HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Studies on the influences of trees and understory vegetation on the soil nitrogen dynamics in a cool-temperate mixed forest [an abstract of entire text]
Author(s)	井上, 貴央
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	甲第12676号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65594
Type	doctoral thesis
File Information	Takahiro_Inoue_summary.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士（環境科学）　　氏 名 井上 貴央

学 位 論 文 題 名

Studies on the influences of trees and understory vegetation on the soil nitrogen dynamics in a cool-temperate mixed forest

(冷温帯混交林における土壌窒素動態に対する樹木と下層植生の影響に関する研究)

森林生態系は炭素貯留や木材供給、水質調整など様々な生態系機能やサービスを供給している。窒素は多くの森林で植物の成長を制限する養分であり、植物は主に無機態窒素の形態で窒素を吸収するため、その生成・消費といった土壌窒素動態は生態系機能やサービスに影響する重要なプロセスである。

植生はリターの供給や養分吸収を介して土壌窒素動態に影響する重要な要因であり、一般的に樹種によって土壌窒素動態は異なることが知られている。成熟林は局所的な自然撹乱とその後の遷移によって樹種や下層種が空間的に不均質に分布する特徴をもつため、そこでの植生と土壌窒素動態の関係を理解することは環境変動による植生変化が窒素循環を介して森林の生態系機能やサービスにどのように影響するのかを予測する上で重要な知見となる。

樹種が土壌窒素動態に及ぼす影響のこれまでの理解は主に異なる純林を比較した研究から明らかになってきた。しかし、成熟林のように複数の樹種や下層種が混交する森林において植生と土壌窒素動態が空間的にどのような関係にあるのかはまだ十分に理解されていない。また、樹種による土壌窒素動態の違いはリターフォールの質と分解速度の違いが関係していることはよく知られているが、そのメカニズムの理解は不十分である。溶存有機物（DOM）は無機態窒素の基質であり、土壌微生物のエネルギー源でもあるため、土壌に供給されるDOMの特性の植生による違いが土壌窒素動態の違いを生み出していることが考えられるが、DOMの特性が土壌窒素動態に及ぼす影響を調べた研究は少ない。

林床にササが密生する冷温帯針広混交林は北海道の代表的な森林タイプであり、そのような森林では台風などの撹乱により林冠ギャップが形成されると、急速にササが林床を覆うため樹木の天然更新が起こりにくい。その結果、林冠ギャップが長期的に維持されるため、針葉樹、広葉樹、ササが密生する林冠ギャップがモザイク状に分布する特徴をもつ。そこで本研究は、冷温帯針広混交林において植生による林床リター、溶存有機物の質、土壌水分の違いが土壌中の窒素動態にどのように影響するのかを明らかにすることを目的とした。

研究は北海道北部に位置する北海道大学雨龍研究林の冷温帯針広混交林で行った。第二章では土壌中の窒素無機化速度に影響する要因として、植生によるリターの質と土壌水分

の違いに着目し、針広混交林内におけるリターフォール、土壌水分、林床リター、土壌窒素プールの空間分布を詳細に分析し、それらと植生分布との関係性を解析した。林内48ヶ所におけるグリッド調査（約800m^2）では、表層土壌に含まれる無機態窒素、土壌水分および林床リター層の厚さを測定した。また、下層植生（ササ）の被度に基づいた3種類のコドラート調査（各5反復）では、リターフォールの量・組成、表層土壌の理化学性、室内培養による正味無機化・硝化速度などを測定した。その結果、リターフォールの種組成（針葉樹、広葉樹、ササの相対割合）と周囲の針葉樹・広葉樹本数、ササバイオマスとの間には有意な正の相関関係が認められた。また、針葉樹のリターフォールは広葉樹やササと比べて炭素／窒素比が有意に高かった。林床のリター層は針葉樹リターの割合が多い場所ほど厚くなる一方、ササが優占して広葉樹が混じっている場所では薄くなる傾向があった。これらの結果から、林内における針葉樹と広葉樹、ササの不均一分布により、土壌へ供給されるリターフォールの組成が場所により異なることが示された。また、針葉樹リターは広葉樹やササよりも分解速度が遅いことから、リターの分解性の違いによって林床リター層の厚さの空間パターンが形成されていることが示唆された。さらに、周囲に針葉樹が多く、林床リター層が厚い場所ほど土壌水分は低い傾向にあったことから、針葉樹の林冠による高い降雨遮断や、針葉樹下での厚いリター層の存在が土壌水分の分布に影響していることが示唆された。そして、土壌水分と土壌の硝酸態窒素（NO_3^-）現存量には有意な正の相関関係が認められ、土壌のNO_3^-現存量は室内培養実験による正味硝化速度と有意な正の相関関係を示した。これらのことから、森林内における不均一な植生分布に影響されている土壌水分の違いは、土壌微生物による硝化活性への影響を介して土壌NO_3^-現存量の空間パターンを形成していることが示唆された。つまり、リター分解と土壌水分、微生物活性への影響を介して、針葉樹周辺ではNO_3^-現存量が小さく、逆にササが密生する林冠ギャップと広葉樹の周辺では土壌NO_3^-現存量が大きくなることが明らかとなった。

