

理科教材の基礎研究(2)

—— 特に河川の水質汚濁と生物指標 ——

福 島 博

1. はじめに

「生物は環境の影響を強くうけ、また、環境にも影響を与えている」このことは、生態学の講義の第1章に出る事項であるが、小学校理科でも、このことを取り扱う。指導書の内容から主なものをあげると次のようである。第2学年、植物は日なたと日陰とでは育ち方に違いがある。第3学年、植物は成長の様子は季節によって違いがある。第4学年、植物の成長と養分及び日光との関係。第5学年、植物は環境の影響を受けて成長している。第6学年、植物はお互いに影響を与えながら成長している。

ビンボウグサと一般に呼ばれている草は庭の隅あたりに広く分布している。この草をよく観察すると2群に分けられる。1群は花期が早く、東京近傍では5月中下旬まで咲くもので、他の1群は5月の中下旬から咲き始めるものである。両者の形態もよく観察すると異なっており、前者はハルジオンと呼ばれ、後者はヒメジョオンと呼ばれている。これらは夏の終わりには枯れ、秋に芽ばえ、冬は葉を四方に広げて太陽の光線と輻射熱をよくうける形で、しかも草丈が低いから寒さから身を守るのに程よい形態になっており、このような形態はロゼットと呼ばれている。このビンボウグサは、早春、他の草が伸びて草陰になるのを避けるかのように、早々と伸長し太陽光を充分にうけ、光合成を行い、上記のように花をつける。このように四季と植物の生長との間には明瞭な関係がある。

東京近郊では気温較差はほぼ30℃にもなる。川の水温較差は20℃以内であるが、川の生物にも四季それぞれの姿がある。多摩川の清浄な所には冬季から、早春にかけてイタケイソウ (*Diatoma vulgare*) が多量生育するが、年によっては少ない。毎年このころ、きれいな水域に、チビルケイソウ (*Cymbella ventricosa*) が多量に出現する。しかし、水温が上がるに従って下流(河川形態の下流ではない、生育している下限の方を指す)の方から姿を消し、夏は水温の低い上流部だけになってしまう。水温だけに注目しても、水中の植物はこのように環境との関係が明瞭である。

陸上植物の環境は気温と照度以外は解析が困難である。しかし、水中植物については上記の温度、照度の他 pH、電気電導度、水中溶存酸素量など簡単に測定できる。費用を問題にしなければ BOD、COD など水域の環境解析の器具は近年急速に発達してきた。これらの環境と水中植物との関係は密接で、水中植物はこの方面の教材として大変優れている。しかし、水中

の大部分の植物は顕微鏡の力を借りなければ観察できないという欠点はある。

河川は一般に上流は清浄で下流になるに従って次第に汚濁が進行してゆく。従って河川は、場所を移動さえすれば清浄な所から色々な程度に汚濁の進行した所まで、汚濁の程度と生物との関係を観察できるため、生物観察のフィールドとして優れている。温度に関しても同様で上流は低温で下流は水温が高くなるので、水温と生物の関係も上記のような観察が可能である。

東京都、川崎市、横浜市と東京近くには人口が集中している。これらの都市から簡単に往ける河川に多摩川がある。清浄な所から次第に汚濁が進行し、末端部ではかなり強く汚濁している。この多摩川は日本中の河川のさまざまな姿を1本の川で示す代表的な川と言える。

交通が便利で、日本の代表的な河川である多摩川の諸地点で、冬、春、夏、秋の四季に調査を行い、比較的簡単な環境分析を行った。この論文ではそれぞれの環境と生物相からみた多摩川を記し、最後に多摩川の植物、特に藻類の分布はどうなっているかを記す。

この植物の分布の項から、何日ころどこへ行けばどのような植物が得られるかが分かる。生きものの理科教材を扱う店が少ない。特に小形生物については極めて特殊なもの以外は、それを取り扱う店が全くないため、教育者が自ら採集しなければならない。このような場合、この論文が大変役に立つ。しかし、前述のように生物の出現にシーズンの限定される種がある。このような種の培養や飼育は困難なことが多いので標本作製するか、写真に撮影する必要がある。生物教育における標本作製や写真撮影の重要性が強調されるゆえんである。

