

ISSN 0918-113X

研 究 報 告

第 13 号

2004. 6

秋田県森林技術センター

目 次

1. 次代検定林設定調査事業	矢田部 隆	1 ~ 8
2. 有用林木遺伝資源植物の組織培養技術の開発 佐々木 揚・佐藤 博文・大井 牧夫（元秋田県森林技術センター）		9 ~ 28
3. ニュータイプきのこ資源の利用と生産技術の開発 トンビマイタケ（ <i>Meripilus giganteus</i> ）乾燥粉末摂取ラットにおける N-methylnitrosourea 誘発大腸発癌の抑制 菅原 冬樹・成澤 富雄（秋田大学医療技術短期大学）		29 ~ 37
4. ニュータイプきのこ資源の利用と生産技術の開発 アミスギタケ（ <i>Favolus arcularius</i> ）の子実体原基形成におけるアミノ酸の効果 菅原 冬樹・田中 修（甲南大学）		39 ~ 51
5. ニュータイプきのこ資源の利用と生産技術の開発 遺伝子導入きのこの作出と遺伝子導入菌糸の細胞融合 菅原 冬樹・田中 修（甲南大学）		53 ~ 64
6. 長期育成循環施業に対応する森林管理技術の開発	澤田 智志	65 ~ 88
7. ブナ二次林の間伐試験 和田 覚・澤田 智志・石田 秀雄（元秋田県林業技術センター） 小坂 淳一（元森林総合研究所東北支所） ...		89 ~ 96
8. 秋田県主要広葉樹二次林の種組成構造とフェノロジー	和田 覚	97 ~ 112
9. キノコ菌床栽培技術の改良試験 ー菌床シイタケ栽培技術の改良ー	山田 尚	113 ~ 123

次代検定林設定調査事業

矢田部 隆

Progeny test plantation project

Takashi YATABE

要 旨

当森林技術センターでは、県内全域から、スギ・マツの成長やその他の形質の優れたものを精英樹として選抜し、これを使って採種園を造成し、種子を供給している。次代検定林設定調査事業では、この精英樹の遺伝性の確認や各種形質の特性を把握するため、検定林を設定し調査を行っている。林木育種センター東北育種場では15年次調査の結果を基に、スギ精英樹特性表をとりまとめた。

今後はこの特性表を利用し、優良品種の組み合わせによる採種園造成を行い、優良な種子を供給してゆきたい。

はじめに

林業種苗法により、県は優良な種穂の適切な供給に配慮することとされている。また、優良種苗確保事業実施要領では、育種母樹林整備事業を県が実施し、林業用種子を供給するための採種園造成を行うことと定められている。さらに、精英樹選抜育種事業実施要領では精英樹の選抜と、これをもとにして品種改良を行うこと、及び、改良を行うための遺伝的特性を検定する次代検定林の設定と調査を行うことが定められており、具体的な調査方法は、次代検定林調査の手引きに定められている。

秋田県では、S31～S38年に精英樹選抜事業を実施し、スギ精英樹70クローンを選抜した。S39年には秋田県林木育種場を発足させ、精英樹を使って採種園の造成を行ってきた。S46年からは次代検定林設定調査事業に取り組み、28箇所の検定林設定が終了している。各県の15年次検定林調査結果を基に、林木育種センター東北育種場によりスギ精英樹特性表がとりまとめられた。

この特性表の情報を使い、H15年3月に林木育種センターで決定された花粉の少ないスギ品種を中心に採種木を選定して、H18年に花粉の少ないスギミニチュア採種園を造成することとしている。

