河川の自浄作用に及ぼす添加微生物群の影響

紅露 瑞代*・米澤 義彦**・喜多 雅一***

阿南市立阿南中学校* 鳴門教育大学** 岡山大学教育学部***

The effect of commercial microbes solution on the self-purification of river

Mizuyo KORO*, Yoshihiko YONEZAWA** and Masakazu KITA***

Anan Lower Secondary School*

Naruto University of Education**

Faculty of Education, Okayama University***

(受理日 2009年2月16日)

We have investigated the effect of a commercial solution containing various kinds of microbes (commercial microbe solution), which is used in school activities for environmental purification, by using a river model equipped with gravels of river bed on a plastic tray.

The activity of self-purification (decomposition of sodium dodecylsulfate, NaDS) by microbes on the surface of gravels is accelerated from the third day to the fifth day by the addition of commercial microbe solution. However, the decomposition rate of NaDS by only commercial microbe solution in the river model is lower than that of only microbes on the surface of gravels.

These findings suggest that the use of the river model and commercial microbe solution is effective for science class lessons at junior high school for understanding the relationship between the self-purification of a river and the action of microbes on the surface of gravels on river bed.

Key words: gravels of river bed, microbes, river model, self-purification of river

1 はじめに

現在、環境破壊につながる様々な課題がある反面、環境を健全で恵み豊かなものとして維持しようとする意識が高まっている。そこで、環境と人の関わりを社会的・文化的・経済的・生態学的などの観点からとらえ、持続可能な社会を構築していくことが、一人ひとりに求められている。学校教育においても、環境問題や環境保全に主体的にかかわることができる能力や態度を育成することを目的とした、環境教育の重要性が高まっている。その内容は、平成18(2006)年12月22日に公布・施行された改訂後の教育基本法(文部科学省2006)においては、「生命を尊び、自然を大切

にし、環境の保全に寄与する態度を養うこと。」(第二条第四号)と明記された。そして、「学校教育基本法の一部を改正する法律」(平成19(2007)年6月27日公布)により改訂された学校教育法(文部科学省2007)においても、「学校内外における自然体験活動を促進し、生命及び自然を尊重する精神並びに環境の保全に関与する態度を養うこと。」(第二十一条第二号)と明記された。このような背景から、各教科、道徳、特別活動及び総合的な学習の時間における環境教育の充実が今まで以上に求められている。

戦後から2000年までの小学校理科教科書における「環境」の取り扱いに関する調査(紅露ら2005)によれば、環境問題が取り扱われていた

教科書は、1989年の学習指導要領改定後の4学年と6学年であった。また、その登場回数は学習指導要領の改訂ごとに各学年とも増加し、自然に対する関心や自然との関わり方について、意識させる構成になっていた。そして、戦後から2005年までの中学校理科教科書における「環境」の取り扱いに関する調査（紅露ら 2006）によれば、環境教育が登場した1971年度の教科書以降増加傾向が見られた。そして、2005年の教科書では、2001年の教科書より生徒主体の環境調査が多く取り上げられていた。

義務教育で使用する教科書の構成は、環境教育を意識しており、理科の授業において、地域の特性を活かした自然環境の調査に関する教材開発の必要性が高まっている。

また、「環境教育指導資料（小学校編）」（国立教育政策研究所教育課程研究センター 2007）には、遠足や宿泊訓練などの特別活動における河川の変化や自然の様子から自然と人との関わりを学習する実践内容が記載されている。また、総合的な学習の時間では、水生生物を調べることで河川と周辺的环境との関わりを学習する内容や、地域の河川の歴史や役割、水質検査などの実践例が紹介されている。このように、環境教育の一環に河川を題材とした学習が取り上げられている。

一方、学校現場では、地域の特性を活かした環境教育の1つに、校区内の河川に乳酸菌、酵母菌など数種の微生物をふくんでいる液体（以下微生物群溶液とする）を投じ、悪臭の除去などの実用面での成果が得られていることが、新聞やインターネットなどでも紹介されている（松井2002）。添加した微生物群について学校現場での使用例は多いが、そのはたらきについて検討した報告は見あたらない。

