

学 位 論 文 題 名

ササ型林床をもつ冷温帯林の炭素・窒素動態における
細根の役割

学位論文内容の要旨

森林生態系は炭素固定や水土保持など地球環境の保全に重要な役割を果たしていると認識されている。その一方、大気中の CO_2 濃度上昇、大気窒素沈着量の増加や気候変動などの地球規模の環境変化や森林伐採などの各種攪乱に曝されている。様々な攪乱は森林生態系内部での炭素・窒素動態を変化させ、炭素の正味放出や河川への窒素流出などを引き起こすことが知られている。攪乱影響下での森林生態系の構造や機能の変化を理解するためには、環境変化や攪乱に対する流域レベルでの炭素・窒素動態の応答を解明することが必要である。また、細根生産・枯死に伴う炭素・窒素フラックスは、生態系内部においてリターフォールと同等かそれ以上に重要であると考えられているのにも関わらず、直接観測が難しいために未だに十分解明されていない。さらに、東アジア、とりわけ日本の多雪地域に分布する冷温帯林に密生する林床植生であるササが森林生態系の炭素・窒素動態に果たす役割は解明されていない。

そこで、本研究は北海道大学天塩研究林のササ型林床をもつ冷温帯林の炭素・窒素動態における細根の役割を解明することを目的とした。具体的には、細根生産と枯死が森林の純一次生産 (NPP) や土壌への炭素・窒素の供給に果たす役割を解明することや、森林伐採に対する細根動態と炭素・窒素動態の応答から、伐採後の炭素動態や窒素溶脱における細根生産の役割を明らかにし、そこでのササが果たす役割を解明することを目指した。そのために本研究では未攪乱の森林および森林伐採（択伐・皆伐）後の細根生産量・枯死分解量を定量的に評価するとともに、林分や流域レベルでの炭素・窒素動態を観測し、それらの相互関係を考察した。

未攪乱の森林における調査(第2章)では、細根を直接観察できるミニライゾトロンを用い、未攪乱林分における細根の垂直分布と生産・枯死分解の季節変化を解明した。60cm 深までの細根バイオマスは 774 g m^{-2} で、その 71% がササであり、60% が表層土壌 (0–15 cm) に集中した。このことから本生態系においては、ササが細根の重要な構成要素であることが示唆された。細根生産は地温が高い晩夏 (8 月) に増加し、温度が潜在的に細根生産の季節性を支配していることが推察された。加えて、細根生産速度はササの葉面積指数 (LAI) と有意な相関があり ($P < 0.001$)、細根生産がササ LAI (葉の生産) と同調していることが示唆された。一方、細根の枯死分解速度は年間を通して比較的一定だった。細根生産と枯死分解ターンオーバーは表層土壌で高く、深層になるほど減少した。3 年間の観測から得られた表層の年間生産・枯死分解ターンオーバー (回転) は、それぞれ $0.4\text{--}1.7 \text{ year}^{-1}$ 、 $0.3\text{--}1.0 \text{ year}^{-1}$ だった。これらのことから、ササは本生態系における細根の主要な構成要素であり、細根生産の季節変化にも大きく影響していることが明らかになった。

次に、優占木であるミズナラの択伐が細根動態と土壤呼吸速度、窒素溶脱に及ぼす影響を明らかにした(第3章)。表層土壤(0-15 cm)での細根の根長密度は、対照区より伐採区で常に高かった。また、細根生産量も伐採区で高く、伐採後の周辺木やササの細根生産の促進が示唆された。さらに、ササ LAI は伐採区で有意に高いことから、光環境の変化によるササ地上部の生産促進が伐採区での細根増加に寄与していることが示唆された。一方、地温と土壤体積水分率は択伐後に上昇しなかった。地温が上昇しないのは、択伐後もササによる被覆や厚く堆積しているリターが遮光したためと考えられた。したがって、択伐後の地温・土壤水分の変化による細根動態や分解系への影響は小さかったものと推察された。実際に、土壤溶液中の $\text{NO}_3^- \cdot \text{NH}_4^+$ 濃度や土壤呼吸速度は処理区間で有意差がなく、択伐後、土壤の炭素・窒素動態に変化はなかった。以上のことから、本生態系では林床にササが生育するために択伐後も細根バイオマスが維持され、このために択伐に対する土壤の炭素・窒素動態の変化は小さいことが示された。

