

ISSN 0918-113X

研 究 報 告

第 8 号

2001. 3

秋田県森林技術センター

目 次

1. 植物生理活性物質の検索とその利用に関する研究.....佐藤 博文 1～11
2. 森林の多目的機能を発揮する針広混交林造成技術の開発.....澤田 智志 12～48
和田 覚
石田 秀雄

植物生理活性物質の検索とその利用に関する研究

佐 藤 博 文

Research of Plant Bioactive Substances and Studies of their Profitable Use in Forestry

Hirofumi Sato

要 旨

植物に含まれる生理活性物質を利活用することで林産物の生産性向上を図るべく、身近な森林植物80数種から雑草およびきのこの害菌防除に有用な物質の検索を行った。

植物成長阻害物質の検索は、レタス種子発芽阻害試験^{1, 2)}により実施した。各メタノール粗抽出物1,000ppmに顕著な発芽阻害は観察されなかったが、マツブサ、クズ、イタドリ、オオイタドリ、ワルナスビ、ブタナおよびシロクロバなどには比較的強い植物成長阻害活性が見られ、胚軸または幼根の伸長を阻害した。また、アレロパシー植物^{2, 3)}の多くは幼根の伸長を阻害する傾向を示した。

山菜類では、モミジガサ葉およびミヤマイラクサの苞抽出物に発芽成長阻害活性が見られた。モミジガサの活性は、5月および8月に採取した乾燥葉抽出物で強く、とりわけメタノール抽出物に検出された。さらに、乾燥葉抽出物の活性は、生葉抽出物の挙動とやや異なっていたことから、活性にはいくつかの物質が関与し、これらは時期的、量的に変動する可能性が示唆された。

ミヤマイラクサでは、苞水抽出液に発芽成長阻害活性が見られたが、種子水抽出液はlepidimoide⁵⁾様活性を示し、幼根伸長を阻害したものの胚軸伸長は著しく促進した。なお、これらの山菜に含まれる活性物質の性状は、いずれも水溶性が高いことが推察された。

一方、きのこ害菌生育阻害物質の検索は、トリコデルマ菌 (*Trichoderma* spp. 未同定株 I および II) に対する抗菌試験を行ったところ、いずれの抽出物にも抗菌活性は認められなかった。

はじめに

今日、化学農薬は、農林水産物の生産性や品質の向上に重要な役割を果たしている。ところが、こうした薬剤の多用による環境問題や人体に及ぼす影響などについては、年々多くの関心が高まるにつれ、農業では有機農法が普及するとともに、農薬の代わりとして比較的安全な生理活性物質などの天然物や天敵の利用が注目されるようになった。

なかでも、生理活性物質は、種々の生物体内において極微量で様々な生理機能を調節しており、一般に特異的な作用を有することから、その利用においては、周囲に及ぼす影響が少ないことや自然分解が比較的速やかであることなど環境保全的な長所が数多くあげられる。

さて、林業においては、健全な森林を育成するために大量の除草剤や防除薬剤が用いられているが、これは、森林本来の重要な機能のひとつである水浄化能に及ぼす影響が懸念される。また、山菜やき

の栽培においては、使用しうる防除薬剤の種数が極端に少ないことや防除体系が十分に確立されていないなどの様々な問題を抱えてきたにもかかわらず、生理活性物質の利活用に関する研究は、これまであまり行われてこなかった。

本研究は、天然由来の生理活性物質を活用することで林産物の生産性向上を図るべく、まず、森林植物の成分から雑草およびきのこ害菌の防除能を有する物質の検索を行った。

材料および方法

1. 供試植物および試料の調製

植物材料は、当センター周辺にみられる雑草木および山菜類など計80種を用いた。各植物は、毎年6～9月に葉部あるいは全草を採取し、陰干しにより乾燥粉碎後、メタノール抽出を行った。

各抽出液は、濾過後ロータリーエバポレーターにて減圧乾固して粗抽出物を得た。各粗抽出物は、秤量後、クロロホルム、メタノールなどの有機溶媒に再度溶解し、それぞれ濃度2,000ppmの試料溶液を調製して次の生物検定に用いた。

2. 生物検定

(1) 植物成長阻害物質の検索

レタス種子発芽試験^{1, 2)}により活性の検索を行った。レタス種子は、市販（サカタのタネ）のgrand rapids 種を購入して用いた。

試験は次のとおり実施した。すなわち、100ml容の培養用コニカルフラスコの底に径6 cmの濾紙を敷き、前項により調製した各試料溶液800 μ lを滴下した。次に、これらをフラスコごとクリーンベンチ上で充分風乾した後、アルミ箔で軽く蓋をし、真空デシケータ中に一晩置いて溶媒を除いた。

播種直前、これらのフラスコにそれぞれ1.6mlの水を注ぎ、充分溶解して最終濃度1,000ppmの粗抽出物水溶液を得た。そして、この被験液で湿らせた各フラスコ内の濾紙上にレタス種子20粒ずつを置き、それぞれアルミ箔で蓋をして25℃の暗所で5日間培養することにより試験を実施した。

培養後、発芽数、胚軸長および幼根長を調べ、それぞれの平均値を対照（水）と比較することにより活性の判定を行った。

なお、レタス種子は播種前に滅菌水で三回洗い、水に沈んだものをクリーンベンチ上で風乾して用いた。また、試験は一試料につき二連で行った。

(2) トリコデルマ菌 (*Trichoderma* spp.) 生育阻害物質の検索

ペーパーディスク法によりトリコデルマ菌に対する抗菌試験を実施して活性の検索を行った。トリコデルマ菌は、農林水産省森林総合研究所きのこ育種研究室より譲り受けた二種類の未同定菌株 (sp. I および II) を用いた。

培地は、PDA (Difco Potato Dextrose Broth 24 g / ℓ + Wako Agar Powder 15 g / ℓ 、pH 5.2) を用い、径9 cm、深さ2 cmの滅菌済プラスチック製シャーレーにおよそ20mlずつ分注して平板を作成した。

トリコデルマ菌は、あらかじめ PDA 斜面培地にて室温下一週間以上前培養を行っておき、発生した分生孢子を分注前に培地に接種した。

孢子の接種は、前述の培地を121℃、20分間の高圧蒸気滅菌後、およそ50℃に放冷して行った。その際、孢子密度は約 $1 \times 10^5 / \text{ml}$ 培地とした。

試験は次のとおり実施した。すなわち、1項により調製した各試料溶液をメタノールでそれぞれ2倍希釈した。得た1,000ppmの各被験液に径6mmのペーパーディスク（薄手、ADVANTEC）を浸し、各々を清浄な試験管中にてよく乾燥させた。そして、これらを前述のごとくトリコデルマ菌を接種しておいた寒天平板上に置き、25℃の暗所にて2～5日間培養を行い、阻止円の有無を調べることでより活性を判定した。なお、試験は一試料につき二連で行った。

結果および考察

1. 植物成長阻害物質の検索

表－1 および図－1 に各粗抽出物1,000ppmあたりの活性とその相対的な阻害の強さを示した。なお、表－1 および以下の本文中に記した各抽出物の胚軸、幼根長に付随する括弧内の数値（パーセンテージ）は、試験ごとに対照の平均値をそれぞれ100とした場合の相対値を示すものであり、種間において測定平均値が同じであっても相対値は必ずしも一致しない場合がある。また、図－1の阻害率は、100からこの相対値を減ずることによって算出した値である。

発芽率においては、マツブサ70%およびイチジク82.5%など若干の種をのぞき、大半のものに顕著な発芽阻害はみられなかった。

胚軸長においては、マツブサの葉9.8mm（53.1%）および茎（ショウトウ）12.4mm（67.5%）、モミジガサ12.4mm（65.3%）やクズ12.2mm（68.2%）などに強い伸長阻害活性がみられた。

幼根長においては、クズ11.6mm（39.6%）が最も強い伸長阻害活性を示し、次いでイタドリ15mm、オオイタドリ14.9mm（いずれも42%弱）、ワルナスビ12.8mm（43.3%）、シロクロバー14.1mm、ミヤマイラクサ14.8mmおよびブタナ17.5mm（いずれも49%前後）などに活性がみられた。

なお、図－1からも明らかなように、アレロパシーの報告がある植物^{2, 3)}には幼根の伸長を阻害する傾向がみられ、既知の17種中少なくとも12種の植物にその活性を確認することができた。

また、山菜類ではモミジガサ（葉）やミヤマイラクサの苞を含む種子（水抽出物）に比較的強い成長阻害活性がみられた点も非常に興味深い結果といえる。

本試験における主たるねらいは、植物の成長阻害（いわゆるアレロパシー）活性を有する物質または植物の利活用により雑草木の繁茂を防ぐことで、農業に頼らない下刈省力化技術を開発することにあるが、こうした活性物質が山菜にみつければ、その山菜を植林時に林床に植栽することで雑草を抑え、そのうえ副収入につながるというユニークな利活用法が発想される。

また、山菜類に含まれる生理活性物質は、普段食用とされる植物の成分であることから、一般に安全面からも有用性が高いものと考えられる。そこで、これらの山菜類にみられた植物成長阻害活性についてさらに精査を行い、若干の知見を得たので以下にその概要を記す。

表－１ メタノール粗抽出物（1,000ppm）による発芽成長阻害物質および抗菌物質のスクリーニング

植物名	レタス種子発芽試験成績			抗菌試験成績	
	発芽率(%)	胚軸長(mm)	幼根長(mm)	Sp. I	Sp. II
1 アオギリ	95.0	19.1 (102.6)	26.4 (88.1)	n.d.	n.d.
2 アオジソ	97.5	16.9 (87.4)	17.2 (56.7)	n.d.	n.d.
3 アオツツラフジ	100.0	18.9 (101.5)	26.9 (89.6)	n.d.	n.d.
4 アカクローバ	90.0	18.1 (98.5)	26.1 (90.2)	n.d.	n.d.
5 アカジソ	92.5	17.5 (89.1)	14.8 (58.6)	n.d.	n.d.
6 アキノナキツガミ	100.0	25.4 (128.8)	21.9 (86.4)	n.d.	n.d.
7 アジサイ	90.0	18.3 (94.6)	23.7 (78.2)	n.d.	n.d.
8 アツモリソウ	97.5	23.9 (123.7)	23.4 (77.2)	n.d.	n.d.
9 アメリカセンダングサ	100.0	26.1 (134.8)	26.6 (87.7)	n.d.	n.d.
10 イタドリ	100.0	15.7 (85.3)	15.0 (41.8)	n.d.	n.d.
11 イチジク	82.5	18.1 (98.2)	19.0 (53.0)	n.d.	n.d.
12 イチョウ	90.0	14.9 (87.9)	41.7 (136.5)	n.d.	n.d.
13 イヌエンジュ	97.5	15.9 (85.7)	25.2 (85.0)	n.d.	n.d.
14 エゾイタヤ	100.0	18.8 (100.5)	19.4 (64.7)	n.d.	n.d.
15 エゾノギシギシ	100.0	21.0 (123.4)	23.6 (77.1)	n.d.	n.d.
16 エゾユズリハ	95.0	17.1 (93.0)	31.1 (107.5)	n.d.	n.d.
17 オオアワダチソウ	97.5	20.6 (112.1)	29.9 (96.8)	n.d.	n.d.
18 オオイタドリ	97.5	17.8 (96.7)	14.9 (41.6)	n.d.	n.d.
19 オオカメノキ	100.0	18.2 (97.6)	26.9 (90.8)	n.d.	n.d.
20 オオシマザクラ	95.0	14.1 (72.7)	22.0 (72.8)	n.d.	n.d.
21 オオハナウド	97.5	20.5 (111.4)	24.6 (79.7)	n.d.	n.d.
22 オオハコソウ	92.5	19.9 (103.0)	23.1 (76.4)	n.d.	n.d.
23 オニグルミ	100.0	18.4 (100.3)	28.9 (93.7)	n.d.	n.d.
24 カキドオシ	97.5	19.8 (116.5)	23.1 (75.7)	n.d.	n.d.
25 カキノキ	97.5	20.1 (102.1)	22.8 (90.2)	n.d.	n.d.
26 カツラ	100.0	19.1 (101.6)	33.4 (103.1)	n.d.	n.d.
27 カリン(果実)	97.5	15.4 (82.5)	24.4 (81.4)	n.d.	n.d.
(葉)	100.0	18.0 (97.9)	21.2 (73.4)	n.d.	n.d.
28 キクイモ	92.5	22.8 (127.1)	26.5 (89.5)	n.d.	n.d.
29 キササゲ(果実)	97.5	15.7 (84.4)	29.7 (98.9)	n.d.	n.d.
(葉)	97.5	17.2 (92.4)	26.3 (87.7)	n.d.	n.d.
30 キタコブシ	100.0	13.7 (72.9)	34.6 (106.8)	n.d.	n.d.
31 キリ	95.0	13.2 (71.9)	36.4 (126.0)	n.d.	n.d.
32 クサギ	95.0	17.2 (96.0)	26.9 (91.0)	n.d.	n.d.
33 クズ	92.5	12.2 (68.2)	11.6 (39.6)	n.d.	n.d.
34 クマガイソウ	92.5	21.1 (107.1)	24.2 (95.7)	n.d.	n.d.
35 クリ	97.5	18.5 (94.0)	21.4 (84.3)	n.d.	n.d.
36 サルナシ	92.5	21.0 (106.5)	22.1 (87.0)	n.d.	n.d.
37 シロクローバ	100.0	20.4 (111.4)	14.1 (48.9)	n.d.	n.d.
38 スギナ	95.0	21.4 (113.8)	29.3 (90.5)	n.d.	n.d.
39 ススキ	100.0	23.8 (129.4)	20.3 (65.8)	n.d.	n.d.
40 タニウツギ	100.0	16.6 (90.3)	34.3 (118.8)	n.d.	n.d.
41 チゴザサ	95.0	27.6 (153.9)	21.1 (72.0)	n.d.	n.d.
42 チジミザサ	92.5	27.9 (155.5)	19.1 (65.3)	n.d.	n.d.
43 チドメグサ	92.5	23.2 (129.5)	30.9 (104.6)	n.d.	n.d.
44 チマキザサ	95.0	20.3 (113.2)	19.5 (66.6)	n.d.	n.d.
45 ツバキ	95.0	18.2 (101.6)	24.8 (83.9)	n.d.	n.d.
46 ツユクサ	95.0	23.2 (129.3)	16.9 (57.2)	n.d.	n.d.
47 ツルウメモドキ	92.5	21.8 (112.8)	17.2 (56.7)	n.d.	n.d.
48 ドクダミ	100.0	19.9 (110.9)	23.1 (78.2)	n.d.	n.d.
49 ナツハゼ	97.5	20.9 (108.0)	27.1 (89.6)	n.d.	n.d.
50 ナワシロイチゴ	97.5	18.2 (101.6)	22.9 (77.3)	n.d.	n.d.
51 ニセアカシア	97.5	15.9 (86.5)	25.8 (83.6)	n.d.	n.d.
52 ノコンギク	95.0	20.5 (104.3)	22.1 (87.3)	n.d.	n.d.
53 ノブドウ	95.0	18.3 (92.9)	20.7 (81.8)	n.d.	n.d.
54 ハギ	100.0	16.4 (87.2)	20.7 (63.9)	n.d.	n.d.
55 ハンテンボク	95.0	16.8 (90.2)	35.7 (120.2)	n.d.	n.d.
56 ヒバ精油	95.0	13.7 (80.5)	30.6 (100.2)	n.d.	n.d.
57 ヒメジョオン	100.0	18.7 (96.8)	22.8 (75.3)	n.d.	n.d.
58 フウ	100.0	16.6 (97.9)	23.4 (76.7)	n.d.	n.d.
59 フキ	90.0	18.3 (99.5)	35.9 (100.2)	n.d.	n.d.
60 ブタナ	95.0	27.9 (151.5)	17.5 (48.8)	n.d.	n.d.
61 ブラタナス	97.4	22.3 (115.2)	22.0 (72.7)	n.d.	n.d.
62 ベニイタヤ	100.0	18.7 (100.1)	25.3 (84.3)	n.d.	n.d.
63 ヘラオオバコ	100.0	20.4 (109.7)	18.9 (63.6)	n.d.	n.d.

(表-1 つづき)					
64 ホオ	97.5	17.9 (92.8)	29.9 (98.9)	n.d.	n.d.
65 ホナガクマヤナギ	100.0	20.6 (104.8)	28.1 (111.0)	n.d.	n.d.
66 マタタビ	100.0	18.4 (94.9)	23.8 (78.5)	n.d.	n.d.
67 マツブサ(葉)	70.0	9.8 (53.1)	22.1 (61.9)	n.d.	n.d.
(茎:ショウトウ)	90.0	12.4 (67.5)	36.8 (102.9)	n.d.	n.d.
68 ミソソバ	92.5	24.5 (132.0)	18.8 (63.5)	n.d.	n.d.
69 ミヤマイトナ(苞と種子)	100.0	31.1 (160.8)	14.8 (48.7)	n.d.	n.d.
70 ミヨウガ	100.0	18.6 (98.9)	19.8 (61.2)	n.d.	n.d.
71 モミ	100.0	17.1 (100.4)	37.6 (123.0)	n.d.	n.d.
72 モミジガサ	90.0	12.4 (65.3)	17.0 (51.3)	n.d.	n.d.
73 ヤナギタデ	100.0	21.7 (116.7)	27.7 (93.2)	n.d.	n.d.
74 ヤブガラシ	92.5	17.2 (95.9)	15.9 (54.2)	n.d.	n.d.
75 ヤマグル	95.0	17.4 (95.2)	25.7 (88.8)	n.d.	n.d.
76 ヤマブドウ	92.3	18.2 (92.3)	21.3 (83.9)	n.d.	n.d.
77 ヨウシュヤマコホウ	97.5	21.9 (119.5)	22.4 (72.5)	n.d.	n.d.
78 ヨモギ	100.0	18.7 (101.9)	21.6 (70.0)	n.d.	n.d.
79 レンギョウ	87.5	19.3 (99.6)	29.5 (97.5)	n.d.	n.d.
80 ワルナスビ	95.0	16.8 (90.5)	12.8 (43.3)	n.d.	n.d.

注：発芽試験結果における（ ）内の数値は、対照の胚軸長および幼根長をそれぞれ100とした場合の相対的な伸長の割合を示す。また、抗菌試験結果における n.d. は、活性が検出されなかったことを示す。

(1) モミジガサの活性物質⁴⁾

モミジガサは、東北地方では「しどけ」とよばれ、春におひたしとして好んで食される山菜のひとつである。近年、その収益性の高さから人工栽培化が進むなかで連作障害の問題があげられていたが、これまでその実態は把握されていない。したがって、モミジガサに含まれる植物成長阻害物質を探ることは、当初の目的以外に連作障害についても何らかの手がかりが得られるものと思われた。

試験は、以下のごとく抽出溶媒、採取時期や部位および抽出方法などにより活性の違いを調べるところからはじめた。なお、活性の判定は既述のレタス種子発芽伸長試験法に準じた。

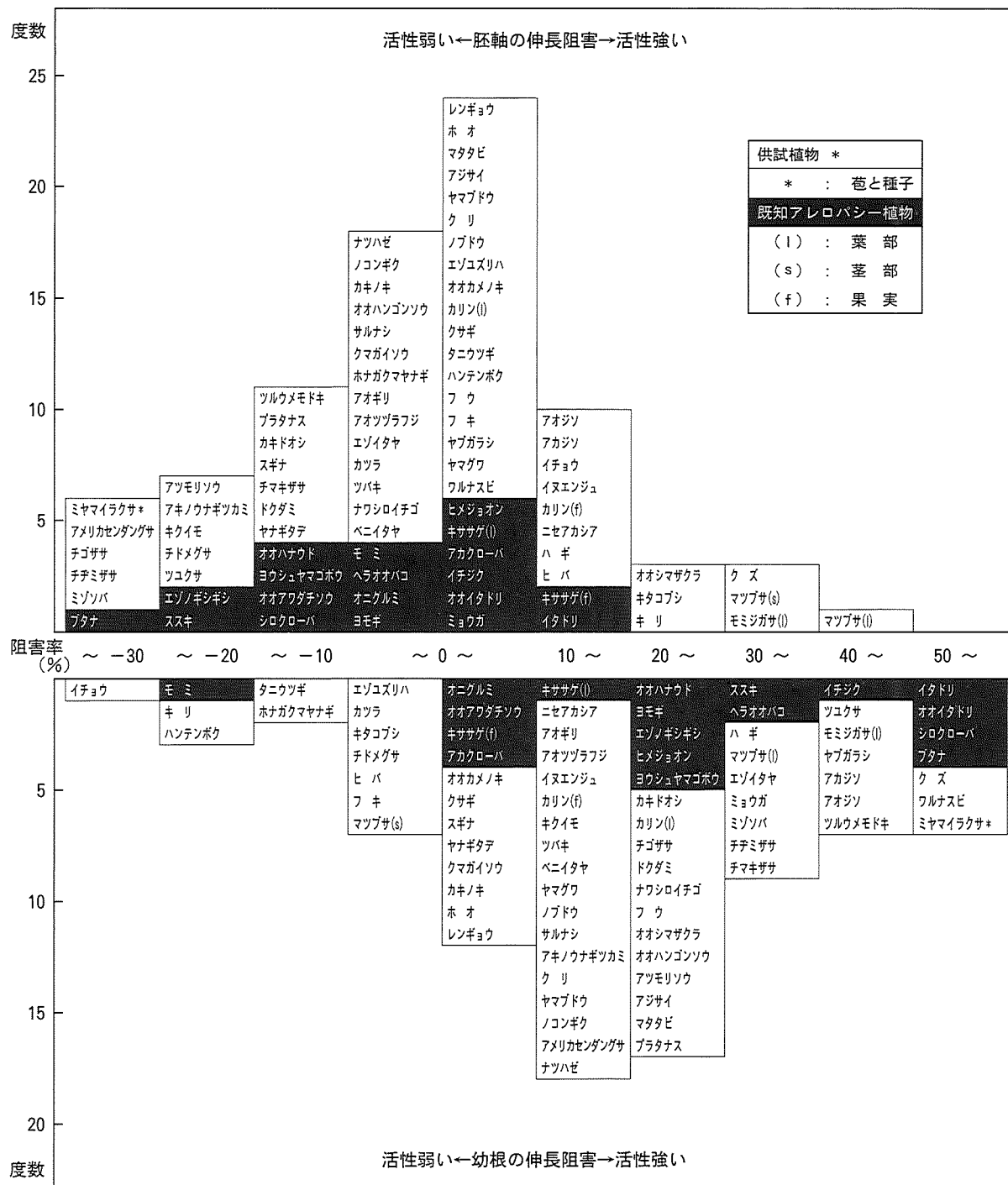
はじめに、活性物質を効率よく抽出する溶媒を探るため、9月に採取した乾燥葉1gをn-ヘキサン、クロロホルム、酢酸エチルエステル、アセトン、メタノールおよびクロロホルム：メタノール（1：1）等の各種有機溶媒20mlに浸漬し、それぞれ抽出液1.6mlあたりの活性を調べたところ、メタノール抽出液の活性が最も強かった（表-2）。

次に、モミジガサ地上部は葉部および茎部に、また、地下部は根部として計3部位に大別し、萌芽

表-2 モミジガサに含まれる発芽成長阻害物質の抽出溶媒の検討

抽出溶媒	レタス種子発芽試験成績		
	発芽率(%)	胚軸長(mm)	幼根長(mm)
ヘキサン	97.5	16.4 (91.1)	32.2 (109.5)
クロロホルム	85.0	10.4 (57.8)	37.8 (128.6)
酢酸エチル	92.5	10.5 (58.3)	31.4 (106.8)
アセトン	72.5	8.1 (45.0)	26.0 (88.4)
メタノール	15.0	1.5 (8.3)	2.8 (9.5)
C:M(1:1)	17.5	3.4 (18.9)	6.6 (22.4)
対照（水）	100.0	18.0 (100.0)	29.4 (100.0)

