

ヒバ根圏の不完全菌類を利用
した健苗短期育成技術の開発

研 究 の 要 約

I 研究年次及び予算区分

平成15～17年（3カ年）

予算区分 運営交付金（交付金プロジェクトⅡ）

II 主任研究者

主査 森茂太

取りまとめ責任者 森茂太

III 研究場所

森林総合研究所東北支所、山形大学農学部、青森県農林総合研究センター・林業試験場

IV 研究目的

ヒバの二次代謝産物とヒバ根圏微生物の関係、及びヒバ根圏微生物とヒバ苗の成長、栄養生理、生存との関係を明らかにする。ヒバ二次代謝産物とヒバ根圏微生物との関係を応用したヒバ健苗短期育成技術を開発する。

V 研究方法

ヒバ実生の二次代謝産物の定性、定量の分析条件に関する検討を行い、その結果を基に二次代謝産物の分析を行う。二次代謝産物、根圏微生物の有無とヒバ苗の成長・生存の関係を明らかにする。これらのとりまとめ結果に基づくヒバ健苗短期育成技術の提案を行う。

VI 研究結果

（1）ヒバの二次代謝産物と根圏微生物の関係、及びヒバ根圏微生物とヒバ苗の成長、栄養生理、生存との関係

1. 土壌の違いと実生成長、根圏微生物

林地でヒバ実生が更新する場所は鉾質土壌が多いことから、森林総研東北支所では通常の苗畑土である黒ボク土ではなく、鉾質土壌のモデルとしてカヌマ土を播種床に利用している。種子を両土壌に播種し、苗成長を比較調査したところ、黒ボク土の実生で成長量が有意に増加した。ヒバの根に共生するArbuscular 菌の感染率は黒ボク土の実生で顕著に高く、カヌマ土ではArbuscular 菌の感染はなく *Phomopsis* 属糸状菌の感染頻度が高かった。青森県中里町の鉾質土壌で実生を生育させた場合にも *Phomopsis* 属糸状菌の感染が顕著であることから、本糸状菌は鉾質土壌でヒバ実生を生育させた場合に根内に主に感染する種子菌であることが明らかとなった。

2. 実生成長に関与する無機化学成分（C, N, Mg, P, Fe, Ca）

ヒバ実生の地上部、地下部において、Nの量は黒ボク土の実生で顕著に多かった。Cは全ての時期で差がなかった。また、地上部では播種年秋以降に、地下部では播種翌年夏以降に、MgとPの量は黒ボク土の実生で顕著に多かった。黒ボク土はカヌマ土に比べ無機栄養成分に恵まれているた

め、この差が実生の吸収する無機成分に影響を与えた。土壌の栄養塩類は実生成長とリンクしており、実生成長は苗畑の黒ボク土の方が良かった。一方で、共生菌であるArbuscular菌は植物体内への無機成分の取り込みを助長することが知られており、黒ボク土で生育させた実生にはArbuscular菌が高感染しており、この菌との共生も実生成長促進の一要因であろう。

3. 実生の生体防御に関与する二次代謝成分

地上部と地下部の二次代謝成分の分析を行った。地上部で、トータルフェノール量がカヌマ土の実生で多かった。地下部では全ての時期で両土壌生育の苗で差がなかった。地上部ではcatechinとその誘導体が主要成分であり、カヌマ土生育の実生でこれらの量が顕著に多かった。地下部ではcatechin、catechin誘導体やtotalolが主要成分であり、カヌマ土の実生でtotalolの量が多い傾向にあった。カヌマ土の実生の方が二次代謝産物を多く産生する傾向があり、要因として貧栄養ストレスとPhomopsis 属糸状菌感染ストレスが考えられる。他の実験において、5種類の栄養状態の異なる土壌で実生を生育させた場合、二次代謝産物量に差がないという結果を得て、貧栄養塩類ストレスは否定された。また、これらの実生からはPhomopsis 属糸状菌感染が顕著に確認された。よって、Phomopsis 属糸状菌感染ストレスが要因でこうした物質が増加したと結論づけた。さらに、コッホの原則を満たすため本菌の接種試験を行った。その結果、接種により上記二次代謝産物の誘導が確認され、接種部位から本菌が再度分離された。

