

ISSN 0918-113X

研究報告

第 17 号

2007. 6

秋田県農林水産技術センター
森林技術センター

目 次

1. 森林の保育がもたらす生物多様性機能の効果	長岐 昭彦・和田 覚	1～ 35
2. 広葉樹を活用した海岸防災林造成技術の開発	金子 智紀・田村 浩喜	37～ 60
3. スギ高齢林の伐採による土壤炭素変化量の測定 (森林吸収源計測・活用体制整備強化事業)	澤田 智志・森貞 和仁 (森林総研)	61～ 70
4. 低アレルゲンスギの系統選抜に関する研究	佐々木 揚	71～ 82
5. 未利用木質資源を原料とする飼料の開発に関する研究	佐藤 博文	83～ 92

森林の保育がもたらす生物多様性機能への効果

長岐 昭彦・和田 覚

Effect of biological diversity function brought by forest tending

Akihiko NAGAKI · Satoru WADA

要 旨

生物多様性機能を向上させる森林の保育方法を検討するため、スギ壮齢林および広葉樹二次林において、間伐等による植物相、鳥類相、ほ乳類相の変化を調べた。その結果、スギ壮齢林では、低木層に生育する広葉樹を残すとノウサギやヒヨドリの利用頻度が、林床植物層を繁茂させると森林性野ネズミやヤブサメの利用頻度がそれぞれ高くなった。広葉樹二次林では、保育として一般的に行われている下層の刈払いを伴う間伐により、亜高木層・低木層林木が減少し、キビタキ、ヒヨドリ、ヤブサメ、ウグイスなどの鳥類や、ノウサギ、キツネ、テンなどほ乳類の出現頻度も減少した。また、双方の林分で、生産者の低木層植物量、被食者のノウサギ足跡数、捕食者のキツネ・テン足跡数にそれぞれ正の相関が示された。これらの結果から、鳥類ではキビタキ、ヒヨドリ、ヤブサメ、ウグイスなど、ほ乳類ではノウサギや森林性野ネズミを指標種とし、その動態を調査することによって、スギ壮齢林および広葉樹二次林における鳥類・ほ乳類の多様性機能を評価することができると考えられた。そして、これら指標種の生息に適した森林環境に誘導するため、スギ林では、除間伐時に亜高木層・低木層に生育する広葉樹を可能な限り残し、林内の光環境が悪化しないよう定期的に行うこと、広葉樹二次林では、高木層を対象に間伐を行い、亜高木層・低木層を残すことが望ましいと考えられた。

I. はじめに

1. 社会的背景

近年、多様な公益的機能を有する森林の重要性が改めて認知され、木材生産のみならず水土保全や二酸化炭素固定、生物多様性の保全等、多くの機能を充分発揮させることを目的とした「持続的な森林経営」への転換が求められている。このような国内外の情勢を背景に、2001年10月、森林・林業基本法が改正され、「持続可能な森林経営」は森林行政の基本理念に定められた。さらに、森林の取り扱いを具体的に定めた森林・林業基本計画では、重視すべき機能に応じて森林を3区分し、それぞれにふさわしい整備を示しながら、生物多様性の保全、二酸化炭素固定の推進については、総ての森林で充分発揮できるよう明示している（12）。

また、北東北3県では、1998年の第2回北東北知事サミットにおいて北東北の持続可能な森林経営の取り組みが合意された。これを受け、森林・林業に関する独立行政法人、大学、各県の試験研究機関の研究員らで構成する部会を設置し、2002年3月に「北東北における持続可能な森林経営に向

た基準と指標」を策定した(7)。この基準・指標のうち、基準2に「様々な動植物が生息、生育している」いわゆる生物多様性の保全が示されている。

本研究は、これらの社会情勢を背景に、本県を代表するスギ壮齢林と広葉樹二次林において生物多様性を評価するモニタリング手法を検討し、生物多様性機能が高められる森林の整備方法を明らかにすることを目的とした。

2. 研究の進め方

生物多様性は、持続可能な森林経営を実施するうえで、重要な機能と位置づけられながら、その機能の向上および評価の方法は不明な点が多い。現在この機能評価の1つとして、生息種の多さを指標とする方法がある。生物の中でも、全種の約7割を占め最も多様性に富んでいる昆虫類は、この手法に最もふさわしい対象動物といえる。生息全種を把握するためには膨大な労力と時間を要するため、ある特定の科あるいは目を対象範囲とし、その中の生息種の多さを指標とする方法が多頻度に用いられている。しかしながら、結果で得られた特定範囲の生息種の多さが、森林にどう貢献しているのか、具体的な説明に乏しいのが現状である。

一方で、生物間の相互作用は、種の多様性に進化の過程で強く働き、生物多様性を産む要因の1つとされ、近年、それぞれ地域の森林で研究が進められている(3)。そして、生物間の相互作用を示す代表的な模式図として食物連鎖のピラミッドがあげられる。一般的に、食物連鎖の上位である猛禽類や肉食ほ乳類が生息する生態系ほど、餌となる下位の生物種数が多く、ピラミッド全体を大きくしている=生物種が多く生態系が豊かであると考えられている。

これらのことから、スギ壮齢林および広葉樹二次林に生息する鳥類およびほ乳類を調べ、その中で猛禽類や肉食ほ乳類の種類を確認した。また、餌となる動物の種類や個体数、さらに餌動物の餌資源となる植物の生育状態を調べ、餌資源(植物)－被食者－捕食者の3者の関係を明らかにしようとした。そして、餌動物の中から特定の種を環境指標種として選出することを試みた。

鳥類については、日本で確認された種は約550以上と多い。また、1つの森林の中で上層、中層、下層に棲み分けを行う種も多く、1林分でも環境が整えば多くの種・個体数が生息できる。これらことから、森林内の各層の発達状況と鳥類の出現状況を調べ、各層の代表種を指標種の候補とした。

ところで、秋田県における里山は、スギ林や薪炭材生産としての広葉樹林が多く、昔からヒトの作用が絶えず働き、手つかずの原始生態系とは異なる生態系を創り出してきた。近年、スギ材価の低迷および薪炭材需要の激減から、スギ林および広葉樹林の放置林分が増加している。その結果、スギ林では下草の少ない真っ暗な林分が増加し、広葉樹林ではナラ枯れなどの新たな病虫害の発生もみられるようになり、元来の里山の生態系が崩れるおそれもできている。そのため、里山では手入れして健全な生態系を育む森林を創り出す必要がある。

のことから、前記の環境指標種の選出条件の1つとして、森林の手入れによる個体数が維持・安定する種であることがあげられる。また、選出条件の2つ目として、本県を代表するスギ壮齢林やブナ・ナラ二次林で本手法を適用可能にするため、これらどの林分にも生息が確認できる種であることがあげられる。

この2つの条件から特定種を選出し、餌環境および捕食者の動態との連動性を調べて、生物多様性を評価する1手法として活用できるかと、この機能を高められる具体的な保育方法を検討した。

本報告は、平成14～18年度に実施された県単独課題「生物多様性を考慮した森林管理技術の検討」、および平成12～15年度に実施した農林水産新技術実用型研究「多様な広葉樹の育成・管理技術の開発」で行った研究の一部をとりまとめたものである。

II. 調査地の概況および方法

1. 調査地の概況

1) スギ林

スギ林の調査地は、大館市長坂の33～40年生林分（林齢は調査開始年の2002年当時、以下同じ）および大館市山瀬の150年生林分、北秋田市阿仁小様の40年生林分を対象とした。図-1にスギ調査地の位置図を示す。

大館市長坂の調査地には3つの小沢があり、それぞれの流域単位の林分を上沢(6.6ha)、中沢(7.5ha)、下沢(6.5ha)とした。これらの林分は、調査開始年までに除間伐を数回行っている。上沢の尾根を挟んだ西側にはコナラを中心とした約30～50年生の広葉樹林(7.8ha)があり、これを比較調査地とした。また、調査地の東側にはスギ若・壮齡林や広葉樹の灌木林などが混在している切れ込んだ大沢があり、3林分内の小沢はいずれもこの大沢に合流している。標高は90～170mで、最大積雪深は約100～150cmである。

大館市山瀬の林分は、長坂調査地の鳥類調査の比較調査地として選定した。長坂調査地から約10km離れた箇所に位置し、約150～200年生の天然スギの林分(13.0ha)内には広葉樹の大径木も多く、針広混交林の様子を呈している。標高は約330～400mで、最大積雪深は約150～200cmである。

北秋田市阿仁小様の調査地は、ノウサギの生息調査地として選定し、34年生時の2001年に帶状間伐した35年生の林分(5.7ha)と、34年生時の1991年に収入間伐を行った45年生の林分(3.6ha)を対象林分とした。標高は200～320mで、最大積雪深は200cmを超える。

2) ブナ林

ブナ林の調査地として、ササの生育密度が少ない由利本荘市鳥海町上笛子の34～79年生林分と、ササが密生している仙北市田沢湖高原の77～89年生林分を選出した。図-2にブナ調査地の位置図を示す。両調査地内では、育成天然林整備を実施した林分がある。秋田県における育成天然林整備は、用材林およびきのこ原木林育成を目的として、不用木の除去・不良木の淘汰を行うことになっている。しかし、現実には形質の悪い上層木の整理伐とあわせ、景観が良くなる理由から下層木の刈り払いも行っている（以下“景観間伐”という）。

鳥海調査地は、ブナとミズナラを中心とした広葉樹林約80haが存在し、このうち約20haを1999年冬季に景観間伐した。地内の沢筋には小面積のスギ壮齡林が点在し、東側の主尾根には広葉樹の中にアカマツが混在している。標高は250～450mで、最大積雪深は約150cm前後である。

田沢湖高原調査地では、ブナ林71.6haのうち1998年の秋季に28.0haを景観間伐した。調査地の中

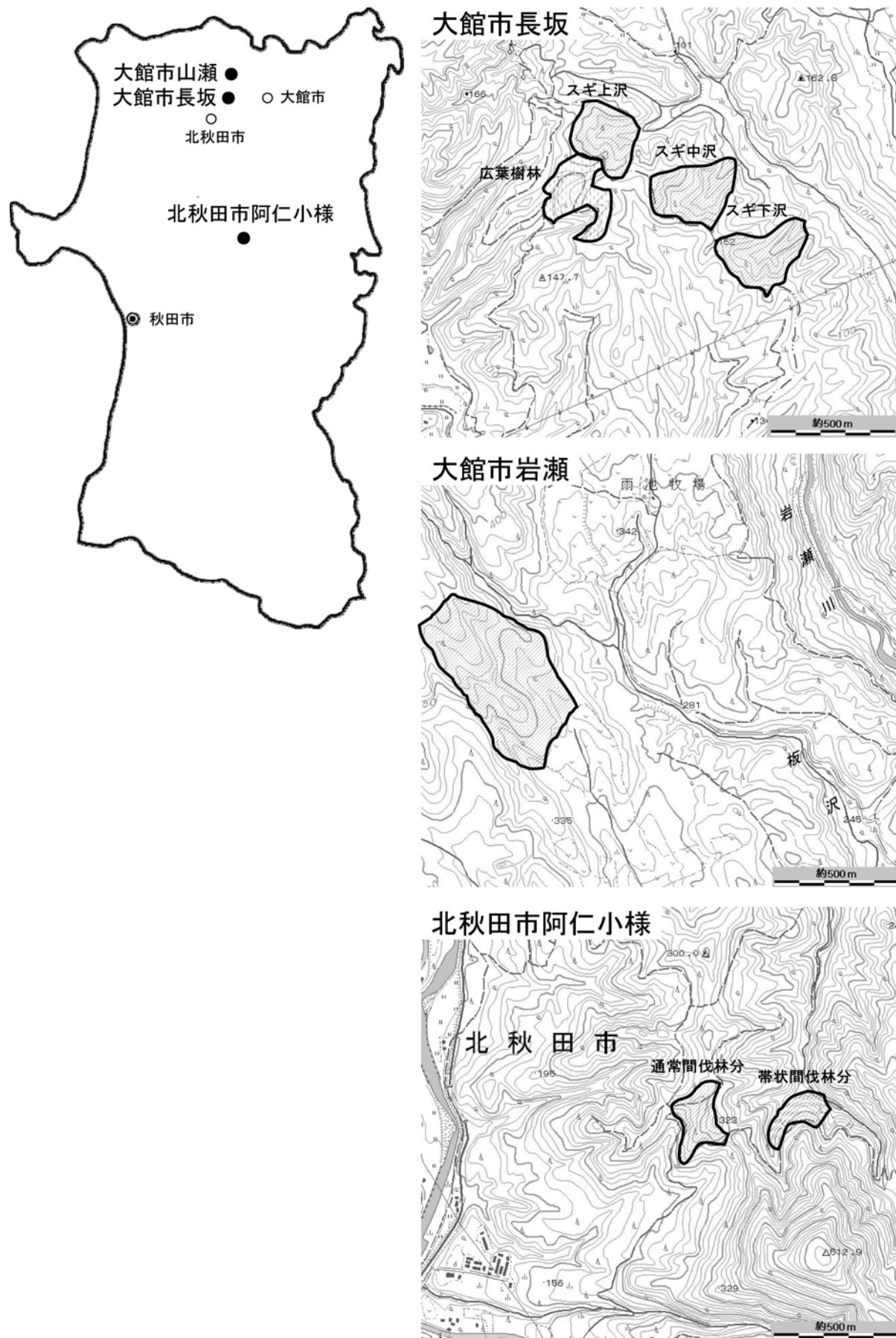


図-1 スギ調査地の位置図

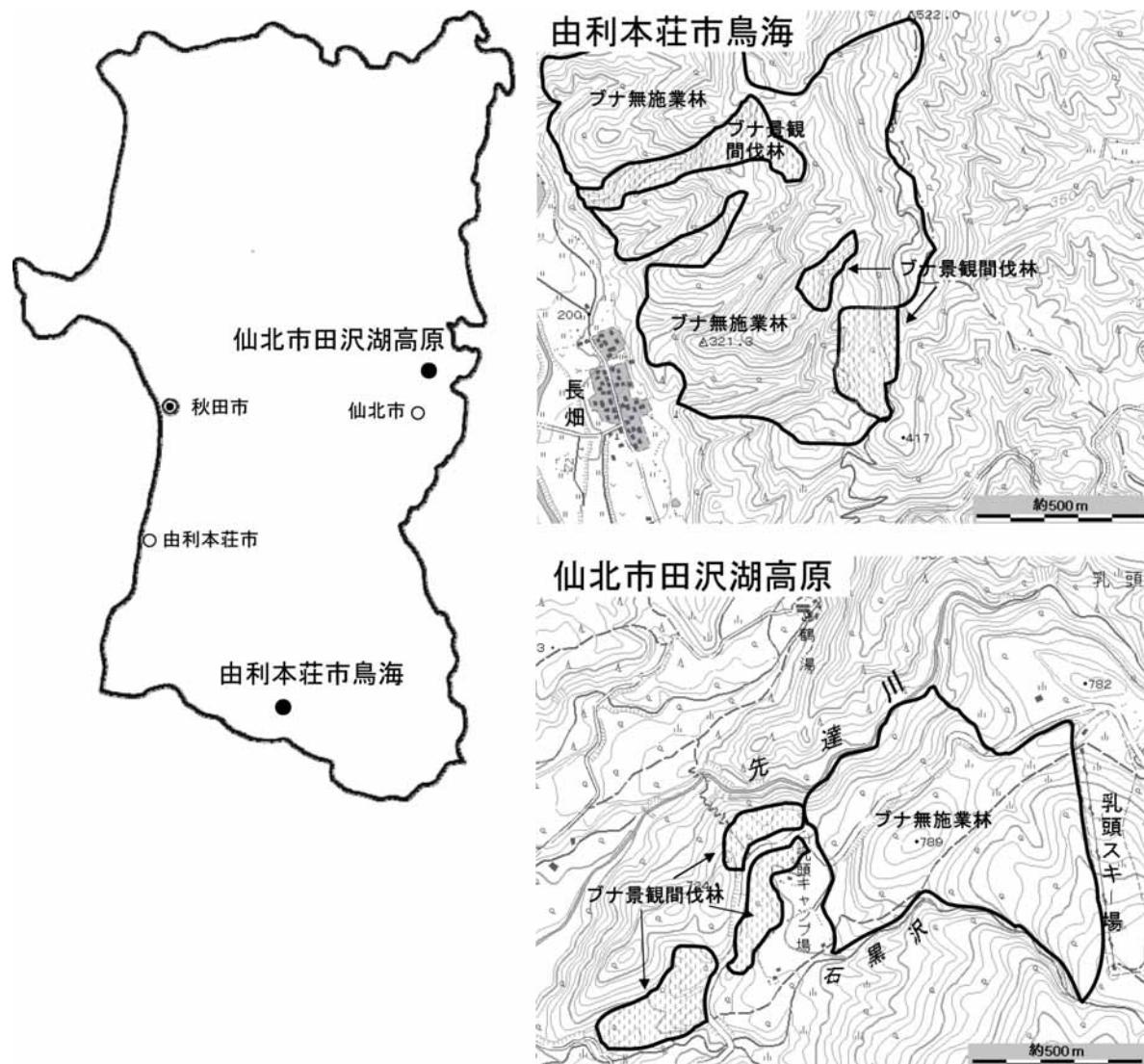


図-2 ブナ調査地の位置図

を県道が通り、県営キャンプ場およびスキー場が隣接している。標高は640～830mで、最大積雪深は200cmを超える。

2. 調査方法

1) 植物相調査

植物相を高木層、亜高木層、低木層、林床植物層（草本層）の4層に区分し、うち低木層は高さ1.2m以上とし、林床植物層は高さ1.2m未満とした。調査は、各層別に種類、本数、胸高直径、高さを測定した。また、林床植物層に生育するツル性植物は長さを計測し、輪生状に葉を伸ばすシダやスゲの種類は1群を1つとして数えた。ブナ林調査地の景観間伐林分では、伐根の樹種、数、直径を調べ、現存する立木の根元径から伐採された林木の高木・亜高木層別を推定した。

長坂スギ林調査地では、上沢、中沢、下沢に50×50mの高木・亜高木層調査区を各1個設け、その中に10×10mの低木層調査区と2×2mの林床植物層調査区を各2個設置し、2003年6～7月に調査を行った。さらに、2006年6～9月、広葉樹林に40×30mの高木・亜高木層調査区を1個設け、また、

スギ3林分と広葉樹林に 20×2 mの低木層調査区を2~5個、 1×1 mの林床植物層調査区を4~10個設け、調査を行った。

鳥海ブナ・ミズナラ林調査地では、景観間伐した林分と無施業林分に、 25×20 mの高木・亜高木層調査区を各4個、 10×10 mの低木層調査区を各4個、 2×2 mの林床植物層調査区を各8個ずつ設け、2001年6~7月、2002年6月に調査を行った。

田沢湖高原ブナ林調査地では、景観間伐林分と無施業林分に、 40×25 mの高木・亜高木調査区を各2個、 20×2 mの低木層調査区を各5個、 1×1 mの林床植物層調査区を各10個ずつ設け、2006年6~7月に調査した。

2) 鳥類相調査

鳥類繁殖期の5月下旬~7月上旬にポイントセンサスにより調査を行った。1林分あたり林縁から50m以上離れ、かつポイント間の距離が100m以上になるように5あるいは10箇所のポイントを設けた。各ポイントでは、早期に3分間、鳴き声と目視より半径50m以内に出現する種類と個体数を記録した。

長坂スギ林調査地では、上沢、中沢、下沢、広葉樹林と大沢付近の林縁にそれぞれ5点ずつ、岩瀬の針広混交林に8点を設け、2002~5年に年3~4回調査を行った。

鳥海ブナ・ミズナラ林調査地と田沢湖高原ブナ林調査地では、景観間伐林分と無施業林分に各10ポイントずつ設け、鳥海調査地は2001~4年に、田沢湖高原調査地は2004~6年に、それぞれ年3回調査を行った。

3) ほ乳類相調査

①自動撮影装置による生息調査

長坂スギ調査地である上沢、中沢、下沢、広葉樹林の計4林分と鳥海ブナ・ミズナラ林調査地の景観間伐林分と無施業林分の計2林分に、5台の赤外線センサーを用いた自動撮影カメラ（有限会社麻里府商事製）を50m以上の間隔で、立木の地上高約50cmに荷造りベルトで固定した。設置の際、撮影範囲内の地面に生育する植物や落枝を除去した後、剥きクルミ、ドッグフード類、リンゴや柿の果実等を置き、フィルムはISO800の35mmを使用した。1回の設置期間は7~10日間で、雪解け直後の4~5月を春季、6~8月を夏季、9~10月を秋季、積雪前の落葉期を11~12月を冬季とし、2005年の夏季~2006年秋季まで各季1回ずつ行った。

②積雪期の足跡調査

長坂スギ調査地と鳥海ブナ・ミズナラ調査地それぞれの周辺林分で、積もった雪が固くなる2月下旬に、10cm以上の降雪日の1~3日後に調査を行った。調査は、雪上に巻き尺を伸ばし、1つの足跡ないよう注意しながら、長さ $10m \times$ 幅 $2m$ （巻き尺の両側を目測で1mずつ）の調査区を連続して設を追わけ、区内を出入りする総ての足跡の種類と数を測定し、高木・亜高木層の林相、雪上に出ている低木層の有無と量を目測で記録した。長坂調査地では2003年と2005~6年に、鳥海調査地では2006年に行なった。

③ノウサギの生息調査

調査対象林分に 10×2 mの調査区を10あるいは16個設置し、区内あるノウサギの糞粒数と糞塊数

を測定した。調査区は2個縦に連続させて、林分内に均等に配置した。糞塊は、20cm四方の範囲に10個以上の糞粒があった場合とし、総ての糞粒は測定後に調査区域より除いた。調査は、融雪直後の4～6月上旬、夏季の7～8月、積雪前の11～12月の年3回行った。

長坂スギ調査地では、上沢、中沢、下沢、広葉樹林にそれぞれ10×2m区16個を、沢を挟み両斜面の中腹に配置した。調査は、2004年5月～2006年11月まで計8回行った。

阿仁小様スギ調査地では、列状間伐林分の伐採した箇所と残存木の箇所、そして通常の間伐林分を対象箇所とし、それぞれ10×2m区を10個設けた。調査は、2005年5月～2006年11月まで計6回行った。

鳥海ブナ・ミズナラ調査地では、景観間伐林分と無施業林分にそれぞれ10×2m区を10個設け、2005年6月～2006年11月まで計6回行った。

④野ネズミの生息調査

長坂スギ調査地の上沢、中沢、下沢、広葉樹林と鳥海ブナ・ミズナラ調査地の景観間伐した林分でブナの優勢林分、ミズナラの優勢林分、そして無施業林分で森林性野ネズミの生息調査を行った。調査はシャーマントラップを用い、3～4日連続の記号放逐法により行った。記号放逐法とは、連日、生捕りした野ネズミに識別マークを記した後、その場に放逐し、識別個体の再捕獲率から生息数を推定する方法である。トラップは、ヒマワリの種を餌とし1林分につき60×40mの24箇所に、10m間隔で格子状に1箇所あたり1～2個を設置した。捕獲した野ネズミは、種、性別、後足長、成幼獣別、生殖器の成熟状態を記録した。

森林性のアカネズミやヒメネズミは、一般に春季と秋季の年2回、繁殖期がある(10)。そこで調査は、春季繁殖の5～7月、春季と秋季繁殖期の間で個体数低下が予想される8月にそれぞれ1回、秋季繁殖期の9～11月に1～3回行った。調査期間と回数は、長坂調査地では2003年7月～2006年10月に11回、鳥海調査地では、2003年9月～2006年11月に15回である。

また、鳥海試験地では各林分のトラップ設置地域内に50×15mを1個設け、高木層・亜高木層に生育する林木の種類と本数、胸高直径、高さを2006年6～8月に調べた。

III. 結果と考察

1. スギ林内の下層植生変化がもたらす生物多様性機能への効果

1) 下層植生相による鳥類の出現変化

①植物相の特徴

高木・亜高木を上木とし、大館市長坂調査地の上沢、中沢、下沢、広葉樹林における上木層の平均樹高、平均胸高直径、立木本数密度を表-1に示す。上沢・中沢・下沢のスギ3林分の上木層は、ほとんどがスギであった。3林分の中で、中沢の樹高、胸高直径が最も大きく、本数密度が低かった。また、下沢の樹高、胸高直径が最も小さく、本数密度が高かった。広葉樹林の主な樹種は、コナラ、カシワ、クリであった。

次に、4林分の低木層の生育本数を図-3に、林床植物層の生育本数を図-4に示す。広葉樹林で

表-1 長坂調査地の各林分概況

林分名	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	立木密度 (本/ha)	主な樹種
上沢	11.3	16.9	1,980	スギ
中沢	16.3	20.2	1,415	スギ
下沢	7.4	11.6	2,595	スギ
広葉樹林	12.2	12.5	983	コナラ カシワ クリ等

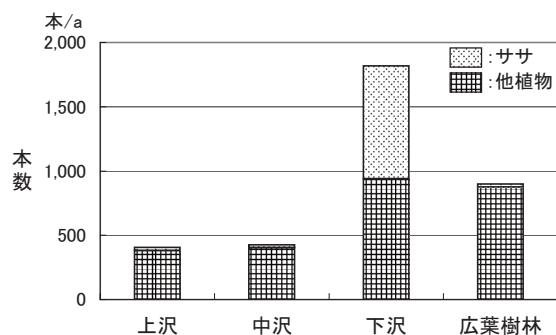


図-3 低木層の生育本数(長坂調査地)

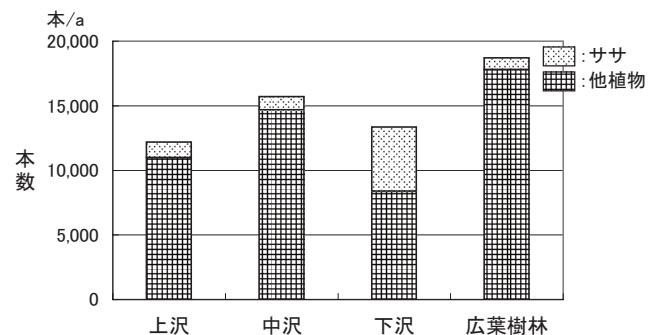


図-4 林床植物層の生育本数(長坂調査地)

は低木層、林床植物層の生育本数が共に多かった。上沢、中沢、下沢のスギ3林分の中では、低木層は下沢が多く、上沢、中沢は同程度、林床植物層のササを除いた本数は中沢が多く、上沢、下沢と続いた。また、4林分の中で下沢は、低木層、林床植物層にササが多く生育していた。

②出現鳥類の特徴

前記4林分に、大沢付近の林縁、大館市岩瀬の針広混交林分を加え、全6林分における2002~5年合計値の鳥類出現状況を表-2に示す。長坂と岩瀬調査地の定点数および年の調査回数が異なることから、表-2の数値は、年間の出現数を5定点3日間分で算出し、4年間分の合計を示した。表-2により岩瀬の針葉混交林分は、総出現種数が最も多く、総出現数も多かった。長坂調査地の中では大沢林縁が総出現数・種数が多く、他4林分はほぼ同程度であった。

スギ林の上沢、中沢、下沢に出現した種別の特徴を以下に述べる。

オオルリ：大沢林縁に多く出現したオオルリは、渓畔周辺の広葉樹林を好んで生息する種である。オオルリは、スギ林の中沢・下沢では出現せず、上沢に出現した。上沢の沢筋には、胸高直径20cm前後の広葉樹が点在し、他のスギ林分中沢・下沢の沢筋には灌木類のみが生育し広葉樹の高木はなかった。この鳥は、巣材にコケ類を利用するため、比較的暗い林分に営巣する。よって、渓流周辺の広葉樹林に点在するスギ林をよく利用する（西出私信）。これらのことから、渓畔周辺のスギ林では、沢筋に高木性の広葉樹を残すことによりオオルリを誘致できると考えられた。

ヒヨドリ：長坂調査地の全林分で最も多く出現した種であり、中でもスギ林下沢、大沢林縁における出現数が他林分と比較し多かった。この鳥は、様々な植物の果実や昆虫を食す(8)。スギ林下沢は、上沢や中沢と比較し、低木層に多くの広葉樹が生育している。また、大沢林縁もスギ若・壯齡林や広葉樹の灌木林などが混在している。このようにスギと広葉樹が混在している林分は、果実の種類も多いうえに、多様な昆虫も生息できると考えられる。食餌対象が多様なヒヨドリにとって、このような林分を好んでいると思われる。

カワラヒワ・ホオジロ：カワラヒワはスギ林中沢や混交林で、ホオジロはスギ林中沢と大沢林縁で出現数が多くなった。この2種は低標高の里山に生息し、農耕地、疎林、灌木林、草原など開けた場所を好み、樹上や地上を採餌場所とする(8)。特にホオジロは林縁に多く出現する。スギ林中沢は、尾根に近い斜面の一部が雪害によって疎林化している。また、岩瀬の針広混交林は、自然観察教育林として林内一部を整地しアスレチック遊具が設置され、草本類が繁茂している箇所がある。カワラヒワやホオジロにとって、これらの箇所が、好適環境となり出現個体数が多くなったと推察される。

ウグイスの仲間（ヤブサメ、ウグイス）：これらの鳥は、地上部を主な生息場所とすることが知られて

表-2 ポイントセンサスによる鳥類の出現状況（長坂調査地）

	上沢	中沢	下沢	沢縁	広	混交
オオルリ	6			8	1	2
キビタキ		2		1	8	20
クロツグミ	1			1	4	4
イカル	2			1	3	3
メジロ	4		2		1	37
カワラヒワ	1	12	2	7		12
ヒガラ						1
シジュウカラ	9	5	4	15	13	25
ヤマガラ					1	5
コガラ					2	5
ヤブサメ	19	13	6	13	10	13
センダイムシクイ						15
ウグイス		1	3	4	1	6
ホオジロ	15	22	14	42		3
ヒヨドリ	44	36	69	75	42	12
アカゲラ				3	3	3
アオゲラ						1
コゲラ	1			1	3	6
ゴジュウカラ						2
サンコウチョウ				1		
キジバト		1	1	3	4	
カケス			3	2		1
他	3	4	1	10	1	2
出現種数	13	11	10	20	15	22
出現数計	105	95	105	187	97	178

※「混交」は岩瀬調査地の結果

いる。ヤブサメは、スギ林のうち上沢・中沢で出現数が多く、下沢は少なかった。図-4よりササを除いた林床植物層の生育本数は、下沢が最も低かった。このことより、ササを除いた林床植物層の繁茂状況がヤブサメの生息に影響を与えると推測された。

ウグイスは、長坂の大沢林縁や岩瀬の針広混交林で出現数が多くなった。これらの林分には、ササが非常に繁茂している場所が多くあった。このことよりウグイスは、ササが密生している林分に多く出現していると推測された。

2) 下層植生相によるほ乳類の出現変化

①自動撮影によって確認されたほ乳類の種類と出現状況

センサーハイブリッドカメラを用い、自動撮影によって確認された大館長坂調査地のほ乳類の種類と出現数を図-5に表す。数値はカメラ5台による1日分の撮影頻度を単位として示している。自動撮影により生息が確認されたほ乳類は、カモシカ、ノウサギ、アカネズミ、ヒメネズミ、リス、タヌキ、キツネ、アナグマ、テン、イタチ、ツキノワグマ、コウモリ目であった。このうちアカネズミ・ヒメネズミの撮影頻度は、総ての林分で極めて多かったので、この2種を除いて図示した。ほ乳類の他に、鳥類のヒヨドリ、カケス、クロツグミ、ハシブトガラスが、主に地上に置いた餌を見つけやすい落葉期に撮影された。図-5よりほ乳類の中ではノウサギとタヌキの撮影頻度が高くなかった。ノウサギはスギ林下沢、広葉樹林で、タヌキは広葉樹林で多く撮影された。自動撮影を用いた調査では、生息種を確認できても(4, 10), 相対密度を推定するための技術方法は、現在のところ検討段階である。

②積雪期における餌植物とノウサギと捕食者の出現関係

積雪期の足跡調査で生息が確認されたほ乳類は、カモシカ、ノウサギ、野ネズミ、リス、キツネ、テン、イタチ、イヌ、ネコであった。これらのうちノウサギと、その捕食者として確認されているキツネ、テン(6)の林分別足跡数を図-6に示す。各調査日の総調査区数と平均積雪深は、2003年2月28日に207区と43cm, 2004年2月24日に282区と91cm, 2005年2月20日に339区と101cmであった。ノウサギの足跡数は、3回の調査ともスギ林上沢、中沢、下沢の中で下沢が最も多かった。それに伴い、捕食者のキツネ・テンの足跡数も下沢が最も多くなった。広葉樹林におけるノウサギの足跡数は、他林分と比較し2003年、2005年は少なかったが、2006年には多かった。キツネ・テンの足跡数はそれに連動し、2003年、2005年に少なく、2006年に多くなった。2005年、2006年には上沢、中沢、下沢以外のスギ壮齢林で調査し、雪上に現れている下層広葉樹の有無別に区分した。ノウサギの足跡数は、下層に広葉樹のほとんどないスギ壮齢林で全くみられなかつたが、下層に広葉樹のあるスギ壮齢林では確認できた。キツネ・テンの足跡数も同様の傾向を示した。

次に、ノウサギの餌植物の状態をみてみる。ノウサギは植物の種類によって嗜好性を示すが、ほとんどの植物を食することが知られている(13)。林床植物層は調査を行った3カ年ともほとんど埋雪し、餌として利用できない状態であった。低木層の多くは雪上に出現しているため、この地域の積雪期の餌植物量は低木層の本数で推定できる。図-3より、上沢、中沢、下沢、広葉樹林の低木層の本数は、下沢で最も多く、次いで広葉樹林と続き、上沢、中沢が同程度で最も低かった。上沢、中沢、下沢のスギ林におけるノウサギの足跡数は、餌植物となる低木層の本数に正の関係を示した。広葉樹林では、

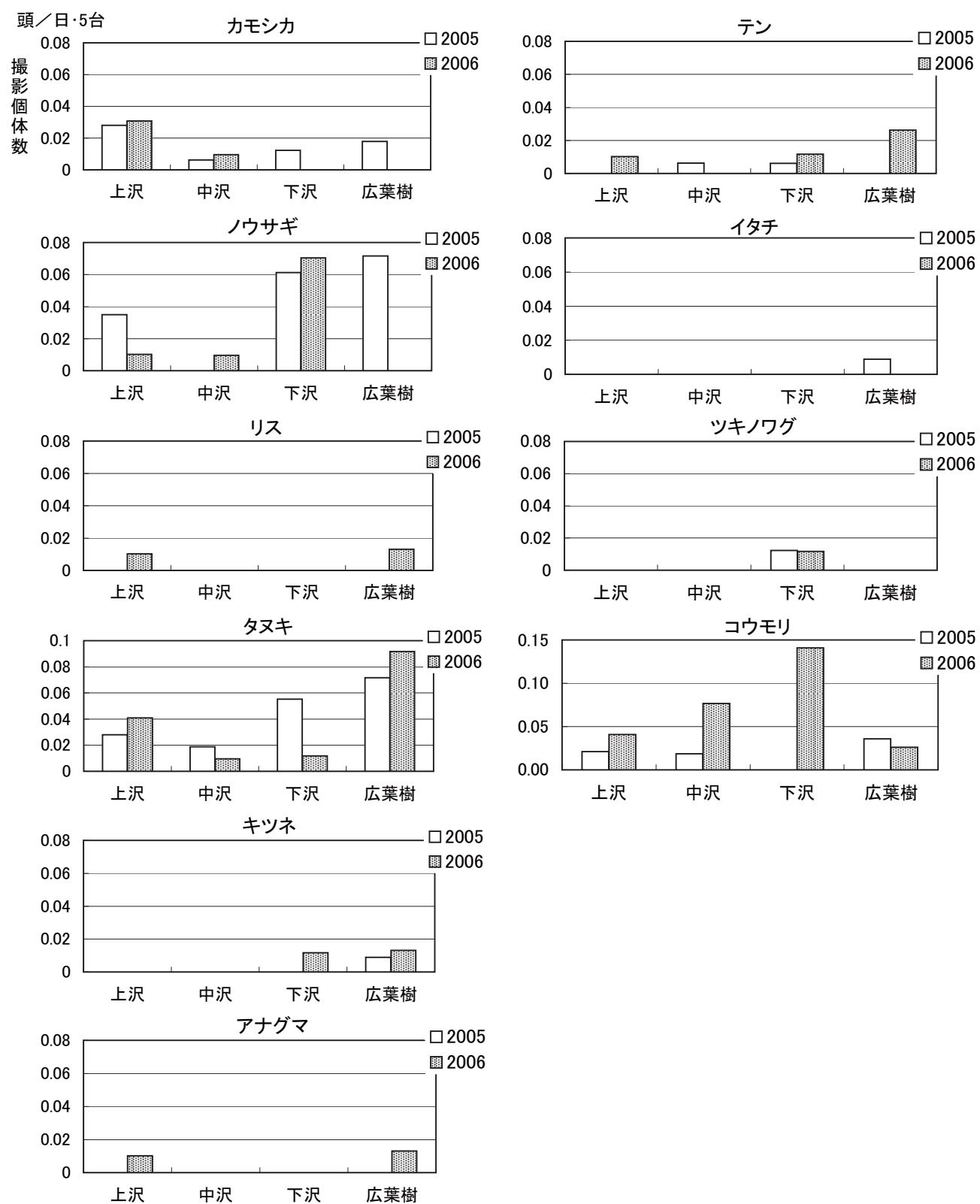


図-5 センサーハーネスによるほ乳類の撮影個体数(長坂調査地)