注：C：M（1：1）は、クロロホルム、メタノールの等量混合液である。



図ー1 各メタノール粗抽出物（1,000ppm）における植物成長阻害活性

伸長期（5月下旬）、花芽分化期（7月中旬）および開花期（8月中旬）における活性を調べた。

なお、抽出は上述の時期に採取した試料の風乾物から行った（乾燥抽出）ほか、所定の時期にすり鉢を用い、-20℃の冷メタノールを加えながらそれぞれの新鮮組織をよくすりつぶし、同溶媒中に浸漬して生抽出を行った。

活性はとりわけ葉部抽出物にみられ、乾燥抽出法では5月および8月に採種したものの活性が強かった（図ー2 a、表ー3）。また、生抽出法では、大半のものに顕著な活性はみられなかったが、8月

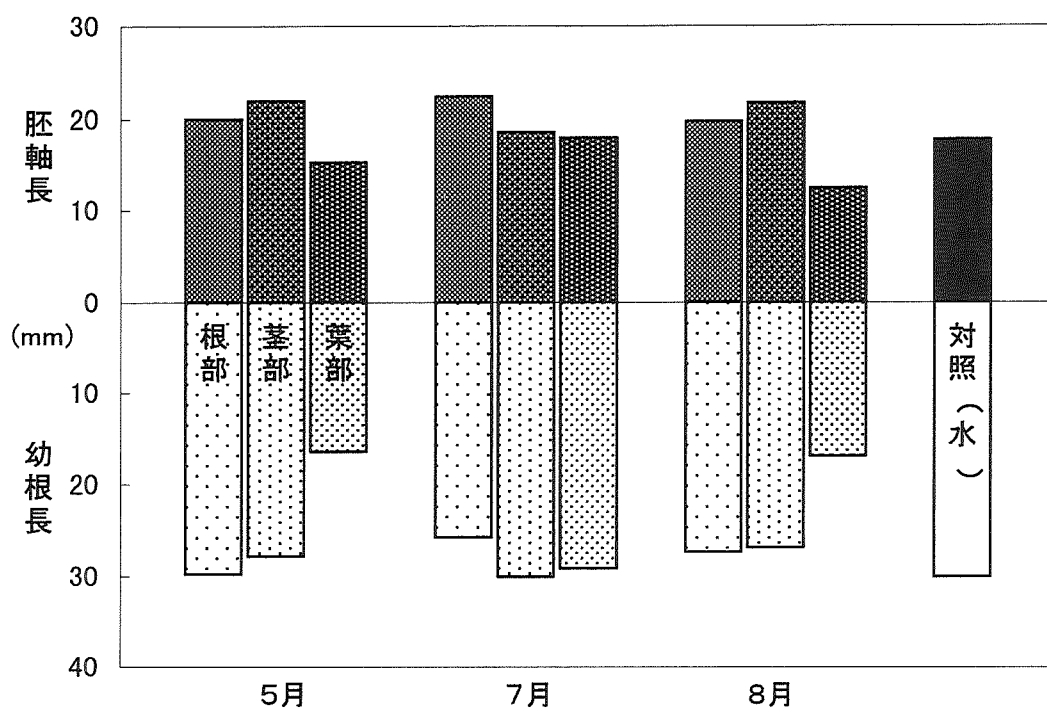


図-2 a モミジガサ乾燥抽出物 (1,000ppm) における時期別、部位別活性比較

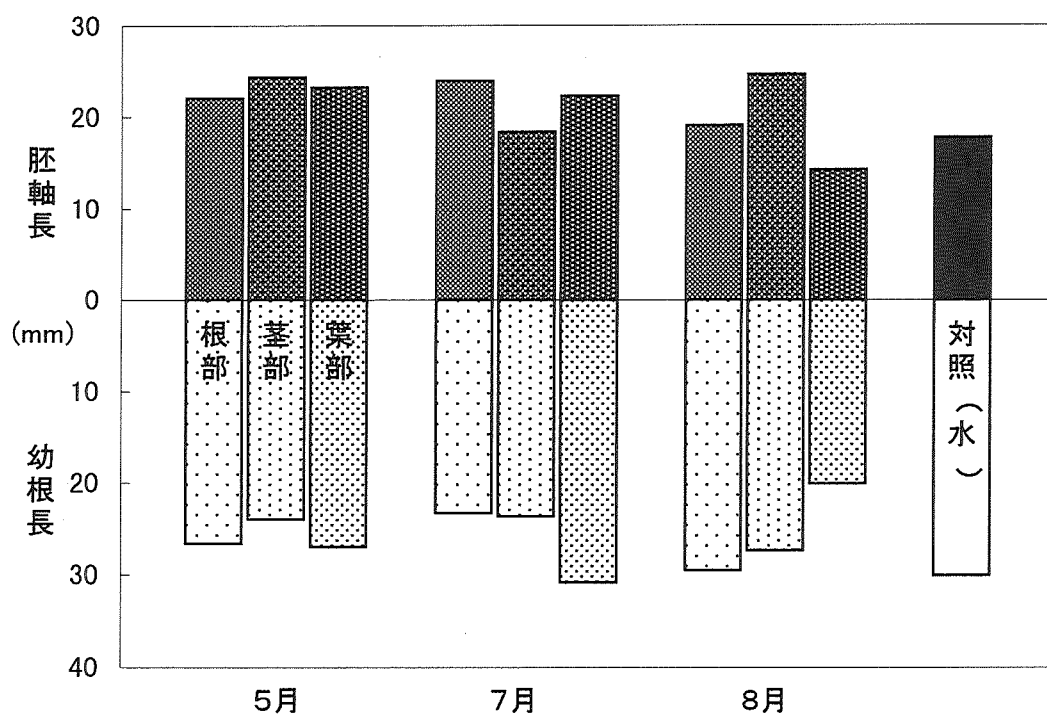


図-2 b モミジガサ生抽出物 (1,000ppm) における時期別、部位別活性比較

に採取した葉の抽出物には比較的強い活性が検出された (図-2 b、表-3)。

そこで、8月に採取した乾燥葉抽出物を水に懸濁し、酢酸エチルにて溶媒分画後、水相はSep-Pak C18ミニカラム (Waters) を通過させた。その後、0、20、40、60および100% (v/v) メタノールにてカラムに保持された物質を順次溶出し、各溶出画分の活性を調べた。

表－3 モミジガサに含まれる発芽成長阻害物質の時期別、部位別検索と抽出方法の検討

採取時期	供試部位	乾燥抽出			生 抽 出		
		発芽率(%)	胚軸長(mm)	幼根長(mm)	発芽率(%)	胚軸長(mm)	幼根長(mm)
H8.5.31	根部	97.5	20.0 (113.2)	29.8 (99.2)	97.5	22.0 (124.5)	26.7 (88.9)
	茎部	97.5	21.9 (123.9)	27.9 (92.8)	100.0	24.3 (137.5)	24.1 (80.2)
	葉部	92.5	15.2 (86.0)	16.5 (54.9)	100.0	23.2 (131.3)	27.1 (90.2)
H8.7.16	根部	97.5	22.4 (126.7)	25.8 (85.9)	97.5	23.9 (135.3)	23.4 (77.7)
	茎部	100.0	18.5 (104.7)	30.1 (100.2)	90.0	18.3 (103.6)	23.7 (78.8)
	葉部	95.0	17.9 (101.3)	29.2 (97.2)	92.5	22.2 (125.6)	30.9 (102.8)
H8.8.20	根部	97.5	19.7 (111.5)	27.4 (91.2)	97.5	19.0 (107.5)	29.6 (98.5)
	茎部	97.5	21.7 (122.8)	26.9 (89.5)	95.0	24.6 (139.2)	27.4 (91.2)
	葉部	90.0	12.4 (70.2)	17.0 (56.6)	95.0	14.2 (80.3)	20.1 (66.9)
対 照 (水)		96.3	17.7 (100.0)	30.1 (100.0)			

注：発芽試験結果における（ ）内の数値は、対照の胚軸長および幼根長をそれぞれ100とした場合の相対的な伸長の割合を示す。

表－4 モミジガサ葉部メタノール抽出物における溶媒分画後の活性と
Sep-Pak C18 カラムにおける保持能

フラクション	レタス種子発芽試験成績		
	発芽率(%)	胚軸長(mm)	幼根長(mm)
有機相			
酢酸エチル溶出区	100.0	16.9 (91.4)	29.7 (93.1)
水相			
水溶出区	95.0	27.5 (148.6)	17.6 (55.2)
20% MeOH溶出区	87.5	16.0 (86.5)	20.1 (63.0)
40%	57.5	9.0 (48.6)	28.4 (89.0)
60%	95.0	17.2 (93.0)	27.1 (85.0)
100	95.0	16.7 (90.3)	27.2 (85.3)
対照 (水)	100.0	18.5 (100.0)	31.9 (100.0)

その結果、活性は分散し、0～20%溶出画分には発根阻害活性が、また、40%溶出画分には胚軸伸長阻害活性がみられた。なお、有機相に活性は検出されなかった（表－4）。

以上の結果を総括すると、モミジガサ葉部メタノール抽出物が有する植物成長阻害活性にはいくつかの物質が関与し、これらは時期的、量的に変動すること、また、これらの性状としては極性が高いことなどが考えられた。今後、活性物質については、大量の試料を用いて物質的解明を進めたいと考えている。

(2) ミヤマイラクサの活性物質

ミヤマイラクサは、東北地方においては「あいこ」とよばれる山菜のひとつで、早春に採取した若葉は汁物の具として好まれる。本格的な人工栽培はこれまであまり行われていないが、山菜類のなかでは比較的短期間で収益が期待できる作物のひとつとして注目されている。

まず、苞（種子を包むがくに似た部分）を含む種子 1 g に対して水またはメタノール20mlの割合で抽出を行い、各抽出液1.6mlあたりの活性を調べた（表－5）。

胚軸長においては、いずれの抽出物においても伸長が促進され、特に、メタノール抽出物においては27mm（155.2％）に達した。しかし逆に、幼根長においては、いずれの抽出物においても9～10mm程度（30％前後）と著しく伸長が阻害された。また、発芽率においては、水抽出液が57.5％と著しく劣っていた。

そこで次に、種子と苞を分離し、各々1 g に対して水20mlの割合で抽出を行い、各抽出液の活性を再度調べた。結果は表－6 に示したとおりで、苞抽出液のみに強い発芽、成長阻害活性が認められ、発芽率27.5％、胚軸長、幼根長においてそれぞれ6.1mm（30.5％）および1.8mm（5.3％）と著しい伸長阻害が確認された。

一方、種子抽出液は、幼根長を7 mm（20.7％）とその伸長を阻害したが、胚軸長においては逆に36.5mm（182.5％）と顕著に伸長を促進した。

以上の結果を総括すると、ミヤマイラクサにみられる発芽および幼根伸長阻害活性は主に苞由来の物質によるものであり、胚軸伸長に関わる活性は種子由来の物質によるものであること。また、これらの性状はいずれも水に溶けやすいことなどが推察された。

表－5 ミヤマイラクサに含まれる発芽成長阻害物質の抽出溶媒の検討

抽出溶媒	レタス種子発芽試験成績		
	発芽率(%)	胚軸長(mm)	幼根長(mm)
水	57.5	22.9 (131.6)	9.0 (29.6)
メタノール	82.5	27.0 (155.2)	9.9 (32.6)
対照（水）	97.5	17.4 (100.0)	30.4 (100.0)

注：抽出は、サンプル量の20倍に相当する液量で行った。

また、活性はいずれの抽出液も原倍の濃度で調べた。

表－6 ミヤマイラクサに含まれる発芽成長阻害物質の部位別検索

供試部位	レタス種子発芽試験成績		
	発芽率(%)	胚軸長(mm)	幼根長(mm)
種子	97.5	36.5 (182.5)	7.0 (20.7)
苞	27.5	6.1 (30.5)	1.8 (5.3)
対照（水）	97.5	20.0 (100.0)	33.8 (100.0)

注：抽出は、サンプル量の20倍に相当する液量で行った。

また、活性はいずれの抽出液も原倍の濃度で調べた。

なお、植物種子由来の成長調節物質には、クレスより単離された lepidimoide⁵⁾ が知られているが、今回、ミヤマイラクサ種子の水抽出物にみられた顕著な胚軸伸長活性および幼根伸長阻害活性はこの物質の活性とよく似ていた。本研究の本来の目的である林産物生産性の向上という点から考えると、今後こうした成長を促進する物質の活用についてもさらに目を向けていく必要があるだろう。

2. トリコデルマ菌生育阻害物質の検索

結果は表-1 に示したとおりであり、供試した80種の全ての粗抽出物においてトリコデルマ菌に対する抗菌活性は見いだせなかった。

なお、今回用いた植物材料は、比較的大量に採取しやすい身近なものを対象としたが、今後は、薬草や微生物類についても同様に活性物質の検索を行ってみたい。

特に、薬草類は、未だに解明されていない様々な活性成分を含むものが多く、きのこ菌糸の伸長を速め、子実体の形成を促進したり、きのこに新たな薬理活性を付与するなど、抗菌活性以外にもきのこの収益性向上に関わる物質の存在が期待できる。

また、野生きのこの生育環境から察するに、きのこその周囲の植物または微生物との間には、少なからず何らかの物質を介した相互作用があることを想像させられ、菌床等の人工培地で栽培が難しいきのこの存在からは、それらの成長生理過程において必要な物質の授受があることが示唆される。このような意味で、今後はこうした物質についても検索を行い、きのこの増収につなげたい。

おわりに

本研究では、林業に有用な生理活性物質として身近な植物の成分を対象に植物成長阻害物質および抗菌性物質の検索を行った。植物由来の生理活性物質は、これまでに数多く単離、同定されているが、それらのもつ本来の役割についてはあまり知られていない。しかしながら、植物は動けないために、光、水、養分などの成長に必要な要素を周囲の植物と奪い合うことで獲得しなければならないという宿命を持つことから考えると、その存亡には成長制御に関わる物質の果たす役割が大きかったのではないだろうか。またそれと同様に、殺虫成分や抗菌成分については、ある種の植物にとって生存戦略に必要な武器や防具であったかも知れない。

天然生理活性物質の検索は、今日、自然界における種々の生理現象についての物質的な原因探求という目的はもとより、様々な問題解決の糸口をつかみ、資源の有効利用を図るうえで産業上重要な意義をもっている。残念ながら、今回の試験ではいずれの検索手法においても活性物質の単離まで至らず、実用面での試験はできなかった。こうしたことから、今後もさらに継続して研究にあたり、一歩でも当初の目的に近づければ幸いである。

引用文献

- 1) 増田芳雄 編：生物化学実験法26、植物ホルモン研究法、学会出版センター、1991
- 2) 研究成果239、アレロパシーの解析と原因物質の同定・評価、農林水産議会事務局、1990

- 3) Elroy L. Rice 著、八巻敏雄、安田 環、藤井義晴 共訳：アレロパシー、学会出版センター、1991
- 4) 佐藤博文、須田邦裕：モミジガサ (*Cacalia delphiniifolia* Sieb. et Zucc) に含まれる植物成長阻害物質について(1)、東北森林科学会2回大会要旨、p84、1997
- 5) 長谷川宏司：新規生理活性物質レピジモイド、植物の化学調節28、p174-181、1993

Summary

To produce forest products efficiently, profitable plant bioactive substances: plant growth inhibitor and/or fungicide against pathogenic fungi of mushroom were searched.

The screening of plant growth inhibitor was carried out by the lettuce germination test. Methanol crude extracts (1,000ppm) of each plant materials (80 species) were not influenced germination, but plant growth inhibitory activities were observed to some extracts such as *Schizandra nigra*, *Pueraria thunbergiana*, *Polygonum cuspidatum*, *P. sachalinense*, *Solanum carolinense*, and also *Trifolium repense*, ... etc. And many allelopathic plants tended to have rooting inhibitory activities.

In edible wild plants, *Cacalia delphiniifolia* and bract of *Sceptrocnide macrostachya* had plant growth inhibitory activities too. The activity of *C. delphiniifolia* detected to leaf methanol extract especially, and it was strong in May and August. Additionally, active behavior of dry-leaf extract slightly differ from fresh one. This results suggested to existence of several active compounds which quantities maybe seasonal changeable in *C. delphiniifolia*. Bract extract (extracted with 20-fold (w/v) water) of *S. macrostachya* inhibited lettuce germination and hypocotyl elongation, but seeds extract had lepidimoide-like activity.

The fungicide was searched by the antifungal test against *Trichoderma* spp., but the activity was not detected to all extracts.

森林の多目的機能を発揮する針広混交林造成技術の開発

澤 田 智 志・和 田 覚・石 田 秀 雄

Studies on the making of mixed stand with multipule-purpose functions

Satoshi Sawata, Satoru Wada, Hideo Ishida

I. はじめに

近年、森林・林業を取り巻く情勢の変化や、国民の森林に対するニーズが多様化してきているなかで、従来型のスギだけ、広葉樹だけといった単純林よりもより自然環境に適合した森林施業が求められている。森林のタイプによって施業を分ける¹⁾と、まず更新方法に基づく人工林施業と天然林施業に大きく分けられ、さらに樹種のタイプに基づき針葉樹林施業、広葉樹林施業および混交林施業に分けられる。それらはさらに樹種が単一か否かによる単純林施業と混交林施業、幾何学的階層構造に基づく単純林施業と複層林施業などに分けられる。

混交林施業に関しては、混交させる樹種間の生長特性がよく分からなかったり、混交林化によって起きる複雑な要因を解析する方法が明確でないために、本県では身近な所に天然スギの混交林が存在するにもかかわらず、混交林の施業体系は確立されてこなかった。

国内にある天然性の針広混交林の代表としては、北海道の冷温帯から亜寒帯への移行帯にみられるエゾマツ、トドマツと落葉広葉樹の混交林や、本州の暖温帯と冷温帯の境界付近にみられるモミ、ツガと広葉樹の混交林、そして写真－1にあるような秋田県に代表される天然性のスギと落葉広葉樹の混交林があげられる。秋田スギの混交林は、優良な秋田スギを育んだ木材生産性の高い混交林として特に有名である。しかしながら、いずれの林分においてもそのスタートは天然性であり、人工的に木材生産を目的として造成されたものではない。針広混交林については、本県においても1970年代にスギとキリの混植が一時的にブームとなったものの、適地選定の誤りや管理不足などからキリの生育に失敗例が多く、技術として定着するまでには至らなかった。

本県ではすでに広葉樹林施業についてその指針となるハンドブックを作成し²⁾、現場での技術の普及に努めてきた。全国的にも広葉樹林施業に関しては最新の研究成果をとりまとめた報告³⁾もあり、これらの成果により、針葉樹林施業および広葉樹林施業それぞれについては技術が確立されつつある。

本研究は、国庫補助事業「混交林等多目的機能発揮に適した森林造成技術の開発」(平成6～10年度)の一環として針広混交林施業を研究対象とし、本県に実在する混交林を解析するとともに新たな試験地を造成しながら混交林の造成技術の開発を行った結果をまとめたものである。

II. 調査地および調査方法

県内に現存する混交林の林分構造の把握を行うため20m×20m前後の調査地を設定し、樹高、胸高

直径、枝下高などの毎木調査を行い、一部調査地に関しては樹冠投影図を作成した。混交林のもっている公益的機能も含めた機能評価を行うことを目的として調査地を設定し、土壌の水分変動についてはテンションメーター（大起理化製）を土壌に一定の深さ別に設置し、週1回程度の間隔で測定を行った。また、目標とする林型を決めて実際に植栽試験地を造成し、植栽木の生育調査を行いながら問題点を分析し、混交林の造成技術の検討を行った。

Ⅲ. 結果と考察

1. 秋田県民有林の資源状況

本県の民有林に占める針広混交林の平成6年時点での資源状況を表－1に示した。本県の民有林には針広混交林が8,634ha存在し、全民有林面積に占める割合は約2%となっており、その中でも針葉樹とザツ（森林簿上の表現）の混交林が8,156haと全混交林の94%を占めている。混交林での針葉樹の樹種としてはスギが4,959haと約60%を占めており、スギ不成績造林地もしくは粗放化した造林地が混交林の主体となっているものと推測される。現地調査をしてみると、表に記載した森林簿上でのザツについてはクリ、ナラ、トチノキ、ホオノキ、サクラといった在来有用広葉樹が多く含まれていた。人工的に作られた混交林としてはスギとキリの混交林があげられるが、現地を観察するとキリが被圧されている林分が多く見うけられた。これは主にキリの適地判断のあやまりと管理不足によるものと思われるが、キリの場合は一斉林でも不成績造林地が多いことを考えると、混交林化し適正管理することによって、むしろ良好な生育をしている林分も存在する⁴⁾。民有林における地域別のスギと広葉樹の混交林面積および混交林率を表－2に示したが、鹿角、北秋田、山本の米代川流域では混

表－1 秋田県民有林における針・広混交林構成種別資源状況（H 6. 3. 31現在）

(ha)										
針\広	ザツ	アカシヤ	エンジュ	ハンノキ	ケヤキ	キリ	クリ	ブナ	その他	小計
スギ	4959.1	39.9	9.0	37.1	1.4	216.6	13.0	1.7	0.7	5278.5
アカマツ	2862.1	33.0	0.4	80.3	0.0	1.8	0.1	0.0	0.0	2977.7
カラマツ	163.9	18.5	0.0	12.8	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	195.6
クロマツ	142.0	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	153.7
ヒバ	28.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.4
合計	8155.5	103.1	9.4	130.2	1.4	218.6	13.3	1.7	0.7	8633.9

秋田県の民有林面積	444135 ha
混交林面積	8634 ha
混交林比率	1.9 %

表－2 スギ・広葉樹混交林地域別別資源状況

(ha)											
管轄区名	ザツ	アカシヤ	エンジュ	ハンノキ	ケヤキ	キリ	クリ	ブナ	その他	小計	混交林率(%)
1 鹿角	366.0	26.5	1.0	13.9		0.1			0.2	407.7	1.7
2 北秋田	2199.8	12.2		0.1		0.4	0.8		0.5	2213.8	2.9
3 山本	693.7					66.3	0.3	0.6		760.9	1.6
4 秋田	288.5	0.7				0.2	0.5			289.9	0.5
5 由利	544.2	0.1	0.4			95.8	1.2			641.7	0.8
6 仙北	364.6	0.4	7.6	10.7	1.0	0.2	5.6			390.1	0.6
7 平鹿	183.0			10.6		2.0	0.2			195.8	0.6
8 雄勝	319.3			1.8	0.4	51.6	4.4	1.1		378.6	0.7
合計	4959.1	39.9	9.0	37.1	1.4	216.6	13.0	1.7	0.7	5278.5	1.9

交林率は高く、面積的にも合わせて3,382haと全県の混交林に占める割合が64%となり、天然秋田スギの産地であった地域に混交林が多く存在している結果となっている。

2. スギ・ケヤキ混交林の実態

(1) 高齢のスギ、ケヤキ混交林の林解析

広葉樹の樹幹型は幹の途中から枝分かれが生じ、上に大きく広がる筈状を呈するものと、枝張りが小さく比較的幹と枝に分かれやすい羽状型を呈するものとに分かれる³⁾。筈状を呈するものとしては、ケヤキ、ブナ、ナラ、クリ、カエデ類、サクラ類などの多くの広葉樹があげられ、羽状を呈するものとしては、ホオノキ、サウグルミ、ヤチダモなどがあげられる。ケヤキのように筈状を呈するものは周りに競争する木がないと枝を広げたアバレ木となってしまう、周りの高木に被圧されると被圧木となってしまう。前田ら⁶⁾はこのケヤキの被圧の程度によって、ケヤキをⅠ～Ⅴの5段階の樹幹型に区分しており、この5区分した樹幹型のなかで、ケヤキらしい樹幹型を有し、枝下高も高く、直径が太いのはⅢ型であると述べている。