2 多摩川 の 環 境

(1) 水温

上流ほど値が小さく下流になるに従い値が大きくなる傾向がある。しかし、最大値が最下流ではなく、途中にみられるがその地点は調査時によって異なる。すなわち、冬季st.10 多摩川原橋、春季st. 7日野橋、夏季・秋季st.14 ガス橋となっている。乱れは若干あるが、冬季が最も低温で、秋季、春季、夏季の順に値が大きくなっている。

(2) pH

pHは値のばらつきが水温より大きい場合が多い。藻類や水草の光合成の強弱によって強い影響を受けるため、それらの現存量の多い所はアルカリに偏るためである。しかし、全般的な傾向は上流より流下するに従って値が小さくなる。この傾向はst.13 丸子橋、st.14 ガス橋あたりまで、それより下流は流下するに従って値が大きくなる傾向がある。しかし、夏季は上記の傾向とは少し異なり谷がst.10 多摩川原橋になっている。末端部で値の大きくなるのは海水の影響による。季節間の差はあまり明瞭でないが、全般的に夏季と秋季の値が小さく、冬季と春季の値が大きくなっている。この傾向は現存量(細胞数)と似ている。

(3) 電気電導度

流下するに従い値が大きくなり、st.14 ガス橋より急に値が大きくなる。このような傾向は、日本の河川の一般的なものである。流下するに従って値が大きくなるのは人の排泄物の影響が下流ほど大きいことを示している(ただし、感潮域は別である)。末端部で急に値が大きくなるのは海水の影響によるためである。季節による差は明らかでないが秋季が最小値を示す地点

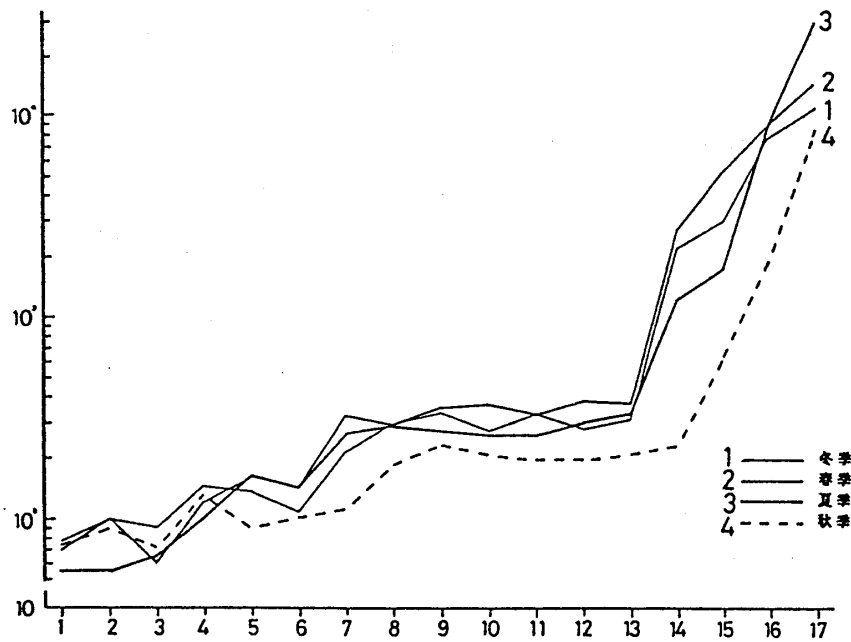


図1 多摩川の環境要因 電気伝導度(1987)

