

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 石 瑠

森林生態系における窒素循環は最も基礎的な物質循環の一つであると同時に、複数の機能群に属する生物群集によって駆動されている極めて複雑な構造を持っている。産業革命以降、化石燃料の燃焼や化学肥料の製造・使用が増加し、可給態窒素の大気への放出、地上への降下が劇的に増大したため、近年、先進国の温帯森林を中心に「窒素飽和現象」が報告され始めている。

このした背景を踏まえ、この研究は窒素沈着量の多い都市近郊林を対象にして、大気から窒素が森林に流入する過程、土壌中で窒素循環に取り込まれる過程について、2つの比較的新しい同位体測定技術を用いた方法を適用し、実態を解明している。

第一章では、当該分野のこれまでの研究をレビューし、この研究の必要性を論じている。

第二章では、調査手法が説明されている。調査は、東京大学田無演習林内のスギ (*Cryptomeria japonica*) 人工林とクヌギ (*Quercus acutissima*) が優占する落葉広葉樹二次林で行われた。調査は、森林へのインプットから土壌中の雨水浸透過程における無機態窒素濃度と、 $\text{NO}_3^-$ の窒素、酸素安定同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ ) の測定と、植生の成長期において、窒素の無機化、硝化特性の測定からなる。

試料水中の  $\text{NO}_3^-$  の安定同位体比の測定には、脱窒菌法が用いられた。この方法は 2001 年に開発された方法で、それまでに用いられていた手法に比べて格段に処理効率が高い。測定される  $\text{NO}_3^-$  の  $\delta^{18}\text{O}$  は、大気中で生成された  $\text{NO}_3^-$  の場合、60~95 % であるのに対し、土壌中で微生物によって生成される場合、-15~15 % と顕著な差がある。このため、この測定値から、試料水中の  $\text{NO}_3^-$  に含まれる大気由来の  $\text{NO}_3^-$  と土壌微生物生成由来の  $\text{NO}_3^-$  の存在比を推定することができる。

土壌中の有機態窒素の無機化と硝化は微生物の活動によって進行する。また、微生物はこの無機態窒素を吸収することで再有機化を進め（不動態）、結果、窒素は土壌中で循環する。この一連の窒素の形態変化は、土壌試料を一定環境条件下で培養し、培養前後の  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$  の存在量の増減から、純無機化速度、純硝化速度を評価する手法によって従来、記述されてきた。これに対して、実際の形態変化速度（総無機化速度、総硝化速度）を測定する手法として、 $^{15}\text{N}$  トレーサーを利用した同位体希釈法が 1990 年代に提案された。この研究では、上術の 2 つの同位体を

利用した手法が適用された。

第三章では、大気沈着でもたらされる  $\text{NO}_3^-$  が樹冠を通過して林床に至るまでと土壤中での動態についての考察が行われている。

$\text{NO}_3^-$  濃度は、スギ林では、A 層表層部で最も高く、下層でも明らかな減少が見られないのに対して、クヌギ林のプロットでは A 層以下の鉍質土層で徐々に減少していた。溶存  $\text{NO}_3^-$  の  $\delta^{18}\text{O}$  値は、両プロットで、林内雨、樹幹流 60~70% であるのに対し、A 層の表層部の土壤水で 2~7% と急激に低下していた。このことから、大気沈着として流入した  $\text{NO}_3^-$  が、リター層、A 層表層部で微生物生成による  $\text{NO}_3^-$  と混合し、大半が微生物生成由来の  $\text{NO}_3^-$  となっていることが明らかになった。

加えて、クヌギ林では、着葉期において樹幹流中の  $\text{NO}_3^-$  の  $\delta^{18}\text{O}$  値は、樹体表面で微生物によって生成された  $\text{NO}_3^-$  が大気沈着由来の  $\text{NO}_3^-$  と混合していることを示唆していた。樹体表面における微生物による  $\text{NO}_3^-$  生成について  $\text{NO}_3^-$  の同位体比変化から検証が行われたのは本研究が最初である。

第四章では、土壤中での微生物活動による窒素の形態変化を明らかにし、三章の結果とあわせて、土壤中での  $\text{NO}_3^-$  濃度の鉛直分布や変化に関する考察が行われた。

$\text{NO}_3^-$  の  $\delta^{18}\text{O}$  値は、スギ林、クヌギ林のリター層、A 層表層部で、大気沈着で供給される  $\text{NO}_3^-$  が微生物によって生成される  $\text{NO}_3^-$  と混合し、大部分が微生物由来の  $\text{NO}_3^-$  によって占められていることを示していたが、 $^{15}\text{N}$  トレーサーを用いて測定された総硝化能の高さは、これを裏付けるものであった。また、スギ林では A 層表層より深い部位において  $\text{NO}_3^-$  濃度が減少しないのに対して、クヌギ林では、その部位において  $\text{NO}_3^-$  濃度の急激な減少が見られた。このことは、クヌギ林でこの部位の総不動化速度が総硝化速度を上回っていることと対応しており、微生物による窒素の保持機構が機能していることが明らかになった。

第五章では、以上の研究成果を踏まえ、都市近郊の森林における大気沈着  $\text{NO}_3^-$  の樹冠-土壤連続系での動態とそのメカニズムを要約している。

以上の研究成果は、森林科学において学術上応用上寄与するところが少なくない。よって、審査委員一同は本論文が博士（農学）の学位論文として価値あるものと認めた。