

マングローブ水域を含む多河川同時調査に基づく物質フラックスの比較

Comparison of material fluxes based on observations in different types of estuaries including mangrove area

寺田一美¹・鯉渕幸生²・磯部雅彦³

Kazumi TERADA, Yukio KOIBUCHI and Masahiko ISOBE

To quantify the natural river's self-purification mechanism, we conducted the field observations in 3 different estuaries - one urban river and two mangrove rivers - at the same period. From comparison of their water qualities, turbidity in urban area (Arakawa river) increased about 10 times immediately after rain. On the other hand, turbidity in mangrove estuaries (Fukido river and Miyara river) didn't change soon and the rate of increase was remarkably smaller than in urban river. TN (Total Nitrogen) and TP (Total Phosphorus) also had same tendencies. It showed that mangrove natural rivers moderate excess outflow of solids and nutrients to coastal area. Adding to it, we compared 2 types of mangrove estuaries with river form and land use and revealed the differences of their moderation effects.

1. はじめに

沖縄県にはサンゴ礁などの豊かな沿岸生態系が形成されているが、近年土地改良事業が進み河川はコンクリート化され、海岸は埋め立てによる護岸コンクリートと消波ブロックに囲まれ、都市排出物による河川汚濁、沿岸の水質悪化、赤土流出などに悩まされてきた(比嘉ら, 2001)。このような沿岸域の諸問題解決のため、都市河川において自然の有する浄化力を河川管理に利用する試みは1980年代頃から行われてきたが(Bowmerら, 1987)、浄化力の定量化およびその詳細はいまだ不明な点が多い。また、自然河川と都市河川を同時に定量比較した例はほとんどない。

一方、熱帯沿岸域には膝根や支柱根などの複雑な形態を持つマングローブ樹林が形成されており、そこでの土砂・炭素等の挙動は、護岸整備等によって三面コンクリート貼りとなった都市河川とは異なる機構を備えていると考えられる。マングローブ水域における物質輸送等の調査は意欲的に進められてきたが(寺田ら, 2009; Kurosawaら, 2003)、その浄化力についてはいまだ不明な点も多く、ならびにその機能の比較検証を研究した例はほとんどない。そこで本研究では、都市河川と自然河川(マングローブ水域)の水質変動を定量化し比較することで、自然河川を持つ機能を把握し、自然河川の特徴を生かした水域管理手法の提案に役立てることを目的とした。

2. 観測概要

(1) 三河川の特徴

都市河川と自然河川の比較を行うには、気象条件などの周辺状況が同じで河口形態のみが異なる必要がある。そこで本研究では、このような条件を満たす場として沖縄県石垣島に着目した。ここは三面張の都市河川だけでなく、典型的な自然河川であるマングローブ河川をも併せ持つ、横断距離が約10kmの小さな離島であり、その気象条件が島内ではほぼ一致する。石垣島における三か所の観測地点を図-1に示す。本研究では自然河川の代表として、吹通川マングローブ水域(図-1中①)を対象とした。吹通川では蛇行した支流が網目状に広がり、そこにマングローブ植生が密生し、典型的な自然河川の容貌を示している。また形態の異なる河川として、上流にダムを持つ宮良川マングローブ水域(図-1中②)、および島内唯一の都市河川である新川川(図-1中③)に着目した。各河川の特徴を表-1に示す。

吹通川の河川長や流域面積は、宮良川に比べ圧倒的に小さいにも関わらず、マングローブの植生面積は宮良川とほぼ変わらない。また吹通川は大小合わせて4本のクリークが網目状に複雑に流れているのに対し、宮良川は

表-1 三河川の特徴

	吹通川	宮良川	新川川
河川長 [km]	0.70	12	3.7
流域面積 [km ²]	2.9	36	11
潮位差 [m]	0.96	1.2	0.51
河川形態	網目状	直線状, ダム	直線護岸
マングローブ植生面積 [km ²]	0.13	0.15	0.00

1 正会員 環博 東海大学工学部土木工学科助教
2 正会員 工博 東京大学大学院新領域創成科学研究科講師
3 フェロー 工博 東京大学大学院新領域創成科学研究科教授

