

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23780166

研究課題名(和文) 土壌中の形態別有機物動態を考慮にいたした森林伐採の渓流水質への影響評価法の開発

研究課題名(英文) Evaluation of the effects of clearcutting on stream water chemistry considering the dynamics of soil organic matter fractions

研究代表者

舘野 隆之輔 (TATENO, RYUNOSUKE)

京都大学・フィールド科学教育研究センター・准教授

研究者番号：60390712

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：火山灰土壌に成立する森林における森林伐採が、渓流水による窒素流出に与える影響を評価することを目的とし、特に森林土壌の無機態窒素動態や有機物動態に着目して研究を行った。土壌有機物の少ない未熟な火山灰土壌では、伐採に伴う硝酸流出が他の生態系より少ないことが明らかとなった。窒素無機化特性についての広域比較を行った所、試験地の窒素無機化特性は、他の地域と比べて顕著な違いは見られず、土壌の無機化特性からは伐採影響が小さいことは十分には説明出来なかった。

研究成果の概要(英文)：The study aimed to evaluate the effects of forest clearcut on nitrogen leaching from the forests developed on volcanic ash soils. Especially this study focused on soil inorganic N and soil organic matter dynamics. In the forest developed on immature volcanic ash soil, the effects of whole watershed scale clearcutting on nitrogen leaching by stream water was relatively smaller than other forest reported previously, probably due to lower soil organic matter contents in immature volcanic ash soil. However surface soil nitrogen transformation pattern of the study site did not greatly differ from other regions. The results may suggest nitrogen transformation pattern of surface soils are not conclusive factors explaining the magnitude of clearcut effects on nitrogen leaching.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：伐採試験 伐採影響 窒素循環 無機態窒素 窒素無機化 溶存有機物 火山灰土壌 渓流水質

1. 研究開始当初の背景

我が国では木材自給率の向上を目指して、今後全国的に森林伐採が盛んに行われることも想定される。森林生態系の持つ様々な機能を維持しつつ森林を利用することは、地域の活性化や持続型社会を構築するために不可欠であるが、伐採などの人為影響が森林や流域環境に与える影響を適切に評価するモデルの開発は、我が国においては十分に進んでいないのが現状である(柴田ら 2006、徳地ら 2006)。

森林の伐採に伴い溪流から流出する硝酸態窒素が増加することが広く知られる(Bormann & Likens 1979)。これまで国内外で行われた大規模伐採試験によると、伐採後数年内に渓流水の硝酸濃度が数倍から数十倍になることが報告されている(Bormann & Likens 1979, Swank & Crossly 1988 など)。代表者らは、九州南部の火山灰土壌に成立する森林で、集水域スケールでの皆伐試験を進めて来た。調査を行った森林は、表層に堆積する土壌が 1914 年の噴火による火山灰であるため、土壌生成作用が約 100 年程度と十分な時間を経過していない点が他のクロボク土などの火山灰土壌とは大きく異なる点である。調査地の土壌には過去から蓄積した腐植有機物が多くは含まれないため、他地域とは異なる硝酸流出パターンを示すのではないかと考えている。

伐採による硝酸流出パターンには、土壌中に存在する土壌有機物の形態の違いが、影響を与えていることが予想される。従来土壌窒素動態研究では、主に無機化や硝化などの無機態窒素の動態に着目して行われてきたが、近年では溶存有機窒素、タンパク質、遊離アミノ酸などの有機態窒素の動態に着目した研究が、土壌窒素動態研究の新しい動きとなっている(LeDuc & Rothstein 2010)。また溶存有機態炭素の形態は、無機化プロセスに様々な影響を及ぼすことも知られている。例えば難分解性の腐植様物質は、無機化に阻害的に働く一方で、易分解性有機物は微生物のエネルギー源として働くため、無機化を促進することが期待される。森林土壌中の溶存有機窒素や溶存有機炭素の動態を明らかにすることは、伐採影響の程度を評価する上でも重要である。

2. 研究の目的

本研究は、火山灰土壌に成立する森林での伐採が渓流水質(特に硝酸態窒素による窒素の流出過程)に与える影響を明らかにすることを目的として行った。具体的には以下の点に着目して研究を進めた。

