

マングローブ河川における河川水および地下水質潮汐変動

佐藤 秀哉^{*1}・角田 圭^{*1}・寺田 一美^{*2}

Tidal Change of Water Qualities in a Mangrove River and the Underground Water

by

Hideya SATO^{*1}, Kei TSUNODA^{*1} and Kazumi TERADA^{*2}

(Received on Oct. 02, 2018 and accepted on Nov. 08, 2018)

Abstract

A field observation was conducted to understand the tidal changes of river and groundwater quality in the Fukido mangrove swamp in Ishigaki island. To understand the difference between the river water and groundwater qualities, the groundwater and river water samples were taken for 11 continuous hours. Water temperature, salinity, DO and turbidity were measured using a multi-parameter water meter at the same time. The groundwater sampling was performed at four stations at the mouth of the mangrove river. $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, TN and TP were analyzed using an absorption spectrophotometer. The concentrations of $\text{PO}_4\text{-P}$ and TP in the groundwater changed with the tide similarly to the river water. The concentrations of $\text{PO}_4\text{-P}$ and TP in the groundwater were significantly high in the Station 4. It showed that even though the distance of sampling locations is short (less than 10m in this case), the concentrations of $\text{PO}_4\text{-P}$ and TP were totally different between sampling locations. The concentrations of $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, TN and TP of the groundwater were higher than of the river water, however the concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$ were lower than of the river water.

Keywords: Mangrove, Underground water, Tidal change, Nutrients, water quality

1. 研究背景と目的

マングローブは熱帯・亜熱帯沿岸域に群落を作り、呼吸根や支柱根などの特殊な形態により豊富な有機物を保持している。近年では陸域・海域における開発行為などにより、マングローブ林が減少・消滅しつつあり¹⁾、マングローブ林の保全・再生の試みが世界各地で行われている。またマングローブ河川はその形態により流動に対する物理抵抗としても働き、上流からの土砂流出の緩和、SS・炭素等の物質フラックスを抑え、隣接するサンゴ礁や海草の負荷低減に多大な影響を与えていると考えられる²⁾。たとえば都市河川とマングローブ河川での降雨後の水質挙動の違いを調べた調査報告³⁾によると、都市河川河口では降雨時に濁度が急上昇する一方、マングローブ水域では流出タイミングが遅れ、そのピーク値も小さく、SS流出を緩和することが示唆されている。

また、陸域から河川への物質流出過程の1つである地下水輸送は、平水時を含めて常に生じている可能性があるため、物質循環把握において大変重要である。しかし、

地下水による物質輸送は、地下水の流れの計測が困難であることから、出水時の表面流による輸送⁴⁾など他の輸送過程に比べて研究事例が少ない。そこで本研究ではマングローブ河口水質の潮汐変動ならびに地下水における栄養塩含有量、河川水との比較を目的に現地調査を行った。

2. 研究方法

現地調査は2017年9月6～10日の大潮期時に、Fig. 1に示す吹通橋河口流心にて1時間ごと計11時間連続で、多成分水質計(AAQ125, JFE Advantech)を用いた水温、塩分、DO、濁度等の測定および表層と底層の採水を行い、河川水質の潮汐変動を調査した。底層の採水は安藤式同時多筒採水器(髙離合社)を用いて行った。干潮時(F6～F9)は水深が浅く表層のみの採水となった。

地下水質の潮汐変動を把握するため、多孔質の先端部を有する導水管(DIK-8393 ミズツール, 大起理化学工業株式会社)をFig. 1に示す河口断面付近4地点(Station 1 約60cm深, Station 2 約36cm深, Station 3 約33cm深, Station 4 約40cm深)に挿入し、減圧吸引することにより採水を行った⁵⁾。地下水採取断面をFig.3に示す。採

*1 工学研究科建築土木工学専攻修士課程

*2 工学部土木工学科准教授

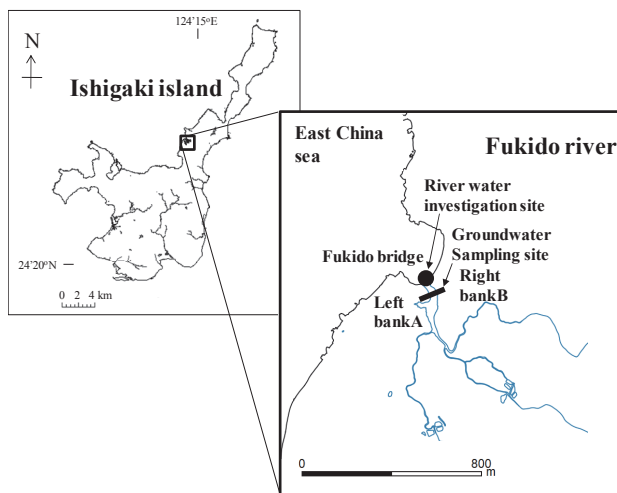


Fig. 1 Investigation sites in Ishigaki island.

