ISSN 0918-113X

研　究　報　告

第　16　号

2006. 6

秋田県農林水産技術センター
森林技術センター

目　　次

秋田県森技研報　第16号　2006年６月

山腹崩壊地等における斜面樹林化技術に関する研究

金子　智紀・田村　浩喜

The study on the technology to make the shrubbery in the place where the hillside collapsed.

Tomonori KANEKO・Hiroki TAMURA

要　旨

治山事業施工地の樹林化実態を明らかにするため，施工後およそ10年を経過した50施工地について，植生による被覆率（以下，植被率）と植栽木の成長を調査した。施工斜面の平均植被率は，高木層10.1±25.12%，亜高木層22.1±28.15%，低木層50.8±30.92%，草本層79.2±23.27%となっていて低木・草本層が優占する遷移ステージにあり，施工斜面は植生に覆われて安定していた。また，植生の起源による区分では，全植被率の約50%が導入種によって占められ，特に，高木・亜高木層ではその80%以上を占めていた。このことから早期樹林化には植栽木の育成が重要であると考えられた。一方，植栽木の平均生存率は46.8±26.24%と半数以下に低下し，その本数低下原因は肥料木の被陰による光環境の悪化，雪害，土壌環境への不適合，保育不足の４要因と判断された。この改善策として，積雪深や有効土層厚などに対応した樹種の選定，植生補助工である木柵工の改良，保育管理の徹底が必要であると考えられた。

Ⅰ．はじめに

集中豪雨や融雪などを起因として発生する山崩れは，森林の持つ様々な機能を著しく低下させ，時には人命や社会の生活基盤に重大な影響を及ぼす自然災害と位置づけられる。治山事業では，こうした被災地の復旧において，施工斜面に植生を導入し，森林の再生を通じて山腹斜面を安定化させることを目標としている。森林による林地保全機能は，植物体やそのリターによる土壌表面の被覆や，樹木の根系による土壌緊縛効果などによって，雨滴や表面流下水による侵食から林地を保護する機能が知られている。また，土層深くまで達した根系は，土砂の剪断・移動に対して杭の役目を果たし，表層崩壊を抑制する効果が認められている（*1*，*9*）。こうしたことから，施工後における山腹斜面の安定性は，導入された植生の成育に委ねられていると言ってよく，林地保全機能の発揮には，これら植生が定着・生育し，平面的な分布から立体的な構造となって成林し，最終的には安定した森林群落へと育成する必要がある。

しかし，施工斜面は急傾斜であるうえ，法切り整形に伴う腐植層の欠如，攪乱・締め固めによる土壌物理性の低下などから森林の成立基盤としては厳しい条件にある。このため植栽木の生育密度の低下や植生としての遷移が停滞している事例がみられる。また，施工後の植生動態に関する情報が少ないため，その生育実態に応じた改良手法や効果的な育成技術が明らかにされていない。

そこで，本論では成林途上にある施工後およそ10年を経過した施工地を対象に，主に二つの視点から実態解明を試みた。一つは緑化草本，植栽木，自然侵入種からなる植物群落としての発達度合であり，もう一つは将来の主要構成種となる植栽木の林分としての成長である。この両面から施工地の樹林化実態を捉え，成林阻害要因や立地環境と樹種との適合性などを検討したので報告する。

なお，本報告は秋田県森林土木課（現森林整備課）委託調査で実施した内容をとりまとめたものである。

Ⅱ．方　　法

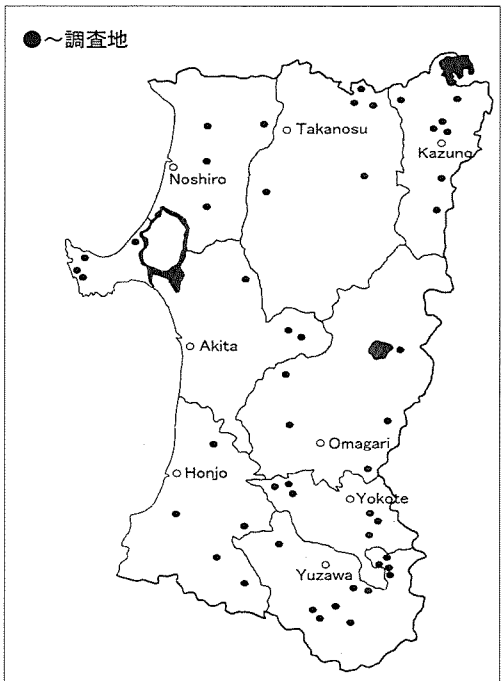
１．調査地の選定

調査地は，県内全域の治山施工地を対象に，施工面積0.1ha 以上，施工後の経過年数およそ10年を抽出条件とし，治山台帳から無作為に50箇所選定した（図－１）。

２．方法

１）植生調査

施工地内の斜面を上部，中部，下部と３区分し，それぞれに５ｍ×５ｍの調査区を１箇所設定した。なお，施工面積が小さい場合には，上部，下部の２区分とした。区画内の植物について Braun-Blanquet の全推定法を用い，種名，被度，群度を測定した。また，植被率は，植物社会学で用いられる優占度階級の被度範囲の中央値によって百分率被度に変換し，高木層，亜高木層，低木層，草本層（各層位100%，４階層で合計400%）毎に算定した。



図－１　位置図

２）周辺広葉樹林調査

施工地に近接する広葉樹林について，20m×25mの調査区を設定し，樹種，樹高，胸高直径を測定した。また，調査区内に５ｍ×５ｍの小プロットを設け，２）と同様の方法で植生調査を行った。

３）土壌調査

施工地の中央部で土壌断面を作成し，腐植，土性，構造等を調査した。また，400ccの採土円筒にて試料を採取し，土壌孔隙量，水素イオン濃度等を測定した。土壌の堅密度及び孔隙量は，表層から30cm～50cmの部位において測定した。土壌の硬さは山中式硬度計で測定した。

４）植栽木の生育調査

施工地内に400㎡もしくは500㎡の調査区を設定し，樹種，樹高，胸高直径，根元曲がり水平長等を測定した。また，雪害などの被害形態，また蔓類の巻き絡みなど成長を阻害している要因を記録した。さらに，各個体について次の基準により３区分した。

判定基準

Ａ：成長に優れ，被害があっても軽微な個体

Ｂ：ＡとＣ以外の個体

Ｃ：生育が遅れ，重度の被害によって生育困難な個体

Ⅲ．結果と考察

１．施工地の立地環境

１）施工の概要

(1)　施工目的

調査対象とした50施工地の施工概要およびその立地環境は，表－１に示すとおりである。本調査地では，施工目的及び現地調査から３タイプの施工地が出現した。一つ目は崩壊地の復旧型で，土砂の固定を図るため土留め等の基礎工を施工し，そのうえで植生工を施工するという，崩壊地の復旧において最も典型的なタイプである。表層土が流出し，施工による地山の改変度も大きく，それだけ植生の成育条件も厳しい場合が多い。二つ目はなだれ防止林の造成を目的とした施工地で，吊り枠や鉄柵など積雪の移動を防止する構造物と植生工を実施しているタイプであり，地山の改変度は比較的少なくて済む場合が多く，植栽木は雪圧から軽減される環境となっている。三つ目は植生工のみのタイプであり，植生補助工として木柵工の設置などがみられる程度で，立地の改変度が最も少ない林相改良型の施工地である。各施工地とも植生工の内容についてはほぼ同じであるが，地山の改変度や生育条件が異なっている。タイプ別の施工箇所数では復旧型41箇所，なだれ型８箇所，林相改良型１箇所であった。

(2)　施工面積

一施工地当たりの面積は，最小0.1ha，最大1.33haで，平均0.43±34haとなっていた。復旧型の施工面積は平均0.36haとなっていて全平均を下回っているが，なだれ型，林相改良型など森林の造成を主目的とした施工地の面積は，規模的に大きい傾向にあった。

(3)　植生工

①植栽工

導入樹種は，ほとんどの施工地で育成対象木と肥料木が導入されていた。育成対象木とは，森林造成の主要な構成をなす樹種で，肥料木とは土中に窒素を固定するなどの性質を利用して育成対象木の生育環境を改善する樹種である。育成対象木は１施工地当たり１種のみの導入が多く，樹種ではスギ，アカマツ，クロマツ，ケヤキ，ミズナラ，コナラ，イタヤカエデ，アオダモの８種が採用され，４施工地では導入が認められなかった。肥料木は，１施工地１種のみの導入であり，樹種はタニガワハンノキ（コバノヤマハンノキ），ヤマハンノキの高木類，イタチハギ，ヤマハギ，ヒメヤシャブシの低木類で，合計５種が使用され，すべての施工地で導入されていた。

植栽において，育成対象木と肥料木の混交歩合は１：１が大半であった。植栽の横間隔は１～1.5mが最も多く，縦間隔は直高1.5mに対し一列の配置となっていた。このため立木密度は急傾

斜になるほど高く，緩傾斜ほど低くなっていて，ha当たりの導入本数は2,000±500本の範囲内に多く集中していた。また，なだれ型の施工地では，植栽木の間隔が５～６ｍとなっている施工地もあり，ha当たりの植栽本数が300～500本の低密度植栽地が存在していた。

②緑化工

施工区域は，土工によって斜面が裸地となる。この表面侵食を防止するため緑化工や伏工により外来草本を主体とした植生が導入されていた。緑化工は全箇所で施工され，化学繊維に緑化種子を張り付けた植生ネットの使用が大半を占めていた。

(4)　植生補助工

整形された斜面上では，植栽木が成育するだけの土壌層が少なく，その理化学性も低下している。このため植栽木の活着や成長の促進において，樹木の生育基盤を確保する必要がある。その補助工としては木柵工が44箇所，積苗工が２箇所で設置されていた。また木製法枠工内に植栽された施工地が４箇所となっていた。

表－１　施工地の概要

施工の概要								立地環境												
調査地	種別	面積	年数	基盤	緑化	導入樹種		標高	方位	傾斜	斜面型		土性	孔隙量	特異構造	土層厚	腐植量	水分	硬度	pH
		(ha)	(年)		有無	植栽木	肥料木	(m)		(度)	横断	縦断		(%)		(cm)	(cm)		(mm)	
大谷	復旧	0.89	13	木柵	有	スギ	タニガワハンノキ	150	E	13	凹	下降	CL	75.6	G	40	0	湿	14.0	6.5
堤ヶ沢	復旧	0.11	10	木柵	有	スギ	タニガワハンノキ	180	W	15	直	平衡	C	75.2		100	27	湿	9.3	5.8
芦名沢	復旧	0.67	11	木柵	有	スギ	タニガワハンノキ	170	NE	36	直	平衡	S	65.9		100	100	潤	9.3	5.9
石滝上	復旧	0.70	9	木柵	有	スギ	タニガワハンノキ	270	W	10	凹	下降	CL	56.4	G	40	6	多湿	4.0	5.7
槃沢	復旧	0.18	12	木柵	有	スギ	タニガワハンノキ	70	NE	20	凹	下降	C	67.3		100	50	潤	16.7	5.4
大又	復旧	0.77	16	木柵	有	スギ	タニガワハンノキ	430	NW	15	凹	平衡	CL	60.4		60	16	潤	5.0	5.0
神宮沢	復旧	0.43	15	木柵	有	スギ	タニガワハンノキ	100	NE	20	直	平衡	HC	70.5	G	60	25	湿	11.8	5.4
浦ノ沢	復旧	0.10	10	木柵	有	スギ	タニガワハンノキ	25	SE	37	直	下降	HC	55.7	G	50	40	多湿	8.2	6.5
小出沢	復旧	0.13	13	木柵	有	スギ	タニガワハンノキ	100	NW	17	凹	平衡	HC	73.0	G	65	65	湿	12.7	5.0
川島	復旧	0.45	9	木柵	有	スギ	タニガワハンノキ	370	NW	30	凹	平衡	S	58.8		26	0	乾	13.3	6.5
観音下	復旧	0.13	10	木柵	有	スギ	タニガワハンノキ	85	NE	10	凹	下降	CL	63.4		24	0	湿	17.3	4.0
田ノ沢	復旧	0.45	10	木柵	有	スギ	ヤマハンノキ	400	S	23	直	平衡	CL	73.0	R	62	24	潤	16.0	5.6
小陣場	復旧	1.61	12	木柵	有	スギ	イタチハギ	295	NE	35	直	平衡	CL	71.9	R	20	0	潤	4.0	6.6
根市戸	復旧	0.17	10	木柵	有	スギ	イタチハギ	40	N	25	直	平衡	SL	57.1		65	84	潤	10.7	6.3
村下	復旧	0.53	15	木柵	有	スギ	イタチハギ	110	NE	17	直	下降	CL	60.5		20	36	潤	4.0	6.2
寺ノ沢	復旧	0.17	9	木柵	有	スギ	イタチハギ	250	NE	23	凹	平衡	CL	56.9	G	15	0	多湿	13.3	6.6
夜牛林	復旧	0.30	9	木柵	有	スギ	イタチハギ	230	S	42	直	平衡	L	66.0		100	100	潤	9.5	5.8
蛇ヶ沢	復旧	0.15	10	木柵	有	スギ，ケヤキ	イタチハギ	230	SW	30	凹	平衡	C	72.8	R	60	23	潤	16.0	5.6
高野	復旧	0.14	10	木柵	有	スギ，ケヤキ	イタチハギ	280	SE	32	直	平衡	C	74.6	R	55	60	潤	9.7	5.6
本山	復旧	0.16	10	木柵	有	スギ，ケヤキ	イタチハギ	250	SW	32	直	平衡	CL	61.8		100	58	潤	4.8	6.7
白岩下	復旧	0.16	10	木柵	有	スギ，ケヤキ	イタチハギ	40	S	22	凹	平衡	CL	57.5	G	58	40	潤	10.7	6.8
宮脇	復旧	0.24	8	木柵	有	スギ，ミズナラ	—	120	NE	30	直	平衡	C	71.8		27	15	潤	18.0	6.0
物渡山	復旧	0.60	13	法枠	有	スギ	—	80	NE	25	凹	下降	C	72.8		100	42	湿	6.3	4.4
名不知	復旧	0.26	9	木柵	有	ケヤキ	ヒメヤシャブシ	80	SE	45	直	平衡	L	60.4	R	57	35	潤	16.7	5.5
宮月	復旧	0.28	8	木柵	有	ケヤキ	タニガワハンノキ	260	SW	30	直	平衡	S	62.6		100	100	湿	3.0	5.7
下ノ岱	復旧	0.20	10	木柵	有	ケヤキ	タニガワハンノキ	440	NE	40	直	平衡	CL	73.6	R	13	0	潤	4.0	6.3
百川	復旧	0.60	8	木柵	有	ケヤキ	イタチハギ	150	E	40	直	平衡	C	69.4	R	41	0	潤	14.7	6.3
沢口	復旧	0.57	16	積苗	有	ケヤキ	—	120	SW	38	直	上昇	HC	74.6		100	65	潤	10.3	5.3
船沢	復旧	0.16	10	法枠	有	ケヤキ	—	70	SW	34	直	平衡	S	53.2		100	0	潤	6.0	7.4
恕行山	復旧	0.39	10	木柵	有	ケヤキ	—	270	NW	38	凸	平衡	SL	57.2		18	0	潤	3.3	6.2
長者屋敷	復旧	0.70	11	木柵	有	クロマツ	イタチハギ	240	W	27	直	平衡	SL	75.3	R	43	0	乾	8.0	5.8
七滝	復旧	0.70	11	木柵	有	クロマツ	イタチハギ	280	S	37	直	平衡	C	76.4		50	50	乾	15.0	5.8
橋本	復旧	0.10	10	木柵	有	クロマツ	イタチハギ	15	W	10	凹	下降	L	60.6	G	33	66	湿	11.2	6.5
加茂	復旧	0.52	13	木柵	有	クロマツ	イタチハギ	60	SE	20	凹	平衡	SL	54.1		30	60	潤	7.0	6.3
小坪沢	復旧	0.51	11	法枠	有	アカマツ	ヤマハンノキ	140	N	38	直	平衡	L	77.6		82	50	潤	13.5	6.7
松木沢	復旧	0.22	10	木柵	有	アカマツ	タニガワハンノキ	250	SW	28	直	平衡	CL	67.9		100	54	潤	4.7	4.6
町田	復旧	0.11	8	木柵	有	コナラ	ヒメヤシャブシ	400	NW	30	直	平衡	CL	47.8		55	0	潤	16.5	6.6
保呂瀬沢	復旧	0.21	11	積筋	有	—	タニガワハンノキ	140	NE	45	直	平衡	G	—		0	0	乾	—	5.5
晴ヶ岱	復旧	0.28	8	木柵	有	—	タニガワハンノキ	140	SE	5	直	平衡	CL	63.5		0	0	潤	12.0	7.9
外荻ノ沢	復旧	0.21	10	木柵	有	—	タニガワハンノキ	60	W	45	直	平衡	GS	52.2		10	0	潤	16.5	6.6
細田	復旧	0.34	9	法枠	有	—	イタチハギ	60	E	35	直	平衡	CL	71.1		89	14	潤	14.7	6.3
滝ノ沢山	復旧	0.28	8	木柵	有	ミズナラ	タニガワハンノキ	120	NE	32	直	平衡	L	71.9		100	100	潤	5.5	6.1
黒滝	なだれ	1.30	13	木柵	有	スギ	—	300	NE	22	直	下降	L	67.5		100	36	湿	7.7	5.9
桧沢	なだれ	0.13	13	木柵	有	ケヤキ	ヒメヤシャブシ	180	NE	33	凹	平衡	CL	67.2		25	0	湿	4.0	5.9
沖ノ沢	なだれ	1.22	12	木柵	有	ケヤキ	イタチハギ	280	SE	33	直	平衡	CL	61.3		100	100	潤	3.0	6.0
空堀	なだれ	0.32	9	木柵	有	ケヤキ，ミズナラ	ヤマハギ	280	SW	37	直	平衡	CL	60.4		100	100	潤	4.8	6.6
大森	なだれ	0.32	12	木柵	有	ケヤキ，ミズナラ，アオダモ	—	245	SE	35	直	平衡	CL	66.1		100	100	潤	12.2	5.9
小安沢	なだれ	0.22	11	木柵	有	ミズナラ	—	200	W	33	凹	平衡	C	70.8		100	20	潤	9.0	5.8
上林	なだれ	1.10	9	木柵	有	ミズナラ，イタヤカエデ	—	300	NE	40	凹	平衡	SL	61.9		42	41	潤	9.3	5.8
歌内沢	改良	0.90	9	木柵	有	アカマツ	タニガワハンノキ	580	S	32	直	平衡	CL	71.0		65	60	潤	8.7	5.8

注）Ｇはグライ層，Ｇは基岩層の存在を示す

２）立地環境

(1)　標高と積雪環境及び傾斜

調査地は，県内全域にわたり海岸部から山地までの広い地域に位置している。標高では最低15mから最高580mまでの範囲にあり，このうち標高300m未満の低山帯の施工地が42箇所と最も多かった。積雪環境では，本県の積雪地帯区分（*3*）からすると最深積雪深1.0m以上の多・豪雪地帯が38箇所を占めていた。また，施工地の傾斜は28.8±10.05度となっており，平均最大傾斜45度を最高に30度以上が31箇所で急傾斜地が多く占めていた。

(2)　土壌環境

①土層厚

土層は樹体を支持し，根系の成長や分布，養分や水分の吸収活動を支えている。このため，その厚さは成立する樹木の高さや根系の性状に大きくかかわっており，森林の成立要素として重要である。一般に，森林の成立には有効土層厚（Ａ層＋Ｂ層；以下土層厚という）で30cm以上の厚さが必要で，高木性樹種が成立するには60cm，さらに深根性樹種では90cm以上の厚さが望ましいとされている（*6*）。施工地における土層厚は，30cm未満が12箇所，30～60cm未満は13箇所，60cm以上の箇所は25箇所となっていて，高木性樹木の成立が厳しい施工地が半数を占めていた。

有効土層厚を制限する要因として，基岩の露出がある。復旧型の施工地では，表土が失われているため土壌層が薄く，深さ１m以内に基岩層が確認された施工地は８箇所であった。また，崩壊の要因として地下浸透水の影響を受けている場合が多い。こうした施工地では，通常暗渠工が施工されているが，規模が小さい施工地では省略されるケースがある。特に，谷筋に近い土留め工の背面などでは過湿な土壌環境となりやすく，グライ層が確認された施工地は８箇所となっていた。

②土壌理化学性

土壌の性質は，その組成によって保水性，通気性など土壌の物理性に大きく関与している。特に粘土は，水分や養分の吸着・保持力が大きく，また強い粘着力・凝集力を持つため土壌の物理性に対する影響が大きい。土性でみると，砂を主体とした砂質系土壌は９箇所，砂と粘土を主体とする壌土系は６箇所，粘りのある粘土を主体とした埴土系は33箇所，礫を主体とした礫質土壌は２箇所であり，粘土を主体とする土壌が施工地の半数以上を占めた。

また，土壌水分は植物の生育に欠かせない条件である。表層部を形成する土層についてみると，森林土壌調査法に基づく分類において「乾」４箇所，「潤」33箇所，「湿」10箇所，「多湿」３箇所であり，水分環境では樹木の成長に適した施工地が多かった。また，植物にとって養分となる腐植では，深さ１m以内にある土壌についてＡ層と判断される厚さの合計値を示した。通常，森林土壌では表層部に植物の栄養源などとなる腐植が形成され，深部にしたがってその含有量が少なくなり，Ａ，Ｂ，Ｃ層と区分されている。しかし，施工地では土壌が攪乱され，また盛土などによってＡ層とＢ層が逆転している場合なども確認された。腐植層厚の合計値が30cm未満は23箇所，30～60cm未満は12箇所，60cm以上は15箇所であり，半数が養分に乏しい状態にある。

土壌の堅密度は，根系の発達や乾燥に対する指標として用いられ，山中式硬度計において20㎜を超えると根系の発達が阻害され，逆に８㎜以下では根の伸長は容易であるが乾燥の影響を受けやすくなるとされている。土壌調査方法（7）で「しょう」,「軟」に相当する13㎜以下は34箇所，同じく「やや堅」14～17㎜13箇所，「堅，すこぶる堅」18～25㎜１箇所であり，土層の深さ50㎝では20㎜以上を示す施工地が９箇所存在した。また，孔隙量は，50％代が11箇所，60％代20箇所，70％以上は18箇所であった。良好な森林土壌のＡ層には70～80％の孔隙量が存在するといわれており，施工地の半数以上が低位な状態にあるといえる。

土壌の化学性の指標の一つとして水素イオン濃度がある。ph4.5以下の強酸性は３箇所，4.6～5.5は６箇所，5.6以上は41箇所で，鉱山由来の施工地にのみ強酸性土壌が出現していた。

以上のことから，施工地の立地環境を概括すると，その多くが低山地帯の急傾斜地にあり，積雪の影響を受ける地帯となっている。また，土壌環境は，表層土壌の欠落，切土・盛土に伴う人工改変土壌となっており，急傾斜で土層が薄く，土壌物理性が低下している。こうしたことから，植物の生育には総じて厳しい条件の施工地が多くなっていると判断できる。

２．植生による被覆実態

１）植被率

斜面の表面侵食防止においては，植生による被覆が重要な意味を持つ。整形直後の施工斜面は急傾斜で裸地の状態であり，雨滴や表面流下水などによって侵食が発生し，また崩壊が誘発されやすい。このため緑化工，植栽工，自然侵入種を起源とした植生などによって早期に被覆する必要があり，保全機能の向上には階層構造を発達させて樹冠の閉鎖を促進する必要がある。そこで，植生による被覆状態を示す指標として植被率を用い，階層毎にその実態を調査した。

表－２は，施工斜面及び施工地周辺における広葉樹林の階層別植被率の平均値を示したものである。施工地の平均植被率は，高木層（ｈ＞８ｍ）10.1±25.12％，亜高木層（４～８ｍ）22.1±28.15％，低木層（１～４ｍ）50.8±30.92％，草本層（１ｍ＞ｈ）79.2±23.27％で，各階層の合計値は162.2±49.61％となっていた。50施工地のうち，３箇所で小規模な表層崩壊が発生していたが，総じて植生に覆われて安定し，施工直後の侵食防止機能は発揮されていたといえる。また，植生を導入種及び侵入種に区分してみると，高木・亜高木層では導入種の植被率が８割以上を占め，低木・草本層ではそれぞれ半数を占めていた。

表－２　施工地の階層別被度

区分	被度				
	高木層	亜高木層	低木層	草本層	合計
全　体	10.1（25.12）	22.1（28.15）	50.8（30.92）	79.2（23.27）	162.2（49.61）
導入種	9.3（24.40）	19.6（25.74）	26.6（24.40）	34.8（31.38）	90.1（50.66）
侵入種	0.8（ 5.88）	2.5（ 9.36）	24.3（24.19）	44.5（29.04）	72.2（41.95）
周辺広葉樹林	67.1（23.26）	38.8（21.35）	59.4（25.00）	58.1（25.37）	223.4（44.08）

注）単位は％，（　）は標準偏差

一方，施工地周辺広葉樹林の植被率は，高木層67.1±23.26%，亜高木層38.8±21.35%，低木層59.4±25.00%，草本層58.1±25.37%，全体では223.4±44.08%であった。施工地周辺の広葉樹林を一つの復元目標と考えると，高木・亜高木層が極めて少ない構造となっていて，その大部分は導入種によって占められており，植栽木を中心とした森林の成立段階にあると判断される。

２）種数

表－３は施工地及び周辺広葉樹林について，出現した種数の平均値を階層別に示したものである。高木層では0.2±0.41種，亜高木層0.8±1.04種，低木層4.5±3.53種，草本層14.8±6.73種，合計21.0±10.28種となっており，下層になるほど種数が多くなっていた。これを導入・侵入種別でみると，低木層では導入種が1.5種，侵入種が3.0種，草本層では導入種が2.3種，侵入種が12.5種となっていて下層ほど侵入種が多い状況にある。

一方，周辺広葉樹林の出現種数は，高木層2.8±1.67種，亜高木層3.7±1.86種，低木層10.4±4.37種，草本層15.7±6.63種，合計32.6±9.71種となっていた。施工地では植栽によって２～３種，緑化によって３～４種，合計５～７種の植物が導入されるのが一般的であり，およそ10年を経過した時点で種数は３～４倍に増加している。

表－３　施工地に出現した階層別の種数

	種　数				
	高木層	亜高木層	低木層	草本層	合計
全　体	0.2 (0.41)	0.8 (1.04)	4.5 (3.53)	14.8 (6.73)	21.0 (10.28)
導入種	0.1 (0.37)	0.6 (0.67)	1.5 (1.24)	2.3 (1.81)	5.3 (8.45)
侵入種	0.0 (0.15)	0.3 (0.64)	3.0 (3.14)	12.5 (7.22)	15.7 (8.43)
周辺広葉樹林	2.8 (1.67)	3.7 (1.86)	10.4 (4.37)	15.7 (6.63)	32.6 (9.71)

注）単位は種，（　）は標準偏差

３）侵入種とその出現率

50施工地で確認された侵入種は，高木性木本22種，亜高木性木本19種，低木性木本55種，蔓性木本16種，草本187種（うち同定不明種３種）であった。このうち出現頻度の高い種について階層別にみると（表－４），高木層ではハリエンジュ１種のみの出現でその全調査地に占める出現率は2.2%と極めて少なかった。同様に亜高木層ではハリエンジュ及びクズが4.4%，クリ2.2%，ミズナラ及びヤマナラシ1.5%，低木層ではタニウツギ43.8%，クマイチゴ22.6%，クズ19.0%，ススキ16.1%，ヤマグワ12.4%，草本層はアキタブキ46.7%，アカソ38.7%，ススキ38.7%，フジ29.9%，クズ26.3%などであり，先駆種，蔓性植物が優占していた。

一方，周辺広葉樹林では高木性木本31種，亜高木性木本23種，低木性木本64種，蔓性木本18種，草本123種（うち同定不明種４種）が確認された。出現頻度の高い種について階層別にみると（表－５），高木層ではミズナラ46%，クリ36%，コナラ26%，ホオノキ18%，ケヤキ14%，亜高木層ではウワミズザクラ24%，ミズナラ24%，コナラ22%，ホオノキ18%，マルバマンサク18%，低木層ではヤマモミジ40%，オオバクロモジ38%，タニウツギ36%，マルバマンサク30%，ムラサキシキブ30%，草本

層ではシシガシラ50%，フジ46%，ミヤマカンスゲ38%，チマキザサ36%，ハイイヌガヤ34%などである。上層林冠は，ミズナラ，コナラが優占する林分や，これにクリ，ホオノキなどが混じる混成林が多く，またミズナラ・コナラ林にケヤキ，アカシデ，エゴノキなど急傾斜地に多く出現する種で構成されていた。また中・下層では，ヒメアオキやハイイヌガヤ，スゲ類など比較的安定した森林に見られる林床植生のほか，タニウツギなど不安定な立地に出現する種，林冠ギャップや林縁などに侵入しやすいフジやミツバアケビなどの蔓性植物が出現していた。施工地周辺の広葉樹林は，一般の低山帯で見られる広葉樹二次林の構成要素に加え，急傾斜地や攪乱に対応した植生が混在することが特徴と考えられた。

治山事業では，施工地に導入した植生の育成もさることながら，自然侵入した植生を活かす工夫も求められている。また，施工地への侵入種は，少なからず周辺植生の影響を受けていると考えられることから，周辺広葉樹林と共通して出現した種を，施工地の樹林化に寄与する候補種としてみることができる。表－４及び表－５からその共通種をみてみると，高木性木本ではハリエンジュ，クリ，ミ

表－４　導入種の階層別出現率（N＝137）

	樹種名	被度別調査区数							出現率
		5	4	3	2	1	+	計	(%)
高木層	タニガワハンノキ	8	9					17	12.4
	スギ		1	1				2	1.5
亜高木層	スギ	3	6	13	8	2		32	23.4
	タニガワハンノキ	2	1	5	6	2		16	11.7
	ケヤキ	1	1	4	3	1		10	7.3
	オノエヤナギ		2	2	1	1		6	4.4
	コナラ		3		2			5	3.6
	イタヤカエデ					3		3	2.2
	クロマツ			1	1	1		3	2.2
	ヒメヤシャブシ					2		2	1.5
	ミズナラ					2		2	1.5
	イヌコリヤナギ			1				1	0.7
低木層	イタチハギ		3	16	21	6	5	51	37.2
	スギ		1	13	6	7		27	19.7
	ケヤキ			3	8	7	2	20	14.6
	オノエヤナギ		1	7	4	4		16	11.7
	イヌコリヤナギ		1	3	9	2		15	10.9
	ヤマハギ	1	3	3	6	1		14	10.2
	クロマツ			2	1	2	1	6	4.4
	タニガワハンノキ			1	3	1	1	6	4.4
	ヒメヤシャブシ			1	3	1		5	3.6
	ミズナラ				1	3	1	5	3.6
草本層	オニウシノケグサ	17	16	19	19	23	11	105	76.6
	ヨモギ		10	17	23	21	12	83	60.6
	ナガハグサ	1	3	7	19	15	11	56	40.9
	メドハギ	3	2	4	13	5	16	43	31.4
	イタチハギ			3	5	1	3	12	8.8
	ヤマハギ				5	3		8	5.8
	シロツメクサ			2	1	4		7	5.1
	クロマツ				2	2		4	2.9
	スギ				2	1	1	4	2.9
	ケヤキ				2	1		3	2.2

注１）掲載種は，各階層において出現率上位10種を示した
注２）タニガワハンノキにはヤマハンノキを含む
注３）オニウシノケグサにはオオウシノケグサを含む
注４）ヨモギにはオオヨモギを含む

表－５　侵入種の階層別出現率（N＝137）

	樹種名	被度別調査区数							出現率
		5	4	3	2	1	+	計	(%)
高木層	ハリエンジュ		1	1	1			3	2.2
亜高木層	ハリエンジュ	1	1	1	2	1		6	4.4
	クズ					6		6	4.4
	クリ				2	1		3	2.2
	ミズナラ			2				2	1.5
	ウワミズザクラ					2		2	1.5
	ヤマナラシ	1						1	0.7
	オノエヤナギ			1				1	0.7
	カスミザクラ					1		1	0.7
	ヤマグワ					1		1	0.7
	ヌルデ					1		1	0.7
低木層	タニウツギ	3	5	13	16	14	7	58	42.3
	クマイチゴ			6	8	8	9	31	22.6
	クズ		3	3	8	11	1	26	19.0
	ススキ		2	8	5	4	3	22	16.1
	ヤマグワ			1	6	4	6	17	12.4
	タラノキ				3	5	5	13	9.5
	フジ			1	2	7	2	12	8.8
	キブシ				6	4	2	12	8.8
	ムラサキシキブ				1	6	3	10	7.3
	ノリウツギ					5	5	10	7.3
草本層	アキタブキ				7	24	33	64	46.7
	ススキ		1	8	15	20	9	53	38.7
	アカソ		1	2	9	25	16	53	38.7
	ミヤマカンスゲ		3	10	9	15	5	42	30.7
	フジ			2	4	12	23	41	29.9
	ミゾシダ				5	11	24	40	29.2
	クズ		2	6	16	11	1	36	26.3
	オオタチツボスミレ				2	11	23	36	26.3
	ノコンギク			3	5	12	13	33	24.1
	クマイチゴ			1	9	9	13	32	23.4

表－６　施工地周辺広葉樹林の階層別出現率（N＝50）

	樹種名	被度別調査区数							出現率
		5	4	3	2	1	+	計	(%)
高木層	ミズナラ	1	7	9	4	2		23	46
	クリ		1	5	7	4	1	18	36
	コナラ	3	4	4	1	1		13	26
	ホオノキ			2	4	3		9	18
	ケヤキ			2	4	1		7	14
	ハリエンジュ	2		1	3			6	12
	コシアブラ			2	2	2		6	12
	スギ		1		3		1	5	10
	ブナ			2	3			5	10
	カスミザクラ				3	2		5	10
亜高木層	ミズナラ		3	5	3	1		12	24
	ウワミズザクラ			2	4	4	2	12	24
	コナラ			1	7	3		11	22
	マルバマンサク			1	4	3	1	9	18
	ホオノキ			1	2	5	1	9	18
	エゴノキ			1	2	2	3	8	16
	ハウチワカエデ			1	1	6		8	16
	コシアブラ				4	4		8	16
	ヤマモミジ				4	3	1	8	16
	クリ			2	4		1	7	14
低木層	ヤマモミジ			2	6	6	6	20	40
	オオバクロモジ			1	10	12	6	19	38
	タニウツギ			3	5	5	5	18	36
	マルバマンサク		1	5	3	5	1	15	30
	ムラサキシキブ			1	3	5	6	15	30
	リョウブ			1	5	5	3	14	28
	エゴノキ				5	2	7	14	28
	オオカメノキ				1	7	6	14	28
	ミヤマガマズミ				5	1	7	13	26
	コナラ				1	6	6	13	26
草本層	シシガシラ			2	3	9	11	25	50
	フジ				5	10	8	23	46
	ミヤマカンスゲ		1	7	7		4	19	38
	チマキザサ		2	2	5	8	1	18	36
	ヒメアオキ			2	4	3	8	17	34
	ハイイヌガヤ			1	2	4	10	17	34
	トリアシショウマ				4	8	4	16	32
	ミツバアケビ					8	8	16	32
	サルトリイバラ				2	2	10	14	28
	キバナイカリソウ				1	5	7	13	26

ズナラ，ウワミズザクラ，カスミザクラで，低木ではタニウツギ，ムラサキシキブ，蔓性木本ではフジ，クズであった。侵入種を活かすという視点からすると，在来の高木性樹種は出現頻度が２％以下と極めて少ない状態で，逆に植栽木に害を及ぼす蔓性木本が草本層から亜高木層にかけての高い頻度で出現していた。

以上のことを総括すると，施工地の植生の発達段階は，草本・低木層を中心とした遷移ステージにあり，緑化草本などの導入種が在来種と置き換わる時期と考えられる。また，高木・亜高木層の植被率は低いものの，その多くは導入種で構成されており，早期樹林化に向けては植栽木の育成が重要であると考えられた。一方，侵入種は，現段階では在来の高木性樹種の出現が少なく，かえって植栽木に影響を及ぼす蔓類が優占する状態にあり，保育が必要な時期であると判断された。

３．植栽木の生育実態

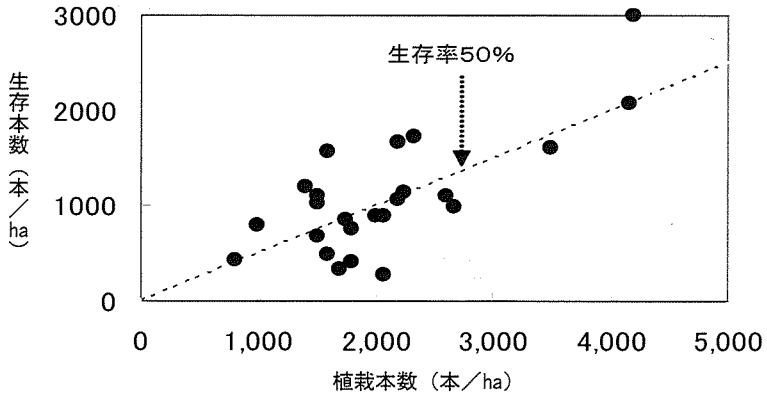
植栽工において，導入木本は育成対象木と肥料木に分けられ，導入目的から両者は主従の関係にある。育成対象木は施工地における主要構成種として期待されることから，その成長や被害などの実態について樹種毎に整理した。

１）スギ

(1)　生存本数

スギは，全施工地の約半数を占める24箇所で導入され，このうち23箇所は崩壊地の復旧タイプで，１箇所はなだれ防止林の造成タイプであった。平均林齢は10.8±2.09年（同範囲８～16年）である。

図－２は，植栽本数に対する現状の生育本数を示したものである。植栽本数はhaあたりの密度に換算して3,000本を超える高密度植栽地が３箇所，また1,000本に満たない低密度植栽地が２箇所となっており，これを除くと平均植栽本数はおよそ2,000本（1,924±372本）となっていた。一方，生育本数は2,000本以上維持している施工地が高密度植栽地の２箇所のみとなっており，平均生育本数は約1,000本（955±406本），生存率（全生育本数／植栽本数）は52.6±21.15％であった。こうしたことから，スギを植栽した施工地ではおよそ10年で植栽本数は半減し，中には生存率30％以下となった本数低下の著しい施工地が認められた。



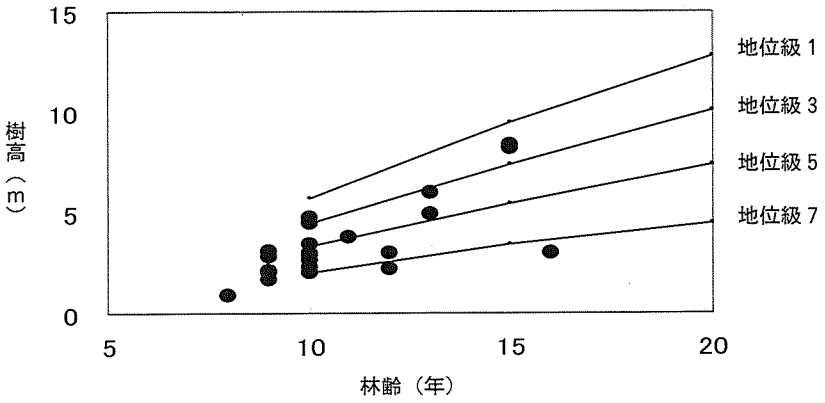
図－２　スギの生育本数

(2)　樹高成長

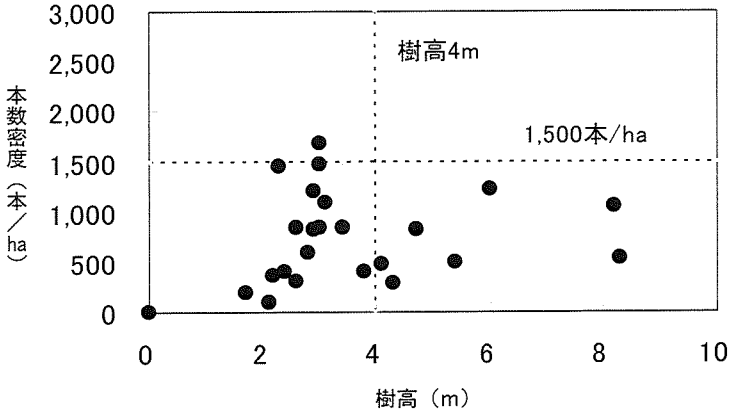
施工地のスギの平均樹高は，3.5±1.81m（同範囲0.9～8.3m）であった。図－３は，本県のスギ人工林の地位級（*2*）において，施工地に植栽されたスギの成長がどの程度に相当するかを示したものである。経済林としての取り扱いが可能な地位級２～５に相当した施工地は10箇所となっており，この限界を超えた地位級６以下は14箇所となっていた。また，最も生育が遅れた施工地の成長は，地位級７相当と判断された。図－４は，樹型区分においてＡ及びＢと判定した個体を成林見込み木とし，その平均樹高とその本数密度を示したものである。各施工地の樹高は3.5±1.86m（同範囲０～8.3m），またha当たりの本数は730±450本（同範囲０～1,680本）となっていて，樹高では全平均樹高と同等となっているが，本数密度は生育本数のおよそ２／３（65.6±24.5%）に相当していた。横井ら（*4*）は，積雪地帯におけるスギの不成績造林地において10年生頃に成林の可能性の判定を行い，スギ健全木がha当たり1,500本以上，かつ上層木の平均樹高が４m以上を限界としている。この基準からすると，すべての施工地においてスギのみでの成林は難しいと考えられる。

(3)　被害

植栽木の被害実態の把握と，その施工地における本数低下や成長を抑制する原因を明らかにするため，現存する個体について被害形態を調査した。また，被害本数の算定においては，２種類以上の被害を同時に受けている場合には，より影響を与えている被害項目にカウントした。



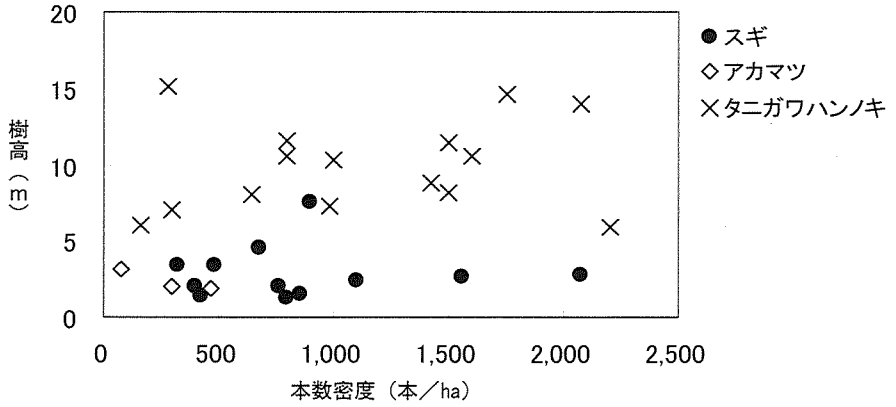
図－３　地位からみた成長評価



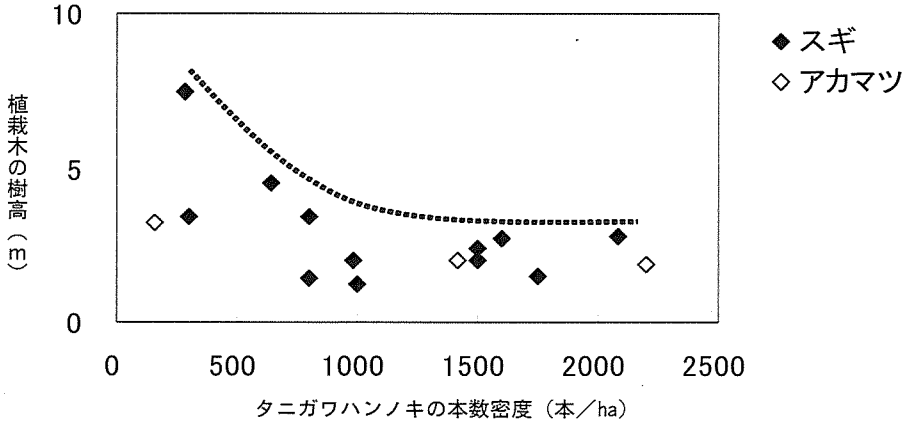
図－４　人工林としての成林限界

各施工地の被害木（中度以上）は，生育本数の２／３にあたる66.7±25.19%に何らかの被害を受けていた。その形態としては，光環境の悪化による上長成長の停止や枝枯れ，雪害による根返りや幹折れ，土壌環境による生育の遅れ，保育の省略による雑草木の被圧などが確認され，蔓等の巻がらみが雪圧を助長して倒伏する複合的な被害も確認された。

図－５は，肥料木としてタニガワハンノキ（１箇所でヤマハンノキ）を導入した施工地12箇所において，その生育本数と平均樹高を示したものである。スギの樹高は2.9±1.66m（同範囲1.2～4.5m）であるのに対し，タニガワハンノキの樹高は10.7±2.67m（同範囲7.0～15.1m）となっており，二段林的様相を呈している。また，図－６はタニガワハンノキの本数密度とスギの樹高を示したものである。タニガワハンノキの本数密度がha当たり1,000本以内では，その密度に応じてスギの樹高が増減し，1,000本を超えるとスギの樹高は一定化する傾向がうかがわれる。一方，被陰下にあるスギの樹型をみると，上長成長が認められなくなって樹冠が丸みを帯び（被害：軽度），さらに被害が進むと下枝から枯れ上がり（被害：中度），加えて葉先からの枯れや胴曲がりが生じる形態（被害：重度）となっていた。このように，タニガワハンノキに被圧されたスギは，光環境の低下に伴って生育が困難となり，成林を阻害する大きな要因の一つと判断される。

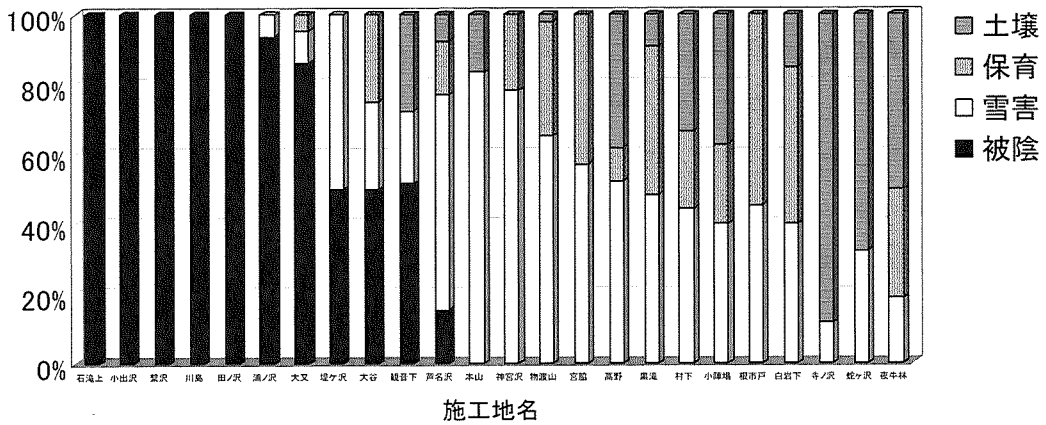


図－５　タニガワハンノキと植栽木の生育差



図－６　タニガワハンノキによる影響

図－７は，被害木について被陰，雪害，土壌，保育の４要因に区分し，その本数構成比を示したものである。被害本数が１要因によって50％を超えた場合，その要因を施工地の主たる成林阻害要因とすると，被陰10箇所，雪害６箇所，土壌３箇所，保育１箇所となり，いずれかの要因が複合的に発生していた施工地は４箇所と判断された。



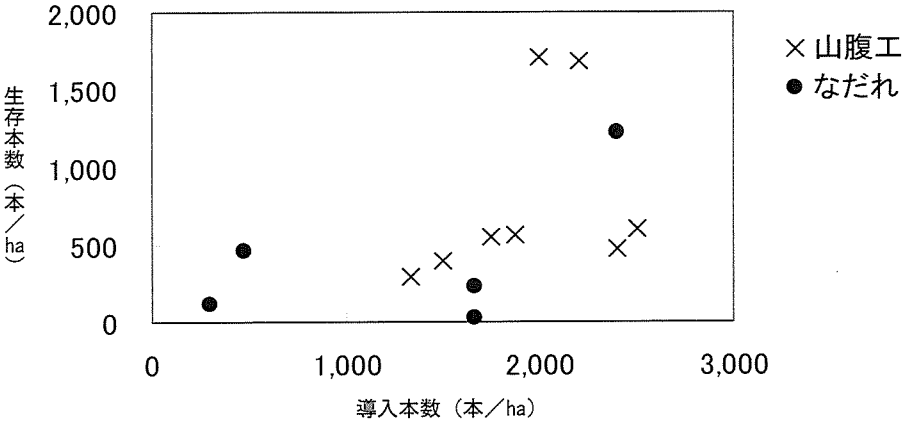
図－７　スギの被害要因別本数構成比

２）ケヤキ

(1)　生存本数

ケヤキは，全施工地のおよそ１／３を占める15箇所で導入され，このうち10箇所は復旧型で，５箇所はなだれ型の施工地であった。復旧型のうち，２箇所はコンクリート性法枠工が主体であり，土留め工の背面に並木状に植栽していた施工地となっていた。平均林齢は10.3±1.96年（８～16年）である。

図－８は，現状の生育本数を示したものである。植栽本数は，haあたり500本に満たない低密度植栽地が２箇所あり，これを除くとha当たりの平均植栽本数はおよそ1,900本（1,936±377本）となっていた。これに対し，平均生存本数は約700本（704±545本），とおよそ１／３（生存率34.7±24.60％）に減少していた。ケヤキでは，施工タイプによって生存率に特徴がみられる。復旧型では生存本数が75～85％に維持されたグループと，20～30％に低下したグループに二分される。また，

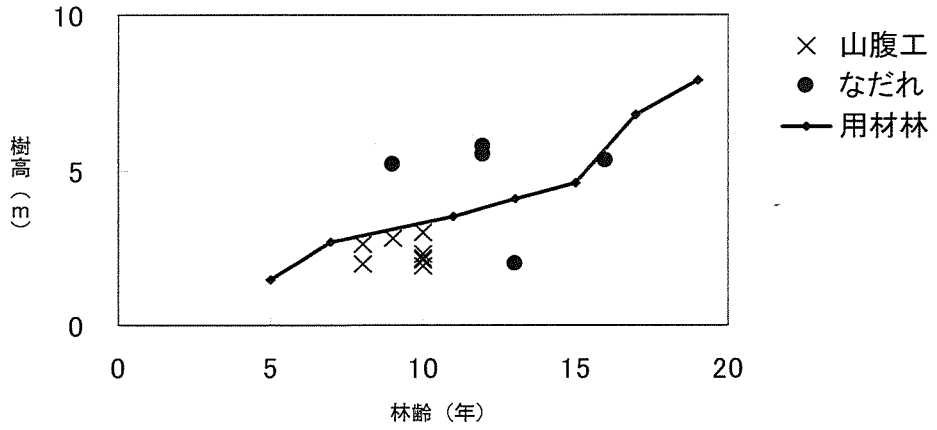


図－８　生育本数

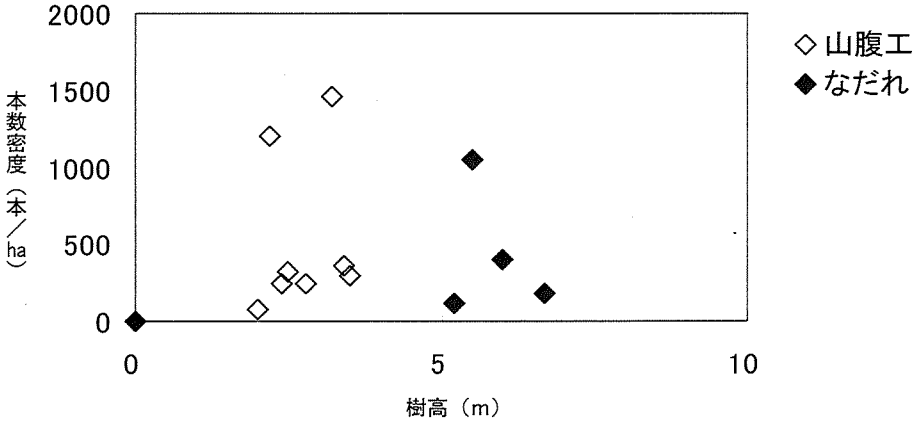
なだれ防止林造成型では，生存率20％以下の施工地が存在し，総じてスギよりも生育本数の減少が著しい。

(2)　樹高成長

図－９は，ケヤキの樹高成長を示したものである。平均樹高は3.3±1.48m（同範囲1.9～5.8m）となっていて，施工タイプによって生育差がみられる。復旧型の樹高は２～３ｍの範囲となっているが，なだれ型では１施工地を除き，５～６ｍの成長となっている。また，多雪地帯に位置するケヤキ人工林の生育事例（*10*）を示したが，両者はこの成長線によって概ね二分され，なだれ型の樹高成長が復旧型の成長を上回っている。また，図－10は成林見込み木の平均樹高と本数密度を示したものである。各施工地の樹高は3.5±1.81m（同範囲０～6.7m），ha当たりの生育本数は730±450本（同範囲０～1,460本）となっていた。成林見込み木は，樹高では全平均樹高と同等であるが，本数密度は生育本数のおよそ２／３（64.2±26.89％）に相当していた。また樹高と本数の関係からみると，なだれ型は成長が良いものの生育本数が少ない特徴を示し，復旧型では成長は低位でありながら生育本数が多い施工地と少ない施工地に区分される。



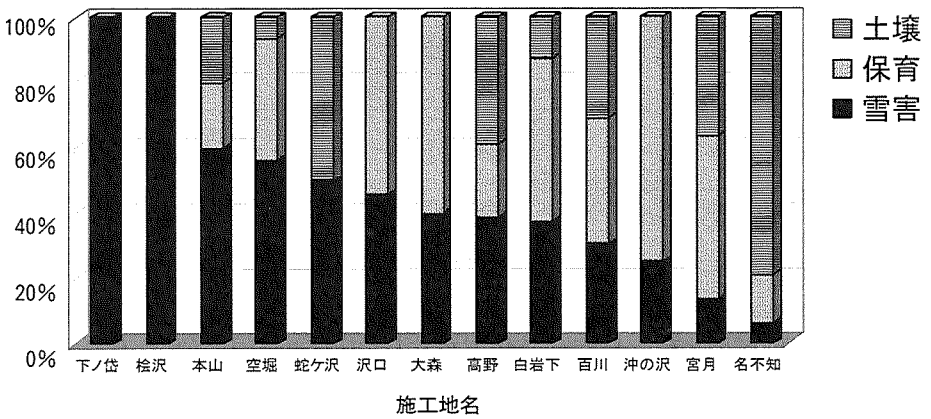
図－９　樹高成長



図－10　成林見込み本数

(3)　被害

各施工地では，全生育本数のおよそ３／４にあたる74.9±20.30%が被害を受けていた。その形態としては，雪害や生育の遅れ，そして蔓類の巻がらみや誤伐などが確認された。スギと同様に４要因に区分し，その構成比をみると，雪害５箇所，保育４箇所，土壌１箇所となった（図－11)。



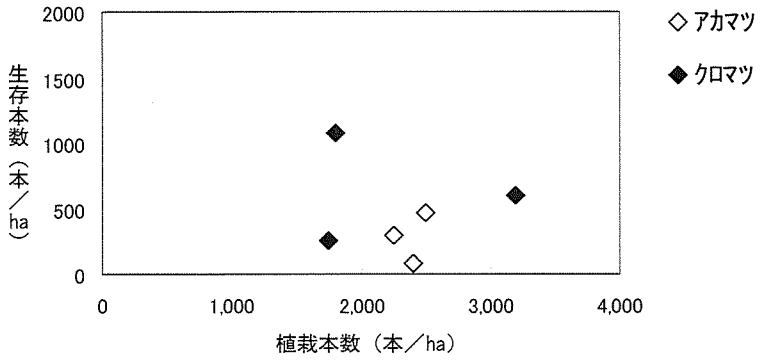
図－11　ケヤキの被害要因別本数構成比

３）アカマツ・クロマツ

(1)　生存本数

アカマツは３箇所，クロマツは４箇所で導入されていた。このうち６箇所は復旧型で，１箇所は林相改良型であった。また，復旧型のうち１箇所（クロマツ）は，枯損により植栽木を確認することができなかった。平均林齢は10.5±1.38年（同範囲９～13年）である。

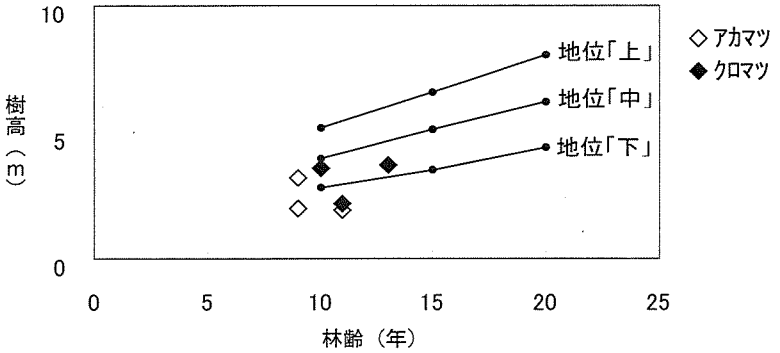
図－12は，生育本数を示したものである。ha当たりの植栽本数は，およそ2,300本（2,317±485本）であるのに対し，生育本数は500本（463±321本）となっていて，生存率では21.4±18.01%と１／５に減少していた。



図－12　生育本数（マツ類）

(2)　樹高成長

図－13は，アカマツ及びクロマツの樹高成長を示したものである。平均樹高は2.8±0.75m（同範囲1.9～3.7m）となっていて，クロマツの地位級（5）に



図－13　樹高成長（マツ類）

よると，地位「中」相当の成長が２箇所，「下」相当が１箇所，それ以下の成長が３箇所となっている。また，成林見込み木の樹高は2.8±1.43m（同範囲０～4.6m），ha当たりの本数は188±167本（同範囲０～520本）となっており，樹高では全平均樹高と同じであるが，本数では全生育本数のおよそ１／３（36.8±28.61%）に相当していた。

(3)　被害

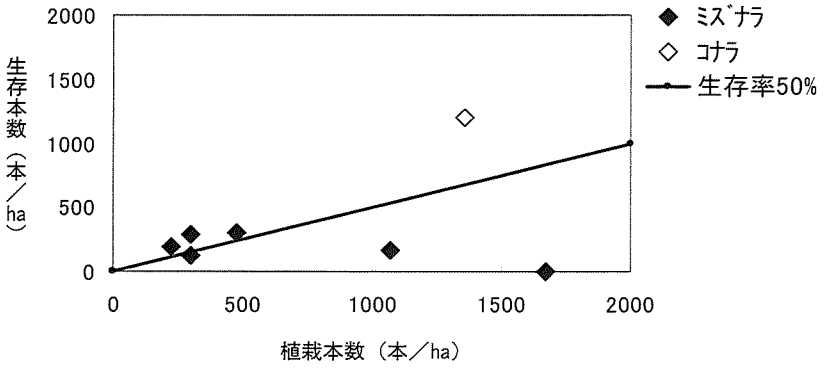
各施工地では，全生育本数の４／５にあたる83.2±21.17%が被害を受け，特に，生育する全本数が中度以上の被害を受けている施工地は２箇所確認された。また，被害の形態としては被陰による被害が顕著で，陽光を必要とするマツ類において致命的な被害となっていた。このほか，雪害，そして蔓類の巻がらみなどがみられた。要因別にその構成比をみると，成林阻害要因別箇所数は，被陰２箇所，保育２箇所，雪害１箇所と判断された。

4）ミズナラ，コナラ

(1)　生存本数

ミズナラは６箇所，コナラは１箇所で導入されていた。このうち２箇所は復旧型で，５箇所はなだれ型であった。なだれ型のうち１箇所（ミズナラ）では，施工地内にクズ類が繁茂し，雪害によって枯損した植栽木が数本のみ確認された。平均林齢は9.3±1.67年（同範囲７～12年）である。