(2) ヒバ健苗短期育成技術の提案

1. 小型穂木による挿し木苗の短期育苗技術

民間林業研究グループの協力の元、従来の5～6年かかっていた実生によるヒバ苗作りに対して、鉾質土壌の挿し床に小型穂木を挿す方法を用いて3年で山出しする方法を提案した。発根後、通常の土壌に戻した。本方法は天然林の更新サイトの土壌条件をモデルに考案された。本方法は青森県の指導林家で試験され、同グループの成果として平成17年度林業改良普及協会会長賞を受賞して、現場で利用が開始された。しかし、ヒバの系統による発根能力の違いもあるので更に検討を重ねる必要がある。新潟県などで行われていた挿し木苗に比べて、小型の穂木と鉾質土壌を使用する点異なる。また、小型穂木を用いることで効率よく多数の穂木を作ることができた。

2. 播種床の工夫による発芽率の増加

従来の種子の播種方法では覆土が必要とされたが覆土の問題点を根圏微生物の側面から明らかにして新たな播種方法を提案した。本方法はJournal of Forest Research に論文として掲載され、実用的方法として徐々に現場に普及している。種子への接種試験の結果、分離菌のうち *Cylindrocarpon tenue*、*C. tonkinense*、*Cylindrocarpon sp.*、*Fusarium oxysporum*、*F. lateritium*、*Botrytis sp.* が種子に病気を引き起こすことがわかった。したがって、ヒバ種子を黒ボク土へ播種する場合には覆土を避ける必要があることを明らかにした。

VII 今後の問題点

本課題では、適切な土壌選択と小型穂木による挿し木の利用によって、これまで5～6年かかっていた育苗期間を概ね3年で山出しができるように短縮するに至った。しかし、実生苗に比べて小型穂木による苗作りは手間がかかる問題点がある。さらに、今後は現場で多様な苗の使い分けについて検討を重ねる必要がある。さらに、植栽後の成長や活着率、病虫害など様々な側面から更に検討を重ねて結果を慎重に評価する必要がある。上記方法を実用的方法として提案したが、

本研究期間では提案した方法の利点に関するメカニズムを十分に解明するまでは至っていない。このため、交付金プロジェクト「北方天然林における持続可能性・活力向上のための森林管理技術の開発」（平成18～22年）において多様な環境におけるヒバ成長等を検討する予定である。また、詳細なヒバ根圏の微生物群集とヒバ抗菌物質の関係は現在も検討を進めており、国際誌に投稿中である。

VIII 研究発表

- 1) 森茂太、山路恵子、石本洋、下田直義、樫間岳、窪野高德、糸屋吉彦 (2003). ヒバ実生根面の不完全菌類。東北森林科学会誌8. 111-114.
- 2) 森茂太、山路恵子、石本洋、下田直義、樫間岳、工藤俊美、糸屋吉彦、成田俊之、日影正明、高木望 (2003). 2つの異なる土壌でのヒバ種子の発芽率と実生成長 東北森林科学会誌8. 108-110.
- 3) 樫間岳・太田敬之・金指達郎・正木隆 (2004). 被陰解除7年後のヒバ稚樹の樹型の変化. 研究情報4.
- 4) K. Yamaji, H. Ishimoto, N. Usui and S. Mori (2004). Organic acids and water-soluble phenolics produced by *Paxillus* sp. 60/92 together show antifungal activity against *Pythium vexans* under acidic cultural condition. *Mycorrhiza*15:17-23.
- 5) 佐藤隆士・山路恵子・下田直義・森茂太 (2005). 当年生ヒバ実生に対するウリハムシモドキと各種昆虫類による食害被害の影響. 森林防疫54: 11-17.
- 6) 山路恵子・森茂太 (2005). ヒバ実生の根圏微生物. *Forest winds* 21.
- 7) Gaku Hituma, Takayuki Ota, Tatu Kanazashi, Takashi Masaki (2006). Seven-years changes in growth and crown shape of *Thujaopsis dolabrata* var. *hondai* saplings after release from suppression. *J. For. Res.* 11:281-287.
- 8) Keiko Yamaji and Shigeta Mori (2006). Soil covering influences germination of *Thujaopsis* var. *hodai*. *J. For. Res.* 11:146-170.
- 9) 森茂太・兼平文憲 (2006) テーマ別セッション「ヒバの基礎研究とその応用」. 東北森林科学会誌11: 66-69.
- 10) 森茂太 (2006). 東北で民有林と国有林が共同で試みる新たな施業の試み ―自然力を生かした省力化植栽―. 山林 1446: 35-43.