我々は、これまでに河川の開放系循環型モデル（以下、河川モデルとする）を用いた実験から、有機汚濁物質の取り込みや分解は、河床堆積物に付着した微生物や、河川水中の微生物が担っていることを報告してきた（富田ら 2001, 三好ら 2003, 津村ら 2003, 喜多ら 2004, 栗田ら 2005）。

今回、この河川モデルを用いて、これまでにいくつかの学校で実践されている「微生物群溶液による河川の浄化作用」について、河川がもっている本来の自浄作用への影響を調査し、小・中学校や高等学校での環境教育への応用について検討した。

2 実験方法

2.1 河床堆積物の採取地点と採取方法

実験で使用した河床堆積物は、徳島県阿南市を南西からほぼ北東に縦貫する桑野川の中流域（阿南市桑野町）の浅瀬の河床表面から採取した小石・砂などである（図1）。採取地点の周囲は、その大半が水田であり、民家が点在している。

河床堆積物の採取は、降雨の後は付着した微生物膜が増水した流れにより剥離するので（三好ら 2003）、天気の良い日が最低1週間は続いた後に行った。採取した河床堆積物は、持ち帰った後すぐに河川モデルに敷き詰め、実験を行った。河川モデルとは、塩ビ製の樋の上に河床堆積物を敷き詰め、水流ポンプを循環させる装置であり、河川の好気性微生物による自浄作用を再現し、検証するために、我々が開発・改良の上、使用したものである（図2）。また、後述するように、同じ採取場所から採取した河床堆積物に付着していた微生物を除去するために、オートクレーブ（高圧蒸気滅菌）処理したものも、河川モデルに敷き詰め、実験に用いた。

図1 調査地点

図2 河川モデルの概要

2.2 微生物の観察

小倉（1995）に基づき、採取した河床堆積物に付着していた水生生物や植物プランクトンをピンセット、あるいはスポイトでとり検鏡した。また、採取した河床堆積物をブラシでこすり、水で洗い流したものを遠心分離器にかけ、沈殿物を検鏡した。

次に、Maria（2003）に基づき、河床堆積物に付着した細菌を下記の①～④の通りに寒天培地で培養した。そして、培養した細菌を観察しやすくするために、微生物研究法懇談会編（1984）に基づき下記の⑤～⑦の手順で、グラム染色液で染色した後、検鏡した。

- ① 採取した河床堆積物25cm²をブラシでこすり、滅菌水10mLで洗い流し、遠心分離器にかけた。マイクロピペットでその上澄み液を100μLとり、滅菌済み試験管に入れた。
- ② ①に滅菌水4900μLを加え、よく混ぜた。
- ③ 5個の寒天培地に②で薄めたサンプル1000μLをそれぞれ植え付けた。
- ④ 2日間、35～37℃に設定した恒温装置（Masuda msd INCUBATOR MODEL FL-45）で細菌を培養した。
- ⑤ 塗抹・風乾・固定の後、グラム染色液（Ⅰ）で1分間染色して水洗い後、水を切った。

- ⑥ グラム染色液（Ⅱ）に1分間浸して水洗後水を切った。

- ⑦ 95%エタノールのなかでスライドガラスをゆっくり動かし、脱色、水洗、さらにグラム染色液（Ⅲ）で1分間対比染色した後、水洗、乾燥後検鏡した。

2.3 河床堆積物の採取地点の水質の調査

河床堆積物の採取時に、DOメーター（飯島電子工業、F-102型）を用いて水温と溶存酸素量を測定し、pHはコンパクトpHメーター（HORIBA社、B-211）を用いて測定した。また、化学的酸素要求量（COD）と洗剤濃度（ABS）は、それぞれポナールキットCOD-L（DOJINDO、PONAL KIT-COD-L）、ポナールキットABS（DOJINDO、PONAL KIT-ABS）を用いて測定した。

