

報道関係者 各位

 2015年1月21日
国立大学法人 東京農工大学

新たな窒素循環解析法を構築し森林の持つ窒素除去能力を明らかに ～地球上の窒素循環システム解明に貢献～

国立大学法人東京農工大学大学院農学研究院物質循環環境科学部門の木庭啓介准教授と中国科学院応用生態学研究所のYunting Fang教授のグループは、森林生態系をめぐる硝酸態窒素がとる窒素酸素安定同位体比並びに酸素同位体比異常の新しい解析手法を構築し、これまで考えられていたよりもずっと多くの窒素が微生物による脱窒反応で森林生態系から除去されていることを明らかにしました。さらに、脱窒による窒素除去能力は、窒素がより多く供給される森林生態系では低下してしまう可能性があることを発見しました。

この研究成果は、二酸化炭素の固定能力をはじめとした森林の機能を理解する上で非常に重要で、富栄養の森林では効果的に窒素が除去されないかもしれないという、生態系の保全を考える上で重要な知見もたらしました。また、構築された解析手法は、今後、様々な森林測定に活用され、森林での硝化・脱窒の仕組みの解析を通じて、地球全体の窒素循環システムの解明に貢献できると期待されます。

本研究成果は、米国科学アカデミー紀要（英語：Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America（略称 PNAS））オンライン版に掲載されました。

掲載誌：Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

論文名：Microbial denitrification dominates nitrate losses from forest ecosystems

著者名：Yunting Fang, Keisuke Koba, Akiko Makabe, Chieko Takahashi, Weixing Zhu, Takahiro Hayashi, Azusa A. Hokari, Rieko Urakawa, Edith Bai, Benjamin Z. Houlton, Dan Xi, Shasha Zhang, Kayo Matsushita, Ying Tu, Dongwei Liu, Feifei Zhu, Zhenyu Wang, Guoyi Zhou, Dexiang Chen, Tomoko Makita, Hiroto Toda, Xueyan Liu, Quansheng Chen, Deqiang Zhang, Yide Li, and Muneoki Yoh

掲載 URL: <http://www.pnas.org/content/early/recent>

現状：近年の人間活動の増大に伴い、森林に重要な養分である窒素が大量に供給されるようになりました。そのために森林が持つ温室効果ガス削減能力が低下したり、下流の生態系が富栄養化してしまうのではないかと考えられています。一方で、供給された窒素を森林から取り去るプロセスである脱窒（嫌気的環境での微生物による硝酸呼吸）については、その重要性が昔から唱われているものの、測定が大変困難であり、どれだけ重要であるかはよく分かっていません。特に広くて複雑な森林全体からどれだけ脱窒で窒素が失われているかを推定することはほとんど不可能な状態です。

研究体制：本研究は東京農工大学；木庭啓介准教授、戸田浩人教授、楊宗興教授、眞壁明子氏（2014年11月まで産学官連携研究員）、高橋智恵子氏（2014年3月まで大学院農学府修士課程）、林貴広氏（2014年3月まで大学院農学府修士課程）、穂刈梓氏（2013年3月まで産学官連携研究員）、松下佳代氏（2007年3月まで大学院農学府修士課程）、牧田朋子氏（2013年1月まで産学官連携研究員）、Xueyan Liu氏（2014年3月まで産学官連携研究員）、中国科学院応用生態学研究所；Yunting Fang教授（2013年3月まで東京農工大学産学官連携研究員）、Edith Bai氏、Dan Xi氏、Shasha Zhang氏、Ying Tu氏、Dongwei Liu氏、Feifei Zhu氏、Zhenyu Wang氏、Quansheng Chen氏（現在中国科学院植生研究所）、ニューヨーク州立大学；Weixing Zhu准教授、東京大学；浦川 梨恵子氏、カリフォルニア大学デービス校；Benjamin Houlton准教授、中国科学院華南植物園；Guori Zhou氏、Dequang Zhang氏、中国林業科学研究院；Yide Li氏という日本、米国、中国による国際研究チームで実施しました。対象は熱帯から温帯にかけての6森林であり東京農工大学 FM 多摩丘陵と FM 大谷山を含みます（表1）。

研究成果：本研究では森林での硝酸態窒素 (NO_3^-) の挙動解析により森林全体で起きている脱窒の規模を推定することを目指し、 NO_3^- の持つ窒素 ($\delta^{15}\text{N}$)・酸素 ($\delta^{18}\text{O}$) 安定同位体比、並びに酸素同位体比異常 ($\Delta^{17}\text{O}$) というパラメーターを用いた新たな窒素循環解析法をつくり、それを用いて東アジアの6つの脱窒速度推定を行いました。

森林生態系での NO_3^- について、まずそのインプットについてみると、大気からのもの (図1の F_A) については比較的容易に測定可能です (表1) が、集水域中でどれだけ NO_3^- が微生物により生成されているか、つまり総 NO_3^- 生成速度 (総硝化速度; F_N) を見積もることは不可能でした。そこで我々は NO_3^- の $\Delta^{17}\text{O}$ を使った方法 (図2; Riha et al. 2014 Ecosystems) により森林全体での総硝化速度を見積り、43~119kg/ha/yr という値を得ることができました (表1)。