IX 研究担当者

森茂太・樫間岳（森林総研東北支所）・山路恵子・佐藤隆士（日本学術振興会特別研究員）・高橋孝悦（山形大学農学部）・兼平文憲・田中功二（青森県林業試験場）

ヒバ根圏の不完全菌類を利用した健苗短期育成技術の開発

ア 研究目的

資源量の8割が青森県にあるヒバ林業は、これまで天然更新施業中心で行われてきたが、大径木の減少からその資源は質的にも低下し、かつて50万m³あった国有林からの生産量は平成14年度には5万m³にまで低下した。

しかし、ヒバ材の価格は他の林業樹種に比べて上昇傾向にある。国有林で過去試験的に植栽した高齢ヒバ人工林の材はアテが小さいなど品質面で市場の評価を受けており、これまで天然更新施業中心であった東北森林管理局青森分局でも、育林技術研究グループとの共同研究契約の下に人工林実証プロジェクトを開始した⁽¹⁰⁾⁻⁽¹³⁾。さらに、ヒバはヒノキが持たない抗菌物質であるヒノキチオールなどの二次代謝産物を持つなど機能的側面も注目を集め、今後の多面的な利用での模索は続いており、長期的視点に立った資源充実には民有林、国有林を通じた青森ヒバの緊急課題である。

このような事態に対応するためには、大量の苗木を安定して供給することが不可欠であるが、現在の育苗方法では、安定的に健苗を確保するのは困難な状況にある。育苗期間も5～6年かかり、価格も非常に高い^{(17),(9)}。このため、健苗の短期育成技術を早急に確立する必要がある。

本課題では、現在明らかにしつつある根圏の微生物によるヒバの成長制御・生存要因研究を生態化学、植物生理学、菌学の知見や技術を活用して、ヒバ健苗の短期育苗技術を開発する。

イ 研究方法

1) 二次代謝産物、根圏微生物とヒバ苗の成長・生存の関係の生理学的解明。

ヒバ種子をモデル鉱物質土壌のカヌマ土および苗畑黒土に播種し、次年度以降成長を測定しつつ順次実生を採取し、以下の実験に供した。(a) 根内糸状菌の調査：表面殺菌した根片から根内糸状菌を分離した。Gridline-intersect法を用いてArbuscular菌根菌の感染率も調査した。(b) 無機成分などの分析：乾燥させた地上部および地下部を硝酸-過塩素酸で湿式灰化後ICP-AESに供し、P、Mg、CaおよびFeを定量した。乾燥サンプルの一部はC/N分析に供し、CとNを定量した。(c) フェノール性化合物の分析：実生を採取後、地上部および地下部に分けメタノール中で磨砕し、一晚浸漬した。抽出液は濃縮後50%メタノールに溶解し、トータルフェノール分析を行った。さらにHPLC-DAD分析も行い、抽出液に含まれる主要なフェノール性化合物の定量と同定を行った。(f) 土壌から菌類を分離した。(g) 青森県北津軽郡のヒバ林の鉱物質土壌および林床土からも菌を分離した。(h) 上記ヒバ苗の成長・生存を分析した。(i) 分離した種子菌を苗に接種し、苗の二次代謝産物の定量・定性を行った。(j) 接種苗に接種した菌の再分離を試みた。

2) 二次代謝産物の定性、定量の分析条件に関する検討

ヒバに含まれる多様な化学成分の分析方法について検討した。ヒバの葉や材などに含まれる代表的な化学成分には、トロポロン類である β -thujaplicin(ヒノキチオール)、 γ -thujaplicin、thjopdadiene、widdrol、asunolなど、ジテルペン類であるtrans-communic acid、rimuene、rosadiene、hibaene、pimaradiene、sclarene、sandaracopimaradiene、dolabradiene、13-epi-dolabradiene、abietatrieneなどがある。これらの化合物を中心にガスクロマトグラフィー分析条件及び高速液体クロマトグラフィーを用いた分析条件を検討した。

3) 健苗短期育成技術の提案

1. 小型穂木による挿し木苗の短期育苗技術

平内町産のヒバから枝を採取して、小型穂木を作成した。穂木の全長は約19cmであり、アテなどの従来の大型の穂木に比べて多数の穂木を作成することが可能である。これを秋にプランターの鉾物質土壌に挿し、翌年の春に苗畑に移植して成長、枝性、T/R（地上部/地下部の重量比率）を山出まで追跡した。穂木の採取は11月頃、次年以降の5月に苗を掘り起こして採取し形態成長等を測定観察した。