2.4 自浄作用の測定方法

河床堆積物の自浄作用の測定を下記の①～⑥の通りに行った。短時間で、再現よく好気性微生物量を表す指標であるドデシル硫酸ナトリウム（以下NaDSとする）の分解速度の速度定数を用い、自浄係数として採用した。グルコースなどを用いたCO測定でも同様の結果が得られるが、その場合、測定時間には10数時間を要する。そこで、1～2時間程度で測定のできるNaDSの分解速度を、ポナールキットABSにより決定し、微生物量を

反映した自浄係数とした。

- ① 河床堆積物（湿重量5.6kg）を河川モデルの底面に敷き詰め、イオン交換水6.4Lを循環させた。水温はサーモスタット付きヒーターで25℃に調整した（図2）。
- ② 1000ppmのNaDSを2mLを加え、5分間放置後に採水し、ガラス繊維ろ紙でろ過し、NaDSの濃度を測定した。
- ③ NaDSの濃度はポナールキットABSを用いて、発色・抽出操作を行った後、ベンゼン層の吸光度は分光光度計（島津製作所製、UV-150-02）を用いて、波長560 nmで測定した。
- ④ この吸光度を、あらかじめ作成しておいた検量線に当てはめてNaDSの濃度を求めた。
- ⑤ 15分ごとに上述の操作を繰り返し、NaDSの濃度の経時変化を求めた。
- ⑥ このNaDSの濃度の経時変化を（1）式にフィッティングさせ、速度定数 k を河床堆積物が示す自浄作用の大きさ、すなわち自浄係数とした。

$$[\text{NaDS}] = [\text{NaDS}]_0 e^{-kt} \dots\dots\dots (1)$$

$$[\text{NaDS}] : \text{時間} t \text{ の NaDS 濃度 (ppm)}$$

$$[\text{NaDS}]_0 : \text{時間} t = 0 \text{ の NaDS 濃度 (ppm)}$$

$$t : \text{循環時間 (時間)}$$

2.5 微生物群溶液の添加による自浄作用への影響の測定

河床堆積物に付着している微生物の自浄作用に及ぼす添加微生物群溶液の影響を調べるために、以下の実験を行った。

河床堆積物を2つの河川モデルに敷き詰め、測定の終了時（6日目）までの間、イオン交換水を循環させた。

測定開始の0日目のみ、河川モデルの一方にだけ微生物群溶液を10.7mL添加した。

微生物群溶液をイオン交換水と混合させるために、5分間モデル内を循環させた。その後、2つの河川モデルに1000 ppmのNaDSを2mL加え、80分間モデル内を循環させ、2.3の方法を用いて両者の河川モデルにおける自浄係数を求めた。この操作を、添加直後（0日目）から6日目まで繰り返し、自浄係数の経時変化を求めた。この実験は2005年10月3日に採取した河床堆積物を、

河川モデルに直ちに敷き詰め実験を行った。

また、添加微生物群溶液による自浄作用を調べるために、河床堆積物を120℃、2気圧で、20分間オートクレーブによる処理を施し、付着微生物を除去した河床堆積物を用いて、上記と同様に微生物群溶液を添加した場合の自浄作用を調べた。なお、この実験は2005年9月13日日に採取した河床堆積物を、河川モデルに直ちに敷き詰め実験を行った。

3 結果と考察

3.1 微生物の観察

採取した河床堆積物に付着した水生生物を岡田（1995）、岡田（1987）に基づき同定し、図3に示した。カゲロウのなかまの幼生が生育していたことから、溶存酸素が多い水域であることがわかった（津田 1983）。水生生物による水質判定（環境省・国土交通省 2001）において、カゲロウの幼生はきれいな水の指標になっている。また、水生植物の生じている比較的清い水中に生息していることがわかっているテングミミズも観察できた。その一方で、きたない水の指標となっているヒルの一種も観察できた。水田に特有に生息しているナガカイミジンコが観察できたことから、農業用水が流入していることもわかった。

