

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：24201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25850114

研究課題名(和文) 酸素安定同位体比が明らかにする森林生態系における窒素流入と内部窒素循環の関連性

研究課題名(英文) Study on interaction between nitrogen cycle and nitrogen input/output in forested ecosystem.

研究代表者

尾坂 兼一 (Osaka, Ken'ichi)

滋賀県立大学・環境科学部・助教

研究者番号：30455266

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では大気降水物として森林に流入する硝酸イオンの利用効率に関する研究を行った。その結果、降雨時には本調査集水域にもたらされた大気降水由来の硝酸イオンの2.9-37.8%(平均：15.5%)が全く利用されずに集水域を素通りして渓流水から流出していた。森林からの硝酸イオン流出のほとんどが降雨時に起こることを考慮すると、森林ではその成長に窒素が不可欠であるにもかかわらず、大気降水物としてもたらされた硝酸イオンの一部は全く使えていないこと、今後大気降水物による硝酸イオン流入量が増加した場合、直ちにある程度流出する硝酸イオンが増加する可能性があることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：To determine the availability of atmospheric nitrate deposition on forested ecosystem we quantitatively evaluated the atmospheric nitrate passing through forest watersheds by measuring oxygen isotope of nitrate leaching at the rainfall events. 2.9-37.8% (average = 15.5%) of atmospheric nitrate deposition passed through the watershed, and that account for 3.1 to 49.8% (average = 26.4%) of nitrate leaching during rainfall events. This suggests the possibility that the nitrate leaching will increase immediately in the forested watershed when the amount of nitrate deposition increases.

研究分野：森林水文学

キーワード：森林 窒素 水文過程 安定同位体比 硝酸イオン 降雨調査

1. 研究開始当初の背景

森林生態系に流入する主たる窒素化合物は硝酸イオン(NO_3^-)であることが知られているが(図1)¹⁾、大気降水物として森林生態系に流入する NO_3^- のどの程度が植生や微生物に取り込まれ利用されているのか、大気降水物由来の NO_3^- と森林土壌中で生成される硝化由来の NO_3^- では、移動性や流出特性にどのような違いがあるのかは十分に明らかにされていない。

既存の研究では、森林生態系から流出する NO_3^- のほとんどは硝化で生成されたものであり、大気降水物由来の NO_3^- は一度、森林生態系の窒素循環系に取り込まれていることが報告されている²⁾。さらに Aber *et al.*, (1998)¹⁾ は既存研究のレビューから、一般的な森林生態系において大気降水物として供給される NO_3^- は一度植生、微生物に吸収されるため、 NO_3^- 流入量が増加しても当分は森林生態系からの NO_3^- 流出量は増加しないと仮説を立てている。しかしこれらの研究では、降雨時流出の影響が考慮されていないことに加えて定性的な知見が多い。特に日本のような多雨、急峻な森林からの NO_3^- 流出の大半は降雨時に起こることが報告されており、我が国において森林生態系内の窒素循環過程と流入する NO_3^- の関係を議論するためには、降雨時を含めた定量的な観測、考察が必要であると考えられる。

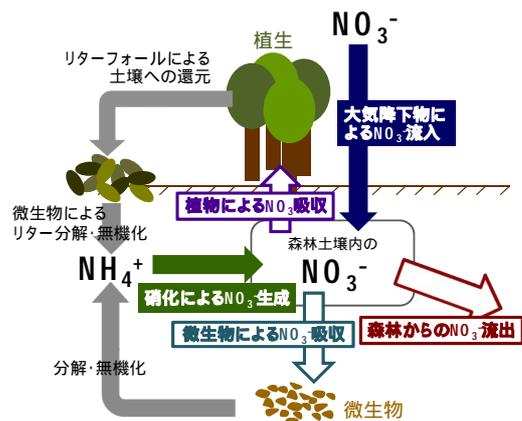


図 1. 森林生態系における窒素循環過程と森林に流入する窒素の関係

2. 研究の目的

本研究では大気降水物由来の NO_3^- と硝化由来の NO_3^- の酸素安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$)に大きな違いがあることに着目し、大気降水物由来と硝化由来の NO_3^- それぞれの森林生態系内での挙動を明らかにすることでこれらを解明する。それにより、森林生態系内の窒素循環過程における外部流入窒素の役割や、大

