

学 位 論 文 題 名

極東ロシアの針広混交林において山火事が炭の
生成を通じて土壌および樹木の更新へ与える影響

学位論文内容の要旨

北方林は主要な攪乱要因である山火事による破壊と樹木の更新による再生を繰り返しながら動的に維持されている。山火事は森林の構造をさまざまな程度で改変し、光、温度、養水分などの物理環境に勾配を作り出すことによって攪乱後の樹木の更新と成長に影響を与える。樹木群集は炭素貯留などの生態系機能の重要な担い手であるため、その維持機構を理解することは木材資源の持続的生産、生物多様性の保全、環境保全の観点からも重要である。

山火事が樹木へ与える影響はさまざまであるが、特徴の一つには生成された炭を介する経路がある。山火事は微地形や局所的な有機物の蓄積量の違いによって、異なる温度で森林を燃焼する。また、森林には各種の有機物が燃料として存在するため、山火事によってさまざまな特徴を持った炭が生成される。これらの炭は林床表面や土壌において環境勾配を生み出し、樹木へ多様な影響を与えることが予想される。しかし、森林生態系内で考えられる炭の特徴や存在状態が樹木の更新と成長へ与える影響の違いについて検討した例は少ない。また、炭が植物へ与える影響のメカニズムについて実験的に研究した例は近年増えたが、炭以外にもさまざまな環境要因が樹木の成長などへ影響を与える中で、炭が樹木の更新過程に顕著な影響を及ぼしているかを検証した例は極めて限られる。炭は山火事によって特異的に生成される物質であり、その生態系における多様な影響とその重要性に関する知見は、山火事を攪乱要因とする森林の維持機構を理解する上で不可欠である。

本研究では、炭が樹木の更新と成長へ与える多様な影響の実験的な評価と、実際の山火事跡地において、炭が森林樹木の更新へ与える影響の検証を行った。本研究ではモデル試験地として、山火事による攪乱が樹木群集の構造へ重要な影響を与えると考えられる極東ロシア南部のヨーロッパアカマツ、グイマツ、ポプラ・カンバ類を主な構成種とする混交林を対象にした。そして、同地における山火事後の状況を想定した制御実験や現地調査をロシア・アムール州の極東農業大学の協力を得て実施した。

極東ロシア南部では、樹木群集の地上部炭素量が約 80 tonC ha^{-1} (150 年生の林分)と推定された。この値は北方林の他の植生タイプと比較した場合に、東シベリアのグイマツ林や中央シベリアのヨーロッパアカマツ林の同齢林に比べて 2~3 倍量であり単位面積当たりでは比較的大量の炭素が地上部に蓄積していることを示す。このことは、同地域が資源管理の視点からも樹木群集の維持機構に関する基礎的な知見が求められる地域であることを意味する(2 章)。

山火事による林床の有機物の炭化がグイマツとヨーロッパアカマツ種子の発芽へ与える影響を評価した。極東ロシア南部の山火事跡地の林床において高頻度で存在していた 3 樹種の炭化した葉リターと、炭化していない同樹種の葉リターを極東農業大学構内の温室へ持ち帰り、発芽床として播種試験を行った。その結果、炭化した葉リターでも樹種によって発芽床としての機能

が異なっていた。また、同じリターでも炭化前後では発芽床としての機能は異なっていた。本結果より、山火事による有機物の炭化は山火事前とは異なる発芽環境を、これら2樹種へ提供へしていることが示唆された(3章)。

次に、山火事跡地で想定される炭が存在する多様な条件が稚樹の成長へ与える影響について明らかにするため、各種の炭の存在状態を模倣したポットにグイマツ実生を植え、その影響を北海道大学農学部にて調べた。炭がグイマツ実生へ与える影響は炭の生成温度によって異なった。400℃の低温で作成した炭は、土壌中の含有量の増加に伴い実生の成長を促進する正の効果が顕著になった。一方、800℃の高温で作成した炭は、土壌中での含有量に関係なく実生の成長へ有意な影響を与えなかった。また、炭が実生の成長へ与える影響は、たとえ土壌中に添加される量が同量でも、その存在部位と状態により異なった。土壌への炭の添加は、概して実生の成長へ正の効果を持っていたが、その効果は炭が土壌表面に存在する場合や土壌中に散在する場合よりも、土壌の内部に層状に存在する場合に最も顕著であった。炭が実生の成長に促進効果をもたらした理由として、炭の孔隙に大量に保持された可給態リン(P)が樹木によって利用され、その結果として成長が増加したと考えられた(4、5章)。