1. 火山灰土壌に成立する森林において、伐

採後の渓流水質の変化を明らかにする。

2. 火山灰土壌に成立する様々な森林タイプにおける土壌および有機物層の無機態窒素および溶存有機態炭素・窒素の動態を明らかにする。

3. 地域間で窒素無機化特性の比較を行い、渓流水質に影響を与える要因について明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 伐採流域の水質調査

伐採後の渓流水質の変化に関する調査は、鹿児島大学農学部附属高隈演習林で行った。調査地の年平均気温は 14.0、平均年降水量は 3410mm である(高隈演習林気象報告, 2005)。調査地の土壌表層は、1914 年の桜島大正噴火由来の火山噴出物が堆積しており、土壌生成が約 100 年程度しか経過していないため、土壌タイプは火山灰性未熟土に分類される。

皆伐試験は、高隈演習林の約 12ha の皆伐試験地で行い、隣接する約 50 年生の森林流域を対照集水域とした。皆伐集水域は、6ha の 1 つの集水域をスギを一齐に植林した植栽集水域とし、もう一つの 6ha には植林しないで自然に植生回復させる放置集水域とした。

2005 年冬に皆伐が完了し、その後それぞれの集水域から流出する渓流水質のモニタリングを 2 週間から 2 ヶ月に一度の頻度で行ってきた。本課題では、引き続き採水頻度を落として渓流水の採水を行い、水質の分析を行った。

(2) 様々な森林タイプにおける土壌中の無機態窒素および有機態窒素の動態

森林タイプごとの土壌および有機物層の無機態窒素および溶存有機態炭素・窒素の動態に関する調査は、京都大学フィールド科学教育研究センター北海道研究林標茶区で行った。調査地には、雌阿寒岳、摩周岳、カムイヌプリに由来する火山灰層が厚く堆積している。土壌は黒色火山性土に分類されるが、最表層の土壌は 140 年前に降灰した火山灰が母材であるとされており、高隈演習林同様に比較的新しい土壌である。

調査を研究林内のトドマツ人工林、カラマツ人工林、シラカンバなどの優占する落葉広葉樹林、ミズナラやハルニレの優占する落葉広葉樹林の 4 つの森林タイプで行った。

それぞれの森林タイプに調査区を 5 つずつ設定し、毎木調査、リターフォール生産量、

リターフォールによる窒素還元量、土壌調査を行った。土壌調査では、各調査区で有機物層と0-10cm深の表層土壌を2012年5月から2013年5月にかけて6回採取した。採取した有機物層および土壌は、25℃で約1ヵ月培養を行い窒素無機化速度を測定し、土壌のpH、C/N比、含水比、溶存有機態窒素濃度、アミノ酸態窒素濃度、溶存有機態炭素濃度と三次元蛍光強度、微生物バイオマス炭素・窒素濃度を測定した。

(3) 土壌の広域比較

広域調査地の候補地として、気候条件(冷温帯・暖温帯)や土壌母材(褐色森林土、黒ボク土、未熟土)の異なる地域を選定し、窒素無機化速度の比較を行った。また全国各地の土壌から環境DNAを抽出し、16S rRNA遺伝子による土壌微生物群集のメタゲノム解析を行った。

4. 研究成果

(1) 伐採流域の水質調査

皆伐集水域における渓流水の硝酸イオン濃度は、伐採後直後から1年半後にかけて上昇し、その後減少し、伐採から3~4年で元の濃度水準に戻った。皆伐集水域の硝酸イオン濃度はピーク時には、伐採前や対照集水域の約2~3倍程度であった。これまで他地域で行われてきた伐採試験では、森林伐採に伴う渓流水の硝酸イオン濃度の上昇は、伐採前の数倍から数十倍程度であると報告されているが、本調査地の土壌は、未風化な土壌母材を多く含む未熟土であるため、伐採の影響が小さかったと考えられる。

植栽集水域と放置集水域では、伐採後の硝酸濃度の上昇やその後の濃度減少過程で違いが見られず、スギを植栽しない場合であっても、広葉樹による植生回復が行われる場合には、少なくとも伐採後の初期段階では、植生の窒素吸収などにより窒素の流出が抑制されることが期待される。スギと広葉樹では窒素の吸収特性などが異なるため、今後両集水域で窒素の流出過程がどのように変化していくかに着目していく必要があるだろう。