採取した河床堆積物に付着した植物プランクトンを田中（2002）、水野（1987）に基づき同定し、図4に示した。これらは、淡水によく見られる種類であった。

河床堆積物に付着した主な細菌を図5に示した。水中や土中に存在している枯草菌や腸内に生息している大腸菌が観察できた。これより、民家による汚物の流入が確認できた。

以上の結果から、桑野川の河床堆積物には多種多様な微生物が付着しており、浄化の一端を担っていることがわかった。

3.2 河床堆積物採取時の水質

表1は、河床堆積物の採取時の水質について示したものである。

採取地点のDO値は2ppm以上であり、好気性微生物が活発に活動できる環境であった。また、

図3 河床堆積物に付着した水生生物

- A カゲロウの一種の幼生 B テングミズミミズ *Stylaria lacustris* LINNE
C ヒルの一種 D ナガカイミジンコ *Herpetocypris iutermedia*

図4 河床堆積物に付着した植物プランクトン

- A *Spirogyra* sp. B *Scenedesmus spinosus* CHODAT.
C *Cymbella* AGARDH sp. D *Cyclotella* KÜTZING sp.

図5 河床堆積物から採取した細菌
A *Bacillus subtilis* B *Escherichia coli*

表1 河床堆積物の採取時の水質

採取日	水温 / °C	DO / ppm	pH	COD / ppm	ABS / ppm
2005/09/13	25.8	5.7	7.8	160	0.017
2005/10/03	24.0	4.9	7.6	130	0.010

CODの値が130ppm、160ppmと高いのは、採取地点に水田からの農業用水が流れ込んでいるためと考えられる。このことは、河床堆積物の採取時に、水田に特有に生息しているとされるナガカイミジンコ（岡田 1987）が観察されたことによっても支持される。一方、ABSの値は低く、家庭排水による水質への影響は小さいと考えられる。

3.3 河床堆積物の自浄作用に及ぼす添加微生物群の影響

徳島県桑野川中流域の河床堆積物に付着した微生物による自浄作用は、図6のAに示すように、実験開始から2日目までは時間経過とともに増加して自浄係数が約2となったが、3日目以降はほとんど変化しなかった。愛媛県小田川の河床堆積物による実験においても、実験開始から2日目までは自浄係数が增大したが、3日目から5日目にかけては自浄係数が約2.3であり、ほとんど変化しないことが報告されている（三好ら 2003）。これより、今回の我々の実験結果は、桑野川の自浄作用を再現していると考えられる。そして、桑野川で採取した河床堆積物に付着した微生物のうち、添加したNaDSを栄養源とする微生物が実験開始から2日目までは増加し、それ以降は顕著な

図6 実験開始後の時間経過に伴う自浄係数の変化

増加がないことがわかった。

河床堆積物に市販の微生物群溶液を添加した場合の自浄作用は、図6のBに示すように、実験開始から2日目までは、前述の河床堆積物のみの実験（対照実験、図6のA）と比較して、ほとんど差がなかったが、3日目から5日目にかけては対照区の1.2～1.4倍であった。このことは、実験開始から2日目までは添加微生物群がNaDSをほとんど分解しないが、河床堆積物に付着した微生物の自浄作用に加えて微生物群溶液によるNaDSの分解が始まることを示唆している。

次に、オートクレーブ処理をした河床堆積物に微生物群溶液を添加した実験区では、図6のCに示すように、2日目から3日目にかけて自浄係数が増大し、4日目で約0.8になった。この値は、河

床堆積物に微生物群溶液を添加した場合の自浄係数の増加分とよく一致している。これより、実験開始後2～3日を経て、添加した微生物群溶液中のNaDSを分解する能力を持った微生物が増殖し、NaDSを分解し始めたと考えられる。

