

現地観測に基づく潮汐卓越型マングローブ域における物質収支

Material Flux in Mangrove Forest based on the Field Observation

寺田一美¹・鯉渕幸生²・磯部雅彦³

Kazumi TERADA, Yukio KOIBUCHI, Masahiko ISOBE

To quantify material balances in the estuary centered in mangrove forest, field observations in Ishigaki Island were conducted at Fukidou river. As a result, water budget in the river was controlled by tidal exchange at estuary and the input budget from upriver was not dominant for the total budget even if it's rain. From estimation of SS, T-N and T-P budgets, they all were flowed in the river from upriver significantly at rainy day and accumulated in mangrove forest. T-N budget showed different behavior from T-P. In addition, ammonia nitrogen was dissolved from mangrove forest and flowed out to estuary under some conditions.

1. はじめに

マングローブ樹林は熱帯河口域に群落を作り、陸地の保全や水産生物の産卵・保育場として世界の食料資源確保に重要な位置を占めている。しかし近年人間活動の余波を受けマングローブ樹林帯は失われつつあり、世界のマングローブ林の面積は1990年から2000年の10年間で約6%減少した。マングローブは、膝状の根や幹から垂らす支柱根などの特異な形態を持ち、樹木そのものが抵抗として働き河川の流れを変えるため、土砂の堆積量がきわめて大きく、河道内の土砂管理、ならびにサンゴ礁などの沿岸生態系への影響も大きい。

以上のような背景のもと、マングローブ研究は群落構造の調査や (Tomlinson, 1978; 中須賀ら, 1974), 生理機能の評価 (Scholander, 1968) など生態・生理学的な研究から始まり、現在ではその土砂収支 (二瓶, 2006) やエスチュアリー流動に着目した研究 (松田, 2005) などが行われてきた。しかし、マングローブ湿地が沿岸の物質循環に与える影響については十分な知見が得られておらず、その物質収支の研究例 (赤松ら, 2004) はいまだ数少ない。そこで本研究では、マングローブ域における物質収支を特に沿岸生態系にとっての栄養源である窒素・リン収支に焦点を当て、詳細な現地観測により定量化することを目的とした。

2. 観測概要

沖縄県石垣島北西部に位置する吹通川において現地観

測を行った。2006年7月より図-1の河口、上流地点に自記式水位計、塩分計、DO計、濁度計を設置すると同時に、2006年7月、2007年1月と3月におよそ1週間にわたって、上流と河口での流量測定、栄養塩等のフラックス計測を行い、マングローブ域内における底質採取・採水も行った。流量測定はKENEK製の電磁流速計 (VP2000) 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-CTC-W、溶存酸素 (DO) はCOMPACT-DOW、濁度はCOMPACT-CKUをそれぞれ使用した。採取した底質や水サンプルは採取後すぐに冷蔵保存・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ルーベ製のAACS3を用いて定量化した。底質については、ヤナコ分析工業製MT-700を用いてCN含有量を測定し、遠心分離により土壌中の間隙水を、1M-KCl水を用いたハーバー法により土壌に吸着したアンモニア態窒素の抽出を行い定量化した。

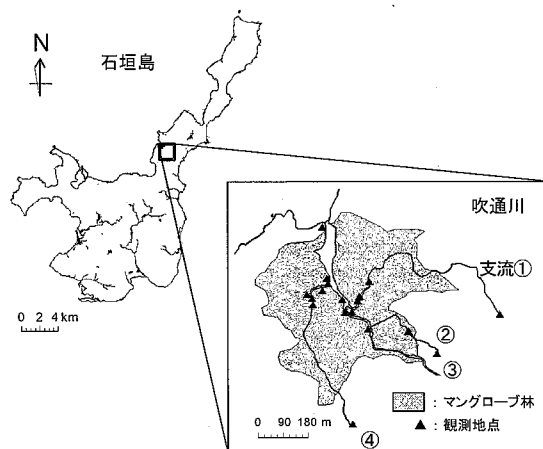


図-1 観測地概要

- | | |
|-------------|--------------------------------|
| 1 学生会員 修(環) | 東京大学大学院 新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻 |
| 2 正会員 博(工) | 東京大学講師 大学院新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻 |
| 3 フェロー 工博 | 東京大学教授 大学院新領域創成科学研究科 社会文化環境学専攻 |