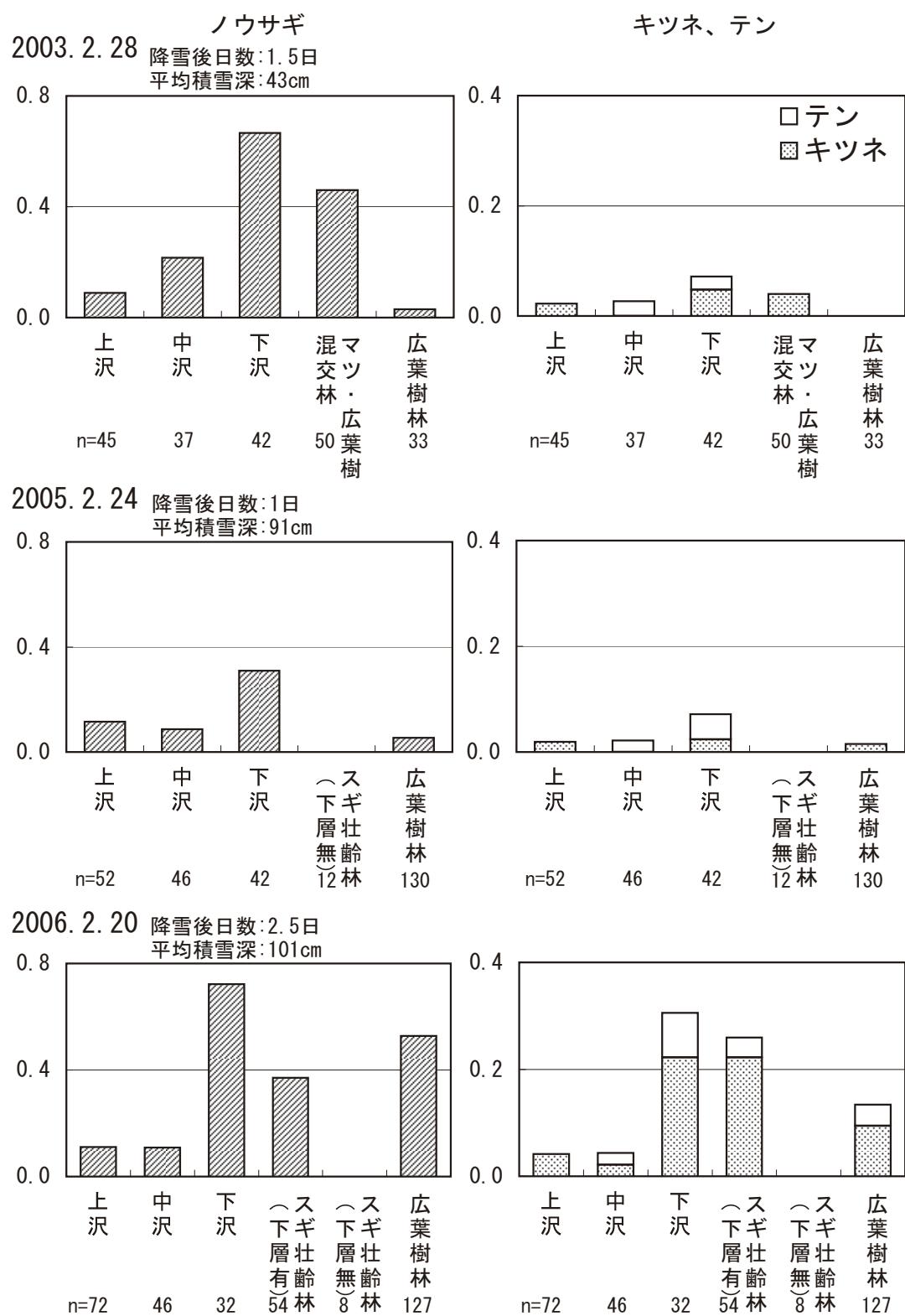


図-6 積雪期におけるノウサギ、キツネ・テンの足跡出現数（長坂調査地）

低木層の餌植物量が多いにもかかわらず、調査日により利用頻度の較差が大きい。ノウサギは降雪量が多くなると、一時的に積雪深の少ないとろへ避難することが報告されている(1)。2003年と2005年の調査時には20cm以上の新雪があったが、2006年の調査時は約10cmの新雪であった。また、広葉樹林ではスギ林と比べ、樹冠に遮られず林床への降雪量が多くなる。これらのことから、2003年と2005年の調査前の降雪により、広葉樹林ではスギ林と比べ林床への降雪量が多く、ノウサギは行動を制約されてしまい利用足跡数が少なくなったと考えられた。

この調査結果より、低木層の多いスギ林分では、ノウサギの利用数も増え、その捕食者であるキツネ・テンの利用数も増えることが示された。

③ノウサギの季別出現変化と餌植物の生育状況

長坂調査地の糞粒調査によるノウサギの糞粒数の推移を図-7に、糞の分布推移を図-8に示した。図は積雪期と無積雪期に分けて表している。積雪期の糞粒は、降雪により埋雪され、腐敗することな

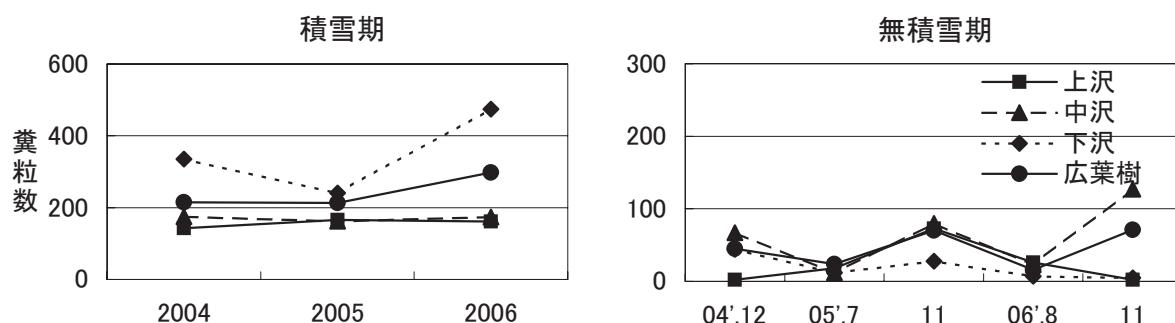


図-7 積雪期・無積雪期におけるノウサギの糞粒数の推移(長坂調査地)

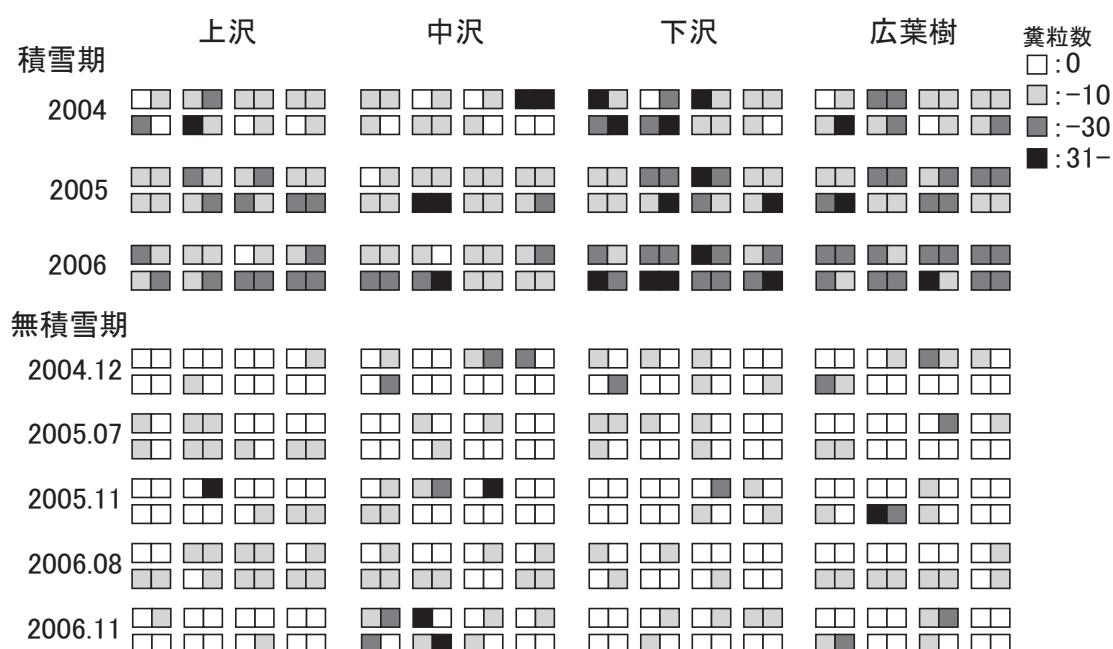


図-8 ノウサギの季別面的利用推移(長坂調査地)

く融雪時その場の地面に現れる。よって、融雪後まもない4～5月に測定した糞は、積雪期の糞と判断した。図-7と8より無積雪期は、積雪期より糞粒数が少なかった。この要因の1つに、無積雪期には、腐敗やフンコロガシ等昆虫の利用によって消失する糞が多いと考えられた。

積雪期の糞粒は下沢や広葉樹で多く、上沢や中沢ではより少なくなった。この結果は、前述したノウサギの足跡調査の結果と符合する。

無積雪期のうち積雪前の11～12月調査時に、ノウサギの糞粒数が中沢、広葉樹林で多くなった。ノウサギは餌植物が多い林分や寝場所（天敵から身を隠すカバー）のある林分を選択して出現することが報告されている（2）。このことから、カバーが点在している餌場や、餌植物が部分的に偏ってある場所では、ノウサギが集中的に利用し糞塊も多くなると推定される。図-9にノウサギの糞塊分布の経過を示す。図-9より、無積雪期の11～12月に中沢と広葉樹林で糞塊数が増え、かつ毎年、特

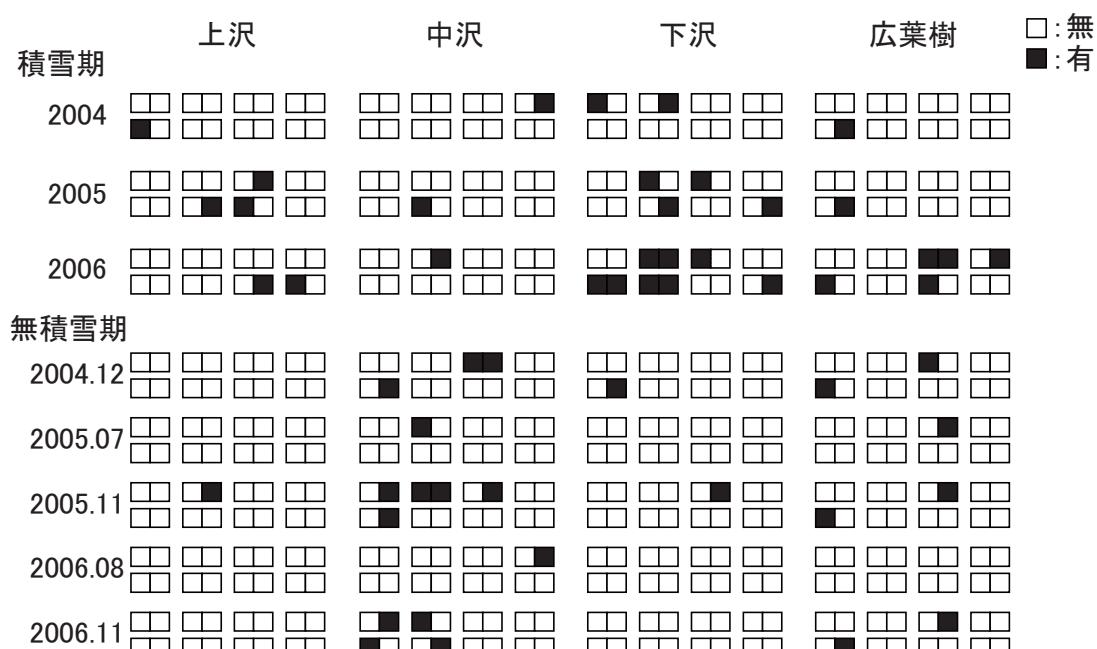


図-9 ノウサギの糞塊分布推移(長坂調査地)

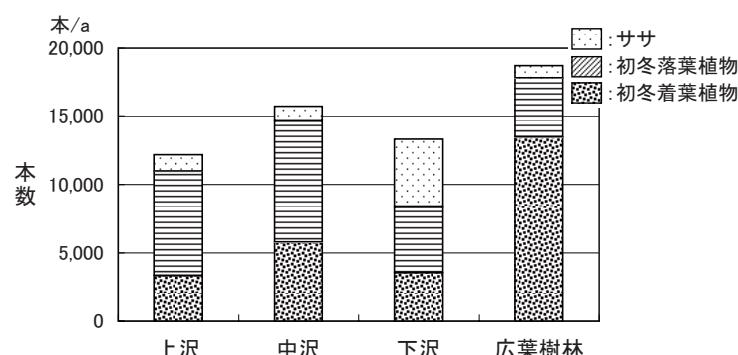


図-10 初冬の着葉・落葉別林床植物層生育本数(長坂調査地)

定の調査区付近に糞塊があった。

そこで、11～12月の初冬、ほとんどの植物が落葉しているこの時期に葉が着いている植物に着目した。着葉植物として、ヒメアオキやハイイヌツゲなどの常緑広葉樹、ヤマツツジなどの半落葉樹、コカансゲやショウジョウスゲなどのスゲの仲間、シシガシラなどのシダ類、ツリアリドウシやショウジョウバカマなどの草本類などがみられた。無積雪期、ササはノウサギにほとんど利用されないため除外した。図-10に、林床植物層の着葉植物の本数を各林分別に表した。図-10から、着葉植物は中沢や広葉樹林が上沢や下沢より多く、また、部分的に集中して生育していた。これらのことから、積雪前、多くの植物が落葉した中、常緑広葉樹などの着葉植物が多い中沢や広葉樹林でノウサギの利用頻度が高くなつたと推測された。

次に、北秋田市阿仁小様の列状間伐調査地における積雪期・無積雪期別のノウサギの糞粒数推移を図-11に、糞の分布推移を図-12に、糞塊の分布推移を図-13に示す。長坂調査地同様、積雪期の方が無積雪期より糞粒数が多かった。これらの図より、積雪期の糞粒数は、列状間伐の残木列や通常

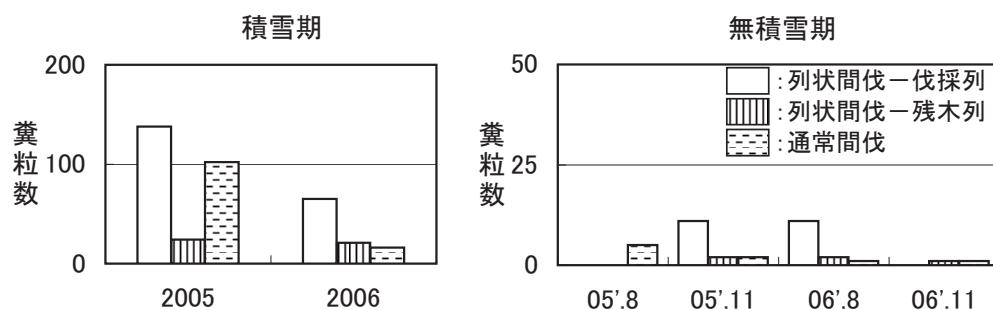


図-11 積雪期・無積雪期におけるノウサギの糞粒数の推移(阿仁小様調査地)

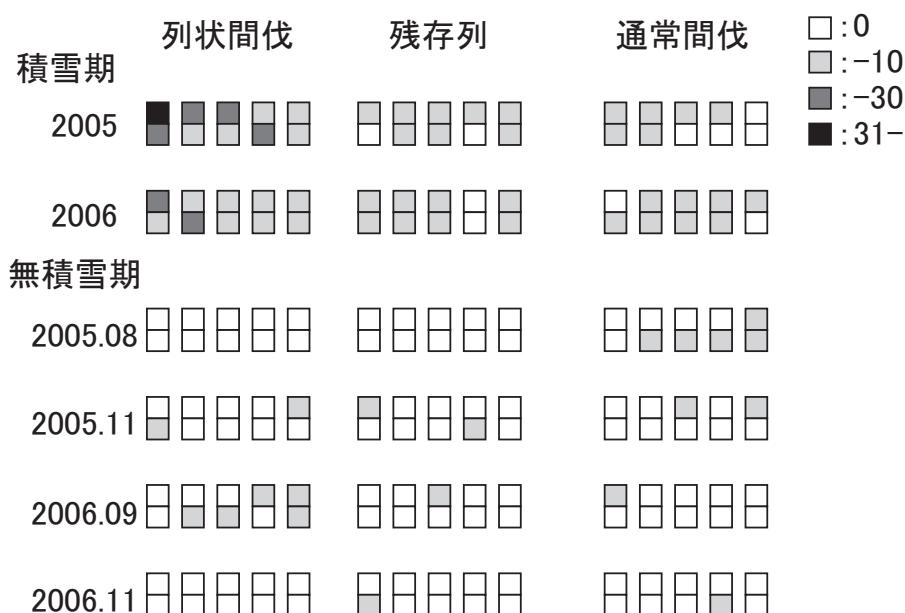


図-12 ノウサギの季別面的利用推移(阿仁小様調査地)

積雪期	列状間伐	残存列	通常間伐	□:無
				■:有
2005	■□□■■	□□□□□	□□□□□	
2006	□■□□□	□□□□□	□□□□□	
無積雪期				
2005.08	□□□□□	□□□□□	□□□□□	
2005.11	■□□□□	□□□□□	□□□□□	
2006.09	□□□□□	□□□□□	□□□□□	
2006.11	□□□□□	□□□□□	□□□□□	

図-13 ノウサギの糞塊分布推移(阿仁小様調査地)

間伐林分より列状間伐の伐採列の方が2カ年とも多くなった。また、無積雪期の糞粒数は、2005年11月と2006年8月に列状間伐の伐採列が他2林分より多くなった。

列状間伐の伐採列は、小面積皆伐にあたる。よって他の林分より林床への日射量が多いいため、目測でも低木層や林床植物層の植物量も多いことがわかる。このため、ノウサギにとって積雪期、無積雪期どちらの時期も餌場となり、利用頻度が高くなったと推測される。

④野ネズミの出現状況

長坂調査地のスギ上沢、中沢、下沢、広葉樹林における野ネズミ調査の結果、生息が確認された種類はアカネズミ、ヒメネズミ、ヤチネズミの3種であった。記号放逐法により推定した生息数は、次式より算出した。

$$N = n \times m / r$$

N:推定生息数, n:捕獲個体数, r:捕獲個体数の中の記号個体数, m:累積記号個体数

野ネズミの個体数動態を図-14に、3種の出現割合の推移を図-15に示した。ヤチネズミは上沢、中沢の特定の期間のみ確認され、下沢、広葉樹林では捕獲されなかった。図-14から年によって個体数の増減が激しいことが伺える。野ネズミ全種の最少個体数密度は、スギ林上沢で2005年5月の6頭/ha、中沢で2005年8月に29頭/ha、下沢で2005年11月に13頭/ha、広葉樹林で2005年11月に46頭/haとなり、広葉樹林の方がスギ林より高くなかった。また、スギ林調査区の中では、中沢が最も高くなかった。ヒメネズミやアカネズミは様々な植物の種子・果実の他、昆虫類や節足動物を食すとされる(5)。スギ林に比べ、広葉樹林の方が多様な植物に富んでいるため、特定種の種子・果実生産量の増減に影響を受けにくく、個体数が極端に減少しなかったと考えられた。スギ林調査区のうち林床植物層の生育本数は、図-4より中沢が最も多かった。このことが、スギ林調査区の中で、中沢の最少個体数密度が、上沢、下沢より高くなった要因の1つと推測された。

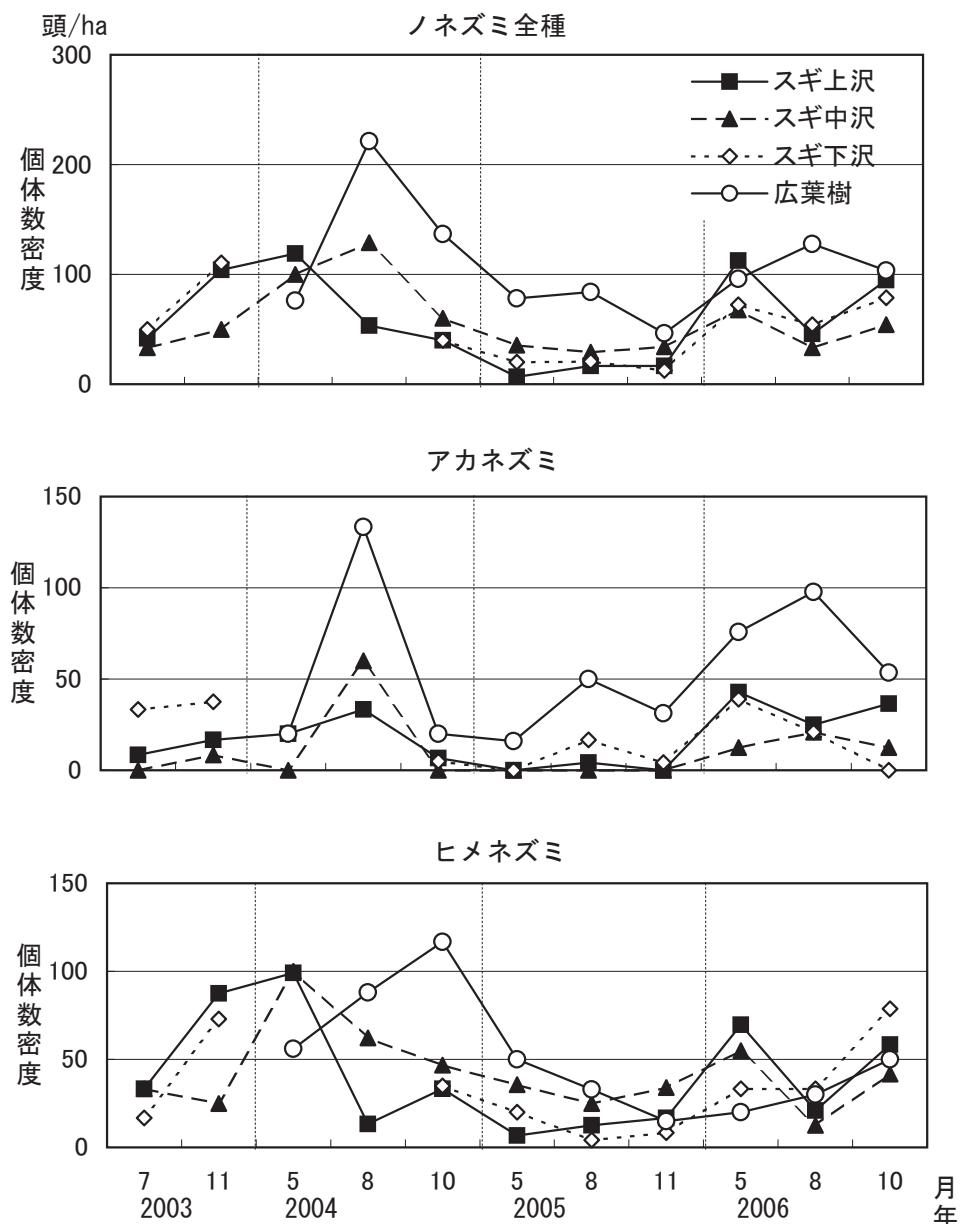


図-14 野ネズミの個体数動態（長坂調査地）

図-15の3種の出現割合の推移より、スギ3林分ではヒメネズミの方が多く出現し、広葉樹林ではアカネズミの方が多く出現する傾向にあった。一般に、ヒメネズミはブナなどの天然林に、アカネズミは里山の二次林や疎林等に優占して生息すると考えられている。今回の調査で、里山のスギ林と広葉樹林が隣接している林分では、アカネズミとヒメネズミがそれぞれ棲み分けしている傾向が認められ、ヒメネズミが里山のスギ林に、優占して生息していることが明らかとなった。

3) スギ林における生物多様性機能を高める施業方法の提言

スギ林は単一樹種が生育するため、広葉樹林と比較し鳥類やほ乳類の利用頻度も少なくなってしまう。鳥類の多様性やほ乳類の利用頻度を高くするためには、林分内に広葉樹を導入することが不可欠である。

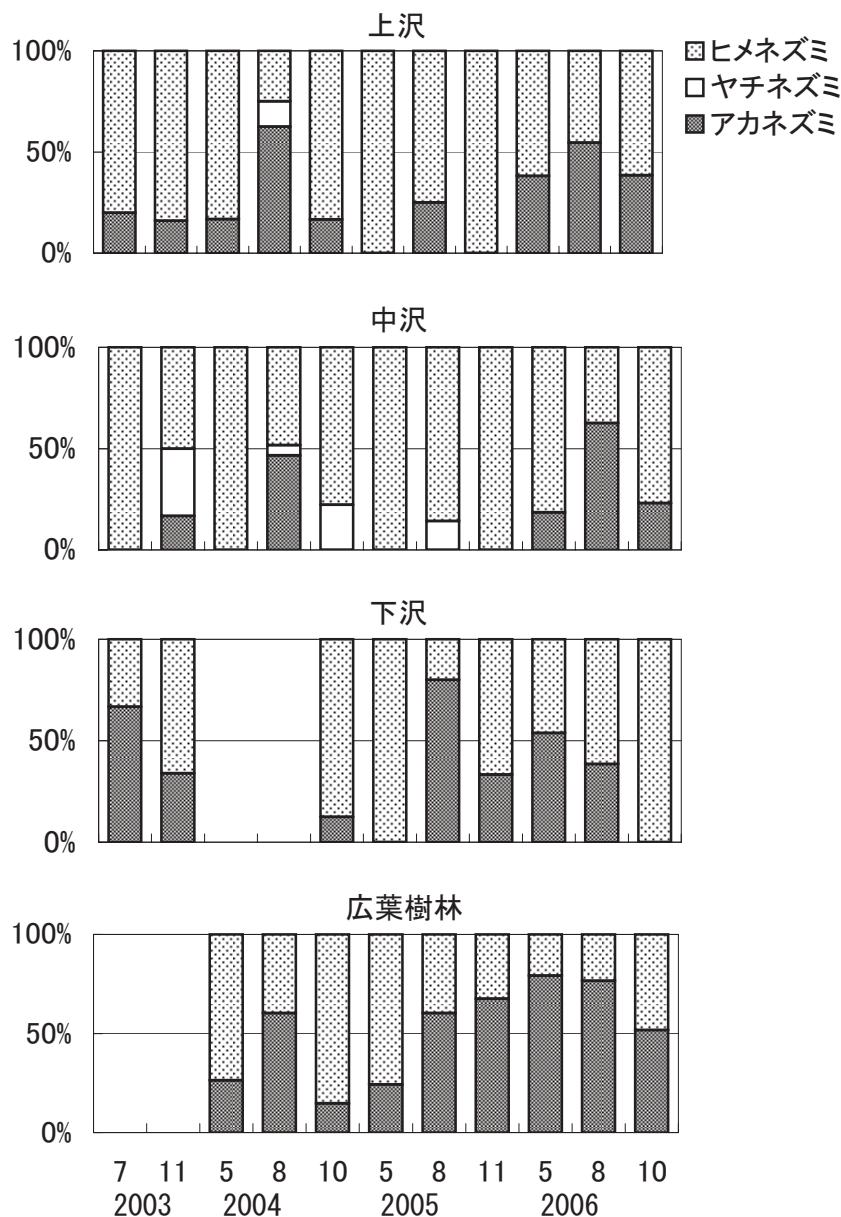


図-15 野ネズミ3種の出現割合の推移（長坂調査地）

今回の調査結果より、オオルリが生息する渓流沿いにあるスギ林では、林分内の沢筋に高木・亜高木層の広葉樹を残すとオオルリの利用を促すことが判った。また、スギ林内の尾根に広葉樹が残った林分では、鳥類出現種や数が増えた別の調査事例がある（長岐未発表）。さらに、本調査では、スギ林内に生育する低木層の広葉樹を残すとノウサギやヒヨドリの利用頻度を、林床植物層を繁茂させると野ネズミやヤブサメの利用頻度を、それぞれ高められると推定された。そして、生産者の低木層植物、被食者のノウサギ、捕食者のキツネ・テンにそれぞれ正の相関があることも示された。このことより、ノウサギの一定個体数を確保するほか、キツネやテン、イタチ、フクロウなどの猛禽類などノウサギ以上に多様な捕食者がいる野ネズミの個体数を増やすことで、多様な捕食者との生物間関係を産むことができると言える。また、ヒヨドリや野ネズミは、広葉樹の種子散布能力が高く、利用頻度を高く

するとスギ林内に広葉樹導入も促進できると推測される。

そして、ここでとりあげた鳥類のオオルリ、ヒヨドリ、ヤブサメ、ほ乳類のノウサギや野ネズミを指標種とし、動態を調査することによってスギ壮齡林における鳥類・ほ乳類の多様性機能を評価することができると考えられた。

スギ林をこのような森林環境に誘導するため、次のような施業方法が考えられる。

高木・亜高木層広葉樹の確保：常水流がある沢では、高木・亜高木性の広葉樹を、主な尾根筋では、アカマツや広葉樹林をそのまま手をかけず残す。既に沢や主な尾根もスギ林になっている場合は、沢や尾根筋のみ強度間伐を繰り返し、徐々に広葉樹の導入育成を促す。

低木層広葉樹の確保：除伐時に、林内に生育する広葉樹を総て刈り払わず、約半分を残すようにする。既に広葉樹を除伐時に刈り払った場合は、定期的な間伐を行い、その際に広葉樹を刈り払わないよう留意する。

林床植物層広葉樹・草本の育成：林冠の閉鎖により、林内の光環境が悪化しないよう定期的に間伐を繰り返す。

その他の施業方法：列状間伐により、伐採列でノウサギの利用頻度が高くなることが示された。伐採列は、猛禽類のハンティング場所にも適するといわれている。これらのことから、列状間伐は、生物多様性機能を高くする有効な施業方法と考えられる。

2. ブナ林の景観間伐による生物多様性機能への効果

1) 景観間伐による林相変化

鳥海調査地および田沢湖調査地の景観間伐林分と無施業林分における高木・亜高木層の樹種割合をそれぞれ表-3に示す。鳥海調査地では、景観間伐林分、無施業林分ともにブナが約30%強、ミズナラが約20%を占める。この2樹種以外で1割を越えて生育する樹種は、景観間伐林分ではクリ、ホオノキ、無施業林分ではホオノキであった。立木密度は、景観間伐林分で870本/ha、無施業林分で1,415本/haである。田沢湖調査地では、ブナの出現割合が高く、景観間伐林分で86%，無施業林で96%であった。立木密度は、景観間伐林分で540本/ha、無施業林分で1,250本/haである。

次に両調査地の高木層の立木密度を図-16に、亜高木層の立木密度を図-17にそれぞれ示す。これらの図から、景観間伐により、高木層の林木は約2~17% (n=6,av9.1%) しか伐採されていないのに対し、亜高木層の林木は約66~90% (n=6,av79.3%) も伐採されていたことが判る。

続いて、両調査地の低木層の本数密度を図-18に、林床植物層の本数密度を図-19に示す。両調査地とも景観間伐を行った林分では、低木層が皆無であった。また、無施業林分のササの出現割合は、鳥海調査地では1調査区で78%と多くなったが、残りの3区では0~7%と少なかったのに対し、田沢湖調査地では5調査区とも80%以上、平均88%と多くなった。林床植物層の本数は、両調査地とも景観間伐林分の方が、無施業林分より多くなった。

表-3 景観間伐林分と無施業林分における高木・亜高木層の樹種割合

鳥海調査地

樹種	景観間伐		無施業		
	実本数	ha当たり本数(%)	樹種	実本数	ha当たり本数(%)
ブナ	59	295 (33.9%)	ブナ	89	445 (31.4%)
ミズナラ	31	155 (17.8%)	ミズナラ	57	285 (20.1%)
クリ	30	150 (17.2%)	ホオノキ	39	195 (13.8%)
ホオノキ	18	90 (10.3%)	ベニイタヤ	21	105 (7.4%)
コシアブラ	13	65 (7.5%)	クリ	17	85 (6.0%)
ベニイタヤ	13	65 (7.5%)	シナノキ	16	80 (5.7%)
ベニヤマザクラ	7	35 (4.0%)	ベニヤマザクラ	12	60 (4.2%)
ウワミズザクラ	3	15 (1.7%)	ハウチワカエデ	5	25 (1.8%)
			コナラ	4	20 (1.4%)
			トチノキ	4	20 (1.4%)
			ウワミズザクラ	3	15 (1.1%)
			コシアブラ	3	15 (1.1%)
			ほか	13	65 (4.6%)
計	174	870	計	283	1,415

田沢湖調査地

樹種	景観間伐		無施業		
	実本数	ha当たり本数(%)	樹種	実本数	ha当たり本数(%)
ブナ	93	465 (86.1%)	ブナ	240	1,200 (96.0%)
ミズナラ	15	75 (13.9%)	コシアブラ	3	15 (1.2%)
			マルバアオダモ	3	15 (1.2%)
			ベニイタヤ	2	10 (0.8%)
			ミズナラ	1	5 (0.4%)
			ハウチワカエデ	1	5 (0.4%)
計	108	540	計	250	1,250

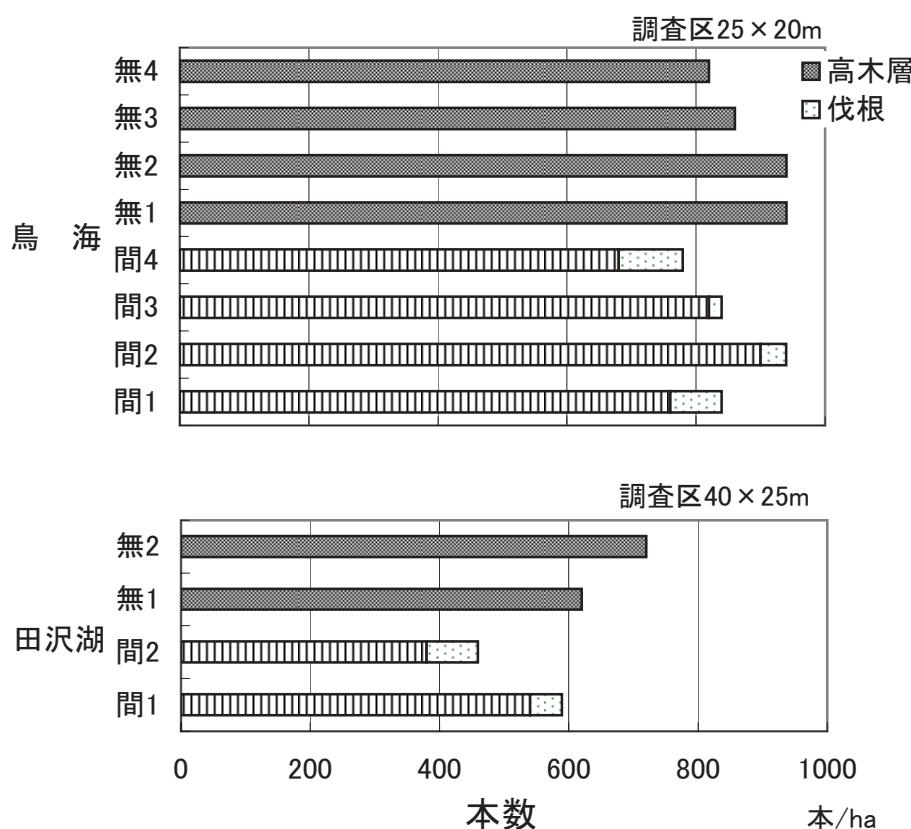


図-16 ブナ林における高木層の立木密度

表-3 景観間伐林分と無施業林分における高木・亜高木層の樹種割合

鳥海調査地

樹種	景観間伐		無施業		
	実本数	ha当たり本数(%)	樹種	実本数	ha当たり本数(%)
ブナ	59	295 (33.9%)	ブナ	89	445 (31.4%)
ミズナラ	31	155 (17.8%)	ミズナラ	57	285 (20.1%)
クリ	30	150 (17.2%)	ホオノキ	39	195 (13.8%)
ホオノキ	18	90 (10.3%)	ベニイタヤ	21	105 (7.4%)
コシアブラ	13	65 (7.5%)	クリ	17	85 (6.0%)
ベニイタヤ	13	65 (7.5%)	シナノキ	16	80 (5.7%)
ベニヤマザクラ	7	35 (4.0%)	ベニヤマザクラ	12	60 (4.2%)
ウワミズザクラ	3	15 (1.7%)	ハウチワカエデ	5	25 (1.8%)
			コナラ	4	20 (1.4%)
			トチノキ	4	20 (1.4%)
			ウワミズザクラ	3	15 (1.1%)
			コシアブラ	3	15 (1.1%)
			ほか	13	65 (4.6%)
計	174	870	計	283	1,415

田沢湖調査地

樹種	景観間伐		無施業		
	実本数	ha当たり本数(%)	樹種	実本数	ha当たり本数(%)
ブナ	93	465 (86.1%)	ブナ	240	1,200 (96.0%)
ミズナラ	15	75 (13.9%)	コシアブラ	3	15 (1.2%)
			マルバアオダモ	3	15 (1.2%)
			ベニイタヤ	2	10 (0.8%)
			ミズナラ	1	5 (0.4%)
			ハウチワカエデ	1	5 (0.4%)
計	108	540	計	250	1,250