以上の結果から、好気性条件において、添加微生物群溶液中の微生物を幾分か増加させる効果が見られることがわかった。そして、オートクレープ処理をしたもの(図6のC)と河床堆積物のもの(図6のA)を経過日数2日目比較した結果、自然環境中における河床堆積物に付着した好気性微生物の働きは自浄係数1.95であり、添加微生物群による自浄係数0.29に比べて著しく大きいことが分かった。

4 おわりに

小学校理科教科書(紅露ら 2005)並びに中学校理科教科書(紅露ら 2006)における「環境」に関する記述は、学習指導要領の改訂に伴って、生徒主体の環境調査がより多く取り入れられるようになってきた。このうち河川に関わる単元を以下に示す。

小学校理科教科書における内容として、5年生では単元名「流れる水のはたらき」において川の観察がある(大隈ら 2007)。6年生では単元名「生物とかんきょう」において、生物の住みかとして川を学習したり、児童の興味・関心にあわせて取り上げられるように、水にすむ生物の観察や水生生物による水質調査が紹介されている(大隈ら 2007)。そして、単元名「自然とともに生きる」では、川の水と私たちの暮らしとの関わりを学習できる内容が記載されている(大隈ら 2007)。

中学校理科では、単元名「自然の扉を開いてみよう」において微生物の観察(竹内ら 2008)や、単元名「人間と環境」において簡易水質検査試薬や水生生物による河川の水質検査が扱われており(竹内ら 2008)、水質と周囲の環境を考える内容がある。

同様に高等学校理科では、理科総合Bの「第3部人間の活動と地球環境の変化」において、課題研究のテーマ例として、水生生物による河川の水

質調査がある(太田ら 2003)。

これらの河川の学習内容と今回得られた実験結果を、環境教育の視点に関連させると、学校教育の様々な場面や機会での活用が期待できる。例えば、総合的な学習の時間で行う環境分野における題材や、前述した小・中学校理科における学習内容を発展させた学習、高校における理科総合Bの課題研究への活用が可能であると示唆できる。

今回の河川モデルを使った実験から、浅瀬のような好气的条件下で、河床堆積物に微生物が付着しているような場合には、市販の微生物群溶液の添加による効果は、河川がもつ本来の自浄作用に比べて小さいことがわかった。すなわち、生徒が学校の位置する地域の河川の自浄作用を河川モデルを用いて調査したり、微生物群溶液の添加による効果を調べることで、自然環境の自浄力の強さを実感することも可能であろう。

環境教育の目的には、環境に関心をもつこと、環境に対する人間の責任と役割を理解すること、環境保全に参加する態度と環境問題解決のための能力を育成することがある。今回の成果を理科、総合的な学習の時間などの学習に活用させることで、自然のもつ自浄力を具体的に児童・生徒へ実感させることができる。学校教育を通して、子ども時代にそのような体験をさせることは、環境への関心を引きだし、生涯にわたって持続可能な社会を構築するための土台となる点において、有効であると考えられる。

引用文献

- 微生物研究法懇談会編, 1982, 微生物細胞の観察, 微生物学実験法, 136-137, 講談社, 東京.
- 環境省・国土交通省, 2001, きれいな水(水質階級Ⅰ)の指標生物, 川の生き物を調べよう水生生物による水質判定(環境省水環境部国土交通省河川局編), 5-7, 財団法人河川環境管理財団, 東京.
- 喜多雅一・マリア クラウデット カルバン・津村美保・米澤義彦・村田勝夫, 2004, 汽水中の微生物による河川の自浄作用－徳島県吉野川汽水域を例として－, 化学と教育, 52, 842-843.

