

河川水質浄化に関わる原生動物繊毛虫の環境教育への活用： 仙台市内の河川水質調査から

Abdurahman*・村松 隆**・見上 一幸**

Application of functional microorganisms in the process of river-water purification
for environmental education: An investigation on the quality of river-water in Sendai district

ABDURAHMAN*, Takashi MURAMATSU** and Kazuyuki MIKAMI**

Abstract

Role of the microorganisms is indispensable for understanding the mechanism of water purification. We investigated ciliates at Zaru-river, Umeda-river and Hirose-river in Sendai for 5 months. Values of BOD were about 0.5 mg/L at Hirose-river during the period, and were ranged from 0.9 to 2.1 mg/L at Zaru-river and Umeda-river. These results showed a good correlation ship between BOD values and the dominant species of microorganisms. Based on these results, we propose a simple example of laboratory work in school. Here, we can say that the diversity of microorganisms supports the potential ability of self-purification in the conservation of river-water.

キーワード：河川、水質、BOD、繊毛虫、環境教材

1. はじめに

河川に流れ込んだ有機物は、水中の微小生物によって分解され、浄化が進む。微小生物という言葉は一般に用いられるが、その定義は明確ではない。ここでいう微小生物とは、その生物体の観察にルーペや顕微鏡の補助を必要とするような小さな生きものの総称とする。したがって、微小生物には、単細胞の生物の他に、ミジンコやワムシ、あるいは原始ミミズのような生物種も含めるが、バクテリアは微生物として区別することにする。それは、生徒たちにとってバクテリアは顕微鏡でも種類の違いを観察することが容易ではないという理由による。

学校で水質の浄化を考えると、水の汚れについて全体の理解が必要である。つまりきれいな水とは何か、きたないとはどういう状態か、それが再び浄化するとはどういうことなのかを考えることが重要である（見上・村松・黒川，2000）。現在、多くの学校が行っている河川の水質調査は、パックテストを中心とした化

学的計測と、環境庁水質保全局と旧建設省河川局から出されている資料（環境庁水質保全局・建設省河川局，2000）に基づく指標生物調査である。これらの調査により生徒たちは、そこに住む水質指標生物が“とてもきれいな水”を示せば、自分達の地域の川はきれいだと喜び、汚さないような努力をする。“きたない川”と判定されれば、川の清掃活動などを行って改善に努める。これ自身はたいへん意味のある活動であるが、水質浄化がどのように行われているかを理解するという視点からは不十分である。うっかりすると有機物の多いドブ川の生きものは、汚いところにいる気持ちの悪い生きものというような誤解すら生じかねない。そのような汚いところに住む生きものこそ、浄化に関わる大事な生きものであることも理解する必要がある。

原生動物繊毛虫は1個の細胞からできており、細胞単位での機能の分化が進んだ動物である。すなわち、摂食、消化、排泄、運動などに関する細胞器官がある。原生動物は地球上の多様な環境に分布しており、一説

*宮城教育大学環境教育実践専修、現在、埼玉大学理工学研究科環境制御工学専攻，**宮城教育大学教育学部附属環境教育実践研究センター

によれば「種」として確定されていないものも含めると10万種近く、そのうち繊毛虫類（Ciliophora）が一万種ともいわれている。繊毛虫類は、汚濁の進んだ水中には数多く生息し、環境汚濁指標として知られるものもある。また、好気性細菌や原生動物からなる汚泥を有機物水に混ぜ、曝気しながら汚水と微生物を接触させる活性汚泥処理は、下水処理の目的で昔から使われている。これが下水処理場で行われている活性汚泥法である。最近では、小学校や中学校で下水処理場の見学に行くようであるが、微小生物について教師から必ずしも十分な説明がなされていないように思う。