さらに、森林伐採に対する細根動態、窒素無機化速度、炭素・窒素動態の応答を、ササの寄与に着目して流域レベルで明らかにした(第4章)。流域(8 ha)を含む14 haを皆伐し(河畔林域は保残帯として残した)、その後ササ刈り取りを行なった。皆伐後の生育期に河川水の NO_3^- 濃度は有意に上昇しなかったが、その後のササ刈り取り後に濃度は上昇し、刈り取り前に比べて有意に高かった。伐採区域の土壤溶液中の NO_3^- 濃度は皆伐後に上昇したが、濃度上昇の程度は皆伐後よりもササ刈り取り後に高かった。一方、河畔林保残帯では土壤溶液中の NO_3^- 濃度は皆伐後も低く、河畔林が皆伐後に NO_3^- のシンクとして作用することが示唆された。皆伐後に樹木根は減少したがササ根は増加したために、総細根バイオマスに有意な変化はなかった。その後のササ刈り取り後には、ササ刈り取り区での細根バイオマスはササ保残区に比べて50%減少した。これらの結果から、ササの窒素吸収によって皆伐後の窒素溶脱が抑制され、ササ刈り取り後にはササの窒素吸収が減少したために河川への NO_3^- 溶脱が引き起こされたものと考えられた。また、土壤の硝化速度は休眠期、生育期ともに伐採区で高かった。積雪がある休眠期には地温は処理区間で変わらないため、ササ刈り取り区では窒素無機化の基質となる新鮮なササリターや枯死根の移入が窒素無機化・硝化を促進したと考えられた。以上のことから、ササ型林床をもつ冷温帯林では、ササが細根生産を通じて森林伐採による窒素の流出を緩衝していることが明らかになった。

総合考察では、まず未攪乱の森林の純一次生産(NPP)や土壤への有機物・炭素・窒素供給に細根が果たす役割とササの細根動態への寄与について考察し、そして森林伐採(択伐・皆伐)が細根動態や炭素・窒素動態に及ぼす影響とササの役割について考察した。未攪乱の森林における観測から、ササ型林床をもつ冷温帯林では、地上部バイオマスは樹木が圧倒的に大きい、細根バイオマスではササの方が樹木より大きいことが示された。また、細根NPPは森林生態系のNPPの20-53%を占め、細根枯死は地上部リターフォールと並んで、土壤への有機物および炭素や窒素の供給経路として重要であることが解明された。森林伐採によって樹木による炭素固定や養分吸収がなくなったが、択伐・皆伐ともに、伐採後の細根バイオマスや細根生産量は減少しないことが明らかとなった。その原因として、樹木細根が減少したのに対して、伐採後も残ったササの細根生産が促進したためであると考えられた。このことが伐採に起因する土壤から河川への窒素溶脱を抑制していると考えられた。

以上のことから、ササ型林床をもつ冷温帯林においては、細根生産・枯死分解は土壤における炭素・窒素の貯留や移動などを支配する主要なメカニズムであり、ササが森林生態系全体の細根動態に大きく寄与していることが解明された。そしてササの存在が森林伐採後の細根バイオマス

や生産量および流域レベルでの炭素・窒素動態の維持に大きく貢献していることが明らかになった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 笹 賀一郎
副 査 教 授 佐 藤 冬 樹
副 査 教 授 小 池 孝 良
副 査 助教授 柴 田 英 昭

学 位 論 文 題 名

ササ型林床をもつ冷温帯林の炭素・窒素動態における 細根の役割

本研究は 74 ページの和文論文で、引用文献 122 を含み、5 章で構成されている。他に参考論文 6 編が添えられている。

森林生態系は炭素固定や水土保持など地球環境の保全に重要な役割を果たしていると考えられている。その一方、大気中の CO₂ 濃度上昇、大気汚染、森林伐採などの環境変化は、森林生態系の炭素・窒素動態を変化させ、炭素の正味放出や河川への窒素流出などを引き起こすことも知られている。それらの影響を明らかにするためには、環境変化に伴う森林生態系の炭素・窒素動態のメカニズムやプロセスの詳細な解明が必要となっている。