そこで、近年各地で植栽が行われているケヤキについて、幹が通直に生育するスギのような針葉樹と混交することによる幹の形質の変化に着目して、解析を試みた⁷⁾。スギとケヤキの混交林の調査地は、北秋田郡森吉町と由利郡由利町に位置し、それぞれの標高は65m、25mとなっており、共に傾斜0°の平坦地に位置し、林齢は約80～100年前後と推定される。表－3に示したように森吉町調査地のスギは複層状態に生育しており、ケヤキはスギの上層木と競争関係にある。由利町調査地ではスギとケヤキはともに上層木として成立しており（写真2）、両者が長い間競争関係にあったものと考えられ、ケヤキの枝下高も10mと高かった。

森吉町調査地で図－1のように樹冠投影図を作成してスギとケヤキの競争関係を分析したところ、両者の競争関係に3つのパターンが出現した。Aブロックは図－2の林木配置図のように樹高22mのケヤキを、ケヤキよりも低いスギが取り囲んでいる状態で、ケヤキの枝下高は5mで、樹幹型はⅢ型となっていた（写真3）。Bブロックは図－3に示したように樹高22mのケヤキの南側だけ高いスギにかこまれているが、北側はオープンであるためケヤキは枝張りが大きく、枝下高の低いややアバレ木のⅣ型となっていた（写真4）。Cブロックは図－4に示したように樹高24mのスギが東西に樹高の低いケヤキをはさむ形となっているため、ケヤキが光を求めてゆがんだ形に変形してしまい、樹幹型はⅤ型の枝下高の低いアバレ木となっていた（写真5）。このように、ケヤキの幹の形質には周囲

表－3 スギ・ケヤキ混交林の概要

調査地	樹種	林分構造	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	枝下高 (m)	樹冠幅 (m)	立木密度 (本/ha)
森吉町	スギ	複層	13.3	19.1	5.1	2.3	1480
	ケヤキ	天然	18.3	40.7	3.7	10.0	240
由利町	スギ	一斉	28.6	52.0	12.0	4.5	450
	ケヤキ	天然	28.5	53.1	10.0	7.2	200

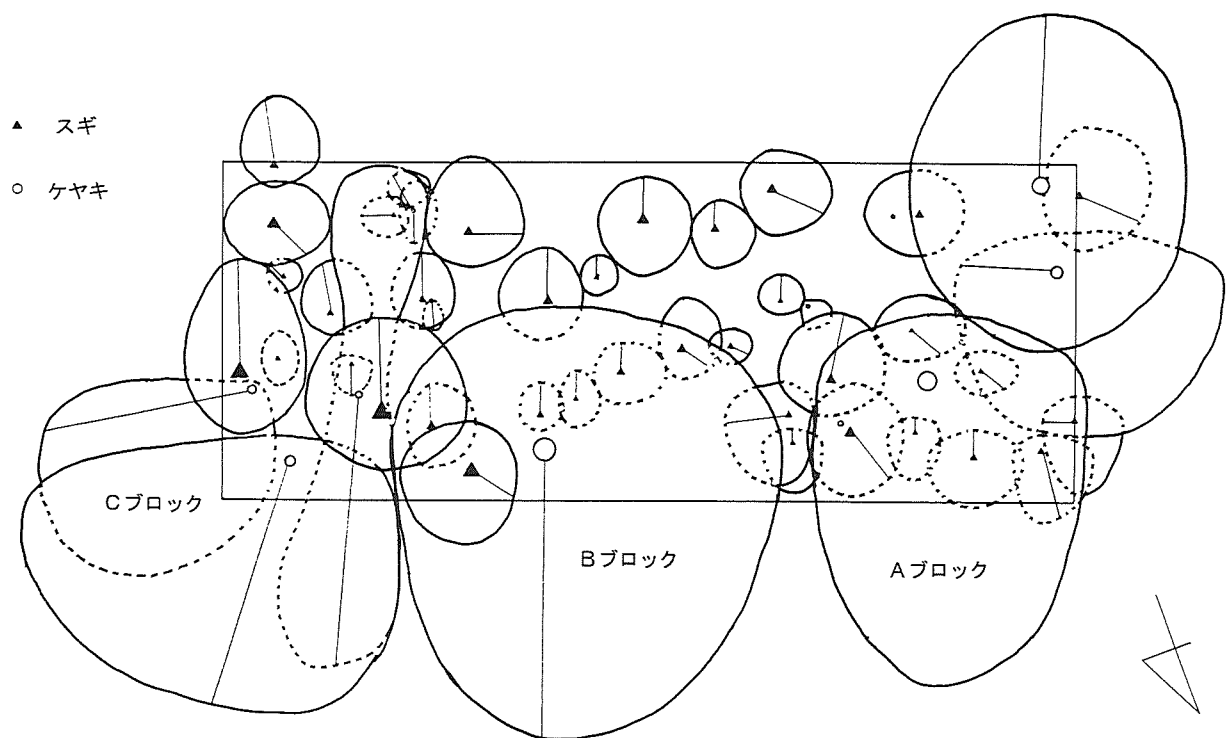


図-1 森吉混交林樹冠投影図

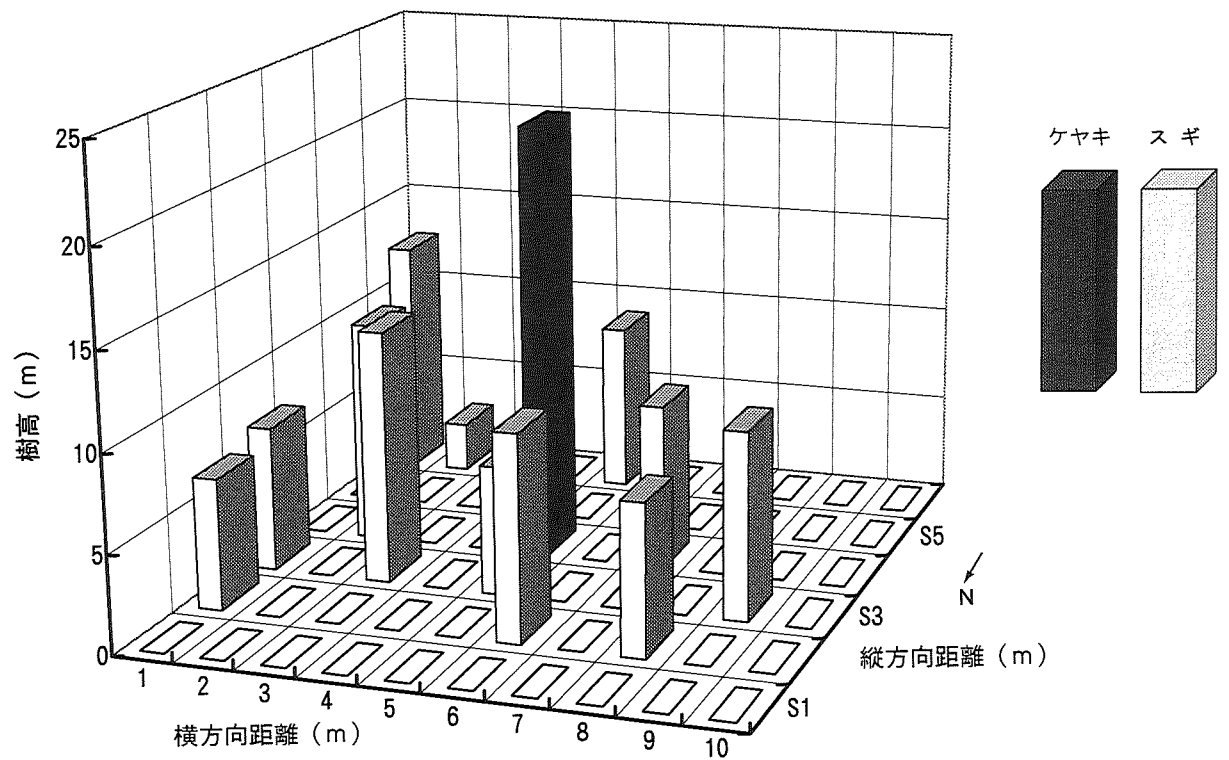


図-2 森吉混交林林木配置図 (Aブロック)

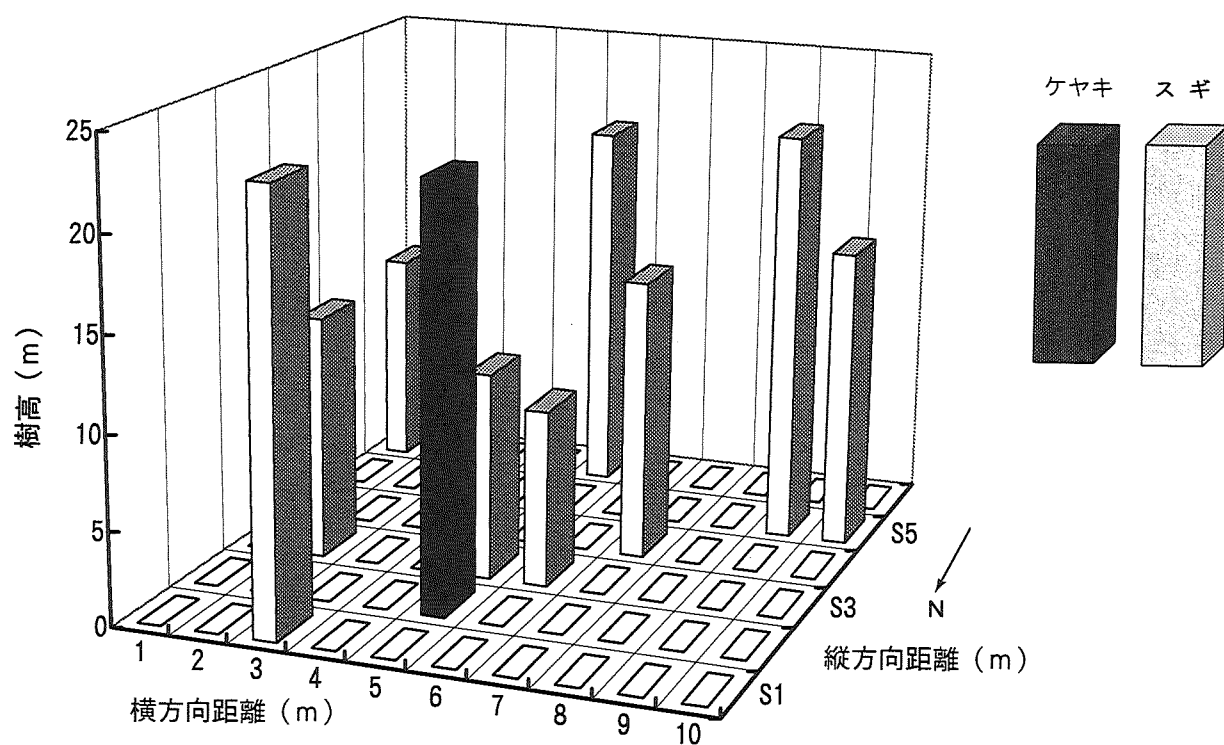


図-3 森吉混交林林木配置図 (Bブロック)

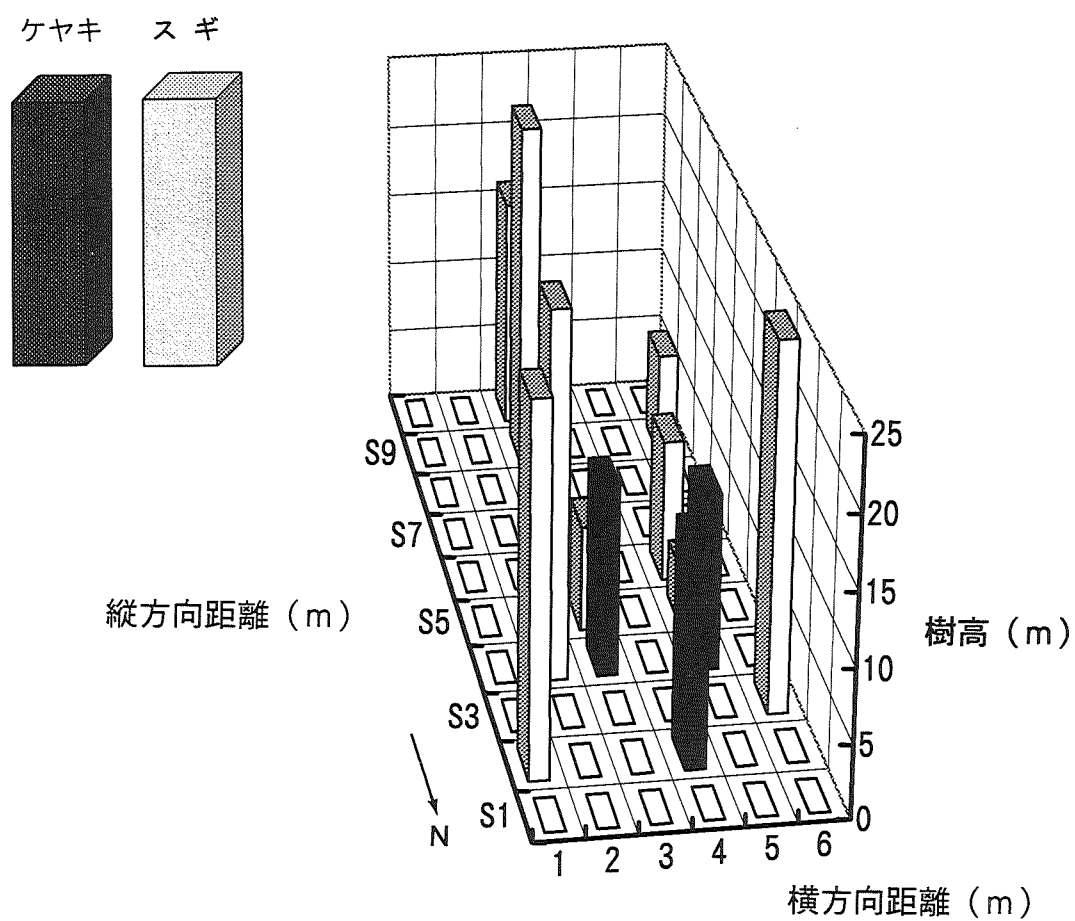
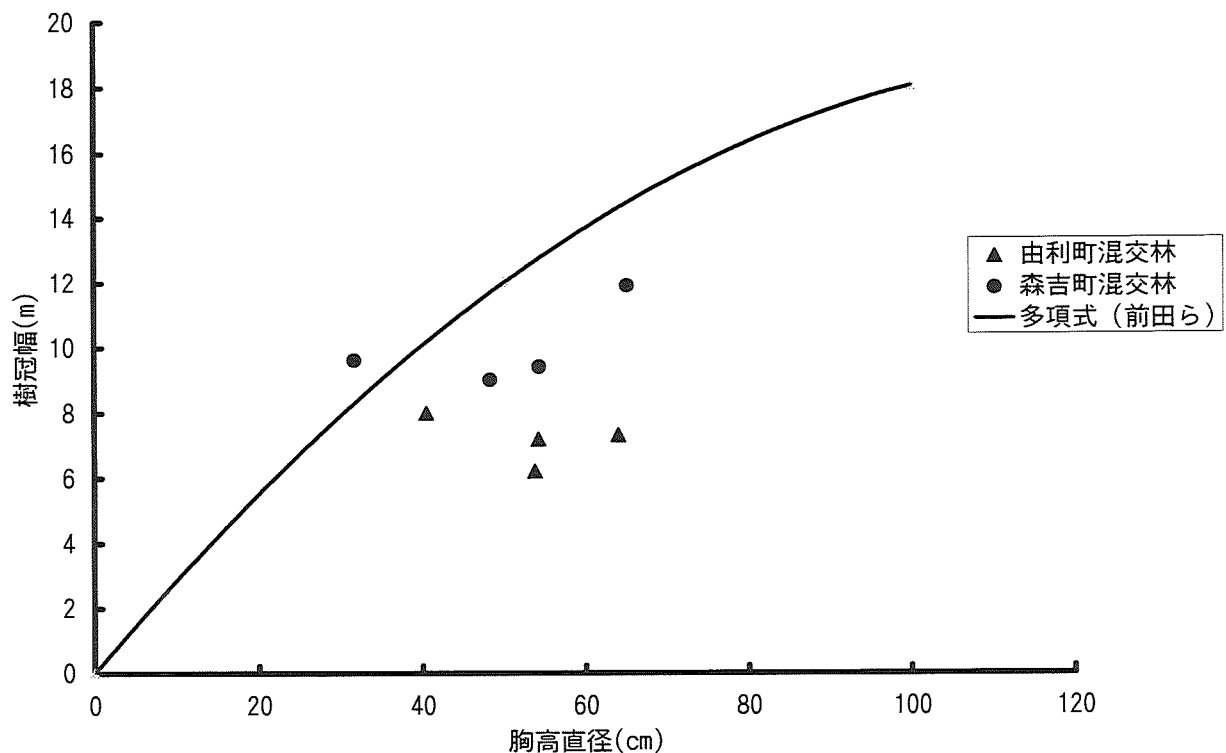


図-4 森吉混交林林木配置図 (Cブロック)



図－5 ケヤキの胸高直径と樹冠幅の関係

のスギとの競争関係が関与しており、図－2のように一定の面積以上の樹冠占有面積を持ったケヤキの周囲をスギで取り囲む形がケヤキの形質を最も良くしていることが解った。

ケヤキの立木密度を考えるうえで、樹冠の占有面積は重要な解析要因であり、前田ら⁸⁾は単木で成立するケヤキの胸高直径と樹冠幅の関係を二次曲線で示しており、図－5にはこの曲線と共に本調査地の調査地別の測定値を示した。本調査地のケヤキは林内で競争状態にあるため、前田らの曲線よりも同じ胸高直径でも樹冠幅は小さくなっており、両調査地を比較すると森吉より由利の方が樹冠の幅は小さくなっていた。胸高直径50cmで立木密度を比較すると、前田らの式ではha当たり68本、森吉は100本、由利は200本となる。胸高直径50cmの時点でのha当たり200本というのは由利のようにやや被圧の状態で達成できるものであり、樹幹型が中間(Ⅲ型)からアバレ木(V型)の状態では100本以下にまで立木密度が下がってしまう。ここで、林地の生産性という点から見ると、ケヤキを太らせてha当たり100本以下に持っていき比較的短期間で収穫する方法と、ケヤキを太らせずにha当たり200本程度とし、長伐期で収穫する方法の2通りのやり方が考えられる。いずれにしても収穫の段階で100～200本程度の密度にしなければならないのであるから、造林するときに従来のような6,000本以上の密植⁹⁾を行ったのでは、保育間伐時点での手間がかかりすぎるだけでなく、無駄も多くなってしまう。

(2) ケヤキの価格を決める要因

表－4には、秋田県を代表する広葉樹原木市場として全国的にも有名な雄平市場での㎡当たりの平均ケヤキ単価を示した。表の価格の前に示した数字は落札された原木の数を表しており、全体的には

表－４ 秋田県雄平原木市場におけるケヤキの価格（平成５年）

単位：円

径級\長級	2.8m未満		3.0～4.3m		4.4～6.0m		6.2m以上	
0～18cm	－		－		－		－	
20～28cm	3	15,355	5	70,199	4	98,092	1	138,088
30～40cm	9	102,155	19	141,164	12	148,351	2	213,803
42～50cm	10	168,015	14	174,306	10	268,018	7	249,615
52～60cm	5	245,422	7	291,847	14	370,353	6	560,547
62cm以上	12	391,097	7	625,880	7	515,553	1	330,598

注：１立方メートル当たりの落札価格の平均、価格の前の数字は落札数を示す

太くかつ長くなるほど立方単価は高くなっていた。径級が18cm以下の材はここでは取引がなかった。長級が3 m以上になると、径級が30cm未満でも7万円以上の値が付いていた。また、長級が3 m未満でも径級が30cm以上になると価格が10万円以上となっていた。一般的に、材の長さが同じ場合では太くなるほど値段は高くなっていた。また、径級が細くても、材が6 m以上と長くなると値段が高くなっていた。このように、なるべく長くかつ太っているケヤキを育成することがケヤキ林造成では1つの目標になる。ただし、例外的には関東地方産の長くて太い材でも業者に嫌われて落札されない物もあったので、一概に早く太ればよいとはいえない。ケヤキのような環孔材は年輪幅が狭すぎるとヌカ目材になり嫌われ、広すぎても材質は硬くなってしまい嫌われたためと思われる。

前田⁵⁾らも広葉樹の価格を樹齢と胸高直径で比較しているが、樹種別にみるとケヤキがm³当たり10万円～40万円ともっとも高く、クリが3万円～7万円とそれに次いで高くなっているとしている。また、m³当たりの単価が10万円を超えるようになるには前田らの山陰地方でも最低で60年以上必要であるが、60～80年生でそれに該当するケヤキは樹型がやや暴れ木のタイプであり、一方被圧木になると100年以上の歳月が必要となると指摘している。

3. 針広混交林の機能評価

森林を木材生産の面だけでなく、公益的機能も含めた多方面から捉えようという試みが取られるようになってきている^{10～12)}。ここでは、混交林の機能評価の一つとして森林のタイプが違えば森林土壌の水分状態がどのように変化するかを分析した。調査地は仙北郡角館町に位置し、林齢は40～60年生の民有林となっており、スギ主体の林分（スギの本数率93%）、広葉樹主体の林分（広葉樹の本数率97%）、両者の混交した林分（本数率スギ39%、広葉樹61%）の3タイプで林分材積と土壌の保水力について調査を行った。調査したいずれの林分も、傾斜0～5度の緩い平衡斜面上に隣接していて、土壌型はBl_o型である。

上層木の立木密度は表－５に示したようにスギ林が1,450本、広葉樹林が974本、混交林が950本で、混交林では樹冠がややあいていたため、立木本数に広葉樹林との差は見られなかったが、スギ林のようにスギの本数割合が多くなると立木密度も大きくなった。この各林分の樹高階別の分布を見るとスギ林（写真６）では図－６に示したように上層から下層まで立木が分布し、複層状態を形成していたのに対し、広葉樹林（写真７）では図－７に示したように樹高18m付近の上層に全立木が集中してお