次代検定林設定調査事業

1 次代検定林設定及び調査

次代検定林設定の場所及び調査年次については表－1 次代検定林設定現況表のとおり。

1) 次代検定林設定

次代検定林設定においては、林木育種センター東北育種場（旧東北林木育種場）と密接な打ち

表－1 次代検定林設定現況表

検定林名	検定区	所在地	(管理者)所有者	面積	本数	植付苗	PLOT 総数	1PLOT の植栽 本数	設定 年月	定期調査年			備考
										5	10	15	
東秋県1	米代川	田代町早口	浅利 政蔵 他	1.50	4,230	C	69	15～117	46.10	測定不能			
3	八郎潟	五城目町内川	浅見内生産森組	1.50	4,389	C	72	15～109	47.10	52	57	62	
4	田沢湖	大曲市内小友	加藤 忠士	1.50	4,495	C	75	15～103	48.10	53	58	63	
5	子吉川	本荘市土谷	高橋 卓次 他	1.50	4,500	C	75	15～92	49.10	54	59	1	
6	子吉川	由利町西沢	熊谷 新悦 他	1.50	4,500	C	75	15～164	49.10	54	59	1	
7	雄物川	山内村南郷	七尾 修三	1.50	4,350	C	78	15～85	50.10	55	60	2	
8	雄物川	羽後町飯沢	秋 田 県	1.50	4,455	C	75	15～136	51.6	測定不能			
9	八郎潟	秋田市太平	筒井 金作	1.73	4,593	C	117	15～78	52.11	57	62	4	
10	田沢湖	河辺町戸島	秋田県林業公社	1.50	4,736	S	45	51～156	54.11	59	1	6	
11	八郎潟	琴丘町渡鹿	〃	1.50	4,241	S	45	73～117	54.11	59	1	6	
12	田沢湖	協和町稲沢	〃	1.50	4,097	S	45	82～100	55.10	60	2	7	
13	八郎潟	五城目町 富津内中津又	秋田県林業 後継者会議	1.50	4,365	S	60	62～90	55.11	60	2	7	
14	子吉川	岩城町君ヶ野	秋田県林業公社	1.50	4,500	S	63	50	56.10	61	3	8	
15	雄物川	湯沢市沼ノ岱	〃	1.50	4,500	S	66	50	56.10	61	3	8	
16	米代川	大館市葛原	〃	1.50	4,500	S	72	50	57.10	62	4	9	
17	子吉川	大内町深沢	〃	1.50	4,500	S	75	50	57.9	62	4	9	
18	米代川	鷹巣町栄	〃	1.50	4,500	S	69	50	58.10	63	5	10	
19	田沢湖	南外村水上沢	〃	1.50	4,500	S	75	50	58.10	63	5	10	
20	八郎潟	秋田市上新城	秋 田 市	1.50	4,500	S	78	50	59.10	1	6	11	
21	子吉川	鳥海町小川	鳥 海 町	1.50	4,500	S	75	50	59.10	1	6	11	
22	米代川	鹿角市十和田 山根	成田 吉衛	1.50	4,500	S	78	50	60.10	2	7	12	
23	雄物川	皆瀬村畑等	皆 瀬 村	1.50	4,500	S	81	50	60.10	2	7	12	
24	田沢湖	河辺町北野田 高屋	(グミノ町内会) 北野田高屋生産 森組	1.50	4,500	C	78	15	60.10	2	7	12	
25	雄物川	羽後町上仙道	仙道財産区	1.50	4,500	S	63	50	61.9	3	8	13	
26	雄物川	皆瀬村畑等	皆 瀬 村	1.50	4,500	S	84	50	1.10	6	11	16	
27	田沢湖	雄和町相川	秋田県林業公社	1.50	4,500	S	78	50	1.10	6	11	16	
28	米代川	峰浜村水沢	〃	1.50	4,500	S	75	50	2.11	7	12	17	

※東秋県2号は、冠雪害被害により昭和53年度に廃止された。

合わせのうえ、精英樹選抜育種事業実施要領により実施した。以下要領に定められている次代検
定林設定に係わる事項は次のとおりとなっている。(抜粋)

4 次代検定

- 1) 次代検定林の設定及び管理等
 - (1) 次代検定林の設定
 - (2) 次代検定林の管理等
- 2) 次代検定林の設定基準
 - (1) 検定区
 - (2) 次代検定林
 - (3) 設置場所
 - (4) 設定方法
 - (5) 使用苗木
 - (6) 植栽の方法及び苗木本数
 - (7) 植栽密度
 - (8) 苗木の植栽配置
 - (9) 手入れ
- 3) 次代検定林の名称, 標識