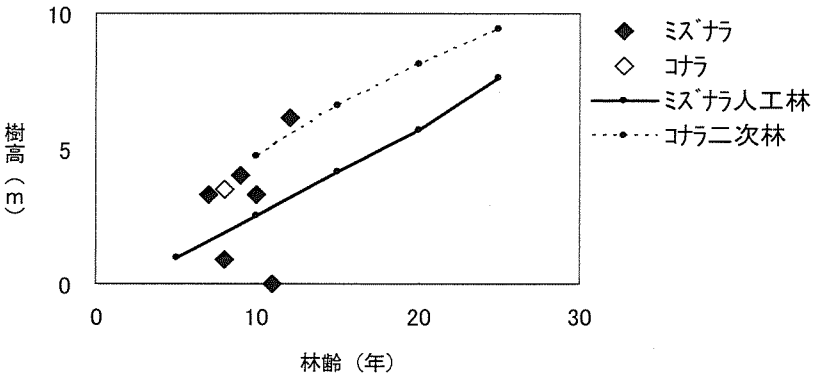
図－14は，現状の生育本数を示したものである。ha当たりの植栽本数は，低密度植栽地でおよそ300本（326±94本），これを除く施工地ではおよそ1,400本（1,367±245）となっている。これに対し，生育本数は１施工地を除いてすべて300本以下となっていた。また，生存率は55.5±34.44%となっているが，施工地によって大きくバラつき，植栽木が消滅した施工地が確認された。



図－14　生育本数（ナラ類）

(2)　樹高成長

図－15は，ミズナラ及びコナラの樹高を示したものである。平均樹高は3.5±1.52m（同範囲0.9～6.1m）



図－15　樹高成長（ナラ類）

となっていた。山地に植栽したミズナラ人工林の中庸的生育事例（*8*）と比較すると，１箇所を除いてその成長を上回っていた。また成林見込み木は，樹高4.4±1.11m（同範囲3.6～6.6m），ha当たりの本数は209±286本（同範囲０～880本）となっていて，樹高では全平均樹高を約１m上回り，本数では全生育本数のおよそ２／３（64.7±13.05%）に相当した。

(3)　被害

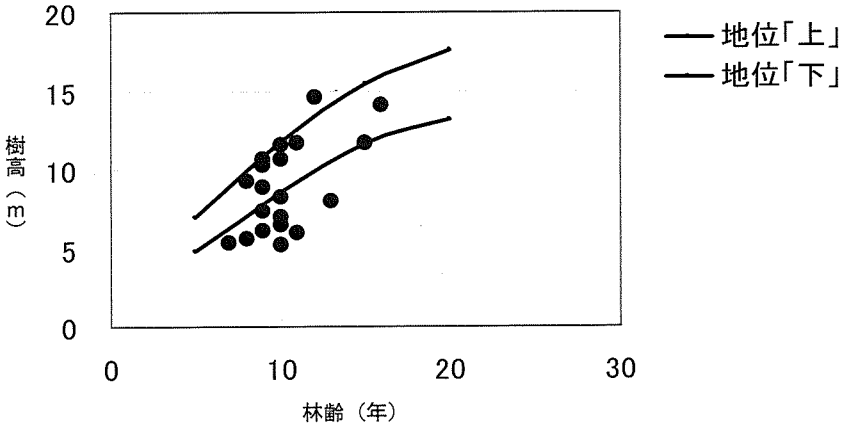
各施工地では，全生育本数の３／４にあたる72.9±22.42%が被害を受け，特に，全本数が被害を受けている施工地は２箇所存在した。また，被害の形態としては，雪害，そして蔓類の巻がらみなどが確認された。成林を阻害する要因別の構成比をみると，雪害５箇所，保育２箇所となっていた。

４．成林阻害要因とその改善策

成林阻害要因は，被陰，雪害，土壌，保育と４区分され，それぞれについて改善策を検討する。

１）被陰

被陰による被害は，育成対象木と肥料木との間に生育差が生じ，肥料木の成長が育成対象木の成長を上回ったため生じた被害である。このことから，タニガワハンノキ及びヤマハンノキの導入においては，その成長特性を考慮し，育成対象木に影響を及ぼさない配置や導入本数を検討するほか，混植方式で植栽する場合には，被陰の影響を受け始める４～５年を目途に，保育作業に合わせて伐採する方法などで対処する必要がある。他方，タニガワハンノキは土壌や積雪環境に対する適応力が高く，図－16に示すとおり，早期の樹林化が可能な種と考えられる。立地条件の厳しい施工地では，こうした特性を活かし，最初にタニガワハンノキのみによる樹林帯を作って土壌等の生育条件を改善し，10～15年の時点でこれを排除して，本来の育成対象木を植栽していくことが有力な一手法と考えられる。



図－16　樹高成長（タニガワハンノキ）

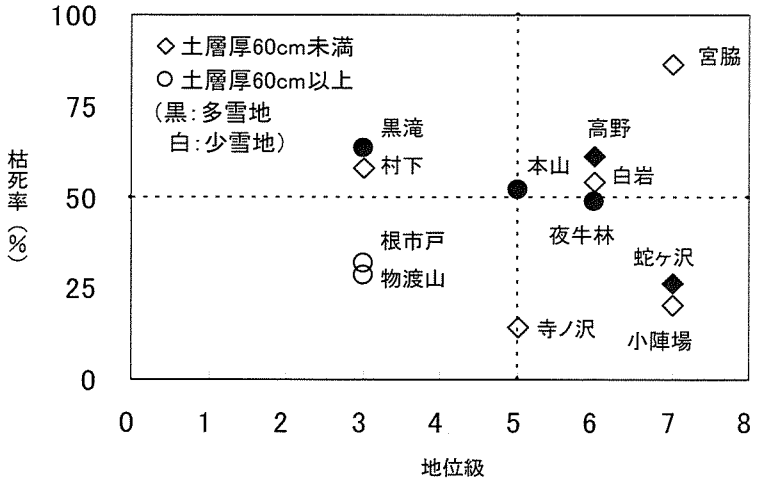
２）雪害及び土壌

施工地の多くは多雪地帯にあり，また急傾斜で表層土壌も流失していることなどから，積雪環境や土壌条件が育成対象木の生育に及ぼす影響は大きい。雪害回避のため，自然要因である積雪環境を制御することは事実上困難であり，土壌条件においても，植栽基盤の確保や土壌改良等によって生育環境の改善がある程度可能となるものの，次第に施工地の環境に左右されようになる。こうしたことか

ら，雪害や土壌を起因とする被害防止についてその決め手となる改善策は見あたらない。そこで，本論では立地環境に適した（耐性をもつ）樹種を採用することが被害軽減に結びつくと考え，積雪環境や土壌条件が植栽木の成長や被害とどのような関係にあるのか検討した。

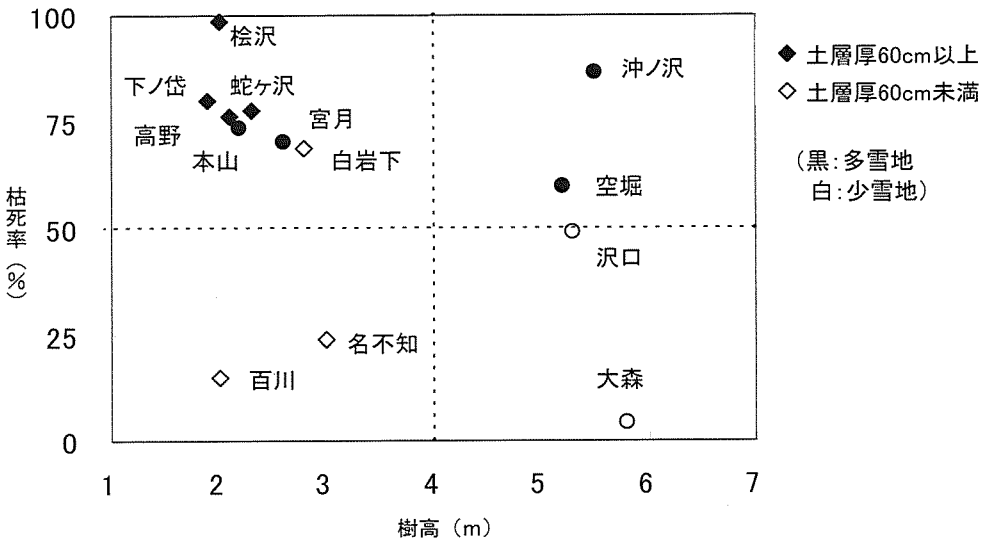
スギについては，タニガワハンノキによる被陰の影響が認められない12施工地を対象に，積雪については枯死率（(設計本数－生育本数）／設計本数），土壌環境については地位級を指標として，その影響を検討した。同時に，積雪深は最深積雪深150cmを基準として少雪及び多雪と区分し，土壌は土層厚61cm以上，60cm以下と区分した。

図－17は，スギの地位級と枯死率との関係を示したものである。仮に，積雪深が枯死率を，土層厚が地位級を反映するとすれば，少雪地で土層の厚い施工地は左下に分布し，多雪地で土層が薄い施工地は右上に分布することになる。施工地の分布状態をみると，物渡山及び根市戸は，少雪地で土層厚100cmの施工地であり，図上では成長が良く枯死率の低い左下に位置している。同様に寺ノ沢，小陣場は少雪地で土層厚は15～20cmと薄く，さらに下層には基岩層が存在する施工地であり，成長は不良であるが枯死率の低い右下に位置している。また，多雪地で土層が厚い黒滝は左上に，多雪地で土層が薄い高野は右上に位置するなど，それぞれ積雪深と土層厚に応じた分布傾向がうかがわれる。しかし，必ずしもこの二つの要因のみで説明できない施工地もある。たとえば村下では，土層厚において60cm以下の区分となっているが，シラスの上に黒ボク土壌が乗っている場所であることなどから土層が薄くても成長が維持されており，また宮脇のように土壌硬度18～25mmを示すような場所では，積雪深が少なくても極めて高い枯死率を示している。このようなことから，スギの成長や本数の低下は，積雪環境と土壌条件によって大まかに説明できるものの，これに加え施工地特有の阻害（促進）要因も大きく関与していることがわかる。



図－17　積雪及び土壌による影響（スギ）

スギと同様に，ケヤキを植栽した12施工地について，積雪と土壌による影響を検討した。ただし，ケヤキは地位級区分がないため，これに代えて樹高を用いた。図－18は，ケヤキの平均樹高と枯死率を示したものである。各施工地の分布状態をみると，大森，沢口は少雪地帯で土層厚100cmの施工地



図－18　積雪及び土壌の影響（ケヤキ）

であり，図上では樹高が高く枯死率の低い右下に位置している。名不知，百川は少雪地帯で土層厚41～57cm（基岩層あり）の施工地であり，樹高や枯死率の低い左下に位置する。また，多雪地帯で土層が厚い沖ノ沢，空堀は右上に，多雪地帯で土層の薄い下ノ岱，高野，蛇ヶ沢などは左上に位置し，積雪深と土層厚に対応した分布傾向を示している。しかし，白岩下や本山などではこの傾向からはずれている。白岩下ではグライ層が認められることから透水性や土性などが影響していると考えられ，本山では雪害によってダメージを受けた個体が多く観察されることから積雪の総量などが影響しているものと考えられる。

以上のことから，植栽木の生育は，雪や土壌と対応関係にあり，成長の維持と被害の軽減には，積雪環境や土壌条件に応じた樹種の適用範囲を定める必要がある。そこで，積雪深と土層厚を基準として，これに成長や被害に及ぼした施工地特有の要因や樹種特性などを考慮すると，次のように集約できる。

①最深積雪深０～150cm，土層厚50cm以上の地帯

樹種はケヤキ，コナラ，アカマツ，クロマツを導入対象とし，土質が壌土系及びレキ系（排水が良い土壌）はケヤキ，埴質系はコナラ，アカマツ，クロマツを優先的に検討する。ただし，マツ類は陽光を好むので，周囲の林況や地形によって被陰の影響が予測される場合には採用しない。

②最深積雪150cm以上，土層厚50cm以上の地帯

樹種はミズナラ，イタヤカエデ，ブナを導入対象とし，土質が壌土系ではブナ，イタヤカエデ，埴質系はミズナラを優先的に検討する。ケヤキを導入する場合には最大積雪深200cm以下，壌土系，土層厚100cm以上の施工地に限る。また，積雪深200cmを超える場合にはブナ，ミズナラを主体とする。

③土層厚50cm未満

根系の侵入を阻む基岩層の位置やＣ層の分布にもよるが，一般に土層厚30～50cmでは高木性樹種の森林の成立が難しいとされている（*6*）。こうしたことから，短期的には低木林の造成を目標として

ヒメヤシャブシなどを検討する。

④その他

施工地の土壌層は，整形工程などにより斜面上部が薄く，斜面下部が厚くなっている場合が多い。また，斜面型も崩壊の程度により一様とはなっていない。このため，同一施工地内であっても，位置によって土層の厚さや水分環境などが異なっている。こうしたことから，植栽樹種は数種を組み合わせて植栽することが望ましく，部分的に樹種の組み合わせを変えたり，場合によっては斜面上部の植栽を見送るなどの対応も考慮すべきである。

一方，樹種の決定や配置などには，施工地の積雪深や土壌に関する情報が必要である。少なくとも最深積雪深，土層厚，土質（土性），土壌硬度，被陰の影響について，調査しておくことが重要である。

３）保育

保育の省略による被害は，広葉樹植栽地を中心にクズやフジを主体とする蔓性植物の被害が著しい。下刈りが終了した時点で管理が手薄となる施工地が多く，少なくとも２～３年後には蔓類の駆除を実施する必要がある。また，面積が小さい施工地では，下刈り等が省略されているケースもあり，保育を実施しないのであれば植栽工も計画するべきではない。さらに，苗木のサイズが大きい場合には，植栽木を固定するため支柱を用いる場合がある。積雪地帯では，支柱への結束部分から折れる致命的被害もみられることから，降雪前に取り外すなどの細かい手入れが必要である。

４）自然要素以外の要因

自然要因以外によって，被害が助長されているケースがあった。本山や夜牛林といった県南部の豪雪地では，土層厚が十分にあっても雪による影響によって枯死率が高い状態にあった。この理由として，植生補助工として常用されている木柵工の影響が考えられた。多雪地帯における樹木の成育形態は，通常雪圧によって根元曲がりが形成される。この樹木が雪圧害に耐えて成長を持続するためには，地際部分から支持根を発達させる必要があり，最深積雪深のおよそ2.5倍の樹高に達して，はじめて雪圧の影響から脱すると言われている。しかし，木柵工上に植栽されたスギは，柵上に支持根を発達させるスペースがないうえ，植栽位置が斜面のラインから突出していることにより，雪圧をより強く受ける状態となっている。このため，樹木の成長に伴って支持基盤より受圧面積が大きくなると被害が顕著となり，成長の良い個体ほど柵工と一緒に根返りする個体が多数認められた。このようなことから，多雪地帯での木柵工の採用については，十分に留意する必要があるとともに，その改良が望まれる。

引用文献

（*1*）阿部和時（1997）樹木根系が持つ崩壊防止機能の評価方法に関する研究．森林総合研究所研究報告373：105-181.

（*2*）秋田県林務部（1980）秋田県民有林スギ人工林収穫予想表等作成に関する基礎調査書，163pp.

（*3*）浅利和栄（1986）人工林雪害の育林的防除技術の確立に関する基礎調査．秋田県林業センター

業務報告：105-130.

（４）豪雪地帯林業技術開発協議会編（2000）雪国の森づくり．189pp，日本林業調査会，東京.

（５）金子智紀（2000）秋田・天王海岸におけるクロマツ林の生育区分．東北森林科学会誌５(2)：91－96.

（６）近藤秀明（1995）樹木のクリニック．178pp，全国林業改良普及協会.

（７）河田弘・小島俊郎（1979）環境測定法Ⅳ－森林土壌－．190pp，共立出版.

（８）林業科学技術振興所（1985）有用広葉樹の知識．514pp，太平社，東京.

（９）塚本良則（1987）樹木根系の崩壊抑止効果に関する研究．東京農工大学演習林報告23：65－124.

（10）和田覚・澤田智志・石田秀雄（2002）冷温帯地域における広葉樹林施業技術の確立．秋田県森林技術センター研究報告９．17－27.

秋田県森技研報　第16号　2006年６月

海岸マツ林の健全化技術に関する研究

金子　智紀・田村　浩喜

The study on the technology to bring up Japanese black pine stands of the shore soundly.

Tomonori KANEKO・Hiroki TAMURA

要　旨

海岸クロマツ林の健全性を維持する立木密度基準を検討するため，681箇所の林分データによって立木密度と形状比（樹高／胸高直径）及び枝下高率（枝下高／樹高）との関係を分析した。この結果，形状比は各樹高階において立木密度との間に正の相関が認められ，樹高が高くなるほど密度の影響を強く受けていた。一方，枝下高率は樹高階４～９ｍまでは立木密度との間に緩やかな正の相関が認められたが，樹高階10ｍ以上では相関が認められなかった。また，現行の本数管理基準は，形状比にして56～67に相当しており，健全性の維持においてほぼ適正な範囲にあると考えられる。

Ⅰ．はじめに

海岸クロマツ林において，樹冠層の厚さと幹の形状を表す完満度は，防災機能の発揮や林分の成長において重要な管理指標と考えられている（*7*）。すなわち樹冠層は，その働きとして風を巻き込んで風速を弱め，同時に飛砂や飛来塩分を捕捉し，一方で同化器官として成長や樹勢を維持する役割を果たしている。また，幹は強風や冠雪などに抵抗して樹体を支持し，津波などの破壊作用に対してはそのエネルギーを減衰させる機能を持つ。こうしたことから，クロマツ林の長期安定的な機能の発揮には，両指標を健全な状態で管理する必要がある。

一方，樹冠層の厚さと幹の完満度は，立木密度の影響を受けることが知られている。個体の大きさが同一の条件下では，立木密度が大きくなるほど樹冠層は薄く，かつ完満な樹型となる。したがって，防災機能が高く，樹勢が維持され，諸被害にも強い林分に育成するためには，樹冠層の厚い，完満度の小さい林分に誘導することが望ましく，このため立木密度の調整，すなわち間伐が不可欠となっている。

ところで，本県におけるクロマツ林の間伐は，本数管理基準表（*1*）をもとに実施されている。この方法は，樹高成長に対応した立木密度があらかじめ設定されており，間伐量は現実林分との差で算定されるしくみとなっている。しかし，この基準については，その立木密度が下枝の枯れ上がりや幹の完満度に及ぼす影響などについて十分な検証が行われていない。

そこで，本論では，立木密度がクロマツ林の健全性に及ぼす影響を明らかにすることを目的に，樹冠層の厚さについては枝下高率，また幹の完満度については形状比を指標として，立木密度との関係を分析した。また，それらの関係から林分の健全性を維持する立木密度を検討し，現行の基準との比

較検証を行ったので報告する。

なお，本研究は秋田県森林土木課（現森林整備課）委託調査によって実施したものである。

Ⅱ．方　　法

分析に供した林分資料は，次の方法で調査した。調査地は，県内全域の海岸保安林（クロマツ林）を対象に，各地域の平均的な林帯幅を有する林分から20地区を選定した。地区毎に汀線から直角に連続する方形調査区を設定し，樹高，胸高直径，枝下高を測定した。調査区の大きさは，樹高10m 以上は500㎡，樹高10m未満は100㎡とし，全調査区数は241箇所である。また，分析には既存の林分調査資料も加えた。その内訳は1986年に行った林分実態調査資料73箇所，1993年に調査した海岸クロマツ成育試験地資料50箇所，海岸密度管理指針基礎調査報告書（*2*）526箇所となっている。各調査データのうち，林帯の最前線に位置して樹高成長が極めて抑制されている林分，松材線虫病などで立木密度が低下した林分，間伐直後の林分は除外し，全681林分のデータを用いた。

立木密度と健全性の分析には，まず林分の個体の大きさについてサイズ毎に区分する必要があり，そのサイズを林分の平均樹高として１m毎の樹高階に区分した。階層の範囲は，小数点第一位を四捨五入した場合，整数となるようにし（例えば樹高階10mでは平均樹高9.5mから10.4mの範囲を示す），樹高階は３～16mの範囲とした。次に，健全性の指標として林分の形状比と枝下高率の平均を求め，立木密度との相関を分析する方法で行った。

Ⅲ．結果と考察

１．立木密度と健全性との関係

図－１は，各樹高階について，立木密度と形状比及び枝下高率の関係を示したものである。形状比は立木密度が高くなるほど形状比が高まり，正の相関が確認される。表－１には両者の関係について，誤差率の最も小さい回帰式を示した。直線の傾きは，樹高に比例して高まる傾向を示し，個体のサイズが大きくなるほど密度の影響を強く受けている。

枝下高率は，樹高階４m～９mまでは形状比同様，立木密度が高くなるほど下枝が枯れ上がる傾向が認められる（表－２）。しかし，その相関は，形状比と比べて緩やかで傾きも小さい。さらに樹高10mを超えると両者の相関は認められなくなり，枝下高率が高い林分と低く維持された林分が混在するようになる。この原因としては，主に林分の施業経歴の差と考えられる。その典型は，長期間過密な環境下にあった林分を間伐したケースで，立木密度は間伐によって低下するものの，形状比や枝下高率は当初の過密な状態で形成された値，もしくはその回復過程にある値が反映される場合である。特に枝下高率は，枯れ上がった部分から枝が再生できないというクロマツの生理的特性から，間伐の効果が現れるには相当の経過年数を要する。このため，間伐が適度に繰り返されてきた林分と間伐手遅れ林分とでは，間伐後の立木密度が同じであっても枝下高率に差が生じているものと考えられる。また，中沢（*8*）は，新潟県の海岸砂地に造成されたクロマツ林を調査した結果から，枝下高が低く維持された樹形を確保するためには若齢期に強く除伐を行う必要性を指摘し，紙谷（*3*）は樹高成長

表－１　形状比の回帰分析結果

樹高階	資料数	係数	定数	決定係数	標準誤差
3m	19	0.0040	42.21	0.5311	7.58
4m	22	0.0043	41.38	0.8634	4.43
5m	28	0.0055	41.24	0.8215	5.93
6m	34	0.0066	42.54	0.8048	7.23
7m	32	0.0097	40.50	0.8000	7.43
8m	50	0.0087	50.54	0.8365	6.14
9m	34	0.0117	49.61	0.8019	6.35
10m	68	0.0109	55.25	0.6738	5.39
11m	104	0.0144	51.75	0.6775	6.43
12m	123	0.0127	56.60	0.6029	5.15
13m	95	0.0138	58.02	0.5085	5.71
14m	45	0.0173	54.47	0.6330	6.13
15m	18	0.0177	57.12	0.6836	6.07
16m	14	0.0309	45.01	0.8025	6.95

注）y＝aX+b，y：形状比，x：立木密度，a：係数，b：定数

表－２　枝下高率の回帰分析結果

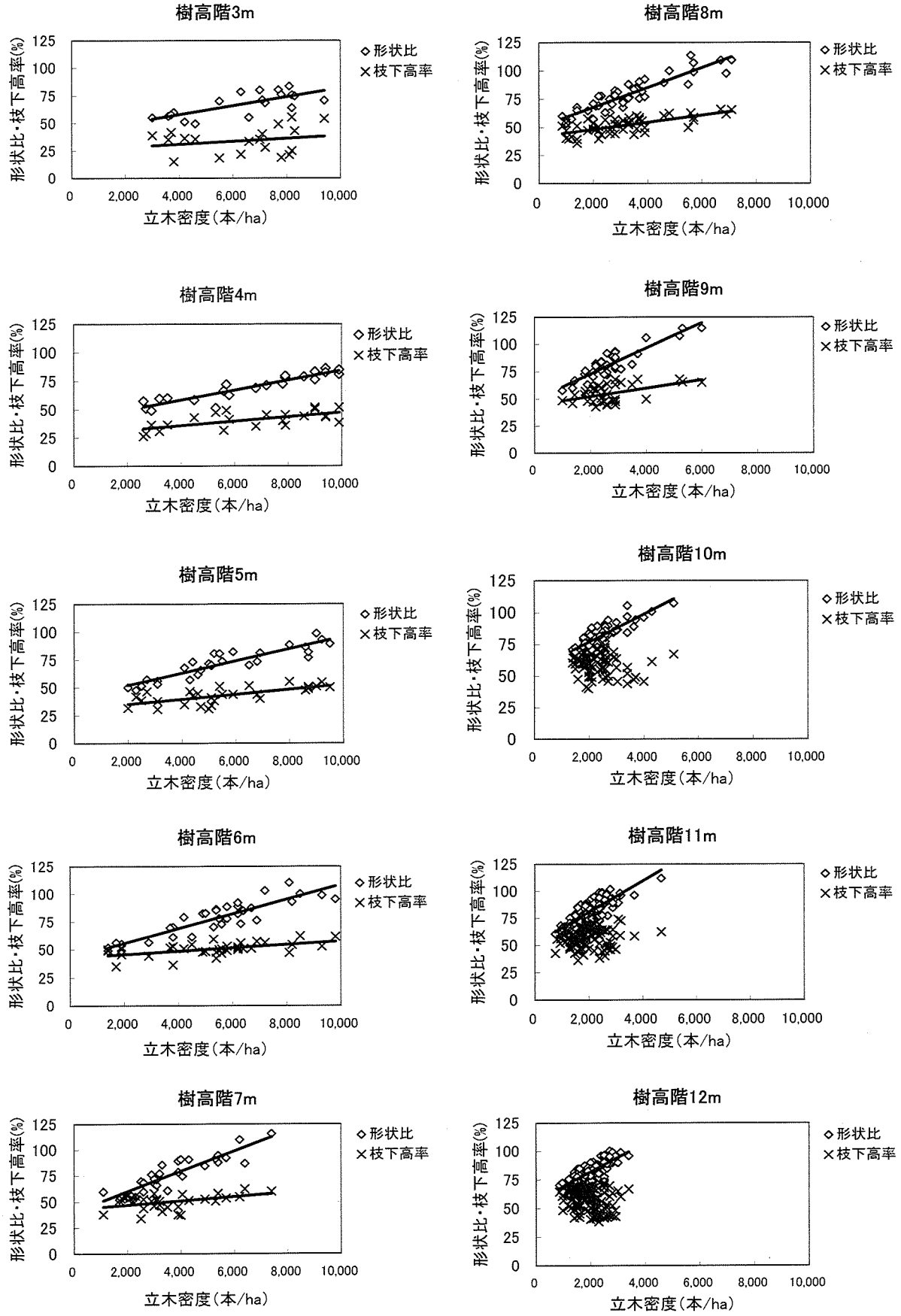
樹高階	資料数	係数	定数	決定係数	標準誤差
3m	19	0.0013	25.70	0.0477	12.08
4m	22	0.0020	28.18	0.4276	5.81
5m	28	0.0022	30.69	0.4709	5.47
6m	34	0.0015	42.48	0.3144	4.93
7m	32	0.0020	43.03	0.1762	6.56
8m	50	0.0031	42.19	0.4626	5.36
9m	34	0.0038	44.80	0.2606	6.99

注）y＝aX+b，y：枝下高率，x：立木密度，a：係数，b：定数

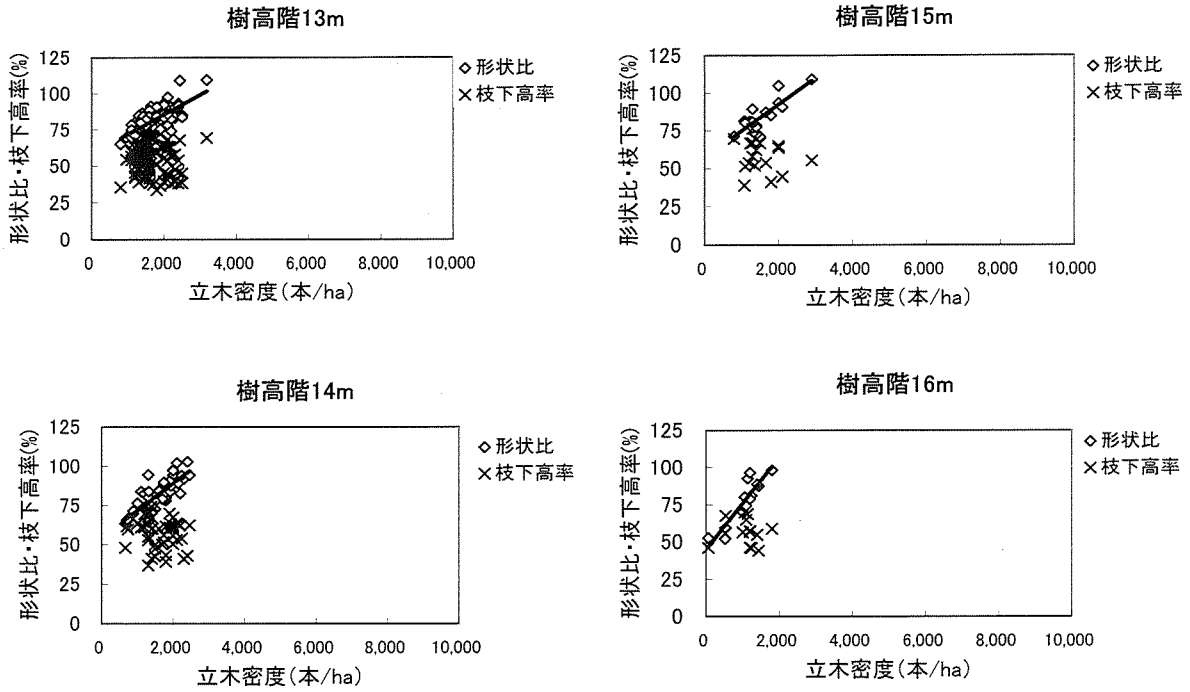
が衰えた高齢の林分では，若齢時の密度管理が遅れた場合には，枝下高の回復は困難であるとしている。このことから，若齢期における間伐の有無やその強度が，枝下高率における立木密度との対応関係に大きく影響しているものと判断される。

一方，形状比は樹高と胸高直径との比で示される。一般に，樹木の成長は樹高成長と直径成長に区分されるが，若齢期では相対的に樹高成長が上回り，高齢期では直径成長が旺盛となる。このため，壮・高齢林では間伐による効果が反映されやすく，結果として枝下高率よりも形状比の方が密度との関係をよく表しているものと考えられる。

こうしたことから，県内の海岸クロマツ林の健全性は，総じて立木密度の影響を受けているといえる。形状比では，特に密度との高い相関が認められ，このことは立木密度の調整によって樹幹の完満度を管理できることを示唆している。一方，枝下高率は，若齢期における間伐の影響や壮・高齢期における回復の困難性などから明確な相関が認められず，本報告では管理指標として適していないと判断した。



図－１　樹高階別の立木密度と形状比及び枝下高率との関係



図－１　樹高階別の立木密度と形状比及び枝下高率との関係

２．健全性を維持するための本数管理

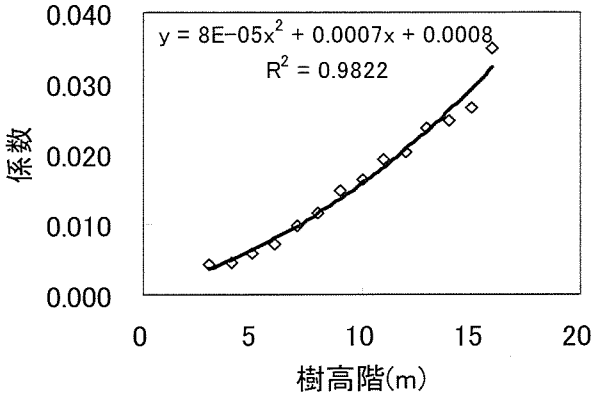
１）回帰式の調整

立木密度と健全性の関係では，形状比との間に高い相関がみられた。そこで，この関係をもとに，形状比を一定の水準で保つための立木密度を検討した。

先に求めた回帰式は，それぞれの樹高階で独立しており，また分析に供したデータは樹高階によってその分布範囲や数が異なっている。このため，形状比の推定値はクロマツの成育段階に応じて規則性のある関係とはなっておらず，その整合性を図る必要がある。そこで，次の方法により回帰式の調整を行った。

傾きを示す係数は，立木密度が同じである場合，個体サイズが大きいほど密度の影響を強く受けるため，係数と個体サイズは対応関係にあると推測される。そこで，係数については個体のサイズ（樹高）に対応した増減率（係数）の関数とみなし，両者の関係において最も誤差率の小さい回帰式を求めて樹高階毎の係数を決定した（図－２）。一方，ｙ切片となる定数は数式上，立木密度がゼロ値における形状比を推定している。現実には，立木密度がゼロ値における形状比は存在しないことから，立木密度がゼロ値に近似するときの形状比を予測することになる。この場合，林分が疎林化するほど立木は密度の影響を受けなくなるため，低密度域での形状比は個体の大きさにかかわらず一定範囲の値に収束するものと考えられる。各回帰式の定数をみると，その範囲は41～58にあり，樹高階３～７ｍまでの若齢林分では41～43までの範囲内に一定化する傾向にある。一方，県内に存在する高齢林分（*11*）を参考にすると，能代市「風の松原」155年生の５林分では，立木密度325～450本／haに対し，

その形状比が44～53を示している。こうしたことから，低密度の林分においては，形状比としておおよそ40付近に集約するものと考えられ，ここでは暫定的に40と設定した。以上の条件により係数と定数を調整した結果，形状比を維持するための立木密度は表－３に示すとおりである。



図－２　回帰式における係数の推定

表－３　調整後の回帰式と形状比管理基準

樹高階	回帰式（y＝ax+b）		形状比別の立木密度（本/ha）		
	係数（a）	定数（b）	50	55	60
3m	0.0036	40	2762	4144	5525
4m	0.0050	40	2008	3012	4016
5m	0.0065	40	1538	2308	3077
6m	0.0082	40	1222	1834	2445
7m	0.0100	40	998	1497	1996
8m	0.0120	40	832	1248	1664
9m	0.0142	40	705	1058	1410
10m	0.0165	40	606	909	1212
11m	0.0190	40	527	790	1054
12m	0.0216	40	463	694	925
13m	0.0244	40	410	614	819
14m	0.0274	40	365	548	730
15m	0.0305	40	328	492	656
16m	0.0338	40	296	444	592
17m	0.0372	40	269	403	537
18m	0.0408	40	245	367	490
19m	0.0446	40	224	336	449
20m	0.0485	40	206	309	412

注）y＝aX+b，y：形状比，x：立木密度，a：係数，b：定数

２）形状比からみた本数基準の検討

形状比は，林分の物理的あるいは生態的な強度を示す指標として用いられている。本県では1983年に能代地方でクロマツの冠雪害が発生し，形状比90以上では幹折れ・幹曲がりといった被害が生じたのに対し，形状比80以下では軽微な被害にとどまっていた（*4*）。また1998年の沿岸南部のクロマツ冠雪害では，形状比が高い林分ほど被害率が増加し，被害率10％未満の形状比は50～60となっていて，林分の形状比を70未満で管理する必要性が指摘されている（*6*）。

一方，間伐は，環境の厳しい立地で樹冠を疎開する行為であることから，林分のうっ閉を大きく破

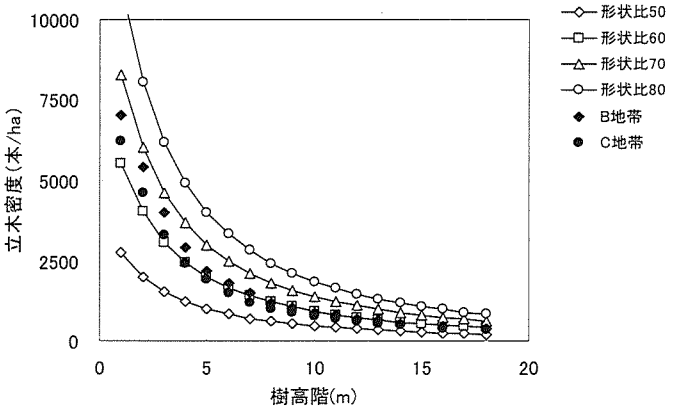
らずに枝下高率や形状比を低く抑えるといった二つの条件を同時に満たす必要がある。小田（*9, 10*）は，九十九里浜のクロマツ林において，林分の最多密度を基準とした本数管理指針を作成し，この中で林冠のうっ閉開始は相対密度50～55％前後であり，形状比や枝下高率を維持するためには相対密度40～60％で管理することが重要であるとしている。そこで，立木密度と形状比の関係において算定した本数について，小田の式をもとに相対密度を算出した。形状比を50で管理する場合の立木本数は，相対密度で平均41.6（±5.01)％，同様に形状比60では63.9（±7.63)％となり，これらの中間である形状比55を管理する時の立木本数は53.7（±6.34)％に相当した。こうしたことから，冠雪害への対策や林分の健全性の維持，間伐時における疎開の影響を考慮すると，形状比の管理目標は50～60に設定することが適切であると考えられる。形状比を55として管理する場合，その立木密度は樹高５ｍでha当たりおよそ2,300本，同様に10ｍで900本，15ｍでは500本と推定される。

３．現行の本数管理基準の検証

現行の本数管理基準は，生育環境に応じて３地帯に区分されている。Ａ地帯は林帯の最前線部に位置する林分で，ここでは除伐や間伐は行わない地帯であり，Ｂ地帯は環境が厳しい地帯，Ｃ地帯は環境が安定した地帯である。本数管理基準はＢ地帯とＣ地帯に設定されており，樹高に応じたha当たりの立木密度が示されている。

図－３は，形状比管理曲線に，現行の本数管理基準をあてはめてみたものである。これによると，Ｂ地帯における樹高３～９ｍ及びＣ地帯の樹高３～５ｍの立木密度は，形状比60～67の範囲に相当し，Ｂ地帯の樹高10ｍ以上及びＣ地帯の樹高６ｍ以上では，形状比56～60の範囲にある。このことから現行の本数管理基準は，形状比およそ60を維持する立木密度となっており，若齢林分で立木密度が高い状態にあるものの，形状比の維持においておおむね適正な範囲内にあると考えられる。

一方，同管理基準では，環境が緩やかな地帯に比べ，厳しい地帯での立木密度を多く設定している。このことは，形状比や枝下高率からすると環境の厳しい地帯での防砂・防風機能が相対的に劣ることを意味し，機能の発揮に対する期待と育成目標とする林分の形質に矛盾を含んでいるといえる。環境が厳しい地帯では，潮風や強風による損傷を受け易く，総じて樹高成長が抑制されるため，樹高を目



図－３　形状比管理曲線と現行の立木密度基準

安とした基準では必然的に立木密度は高くなる。このような場所でこそ，林冠の閉鎖と同時に弱度の間伐を繰り返して立木密度を下げ，単木の形態として下枝が張り，かつ梢殺な樹型の個体群で構成された林分に育成にすることが重要と考えられる。

また，この管理基準はha当たり10,000本植栽を前提として作成されている。立木密度と形状比の関係からすると，形状比50を維持するためには樹高３ｍの段階でha当たり約2,800本までに立木密度を下げる必要がある。秋田地方の海岸域でクロマツが樹高３ｍに達するには６～11年を要すると推定されており（*5*），形状比の管理基準を適用した場合，およそ10年以内に植栽本数の約７割を淘汰することになる。こうした点を考慮すると，クロマツ林の効率的造成と健全性の維持において，植栽本数自体を再検討する時期にきているといえる。

引用文献

（*1*）秋田県森林整備課（1993）秋田県治山便覧．422－423.

（*2*）秋田県林業コンサルタント（1998）海岸林の密度管理方針確立基礎調査報告書付属資料.

（*3*）紙谷智彦（2001）壮齢クロマツ林の間伐効果．新潟県海岸林研究会報 1：2－4.

（*4*）金子智紀（1985）海岸林の生長と施業に関する研究．昭和59年度秋田県林業センター業務報告：49－53.

（*5*）金子智紀（2000）秋田・天王海岸におけるクロマツ林の生育区分．東北森林科学会誌５：91－96.

（*6*）金子智紀・石田秀雄・金澤正和（2000）秋田県沿岸南部におけるクロマツの冠雪害について．東北森林科学会誌５：97－100.

（*7*）村井宏・石川政幸・遠藤治朗・只木良也（1992）日本の海岸林：399－404，ソフトサイエンス社.

（*8*）中沢迪夫（1986）海岸クロマツの生育概況と除伐方法．新潟県林業試験場研究報告：28：91－102.

（*9*）小田隆則（1984）海岸クロマツ林の生長と密度について（Ⅳ）－九十九里浜クロマツ林の現況－．第95回日本林学会論文要旨集：553－554.

（*10*）小田隆則（1984）海岸クロマツ林の生長と密度について（Ⅴ）－九十九里浜クロマツ林における間伐試験－．第95回日本林学会論文要旨集：555－558.

（*11*）東北森林管理局（2004）能代海岸地区（風の松原）治山事業全体計画作成業務報告書：50.

秋田県森技研報　第16号　2006年６月

生物多様性に配慮した合自然型治山工法の確立に関する研究

－ 渓畔域における植栽の立地指標 －

田村　浩喜・金子　智紀

The Study on Torrent Control Work Based on Biological Diversity

－ Site Indicator for Planting in Riparian Zone －

Hiroki TAMURA・Tomonori KANEKO

要　旨

治山事業で行われる渓畔での植栽に関して，植栽樹種の生育に適した立地指標を示すために，谷底面に分布する渓畔林から37カ所を調査した。それぞれについて林分組成と攪乱との関係を明らかにするために，流路指数と礫の粒径に注目した。流路指数は，横断測量により，増水によって調査地が水没すると仮定した断面積を，流路断面積で割った値とした。流路指数と礫の粒径から林分の組成をみると，流路指数，粒径ともに小さい値を示す林分ではオノエヤナギとシロヤナギが優占するのに対して，一方が大きな値を示す林分ではサワグルミやトチノキなどが優占していた。天然林組成に即した植栽を行うためには，ヤナギの分布域とサワグルミ他の分布域を区分する値を指標にして計画を立てるのが適当であると考える。植栽については，ヤナギの主たる分布域である流路指数5および粒径17㎝以下の区域を木柵工や編柵工で確保してヤナギ属の自然な更新にまかせ，それ以外はサワグルミやトチノキなど多樹種の混交植栽を検討すべきであることを提案した。

Ⅰ．はじめに

近年，治山事業において，自然環境に配慮した工法の検討が求められてきている。特に渓畔域においては，工事で生じた無立木地に植栽をおこない，渓畔林の再生が試みられている。樹種の選定には，水辺林管理の手引き（渓畔林研究会，2001）や，秋田県植物分布図（藤原，1997）から，生育地の特性や地域的な分布を参考にすることができる。

しかし，実際に植栽工を担当する技術者が求めていることは，植栽サイトを流路から何メートル離し，現地の土壌にはどんな樹種が適しているのかといった微地形的視点（中村，1992）の立地指標である。

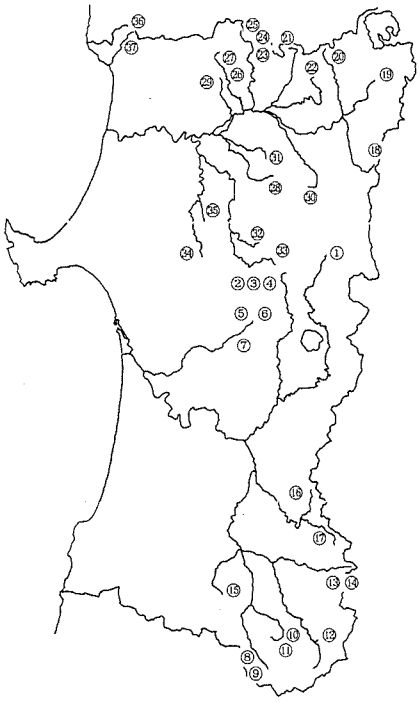
そこで，本研究では自然状態により近い森林を作るために，現存する渓畔林を調査し，主要な高木種がどのような立地で成立しているのか，攪乱強度と主要な要因を明らかにした上で，植栽に適した立地の指標を示すことを目的とした。

本研究は，秋田県森林整備課からの委託研究「生物多様性に配慮した合自然型治山工法の確立に関する研究」の一環として行った。

Ⅱ．方　　法

１．調査地と調査方法

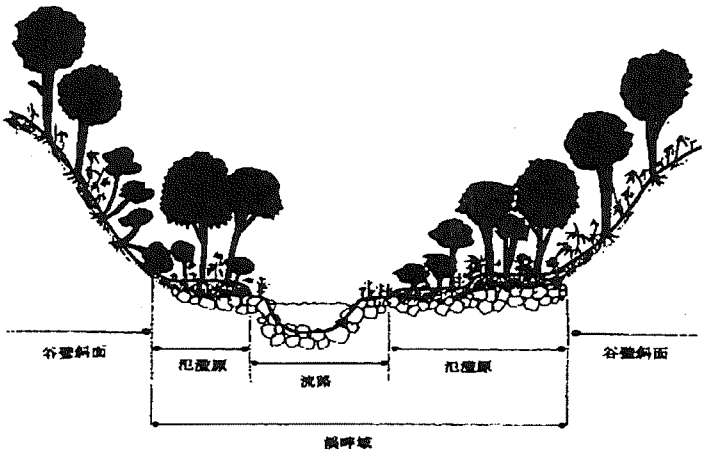
調査は，1999年から2002年に，秋田県内を流れる雄物川，米代川，真瀬川の流域で行った。洪水の影響を受けた立地に成立した林分を対象にするため，谷底面に成立している天然林分を中心にして，任意に37カ所を選定した（図－１）。調査区画として，25m×20mを基準とした方形区を流路と平行に設定し，胸高直径４㎝以上の立木を対象に，胸高直径を測定した。また，地形測量を行い，渓床勾配，および流路と直角方向の斜面傾斜を測定した。さらに，河川堆積物（岩石）について，直径10㎜以上の礫を対象として粒径を測定した。粒径の測定は，折尺などで直接測定する方法や篩を使用する方法があるが（中山，1973；片山ら，1970），今回は，簡易法として，調査地の中心に２ｍの長さのポールを置き，そのポールに接した粒径10㎜以上の礫の個数を数え，２ｍを礫の個数で割った値を平均粒径とした。礫についての定義は，Wentworth の粒径区分によると，巨礫が256㎜以上，大礫が256～64㎜，中礫が64～４㎜とされ，４㎜以下は砂として区分されている（高山，1974）。



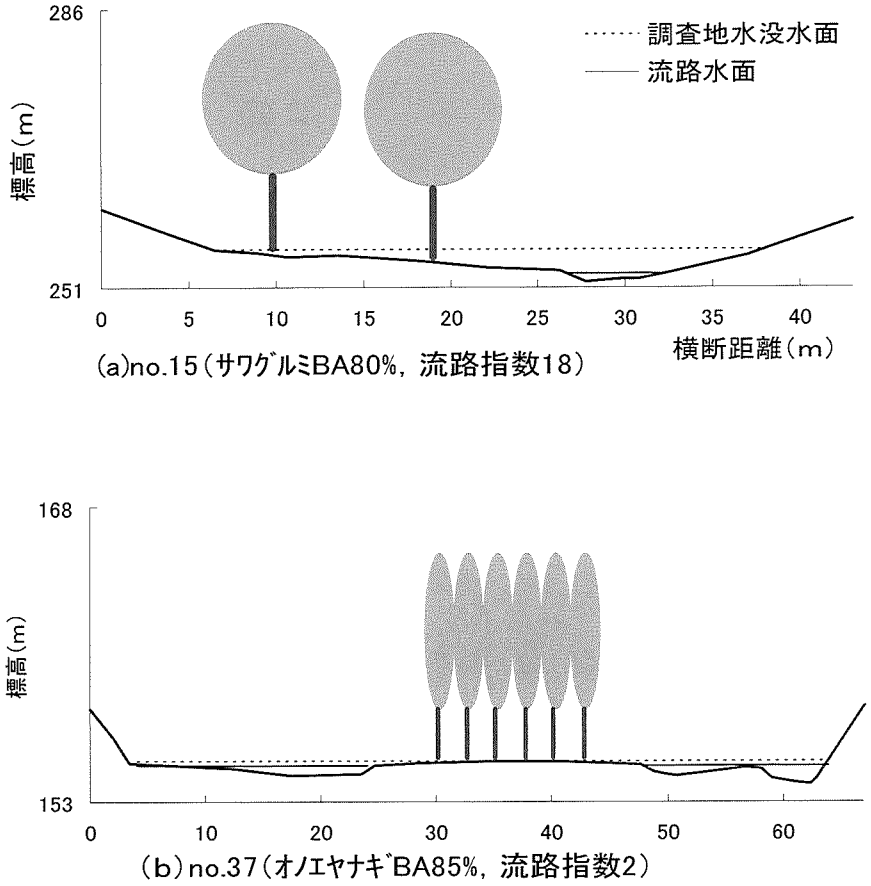
図－１　調査地

２．流路指数

調査地における攪乱の強度を求めるために，流路指数を求めた。流路は，周期的に，または常時水が流れている水の通路（金子ら，1997）である。崎尾・鈴木（1997）の渓畔域の定義によると，流路は，河川横断面の最下部に位置し，その上位に渓畔林が成立する氾濫原，そしてさらに上方に谷壁斜面が続く（図－２）。流路指数は，流路を横断する方向に測量を行い，調査地と流路を挟む対岸まで



図－２　渓畔域の定義（崎尾・鈴木，1997）



図－３　流路指数の算出方法
流路指数＝調査地が水没する断面積／流路断面積

の断面図を描き，調査地全域が水没するまで増水したと仮定したときの断面積を求めた。そして，これを流路の断面積で割った値を流路指数とした（図－３）。調査地の流路指数が2であれば，調査地は，流路断面積の２倍の水量で水没することを意味する。すなわち，流路指数が大きくなれば攪乱を受けにくい立地であることがわかる。

Ⅲ．結　　果

１．出現樹種

出現した木本樹種は全37カ所で60種あった。出現頻度をみると，サワグルミ28カ所，トチノキ18カ所，オノエヤナギ16カ所，シロヤナギ15カ所，ミズナラ12カ所であった。サワグルミやトチノキは，オノエヤナギ，ミズナラ，ベニイタヤ，ブナが優占する調査地で広くみられた（表－１）。

樹種ごとの胸高断面積合計により，37カ所の調査地の優占樹種を整理すると，オノエヤナギが優占する調査地が11カ所と最も多く，続いてサワグルミとシロヤナギが６カ所，ミズナラが５カ所，トチノキが３カ所であった。渓畔域で代表的なカツラは，優占するほどに群生している林分はみられなかった。林分の胸高断面積合計の最大は，オノエヤナギが優占する調査地で23.4㎡／ha，サワグルミが優占する調査地では48.6㎡／haであった。

表－1　調査プロットの組成

No.	調査地	標高	流路指数	粒径	渓床勾配	斜面傾斜	優占種	調査面積(㎡)	木本種数	BA(㎡/ha)合計	オノエヤナギ	シロヤナギ	サワグルミ	オニグルミ	トチノキ	ヤマハンノキ	ミズナラ	ベニイタヤ	カツラ	ハルニレ	オヒョウ	ヤチダモ	ブナ	スギ	ほか
1	玉川新鳩ノ湯	420	6	30	1	1	ミズナラ	500	14	26.2			0.6		0.7	5.3	10.0	4.8				0.2			4.7
2	桧木内長沢1	405	13	20	3	3	サワグルミ	500	3	23.6			14.1		9.4										0.2
3	桧木内長沢2	405	13	20	3	3	トチノキ	500	5	27.3			7.0		15.6			4.5							0.2
4	桧木内長沢3	401	8	30	3	3	サワグルミ	500	5	30.9			25.9	1.6	2.5										0.9
5	岩見大又川3	280	4	50	2	2	サワグルミ	500	7	30.5			13.2		2.0		12.8								2.5
6	岩見大又川4	280	7	50	2	2	ミズナラ	500	7	19.3			0.8				16.0								2.6
7	岩見大又川7	241	10	22	2	2	ミズナラ	500	8	33.4		4.7	2.4		9.0		12.0								5.3
8	大役内川1	380	2	20	3	0	オノエヤナギ	500	9	22.1	9.0	0.6	5.3		0.1	3.2									4.0
9	大役内川2	400	2	20	2	1	オノエヤナギ	300	5	17.1	13.5	0.1	1.2			2.3									0.1
10	桑の沢1	330	3	20	1	1	オノエヤナギ	500	7	13.8	4.1	3.0	3.2			1.3									2.1
11	桑の沢2	365	3	10	3	8	オノエヤナギ	250	2	1.8	1.4					0.4									
12	桂沢	350	6	10	3	0	オノエヤナギ	300	3	18.7	11.1					7.2									0.4
13	合居沢1	475	3	25	3	2	ミズナラ	200	11	35.2			8.3		2.6		9.0	5.8					5.1		4.3
14	合居沢2	475	6	25	3	9	ブナ	300	10	45.9							12.3	2.7			0.4		26.5		4.0
15	登川	250	18	15	3	8	サワグルミ	450	6	48.6			38.8		6.0			1.7	1.7						0.5
16	大松川	205	3	10	1	1	シロヤナギ	500	4	30.5		27.8	0.9	1.3											0.5
17	南俣沢	320	1	20	2	2	シロヤナギ	300	7	22.1	2.4	18.7	0.1		0.7										0.2
18	非瀬沢川	370	26	15	2	3	ケヤキ	500	15	40.4			6.2		3.4				2.0	3.0					25.8
19	堀内川	321	9	10	1	2	ハルニレ	500	15	27.1		2.3		1.5	0.0		0.9		0.4	13.8					8.1
20	古遠部川	330	3	4	1	4	シロヤナギ	500	4	5.3	1.6	3.0							0.0						0.6
21	下内川	210	4	9	0	1	オノエヤナギ	450	5	23.4	16.8	2.3	1.7		0.1										2.6
22	長木川	220	1	6	1	1	シロヤナギ	500	2	21.8	7.4	14.4													
23	岩瀬川1	380	3	29	2	1	ミズナラ	500	14	20.0			1.1			0.5	8.1	2.1					1.9		6.2
24	岩瀬川2	390	3	29	2	1	ブナ	500	12	45.0			2.3		1.5	8.4	4.6	1.1	0.8	7.0			18.4		0.8
25	岩瀬川3	680	3	29	4	2	サワグルミ	450	4	28.7			13.9		8.4										6.5
26	早口1	170	7	7	2	3	オノエヤナギ	500	9	21.8	8.6	5.7													7.5
27	早口2	116	6	29	3	5	シロヤナギ	500	10	18.0	2.4	7.3	0.4	0.4			0.1								7.5
28	小猿部	175	5	15	2	2	シロヤナギ	500	10	7.8	1.6	2.5	0.3			0.4									3.0
29	糠沢	228	3	1	2	4	オノエヤナギ	500	2	18.3	18.0														0.3
30	犀川	320	2	15	5	4	オノエヤナギ	200	2	14.5	9.7		4.8												
31	小森	115	24	10	1	5	サワグルミ	500	12	17.7		4.5	4.8					1.1							7.2
32	荒瀬川	420	3	15	4	4	オノエヤナギ	300	7	13.4	8.3	2.1	0.1												2.9
33	袖ノ子沢	390	9	22	10	4	トチノキ	300	5	35.8			6.0		20.6				8.8						0.4
34	小阿仁川	150	12	15	2	9	ベニイタヤ	300	7	21.1			4.1			0.6		9.6	3.5						3.3
35	五反沢	180	5	11	1	1	トチノキ	500	11	24.8					6.9		0.2								17.7
36	金山沢①	320	7	13	2	3	スギ	500	6	33.8			0.8		3.4		1.6							23.6	4.4
37	中の又②	160	2	6	1	2	オノエヤナギ	500	3	12.3	10.5		1.8	0.0											
調査地内のBAが10%以上を占めた調査地数											16	12	15	0	8	6	8	5	2	3	0	1	4	1	

２．主要樹種の林分特性

表－１に，調査地ごとの流路指数，粒径，渓床勾配，斜面傾斜，標高を示す。出現した高木種14種のうち，胸高断面積合計で10％以上を占めた調査地が５カ所以上でみられた７樹種について，各測度の平均値を比較し，樹種ごとの立地特性の比較を試みた。該当した樹種は，オノエヤナギ，シロヤナギ，ヤマハンノキ，サワグルミ，トチノキ，ミズナラ，ベニイタヤである。なお，比較の際には，最も優占林分が多かったオノエヤナギを基準種として他の樹種と比較する方法で行った（表－２）。

表－２　渓畔林構成種の立地特性

	基準種 オノエヤナギ	比較種 シロヤナギ	比較種 サワグルミ	比較種 トチノキ	比較種 ミズナラ	比較種 ヤマハンノキ	比較種 ベニイタヤ
カ所数	16	11	15	8	8	6	5
流路指数	3 ±1.6	6 ±6.2 *t*-test,*t*=1.35	10±7.8 *t*-test,*t*=2.89**	10±4.6 *t*-test,*t*=3.48**	5 ±2.2 *t*-test,*t*=2.22*	4 ±1.4 *t*-test,*t*=0.35	7 ±4.4 *t*-test,*t*=1.77
粒　径 （cm）	13±7.3	14±7.4 *t*-test,*t*=0.48	21±10.0 *t*-test,*t*=2.43*	19±5.4 *t*-test,*t*=2.00*	33±10.4 *t*-test,*t*=5.11**	20±8.0 *t*-test,*t*=1.83*	24±5.6 *t*-test,*t*=2.90**
渓床勾配 （°）	2 ±1.2	2 ±0.9 *t*-test,*t*=0.81	3 ±2.1 *t*-test,*t*=1.36	4 ±2.6 *t*-test,*t*=1.61	2 ±0.6 *t*-test,*t*=0.13	2 ±0.7 *t*-test,*t*=0.26	2 ±0.7 *t*-test,*t*=0.02
斜面傾斜 （°）	3 ±2.1	3 ±1.5 *t*-test,*t*=0.14	3 ±2.3 *t*-test,*t*=0.95	3 ±2.0 *t*-test,*t*=0.68	3 ±2.5 *t*-test,*t*=0.12	2 ±2.8 *t*-test,*t*=0.69	3 ±3.0 *t*-test,*t*=0.46
標　高 （m）	281±94	240±94 *t*-test,*t*=1.07	341±137 *t*-test,*t*=1.38	359±145 *t*-test,*t*=1.52	368±8.5 *t*-test,*t*=2.11**	384±23 *t*-test,*t*=3.94**	366±112 *t*-test,*t*=1.61

注：樹種別に，調査地での断面積合計が10％以上出現した調査地について集計した。
t-test は，オノエヤナギを基準として他の樹種を比較した。
＊は５％水準で，は１％水準で有意な値を示す。

１）流路指数

37カ所の流路指数は１～26の範囲であったが，オノエヤナギが10％以上出現した林分の流路指数は1.1（no.17南俣沢）～6.9（no.26早口１）と小さかった。このことは，オノエヤナギが流路近くに成立する特性を持っていることを示している。一方，サワグルミ10％出現林分の流路指数は，1.1（no.37中ノ又②）から 26.1（no.18非瀬沢川）までと最も広く，攪乱の影響を頻繁に受ける立地から，ほとんど受けない立地まで広く分布する特徴を表している（表－１）。流路指数の平均値について，オノエヤナギと他樹種を比較すると，オノエヤナギは，シロヤナギ（t-test，t=1.35），ヤマハンノキ（t-test，t=0.35），ベニイタヤ（t-test，t=1.77）とは有意差がなかった。一方，サワグルミ（t-test，t=2.89，有意水準１％），トチノキ（t-test，t=3.48，有意水準１％），ミズナラ（t-test，t=2.22有意水準５％）よりは有意に小さい値を示した。

２）粒径

37カ所の粒径は１～50cmの範囲であった。オノエヤナギ10％出現林分の粒径は13±7.3cmと小さく，堰堤堆砂敷きなど礫径の小さい土壌に成立する特徴が現れている。サワグルミ10％出現林分，ミズナラ10％出現林分は粒径が最大の50cmの林分にもみられた。平均値を比較すると，オノエヤナギと有意差がなかったものは，シロヤナギだけであった（t-test，t=0.48）。オノエヤナギは，サワグルミ（t-test，t=2.43，有意水準５％），トチノキ（t-test，t=2.00，有意水準５％），ミズナラ（t-test，t=5.11，有意水準１％），ヤマハンノキ（t-test，t=1.83，有意水準５％），ベニイタヤ（t-test，t=2.90，有

意水準１％）よりは有意に小さかった。

３）渓床勾配

37カ所の渓床勾配は０～10°の範囲であった。オノエヤナギ10％出現林分の平均値は２±1.2であり，他の樹種との差はなかった。

４）斜面傾斜

37カ所の斜面傾斜は０～９°の範囲であった。オノエヤナギ10％出現林分の平均値は３±2.1であり，他の樹種との差はなかった。渓床勾配，斜面傾斜ともに谷底面に成立した林分を対象にしたため，大きな差がみられなかったものと考えられる。