実際の山火事跡地では、炭の生成以外にも養分循環に影響を及ぼす土壌微生物相やリター層の厚さなど無機環境もさまざまに変化する。そこで室内実験で見られた炭と土壌中の高い可給態P量との関係が、野外でも存在するかどうかを検証するため、北海道大学天塩研究林において、山火事を模倣した火入れ実験を行った。火入れ実験により生成した炭を放置する区と除去する区を作り、林床の養分条件の違いを比較した。その結果、野外でも炭の存在によって可給態P量が高く保たれていることが確認された(6章)。

これらを踏まえ、2007年9月に地表火が発生した極東ロシア南部に位置するグイマツとヨーロッパアカマツの混交林において、2009年7月に土壌中の炭量および可給態P量、山火事後に更新した1年生の実生数との関係を100個のプロット(50 x 50 cm)を対象に調査した。その結果、土壌中の炭の量と可給態P量、山火事後に更新したヨーロッパアカマツの実生数との間に有意な正の相関が認められた。また、同プロットで土壌中での炭の存在様式を調査した結果、炭が散在している箇所、炭が見られない箇所、一部層状に見られる箇所、層状に見られる箇所、一面が炭の箇所に類別され、それぞれ41%、29%、16%、12%、そして2%の頻度で出現していた。炭の分布様式別にヨーロッパアカマツ実生の成立本数を調べた結果、炭が一部層状に見られる箇所で実生数が最も多く、続いて層状の炭が見られる箇所の順であった。極東ロシア南部で発生する山火事の多くは地表火で、有機物は比較的低温で炭化される。そのため同調査地では、炭の含有量が高いほど実生の成長が促進され、結果として生残した実生数が多かったと推察される。また、空間統計学的手法を用いて、山火事跡地の炭の量、土壌中の養分量、および実生数の空間的な分布を解析した結果、炭の量、可給態P、そして更新実生数が多い場所はランダムに分布していることが明らかになった(7章)。

北方林では生態系が成立した後に強度の山火事などの壊滅的な攪乱が長期間発生しない場合、土壌中のPが樹木の成長の制限要因となることが報告されている。本研究の結果より、極東ロシア南部の混交林における山火事の発生は、リターなどに含まれる有機態Pを燃焼によって無機化して樹木に利用されやすくしていた。そして、Pを保持する炭の分布とPの利用可能量へ空間的な不均一性を与えることで、Pを成長の制限要因とする樹木実生の群集構造を多様にすることが明らかとなった。このことから、極東ロシア南部などの北方林における山火事は、炭の生成によるPの動態の変化を通して、樹木群集の多様性やそれに伴った炭素貯留に関わる重要な攪乱要因として機能していると結論づけた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	小池孝良
副査	教授	波多野隆介
副査	教授	橋床泰之
副査	准教授	渋谷正人
副査	教授	松浦陽次郎（森林総合研究所）

学位論文題名

極東ロシアの針広混交林において山火事が炭の生成を通じて土壌および樹木の更新へ与える影響

本論文は、8章からなり、図 29、表 23、引用文献数 146 を含む総頁数 160 の和文論文であり、別に 10 編の参考論文が添えられている。

北方域の森林は、主要な攪乱要因である山火事による破壊と樹木の更新による再生を繰り返しながら動的に維持されている。山火事が樹木へ与える影響はさまざまであるが、特徴の一つとして、生成された炭を介する経路がある。炭は山火事によって特異的に生成される物質であり、その生態系における多様な影響とその重要性に関する知見は、山火事を攪乱要因とする北方域の森林の維持機構を理解する上で不可欠である。私は、炭が樹木の更新へ与える多様な影響の実験的な評価と、実際の山火事跡地において炭が樹木の更新へ与える影響の検証を行った。本研究ではモデル試験地として、山火事による攪乱が樹木群集の構造へ重要な影響を与えている極東ロシア南部の針広混交林を選び、同地における山火事後の状況を想定した制御実験や現地調査を行った。