表－５ 角館３林分の上層木の概要

(1) スギ林

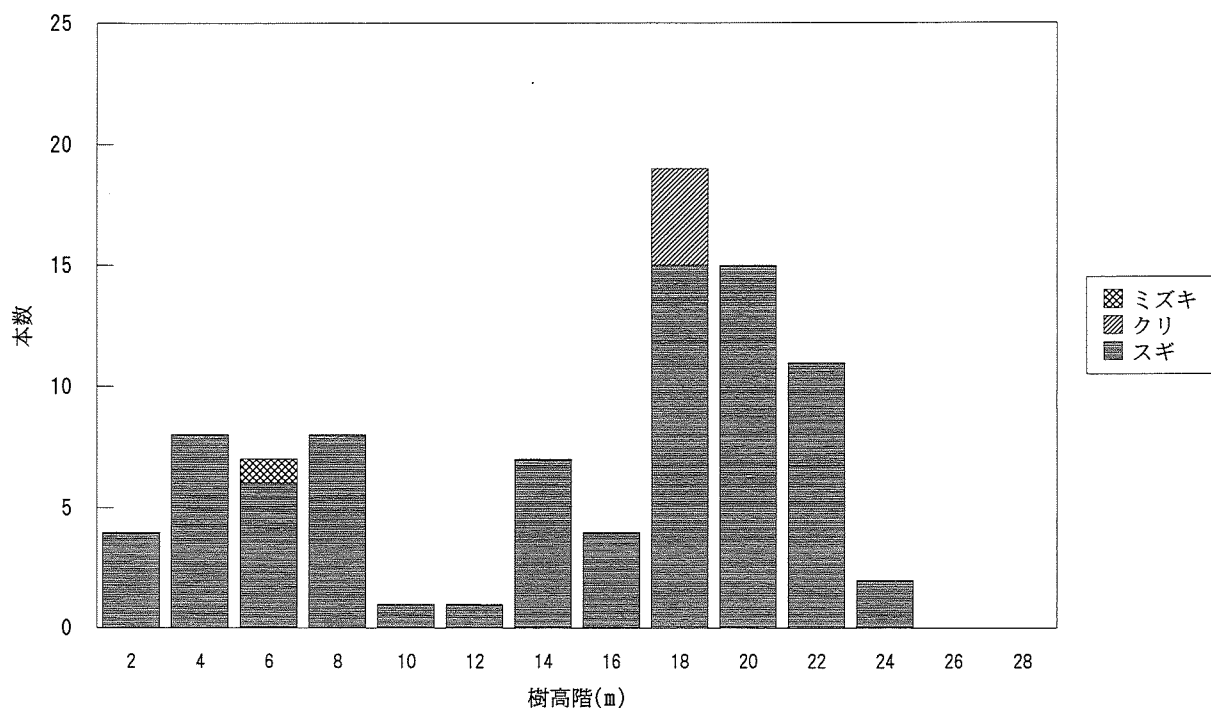
樹種	Density (trees/ha)	height(m)	DBH(cm)	枝下高(m)	二股高(m)	Basal area (m ² /ha)	材積 (m ³ /ha)	樹型区分(trees/ha)							Total
		Mean.	Mean.	Mean.	Mean.			I	II	～	III	～	IV	V	
スギ	1350	20.6	24.1			66.53	703								
クリ	100	19.4	28.9	6.2	5.3	6.61	55				100				100
Total	1450					73.14	758	0	0	0	100		0		100

(2) 広葉樹林

樹種	Density (trees/ha)	height(m)	DBH(cm)	枝下高(m)	二股高(m)	Basal area (m ² /ha)	材積 (m ³ /ha)	樹型区分(trees/ha)							Total
		Mean.	Mean.	Mean.	Mean.			I	II	～	III	～	IV	V	
スギ	26	12.0	18.5			0.71	4								
クリ	447	17.2	21.5	7.9	5.4	17.37	133	53	158	26	132		79		447
コナラ	500	18.0	18.3	11.2	7.9	13.89	109	132	105	53	211				500
Total	974					31.96	247	184	263	79	342		79		947

(3) 混交林

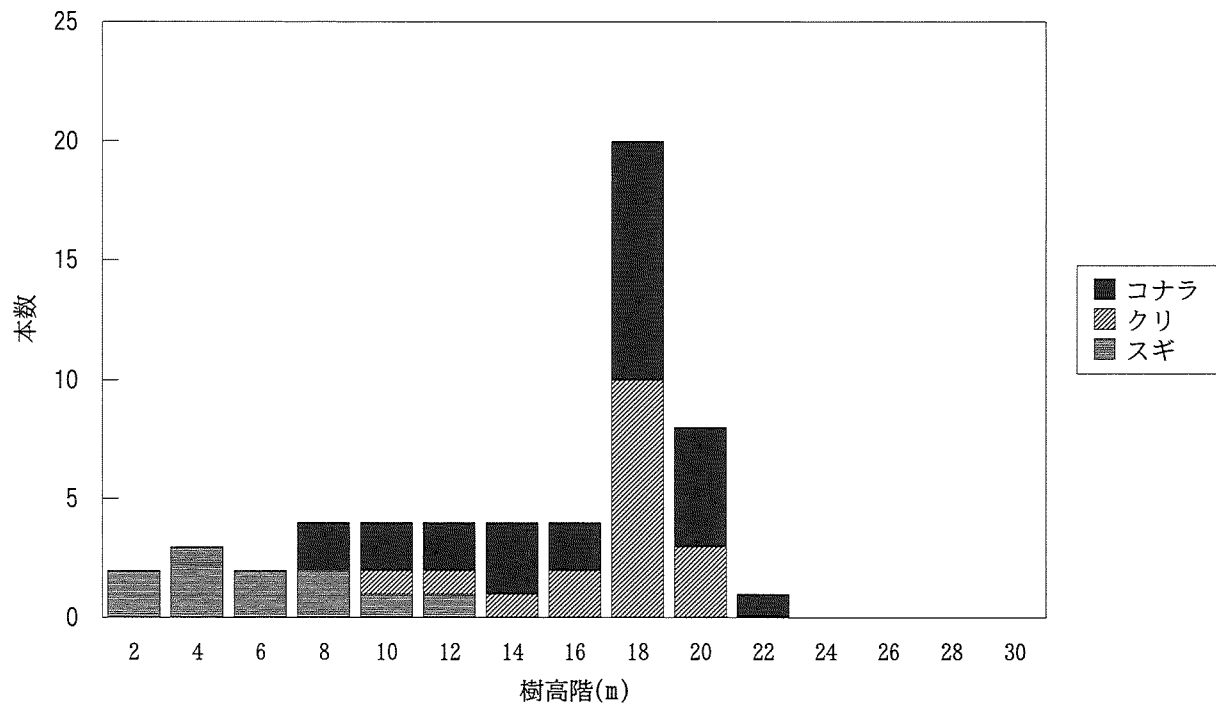
樹種	Density (trees/ha)	height(m)	DBH(cm)	枝下高(m)	二股高(m)	Basal area (m ² /ha)	材積 (m ³ /ha)	樹型区分(trees/ha)							Total
		Mean.	Mean.	Mean.	Mean.			I	II	～	III	～	IV	V	
スギ	375	19.9	24.8	6.0		19.70	195								
クリ	325	18.9	23.2	10.0	8.5	14.54	123	25	125		150	25			325
コナラ	225	18.7	19.4	10.9	11.1	6.94	57	50	75		100				225
イソノキ	25	14.0	11.0	10.0	8.5	0.24	2	25							25
Total	950					41.42	376	100	200		250	25			575



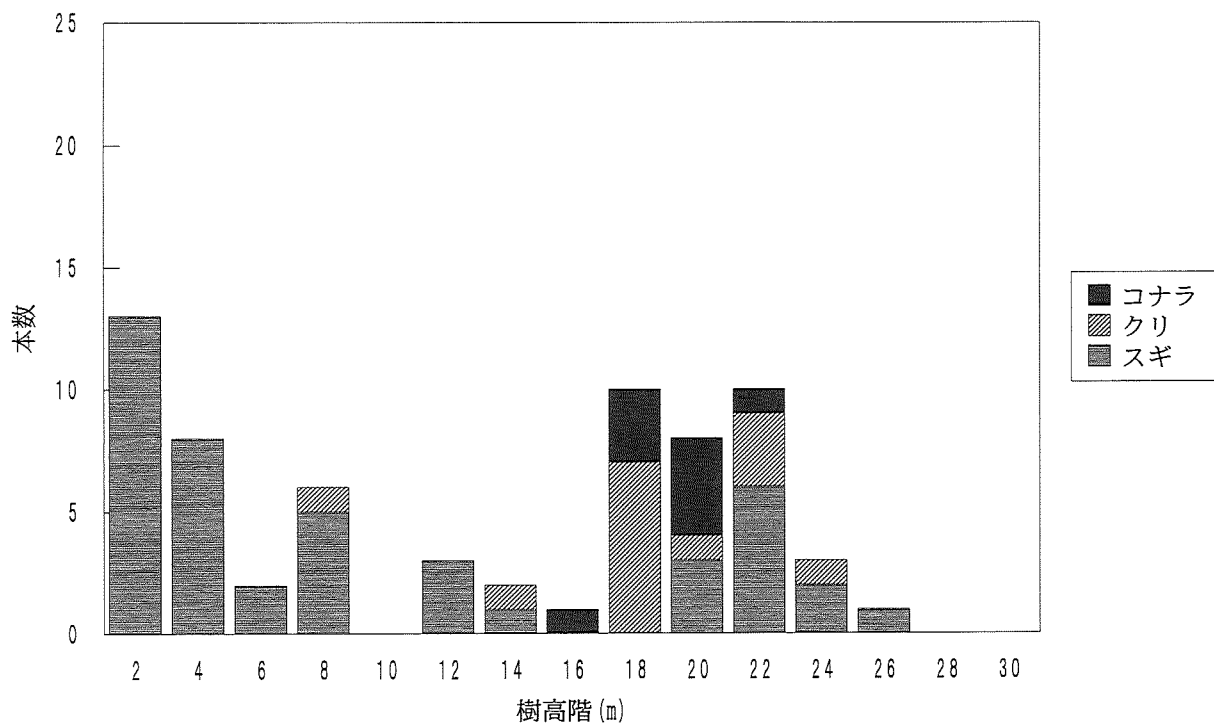
図－６ スギ林の樹高階分布

り、混交林（写真８）では図－８に示したように、上層には広葉樹とスギが分布し、下層にスギ林と同様にスギが分布するといった複層状態を形成しているのが特徴となっている。森林の地上部現存量の主要部分を占める¹³⁾ 幹の材積は広葉樹林247m³、混交林376m³、スギ林758m³とスギの割合が増えるほど材積は多くなっており、本数よりもさらに差は拡大していた。

図－９～11にはスギ林、広葉樹林、混交林の３林分の土壌中の季節別水分変動を測定した結果と、参考までに秋田県森林技術センター苗畑（河辺町）で土壌水分変動を測定した結果（図－12）を示し

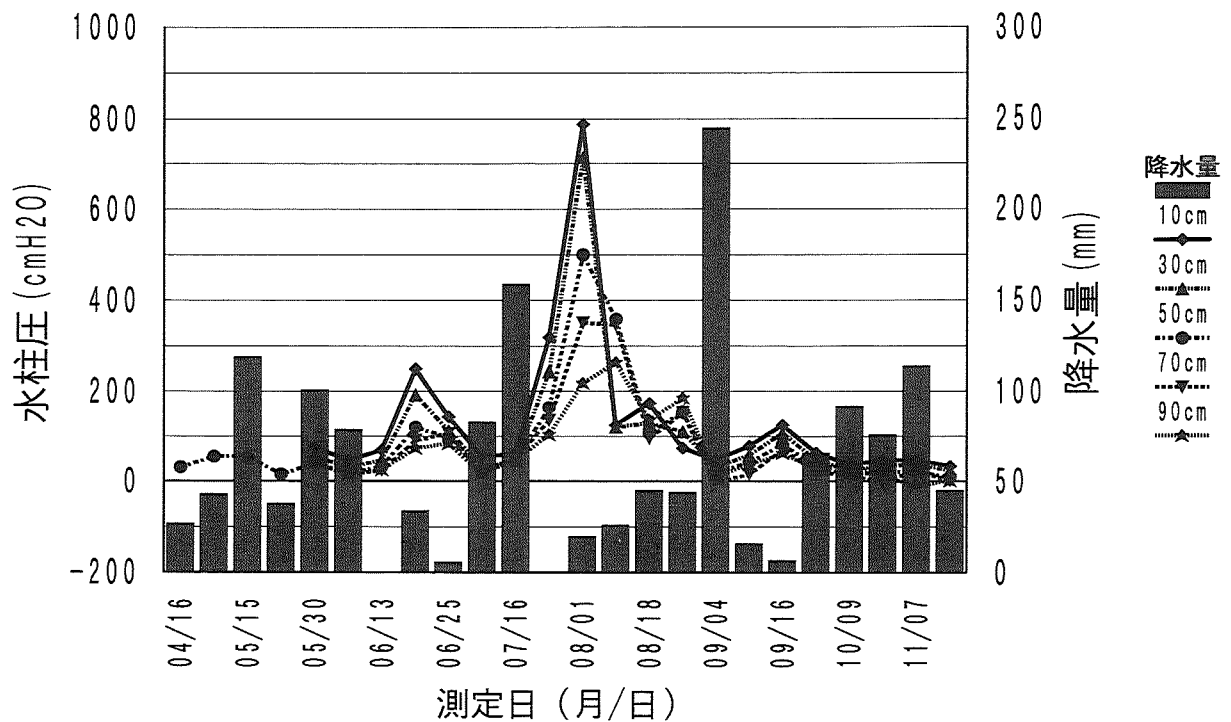


図－ 7 広葉樹林の樹高階分布

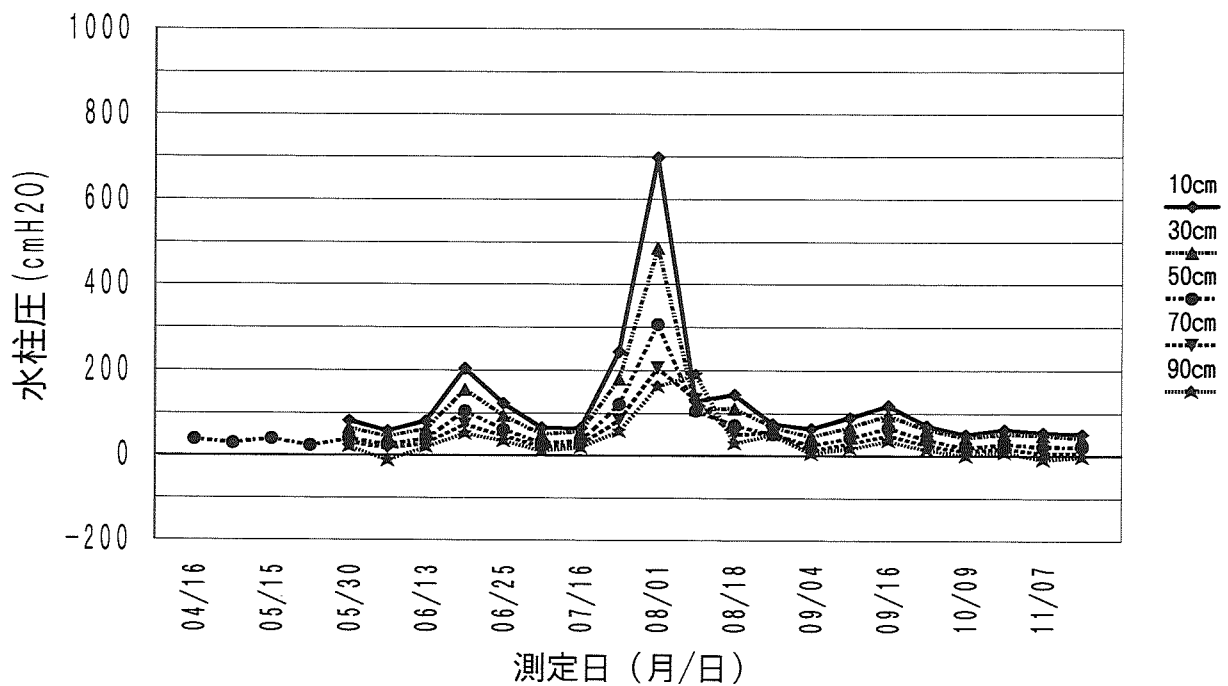


図－ 8 混交林の樹高階分布

た。平成 9 年 4 月～11 月までの期間に土壌深 10～90cm にテンションメーターを設置し（写真 9）、測定したもので、縦軸の値が大きくなるほど土壌は乾燥することを示している。なお、図－ 9 の降水量は角館気象観測所の前回の pF 測定日から pF 測定日までの降水量を示している。平成 9 年は、秋田地方では測定期間の降水量が 1,500mm 弱と小雨だったものの、春から冬にかけての各林分の土壌水分



図－9 スギ林土壌の水分変動



図－10 広葉樹林土壌の水分変動

変化を見ると、6月および7月下旬～8月上旬に降水量の少ない時期があった。この降水量の少ない時期には土壌表層部ほどスギ林が最も乾きやすく、混交林と広葉樹林は乾きににくくなっていた。また、裸地状態であるセンター苗畑では、表層部のみが極端に乾燥したが、その影響は下層には現れなかった。6月以前と10月以降の植物の生長が停止し、日本海側の特徴である冬に降水量が多い時期になる

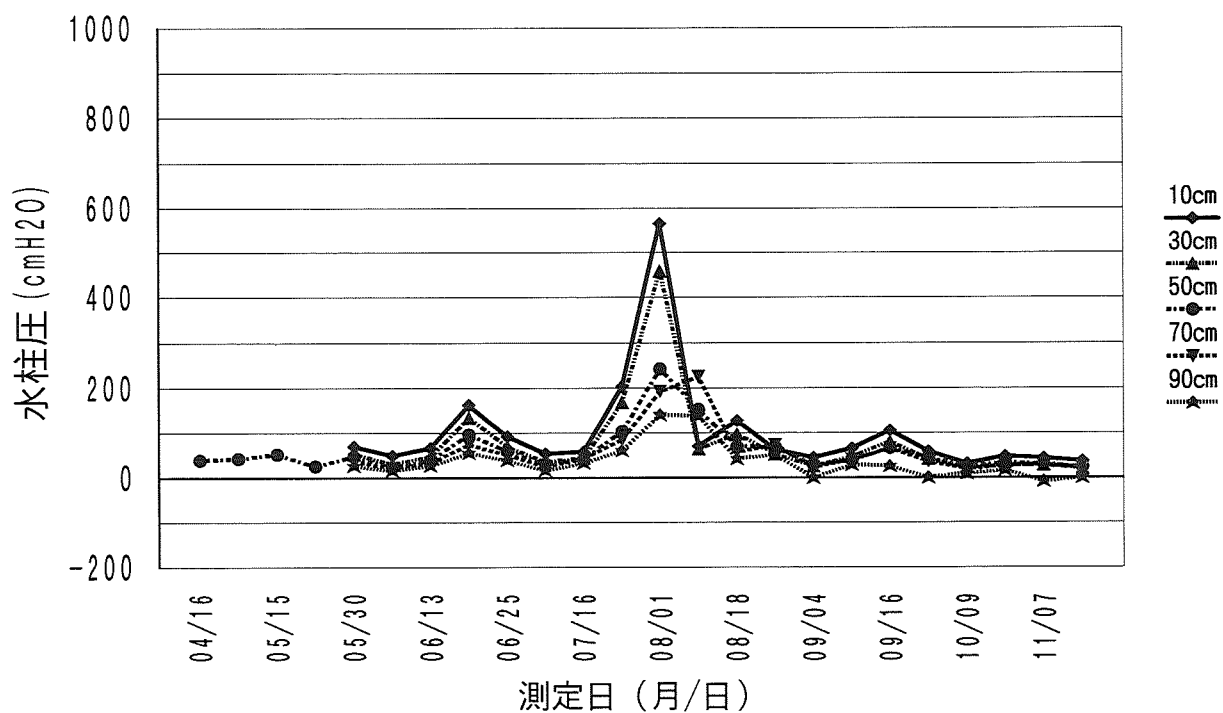


図-11 混交林土壌の水分変動

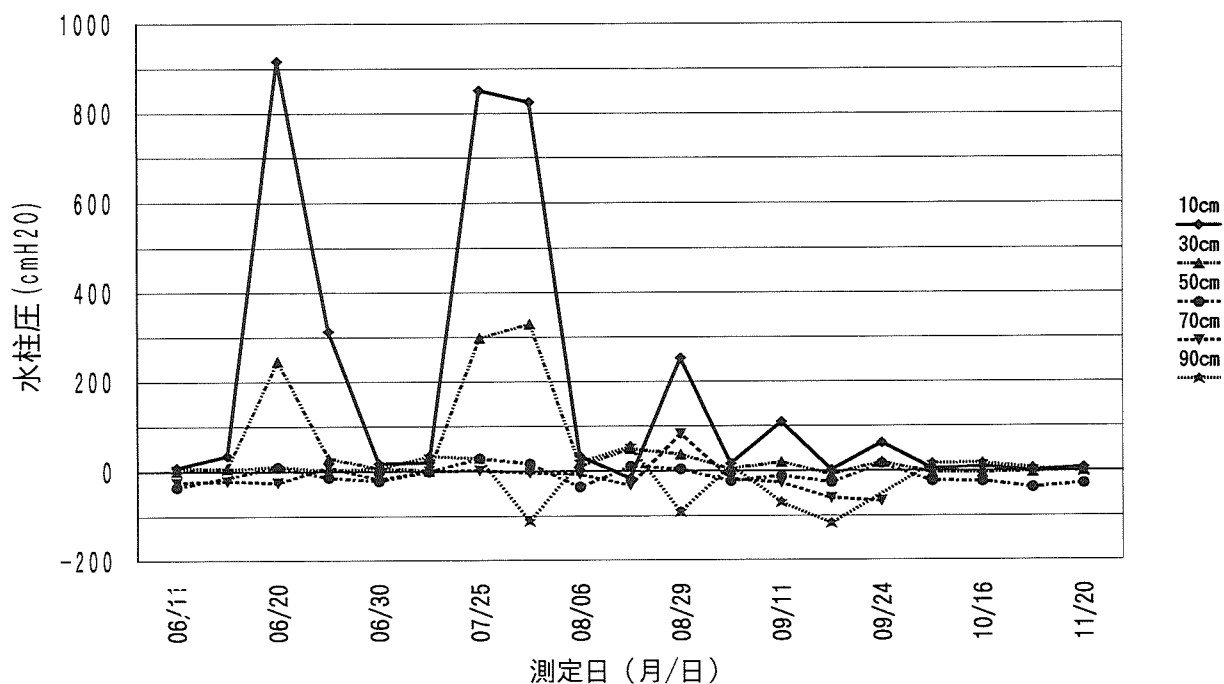


図-12 苗畑土壌の水分変動

と、全ての測定地点で土壌水分は湿った状態に変化した。前年に土壌深30cmにテンションメーターを設置し測定したデータも同様の結果が得られている¹⁴⁾。このように、スギ林の土壌で乾湿の変化が他の林分よりも大きいということは、地上部の生長のために水分を通して養分を多く土壌から吸収していると考えられ、森林としての水分消費量が多いことを示している。

従ってこの3つの林分の公益的機能を比較すると、洪水緩和機能が高いのはスギ林であり、逆に水保全という点で水源涵養機能が高いのは広葉樹林ということができ、混交林は針葉樹と広葉樹の混交割合によって両者の中間となるものと推測された。

4. 針広混交植栽試験地の事例分析

(1) 有用広葉樹の育成を目的とした混交林の造成試験

(i) スギとケヤキ等広葉樹混交試験地

スギと競争させることでケヤキ等の広葉樹の形質を良くし、単一の樹種による密植造林と同じような効果を得ること期待して県内10カ所に植栽試験地を設定した。試験地はいずれも平成3年の台風被害跡地にスギを普通植えて植栽し、その後ケヤキを主体に一部クリを混ぜて、ha当たり200～600本の密度になるように4～7mの等間隔で混植した。

表－6にはそれらの試験地の概要を示した。広葉樹を植栽した時期をスギを植えてから1～5年後と植栽時期をずらした試験では、混植するまでの期間が短いほど広葉樹の生長はよい結果が得られた。広葉樹の生長の悪い試験地では、スギの下刈りが終了して手入れが不十分になったために植栽したケヤキ等が被圧や蔓害を受けた例が多かった。混植までの期間が空くことは下刈り期間が長くなるために、よりコストがかかることとなり林業経営上好ましいこととは言えない。このような不利益を避けるためにも、混植の時期としてはスギとほぼ同時期の植栽が良いと判断された。