2) 次代検定林調査

次代検定林調査においては、東北林木育種場の指導を受け、次代検定林調査の手引きにより実
施した。以下手引きに定められている次代検定林調査に係わる事項は次のとおりとなっている。

(抜粋)

- 1 検定林の区分の基準と調査・とりまとめの方針
- 2 調査の種類
- 3 調査の内容
- 4 調査の方法
 - 1) 設定時の環境調査
 - 2) 定期調査
 - (1) 枯損率
 - (2) 成長形質群
 - (3) 材質形質群
 - その他必要に応じて調査する形質
 - (4) 抵抗性形質群
- 5 調査形質と調査時期
- 6 調査結果の報告

7 調査データの流れと記載方法

1) 調査データの流れ図

2) 記載方法

(1) 次代検定林調査表

(2) 植栽系統名及び植栽本数表

(3) プロットごと系統別集計表

次代検定林設定台帳及び施業台帳の様式

2 秋田県スギ精英樹特性評価

15年次の次代検定林調査項目、評価方法及び結果は次のとおり。

1) 15年次調査項目・特性評価は3形質について実施した。

(1) 樹高

(2) 胸高直径

(3) 生存率

2) 評価方法

調査データの分散分析によるクローンごと、形質ごとの最小2乗推定値を表-2 15年次成長形質特性評価基準により評価値を決定する。

表-2 15年次 成長形質特性評価基準

評価値	最小2乗推定値の範囲	
5	$\mu + 1.5\sigma$ 以上	
4	$\mu + 0.5\sigma$ 以上	$\mu + 1.5\sigma$ 未満
3	$\mu - 0.5\sigma$ 以上	$\mu + 0.5\sigma$ 未満
2	$\mu - 1.5\sigma$ 以上	$\mu - 0.5\sigma$ 未満
1	$\mu - 1.5\sigma$ 未満	

3) 特性評価結果

15年次の次代検定林調査結果は表-3 秋田県スギ精英樹特性表のとおり。

樹高の評価値が4であるクローンは、北秋田8, 北秋田11, 北秋田13, 仙北1, 仙北4, 仙北9, 雄勝2, 雄勝9, 山本4, 平鹿1となっている。胸高直径の評価値が4であるクローンは、北秋田8, 北秋田11, 北秋田13, 仙北1, 仙北9, 雄勝1, 雄勝2, 雄勝14, 雄勝17, 山本4, 平鹿3となっている。樹高, 胸高直径共に評価値が4であるクローンは、仙北1, 仙北9, 雄勝2, 山本4となっている。

秋田県スギ精英樹特性表の活用

特性表の活用については別紙 調査データが活用されるまでの流れ図のとおりである。特性表は植栽時から5年毎の調査に対応し、作成することとなっており、現在10年次調査による特性表が作成済

表－３ 秋田県スギ精英樹特性表
 (東北育種区スギ精英樹特性表より秋田県スギ精英樹部分を抜粋した)