気降水物による森林生態系への NO_3^- 流入量増大が流出する NO_3^- 量に与える影響を理解するための基礎的知見を得る。

3. 研究の方法

森林生態系における大気降水物由来と硝化由来の NO_3^- それぞれの挙動、流出特性について NO_3^- の酸素安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$)を用いて解明する。調査地は滋賀県南部に位置する油日森林実験集水域に設定し、林内雨、土壌水、地下水、渓流水、土壌試料の採取し、試料中の NO_3^- 濃度と NO_3^- の酸素安定同位体比の測定を行った。渓流水の採取は 2-4 週間間隔の平水時の採水と、計 8 回の降雨時調査を行った(降水量: 3.0 mm から 144 mm)。土壌水は調査集水域内の 2 斜面のそれぞれ上部に 1 地点(深さ 10、30cm)、下部に 2 地点(深さ 10、30cm)、テンションフリーライシメーターを設置して 3 週間に 1 度程度採取した。また林内雨は流域内の 2 地点で採取し、林外雨は林冠の開けた流域末端から 30m 程度離れた場所で採取した。土壌は流域内 3 斜面のそれぞれ上部と下部において土壌を採取(3 回)して 2mm のふるいで篩ったのち、KCl 抽出を行った。

4. 研究成果

(1) 平水時と降雨時における渓流水中の NO_3^- の起源

平水時と降雨時における渓流水中の NO_3^- の起源解析の結果、平水時には大気降水物由来 NO_3^- がほとんど流出していないことが明らかになった。この結果は他の研究例と一致する。一方、降雨時には本調査集水域にもたらされた大気降水物由来の NO_3^- の 2.9-37.8%(平均: 15.5%)が全く植生や微生物に吸収されることなく集水域を素通りして渓流水から流出しており、その大気降水物由来の NO_3^- は本集水域から流出する NO_3^- の 3.1-49.8%(平均: 26.4%)を占めていることが明らかになった。また、大気降水物由来 NO_3^- の流出量は、植物・微生物の NO_3^- 吸収量に影響を与えると考えられる地温や、大気降水物によ

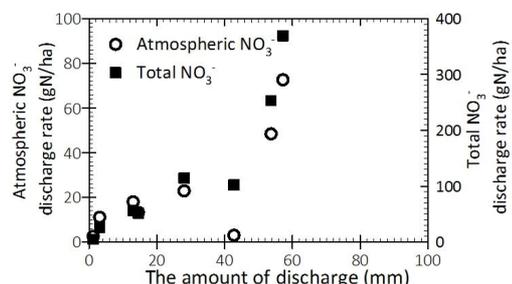


図 2. 降雨時における渓流水総流出量と大気降水物由来 NO_3^- 、総 NO_3^- 流出量の関係

る NO₃⁻流入量よりも降雨時の渓流水総流出量に影響されており(図2)集水域の水文学的な特性が大気降水由来の NO₃⁻流出に強く影響していることが示唆された。

(2) 土壌水中の NO₃⁻濃度と酸素安定同位体比

本集水域内の各テンションフリーライシメーターで採取した土壌水の採水量と NO₃⁻濃度を掛け合わせて NO₃⁻移動量を計算したところ、2014年4月18日から2015年1月24日の期間に林内雨として本流域にもたらされた NO₃⁻量は 6.75 kgN/ha であり、土壌深 10, 30cm を通過した NO₃⁻はそれぞれ 2.10 kgN/ha, 3.07 kgN/ha であった。また土壌深 10, 30cm を通過した土壌表層に流入した大気降水物 NO₃⁻の 43-122% (平均値 83%) が土壌深 30cm 以深へ流出していると考えられた。つまり、本研究におけるテンションフリーライシメーターで採取された土壌水によって輸送される大気降水物由来 NO₃⁻の大部分は植物や微生物に吸収されることなく表層土壌層を通過していると考えられる。

一方で、降雨調査、平水時調査の流域スケールの結果からは、降雨時には本調査地にもたらされた大気降水物由来の NO₃⁻の 2.9-37.8% (平均 15.5%) が集水域を素通りして渓流水から流出していること、平水時には大気降水物由来 NO₃⁻はあまり流出していないことが明らかになっており、最終的に集水域単位での大気降水物 NO₃⁻流出割合はテンションフリーライシメーターで採取された土壌水によって輸送される大気降水物 NO₃⁻流出割合よりも明らかに少なかった。これらの原因の説明として、テンションフリーライシメーターで採取されるような選択流によって輸送される大気降水物由来 NO₃⁻はマトリックフローによって輸送される大気降水物由来 NO₃⁻よりも微生物や植物に利用されにくい可能性が考えられる。またこのことは、土壌中の水移動過程が、大気降水物によって