最も生長の良い鷹巣町坊沢試験地では、図－13に示したように平成11年時点でスギが7年生で平均樹高4.3m、ケヤキが6年生で平均樹高5.0mとなっている。ケヤキの生長は植栽当初からすこぶる良く、植栽時にスギよりも高かった樹高がそのまま推移してきたが、4年目頃からはスギも順調に伸び始め、両者が競争して樹高を伸ばすようになってきている（写真10）。表－7に現在の樹高階別の分布をまとめたが、若齢の時点ですでにケヤキは上層に集中し、スギは広い範囲に分布している。本試験地の植栽本数は、スギがha当たり2,500本、ケヤキが600本であり、初期の時点で地拵え跡地付近でケヤキの根元にネズミによる摂食害が発生したものの、植栽後7年目の時点でのスギとケヤキの生存

表－6 スギとケヤキ、クリの混植地の成績

調査地	スギ			ケヤキ・クリ			ケヤキ、クリの 生育状況	最終調査年
	植栽年	平均樹高(m)	密度(本/ha)	植栽年	平均樹高(m)	密度(本/ha)		
鷹巣坊沢	H4秋	4.30	2,340	H5春	5.00	400	良	H11春
鷹巣町有1	H4秋	3.50	1,920	H7春	2.60	240	良	H11春
上小阿仁	H4秋	4.20	1,640	H7春	2.10	20	不良(被圧)	H11春
五城目町	H4秋	1.85	2,380	H7春	1.54	160	不良(被圧)	H9春
協和町荒川1	H4秋	2.80	1,460	H7春	2.70	200	良	H11春
鷹巣町有2	H4秋	3.00	2,000	H8春	2.16	300	良	H11春
阿仁吉田1	H4秋	2.40	1,000	H8春	1.82	240	良(雪害、獣害強)	H11春
森吉滝ノ沢	H4秋	4.40	820	H8春	3.10	60	不良(獣害強)	H11春
鷹巣部落有	H4秋	2.00	1,940	H9春	0.80	120	不良(被圧)	H11春
阿仁吉田2	H4秋	2.90	1,680	H9春	0.60	60	不良(被圧)	H11春

注：健全木の平均樹高と立木密度

植栽時の広葉樹の密度は400～600本/ha

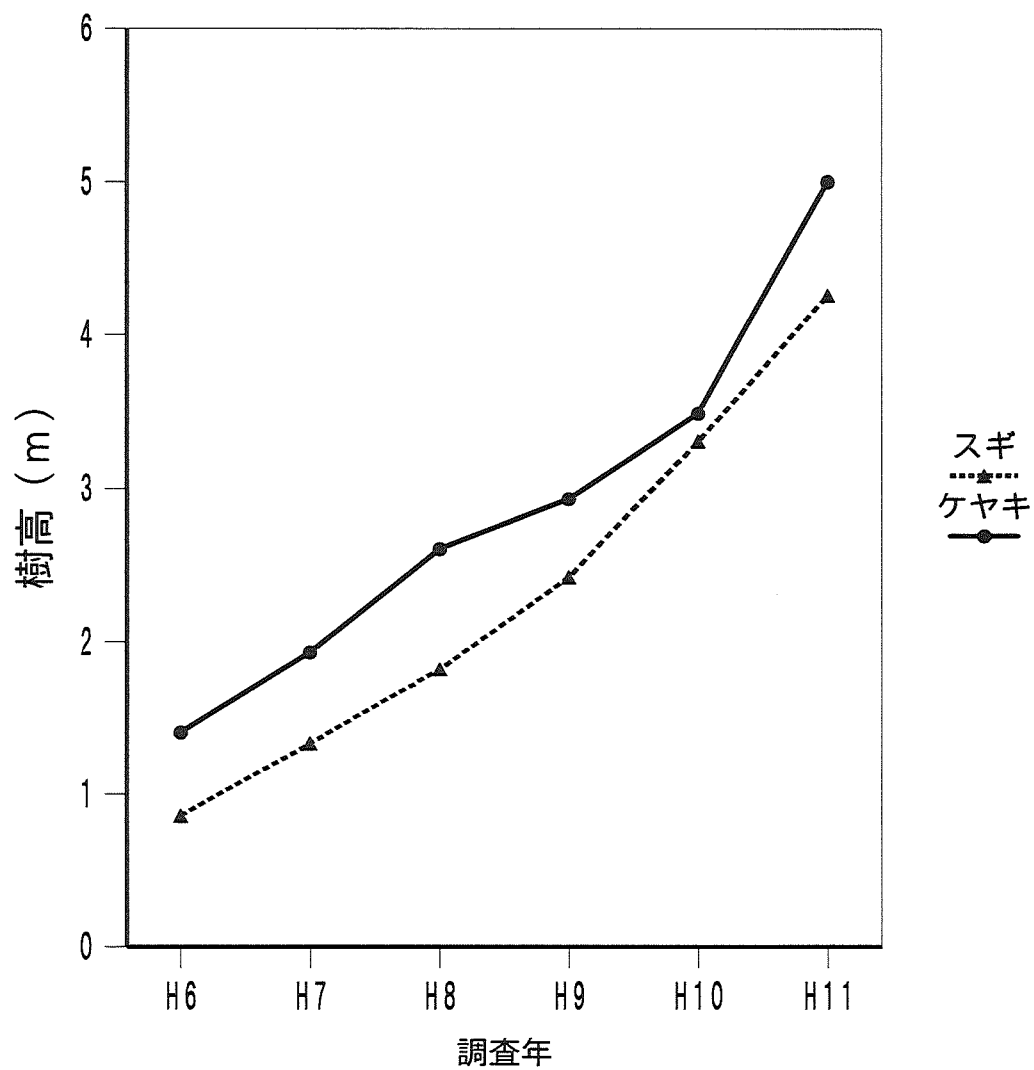


図-13 スギ・ケヤキ混植地平均樹高の推移

表-7 樹高階別の分布 (H11現在)

樹高階	スギ	ケヤキ
6.0-	1	1
5.5-5.9	9	7
5.0-5.4	12	4
4.5-5.0	20	1
4.0-4.4	17	5
3.5-3.9	11	2
3.0-3.4	10	
2.5-2.9	8	
2.0-2.4	12	
1.5-1.9	9	
1.4以下	3	
合計	112	20
立木本数/ha	2240	400

本数はスギが1,940本（生存率78%）、ケヤキが400本（生存率68%）である。ケヤキの植栽当初の本数が600本というのは少ないようにも感じられるが、収穫時のケヤキの密度は200本以下となることから考えると、獣害などの被害が少ない場所であれば十分な植栽本数といえる。将来林内でケヤキの形質の不良な部分が発生しても、混植したスギを育てるようにすれば林地を効率よく利用できるという利点もあり、リスクの小さい造林技術と考えられる。

このような混交林を造成する場合は、下刈りの際に誤伐を避けるため、植栽したケヤキには目印となる支柱を立てた方がよく、立てる支柱の大きさは2 m弱の竹製のものが解りやすく、かつ下刈り終了後は腐りやすいので最も良いと思われた。また、支柱とケヤキを結ぶひもは、ビニール製のものより腐りやすい荒縄を用い、結び方は少し余裕を持たせた方が良いことが解った（写真11、12）。なお、積雪地帯では冬期に荒縄を切って雪害を防ぐように配慮したい。

(ii) カラマツ、ケヤキ混交試験地

試験地は阿仁町に位置し、昭和56年に植栽された17年生の調査地と、平成6年に植栽された5年生の調査地がある。17年生の林分は表－8、図－14に示したようにカラマツの生長は良いように見えるが、植栽木の生存率はケヤキが54%、カラマツが32%と特にカラマツの生存率が悪くなっていた。表－

表－8 阿仁町カラマツ－ケヤキ混交林の生長経過

S56年春ケヤキ3,295本/ha、カラマツ1,085本/ha植栽

ケヤキ	H 6			H 8			H 9 (16年生)			H 10 (17年生)		
樹型級	樹高(m)	DBH(cm)	本数/ha	樹高(m)	DBH(cm)	本数/ha	樹高(m)	DBH(cm)	本数/ha	樹高(m)	DBH(cm)	本数/ha
1 級	4.4	4.3	925	5.2	5.6	700	6.0	7.2	375	6.1	7.9	375
2 級 b	3.8	3.5	550	4.6	5.0	650	5.5	6.4	650	5.4	6.1	825
2 級 c	3.2	2.9	325	3.1	3.1	425	4.4	4.8	700	4.1	4.2	375
2 級 d										3.4	6.3	50
全平均(合計)	4.0	3.8	1800	4.5	4.8	1775	5.2	5.9	1725	5.2	6.3	1625

カラマツ	H 6			H 8			H 9			H 10		
樹型級	樹高(m)	DBH(cm)	本数/ha	樹高(m)	DBH(cm)	本数/ha	樹高(m)	DBH(cm)	本数/ha	樹高(m)	DBH(cm)	本数/ha
1 級	5.5	7.4	200	7.0	9.2	200	8.0	10.1	250	8.3	11.1	125
2 級 b	4.3	4.5	125	5.5	7.0	75	5.6	6.5	50	7.9	8.9	75
2 級 c	3.5	4.8	25	2.8	3.4	75	4.6	6.3	50	4.2	6.0	75
2 級 d							3.2	5.5	25	2.4		50
全平均(合計)	4.9	6.2	350	5.8	7.5	350	6.9	8.8	375	6.3	9.2	325

(注) 樹型級は寺崎式樹型級区分を表し、1 級は優良木、2 級 b は樹冠発達悪い細長木、2 級 c は樹冠発達不整型片枝木、2 級 d は幹型不良木を示す。

表－9 阿仁町ケヤキ－カラマツ混植地の生長経過

H 6. 4. 下旬植栽

	H7樹高		H8樹高		H8被害率(%)		H9樹高		H9被害率(%)		H10樹高		H10被害率(%)	
	ケヤキ	カラマツ	ケヤキ	カラマツ	ケヤキ	カラマツ	ケヤキ	カラマツ	ケヤキ	カラマツ	ケヤキ	カラマツ	ケヤキ	カラマツ
無施肥区	1.54	0.90	1.83	1.21	9.1	30.0	2.01	1.69	9.1	44.12	2.24	2.7	21.2	33.3
標準区	1.52	0.78	1.74	0.94	20.7	57.7	2.04	1.69	15.6	34.62	2.27	2.5	16.7	18.9
2倍区	1.50	0.85	1.97	1.02	34.3	57.6	測定不能(調査地縮小のため)							

(注) 標準区とは、固形肥料（ウッドエース4号）をケヤキ1本当たり3個施肥した区であり、2倍区とは6個施肥した区

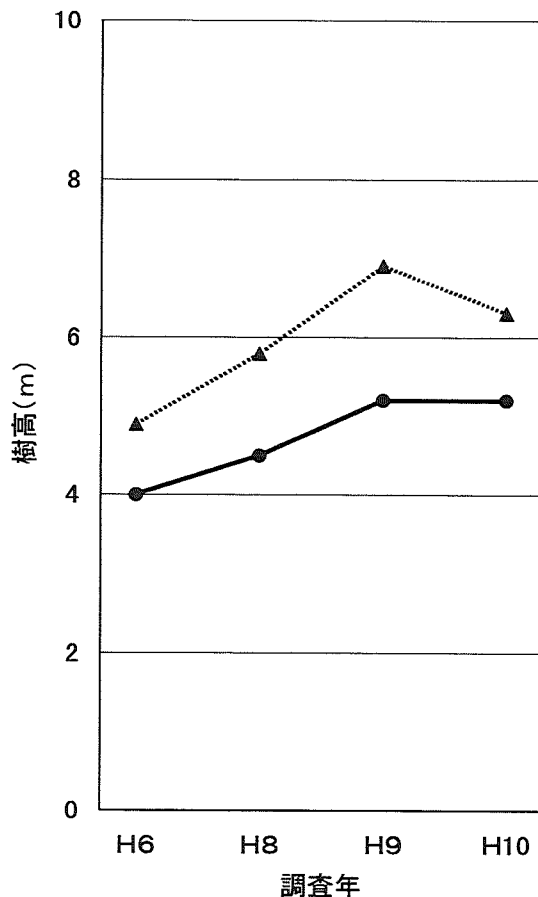


図-14 混交林の樹高成長
17年生林分

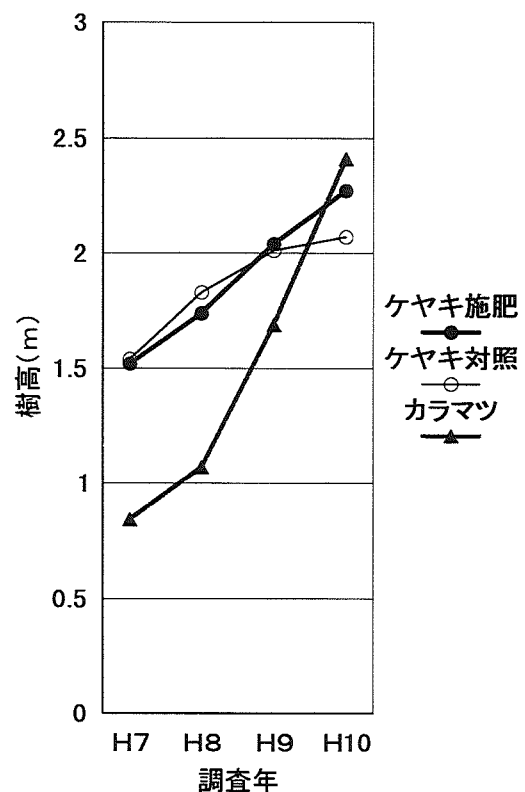


図-15 混植地の樹高成長
5年生林分

8に示したようにもともと植栽時にカラマツの本数がケヤキの3分の1と少なかったこともあるが、現時点では当初目的としたケヤキの樹型誘導木としての機能を期待できるような密度では無くなっている。

カラマツの生存率については、平成6年に植栽した試験地で表-9、図-15に示したように植栽後5年間の生育を観察したところ、冬季の雪害によって折れ曲がってしまう被害（写真13）が多いことが解った。このようにケヤキの誘導木としてカラマツを利用する場合は雪害対策が重要になってくる。また、ケヤキについては固形肥料の施肥による生長促進効果についても試験を行ったが、施肥によって樹高生長が伸びる結果は得られなかった。

混植したカラマツはあくまでも間伐木として取り扱うので、ケヤキの植栽密度を多くするなど、林分全体にケヤキが配置されるような工夫が必要となってくるので、ケヤキの植栽本数もケヤキ一斉林ほど多くないものの、スギとの混交の場合よりは多くする必要がある。カラマツとケヤキの混植については、さらなる調査が必要であり、現段階で普及できる状況ではない。

(iii) スギ、イヌエンジュ混交試験地

イヌエンジュも県内の一斉造林では失敗例が多く、その造林対策に苦慮する樹種となっているが、スギとの混交によって高い枝下高を確保している事例¹⁵⁾がある。調査地は阿仁町にある混交林で、平

表-10 スギ-イヌエンジュ混交林の概要

調査地	樹種	樹齢	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	枝下高 (m)	二股高 (m)	立木密度 (本/ha)
阿仁町	スギ	17	11.5	22.1	5.0	—	940
	イヌエンジュ	12~17	8.2	9.6	2.9	3.7	300
比内町	イヌエンジュ	14	6.4	10.7	1.4	1.5	1250

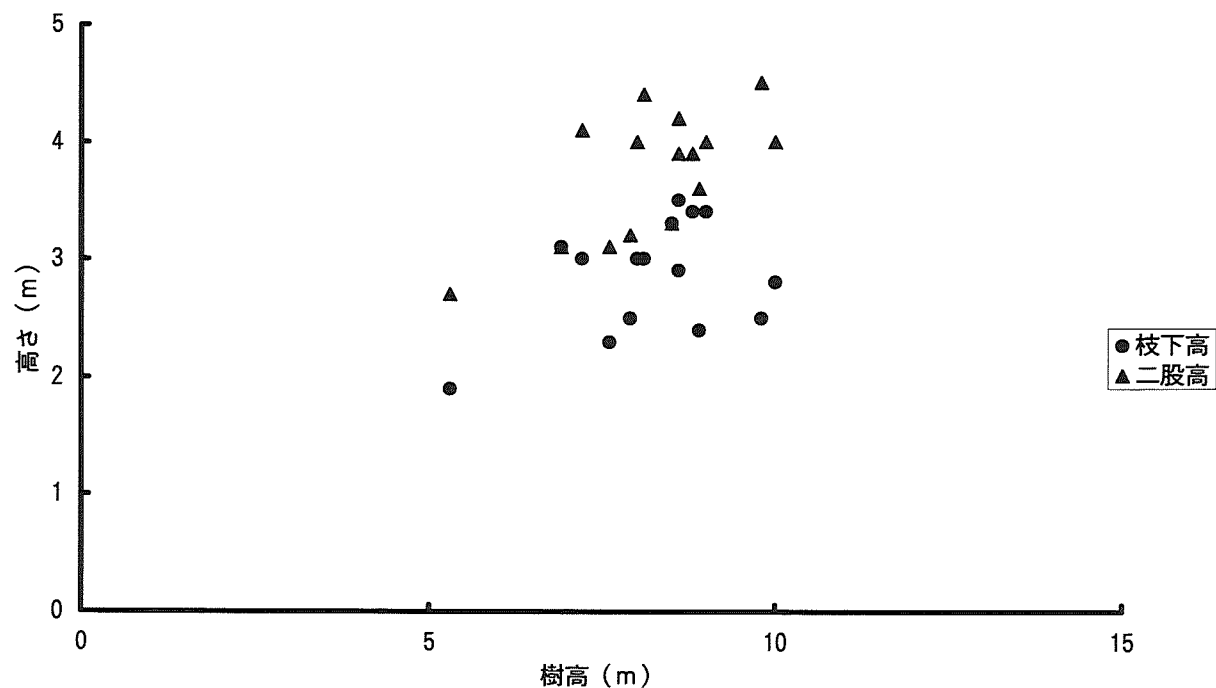


図-16 阿仁町混交林におけるイヌエンジュの樹高と枝下・二股高の関係

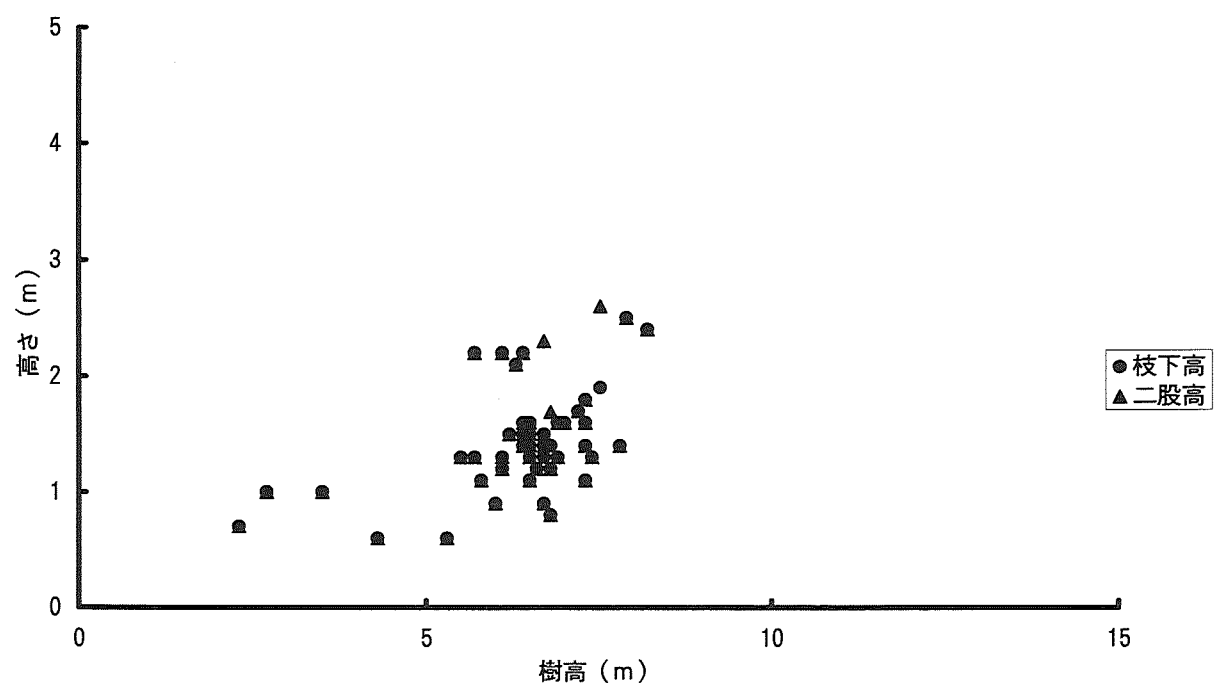


図-17 比内町一斉林における樹高と枝下・二股高の関係

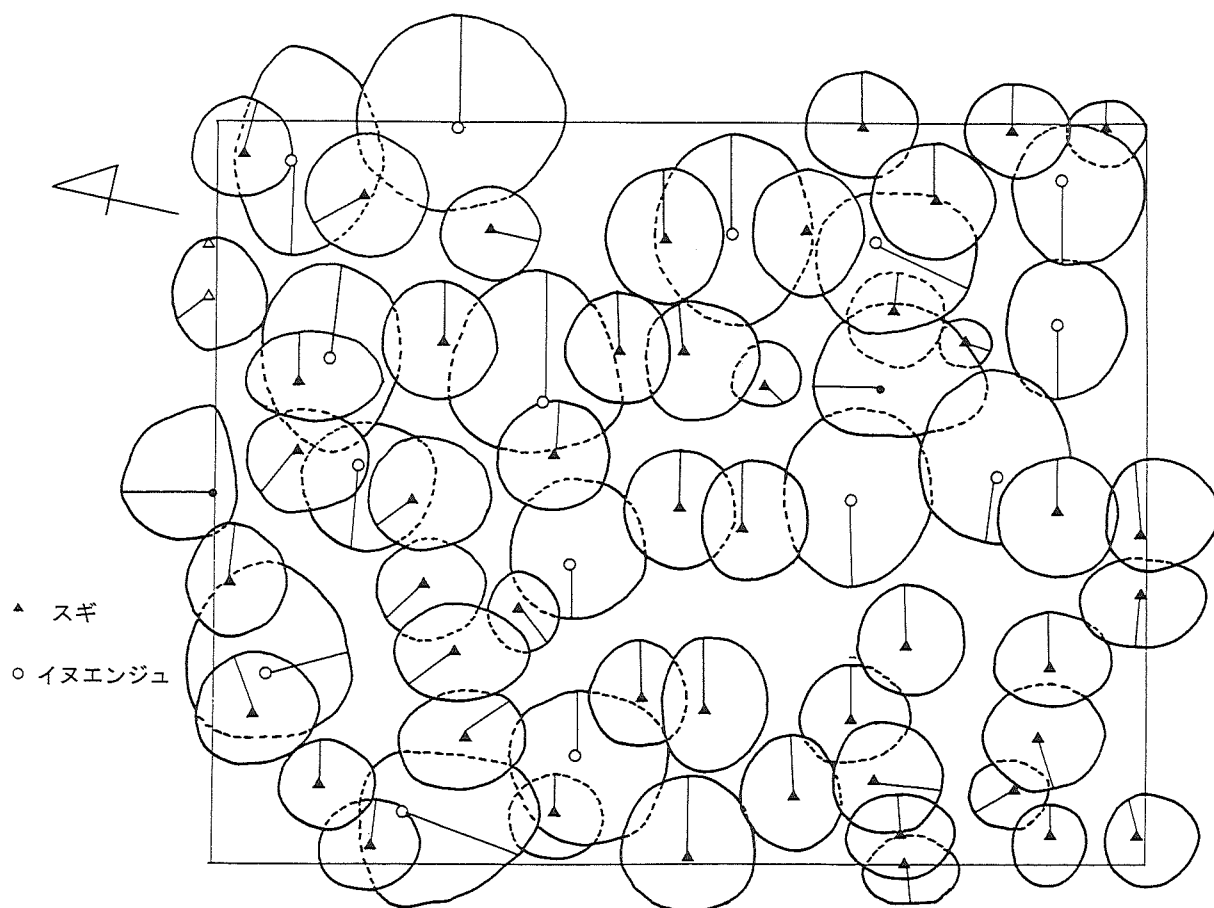


図-18 スギ、イヌエンジュ混交林の樹冠投影図

表-11 スギーイヌエンジュ混交林の間伐効果

調査年	スギ				イヌエンジュ				
	樹高(m)	直径(cm)	枝下高(m)	立木密度	樹高(m)	直径(cm)	枝下高(m)	二又高(m)	立木密度
H7	11.5	22.1	5.0	940	8.2	9.6	2.9	3.7	300
H9		23.6		840	9.2	10.8	3.5	3.7	300
H10				680					300

