

沖縄島の河川水における有機物自浄作用

国際学群 田代 豊・大里 浩平

要旨

沖縄島内の河川水中において河川水中に本来生息する微生物などによる河川の自浄作用がどのように働いているかを知るため、実験室内で酸素の供給および光の供給の有無による国場川河川水中の各態炭素濃度の変化を測定した。河川水中の無機炭素 (IC) 濃度は、明条件下では、暗条件下よりも時間の経過とともにより大きく低下することが観察された。一方、酸素の供給の有無はICの推移に対して大きな影響を与えなかった。溶存態有機炭素 (DOC) は、暗条件で静置した場合にはほとんど変化しなかったが、明条件で静置した場合には時間の経過とともに増加する傾向を示した。暗条件でばっ気した場合は時間の経過とともにDOCが低下したが、明条件ではDOCは初期には減少したのち横ばいとなった。国場川において各態炭素濃度分布を測定したところ、河川の流下とともにICが減少し、全有機炭素は増加する傾向を示した。河川浄化のためには、河床の構造や材質の改良による酸素の供給など、河川水中に自然に存在している微生物による有機物分解が十分に機能できるような条件を整えとともに、多様な生物が生息する健全な生態系が河川中に存在できる条件を整備することが重要であることが示された。

Self-purification of Organic Compounds in River Water of Okinawa Island, Japan

Yutaka TASHIRO and Kohei OZATO

ABSTRACT

In order to know how the self-purification by microorganisms works in the rivers on Okinawa Island, Japan, the change of carbon concentrations in a river water sample with or without oxygen and/or light supply was measured. Inorganic carbon (IC) concentration diminished more with light, whereas oxygen supply did not affect its change. Without oxygen supply, the concentration of dissolved organic carbon (DOC) did not change under dark condition, but increased with time under light. With oxygen supply, DOC diminished under dark condition, whereas it kept the same level with light after an initial decrease. The decrease of IC and the increase of total organic carbon were observed in river water samples along the flow of Kokuba River on Okinawa Island. For the purpose of river water purification, it is important to establish conditions which will enhance the ability of the effective microorganisms originally present in each river to decompose organic pollutants. This can be achieved by increasing the oxygen supply by the use of improved materials and/or structures of river beds. In addition, it is also important to establish a balanced ecosystem composed of a wide variety of flora and fauna.

1. はじめに

一般に、生活排水等の有機物によって汚染された河川は、流下するにつれて微生物による代謝や化学的な分解、沈殿や吸着などによって自然に有機物濃度が減少し浄化されることが知られている。中でも河川水中に酸素が豊富に供給される状態であると、河川水中に生息する好気性微生物による有機物の代謝・分解が促進され、河川の自浄作用がとくに有効に機能する（宗宮 1990）。

改正河川法にもあるように、近年は、河川が単なる排水路ではなく多様な環境保全機能を持つことが広く認知されるようになってきた。その一つが、こうした水質浄化機能である。近年の河川整備において近自然工法（多自然型工法）が多用されるようになったが、これは景観や人と自然との触れ合いという観点だけでなく、河川の自浄作用の人為的な促進による水質向上も目的の一つとしている。河床を土や石で構成し、曲折や瀬・淵といった流れの変化を作り出すことによって、水中に酸素を供給し、有機物を代謝する生物を増やし、河床との接触による沈殿やろ過作用を促進することにより水質浄化を進めようとするものである。市街地の生活排水などによって汚染された河川の水質改善のために様々な取り組みがなされているが、こうした自然の浄化作用が健全に機能するような条件を整備することは有力な手段の一つとなっている。

南西諸島では一般に河川が短く急で、流域面積の狭い小規模な河川が多い。そのような中でとくに沖縄島中南部のような市街地や農地が多く林地率が低い地域の河川では畜舎排水や生活排水による有機物汚染が顕著である。このような河川では十分な自浄作用が働かないままに汚染された河川水が河口にまで流達し、貴重なサンゴ礁生態系の存在する沿岸海域水質にまで影響を与えることが懸念されるため、河川水質の向上はとくに重要な課題である。

