

自然との触れ合いサイトとして利用されている 南西諸島河口域における水質・底質の化学分析

田代 豊

Chemical analyses of waters and sediments from estuaries, where used as nature-based recreation activity areas, in Southwest Islands, Japan

Yutaka Tashiro

要 旨

南西諸島の沖縄島、久米島および西表島において、自然との触れ合いサイトとして利用されている河口付近の11地点で河川水および底質試料を採取し、河川水についてはpH、電気伝導率、懸濁物質、溶存態有機炭素、全窒素および全リンを測定し、底質については強熱減量、COD、全窒素、全リン、PCB濃度を測定した。西表島内の5地点では、河川水中の全リン濃度が $0.01\sim 0.02\text{ mg L}^{-1}$ と低く、底質中の全リン濃度も $0.16\sim 0.31\text{ mg g}^{-1}$ と比較的低かった。さらに、水中の全窒素濃度も $0.18\sim 0.62\text{ mg L}^{-1}$ と比較的低かった。久米島の銭田川では、水中の全リン濃度、全窒素濃度およびDOC濃度が比較的高く、さらに底質の全リンおよび全窒素濃度も他の河川より高かった。この他、国場川、億首川および塩屋湾の調査地点でも、畜舎排水あるいは生活排水によると考えられる河川の汚染が見られた。PCBは国場川 ($1.0\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$)と浦内川 ($0.03\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$)で底質中に検出されたが、それら以外の河川ではPCBによる底質の汚染は見られなかった。国場川底質中のPCB濃度は、底質の採取深度が深くなるにつれて低下する傾向を示したが、底質表面下30~35 cmにおいても検出された。

キーワード：河川、底質、水質分析、沖縄、自然との触れ合い

Abstract

River water and sediment samples were collected at 11 sites around estuaries on Okinawa I., Kume I., and Iriomote I. pH, EC, SS, dissolved organic compound (DOC), total nitrogen (T-N), and total phosphorus (T-P) were measured for water samples, whereas ignition loss, COD, T-N, T-P and polychlorinated biphenyls (PCBs) concentrations for sediment samples. T-P in river waters from the five sites on Iriomote I. was low ($0.01\text{-}0.02\text{ mg L}^{-1}$). T-P in sediments ($0.16\text{-}0.31\text{ mg g}^{-1}$) and T-N in waters ($0.18\text{-}0.62\text{ mg L}^{-1}$) from the same sites were also relatively low. Water sample from Zenda River on Kume I. showed relatively high concentrations of T-P, T-N and DOC. Sediment sample from this river showed higher concentrations of T-P and T-N than other rivers. Kokuba river, Okukubi river, and Shioya bay were found polluted probably due to livestock wastes and/or domestic discharges. PCBs were detected only from the sediments of Kokuba River ($1.0\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$) and Urauchi River ($0.03\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$). PCBs were found from the sediment under surface until 30-35 cm deep at Kokuba River, and it was shown that PCBs concentration tended to decrease with the depth.

Key words: water analysis, river water, sediment, pollution, Okinawa

1. はじめに

沖縄・奄美の南西諸島では、島という限られた面積の環境において、人間活動の場と貴重な自然環境とが近接しており、自然環境が人間活動による様々な影響を受けやすい条件にある。とくに河川は陸域起源汚濁物質の海域への主要な流出経路であり、河口部底質にはこうした汚濁物質が堆積している場合が多い。とくに南西諸島では、下水道の普及率が低いことによる生活排水の流入や養豚を中心とした畜産排水の不十分な処理により、河川が汚染されるケースが多い(仲宗根, 2003)。さらに著者らは、1970年代に沖縄島に建造された橋で、PCBを含有する塗料片が橋の改修時に剥落し、底質中に堆積している事例を見出した(Tashiro et al., 2004)。西表島浦内橋においても、橋の改修に伴ってPCB含有塗料片が発生することが報道されているが(琉球新報, 2004)、同様な状況は南西諸島の他の河川においても発生している可能性がある。

