

北方針広混交林流域における森林施業が 溶存鉄および DOC の溪流流出に与える影響

北海道大学大学院環境科学院

鈴木 耕平

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

佐藤 冬樹・柴田 英昭・早柏 慎太郎

上浦 達哉・工藤 真理子・笹 賀一郎

はじめに

海洋の生態系を支える植物プランクトンや海草類の生産が維持されるためには、河川を通じて陸域から供給されるイオン状態の鉄(溶存鉄)の供給が必要不可欠と考えられている(2)。近年では、海洋沿岸に磯焼けと言われる現象が発生し、コンブなどの資源が減少していたが、鉄の散布実験などで資源の回復が見られた事(8)からも、陸域からの溶存鉄供給の重要性が窺える。

森林土壌や湿地などから供給される溶存鉄は河川水中の酸素に触れる事で粒状の酸化鉄となり生物生産に使用不可能となる(5)。溶存鉄が安定した状態で海洋に供給されるためには溶存有機炭素(DOC)の供給も必要である。DOCが溶存鉄と錯体イオンを形成し、溶存鉄が安定した状態で海洋まで輸送されるからである。

ただし森林の存在や施業による流水水質への影響については、窒素やリン成分について言及されているものがほとんどであり、溶存鉄や DOC に焦点が当てられているものは少なく(1,4)、湿地帯や森林において溶存鉄および DOC が生成され結合し陸域から海洋まで輸送されるまでの過程はいまだ不明な点が多い。

北海道北部では低地に存在する湿地帯や流域上部に存在する広大な森林とともに人為起源の様々な土地利用が存在し、湿地帯や森林の開拓も行われているため、溶存鉄の輸送過程の解明は海洋生態系を考慮して流域の土地管理を行うために重要である。

本研究では、海洋生態系の保全や生産性向上を考慮した陸域の土地利用のあり方を検討する第一歩として森林の存在や森林施業が溶存鉄や DOC の流出に与える影響を明らかにする事を目的とした。

研究方法

本研究では、森林流域において皆伐や表土除去(掻き起こし)の実験的施業を行い、溪流への溶存鉄および DOC の流出状態を観測する事から、森林の効果や森林施業(土地利用)の影響を明らかにしようとした。森林施業と溶存鉄および DOC の流出についての観測は、北海道大学森林圏ステーション雨龍研究林泥川流域にて行った。流域の森林はミズナラ(*Quercus Mongolica* var. *grosseserrata*)、ダケカンバ(*Betula elmanii*)、シナノキ(*Tillia japonica*)、トドマツ(*Abies sachalinensis*)などの広葉樹を主体とする針広混交林であり、林床にはチシマザサ(*Sasa kurilensis*)が密生している。地質は第三紀安山岩であり、主要な土

壌は酸性の褐色森林土である。浸透能が高く、豪雨時の水はけがよいという特徴をもつ。試験地の概要は図-1の通りである。試験地内には9個の小流域が設定され、各観測流域の末端に簡易三角堰を設置し、渓流水のサンプリングおよび水位と水温の連続観測を行っている。水位は圧力式デジタル水位記録計(メテオ電子社: Water memory card 1)を、水温は温度データロガー(T&D 社: TR51A)を用いて1時間毎に連続記録している。

本研究では DE5, DE6, DE7 の流域を対象とし、DE5 対照区, DE6 を皆伐区, DE7 を皆伐掻き起こし区とした。流域面積は、対照区(13.7ha)、皆伐区(5.9ha)、皆伐掻き起こし区(3.9ha)となっている。皆伐試験は 2006 年 5 月に DE6, DE7 において行い、掻き起こしは 2008 年 8 月に DE7 において行った。なお、DE7 における掻き起こしは皆伐後残存するササを完全に枯死させる目的で行い、いったん除去した栄養分を含む表土は樹木の更新を促す目的で3ヶ月後に埋め戻す方法をとっている。皆伐は伐倒後林内で枝払いした幹のみを土場に集材する全幹集材方式にて行った。なお、溪流の近傍は傾斜が急で樹木を伐採する重機が入れなかったため、左右 10m ほどは皆伐や掻き起こしを行わず保残帯として残されている。

渓流水のサンプリングは、2009 年 10 月から 2010 年 6 月の間に 2~4 週間おきに 1 回の定期観測を行い、2010 年 7 月 28 日の豪雨時(115mm/day: 雨龍研究林庁舎前にて観測)には、7 月 29 日 12 時から 8 月 6 日 8 時まで 4 時間ごとにオートサンプラー(ISCO 社: 3700 型)を用いた集中観測を行った。

渓流水サンプルの分析項目は、溶存鉄濃度および DOC 濃度であり、プラズマ発光装置(Jarrell Ash Iris 社)および全有機炭素計(Shimadzu 社: TOC05000A)を用いて分析した。

