

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07839

研究課題名(和文) 森林集水域における溶存有機物と硝酸塩の濃度形成メカニズムに関する研究

研究課題名(英文) Study on the mechanism controlling dissolved organic matters and nitrate concentrations in forested watersheds

研究代表者

吉岡 崇仁 (Yoshioka, Takahito)

京都大学・フィールド科学教育研究センター・教授

研究者番号：50202396

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：芦生の二年間の調査では、WSOC(水抽出性土壌有機態炭素)濃度は尾根から谷部に向かって低下し、硝酸態窒素濃度は逆に増加していた年と、WSOC濃度が1つの集水域で谷部に向かって増加する傾向が見られた年というように傾向が年度によって異なっており、その理由については分からなかった。標茶では、2019年に調査を行ったが、WSOC濃度は、尾根から谷部に向かって低下傾向を示し、硝酸態窒素濃度は芦生と比較して非常に高濃度であった。芦生では硝化が抑制されており、標茶では硝化まで無機化作用が進行していることが示唆され、斜面傾斜角度と斜面位置が土壌における分解・無機化作用に影響していることが考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

渓流水のDOC濃度とNO₃-N濃度の間に見られる非線形負の相関は、集水域の物質循環過程における化学量論に基づくと考えられるが、大面積の森林集水域で見られる斜面傾斜とこれらの濃度との関係が、小面積の源流域において見られる関係と一見して異なることは、生物地球化学的に見て興味深い事実である。本研究では、傾斜が異なる京都と北海道の森林集水域を対象とすることで、地形が土壌理化学特性の変動を規定している可能性を一部示唆するものの地形以外の規定要因も検討する必要があることが分かった。また、微生物群集解析の有効性も一部見られており、化学量論の視点からも今後発展させるべき分野であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In a two-year study in the Ashiu experimental forest, Kyoto University, the WSOC (water soluble soil organic carbon) concentration decreased from ridge to valley in two small watersheds and nitrate nitrogen concentration increased on the contrary in 2017, while the WSOC concentration tended to increase toward the valley in one catchment in 2018. The reason for the year-to-year variation has been unknown. In the Shibeche experimental forest, Kyoto University, a survey was conducted in 2019. The WSOC concentration tended to decrease from the ridge to the valley, and the nitrate nitrogen concentration was much higher than that of Ashiu. It was suggested that nitrification was suppressed in Ashiu and that mineralization was progressing to nitrification in Shibeche. It was suggested that the slope angle and slope position in the watershed influence the decomposition and mineralization processes in soil.

研究分野：生物地球化学

キーワード：森林集水域 渓流水質 溶存有機物 硝酸塩 土壌理化学特性 土壌微生物群集 遺伝子解析

1. 研究開始当初の背景

渓流水質は、集水域内部における生物地球化学的・水文学的過程を反映して決定され、これらの過程は集水域の斜面傾斜や集水域内の地形、植生、地質、土壌、土地利用など、集水域ごとの環境の違いによって様々に変化する。これら集水域の特性による渓流水中の物質濃度の変動は DOC (Laudon et al.2011) および $\text{NO}_3\text{-N}$ (Salazar 2009, Okazawa et al. 2010) に関しても報告されており、中でも河畔域に存在する湿地（河畔湿地）は渓流水中の DOC の主要な供給源となる (Dosskey and Bertsch, 1994) 一方で、植物による吸収や脱窒作用によって $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を減少させることが報告されている (Peterjohn and Correll, 1984)。Eckhard and Moore (1990) は北米での研究において DOC 濃度と集水域内の湿地面積に正の相関を認めている。アイルランドや、日本の北海道の泥川流域など、北米同様に比較的緩傾斜な流域において、地形指数 Topographic Index (TI) と DOC、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度との間にそれぞれ正の相関関係、負の相関関係が見られることが示されている (Ogawa et al. 2006、Liu et al. 2014)。一方で、急傾斜地（傾斜角 30° 以上）が多い日本の本州の森林源流域においては、渓流水質と地形との間に北米や北海道の事例とは異なった関係性が見られることが報告されている。我々が行った京都府由良川流域における広域採水調査では、DOC と TI の関係性について検討を行った結果、森林率 99%以上の源頭部の集水域においては、DOC と TI の間に負の相関が見られるという、これまでに述べた先行研究で得られた知見とは異なる結果が示された。さらに、由良川源頭部にあたる京都大学芦生研究林内の 46 の集水域下端での DOC 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の観測及び集水域特性との比較からは、1 次谷集水域において DOC 濃度は集水域の面積と負の、傾斜と正の相関関係が見られる一方で、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は集水域の面積と正の、傾斜と負の相関関係が見られることが報告されている。急峻な河川源頭部においてこれまでの知見と逆の関係性が見られた要因として、急傾斜の源頭部においては DOC ソースとなる河畔湿地は少ないが、地下水が湧出時に基岩上の薄い土壌層を通過することや、リター溜まりなど局所的 DOC ソースが存在することなどにより高い DOC 濃度が形成される一方で、流下して集水域面積が広くなり、傾斜が緩やかになるのに伴い DOC 濃度の低い地下水が混合することにより DOC 濃度が低下する可能性がある。