近年、環境教育やエコツーリズムなどで自然との触れ合いが重視されるようになり、一般市民が河川や河口域に入って水や底質に触れる機会が多くなっている。河川によっては、このような活動がしばしば行われ多くの市民が利用する地点もあるが、そのような場所が流域で発生する汚濁物質によって汚染されている可能性もある。とくに河川清掃など活動の種類によっては、汚染度の高い地点に市民が入ることも考えられる。なかでも橋の周辺は、人が河川にアクセスしやすく一般市民が立ち入る可能性がある場合が多いと考えられるため、有害物質による底質などの汚染の有無を確認しておくことが必要である。これまで南西諸島では、市民が河川を利用した活動中に河川水中の細菌に感染しレプトスピラ症を発症した事例が報告されたことがあるが(中村ら, 2002)、底質および水質の化学分析の側面から、各河川が自然との触れ合い活動を適切な内容で安全に行うことが可能なサイトであるかどうか評価されることは少なかった。沖縄県では、例年県内の河川26地点と海域24地点の底質分析を実施している(沖縄県, 2008)が、このような観点から調査地点を設定した研究は南西諸島ではこれまでほとんどない。今後、観光産業の一分野としてエコツーリズムが拡大する中で、そのサイトとして利用される地点の環境の状態を正しく位置づけておくことは、ますます重要になると考えられる。

さらに、南西諸島沿岸には、北限である世界的にも貴重な亜熱帯海域のサンゴ礁が分布し、サンゴ礁によって形成される礁池では魚介類が産卵し、その稚魚が育つ。その生態系を保全することは、広い範囲におよぶ海域の水産資源や観光資源の保護の面からも極めて重要である。このような観点からも、生活排水などに起因する栄養物

質のサンゴ礁への影響(金城ら, 2006)が懸念されるとともに、とくに最近では造礁サンゴに対する農薬等の影響が研究されている(Watanabe et al., 2006)。ところが、このような研究に対応する有害物質の分布状況に関する知見は、南西諸島において十分ではない。

本研究はこのような背景に基づいて、南西諸島の河口近くの橋周辺の11地点において河川水および底質を採取し、PCBや有機物、栄養塩などの汚濁物質の流出・堆積状況を分析したものである。

2. 方法

南西諸島に属する沖縄島・久米島・西表島において、図1に示す11河川の河口付近を調査地点とした。これらの地点は、現地での観察や聞き取り、観光パンフレットなどにより、表1に示すような自然との触れ合い活動の場として利用されている。

表1に示した期日に、各調査地点において河川水および底質を採取した。採取場所は、自然との触れ合い活動の場となることを考慮して、河川の水路部に近く、かつ、干潮時に底質が干出する場所を選んだ。河川水は約1.5 Lをポリエチレン瓶に直接採取し、底質はエクマン・バージ採泥器またはスコップを用いてポリエチレン袋に約2 kg採取した。地点3(国場川)については、塩化ビニル製のコアサンプラーを底質表面から貫入して、深さ35 cmの底質コアサンプルを採取した。得られた水試料は氷冷して実験室に持ち帰り、pH、電気伝導度(EC)、懸濁物質濃度(SS)、溶存態有機炭素濃度(DOC)、全窒素濃度(T-N)、全リン濃度(T-P)を測定した。底質試料は氷冷して実験室に持ち帰った後、2 mmメッシュふるいけと遠心分離によって湿試料とし、これから風乾試料および乾燥試料を調製した。これら試料について、化学的酸素要求量(COD)、強熱減量、全窒素濃度(T-N)、全リン濃度(T-P)、PCB濃度を測定した。コアサンプルは、表層から5 cmごとにスライスし氷冷して実験室に持ち帰り、風乾試料を調製して各層におけるPCB濃度を測定した。各分析項目の測定方法は、表2に示した。

3. 結果および考察

水試料の分析結果を表3に示し、底質試料の分析結果を表4に示した。また、底質試料のPCB分析結果は表5に示した。

地点6, 9, 10以外では河川水試料の電気伝導率が大きく、河川水に海水が混合していたと考えられる。河川水のpHは、石灰岩地域を流域としない河川も含めて、すべての地点で中性から弱アルカリ性を示したが、これにも海水の影響が含まれていると考えられる。また、SS