次に NO_3^- アウトプットを見てみると、 NO_3^- の流出 (F_L) については比較的容易に実測できるものの (表1)、どれだけ植物や微生物によって NO_3^- が吸収され (F_U)、どれだけ脱窒で失われているか (F_D) についてはやはり分かりません。ここで、 NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ に着目すると、渓流水の NO_3^- がもつ $\delta^{15}\text{N}$ 値は土壌中の NO_3^- の $\delta^{15}\text{N}$ 値と比べて高い値を示す (^{15}N が濃縮している) ことが分かりました。この $\delta^{15}\text{N}$ 上昇は、生物による NO_3^- 吸収と脱窒による NO_3^- 消費によるものですが、それらの相対的な寄与はこれまで発表された吸収、脱窒の際の同位体分別 (どれだけ ^{14}N と ^{15}N の反応速度に違いがあるか) というものを用いて推定することが可能です。この推定計算を行ったところ、森林全体での脱窒速度は 5.6~30.1kg/ha/yr となりました。この値は、脱窒の中間生成物である一酸化二窒素 (N_2O) の放出速度等からこれまで間接的に推定されていた結果と比較して遙かに大きな値でした (表1)。さらに森林から失われる窒素のうち、どれだけ脱窒が寄与しているかという割合は、大気からの窒素沈着が多い、富栄養になってしまった森林でむしろ低いということが示唆されました (表1)。このことは、富栄養になってしまっている森林で効果的に脱窒によって窒素が除去されないかもしれないという、生態系の保全を考える上で重要な知見をもたらすこととなりました。

表1 本研究での調査地とその窒素循環の特徴、並びに同位体比解析により計算された総硝化速度と脱窒速度

| | 尖峰岭 一次林 | 尖峰岭 二次林 | 鼎湖山 | FM 大谷山 老齢林 | FM 大谷山 中齢林 | FM 多摩丘陵 |
|--|-------------|------------|-------------|---------------|---------------|-------------|
| 場所・気候帯 | 中国・熱帯 | 中国・熱帯 | 中国・熱帯 | 日本・温帯 | 日本・温帯 | 日本・温帯 |
| 年平均降水量 (mm) | 2449 | 2449 | 1997 | 1743 | 1743 | 1780 |
| 年平均気温 (°C) | 19.8 | 19.8 | 21.0 | 9.7 | 9.7 | 14.0 |
| 窒素沈着速度* | 6.1 | 6.1 | 33.5 | 11.3 | 11.3 | 14.8 |
| 計算された総硝化速度* | 48 | 43 | 116 | 88 | 119 | 118 |
| NO_3^- 流出速度* | 2.5 | 2.4 | 18.4 | 13.0 | 12.4 | 13.3 |
| 計算された脱窒速度* | 15.4 | 5.6 | 30.1 | 12.1 | 19.7 | 22.3 |
| 計算された $\text{N}_2\text{O}/(\text{N}_2\text{O}+\text{N}_2)$ 法による脱窒速度* | 3.0 | 6.0 | 9.4 | 0.2 | 0.2 | 1.8 |
| 窒素損失における脱窒の寄与 (%) | 86 | 70 | 62 | 48 | 61 | 63 |

*: 単位は(kg N ha⁻¹ yr⁻¹)

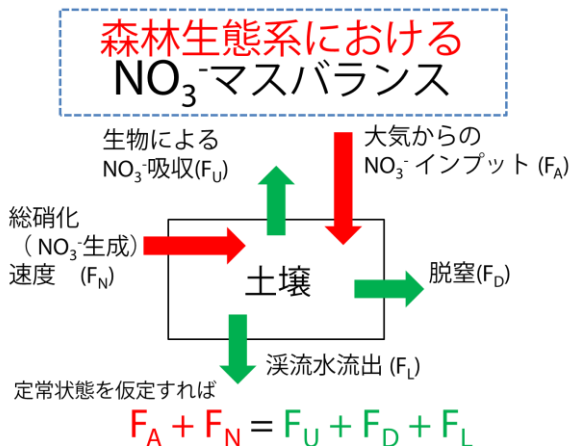


図1 森林生態系の NO_3^- マスバランス

$\Delta^{17}\text{O}$ による集水域総硝化速度推定法

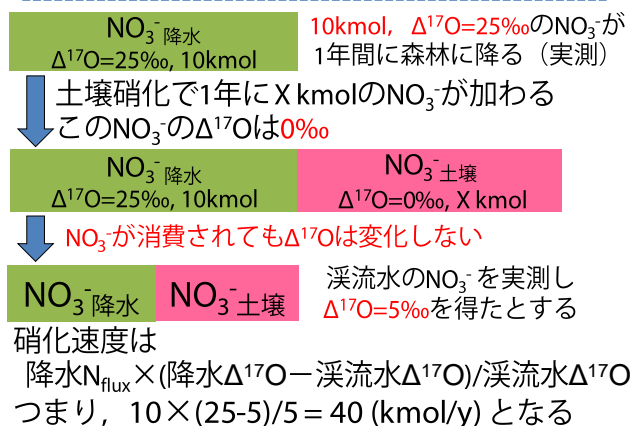


図2 NO_3^- の $\Delta^{17}\text{O}$ による集水域総硝化速度推定法

今後の展開：今後はこの新しい手法を用いて様々な森林での測定を展開し、森林での硝化・脱窒がどのように制御されているかを解析して行くことで地球全体の窒素循環が今後どのように変化して行くかの見積もりに貢献できると期待されます。

◆ 研究に関する問い合わせ ◆

東京農工大学大学院農学研究院
物質循環環境科学部門 准教授
木庭 啓介 (こば けいすけ)
TEL/FAX : 042-367-5951

keikoba@cc.tuat.ac.jp

<http://www.tuat.ac.jp/~keikoba/>