3. 観測結果

(1) 流量（水収支）の時間変動

吹通川は河口から上流に至るまで4つの支流から構成され、中でも最も流量の大きい支流が図-1に示した支流2である。今回は支流1、支流2・3、支流4と3箇所に分かれて観測を行った。図-2に観測期間中に降雨のあった2007年1月18日～22日の降水量、支流2の上流および河口での水位、SSの時系列を示す。上流水位は1日のうち潮位が最も上がるときにのみ、潮汐の影響を受け上昇し降雨時にも増加した。一方、河口水位は雨の影響をほとんど受けず、潮汐が卓越していることがわかる。また、図-3に流量の時系列を示す。その結果、上流から一日あたりに流入してくる水量は、降雨時で約6000[m³/day]であるのに対し、河口での海水交換量は約40000[m³/day]となり、上流水量の約7倍であった。これにより、吹通川での水収支は、河口での潮汐による海水交換が支配的であり、上流からの流入は、たとえ降雨時であっても大きな影響を与えないことがわかった。

(2) 土砂収支

a) SSの時変動

図-2におけるSS時系列は、上流が河口を大きく上回っており、特に降雨時の19日では上流濃度が大幅に高くなっている。これより、上流から雨によって流された土砂のほとんどが、マングローブ域を通る際に沈降し、沿岸へは流出しない傾向が確認された。そこで、SS濃

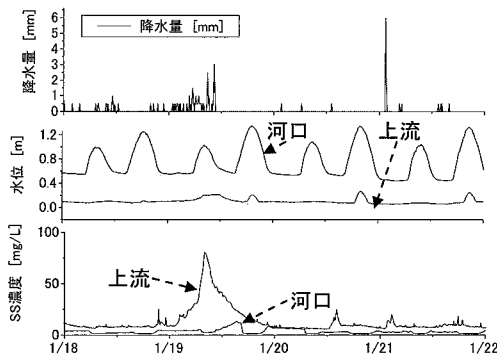


図-2 2007/1/18～2007/1/21の降水量、水位、SS

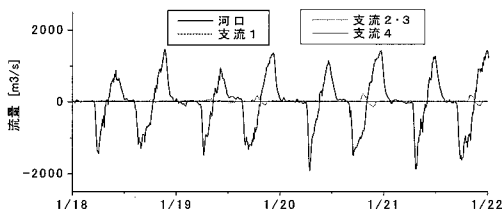


図-3 支流2・3と支流4の上流、河口での流量結果

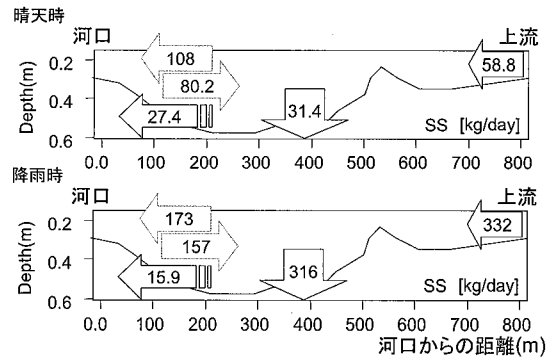


図-4 SSフラックスの結果

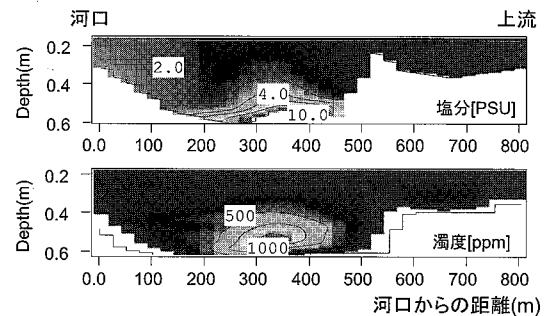


図-5 塩分・濁度の断面分布

度と図-3で示した流量を乗じてフラックスを算定した。その結果を晴天時と降雨時に分けて積算し収支をとったものを図-4に示す。この図から、降雨時には上流から晴天時の約5倍以上もの流入量があること、河口でのSS交換量が降雨時と晴天時とで大きな差がないことから、降雨時に大量のSSがマングローブ域に蓄積することが明らかになった。