繊毛虫類と河川水質について調べるためには、有機物の量に違いのあるいくつかの河川水が必要である。しかし、仙台市内の河川の水質は近年大きく改善され、極端に有機汚濁の著しい場所を見つけれなかった。今回は、策川、梅田川、広瀬川三つの河川を調査場所として選んで調査を行った。これらの場所を選んだ理由は、平成12年度調査報告（仙台市環境局）によると、策川と梅田川のBOD値は比較的に高く、広瀬川ではBOD値が低いと言われているからである。もう一つの理由は、都市河川として、仙台市街に比較的に近いことから多くの学校にとって水質調査や学習フィールドとしても便利だと考えたからである。そこで、本研究では、これらの河川水質のBOD値を測定し、出現する種について調べた。ただし、現在なお繊毛虫の分類が確立していないことや、技術的に厳密な分類が難しいこともあって、種の同定において厳密さにやや問題を残していることも申し添えねばならない。

さらに教材開発に関わっては、肉眼では見えない微小生物が河川水をどのように浄化するかを説明するために、実験室内で人工的に有機汚濁を浄化する簡単な方法を示すことによって、私たちを取り巻く自然環境は、ある程度汚れても復元する能力を持っていること、そしてその浄化能力は、微小生物の働きに起因することを示すことはできないかと考えた。

2. 材料と方法

平成13年5月から10月まで、仙台市の近くにある策川、梅田川、広瀬川の各1地点、計3地点から試料を採集した。本研究の目的としては、有機物が多い河

川について調べたいと考えたので、汚れているといわれていた梅田川と策川を選ぶとともに、比較的きれいとされる広瀬川についても調査した。河川の水質に影響を与える環境要因はさまざまであるが、微小生物と関わるBOD値に注目し、pH、水温、気温などの要因についても測定した。

各採水地点では、水温、pH、河川の流速、気温、臭い、溶存酸素量などを測定した後、試料水を研究室に持ち帰った。研究室ではこの試料水を顕微鏡で観察しながら繊毛虫類の種類を調べ、同定した。また、BODについても測定した。

(1) 採集地点

調査対象とした三つの河川の特徴は、以下の通りである。

- 1) 策川：策川は仙台市南西部の太白山を源とし、市内南部を東方に流れ、名取川に合流している総延長3,700mの一級河川である。採集地点としては、富谷駅付近の伊古橋を選んだ。河川幅は約3m~4mで、水の流速は比較的に早く、周囲には小さな工場や住宅地があることから河川水質に対して、人的影響が強いと考えた。
- 2) 梅田川：梅田川は、典型的な都市河川で、かつて水源地であった山林地区は市街地化し、現在は水量が減少している。近隣の学校が河川浄化に取り組んでいる川でもある。採集地点としては、荒巻小学付近を選んだ。この川幅は約4m~5mで、河川周囲には多くの住宅がある。
- 3) 広瀬川：広瀬川は、奥羽山脈の舟形山系に源を發し、名取川と合流地点まで主流長約46km、流域面積311km²の河川で、仙台市内を流れる清流として有名である。採集地点には、牛越橋付近を選んだ。

(2) 採集時期

5月から10月まで、月に1回、晴天の日を選んで水を採取した。採集に出かける日は、数日間晴天が続いた日を選び、午前10時頃及び午後2時頃試料水を採集し、分析した。

(3) 繊毛虫の採集方法

採集方法は、以下の方法で行った。必要な用具は、管びん、ポリ瓶など蓋のできる容器、大型のコマゴマ

メピペット、プランクトン・ネット、デプレッション・スライド、顕微鏡、実体顕微鏡、インスタントカメラ、ビデオなどである。

- 1) ピペットによる採集：河川岸寄りの水のよどんだところ、石、水草、藻類、枝などに付いた水垢を吸い取った。
- 2) プランクトンネットによる採集：浮遊性の大型種を採集するには、目の細かいプランクトンネットに水を汲み入れて濃縮した。

(4) BOD測定

BODは試料中に存在する有機物が、微生物によって好氣的な条件で分解される間に消費する酸素量で、一定期間（5日間）に試料水を一定温度（20℃）で密閉容器中に保った場合、溶存酸素の減少量で表示される。試料水中の溶存酸素量以上に酸素を消費する場合には、試料水を希釈して酸素の量を計算した。

試料は500mlのポリ瓶に採集し、密閉の後、氷冷してできるだけ低温に保ちながら持ち帰り、採集当日に測定を行った。なお必要に応じて、試料のpHを約7にすること、曝気の後水温を20℃にすることなどの前処理を行った。曝気は、硫酸酸性にした過マンガン酸溶液（5g/L）で洗い、水酸化カリウム溶液（250g/L）で洗った空気を試料中に通して行った。水中に微生物が少ない場合は植種液を入れた（0.5ml）。