５）標高

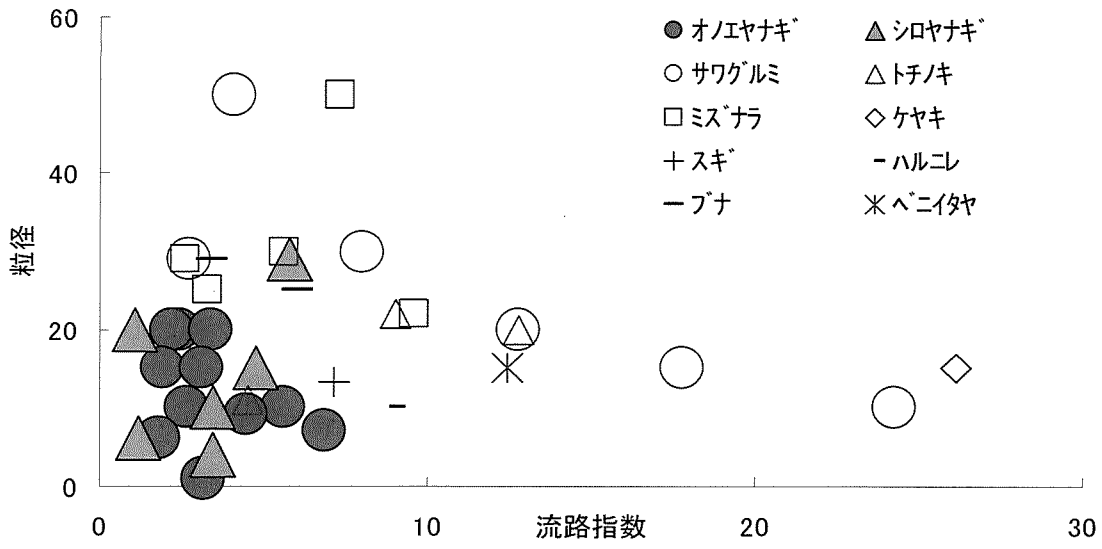
37カ所の標高は115～680ｍの範囲であった。オノエヤナギ10％出現林分の平均値は281±94ｍであり，ミズナラ10％出現林分（t-test，t=2.11，有意水準１％），ヤマハンノキ10％出現林分（t-test，t=3.94，有意水準１％）は，オノエヤナギよりも有意に高かった。

Ⅳ．考　　察

１．渓畔林高木種の立地特性

立地を比較した５つの条件のうち，オノエヤナギと他の樹種に差がみられたのは，流路指数，粒径および標高であった。このことは，流路指数，粒径，標高が，渓畔域で優占する樹種の特徴を表す可能性を示している。

流路指数および粒径と，林分の優占樹種との関係をみるために，横軸に流路指数，縦軸に粒径をとり，全調査林分をプロットした（図－４）。その結果，調査林分を２つのグループに区分することができることがわかった。一つは，オノエヤナギとシロヤナギが優占した調査地であり，この２種が優占する林分は，流路指数，粒径ともに小さい値に集中した。もう一つはサワグルミやミズナラなどが



図－４　調査地の立地と優占する樹種

優占した調査地であり，これらではどちらか一方の測度が大きな値を示した。

流路指数が小さいことは，増水によって頻繁に攪乱を受ける立地に成立していることを意味する。ヤナギ科植物については，融雪洪水以降の水位低下時期に，他の植物に先駆けて種子を散布するという生活史特性と河川環境との相互関係が分布要因として重要である（新山，1995)。秋田県でのヤナギ科の種子散布は５月であり，これは融雪による洪水で攪乱を受けた直後と重なる。オノエヤナギやシロヤナギの流路指数が小さいのは，このような更新サイトに定着した種子による林分形成が行われているためではないかと考えられる。

礫の粒径については，実生の定着条件として，粒径サイズと実生サイズに関係があるとの報告がある。久保ら（2000）は，礫のある場所でカツラが発生せず，サワグルミが発生する理由として，カツラは種子や実生サイズが小さく，礫に埋もれてしまうことと，乾湿の差が大きい礫地に定着できないことを述べている。これに対して，サワグルミは種子サイズが大型なため，地上に子葉を展開でき，十分な長さの根を伸ばせることから，礫のある立地にも生育することができるとされている。本調査においても，サワグルミ，トチノキ，ミズナラ，ベニイタヤ，ヤマハンノキの10％出現林分の粒径は，オノエヤナギ10％出現林分の粒径より有意に大きい。また，これらの樹種の種子サイズは，いずれもオノエヤナギより大きい。今回みられた樹種ごとの出現林分の粒径の差は，種子サイズと対応しているものと考えられる。

一方，標高については，オノエヤナギと有意差がみられた樹種は，ミズナラとヤマハンノキであった。しかし，これらの分布北限は，いずれも樺太などの亜寒帯である（佐竹ら，1989)。すなわち，耐寒性という点では大きな差がないのではないかと考えられる。オノエヤナギの分布が低標高に集中した今回の調査結果は，気温以外のものを反映している可能性がある。ヤナギ科植物の種の分布要因は，標高差による温度条件の違いよりも，土壌要因との対応関係が大きいとされている（新山，1987)。今回の調査では，オノエヤナギは，渓床勾配が緩やかで谷底が広くなる地形に成立しており，オノエヤナギに適した土壌が堆積できる地形が低標高に多く形成されていることが，有意差が生じた理由であろう。

このようなことから，渓畔域で優占する樹種の立地特性を示す指標は，流路指数と粒径であると考えられる。

２．植栽樹種を区分する立地の基準

本調査結果から，渓畔域の林分は流路指数と粒径を指標として２つのグループに区分できることが明らかになった。植栽を検討するに当たっても，計画地を流路指数と粒径によって区分して，植栽樹種を選定することによって，天然林に近い森林を造成することができると考えられる。そこで，図－４で区分されたヤナギのグループ（オノエヤナギ，シロヤナギ優占林分）とサワグルミのグループ（サワグルミ，トチノキ，ミズナラ，ケヤキ，スギ，ハルニレ，ブナ，ベニイタヤ優占林分）のそれぞれについて，流路指数と粒径の95％信頼区間を求めた（表－３)。その結果，流路指数が５，粒径が17で２つのグループが明確に区分されることがわかった。すなわち，植栽予定地の流路指数および粒径の両方がこの値以下の場合はヤナギの生育域であり，少なくとも片方がこの値を越える場合はサ

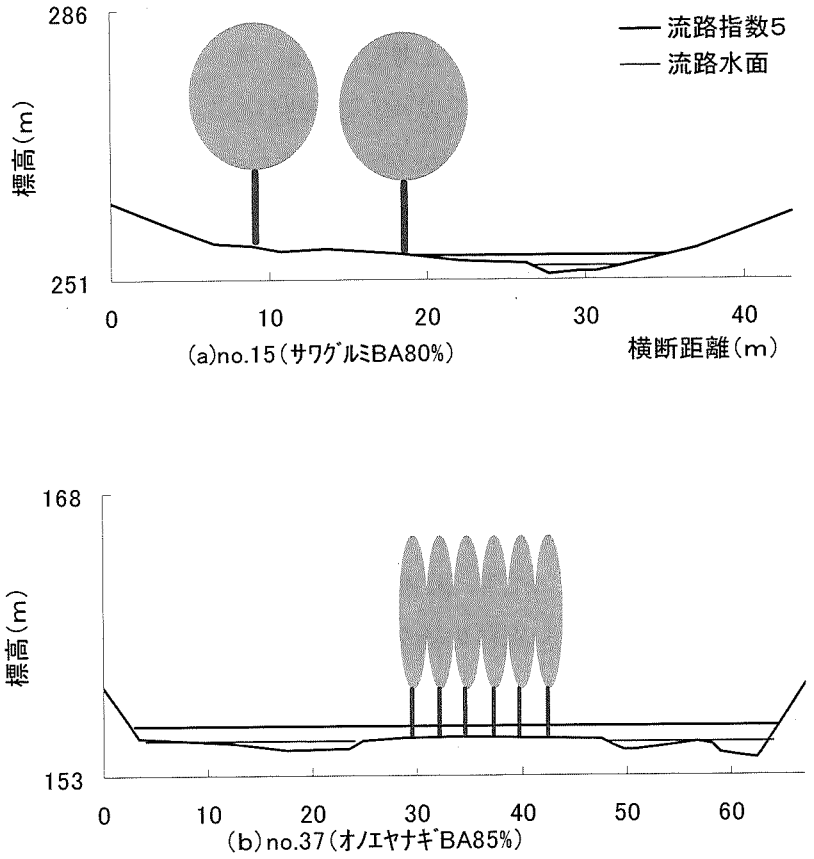
ワグルミなどの生育域となる。よって，植栽計画を立てるにあたって，この２つの値を基準として樹種選定を行うべきである。流路指数５の値を，調査地の横断図に記入すると図－５のとおりである。

渓畔林の造成については，各地方の潜在自然植生に関する文献などを参照して，対象地本来の群集において相観を支配している主要林冠構成種（高木種）とし，可能な限り多数種を選ぶことが提案されている（渓畔林研究会，2001；砂防学会，1999）。播種による造成についても，生態学的混播法（岡村ら，1996）として，先駆性樹種から極相性樹種までを含む20～40種の在来種を用意することが提唱されている。

今回の調査について優占種による優占度を整理すると，ヤナギのグループ（17カ所）ではオノエヤ

表－３　ヤナギおよびサワグルミのグループの立地範囲

	ヤナギのグループ	サワグルミのグループ
流路指数		
95%信頼区間	2.6 ～ 4.2	6.5 ～ 12.4
平均	3	9
標準偏差	1.6	6.6
標本数	17	20
粒径（cm）		
95%信頼区間	9.3 ～ 16.3	18.5～28.5
平均	13	24
標準偏差	7.1	11.1
標本数	17	20



図－５　植栽基準の流路指数５を記入した横断図

表－４　優占種による優占度と出現した木本の種数

	調査地数	優占度		出現した木本種数
		平均	標準偏差	／調査地
ヤナギのグループ	17	74%	17%	5.4
サワグルミのグループ	20	52%	17%	8.9

注１：グループの区分は図－４による。
注２：ヤナギの優占度はオノエヤナギとシロヤナギの値を合計している。

ナギとシロヤナギを合わせた優占度は平均で74%である。サワグルミのグループ（20カ所）では，優占種の優占度は平均で52%でありヤナギより優占度は小さい。また，１調査地あたりに出現した木本の種数を整理すると，ヤナギのグループは5.4種であるのに対し，サワグルミのグループでは7.9種と多い（表－４）。

このようなことから，ヤナギの生育域と判断された区域では，ヤナギ以外の樹種については，優占度，種数ともに少ないことからあえて植栽する必要はなく，自然の侵入に任せればよいと考える。従来の渓畔域の工事では，流路工を設置することによって水量が増加しても流路外にあふれさせることを回避してきた。ここで，新たな工法を提案すると，流路指数５の境界に高さ0.5m程度の木柵工や編柵工を設置し，木柵が腐朽するまでに，工事で不安定になった土砂を安定させる。木柵の内側は，雪解けなどの増水で頻繁に攪乱を受けることから，ヤナギを中心にした自然な更新にまかせる。

一方，木柵工の外側に配置されるサワグルミの生育域については，多様な樹種の生育が期待されることから，多数の種を組み合わせた植栽を行いたい。サワグルミのグループには，ミズナラ，トチノキ，ハルニレ，ケヤキ，ベニイタヤなどが優占した調査地が含まれる。このほかに，渓畔林を構成する代表的な樹種には，オヒョウ，ヤチダモ，カツラがあげられる。今回の調査ではサワグルミのグループに混交している様子が見られることから，サワグルミと同じ扱いが適当であると考えられる。このような天然林の組成に即した植栽を行うことによって，速やかに天然状態に近い林分形成を行うことができるであろう。

謝　辞

本研究の遂行には，秋田県森林整備課各位のご尽力をいただいた。また，草稿を校閲頂き，有益な助言をいただいた秋田県立大学の蒔田明史助教授に深くお礼申し上げる。

引用文献

藤原陸夫（1997）秋田県植物分布図．1167pp，秋田県

渓畔林研究会（2001）水辺林管理の手引き－基礎と指針と提言－．213pp．森と人のつながりを考える（株）日本林業調査会．東京．

金子有子・酒井暁子・崎尾均・鈴木和次郎・中村太士訳（1997）水辺管理のガイドライン－米国オレゴン州ウィラミテ国有林－．（水辺林の保全と再生に向けて．渓畔林研究会編，218pp，日本林業調査会，東京）．59－208．

片山信夫・森本良平・木村俊雄・竹内均編（1970）新版地学事典（２）．656pp，古今書院，東京．

久保満佐子・島野光司・崎尾均・大野啓一（2000）渓畔域におけるカツラ実生の発生サイトと定着条件．日本林学会誌　82：349－354.

中村太士（1992）河川環境の改善に対する一つの指針－米国海岸での手法紹介と日本への適用－．新砂防　45，15－21.

中山正民（1973）河川の堆積物と堆積地形（自然地理調査法．尾留川正平ほか編，朝倉書店，東京），226－243.

新山馨（1987）石狩川に沿ったヤナギ科植物の分布と生育地の土壌の土性．日本生態学会誌　37：163－174.

新山馨（1995）ヤナギ科植物の生活史特性と河川環境．日本生態学会誌　45：301－306.

岡村俊邦・吉井厚志・福間博文（1996）生態学的混播法による自然林再生法の開発．土木学会論文集　546/Ⅵ－32，87－99

砂防学会編（1999）水辺域ポイントブック－これからの管理と保全－．61pp，古今書院，東京

崎尾均・鈴木和次郎（1997）水辺の森林植生（渓畔林・河畔林）の現状・構造・機能および砂防工事による影響．砂防学会誌　49，40－48

佐竹義輔・原寛・亘理俊次・冨成忠夫編（1989）日本の野生植物木本Ⅰ．321pp，平凡社，東京

高山茂美（1974）河川地形．304pp，共立出版，東京．

秋田県森技研報　第16号　2006年6月

既存樹種を活かした混交林化技術に関する研究

田　村　浩　喜

The Research on Regeneration in *Robinia Pseudoacacia* L. Stands.

Hiroki TAMURA

要　旨

小坂鉱山の煙害地を復旧したニセアカシア林の生育実態を明らかにするため，81か所の調査資料を解析した。調査地の本数密度は760±250本／ha，樹高は14.1±1.6m，直径は19.7±3.0cm，林分材積は173±57㎥／haであった。東北地方広葉樹密度管理図によると調査地の収量比数は，0.62±0.09に相当した。調査地のうちニセアカシアだけの林分は8か所であり，67か所で在来広葉樹が混交し，残る6か所では在来広葉樹だけで構成されていた。在来広葉樹の本数密度は，299±333本／haであった。

Ⅰ．はじめに

1900年代初頭から，秋田県小坂町では，小坂鉱山の煙害によって，周辺の森林が著しい被害を受けた。このため，1949年から1956年にかけて，秋田県が水源林造成事業として約1,300haに森林造成を行った（秋田県，1975）。

植栽の中心となった樹種はニセアカシアであるが，近年強風による倒木が発生している。造成事業の対象地は，水源かん養や土砂流出防備などといった森林の公益的機能を発揮することが望まれることから，ニセアカシア林分をどう管理するかが課題となっている。

このようなことから，本報告ではニセアカシア林の生育実態を明らかにすることを目的とした。なお，本報告は，秋田県森林整備課の委託調査「既存樹種を活かした混交林化技術に関する調査」の一環として行った。

Ⅱ．方　　法

1．調査地

調査地は，秋田県小坂町である。調査地は，市街地の東端にある鉱山から1.5－7.7kmの範囲に位置し，標高は220－470mである。十和田火山の火砕流堆積物が台地状に広大な平坦地形を形成し，中新世のデイサイトや石英斑岩がその中で突起した山体を形成している（秋田県農政部農地整備課，1998）。秋田地方気象台によると，小坂町に隣接する鹿角（標高123m）で1979年から2000年に観測された値から，平均気温は9.3℃，降水量は1,318mm，1月における積雪の深さの最大は46cmである。

2．方法

1997年および1998年に，水源林造成事業の造成地において，秋田県が林分調査をおこなっている。

造成地には，秋田県が地上権設定を行っており，契約期間の50年を前に現況を調査している。対象面積は803ha，調査か所は143か所である（表－１）。林分調査は，0.05haの方形区において，直径10cm以上の立木を対象に行われ，種名，直径，樹高が明らかにされている。ニセアカシアに注目して，143か所から広葉樹林81か所を解析し（表－２），スギ林やアカマツ林は除いた。

１）齢級構成

調査地を評価するには，林齢が基準になることから，森林簿を参考に調査林分の林齢を調べ，齢級構成を明らかにした。

２）生育実態

個々の調査地のデータから，調査地全体の本数密度，樹高，直径，材積の平均を求めた。ニセアカシア以外の樹種から構成されている林分もあるが，樹種による区分は行わず，一つの林分として扱った。ニセアカシアについては立木幹材積表がないことから，秋田・山形地方広葉樹立木幹材積表（林野庁計画課，1970）を使用した。

一方，調査地の相対的な混み具合を評価するため，収量比数を用いた。ニセアカシアについては，密度管理図が作成されていないことから，東北地方広葉樹（ナラ類・クヌギ）密度管理図（日本林業技術協会，1999）を使用した。

３）在来広葉樹の混交状況

調査林分内における，ニセアカシアと在来広葉樹の生育状況を把握するため，本数密度，平均樹高，平均直径を比較した。

表－１　調査地区一覧

調査年	名称	調査地数	面積（ha）
1997	円川原	3	5.75
1997	余路米沢	5	9.16
1997	姥渕	5	33.16
1997	矢柄平	7	83.52
1997	向田表	3	2.74
1997	相内17	5	12.00
1997	相内74	5	38.10
1997	松木沢	11	126.40
1997	堀内沢	15	251.09
1997	歌脇	5	30.37
1997	高寺	5	12.36
1998	歌脇５	1	0.13
1998	栃沢12	1	0.15
1998	上鴇沢20－12	2	2.44
1998	上鴇沢20－２	2	2.07
1998	上鴇沢20－11	2	4.46
1998	上鴇沢20	2	3.51
1998	滝ノ下11	2	2.89
1998	上鴇沢20－４		0.00
1998	上鴇沢20－１	3	3.88
1998	上鴇沢20－10	2	4.77
1998	滝ノ下11－２	3	7.24
1998	栃沢６	4	5.86
1998	上鴇沢12－１	4	9.51
1998	上鴇沢20－３	6	20.20
1998	栃沢５	5	13.20
1998	藤原13	5	16.23
1998	栃沢53	8	25.69
1998	栃沢13	1	0.11
1998	歌脇８		0.45
1998	上鴇沢20－７	2	1.16
1998	長木沢１－１	7	14.67
1998	野鳥沢９－１	4	10.21
1998	上台ノ下25	3	4.93
1998	向	5	45.50
	計	143	803.94

表－２　水源林造成地調査の広葉樹調査か所

no	調査地	林齢（年）	本数密度（本数／ha）	平均樹高（m）	上層樹高（m）	平均直径（cm）	林分材積（m³）	林班	小班
1	円川原１	46	1,280	12.4	14.3	15.4	108	13	2－1
2	円川原２	46	1,320	13.0	14.6	15.8	173	13	2－1
3	円川原３	46	1,400	16.3	18.7	18.7	321	13	2－1
9	姥渕１	46	940	13.6	15.3	15.8	133	14	5
10	姥渕２	46	1,160	11.5	12.9	13.3	97	14	5
11	姥渕３	46	920	11.5	14.1	16.7	134	14	5－1
12	姥渕４	46	1,040	14.2	17.6	20.8	297	14	4
13	姥渕５	46	840	13.8	15.7	21.0	215	14	6
19	矢柄平６	44	780	13.4	16.2	18.7	164	29	18
20	矢柄平７	47	620	16.1	19.6	20.8	184	30	6
21	向田表１	46	1,100	11.5	14.4	17.5	173	14	14－1
22	向田表２	46	900	11.9	14.8	19.8	196	14	14
23	向田表３	46	800	11.4	14.9	19.9	177	14	14
24	相内17－１	45	880	13.7	15.2	23.7	293	16	8
25	相内17－２	45	600	16.6	19.5	24.1	262	16	8

no	調査地	林齢（年）	本数密度（本数／ha）	平均樹高（m）	上層樹高（m）	平均直径（cm）	林分材積（㎥）	林班	小班
26	相内17－３	45	500	17.0	19.9	23.9	202	16	8
27	相内17－４	45	740	15.2	16.6	22.5	230	16	8
28	相内17－５	45	860	14.6	16.6	20.6	234	16	8
29	相内74－１	46	1,640	12.7	15.0	13.8	169	17	1
30	相内74－２	46	1,160	17.8	20.3	17.6	281	17	3
31	相内74－３	46	1,020	14.5	17.0	19.0	234	17	3
32	相内74－４	46	880	14.0	17.5	16.9	159	17	3
33	相内74－５	46	840	12.6	15.1	16.2	133	17	1
49	堀内沢５	43	660	18.2	21.4	22.0	250	10	1－2
54	堀内沢10	43	1,040	15.3	18.0	19.0	253	11	12－3
58	堀内沢14	43	920	15.5	17.8	21.2	280	9	21
61	歌脇２	45	720	16.0	20.7	21.4	259	37	16
62	歌脇３	45	880	13.1	16.6	14.7	108	37	19
63	歌脇４	45	860	14.5	18.5	19.1	211	37	17
64	歌脇５	45	1,020	12.8	17.3	18.2	206	37	11
65	歌脇６	27	400	13.2	15.5	18.5	72	37	9－1
70	高寺５	23	1,080	12.3	14.1	13.6	98	36	42－1
71	藤原１	47	620	13.2	17.0	24.6	241	38	10
72	藤原２	47	740	12.0	15.6	19.7	159	39	5
74	藤原４	44	580	14.3	17.8	22.0	184	39	8
77	藤原７	47	620	13.9	17.7	21.0	179	38	6
78	藤原８	47	620	16.3	19.0	22.7	206	38	6
79	藤原９	34	480	12.4	15.1	20.3	108	39	17
80	藤原10	34	560	14.1	16.2	20.7	145	39	16
81	藤原11	46	820	12.7	16.2	17.4	148	38	5
82	藤原12	46	840	13.2	16.4	17.4	150	38	5
83	藤原13	46	440	14.7	17.3	20.8	123	38	5
84	藤原14	25	400	13.7	17.5	19.7	103	39	18
85	藤原15	25	700	12.9	16.9	19.7	172	39	18
86	藤原16	47	940	12.9	15.9	19.3	204	38	15－1
87	藤原17	47	820	12.2	15.8	20.5	216	38	15－1
88	藤原18	47	960	13.5	16.4	21.4	263	38	15－1
89	藤原19	47	400	16.5	18.5	24.3	158	38	15－1
90	藤原20	47	640	13.6	17.1	20.6	161	38	12
91	藤原21	26	400	15.6	17.6	22.0	120	39	14
92	藤原22	26	940	11.8	14.6	17.4	154	39	14
93	藤原23	47	600	14.0	17.1	21.0	176	38	11
94	藤原24	47	540	13.7	17.0	18.0	110	38	11
96	藤原26	43	560	13.2	16.5	21.1	164	39	7
99	藤原29	47	840	12.1	14.9	20.6	191	38	9
100	鴇沢１	45	600	12.0	13.1	13.5	51	40	10
101	鴇沢２	45	660	13.6	16.5	20.1	156	40	10
102	鴇沢３	45	620	15.8	17.9	23.5	217	40	10
103	鴇沢４	45	660	13.9	15.3	18.8	128	40	10－5
106	鴇沢７	45	320	14.4	17.6	26.5	150	40	11
107	鴇沢８	45	260	15.1	16.9	28.0	118	40	10
109	鴇沢10	45	600	13.5	15.1	18.5	116	40	10
110	鴇沢11	45	460	13.3	14.3	21.7	112	40	11
116	鴇沢17	45	520	16.4	20.2	23.5	195	40	11－1
118	鴇沢19	45	640	14.6	16.8	22.6	197	40	13
122	鴇沢23	45	520	13.0	14.2	17.7	83	40	10
124	鴇沢25	33	480	15.4	17.9	23.8	167	40	7－1
125	長木沢１	40	540	15.6	18.4	19.6	133	41	9
126	長木沢２	40	600	16.1	18.9	22.1	203	41	9
127	長木沢３	40	900	14.6	17.0	18.4	174	41	10
128	長木沢４	40	680	15.8	18.6	19.2	164	41	10
129	長木沢５	40	680	15.9	18.2	21.9	195	41	10
130	長木沢６	40	860	13.9	15.9	19.4	185	41	10
131	長木沢７	40	780	14.8	16.2	19.4	167	41	10
132	長木沢８	44	680	16.3	19.1	20.5	204	41	2
133	長木沢９	44	660	16.2	18.7	21.8	212	41	2
134	長木沢10	44	660	15.4	17.1	17.3	118	41	2
136	野鳥沢２	47	800	13.2	15.0	19.4	158	14	29
138	野鳥沢４	20	1,020	11.7	13.2	13.5	84	14	48
139	向１	43	680	14.0	16.4	17.1	106	28	48
143	向５	41	800	10.7	12.3	14.2	70	28	48

注１：データは秋田県森林土木課が調査したものである。　注２：上層樹高は樹高上位半数の平均とした。

Ⅲ．結　　果

１．齢級構成

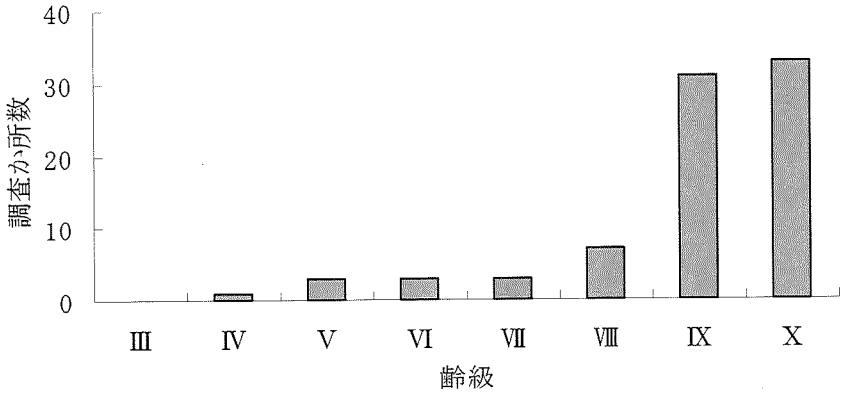
調査地の齢級構成を図－１に示した。調査地の林齢は20年生から47年生の範囲であり，Ⅷ齢級とⅨ齢級に67林分が存在した。林齢の平均は42.7±6.3（平均値±標準偏差）年であった。

２．生育実態

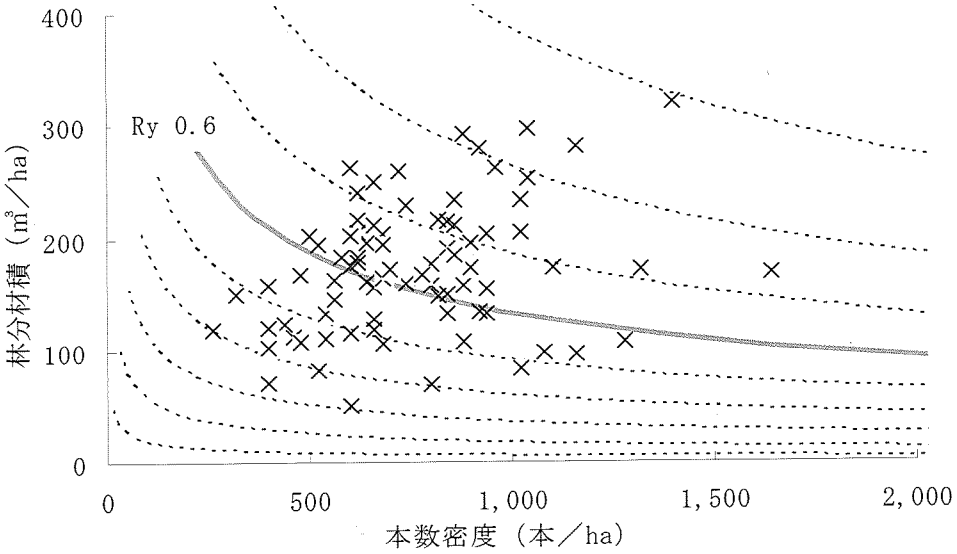
調査地における本数密度は，760±250本／haであった。樹高は，14.1±1.6mであった。直径は，19.7±3.0cmであった。林分材積は，173±57㎥／haであった。

収量比数は，0.62±0.09であり，疎林に区分される調査地が多かった（図－２）。

秋田地方育成天然林資源予測表作成報告書のミズナラの林分材積表によると，地位級２における45年生の林分材積は168㎥であり（日本林業技術協会，1990），調査地の林分材積の平均は，同等であることが明らかになった。



図－１　調査地の齢級構成



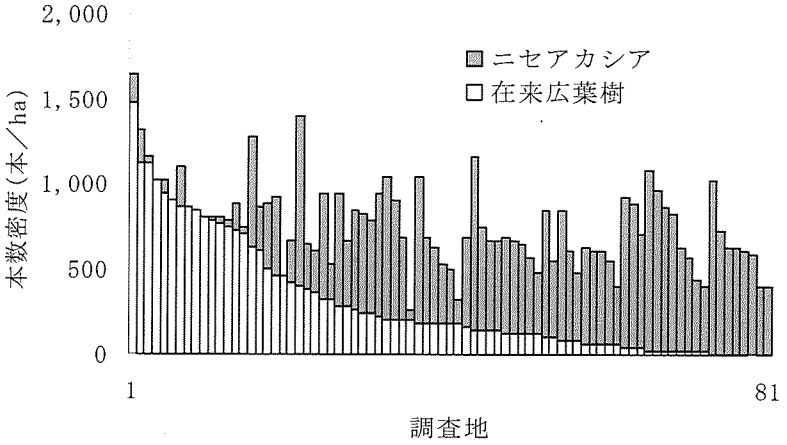
図－２　水源林調査地の本数密度と林分材積
等収量比数線は，東北地方広葉樹（ナラ類・クヌギ）林分密度管理図（日本林業技術協会，1999）による。

３．在来広葉樹の混交状況

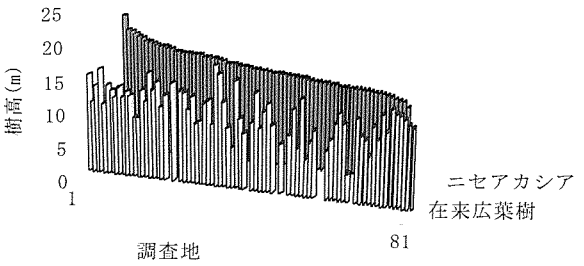
ニセアカシアと在来広葉樹の本数密度を図－３に示した。調査地の配列は，在来広葉樹の本数密度が多い順である。ニセアカシアだけの調査地は８か所，在来広葉樹だけの調査地は６か所，残りの67か所が混交林であった。混交林において，ニセアカシアの本数密度が高い調査地は48か所であった。ニセアカシアの本数密度は，調査地を平均すると461±280本／ha，これに対して，在来広葉樹の本数密度は，299±333本／haであった。

ニセアカシアと在来広葉樹の樹高を図－４に示した。調査地の配列は，ニセアカシアの樹高が高い順である。混交林において，ニセアカシアの樹高が高い調査地は61か所あり，ニセアカシアの樹高は15.2m，在来広葉樹との樹高差は，4.2mであった。一方，在来広葉樹の樹高が高い調査地は６か所であり，在来広葉樹の樹高は，15.4m，樹高差は1.4mであった。

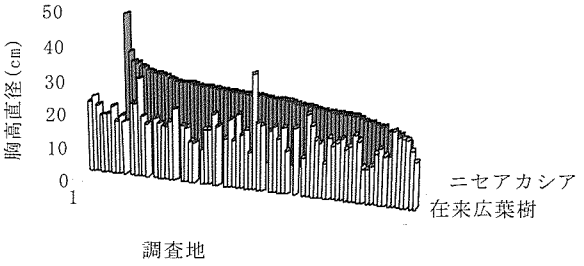
ニセアカシアと在来広葉樹の直径を図－５に示した。調査地の配列は，ニセアカシアの直径が大きい順である。混交林のうち，ニセアカシアの直径が大きい調査地は50か所であり，ニセアカシアの直径は21.7cm，在来広葉樹との直径差は5.4cmであった。一方，在来広葉樹の直径が大きい調査地は17か所であり，在来広葉樹の直径は20.0cm，直径差は2.9cmであった。



図－３　ニセアカシアと在来広葉樹の本数密度



図－４　ニセアカシアと在来広葉樹の樹高



図－５　ニセアカシアと在来広葉樹の直径

Ⅳ. まとめ

調査地の林齢は42.7±6.3年であり，本数密度は760±250本／ha，樹高は14.1±1.6m，直径は19.7±3.0cm，林分材積は173±57㎥／haであった。また，収量比数は0.62±0.09であり，広葉樹林としては疎林に区分された。一方，調査地の林分材積は45年生ミズナラ林と同等であった。

調査地の8割では，ニセアカシアと在来広葉樹が混交していた。樹高，直径ともにニセアカシアが大きい調査地が多く，高木層をニセアカシア，亜高木層を在来広葉樹が構成していると考えられた。また，在来広葉樹の本数密度は，299±333本／haであった。

引用文献

秋田県（1975）秋田県林業史下巻．585pp，秋田県，秋田．

秋田県農政部農地計画課（1998）土地分類基本調査　十和田湖・八甲田山．56pp，秋田県農政部農地計画課，秋田．

日本林業技術協会（1990）秋田地方育成天然林資源予測表作成報告書．136pp，日本林業技術協会，東京．

日本林業技術協会（1999）人工林林分密度管理図．15pp，日本林業技術協会，東京．

林野庁計画課（1970）立木幹材積表－東日本編－．333pp，日本林業調査会，東京．

秋田県森技研報　第16号　2006年６月

検定用抵抗性マツ苗木の大量増殖と接種検定

須　田　邦　裕

Breeding Project on Resistance to the Pine-wood Nematode.

Kunihiro SUDA

要　旨

マツノザイセンチュウに対する抵抗性マツを作出するため，激害地より選抜した健全木から，実生苗や接ぎ木苗を育苗すると共に，秋田県精英樹や新潟産抵抗性マツと西日本産抵抗性マツの花粉を用いて交配を行い，それらを育苗して一次接種検定に用いた。接種検定では，抵抗性を判定するまでには至らなかったが，激害地における実生苗への直接接種により枯れずに残ったものが，２本認められ，今後，さらに抵抗性を検討していく。

Ⅰ．はじめに

本県における松くい虫被害は昭和57年に象潟町小砂川地区で確認されて以来（*1*），平成17年には県北東部を除く58市町村（旧市町村数）に拡大している。

特に11年以降の被害量は毎年３万立方に上り，秋田市下浜地区や男鹿市北浦地区では９割程度のマツが枯れ，壊滅的な状況になっている。防除対策としては，無人ヘリコプターによるスミパイン乳剤の空中散布および動力噴霧機による地上散布を実施している。また被害木の処理方法をくん蒸処理から破砕処理に変更し，盛んに行われている。しかし，毎年の予算及び処理能力を上回る量の被害が発生し，処理が追いつかないのが現状である。このままでは，観光地の美観を損ねるだけでなく，飛砂や潮風被害による農作物や地域住民への影響は甚大である。このため当センターでは，平成13年度から17年度にかけて「検定用抵抗性マツ苗木の大量増殖」の課題に取り組み，抵抗性マツ開発の前段となる検定用苗の増殖を交配や選抜の実生及び接ぎ木で行い一次検定に供した。

Ⅱ．材料と方法

１．検定用マツの育苗

１－１．抵抗性候補木の選抜

松枯れ被害の特に激しい男鹿市脇本・北浦地区及びにかほ市仁賀保・金浦地区などで枯れずに残っている健全木が抵抗性マツの可能性がある。そこで，これらの抵抗性レベルを検証するため，実生や接ぎ木によって苗を作り，培養したマツノザイセンチュウを人工接種し，枯れ具合から抵抗性の強さの判断を行った。

選抜は，激害地（写真－１）の中（*3*，*4*，*5*，*6*，*7*）でも枯れの症状が終息した場所を選

び，大径木又は中径木を中心に他の病害虫や気象害を受けていないものを選抜した（写真－２）。

写真－１　激害地の全景

写真－２　激害地から選抜した候補木

１－２．抵抗性マツとの交配

１－２－１．秋田県精英樹との交配

秋田県産アカマツ，クロマツ精英樹（一部山形産と新潟産を含む）と西日本産抵抗性アカマツ，クロマツとの交配を行い，遺伝的にマツノザイセンチュウに対して抵抗性を備えた個体の作出を目指した（*8*）。

交配作業は，アカマツ・クロマツ精英樹採種園内で実施した。精英樹は樹高が７～10m程あるため，高さ18m，鉄キャタピラクロラー式の高所作業車（写真－３）を導入し交配作業を効率よく行った。

手順は，新梢部分が，針葉か雌花かを的確に判断し（写真－４），周りの針葉や雄花を取り除いた。その後，飛散する他の花粉と雌花が受粉しないようにマツ用の二重交配袋を被せ隔離した。雌花が赤色を帯び，花芽の鱗片が開きかけた時点で花粉銃を用い抵抗性花粉を交配袋に注入して受粉させた。（交配に使用した抵抗性マツの花粉は独立法人林木育種センター東北育種場の提供）約１ヶ月後，交配袋を取り外し受粉の成否を確認した後，標識テープと花粉名を記したラベルを枝に取り付けた。交配した種子は，翌年の10月に種子採取を行い翌々年の４月に播種した。

写真－３　高所作業車での作業

写真－４　新梢部の選別

１－２－２．県外産抵抗性個体との交配

平成13年度に秋田県と同じ育種区である新潟県から１次合格８系統，２次合格10系統を導入し，暫定抵抗性アカマツ採種園を造成した。

平成15年度から新潟県産18系統と西日本産抵抗性アカマツの花粉との交配を実施し，高い抵抗性を有する個体の作出を目指した。

交配作業は，精英樹との交配同様，新梢部分の雌花にマツ二重交配袋をかけ，花粉銃を用いて抵抗性花粉の受粉を行った（写真－５）。

約１ヶ月後，交配袋を取り外し，受粉の成否を確認した後，標識テープと花粉名を記したラベルを枝に取り付けた（写真－６）。平成16年秋に交配種子の採取を行い，これを翌17年４月に播種した。

写真－５　花粉銃を用いた交配

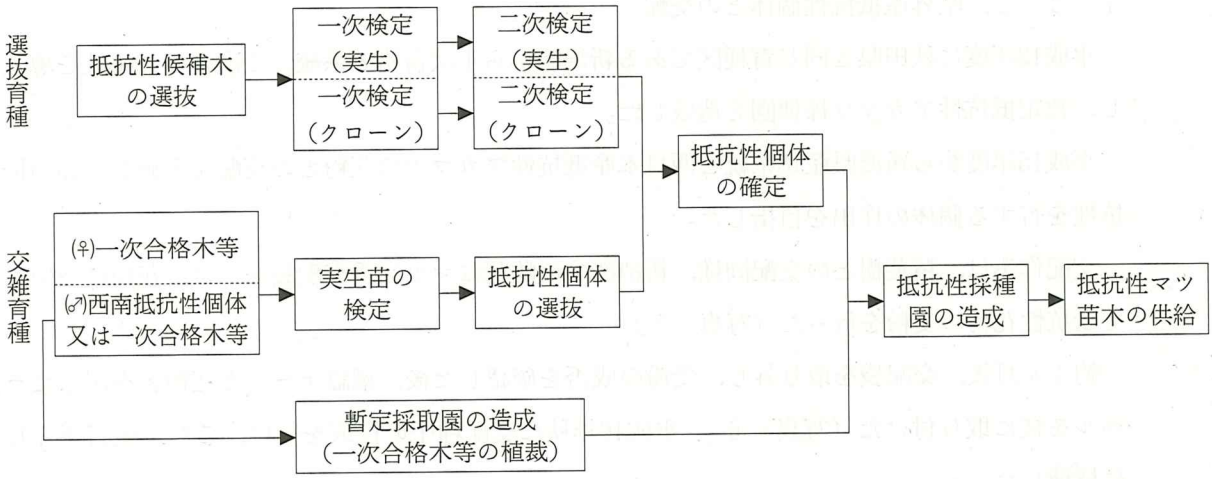
写真－６　交配によって結実した種子

２．接種検定

２－１．選抜及び交配苗木に対する接種検定

接種検定の流れを図－１に示す。接種用の苗木は，選抜及び交配により増殖で得られた３年生実生苗を接種検定に用いた。接種には独立法人林木育種センター東北育種場で培養されたマツノザイセンチュウ島原個体群（*8*）を用いた。シャーレで培養したセンチュウをベルマン法で分離した後，0.1ccあたり約１万頭になるよう頭数調整を行うとともに接種漏れを防ぐためジベレリン用着色剤（赤色102号2,000倍液）で着色したものを接種検定とした。

接種方法は，苗木下部の主軸を幅１mm，長さ３cm程，剥皮して鋸で浅い掻き傷を付け，センチュウの入った容器を均等になるよう充分攪拌しながらマイクロピペットで0.1ccを鋸傷の箇所へ接種する剥皮法（*9*）で実施した。



図－１　接種検定の流れ

２－２．激害地実生苗への接種

マツノザイセンチュウによる松枯れ被害地からの抵抗性候補木の選抜は，実生苗接種検定の場合，選抜→採取→播種→育苗→検定と４年の歳月を要する。この手順を少しでも短縮化し抵抗性マツの発見を迅速に行うため，被害地に残っている数少ない健全木の周辺に自生している実生苗に現地で直接マツノザイセンチュウの接種を実施する試みを行った。接種方法は，本来の検定方法と同様，マツ苗木１本に対し，0.1ccでマツノザイセンチュウが約１万頭の懸濁液を接種する剥皮法（９）にて実施した（写真－７）。

写真－７　剥皮法による接種作業

Ⅲ．結　　果

１．検定用マツの育苗

１－１．抵抗性候補木の選抜

選抜した結果を表－１，２に示す。アカマツは平成13年～15年の３ヵ年で15本を男鹿市脇本及び北浦から選抜した。クロマツは平成13年には男鹿市北浦から選抜したが，14年以降は西目町，金浦町，仁賀保町の３町の激害地から50本の選抜を行った。選抜木から種子又は穂木を採取し，実生苗及び接ぎ木苗の育成を行い，順次接種検定に用いた。

しかし，選抜から実際に接種検定を行うまでの２～３年の間に枯れてしまうマツも少なくなく，表－３に示すように平成13年度選抜木15本のうち10本が枯損し，現存は５本であり，14年度選抜木も15本中11本が枯損し，現存は４本である。このように松枯れ被害がほぼ終息した場所からの選抜木であるにもかかわらず，僅か２～３年で更に枯れが拡大する厳しい状況になっている。

表－１　アカマツ選抜候補木

選抜年度	樹種名	選抜木所在地	個体番号
平成13年度	アカマツ	男鹿市脇本田谷沢字要沢	秋田（男鹿）アカマツ50
	アカマツ	男鹿市脇本田谷沢字要沢	秋田（男鹿）アカマツ51
	アカマツ	男鹿市脇本田谷沢字要沢	秋田（男鹿）アカマツ52
	アカマツ	男鹿市脇本田谷沢字要沢	秋田（男鹿）アカマツ53
	アカマツ	男鹿市脇本田谷沢字要沢	秋田（男鹿）アカマツ54
平成14年度	アカマツ	男鹿市北浦北浦字平岱山	秋田（男鹿）アカマツ55
	アカマツ	男鹿市北浦北浦字平岱山	秋田（男鹿）アカマツ56
	アカマツ	男鹿市北浦北浦字平岱山	秋田（男鹿）アカマツ57
	アカマツ	男鹿市北浦北浦字平岱山	秋田（男鹿）アカマツ58
	アカマツ	男鹿市北浦北浦字平岱山	秋田（男鹿）アカマツ59
平成15年度	アカマツ	男鹿市脇本田谷沢字要沢	秋田（男鹿）アカマツ60
	アカマツ	男鹿市脇本田谷沢字要沢	秋田（男鹿）アカマツ61
	アカマツ	男鹿市脇本田谷沢字要沢	秋田（男鹿）アカマツ62
	アカマツ	男鹿市脇本田谷沢字要沢	秋田（男鹿）アカマツ63
	アカマツ	男鹿市脇本田谷沢字要沢	秋田（男鹿）アカマツ64

表－２　クロマツ選抜候補木

選抜年度	樹種名	選抜木所在地	個体番号
平成13年度	クロマツ	男鹿市北浦西黒沢字山の田	秋田（男鹿）クロマツ59
	クロマツ	男鹿市北浦西黒沢字山の田	秋田（男鹿）クロマツ60
	クロマツ	男鹿市戸賀戸賀字延田	秋田（男鹿）クロマツ61
	クロマツ	男鹿市戸賀戸賀字延田	秋田（男鹿）クロマツ62
	クロマツ	男鹿市戸賀戸賀字延田	秋田（男鹿）クロマツ63
	クロマツ	男鹿市北浦西黒沢字戸沢	秋田（男鹿）クロマツ64
	クロマツ	男鹿市北浦西黒沢字戸沢	秋田（男鹿）クロマツ65
	クロマツ	男鹿市北浦西黒沢字戸沢	秋田（男鹿）クロマツ66
	クロマツ	男鹿市北浦西黒沢字戸沢	秋田（男鹿）クロマツ67
	クロマツ	男鹿市北浦西黒沢字戸沢	秋田（男鹿）クロマツ68
平成14年度	クロマツ	金浦町飛ヶ崎	秋田（金浦）クロマツ69
	クロマツ	金浦町飛ヶ崎	秋田（金浦）クロマツ70
	クロマツ	金浦町飛餅田	秋田（金浦）クロマツ71
	クロマツ	金浦町飛餅田	秋田（金浦）クロマツ72
	クロマツ	西目町出戸浜山	秋田（西目）クロマツ73
	クロマツ	西目町出戸浜山	秋田（西目）クロマツ74
	クロマツ	西目町出戸浜山	秋田（西目）クロマツ75
	クロマツ	西目町出戸浜山	秋田（西目）クロマツ76
	クロマツ	西目町出戸浜山	秋田（西目）クロマツ77
	クロマツ	西目町出戸浜山	秋田（西目）クロマツ78

選抜年度	樹種名	選抜木所在地	個体番号
平成15年度	クロマツ	金浦町飛餅田	秋田（金浦）クロマツ79
	クロマツ	金浦町飛餅田	秋田（金浦）クロマツ80
	クロマツ	金浦町飛餅田	秋田（金浦）クロマツ81
	クロマツ	金浦町飛餅田	秋田（金浦）クロマツ82
	クロマツ	金浦町飛餅田	秋田（金浦）クロマツ83
	クロマツ	金浦町飛餅田	秋田（金浦）クロマツ84
	クロマツ	仁賀保町芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ85
	クロマツ	仁賀保町芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ86
	クロマツ	仁賀保町芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ87
	クロマツ	仁賀保町芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ88
平成16年度	クロマツ	仁賀保町芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ89
	クロマツ	仁賀保町芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ90
	クロマツ	仁賀保町芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ91
	クロマツ	金浦町飛飛のくずれ	秋田（金浦）クロマツ92
	クロマツ	金浦町飛飛のくずれ	秋田（金浦）クロマツ93
	クロマツ	金浦町飛飛のくずれ	秋田（金浦）クロマツ94
	クロマツ	金浦町飛飛のくずれ	秋田（金浦）クロマツ95
	クロマツ	金浦町飛飛のくずれ	秋田（金浦）クロマツ96
	クロマツ	金浦町飛飛のくずれ	秋田（金浦）クロマツ97
	クロマツ	金浦町堀切	秋田（金浦）クロマツ98
	クロマツ	金浦町堀切	秋田（金浦）クロマツ99
	クロマツ	金浦町堀切	秋田（金浦）クロマツ100
	クロマツ	金浦町堀切	秋田（金浦）クロマツ101
	クロマツ	金浦町堀切	秋田（金浦）クロマツ102
	クロマツ	金浦町堀切	秋田（金浦）クロマツ103
平成17年	クロマツ	にかほ市仁賀保芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ104
	クロマツ	にかほ市仁賀保芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ105
	クロマツ	にかほ市仁賀保芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ106
	クロマツ	にかほ市仁賀保芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ107
	クロマツ	にかほ市仁賀保芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ108
	クロマツ	にかほ市仁賀保芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ109
	クロマツ	にかほ市仁賀保芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ110
	クロマツ	にかほ市仁賀保芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ111
	クロマツ	にかほ市仁賀保芹田高磯	秋田（仁賀保）クロマツ112
	クロマツ	にかほ市金浦飛餅田	秋田（金浦）クロマツ113
	クロマツ	にかほ市金浦飛餅田	秋田（金浦）クロマツ114
	クロマツ	にかほ市金浦堀切	秋田（金浦）クロマツ115
	クロマツ	にかほ市金浦堀切	秋田（金浦）クロマツ116
	クロマツ	にかほ市金浦堀切	秋田（金浦）クロマツ117
	クロマツ	にかほ市金浦堀切	秋田（金浦）クロマツ118

表－３　H13～17までの選抜本数と枯損本数、及び今後の検定数

選抜年	樹種	選抜本数	枯損本数	健全木	接ぎ木
13	アカマツ	5	2	3	3
	クロマツ	10	8	2	2
14	アカマツ	5	3	2	2
	クロマツ	10	8	2	2
15	アカマツ	5	1	4	4
	クロマツ	10	3	7	2
16	アカマツ	—	—	—	—
	クロマツ	15	1	14	9
17	アカマツ	—	—	—	—
	クロマツ	15	0	15	3

１－２．抵抗性マツとの交配

１－２－１．秋田県精英樹との交配

交配の結果を表－４，５に示す。高所作業車の導入により飛躍的に交配作業の効率が上がった。５年間でアカマツ精英樹15系統に対し抵抗性花粉16個体との交配を行い，全部で49通りの組み合わせで合計1467個の袋数となった。一方クロマツ精英樹は21系統に対し抵抗性花粉21個体との交配を行い，全部で126通りの組み合わせで，合計3984個の袋数となった。平成13年度に交配した種子は翌14年秋に採取し，15年春に苗畑へ播種，16年に育苗し，17年にようやく接種検定に用いることができた。交配から接種までちょうど５年間の歳月が必要であった。14年度以降に交配した種子は，現在，種子採取，播種，育苗中であり，18年度以降順次検定に用いることになる。

１－２－２．県外産抵抗性個体との交配

新潟産抵抗性アカマツ（１次合格８系統，２次合格10系統）と西日本産抵抗性アカマツとの交配結果を表－６に示す。15年度から17年度の３ヵ年で18系統に対し抵抗性花粉13個体との交配を行い，全部で63通りの組み合わせで合計769個の袋数となった。

平成15年度に交配した種子は，翌16年に採取し，17年春に苗畑へ播種を行った。18年に育苗，19年には接種検定を行い，抵抗性レベルを明らかにする計画である。

表－4　アカマツ精英樹交配表

年度	母樹名	アカマツ													クロマツ			総計
		大分 137	熊本 16	佐賀関 108	西条 8	総社 39	備前 40	山陽 6	新居浜 10	熊山 25	佐賀関 132	久慈 102	上閉伊 101	三本木 3	波方 37	吉田 2	田辺 54	
13	鹿　角102	33																33
	大　館103					11												11
	大　館104		11															11
	北秋田106		20															20
	北秋田109			38														38
	五城目102	33	37	25		44												139
	五城目103				34													34
	東南置賜				14													14
14	鹿　角102						40											40
	大　館101			20		20										20		60
	由　利102	20													20	20		60
	平　鹿102				20													20
	西蒲原3		25	25													25	75
15	北秋田103	24	24			24												72
	北秋田105			20		20												40
	五城目102	20	20	51	24	20	24	50	51									260
	五城目103					21	20											41
16	北秋田105									22	23							45
	北秋田109									28		28						56
	由　利102										32							32
	大　館101											45						45
	三　条3									23			24	24				71
17	北秋田106					37												37
	大　館103						31	31										62
	五城目102									27	28							55
	五城目103	35			31													66
	西蒲原3								30									30
総　計		165	137	179	123	197	115	81	81	100	83	73	24	24	20	40	25	1467

表－５　クロマツ精英樹交配表

年度	母樹名	クロマツ																	総計
		川内 290	志摩 64	土佐清水 63	波方 73	夜須 37	波方 37	吉田 2	田辺 54	松島 15	大瀬戸 12	大瀬戸 2	津屋崎 50	頴娃 425	大分 8	三崎 90	小浜 30	その他	
13	能代3				34														34
	山本101				38														38
	山本102			58															58
	山本104		36																36
	本荘1				40														40
	本荘2					31													31
	由利1	55																	55
	由利3				22	26													48
	由利5		26																26
	由利6		33	11		20													64
	由利101			53	22														75
	飽海101	54	61	70	19														204
	中頸城101					41													41
	中頸城103	32		18															50
14	能代1				30		30	25	25									60	170
	能代2						20												20
	能代3							20											20
	能代102								35										35
	山本101								25										25
	山本102						25												25
	山本104							35											35
	由利1				25		20												45
	由利2							35		20								50	105
	由利3						20	30										30	80
	由利4						30		20										50
	由利6							30											30
	本荘2						25	25		25								25	100
	鶴岡1								20										20
	中頸城101								30										30
	中頸城103								30									60	90
15	本荘1							25	25	25									75
	本荘2				26														26
	由利1							28		27									55
	由利2		25		28		30	25	25										133
	由利3		24		25			23	23	25									120
	由利4				30														30
	由利5						15												15
	由利6						27		28										55
	由利7						37												37
	山本101				29		29												58
	山本104						21			21									42
	飽海101		23					23	23	23									92
	中頸城101							25											25
	中頸城103				25			25											50

年度	母樹名	クロマツ																	総計
		川内 290	志摩 64	土佐清水 63	波方 73	夜須 37	波方 37	吉田 2	田辺 54	松島 15	大瀬戸 12	大瀬戸 2	津屋崎 50	頴娃 425	大分 8	三崎 90	小浜 30	その他	
16	能代1									42	43								85
	能代2				30							30	45						105
	本荘2								25		25								50
	鶴岡1							18		18									36
	由利1											33	22	27	28				110
	由利2														45				45
	由利3	25													25	15			65
	由利4										32					33			65
	由利7									30									30
	山本101		45																45
	山本104								30										30
	中頸城101				25		25												50
17	能代1	30	30																60
	由利1								45										45
	由利2	35		30												35	30		130
	由利3			50									50						100
	由利4							45											45
	由利6				28					28									56
	由利7							35	35										70
	山本102								45										45
	山本104									33									33
	飽海101												30	30	30				90
	中頸城101		33							34									67
	中頸城103																34		34
総計		231	336	290	476	118	354	472	489	351	100	63	147	57	128	83	64	225	3984

表－６　新潟アカマツ交配表

年度	母樹名	アカマツ													総計
		大分 137	西条 8	佐賀関 108	山陽 6	熊本 16	総社 39	新居浜 10	備前 40	熊山 25	佐賀関 132	久慈 102	上閉伊 101	三本木 3	
15	上越－1				12										12
	上越－6							6							6
	上越－7		10												10
	上越－34	5													5
	村上－6		14			14	17								45
	長岡－4				14			17	18						49
	長岡－11					8									8
	長岡－17	12		12											24
	長岡－34						7								7
	長岡－55														0
	長岡－57		17						16						33
	新潟－1			2											2
	新潟－2				3										3
	新潟－18							11							11
	新潟－47								10						10
	新潟－48	14													14
	新潟－62					12									12
	新潟－94						13								13
16	上越－1									15					15
	上越－6										13				13
	上越－7											8			8
	上越－34												11		11
	村上－6			14										13	27
	長岡－4					14					14				28
	長岡－11	12										12			24
	長岡－17												18		18
	長岡－34				15									14	29
	長岡－55										16				16
	長岡－57											16			16
	新潟－1												5		5
	新潟－2													10	10
	新潟－18									6					6
	新潟－47						7								7
	新潟－48								15						15
	新潟－62													18	18
	新潟－94							14							14
17	上越－1					10									10
	上越－6					6									6
	上越－7						9								9
	上越－34					13									13
	村上－6	30													30
	長岡－4			10											10
	長岡－11			23											23
	長岡－17					11									11
	長岡－34			36											36
	長岡－55			5											5
	長岡－57					19									19
	新潟－1					3									3
	新潟－2			4											4
	新潟－18						2								2
	新潟－47	11													11
	新潟－48						9								9
	新潟－62			12											12
	新潟－94					12									12
総計		84	41	118	44	122	64	48	59	21	43	36	34	55	769

２．接種検定

２－１．選抜及び交配苗木に対する接種検定

平成13年度から17年度までの５年間の交配と接種実績を表－７に示す。接種検定の合否の基準となる対照木，選抜木からの種子繁殖による実生苗，精英樹と抵抗性花粉による交配実生苗の３種に毎年それぞれ６月下旬から７月上旬にかけてマツノザイセンチュウの接種を行った。平成13年度には計787本，翌14年度には1,645本，15年度には2,781本，16年度には2,461本，17年度は4,382本で５年間に計12,056本に対し接種検定を行った（写真－８）。

写真－８　接種検定中の抵抗性候補木

しかし，この５年間は夏場の気象条件が整わず，１割程度の枯れに止まり，抵抗性の判定ができない結果となった（*10*）。原因として夏場の低温でマツ内部に入ったセンチュウの増殖が進まず，多雨の影響と重なって枯れの症状が出にくかったと考えられる。このため平成18年度からは選抜木からの接ぎ木苗に限定して夏場の低湿と雨の影響を受けないハウス内で検定を行うことにしている。

表－７　交配数と接種の実績

		H13	H14	H15	H16	H17
交配	精英樹×抵抗性（アカ）（花粉）	８×５ 11通り 300個	５×６ 11通り 255個	４×８ 15通り 413個	５×５ ９通り 249個	５×８ ８通り 250個
交配	精英樹×抵抗性（クロ）（花粉）	14×５ 23通り 800個	16×10 33通り 880個	14×６ 32通り 813個	12×13 24通り 716個	12×12 22通り 775個
交配	抵抗性×抵抗性（新潟産）（花粉）			17×８ 23通り 264個	18×12 22通り 280個	18×４ 18通り 225個
接種本数		対照木　100本 選抜木　359本 交配木　328本 計　787本	対照木　100本 選抜木　885本 交配木　660本 計　1645本	対照木　100本 選抜木　2056本 交配木　625本 計　2781本	対照木　160本 選抜木　1291本 交配木　1010本 計　2461本	対照木　191本 接ぎ木　59本 選抜木　1016本 交配木　3116本 計　4382本
接ぎ木増殖				12クローン 202本	16クローン 640本	14クローン 680本

２－２．激害地実生苗への接種

平成13年度から激害地実生苗への現地接種を行った。13年には大内町中俣の県有林のアカマツ苗木30本に対し接種検定を実施したが，15年度までの２年間で全てが枯損した。14年度からは，男鹿市脇本の激害地で現地実生苗50本への接種を行ったところ６本程枯れないマツがあり，15年，16年に再接種を実施したところ２本が現在も枯れずに残っている。その２本を17年度中に当センター場内に移植し育成した後，さらに接ぎ木で増殖し接種検定に用いる計画である。

Ⅳ．おわりに

平成18年度より「マツノザイセンチュウ抵抗性個体の作出」の課題を実施することが決まり，今回の結果を踏まえ，接種検定については，明確な結果を得るために，接ぎ木を中心とした苗木増殖を行い，環境条件を出来るだけ制御しやすいパイプハウスなどを用いることにしている。そのため，激害地からの選抜木についても，秋田及び由利の振興局森づくり推進課の協力を得て，地元とも連絡を密にするなど，効率的に課題をすすめることにしている。東北の抵抗性クロマツの開発では，宮城県が平成16年度に６系統，福島県が17年度に２系統が合格するなど着実に前進している。この２県と秋田県，山形県，新潟県は同じ東北，同じ育種区でありながらも種苗配布区が異なるため，このクロマツの導入は難しいのが現状である。幸い，新潟県産クロマツ１系統が平成18年度中に合格予定である。秋田県もマツ枯れ激害地の復興に向けて一層の努力を重ねここ数年の間に合格木を出せるよう取り組んでいきたい。

引用文献

（*1*）岸洋一（1988）マツ材線虫病－松くい虫－精説．292pp，トーマスカンパニー，東京．

（*2*）秋田県林務部（2002）秋田県林業統計．250pp.，秋田県林務部．

（*3*）大山浪雄（1974）林木の抵抗性に関する研究．マツノザイセンチュウに関連して．林業技術386：16-20.