2. 播種床の工夫による発芽率の増加

(a) ヒバ種子を播種する際に、覆土をする方がよいかどうか検討した。播種床に、①黒ボク土で覆土なし、②カヌマ土で覆土なし、③黒ボク土で覆土あり、④黒ボク土で滅菌砂を覆土とする、の4区設定し種子発芽率を比較した。(b) ヒバ育苗の際の土壌と苗の成長を現場の協力を得て検討した（青森県東津軽郡平内町松野木の青森県指導林家の工藤俊美氏苗畑で試験した。）。また、育苗した山出し苗は東北森林管理局計画課森林技術センターの技術開発課題の植栽試験で使用し、成長、活着率、病虫害の発生などをモニタリングして検討する（同プロジェクト終了後もモニタリング継続、同植栽苗の成長測定に関わる東北森林管理局森林技術センター技術開発課題は林野庁重点課題へ採用された。）。

ウ 結果と考察

(1) ヒバ苗-根圏微生物間相互作用、および二次代謝産物との関係の総合的解析

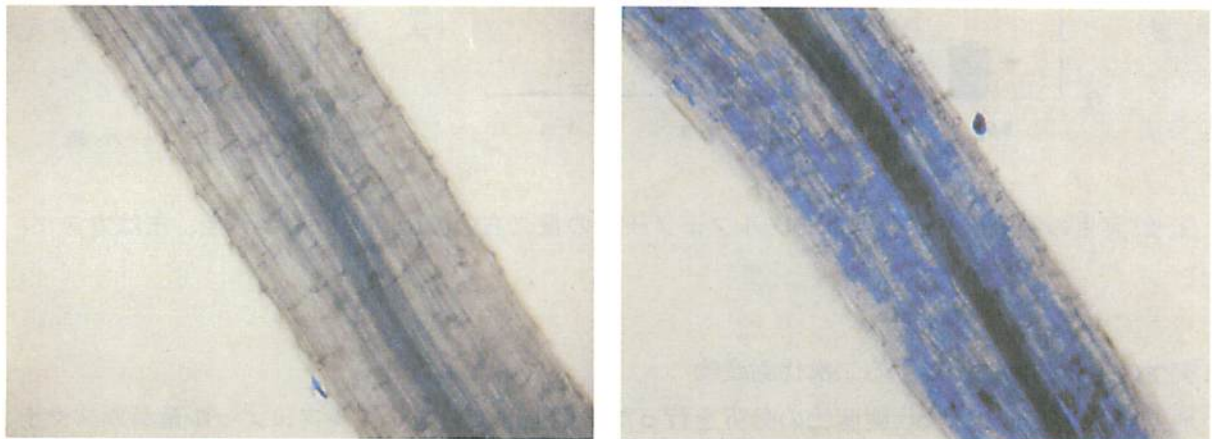


図-1. ヒバ実生（芽後4ヶ月）の根（右は黒ボク土の根、左は鹿沼土の根）

濃く染色された部分（写真右）にアーバスキュラー菌根菌（共生菌）が感染している。

1. 土壌の違いと実生成長、根圏微生物

林地でヒバ実生が更新する場所は鉾質土壌が多いことから、本研究所では通常の黒ボク土ではなく、鉾質土壌のモデルとしてカヌマ土を苗床に利用している⁽¹⁾⁻⁽⁹⁾。種子を両土壌に播種し、苗成長を比較調査したところ、黒ボク土の実生で成長量が有意に増加した。ヒバの根に共生するArbuscular菌の感染率は黒ボク土の実生で顕著に高く、カヌマ土ではArbuscular菌の感染はなくPhomopsis属糸状菌の感染頻度が高かった（図-1）。Arbuscular菌根菌の感染に差が生じたのは、本菌の胞子が黒ボク土では顕著に確認されるが、鹿沼土では確認されなかったことによる。

*Phomopsis*属糸状菌は種子由来であるが、青森県中里町の鉾質土壌で実生を生育させた場合にも *Phomopsis* 属糸状菌の感染が顕著にみられたことから、本糸状菌は鉾質土壌でヒバ実生を生育させた場合に根内に感染する菌であった。

