

平成 21 年 5 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18580144
 研究課題名（和文）衰退した森林の自然再生を目的とした生残樹木の繁殖成功に関する分子生態学的評価
 研究課題名（英文） Evaluation for reproduction success of trees survived with molecular ecology with the purpose of restoring the declined forest stand
 研究代表者 木佐貫 博光 (Hiromitsu Kisanuki)
 三重大学・大学院生物資源学研究科・准教授
 研究者番号：00251421

研究成果の概要：衰退が進行した森林の自然再生を目的として、奈良県大台ヶ原東部において風媒花樹木トウヒの局所的個体数密度と種子生産との関係ならびにトウヒ稚樹の更新適地を明らかにした。トウヒ母樹から球果を採取し、球果ごとに充実種子としいなの割合、発芽率、生残率、実生高を測定した。母樹の局所的個体数密度と、充実種子率との間には正の相関が、シイナ率との間には負の相関がみられた。母樹の個体数密度が低いほどシイナ率が高く、個体数密度の低いと自家受粉由来の種子が多かった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	660,000	4,060,000

研究分野：森林生態学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：トウヒ、種子生産、自殖率、再生、個体数密度

1. 研究開始当初の背景

森林の衰退は、森林生態系の機能や健全性に大きな変化を引き起こすものと予想されるため、その自然再生を目的とする保全的管理が必要である。このような背景から、森林衰退が著しいために環境省による自然再生推進計画が開始された奈良県大台ヶ原において、森林の衰退が樹木集団の遺伝的側面へのどの程度の影響を及ぼしているのかを解明したいと考えるに至った。ニホンジカが鳥獣保護法で保護されたこともあり、その個体数が爆発的に増加した。このため、森林や下層植生の衰退が報告されるようになった。ニホ

ンジカによる採食は後継樹となる稚樹にも及び、下層に稚樹を見つけることが容易ではなくなっている。このまま放置すれば、森林生態系が再生不可能な状態に陥り、野生生物への影響のみならず、土砂崩れなどの危険性も増大するものと予測される。

2. 研究の目的

- (1) 大台ヶ原では、1959年の伊勢湾台風を契機に林床のミヤコザサが増加し、ニホンジカの増加を引き起こした。ニホンジカによる採食はトウヒの稚樹や成木を枯死

させており、トウヒの更新が阻害されている。このため、シカによる採食を除去することを目的として、環境省による防鹿柵の設置が行われてきた。また、トウヒの稚樹が生育する林床微地形は、主に倒木や根株などであることが知られる。今回、衰退したトウヒ林に設置された防鹿柵がトウヒの更新にもたらす効果と、林床微地形が稚樹の定着および成長に与える影響について解明することを目的に、防鹿柵の内外においてトウヒ稚樹を林床微地形別に調査した。

- (2) 天然更新の可能性を生残樹木の繁殖段階で明らかにするために、種子を対象とする遺伝子レベルの分析を加える。これによって、母樹の個体数密度の違いによって、樹木個体間で自殖率にどの程度の差異が生じているかについて解明する。自殖率は近交弱勢の指標となる。
- (3) 世代間の遺伝構造の違いを解明するために、自殖率の推定に基づく子世代の遺伝的多様性が親世代と比べてどの程度低下しているか、あるいは同じ程度を維持しているかどうかについて検討する。

3. 研究の方法

衰退が進行した森林において、樹木の個体数密度の低下が生残木の種子生産に及ぼす影響を明らかにするために、奈良県大台ヶ原東部において風媒花樹木トウヒの個体数密度と種子生産および実生サイズとの関係を調査した。トウヒ成木の個体数密度が異なる2林分(疎な林分: TS、密な林分: DS)において、計25本の母樹からそれぞれ球果5個を採取し、球果ごとに充実種子およびしいなの割合を求めた。種子を球果別に発芽させて発芽率、播種後35日後の生残率、実生高を測定した。

(1) トウヒ稚樹の生育状況の解明

調査地は、奈良県上北山村大台ヶ原の正木峠(標高1680m)である。正木峠周辺では、以前は林床をコケが覆うトウヒ林が広がっていたが、現在ではトウヒの枯死に伴ってミヤコザサのササ原と化している。1998年に設置された鉄製の防鹿柵の内側と外側に、ベルト調査区(10m×100m)をそれぞれ2本ずつ設置した。調査区に出現する全てのトウヒ稚樹を対象とし、樹高、樹高伸長率(当年の樹高伸長量/前年の樹高×100)、生育する林床微地形を調べた。林床微地形は、腐朽木(倒木および原形が残っていない樹皮や枝を含む)、根株、根張、地面(礫の少ない土)、岩礫(礫の露出が多い場所および岩の上)、ピ