（*4*）大庭喜八郎（1973）マツノザイセンチュウ抵抗性育種．林木の育種99：1-6.

（*5*）西口親雄（1978）病虫害抵抗性・落書帳．林木の育種107：1-4.

（*6*）岩下礼治（1978）マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業．林木の育種107：5-8.

（*7*）金川侃（1979）マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業の概要（茨城県）．林木の育種112：49-51.

（*8*）戸田忠雄（1997）マツノザイセンチュウ抵抗性マツの育成．（松くい虫（マツ材線虫病）－沿革と最近の研究－，全国森林病虫獣害防除協会編．274pp，全国森林病虫獣害防除協会，東京）．168-274.

（*9*）藤本吉幸・戸田忠雄・西村慶二・山手廣太・冬野劭（1989）マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業－技術開発と事業実施10か年の成果－．林育研報7：1-84.

（*10*）戸田忠雄(1996）マツノザイセンチュウ抵抗性育種．森林防疫45：2-7.

秋田県森技研報　第16号　2006年６月

簡易施設利用によるきのこ栽培新技術の実用化

山　田　　尚

Practical use of the new cultivation method for mushroom by simple house.

Takashi YAMADA

要　旨

簡易施設（パイプハウス）を利用して，新規きのこ導入による周年的栽培技術の確立を図るため，タモギタケ，トキイロヒラタケ，ウスヒラタケの３品目を対象に，本県気象条件での栽培特性を明らかにした。

1）タモギタケの発生期間は，６月下旬から７月中旬及び８月中旬から下旬と推定される。気温が30℃以上では，高温の影響から子実体が生長しにくい。

2）トキイロヒラタケの発生期間は，６月下旬から９月上旬と推定される。気温30℃を超えても，子実体が生長し収穫が可能である。

3）ウスヒラタケの発生操作は気温20℃を目安に行い，９月から11月までが収穫期間であると推定される。培地の仕込みは，６月までに終えるようにする。

はじめに

きのこ栽培をするためには施設などの初期投資が大きいため，生産者，特に個人経営の農家にとっては，投資に見合う収益を上げえるかどうかが大きな問題となる。農林家の現金収入の増大と経営の安定化を図るためには，初期投資の低い簡易施設（パイプハウス）や遊休化している施設を利用し，春から初冬までを通して収益が得られる周年的栽培技術を確立する必要がある。そこで，発生期の異なるタモギタケ，トキイロヒラタケ，ウスヒラタケの組み合わせによる周年栽培の実用化に向けて，これまで栽培試験を実施してきたのでその結果を報告する。

なお，この研究は，平成16～17年度まで実施した平成16年度競争的研究資金事業「簡易施設利用によるきのこ栽培新技術の実用化」として行ったものである。

１．タモギタケ

【試験Ⅰ】簡易施設栽培における栽培期間の検討

(1)　目的

タモギタケは，これまで生産されているヒラタケの仲間であり，傘の色が鮮やかな黄色をした美しいきのこである。このきのこについて，これまで空調栽培による各種試験（*2*，*3*）が実施され

てきた。しかし，簡易施設を利用した栽培試験は少なく，また本県の気象条件における栽培例もない。そこで，最適な栽培期間を明らかにするために，段階的に仕込み時期を設定し，発生量との関連性を検討した。

(2)　材料及び方法

１）供試菌および供試培地

供試菌は，市販品種の河村 KT３号（株式会社河村食用菌研究所）の１系統である。

供試培地は，広葉樹オガコを培地基材とし，これに栄養添加剤としてフスマを添加（容積比で広葉樹オガコ：フスマ＝10：２）したものである。オガコと栄養添加剤を十分攪拌した後，含水率を約65％に調整した。これらをキャップ付き1.2kg用の培養袋（ポリプロピレン製）にそれぞれ1.0kgづつ充填した。形成した原基がつぶれることを防ぐために，培地上面とキャップとの間に空間を確保した。高圧殺菌釜（118℃，90分）により殺菌を行い，培地を放冷後，種菌を接種した。

２）培養及び発生操作

培地の培養は，当センターの培養ハウスで行った。被覆材は，ワイドスクリーンシルバー（遮光率90％：日本ワイドクロス株式会社）と遮光幕（遮光率90％：タキイ）を使用し，二重遮光の下に培地を置いた。発生操作は，菌床上面に白色の小さな菌糸の塊（原基）が形成され黄色味を帯びた段階に栽培袋の上部を切り取り，発生ハウスに移動した。培地仕込み時期は2004年５月１日，６月４日，７月８日，７月21日の４回とし，次の２項目について調査した。

①　原基形成

タモギタケは菌糸の生長と原基形成の適温が同じ（*4*）であるため，培養期間中に原基の形成が考えられる。そこで本県気象条件下における原基形成時期と温度条件の関係を検討した。

②　培地の仕込み時期と発生

上記４回に分けて培地を仕込み，６月下旬から８月までのきのこの生育状況を調査した。

３）発生

子実体の発生は，当センターの発生ハウスで行った。遮光資材は，シルバーウェーブロック85（遮光率85％：三菱化学ＭＫＶ株式会社）でハウス全面を覆い，内張はミラクロスを使用した。

４）収穫

きのこの傘の直径が20～30㎜になった時点で子実体を採取し，生重量を測定して子実体収量とした。

(3)　結果と考察

①　原基形成

子実体の原基は，表－１に示すように６月23日，６月29日，７月26日，８月15日に形成され，最もはやく確認されたのは６月23日であった。図－１の培養ハウスの気温推移をみると，６月10日から６月22日までの平均気温は20℃前後で推移しており，これが子実体の原基が誘導される一要因と考えられる。培養ハウス内で原基が確認された６月23日の秋田市６月中旬の平均気温は，

表－２に示すように20.2℃であった。６月下旬から８月下旬まで20.2℃を上回っていることから，原基形成の可能な期間であると考えられる。

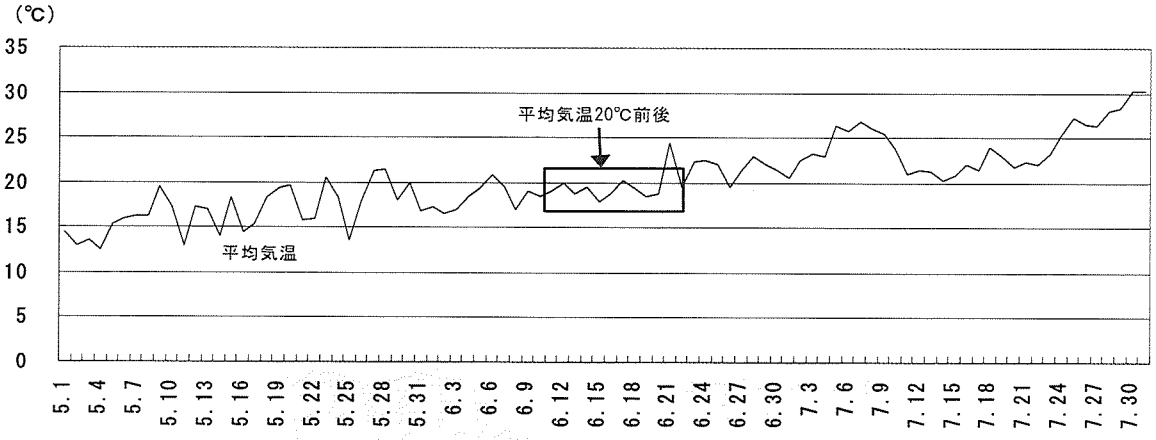
表－１　子実体の原基形成

培養期間	原基形成日
5.1	6.23
6.4	6.29
7.8	7.26
7.21	8.15

表－２　培養ハウスと秋田市の旬別平均気温

	培養ハウス	*秋田市
５月上旬	15.4	13.7
５月中旬	16.7	15.2
５月下旬	18.1	16.7
６月上旬	18.3	17.8
６月中旬	19.1	19.3
６月下旬	※21.8	20.2
７月上旬	24.3	21.8
７月中旬	21.7	22.5
７月下旬	26.3	25.5
８月上旬	28.0	25.5
８月中旬	22.8	24.7
８月下旬	22.4	23.8

※原基が初めて確認された日(6.23)
＊過去10ケ年の平均値
▒ 原基形成の可能な期間



図－１　培養ハウス内の温度推移（2004年）

②　培地の仕込み時期と発生

表－３に培養開始日の違いによる発生状況を示した。子実体は，６月25日から28日，７月２日から５日，８月20日から23日の３期間で順調な生育が確認された。一方，７月28日に発生処理を行った菌床は，子実体へ生長できず収穫に至らなかった。この原因を表－４の発生ハウスと秋田市の旬別最高気温から推察すると，７月下旬から８月上旬にかけて30℃を越える高温状態にあり，

この影響で生長できなかったものと考えられる。８月上旬の秋田市の最高気温は28.7℃，７月下旬は28.9℃が記録されており，７月下旬から８月上旬にかけて子実体の生長が懸念される期間と思われる。子実体の生長が確認された６月下旬，７月上旬，８月下旬の秋田市の気温は８月上旬値である28.7℃を下回っている。そこで，６月下旬から７月下旬及び８月中旬から８月下旬は生育に適する期間であると推定される。

表－３　仕込み時期の違いによる栽培特性

培養開始日	培養期間	発生操作日	収 穫 日	収穫所要日数(日)	発生重量(g)
5.1	5.1～6.25	6.25	6.28	3.0±0	110.0±37.4
6.4	6.4～7.2	7.2	7.5	3.0±0	110.1±39.6
7.8	7.8～7.28	7.28	×	×	×
7.21	7.21～8.20	8.20	8.23	3.0±1.2	133.3±16.2

注：×は，子実体が生育できずデータを得られなかったことを示す。

表－４　発生ハウスと秋田市の旬別最高気温

	発生ハウス	*秋田市
６月下旬	24.8	23.0
７月上旬	29.7	24.6
７月中旬	22.2	25.4
７月下旬	※31.5	28.9
８月上旬	※32.7	28.7
８月中旬	25.9	27.9
８月下旬	28.0	27.0
９月上旬	26.9	26.0
９月中旬	25.7	24.2
９月下旬	24.4	22.1

※子実体の生育できなかった期間（7.28～）
＊過去10ケ年の平均値
▒ 順調な生育が懸念される時期

図－２　タモギタケの発生状況

【試験Ⅱ】簡易施設栽培における培地基材の検討

(1)　目的

これまで広葉樹オガコを培地基材として使用してきたが，培地コストの低減化を図るために，スギオガコの利用性について，検討をする。

(2)　材料及び方法

１）供試菌

供試菌は，市販品種の河村KT３号（株式会社河村食用菌研究所）の１系統である。

２）供試培地

対照区は，培地基材を広葉樹オガコ，栄養添加剤はフスマを使用し，容積比で10：２とした。試験区は，スギオガコ10に対しフスマ２，フスマ３，フスマ４の３区を設定し，子実体収量を比較した。培地は，キャップ付き1.2kg用の培養袋（ポリプロピレン製）に充填し，詰め込み重量は1.0kgとした。なお，培地の仕込みは，2005年６月23日，発生操作は，７月16日に行った。

３）培養，発生操作，収穫

培養・発生操作・収穫は，【試験Ⅰ】と同様である。

(3)　結果と考察

培地基材の違いによる栽培試験結果を表－５に示した。子実体収量は，10：３＞10：２＞10：４の順となりスギオガコ10：３区は，対照区の94％を占め，対照区と同等の子実体収量が得られた。また，スギオガコ10：２区と10：３区（図－３）の子実体収量を比較すると，10：３区が10：２区を上回っており，栄養添加剤の含有量が収量増加に効果を与えたものと思われる。しかし栄養添加剤の含有量の多い10：４区は，対照区より子実体収量が減少する結果となった。10：４区は他の試験区より培地内への菌糸伸長が最も早く，栄養分を十分に吸収する前に原基形成がなされ子実体が発生したものと考えられる。以上の結果からスギオガコは培地基材として使用が可能であり，その栄養添加剤の添加割合は容積比で10：３が適していると考えられる。

表－５　培地基材栽培試験結果

培地基材	添加割合	培養期間	収穫所要日数(日)	発生重量(g)
広葉樹オガコ	10：２	6.23～7.16	4.0±0	99.0±21.6
スギオガコ	10：２	6.23～7.16	4.0±0	78.7±17.3
スギオガコ	10：３	6.23～7.16	3.0±0	93.3± 7.6
スギオガコ	10：４	6.23～7.16	3.0±0	73.0± 6.7

図－３　スギオガコ（10：３）の発生状況

２．トキイロヒラタケ

(1)　目的

トキイロヒラタケは傘とひだがピンク色で美しく，ヒラタケのように平たい貝殻状のきのこである（*12*）。このきのこについて，短木栽培等各種が報告（*5*，*9*，*10*）されている。しかし，簡易施設を活用した栽培試験は少なく，また本県の気象条件における栽培例もない。そこで，栽培期間を明らかにするために，段階的に仕込み時期を設定し，発生量との関連性を検討した。

(2)　材料及び方法

１）供試菌および供試培地

供試菌は，（財）日本きのこセンターのトキイロヒラタケの１系統である。供試培地は，タモギタケと同様であり，培地重量は，1.0kgとした。

２）培養及び発生操作

培養は，タモギタケと同様，当センターのハウスで行った。発生操作は，培地の菌糸膜上にピンク色の原基が形成された段階に栽培袋の上部を取り除き発生ハウスに移動した。培地仕込み時期は2005年４月７日，６月15日，７月14日，８月４日の４回とし，次の２項目について調査した。

①　原基形成

最適成長温度が24～30℃，子実体の発生温度が20～28℃である（*6*）ため，培養期間中に原基を形成すると考えられる。そこで本県気象条件下における原基形成時期と温度条件の関係を検討した。

②　培地の仕込み時期と発生

４回に分けて培地を仕込み，６月下旬から９月までのきのこの生育状況を調査した。

３）発生

子実体の発生は，タモギタケと同様に当センターの発生ハウスで行った。

４）収穫

きのこの傘の直径が30～40㎜になった時点で子実体を採取し，生重量を測定して子実体収量とした。

(3)　結果と考察

①　原基形成

子実体の原基は，表－５に示すように６月24日，７月14日，８月８日，９月４日に形成され，最もはやく確認されたのは６月24日であった。図－３の培養ハウスの気温推移をみると，６月15日から６月25日までの平均気温は20℃を上回る日が続いており，子実体の原基は20℃～25℃で形成されるものと思われる。培養ハウス内で原基が確認された６月24日の秋田市６月中旬の平均気温は，表－６に示すように20.6℃であった。６月下旬から８月下旬まで20.6℃を上回っていることから，原基形成の可能な期間であると考えられる。

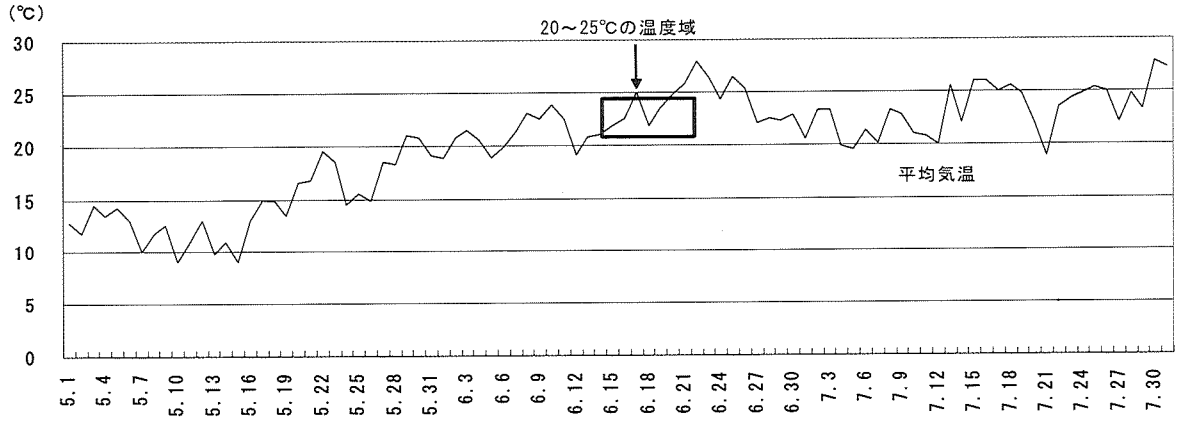
表－５　原基形成

培養開始時期	原基形成日
4.7	6.24
6.15	7.14
7.14	8.8
8.4	9.4

表－６　培養ハウスと秋田市の旬別平均気温

	培養ハウス	*秋田市
６月上旬	21.1	18.0
６月中旬	22.4	19.6
６月下旬	24.6	20.6
７月上旬	21.5	21.7
７月中旬	23.8	22.9
７月下旬	24.2	25.4
８月上旬	28.2	25.9
８月中旬	24.4	24.8
８月下旬	25.5	23.8

※原基が初めて確認された日(6.24)
＊過去10ケ年の平均値
▒ 原基形成の可能な期間



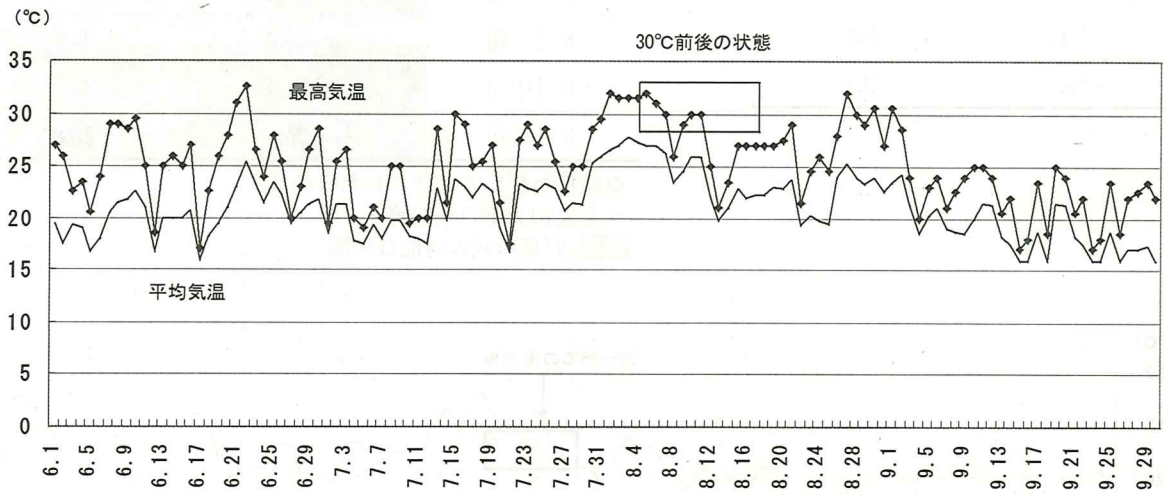
図－３　培養ハウスの温度推移（2005年）

②　培地の仕込み時期と発生

表－８に仕込み時期の違いによる栽培特性を示した。子実体は，６月29日，７月21日，８月14日，９月10日に収穫された。子実体収量は，８月14日＞６月29日＞７月17日＞９月10日の順に大きくなり，図－７に示すように気温の高くなる８月上旬から中旬に最も高い収量が得られた。８月10日から８月14日にかけて，最高気温が30℃前後の状態が続く環境下においても，子実体の生育が可能であることが解った。また収穫所要日数はすべて４日であり，気温の違いによる生育差は認められなかった。子実体が収穫された６月29日の秋田市６月中旬の平均気温は，表－９に示すように20.6℃であった。20.6℃を上回っている６月下旬から９月中旬は，子実体の収穫が可能な期間であると推定される。

表－８　仕込み時期の違いによる栽培特性

培養期間	発生操作日	収 穫 日	収穫所要日数(日)	収穫枚数(枚)	発生重量(ｇ)
4.7 ～6.24	6.25～	6.29	4.0±0	15.7±3.2	75.0±12.2
6.15～7.16	7.17～	7.21	4.0±0	21.0±2.8	67.5± 3.5
7.14～8.9	8.10～	8.14	4.0±0	25.5±2.4	84.9±21.5
8.4 ～9.5	9.6～	9.10	4.0±0	18.7±6.1	53.3±23.1



図－７　発生ハウスの温度推移（2005年）

図－８　トキイロヒラタケの発生状況

表－９　発生ハウスと秋田市の旬別平均気温

	発生ハウス	*秋田市
６月上旬	19.6	18.0
６月中旬	19.3	19.6
６月下旬	※ 22.2	20.6
７月上旬	19.1	21.7
７月中旬	21.2	22.9
７月下旬	22.8	25.4
８月上旬	26.3	25.9
８月中旬	26.7	24.8
８月下旬	22.2	23.8
９月上旬	20.5	22.9
９月中旬	18.8	21.1
９月下旬	17.0	18.3

※はじめて子実体を収穫した日(6.29)
＊過去10ケ年の平均値
▭ 発生可能時期

３．ウスヒラタケ

(1)　目的

ウスヒラタケは，一般に小型で肉が薄く味の良いきのこで，タンパク質の多いのが特徴である（*8*）。このきのこについて，菌床栽培による各種報告（*1*，*11*）がされている。しかし，簡易施設を活用した栽培試験は少なく，また本県の気象条件における栽培例もない。そこで，栽培期間と栽培特性を明らかにするために，培地の仕込み時期と発生量の関連性及び発生に適した気温条件を検討した。

(2)　材料及び方法

１）供試菌および供試培地

供試菌は，県内で採取した野生のウスヒラタケの中から選抜した１菌株を使用した。栽培容器はキャップ付き2.5kg用の培養袋（ポリプロピレン製）を用い，それぞれ2.0kgづつ充填した。培地組成及び培地調整，殺菌工程はタモギタケと同様である。

２）培養および発生操作

培養は，タモギタケと同様，当センターのハウスで行った。発生操作は，栽培袋の上部を取り除き発生ハウスに移動した。栽培特性試験として，次の２項目について調査した。

①　発生時期の違いによる栽培特性

発生操作を2005年９月２日，９月12日，９月22日，10月18日の４回に分けて実施した。

②　培養開始時期の違いによる栽培特性

発生操作日を2005年９月２日とし，培養開始日５月20日，６月23日，７月14日，７月29日の４区を設定した。

３）発生操作管理

子実体の発生は，当センターの発生ハウスで行った。

４）収穫

きのこの傘の直径が30～40㎜になった時点で子実体を採取し，生重量を測定して子実体収量とした。

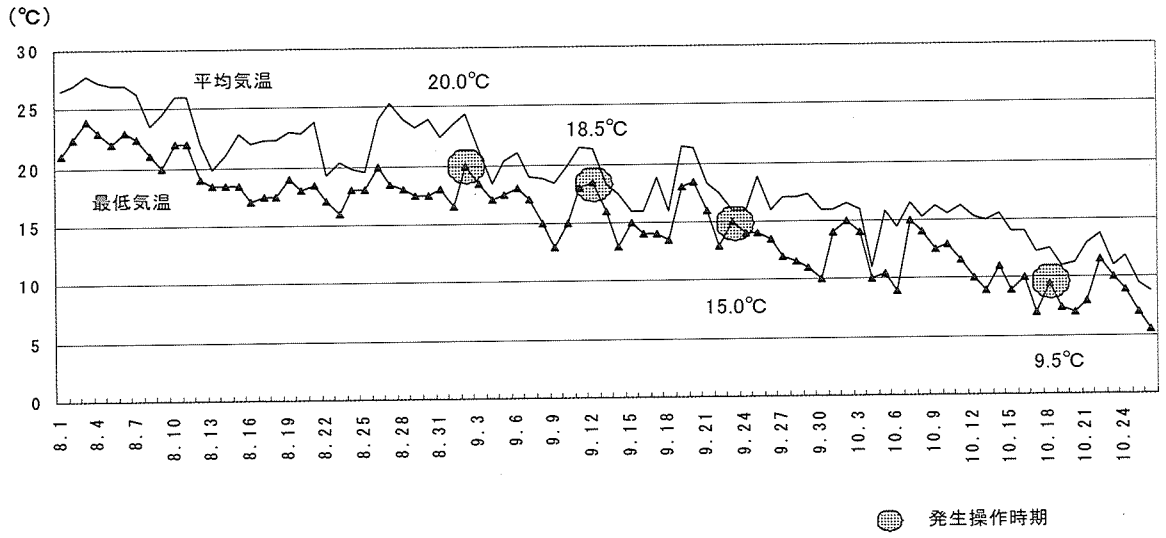
(3)　結果と考察

①　発生時期の違いによる栽培特性

子実体の発生状況は，表－７に示すように，９月２日＞９月12日＞９月22日＞10月18日の順に子実体収量が大きくなった。９月２日は412.1ｇ，９月12日は410.6ｇと子実体収量に大きな差がなく，約一週間内の範囲では収量に影響が見られなかった。一方９月22日，10月18日では，子実体収量が９月２日，９月12日に比較して半減する結果となった。図－５に８月から10月までの発生ハウスの温度推移を示した。発生操作時の最低温度は，９月２日が20℃，９月12日が18.5℃，９月22日が13℃，10月18日9.5℃である。９月２日に展開した菌床は，試験区の中で最も高い子実体収量を得ている事から，気温20℃が発生操作の目安になると考えられ，原基形成の温度は，20℃前後であると思われる。

表－７　発生時期別栽培特性

培養開始日	発生操作日	子実体収量（g）			総子実体収量（g）
		９　月	10　月	11　月	
6.23	9.2	342.1	65.8	4.2	412.1±31.3
6.23	9.12	304.3	82.0	24.3	410.6±58.7
7.14	9.22	125.0	53.3	20.0	198.3±75.5
7.14	10.18	－	116.0	54.0	170.0±6.28



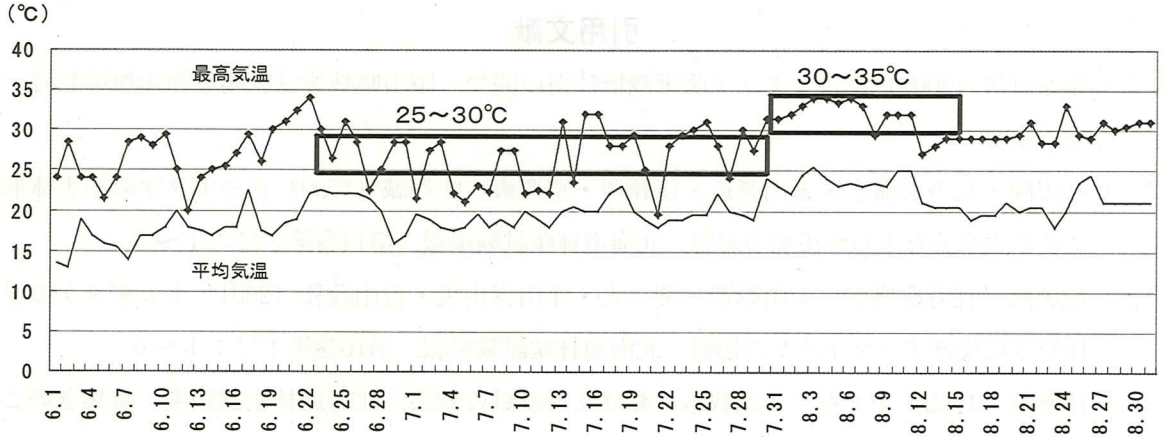
図－４．発生ハウス内の温度推移（2005年）

②　培養開始時期の違いによる栽培特性

子実体の発生状況は，表－８に示すように，５月20日＞６月23日＞７月14日＞７月29日の順となり，子実体は９月から11月にかけて断続的に発生した。また，７月に培養を開始した菌床は５月及び６月に培養を開始した菌床より低い収量となった。培養ハウスの温度推移（図－５）から，５月20日から７月31日までの最高気温は20℃から30℃であり，８月以降は30℃を上回っていた。ウスヒラタケの最適な菌糸生長温度は25～30℃であり（７），６月から７月の期間がこの温度帯に相当すると考えられる。したがって，５月20日及び６月23日培養開始の菌床の収量が高かった要因として，６月から７月まで最適な温度帯で菌糸が生長できたことがあげられる。一方，７月中旬以降の培地の仕込みでは，30℃以上の高温の影響で菌糸伸長が遅れ，菌床の充実不足による収量低下を招いたものと考えられる。表－９に培養ハウスと旬別最高気温を示した。培養ハウス内が30℃以上となった８月上旬の秋田市の最高気温は29.4℃であり，29.0℃を越える７月下旬から８月上旬が最も気温の上昇する期間であると推定される。７月中旬以降の培地の仕込みでは，培地に菌糸が伸長していく過程で高温に遭遇する危険性が高いことが予想されるので，６月までに培地の仕込みを終える必要がある。

表－８　培養開始時期別栽培特性

培養開始日	発生操作日	子実体収量（g）			総子実体収量(g)
		9　月	10　月	11　月	
5.20～9.2	9.2	358.6	51.9	21.6	432.1±21.5
6.23～9.2	9.2	296.3	60.1	44.0	400.4±48.7
7.14～9.2	9.2	121.6	52.1	19.4	193.1±55.5
7.29～9.2	9.2	150.0	0	13.0	163.0±94.6



図－５　培養ハウスの温度推移（2005年）

図－10　ウスヒラタケの発生状況

表－９　培養ハウスと秋田市の旬別最高気温

	培養ハウス	*秋田市
６月上旬	26.1	21.7
６月中旬	26.3	23.0
６月下旬	28.7	23.6
７月上旬	24.6	24.8
７月中旬	27.4	25.8
７月下旬	28.2	29.1
８月上旬	※32.7	29.4
８月中旬	28.2	28.4
８月下旬	29.8	27.5

※30℃以上
＊過去10ケ年の平均値
▒ 高温状態と考えられる期間

おわりに

今回，簡易施設を利用した周年栽培技術の実用化に向け，栽培試験を実施してきた。取り上げたきのこは，簡易施設（パイプハウス）や遊休施設などの利用により，経費をあまりかけずに容易に栽培できることが解った。春から夏にかけては，タモギタケ，夏はトキイイロヒラタケ，夏の終わりから秋にかけてはウスヒラタケと，これら３品目を組み合わせることにより春から秋にかけての収入源として期待できる。これらのきのこは一般に認知度の高いきのこであるとは言えないため，今後，消費拡大にむけ PR を図っていく必要がある。

引用文献

（*1*）藤原直哉（2001）ウスヒタラケ菌床栽培技術の開発．岡山県林業試験場業務年報第42号　平成13年度：15

（*2*）原田陽・宜寿次盛生・米山彰造・伊藤清・富樫巌・中谷誠（1999）タモギタケの子実体形成に及ぼす水分と米ぬか添加の影響．北海道林産試験場報．第14巻第３号：１～７

（*3*）原田陽・宜寿次盛生・米山彰造・関一人・津田真由美・青山政和（2001）タモギタケの子実体形成に及ぼすクマイザサの影響．北海道林産試験場報．第16巻第１号：１～６

（*4*）伊藤清（1992）タモギタケ瓶栽培における増収材の効果．北海道林産試験場　特集きのこ・キノコ：17

（*5*）三木聡子・北尾玲子・平塚智・岡野寛治（2003）*Pleurotus salmoneostramineus* の無殺菌栽培での菌糸の生育と培地の分解におよぼす培地密度の影響．日本菌学会第47回大会講演要旨集：74

（*6*）根田仁・横内弘宣・浅輪和孝・大庭喜八郎（1978）トキイロヒラタケの生理的性質および栽培特性．第40回日本木材学会大会研究発表要旨：195

（*7*）大森清寿・小出博志（2001）キノコ栽培全科．農文協：212

（*8*）菅原龍幸（2001）きのこと健康．林業改良普及叢書 No.138：112

（*9*）鈴木雄一（1992）無殺菌小麦ワラにおけるトキイロヒラタケ（*Pleurotus salmoneostramineus*）の培養．日本菌学会会報33巻：249-253

（*10*）鈴木雄一（1997）トキイロヒラタケ（*Pleurotus salmoneostramineus*）の自然増殖基質としての小麦わら．日本菌学会第41回大会講演要旨集：11

（*11*）竹内隆人（1996）ウスヒラタケの栽培化試験．岡山県林業試験場研究報告13：45-53

（*12*）財団法人日本きのこセンター（1988）図解やさしいきのこ栽培：203

秋田県森技研報　第16号　2006年６月

キノコ菌床栽培技術の改良試験

－ ハタケシメジ栽培技術の改良 －

阿　部　　実

Improvement of methods in the sawdust cultivation for mushroom

－ Improvement of methods in the cultivation for Hatakeshimeji（*Lyophyllum decastes*）－

Minoru Abe

要　旨

ハタケシメジの空調施設栽培および自然栽培において，効率的で安定した生産技術を確立するために，培地材料および発生操作方法などについて検討した。

空調施設栽培においては，

1．ビン栽培において，数種の添加剤を用い，目標としたバーク堆肥を使用しない培地で，培地重量の約25％の収量が得られた。

2．ビン栽培における「菌カキ」や「注水」など，従来からの発生操作方法に対して，「被圧」処理を行うことによって，育成日数の短縮と収量の増収傾向がみられ，また，実施中の栽培条件下では，「注水」などの水処理は不要であることがわかった。

3．現在行われているマイタケ栽培とほぼ同様の方法で，ハタケシメジの袋栽培は可能であった。また，袋栽培による子実体収穫後の廃菌床を，野外栽培で再利用することができた。

一方，自然栽培では，

4．菌床を埋設する際の栽培袋の「有・無」別で，子実体の発生状況や収量性などに差異がみられ，どちらの埋設方法にも，それぞれ一長一短の特徴があることがわかった。

5．菌床の埋設時期について，収量面で最も適した時期は４～５月であった。また，その時期以外でも，夏場を含む幅広い期間の埋設で，培地重量の20％以上の収量を得られることがわかった。

6．収穫期間について，埋設時期を数回に分けることで，初回発生に限り，通常の収穫期間である10日間から，今回の約50日間まで拡大することができた。

7．簡易施設栽培において，コンテナなど大型の栽培容器を利用し，日光や風雨など直接の影響を避けることにより，安定した良品質生産を可能とした。

はじめに

ハタケシメジ（*Lyophyllum decastes*（Fr.）Sing.）（*6*）は，その食味性や形状から市場性が有望視されているきのこであり，エリンギに次ぐ栽培品目として期待され，京都，三重および群馬など

全国各地で空調栽培や自然栽培が行われている（*5*，*8*，*10*，*19*）。このきのこについて，「ウマッシュくん」（自然栽培用）を平成10年に，「あきたＬＤ１１号」（空調施設栽培用）を平成13年に品種登録し，県内への栽培普及を図るため，これまで栽培試験（*1*，*2*，*3*）を実施してきた。「ウマッシュくん」を利用した自然栽培については，前報（*3*）でほぼ実用化に至り，今回は，収穫期間の拡大や良品質生産などを検討項目として，２，３の試験を行った。また，空調施設栽培については，県内で行われているマイタケやエリンギなど，各種栽培きのこの施設や器材を，そのままハタケシメジ栽培へも転用して，効率的で安定した低コスト生産ができるような栽培技術を確立するために，表－２に示す各種試験を行った。それらの結果について報告する。

なお，本報告は，県単の標記研究課題の中で，平成13年度から17年度までに実施した内容をとりまとめたものである。また，本研究の一部は，第８および10回東北森林科学会大会において発表した。

表－１　試験項目※

大　項　目	中　項　目	小　項　目
１．空調施設栽培	1.1　培地調整	1.1.1　添加剤
		1.1.2　培地水分
	1.2　培養	1.2.1　施栓
		1.2.2　培養期間
	1.3　発生	1.3.1　発生操作（菌カキ等）
		1.3.2　発生操作（注水等）
	1.4　栽培容器（袋栽培）	
２．自然栽培	2.1　菌床埋設方法	
	2.2　容器（コンテナ等）利用	

※試験項目の番号は，実施した順序ではなく，栽培工程に沿ったものである。

１．空調施設栽培

１．１　培地調整

１．１．１　添加剤

【目的】

ビン栽培において，各種添加剤を利用して，バーク堆肥使用量の減量（無使用化）そして子実体の増収を図るため，次の３試験を行った。

①添加剤試験Ⅰ：ビール粕とオカラの添加効果について

②添加剤試験Ⅱ：（①の結果を踏まえた）添加剤とバーク堆肥の混合比について

③添加剤試験Ⅲ：（②の結果を踏まえた）添加剤の混合比について

【材料と方法】

供試菌や培養などの栽培条件および培地組成を表－２～４および６に示す。

【結果と考察】

①添加剤試験Ⅰ

ビール粕およびオカラの添加効果について，対照とする添加剤は，前報（*3*）で効果がみられたネオビタスおよびフスマ，大麦挽砕（以下バンサイとする）を用い，バンサイの代替剤としての単用あるいは混用について検討した。その培地組成は表－３のとおりである。栽培試験結果（表－５）は，対照区と比較して，ビール粕の単用は，子実体収量が良好であった。ビール粕の混用と，オカラの単用および混用は，栽培日数が１週間程長くなったが，子実体収量は対照区より良好でビール粕単用とほぼ同程度であった。ハタケシメジ栽培においてこれまで報告されている結果（*13, 14*）のとおり，供試したハタケシメジ系統や栽培方法においてもビール粕とオカラの添加効果がみられた。キノコの栄養生理学においては，C/N 比が重要視されるが，木村（*7*）は，実用的な目安として NFP（可溶性無窒素物）/CP（粗タンパク質）比を提案し，その値が3.0より小さい場合を窒素系栄養源，大きい場合を糖質系栄養源としている。それによると，今回のビール粕とオカラは，表－８に示すように，原料が異なるものの成分的に大きな差はないうえ，NFP/CP 比がそれぞれ1.6と1.3で，どちらも窒素系栄養源であり，子実体収量において同じ程度の添加効果が得られたと考えられる。ただし，栄養面以外で，コスト面ではオカラの方が優れており（表－８），一方，培地材料としての物理性では，ビール粕の方が優れている。ビール粕は，粒度が粗いうえ保水性が高いので，今回の栽培日数の差に表れたものと思われる。

②添加剤試験Ⅱ

①で添加効果を示したビール粕を用いて，他の添加剤も含めたバーク堆肥との混合比について検討した。栽培試験結果（表－６）より，バーク堆肥を使用した試験区およびビール粕に限らず添加剤を多く使用した試験区において子実体収量が良好であることが認められた。また，バーク堆肥を使用しなくても添加剤を多めに使用することによって，77～78日の栽培日数で，112ｇ／ビンの子実体収量が得られることがわかった。バーク堆肥は，ハタケシメジをはじめ各種腐生性きのこの栽培に利用されており，土壌改良材として入手は容易であるが，材料コストがオガ粉より高いほか，堆肥材として品質が安定しない，施設内への持ち込みにより微生物汚染の危険性が高い，扱い面での作業性が悪いなど，栽培材料として様々な欠点がある。このため，生産現場においては，バーク堆肥を用いない栽培方法が望まれており，次に，バーク堆肥を使用しない培地で増収を図ることとする。

③添加剤試験Ⅲ

②で得られた結果から，バーク堆肥を使用しないで増収を図るために，オガ粉に対する添加剤混合比（容積比）を，10：３，10：3.5，10：４の３段階に設定して検討した（表－４）。その結果，添加剤混合比の最も多い，10：４の試験区で最も多い子実体収量が得られ，培地重量の約25％となる126ｇ／ビンを収穫することができた（表－７）。

表－２　添加剤試験の栽培条件

添加剤試験Ⅰ	供試菌	当所保有の１系統（以降Ｎと略称する）
	培地組成	表－３
	培地含水率	※62～65％
	栽培容器	800mlナメコ栽培用広口ビン（以降800Ｗと略称する）
	供試本数	１試験区あたり16本
	培養	※温度22℃，湿度約65％，暗黒
	培養日数	※50日
	発生	※温度17℃，湿度95％以上，照度300～500 lux
	発生操作	※菌カキ後，注水30分行い，ビンを反転して８日間管理
添加剤試験Ⅱ	供試菌	N
	培地組成	表－６
	栽培容器	850 PP
	供試本数	１試験区あたり16本
添加剤試験Ⅲ	供試菌	N
	培地組成	表－４
	栽培容器	850PP
	供試本数	１試験区あたり32本

※網かけ部分は，添加剤試験Ⅱ，Ⅲにも共通する栽培条件

表－３　添加剤試験Ⅰ　培地組成

（容積比）

試　験　区	オガ粉※	バーク堆肥	フスマ	ネオビタス	バンサイ	ビール粕	オカラ
バンサイ（対照）	10	2	1	0.5	0.5	－	－
ビール粕	10	2	1	0.5	－	0.5	－
オカラ	10	2	1	0.5	－	－	0.5
バンサイ＋ビール粕	10	2	1	0.5	0.25	0.25	－
バンサイ＋オカラ	10	2	1	0.5	0.25	－	0.25

※オガ粉は，スギおよび広葉樹を同量ずつ（容積比）混合したもの。以下すべての試験で同じものを使用。

表－４　添加剤試験Ⅲ　培地組成

（容積比）

試　験　区	オガ粉	フスマ	バンサイ	ネオビタス	ビール粕
10：３　区（対照）	20	2	1.5	1	1.5
10：3.5　区	20	2.25	1.75	1.25	1.75
10：４　区	20	2.5	2	1.5	2

表－５　添加剤試験Ⅰ

試　験　区	子実体収量[1)]（g／ビン）	栽培日数（日）
バンサイ（対照）	119±10.7	76～78
ビール粕	133±13.7**	76～78
オカラ	136±15.3**	83～85
バンサイ・ビール粕	137±12.1**	83～86
バンサイ・オカラ	134±13.2**	83～87

１）平均値±標準偏差
**バンサイ区と有意差有り（ $p<0.01$ ）

表－６　添加剤試験Ⅱ

試験区	基　材[1)]		添　加　剤[2)]		子実体収量[3)]（g／ビン）
	オガ粉	バーク堆肥	添加剤１[4)]	添加剤２[5)]	
1	10	0	0	0	0
2	10	0	1	0.5	82±14.2
3	10	0	2	1	112±14.8
4	9	1	0	1	54±7.9
5	9	1	1	0	75±12.0
6	9	1	2	0.5	148±14.2
7	8	2	0	0.5	35±8.9
8	8	2	1	1	138±15.2
9	8	2	2	0	171±20.0

供試菌：N，栽培容器：850 PP，供試数：各16本，栽培日数：77～78日（試験区１を除く）
１）および２）容積比
３）平均値±標準偏差
４）フスマ，バンサイ，ネオビタスの混合物
５）ビール粕

表－７　添加剤試験Ⅲ

試　験　区	子実体収量[1)]（g／ビン）	栽培日数（日）
10：３　区（対照）	115± 7.9	78～79
10：3.5　区	119±10.8	78～79
10：４　区	126± 7.5**	78～79

１）平均値±標準偏差
**10：３区と有意差有り（ $p<0.01$ ）

表－８　添加剤の成分（原物中の％）

	粗蛋白質 CP	粗脂肪	粗繊維	可溶性無窒素物 NFE	NFE/CP	単価（円／kg）
フスマ※１	15.7	4.0	9.3	54.6	3.8	34
ネオビタス※２	15.5	－	－	35.6	2.3	120
コーンブラン※１	9.6	7.5	4.6	63.1	6.6	68
バンサイ※１	10.7	2.2	2.3	69.8	6.5	50
ビール粕※１	24.8	9.0	15.0	38.7	1.6	88
オカラ※１	26.3	13.1	14.8	33.4	1.3	60

※１　日本標準飼料成分表（2001年版）*12*）　　※２　引用文献 *11*）

表－９　培地水分試験の培地組成

（容積比）

試験回数	オガ粉	バーク堆肥	フスマ	コーンブラン	ネオビタス	バンサイ	ビール粕
１回目試験	60	12	8	3.5	3.5	－	－
２回目試験	20	－	2	－	1	1.5	2

１．１．２　培地水分

【目的】

ビン栽培における，好適な培地水分について検討する。

【材料と方法】

試験は，供試菌（２系統）や栽培ビン（２種）および培地材料（バーク堆肥の使用有・無）を換えて２回行い，それらの培地組成や設定した含水率などは表－13および14のとおりである。発生操作は，菌カキ後30分間の注水とした。

【結果と考察】

２回の試験とも，供試菌，栽培ビンおよび培地材料（バーク堆肥の有・無）の違いに関係なく，培地の含水率が60％未満では，発生率，子実体収量および栽培日数が極端に不良であった。逆に，含水率が70％を越えた場合，オガ粉を用いたビン栽培では，経験的に，ビンの下部に水がたまるような水分過多の状態になり，菌糸伸長が途中でストップする。ビン栽培におけるきのこ類の培地水分は，培地の乾燥や培地内空気量の低下あるいはその逆に関係し，菌糸伸長や子実体の発生・生育に影響を及ぼすことが知られている（*13*）。これまで，ハタケシメジの好適な培地含水率として，使用する系統や培地材料の違いもあるが，61～63％あるいは68～69％などが示されている（*5*，*8*，*10*）。今回の試験結果より，供試したハタケシメジ系統および培地材料でのビン栽培における培地含水率は，前述の後者に近い67～68％あたりが適当と思われる。

１．２　培養

１．２．１　施栓

【目的】

現在，県内で使用されている栽培ビンの主なキャップについて，ハタケシメジ栽培での適否を検討する。

【材料と方法】

供試したキャップは，ホクト産業（株）社製の，ＳＴキャップとブナシメジウレタンキャップ（以下それぞれＳＴ，ブナシメジと略称する）の２種類で，試験は，供試菌（２系統）と培地材料（バーク堆肥の有・無）を換えて３回行った。それらの培地組成や供試菌などは表－11および12のとおりである。発生操作は，菌カキ後30分間の注水とした。

【結果と考察】

ＳＴキャップとブナシメジキャップで，３回の試験とも，栽培日数にほとんど差はなかったが，子実体収量においては差がみられ，その良否は実施試験回数によって異なったことから，明確な傾向は認められなかった。(表－12)。今回供試したキャップについて，渡辺（*20, 21*）によると，通気性は，ＳＴ＞ブナシメジ，保湿性と防塵性は，ブナシメジ＞ＳＴの順で良好としている。ビン栽培のキャップには，十分な通気性を有するとともに，培地面の乾燥を生じさせずに雑菌の混入を防護するという二律背反する構造が要求される。ハタケシメジの場合，特に培地へ種菌接種後の初期伸長が他のキノコに比べて非常に遅いため，培養初期のキャップの通気性や防塵性が栽培の成否に最も影響するといえる。そのため種菌接種後の10日間をクリーンルーム施設内で培養する栽培事例もある（*5, 19*）。今回みられたキャップ間の差異については，供試菌や培地材料の違いによる影響も見られず，今後，試験回数を多くして検討していく必要がある。また，フィルター部にクラフト紙を使用したキャップでの栽培試験を行ったところ，このキャップは，通気性が良く子実体収量はＳＴキャップとほぼ同じであったが，培地表面が乾燥し，一部にはペニシリウム属と思われる通称アオカビの混入がみられるなど，保湿性，防塵性が悪いため（データは示してない），かなりクリーンで湿度も制御可能な環境条件下で行わない限り，ハタケシメジ栽培には不適と思われた。現時点において，ハタケシメジ栽培では，防塵性に重点を置いたウレタンなどフィルター付きのキャップが適していると思われる。

表－10　培地水分試験

試験回数	供試菌	栽培容器	含水率（%）	供試本数（本）	子実体収量[1)]（g／ビン）	発生率[2)]（%）	栽培日数（日）
1回目	G	800W	68	9	121±16.7**	100	81～86
			63	9	100±18.5	100	81～87
			59	9	57±13.8**	44	86～90
2回目	N	850PP	67	32	128±9.8**	100	75～76
			62	32	114±7.3	100	76～77
			57	32	93±7.8**	78	87～88

培養日数は50日
1）平均値±標準偏差
2）収穫本数／供試本数×100
**63%区（1回目），62%区（2回目）に対して有意差あり（$p<0.01$）

表－11　キャップ別試験培地組成

（容積比）

試験回数	オガ粉	バーク堆肥	フスマ	コーンブラン	バンサイ	ネオビタス	ビール粕
1　回　目	60	30	9	5	－	4	－
2・3回目	50	－	5	－	4.5	2.5	4.5

表－12　キャップ別試験

試験回数	供試菌	キャップ	供試本数（本）	子実体収量[1)]（g／ビン）	栽培日数（日）
1回目	G	ＳＴ	32	169±10.7	77～81
		ブナシメジ	32	161±17.3*	77～81
2回目	N	ＳＴ	32	107±17.0	76～77
		ブナシメジ	32	117±11.2*	76～77
3回目	N	ＳＴ	48	113±13.0	74～77
		ブナシメジ	48	107±11.3*	74～77

栽培容器は850PP，培養日数は50日
1）平均値±標準偏差
*ＳＴ区と有意差有り（Ｐ＜0.05）

１．２．２　培養期間

【目的】

ビン栽培において，栽培期間ができるだけ短く，高収量につながる培養期間を検討する。

【材料と方法】

試験は，培地材料（バーク堆肥の有・無）と栽培ビン（２種類）を換えて２回行った。培養期間については，１回目試験は，45日，50日および55日，２回目試験は，50日、60日および75日とした。それぞれの培地組成は表－17のとおりである。発生操作は，菌カキ後30分間の注水とした。

【結果と考察】

オガ粉にバーク堆肥を混合して用いた800Wビンでの１回目試験については，40～45日間の培養で菌糸体がビン全体に蔓延したので，45日目から５日ごとに発生操作を行った。子実体収量は表－14に示すように，培養日数50日目の147ｇ／ビンが最も良好であったが，培養日数45日目の140g／ビンとは有意差がなく，培養期間と子実体収量の関係から培養期間は45～50日の間が良好といえる。バーク堆肥を用いたこれまでのハタケシメジに関する報告（*21*）では，良好な培養期間として40～45日としており，今回の結果よりも短いが，これは，使用したハタケシメジ系統や培地材料が異なっていることによるものと思われる。一方，バーク堆肥無しの850PPビンでの２回目試験については，45日前後の培養期間でほぼ蔓延したので，培養日数を50日目，60日目，75日目の３段階に分けて発生操作を行ったところ，子実体収量は，試験１に比べると少なかったが，最初の50日目が，116g／ビンと最も良好で，培養期間を延ばしても子実体の増収にはつながらなかった。60日以上培養期間を多くすると，ビン中の肩部分に子実体発生がみられ，それがロス分となって子実体収量に影響したものと思わ

れる。また，ブナシメジ栽培の場合，培養熟成の期間が長い程，子実体の育成期間が短縮するとしているが，今回は，培養期間の長さに対して，育成期間はほぼ同じか長くなる傾向がみられた。衣川らは（*9*），菌糸体の呼吸活性を追跡することで，栽培経験のないキノコの「菌カキ」に適する時期（＝培養期間）を推定することが可能であることを明らかにしたが，培地内温度の変化なども含めて，最適な培養期間については今後検討していく必要がある。

表－13　培養日数別試験の培地組成

（容積比）

試験回数	オガ粉	廃ホダオガ粉	バーク堆肥	フスマ	コーンブラン	バンサイ	ネオビタス	ビール粕
１回目	30	40	10	7	5	－	4	－
２回目	50	－	－	4.5	－	4	2.5	4.5

表－14　培養期間別試験

試験回数	栽培容器	供試本数（本）	培養日数（日）	子実体収量[1)]（g／ビン）	育成日数（日）	栽培日数（日）
１回目	800W	16	45	140±11.5	24～26	69～71
		16	50	147±14.8	23～26	73～76
		16	55	140±13.8	22～23	77～78
２回目	850PP	80	50	116± 9.4	26～28	76～78
		80	60	110±10.6**	26～28	86～88
		80	75	110±10.6**	27～35	102～110

１）平均値±標準偏差
供試菌はＮ
**培養日数50日区と有意差有り（ｐ＜0.01.）

１．３　発生

１．３．１　発生操作（菌カキ等）

【目的】

ビン栽培において，従来からの「菌カキ」処理に対して，効率的で安定した発生のための発生操作方法を検討する。

【材料と方法】

発生操作方法として，「菌カキ」について，植菌した種菌だけでなく培地までも掻き取る通称「ブッカキ」（菌カキＡとする）と種菌だけを掻き取る通称「平カキ」（菌カキＢとする）の２種類に分けて行い，さらに，写真－１に示すように，培養終了後の培地表面に，平らなものを押しつけて圧縮する「被圧」処理で比較・検討した。試験は，表－15に示すとおり，供試菌（２系統）と栽培ビン（２種）を使用して６回行った。培地組成は，オガ粉，バーク堆肥，フスマ，バンサイ，ネオビタスをそれぞれ70：10：７：６：３（容積比）である。

【結果と考察】

発生操作方法について，従来の「覆土」処理に替わる方法として，前報（*3*）では「菌カキ」処

理が有効であると報告した。この「菌カキ」を，エノキタケのビン栽培では，使用する培地材料によって，前述の「ブッカキ」と「平カキ」の２種類を使い分けている。今回，１回目試験において両者を比較検討したところ，子実体収量や育成日数，柄の本数などに，供試した２系統ともに差はみられなかった（表－15，２回目以降の試験は平カキＢをなくし，菌カキＡのみとする)。一方，「被圧」については，子実体収量に差がみられ，「菌カキ」に比べて「被圧」の方が良好であった。２回目以降の５回の試験においても，「被圧」の方が，程度に差はあったものの，子実体収量が良好な傾向がみられた。また，供試した２系統ともに「被圧」の方が，写真－２に示すように，発生操作後の育成日数においても１～２日短くなる傾向がみられた。ただ，「被圧」の供試系統Ｎについては，写真－３および表－15に示すような奇形子実体の発生がみられ，被圧処理の仕方によるものか，系統によるものか今後の検討課題とする。

１．３．２　発生操作（注水等）

【目的】

ビン栽培の発生操作における，従来からの「注水」に対して，効率的で安定した発生のための水処理方法を検討する。

【材料と方法】

試験は，菌カキ後の水処理として「注水」，「散水」および「水処理無し」の３試験区を設定して，表－20に示すように３回行った。培地組成は，オガ粉，フスマ，バンサイ，ネオビタス，ビール粕を50：５：4.5：2.5：4.5（容積比）とした。

【結果と考察】

各種キノコのビン栽培における菌カキ後の水処理では，ブナシメジやナメコの注水処理（*11*，*17*），ヒラタケやエノキタケの散水処理（*16*，*22*），そして水処理無しのエリンギ（*7*）など，キノコによっていろいろな方法がとられている。ハタケシメジのビン栽培の場合は，菌カキ後の培地表面の乾燥などを防ぐために数時間の注水処理が行われており（*5*，*8*，*19*），筆者も，これまで30分～１時間程の注水を行ってきた。そこで，今回，水処理作業を簡略化するために，「散水」と「水処理無し」についても検討したところ，３回の試験とも，いずれの処理区であっても，子実体収量および子実体収量にほとんど差はみられなかった（表－16)。このことから，現在行っている発生条件の下では，菌カキ後，水処理なしで，直ちに育成室において反転管理（９日間程度）するだけで十分であることがわかった。

１．４　栽培容器（袋栽培）

【目的】

ハタケシメジの空調施設での袋栽培について，マイタケと同様の栽培が可能かどうかについて検討する。

【材料と方法】

表－21のとおりである。

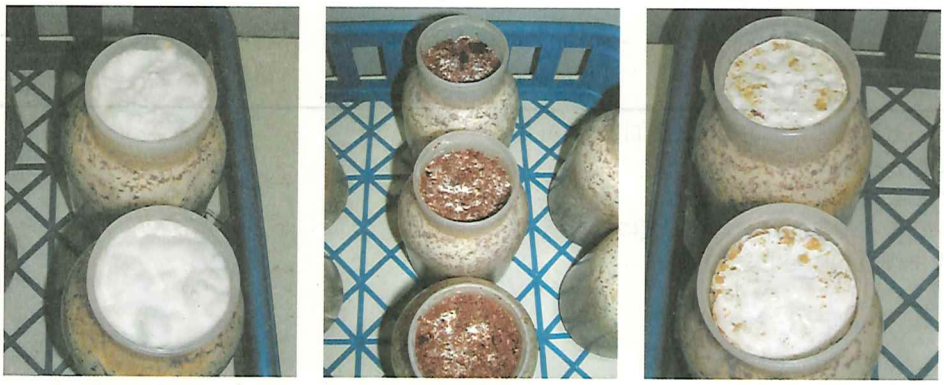
【結果と考察】

空調施設内での培養と発生・収穫（写真－５）が終了後，その廃菌床を用いて野外栽培を行ったところ，１菌床あたり，施設内で550ｇ，野外で410ｇ，合計960ｇの子実体を収穫した（表－21)。空調施設でのハタケシメジの培養および発生の温度および湿度条件はマイタケとほぼ同じであり，現存するマイタケ栽培施設で，ビン栽培も含めてハタケシメジ栽培ができるものと思われる。特に袋栽培については，施設内収穫とその廃菌床による野外栽培が可能であることがわかったので，現在行われているマイタケの野外栽培と同じように，廃菌床利用によるハタケシメジの野外栽培が広く普及することが期待できる。

表－15　発生操作別試験

試験回数	栽培容器	供試菌	発生操作	供試本数（本）	子実体収量[1] 生重量(g／ビン)	子実体収量[1] 本数(本／ビン)	収量指数[2]	育成日数（日）	奇形発生率[3]（%）
１回目	800W	N	菌カキＡ[4]	14	102±10.8	13±1.5	100	28～29	0
			菌カキＢ[5]	14	104±11.9	15±4.8	102	28～30	0
			被圧	14	131±11.6**	19±3.1	129	28～29	0
		G	菌カキＡ	14	105±10.4	25±3.8	100	30～34	0
			菌カキＢ	14	109± 8.2	22±2.4	104	30～32	0
			被圧	14	130±14.5**	23±3.9	123	28～30	0
２回目	800W	N	菌カキＡ	21	100±13.1	15±4.8	100	27～29	0
			被圧	21	124±14.4**	17±3.4	124	25～27	9.5
		G	菌カキＡ	21	106±14.9	22±4.9	100	29～30	0
			被圧	21	122±12.7**	22±5.5	115	27～29	0
３回目	800W	N	菌カキＡ	32	96±11.9	13±3.1	100	28～31	0
			被圧	32	120±18.7**	14±4.0	124	26～28	18.7
		G	菌カキＡ	16	128±14.9	21±4.4	100	31～32	0
			被圧	16	131±11.2	21±2.7	103	26～28	0
４回目	850PP	N	菌カキＡ	8	121±13.0	14±5.4	100	24	0
			被圧	8	126±11.8	13±1.3	104	23	3.75
		G	菌カキＡ	8	128±12.0	21±5.4	100	27～28	0
			被圧	8	137± 8.8	26±4.0	107	23～24	0
５回目	850PP	N	菌カキＡ	16	105±9.4	13±3.2	100	28～30	0
			被圧	16	131±13.0**	13±3.0	124	24～28	6.2
６回目	850PP	N	菌カキＡ	64	116±12.8	14±4.1	100	77～79	0
			被圧	64	130±18.9**	11±3.7	112	76	19.3

１）平均値±標準偏差
２）同じ試験回において，各供試菌ごとに，菌カキＡの子実体収量を100とした時の値
３）供試本数に対する，写真－３に示すような形状の子実体が発生したビン本数の比率
４）植菌した種菌だけでなく，培地までも掻き取る菌カキ処理（通称ブッカキ）
５）植菌した種菌のみを掻き取る菌カキ処理（通称平カキ）
**菌カキＡ区と有意差有り（ｐ＜0.01.）



培養終了時　　菌カキ区　　被圧区

写真－１　発生操作方法

写真－２　発生操作別による生育状況

写真－３　被圧処理による奇形発生

表－16　菌カキ後における水処理別試験

試験回数	供試本数	子実体収量[1]（g／ビン）		
		注　　水[2]	散　　水[3]	水処理無し[4]
１回目	各40本	116± 9.5	115±11.8	－
２回目	各40本	116±10.9	116± 7.3	－
３回目	各32本	109±14.6	110±12.6	109±11.7