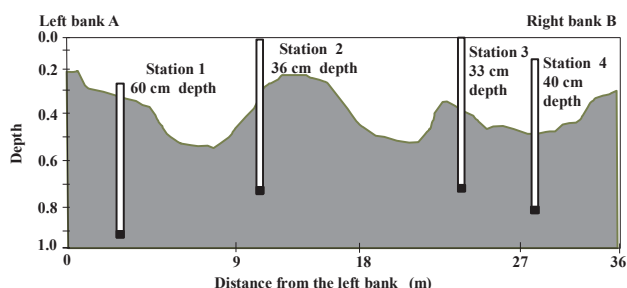


Fig. 2 Depth of sampling stations of groundwater.

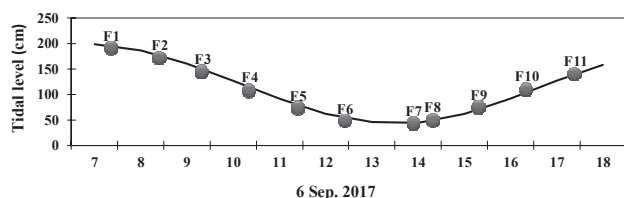


Fig. 3 Tidal level and sampling time on September 6, 2017.

水は河川水と同時に1時間に1回11時間連続で行った。また、設置断面面積を算出するため超音波流速計 (Sontek River Surveyor M9, Xylem Japan 社製) を用いて河口断面の流速・地形測定 (Fig. 2) を行った。

河川水、地下水共に、採取した水サンプルは 0.45 μm 径の PTFE フィルター (ミリポア, JHWPO 4700) を用いて即時に濾過し、東海大学湘南校舎実験室に冷凍空輸した。

3. 研究結果と考察

3.1 河川水の水温・塩分・DO・濁度

Fig. 4 に吹通川河口にて多項目成分水質計を用いて測定した水温、塩分、DO、濁度の鉛直時空間分布を示す。図中の F1~F11 は、調査タイミング (Fig. 3) を意味する。水深は早朝 8 時 (F1) で 1.2 m、干潮時の 12 時 (F5) で 0.12 m と潮汐に伴い変動し、その差は約 1.0 m であった。水温は上げ潮時の 17 時頃 (F10) に水深 0.52 m で最大値

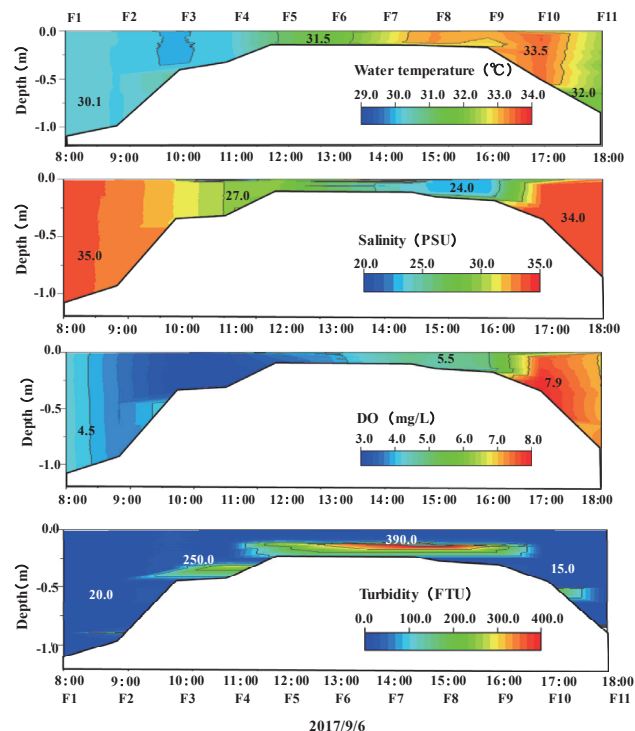


Fig. 4 Temporal and vertical distributions of temperature, salinity, DO and turbidity.