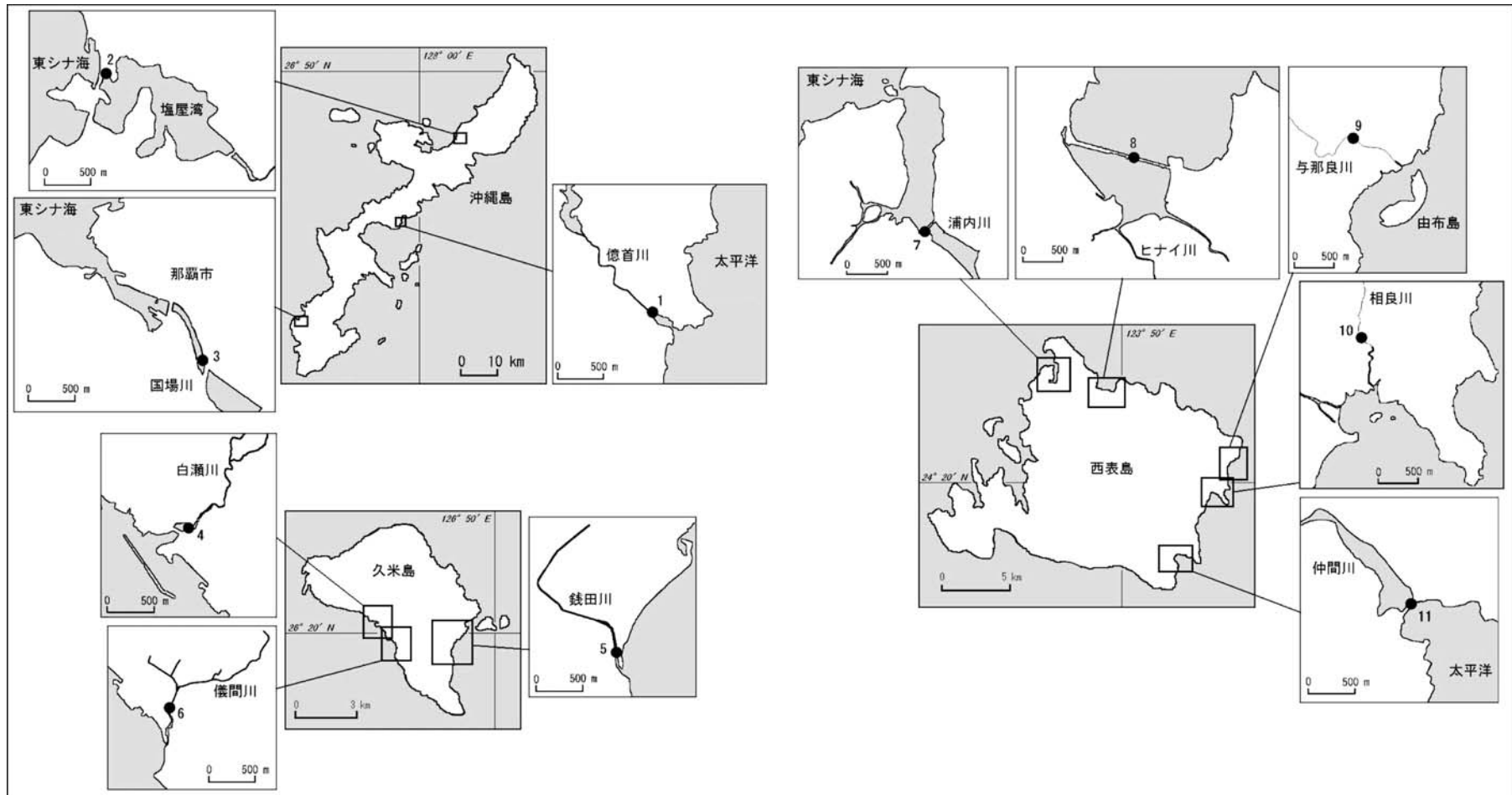


図1 調査地点図

表1 各調査地点を利用する活動と分析試料採取日

島名	地点番号	河川・河口名	試料採取日	各地点を利用する主な活動
沖縄島	1	億首川	2007年12月3日	カヌー、生物観察、釣り、野外活動施設
	2	大保川	2007年10月26日	カヌー、キャンプ、釣り、遊泳
	3	国場川（漫湖）	2007年11月24日	生物観察、清掃活動、親水公園、漁労
久米島	4	白瀬川	2007年8月3日	生物観察、親水公園、釣り
	5	銭田川	2007年8月3日	釣り、探鳥地
	6	儀間川	2007年8月3日	釣り、探鳥地
西表島	7	浦内川	2007年8月29日	生物観察、カヌー、トレッキング、遊覧船、釣り
	8	ヒナイ川	2007年8月28日	生物観察、カヌー、トレッキング、釣り
	9	与那良川	2007年8月28日	水田、探鳥地
	10	相良川	2007年8月28日	小学校の水田
	11	仲間川	2007年8月28日	生物観察、カヌー、トレッキング、遊覧船、釣り