供試菌はN，栽培容器は850PP，培養日数は50日
１）平均値±標準偏差
２）ビン口に注水し，30分後排水
３）ビン口の培地表面がぬれる程度に散水
４）菌カキ後直ちに発生室へ移動

表－21　袋栽培の条件および子実体収量

空調施設栽培	供試菌	N
	供試数	35菌床
	栽培袋	2.5kgマイタケ用サンバッグ
	培地組成	オガ粉：フスマ：バンサイ：ネオビタス：ビール粕 50：５：4.5：2.5：4.5（容積比）
	培養期間	80日
	発生操作	袋上部を開放して，発生室へ移動
	育成期間	30～35日
	子実体収量	１菌床あたり　553.3ｇ（写真－５）
廃菌床利用の自然栽培	場所	スギ林床
	埋設	2005年8月10日（写真－６）
	埋設方法	施設内で収穫後の廃菌床を袋からはずして埋設
	子実体収穫	2005年10月9日（写真－７）
	子実体収量	１菌床あたり　410.9ｇ
合計収量		１菌床あたり　964.2ｇ

※空調施設内における培養および発生条件は表－２と同じ

写真－４　空調施設での袋栽培

２．自然栽培

２．１　菌床埋設方法

【目的】

菌床の埋設方法として，埋設する際の栽培袋の有・無と埋設時期について検討する。

【材料および方法】

１）供試菌および菌床材料

供試菌は当所保有系統「ウマッシュくん」（登録品種）を用いた。

培地材料は，オガ粉とバーク堆肥を５：１（容積比）で混合したものを基材とし，フスマなど３種の添加剤として用いた。培地は，フィルター付き栽培袋（マイタケ用）に2.5kg充填して，高圧滅菌した。種菌を植菌した後，22℃で65日から70日間培養した菌床を野外栽培に供試した。

２）菌床の埋設方法

①栽培袋の有無別

菌床の埋設は，スギ林床において，平成15年７月１日に行った。栽培袋無しの場合（以降「袋無」とする）は，菌床を袋から取りだし，植菌面を下にして埋設した。一方，栽培袋を付けた場合（同「袋有」）の埋設は，菌床の植菌面を開放して下面とし，上面には袋ごと×印状にカッターで切れ目を入れ埋設した。供試数はそれぞれ34菌床とした。

②埋設時期別

菌床の埋設は，裸地において行い，埋設時期別として，「春期」そして「夏期・秋季」の二期に分け，さらに「春期」については平成16年５月18日からほぼ１週間ごとに計６回，「夏期・秋期」は８月９日から春期と同様に計６回，合計12回設定した。埋設は，すべて菌床を袋から取り出して行い，１回ごとの供試数は「春期」30菌床，「夏期・秋季」20菌床とした。

３）子実体収量調査

収量調査は，ハタケシメジの自然発生期となる春期と秋期の２回について行い，収穫した株ごとの生重量を測定した。

【結果及び考察】

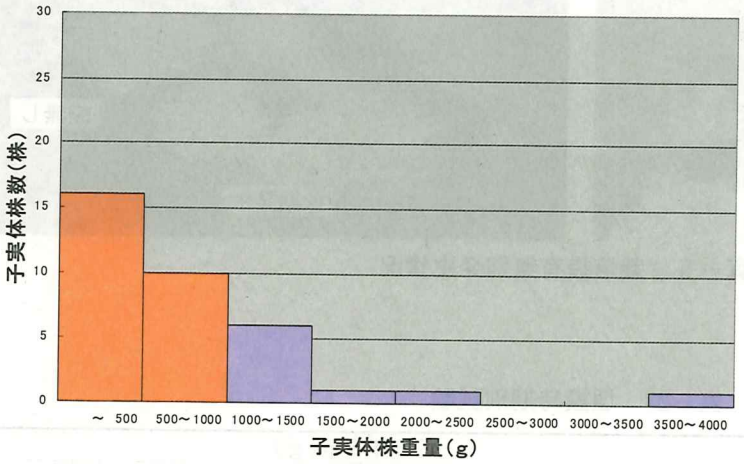
①栽培袋の有無別

子実体の総発生量については，「袋無」に比べて「袋有」の方が20％程少なく，表－22および写真－６に示すように，春期と秋期の発生状況については，「袋無」の場合，春期と秋期がほぼ同等の発生量を示したのに対して，「袋有」は秋期に発生が集中していた。発生した子実体株については，「袋無」に比べて，「袋有」の方の株数が多く，１株の重量のバラツキは「袋有」の方が少なく，１kg以下の中型株が多い傾向がみられた（図－１および２）。「袋無」による野外栽培では，発生した子実体１株の重量にバラツキが大きく，今回のように１株３～４kgに及ぶこともある。その分出荷の際の詰め分けなどの作業に手間がかかるため，マイタケの野外栽培の場合，「袋有」で行うことにより，株の大きさを調整している生産者もいる。今回の試験では，「袋無」に比べて「袋有」の場合，株の大きさはある程度調整できたものの，収量性の面で劣るという結果であった。以上のことより，菌床埋設の

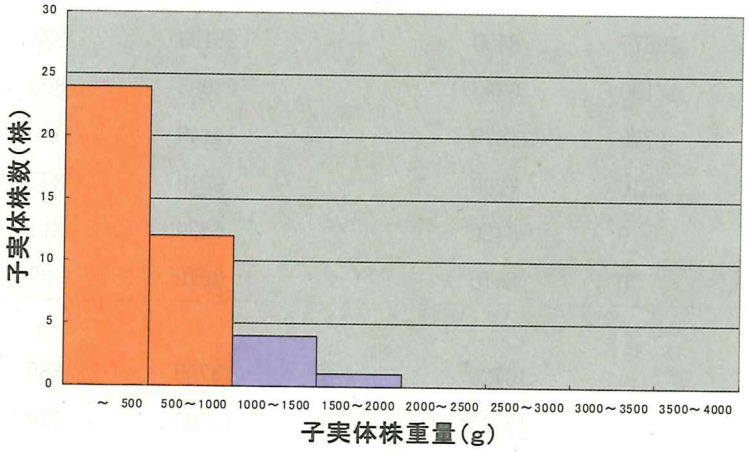
際の栽培袋の有無については，それぞれ一長一短があり，作業性，集中発生あるいは子実体の均一性などの面を考慮して，どちらの方法が有利か選択することになると思われる。

表－22　栽培袋有無別埋設試験

試験区	供試数（個）	子実体収量（g） 春期	子実体収量（g） 秋期	合計収量（g）	株　数（株）	１株あたり（g）	１菌床あたり（g）
無	34	14640	12950	27290	35	780	803
有	34	3280	18200	21480	41	524	630



図－１　子実体株の重量別分布（袋無し）



図－２　子実体株の重量別分布（袋有り）

②埋設時期別

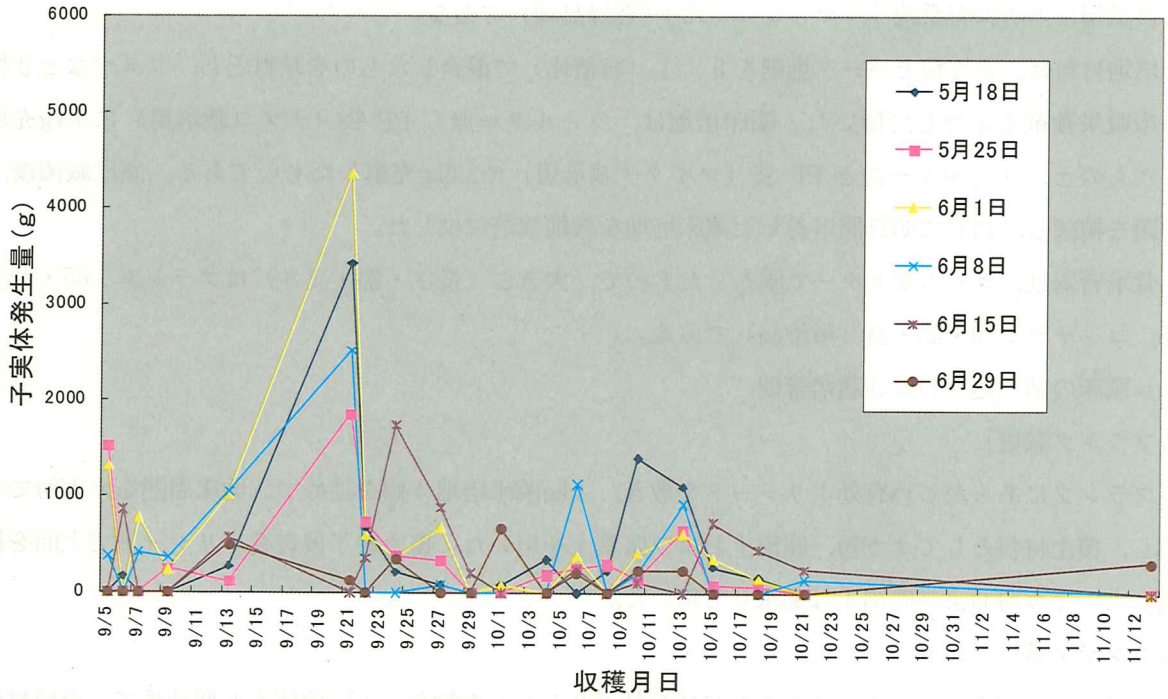
子実体発生量については，表－23に示すように，「春期埋設」のうち，５月埋設の１回目および２回目が良好であった。３回目以降は不良であったが，これは３回目埋設以降の自然発生期となる７月上旬に，気温が例年よりかなり高くなったうえ，降水量も少なかったことが子実体発生に大きく影響したと思われる。７回目以降の「夏期・秋期埋設」での子実体発生量は，「春期埋設」の１，２回目埋設より少なかったものの，埋設時期による大きな差はなく，特に，気温の最も高い時期の夏期埋設

でも，１菌床あたり，菌床重量の27～30％の発生量が得られることがわかった。秋期の子実体発生状況については，「春期埋設」の１回目～６回目埋設すべてが，９月13～21日に集中発生した（図－３）のに対して，「夏期・秋季埋設」の７回目以降の埋設では，９月21日から11月６日まで埋設回ごとにずれて発生し，収穫期間に拡大傾向がみられた（図－４）。

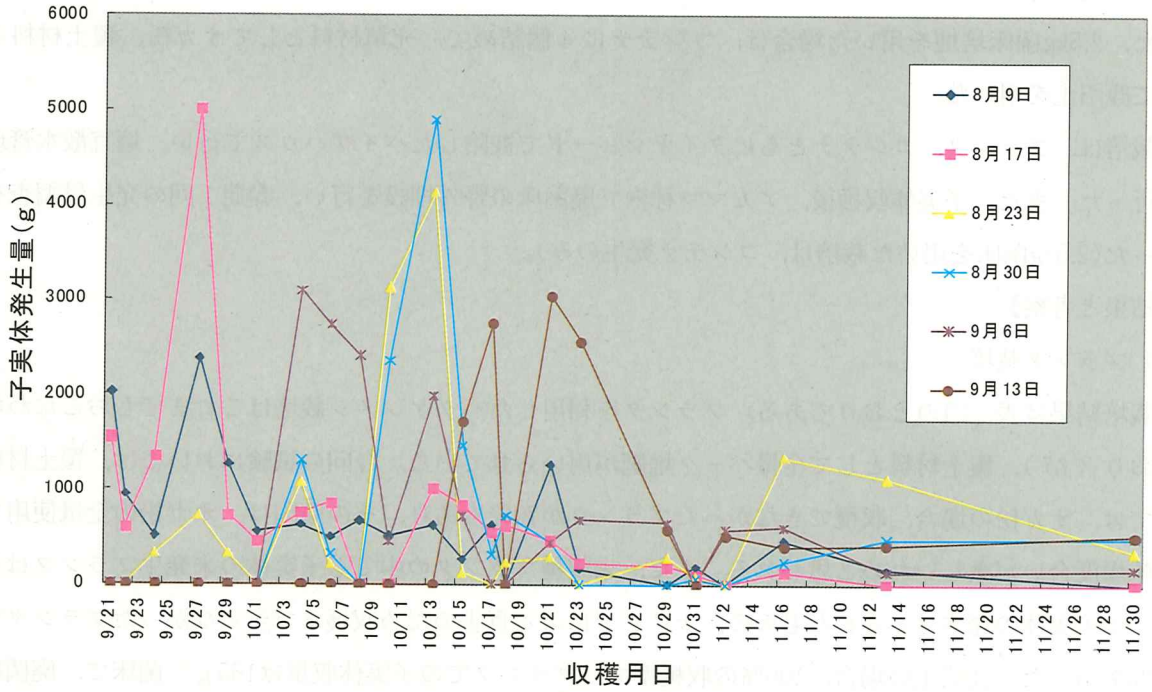
写真－５　栽培袋有無別発生状況

表－23　埋設時期別試験

埋設回数	埋設月日	供試菌床数	子実体収量（g）				
			'04春期	'04秋期	'05春期	総収量	１菌床あたり
＜春期埋設＞							
1	５月18日	30	19675	8450	－	28125	938
2	５月25日	30	17100	6895	－	23995	800
3	６月１日	30	2770	11375	－	14145	472
4	６月８日	30	2610	7200	－	9810	327
5	６月15日	30	0	6420	－	6420	214
6	６月29日	30	0	2670	－	2670	89
＜夏～秋期埋設＞							
7	８月９日	20	－	13720	0	13700	685
8	８月17日	20	－	15395	0	15395	770
9	８月23日	20	－	13740	860	14600	730
10	８月30日	20	－	13105	0	13105	655
11	９月６日	20	－	14610	0	14610	731
12	９月13日	20	－	12500	2930	15430	772



図－３　春期埋設の秋期発生



図－４　夏期・秋期埋設の秋期発生

２．２　容器利用方法

【目的】

自然環境を利用した野外栽培は，気象条件の影響を受けやすく，良品質生産および安定生産を図るために，プランタやコンテナを利用した簡易施設での自然栽培ついて検討する。

【材料および方法】

１）供試菌および栽培材料

供試菌は当所保有系統「ウマッシュくん」（登録品種）である。

培地材料は，オガ粉とバーク堆肥を５：１（容積比）で混合したものを基材とし，フスマなど３種の市販栄養剤を添加して用いた。菌床培地は，フィルター無しPP袋（ナメコ栽培用）に１kg充填したものと，フィルター付きPP袋（マイタケ栽培用）に2.5kg充填したものである。高圧滅菌後，種菌を植菌し，22℃で60日間培養した菌床培地を露地栽培に供した。

栽培容器は，ホームセンターで購入したもので，大きさ（長さ・幅・高さ）はプランタ：65・22・15，コンテナ：50・38・21（単位cm）である。

２）菌床の詰め込みおよび栽培管理

［プランタ栽培］

プランタにあらかじめ有効ポリシートを敷き，１kg菌床培地４個を詰めて，菌床周囲をオガ粉で充填し，覆土材料としてオガ粉，鹿沼土および腐葉土を用いた。覆土終了後有孔ポリシートで上面を被覆した。オガ粉および鹿沼土は加水して用いた。

［コンテナ栽培］

プランタと同様，コンテナにあらかじめ有効ポリシートを敷き，１kg菌床を６個詰めて，充填材料および覆土材料としてオガ粉と腐葉土の２種を用いた。覆土終了後有孔ポリシートで上面を被覆した。また，2.5kg菌床培地を用いた場合は，コンテナに４個詰めて，充填材料としてオガ粉，覆土材料として鹿沼土を用いた。

栽培は，プランタ，コンテナともにダイオシェードで被陰したパイプハウスで行い，適宜散水管理を行った。また，子実体収穫後，アカマツ林内で廃菌床の野外埋設を行い，春期１回の発生量調査を行った(2.5kg菌床を用いた栽培は，コンテナ発生のみ)。

【結果と考察】

１）プランタ栽培

栽培結果は表－24のとおりである。プランタを利用したハタケシメジ栽培はこれまでもおこなわれており（*15*），覆土材料として全量バーク堆肥が用いられている。今回の試験においては，覆土材料別では，オガ粉の場合，収穫できなかったプランタが70％もあり，その原因は，オガ粉の全量使用では乾燥度合いが激しいためと思われる。また，未収穫プランタの中でも子実体の未発生プランタは40％，幼子実体の発生はみられたものの，ナメクジによる食害のため収穫まで至らなかったプランタが60％であった。鹿沼土の場合，100％の収穫率で，プランタでの子実体収量は165ｇ／菌床で，廃菌床の野外発生を含めた子実体の総収量は173ｇ／菌床であった。また，充填・覆土材料として腐葉土を利用した場合では，100％の収穫率となり，品質も良好で（写真－６），プランタ発生139ｇ／菌床，野外発生183ｇ／菌床，合計322ｇ／菌床と，培地重量の30％以上の良好な子実体収量であった。今回被害が多くみられたナメクジの食害対策として，忌避剤の利用も必要と思われる。また，腐葉土を用いた場合，キノコバエの発生がみられたので，今回は被害まで至らなかったが，栽培時期によってはキノコバエの繁殖度合いも大きくなる可能性があるため，腐葉土やバーク堆肥などの腐植物を利用する場合は，この点に留意する必要がある。

２）コンテナ栽培

栽培結果を表－25に示す。１kg菌床を用いた場合，加水したオガ粉を覆土材料とすると，子実体収量，形質ともに不良であった。一方，腐葉土では，形質は良好で，子実体収量もコンテナ発生228ｇ／菌床，野外発生116ｇ／菌床，合計344ｇ／菌床と良好で，プランタ栽培と同様と結果であった。今回，コンテナ側面からの発生によるロスが多くみられ，隙間なく堅く充填するなど改良することにより400ｇ／菌床以上の子実体収量が期待できる。次に，2.5kg菌床を用いた場合，充填材料としてオガ粉，覆土には鹿沼土を用いたところ，１回だけのコンテナ発生で，形質も良好な子実体収量628ｇ／菌床が得られた（写真－６）。プランタ栽培においても同様であるが，鹿沼土の場合，子実体への付着や巻き込みが一部みられるため，覆土の上に，さらに落ち葉やイナワラを被覆することによって，さらに良品質の子実体が収穫できると思われる。

表－24　プランタ栽培試験

材料別		供試数		収穫プランタ	子実体収量（ｇ）		総収量	１菌床あたり
充填	覆土	プランタ	菌床		プランタ発生	露地発生	（ｇ）	（ｇ）
オガ粉	オガ粉	18	72	※５	1440	9940	18370	177
オガ粉	鹿沼土	8	32	8	5290			
腐葉土	腐葉土	6	24	6	3340	4380	7720	322

※未収穫13プランタの内，８プランタについては幼子実体の発生はみられたものの，ナメクジの食害により収穫まで至らなかった。

表－25　コンテナ栽培試験

菌床	材料別		供試数		収穫コンテナ	子実体収量（ｇ）		総収量	１菌床あたり
	充填	覆土	コンテナ	菌床		コンテナ発生	露地発生	（ｇ）	（ｇ）
１kg	オガ粉	オガ粉	10	60	9	4240	330	4570	76
	腐葉土	腐葉土	10	60	10	13690	8170	21860	364
2.5kg	オガ粉	鹿沼土	13	52	13	32630	－	32630	628

写真－６　容器を利用した自然栽培

おわりに

これまで実施した栽培試験において，子実体の収量性や培養期間などの課題は残しつつも，一番の懸案項目であったバーク堆肥の無使用化などの成果も得られたことから，本課題の実施と併行して，エリンギ，ヒラタケ，ナメコおよびマイタケなど県内５カ所の生産現場において実証栽培を実施（あるいは実施中）している。その結果なども踏まえ，栽培方法や環境条件などについて検討し，今後の栽培普及へ向けて，「栽培マニュアル」を作成する予定である。

最後に，実証栽培に協力をしていただいた，近藤敬子氏，小林喜美夫氏，伊勢知氏，吉田誠氏，（株）藤里開発公社マイタケセンターそして，組合法人秋田ヘルシー食産に対して，心から感謝を申し上げる。

引用文献

（*1*）阿部実ほか：ハタケシメジの菌床栽培試験，秋田県林技セ研報1，61-68，1991

（*2*）阿部実：ハタケシメジの系統別培養・発生試験，秋田県林技セ研報6，90-100，1999

（*3*）阿部実：きのこ栽培技術の高度化と新技術の開発　秋田県林技セ研報12，33-50，2004

（*4*）（独）農業技術研究機構編：日本標準飼料成分表（2001年版）　94-109，2002

（*5*）原弘：ハタケシメジ，2002年度版きのこ年鑑，（株）プランツワールド　210-214，2002

（*6*）今関六也・本郷次男：原色日本新菌類図鑑（Ⅰ）保育社　325，　1987

（*7*）木村榮一：基礎からのエリンギ栽培，農村文化社　77-90，1999

（*8*）木村榮一：ハタケシメジの生産技術，農耕と園芸７月号　59-61，2005

（*9*）Kinugawa,K. and Tanesaka, E.:Changes in the rate of CO2 release from cultures of three basidiomycetes during cultivation. Trans. Mycol. Soc. Japan, 31,489-500, 1990

（*10*）松本哲男：ハタケシメジ，2004年度版きのこ年鑑，（株）プランツワールド　172-174，2004

（*11*）中村公義：ブナシメジ，2004年版きのこ年鑑，プランツワールド　151-155，2004

（*12*）西井孝文：ハタケシメジの人工栽培に関する試験－培養期間と子実体発生量の関係－，中森研№47，189-190，1999

（*13*）西井孝文：ハタケシメジの人工栽培に関する基礎的研究，三重林技セ研報11，25-29，2000

（*14*）西井孝文：ハタケシメジの人工栽培における培地添加物の効果，三重林技セ研報12，21-27，2000

（*15*）西井孝文：ハタケシメジの菌床埋め込みによる栽培試験，三重林技セ研報15，37-42，2003

（*16*）西井孝文：ヒラタケ，2004年版きのこ年鑑，プランツワールド　147-150，2004

（*17*）庄司當：ナメコ，きのこハンドブック，朝倉書店　77-91，2000

（*18*）鈴木彰：同担子菌類の子実体原基形成に関与する環境要因，日菌報20，253-265，1979

（*19*）タカラバイオ（株）：本格生産が始まったタカラ〈ハタケシメジ〉　特産情報５，29-33，2004

（*20*）渡辺和夫：ヒラタケ栽培ビンのキャップの通気性と環境湿度条件が子実体の発生に及ぼす影

響，奈良県林試研報No.27，1-7，1997

（*21*）渡辺和夫：ヒラタケ，2002年版きのこ年鑑，農村文化社　168-174，2002

（*22*）山本秀樹：エノキタケ，2004年版きのこ年鑑，プランツワールド　161-165，2004

秋田県森技研報　第16号　2006年６月

キノコ菌床栽培技術の改良試験

キノコ露地栽培地に発生する真性粘菌（変形菌）
－ マイタケとトンビマイタケの変形菌病 －

菅　原　冬　樹

Improvement of methods in the sawdust cultivation for mushroom.
Myxomycetes occurring on open-field mushroom culture
－ Myxomycete desease of *Grifola frondosa* and *Meripilus giganteus* －

Fuyuki SUGAWARA

※本研究の一部は，第47回日本林学会東北支部大会および日本きのこ学会第９回大会において発表した。

要　旨

キノコ露地栽培地に発生する真性粘菌の病害実態を調査し，これらの諸性質を明らかにするとともに，防除を目的に本研究を行った。その結果，キノコ露地栽培地で発生する真性粘菌９属18種を確認した。その中でマイタケのイタモジホコリ変形菌病を発見した。その病徴は，イタモジホコリ変形体によるマイタケ子実体全体の軟化腐敗，部分的な溶解など様々であった。また，トンビマイタケのドロマンジュウホコリ変形菌病を新たに発見した。トンビマイタケ子実体表面にドロマンジュウホコリの子実体が形成され，キノコの生育が阻害された。

真性粘菌が発生すると，その個体数が年々増加し，被害が拡大する。広葉樹林床を利用したマイタケ露地栽培では，発生初年度は0.5％未満の被害率であったが，発生から10年以上経過した現在，発生したマイタケの30％以上がイタモジホコリの変形体により処分されている。さらに，トンビマイタケ栽培地に発生するドロマンジュウホコリの被害も拡大しつつある。その防除方法は未だ確立されておらず被害の終息は見られていないが，被害の拡大防止には，変形体を早期に発見し，見つけ次第採取し処分することが最も効果的であった。

はじめに

近年，キノコ栽培は遊休地や林などの自然環境を利用し，栽培コストを極力抑えた自然利用型栽培が増加している（図１）（*17*）。一方，栽培されるキノコ種や栽培方法の多様化に伴い，新たな病害事例も多く見られるようになった。その中でも特に露地栽培において，施設栽培では従来見られなかった型の雑菌による被害が発生し，マイタケ子実体を腐敗させる現象が見られるようになり，その

被害は年々拡大している。1993年10月，栽培者からこの問題について，相談を受け調査を行ったところ，真性粘菌の被害であることが判明した。真性粘菌は腐った木や落ち葉上にみられる多核の単細胞生物である。胞子で繁殖し，発芽に適した場所に落下すると，粘菌アメーバが生じ，細菌を食べ，分裂を繰り返して増殖する。性の異なる粘菌アメーバが融合して生じた接合体は，微生物を補食して変形体に成長する。環境が悪化すれば菌核を作って休眠し，条件が整えば子実体を形成する。今までに，真性粘菌によるキノコの被害例は少なく，ナメコ施設栽培で発生したブドウフウセンホコリ（*Badhamia utricularis*）やイタモジホコリ（*physarum rigidum*）による被害が知られているにすぎない（*4*）。イタモジホコリによる被害は，菅原らがマイタケ露地栽培で初めて報告して以来（*15, 16*），最近では原木ヒラタケのパイプハウス栽培で被害が報告されている（*10*）。今回，新たにトンビマイタケの変形菌病（新称）を発見した。しかし，真性粘菌の生態や生理的特性が解明されていないため，防除に苦慮している。そこで，真性粘菌の病害実態を調査し，これらの諸性質を明らかにするとともに，防除上の基礎資料を得る目的で本研究を行った。

図１　マイタケとトンビマイタケの露地栽培
Ａ：広葉樹林床を利用した露地栽培，Ｂ：減反地や畑地を利用した露地栽培，
Ｃ：自然発生したマイタケ，Ｄ：自然発生したトンビマイタケ

材料と方法

１）被害の実態調査

マイタケ及びトンビマイタケの露地栽培地について，被害状況の実態について調査した（調査期間：

1994年～2005年)。マイタケ露地栽培調査地は秋田県内の５箇所とし，トンビマイタケ露地栽培調査地は３箇所とした（表１)。

表１　露地栽培における被害状況の実態調査地

栽培キノコ	試　験　地	栽培開始年	調査期間	環　境	被害の有無
マイタケ	秋田県山本郡八森町字滝ノ間	1990	1994～1995	スギ林床	有
マイタケ	秋田県山本郡山本町下岩川	1992	1994～2005	減反地	有
マイタケ	秋田県潟上市昭和豊川上虻川	1991	1994～2005	広葉樹林床	有
マイタケ	秋田県秋田市河辺字井戸尻台	1992	1994～2005	畑　地	有
マイタケ	秋田県横手市平鹿町下吉田字桑の木	1985	1994～1995	畑　地	有
トンビマイタケ	秋田県山本郡山本町下岩川	2000	2000～2005	減反地	有
トンビマイタケ	秋田県秋田市河辺字井戸尻台	1997	1997～2005	畑　地	有
トンビマイタケ	秋田県横手市雄物川沼館	2001	2001～2005	減反地	有

２）種の同定と真性粘菌の季節的消長

マイタケおよびトンビマイタケ露地栽培地で，変形体と子実体の消長を時期別に調査した。また，採集した真性粘菌の子実体は，生育基質とともにナイフで切り取り，台紙上に木工用ボンドで貼り付け，標本箱に収めた。自然乾燥した後，95％エタノール溶液一滴をのせたスライドガラスに子実体の小さな塊を上にのせ，エタノール蒸発後，ラクトフェノール溶液を一滴加え，検鏡し，種の同定を行った。また，土壌表面に発生した変形体は，プラスチック容器に生育基質とともに採取し，子実体に生育させた後，種の同定を行った（*5*，*6*）。

３)キノコ類に対する変形体接種試験

土壌表面に発生した白色変形体（マンジュウドロホコリ *Enteridium lycoperdon*)，黄色変形体（イタモジホコリ *Physarum rigidum*）及び未同定の変形体数種からメスで25㎠程度の小塊を切り取り，プラスチック容器に入れたマイタケ，ヒラタケ，エノキタケ，ナメコ，ブナシメジ及びトンビマイタケの子実体に接種し，変形体とキノコ子実体の変化について調査した。接種した容器は，広葉樹林床と畑地の２箇所に数日間置床し，自然条件下で保持した。

４）培養試験

・イタモジホコリ（*Physarum rigidum*）の変形体培養

変形体を１㎠程度切り取り，これらを移動用２％寒天培地に接種し，暗所で培養を行った。２日後，移動した変形体の一部を生育基質ごと切り取り，供試培地に移植した。供試培地は，オート寒天培地（オートミール８ｇ/100ml，寒天１ｇ/100ml,)，McArdle 培地（Ⅰ液：クエン酸・$2H_2O$ 3.6ｇ，$FeCl_2$・H_2O 0.054ｇ，$MgSO_4$・$7H_2O$ 0.54ｇ，$CaCl_2$・$2H_2O$ 0.54ｇ，$MnCl_2$・$4H_2O$ 0.076ｇ，$ZnSO_4$・$7H_2O$ 0.03ｇ，トリプトン　９ｇ，ブドウ糖　９ｇ，イーストイクストラクト 1.4ｇ，K_2HPO_4 1.8ｇ，H_2O 1000ml，pH 4.6，Ⅱ液：ヘミン 0.05ｇ，１％NaOH 100ml　Ⅰ液100mlに対しⅡ液を１mlの割合で加える。これに2.25％の寒天を加える)，寒天培地（2.0％寒天，pH4.5)，PDA 培地，GMY 培地の５種とした。培養は，18～20℃，暗黒下あるいは100 lux 程度の光が約12時間照

射される室内で培養を行った。継代培養は，１週間に一度行った。

・クローナル培養

採取した子実体から子嚢部を実体顕微鏡下で分離し，２mlの滅菌水が入ったねじ口試験管に子嚢を入れ，ボルテックスミクスチャーで攪拌し，胞子懸濁液を調整した。これを室温で１晩放置し，２％寒天培地に，胞子懸濁液100μlを加え，スプレッダーで均一にぬり広げた。次に，２％寒天培地上に生じた粘菌アメーバのコロニーをSM培地（ブドウ糖 10g，ペプトン 10g，イーストイクストラクト １g，$MgSO_4$ １g，KH_2PO_4 1.5g，K_2HPO_4 １g，寒天15g，蒸留水1000ml）に，真性粘菌発生土壌から得られた細菌や大腸菌の懸濁液50μlを加え，スプレッダーで均一にぬり広げた。25℃で４日間培養した。粘菌アメーバの継代は，細菌懸濁液50μlを加え，ぬり広げたSM培地に接種し，25℃で数週間ごとに継代培養を行った。

・変形体の形成

McArdle培地の中央に真性粘菌発生土壌から得られた細菌や大腸菌の懸濁液をスポットし，異なるコロニーからなる粘菌アメーバを白金耳でとり，この細菌懸濁液に接種し混合した。25℃で10日間程度培養し，変形体形成の有無を確認した。

５）マイタケ変形菌病の防除試験（秋田県潟上市昭和）

・変形体誘因試験

高分子吸収体（資生堂）をガーゼに包み，大きさ５×８cm，厚さ0.8mmに調整した。マイタケの子実体300gを蒸留水300mlに入れホモジナイズした。この溶液に，調整済みの高分子吸収体を入れ，一昼夜放置した。図２に示したように，ホモジナイズ溶液を吸収した高分子吸収体を，変形体から50cm離れた土壌表面４箇所に置床した。対照として蒸留水のみを吸収させた高分子吸収体を用いた。供試キノコ類は，マイタケ以外にヒラタケ，エノキタケ，ナメコ，ブナシメジ及びトンビマイタケとした。250個体のイタモジホコリ変形体に，1,000個の高分子吸収体を供試した（2000～2001年）。

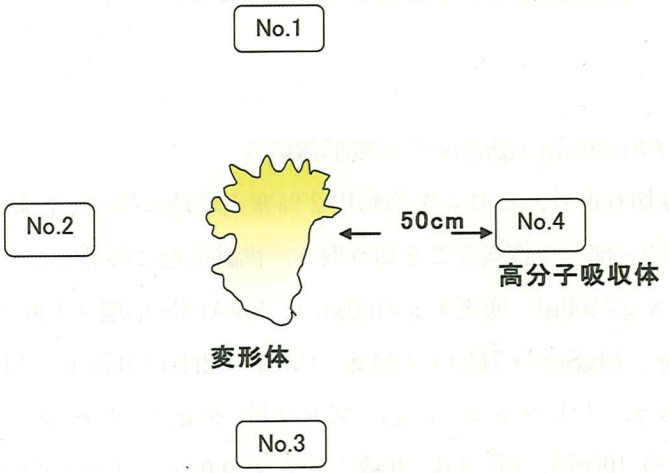


図２　変形体誘因試験

中央：イタモジホコリの変形体　No.１～No.４：各種溶液を吸収した高分子吸収体

・粉炭，炭酸カルシウム，木酢液，酢酸による土壌改良試験

散布試験は，イタモジホコリによる被害が顕著な秋田県潟上市昭和の広葉樹林床で行った。１試験区は，22.08㎡の面積を３箇所設置し，計66.24㎡とした。木酢原液と99％酢酸をそれぞれ500倍，1,000倍に希釈した溶液を１㎡当たり400ml散布した。また，粉炭と炭酸カルシウム粉剤は，１ml当たり500ｇ散布した。散布時期は，菌床埋設前の４月下旬に行った。散布後，土壌攪拌機で十分に耕起し，約２週間後にマイタケ菌床を埋設した。土壌pHの変化，真性粘菌出現数を４年間調査した（1999～2002年）。

・微生物散布による土壌改良試験

散布試験地，試験区の面積および反復等は，上記と同様に行った。腐葉土の層に住む極めて安全な有用細菌群からなるダルマ菌（ノーラ株式会社）を用いて，真性粘菌出現数を比較した。ダルマ菌溶液から50μlとり，殺菌生理食塩水10mlの入った試験管に加え懸濁した。上清100μlをとり，殺菌生理食塩水9.9mlに加え攪拌した。細菌の希釈液をつくり，各希釈液から100μlとり，ブイヨン寒天平板培地に塗布した。暗黒下，30℃で数日間培養後，形成されたコロニーから種の異なる細菌を５種分離した。分離した５種の細菌を各々単独と５種混合細菌をそれぞれ10L-ジャーファーメンターで３日間培養した。培養条件は，通気15 l Air/min，攪拌 350 rev/minとした。この細菌懸濁液を１㎡当たり400ml（細菌数：4×10^{8}～10^{10}）散布した。散布は，菌床埋設前の４月下旬に行った。散布後，土壌攪拌機で十分に耕起し，約２週間後にマイタケ菌床を埋設した。土壌pHの変化，真性粘菌出現数を２年間調査した（2003～2004年）。

・変形体除去による被害の軽減効果

2002年に一定数の変形体を取り除き，試験区を設定した。次に，2003年に出現した変形体数を調査し，放置する区と確認できた変形体を取り除く区を設定した。2004年には両試験区の変形対数を調査し，それぞれ放置区と除去区の４試験区を設定し，2005年に出現した変形体数を調査した。試験区の面積および反復等は，上記と同様に行った。４年間この作業を継続し，発生した変形体数を測定した（2002～2005）。

結果と考察

１）被害の実態調査

秋田県内のマイタケ露地栽培地と，今後，栽培普及が見込まれていたトンビマイタケ露地栽培地について病害の実態調査を行った。その結果，全ての試験地から真性粘菌による被害が認められた（表１）。マイタケ露地栽培では，栽培に着手してから３年目以降に真性粘菌の発生が目立つようになり，被害が現れ始めた。栽培環境別に被害状況を見ると，畑地利用によるキノコ栽培では真性粘菌がみられるが，調査期間中に被害が１％を越えるような状況にはならなかった。また，スギ林床を利用した栽培は，真性粘菌の発生はみられるものの発生数も少なく，病徴は認められなかった。一方，広葉樹林床を利用したマイタケ栽培では，発生する真性粘菌の数や種類も他の栽培地に比べると圧倒的に多く，その数や種も年々増加し，被害も拡大する傾向にあった。

トンビマイタケ露地栽培では，減反地，畑地ともに夏場に多くの真性粘菌の変形体や子実体がみられた。また，キノコ子実体表面が真性粘菌に覆われ，商品価値がなくなる被害が認められた。そこで，特にマイタケ子実体を腐敗させる黄色変形体とトンビマイタケ上で子実体を形成する真性粘菌について，その生態を調査した。

・マイタケの変形菌病（図３）（*15, 16*）

９月中旬頃から土壌表面に黄色で粘性のある変形体が現れ，生育しながら不規則に匍匐前進した。変形体の出現は，マイタケ子実体原基が土壌表面から現れる時期と一致した。９月中旬以降，マイタケの本格的な発生時期になると，変形体の発生もピークを向かえる。この頃になると，変形体はマイタケに到達して侵害した。被害の状況は，子実体全体の軟化腐敗，部分的な溶解など様々である。この後，マイタケ子実体が見られなくなると，一斉に子実体を形成した。広葉樹林床を利用したマイタケ露地栽培では，発生初年度は0.5％未満の被害率であったが，発生から10年以上経過した現在，発生したマイタケの30％以上が変形体被害により処分されている。

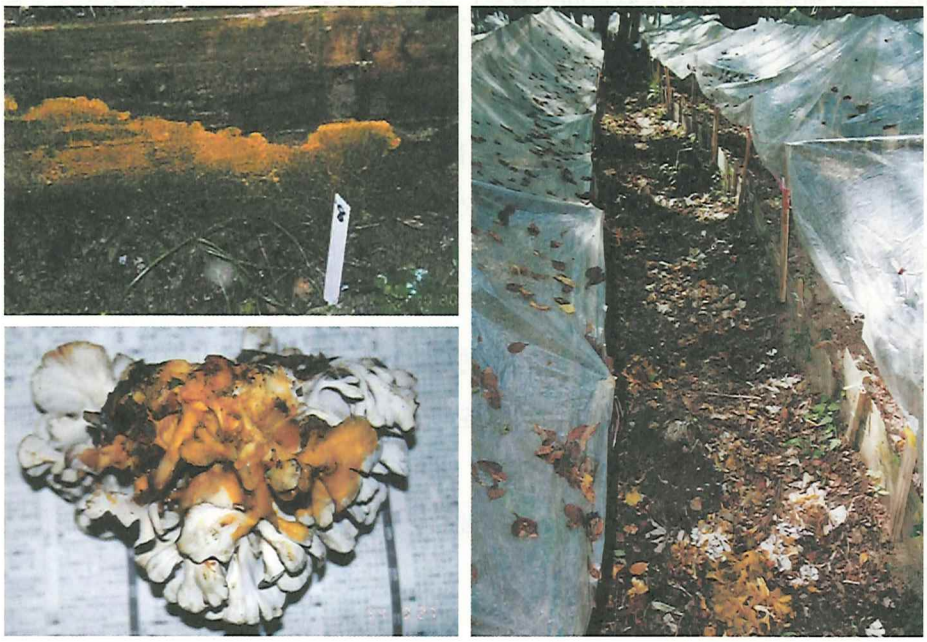


図３　マイタケ変形菌病

左上：移動中の変形体，左下：マイタケの溶解，右：真性粘菌に侵され処分されたマイタケ

・トンビマイタケの変形菌病（新称）（図４）

新たな真性粘菌による被害として，トンビマイタケ子実体に着生する着合子のう体が認められた。キノコ表面全体に子実体を形成するため，キノコの生育が停止し，商品価値がなくなる。しかし，マイタケの場合のようなキノコの軟化腐敗，部分的な溶解などはみられない。６月頃から土壌表面に白色で粘性のある変形体が現れ，生育しながら不規則に匍匐前進した。変形体の出現は，マイタケの場合と異なりトンビマイタケが土壌表面から現れる時期とは一致しない。６月から８月上旬にかけて，変形体が発生し不規則に土壌表面に子実体を形成した。この際，変形体のそばにトンビマイタケ子実体があるとトンビマイタケの上部に子実体を形成した。

図４　トンビマイタケの変形菌病
左：トンビマイタケ子実体の発生，右：トンビマイタケ子実体に形成された真性粘菌

２）種の同定と真性粘菌の季節的消長

マイタケ子実体を腐敗させる黄色変形体の種を同定するため子実体の形態的特徴を調査した。

子実体：柄があり，単子嚢体型，群生，高さ２㎜まで

子嚢：レンズ型，上面へそ状

柄：上部でだいだい色から黄色，基部は暗色，柱軸はない

連結糸：長くあまり分岐しない

石灰質：長くクサビ型からさお型

胞子：反射光で暗褐色，細かいトゲ型，直径９～10μm

変形体：黄色

以上の結果から，本真性粘菌はモジホコリ属のイタモジホコリ（*Physarum rigidum*）と同定された（*15*，*16*）。イタモジホコリは，腐った木，生木の樹皮およびキノコに発生する種とされているが，本種が栽培キノコに発生して被害をもたらしたという記録はみられない（*6*，*12*，*20*）。

次に，トンビマイタケ上で子実体を形成する真性粘菌の種を同定するため子実体の形態的特徴を調査した。

子実体：着合子嚢体で球形からまんじゅう型，孤生，幅10㎝まで

擬細毛体：着合子嚢体の底から出て樹上に分岐，しばしば拡大し先端部は曲がった糸状となる

胞子：反射光で赤褐色，亜球形，直径８～９μm

変形体：白色

以上の結果から，本真性粘菌はドロホコリ属のマンジュウドロホコリ（*Enteridium lycoperdon*）と同定された（図４）。マンジュウドロホコリは，腐った木の上などに普通に分布するとされているが，本種が栽培キノコに発生して被害をもたらしたという記録はみられない（*6*，*12*，*20*）。

一般に，真性粘菌はキノコと同様な環境に生息し，林内の倒木，切り株，落葉，落枝等に子実体を生じる。今回認められたマイタケやトンビマイタケの被害は，子実体を形成するため変形体がキノコに寄生あるいは着生したものである。自然界でキノコを食害する真性粘菌が知られている。倒木上の

キノコを黄色の変形体が覆っていたならば，たいていブドウフウセンホコリかイタモジホコリである（*7*）。キノコの生育に適している場所は，真性粘菌にとっても環境の良い場所である。その結果，マイタケやトンビマイタケの栽培地に変形体が発生し，被害を与えている。言い換えれば，変形体が発生する環境はキノコ栽培にとって適地であるということが言える。キノコ栽培における真性粘菌による被害の例としては，ナメコ施設栽培で発生したブドウフウセンホコリ（*Badhamia utricularis*）が知られている（*4*）。原田らは，ブドウフウセンホコリからキノコ溶解酵素を抽出し，その性質について調べている（*11*）。この真性粘菌からはキチナーゼ，β-1,3-グルカナーゼ，セルラーゼ，キシラナーゼ，プロテアーゼが検出されており，市販されている酵素に比べて有効にキノコの子実体を溶解した。イタモジホコリからは酵素等の研究はなされていないが，ブドウフウセンホコリと同様な酵素を生成し，マイタケを分解していると考えられる。

表２　広葉樹林床で出現する真性粘菌

種　名	５月	６月	７月	８月	９月	10月
シロウツボホコリ（*Arcyria cinerea*）		○	○			
ウツボホコリ（*Arcyria denudata*）		○	○			
ツノホコリ（*Ceratiomyxa fruticulosa*）					○	
アカカミノケホコリ（*Comatricha pulchella*）			○			
マンジュウドロホコリ（*Enteridium lycoperdon*）						
シロススホコリ（*Fuligo candida*）		○	○			
ススホコリ（*Fuligo septica*）		○	○	○	○	
フンホコリ（*Lindbladia tubulina*）						
イタモジホコリ（*Pysarum rigidum*）					○	○
モジホコリ属（*Pysarum* sp.）		○			○	
ムラサキホコリ（*Stemonitis fusca*）				○	○	
オオムラサキホコリ（*Stemonitis splendens*）		○	○	○		
コムラサキホコリ属（*Stemonitopsis* sp.）			○	○		

表３　畑地などの遊休地で出現する真性粘菌

種　名	５月	６月	７月	８月	９月	10月
シロウツボホコリ（*Arcyria cinerea*）						
ウツボホコリ（*Arcyria denudata*）						
ツノホコリ（*Ceratiomyxa fruticulosa*）						
アカカミノケホコリ（*Comatricha pulchella*）						
マンジュウドロホコリ（*Enteridium lycoperdon*）		○	○	○		
シロススホコリ（*Fuligo candida*）		○	○			
ススホコリ（*Fuligo septica*）		○	○	○	○	○
フンホコリ（*Lindbladia tubulina*）		○	○			
イタモジホコリ（*Pysarum rigidum*）					○	○
モジホコリ属（*Pysarum* sp.）						
ムラサキホコリ（*Stemonitis fusca*）				○		
オオムラサキホコリ（*Stemonitis splendens*）		○	○			
コムラサキホコリ属（*Stemonitopsis* sp.）						

露地栽培で出現する真性粘菌の季節変動と種を表２および表３に示した。また，代表的な真性粘菌子実体と変形体を図５および図６に示した。露地栽培で発生が認められた真性粘菌として，ウツボホコリ（*Arcyria denudata*），シロウツボホコリ（*Arcyria cinerea*），ツノホコリ（*Ceratiomyxa fruticulosa*），アカカミノケホコリ（*Comatricha pulchella*），マンジュウドロホコリ（*Enteridium lycoperdon*），シロススホコリ（*Fuligo candida*），ススホコリ（*Fuligo septica*），フンホコリ（*Lindbladia tubulina*），イタモジホコリ（*Phsarum rigidum*），モジホコリ属（*Physarum* sp.），

ムラサキホコリ（*Stemonitis fusca*），オオムラサキホコリ（*Stemonitis splendens*），コムラサキホコリ属（*Stemonitopsis* sp.）の９属18種が確認された。広葉樹林床と畑地などの遊休地で発生する

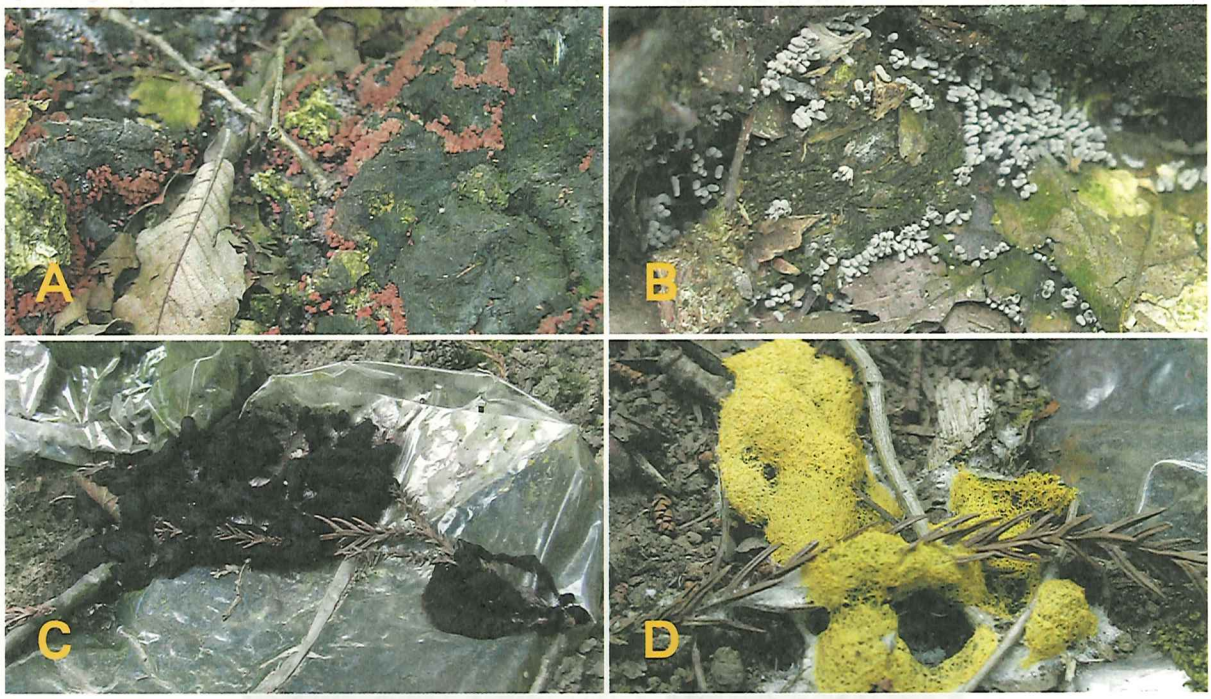


図５　露地栽培地の土壌表面で観察された真性粘菌子実体

Ａ：ウツボホコリ（*Arcyria denudata*）　Ｂ：シロウツボホコリ（*Arcyria cinerea*）
Ｃ：ムラサキホコリ（*Stemonitis fusca*）　Ｄ：ススホコリ（*Fuliog septica*）

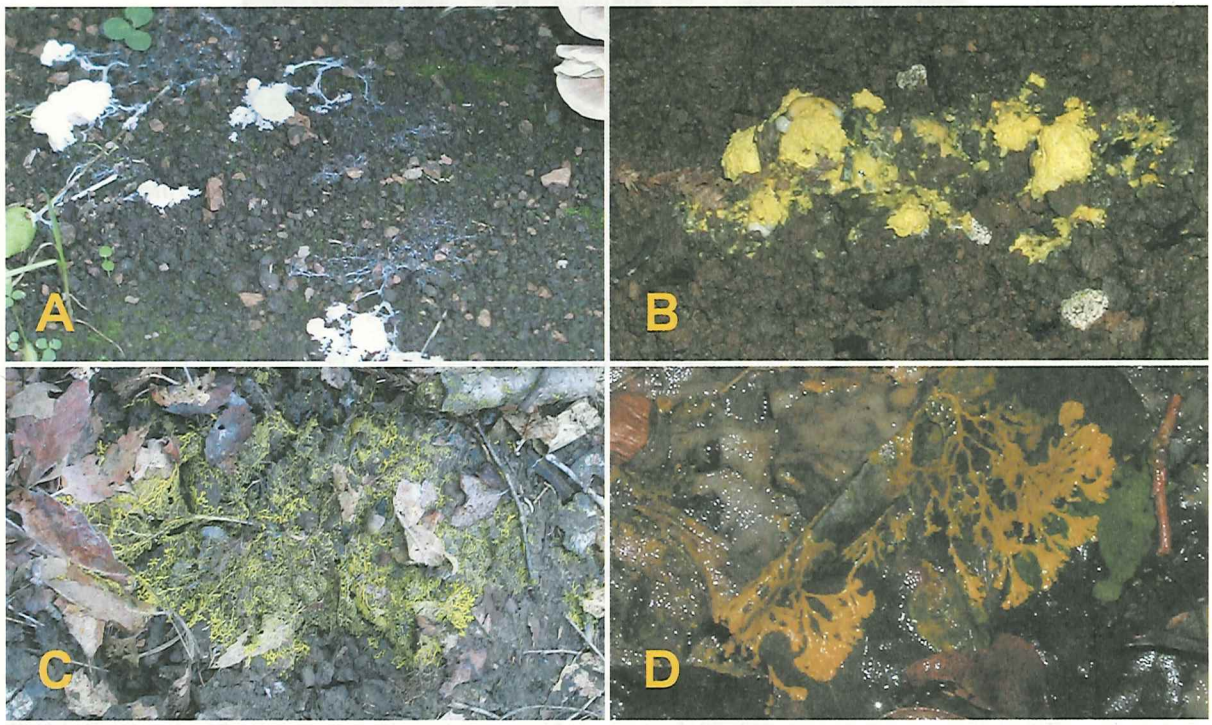


図６　露地栽培地の土壌表面で観察された真性粘菌変形体

Ａ：マンジュウドロホコリ（*Enteridium lycoperdon*）　Ｂ：ススホコリ（*Fuliog septica*）
Ｃ：未知種　Ｄ：イタモジホコリ（*Physarum rigidum*）

真性粘菌は種が異なり，同じ種でも環境が異なると発生時期に違いが認められた（表２，３）。

広葉樹林床では，マンジュウドロホコリとフンホコリ以外の真性粘菌の発生が確認された。マイタケの発生と真性粘菌の発生時期が重なる種は，ツノホコリ，ススホコリ，イタモジホコリ，モジホコリ属の数種とムラサキホコリである。この中で，マイタケに害を与える真性粘菌は，イタモジホコリ１種であった。その他の真性粘菌は，キノコには無害であった。

畑地では，広葉樹林床と異なり，発生する真性粘菌が限定されていた。ムラサキホコリ属，コムラサキホコリ属，ススホコリ属，ドロホコリ属，フンホコリ属が主に発生した。その中でも特にシロススホコリ（図７），ススホコリとマンジュウドロホコリが多発するが，トンビマイタケ子実体上に変形体が移動し，子実体を形成するのはマンジュウドロホコリだけであった。シロススホコリは，６－７月にかけて主に生きた植物の茎に子実体を形成し発生頻度も高い。そのため，この時期に発生するキノコは，その発生に留意する必要がある。

図７　雑草の茎上に子実体を形成するシロススホコリ（*Fuligo candida*），雄物川試験地

真性粘菌は植物遺体を分解する細菌や糸状菌を食べて生活している。一般に，腐りつつある倒木，落葉，枯草に発生するが，倒木に生息する真性粘菌と，落葉や枯草に生息する真性粘菌とは生息場所が異なることが知られている。今回調査した試験地においても，生息場所や発生時期に違いが認められた。キノコ栽培との関連では，浜島がシイタケホダ木上における真性粘菌の年次変動を調べている（*3*）。ホダ木上に発生する主な真性粘菌はムラサキホコリ属であるが，その他，モジホコリ属，ケホコリ属，ヌカホコリ属，ウツボホコリ属もみられた。これらの真性粘菌の発生率や種の変遷は，ホダ木の設置年数や腐朽の度合いによって異なっていた。シイタケの栽培に必要な温度，湿度，光などの環境要因が，真性粘菌の生育条件と似ているため，真性粘菌の発生に適した場所となっていると考えられる。真性粘菌とシイタケとの相互関連について触れていないが，キノコ栽培にとって真性粘菌の発生はあまり好ましい現象ではない。真性粘菌の種によって異なるが，一般にキノコより過剰の湿度を要求する。広葉樹林床あるいは畑地などで共通して発生するホダ木上の真性粘菌は，ムラサキホ

コリ属，モジホコリ属でおが粉やホダ木などの分解過程で生じる細菌類を餌として増殖するため，環境が異なっているにもかかわらず発生したものと考えられる。さらに，ホダ木の分解が進行し，材内により多くの水分を保持できるようになるため，多くの真性粘菌が発生すると考えられる。生息場所の違いは，植物遺体の種類が異なると，そこに繁殖する細菌や糸状菌の種類が異なり，真性粘菌の種類によって餌の好みが違うため生じていると考えられる。このように，異なる栽培環境においても生育条件が適していると真性粘菌は発生し，栽培キノコ類に害を与えるため，土壌中に餌となる細菌類が増殖しないなどの管理を行う必要である。変形体が頻繁に発生する箇所ではマイタケ菌床の腐敗が目立つようになる。培地の腐れは真性粘菌に由来しているとも考えられるが，細菌あるいはその他の微生物が随伴しており，それらが真因である可能性も否定できない。また，真性粘菌は細菌類を餌として，分裂・増殖しながら生長するため，変形体の発生と土壌微生物の関連性について調査した（*15, 16*）。その結果，スギ林床の土壌細菌数は，減反地や畑地および広葉樹林床と比較してやや少ない傾向を示すものの，広葉樹林床，減反地や畑地と同程度の細菌数であり，土壌細菌数と真性粘菌の出現数に相関は見られなかった。また，土壌pHは全ての試験地で5.44～5.87と目立った違いは見られなかった。

土壌細菌数と真性粘菌の発生に相関は見られなかったが，土壌に内在している細菌の種類との関連性，特に真性粘菌のアメーバは土壌細菌を餌として分裂・増殖しながら生長するため，土壌細菌の種や数について詳細に調べる必要がある。この点について，クーロナル培養による試験結果では，真性粘菌の種により，餌として利用できる細菌に違いが認められている。従って，土壌細菌数とともに，内在種の同定も必要であり，今後の重要な課題である。

図８　菌床が腐った後に発生するクサミノシカタケ（*Pluteus petasatus*）
左：畑地で発生　　右：林床で発生

また，真性粘菌が発生した後，菌床の腐植が進行し軟化すると，ウラベニガサ属のウラベニガサ（*Pluteus atricapillus*）やクサミノシカタケ（*Pluteus petasatus*）が発生する（図８）。真性粘菌は，細菌同様，糸状菌も餌とするため，ウラベニガサ属のキノコ菌糸を餌として利用していることも考えられる。ウラベニガサ属の菌糸が培地に侵入し腐植している，あるいは細菌類やその他の微生物に侵され，培地の腐植がある程度進んだ時点でウラベニガサ属の菌糸が侵入したとも考えられる。この点

を実験的に確かめるため，ウラベニガサ属の菌をマイタケ菌床に接種して再現しようと考えた。しかし，これら２種のキノコから組織分離法による菌株の純粋培養はできなかった。その後，幾度となく組織分離を試みているが，未だに成功していない。いずれにしても，栽培キノコ，真性粘菌，ウラベニガサ属のキノコおよび細菌類や糸状菌を含めた全ての微生物が平衡状態を保ちながら栽培環境を維持している。

３）キノコ類に対する接種試験（*15*，*16*）

露地栽培で変形体に侵されたマイタケ子実体は，急速に腐敗あるいは溶解するが，この点を実験的に確認するため，接種試験を行った。さらに，露地栽培に出現する変形体が，キノコに対してどのような反応を示すかを見るため，数種のキノコに対して接種試験を行った。接種した変形体はキノコ子実体表面を移動し，特に黄色変形体のイタモジホコリはすべてのキノコに対して部分的溶解作用が認められた。一方，白色変形体のマンジュウドロホコリは，ヒラタケ，ナメコで部分的溶解が認められたが，他のキノコでは溶解は起こらず変形体から子実体を形成した。未同定の変形体はキノコへの害が見られず，数日後に死滅した。このように，事前に栽培するキノコに変形体を接種することで，被害を予測することができる。表２，３より発生する真性粘菌の種類や時期がわかっている。例えば，イタモジホコリとマンジュウドロホコリの変形体発生時期や発生場所はそれぞれ限定されている。従って，秋季に発生するキノコは全ての栽培環境で，イタモジホコリ変形体に注意しなければならない。また，マンジュウドロホコリの被害には，夏季に畑地などの遊休地で発生するキノコを栽培する際，その発生に留意しなければならない。

４）培養試験（*1*，*19*）

・イタモジホコリの変形体培養

イタモジホコリやマンジュウドロホコリなどの真性粘菌防除法を確立するためには，変形体の培養方法の確立が不可欠である。変形体などのライフサイクルの一部の培養や継代が可能になれば，その培養物を用いて，薬剤耐性や微生物に対する影響を直接判断できる。この結果を用いて現地で試験を行い，実用化に向けて判断するのが最も効果的である。そこで，最初にイタモジホコリの変形体を用いて，変形体の継代培養および子実体形成について検討した。

イタモジホコリに食害されているマイタケ子実体を採取し，移動用の２％寒天培地に変形体の付着したマイタケ子実体１㎠程度を移植した。翌日，寒天上に移動した変形体を寒天ごと切り取り，新たな２％寒天培地に移植した（図９，左）。新たに寒天上に移動し，微生物に汚染されていない箇所の変形体を供試培地に移植した。変形体を供試培地で培養中，培養初期にはシャーレ内を活発に移動する（移動するとはった跡が観察できる）。しかし，徐々に飢餓状態になり，変形体の大きさも小さくなり，最終的に死滅した。そこで，簡単に培養できることが知られている真性粘菌で実験によく用いられるモジホコリ（*Physarum polycephalum*）の変形体は，オートミールを餌として培養できることから（*5*，*6*，*19*），変形体に餌としてオートミールや細菌類を与えて観察した。その結果，イタ