b) 塩分・濁度分布

降雨時の一例として2007/1/19に観測した塩分と濁度の断面分布を図-5に示す。この図から、マングローブ域の底層に高塩分水が分布すると同時に、その直上で高濁度となっていることがわかる。これはマングローブ域でSSが沈降するという図-4で得られた結果と一致し、浅海域であるマングローブ域において、底層が高塩分となっているため上流から流入したSSが凝集し、堆積することがわかった。

(3) 窒素・リン収支

吹通川全域で2007/1/17～2007/1/21にかけて得られたT-N、T-Pと、同サンプル中のSS含有量との相関を図-6(a)に、塩分との相関を図-6(b)に示す。

図-6(a)から、T-N、T-PとSSに正の相関があることがわかり、水中の窒素やリンの多くは懸濁態として存在していることが示唆される。また、図-6(b)から、T-N、T-Pどちらも海水によって希釈されるが、特に

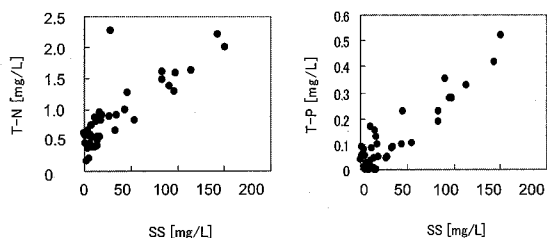


図-6(a) T-N, T-PとSSの相関

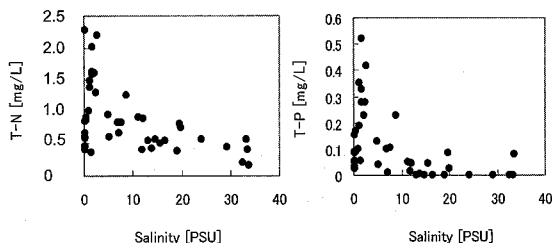


図-6(b) T-N, T-Pと塩分の相関

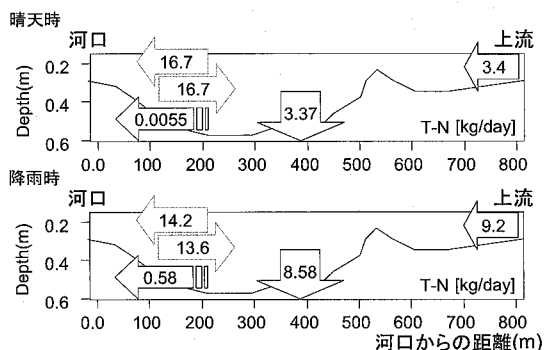


図-7(a) マングロープでのT-N収支

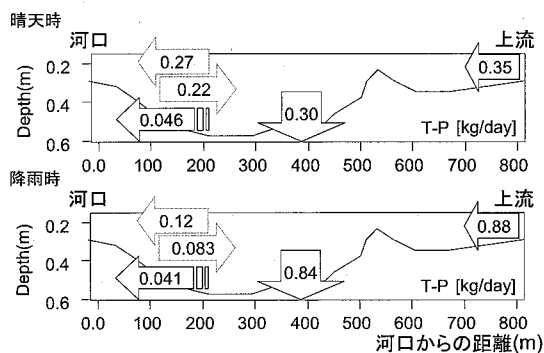


図-7(b) マングロープでのT-P収支

T-Pに関しては塩分10付近で急激に減少しており、図-5で示したように、マングロープ域に海水が流入することによって凝集作用が生じ、SSと共にT-NとT-Pの多くが沈降しているのではないかと考えられた。