表2 測定項目と測定方法

測定対象	測定項目	測定方法
水	pH	堀場製作所製pH計F-22で測定
	電気伝導率 (EC)	EUTECH INSTRUMENTS製 ECTESTR11+ 電気伝導率計で測定
	懸濁物質 (SS)	JIS K0102 14.1に準じて測定
	溶存態有機物 (DOC)	遠心分離後、燃焼酸化 - 赤外線式TOC分析法 (JIS K0102 22.1) により、島津製作所製TOC5000で測定
	全窒素 (T-N)	紫外吸光度法 (JIS K0102 45.2) により測定
	全リン (T-P)	ペルオキソ二硫酸カリウム分解法 (JIS K0102 46.3.1) により測定
底質	強熱減量	環境庁底質調査方法II-4により測定
	COD	環境庁底質調査方法II-20により、過マンガン酸カリウムによる酸素消費量を測定
	全窒素 (T-N)	中和滴定法 (環境庁底質調査方法18.1) により測定
	全リン (T-P)	硝酸 - 過塩素酸分解法 (環境庁底質調査方法19.1) により測定
	PCB	アセトン抽出・室温アルカリ分解法 (岡本ら, 2003) によって前処理した試料をGC/MS (島津製作所製QP5050) で分析

表3 水試料の分析結果

地点	pH	EC (ms cm^{-1})	SS (mg L^{-1})	DOC (mg L^{-1})	全窒素 (mg L^{-1})	全リン (mg L^{-1})
1	7.7	>20	27	1.3	1.60	0.06
2	8.0	>20	1.2	0.4	1.45	0.05
3	7.9	>20	130	1.4	1.76	0.17
4	7.5	>20	22	0.5	0.89	0.01
5	8.6	19	27	2.2	1.47	0.22
6	7.4	3.5	49	1.5	1.20	0.01
7	7.5	>20	4.8	1.2	0.62	0.02
8	7.8	>20	32	1.4	0.59	0.02
9	8.1	0.6	1.8	0.8	0.18	0.01
10	7.4	7.2	28	0.6	0.20	0.01
11	7.5	>20	33	1.3	0.30	0.01

表4 底質試料の分析結果

地点	強熱減量 (%)	COD (mg O g ⁻¹)	全窒素 (mg g ⁻¹)	全リン (mg g ⁻¹)
1	1.5	1.8	0.17	0.35
2	4.3	0.4	0.03	0.16
3	4.5	5.3	0.76	1.03
4	10.9	6.2	0.79	0.49
5	10.1	6.4	1.09	0.77
6	5.3	6.2	0.60	0.60
7	4.1	7.5	0.45	0.16
8	3.7	4.2	0.10	0.21
9	4.9	3.2	0.20	0.31
10	8.1	10.6	1.30	0.29
11	2.1	4.9	0.27	0.21

表5 底質試料のPCB濃度

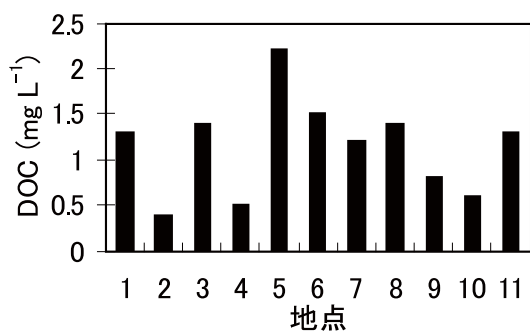
地点	底質採取深度	PCB (ppm)
1	表層	ND
2	表層	ND
3	表層	1.8
	表面下10~15cm	0.71
	表面下20~25cm	0.13
	表面下30~35cm	0.34
4	表層	ND
5	表層	—
6	表層	—
7	表層	0.03
8	表層	ND
9	表層	ND
10	表層	ND
11	表層	ND