モジホコリの変形体は，オートミールや細菌類も餌として利用せず死滅した。

次に，モジホコリの変形体を濾紙上に移動させ，低温（15℃以下）の暗いところで徐々に乾かすと，菌核を形成して休眠する。菌核を充分に乾かした後，ビニール袋に入れ，冷蔵保存すると１～２年は休眠している。この菌核に水分を与えると，再び変形体に戻ることが知られている（*5*，*6*，*19*）。そこで，変形体を２％寒天培地上で濾紙に移動させ，５～15℃で数日間観察したが，変形体から菌核を形成することはなく，飢餓状態となり変形体は死滅した。イタモジホコリもモジホコリと同属に分類され，近縁な関係にあるが，今回の変形体培養試験では，再現性のある結果は得られなかった。さらに，人工培地上での子実体形成を試みた。その結果，供試した５種の培地のうち，PDA 培地に移植した変形体のみ子実体を形成した（図９，右）。形成された子実体から同定を行った結果，イタモジホコリであることが確認できた。同様な試験を10回繰り返し行ったが，供試培地上で子実体を形成したものはなく，再現性は得られなかった。

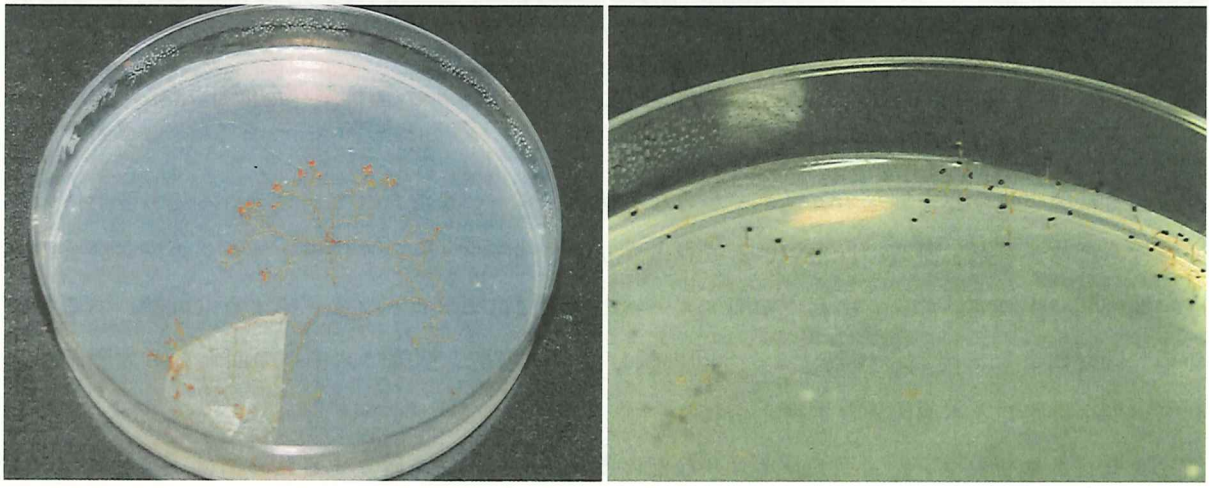


図９　イタモジホコリ（*Physarum rigidum*）の培養試験
左：移動中の変形体　右：McArdle 培地での子実体形成

・クローナル培養

次に，変形体の培養ができなかったため，胞子から粘菌アメーバの形成および粘菌アメーバから変形体形成に関する試験を行った。胞子懸濁液を塗布した後の培養４日目には，粘菌アメーバのコロニーが観察された（図10，左）。粘菌アメーバのコロニーと細菌類を共存培養した結果，細菌類の中で大腸菌を共存させた場合，擬足を出して，それを取り込んだ（図10，右）。これを観察すると，さまざまな消化段階にある大腸菌を食胞の中に見ることができた。粘菌アメーバのコロニーは集団化し，１つの大きなコロニーに成長した。

・変形体の形成

クローナル培養で大きく成長した粘菌アメーバを用いて，ヘテロタリックな交配による変形体の形成を試みた。クローナル培養の結果，大腸菌を餌として異なるコロニーによる交配実験を行った。交配実験の結果，粘菌アメーバの増殖は見られたものの，変形体の形成はみられなかった。単一の胞子から増殖した粘菌アメーバからだけでは，変形体を生じない種があり，特にモジホコリ（*Physarum*

polycephalum）とゴマシオカタホコリ（*Didymium iridis*）で研究が進められ，いくつかの胞子から得られた粘菌アメーバを混ぜて培養すると変形体がつくられる。また，胞子には２種類の交配型しか現れず，おのおのの型は等しく１：１に分離することが知られている（*19*）。しかし，単一コロニー

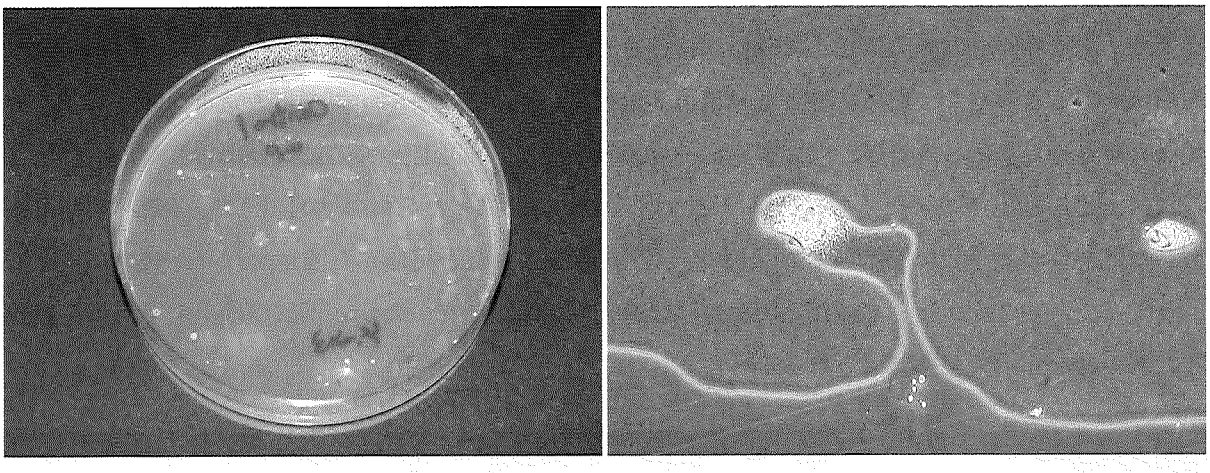


図10　粘菌アメーバの分離培養
左：透明な粘菌アメーバのコロニー，右：粘菌アメーバの細菌類の取り込み

からなる粘菌アメーバと異なるコロニーからなる粘菌アメーバを混合して培養を行っても変形体の形成はみられなかった。研究の進んでいるモジホコリでも粘菌アメーバを培養するための増殖のよい合成培地は開発されていない。また，粘菌アメーバの増殖にはエアロバクターのような細菌，あるいはその死菌が餌として用いられている。今回供試したSM培地と粘菌アメーバの餌となる大腸菌が適していなかったことも原因として考えられる。

イタモジホコリやマンジュウドロホコリなどの真性粘菌防除法を確立するためには，変形体の培養方法の確立が不可欠である。今回は一般的に用いられている実験方法でクローナル培養を行ったが，今後は真性粘菌培養のための培地や餌の検索を行い，防除の基礎となる培養方法の確立に向けた研究を行う必要がある。さらに，真性粘菌は，新規生理活性物質の検索や神経系を持たない本菌が迷路を最短ルートで解く能力があることから情報処理機能を物質レベルから解明する糸口を与え，新しい機能性材料の設計原理につながることが期待されている（*18*）。以上の点からも真性粘菌の培養方法の確立は急務であり重要視されている。

５）マイタケ変形菌病の防除試験

・変形体誘因試験

土壌表面に発生した変形体は，マイタケに向かって一直線に移動する。そこで，マイタケに含まれる香り，あるいは成分に反応してマイタケを食害するのではないかと考え，高分子吸収体を用いて誘因試験を行った。高分子吸収体の中は，［塩：$Na^{+}COO^{-}$］の濃度が高く，マイタケをホモジナイズした溶液中の水分は，［塩：$Na^{+}COO^{-}$］を薄めようとして，高分子吸収体の中へ吸収される。変形体が高分子吸収体に移動し捕獲できれば，高分子吸収体ごと処分することで防除作業も比較的容易と

なる。上田によると真性粘菌（*Physarum polycephalum*）は，餌が置いてある迷路を最短コースで解く能力があることを示した（*18*）。変形体を迷路に入れると，迷路内を隈無く這い回り全体に広がる。餌に出会うと，最短コースを計算し，移動するようになる。また，変形体は甘い物質に向かい，苦い物質を避けるといった走化性を示す。真性粘菌が好きな刺激と嫌いな刺激を同時に受けたとき，どう反応するのかを調査している。忌避物質（塩酸など）に対する走化性応答は，共存する誘因物質（グルコースやアミノ酸）の濃度の上昇とともに高濃度側へずれ込む。誘因物質が100倍高いと，忌避応答を引き起こすためには忌避物質も100倍の高濃度が必要である。露地栽培では，マイタケが一面に発生している。マイタケが誘因物質を含有していると仮定すると，この量に匹敵する忌避物質を処理することは不可能に近い。そこで，マイタケなど数種のキノコを用いた誘因効果について検討した。その結果，供試した全てのキノコで誘因効果は認められなかった。真性粘菌は，一般的に嗅覚もあり，臭いに対する反応はヒトの反応に高い相関があると言われている。少なくとも今回の試験では，イタモジホコリの変形体は，キノコの香りや成分に反応して移動しているのではない。その証拠に，高分子吸収体の代わりにキノコの子実体を置いても，変形体は反応しなかった。変形体が土壌から発生しているマイタケに移動し食害するのに対し，採取したマイタケを餌として置いた場合，応答しなかった。採取したマイタケに反応しなかった理由として，水分が徐々に蒸発し乾燥気味になったことも一因として考えられる。図７のシロススホコリの子実体を見てもわかるとおり，変形体が移動途中に植物などにたどり着くと，そこで子実体を形成する。試験地では，マイタケの発生とともに変形体も一斉に発生する。周りにはマイタケが30㎝前後の間隔で一面に生じており，変形体の移動とともに必ずマイタケにぶつかることになる。変形体がキノコに取り付くのは，餌を求めて移動しながら子実体形成に最適な場所としてマイタケを選んだ結果である。マイタケ子実体は90％程度の水分を保持しており，太く短い柄で，何枚もの小さな傘の集団からなる構造上，変形体にとって好適な環境となっていると考えられる。

・粉炭，炭酸カルシウム，木酢液，酢酸による土壌改良試験

粉炭と炭酸カルシウム散布により，土壌pHをアルカリ側に移行させることで，イタモジホコリ変形体出現数の変化について調査した。その結果，両資剤ともに施用効果は認められなかった（図11）。２年目も施用区と対照区の間で違いは見られなかった。土壌pHの変化は，木炭，炭酸カルシウム施用区の２週間後の土壌pHは，5.90と5.95とやや高く，その後徐々に低くなり，２ケ月後には5.50と対照区と同程度のpHとなり安定した。今回，供試した濃度は，１㎡当たり500ｇとやや少なめに散布したため，抑制効果が見られなかったことも考えられる。一般的に，炭酸カルシウムの土壌散布は，潜在的土壌微生物数の減少，特にトリコデルマなどの不完全菌類の生育を阻害することが知られている。また，作物の連作障害予防効果も知られていることから，今後は，量的な面からと散布回数および時期について再検討する必要がある。

炭酸カルシウムと木炭の施用効果が認められなかったことから，次に，木酢液および酢酸の効果について調査した。表４より，木酢液や酢酸などの酸性溶液を散布した場合，変形体の出現数は対照区と比較して増加した。２年目もこの傾向は続いた。土壌pHの変化は，木酢液，酢酸共に散布２週間

後5.20前後と最も低く，その後徐々に高くなり，２ケ月後には5.56と対照区と同程度のpHとなり安定した。６月には対照区変わらないpHになっているにもかかわらず，イタモジホコリの変形体出現数は，木酢液，酢酸共に濃度が高くなるに従い増加した。特に，木酢液1,000倍区では，１㎡当たり1.872個体の変形体が発生し，対照区と比較して有意に増加した。同様に木酢液500倍区，酢酸1,000倍区及び酢酸500倍区でも変形体発生個体数が増加した。供試した試薬は酸性であるが，その効果は長期間維持されず，２ケ月程度で土壌の緩衝作用により打ち消された。しかし，酸性試薬の散布により，５ケ月後には変形体の出現数の増加を引き起こす結果となった。このことは，酸性試薬により，土壌中に内在している細菌や糸状菌の増殖を引き起こし，粘菌アメーバの成長を助長した結果と考えられる。従って，酸性薬剤の散布は，それらが引き金となって変形体出現数の増加を促進するため，防除用薬剤としては適さない。

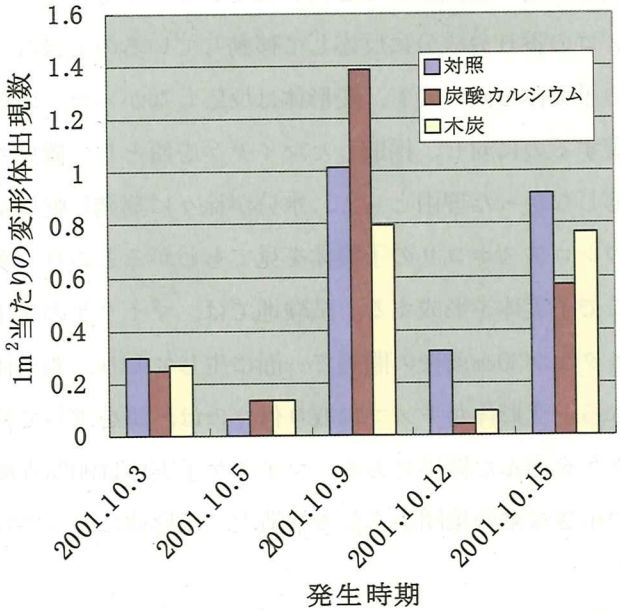


図11　炭酸カルシウムと木炭施用による変形体出現数の変化

表４　散布初年度初の１㎡当たりの変形体出現数の変化（2002）

試験区＼調査時期	2002. 9. 20	2002. 9. 24	2002. 9. 26	2002年総出現数
木酢1,000	0.181±0.026***	0.604±0.132*	1.087±0.181**	1.872±0.339*a
木酢　500	0.015±0.015	0.513±0.121*	0.634±0.214	1.162±0.350b
酢酸1,000	0.045±0.026	0.393±0.237	0.936±0.166*	1.374±0.429b
酢酸　500	0	0.513±0.069*	0.634±0.054	0.830±0.124b
対象区	0.015±0.015	0.075±0.075	0.287±0.054	0.377±0.145c

*：５％レベルで有意，**：１％レベルで有意，***：0.1％レベルで有意
a，b，c：New multiple range test，　同じグループに含まれることを示す

・微生物散布による土壌改良試験

土壌微生物フローラを撹乱することで粘菌アメーバの増殖を抑制することを目的に，微生物散布試験を行った。供試微生物は，ノーラ株式会社のダルマ菌（市販名）から５種の細菌を分離し，単独あるいは混合した細菌群を土壌散布した。散布による土壌pHの変化は見られず，対照区と同様に5.6前

後の数値を示した。撹乱の結果，散布していない対照区と比較して，分離菌３，４，５及び水のみの散布区で変形体発生数を有意に減少した。しかし，水を対照とした場合，分離菌３，４，５に散布効果は認められなかった。一方，５種混合あるいは分離菌１，２は，変形体発生数を有意に増加させた（図12）。このことは，分離菌１及び２は，粘菌アメーバの餌となっているか，あるいは増殖因子を生産していることが示唆された。そこで，翌年も引き続き同一箇所で調査を行うと同時に，分離菌３，４，５を新たな試験地に散布し，変形体出現数を調査した。その結果，今回供試した微生物による撹乱は，変形体の発生を抑止するに至らなかった。今回は，土壌改良用として販売されている微生物を供試したが，この中には有用性が言われている光合成細菌などが含まれていないため，今後はこれらの多様な菌類を用いて試験を行う必要がある。

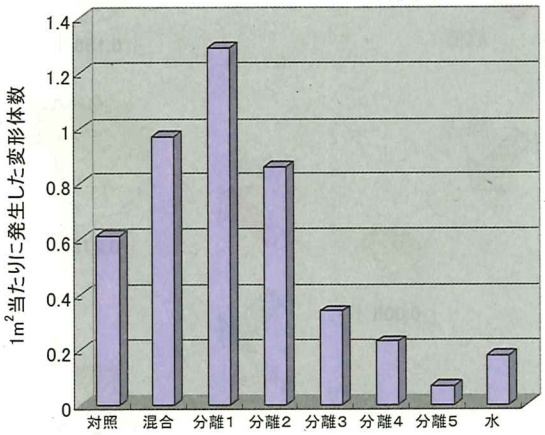


図12　微生物散布による変形体出現数の変化

・変形体除去による被害の軽減効果

変形体を取り除くことで次の生育ステージである子実体が形成されない。その結果，胞子の飛散量が減少する。胞子飛散量の減少により，土壌中の粘菌アメーバ潜在的絶対数が減少し，変形体数の出現も少なくなるものと考えられる。そこで，次年度以降の変形体出現数の影響について，変形体除去による被害の軽減効果を調査し，その結果を図13に示した。

試験区として設定した箇所の2003年の変形体数は１㎡当たり0.317個体であり，試験区内に発生した変形体を全て取り除くことで，2004年には0.005個体と変形体がほとんど見られなくなるまで激減した。さらに，変形体を除去することで2005年には全く発生しない状態にまで回復した。さらに，2003年の放置区も2004年には0.377個体と増加したが，除去することで2005年には0.138個体と減少した。一方，放置し続けることで，変形体出現数は増加し，2004年に0.377個体，2005には2.672個体と増加の一途をたどることが判明した。また，2004年に0.005個体と出現数が減少した試験区でも，放置すると翌年には0.272個体と増加した。以上の結果から，変形体が見られたら確実に捕獲し取り除くことで，マイタケ変形菌病の被害を軽減化できることが示唆された。変形体の捕獲には大きなビニール袋を用い，生育基質とともに採取し袋内に取り込む。採取し終わったビニール袋は，袋を閉じ，直射日光の当たる箇所に一昼夜放置する。袋内の温度が上昇し，40℃前後に２～３時間置くことで変形

体は死滅する。このように，比較的単純作業で防除可能となることが判明した。

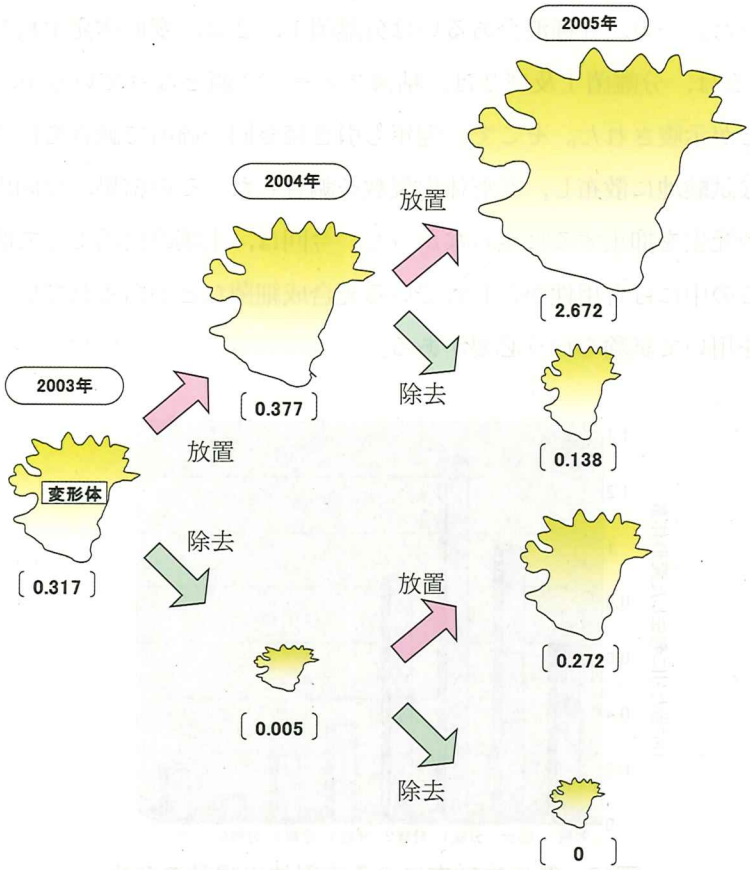


図13　変形体除去による変形体出現数の変化
〔　〕内の数値は，１㎡当たりの発生個体数

栽培植物と栽培キノコに病徴を示す真性粘菌を表５に示した。栽培植物では変形菌病として９種の真性粘菌が知られている（*8*，*9*，*13*，*14*）。また，栽培キノコでは，ブドウフウセンホコリが知られていたが，今回新たにマンジュウドロホコリとイタモジホコリによる変形菌病を発見した。栽培植物では，カタホコリ属のシロエノカタホコリとモジホコリ属のハイイロフクロホコリ，クダマキフクロホコリが多くの作物に被害を与えている。変わったところでは，タイマ圃場でこれらの真性粘菌の被害が確認されている（*2*）。最近，マイタケ露地栽培同様ヒラタケ原木栽培でも，イタモジホコリによる変形菌病が報告されている（*10*）。このように，今後，キノコ露地栽培の普及とともに，真性粘菌による新たな病気が発生することが考えられる。今回の調査結果より，真性粘菌の種類によって，発生する場所や時期が異なることが判明した（表２，３）。従って，キノコの栽培地と発生時期を確認した上で，キノコと同時期に発生する真性粘菌の病原性を確認し，栽培を行う必要がある。真性粘菌が発生すると，年々その個体数が増加し，被害が拡大する。実際，広葉樹林床を利用したマイタケ露地栽培では，発生したマイタケの30％以上がイタモジホコリの変形体により処分されている。変形体を採取し処分することが最も効果的であるが，現場において被害の終息は見られていない。ある種のキノコにとって真性粘菌は大敵である。逆に，真性粘菌にとっても大敵がいる。アミホコリの仲間

やムラサキホコリ類などの子実体は，しばしば甲虫の一種マルヒメキノコムシの幼虫や成虫に食べられている。また，湿気の多い場所で発生したヘビヌカホコリやキンチャケホコリなどの子実体は，真性粘菌を好む糸状菌に侵されている（7）。このような生物間の相互作用によって，真性粘菌の被害を減少できれば理想的な栽培地として維持できることとなるが，現状では困難である。

表5　栽培植物と栽培キノコに病徴を示す真性粘菌

種　　名	病徴を示す栽培植物と栽培キノコ
ヒメカタホコリ（*Didymium nigripes*）	タバコ
シロエノカタホコリ（*Didymium squamulosum*）	タバコ　ナス　トマト　スイカ
シロススホコリ（*Fuligo candida*）	タバコ
ススホコリ（*Fuligo septica*）	タバコ
マメホコリ（*Lycogala epidendrum*）	タバコ
ハイイロフクロホコリ（*Physarum cinereum*）	タバコ　ナス　トマト　キュウリ　ミツバ　サトウダイコン
クダマキフクロホコリ（*Physarum gyrosum*）	タバコ　メロン　ハクサイ　サツマイモ　サトウダイコン
サビムラサキホコリ（*Stemonitis axifera*）	タバコ
クサムラサキホコリ（*Stemonitis herbatica*）	ホウレンソウ
ブドウフウセンホコリ（*Badhamia utricularis*）	ナメコ（*Pholiota nameko*）
マンジュウドロホコリ（*Enteridium lycoperdon*）	トンビマイタケ（*Meripilus giganteus*）
イタモジホコリ（*Physarum rigidum*）	マイタケ（*Grifola frondosa*）、ヒラタケ（*Pleurotus ostreatus*）

また，キノコ露地栽培は自然を生かした栽培方法であり，基本的には農薬を使わず栽培を行う必要がある。特に，キノコは健康に良いとされ，自然食品あるいは健康食品として消費者に認知されている。キノコ栽培地に発生する真性粘菌は，被害が拡大する前に肉眼で確認できる変形体を採取し処分することが，最も効果的な防除法であり，かつ安全・安心なキノコの生産が可能となる。但し，人手による処分方法は，多くの労働力を必要とし，大量に栽培している生産地でそれを実践するには不可能に近い。従って，今後は今回得られた基礎的知見を基に，キノコに対する真性粘菌類の病原性を把握し，防除方法を確立する必要がある。

最後に，イタモジホコリやマンジュウドロホコリは，多湿を好み，通常は腐った木などに生息する。今回の被害の拡大は，不十分な栽培管理と多湿になりやすい栽培環境に加え，本菌の生育に適した条件が長期間保たれた結果と考えられる。粘菌アメーバや変形体として生息できる環境とマイタケやトンビマイタケが発生するまで常に餌となる細菌類や糸状菌が存在していたことが，本種の増殖を招いたと考えられる。従って，餌となる菌類の増殖を防ぐこと，また，真性粘菌の発生しやすい環境をつくらないなどの環境改善も必要である。さらに，発生した変形体は，見つけ次第採取し処分することで，被害の拡大をくい止めることが可能となる。

おわりに

本研究遂行上種々ご配慮いただいた故・藤原政修氏（マイタケ栽培者），故・近藤光昭氏（マイタケ，トンビマイタケ栽培者）および調査に協力されたキノコ栽培者に厚くお礼申し上げます。また，変形菌同定についてご教授下さった萩原博光氏（国立科学博物館）および山本幸憲氏に深謝します。

引用文献

（1）Bruce Ing：The Myxomycetes of Britain and Ireland. The Richmond Publishing Co. Ltd.

(1999)

（２）郷間秀夫・寺中理明・奥田誠一・夏秋知英・田中瑞夫：タイマの茎上に発生した変形菌とその培養．日菌報31 317-322（1990）

（３）浜島繁隆：シイタケほだ木上の変形菌．日菌報６（２）55-57（1965）

（４）原田幸雄：おがくず栽培ナメコに発生した１変形菌 *Badhamia utricularis* の生物学的諸性質．弘大農報28 32-42（1977）

（５）萩原博光：粘菌類の採集と観察．日本菌学会関東支部主催第８回菌学ワークショップ（1994）

（６）萩原博光・山本幸憲・伊沢正名：日本変形菌類図鑑．株式会社平凡社（1995）

（７）萩原博光：変形菌の世界．国立科学博物館（1997）

（８）児玉不二雄・富永時任：メロンの変形菌病について．日植病報43（１）105（1977）

（９）香月繁孝・米谷平和：夏蔬菜に発生する変形菌．植物防疫９（３）107-108（1955）

（10）倉持眞寿美・小倉健夫：きのこ栽培における珍しい病害虫の発生事例．茨城県病害虫研究会会報44 1-5（2006）

（11）Kazuo Miyairi, Kazushige Konno, Yukio Harada and Toshikatsu Okuno：Fungus fruit body lytic enzyme from a myxomycete, *Badhamia uticularis*. Mycoscience 35 169-174 (1994)

（12）Mrtin, G. W. and C. J. Alexopoulos：The Myxomycetes. University of Iowa Press, Iowa (1969)

（13）贄田裕行・萩原廣・萩原博光：ホウレンソウの変形菌病（新称）について．日植病報52（３）533（1986）

（14）中川九一：農作物に被害を与える変形菌の見分け方．植物防疫 35（７）319-324（1981）

（15）菅原冬樹・阿部実・富樫満：菌床栽培マイタケに発生した１変形菌 *Physarum rigidum* について（Ⅰ）．日林東北支誌47 139-141（1995）

（16）菅原冬樹・阿部実・富樫均：菌床栽培用きのこの育種と栽培技術の改良．秋田県林業技術センター研究報告７号 33-130（2000）

（17）菅原冬樹他：キノコ栽培全科．農文協（2001）

（18）上田哲男：粘菌のインテリジェンス．化学と生物43 №7（2005）

（19）山田卓三：粘菌の生物学．朝倉書店（1980）

（20）山本幸憲：図説 日本の変形菌．東洋書林（1998）

秋田県森技研報　第16号　2006年６月

秋田県岩川地方スギ天然更新木の成長とクローン分布

澤田　智志・蒔田　明史（秋田県立大学）
三嶋賢太郎（秋田県立大学・木高研）
高田　克彦（秋田県立大学・木高研）

Growth analysis and clone distribution in the natural regenerated forests of *Cryptomeria japonica* in Iwakawa area in Akita Prefecture, Japan

Satoshi SAWATA・Akifumi MAKITA・Kentaro MISHIMA・Katsuhiko TAKATA

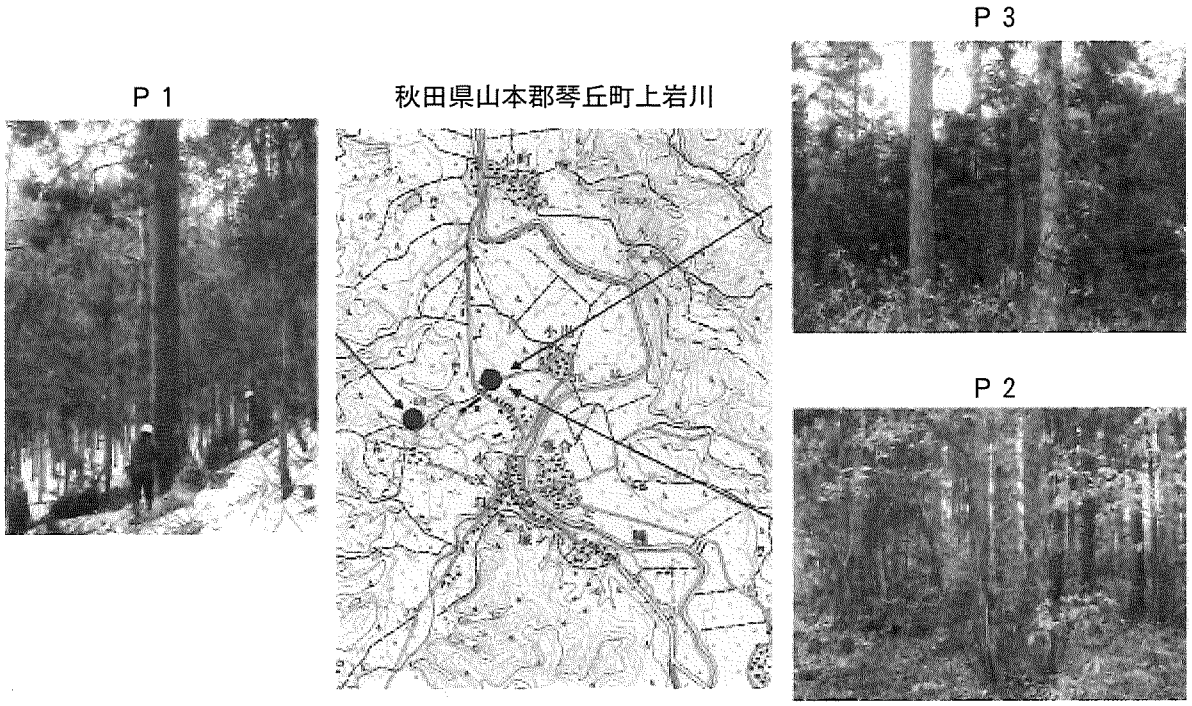
要　旨

秋田県岩川地方のスギ天然更新林分を構成する個体についてDNAマーカーによるクローン同定を行うとともに，樹幹解析による成長解析を行い，天然更新林分の更新メカニズムと成長特性の解析を行った。本地域の択伐施業は300年以上もの歴史があるとされるにもかかわらず，本調査地におけるスギの伏条更新と判断されたクローンの分布は平均で50cm以下と狭い範囲に限られ，離れた距離にある個体同士は異なるクローンと判断された。林内の個体の一部を伐採し，同一クローンの樹齢差を調べたところ，樹高1.3m以上の個体間で70年以上の差があるクローンが存在した。調査地内には樹高1.3m未満の幼樹も多く存在しており，若齢期のみ更新が可能であると考えられている本地域の天然更新でも，70年生以上の高齢級になっても伏条更新が可能であると考えられた。本地域の択伐施業別に個体の成長を解析すると，択伐施業を行った林分では，択伐後に樹高成長が良くなり，現在の上層木となったものと判断された。一方，上層木の伐採を積極的に行わなかった林分では，ある時期から樹高成長が一斉に良くなることはなく，成長が加速したり減退したりする時期が個体によって異なっていた。

Ⅰ．はじめに

我が国の森林の育成は，目的樹種の種を，採取し苗畑で一定期間育てた後，苗木を山に植えるという人工造林を主体に行われてきた。このような人工林造成は，目的樹種の森林造成という点では確かに効率的であるが，近年の木材価格の低迷により，伐採後の再造林が放棄されるという問題も起きている。スギのように人工林造成が最も適していると考えられる樹種でも，過去において国内の限られた地域では伏条や実生による天然更新を利用した施業が行われてきた。スギの天然更新は実生更新と伏条更新に大きく分けられ，伏条更新は一般的に根元または樹幹下部から発生した萌芽枝が地面に接地して，そこから発根し独立した個体である（写真－１）。また，実生が匍匐しながら年月をかけて伏条状態になり，このような伏条個体が立ち上がり成長するような更新形態を実生・伏条更新と呼んでいる。秋田など東日本のスギ天然林では実生，実生・伏条，伏条更新が一般的に認められる更新形

態である（平，2004）。本研究の調査地である，秋田県山本郡内の岩川地方もその１つであり，スギの伏条や実生による天然更新を利用する方法で択伐林施業を行ってきた。こうした林分の履歴や更新特性については，昭和初期にスギの更新状態に関する調査が行われ（岩崎，1939），昭和50年代半ばに林分構造や施業方法に関する調査が行われた（武田・畠山，1981）ものの，天然更新林分成立のメカニズムや天然更新木の成長特性については明らかにされてこなかった。そこで本研究では，武田・畠山（1981）が区分した，当地域を代表する３つのタイプの択伐施業（広葉樹を活用した粗放林業，中径材生産，大径材生産）を行ってきた森林所有者の林分を調査地として設定し，天然更新木の成長とクローンの分布特性を解析した。本研究を進めるにあたり，スギ天然更新林分を構成する個体のDNA マーカーによるクローン同定は秋田県立大学および同木材高度加工研究所が解析を行った。森林技術センターは，DNA 解析の結果を踏まえて，同一クローンおよびサイズ別に天然更新木の樹幹解析による成長解析を行った。



図－１　調査地の位置と林分の状況

Ⅱ．試験方法

（１）試験地の概要

図－１に示したように，調査地は秋田県山本郡琴丘町上岩川の標高約50ｍに位置する民有林で，Ｐ１はスギとアカマツの混交林で，傾斜20度前後の斜面に位置し，Ｐ２およびＰ３はスギの優占度が高く，ほとんど平坦な場所に位置している。今回調査した林分のうち，Ｐ１は武田・畠山（1981）が調査した調査地を再現し追跡調査したものであり，当時の樹幹投影図から位置を推定し，それよりも大きい区画で調査地を再設定した。またＰ２については武田・畠山の調査した場所と林分が一致すると

思われるものの，当時の杭などが発見できなかったため，武田・畠山との詳細な比較は出来なかった。Ｐ３はＰ２に近接し，平成３年の台風19号で上木が被害を受けて伐採され、樹冠が大きく開いた林分である。このＰ１とＰ２およびＰ３は500mほど離れている。土地分類調査によれば，いずれも本調査地の母材は礫・砂・泥がち堆積物で，土壌は褐色森林土房住山２統に分類される（秋田県，1984)。

（２）調査方法

2003年春から夏にかけて，各調査地に一辺を20～40mとする方形区を設置し，樹高1.3m以上の樹木を対象に樹高，胸高直径，枝下高について毎木調査を行った。毎木調査と同時に調査地内の個体分布を把握するため，ノンプリズムレーザー距離計（レーザーテクノロジー社製インパルス LT2000）と方位角センサー（同社製マップスター）を用いて樹木位置を測定した。Ｐ１では樹木の枝張りを四方向測定し，その樹高と樹冠幅の関係をもとにＰ２とＰ３の樹冠幅を計算し，それぞれの樹木位置図と樹冠投影図を作成した。調査地内の樹高1.3m以上のスギ全木から針葉を採取し，クローン同定を行うための DNA 解析に供した。調査地内の個体の成育初期からの成長特性を把握するために，Ｐ１からはクローン別にサイズが異なる９本，Ｐ２からはサイズのみが異なる９本を解析木として選定した。2005年３月に解析木を伐採し，幹の地際から先端まで一定の間隔で樹幹解析用円板を採取した。

（３）解析方法

調査地内の各個体のスギ成葉を用いて SSR（Simple Sequence Repeat）分析による DNA 解析を行い，クローン個体の同定を行った。この方法は，遺伝子内における特定の塩基配列（２～６塩基）が繰り返されている部分（マイクロサテライト）の繰り返し数の違いによって個体を識別し，異なった繰り返しを持つものを異なった対立遺伝子として検出する方法であり，この塩基配列の繰り返しは個体レベルで変異に富んでいるため，SSR 分析は多型を検出できる能力に優れている。

採取した樹幹解析木の円板はマクロレンズ（AF MICRO NIKKOR 60㎜）を付けたデジタルカメラ（NIKON D70）で撮影し，年輪データを読み取り，樹幹解析ソフト SDA（Nobori et.al,2004）により解析を行った。なお，本調査地の解析木は天然更新による個体のため，樹齢は0.2m高における樹齢を0年として計算を行った。

Ⅲ．結果と考察

（１）調査林分の概要

表－１には調査地の概要を示し，図－２には森林空間解析ソフト Forest Window で表示した各調査地の林分の状態を示した。図－３には各調査地内のスギの樹高階分布を示した。いずれの調査地においても樹木は上層から下層まで連続して生育しており，樹高階分布を参考にして各林分で上層木，亜高木，低木の３層に区分すると，スギ上層木の平均樹高はＰ１が25.3m，Ｐ２が21.5m，Ｐ３が20.8mであり，平均胸高直径はＰ１が39.8㎝，Ｐ２が30.0㎝，Ｐ３が38.1㎝である。ha当りの本数密度はＰ１で上層木400本，亜高木411本，低木1,044本と低木が多く，樹高階分布は上層木の正規分布と低木のＬ字型が組み合わされた型を示した。また，Ｐ１調査地は亜高木層以上でアカマツや落葉広葉樹と混交しており，アカマツの平均樹高は19.6m，本数密度は167本，広葉樹の平均樹高は10.7m，本数

密度は33本となっており，上層でスギとアカマツが混交している林分である。Ｐ１の23年前の林分構造に関しては武田・畠山（1981）の樹冠投影図から判断するかぎり，現在よりはアカマツの優先度が高い林分だったものと考えられる。その後，Ｐ１では所有者がアカマツの除去を目的に，幹の皮を剥ぐ巻き枯らしという作業を行っており，近隣のマツ食い虫被害の侵攻とあいまって上木のアカマツは減少している。Ｐ２では上層木442本，亜高木872本，低木670本と亜高木が多く，樹高階分布については，上層木は正規分布し，それに加えて亜高木から低木にかけて広く分布する型を示した。畠山（1984）は，Ｐ２の林分を所有する河村氏はスギ・広葉樹の混交林をスギの択伐林に誘導する施業を行っており，胸高直径24～30cmの中径材生産を行っていると述べている。そのため，Ｐ２の上層木の平均樹高は21.5mとやや低かった。Ｐ３は上層木が平成３年の19号台風による被害を受けたため，本数密度は76本と少なく，亜高木が1,136本，低木が5,303本と下層木の多いＬ字型の樹高分布となっている。平成３年の19号台風の時は県内においても複層林施業を導入し，二段林に造成した林分に被害が大きかった（秋田県林務部，1994）。本調査地も畠山（1984）によれば大径木生産を目的とした二段林的林相の林分が造成されていたと考えられ，このような林分構造により，隣接する河村氏の林分よりも大きな被害を受けてしまったものと判断される。10年以上前の台風被害によって上木が被害にあったのが原因とはいえ，Ｐ３のように最も上層木の本数密度が低い調査地では亜高木と低木の密度が高くなっており，本調査地においては上木の密度の低下とともに，天然更新木の成長が促進されたものと推定される。

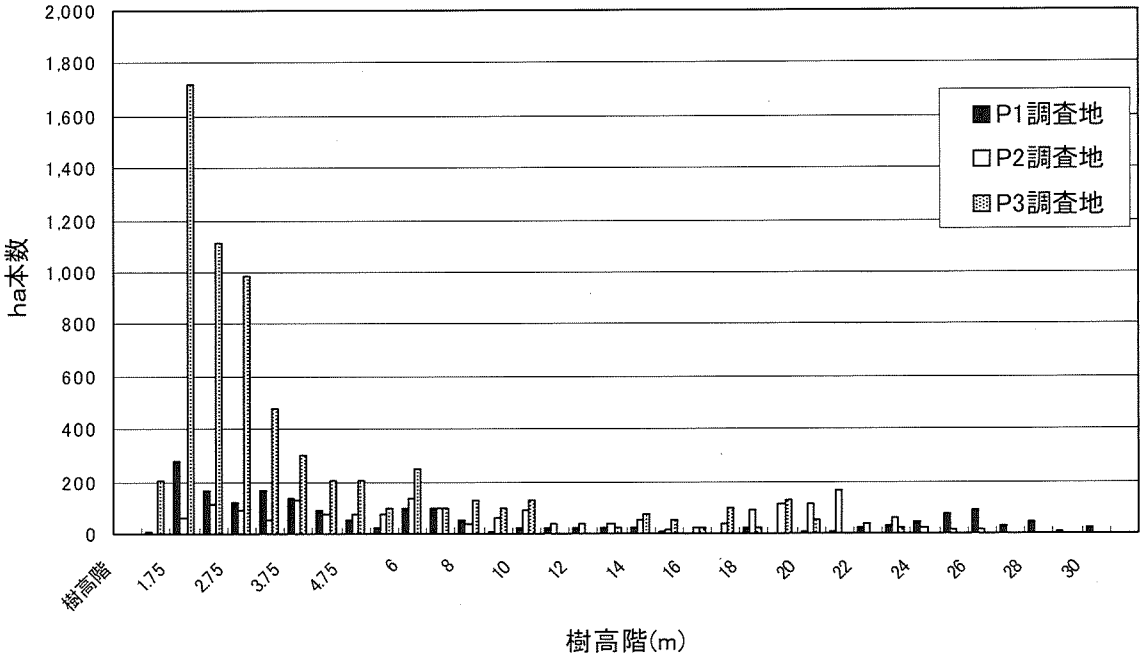
表－１　調査地の概要

調査地		Ｐ１	Ｐ２	Ｐ３
所有者		加藤鉄雄	河村誠一	川上睦子
施業区分		粗放施業	中径材生産	大径材生産
上層木	平均樹高	25.3	21.5	20.8
	平均胸高直径	39.8	30.0	38.1
	ha 本 数	400	442	76
	ha 材 積	606.9	340.9	80.5
亜高木	平均樹高	9.0	11.8	10.9
	平均胸高直径	11.5	15.4	16.0
	ha 本 数	411	872	1,136
	ha 材 積	27.8	144.9	213.4
低　木	平均樹高	2.9	3.4	2.5
	平均胸高直径	3.2	4.1	2.2
	ha 本 数	1,044	670	5,303
	ha 材 積	2.7	2.8	7.7
マ　ツ（亜高木以上）	平均樹高	19.6		
	平均胸高直径	29.1		
	ha 本 数	167		
	ha 材 積			
広葉樹（亜高木以上）	平均樹高	10.7		
	平均胸高直径	17.4		
	ha 本 数	33		
	ha 材 積			

（注）P1 の樹冠幅は実測値、P2,P3 の樹冠幅は P1 のデータから樹高の 20%として推定、P1 プロットについては、緑がスギ、赤がアカマツ、丸はミズナラ等の広葉樹

図-2　各調査地の森林構造３次元分布

図－２　各調査地の森林構造３次元分布



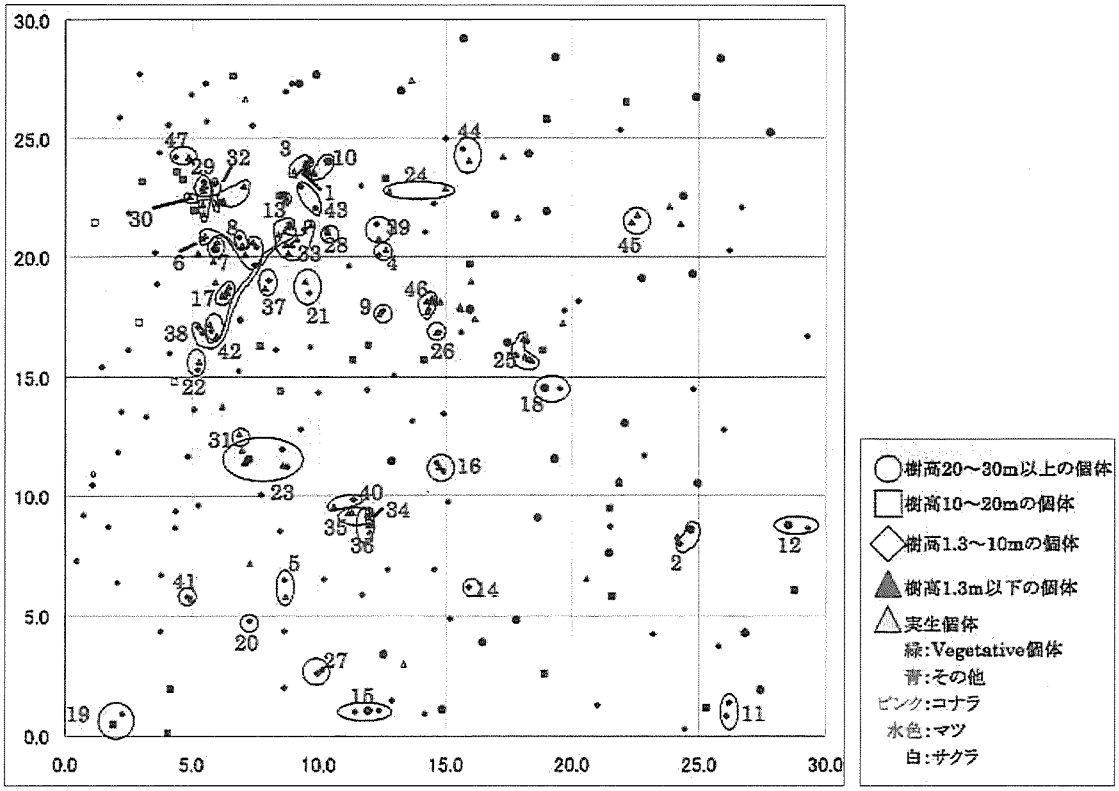
図－３　調査地の樹高階別分布

（２）樹木分布とDNA解析結果

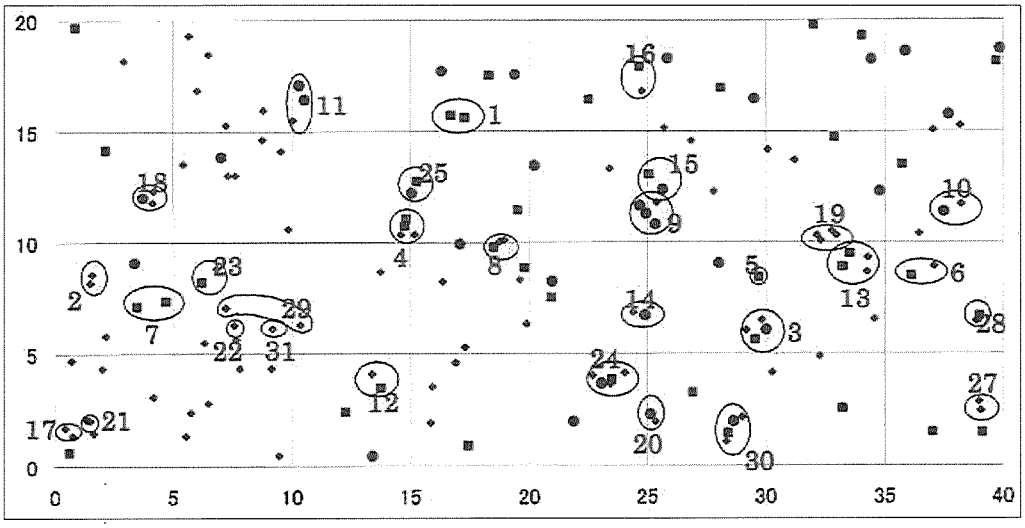
岩川地方のスギ天然更新林分の成立過程を把握するためには，植物集団の遺伝的な構造を解析する手法の開発が待たれていた。近年，遺伝子情報をDNAマーカーによって解析する方法が開発され，同じ遺伝子型を持つ個体の特定が可能となった。野外調査による立木位置図にDNA解析の結果を重ね合わせ，スギの位置図とDNA解析によるクローン判定を行った結果（三嶋，未発表）についてＰ１を図－４に，Ｐ２を図－５に示した。

DNA解析の結果同一クローンであると判断された個体の多くは，ある親木を中心に伏条枝が伸びたものであり，親木からの距離はＰ３で最大2.46m，平均0.41mとなっていた。Ｐ１では５mを超える個体もあったものの，ほとんどが１m以内の狭い分布範囲となっていた。また，岩崎（1939）によれば，薪材を伐採するために広葉樹を伐採し，スギを保護した記録は古いものでは1712年，約300年前まで遡るにもかかわらず，離れたスギの親木の間には同一クローンと確認できる個体は少なかった。平（2004）は新潟県飯豊連峰の二王子岳頂上付近のスギ林では，伏条更新しやすいスギが個体数を増やし，大きなグループを形成し，単一クローンによって構成されるようになったと述べている。それに対して本調査地では，ある程度傾斜のあるＰ１ではその分布範囲が広い部分があったものの，平坦地のＰ２では同一クローンの分布は限られていた。樹高1.3m以上の個体で伏状更新木と判断された個体はＰ１で22%，Ｐ２で45%と少なく，両調査地とも実生由来と推定される個体の方が多く存在していた。本調査地と平（2004）との違いは標高と地形が異なっていることであり，本調査地のような低標高地帯の平坦地では，伏条更新個体の分布は広がりにくいことも推定されるものの，事実の解明は今後の課題である。また，現在スギの択伐林型となっているＰ２においても，昭和８年に岩崎直人の指導を受けるまではスギと広葉樹の混交林だったと畠山（1984）は述べており，今後はどのような

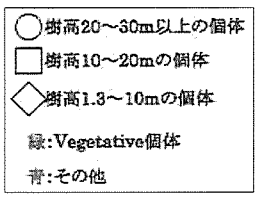
施業を行ってスギの密度を高めようとしたのかを確認する必要がある。



図－４　Ｐ１におけるスギの位置図と DNA 解析によるクローン判定（三嶋，未発表）



図－５　Ｐ２におけるスギの位置図と DNA 解析による
クローン判定（三嶋，未発表）



表－２　樹幹解析木のサイズと樹齢

Plot	個体No.	樹高(m)	胸高直径(cm)	樹齢(年)
Ｐ１	391	9.1	15.6	71
	392	27.0	62.2	76
	393	2.0	2.1	24
	394	2.5	3.5	31
	395	1.6	1.5	17
	396	4.1	5.0	49
	525	27.7	39.3	96
	526	1.5	1.0	24
	529	17.8	18.8	85
Ｐ２	171	18.2	25.6	72
	174	20.1	15.9	50
	187	6.9	10.1	52
	201	2.1	2.4	26
	202	21.8	42.4	58
	203	5.1	7.3	47
	216	11.0	16.0	46
	223	21.0	30.3	76
	257	4.3	4.0	24

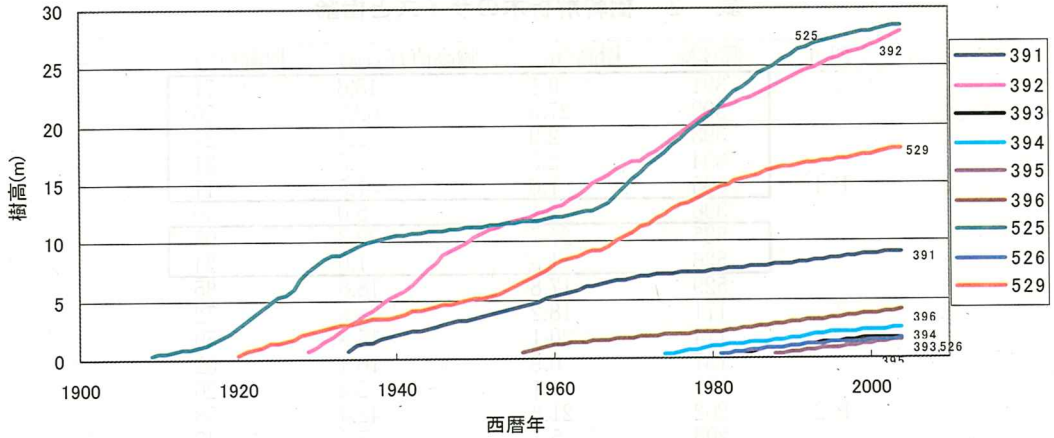
(注)太線枠内は同一クローンを意味する

（３）森林を構成する個体の成長量

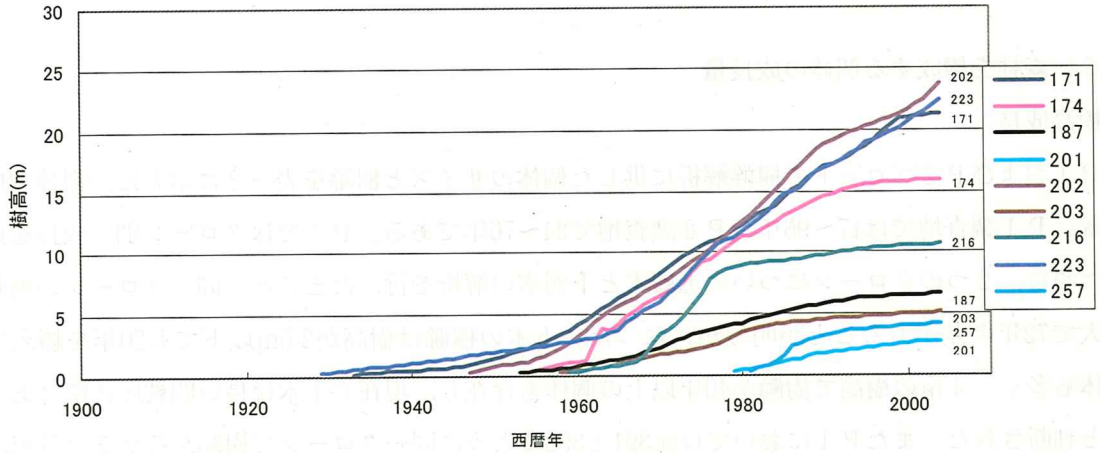
①樹高成長

Ｐ１およびＰ２プロットで樹幹解析に供した個体のサイズと樹齢を表－２に示した。樹幹解析木の樹齢はＰ１調査地では17～96年，Ｐ２調査地で24～76年である。Ｐ１ではクローン別の成長を比較するために，２つのクローンについて上層木と下層木の解析を行ったところ，同一クローンの樹齢差に最大で72年の差があることが明らかになった。下木の樹齢は樹高が2.0m以下でも20年を超えている個体も多く，４ｍの樹高で樹齢が40年以上の個体も存在し，現在の下木は長い間被圧状態にあったものと判断された。またＰ１においてはNo.391と392のように同一クローンで樹齢がそれぞれ71年，76年とほぼ同じ時期なのにもかかわらず，樹高に約18mの差があるクローンも確認された。Ｐ２の解析木中の最大木No.202の樹齢は58年となっていたのに対し，２番目のNo.223は76年と上層木でも個体サイズと樹齢の逆転現象が確認された。ただし，Ｐ１，Ｐ２とも樹高が3.0mを下回る個体に樹齢40年以上の個体は確認されなかった。

Ｐ１およびＰ２の樹幹解析木の樹高総成長量を西暦で表示し，それぞれ図－６と図－７に示した。Ｐ１はアカマツや広葉樹と混交する林分であり，スギを積極的に育成するような施業は行われなかった林分である。スギについては択伐の記録は無く，スギの樹齢は古いもので96年生と，Ｐ２に比べて高齢級の個体が生育している。本調査地の上層木の中でも，最高齢のNo.525のように樹高成長が若齢の時点で良く，その後壮齢になって停滞する時期があり，高齢になってまた回復するという個体や，No.392のように，生育初期から平均36cmの割合で連続的な成長を続けた個体など，上層木の成長は一様ではなかった。亜高木に相当するNo.529やNo.391の成長は緩やかで，特に50年生までの成長は５cm程度と緩やかな初期成長となっていた。このようにＰ１においては，生育途中で成長量が減退したり，その後成長を回復したりする個体が多く，最初から順調に樹高成長を続けている個体は少なかった。Ｐ１での伐採は上層で混交しているアカマツに限られていたため，上層の撹乱が小さいのが影響したものと判断される。



図－６　Ｐ１プロットにおける樹幹解析木の樹高総成長



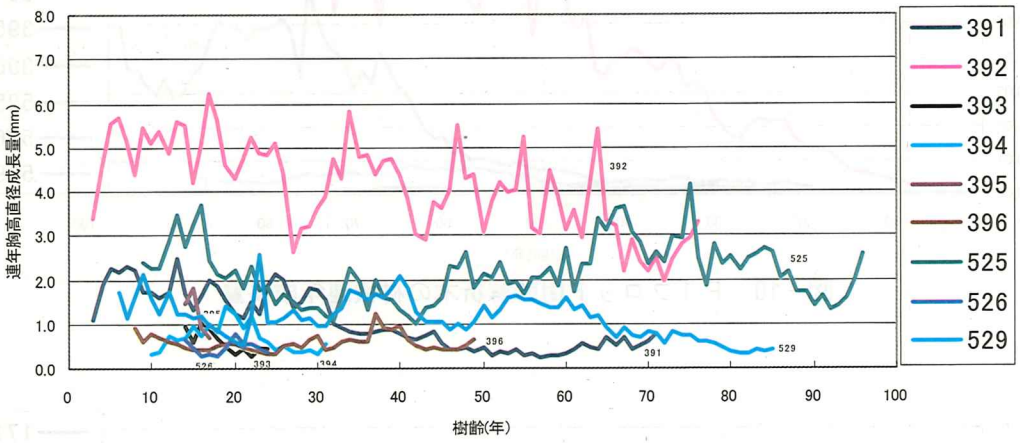
図－７　Ｐ２プロットにおける樹幹解析木の樹高総成長

図－７に示したように，Ｐ２はＰ１に比べて個体間の樹齢差が小さく，上層木は1960年前後から樹高成長が良くなっていた。現在の上層木の若齢時の成長は緩やかで，過去に別の上層木によって被圧されていた可能性が考えられる。森林所有者からの聞き取り調査からも，本調査地で40年ほど前に択伐が行われたことを確認しており，このような中径材生産を目標とした施業により現在の上層木が形成され，その後下木が出現するという更新形態になっていた。したがって，現在のＰ２調査地の上層木の平均樹高21m，平均胸高直径30cm程度の時点で伐採すれば中径材生産を目標とした循環型の択伐林施業の継続が可能なものと予想される。

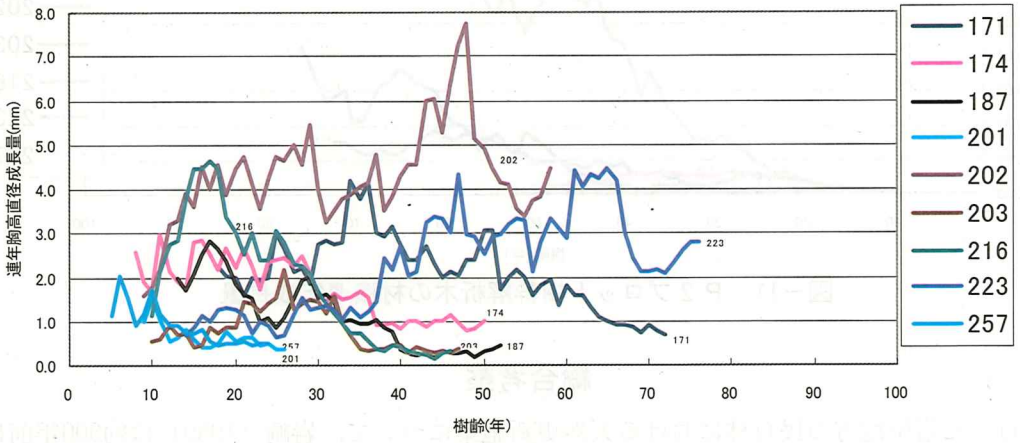
②直径成長

Ｐ１およびＰ２の解析木の胸高直径について連年成長量を図－８および図－９に示した。Ｐ１については図－８に示したように，上層木であるNo.392の年輪幅は，良質材の基準とされる２～３mmの範囲に近い状態が若齢級から高齢級まで続いていたが，残りの個体の年輪幅は２mmよりも狭く，亜高木以下は若齢時から１mm以下の年輪幅の個体が多かった。これは長期間森林構造が変化しないために，肥大成長が十分できない個体が多いことによるものと考えられる。Ｐ２については図－９に示したよ

