

森林総合研究所

交付金プロジェクト研究 成果集 11

針葉樹人工一斉林の
針広混交林化誘導手法開発のための
基礎的データセットの作成

独立行政法人 森林総合研究所

2006. 9

序 文

平成13年に施行された「森林・林業基本法」は、多くの国民の要望を受け入れる形で、「森林の持つ多面的機能の発揮や林業の持続的発展」という理念を掲げています。この基本法に沿って策定された森林・林業基本計画では、森林を「水土保持林」、「森林と人との共生林」、「資源の循環利用林」に区分し、多様な樹種からなる森林の育成を通じて、1) 生物多様性の保全、2) 景観の向上、3) 水土保持機能の維持増進に資するため、区分に応じて伐期の長期化による高齢級化や広葉樹の導入、育成単層林から育成複層林への誘導等の森林整備を行ってきました。

他方、平成17年2月16日には正式に京都議定書が発効となり、1990年以降の人為的活動による森林の二酸化炭素吸収量確保のため、京都議定書3条3項、4項に沿った森林整備を進めることによって3.9%目標を達成すべく地球温暖化防止森林吸収源対策の取り組みが林野行政に課せられた最重要課題の1つとして実施されているところです。

しかし、近年の林業不振はかつてのような労働力の大規模集中型投入による新規森林造成を困難にし、また国民の趣向やニーズの変化と花粉飛散等による反発から針葉樹人工一斉林の有利性に対しても理解を得られず、結果として持続可能な森林管理を揺るがしかねない造林未済地や施業の放棄等、森林整備の遅れが全国各地で顕在化してきています。

そうした流れを受けて森林・林業基本計画は、本年（平成18年）9月に改訂されました。そこでは、広葉樹林化、針広混交林化による多様な森林づくりといったことが前面に打ち出されており、本プロジェクト「針葉樹人工一斉林の針広混交林化誘導手法開発のための基礎的データセットの作成」は、まさにこれらの動きを見越したかのように取り組んできました。すなわち、針葉樹人工一斉林に広葉樹が混交した場合の成林予測のための基礎的なデータセットの作成とともに、混交林への誘導に向けた成立過程の解明、自然力を活用した混交林造成技術の可能性の検討、さらに生物多様性の保全や森林造成コストの低減など地域森林所有者や地域住民のニーズに応じた新たな現地適用型針広混交林誘導手法の開発を目指してきました。

今回の研究成果は、新たな森林・林業基本計画の策定により試験研究及び行政推進上、時宜を得た貴重な知見を提供できるものと考え、ここに本書を刊行し広く関係者の参考に供する次第です。最後になりましたが、本研究の推進においては、山形大学小野寺弘道教授に外部評価委員として適切なアドバイスを頂いたことを記し、感謝申し上げます。

平成18年9月

独立行政法人 森林総合研究所理事長
大熊 幹章

(別紙 1)

目 次

研究の要約	1
第 1 章 クローン性スギ一斉人工林の混交林化予測のための基礎的データセットの作成	13
1 針広混交林化の進行状況に関するデータ収集およびそのマッピング	
(1) 造林未済地における植生復元と立地の関係	13
(2) 施業放棄された針葉樹人工林における成林状況と斜面の位置との関係	22
(3) 造林未済地における植生回復の現状	28
2 管理状態の異なる針葉樹人工林における混交林化予測および有用性評価のための簡易手法の開発	32
3 針葉樹人工一斉林の針広混交林化誘導策に対する林業採算ポテンシャル算出のためのデータセット作成	40
第 2 章 多雪環境下のスギ・落葉広葉樹混交林における動態把握のための基礎的データセットの作成	54
1 スギ・落葉広葉樹混交林の分布実態の把握	54
(1) 多雪地域スギ人工林での落葉広葉樹混交実態の把握ーランドサットTMデータと森林調査簿情報を用いた解析	54
(2) 秋田県森吉山麓における人工林由来の針広混交林の樹種構成と構造	65
2 不成績人工林由来の針広混交林の林分構造と成立過程の解明	71
(1) スギ人工林の標高階別成績と混交林化の実態解明	71
(2) スギ人工林に由来する針広混交林化の過程	79
(3) 針広混交林に誘導するための判定基準	85
3 スギ一斉人工林の針広混交林への誘導の可能性の検討	90
(1) ケヤキ人工植栽による針広混交林造成	90
(2) ブナ人工植栽による針広混交林造成	96

研 究 の 要 約

I 研究年次及び予算区分

平成 15 ～ 17 年（3 か年）

運営交付金（交付金プロジェクト）

II 主任研究者

主査：研究管理官 佐々朋幸（平成 15 年 4 月 1 日～平成 16 年 3 月 31 日）

佐藤 明（平成 16 年 4 月 1 日～平成 18 年 3 月 31 日）

副主査：九州支所地域研究官

赤間亮夫（平成 15 年 4 月 1 日～平成 16 年 3 月 31 日）

角田光利（平成 16 年 4 月 1 日～平成 18 年 3 月 31 日）

東北支所森林修復チーム長／森林生態研究グループ長

杉田久志（平成 15 年 4 月 1 日～平成 18 年 3 月 31 日）

取りまとめ責任者 研究コーディネータ 佐藤 明

III 研究場所

森林総合研究所東北支所、九州支所、秋田県森林技術センター、山形県森林研究研修センター、福岡県森林林業技術センター、大分県農林水産研究センター林業試験場、熊本県林業研究指導所

IV 研究目的

広範に造成された針葉樹人工一斉林に対して、地域ごとのニーズを十分に見極めるとともに、森林生態系の攪乱を最低限に止めることのできる施業形態を検討・検証し、針広混交林へと誘導できる現地適用型手法を早急に開発することが求められている。そこで、九州地域のクローン性スギ一斉人工林および東北地域の多雪環境下のスギ人工林を対象に、自然力を活用しつつ、生物多様性の保全や森林造成コストの低減など地域森林所有者や地域住民のニーズに応じた針広混交林へ誘導できる新たな現地適用型手法開発に向けて、針葉樹人工一斉林に広葉樹が混交した場合の成林予測のための基礎的なデータセットを作成する。

V 研究方法

第 1 章 クローン性スギ一斉人工林の混交林化予測のための基礎的データセットの作成

1 針広混交林化の進行状況に関するデータ収集およびそのマッピング

福岡県、大分県、熊本県における放置されたままの針葉樹一斉人工林の実態等を解明するため、伐採後の経過年数が異なる造林未済地および隣接する人工林や天然林などを調査した。これらの場所に成育する樹高1.3m以上の高木種・亜高木種の毎木調査や下層木や林床植物の被度を測定し、立地条件（地形条件や土壌条件）による木本類の成育状況の違いやそれに及ぼす要因を検討した。また、一部の造林未済地とそれに隣接する人工林において

土壌の物理性・化学性を調査をした。シカの生息が目立つ地域では、シカによる食害痕の有無を目視で確認し、生育との関係を解析した。

なお、毎木調査等の必須調査事項については、データセットとして整理を容易にするため、共通の調査票を用いて調査を行うよう事前に協議し、実施した。

2 管理状態の異なる針葉樹人工林における混交林化予測および有用性評価のための簡易手法の開発

九州中央山地と霧島山系の遺伝資源保存林周辺の国有林、および九州大学宮崎演習林において、針葉樹人工林、広葉樹二次林および皆伐後造林未済地（皆伐地）に侵入した樹木の構成・量・形質を多点で調査した。あわせて調査地の標高、斜面方位、傾斜角、微地形タイプ、土壌タイプ、施業履歴、林冠高、林冠被度、林齢（または皆伐後の経過年数）、シードソースとなりうる天然林（二次林を含む）からの距離、林床の被度、草本層の優占種などを可能な範囲で記録した。各県で得られたデータもデータセットとして整理した。

九州中央山地と霧島山系周辺の針葉樹人工林における混交林化を予測するため、両地域の人工林に定着した個体の密度、種組成および階層構造を比較した。また、針葉樹人工林および皆伐地の有用性（更新可能な有用樹の構成と量、生物多様性への貢献）を評価するため、数量化I類を用いて定着個体の密度や樹種の豊富さの予測モデルを作成し、解析を行った。

3 針葉樹人工一斉林の針広混交林化誘導策に対する林業採算ポテンシャル算出のためのデータセット作成

針広混交林に関するデータセット作成のベースとして対象地域について小班を最小単位とする森林GISデータベースを作成した。針広混交林化の一形態と想定できる造林未済地の特徴を熊本県におけるデータをもとに解析し、その誘発要因について検討した。林業経営経費で最も大きな割合を占める主伐経費に着目し、林地の立地要因で潜在的経費を推計する方法を念頭に置き、主伐実績データを統計解析することにより、立地要因を示す変数の特定と伐出作業システムの類型化モデルを作成した。それとともに伐出経費の推計モデルを導出するため、伐出作業システムの類型別に伐出経費との関係を多変量解析で分析し、有効なポテンシャルモデルの作成方法を検討した。森林施業にかかわる態度と行動について解析し、針広混交林誘発要因を評価するために、森林所有者に対する調査（2002年度に熊本県球磨村を、2004年度に福岡県星野村と大分県上津江村を対象に郵送調査で実施）を行った。また、大分県が2003年度に実施した森林所有者の林業経営の継続についての意識調査データについても分析した。

第2章 多雪環境下のスギ・落葉広葉樹混交林における動態把握のための基礎的データセットの作成

1 スギ・落葉広葉樹混交林の分布実態の把握

対象地域は豪雪地帯に位置する秋田県森吉町にある太平湖周辺の森林である。対象地の主要な自然植生はブナで、純林あるいは天然スギ、ミズナラ等と混交する。また、対象地域には人工林も広く分布し、そのほとんどがスギで占められている。研究に用いたデー

タは分類の基準データとなる既存の国有林情報、森林タイプを分類するための衛星データ（TMデータ）と分類精度を検証するための白黒空中写真（1997年10月林野庁撮影、縮尺1/20,000）、および立地条件の解析に用いた国土地理院発行の50mメッシュの数値標高データ（DEM）からなる。これらをもとに画像化、数値化、メッシュ化して、スギ人工林での落葉樹混交の実態解析を行った。あわせて地上踏査データ整備の一環として、スギ人工林由来の混交林20林分およびスギ純林2林分を対象に現地調査を行い、広葉樹混交林の分布実態の把握を行った。

2 不成績人工林由来の針広混交林の林分構造と成立過程の解明

秋田県では、最深積雪は2.5mにも及ぶ斜面方位、傾斜の異なる2小流域のスギ人工林を対象に、標高階を変えて調査区を設置した。スギについては樹高、胸高直径、傾幹幅、雪害の種類等を、広葉樹については胸高直径2cm以上を対象に、樹種、樹高、胸高直径を調査した。それぞれにサブプロットを設け、胸高直径2cm満たない広葉樹やササ類について密度や種類を調べた。さらに、標高と積雪深の関係について把握するため、緯度的に秋田県のほぼ中央を横断する、秋田市河辺―田沢湖畔―秋田駒ヶ岳のラインで積雪深を調査した。山形県では、さまざまな地位級、林齢のスギ人工林においてスギの生育、広葉樹との混交状態など、現存する針広混交林の立地環境と林分構造を調査し、スギ人工林の「地位級」等をもとにスギ林として再生すべきか針広混交林に誘導すべきかを検討した。さらに、スギ不成績造林地を針広混交林化することにより森林機能を発揮させるため、針広混交林化の方法、広葉樹の誘導目標、および今後の施業方法について検討した。

3 スギ一斉人工林の針広混交林への誘導の可能性の検討

広葉樹の人工植栽による針広混交林造成の一環として、スギ人工林内へケヤキ等広葉樹を植え込む時期や植栽間隔を検討するため、植栽後における生育経過を観察、樹高、胸高直径、獣害や雪害などの被害状況を調査するとともに、混交林造成方法の検討を行った。また、鳥海山麓にスギ（苗高0.5m）と苗木サイズの異なるブナを交互に2m間隔で1999年に植栽したスギ―ブナ混交植栽試験地を対象に、7年間の生育状況を調査した。さらに、広葉樹植栽を要する林分造成に向けて、ブナの大苗木を傾斜地と平坦地の2箇所に斜めに植栽し10成長期を経過したその大苗木を対象に生育状況を調査し、その有効性を検討した。

VI 研究成果

第1章 クローン性スギ一斉人工林の混交林化予測のための基礎的データセットの作成

1 針広混交林化の進行状況に関するデータ収集およびそのマッピング

福岡県星野村の伐採後3年を経た造林未済地では、アカメガシワなどの先駆種が優占していたほか、下層植生から萌芽した落葉樹類や常緑樹が見られた。谷部ではサルナシやマタタビが、斜面ではススキが優占し、木本植物の侵入・繁茂を阻害していた。10年を経た未済地でも、谷壁下部では依然として先駆種が優占していたが、谷壁上部ではミズキなど近接天然林との共通種が増加していた。椎田町の12年を経た未済地では先駆種の割合が非常に低く、代わりに一般種およびヒノキの侵入が多く見られた。これは伐採前の林分に既に侵入していたものが、萌芽により速やかに更新したことと、林床にネザサが繁茂していたことにより、先駆種の侵入を阻害したためと考えられる。築城町で皆伐後5～6年経過し

た未済地では、地形や土壌の堆積区分による差が大きかった。谷壁下部で蔓茎類、イバラ類、高茎草本、ササ類などが更新阻害要因となっている箇所があった。篠栗町で3年を経過した未済地は緩い凸型の斜面で、地形的には差がなく、更新には十分可能な数があった。先駆種では99%が実生更新で、常緑樹では80%が萌芽からの更新であった。これらは周辺のスギやヒノキ林の下層樹種と共通しており、皆伐後に萌芽したものであることが裏付けられた。

大分県日田市において森林基本図、森林簿、原木市場価格、育林・伐出コスト等のデータを収集し主伐・間伐時の収支を算出した結果、208～9,210円/m³と大きな開きがあった。森林所有者を対象に郵送調査および聞き取り調査の結果、林家の過半数は年齢が70歳以上で、40歳未満の後継者がいる人は2割以下、5割以上の林家が施業を森林組合等に委託していた。スギ、ヒノキ人工林26ヵ所、広葉樹林4ヵ所の合計30林分において、侵入広葉樹の植生を主体とする林分調査を実施した。施業放棄されたヒノキ人工林の成林状況は、斜面位置によって非常に異なっており、尾根部以外では、林冠を形成する先駆性広葉樹の樹高がヒノキを上回り、ヒノキの成立本数が著しく減少していたこと等から、施業を放棄した場合におけるヒノキの成林化は困難であることが分かった。

熊本県の造林未済地で、伐採経過年数別による植生および木本植物による被度を調査した。植生被度は2年以上ではほぼ100%、木本植物による被度は標高の低い林分のほうが高い林分に比して高い傾向があった。また、生育する木本植物は、伐採前から存在していたと考えられる耐陰性の強い樹種と、伐採後に発生したと考えられる先駆性の樹種の2つに分かれた。標高が低い林分ではアカメガシワなど先駆性樹種による被覆が早い、標高が高い林分で伐採前に高木種による下層植生が少なく、伐採後にススキの被覆が早いため、木本植物の侵入・成長の遅れが認められた。スギ人工林分では相対照度が15%以上になると下層植生の植被率が約90%以上となるが、15%以下になると急激に減少することがわかった。このことは今後の森林整備の指針になると考えられる。

2 管理状態の異なる針葉樹人工林における混交林化予測および有用性評価のための簡易手法の開発

針葉樹人工林や皆伐後造林未済地等に侵入・定着した高木・亜高木種に関するデータセットを作成した。調査地点数は、福岡県、大分県、熊本県が収集したデータも含め、針葉樹人工林73地点、広葉樹二次林17地点、皆伐後造林未済地41地点の合計131地点となった。

九州中央山地と霧島山系の遺伝資源保存林周辺の林分におけるデータを解析した結果、霧島山系に比べ九州中央山地では混交林化が進行していた。九州中央山地では凍霜害を受けた不成績造林地が多く、25年生以上の林分でも大部分のスギが樹高10m未満と成長不良であった。定着個体の密度は高く、広葉樹の一部は林冠のスギと同程度の高さに達していた。こうした林分では速やかに混交林に移行すると予測された。しかし、侵入した広葉樹にニホンジカによる被食がみられるなど、更新樹種の構成に影響が出始めており、早急な被害防除策の必要性が示唆される。霧島山系の林分における定着個体は、亜高木種が中心でその種構成は、隣接する遺伝資源保存林に類似していた。しかし、高木種の定着個体密度は低く、40年生の林分においてもスギの林冠層に達している個体は稀であった。このため、こうした林分で広葉樹との混交林に移行するには長期間を要すると予測された。

人工林での予測モデルでは、定着個体の密度に大きく影響していたのは天然林からの距離、林齢であった。有用樹に限ってみると、林齢20年未満、植栽木密度が1000本/ha未満、天然林からの距離が100m未満という条件の林分で定着個体の密度が高く、このような条件下で木材生産機能としての有用性が高いことが判った。一方、皆伐地での予測モデルでは、傾斜15°未満、天然林からの距離100m未満の条件で有用樹の定着個体の密度が高く、また

皆伐後11年以上経過した、南向き斜面で多様な樹種の侵入がみられる結果が得られた。今回得られたモデルで、そのまま放置させた場合でも、木材生産機能や多様性保全機能などの多面的機能の発揮を期待できる林分の条件が明らかとなり、有用性の評価が可能となった。しかし、100地点余のデータセットを解析した結果、有用樹の定着個体は少なく、これらの種が定着できる条件はかなり限定的であることが示唆された。

3 針葉樹人工一斉林の針広混交林化誘導策に対する林業採算ポテンシャル算出のためのデータセット作成

熊本県球磨村、福岡県星野村、及び大分県上津江村について森林簿、森林計画図を入手し森林GISデータベースを作成した。

立地要因で伐出経費に影響する変数は、平均傾斜、集材距離、販売材積に集約できた。伐出作業システムは、従来型が「林内作業車」「トラクタ」「集材機」、高性能型が「トラクタ+プロセッサ」「プロセッサ」「集材機+プロセッサ」の6類型に区分した。伐出類型に関する3変数の分散分析から立地要因を使う「伐出作業システムの類型化モデル」を作成した。また、上の3変数のカテゴリカルデータについて数量化Ⅰ類を行い、従来型/高性能型のそれぞれについての「伐出経費推計モデル」を作成した。これら得られたモデルは再現誤差率23.9%と一定の精度を確保していた。さらに、今回得られた2つのモデルを連動させて最終的に「林地の主伐経費のポテンシャル評価」を行える方法を考案した。

熊本県のデータを用いて造林未済地と再造林地の立地の状態を表す変数と所有者の不在村状態をあわせた計5変数について造林未済地の特徴を比較分析した。その結果、いずれの変数についても造林未済地の頻度分布は再造林地との間に有意差が認められた。とりわけ顕著な特徴を示したのは傾斜の程度を示す変数で、それに次いで不在村状態を示す変数であった。この2つの変数を用いて造林未済地の発生判定を推定するモデル（正分類率70.7%）を作成した。その結果、不在村状態については森林所有者が不在村である場合、在村である場合に比べて造林未済となる確率は1.8倍に上昇することが認められた。

森林所有者の収穫意識と保育意識については、地域差の存在を確認できた。例えば都市近郊型の林業地域で造林未済地の少ない星野村は保育、収穫ともに意識が高かった。ともに山村の林業地域であるが、造林未済地が比較的多い球磨村では保育意識は低く、逆に造林未済地は少なく過去に台風激甚被害を受けた上津江村では高かった。施業に関する関心は、実施の面積割合ではなく件数割合に繋がることが認められたほか、所有面積規模では3ha以下の零細所有者で施業に関心が低かった。森林所有者の林業経営維持に関わる態度については、職業（農林業とそれ以外）や後継者の有無に関連が認められ、所有規模や年齢とは関連が認められなかった。こうした森林管理水準と森林所有者の特性に関する解析結果から、育林の施業状況（森林管理水準の動向）は森林所有者の特性からみれば、①零細所有者では関心が薄く実施水準が低い傾向がある、②地域特性がある、③関心の高さは実施の面積よりも件数にあらわれる、ということが特定できた。また、林業を成立させる地域的な条件として、①森林所有者が農林業従事者である、②後継者が居る、ことと特定できた。

第2章 多雪環境下のスギ・落葉広葉樹混交林における動態把握のための基礎的データセットの作成

1 スギ・落葉広葉樹混交林の分布実態の把握

人工衛星データと空中写真を用いてスギと落葉広葉樹の混交状況の実態をマッピングすることを主たる目的とした。地理情報システム（GIS）上で解析者の主観の入りにくい方

法で森林タイプ分類を実施し、空中写真判読によって常緑樹と落葉樹に区分できる手法を開発、TM分類図を作成した。国有林の森林簿情報にもとづいてスギ人工林を抽出して、スギ人工林における落葉樹の混交状況をマッピングした。次いで、混交状況をマッピングした結果を空中写真の判読から検証し、十分な精度を維持していることを明らかにした。

さらに、標高、傾斜、斜面方位と林齢をそれぞれ50m間隔、5度間隔、30度間隔と5年間隔のグループに区切って、各グループ単位で落葉樹林の画素の割合を計算して落葉樹率とし各因子との関係を解析した。その結果、スギ人工林では傾斜が急なほど落葉樹率が高く、両者の関係を次の一次式で近似できた。これらをもとに解析した結果、標高との関係はやや不明瞭だが標高が800mを越えると落葉樹率が上昇した。また、林齢に対しては30年生付近で落葉樹率が最小となった後、落葉樹が増える傾向が現れた。

これらの結果から、多雪環境の急傾斜地では積雪の移動により根曲がりが増激しくてスギの成林が困難となるため、急傾斜地で落葉樹が多くなったと考えられる。また、標高が800mを越えると落葉樹率が上昇する理由としては、一般に標高が高いほど積雪量が多く、寒冷なのでスギが成林しにくいと考えられる。TM分類図はスギ成林が積雪環境に依存していることを示唆しており、スギ成林は最大積雪深に左右されるといった知見に合致し、広域のスギ林における落葉樹混交の実態を表していた。

林齢との関係については、30年生付近でスギ林が完全に閉鎖するためこの林齢までは落葉樹率が急減する。その後、45～80年生では落葉樹率がやや高いが100年に達する林分では低い。これは成林できなかった林分は林種転換された、壮齢林では間伐遅れが目立つものの、間伐が収入になる高齢林では施業が円滑に行われていることを示しており、TM分類図はスギ人工林の成林過程の概要もかなりの程度表していた。

2 不成績人工林由来の針広混交林の林分構造と成立過程の解明

標高階別にスギ人工林を調査した結果、標高の増加に応じて上層木平均樹高は低下し、約600mを境に地位級5の値を満たさなくなった。また、根元曲がりの指標である傾幹幅についても、標高600mないし700mを越えると120cm以上になる場合が多かった。ササの桿密度は標高600mを越えると急増する傾向にあり、前述のスギの生育状態から、経済林としての維持は標高600m以下、侵入広葉樹による混交林誘導は標高600m以上が適すると考えられた。標高900mほどを越えるとスギはもちろん広葉樹の発生も著しく少なくなり、ササ原になることから、混交林化は困難と考えられた。以上、調査小流域のデータや既存の資料を基に、標高を軸とした、スギ人工林の成績、混交化の実態、ササの繁茂状況、積雪深等のデータセットが得られた。

スギ幼齢林の混交林化過程を長期モニタリングした結果、田沢湖畔では林齢10年生時の高木性広葉樹の密度は50,000本/haで、ほとんどが地際径2cm以下であった。しかし23年生時には、分布の中心は小径の階級にあるものの、スギに混ざって大きい階級にも分布するようになった。とくに、樹高階分布では、10年生時にはスギしかみられなかった上層にも進出し、針広混交林の様相を呈し始めた。比内試験地でも同様の傾向を示し、7年生時にはスギしかみられなかったが18年生時には高木性の広葉樹が上層にも進出し、針広混交林の様相を呈し始めた。いずれの試験地とも針広混交林の形成初期段階では、ホオノキが重要な構成樹種となっていた。

高齢のウダイカンバ・スギ混交林を対象に間伐を加え、林分構造の変化を調べた。調査開始から15年を経た林分は、いずれもスギ、ウダイカンバともに林冠を形成しているが、15年前に間伐しなかった林分では、スギの相対胸高断面積が増加し、樹冠面積等からウダイカンバは衰退傾向にあると見られた。

不成績造林地における混交化の判定基準として3つの基準で決定できるとした。第1は、地位Ⅱ上以下の林分においてスギの成長量と広葉樹の本数割合で混交林化の方法を決定すること。第2は、広葉樹のうち高木性広葉樹の本数比率と広葉樹の混交率により機能別の広葉樹育成方法を決定すること。第3は、針葉樹と広葉樹の胸高直径と樹高から混交林施業の重点化目標を決定すること。以上の針広混交林に誘導するための判定基準をもとに、森林の健全性の向上と回復を目指した針広混交林化を進めるための指針とすることを提示した。

3 スギ一斉人工林の針広混交林への誘導の可能性の検討

林冠疎開されたスギ人工林への広葉樹の侵入過程の解明と、広葉樹植栽によるスギー広葉樹混交林の造成に関する研究を進めた。スギ人工林で刈払う前のコナラ等の広葉樹が萌芽更新で再生することや、間伐により林床の陽光量が多くなり、萌芽で発生したシュートの成長がよくなる傾向のあることなど、広葉樹の侵入過程について多くの実態を解明できた。間伐や地掻きなどの処理が広葉樹の侵入に及ぼす効果については、間伐は人工林の下層における広葉樹高木種の生存、成長を促し、とくに地掻き処理を併用した場合にはウダイカンバなどの先駆種の導入に効果があることを明らかにするなど、混交林への誘導を行う上で有効な技術となり得る。

広葉樹植栽により人工的に混交林を造成する際に問題となる、苗木サイズや針広混交比率、植栽タイミング等を検討するため、植栽後の成長や雪害等の被害状況など、具体的な成果を得た。ブナ植栽の場合、ブナの成績は混交、一斉を問わず苗高1.0m以下の小苗で悪く、中苗、大苗では、スギとの混交植栽で成績が良かった。スギ人工林内へケヤキを植え込む時期については、同時植栽が最もケヤキの成績が良く、混植時期が遅いほど成長が悪く、その傾向は地位の悪いところほど顕著であった。また、豪雪地帯にブナを植栽する場合、平坦地では雪害対策が必要であることを明らかにした。これらのことは、広葉樹植栽により不成績造林地を針広混交林へと移行させる際の留意点として重要な知見である

Ⅶ 今後の問題点

第1章 クローン性スギ一斉人工林の混交林化予測のための基礎的データセットの作成

標高等の環境条件、施業履歴によって植生回復の速度が大きく違うので、さらにデータの蓄積が必要である。また、特定の地域から得られた施業放棄に至る社会的・地理的な要因データや、針広混交林化予測データ等得られた結果に汎用性があるかどうかの検討を行う必要がある。混交林化において多面的機能をより高度に発揮させるためには主要林冠構成種をいかに定着させるかがキーポイントになること、およびその定着できる条件はかなり限定的であることを指摘したが、その条件解明までは至らなかった。

主要林冠構成種の定着条件を含めて造林未済地問題の解明に関しては、平成18年度から開始する森林総合研究所交付金プロジェクト「大面積皆伐についてのガイドラインの策定」

において発展させる予定である。

第2章 多雪環境下のスギ・落葉広葉樹混交林における動態把握のための基礎的データセットの作成

長期間におよぶ混交林化した人工林のモニタリング調査をさらに推進して、ブナ等有用広葉樹の動態予測や適切な混交林への誘導技術の開発について取り組む必要がある。広葉樹の人工植栽による針広混交林造成試験については、造成初期段階に限った成果であり、また、間伐等による人工林への広葉樹の導入促進技術に関しても事例を増やし、長期的に調査する必要がある。さらに、新たな森林・林業基本計画の動きから人工林の主伐後の更新林分として広葉樹林を積極的に目指すケースも増加すると見なされ、その誘導技術について早期の検証が求められている。

これらの一部の課題については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」で対応する予定である。

VIII 研究発表（口頭発表を含む）

猪上信義・野田 亮・廣田篤彦「人工林皆伐後に放置された林分の植生－高海拔地の場合」第60回 日本森林学会九州支部大会発表、2004. 10

佐々木重行・猪上信義「ヒノキ造林地および隣接する放置林の土壌について」第116回日本森林学会 大会学術講演集、687、2005. 3

山田康裕「施業放棄されたヒノキ人工林における成林状況と斜面位置との関係」（日本林学会九州支部大会2005発表、九州森林研究No.

横尾謙一郎 再造林放棄地における木本植物の播種による緑化の可能性 九州森林研究、56、192-195 2003。3

齊藤哲、小南陽亮、永松大、佐藤保、大谷達也：暖温帯のスギ人工林内における広葉樹類の混交状態、九州森林研究 57、83-86、2004. 03

小南陽亮、齊藤哲、永松大、田内裕之、佐藤保：九州中央山地高海拔地域の不成績造林地における林分構造の変化、九州森林研究 57、87-93、2004. 03

齊藤哲、永松大、佐藤保、小南陽亮：ニホンジカが高密度で生息する地域における人工林内の広葉樹類の混交状態、九州森林研究 58、166-168、2005. 03

矢部恒晶 獣道における野生動物の自動撮影の検討、九州森林研究 58、191-192、2005. 03

齊藤哲、猪上信義、野田亮、山田康裕、佐保公隆、高宮立身、横尾謙一郎、小南陽亮、永松大、佐藤保、梶本卓也：針葉樹人工林および皆伐後再造林未済地への広葉樹類侵入密度と樹種豊富さの予測、日本森林学会誌（投稿中）

野田巖 林地における地籍調査前後での面積の変動と調査の進捗状況 九州森林研究、57、67-72 2004. 03

NODA Iwao、HAYASHI Masahide Characteristic Differences of Non-Reforested Lands Compared with Reforested Lands in Kumamoto, Kyushu（熊本県における再造林地と比較した再造林放棄地の特徴的差異） 森林総合研究所研究報告、3、1、29-32 2004. 03

林雅秀、野田巖 森林所有者の林業継続意向について：大分県における所有者調査結

果の分析 日本森林学会大会講演要旨集、116、1A10 2005.04（口頭発表）

林雅秀、野田巖 森林所有者の施業意識とその形成要因について：熊本県におけるアンケート調査結果から 林業経済研究、51、3、1-9 2005.11

野田巖、姫野光雄、齋藤英樹、鹿又秀聡 立地条件に基づいた伐出作業システムの類型化と伐出経費の推計モデル：GISを用いた地域森林資源管理での活用を想定して 九州森林研究、59 2006.03（印刷中）

栗屋善雄、西園朋広（2005）多雪地帯スギ人工林での落葉広葉樹混交実態の把握ーランドサットTMデータと森林調査簿情報を用いた解析ー. 日林誌, 87(6):490-496.

栗屋善雄、西園朋広（2005）秋田県森吉山麓におけるスギ・落葉広葉樹混交林の分布実態ーランドサットTMデータと森林調査簿情報を用いた解析ー. 東北森林科学学会大会講演要旨集 10:21.

杉田久志、大原偉樹、金指達郎、西園朋広、星野大介、森澤 猛、櫃間 岳、関 剛、梶本卓也、太田敬之、八木貴信、橋本 徹、和田 覚、澤田智志（2005）秋田県森吉山麓における人工林由来の針広混交林の樹種構成と構造. 東北森林科学学会大会講演要旨集 10:22.

大原偉樹（2003）スギ・広葉樹混交林で発生した冠雪害の特徴ースギ林と比較した事例ー. 雪氷 65: 533-541.

正木隆、中村松三、太田敬之、大谷達也、大原偉樹、杉田久志、斎藤宗勝、神林友広、長池卓男（2003）白神山地奥赤石林道沿いのスギ・広葉樹混交林の群集構造と5年間の変化. 東北森林科学会誌 8:75-83.

Masaki, T., Ota, T., Sugita, H., Oohara, H., Otani, T., Nagaike, T & Nakamura, S. (2004) Structure and dynamics of tree populations within unsuccessful conifer plantations near the Shirakami Mountains, a snowy region of Japan. Forest Ecology and Management 194: 389- 401

大丸裕武、大原偉樹（2004）八幡平におけるパッチ状雪食地の形成過程. 地形 25: 341-358

杉田久志、國崎貴嗣、高橋良一、高橋健保（投稿予定）岩手県雫石町における若齢人工林混生樹の樹種構成ー流域内における樹種構成のちがいー. 日本森林学会誌

大原偉樹（2003）スギ人工林に由来する針広混交林の構造ー積雪深ごとにみた場合ー. 日本林学会大会学術講演集114: 64 .

杉田久志、高橋良一、高橋健保（2004）人工林混生樹の樹種構成と地形、前生林分との関係ー岩手大学御明神演習林における事例ー. 日本林学会大会学術講演集115: 339

杉田久志、高橋良一、高橋健保（2004）岩手大学御明神演習林の若齢人工林における混生樹の種構成. 東北森林科学学会講演要旨集 9: 19

大原偉樹（2004）多雪地帯において形成された造林地に由来する針広混交林の13年間の構造変化. 2004年度雪氷東北支部大会予稿集: 1-2

星野大介、杉田久志、森澤 猛、安藤 貴（2005）ウダイカンバ・スギ混交林の15年間の林分構造の変化ー岩手大学御明神演習林の事例ー. 日本森林学会大会講演要旨集116: PA028.

大原偉樹（2005）豪雪地帯の針広混交林の形成過程. 2005年度日本雪氷学会東北支部大会講演集, 42.

和田 覚・金子智紀（2005）多雪環境下にあるスギ人工林の標高階別成績と混交林化

の実態、東北森林科学会大会講演要旨集 10:23.

大原偉樹 (2005) 多雪地帯のスギ人工林に由来する針広混交林の形成過程. 東北森林科学会大会講演要旨集 10:25.

星野大介、杉田久志、森澤 猛、安藤 貴 (2005) 地位の異なるウダイカンバ・スギ混交林 2 林分の15年間の構造変化. 東北森林科学会大会講演要旨集 10:26.

小野瀬浩司 (2005) スギー斉林か針広混交林かの判定について. 東北森林科学会大会講演要旨集 10:27.

杉田久志 (2005) テーマ別セッション「混交林化した人工林の実態と取り扱い」. 東北森林科学会誌 10:110-113.

澤田智志、和田 覚、三浦義之 (2005) スギ、ケヤキ混交林の植栽後10年間の成長経過. 東北森林科学会誌 10:23-27.

杉田久志、猪内次郎、百目木忠之、田口春孝、岩根好伸、大石康彦 (2003) カラマツ人工林間伐後のカンバ類の更新 ―林冠疎開と地床処理の効果―. 東北森林科学会講演要旨集 8:80.

後藤忠男、猪内次郎、杉田久志 (2004) ウダイカンバ幼木を加害するハンノキカミキリの生態. 東北森林科学会講演要旨集 9:10

澤田智志、和田 覚 (2005) スギ・ケヤキ混交林の植栽後10年間の成長経過. 東北森林科学会大会講演要旨集 10:27.

<特許申請>

大原偉樹 積雪移動量測定装置及びその方法. 特願2004-131547 (2004. 04)

IX 研究担当者

第1章 野田 亮、山田康裕、前田勇平、齊藤 哲、野田 巖

第2章 栗屋善雄、杉田久志、和田 覚、大原偉樹、小野瀬浩司、澤田智志

研究課題一覧

1) 中課題名: クローン性スギー斉人工林の混交林化予測のための基礎的データセットの作成

(1) 小課題名: 針広混交林化の進行状況に関するデータ収集およびそのマッピング

H15 - H16 - H17

担当者(研究室等): 猪上信義、野田 亮、佐々木重行(福岡県森林林業技術センター)、高宮立身、佐保公隆、山田康裕(大分県農林水産研究センター林業試験場)、横尾謙一郎(熊本県林業研究指導所)、野田 巖(九州・資源管理G)、小南陽亮(九州・育成林T)

(2) 小課題名: 管理状態の異なる針葉樹人工林における混交林化予測および有用性評価のための簡易手法の開発

H15 - H16 - H17

課題担当者（所属）：梶本卓也、小南陽亮（九州・育成林T）、齊藤哲、永松大、大谷達也（九州・生態系G）

(3)小課題名：針葉樹人工一斉林の針広混交林化誘導策に対する林業採算ポテンシャル算出のためのデータセット作成 H15 - H16 - H17

担当者（研究室等）：野田巖、林雅秀（九州・資源管理G）

2) 中課題名：多雪環境下のスギ・落葉広葉樹混交林における動態把握のための基礎的データセットの作成

(1)小課題名：スギ・落葉広葉樹混交林の分布実態の把握 H15 - H16 - H17

担当者（研究室等）：栗屋善雄（森林管理研究領域）、西園朋広（東北・森林資源管理G）、杉田久志（東北・森林修復T）、金指達郎、大原偉樹（東北・森林生態G）、澤田智志、和田覚（秋田県森林技術センター）

(2)小課題名：不成績人工林由来の針広混交林の林分構造と成立過程の解明

H15 - H16 - H17

担当者（研究室等）：大原偉樹（東北・森林生態G）、杉田久志（東北・森林修復T）、和田覚、澤田智志（秋田県森林技術センター）、小野瀬浩司、三浦直美（山形県森林研究研修センター）

(3)小課題名：スギ一斉人工林の針広混交林への誘導の可能性の検討

H15 - H16 - H17

担当者（研究室等）：杉田久志（東北・森林修復T）、金指達郎（東北・森林生態G）、澤田智志、和田覚（秋田県森林技術センター）、小野瀬浩司、三浦直美（山形県森林研究研修センター）

第1章 クローン性スギ・ヒノキ人工林の混交林化予測のための基礎的データセットの作成

1. 針広混交林の進行状況に関するデータ収集およびそのマッピング (1) 造林未済地における植生復元と立地の関係

ア 研究目的

林業不況や後継者不足などにより皆伐や気象災害後に、植栽や管理を放棄した林地が増加している。このような箇所における植生、特に高木となる樹種の発生・成育状況を調査することで、立地条件の違いによる森林再生のメカニズムを検討し、成林に導くための管理の適否とその方策のための資料とする。

イ 試験研究方法

福岡県内の星野村、椎田町、築城町、篠栗町の4町村において、伐採後の経過年数が異なる造林未済地（以下未済地）および隣接する人工林や天然林などを調査した（図111-1、表111-1）。これらの場所に成育する樹高1.2m以上の高木種・亜高木種の毎木調査や下層木や林床植物の被度を測定した。各調査地で出現した樹種を、先駆種・その他広葉樹・常緑樹・針葉樹に区分して、立地条件（地形条件や土壌条件）による木本類の成育状況の違いやそれに及ぼす要因を検討した。

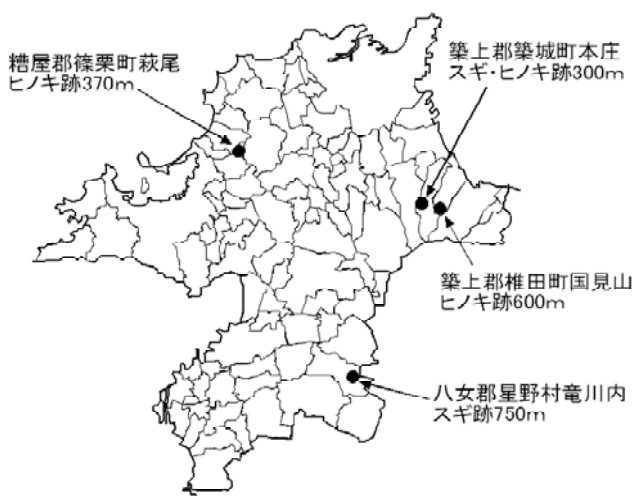


図111-1. 県内の調査地

星野村では皆伐後2年～3年を経過した未済地9カ所、10年～11年を経過した未済地8カ所、周辺の人工林4カ所、天然林3カ所において、樹高1.2m以上の木本類の種名、胸高直径、樹高、および主要な林床植物の被度を記録した（図111-2）。調査面積は未済地では79～108㎡、人工

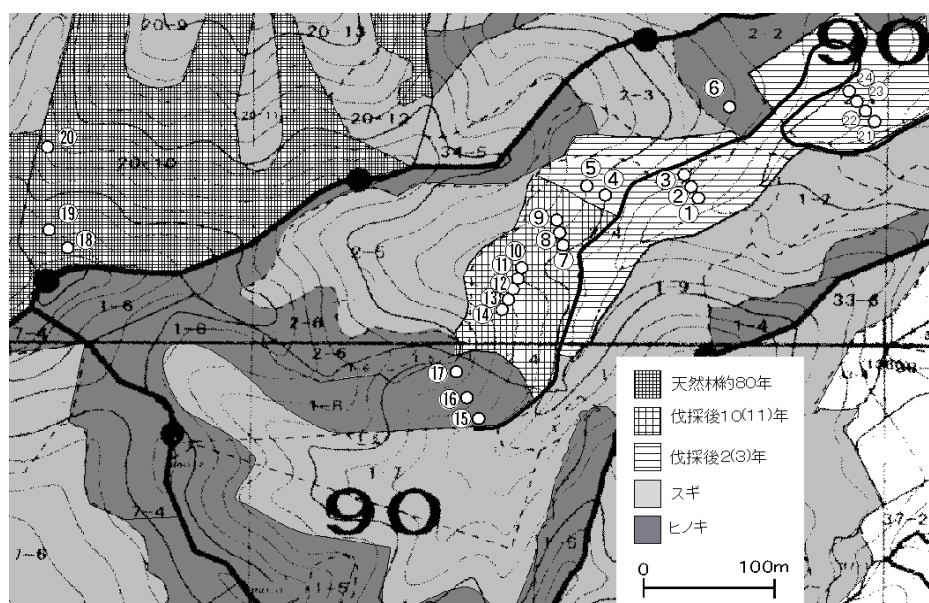


図111-2. 星野村の調査位置図

表111－1. 造林未済地の諸元

場 所	篠栗町萩尾		築城町本庄	星野村竜川内		椎田町国見山
伐採後の年数	3		5(6)	3	10(11)	12
前 植 生	ヒノキ林		スギ・ヒノキ林	スギ林	スギ林	ヒノキ林
標 高 (m)	350～400		260～400	670～750	750～800	570～630
方 位	西南西		東	南東	南南東・北東	東～南東
地 質	花崗閃緑岩		凝灰質角礫岩	輝石安山岩	輝石安山岩	輝石安山岩
年降水量 (mm)	2,100		1,950	2,600	2,600	1,900
プロット数	8		8	4	8	2
立木密度 (本/ha)	25,000～82,000※	1,800～15,400	4,500～16,000	3,800～5,800	2,700～11,000	12,000～12,800
断面積 (m ² /ha)	3.07～5.33※※	0.41～3.72	1.98～9.62	0.48～0.63	5.29～10.86	9.98～16.91
平均樹高 (m)	0.52～1.16※	1.27～1.62	2.71～3.46	1.85～2.22	3.48～5.96	3.57～4.54
平均胸高直径(cm)	0.70～1.36※※	0.30～0.86	1.49～2.76	0.91～1.20	2.44～5.65	3.13～3.76
主要木本 (本数割合)	アカメガシワ※ カラスザンショウ※ ヒサカキ※ タブノキ※ シロダモ※	アカメガシワ エゴノキ カラスザンショウ タブノキ スダジイ	クサギ ヒサカキ ヤブムラサキ サンショウ クマノミズキ	アカメガシワ クサギ リョウブ コパンノキ ヤマザクラ	アカメガシワ ミズキ ヌルデ コパンノキ エゴノキ	ヒノキ ヒサカキ アカメガシワ リョウブ タブノキ