2. 実生成長に関与する無機化学成分 (C, N, Mg, P, Fe, Ca)

地上部、地下部において、Nの量が黒ボク土の実生で顕著に多かった。C は全ての時期で差がなかった。また、地上部では播種年秋以降に、地下部では播種翌年夏以降に、MgとPの量が黒ボク土の実生で有意に多かった (図-2)。黒ボク土はカヌマ土に比べ無機栄養成分に恵まれているため、栄養条件の差が実生の吸収する無機成分に影響を与えたのであろう。これら無機成分は実生成長ともリンクしており、成長には黒ボク土の方が良い。一方で、共生菌であるArbuscular菌は植物体内への無機成分の取り込みを助長することが知られている。黒ボク土で生育させた実生にはArbuscular菌が高感染しており、本菌と共生することで生育が良好になっていると考えられた。

しかし、小谷(2005)は野外の繰り返しのある2種のヒバクロンを用いた施肥試験で、施肥が植栽苗の成長に有効と無効なクロンがあることを示しており⁽¹⁴⁾、こうした点を踏まえてさらに検討を重ねて行く必要があろう。

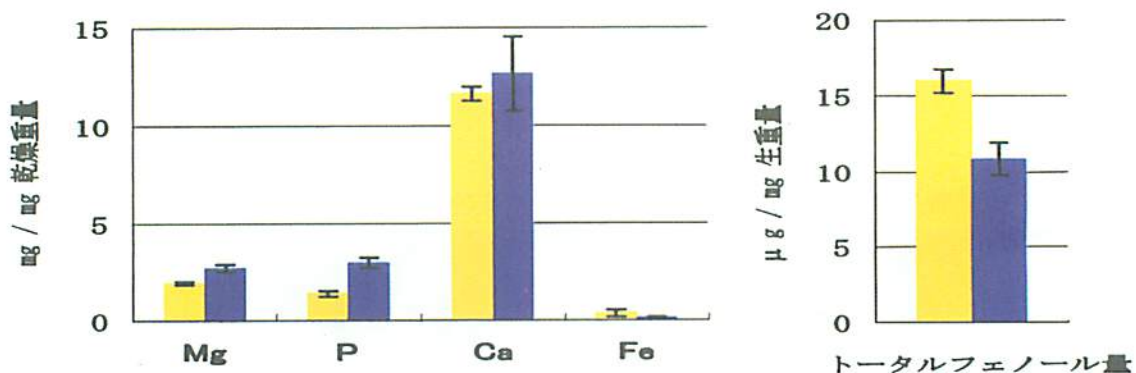


図-2. 実生の無機化学成分とトータルフェノールの量 (右の濃いバーは黒ボク土、左はカヌマ土)

3. 実生の生体防御に関与する二次代謝産物

地上部と地下部の二次代謝産物の分析を行った。地上部で、トータルフェノール量がカヌマ土の実生で有意に多かった (図-2)。地下部では全ての時期で差がなかった。HPLC分析の結果、地上部ではcatechinとその誘導体が主要成分であり、カヌマ土生育の実生でこれらの量が顕著に多かった。地下部ではcatechin、catechin誘導体やtotalolが主要成分であり、カヌマ土の実生でtotalolの量が多い傾向にあった。カヌマ土の実生の方が二次代謝産物を多く産生する傾向にあると言えるが、その要因として貧栄養ストレスと*Phomopsis*属糸状菌感染ストレスが考えられる。他の実験において、5種類の栄養状態の異なる土壌で実生を生育させた場合、二次代謝産物量に差がないという結果を得ることで、貧栄養塩類による誘導は否定された。また、これらの実生からは*Phomopsis*属糸状菌感染が顕著に確認された。よって、*Phomopsis*属糸状菌感染ストレスが要因であると結論づけた。さらに、コッホの原則を満たすため本菌の接種試験を行った。その結果、接種により上記二次代謝産物の誘導が確認され、接種部位から本菌が再度分離された。

Catechinやtotalolのような抗菌活性や昆虫の摂食に影響を与える化学物質は、実生のストレス

耐性を増加させる可能性がある。本実験苗畑での実生1000本の病害、虫害調査(03年7-11月)では両土壌の実生で差がなかったが、病害や虫害が顕著な環境においては利点になると考えられた⁽¹⁵⁾。