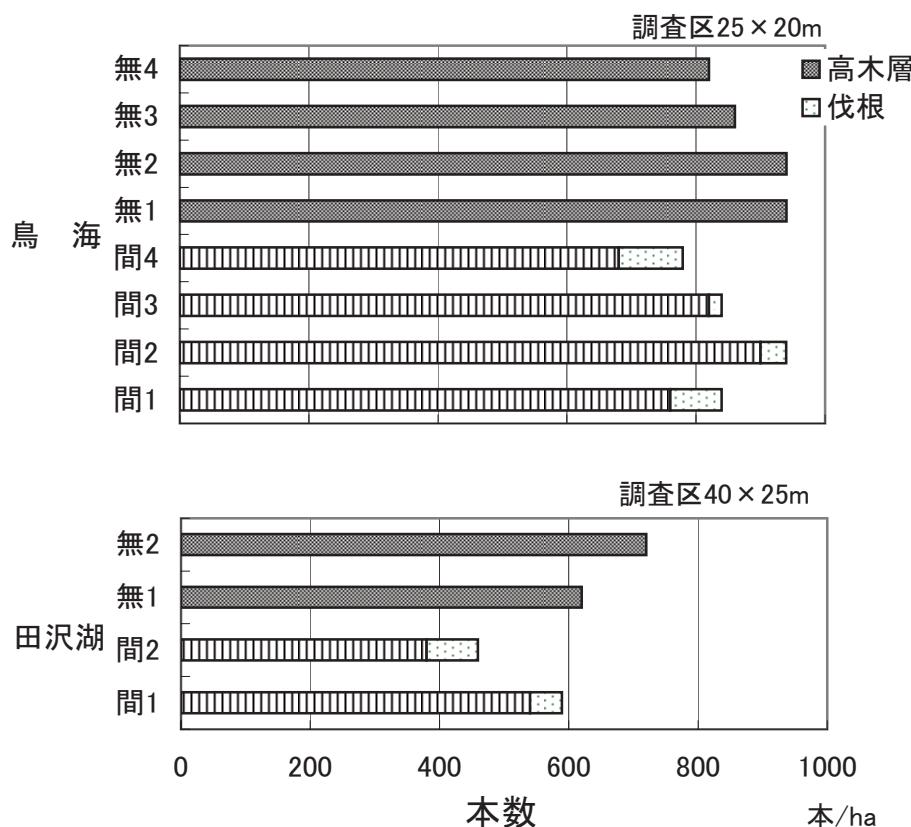


図-16 ブナ林における高木層の立木密度

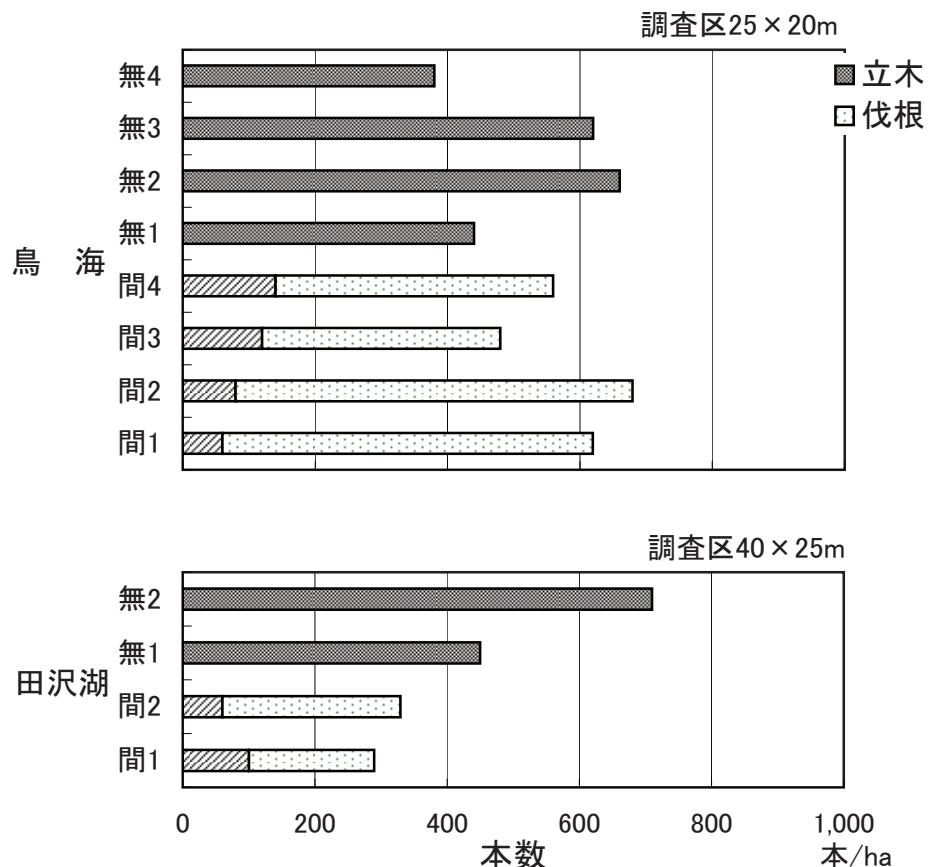


図-17 ブナ林における亜高木層の立木密度

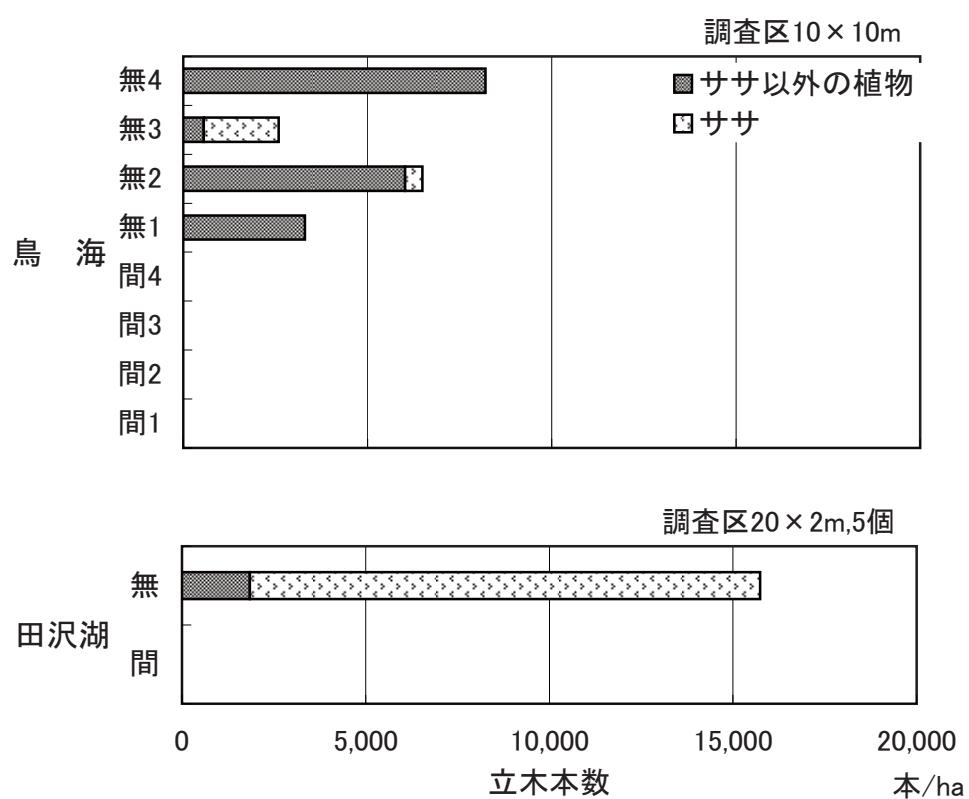


図-18 ブナ林における低木層の本数密度

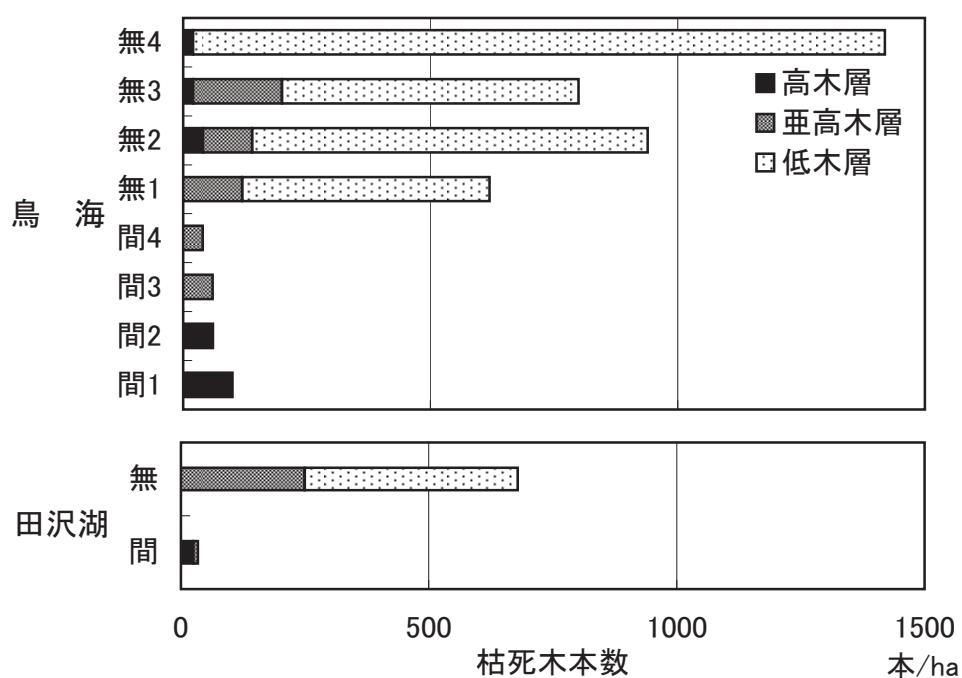
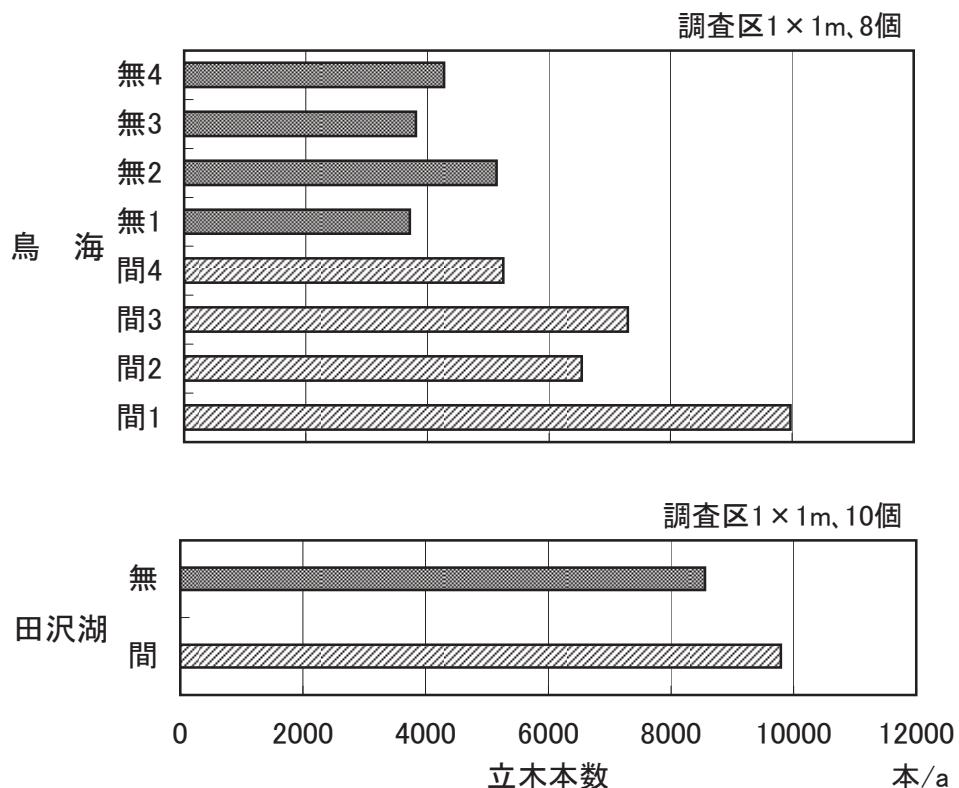


図-20 ブナ林における高木・亜高木・低木層の枯死木本数密度

最後に両調査地の高木層・亜高木層・低木層における枯死木の本数密度を図-20に示す。両調査地とも無施業林分では低木層の枯死木が多く、景観間伐林分では低木層が刈り払われるため、林分全体の枯死木も激減した。また、鳥海調査地では、景観間伐の2林分で、間伐してからまだ2年しか経過していないにもかかわらず、高木層の枯死木が無施業林分より多くなった。

これらのことから、景観間伐は、高木層をほとんど残し、亜高木層を対象に行っていることが伺えた。そのため、高木層では、間伐後短期間で枯死する林木が現れ、また、林内の光環境は間伐前とほとんど変化しないため、刈り払われて皆無となった低木層は、8年を経過した現在も外観上、ほとんど回復していない。一方、林床植物層は、亜高木層・低木層が減少・消失することにより林床への光環境が良くなり、景観間伐後すぐ増加する傾向にあった。これらの結果より、広葉樹林を景観間伐すると林分構造が図-21のように、高木層、林床植物層の2層になってしまふことが明らかとなつた。

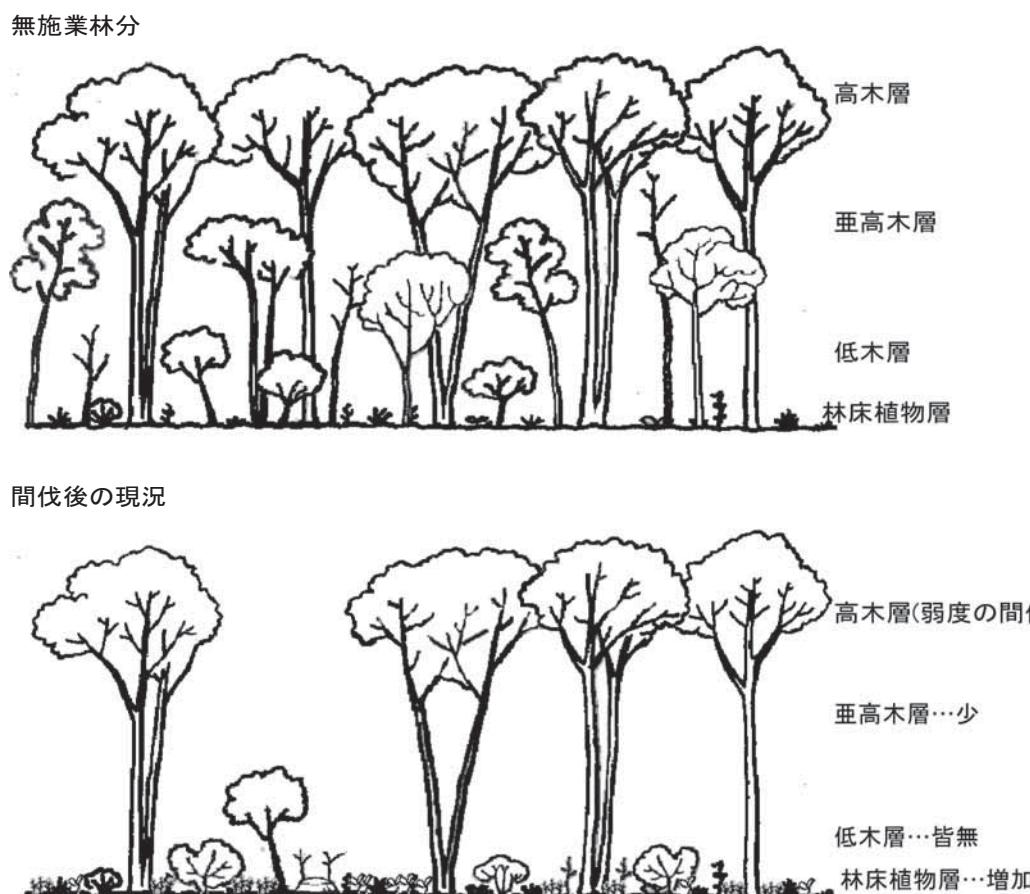


図-21 景観間伐後の林分状況

2) 景観間伐による鳥類の出現変化

鳥海調査地および田沢湖調査地における鳥類の出現頻度の結果を表-4, 5に示す。各年の出現種数および出現総数は、2004年田沢湖調査地の種数を除き、両調査地いずれの年も景観間伐林分より無施業林分の方が多くなつた。

両調査地の景観間伐林分、無施業林分に出現した種別の特徴を以下に述べる。

キビタキ：ブナ林に出現する鳥類の代表種であるキビタキは、両調査地とも毎年、景観間伐林分より無施業林分に多く出現した。キビタキの♂はさえずるとき、林木の下枝を主に利用する。景観間伐

表-4 ポンポイントセンサスによる鳥類出現状況（鳥海調査地）

出現種名	2001		2002		2003		2004		備考 (好む生息環境)
	景観間伐	無施業	景観間伐	無施業	景観間伐	無施業	景観間伐	無施業	
キビタキ	2	6	1	7	2	4	2	6	ブナ林代表種
オオルリ	1	2		1		4		2	暗い林分
ヒヨドリ	11	18	5	16	11	14	9	11	里山の代表種
ヤブサメ	7	22	3	4	2	8	3	6	下層植生の密生林分
センダイムシクイ		1		1		5		5	"
ウグイス		2							"
アカゲラ		1	1	1		1		2	枯木に営巣
コゲラ			1	1	1		3	2	"
シジュウカラ	8	3	11	4	15	9	24	5	
ヤマガラ	6				3	2			
メジロ	2	1	1					3	
他	6	4	2	2	4	4		5	
総個体数	43	60	25	37	38	51	41	47	
種数	10	12	9	10	9	12	5	11	

ポイント数：各林分10カ所、調査時間：3分、調査日数：3日間

表-5 ポンポイントセンサスによる鳥類出現状況（田沢湖調査地）

出現種名	2004		2005		2006		備考 (好む生息環境)
	育天実施	無施業	育天実施	無施業	育天実施	無施業	
キビタキ	3	10	6	11	6	7	ブナ林代表種
クロジ		3		3		2	下層植生の密生林分
センダイムシクイ		1		3		5	"
ヤブサメ						1	"
ウグイス		3		3		4	"
アカゲラ	1	2	2	2	1	3	枯木に営巣
アオゲラ			1				"
コゲラ	1	3	1	2		2	"
シジュウカラ	19	27	20	28	13	28	
コガラ				4			
ヤマガラ			1	7		1	
メジロ	2		5		2		高木の密生した枝先
他	8	2	3	2	4	6	
総個体数	34	51	39	65	26	59	
種数	8	8	9	11	6	15	

ポイント数：各林分10カ所、調査時間：3分、調査日数：3日間

を行った林分では、亜高木層の樹木が皆無になり、キビタキの♂にとってさえずり箇所が大幅に少なくなったためと推測される。

オオルリ：渓畔周辺に生息するオオルリは、鳥海調査地では毎年確認され、2001年を除き、2002～04年の3カ年とも無施業林分のみで出現した。田沢湖調査地では2004年時に1回のみ記録した。前述のとおりオオルリは、比較的暗い林分を好んで生息する。景観間伐林分は、亜高木層・低木層の植物がほとんどなくなり林内が明るくなるため、オオルリの利用数が少なくなったと考えられた。

ヒヨドリ：鳥海調査地では毎年高頻度で確認されたが、田沢湖調査地では2004年時に1回確認されただけだった。ヒヨドリは主に低標高の里山に生息する（8）ため、標高の高い田沢湖調査地では出現頻度が少なくなったと推測された。鳥海調査地では、無施業林分より景観間伐林分の方が出現数が少なかった。スギ林の長坂調査地では低木層に広葉樹を残すと、様々な果実や昆虫を食すヒヨドリの利用頻度が高くなかったことを前述した。鳥海調査地でも、景観間伐林分では亜高木層や低木層の植物が少なくなり、同時に餌の果実も少なくなったため、ヒヨドリの利用頻度が低くなったと考えられた。

クロジ：この鳥は、県内の主に奥羽山脈のブナ林に生息し、下層植生が密生している林分に繁殖する（8）。本調査でも田沢湖調査地の無施業林分のみで確認された。

ウグイスの仲間（ヤブサメ、ウグイス）：前述のとおりこれらの鳥は、地上部を主な生息場所とすることが知られている。ヤブサメは、ササの少ない鳥海調査地では毎年確認され、いずれの年も無施業林分の方が出現数が多くなったが、ササの多い田沢湖調査地では2006年のみに確認された。一方、ウグイスは、ササの多い田沢湖調査地の無施業林分で毎年確認され、ササの少ない鳥海調査地では2001年のみに確認された。これらの結果は、先に報告したスギ林のササが少ない長坂調査地、ササが多い山瀬調査地の結果と同様になった。これらの結果より、ヤブサメはササを除く低木層植物、ウグイスはササのそれぞれ繁茂した林分を好んで利用していると推測された。そしてこの両種やクロジは、景観間伐を行い低木層が皆無になった林分をほとんど利用しなくなることが明らかとなつた。

メジロ：この種は田沢湖調査地では毎年確認されたが、鳥海調査地では2001年と2004年のみに確認された。田沢湖調査地では、いずれの年も景観間伐林分のみで出現した。メジロは、樹上で主に生活し、落葉広葉樹の繁茂した梢などを活発に動き回って餌を探索する（8）。景観間伐林分では、弱度ながら高木層を間伐するため、残った林木は、伐採されてできた空間へ競い合って若枝を一斉に伸長する。その若枝の繁茂した箇所がメジロの好む生息環境となり、出現数が高くなつたと考えられた。

カラ類（シジュウカラ、コガラ、ヤマガラ）：これらカラ類は主に樹上に生息し、餌の昆虫や種子を求めて小枝や幹を活発に動きまわる（8）。鳥海調査地ではいずれの年も景観間伐林分の出現数が多くなつたが、田沢湖調査地では逆に無施業林分の出現数が多くなつた。カラ類は、繁殖期には、種子を形成する植物の種類が少ないと考えられる。これらの関係解明は今後の検討課題である。

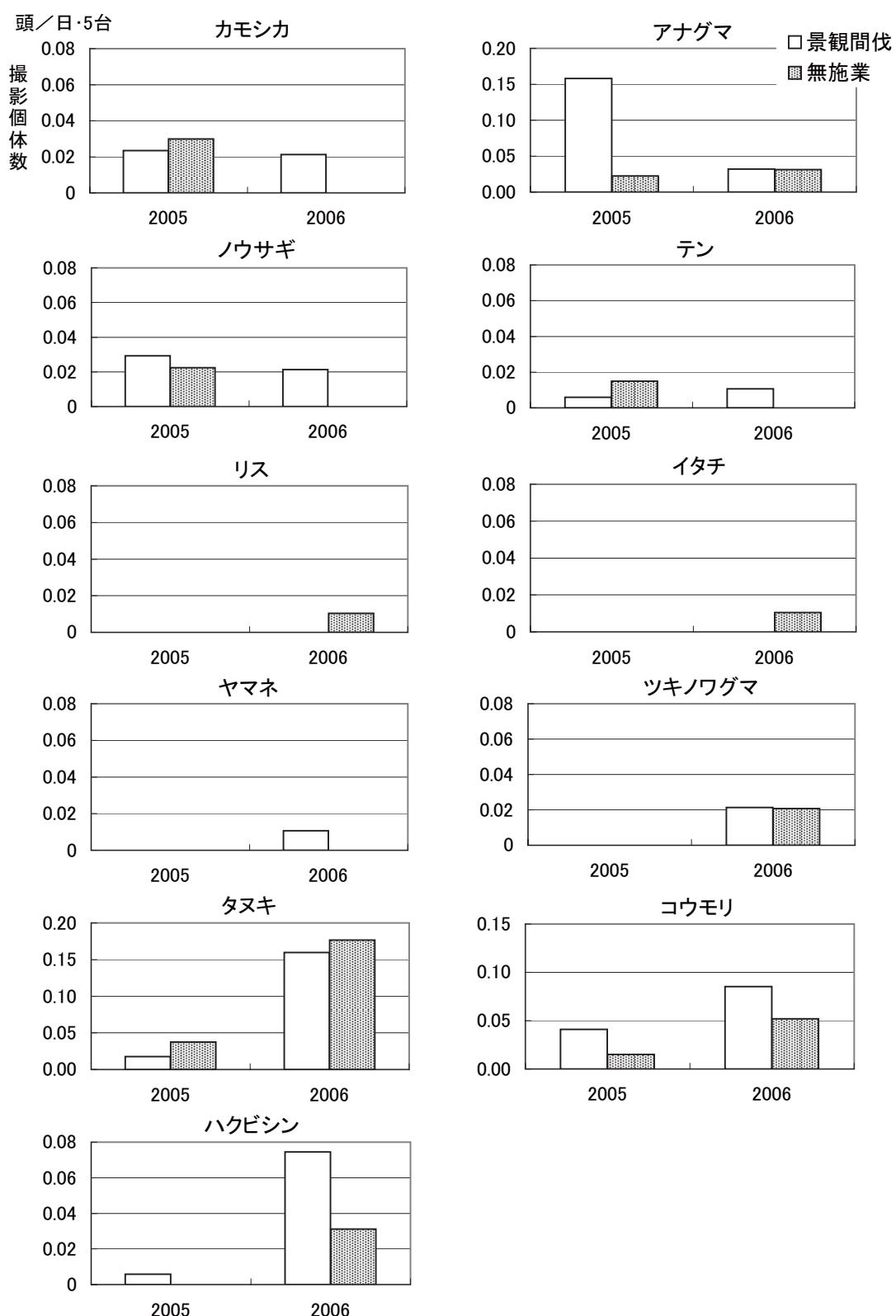


図-22 センサー カメラによるほ乳類の撮影個体数(鳥海調査地)

これらの結果から、広葉樹林に景観間伐を行うと亜高木層・低木層が減少・皆無になることにより、各層を主な利用空間としている鳥類の出現数が減少してしまうことが明らかとなった。このため、現在、広葉樹林の主な保育方法となっている景観間伐を改めることが望ましい。その具体的な施業方法については、最後に記述する。

3) 景観間伐によるほ乳類の出現変化

①自動撮影によって確認されたほ乳類の種類と出現状況

センサーハイドロを用い、自動撮影によって確認された鳥海調査地のほ乳類の種類と出現数を図-22に表す。数値はカメラ5台による1日分の撮影頻度を単位として示している。自動撮影により生息が確認されたほ乳類は、カモシカ、ノウサギ、アカネズミ、ヒメネズミ、ヤマネ、リス、タヌキ、ハクビシン、アナグマ、テン、イタチ、ツキノワグマ、コウモリ目であった。このうちアカネズミ・ヒメネズミの撮影頻度は、総ての林分で極めて多かったので、この2種を除いて図示した。ほ乳類の他に、鳥類のキジバト、ヤマドリ、トラツグミ、フクロウ、ノスリが秋季から冬季にかけて撮影された。図-22よりほ乳類の中ではタヌキとアナグマの撮影頻度が高くなかった。

②積雪期における餌植物とノウサギと捕食者の出現関係

積雪期の足跡調査で生息が確認されたほ乳類は、カモシカ、ノウサギ、キツネ、テン、イタチ、イヌであった。これらのうちノウサギと捕食者であるキツネ、テンの林分別足跡数を図-23に示す。総調査区数は370、平均積雪深は約169cmであった。調査した林分は、ブナ景観間伐林と無施業林の他に、2006年夏季に除伐を行ったスギ若齢林と、その林分内の沢筋に残った約20年生の広葉樹若齢林である。ノウサギの足跡数は、ブナ無施業林分と広葉樹若齢林で多く、ブナ景観間伐林分やスギ若

06(H18). 2. 24調査

降雪後日数：1.5日

平均積雪深：169cm

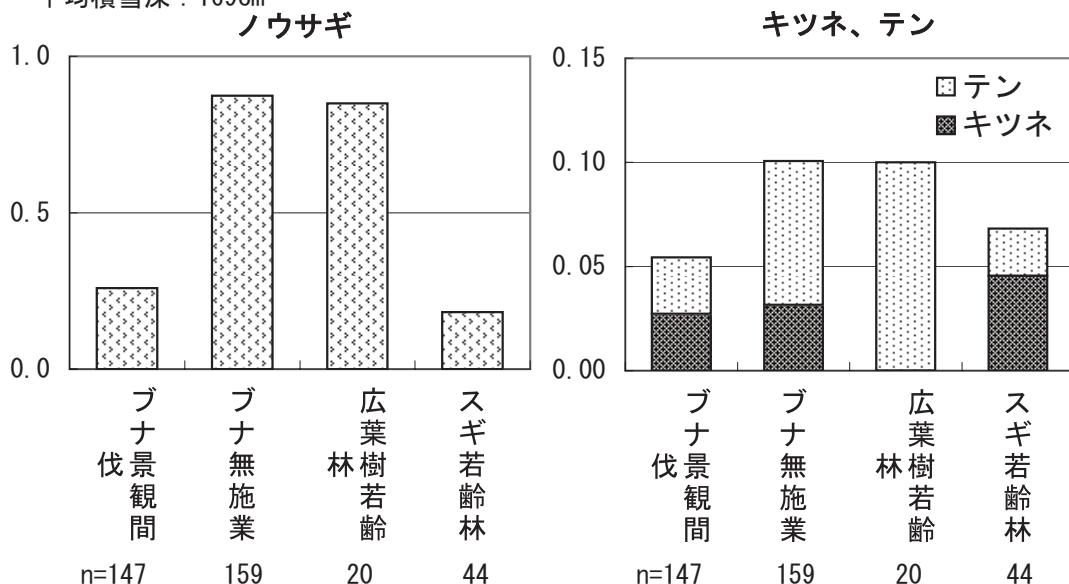


図-23 積雪期におけるノウサギ、キツネ・テンの足跡出現数（鳥海調査地）

齡林で少なかった。捕食者のキツネ・テンの合計足跡数もブナ無施業林分と広葉樹若齡林で多く、ブナ景觀間伐林分やスギ若齡林で少なかった。

ノウサギの餌植物の状態をみてみる。前述のスギ林長坂調査地同様、林床植物層は埋雪しつつも食餌できないため、鳥海調査地におけるノウサギの積雪期の餌植物量は低木層の本数で推定できる。図-18より、無施業林分に生育していた低木層の植物は、景觀間伐によって皆無となった。また、調査時の観察により、広葉樹若齡林では雪上に食餌可能な低木層植物が認められたが、前年夏季に除伐を行ったスギ若齡林ではほとんど認められなかった。

この調査結果より、広葉樹壮齡林の間伐時に低木層を残すと、ノウサギの利用数も増え、その捕食者であるキツネ・テンの利用数も増えることが示唆された。

③ノウサギの季別出現変化と林分環境

鳥海調査地の糞粒調査によるノウサギの糞粒数の推移を図-24に、糞の分布推移を図-25に示した。図は積雪期と無積雪期に分けて表している。スギ林調査と同様、融雪後まもない4～5月に測定した糞は、積雪期の糞と判断した。図-24、25より積雪期の方が無積雪期より糞粒数が多くなった。また、積雪期、無積雪期共に景觀間伐林分より無施業林分の方が、糞粒数、利用区数が多くなった。積雪期の結果は、ノウサギの足跡調査の結果と符合し、無施業林分では食餌可能な低木層植物が生育していたためと考えられる。

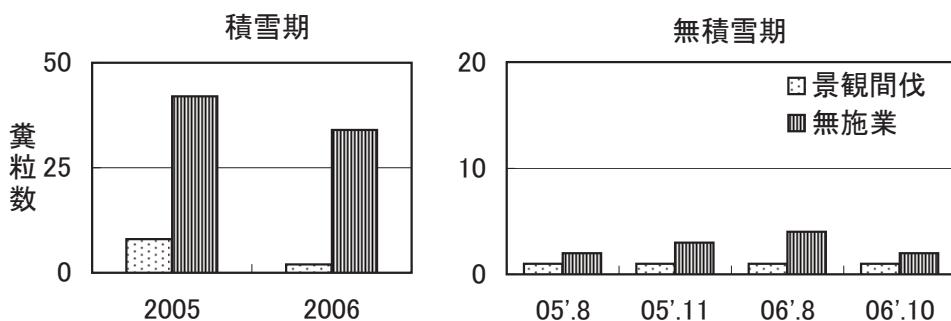


図-24 積雪期・無積雪期におけるノウサギ糞粒数の推移(鳥海調査地)

無積雪期は、林床植物層がノウサギの主な餌植物となっていると考えられる。図-19より林床植物の生育本数は、無施業林分より景觀間伐林分の方が多い、前記糞粒数の結果と反している。スギ林内のノウサギ季別出現変化で、ノウサギの出現頻度は、餌植物量とカバーの存在が関与していることを既に述べた。景觀間伐林分では亜高木層、低木層が減少・消失し、林内がより遠くまで見通せるようになり、無施業林分と比較し明らかにカバーが少ない。そして無施業林分では、林床植物本数は景觀間伐林分より少ないものの、皆無ではない。これらのことより、無積雪期ノウサギは、餌植物量は多いがカバーの少ない景觀間伐林分より、カバーが多く餌植物もある無施業林分をより利用していると推測された。

④ブナ科植物の豊凶による野ネズミの出現変化

景觀間伐を行ったブナ優勢林分とミズナラ優勢林分、無施業林分の計3林分における高木層・亜高

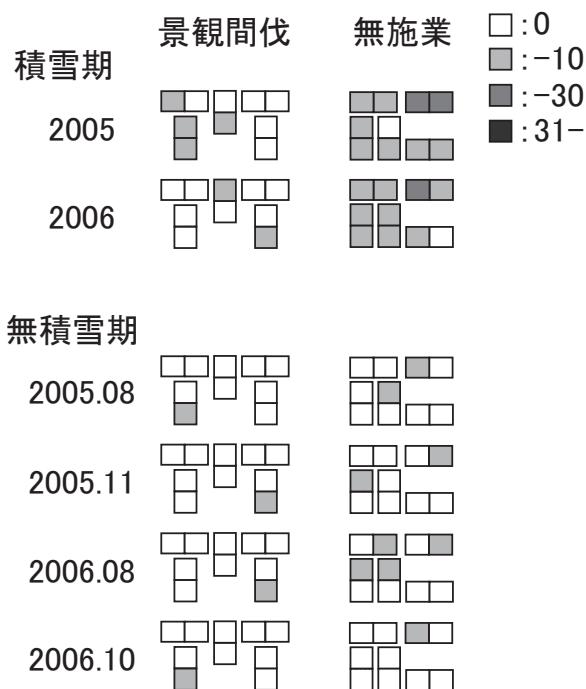


図-25 ノウサギの季別面的利用推移(鳥海調査地)

木層の樹種別本数と割合を表-6に、樹種別の胸高断面積合計を表-7に示す。表-6、7より、ブナ優勢林分は、ブナが本数で35%、胸高直径断面積合計で47%を占め、ミズナラ優勢林分は、ミズナラが本数で49%、胸高直径断面積合計で63%を占めた。無施業林分ではブナ、ミズナラの本数および胸高直径断面積合計とともに同程度の割合を占めた。

野ネズミの捕獲調査の結果、3林分で生息が確認されたのは、アカネズミ、ヒメネズミ、ヤチネズミの3種であった。これら3種の出現割合推移を図-26に示す。2003~2005年までアカネズミの出現割合が75%以上で推移したが、2006年にヒメネズミの出現割合が高くなり同年秋季に約63%を占め

表-6 各林分における高木層・亜高木層の樹種別本数と割合

樹種	景観間伐林分						無施業林分		
	ブナ優勢林分			ミズナラ優勢林分			高木	亜高木	計(%)
	高木	亜高木	計(%)	高木	亜高木	計(%)			
ブナ	35	9	44 (34.9)	12	7	19 (13.3)	76	48	124 (44.0)
ミズナラ	35	2	37 (29.4)	62	8	70 (49.0)	102	13	115 (40.8)
ベニイタヤ	11		11 (8.7)	5	6	11 (7.7)	5	2	7 (2.5)
ハウチワカエデ		4	4 (3.2)	5	13	18 (12.6)		4	4 (1.4)
クリ	1	1	2 (1.6)	4		4 (2.8)	9		9 (3.2)
アズキナシ	1	1	2 (1.6)	3	6	9 (6.3)	3	3	6 (2.1)
ホオノキ	12		12 (9.5)	2		2 (1.4)	3	3	6 (2.1)
コシアブラ	4	5	9 (7.1)	2	2	4 (2.8)	4	4	8 (2.8)
その他	3	2	5 (4.0)	3	3	6 (4.2)	1	2	3 (1.1)
計	102	24	126	98	45	143	203	79	282

※調査区の大きさ: 50×15m

表-7 各林分における高木層・亜高木層の胸高直径断面積合計

樹種	景観間伐林分		無施業林分(%)
	ブナ優勢林分(%)	ミズナラ優勢林分(%)	
ブナ	2.44 (47.2)	1.16 (15.4)	2.37 (36.6)
ミズナラ	1.48 (28.5)	4.76 (63.2)	2.31 (35.8)
ベニイタヤ	0.28 (5.3)	0.24 (3.2)	0.10 (1.6)
ハウチワカエデ	0.06 (1.2)	0.20 (2.6)	0.01 (0.1)
クリ	0.04 (0.8)	0.36 (4.8)	0.35 (5.5)
アズキナシ	0.07 (1.3)	0.21 (2.8)	1.12 (17.4)
ホオノキ	0.63 (12.2)	0.10 (1.3)	0.06 (1.0)
コシアブラ	0.10 (1.8)	0.11 (1.5)	0.08 (1.3)
その他	0.08 (1.5)	0.39 (5.1)	0.05 (0.7)
計	5.18	7.53	6.46

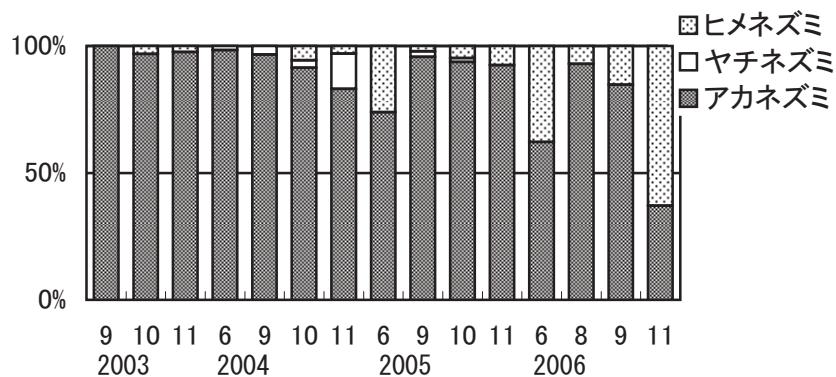
※調査区の大きさ: 50×15m、単位: cm²

図-26 野ネズミ 3種の出現割合推移（鳥海調査地）

た。ヤチネズミは、他の2種と比較し捕獲数が極めて少なかった。

この調査地では、他の研究課題でブナ科植物の結実豊凶を把握するため、ブナ、ミズナラの各10本に0.5m²のシードトラップを2個ずつ設置し、種子の落下量を測定している。この結果も併せ、図-27にブナ科健全種子落下量と各林分のアカネズミ・ヒメネズミ個体数推移を示す。また、アカネズミ・ヒメネズミの幼獣数と成獣数、幼獣出現割合の推移を図-28に示した。図-28の幼獣数には亜成獣数も含んでおり、また、幼獣出現割合は、10頭以上の捕獲個体数があった場合のみ表した。

【ミズナラ・ブナの落下種子量】

図-27より2003～2006年に、ミズナラの健全種子落下量が最も多かったのは2003年で、他の年は不作であった。また、ブナの健全種子落下量は、2005年に最も多く、他の年は極めて少なかった。

【アカネズミの個体数動態】

2003年のミズナラ豊作年の秋季繁殖期に、アカネズミの個体数は、ブナ優勢林分よりミズナラ優勢林分で高くなった。ブナの健全種子落下量が多かった2005年の秋季繁殖期では、アカネズミの個体数は、ブナ優勢林分の方が高くなかった。ブナ・ミズナラ共にほとんどならなかつた2006年の秋季繁殖期

