



Title	森林管理に伴う土壌攪乱後のミミズ群集の定着と窒素動態における役割 [全文の要約]
Author(s)	河上, 智也
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15130号
Issue Date	2022-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/87498
Type	doctoral thesis
File Information	Kawakami_Tomoya_summary.pdf



学位論文内容の要約

博士（環境科学）

氏名 河上 智也

学位論文題名

森林管理に伴う土壌攪乱後のミミズ群集の定着と窒素動態における役割

(Colonization of earthworm community and their role in nitrogen dynamics after soil disturbance during forest management)

森林土壌は、栄養塩の供給によって森林の一次生産を支えるとともに、多くの土壌生物の住処として生物多様性の維持へ貢献している。そのため、森林土壌を健全に維持することは、土壌生物による多様な生態系機能の発揮に繋がる。土壌動物の中でもミミズは、多くの森林において単位面積あたりの現存量が最も多い無脊椎動物であるとともに、生態系エンジニアとして知られている。一方で、森林管理のために行われる様々な作業は、多くの場合に土壌生態系を攪乱し、ミミズ群集へ負の影響を与えることが懸念されている。そのため、ミミズへの負の影響を抑えた森林管理方法や、管理後の生態系においてミミズが果たす役割を明らかにすることは、ミミズによる窒素動態の駆動や一次生産の向上といったミミズに関わる重要な生態系機能が発揮されるような育林技術の開発につながると期待できる。一方で、人為的な攪乱がミミズ群集に及ぼす影響は、農地や草地、採掘跡地などの生態系における研究例が先行しており、木材生産を目的とした森林管理作業(伐採や地拵えなど)がミミズ群集へ及ぼす影響や、作業跡地におけるミミズの生態系機能についてはよく理解されていない。ミミズによる生態系機能が発揮されるような森林を育成していくためには、森林管理に伴う土壌攪乱がミミズ群集へ及ぼす影響や、作業跡地へのミミズ群集の再定着を制限する要因、ミミズ群集の再定着が土壌の窒素動態や更新する樹木へ及ぼす影響を解明することが重要である。

そこで本研究は、特に強度な土壌攪乱を伴う森林管理の事例として、北海道で実施されている「かき起こし施業」を対象に研究を行った。かき起こし施業は、樹木の天然更新を補助することを目的に、樹木にとっての競争植生であるササ類を、重機を用いて表層土壌ごと除去する作業である。本研究は、かき起こし施業地での長期的なミミズ群集の動態を明らかにし、さらにミミズが土壌の窒素動態に与える影響、および窒素動態の改変を介して更新する樹木に与える影響を明らかにすることを目的とした。

攪乱からの年数の経過とミミズの個体数との関係を検証したこれまでの研究は、いずれも短期的な年数の経過(長くとも、25年)に注目しており、長期的なミミズ群集の動態は未解明となっている。そこで第2章では、土壌攪乱(かき起こし施業)からの経過年数が異なる複数の森林において、ミミズ群集が再定着を開始する時期や群集の長期的な動態、およびその動態を制限する環境要因を明らかにすることを目的に、野外調査を実施した。野外調査は、2021年7月に北海道大学天塩研究林において行い、かき起こし施業からの経過年数が1-49年と異なる15林分と、比較のために人為的な攪乱がない天然林3林分を対象に、ミミズ群集、植生(樹木の胸高断面積合計、ササ類の稈数密度)、土壌環境(リターの堆積量、土壌密度、pH、含水率、全炭素、C/N比)の調査を行なった。なお、かき起こし施業からの経過年数に伴うミミズ群集の動態を検証するために、一般化線形混合モデルを用いて解析を行った。特に、説明変数には、かき起こし施業からの経過年数(Age)に加えて、経過年数に伴う非線形的な変化を考慮するために、経過年数の2乗の項(Age²)を含めて解析した。調査の結果、かき起こし施業の直後では、土壌中にミミズは分布しておらず、ミミズの生息地である表層土壌を強度に攪乱する森林管理は、ミミズ群集を消失させることがわかった。一方、そうしたかき起こし施業によるミミズ群集への悪影響は短期的にしか持続せず、ミミズ群集は攪乱から比較的初期(10年以内)に再定着が始まることが明らかになった。また、ミミズ群集の再定着の開始と同時期に樹木が更新し始めていたことから、かき起こし施業地への速やかなミミズ群集の再定着は、樹木の回復によって実現することが示唆された。さらに、ミミズ群集のかき起こし施業からの経過年数に伴う長期的な動態を一般化線形混合モ