(2) これらのとりまとめ結果に基づく健苗短期育成技術の提案

1. 小型穂木による挿し木苗の短期育苗技術

挿し木苗は挿した翌春から高い成長をした(図-3)。また、枝性は3年目にはほぼ無くなり挿し木苗地際の断面はほぼ円形になった(図-4)。実生に比べて挿し木が高い成長を示したことはヒバの伏条更新する生態学的性質を表すものでヒバの旺盛な発根能力を示すのであろう。しかし、青森のヒバは系統間により発根能力に差があることが近年明らかになっており結論を急ぐのは危険であろう。

小型穂木の挿し床の土壌には鉾質土壌が使用された。但し、3年間の研究期間では出口となる技術のメカニズムの十分な検証には至っていない。播種した実生の苗だけでなくこうした挿し木の根の微生物と挿し木苗の生長生理学的な研究も重ねて行く必要がある。しかし、下記の

(3)の成果の利活用に示したように、本研究結果は現場での土壌選択の参考になっており本プロジェクトは現場での一定の評価を得たものと考えている。

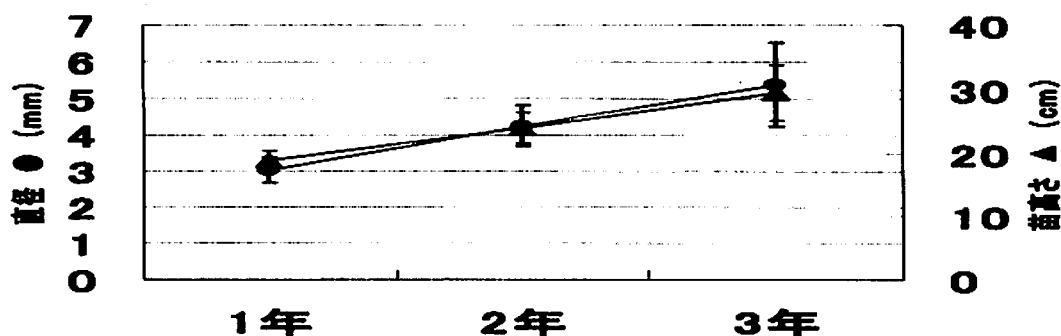


図-3. 小型穂木の挿し木後の地際直径と高さの成長

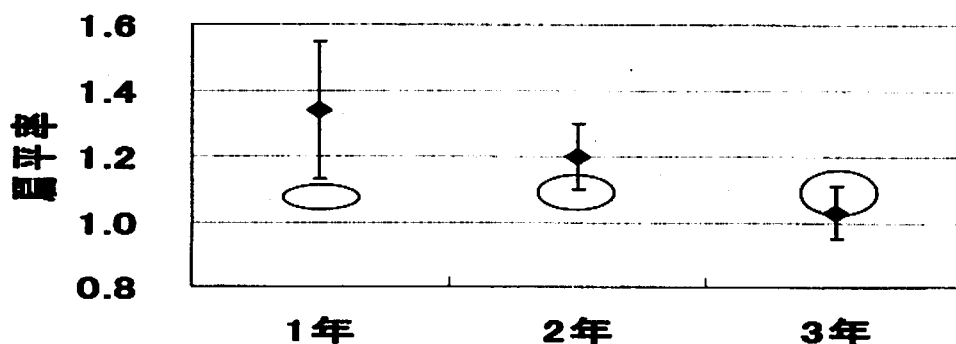


図-4. 小型穂木の挿し木後の地際の扁平率(横径/縦径)

枝性が3年でほぼ消滅して円形になったことを示す。

2. 播種床の工夫による発芽率の増加

播種床に、①黒ボク土で覆土なし、②カヌマ土で覆土なし、③黒ボク土で覆土あり、④黒ボク土で滅菌砂を覆土とする、の4区設定し種子発芽率を比較した。その結果、播種後10週目の発芽率

が、①、②、④区に比べ（56.8、52、47.2%）③区で顕著に低下した（8.8%）（図-5）。③区の未発芽種子は腐敗しており、数種類の糸状菌が分離された。種子への接種試験の結果、分離菌のうち *Cylindrocarpon tenue*、*C. tonkinense*、*Cylindrocarpon* sp.、*Fusarium oxysporum*、*F. lateritium*、*Botrytis* sp. が種子に病気を引き起こすことがわかった。したがって、ヒバ種子を黒ボク土へ播種する場合には覆土を避けた方がよいと考えられた。