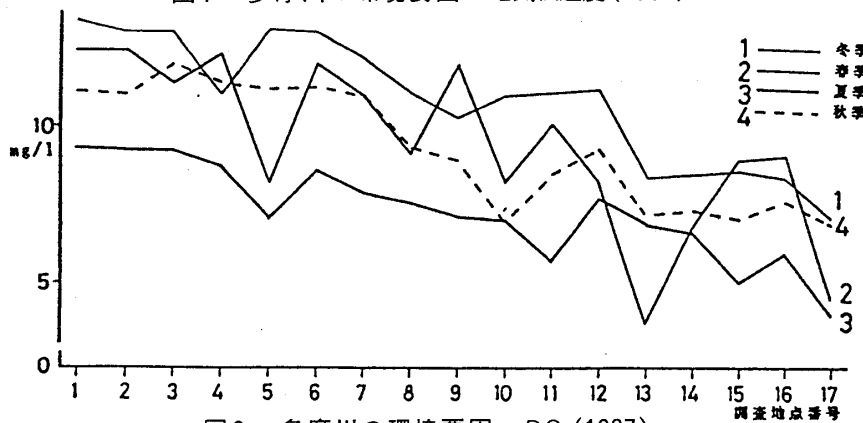


図2 多摩川の環境要因 DO(1987)

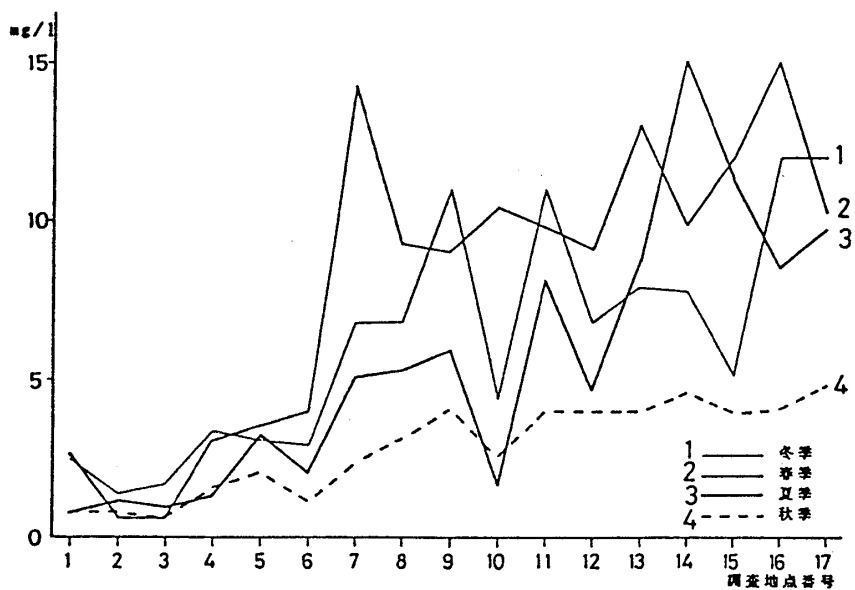


図3 多摩川の環境要因 COD(1987)

が多く、st.5 拝島橋より下流のすべての地点は秋季が最小値を示している(図1)。

(4) DO

DOは流下するに従って値が小さくなる。これも日本の河川の一般的傾向である。流下するに従って値が小さくなるのは、流下するに従って有機汚濁が進行しているためである。最小値を示すのは夏季が最も多く、次は秋季及び春季で、最も大きい値を示すのは冬季である。これも河川の一般的な傾向で、気体の溶存率は水温に關係すること、水温が高い程バクテリアの活性が大きくなり、水中酸素の消費量が大きくなるためである(図2)。

(5) COD

秋季を除く他の季節の、st.7 日野橋より下流の地点で、ばらつきがかなり大きい、一般的には流下する

に従って値が大きくなる傾向がみられる。秋季及び夏季の値が小さい傾向がある。この傾向は pH, DOの場合と類似している(図3)。

(6) BOD

秋季を除く他の季節の, st.7 日野橋より下流の地点で, ばらつきがかなり大きい, 全般的には流下するに従って値が大きくなる傾向がある。この傾向は COD とかなりよく似ており, 日本の河川の一般的傾向でもある。これは排水の影響で流下するに従って有機汚濁が進行するが, 排水の流入状態が一定でないためと自浄作用の進行のために, 値のばらつきが大きくなるものと推定できる。秋季の値が最も小さく, 次は冬季で, 最も大きい値を示すのは夏季である(図4)。

