

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14729

研究課題名(和文)砂河川砂州の伏流水流動による窒素動態の現象把握と水質形成機構の解明

研究課題名(英文) Mechanism of nutrient dynamics and water quality formation driven by subsurface water flow of sand bar in sandy river

研究代表者

尾花 まき子(OBANA, Makiko)

名古屋大学・工学研究科・講師

研究者番号：10447831

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、河道内地形の大半を占有する砂州での窒素循環を対象を絞り、砂州の伏流水を通じた窒素動態の現象解明と、水理モデルと連結させた窒素動態(脱窒)のモデル化を行う。研究は、洪水に着目した砂州挙動、砂州内土壌環境と伏流水流れ・水質の通年モニタリング、および景観が異なる場での伏流水流れの特性変化に伴う水質変化をみる水理実験と室内培養実験により窒素動態の変化の特徴を把握、抽出、砂州内流れの変化に応じた窒素挙動を記述可能なモデル開発、に分割して実施した結果、洪水後の水際植生域で脱窒能が高くなることが分かったほか、完成した砂州の伏流水窒素動態モデルを用いて3河川の脱窒能の比較検討も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、今まで個別事象として捉えられてきた表流水流れ・土砂輸送と伏流水流動、および砂州内窒素循環過程の統合的な取り扱いが可能となり、砂州の伏流水を通じた窒素循環過程の代表プロセスである脱窒についての基礎的な現象が明らかとなったことに大きな意義がある。その現象の把握とモデリングにより植生種や比高などが考慮された場所に応じた砂州の栄養状態が把握されることは、河道の植生成長や生物生息場などの知見に、学術的基礎を提供するものとして位置づけられるほか、洪水時の流れ・土砂輸送と関連づけられていることから、河川がインパクトを受けた際の窒素動態の予測の議論に繋がるものでもある。

研究成果の概要(英文)：The conservation and adjustment of sandbar landscape is pointed out as the goal of river environmental management. This study is focused on the denitrification of sand bar driven by subsurface water flow in aim to the quantification of water purification function in a river. This research is consisted of 3 parts as 1) monitoring of subsurface water flow and water quality in sandbars, 2) mechanism analysis of nutrient dynamic based on water flume experiment, and 3) development of nutrient dynamics model. In the result, the new method for quantify the denitrification potential based on the field observation result which include morphological and hydronic parameters was proposed. An empirical formula which quantifies the potential according to landscape elements in sand bar was created by using the field data. Furthermore, it has become possible to compare the denitrification potential of each river by using our new method.

研究分野：水工水理学

キーワード：砂州 伏流水 窒素動態 脱窒能 河道植生域

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

河道内砂州は、我が国の河川の代表的景観であると同時に、適正な河川砂州環境管理に向けてはその生態的機能を定量的に示すことが喫緊の課題となっている。河川水は砂州伏流水との水交換があり、砂州は河川水の栄養塩である窒素成分の変換の場となっているとともに、砂州を伏流する過程での水質浄化が期待され、その総量が少なくとも河川表流水や一次水域(わんど、たまり)の水質形成に大きく影響し、多様な生物生息保持へ貢献している。しかしながら、砂州内の伏流水流れに応じた窒素動態については未だ不明なことが多く、その水・物質循環機能の基礎的な現象の把握や量的評価の早期解明が望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、河道内砂州での窒素循環を対象を絞り、砂州の伏流水を通じた窒素動態の現象解明と、水理モデルと連結させた窒素動態(脱窒)のモデル化を行う。特に、河川に特徴的な攪乱と景観構成(砂州の裸地域、植生域)が、砂州内の窒素動態に与える影響特性について適切に記述することが目的である。

3. 研究の方法

本研究では、平水時の砂州内縦断方向へ伏流水流動が卓越する現象を対象を絞り、現地で簡便に計測可能な地形や水質調査結果を用いることによって、砂州が有する最大脱窒能を定量化する手法を提案する。その過程で、脱窒に影響を与える因子の相関性も明らかにする。また、その手法を、砂河川の交互砂州が形成されている区間をもつ三河川(庄内川、木津川、矢作川)の砂州に適用し、各々の脱窒能力の比較も行った。