以上のような、河川水質の向上に重要な意味を持つ河川の自浄作用について、それが各地域の

河川においてどのような形でどの程度働いているかを理解することは、河川水質の変化を予測したり、その向上に向けての正しいアクションを検討したりするために必要不可欠である。本研究は、沖縄島内の河川水中において河川水中に本来生息する微生物などによる河川の自浄作用がどのように働いているかを知るため、実験室内で酸素の供給および光の供給の有無による河川水中の有機物を形成する各態炭素濃度の変化を測定するとともに、実際の河川における各態炭素濃度分布を測定したものである。

2. 方法

（1）河川水の有機物濃度時間変化測定（室内実験）

本研究では、沖縄島南部を流れる国場川中流部（図1）の河川水について研究を行った。

国場川は、延長10km、流域面積40km²の河川で、上流部は南城市の農村地域、中・下流部は那覇市の市街地を流れ、畜舎排水と生活排水に起因する有機物による汚染を受けていると考えられる（沖縄県 2007A、幸地 1992）。近年は水質が改善したものの、沖縄県の測定（沖縄県 2007B）によると、国場川中流部の真玉橋における2000～2005年のBODは4.5～10mgL⁻¹の範囲で推移している。

図1の地点IVで2007年12月17日13時に採取した。採取した河川水は氷冷して実験室に持ち帰

り、下記の方法によりpH、電気伝導率（EC）、懸濁物質濃度（SS）を測定した。

pH：堀場製作所製pH計F-22を用いて測定した。

EC：Eutech Instruments社製 電気伝導率計ECTest11+を用いて測定した。

SS：公定法（日本工業規格 1998A）に準じて測定した。

上記河川水を二つの500ml三角フラスコに300mlずつとり、一方は室内の自然光が当たるようにし（明条件）、他方はアルミ箔で包んで光が当たらないようにした（暗条件）。これらを、エア・ポンプを使って各々毎分240mlの空気で室温でばっ気し、24、48、72、144時間後に各々から約10mlずつピペットを使って試験管に採取した。これらとは別に、同じ国場川河川水を明条件および暗条件下室温でばっ気せずに静置し、同様の時間経過後に採取した。

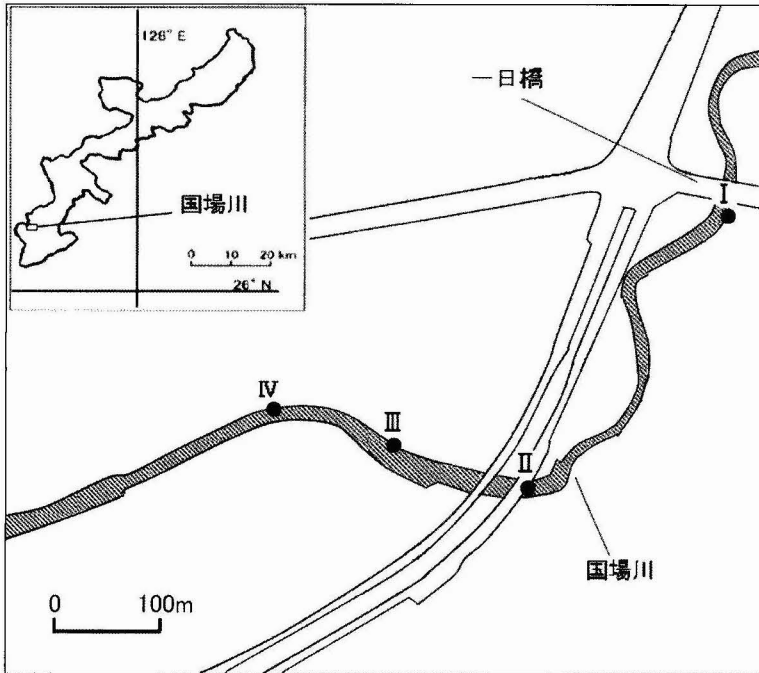


図1 試料採取地点

表 1 炭素濃度測定用試料リスト

条件			経過時間
A	明条件	ばっ気	24
			48
			72
			144
B	明条件	静置	24
			48
			72
			144
C	暗条件	ばっ気	24
			48
			72
			144
D	暗条件	静置	24
			48
			72
			144