3. 付着藻について

(1) 現存量

現存量の表現方法は各種あるが, ここでは最も基本的な沈殿量(容量)によるものと, 細胞数による方法について記す。清浄な上流部(st.3羽村堰より上流)は, それより下流と比較すると値がやや小さい傾向がある。日本の平均値($4.2 \text{ ml} / \text{石礫 } 100 \text{ cm}^2$)より小さい値を示すのは68地点中29地点でほぼ半数の地点である。季節と沈殿量との関係は明確でない(図5)。

細胞数は日本の河川の平均的な値は2,000~5,000細胞であるが, 今回の調査で2,000細胞より小さいのは3地点だけで, 多くの地点は日本の平均的な値よりかなり大きい値である。付着藻の沈殿量が日本の河川の平均的な値で, 細胞数は日本の河川としては大きい値である。以上のことは多摩川はシルトなどの混入物が少ないか, 小さい細胞の個体が多いかであると考えられる。しかし多摩川中下流部のように有機汚濁の進行している河川の付着藻は小形な個体が多いため, 沈殿量では日本の河川のほぼ平均的な値であるが, 細胞数では多いという現象がみられたと推定できる。地点間の差はかなり大きい, 全般的にみると流下するに従って値が大きくなり, st.14 ガス橋あたりで最低になり, それより末端部にかけて増加する。季節変化はあまり明瞭ではないが, 夏季と秋季の値は, 冬季と春季より小さい傾向がある。日本の河川は河況の安定している冬季に現存量が最も大きい傾向があるが, 今回の調査でもこの傾向とほぼ似ている(図6)。

(2) 水質汚濁を示す諸指数

清浄度は地点によるばらつきは認められるが, 最上流部より流下するに従って急に値が小さくなる。st.11 多摩水道橋付近より下流は値が0になる場合が多いが, 春季はst.16 六郷橋より上流は0の地点が少なく, st.16 多摩水道橋より下流は0になっている。清浄度が最大値を示すのは冬季が多い。しかし, 季節変化と清浄度との間に一定の関係は認められない(図7)。

汚濁度も地点間のぶれは大きい, 全般的には上流より流下するに従って値が大きくなる傾向がある。冬季は最も小さい値を示すことが多い。逆に最も大きい値を示すのは春季が多い。すなわち, 春季最も汚濁の進行している地点が多くなっているが, 都市河川で春季汚濁の進行している例は多くない(図8)。

汚濁指数もばらつきはかなりあるが, 流下するに従って値が大きくなり, st.14 ガス橋あた

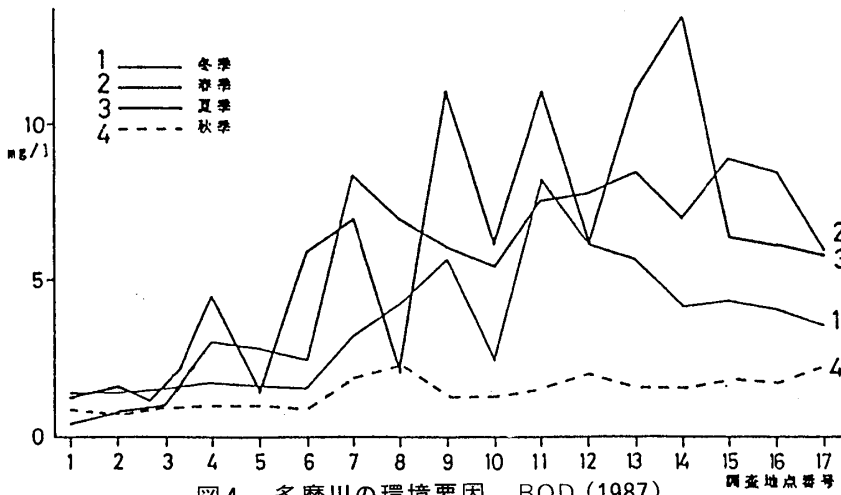


図4 多摩川の環境要因 BOD (1987)