林齢：19年生（H9現在）、ただしイヌエンジュの樹齢には5年程度のばらつきがある

施業歴：H8年スギ7本除伐、H9年スギ6本除伐

成7年調査時の樹齢はスギが17年生、イヌエンジュが12～17年生となっており、対照として比内町にある14年生のイヌエンジュの一斉林の調査を行い、その結果を表-10に示した。阿仁町混交林ではイヌエンジュの平均樹高がスギよりも3 m以上も低くなっているのに対し、比内町の一斉林よりは2 m程度高い樹高が得られている。これは、阿仁町混交林のイヌエンジュはスギとの競争で上に向かって伸びようとしたものと考えられる（写真14）。それに対して比内町一斉林では箒状の樹幹型を呈する広葉樹特有の横方向に枝を広げる性質が現れ、樹高が伸びなかったものと考えられる（写真15）。

本調査では枝下高の他に主幹が2つ以上の大枝に分かれてしまう二股高を設定し調査したが、図-

16、17に示したように、混交林では幹が二股になる位置の二股高は枝下高よりも1～2 m高くかつ二股高の高さもほとんどが3 m以上となっていたのに対し、一斉林では枝下高がそのまま幹が二股に分かれる位置にあり、二股高も1～2 mがほとんどだった。

また、阿仁町混交林では図-18の樹冠投影図に示したように、イヌエンジュがスギによって被圧され、枝張りなどが悪くなってきたので上層にあるスギを除伐し、表-11に示したようにスギの立木密度を平成7年の940本から平成10年の680本まで下げる作業を行った。スギを除伐した翌年に生長を測定した結果によると、明らかな効果はすぐには認められないことから、イヌエンジュのように樹勢が強くない樹種の場合は、早めの除伐が必要であるなど細かな生育管理が要求される。

(2) 環境保全を目的とした混交林の造成試験

本調査地は、鹿角農林事務所林務課が保安林改良事業により、鉾山煙害跡地のアカシヤ（ハリエンジュ）林の林種転換を目的として、林地に自然に侵入してきている樹種を中心に6樹種（ミズナラ、スギ、ケヤキ、タニガワハンノキ（コバハン）、ブナ、ベニイタヤ）を選んで図-19のような配置で植栽試験を行った箇所（写真16）である。各樹種の植栽密度は、ミズナラ7,000本/ha（3本単位の巣植え）、スギ1,700本/ha、ケヤキ300本/ha、コバハン500本/ha、ブナ400本/ha、ベニイタヤ200本/haとなっており、平成5年に植栽を行っている。

植栽後5年間の生長経過については、樹種別全平均の樹高の推移を図-20に示し、各樹種上位10本

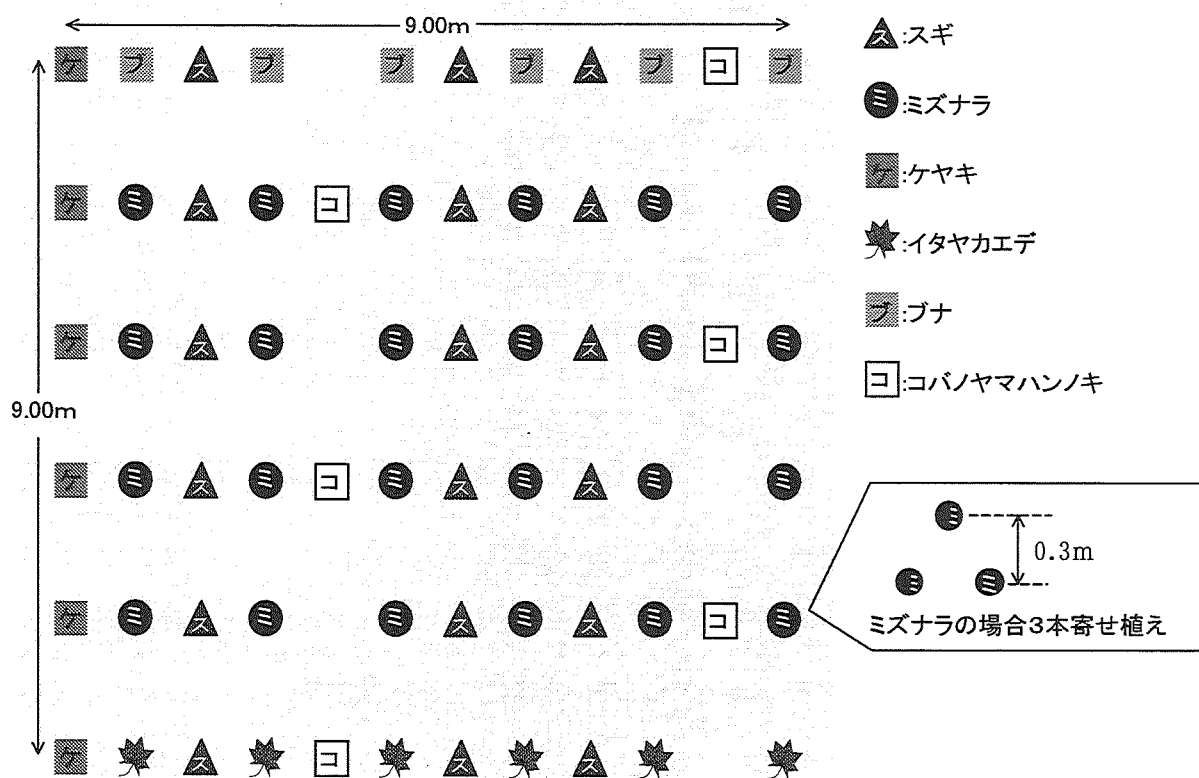


図-19 多樹種混交試験地の植栽配置図（長岐 昭彦氏 未発表）

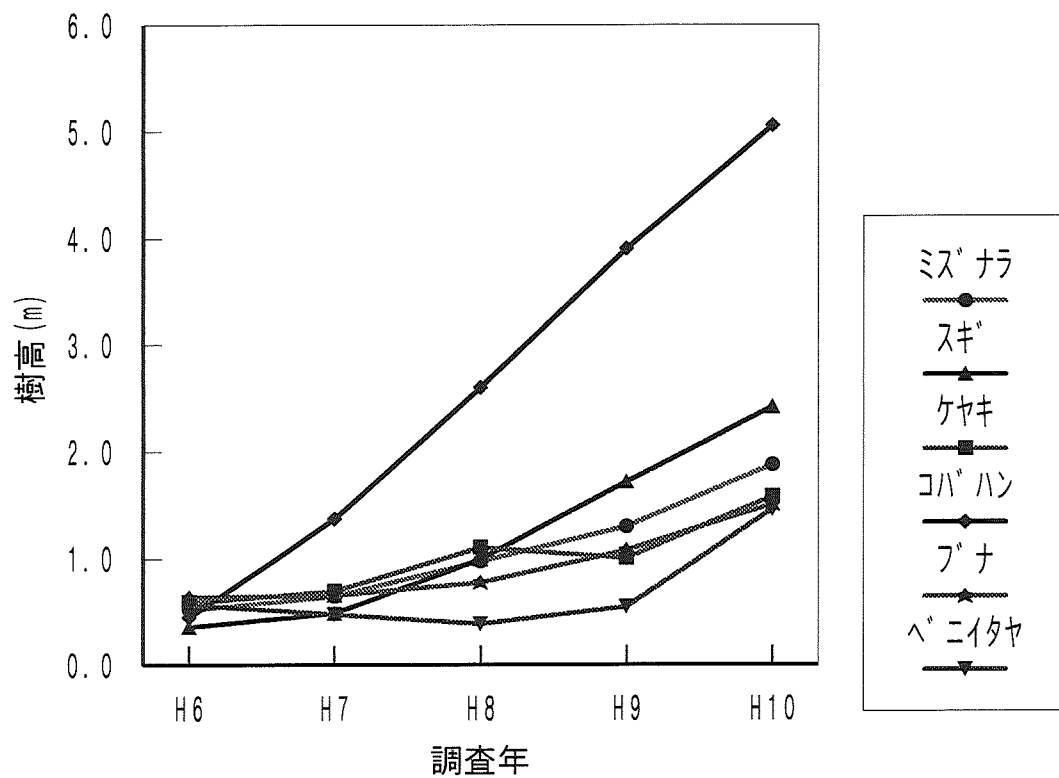


図-20 樹種別平均樹高の推移
調査地：小坂町萩ノ平No. 1

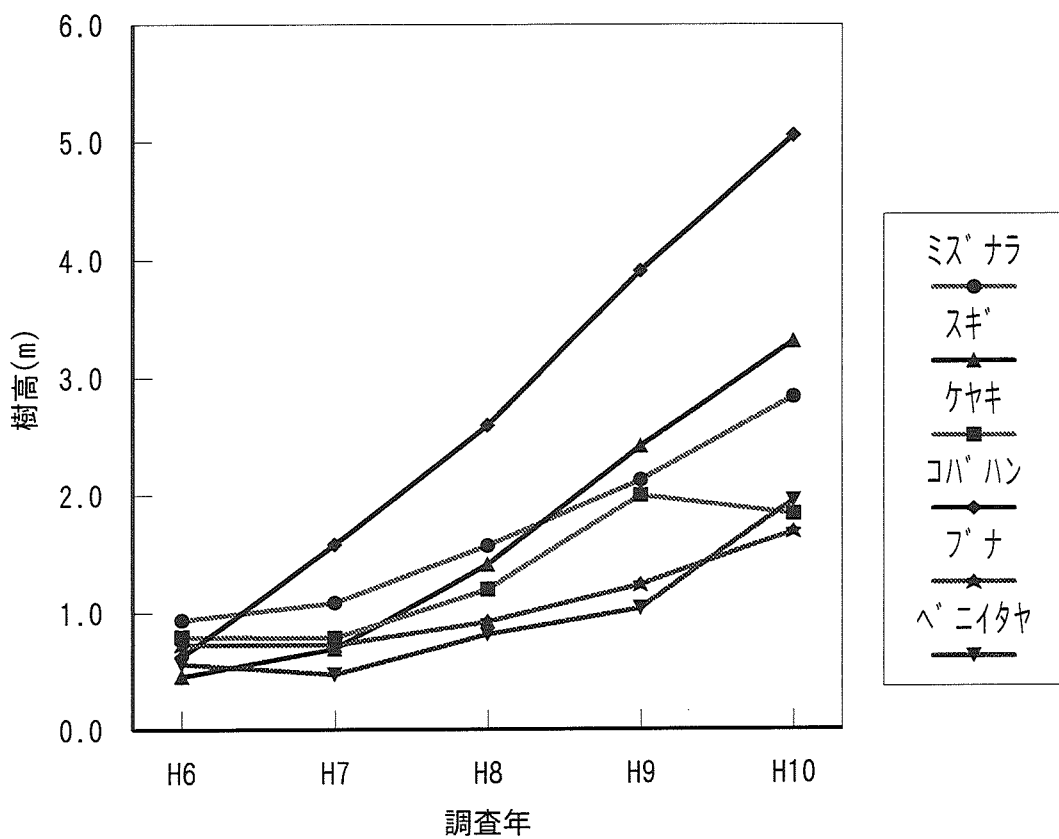


図-21 樹種別上位10本の平均樹高の推移
調査地：小坂町萩ノ平No. 1

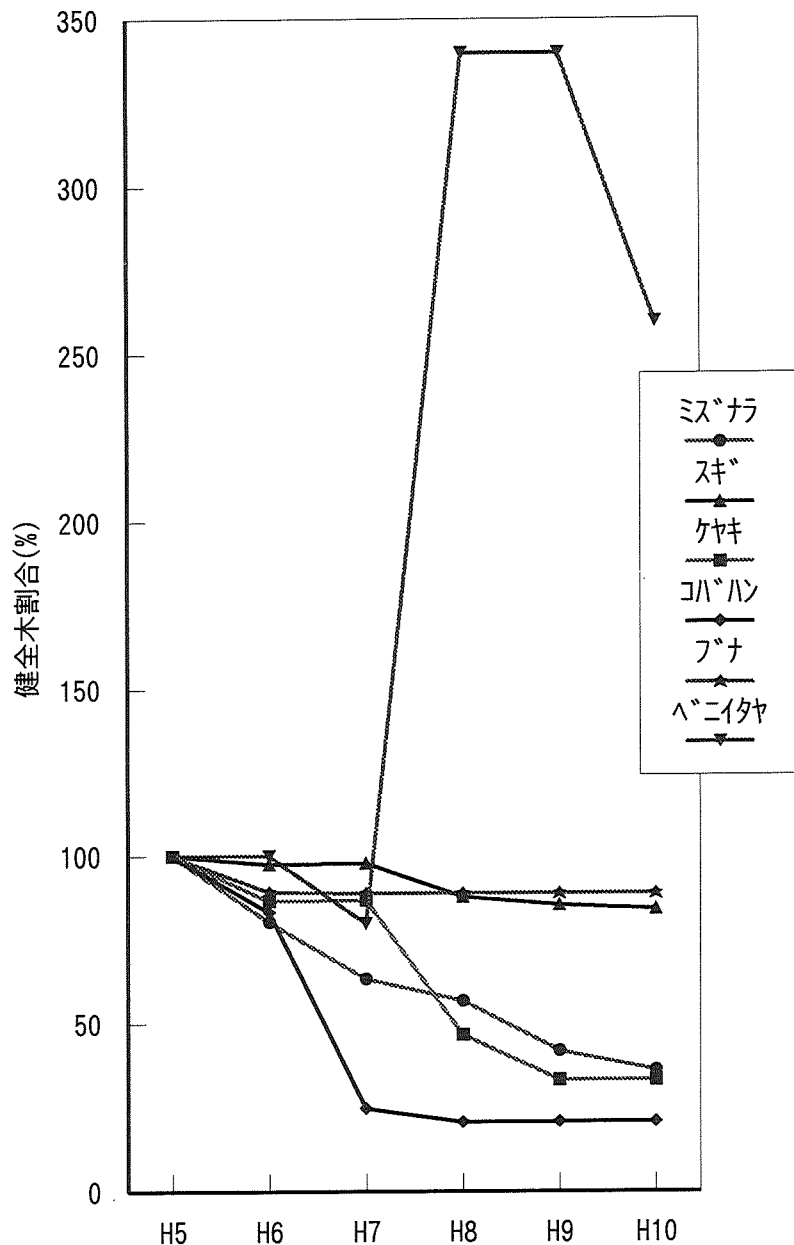


図-22 樹種別健全木本数割合の推移
調査地：小坂町萩ノ平No. 1

の樹種別平均樹高の推移を図-21に示した。樹種別ではコバハンが最も樹高生長がよく、次いでスギ、ミズナラとなっているが、ケヤキ、ブナ、ベニイタヤは5年間で1 m程度しか生長しなかった。上位10本の平均で見ても、樹種別には全平均と同じ傾向にあったものの、樹高はコバハンの約5 mに対して、スギとミズナラが約3 m、ブナとベニイタヤとケヤキが2 m弱となっており、図-20に示した全平均値よりコバハンとの差は小さくなっていた。ケヤキは図-22に示したように、平成7～8年にネズミにより大きな被害を受けたのが原因で健全木が減少したが、ブナやベニイタヤは全く被害を受けていなかった。同時期に同じ管内でケヤキの一斉植栽地がネズミの被害で壊滅的になっている事例もあることから考えると、このように多樹種を混交することによって特定の樹種が獣害等の被害を受け

ても、他の樹種が健全に生育することによって林分としては健全度を維持できると考えられる。このことは、危険を分散させる効果があるということであり、特に環境保全機能を目的とする森林造成では重要なポイントとなってくる。またベニイタヤの場合、林内に残存した母樹からの実生が多く生育して個体数が増えたため健全木割合が300%を越える結果となった。なお、本調査地は保安林改良が目的のため、肥料木としてパイオニア樹種であるコバハンを植栽したが、5年間で樹高5mと他の樹種を被圧するまで生長したので、平成10年にパイオニア樹種としての役目は終わったものと判断し伐採した。

(3) 多雪地帯における不成績造林地での広葉樹育成試験

本県の県南内陸部のような豪雪地域では、雪害がひどく根元曲がりの多いスギ林をよく見かける。このような地域でも自然に侵入してくる広葉樹を育成して木材生産を目的とした努力を続けている事例があるので紹介する。

(i) カラマツとホオノキの混交林

この混交林は雄勝郡皆瀬村に位置し、標高510m、傾斜約25°の斜面にあり、当初は早期収穫を目的に植林されたカラマツ造林地に自生したホオノキを所有者が混交林として育てている林分で¹⁶⁾、このホオノキの材としての用途は地場産業である川連漆器の材料としての利用が期待される。

表-12に示したように上木のカラマツは平均樹高19m、立木密度は380本/haとなっており、自生した下木のホオノキは平均樹高が7m、立木密度は1,680本/haと多くなっている。このようにホオノキがこれほどの高密度で自然に生育した例は非常に珍しく、図-23に示したように樹高が8~12mの亜高木層から4m以下の低木層まで複層状態を形成している（写真17）。同調査地で安藤¹⁷⁾は階層構造の解析を行っており、上層がカラマツ、中層がホオノキ、下層が広葉樹という三層構造の林分であると述べている。

これらの生長過程をたどるため、カラマツとホオノキの樹幹解析を行い、その結果を図-24に示した。これによると、亜高木のホオノキはカラマツが20年生を越えた頃から侵入し生長し始め、順調な樹高生長をしながら現在に至っていることが解る。また、低木層のホオノキはさらに後になって自生したものであり、ホオノキの場合、上方の空間がオープンになれば、どんどん下層木が生長し始めることが解った。現在近くにホオノキの母樹は無く、種子の伝搬経路に関しては埋土種子によるという

表-12 ホオノキ、カラマツ混交林生長量の推移

	樹種	H7	H8	H9	H10
樹高(m)	ホオノキ	5.1	5.6	6.3	6.6
	カラマツ	16.7			18.9
胸高直径(cm)	ホオノキ	4.7	5.3	6.1	6.5
	カラマツ	23.4	24.0	25.1	25.5
枝下高(m)	ホオノキ	2.7	2.8	3.7	3.7
	カラマツ	7.1	7.8		7.4
立木密度(本/ha)	ホオノキ	1720	1720	1700	1680
	カラマツ	400	400	360	380

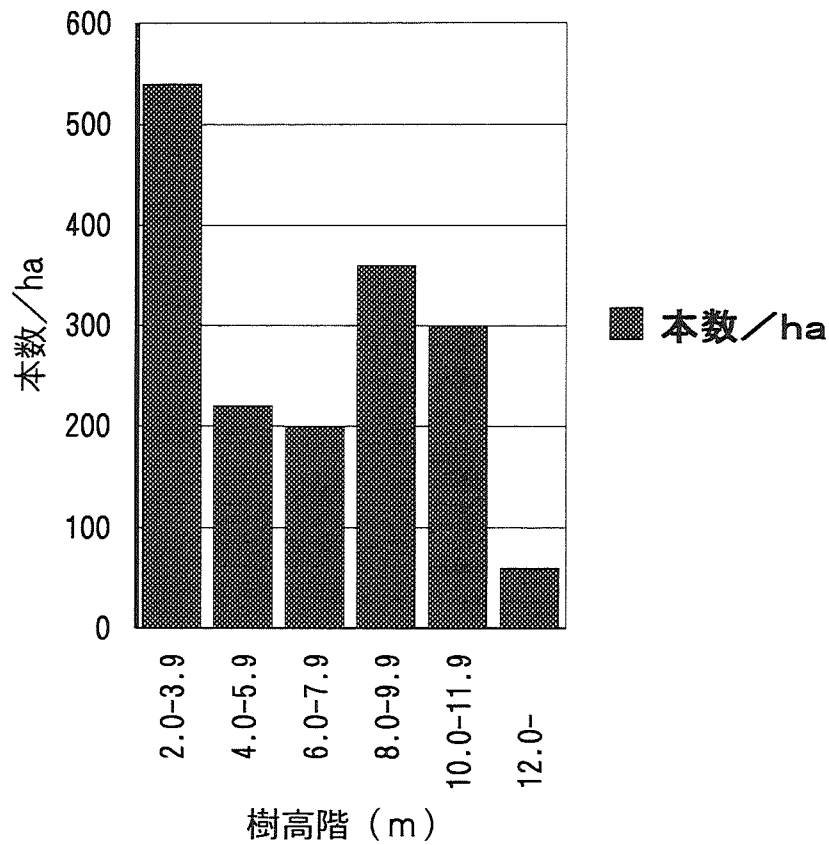


図-23 ホオノキ樹高分布

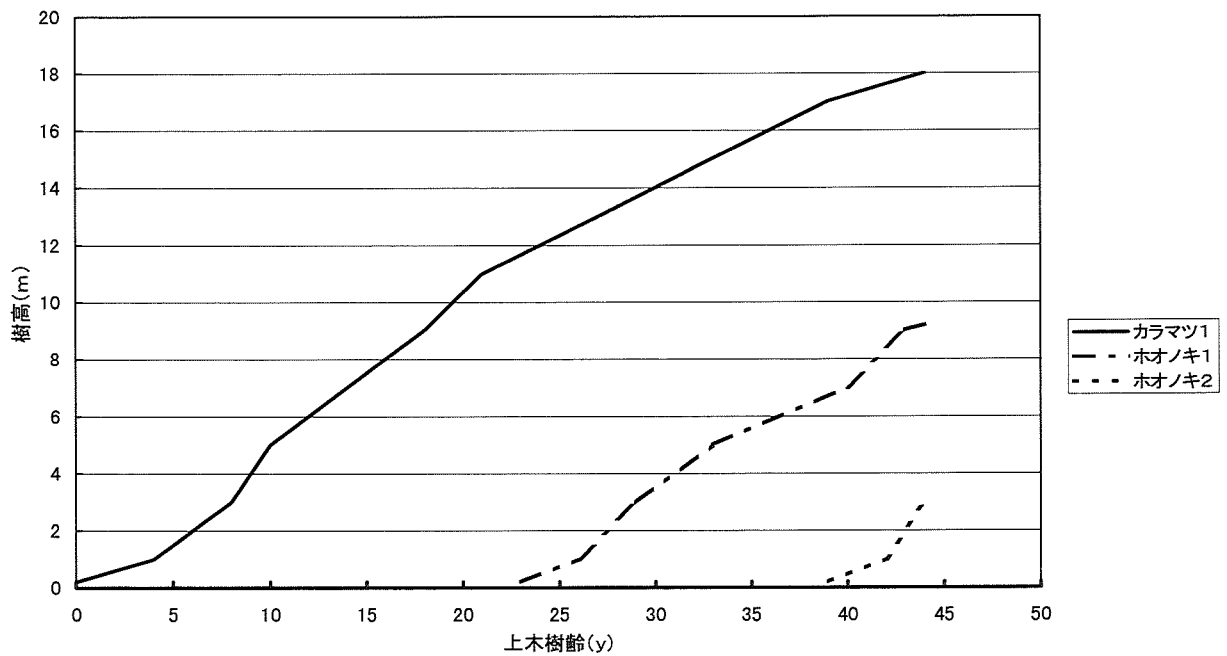


図-24 カラマツ、ホオノキ混交林の樹高生長

説と、鳥によって運ばれたという説の2説が有力である。

(ii) スギとミズキの混交林

この混交林も同じく皆瀬村に位置し、標高300m、傾斜20～30°の北斜面に生育している。当初は

表-13 スギ、ミズキ混交林の生長経過

	樹種	H6	H8	H9	H10
樹高(m)	スギ	10.4	10.8	12.1	12.3
	ミズキ	4.9	4.9	5.6	5.8
胸高直径(cm)	スギ	16.2	17.4	17.5	17.8
	ミズキ	5.4	5.5	6.1	6.3
枝下高(m)	スギ		4.8	4.7	5
	ミズキ		2.8	2.7	2.9
立木密度(本/ha)	スギ	1220	1000	920	900
	ミズキ	960	960	820	760

