

平成 25 年 5 月 17 日現在

期間番号：14301
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2009～2012
 課題番号：21380096
 研究課題名（和文） 森林土壌－溪流系における溶存有機物の動態に関する研究
 研究課題名（英文） Dynamics of dissolved organic matter in the forest soil-stream system
 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

研究成果の概要（和文）：溶存有機物の量と蛍光特性に着目し、森林－溪流系さらには河川流域における動態を解析した。溶存有機物の多くを占める腐植物質には、複数の蛍光ピークをもつものが含まれており、その変化によって溶存有機物の量と質の動態を解析出来ることが示された。また、土壌培養実験からは、有機物と窒素栄養塩の動態が密接に関係しており、その結果が渓流水質に反映していることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：Dynamics of dissolved organic matter (DOM) in the forest soil-stream system and also in the watershed has been investigated with special reference to its quantity (dissolved organic carbon content) and fluorescence property. Humic substance, which is a main component of dissolved organic matter, showed several fluorescent peaks. Peak intensities can be used to qualitatively and quantitatively analyze the DOM dynamics. From soil incubation experiments, it was indicated that DOM and nitrogenous nutrient dynamics in soil closely relate each other, to be reflected in the stream water quality.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2012 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
総計	8,500,000	2,550,000	11,050,000

研究分野：生物地球化学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：生物地球化学、物質循環、溶存有機物、蛍光特性、森林土壌、水質

1. 研究開始当初の背景

本応募課題の研究代表者は、渓流水中の硝酸態窒素と溶存有機物の濃度が森林環境を把握する上で重要であり、陸水中に存在する溶存有機物では、分子量や腐植物質の蛍光特性によってその起源と変質を追跡できるこ

とを明らかにしてきた。このような溶存有機物の動態を解明することは、森林環境の変化を把握する上できわめて重要である。土壌水中の溶存有機物は、土壌中を通過するうちに、変質すると共に粒子との相互作用で吸脱着を繰り返していると考えられる。しかし、腐

植物質の生成過程はほとんど解明されておらず、また、森林土壌内での変質や溪流への流出過程についても未解明な部分が多い。特に、われわれが見いだした溪流水中の溶存有機物と硝酸態窒素濃度の関係は、森林土壌中における炭素循環と窒素循環の密接な関係を示唆しており、人間活動に由来する大気窒素負荷の増大が日本においても森林における窒素飽和現象の拡大につながる可能性があり、研究を進展させる必要がある。

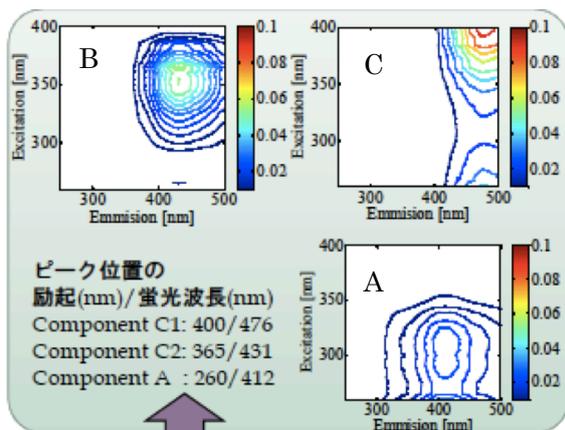
2. 研究の目的

森林生態系の環境変化を示す溶存有機物の指標の創出を目指し、森林土壌-溪流系における溶存有機物の動態を解明することを目的とした。森林土壌-溪流系の異なる地点において土壌水、湧水、渓流水などを採取し、そこに含まれる溶存有機物の量と三次元蛍光特性の変化から溶存有機物の起源と変質を明らかにする。また、土壌試料に窒素栄養塩等を添加して培養実験を行うことにより、渓流水に広く見られる溶存有機態炭素濃度と硝酸態窒素 (NO_3^-) 濃度の間の逆相関関係が、森林土壌中における炭素循環と窒素循環の相互作用の結果であることを検証した。