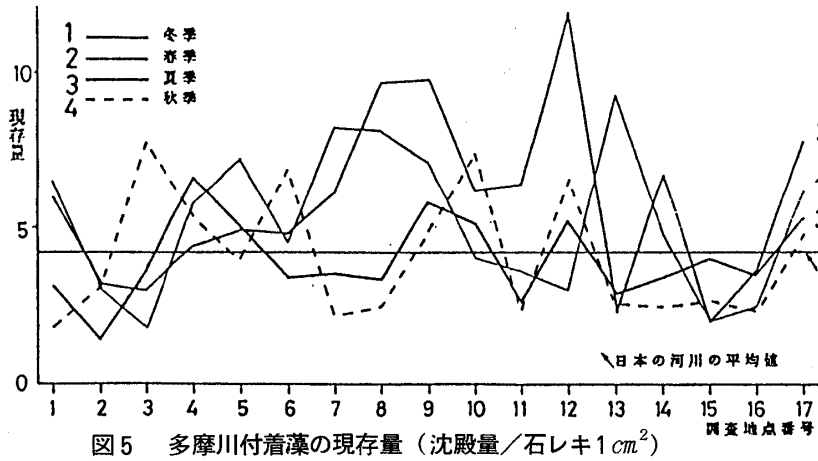


図5 多摩川付着藻の現存量 (沈殿量/石レキ1 cm²)

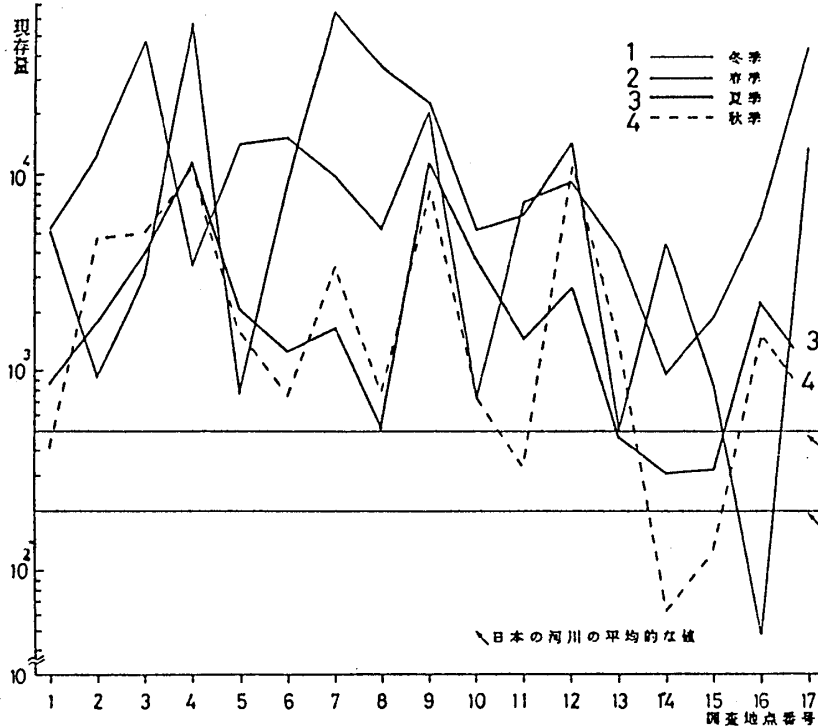


図6 多摩川付着藻の現存量 (細胞数/石レキ1 mm²)

りで値が小さくなる。この傾向は汚濁度とも似ている。冬季の汚濁指数は最小値を示すことが多い。また、最も大きい値を示すのは夏季と春季であることが多い。すなわち、冬季は汚濁指数が小さく

評価され、夏季と春季は大きく評価され易い。このように、夏季に汚濁指数が大きくなる例は日本の河川によくある(図9)。

ザプロビ指数もばらつきはかなりあるが、流下するに従って値が大きくなり、st.14ガス橋あたりで値が小さくなる。この傾向は汚濁度、汚濁指数と似た傾向である。冬季のザプロビ指数は最小値を示すことが多い。春季のザプロビ指数は最大を示すことが多い(図10)。