森林生態系における細根生産・枯死による土壌への炭素・窒素供給は、地上部におけるリターフォールに匹敵するほど重要であると考えられているのにも関わらず、直接観測が難しいために研究例は極めて少ない状況にある。とりわけ、日本の多雪冷温帯林に密生する林床植生のササについて、細根が森林生態系の炭素・窒素動態に果たす役割はほとんど明らかになっていない。本研究は、ササ型林床をもつ冷温帯林の炭素・窒素動態における細根の役割を解明することを目的とし、細根が森林の純一次生産や土壌への炭素・窒素の供給に果たす役割や、森林伐採に対する細根と炭素・窒素動態の応答やその関係を明らかにしようとしたものである。

北海道北部に位置する北海道大学天塩研究林内の天然林において、細根を直接観察できるミニライゾトロンを用い、細根の垂直分布や生産・枯死の季節変化に関する観測をおこない、以下のような事項が明らかにされている。60cm 深までの細根バイオマスの約 70% をササが占め、ササの細根が重要な構成要素となっている。また、細根生産の季節変動はササの葉面積指数の変動と有意な相関があり、細根生産とササ葉の生産の間には密接な関係

があることが把握された。細根の生産と枯死分解は、表層土壌でより活発であり、深層になるほど減少する状況も把握された。これらのことから、ササは未攪乱森林生態系における細根の主要な構成要素であり、細根生産の時間的・空間的变化に大きく寄与していることが明らかになった。

次に、優占木であるミズナラの択伐が細根と炭素・窒素動態に及ぼす影響を明らかにするため、単木伐採区と対照区において細根動態と土壌溶液組成・土壌呼吸速度の比較調査をおこなっている。これらの調査により、伐採区の表層土壌(0-15 cm)における細根の根長密度や生産量は対照区より常に高く、伐採後の周辺木やササの細根生産が促進されている状況が把握された。また、択伐後における地温と土壌水分の変化が小さい状況も把握され、残存するササの被覆や堆積リターによって、伐採による土壌の熱・水環境の変化が緩和されたものと判断された。これらの結果から、土壌溶液中の無機態窒素濃度や土壌呼吸速度には処理による影響が認められず、択伐による土壌炭素・窒素動態の変化は小さいことが明らかになった。

さらに、流域レベルでの樹木皆伐に対する細根や炭素・窒素動態の応答について明らかにするため、皆伐実験を実施している。流域全体(8 ha)において樹木の皆伐とササ筋刈りを行い、両処理による細根や炭素・窒素動態の変化が調べられている。細根バイオマスにおいて、樹木の細根は皆伐後に減少したが、ササの細根は増加し、細根バイオマスの合計量は皆伐処理によって有意な変化が生じない状況が把握された。また、ササ地上部を刈り取ると、ササ細根バイオマスは、ササ保残区に比べて50%減少することも明らかになった。土壌微生物による硝化速度がササ刈り処理によって高まることも明らかにされ、地温の上昇や新鮮リターおよび枯死根の増加によるものと判断された。伐採区の土壌溶液中の硝酸濃度は、樹木皆伐後よりも、ササ刈り取り後に著しく高くなる傾向が把握された。また、樹木を皆伐したのにもかかわらず、皆伐後の生育期に河川水の硝酸イオン濃度は上昇せず、その後のササ刈り取り後において濃度が上昇することも確認された。これらのことから、樹木皆伐後においても、林床植生として残存するササの窒素吸収によって皆伐後の窒素溶脱が抑制されたものと判断された。

これらの成果をもとに、未攪乱の森林生態系における純一次生産(NPP)や土壌への炭素・窒素供給に細根が果たす役割とササの寄与について総合的な考察をおこなっている。ササ細根 NPP は森林生態系の NPP の 20-53 %を占め、細根枯死は地上部リターフォールと並んで、土壌への有機物および炭素や窒素の供給経路として重要であることや、ササが森林生態系全体の細根動態に大きく寄与していること、そしてササの存在が森林伐採後における流域レベルでの炭素・窒素動態の維持に大きく貢献していることが明らかにされた。

以上のように、本研究はササ型林床をもつ冷温帯林の炭素・窒素動態における細根の役割について明らかにしており、得られた成果は学術的に貴重なものであるとともに、森林

生態系における環境保全対策の基礎資料としても高く評価されている。よって、審査員一同は、福澤加里部が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。