硝酸イオン以外のイオン濃度については、皆伐集水域と対照集水域流域の違いは、ほとんど見られなかった。硝酸イオンの流出に伴いカルシウムなどのカチオンが流出することが、過去の研究で報告されているが、本調査地では硝酸イオンの流出が比較的少なかったことやカルシウムイオンやマグネシウムイオンなどのカチオン濃度が平均的な渓流水濃度に比べ高いため、カチオンの流出がほとんど見られなかったと考えられた。

(2) 様々な森林タイプにおける土壌中の無機態窒素および有機態窒素の動態

森林タイプごとの窒素循環様式と土壌の無機態窒素、溶存有機態窒素・炭素の動態の関連性を調査した。リターフォールによる土壌への窒素還元量は、シラカンバなどの広葉樹を主体とする落葉広葉樹林やミズナラを主体とする落葉広葉樹林で、落葉針葉樹であるカラマツ人工林や常緑針葉樹であるトドマツ人工林より多かった。落葉広葉樹林ではリターフォールのC/N比が小さく、針葉樹人工林に比べて分解しやすいリターが供給されていると考えられた。有機物層の蓄積量は広葉樹林で針葉樹林より少なく、また窒素蓄積量も少なかったが、有機物層での硝酸態窒素濃度やアンモニア態窒素濃度、溶存有機態窒素濃度、アミノ酸態窒素濃度は人工林と比べて高かった。また、広葉樹林での有機物層の純窒素無機化速度は、トドマツ人工林やカラマツ人工林と比べて高かった。一方で土壌の窒素無機化速度は広葉樹林では針葉樹人工林に比べやや速かったが、無機態窒素濃度や有機態窒素濃度は森林タイプ間でほとんど変わらなかった。

以上のように供給されるリターフォールの質や量、あるいは有機物の堆積量などの窒素循環に関わるパラメータは、森林タイプごとに大きく変化するにもかかわらず、土壌中の溶存有機態炭素や溶存有機態窒素、アミノ酸態窒素、無機態窒素濃度は森林タイプ間で差はみられなかった。一方で有機物層では溶存有機態窒素、アミノ酸態窒素、無機態窒素濃度で森林タイプ間での差がみられた。このことから、有機物層ではリターフォールの影響を直接受けるため溶存有機物や無機態窒素濃度に差が生じやすいが、有機物層下の表層土壌では差が生じにくいと考えられた。ただし土壌中の腐植様物質の蛍光強度は、トドマツ林で最も高くシラカンバ等の優占する落葉広葉樹林で最も低かった。供給されるリターフォールの質が、トドマツ林ではリターフォールのC/N比が高く、落葉広葉樹林では低かったため、土壌においても難分解性の腐植様物質で差がみられたと考えられた。樹種ごとの窒素吸収特性やリターフォールの質、有機物の堆積様式などが、土壌の窒素動態や溶存有機物の動態にも影響を及ぼし、結果として伐採インパクトの程度にも影響を及ぼすと考えられるが、今回の調査では、同一気候帯の同様の土壌タイプの森林では、窒素循環様式や土壌有機物蓄積量には森林タイプ間の顕著な違いがみられる一方で、土壌中の溶存有機物には若干の違いは見られるものの、顕著な違いが見られなかった。今後は、様々な地域で同様の調査を行い、溶存有機物

動態が、渓流水質に与える影響を検討していく必要があると考える。

(3) 土壌の広域比較

皆伐試験を行った高隈演習林において土壌を採取し、窒素無機化・硝化に関わるパラメータの測定を行い、他の森林との比較を行った。高隈演習林は、火山灰性未熟土に覆われ土壌中の有機物や窒素の蓄積量は少ないが、他地域と比較して、純無機化速度・純硝化速度は顕著に小さい値ではなかった。また総無機化・総硝化速度の解析から総無機化速度・総硝化速度は、他地域と比べやや小さい値を示したが、無機態窒素の総不動化速度が他の地域より小さく、その結果土壌中の無機態窒素量が不動化されずにある程度高い濃度を維持したのではないかと考えられた。伐採試験の結果からは、伐採に伴い硝酸態窒素として系外に流出する窒素量は、他の地域での伐採に比べてその影響が小さいことが示唆されたが、土壌の無機態窒素が植生の回復に伴い速やかに吸収されたことも関係すると思われるが、土壌の窒素無機化特性のみでこのパターンを説明することは難しかったため、今後は植生の養分吸収などを含めた詳細なプロセス研究が必要であると考えられる。