※は全木本、他は樹高1.2m以上の木本

※※は地際直径、他は胸高直径

林では 90 ～ 110 m²、天然林では 137 ～ 328 m²である。11 年経過した造林未済地と隣接する 9 年生のヒノキ人工林において土壌の物理性・化学性を調査をした。

椎田町では 1991 年の台風被害の整理伐後 12 年を経過した未済地 2 カ所(面積 88 ～ 97 m²)で、同様の調査を行った。

築城町では、皆伐後 5 ～ 6 年を経過した未済地 8 カ所と周辺の人工林 3 カ所、天然林 1 カ所で同様の調査を行った(図 111－3)。ここでは地形区分や土壌の堆積区分を考慮して調査地を設けたので、調査面積は未済地では 27 ～ 62 m²、人工林や天然林では 51 ～ 97 m²とかなり幅が生じた。

篠栗町では、皆伐後 3 年を経過した造林未済地 8 カ



図111－3. 築城町の調査位置図



図111－4. 篠栗町の調査位置図

所と作業路4カ所では、樹高がまだ1m前後またはそれ以下であったため、全ての木本類の種名、地際直径、胸高直径、樹高、更新型(地際の形状により萌芽と実生に区分)および主要草本の被度を記録した(図111-4)。周辺の人工林2カ所と天然林3カ所では他と同様に樹高1.2m以上の木本類の種名、胸高直径、樹高、および主要な林床植物の被度を記録した。調査面積は未済地では21～24㎡、作業路では4㎡、人工林では38㎡と64㎡、天然林では191㎡～218㎡とした。

ウ 研究結果

1) 星野村

皆伐後2年目の未済地では全体の被度は50～80%に達していたが、まだ木本類は少なく、特に1.2m以上の木本類の密度は500本(1ha当たり、以下同様)程度で、被度は1～5%にとどまっている(表111-2)。谷部ではハナイカダ、コアカソなどの低木類とクマイチゴ、ヒメバライチゴ、ヘクソカズラなどの草本被度が高かったものの、アカメガシワやカラスザンショウなどの先駆種を除くと高木構成種はほとんど見られなかった。しかし尾根部ではこれら先駆種のほかカナクギノキ、リョウブ、ツクシトネリコなどその他広葉樹の稚樹が見られ、遷移のごく初期から植生侵入に立地による差が見られた。

これとは別の場所の3年目の未済地では、尾根部での立木密度はすでに2,300～4,700本に達していた(表111-

表111-2. 皆伐後2年の植生と高木性稚樹

		P1 谷	P2	P3	P4	P5 尾根
被 度 %	総被度(%)	75	80	50	60	50
	ヘクソカズラ	30	5	+	+	20
	ハナイカダ	15			10	
	ヒメバライチゴ	10	30	15		
	マタタビ	5	+			
	クマイチゴ	+	30	10	+	+
	ヒヨドリジョウゴ	5	10	+		
	ススキ		5	20	5	5
	アカメガシワ	+	5	20	+	+
	クサイチゴ			5	20	
稚 樹 本 数	コガクウツギ			+	15	5
	カラスザンショウ		+		5	10
	カナクギノキ		+	+		5
	アカメガシワ	3	5	2	3	3
	カラスザンショウ		1		3	3
	カナクギノキ		1	1		3
	リョウブ					2
	ヌルデ					2
	ウリハダカエデ					2
	ツクシトネリコ					2

3)。アカメガシワ、クサギ、タラノキ、カラスザンショウ、ヌルデなどの先駆植生が優占しており、樹高は2m前後であった。最も尾根よりの場所では立木密度が2,300本と低かったが、これは先駆種が少ないことによるもので、その他の樹木の密度はあまり差がなかった。その樹種はヤマザクラ、ミズキ、カナクギノキ、マルバアオダモ、ツクシトネリコ、リョウブな

表111-3. 皆伐後3年の植生

調査地番号	星野21	星野22	星野23	星野24
土壌堆積区分	崩積性匍行	匍行土	匍行土	残積性匍行
主要林木本数 (本/ha)	3,120	4,730	3,770	2,340
先駆種割合 %	70.0	80.5	84.4	42.9
平均樹高 m	2.2	1.9	1.9	2.0
胸高直径 cm	1.2	0.9	1.0	1.1
胸高断面積 m ² /ha	0.60	0.48	0.55	0.63
先駆種割合 %	78.8	88.0	70.3	75.3
主な樹種	1 クサギ	クサギ	アカメガシワ	イイギリ
	2 アカメガシワ	アカメガシワ	ツクシトネリコ	アカメガシワ
	3 コバンノキ	エゴノキ	タラノキ	リョウブ
	4 タラノキ	ヌルデ	アカガシ	エゴノキ
主な下層植生	1 クマイチゴ	ススキ	コガクウツギ	ケクロモジ
	2 ササガヤ	ササガヤ	ススキ	モミジイチゴ
	3 サルナシ	ヒメバライチゴ	ヒメバライチゴ	ススキ
	4 コガクウツギ	クマイチゴ	ササガヤ	オガルカヤ

どの落葉樹やアカガシ、ヒサカキ、ネズミモチなど常緑樹が見られた。これらはほとんどが前のスギ人工林内に生えていた低木から萌芽したものと思われる。一方、谷部ではアカメガシワ、クサギ、タラノキなどの先駆種が優占するものの密度は3,100本前後とやや低かった。これはサルナシやマタタビなどの蔓茎類が繁茂していたため、その他の高木性樹種の成育を阻害したと思われる。

伐採後10～11年を経た未済地でも密度は尾根部で6,000～11,000本、谷部で2,700～4,800本であり、尾根部で高いという傾向がここでも見られた(図111-5)。構成種は全体的にはアカ

メ

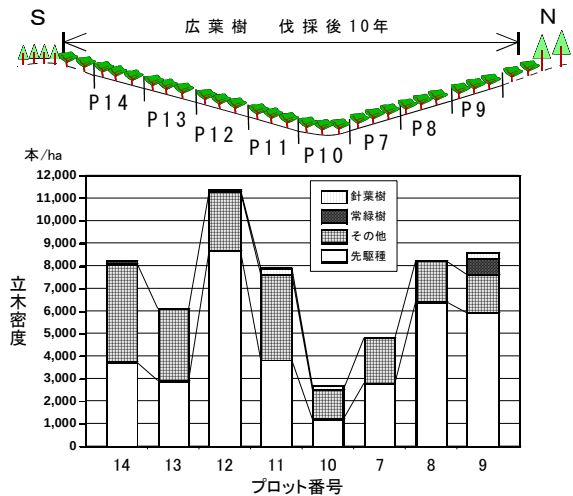


図111-5. 斜面位置と立木密度

ガシワ、ヌルデ、タラノキ、イイギリ、ヤマウルシ、クサギなどの先駆種が優占しているが、尾根部ではその割合がやや低くなり、ミズキ、エゴノキ、ツクシトネリコ、ヤマザクラ、クマノミズキ、カナクギノキなどその他広葉樹が増加していた（表 111 - 4）。これらは近接する天然林から、鳥や風により種子が散布されて定着したものと思われる。

この調査地全体に出現した木本類を樹種ごとに集計すると、密度ではアカメガシワが 40 %と圧倒的に多く、ついでミズキ 9 %、ヌルデ 8 %となり、先駆種が 60 %を占めた。胸高断面積ではアカメガシワは 50 %以上となり、ついでヌルデ 10 %、ミズキ 6 %の順で、先駆種は 70 %近くを占めた。

ついで構成種の樹種タイプを斜面位置との関係で比較すると、谷部で先駆種の割合が高く、尾根に向かうにつれてその他の広葉樹が増加していることがわかる。

斜面の位置と樹木の大きさを比較すると、谷部での樹高が 6 ～ 8 mに達するのに対して、尾根部では 3 ～ 4 m程度であり、立地による差が大きいことがわかる（図 111 - 6）。これを先駆種とその他の樹種に分けて比べると、先駆種では立地による差がより大きく現れるのに対して、その他の広葉樹では、尾根と谷の差はあまり明瞭ではない。胸高直径でも同様の傾向が見られた。

立地による樹高の違いを明確にするために各林分の最低地点の標高と各プロットの平均の高度差を比高差として、先駆種とその他広葉樹の各林分の平均の樹高を比較した（図 111 - 7）。これ

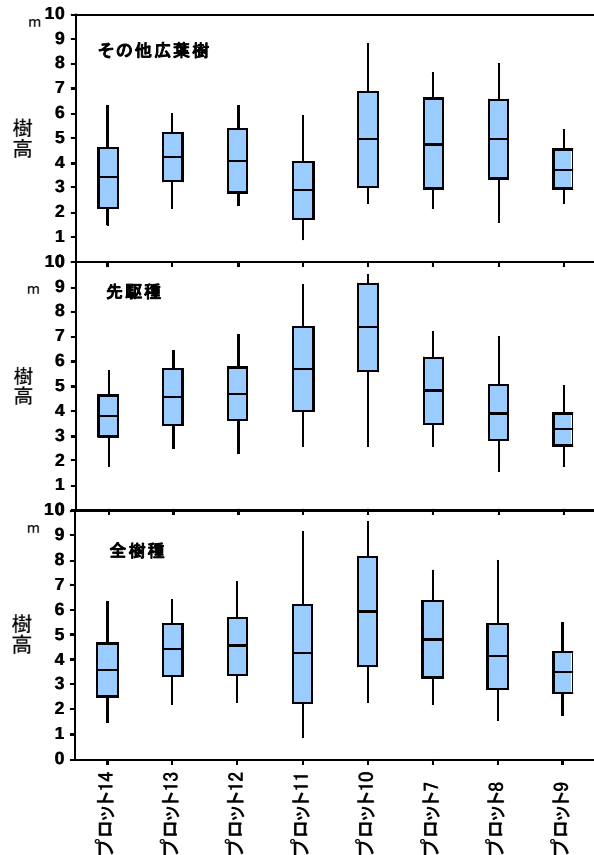


図111-6. 斜面位置と樹高変化

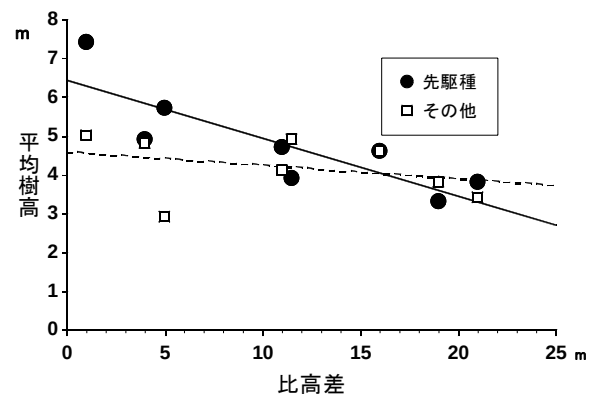


図111-7. 比高差による樹高の変化

を見ると先駆種では比高差が小さい、つまり谷に近いほど樹高が大きくなり、その他広葉樹ではあまり差が見られない（猪上ら、2004）。これは先に出現した先駆種が立地の影響をより受けているのに対して、その他広葉樹は侵入が遅いため成長差が小さいことや、その他広葉樹が先に出現した先駆種に被圧されて十分な成長が見られないことも影響していると思われる。

周辺の人工林や天然林を含めて主要樹種の出現状況を比較したところ（表 111－4）、未済地では伐採後の経過年数が増えるにつれて種数が増加している。しかし、その内訳をみると先駆種ではほとんど差がなく、その他広葉樹が増加していることがわかる。その広葉樹は周辺の天然林との共通種が多く、先駆種はイイギリを除いて天然林や人工林にはほとんど見られない。また標高が高いため常緑樹は非常に少なく、まれに見られるアカガシ、ヒサカキ、ネズミモチなども谷部ではほとんど出現していない。

表111－4. 主要樹種の出現表

樹種タイプ	未済地谷壁下部						未済地谷壁上部					人工林	天然林		
林齢(伐採後の年数)	3	3	10	10	11	11	3	3	10	11	11	15	80	80	80
プロット番号	21	22	7	8	10	11	23	24	9	13	14	6	18	19	20
総出現種数	7	7	14	14	11	14	8	11	16	15	17	10	22	12	16
先駆種	アカメガシワ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				
	スルギ		●	●	●	●	●		●	●	●				
	タラノキ	●		●	●	●	●		●	●	●				
	イイギリ					●		●	●	●	●				●
	クサギ	●	●	●	●		●				●				
	ヤマウルシ				●				●	●					
	カラスザンショウ							●	●	●					
	ハマクサギ		●					●							
	エゴノキ		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ツクシネリコ			●	●	●	●	●	●	●	●				
その他広葉樹	ミズキ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				●
	カナクノキ			●		●	●	●	●	●	●				●
	コバノノキ	●			●	●	●	●	●	●	●		●		
	ヤマザクラ		●		●	●	●	●	●	●	●			●	
	シロモジ					●	●	●	●	●	●		●	●	●
	ウリハダカエデ				●	●			●	●	●				
	クマノミズキ			●		●			●				●	●	●
	ヤマボウシ			●	●			●				●	●	●	●
	マルバオダモ			●				●					●	●	
	アオハダ							●		●	●		●	●	
常緑樹	モミジウリノキ					●					●				
	エンゴウカエデ			●	●			●	●	●	●				
	クリ			●				●				●	●	●	●
	コハウチワカエデ									●			●	●	●
	リョウブ							●					●	●	●
	ケヤキ			●									●	●	●
	コナラ			●									●	●	●
	ゴンズイ								●				●	●	●
	シラキ												●	●	●
	アヲブキ												●	●	●
アカガシ	アカシデ											●	●	●	●
	タンナサワフタギ												●	●	●
	ヒサカキ							●	●	●			●	●	●
	アカガシ							●	●	●			●	●	●
	ネズミモチ							●	●	●			●	●	●
	シロダモ					●							●	●	●
	イヌツゲ										●		●	●	●
アセビ	アセビ												●	●	●
	ヤブツバキ												●	●	●
ソヨゴ	ソヨゴ												●	●	●

次に 11 年経過した未済地と隣接する 9 年生のヒノキ人工林の土壌の物理性・化学性を比較した（図 111－8）。その結果、深さ 10 cm くらいまでの土壌の炭素含有率と窒素含有率はいずれも未済地の方が 20 % ほど高かった。これは、ヒノキ林ではちょうど林分の閉鎖する時期であり、目立った下層植生がほとんど見られないのに対して、未済地では多くの植生それも落葉性の樹木が多く、腐植の供給が多かったためと思われる。表層の浸透能、全孔隙、pH などには大きな差は見られなかった（佐々木ら、2005）。

2) 椎田町

1991 年の台風災害の整理伐が行われた後、放置されて 12 年を経過した林分での立木密度は 12,000 本前後であり（表 111－1）、同じ程度の標高と経

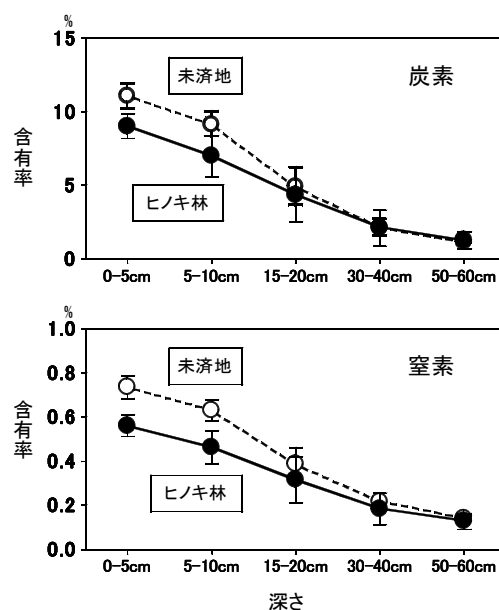


図111－8. 深さごとの炭素・窒素含有率

過年数の星野村の林分に比べるとかなり高い。しかも先駆種の割合は 8 ～ 27 % と非常に低く、ソヨゴ、リョウブ、コシアブラ、カナクギノキ、タブノキなどの一般種、それに前の人工林樹種であるヒノキ実生の侵入が多いと言う特徴があった。これは林分全体が尾根に近いということで、伐採前の林分に既に侵入していたものが、萌芽により速やかに更新したことと、林床にネザサが繁茂していたことなどにより、かえって先駆種の侵入が抑制されたためと考えられる。ヒノキの実生が多いことは、9 月下旬に襲来した台風の強風により、多量の種子が散布され翌年一斉に発芽したことと、被害材搬出のため林床に裸地が生じたことによるものと推察される。

3) 築城町

皆伐後 5 ～ 6 年経過した未済地は、凝灰質角礫岩という地質の影響で、地形や土壌による植生

の生育状況が大きく異なっている（図 111 - 3）。谷部のプロット 1 はやや過湿地にあり、主にクサギが優占しており、他のプロットとは様相が異なっていた。これを除くと、立木密度は 4,500 ～ 7,300 本/ha（以下同様）であり、クサギやタラノキなどの先駆種が 40 ～ 80 % を占めた（図 111 - 9）。先駆種を除くと 800 ～ 4,000 本となり、そのうち高木性樹種は 300 ～ 1,800 本と少なかった。特に一

部(No.2. 7. 8)では、胸高断面積も他に比べて小さかった（図 111 - 10）。これらの場所ではネザサ、ススキ、ウラジロ、ヤマフジ、スイカズラ、クマイチゴ、サルトリイバラなどが繁茂していて、木本類の侵入を阻害している状況にあった。このような立地に見られる周辺のスギ人工林内では、少量のヤブムラサキ、コアカソ、アオキなどが生育しているだけで、未済地となった場合に核となる木本類が少なく、前記植生の繁茂により更新が阻害されたと考えられる。

尾根部では全体が 8,600 ～ 16,000 本、先駆種以外は 6,300 ～ 14,700 本、そのうち高木性樹種は 2,600 ～ 5,600 本で、谷部に比べるといずれも多く、より円滑な更新が行われていた。ここでは先駆種や更新阻害となる植生は少なく、アラカシ、シロダモ、ヒサカキ、ヤブツバキ、クマノミズキ、リョウブなど、いずれも前の人工林の下木から萌芽したと思われるものが多く見られた。

なおこの区域ではシカの生息が見られ、未済地のネザサやヒサカキへの食害や一部樹木への角擦りが確認されているが、今後の更新にどのように影響するかは不明である。また星野村や篠栗町の未済地で常に優占していたアカメガシワが少なく、代わりに谷沿いを中心にクサギが優占していたが、このような先駆種の住み分けについては今後の検討課題である。

4) 篠栗町

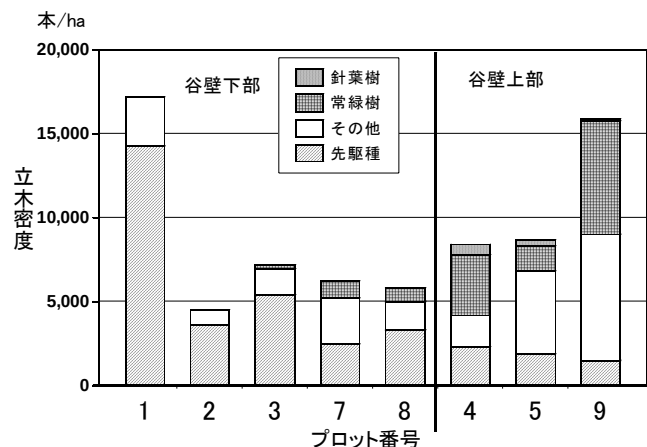


図111-9. プロットの立木密度

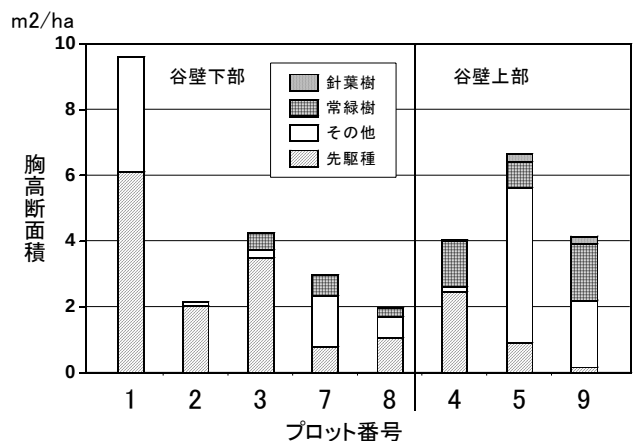


図111-10. プロットの胸高断面積

3 年を経過した未済地は花崗閃緑岩よりなり、全体的に緩い凸型の斜面で地形的にはあまり差がない（図 111－4）。その密度(1.2m 以下も含む)は比較的尾根よりの場所では 53,000 ～ 82,000 本であり、その 60 %前後はアカメガシワ、カラスザンショウ、ヌルデ、ハゼノキ、タラノキなどの先駆種で占められている(図 111－11)。そしてウラジログシ、スダジイ、タブノキ、シロダモ、ヤブニッケイ、クスノキ、モチノキ、ヤブツバキ、ヒサカキなどの常緑樹は 20 ～ 30 %、エゴノキ、エノキ、カナクギノキ、ヤマザクラ、クマノミズキなどその他落葉樹は 1 ～ 10 %で、スギ・ヒノキなど針葉樹はごくわずかである。

これに対してやや谷よりの場所での密度は 25,000 本前後で、尾根より斜面の半分以下であるが、個々の木が大きいので地際断面積はあまり変わらない。種組成ではクマイチゴ、イヌビワ、タブノキ、アオキ、クロキなどが多いのが目につく。

樹種タイプ別に萌芽更新の割合を比べると、先駆種では 99 %が実生更新であり、その他落葉樹類も 90 %が実生更新なのに対して、常緑樹の 80 %は萌芽による更新であり、その方法が全く異なっている(図 111－12)。これらの常緑樹は周辺のスギやヒノキ人工林の下層木と共通しており、伐採株からの萌芽であることが裏付けられた。実生更新する高木性の常緑樹はクスノキのほかタブノキ、シロダモの一部に限られていた。

次に主な常緑樹で実生更新と萌芽更新での大きさを比べると、ほとんどの樹種で樹高、地際直径とも、萌芽更新の方が実生更新のものよりも大きかった(表 111－5)。

周辺の天然林はスダジイを主体にしてタブノキ、アカガシ、モチノキ、ヤブニッケイ、ヒサカキ、シキミ、クロキなどから構成されていた。これはやや高標高のため見られるアカガシを除いて、未済地での萌芽更新樹種や、スギ・ヒノキ人工林の下層植生と共通するものがほとんどであった。

作業路面の木本類の密度は 30,000 ～ 85,000 本で、未済地と同程度であるが、場所によるバラツキが大きかった(図 111－11)。

構成種はアカメガシワやハゼノキなど先駆種も多いが、未済地に比べるとスギやヒノキの実生が多く、場所によっては 30,000 ～ 65,000 本も発生していた。これらがそのまま成長するとは考えられないが、未済地に比べ他の植生との競合が少ない作業路跡地に、これら針葉樹の実生が定着したものと思われる。また作業路は開設時に前植生が取り除かれることから、萌芽更新が多い常緑樹はほとんど見られなかった。ここでは樹高 1.2m 以上の樹木は今のところ皆無であり、その他の樹種も直径が小さいので、植被率は 10 ～ 40 %と低く、植生回復の遅れは明らかである。

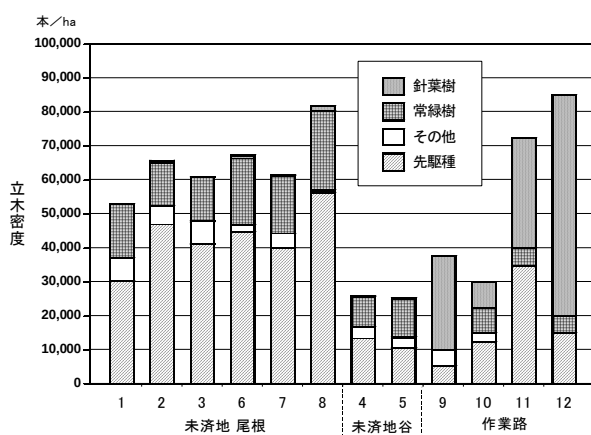


図111－11. 立地別の立木密度(篠栗町)

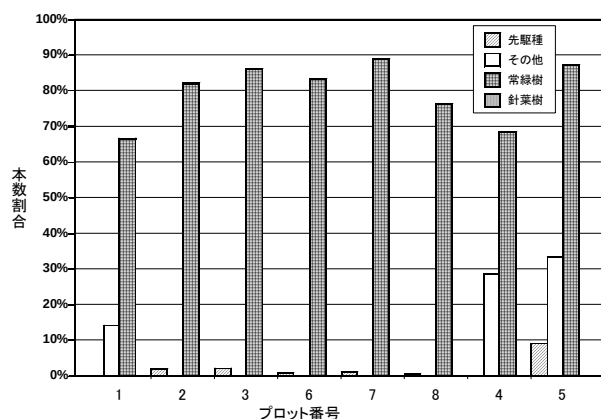


図111－12. 樹種タイプの萌芽割合

未済地に出現した主な先駆種と常緑樹について、周辺の人工林や天然林との関係を比べた(表 111-6)。先駆種は未済地と作業路だけに出現し、例外的に天然林でハゼノキやネムノキが見られるくらいであった。常緑樹は未済地や人工林、天然林にほぼ一様に見られた。しかし作業路面ではヒサカキの実生が見られる程度

であった。一方、クスノキは未済地だけに出現し、しかもほとんどが実生更新であるなど、他の常緑樹と異なり、むしろ先駆種的な性質であった

先駆種を除いた高木性樹木は尾根より斜面で 13,000 ～ 18,000 本、谷よりでも 10,000 ～ 12,000 本見られ、更新には十分な数と思われる。ただし斜面下部にモウソウチクやハチクの林分があり、当未済地にも侵入しているので、その動向を注意する必要がある。

表 111-5 . 主要常緑樹の萌芽更新の割合と大きさ

種名	本数	萌芽更新の割合	樹高(m)		地際直径(cm)	
			実生	萌芽	実生	萌芽
シロダモ	42	71%	0.35	0.63	0.55	0.91
ヒサカキ	57	74%	0.32	0.72	0.39	0.67
タブノキ	51	82%	0.55	0.94	0.88	1.29
モチノキ	26	88%	0.46	0.71	0.50	0.84
スダジイ	14	100%	—	1.37	—	1.52
ヤブニッケイ	23	100%	—	0.66	—	0.85
クスノキ	14	7%	0.6	0.40	0.89	0.70

エ 考 察

福岡県内の未済地は一カ所当たりの面積が 2 ～ 3ha 以下であることや、標高が 800m 以下の林分であることなどから、全体的には伐採後 2 ～ 3 年目から高木性樹種による植生回復が見られる。当初はいずれの場所でもアカメガシワ、カラスザンショウ、ヌルデ、クサギなどの先駆種が優占しているが、細かく見ると立地条件により違いが見られる。

表 111-6. 主要樹種の出現表(篠栗町)

種名	未済地尾根						未済地谷		作業路				人工林		天然林		
	1	2	3	6	7	8	4	5	9	10	11	12	13	16	14	15	17
先	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					
駆	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●		
種	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●					
ヌルデ		●	●	●	●	●		●			●	●					
タブノキ		●	●	●	●	●											
イヌザンショウ		●			●					●							
クサギ	●		●					●									
クマイチゴ		●			●		●										
ナガバモミジイチゴ			●							●	●						
イイギリ		●															
ネムノキ																●	
ヒサカキ	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●
タブノキ	●	●		●	●	●	●	●			●		●	●	●	●	●
モチノキ			●		●	●	●	●					●	●	●	●	●
ヤブニッケイ		●	●	●	●	●	●	●					●	●	●	●	●
スダジイ	●	●	●	●				●					●		●	●	●
アオキ			●			●	●	●					●	●	●	●	
シロダモ	●	●	●	●	●	●	●						●				
ヤブツバキ	●	●		●	●	●		●				●	●				
クロキ				●		●	●	●							●	●	●
ウラジロガシ				●	●	●	●						●			●	
クスノキ	●	●	●	●	●	●											
シキミ				●		●							●		●		●
ネズミモチ	●							●							●	●	
アカガシ															●	●	●
サカキ						●							●			●	
ユズリハ					●	●							●				
クロガネモチ	●		●													●	
ツルグミ														●		●	
ナワシログミ														●		●	

標高の高い地域の

谷部では先駆種の割合が高い状態は 10 年以上続いていた。しかし先駆種の寿命は一般に短く、しかもイイギリ、ネムノキなどを除いて樹高が高くならないため、年とともに周辺天然林からの風や鳥による種子散布によると思われるミズキやヤマザクラなどその他の広葉樹が増加すると思われる。一方、尾根部でも先駆種が優占するが、植栽木の生育状態と関連するものと推測される元の人工林の下層木からの萌芽によると思われるアカガシやリュウブなどの割合が谷部より高

く、加えて年とともに、鳥や風による種子散布樹種も増加するので、早期に在来種による林分が構成されることが予想される。

標高が低く常緑樹が優占する地域でも、当初は先駆種が優占していた。しかし尾根部では元の人工林の下層木からの萌芽の割合が高いため、高標高地よりも早期に在来種による更新が行われると思われる。特に初期に発生したシイ類やカシ類などの常緑樹はその大半が、萌芽更新によるものであり、未済地での更新にはこれらの有無が大きく影響していることがわかる。これに対して谷部では尾根部に比べて木本類の密度が低くなるが、個々の成長が早いいため、高標高地よりも早期に更新が行われるものと考えられる。

一部の谷部では5～6年を経ても、ススキ、ササ類、ウラジロ・コシダ、蔓茎類、イバラ類などに覆われていて、木本類の被覆が少ない場所が見られる。この要因としては、元の人工林に核となるような高木性樹種がほとんどない状態で未済地となったため、先の木本以外の植生が繁茂して、先駆種を含めた木本類の侵入が阻害されるためであろう。

作業路面においては、稚樹の個体数は未済地と同レベルの場所もあったが、いずれも実生で小さいものばかりで被度が低く、土壌の流亡なども見られるので、植生回復は遅れる可能性が高いと考えられる。

オ 今後の問題点とその対応

1. 未済地植生の更新型(実生と萌芽)の調査や周辺の人工林や天然林の調査が不十分であったため、未済地に成立する植生の起源や周辺林分との類似性についての検討が足りなかった。
2. 作業路面において針葉樹類が多く定着していた状況についてはさらに検討が必要である。
3. 未済地となった場合に、更新がうまくいかない場所や、更新を阻害するおそれのある植生の発生場所の予測を行うためには、さらに追加調査が必要である。

カ 要約

福岡県の4町村において、人工林皆伐後造林未済のまま放置された林分の植生を調査した。未済地では2～3年目から高木性樹種による全面的な植生回復が見られた。その多くはアカメガシワなどの先駆種によるものが多かったが、尾根部を中心に、元の人工林の下層木からの萌芽によるものも見られた。谷部では10年以上を経ても先駆種が優占していたが、周辺天然林からの風や鳥による種子散布によると思われるものも増加していた。

全体的には未済地への高木類による更新はうまく行われていたが、谷部では5～6年を経ても、ススキ、ササ類、イバラ類に覆われている場所もあった。

キ 引用文献

猪上信義・野田 亮・廣田篤彦「人工林皆伐後に放置された林分の植生－高海拔地の場合」
第60回 日本森林学会九州支部大会発表、2004.10

佐々木重行・猪上信義「ヒノキ造林地および隣接する放置林の土壌について」第116回日本森林学会 大会学術講演集、687、2005.3

(福岡県森林林業技術センター 野田 亮、猪上信義、佐々木重行)

(2) 施業放棄された針葉樹人工林における成林状況と斜面位置との関係

ア 研究目的

近年の林業を取り巻く情勢は、長引く材価の低迷等に起因して依然として厳しい状況にあり、大分県における県内原木市場のスギ原木平均価格は、平成 17 年 7 月時点で 7598 円/㎥と昭和 55 年をピークに最安値を更新している（大分県農林水産部林産振興室調べ）。搬出を伴う間伐や主伐を行った場合においても、木材の販売価格から生産経費（伐出経費、トラック運賃、市場手数料等）を差し引くと、森林所有者のもとに利益が残らないといったケースも多く、主伐後に造林、育林経費を捻出できない等の理由から、造林未済地や造林されてもその後の施業が行われないうち保育放棄林の増加に繋がっている^{3)、8)}。こうした放棄林分のうち、造林未済地に関しては、これまでに経営的な面からの分析や^{1)、8)}、植生回復と立地条件についての報告はみられるが⁷⁾、造林後に施業放棄された林分に関して調査された事例は少ない。施業放棄された人工林は、木材生産林としての価値が低下するだけでなく、公益的な機能も低下するとされており⁵⁾、今後こうした林分の成林状況の把握が重要になってくるものと思われる。ヒノキ林は、立地によって大きく林分構造が変化するとされているが¹¹⁾、本研究では、施業放棄されたヒノキ人工林の成林状況と斜面位置との関係について明らかにすることを目的とした。

イ 研究方法

調査地は、大分県日田市上津江町（33° 03' 62" N、130° 58' 45" E）に位置する 17、18 年生ヒノキ人工林で、昭和 63 年から平成元年に造林された後は、下刈りや除間伐といった施業は行われていない。同じ尾根状地形の斜面上において、尾根部（斜面上部）に R1、R2、斜面中部に H1、H2、谷部（斜面下部）に V1、V2 と各 2 箇所の 10 × 10 m プロットを設定し、毎木調査、林内相対光強度の測定、植生調査、リター調査、土壌調査を行った。調査地および調査プロット位置を図 112-1 に、調査プロットの概況を表 112-1 に示す。

毎木調査は、樹高 1.3 m 以上の木本類について樹高、胸高直径を測定し、植生調査は木本類について Braun-Blanquet 法により優占度を調査した。林内相対光強度は、各プロット内 4 地点において魚眼レンズ付きデジタルカメラ（画角 183°）を用いて地上高 1.2 m における全天空写真を撮影し、Gap Light Analyzer (GLA) Ver.2.0⁹⁾によって解析した。リター調査は、調査区内に 25 × 25cm のコドラートを 4 ヶ所設定してリターを採取し、サンプルは実験室においてヒノキとその

表 112-1. 調査プロットの概況

	尾根部		斜面中部		谷部	
	R1	R2	H1	H2	V1	V2
標高(m)	820	830	790	790	730	720
斜面方位	S80E	S70E	S10W	S15W	N70E	N80E
傾斜角(°)	32	30	31	32	28	25
ヒノキ立木密度(本/ha)	2,700	1,500	1,900	1,100	900	800

他広葉樹に分けた後、85℃で2日間乾燥後の重量を測定した。

土壌調査は、各プロットの4地点において、硬質土壌表面から深さ5 cmの土壌を100ccの採土円筒を用いて採取し、土壌含水率を炉乾法(105℃、24h)により測定した。また、土壌中のC、N量をC-Nコーダーで分析し、交換性塩基を原子吸光法で測定し、塩基置換容量(CEC)はショールンベルガー法により分析した⁴⁾。これらの土壌化学性分析に供するサンプルは、各プロットの4地点から採取したものを均等になるよう攪拌したものをを用いた。

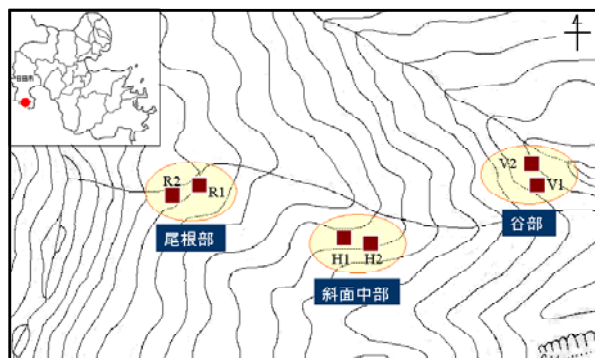


図 112-1. 調査地および調査プロット位置図

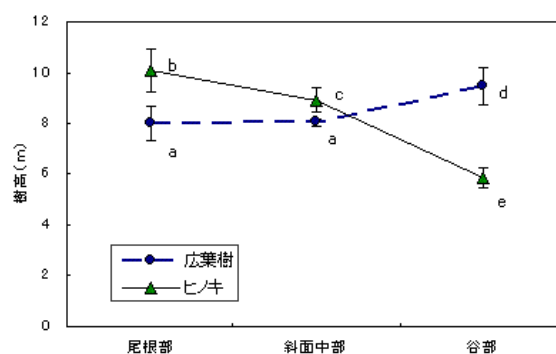


図 112-2. 各斜面位置の平均上層木樹高(平均±S.D.)

異なるアルファベットは有意差を示す (P < 0.05)

ウ 結果

ヒノキの立木密度は、尾根部で平均2100本/haであったものが、斜面下部に近づくにつれて減少し、谷部では平均850本/haであった。R1、R2における上層木上位10本の平均樹高と平均胸高直径は、ヒノキが10.1 m、17.8cm、広葉樹が8.0 m、7.5cmであり、林冠をヒノキが形成していたが、H1、H2では、ヒノキが8.9 m、16.6cm、広葉樹が8.1 m、9.5cmであり、林冠に高木性広葉樹が混交しはじめ、V1、V2では、ヒノキが5.8 m、6.7cm、広葉樹が9.5 m、12.0cmと高木性広葉樹の樹高が大きくヒノキを上回り、ヒノキは林冠下に散生する状態であった(図112-2、写真112-1)。

植生は、多くのプロットで高木種はアカメガシワ、ヌルデが、低木種ではコガクウツギ、シロモジ、ヤブムラサキ等が優占してみられ、種数は斜面下部ほど増加した(表112-2)。低木種の林床植被率は、R1、R2ともに3%、H1、H2ともに20%、V1、V2で40%、30%であった。林内相対光強度は、R1、R2が7.6%、7.2%、H1、H2が6.0%、4.4%、V1、V2が3.6%、3.8%と斜面下部ほど減少した。これは、谷部に近づくにつれて種数の増加がみられ、それに伴って高木層の下に亜高木や低木種の階層構造が形成されていったためと思われる。リター現存量は、ヒノキがR1、R2で300.4g/m²、184.9g/m²、H1、H2で258.1g/m²、172.3g/m²、V1、V2で12.9g/m²、5.5g/m²とヒノキの立木密度の減少に伴い少なくなっているのに対して、広葉樹はR1、R2で23.3g/m²、11.3g/m²、H1、H2で57.5g/m²、25.5g/m²、V1、V2で240.2g/m²、219.2g/m²と顕著に増加した(図112-3)。

尾根部における表層土壌の含水率は、斜面中部や谷部と比較して有意に低かった(図112-4)。土壌化学性については、C、C/Nが尾根部で高い傾向にあり、N、CECはプロット間で大きな差がなかった。また、交換性塩基含量は、谷部におけるカルシウム値が高く、マグネシウム値もやや高い傾向にあった(表112-3)。

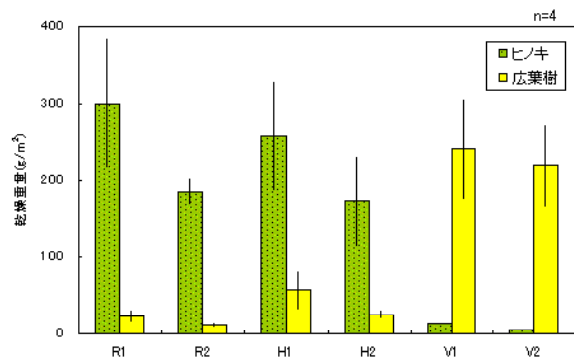


図 112-3. リター現存量の比較 (平均± S.E.)

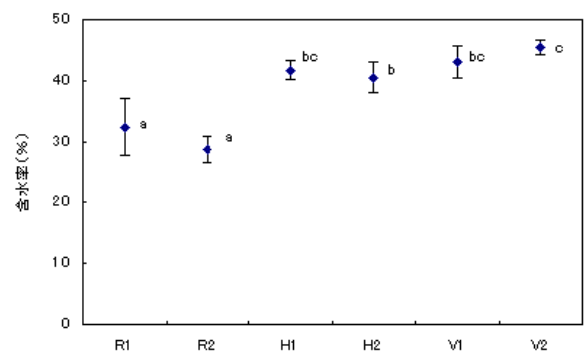


図 112-4. 表層土壌の含水率の比較 (平均± S.D.)