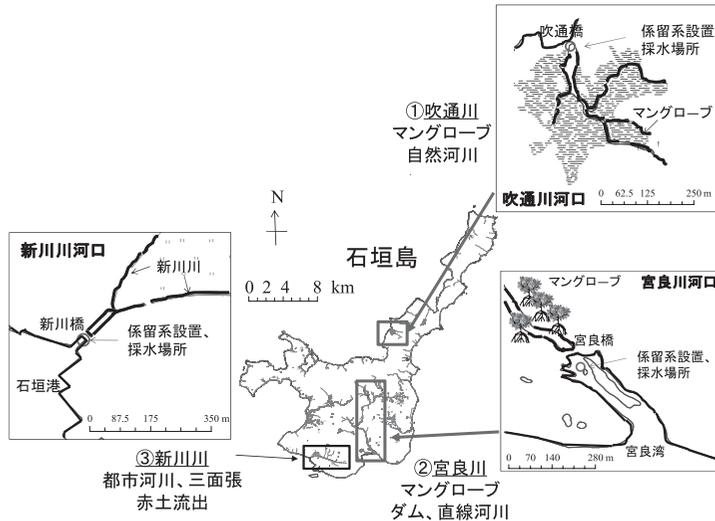


図-1 石垣島における観測地点

宮良橋から約300m上流に遡上した右岸に、小さなクリークがあるのみであり、その河川形態は直線状といえる。また宮良川は、石垣島で最長の河川であり、上流には島最大のダムである底原ダムが存在する。一方、都市河川である新川は、河積が小さく、河川氾濫時には道路冠水などの問題が頻発したため、河川幅を拡張し護岸整備が整えられてきた。そのため河口域ではコンクリート三面張りとなっており、マングローブ樹木は1本もない。

(2) 観測方法

2008年6月の梅雨明け直後(2008年6月10日)から約10日間に渡り、図-1中の三河川の河口地点に自記式水位計、塩分計、DO計、濁度計を設置した。同時に、2008年6月16日、2008年6月17日に各河川河口において12時間連続で採水を行い、栄養塩等のフラックス計測を行った。また吹通川では2007年1月、2008年6月に、宮良川では2007年8月、新川川では2007年8月に、各河川河口で流量測定を行った。流量測定はKENEK製の電磁流速計(VP2000)およびSontek製のFlowTrackerを用いて行い、水位はOnset製U20-001-04-Ti、塩分水温はAlec電子製COMPACT-CTCW、溶存酸素(DO)はCOMPACT-DOW、濁度はCOMPACT-CKUをそれぞれ使用した。また宮良川河口および新川河口では、ISCO製の自動採水機6712シリーズを使用した。採取した水サンプルは採取後すぐに冷凍保存・空輸し、東京大学の実験室において栄養塩濃度、SS濃度等の分析を行った。栄養塩濃度はブランドーベ製のAACS3を用いて定量化した。また石垣島には気象庁の測候所が計4箇所あり、降水量には各河川で最も近い測候所のデータを用いた。

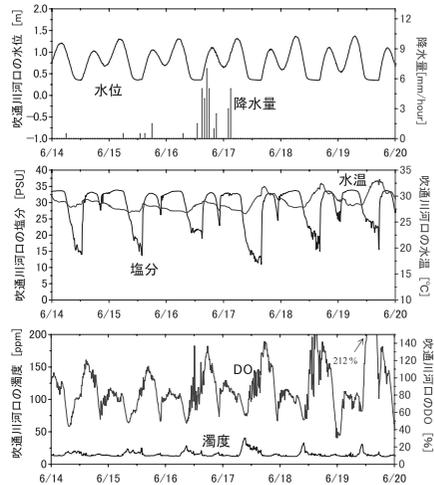


図-2 吹通川河口の水質時系列

3. 三河川における物理環境特性

(1) 吹通川の物理環境

2008年6月14日から2008年6月20日にかけて、自記式水質計を用いて計測した水位、水温、塩分、DO、濁度の結果、ならびに降水量を図-2に示す。塩分は水位変動と同期し、下げ潮時以外は33PSU程度であった。DOも同様に水位と同期して変動しており、海水が流入するとDOが増加し、潮が引くとDOは約30%前後まで減少した。これは上げ潮とともに酸素を豊富に含んだ海水がマングローブクリーク中に流入することで、クリーク中のDOが上昇し、満潮時にクリーク中で消費され低DOとなった水塊が流出したとみられる。その後干潮時には、河川