Taylor & Townsend (2010) は土壌から淡水域、海洋沿岸域、海洋までの連続した水系において、陸水中の DOC 濃度と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度はいずれの生態系においても逆相関関係にあることを報告し、微生物代謝における化学量論 (Stoichiometry) 的背景があることが示唆される。渓流水の DOC 濃度および $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、集水域の地形や土壌特性を反映するとともに、土壌微生物群集や植生による化学量論 (Stoichiometry) に従った物質循環過程によって決定されていると考えられるが、地形と物質循環過程の関係については、まだよく分かっていないのが現状である。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

2. 研究の目的

本研究では、急斜面で構成される京都府北部に位置する京都大学フィールド科学教育研究センター芦生研究林内の2集水域と、比較的緩斜面で構成される同北海道研究林標茶区の2集水域を対象として、土壌理化学特性および微生物群集組成の斜面内空間分布を調査した。地理情報システム（GIS）を利用して、土壌採取地点近傍の地形指標と微生物群集組成を含む土壌理化学特性との関係を解析することにより、森林集水域における渓流水質の形成メカニズムの解明に資することを目的とした。

3. 研究の方法

（1）調査地の概要

本研究では、京都大学フィールド科学教育研究センター芦生研究林（以下、芦生）内の2集水域（K1、S2）と北海道研究林標茶区（以下、標茶）内の2集水域（SB1、SB2）を調査対象区として設定した。K1集水域は、面積10.1ha、平均傾斜28.7°、傾斜角度30°以上の急傾斜面積率は49.7%であり、S2集水域は、面積3.1ha、平均傾斜36.9°、急傾斜面積率72.9%である。SB1集水域は面積6.5ha、平均傾斜16.7°、急傾斜面積率0%であり、SB2集水域は面積16.5ha、平均傾斜12.3°、急傾斜面積率0%である。

（2）方法

全ての調査地点において、リター層（A0層）厚の計測、リター試料採取、ステンレス試料採土円筒による土壌試料（0～20 cm層を5 cmごと）を採取した。土壌試料は持ち帰って重量を計測したのち、全て2 mmメッシュのステンレス篩にかけ、礫や根を除いた後、2 mm以下の細土の重量を計測した。

採取した試料を用いて以下の土壌理化学特性の分析を行った。

水溶性有機態炭素（Water soluble organic carbon : WSOC）濃度、NO₃⁻-N濃度およびNH₄⁺-N濃度、培養実験による純無機化活性、純硝化活性、硝化率、土壌含水率、pH、全炭素、全窒素、リター量。

本研究の調査地である芦生研究林と標茶研究林について、ESRI社の地理情報システムソフトウェア ArcGIS（ArcGIS Ver.10.6、ESRI、California）により土壌の採取を行った各地点での緯度・経度の数値および調査対象集水域を作成した。また、各集水域について、面積（ha）および平均傾斜（°）、及び集水域の面積の中で急斜面地（傾斜角度30°以上）が占める割合である急傾斜面積率（%）を算出した。さらに、土壌の採取を行った各地点を中心に周囲半径5mの平均傾斜角を算出した。

4. 研究成果

芦生では、2017年と18年の秋季のほぼ同時期（10月、11月）に調査を行った。2017

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

年度の場合は、溪流の片側斜面、2018 年度の場合は、両側斜面で土壌試料を採取した。土壌中の WSOC (水抽出性土壌有機態炭素)、無機態窒素 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$)、全有機態炭素 (TC)、全窒素 (TN)、pH 等の理化学特性の分析結果 (斜面内での空間分布) は、年度により若干の違いが見られた。

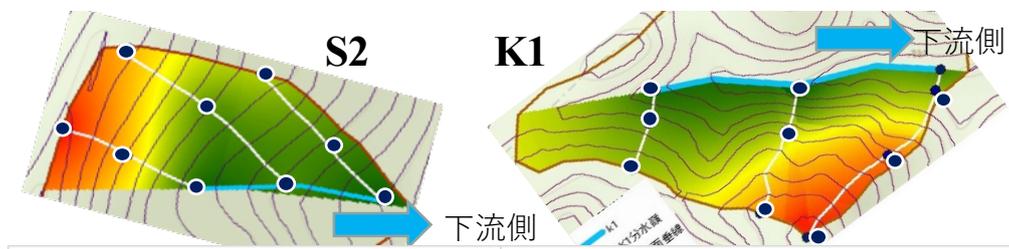


図 1. 芦生研究林 S2 (左図)、K1 (右図) における WSOC、DOC 濃度の分布 (安松 2018)

