

令和 6 年 5 月 29 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12298

研究課題名（和文）窒素動態からみる斜面流出と流路内プロセスを合わせた溪流の水質形成機構

研究課題名（英文）Effects of hillslope and in-stream processes on stream nitrogen dynamics in headwater streams

研究代表者

笠原 玉青（KASAHARA, TAMAO）

九州大学・農学研究院・准教授

研究者番号：10622037

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）：流域面積の大部分は山地に位置し、山地河川が河川の流路長に占める割合は大きい。山地河川の水質形成機構を明らかにすることは、下流の水質管理においても重要である。本研究は、山地河川の水質は流域斜面からの流入のみが制御しているのではなく、流路内プロセスも大きく影響を与えていることを明らかにした。山地河川は地形が複雑で堆積土砂の透水性が高いため、流量の10%以上が100m区間で河川間隙水域と水交換する。表流水の流入が多い河川間隙水域は、陸生有機物の貯留・分解の場として機能していて、生物活動が活発である。その結果、無機態窒素の取込の場でもあり、山地河川の流路内プロセスを担っていることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

下流河川への水、土砂、栄養塩などの物質の供給源である山地河川であるが、その水質は、流域斜面からの流入だけでなく、流路内での物質循環プロセスによって制御されていることが本研究で明らかになった。流路内プロセスには、流路から広がる飽和土砂堆積域（河川間隙水域）が重要で、落葉など山地河川に生息する生物の重要な餌資源を貯留・分解する場、そして無機態窒素などの栄養塩の循環を促進する場としても機能していることがわかった。複雑な地形と高い透水性によって維持される河川間隙水域の広がりや、山地河川の水質形成、特に平水時に、大きな影響をもつ。

研究成果の概要（英文）：Headwater mountain streams account for a large part of a river network and are source of water, sediment, nutrients, etc. for the downstream environment. Thus, it is important to understand the controls on water quality in mountain streams. The results of this study showed the importance of in-stream processes in nutrient, in particular inorganic nitrogen, cycle. Mountain streams tend to have a complex morphology and high saturated hydraulic conductivity, consequently high stream-groundwater exchange. More than 10 % of flow was exchanged in about 100 m reach in our study. The hyporheic zone with strong stream influence functions as an important storage and decomposition zones for terrestrial organic matter, indicating high microbial activities. As a result, the hyporheic zone is also an important uptake zone of inorganic nitrogen, and without the its presence, transport of inorganic nitrogen downstream will increase.

研究分野：河川水文・生物地球化学

キーワード：headwater streams in-stream processes nitrogen hyporheic zone benthic zone riparian zone runoff

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

森林域を流れ、水や土砂、栄養塩を含む様々な物質を下流に供給する溪流は、数が多く、流域の全流路長に占める割合も大きく、流域内で重要な役割を持つ。溪流の特徴の一つが、流域斜面や河畔林との強いつながりであり、流域を覆う森林の変化、例えば森林伐採、荒廃人工林、放置竹林などは溪流水質に強く影響をおよぼす。近年は豪雨時の土砂災害により溪流環境が一変する事例も増え、流域環境の変化が水質へ与える影響とその持続性は、溪流の環境の保全においても、下流での水資源管理においても考慮する必要がある、まずは溪流における水質形成機構の理解を深めることが急務である。

溪流水質は貧栄養であると考えられてきたが、比較的高い無機態窒素濃度 ($> 1 \text{ mg/L}$) をもつ溪流が、特に都市近郊で増えている。都市からの、そして越境の大気汚染の影響で森林の窒素飽和していることが原因と考えられている。無機態窒素は栄養素であるが、濃度が高くなると水質汚染移つながるため、溪流内での窒素濃度の制御プロセスを明らかにすることは重要である。溪流内の窒素循環プロセスは、微生物や付着藻類による無機化、硝化、吸収、脱窒といった各窒素化合物の生成や消費であり、ステップ-プールといった河床地形や河川間隙水域が場を提供している。森林管理や土砂災害は、河床材料を細粒化したり、河床地形を平準化したり、溪流内の窒素循環プロセスを減少させる懸念もある。溪流の大攪乱時に、水質面からの対策を講じるためには、溪流地形といった物理的環境の影響を明らかにすることも重要である。