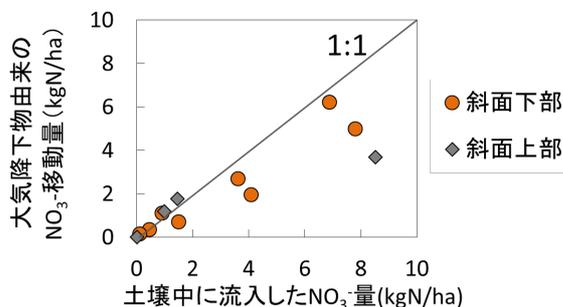


図 3. 土壌中に流入した大気降水物 NO₃⁻と土壌から流出する大気降水物由来 NO₃⁻量の関係

流域にもたらされる窒素の利用効率に強く影響を与えていることを示していると考えられた。

(3) 土壌中の NO₃⁻濃度と酸素安定同位体比

本調査集水域の土壌中の NO₃⁻の濃度の平均値は斜面下部の 0-10, 20-30 cm でそれぞれ 1.13, 0.65mgN/kg-drysoil, 斜面上部の 0-10, 20-30 cm でそれぞれ 0.04, 0.05mgN/kg-drysoil であり極めて低かった。そのため土壌中の NO₃⁻の酸素安定同位体比を測定できたサンプルは一部であった。測定できた硝酸イオンの酸素安定同位体比は-0.2 から 26.6‰であり、土壌抽出溶液中の硝酸イオンは土壌水中の硝酸イオンと比べて大気降水物由来硝酸イオンの割合が低いと考えられた。このことは硝化由来の硝酸イオンよりも大気降水物由来の硝酸イオンの方が流出しやすいことを示していると考えられる。

(4) まとめ

本研究地の平水時の NO₃⁻濃度は 0.3mgN/L 程度であること、土壌中の NO₃⁻濃度も他の流域と比較して低いことから、本研究地では窒素飽和が起こっているとは考えられない。それに関わらず、大気降水物由来の NO₃⁻は全てが森林生態系に取り込まれることなく、一部が流出していた。このことは Aber, J. et al.¹⁾らの初期の窒素飽和仮説とは異なるものの、Lovett and Goodal³⁾らの窒素飽和仮説にかんする近年の知見と一致する。また本研究では大気降水物由来の NO₃⁻流出量は同規模の降雨でも総渓流水流出量が多いほど多く、集水域の水文過程が大気降水物の流出プロセスに影響を与えていることが示唆される。

<引用文献>

- 1) Aber, J. et al. (1998) *BioScience*, 48, 921-934.
- 2) Williard K. W. et al., (2001) *Journal of Hydrology*, 252, 174-188.
- 3) Lovett G. M. and Goodale C. L. *Ecosystem*, 14, 615-631.

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 1 件)

久郷達朗,尾坂兼一,川村湧也,永淵修 ヒノキ人工林集水域における表面流の発生とそれが集水域からの溶存態窒素流出に

与える影響, 陸水研究, 査読あり, 2, 2015, 27-37.

[学会発表](計 7件)

尾坂兼一,小牧直人,川村湧也,村田哲也,久郷達朗,中村高志,西田継,永淵修,森林生態系における大気降水由来硝酸イオンの利用率に関する研究,日本地球惑星科学連合,2014/4/28-5/2

久郷達朗,尾坂兼一,中村高志,伊井裕美,岩井美咲子,西田継,永淵修,硝酸イオンの酸素安定同位体比を用いた森林流域における窒素移動過程の解明,日本地球惑星科学連合,2014/4/28-5/2

尾坂兼一,小牧直人,川村湧也,村田哲也,久郷達朗,中村高志,西田継,永淵修 (2014) 森林生態系における大気降水由来硝酸イオンの利用率に関する研究, JpGU, 横浜大会(2014年4月28-5月2日)

Osaka, K., K. Komaki, Y., Kawamura, T., Kugo, T., Murata, T., Nakamura, K., Nishida, O., Nagafuchi (2014) Atmospheric nitrate discharge processes in rainfall events at forested watersheds: The availability of atmospheric nitrate for forested ecosystem, AGU, San-Francisco.

久郷達朗,尾坂兼一,中村高志,伊井裕美,岩井美佐子,西田継,永淵修 (2014) 硝酸イオンの酸素安定同位体比を用いた森林流域における窒素移動過程の解明, JpGU, 横浜大会(2014年4月28-5月2日)

Kugo, T., K. Osaka, T., Nakamura, Y., Ii, M., Iwai, K., Nishida, O., Nagafuchi (2014) Transportation and consumption processes of atmospheric nitrate in forested watershed in Shiga prefecture, central Japan. AGU,

San-Francisco.

藤田健斗,尾坂兼一,千代真照,永淵修,中村高志,西田継 レジンコア法とテンションフリーライシメーター法を用いた森林土壌における無機態窒素移動量とその起源測定, 日本地球惑星連合, 2015/5/24-28, 幕張

[その他]

ホームページ等

<http://www.ses.usp.ac.jp/lab/osaka/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

尾坂 兼一 (OSAKA Kenichi)

滋賀県立大学・環境科学部環境生態学科助教

研究者番号: 30455266