異なるアルファベットは有意差を示す (P < 0.05)

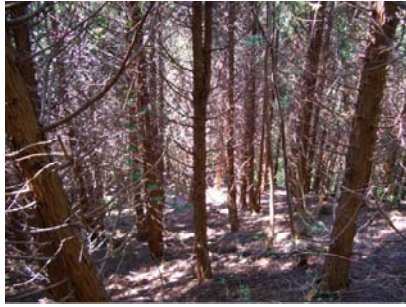
表 112-2. 各調査区における植生調査の結果

	尾根部		斜面中部		谷部	
	R1	R2	H1	H2	V1	V2
高木性樹種	アカメガシワ	アカメガシワ	アカメガシワ	ヌルデ	アカメガシワ	アカメガシワ
		カナクギノキ	エゴノキ	ネムノキ	シロダモ	アワブキ
			ヌルデ	シロダモ	ヌルデ	
			ハイノキ		ヤブニッケイ	
低木性樹種	コガクウツギ	コガクウツギ	コガクウツギ	コガクウツギ	コガクウツギ	アオキ
	ヤブムラサキ	シロモジ	シロモジ	ヤブムラサキ	シロモジ	ハナイカダ
		ヤブムラサキ	ヒサカキ	ウスゲクロモジ	ウスゲクロモジ	ヤブムラサキ
					ハナイカダ	ウスゲクロモジ
					ヤブムラサキ	シロモジ ほか
出現種数合計	9 種	19 種	28 種	21 種	28 種	25 種
低木種植被率	3 %	3 %	20 %	20 %	40 %	30 %
林内相対光強度	7.6 %	7.2 %	6.0 %	4.4 %	3.6 %	3.8 %

注) 記載された樹種は, Braun-Blanquet の優占度で被度分類 1 以上で出現したもの。

表 112-3. 各斜面位置における C、N、CEC、交換性塩基量の比較

		交換性塩基 (meq/100g)							塩基飽和度 (%)		
		C (%)	N (%)	C/N	CEC	CaO	MgO	K ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O
尾根部	R1	18.5	1.2	15.3	40.0	3.1	0.8	0.4	7.8	2.0	1.0
	R2	23.4	1.5	15.6	42.1	1.2	0.4	0.3	2.9	1.0	0.7
斜面中部	H1	13.9	0.9	15.5	35.3	2.8	0.6	0.4	7.9	1.7	1.0
	H2	15.5	1.0	16.0	38.4	2.9	0.6	0.4	7.6	1.6	1.0
谷部	V1	14.1	1.1	13.0	39.9	6.8	1.1	0.4	17.0	2.8	1.1
	V2	14.9	1.1	13.2	40.2	5.8	1.1	0.5	14.4	2.7	1.2



尾根部



斜面中部



谷部

写真 112-1 各斜面位置における林内の様子

エ 考察

本調査を実施したヒノキ人工林では、下刈りや除間伐等の施業放棄に起因した林内への広葉樹の侵入が見られたが、その侵入状況は斜面位置によって大きく異なっていた。尾根部では、高木性広葉樹の侵入はほとんど見られなかったが、斜面下部にかけて高木性広葉樹が混交しはじめ、谷部ではこうした樹種が林冠を形成して、ヒノキは林冠下で散生する状態であった。今回、こうした斜面位置の違いによって、林相が大きく変化した要因の1つとして、土壌条件の違いが考えられた。尾根部と谷部の土壌を比較した結果、尾根部の土壌含水率や交換性塩基量は、谷部と比較して低い状態にあったことから、こうした土壌環境への適応度の差が、樹木の成長および侵入量の違いとして現れたものと推察される。一般にヒノキは、スギと比較して土壌水分が低く、比較的土壌栄養条件の低い土地でも生育できるとされており^{10, 12)}、尾根部はヒノキにとって他の広葉樹よりも生育に適した環境であったものと思われる。一方、斜面下部にいくほど、土壌含水率や交換性カルシウム、マグネシウム濃度が高くなったことで、多様な広葉樹の生育が可能となり、種数も増加したものと思われる。ヒノキ林に落葉性広葉樹が侵入した場合、広葉樹のリターが林地に供給されることで、土壌表層部における交換性塩基量は増加するとされており^{14, 15)}、こうした混交林化が斜面下部における広葉樹の侵入、成長をより促進したものと考えられる。また、アカメガシワ等の高木性広葉樹の樹高成長がヒノキを上回ったことで、こうした樹木の被陰下にあるヒノキは、枯死したり、成長が抑制されたものと推察される。

林冠を形成していたアカメガシワやネムノキ、ヌルデといった樹種は、伐採跡地等に侵入してくる先駆性樹種であるが²⁾、今回アカメガシワがほとんどのプロットの林冠において優占して見られた。このことに関して、アカメガシワは同じ先駆性広葉樹であるカラスザンショウと比較して、林内照度の低い環境下でも発芽し¹³⁾、また低照度域における成長量の低下率が小さく、光環境への適応幅が大きいとされていることから⁶⁾、こうした特性が造林初期における競争において優位に働いたものと考えられる。

以上のように、こうした斜面傾斜に沿って変化する土壌条件が、ヒノキと侵入広葉樹の種間競争に大きな影響を与えていることが分かったが、今後の成林可能性については、尾根部では林冠をヒノキが優占し、また林床においても広葉樹の侵入がほとんど見られなかったこと等から、このまま放置された状況においても、短期的に見た場合には、ヒノキの成林化は可能であると思われる。一方、谷部においては、高木性広葉樹が林冠を優占し、その林冠下においてヒノキは著し

く個体数が減少していたことから、今後も放棄された状況が続いた場合、ヒノキの成林化は難しいものと思われる。

オ 今後の問題点

本研究においては、斜面位置によって施業放棄されたヒノキ人工林の成林状況に違いが認められた。しかしながら、今回は1調査地のみから得られたデータであることから、今後、林齢や樹種、または地形の違いといった様々な条件を持つ林分へと調査対象を広げることによって、地形や樹種等に応じた成林化を予測する手法について検討を行い、施業放棄された人工林の効率的かつ省力的な成林手法について究明していく必要があると思われる。

カ 要約

施業放棄された人工林の林分調査を行った結果、斜面位置によってその成林状況に違いがあることが分かり、土壌含水率や交換性塩基量といった土壌条件が要因として大きく影響していることが示唆された。今後も放棄された状況が続いた場合の成林化については、尾根部では短期的には植栽木の林に、一方、谷部では植栽木からなる成林は難しく、高木性広葉樹が林冠を優占していることから混交林化する可能性が高い。

キ 引用文献

- 1) 粟生裕美子、光田靖、村上拓彦、吉田茂二郎、今田盛生 (2002) GIS を用いた再造林放棄地の立地条件の解明、九州森林研究 55、38-41.
- 2) アハマッドデルミー、玉泉幸一郎、須崎民雄、矢幡久 (1991) スギ人工林伐採地における広葉樹種の更新、日林九支研論 44、91-92.
- 3) 遠藤日雄 (2000) スギ問題の現局面と今後の方向－森林・林業・木材産業政策の転換方向を求めて－、山林 1393、2-11.
- 4) 土壌標準分析・測定法委員会編 (1986) 土壌標準分析・測定法、354pp、博友社、東京.
- 5) 林隆男、福山泰治郎、山本一清、竹中千里 (2003) 施業放棄によって失われる多面的機能の評価 (I)－表面侵食防止機能－、日林学術講 114、633.
- 6) 保坂武宣、玉泉幸一郎、齋藤明 (1996) 先駆性樹種の庇陰下での成長特性、日林九支研論 49、85-86.
- 7) 長島啓子、吉田茂二郎、村上拓彦、保坂武宣 (2004) 再造林放棄地における植生回復と立地条件、九州森林研究 57、189-191.
- 8) 野田巖、林雅秀 (2003) 再造林放棄林分の発生要因に関する解析 (I)－森林の所有規模、立地条件に着目した考察－、九州森林研究 56、36-41.
- 9) Gordon, W.F. and Charles, D.C. (1999) Copyright (c) Simon Fraser Univ., B.C., and the Inst. Ecosystem Studies, N.Y. Free software.
- 10) 長倉淳子、重永英年、赤間亮夫、高橋正通 (2003) スギ・ヒノキ苗の成長に与える土壌水分と窒素の影響、日林学術講 114、681.
- 11) 中島精之 (1979) ヒノキ林の土壌環境と林分構造及び養分吸収について、日林論 90、167-168.
- 12) 佐藤大七郎 (1983) 育林、288pp、文永堂、東京.

- 13) 志風伸幸、玉泉幸一郎(2002)伐採地におけるアカメガシワとカラスザンショウの発芽パターンの比較、九州森林研究 55、138-139.
- 14) 高橋輝昌、生原喜久雄、相場芳憲(1996)ヒノキ林への広葉樹の混交が土壌の化学的性質に及ぼす影響、日林誌 78、244-249.
- 1) 高橋輝昌(2000)ヒノキ林林床への落葉広葉樹リターの供給が土壌の養分特性に及ぼす影響、森林立地 42、23-28.

(大分県農林水産研究センター林業試験場 山田 康裕)

(3) 造林未済地における植生回復の現状

ア 研究目的

熊本県では球磨郡を中心に伐採後、植栽をしない造林未済地が目立つようになってきた。造林未済地で植生の被覆が遅れると、土壌流出などの危険性が高まる。土壌浸食に関する因子の中では、地被物（ここでは植生）の影響が最大であることから、皆伐跡地の植生および伐採前の人工林の林分構造と下層植生を調査し、これらの結果の基本マップを作成し、針広混交林誘導手法のための基礎的データセットのバックグラウンド資料とし、さらに、造林未済地における人工林伐採後の植生と伐採前人工林の本数密度、立地条件及び伐採後の経過年数（以下、放棄年数）等との関係を明らかにすることを目的とした。

イ 研究方法

熊本県南部に位置する球磨地方及び水俣地方において造林未済地内で調査（10 × 10m）を13箇所で行った。各調査地では、プロット内に存在する樹高1.3m以上の全ての木本樹種について、樹種、胸高直径及び樹高を調査し、シカによる食害痕の有無を目視で確認した。

また、伐根を計数し、伐採前人工林の本数密度（以下、本数密度）を推定した。

次に、調査して得られた放棄年数、標高、本数密度及びシカ食害と各プロットの平均樹高及び樹種数との関係を樹形モデルを用いて分析した。

樹形モデルとは、非線形回帰分析のひとつで、 n 次元のデータに対して尤離度が最も減少するように説明変数の値を分岐させていくことによって、分類樹または回帰樹と呼ばれる統計モデルが生成される。

この分析手法は線形結合モデル等では評価できない複雑な説明変数間の交互作用をモデル化できる点で優れており、近年生態分野における環境傾度分析でもしばしば用いられている（八木橋ら、2003）。

樹形モデルでは、ターミナルノード数（樹形の末端数）が増加すれば増加するほど尤離度は減少するが、複雑な樹形モデルは実際のデータに当てはめると再現性に欠けてしまう。

そこで、交差確認法により最適なターミナルノード数を求めた。交差確認法とはデータをランダムに2分割し、一方のデータをモデル作成用に、もう1方のデータをキャリブレーション用に使い、キャリブレーションデータを使った際の尤離度の増減傾向から最尤なターミナルノード数を探索する手法である。

なお、樹形モデルの生成及び交差確認法の実行には、統計解析パッケージR2.3.0を用いた。

ウ 結果

各プロットにおける調査結果を表113-1に示す。高標高の調査地では、シカによる食害が多い傾向にあることがわかる。

放棄年数、標高、本数密度及びシカ食害の有無を説明変数とし、平均樹高を目的変数としたときの樹形モデルを図113-1に、同様のデータで交差確認法を行ったときの結果を図113-2に示す。平均樹高は放棄年数7.5年を境として分類され、さらに放棄年数11年を境に分類された。また、当然ながら放棄年数が長いところは、平均樹高が高い傾向にあった。

表113-1 調査地の概要

調査箇所	放棄年数	標高	本数密度	樹種数	本数	平均樹高	平均胸高直径	シカ食害
中渡	10	400	1200	14	40	3.4	2.1	有
遠原1	7	650	1100	18	40	2.6	1.7	有
遠原2	7	650	1000	11	32	2.5	1.8	有
赤松1	10	680	600	17	28	3.4	2.8	有
赤松2	10	630	700	10	29	3.8	3.3	有
赤松3	10	630	1400	18	57	3.4	2.9	有
赤松4	10	650	1400	15	58	3.8	4.1	有
水俣1	12	170	800	25	151	4	3.5	無
水俣2	12	170	900	20	64	4.7	4.3	無
水俣3	8	200	900	25	187	2.9	1.8	無
水俣4	8	200	800	22	143	4.5	3.9	無
水俣5	2	160	500	20	89	3.2	2	無
水俣6	2	160	600	19	70	3	2	無

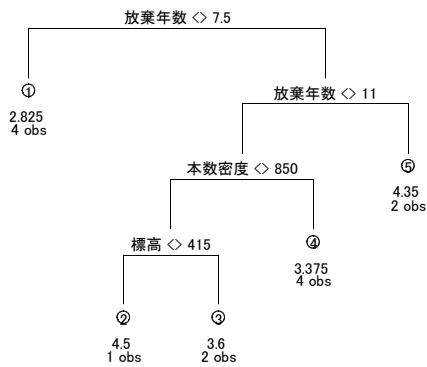


図113-1 平均樹高を目的変数とする樹形モデル

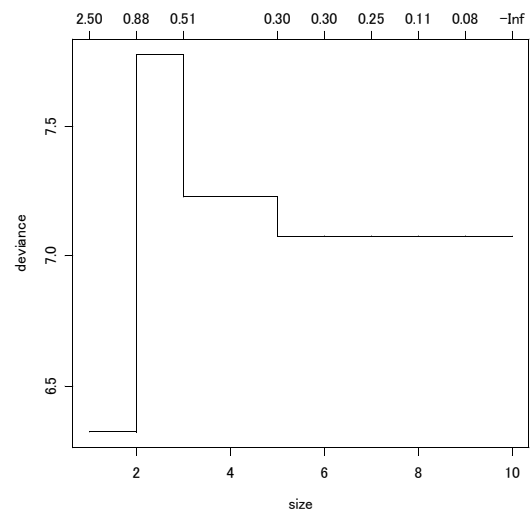


図113-2 size(ターミナルノード数)とdeviance (尤離度)の関係

次に、放棄年数、標高、本数密度及びシカ食害の有無を説明変数とし、樹種数を目的変数としたときの樹形モデルを図113-3に、同様のデータで交差確認法を行ったときの結果を図113-4に示す。樹種数は標高300mを境として分類された。さらに標高が300mより低い箇所は放棄年数の違いにより分類され、モデル解析においても放棄年数が長いところは、樹種数が多いという既往の成果と合致する結果が示された。

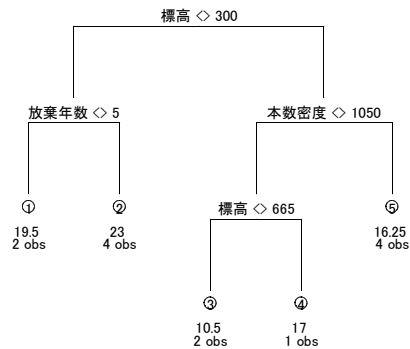


図113-3 樹種数を目的変数とする樹形モデル

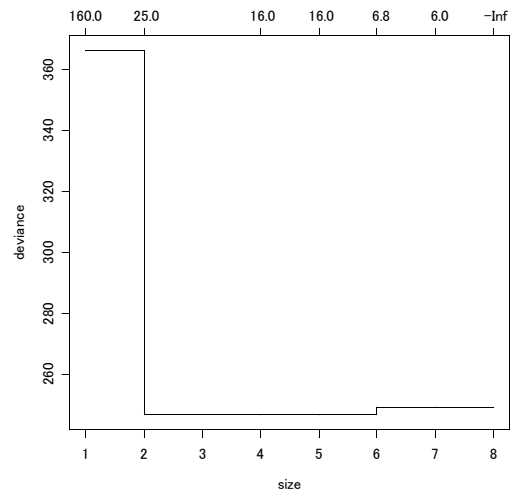


図113-4 size(ターミナルノード数)とdeviance (尤離度)の関係

エ 考察

樹木の樹高成長には限界があり、限界樹高は樹種及び立地環境に応じて異なる。このため、限界樹高の高低は群落にとって、個別的なものとなる。今回調査した調査地では、樹高は主に放棄年数によって、序列化されていることがわかった（図113-1）。つまり、今回抽出した時間スケールにおいて、造林未済地の植生は限界樹高に達するまでの経過段階にあり、標高などの立地的環境変数に制限されていないことが示唆された。

また、樹種数に関しては、標高の違いによって特徴づけられることがわかった。既往の研究では放棄年数と標高によって、種組成が異なることが指摘されており（長島ら，2004），今回の結果もそれを裏付けるもので、樹形モデルの生成及び交差確認法による解析手法の有用性を示した。

シカの食害については、これまでに標高300m以上の造林地での食害発生率が高いことが指摘されており（小泉，2002），今回の結果も同様に高標高地域でシカによる食害が見られた（表113-1）ものの、本数及び樹種数にシカの食害の有無は大きく影響していなかった（図113-1，図113-3）。

今回解析に用いた樹形モデルにおいて、説明変数として導入した変数のうち、シカの食害に関するデータのみが、シカの食害の有無というカテゴリカルデータであり、それ以外はすべて数量データである。

このように今回調査したデータでは、シカ食害の程度が違っていても一義的にしか評価されないため、程度の違いを再現できていない。シカ被害の程度を評価できる情報をさらに加味することで、シカの食害が植生に与える影響を忠実に評価できるのかもしれない。

オ 今後の問題点

伐採後の森林は、伐採前の前生樹由来である生残個体と萌芽個体、及び伐採後に新たに発生し

た実生個体によって再生する (Bormann and Likens, 1979)。

また、造林未済地に関する早期植生回復に関して、前生樹由来の更新個体及び広葉樹天然生林の林分構造の影響が大きいことが示唆されており (山川ら, 2006), 造林未済地に存在する個体の特徴及び造林未済地の周囲環境も踏まえた調査が必要であると思われる。

シカの食害について、今回の調査結果ではその有無が植生に与える影響は明らかにされなかったが、今回の調査地の一部では、造林地での食害、人工林での剥皮害が問題化している地域もある。シカによる摂食行為が植生に与える影響の大きさも十分想定されることから、シカの食害に関する詳細なデータの収集が必要であると考えられる。

さらに、今回対象地とした球磨地方及び水俣地方について、球磨地方はシカの生息密度が高い地域、水俣地方は生息密度が低い地域であることで知られている。一方、今回調査した調査地は水俣地方に低標高の調査地が、球磨地方に高標高の調査地が集中しており、サンプルデータに偏りが生じていることから、検討する環境変数に応じたデータをさらに蓄積していく必要がある。

カ 要約

熊本県南部に位置する球磨地方及び水俣地方において、造林未済地13箇所を調査し、植生と立地条件及び放棄年数等との関係について、樹形モデルの生成及び交差確認法により解析検討した。

その結果、植生の樹高に関しては、放棄年数によって序列化されることが明らかにされ、今回調査した時間スケール (伐採後12年間) は、限界樹高に達する経過段階に位置づけられることが示唆された。種数に関しては、標高による影響が大きいことがわかった。これらは既往の研究とも合致し、今回用いた手法は植生と立地条件及び放棄年数等との関係解析に有用なものと判断した。

シカの食害による影響については、今回の調査では明らかにされず、シカ食害の影響を忠実に評価する観測データが必要であると思われた。

キ 引用文献

八木橋 勉, 松井 哲哉, 中谷 友樹, 埴田 宏, 田中 信行 (2003) ブナ林とミズナラ林の分布域の気候条件による分類 日本生態学会誌53. 85-94.

長島 啓子, 吉田 茂二郎, 村上 拓彦, 保坂 武宣 (2004) 再造林放棄地における植生回復と立地条件 九州森林研究57. 189-191

小泉 透 (2002) 九州におけるニホンジカによる森林被害の現状 九州森林研究55. 162-165

Bormann, F. H and G. E. Likens (1979) Pattern and process in a forested ecosystem Springer-Verlag, New York

山川 博美, 伊藤 哲 (2006) スギ人工林の前生樹及び伐採後の森林再生に及ぼす隣接照葉樹林の林縁効果 科学研究費補助金研究成果報告書 針葉樹人工林の生物多様性の維持・修復に関する研究 145-156

(熊本県林業研究指導所 前田 勇平)

2. 管理状態の異なる針葉樹人工林における混交林化予測および有用性

評価のための簡易手法の開発

ア 研究目的

平成 13 年に策定された森林・林業基本計画では、針葉樹人工一斉林を針広混交林へと誘導する指針が示されており、地域ごとの環境条件や社会的ニーズを反映させた誘導技術の確立が求められている。本課題では、針広混交林への誘導技術確立に向け、針葉樹一斉人工林を現状の管理方法で推移させた場合の林分構造の変化（混交林化）を予測するため、および将来の有用性（更新可能な有用樹の構成と量、生物多様性への貢献）を評価するための、データセットの作成を目的とする。

イ 研究方法

（1）データセットの作成

九州中央山地と霧島山系の遺伝資源保存林周辺の国有林、および九州大学宮崎演習林において、針葉樹人工林、広葉樹二次林および皆伐後造林未済地（皆伐地）に侵入した樹木の構成・量・形質を多点で調査した。各調査地で林分高に応じて 75～400m²の範囲で調査区画を設け、調査地の標高、斜面方位、傾斜角、微地形タイプ、土壌タイプ、施業履歴、林冠高、林冠被度、林齢（または皆伐後の経過年数）、シードソースとなりうる天然林（二次林を含む）からの距離、林床の被度、草本層の優占種などを可能な範囲で記録した。侵入樹木の調査では、調査区画内の高木種・亜高木種を対象とし、植栽木を除く高さ 1.3m 以上のものを定着個体、それ以下のものを稚幼樹と定義した。区画内の全定着個体の種名、胸高直径、高さ、樹型タイプ（直立、曲がり、散開、倒伏、株立ち）、被圧状況、主幹の損傷の有無、病虫獣害の有無、獣害のタイプ（先食われ、樹皮はぎ）、萌芽本数などを記録した。植栽木についても同様に記録した。また、区画内に 25～400m²のコドラートを 1 箇所設け、その中の全稚幼樹の種名、動物による食害跡の有無を、当年生と 2 年生以上のものとに分けて記録した。

福岡県、大分県、熊本県が担当する、第 1 章「1. 針広混交林化の進行状況に関するデータ収集およびそのマッピング」の課題においても共通の調査票を用いて調査を行うよう事前に協議し、各県で得られたデータもデータセットとして整理した。

（2）人工林の混交林化の予測

九州中央山地と霧島山系周辺の針葉樹人工林における混交林化を予測するため、両地域の人工林に定着した個体の密度、種組成および階層構造を比較した。九州中央山地の人工林は植栽直後に凍霜害の被害を受けており（佐藤ら、1995）、データセットのそうした林分の中から 14～32 年生のスギ人工林 6 地点を解析対象とした。また、霧島山系の人工林は保育形式の試験を行なった林分で、異なる保育形式の 40 年生スギ人工林 9 地点（P1～P9）を解析対象とした。

本研究では、調査で出現した樹種を高木種と亜高木種にわけ、さらに高木種を、明るいところを更新適地とする陽性樹種、木材価値のある有用樹、あるいは成熟した天然林の林冠層で優占する林冠優占種（モミ、ツガ、ブナ科高木種、イスノキ、タブノキ）で括り、必要に応じて各種群

ごとに解析した。高木・亜高木種、有用樹、陽性樹種の区分けは、林業科学技術振興所（1985）、熊本営林局（1990）をもとに、付表 1-2-1 のように整理した。また、各調査地に出現した種の豊富さを表わす指標として d (=定着個体の種数/Log₁₀(調査面積)、Whittaker, 1975) を求めた。

（３）有用性の評価

針葉樹人工林および皆伐地の有用性を評価するため、定着個体の密度や樹種の豊富さの予測モデルを作成した。予測モデルは数量化Ⅰ類を用い、全定着個体のほか、有用樹で括った場合、陽性樹種で括った場合及び林冠優占種で括った場合の定着密度と、樹種の豊富さ d (=定着個体の種数/Log₁₀(調査面積)、Whittaker, 1975) を予測の対象とした。数量化Ⅰ類は、カテゴリーデータを用いた重回帰分析に相当する。予測値に影響する要因は、アイテム（重回帰分析の独立変数に相当）と呼ばれ、各アイテム内はいくつかのカテゴリーに分けられる。カテゴリーごとに予測のためのスコアが割り振られ、各アイテムのスコアと定数の合計から予測値が得られる。各アイテム内のスコアの最大値と最小値の差（レンジ）の大きいアイテムが予測値により大きな影響を及ぼす（応用統計ハンドブック編集委員会，1978）。

人工林の予測モデルには調査地斜面の傾斜角、斜面方位、林齢、天然林からの距離、過去の間伐の有無、植栽木樹種、植栽木密度の 7 つ、皆伐地の予測モデルには調査地斜面の傾斜角、斜面方位、皆伐後の経過年数、天然林からの距離の 4 つのアイテムを採用した。

得られたデータセットのうち、人工林は凍霜害を受けて植栽木の成長が不良の林分などを除いた 61 地点、皆伐地は 41 地点を予測モデルの解析に用いた。

ウ 結果

（１）データセットの作成

針葉樹人工林や皆伐地等に侵入・定着した高木・亜高木種に関するデータセットを作成した。調査地点数は、福岡県、大分県、熊本県が収集した各県内のデータも含め、針葉樹人工林 73 地点、広葉樹二次林 17 地点、皆伐地 41 地点の合計 131 地点となった（表 121-1）。調査地全体では、合計 119 種の高木種（76 種）・亜高木種（43 種）の定着個体が記録された（付表 121-1）。

（２）九州中央山地と霧島山系周辺の人工林の混交状態

九州中央山地では、21 年生林分を除き、大部分のスギが樹高 10m 未満と樹高成長は不良であっ

表 121-1 データセットの内訳

	九州 中央山地	霧島山系	九大宮崎 演習林	福岡県内	大分県内	熊本県内	合計
スギ人工林	6	11	5	1	19	14	56
その他人工林 (ヒノキ、アカマツ)	1	1	4	4	6	1	17
広葉樹林 (二次林含む)		3	6	4	4		17
皆伐跡地	2	5	2	24	1	7	41
合計	9	20	17	33	30	22	131

た（図 121-1）。定着個体の密度は 1,289～19,400 本/haであった。定着個体のなかには、ホオノキ、サワグルミ、ミズメ、サクラ類、ケヤキ、シデ類、ミズキなどの有用樹も含まれていた。しかし、隣接する遺伝資源保存林の優占種であるブナは、定着個体にも稚幼樹にも全くみられなかった。全調査面積 850m²で 35 種の定着個体がみられ、定着個体の種の豊富さの指数 d の平均値（範囲）は 5.9（3.0～12.0）であった。定着個体の一部は林冠のスギと同程度の高さに達してい

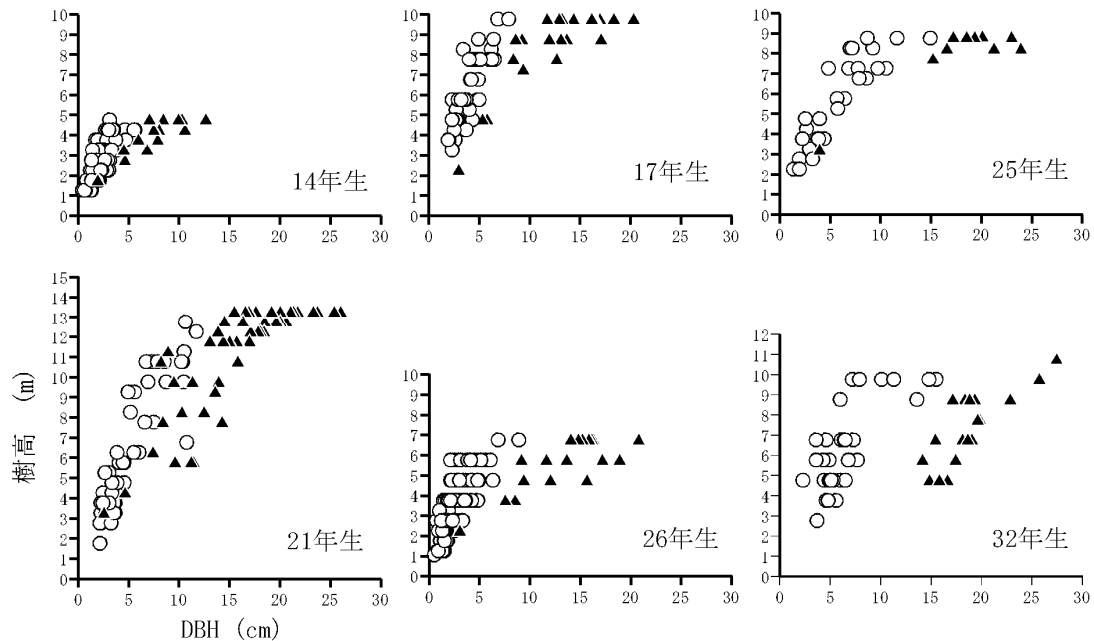


図121-1 九州中央山地の人工林におけるスギ（▲）と広葉樹（○）の胸高直径－樹高分布

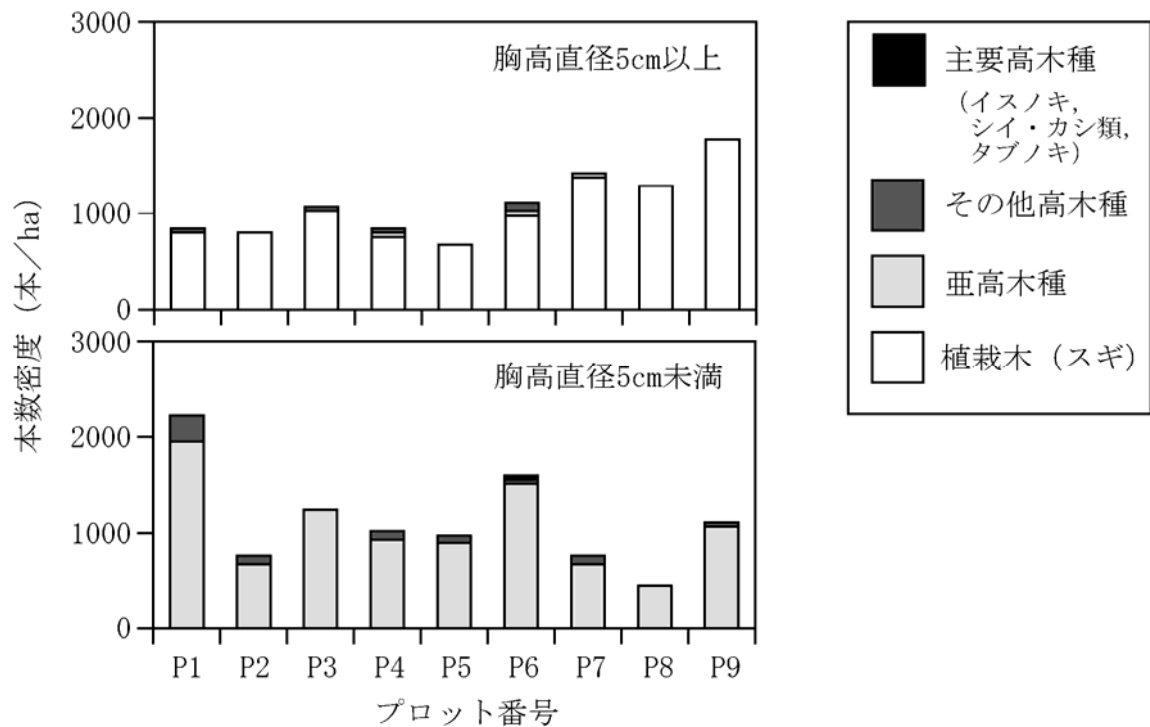


図 121-2 霧島山系の 40 年生スギ人工林に定着した広葉樹

た（図 121-1）。

霧島山系の 9 箇所（P1～P9）の 40 年生スギ人工林における定着個体は、444～2,178 本/ha の範囲で、全定着個体数のうち 86～100%が亜高木種であった（図 121-2）。亜高木種の種構成は、サザンカ、ヒサカキ、ホソバタブ、シキミなどであった。高木種の定着個体密度は 0～356 本/ha と亜高木種に比べ低く、特に胸高直径 5cmを越える高木種はカナクギノキ、クマノミズキ、エノキなどが単木的にみられる程度であった（図 121-2）。植栽木の林冠高は 16～24mで、植栽木以外の定着個体で林冠層に到達しているものは、P3 のクマノミズキ（高さ 16m）1 本以外みられなかった。林冠優占種は、P6 にタブノキ（胸高直径 4.9cm）が 1 本みられた以外、全く定着していなかった。全調査面積 2,200m²で 34 種の定着個体がみられ、定着個体の樹種の豊富さの指数 d の平均（範囲）は 4.3（2.1～6.8）であった。植栽密度や間伐率などの保育形式と定着個体の密度や樹種の豊富さの指数 d などとの間に明瞭な関係はみられなかった。

（3）定着する樹木の密度および樹種の豊富さの予測

人工林と皆伐地における予測モデルのカテゴリースコアを表 121-2 と表 121-3 にそれぞれ示す。今回の解析で、林冠優占種の定着がみられたプロットは、102 地点中わずか 27 地点であり、人工林、皆伐地とも林冠優占種の十分な予測モデルは得られなかった。定着個体密度の予測モデルの精度を表わす決定係数 R^2 は、全定着個体（人工林 $R^2=0.26$ ，皆伐地 $R^2=0.45$ ）よりも陽性樹種

表 121-2 人工林への定着個体の各タイプの個体密度および樹種の豊富さ d の予測のためのカテゴリースコア。n はそのカテゴリーに属する調査地数。

アイテム	カテゴリー	n	全定着個体 (本/ha)		陽性高木種 (本/ha)		有用樹 (本/ha)		陽性有用樹 (本/ha)		樹種の豊富さ d	
			スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ
傾斜 (°)	0-15	26	136.8	224.0	70.9	167.0	-0.6	9.1	18.1	45.8	0.87	1.52
	16-29	22	-49.6		25.2		4.8		9.6		-0.21	
	30-	13	-87.2		-96.1		-4.2		-27.7		-0.66	
斜面方位	E	11	263.6	477.6	45.0	79.7	17.8	57.7	18.3	39.6	0.31	0.64
	W	19	37.0		16.8		11.5		8.6		-0.10	
	S	14	-86.7		-27.2		-39.9		-21.3		0.12	
	N	17	-214.0		-34.7		10.6		-5.6		-0.33	
林齢 (年)	0-19	7	-33.3	542.0	199.7	341.2	95.1	154.1	102.0	147.1	-0.57	1.02
	20-29	4	-152.5		54.0		7.8		12.4		0.45	
	30-39	14	-267.2		-141.4		-43.1		-45.0		-0.41	
	40-49	25	178.1		-59.9		-0.8		-35.7		0.44	
	50-	11	274.8		-52.5		-59.0		-33.6		0.09	
天然林からの距離 (m)	0-99	41	386.3	801.3	-2.9	109.2	36.2	64.9	14.6	29.1	0.79	1.81
	100-199	10	28.7		56.0		-7.6		0.0		0.22	
	200-	10	-415.0		-53.2		-28.7		-14.6		-1.01	
間伐	有	44	19.4	38.7	-34.7	69.4	-21.4	42.8	-17.1	34.1	-0.05	0.09
	無	17	-19.4		34.7		21.4		17.1		0.05	
樹種	ヒノキ以外	51	189.4	378.8	-48.0	96.0	-15.9	31.8	5.7	11.4	-0.01	0.02
	ヒノキ	10	-189.4		48.0		15.9		-5.7		0.01	
植栽木密度 (本/ha)	0-999	26	-35.2	110.8	61.1	101.3	46.7	83.6	17.1	26.6	0.84	1.39
	1000-1999	27	73.0		-20.9		-9.9		-9.5		-0.30	
	2000-	8	-37.8		-40.2		-36.8		-7.6		-0.54	
定数項			206.3		147.4		79.6		49.8		1.32	
R^2			0.262		0.639		0.272		0.440		0.399	

表 121-3 皆伐地への定着個体の各タイプの個体密度および樹種の豊富さ d の予測のための
カテゴリースコア. n はそのカテゴリーに属する調査地数.

アイテム	カテゴリー	n	全定着個体 (本/ha)		陽性高木種 (本/ha)		有用樹 (本/ha)		陽性有用樹 (本/ha)		樹種の豊富さ d	
			スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ	スコア	レンジ
傾斜 (°)	0-15	11	-685.9	1642.2	-273.8	1408.4	8.2	601.2	27.5	526.0	0.16	0.61
	16-30	17	-270.5		-567.3		-304.7		-276.8		-0.38	
	31-	13	956.3		841.1		296.5		249.3		0.23	
斜面方位	E	14	-136.8	2571.0	421.8	2931.3	-68.4	360.3	-51.4	227.2	0.74	3.48
	W	3	-1346.8		-1992.9		-159.8		-117.0		-2.05	
	S	13	1224.3		632.8		200.5		58.3		1.44	
	N	11	259.3		938.4		27.7		110.2		-0.14	
皆伐後年数 (年)	0-4	18	-2001.1	4420.0	-878.1	2298.5	-209.5	494.9	-62.1	339.9	-1.70	3.75
	5-10	11	-417.7		-542.3		-76.0		-138.9		-0.34	
	11-	12	2418.9		1420.4		285.5		201.0		2.04	
天然林から の距離 (m)	0-199	18	524.8	1458.6	729.5	1769.6	443.9	842.3	427.0	766.3	0.85	2.13
	200-399	14	-933.8		-1040.1		-398.3		-339.3		-1.28	
	400-	9	409.0		310.6		-45.6		-87.6		0.42	
定数項			2617.1		1014.7		493.1		329.6		2.51	
R^2			0.452		0.527		0.388		0.404		0.435	

で括った陽性高木種（人工林 $R^2=0.64$ ，皆伐地 $R^2=0.53$ ）のほうが高かった。有用樹についても同様に、陽性有用樹のほうが R^2 は高かった（表 121-2，表 121-3）。

人工林における有用樹の予測モデルでは、林齢のレンジが 154 と最も大きく、植栽木密度（レンジ 83.6）、天然林からの距離（レンジ 64.9）がそれに続いた。それぞれのアイテムの中では、林齢 0-19 年（スコア 95.1）、植栽木密度 0-999 本/ha（スコア 46.7）、天然林からの距離 0-99m（スコア 36.2）のカテゴリーが高いスコアを示した（表 121-2）。

皆伐地における樹種の豊富さ d の予測モデルでは、皆伐後の年数（レンジ 3.75）、斜面方位（レンジ 3.48）のレンジが大きかった。皆伐後の年数の中では 11 年以上（スコア 2.04）のカテゴリーが、斜面方位の中では南向き斜面（スコア 1.44）のカテゴリーが高いスコアを示した（表 121-3）。

エ 考察

（1）九州中央山地と霧島山系周辺の人工林の混交林化の予測

九州中央山地と霧島山系の遺伝資源保存林周辺人工林では混交林化の程度に違いがみられた。九州中央山地の調査林分では、広葉樹の一部が林冠層に達しており、現時点で林冠層においてスギと広葉樹との間で高さをめぐる競合関係が始まった段階と考えられる。スギは植栽直後に凍霜害を受けており（佐藤ら、1995）、今後も成長不良の状態が続くならば、林冠層において広葉樹の優占度が増加すると予測される。こうした林分ではスギの成長が不良なことから、植栽木による高い木材生産機能は期待できない。定着個体には有用樹が多くみられたことから、長期的視点にたてば、定着した広葉樹にある程度の木材生産機能を期待できる。しかし、良好な針葉樹人工林に比べ生産効率が低い点は注意を要する。一方で、多様な高木種・亜高木種の定着がみられることから、将来的には多様な種構成を持つ混交林への誘導も可能と考えられる。

霧島山系の調査林分では、そのまま放置してもしばらく植栽木であるスギが林冠層で優占する

人工林の体裁を維持すると予測される。定着個体や稚幼樹に高木種が少ないことから、林冠層においてスギと広葉樹が混交する林分に誘導するには、高木種の侵入・定着を促進させる間伐などの人為的管理手法が必要と考えられる。一方、林内では多様な亜高木種を中心とした下層植生が発達してゆくと予測される。種の豊富さの指数 d が中央山地と比べて低いのは、高木種の定着が少ないためであり、定着個体の多くを占める亜高木種に限ってみると、隣接する遺伝資源保存林の亜高木層の種構成と類似していた (Ngakan et al. 1996)。現在の階層構造から、植栽木が定着した亜高木種に被圧される心配はない。鹿児島県の民有林の林分収穫表 (40 年生で、地位 I 等高さ 20.4m、地位 II 等高さ 17.8m、鹿児島県林務水産部、2004) から判断すると本調査地は地位 I 等または II 等に相当し、良好なスギの成長が期待できる。このような林分では、一律に針葉樹人工林から針広混交林への転換をはかるのではなく、従来通り木材生産を主目的とした人工林として管理することも選択肢のひとつとして考える必要がある。

(2) 針葉樹人工林および皆伐後造林未済地の有用性の評価

本研究で得られた予測モデルで、そのまま放置させた場合でも、木材生産や多様性保全などの多面的機能の発揮を期待できる林分の条件が明らかとなり、有用性の評価が可能となった。例えば、人工林での予測モデルでは、林齢 20 年未満、植栽木の密度が 1000 本/ha 以下などの条件下では、有用広葉樹の定着個体の密度が高く、ある程度の木材生産機能としての有用性は期待できることが判った。また、天然林からの距離が 100m 未満、傾斜 15° 未満等の林分では、多くの樹種の侵入がみられ、遺伝的多様性を保全するうえで有用な森林が期待できる。一方、皆伐地での予測モデルでは、傾斜 31° 以上、天然林からの距離 200m 未満の条件で有用樹の定着個体の密度が高く、また皆伐後 11 年以上経過した、南向き斜面で多様な樹種の侵入がみられる結果が得られた。これらの条件の皆伐地では、木材生産や多様性保全の面での有用性が期待できる。

本研究では、さらに陽性高木種など同じ樹種特性をもつ種群を特定することにより、人工林や皆伐跡地への樹木の定着密度を比較的高い精度で予測できることが示唆された。人工林、皆伐地ともに、陽性樹種で括った場合よりも、全定着個体の予測モデルの R^2 が低い理由のひとつは、全定着個体には更新特性の異なる樹種が混在するためと考えられる。例えば、陽性高木種は若齢期の人工林で多くの定着がみられたが、高齢期に定着しやすい樹種の影響で、全定着個体の予測モデルでは高齢期のスコアが高い結果となった (表 121-2)。

本研究では林冠優占種の定着していたプロットが少なく、これら樹種が自然な状態で人工林内や皆伐地で定着できるのはかなり限られた条件であることが判った。九州中央山地や霧島山系などの遺伝資源保存林は周囲を人工林などに囲まれ孤立した状態なため (田川、1977)、台風による一斉倒壊や病虫害の大発生などにより、壊滅的被害を受ける危険性がある。遺伝資源保存林が何らかの原因で劣化した場合、それを修復するためには、保存林の主要な樹種を周囲のバッファゾーンに分散させて残しておくことが必要である。林冠優占種はその群落を代表する樹種で、遺伝資源としての有用性は高い。また、林冠優占種の大部分が有用樹であり (付表 121-1)、木材資源としても有用性が高い。人間の活動域と遺伝資源保存林とのバッファゾーンとして、多面的機能をより高度に発揮することを、保存林周辺の林分に求めるならば、林冠優占種をいかに定着させるかがキーポイントになる。しかし、現状の人工林や皆伐地をそのまま放置しても林冠優占種の更新が期待できる地点はごく僅かであったことから、林冠優占種を早急に定着させるためには、多くの林分において何らかの人為的管理の必要が示唆された。

オ 今後の問題点

本研究では、様々な条件の林分のデータを解析した結果、イスノキやブナ科高木種などの林冠優占種が定着できる条件はかなり限定的であることを明らかにした。しかし、定着していた林冠優占種のデータが少ないため、その条件解明まではいたらなかった。今後は林冠優占種にターゲットを絞ったデータをさらに収集し、その定着可能な条件を解明することが重要である。

カ 要約

合計 131 地点のデータセットを作成し、針葉樹一斉人工林を現状の管理方法で推移させた場合の混交林化予測、および有用性（更新可能な有用樹の構成と量、生物多様性への貢献）評価を行った。調査地のなかでは、林冠層の高木種を含めて混交林化が進行している九州中央山地と、亜高木種が主に下層で混交している霧島山系とでは、異なる林分推移パターンが予測された。さらに数量化Ⅰ類を用いた予測モデルにより有用性を期待できる条件が明らかとなり、林齢 20 年未満、天然林からの距離が 100m 未満などの条件の人工林で木材生産機能としての有用性が高いこと、また皆伐後 11 年以上経過した、南向き斜面の皆伐後造林未済地で多様な樹種の侵入が期待できることが示唆された。一方で、多面的機能を発揮するうえで重要な林冠優占種が定着できるのは、ごく限られた条件であることを明らかにした。

キ 引用文献

鹿児島県林務水産部（2004）鹿児島県の長伐期施業の手引き＝高齢級林分事例から学ぶ＝，鹿児島県林業振興課，89p.