そこで、T-NとT-Pのフラックスを計算し、マング

ロープ域を中心とする収支を算出した。その結果をそれぞれ晴天時、降雨時に分けて整理したものを図-7(a)(b)に示す。これらの結果を見ると、図-4でSSがそうであったように、T-NとT-Pどちらも降雨時に晴天時よりも多くの量が上流から流入しており、T-N、T-Pとも晴天時の約3倍となり、堆積量もほぼ同じ倍率で増加している。ところがマングロープ域から沿岸域への流出量は、T-Pが降雨時と晴天時でほとんど差がないのにくらべ、T-Nは降雨時に晴天時の約100倍もの量が流出しており、このような挙動の違いを検討するため、T-N、T-Pそれぞれの構成成分である溶存態栄養塩の挙動について検討した。

(4) 溶存態栄養塩の挙動

a) シリカ

図-8(a)に2007/1/17～2007/1/21に吹通川全域で採取した水サンプル中のシリカと、観測時の塩分との相関を示す。また、図-9には石垣島伊原間での10分あたりの降水量と、前6時間積算降水量を示す。図-8(a)から、シリカには塩分と負の相関がみられ、上流から河口に向かうにつれ希釈されていることが示唆される。さらに、降雨のあった18, 19日に着目すると、平水時に比べ低い濃度を示しており、特に上流付近での19日の濃度は、雨が降らなかった17日に比べその濃度が半分以下になっていることがわかった。そこで上流におけるシリカと6時間積算降水量との相関を図-8(b)に示す。その結果、上流でのシリカは降雨によって大きく希釈されることが明らかになった。よって、吹通川におけるシリカの挙動は、平水時には海水により希釈され、出水時(今回の観

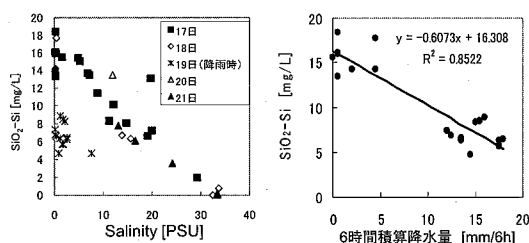
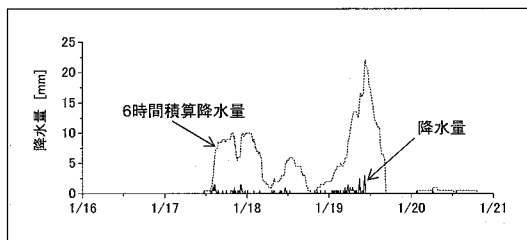
図-8 SiO₂と塩分相関(左図(a)), SiO₂と6時間積算降水量相関(右図(b))

図-9 観測期間中の降水量と6時間積算降水量

測では6時間積算降水量で12～22 mm) には、降雨によって上流濃度がさらに薄められる傾向がみられた。

b) 硝酸態窒素

硝酸態窒素、アンモニア態窒素ならびにリン酸態リンと塩分の関係の採取日ごとに分類したものを図-10の左図に、採取場所ごとに分類したものを図-10の右図に示す。これらを見ると、硝酸態窒素は海水によって希釈される傾向が見られるが、シリカのように降雨による違いは明確でなく、むしろ採取した場所によって濃度が大きく異なった。図-10左上図の上流付近での挙動に着目すると、降雨のあった19日(図中*)の濃度が大きくば

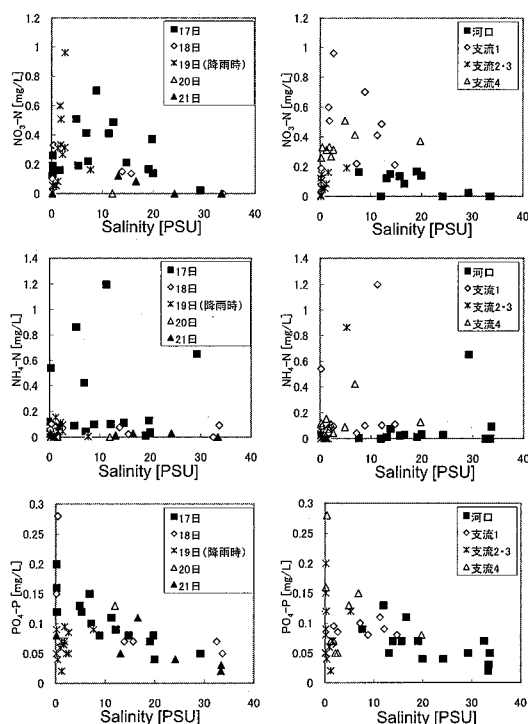


図-10 無機態栄養塩の塩分相関(採取日(左), 場所(右))