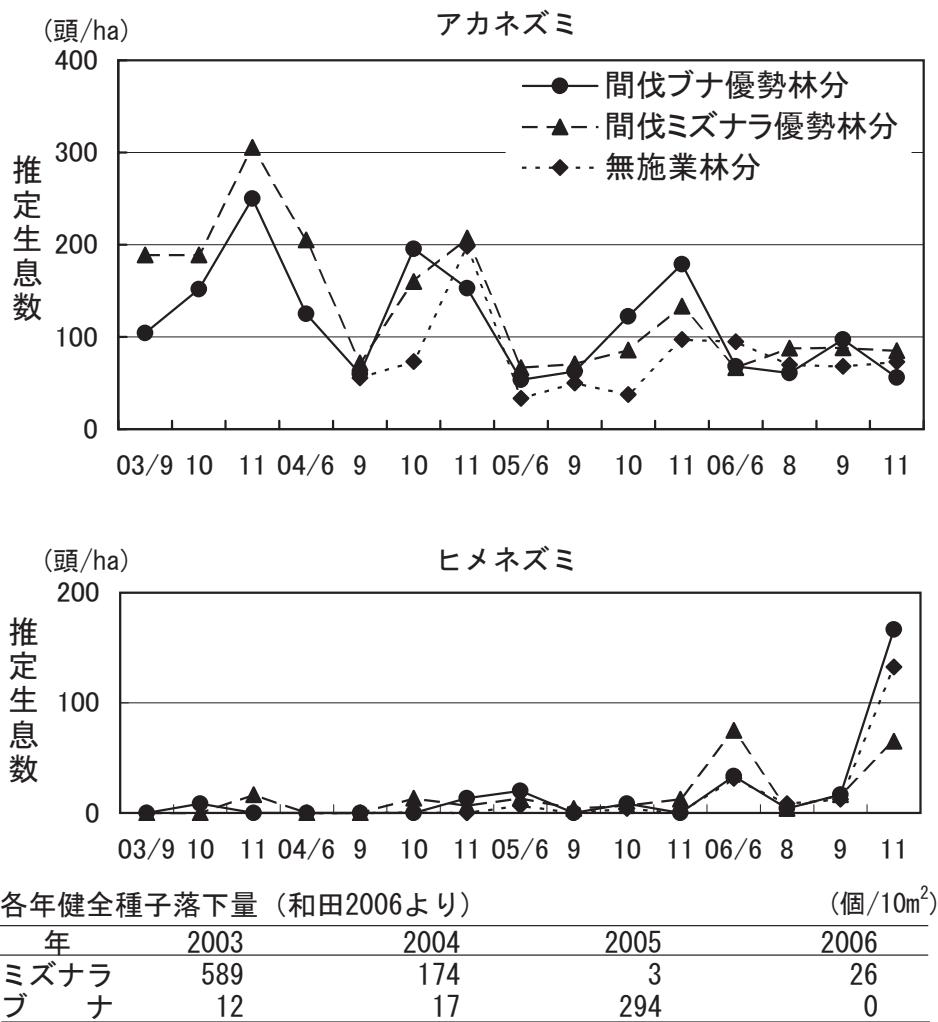


図-27 ブナ科種子落下量とアカネズミ・ヒメネズミ個体数動態（鳥海調査地）

には、アカネズミの個体数はどの林分でも増加しなかった。

図-28より、アカネズミの幼獣出現割合は、ミズナラ種子落下量の多かった2003年と、ブナ種子落下量の多かった2005年のそれぞれ秋季と翌春季に高くなかった。幼獣出現数は各年秋季11月で最も高くなり、翌春から初秋にかけて減少した。ミズナラ・ブナの種子落下量が少なかった2004年の翌春には、成獣出現数は他年と比べ同程度であるにかかわらず、幼獣出現数が極めて低かった。ブナ林における野ネズミの調査では、ブナ豊作年の翌春に個体数が高くなることが報告されている(11)。本調査では、ミズナラおよびブナの豊作年の翌春だけでなく、当年秋季にも繁殖率が高くなり、個体数が増加することが確認された。

【ヒメネズミの個体数動態】

ヒメネズミは、ミズナラ豊作年の2003年秋季、および翌春にも個体数に変化は認められなかった。しかし、ブナの落下種子量が多かった2005年の翌春と翌秋に繁殖率と個体数の増加が認められた。特に豊作年翌秋の個体数が最も高くなかった。この調査結果は、森吉山麓高原で行った野ネズミの動態調査で、ブナの大豊作2005年の翌秋にヒメネズミの個体数が大幅に増加した結果(17)と符合する。ア

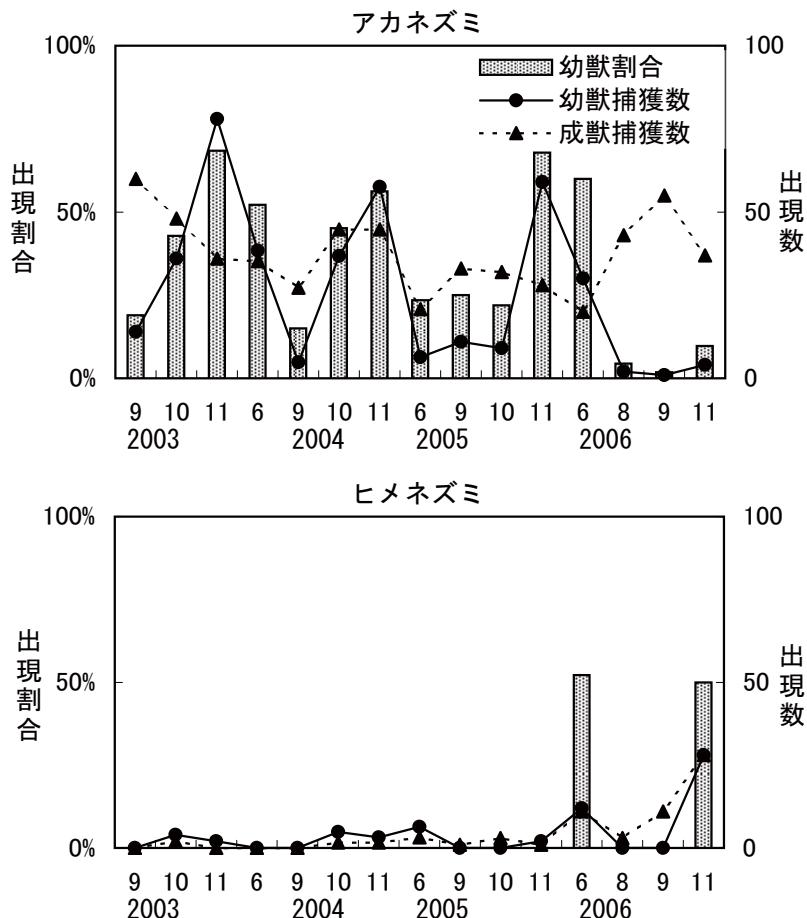


図-28 アカネズミ・ヒメネズミの幼獣数と幼獣出現割合の推移（鳥海調査地）

カネズミとヒメネズミは貯食することが知られている（15, 16）。よって、ヒメネズミがブナ豊作年翌秋の個体数が増加したのは、豊作になったブナ種子を貯食利用したためとも考えられる。

しかし、一方で、アカネズミ、ヒメネズミの生息する山形県温身平ブナ林において、ブナ豊作年翌年にもヒメネズミの個体数は、増えず、ブナ豊作の影響を受けないとする報告もある（11）。また、ブナ豊作年より約1年経過した秋季まで、落下種子を食餌しないで保持していることや、保持していた種子が1年も経過して餌として利用できること、などの可能性は低いと推測される。

これらのことより、ヒメネズミがブナ豊作年翌秋に増加した要因を特定するためには、継続して調査し、再度ブナ豊作年翌年のヒメネズミの個体数動態を調べる必要がある。

本調査結果では、少なくとも、アカネズミと共に生息する林分でヒメネズミの個体数は、ミズナラ豊凶の影響をほとんど受けないことが明らかとなった。

【林床植物層と個体数増減】

景観間伐を行った2林分と無施業林分におけるアカネズミの個体数は、図-27より2004～2005年無施業林分の方が景観間伐2林分より少なく推移した。図-17, 18より、景観間伐の林分では、亜高木層・低木層が減少・消失することにより林床への光環境が良くなり、林床植物層は景観間伐後すぐ

増加する傾向にあった。また、スギ林長坂調査の結果より、林床植物層がより発達した林分では、餌資源および天敵から身を潜むカバーが多くなるため、ヒメネズミ個体数の減少幅が少なくなると推測された。これらの結果より、ブナ林などの広葉樹林でも、間伐により林床の光環境を改善させ、林床植物層を発達させるとアカネズミの好適環境に誘導されると推測された。

4) 広葉樹林における生物多様性機能を高める保育方法の提言

薪炭材として利用されなくなった広葉樹林は、里山を中心に高齢化が進み、ヒトが里山を利用して以来、かつてない初めての林分状況になっている。近年、全国各地で拡大しているナラ枯れは、高齢による大径木が病原菌の運搬昆虫の繁殖源となっていることが主な要因として考えられている(9)。このような病虫害の発生を防ぐためにも、放置している広葉樹林に手を加え、多様な生物間相互作用を育み、より健全な林分環境にしなければならない。本来なら、薪炭材として利用していた頃のように、一定の面積を20~30年周期に皆伐することが最も有効な方法だと判断できる。しかし、伐採した林木の有効な利用方法がない現段階では、伐採費の捻出は極めて難しい。

広葉樹林の間伐である育成天然林整備は、補助事業である造林事業の1採択方法で、唯一現実的に実施可能な方法である。しかし、現在まで広葉樹林で行われてきた間伐方法は、下層木の刈払を伴う不要・不良木の小径木間伐、いわゆる景観間伐であった。今回の調査結果から、この方法による間伐では、亜高木層・低木層が減少・消失し、高木層・林床植物層の2層のみと単純構造になってしまい、鳥類の種や利用数や、冬季に低木層を餌利用していたノウサギや捕食者のキツネ・テンの利用数も減少してしまうことが明らかとなった。さらに、このような景観間伐を行った林分ほど、ナラ枯れ病原菌の運搬昆虫であるカシノナガキクイムシが飛翔しやすく、被害が拡散しやすいと推測されている(9)。

本調査では、高木層を間伐すると残った林木の新梢が発達してメジロが多く出現し、高木層より下の亜高木層ではキビタキ、低木層ではノウサギやヒヨドリ、林床植物層では野ネズミやヤブサメ・ウグイスなど、各層を発達させるとそれぞれの出現数が多くなった。そして、ここでとりあげたそれぞれの種を指標種とし、動態を調べることによってブナ・ナラ二次林における鳥類・ほ乳類の多様性機能を評価できると考えられた。

そして、鳥類・ほ乳類の多様性を育む具体的な保育として、次の施業方法を提案したい。

高木層の間伐：形狀が良好で樹冠が正円に近い林木を、残すべき林木として選出する。この条件に合う林木が少ない場合は、伐採後の樹冠配置が均等になるよう残す林木を決める。選出以外の林木を間伐する。

亜高木層の確保：高木層の後継樹として、作業に支障のないかぎり残すよう努める。

低木層・林床植物層の確保：観光資源として利用したい林分では、刈払いを行い、それ以外は作業に支障のないかぎり残すよう努める。

はじめに記述したとおり、2002年、北東北の持続可能な森林経営に向けて基準・指標が作成された。作業にあたっては、部会で度重なる長時間の議論を要し、国際的にスタンダードになっているモ

ントリオールプロセスの基準・指標にも合致するよう作られた。いわば、モントリオールプロセスのローカルスタンダード版であると自負している。しかし、指標として定められた項目やクリアすべき数値は、まだまだ具体化に欠けている箇所が多い。何よりも実践することが先決で、モニタリングしながら欠けている箇所を補い、改善していくべきと判断したからである。そのためには、モニタリングして得られた結果をフィードバックしながら進めていく作業は不可欠となる。さらにモニタリング結果は、それぞれの基準に則した具体的な方法として構築することができる。

本研究課題で取り組んだ調査は、基準の1つ「生物多様性の保全」のモニタリングにあたる。本調査で解明できなかった点は多々あるものの、これまで得られた結果は、基準「生物多様性の保全」を満たすことのできる森林の一管理方法として十分活用できると考えている。そして何より、北東北の持続可能な森林経営を実現するための一助になることを期待したい。

謝 辞

(株) 阿仁古河林業所長 福森卓氏には調査地を快く提供していただいた。また、調査地の設定にあたり、北秋田地域振興局および由利本荘地域振興局の農林部森づくり推進課の担当職員の皆様、大館北秋田森林組合北秋田事業所長 大川正行氏には多くの便宜をはかっていただいた。さらに、同森林組合田代事業所利用係長 木越 勉氏には、雪で動けなくなった車両を迅速に救出していただいた。ここに心から感謝申し上げる。

そして、当センター森林環境部職員一同とは、長坂調査地で雪のちらつく時期、ぬかるんだ斜面に足を滑らせ、寒さに鼻水をたらしながら毎木調査を連日行い、労を共にした。

さらに、2頭の子グマを守るため我々を猛然と追いかけてきた母グマや、個体識別するため指を切られたネズミ達、出会い頭に驚かせた餌を探索中のキツネや求愛中のキビタキなど、たくさんの動物たちに多大な迷惑をかけた。ここにお詫びと、そして、それぞれの森の中で季節を肌で感じながら多くの活力を与えてもらった感謝を伝えたい。

引用文献

- (1) 秋田県生活環境部 (1993) イヌワシの餌動物調査－ノウサギの生息数－. 秋田県田沢湖町におけるイヌワシ生息調査報告書 : 103-128.
- (2) 藤岡 浩 (1998) イヌワシの餌動物調査 (イヌワシ生息環境整備事業調査報告書. 秋田県生活環境部, 秋田). 21-30.
- (3) 東正彦 (1998) 生物間相互作用と生物多様性 (生物多様性とその保全. 井上民二・和田栄太郎編, 岩波書店, 東京). 97-131.
- (4) 平川浩文 (2003) 自動撮影が切り開く新しい哺乳類研究のアプローチ. 森林総合研究所北海道支所研究レポート 69 : 1-7
- (5) 金子之史 (1994) ヒメネズミ・アカネズミ (日本の哺乳類. 阿部永監修, 東海大学出版会, 東京), 100-103.

- (6) 上馬康生・徳野 力・辻 摩子望 (2005) 白山の登山道で採取した糞分析によるキツネ, テン, オコジョの食性. 石川県白山自然保護センター研究報告 32 : 31-36.
- (7) 北東北の持続可能な森林経営検討委員会 (2002) 北東北における持続可能な森林経営に向けた基準と指標の解説 : 41pp, 基準と指標を検討する専門部会, 秋田.
- (8) 清棲幸保 (1978) 日本鳥類大図鑑 I . 444pp, 講談社, 東京.
- (9) 黒田慶子・衣浦晴生・高畠義啓・大住克博 (2007) ナラ枯れの被害をどう減らすかー里山林を守るためにー. 22pp, (独) 森林総合研究所関西支所, 京都.
- (10) Masotoshi Yasuda (2004) Monitoring diversity and abundance of mammals with camera traps : a case study on Mount Tsukuba, central Japan. Mammal Study 29 : 37-46.
- (11) 箕口秀夫 (1988) ブナ種子豊作後 2 年間の野ネズミ群集の動態. 日本林学会誌 70 : 472-480.
- (12) 農林水産省 (2006) 森林・林業基本計画 : 11-20.
- (13) 大津正英 (1974) トウホクノウサギ *Lepus brachyurus angustidens* HOLLISTER の生態と防除に関する研究. 山形県立林業試験場研究報告 5 : 19-23.
- (14) SHIMADA, T., SAITO, T., SASAKI, E., NISHITANI, Y. and OSAWA, R. (2006) Role of Tannin-Binding Salivary Proteins and Tannase-Producing Bacteria in the Acclimation of the Japanese Wood Mouse to Acorn Tannins. Journal of Chemical Ecology, 32 : 1165-1180.
- (15) Sone,K. and Kohno,A. (1996) Application of radiotelemetry to the survey of dispersal by *Apodemus* mice. Ecol.Res. 11 : 187-192.
- (16) Sone,K. and Kohno,A. (1999) Acorn hoarding by the field mouse, *Apodemus speciosus* Temminck(Rodentia:Muridae). J.For.Res. 4 : 167-175.
- (17) 和田 覚・長岐昭彦・須田邦裕 (2007) ブナ林・草地におけるノネズミの動態調査. 森吉山麓高原自然再生事業調査報告書 : 2-4.

広葉樹を活用した海岸防災林造成技術の開発

金子 智紀・田村 浩喜

Development of the creation technology of coastal forest that utilized a broadleaf tree in Akita prefecture

Tomonori KANEKO・Hiroki TAMURA

要 旨

海岸砂防林の松枯れ被害跡地における樹種転換技術を確立するため、本県海岸域に分布する広葉樹7種を対象に植栽試験等を行った。この結果、人工植栽が可能な樹種としてケヤキ、エゾイタヤ、シナノキ、カシワの4樹種を選定した。主な成長阻害要因は、乾燥害、養分欠乏症、潮風害であった。前者2要因に対しては客土の施用効果が認められ、活着や初期成長の促進において不可欠の仕様と判断された。砂丘後背地や林孔では成林が見込まれるもの、砂丘風衝地では樹高が極度に抑制される状態にあった。こうした厳しい環境の地帶では、クロマツの植栽後に広葉樹を導入する異齢混交林の造成が、様々なリスクの軽減、森林化の速度などの視点から有効な造成手法であると推察された。

I. はじめに

1982年に本県ではじめて確認された松材線虫病は、その後拡大の一途をたどり、2002年には海岸を有する全市町で被害が確認されるに至った。保全上重要な海岸クロマツ(*Pinus thunbergii*)林にも壊滅的被害が進行し、沿岸地域住民の生活環境や主要交通機関、産業基盤などへの影響が深刻化している。このため無立木化した海岸の被害跡地では、砂防林の再生が緊急の課題となつており、その一つとして砂丘地への広葉樹植栽が行われている。

クロマツの代替としての広葉樹導入は、樹種転換による松材線虫病の再発防止や被害拡散の緩和を目的としている(1)が、その一方でクロマツ一斉林の混交化または面的複層化を促進し、林分として諸被害に対する抵抗性を高める効果が期待される。また彩りのある景観の創出や種多様化を推進し、保健休養機能や生態系保全機能の充実にも寄与すると考えられている(2)。こうしたことから砂防林への広葉樹の導入は、単に松枯れ対策としてのみならず、海岸防災林を恒久的に維持し、また住民のニーズに応じた多様な機能の発揮において、その果たす意義や役割は大きいといえる。

一方、砂丘地における広葉樹林の造成技術については、その経験が乏しいことなどから植栽等に関する基本情報が著しく不足している状態にある。本県では1970年代に激甚化したマツバノタマバエ被害に対し、クロマツ単純一斉林を混交林に誘導するための植栽がはじめて行われ(9)、同時期に保健休養機能の向上を目的として砂丘植栽した事例がある(7)。また1980年代には港湾開発に伴って発生する埋め立て地等の緑化のため、樹種や導入手法の検討が行われている(5)。しかしながら、被害の終息や開発計画の変更・縮小に伴ってその意義は次第に薄れ、

再びクロマツに依存した砂防林造成が続けられてきた。松くい虫対策としての広葉樹植栽は、1999年から治山事業で開始された。はじめは松枯れで生じた林孔部分を対象に試験的な植栽であったが、最近では無立木地化した激害地で ha 規模の植栽が行われている。しかし、樹種の選定や植栽方法は過去の植栽事例やクロマツ造成手法をベースとした暫定的なもので、その生育成績は必ずしも良好とはいえない部分を含んでいる。

近年、松枯れ対策として広葉樹を導入するための基礎的研究が各地で行われるようになってきた(13, 15)。しかし、砂丘環境に生育しうる広葉樹については、その分布や成立が気候帯や立地環境によって異なることなどから、地域毎に樹種を選定し、導入手法や育成技術を確立する必要がある。本県の位置する日本海沿岸北部地方ではエゾイタヤ (*Acer mono var. glabrum*) やカシワ (*Quercus dentata*) などが自然植生として分布し(10), また植栽試験などが試みられているが(6), その造成技術については未確立の状態にあり、実際にこれら樹種の人工植栽によって成林が確認された例は未だない。

そこで、本研究では、砂丘環境に生育可能な樹種やその植栽仕様など広葉樹林の造成に関する基礎技術を明らかにすることを目的に、まず海岸域に成立している広葉樹二次林の分布特性や組成、構造を解析した。そこから得られた情報をもとに植栽による実証試験を行い、砂丘環境への耐性、生育阻害要因を明らかにして、その回避策や導入手法を検討した。さらに過去の植栽事例の調査により、砂丘環境傾度と成長との関係や成林の可否を検討した。

II. 調査地及び方法

1. 海岸域に自然植生として成立する広葉樹二次林の組成調査

八峰町萩台、由利本荘市岩城、由利本荘市松ヶ崎、にかほ市象潟の4地域において、汀線からの距離にしておよそ 500 m 以内に成立する天然性由来の広葉樹二次林を対象に、1 区 500 m² (20 × 25 m) の調査区を 11箇所設定し(図-1), 樹高 2 m 以上の全立木数と種名、樹高、胸高直径を測定した。

2. 耐性試験

広葉樹を砂丘地に植栽する方法で試験を実施した。試験地は秋田県秋田市向浜地内で、汀線からの距離 150 m, 前砂丘の海側に位置する。斜面は 3 % の勾配で造成し、汀線までは砂地あるいは植相のまばらな砂草帶となっている(図-2, 3)。防風工は海側最前列に直高 1.2 m の丸太防風柵を配したほか、高さ 1 m の防風柵(竹簀製)を 1 区 10 m × 10 m の間隔で設置した。

試験対象とした樹種はケヤキ (*Zelkova serrata*), エゾイタヤ, カシワ, シナノキ (*Tilia japonica*), ミズナラ (*Quercus mongolica ver.grosseserrata*), ブナ (*Fagus crenata*), タブノキ (*Machilus thunbergii*) の 7 種で、これに比較対照としてクロマツを加えて合計 8 種を

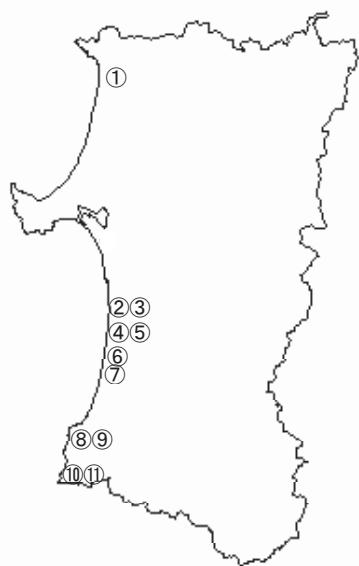


図-1 位置図

用いた。一試験区の大きさは 100 m^2 ($10\text{ m} \times 10\text{ m}$) で、一試験区につき一樹種の植栽とした。試験区の配置はラテン方格とし、繰り返しを8回とした。試験に供した苗木は、広葉樹では苗長1mの山行き苗、クロマツは2年生で苗高18cm以上、根元径7mm以上を用いた。植栽における仕様は、海岸防災林造成事業におけるクロマツの造成基準(3)に準じ、苗木1本当たりバーク堆肥2kg、粉炭1リットル、化成肥料100gとし、植栽間隔は2m×2m(ha当たり2,500本)とした。植栽は2000年3月下旬に行い、2002年3月に試験地の都合により植え替えを行った。

保育は、毎年下刈りを実施し、同時に追肥として化成肥料(森11号)を1本当たり100g施した。

調査は、毎年成長休止期にあたる10月～12月に生育本数、樹高、根元直径等を測定した。



図-2 位置図

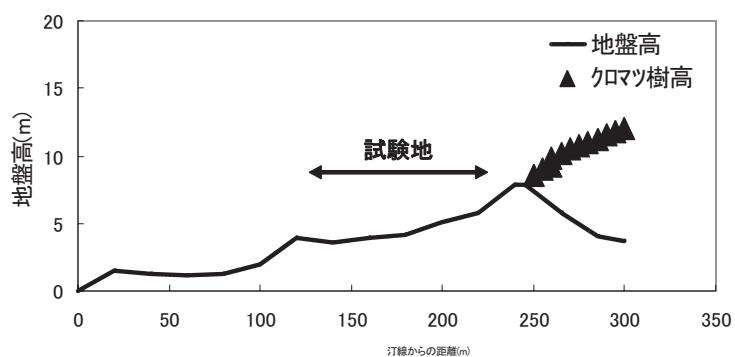


図-3 縦断図(向浜試験地)

3. 客土試験

2の耐性試験地と同じ秋田市向浜地内で実施した。試験対象とした樹種はケヤキ、エゾイタヤ、カシワ、シナノキの4種である。一試験区の大きさは 100 m^2 ($10\text{ m} \times 10\text{ m}$) で、一試験区につき一樹種一処理とした。処理は、苗木1本当たりバーク堆肥2kg、粉炭1リットル、化成肥料100gを共通仕様としたうえで、客土区(黒土 0.1 m^3)、剪定区(植栽後一定の高さで苗木の主軸を切断；ケヤキ及びエゾイタヤは地上0.5m、シナノキ及びカシワは地上0.3m、切り口はトップジンMペーストで防腐処理)、併用区(客土及び剪定処理)、対照区の4処理とした。試験区の配置はラテン方格とし、試験区総数は16区である。

試験に供した苗木は、ケヤキ、エゾイタヤは苗長1m規格の山行き苗、カシワは山取で苗長0.3～0.5m、シナノキは苗長0.6mのポット苗を用いた。植栽は、間隔を1m×1m(ha当たり10,000本)とし、2002年3月下旬に実施した。

保育は、毎年下刈りを実施し、同時に追肥として化成肥料(森11号)を1本当たり100g施した。

調査は毎年、成長休止期にあたる10月～12月に生育本数、樹高、根元直径等を測定した。また、植栽後3年目にケヤキ、エゾイタヤ、シナノキについて、客土区、対照区の平均的成長を示す3個体を掘り取り、 80°C 48時間乾燥によってその絶乾重量を求めた。

4. 生育環境改善試験

2の耐性試験地と同じ秋田市向浜地内で実施した。試験対象とした樹種はケヤキ、エゾイタヤ、カシワ、シナノキの4種である。試験処理や苗木規格、植栽仕様等は、3の客土試験と同じ内容とし、次により実施した。

1) 同齢混交林

広葉樹にクロマツを交互列状混交（混交割合5：5）する方法で、植栽は2002年3月下旬に実施した。

2) 巣植え

広葉樹を3本1株として植栽する方法で行った。なお、シナノキは苗長1m規格の苗木が入手できなかったため、苗長2mのポット苗を1mの長さに切断して用いた。またカシワは山取り苗で、可能な限り断根しないように掘り取った苗木を用いた。植栽は2003年3月下旬に実施した。

3) 防風柵の間隔

柵間隔を南北方向に10m、東西方向に5mとする方法で実施した。配列は、広葉樹とクロマツの交互列状混交（混交割合6：4）とし、ha当たり6,000本の密度で2002年3月下旬に植栽した。

5. 異齢混交林造成試験

試験地は秋田市割山地内で、汀線からの距離約100mの風衝地に植栽されたクロマツ幼齢林内に位置する。クロマツ林は、海側最前列に直高2mの丸太防風柵、その背後に6m×6mの間隔で高さ1mの防風柵（板製）を配して、ha当たり8,000本の密度で植栽されたものである（図-4）。クロマツは3年生時に樹高69～88cm、立木密度はha当たり5,000～6,200本に減少していく、試験はこの林分内に広葉樹を植え込む方法で行った。

樹種は、ケヤキ、エゾイタヤ、カシワ、シナノキの4種を用い、一試験区（36m²）当たり20本を植え込み、1樹種につき3回の繰り返しとした。苗木の規格はケヤキ、エゾイタヤは苗長1mの山行き苗、カシワは山取で苗長0.3～0.5m、シナノキは苗長1mのポット苗を用いた。また、植栽の仕様は、苗木1本当たりバーク堆肥2kg、粉炭1リットル、化成肥料100g、黒土0.1m³とし、2003年3月下旬に植栽した。

保育は、毎年下刈り実施し、追肥として化成肥料（森11号）を1本当たり100g施した。また、林分が過密状態となったので2006年6月に除伐を行い、クロマツの立木密度をha当たり2,500～3,000本に調整した。

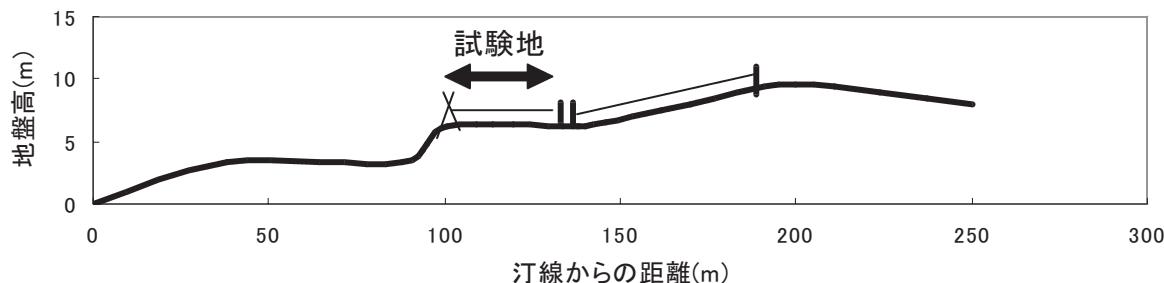


図-4 縦断図(割山)

6. 環境別植栽試験

保安林改良事業施工地に試験地を設定する方法で実施した。調査地は、秋田市飯島、潟上市追分西で、林分内に 500 m²の調査区を設定して樹高、根元直径等を測定した。また飯島調査地では植栽時の 1999 年から 2006 年まで継続調査した。その概況は次のとおりである。

飯島調査地は、1999 年 3 月に保安林改良事業で植栽されたクロマツー広葉樹混交林である。立地は、標高約 10 m, 汀線からの距離およそ 250 m で、松枯れによって生じた 0.27ha の開放地である。樹種はエゾイタヤ、ケヤキ、シナノキ、ブナ、クロマツの 5 種で、広葉樹の苗木は苗高 1 m, クロマツは 2 年生苗である。植栽の仕様は、海岸防災林造成事業におけるクロマツの造成基準で行い、1 本当たりの施用量は樹皮（バーク）堆肥 1.5kg, 粉炭 1 リットル, 化成肥料（丸森 11 号）100 g を混入であった。植栽密度は ha 当たり 6,000 本で、1 樹種 1 列とした反復植栽である。

7. 樹下植栽試験

試験地は潟上市中浜山地内で、汀線からの距離約 300 m のクロマツ壮齢林内に位置する。試験処理は、高木層（ha 当たりの成立本数は A 区 740 本, B 区 340 本）を間伐によって ha 当たり 500 本区（A 区）、ha 当たり 220 本区（B 区）に調整し、この樹下に広葉樹を植栽する方法で行った。

樹種は、ケヤキ、エゾイタヤ、シナノキの 3 種を用い、A 区では ha 当たり 1,500 本、B 区では ha 当たり 2,000 本の密度で植え込んだ。苗木の規格はケヤキ、エゾイタヤは苗長 1 m の山行き苗、シナノキは苗長 0.6 m のポット苗を用いた。また、植栽の仕様は、苗木 1 本当たりバーク堆肥 2 kg, 粉炭 1 リットル, 化成肥料 100 g とし、2002 年 3 月下旬に植栽した。

保育は、毎年坪刈り（植栽木周囲 1 m）を行い、追肥として化成肥料（森 11 号）を 1 本当たり 100 g 施した。

III. 結 果

1. 海岸域に成立する広葉樹林の組成と構造

本県の海岸線はおよそ 263 km で、地勢としては砂浜海岸と磯浜海岸とに大区分される（12）。県内の三大河川である米代川、雄物川、子吉川河口付近では、流送されてきた土砂の打ち上げや飛砂の堆積によって大規模な砂丘地帯が形成され、中小河川が注ぎ込むその沿線は砂浜海岸となっている。一方、青森県境、男鹿半島、山形県境付近は、海に突き出た山地が海食を受け、波打ち際は険しい崖や斜面で構成されている。森林は、砂丘地帯ではクロマツの人工造林地が大勢を占め、自然植生由来の広葉樹林は極めて少なく、社寺林などでわずかに見られるだけである。一方、段丘地帯は自然環境や景観の保全のため改変が制限されている部分があることなどから、ある程度まとまった広葉樹林が存在している。本研究では、砂丘地に造成されたクロマツ被害林分の再生を目的としていることから、主に汀線から 500 m 以内の砂丘地に成立する広葉樹二次林を調査対象とした。

表-1 は出現樹種の胸高断面積による構成比を示したものである。出現種数は約 10 種で、こ

のうち胸高断面積割合が林分の30%以上占める樹種は、エゾイタヤ、ケヤキ、シナノキ、カシワ、タブノキの5種であった。このほかの高木性樹種は、カスミザクラ (*Prunus leveilleana*)、ヤマトアオダモ (*Fraxinus longicuspis*)、ヤマグワ (*Morus bombycina*)、ミズナラであったが、林分における構成比は10%以下と少なかった。

図-5は、樹種組成からして典型的な林相を示している調査区について、樹高階別の本数分布を示したものである。林帶の最前線部に位置するカシワ林(NO 2)，同じく前線部に成立するエゾイタヤ林(NO 4)は、純林に近い状態で樹高は狭い範囲に集中した分布となっていた。次に、砂丘環境の比較的緩やかな砂丘地に成立したケヤキ林(NO 6)，タブノキ林(NO 7)は下層にヤブツバキを含み、分布はJ型で天然林に近く、森林としては安定した状態にあった。さらに汀線から比較的離れた風衝地に成立するシナノキ林(NO 8)の本数分布は双峰型となっていたり、この林分は上記2タイプの中間的構造となっていた。

表-2は広葉樹林の立地と生育状況を示したものである。林齢は47～81年生で平均樹高は3.4～8.9mとなっており、総じて樹高成長は低位である。特にNO 2では林帶最前線部の上昇斜面に位置し、潮風等によって樹高成長が極度に抑制されていた。一方、NO 5, NO 7は風背地に位置し、またNO 6は海側にクロマツ林が存在する立地にあって、これら林分の上層樹高は12～15mに達していた。NO 8～NO11は風衝斜面に生育するが、汀線からの距離では350～450mと比較的離れた場所に位置し、上層樹高は8～10mとなっていた。

立木密度は、ha当たり500～8,640本となっていて大きな開きがあった。NO 1の林分は、クロマツ林造成時における除地的林分とみられ、大きなサイズの個体が散生する林分で立木密度が低くなっていた。一方、NO 2, NO 4は風衝地で根元や樹幹の低い位置から多数の幹が分出し、いわゆる多幹型となっていて立木密度は極めて高い状態にあった。このほかの林分は低木類を多く含むNO 5を除き、ha当たりの立木密度がha当たり1,500～3,500本となっていた。

以上のことから、汀線から500m以内の砂丘地に成立する広葉樹林は、主にエゾイタヤ、カシワ、シナノキ、ケヤキ、タブノキからなる種群で構成され、その成長や立木密度は砂丘環境の影響を受け、特に汀線に近い風衝地では樹高が極度に抑制されて高密度で生育するという特徴がみられた。

表-1 上層に出現した樹種の胸高断面積による構成比

調査地NO	エゾイタヤ	ケヤキ	シナノキ	カシワ	タブノキ	カスミザクラ	ヤマトアオダモ	ヤブツバキ	その他
4	78.1	20.1				1.7			0.1
6	38.9	39.5	21.5			0.1			
8	12.5	1.6	83.1	1.1			0.1	0.6	
9	31.2	3.9	61.4			0.5	2.9	0.1	
10	34.0	8.6	36.2	15.8		1.6	3.1		0.7
2				94.9		5.1			
3	5.8			89.7		4.4			
11	1.6	3.8	32.8	52.4		0.5	1.3		7.6
1	31.2	17.8		46.2					4.8
7		18.7	9.4		58.1			13.8	
5	1.0	24.6			57.2	3.1		4.3	9.8

注)単位は%

表-2 広葉樹二次林の生育状況

調査地NO	汀線から の距離 (m)	林齡 (年)	風当たり	平均樹高 (m)	上層樹高 (m)	胸高直径 (cm)	立木密度 (本/ha)	株密度 (本/ha)	胸高断面 積合計 (m ² /ha)
1	450	81	風衝	8.7	9.4	15.1	500	320	12.1
2	190	49	風衝	3.4	4.2	5.1	8,640	3,600	19.1
3	175	55	風衝	6.4	7.3	11.1	2,480	1,400	26.6
4	100	47	風衝	6.6	8.2	11.0	2,480	1,200	28.6
5	150	47	風背	6.8	12.1	10.6	4,620	2,060	69.1
6	350	81	風衝	7.3	13.8	12.6	1,720	1,600	42.9
7	375	81	風背	8.7	15.5	19.4	1,540	1,460	74.7
8	425	52	風衝	8.8	10.3	16.3	1,880	1,000	48.2
9	400	52	風衝	8.9	9.2	12.5	3,500	1,380	47.7
10	375	52	風衝	8.6	9.5	11.3	3,460	1,540	40.0
11	350	52	風衝	7.1	8.0	10.1	3,340	1,720	32.0