熊本営林局（1990）森林施業の手引き，熊本営林局，156p.

Ngakan, P. O., Tagawa, H. and Yukawa, J. (1996) Vegetation and its regeneration study based on plant demography on Mt. Kurino-dake, South Kyushu, Japan with special reference to vertical forest zones and seedlings of canopy species., Vegetation Science, 13 : 95-106

応用統計ハンドブック編集委員会（1978）応用統計ハンドブック，養賢堂，827p.

林業科学技術振興所(1985)有用広葉樹の知識 育てかたと使いかた, 林業科学技術振興所, 514p.

佐藤保・田内裕之・小南陽亮（1995）高海拔地域における不成績造林地の構造と発生機構について，日林九支研論集，48，67-68.

田川日出夫（1977）鹿児島県栗野岳のタブノキ林についての一考察，えびの高原野外生物実験室研究業績，2，31-37.

Whittaker, R. H. (1975) Community and ecosystem, MacMillan, 385p.

（九州支所 齊藤哲（現 植物生態研究領域）、小南陽亮（現 静岡大学）、永松大（現 鳥取大学）、梶本卓也、荒木眞岳、大谷達也）

付表 121- 1 出現樹種の生活型（高木種・亜高木種）と性質（陽性樹種、林冠優占種）の区分

種名	高木種	亜高木種	陽性樹種	林冠優占種	有用樹	種名	高木種	亜高木種	陽性樹種	林冠優占種	有用樹	
アオハダ		○				シナノガキ	○		○			
アカガシ	○			○	○	シラカシ	○			○	○	
アカシデ	○		○		○	シラキ		○				
アカマツ	○		○		○	シロダモ		○				
アカメガシワ	○		○			スギ	○				○	
アサガラ		○				スダジイ	○			○	○	
アラカシ	○			○	○	ソヨゴ		○				
アワブキ	○					タブノキ	○			○	○	
イイギリ	○		○			タムシバ	○					
イスノキ	○			○	○	タンナサワフタギ		○				
イタヤカエデ	○				○	チシャノキ	○				○	
イヌガシ		○				チドリノキ		○				
イヌガヤ		○				ツガ	○			○	○	
イヌザクラ	○		○			ツクシトネリコ	○					
イヌシデ	○		○		○	ツクバネガシ	○			○	○	
イヌツゲ		○				ツゲモチ		○				
イヌビワ		○				トチノキ	○				○	
イヌブナ	○			○		ナナメノキ		○				
イロハモミジ	○				○	ニガキ		○				
ウラジロガシ	○			○	○	ヌルデ		○				
ウラジロノキ	○		○			ネジキ		○				
ウリカエデ		○				ネズミモチ		○				
ウリハダカエデ		○				ネムノキ	○		○		○	
ウワミズザクラ	○		○			ノグルミ	○				○	
エゴノキ		○				ハイノキ		○				
エゾエノキ	○					ハゼノキ	○		○			
エノキ	○					ハマクサギ		○				
エンコウカエデ	○				○	ハリエンジュ	○		○			
オオモミジ	○				○	ハリギリ	○		○		○	
オガタマノキ	○					バリバリノキ	○					
カキノキ	○		○			ヒコサンヒメシャラ	○		○			
カゴノキ	○					ヒサカキ		○				
カナクギノキ	○					ヒノキ	○				○	
カヤ	○				○	ヒメシャラ	○		○			
カラスザンショウ	○		○			ブナ	○			○	○	
キハダ	○		○		○	ホオノキ	○				○	
クスギ	○		○		○	ホソバタブ		○				
クマシデ	○		○		○	マルバアオダモ	○					
クマノミズキ	○		○			ミズキ	○		○		○	
クリ	○		○	○	○	ミズナラ	○			○	○	
クロガネモチ		○				ミズメ	○		○		○	
クロキ		○				ムクノキ	○					
ケヤキ	○				○	モチノキ	○					
コシアブラ	○		○			モッコク		○				
コジイ	○		○	○	○	モミ	○			○	○	
コナラ	○		○	○	○	ヤブツバキ		○				
コハウチワカエデ	○				○	ヤブニッケイ		○				
コハクウンボク		○				ヤマウルシ		○				
コパノトネリコ	○					ヤマグワ	○		○		○	
コブシ	○					ヤマザクラ	○		○		○	
ゴマギ		○				ヤマトアオダモ	○					
ゴンズイ		○				ヤマハゼ		○				
サカキ		○				ヤマボウシ		○				
サザンカ		○				ヤマモミジ	○				○	
サワグルミ	○		○		○	ヤマヤナギ		○				
サワシバ	○					ユズリハ	○		○			
サワフタギ		○				リュウキュウマメガキ	○		○			
サンゴジュ	○					リョウブ		○				
シイモチ		○				リンボク		○				
シキミ		○				合計種数	119	76	43	32	16	42

3. 針葉樹人工一斉林の針広混交林化誘導策に対する林業採算ポテンシャル算出のためのデータセットの作成

131

ア 研究目的

九州地域にあって、再造林の放棄や育林作業の放棄が顕在化している。針葉樹人工林に対する施業放棄は森林所有者の山林保有規模、在村状態等と密接に係わっているとされており、木材生産に好適な立地であっても放置されたまま低質針広混交林化してしまい、木材生産機能が殆ど発揮されていないというのが昨今の情勢である。そうした中、立地条件や林業を取り巻く社会・経済的条件を考慮した上で、多様な機能を備える針交混交林として成林させるため、科学的データに裏打ちされた森林管理プランニングが求められている。本研究は針葉樹人工一斉林および針広混交林に対する林業採算ポテンシャル算出のためのモデルを考案し、データセットを作成する。

イ 研究方法

針広混交林に関するデータセット作成のベースとして対象地域について小班を最小単位とする森林 GIS データベースを作成し、以後の分析に供する方法を採った。

(1) 造林未済地の誘発要因の解析とその発生判定の推定モデルの誘導

針広混交林化の一形態と想定できる造林未済地の特徴を熊本県におけるデータをもとに解析し、その誘発要因と事前判定モデルについて検討した。分析対象エリアは林業生産活動が盛んといわれる熊本県南部の球磨川地域森林計画区（森林面積 172,000ha）である。県の協力を得て、民有林に関する森林簿、造林事業補助金処理データ、県が実施した 1998~2000 年における未植栽地の現状と所有者の意向調査結果を入手し、同意向調査から 2000 年まで 3 ヶ年についての造林未済地（1998-2000）のデータベースを作成した。造林補助金処理データから同じ期間について再造林地を抽出し森林簿とリレーショナルデータベースを構築することで分析用データセットを生成した。得られたデータ件数は小班を単位として 2000 年までの 3 年間で再造林地 688 件、造林未済地 804 件の計 1,492 である。

主な誘発要因として想定される主に立地要因からなる 5 つのカテゴリー変数（傾斜、標高、林道からの距離、地利級、不在村状態）について造林未済地の特徴を比較分析した。そこで得られた関連の強い変数を用いたロジスティック回帰によって造林未済地の発生判定の推定モデルを誘導した。

(2) 森林施業にかかる森林所有者の態度・行動と林業継続の関連性

森林施業の実施程度という点から針広混交林誘発要因を評価するために、森林所有者に対する調査（2002 年度に熊本県球磨村の 590 件、2004 年度に福岡県星野村と大分県上津江村の 326 件を対象に郵送調査で実施）を行った。これらのデータを用い、所有面積や年齢等の要因から森林所有者による森林の収穫および保育に関する態度や施業行動等への影響を分散分析や分割表によって解析した。その際、確認的因子分析から得られた因子得点を用いることで所有者の態度を計量化し、施業行動を示す操作的変数には過去 5 年間の施業実施面積割合や施業実施の有無の 2 値変数を用いた。

大分県が 2003 年に県内の森林所有者を対象に行った郵送調査データ（2,230 件）を用い、分割表やその対数線形モデルによって、所有者の林業経営の継続に関する態度と所属性との関連を解析した。また、この解析を補う目的で、大分県日田市の森林所有者 9 名を対象として聴き取り調査を行った。

（3）伐出作業システムの類型化と林業採算ポテンシャルモデルの考案

大分県内の森林組合が行った 1998 から 2001 年度までの伐出作業現場について、主間伐別に次の項目を大分県が実施した調査結果を用いた；①林分条件（面積，地形傾斜，樹種，林齢），②伐出に使用した機械，③伐出経費（直接費），④集材距離，⑤販売材積など。そこでは搬出材積に相当するものとして実際の販売材積が調査された。また調査箇所は使用機械（従来型／高性能型），集材方式（車両系／架線系），面積（0.5ha 未満／以上）で区分してなるべく偏らないように収集された。その結果、主伐 98 箇所，間伐 112 箇所について得られたもので、今回の解析では主伐についての有効回答 74 箇所を使用した。

解析はまず，①使用される伐出作業機械の種類を吟味し伐出作業システムを分類し，②得られたデータについて立地条件を示す要因を絞込んだのち，伐出作業システム類型との関連を ANOVA で分析し立地要因の特徴を定量的に解析して、立地条件に基づいた伐出作業システムの類型化モデルを作成した。次いで③伐出作業システム類型ごとに主伐経費を立地要因で推計するモデルを多変量解析によって作成した。再現誤差率によってモデルの評価を行った。

こうして得られたモデル等の適用事例を図示するため実際に森林 GIS にデータセットを組み込んで、大分県旧上津江村についてそれぞれの主題図を作成した。その際、大分県が作成した森林 GIS のデータ（地番界（注 1），林道網）のほか，地形傾斜算出のために国土地理院の数値地図 50m メッシュ（標高）を，集材距離算出のために県の林道網と合わせて数値地図 25000（空間データ基盤）を用いた。

（注 1）本来は小班のように森林施業の基本的な単位ごとに適用して伐出経費を評価することが望ましい。今回使用した大分県の森林 GIS では最小単位ポリゴンが小班界でなく地番界であるため，適用例では暫定的に地番ごとに評価した。

ウ 結果

（1）造林未済地の誘発要因の解析とその発生判定の推定モデルの誘導

5 つの変数のいずれについても造林未済地の頻度分布は、再造林地と有意差が認められた（Mann-Whitney test, $p < 0.001$ ）。つまり造林未済地の各変数に対する発生パターンが再造林地のそれと異なることを意味する。このことを再造林率で確認すると、程度の差はあるがすべての変数で負の相関が認められた（図 131-1）（Noda & Hayashi, 2004；野田、2004）。傾斜が急になるほど、不在村状態が強くなるほど、林道からの距離が遠くなるほど、標高が高くなるほど再造林率が低下していた。一方、関係は弱いが地位級が高い（地位が良い）ほど再造林率が低下するという、常識に逆行する現象も認められた。

こうした独立変数間の関連も考慮して造林未済地の発生との間の関連性を定量化するために非線形正準相関分析（Gifi, 1990）を行ったところ、成分負荷量は傾斜、不在村状態、標高、地位級、林道からの距離の順にそれぞれ -0.830, -0.345, -0.254, -0.245, -0.228 となって、傾斜が最も顕

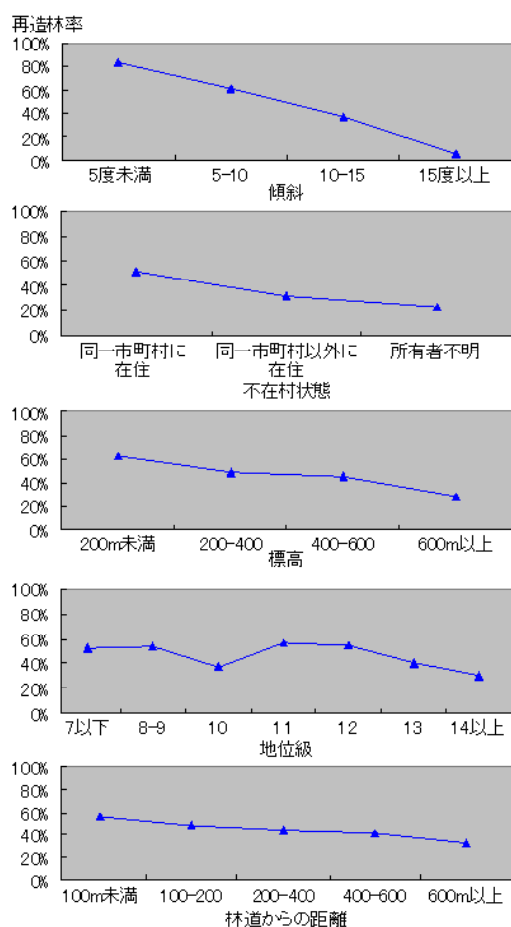


図 131-1 立地要因等でみた再造林率の変化

著に造林未済の発生と関連が強く、次いで不在村状態を示す変数であることが分かった。図 131-2 に示したカテゴリー数量は、大きな負値ほど造林未済の発生に関連が強いことを示すもので、その絶対値は全体に傾斜と不在村状態が大きいこと、傾斜が急なほど・不在村状態が強い（所有者が遠方にいる）ほど造林未済地の発生と関連が強いということが分かる（Noda & Hayashi,2004；野田,2004）。

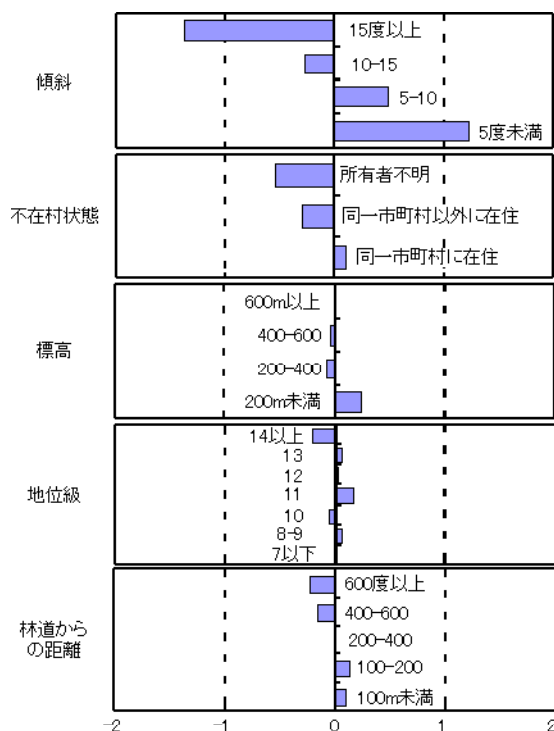
傾斜と不在村状態を使ったロジスティック回帰によって次式の造林未済地の発生判定の推定モデル（正分類率 70.7 %。X2 検定、 $p<0.01$ ）を得た（Noda & Hayashi,2004）。

$$prob=1/(1+\exp(-1.288SLOPE-0.608BIGA+3.822))$$

ここで *prob*:造林未済地の発生判定確率、*SLOPE*:傾斜変数、*BIGA*:不在村状態の 2 値変数。

その結果、不在村状態については森林所有者が不在村である場合、在村である場合に比べ造林未済となる確率は 1.8 倍に上がることが認められた。

図 131-2 カテゴリー別にみた造林未済地あるいは再造林地との関連性



（２）森林施業にかかる森林所有者の態度と行動の関連性の解析

収穫意識および保育意識には地域差がみられた。プロジェクトの調査対象地では、星野村で収穫意識および保育意識ともに高い傾向がみられた。また、球磨村では保育意識が低い傾向、上津江村では保育意識が高い傾向がみられた。施業実施面積割合（行動）にも地域差がみられ、球磨村では態度と同様に行動の水準も低い傾向にあった。星野村および上津江村の施業行動の水準は平均的だった。

地域別では、施業に関する態度と施業実施面積割合との間にはあまり関連はなかった。ただし、クロス集計で施業実施ありの割合の高い地域では保育意識も高い傾向がみられた。したがって、施業に関する態度は何らかの施業を少しでも行うかどうかという意味での施業行動には影響しているものの、施業を広範囲にわたって十分に実施するかどうかという意味での施業行動にはあまり影響していないと考えられた。なお、施業実施ありの割合が高い地域では自家労働投下ありの割合も高い傾向がみられた。

所有面積規模と施業に関する態度との関連では、所有面積が大きい所有者ほど施業意識が高い傾向がみられ、とくに 3ha 以下の零細所有者の施業意識は低かった。また、所有面積規模と施業行動との関連では、規模の大きな所有者ほど施業実施面積割合が低い傾向がみられた（ANOVA、5 %水準）一方、施業実施ありの割合は大規模な所有者ほど高い傾向がみられた。以上のように、比較的大規模な所有者ほど施業に関する関心が高く、実際に何らかの施業を実施している場合が多いものの、その実施面積は十分とは言えず、面積割合にすると小規模な所有者の森林で広範に施業が実施されているものと考えられた。また、自家労働投下件数率は所有規模によって有意な差が認められなかった（ANOVA、5 %水準）のに対し、自家労働投下面積率は小規模な所有者で高い傾向がみられた。この関係は施業実施面積率と件数率の関係と

同じである。つまり、小規模な所有者の自家労働投下が施業実施面積率を高めている一方、大規模な所有者は自家労働を投下する件数は少なくないものの、所有する森林の一部でしか自家労働を投下することができない。このことと、木材価格が低下したことによって、雇用労働を投入することが難しい状況にあることが大規模な所有者の施業実施面積率が低位にとどまった原因の一つと考えられる。

森林所有者が林業経営からの退出を希望するかどうかの態度は、職業および後継者の有無に関連し、農林業を行っている所有者、後継者のいる所有者で経営継続の意向が高い傾向がみられた。所有規模および年齢は経営継続に関する態度との関連が有意ではなかった（X2 検定、5 %水準）（林・野田,2005）。

（３）伐出作業システムの類型化と林業採算ポテンシャルモデルの考案

今回の一連の解析から主題図作成に至る処理の流れを図 131-3 に示す（野田ほか,2006）。

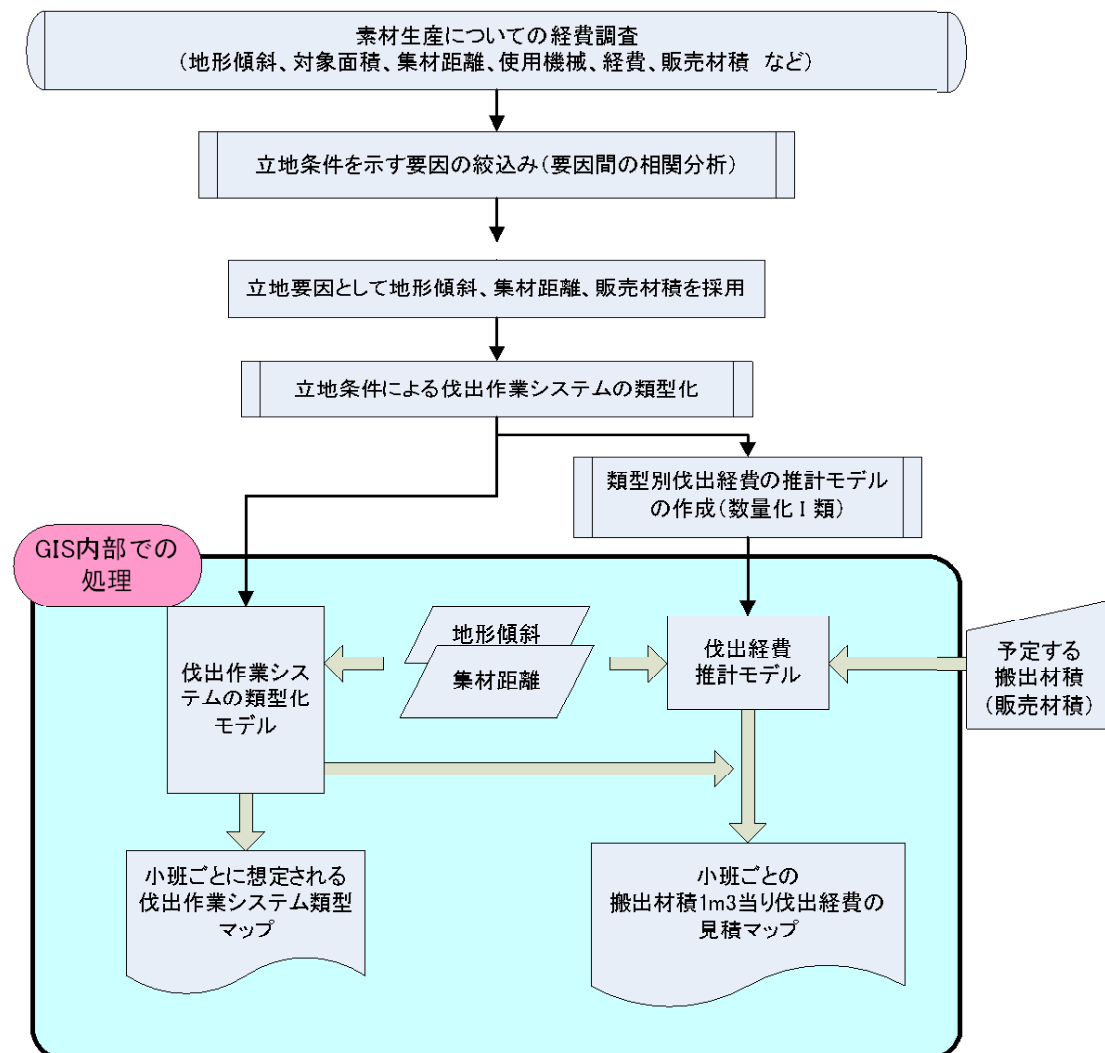


図 131-3 処理の流れ

3-1) 伐出作業機械の類型

得られたデータについて伐木、造材、集材の行程で使用された機種を集計したところ伐木は

すべてがチェンソーを使用していた。造材・集材については大きく8区分に分類されたが、データに偏りがあるため表 1-3-1 のように作業仕組みをまとめて6区分に分類した。

表 131-1 集材造材方法による場出作業システムの分類

				(件)
タイプ	8区分と6区分の関係	6区分パターン	8区分パターン	件数
従来型	1	林内作業車	林内作業車	20
	2	トラクタ	トラクタ	6
	3	集材機	集材機	20
高性能型	4	フォワーダ	クレーン, グラップルローダ	8
	4	フォワーダ	フォワーダ	3
	5	トラクタ+プロセッサ	トラクタ+プロセッサ	6
	5	トラクタ+プロセッサ	タワーヤーダ+プロセッサ	1
	6	集材機+プロセッサ	集材機+プロセッサ	10
合計				74

3-2) 立地条件に基づく伐出作業システムの類型化モデル

類型化に先立って要因の絞込みを検討した。具体的には、今回得た立地条件に関する要因である主伐面積、地形傾斜、集材距離、販売材積の相関分析を行った。その結果、主伐面積と販売材積には高い相関($r=0.864$, $p<0.01$)があることから以後の分析で使用する立地要因を地形傾斜、集材距離、販売材積に絞り込んだ。図 1-3-4 に6種類の各要因の平均値と95%信頼区間を示す。

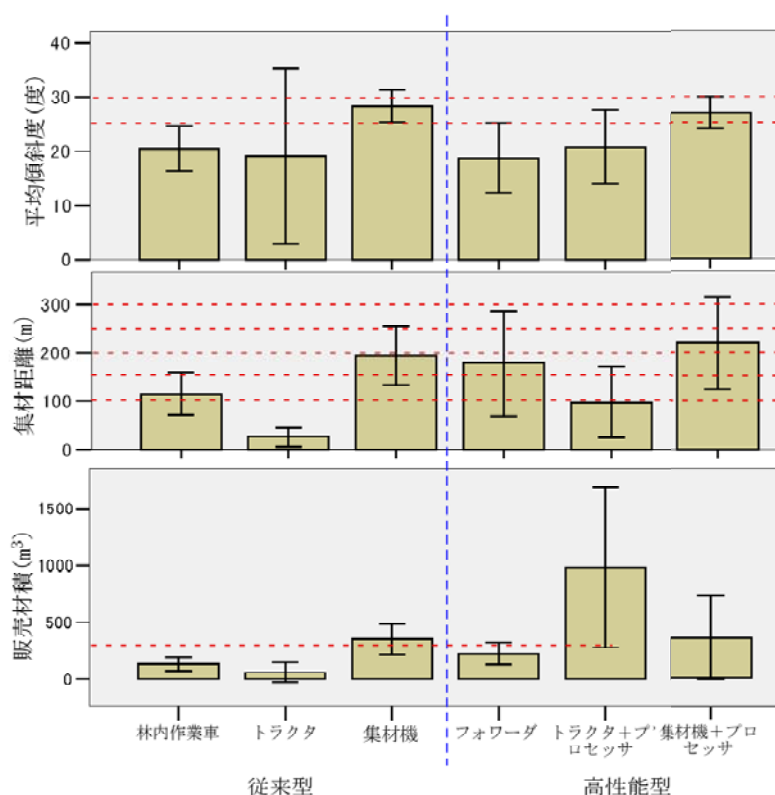


図 131-4 立地要因別の伐出作業システム6種類の比較

次に、伐出作業システム6類型がこうした立地要因でどのように特徴付けられるかを定量的

に明らかにするために ANOVA を行ったところ、3つの要因で類型に有意差が認められた ($p < 0.05$)。そこで、立地要因の閾値を探るために類型間の多重比較検定 (LSD, 有意水準 5 %) を行った。要因ごとにその結果を整理し地形傾斜と集材距離の二元について閾値を吟味すると従来型、高性能型のタイプ別に表 1-3-2 のように特定することができた (野田ほか, 2006)。その際、閾値は基本的にそれぞれの 95 % 信頼区間をもとに全国林業改良普及協会 (2001) など示される機械の適用条件も参考に概括した。このうち高性能型において、地形傾斜が 25 度未満で集材距離が 50 ～ 150m 未満の条件では「トラクタ+プロセッサ」と「フォワーダ」の 2 類型が同様に特定された。しかしながら販売材積の多重比較検定によると「フォワーダ」 < 「トラクタ+プロセッサ」 ($p < 0.05$) でその境は約 300m³ であるから、販売材積が 300m³ 以上であれば「トラクタ+プロセッサ」型が、それより少なければ「フォワーダ」型が採用される傾向にあるということができた。

表 131-2 立地条件に基づく伐出作業システムの類型化モデル

タイプ	立地条件		集材距離				
			0～49m	50～99m	100～149m	150～299m	300m～
従来型	地形傾斜	0～24度	トラクタ	林内作業車	集材機		
		25～29度					
		30度～					
高性能型	地形傾斜	0～24度	トラクタ+プロセッサ	トラクタ+プロセッサ、フォワーダ		フォワーダ	
		25～29度		集材機+プロセッサ			
		30度～					

注) 図中で網掛けの条件下では販売材積が300m³以上で「トラクタ+プロセッサ」型が、それよりも少なければ「フォワーダ」型が特定された。

3-3) 伐出経費推計モデルの作成

推計モデルは伐出作業システム類型別に求めた。具体的には 1m³ あたり伐出経費を外的基準とし、地形傾斜、集材距離区分、販売材積を説明変量とする数量化 I 類によって行った。説明変量のカテゴリー化については地形傾斜と集材距離は上述の閾値によって行い、販売材積はなるべく等しい度数となるように 6 区分とした。

ところで本来、これまで分析で使用した伐出作業システム 6 類型について推計モデルの作成を行うべきである。しかしそのまま数量化分析にかけるには件数が最低 6 件と過少で安定さを確保できないと考えられたので、今回は従来型、高性能型のそれぞれを車両系、架線系で分類する次の 4 類型で作成した。①従来型車両系 (「林内作業車」型、「トラクタ」型)、②従来型架線系 (「集材機」型)、③高性能型車両系 (「フォワーダ」型、「トラクタ+プロセッサ」型)、④高性能型架線系 (「集材機+プロセッサ」型)。

4 類型ごとに数量化 I 類を行った結果、重相関係数が 0.68 ～ 0.88 の予測式が得られこれらを伐出経費推計モデルとすることができた (表 131-3) (野田ほか, 2006)。モデルの評価を再現誤差率 (= (推計値 - 実績値) / 実績値) によって行った。ここで推計値は分析に使用したデータに、類型化モデル (表 131-2) を適用して伐出作業システムを特定したのち伐出経費推計モデルを用いて求めた。なお、適用する類型化モデルのタイプ (従来型 / 高性能型) は実績データと同一にした。その結果、再現誤差率の平均値は 23.9 % (標準誤差 5.9 %) であった。

3-4) 適用事例

今回得られたモデルにはまだ精度向上など課題が残されているが、GIS に組み込んで地域森林資源管理に活用されることを想定している。適用可能性を実際に示すために今回の 2 つのモ

表 131-3 伐出作業システム 4 類型別に得られた 1m³ あたり伐出経費推計モデル(数量化 I 類)

区分	説明変量	従来型車両系	従来型架線系	高性能型車両系	高性能型架線系
カテゴリースコア	地形傾斜				
	0～24度	-87.56	-1311.89	-589.60	72.89
	25～29	-876.20	529.84	951.51	-2915.88
	30+	817.62	-239.70	3631.06	701.64
	集材距離				
	0～49m	-1633.15	-	-408.41	-
	50～99	-936.80	-229.25	408.63	363.42
	100～149	970.82	-259.56	67.37	-1134.88
	150～299	1383.07	5.65	-760.66	1038.59
	300+	2773.55	639.64	1419.93	-657.32
	販売材積				
	0～49m ³	-1107.67	-	-	-
	50～99	848.18	1646.29	-75.56	-1175.82
	100～149	598.39	-100.29	2462.88	-1618.74
	150～249	1077.95	140.95	731.14	2636.74
	250～449	-2813.10	-322.11	-347.98	807.09
	450+	-	-129.20	-1097.31	-744.87
	定数項	5859.36	5093.55	5477.58	6557.80
カテゴリースコアの 説明変数別範囲	地形傾斜	1693.82	1841.74	4220.66	3617.52
	販売材積	3891.05	1968.41	3560.19	4255.48
	集材距離	4406.70	1771.34	2180.59	2173.47
偏相関係数	地形傾斜	0.4466	0.4799	0.6889	0.6807
	販売材積	0.7517	0.4462	0.6522	0.7210
	集材距離	0.7958	0.4392	0.5296	0.5407
重相関係数		0.8757	0.6826	0.7553	0.8291

デルを定式化して GIS に組み込み、大分県旧上津江村について評価マップを作成した。国土地理院の数値地図 50m メッシュ(標高)から地形傾斜を、県の林道網と合わせて数値地図 25000(空間データ基盤)の道路網ベクターデータから集材距離を、いずれも GIS の内部関数で算出し、従来型と高性能型について表 131-2 の類型化モデルから得られた結果が図 131-5,131-6 である。図 131-7,131-8 は販売材積を 200m³ に設定して得られた伐出経費の見積マップ、すなわち林業採算ポテンシャルマップでそれぞれ伐出作業システムが従来型のケースと高性能型のケースを示す。

エ 考察

(1) 造林未済地の誘発要因の解析とその発生判定の推定モデルの誘導

誘発要因として地形傾斜と森林所有者の不在村状態が強く関連していることが分かった。ここでは、傾斜がきつくなるほど再造林率は減少し再造林が行われないで放置される確率が高いということの背景には、森林施業コストの掛かり増しが造林未済への誘発に繋がっていることが推察できる。一方、不在村状態が強い(所有者が林地から遠くに居住する)ほど造林未済地の発生が高く、保有山林への関心が薄れてしまうことも誘発のもうひとつの大きな要因であるといえる。また、今回得られた造林未済地の発生判定モデルは、正分類率が 70 %以上と比較的高く現場への適用も十分考えられる。

(2) 森林施業にかかる森林所有者の態度と行動の関連性の解析

森林施業、つまり森林管理水準と森林所有者の特性に関する解析結果から、育林の施業状況(森林管理水準の動向)は森林所有者の特性からみれば、①零細所有者では関心が薄く実施水

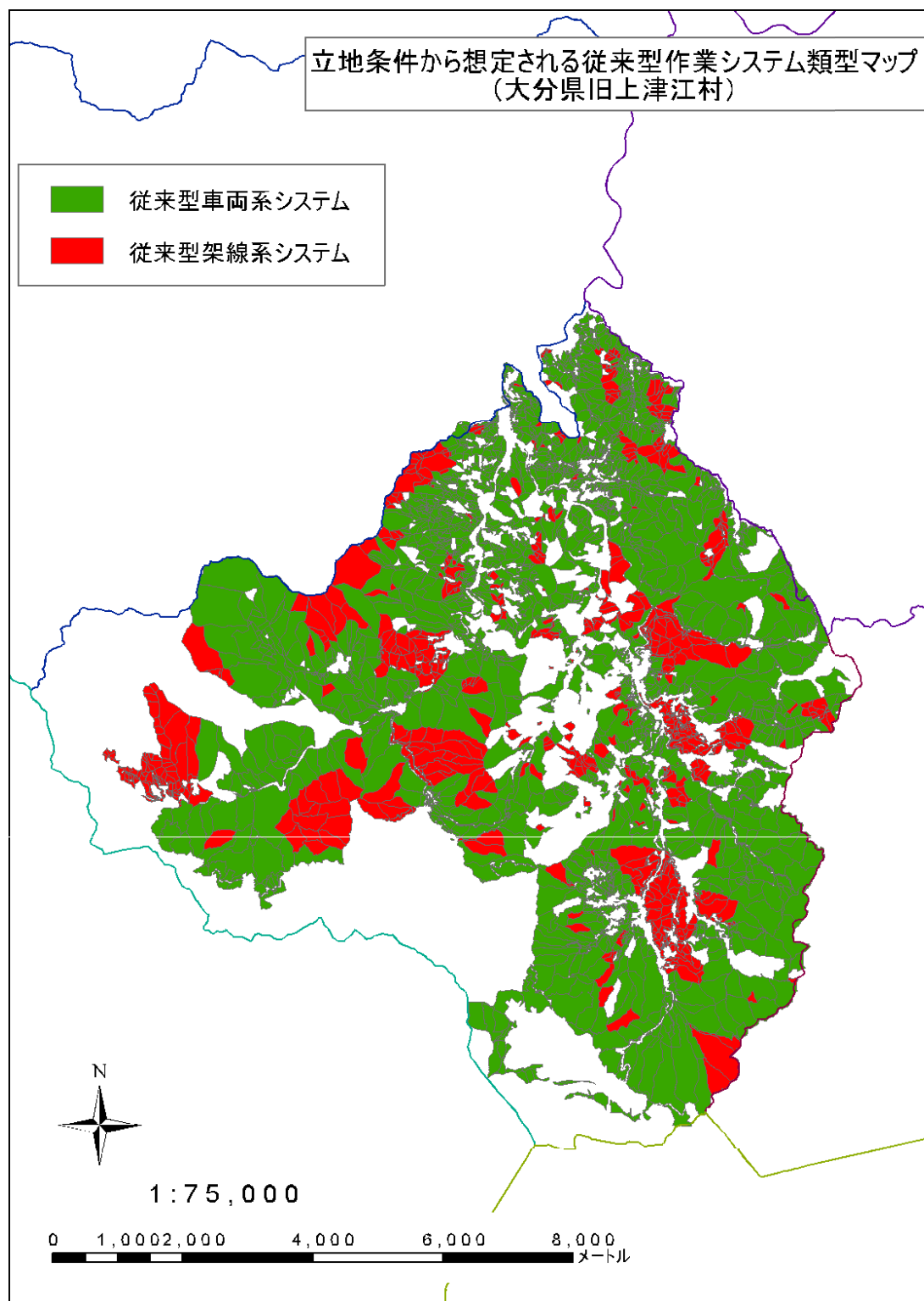


図 131-5 想定される伐出作業システム類型マップ（従来型）

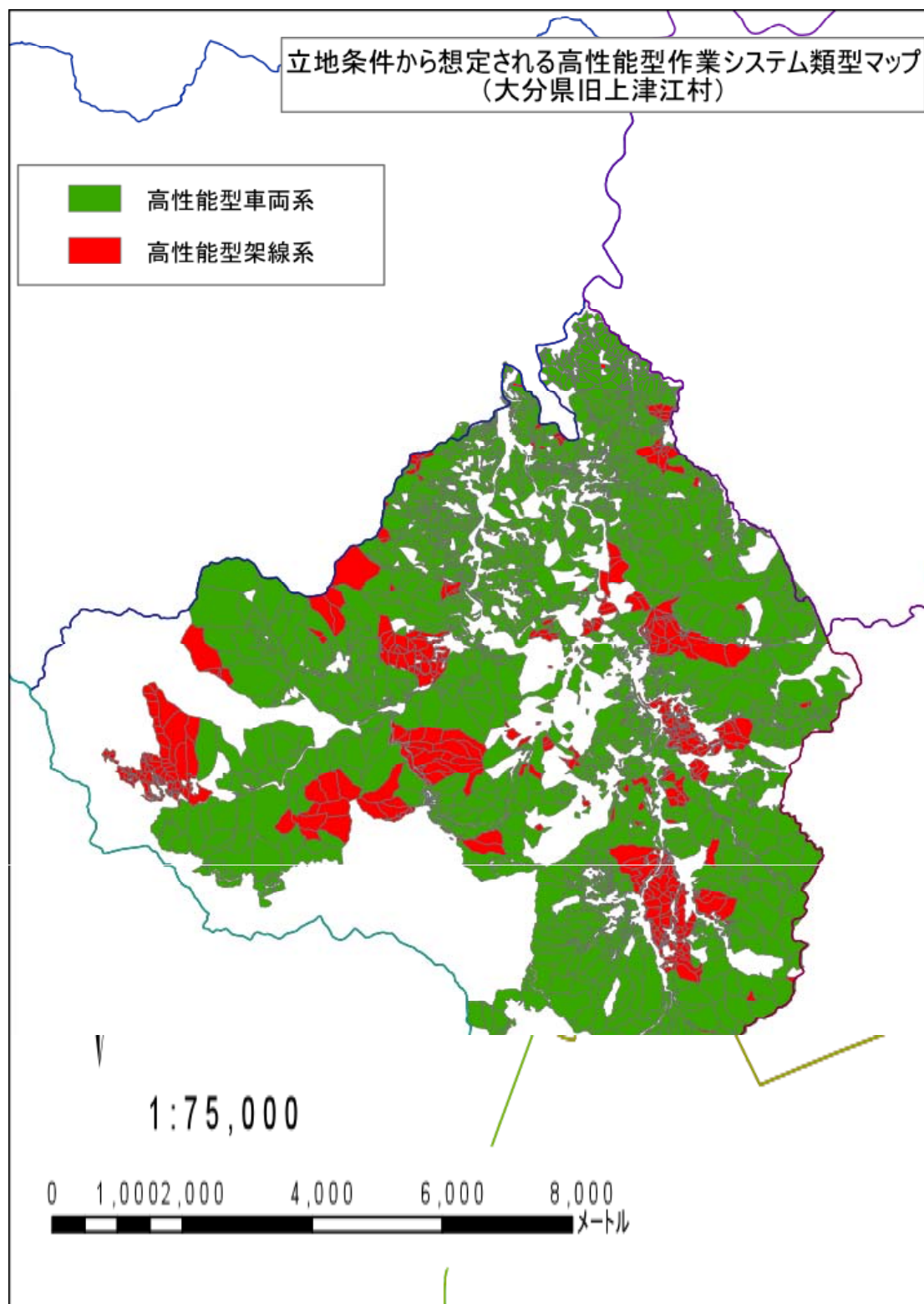


図 131-6 想定される伐出作業システム類型マップ (高性能型)