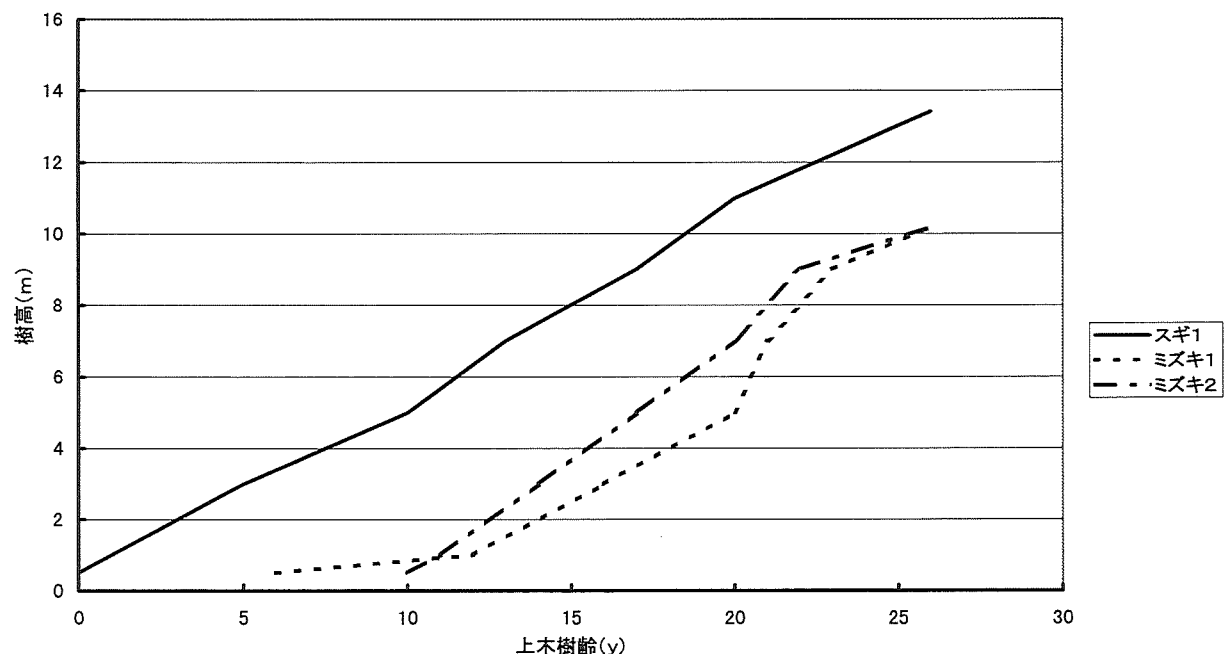


図-25 スギ、ミズキ混交林の樹高生長

スギの一斉造林地だったものを、スギの雪害がひどいため、自然に侵入したミズキを育てているもので、ミズキは地場産業である木地山こけしへの利用を目的としている。

表-13に示したように、上層木のスギの樹齢は26年生で、平均樹高は12m、立木密度が900本/ha、下層木のミズキの平均樹高が6m、立木密度が760本/haとなっている（写真18）。スギとミズキの生長経過を樹幹解析により図-25に示した。ミズキはスギを植えてから5～10年後に侵入し始めており、ミズキ1のように最初の生長はよくないが後で回復したものと、ミズキ2のように最初から生長がよいものとに分かれている。これは上層木であるスギとの競争関係によると考えられ、最近の4年間はミズキ1、2とも樹高生長が頭打ちとなってきている。このことは、樹齢20年を越えるとスギの立木密度が1,000本/ha ($R_y=0.45$) では林内が暗すぎてミズキの生長には思わしくないことを示唆していると思われる。しかしながら、ミズキの用途はこけしの材料であり、間伐木として収穫するものであるということからすると、スギを主伐木としてスギの形状が悪いところはスギを伐採してミズキを育てるようにする方法が良いと考えられる。

このように、自生する有用広葉樹を育てるには、こまめな除間伐による適正な林分管理が必要であり、特に造林したスギについては残す木の見極めと、早期の判断が必要となる。

(4) 針葉樹の育成を目的とした混交林の造成

近年林業の低コスト化が叫ばれる中で、手間を省く施業技術の確立が求められてきている。寄せ植えの手法を用いた巣植え造林法は、1930年代から各地で試験的に行われてきたが、目的樹種としてのスギだけによる巣植え造林法を改良し、広葉樹との混交林化によって生物多様性の保全¹⁸⁾ および低コスト化を目指した事例を紹介する^{19, 20)}。

調査地は、秋田市下浜の民有林で、標高60～80mに位置し、広葉樹の二次林跡地にスギを1m間隔(写真19)で3角形(これを1つの巣とする)に造林し、ha当たりの巣の数は700程度として少なくして、残りの空間は自然に生育する広葉樹を育てるという方法をとっている。現在、約8haがこの方法による造林地となっている。

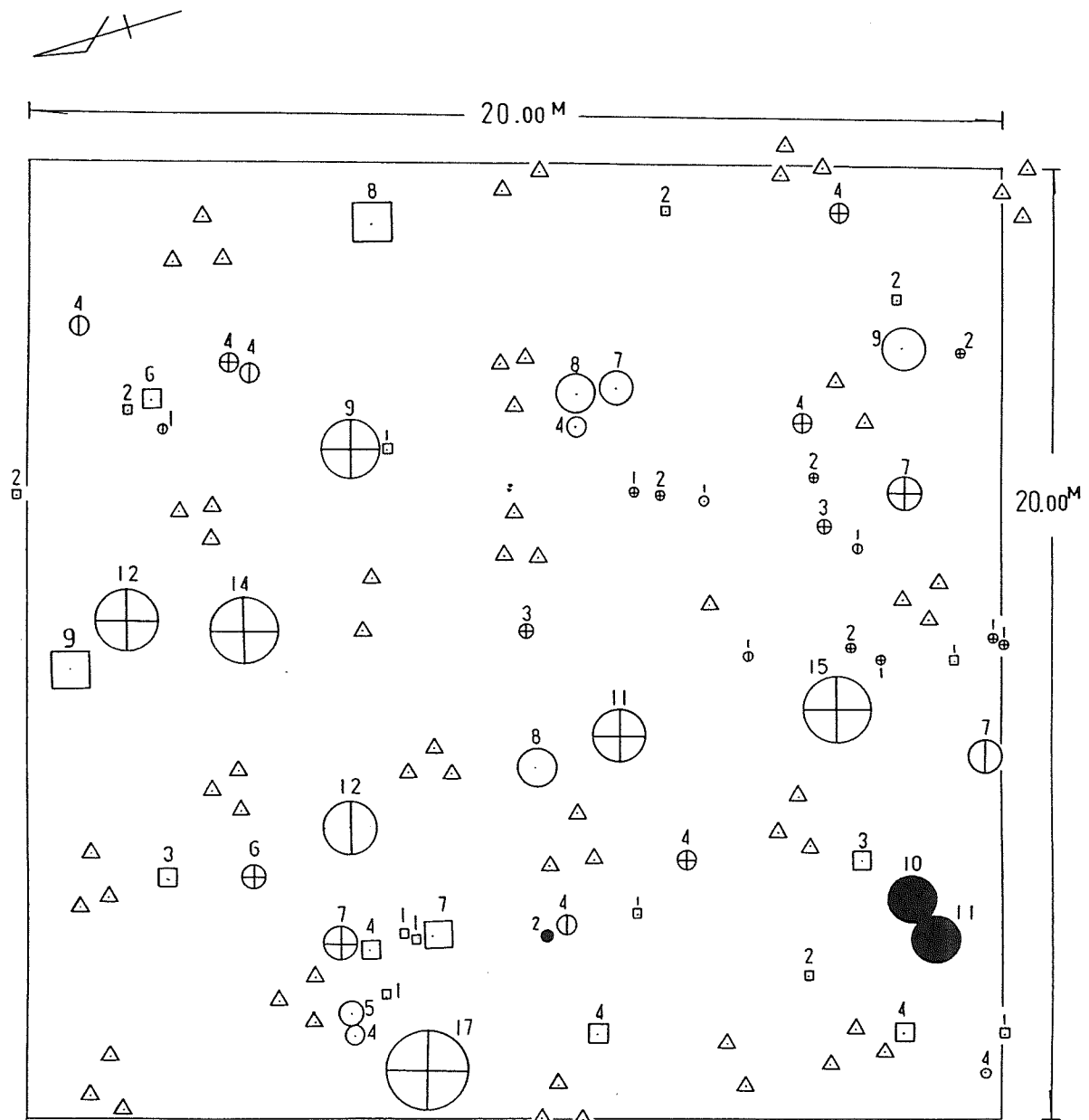
本調査地の概要を表-14に、巣植の配置例を図-26に、調査期間の生長経過を表-15および図-27～31に示した。いずれの調査地でも植栽したスギの他にクリ、コナラ、ホオノキ等の用材としての価値の高い広葉樹や、サクラ類のような環境に彩りを添える広葉樹が自生している(写真20)。スギと広葉樹の競争関係で比較すると、No.1、3のようにスギが広葉樹の下層に位置するものと、No.2、6のようにスギが上層に位置し広葉樹と競争関係にあるものに分けられ、後者の方が前者より5年間の連年生長量が約2倍良かった。また、一斉林に比べて広葉樹と競争しているため、植栽後間もない時期はスギの生長は遅く、初期の年輪幅を小さくさせるにはこのように広葉樹と競争させる方法も有効である。各調査地とも、クリ、ナラ、ホオノキなどの用材として価値の高い樹種の生長は良く、サクラ類などは被圧の程度によって生長が良いものと悪いものに分かれた。

このように最終的にはスギを主目的とした森林を造成する場合でも、生長の過程で広葉樹も配置された環境に順応した彩りのある森林の造成が可能となっている。スギを寄せ植えすると幹の形状や年輪の傾きに問題があるという指摘がされる場合があるが、過去の試験結果から巣植えしたスギの生育に関しては普通植えよりも樹種間の競争による生長効果は認められないものの、寄せ植えによる幹の年輪の偏りはなく、巣当たりの本数は少ない方が生長は良いという研究報告^{21, 22)} がされているので、巣植えによる形質悪化の問題は心配する必要はない。

表-16には巣植え造林と一般造林(3,000本/ha植え)を植栽から保育までの投下労働力等のコストについて比較を行った結果をまとめた。巣植えでは基本的に地ごしらえは行わないので、造林にか

表-14 スギ巣植え混交林の概要

調査地 No.	コラート サイズ(m)	方位	傾斜	林齢	巣数/ha	本数/ha	完全果 (%)	樹高 (m)	胸高直径 (cm)
1	20×20	N70°W	0～10°	10	525	1425	76.2	3.4	4.5
2	10×15	S40°W	5～10°	14	933	2667	85.7	6.5	8.2
3	10×15	S40°W	5～10°	14	1200	2733	55.5	4.0	5.9
6	20×20	S40°E	15°	14	675	1775	55.6	5.9	8.4
5(対照)	10×15	S40°W	10～15°	15	—	3446	—	7.4	10.5



樹種 △ スギ、 ○ ホオノキ、 ⊙ クリ、 ⊕ カスミザクラ、 ● ミズナラ、 □ その他

サイズ ○ 2cm、 ○ 10cm、 ○ 20cm、 ○ 30cm、 ○ 50cm

図-26 巣植え試験地の立木位置図

かる作業を多少ゆとりを持って見積もっても、造林時の人員を3分の1まで節約でき、かつ苗木も従来の3,000本植に比べて3分の2程度に節約できる。造林後の初期保育においても、下刈りはスギを植えた巣の周りだけでよいので、一般造林に比べて半分以下に労働力を節約できる。このような下刈りの省力化については秋田営林局でもかつて試験を行っており²³⁾、植栽本数を普通植えと同じくしても、群状刈りによって効果が得られたとの報告がされている。本調査地でも、造林から保育までに労働力で63人、苗木代で900本分が節約出来ることとなり、材価の低迷に悩む林業界にとっては、このよう

表-15 スギ集植え混交林の生長経過

No. 1

(樹種別平均値の推移)

	樹高(m)					胸高直径(cm)					立木密度(本/ha)				
	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10
スギ	2.40	2.66	2.92	3.13	3.44	2.25	2.80	3.29	3.69	4.45	1450	1450	1425	1450	1375
アオダモ	2.79	2.99	3.09	3.60	3.30	1.76	1.89	2.03	2.30	2.50	200	200	200	200	200
ウリハダカエデ	2.81	3.25	3.70	4.10	4.30	1.51	1.83	2.20	2.40	2.70	500	500	500	500	500
カシワ	4.20	4.68	5.47	5.90	6.60	4.30	5.15	6.53	7.30	8.20	100	100	75	75	75
カスミサクラ	3.70	3.90	4.40	4.90	5.10	2.68	2.85	3.70	3.90	4.30	1450	1450	1175	1150	1050
クワミサクラ	3.21	3.51	3.85	4.40	4.50	2.40	2.68	3.06	3.40	3.70	1750	1750	1600	1575	1575
コシアブラ	2.10	2.33	2.50	3.50	3.50	1.60	1.95	2.05	2.30	2.60	50	50	50	50	50
セン	9.75	10.00	10.50	10.75	9.30	11.00	14.00	14.50	15.00	15.80	50	50	50	50	50
クリ	3.39	3.97	4.70	5.00	5.60	2.89	3.62	4.80	5.10	6.10	950	950	625	700	675
ホノキ	3.68	3.95	5.19	5.20	5.80	2.88	3.16	4.50	4.50	5.30	1125	1125	675	650	650
ミズナラ	3.55	3.84	4.44	5.00	5.20	2.56	3.16	3.66	3.90	4.00	625	625	500	500	500
ヤマボウシ	3.49	3.95	4.18	4.40	4.70	3.67	4.02	4.34	4.50	5.00	300	300	300	300	300

No. 2

	樹高(m)					胸高直径(cm)					立木密度(本/ha)				
	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10
スギ	5.10	5.50	5.80	6.00	6.50	6.60	7.00	7.30	7.80	8.20	2667	2667	2667	2667	2667
ウリハダカエデ	4.60	5.00	5.90	6.40	7.30	4.05	4.50	4.80	5.20	6.00	133	133	133	133	133
クワミサクラ	4.54	4.93	5.25	5.40	5.90	3.78	4.15	4.16	4.10	4.40	733	733	733	733	733
カスミサクラ	3.55	3.65	5.00	5.10	4.90	2.50	2.60	3.20	3.30	3.20	133	133	67	67	67
オクチョウジサクラ	3.70	3.70	3.90	3.50	4.00	2.60	2.80	2.80	2.20	2.80	67	67	67	133	67
コシアブラ	2.02	2.26	2.40	2.60	2.90	1.00	1.30	1.30	1.40	1.60	133	133	133	133	133
コナラ	4.43	4.77	5.33	5.80	5.80	3.33	3.90	4.23	4.40	4.90	267	200	200	200	200

No. 3

	樹高(m)					胸高直径(cm)					立木密度(本/ha)				
	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10
スギ	3.20	3.50	3.70	3.80	4.00	4.30	4.80	5.20	5.20	5.90	2733	2800	2733	2800	2733
ウリハダカエデ	4.92	5.14	5.43	5.70	6.30	4.13	4.40	4.67	5.00	5.50	467	467	467	467	467
クワミサクラ	3.71	3.86	3.95	4.20	4.40	2.87	3.23	3.10	3.10	3.70	800	800	800	800	800
オクチョウジサクラ	3.85	4.00	4.00	4.30	3.40	2.85	3.00	2.95	3.20	2.30	133	133	133	133	133
クリ	5.35	5.93	6.18	6.70	7.20	5.63	6.13	6.68	7.60	8.70	267	267	267	267	267
コシアブラ	5.20	5.55	5.85	6.20	5.70	4.40	4.80	4.95	5.80	4.90	133	133	133	133	133
コナラ	4.52	4.92	5.40	5.30	5.10	5.14	5.64	5.76	6.00	5.60	333	333	333	400	400
ホノキ	5.00	5.13	5.18	5.50	5.80	3.98	4.15	4.30	4.37	5.00	267	267	267	267	267
ヤマボウシ	4.60	4.69	6.00	6.00	4.80	3.81	4.17	4.33	4.60	4.60	467	467	400	400	467

No. 6

	樹高(m)					胸高直径(cm)					立木密度(本/ha)				
	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10
スギ		4.52	4.89	5.20	5.90		6.57	7.06	7.90	8.40		1775	1775	1775	1775
コナラ		3.27	3.60	3.90	4.40		2.73	2.87	3.60	3.90		75	75	75	75
クワミサクラ		3.64	3.80	4.10	4.20		2.87	3.10	3.10	3.20		650	650	650	600
エノキ		3.92	4.11	4.40	4.60		2.89	3.30	3.40	3.60		875	875	900	875
カスミサクラ		3.46	3.52	3.90	4.20		2.68	2.80	3.20	3.30		625	625	625	600
オクチョウジサクラ		2.59	2.72	3.10	3.10		2.17	2.33	2.50	2.60		150	150	150	150
クリ		5.36	5.54	6.20	5.90		5.66	6.22	7.10	6.80		125	125	125	125
ホノキ		5.47	5.69	6.00	6.30		4.82	5.20	5.50	5.70		625	625	625	625
ミズナラ		3.88	4.19	4.50	4.90		2.92	3.30	3.60	3.80		300	300	300	300
ミズナラ		6.30	7.50	7.90	8.50		7.30	8.20	8.90	9.00		25	25	25	25
クロウメモドキ		2.25	2.40	2.60	3.00		1.60	1.30	1.40	1.60		25	25	25	25

No. 5 (対照区)

	樹高(m)					胸高直径(cm)					立木密度(本/ha)				
	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10
スギ	6.00		6.84		7.39	9.20		9.90		10.50	3466		3400		3200
コナラ					4.92					3.84					600
オクチョウジサクラ					4.30					3.20					67
クリ					3.85					2.95					133
クワミサクラ					2.20					1.80					133
ホノキ					5.55					4.65					133
ウリハダカエデ					3.50					2.00					67

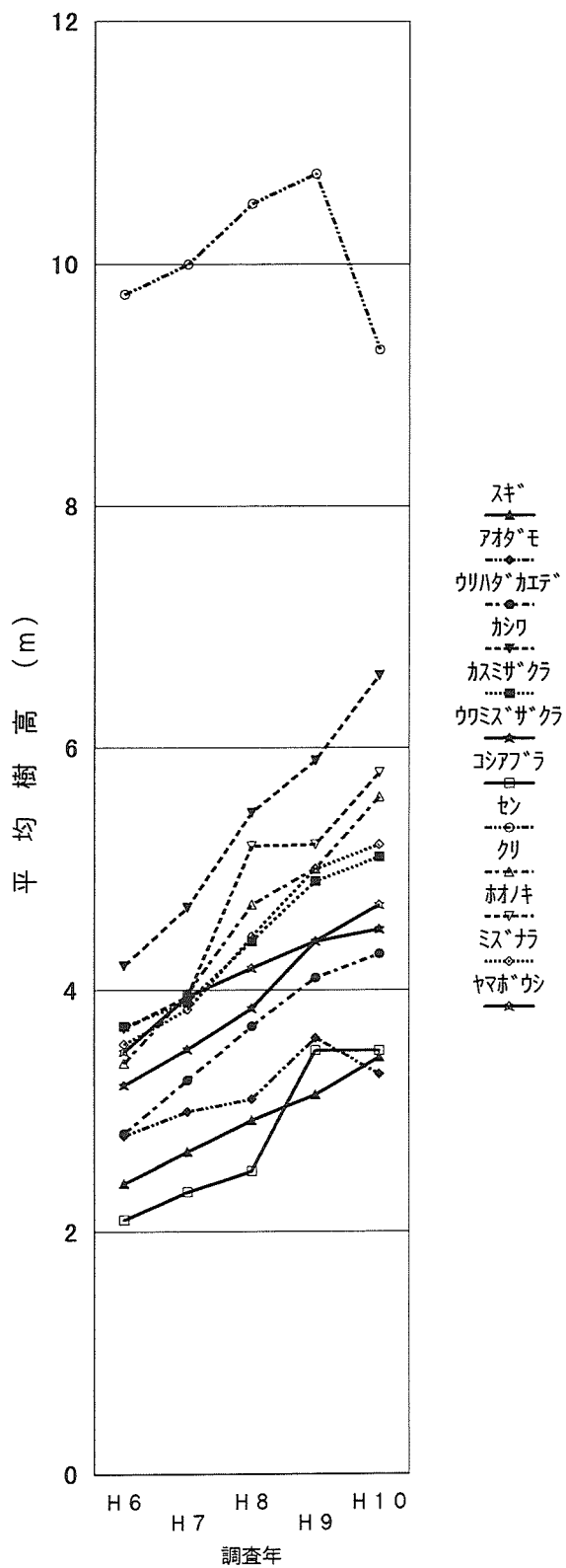


図-27 樹種別平均樹高の推移
秋田市下浜No. 1
(スギ10年生)

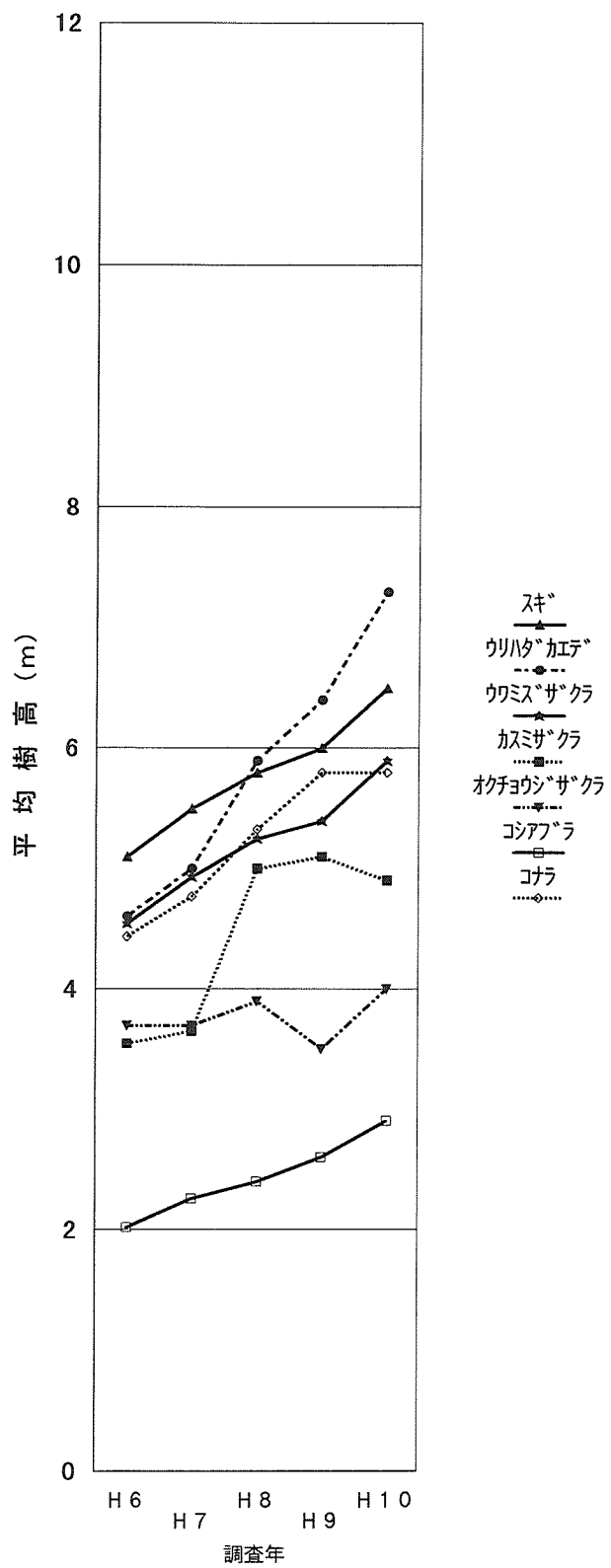


図-28 樹種別平均樹高の推移
秋田市下浜No. 2
(スギ14年生)