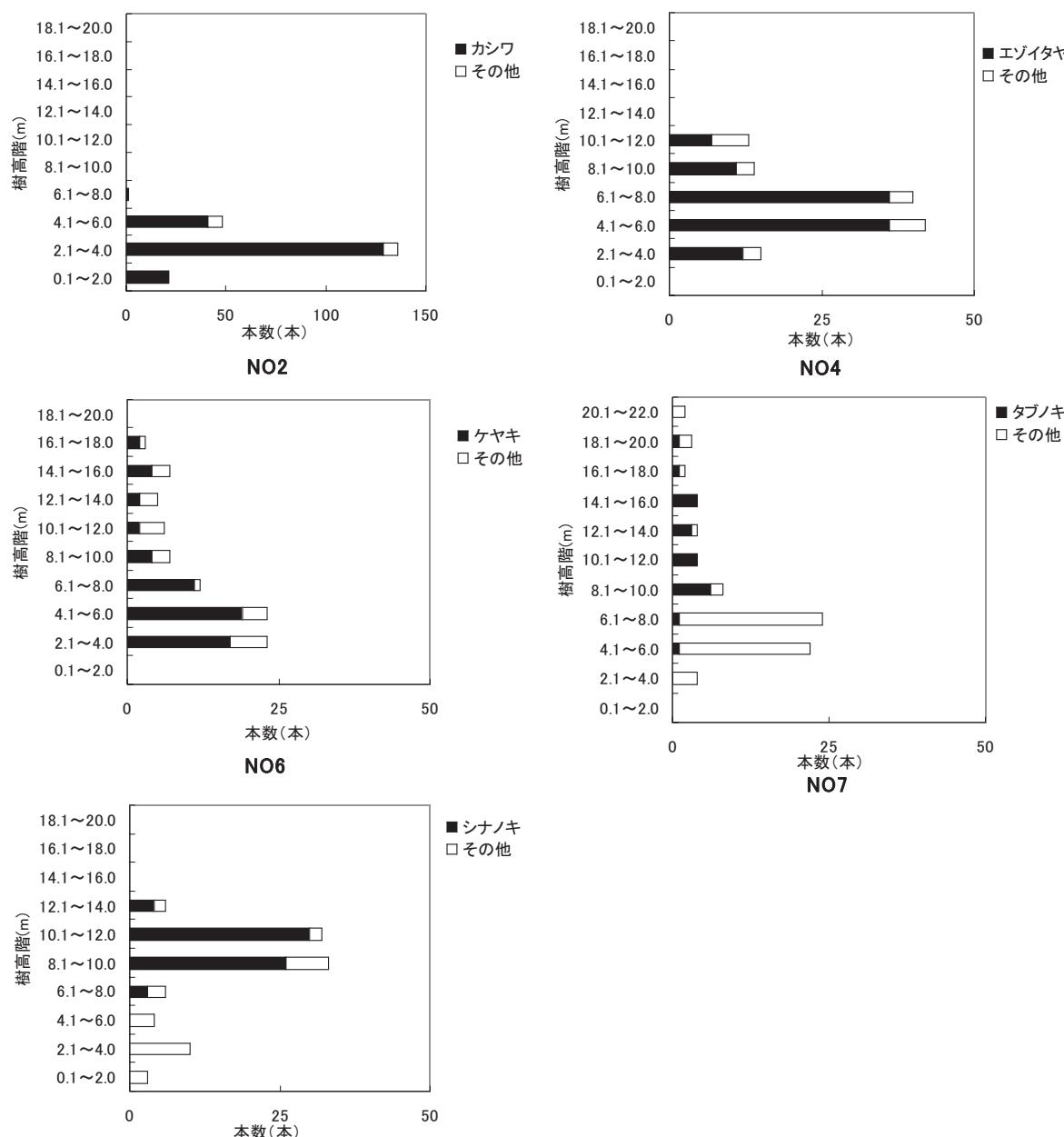


図-5 樹高階別の本数分布

2. 耐性試験

砂丘地へ導入可能な樹種やその生育特性等を明かにするため、クロマツの造成基準に準じて植栽試験を実施した。

図-6は広葉樹の年度別生存率の推移を示したものである。4成長期経過後の生存率はケヤキ87%，次いでシナノキ，エゾイタヤ，カシワの3種が約30%，ミズナラ15%，タブノキ及びブナが1%であった。生存率には樹種間に差が生じており、ケヤキでは漸減傾向にあって生存率が高い状態で維持されていたが、ほかの広葉樹では3年目にして半数以上が枯損し、特にタブノキとブナは消滅に近い状態となった。これに対し、クロマツは植栽年に約50%まで本数が低下し、また3年目に約20%の枯損が生じ、4年目では31%の生存率となっていた。図-7に樹高成長の推移を示した。4成長期経過後の平均樹高は10～67cmとなっていて、すべての樹種で植栽時の樹高を下回っていた。またその推移をみると2年目まで樹高が大きく低下し、3年目以降は平衡状態にある。これに対し、クロマツは植栽年度から成長を開始し、植栽時の樹高の約3倍に達したが、3年目以降は微増傾向となっている。

広葉樹の耐性について、4年生時点における生存率からみると、クロマツと同等以上に相当する樹種はケヤキ、シナノキ、エゾイタヤ、カシワであり、これら4樹種は一応砂丘植栽の候補樹種と考えることができる。しかし、その活着成績や樹高成長が示すように林分としての成立が困難な状況といえる。広葉樹の生育形態を観察すると、春期から夏期にかけて枝葉の萎縮や部分枯れが発生し、その被害が重度となった個体は枯死に至る場合が多く（乾燥害）。生残している個体においても枝葉の伸長や展開が十分でなく、成長が回復できない状態で経過していた（養分欠乏症）。一方、成長休止期から翌春にかけて、冬期の季節風による顕著な樹高低下や樹体の損傷はみられなく、これについては防風工の効果と判断された。このようなことから、砂丘環境の厳しい立地ではクロマツの造成手法に準じた植栽方法では不十分で、特に乾燥害を軽減するための処方や土壤中の養分や水分を保持する対策が必要と判断された。

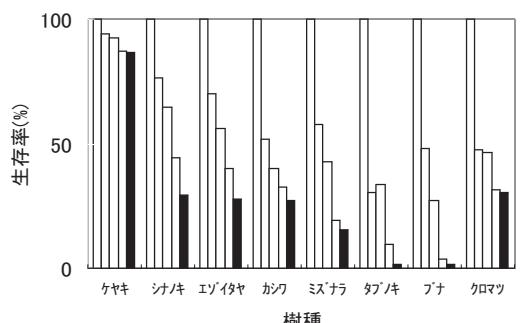


図-6 生存率の推移(耐性試験)

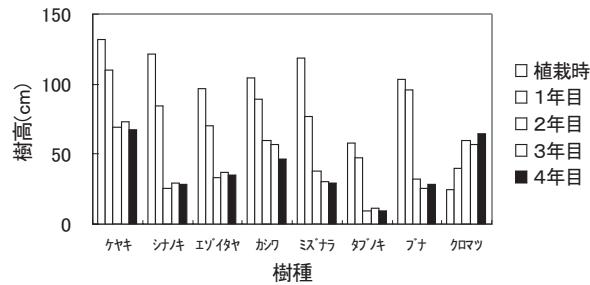


図-7 樹高成長の推移

3. 客土試験

耐性試験において、植栽には特に乾燥害と養分欠乏症への対策が必要であることが確認された。一般に乾燥害の回避には、マルチングや灌水、剪定が、また養分欠乏症については客土や施肥が有効とされている（17）。そこで、これら被害の回避・軽減を目的として剪定や客土処理を行い、その効果を検討した。

①生存率

表-3は、客土や剪定処理実施後、5成長期経過したケヤキ、エゾイタヤ、シナノキ、カシワの生存率を示したものである。ケヤキの生存率は客土区で99%と最も高く、次いで併用区、剪定区の順となり、いずれの処理も対照区(80%)の生存率を上回った。エゾイタヤは併用区が99%と最も高く、次いで客土区、剪定区の順となり、対照区(75%)を上回った。シナノキは客土区が最も高く91%の生存率を示したが、併用区は半減の46%，対照区は15%，剪定区にあってはすべての植栽木が枯死するに至った。カシワは併用区が57%と最も高く、次いで客土区35%，対照区12%，剪定区8%となった。いずれの樹種も客土区もしくは併用区の生存率が対照区を上回り、特にケヤキ、エゾイタヤでは90%以上の生存率を示すなど客土の効果が認められる。しかし、シナノキの併用区では客土を施用したにもかかわらず半数以上が枯死し、また剪定区が対照区を下回る生存率となっていて、剪定がマイナスに作用したと判断される。一方、カシワは客土区及び併用区の生存率が剪定区及び対照区を上回って客土の効果がうかがわれるものの、生存率は全体的に低位であった。

②樹高成長

表-4は5成長期経過後の平均樹高を示したものである。最も高い樹高となった処理区は、ケヤキ、エゾイタヤ、シナノキでは客土区で、それぞれ158cm、108cm、95cm、カシワでは併用区で66cmであった。一方、最小の樹高となった処理区はすべての樹種で剪定区であった。いずれの樹種も客土を施用した処理区が対照区を上回り、逆に剪定区では対照区を下回って客土がプラスに、剪定がマイナスに作用したと判断された。

5年間の成長量は、ケヤキとエゾイタヤでは対照区を除いてすべてプラス成長となる一方で、シナノキやカシワでは剪定区が客土区を上回るなど、処理による明確な対応関係は認められなかった。この現象は潮風に起因しているとみられ、樹高が防風工より低い時点では処理の効果を促進する方向に働き、防風工より高くなると処理の効果より潮風の影響が勝って、結果的に成長量が抑制される方向に働いたためと考えられる。総じて客土を施用した処理区の成長が優れているが、最大の成長量を示したケヤキ客土区でも年成長量に換算すると約10cmの伸びであり、成長量としては極めて小さい状態にある。

③根元直径成長

表-5は5成長期経過後の平均根元直径を示したものである。ケヤキ、エゾイタヤ、シナノキでは、成長および5年間の成長量とも客土区>併用区>対照区>剪定区となり、客土がプラス、剪定がマイナスとして作用したと判断される。カシワは併用区が最も大きく、次いで客土区、対照区、剪定区となり、客土を施用した処理区の成長が優れていた。

④根系成長

3成長期経過後、ケヤキ、エゾイタヤ、シナノキの3樹種について、客土区及び対照区から平均的成長を示す3個体を掘り取り、根系の発達状況を調査した。表-6は根系範囲及び重量を示したものであるが、根長、根系重量とも客土区が対照区を上回っていた。垂直方向の根長は、客土区では33～42cm、対照区では15～32cmとなっており、その分布は概ね客土材料を施用した深さまで達していた。特に直径2mm未満の細根が黒土及び有機質肥料(バーク堆肥)に集中的に分布し、根系が客土に依存する形態が観察された。一方、水平方向では客土区の場合、水平根が土壤の比較的浅い位置から伸長し、対照区に比べて約2倍の根長となっていた。この結果、客土区の根系重量は対照区と比較して2～3倍の重量となり、客土の有無による根系の充実度に大

きな違いがみられた。

以上のことから、客土は生存率の維持や初期成長、根系成長に対してプラスの効果をもたらし、乾燥害の緩和にも寄与したと判断できる。一方、剪定は徒長苗のように蒸散が過度になりやすい形質の苗木に限り、生存率に対して一時的な効果が認められるものの、成長面ではマイナスに作用していた。

表-3 5成長期経過後の生存率

	ケヤキ	エゾイタヤ	シナノキ	カシワ
客土区	99	94	91	35
剪定区	89	84	0	8
併用区	94	99	46	57
対照区	80	75	15	12

注1) 単位は%

注2) 1処理区当たりN=100

表-4 5成長期経過後の樹高及び5力年間の成長量

	ケヤキ		エゾイタヤ		シナノキ		カシワ	
	樹高	成長量	樹高	成長量	樹高	成長量	樹高	成長量
客土区	158.4	58.6	107.9	7.9	95.3	35.4	58.6	-0.5
剪定区	91.5	41.0	52.5	0.9	—	—	15.6	-33.3
併用区	99.5	48.9	104.8	53.8	56.5	24.8	66.0	23.2
対照区	96.5	-9.0	76.9	-30.4	65.5	7.7	42.5	-20.1

注1) 単位はcm

表-5 5成長期経過後の根元直径と5力年間の成長量

	ケヤキ		エゾイタヤ		シナノキ		カシワ	
	根元直径	成長量	根元直径	成長量	根元直径	成長量	根元直径	成長量
客土区	2.9	2.2	2.6	1.8	2.9	2.5	2.2	1.2
剪定区	1.7	1.2	1.5	0.7	—	—	0.9	-0.2
併用区	2.3	1.6	2.4	1.7	2.2	1.7	2.3	1.4
対照区	1.9	1.1	1.8	0.9	1.9	1.4	1.2	0.4

注1) 単位はcm

表-6 3成長期経過後の根系重量(客土区と対照区の比較)

樹種	処理区	樹高	根元直径	根長				根系重量		地上部重量
				(cm)	(mm)	垂直方向(cm)	水平方向(cm)	2mm未満(g)	2mm以上(g)	
ケヤキ	客土区	95.7	20.0	41.7	103.7	29.7	19.6	26.5	75.8	172.3
エゾイタヤ	客土区	67.7	20.0	33.3	70.0	27.5	29.2	18.1	74.9	113.4
シナノキ	客土区	70.3	23.3	39.3	56.3	17.1	23.8	11.8	52.6	122.9
ケヤキ	対照区	60.7	13.0	31.7	45.3	10.9	7.9	10.5	29.3	56.5
エゾイタヤ	対照区	25.7	14.0	25.0	38.7	15.1	17.9	11.1	44.1	40.0
シナノキ	対照区	22.7	12.0	15.3	21.7	1.3	3.9	1.1	6.3	11.8

4. 生育環境改善試験

客土によって活着や初期成長に一定の効果が確認されたが、より確実な活着と早期樹林化を図るには、様々なリスクを回避する植栽手法を検討する必要がある。そこで、客土や剪定処理に加え、クロマツとの同齢混交植栽、巣植え、防風柵の柵間隔を狭めるという3ケースの導入手法を検討した。

1) 同齢混交林

表-7はクロマツとの混交植栽における5成長期経過後の生存率、表-8は樹高成長、表-9は根元直径成長を示したものである。各樹種とともに客土を施用した処理区（客土区及び併用区）の生存率が高く、成長量も上回って客土試験で得られた結果と同様な傾向を示した。

一方、クロマツの生育をみてみると、各処理区における生存率は70～96%を示し、平均樹高は1年生時で27.6～31.4cm、同様に2年生40.7～52.0cm、3年生65.2～83.3cm、4年生85.8～109.9cm、5年生120.3～156.8cmの経過となった。

客土試験では広葉樹のみの植栽であることから、これを単純林として（以下、単純林という）混交植栽における広葉樹との生育成績を比較した。まず生存率であるが、5成長期経過後の生存率が10%を超えて上回った処理区は、シナノキの剪定区、併用区、対照区、カシワの客土区であった。また、樹高成長において年平均成長量が10%を超えて上回った処理区は、ケヤキの併用区、エゾイタヤ、シナノキの剪定区、カシワの客土区、剪定区であり、さらに根元直径成長ではシナノキ、カシワの剪定区が上回っていた。このことから混交植栽による広葉樹への庇護効果としては、植栽時の樹高が低い処理区（剪定処理及び苗高が小さい場合）であって、相対的に生存率や成長が低位なシナノキ、カシワ、さらには生育条件の劣る処理区に限定して現れる傾向にあり、ケヤキ、エゾイタヤ、シナノキの客土区ではその効果が認められなかった。

表-7 同齢混交林の5成長期経過後の生存率

	ケヤキ	エゾイタヤ	シナノキ	カシワ
客土区	98	90	80	58
剪定区	72	64	26	12
併用区	100	94	72	66
対照区	92	84	36	12

注1) 単位は%

注2) 1処理区当たりN=50

表-8 同齢混交林の5成長期経過後の樹高と5カ年間の成長量

	ケヤキ		エゾイタヤ		シナノキ		カシワ	
	樹高	成長量	樹高	成長量	樹高	成長量	樹高	成長量
客土区	124.0	24.9	100.6	-6.8	60.4	10.9	68.1	13.3
剪定区	56.3	5.6	57.2	5.6	32.7	0.7	24.2	-24.6
併用区	108.1	56.6	94.3	42.5	58.1	25.6	54.3	7.1
対照区	90.7	-19.3	63.8	-42.1	41.4	-29.0	40.0	-27.3

注1) 単位はcm

表-9 同齢混交林の5成長期経過後の根元直径と5カ年間の成長量

	ケヤキ		エゾイタヤ		シナノキ		カシワ	
	根元直径	成長量	根元直径	成長量	根元直径	成長量	根元直径	成長量
客土区	2.7	1.9	2.3	1.5	2.2	1.7	2.0	1.1
剪定区	1.2	0.5	1.5	0.7	1.4	0.8	1.1	-0.1
併用区	2.4	1.6	2.2	1.3	2.0	1.4	2.1	1.1
対照区	1.5	0.5	1.6	0.6	1.4	0.8	1.3	0.2

注1) 単位はcm

2) 巢植え

表-10は巢植した広葉樹の4成長期経過後の生存率を、表-11は樹高成長、表-12は根元直径成長を示した。ケヤキ、エゾイタヤ、シナノキの生存率は併用区>客土区>剪定区>対照区の順となり、客土と剪定の効果が認められる。またカシワは併用区>客土区>対照区>剪定区となり、客土を施用した処理区が上回った。樹高成長及び根元直径成長でも併用区や客土区が剪定区や対照区を上回って、客土試験と同様な結果が確認された。

一方、巣植えの生育成績について、単純林（1本植栽）と比較した。生存率では、ケヤキとエゾイタヤは処理にかかわらず巣植えが劣り、特に剪定区と対照区での生存率が低下していた。これとは逆に、シナノキとカシワでは巣植えがすべての処理区で上回っていた。また樹高や直径成長でも生存率と同様な傾向を示した。単純林と巣植の比較において、樹種による差が生じた原因是、シナノキでは直径約15cmサイズの鉢で育成したポット苗を使用したため、その用土が生存率の維持に寄与したとみられる。またカシワは、断根しない山取り苗を使用したため全体として生存率や成長が向上したためと判断された。こうした植栽条件の違いによる影響を除くと、活着や初期成長において巣植による効果は認められなかった。

表-10 巢植混交林の5成長期経過後の生存率

	ケヤキ	エゾイタヤ	シナノキ	カシワ
客土区	71	51	95	76
剪定区	65	11	90	40
併用区	91	73	97	79
対照区	31	9	81	61

注1) 単位は%

注2) 1処理区当たりN=150

表-11 巢植混交林の5成長期経過後の樹高

	ケヤキ 樹高	成長量	エゾイタヤ 樹高	成長量	シナノキ 樹高	成長量	カシワ 樹高	成長量
客土区	99.9	-2.2	83.2	-21.0	97.5	-6.4	50.4	20.4
剪定区	76.4	8.3	47.8	-5.6	64.0	15.8	24.0	-5.7
併用区	99.1	53.8	72.5	19.8	96.9	42.9	57.6	27.6
対照区	63.4	-38.1	70.5	-37.6	58.2	-42.5	27.9	-1.5

注1) 単位はcm

表-12 巢植混交林の5成長期経過後の根元直径

	ケヤキ 根元直径	成長量	エゾイタヤ 根元直径	成長量	シナノキ 根元直径	成長量	カシワ 根元直径	成長量
客土区	1.9	0.9	1.6	0.5	2.8	0.8	1.5	0.8
剪定区	1.8	0.6	1.1	0.1	2.5	0.3	0.9	0.3
併用区	1.9	0.9	1.6	0.4	3.0	0.8	1.8	1.1
対照区	1.6	0.6	1.6	0.4	2.4	0.4	1.1	0.4

注1) 単位はcm

3) 防風柵の間隔

防風柵の間隔を 10 m × 5 m と通常の 1 / 2 にし、季節風の風向と同じ東西方向を狭めた。表－13 は 5 成長期経過後の生存率を、表－14 は樹高成長を、表－15 は根元直径成長を示したものである。生存率はケヤキが 90 % 以上、エゾイタヤが 80 % 以上を示し、客土を施用した区の生存率が高い傾向にあるものの、処理に応じた対応関係は認められなかった。シナノキは客土区が 90 %、その他の処理区が 50 % 台となり、カシワでは 28 ~ 50 % の生存率で客土区 > 併用区 > 剪定区 > 対照区の順となった。樹高成長は、5 年間の成長量ではすべての樹種で併用区が最大の成長量を示し、対照区が最小かつマイナスの成長量となった。また根元直径では客土区、併用区が剪定区、対照区を上回る成長となり、客土を施用した処理区の成長量が大きかった。

柵間隔を狭めた場合の生育成績について、単純林と比較した。5 成长期経過後の生存率が 10 % を超えて上回った処理区はケヤキの対照区、シナノキの剪定区、併用区、対照区、カシワの客土区、剪定区、対照区であった。また、樹高成長において年平均成長量が 10 % を超えて上回った処理区はケヤキの併用区、エゾイタヤ、シナノキの剪定区、カシワの客土区、剪定区であった。さらに根元直径の年平均成長量が 10 % を超えて上回った処理区は、エゾイタヤ、シナノキの剪定区、カシワの客土区、剪定区、併用区であった。このことから単純林の生育成績を上回った処理区は、植栽時の樹高が低い処理区であって、樹種的にはシナノキ、カシワであり、処理的には剪定を実施した処理区となっていて、その効果の現れ方は同齢混交林と同様な傾向を示した。

以上のことから、生育環境を改善する導入手法としては、同齢混交林と柵の間隔を狭める方法において、シナノキやカシワなどの植栽条件が劣る処理区に効果が限定してみられ、巢植えには効果が認められなかった。また、各手法に共通してケヤキ、エゾイタヤ、シナノキの客土区では単純林との差が認められず、むしろ造成初期の段階では客土あるいは客土と剪定の併用が及ぼす効果がより大きいことが改めて確認される結果となった。

表－13 防風柵5mにおける5成長期経過後の生存率

	ケヤキ	エゾイタヤ	シナノキ	カシワ
客土区	98	78	90	50
剪定区	90	83	53	43
併用区	98	95	58	48
対照区	98	80	55	28

注) 1処理区当たりN=40

注) 単位は%

表－14 防風柵5mにおける5成長期経過後の樹高成長

	ケヤキ 樹高	成長量	エゾイタヤ 樹高	成長量	シナノキ 樹高	成長量	カシワ 樹高	成長量
客土区	114.9	10.9	95.9	-6.6	71.9	13.5	69.1	12.9
剪定区	75.8	26.0	70.5	19.5	44.3	12.3	39.2	-5.3
併用区	108.1	57.2	96.9	45.8	57.6	26.3	66.5	22.5
対照区	76.3	-28.3	68.9	-43.4	48.0	-5.2	30.6	-24.0

注1) 単位はcm

表-15 防風柵5mにおける5成長期経過後の根元直径成長

ケヤキ		エゾイタヤ		シナノキ		カシワ	
根元直径	成長量	根元直径	成長量	根元直径	成長量	根元直径	成長量
客土区	2.4	1.6	2.1	1.4	2.2	1.7	2.6
剪定区	1.7	0.9	1.8	1.0	1.7	1.1	1.6
併用区	2.4	1.6	2.4	1.5	1.9	1.4	2.6
対照区	1.6	0.8	1.7	0.9	1.6	1.0	1.1

注1)単位はcm

5. 異齢混交林造成試験

客土施用の場合、同齢混交や柵間隔を狭めるなどの生育環境改善効果は認められず、その成長量は低位であった。一方、初期成長の促進による早期樹林化は、保安機能の発揮や育林上の様々なリスク回避にも有効である。そこで、既に造成されたクロマツ幼齢林内に広葉樹を植え込み、クロマツの庇護による成長促進効果を検討した。

表-16は、クロマツ林分に広葉樹を植え込み後、4成長期経過した混交林の生育状況を示したものである。林分全体の平均樹高は約2mで、立木密度はha当たり5,500～8,000本となっている。

樹種別にみると、クロマツは樹高240～290cmで、立木密度はha当たり2,500～3,000本である。これに対し、広葉樹の樹高はケヤキ151cm、エゾイタヤ170cm、シナノキ130cm、カシワ67cmとなり、クロマツの樹高に対して24～66%に相当した。また、生存率はケヤキが2005／2006年冬期に野鼠の食害を受けて45%と半減したほかは80%以上の生存率となっていた。

図-8は、広葉樹及びクロマツの樹高推移を、向浜で実施した単純林及び同齢混交林の成長と対比して示したものである。ケヤキは、植栽後2年間は枯れ下がり等により樹高を低下させたが、3年目以降に回復して単純林及び同齢混交林の成長を追い抜き、4年目時点では単純林より約30cm上回った。同様にエゾイタヤでは約50cm、シナノキでは約60cm、カシワでは20cm上回った。また、根元直径は単純林を100とすると、ケヤキ80、エゾイタヤ88、カシワ85、シナノキ104に相当し、直径成長では単純林と同等もしくはそれを下回る成長となった。こうしたことから、クロマツ林内に広葉樹を植え込む手法は、樹高成長の促進において有効と判断される。

表-16 4成長期経過した異齢混交林の成長

処理区	樹種	林齡 (年)	樹高 (cm)	根元直径 (cm)	立木密度 (本/ha)
ケヤキ区	ケヤキ	4	150.8±33.68	2.0±0.52	2,500
	クロマツ	7	241.9±30.03		2,963
エゾイタヤ区	エゾイタヤ	4	170.1±54.64	2.1±0.62	4,444
	クロマツ	7	256.2±30.21		2,593
シナノキ区	シナノキ	4	129.7±34.37	2.5±0.41	5,463
	クロマツ	7	286.7±42.92		2,500
カシワ区	カシワ	4	67.0±39.77	1.5±0.57	5,093
	クロマツ	7	276.9±40.87		2,963

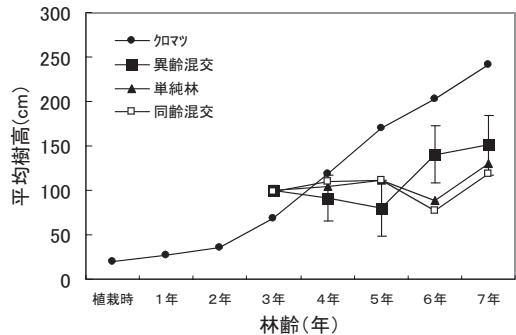


図-8a ケヤキ

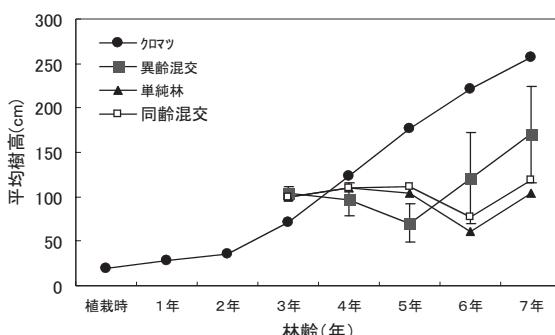


図-8b エゾイタヤ

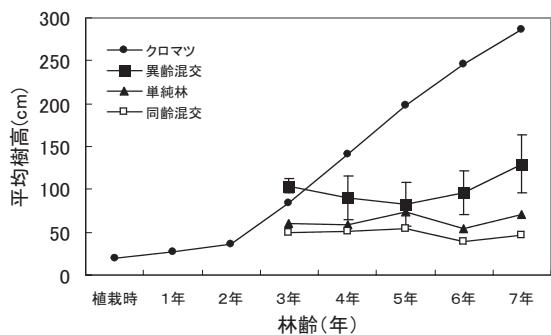


図-8c シナノキ

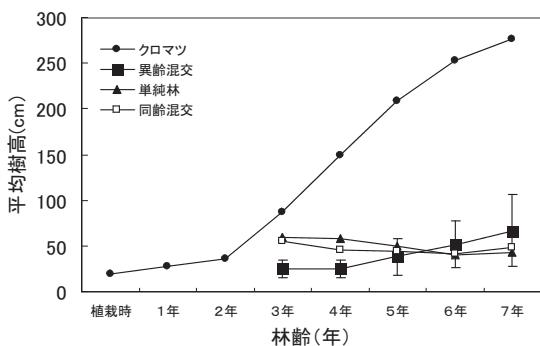


図-8d カシワ

図-8 混交林と単純林の樹高成長経過

6. 環境別植栽試験

これまで林帶前線部の厳しい砂丘環境下における広葉樹の生育実態を述べてきたが、以下ではクロマツ林帶に生じた開放地で砂丘環境の緩やかな立地での生育実態について述べる。

表-17は、松枯れによって生じた林孔部分に広葉樹を植栽した3箇所の5年生時における生育成績を示したものである。NO 1及びNO 2調査地は各樹種とも90%以上の生存率を示し、NO 3は50~70%の生存率となっている。樹高成長では80~210cmと調査地や樹種によって幅があるが、樹種別の最大値ではケヤキ151.2cm(NO 3)、エゾイタヤ210.7cm(NO 2)、シナノキ162.2cm(NO 2)となっていた。客土試験で最良の成長を示した広葉樹との比較では、ケヤキで同等、エゾイタヤで約2倍、シナノキで約1.5倍に相当する成長となっている。

NO 3調査地を例に、生存率の推移(図-9)と樹高成長の推移(図-10)を示した。8成長期経過後の生存率は、ケヤキ、エゾイタヤが約70%，シナノキが56%となっていて、生育本数の低下はいずれの樹種も植栽後2年目までに集中し、3年目以降は安定化する。また樹高は170~200cmとなっていて、その経過をみると植栽後2~3年目までは連年樹高を低下させ、概ね3年目を境にプラス成長に転じ、その後安定した成長を開始する生育形態を示す。

図-11は、植栽地の中心部を通って東西方向に測線を設定し、林縁からの距離別に平均樹高を示したものである。これによると、西側の林縁部から中心部に向かう途中、ある地点で樹高が低下し、その後一定化する傾向がある。その地点は林縁に成立するクロマツの樹高と同じ距

離であり、それより林縁側と中心側では約1mの樹高差が生じていた。このように周囲が松林に囲まれた開放地では、その大きさにもよるが林縁部ほど広葉樹の生育条件としては良好であるといえる。

表-17 周囲が松林に囲まれた開放地における広葉樹の生育

	調査区	林齢 (年)	生存率 (%)	樹 高 (cm)	根元直径 (cm)
ケヤキ	NO1	5	96.4	77.1 ± 26.18	1.1 ± 0.30
	NO2	5	95.0	136.7 ± 43.92	1.7 ± 0.78
	NO3	5	70.0	151.2 ± 33.06	2.6 ± 0.63
エゾイタヤ	NO1	5	96.4	117.9 ± 29.26	1.6 ± 0.43
	NO2	5	95.0	210.7 ± 62.77	2.9 ± 0.83
	NO3	5	71.7	112.1 ± 29.13	2.1 ± 0.51
シナノキ	NO1	5	98.1	111.2 ± 38.81	2.9 ± 0.87
	NO2	5	97.5	162.2 ± 66.18	3.1 ± 1.16
	NO3	5	58.3	108.5 ± 48.28	2.8 ± 1.02
クロマツ	NO1	5	85.2	151.0 ± 43.76	3.6 ± 1.08
	NO2	5	92.5	246.0 ± 41.81	—
	NO3	5	81.6	145.8 ± 41.98	3.1 ± 1.20

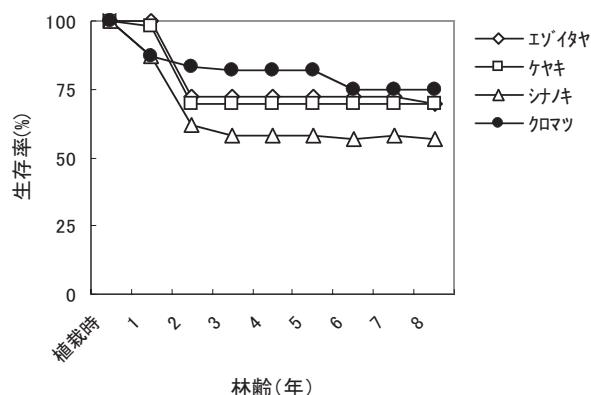


図-9 生存率の推移(NO3)

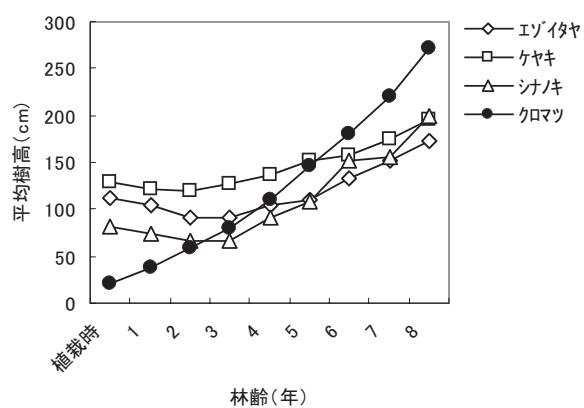


図-10 樹高成長の推移(NO3)

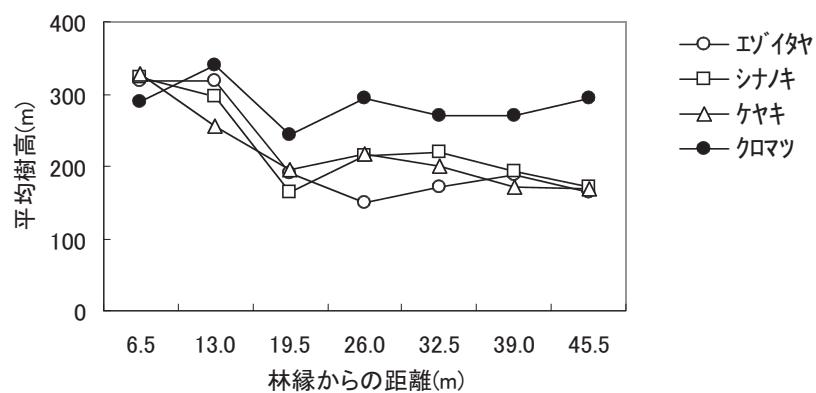


図-11 林縁からの距離別樹高の推移

7. 樹下植栽試験

松枯れ激害地の周辺林分では、防砂・防風機能を急激に低下させない予備的措置として林内に広葉樹を導入することが重要であり、またクロマツ単純一齊林でもその弊害を回避するため、林内に広葉樹を育成して複層・混交化し、諸被害に強い構造に誘導することが望まれる。そこで、クロマツ林内への広葉樹導入手法を検討するため、樹下植栽試験を実施した。

間伐前の林相は、上層にクロマツとアカマツが混成し、中層はカスミザクラやカシワ、ハリギリ、下層はガマズミ、ムラサキシキブが優占する林分であった。図-18に示すとおり上層木の平均樹高は17mで、中・上層木のha当たりの立木密度はおよそ700本であった。そこで、林内光環境の改善を目的にクロマツの適正本数管理基準を考慮して、約35%の間伐を行った。この結果、植栽年の7月における林内相対照度はA区39.4%，B区26.3%となった。また植栽後3年目の相対照度はA区31.4%，B区14.9%となり約10%低下した。また、4～5年目には松枯れが発生し、中・上層木の立木密度はha当たりA区440本、B区380本に低下した。

表-19は6成長期経過後の生育成績を示したものである。生存率は80～100%となっているが、松枯れ木の伐採・搬出に伴う枯損と誤伐を除くと、ほぼ全数の活着成績であった。また、樹高はケヤキ340～400cm、エゾイタヤ305～330cm、シナノキ225cmとなり、相対照度の低かったB区の成長がやや優れていた。樹高や根元直径成長は、向浜で最良の生育成績を示した客土区と比べておよそ2倍の成長を示した。

表-18 上木の変化

試験区名	階層	樹高等	間伐前	間伐後 (49年生)	5年後 (54年生)	備考	
						間伐率	
A区	上層	樹高 (m)	18.7	19.0	18.6	間伐率 32.4%	
		胸高直径 (cm)	25.5	28.1	29.6		
		立木密度 (本/ha)	740	500	420		
B区	中層	樹高 (m)	7.5	7.5	11.5	間伐率 35.3%	
		胸高直径 (cm)	8.9	8.9	14.5		
		立木密度 (本/ha)	40	40	20		
	上層	樹高 (m)	17.3	17.6	15.2	間伐率 35.3%	
		胸高直径 (cm)	27.2	30.7	27.3		
		立木密度 (本/ha)	340	220	100		
	中層	樹高 (m)	9.4	9.4	11.1		
		胸高直径 (cm)	12.4	12.4	17.0		
		立木密度 (本/ha)	340	340	280		

表-19 6成長期経過後の生育成績

試験区名	樹種	生存率 (%)	樹高	根元直径
			(cm)	(cm)
A区	ケヤキ	100.0	342.7±69.21	4.3±0.80
	エゾイタヤ	100.0	305.3±85.76	3.3±1.05
	シナノキ	87.1	226.3±65.32	3.2±0.76
B区	ケヤキ	100.0	397.6±66.96	5.2±1.13
	エゾイタヤ	90.9	331.2±108.26	3.2±1.07
	シナノキ	79.5	226.7±113.45	3.3±1.32

IV. 考 察

海岸砂丘地のマツ枯れ跡地に広葉樹林を造成するための基礎技術として、導入樹種や植栽仕様などについて考察する。

1. 砂丘植栽が可能な樹種

砂丘環境下で成立している天然性由来の広葉樹二次林は、その立地環境に適応し、生態的にも安定した森林群落の一つであると考えられる。こうした安定性は、長期恒常的な機能発揮が求められる海岸防災林にとって重要な条件の一つであり、こうした種群から成る広葉樹林を造成目標とすることは理にかなっているといえる。一方、自然植生として成立するとはいえ、種苗の育成や植栽後の生育が芳しくないなど造林的に育成困難な樹種であれば人工植栽は難しい。したがって、植栽樹種の選定にあたっては、広葉樹林として海岸域に優占して分布する種であり、かつ人工植栽による生育成績が一定水準以上の種が望ましい。

図一 12 は、天然性広葉樹二次林の調査で出現した林冠構成種について、汀線からの距離別の出現状況、風衝・風背の区分を示したものである。作図には和田ら (16) のデータも引用した。これによると胸高断面積合計で 30 %以上を占める樹種はエゾイタヤ、ケヤキ、シナノキ、カシワ、ミズナラ、タブノキの 6 種であり、またこれら樹種はその比率が小さくても多くの林分で上層を形成していることがわかる。一方、カスミザクラ、ヤマトアオダモは出現頻度が高いものの、その種が優占して林分を構成しうるケースは見あたらなかった。宮脇 (10) は、本県海岸域の植物群落において、カシワ風衝林、エゾイタヤーケヤキ林、シナノキーケヤキ林、イノデータブノキ林に区分しており、群落の表徴種はミズナラを除く 5 樹種で一致していた。こうしたことからこれら 6 種は、本県海岸域における広葉樹林の主要構成種と考えられ、分布や適応性など生態的視点からみた植栽候補樹種といえる。

また、この 6 種は図一 12 に示したように風衝・風背によって出現傾向に特徴がみられた。タブノキは風背地にのみ限定して出現し、ミズナラも風背地や汀線から比較的離れた位置で優占する傾向がある。反面、エゾイタヤ、カシワ、シナノキ、ケヤキは全域で出現しており、特にカシワはクロマツ林帯の海側でもその自生が観察された。海岸域における広葉樹の分布において、タブノキ林は風背側の南斜面に成立してエゾイタヤなど風衝側に成立する林分とは棲み分けが明瞭であり、カシワ群落はエゾイタヤーシナノキ群落の風衝側に低木として成立するとされている (4)。また、ミズナラはエゾイタヤ・ケヤキ・シナノキを主体とした林分の後方 (内陸側) に出現し、斜面位置では中間斜面から風背斜面に位置する (1)。このようなことから、各樹種は汀線からの距離や風衝・風背からする潮風環境に対応して分布・成立していると考えられ、潮風環境による出現の有無を各樹種の耐性としてみると、カシワ > エゾイタヤ、ケヤキ、シナノキ > ミズナラ、タブノキに区分できると考えられる。この相対的な区分は耐性試験においても、その傾向が認められた。汀線から 150 m の風衝地において、クロマツの造成基準による条件下で植栽したところ、生存率ではケヤキが高位安定、エゾイタヤ、シナノキ、カシワがクロマツと同等の水準、ミズナラがクロマツ水準以下、タブノキが消滅状態という結果となった。ケヤキとカシワでは耐性における序列が異なっていたが、風背地や汀線から比較的離れた立地に限定して分布するミズナラ、タブノキは一致し、風衝地では定着が困難な樹種と考えられた。