33.5°C を示し、日中浅海域で温められた海水の遡上に伴い水温が上昇したと思われる。

塩分は F8 で最小 24PSU を示し、大潮期の干潮時にも関わらず塩分が下がり切れず海水の影響が強かった。DO は調査開始 8 時 (F1) から 13 時 (F6) まで値が 4 mg/L 以下の貧酸素状態であったことが判明した。F5 表層にて 4.7 mg/L、底層は 3.3 mg/L とやや成層を示した。16 時 (F9) 以降 F10, 11 の上げ潮時では表層底層共に DO が上昇し、17 時の F10 で 8 mg/L (水深 0.52 m) と最高値を示した。これらの結果より、マングローブ帯から流出する水塊は貧酸素状態にあり、日中、浅海域で光合成や攪拌等により高濃度の酸素を含んだ水塊が夕方の上げ潮により遡上し、河川水中の DO が上昇回復したものだと思われる。濁度は干潮時である F6 上昇し、390FTU と最高値を示した。

3.2 河川水中の栄養塩潮汐変動

Fig.5 に河口河川水の栄養塩 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、TN、TP の分析結果を示す。F6~F9 は干潮時で水深が 15 cm 以下と浅かったため、表層のみのデータとなっている。 $\text{NH}_4\text{-N}$ の結果を見ると、底層よりも表層での濃度が高く、満潮時の F1 にて 0.62 mg/L と最高値を示した。また上げ潮時 (F10, F11) では表層は 0 となり、底層のみが検出された。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は満潮から干潮にかけて徐々に上昇傾向にあり、干潮から 2 時間後の F9 において、最大値 1.42 mg/L を示した。 $\text{PO}_4\text{-P}$ は干潮時の表層 (F7~F9)、上げ潮時の底層 (F10) で検出された。TN も $\text{NO}_3\text{-N}$ と同じく干潮にかけて上昇し、海水希釈されたものと思われる。TP は F3 の表層で 0.057 mg/L、底層で 0.108 mg/L と層間

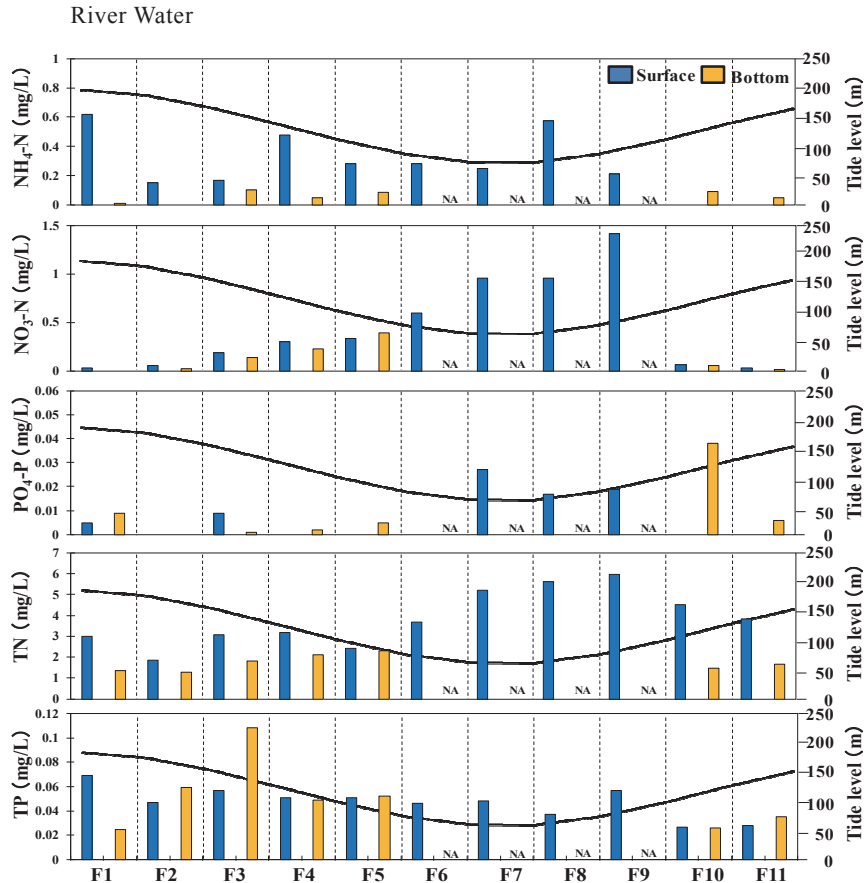


Fig. 5 Temporal changes of nutrients in river water.