試料水の溶存酸素量測定は、測定初日のD0値（D01）と5日間放置した後のD0値（D02）から求めた。 $BOD(mg/L) = (D01 - D02)$

(5) DO測定

DOメータ（CKC社、ULTRA-DO METER UD-1）を

用いて試料水の溶存酸素量を測定した。

(6) COD値測定

試料に、硫酸、硝酸銀と過マンガン酸カリウムを加え、加熱して反応させた後、そのとき消費した過マンガン酸カリウムの量を酸素の量に計算し、COD値を算出した。

(7) 繊毛虫の種の同定

繊毛虫の最大の特徴は大核と小核、繊毛をもっていることであるから、一旦培養して細胞数を増やし、核を酢酸オルセインで染色して観察した。また、顕微鏡による生体観察および染色後観察で種類を同定できない時、後の分析のためにその外部形体と動きをビデオに記録した。

3. 水質調査の結果

(1) BOD値についての検討

河川水質試料の採集は、およそ、4～5日前から晴天の続いた比較的安定している日を選んで、2001年4月から2001年11月中旬にかけて行った。一つの河川に対しておよそ月に1回、各河川から試料を採集し、実験室に持ち帰って、すぐにBOD初値の測定を行った。この三つの河川水質のBOD値の測定結果は、図1とおおりである。

(2) 繊毛虫類の出現種について検討

広瀬川の最小値は0.5mg/Lで、最大値は0.6mg/Lで、BOD値の表示幅はあまり大きくない。汚れているといわれている笹川と梅田川の場合、BOD値はやや高く、約1mg/Lから約2mg/Lと変動が見られたが、い

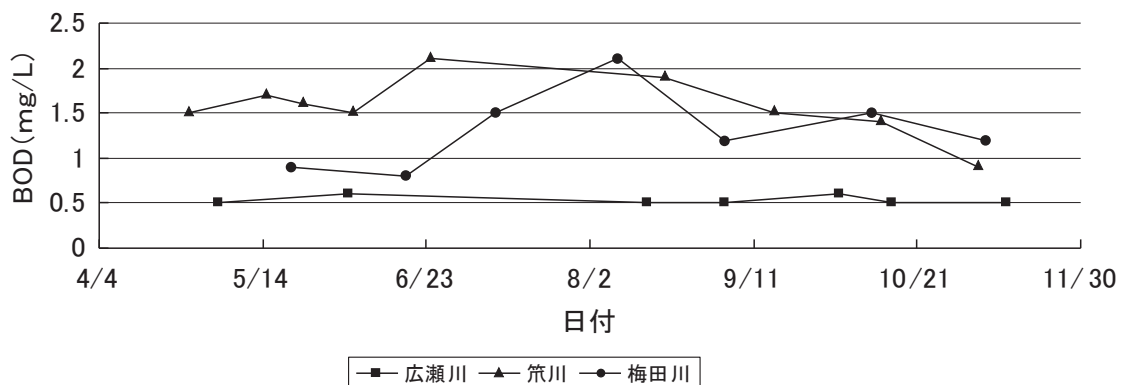


図1 BODの経時変化

ずれも高いといえる数値ではなかった。

原生動物繊毛虫が、河川水の汚濁状況の指標生物として使えるかどうか、またそれが、環境教育の教材として利用可能かどうかについて興味を持ち、BOD値を測定して、繊毛虫の種類を調べた。表1に示すように、筑川と梅田川には数多くの繊毛虫類が出現したが、現段階で出現したすべての繊毛虫を同定することはできなかった。3河川の出現繊毛虫種を比較してみたところ、梅田川と筑川にたくさんの繊毛虫が出現したが、広瀬川ではあまり多くはなかった。出現した繊毛虫の特徴を比べて、筑川が梅田川の特徴をもっていることが分かった。また、河川水質のBOD値の増減によって微小生物の優占種が次々と変わってきたのも分かった。例えば、今回の調査では *Stylonychia mytilus* はこの三つの河川水で優先種である。つまり、河川の有機物量によって、そこに生息している微小生物の種類が異なることを示している。

