



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Studies on the microbial degradation of dissolved organic matter in river systems
Author(s)	高木, 悠司
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第16723号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16723
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99568
Type	doctoral thesis
File Information	TAKAKI_Yuji_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文内容の要旨/Dissertation Abstract

博士 (環境科学)

氏 名/Applicant 高木 悠司

學位論文題名/Title of Dissertation

Studies on the microbial degradation of dissolved organic matter in river systems

(河川における微生物による溶存有機物分解に関する研究)

地球表層にはいくつかの炭素プールが存在し、炭素プールの間を無機炭素もしくは有機炭素が移行することで炭素循環を成す。陸域水圏から大気へと移行するCO₂のフラックスは地球表層炭素循環において無視できないほど大きいとされているが、その不確実性は他のフラックスと比較しても大きい。陸域水圏から大気へのCO₂フラックス変化の正しい将来予測には、その制御要因である水域内での有機物分解過程を理解する事が重要となる。河川水中に存在する有機物の50%以上は溶存有機物(Dissolved organic matter, DOM)であり、河川中の細菌などの微生物により分解される。DOMの大部分は流域土壌から供給される外来性DOMであり、これらは微生物にとって難分解とされる成分(腐植物質など)を多く含むと考えられてきた。従来、河川DOMの分解性は、河川水中に存在する比較的小型な浮遊性の微生物を対象に評価されてきた。一方、近年の研究により、細胞サイズが大きい微生物群集によって、比較的小型な微生物にとっては難分解なDOMが分解されている可能性が示唆された。また、河床に生息する付着性微生物はバイオフィームという複雑な集合体を形成し、浮遊性微生物には利用できない難分解な有機物を利用することも示唆されている。しかし、これらのDOM分解者として一般的に考慮されてこなかった微生物群のDOM分解特性、それらの河川炭素循環・生態系への影響については、圧倒的に知見が不足している。そこで、本研究ではこれまで実験から除外されてきた微生物群を対象に、それらのDOM分解特性を評価する観測および培養実験を行った。

はじめに、比較的小型な浮遊性微生物によるDOM分解によって、河川におけるDOMの空間分布を説明できるかを明らかにする観測および培養実験を行った。2020年7月に石狩川とその支流において、溶存有機炭素(Dissolved organic carbon; DOC)および溶存有機窒素(Dissolved organic nitrogen; DON)濃度、DOMの光学特性の空間分布を調査した。さらに、小型な浮遊性微生物を含む濾過河川水($<0.7\ \mu\text{m}$)を用いた暗所培養実験を実施し、DOM分解を評価した。その結果、DOCおよびDON濃度は、石狩川本流の上流、中流域では流れに沿って増加し、下流域では大きく変化しなかった。一方、DOMのC/N比は上流域から下流域にかけて連続的に減少する傾向が見られた。DOMの光学特性を含めた主成分分析の結果、下流域におけるDOMのC/N比の減少は河川中での微生物分解に起因することが示唆された。また、暗所培養実験の結果、上・中流域ではDOC濃度は減少し、微生物分解は確認されたが、下流域では培養前後でDOC濃度が変化しなかった。一方、培養前後のDON濃度はすべての地点で有意な差がなかった。これらのことから、石狩川下流域では比較的小型な浮遊性微生物以外の微生物群がCに富む比較的高難分解と考えられているDOMを分解し、DOMのC/N比を低下させ

ることが示唆された。

次に、浮遊性微生物の細胞サイズの違いによるDOM分解性の異同を評価する培養実験を行った。2022年8月に石狩川の支流である忠別川集水域における森林中の小支流、ダム湖、水田地帯の用水路および忠別川上流から試水を採取した。DOMの中でも低分子DOMは比較的難分解と考えられているため、試水は0.22 μm の濾紙を用いて濾過後、分子量3000の濾過膜を用いた限外濾過により高分子DOM画分と低分子DOM画分に分けた。接種源(微生物群)として忠別川中流の河川水を1.0 μm および5.0 μm の濾紙を用いて濾過した河川水を使用し、微生物の細胞サイズを2つに分けた。各DOM基質と各接種源を9:1の比で混合し、忠別川中流河川水温(20°C)、暗所条件下で30日間培養した。また、接種源を加えない対照区も同条件で培養した。実験の結果、すべての基質の低分子DOM試験区ではDOC濃度および微生物数の変化は小さかった。一方、すべての基質の高分子DOM試験区ではDOC濃度が大きく減少し、その減少量は対照区においても、1.0 μm および5.0 μm の各微生物群を含む実験区と同程度であった。また、対照区および実験区において微生物数が大きく増加した。これらのことから、河川水中の浮遊性微生物は細胞サイズに関係なく高分子DOMを選択的に分解し、分解の大部分は対照区にも含まれる0.22 μm 未満の超小型な微生物により行われたことが示唆された。

最後に、浮遊性微生物および付着性微生物の間でのDOM分解の異同を評価する実験を行った。実験に用いた試料は忠別川流域において2023年8月と11月に採取した。DOM基質(<0.22 μm)は、森林中の小支流、水田地帯の用水路および忠別川中流から採取した。浮遊性微生物は忠別川中流の河川水を孔径1.0 μm の濾紙で濾過して採取した。また、付着性微生物は実験開始から約2週間前に忠別川中流の河床に設置したタイル上で増殖させた微生物を使用した。DOM基質と浮遊性微生物を9:1で混合して「浮遊性試験区」とした。さらに、これに付着性微生物を培養したタイルを加えることで「浮遊性+付着性試験区」を設定した。対照区は、森林および水田由来のDOM基質と河川中流由来のDOM基質を9:1で混合して作成した。これらの3つの系について忠別川中流河川水温(8月が20°C、11月が10°C)、暗所条件下で0、2、5、10および30日間培養した。また、難分解な有機物の指標としてDOMの光学特性の一つである腐植様蛍光物質の変化を対象とした。実験の結果、付着性微生物を含む試験区において芳香族化合物に由来する吸収係数およびタンパク質様蛍光物質を含むDOMの分解速度が上昇した。一方、腐植様蛍光物質は多くの試験区および対照区において減少せず、微生物群の違いに伴う特異的な分解は見られなかった。これらのことから、河川中の付着性微生物は、浮遊性微生物が分解可能なDOMを分解するが、難分解性DOMを特異的に分解しないことが示唆された。

本研究で対象とした石狩川水系について、その下流域において河川中の比較的小型な浮遊性微生物以外の要因によるDOM分解が、DOMのC/N比を制御することが観測および実験から示唆された。そこで、大型サイズの浮遊性微生物もしくは付着性微生物により難分解なDOMが特異的に分解されたとの仮説を立て培養実験を実施したが、本研究の培養実験からは仮説を検証できなかった。この結果は、河川DOM中の難分解成分の分解・除去は本研究で対象としていない要因により制御されていることを示唆しており、河川中のDOM分解に関してさらなる研究の必要性を示している。一方、本研究において超小型の微生物および付着性微生物が、DOM分解に量的に貢献していることが示唆された。これらのDOM分解過程は河川炭素循環・生態系において注目されておらず、さらなる研究が必要である。