以上、広葉樹の分布や出現状況、耐性試験からすると、カシワ、エゾイタヤ、ケヤキ、シナノ

キは海岸のほぼ全域に適応して定着する樹種と考えられ、同時に砂丘植栽が可能な樹種といえる。一方、タブノキやミズナラは、砂丘の後背地など潮風環境の緩やかな立地に限定（タブノキは由利本荘市以南の地域）して定着可能と考えられるが、これについては今後検証する必要がある。

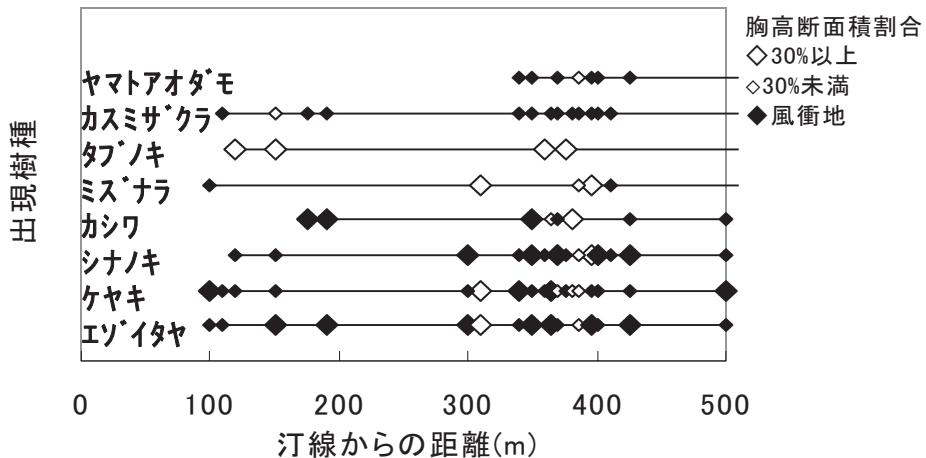


図-12 樹種の出現状況
(和田ら、1998のデータを加えて作図)

2. 植栽密度

厳しい砂丘環境や被害に対して林分の耐性を高め、また諸機能を発揮させていくには、早期に林冠を閉鎖させることが重要である。このため海岸防災林ではこれまで高密度による植栽手法を採用してきており、広葉樹においても造成に関わる基本的な考え方は同じである。しかし、広葉樹の植栽対象地はマツ枯れ被害跡地であるため、たとえば潮風の影響が少ない林孔部分であったり、一方で無立木地化した風衝地であるなど、その生育環境に大きな差が生じている。このため植栽密度の考え方としては、環境の厳しい立地では樹冠の早期閉鎖や林分の成立を重視し、環境の安定した立地では個体や林分の健全な生育に主眼をおくなど、植栽予定地の環境に応じて植栽密度を決定すべきと考える。

図-13は、天然性広葉樹二次林の上層樹高と立木密度を示したものである。立木密度は上層樹高が大きくなるにしたがって低下する傾向にあり、資料数は少ないが樹高が5mで概ねha当たり8,000本、10mで4,000本、15mで2,000本が限界とみることができる。また、この図に比較的環境の緩やかな地帯に人工植栽によって造成された混交林(7)、カシワ林(8)のデータを加えた。混交林はha当たり5,000本植栽であり、カシワ林は10,000本植栽であるが、両林分ともに林冠が閉鎖した状態で成立し、既に植栽密度の15～70%に相当する本数が自然消失していました。また樹高分布はL型に移行しつつあり、林分形状比も80～120を示すなど過密となっていて、このまま放置すると樹高の増加とともに立木密度を減少させながら限界値に近づいていくものと考えられる。個体の形質をみると、成長や樹型に個体間差が生じているとともに完満で諸被害に弱い樹型の本数が多く、早期に間伐を繰り返して行うか、そうでなければ当初から植栽密度を低く設定する必要があった。こうした事例と重ね合わせると、環境が安定した地帯では植栽

密度を必ずしも高密度にする必要はなく、安全率を見込んでも ha 当たり 3,000 ~ 5,000 本で十分と判断される。逆に、環境の厳しい地帯では樹高成長が極度に抑制され、風衝地に成立する二次林のケースでは樹高約 4 m で ha 当たり約 8,600 本となっていた。樹高が低位な状態で十分な鬱閉を保つためには一定数以上の本数が必要であり、また様々な育林上のリスクが想定されることから、植栽密度は ha 当たり 8,000 ~ 10,000 本を目安とするのが妥当と考える。

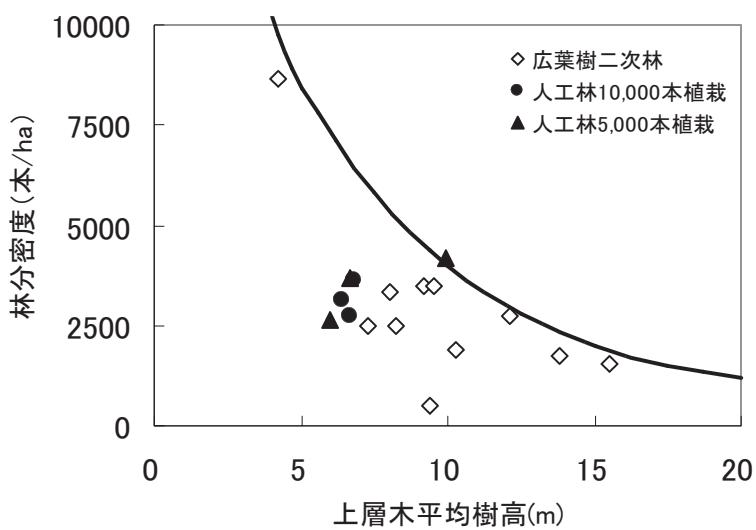


図-13 広葉樹二次林の上層樹高と林分密度

3. 植栽及び導入方法

砂丘植栽した広葉樹の主な生育阻害要因は、春季から夏季にかけての乾燥害、砂丘未熟土壤を起因とする養分不足であり、風衝地ではこれに冬季の潮風害が加わる。またその生育は植栽後 1 ~ 2 年目に枯死木が多く発生し、生残している個体も枯れ下がって樹高を低下させるが、3 年目以降になると生存率は安定化し、成長も回復するという特性が認められた。こうしたことから、植栽後約 3 年間は苗木が砂丘環境に適応して定着する期間であり、一方で最も被害を受けやすい時期ともいえる。このため様々な被害を回避し、活着成績の向上や初期成長を増進させるための植栽方法を検討する。

①客土

乾燥害や養分不足の対策としては客土（苗木 1 本当たりの施用量として、バーク堆肥 2 kg, 化成肥料 100 g, 粉炭 1 リットル, 黒土 0.1 m³）の効果が確認された。有機質肥料及び黒土等の混成による客土は、根系の発達や砂丘未熟土壤への順化に寄与し、また水分や養分の供給源となって成長や樹勢の回復に貢献したものと判断される。客土は乾燥害を直接的に回避する処置ではないが、灌水と同程度の生存率を示すという報告（9）もあり、結果的に被害によるダメージを受けにくくし、被害後の成長を支援して活着や初期成長にプラスの効果をもたらしたものと考えられる。一般に広葉樹は痩せ地に対する耐性が低く、ケヤキなどは土壤に対する養分要求度が高い（14）ことなどからも、砂丘地に広葉樹を導入する上で客土は不可欠な要素であるといえる。

次に客土の範囲であるが、試験では縦50cm×横50cm×深さ40cmで実施した。3成長期経過後における根系成長は、水平方向では56～104cm、深さでは33～42cmに達し、細根は客土に集中して分布していた。さらに5成長期経過後の根系を観察すると、ケヤキでは水平方向、垂直方向とも客土域を大きく超えて100cm以上の分布となっていた。苗木が活着して定着が完了するまでの期間はおよそ3年と判断されることから、これを一応客土の有効期間とすると、3年目における根系の分布域が客土の適正範囲の一つと考えることができる。その範囲は樹種にもよるが、掘り取り調査からすると幅、深さとも40～50cmが適當と判断される。

以上、客土についてはその効果は認められるものの、その材料や施用量、範囲等には検討の余地があり、また生育に対する効果や経費的な視点から最適な仕様等について明らかにしていく必要がある。

②導入手法

砂丘風衝地において、その生育環境を改善する導入手法として、同齢混交林、巣植え、防風柵の間隔を狭めた試験を実施した。この結果、同齢混交林及び柵間隔を狭めた方法ではシナノキやカシワの剪定区、対照区などに限定して生存率や樹高成長量が増加するなどの効果がみられ、巣植えではその効果が認められなかった。この原因として、同齢混交林ではクロマツの成長が広葉樹を上回ってはじめてその庇護等の効果を発揮すると考えられ、クロマツが広葉樹を追い越すまでに時間を要したためと考えられる。事実、剪定を実施した処理区では3年目、剪定を実施しなかった処理区では5年目に樹高が同水準となり、客土区などではその効果は認められなかった。しかし、6年目以降はすべての処理区でクロマツの樹高が広葉樹を上回ると予測されるため、今後その効果が期待される。巣植えでは、苗が密着して生育することによる環境等の改善効果をねらいとした。しかし、3手法の中では最も低い成長量となっていることなどから、個体間に養分や水分の競合が生じ、かえって樹勢を弱める結果になったものと推測された。柵間隔を狭めた手法では、剪定した処理区やもともと苗高が低かった処理区にのみ効果がみられ、防風柵が風による強制蒸散を弱め、西日を遮断するなどの働きをして乾燥害を緩和したものと考えられた。一方、各手法に共通してケヤキ、エゾイタヤ、シナノキの客土区では単純林との差が認められなかった。このことは造成初期の段階では防風等の地上部の環境より、客土の施用、すなわち根系を取り巻く地下部の環境を整えることの方が、より大きく影響すると考えられた。こうしたことから環境の厳しい立地における導入手法としては（一斉造林の場合）、海岸防災林造成事業で実施されている通常の防風柵の施工に加え、客土の施用によるクロマツとの同齢混交林造成を基本とすることが望ましいと考える。

一方、クロマツ幼齢林内に広葉樹を植え込む異齢混交林は、単純林や同齢混交林と比べ樹高成長の促進において有利であることが認められた。樹高成長が促進されることは、林分として早期に樹冠が閉鎖し、防災林に求められる諸機能が発揮される。また、混交林では仮にクロマツが松材線虫病に罹病しても、広葉樹が残存し無立木化することは避けられるなどの利点がある。こうしたことから異齢混交林は、広葉樹の早期育成や様々なリスク回避の視点から、最も安全で効率的な手法であると考えられる。

③苗木

本県において、広葉樹苗木は山行用に養成されており、海岸砂地用としては特別生産されていない。これまで試験に供した苗木は山行用であり、その規格や形質が活着や成長に影響を及ぼした可能性がある。エゾイタヤを例に2成長期経過後の時点での生存している個体、枯死した個体に

区分し、植栽時に遡って苗木の形質を比較した。図-14は根元直径、図-15は徒長率（苗高／根元直径）によって、その生存率の構成比を示したものである。一般に根元直径は根量と正の相関があり、太ければ根系が充実しているといわれており、本図でも根元直径が大きいほど生存率が高まる傾向がうかがわれる。また、徒長率は蒸発散のバランスのほか風当たりなどの物理的作用に関する指標とみることができ、その値が小さいほど生育環境に適合しやすい。砂丘地では夏期の土壤表面温度が60℃に達するなど蒸散が過度に促進される環境にあり、本図でも徒長率が高いほど生存率が低くなっている。このことは、広葉樹を砂丘地に導入していくうえで、根系の充実度や徒長度合いなどを基準とした海岸砂地用の苗木規格・基準の構築が必要であることを示唆しており、特に直根を発達させるカシワの生存率が不安定となっていた一因もここにあると考えられる。

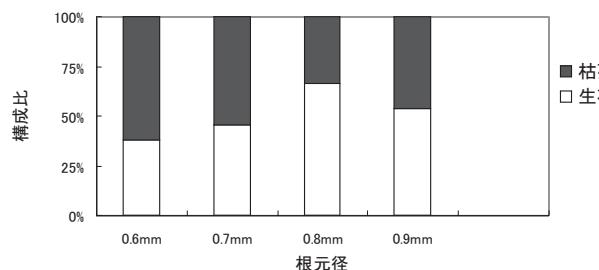


図-14 苗木の根元径別生死(エゾイタヤ)

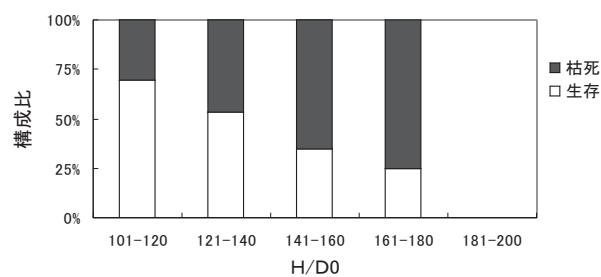


図-15 苗木の徒長率別生死(エゾイタヤ)

4. 砂丘環境と成長

天然性広葉樹二次林では、風衝や風背など砂丘環境の違いによって出現樹種や成長、生育形態が異なっていた。また植栽試験でも風衝地や林孔などで初期成長に差が生じていた。このため砂丘環境が成長に及ぼす影響を検討した。

図-16は、ケヤキ、エゾイタヤについて、樹下植栽（植栽時のRI=40%）、林孔植栽（広さ0.27ha）、風衝植栽（向浜客土試験区）の樹高成長経過を示し、これに風背植栽として汀線から約500m離れた砂丘後背地で22～23年経過した林分の樹幹解析データを加えたものである。なお、樹幹解析木はケヤキが22年生で樹高6.7m、エゾイタヤが23年生で樹高6.5mとなっており、どちらも上層木平均樹高に相当していた。

ケヤキを例に植栽環境別の生育経過をみると、樹下植栽は植栽当年から直線的プラス成長で、特に4年目以降は旺盛な成長となっていた。5年生時点と比べるとほかの植栽地の約2倍の樹高となっており、4つのタイプの中では最も良い成長となっていた。次に林孔植栽は1～2年がマイナス成長で、3年目以降緩やかなプラス成長となっていた。風衝植栽は、植栽当年から緩やかなプラス成長であったが3年目に夏台風（8月）による潮風害で樹高を減じていて、4年目以降は回復していた。風背植栽は植栽当年から直線的成長となっていた。これは樹幹解析における算術樹高に起因し、実際には1m規格の苗木が植栽されていたことから植栽後数年は成長が停滞し、その後徐々に成長が回復したものと推定される。

植栽後の経過年数が少ない状況ではあるが、砂丘環境が成長に及ぼす影響を類推すると、樹下植栽では、ほかの植栽地と成長が著しく異なり、乾燥害や潮風などの影響を受けずにほぼ山地並みの成長と判断された。林孔植栽は、初期の生育状況及び5年目以降の相似性からすると風背植

栽とほぼ同じ生育経過をたどるものと考えられ、10年で2~3m、20年では5~7mとなって成林が見込まれると考えられた。風衝植栽は、現在のところ林孔植栽と似たような生育経過をたどっているが、防風工の高さを上回った段階であることから、今後は潮風の影響を直接受ける環境と予測される。したがってこれまでのような成長量の持続は困難と考えられ、次第に叢状の風衝林型を呈するものと推察される。このように樹高成長は生育環境を反映し、成林の難易、樹高成長からする機能の発揮、樹種の選定や植栽密度など広葉樹植栽の設計に大きく関与する。このため、目的とする機能や生育実態に応じた地帯区分が今後必要と考える。

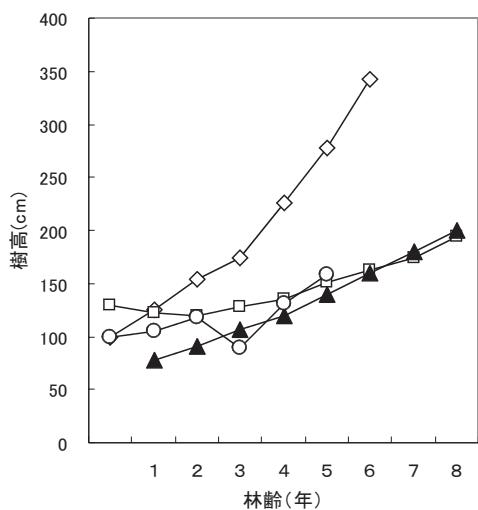


図-16a ケヤキ

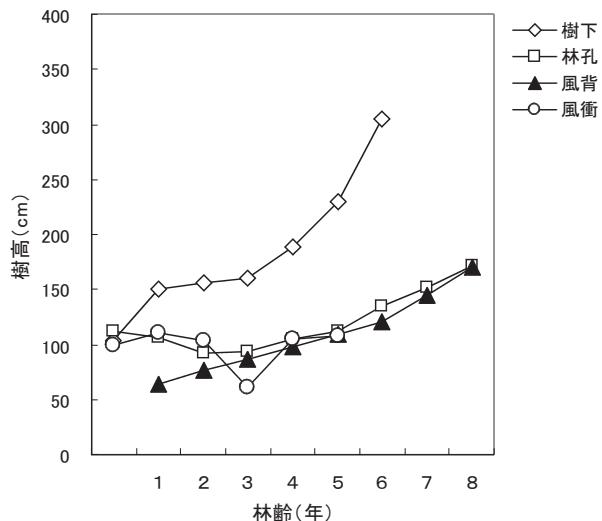


図-16b エゾイタヤ

図-16 環境別の樹高成長

引用文献

- (1) 秋田県 (1987) 秋田県自然環境管理計画 項目別説明書. 秋田県 3-53.
- (2) 秋田県森林土木課 (2001) 「誇りたい！この海岸林を」リフレッシュ事業 海岸林整備の基本構想. 61pp, 秋田県.
- (3) 秋田県農林水産部森林整備課 (2006) 秋田県治山便覧. 秋田県 495pp
- (4) 服部保 (1992) タブノキ型林の群落生態学的研究 I. タブノキ林の地理的分布と環境. 日本生態学会誌 42 : 215-230.
- (5) 石田秀雄・小田島一郎・遠山春男 (1982) 海岸埋立砂地の緑化樹植栽試験. 昭和 56 年度秋田県林業センター業務報告 : 361-366.
- (6) 伊藤 聰 (2000) 山形県の海岸地帯に植栽した広葉樹の初期成長特性. 東北森林科学会誌 5 : 105-109.
- (7) 金子智紀 (2005) 秋田県中央部の海岸砂丘地に植栽した広葉樹混交林の成長. 東北森林科

- 学会誌 10 : 90-94.
- (8) 金子智紀 (未発表)
- (9) 三浦義之 (1979) 海岸保安林における混交林造成. 第18回治山研究発表論文集 : 202-205.
- (10) 宮脇 昭 編 (1987) 日本植生誌 東北, 605pp, 至文堂, 東京.
- (11) 村井 宏 編 (1992) 日本の海岸林—多面的な環境機能とその活用— 513pp, ソフトサイエンス社, 東京.
- (12) 中島勇喜 (2000) 日本海沿岸北部海岸林の潜在植生導入による保全技術. 平成8~10年度文部省科学研究費補助金基礎研究 (B) (2) 研究成果報告書 : 87-96.
- (13) 野堀嘉裕・宮城正明・伊藤聰 (2004) 山形県北部の海岸クロマツ林内に樹下植栽されたタブノキの成長. 東北森林科学会誌 9 : 1 - 5.
- (14) 坂口勝美 編 (1992) 有用広葉樹の知識. 514pp, 林業科学技術振興所, 東京
- (15) 武田宏・金子岳夫 (2007) 海岸防災林における常緑広葉樹の植栽成績. 新潟県森林研究所研究報告 48 : 103-114.
- (16) 和田 覚・白沢芳一 (1998) 秋田県における海岸広葉樹林の林分構造. 東北森林科学会誌 3 : 9-12.
- (17) 全国林業改良普及協会 (1998) 林業技術ハンドブック. 1969pp, 全国林業普及協会, 東京.

スギ高齢林の伐採による土壤炭素変化量の測定 (森林吸収源計測・活用体制整備強化事業)

澤田 智志・森貞 和仁 (森林総研)

Soil Carbon Balance Following clear-cutting in an old-aged
Cryptomeria japonica Forest in Akita.

Satoshi SAWATA・Kazuhito MORISADA

要 旨

秋田県北秋田市の土壤表層部に火山灰が堆積する褐色森林土において、高齢級スギ人工林の皆伐前後における土壤表層部を主体とした炭素量の変化を調べた。伐採後は草本層の回復は早いものの、 A_0 層の炭素量は伐採後 2 年目以降で伐採前の半分程度まで減少した。土壤炭素の変化を推定するためのサンプリング密度の影響を調べたところ、100 点の採取地点を基準とすると、20 点まで少なくしてもデータの標準偏差は小さかったが、4 点では標準偏差が大きくなつた。皆伐後の土壤炭素の変動は、伐採前の平均値が $11.49 \text{ kg C m}^{-2}$ だったのに対し、2 年目以降は $10.29 \sim 11.74 \text{ kg C m}^{-2}$ で推移し、分散分析による有意差は伐採後 3 年目のみ認められるだけで、研究期間内では土壤炭素の減少は確認されなかつた。

I. はじめに

地球温暖化問題とは、人間の活動に伴つて発生する温室効果ガス (Greenhouse Gas) が大気中の濃度を増加させることにより、地球全体の温度が追加的に上昇し、自然の生態系および人類に悪影響を及ぼすものと定義されている (林野庁, 2002)。気象庁の気象観測データによれば定点観測所での二酸化炭素濃度は近年指数関数的に上昇しており、最新の IPCC の報告では温暖化のスピードは当初の予測をはるかに上回るペースで進行していることが確認されている。地球が温暖化することによって予測される悪影響としては第一に気温の上昇による海面の上昇があげられるが、そのほかにも異常気象による被害や、生態系の変化など地球全体に大きな問題となることが指摘されている。

地球上の陸上生態系は大気中の約 3 倍に相当する 2 兆 1,900 億トンの炭素を貯えており、このうち 6,100 億トンが森林などの植生中に存在しており、残りの 1 兆 5,800 億トンは土壤中に貯えられているといわれるほど土壤は二酸化炭素の巨大な貯蔵庫の役割を果たしている。京都議定書の ARD(特に伐採、再植林) 活動に伴う吸収量の推定を行うために、伐採に伴う土壤炭素量の変動を測定することや土壤炭素の変動を検出できるサンプリング方法を検討することは大切である。このため、平成 13 年度から林野庁研究普及課の「炭素吸収源データ収集システム開発事業」の中で、日本の主要な森林土壤における森林伐採施業による影響評価を行う目的で、秋田県の高齢なスギ人工林に調

査地を設置し、伐採に伴う土壤等における炭素貯留量の変化を調査した。

II. 調査方法

(1) 調査地の概要

北秋田市阿仁銀山水無の林齡 82 年生のスギ人工林に調査地を設定した。調査地は谷頭凹地に位置し、斜面方位は東南東、平均傾斜は 17° であった。調査地に近い阿仁合（北緯 39 度 59.5 分、東経 140 度 24.3 分、標高 120m）の 2001 年から 2006 年までの年平均気温は 9.9°C 、年平均降水量は 1,861mm であった。冬季の積雪期間は 12 月中旬～4 月中旬の 5 ヶ月間で、6 年間の平均最深積雪深は 132cm であった。調査地の土壤は砂岩を母材とした褐色森林土（BD 型）であったが、場所により 20cm 以上の黒色の火山灰土層が混在していた（写真 1、図-1）。表層土壤の pH は 5.0 前後の酸性であった（石塚、2002）。2001 年（平成 13 年）の春に調査地に $40\text{m} \times 40\text{m}$ の調査区を設定し、同年 11 月に地上部バイオマス量の調査を行った後、皆伐した。伐出作業では、チェンソーで伐採し枝を落とした後、ホイルトラクターを利用して調査地上部の林道へ全幹集材した。そのため、幹はすべて調査地外へ持ち出しされたものの、枝葉の多くは調査地に残存した（写真 2）。

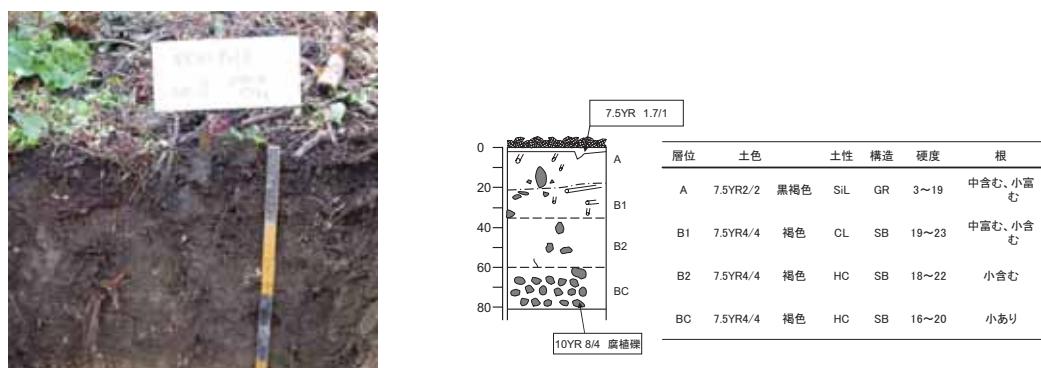


図-1. 調査地土壤の概要(澤田ら、2005)

「写真 1」 調査地の土壤断面



「写真 2」 調査地の皆伐作業後の様子

(2) 調査方法

本調査では土壤炭素量とともに堆積有機物の炭素量および下層植生のバイオマス量の変化も調査した。それぞれの調査方法は以下の通りであった。

土壤は、調査地内で土壤条件・地形が比較的類似している斜面に、4m 間隔で縦横それぞれ 10 箇所の調査地点を格子状に配置し、各調査地点の中心に杭を打ち、サンプリング地点を決定した。土壤資料の採取は図-2 に示したように、斜面上部に向かって下方向に 50cm 以上離れた地点で 2001 年はサンプリングし、その後 2002 年は右方向、2003 年は上方向、2004 年は左方向、2006 年は中心から斜め左方向で採取を行った。土壤は 100mL 円筒を用いて、容積 100mL の土壤を深さ 0-5cm, 5-10cm, 10-30cm で採取した。ただし、10-30cm では中間の深さの位置で採取を行い、100 地点の内の 20 地点ではライナー採土器（大起理化製 DIK-110B）を使用して深さ 0-30cm の土壤を採取した。採取した土壤試料は実験室に持ち帰り、土壤と根、石礫を選分けた後、十分に風乾させたのち、2mm の篩を通過したものとさらに静電気を利用して植物片や根を取り除き、細土重量を測定し、細土容積重を計算した。保存用試料の一部を粉碎機で粉碎して分析用試料とした。

堆積有機物は土壤採取地周辺の 20 箇所に 50cm×50cm の小プロットを設定し、小プロット枠内にある堆積有機物 (A_0 層) を採取し、実験室に持ち帰った。持ち帰った試料を 80°C で 48 時間通風乾燥してから重量を測定し、小プロット毎に乾燥重量を求めた。その後試料の一部を分け取り、粉碎機で粉碎して分析用試料とした。

下層植生は、調査地内に 1m×1m の小プロットをランダムに 20 箇所設定し、プロット内の地上部を刈り取り実験室に持ち帰った。持ち帰った植物体を葉と非同化部および枯れた部分に選別し、85°C で 3 日間以上通風乾燥した後、それぞれの重量を測定して下層植生のバイオマス量を求めた。

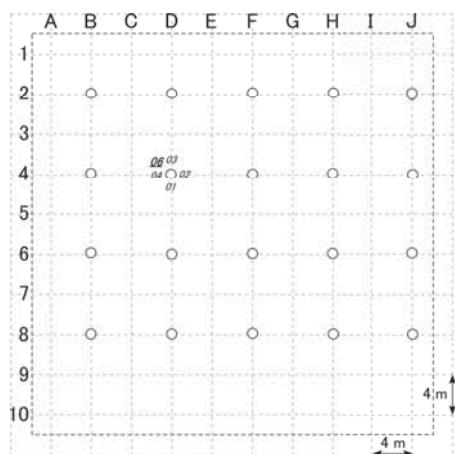


図-2 調査地の配置と土壤の採取位置

(注)○は最終年度の20箇所の採取位置を示す

(3) 分析方法

土壤および堆積有機物とも、採取した試料ごとに分析した。全炭素および全窒素濃度の分析は乾式燃焼法 (CN コーダー, Yanaco 製 MT600 および MT700) によった。

土壤炭素量は全炭素濃度×細土容積重×土層の厚さにより、堆積有機物炭素量は全炭素濃度×乾物量により求めた。3つの深さに分けて採取した土壤では深さ別炭素量を積算して、深さ30cmまでの炭素量とした。測定結果の平均を代表値とし、標準偏差はMiller & Miller (2004)により計算した。伐採前に対する伐採後の影響を比較するための検定には一元配置の分散分析(ANOVA)を用いた(石村, 1997)。分散分析で有意差が検出された場合は、Tukey HSDで多重比較を行った。これらの統計解析はSPSS Ver. 10.0 for Windowsを用い、有意水準は5%とした。

III. 結果と考察

(1) 調査林分の概要

伐採前の林分概要を表-1に示した(澤田ら, 2005)。調査区の平均樹高は33.7mで、高齢級に対応した秋田地方収穫表(澤田, 2004)の地位Iに相当し、比較的成長の良い林分であった(写真2)。また、平均胸高直径42.7cm、伐採前のha当たり本数413本で、収量比数0.71と密度の中庸な林分であった。

表-1 調査林分の概要	
プロット記号	阿仁
伐採前の樹種	スギ
林齢(年)	79
平均樹高(m)	33.3
平均胸高直径(cm)	45.1
幹材積(m^3)	975
立木密度(本/ha)	412
伐採時期(年月)	H13
伐採方法	皆伐
残材の処理	すべて持ち出し
再植栽樹種	スギ
植栽時期(年月)	
植栽密度(本/ha)	3,000
植栽後の施業	下刈り年1回
土壤型	BD
標高(m)	200
方位	169
傾斜(度)	17
表層地質	砂岩
局所地形	山腹平衡斜面
都市町村	北秋田郡阿仁町
大字	水無
林小班	5-125
土地所有	古河林業
北緯(日本測地系) ddmmss	395938
東経(日本測地系) ddmmss	1402400
3rd_mesh	59407392
1/25,000図幅名	阿仁合



「写真2」伐採前の林分の状況

(2) 下層植生

下層植生のバイオマス量を図-3に示した。伐採前の2001年の乾重量が 0.28 kg m^{-2} だったのに対し、伐採後2年目の2003年は 0.27 kg m^{-2} と伐採前と同じ程度で、3年目以降は 0.33 kg m^{-2} 前後とやや増加していた。本調査地では再造林を行った後、毎年初夏に下刈りを行っているので、下刈り施業地での下層植生のバイオマス量は増加が抑制されるものと判断された。ただし、今後下刈り期間が終了すれば下層植生の量も変化することが予想される。

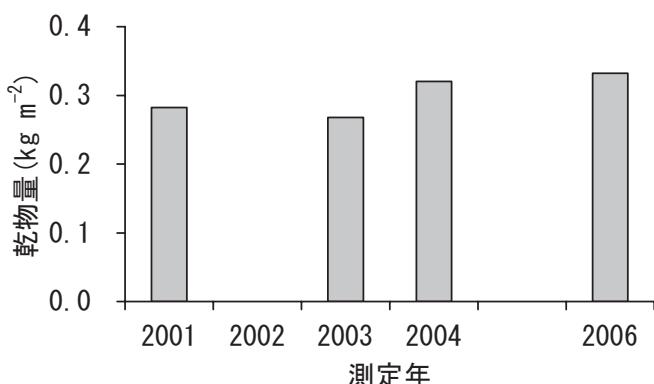


図-3 下層植生のバイオマス量の変化

(3) 堆積有機物

伐採前の本調査地の A₀ 層の現存量は 2.09 kg m⁻² であり、四大学合同調査班(1966)の調査による秋田営林局管内羽根山国有林の 70 年生スギ人工林での A₀ 層の 1.24 kg m⁻² よりも多くの堆積有機物があった。表-2 に示したように、A₀ 層の経年変化を伐採の前後で比較すると、伐採後 1 年目で 1.51 kg m⁻² へと減少し、2 年目以降は 0.87~1.18 kg m⁻² とさらに減少していた(ANOVA, $F=8.5$, $p<0.05$)。伐採後の炭素濃度は 41.02~49.83% で、伐採前に較べて伐採後の方が若干炭素濃度は低かったものの、2004 年のように有意差が認められない時もあった。伐採後の炭素濃度のばらつきは、伐採による土壤などの混入の影響が想定される。A₀ 層の窒素濃度は 0.97~1.41% となっており、伐採直後から 3 年目まで若干減少したものの、5 年目には増加していた。C-N 比は伐採前に較べて伐採後 3 年目までは増加したもの、5 年目で伐採前より減少していた。

また、A₀ 層の伐採後の炭素量は、表-2 及び図-4 に示したように皆伐前の平均が 1.05 C kg m⁻² だったのに対し、伐採後 1 年目が 0.63 kg C m⁻²、2 年目が 0.36 kg C m⁻² と減少したものの、3 年目は 0.56 kg C m⁻²、5 年目が 0.40 kg C m⁻² と一定の傾向は認められなかった(ANOVA, $F=10.5$, $p<0.05$)。同様に伐採後の窒素量も皆伐前の平均が 0.026 kg N m⁻² だったのに対し、伐採後は 0.009~0.015 kg N m⁻²、2 年目が 0.36 C kg m⁻² と一定の傾向は認められなかった (ANOVA, $F=13.7$, $p<0.05$)。このように A₀ 層の炭素量および窒素量は皆伐に伴って約半分のレベルまで急激に減少するものの、減少後の変化に一定の傾向は認められなかった。この原因としては下層植生の繁茂に伴う有機物の土壤への供給や、サンプリング地点が年度間で同一箇所でないことが考えられる。

表-2 A₀ 層の全炭素および全窒素の推移

year	A ₀ 層量(kg m ⁻²)	炭素率(%)	窒素率(%)	C-N比	炭素量(kgC m ⁻²)	窒素量(kgN m ⁻²)	サンプル数
2001	2.09 ± 0.92	49.83 ± 1.68	1.29 ± 0.21	39.5	1.05 ± 0.47	0.026 ± 0.011	20
2002	1.51 ± 1.09	41.02 ± 7.96*	0.97 ± 0.22*	43.1	0.62 ± 0.44*	0.015 ± 0.012*	20
2003	0.82 ± 0.43*	44.26 ± 4.04*	1.09 ± 0.24	42.7	0.36 ± 0.20*	0.009 ± 0.005*	20
2004	1.17 ± 0.46*	46.80 ± 4.96	1.03 ± 0.24*	47.8	0.56 ± 0.25*	0.012 ± 0.006*	20
2006	0.87 ± 0.90*	45.00 ± 3.07*	1.41 ± 0.31	35.0	0.40 ± 0.45*	0.011 ± 0.005*	20

数値は各データの平均値±標準偏差(%)を示す。*は伐採前の2001年のデータと比較して有意差がある(Tukey HSD, $p<0.05$)ことを示す。

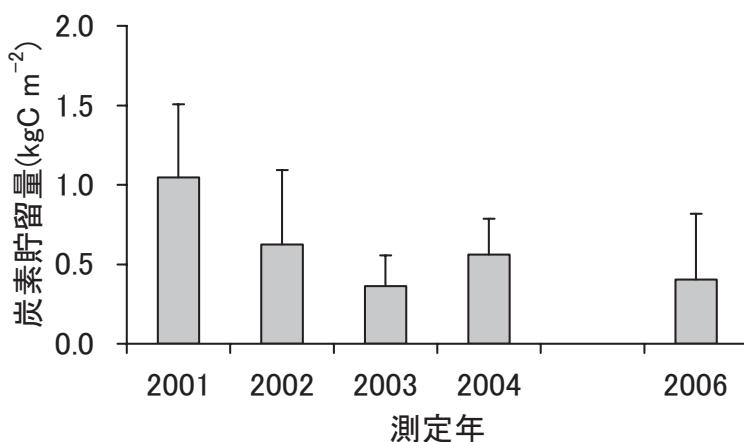


図-4 皆伐に伴う堆積有機物炭素貯留量の変化

(4) 土壤炭素量推定に対するサンプリング密度の影響

本調査では土壤炭素の変化を推定するために、調査地に対して4m間隔で100点のサンプリング地点を設定した。ここでは、サンプリング地点を100地点から20地点、4地点と少なくした場合のばらつきについて標準偏差を用いて検討を行った。図-5に示したように、100地点の値を真の値と仮定すると、20地点よりも4地点の方が標準偏差は大きくなつた。ただし、2003年の100地点のように20地点や4地点よりも標準偏差が大きくなる場合も存在した。

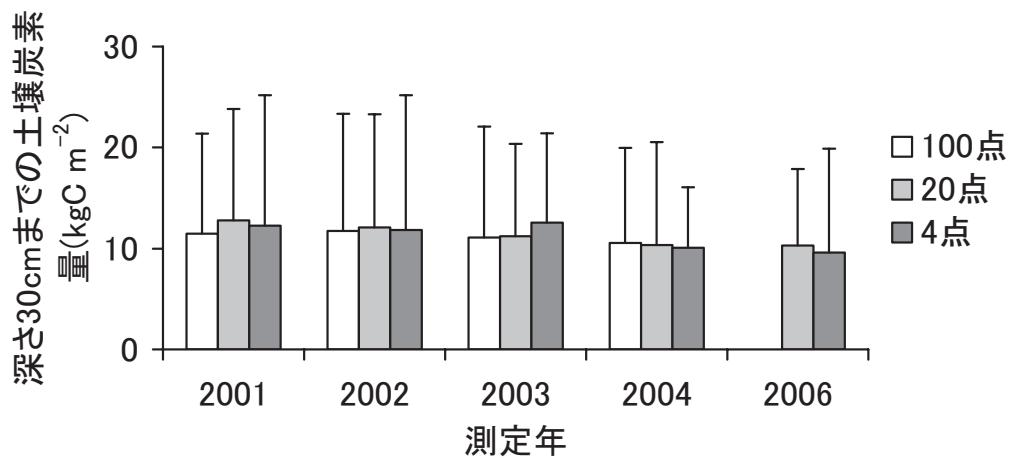


図-5 土壤炭素量推定に対するサンプリング密度の影響

(5) 土壤

本調査地では、土壤表層部に炭素含有率がもともと高い火山灰が20cm程度堆積しているため、日本における通常の褐色森林土よりも表層部の炭素含有量が高かつた。ただし、秋田県ではこのような土壤表層部に浅く火山灰が堆積している地域は各地に分布しており、本調査地もそのような地域の一つである。