西部育種区

精英樹 コード	精英樹名	機関	選抜地	秋田県内 実生検定林											
				生存率		樹 高						胸高直径			
				15 年次		5 年次		10 年次		15 年次		10 年次		15 年次	
				評価	回数	評価	回数	評価	回数	評価	回数	評価	回数	評価	回数
598	ㇿ鹿角 1	秋田県	秋田県	3	<u>6</u>	2	<u>3</u>	2	<u>9</u>	2	<u>6</u>	2	<u>9</u>	2	<u>6</u>
599	ㇿ鹿角 2	秋田県	秋田県	3	<u>6</u>	4	<u>3</u>	2	<u>7</u>	2	<u>6</u>	2	<u>7</u>	2	<u>6</u>
600	ㇿ鹿角 3	秋田県	秋田県	3	<u>7</u>	3	<u>3</u>	3	<u>7</u>	3	<u>7</u>	3	<u>7</u>	3	<u>7</u>
601	ㇿ鹿角 4	秋田県	秋田県	3	<u>12</u>	3	<u>3</u>	3	<u>9</u>	3	<u>12</u>	3	<u>9</u>	3	<u>12</u>
602	ㇿ鹿角 5	秋田県	秋田県	3	<u>6</u>	3	<u>3</u>	3	<u>7</u>	3	<u>6</u>	3	<u>7</u>	3	<u>6</u>
603	ㇿ鹿角 6	秋田県	秋田県	3	<u>5</u>	4	<u>3</u>	3	<u>8</u>	2	<u>5</u>	4	<u>8</u>	3	<u>5</u>
604	ㇿ北秋田 1	秋田県	秋田県	2	<u>6</u>	3	<u>3</u>	2	<u>8</u>	3	<u>6</u>	2	<u>8</u>	3	<u>6</u>
605	ㇿ北秋田 2	秋田県	秋田県	3	<u>5</u>	3	<u>3</u>	4	<u>6</u>	3	<u>5</u>	3	<u>6</u>	3	<u>5</u>
606	ㇿ北秋田 4	秋田県	秋田県	2	<u>3</u>	3		1	<u>3</u>	3	<u>3</u>	2	<u>3</u>	2	<u>3</u>
607	ㇿ北秋田 5	秋田県	秋田県	3	<u>7</u>	2	<u>3</u>	3	<u>8</u>	3	<u>7</u>	3	<u>8</u>	3	<u>7</u>
608	ㇿ北秋田 6	秋田県	秋田県	1	<u>2</u>	3		2	<u>4</u>	2	<u>2</u>	2	<u>4</u>	3	<u>2</u>
609	ㇿ北秋田 7	秋田県	秋田県	3	<u>5</u>	2	<u>3</u>	3	<u>7</u>	3	<u>5</u>	3	<u>7</u>	3	<u>5</u>
610	ㇿ北秋田 8	秋田県	秋田県	4	<u>8</u>	3	<u>3</u>	3	<u>8</u>	4	<u>8</u>	4	<u>8</u>	4	<u>8</u>
611	ㇿ北秋田 9	秋田県	秋田県	3	<u>7</u>	2	<u>3</u>	3	<u>8</u>	3	<u>7</u>	3	<u>8</u>	3	<u>7</u>
612	ㇿ北秋田 10	秋田県	秋田県	4	<u>2</u>	2		2	<u>3</u>	2	<u>2</u>	2	<u>3</u>	2	<u>2</u>
613	ㇿ北秋田 11	秋田県	秋田県	2	<u>4</u>	3		3	<u>3</u>	4	<u>4</u>	4	<u>4</u>	4	<u>4</u>