上流から高DO淡水が流入し、河口に到達することにより、再びDOが上昇したと考えられる。

濁度は通常15ppmで安定し、干潮時に増加した。これはDO、塩分と負の相関を示しており、引き潮時に低DO水塊淡水が流出するとともに、マングロープ林床やクリーク底泥からの土砂輸送が生じていると考えられる。また6月16~17日の降雨時には、最大41ppmの高濁度を示した。

(2) 宮良川の物理環境

宮良川河口（宮良橋）において、図-2と同時期である2008年6月14~20日にかけて計測した水質時系列を図-3に示す。6月16日午後から雨が降り出しているが、雨による水位への影響はなく、水位は潮汐変動のみを反映している。塩分は水位変動とほぼ同期するが干潮時には塩分が約1PSUまで減少し、下げ潮や干潮時には河川淡水の流入が支配的であることが示唆される。

DOは、潮汐変動とともに増減し、DOが上昇するのは、上げ潮で海水が流入してきたとき（塩分が急増するとき）、および干潮時に淡水が流入してきたとき（塩分が1PSU前後で横ばい）であった。よって、沿岸浅海域の海水と上流からの淡水が高DOであり、それが潮汐とともに流動することから、DOが上昇し、貧酸素状態が解消されることがわかった。

濁度はほぼ10ppmを前後し安定しているが、17日の明け方3:40から6:30の間に非常に大きなピークを示し、その最大値は156ppmであった。ここで宮良川河口近辺の17日の降水量を詳しく見てみると、17日2:00から3:00の1時間に11.5mm/hの降雨があった。従って降雨の影響を受けたことにより、土砂や有機物の流出が増加し、濁度が増加したと考えられる。

(3) 新川川の水質環境

新川川河口（新川橋）において、2008年6月14日から2008年6月20日にかけて、自記式水質計を用いて計測した水位、塩分、DO、濁度の結果、ならびに降水量を図-4に示す。新川川河口の水位は、0.7~1.25mで潮汐の影響を受け変動するが、その変動幅は宮良川や吹通川に比べて小さい。また干潮時の水位は、吹通川や宮良川に比べて0.7mと比較的高い。

6月16日13:00から17日3:00にかけて断続的に降雨があり、水位も16日13:00から上昇していた。従って、吹通川や宮良川よりも、水位に降雨の影響が表れやすいことが判明した。また塩分も降雨時に減少し、特に17日2:00~3:00の14.5mm/hの降雨時には、塩分が急減し0.1PSUになった。すなわち降雨によって淡水の流入が増加し、塩分が低下すること、特に14.5 mm/hの降雨時には一気に塩分が10PSUも減少するなど、新川川河口では降雨の影響が塩分に顕著にあらわれることがわかった。