3. 研究の方法

森林、溪流や、土壌に含まれる溶存有機物の量 (溶存有機態炭素量 DOC) と三次元蛍光特性の変化を検出し、溶存有機物の起源と変質を解析した。三次元蛍光特性における蛍光ピークの位置決定には、データを統計処理して極大蛍光の位置を検出することのできるパラレル・ファクター (PARAFAC) 解析を応用したところ、3つのピークが分離され、腐植物質様の蛍光ピークと同定された (図1)。

図1. PARAFACによって分離された3つの腐植物質様蛍光ピーク



蛍光ピーク位置の励起波長/蛍光波長

- A : 315 nm / 412 nm (右下図)
- B : 365 nm / 431 nm (左上図)
- C : 400 nm / 476 nm (右上図)

渓流水の DOC 濃度と NO_3^- 濃度の関係が森林土壌中における炭素循環と窒素循環の相互作用の結果であるかどうかを確かめるため、土壌試料への窒素栄養塩添加実験を行った。また、有機物供給との関係を見るためにグルコースの添加実験も実施した。

4. 研究成果

(1) 流域における溶存有機物の水平分布

由良川広域調査の結果、河川水の DOC 濃度は、下流に向かって増加する傾向が見られた。土地利用との関係を調べると、集水域面積に占める市街地あるいは農耕地の割合が増加するにつれて、DOC 濃度が上昇していた。硝酸態窒素 (NO_3^- -N) 濃度と同様の傾向であり、これらの成分が森林よりも人間活動によって供給されていることが示された。

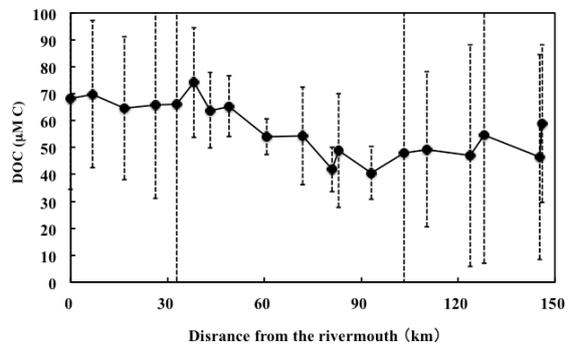


図2. 由良川本流における DOC 濃度の変化 (破線は、標準偏差を示す)

蛍光特性の解析からは、3つの腐植物質様蛍光ピークが同定され、下流に向かってそれぞれ蛍光強度が増大していた。蛍光ピークのうち強度が最も高いのは、蛍光ピーク C であったが、上流から下流に向かって、蛍光ピーク A、B の強度が増大し、ピーク位置に長波長から短波長への移動、青方偏移が観察された (図3)。異なる蛍光特性を持った溶存有機物が支流から供給されたり、河川水中での腐植物質の分解といった質的变化が起こっていることが示された。

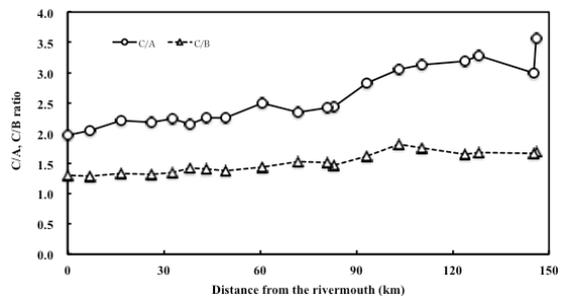


図3. 由良川本流における腐植物質様蛍光強度の比の変化 ○ : C/A, △ : C/B

(2) 土地利用・傾斜と腐植物質の関係

集水域の森林率と腐植物質様蛍光ピーク C の蛍光強度との関係を見ると、森林率が 99%以上の地点においては、蛍光強度に大ききなばらつきが見られたが、森林率が 99%未満の地点では、負の相関が見いだされた (図 4)。