ND:検出下限未満, —:未分析

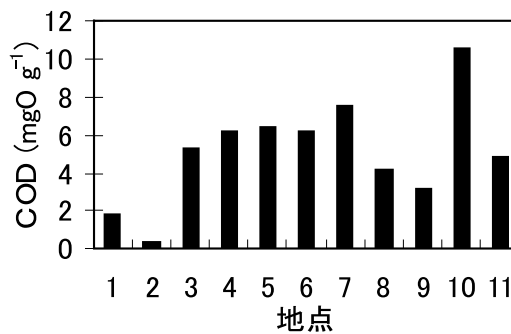
は地点2, 7, 9で低い値が観測された。このうち地点2, 7は海水による希釈の影響を含んでいると考えられるが、地点9はとくに流域からの懸濁物質の供給が少ないものと推定される。

さらに、これらの結果のうち、水試料および底質試料の栄養物質濃度については、図2および図3に各々示した。西表島内の5河川(地点7~11)では河川水中の全リン濃度が0.01~0.02 mgL⁻¹と低く、底質中の全リン濃度も0.16~0.31 mg g⁻¹と比較的低かった。さらに、水中

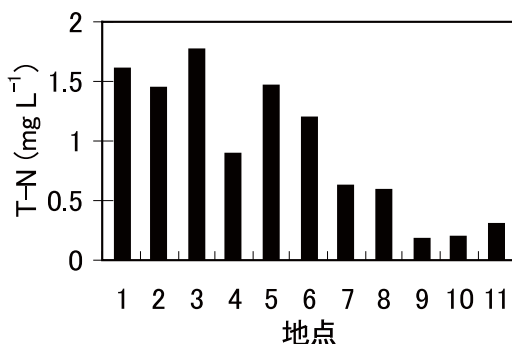
の全窒素濃度も比較的lowかった。過去に、西表島と同じ八重山諸島に属する石垣島の名蔵川河口のマングローブ地域で採取された底質の分析結果が報告されている(赤松ら, 2002)。その結果では全リン濃度は0.1 mg g⁻¹前後であり、今回分析した西表島の結果はこれよりやや高い同程度のものではあった。これにより、これら西表島の河川では、生活排水や畜舎排水等による顕著な汚染は受けていないことが示唆された。このうち、相良川(地点10)は底質のCODと全窒素濃度が高く、強熱減量も比較的



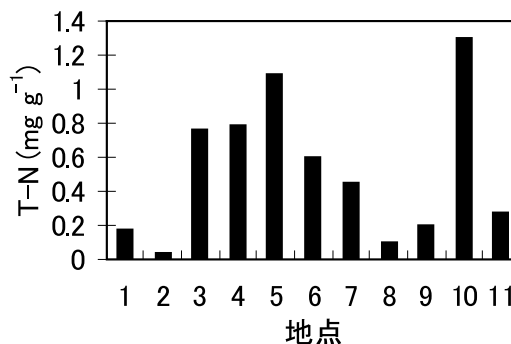
a) 河川水のDOC



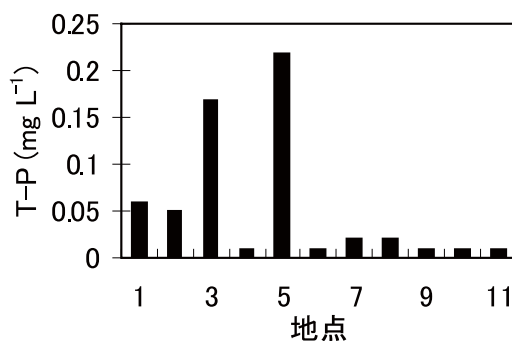
a) 底質のCOD



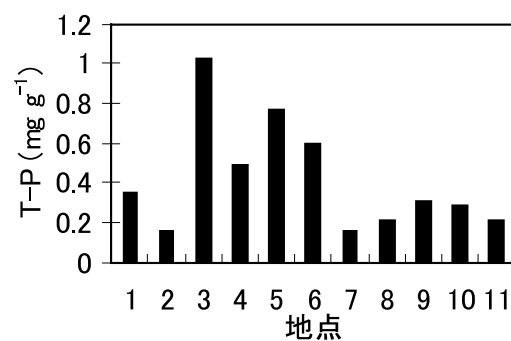
b) 河川水のT-N



b) 底質のT-N



c) 河川水のT-P



c) 底質のT-P

図2 河川水試料の分析結果

図3 底質試料の分析結果

高かった。しかし、底質の全リン濃度は、西表島内の他の河川と比較して高くなく、また、水中のCODや全リン、全窒素濃度は低かった。この地点では、河畔の植生に由来するリターが底質中に多量に堆積している状況が観察された。したがって、この地点の底質中に含まれる有機物の多くは自然由来のもので、生活排水や畜舎排水の水質への影響は、西表島内の他の地点同様少ないと考えられる。