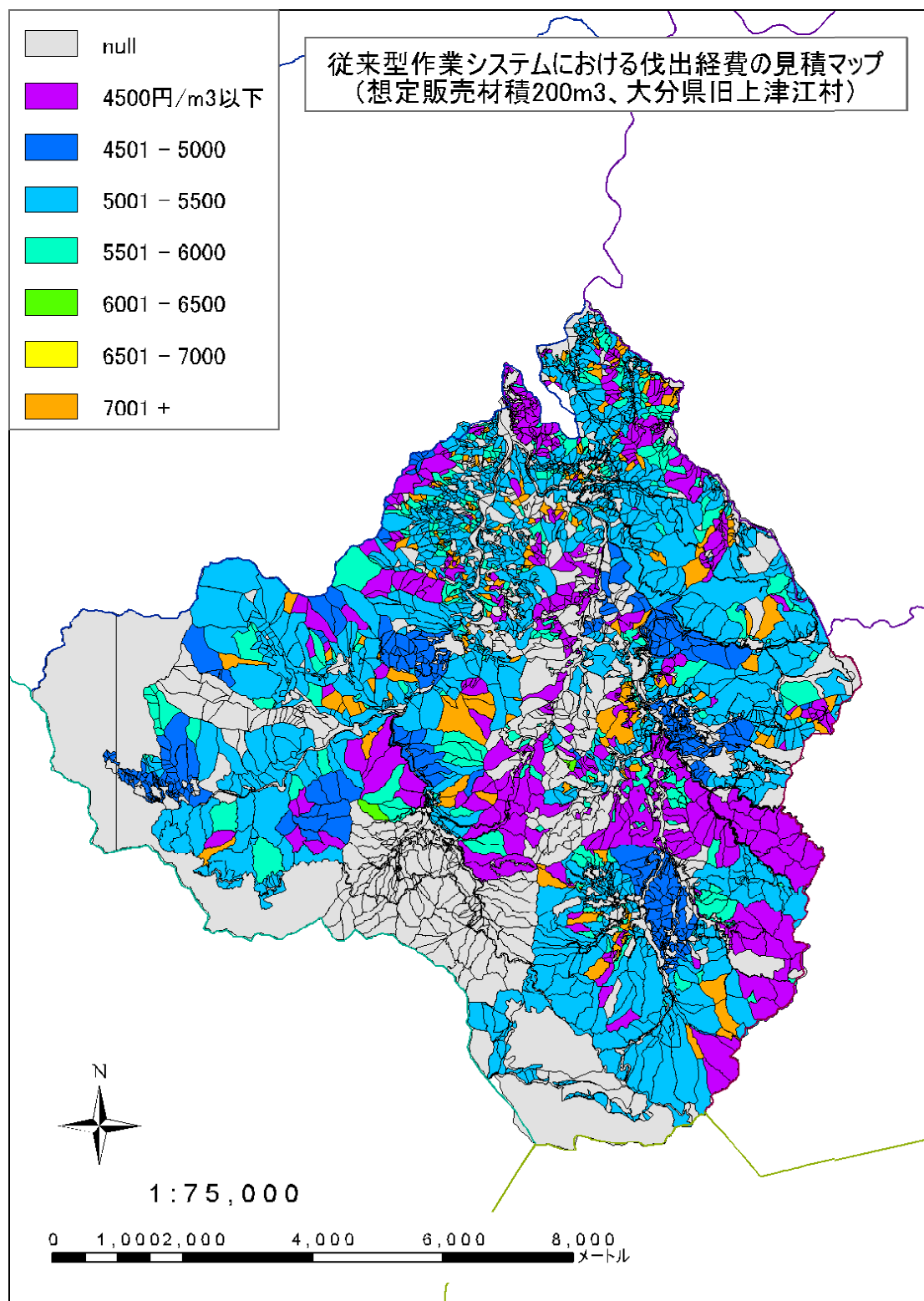


図 131-7 販売材積が 200m³ の場合の伐出経費の見積マップ (従来型)

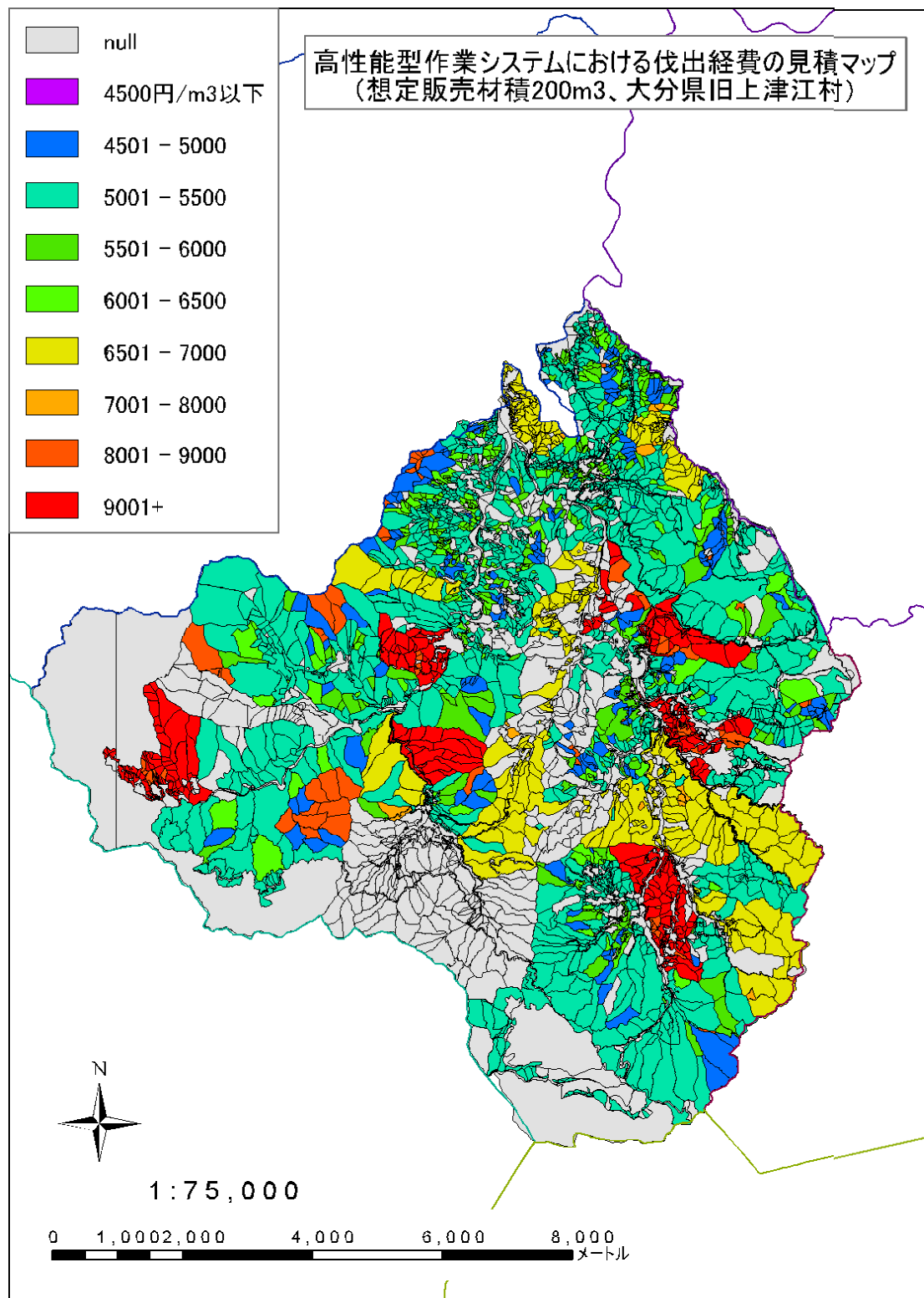


図 131-8 販売材積が 200m³ の場合の伐出経費の見積マップ（高性能型）

準が低い傾向がある、②地域特性がある、③関心の高さは実施の面積よりも件数にあらわれる、ということが特定できた。また、林業を成立させる地域的な条件として、①森林所有者が農林業従事者である、②後継者が居る、ことと特定できた。

(3) 伐出作業システムの類型化と林業採算ポテンシャルモデルの考案

図 131-9 に示した再現誤差率のヒストグラムと正規曲線から、150%以上を示すデータははずれ値とも考えられる。今後はサンプルデータを増やすとともにこうしたデータの吟味を行ない改善すればさらに再現性は向上すると考えられる。

今回提示した伐出経費を推計するモデルは、林地の立地条件である地形傾斜、集材距離と販売材積という3要因を説明変量とするものである。その際、伐出作業システムが従来型と高性能型のそれぞれについて推計する。ある林地の傾斜と集材距離は地形が改変されない限り、あるいは最寄に道路が開設されない限り不変であろう。したがって、その推計モデルで得られる値はある販売材積に対する林地の潜在的な伐出経費を表しているといえよう。また、図 131-7,131-8 に対して、販売材積を 500m³ などと変化させたマップを作成して比較することで、林地の伐出経費の変化をシミュレーションすることができる。林地周辺の道路開設計画路線を GIS に追加すればそれが伐出経費に与える効果を見積もることのほか、伐出作業システムが従来型と高性能型について推計されるので「ある林地について搬出材積が〇〇 m³ までは、高性能型よりも従来型の方が伐出経費は安価と見積もられる。」といった活用も見込まれる。

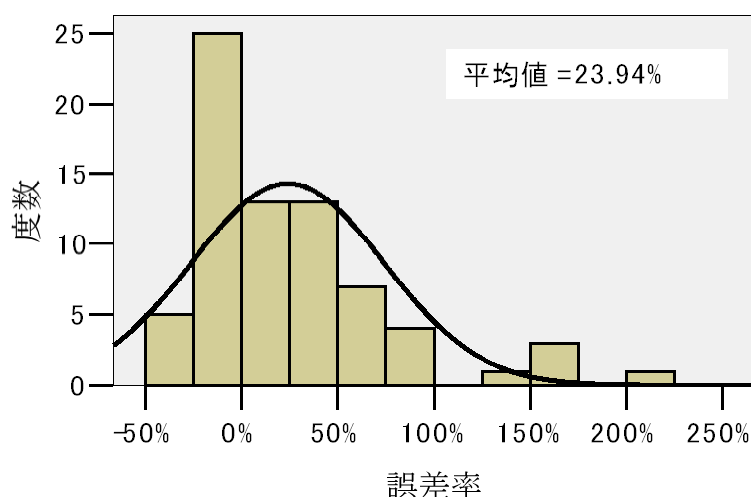


図 131-9 再現誤差率のヒストグラム

注) 図中の曲線は正規曲線を示す。

木材生産に関して、林地の潜在的な有望性を3つの要因（地形傾斜、集材距離、販売材積）を用いて評価するモデルを開発し、それによって林地の主伐における「伐出経費のポテンシャル評価マップ」を作成できる。これによって、林業経営経費のうちで大きな割合を占める主伐伐出経費を、しかもその立地条件の相違から生じる影響を加味した値で推計することができる。同時に開発した、人工林地域で問題となっている造林未済地の発生判定を簡易に推定するモデルからは「造林未済事前評価マップ」を作成できるので、林地の伐出経費のポテンシャル評価マップと組み合わせることによって、木材生産に対する林地の潜在的有望性でゾーニングできることにもなる。一方で、「林地崩壊危険度評価マップ」と組み合わせれば、必要に応じて伐採前の行政指導の材料に使うこともできるものである。

オ 今後の問題点

林業採算面のポテンシャル評価に関して、最も経費が大きい主伐経費に着目し立地要因との関係図式をモデルに取り入れる方法を採用した。より実践的な林業採算ポテンシャル評価モデルとするためには今後、一連の収支についても考慮するなどの対応が必要とされる。

カ 要約

林業経営経費で最も大きな割合を占める主伐経費に着目し、林地の立地要因で潜在的経費を推計する方法を念頭に置き、主伐実績データを統計解析することにより、伐出類型に関する3変数の分散分析から立地要因を使う「伐出作業システムの類型化モデル」を作成した。上の3変数のカテゴリカルデータについて数量化Ⅰ類を行い、従来型／高性能型のそれぞれについての「伐出経費推計モデル」を作成できた。ただし、使用する解析データ数の不足から作業システム類型を4類型（従来型／高性能型×車両系／架線系）に圧縮した。得られたモデルは再現誤差率 23.9 % (95 % CI : 12.1 ~ 35.7 %) で一定の適用可能精度を確保していた。最終的に、今回得られた2つのモデル（「伐出作業システムの類型化モデル」、「伐出経費推計モデル」）を連動させて「林地の主伐経費のポテンシャル評価」を行うという方法を考案した。

針広混交林化の一形態である造林未済地の誘発要因として傾斜、不在村状態が強く作用することを突き止め、その発生判定の推定モデルを誘導した。

一連のモデル作成に使用されたデータを超えて他の地域に適用するにはその安定性を検討する必要があるが、モデルの誘導に至る方法についてはデータ分析に基づくものであるので十分な応用性を有すると考えられる。

キ 引用文献

Gifi Albert (1990) Nonlinear Multivariate Analysis, John Wiley & Sons, 193-239.

林雅秀、野田巖（2005）森林所有者の林業継続意向について：大分県における所有者調査結果の分析. 日本森林学会大会講演要旨集 116, 1A10.

林雅秀、野田巖（2005）森林所有者の施業意識とその形成要因について：熊本県におけるアンケート調査結果から. 林業経済研究 51(3):1-9.

NODA Iwao, HAYASHI Masahide (2004) Characteristic Differences of Non-Reforested Lands Compared with Reforested Lands in Kumamoto, Kyushu (熊本県における再造林地と比較した再造林放棄地の特徴的差異. 森林総合研究所研究報告 3(1):29-32.

野田巖（2004）国内の大面积皆伐放置問題について. 森林技術 752:24-27.

野田巖、姫野光雄、齋藤英樹、鹿又秀聡（2006）立地条件に基づいた伐出作業システムの類型化と伐出経費の推計モデル：GISを用いた地域森林資源管理での活用を想定して. 九州森林研究 59:36-41.

全国林業改良普及協会（2001）機械化のマネジメント. 60-161, 全国林業改良普及協会, 東京.

（九州支所 野田巖（現 関西支所）、林雅秀（現 東北支所）、齋藤英樹、鹿又秀聡、森林作業研究領域 岡勝）

第2章 多雪環境下のスギ・落葉広葉樹混交林における動態把握のための基礎的データセットの作成

1. スギ・落葉広葉樹混交林における動態把握のための基礎的データセットの作成

(1) 多雪地域スギ人工林での落葉広葉樹混交実態の把握

ーランドサット TM データと森林調査簿情報を用いた解析ー

ア 研究目的

2001年に森林・林業基本法が改正されて、森林管理はこれまでの木材生産中心から森林のもつ多面的機能を発揮させる方向に転換された。これにより、従来の植林地であっても木材生産の性格をもつ林と環境保全や人との共生の性格をもつ林という、重視すべき機能に応じて再区分したうえで、森林を望ましい姿に誘導することが求められている（林野庁、2002）。一方、今日では林業従事者は減り続けているため（林野庁、2002）森林管理に向けられる労力は減少し、個々の森林の実態を把握することが困難になっている。さらに多雪地帯では雪により植栽木の成長が阻害され、成林できずに落葉広葉樹におきかわる林分が多く生じる（小野寺、1990；豪雪地帯林業技術開発協議会、2000）。このような理由により、衛星データと森林調査簿の情報を用いた簡便で汎用性のある方法で、多雪地帯のスギ人工林における落葉広葉樹の混交状況の実態を明らかにすることを目指した。

人工衛星に搭載された可視赤外放射計のデータを用いれば、広域での土地被覆の状況を分類できる。森林についての研究は古くはランドサット衛星のマルチスペクトラルスキャナのデータを利用した実務レベルでの森林タイプ分類(Häme, 1984)や、分類アルゴリズム別の森林タイプの分類精度比較（Hudson, 1987）など数多い。森林管理上は森林タイプを詳細に分類できることが望ましいが、樹種間のスペクトルが類似し混交していて困難なことが多い。このため、森林を細かく分類して精度を評価し、実用上分類可能な項目を明らかにしたり（Jiang *et al.*, 2004）、タイプ数を限れば十分な分類精度を達成できることを指摘した報告もある(Belward *et al.*, 1990)。また、地理情報システム(GIS)上で分類結果と他の地理情報を利用して生態系管理へ応用する事例も報告されている(He *et al.*, 1998)。

分類法は母集団の統計量を推定する手順によって、分類したいカテゴリ（項目）について選定したトレーニングエリアの統計量に基づいて衛星データを分類する教師つき推定と、対象データ中の画素に基づいて初期クラス（クラス：似たものの集まり）を設定して、各クラス間の統計量に基づいて分類を行う教師なし推定に大別される（高木・下田、1991）。教師つき推定の場合、利用する衛星データに応じて適切なトレーニングエリアを選定しないと目的とする森林タイプを分類することは難しく、結果は解析者の技量に左右される。

一方、教師なし推定は同じ衛星データを用いて初期クラス数や統合の条件を定めれば、解析者の技量に関わらずに同じ分類結果を得ることができる。教師なし推定の中では非階層的クラスタリングの ISODATA 法(Ball and Hall, 1965)がよく用いられるが、リモートセンシングのデータ中に明確なクラスが形成されないため、ISODATA 法による分類は初期値のカテゴリ数に応じてデータ空間を分割するという性格が強い。従って、対象データにおいて目的の森林タイプを分離

できるだけ十分な数の初期クラスタを設定し、分類されたカテゴリがどの森林タイプに属するかを意味づければ良い(Wayman *et al.*, 2001; Jiang *et al.*, 2004)。しかし、何らかの情報に基づいて広域で分類結果を意味づける必要が生じる。

GIS が登場して地理的な広がりをもった情報を地図座標に基づいて管理し、広域に表示して属性の分布を視覚によって確認することが可能になった。民有林においては森林簿、国有林では調査簿と樹種簿と呼ばれる森林管理情報の場合も、様々な自治体や団体が GIS 上で管理するようになっている(松本, 2001)。しかしながら、森林情報の管理は容易になったものの、森林変化の実態に応じた情報更新が円滑に行われているとは限らず、森林情報の精度に問題があることが指摘されている(白石, 1999)。従って森林情報に頼った解析は不確実性を伴う。

しかし、林野庁秋田営林局(当時)での聞き取りによれば、1990 年代後半には森林調査データに基づいて情報を更新していた。このため、旧秋田営林局管内の場合、GIS 上に展開される森林情報を基準として衛星データによる森林タイプの分類結果を意味づけて、森林分布の実態をマッピングすることが可能と考えられた。このような背景から、森林管理に活用できるマップを提供するため、調査簿と樹種簿を衛星データによる森林タイプ分類の補助情報とし、簡便で汎用性のある解析方法で多雪地帯のスギ人工林における落葉広葉樹混交の実態を把握することを研究目的とした。本稿では 2 季節のランドサット衛星のセマティックマップパー(TM: Thematic Mapper)のデータを用い、ISODATA 法を用いた森林タイプ分類の手順を提示して分類精度を評価するとともに、立地因子と混交状況の関連を解析した結果を報告する。

イ 研究方法

・テストサイト

秋田県北秋田郡森吉町にある太平湖周辺の東北森林管理局旧米内沢事務所管内の森林(140°28.5'E, 40°05.3'N~140°44.1'E, 39°56.0'N)を研究対象地とした。対象地域は太平湖とそこから西に流れ出る小又川の集水域の一部であり、北、東および南を山地に囲まれている。対象地の面積は 21,082ha で、標高の分布範囲は 169m(小又川周辺)~1,454m(森吉山山頂)である。対象地域における主要な自然植生はブナであり、純林あるいは天然スギ、ミズナラとの混交状態で広く分布している。対象地域の南西部に位置する森吉山の標高 1,100m を越える付近にはオオシラビソ林、太平湖の南東部の急傾斜地にはネズコ・キタゴヨウ林が分布している。また、対象地域内には人工林も広く分布している。人工林面積のほとんどはスギによってしめられている。対象地域は豪雪地帯に位置して積雪が約 3.9m に達するスギ人工林もあり(大原, 私信)、スギ造林が極めて困難な地域(小野寺, 1990)と言える。森吉山の西側から北側にかけては緩やかに起伏が変化する斜面が多いが、東側の小又峡や粒様溪谷や六郎沢の流域では地形が急峻で、廊下状の沢や岩盤の露出した斜面がみられる。

・データと前処理

研究に用いたデータは分類の基準データとなる既存の国有林情報、森林タイプを分類するための衛星データと分類精度を検証するための白黒空中写真(1997 年 10 月林野庁撮影、縮尺 1/20,000)、そして立地条件の解析に用いた国土地理院発行の 50m メッシュの数値標高データ(DEM)に分かれる。

国有林では森林管理に密接に関連する情報を調査簿で、小班ごとの樹種構成の詳細を示す情報

を樹種簿で管理しており、1997年森林計画編成時のDbase形式のファイルを利用した。1997年編成時の縮尺1/5,000の森林基本図54枚をA0版スキャナで画像化して解像度50cmの画素として地図座標を与えて編集し、GISソフト（米国ESRI社 ArcView ver 3.2）を用いて全林小班界をポリゴンデータとして数値化した。地図座標系には行政で利用されている平面直角座標（第10系）を利用した。各ポリゴンには林小班を示すコードを与えて調査簿および樹種簿のデータとリンクした。

TMデータは最短画素内挿法でバルク補正されたパス108、ロー32の1994年6月16日と1996年9月25日に観測されたデータを利用した。まず、2シーンの対応点33点を選んで座標変換式を求め（1次式、平均二乗誤差RMSE=0.747）、1996年のTMデータを1994年のTMデータに重ね合わせた。森林基本図を利用して、1994年のTMデータについて38点の地上基準点を選定して座標変換式（共二次式、RMSE=0.968）を求めた。そして、座標変換式を用いて1994年と1996年の2つのTMデータを1画素25mのメッシュとして平面直角座標に投影した。

TMデータにあわせてDEMも25mメッシュとして平面直角座標に再投影した。TMデータと空中写真の対応付けを明確にするために、数値化された基本図とDEMを用いて簡易デジタルオルソフォトを作成した。なお、TMデータと空中写真のリサンプリングには最近隣内挿法を、DEMデータのリサンプリングには共一次内挿法を、画像解析には画像解析ソフト（米国ERDAS社 Imagine ver 8.5）を利用した。

・解析方法

解析は以下の手順で構成される。a)分類の基準となる森林タイプ図作成。b)TMデータへのパターン展開法の適用。c)ISODATA法によるパターン展開係数の分類と意味づけ。d)サンプリングと空中写真判読による小班レベルでの精度評価。e)分類精度を判断基準とした分類クラス統合。f)スギ人工林での落葉樹混交の実態解析。a)からc)までは旧米内沢事務所管内の全林分を対象としたが、d)からf)までは調査簿上で樹種がスギ人工林と記録されている林分のみを対象に解析した。

1) 分類基準データの作成

旧秋田営林局では植栽後は森林情報を以下のような手順で更新していた。a)地域と樹種などに応じた収穫予想表を用いて、蓄積の情報を書き換える。b)除間伐などの施業時に地上調査を行い、小班内の樹種構成や実際の蓄積を求めて調査簿と樹種簿のデータを修正する。このようなデータ更新手順が守られていたこと、天然林では樹種構成の大きな変化は少ないと考えられたことから、調査簿および樹種簿はおおむね樹種構成の実態を表すと考えた。

本研究の目的はスギ人工林の成林状況を把握することにある。研究対象地ではスギは落葉広葉樹と競合して成長するが、スギが負けて落葉広葉樹林化する林分が生じる。従って、スギ人工林にどのくらい落葉広葉樹が混交しているかが分かれば、成林状況が明らかになる。なお、最後は調査簿に基づいてスギ人工林について解析したため、常緑樹林のカテゴリはスギ林と見なした。また、この地域にカラマツはほとんどないため、落葉樹林は落葉広葉樹林と見なしてよい。

このため、森林情報に基づいてGIS上で次の手順で分類の基準データを作成した。a)分類項目として常緑樹林(75%以上)、混交林A（常緑樹(50~75%)>落葉樹(25~50%)）、混交林B（落葉樹(50~75%)>常緑樹(25%~50%)）、落葉樹林(75%以上)の4つの森林クラスを設定した。b)衛星データではおもに上層木の反射スペクトルが観測される。しかし、樹種簿にはどの樹種が上層を占めるかについては情報がなく、蓄積に比例して上層の占有率が決まると仮定して、小班単位

で常緑樹と落葉樹の蓄積割合を算出してクラスを決定した。蓄積情報がない幼齢林分は判定不能とした。c)得られた結果に基づいて GIS 上で各クラスに色づけをして分類基準データとした（図 211-1）。

2) パターン展開法の適用

TM データには地形によって生じる陰影があって、森林タイプを正しく分類するためにはこれを補正する必要がある。この補正には DEM を用いた方法（Vincini and Frazzi, 2003）が良く使われるが、地形が複雑な米内沢では DEM と TM データの重なり精度を高く維持することが困難と考えられた。このため、DEM を用いなくても地形の影響を除去できるパターン展開法（藤原ら, 1996）を適用して、その結果であるパターン展開係数を分類に利用した。

パターン展開法は水、土、植生の 3 つの基準スペクトルを利用して、各画素をこれらの寄与率（パターン展開係数）に変換する方法である。本研究では TM データの可視から短波長赤外までの 6 つのチャンネルを用いて最小自乗法でパターン展開係数を推定した。パターン展開の手順は以下のとおりである。a)各 TM データの最小輝度値（パスラディアンズ）を求める。b)平均的な大気分光透過率とパスラディアンズを用いて大気補正を施す。c)TM データから基準となる水、土、植生の大気補正済みのスペクトルを求める。d)基準スペクトルを正規化する。e)TM データを同様に正規化し、基準スペクトルを利用して最小自乗法によって画素ごとにパターン展開係数を求める。

藤原ら(1996)は基準スペクトルを複数シーンの平均値で定めるように勧めているが、季節による植生のスペクトルの違いが解析結果に影響するため、1994 年と 1996 年の 2 シーンについて独立に基準スペクトルを定め、それぞれ独立にパターン展開を行った。

3) TM データによる森林タイプ分類

2 季節の TM データのパターン展開係数を ISODATA 法によって 25 カテゴリに分類した。GIS で作成した分類基準データとカラー表示された TM データを参照しながら、極力、分類結果が視覚的に分類基準データに近づくように各カテゴリに森林クラスを意味づけて分類図を作成した（以下、この分類図を TM 分類図と呼ぶ。図 211-2）。同一クラスの広がりや 2 画素以下の微小エリアについては、3×3 画素のマトリクス内でもっとも出現度数の高いクラスに置き替えた。

4) 空中写真による検証

作成された TM 分類図の精度を検証するために、TM 分類図と空中写真を比較した。予備的な判読作業と現地踏査を行った結果、林齢が 30 年以上の林分でなければ、混交状態の把握は難しいと判断された。このため、林齢が 30 年以上で、面積が 5 ha 以上 15ha 未満の小班を判読の対象とし、この条件を満たす小班のうち 30 の小班を無作為に抽出した。抽出された小班の空中写真を判読し、小班ごとに常緑樹林、混交林 A、混交林 B および落葉樹林を割り当て、検証データを作成した。TM 分類図と検証データを比較し、次の 3 つの場合について小班を最小単位とするエラーマトリクスを作成し、KHAT(Congalton, 1991)を算出して分類精度を評価した。

a) TM 分類図における分類項目ごとの画素数を小班単位で集計した。次に、画素数のもっとも多かった分類項目を小班に割り当てた（統合法 A）。最後に、小班単位で検証データと比較した。

b) TM 分類図の混交林 A と混交林 B の 2 項目を混交林の 1 項目に統合し、小班単位で集計し直した。次に、小班内において画素数の最も多かった分類項目を小班に割り当てた（統合法 B）。

一方、検証データにおいて、混交林Aと混交林Bの2項目を混交林の1項目に統合した。最後に、小班単位で検証データと比較した。

c) TM 分類図の常緑樹林と混交林Aの2項目を常緑樹林の1項目に、混交林Bと落葉樹林の2項目を落葉樹林の1項目に統合し、小班単位で集計し直した。次に、常緑樹林の画素が75%以上を占める小班に常緑樹林、落葉樹林の画素が75%以上を占める小班に落葉樹林、それ以外に混交林を割り当てた（統合法C、図211-3）。一方、b)と同様に検証データにおいて、混交林Aと混交林Bの2項目を混交林の1項目に統合した。最後に、小班ごとに検証データと比較した。

5. 落葉樹混交の実態解析

分類結果を用いてスギ人工林での落葉樹の混交状況の実態を評価するために、小班単位と画素単位で地理情報との関係を解析した。精度評価によって適切と判断された統合法Cを選択し、小

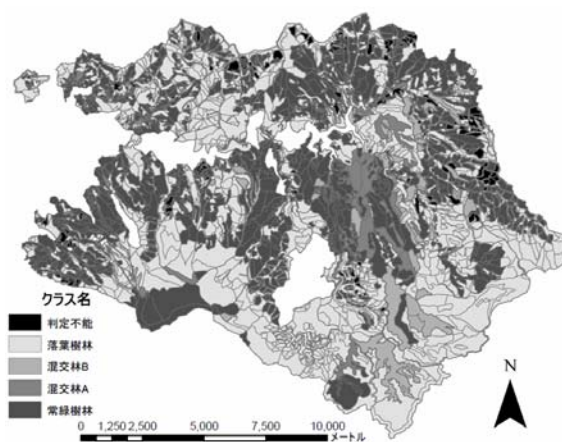


図 211-1. 調査簿と樹種簿から作成した森林分布図（分類基準データ）

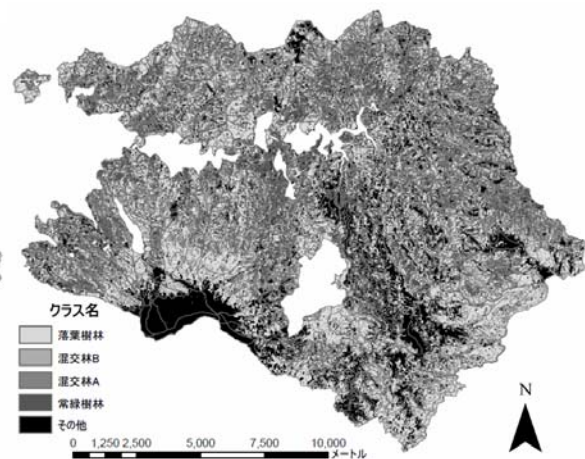


図 211-2. TM データの分類結果（TM 分類図）

いずれも、分類結果を検証するにあたり、旧米内沢事務所管内の全小班を対象にした。図211-2では疎な林分、無立木地と水域を「その他」とした。

班内の落葉樹率と地理情報（標高、斜面傾斜、斜面方位）の関係を解析した。次いで統合法Cの過程で作られた画素ベースの常緑樹林と落葉樹林のクラスに基づいて、同様に地理情報および林齢との関係を解析した。これらの結果に基づいてスギ人工林での落葉樹混交の特徴を明らかにした。

ウ 結果

1) 森林タイプ分類

パターン展開係数の画像をチェックすると、1994年の展開係数では地形の影響は概ね除去されていたが、1996年のデータは太陽高度が低いことから、日射の当たらない斜面では地形の影響が残った。しかし、森林の反射スペクトルは季節によって大きく変化し（栗屋・田中，1999）、その変化を利用して分類したほうが常緑樹と落葉樹を分けやすいと考えられたため（Brown de Colstoun *et al.*, 2003; Tottrup, 2004）、1994年と1996年のパターン展開係数を用いて分類を行った。以下では分類結果に地形の影響がないことを前提に議論を進めた。

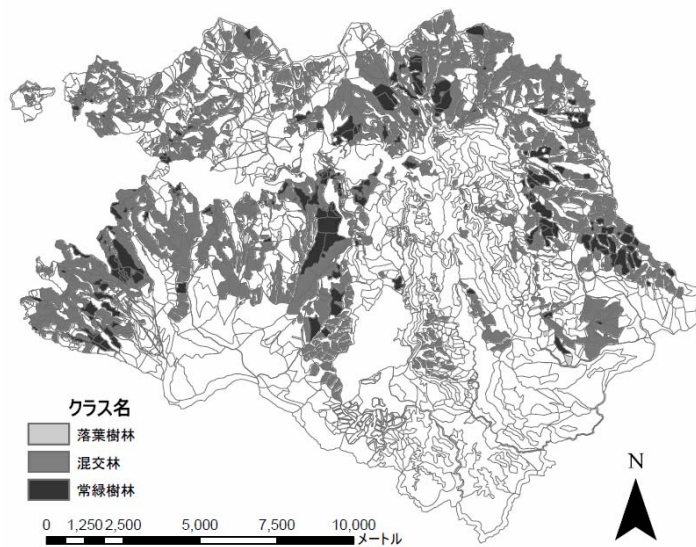


図 211－3．統合法 C による小班単位
の森林タイプ図

スギ人工林を対象にして森林タイプ
(落葉樹の混交状況) について解析を
進めた。

ISODATA 法で得られた分類結果中の 25 個のカテゴリを混交割合に基づく森林の 4 クラスに集約し、急峻地では陰の影響で生じた土地被覆を判定できないカテゴリを無立木地とし、一部は疎な林分と意味づけた。この結果、①常緑樹林、②混交林 A、③混交林 B、④落葉樹林、⑤疎な(露岩等のある)林分、⑥無立木地、⑦水域の 7 クラスに集約できた(図 211－2)。分類基準データ(図 211－1)の複数の森林タイプにまたがるクラスが多かったが、極力分類基準データに近づくように意味づけた。

2) 分類精度

表 211－1 に TM 分類図の精度を検証した結果を示す。表 211－1 中の作成者精度とは検証データが分類結果中で正しく分類されている確率を示し、利用者精度とは検証データに比較して画素が正しく分類されている確率(信頼度)を示す(Congalton, 1991)。全体の分類精度および KHAT の値は統合法 A、B、C の順に大きくなった。統合法 A における全体の分類精度は 40.0%、KHAT は 0.196 であり、精度は低かった。しかし、統合法 C (図 211－3) における全体の分類精度は 90.0%、KHAT は 0.773 と良好だった。常緑樹林と落葉樹林の作成者精度の値は統合法 A、B および C のいずれにおいても 100% であり、実際に常緑樹林あるいは落葉樹林である小班の全てが正しく分類されていた。常緑樹林と落葉樹林の利用者精度の値は統合法 A、B および C の順に大きくなったが、落葉樹林の利用者精度が大きく向上した(28.6%→100.0%)のに対して、常緑樹林のそれはあまり向上しなかった(41.7%→62.5%)。混交林の作成者精度および利用者精度の値も統合法 A、B、C の順に大きくなっていった。統合法 A の場合、実際に混交林 B である小班が存在したにもかかわらず、これらの小班の全てが TM 分類では混交林 B に分類されていなかった。統合法 C における混交林の作成者精度の値は 87.0%、利用者精度は 100.0% であり、高い精度を示していた。

TM データを地図座標変換する過程で生じる位置誤差のため、TM データの 1 画素を空中写真上の 25m 四方のエリアに正確に対応させることは難しい。このため、本研究では調査簿を利用したサンプリングによって、十分な広がりをもった林分を複数選定して精度評価を行った。結果として分類は画素単位だったが（図 211-2）、精度評価は小班単位になった（図 211-3）。統合法 C で高い分類精度を達成できたことから、画素単位では常緑樹林と落葉樹林の 2 つのクラス設定が適切であると判断した。

3) 落葉樹混交の特徴

表-1. 空中写真判読による TM 分類図の精度検証の結果

(a) 統合法A

	空中写真 判読結果				合計(小班数)	利用者精度
	常緑樹林	混交林A(常緑樹>落葉樹)	混交林B(落葉樹>常緑樹)	落葉樹林		
常緑樹林	5	5	2	0	12	41.7
混交林A(常緑樹>落葉樹)	0	5	6	0	11	45.5
混交林B(落葉樹>常緑樹)	0	0	0	0	0	-
落葉樹林	0	4	1	2	7	28.6
合計(小班数)	5	14	9	2	30	
作成者精度(%)	100.0	35.7	0.0	100.0		
全体の精度(%)	40.0					
KHAT	0.196					

(b) 統合法B

	空中写真 判読結果			合計(小班数)	利用者精度(%)
	常緑樹林	混交林	落葉樹林		
常緑樹林	5	6	0	11	45.5
混交林	0	14	0	14	100.0
落葉樹林	0	3	2	5	40.0
合計(小班数)	5	23	2	30	
作成者精度(%)	100.0	60.9	100.0		
全体の精度(%)	70.0				
KHAT	0.474				

(c) 統合法C

	空中写真 判読結果			合計(小班数)	利用者精度(%)
	常緑樹林	混交林	落葉樹林		
常緑樹林	5	3	0	8	62.5
混交林	0	20	0	20	100.0
落葉樹林	0	0	2	2	100.0
合計(小班数)	5	23	2	30	
作成者精度(%)	100.0	87.0	100.0		
全体の精度(%)	90.0				
KHAT	0.773				

(a) 小班内単位で TM 分類図を集計し、画素数のもっとも多い分類項目を検証用の小班に割り当てて、検証用データと比較した。
 (b) TM 分類図の分類項目のうち、「混交林A」と「混交林B」の 2 項目を「混交林」の 1 項目にまとめて、小班ごとに画素数を集計した。画のもっとも多い分類項目を小班に割り当てて、検証用データと比較した。
 (c) まず、TM 分類の分類項目のうち、「常緑樹林」と「混交林A」の 2 つを「常緑樹」の 1 項目にまとめて、さらに、「混交林B」と「落葉樹林」2 項目を「常緑樹」の 1 項目にまとめた。次に、小班ごとに TM 分類図の画素数を集計し、「常緑樹林」が 75% 以上の小班に「常緑樹林」「落葉樹林」が 75% 以上の小班に「落葉樹林」、それ以外の小班に「混交林」を割り当てて、検証用データと比較した。

図 211-4 に小班界をベクタ・ラスタ変換して、画素を単位として小班ごとに集計した落葉樹林の画素の割合（落葉樹率）と斜面傾斜の関係を散布図で示す。散布図はばらつきが大きくて明瞭な関係は認められなかった。標高と斜面方位の場合も傾斜と同様にばらつきが大きかった。この原因は、小班の場所によって立地条件が異なるので、小班単位で求めた平均傾斜は立地因子を必ずしも適切に表現していないためと考えられた。このように図 211-3 は各小班での平均的な落葉樹混交状況を表すものの、落葉樹率と立地因子の関係を検討するには適切ではない。

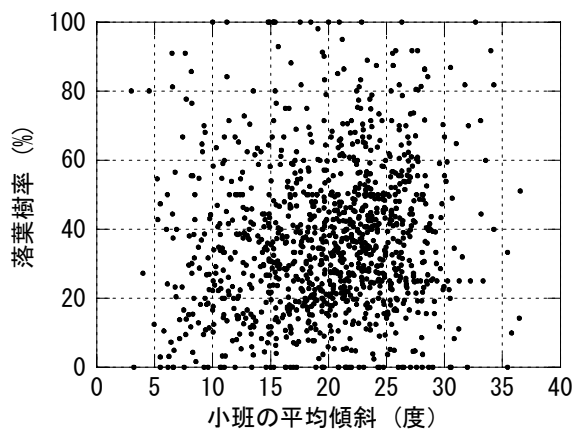


図 211-4. 斜度と落葉樹率の関係（小班単位で集計）

では 30 年生付近で落葉樹率が最小となった後、落葉樹が増える傾向が現れた（図 211-8）。

エ 考察

以上の結果について次のような点を指摘できる。多雪環境の急傾斜地では積雪の移動により根曲がり激しくてスギの成林が困難となるため（豪雪地帯林業技術開発協議会，2000）、急傾斜地で落葉樹が多くなったと考えられる。南東斜面で落葉樹率が高かったことに関しては、以下の 2 つの理由が考えられる。a) 方位と傾斜の関係を検証すると北西側では傾斜 5～25 度の緩やかな斜面が多く、南東側では 15～30 度の急な斜面が多いため、傾斜の影響が現れた。b) 一般に風下側の斜面で積雪が多く森林の発達が阻害される場合が多いが（杉田，1988）、米内沢の場合も空中写真上では冬の北西風の風下にあたる南東斜面の上部で成林の状況が芳しくない林分が目立った。標高の場合に 800m を越えると落葉樹率が上昇する理由としては、一般に標高が高いほど積雪量が多く（中島ら，1993）、寒冷なのでスギが成林しにくいためと考えられる。このように TM 分類図はスギ成林が積雪環境に依存していることを示唆しており、スギ成林は最大積雪深に左右されるといった知見に合致し（横井・山口，2000；豪雪地帯林業技術開発協議会，2000）、妥当と言える。

林齢との関係については、30 年生付近でスギ林が完全に閉鎖するためこの林齢までは落葉樹率が急減する。その後、45～80 年生では落葉樹率がやや高いが 100 年に達する林分では低い（図-8）。これには以下の二つの理由が考えられる。a) 成林できなかった林分は林種転換された（大住，2005）。b) 壮齡林では間伐遅れが目立つものの、間伐が収入になる高齢林では施業が円滑に行われていることを示している。このように TM 分類図はスギ人工林の成林過程の概要を表していると言えそうである。

本研究で提示した GIS 上で森林情報を参照しながら教師なし分類の結果を意味づける方法は広域で参照データを利用できるとともに、簡便で解析者の技量に左右されにくい。この方法を用いて多雪地帯のスギ人工林での落葉広葉樹の混交状況を判定できる有用な分類図を提供できた。TM 分類図から求めた落葉樹率と傾斜の間に明瞭な関係が認められ、積雪の影響が現れたと推察された。TM 分類図はスギ成林の実態を表すとともに、立地情報を組み合わせることで適地判定にも

そこで標高、傾斜、斜面方位と林齢をそれぞれ 50m 間隔、5 度間隔、30 度間隔と 5 年間隔のグループに区切って、各グループ単位で落葉樹林の画素の割合を計算して落葉樹率とし各因子との関係を解析した。その結果、スギ人工林では傾斜が急なほど落葉樹率が高く、両者の関係を一次式で近似できた（危険率 1% で有意。図 211-5）。斜面方位との関係では落葉樹率は南東斜面で高く北西斜面で低い傾向が認められ、サインカーブで近似できた（図 211-6）。標高との関係はやや不明瞭だが標高が 800m を越えると落葉樹率が上昇した（図 211-7）。また、林齢に対し