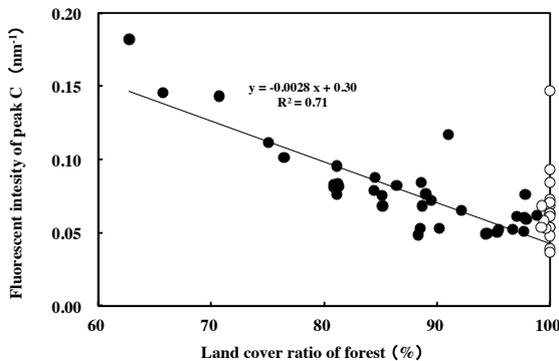


図 4. 森林率と腐植物質様蛍光強度の関係

○：森林率 99%以上、●：森林率 99%未満。

回帰線は、森林率 99%未満のみ。

森林率が 99%未満の地点では、森林率が下がるに伴って、腐植物質様蛍光強度が増加することが示された。したがって、中下流域では、森林以外の耕作地や市街地から腐植物質が河川に供給されていることが示唆された。

また、斜面の緩急を表す地形指標と水質の関係を見ると、森林率の高い地域では、緩傾斜ほど DOC 濃度が低下するのに対して、農地や市街地の増える中・下流域では逆に緩傾斜ほど濃度が上昇しており、地形と土地利用双方が水質に複雑に反映することが示唆された。

(3) 土壌における溶存有機物の動態

隣接したコナラ林と草地から採取した鉍質土壌の培養実験から、水抽出性の溶存有機物が、培養中に蛍光ピーク位置が青方偏移することが観察され、土壌有機物の分解に伴って溶存腐植物質の変質が起こることが示された。これは、由良川本流での流下に伴う変化と整合的であった。また、土壌溶存有機物量にコナラあるいは草本からの有機物供給が影響していることが示唆された。また、土壌中の NO_3^- -N 濃度が高い地点で溶存有機物濃度が低い傾向があった。

土壌に有機物(グルコース)と窒素 (NH_4^+) を添加した培養実験により、有機炭素と窒素栄養塩の相互作用について、一定の示唆を得ることができた。すなわち、今回実験に用いたスギ人工林(芦生研究林下谷)の土壌では、有機物が供給されることで、窒素の不動化が起こること、窒素栄養塩(ここでは NH_4^+) が供給されることで、粒子状有機物の分解が促

進される可能性が指摘できた。溪流・河川水や海域を含めた水圏生態系において、DOC と NO_3^- に逆相関関係のあることが報告されているが、今回の人工林の土壌についてみれば、溶存有機物の供給が多い場合、窒素の流出が阻止されると考えられ、水圏での観測と一致する結果が得られた。しかしながら、窒素栄養塩が多い場合には、溶存有機物は減少するよりむしろ増加するという、水圏での観測とは逆の現象が見出された。この現象が、添加した NH_4^+ の濃度が実際より多量であることによるアーティファクトなのか、実験に供した土壌固有の結果なのかは判断できないが、興味深い結果である。今後、異なる土壌において同様の実験を繰り返し、また、増加する溶存有機物の質を蛍光特性などから明らかにすることで、土壌における有機物と窒素栄養塩の動態の相互作用を明らかにすることが必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- 1) 石原正恵・今西亜友美・阪口翔太・福澤加里部・向昌宏・吉岡崇仁、2012、芦生研究林におけるシカ排除柵によるススキ群落の回復過程、森林研究、78:39-57. 査読有
- 2) Tobar, Y., K. Koba, K. Fukushima, N. Tokuchi, N. Ohte, R. Tateno, S. Toyoda, T. Yoshioka and N. Yoshida. 2010. Contribution of atmospheric nitrate to stream water nitrate in Japanese coniferous forests revealed by the oxygen isotope ratio of nitrate. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 24:1281-1286. 査読有
- 3) 石原正恵・吉岡崇仁ほか(35人中34人)、2010、モニタリングサイト1000森林・草原調査コアサイト・準コアサイトの毎木調査データの概要、日本生態学会誌、60:111-123. 査読有
- 4) 吉岡崇仁・Mostafa, K. M. G., 2010、琵琶湖およびバイカル湖とその集水域における溶存有機物の動態、日本腐植物質学会誌、7:5-14. 査読有
- 5) Katsuyama, M., Shibata, H., Yoshioka, T., Yoshida, T., Ogawa, A. and Ohte, N. 2009. Applications of a hydro-biogeochemical model and long-term simulations of the effects of logging in forested watersheds. Sustainability Science, 4:179-188. (DOI 10.1007/s11625-009-0079-z). 査読有