4. 研究成果

(1) 現地観測

現地観測は、中部地方の一級河川庄内川の16.8km地点左岸砂州にて実施した。その地点の平均河床勾配は1/1500程度、低水路幅は約130mであり、対象砂州の縦断距離は約500mである。砂州上流側を対象にA~Fまでの5側線を設け、伏流水観測井を18箇所設置し、砂州の裸地域と植生域という異なる景観要素での伏流水の動態観測と水質観測を行った。まず砂州の物理基盤特性としての粒径は、 D_{60} 粒径は0.5~7.0mmに分布しており、裸地域の粒径は植生域の14倍程度となった。次に、各景観要素において期間中に計測された伏流水質と表流水の水質平均値を示す。脱窒作用は、特にDO、DOC、pH、ORP、水温という項目に至適性がある¹⁾と同時に、これらは植物の有無、粒度分布など場の条件にも影響される²⁾ため、本研究ではこれら5項目を脱窒に影響を与える因子(以下、影響因子)として抽出した。DO、ORPについては表流水質と比較して、いずれも表流水より低くなっていることから伏流水はより嫌気的で還元的な環境下にあることが考えられる。また、砂州水際の植生部にてDO、ORP、pHとも最も低くなった。裸地や植生域という景観においての違いは顕著には見られなかったが、植生域はいずれも裸地域よりDOが低く、特にORPは水際植生域で顕著に低くなった。水温とpHについては、いずれも水温22-30℃程度、pH6-8という範囲に収まっており、これらの範囲は脱窒が起こる必要条件³⁾とされているため、河川伏流水ではそれを満たしていると考えられる。

(2) 伏流水流動による窒素動態解析

伏流水が各景観を通過することによる窒素の濃度変化においては、移流による濃度変化と微生物活動によるその場での反応が支配的であるため、移流項 $[U(dC/dx)]$ と反応項(この場合脱窒による反応)が定常状態で釣り合うと仮定すると、移流分散方程式は次のように書き換えられる。

$$U(dC/dx) = -kC \quad (1)$$

ここで、 U :伏流水流速(m/s)、 C :硝酸態窒素濃度(mg/l)であり、右辺の k を本研究での「最大脱窒能」と定義する。ここでの最大脱窒能とは、砂州の裸地域や植生域などの土壌環境条件が異なる場を伏流水が流動する過程で受ける影響により各地点の脱窒能は異なるが、対象とする砂州が持ち得る最大の脱窒能を表し、次のようにも書ける。

$$k_{DN} = k_{max} \cdot A(DO) \cdot B(DOC) \cdot C(ORP) \cdot \dots \quad (2)$$

ここで、 k_{DN} :各地点の脱窒能(/s)、 k_{max} :最大脱窒能(/s)、 $A-C$:各因子の影響関数($0 < A, B, C < 1$)。影響関数は各水質の値による影響をなくすため最大値1になるよう定式化される。図1に、伏流水流動による窒素濃度変化の捉え方を示す。 $C_1 \sim C_4$ が伏流水採水地点であり、景観(裸地域や植生域)の始点と終点にそれぞれセットした。本研究では、窒素循環過程の脱窒を考えているため、

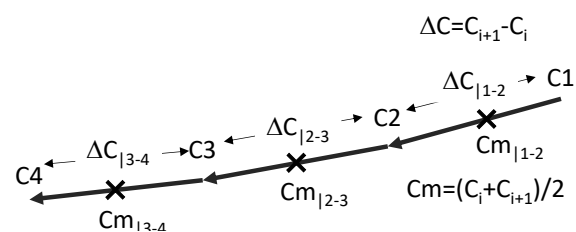


図1 伏流水流動による窒素濃度変化の捉え方

溶存窒素三態の中でも硝酸態窒素の濃度変化を対象を絞って議論を進める。伏流水が各景観を流下する過程での濃度変化を ΔC 、平均濃度を C_m として表す。

(3) 最大脱窒能の定量化

最大脱窒能 k は、その場の土壌環境条件に応じて変化することから、その変化は直接的に硝酸態窒素変化量にも影響を与える。本研究では、脱窒能の反応係数として、DO と DOC に対象を絞り、DO は反応係数 α 、DOC は反応係数 β としてそれぞれ規格化した。次に、規格化した 2 種類の反応係数の脱窒への影響度を前章の水質調査値の結果を用いて調べたところ、式 (3) に示すような最大脱窒能に関する実験式が得られた。

$$k = k_{max} \cdot \alpha \cdot \beta \quad (3)$$

本研究の論点である最大脱窒能 k_{max} については、実験値を用いた検討から $k_{max} = 3.0 \times 10^{-7}$ を得た。次に、作成した実験式 (3) により推定される脱窒能 (k) と実測値を用いて得られる (k_{obs}) との比較を行い、その妥当性を検証した結果を図-6 に示す。この横方向へのばらつきは、ここでは取り上げていない環境要因に依存するものであり、特に脱窒の担い手となる微生物数やその餌資源としての有機物量がはたす役割や今回は一定としたその他の水質項目 (水温, ORP, pH) の影響を今後モデルの中に入れる工夫が必要である。