- 国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2007, 環境教育に関する実践事例, 環境教育指導資料 (小学校編), 46-94, 国立教育政策研究所, 東京.
- 紅露瑞代・喜多雅一, 2006, 中学校理科教科書における「環境」の取り扱いに関する調査, 化学と教育, 54, 614-615.
- 紅露瑞代・那須悦代・喜多雅一, 2005, 小学校理科教科書における「環境」の取り扱いに関する調査, 化学と教育, 53, 402-403.
- 栗田寛子・ランガナーニ マルクーレ マギー・喜多雅一, 2005, 銅山跡に隣接する河川の自浄作用に関する調査研究－徳島県吉野川市美郷の河川を事例として－, 化学と教育, 53, 631-632.
- Maria Claudette Pereyra Caluban, 2003, Measurements of Salt and Microorganism Bacteria in River Water – their Application of Environmental Education –, Research Thesis Reporets of the In – Service Teacher Training Program for Foreign Teachers, Naruto University of Education, 7.
- 松井幸彦, 2002, 「わくわく総合学習」六斗川の浄化活動, 教育広報センター.
- 三好美恵・喜多雅一・富田敬子・近森憲助・村田勝夫, 2003, 河川の自浄作用の通年測定と自浄能の強化に関する研究－愛媛県小田川を例に－, 化学と教育, 51, 190-192.
- 水野壽彦, 1987, 珪藻綱 日本淡水プランクトン図鑑, 129, 137, 164, 保育社, 大阪.
- 文部科学省, 2006, 教育基本法 (参照2009-02-14) http://www.mext.go.jp/b_menu/houan/kakutei/06121913/06121913/001.pdf
- 文部科学省, 2007, 第166回国会における文部科学省提出法案, 学校教育法等の一部を改正する法律案 (参照2009-02-14) http://www.mext.go.jp/b_menu/houan/an/166/07040503/003.pdf
- 小倉紀雄, 1995, 水の生物を調べる, 調べる・身近な水, 92-114, 講談社, 東京.
- 岡田要, 1995, 環形動物, 新日本動物図鑑上巻, 539, 564-565, 北隆館, 東京.
- 岡田要, 1987, 節足動物, 新日本動物図鑑中巻, 456, 北隆館, 東京.
- 大隈良典・石浦章一・鎌田正裕ほか37名, 2007, 流れる水のはたらき, わくわく理科5下, 2-15, 株式会社新興出版者啓林館, 大阪.
- 大隈良典・石浦章一・鎌田正裕ほか37名, 2007, 生物とかんきょう, わくわく理科6上, 41-42, 48-53, 株式会社新興出版者啓林館, 大阪.
- 大隈良典・石浦章一・鎌田正裕ほか37名, 2007, 自然とともに生きる, わくわく理科6下, 46-53, 株式会社新興出版者啓林館, 大阪.
- 太田次郎・山崎和夫ほか18名, 2003, 人間の活動と地球環境の変化, 高等学校理科総合B, 142, 株式会社新興出版社啓林館, 大阪.
- 竹内敬人・山極隆・森一夫ほか45名, 2008, 自然の扉を開いてみよう, 未来へ広がるサイエンス第2分野 (上), 10-11, 株式会社新興出版者啓林館, 大阪.
- 竹内敬人・山極隆・森一夫ほか45名, 2008, 人間と環境, 未来へ広がるサイエンス第2分野 (下), 110-113, 135, 138-139, 株式会社新興出版者啓林館, 大阪.
- 田中昌明, 2002, 緑藻植物門, 日本淡水産動植物プランクトン図鑑, 584, 財団法人名古屋大学出版会, 名古屋.
- 富田敬子, 喜多雅一, 近森憲助, 村田勝夫, 2001, 河川の自浄作用に関する研究とその教材化, 化学と教育, 49, 364-366.
- 津田松苗, 1983, 蜉蝣目 水生昆虫学, 北隆館, 東京, 8.
- 津村美保・マリア クラウデット カルバン・喜多雅一・米澤義彦・村田勝夫, 2003, 吉野川汽水における河床堆積物による自浄作用－塩分濃度と自浄作用の関係－, 化学と教育, 51, 686-689.