

(論文内容の要旨)

森林生態系において窒素は植物の成長の制限要因であることが知られている。そのため、窒素に関しては生態系内で植物-土壌間で内部循環系が発達し、大気から流入する窒素を効率よく保持する機構を有する。森林が皆伐されると、大量の窒素が流出することが多くの研究から明らかにされている一方で、皆伐後森林の成立にともなう窒素循環の変化については未解明な部分が多く残されている。日本では森林面積の約44%が人工林であるが、現在国内林業の低迷から多くの人工林で適切な施業が行われず、公益的機能の低下が懸念されている。公益的機能を最大限発揮する人工林の管理法を提案するためには、定量的な物質循環に基づいた評価が不可欠である。本論文では、集水域単位で林齢の異なるスギ人工林を用いて物質循環に関する野外調査および化学分析を行い、集水域間の比較によって、皆伐・植栽後、再び人工林が成立するまでの窒素循環の変化のパターンとそのメカニズムの解明を目的としている。本論文は以下に示した6つの章から構成されている。

第1章では、森林生態系における窒素循環の概要と日本の人工林の現状を説明し、日本の人工林において皆伐・植栽後の成立過程にともなう窒素循環の変化を把握する重要性を指摘した。また、本論文の調査地の特徴について記述した。

第2章では、林齢の異なる集水域間で窒素の年間流入量および流出量を把握し、生態系の窒素保持能力を評価した。また、植物の窒素吸収量と流出量との関係を検討した。その結果、皆伐後の窒素流出は主に植物の窒素吸収によって規定されることが明らかとなった。植物の窒素吸収量は30年生頃のスギ林をピークに減少することが示されたが、90年生の高齢林では、窒素流出の増加および保持能力の低下は見られなかった。このことから、高齢林では植物の窒素吸収以外の要因も窒素保持に重要な役割を果たすことが明らかとなった。

第3章では、植物と土壌間の窒素内部循環系に着目した。18年生の若齢林では土壌中の可給態窒素量が十分に存在し、植物の成長を支える窒素内部循環系がみられた。それに対して成長量が最も高い32年生のスギ林では土壌の可給態窒素量が減少し、窒素の需給バランスが大きく崩れたことが示された。この理由として、樹冠の閉鎖にともなう枝リターの増加によって土壌微生物の窒素不動化が促進され、植物に利用可能な土壌中の可給態窒素が減少したためであることが指摘できた。加えて、32年生のスギ林における窒素の需給バランスの変化がスギの成長量の頭打ちの要因となり、その結果植物の成長を抑制する窒素内部循環系に移行する可能性を示した。

第4章では、植物-土壌間の内部循環を規定する重要な要因のひとつである林床有機物に着目した。皆伐・植栽後、人工林の成立にともなう林床有機物（ O_i および O_e+O_a 層）の量および質の変化を把握し、窒素循環との関係を考察した。林床有機物の量に関しては、皆伐前の有機物と皆伐によって林地に投下された枝条の総量の約70%が皆伐から5年以内に消失することが示された。その後、人工林の成立にともなう林床有機物が蓄積し、44年生林分で皆伐前の状態まで回復した。一方、林床有機物の質に関しては、林齢ともにC:N比が上昇し、合わせて難分解性画分の蓄積も認められた。これらの変化は、土壌の NO_3^- の生成抑制に強く寄与するものであり、高齢林化にともなう有機物の質的变化が流出しやすい NO_3^- の生成を抑え、集水域の窒素保持に重要な役割を果たすことが示された。