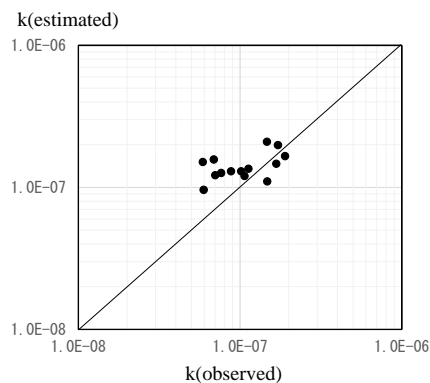


図 2 実験式により算出した脱窒能の検証

(4) 最大脱窒能の多河川砂州との比較

ここで提案された最大脱窒能の定量化手法を、本研究で検討した庄内川砂州と同様の砂河川交互砂州形成区間に位置し、著者らの従来からの研究フィールドでデータも蓄積されている淀川水系木津川砂州と矢作川砂州に適用して、最大脱窒能の比較を行った。各砂州での全観測点のうち、伏流水流線に沿って硝酸態窒素が減少している区間サンプルを抽出したところ、木津川砂州では 9 点、矢作川砂州では 7 点あった。その情報を用いて、それぞれ伏流水流動特性、各地点間における硝酸態窒素の濃度変化 ΔC 、平均濃度 C_m 、移流による硝酸態窒素濃度変化 $R (= \Delta C / (L/v))$ および観測値により算出した脱窒能 $k_{obs} (= R / C_m)$ を求めた (表 1 参照) うえで、3 河川における最大脱窒能を算定した結果を、表 2 に示す。最大脱窒能は、庄内川 > 木津川 > 矢作川の順に大きいことが見てとれる。庄内川が大きい最大脱窒能を有する要因としては、各砂州の最大比高を見ても分かるように、最も水位変動を受けやすい点にある。水田や干潟の脱窒報告によると、一定割合での水位変動は脱窒活性を促す可能性が指摘されている¹⁾⁻³⁾。また、河川砂州において洪水により運搬される有機物は脱窒の担い手となる微生物の餌資源となり結果的に微生物活性を高め、それが間接的に脱窒作用の誘起に影響していると考えられる。一方で、木津川砂州は脱窒作用にとって至適性があるとされる嫌気的な土壌環境を作る植生域が砂州の 7 割を占めているにも関わらず庄内川を下回った。これは、植生域の約 8 割が平均年最大流量の洪水でしか冠水しないほど比高の高い砂州となっており、水平方向の伏流水流動という視点で見ると、場の変動が年間を通してほぼなく、微生物活性の停滞が一因となっていると推察されるが、脱窒能と環境条件の応答については更なる詳細な検討が必要である。

表 1 各河川砂州の硝酸態窒素濃度変化と脱窒能の平均値

| | C_m (mg/l) | ΔC (mg/l) | R (s) | k_{obs} (/s) |
|-----|-----------------|----------------------|---------|----------------|
| 庄内川 | 1.15 | 1.46 | 9.7E-08 | 8.9E-08 |
| 矢作川 | 0.27 | 0.18 | 9.3E-09 | 3.7E-07 |
| 木津川 | 0.64 | 1.21 | 1.5E-08 | 9.8E-08 |

表 2 各河川砂州の最大脱窒能

| | 庄内川 | 木津川 | 矢作川 |
|------------|---------|---------|---------|
| 最大脱窒能 (/s) | 3.0E-07 | 2.4E-07 | 1.2E-07 |

<引用文献>

- 1) 田淵俊雄: 水田窒素除去機能の定量化への試み, 農業土木学会誌, 74 (8), pp. 703-706, 2006.
- 2) 黒田久雄: 水田土壌の窒素除去持続性について. 応用水文, 14, 92-101, 2001.
- 3) Caffrey, J.M., Harrington, N., Solem, I. and Ward, B.: Biochemical processes in a small California estuary nitrification activity, community structure and role in nitrogen budgets, Marine Ecology Progress Series 248: pp. 27-40, 2003.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 尾花まき子, 中村俊之, 戸田祐嗣, 椿涼太 | 4. 巻 74 |
| 2. 論文標題 植生流出が河岸侵食に与える影響に関する実験的研究 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学) | 6. 最初と最後の頁 1267-1272 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 27.Ho-Seong JEON, Makiko OBANA, Kyu-Ho KIM, Tetsuro TSUJIMOTO | 4. 巻 79 |
| 2. 論文標題 Flow and Sediment Transport with Non-Submerged Riparian Vegetation in 1D Scheme | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Coastal Research | 6. 最初と最後の頁 329-333 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 該当する |

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 尾花まき子 |
| 2. 発表標題 植生を有する河道の側岸侵食機構に関する水理実験 礫床河道の植生化した中州掘削水路を例として |
| 3. 学会等名 土木学会第72回年次学術講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|