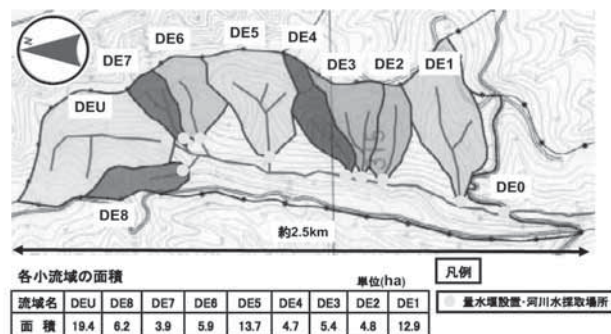


図-1 試験地の概要

Kohei SUZUKI (Graduate School of Environmental, Hokkaido Univ. Sapporo 060-0808), Fuyuki SATOH, Hideaki SHIBATA, Shintaro HAYAKASHI, Tatsuya KAMIURA, Mariko KUDO, Kaichiro SASA(Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido Univ. Sapporo 060-0809)

Effects of forests and clear cutting and grubbing soil on the dissolved iron and DOC of stream water in northern mixed forest

結果と考察

1) 定期観測における溶存鉄・DOC 濃度について

図-2 に定期観測時の各流域における溶存鉄および DOC 濃度の平均値を示した。エラーバーは標準偏差を表している。溶存鉄濃度は検出限界に近い低い値であり、平均値は約 0.005 mg/L から 0.006 mg/L と、各観測流域ともに濃度に有意差が見られなかった。また、フィンランドの北方森林流域では湿地における溶存鉄濃度は最大 2 mg/L である(3)ことと比較しても、本地域の溶存鉄濃度は低いといえる。DOC 濃度はいずれの試験区もほぼ同等の 0.70 mg/L 程度を示し、有意差が見られなかった。森林流域の湿地帯では最大で 14 mg/L 程度の値となっていた(3)。これらのことから本観測流域における溶存鉄や DOC の流出は基本的に少なく、溶存鉄および DOC 濃度への森林・伐採・掻き起しの影響は顕著に表れなかったものと考えられる。

また溶存鉄および DOC の濃度に差がみられない理由のひとつとして、伐採の際に残された保残帯の存在が考えられ、河川周辺の植生が溶存鉄および DOC の一定供給に寄与している可能性があげられる。また、広葉樹が大半を占める本地域では、リターが分解されやすく、DOC が森林土壌に残りにくいという可能性もあげられる。土壌の浸透能が高く、DOC の土壌中への浸透・吸着が高いであろうことも、溶存鉄や DOC の流出が少ない事の要因と考えられた。

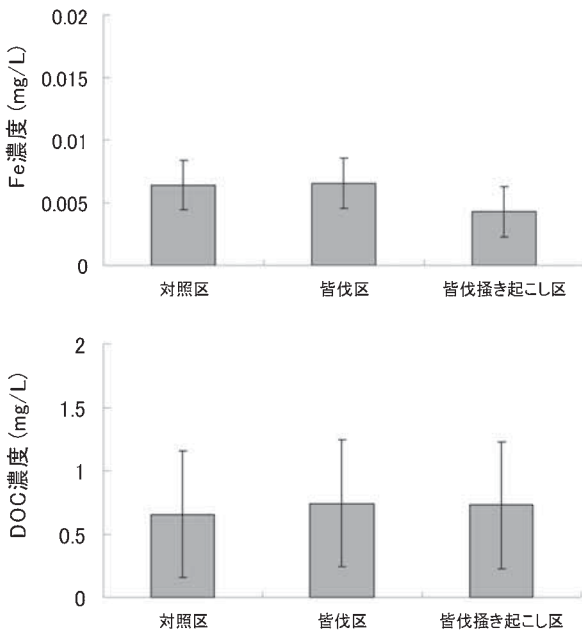


図-2 定期観測の溶存鉄および DOC 濃度平均

溶存鉄と DOC 流出の関係を見るために、図-3 に定期観測時、豪雨時の濃度関係を表してみた。なお、DOC 濃度と溶存鉄濃度の関係はどの試験区でも同様であるので全ての試験区のデータをひとつのグラフにした。豪雨時には定期観測時と比較すると高い濃度を示し、相関も $R^2 = 0.87$ と高い値を示した。一方、定期観測時は $R^2 = 0.41$ と相関はみられなかった。溶存鉄と DOC 流出の相関性については Shibata ら(7)も湿地帯における DOC 濃度と溶