2. 研究の目的

本研究では、森林を流れる溪流を対象とし、窒素に着目して水質形成機構を明らかにすることを目的とした。具体的には、基底流量時は出水時と異なり、①溪流内の窒素循環プロセスが溪流水の窒素濃度に大きく影響していること、②溪流内の窒素循環プロセスに貢献する物理的環境を明らかにした。

3. 研究の方法

窒素飽和した森林流域を流れる慢性的に窒素濃度の高い溪流 ($> 1.2 \text{ mg/L}$) に複数の調査区間を設け、野外での観測と実験を基盤に研究を行った。調査区間は、基底流量が $6\text{-}10 \text{ L/s}$ で、河床勾配 > 0.03 、ステップ-プール構造が優占していた。

① **水交換量の測定** : NaCl をトレーサーとして溪流に投入し、測定区間の上流下流端での濃度差とトレーサの損失量から、流路-河川間隙水域間での水の交換量を推定した。調査区間の複数のステップにピエゾメータを設置し、動水勾配と透水係数の測定を行うことで水の流入量の算出も行った。

② **窒素保持機能の測定** : 硝酸ナトリウムと塩化ナトリウムをトレーサーとしてパルス投入実験を行い、硝酸態窒素濃度の減少率と平均取込距離を測定し、窒素保持機能を評価した。季節変動を把握するために、春から秋にかけて実験を繰り返した。

溪流内の窒素循環プロセスに貢献する物理的環境を明らかにするために、調査区間内のステップに不透水シートを敷き、表流水の河川間隙水域への伏流を大きく減少させた状態でトレーサー実験を行った。2区間を対象とし、一日は両区間にシートなし、もう一日は区間の一つにシートを敷いた。そして、シートの有無で取込距離を比較することで、ステップと河川間隙水域の窒素保持機能への貢献を明らかにした。

③ **有機物分解速度の測定** : 微生物活動の指標として、有機物分解速度を測定した。微生物活動

の活発な物理的環境を明らかにするために、ステップ、プール、河川間隙水域で分解速度を比較した。また、季節性も明らかにするために、リターバック法を用いて春と秋の落葉時期に、コットン培養法を用いて冬、春、梅雨、夏、秋の5つの季節で分解速度を測定した。

4. 研究成果

(1) 窒素飽和した森林流域を流れ、慢性的に高い窒素濃度をもつ溪流の窒素保持機能は、貧栄養の渓流域よりは低いが、農地や都市河川に比べると窒素保持機能は高い。

調査区間の取込距離 (S_w) は、106-526m で、季節性は見られなかった。 NO_3-N との関係もみられなかったが、流量とは正の関係を示した。図1は、本研究(黄色○)と同じ方法で測定された既存の研究結果に示された取込距離を比較したものである。貧栄養の渓流域で測定された結果(緑○)に比べると取込距離が長い傾向があったが、窒素濃度の高い農地や都市を流れる川と比較すると、短い取込距離を示した、これらの結果は、慢性的に高い窒素濃度を持つ溪流であっても、比較的高い窒素保持機能が維持されていることが明らかになった。

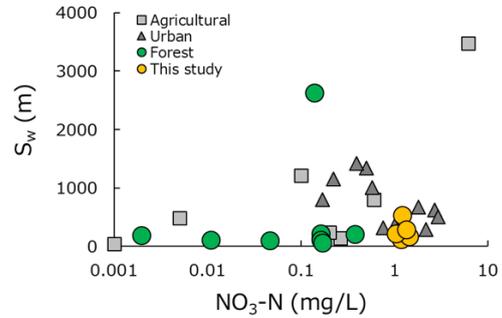


図1. 本研究と既存の研究の NO_3-N 取込距離の比較

(2) ステップと河川間隙水域は窒素保持機能に重要な役割を果たしている。

調査区間内の8つのステップのうち、5つのステップに不透水シートを敷き、表流水の伏流を減少させた。表流水の減少は、ピエゾメータを用いて確認した。

シートを敷いた時の取込距離の増加量は、コントロール区間の増加量の10倍以上であった(図2)。これは、ステップから伏流する表流水が流入する河川間隙水域が窒素保持機能に大きく貢献していることを示している。2つの季節で測定を行ったが、そのどちらでも河川間隙水域の貢献度は大きかった。