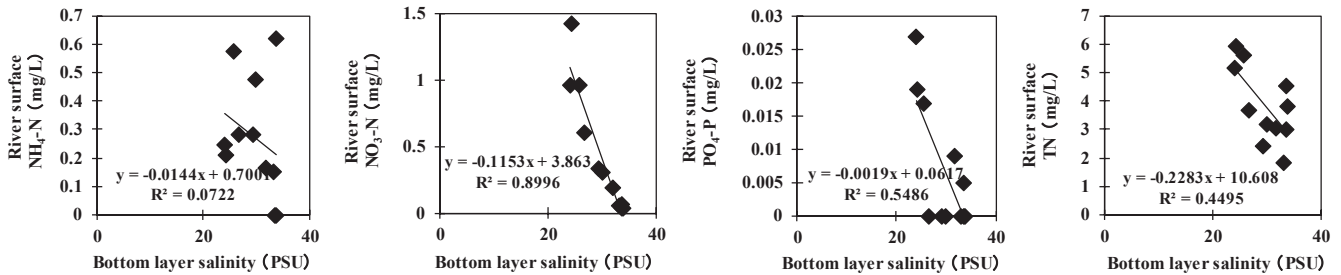


Fig. 6 Correlation between bottom layer salinity and nutrients of river surface water.

の違いが出たものの、他の時間帯では表層・底層間で大きな違いはなく、ほぼ 0.04 mg/L 前後を示した。

多成分水質計で計測した河川底層塩分と河川水、地下水の栄養塩相関を検証したところ (Fig.6), 河川表層水では $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$, TN に負の相関が見られ、海水希釈の傾向が見て取れた。すなわちこれら三成分はマングローブ河川起源と推測され、特に $\text{NO}_3\text{-N}$ と TN は河川表層域での流出が示唆された。一方、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は明確な塩分との連動は見られなかった。

3.3 地下水の栄養塩潮汐変動と地点間差

Fig. 7 に地下水の栄養塩分析結果を採取地点ごとに示す。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は満潮時の F1, Station 2 で最も高濃度を示し

(9.05 mg/L), 下げ潮とともに徐々に減少していった。また地点間差も現れており、Station 2 および Station 4 で高くなる傾向が見られた。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は満潮時の F1 で高濃度を示し、0.09 mg/L を示したものの (Station 2), そのほかの時間帯はほぼ 0.02 mg/L であった。これは地下水 $\text{NH}_4\text{-N}$ や $\text{PO}_4\text{-P}$ に比べ 1~2 桁低い濃度であり、地下水が嫌気下にあることが関連していると考えられた。

$\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度は 4 地点中で Station 4 が常に高い値を示し、最も低濃度を示した Station 3 に比べ約 13 倍もの高濃度を示した (F6 時における比較)。

TN は F1 時に、Station 2 で最大値 11.01 mg/L を示したものの、干潮から上げ潮にかけては Station 4 が高くなる傾向がみられた (平均 9.7 mg/L)。