うに，特に上層木では肥大成長のピークが造林スギで一般に見られるような若齢期ではなく，壮齢期以降に現れる個体が多かった。上層木No.223のように約30年間も直径成長が１㎜の状態が続いても，その後の環境条件の変化で成長が回復する個体があった。また，Ｐ１に比べて上層木の肥大成長は良く，択伐の効果が現れていたものと考えられる。いずれにしても本地域の択伐林を構成する個体の初期成長はクローンであるないにかかわらず，若齢期の肥大成長が遅く，逆に壮齢期以降の成長は低下しないという，人工林とは異なったどちらかといえば天然林に近い成長傾向が観察された。



図－８　Ｐ１プロット樹幹解析木の胸高直径連年成長量（樹齢）

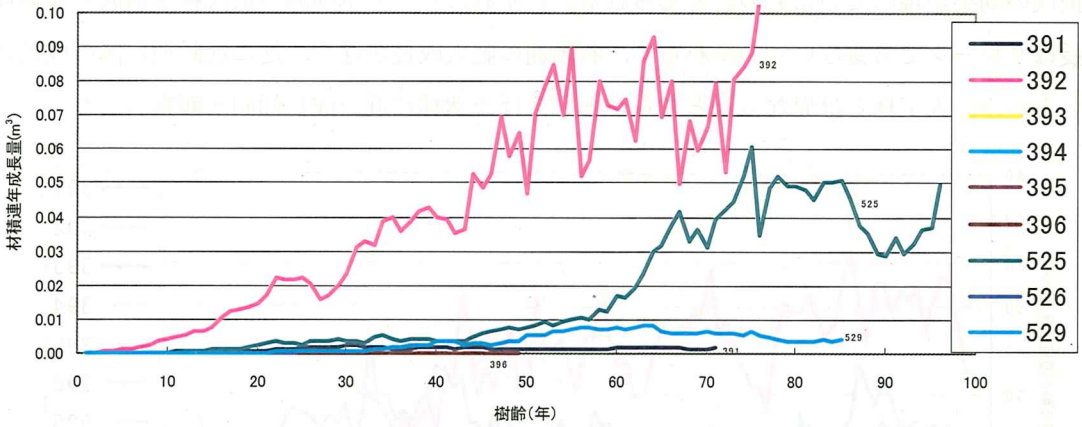


図－９　Ｐ２プロット樹幹解析木の胸高直径連年成長量（樹齢）

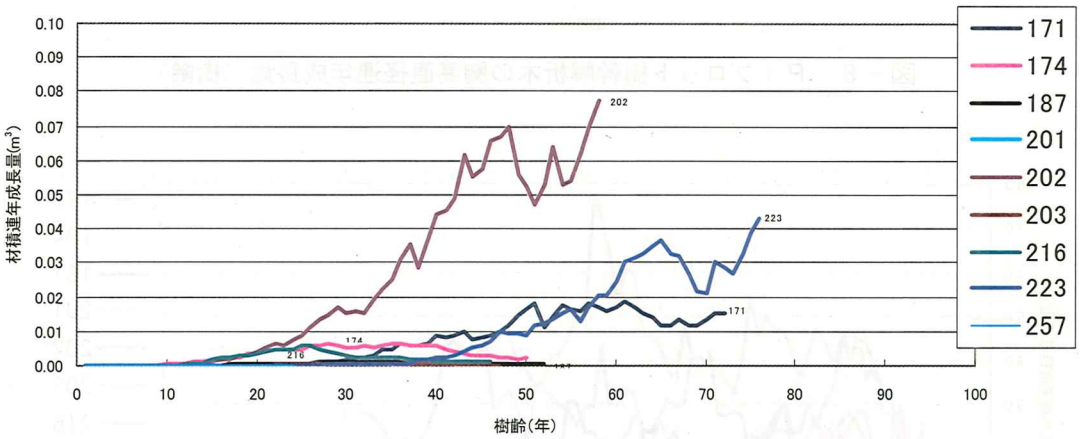
③材積成長

Ｐ１およびＰ２の解析木の幹材積の連年成長量を図－10と図－11にそれぞれ示した。Ｐ１の上層木で幹材積の連年成長量が最大となるのは，No.392で樹齢50年前後から，No.525で樹齢70年前後からとなっており，秋田地方における造林スギよりもはるかに遅く，天然スギ並みの遅い材積成長となっている。上層木のNo.392およびNo.525は伐採されるまで最大の材積成長が続いており，上層木の材積成長量は低下していなかった。Ｐ２については上層木のNo.202で45年生前後から，No.223で65年生前後から最大の成長量となっており，Ｐ１の上層木と同様の傾向が観察された。ただし，Ｐ２の亜高木層のNo.216の

ように明らかに幹材積成長が低下している個体も観察された。このように解析に供した個体は天然スギと同様な，初期成長が遅く，樹齢50年頃からその成長量を最大にし，その後はその最大成長を持続させるといった天然スギの生育初期の状態と良く似た成長傾向を示した。



図－10　Ｐ１プロット樹幹解析木の材積連年成長量



図－11　Ｐ２プロット樹幹解析木の材積連年成長量

総合考察

調査を行った岩川地方の民有林における天然更新施業について，岩崎（1939）は約300年前に遡ると紹介し，この岩川地方の天然更新施業の特徴は択伐林型を理想とする，伐採と更新を統一した施業であると述べている。武田・畠山（1981）は本地域の択伐施業を，大径材生産を目的としたもの，中径材生産を目的としたもの，混交する広葉樹の利活用を中心としてスギを備蓄的に育てているものに大きく区分した。本研究で調査地とした，Ｐ１は混交する樹木の利活用でスギは備蓄的に育てているものに，Ｐ２は中径材生産を目的としたものに，Ｐ３は大径材生産を目的としたものにそれぞれ該当する。本試験地におけるスギのクローン分布は平均で50cm以下と狭い範囲に限られ，離れた距離にある上層木同士が同一クローンであるというのはまれにしか確認されなかった。この原因としては，本調査地は低標高でかつ平坦地が多いこと，伏条更新のなかでも岩崎（1939）が命名した立状と言われる根元に存在する枝が直立するものが多いことなどが考えられるが，はっきりした原因を特定するま

でには至らなかった。また，同一クローンと確認されなかった個体はそれぞれのDNAが異なっており，実生により更新したものと推定される。

樹幹解析により同一クローンの樹齢を調べたところ，樹高1.3m以上の低木と上層木の間に70年以上の樹齢差が確認された。調査地内には樹高1.3m未満の低木も多く出現していることから判断すると，比較的短期間で回転していると言われてきた本地域の天然更新林分でも，上木が70年生以上の高齢級になっても伏条更新が可能であると判断された。現地での択伐施業の施業種別に個体の成長を解析すると，Ｐ２のように中径材生産を目的とした林分では択伐前は成長が悪くても，択伐後に成長加速し，現在の上層木集団が形成されていた。Ｐ１ではＰ２のようなある時期から成長が一斉に加速することはなく，周囲の環境に影響されて成長が加速したり減退したりする個体が多かった。本研究で樹幹解析した個体の成長傾向は澤田（未発表）が解析した200年を超える天然スギの初期成長と似た傾向にあることから，今後は天然スギ林分の初期の状態と岩川地方の伏条更新の関係について議論を深める必要があるものと判断された。

本研究では，天然更新による施業体系を構築することを最終目的としていた。その中で研究の結果から分かったことは，天然更新木のクローン分布は狭い範囲に限られていて，天然更新林分と判断された林内でも実生に由来すると推定される別々のクローンの方が多かった。したがって，本調査地においても伏条更新による分布範囲の拡大はあまり期待できず，スギが個体の生息域を広げるとすれば実生更新や人工植栽しかないものと判断された。そのため，本地域においても拡大造林が華やかな時代は，代々引き継がれてきた択伐施業は非効率なものとして脚光を浴びなかったものと考えられる。しかしながら，現在日本の各地で伐採後の再造林放棄の問題が深刻化している。本地域のように天然更新木が存在するような地域では，自然に伏条更新しているスギを大切にすることで，再造林の手間が省略できる施業は可能であり，この地域特有の施業法として今後も引き継いで行く必要がある。また，このような天然更新しやすい個体を育成すれば，わずかな手入れで長期間にわたりスギが更新する可能もあり，天然更新しやすい個体の苗木育成などと併せて，今後とも技術開発が必要と考えられる。

謝　辞

本研究は県単研究「多様な保続的林業経営と施業技術の体系化（平成10年度～17年度）」の一部として平成14年度から取り組んだものであり，研究を進めるにあたって秋田県議会議員武田英文氏には有益な助言を頂いた。秋田県立大学森林科学講座阿部知行さんには調査一部を担当していただいた。琴丘町上岩川の河村誠一氏，加藤鉄雄氏，川上睦子氏には貴重な試験地を提供していただいた。白神森林組合加藤正樹支所長および佐藤金善氏には調査にご協力を頂いた。これらのご指導およびご協力に対し，ここに深く謝意を表する。

引用文献

（*1*）秋田県（1984）土地分類基本調査森岳・羽後浜田，秋田県農政部

（２）秋田県林務部（1994）1991年台風19号による大規模森林被害の実態解析と耐風性森林育成技術の検討，秋田県林務部，pp73

（３）畠山宏信（1984）秋田県岩川地方におけるスギ林の択伐作業に関する研究，秋田県林業改良普及協会，pp87

（４）岩崎直人（1939）秋田県能代川上地方に於ける杉林の成立並に更新に関する研究、興林会，pp605

（５）Nobori Y, Sato K, Onodera H, Noda M, Katoh T（2004）Development of stem density analysis combined X-ray densitometry and stem analysis. J. For. Plann., 10：47-51

（６）武田英文・畠山宏信（1981）岩川地方スギ択伐天然更新林分の調査－光環境と下木の成長および林分構造について－．昭和55年度秋田県林セ業報：89－98

（７）平英彰（2004）垂直分布の上限に生育するスギ，森林科学40，p48-52

写真－１　伏条更新の１つ，立状により世代交代を繰り返している個体（阿仁町）

秋田県森技研報　第16号　2006年６月

複層林施業に関する研究

和田　　覚・金子　智紀

Studies on the treatment of artificial multi-storied forests in Akita prefecture

Satoru WADA, Tomonori KANEKO

要　　旨

効果的な複層林施業の実施に資するため，県内のスギ－スギ複層林造成地の実態について調査した。地位３以上の立地で，上木を収量比数0.5～0.6以下に調整した二段林においては，下木の樹高成長が約10年間で一斉林相当の約60％以上得られた。林内相対照度は上木林齢が高いほど，時間の経過に伴う低減幅が小さく，二段林誘導は概ね50年生以上の林分での実施が現実的と考えられた。帯状複層林は，二段林よりも光環境の獲得に有利で，帯幅が広いほど下木の成績は良かった。帯幅は上木樹高程度であれば，一斉林相当の平均樹高成長を確保した。複層林の造成や管理に関わる光環境，土壌水分，積雪環境，下層植生の繁茂状況について調査，検証し，また，施業上の種々の問題点を整理し，複層林施業体系として提案した。

Ⅰ．はじめに

複層林施業は，非皆伐施業としての観点から，保続的な林業経営と環境保全の両面で理想的な施業とされ，現在，森林整備を進めるうえでの大きな目標となっている。本県においては，昭和60年頃から篤林家を中心に収穫の保続や作業の合理化等を目的に行われるようになり，近年に至っては，水源かん養や山地災害の防止など公益的機能の向上を目的とした整備が行われてきている。しかし，実態として，研究蓄積に乏しく，技術的に未成熟な段階にあり，導入効果についても不明な点が多い。また，導入の目的が曖昧であったり，対象地や誘導手法が目的とかけ離れていたりするケースも否めない。結果，台風被害や下木の消失など，森林機能の低下を招く事例も少なくない。本研究では，県内で行われている複層林施業について，その実態を明らかにし，本来の目標に向けた複層林施業がどうあるべきか体系的に整理することを目的とした。

なお，複層林施業については，昭和62年に改定された林野庁の「森林資源に関する基本計画」で，「原則として人工更新により造成した森林において，森林を構成する林木を部分的に伐採し，人工更新により複数の樹冠層を有する森林を造成する施業である。」（小椋，1998）と定義しており，ここではこの定義に該当する事例について扱った。二段林（写真－１）を対象とし，樹種については，上層，下層ともにスギに限定した。また，小面積皆伐よって樹冠層が面的に複層となるタイプの帯状複層林（写真－２）についても，複層林施業の多様化を図るうえで今後増加が見込まれることから積極的に扱った。この研究は，主に平成10年～17年度に実施した研究課題「多様な保続的林業経営と施業技術

の体系化」の成果としてまとめたものである。

写真－１　二段林（男鹿市戸賀県有林）

写真－２　帯状複層林（男鹿市戸賀県有林）

Ⅱ．調査地と調査方法

試験地を表－１に示した。いずれの試験地も，複層林誘導のため，上木に対する密度調整がなされ，下木が植栽された林分である。上木に対する処理と下木の植栽が必ずしも同じ年ではなかったため，ここでは下木植栽年を造成年として扱っている。調査は複層林内に調査プロットまたは調査木を設定し，連年または数年置きに行った。上木については，樹高，胸高直径等のサイズ測定の他，風害や雪害等の被害，後生枝の発生状況等を記録した。下木についても，樹高（一部，樹幹長），胸高直径，樹型等に関する測定を行い，その他諸被害についても記録した。二段林では造成条件が異なる各試験地間の比較を行い，帯状複層林（以下，帯状と呼ぶ。）については，主に帯幅による成長の違いについて試験地内，試験地間での比較を行った。二段林と帯状がセットで存在する試験地については，複層林タイプ別の比較も行った。

光環境は，照度計（ミノルタ製デジタル照度計 T-1H）または日射計フィルム測定器（大成化工社製 T-METER および日射計フィルムＹ-１Ｗ）を用い，林内（対象地）と開放地（対照地）とで同時積算測定を行い，単位時間（期間）あたりの相対値として求めた。試験地６で行った土壌水分の測定では，テンシオメーター（大起理化製）を林内と林外さらには土壌の深さ別に設置し，1998年５月～11月にかけて，月に２～３回程度の間隔で測定し，ｐＦ価に換算した。試験地６で行った積雪環境の測定は，1998年２月５日，帯状植栽区から林縁，林内に至る横断点（約４ｍ間隔５点）を斜面の位置別に設け，積雪深を測定，横断面を作成した。また，積雪期間の判定のため，帯状，二段林，その他森林について，積雪深を雪消えまで，数日間隔で測定した。下層植生（雑草木）の繁茂状況については，試験地５においては各複層林内に定点を10カ所設けて測定，平均植生高として求めた他，試験地６では開放地と帯状区で，植生を２ｍ×２ｍ＝４㎡を全面刈り取り，生重量と乾燥重量（80℃48時間乾燥）を求めた。

表－１　試験地一覧

番号	位置	試験地番号	タイプ	標高(m)	斜面位置	斜面方位	地形傾斜	地位	造成年	上木の概況（造成時） 林齢	樹高(m)	密度(/ha)	Ｒｙ	備考
1	峰浜村塙	1－1	二段林	150	山脚部	南東	0°～5°	2	1994	40	19.5	300	0.36	
		1－2	帯状(20m)					2	1995					
2	峰浜村石川	2	二段林	120	斜面中	南東	25°	3	1994	37	17.0	300	0.31	
3	藤里町谷地	3－1	二段林	90	山脚部	南西	11°	2	1988	49	24.1	380	0.52	
		3－2	二段林					2	1988	49	24.7	260	0.42	
4	藤里町家後	4	二段林	40	山脚部	平坦	0°	2	1987	70	30.0	320	0.57	下木は雪害抵抗性精英樹
5	男鹿市戸賀	5－1	二段林	70	斜面中	南東	25°～30°	3	1996	43	18.5	240	0.29	
		5－2	二段林				20°	3	1996	43	18.5	460	0.46	上木配置やや不均等
		5－3	帯状(10m)				25°～30°	3	1996					
		5－4	帯状(7m)				〃	3	1996					
		5－5	帯状(4m)				〃	3	1996					
6	秋田市下浜	6－1	二段林	40	斜面中	南	31°	4	1996	33	14.0	1,525	0.72	上木配置やや不均等
		6－2	帯状(8m)			南東	35°	4	1996					下木は３本巣植え
7	雄物川町大沢	7－1	二段林	170	斜面中	北東	30°～35°	2	2002	47	24.0	425	0.56	
		7－2	帯状(30m)					2	2001					

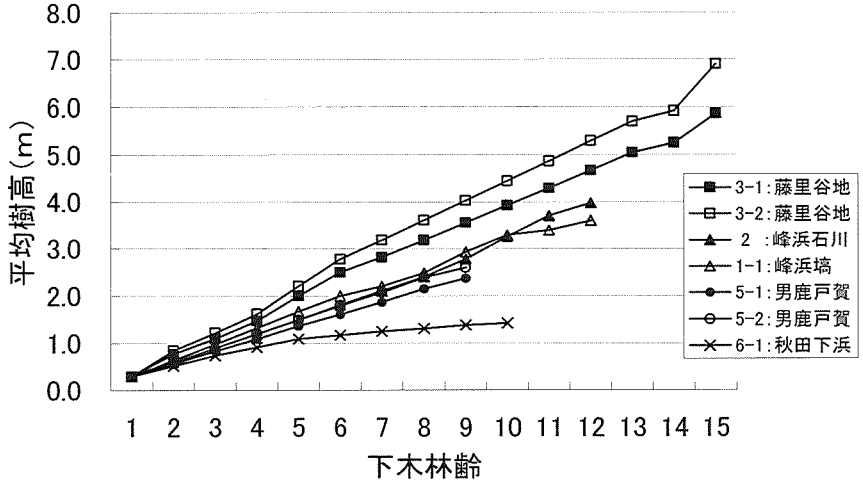
※市町村名は旧市町村名で記載。
※帯状の（　）は帯幅。
※帯状複層林上木の林齢、樹高は二段林の値に準じる。
※造成年は下木植栽年とした。
※造成時の上木の概況は一部推定による場合がある。

Ⅲ．結果と考察

１．二段林の成績

表－１に示した二段林について，下木の樹高成長の推移を図－１に示した。なお，試験地４は複層林下木用苗木の検定のため，雪害抵抗性苗が系統別に植栽されていること，また，試験地７－１は下木植栽後間もないことから，別で述べるとし，この図からは除外した。残る７試験地については，最終調査時点でも生存率で８～９割以上確保されており，極端な本数の減少は見られていない。県内の造成地の中では，平均的というよりはむしろ成績が良い二段林と考えられる。10年生時（試験地５は９年生時）の値で見ると，最も成長の良い試験地３－２で4.5m，最も成長の悪い試験地６－１で1.4mの値であり，試験地間で大きな違いが見られた。この値が一斉林施業と比べてどれぐらいの値なのか，当該林分の上層木林齢と樹高から地位級を判定し，判定された地位級相当の樹高に対する比で求めた。結果，試験地３－２：87%，試験地３－１：77%，試験地２：73%，試験地１－１：65%，試験地５－２：64%，試験地５－１：59%，試験地６－１：37%で，全般に地位が高いほど比率は高まる傾向にあった。一斉林の値の約60%以上の樹高成長を望むのであれば，二段林の導入は最低でも地位３以上の土地条件が必要と考えられた。二段林施業は下木が上木の被陰の影響を受けることから，上木のコントロールによる光環境の確保が成否の鍵を握る。この点に関しては，過去に試験地５と同じ林分で行われた試験において，下木の健全な成長を図るには，最低15%以上の相対照度が必要で，この値を維持していくためには収量比数にして0.5～0.6で管理していくべきとの結論が得られている（石田ら，1996)。表－１に示すとおり，最も成績の悪い試験地６を除き，二段林試験地造成時の収量

比数はこの値を十分に確保しており，下木も一斉林の約60%以上の樹高成長が得られていることから，上木管理の基準としては妥当な値と見られる。上木に手を加えないで時間が経過すると，収量比数は徐々に増加し，逆に林内相対照度は低下し，下木に影響が出てくる。造成時の上木林齢が49年生で，現在，最も成績が良い試験地３－２では，二段林造成時の相対照度が41%で，12年後（下木13年生時）でも21.3%の相対照度を確保していた。一方，37年生と比較的若齢な試験地２では，造成時に30～40%の相対照度に調整したものが，９年後（下木10年生時）には10.3%まで値が低下していた。また，33年生と最も若齢な試験地６－１では，上木密度が高いこともあるが，造成後わずか５年ぐらいで下木の樹高成長は頭打ちとなった。時間の経過に伴う林内相対照度の低減率は，林が若いほど大きいが，林齢が増す（上木が大きくなる）につれて小さくなり，高齢林では相対照度は高い値で安定し，複層林施業がしやすくなるとされ（藤森，1992ｂ），試験地でも同様の傾向が見られた。試験地の収量比数は全般に低く設定されているが，林業経営上，上木の密度はある程度必要であり，若齢な林を頻繁に間伐するのも現実的ではない。収量比数0.5，地位３を想定した場合，試験地３の成績などから，二段林導入は最低でも50年生以上の林を目途に検討すべきと考えられた。

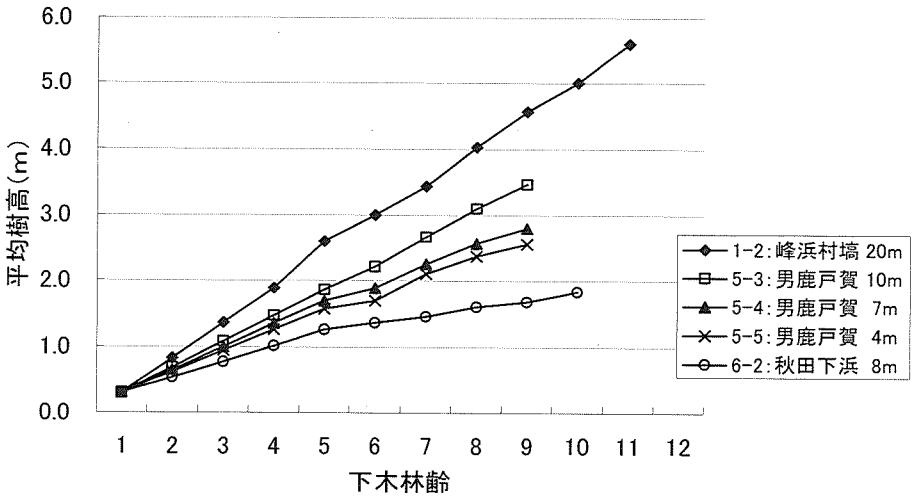


図－１　二段林下木の樹高成長の推移

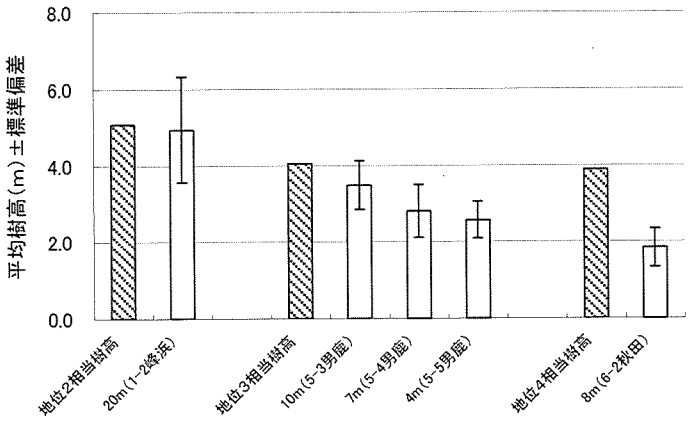
２．帯状複層林の成績

表－１に示した帯状について，下木の樹高成長の推移を図－２に示した（試験地５は帯の中心の植栽列を調査対象とした）。二段林同様，植栽木の目立った減少は見られず，また，試験地７－２は造成後間もないことから除外した。試験地６－２を除き，帯幅が広い試験地ほど下木の樹高成長は良く，光環境に対応した結果と見られる。試験地６－２は，地位が低いことや，二段林同様，上木が若齢で樹冠の閉鎖スピードが早いため，成長に停滞傾向があるものと考えられた。図－３では帯状下木の10年生時（試験地５は９年生時）の成績について，上木の樹高成長から判定される地位級相当の樹高と

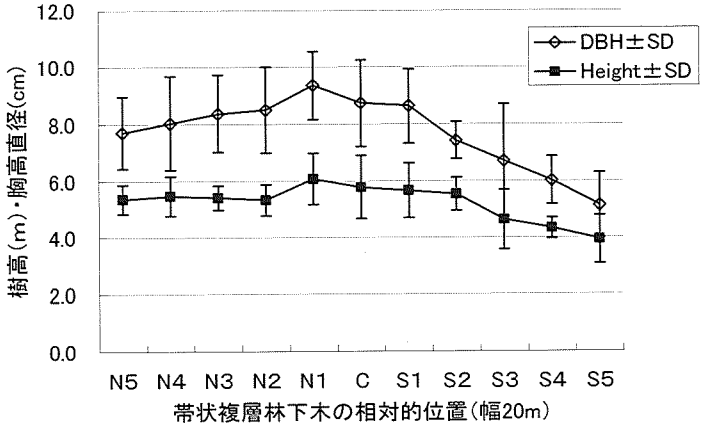
対比し，帯幅との関係を考察した。帯幅20mの試験地１－２では，当該地位級相当の平均樹高成長をほぼ満たしており，一斉林相当の樹高成長を確保しているものと見なされた。この帯幅は造成時の上木樹高に相当した。一方，帯幅が上木樹高を下回る試験地では，地位級相当の樹高は確保されず，試験地５の例では，帯幅が狭まるのに比例して，下木の成長は抑制された。一斉林並の成績を確保するためには，最低でも上木樹高程度の帯幅が必要と判断された。図－４では，最も成績が良かった試験地１－２で，帯の位置（植栽位置）別の下木の成長の違いを示した。Ｃは帯の中心線に位置する下木を意味し，両側（Ｎは北側，Ｓは南側）に行くにしたがい上木との林縁に近づくことを示している。下木の成長は帯の位置で一様ではなく，帯の中心付近で成績が良く，林縁に近づくほど成長は抑制された。これは年間を通じた光環境の違いを反映したものと考えられ，この例では日陰が生じやすい南側林縁で成績が悪かった。当然のことながら，帯幅が狭ければ狭いほど日陰の影響受ける割合は増加し，帯状区全体の成長は低下していくものと推察された。二段林と帯状がセットで存在する試験地（試験地７については後述）について，下木の樹高成長の違いを図－５に示した。いずれの試験地も帯状で成績が良く，下木の育成を重視するのであれば，帯状が有利と考えられた。唯一，最も帯幅狭い試験地５－５（帯幅４ｍ）については，二段林とは差はなかったが，この区は，植栽列およそ１列を上木伐採して造成した区であり，帯状と二段林と区別しにくい中間的タイプと見なされた。



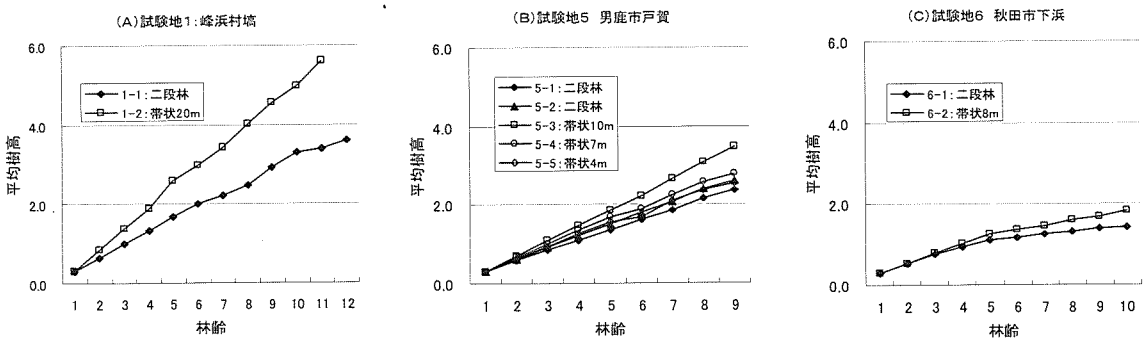
図－２　帯状複層林下木の樹高成長の推移



図－３　帯状複層林下木の９～10年生時の樹高成長と地位級相当樹高との比較



図－４　帯状複層林下木の植栽位置別成績



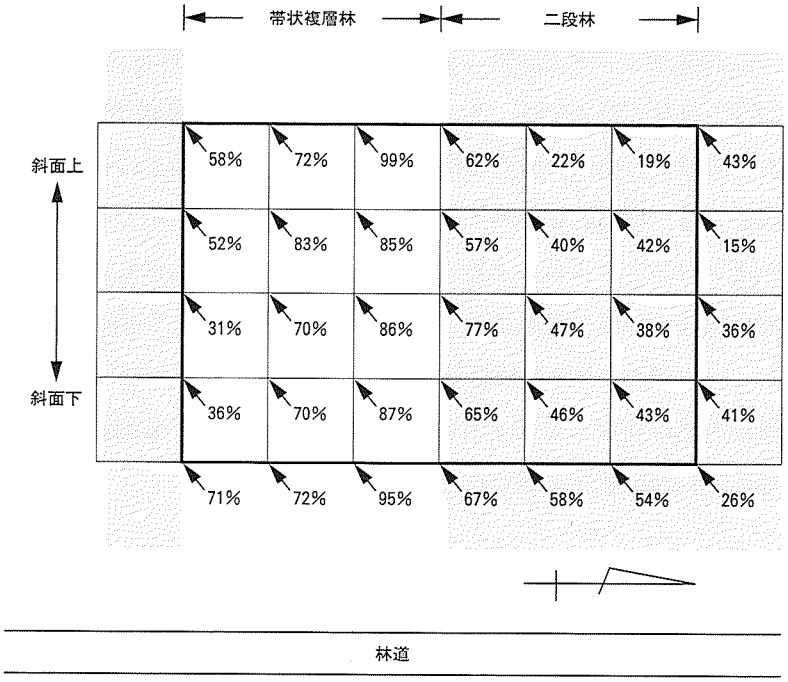
図－５　二段林と帯状複層林の下木樹高成長の比較

３．複層林の環境

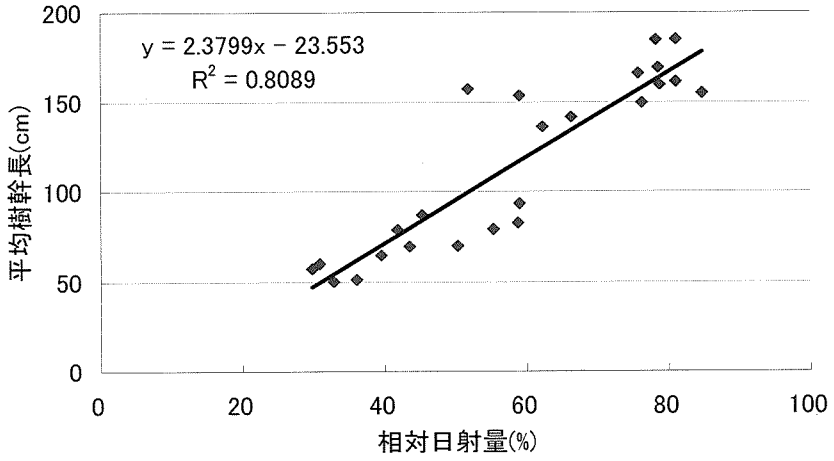
複層林の造成，あるいは造成後の管理のためには，複層林がどういう環境や条件にあるのかを把握しておく必要がある。表－１の試験地で実施した光環境，土壌水分，積雪環境，雑草木の繁茂状況に関する調査結果を以下に述べる。

１）光環境

二段林内の光環境に関しては，相対照度による指標で，15%以上40%以下であることが望ましいとされ，相対照度が10%を割ると下木の成長は非常に悪くなり，形質の劣化を招くとされている（藤森，1992ｂ）。これに対し，帯状では，測定時間や季節によって，相対照度の値が大きく変動し，指標として実態を把握にくい。このため，相対日射量という指標により，光環境の実態について調査した。図－６は，複層林造成後間もない帯幅30ｍの帯状区とそれに隣接した二段林の光環境を位置別に示したものである。帯状区に幅（等高線方向）30ｍ×長さ（斜面方向）40ｍ，隣接する二段林区にも同じく30ｍ×40ｍのプロットを設置し，これらを10ｍ×10ｍメッシュに区切った各交点で2002年７月19日～27日までの期間，日射量を測定した。結果，開放地（相対日射量100%）の値に対して，帯状で70～99%，林縁部で57～77%，二段林内で15%～58%の値であり，光環境は帯状，林縁，二段林の順で良かった。なお，二段林の相対照度は29.3%であった。下木の成長と光環境の関係について，各メッシュ内の下木の平均樹幹長（2005年２成長期時点）と各メッシュの相対日射量（2003年７月のメッシュ４隅の相対日射量の平均値）で図－７に示した。相対日射量と平均樹幹長は正の相関関係にあり，下木の成長は光環境の影響を大きく受けているものと考えられた。



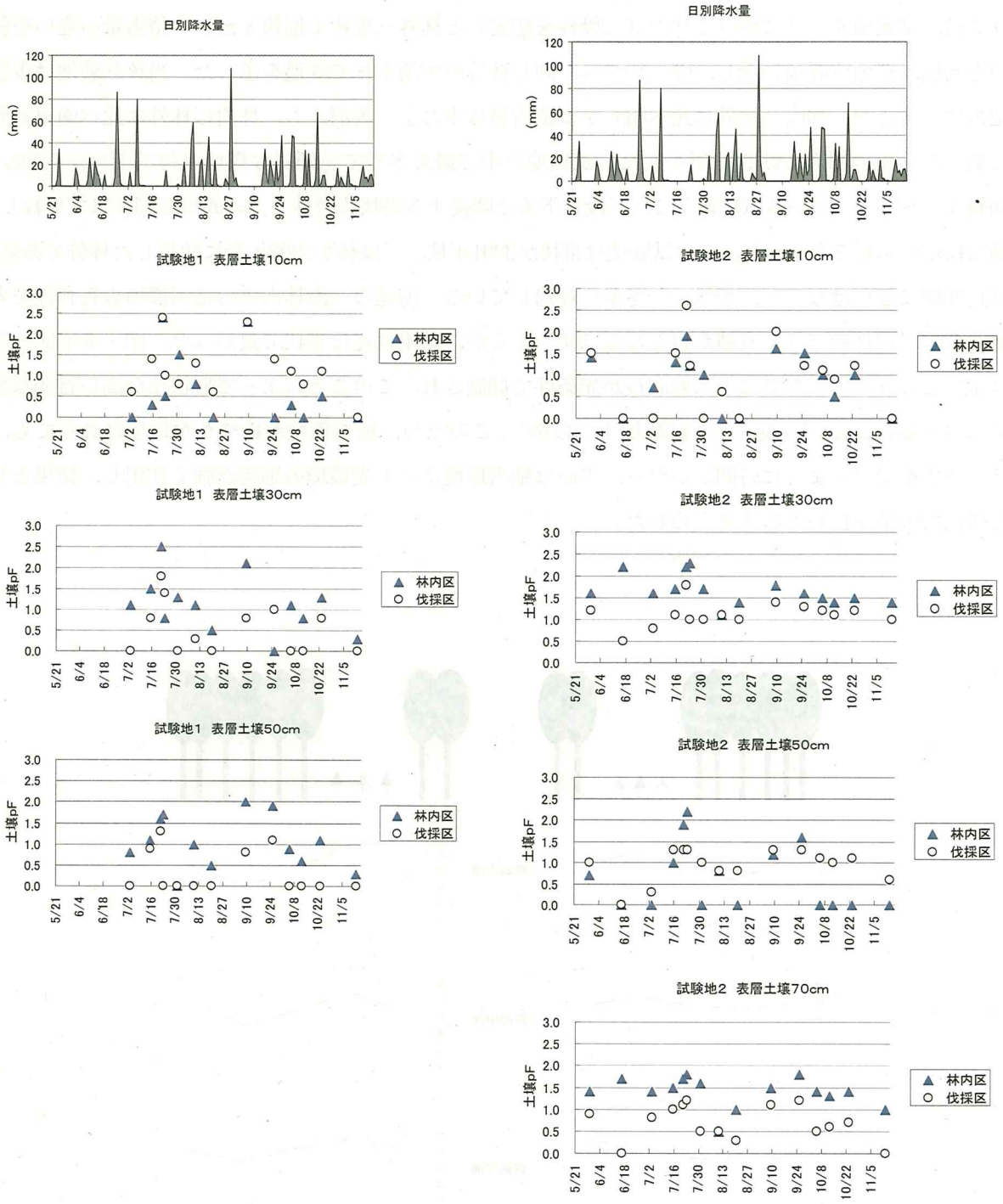
図－６　帯状複層林と二段林内の位置別相対日射量



図－７　相対日射量と下木樹幹長の関係

２）土壌水分

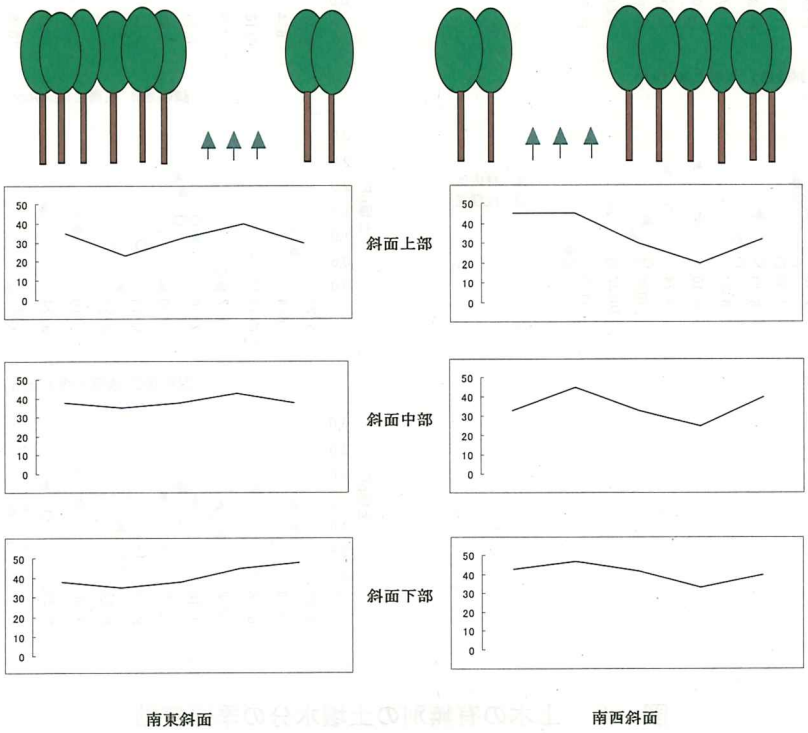
下木の成長は光環境の制限によって抑制されるため，成長の確保のためには土地条件，即ち地位が高い立地であることが望ましい。この点に関連し，土壌水分の調査を行った。図－８は試験地６－２における上木のない下木植栽区（林外）と上木区（林内）とで，２箇所で土壌水分（ｐＦ価）の変化を示したものである。試験地１では1998年７月３日～11月13日まで10cm，30cm，50cm の深さで，試験地２では同５月29日～11月13日まで10，30，50，70cmの深さで土壌水分をそれぞれ比較した。結果で得られたｐＦ価の上限値は，樹木の成育に問題あるほど乾燥した値ではなかったが，いずれも，深さ10cmの土壌表層部分では，相対的に林外で乾燥，林内で湿潤傾向を示した。これは，上木の有無が直射日光を遮ったか否かの差によるものと見られた。一方，深さ30cmより深くなると，この関係は逆転し，林内で相対的に乾燥，林外で湿潤になった（ただし，試験地２の深さ50cmではこの関係は明確ではない)。これは，上木の根が土壌水分を吸い上げたことによって生じたものと推察された。二段林造成の場合，乾燥地や尾根筋などでは下木に必要な水分や養分が十分供給されないケースが想定され，地位の高い立地の選択が必要と示唆された。



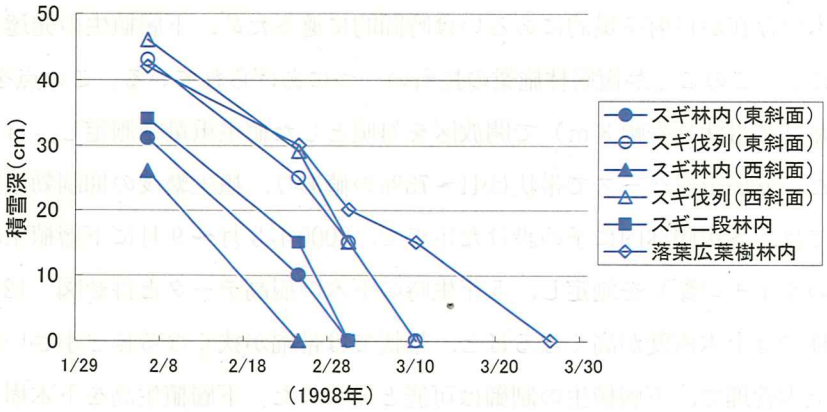
図－８　上木の有無別の土壌水分の季節変動
（左図：試験地１，右図：試験地２）

３）積雪環境

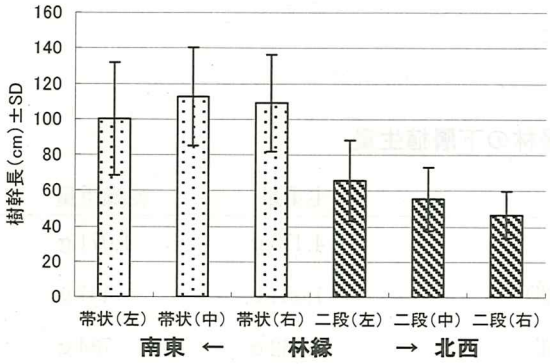
積雪地帯における二段林の造成では，上木の存在が積雪移動圧の軽減や，降雪の樹冠遮断による林内積雪の緩和，根雪期間の短縮など総じて下木の成育に有利な条件を提供していると予想される。図－９では，試験地６－２における林内（二段林を想定）と林外（帯状：幅約８ｍ）の積雪量の違いを斜面方向別，斜面位置別に示し，図－10では，同じ林分の雪消えまで経過を示した。当該試験地は少雪地帯ではあるが，林内は林外に比べ明らかに積雪量は少なく，雪消えも，林内は林外に比べ南東斜面で約８日，南西斜面で約14日早かった。試験地の中で最も多雪で急傾斜な環境（積雪深1.5ｍ前後，傾斜30°～35°）にある試験地７で，二段林下木と隣接する帯状複層林下木の成長を図－11で比較し，積雪環境の影響を考察した。この試験地は帯状が2001年秋，二段林が2002年春に植栽した林分であり，成長期間に違いはないが，帯状で一冬多く経過している。前述の二段林内での積雪環境の有利性を考慮すると二段林のほうで成績が良くなるはずであるが，結果は逆に帯状で良かった。図－６や図－７に示すとおり，二段林では下木の成長が光条件で抑制され，このことによって形状比が高い貧弱な樹型になる場合が多い（表－２：試験地１での例）。このため，積雪環境が穏やかな環境にあっても，その恩恵を受けるまでに時間がかかり，当面は積雪環境よりも光環境の影響が強く作用し，結果として帯状で成績が良いものと考えられた。



図－９　帯状複層林と林内の積雪深
（1998年２月６日，秋田市下浜字名ケ沢）



図－10　帯状複層林と林内の消雪時期の差違
（1998年，秋田市下浜字名ケ沢）



図－11　多雪急傾斜地における帯状複層林と二段林の下木成績
（幅30cmの試験地を10m毎に分けて示している。）

表－２　二段林と帯状複層林下木の樹型等の比較

	二段林	帯状
調査時林齢	６年生	５年生
平均胸高直径（cm）	2.0±0.6	3.6±1.2
平均根元直径（cm）	3.0±0.8	5.6±1.8
平均樹高（cm）	220±50	300±100
平均樹冠幅（cm）	136±28	156±37
平均枝元径：上位３本（cm）	0.8±0.2	1.1±0.2
形状比（胸高直径による）	110.0	83.3
形状比（根元径による）	73.3	53.6
枝形状比（樹冠幅／２／枝元径）	85.0	70.9

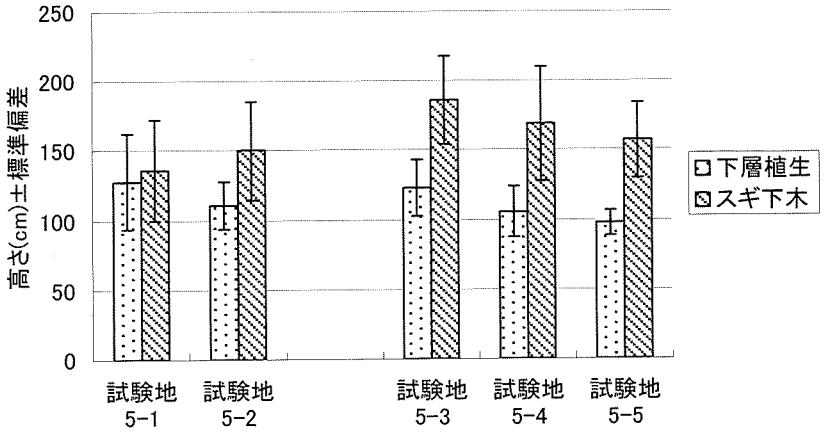
４）下層植生の繁茂状況

複層林では上木の存在が日射を量的にあるいは時間的に遮るため，下層植生の発達を抑制し，下刈り作業が軽減される。このことが複層林施業の長所の一つにあげられている。この点を検証するため，試験地６－２における帯状（帯幅８ｍ）で開放区を対照とした植生重量を測定し，㎡あたりに換算して表－３に示した。乾燥重量ベースで帯状は41～73％の値あり，植生繁茂の抑制効果が認められた。試験地５においては，各複層林内に予め設けた定点で，2000年８月～９月に下層植生高（植生は主にモミジイチゴ等のキイチゴ類）を測定し，５年生時の下木の樹高データと併せ図－12に示した。下層植生高は，二段林では上木密度が高くなるほど，帯状では帯幅が狭くなるほど小さい値を示し，複層林施業における上木管理で，下層植生の制御は可能と見られた。下層植生高を下木樹高に対する相対値として見た場合，二段林で74～94％，帯状で62～66％であった。積雪環境と同様，複層林では下層植生と同時に下木自体の成長も光環境の影響で抑制され，この度合いは二段林で顕著であった。複層林施業における下刈り軽減効果は認められるが，下木の成長の度合いによっては，下刈り実施期間が延長されることも想定された。

表－３　帯状複層林の下層植生量

	生重量	乾燥重量	植生高
開放区	4,473ｇ	1,071ｇ	1.2m
帯状区（斜面上部）	1,654ｇ	437ｇ	0.6m
帯状区（斜面下部）	3,132ｇ	784ｇ	0.7m

※1998年８月18日調査。
※乾燥は80℃48時間行った。
※開放区はヨモギ，ススキ，スゲ類，オカトラノオなど。
　帯状区はワラビ，チヂミザサ，オカトラノオ，スゲ類，シシガシラなど。



図－12　二段林と帯状複層林の下木５年生時の成績と下層植生高

Ⅳ．複層林施業体系

１．複層林施業の問題点と改善策

１）上木の風雪害

(1)　二段林

複層林造成のため，間伐を強度に急激に行うことによって，上木の耐風性や耐雪性が低下し，風害や冠雪被害が発生することがある。平成３年の19号台風では，複層林施業が推進され始めた時期だったこともあり，二段林造成地で大きな被害が目立った（秋田県林業技術センター，1998)。この被害は甚大で，時として林を壊してしまう危険があり，慎重な対応が必要である。二段林施業の場合，上木は下木の育成のためにどうしても疎の管理が必要となる。ここで留意すべきは，いかに疎の状態に誘導するのか，複層林の造成のしかたが問題であって，一度に作ろうとする無理は避けたほうがよい（藤森，1992ｂ)。１回の間伐による収量比数の下げ幅は0.15以内が望ましい（秋田県農林水産部，2003)。この値以上の下げ幅が必要な場合は，二段林誘導はいったん見送り，弱度の間伐を数回繰り返したうえで再度誘導を検討すべきである。間伐後は前述のとおり，収量比数にして0.5～0.6ぐらいでの管理が必要となる。下木の育成のためにはこれ以下の本数管理でも良いが，二段林造成の目的に見合うのかどうか十分な検討が必要である。また，本数管理だけではなく，個々の立木単位でも，耐風性，耐雪性を備えた樹型の維持が重要で，台風被害の実態解析（秋田県林業技術センター，1998）などから，形状比で70前後以下，樹冠長比（樹高に対する樹冠部の割合）で40％前後以上の樹型誘導が望ましい。また風害等の危険が予想される地域（秋田県林業技術センター，1998）での造成はより慎重な対応が必要である。

(2)　帯状複層林

帯状の上木は，帯幅が狭い場合を除き，一斉林施業と特段変わった施業を要さず，二段林誘導が困難な林分では簡易な複層林誘導手法と成り得る。しかし，帯状伐採し下木を植栽した後で，上木保残帯の林縁で風雪害が生じることがある。表－４では試験７－２の帯状上木保残帯について，林縁に位置する林縁木とその内側にある林内木に分けて，造成後10年間の健全性を比較して示した。林縁木では風雪による倒伏や幹折れといった致命的な被害が20％あったのに対し，林内木では被害はなかった。こうした事例は帯状に限らず，林内に道路を開設した場合などでも観察される。林縁木は当初から林縁木として成立していたわけではなく，伐採による急激な環境変化で風雪にさらされる。こうした環境の変化に緩やかに対応していくためには，適度な間伐が必要である。二段林ほど慎重になる必要はないが，帯状であっても上木に対する適度な間伐で諸害に対する耐性を確保しておく必要がある。

表－４　帯状複層林造成後10年間に見られた上木の諸被害

	標本数	健全	倒木	幹折れ	先折れ	後生枝発生
林縁木	41	26	6	2	1	7
		63%	15%	5%	2%	17%
林内木	90	86	0	0	2	2
		96%	0%	0%	2%	2%

※重複被害があるため，合計しても標本数とは合致しない。
※後生枝発生は力枝以下の幹部に概ね10箇所以上で発生が見られた個体数。

２）上木の後生枝発生

ナラ類やクリなど広葉樹林を間伐した際，保残木の幹部から後生枝と呼ばれる枝葉が新たに発生し，樹勢が低下し問題となることがある。これと同じ現象が複層林誘導の際のスギ上木にも見られる（写真－３）。前述の表－４の例では，林内木で２％であるのに対し，林縁木では17％の木で後生枝の発生が見られた（ここでは，力枝以下の幹部に10箇所以上の後生枝が見られた木を後生枝発生木としてカウントした）。上木の幹部は経済的価値も高く，後生枝の発生はボタン材化など材質の悪化につながりかねない。後生枝の発生原因として，強度間伐による光環境の急変が考えられ，この変化に対する樹木の生理的な反応と解釈される。こうした環境の急変を避けるには，二段林であれ，帯状であれ，やはり適度な間伐の繰り返しが必要と考えられる。

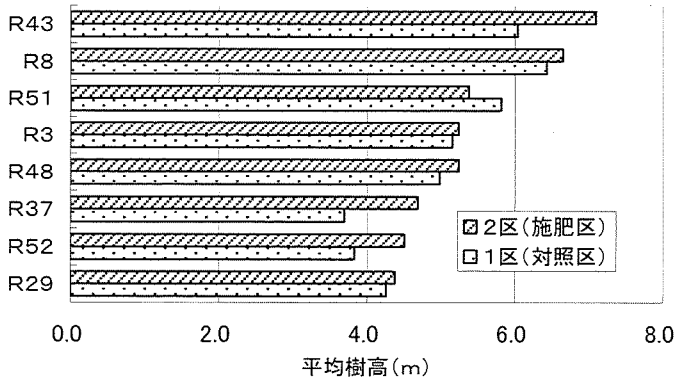
写真－３　後生枝の発生

３）下木の成育不良

複層林とくに二段林下木の成育は一斉林に比べて劣るのが普通で，試験地１の例では10年生時で，帯状に比べ樹高成長で65％，直径成長で48％の値であった。時として，下木の成長がほとんど見られない場合や，極端な例では消滅してしまう例もある。樹型は，一般に形状比が高くなり，梢端部が丸い側枝が伸びた盆栽型を呈する場合が多い（表－２）。下木の成育は主に光環境に左右され，上木に

支配される。よって，下木の成育が悪い場合には，間伐による上木の本数調整や，枝打ちによって光環境を改善していく必要がある。当然，上木の本数が少ない程，枝打ちの強度が強い程，下木の光環境は良くなるが，ここで注意しなければならないのは，下木の成育のみにとらわれると，複層林造成の目的や上木の存在意義を見失う危険がある。下木を重視するのか，上木を重視するのか，両立を目指すのかを明確にしたうえで，下木の育成方法を再検討していく必要がある。上木を重視するのであれば，下木については当面，成長よりも生存を重視すべき場合もある。

複層林の下木については，育種の面からも，精英樹や気象害抵抗性クローンを対象とした耐陰性試験が行われ，クローン別の比較検討がなされている（伊藤ら，1996）。また，試験地４では，実際に複層林下木として，雪害抵抗性個体８クローンが試験植栽されている。施肥区（マルモリ11号を窒素換算で10ｇ/本施用）と無施肥区での15成長期の成績について図－13に示した。施肥の効果は別として，クローンによる成長の違いは明瞭であった。今後は複層林下木としてだけでなく，長い目では上木としても適するのかどうか見極めが必要である。



図－13　二段林下木のクローン別（雪害抵抗性８系統）成績

４）上木伐採時の下木の損傷

二段林施業では，上木の間伐や収穫の際，下木に対する損傷被害が予想される。植栽配置の工夫や伐採技術である程度の回避は可能であろうが，物理的に，多かれ少なかれ損傷被害はやむを得ない。帯状はこの点では優れ，下木損傷を限りなく少なくできる。

２．複層林施業の実際

１）複層林施業の選択

複層林施業は様々なタイプがあり，それぞれ長所や短所がある（藤森，1992ａ）。複層林施業の実施にあたっては，導入の目的に合致しているか否か，現地で導入可能か否か，一斉林施業と比べメリットあるのかどうかなど十分に検討し，どのタイプの複層林がよいのかを選択する必要がある。県内で行われている複層林を主要な３タイプに絞り，現状の森林に応じてどのタイプの複層林への誘導が望ましいか，簡易な目安として図－14にフローチャートで示した。

２）二段林施業

二段林施業は，上木と下木の重複期間の違いにより，短期から長期（場合によっては常時）のタイプがあり，短期なほど造成管理はしやすく，長期なほど高度な技術を要し災害等のリスクも高くなる。このため，長期二段林施業の実施はより高齢な林分や災害等で既に上木が疎の状態になっている林分等に限って行ったほうが無難である。

土壌条件や上木の樹高成長から地位を判定し，特別な理由がある場合を除き，地位は中以上であることが望ましい。上木の林齢は概ね50年生以上を目安とし，理想としては長伐期施業の延長線上に複層林施業の導入を目指すと良い（藤森，1992ｂ）。適度な間伐が行われている林分を対象とし，上木の形状比90以上，樹冠長比30％以下の林分では風雪害の危険が高いため，二段林誘導は避けたほうが良い。形状比70前後以下，樹冠長比概ね40％以上の耐風性を備えた林分への誘導を目指す。

上木の密度管理は収量比数にして0.5～0.6程度を目安とし，誘導の際の１回の間伐（受光伐）による下げ幅は0.15以内が望ましい。この値であっても下木の成長が見込めない場合や，より多くの上木収穫が必要な場合は，収量比数をさらに下げる必要があるが，造成目的を勘案のうえ，災害等のリスクを十分に検討する必要がある。光環境改善のための枝打ちは，素材生産に必要な枝下高の確保や樹冠のバランスを保つ程度に止める。強度の枝打ちは耐風性の低下や材質の悪化につながりかねない。

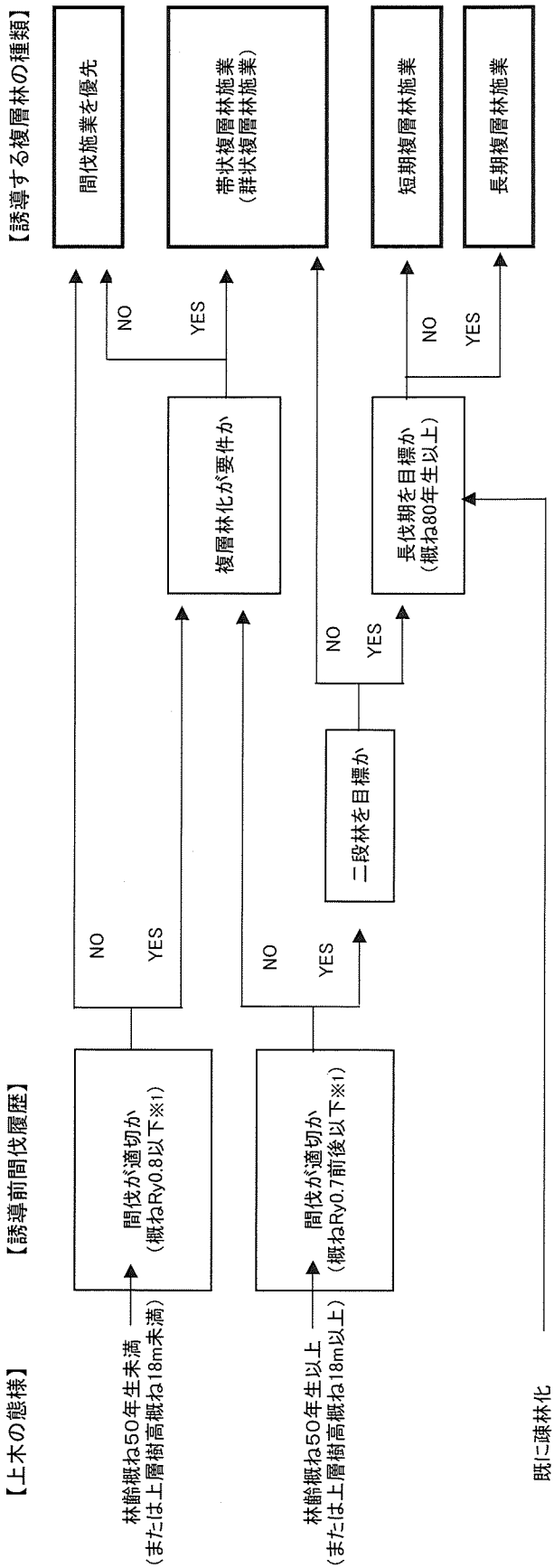
下木の植栽位置は，上木の配置や光環境，上木伐採計画等から決定し，均等な正方形植えにこだわる必要はなく，一般的には1,500本～2,000本／ha程度で行われている。下木に対する下刈りやツル伐りは，雑草木やツルの被圧程度を見て実施し，複層林施業の長所を活かす意味でも，画一的に毎年行う必要はない。ただし，前述のとおり，下木の成長が停滞し，被圧が続くようであれば長期の対応が必要となる。以上の指針を目安に，二段林誘導モデルを図－15に示した。

３）帯状複層林

帯状複層林は一斉林施業と二段林施業の折衷的な施業である。二段林施業に比べ，比較的複層林に誘導しやすく，一定の成績を確保しやすい。上木の帯であれ下木の帯であれ，広ければ広いほど一斉林施業に近くなり，狭ければ狭いほど二段林施業に近くなる。上木の管理は基本的に一斉林施業と変わらないが，間伐を行っていないような林では，形状比や枝下高が高く，特に林縁部では樹冠バランスに片寄りが生じ，耐風性や耐雪性に乏しくなりやすい。また，後生枝も発生しやすくなる。これらを最小限にするためには，二段林施業と同様，複層林誘導前の適度な間伐が重要である。

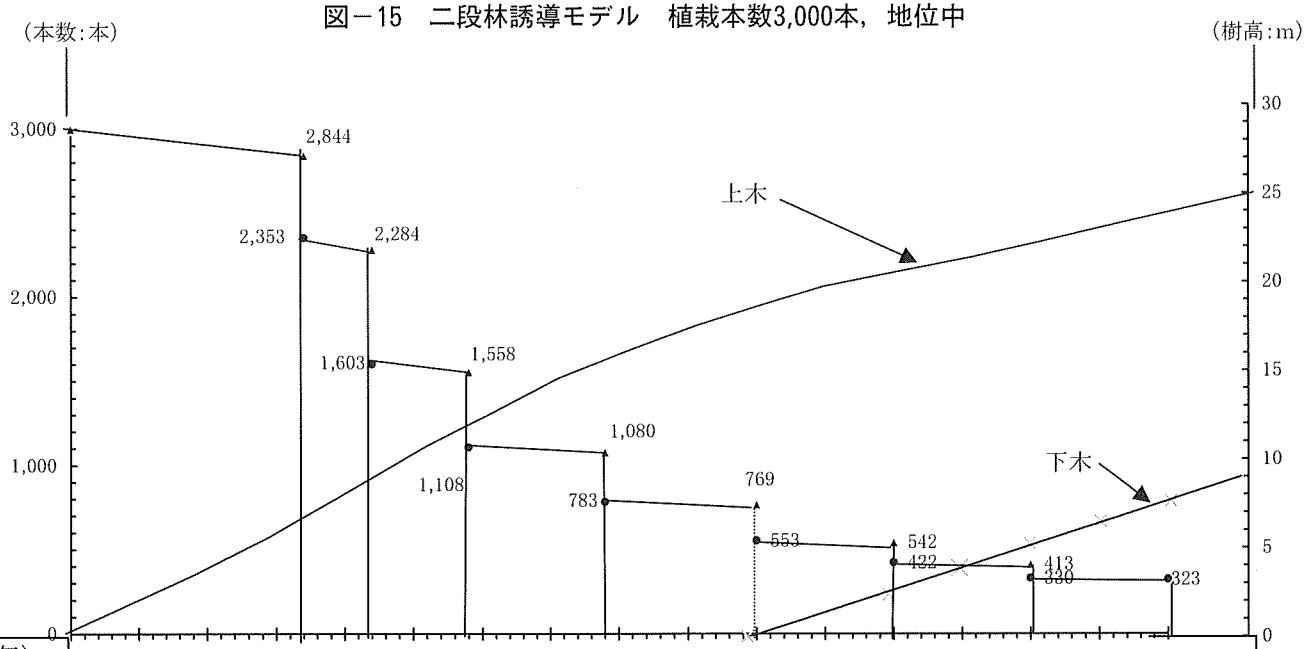
下木の管理も基本的には一斉林施業と変わらない。下木の帯の中心から上木との林縁に近づくにつれ，被陰の影響を受けやすくなり，下木の成長は相対的に低下していく。また同時に下刈りの対象となる雑草木も少なくなる。下木の帯幅は広ければ広いほど，光環境を獲得しやすくなるが，複層林施業としての長所は逆に活かせなくなる。下木の成長は，上木の平均樹高程度の幅があれば，一斉林程度の成長が見込める。よって，帯幅は上木樹高の幅を目安とする。上木の樹高は増加していくことから，あらかじめ主伐時の樹高を想定した帯幅で設定しても良い。経営方針に応じて，帯の数や林齢を変えていけば面的な多段林となり，保続性の確保がしやすくなる。

図－14　複層林誘導のための簡易指針



※1：間伐が適切かどうかの判定については、目安として収量比数で示したが、樹型（形状比、樹冠量など）や「間伐技術指針」（秋田県農林水産部　平成15年3月改定）などから総合的に判断すること。

図－15　二段林誘導モデル　植栽本数3,000本，地位中



林　齢(年)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
上木樹高(m)			3.9	6.4	8.7	10.8	12.7	14.4	15.9	17.3	18.5	19.6	20.6	21.6	22.4	23.1	23.8
下木樹高(m)													2.34	3.84	5.22	6.48	7.62
直　径(cm)			6.3	9.5	12.4	15.8	19.3	21.0	24.4	25.8	27.0	30.4	31.6	34.5	35.5	38.0	38.8
材　積(㎥)			27	86	148	191	221	287	297	355	410	384	426	406	437	405	430
間伐回数	80年伐期			1回目		2回目		3回目	4回目		5回目		6回目		7回目		主伐
間伐本数				491		682		450	297		216		119		83		
間伐率(%)				17		30		29	28		28		22		20		
間伐材積(㎥)				12		31		42	54		69		59		58		
保育基準 除伐(年)			(11)														
保育基準 下刈(年)	←→		(1～5)								←→		下木1～3				
保育基準 枝打(年)				(15)	(20)	枝下高4.0m											
保育基準 つる切り(年)			(11)	(16)									下木（11	(16)			
Ry 間伐前				0.61		0.66		0.66	0.66		0.63		0.56		0.52		0.47
Ry 間伐後				0.54		0.55		0.55	0.55		0.52		0.48		0.45		

※間伐モデル（低密度）植栽本数3,000本、地位中（秋田県農林水産部、2003）をベースに作成。　※50年生時に下木植栽、下木の樹高成長は上木の60%を想定した。
※河原（2001）を参考に、50年生以降は10年で相対照度10%以下になると仮定、10年ごとに間伐するモデルとした。　※50年生以降の自然枯死率は２%を想定。
※１回の間伐は本数間伐率30%以内、収量比数の下げ幅は0.15以内とした。　※50年生以降は、収量比数0.5前後での管理を基本とした。
※材積には下木材積は含まれていない。

引用文献

秋田県農林水産部（2003）間伐技術指針：2-15.