以上の実験により、表 1 に示す測定用試料が得られた。各試料は毎分3,000回転で20分間遠心分離し、その上澄液のTC濃度およびIC濃度を、TOC計（島津製作所、TOC-5000）を用いて公定法（日本工業規格 1998B）に準じて測定した。TC濃度からIC濃度を引いたものをDOC濃度とした。

（2）河川中における有機物濃度分布測定（現地試料測定）

国場川中流の図 1 の I～IV に示す 4 地点において、2007年10月15日（午前9時24分～午前10時26分）および同年10月30日（午前9時3分～午前10時1分）に河川水をプラスチック製カップを用いてプラスチック製ビン中に採取し、氷冷して実験室まで運搬した。

国場川は地点 I からIVに向かって流れている。地点 I と II の間（約400m）には大きな排水路の流入がなく、川岸はコンクリートで作られているが、その表面には凹凸が設けられ、雑草が繁茂している。また、河床にも土砂が堆積して雑草が繁茂した状態になっている。地点 III と IV の間（約150m）には排水路の流入がなく、川岸は土で作られ雑草が繁茂している。

試料を10分間超音波処理した後、それらのTC濃度およびIC濃度を、TOC計（島津製作所、TOC-5000）を用いて公定法（日本工業規格 1998B）に準じて測定した。TC濃度からIC濃度を引いたものをTOC濃度とした。

3. 結果

（1）河川水の有機物濃度時間変化測定（室内実験）

地点 1 で採取した河川水試料の水質測定結果を表 2 に示した。

表 2 地点 1 における河川水試料の水質

pH	EC (mS m ⁻¹)	SS (g L ⁻¹)
7.5	120	0.03

各河川水試料のICおよびDOCの濃度の推移を図2および3に示した。

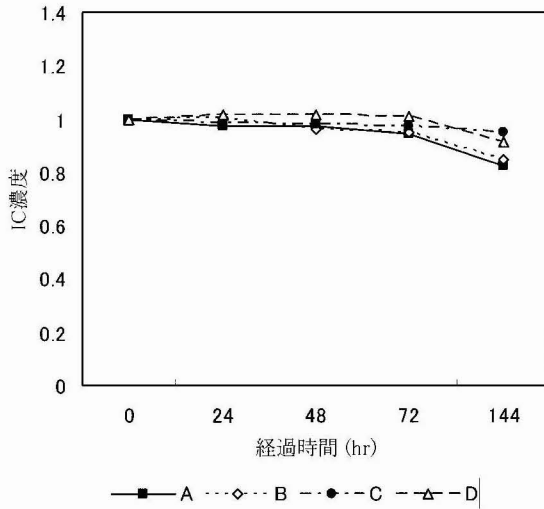


図2 室内実験における河川水中のIC濃度の推移
(IC濃度は実験開始時を1とした相対濃度で表記した)

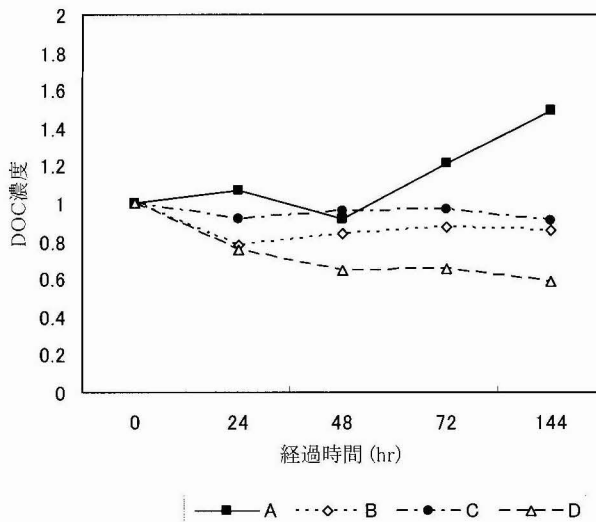


図3 室内実験における河川水中のDOC濃度の推移
(DOC濃度は実験開始時を1とした相対濃度で表記した)