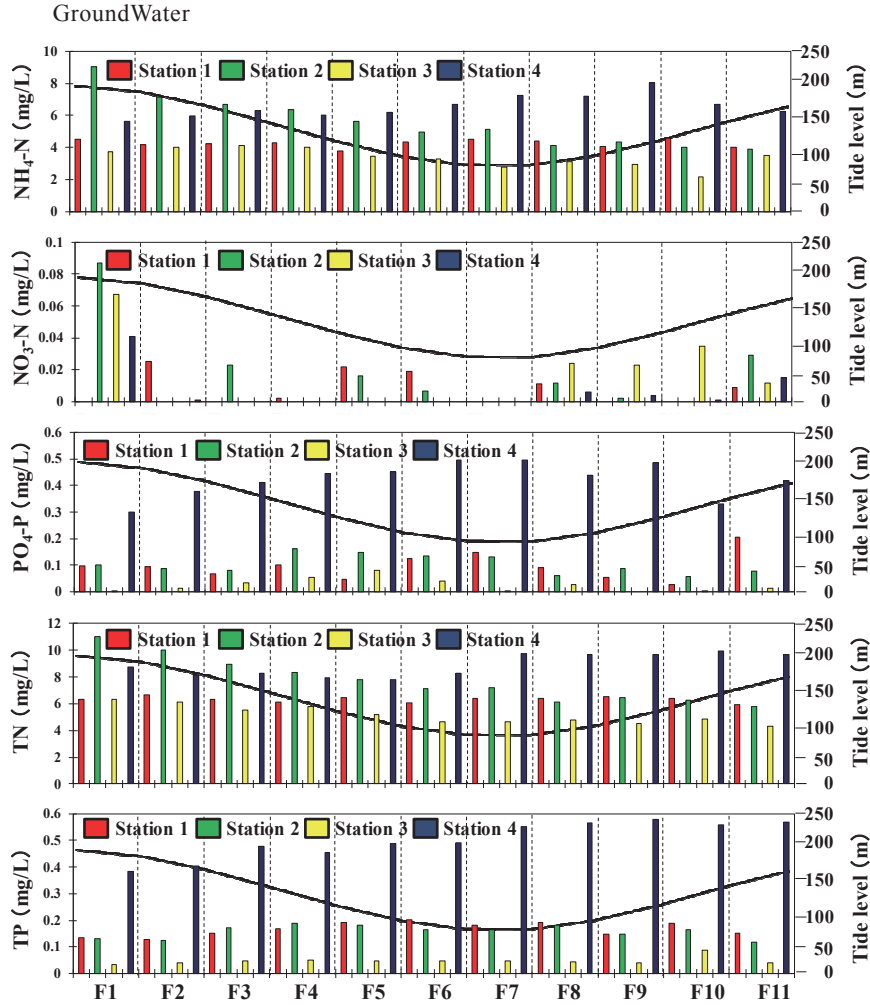


Fig. 7 Temporal changes of nutrients in groundwater.

TP も同様に Station 4 が最も高く、Station 3 の約 10 倍もの高濃度を示し (F6 時における比較)、干潮時に増大する傾向が見られた。Station 1~3 においては、潮汐変化も大きくは見られず、約 0.12 mg/L の一定値を示した。

地下水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、TN、TP は Station 4 が高くなる傾向があり、地点間差が明らかとなった。Station 4 は最も右岸側であり、マングローブ底泥が表土に蓄積しており、その影響が出たものと思われる。

3.4 河川水と地下水の比較

河川水と地下水の水質を比較すると、地下水の $\text{PO}_4\text{-P}$ は河川水 $\text{PO}_4\text{-P}$ よりも 1 桁高濃度を示し、その差は全観測期間、調査地点での比較で約 21 倍であった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ も同様に地下水の方が高く、平均値で河川水の約 26 倍の高濃度であった。TN も地下水の方が高濃度にある傾向があったが、その差は 6 倍と比較的小さかった。TP も同じく地下水が全調査期間において河川水よりも高濃度であり、その差は最大で 13 倍であった。一方 $\text{NO}_3\text{-N}$ は河川水の値が地下水よりも約 40 倍高かった (F10)。

4. まとめ

本研究では、沖縄県石垣島吹通川マングローブ水域において、河川水および地下水の潮汐変動把握、両者の水質濃度の差異を検証するため現地調査を行った。その結果、地下水中の栄養塩濃度 ($\text{PO}_4\text{-P}$ 、TP) も河川水と同様に潮汐に伴い変動がみられること、数十メートルの地点差であってもその栄養塩濃度に最大 13 倍もの差があることが判明した。 ($\text{PO}_4\text{-P}$ 、F6 における Station 3 および 4 の差)。

以上の結果から沿岸生態系において物質循環を正確に把握するためには、地下水からの寄与を考慮する必要がある、さらには当調査地のような小型 (マングローブ面積 0.12km²) のマングローブ感潮域では、地下水の採取位置また潮汐に伴う変動を考慮する必要があることが示唆された。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 25820229 (代表：寺田一美) の助成を受けて実施した。また栄養塩分析は東京理科大

学二瓶研究室の機材を拝借し行った．ここに深謝する．

参考文献

- 1) 二瓶康雄・灘岡和夫・青木康哲・若木研水・矢井秀明・大見謝辰男・古川恵太・佐藤恵太：マングローブ水域における流動・熱・水質環境特性に関する現地観測 海岸工学論文集，Vol.48，pp.1211-1215（2001）．
- 2) 寺田一美・鯉渕幸生・磯部雅彦：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 海岸工学論文集，Vol.54，pp.1056-1060（2007）．
- 3) 寺田一美・鯉渕幸生・磯部雅彦：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 土木学会論文集 B2（海岸工学）Vol. B2-65，No.1，pp.411-416（2009）．
- 4) 神田太郎・赤松良久・池田駿介・赤堀良介：地下水によって輸送される陸域由来栄養塩が河川水質に及ぼす影響に関する研究 水工学論文集，Vol.54，pp.1219-1224（2010）．
- 5) 赤松良久・池田駿介・中嶋洋平・戸田祐嗣：マングローブ林内の土壌・水質特性に関する現地観測 水工学論文集，Vol.46（2002）．