

氏 名	かわ 川 さき 崎 まさ 雅 とし 俊
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	農 博 第 1478 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	農 学 研 究 科 地 域 環 境 科 学 専 攻
学位論文題目	Hydrological and Biogeochemical Controls on Dissolved Organic Carbon Dynamics in Forested Headwater Catchments (森林流域における水文過程および生物地球化学過程による溶存有機態炭素動態の制御メカニズムに関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 谷 誠 教 授 小 崎 隆 教 授 太 田 誠 一

論 文 内 容 の 要 旨

森林流域から流出する溶存有機態炭素(DOC)は、地球・地域スケールの炭素循環に果たす役割や、森林流域から見て下流域に当たる河川・湖沼生態系の物質循環・光環境に及ぼす影響の大きさから、多くの研究が行われてきた。しかし、流域の環境条件がDOC流出量に及ぼす影響を調査した研究例は多数あるが、森林流域内部におけるDOC形成過程に基づいたDOC流出量の推定は、その必要性が指摘されているにも関わらず未だ十分になされていない。一方、森林生態系内部においても、DOCの栄養物質循環や土壌生成過程に果たす役割の重要性が指摘されてきたが、様々なDOCのシンク・ソースの大きさとそれらを制御する要因は、未だ多くの不確実性を含んでいる。

そこで本研究では、まずDOC輸送に大きな影響を及ぼすと考えられる水文過程についての情報が十分にある流域でDOC濃度の空間分布を測定し、森林流域の水文過程を経る中でのDOC濃度形成のメカニズムを検討した。その上で、環境条件の違いによるDOC濃度の時空間変動の相違点から、DOC動態を制御する環境要因とその制御メカニズムの解明を試みた。以下に結果を詳述する。

滋賀県南部に位置する桐生水文試験地マツ沢流域において、流域の水文過程に沿って林外雨、林内雨、土壌水、地下水、渓流水のDOC濃度、紫外吸光度を測定した。その結果、DOC濃度がDOCの質の変化を伴いながら減少していく傾向が示された。表層土壌でのDOC濃度減少には、Al、Fe濃度とDOC濃度との関係よりAl、Feとの有機錯体形成が寄与している可能性が示された。表層土壌通過後、下層土壌のDOC吸着効率が表層土壌と同じであるにもかかわらずDOC濃度が変動しないことから、吸着されやすいDOC画分が表層土壌でおおむね吸着され尽くしていると考えられた。このことから、下層土壌では、微生物分解反応が主なDOC濃度減少メカニズムであると推定された。また、飽和地下水帯および渓流水でDOC濃度の変動が見られなかったことから、基底流出時に森林流域から流出するDOC濃度は、ほぼ飽和地下水帯に到るまでの浸透過程で決定されると考えられた。

また、鉛直浸透が卓越すると考えられる表層土壌では、DOCフラックスは水フラックスに依存した。このことは、観測された降水量の変動範囲内では、土壌水へのDOC付加・除去量に限界が見られなかったことを示している。一方、恒常的地下水帯上流部におけるDOC濃度は、降水量の多寡によって発生する滞留時間の変動が、微生物分解によるDOC除去量を変動させることにより、変動している可能性が示唆された。またこの変動は、降水量の変動から滞留時間分(約1年)の遅れ時間をともない発生した。以上の結果から、渓流水DOC濃度に降水量変動が及ぼす影響は、降雨波形の伝播によって速やかに変動が発生するDOCの輸送・混合の影響と、実際の物質移動によって滞留時間分の遅れ時間を伴い発生するDOC除去量の変動の影響が重なっており、少なくとも数ヶ月以上の降雨履歴が基底流出時の渓流水DOC濃度変動に重要であることが示された。

次に、滋賀県南部田上山地において、土地利用履歴の違いにより生じた土壌生成の発達段階と植生の異なる3地点の水質水文観測結果を基に、土壌・植生がDOC濃度変動に及ぼす影響を検討した。A₀層直下において、落葉広葉樹のDOC濃

度が、ヒノキ林の DOC 濃度より約1.5倍高かった。落葉広葉樹の DOC の方が強酸官能基を多く含むことから、植生の違いが分解過程を通じて DOC の酸度に影響を及ぼすことで、DOC 濃度を変動させている可能性が示唆された。また、鉍質土壌の下層部における DOC 濃度は土壌生成の発達による土壌の酸性化が最も進行しているプロットで最も低く、これは土壌水中の無機化学性の違いから推測されるメカニズムにより説明可能であった。一方、土壌の性質がほぼ同じであるが植生が異なる2地点の DOC 濃度の違いは、その場の土壌水の無機化学性から説明することは困難であり、DOC の質の違いが DOC 濃度の違いを生じさせていると推測された。これらの結果と、鉛直浸透過程で単位 C 当りの酸性官能基が少ない疎水性酸画分が選択的に除去されることを考慮すると、A₀ 層において土壌水に付加された DOC の酸度の違いが、A₀ 層だけではなく鉍質土壌層における DOC 濃度にも影響を及ぼしている可能性が示唆された。

