

## 論文の内容の要旨

論文題目 土壤への窒素添加がスギ、ヒノキの水消費におよぼす影響に関する研究

氏 名 長 倉 淳 子

人間の経済活動によって大気中に放出される窒素酸化物やアンモニアが増え、大気から森林生態系に流入する窒素降下物量が増大している。窒素は植物の生育に必須な元素のひとつであるが、過剰な窒素は土壤の酸性化や樹木の養水分アンバランスを引き起こし、森林衰退の原因となることが懸念されている。日本で森林衰退が観察された当初は大気汚染物質の関与が疑われたが、現在ではスギ林の衰退については水ストレスの影響が大きいことが指摘されている。水ストレスの発生には降水量や土壤の保水力と共に樹木の蒸散特性が影響しており、スギ林の衰退は土壤の保水力が低い地域や降水量に対する蒸散量の比が高い地域で多く観察されている。窒素降下物量の増加によって樹木の葉の窒素濃度が上昇することが予想されるが、葉の窒素濃度と光合成能には正の相関があるため、葉の窒素濃度が上昇すると葉の光合成速度も高まる。光合成能が高い植物は  $\text{CO}_2$  固定効率が高いため葉の細胞間隙  $\text{CO}_2$  濃度が低下し、気孔開度が大きくなる。気孔開度が大きいと葉の内部に  $\text{CO}_2$  を取り込みやすくなるが、同時に蒸散量が増える。したがって、窒素降下物量の増加は

樹木の蒸散を促進することによって水ストレスの発生を助長し、森林衰退の原因となる可能性がある。

本研究は、大気から森林生態系への窒素降下物量の増加が樹木の水消費を促進するという仮定に基づき、土壌への窒素添加が日本の主要造林樹種であるスギとヒノキの水分生理状態に与える影響を解明することを目的とし、スギ、ヒノキ苗木を用いたモデル実験と、スギ成木林への窒素添加実験を行なった。

第 1 章では、窒素供給の変化に対する樹木および土壌の応答と、窒素降下物量の増加が森林におよぼす影響に関する既往の研究を精査し、窒素降下物量の増加は葉量を増加させるとともに、葉の蒸散能を高め、その結果として樹木の水消費を促進する可能性を提示した。その上で、明らかにすべき点として、(1) 窒素過剰に対する水分生理的応答、特に水消費の増大に、スギとヒノキで違いがあるのか、生育する土壌水分条件によって違いがあるのか、(2) 窒素過剰に対する水分生理的応答は土壌乾燥に対する感受性を高めるのか、(3) 苗木と成木で窒素過剰に対する水分生理的応答に違いはあるのか、の 3 点を挙げた。

第 2 章、第 3 章、第 4 章では、土壌に添加する窒素量を変えてスギ、ヒノキ苗木を育成する窒素降下物量の増加を想定したモデル実験を行なった。造林地では斜面位置によって土壌水分環境が異なり樹木の生育応答に差があることを考慮し、苗木を育成する土壌水分条件として、土壌が $-60\sim-100\text{kPa}$  まで乾燥してから灌水する乾燥区と、土壌マトリックポテンシャルを $-20\text{kPa}$  以上に保つ湿潤区の 2 つの水分処理を設定した。

まず、第 2 章では、土壌への窒素添加量として窒素が不足している状態から過剰な状態までの 3 段階を設定してスギ、ヒノキ 1 年生苗を育成し、窒素添加量の増加が乾物分配と個体あたりの水利用におよぼす影響を調べた。スギは水分処理に関わらず窒素添加量の増加にともなって地上部乾重が増大し、個体あたりの蒸散量は増加した。一方、ヒノキの地上部乾重および個体あたりの蒸散量に窒素添加の有意な影響はみられなかった。この結果は、窒素添加量の増加が水分生理的応答に与える影響がスギとヒノキでは異なる可能性を示している。スギとヒノキともに乾燥区では、窒素添加量の増加にともなって根への乾物分配が低下した。

第 3 章では、苗木による年間窒素吸収量と同程度の中庸な窒素量、またはその 5 倍以上の過剰な窒素量を土壌に添加してスギ、ヒノキ 2 年生苗を育成し、過剰なレベルの窒素添加が個葉の蒸散速度におよぼす影響を調べた。窒素添加量の増加にともなう葉量の増加は、ヒノキよりもスギで、乾燥区よりも湿潤区で顕著だった。スギの葉の窒素濃度は、湿潤区