614	ㇿ北秋田 12	秋田県	秋田県	3	<u>4</u>	2		3	<u>6</u>	2	<u>4</u>	3	<u>6</u>	2	<u>4</u>
615	ㇿ北秋田 13	秋田県	秋田県	4	<u>4</u>	3	<u>3</u>	3	<u>6</u>	4	<u>4</u>	3	<u>6</u>	4	<u>4</u>
616	ㇿ南秋田 2	秋田県	秋田県	3	<u>6</u>	2	<u>3</u>	3	<u>4</u>	3	<u>6</u>	2	<u>4</u>	2	<u>6</u>
617	ㇿ南秋田 3	秋田県	秋田県	3	<u>6</u>	2		3	<u>4</u>	2	<u>6</u>	4	<u>4</u>	2	<u>6</u>
618	ㇿ南秋田 4	秋田県	秋田県	2	<u>2</u>			5	<u>1</u>	3	<u>2</u>	4	<u>2</u>	3	<u>2</u>
619	ㇿ南秋田 7	秋田県	秋田県	1	<u>2</u>	1		3	<u>2</u>	2	<u>2</u>	4	<u>2</u>	2	<u>2</u>
620	ㇿ由利 1	秋田県	秋田県	3	<u>4</u>	2		2	<u>2</u>	2	<u>4</u>	2	<u>2</u>	2	<u>4</u>
621	ㇿ由利 2	秋田県	秋田県												
622	ㇿ由利 3	秋田県	秋田県	2	<u>5</u>	4		4	<u>3</u>	3	<u>5</u>	4	<u>3</u>	3	<u>5</u>
623	ㇿ由利 4	秋田県	秋田県	3	<u>8</u>	4	<u>3</u>	4	<u>5</u>	3	<u>8</u>	4	<u>5</u>	3	<u>8</u>
624	ㇿ由利 5	秋田県	秋田県	3	<u>7</u>	4	<u>3</u>	4	<u>5</u>	3	<u>7</u>	4	<u>5</u>	2	<u>7</u>
625	ㇿ由利 6	秋田県	秋田県	3	<u>10</u>	2	<u>3</u>	3	<u>7</u>	2	<u>10</u>	3	<u>7</u>	3	<u>10</u>
626	ㇿ由利 7	秋田県	秋田県	4	<u>5</u>	4		4	<u>4</u>	3	<u>5</u>	5	<u>5</u>	3	<u>5</u>
627	ㇿ由利 8	秋田県	秋田県	4	<u>4</u>			4	<u>1</u>	2	<u>4</u>	4	<u>1</u>	2	<u>4</u>
628	ㇿ由利 9	秋田県	秋田県	3	<u>5</u>	3		4	<u>3</u>	3	<u>5</u>	4	<u>3</u>	2	<u>5</u>
629	ㇿ由利 10	秋田県	秋田県	3	<u>9</u>	4		4	<u>5</u>	3	<u>9</u>	3	<u>5</u>	3	<u>9</u>
630	ㇿ由利 11	秋田県	秋田県	3	<u>7</u>	4	<u>3</u>	3	<u>6</u>	3	<u>7</u>	4	<u>6</u>	3	<u>7</u>
631	ㇿ由利 12	秋田県	秋田県					5	<u>1</u>			5	<u>1</u>		
632	ㇿ由利 13	秋田県	秋田県	3	<u>1</u>	2		1	<u>1</u>	1	<u>1</u>	1	<u>1</u>	1	<u>1</u>