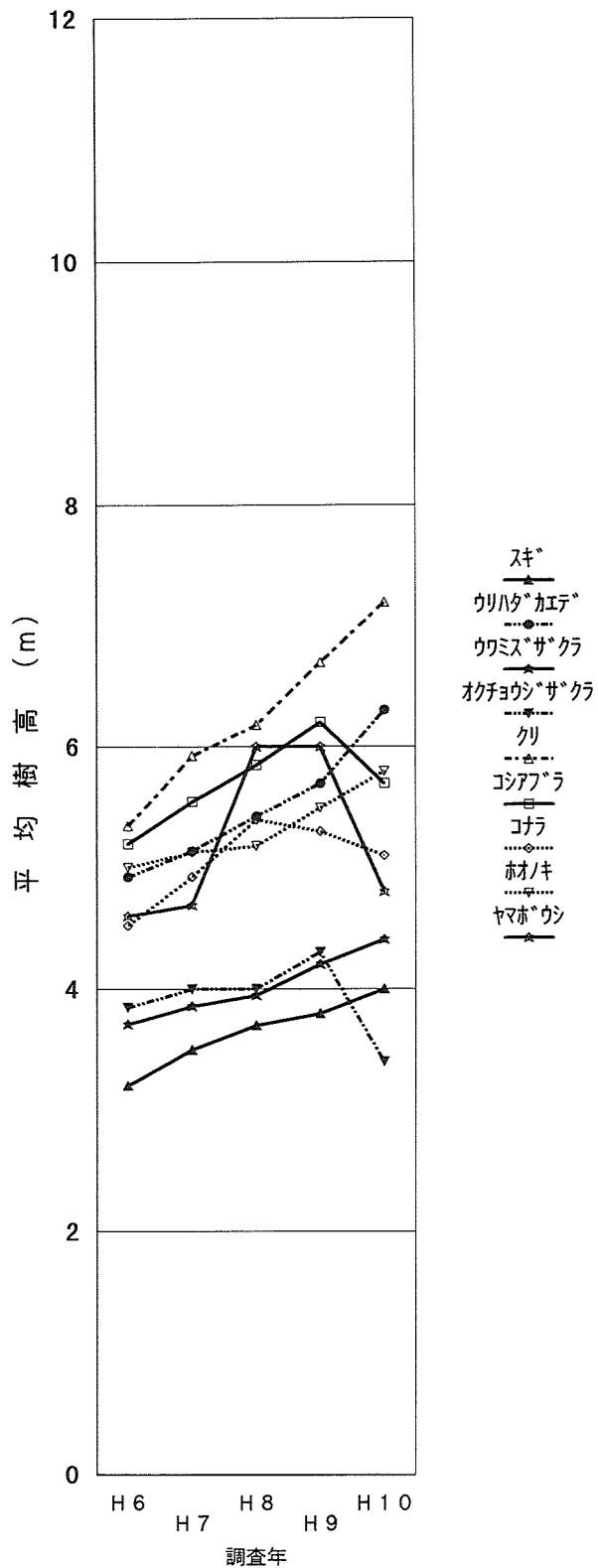


図-29 樹種別平均樹高の推移
秋田市下浜No. 3
(スギ14年生)

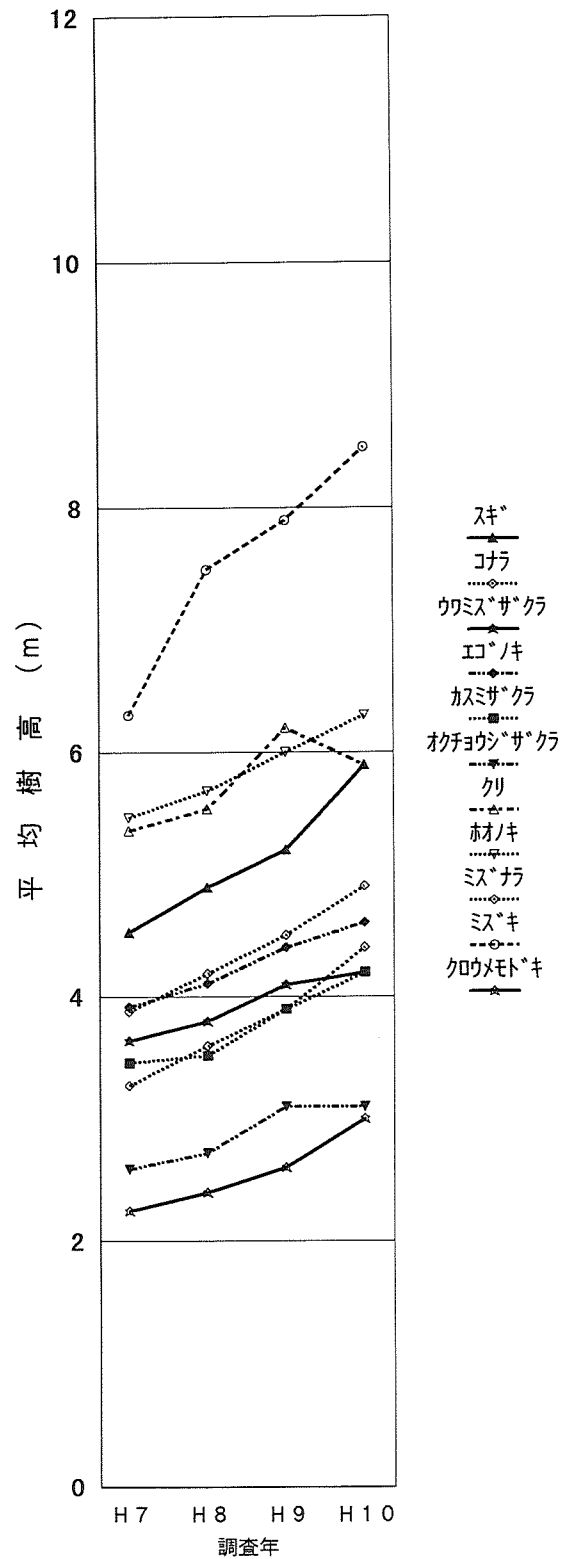


図-30 樹種別平均樹高の推移
秋田市下浜No. 6
(スギ14年生)

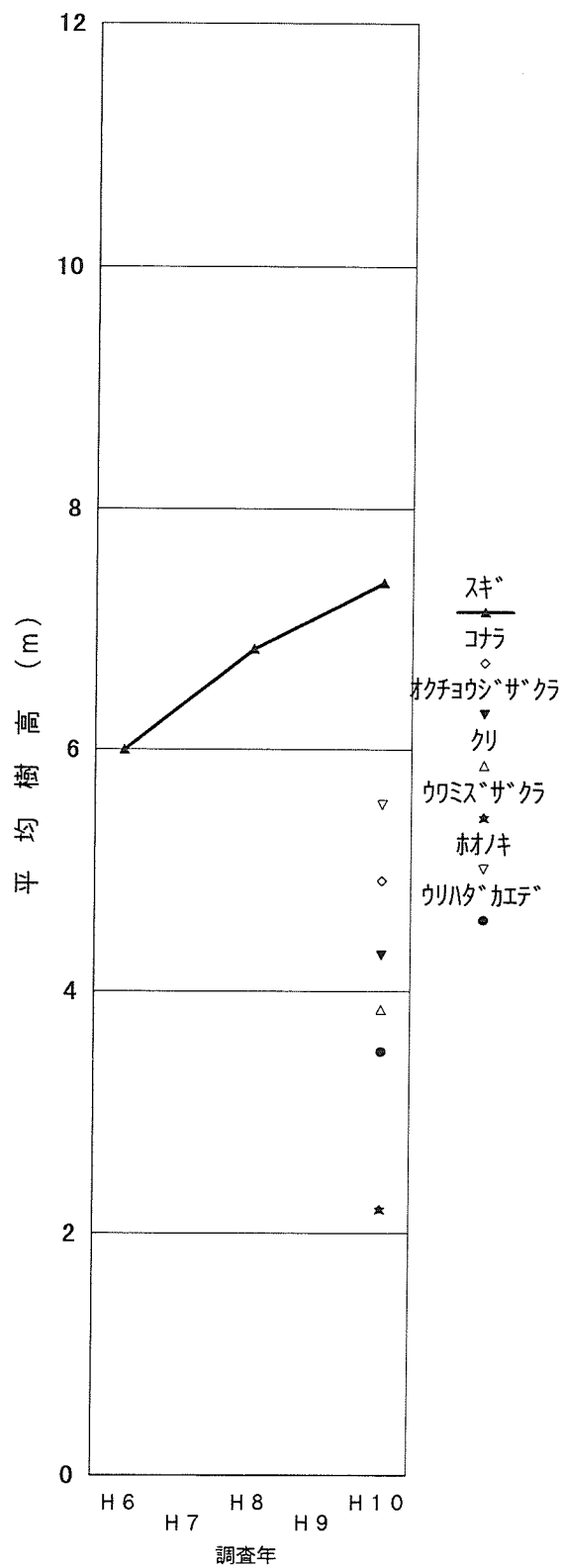


図-31 樹種別平均樹高の推移
秋田市下浜No.5
(スギ対照区14年生)

表－16 巣植え造林地の施業実績

(1 ha当たり)

	作 業 種		巢 植 え 造 林 地 (No. 2, 3)	一 般 造 林 地 (拡 大 造 林)	巢 植 え の メ リ ッ ト
造 林	地 ご し ら え		20人	48人	44.6人
	植 え 付 け			16.6人	
	苗 木		2,100本	3,000本	900本
保 育	下 刈	初 年 度	－	3.1人	18.4人
		6年 目 ま で	7.5人	27.8人	
	スギ・整 枝 ・ 広 葉 樹 間 引		5人	－	

(注) 一般造林地の算定は造林単価表を利用した、下刈りの種類は手刈りとした

な自然の力を借りながら造林木を密度管理しながら労働生産性を高めていく方法は、低コスト林業及び生態系の維持・保全に適した試みとして重要である。

5. 針広混交林造成技術の開発

これまで述べてきた針広混交林の林分構造の解析と公益的機能の分析、ならびに針広混交植栽地の生長経過の解析に基づき、本県で導入が可能と考えられる針広混交林の造成方法について取りまとめた。ここで述べる造成方法は、自然の力を活かして木材生産機能を高度に発揮させることを目的としており、ケヤキなどの有用広葉樹の育成を目的とした造成方法とスギの低コスト化を兼ねた環境順応型混交林の造成方法との2つに分けられる。今回調査した試験地のうち、不成績造林地については豪雪協発行の書籍²⁴⁾が参考にできるのでここでは省略した。また、環境保全を目的とした混交林の育成については研究が始まったばかりであり、今後の成果を待ちたい。

(1) 有用広葉樹の育成を目的とした混交林造成方法（広葉樹育成混交林）

①造成方法

- * 最初にスギを2,100本/ha（±20％）の密度で植栽する（2 m間隔）
- * 2年次以降にケヤキ、クリ等を春雪解けとともに（開葉期以前）補植も兼ねて植栽する
- * 広葉樹の植栽密度は600～400本/ha程度（4～5 m間隔）とし、獣害等の被害の多い所では植栽樹種を多様にし、本数も多めにする
- * 下刈りの時の誤伐を避けるため植栽した広葉樹に支柱を立てる
- * 支柱には植栽木に遊びがあるように荒縄で結びつける（ビニールひもは使用しない）
- * 雪の吹きだまりへの植栽は避ける（積雪の消え際が大切） ← 積雪地帯で有効

* ケヤキについては地ごしらえ作業を行った近辺でネズミによる被害が多いので、地ごしらえ地の周辺では防除対策が必要となる

②保育間伐

* 蔓切りはまめに行う

* 植え付けた広葉樹に光を十分当てるために、植栽後5年間程度は坪刈りを行う（6月中旬頃）

* 間伐対象木はスギを主とし、間伐の時期は広葉樹の肥大生長の促進時期に合わせる

* スギの間伐収入は期待しない

* スギと競争することで、広葉樹の下枝は発達しないので、枝打ちを最小限にとどめることが可能（競争の始まっていない若齢時は必要）

③目標伐期……長伐期（80年以上）

④期待される効果等

* 広葉樹の低密度植栽による低コスト化

* ケヤキのような耐風性樹種の導入による気象害抵抗性の発揮

* 広葉樹と針葉樹の組み合わせによる病虫害抵抗性の増進

* スギの混交による洪水緩和機能強化

(2) スギの低コスト化を兼ねた環境順応型混交林の造成方法（スギ育成混交林）

①造成方法

* 簡単な坪刈り地拵えを行い、スギを1 m間隔の3本単位（正3角形）の巣状に植える

* 植栽密度は2,100本/ha（700巣/ha）前後とする（±20%）

* 林内に自生する天然の有用広葉樹を育てる

②保育間伐

* 下刈りは3本植えの巣のまわりを坪刈りする

* 蔓切りはまめに行う

* スギの枝打ちは弱度で良い（2面無節材の生産）

* 間伐対象木は広葉樹を主とする

* 広葉樹は密生させて枝下高を上げるために間伐時期を遅らせる

③目標伐期……中～長伐期

④期待される効果等

* スギの植栽本数を減らすことによる低コスト化

* スギの間隔が短いことと広葉樹と競争させることの相乗効果で、天然杉のような年輪幅の均一な材の生産が可能となる

* スギの間伐木は搬出しやすいことから、間伐収入は期待できる

* スギの群状化による気象害抵抗性の増進

* 広葉樹と混交することによる生物多様性の保全機能の増進

IV. ま と め

本研究では、混交林という新しいタイプの森林育成を目的として取り組んできた。研究を進めていくうちに、その混交林は珍しいものでも、新しいものでもなく、本県の森林に普通に存在するごく自然の姿であることがわかった。そしてその自然は複雑で、森林は多様な樹種で構成され、本県においても多くの森林のタイプを見ることができる。

林業ではこれまで農業的な集約化された姿を理想として森林を経営しようとしてきたが、収穫までに50年以上も要するため時代の変化に対応できなくなってしまっており、従来のやり方による山の維持管理は、衰退の一途をたどるのが避けられない状態にある。我々は今一度これを見直し、合自然的な林業を目指すことを心がけるべきであり、そのひとつとして混交林という施業体系が存在するものとする。つまり、価格などの高い単一樹種に偏ることなく、適地適木に心がけ、地域に安定して成立するタイプの森林を適正に配置することによって、潜在的に価値の高い森林の育成が可能となる。多樹種を混交させる混交林施業は環境保全機能の向上のみならず、林業経営においてもリスクの分散化という点や、後継者に選択の余地を残すことで時代のニーズの変化にも順応できるようになるという点でも重要であるとする。

謝 辞

本研究を行うに当たり、調査地の所有者である鷹巣町永安寺、鷹巣町役場、阿仁町宮脇操氏、古河林業株式会社、阿仁町吉田部落、森吉町佐藤篤司氏、上小阿仁村斉藤博臣氏、秋田市佐藤清太郎氏、協和町進藤信義氏、皆瀬村佐藤彦一氏、由利町慶祥寺の皆様には試験地の提供などの協力をいただいた。調査を行うに当たっては、古河林業株式会社、澤田忠光氏、戸沢幸吉氏、小林栄治氏の協力をいただいた。データ解析に当たっては佐藤さつき氏、稲葉美紀子氏の協力をいただいた。森林総合研究所桜井尚武研究管理官、山形大学小野寺弘道教授、林野庁荒井実研究企画官、鳥取県林業試験場前田雄一室長にはご指導およびご助言を頂いた。取りまとめに当たっては大里陽造所長ほか森林環境部の各位にご助言を頂いた。これらのご協力に対して心から謝意を表す。

引用文献

- 1) 藤森隆朗：多様な森林施業、林業改良普及双書、107、pp191、1991
- 2) 秋田県林務部：秋田県広葉樹施業技術ハンドブック、pp93、1994
- 3) 藤森隆郎・河原輝彦：広葉樹林施業、林業改良普及双書、118、pp175、1994
- 4) 澤田智志：広葉樹等の生育と土壌環境の研究、秋田県林技セ研究報告、6、1～22、1999
- 5) 前田雄一ほか：素材価格と樹幹形からみたケヤキの保育法、日林論104、589～590、1993
- 6) 前田雄一ほか：単木的にみたケヤキの樹幹型と樹冠の広がりについて、日林論102、453～454、1991
- 7) 澤田智志・石田秀雄：スギ・ケヤキ混交林の林分構造、日林東北支誌47、57～59、1995

- 8) 前田雄一ほか：ケヤキ・スギ二段林の実体解析、日林論100、249～252、1989
- 9) 林野庁監修：林業技術ハンドブック、全国林業改良普及協会、pp1969、1998
- 10) 塚本良則：水・土保全と森林施業、林業技術509、2～7、1984
- 11) 野口陽一：森と水の関係はどこまでわかったか、林業技術509、8～11、1984
- 12) 有光一登：森林の土壌保全機能、日治協、pp47、1988
- 13) 堤利夫：森林の物質循環、東大出版会、pp124、1987
- 14) 澤田智志・石田秀雄：スギと落葉広葉樹の混交が林地の土壌水分に与える影響、日林論108、521～522、1997
- 15) 澤田智志・石田秀雄：スギ・イヌエンジュ混交林の林分構造、日林東北支誌47、55～56、1995
- 16) 佐藤彦一：造林者の立場からⅧ、林業技術674、28～31、1998
- 17) 安藤貴：人工林の生物多様性の確保に配慮した森林造成技術、多様化森林造成技術開発調査（林野庁造林保全課）、110～133、2000
- 18) 藤森隆郎：森との共生、丸善ライブラリー、pp236、2000
- 19) 澤田智志・石田秀雄・佐藤清太郎：巣植の手法を用いた混交林の造成、日林東北支誌46、85～86、1994
- 20) 佐藤清太郎：スギ巣植え環境順応造林法及び広葉樹育成の実践と評価、THF 第14回研究助成報告、5～25、2000
- 21) 鈴木誠：スギ、ヒノキ39年生巣植え試験林、林業技術628、23～26、1994
- 22) 汰木達郎：スギ巣植林の生長、九大演報、51、19～38、1979
- 23) 佐藤憲一・高橋登美夫：群状植栽試験地（中間報告）、秋田営林局研究発表会論文集、30～34、1971
- 24) 豪雪協編：雪国の森林づくり、日本林業調査会、pp189、2000



写真1 天然秋田スギ混交林（ニツ井町七座山）

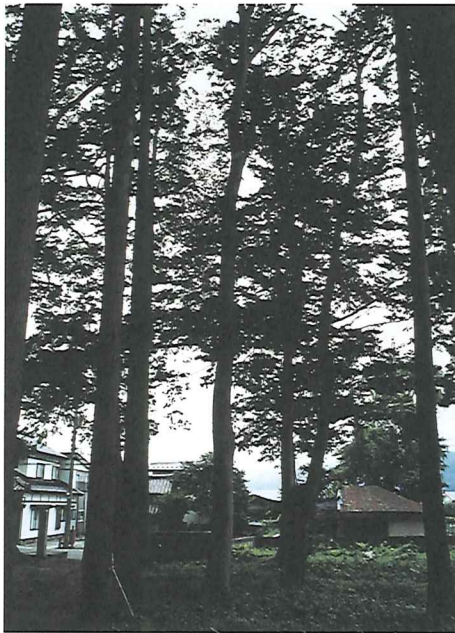


写真2 由利町 スギ・ケヤキ混交林
（ケヤキⅠ～Ⅱ型）



写真3 森吉町 スギ・ケヤキ混交林
Aブロック（ケヤキⅢ型）



写真4 森吉町 スギ・ケヤキ混交林
Bブロック（ケヤキⅣ型）



写真5 森吉町 スギ・ケヤキ混交林
Cブロック（ケヤキⅤ型）



写真6 角館町 スギ林



写真7 角館町 広葉樹林



写真8 角館町 混交林



写真9 テンションメーターでの測定



写真11 ケヤキの支柱と結び方



写真10 鷹巣町 スギ・ケヤキ混植地



写真12 ビニールひもによる雪害



写真13 カラマツ・ケヤキ混植地でのカラマツの雪害



写真14 阿仁町 スギ・イヌエンジュ混交林



写真15 比内町 イヌエンジュ一斉林



写真16 小坂町 多樹種混交植栽地

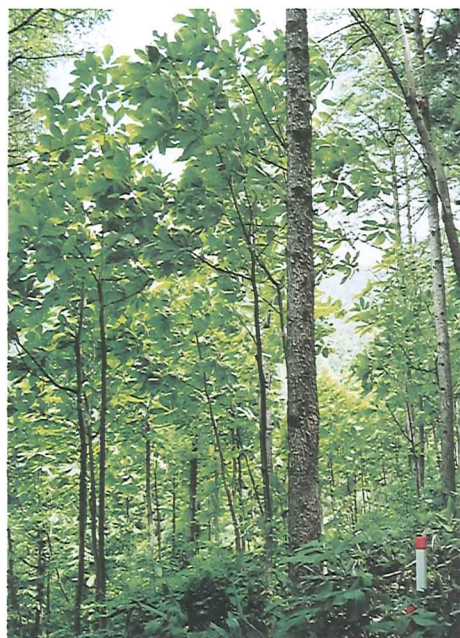


写真17 皆瀬町 ホオノキ・カラマツ混交林



写真18 皆瀬町 スギ・ミズキ混交林



写真19 スギ巢植え試験地（3本植え）



写真20 春のスギ巢植え混交林

研究報告（第8号）

印 刷 平成13年 3 月23日
発 行 平成13年 3 月23日
編集発行 秋田県河辺郡河辺町戸島字井戸尻台47-2
秋 田 県 森 林 技 術 セ ン タ ー
郵便番号 019-2611 電 話 018-882-4511
F A X 018-882-4443
e-mail : forest-c@pref.akita.jp
印 刷 株式会社 三 戸 印 刷 所

BULLETIN
of the
AKITA PREFECTURE FOREST TECHNICAL CENTER

No. 8 2001. 3

contents

Reserch of Plant Bioactive Substance and
Studies of their Profitable Use in ForestryHirofumi SATO..... 1

Studies on the making of mixed stand
with multipule-purpose functionsSatoshi SAWATA..... 12
Satoru WADA
Hideo ISHIDA