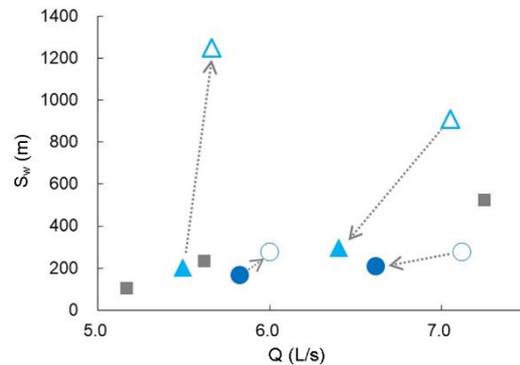


図2. シート設置前後での NO_3-N の取込距離. シート有(Open triangle)

(3) 河川間隙水域の生物活動は河床(淵)に匹敵する。

生物活動の指標としてリター・コットンの分解を測定した。水生昆虫による分解、微生物による分解をステップ、淵、河川間隙水域で比較すると、水生昆虫と微生物の分解ともにステップで最も高く、河川間隙水域と淵は同程度の速度を示した(図3)。この傾向は、季節を問わずみられた。つまり、河川間隙水域は河床に匹敵する生物活動をもつことが分かった。

ステップに不透水シートを敷くと、生物活動量の高いステップとその下に広がる河川間隙水域が、

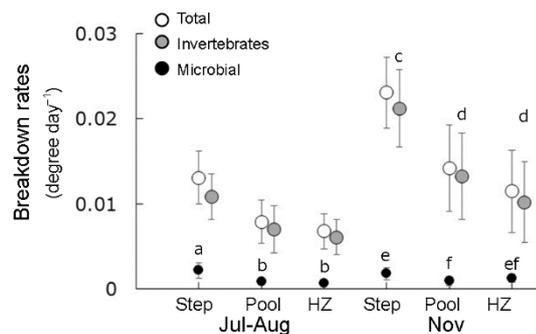


図3. ステップ、淵、河川間隙水域(HZ)でのリター破碎速度

溪流内の窒素循環プロセスに貢献できないため、シートを設置時は窒素保持機能が低下することが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kasahara Tamao, Li Yanda, Tanaka Aki	4. 巻 849
2. 論文標題 Effects of dams and reservoirs on organic matter decomposition in the hyporheic zone in forest mountain streams	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Hydrobiologia	6. 最初と最後の頁 2949 ~ 2965
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10750-022-04905-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 李 彦達 ; 笠原 玉青 ; 智和 正明	4. 巻 103
2. 論文標題 山地溪流の河床と河川間隙水域における有機物分解速度の比較	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 九州大学農学部演習林報告	6. 最初と最後の頁 7-12
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 Chawalit Chaiwong, Thammarat Koottatep, Yaowalak Chirasuwannaphot, Chanikarn Thanasrilungkul, Panadda Panchai, Wilasinee Chanamarn, Pongsak Noophan, Tamao Kasahara, Sumeth Wongkiew, Chongrak Polprasert	4. 巻 27
2. 論文標題 Novel Multifunctional Sewage Sludge-based Adsorbents For Treatment Of Municipal Wastewater	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 3127-3146
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 笠原玉青 田中熙一
2. 発表標題 硝酸態窒素濃度の高い溪流における窒素保持機能の評価
3. 学会等名 第24回 応用生態工学会 研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 笠原玉青 ; 李 彦達 ; 久保朋也
2. 発表標題 溪流での窒素保持に河床と河川間隙水域が及ぼす影響
3. 学会等名 第 133 回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中熙一 ; 笠原玉青
2. 発表標題 溪流における有機物の貯留、分解の 流路内変動及び季節間変動
3. 学会等名 第 133 回日本森林学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yanda Li, Tomoya Kubo, Tamao Kasahara
2. 発表標題 Retention of nitrate in a headwater stream: effects of benthic and hyporheic zone
3. 学会等名 Environment Technology and Management 2021 (Thailand) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tamao Kasahara, Aki Tanaka
2. 発表標題 In-Stream Nitrate Retention in a Forest Mountain Stream with Elevated Nitrate Concentration
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大槻 恭一、久米 朋宣、笠原 玉青	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 256
3. 書名 森林水文学入門	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
タイ	Kasetsart University		