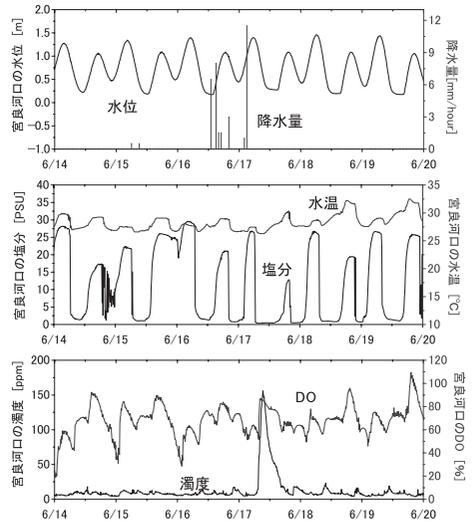


図-3 宮良川河口の水質時系列

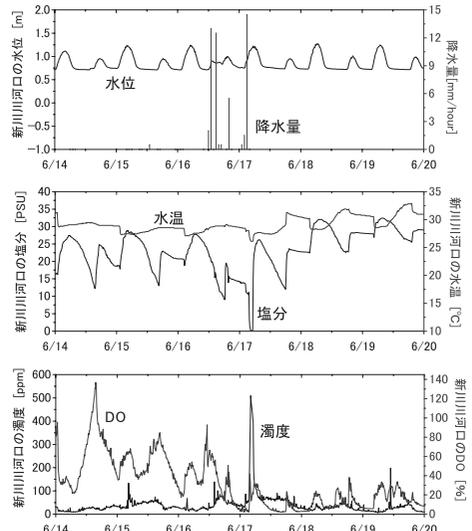


図-4 新川川河口の水質時系列

DOは、宮良川や吹通川のDOと比較すると非常に変動が大きく、14日から16日にかけての変動幅に比較して、17日以降は40%を下回る貧酸素状態が続いた。

濁度は平常時50 ppm前後を示し、これは吹通川の平均濃度の約3倍、宮良川の約5倍の高濃度である。また、16日午後からの降雨時は濁度が急増し、17日4:10には509ppmのピークを示した。すなわち降雨時には、平常時の約10倍近い高濃度の濁度水塊が流入することが明らかになった。

4. 三河川における栄養塩時系列変動

(1) 自然河川（吹通川）と都市河川（新川川）の比較
2008年6月に行った吹通川、宮良川、新川川の同時

観測で得られた、水質と栄養塩の時系列変動を図-5に示す。

降雨後の水質変化を河川で比較すると、都市河川の新川川では、降雨直後に急激に水温・塩分が低下し、濁度は約10倍にまで急増した。吹通川では同じ時間帯には、目立った変化は見られなかった。だが降雨から約5時間後の2008年6月17日7時頃には、吹通川で濁度が上昇し最大約3倍の濃度となった。吹通川マングローブ水域では降雨に対する反応が遅れその増加量も新川川に比べると格段に小さくなること、すなわち新川川でみられたような濁度のピークを平滑化する機能があることが示唆された。これは吹通川マングローブ水域においてクリークが成層化し、塩分差が大きいために底層に懸濁態粒子を貯めやすいという特徴に関係していると考えられる。

TNとTPは、新川川>宮良川>吹通川と順に小さくなり、都市河川である新川川は常に高濃度の栄養塩を流出し、特に生活排水等によるリンの流入が大きかったことが予想される。新川川では降雨後にSSが約80倍、TNは約3倍、TPは約15倍も増加するが、この急激な栄養塩の増加が、新川川沿岸の富栄養化の一因となることが示唆された。一方、マングローブを有する吹通川の栄養塩は常に低濃度であり、降雨による大きな影響は見られなかつ

た。すなわちマングローブ水域には、降雨時の物質流出のタイミングを遅らせ、SSや栄養塩の流出フラックスを平滑化させる機能があることが示唆された。

(2) 異なるマングローブ水域 (吹通川, 宮良川) の比較

河口部にマングローブを有する吹通川と、マングローブに加え上流にダムを持つ宮良川を比較したところ、宮良川でも同様に、降雨から約5時間のタイムラグのあと、塩分は急低下、DOは上昇し、濁度は約10倍もの高濃度となった。宮良川のマングローブ植生面積は約0.15km²と、吹通川(約0.13km²)とほぼ変わらないにも関わらず、降雨の影響が大きく表れていた。このことから、たとえ上述したようなマングローブによる平滑化機能が存在しても、上流に大規模なダムがあることや、直線状の河川形態が及ぼす影響のほうが上回るようになった。

5. 河口での物質輸送量の比較

上記の栄養塩濃度に加え、各河川での流量測定結果から河口部における1日の物質輸送量を算定した。その結果を表-2に示す。ここで流量および栄養塩濃度の時系列データを算出するため、水温、塩分、濁度など計15項目の時系列データ全てと相関をとり、最も相関値(R²値)