表-3 土壤の全炭素および全窒素の経年変化

year	Layer	細土容積重 (Mg m ⁻³)	炭素率(%)	窒素率(%)	C-N比	細土当りの炭 素量(Ckg m ⁻³)	炭素量 (kgC m ⁻²)	総炭素量 (kgC m ⁻²)	窒素量 (kgN m ⁻²)	総窒素量 (kgN m ⁻²)	サンプル数
2001	0-5cm	0.32	16.84	0.89	18.6	47.6	2.38		0.129		80
2001	5-10cm	0.46	8.94	0.50	17.7	40.1	2.00		0.114		80
2001	10-30cm	0.54	7.02	0.38	18.1	36.5	7.31	11.69	0.401	0.64	80
2002	0-5cm	0.43	11.89	0.67	18.3	49.2	2.46		0.135		80
2002	5-10cm	0.51	10.25	0.57	18.0	49.4	2.47		0.138		80
2002	10-30cm	0.60	6.34	0.33	18.7	35.5	7.10	12.03	0.375	0.65	80
2003	0-5cm	0.40	12.67	0.70	18.0	46.7	2.33		0.130		80
2003	5-10cm	0.51	8.83	0.50	17.7	41.9	2.09		0.119		80
2003	10-30cm	0.60	6.43	0.35	18.1	35.5	7.09	11.52	0.389	0.64	80
2004	0-5cm	0.38	11.52	0.62	18.5	40.3	2.01		0.110		80
2004	5-10cm	0.49	8.17	0.45	18.0	38.6	1.93		0.108		80
2004	10-30cm	0.55	6.64	0.35	18.7	34.5	6.90	10.84	0.370	0.59	80
2006	0-5cm	0.36	12.34	0.66	18.9	42.1	2.11		0.112		20
2006	5-10cm	0.42	9.29	0.49	19.3	36.2	1.81		0.094		20
2006	10-30cm	0.46	7.10	0.36	20.2	31.9	6.37	10.29	0.317	0.52	20
2001	0-30cm							10.64			19
2002	0-30cm							10.54			20
2003	0-30cm							9.28			20
2004	0-30cm							9.46			20

有機物、根茎および石レキを除いた細土容積重の平均値は0-5cm深で0.32~0.43 Mg m⁻³, 5-10cm深で0.42~0.51 Mg m⁻³, 10-30cm深で0.46~0.60 Mg m⁻³と深くなるほど単位面積あたりの重量が多くなった（表-3）。土壤の炭素濃度の平均値は0-5cm深で11.52~16.84%, 5-10cm深で8.17~10.25%, 10-30cm深で6.34~7.10%と深くなるほど少なくなっていた。表層部ほど細土容積重が軽いものの、逆に炭素濃度が高いため、各深さ別の炭素量は0-5cm, 5-10cm深で1.81~2.47 kg C m⁻², 10-30cm深で6.37~7.31 kg C m⁻²と（5cm深当たりに換算すると1.59~1.83 kg C m⁻²）と下層部がやや少なかった。土壤の窒素濃度の平均値は0-5cm深で0.66~0.89%, 5-10cm深で0.45~0.57%, 10-30cm深で0.33~0.38%と炭素と同様に深くなるほど少なく、各深さ別の窒素量も0-5cm, 5-10cm深で0.094~0.138 kg N m⁻², 10-30cm深で0.317~0.401 kg N m⁻²となっていた。

土壤0-30cm深に含まれる総炭素量は、伐採前が11.69 kg C m⁻²だったのに対し、伐採後1年目で12.03 kg C m⁻²へと微増し、その後2年目が11.52 kg C m⁻², 3年目が10.84 kg C m⁻², 5年目が10.29 kg C m⁻²となった。100箇所ある調査地のうち20箇所では、ライナー採土器を用いて0-30cm深を一括して採取したが、その総炭素量は伐採前が10.64 kg C m⁻²だったのに対し、伐採後1年目が10.54 kg C m⁻², 2年目が9.28 kg C m⁻², 3年目が9.46 kg C m⁻²と、深さ別に採取した場所の平均値よりも1.05~2.24 kg C m⁻²少ない結果となった。なお、伐採後2年目と3年目で少なくなったのは、オーガーサンプリング時にレキなどにぶつかって、十分な量の細土が採取できない箇所があったことが原因と考えられる。このような異常値を除くと、2年目9.80 kg C m⁻², 3年目9.85 kg C m⁻²と平均値が上昇し、伐採後の変動は小さくなかった。また、100mL円筒で採取した場合とオーガーで連続的に採取した場合の隣接する列間での5年間の炭素量の平均値は中央列部分のD・F列で11.51 kg C m⁻², E列で10.03 kg C m⁻², 林縁部のI列で11.18 kg C m⁻², J列で10.26 kg C m⁻²であり、いずれの隣接区においてもオーガーで30cm深まで連続に採取した方が炭素量は低い傾向にあった。この採取方法の違いについて隣接した列間でt検定（両側検定）を行ったところ、D・F列とE列($P=0.05$ の水準)で有意に異なるという結果が得られたものの、I列とJ列($P=0.05$ の水準)については有意に異ならないという結果が得られた。このように列の場所によりt検定の結果が異なった理由としては、林地の微地形が影響したものと推定された。

図-6に示したように、本調査地では伐採前の2001年調査時の土壤表層部0-30cm深の炭素量は $13.06 \text{ kg C m}^{-2}$ で、そのうち0-5cm深に 2.58 kg C m^{-2} 、5-10cm深に 2.16 kg C m^{-2} 、10-30cm深に 8.32 kg C m^{-2} と炭素量は各深さにほぼ均等に存在していた。伐採後は5-10cm深の炭素量が伐採前より平均で 0.31 kg C m^{-2} 増えたものの、それ以外の深さではこの割合は伐採後も変化することなく推移した。

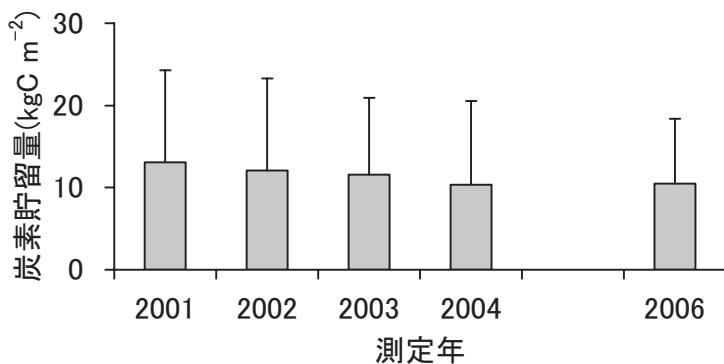


図-6 皆伐に伴う土壤炭素貯留量の変化

堆積有機物量は伐採後に大きく減少したのに対し、土壤0-30cm深全体で見ると、その炭素貯留量は図に示したように、伐採前が $13.06 \text{ kg C m}^{-2}$ だったのに対し、伐採後は $10.47\sim12.10 \text{ kg C m}^{-2}$ で推移した。

伐採が土壤炭素のかく乱に与える影響を評価するために、伐採前の2001年と比較した伐採後の各年度の総炭素量の分散を比較すると、図-7に示したように分散は小さくなる方向に変化していた。本調査地では調査地上部の林道にベースマシンを設置して、ワイヤーで全幹集材を行ったため、伐採時に調査地内を重機が通ることはなく、土壤をかく乱することは少なかった。そのため、伐採前に較べて分散が変化しなかったものと判断される。ただし、表-4にも示したように、総炭素量の平均値は伐採前が $11.49 \text{ kg C m}^{-2}$ だったのに対し、2002年は $11.74 \text{ kg C m}^{-2}$ とやや増加した後、2003年からは $10.29\sim11.07 \text{ kg C m}^{-2}$ と減少した(ANOVA, $F=4.5$, $p<0.05$)。ただし、伐採前に較べて有意確率(p)が0.05を下回ったのは2004年のみであり、2006年は平均値が小さくなつてもかかわらず $p=0.21$ と差が認められなかった。

本調査地における地上部から土壤にかけての炭素量を伐採の前後で図-8に示した。地上部については草本や有機物層の炭素量は少ないため、皆伐により幹を中心に蓄積していた炭素は系外(林外)に持ち出されて減少した。一方、土壤中では高齢林の地上部に相当する量が蓄積しているため、土壤炭素の変動は生態系の炭素循環に大きな役割を果たしているものと推定される。今回の調査では、伐採後に土壤炭素の変化については統計的な有意差は確認されなかつたものの、本調査地においても今後10年や20年というオーダーで土壤炭素の変動がどのようになるのかを調査することは必要であり、本調査地における再造林されたスギの成長と土壤炭素の変動に関する追跡調査を今後も継続する必要があるものと判断された。

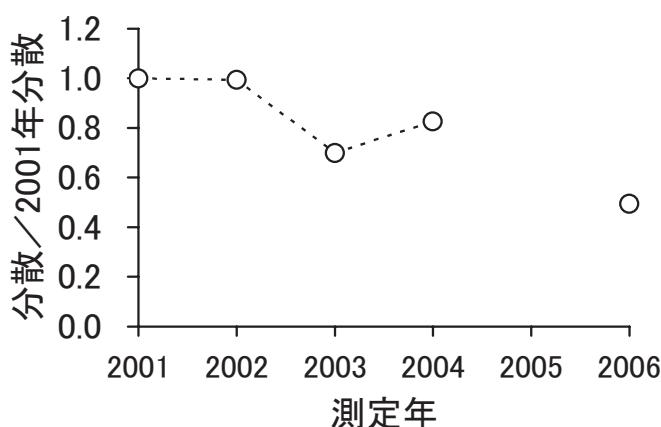


図-7 皆伐の影響; 土壤炭素量の分散の変化

表-4 全地点での土壤0-30cm深における総炭素量

year	総炭素量 (kgC m ⁻²)	標準偏差(SD)	標準誤差(SE)	伐採前との有意確率(p)	n
2001	11.49	2.70	0.27		99
2002	11.74	2.26	0.23	0.944	100
2003	11.07	2.23	0.22	0.708	100
2004	10.56	2.06	0.21	0.037*	100
2006	10.29	1.82	0.41	0.207	20

*は伐採前の2001年のデータと比較して有意差がある(Tukey HSD,p<0.05)ことを示す。

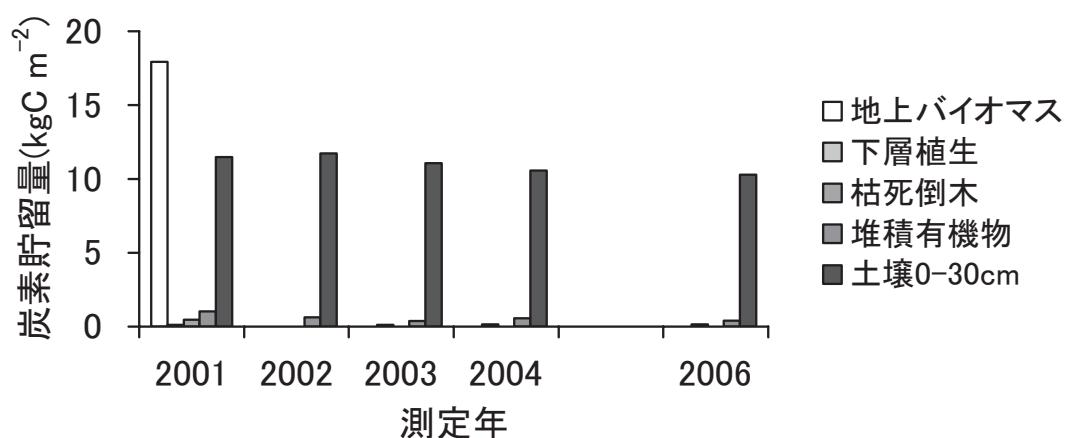


図-8 調査地における伐採に伴う炭素プールの変化

本研究は林野庁研究普及課の委託事業「森林吸収源計測・活用体制整備強化事業」の一部として取り組んだものであり、研究を進めるにあたって（株）古河林業阿仁林業所には貴重な試験地を提供していただいた。（株）古河林業阿仁林業所所長福森卓氏および阿仁林業所の皆さんには調査ご協力を頂いた。秋田県農林水産技術センター農業試験場伊藤千春主任研究員および中川進平研究員には分析機器の使用でご協力を頂いた。（独）森林総合研究所石塚成宏氏には有益な助言を頂いた。これらのご協力に対し、ここに深く謝意を表する。

引用文献

- (1) IPCC(2001) The Forcing Agents That Cause Climate Change 2001 The Scientific Basic, p36-46
- (2) 石塚成宏 (2002) 森林土壤におけるメタンおよびN₂O フラックスに関する研究, 東京大学学位論文, pp118
- (3) 石村貞夫(1997)SPSSによる分散分析と多重比較の手順, 東京図書, 東京, pp221
- (4) James N Miller & Jane C Miller (著), 宗森信・佐藤寿邦 (訳) (2004)データのとり方とまとめ方 第2版 一分析化学のための統計学とケモメトリックス, 共立出版, 東京, pp329
- (5) 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
- (6) 澤田智志・石塚成宏・阪田匡司・高橋正道(2005)秋田地方のスギ林土壤における温室効果ガスの測定, 秋田県森技研報, 15, 1-12
- (7) 四大学（北大, 東北大, 京大, 大阪市大）および信大合同調査班(1966)森林の生産力に関する研究第III報スギ人工林の物質生産について, 日本林業技術協会, pp63
- (8) 林野庁(2002) 平成13年度炭素吸収源データ収集システム開発事業報告書, pp181

低アレルゲンスギの系統選抜に関する研究

佐々木 揚

Selection of Elite Tree of Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) with Few Allergens in Akita Prefecture

Yoh SASAKI

要 旨

秋田県の採種園で種子生産に活用されているスギ精英樹49系統について、3年間のCry j 1反復測定した結果、年次変動、系統間差が認められた。これらスギ精英樹49系統から選抜育種を行った結果、17系統のスギ精英樹が低アレルゲンスギと考えられた。そして、Cry j 1量の少ない系統は調査3カ年において再現性が確認され、特にCry j 1量が少ない系統ほど、相対的に安定した低アレルゲン性を示すことがわかった。

I. はじめに

森林は、土砂流出の防止、水源涵養、あるいは二酸化炭素の吸収・貯蔵など人間が生活を営む上で極めて公益性の高い機能を有している。そして、この森林を持続していくために、秋田県でもっとも有用な樹種の一つは緑化環境の保全と森林経営上の木材生産を両立するスギである。だがその一方で、スギ花粉症という人間の生活環境に好ましくない問題も生じてきた。県内でも平成8年と平成12年の外来患者数は少なくとも2倍は増加していることが報告されている(6)。花粉症は、都市化に伴う人間の体質変化(アレルギー体質)と曝露花粉の増加によって引き起こされるアレルギーの一種とされている。特にスギ花粉症は戦後に拡大造林したスギが開花樹齢に達して飛散花粉が増加したため、社会問題になっている。

この花粉症対策としては、まず、薬剤処理と間伐が考えられる。薬剤処理による対策では、単木レベルで局所的に効果を発揮するものの、対象を広大な森林とした場合、リスク、コストや実効性をクリアしなければならない。また、間伐による対策では、効果が現れるのは当初数年のみで、いずれ間伐前と同じ雄花着花状態に戻ってしまう(7)。したがって、将来的に花粉症になりにくいスギに置換することと、そのために必要な種苗の育種開発および供給は持続的な花粉症対策として重要な戦略の一つと考えられる。

秋田県は、積雪地帯のために挿し木苗の初期成長が著しく劣り、求められるスギ種苗は実生苗が一般的である。また、スギは収穫までに長期間を要するため、病虫害や気象災害のリスクを考慮し、苗木の遺伝形質の多様性の確保が必要条件とされている。このため、現在、50系統の精英樹から生産される実生苗が造林に用いられている。精英樹とは成長、病虫害などを勘案し、多数の候補木から選抜した優良個体であり、当センターでは次代検定林調査結果に基づいて、これまでに初期成長特性を解明してきた。

一般的にアレルギーの原因物質をアレルゲンと呼び、スギ花粉症のアレルゲンは、花粉の表面と内部に存在する2種類のタンパク質（Cry j 1とCry j 2）であることが知られている（11）。大分県では九州の2倍体と3倍体のスギについてCry j 1とCry j 2を定量しており、両者について相関解析すると、決定係数は1%水準で有意差が認められる（13）。また、同様な相関が関東のスギ精英樹についても報告され（6）、低アレルゲンスギ選抜は、実質的に低Cry j 1選抜で可能であることが示されている。県内ではスギ精英樹から生産される種子が造林に必要とされているので、花粉症の原因となるアレルゲン（Cry j 1）の少ないスギを木材生産に適した精英樹系統から選抜し、種子生産を行うことが花粉症対策の一つとして考えられる。

以上のように秋田県のスギ花粉症対策を考えた場合、スギ種苗の遺伝形質の多様性を確保しながら、アレルゲン量だけを減らしていくことが極めて重要である。これまでに当センターでは花粉の少ないスギとして県内のスギ精英樹から3系統（北秋田1号、由利11号と秋田103号）を（独）林木育種センター東北育種場と共同開発しているが、系統数が少ないので、スギ種苗の遺伝形質の多様性の確保は困難である。そこで、本研究では花粉症対策品種として、スギ種苗の遺伝形質の多様性を確保しつつ、木材生産に有用かつアレルゲンの少ないスギ品種の育種開発を目指とし、その種子供給の実用化方法について研究および考察した。

II. 方 法

1) 免疫化学測定（ELISA）

当センターの採種園において2006年から2008年までの3年間に毎年、2月から3月にかけて雄花を有する枝を採取し、最低温度を10°Cに設定したガラス温室内で袋かけした枝を水挿しした。袋内で開薬させた花粉は実験室内で乾燥させてプラスチック遠沈管に納め、試験に供するまで4°Cの冷蔵庫に冷蔵保存した。花粉20mgをエッペンドルフチューブに量り、1mLの0.125M NaHCO₃水溶液を加え、4°C、一時間、ローター（TAITEC社）で回転させながらCry j 1を粗抽出した。粗抽出液は15,000rpmで10分、遠心分離して上清100μLを新しいエッペンドルフチューブに移し、75～80°Cで2分間加熱した。加熱処理した粗抽出液5～8μLは0.125M NaHCO₃で最終的に100μLになるよう、マイクロプレートのウェルに分注し、このCry j 1を含む粗抽出液を4°Cで一晩、マイクロプレートのウェル表面に吸着させた。Cry j 1の免疫化学測定（ELISA）は既報の簡便法に従った（12）。また、これまでの研究報告事例（3）を参考に2種の関東地方のスギ精英樹である上伊那4号と西多摩5号を用い、当センターで開発したCry j 1 ELISA簡便法の妥当性を調べた。

2) 分散分析

スギ成木のCry j 1量は、系統によっては個体や採取部域によってCry j 1の量が変動することがこれまでに知られている（3、14）。そこで、各系統の各個体（以下ラメットと称する）のCry j 1を簡便法によって測定し、3回反復測定の平均値とし、さらにそれらを年次ごとに系統平均値としてまとめた。なお、簡便法によって測定したCry j 1値はサンドイッチ法で定量した値と相関があるので、既報の回帰式によって換算値を求めた（12）。Cry j 1の系統評価は以下の線形式をモデルとし、 P

ログラム Lsab02vb (9) によって分散分析し、分散成分、最小二乗推定値を計算した。

$$x_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

ここで、 μ は全体の平均、 α_i は反復（年度） i の効果、 β_j は系統 j の効果、 ϵ_{ij} は反復（年度） i の系統 j のプロット平均値の誤差である。また、Cry j 1 系統平均値によるクローネの反復率 (Rc^2) を分散分析によって求められた平均平方の期待値から次式によって推定した。

$$Rc^2 = \sigma_c^2 / (\sigma_c^2 + \sigma_e^2)$$

3) 系統評価

本県のスギ精英樹系統の Cry j 1 順位づけはスギ精英樹特性表 (10) の評価手法に基づき、(2) で得られた最小二乗推定値を用いて以下の 5 段階評価とした。

$$\begin{aligned} 5 &; y < m - 1.5\sigma, \quad 4 &; m - 1.5\sigma < y < m - 0.5\sigma, \quad 3 &; m - 0.5\sigma < y < m + 0.5\sigma, \quad 2 &; \\ m + 0.5\sigma &< y < m + 1.5\sigma, \quad 1 &; y > m + 1.5\sigma \end{aligned}$$

ここで、 y は任意の系統最小二乗推定値、 m は全系統最小二乗推定値の平均、 σ は標準偏差である。

4) 低 Cry j 1 スギの再現性

また、系統による Cry j 1 の年次変動特性を把握するため、年度ごとにスギ精英樹系統全体の Cry j 1 平均値が系統ごとの Cry j 1 値を下回った場合にポイントし、スギ精英樹系統ごとに 2006 年から 2008 年の 3 年間における Cry j 1 量とその再現率をプロットし、両者の相関関係について調べた。なお、解析に用いた Cry j 1 量は単純平均値とし、回帰の分散分析はエクセル統計 ver.5.0 (エスミ社) を用いた。

III. 結果と考察

供試した系統、ラメット数および反復数を表-1 に示す。なお、ラメット数と反復数が一致しないものはラメット内で枝の部位を変えて反復測定したものと含むためである。このように、本研究における Cry j 1 測定データの構造は年度毎に採取した系統あたりのラメット数調和平均が 1.58 ~ 2.16 本、反復数 1.88 ~ 3.57 回となっており、採種園に植栽されているほぼ、すべてのスギ精英樹から花粉を採取し、2 回以上の反復測定ができたことがわかる。なお、反復数が 1 回という系統（雄勝 6 号、鹿角 4 号、北秋 7 号と北秋 11 号）は、花粉が着きにくい系統特性、あるいは着花処理のジベレリン処理による効果が樹木の何らかの生理的条件によって減じられたためと考えられる。

Cry j 1 タンパク質には部分的にアミノ酸残基が変異しているサブタイプが少なくとも 8 種類ある (3, 12)。従来のモノクローナル抗体 2 種によるサンドイッチ ELISA による Cry j 1 測定法では

抗体と結合する Cry j 1 抗原決定基（エピトープ）に変異があると Cry j 1 量を正確に定量できないとされている（3）。抗原となる Cry j 1 タンパク質を直接ウサギに免疫すると Cry j 1 タンパク質に対して複数の抗原決定基を有するポリクローナル抗体を調整することができる。従来のモノクローナル抗体 2 種によるサンドイッチ ELISA で Cry j 1 はまったく検出されないが、モノクローナル抗体とのポリクローナル抗体の組み合わせで Cry j 1 が検出されるスギ精英樹系統が報告されている（3）。そこで、これまでに報告された研究の中で最も Cry j 1 定量の信頼性が高いと考えられるこのモノクローナル抗体とポリクローナル抗体で Cry j 1 が検出された 2 種のスギ精英樹系統の上伊那 4 号と西多摩 5 号を用い、当センターで開発した簡便法 ELISA 法の妥当性を調べた。一般的に Cry j 1 定量はサンドイッチ ELISA で行なわれており、当センターで開発した簡便法 ELISA 法はサンドイッチ ELISA と相関があるので、上伊那 4 号と西多摩 5 号のサンドイッチ ELISA 換算値はそれぞれ 0.416, 0.250 mg Cry j 1 / g 花粉となった。後藤は上伊那 4 号と西多摩 5 号をそれぞれ 0.280, 0.250 mg Cry j 1 / g 花粉としている（3）。上伊那 4 号について当センターと後藤の ELISA で結果がわずかに異なった理由としては採取花粉の年次変動による影響が考えられる。また、別の理由としては従来法ではモノクローナル抗体がすべての Cry j 1 サブタイプと結合しないので、すべての Cry j 1 が測定されずにデータが低めになっていると考えられる。どの精英樹がどのサブタイプ遺伝子を有しているかは各 Cry j 1 サブタイプの遺伝子マーカーをすべて開発すると確認可能になる。しかし、精英樹花粉の Cry j 1 に年次変動が認められたことから、様々なサブタイプの Cry j 1 遺伝子の発現様式が遺伝子レベル、m-RNA から翻訳されるタンパク質合成レベルで変動している可能性もあり、それらを予測することは困難と予想される。実生苗の場合、各個体がどのような Cry j 1 サブタイプが両親から遺伝的に引き継ぎ、遺伝子発現を行なっているか、事前に予測することはさらに困難と考えられる。秋田県は積雪地帯に位置するため、森林所有者のニーズは挿し木苗よりも成長の良い実生苗がほとんどである。今後、成長の優れる精英樹系統の実生苗の Cry j 1 量調査を考慮すると、当センターで開発した Cry j 1 定量法は、本県のスギ育種には有効と考えられた。

つぎにスギ精英樹 49 系統の Cry j 1 測定結果のまとめを表一 2 に示す。これらのデータを分散分析した結果、年次変動、系統間差について統計的に有意な差が認められた（表一 3）。本県のスギ精英樹についても関東のスギ精英樹同様（3）、Cry j 1 の系統間差が認められた。しかし、これまでに Cry j 1 が植栽場所によって量的変動を示す報告例があったものの、年次変動について解析した事例はなかつたが、今回、3 年間の定量調査を行なった結果、スギ精英樹の Cry j 1 量に明確な年次変動があることを確認した。この Cry j 1 の年次変動については、近年、山形県のスギ精英樹でも確認され始めているので、地理的に隔離された場所での Cry j 1 量（例えば関東と東北）について、線形計画法に基づく共通系統がない場合、年次が異なるデータ間では正確な比較は困難と考えられた。

表-1 供試したスギ精英樹の系統名とラメット数および反復数

系統名	採取年			ラメット			反復数		
	2004	2005	2006	2004	2005	2006			
雄勝1	2	4	3	2	4	5			
雄勝2	1	3	4	1	6	6			
雄勝3	1	2	1	1	3	4			
雄勝6	—	1	—	—	1	—			
雄勝8	—	3	3	—	3	4			
雄勝9	1	4	3	1	6	4			
雄勝10	1	2	1	1	4	3			
雄勝11	1	1	2	1	1	3			
雄勝12	1	4	3	1	6	6			
雄勝13	3	3	5	4	3	10			
雄勝14	2	2	4	2	3	6			
雄勝16	2	2	2	3	2	4			
雄勝17	2	2	2	2	2	2			
雄勝18	3	2	1	5	2	2			
鹿角2	7	3	8	9	3	12			
鹿角3	3	3	5	4	4	8			
鹿角4	—	—	3	—	—	4			
鹿角5	5	3	3	5	4	3			
北秋1	4	4	4	6	8	5			
北秋2	6	3	6	7	4	9			
北秋7	—	1	—	—	1	—			
北秋8	4	2	6	5	3	7			
北秋9	—	2	2	—	4	5			
北秋11	1	—	—	2	—	—			
北秋13	1	2	2	1	3	7			
仙北1	4	2	3	5	3	9			
仙北2	2	2	2	3	2	4			
仙北3	1	4	5	1	5	12			
仙北5	—	3	3	—	4	4			
仙北7	1	—	1	3	—	2			
平鹿1	3	2	3	4	3	4			
平鹿2	3	4	6	4	4	13			
平鹿3	6	1	3	8	1	9			
南秋2	—	2	2	—	4	3			
南秋3	1	3	3	1	4	3			
南秋4	1	1	1	1	1	1			
山本1	1	1	1	1	2	3			
山本2	1	1	2	1	3	4			
山本3	2	2	1	5	2	1			
山本4	—	1	1	—	1	3			
由利3	1	4	4	1	4	5			
由利4	2	4	4	3	4	9			
由利5	—	4	4	—	9	4			
由利6	1	1	1	3	1	2			
由利7	3	4	6	3	4	9			
由利8	1	2	1	2	2	1			
由利9	—	4	3	—	4	6			
由利10	3	2	4	4	3	7			
由利11	2	4	5	2	5	8			
調和平均	1.58	2.00	2.16	1.88	2.45	3.57			

後藤らは同一年度に地理的に隔離された4ヶ所の採種園で共通系統を用いてCry j 1を調べたところ、採種園間差が認められ、年間降水量が影響していることを報告している(3)。スギの雄花生産は開花前年の6~7月の花芽分化時の気温、日射量や降水量に依存し、毎年変動することがすでに知られているので(11)、花粉中の遺伝子やタンパク質レベルでのCry j 1生産にもある種の生理メカニズムが存在すると考えられる。今後、当センター採種園内でCry j 1の年次変動を調べ、データを蓄積して本県の精英樹系統のCry j 1量が年間降水量に影響されるか、解明していきたい。

平均平方の期待値から求めたクローン、反復(年)および誤差の分散成分の推定値による寄与率はそれぞれ全体の16.8%、30.8%と52.4%であり、クローンの反復率は0.242であった。クローンの反復率は、育種効果の再現性を確認する指標の一つである。この指標は0~1の値で、1に近いほど、再現性が高いことを示すことが知られている(8)。今後、例えば採種園の雄花着花量や実生苗のアレルゲン量や雄花着花量などと本研究の解析結果と比較して、花粉症対策種苗としてみた場合、アレルゲンと雄花着花量のどちらに重点を置けばいいのか論じていきたい。

なお、スギの採種園では開花促進として6月から7月にかけてジベレリン処理を行なうのが一般的である。しかし、このジベレリン処理の有無によって系統ごとのCry j 1量に影響しないことが既に示されている(3)。そこで、本研究では採種園内のスギに対するジベレリン効果を考慮しないでデータ解析した。

つぎに秋田県スギ精英樹49系統のCry j 1量の最小二乗推定値による系統評価結果を図-1と表-4に示す。縦軸にCry j 1量、横軸は系統を左から右にCry j 1量の少ない順に並べたところ(図-1)、一番Cry j 1が多い雄勝6号(一番右)を除き、精英樹のCry j 1量はほぼ連続的に分布していることがわかった。5段階評価の5に該当する系統は認められなかつたものの、Cry j 1の少ない精英樹として上位19系統(評価値4)が低アレルゲンスギ候補木として考えられる。さらに、15年次の次代検定林調査結果による精英樹の成長特性評価を考慮し(16)、評価の低い鹿角2号と由利8号を除いた17系統の精英樹を低アレルゲンスギとして選抜した。なお、雄勝6号については年度別にみたデータ数が1であり、全体的にCry j 1量が低かった2006年のデータが欠測しているので値が大きくなつた可能性が考えられ、今後の追跡調査によって確認していきたい。

3ヵ年の反復データが得られた当センター精英樹37系統のCry j 1再現性について調べてみたのが図-2である。再現率は年度ごとに任意の系統のCry j 1量が年度ごとの系統全平均を下回った場合にポイントするので、3ヵ年とも平均を下回った優良系統は1、3ヵ年のうち2回平均を下回った優良系統は0.67、3ヵ年のうち1回平均を下回った場合は0.3、3ヵ年のうち1回も平均を下回ることがなかつた非優良系統は0となる。横軸(説明変数)にCry j 1量、軸縦に再現率(目的変数)とし、各系統をプロットした結果、決定係数は1%水準で有意差が認められた(図2、表-5)。つまり、Cry j 1量の少ない系統は調査3ヵ年において再現性が確認され、特にCry j 1量が少ない系統ほど、相対的に安定した低アレルゲン性を示すことがわかつた。

表—2 スギ精英樹 49 系統の Cry j 1 測定結果

系統名	Cry j 1 (mg / g 花粉)		
	採取年 2004	2005	2006
雄勝1	0.422	0.761	0.785
雄勝2	0.253	0.928	0.634
雄勝3	0.418	0.924	0.634
雄勝6	—	1.246	—
雄勝8	—	0.488	1.156
雄勝9	0.774	0.601	0.595
雄勝10	0.184	0.173	0.461
雄勝11	0.184	0.249	0.355
雄勝12	0.208	0.232	0.322
雄勝13	0.179	0.078	0.548
雄勝14	0.371	0.567	0.797
雄勝16	0.583	0.361	0.566
雄勝17	0.219	0.593	0.441
雄勝18	0.206	0.343	0.688
鹿角2	0.159	0.414	0.486
鹿角3	0.216	0.743	0.589
鹿角4	—	—	0.522
鹿角5	0.194	0.478	0.351
北秋1	0.342	0.718	0.401
北秋2	0.195	0.489	0.606
北秋7	—	0.366	—
北秋8	0.236	0.613	0.802
北秋9	0.000	0.801	1.180
北秋11	0.157	—	—
北秋13	0.099	0.499	0.682
仙北1	0.377	0.192	0.861
仙北2	0.301	0.866	0.792
仙北3	0.106	0.128	0.621
仙北5	—	0.325	0.824
仙北7	—	—	0.737
平鹿1	0.103	0.743	0.633
平鹿2	0.203	0.626	0.814
平鹿3	0.225	1.134	0.994
南秋2	—	0.685	0.753
南秋3	0.419	0.588	0.843
南秋4	0.348	0.762	0.513
山本1	0.424	0.748	0.555
山本2	0.511	0.262	0.778
山本3	0.344	0.318	0.631
山本4	—	1.257	0.413
由利3	0.799	0.720	0.674
由利4	0.093	0.281	0.635
由利5	—	0.781	0.912
由利6	0.097	0.416	0.573
由利7	0.359	0.820	0.655
由利8	0.250	0.585	0.283
由利9	—	0.628	0.713
由利10	0.136	0.706	0.952
由利11	0.388	0.199	0.532
単純平均	0.285	0.580	0.655

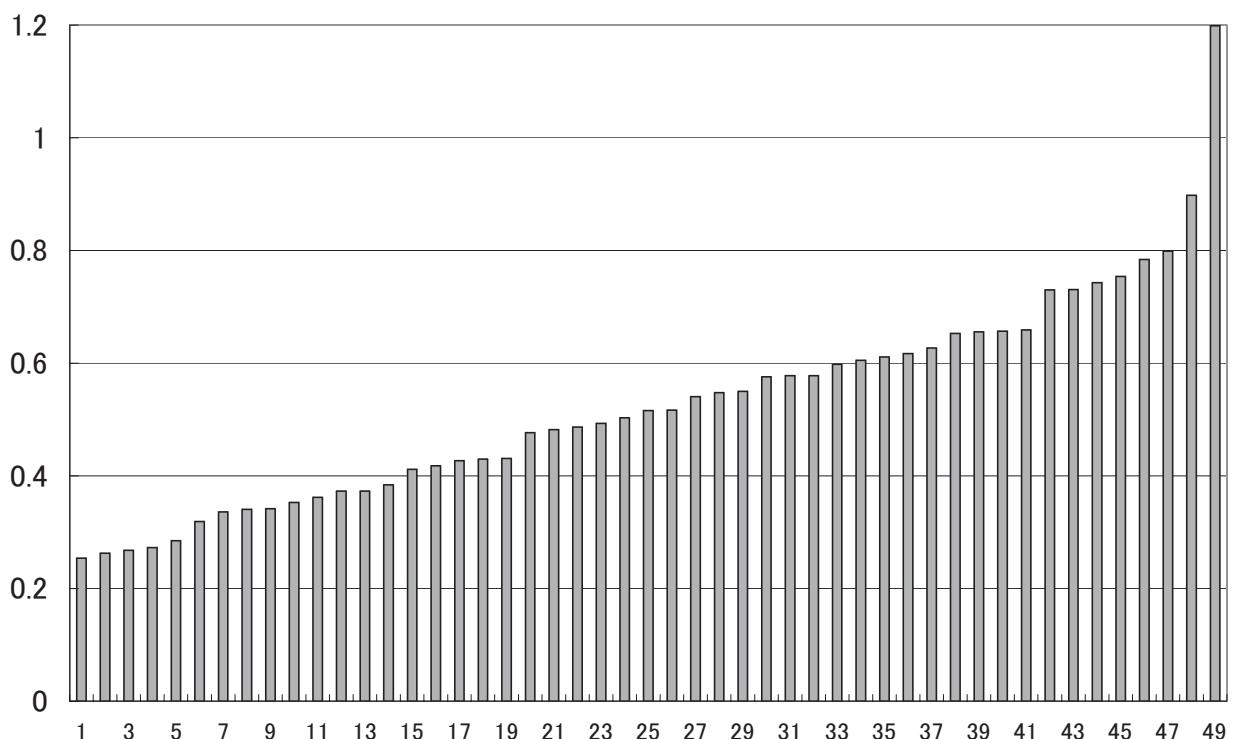
表—3 スギ精英樹49系統のCry j 1量の分散分析表

変動因	自由度	平方和	平均平方	分散比	平均平方の期待値
反復(年)	2	2.125742	1.062871	26.6143 **	$\sigma_e^2 + 41\sigma_r^2$
クローン	48	3.55722	7.41E-02	1.85568 **	$\sigma_e^2 + 2.666667\sigma_c^2$
誤差	80	3.194888	3.99E-02		σ_e^2

** : 1 %水準で有意

図—1 スギ精英樹49系統におけるCry j 1量（最小二乗推定値）の分布

(mg Cry j 1 / g 花粉)