4. 藻類の分布

藻類の分布を調

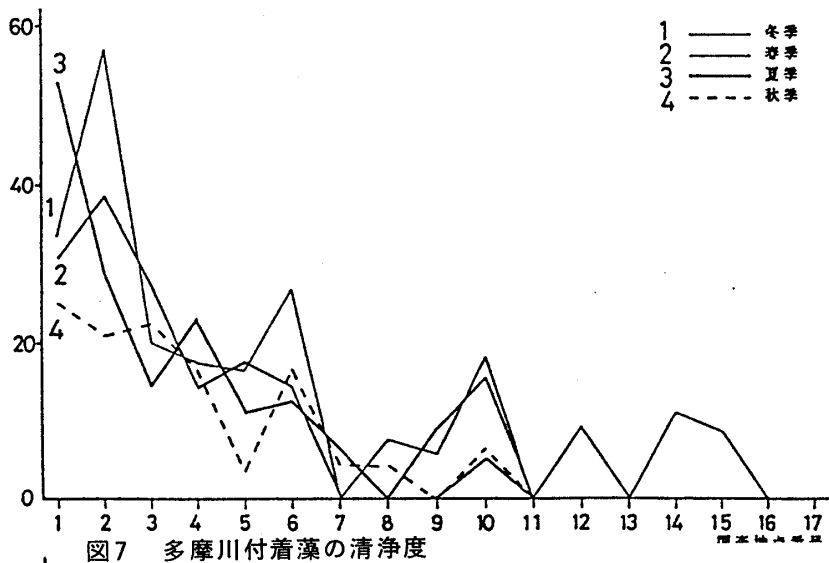


図7 多摩川付着藻の清浄度

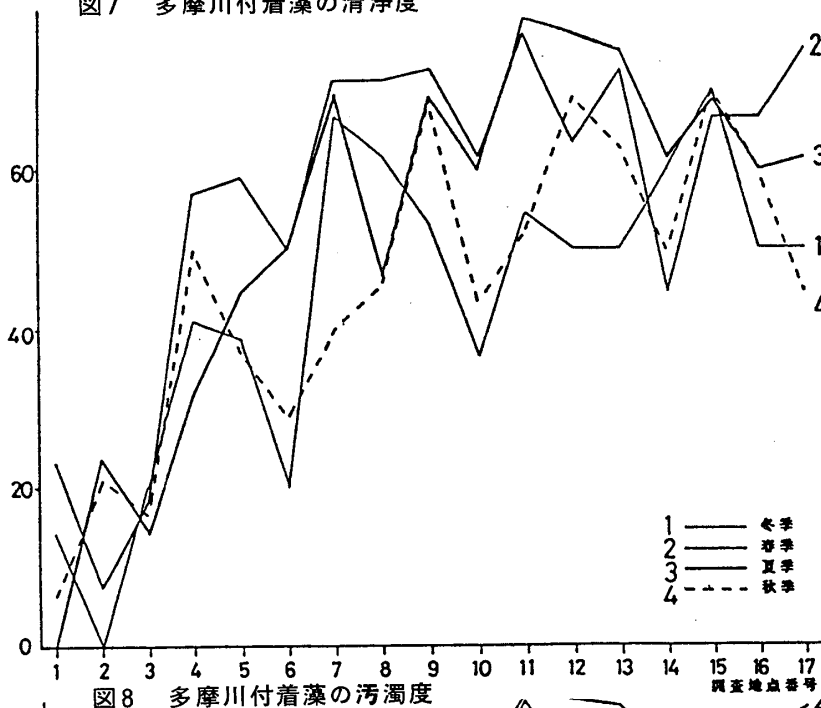


図8 多摩川付着藻の汚濁度

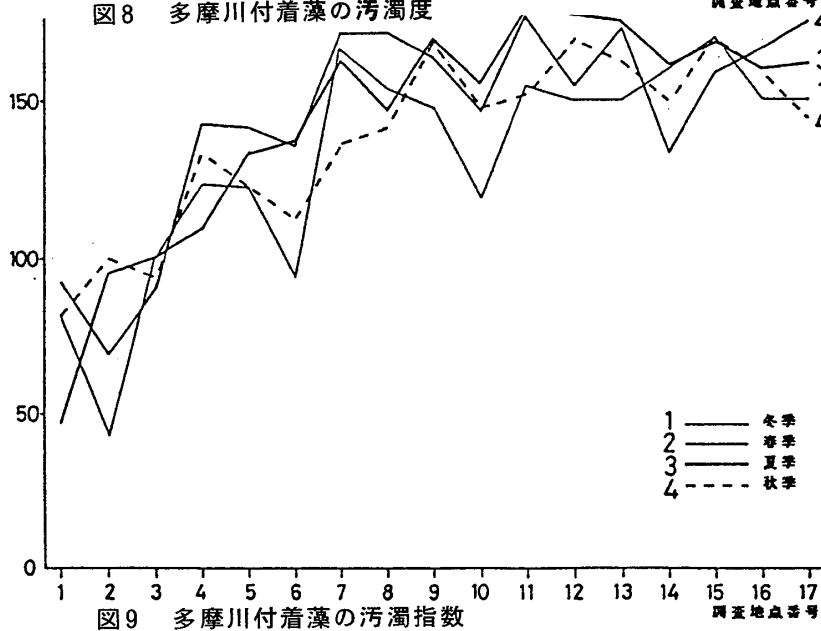


図9 多摩川付着藻の汚濁指数

査する場合、ケイ藻の分類学者が普通行うように、酸でクリーニングし永久プレパラートで調査する場合はリストアップされた種の中にすでに死んでしまっている種も含まれる。場所によってはこのような種や個体が生きているものより多いことがあるため、生きている個体のみを使う方法を用いる必要がある。