ット、マウンドの7種類に区分した。トウヒ稚樹の出現本数、樹高、樹高伸長率について、防鹿柵の内外と各微地形間で比較した。

(2) 母樹の個体数密度と種子生産との関係

10個以上の着果がみられる成熟木をTSでは13個体、DSでは12個体の母樹から球果を10個ずつ採取した。母樹の胸高直径DBHと着果数を観測した。2006年、両調査区において胸高直径10cm以上のトウヒ成熟個体を対象に立木位置の測量ならびにDBHの測定を行った。各母樹のおかれた個体数密度として、母樹を中心とする半径rmの円内に位置するトウヒ成熟個体数を用いた。円の半径は最大30mで、1m間隔とした。

球果サイズと種子数との関係をみるために、球果長を測定した。球果を常温で乾燥させた後、球果間で混ざらぬように種子を取り出した。種子を虫害種子、種子が発達して大きく丸い大型種子、小さく扁平な小型種子に選別し、それぞれの種子数を計測した。大型種子と小型種子をそれぞれ秤量した。針葉樹の種子生産においては、胚を有する充実種子と胚のないシイナが形成される。トウヒ属で近親交配が行われると有害遺伝子の影響でシイナが形成される。シイナの大部分は有害遺伝子の影響によって形成されるが、他の要因として、花粉不足あるいは種子発達段階での虫害がある。シイナの種皮は発達して丸くなるものも少なくないため、外観で充実種子と区別するのは困難である。このため大型種子については軟X線写真を撮影し(18kv、14mA、4' 30")、充実種子とシイナの個数をそれぞれ測定した。充実種子数を全種子数(充実種子数、シイナ数、小型種子数、虫害種子数の合計)で除して充実種子率を算出した。全種子数に対するシイナ数と小型種子数の合計の割合をシイナ率とした。

発芽率を高め、発芽時期をそろえるために、大型種子を球果別にコーヒーフィルターに入れて2日間の流水処理を施したのち、冷蔵庫(2°C)にて7日間の低温処理を行った。播種床はパーミキュライトとピートモスを1:1の割合で混合したものを播種用トレーに満たしたものとした。種子を播き、25°C12時間明条件と15°C12時間暗条件で発芽させ、子葉が開くまで実生を育成した。播種35日目以降は新たな発芽が認められなかった。さらに、実生の胚軸長、子葉の本数、子葉長を測定した。その際、子葉や主軸にしおれなどがみられない実生の本数を生残数とした。発芽数を充実種子数で除して発芽率を求めた。生残割合は播種後35日目の生残数を発芽数で除して求めた。

(3) 母樹の個体数密度と自殖率との関係

衰退した森林におけるトウヒの自殖率に

成熟個体の局所個体数密度が影響しているのかを解明するために、以下の調査および実験を行った。(2)と同一の母樹から得た種子の実生30本からDNAを抽出した。成熟個体および母樹の葉を採取し、そこからDNAを抽出した。母樹、実生、成熟個体を対象としたSSR (Simple Sequence Repeat) 分析を行い、各母樹の自殖率を算出した。

4. 研究成果

(1) トウヒ稚樹の生育状況の解明

調査区に出現したトウヒ稚樹の本数は、柵内に300本、柵外には38本だった。稚樹の出現本数を微地形別にみると、腐朽木に68本、根株に32本、根張に64本、地面に88本、岩礫に64本、ピットに32本、マウンドに4本であった。

稚樹の樹高を柵の内外で比較すると、柵内の稚樹高が柵外のものよりも大きかった(表1、 $P < 0.01$)。微地形ごとに樹高を比較した結果、柵内では、根張での稚樹高の方が地面、岩礫、ピットのいずれにおける稚樹高よりも低く、ピットでの稚樹高は腐朽木、根株のものよりも高かった($P < 0.01$)。一方、柵外では、稚樹高に微地形間の有意な差は認められなかった($P = 0.36$)。

防鹿柵外のベルトに生育する複数のトウヒ稚樹において採食跡がみられた。採食跡は、地上高約20cmのササの桿高よりも高い部分に数多く見られた。また、柵外のトウヒ稚樹は、柵内の稚樹よりも出現本数が少なく樹高が低かった。これらのことは、柵外においてシカの採食によるトウヒの更新への影響が大きいことを示唆する。したがって、防鹿柵の設置は、既に定着しているトウヒ稚樹の成長を促進するものと考えられる。

トウヒ稚樹が生育する微地形についてみると、地面において最も本数が多かったが、それらの稚樹のほとんどは倒木や根株など別の微地形の近くに位置していた。微地形によって作られる起伏面の付近ではササや草本類の被度が比較的少なかったため、これらによる被圧の影響が少ないものと考えられる。また、柵外では微地形による起伏面が存在することで、稚樹がシカに発見されにくい、あるいはシカが稚樹を物理的に採食しにくくなる可能性がある。したがって、稚樹の定着に微地形が与える影響は小さくないものと考えられる。

トウヒ稚樹の樹高成長は、根株や根張に生育する稚樹よりも、ピットに生育する稚樹の方が大きかった。これは、ピットでは土壌が膨軟で養分が比較的多く含まれるからだとして推測される。一方、根株や根張は、安定した森林内環境においては更新に有効な微地形であるが、直射日光が照射されるササ原にお