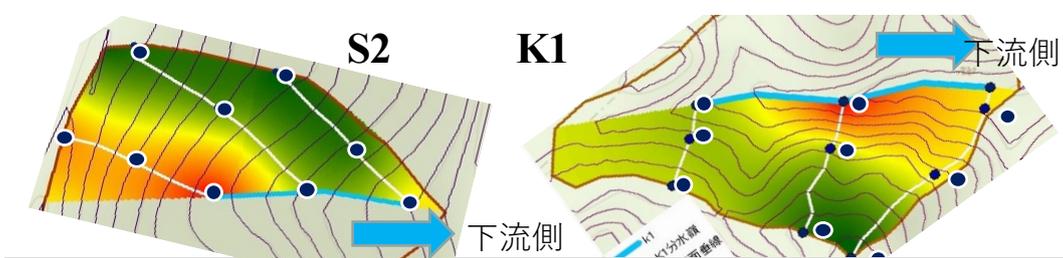


図 2. 芦生研究林 S2 (左図)、K1 (右図) における $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 濃度の分布 (安松 2018)

2017 年度の場合、WSOC と硝酸態窒素の斜面内分布は、2 集水域でほぼ一致しており、WSOC 濃度は尾根から谷部に向かって低下し (図 1)、硝酸態窒素濃度は逆に増加する (図 2) という共通した傾向が見出された。

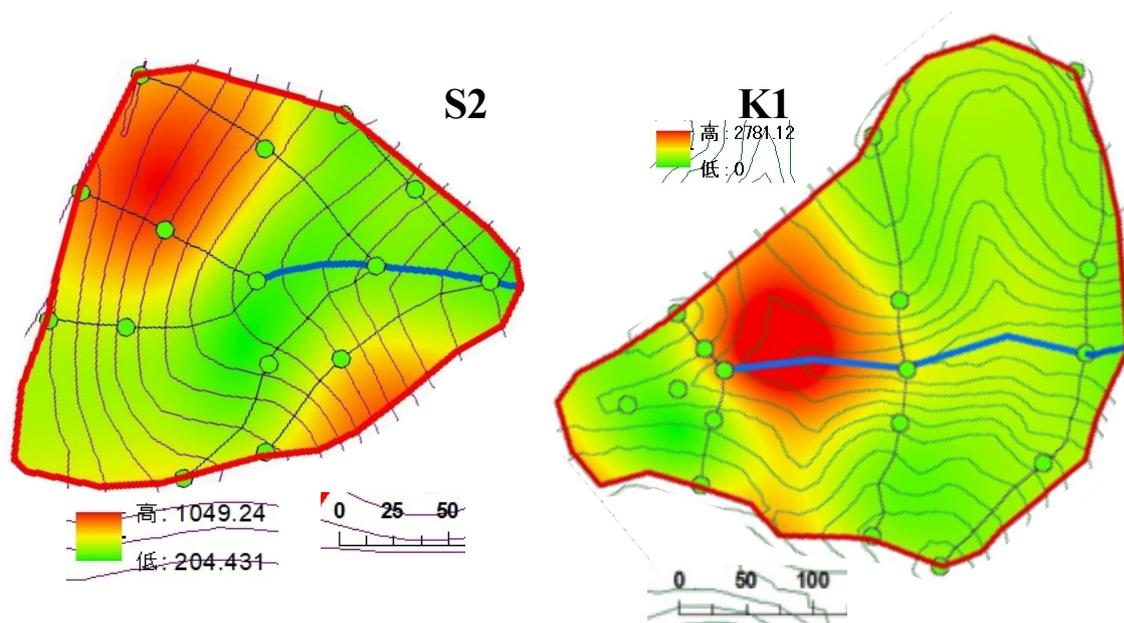


図 3. 芦生研究林 S2 (左)、K1 (右) における WSOC 濃度の分布 (龍野 2020)