次に付着藻の分布の見方にさまざまな見方があるが、その主なものについて検討をする。第1は個体数の多少は無視して、検出された種とその地点だけを問題にする方法である。この方法は河川では流下してきて、一時的あるいは偶然そこに存在した種も含まれる点が欠点である。第2はある個体数以上の現存量を示す種のみを対象にする方法である。この

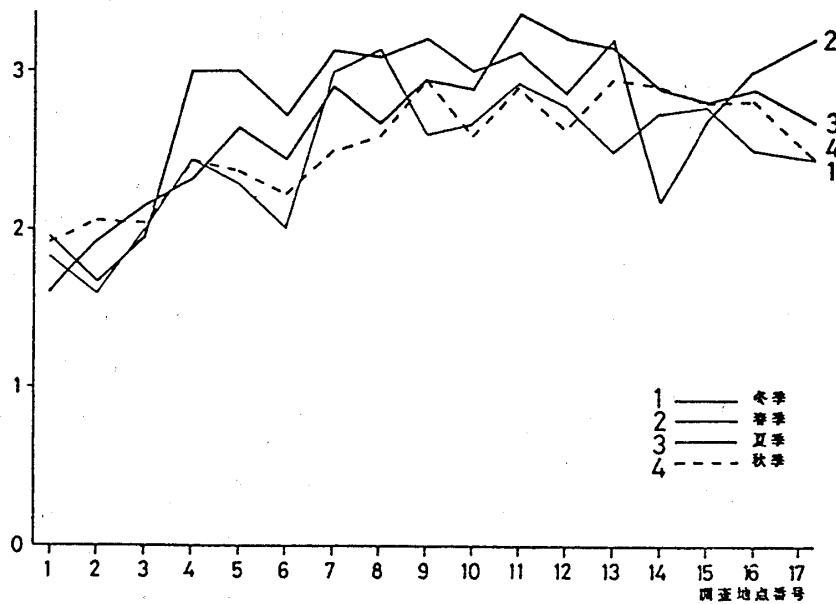


図10 多摩川付着藻のザプロビ指数

方法の問題点は河川は冬季を除く他の季節はしばしば増水が起こる。この場合付着藻が剝離流下し、平水になってから新しい群落に更新する。この過程では現存量が小さいため上記の方法では無視される種が多くなることである。第3の方法は優占種のみを対象にする