では窒素添加量の増加にともなって上昇したが、乾燥区では有意な上昇はみられなかった。スギでは葉の窒素濃度の増加にともない葉の純光合成速度が増加した結果、葉の蒸散速度も増加した。一方、ヒノキでは、葉の窒素濃度と葉の光合成速度に相関がなく、窒素添加量が増加しても葉の窒素濃度と葉の光合成速度が高まらなかった。ヒノキはスギよりも低い窒素添加量で光合成能への影響がみられなくなると考えられた。スギについては、葉量、葉の窒素濃度、葉の純光合成速度および葉の蒸散速度の増加といった窒素添加の効果が乾燥区よりも湿潤区で顕著であった。これらのことから、窒素降下物量の増加は、湿潤な土壤条件で生育するスギの葉の蒸散能を促進することが示された。スギ、ヒノキともに窒素添加量の増加によって根への乾物分配が低下する傾向があり、特にスギの湿潤区で顕著だった。窒素添加量の増加は根への乾物分配を低下させるため、土壤乾燥に対する形態的な適応を打ち消す方向に働くと考えられた。

第4章では、土壤への窒素添加量として窒素が不足している状態、または十分な状態の2段階を設定して育成したスギ、ヒノキ3年生苗を用いて、窒素添加量の増加にともなう根への乾物分配の低下が、土壤乾燥に対する感受性におよぼす影響を調べた。ここでは、土壤乾燥過程における土壤から葉までの通水抵抗の増大の程度を、土壤乾燥に対する感受性の指標とした。スギの湿潤区では窒素添加量の増加にともなって当年葉に対する細根の比率が低下したが、スギの乾燥区では乾物分配に窒素添加による有意な影響はみられなかったため、当年葉に対する細根の比率は高窒素×湿潤区で最も小さかった。スギの高窒素×湿潤区は、土壤乾燥にともなう通水抵抗の増大の程度が他の処理区よりも大きかった。また、スギの高窒素×湿潤区は他の処理区に比べて、当年葉量が多く葉の蒸散速度が高いため個体あたりの蒸散量が大きく、土壤乾燥の進行が速かった。ヒノキは水分処理に関わらず、窒素添加量が増加しても葉に対する細根の比率が低下せず、土壤乾燥にともなう通水抵抗の増大の程度に処理間差はみられなかった。これらのことから、湿潤な土壤条件で生育するスギは窒素降下物量の増加によって土壤乾燥に対する感受性が増大し、無降雨期間が続くような場合に水ストレスを受けやすくなることが示唆された。

第5章では、スギ成木林の林床に降雨による年間窒素流入量の12倍および24倍の窒素を添加する処理を7年1ヶ月間続け、土壤への窒素添加に対するスギ成木の水分生理的応答、および土壤の養水分状態の変化を調べた。窒素添加によって、表層土壤が酸性化し、土壤の養分バランスが変化した。スギ成木の成長は顕著な影響を受けなかった。しかし、窒素添加区では対照区に比べ、土壤の乾燥が強く、降雨後の土壤水分の低下が速かった。

窒素添加区では葉の窒素濃度が高い傾向があったことと、処理終了 2 年半後に測定した葉の蒸散速度が高かったことから、窒素添加によってスギ成木の葉量が増加するとともに葉の蒸散能が促進されたために樹木による水消費が増え、土壌の乾燥が強くなったと考えられた。以上より、スギ成木林でも窒素添加によって蒸散量が増加することが示された。

第 6 章では、第 2 章から第 5 章の結果を総括した。本研究では、スギは湿潤な土壌条件では土壌への窒素添加によって蒸散量が増大し、土壌乾燥に対する感受性が高まること、ヒノキは土壌水分条件に関わらず窒素添加量の増加による水分生理状態の変化が小さいことを明らかにした。スギは酸性土壌や AI に対する耐性が比較的高い樹種であるうえに、日本の森林には火山灰の影響により酸性降下物に対する緩衝能が高い土壌が多く分布するため、窒素降下物量の増大が引き起こす土壌の酸性化がスギ人工林の衰退原因となる可能性は低いといえる。しかし、本研究で得られた知見により、窒素降下物量が増大すると、湿潤な土壌条件に植栽されたスギ人工林では、樹木による水消費が増大し、かつ根系の発達が抑制されるため、無降雨期間が長く続いた場合に土壌乾燥による水ストレスを強く受けるようになる可能性が示唆された。