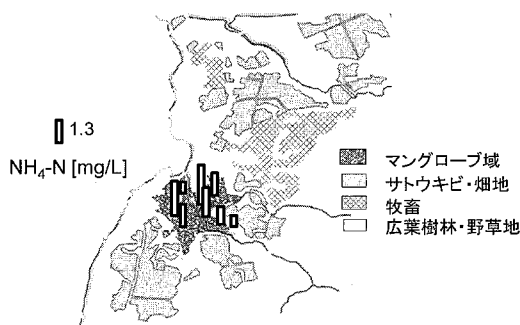


図-11 吹通川集水域における土地利用土壌アンモニア態窒素量

表-1 吹通川各支流の集水域における土地利用内訳

	支流 1[%]	支流 2, 3[%]	支流 4[%]
サトウキビ畑	7	4	14
牧畜	6	0	0
広葉樹林・野草地	80	90	78
その他	7	6	8

らついているのがわかる。同じ点を図-10 右図で確認してみると、濃度が高い順に、支流 1、支流 4、支流 2・3 と段階的に分かれており、上流からの流入濃度が場所によって異なることがわかった。そこで吹通川周辺の土地利用を調べ、その結果を図示したものを図-11 に、各支流の集水域における土地利用の内訳を表-1 に示す。この表から支流 1 の集水域では牧畜が多く、支流 4 ではサトウキビ畑や果樹園がマングロープ林に多く隣接しており、このような後背地利用の違いが各支流上流における濃度の差異を生じさせていると考えた。

c) アンモニア態窒素

同様に、アンモニア態窒素の塩分相関を図-10 で見ると、アンモニア態窒素は、0.4 mg/L を超えている5点を除いた全ての点が0.2 mg/L を下回っており、海水により希釈された上述の項目とは異なる変動傾向がみられた。

そこで突出した5点に着目したところ、すべて晴天時(17日)に採取したものであることがわかった(図-10)。石垣島伊原間では2007/1/5～2007/1/16まで全く降雨がなかったため(図-9)、河川中流から上流にかけて海水の交換が滞り、その結果マングロープが最も生育している河川中流域や上流域で局所的に嫌気状態が続き、アンモニア態窒素の溶出が促進されたのではないかと考えた。

図-11 に、土壌に含まれる全アンモニア態窒素量を示す。これは1M-KClを用いたハーバー法で土壌に吸着したアンモニア態窒素を抽出したものと、間隙水中に含まれるアンモニア態窒素とを合わせた結果である。土壌中のアンモニア態窒素は支流 1、2・3、4の中央付近、つまりマングロープ域中央で高くなっていることがわかる。さらに、図-10でアンモニア態窒素の濃度が突出していた5点の採取地点に着目したところ、5点中4点がマングロープ域中央の支流において採取したものであることがわかった。これらは土壌中にたまったアンモニア態窒素が、降雨が少ないときに溶出し、その結果水中のアンモニア態窒素が増加したのではないかと考えられた。また残り1点は河口において潮位がちょうど下げはじめた瞬間に採取したものであり、マングロープ域から溶出してきたアンモニア態窒素が河口に流出してきたところを捉えたと思われた。

d) リン酸態リン

図-10にてリン酸態リンの変動をみると、シリカと同様に、海水により希釈され、降雨時には上流の濃度が下がることがわかる。また、上流の濃度は各支流で晴天時と降雨時で異なる挙動を示すものの、そのほとんどが降雨によって希釈される傾向を持ち、窒素に比べて溶出などの寄与が小さいことが示唆された。