存鉄濃度に正の相関が認められるとしており、今回の観測流域の豪雨時においても溶存鉄と DOC の流出が密接に関係している事が把握された。これは、DOC が森林土壌から河川に流出する際に、土壌中の鉄と結合した状態で流出するためと考えられる。

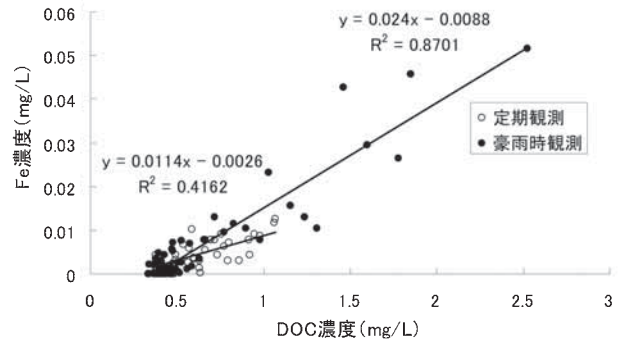


図-3 定期・豪雨時の溶存鉄と DOC 濃度の関係

2) 豪雨時の DOC 濃度と比流量変化の関係

図-4 に各観測流域の豪雨時における比流量変化を示した。全ての流域において比流量の増減の時間変化は同様に生じていて、同時にピークが発生している。対照区では 8 L/s/ha あたりでピークを記録しているのに対し、皆伐区および皆伐掻き起し区では 13 L/s/ha ほどのピークを記録している。対照区の比流量が他の流域と比較して低い値となった理由として、豪雨時に森林による雨の遮断・蒸散が行われていた事が挙げられる。

図-5 に豪雨時の比流量および DOC 濃度変化を示した。図から 115 mm/day の豪雨時においては DOC 濃度のピークは比流量のピークが生じる直前に発生している事が確認される。

この結果から豪雨によって地表流が発生し、地表に存在する DOC が河川に流出したと考えられる。そのため、比流量のピークが来る際にはすでに地表の DOC の多くが枯渇していた事が推定され、本地域においては輸送可能な DOC の供給源は地表に存在し、比較的少ない量である事が考えられた。