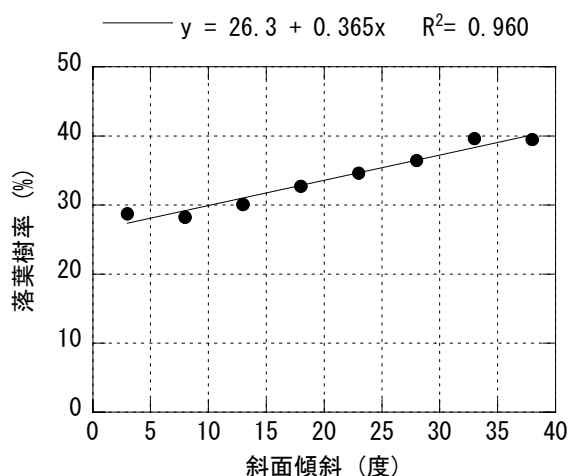


図 211－5．斜度と落葉樹率の関係（画素単位で集計した結果の平均値）

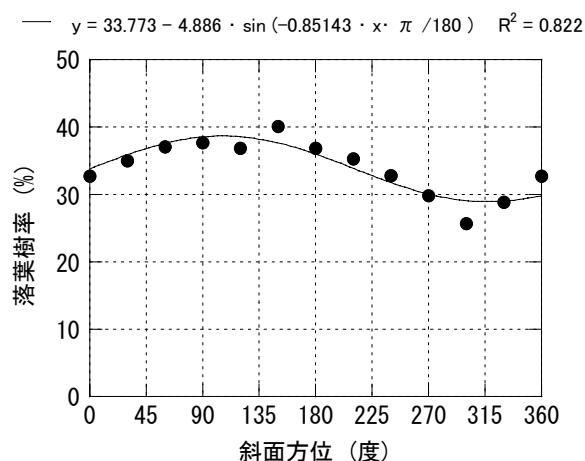


図 211－6．方位角と落葉樹率の関係（画素単位で集計した結果の平均値）

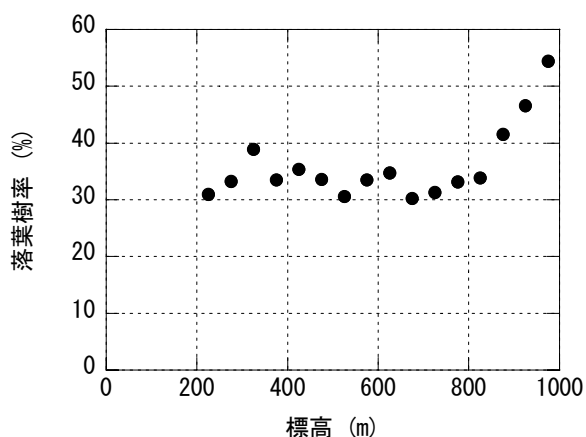


図 211－7．標高と落葉樹率の関係（画素単位で集計した結果の平均値）

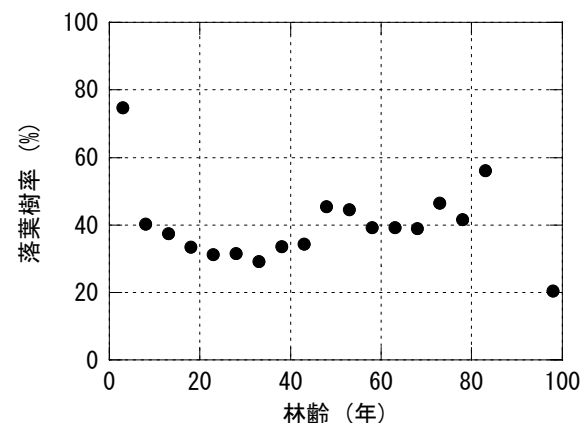


図 211－8．林齢と落葉樹率の関係（画素単位で集計した結果の平均値）

活用できると考えられ、森林管理に有用な情報であると判断された。樹種簿に比べると情報は大まかだが、広域のスギ人工林の実態を表す情報としての価値はあると言えよう。

本研究を実施するにあたり、国有林の情報は林野庁秋田営林局計画課（現林野庁東北森林管理局計画課）に提供していただいた。研究をサポートしてくれた海野達也計画課長（当時）および新林昭一経営企画係長（当時）には厚くお礼申し上げる。また、林小班界を数値化してくれた岩崎悠子さんと、解析結果を作図してくれた矢野葉子さんにお礼申し上げる。

オ 今後の問題点

TM 分類図は樹種簿に比べると情報は大まかだが、広域のスギ人工林の実態を表す情報として森林管理に活用できると期待される。今後は事例を重ねて普遍性を検証することと、他地域の森

林への適用が可能であるか否かを検討することが必要である。

カ 要約

スギの成林への立地環境の影響を理解することを目的に、簡便で汎用性のある方法でスギ人工林での落葉樹混交の実態を解析した。地理情報システム上で調査簿データから森林4クラス（常緑、混交A、混交B、落葉）の分布図（基準データ）を作成した。パターン展開法を用いて1994年6月と1996年9月に観測されたTMデータの地形の影響を除去した後、ISODATA法で25カテゴリに分類し、基準データを参照して森林4クラスを含む7クラスに集約した。さらに森林4クラスを常緑と落葉に統合し、混交率に基づいて小班を常緑、混交と落葉に区分して分類精度を評価するとKHATは0.773だった。常緑と落葉に2区分した分類図は、急斜面ほど落葉樹率が高くて標高800mを越えると落葉樹率が上昇することを示し、斜面での積雪の移動や積雪量と気温がスギの成長を妨げたと考えられた。分類図は混交実態を表すとともに、立地情報を併用すればスギ適地判定などの森林管理に利用可能と言えよう。

キ 引用文献

- 栗屋善雄・田中伸彦 (1999) 冷温帯森林の反射スペクトルの季節変化の特徴：ランドサットTMデータを利用した解析，写真測量とリモートセンシング **38(4)**, 35-46.
- 栗屋善雄・西園朋広 (2005) 多雪地帯スギ人工林での落葉広葉樹混交実態の把握ーランドサットTMデータと森林調査簿情報を用いた解析ー，日林誌，**87(6)**, 293-303.
- Brown de Colstoun, E.C., Story, M.H., Thompson, C., Commisso, K., Smith, T.G. and Irons, J.R. (2003) National park vegetation mapping using multitemporal Landsat 7 data and a decision tree classifier, Remote Sens. Environ. **85**, 316-327.
- Ball, G.H. and Hall, D.J. (1965) ISODATA, A novel method of data analysis and pattern classification, Technical Report, Stanford Research Institute, Menlo Park, CA, 61p.
- Belward, A.S., Taylor, J.C., Stuttard, M.J., Bignal, E., Mathews, J., and Curtis, D. (1990) An unsupervised approach to the classification of semi-natural vegetation from Landsat Thematic Mapper data, A pilot study of Islay, Int. J. Remote Sensing **11**, 429-445.
- Congalton, R.G. (1991) A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, Remote Sens. Environ. **37**, 35-46.
- 藤原昇・村松加奈子・阿波忍・羽澄妙子・落合史生 (1996) 衛星データのためのパターン展開法の開発，日本リモートセンシング学会誌 **16(3)**, 17-34.
- 豪雪地帯林業技術開発協議会（編） (2000) 雪国の森林づくりースギ造林の現状と広葉樹の活用ー，日本林業調査会，東京，189p.
- Häme, T. (1984) Landsat-aided forest site type mapping, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing **50**, 1175-1183.
- He, H.S., Mladenoff, D.J., Radeloff, V.C., and Crow, T.R. (1998) Integration of GIS data and classified satellite imagery for regional forest assessment, Ecological Applications **8**, 1072-1083.
- Hudson, W.H. (1987) Evaluation of several classification schemes for mapping forest cover types in Michigan, Int. J. Remote Sensing **8**, 1785-1796.

- Jiang, H., Strittholt, J.R., Frost, P.A., and Slosser, N.C. (2004) The classification of late seral forests in the Pacific Northwest, USA using Landsat ETM+ imagery, *Remote Sens. Environ.* **91**, 320-331.
- 松本光朗 (2001) 森林情報の現状と将来－整備から活用へ－, *森林計画誌* **35**, 81-86.
- 中島皇・福嶋義宏・小橋澄治 (1993) 暖候性積雪域の山地における気象要素の空間的分布－降雨量・気温・積雪深－, *京都大学農学部演習林報告* **65**, 113-124.
- 小野寺弘道 (1990) 雪と森林, *林業科学技術振興所*, 東京 81p.
- 大住克博 (2005) 多雪地針広混交林はいかにして成立したか－立地そして戦時体制の影響－, *日林大会講演要旨集* **116**, 1E14.
- 林野庁 (2002) 図説 森林・林業白書 平成 13 年度, 農林統計協会, 東京, 336pp.
- 白石則彦 (1999) 我が国のモニタリングシステムの現状と問題点, *森林科学* **27**, 35-37.
- 杉田久志 (1988) 多雪山地浅草岳における群落分布に関わる環境要因とその作用機構－ブナの生育状態に着目して－I. 積雪深と群落分布の関係, *日生態会誌* **38**, 217-227.
- 高木幹雄・下田陽久 (監修) (1991) 画像解析ハンドブック, 775pp, 東大出版会, 東京.
- Tottrup, C. (2004) Improving tropical forest mapping using multi-date Landsat TM data and pre-classification image smoothing, *Int. J. Remote Sensing* **25**, 717-730.
- Vincini, M., and Frazzi, E. (2003) Multitemporal evaluation of topographic normalization methods on deciduous forest TM data, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **41**, 2586-2590.
- Wayman, J.P., Wynne, R.H., Scrivani, J.A., and Reams, G.A. (2001) Landsat TM-based forest area estimation using iterative guided spectral class rejection, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **67**, 1155-1166.
- 横井秀一・山口清 (2000) 積雪地帯におけるスギ人工林の成林に影響する立地要因, *日林誌* **82**, 15-19.

(森林管理領域 栗屋善雄、東北支所 西園朋広)

(2) 秋田県森吉山麓における人工林由来の針広混交林の樹種構成と構造

ア 研究目的

戦後の拡大造林の推進により、植栽木のみでは成林が困難な人工林が高海拔・豪雪地帯を中心にかなりの面積で生じている(前田ら, 1985; 小野寺, 1990; 小野瀬, 1995; 横井・山口, 1998, 2000a; 豪雪地帯林業技術開発協議会編, 2000)。それらの不成績造林地では、多くの場合広葉樹が混生して針広混交林の様相を呈している。このような混生広葉樹は、針葉樹植栽木の育成を目的とする従来の取り扱いのなかでは除伐の対象とされてきたが、そのなかには有用樹種も多く含まれており(大原・小野寺, 1988; 横井・山口, 1998)、近年になってその価値が認識されるようになった。混生樹を生かして人工林を成林に導くことは、広葉樹資源を育成するのみではなく、環境保全や生物多様性の維持の面からも有効と考えられ(横井・山口, 2000b; 豪雪地帯林業技術開発協議会編, 2000)、新しい人工林施業のあり方として注目を集めている(赤井, 1998; 藤森, 2003)。

人工林に由来する針広混交林に関しては、豪雪地帯の不成績造林地を中心に、混交林の林分構造(横井・山口, 1998; 長谷川・平, 2000)や混生樹の侵入過程(Osumi and Sakurai, 1997; Kodani, 1999, 2001; Sakai et al., 2005)、混生樹の取り扱い(長谷川, 1998; 横井・山口, 2000b)など、多岐にわたる研究がある。混交林の樹種構成や林分構造の実態については、地域ごとの広域的な報告(坂上, 1985; 横井・山口, 1998)や流域スケールの空間における広葉樹混交歩合や樹種構成に関する報告(前田, 1992; 正木ら, 2003; Masaki et al., 2004)がみられるものの、報告事例はまだ少ない。スギと広葉樹の混交歩合や広葉樹の樹種構成の実態、標高や積雪深との関係、各樹種の個体群構造、今後の動態の動向など、十分に明らかにされていないことも多い。

秋田県北秋田市の森吉山山麓地域は典型的な多・豪雪地帯であり、スギ不成績造林地由来の針広混交林が広くみられる。ここではランドサットTMデータと森林調査簿情報の解析によりスギ人工林における落葉広葉樹混交の実態が広域的に把握されている(栗屋・西園, 2005)。本研究では、同じ流域を対象に地上調査を行い、スギ人工林由来の混交林の樹種構成と構造の実態について解析した。

イ 研究方法

調査流域は秋田県森吉山北麓の小又川流域で、最深積雪深1.5~3mの多・豪雪地帯である。林冠がほぼ鬱閉した林齢28~43年生(調査時)のスギ人工林由来の混交林20林分およびスギ純林2林分において10m×40mの調査区を設置して毎木調査を行った(表212-1)。各調査区内の胸高直径3cm以上の樹木(低木種を除く)について胸高直径、樹高、階層(林冠木、亜林冠木、被陰木)を調査した。調査は2003年および2004年秋に実施した。

スギの成林度を示す指標として、スギ林冠木平均樹高に応じた秋田県内の標準的なスギ人工林におけるスギ林冠木密度に対する相対値を用いた。標準的なスギ林冠木密度は澤田(2004)によりゴンペルツ式を用いて算出された値を使った。

ウ 結果

(ア) スギの生育状況

各調査区におけるスギの密度は925～3275本/haであったが、小サイズのものを主として被陰木が多く、スギ林冠木密度は325～1400本/haであった(表212-1)。スギ成林度は0.24～1.41の範囲にわたり、標高との間に有意な負の相関があった($p<0.05$)。0.5以下の低い値のものもみられたが、0.5～1のものが多くを占めた。林分胸高断面積に占める広葉樹の割合は最大で57%に達し、スギ成林度との間には顕著な負の相関がみられた($p<0.0001$)。

表212-1 各プロットにおけるスギの生育状況

プロット名	林齢	スギ林冠木		地位*	スギ密度		標準林冠木	標準値に	スギ相対
		平均樹高	(m)		(ha ⁻¹)		密度**	対する相対	胸高断面積
					全本数	林冠木	(ha ⁻¹)	林冠木密度(%)	(%)
		標高	H		A	B	A/B		
丹藤沢1	29	300	11.0	5	3000	1075	1780	60.4	76.7
丹藤沢2	28	320	12.6	4	2175	1400	1575	88.9	89.4
湯ノ岱1	38	320	19.1	2	1625	1400	994	140.9	99.2
太平湖3	35	430	14.1	4	925	925	1409	65.7	75.3
太平湖4	35	440	16.0	3	950	650	1229	52.9	63.9
太平湖2	36	480	9.4	6	2400	750	2019	37.1	46.7
砂子沢峠4	40	500	15.7	4	2050	825	1255	65.7	65.1
砂子沢峠3	40	520	14.0	5	2350	750	1419	52.9	53.1
砂子沢峠2	40	530	13.1	5	3275	1050	1517	69.2	80.9
砂子沢峠1	40	530	12.4	5	3200	1275	1599	79.8	64.3
太平湖1	36	550	12.8	5	1500	1067	1551	68.8	73.4
獅子穴沢3	43	600	14.6	5	1525	325	1358	23.9	44.1
獅子穴沢2	43	620	11.3	6	1825	1100	1739	63.3	76.2
千本杉1	35	640	12.9	5	1475	750	1540	48.7	62.0
千本杉2	35	640	14.0	5	1325	400	1419	28.2	42.9
千本杉3	35	650	13.5	4	1475	500	1472	34.0	57.2
千本杉4	35	660	12.3	5	2150	1050	1611	65.2	72.2
西の又1	34	670	13.8	5	1800	550	1440	38.2	68.0
西の又2	34	690	13.6	5	1850	825	1461	56.5	63.0
西の又3	34	710	12.6	5	1800	1200	1575	76.2	73.8
獅子穴沢1	40	720	14.9	4	1825	975	1329	73.4	96.8
西の又4	34	760	10.3	5	1775	725	1880	38.6	50.7

* 秋田県内スギ人工林の地位別樹高成長表(澤田, 2004)による

** 標準林冠木密度: 林冠木平均樹高に応じた標準的な林冠木密度(秋田県, ゴンペルツ式)(澤田, 2004)

$N = \exp(3.3953(1 + 1.484 \exp(-0.018988H)))$

N: 標準林冠木密度(ha^{-1}) H: 林冠木平均樹高(m)

(イ) 混生広葉樹の樹種構成

22個の調査区には31種の広葉樹が出現した。樹種構成では、ミズナラ、コハウチワカエデ、アオダモなどが出現するタイプと、ウダイカンバ、ウワミズザクラ、キハダなどが出現するタイプがみられた(表212-2)。各タイプの分布としては、前者が里山に、後者が奥山を中心に分布している傾向がみられた。出現樹種のうち林冠層に達したものは20種あり、それぞれの調査区において広葉樹のなかで優占種(胸高断面積ベース)と判定されたものは、ブナ、ウダイカンバ、ミズナラ、アカイタヤ、ホオノキ、コシアブラの6種であった。

表212-2 各樹種の相対胸高断面積(%)

樹種	湯ノ岱 1	丹藤沢 2	獅子穴 1	西の又 1	西の又 4	千本杉 1	西の又 2	西の又 3	砂子沢 4	獅子穴 2	千本杉 2	千本杉 4	太平湖 1	太平湖 3	千本杉 3	獅子穴 3	太平湖 4	砂子沢 1	砂子沢 2	砂子沢 3	太平湖 2	丹藤沢 1
ウダイカンバ				12.1	5.0	9.5	10.7	8.5	11.7	10.5	37.3	5.5				9.1		0.2				
ウミズザクラ	0.7	0.0			0.3	0.3	1.0		0.3	0.1	0.2		0.1	0.2	1.1							
キハダ					1.9	0.2	0.2								1.1							
バッコヤナギ						7.9				0.2		0.8	2.4									0.1
ミズナラ		1.2						0.1	3.4	8.2	1.0	0.7	1.4	4.4	3.8	5.8	35.2	13.8	3.7	4.4	23.4	11.4
アオタモ																	0.1	0.1	0.0	0.0		
カスミザクラ																					1.3	
キタコヨウ																					2.4	
コハウチワカエデ																0.1			0.2		1.2	0.1
ネズコ																		0.2			0.9	
ブナ	2.2	1.3	6.6	34.8	7.2	18.3	16.9	15.7	1.5	11.2	17.2	12.0	11.6	21.0	25.3	0.1	18.9	13.8	36.1	15.4	5.4	
イタヤカエデ	0.6	0.1	9.3	3.4	5.3	2.7		0.9	0.4	2.2	0.7	2.5	1.9	4.2	3.1	0.6	0.7	0.5	0.9	1.2	0.7	
コシアブラ	0.1		1.2	0.9	4.3	2.3	0.6	1.5	0.2	2.7	0.7	2.6	1.8	2.5	0.8		0.3	0.2	2.5	0.9		
ホオノキ	0.5	4.2	1.5	0.5	0.6	0.1	0.1	1.3	0.3	1.1		2.8	2.3	6.2	7.7		0.1	0.3	1.3	1.9	2.7	
ハウチワカエデ	0.0	0.5	0.3	0.7	1.2	0.9	0.6	0.0	1.6	0.5	1.6	0.1	0.4	0.8	2.1	0.0	0.5	0.6	0.6	3.1		
ヤマウルシ						0.1			0.1	0.3	0.0	0.1			0.1					1.1		
リョウブ					0.0					0.5	0.1	0.1	0.1		0.2					0.1		
アズキナシ										0.0	0.6	1.5	0.1		0.7		0.1			0.4		
ウリハダカエデ													0.5	1.9								
オオハホダイジュ				1.5											0.5						0.9	
シナノキ													0.5									
ハクウンボク		1.0												0.2							0.9	
カツラ	0.2																					
オヤマザクラ																0.8						
コミネカエデ																			0.1			
サウシバ																					0.1	
スルデ																					0.5	
ハリギリ		0.2		0.4	1.5	0.6	0.1				0.0	0.1		1.5					0.4		0.3	
ナナカマド				1.1		0.1			0.1	0.2		0.1					0.6	0.0				
ミズキ		0.1		0.1	0.3							0.1										0.2
トチノキ	0.1	0.1		0.1	0.0																	
スギ	99.2	89.4	96.8	68.0	50.7	62.0	63.0	73.8	65.1	76.2	42.9	72.2	73.4	75.3	57.2	44.1	63.9	64.3	80.9	53.1	46.7	76.7

エ 考察

今回の調査プロットの多くはスギの成林度が1よりも小さい値を示し、0.5以下のものも見られ、最低で0.2であった。スギ林冠木の密度を低下させる要因として積雪環境が重要であると考えられている(佐藤, 1988; 横井・山口, 2000a)。岐阜県飛騨地方での解析事例では、最深積雪深1.5m以下ではスギ経済林の成林が確実、1.5~2.5mでは地形条件によって経済林が成林しない部分が生じる可能性がある、2.5m以上は経済林の成林が見込めない、とされている。また、用材としては期待できないが高木には成長できると期待できるものも含めたスギの成林度については、2.0m以下では成林状況が良好であるが、それ以上では成林度の低い林分が出現するとされている(横井・山口, 2000a)。本調査地域の最深積雪深は1.5~3mの範囲にわたり、スギの成林が困難なところかなりの割合で出現していることが想定される。高標高域ほどスギ成林度が低い傾向は、積雪深が標高に応じて増加することを反映していると考えられる。成林度が低下するにつれてスギの胸高断面積比率は低下し、替わりにブナ、ウダイカンバ、ミズナラ、アカイタヤ、ホオノキなどの高木性の広葉樹が林冠を構成して混交林が成立している。したがって、雪害等で生じたスギ林冠木密度の低下による現存量減少を広葉樹の混交が補っていることが示唆される。

冷温帯の人工林に混交する主要な樹種については、兵庫県中央部ではミズナラ、ミズメ、アカシデ、ホオノキなど(赤井ら, 1989)、岐阜県飛騨地方(横井・山口, 1998)や石川県白峰村(小谷, 1990b)ではミズキ、ミズナラ、ウワミズザクラなど、富山県長棟ではウダイカンバ、ミズメ、ホオノキ、ウワミズザクラ、キハダなど(長谷川・平, 2000)、青森県白神山地ではキハダ、ミ

ズキ、サワグルミ、イタヤカエデ、ウワミズザクラなど(Masaki et al., 2004)、北海道ではシラカンバ、ダケカンバ、ミズナラ、シナノキ、イタヤカエデ、キハダ、ウダイカンバなど(坂上, 1985)が報告されている。また、ブナの混交する事例が豪雪地帯の新潟県五味沢(前田ら, 1985)や鳥取県扇ノ山(前田, 1992)で報告されている。アカマツが混交する事例も各地で見られる(赤井ら, 1983)。これらの報告事例では本研究と共通する樹種も多いが、地域によるちがいがみられるようであり、今後資料の蓄積をまって詳細な解析を行う必要がある。とくに積雪深との関係の解明が期待される。

人工林に侵入する樹種の特徴として、風や鳥によって種子が広範囲に散布され、埋土種子として長期間生存することのできる樹種が多いことが指摘されている(長谷川・平, 2000; Masaki et al., 2004; Sakai et al., 2005)。本調査流域においても、主要混生樹種のうちウダイカンバは風散布樹種であり、ホオノキは被食型の果実をもち鳥により散布される樹種である。そして、両樹種は埋土種子による種子バンクを形成することが知られている(Osumi and Sakurai, 1997; 小澤, 1950)。伐採、地拵え、植栽の一連の作業による地表攪乱は、落葉層に被覆されて発芽せずに休眠していた埋土種子の発芽を促進し、これらの樹種の侵入に寄与したのであろう。一方、ブナとミズナラはこのような特性をもちあわせていないが、人工林造成前の林分の優占種であったことが主要混生樹種となった要因であろう。

本調査流域における主要混生広葉樹のうち、ウダイカンバ、ブナは合板、家具材、内装材、ミズナラは家具材、ホオノキは器具材などとして有用である。このように人工林混生樹に有用広葉樹が含まれていることは、広葉樹資源としても期待できることを示唆している。

オ 今後の問題点

今回の調査によってこの地域の針広混交林におけるスギと広葉樹の混交歩合、広葉樹の樹種構成について概要を明らかにすることができた。しかし、今後の混交林の動態については継続的な調査を行うことが必要である。また、この地域の針広混交林のほとんどは除伐が実施されており、広葉樹が除伐されてあいた穴がスギの成長によって埋まることなく、場所によってはツルが繁茂しているところも多く、除伐実施林分の実態調査も行う必要がある。

カ 要約

秋田県森吉山北麓の小又川流域のスギ人工林由来の混交林を対象に樹種構成と構造の実態について、スギ林冠木平均樹高に応じた秋田県内の標準的なスギ人工林におけるスギ林冠木密度に対する相対値を指標とするスギ成林度を用いて解析した。調査林分のスギ林冠木密度は325~1400本/ha、スギ成林度は0.24~1.41の範囲にわたり、標高との間に有意な負の相関があった。林分胸高断面積に占める広葉樹の割合とスギ成林度との間には顕著な負の相関がみられた。樹種構成では、ミズナラ、コハウチワカエデ、アオダモなどが出現するタイプと、ウダイカンバ、ウワミズザクラ、キハダなどが出現するタイプがみられ、前者が里山に、後者が奥山を中心に分布している傾向がみられた。主要な混生広葉樹はブナ、ウダイカンバ、ミズナラ、アカイタヤ、ホオノキ、コシアブラなどであった。

キ 引用文献

- 赤井龍男（1998）低コストな合自然的林業．143pp. 全国林業改良普及協会，東京．
- 赤井龍男・古野東洲・真鍋逸平・上田晋之助（1989）階層混交した不成績人工林の構造と取り扱い方について．京大演報 61:71-84.
- 赤井龍男・吉村健次郎・真鍋逸平・上田晋之助・本城尚正（1983）混交複層林の構造と造成法（1）ヒノキ、アカマツ、広葉樹の階層混交について．京大演報55:63-79.
- 栗屋善雄・西園朋広（2005）多雪地帯スギ人工林での落葉広葉樹混交実態の把握ーランドサットTMデータと森林調査簿情報を用いた解析ー．日林誌 87(6):490-496.
- 藤森隆郎（2003）新たな森林管理 持続可能な社会に向けて．428pp. 全国林業改良普及協会，東京．
- 豪雪地帯林業技術開発協議会編（2000）雪国の森林づくり．189pp. 日本林業調査会，東京．
- 長谷川幹夫（1998）多雪地のスギ造林地に侵入したウダイカンバの消長に及ぼす下刈り，除伐の影響．日林誌 80:223-228.
- 長谷川幹夫・平 英彰（2000）多雪地帯のスギ造林地に侵入した広葉樹の種組成構造の特徴．日林誌 82:28-33.
- 小谷二郎（1990）積雪地帯における広葉樹林造成・改良技術．石川県林試研報 21:1-13.
- Kodani,J. (1999) Invasion pattern of nine deciduous broad-leaved species in a snow-damaged *Cryptomeria japonica* plantation. Japanese J. For. Environ. 41:1-6.
- Kodani,J. (2001) The effects of canopy gaps on seedling emergence and growth of two deciduous broad-leaved species (*Cornus controversa* and *Prunus grayana*) in a *Cryptomeria japonica* plantations. J. For. Res. 6:303-305.
- 前田禎三・宮川 清・谷本丈夫（1985）新潟県五味沢におけるブナ林の植生と跡地更新ースギ造林地の成績とブナの天然更新の提案ー．林試研報 333:123-171.
- 前田雄一（1992）鳥取県扇ノ山におけるスギ不成績地の現状と有用広葉樹の動態．森林立地 34(1):43-49.
- 正木 隆・中村松三・太田敬之・大谷達也・大原偉樹・杉田久志・斎藤宗勝・神林友広・長池卓男（2003）白神山地奥赤石林道沿いのスギ・広葉樹混交林の群集構造と5年間の変化．東北森林科学会誌 8:72-83.
- Masaki,T., Ota,T., Sugita,H., Oohara,H., Otani,T., Nagaike,T. and Nakamura,S. (2004) Structure and dynamics of tree populations within unsuccessful conifer plantations near the Shirakami Mountains, a snowy region of Japan. For. Ecol. Manage. 194:389-401.
- 小野寺弘道（1990）雪と森林．81pp. 林業科学技術振興所，東京．
- 小野瀬浩司（1995）スギ不成績造林地の拡大防止と改良施業（I）スギ不成績造林地の実態と類型化．山形県林試研報 25:51-56.
- 大原偉樹・小野寺弘道（1988）豪雪地帯の造林地における広葉樹の侵入実態．99回日林論，299-300.
- Osumi,K. and Sakurai,S. (1997) Seedling emergence of *Betula maximowicziana* following human disturbance and the role of buried viable seeds. For. Ecol. Manage. 93:235-243.
- 小澤準二郎（1950）土中に埋もれた林木種子の発芽力．林業試験集報 58:25-43.

坂上幸雄（1985）造林地に侵入した広葉樹の樹種数と本数．北方林業 37:285-288.

Sakai,A., Sato,S., Sakai,T., Kuramoto,S. and Tabuchi,R. (2005) A soil seed bank in a mature conifer plantation and establishment of seedlings after clear-cutting in south-west Japan. J. For. Res. 10:295-304.

佐藤啓祐（1988）豪雪地帯における実生スギ林分の利用率の推定法．山形県林試研報 18:61-105.

澤田智志（2004）長期育成循環施業に対応する森林管理技術の開発．秋田県森技研報 13:65-88.

横井秀一・山口 清（1998）積雪地帯のスギ不成績造林地におけるスギと広葉樹の生育実態．森林立地 40(2):91-96.

横井秀一・山口 清（2000a）積雪地帯におけるスギ人工林の成林に影響する立地要因．日林誌 82:15-19.

横井秀一・山口 清（2000b）積雪地帯におけるスギ不成績造林地の取扱い ―スギと広葉樹の成長過程からみた施業案―．森林立地 42:1-7.

杉田久志・大原偉樹・金指達郎*・西園朋広・星野大介・森澤 猛・櫃間 岳・関 剛・梶本卓也**・太田敬之*・八木貴信・橋本 徹(森林総研東北)・和田 覚・澤田智志(秋田県森林技術センター)，（現所属：*森林総研，**森林総研九州）

2. 不成績人工林由来の針広混交林の林分構造と成立過程の解明

(1) スギ人工林の標高階別成績と混交林化の実態解明

ア 研究目的

秋田県では昭和40年前後を中心にスギの一斉拡大造林が進められ、現在36万haにも及ぶ全国一のスギ人工林が成立している。しかし、木材価格の低迷等により、十分な管理ができなくなっている。特に奥地の人工林は、社会的条件で不利なほか、自然的には多雪な環境下であり、より管理が難しい状況にある。その一方で、雪害によりスギが消失した人工林では、空間に様々な広葉樹が侵入し、スギ人工林由来の針広混交林を形成することが多い。こうした混交林は、維持管理の困難なスギ人工林の管理に比べ、森林化への造成手法として有望と考えられ、経済林以外の新たな価値の創出が期待できる。そこで、積雪深や雪害と関連が深く、普遍的に汎用できる標高をベースに、スギ人工林の成績とそれに対応した広葉樹の混交実態について調査した。これを基に、スギ人工林を経済林として維持すべきか否か、針広混交林に誘導すべきか否かの線引きについて検討した。

イ 研究方法

秋田県東成瀬村椿川と西木村下田（現仙北市）の小流域を調査対象とした。東成瀬村の調査流域は奥羽山脈の西斜面にあり、山頂で岩手県に接する。地滑り地形により傾斜は比較的なだらかなのである。一方、西木村の調査流域は太平山系の東斜面にあり、山頂で秋田市に接する。地質は花崗岩で比較的急傾斜な環境にある。両者は小流域レベルで見れば、斜面方位、斜面傾斜で大きく

表221－1 調査地一覧

NO.	位置	標高(m)	林齢	除伐回数
1	東成瀬村椿川	300	13	－
2	東成瀬村椿川	500	15	－
3	東成瀬村椿川	660	32	2
4	東成瀬村椿川	710	32	2
5	東成瀬村椿川	750	32	2
6	東成瀬村椿川	820	31	2
7	東成瀬村椿川	850	31	2
8	東成瀬村椿川	890	31	2
9	東成瀬村椿川	960	28	2
10	東成瀬村椿川	970	28	2
1	西木村下田	310	33	2
2	西木村下田	410	33	2
3	西木村下田	500	33	2
4	西木村下田	600	33	2
5	西木村下田	740	30	2
6	西木村下田	780	30	2
7	西木村下田	800	30	2

異なる。いずれの流域も、大部分は拡大造林地で、上部はブナ林と接し、最深積雪は2.5mにも及ぶ。この流域内のスギ人工林内に、400m²（幅10m×長さ40m）の調査プロットを、東成瀬村では標高300m～970mの範囲に10箇所、西木村では標高310m～800mの範囲に7箇所、標高階を変えて設置した（表221－1）。調査はスギについては樹高、胸高直径、傾幹幅、雪害の種類等を、広葉樹については胸高直径2cm以上を対象に、樹種を記録、樹高、胸高直径を測定した。また、1プロットあたり、幅10m×長さ10m毎の中心位置に2m×2mのサブプロットを計4箇所設け、胸高直径2cm満たない広葉樹やササ類について密度や種類を調べた。施業履歴については関係者から聴き取りを行った。東成瀬村の最も標高の低い林齢13年生と15年生のプロットは除伐未実施、それ以外は両流域とも林齢28年～33年生で、いずれも2回の除伐が実施され、最後の除伐から9年以上が経過し、間伐は実施されていない。

2005年2月23日～24日には、標高と積雪深の関係について把握するため、緯度的に秋田県のほぼ中央を横断する、秋田市河辺－田沢湖畔－秋田駒ヶ岳のラインで、積雪深を調査した。調査は、標高75mから1,026mの範囲にある19地点の落葉広葉樹林内において、積雪位置を樹木にマーキングし、雪解け後に地上からの高さを測定した。最寄りの秋田地方気象台角館気象観測所における最深積雪と、当該調査日の積雪の比を求め、調査結果に乘じ、当該調査地点の最深積雪を推定した。この値を基に、標高と最深積雪の関係式を求めた。

ウ 結果

（ア）標高とスギ人工林の成績

二つの調査流域における標高とスギの成立本数の関係を図221－1に示した。スギの成立本数は標高の増加に応じて減少し、標高およそ600mを越えると、植栽本数の約半分にあたる1,500本/haを下回るようになった。図221－2では、標高とスギの樹高成長との関係を示した。樹高につ

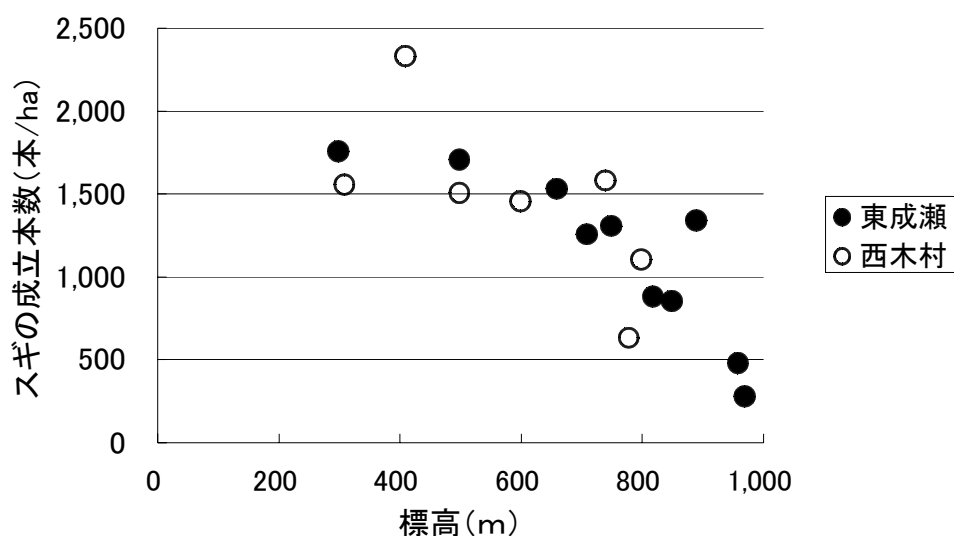


図221－1 標高とスギ成立本数の関係

いては、各調査地の^{上層木平均樹高}について、地位指数曲線（秋田県林務部，1980）の最低ラインにあたる地位5級の値に対する比率で示した（地位5級＝100）。この値についても標高の増加に応じて低下し、標高およそ600mを越えると地位5級を下回る値となった。図221－3では、標高と雪害との関係について、根元曲がりの指標である傾幹幅で示した。上層木平均傾幹幅は、標高の増加に応じて増加した。標高およそ600mを越えると1.2m以上となり、胸高位置における幹の傾きが45度以上となった。

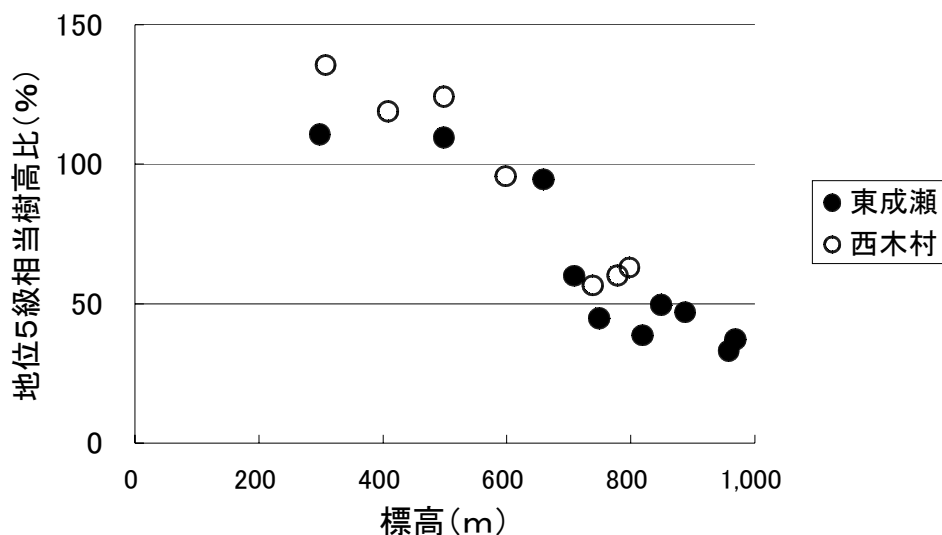


図221－2 標高とスギの成績（上層木平均樹高/地位5級相当樹高×100）

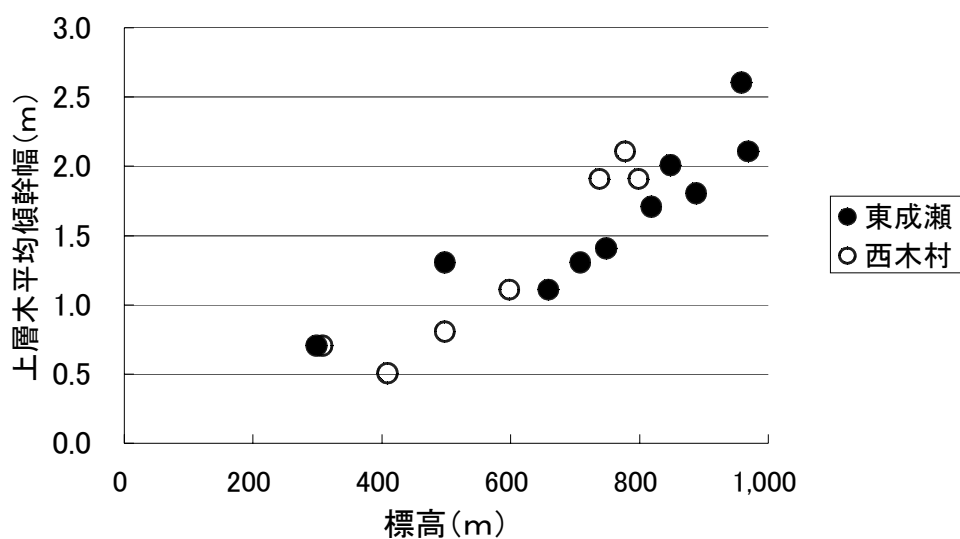


図221－3 標高とスギ上層木平均傾幹幅の関係

(イ) スギ人工林への広葉樹の侵入状況

スギ人工林に侵入した胸高直径2cm以上の広葉樹を出現率で示し、調査流域どうし、さらには岐阜県での調査結果（横井・山口，1998）と比較し、表221－2に示した。両流域で出現率が高かった樹種は、ミズキ、コシアブラ、リョウブ、ウワミズザクラ、ブナ、タムシバ、ヤマウルシ、ホオノキ、ベニイタヤ、ミズナラなどであった。これらは岐阜県での調査結果と共通した樹種であった。スギ人工林への高木性広葉樹（DBH $\geq$ 2cm）の侵入状況について、東成瀬の除伐未実施の2箇所を除いて解析した。図221－4では標高と高木性広葉樹の発生本数との関係を示した。標高と高木性広葉樹の発生本数に明確な対応関係は認められなかったが、東成瀬村では標高750mから850mのプロットで、西木村では500mから800mのプロットで高木性広葉樹がスギを上回った。図

表221－2 スギ人工林に出現した広葉樹

種名		生活形	種子散布型	出現率 ¹⁾ (%)		
				東成瀬	西木村	岐阜県 ²⁾
ミズキ	<i>Swida controversa</i>	中高木	鳥	80.0	71.4	57.6
コシアブラ	<i>Eleutherococcus sciadophylloides</i>	中高木	鳥	60.0	100.0	21.2
リョウブ	<i>Clethra barbinervis</i>	小高木	鳥	60.0	71.4	27.3
ウワミズザクラ	<i>Prunus grayana</i>	中高木	鳥	50.0	85.7	36.4
ブナ	<i>Fagus crenata</i>	高木	小動物	50.0	85.7	27.3
タムシバ	<i>Magnolia salicifolia</i>	小高木	鳥	50.0	71.4	18.2
ヤマウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i>	小高木	鳥	50.0	57.1	24.2
ホオノキ	<i>Magnolia hypoleuca</i>	高木	鳥	40.0	85.7	33.3
ベニイタヤ	<i>Acer mono</i>	高木	風	40.0	57.1	18.2
ミズナラ	<i>Quercus crispula</i>	高木	小動物	20.0	57.1	51.5
タラノキ	<i>Aralia elata</i>	低木	鳥	40.0	28.6	12.1
ツノハシバミ	<i>Corylus sieboldiana</i>	低木	小動物？	40.0	28.6	30.3
オオバクロモジ	<i>Lindera umbellata</i>	低木	鳥	10.0	57.1	24.2
ハウチワカエデ	<i>Acer japonicum</i>	中高木	風	10.0	42.9	3.0
タニウツギ	<i>Weigela hortensis</i>	低木	風？	20.0	14.3	33.3
ウリハダカエデ	<i>Acer rufinerve</i>	中高木	風	40.0	71.4	30.3
キハダ	<i>Phellodendron amurense</i>	高木	鳥	50.0	14.3	30.3
ナナカマド	<i>Sorbus commixta</i>	中高木	鳥	40.0	28.6	9.1
ハクウンボク	<i>Styrax obassia</i>	中高木	小動物	10.0	42.9	3.0
シナノキ	<i>Tilia japonica</i>	高木	風	10.0		15.2
キブシ	<i>Stachyurus praecox</i>	低木	小動物	10.0		9.1
サワグルミ	<i>Peterocarya rhoifolia</i>	高木	風		14.3	6.1
トチノキ	<i>Aesculus turbinata</i>	高木	小動物		14.3	9.1
バッコヤナギ	<i>Salix caprea</i>	中高木	風	30.0		36.4
テツカエデ	<i>Acer nipponicum</i>	中高木	風	20.0		
オオバボダイジュ	<i>Tilia maximowicziana</i>	中高木	風	20.0		
アズキナシ	<i>Sorbus alnifolia</i>	中高木	鳥	10.0		15.2
ヤマグワ	<i>Morus australis</i>	中高木	鳥	10.0		3.0
ヤマモミジ	<i>Acer amoenum var.matsumurae</i>	小高木	風	10.0		6.1
エゴノキ	<i>Styrax japonicus</i>	中高木	小動物	10.0		
クリ	<i>Castanea crenata</i>	高木	小動物	10.0		
ヌルデ	<i>Rhus javanica</i>	小高木	鳥	10.0		9.1
マルバマンサク	<i>H. japonica var.obtusata</i>	小高木	小動物？		85.7	18.2
ミネカエデ	<i>Acer tschonoskii</i>	小高木	風		57.1	
オオカメノキ	<i>Viburnum furcatum</i>	低木	鳥		42.9	
ウダイカンバ	<i>Betula maximowicziana</i>	高木	風		28.6	9.1
コミネカエデ	<i>Acer micranthum</i>	小高木	風		28.6	3.0
ノリウツギ	<i>Hydrangea paniculata</i>	低木	風		14.3	