これに対し、久米島の銭田川（地点5）では水中の全リン濃度、全窒素濃度、DOC濃度が比較的高く、さらに底質の全リンおよび全窒素濃度も他の河川より高かった。同島では肉牛やニワトリなどの畜産が盛んであるが、

畜舎排水や生活排水等に起因するリン・窒素を含む有機物によって汚染された水が流下し、調査地点の底質に堆積しているものと考えられる。また、国場川（地点3）では底質の全リン濃度が最も高く、水中の全リン濃度も比較的高かったが、底質のCODや強熱減量は他の河川と比較して高くなかった。これは、周辺の市街地の生活排水などに起因する栄養物質が多く供給されるものの、調査地点が位置する河口近くの泥干潟上では生物による有機物の代謝や化学的な分解が盛んに行われ、CODや強熱減量として観測される有機物が多く残存していない可能性を示している。億首川（地点1）でも水中の全リン、全窒素濃度が高かったが、底質中のCODは低かった。

この調査地点はマングローブが発達した河口近くに位置し、周辺においてカニ類、魚類および鳥類などの生物の盛んな活動が観察される。このため、底質中の有機物が生物に利用され濃度が低くなっている可能性がある。一方、塩屋湾（地点2）は水中の全リン、全窒素濃度が比較的高かったが底質中の全リン、全窒素濃度およびCODは他の河川と比較して低かった。塩屋湾では、流域に生活排水や畜舎排水の発生源があるものの、調査地点が河口に近かったため波浪の影響が大きく、底質は粗い砂質であった。このため、有機物を含んだシルトが底質中に堆積しにくい環境にあるものと考えられる。

以上のように、本研究では、調査対象地点のうち国場川、億首川、塩屋湾、銭田川の調査地点で畜舎排水あるいは生活排水によると考えられる河川の汚染が見られた。一方、本研究で調査対象とした西表島内の各河川では、畜舎排水や生活排水によると考えられる汚染は少ないと考えられる。那覇市内の人家が密集した地域の河川水では、全窒素濃度が 10 mg L^{-1} を超え、また、全リン濃度が 1 mg L^{-1} を超える場合（那覇市、2005）があることと比較すると、本研究で観測された汚染の程度はそのような著しいものではなかったと言え、また、このような栄養塩汚染は直接人間の健康に被害を与えるものではない。しかし、畜舎排水や生活排水の流入は、重金属や医薬品、外因性内分泌攪乱物質など有害物質の流入を伴う可能性も考えられるため、とくに億首川と塩屋湾のように、カヌーや遊泳など河川水や底質と直接接触する活動が比較的多く行われる地域では、今後利用者の安全と快適さを維持するために、流域における汚染発生源と水質に対する注意が必要と考えられる。

本研究の調査地点のうち、国場川と浦内川（地点7）で底質中にPCBが検出されたが、それら以外の河川ではPCBによる底質の汚染は見られなかった。この2河川はいずれも1970年代に建造された橋の塗装に使われた塗料中にPCBが含有されていたことが知られており、本研究で検出されたPCBは、これに由来するものであると推測される。このような橋の塗料由来のPCBによる底質の汚染は、大阪市においても観測されているが（角谷ら、2003）、南西諸島でもさらに他の河川における汚染の有無を検証することが必要と考えられる。また、コアサンプルを分析した国場川底質中のPCB濃度は、底質の採取深度が深くなるにつれて低下する傾向を示したが、底質表面下30~35 cmにおいても検出された。これは、この付近の底質が潮汐の作用などによる攪乱を受けており、底質表面に散布されたPCBが時間の経過とともに底質中を鉛直方向に拡散したためと考えられる。橋の塗り替えに伴って落下した塗料片によって国場川底質がPCBに汚染されたのは1980年ごろと推定されるが、今後他の地点において汚染が発生した際には、汚染が拡