筑川、梅田川、広瀬川の三つの河川のBOD値と出現した繊毛虫類との関係を確かめるために、Liebmanの生物学的な水質体系の分類にある繊毛虫類と比べたところ、結果は、ほぼ一致していた。また、今回出現した繊毛虫類はほとんど付着性原生動物であった。例えば、*Spirostomum amgiuum* はLiebmanの体系表で出現した繊毛虫で、BOD値が高い筑川と梅田川でたくさん出現した。同じく、ツリガネムシ (*Vorticella*)、ゾウリムシ (*Paramecium*)、ウロスティラ (*Urostyla*) などの繊毛虫も筑川と梅田川で多く見られた(表1)。今回は、繊毛虫類の種類だけに注目して、繊毛虫の個体数については検討しなかったが、今後の検討課題である。

河川水を採集して実験室に持ち帰った直後は、繊毛虫の種類と個体数ともに多くはなかった。しかし、その試料水に少し有機物(レタス葉抽出液; 見上・小泉、1977)を加え、数日後にはたくさんの繊毛虫が見られた。これは一見、見つからないほど密度が低い状態であった繊毛虫が、有機物が増えバクテリアが増えると、それを餌にして増殖したことがわかる。これが河川水の水質浄化に関わる潜在能力であると考えられる。

以上に述べてきたように、出現する繊毛虫類の種類とBOD値の間には相関があることが分かった。

4. 調査結果についての考察

仙台市環境教育局の調べによると、かつての梅田川は清流をたたえる豊かな川で、農業用水や生活用水として住民の生活に密接に関わっていたが、昭和30年代には生活雑排水の流入やゴミの不法投棄で汚染が著しく進んだ。その後、下水道の普及や地域住民の浄化運動の結果、現在では魚類の生息が認められるまでに水質が改善されたといわれる。しかし、下水道の整備や道路の舗装等の都市化は、一方で川の水量の減少をもたらした。

本研究では、河川水質における原生動物繊毛虫相とBOD値についての調査を行った。仙台市内の河川は、市民の努力により水質が著しく改善されているようで、有機汚濁が強いと思われた筑川、梅田川の二つの河川でも、そのBOD値は、1~2mg/Lであった。この限られた環境だけから結論を得るにはややまだ無理があるが、*Urostyla* や *Vorticella* などの繊毛虫は、BOD値2mg/Lに近いところでの指標生物と成りうる可能性を示したが、これらの属には多くの種があり、今後詳細な検討が必要である。指標生物としての繊毛虫を検証するためには、BOD値のより高い水系での検討を含め、より多くのデータが必要である。

現在まで原生動物の分類体系そのものがはまだまだ十分に確立していないこともあって、日本では河川に生息している原生動物繊毛虫類とBOD値についての詳しい研究がなされてこなかった。今回の調査でも繊毛虫類の同定は難しく、確定できなかった種は多かった。本研究では、種の同定は可能な範囲に留めざるを得なかったが、原生動物繊毛虫類と河川水質との関係についての基礎調査から、代表的な種を見つけ、それが環境教育のための基礎として役立てたいと考えている。

以上に述べてきたように、本研究では環境教材を検討するための基礎として、河川水質のBOD値とそこに住む繊毛虫の関係について調べ、確かにそこに何らかの相関があることが認められた。

5. 微小生物の働きを知るための簡単な実験例

最近、一般の家庭から流される排水や家畜の飼育によって生じる畜産排水は、下水道や処理槽の普及により改善されつつあるが、一旦河川に有機汚濁が入った

表1 三つの河川に出現した繊毛虫の比較

種名	河川名																					
	梅田川					笹川					広瀬川											
<i>Spirostomum amiguum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Lacrimaria olor</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-
<i>Urostyla grantis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	
<i>Vorticella octava</i>	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	
<i>Vorticella vestita</i>	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	
<i>Urostyla caudata</i>	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Vorticella patellina</i>	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	
<i>Paramecium aurelia</i>	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Chilodonella trochilia</i>	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Paramecium caudatum</i>	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Vorticella campanula</i>	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	
<i>Litonotus fasciola</i>	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	
<i>Stylonychia mytilus</i>	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Vorticella nebulifera</i>	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	-	+	-	+	
<i>Stylonychia stini</i>	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	
<i>Didinium nasutum</i>	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	
<i>Amphisiella</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	
<i>Vorticella patellina</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	
<i>Stenantor ignus</i>	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	
<i>Stylonychia grantis</i>	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	