極東ロシア南部では、北方林の他の植生タイプと比較した場合に、単位面積当たりでは比較的大量の炭素が林内に蓄積していることが推定された (2 章)。

はじめに、山火事による林床の有機物の炭化が樹木種子の発芽へ与える影響を評価した。極東ロシア南部の山火事跡地の林床にて高頻度で存在していた 3 樹種の炭化した葉リターと、炭化していない同樹種の葉リターをロシア・アムール州の極東農業大学構内の温室へ持ち帰り、発芽床として播種試験を行った。その結果、炭化した葉リターでも材料となる樹種によって発芽床としての機能が異なっていた。また、同じリターでも炭化前後では発芽床としての機能は異なり、山火事による有機物の炭化は、山火事前とは異なる発芽環境を樹木へ提供へしていることが示唆された (3 章)。

次に、山火事跡地で想定される炭が存在する多様な条件が稚樹の成長へ与える影響について明らかにするため、各種の炭の存在状態を模倣したポットにグイマツ実生を植え、その影響を調べた。炭がグイマツ実生へ与える影響は炭の生成温度によって異なった。400℃の低温で生成した炭は、土壌中の含有量の増加に伴い、実生の成長を促進する正の効果は顕著になった。一方、800℃の高温で生成した炭は、土壌中での含有量に関係なく実生の成長へ有意な影響を与えなかった。また、炭が実生の成長へ与える影響は、たとえ土壌中に添加される量が同量でも、その存在部位により異なった。土壌への炭の添加は、概して実生の成長へ正の効果を持っていたが、その効果は、炭が土壌表面に存在する場合や土壌中に散在する場合よりも、土壌の内部に層状に存在する場合に最も顕著であった。炭が実生の成長に促進効果をもたらした理由として、炭の孔隙に大量に保持された可給態リン(P)が樹木によって利用され、その結果として成長が増加したと考えられる(4、5章)。

実際の山火事跡地では、炭の生成以外にも養分循環へ影響を及ぼす土壌微生物相やリター層の厚さなど無機環境もさまざまに変化する。そこで室内実験で見られた炭と土壌中の高い可給態 P 量との関係が、野外でも存在するかどうかを検証するため、北海道大学天塩研究林において、山火事を模倣した火入れ実験を行った。火入れ実験により生成した炭を放置する区と除去する区を作り、林床の養分条件の違いを比較した。その結果、野外でも炭の存在によって可給態 P 量が高く保たれていることが確認された(6章)。

これらを踏まえ、2007年9月に地表火が発生した極東ロシア南部に位置するグイマツとヨーロッパアカマツの混交林において、2009年7月に土壌中の炭量および可給態 P 量、山火事後に更新した1年生実生の数との関係を100個のプロット(50 x 50cm)を対象に調査した。その結果、土壌中の炭量と可給態 P 量、山火事後に更新したヨーロッパアカマツの実生数との間に有意な正の相関が認められた。また、同プロットで土壌中での炭の存在様式と実生数との関係について調査した結果、炭が層状に見られる箇所で実生数が多い傾向が合った。極東ロシア南部で発生する山火事の多くは地表火で、有機物は比較的低温で炭化される。また、空間統計学的手法を用いて、山火事跡地の炭の量、土壌養分量、および実生数の空間的な構造を解析した結果、炭の量、可給態 P、そして更新実生数が多い場所はランダムに分布していることが明らかになった(7章)。

北方域の森林では生態系が成立した後に強度の山火事などの壊滅的な攪乱が長期間発生しない場合、土壌中の P が樹木成長の制限要因となることが報告されている。本研究の結果より、北方域の森林における山火事の発生はリターなどに含まれる有機態 P を燃焼によって無機化し、樹木に利用しやすくするとともに、P を保持する炭の分布と P の利用可能量に空間的な不均一性を与えることで、P を成長の制限要因とする実生の群集構造を多様にすることが示唆された。これにより北方林の維持に貢献する基礎資料を提示した。

よって、審査員一同は、小林真が博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。