土壌中の無機態窒素のうち硝酸態窒素はアンモニア態窒素に比べて、土壌に吸着されにくい流れやすいため、土壌中での無機態窒素の形態変化は渓流水質を考える上でも重要である。土壌中においてアンモニア酸化細菌・古細菌が、アンモニア態窒素を硝酸態窒素に変換する役割を担っているがこれらの微生物の動態は近年までブラックボックスとして扱われることが多かった。そこで本課題では海外の共同研究者と協力し、全国各地の土壌を採取し、土壌 DNA を抽出し、16S rRNA 遺伝子による微生物群集のメタゲノム解析を行った。本課題では、詳細な群集構造が明らかでない古細菌群集に着目して解析を行った結果、ほぼすべての土壌でアンモニア酸化に関わるとされるグループを含む Thaumarchaeota 門が優占することが明らかとなった。Thaumarchaeota 門内のグループでは、地域間差が見られたが、地理的な要因よりは土壌 pH などの環境要因の方が古細菌の群集構造に影響を及ぼすことが示唆された。

本課題では、土壌微生物群集の組成が伐採影響に対してどのような役割を担っているかを十分に明らかにすることが出来なかったため、今後は微生物の群集組成と窒素の無機化特性の関連に着目して研究を行っていく必要があると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

Yamasaki, A., Tateno, R., Shibata, H. Effects of carbon and nitrogen amendment on soil carbon and nitrogen mineralization in volcanic immature soil in southern Kyushu, Japan. *Journal of Forest Research* 16:414-423, 2011 査読有

Shi, W.Y., Tateno, R., Zhang, J.G. Wang, Y.L., Yamanaka, N., Du, S. Response of soil respiration to precipitation during the dry season in two typical forest stands in the forest-grassland transition zone of the Loess Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology* 151: 854-863, 2011 査読有

Fukushima, K., Tateno, R., Tokuchi, N. Soil nitrogen dynamics during stand development after clear-cutting of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) plantations. *J For Res* 16:394-404, 2011 査読有

Kuroiwa, M., Keisuke Koba, K., Isobe, K., Tateno, R., Nakanishi, A., Yoshiyuki Inagaki, Y., Toda, H. Otsuka, S., Senoo, K., Suwa, Y., Yoh, M., Urakawa, R., Shibata, H. Gross nitrification rates in four Japanese forest soils: Heterotrophic versus autotrophic and the regulation factors for the nitrification. *J For Res* 16:363-373, 2011 査読有

Shibata, H. Urakawa, R., Toda, H. Inagaki, Y., Tateno, R., Koba, K., Nakanishi, A., Fukuzawa, K., Yamasaki, A. Changes in nitrogen transformation in forest soil representing the climate gradient of the Japanese archipelago. *J For Res* 16:374-385, 2011 査読有

稲垣善之・稲垣昌宏・三浦覚・小林政広・伊藤優子・吉永秀一郎・戸田浩人・福島慶太郎・館野隆之輔・徳地直子「針葉樹人工林流域における窒素負荷と窒素流亡の関係。」*関東森林研究* 63: 97-100, 2012 査読有

Zhang, J., Taniguchi, T., Tateno, R., Xu, M., Du, S., Liu, G., Yamanaka, N. Ectomycorrhizal fungal communities of *Quercus liaotungensis* along local slopes in the temperate oak forests on the Loess Plateau, China. *Ecological Research* 28:297-305, 2013 査読有

Urakawa, R., Shibata, H., Kuroiwa, M., Inagaki, Y., Tateno, R., Hishi, T., Fukuzawa, K., Hirai, K., Toda, H., Oyanagi, N., Nakata, M., Nakanishi, A., Fukushima, K., Enoki, T., Suwa, Y. Effects of freeze-thaw cycles resulting from winter climate change on soil nitrogen cycling in ten temperate forest ecosystems throughout the Japanese archipelago. *Soil Biology*

and Biochemistry 74: 82-94, 2014 査読有

〔学会発表〕(計 11 件)