注)種名については、推定によるものを含む。+、観察された。-、観察されなかった。

とき、浄化作用が働く。その過程で微生物の働きが重要である。そこで、今回の調査結果を基に、教室内での簡単な確認実験を考えてみた。学校でのBOD値の測定は困難な面があるため、ここではBODに代えて、CODを利用した。

実験室でも簡単な実験によって水を浄化する現象を観察するために、通常実験室内でゾウリムシの培養に用いるレタスジュース液(見上・小泉、1977)を使って有機汚濁液を作った。そしてその培養液が身近な川

から採ってきた石に付着している微生物によって浄化が促進されることを観察し、河川に住む微生物の役割を知るための教材化を試みた。

そのために、まず、有機汚濁液を用意した。準備したものを300mlのビーカーを4個、レタスジュース培養液約(1,000ml)、レタスジュース原液約(500ml)、温度計、河川から取って来た小石(有機物付いたもの、乾燥しないように注意した)。

表2 培養液の準備

溶液の種類	No.1	No.2	No.3	No.4
塩溶液(ドリル氏液)	240	260	280	300
レタスジュース原液	60	40	20	0
培養液+原液	300	300	300	300
河川から取った石	1個	1個	1個	1個

注:単位 ml、石の大きさは約(直径)15cm。

1. 生徒に理解して欲しい点

- 1) 河川には原生動物をはじめ多くの微小生物がいること。
- 2) これらの微小生物は、水に溶解有機物や塩類を直接、あるいは、繁殖したバクテリアを食べることによっての水をきれにしていること。
- 3) さらに、この浄化作用が機能する自浄作用が河川にあることが大切であり、単にきれいな川というのではなく、潜在的な浄化能力こそが大切であること。
- 4) したがって、“きたない水の中にすんでいるから汚く卑しい生きもの”と考えるのではなく、“そのような生きものこそ、浄化に貢献している大切な生きもの”であること。

2. 授業の流れの例

- ①学校に近い河川の調査に適した場所を探す。今回は、広瀬川の牛越橋付近を選んだ。
- ②事前に調査場所を下見し、調査場所への状況や時間などを調べ調査計画を立てる。
- ③調査場所に行き、微小生物を採集する前に河川のまわりの様子、流れの様子、河川水の流速度や水の匂いなどを記録する。
- ④河底の石をいくつか静かに取り上げて、水と一緒に瓶に入れ、実験室にもち帰る。
- ⑤川から取ってきた小石を1個ずつ用意して、有機汚濁液 300ml のビーカーの中に静かに入れ、室温(14℃—25℃)に静置する。
- ⑦セットして置いたビーカーを毎日観察し、記録する。異なる濃度の液体に入れた石の様子を記録するため、できれば写真を撮って置くとよい。教師

の指導で、有機汚濁液のCOD値を定期的に記録する。このとき、底の沈澱は入れないようにする。今回は5日間に一回測定した。ビーカーの底や水面の縁の水垢を顕微鏡で観察し、どのような微小生物が増えているかを観察した。なお、川から拾ってきた石には、病原性のあるバクテリアがないという保障はない。そこで、取扱いは慎重であるべきで、実験後、手をよく洗うとか、実験後の容器は殺菌するなどの衛生上の注意が必要である。

実験の様子は、最初、あまり変わらないが、時間が経つにつれて、ビーカーの中にある石の周りに毛状のものがたくさん出現する。

- ⑧ 観察の結果から分かるように、培養液を入れたビーカーの液体がだんだん透明になり、培養液のCOD値も変わってくるのがよく分かる。このことによって、ビーカーの中で何が起こっていたのかを生徒たちに考えさせる。