注：1) その樹種が出現(DBH $\geq$ 2cm)した調査地数の全調査地数に対する割合。

2) 岐阜県のデータは、横井・山口(1998)による。

221－5では、スギの成立本数と高木性広葉樹の発生本数との関係を示した。スギの密度が高ければ、広葉樹の侵入が少なくなる傾向は見られるが、スギが少ないからといって必ずしも広葉樹が多くなるわけではなく、両者に高い相関関係は見られなかった。この点に関しては横井（2000）も同じような結果を示している。

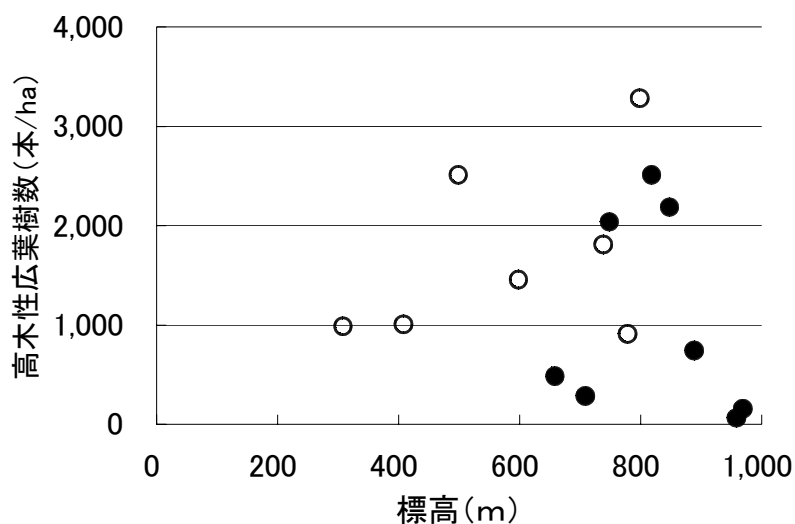


図221－4 標高と高木性広葉樹発生数の関係

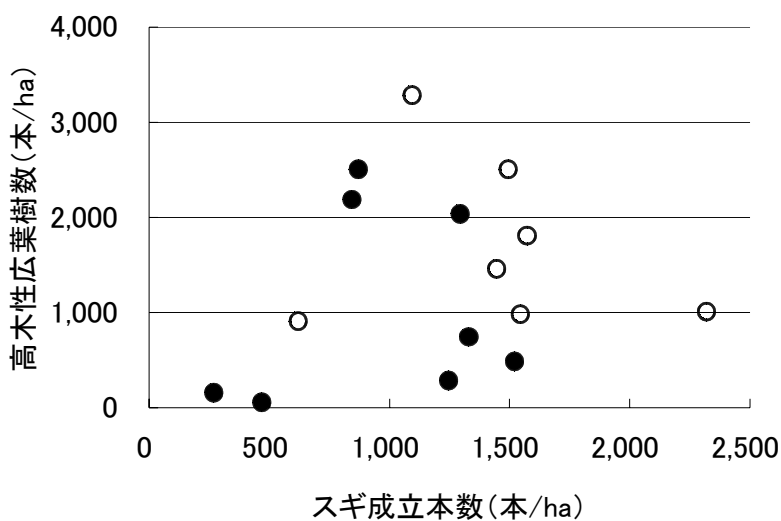


図221－5 スギ成立本数と高木性広葉樹発生数の関係

(ウ) スギ人工林へのササの侵入状況

図221－6では、標高とササの桿密度との関係を示した。標高600m以下ではササはないか、あっても m^2 あたり2本以下であった。標高600mを越えるとササの密度が増加し、800mを越えると15本/ m^2 以上、多い場合は30本/ m^2 以上と密生した。ササの種類は、東成瀬村では、標高660m以下で

はチマキザサ節のチマキザサ、クマイザサであったが、標高710m以上ではチシマザサのみとなった。西木村でもこれら3種のササ類が確認されたが、標高との対応関係は見られず、場所によっては混在していた。

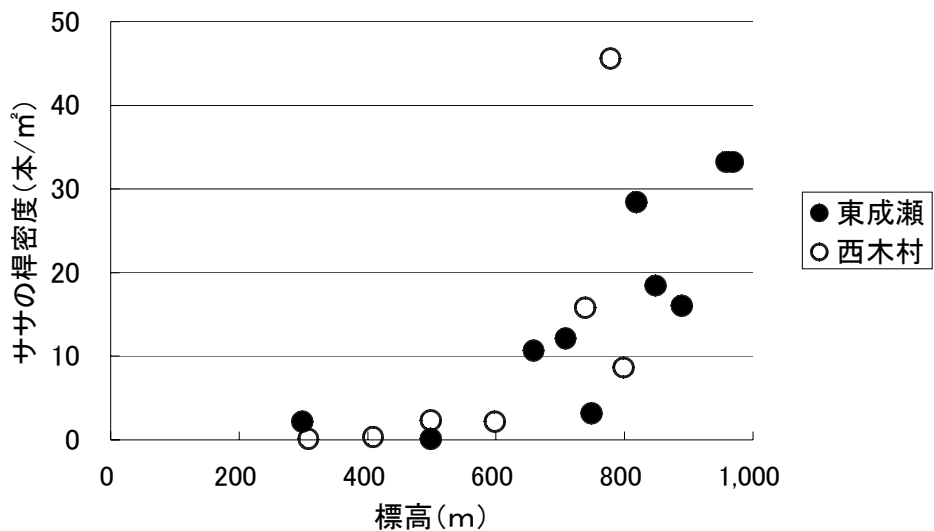


図221－6 標高とササ桿密度の関係

(エ) 標高と最深積雪の関係

標高と最深積雪の関係およびその関係式を図221－7に示した。両者は高い相関関係（ $r = 0.9065$ ）にあった。標高600mから700mぐらいにかけて最深積雪は2mを越えるようになり、標高1,000mで3m程度となった。

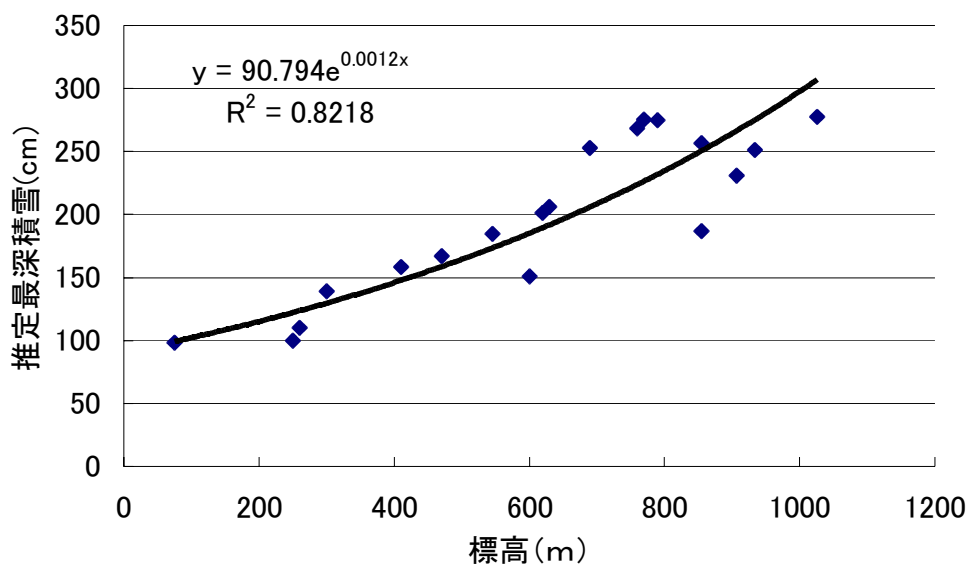


図221－7 標高と最深積雪の関係

エ 考察

(ア) 標高によるスギ人工林維持のための線引き

標高が増すに従い、積雪深は増大し、スギの成績は全般に悪化していくが、スギ人工林として維持管理が可能な最低限の範囲については、マクロな線引きが必要である。立地環境の異なる2つの小流域における、主に30年生前後のスギ人工林の成績は、標高およそ600m以下であれば、植栽本数の約半分以上にあたるスギは生存し、成長は地位5級以上の成績を満たし、根元曲がり（傾幹幅）は1.2m未満にあった。これらのことから、秋田県における、スギ人工林として最低限維持可能な標高の範囲は、600m以下と考えられた。なお、標高と最深積雪の関係式では、標高600mで最深積雪187cm、標高660mで最深積雪200cmと算出された。

(イ) 侵入広葉樹の樹種特性

スギ人工林に侵入が見られた広葉樹は、鳥散布等、散布範囲の広い種子をもち、しかも、結実数が多く、結実齢が比較的早い特性をもつ樹種（ミズキ、コシアブラ、リョウブ、ウワミズクラ等）が多いと考えられた。また、スギ植栽以前に当該地域で優占していたと考えられる樹種（ブナ、ミズナラ等）も多く、いずれは広葉樹の主体をなしていくものと推察された。これら樹種は、位置的には遠く離れた岐阜県での調査結果（横井・山口，1998）とも共通しており、スギ人工林、特に不成績造林地への侵入広葉樹として普遍性が高いと推察された。

(ウ) スギー広葉樹ーササの関係

スギ人工林の混交林化は、スギの成績が悪いほど広葉樹の侵入する空間が増し、促進されるものと推察される。しかし、前述のとおり、スギが少ないからといって必ずしも広葉樹が多くみられるわけではなく、広葉樹の侵入を阻害するなんらかの要因が考えられる。図221-8では、スギの成績（胸高断面積合計）とササの桿密度の関係を示し、広葉樹の侵入が1,500本/ha以上の調査地と1,500本/ha未満の調査地に分けて示した。全般にスギの胸高断面積合計が高いほどササの侵入は少なくなったが、断面積合計が20m²以下では、ササの侵入が多い場合と少ない場合があっ

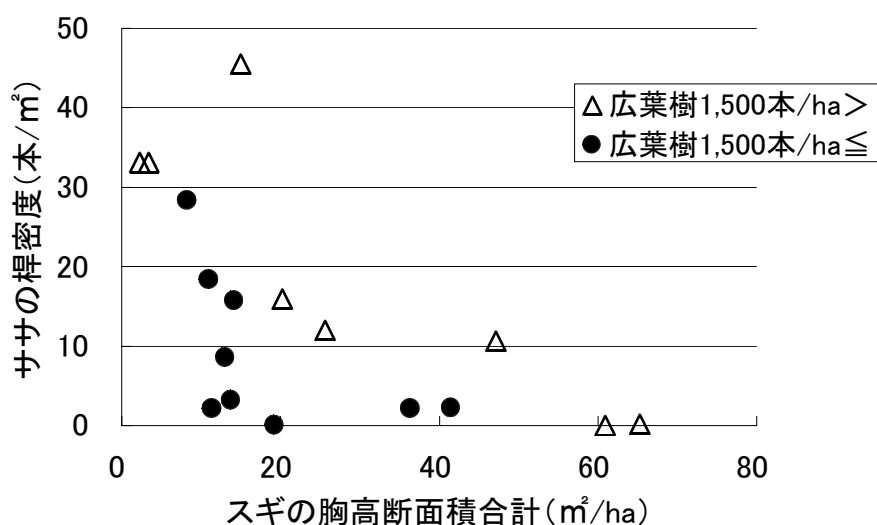


図221-8 スギの胸高断面積合計とササの桿密度、広葉樹の関係

た。広葉樹の侵入が1,500本/ha以上見られた調査区は、ササの桿密度が30本/㎡未満で、スギの胸高断面積合計が小さい場合が多かった。これらのことから、スギの成績が悪い場合には、広葉樹の侵入が促されるケースと、ササ類が繁茂してしまうケースの二つのパターンがあるものと考えられた。特に標高が高い場合は、図221-5に見られるとおり、ササが繁茂するパターンが多いと見られ、具体的には標高900m以上では、スギ人工林としてはもちろん、混交林化も難しいと考えられた。

オ 今後の問題点

本課題では、標高やスギの成績に応じた混交林の実態や、誘導に向けた目安を示した。今後、混交林としての管理手法として、広葉樹の発生を促すための手法、混交林誘導に向けた除間伐等の扱い、混交林としての機能評価など具体的に提示していく必要がある。また、ここでは主に不成績造林地由来の混交林について扱ったが、近年は、低標高域の必ずしも成績が悪くない人工林でも混交林化に向けた動きがある。こうした森林に対する混交林化手法についても検討していく必要がある。

カ 要約

大規模に造成されたスギ人工林を今後とも維持していくべきかどうか、あるいは混交林に誘導すべきかどうかを検討するため、積雪環境と関連が深く、汎用性が高い、標高をベースに、スギ人工林の成績と混交林化の実態を調査した。スギの成績は、標高の増加に応じて低下したが、標高600m以下であれば、スギの成立本数は植栽本数の半分以上が維持され、成長は地位級の最低ライン（地位5級）を満たし、雪害の指標である傾幹幅も1.2m以内に収まった。これらのことから、スギ人工林を最低限維持していくためのラインとして、標高600mの線が妥当と考えられた。

スギ人工林に侵入が見られた広葉樹は、ミズキ、コシアブラ、ウワミズザクラ、ブナ、ミズナラなどで、これらはスギ不成績造林地に普遍的に多く見られた。広葉樹の侵入は、スギの成績が良い場合には少なくなる傾向にあるが、スギの成績が悪い場合には必ずしも多くなるわけではなかった。東成瀬村では標高750mから850mのプロットで、西木村では500mから800mのプロットで高木性広葉樹がスギを上回った。標高600mを越えるとササの繁茂が多くなり、標高900m以上では、広葉樹の侵入よりもササの繁茂が著しくなり、スギ人工林としてはもちろん、混交林化も難しいと考えられた。

キ 引用文献

- 1) 秋田県林務部：秋田県民有林スギ人工林収穫予想表等作成に関する基礎調査書，11～12，1980
- 2) 横井秀一・山口清：積雪地帯のスギ不成績造林地におけるスギと広葉樹の生育実態，森林立地40，91～96，1998
- 3) 横井秀一：不成績造林地の取り扱い，豪雪地帯林業技術開発協議会編，東京，雪国の森林づくり，89-120，日本林業調査会，2000

（秋田県森林技術センター 和田 覚）

(2) スギ人工林に由来する針広混交林化の過程

ア 研究目的

近年、社会的要望は木材生産を目的とした一斉林型の人工林よりも公益的機能を重視した多様な森林が志向されるようになってきた（林野庁，2005）。このため、雪圧害や手入れ不足などで不成熟化した人工林に侵入した広葉樹の価値が再認識されつつあり、また、造林木とともに広葉樹も積極的に仕立てて針広混交林を造成しようとする気運が高まっている。同時に、このような針広混交林に対し、生産性や多様性によってもたらされる多くの機能も期待されている（豪雪地帯林業技術開発協議会，2000）。しかし、天然林と異なり、短期間に多くの要因が加味された人工林由来の針広混交林は、狭い範囲で構造や組成が大きく変り、非常に複雑で多様であるため、その形成過程を明らかにすることは簡単ではない。しかも、針広混交林は今後、ますます増加すると予想されているにも関わらず、その取り扱い方法もまだ十分確立していないのが現状である。そこで、ここでは豪雪地帯のスギ人工林について、針広混交林に至る事例を紹介し、針広混交林の形成過程の一端を明らかにする。

イ 研究方法

スギ人工林における広葉樹の侵入と消失、成長過程について調査した。調査地は、秋田県大館市の南端部に位置し、標高 600m、北向平衡斜面、傾斜 25°、最深積雪深 3.0m である。周辺の保残帯の林相はブナが優占するが、ミズナラ、トチノキ、イタヤカエデ、サワグルミなど他の樹種も多く混生している。1990 年、7 年生スギ人工林に 16m×16m の調査枠を設定し、0.3m 以上の高木性樹種の樹高、直径を毎木調査した。その後、一切の保育施業を行わず、放置した林分を 11 年後に再調査した。

ウ 結果

下刈り直後の 7 年生時点では、スギの本数が 1,700 本/ha であり、高木性広葉樹（以下、広葉樹）が 53,000 本/ha であった。樹高階ごとの本数をみると、スギの半数以上は 1.5m 以上の高い樹高階に分布していたが、2.5～3m の樹高階には広葉樹は見られなかった。広葉樹のほとんどは低い階層に分布していたといえる。この時点ではウダイカンバがかなり優占していた（図 222-1）。下刈り直後の 7～10 年生の段階における高木性広葉樹の本数は、他の 3 つの調査地でも、5 万本/ha 以上温存され、Simpson の多様度指数も 20～25 と高かった（未発表）。このことから、下刈りが高木性広葉樹の消失、減少を決定づける要因とはならず、むしろ、初期成長の大きい低木広葉樹やササ、ススキを除去し、広葉樹にとって良好な光環境、言い換えれば見晴らしのよいスターラインを絶えず用意する施業とも考えられる。

18 年生時点では、依然として広葉樹は低い樹高階での本数が多いが、各階層に分布が広がり、6～8m の樹高階ではスギの本数より多くなっていた。このため、この階層の本数はスギと広葉樹を合わせると 740 本/ha となり、針広混交林の様相を呈し始めていた。ただし、この時点では森林の三要素、①高木からなること、②高木がある密度以上で密生していること（林冠の閉鎖という条件を満たさないサバンナの疎林は森林とは別の認識である）、③そのような高木集団がある

広さをもって成立していること（四手井，1985）を満足しているが，高木性樹種が普通に獲得できる樹高，つまり，Raunkiaer の生活型（沼田，1976）におけるMとMMを分ける8mという高さには達していなかった。

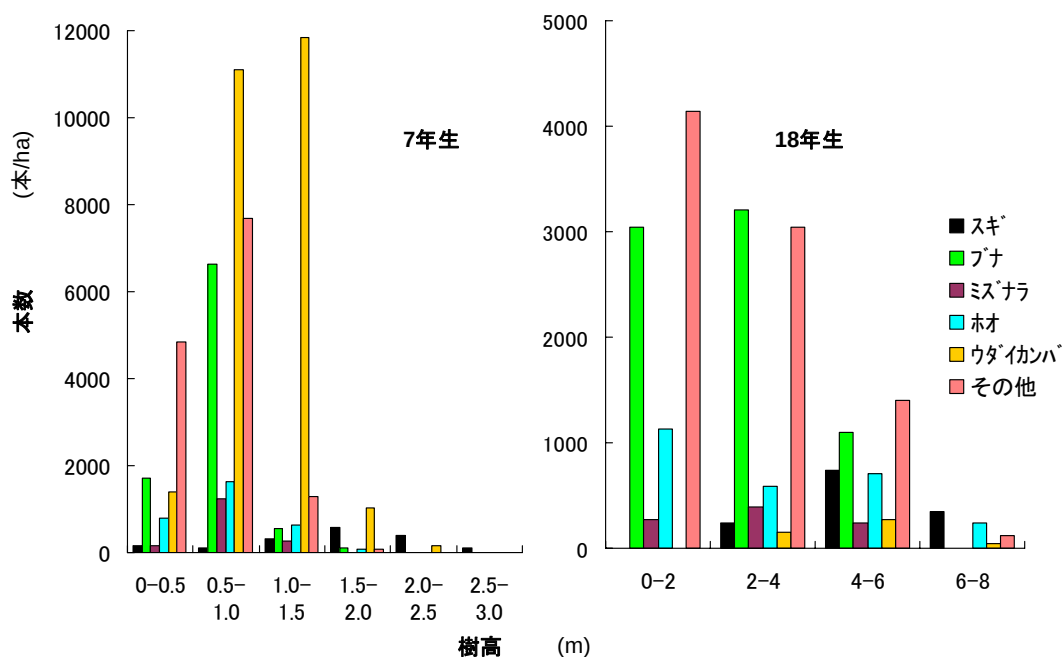


図222-1. 樹種ごとの樹高階別本数の11年間の変化

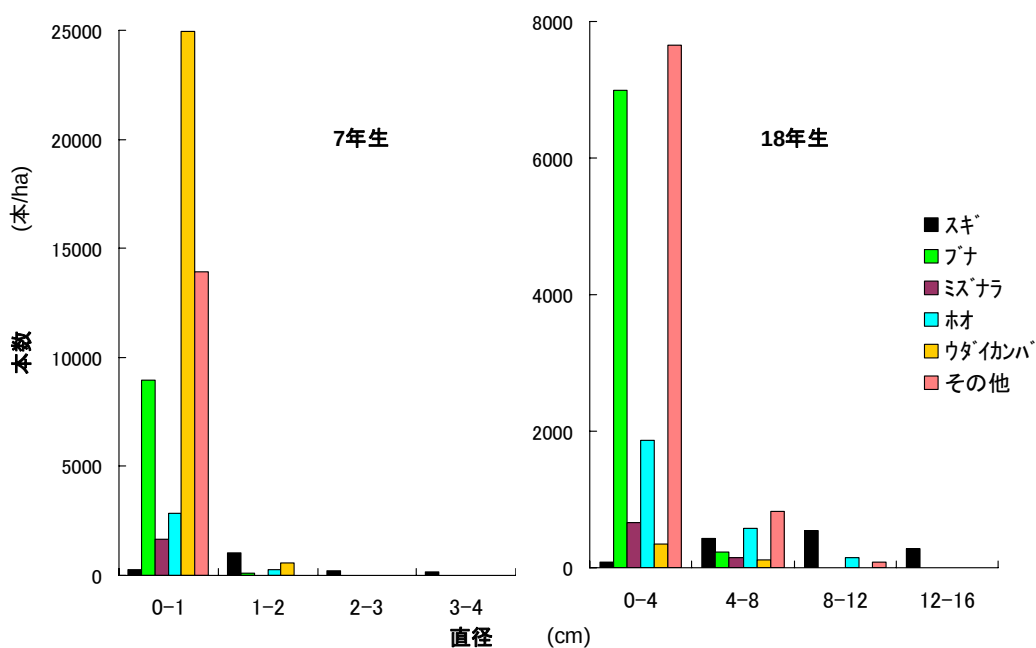


図222-2. 樹種ごとの直径階別本数の11年間の変化

広葉樹全体ではブナの個体数が圧倒的に多いが、最上層の6～8mの樹高階を占める樹種は大部分がホオノキであった。したがって、ホオノキの有無が、この地域での針広混交林の形成にかなり大きな役割を担っていることが示唆された（図 222-1）。

直径階ごとの本数分布の傾向は、樹高の場合とほぼ同様であるが、7年生時点でも18年生時点でも広葉樹は樹高に比べてより低い階層に多く分布し、最大の直径階に広葉樹がみられなかった。このように広葉樹は、18年生時点では上長成長ではスギに追いついたが、肥大成長ではスギの成長に近づくことがなく、大きい直径階に入ることはないようである。樹種ごとにみると、樹高と同様に、広葉樹の中ではホオノキが大きい直径階に占める割合が高かった（図 222-2）。

次に、各樹種の生存率をみると、図 222-3 のようになる。スギ、ブナ、ホオノキの生存率には余り違いがなく、11年間で20%程度消失しただけであった。ただし、スギは根曲りが大きく、傾幹幅が1.5mを越える個体が半数以上を占めた。このような大きな雪害を被っていることから上長成長を確保しにくく、今後は他の樹種との競合によりスギの個体はかなりの数減少していくものと推定される。ミズナラ、およびその他の樹種の11年間の生存率は50%以上を示しており、スギやブナほど生存率は高くないものの、今後も完全に消滅ことはないように思われる。しかし、ウダイカンバは11年間で大きく消失し、生存率はわずか2%しかなかった。

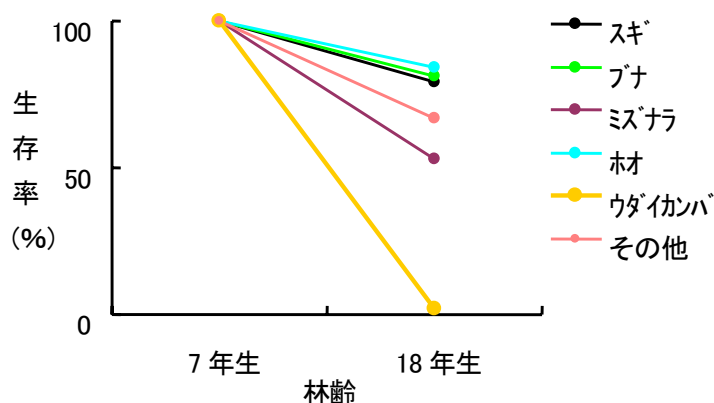
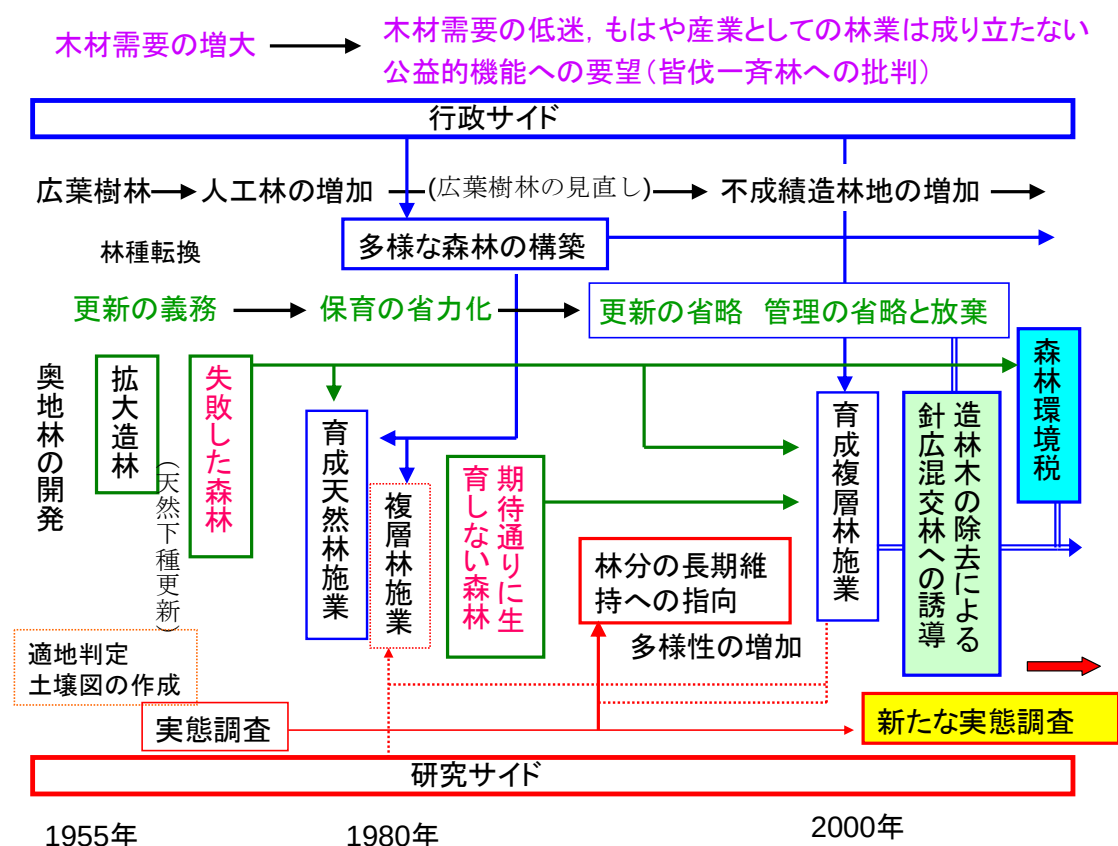


図 222-3. 樹種ごとの11年間の生存率

エ 考察

ここで、人工林から針広混交林に至る社会的背景について整理を試みた。戦後の復興とともに増大する木材需要に呼応するように、1955年頃から奥地林では低質広葉樹林から針葉樹人工林の林種転換が推進された。この拡大造林は、国有林と民有林の時期的な違いがあるが、1975年頃まで続き（林政総合協議会，1980），スギを主とする人工林が急速に広がった。奥地林の開発は、造林費用の調達が困難な時期から既に指向され（小松，1949），さらにこの時期以降は、木材の自給を目指して、経済林の造成が強力に押し進められた（秋田営林局造林推進委員会，1961；浅川，1957）。また、当時は、「林業の経済性の向上を通じて、森林の公益性の実現」することが林政の基本理念であり、「森林生産力の増強が第一」に取り上げられた時代であった。そして、経営的には準保安林であった林地も、伐採造林などの施業ができる場所は、経済林である第2

種林地に組み替えることが説かれ、施業の方法の統一化、単純化が図られた（林野庁，1959）。この施業方法の画一化が複雑な立地条件を有する奥地林にも導入されたため、適地を越えて造成された経済林の不成績化を生む下地となった。一方、拡大造林の問題点も指摘され（武藤，1959），とくに人工林の雪害は以前より知られ，（鎌田，1953；四手井・高橋，1951；鶴野，1935），当初から多豪雪地帯における拡大造林が不成績化をもたらすと危惧されていた（相沢，1959；四手井，1964；山形分場，1963）。こうして顕在化した不成績造林地の中には，広葉樹が侵入し，針広混交林となっている場合も多い。



しかし、経済林を期待して推進した拡大造林政策によって生じた不成績造林地は、消失したわけではない。不成績造林地は育成複層林や天然性林となったが、投資に見合う成長、収穫は期待薄で、ある意味で負債の山と化している（朝日新聞，2005；岡，2002）とされている。現在、育成複層林の概念に沿って、各県で森林環境税が導入、あるいは導入が検討され始めている。全てでないにしても奥地の荒廃林、不成績造林地の針広混交林化がそれらの目指すものの1つと捉えらるると、かつての拡大造林政策の影がまだ消えずに残されているとも考えられる（図 222-4）。そして、ここで紹介した調査結果はこうした社会背景の中で生じた単なる一事例ではあるが、混交林化の一段面を明らかにしたと考えられる。

さらに、本報告では針広混交林という用語を多用しているが、これについて再整理しておきたい。一般に針広混交林は、人工、天然の区別なく単に針葉樹と広葉樹が混交した森林と、温帯落葉広葉樹林から北方針葉樹林帯への移行帯にみられる天然性の混交林の二通りの意味がある（石塚，1994）とされる。そのうち、これまで論議してきた針広混交林は前者であり、さらに人工に区別されるものである。それは、施業上の区分（国有林野経営計画研究会，1994；森林基本計画研究会，1997）ではなく、実態として針葉樹が人工植栽に由来するという意味である。また、石塚の表現によれば、針葉樹、広葉樹の割合が極端に偏っていなければ、混交歩合による林相区分（国有林野経営計画研究会，1994）のような厳密性を問わなくてもよさそうである。

今回の調査では、豪雪地帯でのスギ人工林に広葉樹が侵入、混交林化する過程について報告したが、針広混交林の成立条件について改めて考察したい。人工林に由来する針広混交林は、生育環境の厳しい奥地林だけではなく、里山でも少なからず散見される。そのことは針広混交林がいくつもの条件が複雑に絡み合って成立していることを示している。小野瀬（2005）は、積雪環境などの立地条件の不適地にスギ人工林が造成されたため、不成績造林地になり、広葉樹の侵入とともに成立したもの（不成績造林地型）と、保育管理などの森林施業が放棄され、広葉樹が侵入して成立したもの（施業放棄型）の二つのタイプに類別し、針広混交林成立の違いを指摘している。これに補足を加えるならば、不成績造林地型は、雪害などにより植栽木が消失し、広葉樹の樹冠を展開する空間が用意された条件で成立する針広混交林であるのに対し、施業放棄型は、植栽木と侵入した広葉樹の競争の結果、植栽木が埋めるべき空間を広葉樹が奪う形で成立した針広混交林であり、形成過程に大きな違いがある。したがって、施業放棄型は、人工林が造成後、早い段階で放棄された場合の方が針広混交林は成立しやすいであろう。さらに小野瀬（2005）は不成績造林地型であっても針広混交林が成立しない条件として、下刈りや除伐など保育施業の影響（弊害）をあげている。そもそも不成績造林地は、経営上の用語ではあるが、当初目的とした成長や収穫本数、材積が期待できない人工林を意味するものであるから、保育管理施業によって広葉樹が除かれてしまうと、わずかに生き残った植栽木だけが残る、針広混交林だけではなく森林としても成立しなくなる。今回紹介した事例の場合、下刈り終了時でも森林が成立するに足りるほど多くの広葉樹が温存されていたため、下刈りによる弊害が見えてこないが、このことは、スギ人工林に由来する針広混交林化に向けての今後の保育施業として示唆に富んだ指摘といえよう。

オ 今後の問題点

適切な混交林への誘導方法など、保育管理施業については、長期に渡って調査を行い、得られた成果を解析、評価し、それによって技術として導入を行うことが望ましい。限られた期間でそ

れ達成する方策を見出すに至っていない。

カ 要約

針広混交林の成立メカニズムの解明を目的に研究を進め、豪雪地帯での混交林化した事例について実態解明を行った。林分構造変化を10年以上モニタリングした事例であるが、広葉樹の侵入本数が多い場合、優占樹種の交替等は見られるもののスギ人工林の針広混交林化は容易と判断できた。

キ 引用文献

- 相沢吟治（1959）雪国の造林，長野林友，長野営林局，20-33.
- 秋田営林局計画課（1968）豪雪地帯の造林に関する試験調査報告書（第2報），150p.
- 秋田営林局造林推進委員会（1961）集約的造林技術の推進対策，蒼林，139，秋田営林局，1-35.
- 浅川林三（1957）これからの造林政策，林業解説シリーズ，104，日林協，47p.
- 朝日新聞（2005）森林法人負債1兆2000億円，2005年10月2日付
- 天野一郎（1941）林木の雪害，雪氷，5，237-242
- 豪雪地帯林業技術開発協議会（2000）雪国の森林づくり．日本林業調査会，189pp.
- 石塚森吉（1994）針広混交林の施業，林業改良普及書，118，37-56.（広葉樹林施業，藤森隆郎，河原輝彦編）
- 鎌田一美（1953）スギの雪害について，青森林友，17-18.
- 国有林野経営計画研究会（1994）国有林野経営規定の解説，日本林業調査会，409p.
- 小松禎三（1949）我が国現下の造林対策，林業技術，4，7-8.
- 武藤憲由（1958）拡大造林の問題点，林業解説シリーズ，108，日林協，35p.
- 沼田真（1976）生態の事典，東京堂出版，380p.
- 岡和夫（2002）人工林資産の評価，山林，1420，2-11.
- 小野瀬浩司（2005）スギ一斉林か針広混交林かの判定についてー不成績造林地型混交林か施業放棄型混交林かー，東北森林科学会第10回大会講演要旨集，27
- 林政総合協議会（1980）日本の造林百年史，日本林業調査会，425p.
- 林野庁（1959）国有林野経営規定の解説，426p.
- 林野庁（2005）林業白書，日本林業協会，222p.
- 四手井綱英（1964）多雪地の造林研究会に出席して，蒼林，176，秋田営林局，1-7.
- 四手井綱英（1985）森林，法政大学出版局，291p.
- 四手井綱英・高橋喜平（1951）積雪と森林，林業技術シリーズ，23，林野庁，141p.
- 森林基本計画研究会（1997）21世紀を展望した森林・林業の長期ビジョンー持続可能な森林経営の推進ー，地球社，416p.
- 鵜野満男（1935）深雪地方に於ける造林対策，日林誌，17，89-100
- 山形分場（1963）豪雪地帯の造林技術の研究の現状と問題点，林試東北支場たより，24，1-6.