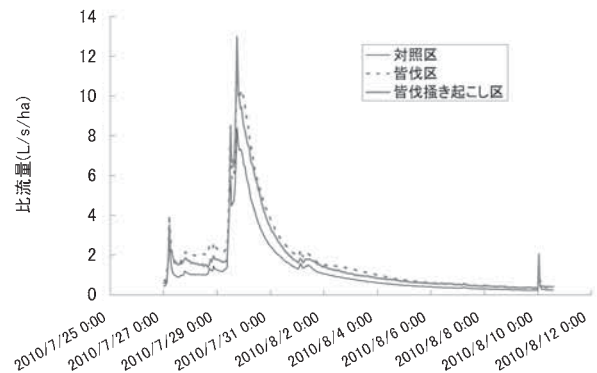


図-4 豪雨時の比流量変化

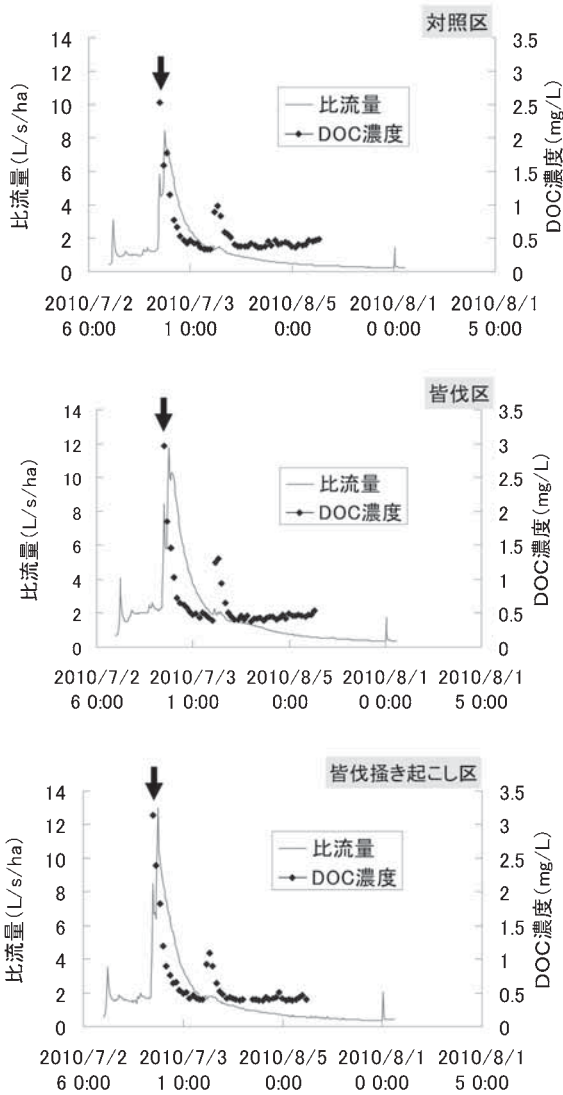


図-5 豪雨時の比流量および DOC 濃度変化

3) 豪雨時の DOC 流出量について

1)の定期観測の結果より、豪雨時には溶存鉄のほとんどが DOC と結合して流出するとの判断から、DOC の流出状態をもとに豪雨時の DOC・溶存鉄の流出量を検討してみた。DOC の流出状態は図-6 のようである。対照区の流域からの溶存鉄・DOC の総流出量は定期観測および豪雨時ともに他の流域よりも低い値となっている。また濃度に差がみられないにもかかわらず、総流出量には差が生じていた。図-4 に示した豪雨時の比流量変化から、豪雨時の比流量においては森林流域である対照区が比較的低い値を取っている事がわかり、したがって DOC の流出量も低い値になったと考えられる。これらの結果から、溶存鉄および DOC の流出に関しては比流量の影響が大きく、伐採や掻き起こしにより流量が増大する事によって、流出量が増えると判断される。つまり、森林施業は溶存鉄や DOC 流出の濃度にあまり影響を与えず、伐採や掻き起こしによる水源涵養機能の低下による流出量の増加が溶存鉄と DOC のフラックスの増大をもたらしていると考えられた。

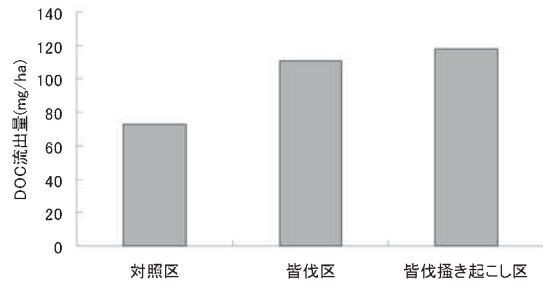


図-6 豪雨時の DOC の総流出量

まとめ

本研究においては、溶存鉄および DOC の濃度に関して森林施業の影響は見られなかった。先行研究には林種・土壌・地質の構成による渓流水質への影響が大きいとの報告もあり(6)、広葉樹が主体で有機物分解の速度が高いことや、DOC の土壌中への浸透や吸着が旺盛なことなどが本試験流域の特徴と考えられた。しかし、施業の影響により流域の比流量が増加することで、溶存鉄や DOC の流出量が増大する状態が把握された。

なお観測流域における溶存鉄および DOC の流出が極端に少なく、森林施業によってもほとんど影響されないことについては、土壌中における溶存鉄・DOC の存在形態や保残帯の影響などを今後の研究により明らかにする必要がある。

引用文献

- (1) Ahtiainen M. (1992) The effects of forest clear-cutting and scarification on the water quality of small brooks. *Hydrobiologia* **243**: 465-473.
- (2) Eric E. R. and Wetzel R. G. (2002) Kinetics of microbial Fe(III) oxide reduction in freshwater wetland sediments. *Limnol. Oceanogr.*, **47**: 198-211
- (3) Kortelainen P., Mattsson T., Finer L., Anttinen M., Saukkonen S. and Sallantausta T. (2006) Controls on the export of C, N, P and Fe from undisturbed boreal catchments, Finland. *Aquat. Science* **68**: 453-468
- (4) Martin C.W. Hornbeck J.W Likens G.E and Buso D.C.(2000) Impacts of intensive harvesting on hydrology and nutrient dynamics of northern hardwood forests. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **57**: 19-29
- (5) 松永勝彦 (1993) 森が消えれば海も死ぬ, 講談社, 東京, 194pp.
- (6) 佐藤冬樹・笹賀一郎・藤原滉一郎・守田英明・山之内(1992) 小河川の流出および水質に対する森林の影響-北海道蛇紋岩地帯の例一, 日林北支論 **40**: 196-198
- (7) Shibata H., Yoh M., Ohji B., Guo Y., Shif., Xu X., Wang D., Yan B. and Shamov V.V. (2007) BIOGEOCHEMICAL PROCESSES OF IRON AND RELATED ELEMENTS, Report on Amur-Okhotsk Project 4: 75-93
- (8) Tsuda A., Takeda S., Saito H., Nishioka J., Nojiri Y., Kudo I., Kiyosawa H., Shiimoto A., Imai K., Ono T., Suzuki K., Noiri Y., Fukami K., Kuma K., Saino T. (2003) A Mesoscale Iron Enrichment in the Western Subarctic Pacific Induces a Large Centric Diatom Bloom. *Science* **300**: 958-961