秋田県林業技術センター（1998）風害発生危険森林と耐風力のある森づくり：17-96.

藤森隆郎（1992ａ）複層林のタイプと施業体系（複層林マニュアル．藤森隆郎編著，全国林業改良普及協会，東京），41-44.

藤森隆郎（1992ｂ）施業の方向（台風19号等による森林災害の記録．日本造林協会，東京）45-47.

石田秀雄・金子智紀・保坂昭雄・安岡政幸・大井牧夫（1996）複層林の造成管理技術の開発．秋田県林業技術センター研究報告4：33-57.

伊藤精二・大井牧夫・畠山貞明（1996）複層林造成をめざしたスギ耐陰性試験．秋田県林業技術センター研究報告4：91-126.

河原輝彦（2001）複層林施業（多様な森林の育成と管理．河原輝彦．東京農大出版会）48-50.

小椋重信（1998）育成複層林施業とその推進方策．林業技術　667：7-9.

秋田県森技研報　第16号　2006年６月

マツノザイセンチュウ抵抗性木の大量選抜に関する研究

佐藤　博文・須田　邦裕

Studies on the Effective Selection of the Pine Wood as Resistant of the Pine Wood Nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*).

Hirofumi SATO and Kunihiro SUDA

要　旨

マツノザイセンチュウ抵抗性マツを効率的に選抜しうる簡便な抵抗性判定法の開発に取り組んだ。様々な抵抗性を有するマツを用いて切枝通過阻害試験および樹脂酸組成の分析を行い，抵抗性との関係を調べた。切枝通過阻害試験の結果，抵抗性マツとその他のマツ（非抵抗性および抵抗性不明のマツを主体とする）の線虫通過阻害率は，95%前後を境としてそれぞれ異なる領域に分布しており，抵抗性を判定する一指標となりえたが，この阻害率は，樹齢や季節により変動する可能性が示唆された。樹脂酸組成においては，線虫の接種に伴いデヒドロアビエチン酸（Dhy）含量の増加が認められた。Dhy 含量は，抵抗性マツにおいて後代実生の抵抗性強度を反映しており，動的抵抗性への関与が示唆された。ただし，非抵抗性マツにも Dhy 含量の多い系統がみられたことから，この物質が抵抗性に寄与するためには，線虫の移動・分散阻害作用の必要性が示された。種々の検討結果，これらの指標をもとに抵抗性マツの絞り込みが可能であると考えた。

Ⅰ．はじめに

マツ材線虫病は，マツノザイセンチュウの感染によって引き起こされるマツ類の激害型枯損を特徴とした急速な委凋病である。この病気による本県の被害材積は年々増加しており，平成15年度には年間31,597㎥にのぼるほど深刻な問題となっている（*1*）。当センターでは，これら被害地復旧対策の一環として平成４年より抵抗性マツの選抜育種に取り組んできた（*19*）が，現行の抵抗性判定法（接種検定）は，長い年月と多大な経費が必要であるうえ，研究者にかかる労力的な負担も少なくない。このため，簡便な手法により抵抗性を判定しようとする取り組みもみられる（*3*，*8*，*10*）。

マツノザイセンチュウ抵抗性の要因については，様々な物質の関与が示唆されている（*4*，*5*，*6*，*9*，*11*，*13*，*24*，*25*）が，その大半は種間の比較によるもので，系統間の差を説明した報告は極めて少ない。しかしながら，数々の知見は，様々な切り口から抵抗性の強弱を判別しうる可能性を示しており，非常に興味深い。

簡便な抵抗性判定法は，未だにその実用例がみられないものの，本県のような病兆進展が緩やかな寒冷地においては，現地選抜の際に激害林分中に多数存在しうる抵抗性の弱いマツを選抜してしまうリスクの削減に活用することで，検定効率の顕著な改善効果が期待される。

本研究は，こうした現状を踏まえ，マツノザイセンチュウ抵抗性マツを効率的に選抜しうる簡便な抵抗性判定法の開発に取り組んだ。ここでは，その主要な成果を報告する。

Ⅱ．材料および方法

マツノザイセンチュウ抵抗性の判定手法には，従来の接種検定のような生物検定法をはじめ，形態的な特徴や成分の比較など様々な方法が考えられる。ただし，その実施にあたっては，簡便であり，評価に要する期間が短いことや特殊な機器を可能な限り必要としないことが好ましい。ここでは，様々な試験を実施した結果，このような要件を満たし，抵抗性への関与が示唆されたマツ切枝通過阻害試験と樹脂酸組成の変化について記す。

１．試験材料

(1)　供試材料

本研究において用いた材料は，様々な抵抗性を有するアカマツおよびクロマツの当年生切枝である。表－１には，各試験に供試したマツの詳細を示した。これらのマツにおいては，樹齢10～40年生のものを成木，３～４年生のものを幼木とした。

(2)　供試線虫

マツノザイセンチュウは，独立行政法人林木育種センター東北育種場より配布された島原個体群を当センターで培養増殖して用いた。線虫の増殖と分離は戸田（*20*）および間宮ら（*14*）の方法に従った。分離した線虫は，大量の滅菌水に懸濁後，15～50ml容の滅菌チューブに分注を行い，冷蔵庫（４℃）で保存した。線虫ストックは，試験当日に冷蔵庫から取り出して線虫の活性を確認後，必要に応じて滅菌水の量を加減し，所定の線虫頭数を含む懸濁液を調製した。なお，ストックの試験使用は，長くても保存開始から約２週間を限度とした。

２．試験方法

(1)　マツ切枝通過阻害試験

１）成木および幼木による試験

Oku ら（*23*）および松永ら（*15*）の方法を一部改変し，マツ切枝通過阻害試験を実施した。切枝は，表－１に示したマツ計110系統（成木42，幼木88系統）の健全な当年枝基部（前年枝に近い側，径10mm前後）から調製した。供試切枝長は，予備試験の結果（*16*）をもとにクロマツ３cm，アカマツ１cmとした。材料は，11月上旬～２月下旬に採取した。採取した枝は，表面を軽く水洗し，予めやや長めの切枝を調製後，これを純水中に投入してマグネチックスターラーを用いて室温下約４時間の撹拌浸水処理を行った。接種は，水浸処理した切枝の木口面を解剖用メスを用いて滑らかに切りだして所定の長さに調製後，その上端に線虫約200頭／0.02mlの懸濁液を滴下して行った。接種面は直ちにパラフィルムで封じた。接種切枝は，３mlの水が入った培養用試験管（外径25mm×長さ10cm）中に接種面を上にして立て，30℃の暗所に置いた。24時間後に切枝を取り除き，試験管中の線虫数（A）

表－１　供試マツ系統

区分		アカマツ	低**	試験１*** 1)	2)	3)	試験２*** 1)	2)	3)	クロマツ	低**	試験１*** 1)	2)	3)	試験２*** 1)	2)	3)
成木（クローン）	抵抗性	総社ア39*a	5	○			○	○		波方ク73*a	5	○			○	○	
		笠岡ア124*a	4	○			○	○		波方ク37*a	4	○			○	○	
		備前ア137*a	4	○			○	○		土佐清水ク63*a	4	○			○	○	
		大分ア137*a	3	○			○	○		志摩ク64*a	3	○			○	○	
		佐賀関ア108*a	2	○			○	○		夜須ク37*a	3	○			○	○	
		五城目103		○			○	○		川内ク290*a	2	○			○	○	
		計６系統								計６系統							
	その他（精英樹等）	大館101	×	○			○			飽海101	×	○			○		
		大館103	×	○			○			中頸城101	×	○			○		
		鹿角102	?	○			○			中頸城108	?	○		○	○		
		北秋田105	?	○			○			本荘1	×	○			○		
		北秋田106	×	○			○			本荘2	×	○		○	○		
		北秋田107	?	○			○			能代1	×	○			○		
		北秋田109	?	○			○			能代3	×	○		○	○		
		五城目102	×	○			○			山本102	×	○			○		
		五城目105	?	○			○			山本104	×	○		○	○		
		南秋田101	?	○			○			由利1	×	○			○		
		中頸城103	×	○			○			由利3	×	○		○	○		
		西蒲原3	?	○			○			由利5	×	○			○		
		平鹿102	?	○			○			由利6	×	○		○	○		
		由利102	?	○			○			由利101	×	○			○		
		センター1	?	○						センター1	?	○					○
		計15系統								計15系統							
幼木（実生）	抵抗性	上越1*b		○	○												
		上越34*b		○	○												
		長岡11*b		○													
		長岡17*b		○	○												
		長岡55*b		○													
		新潟1*b		○													
		新潟47*b		○	○												
		新潟48*b		○													
		久留米ア144*a		○													
		山陽ア6*a		○													
		計10系統															
	抵抗性花粉＊交配種	総社ア39×大館103		○						波方ク73×飽海101		○	○				
		総社ア39×五城目102		○						波方ク73×本荘1		○	○				
		総社ア39×村上6*b		○						波方ク73×能代3		○	○				
		吉備ア77×五城目102		○						波方ク73×山本101		○	○				
		吉備ア77×西蒲原3		○						波方ク73×由利3		○	○				
		笠岡ア124×平鹿102		○						波方ク73×由利101		○					
		備前ア137×五城目103		○						波方ク37×飽海101		○					
		大分ア137×鹿角102		○						波方ク37×本荘1		○					
		大分ア137×五城目102		○						波方ク37×中頸城101		○					
		大分ア137×上越*b		○						波方ク37×由利1		○					
		大分ア137×長岡4*b		○						波方ク37×由利3		○					
		熊本ア16×大館104		○						波方ク37×由利4		○					
		熊本ア16×北秋田106		○						土佐清水ク63×飽海101		○					
		熊本ア16×五城目102		○						土佐清水ク63×中頸城103		○					
		熊本ア16×村上6*b		○						土佐清水ク63×山本102		○	○				
		西条ア8×五城目103		○						土佐清水ク63×由利6		○					
		西条ア8×東南置賜5		○						土佐清水ク63×由利101		○					
		西条ア8×長岡11*b		○						志摩ク64×山本104		○					
		佐賀関ア108×北秋田109		○						志摩ク64×由利5		○					
		佐賀関ア108×五城目102		○						志摩ク64×由利6		○					
		佐賀関ア108×長岡4*b		○						夜須ク37×本荘2		○					
										夜須ク37×中頸城101		○					
										夜須ク37×由利3		○					
										夜須ク37×由利6		○					
										川内ク290×中頸城101		○					
										川内ク290×中頸城102		○					
										川内ク290×由利1		○					
		計21系統								計27系統							
	その他	上越6，7*b	×	○						男鹿66，68，79，80，81		○					
		長岡4*b	?	○						金浦69，70，71，72		○					
		新潟2，18*b	×	○						西目73，74，75，78		○					
										にかほ1，2，3，4，5，6，7		○					
		一関101*a	0	○													
		岩泉101*a	0	○													
		岩手104*a	0	○													
		北蒲原2*a	0	○													
		三本木3*a	0	○													
		計10系統								計20系統							

＊抵抗性種苗，穂木，花粉（ａ：独立行政法人林木育種センターから配布された。ｂ：新潟県から提供された。）
＊＊抵抗性（数値：後代実生抵抗性の強度，ただし，０：テーダマツ同等の強度，?：不明，×：接種検定不合格を示す。）
＊＊＊実施試験（１：マツ切枝通過阻害試験，２：樹脂酸分析試験および各小項目を示す。）

を数えた。１系統あたりの供試切枝数は，クローン：３または実生：５本としてそれぞれの平均値を求めた。なお，材料は，採取後速やかに供試できない場合，濡れ新聞紙に包んでビニル袋にいれ，冷蔵庫（２～４℃）に保存した。同系統内の結果に顕著なバラツキがみられた場合には，再試験を実施した。

線虫の通過阻害率を算出するため，試験の都度２例以上の対照を設けた。対照は，前述の線虫懸濁液0.02mlを空の試験管中に直接滴下後，３mlの水を加えて既述の試験条件下に置いた。24時間後に全線虫数（B）をかぞえ，平均値を求めた。各系統の線虫通過阻害率は，次式により算出した。

$$通過阻害率（\%）＝（1－A／B）\times 100$$

２）前接種による影響

表－１に示した３年生の抵抗性花粉交配クロマツ実生６系統および暫定抵抗性採種園由来の抵抗性アカマツ自然交配実生４系統の計10系統を用い，切枝通過阻害作用に及ぼす前接種の影響を調べた。接種は，マツノザイセンチュウ抵抗性接種検定法に従い平成17年７月上旬に剥皮接種法により前年枝中央部に線虫10,000頭／0.1mlを滴下して行った。対照として一部の苗には接種を行なわず，平成17年11月下旬に前項の方法に従い両者の線虫通過阻害率を調べた。

３）季節変化による影響

平成17年11月上旬に１）項の試験に供したクロマツのうちの６系統について，平成18年２月上旬に再度枝を採取し，同試験に供して結果の再現性を調べた。

(2)　樹脂酸組成の変化

１）線虫接種による影響

樹脂酸は，十数種のジテルペン化合物からなる松脂の主要な成分で，一部の化合物は動的防御因子として抵抗性への関与が示唆されている（*4*）。このため，本試験は，線虫接種後における経時的な組成変化の把握を目的とした。試験は，無作為に選んだアカマツ，クロマツ成木各６系統（抵抗性３，その他３系統）の当年枝切枝に線虫を接種し，１，３および７日後の樹脂酸組成の変化を調べた。供試切枝長は約３cmとした。接種は，剥皮接種法により切枝の軸方向に沿って樹皮に鋸傷をつけ，露出した皮層に線虫０（水）または5,000頭／0.1mlを滴下して行った。接種切枝は，試験管（外径18mm×長さ18cm）に入れ，ラップで軽く蓋をして30℃の暗所に置いた。なお，供試枝は，接種試験終了後そのまま試験管の口をパラフィルムで封じ，分析時まで冷凍庫（－20℃）に保存した。

樹脂酸の分析は，ガスクロマトグラフィー（G－3000型 Gas Chromatograph，株式会社日立製作所）を用いて行った。分析試料は，剪定鋏で細切して順次液体窒素に投入後，プラスチック凍結粉砕器（TPH-01型 Freezing Plastic Mill，アズワン株式会社）を用いて粉砕を行った。粉砕粉末は，直ちにスクリュー管に秤取し，生重１gにつき１mlの内部標準液（Arachidic acid １mg／mlクロロホルム液）を添加した。抽出は，これに適量のクロロホルムを添加後，蓋をして２分間超音波をかけて行った。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して脱水濾過後，濾液0.1mlに等量のジアゾメタン・エーテル溶液を添加してカルボン酸のメチル化を行い分析試料とした。分析条件は，Zinkel ら（*26*）の方法を若干改変し，次のとおりとした。

・カ　ラ　ム：　SUPELCO BDS Capillary　(7m×0.25mm i.d., df= 0.25μm)
・カラム温度：　180℃（20分）→220℃　(４℃／分)
・注　入　口：　温度250℃　(スプリット比　１：５)
・検　出　器：　温度250℃　(検出器　FID)
・キャリヤーガス：　ヘリウム　(流速　1.2ml／分)

２）加温処理による影響

切枝通過阻害作用は，切枝の加温処理により失われる（*23*）ことから，この作用には，生命反応による動的な防御因子の関与が示唆されている。そこで，これを裏付けるための試験の一つとして，表－１に示す抵抗性アカマツ，クロマツ各６系統の切枝に加温処理を施し，線虫接種後における樹脂酸組成の変化を調べた。加温処理は，予め準備しておいた熱水（約90－100℃）に各切枝を５分間浸漬することにより行った。加温処理した切枝は，次に純水に浸して放冷を行い，前項に従い線虫5,000頭／0.1mlを接種して30℃の暗所に置いた。３日後に樹脂酸組成の GC 分析を行い，無処理の接種試験結果と比較した。なお，分析試料の調製および分析条件は前項に従った。

３）活性酸素による影響

活性酸素は，生物の防御反応において重要な役割を持つ（*2*）ことが知られており，マツでは，線虫接種後の早い段階で活性酸素の発生が認められている（*7*）ことから，動的な防御因子への関与が伺える。このため，活性酸素の樹脂酸組成に及ぼす影響を調べた。材料は，2006年２月に当センター構内ある抵抗性不明の10年生クロマツ前年枝から採取した新鮮な松脂を用いた。各試験区の組成は表－２のごとく設定した。活性酸素は，Fenton 反応（*2*）により，過酸化水素存在下に鉄触媒（硫酸第一鉄水溶液）を添加してヒドキシラジカル（HO・）を発生させた。反応は，1.2ml容のミクロチューブを用い，80%メタノールを溶媒として室温下に行った。１時間後，反応液に0.1mlの内部標準液を加え，さらにクロロホルムおよび水を各0.2ml追加して分配を行い，クロロホルム相を回収した。回収液は，無水硫酸ナトリウムを充填したミニカラムを通じて脱水を行い，窒素気流下に溶媒を留去した。残査は，0.1mlのジアゾメタン・エーテル溶液にて溶解後，GC 分析に供した。なお，分析条件は１）項に従った。

表－２　各試験区の反応液組成

試　薬	1	2	3	3	対照***
生松脂*(mg)	1	1	1	1	1
MeOH (μl)	400	400	400	400	400
10M H_2O_2(μl)	100	100	－	－	－
H_2O (μl)	－	－	100	100	－
1M $FeSO_4$(μl)	＋*	－	＋	－	－

＊当センター構内にあるクロマツから2006年２月中旬に採取した。
＊＊反応開始触媒として，1M 硫酸第一鉄水溶液を一滴添加した。
＊＊＊内部標準液を添加後，溶媒を留去して分析試料とした。

Ⅲ．結果および考察

１．マツ切枝通過阻害試験

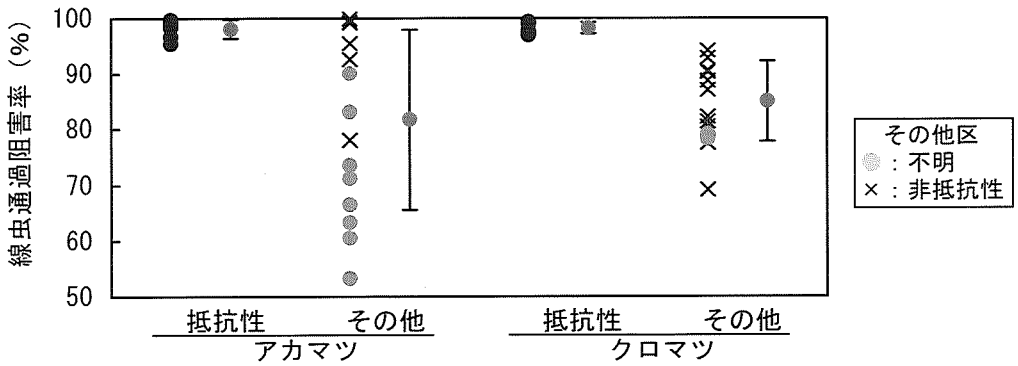
(1)　試験結果

１）成木

阻害率の平均は，アカマツ，クロマツともに抵抗性区で98％強を示し，精英樹等を主体とするその他区よりそれぞれ10％以上高かった（表－３，４）。樹種別に各系統の成績をみると，クロマツでは，抵抗性区97.0（波方ク37）～99.4％（土佐清水ク63），その他区69.2（由利101）～94.2％（山本104）と両区の分布域に重なりはみられなかった。一方，アカマツでは，抵抗性区95.4（備前ア137）～99.7％（総社ア39），その他区53.3（鹿角102）～99.9％（北秋106，平鹿102）と，若干の重なりがあり，クロマツより変異に富む可能性が示唆された（図－１）。なお，アカマツその他区では，３系統の接種検定不合格木が99％以上の阻害率を示しているが，これらは，２月に調査したものの一部であることから，季節変動により阻害率が高まっている可能性が考えられた。以上から，抵抗性は，アカマツ，クロマツともにおおむね95％前後の阻害率を境として容易に判別することができたが，結果は試験時期によって異なる可能性が示唆された。

２）幼木

幼木の阻害率は，クロマツ，アカマツともに全般的に高く，各平均値はいずれも成木の抵抗性区とほぼ同等ないしはそれ以上の成績を示した（表－３，４）。こうした理由については，樹齢や前接種の影響が考えられた。阻害率については，クロマツの結果をみる限り，抵抗性花粉交配区99.3，候補木区97.1％となっており，成木の場合と同様に抵抗性花粉交配区で高かった。この区の阻害率をそれぞれ花粉親別にみると，100％の阻害率を示した系統数の割合は，クロマツでは，波方ク73（５／６），波方ク37（５／６）＞土佐清水ク63（２／５）＞志摩ク64（１／３）＞夜須ク37（１／４）＞川内ク290（０／３）と後代実生の抵抗性強度（*21*）を反映した結果となったが（表－４），アカマツでは，これに反して大分ア137（３／４）や佐賀関ア108（２／３）など抵抗性強度が中～下位の系統に多くみられる傾向にあるとともに，抵抗性区よりその他区の阻害率が高かった（表－３）。このことから，線虫通過阻害作用は，抵抗性マツに必要な一特性とみることは出来るが，抵抗性の強さを見積もる指標としては充分なものでないことが明らかとなった。



図－１　各試験区の切枝通過阻害試験結果

表－3　アカマツの切枝通過阻害試験結果

成木（クローン）						幼木（実生）					
抵抗性			その他			抵抗性		抵抗性花粉交配種		その他	
系統名	抵	阻害率(%)	系統名	抵	阻害率(%)	系統名	阻害率(%)	系統名	阻害率(%)	系統名	抵	阻害率(%)
総社ア39	5	99.7	大館101	×	99.3	上越1	100	総社ア39×大館103	100	一関101	－	99.0
笠岡ア124	4	98.3	大館103	×	99.2	上越34	100	総社ア39×五城目102	99.7	岩泉101	－	98.8
備前ア137	4	95.4	鹿角102	?	53.3	長岡11	98.9	総社ア39×村上6	98.0	岩手104	－	99.0
大分ア137	3	98.9	北秋田105	?	90.1	長岡17	99.8			北蒲原2	－	100
佐賀関ア108	2	96.7	北秋田106	×	99.9	長岡55	98.3	吉備ア77×五城目102	100	三本木3	－	98.8
五城目103	?	99.3	北秋田107	?	95.5	新潟1	95.3	吉備ア77×西蒲原3	97.7			
			北秋田109	?	63.4	新潟47	100					
			五城目102	×	78.0	新潟48	100	笠岡ア124×平鹿102	98.9	新潟2	×	96.6
			五城目105	?	60.6					新潟18	×	99.9
			南秋田101	?	83.1			＊備前ア137×五城目103	99.0	長岡4	?	99.9
			中頸城103	×	92.6	久留米ア144	98.9			上越6	×	100
			西蒲原3	?	73.6	山陽ア6	96.1	大分ア137×鹿角102	100	上越7	×	100
			平鹿102	?	99.9			大分ア137×五城目102	100			
			由利102	?	71.3			＊大分ア137×上越34	100			
			センター1	?	66.6			大分ア137×長岡4	99.9			
								熊本ア16×大館104	99.4			
								熊本ア16×北秋田106	100			
								熊本ア16×五城目102	99.6			
								熊本ア16×村上6	100			
								西条ア8×五城目103	99.6			
								西条ア8×東南置賜5	96.4			
								＊西条ア8×長岡11	96.4			
抵：抵抗性			抵：抵抗性					佐賀関ア108×北秋田109	97.4	抵：抵抗性		
後代実生抵抗性	5	強い	接種検定結果	×	不合格			佐賀関ア108×五城目102	100	接種検定結果	×	不合格
	4	↑		?	不明			佐賀関ア108×長岡4	100		?	不明
	3											
	2	↓						＊抵抗性×抵抗性の組み合わせ				
	1	弱い										
	?	不明										
計6系統		98.1	計15系統		81.8	計10系統	98.7	計21系統	99.1	計10系統		99.2

表－4　クロマツの切枝通過阻害試験結果

成　木（クローン）						幼　木（実　生）			
抵抗性			その他			抵抗性花粉交配種		抵抗性候補木	
系　統　名	抵	阻害率（%）	系　統　名	抵	阻害率（%）	系　統　名	阻害率（%）	系　統　名	阻害率（%）
波方ク73	5	97.4	飽海101	×	90.5	波方ク73×飽海101	100	男鹿66	97.3
波方ク37	4	97.0	中頸城101	×	80.4	波方ク73×本荘1	99.4	男鹿68	86.9
土佐清水ク63	4	99.4	中頸城108	?	79.1	波方ク73×能代3	100	男鹿79	99.8
志摩ク64	3	99.0	本荘1	×	87.0	波方ク73×山本101	100	男鹿80	93.8
夜須ク37	3	99.1	本荘2	×	81.3	波方ク73×由利3	100	男鹿81	99.3
川内ク290	2	97.8	能代1	×	90.3	波方ク73×由利101	100		
			能代3	×	92.8			金浦69	99.9
			山本102	×	82.2	波方ク37×飽海101	99.4	金浦70	100
			山本104	×	94.2	波方ク37×本荘1	100	金浦71	94.7
			由利1	×	88.7	波方ク37×中頸城101	100	金浦72	94.7
			由利3	×	77.5	波方ク37×由利1	100		
			由利5	×	90.5	波方ク37×由利3	100	西目73	98.5
			由利6	×	92.5	波方ク37×由利4	100	西目74	96.8
			由利101	×	69.2			西目75	99.4
			センター1	?	78.2	土佐清水ク63×飽海101	98.3	西目78	99.7
						土佐清水ク63×中頸城103	100	H14. センバツ	
						土佐清水ク63×山本102	100	にかほ1	95.6
						土佐清水ク63×由利6	94.2	にかほ2	97.2
						土佐清水ク63×由利101	97.2	にかほ3	99.8
								にかほ4	96.3
						志摩ク64×山本104	100	にかほ5	98.5
						志摩ク64×由利5	98.3	にかほ6	98.1
						志摩ク64×由利6	99.9	にかほ7	96.3
						夜須ク37×本荘2	100		
						夜須ク37×中頸城101	99.6		
抵：抵抗性			抵：抵抗性			夜須ク37×由利3	98.1		
後代実生抵抗性	5	強い	接種検定結果	×	不合格	夜須ク37×由利6	99.9		
	4	↑		?	不明				
	3					川内ク290×中頸城101	99.9		
	2	↓				川内ク290×中頸城102	98.9		
	1	弱い				川内ク290×由利1	99.8		
計6系統		98.3	計15系統		85.0	計27系統	99.3	計20系統	97.1

(2)　前接種による影響

抵抗性後代実生の幼苗は，いずれの系統においても切枝通過阻害作用が強かった。各系統の阻害率は，無接種区98.1～100%，前接種区99.4～100%に分布し，両区間に差は認められなかったものの，阻害率が100%を示した系統数をみると，無接種区５，前接種区８と後者が若干多かった（表－５）。これより，前接種が阻害率に影響を及ぼす可能性が示唆されたことから，本試験系が動的抵抗性も検出しうることが推察された。

(3)　季節変化による影響

11月と翌２月に実施した試験結果はかなり異なっており，２月枝の阻害率は，11月のそれより平均で15.4%も上昇していた（表－６）。この原因としては，線虫，供試枝の部位を変えていないことから，供試枝が試験前に置かれた気象条件の違いやそれによる生理状態の違いなどを要因とした季節変動による影響が考えられた。なお，今回，試験結果のバラツキを抑制する目的で，供試切枝にはいずれも予め約４時間の水浸処理を施した。しかし，本結果からこの水浸処理がこうした変動要因の影響を緩和できないことが判明した。

表－５　線虫通過阻害率に及ぼす前接種の影響

樹　種	系　統		前接種	対　照
クロマツ	波方73×	飽海101	100	100
		本荘1	99.4	98.1
		能代3	100	99.7
		山本101	100	100
		由利3	100	100
	土佐清水63×	山本102	100	98.3
	平　均		99.9	99.4
アカマツ	上越1		100	100
	上越34		100	99.2
	長岡17		99.8	99.9
	新潟47		100	100
	平　均		100.0	99.8

表－６　線虫通過阻害率に及ぼす季節変化の影響

樹　種	系　統	11　月	2　月
クロマツ	山本104	94.2	99.6
	能代3	92.8	99.9
	由利6	92.5	100
	本荘2	81.3	99.2
	中頸城108	79.1	99.7
	由利3	77.5	99.4
	平　均	86.2	99.6

２．樹脂酸組成の変化

(1)　線虫接種による影響

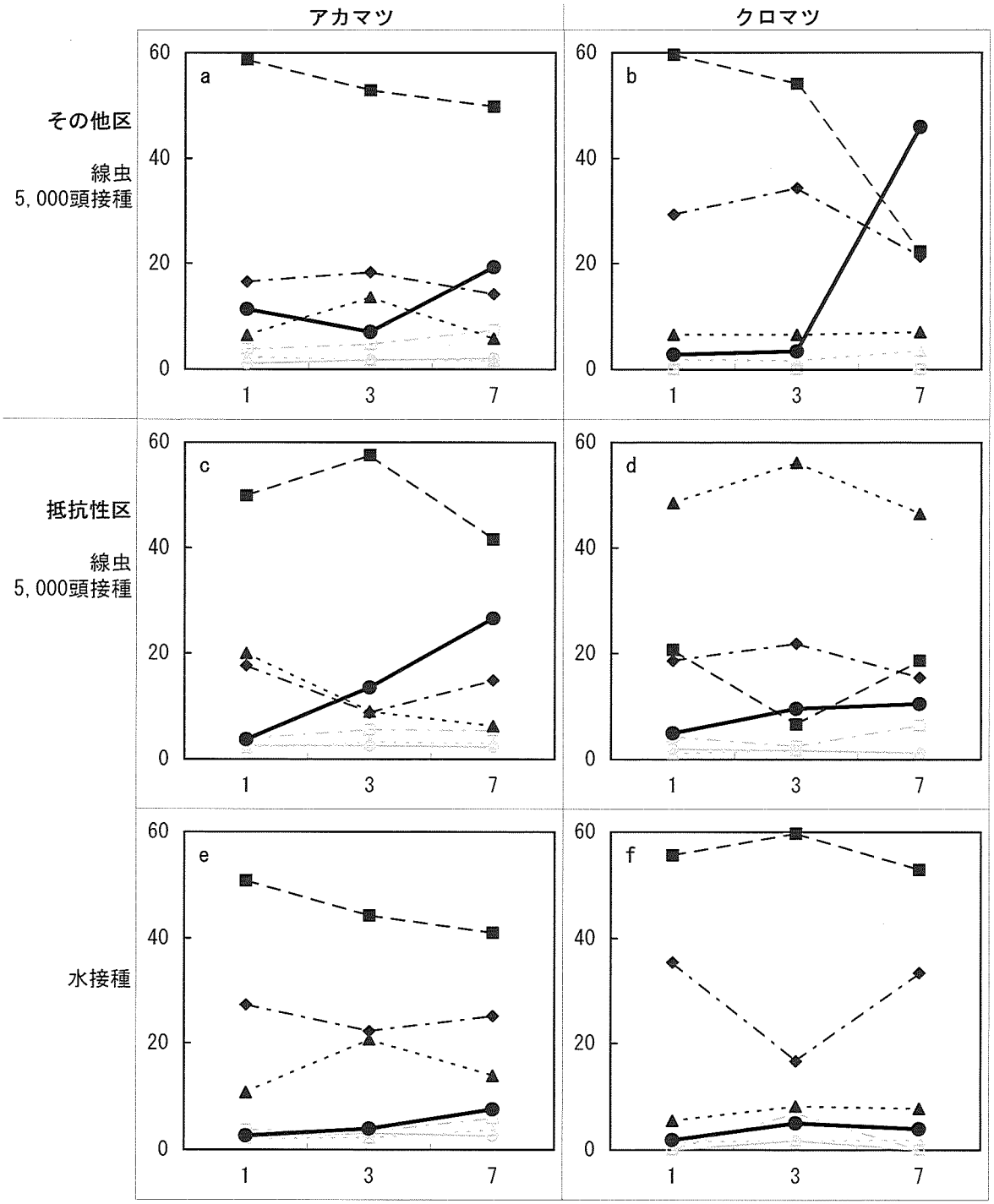
図－２には，各種マツに線虫5,000頭または水を接種した切枝における樹脂酸の相対的な組成の変化を示した。このうち，線虫を接種した試験区（図－２ａ～ｄ）では，いずれもレボピマル酸（Lev）＋パラストリン酸（Pal。今回の分析条件では，両成分のピークが重なっていた），アビエチン酸（Abi），デヒドロアビエチン酸（Dhy）およびネオアビエチン酸（Neo）の含有率に大きな変動がみられ，その増減関係から，Lev→（Abi，Neo，Pal）→Dhy の経路を示唆する Dhy 含有率の増加が認められた。

一方，抵抗性マツに水を接種した試験区においては，Lev＋Pal，Abi および Neo に若干の変動がみられたものの，Dhy にはさほど変化が認められなかった（図－２ｅ，ｆ）。このことから，接種切枝における Dhy 含有率の増加は線虫の接種に起因することが示唆された。

Dhy と抵抗性との関係を明らかにするため，上述の試験結果をもとに生材１ｇあたりの Dhy 含量の変化を調べた。その結果，クロマツでは，抵抗性区1.00→1.86，その他区0.09→0.85mg／ｇ生材と，抵抗性区においてその他区より終始高い含有量を維持していた（図－３ｂ）が，アカマツでは，抵抗性区0.27→1.31，その他区0.46→1.10mg／ｇ生材と，両区間でさほど変わらない増加カーブを示しており（図－３ａ），明確な結論が得られなかった。

このため，供試系統数を増やし，各系統ごとに線虫接種３日後における乾材１ｇあたりの Dhy 含量を測定した。結果は表－７に示したとおりであり，各試験区における Dhy 平均含量は，両樹種で抵抗性区のほうがその他区より若干低いものであったが，抵抗性マツの含量だけに着目してみると，クロマツでは，波方ク73（3.15）＞土佐清水ク63（2.32）＞波方ク37（1.99）＞志摩ク64（1.52）＞川内ク290（1.39）＞夜須ク37（1.04mg／ｇ乾材），アカマツでは，総社ア39（3.05）＞備前ア137（2.33）＞笠岡ア124（1.98）＞大分ア137（1.15）＞佐賀関ア108（0.96mg／ｇ乾材）の順となっており，後代実生における抵抗性の強度をほぼ反映していることが明らかとなった。

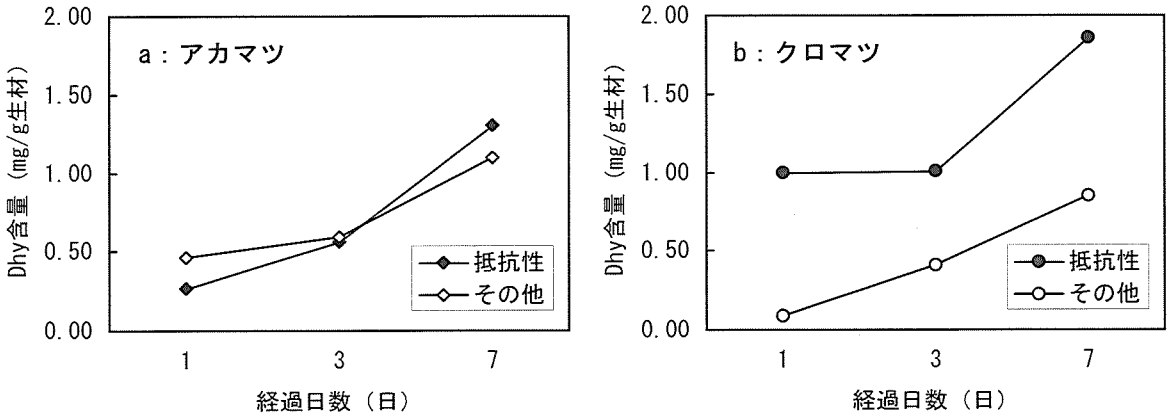
以上から，Dhy は，動的因子として抵抗性への関与が示唆されたが，そのためには，線虫の移動・分散阻害作用を必要とするものと思われた。なお，この考えをもとにすれば，誘導抵抗性（*12*）については，線虫の移動・分散が容易な非抵抗性マツ中にみられる Dhy 含量の高い系統によって，その現象を説明しうることが推察された。



図－2　マツノザイセンチュウ5,000頭または水0.1ml接種後の樹脂酸組成の変化

縦軸：各種樹脂酸の含有率を、また、横軸：接種後の経過日数を示す。

ピマル酸
サンダラコピマル酸
レボ＋パラストリン酸
イソピマル酸
アビエチン酸
デヒドロアビエチン酸
ネオアビエチン酸



図－3　マツノザイセンチュウ5,000頭接種後のデヒドロアビエチン酸含量の変化

表－７　様々な抵抗性有するマツ成木のデヒドロアビエチン酸含量

区分	クロマツ	抵抗性	Dhy.*含量（mg/g乾材）	アカマツ	抵抗性	Dhy.*含量（mg/g乾材）
抵抗性	波方ク73	5	3.15	総社ア39	5	3.05
	波方ク37	4	1.99	笠岡ア124	4	1.98
	土佐清水ク63	4	2.32	備前ア137	4	2.33
	志摩ク64	3	1.52	大分ア137	3	1.15
	夜須ク37	3	1.04	佐賀関ア108	2	0.96
	川内ク290	2	1.39	五城目103*	－	1.24
	平　均		1.90	平　均		1.78
その他	飽海101	×	0.96	大館101*	×	9.89
	中頸城101	×	1.78	大館103*	×	1.00
	中頸城108	?	1.07	鹿角102	?	2.14
	本荘1	×	4.81	北秋105	?	1.56
	本荘2	×	4.42	北秋106*	×	5.17
	能代1	×	1.07	北秋107*	?	4.03
	能代3	×	3.15	北秋109	?	1.50
	山本102	×	4.05	五城目102	×	2.97
	山本104	×	2.52	五城目105	?	0.74
	由利1	×	2.74	南秋101	?	5.69
	由利3	×	2.92	中頸城103*	×	2.93
	由利5	×	3.62	西蒲原3	?	1.82
	由利6	×	3.68	平鹿102*	?	1.23
	由利101	×	3.55	由利102	?	4.88
	平　均		2.88	平　均		3.25

＊2005年11月～2006年２月上旬に採取した枝による分析結果を示す。

(2)　加温処理の影響

クロマツ，アカマツの加温処理区では，ともに無処理区にみられる Dhy 含有率の増加が認められなかった（表－８）。このことから，線虫接種後の切枝にみられる Dhy の急速な増加は，線虫の侵入に伴うマツの生物的な反応によって引き起こされることが明らかとなった。なお，その他の樹脂酸の含有率をみると，クロマツ無処理区では Neo の，また，アカマツ同区では Lev＋Pal の減少がみられた。このことは，Neo および Pal が Dhy の前駆体となっているという前項の考えを支持するものと思われた。

表－８　線虫を接種した抵抗性マツの樹脂酸組成と加温処理の影響

樹脂酸*	クロマツ **		アカマツ **	
	無処理	加温処理	無処理	加温処理
Pim	0.7%	0.9%	2.2%	1.2%
San	1.9	2.0	3.3	2.2
Lev/Pal	39.2	32.5	39.0	56.9
Iso	2.8	tr***	3.0	2.2
Abi	15.9	16.5	12.6	6.2
Dhy	10.3	3.0	14.8	4.8
Neo	29.2	45.2	25.1	28.7

Pim＝pimaric，San＝sandracopimaric，Lev/Pal＝levopimaric＋palustric，
Iso＝isopimaric，Abi＝abietic，Neo＝neoabietic acid methylester
＊分析試料は，ジアゾメタンによりメチル化した。
＊＊供試系統数は，クロマツ６，アカマツ５品種とした。
＊＊＊検出されたピークは，痕跡程度であった。

(3)　活性酸素の影響

１区においては，Dhy 含有率の顕著な増加（30.3%）と Lev＋Pal の減少（38.2%）が確認されたものの，他の試験区においては，樹脂酸組成にほとんど変化がみられなかった（表－９）。このことから，本試験に用いた試薬類が樹脂酸組成の変化を引き起こす可能性は否定されるとともに，活性酸素が Dhy の急速な生成を促すことが明らかとなった。

表－９　活性酸素（HO・）が生松脂の樹脂酸組成に及ぼす影響

樹脂酸*	各試験区の含有率（%）				
	1	2	3	4	対照
Pim	5.0	2.3	2.3	2.9	2.6
San	1.7	1.0	1.0	0.9	0.9
Lev/Pal	38.2	64.2	66.6	64.7	64.0
Iso	tr**	tr	tr	tr	tr
Abi	20.7	19.5	18.3	18.9	19.2
Dhy	30.3	0.7	0.9	0.7	0.9
Neo	4.2	12.2	11.0	11.8	12.5

Pim＝pimaric，San＝sandracopimaric，Lev/Pal＝levopimaric＋palustric，
Iso＝isopimaric，Abi＝abietic，Neo＝neoabietic acid methylester
＊分析試料は，ジアゾメタンによりメチル化した。
＊＊検出されたピークは，痕跡程度であった。

３．考察

マツノザイセンチュウ抵抗性の簡便な判定法を開発するため，様々な抵抗性を有するマツ切枝を用いて線虫の移動・分散の難易性，ならびに，樹脂酸組成の変化と抵抗性との関係について調べた。

線虫の移動・分散の難易性については，マツ切枝通過阻害試験により評価を行った。その結果，線虫通過阻害率は，おおむね抵抗性を反映することが明らかとなったが，各系統の抵抗性強度とは必ずしも一致しなかった。このことからは，線虫通過阻害作用が抵抗性マツに必要な一特性とみることが出来るが，抵抗性の強さは，他の要因により決定されている可能性が示唆された。

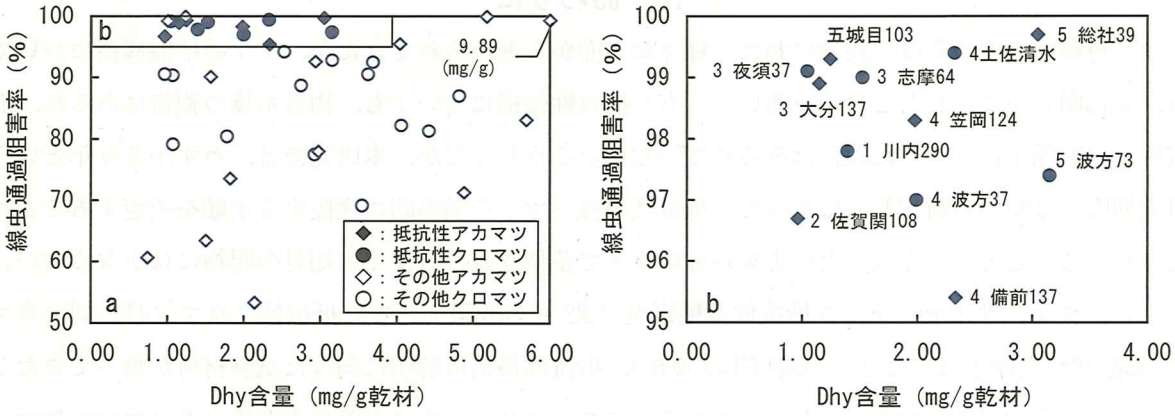
樹脂酸組成の変化については，その１成分である Dhy の挙動に着目した。Dhy は，松脂に含まれていることから，侵入線虫と速やかに接触することが可能であり，線虫接種後短期間のうちに増加すること，過去に殺線虫作用や抗菌性が報告されていること（*4*，*18*）など，動的抵抗性への関与が示唆された。線虫接種３日後におけるマツ切枝の Dhy 含量は，最高9.89mg／g乾材（大館101）にものぼり，その樹脂酸中における含有率（23.3%）は，in vitro 下に殺線虫作用を示しうる濃度（0.7 mM：約0.02%）（*4*）をはるかに上回っていた。

各系統の切枝通過阻害率と Dhy 含量との関係を調べた結果（図－４ａ），これらの指標はそれぞれ独立した系統固有のものであり，抵抗性要因としては，線虫の切枝通過阻害率が Dhy 含量より優先した。また，抵抗性マツの Dhy 含量は，抵抗性強度を反映したものであった（図－４ｂ）。

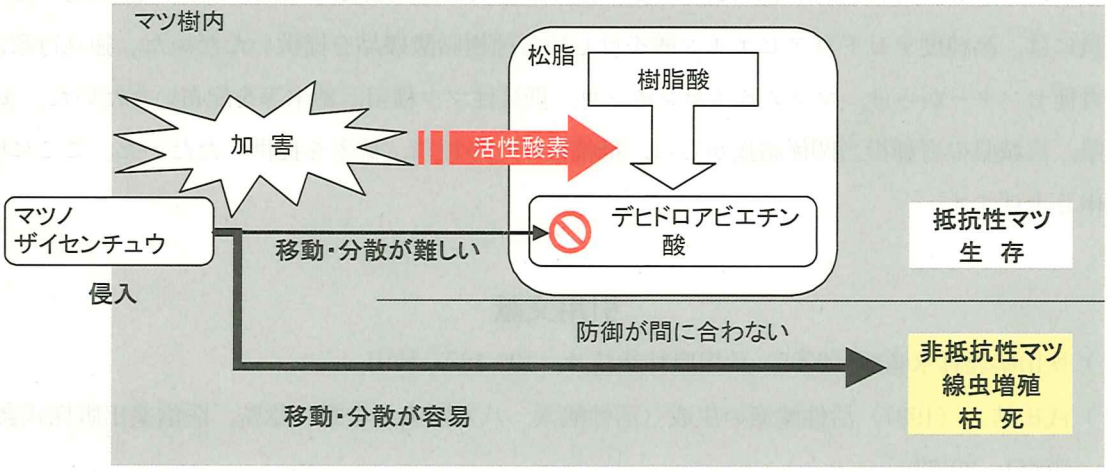
これらの結果から，抵抗性は，動的な防御因子が機能し始めるまでの間，線虫の動きを封じ込めておけるか否かに依存していることが示唆され，その性質は，それぞれのマツが持つ線虫の移動・分散阻害能力により，また，抵抗性の強さは，線虫の侵入に伴う動的因子の発現能力により左右される可能性が考えられた。

マツ樹内における本来の Dhy の働きは，いまのところ明確でない。しかしながら，線虫接種後にみられた Dhy 含量の増加は，明らかに生命反応によって引き起こされるものであり，加温処理した枝では線虫通過阻害作用が失われ，Dhy の増加がみられないことや，活性酸素によりその生成が促進されることなどから，このものが抵抗性に関わっている可能性は充分に考えられた。また，Dhy 含量は，非抵抗性マツでも線虫接種後顕著に増加する系統があることや，２月に採取した激害地生存木の枝にも比較的多量に含まれていたこと（*17*）などから，樹内においては長期間高濃度のまま維持されることが示唆され，誘導抵抗性への関与も考えられた。

以上の結果と考察をもとに，マツノザイセンチュウ抵抗性機構の一部分について図－５のようにイメージし，抵抗性マツの選抜を次の手順で実施ことに決定した。なお，本手法により選抜したマツについては，従来の接種検定に供してその性能を検証するとともに，併記した課題については，さらなる検討を行い試験条件の最適化を図りたい。



図－4　切枝通過阻害率とデヒドロアビエチン酸含量との関係



図－5　マツノザイセンチュウ抵抗性機構の一部分（仮説）

【選抜手法】

① 激害地生存木を切枝通過阻害試験に供し，阻害率の高い系統を選抜する。

課題：　材料の規格，試験時期等　条件の最適化

② ①による選抜木の切枝に線虫を接種し，Dhy 含量の高い系統を選抜する。

課題：　本来の役割，材料の規格，接種線虫頭数，試験時等　条件の最適化

Ⅳ．おわりに

マツ材線虫病の研究は，長期にわたり様々な方面から進められてきたが，マツの枯損機構については，未だ明らかにされたとは言い難い。一方，抵抗性機構についても，物質示唆の報告はあるが，抵抗性との関係を結びつけた報告はみられていない。こうしたなか，本研究では，わずか３カ年という研究期間のなかで，暫定的ではあるが，抵抗性の強いマツを効率的に選抜する手順を決定することができた。このことは，先人のたゆまぬ研究によって蓄積された数多くの知見の賜物にほかならない。

今日，マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業（*22*）の成果として，抵抗性クロマツ41，同アカマツ135品種が登録されており（平成17年度現在），抵抗性機構の解明に向けた試験材料が整ってきたことは，大変心強いことである。しかしながら，これらのリスト中に未だ日本海側のクロマツが加わっていない現実もしっかりと受けとめる必要がある。特に，本県の海岸線の大半は砂浜であり，マツ林は地域住民の生活基盤を守る重要な役割を果たしていることから，早急なる抵抗性マツの開発が望まれている。今後，本研究の成果を活用することにより，こうしたニーズに応えたい。

謝　　辞

本研究の遂行にあたり，秋田県立大学木材高度加工研究所の土居修一教授（現 筑波大学），澁谷栄博士には，GCMS 分析のご指導いただいた。荒川化学工業株式会社の大瀬戸治氏，恵崎陽一郎主任研究員には，高純度デヒドロアビエチン酸をはじめ各種樹脂酸標品を提供いただいた。独立行政法人林木育種センターからは，マツノザイセンチュウ，抵抗性マツ種苗，穂木等を配布いただいた。また，新潟県，宮城県の育種担当関係諸氏からは，抵抗性マツの種苗，穂木を提供いただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

引用文献

（*1*）秋田県農林水産部（2005）秋田県林業統計．196-197，秋田.

（*2*）浅田浩二（1987）活性酸素の生成（活性酸素．八木國夫・中野　稔監，医歯薬出版株式会社，東京），33-63.

（*3*）在原登志男（1997）マツ材線虫病抵抗性簡易検定法の試み（Ⅰ）－冬期間に接種した数種マツ切り枝におけるマツノザイセンチュウの移動，増殖または死滅－．森林防疫 46：3-8.

（*4*）Bolla, R. I., Nosser, C. and Tamura, H.（1989）Chemistry of Response of Pinus to *Bursaphelenchus xylophilus*：Resin Acids. Jpn. J. Nematol. 19：1-6.

（*5*）藤本吉幸・長浜静男（1989）マツノザイセンチュウ抵抗性の化学的要因に関する研究（予報）．林木育種センター九州林木育種場年報 18：53-55.

（*6*）Futai, K.（2003）Abnomal Metabolites in Pine Wood Nematode-inoculated Japanese Black Pine. Jpn. J. Nematol. 33：45-56.

（*7*）二井一禎（2003）マツ枯れは森の感染症 森林微生物相互関係論ノート．文一総合出版，東京.

（*8*）袴田哲司・加藤公彦・牧野孝宏・山本茂弘（2004）マツノザイセンチュウを接種したクロマ

ツから発生する微弱発光．日植病報 70：162-167.

（*9*）池田武文・山田利博（1997）マツの発病機構とマツの反応．（松くい虫（マツ材線虫病）－沿革と最近の研究－，全国森林病虫獣害防除協会編，協文社，東京），65-94.

（*10*）川口エリ子（2005）皮相樹脂道の形質とマツノザイセンチュウの移動 －抵抗性の異なる樹種間での比較－．第116回日本林学会大会学術講演集：PA169.

（*11*）河津一儀（1990）マツノザイセンチュウ感染による樹体成分の変動．農化誌 64：1262-1264.

（*12*）清原友也（1990）マツ材線虫病における誘導抵抗性．農化誌 64：1251-1253.

（*13*）Kuroda, K.（1989）Terpenoids Causing Tracheid-Cavitation in *Pinus thunbergii* Infected by the Pine Wood Nematode（*Bursaphelenchus xylophilus*）. Ann. Phytopath. Soc. Japan 55：170-178.

（*14*）真宮靖治・二井一禎・小坂肇（2004）1.7 マツノザイセンチュウの培養法（線虫学実験法．日本線虫学会編，日本線虫学会，茨城），141-143.

（*15*）松永孝治・富樫一巳（2002）アカマツ枝におけるマツノザイセンチュウ通過阻害の季節的な変化．第113回日本林学会大会学術講演集：82pp；（2003）アカマツにおけるマツノザイセンチュウ通過阻害能力の個体変異．第114回日本林学会大会学術講演集：114pp.

（*16*）佐藤博文・須田邦裕（2004）マツ新梢切枝を用いたマツノザイセンチュウ通過阻害試験．東北森林科学会第9回大会講演要旨集：44pp.

（*17*）佐藤博文（2005）マツノザイセンチュウ抵抗性木の大量選抜に関する研究．秋田県森林技術センター業報：35-36.

（*18*）Soderberg, T., A., Gref, R., Holm, S., Elmros, T., Hallmans, G.（1990）Antibacterial Activitiy of Rosin and Resin acid in vitro. Scand. J. Plast. Reconstr. Surg. Hand. Surg. 24：199-205.

（*19*）須田邦裕・伊藤精二・真坂京子・富樫　均・澤田智志・佐々木明夫（2003）東北地方等マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業．秋田県森林技術センター研究報告：1-12.

（*20*）戸田忠雄（2000）抵抗性マツを生産するための材線虫の培養技術と接種技術．林木育種センター九州育種場年報 28：50-61.

（*21*）戸田忠雄（2004）アカマツおよびクロマツのマツ材線虫病抵抗性育種に関する研究．林木育種センター研究報告 20：83-204.

（*22*）戸田忠雄・寺田貴美雄（2001）林木育種のプロジェクト(3) －マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業－．林木の育種 198：39-43.

（*23*）Oku, H., Shiraishi, T. and Chikamatsu, K.（1989）Active Defence as a Mechanism of Resistance in Pine against Pine Wilt Disease. Ann. Phytopath. Soc. Japan 55：603-608.

（*24*）奥八郎（1990）激害型マツ枯損病と毒素．農化誌 64：1254-1257.

（*25*）Yamada, T. and Ito, S.（1993）Chemical Defence Responses of Wilt-Resistant Pine Species, *Pinus strobus* and *P. taeda*, against *Bursaphelenchus xylophilus* Infection. Ann.

Phytopath. Soc. Japan 59：666-672.

（*26*）Zinkel, D., F. and Han, J., S.（1986）GLC Detection of the Resin Acid Composition in Rosins and Oleoresins: State of Art. Naval Stores Rev. 14：14-19.

研 究 報 告（第16号）

平成18年6月発行

編　　集　　編集委員長　黒木　　丞

編 集 委 員　三浦義之，佐藤好憲，伊藤精二，
遠藤喜代美，阿部　実，金子智紀，
眞坂京子

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

ＴＥＬ　018－882－4511

ＦＡＸ　018－882－4443

ＵＲＬ　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

印　　刷　　株式会社　三、戸　印　刷　所

この印刷物は，200冊作成し，１冊@1,916.25円です。

古紙配合率100%再生紙を使用しています

BULLETIN

of

THE AKITA PREFECTURE AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES RESEARCH CENTER FOREST TECHNOLOGY CENTER

No.16 2006. 6