方法である。優占種はその群落を代表する種であるため、それを対象にすることは理にかなった方法と言える。この方法の問題点は優占種の決定方法が客観的でなければならないということである。著者は信頼度90%の出現確率による方法を用い優占種を客観的に決定しているので、この点では問題が少ないと考えられる。

主要種の分布について記すと次のようである。

季節変化の明瞭な種 — クチビルケイソウ *Cymbella ventricosa*, 元来は有機汚濁に強くない種で、冷水をやや好む種である。従って冬季は分布は広く、st.1 鎧橋～st.4 永田橋に分布、春季はst.1 鎧橋～st.3 羽村堰に分布し、夏季はst.1 鎧橋とst.2 調布橋のみに分布するとうように季節の進行にともなって、分布域が上流の方に狭くなり、秋には姿を消す。やや冷水を好む種が、夏季に優占種で、秋季に優占種でなくなることは不思議に考えられるかもしれないが、水温のような環境が生物に与える影響は急ではないため少しずつ季節がずれることがある。今回調査した夏季には春季の影響が残っており、秋季の調査時には夏季の影響が残っているためと推定される。夏季の終わりごろにはこの種は姿を消していたのではないかと考えられる。

有機汚濁に強くない種 — マガリケイソウ *Achnanthes japonica*, 今回調査した最上流部st.1 鎧橋では常に優占種の1つとして検出できたが、st.2 調布橋では冬季に検出できただけである。

汽水性の種 — 半鹹半淡の水域を好む種はst.14 ガス橋より下流に出現することが多い。汽水性種の中にはある調査時だけ出現する種が多いが、フネケイソウ *Navicula neoventricosa* は四季を通じて出現する。st.10 多摩川原橋は四季を通じて優占的で、st.17 大師橋は冬季のみ出現する。

汚濁耐性のある種 — ハリケイソウ *Nitzschia frustulum*, この種は多摩川の汚濁水域に最も広く分布している種で四季を通じて見られるのはst.8 関戸橋、st.9 是政橋、st.11 多摩水

道橋の3地点である。冬季は上記の3地点に st.12 二子橋が加わっている。春季は冬季の4地点に st.10 多摩川原橋と st.13 丸子橋が加わり, st.8 関戸橋～ st.13 丸子橋までのすべての6地点で優占種となっている。夏季はさらに分布が広がり, st.7 日野橋より st.15 多摩川大橋までの9地点に分布している。秋季は少し分布が減少し, st.4 永田橋, st.7 日野橋から st.9 是政橋, st.11 多摩水道橋, st.13 丸子橋, st.14 ガス橋の7地点になっている。ハリケイソウ *Nitzschia frustulum* v. *perpusilla* は冬季は st.4 永田橋～ st.7 日野橋まで, 春季は st.5 拝島橋～ st.7 日野橋まで, 夏季は st.4 永田橋と st.9 是政橋, 秋季は st.2 調布橋, st.4 永田橋, st.7 日野橋と季節によって少しずつ分布にずれが認められる。ハリケイソウ *Nitzschia palea* は冬季2地点, 春季2地点, 夏季4地点で秋季は見られない。なお, これらの地点の重なりは春季と夏季にそれぞれ1地点だけで重なりは少ない。フネケイソウ *Navicula submissuscula* は冬季3地点, 春季5地点, 秋季2地点だけで, 重なっている地点は3地点である。フネケイソウ *Navicula mutica* は春季1地点, 夏季1地点, 秋季4地点で, これらの地点の重なりは全くみられない。ピロウドラソウ *Homoeothrix janthina* は日本の河川の夏季に最も多い藻類であるが, 多摩川は例外的に少ない河川である。冬季2地点, 夏季3地点, 秋季4地点で検出でき, 夏季と冬季でそれぞれ2地点ずつ重なっている。

(昭和63年1月受付 昭和62年度個人研究B)