第5章では、土壌微生物による窒素保持および無機化活性についての調査を行った。土壌微生物による窒素保持量は、人工林の成立にともなう単調に増加することが示された。一方、土壌に炭素・窒素・リンを添加し、暗所培養後に生成された無機態窒素の形態から、林齢に関わらず土壌微生物にとって炭素が制限要因となっていることが明らかとなった。さらに窒素を添加して培養した場合、若齢林土壌では主に NO_3^- が生成されるのに対し、高齢林土壌では NH_4^+ が生成される割合が高く、林齢によって窒素の無機化特性が異なることが示された。このことから、高齢林土壌では、土壌微生物による窒素保持に加え、 NO_3^- よりも電気的に土壌に吸着されやすい NH_4^+ が土壌中の無機態窒素形態として優占することで、土壌での窒素保持に寄与するものと考えられ、高齢林における窒素保持機構として重要であることが明らかとなった。

第6章では、第2章から第5章までの結果を総括し、皆伐・植栽後人工林が再び成立する過程での窒素循環の変化パターンとそのメカニズムについての議論を行った。

以上のように、本論文では、スギ人工林の皆伐・植栽から人工林が再び成立する過程において、窒素循環や集水域の窒素保持能力の変化するパターンを定量的に示し、なおかつその変化のメカニズムについて詳細に記述した。人工林の成立過程で、植物の成長を促進する内部循環系から植物の成長を抑制する内部循環系に移行する現象を示し、その要因として森林の成立過程における樹冠閉鎖をあげ、枝などの木質リターの寄与を指摘した。また、植物の成長を抑制する内部循環系では、植物の窒素吸収量の低下を招くが、土壌有機物や土壌微生物による窒素保持の寄与が高まることで集水域の窒素保持能力が高く保たれることが新たに分かった。以上の本論文における知見から、人工林管理において樹冠閉鎖期間のコントロールやリターの処理が地力の維持や持続的な経営において重要であることが見出された。

(論文審査の結果の要旨)

日本の人工林の現況を鑑みると、公益的機能を最大限発揮する人工林管理が今後重要であり、その中で定量的な物質循環、特に温帯域で植物の成長の制限要因である窒素の循環に着目した評価は必要不可欠であると考えられる。皆伐による窒素循環の変化については多くの既存研究から様々な知見が明らかとされているが、植栽後の人工林の再成立過程についての詳細な研究は本論文が初めてであるといえる。本論文において特に評価すべき点は以下の3点である。

- 1) スギ人工林において皆伐が窒素循環に与える影響を明らかにし、なおかつ、スギの成長にともなって皆伐の影響から回復するパターンとそのメカニズムについて詳細に記している。これは、皆伐の影響を考慮した人工林管理において重要な知見を与えたものである。
- 2) 皆伐・植栽後からスギが成長する過程での窒素循環の変化を把握する上で、窒素流入量、植物の窒素吸収量、土壌中の可給態窒素量、リター量、林床有機物の量および質、そして微生物バイオマスおよび窒素無機化活性と非常に多岐にわたる項目を測定した。これらの項目間の関係を精査し、森林生態系における窒素循環および集水域の窒素保持能力の規定要因について明らかにした。
- 3) 人工林の皆伐による窒素循環の変化は、窒素流出量から見れば約10年程度で皆伐前に回復することが示されたが、植物の成長量や土壌の窒素無機化過程など植物-土壌系の窒素内部循環は90年生の高齢林においても変化し続けることが示唆された。伐採の影響が継続する時間については、現在も生態学分野において議論が続いている。本論文では、樹冠閉鎖にともなうリター量の増加がきっかけとなって、植物の成長による窒素保持から土壌での窒素保持および蓄積へと、集水域の窒素保持に寄与する主要因が変化することを示した。このことから、皆伐後の窒素循環の回復過程には、森林の成立過程で樹冠閉鎖するまでに経過する期間や、林床でのリター処理が重要な役割を果たすことを指摘した。

以上のように、本論文ではスギ人工林において皆伐・植栽後、人工林の再成立過程について、生態系の窒素循環および窒素保持能力の変化のプロセスとそのメカニズムを詳細にあきらかにしたものであり、森林育成学、森林生態学、陸水学、および生物地球化学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成21年2月12日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。