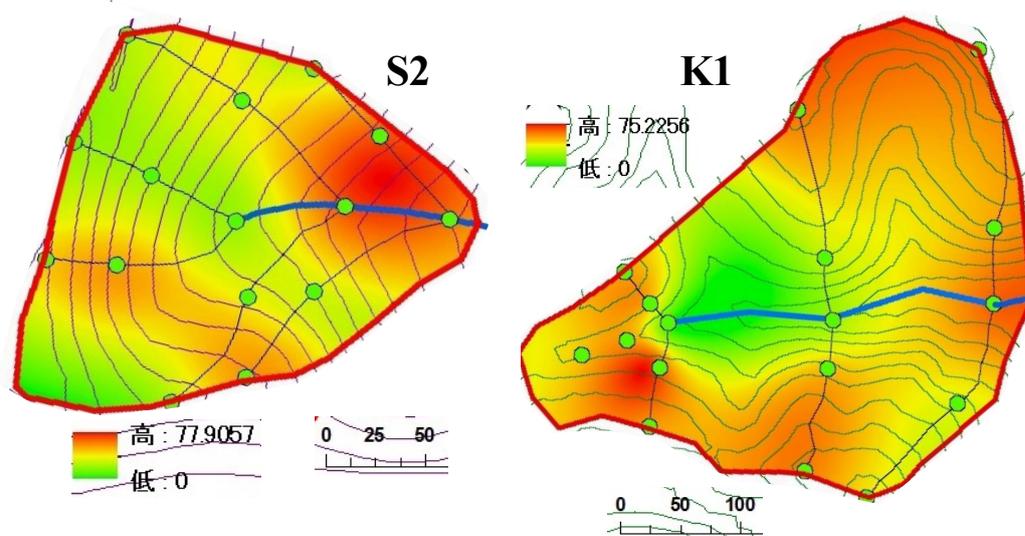


図4. 芦生研究林 S2 (左)、K1 (右) における $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の分布 (龍野 2020)

一方、2018 年度に採取した両側斜面の試料の分析結果では、K1 集水域において、2017 年度と異なる濃度分布が観測された。すなわち、WSOC 濃度は、K1 で谷部で増加する傾向が見られ (図 3 右)、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度では尾根で高い傾向が見られた (図 4 右)。S2 集水域では、WSOC 濃度は尾根で高いという傾向が両年とも観測され、 $\text{NO}_3\text{-N}$ についても、2018 年には下流側のラインで濃度が高いという違いはあったが、谷部で高くなるという傾向は 2017 年度と同じであった。K1 集水域で見られた年度による相違が、微妙な季節の違い、落葉開始からの時間経過、あるいは採取直前の天候の違いによるものかは明確にはできなかった。

標茶では、2019 年 6 月に 2 集水域の溪流両側斜面で土壌を採取したが、WSOC 濃度は、芦生と比較して非常に低濃度であったが、尾根から谷部に向かって低下傾向を示し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は芦生と比較して非常に高濃度で、斜面上下部での変化は一貫しておらず、むしろ尾根部で濃度が高い傾向が見られた。

土壌理化学特性を芦生と標茶とで比較すると、WSOC、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、C/N 比は芦生で高く、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は標茶で高かった。また、土壌培養実験結果からは、純無機化速度は、芦生ではほぼ全地点で負の値となり、標茶では $-0.9\sim 7.4 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ で多くの地点で正の値であった。また、純硝化速度は、標茶の方が大きい傾向が見られた。これらのことから、芦生では硝化が抑制されており、標茶では硝化まで無機化作用が進行していることが示唆される。斜面傾斜角度と斜面位置が土壌における無機化・硝化作用に影響していることが考えられる。DNA 分析による土壌微生物群集の解析からは、硝化作用を担う細菌、古細菌群集の量と斜面位置に相関が見られるが、これらと土壌の理化学特性との関係については、今後詳細な解析が必要である。

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 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nakayama, M., S. Imamura, T. Taniguchi and R. Tateno	4. 巻 446
2. 論文標題 Does conversion from natural forest to plantation affect fungal and bacterial biodiversity, community structure, and co-occurrence networks in the organic horizon and mineral soil?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forest Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 238-250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foreco.2019.05.042	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 Tateno, R., M. Nakayama, M. Yano, K. Fukuzawa, Y. Inagaki, K. Koba and S. Ugawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Nitrogen source utilization in co-existing canopy tree and dwarf bamboo in a northern hardwood forest in Japan Trees.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Trees - Structure and Function	6. 最初と最後の頁 -
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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉岡崇仁・館野隆之輔・大槻あずさ・山本知実・安松 亮・龍野眞佳・中山理智
2. 発表標題 森林集水域内での渓流水質変動の要因について
3. 学会等名 第84回日本陸水学会金沢大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山理智・今村志帆美・龍見史恵・谷口武士・館野隆之輔
2. 発表標題 北海道東部の森林における土壌微生物群集と窒素無機化ポテンシャルの関係
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

本研究の成果により、京都大学大学院農学研究科の2名の大学院生が修士学位を取得した。修士論文の課題は以下の通りである。
・安松 亮（2018）森林集水域内の渓流水中における溶存有機炭素および硝酸態窒素濃度の形成要因 集水域土壌の化学特性について、2017年度京都大学大学院農学研究科修士論文。
・龍野真佳（2020）森林小集水域における斜面傾斜と土壌の理化学特性との関係について、2019年度京都大学大学院農学研究科修士論文。

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
研究分担者	館野 隆之輔 (Tateno Ryunosuke) (60390712)	京都大学・フィールド科学教育研究センター・准教授 (14301)	