デルにより検証した結果、経過年数の 2 乗の項(Age²)を含むモデルが選択された。具体的には、ミミズの個体数密度は、かき起こし施業からおよそ 30 年目までは経過年数に伴い増加するが、その後は減少に転じており、特に 40 年代のかき起こし地では 30 年代のものと比較して低い傾向にあった。すなわち、約 50 年間という長期的な時間スケールでは、ミミズ群集の豊富さは、攪乱からの年数の経過に伴い単調増加しないことが明らかとなった。一方で、経過年数に伴う樹木の胸高断面積合計およびササ類の稈数密度の変動パターンは、ミミズ群集の経過年数に伴う変動パターンとよく似た傾向を示した。また、ミミズ群集の個体数密度は、樹木の胸高断面積合計とササ類の稈数密度とそれぞれ正の関係を持っていたことから、攪乱からの年数の経過は、植生の面での生息環境の質の変動を介して、ミミズ群集の変動パターンを決定した可能性が考えられた。以上のことから、かき起こし施業は、比較的早期にミミズ群集の再定着を許す管理方法であり、また適切な植生管理を実施することでミミズ群集の豊富さを高いレベルで維持できる可能性が示された。

第 3 章では、森林管理に伴う土壌攪乱跡地において、ミミズの再定着が土壌の窒素動態へ及ぼす影響を明らかにすることを目的に、室内実験を行った。ミミズのような生態系エンジニアが改変した環境は、自身がいなくなった後も維持され、他の生物の活動や生態系機能に影響し続けることが知られている。ミミズについても、土壌改変の効果は持続的であり、ミミズがいなくなった後も、改変された土壌の化学性や物理性は長期にわたって維持されることが知られている。このような長期間持続する生態系エンジニアによる環境改変の効果は「履歴効果」と呼ばれている。一方でミミズが存在することによる短期的な効果は「存在効果」と呼ばれている。かき起こし施業は、ミミズによる履歴効果がみられる表層土壌を取り除くため、施業後にミミズ群集が再定着したばかりの土壌では存在効果が卓越する。その一方で、ミミズの再定着後の時間の経過とともに、ミミズの履歴効果が蓄積し、存在効果と合わせた影響が土壌機能に及ぶと予想される。すなわち、攪乱後の土壌においてミミズ群集が土壌機能に及ぼす影響を理解するためには、ミミズによる履歴効果と存在効果の違いを明らかにすることが重要である。ミミズの履歴効果と存在効果は、その両方が土壌の窒素動

態に影響を及ぼすが、ミミズの履歴効果は存在効果を改変することによっても窒素無機化に影響を及ぼす可能性が近年の研究により報告されている。一方で、このミミズの履歴効果が存在効果を改変する可能性を示した先行研究では、ミミズの履歴がない土壌としては遷移初期の未発達土壌を用いている一方で、ミミズの履歴がある土壌としては遷移後期の発達した土壌を用いている。つまり、先行研究で使用されているミミズの履歴がある土壌とミミズの履歴がない土壌では、ミミズが土壌の物理構造や化学性を改変した履歴以外にも、植生の違いやリター供給量の違いによる差異も含まれていることを意味している。すなわち、先行研究においてはミミズの履歴効果のみを分離して検証できておらず、履歴効果と存在効果の相互作用が窒素無機化に及ぼす影響については、検証の余地がある。そこで第3章では、かき起こし施業直後の土壌について、ミミズの履歴効果と存在効果の組み合わせが、土壌の窒素動態に与える影響を室内実験により検証した。なお本研究では、ミミズの履歴効果がない土壌としては、かき起こし施業を実施した直後の土壌を用い、ミミズの履歴効果がある土壌としては、かき起こし施業を実施した直後の土壌をミミズ(サクラミミズ)により事前使用させることで準備した。また、ミミズによる履歴効果が土壌の窒素動態に及ぼすメカニズムに言及するために、ミミズによって作り出された物理構造(糞団粒など)を人為的に破壊する処理を設けた。第3章の結果では、ミミズの履歴効果と存在効果は、相加的に土壌中の無機態窒素濃度を増加させることがわかった。この結果は、ミミズの履歴効果と存在効果の両方が、攪乱直後の土壌における窒素動態へ影響することを示唆している。一方で、ミミズが作り出した土壌の物理構造を破壊した処理では、破壊しない処理と比べて窒素無機化速度が高くなった。このことは、ミミズの履歴効果は、土壌の化学性の改変を介して無機態窒素濃度を増加させる一方で、土壌の団粒化を介して窒素無機化を抑制する働きがあることが明らかになった。さらに、本研究では、先行研究で報告されているような、ミミズの履歴効果が存在効果を改変するといった、履歴効果と存在効果の相互作用は検出されなかった。このことは、少なくとも、森林管理に伴う攪乱直後の土壌においては、ミミズの履歴効果のみでは、ミミズの存在効果が窒素無機化に及ぼす影響を改変しない可能性を示唆した。