散する前に除去するなどの迅速な対応が望まれる。

沖縄県では、公共用水域水質調査の一環として、本研究の調査地点に近い国場川の底質中のPCBの分析を毎年実施しており、2007年度の測定結果は 0.07 ppm とされている（沖縄県、2008）。本研究で検出されたPCB濃度は、いずれも水中や魚介類への汚染の拡大を防ぐために環境庁が設定した底質暫定除去基準の 10 ppm よりも低いものであったが、場所による濃度の違いが大きいものと推定されるため、さらに高濃度の地点が存在しないか、今後より詳細な汚染分布調査が必要と考えられる。自然との触れ合い活動の場としての観点からは、近年国場川では生物観察や河川清掃活動などで、一般市民が河川底質に接触する機会がしばしば見られるようになっており、PCBによる汚染度の高い地点に一般市民が立ち入らないよう注意が必要である。一方、浦内川の底質から検出されたPCBは比較的低濃度であったが、本河川におけるPCB検出はこれまで報告がなかった。沖縄島のような米軍施設のない先島諸島では、こうした微量有害物質による環境汚染が懸念されたことはこれまでほとんどなかったが、本研究の対象とされた以外の河川においても、有害物質汚染の可能性の有無について検討が必要であろう。また、浦内川は、とくに自然度の高い西表島の主要河川であり、その河口のマングローブ域は中緯度の感潮河川とは異なる流動特性を持つことが指摘されており（澤木ら、2007）、PCB汚染の生物に対する影響に関する調査研究も必要であると考えられる。

謝 辞

本研究の試料採取にあたっては、当時名城大学国際学群観光産業学科の学生であった富山 徹、劉 国傑、富澤 傑の三氏の協力を得た。また、本研究は、平成19年度名城大学総合研究所一般研究助成を得て実施したものである。

引用文献

- 赤松良久・池田駿介・中嶋洋平・戸田祐嗣. 2002. 現地観測に基づくマングローブ水域における有機物・栄養塩輸送に関する研究 - 大潮期に着目して - . 土木学会論文集. 698/ -58: 69-80.
- 沖縄県. 2008. 「平成19年度水質測定結果（公共用水域及び地下水）」. 沖縄県文化環境部. 112pp.
- 岡本研作・安原昭夫・中野 武・剣持堅志・松村 徹・八木孝夫・柿田和俊・小野昭紘・坂田 衛. 2003. 河川底質中ポリ塩化ビフェニルの分析におけるアルカリ分解条件等の比較検討. 分析化学. 52: 61-66.
- 金城孝一・比嘉栄三郎・大城洋平. 2006. 沖縄県のサン

- ゴ礁海域における栄養塩環境について. 沖縄県衛生環境研究所報. 40: 107-13.
- 澤木千恵・安田訓啓・佐藤義夫. 2007. 西表島浦内川河口マングローブ域の水理特性と物質輸送. 2007年度日本海洋学会秋季大会講演要旨集. 247.
- 角谷直哉・山本耕司・鶴保謙四郎. 2003. 大阪湾河口域底質のダイオキシン類およびPCBの実態. 環境技術. 32: 308-310.
- Tashiro, Y., K. Takahira, H. Osada, H. Fujii, and A. Tokuyama. 2004. Distribution of polychlorinated biphenyls (PCBs), lead, and cadmium in Manko Tidal Flat, Okinawa. *Limnology*, 5: 177-183.
- 那覇市. 2005. 那覇市の環境 (2004年度版). 41pp.
- 仲宗根一哉. 2003. 琉球列島の陸水環境の人的攪乱と生物. 「琉球列島の陸水生物」. 西田 睦・鹿谷法一・諸喜田茂充. 東海大学出版会. 東京.
- 中村正治・平良勝也・糸数清正・久高 潤・安里龍二・大野 惇・増澤俊幸. 2002. 沖縄県におけるレプトスピラの保菌動物調査. 沖縄県衛生環境研究所報. 36: 39-42.
- 琉球新報. 2004. 「PCB」施設撤去を, 於茂登開南公民館八重山支庁長に要請. 琉球新報. 2004年8月31日朝刊29面.
- Watanabe, T., I. Yuyama, and S. Yasumura. 2006. Toxicological effects of biocides on symbiotic and aposymbiotic juveniles of the hermatypic coral *Acropora tenuis*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 339: 177-188.