



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Role of root litter on soil nitrogen transformations under winter climate change in forest ecosystems [an abstract of entire text]
Author(s)	細川, 奈々枝
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12947号
Issue Date	2017-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/68185
Type	doctoral thesis
File Information	Nanae_Hosokawa_summary.pdf



学位論文内容の要約

博士（環境科学）

氏 名 細川 奈々枝

学位論文題名

Role of root litter on soil nitrogen transformations under winter climate change in forest ecosystems
(冬季気候変動下における森林生態系の土壌窒素変換に根リターが果たす役割)

季節的な積雪に覆われる温帯林地域において、冬季の生態プロセスは生態系機能を駆動する重要な因子である。十分な量の積雪は冷たい大気から土壌を保護することで、土壌微生物や植物根の活性を低いながらも維持させる役割がある。冬季気候変動によって降雪量が低下すると、土壌は大気の温度変化に伴って凍結融解を生じ、植物細根や土壌微生物の活性低下や死亡率の増加をもたらす。このような変化は、土壌の窒素動態などの冬季の生態プロセスに影響を与えていると考えられている。土壌の窒素変換は、土壌微生物の活性や機能とともに、基質の量や化学的な質によって規定される。一般的に、基質の質と窒素動態の関係は化学量論から説明される。土壌微生物は、微生物体を構成する炭素(C)と窒素(N)の比率(C/N比)を維持するために基質を利用することから、微生物体から放出される無機態窒素(窒素無機化)量は基質のC/N比によって制御されると考えられる。森林生態系における主要な基質の供給源は落葉と枯死細根である。冬季の土壌微生物にとって枯死細根は重要な基質源であると考えられていることから、冬季気候変動による枯死細根の増加は、土壌の窒素変換に大きく影響する可能性があるが、その影響は十分には分かっていない。さらに、植物が土壌に与える影響は、植物の種類によって様々な様相を示す。植物の種類の違いは、直接的には細根リターの化学的・物理的特徴を介して土壌の窒素変換に影響すると考えられる。また、植物の種類はその植生特有の土壌微生物組成を発達させることで、間接的に土壌の窒素変換に影響する。そのため、土壌の窒素変換の冬季気候変動に対する応答は細根リターの存在や植生種によって異なる可能性があるが、具体的にどのように異なるのかについては十分に明らかになっていない。そこで本研究では、冬季気候変動下での土壌窒素変換における細根リターの役割に着目し、各種の室内実験と野外操作実験を行った。

第二章では、調査地の基礎情報を示すと同時に、野外操作実験の方法について記述した。北海道東部に位置する京都大学北海道研究林標茶地区内に実験サイトを設置した。実験サイトはミズナラ(*Quercus crispula*)の優占する二次林で、下層にはミヤコザサ(*Sasa nipponica*、以下ササ)が密生している。このサイトにおいて、2013年秋に幅 5 m・長さ 12 m の方形プロットを計12個設定した。各プロットで実験前の土壌条件の観測として土壌凍結深・土壌含水率・無機態窒素量の測定を行なった。各プロットでの観測結果に基づき、土

壤条件に顕著な差が出ないように、除雪プロットと対照プロットを6個ずつ選定した。2014年12月から2015年の2月にかけて（降雪期間）、冬季気候変動による積雪量の低下を模倣した除雪実験を行なった。野外操作実験における除雪処理は月に一度の頻度で行い、土壌表面と植生の保護のために、表面には10 cm程度の積雪を残した。また、除雪プロットと対照プロットで（それぞれ $n=4$ ）細根バイオマスおよび枯死細根量の季節変化を測定した。両プロットで細根バイオマスと枯死細根量に明瞭な季節変化は認められず、除雪処理の影響は有意でなかった。生根はミズナラがササよりも有意に多かったが、枯死細根ではササがミズナラよりも有意に多かった。このことは、ササの細根リター生産はミズナラと比較して土壌内のC・N動態に対する寄与が大きいことを示唆していた。