舘野隆之輔 Nitrogen uptake and nitrogen use efficiency above and below ground along a topographic gradient of soil nitrogen availability (地形が生み出す土壌窒素環境の傾度に沿った地上部・地下部の窒素吸収量および窒素利用効率の変化) 第 123 回日本森林学会大会 2012 宇都宮大学 (宇都宮)

舘野隆之輔、張健、谷口武士、山中典和、杜盛半乾燥地における斜面位置の違いが樹木の水と窒素の利用効率に与える影響 第 123 回日本森林学会大会 2012 宇都宮大学 (宇都宮)

福澤 加里部・浦川 梨恵子・菱 拓雄・柴田 英昭・宮本 敏澄・井上 貴央・舘野隆之輔 北海道の冷温帯林における細根の有無が土壌の窒素無機化に及ぼす影響 第 123 回日本森林学会大会 2012 宇都宮大学 (宇都宮)

浦川梨恵子・柴田英昭・黒岩恵・稲垣善之・舘野隆之輔・菱拓雄・福澤加里部・平井敬三・戸田浩人・小柳信宏・中田誠・中西麻美・福島慶太郎・榎木勉・木庭啓介・諏訪裕一 森林生態系における土壌の窒素動態に冬季気候変動にともなう凍結融解サイクルの変化が及ぼす影響 第 123 回日本森林学会大会 2012 宇都宮大学 (宇都宮)

舘野隆之輔・Kim, Mincheol・Adams, Jonathan 土壌窒素動態に微生物群集が果たす役割 メタゲノム研究の可能性 第 124 回日本森林学会大会 2013 岩手大学 (盛岡)

今村志帆美・舘野隆之輔 北海道東部における異なる森林タイプでの土壌溶存有機態炭素の季節性 第 124 回日本森林学会大会 2013 岩手大学 (盛岡)

舘野隆之輔 異なる無機化特性を持つ土壌に対する炭素・窒素添加および pH 調整が窒素無機化特性に与える影響 第 125 回日本森林学会大会 2014 大宮ソニックシティ (大宮)

松山周平・河村耕史・鈴木伸弥・福島慶太

郎・舘野隆之輔・境慎二郎・平井岳志・向昌宏・吉岡崇仁 間伐が土壌中のアンモニア酸化細菌に及ぼす影響 第 125 回日本森林学会大会 2014 大宮ソニックシティ (大宮)

今田省吾・舘野隆之輔・谷口武士・Acharya, K, 山中典和 アメリカ乾燥地 Tamarix ramosissima 林における土壌の窒素循環 日本生態学会第 61 回全国大会 2014 広島大学 (東広島)

Shuhei Matsuyama, Koji Kawamura, Shinya Suzuki, Keitaro Fukushima, Ryunosuke Tateno, Takeshi Hirai, Shinjiro Sakai, Masahiro Mukai, Takahito Yoshioka Effect of Forest Thinning on the Understory Vegetation and the Soil Microbes in an Overgrazed Japanese Cedar Forest.

International Symposium on Connectivity of Hills, Humans and Oceans (CoHHO) Integrated ecosystem management from Hill to Ocean 2013 Kyoto UNIV (Kyoto)

Ryunosuke Tateno The Changes in Stream Water Chemistry after Clear-cutting of Forested Watershed Developed on Volcanic Immature Soil in Southern Kyushu, Japan. International Symposium on Connectivity of Hills, Humans and Oceans (CoHHO) Integrated ecosystem management from Hill to Ocean 2013 Kyoto UNIV (Kyoto)

〔図書〕(計 1 件)

Shimizu N, Tateno R, Kasai A, Mukai H, Yamashita Y (eds) Connectivity of hills, humans and oceans: Challenge to improvement of watershed and coastal environments. 2014 Kyoto University Press. pp283

6. 研究組織

(1) 研究代表者 舘野隆之輔 (TATENO RYUNOSUKE)

京都大学・フィールド科学教育研究センター・准教授

研究者番号：60390712