以上の結果を基に、水文過程・生物地球化学過程による DOC 濃度制御メカニズムの次のような概念モデルを提示した。すなわち、表層土壌では、分解過程による DOC の酸度の制御を通じて、また、土壌生成過程による溶液中の無機化学性の制御を通じて DOC 濃度が制御されており、下層土壌では、水文過程が平均滞留時間の制御を通じて DOC 濃度を制御している。そして、渓流水の DOC 濃度は、水文過程が異なる移動経路を経た DOC の混合の制御を通じて DOC 濃度を制御していると考えた。

本研究の結果は、森林生態系の分解系の状態が渓流水 DOC 濃度に反映される可能性を示していると同時に、森林生態系の物質循環の状態と渓流水 DOC 濃度の関係を解明する為には、水文過程が DOC 動態に及ぼす影響の理解も含めた DOC 濃度形成過程の包括的な理解が必要であることも示していると考えられる。

論文審査の結果の要旨

森林流域からの溶存有機態炭素 (DOC) の流出を評価することは、下流域に当たる河川・湖沼生態系の物質循環・光環境に及ぼす影響において重要であるばかりでなく、地域から地球規模の炭素循環を把握する上でも必要である。本研究では、森林流域内部における DOC のシンク・ソースの大きさやそれを制御する要因を解明して DOC 流出量を評価しようとしたものである。その特徴は、水文過程が十分に把握されてきている流域での DOC 濃度形成メカニズムを検討し、それに対する降水量の年々変動や土壌生成の発達段階・植生の違いの影響を明らかにしたことであり、評価できる主な点は以下の通りである。

1. 流域の水文過程に沿って DOC 濃度、紫外吸光度を測定した結果、表層土壌での DOC 濃度減少には Al、Fe との有機錯体形成が寄与し、吸着されやすい DOC 画分はここでおおむね吸着され尽くされること、下層土壌の DOC 濃度減少は微生物分解反応によるものであること、基底流出時に森林流域から流出する DOC 濃度はほぼ飽和地下水帯に到るまでの浸透過程で決定されることが明らかにされた。
2. 4 年間の長期水文測定によって、降水量の年々変動が DOC 動態に及ぼす影響を検討した結果、表層土壌においては、土壌水への DOC 付加・除去量が限界に達することではなく、降水量が DOC 濃度変動に及ぼす影響が小さいことが明らかにされた。しかし、恒常的地下水帯上流部における DOC 濃度変動には、降水量が大きくなると下層土壌における雨水の滞留時間を短くし、微生物分解による DOC 除去量を少なくするというメカニズムが影響を及ぼしていること、この変動が、降水量の変動から滞留時間分 (約 1 年) の遅れ時間をともない発生したことがわかった。
3. 2 の結果から、渓流水 DOC 濃度に降水量変動が及ぼす影響は、流出経路の異なる複数の流出成分が持つ DOC の混合によって生じる短期間の変動と、滞留時間分の遅れ時間を伴う DOC 除去量の変動がもたらす長期間の変動とが重なって現れていることが推定された。このことから、少なくとも数ヶ月以上の降雨履歴が基底流出時の渓流水 DOC 濃度変動に重要であることが明らかになった。このように、降水量の時間変動と流出過程に基づいて DOC の時間変動を説明した研究は新規性が高いと評価できる。
4. 土壌生成の発達段階と植生の異なる 3 地点の水質水文観測結果を基に、土壌・植生が DOC 濃度変動に及ぼす影響を検討した結果、A₀ 層直下において、落葉広葉樹の DOC 濃度がヒノキ林の DOC 濃度より高く、落葉広葉樹の DOC の方が強酸官能基を多く含むこと、鉍質土壌の下層部における DOC 濃度が土壌生成の発達による土壌の酸性化が進行しているプロットで低いことがわかった。これらのことから、植生の違いは DOC の酸度の違いを変化させることにより、

また、土壌の違いは溶液の無機化学性を変化させることにより、DOC 濃度に影響を及ぼしていることが明らかになった。また、A₀ 層において土壌水に付加された DOC の酸度の違いが、A₀ 層だけではなく鉍質土壌層における DOC 濃度にも影響を及ぼしている可能性が示唆された。

5. 以上の結果を基に、水文過程・生物地球化学過程による DOC 濃度制御メカニズムについて概念モデルが提示され、森林生態系の分解系の状態が溪流水 DOC 濃度に及ぼす影響と水文過程が DOC 動態に及ぼす影響とが共に重要であることが明確にされた。

以上のように、本論文は、森林流域における溶存有機態炭素の動態が、生物地球化学過程と水文過程によって制御されることを明確に示したものであり、森林水文学、森林生態学のみならず、土壌学、生物地球化学の発展に寄与するものである。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成17年2月18日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。