p. 9-5, p. 21-62, p. 141-179.
- 5) 松中昭一：「図説環境汚染と指標生物」(朝倉書店, 1979) p. 167-173.
- 6) 大阪府：「水質環境モニタリング観察の手引」(生活環境部公害室水質課, 1987).
- 7) 滋賀県：「水生生物でみるしがの水」(生活環境部環境室, 1988).
- 8) 環境庁：「水生生物による水質の調査法」(水質保全局水質管理課, 1988).
- 9) 川合禎次：「日本産水生昆虫検索図説」(東海大学出版会, 1985).