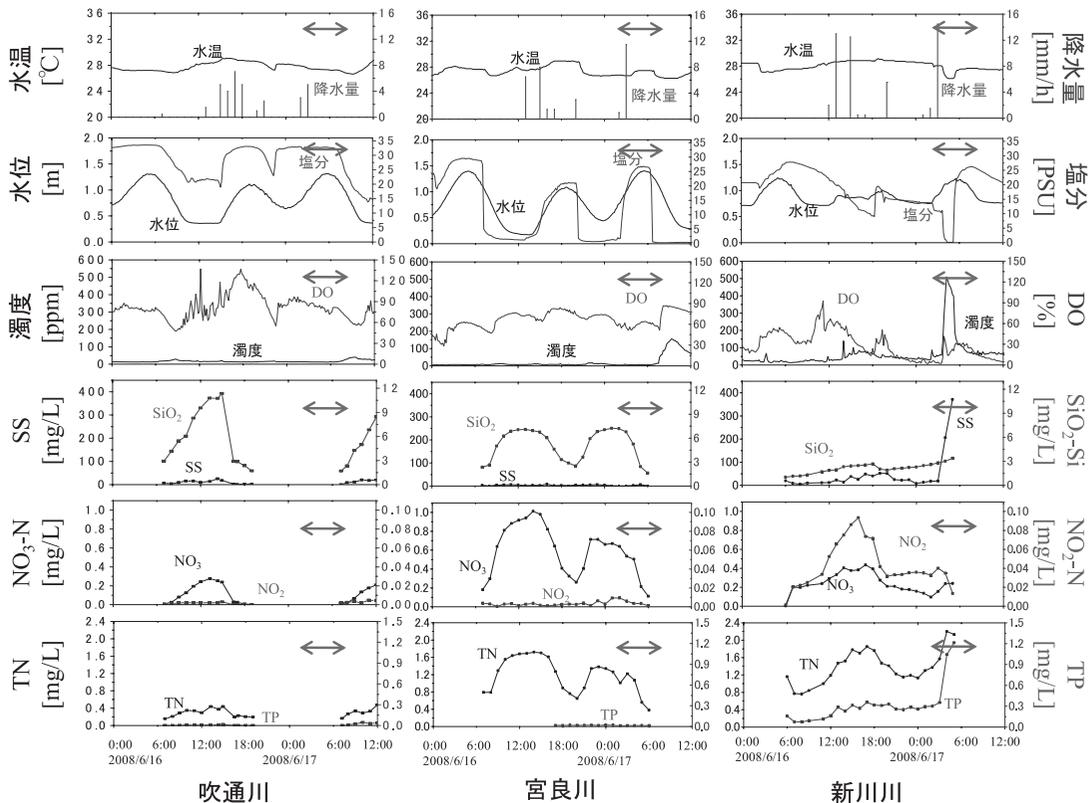


図-5 吹通川・宮良川・新川川河口の水質・栄養塩時系列

表-2 各河川河口での1日あたりの沖合への物質輸送量

	吹通川				宮良川				新川川			
	水 m ³ /day	SS kg/day	TN kg/day	TP kg/day	水 m ³ /day	SS kg/day	TN kg/day	TP kg/day	水 m ³ /day	SS kg/day	TN kg/day	TP kg/day
2008/6/16	1100	150	2.2	0.09	33000	—	41	—	6200	0	6.5	1.0
2008/6/17	1400	320	4.6	0.18	33000	—	41	—	6100	240	6.8	1.8
2008/6/18	3500	200	3.2	0.10	40000	—	47	—	6600	68	5.1	1.3

の高かった相関式を用いた。宮良川のSS, TPを除くすべての項目でR²値が0.71以上であった。

SSの輸送量を比較すると、吹通川が最も多く最大320kg/day沿岸域に流出していた。図-5からSS濃度は新川川で最も高いことがわかるが、新川川では上げ潮時にSSが急増したこと、また吹通川では干潮時にSSが増加する傾向にあったことから、沖合への総輸送量は吹通川が大きくなったと考えられる。吹通川は降雨後のマングロープ林床からの土壌流出、新川川では降雨によって周辺農地から土砂、有機物等が大量に流されてきた影響を反映したと思われる。