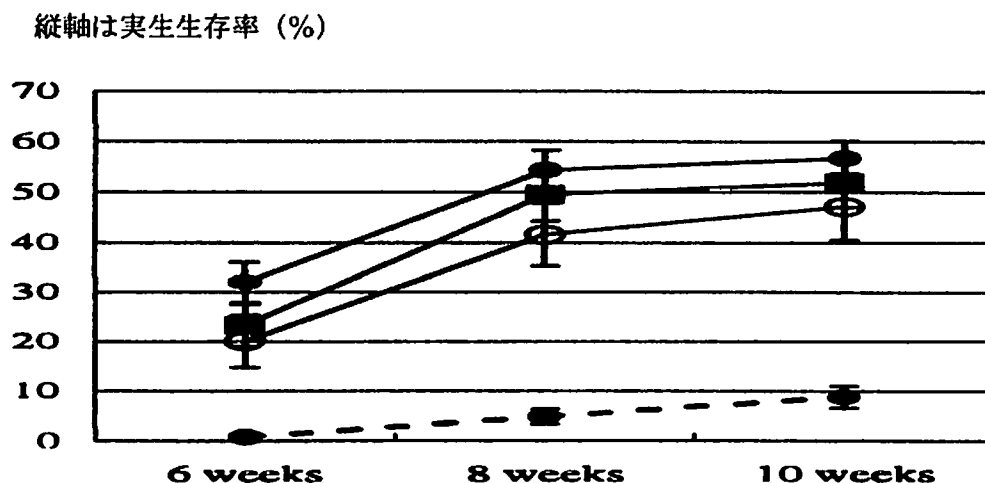


図-5. ①黒ボク土で覆土なし（●実線）、②カヌマ土で覆土なし（■実線）、③黒ボク土で覆土あり（●点線）、④黒ボク土で滅菌砂を覆土（○実線）の各処理区の生存率推移（Yamaji & Mori, 1996） ③は全ての期間で他の処理よりも有意に低かった。

（3）成果の利・活用

青森県におけるヒバの苗木植栽本数はスギに迫りつつあり、こうした状況の元、本研究の成果は以下のように民間の苗畑事業に利活用された。

青森県指導林家工藤俊美氏が所属する、平内町ヒバ研究会および同町の滝沢林業研究グループに対して青森県林業試験場を通じ、本課題で検討を加えた成長段階に応じた土壌選択による播種、育苗方法をテストした。その成果が滝の沢林研グループの創意工夫として全国的林業研究グループ発表会で公表され、平成17年度林業改良普及協会会長賞を受賞するに至った。また、当課題で試験的に育苗されたヒバ苗が東北森林管理局森林技術センターの技術開発課題で使用され高い活着率が認められた⁽¹⁰⁾⁻⁽¹³⁾。これにより、これまで殆ど顧みられること無かったヒバポット苗が青森県東津軽郡平内町で作られるようになり、植栽に利用される苗の一つとして普及し始めている点は特筆に値する。特に根が乾燥に弱いヒバ苗が季節や天候を選ばずに植栽可能である点が現場から評価された。この方法で、従来春だけ行われていたヒバ植栽が通年おこなえる様になったことで、労働力の年間を通じた効率的配分も可能となった。

エ 今後の問題点

本課題では、民間林業研究グループの協力を得て、適切な土壌選択と小型穂木による挿し木の利用においては、これまで5～6年かかっていた実生によるヒバ育苗期間を概ね3年で山出しができる小型穂木による挿し木育苗方法を提案した。しかし、実生苗に比べて挿し木で苗を作るに

は手間はかかる問題点がある。このため、従来の育苗方法に一つの選択肢を増やすことが出来たと考えるが、それぞれの苗の生態学的な特性を考慮しつつ、現場で多様な苗の使い分けについて検討を重ねる必要がある。さらに、植栽後の成長や活着率、病虫害など様々側面から更に検討を重ねて結果を慎重に評価する必要がある。