さらに、第4章では、森林管理に伴う土壌攪乱跡地において、ミミズの再定着が木本種の種子の発芽および実生の初期成長に与える影響を、野外実験により検証した。ミミズが植物に及ぼす影響は、植物の生育段階によって異なることが知られている。ミミズが植物個体の生存や成長に及ぼす影響は、正および負の影響ともに存在するが、正味の影響としては正の影響が卓越する。主な影響プロセスとしては、窒素の無機化促進が挙げられる。一方、ミミズが植物に及ぼす負の影響については、種子の発芽段階で多く報告されており、ミミズが植物の種子を摂食したり、種子を発芽不能な土壌深部へと埋設することによって発芽率を低下させる。一方で、特にミミズの存在が種子の発芽に及ぼす影響を検証したこれまでの研究は、表層採食地中性種(表層でリターや土壌を摂食し地中に生息する種)のミミズを対象としたものがほとんどであり、他の生活型の分類群(例えば、地中性種など)が植物の種子の発芽に及ぼす影響は未解明となっている。特に、日本北部のような寒冷地帯では、表層採食地中性種のミミズはほとんど分布しておらず、地中性種(表層から鉱質土壌層に生息し土壌を摂食する種)のミミズが特に高いバイオマスを占めている。そこで第4章では、地中性種のミミズ(サクラミミズ)による履歴効果と存在効果の組み合わせが、木本種の種子の発芽および実生の成長に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、圃場において野外培養実験を行った。対象とした木本種は、北海道北部における攪乱跡地において優占的に見られるダケカンバを用いた。第4章の結果では、ミミズの履歴効果と存在効果による樹木への影響は、樹木の生育段階によって異なることがわかった。具体的には、ミミズの履歴効果と存在効果はともに、種子の発芽には影響を及ぼさなかった。このことは、少なくとも北海道北部の森林に生息するミミズは、樹木の種子の発芽に影響を及ぼさないことが示唆された。また、実生の初期成長については、ミミズの存在効果よりも、履歴効果が土壌中の無機態窒素量(特に、硝酸態窒素量)の増加を介して、実生の地上部の成長を促進することが明らかとなった。

最後に、第5章の総合考察では、本論文で得られた結果をもとに、かき起こし施業地において、土壌の窒素動態や、樹木の成長に果たすミミズの役割について考察した。具体的には、
1) 強度な土壌の攪乱を伴う場合でも速やかな植生の回復が期待できる場合は、ミミズ群集

は早期に再定着が可能となること、2) ミミズの履歴効果と存在効果の違いを認識することで、施業地に現存あるいは過去に生息していたミミズが、窒素動態や更新する樹木に及ぼしてきた影響をより正確に評価可能となることが示唆された。本研究の成果は、北海道北部において、森林の一次生産を向上させるといったミミズによる生態系機能の保全に配慮した森林管理方法を開発する上で、重要な基礎知見を提供するものである。