第三章では、細根リターの植物種の違いが土壌の窒素変換に与える影響を明らかにするため、室内培養実験を行った。一般的に、植物根の重量あたりの長さ（SRL）が長いほど根の窒素含量が高く、分解速度が速くなると考えられている。さらに、土壌の凍結融解はリターを物理的に破砕するとともに、溶脱物質を増加させることでリター分解を促進すると考えられているが、凍結融解が細根リターやその後の窒素動態に与える影響の種間差は十分に明らかでない。本章では、実験サイトに優占する植物であり、C/N比が高くSRLの低いミズナラ細根とC/N比が低くSRLの高いササ細根が凍結融解下での土壌の窒素変換に与える影響を比較した。さらに、土壌窒素変換の時間変化を測定することで、植物種間での細根リターの化学的、物理的特徴の違いが与える影響を考察した。

野外操作サイトのプロット（ $n=12$ ）から土壌を採取し、凍結融解処理（ $n=9$ ）と凍結なし処理（ $n=6$ ）で培養を行なった。凍結融解処理では、0 °Cから-5 °Cの温度振幅を12時間インターバルで7日間振幅させる凍結融解期間と、その後に続く5 °C一定で7日間培養する融解期間を設けた。さらに、凍結融解期間と融解期間での正味窒素無機化速度（アンモニウム化速度と硝化速度の総和）の時間変化を比較した。凍結なし処理は5 °C一定で14日間培養を行い、前半7日間と後半7日間での時間変化を測定した。また、各培養期間終了時の総アンモニウム化速度、総硝化速度および微生物バイオマスを測定した。実験サイトから、ミズナラとササの細根リターを採取して実験に用いた。細根はそれぞれ風乾して1 cm幅に切断した。土壌培養開始の直前に、ミズナラ細根リターは1.5 mg g soil⁻¹、ササ細根リターは1.0 mg g soil⁻¹加え、全窒素量が同量になるように添加した。また、細根リターを凍結融解処理の凍結融解期間と凍結なし処理の前半7日間で培養（ $n=3$ ）し、細根リターから溶脱する溶存有機物炭素（DOC）量と溶存有機窒素（DON）量を測定した。

土壌の凍結融解は細根リターの種類に関わらず、正味硝化速度を有意に低下させ、正味アンモニウム化速度および正味窒素無機化速度を有意に増加させた。また、ミズナラとササでは正味窒素無機化速度の促進時期が異なり、ササ細根リターは土壌凍結融解期間中に、ミズナラ細根リターは凍結融解後の融解期間中に正味窒素無機化を促進させた。総アンモニウム化速度・硝化速度は正味生成速度と似た傾向を示した。凍結融解イベントによってササ細根リターから溶脱するDONはミズナラ細根リターよりも有意に多かった。また、ササ細根リターから放出されるDOCとDOC/DON比はミズナラ細根リターよりも有意に小さかった。これらのことから、C/N比が低く、分解されやすい基質であるササ細根リターの

添加は、土壤微生物に利用されやすい溶存有機物を迅速に供給することで、土壤凍結期間中の窒素無機化が促進されたものと考えられた。一方、ミズナラ細根リターの添加では、凍結融解イベントによる物理的破碎等の作用によってリターの利用性が高まり、細根リターからの溶存有機物供給が増加することで融解期間中の窒素無機化が促進されたものと考えられた。さらに、細根リターの窒素無機化促進作用は凍結融解によって増加し、その増加程度はミズナラ細根リターの方がササ細根リターよりも大きかった。このことから、凍結融解が細根リターを介して土壤の窒素変換に与える影響には、細根リターの分解性が大きく影響していることが明らかになった。

第四章では、異なる植生下における土壤窒素変換の凍結融解に対する応答を、積雪量を減少させる野外操作実験によって検討した。植生の違いは土壤の窒素蓄積量に違いをもたらす一方で、窒素無機化速度や土壤の凍結融解に対する耐性などが異なる土壤微生物群集を発達させる。そこで本章では、土壤の凍結融解が細根リターを介して土壤の窒素動態に与える影響は植生間で異なるだろうという仮説を立てた。