今後の問題として重要な点は、ヒバは様々な点で多様性が高いことである。例えば、発根性や栄養塩類要求性、さらには漏脂病耐性も系統によって違いがあることが近年漸く報告されている^{(14) (15)}。つまり、1つの育苗方法が提案されてもそれが常に他の地域や、他の地域の異なる系統のヒバで十分に利用できる完全な予測が難しいということである。この点を踏まえて、本研究成果を一つの事例としてさらに検討を加えて、地域地域の材料、環境条件、経営目的に応じた方法を選択することは重要と考えている。現在、平内町の民間研究グループは森林総研東北支所の指導の元、新潟など他府県の民間林業研究グループと地域間差を考慮した育苗技術に取り組んでいる^{(10) (13)}。このように、成果を実用的方法として提案したが、本研究期間では提案した方法の利点に関するメカニズムを十分に解明するまでは至っておらずさらに検討を重ねている。このため、これまで東北森林管理局森林技術センターと共同研究に関する確認書「ヒバ林の資源充実に関する研究」（平成14年～平成18年3月31日）が終了後、新たな共同研究契約確認書「ヒバ林の生理、生態学的解明とその適用技術開発に関する総合研究」（平成18年4月1日から平成23年3月31日まで）を交わした。また、詳細なヒバ根圏の微生物群集とヒバ抗菌物質の関係は現在も検討を重ねており、国際誌に投稿中である。

オ 要約

ヒバ根圏から微生物を分離同定した結果、野外の鈹質土壌、およびそのモデルであるカヌマ土ではArbuscular 菌の感染はなく *Phomopsis* 属糸状菌の感染頻度が高かった。一方、黒ボク土ではArbuscular 菌が優占した。*Phomopsis* 属糸状菌はヒバ実生の抗菌性の高い二次代謝産物を増加させおり、宿主の生存に関係があると考えられた。また、種子を播種する際に覆土があると発芽率が低下することを明らかにした。また、これらの成果を利用して、小型穂木の利用による挿し木の挿し床土壌に応用して育苗期間を5～6年を3年に短縮し、民間（青森県平内町、青森ヒバ研究会、滝の沢林業研究グループ）の苗木生産事業に利用された。また、播種床にも結果が応用された。

カ 引用文献

- 1) 小林義雄・浅川澄彦（1981）アスナロ属。（日本の樹木種子 針葉樹編。浅川澄彦・勝田証・横山敏孝編，150 pp，林木育種協会，東京）。118-121.
- 2) 桜井尚武・森麻須夫（1985a）ヒバ種子の発芽と芽生えの発生。日林東北支誌37：180-182.
- 3) 桜井尚武・森麻須夫（1985b）ヒバのメバエの底陰下での消長。日林東北支誌37：183-185.
- 4) 糸屋吉彦・下田直義（1995）ヒバ種子の播種床および相対照度の変化と発芽率の違い。林木の育種175：12-14.
- 5) 伊藤信治（1997）ヒバ種苗生産技術（I）ヒバ種子の発芽特性。新潟林試研報39：1-9.
- 6) 伊藤信治（2000）ヒバ種苗生産技術（II）実生苗の育成事例。新潟林試研報42：1-5.
- 7) 青森県林業試験場（2001）ヒバの苗木生産技術の手引き -種子生産から山出し苗生産まで-。3

3 pp, 青森県林業試験場, 青森.

- 8) 森茂太・山路恵子・石本洋・下田直義・樫間岳・工藤俊美・糸屋吉彦・成田俊之・日影正明・高木望 (2003) 2つの異なる土壌でのヒバ種子の発芽率と実生成長. 東北森林科学会誌8: 108-110.
- 9) 青森県農林総合研究センター林業試験場 (2004) ヒバの苗木生産技術の手引き -種子生産から山出し苗生産まで-. 青森県農林総合研究センター林業試験場, 青森. 34 pp.
- 10) 東北木材新報. (2004) 高品質材生産と省力化にヒバの単植え実証試験. 729
- 11) 東北木材新報. (2005) 平内青森ヒバ研究会ヒバ人工林を視察. 767.
- 12) 林野時報 (2005) 津軽半島青森ヒバの国をあるいて. 612:2-5.
- 13) 現代林業(2005) ヒバに夢を. 452:2-7.
- 14) 小谷二郎 (2005) 取り木苗由来のアテ幼齢林での肥培効果. 石川県林業試験場報告37: 16-21.
- 15) 佐藤隆士・山路恵子・下田直義・森茂太(2005). 当年生ヒバ実生に対するウリハムシモドキと各種昆虫類による食害被害の影響. 森林防疫54: 11-17.
- 16) 森茂太・兼平文憲 (2006) テーマ別セッション「ヒバの基礎研究とその応用」. 東北森林科学会誌11:66-69.