TNの輸送量を比較すると、三河川すべてにおいて沿岸域へ流出傾向であり、その量は宮良川>新川川>吹通川の順に小さくなった。SSは吹通川が最も輸送量が大きかったが、TNは吹通川の10倍近く宮良川のほうが大きかった。ここでTNの濃度を三河川で比較すると、宮良川はNO₃-NおよびTNの値が都市河川の新川川とほぼ変わらないほどの高濃度を示しており、これは宮良川河口周辺における農地および牧畜による肥料等の影響が現れていると考えられる。

TPは、両河川とも降雨のあった6月17日に輸送量が最大となり、全体的に新川川の輸送量が吹通川の10倍近く大きくなった。これは図-5で新川川のTPが吹通川よりも高濃度であったことを反映し、都市河川である新川川では沿岸域へのTP流出量が、マングロープ河川である吹通川よりもかなり大きいことが明らかとなった。

6. まとめ

本研究では河口部にマングロープを有する吹通川と、上流にダムを持つ宮良川、都市河川である新川川の三河川を同時に調査し多河川比較を行うことにより、マングロープ河川を持つ機能の抽出に取り組んだ。

その結果、都市河川（新川川）では降雨直後に濁度・栄養塩濃度が急増するのに対し、マングロープ水域（吹通川）では、降雨による影響が数時間遅れ、さらにその増加量が都市河川の約10分の1程度と小さかった。これは、マングロープ水域には降雨時の急激な水質悪化を緩和し、その流出フラックスを小さくするという平滑化機

能があることを示唆する。

また同じマングロープ植生面積を持つダム河川（宮良川）においても、降雨の約数時間後に濁度の上昇が見られたが、その量は平常時の約10倍と都市河川に次いで大きかった。これはマングロープの植生面積がほぼ等しくても、その効果は河川形態や流域面積、土地利用などによって大きく異なることを示唆し、マングロープ河川が持つ物質循環の緩衝・平滑化機能の一端がより明らかになったといえる。

河口での物質輸送量を比較したところ、吹通川マングロープ水域では、SSの輸送量は大きいものの、TNやTPといった栄養塩の流出量が抑えられている可能性が示唆された。特に沖合へのTP輸送量に関しては、マングロープ河川である吹通川に比べ、都市河川の新川川が10倍近く大きかった。これは後背地からの流入量の違いもあるだろうが、吹通川で干潮時に水塊が停滞し、塩分凝集や土砂への吸着が生じやすくなっているという特徴的な環境も影響していると予想される。物質輸送量は、地形や土地利用だけでなく、季節、降水量、大潮・小潮などの違いにも大きく影響を受けると考えられ、今後更なる調査を重ね、より多くのデータの蓄積が必要とされる。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費（課題番号：19206053、研究代表者：鯉淵幸生）により実施した。ここに記して深謝します。

参 考 文 献

- 寺田一美・鯉淵幸生・磯部雅彦（2009）：大潮期におけるマングロープ水域の溶存酸素と栄養塩の時空間変動，水工学論文集，第53巻，pp. 1429-1434
- 比嘉榮三郎・仲宗根一哉・大見謝辰男・満本裕影（2001）：沖縄島の河川河口から海域へのSS及び栄養塩の流出，沖縄県衛生環境研究所報，35，pp. 111-120
- Bowmer, K.H. (1987): Nutrient removal from effluents by an artificial wetland; influence aeration and preferential flow studies using Bromide and dye tracers, Wat. Res., vol.21, pp. 591-599
- Kurosawa, K., Y., Suzuki, Y., Takeda, S., Sugito (2003): A Model of the Cycling and Export of Nitrogen in Fukido Mangrove in Ishigaki Island, Journal of Chemical Engineering of Japan, 36(4), pp. 411-416