第三章では、植生が土壌窒素動態に及ぼす影響のメカニズムを理解するためにDOMの質に着目した。土壌有機物は無機態窒素の基質であり、新しく土壌に供給された有機物はすでに存在している古い有機物よりも分解性が高いことが知られている。そして、DOMは土壌有機物の主要な起源であるため、植物から土壌に供給されるDOMの特性の植生による違いは土壌NO_3^-現存量の空間パターンの重要な形成要因であると予想される。しかし、DOMの特性が土壌窒素動態に及ぼす影響を調べた研究は少なく、このことは十分にわかっていない。

そこで、針葉樹と広葉樹、ササにおける溶存有機態炭素（DOC）と溶存有機態窒素（DON）の濃度やフラックス、DOMの質の違いが土壌中の窒素動態に及ぼす影響について、特に土壌におけるNO_3^-生成や溶脱に着目して研究を行った。第二章の調査地を含む約3haの集水域において、アカエゾマツ、ミズナラ、林冠ギャップ（ササ優占）が優占する場所で林内雨、リター層浸透水、鉱質土壌浸透水（深度10 cm）を採取し、DOC、DONの濃度とフラックスを分析するとともに、吸光光度法・蛍光光度法を用いてDOMの質

的評価を行った。また、土壌水に含まれるNO_3^-には大気から直接供給されたものと硝化によって生成されたものが混合しているため、両者の相対的な寄与率を把握するためにそれぞれの水サンプルに含まれるNO_3^-の三酸素同位体異常（$\Delta^{17}O$）を分析した。そして、土壌に供給されるDOMの量や質が硝化プロセスに与える影響を調べるため、主成分分析および重回帰分析によりDOMの量や質と溶存NO_3^-濃度や溶存無機態窒素（DIN）に占めるNO_3^-の割合（NO_3^-/DIN）との関係を解析した。浸透水に含まれるNO_3^-に占める大気由来NO_3^-の割合は、リター層浸透水で平均16%、土壌水で平均7%であり、リター層や土壌から溶脱するNO_3^-は大気沈着に由来するものよりも、土壌微生物による窒素無機化・硝化のプロセスを経由するものが主体であることが明らかとなった。林冠から表層土壌にかけて浸透するDOMは、ササの下ではアカエゾマツやミズナラと比べてDOC、DON濃度、DOC/DON比が低く、難分解性を示す腐植様物質の割合も低かった。一方、これらの値はアカエゾマツの下で最も高い値を示した。リター層を浸透するDOMの特性の変動は林床リター層の厚さ、つまりリター分解の程度と関係があり、林床リター層が厚くなるほど植物由来の腐植様物質の割合と腐植化の程度が高くなる関係が認められた。一方、林床リターが薄くなるほど易分解性物質であると考えられるたんぱく質様物質の割合が高くなる関係が認められた。また、ササとミズナラの下では林床リター層の厚さは同程度であるにも関わらずミズナラのリター層を浸透するDOMの方が難分解性の指標の値が高く、この違いはミズナラの林内雨のDOMがササよりも難分解性の指標の値が高い傾向を示すことに起因すると考えられた。これらの結果から、リター層を浸透するDOMの特性の形成には林内雨DOMの特性と林床リターの分解程度の違いが影響していることが示唆された。

ササの土壌はアカエゾマツの土壌と比べてNO_3^-/DINとNO_3^-フラックスが有意に高く、NO_3^-/DINの変動はリター層浸透水のDOMの特性によって説明されることが主成分分析と重回帰分析から示された。具体的には、土壌に供給されるDOMがたんぱく質様物質と微生物由来物質の割合が高く、腐植化度とDOC/DON比が低い特徴を持つ場合、つまり、分解性が高くCに対してNに富む場合、土壌水のNO_3^-/DINは高くなる関係があることが示された。このことから、植生により土壌に供給されるDOMの特性（DOMの由来やDOC／DON比）が異なり、それが土壌からのNO_3^-溶脱に強く影響していることが明らかとなった。

本研究から、局所的な撹乱とその後の遷移により空間的に不均質な植生分布が形成される北海道の冷温帯針広混交林では、針葉樹、広葉樹、ササが優占する林冠ギャップの分布は、リターフォールの質と土壌水分率、溶存有機物の質の違いを介して土壌NO_3^-の現存量、正味硝化速度、溶脱NO_3^-濃度やフラックスの空間変動に影響していることが明らかとなった。そして、ササが優占する林冠ギャップでは針葉樹周辺と比べて土壌中のNO_3^-の濃度や溶脱フラックスが高いことが明らかとなった。

自然撹乱とその後の遷移によって植生分布が変化しつつ維持されている北海道の針広混交林において、現在の植生分布と土壌窒素動態の空間パターンに関係があるという本研究

の結果は、植生変化に対して土壌窒素動態の空間パターンは比較的早く応答することを示唆している。地球温暖化によって針葉樹は広葉樹に置き交わっていくことや台風の頻度と強度が増加することが予測されており、それに伴いササが優占し長期的に維持される林冠ギャップの面積も増加すると考えられる。主要な構成要素である針葉樹と広葉樹、ササが優占する林冠ギャップと土壌窒素動態の関係を明らかにした本研究の成果は、将来の気候変動による植生変化が生態系の窒素循環に与える影響を予測するうえでも非常に有意義なものである。