(2) 河川中における有機物濃度分布測定 (現地試料測定)

国場川における河川水中のTOCおよびIC濃度の測定結果は、表3のようになった。大きな排水路の流入がなく比較的自然度の高い河川環境が続く地点IとIIの間および地点IIIとIVの間でそれぞれICが減少し、TOCが増加する傾向が見られた。

表3 国場川各地点における各態炭素濃度

採水日	地点	TOC (ppm)	IC (ppm)
2008/10/15	I	6.4	38.3
	II	6.7	36.6
	III	6.9	38.4
	IV	7.7	36.8
2008/10/30	I	10.3	53.7
	II	11.0	52.3
	III	11.8	53.0
	IV	14.0	51.4

4. 考察

沖縄県の測定（沖縄県 2007B）によると、2005年度における国場川（一日橋）のpHは7.7～8.0、SSは5.0～32mgL⁻¹で推移しており、今回採取した河川水のpHとSSは通常の範囲と大きく異なっていない。また、一般に河川のECは10～数十mSm⁻¹程度である（金野 2005）が、表2のように国場川のECはこれより大きく、人為的な汚染を受けた河川であることを示唆している。

室内実験において、ICは、明条件下（A、B）では、暗条件下（C、D）よりも時間の経過とともに大きく減少することが観察された。これは、河川水中に生息する藻類の光合成によって水中の無機炭素の利用が進んだためと考えられる。一方、酸素の供給の有無はICの推移に対して大きな影響を与えなかった。

DOC濃度は、暗条件で静置した場合にはほとんど変化しなかった（C）。明条件で静置した場合には、時間の経過とともにDOCが増加する傾向を示した（A）。これは、光合成によって生産された有機酸などの有機炭素が水中に増加したためと考えられる。ただし、この条件ではDOCが光化学反応による重合によって沈殿しやすいことも予想され、一時的にDOCが減少したのはこのような作用によるものである可能性がある。

暗条件でばっ気した場合は、時間の経過とともにDOCは減少した（D）。これは、酸素の供給により好気的な微生物による分解が進行したものと考えられる。河川水中に酸素を供給すると有機物の分解がより早まり、河川の自浄作用が高まることが実験室内で再現できたことになる。明条件でばっ気すると、DOCは初期には減少したものの、その後横ばいとなった（B）。これは、Aで示された光合成による有機物の生産と、Dで示された好気的な分解とが拮抗したためと考えられる。

以上の結果により、国場川河川水中の有機汚濁物質が、酸素の供給によって浄化されることが確認された。これは、河川水中に自然状態で生息する微生物による好気的な分解が進んだものと考えられる。同時に、日照がある河川中では藻類による光合成により、ICから有機物が合成されることも認められた。

本研究の現地試料測定結果によると、途中に大きな排水路の流入のない地点I・II間、およびIII・IV間では、いずれも流下とともにICが減少しTOCが増加することが観測された。これは明条件での室内実験と同様に、実際の河川水でも藻類の光合成によってICが消費されTOCが生産されていたためと考えられる。国場川（一日橋）における溶存酸素濃度は平成17年度平均で3.5 mgL⁻¹であり（沖縄県 2007）、一般に河川の自然浄化作用が機能できると考えられ

ている限界溶存酸素濃度 4 mgL^{-1} (Novotory and Krenkel 1975) を下回っている。このため本研究で調査した国場川の区間は、好気的な微生物による分解が十分に進行するには酸素が不十分で、室内実験における条件A (明条件静置) に近い状態であったことになる。さらに、試料水を採取した国場川中流が以前から汚濁の著しい河川であるため、河床の底質中に多量の汚濁物質が蓄積されていることも考えられた。このような場合、採水時点ではこうした汚濁物質が河床から河川水に供給される状態にあったために、たとえDOCが減少しても懸濁物質も含めた河川水全体のTOCが増加した可能性もある。このような場合については、今後降雨時の流出特性などを含めた研究が必要である (國松・村岡 1989)。