(5) マングローブ帯における窒素・リン収支の違い

以上の溶存態栄養塩の考察から、T-Pは懸濁態中に含まれるものやリン酸態リンのどちらもが、海水や降雨によって希釈されることがわかった。さらに図-6(b)に示すように、T-PはT-Nに比べ凝集しやすく、たとえ雨が降っても河口流量への影響は少なかったため、塩分濃度上昇に伴う凝集、沈降の影響が勝り、その結果、降雨時と晴天時とで沿岸域への流出量に大きな違いがなかったものと考えられる。一方T-Nは、マングローブ土壤中にたまった $\text{NH}_4\text{-N}$ が長らく雨が降らなかった時期に水中に溶出し、降雨時に流出するため、降雨時にマングローブ域から流出するT-N量が晴天時に比べ大きくなったとみられる。

4. ま と め

本研究では沖縄県石垣島吹通川マングローブ域で詳細な現地観測および水質、底質の分析を行うことにより、マングローブ域を中心とする沿岸域での物質収支を検討した結果、下記の内容が明らかになった。

- ・吹通川での水収支は河口域での潮汐による海水交換が支配的であり、たとえ降雨時に上流流量が増えた場合も全収支への影響が小さい。ただし台風などのイベント時には大きく異なる挙動を示すと考えられ、今後より詳細な調査が必要である。
- ・SSはT-N、T-Pとともに降雨時に上流から大量に流入し、マングローブ域に堆積するが、T-NとT-Pではその収支の挙動が異なる。T-Nは晴天時が続いた直後の降雨時に、晴天時に溶出した $\text{NH}_4\text{-N}$ が流出することにより、沿岸域への流出が大きくなる。一方T-Pは降雨に伴い流入量が増えるものの、降雨時にもマングローブ域に沈降しやすい。

本研究により、マングローブを持つ自然河川では、上

流からの土砂を貯め込み、降雨時の過剰な物質流出を緩和し、晴天時には栄養塩を溶出し、沿岸に流出させるなどが判明した。すなわち、マングローブによって沿岸生態系における物質循環が平滑化されている可能性が示唆された。

マングローブ域の沖には、アマモやサンゴ礁をはじめとした豊かな沿岸生態系が創られていることが多いが、近年石垣島のサンゴ礁では、農地からの赤土流出によって、その表面が覆われ死滅する問題が多発している。本研究で調査を行った吹通川沿岸には、豊かなサンゴ礁が形成されており、これは河口に土砂を沈降させ、沿岸へ過剰に流出させないという、本研究で明らかになったマングローブの機能が影響を与えていると考えられる。また土砂だけでなく、栄養塩の溶出も沿岸生態系の生育にも効果があると予想されるが、河川からの寄与が沿岸生態系に与える効果は十分に解明されておらず、今後更なる研究が望まれる。

謝辞：本研究では多点で水位観測を行うに際し、東京理科大学の二瓶研究室から自記式水位計をお貸し頂いた。また、吹通川の現地観測において、シーカヤックツーリング&ネイチャーウォッチングめがろば代表の兼村憲次氏に大変お世話になった。ここに記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 赤松良介・池田駿介(2004)：マングローブ水域における物質循環，土木学会論文集，768/2-68，pp. 193-208
- 中須賀常雄・大山保表・春木雅寛(1974)：マングローブに関する研究。日本におけるマングローブの分布，*Japanese Journal of Ecology*, Vol. 24, No. 4, pp. 237-246
- 二瓶泰雄(2006)：宮良川マングローブ水域における土砂輸送特性に関する長期連続モニタリング，*海岸工学論文集*，53，pp. 1086-1090
- 松田義弘(2005)：マングローブ干潟の流体力学，*月刊海洋* / 号外，40，pp. 94-99
- Tomlinson, P. B. (1978) : Rhizophora in Australia-some clarification of taxonomy and distribution, *Journal of the Arnold Arboretum*, 59, pp. 156-169
- Scholander, P. F. (1968) : How Mangroves Desalinate Seawater., *Physiologia plantarum*, 21, pp. 251-261