河川水から取ってきた有機物を付いた石には、たくさんの微小生物付いている。その微小生物は、1ヶ月間ぐらい室温で放置している間に培養液中で増え、汚泥をつくる。この汚泥は、バクテリア(細菌類)、原生動物、後生動物などから構成されている微小生物や、微小生物から分泌された物質、細かい砂などの粒子状物質、生物の死骸などの塊である。培養液に住むバクテリアは水中に溶けている有機物を吸収して増殖する。石とともに運び込まれた微小生物は、そのバクテリアや粒子状の有機物を食べて増殖し、その結果として培養液中の有機物や粒子状物質が微小生物の体になって浄化され清澄な水になる。培養して約1ヶ月たつと、河川の石を入れる前の濁った培養液試料(レタ

表3 COD値の変化

ビーカー番号	5日目	10日目	15日目	20日目	25日目
No.1の COD	19.8	19.7	18.7	17.6	15.5
No.2の COD	19.4	19.2	17.5	16.6	15.6
No.3の COD	19.1	18.9	16.8	15.6	13.4
No.4の COD	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0

スジューズ培養液)は、だんだんきれに(透明)なってくるのがはっきり分かる。

河川に浄化能力以上の有機物が入ると、バクテリアの数がどんどん増え、使う酸素の量も多くなって、水中の酸素が大量に消費され、無酸素状態となる。そうになると、水中にいる嫌気性細菌が増え、いろいろな問題が起こる。そこに繊毛虫などの原生動物が存在すると、河川などの水が無酸素状態になる前にバクテリアを食べ、効率的に河川の浄化が進められる。上記の簡単な実験例では、実験を簡単にするためにエアレーションを行わなかったが、熱帯魚用などでエアレー

ションの装置は簡単に入手できるので、できればエアレーションを行うとより短期間で浄化が進むと考えられる。また、あわせて下水道処理場での下水処理の仕組みを学び、汚れた水がきれいになる過程を体験すれば、水質浄化機構が一層理解できると考えられる。

謝 辞

本研究は、財団法人河川環境管理財団の平成13年度助成(助成番号13-1-⑥-1号)を受けたものであり、同財団に感謝申し上げます。

文 献

- 環境庁水質保全局、建設省河川局編 2000 川の生きものを調べようー水生生物による水質判定ー 日本水環境学会
- Liebmann, H. 1962 Handbuch der Frischwasser und Abwasserbiologie, G.Fischer
- 仙台市環境局 2000 公害関係資料集(平成12年版).
- 見上一幸、小泉貞明 1977 ゾウリムシの研究ーその基礎と応用ー 採集と飼育(教材生物ニュース) 39(7)、331-346.
- 見上一幸・村松隆・黒川浩也 2000 環境教育素材としての微小生物ときれいな水ー市販自然水を用いたボルボックスの培養ー 宮城教育大学環境教育研究紀要 2, 7-14.

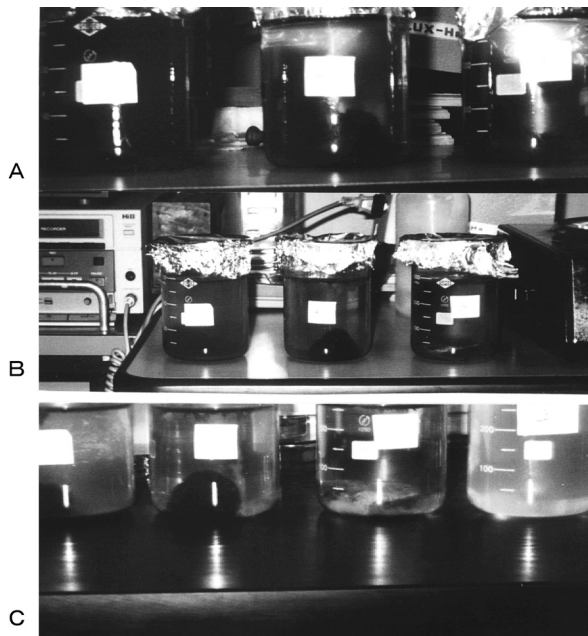


図5 ビーカー内での水質浄化過程

A, 実験開始時 B, 2週間後 C, 25日後
それぞれの写真について、ビーカーは左から、レタス液の濃度80%、60%、40%の順に並ぶ。Cの4番目(一番右)は、レタスの濃度80%で、石を入れなかったもの。