いては、養分が少ないうえに乾燥ストレスを受けやすいため樹高成長が劣った可能性がある。一方、柵外において稚樹の樹高成長に微地形間の有意な差が認められなかった要因は、ササ桿高を超えると採食の影響を受けることが考えられる。

このように、林床に形成されたさまざまな微地形は、トウヒの更新にとって重要な役割をもつものと推察される。

(2) 母樹の個体数密度が種子生産に及ぼす影響

調査対象としたトウヒ成木は、それぞれTSで153本、DSで394本であり、これらの胸高直径の計測および立木位置の測量を行った。個体数密度には、母樹を中心とする半径30m以内に位置するトウヒの個体数を半径1m間隔ごとに用いた。球果あたりの充実種子数はDSの方がTSよりも多かった。局所的個体数密度と相間があったのは、充実種子率とシイナ率だけであった。半径10~25mの円内の個体数密度と充実種子率との間には正の相関がみられた。半径10m以上で求めた個体数密度と充実種子率との間の相関係数はほとんど均一の値を示した。一方、個体数密度とシイナ率との間には負の相関がみられた。この相関が高かったのは、個体数密度が母樹からの半径が7~14mの場合であった。母樹の個体数密度が低いほど、シイナ率が高いことから、個体数密度の低い林分に生育するトウヒでは自家受粉由来の種子数が多くなり近交弱勢によって種子の質が低下しているものと推定される。さらに、花粉不足の指標としては、半径7~14mの個体数密度を用いた場合が正確であることが示された。衰退している森林におけるトウヒの交配成功のためには局所的な個体数密度が非常に重要であるため、衰退初期の森林を保護することが必要である。

(3) 母樹の個体数密度が自殖率に及ぼす影響

成熟木の個体数密度が低下することで、自殖由来の種子の割合が増加し、生残木から生産される種子の生産量や質が低下している可能性がある。母樹からどの程度の距離に位置する個体が種子生産に有効な花粉親になるのかを解明するために、樹木の個体数密度と自殖率との関係を調べた。

衰退の著しい大台ヶ原におけるトウヒの個体数密度が異なる2つの林分(疎:TS、密:DS)において、TSで13本、DSで12本の母樹から種子を採取・播種し、母樹ごとに約30本ずつの実生からDNAを抽出した。DNAのSSR分析を3遺伝子座で行い、自殖率をMLTR解析プログラムから推定した。母樹の個体数密度は、母樹を中心とする半径5~30m(5m間隔)の円内に生育するトウヒ成木の個体数と

した。

母樹の自殖率にはTSとDSの林分間差が認められず、ともに約0.17を示し、*Picea sitchensis*の孤立化した低密度集団での自殖率0.21に近かった。このことから大台ヶ原のトウヒでは孤立化した低密度集団なみに低い交配成功率であると考えられる。個体数密度と自殖率との間には、いずれの半径についてみても相関がみられなかった。低い個体数密度の母樹が高い自殖率を示さなかったのは、自殖由来の種子の大半がシイナとなったために種子数は少なくなったが、周囲からの花粉飛散がある程度あったことを示す。

種子の発芽率が低いほど母樹の自殖率が高かったことは、発芽期における近交弱勢を示唆する。母樹の胸高直径と自殖率の間には正の相関がみられ、大きい個体ほど自殖率が高い傾向があったことは、個体数密度と自殖率との間に相関がなかったことと関係があるかもしれない。今回、大台ヶ原のトウヒ林では個体数密度と自殖率との間に関係は認められないものの、林分レベルでは孤立化した低密度集団に並ぶ自殖率の高さを呈すること、ならびに自殖率の高さは低い発芽率をもたらすことが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

① Hiromitsu Kisanuki, Arisa Nakai, Akiko Nadamoto, Masako Wakino, Pits and rocky microsites in a subalpine forest stand facilitate regeneration of spruce saplings by suppressing dwarf bamboo growth inside a deer-proof fence, *Journal of Forest Research* (in press)

[学会発表] (計 2件)

- ① 木佐貫博光・中村由実・中井亜理沙・石田清、衰退林におけるトウヒ母樹の個体数密度が種子生産に及ぼす影響、第120回日本森林学会大会、2009年3月28日、京都大学吉田キャンパス
- ② 木佐貫博光・灘本明子・林佐智子・脇野雅子・中井亜理沙、大台ヶ原の衰退林における防鹿柵がトウヒ稚樹の生残と成長に及ぼす影響、第54回日本生態学会大会、2007年3月21日、愛媛大学

[図書] (計 1件)

- ① 木佐貫博光、東海大学出版会、大台ヶ原の自然史(第14章 トウヒの更新は林床微地形が鍵)、2009年、印刷中

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木佐貫 博光 (Hiromitsu Kisanuki)
三重大学・大学院生物資源学研究所・
准教授
研究者番号：00251421

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

石田 清 (Kiyoshi Ishida)
弘前大学・資源生物学科・准教授
研究者番号：10343970