実験サイトであるミズナラ林とミズナラ林に隣接するカラマツ林で、表層から10 cmまでの鉱質土壤をそれぞれ12ヶ所から採取した。各サンプリング箇所の土壤を二つに分け、片方にはササの細根リターを $1.0 \text{ mg g soil}^{-1}$ 添加し、一方は細根リターを加えない対照処理とした。それらの土壤サンプルをポリエチレン袋に入れ、実験サイトの除雪プロットと対照プロット]の土壤表層から5 cmに埋設し（Buried-bag法）、2014年12月から2015年5月にかけて計127日間培養を行なった（ $n=6$ ）。培養期間中の正味窒素無機化速度および、正味DOC変化速度と正味DON変化速度を測定した。

除雪処理は土壤の最低地温を低下させ、凍結融解の振幅数を増加させた。除雪プロットの正味硝化速度と正味窒素無機化速度は、対照プロットよりも有意に低下した。一方、正味アンモニウム化は除雪プロットで対照プロットよりも有意に増加した。培養前の土壤全C量、全N量、C/N比に植生間で有意差はなかったのにも関わらず、除雪プロットでのササ細根リターの添加に対する正味窒素無機化速度の応答は、植生間で異なっていた。すなわち、除雪プロットにおいて、細根リター添加の無い土壤では、ミズナラ林土壤の方がカラマツ林土壤よりも窒素無機化速度が大きかったのに対し、細根リターを添加した土壤では、両土壤間の窒素無機化速度に有意差が認められなかった。これは、除雪プロットにおいてミズナラ林土壤は細根リター添加によって窒素無機化速度が低下したのに対して、カラマツ林土壤では細根リター添加による窒素無機化速度の変化は小さかったことに起因すると考えられた。細根リター添加に対する窒素無機化の応答の違いには、両林分下の土壤での溶存有機物の生成や利用に関する土壤微生物の機能の違いが関係していると考えられた。窒素無機化過程の基質であるDONの正味消費速度は、ミズナラ林土壤の方でカラマツ林土壤よりも多かった。一方、土壤微生物のエネルギー源となるDOCの変化は、細根リター添加に対して土壤間で異なる応答を示した。細根リター添加によって、ミズナラ林土壤ではDOC生成量が低下したのに対し、カラマツ林土壤では増加した。このことは、溶存有機物の利用性や生成速度がカラマツ林土壤でミズナラ林土壤よりも高いことを示唆していた。

第五章では総合考察として、野外操作実験と室内培養実験の結果に基づき、気候変動に

よる土壌の凍結融解イベントの変化が土壌の窒素変換に与える影響を議論した。第三章では、細根リターの植物種によって窒素無機化の促進タイミングが異なることが明らかになった。第四章では植生によって細根リター添加と除雪処理に対する冬季のDOC動態や窒素動態に違いがあり、土壌微生物のDOC分解と利用に関する機能が異なることが影響していると考えられた。

野外実験で観測された冬季のDOC生成速度の植生による違いは、土壌微生物による窒素消費への影響を介して、成長期における正味窒素無機化速度に対して植生間で対照的な変化を生み出すと考えられた。すなわち、冬季にDOC生成量が低下したミズナラ林では成長期の正味窒素無機化速度が増加するのに対し、冬季にDOC生成量が増加したカラマツ林では成長期の正味窒素無機化速度が低下すると予想された。さらに、室内実験で示された、凍結融解による細根リターの分解性の増加から、土壌の凍結融解の細根リターを介した影響は、長期的には両林分での土壌のCとN蓄積量を減少させうると考えられた。

本研究から、冬季気候変動による凍結融解レジームの変化は、細根リターのような新鮮有機物の増加を介して、土壌の窒素変換に影響することが明らかとなり、その応答は植生によって異なっていた。また、細根リターの植物種の違いは、窒素無機化の増加タイミングが異なることで、土壌中の窒素変換に影響していた。以上のことから、冬季の気候変動が森林生態系の窒素動態に与える影響を評価する上で、森林の構成種や土壌微生物の機能の違いや、それらによる溶存有機物の動態を考慮することの重要性が示された。