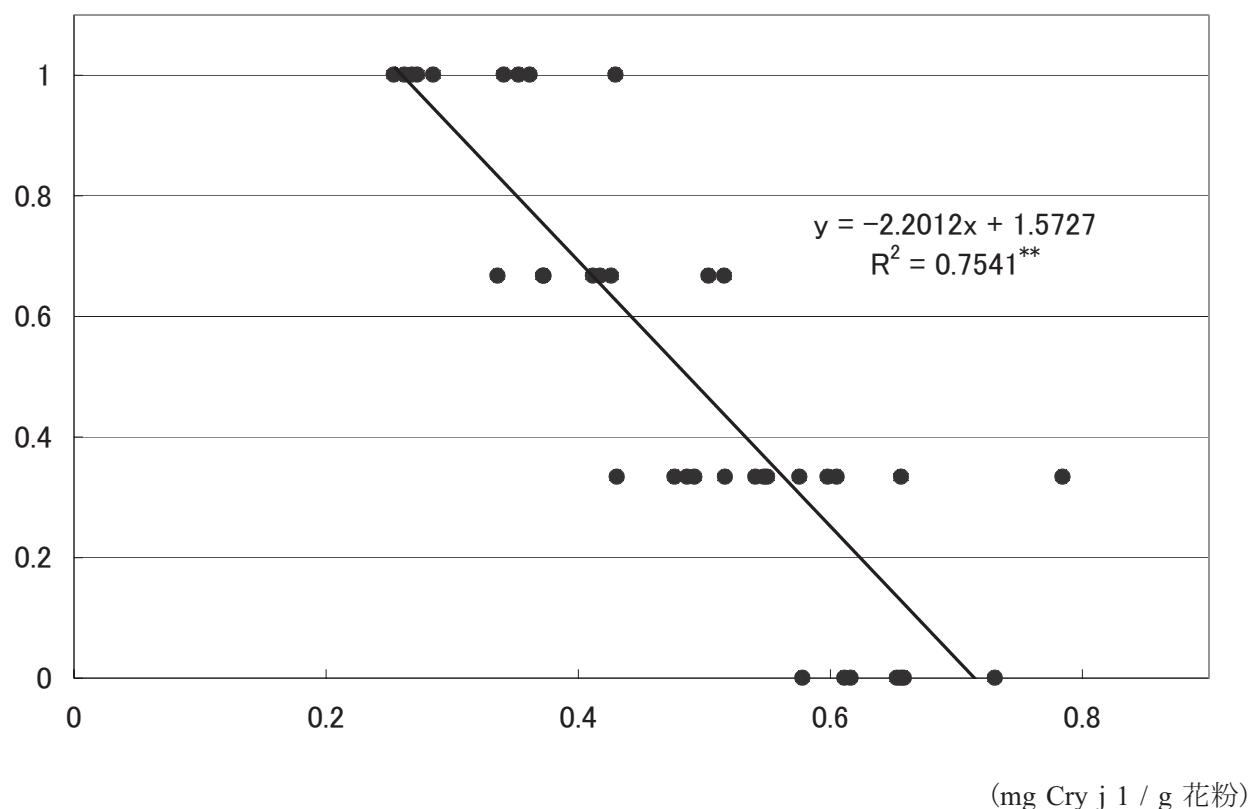


斎藤らは母樹を固定し、Cry j 1量の異なるスギを花粉親として交配したところ、実生のCry j 1量は親のCry j 1量に依存し、親子相関解析によって遺伝形質であることを報告している(10)。つまり、この結果はCry j 1量が少ない親からはCry j 1量が少ない実生(こども)が生まれることを示している。ここで、Cry j 1量において花粉親の効果と母樹の効果が異なるという仮説が考えられる。より厳密に科学的正確さを期すためには、母樹について実際に低アレルゲンの実生が生産されるか調べる必要も考えられるが、これまでのスギの成長、花粉量、材質、根元曲がり等の育種研究事例からすると、明確な遺伝形質である場合、花粉親と母親のどちらでも育種効果が認められているので、

表—4 スギ精英樹49系統のCry j 1量（最小二乗推定値）と5段階評価値

系統	Cry j 1(mg/g 花粉)	評価値
雄勝12	0.254	4
雄勝11	0.263	4
雄勝13	0.268	4
雄勝10	0.273	4
仙北3	0.285	4
北秋7	0.319	4
由利4	0.336	4
鹿角5	0.341	4
北秋11	0.342	4
鹿角2	0.353	4
由利6	0.362	4
由利8	0.373	4
由利11	0.373	4
鹿角4	0.384	4
雄勝18	0.412	4
雄勝17	0.418	4
北秋13	0.427	4
北秋2	0.43	4
山本3	0.431	4
仙北1	0.477	3
仙北5	0.482	3
北秋1	0.487	3
平鹿1	0.493	3
雄勝16	0.503	3
鹿角3	0.516	3
山本2	0.517	3
南秋4	0.541	3
平鹿2	0.548	3
北秋8	0.55	3
山本1	0.576	3
由利9	0.578	3
雄勝14	0.578	3
由利10	0.598	3
雄勝2	0.605	3
由利7	0.611	2
南秋3	0.617	3
南秋2	0.627	2
仙北2	0.653	2
雄勝1	0.656	2
雄勝9	0.657	2
雄勝3	0.659	2
雄勝8	0.73	2
由利3	0.731	2
山本4	0.743	2
由利5	0.754	2
平鹿3	0.784	2
仙北7	0.799	2
北秋9	0.898	1
雄勝6	1.199	1
平均	0.527	

図一2 スギ精英樹37系統におけるCry j 1量（最小二乗推定値）と再現率の相関関係



** : 1 %水準で有意

表一5 Cry j 1量と再現率の回帰の分散分析表

変動因	自由度	平方和	平均平方	分散比
全体	36	0.713201		
回帰	1	0.537823	0.537823	107.333 **
誤差	35	0.175378	0.005011	

** : 1 %水準で有意

実用上、母樹が低アレルゲンであれば低アレルゲンスギとして活用可能と考えられる。本研究のように母樹の花粉親を定量し、低アレルゲンスギの育種母材として活用する方法は、免疫化学測定の手法は異なるものの、選抜育種研究の共通手法に従うものであり、(独)育種センターで公表した低アレルゲンスギの選抜や富山県、山形県と同じ方法であることからも、秋田県における低アレルゲンスギの選抜にも実用化する上で、問題はないと考えられる。以上のことから、秋田県スギ精英樹の選抜育種によって Cry j 1 量削減効果が期待できたので、花粉症対策種子を普及する上で重要な結果が得ら

れたと考えられる。

ここからは、本研究で選抜した低アレルゲンスギによる花粉症対策の種子供給方法について論じたい。まず、これら 17 系統の精英樹によるミニチュア採種園造成が考えられる。ミニチュア採種園とは、通常の採種園を小面積の畑に小型化し、苗木育成から実用的な種子生産までの期間を造成から 8 年間に短縮した採種園で、既存の採種園と比較して多様な生産目標に対して迅速に対応できる利点がある (15)。このミニチュア採種園から低アレルゲンスギ種子が生産されれば、そのスギ種子が県内で苗木生産され、低アレルゲンスギ苗が造林されることにより、県内の森林の低アレルゲン化へと普及に結びついてゆく。

また、花粉症対策種子の生産としてみた場合、この低アレルゲンスギと花粉の少ないスギと組み合わせた採種園の設計も有効と考えられる。これまでに関東エリアの林業試験研究機関では、花粉の少ないスギを活用した種子生産が既に実施している。花粉の少ないスギを全国的にも最初に普及させた千葉県では、現在、選抜した系統数が 13 とスギの遺伝的多様性低下が危惧され、追加選抜が必要であるとしている (2)。特に千葉県ではサンブスギの非赤枯性溝腐病が遺伝的多様性の低下による結果として浸透しており、遺伝的多様性の確保はスギ種子供給において考慮すべき重要事項であるとしている (1)。

最近、茨城県では花粉の少ないミニチュア採種園を造成したところ、雄花着花が不作年時の採種園内の花粉量が減少したことによって種子生産効率が低下している可能性を報告している (16)。花粉の少ないスギに重点を置きすぎると、林業用種子生産および供給面に負の作用が生じ、両者にトレードオフの関係が明らかになってきた。このことから、林業用種子生産と花粉症対策を両立させる方法の一つとして、低アレルゲンスギ選抜の有効性が示唆されていると考えられる。

本県ではまだ解析していないものの、平成 13 年から 15 年の 3 カ年にかけて採種園内の雄花調査を実施しているので、花粉の少ないスギを本県スギ精英樹から選抜する基礎データが蓄積している。今後、現在、3 系統しかない花粉の少ないスギ (北秋田 1 号、由利 11 号と秋田 103 号) を追加選抜し、花粉の少ないスギと低アレルゲンスギの選抜育種効果を比較検討することによって、両者を組み合わせた花粉症対策のミニチュア採種園設計が可能になる。花粉の少ないスギによる採種園で遺伝的多様性を確保するためには、選抜基準を緩くし、系統数を増やす方法しか採用できないものの、低アレルゲンスギを選抜すると様々な組み合わせが可能となり、林業用種苗と花粉症対策種苗を両立できると考えられる。なお、本研究の成果として低アレルゲンスギ 17 系統を選抜したが、林業上の特性が極めて優れる精英樹については低アレルゲンスギとして 19 番目に選抜した山本 3 号と Cry j 1 量の差がわずかな場合、厳密な順位にこだわらず、柔軟に活用すべきと考える。

また、既存採種園の精英樹から低アレルゲンスギあるいは花粉の少ないスギのみ開花促進のジベレリン処理を行い、選択的に採種すると花粉症対策種子の供給は早期に普及可能と考えられる。以上、本研究によって花粉症対策ニーズに対応した秋田県に適したスギ種子供給の方向性についてある一定の成果を示すことができた。なお、ミニチュア採種園、既存採種園のいずれからも種子生産する場合、実生のアレルゲン性に関して検証を行なうことが望ましいと考えられる。

謝 辞

本研究を推進するにあたり、新潟医療福祉大学の堀田康雄教授、(独)林木育種センター東北育種場の皆様からは試験研究推進に関して多大なるご支援、助言をいただきました。また、スギ精英樹上伊那4号と西多摩5号との花粉を(独)林木育種センター遺伝資源部から有償配布を受けました。ここに厚く御礼申し上げます。

引用文献

- (1) 遠藤良太、藤林範子、竹内 進：千葉県におけるスギ精英樹の大豊作年の雄花着花性と花粉の少ないスギの再検討. 林木の育種 221 : 19-20 (2006)
- (2) 遠藤良太、小平哲夫：スギ非赤枯性溝腐病対策研究事業抵抗性品種の追加選抜. 千葉県林試業報 32 : 60 (1998)
- (3) 後藤陽子：スギにおける花粉アレルゲンの遺伝的変異に関する研究. 林育研報 21 : 1-66 (2005)
- (4) 平成13年度秋田県花粉症対策検討会資料
- (5) 岩見洋一、益子義明、田村景子、引田裕之：花粉の少ないスギミニチュア採種園の雌雄花着花性と結果率について. 林木の育種「特別号」: 1-3 (2007)
- (6) 花粉症対策に有効な品種の開発に必要な林木育種技術の開発. 平成17年度年報 pp.48 (独)林木育種センター (2005)
- (7) 清野嘉之、奥田史郎、竹内郁雄、石田 清、野田 厳、近藤洋史：強い間伐はスギ人工林の雄花生産を増加させる. 日林誌 85 : 237-240 (2003)
- (8) 栗延 晋：林木育種のための統計解析 (1) 一箇所の検定林データの解析. 林木の育種 220 : 58-63 (2006)
- (9) 宮浦富保：検定林データの分散分析プログラム. 林育研報 15 : 251-258 (1998)
- (10) 斎藤真己、寺西秀豊、平 英彰：全国25道県におけるスギ花粉アレルゲン-Cry j 1-量の変異と遺伝率の推定. 日林誌 85 : 312-317 (2003)
- (11) 斎藤洋三、井手 武：花粉症の科学. 化学同人, 京都. (1994)
- (12) 佐々木揚：不稔スギ作出に関する研究—アレルゲン測定技術の開発—. 秋田県森技研報 14 : 1-10 (2005)
- (13) 佐々木義則、谷口美文、正山征洋：スギ倍数体花粉のアレルゲン分析. 大分県研究時報 22 : 8-12 (1996)
- (14) 清藤城宏、神保智一、野村光男、松野 智、山本静雄：スギ精英樹花粉におけるアレルゲン Cry j 1 含量の変動. 山梨県森林総研研報 20 : 1-6 (1999)
- (15) 東北育種基本区スギミニチュア採種園技術マニュアル. 林木育種推進東北地区協議会 (編) 林木育種センター東北育種場 (2003)
- (16) 東北育種基本区スギ精英樹特性表. 林木育種推進東北地区協議会 (編) 林木育種センター東北育種場 (2003)

未利用木質資源を原料とする飼料の開発に関する研究

佐藤 博文

Development of cattle feed from unuseful wood resources.

Hirofumi SATO

要 旨

未利用木質資源をウシ飼料として活用をはかるため、近年その処理が問題となってきた松くい被害材、スギ間伐材とその樹皮およびシイタケ廃菌床について、採食行動に影響をおよぼしうる香気成分や毒性成分等の分析を行った。マツ、スギに特有の香気成分として8種類のモノテルペンと松くい被害材に特異的な若干の成分について分析を行った結果、全ての飼料においてモノテルペン系香気成分は検出されなかった。また、飼料の加工過程で生ずる恐れのあるフルフラール関連化合物について分析した結果、全ての飼料においてこれらの化合物は検出されなかった。食感に影響を及ぼす可能性のある樹脂酸と脂肪酸成分について分析を行った。その結果、松くい被害材とスギ樹皮由来の飼料からは若干の樹脂酸が検出された。シイタケ廃菌床の飼料からは、リノール酸、パルミチン酸およびオレイン酸が検出され、その組成比からフスマや米ぬか等培地添加栄養源由来のものと思われた。これらは、ウシの飼料として用いられており、採食への関与が考えられた。

I. はじめに

本県は、北は白神山地、東は奥羽山脈を有し、豊富な森林資源に恵まれているものの、未だこれらの資源の全てを有効に活用しているとは言い難い。加えて、近年においては、年間3～4万m³の材積にのぼる松くい被害材（1）や、切り捨てられたままのスギ間伐材および菌床きのこの生産過程で生じる廃培地など、二次的に発生する産物が増加する傾向にあり、その処理にも何らかの対応が必要とされている。

そこで、本研究は、その処理が問題とされる数種の木質廃棄物を用い、ウシが積極的に採食する飼料としての活用をはかるため、その行動等に関わる可能性のある香気成分や樹脂酸成分および加工過程で生じる恐れのある毒性成分等の分析を行った。ここではその結果を報告する。なお、本研究は、平成17～18年度にかけて表記課題名により実施した県単競争的資金研究事業における当センターの分担分をとりまとめたものである。

II. 材料および方法

1. 供試材料

本研究に用いた材料は以下のとおりである。これらの原料および加工飼料は、2項による分析に供するまでの間、それぞれZiplock等のビニール袋に入れ、松くい被害材の試料は冷凍庫（-20°C）に、他の試料は室温下に保存した。

（1）松くい被害材

平成16年に当センター構内においてマツ材線虫病により枯損したクロマツ被害木（樹齢約40年生の成木）を、平成17年春に伐倒、玉切り処理したもの用いた。飼料には、この被害木の丸太を同年初夏にチップ化して原料とした。

（2）スギ間伐材

秋田県山本郡藤里町山林より搬出されたスギ間伐材を用いた。飼料には、これを乾燥、チップ化して原料とした。

（3）スギ樹皮

秋田県仙北郡美郷町山林より搬出されたスギ間伐材の樹皮を用いた。飼料には、これを仙北市の製材所にて剥皮を行い排出された樹皮を原料とした。

（3）シイタケ廃培地

秋田県横手市のシイタケ生産農家より排出されたシイタケ廃菌床を用い、充分に風乾処理したものとを原料とした。なお、この培地は、米ぬか：フスマ：市販栄養添加剤等（1：1：1）からなる栄養源：1、広葉樹オガ粉：3の混合物（いずれも重量比）に水を加え、含水率約65%になるよう調製されたものである。

2. 使用機器および分析試料の調製

各成分の分析は、ガスクロマトグラフィー（G-3000型、株式会社日立製作所）により行った。検出器にはFIDを、キャリアガスにはヘリウムを用いた。

分析方法は、主に内部標準法により行った。試料は、つぎの手順により調製した。すなわち、各飼料約2gずつを試料とし、それぞれ凍結粉碎器を用いて液体窒素下に粉碎した。これを直ちにサンプル管に秤取し、1gにつき1mgの内部標準を加えた。さらに、試料が完全に浸る程度の抽出液を添加後、2分間の超音波処理を2回実施して成分抽出を行った。

抽出液は、無水硫酸ナトリウムを充填したミニカラムを通過させて脱水、濾過後、必要に応じて等量のメチル化試薬（ジアゾメタン・ジエチルエーテル溶液）を添加するとともに窒素気流化に抽出溶媒を溜去して濃縮を行い、分析試料とした。

3. 各種成分分析

（1）揮発性成分の定量分析

近年、森林の香りのもつ抗菌作用や精神安定作用（8）が注目され、保健休養のために盛んに森林浴が行われるようになった。こうした作用を持つ香り成分の大半は、モノテルペンとよばれる10個の炭素原子からなる化合物群である。ここでは、ウシの採食行動とこれらの化合物の関係を調べる目的で、以下の定量分析を行った。

分析は、スギ、マツに含まれる主要なモノテルペンのなかでも標品が入手可能であった α 、 β -ピネン、カンフェン、ミルセン、（+）-リモネン、 α -フェランドレン、 α 、 γ -テルピネン等のほか、松くい被害材に特異的に生成する安息香酸（2）とフェニル酢酸（3）およびマツノマダラカミキリの産卵刺激成分とされる（+）-ロンギホレン（4）について行った。分析条件は表-1に示した。

(2) 毒性成分の定量分析

フルフラールは、フスマや木質飼料などの製造過程で生じる副産物として知られており、化学工業原料や医薬品に利用可能とされる（6）。これらの誘導体は、食品衛生法において健康上無害と分類されているが、その一方で飼料中に残留すると、家畜に毒性を示しうる可能性があり、腫瘍、変異、肝障害、腎障害等を引き起こすことが知られている（5）。このため、飼料においては、これらの含有量を調べることが製造上必須とされている。

分析は、フルフラールとその関連化合物であるフルフリルアルコール、テトラヒドロフルフリルアルコール、2-フランカルボン酸、クロトン酸およびチグリン酸について行った。分析条件は表-1に示した。

(3) その他の成分の定性分析

スギ、マツ廃材やフスマを原料とする飼料においては、上述の2項目以外に家畜の採食に影響を及ぼす可能性があるものとして、樹脂酸（ヤニ）や脂肪酸成分があげられた。これらは、せいぜい炭素原子20個程度の化合物であり、いずれも顕著な生理活性に関わる報告はみられないが、その物理性から食感に影響を及ぼしうることが考えられた。そのため、これらの定性分析を行った。各成分の分析条件は表-1に示した。なお、樹脂酸の分析は、Zinkelら（9）の方法を若干改変した。また、脂肪酸の分析は、加工飼料中最も採食されたシイタケ廃菌床飼料について実施した。

表-1 各種成分のガスクロマトグラフィー分析条件

条件	揮発性成分	毒性成分	樹脂酸成分	脂肪酸成分
カラム：	キャピラリー			
	J&W DB-1ms	GL Sciences FFAP Bonded	SUPELCO BDS	J&W DB-1ms
規格（長さ×内径）	30m×0.25mm	50m×0.3mm	7m×0.25mm	30m×0.25mm
膜厚（μm）	0.25	0.3	0.25	0.25
キャリアガス：	ヘリウム			
流速（ml/min）	1.0	1.2	1.2	0.8
スプリット比	1:37	1:50	1:5	1:37
温度：	昇温プログラム			
プログラム	60°C (15min据置き) →310°C (10°C/min)	50→200°C (4°C/min)	180°C (20min据置き) →220°C (10°C/min)	150→300°C (5°C/min)
注入口（°C）	250	250	250	270
検出器（°C）	250	250	250	270
抽出溶媒：	クロロホルム	ジエチルエーテル	クロロホルム	クロロホルム
内部標準：	トリデカン	トリデカン	アラキシン酸	ヘプタデカン酸

III. 結果および考察

1. 挥発性成分の定量分析

図-1に各種加工飼料の分析クロマトグラムを示した。各標品の保持時間（分）は、 α -ピネン：6.12, カンフェン：6.57, β -ピネン：7.71, ミルセン：8.59, α -テルピネン：9.96, p-シメン：10.19, (+)-リモネン：10.81, γ -テルピネン：13.14, 安息香酸メチル：15.15, フェニル酢酸メチル：19.20, トリデカン：22.97（内部標準）および（+）-ロンギホレン：24.71であった。

各供試原料および飼料を分析した結果、松くい被害材の原料および飼料においていずれも試料1gあたり約0.02mgとごく微量の（+）-ロンギホレンが検出されたにとどまり、その他のモノテルペン系化合物に由来するピークはほとんどみられなかった。このことから、木質系飼料においては、原料の放置過程でこれらの香気成分が比較的速やかに消失してしまうことが示唆された。したがって、本研究で供試した各飼料においては、スギやマツ特有の香気がウシの採食行動に関与する可能性はきわめて低いものと思われた。

2. 毒性成分の定量分析

図-2に各種飼料の分析クロマトグラムを示した。各標品の保持時間（分）は、クロトン酸メチル：8.33, チグリン酸メチル：10.65, トリデカン：13.63（内部標準）、フルフラール：19.62, テトラヒドロフルフリルアルコール：21.22, 2-フランカルボン酸メチル：23.30およびフルフリルアルコール：25.96であった。

各飼料を分析した結果、いずれのものからもフルフラール関連化合物を検出できなかつた。このことからは、飼料加工の工程がフルフラール誘導体を生成し難いものであることが示唆された。

3. その他の成分の定性分析

図-3および4にそれぞれ各飼料における樹脂酸成分およびシイタケ廃菌床における脂肪酸成分の分析クロマトグラムを示した。樹脂酸成分について、本分析条件における内部標準および各樹脂酸メチル化物の保持時間（分）は、アラキジン酸：5.00（内部標準）、ピマル酸：7.88, サンダラコピマル酸：8.84, レボピマル酸+パラストリン酸：約11.1～11.5（ピーク重なる）、イソピマル酸：11.75, アビエチン酸：18.50, デヒドロアビエチン酸：19.10およびネオアビエチン酸：20.90付近であった。各飼料を分析した結果、松くい被害木において、痕跡程度のピマル酸、レボピマル酸+パラストリン酸と若干のアビエチン酸、デヒドロアビエチン酸に由来するピークが検出されたが、その他の飼料については、上述の化合物とはやや保持時間が異なる若干のピークが痕跡程度検出されたにとどまった。これらについては、正確な含有量を把握していないが、内部標準のピークが1mgであることからきわめて微量であり、採食への影響は及ぼし難いものと思われた。

一方、脂肪酸成分について、ウシが最も採食したとされるシイタケ廃菌床の飼料を分析した結果、その保持時間（分）からパルミチン酸：11.58, リノール酸：14.46およびオレイン酸：14.60と同定した。これらのおおまかな組成比は、リノール酸4：パルミチン酸1：オレイン酸：1であり、シイタケ菌床培地に栄養源として添加されるフスマや米ぬかに由来するものと思われた（7）。一般に、フスマや米ぬかは、家畜飼料として用いられており、濃厚飼料やサイレージへの混合により嗜好性が向上し、摂餌量が増す。このことから、シイタケ廃菌床がウシの採食に影響を及ぼす可能性が示唆された。

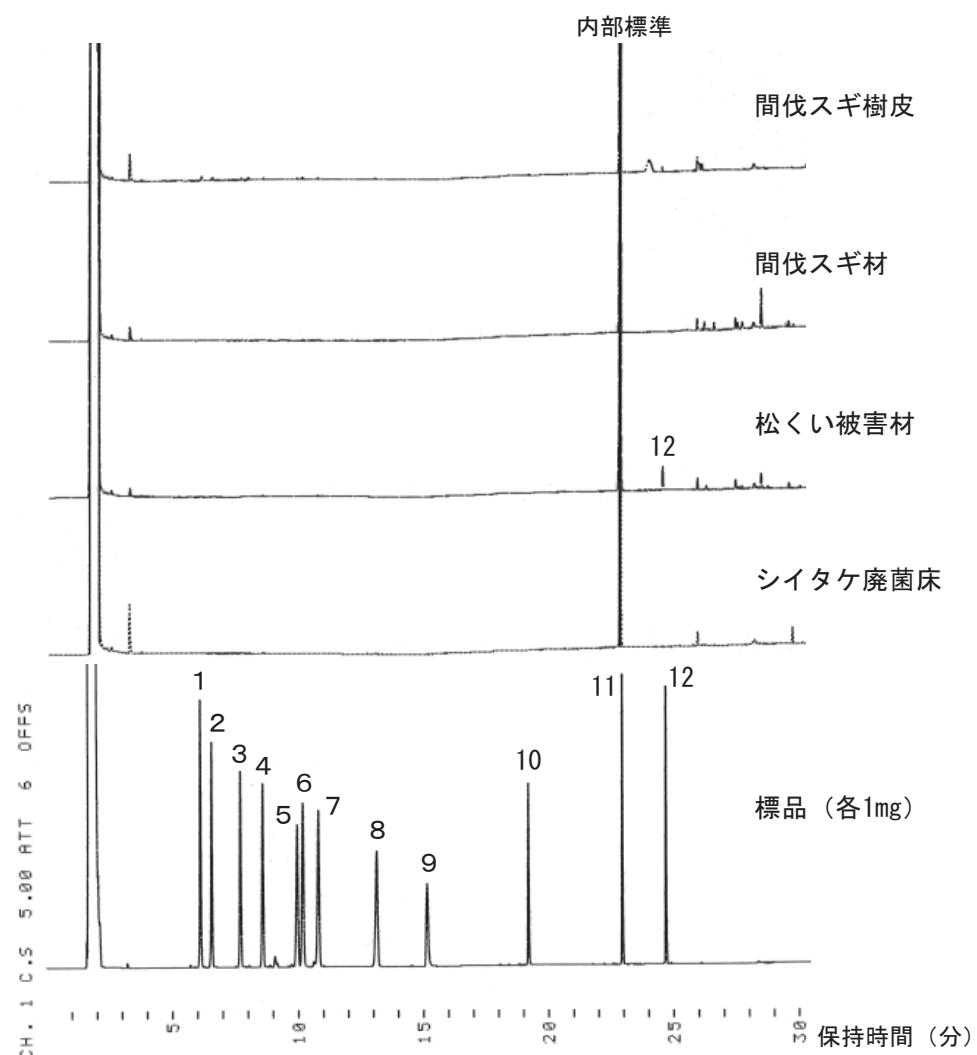


図-1 各飼料の香気成分ガスクロ分析クロマトグラム

1 : α -ピネン, 2 : カンフェン, 3 : β -ピネン, 4 : ミルセン, 5 : α -テルピネン,
6 : p-シメン, 7 : (+) -リモネン, 8 : γ -テルピネン, 9 : 安息香酸メチル, 10 :
フェニル酢酸メチル, 11 : トリデカン (内部標準), 12 : (+) -ロンギホレン

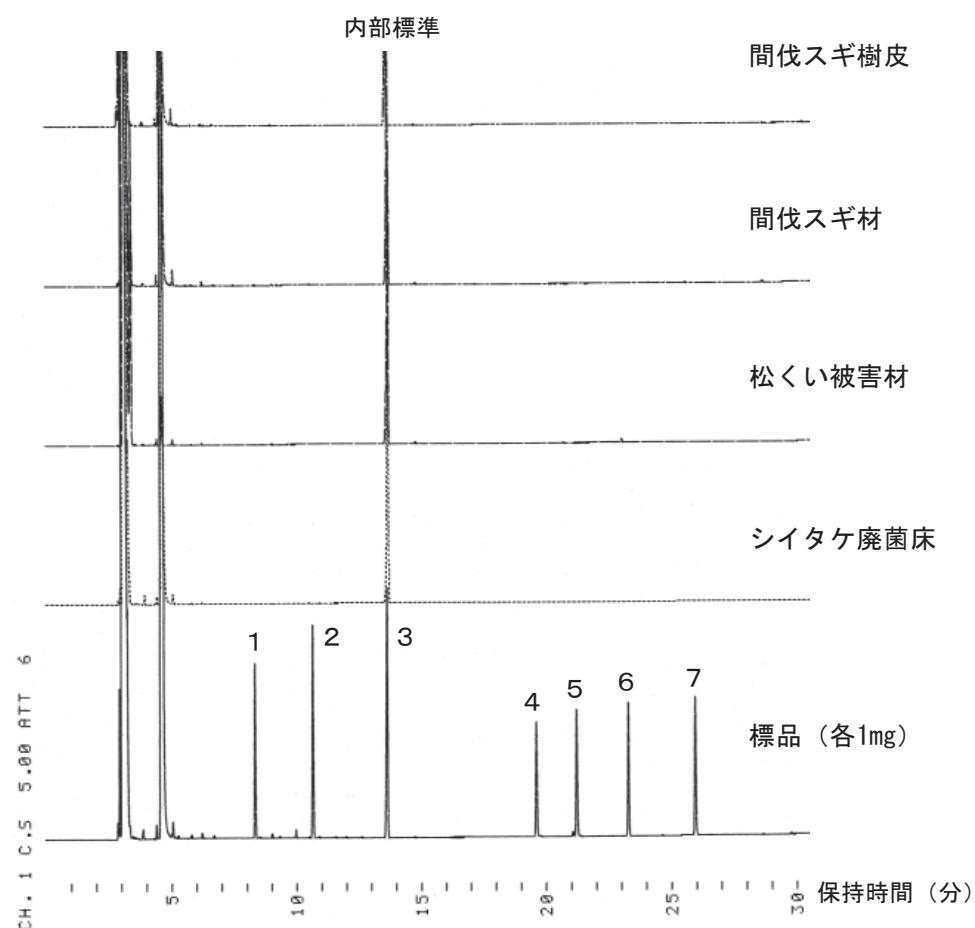


図-2 各飼料の毒性成分ガスクロ分析クロマトグラム

1：クロトン酸メチル，2：チグリン酸メチル，3：トリデカン（内部標準），4：フルフラーール，5：テトラヒドロフルフリルアルコール，6：2-フランカルボン酸メチル，7：フルフリルアルコール

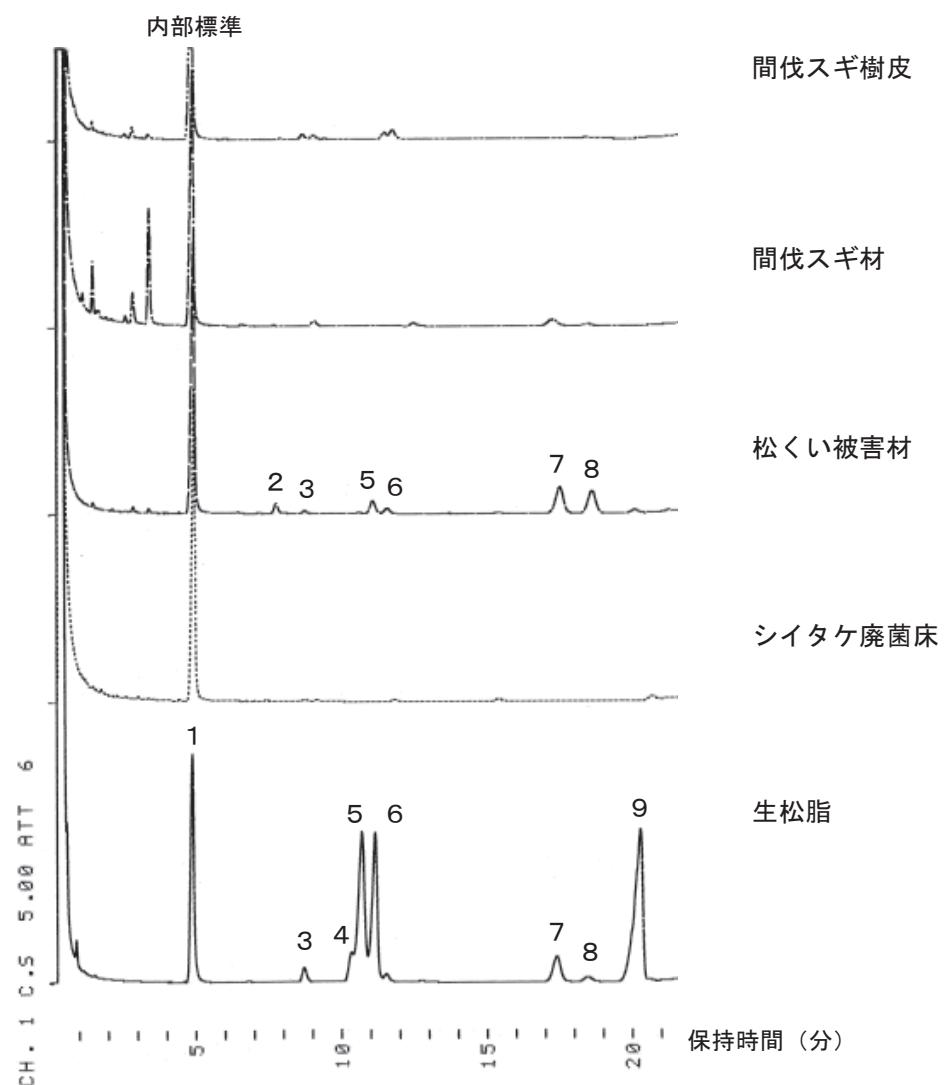


図-3 各飼料の樹脂酸成分ガスクロ分析クロマトグラム

1 : アラキジン酸メチル (内部標準) , 2 : ピマル酸メチル, 3 : サンダラコピマル酸メチル, 4 : レボピマル酸メチル, 5 : パラストリン酸メチル, 6 : イソピマル酸メチル, 7 : アビエチン酸メチル, 8 : デヒドロアビエチン酸メチル, 9 : ネオアビエチン酸メチル

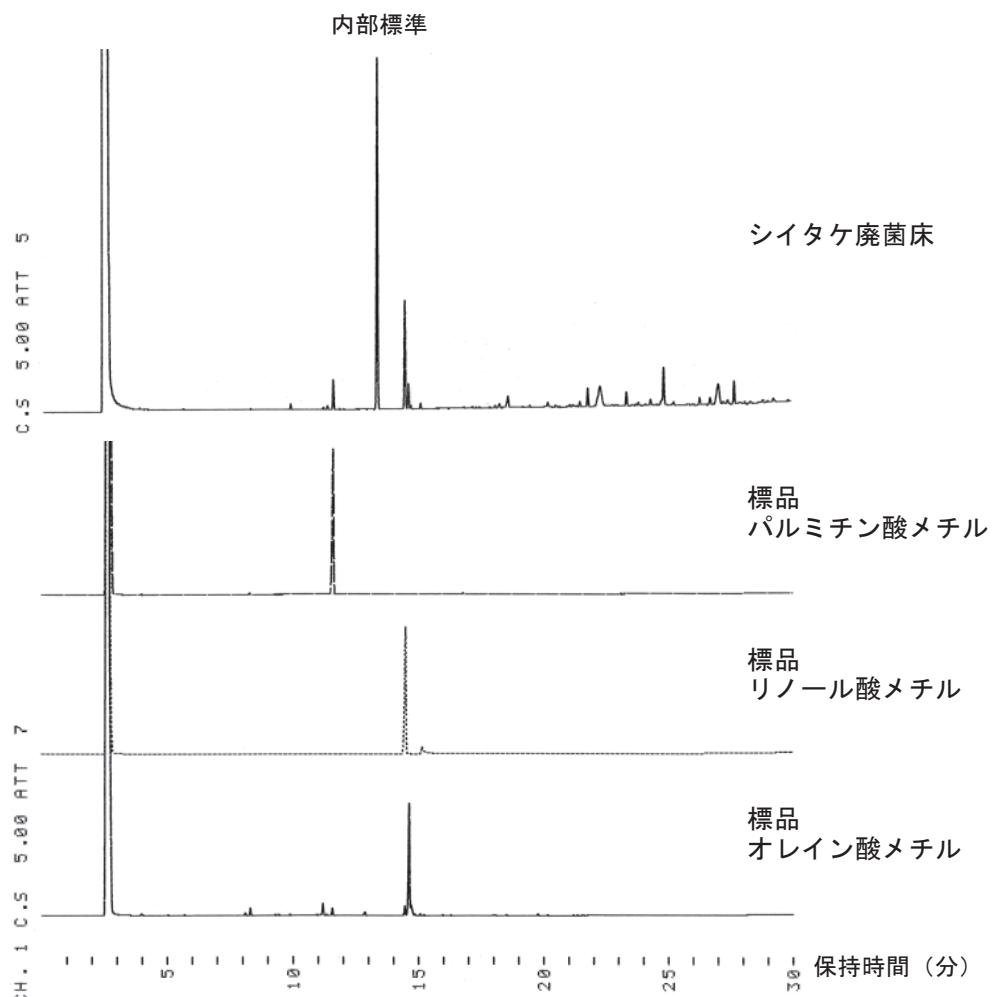


図-4 各飼料の脂肪酸成分ガスクロ分析クロマトグラム

ヘプタデカン酸メチル(内部標準)

引用文献

- (1) 秋田県農林水産部 (2007) 秋田県林業統計. 140-141, 秋田.
- (2) 河津一義 (1990) マツノザイセンチュウ感染による樹体成分の変動. 濃化誌 **64** : 1262-1264.
- (3) 河津一義・山下秀昭・小林昭雄・神崎浩 (1998) マツノザイセンチュウ, *Bursaphelenchus xylophilus*に随伴する松萎凋性細菌の単離とその毒性代謝物質. 岡山大学農学部学術報告 **87** : 1-7.
- (4) 久保田浩司・荻山紘一 (2003) マツノマダラカミキリの産卵対象木選択に関わる抽出成分の役割. 第114回日林学術講 : 751pp.
- (5) 国立医薬品食品衛生研究所安全情報部 (2004) 食品安全情報 **14**. 14pp, 東京.
- (6) 斎藤直人 (1987) 木質飼料の副産物. 北海道林産試だより(9) : 頁不明.
- (7) 三橋忠由・北村豊・三津本充・山下良弘・小沢忍 (1988) 黒毛和種去勢牛の脂肪組織における脂肪酸組成並びに色調に及ぼす給与飼料の影響. 中国農研報 **3** : 71-79.
- (8) 谷田貝光克 (1985) わかりやすい林業研究解説シリーズ 76 フィトンチッドと森林浴. 財団法人林業科学技術振興所, 東京.
- (9) Zinkel, D., F. and Han, J., S. (1986) GLC Detection of the Resin Acid Composition in Rosins and Oleoresin : State of Art. Naval Stores Rev. **14** : 14-19.

研究報告(第17号)

平成19年6月発行

編集 編集委員長 小林博人

編集委員 山崎護, 阿部実, 小西文雄, 金子智紀, 藤井吉人

発行 秋田県秋田市河辺戸島字井戸尻台47-2

秋田県農林水産技術センター 森林技術センター

郵便番号 019-2611

T E L 018-882-4511

F A X 018-882-4443

U R L <http://www.pref.akita.lg.jp> (美の国あきたネットからアクセス)

e-mail forest-c@pref.akita.lg.jp

この印刷物は、200部作成し、印刷経費は1部あたり610円です。

BULLETIN

OF

THE AKITA PREFECTURE AGRICULTURE, FORESTRY AND
FISHERIES RESEARCH CENTER INSTITUTE OF FORESTRY

No. 17 2007. 6

1. Effect of biological diversity function brought by forest tending

Akihiko NAGAKI, Satoru WADA 1～ 35

2. Development of the creation technology of coastal forest that utilized
a broadleaf tree in Akita prefecture

Tomonori KANEKO, Hiroki TAMURA 37～ 60

3. Soil Carbon Balance Following clear-cutting in an old-aged
Cryptomeria japonica Forest in Akita

Satoshi SAWATA, Kazuhito MORISADA 61～ 70

4. Selection of Elite Tree of Japanese Cedar with Few Allergens
in Akita prefecture

Yoh SASAKI 71～ 82

5. Development of Cattle Feed from Unuseful Wood Resources.

Hirofumi SATO 83～ 92