（東北支所 大原偉樹）

(3) 針広混交林に誘導するための判定基準

ア 研究目的

山形県におけるスギの造林は、水源林、各種災害防備林等、および公園の造成を目的とする場合を除いて、木材生産のための経済林の造成を目的に行われてきた。しかし、スギ経済林の成立を阻害する多くの要因があり、なかでも自然環境条件の一つである降積雪環境が最大の阻害要因である。そのため、最大の阻害要因とされている降積雪環境と林木の成長支配要因である土地生産力を組合わせて、スギ経済林造成の難易の度合いに応じた自然環境条件の類型化が行われ、類型ごとに技術投入の指針が示されている（佐藤ほか 1979）。しかし、現実には、スギ経済林造成がきわめて困難な類型にも造林が行われ、またスギ経済林造成が可能な類型においても、必須的な育林技術である雪害対策技術の投入が行われていないこと等があって、現時点では、スギ経済林として成立し得ないとみられるスギ不成績造林地が顕在化しつつある。スギ不成績造林地は、その進行の度合いに応じて無立木化が進み、やがて林床面が荒廃して、森林の復元が困難になることが予想される。現に、そのような過程を辿りつつある造林地も多い。したがって、不成績化のおそれがあるスギ造林地では、今後の不成績化の進行経過を予測しつつできるだけ早くに、スギ経済林としての成立の可能性を見極め、現在の不成績の度合いに応じて今後の施業方針を決めることがきわめて重要となる。

山形県内に現存する針広混交林のほとんどはスギ経済林を目標としたが、厳しい降積雪環境を主とした様々な阻害要因のために形成されたスギ不成績造林地である。そこで、山形県内に存在するスギ不成績造林地と、不成績化の進行が予想されるスギ造林地の実態を調査し、スギ造林地の不成績の進行を防ぎ、森林機能を十分に発揮する針広混交林に誘導するための方法について検討した。

イ 研究方法

現存する針広混交林の立地環境と林分構造を調査し、スギの生育状況とスギ人工林「地位」の推定値（「山形県におけるスギの生産管理基準」立地環境要因9因子によって推定）からスギ人工林として再生すべきか針広混交林に誘導すべきか、既存のスギ不成績造林地の調査データをも活用して検討した。さらに、スギ不成績造林地を針広混交林化することにより森林機能を発揮させるために、針広混交林化の方法、広葉樹の誘導目標、および今後の施業方法について検討した。

スギ不成績造林地を針広混交林に誘導するために必要な広葉樹の導入方法（現存する広葉樹の利用、植栽等による外部からの導入）について、スギ人工林の推定地位と広葉樹の収穫予想本数割合（秋田営林局第4次地域施業計画書－山形県南部広葉樹用材林－の該当値に対する本数割合）の組合せによって判定する方法を検討した。

スギ不成績造林地の針広混交林化による森林の健全性の向上と森林機能回復のための広葉樹の誘導目標について、造林地内の広葉樹の混交率と広葉樹のうち高木性広葉樹の割合の組合せによって判定する方法を検討した。

スギ不成績造林地の針広混交林化による森林の健全性の向上と森林機能回復のために取り組むべき施業について、スギの平均胸高直径と広葉樹の平均胸高直径の組合せ、およびスギの平均樹

高と広葉樹の平均樹高の組合せによって判定する方法を検討した。

・スギ不成績造林地の実態調査項目

スギ：林齢、施業歴、胸高直径、樹高、枝下高、根元曲り、諸被害

広葉樹：胸高直径、根元直径、樹高、樹幹長、諸被害（樹幹長1.2m以上）

植生：（木本）種、本数、根元直径、樹高、（草本）種、草丈、被度

立地環境：標高、方位、傾斜、地形、土壌型、堆積様式、表層地質、最深積雪

ウエ 結果と考察

・針広混交林化の方法の判定

9年生時まで下刈りを行い、13年生時に除伐（本数率約10%）を行い、19年生時に針広混交林に誘導することを目的に樹高約2m以上の高木性広葉樹を残した本数率約30%の強度間伐行ったスギ人工林（1.7ha）内で地位Ⅰ上の立地環境の3ヵ所と地位Ⅲ下の立地環境の3ヵ所における林分構造を比較した結果、スギの生長（平均胸高直径と平均樹高）と高木性広葉樹（樹幹長1.2m以上）の本数、平均胸高直径および平均樹高に有意な差が認められた。

6年生時まで下刈りを行い、その後保育作業を行っていない13～14年生のスギ人工林（5.3ha）内で地位Ⅱ上の立地環境の3ヵ所と地位Ⅲ下の立地環境の3ヵ所における林分構造を比較した結果、スギの生長（平均胸高直径と平均樹高）に有意な差が認められたが、高木性広葉樹（樹幹長1.2m以上）の本数、平均胸高直径および平均樹高には有意な差が認められなかった。

山形県内で積極的に長伐期施業を行っている地域における林齢80年以上のスギ人工林72林分の調査では、立地環境Ⅱ下の林分の平均胸高直径と平均樹高は地位Ⅱ上以上の林分より大きく劣る。また、立地環境Ⅱ上の林分の平均胸高直径と平均樹高は林分間のバラツキが大きい。

このことから、立地環境が地位Ⅰ上とⅠ下のスギ人工林ではスギ林として施業を継続することが有利であると考え。また、地位Ⅱ上のスギ人工林では「山形県スギ林分収穫予想表」との比較により生長が優れている場合はスギ林として施業が有利と考える。したがって、地位Ⅱ下以下のスギ人工林はスギ一斉林施業を中止し、針広混交林を目標林型にするべきだと考える。

図223-1にスギ不成績造林地の針広混交林化の方法の判定基準を示した。

スギ人工林の地位Ⅱ上であり、広葉樹の収穫予測本数割合が50%未満の造林地（図223-1のⅠに該当する造林地）は、スギの生育状況が「山形県スギ林分収穫予想表」との比較により優れている場合はスギ林として施業し、劣っていれば造林地内に現存する広葉樹を積極的に利用し、さらに広葉樹を植栽（外部から導入）することにより混交林化を図るべきである。スギ人工林の地位Ⅱ上であり、広葉樹の収穫予測本数割合が50%以上の造林地（図223-1のⅡに該当する造林地）は、スギの生育状況が「山形県スギ林分収穫予想表」との比較により優れている場合はスギ林として施業し、劣っていれば造林地内に現存する広葉樹を積極的に利用することにより混交林化を図るべきである。スギ人工林の地位Ⅱ下であり、広葉樹の収穫予測本数割合が50%以上の造林地（図223-1のⅢに該当する造林地）は、造林地内に現存する広葉樹を積極的に利用することにより混交林化を図るべきである。スギ人工林の地位Ⅱ下であり、広葉樹の収穫予測本数割合も50%未満の造林地（図223-1のⅣに該当する造林地）は、造林地内に現存する広葉樹を積極的に利用し、さらに広葉樹を植栽（外部から導入）することにより早急に混交林化を図るべきである。スギ不成績造林地をスギ人工林として再生せずに針広混交林化する方法は、以上の4タイプにより判定されると考える。なお、図223-1のⅣに該当する造林地は、今後不成績の進行により林床面

の荒廃を招くおそれがあり、早急な針広混交林化の施業が必要であるとする。

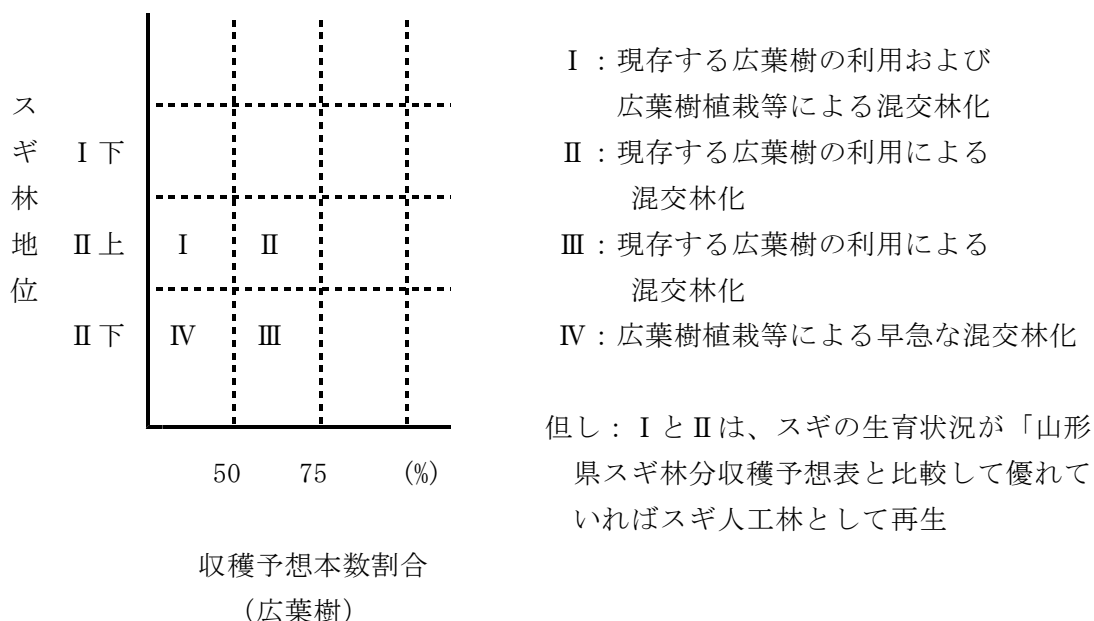


図223-1 スギ不成績造林地の針広混交林化の方法の判定

・広葉樹の誘導目標の判定

地位Ⅲ下の立地環境でスギの成長が思わしくない35年生のスギ人工林(3.5ha)で15年生時の除間伐から放置した2カ所と25年生時に除間伐を実施した2カ所の林分構造を比較した結果、25年生時の除間伐はスギの生育に効果が薄く、35年生時の高木性広葉樹の蓄積量(DDH合計)を30分の1以下にした。

スギ不成績造林地30林分の実態調査から、ササおよびススキが優占し、高木性広葉樹がほとんど存在しなかった7林分を除いた針広混交林化した23林分の高木性広葉樹の混交率は49.5% (95%信頼区間41.0～58.0)であった。

このことから、スギ人工林を針広混交林に誘導するには、スギ一斉林施業を中断し自然力に期待することが有利と考える。しかし、高木性広葉樹の混交率が40%未満の林分においては広葉樹の植栽等、針広混交林化のための広葉樹導入施業が必要だと考える。

図223-2にスギ不成績造林地の広葉樹の誘導目標の判定基準を示した。

広葉樹の混交率が75%未満であり、広葉樹のうち高木性広葉樹の割合が40%以上の造林地(図223-2の(1)に該当する造林地)は、林床面の荒廃等を念頭において環境保全機能を重視して高木性広葉樹の育成を図るべきである。広葉樹の混交率が75%以上であり、広葉樹のうち高木性広葉樹の割合が40%以上の造林地(図223-2の(2)に該当する造林地)は、形質の優れた立木の経済性をも念頭において森林の健全性を重視して高木性広葉樹の育成を図るべきである。広葉樹の混交率が75%以上であり、広葉樹のうち高木性広葉樹の割合が40%未満の造林地(図223-2の(3)に該当する造林地)は、形質の優れた立木の経済性をも念頭において森林の健全性を重視して高木性広葉樹の育成を図るべきである。広葉樹の混交率が75%未満であり、広葉樹のうち高木性広

葉樹の割合も40%未満の造林地（図223-2の（4）に該当する造林地）は、林床面の荒廃等を念頭において環境保全機能を重視して樹種にとらわれることなく広葉樹の育成を図るべきである。スギ不成績造林地の広葉樹の誘導目標は、以上の4タイプに判定され则认为る。

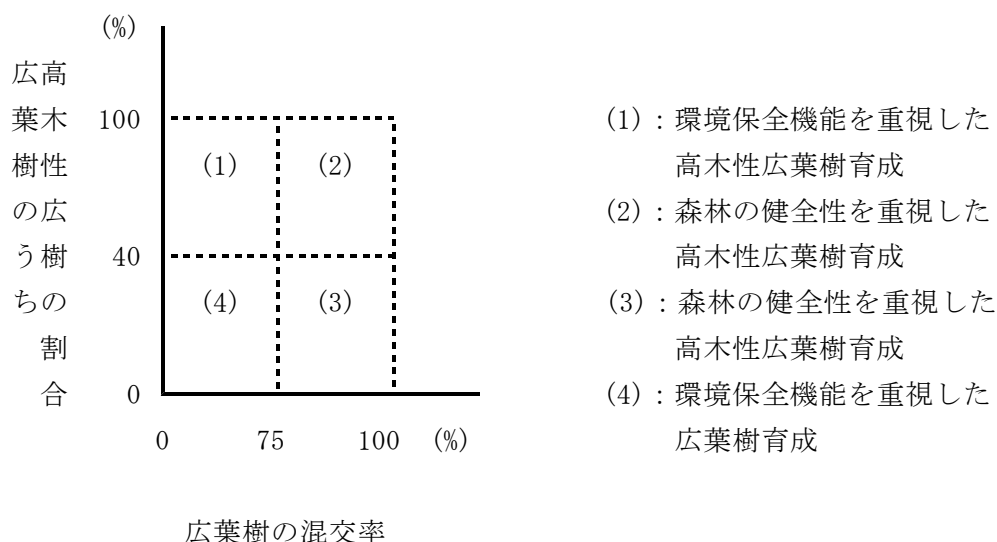


図223-2 広葉樹の誘導目標の判定

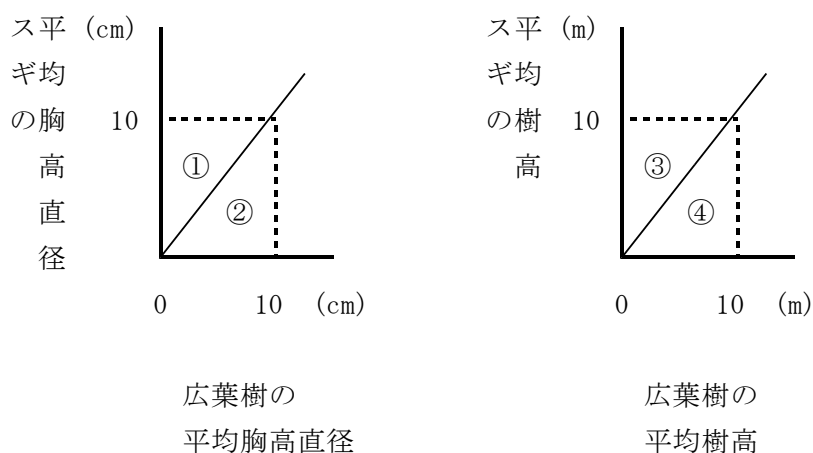
・針広混交林の施業方針の判定

図2-2-3-3にスギ不成績造林地の針広混交林化の施業方針の判定基準を示した。

スギの平均胸高直径が広葉樹の平均胸高直径より大きく、スギの平均樹高が広葉樹の平均樹高より大きい造林地（図223-3の①+③に該当する造林地）は、形質の良好なスギに対して単木的保育を行うことのみにより立木の成長を待ち針広混交化を図るべきである。スギの平均胸高直径が広葉樹の平均胸高直径より大きく、スギの平均樹高が広葉樹の平均樹高より小さい造林地（図223-3の①+④に該当する造林地）は、高木性広葉樹には手を付けずに上層林冠を形成する高木性以外の広葉樹の除伐を行うべきである。スギの平均胸高直径が広葉樹の平均胸高直径より小さく、スギの平均樹高が広葉樹の平均樹高より大きい造林地（図223-3の②+③に該当する造林地）は、高木性広葉樹には手を付けずに高木性以外の広葉樹の除伐を行うべきである。スギの平均胸高直径が広葉樹の平均胸高直径より大きく、スギの平均樹高が広葉樹の平均樹高より大きい造林地（図223-3の②+④に該当する造林地）は、高木性広葉樹には手を付けずに上層林冠を形成するものから順に高木性以外の広葉樹をの除伐を行うべきである。スギ不成績造林地の針広混交林化の施業方針は、以上の4タイプに判定され则认为る。なお、スギに対する施業は形質の良好な立木への単木的保育（枝打ち等）のみとし、スギ経済林を念頭においた画一的保育は中止すべきであるとする。

スギ不成績造林地の針広混交林化の方法、広葉樹の誘導目標、針広混交林化の施業方針の判定基準の基準値については、針広混交林（針葉樹不成績造林地）の実態をより多く把握することによって、判定のためにより適合性のよい数値に近づける必要があるが、判定のための基本的な

考え方は図223-1、2、および3から大きく変化することはないと考える。



- ①＋③：形質の良好な針葉樹への単木的保育
- ①＋④：高木性広葉樹を残し上層の広葉樹の除伐
- ②＋③：高木性広葉樹を残し広葉樹の除伐
- ②＋④：高木性広葉樹を残し上層を中心に広葉樹の除伐

図223-3 針広混交林の施業方針の判定

オ 今後の問題点

上述のように針広混交林化のための判定基準を作成したが、これらの判定基準に従って針広混交林化を果たした林分をモニタリング調査することによって、判定基準の設定の良否を検証する必要がある。特に、スギ不成績造林地の針広混交林化の方法、広葉樹の誘導目標、針広混交林化の施業方針の判定基準の基準値については、針広混交林（針葉樹不成績造林地）の実態をより多く把握することによって、より適合性のよい基準値を検討する必要がある。

カ 要約

スギ不成績造林地の不成績の進行を防ぎ、森林機能を十分に発揮する針広混交林に誘導するための方法について検討し、スギ不成績造林地の針広混交林化の方法、広葉樹の誘導目標、および針広混交林の施業指針の判定基準を作成した。

キ 引用文献

佐藤啓祐・高橋護（1979）山形県におけるスギの生産管理基準、山形県立林業試験場、48pp.

（山形県森林研究研修センター 小野瀬浩司）

3. スギ一斉人工林の針広混交林への誘導の可能性の検討

(1) ケヤキ人工植栽による針広混交林造成

ア 研究目的

広葉樹を植栽して広葉樹林を育成する場合、今までは密植をすることで枝があばれるのを防ぐ方法（藤森，1991；有岡，1992；藤森・河原，1994；秋田県林務部，1994）が一般的に薦められてきた。しかしながら，広葉樹の苗木代はスギよりも高価なことや，本数を多く植えても収穫までに針葉樹よりも立木密度を下げる必要があり（前田ら，1991），そのため除伐や間伐の回数及び本数が多くなるなどの問題を抱えている。そこで，このような問題を解決するために，苗木代が安価なスギなどの針葉樹と混植する方法も検討されるようになってきている。

針葉樹と広葉樹の混交林については不成績造林地の改良を目的とした研究（豪雪地帯林業技術開発協議会，2000）が近年盛んに行われるようになってきたものの，用材生産を目的としたケヤキ等の樹種を対象に混交林を解析した事例は少ない（前田ら，1989；前田，1998）。澤田・石田(1995)は秋田県内のケヤキとスギの混交林を調査し，ケヤキの幹の形質は周囲のスギとの競争関係で決定されており，一定の樹冠占有面積を持ったケヤキの周囲をスギで取り囲むといった状況がケヤキの形質を最も良くしていることを報告している。そのため，スギとケヤキが上層で競争するような立木密度を考慮した混植の方法を確立する必要がある。本研究では，ケヤキやクリとスギの混植試験地を設定し，ケヤキの低密度植栽を目指した混交林造成方法の検討を行った。

イ 研究方法

秋田地方では植栽される苗木の大きさとして，スギは30cm程度，ケヤキ・クリなどでは1m程度のものが多く利用されている。そこで，最初から大きいケヤキの苗木に対してスギ苗木の成長を追いつかせるために，スギの植栽と同時期もしくは数年後にケヤキやクリを植栽する方法により，秋田県北部の米代川流域の7箇所（図 231-1）に植栽試験地を設定した（表 231-1、写真 231-1）。いずれの試験地も台風19号（1991年）によるスギ壮齡人工林の被害跡地であり，翌年秋にスギが3,000本程度の密度で植栽された。広葉樹については，その翌年の春に植栽した試験地が1箇所であり，他の6箇所ではスギを植えてから2～4年後に植栽を行った。植栽方法はケヤキやクリを4～7m（ha当たり400～600本の密度に相当）の間隔で，スギの間に単木状に混植した。対照区として1995年に植栽されたケヤキの一斉林1箇所

表－1. スギと広葉樹の混交試験地の概要

N0. 試験地名	所在	スギ 植栽年	植栽本数 (本/ha)	広葉樹 植栽樹種	植栽年	植栽本数 (本/ha)	土壌型	標高(m)
1 同時植栽区	鷹巣町坊沢	1992秋	2,700	ケヤキ	1993春	600	B1D	50
2 2年後植栽区	鷹巣町摩当1	1992秋	3,000	ケヤキ	1995春	400	Bd	55
3 3年後植栽区A	上小阿仁村仏社	1992秋	3,000	ケヤキ	1996春	400	Bd	150
4 3年後植栽区B	鷹巣町摩当2	1992秋	3,000	ケヤキ、クリ	1996春	600	Bd	60
5 3年後植栽区C	阿仁町吉田1	1992秋	3,000	ケヤキ、クリ	1996春	600	Bd	125
6 4年後植栽区A	鷹巣町摩当3	1992秋	3,000	ケヤキ	1997春	600	Bd	90
7 4年後植栽区B	阿仁町吉田2	1992秋	3,000	ケヤキ	1997春	600	Bd(d)	130
8 ケヤキ一斉林区	上小阿仁村仏社		0	ケヤキ	1995春	4,200	Bd	170



写真 231-1 同時植栽区造成時の状況

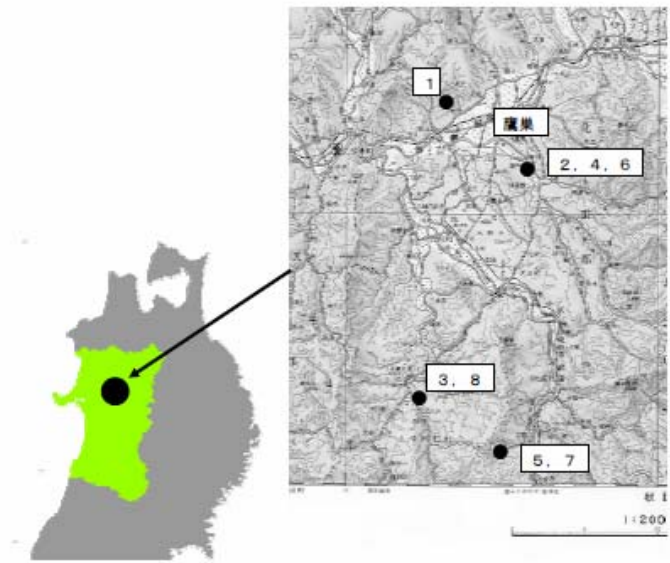


図-1. 試験地の位置図

注：国土地理院 1:200,000 地勢図弘前をもとに作成した。試験地番号は表-1と同じ。

試験地を設定した。試験地の標高は 50～170m，土壌型は B1D～BD(d)型で，低標高で適潤な立地環境に試験地は造成された。植栽後の試験地の施業に関しては，3年後植栽区 A のみがケヤキ植栽後 2 年以内に下刈りが終了してしまったものの，他の試験地はケヤキ植栽後 5 年以上下刈りが行われた。これらの新たに造成した混交林内に 25m×20m の試験地を設定し，1994～2003 年までの間に，毎年もしくは隔年に樹高，胸高直径，獣害や雪害などの被害状況の調査を行った。なお，ケヤキー斉林区については 2004 年春に調査を行った。

ウ 結果および考察

1. 各試験地の樹高成長経過

2003 年秋の調査時点での平均樹高と本数密度を表 231-2 に示したが，同時植栽区だけがスギの平均樹高 7.1m に対しケヤキは 9.1m と，試験地の中で唯一ケヤキの平均樹高がスギよりも高かった。表 231-2 から判るように，スギに対して 2 年以上ケヤキを遅く混植した試験地でのケヤキの成長は悪く，またス

表-2. 混交林試験地の成長（2003年秋）

NO.	試験地名	スギ		ケヤキ・クリ		備考
		平均樹高(m)	密度(本/ha)	平均樹高(m)	密度(本/ha)	
1	同時植栽区	7.1	1,600	9.1	380	
2	2年後植栽区	6.4	2,180	4.8	240	
3	3年後植栽区A	7.1	1,340	2.1	100	被圧
4	3年後植栽区B	5.6	2,040	4.5	240	
5	3年後植栽区C	5.9	1,600	4.5	400	雪害、獣害あり
6	4年後植栽区A	4.6	1,800	1.4	60	被圧
7	4年後植栽区B	3.8	1,700	1.3	40	被圧
8	ケヤキー斉林区			4.3	3,150	

注：ケヤキー斉林区のみ2004年春の調査

ギの樹高の低い所すなわち、地位の悪い所で特にケヤキの成長が悪くなっており、土壌条件の影響も考えられる。図 231-2 (d)に示したように、スギと混植するのが4年遅い試験地では混植したケヤキの成長が最も悪く、生存本数も少なくなっていた。この試験地では先に植えたスギの樹高は混植時には他の試験地と変わらなかったものの、4年生以降成長が悪く、結果的には地位の悪い所にケヤキを植栽することとなった。

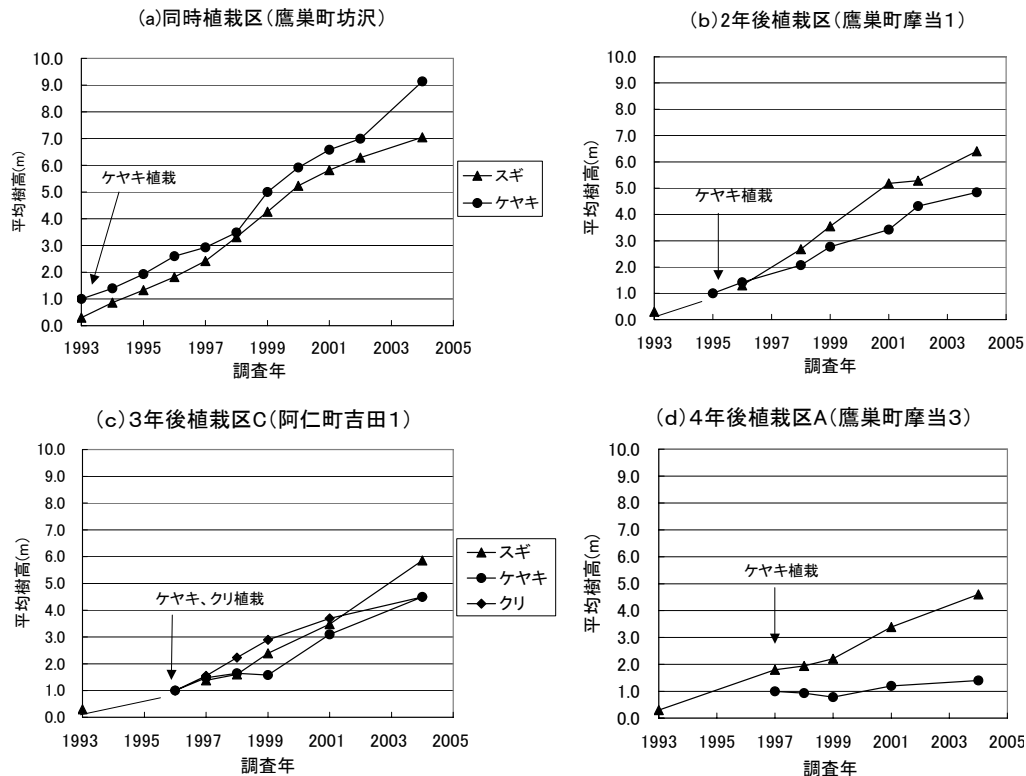


図-2. 広葉樹植栽の時間差と樹高成長の関係
注：前年秋に測定したデータは翌年春のデータに時間を統一、植栽時の樹高はスギを0.3m、ケヤキを1.0mとした

図 231-2 (a)～(c)に示したように、スギの場合には一般的には植栽後3～5年目以降から樹高成長が良くなる傾向にあり、後に植栽された広葉樹が早い時期から被圧されてしまったことで広葉樹の成長が阻害されたものと判断される。また混植時期が比較的早い試験地の中でも、3年後植栽区Aのようにスギを植栽後の下刈りが5年未満と短かった場合には植栽したケヤキが雑草木による被圧を受けて十分に成長出来なかった試験地もあった(表 231-2)。この試験地とは100m程度しか離れていないケヤキ一斉林区では、立地環境および土壌条件などがあまり変わらないと考えられるにもかかわらず、ケヤキの平均樹高は4.3mと、成長が良かった他の地域の混交林と同じ程度の樹高成長となっていた。したがって、3年後植栽区Aでケヤキの成長が悪かったのは、地位等の立地環境ではなく植栽後の下刈り等の手入れ不足が原因と考えられる。

2. 各試験地での競争関係

混交植栽後10年間の両樹種の競争関係を、最もケヤキの成長の良かった同時植栽区で見ることとする。スギとケヤキの年度別の平均樹高を図 231-2 (a)に示した。2003年秋の時点で11年生となっており、植栽当初にはケヤキの成長が良く、スギよりも樹高が高いままで推移してきたが、4年目頃からスギも順調に伸び始め、両者が競争して樹高を高めてきている。この10年間にケヤキが樹高成長を緩め、その後ス

ギの成長に押し上げられるような形で樹高を高めるような現象が、5年目と10年目の2回観察された。これから判断すると、スギのように最初から通直に成長する性質のある個体に押されて、ケヤキが梢端を上へ伸ばそうとしたものと考えられ、両樹種の競争関係は混交林造成後の比較的早い時期から始まっていたと判断される。図231-3には2003年秋時点の樹種別の樹高階分布を示したが、ケヤキは上層部に集中しており、スギは上層から下層まで広い範囲に分布している。このような分布傾向は植栽後5年目頃の若齢の時点ですでに築かれ、ケヤキは上層に集中し、スギは上層から下層まで広い樹高範囲に生育していた（写真231-2）。2年後植栽区、および3年後植栽区Cの混植後の成長経過を図231-2（b）、（c）にそれぞれ示した。いずれもスギの樹高成長が良くなる時期にケヤキを植栽しているため、ケヤキの平均樹高はスギの樹冠基底高より低くなってしまった。

3. ケヤキの植栽本数の検討

同時植栽区の植栽本数はスギがha当たり2,700本、ケヤキが600本であったが、植栽後11年目の時点におけるスギとケヤキの生存本数はスギがha当たり1,600本、ケヤキが380本であった。600本という

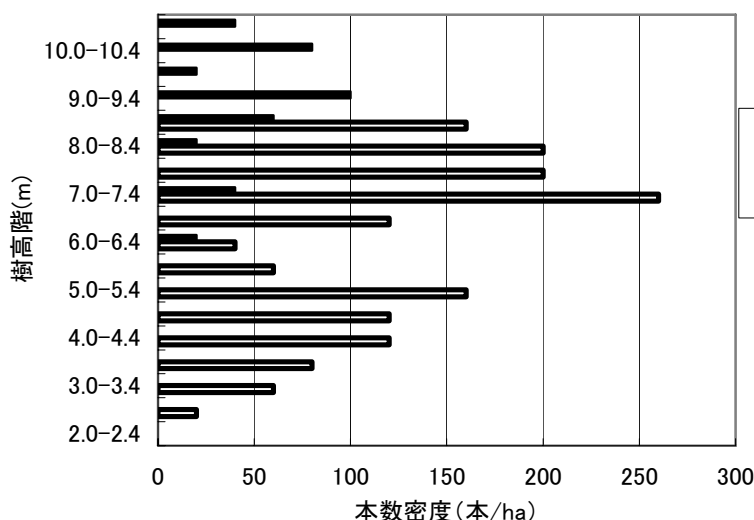


図-3. 同時植栽区における2003年秋の樹種別樹高階分布



写真231-2 同時植栽区の植栽後10年目の
の成育状況

うケヤキの植栽本数は少ないようにも感じられるが、主伐時のケヤキの密度は 100 本程度となることから判断すると、獣害などの被害が少ない場所であれば十分な植栽本数であると考えられる。ただし、このような混交林をケヤキの一斉林へ誘導するためには、植栽するケヤキの本数を増やすことや、1 箇所に 2 本以上をまとめて植えるなどといった工夫が必要となるものと判断された。また、県内のケヤキ植栽地の中には、ケヤキを高密度で植栽しても獣害等により成長できない場所もある。これらの場所では無理してケヤキの植栽を続けようとする、多大な費用がかかる割には成林が見込めなくなる事態に陥りかねない。このような場所でのケヤキのみの造林はさけるべきであり、そういう場所では混植するのも対策の 1 つと考えられる。またケヤキを植栽した場合、目印をかねて支柱を立てる場合が多いが、積雪地帯では冬季に雪で引っ張られて主軸が湾曲し、ひどい場合はそこから折れる事態も発生している（写真 231・3）。支柱を立ててそれとひもで結んだ場合、毎年ひもを外して付け替えるという作業が必要である。



写真 231・3. ケヤキの雪害
(支柱とひもを冬季に固定したため)

以上、混交植栽後 10 年間の両樹種の競争関係を、最もケヤキの成長の良かった同時植栽区で見ると、ケヤキは上層部に集中しており、スギは上層から下層まで広い範囲に分布している。このような分布傾向は植栽後 5 年目頃の若齢の時点ですでに築かれ、ケヤキは上層に集中し、スギは上層から下層まで広い樹高範囲に生育していた。澤田・石田(1995)はスギとケヤキの混交林を調査する中で、スギと共に上層を形成するケヤキの形質は良好だったのに対し、下層に生育するケヤキでは幹が低い位置から二股になり、湾曲して用材生産には向かないような状態であったことを確認している。このようにケヤキを森林内での上層部に生育させるためには、混植初期の段階からケヤキが上層空間を支配するような競争状態が必要であると判断される。

一般的にスギ造林地では植栽後 5 年間は下刈りを行うが、それ以降には行われない。上 3 年後植栽区 A のように比較的早くケヤキを植栽したにもかかわらず成長の悪い試験地では、スギの下刈りが早く終了することで、自生する他の広葉樹によって植栽したケヤキが被圧され、樹高成長でしなただけでなく、先に植栽されていたスギまでもが被圧され本数密度が減少した。このことから、下刈りや蔓切りなどの保育作業は重要である。混植後初期のスギとケヤキの競争関係については、ケヤキの植栽時期をスギよりも遅らせるほどケヤキの成長が悪く、その傾向は地位の悪い所で顕著なことや、ケヤキの適地と判断される場所ではケヤキの植栽密度が低くても、スギと合わせれば残存する本数密度は十分確保できるものと判断された。

ケヤキと混交する針葉樹についても、秋田地方においては用材生産を目的とした場合、スギは最も確実な造林樹種であることから、スギとの混植はケヤキの成長が思わしくなかった場合を補完するという重要

な役割を果たすものと考えられる。このように、一緒に植えたスギも育てるようにすれば林地を効率よく利用できるという利点もあり、スギとの混植は林地を効率よく利用する造林技術と考えられる。ただし、異樹種の組み合わせは目的とする樹種の手入れをこまめに行なわないと、一方が被圧されて成長できなくなるという問題もあり、定期的にきちんとした管理が出来るというのがこのような施業を導入する前提条件になるので、注意が必要である。

オ 今後の問題点

本試験地は植栽後まだ 10 年程度しか経過しておらず、今後のケヤキとスギの競争関係や除伐等の時期の検討については課題が残されている。ケヤキは獣害の被害の少ない場所では枯損率が小さく ha 当たり 600 本程度の密度でも十分と判断されたものの、その後の用材生産へ向けた本数密度として適切かどうかは現在のところ解らない。そのため今後も試験地の維持管理を続けながら調査を継続し、スギと混植することでどのような林が形成されて行くのか観察を続けたい。

カ 要約

スギとの混植によるケヤキの用材生産を目指した低密度植栽試験地を秋田県北部に設定した。林地にまずスギを植栽し、その後ケヤキを ha 当たり 400～600 本の密度で同時もしくは 2～4 年後に単木状に混交植栽を行った。植栽時の樹高はスギが約 30cm、ケヤキが約 1m であった。植栽後約 10 年の時点でスギとケヤキの植栽年の差によってケヤキの成長に明らかな違いが見られ、同時植栽地での成長が最も良く、ケヤキの植栽の時期が遅い試験地では成長が悪かった。また、異なる樹種の混交ではこまめな手入れが必要不可欠であるものと判断された。

キ 引用文献

- (1)秋田県林務部（1994）秋田県広葉樹施業技術ハンドブック．93pp，秋田県．
- (2)有岡利幸（1992）ケヤキ林の育成法．大阪営林局森林施業研究会，104pp，大阪営林局，大阪．
- (3)藤森隆郎（1991）多様な森林施業．191pp，林業改良普及双書 107，全国林業改良普及協会，東京．
- (4)藤森隆郎・河原輝彦（1994）広葉樹林施業．175pp，林業改良普及双書 118，全国林業改良普及協会，東京．
- (5)豪雪地帯林業技術開発協議会編（2000）雪国の森林づくり．189pp，日本林業調査会，東京．
- (6)前田雄一・藤田亮・植田幸秀・谷本丈夫（1989）ケヤキースギ二段林の実態解析．日本林学会論文集 100：249-252．
- (7)前田雄一・藤田亮・谷本丈夫（1991）単木的にみたケヤキの樹幹型と樹冠の広がりについて．日本林学会大会論文集 102：453-454．
- (8)前田雄一（1998）スギ一斉林内に侵入したケヤキの樹幹型と生長経過．日本林学会大会論文集 109：313-314．
- (9)澤田智志・石田秀雄（1995）スギ・ケヤキ混交林の林分構造．日本林学会東北支部会誌 47:57-59．

（秋田県森林技術センター 澤田智志）

(2) ブナ人工植栽による針広混交林造成

ア 研究目的

一斉林施業を継続したスギ人工林は植物多様性が低く、野生動物の生息場所として劣悪であるといわれている。経済林としての管理が放棄された人工林は環境保全や野生生物の生息場所としての機能が期待されるが、そのような機能を発揮するためにはスギ一斉人工林に比べ広葉樹の混交した林分が望ましいと考えられるものの、針葉樹純林から針広混交林への誘導技術に関する研究はほとんど皆無である。多雪地域では、針葉樹の不成績化が進行した地域においても周囲に種子供給源となる広葉樹林が残されており、低コスト・合自然的な天然更新による混交林化が期待される。しかし、不成績化が進行し、無立木化が進んでいる造林地においては、林床面の荒廃により森林の復元が困難になるまえに早急に改良施業を始めなければならない。また、不成績造林地の森林機能回復のための施業は、画一的に行うべきではなく、不成績の度合いや立地条件等に応じて方針を決定することが重要となる。

そこで、スギ不成績造林地の改良施業の指針を構築するうえでもっとも緊急性のある不成績化の度合いが進み、林床にススキ、ササが優占し始めたスギ不成績造林地にブナの人工植栽による針広混交林化を試みた。

イ 研究方法

ブナ植栽による針広混交林化の調査は山形県西村山郡西川町で実施した。平坦地の調査地における立地環境と林分構造は、標高470m、斜面傾斜度 3°、最深積雪深150～200cm、根雪日数120～140日、土壌型B_B、有効土層厚16cmで、林床に優占するササの平均稈高 102cm、造林木スギの林齢は24年、立木密度 1,100本/ha、平均胸高直径12.2cm、平均樹高7.1m、平均枝下高2.0m、平均根元曲り34.6cmであった。一方、傾斜地の調査地における立地環境と林分構造は、標高450～480m、斜面傾斜度28°、斜面方位E30S、最深積雪深150～200cm、根雪日数120～140日、土壌型B_B、有効土層厚14cmで、ササの平均稈高98cm、造林木スギの林齢は同じく24年、立木密度1250本/ha、平均胸高直径 8.0cm、平均樹高4.4m、平均枝下高1.6m、平均根元曲り81.0cmであった。

・ブナ植栽試験

対象林分は雪害および土壌条件の不適合による成長不良のためにスギが消失し、ススキ、ササが優占する無立木地である。林分内にブナを普通植えと斜植え（鉛直方向から斜面下部に45度傾けた植栽方法）の植栽方法でha当り500本植栽した。植栽方法毎に隣接した各々10×10m方形区を1調査地とし、林分内に3ヶ所の調査地を設定した。植栽後5成長期後にブナの生存率を調査した。

・ブナ大苗植栽試験

上記と同じ林分内にブナの大苗（植栽直後の平均樹幹長 155.4cm）を斜植え（鉛直方向から斜面下部に45度傾けた植栽方法）の植栽方法でha当り2000本植栽した。研究林分内の平坦地と傾斜地に 25×10m方形区の調査地を設定した。植栽から5成長期後のブナの根元径、樹高、樹幹長、倒伏角度、樹形、および諸被害の推移を調査し、10成長期経過後にブナの樹形について調査し、雪圧に対応したブナの樹形を5区分に類型化することにより今後の雪害等の危険性について検討

した。また、成長と樹形等の継続した調査を可能とするために、野兎の食害対策として毎年11月下旬にペースト状の野兎忌避剤をブナの梢端部を中心に枝にも塗付した。

ウエ 結果と考察

・ブナ植栽試験

5成長期後のブナの生存率は、普通植えで25.3%、斜植えで71.3%であった。ブナの幼齢期における生存率への植栽方法の効果を検討するために、生存率をANScombeの方法で逆正弦変換し分散分析法により分析した。分析結果から、ブナの幼齢期における生存率には植栽方法間に有意な差が認められ、斜植えが生存率を高めるのに有効であることが認められた。また、生存しているブナは被害の多少にかかわらず100%野兎による食害を受けていた。よって、今後不成績化の進行が予想されるスギ不成績造林地において無立木化、荒廃地化を防止する手段としてブナの斜植えによる人工植栽は有効であると考ええる。また、野兎がブナ苗の幹を切断する食害は高さ約60cmまでの報告（片岡 1990）もあり、幼齢期には獣害対策が不可欠と考える。

・ブナ大苗植栽試験

表233-1にブナ大苗植栽木の成長経過（植栽直後と5成長期後）を示す。1994年5月中旬に植栽し、活着率は100%であった。枯死に致る致命的な雪害はなく、5年目の生存率も100%であった。平均樹高は植栽当初109.9cm（平均樹幹長155.4cm）で、ササ（平均稈高約100cm）から梢端をわずかにのぞかせる大きさであったが、5年目には168.9cm（平均樹幹長193.9cm）となり、ササの上に枝を展開する程になった。また、斜植えのため植栽から3年目までは斜立した樹

表233-1 ブナ大苗の成長経過（5成長期経過時）

		平坦区(0度)	傾斜区(28度)
平均根元径	(mm)	29.1 (22.5)	28.3 (22.0)
平均樹高	(cm)	186.5 (111.4)	151.3 (108.4)
平均樹幹長	(cm)	204.0 (157.5)	183.8 (153.3)
生存率	(%)	100.0	100.0
倒伏角度：先	(度)	10 (45)	15 (45)
倒伏角度：元	(度)	45 (45)	60 (45)
幹折れ率	(%)	4.0 (0.0)	2.0 (0.0)
野兎害率	(%)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
野鼠害率	(%)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
枝抜け率	(%)	6.0 (0.0)	0.0 (0.0)

注1：植栽1994.5中旬、密度2000本/ha、活着率100%

注2：()内の数値は植栽当初の数値

注3：倒伏角度は鉛直方向から斜面下部方向への倒伏角度（植栽時は45度）

形であったが、4年目からは樹幹長の中央部から先が鉛直方向上部に伸長し、J型の樹形を形成し始めた。このJ型の樹形は、ブナの二次林で観察される雪に対応した根元曲りの樹形をサイズの小さくした形であった。獣害の発生率は、両調査地とも0%であった。調査地周辺の広葉樹植栽地の野兎害率が平均で70%であったことから、野兎忌避剤の効果が認められた。野兎がブナ苗の幹を切断する食害は高さ約60cmまでとの報告（片岡 1990）と積雪環境を合せて考えると、鉛直方向上部に伸長し始めた梢端を守るためにブナが雪から1m程度抜け出すまでは獣害対策が必要であると考ええる。

植栽にあたって林地全面への地拵えは行わず、植栽作業の障害となる最小面積のササ等を刈り払った。そのため、両調査地ともササの被度がほぼ100%を保ち、ササが他の植生の成長を阻害したために下刈りは必要でなかった。このことから、針葉樹不成績造林地における広葉樹の植栽では、林床に優占したササを利用することにより、すなわちササの稈高以上の苗木（斜植えでは稈高の約1.5倍）を植栽することにより、下刈り施業の省力化が図れると考える。

つぎに、植栽後から成林（密度管理が必要な段階）前までの課題を明らかにするため、10成長期を経過したブナ大苗木を側面から見た様態を観察し、任意に5つの樹形区分をしてその頻度を調査した。樹形区分はⅠ型が根曲りして垂直L・J字型に立ち上がる健全なタイプ（写真233-1：左）、Ⅱ型は斜め植えした主幹が枯死し幹の途中から立ち上がるタイプ、Ⅲ型は直立せずにS字に屈曲しているが梢端が直立しているタイプ、Ⅳ型はⅢ型と似るが梢端が直立しないタイプ（写真233-1：右）、Ⅴ型は雪害で主幹が折れて枯死したタイプとした。



樹形区分：Ⅰ型



樹形区分：Ⅳ型

写真233-1 10成長期経過後のブナの樹形

傾斜地ではⅠ型58%（43-72%）、Ⅱ型42%（28-57%）で主幹が直立して成長する傾向にあり、植栽木は主林木として成長できる可能性が高い。一方、平坦地では、Ⅰ型30%（18-44%）、Ⅱ型10%（3-22%）、Ⅲ型34%（21-48%）、Ⅳ型22%（12-36%）、Ⅴ型4%（0-17%）で雪害による

被害を反映したⅢ～Ⅴ型の比率が合計60%と高く、今後も雪害を受ける可能性が高いと判断した。よって、平坦地における広葉樹植栽では、雪害回避のために、できるだけ早い時期に雪上木となるために大苗植栽、斜植え等の保育施業が必要である。

オ 今後の問題点

ブナ植栽試験地を成林（密度管理が必要な段階）と考えられる林齢まで継続調査し、ブナ植栽による針広混交林化の成否とその条件について明確にする必要がある。

カ 要約

針葉樹不成績造林地の不成績の進行を防ぎ、森林機能を十分に発揮する針広混交林に誘導するために、ブナの人工植栽による針広混交林化を試みた。スギ不成績造林地において林床にササが優占していれば、混交林化する施業としてブナ大苗斜植えが有効であることが認められた。

キ 引用文献

片岡寛純（1990）望ましいブナ林の取り扱い方法(村井宏ら編：ブナ林の自然環境と保全)、
（株）ソフトサイエンス社、399pp. 東京

（山形県森林研究研修センター 小野瀬浩司）

「交付金プロジェクト」は、平成13年度に森林総合研究所が独立行政法人となるにあたり、これまで推進してきた農林水産技術会議によるプロジェクト研究（特別研究など）の一部、および森林総合研究所の経費による特別研究調査費（特定研究）を統合し、研究所の運営費交付金により運営する新たな行政ニーズへの対応、中期計画の推進、所の研究基盤高揚のためのプロジェクト研究として設立・運営するものである。

この冊子は、交付金プロジェクト研究の終了課題について、研究の成果を研究開発や、行政等の関係者に総合的且つ体系的に報告することにより、今後の研究と行政の連携協力に基づいた効率的施策推進等に資することを目的に、「森林総合研究所交付金プロジェクト研究成果集」として刊行するものである。

ISSN 1349-0605

森林総合研究所交付金プロジェクト研究 成果集 11
「針葉樹人工一斉林の針広混交林化誘導手法開発のための
基礎的データセットの作成」

発 行 日 平成18年 9月 1日

編 集・発 行 独立行政法人 森林総合研究所

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地

電話. 029-873-3211 (代表)

印 刷 所 筑波印刷情報サービスセンター協同組合