殺菌作用のある物質による特異な汚染を受けていない通常の河川では、微生物群が河川水中の有機汚濁物質を分解していることは広く知られている。一方で、このような微生物の作用を中心とする河川の自浄作用が誤解され、その河川の環境に適応した本来の有用な微生物がすでに無数に生息している河川中に、人為的に培養した微生物を投入するような行為が河川浄化活動と称して民間企業の主導によってしばしば行われている。こうした行為には科学的根拠がなく (稲盛ら 1995, Noparatnaraporn and Vasuvat 1996, 惣田ら 1998) 無意味であることが指摘されているが、本来の市民活動や環境教育活動を阻害する場合すらある。このような点からも、河川の持つ本来の自浄作用についての正確な情報が広く提供されることが必要であると言えよう。一般にこのような有用な微生物群は、自然の状態でその河川の環境に適応し最も効率よく有機物を代謝できるものが環境に応じた量河川中にすでに存在しており (手塚 1974, 宗宮 1990, Suberkropp 1998)、微生物の種類や量が河川水中の有機汚濁物質の分解速度を律速していないことは、河川水の有機汚濁を測定する指標として広く用いられるBODの測定原理 (橋 2005) からも明らかである。本研究の結果も、ばっ気して好気的な条件にすることにより、国場川河川水中に本来生息する微生物による有機物の分解が進むことを示している。ただし、実際の河川では光合成による有機物の合成も盛んであるため、国場川を流下する河川水中での有機物の収支は、微生物の捕食者を含む食物連鎖が存在し上位捕食者が最終的に有機物を系外に持ち出すことによって初めてマイナスになるものと考えられる。

以上のことから、河川浄化のためには、河床の構造や材質の改良による酸素の供給など、河川水中に自然に存在している微生物による有機物分解が十分に機能できるような条件を整えるとともに、多様な生物が生息する健全な生態系が河川中に存在できる条件を整備することが重要であると言える。

参考文献

- 稲盛悠平・藤井邦彦・松村正利・須藤隆一著 「有用微生物及び微生物製剤の水質浄化に対する効果とその評価」、第29回日本水環境学会年会講演集、1995年、pp.381。
- 沖縄県 『環境白書 平成17年度報告』、2007A
- 沖縄県 『平成17年度水質測定結果』、2007B
- 國松孝男・村岡浩爾編著 『河川汚濁のモデル解析』、技報堂、1989年。
- 幸地良仁著 『おきなわの川』、むぎ社、1992年。
- 金野英隆著 「電気伝導率」、『水の分析』、化学同人、2005年。
- 惣田訓・綿谷寿美・池道彦・藤田正憲著 「微生物生態系に導入された外来菌の淘汰要因」、環境技術、27、

1998年、pp.31-35。

宗宮功編 『自然の浄化機構』、技報堂、1990年。

橘治國著 「生物化学的酸素要求量」、『水の分析』、化学同人、2005年。

手塚泰彦著 『河川の汚染』、築地書館、1974年。

日本工業規格 JIS K 0102 14.1、1998A

日本工業規格 JIS K 0102 22.1、1998B

Noparatnaraporn, N. and Vasuvat, Y. "Thailand Collaborative Research on Evaluation of EM and EM Products. Their Feasibility Testing and Effects of Their Uses on Agriculture and Environment," 日本土壤肥料学会シンポジウム「微生物を利用した農業資材の現状と将来」講演要旨集、1996年、pp.5-11。

Novotory, V. and Krenkel, P. A. "A Waste Assimilative Capacity Model for a Shallow, Turblent Stream," *Water Research* 9, 1975, pp.231-241.

Suberkropp, K. F. "Microorganisms and Organic Matter Decomposition," *River Ecology and Managemant*, Springer, 1998.