[学会発表] (計 23 件)

- 1) K. Fukuzaki, T. Yoshioka and I. Imai. 2012. Characterization of fluorescent dissolved

- organic matter exuded from red tide algae. 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, Otsu, (poster presentation).
- 2) K. Fukushima, S. Suzuki, K. Fukuzaki, M. Ueno, N. Tokuchi and T. Yoshioka. 2012. Spatial pattern and its controlling factors of the nitrate concentration in river water in the Yura River basin, Japan. 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, Otsu, (poster presentation).
 - 3) K. Ishii, K. Fukushima, M. Ishihara and T. Yoshioka. 2012. Soil carbon and nitrogen dynamics changes associated with vegetation recovery in a deer enclosure at a heavy grazed *Miscanthus sinensis* grassland. Joint Meeting of the 59th annual meeting of Ecological Society of Japan (ESJ) and the 5th annual meeting of East Asian Federation of Ecological Societies (EAFES), Otsu, Japan (poster presentation, 優秀ポスター賞).
 - 4) 大槻あずさ・福崎康司・鈴木伸弥・福島慶太郎・吉岡崇仁、2012、由良川流域における溶存有機物の蛍光特性、日本陸水学会第77回大会（名古屋市、ポスター講演、ポスター賞）
 - 5) K. Fukushima, M. Sakai, S. Sakaguchi, Y. Iwai, A. Hasegawa, Y. Nishioka, H. Fujii, N. Tokuchi, T. Yoshioka and A. Takayanagi. 2011. Nitrogen Export from Headwater Catchments: Integrating Biogeochemical Processing with Hydrologic Transport. American Geophysical Union Fall Meeting 2011, San Francisco, USA (poster presentation).
 - 6) K. Fukuzaki, K. Watanabe, K. Fukushima, S. Akiyama, T. Fuji, T. Funahashi, H. Shirasawa, M. Ueno, Y. Yamashita and T. Yoshioka. 2011. Assessing spatial and seasonal variations of dissolved organic matter by spectroscopic analysis in a stratified estuary: Yura River Estuary, Japan. American Geophysical Union Fall Meeting 2011, San Francisco, USA (poster presentation).
 - 7) M. Katsuyama, T. Yoshioka, E. Konohira, I. Tayasu and M. Tani. 2011. Spatial distribution of oxygen-18 and deuterium in stream- and groundwaters across the Japanese archipelago. American Geophysical Union Fall Meeting 2011, San Francisco, USA (poster presentation).
 - 8) 鈴木伸弥・吉岡崇仁・福島慶太郎・福崎康司・白澤紘明・大槻あずさ、2011、硝酸の酸素と窒素同位体比を用いた由良川流域における窒素供給源の評価、日本生態学会第59回全国大会（大阪市、ポスター講演）
 - 9) 福崎康司・吉岡崇仁・今井一郎、2011、海洋植物プランクトンの産生する溶存有

機物の光学的特性、日本腐植物質学会第27回講演会（金沢、ポスター講演、ポスター賞受賞）

〔図書〕（計3件）

- 1) K. M. G. Mostofa, T. Yoshioka, M. A. Mottaleb and D. Vione eds., 2013, Photobiogeochemistry of Organic Matter: Principles and practices in water environments. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 917.
- 2) 吉岡崇仁、2012、「3-3. 琵琶湖集水域」、『森と海をむすぶ川』、フィールド科学教育研究センター編、向井宏監修、京都大学学術出版会、p.98-111.
- 3) Mostofa, K. M. G., F. Wu, T. Yoshioka, H. Sakugawa and E. Tanoue. 2009. Dissolved organic matter in the aquatic environment. In Natural Organic Matter and Its Significance in the Environment. F. Wu and B. Xing eds., Science Press, Beijing, P. R. China, p.3-65.

〔その他〕

<http://fserc.kyoto-u.ac.jp/proshien/kibunka/sub3.html>

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

徳地 直子 (TOKUCHI NAOKO)
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：60237071