

## 論文審査の結果の要旨

申請者氏名 石塚 航

---

申請者は、北海道全域に分布し幅広いニッチを有するトドマツ（モミ属、*Abies sachalinensis*）を用いた、環境勾配に沿った遺伝的適応の実態の実証的研究と、将来予測される環境変化への応答を予測する応用的研究を行った。本研究は、狭い地域内スケールでも温度を主として大きく環境が変化する“標高”勾配に沿った遺伝的適応に着目した点に特色がある。

第1章では、既往文献のレビューを通して環境適応メカニズムの一つである局所適応の理論的背景と実証例をまとめた。また、その実態を解明するための手法として、相互移植試験を用いて、生育地と同じ環境下に植栽された自生集団のパフォーマンスの有利性を検証することの有効性を指摘した。さらに、対象種トドマツについて、生態遺伝学的な観点から既往文献をレビューし、地域間および標高間で集団変異が存在することを指摘した。

第2章では、東京大学北海道演習林の標高勾配（230～1,200m）を用い、標高の異なる8採種集団の苗を6試験地へ植栽したトドマツ標高間相互移植試験を対象とした。植栽後の継続的な測定記録、および36年が経過した2009年の測定データを用いて、樹高と生残率に対する遺伝子型と環境の効果を推定するとともに、それらの積で表す生産力と、採種集団と試験地間の標高差との関係から自生集団の有利性を検証した。その結果、植栽個体の樹高や生残率は採種標高が同じでも植栽地標高が高いほど低く、とくに樹高では標高730～930m、生残率では標高530～730mの間に不連続な変化が認められた。また、採種標高より高標高へと移植すると、低標高へと移植した場合に比べて、同じ標高間の移動でも、生産力が低くなることが示された。

第3章では、適応に関わると予想される秋期の耐凍性獲得（低温馴化）のフェノロジーに関する標高変異を調べた。上述した相互移植試験の生育個体から2010年10～11月に時期を変えてシュートを採取し、 $-30^{\circ}\text{C}$ の凍結試験を行った。その結果、秋期の耐凍性に採種集団の標高による明瞭な差があり、低温馴化タイミングは遺伝的な支配を受けていることが示された。また、そのタイミングは、どの試験地においても高標高由来の個体ほど早かった。このような標高差から、寒冷な高標高で凍害回避に、温暖な低標高で成長期間の延長に有利に関与している適応的な変異だと考えられた。

第4章では、トドマツ高×低標高間相互交配試験の試験個体から2009年に得られた自然交配実生のフェノロジーや成長を2010～2011年の2成長期間調査し、各形質の遺伝様式を検証した。採取した種子の母親は、高標高由来、低標高由来、およびそれらの交雑家系と遺伝的背景が異なり、これらの違いによって実生の形質の変異が説明できるかを検証した結果、発芽時期や低温馴化タイミング、苗高や針葉サイズに相加的な作用による変異が検出された。

第5章では、対象種がそれぞれの標高環境に局所適応していたと想定し、その場合に、将来想定される温暖化に対してどのような応答を示すかについて予測した。第2章で検証した相互移植試験の下方移植個体の応答から温暖な環境におかれた際の応答を考えた。そこで、標高差を温度差に変換し、移植個体の生産力の変化をモデルによって定量化した。各集団が現在の環境へ遺伝的に適応するため、その遺伝的制約によって、温暖化後の環境に適した遺伝子型が示すと予想される生産力を実現することはできないと予測された。また、モデルより、最適値からのずれは温暖化の進行に伴って大きくなることが予測された。

第6章では、総合考察として、トドマツの遺伝的応答と将来の北方林動態について考究した。異なる標高環境への適応には遺伝的変異が関与しており、とくに寒冷な高標高環境への適応の重要性は大きいことが示唆された。また、局所適応がみられる場合には、遺伝的制約によって温暖化に追従できないことが想定された。したがって、主要種の局所適応の実態解明は、将来の森林動態を把握する上でも必要となると考察された。

本研究では、標高間で相互に移植した試験地の長期データを用いて、トドマツの自生環境に対する有利性が低標高だけでなく高標高でも存在することを示した。本研究で用いた各採種標高域の母樹は5個体と少なく、各標高域の集団を代表しているとは言い難いが、自生集団の有利性が低標高試験地と高標高試験地の両方で示されたことは興味深く、学術的に極めて有用だと考えられる。また、本研究では、採種標高より高標高への移植を行うと生産力が低くなるという知見を得た。さらに、本研究では、温暖化後のトドマツ自生集団の応答の予測を試みており、今後の造林計画や森林管理などの実用的な観点でも有用な知見が得られたと考えられる。

以上のことから、審査委員一同は、本論文は博士（農学）の学位に値すると判断した。