西部育種区

精英樹 コード	精英樹名	機関	選抜地	秋田県内 実生検定林											
				生存率		樹 高						胸高直径			
				15 年次		5 年次		10 年次		15 年次		10 年次		15 年次	
				評価	回数	評価	回数	評価	回数	評価	回数	評価	回数	評価	回数
633	ㇿ仙北 1	秋田県	秋田県	3	<u>6</u>	3	<u>3</u>	4	<u>4</u>	4	<u>6</u>	3	<u>4</u>	4	<u>6</u>
634	ㇿ仙北 2	秋田県	秋田県	3	<u>5</u>	4		3	<u>3</u>	3	<u>5</u>	4	<u>4</u>	3	<u>5</u>
635	ㇿ仙北 3	秋田県	秋田県	3	<u>7</u>	2	<u>3</u>	3	<u>5</u>	3	<u>7</u>	3	<u>5</u>	2	<u>7</u>
636	ㇿ仙北 4	秋田県	秋田県	4	<u>4</u>	2		3	<u>2</u>	4	<u>4</u>	2	<u>2</u>	3	<u>4</u>
637	ㇿ仙北 5	秋田県	秋田県	4	<u>7</u>	4	<u>3</u>	4	<u>6</u>	3	<u>7</u>	4	<u>6</u>	3	<u>7</u>
638	ㇿ仙北 6	秋田県	秋田県	3	<u>5</u>	4		3	<u>4</u>	3	<u>5</u>	2	<u>4</u>	3	<u>5</u>
639	ㇿ仙北 7	秋田県	秋田県	3	<u>6</u>	2		3	<u>4</u>	2	<u>6</u>	3	<u>4</u>	2	<u>6</u>
640	ㇿ仙北 8	秋田県	秋田県	5	<u>1</u>	2		2	<u>1</u>	3	<u>1</u>	2	<u>1</u>	3	<u>1</u>
641	ㇿ仙北 9	秋田県	秋田県	2	<u>4</u>	5	<u>3</u>	4	<u>5</u>	4	<u>4</u>	4	<u>5</u>	4	<u>4</u>
642	ㇿ仙北 10	秋田県	秋田県	3	<u>5</u>	2	<u>3</u>	2	<u>4</u>	3	<u>5</u>	2	<u>4</u>	3	<u>5</u>
643	ㇿ雄勝 1	秋田県	秋田県	3	<u>4</u>	4	<u>3</u>	4	<u>3</u>	3	<u>4</u>	4	<u>3</u>	4	<u>4</u>
644	ㇿ雄勝 2	秋田県	秋田県	3	<u>4</u>	4	<u>3</u>	3	<u>4</u>	4	<u>4</u>	3	<u>4</u>	4	<u>4</u>
645	ㇿ雄勝 3	秋田県	秋田県	2	<u>3</u>	3	<u>3</u>	4	<u>4</u>	3	<u>3</u>	4	<u>4</u>	2	<u>3</u>
646	ㇿ雄勝 4	秋田県	秋田県	2	<u>4</u>	2	<u>3</u>	3	<u>3</u>	3	<u>4</u>	3	<u>3</u>	3	<u>4</u>
647	ㇿ雄勝 5	秋田県	秋田県	3	<u>5</u>	2	<u>3</u>	4	<u>5</u>	2	<u>5</u>	4	<u>5</u>	3	<u>5</u>
648	ㇿ雄勝 6	秋田県	秋田県	3	<u>1</u>			5	<u>1</u>	1	<u>1</u>	4	<u>1</u>	3	<u>1</u>
649	ㇿ雄勝 7	秋田県	秋田県	4	<u>3</u>	3	<u>3</u>	3	<u>3</u>	2	<u>3</u>	3	<u>3</u>	2	<u>3</u>
650	ㇿ雄勝 8	秋田県	秋田県	4	<u>2</u>	3		4	<u>2</u>	3	<u>2</u>	3	<u>2</u>	3	<u>2</u>
651	ㇿ雄勝 9	秋田県	秋田県	3	<u>4</u>	3	<u>3</u>	3	<u>10</u>	4	<u>4</u>	3	<u>10</u>	3	<u>4</u>
652	ㇿ雄勝 10	秋田県	秋田県	3	<u>8</u>	2	<u>3</u>	4	<u>6</u>	3	<u>8</u>	3	<u>6</u>	3	<u>8</u>
653	ㇿ雄勝 11	秋田県	秋田県	3	<u>5</u>	2		3	<u>4</u>	3	<u>5</u>	2	<u>4</u>	2	<u>5</u>
654	ㇿ雄勝 12	秋田県	秋田県	2	<u>6</u>	4		4	<u>4</u>	3	<u>6</u>	3	<u>4</u>	3	<u>6</u>
655	ㇿ雄勝 13	秋田県	秋田県	3	<u>4</u>	4		3	<u>3</u>	3	<u>4</u>	3	<u>3</u>	3	<u>4</u>
656	ㇿ雄勝 14	秋田県	秋田県	3	<u>5</u>	4		4	<u>4</u>	3	<u>5</u>	4	<u>4</u>	4	<u>5</u>
657	ㇿ雄勝 16	秋田県	秋田県	2	<u>4</u>	4		3	<u>3</u>	2	<u>4</u>	2	<u>3</u>	2	<u>4</u>
658	ㇿ雄勝 17	秋田県	秋田県	2	<u>4</u>	3	<u>3</u>	3	<u>4</u>	3	<u>4</u>	3	<u>4</u>	4	<u>4</u>
659	ㇿ雄勝 18	秋田県	秋田県	3	<u>4</u>	4	<u>3</u>	3	<u>4</u>	3	<u>4</u>	3	<u>4</u>	3	<u>4</u>
660	ㇿ雄勝 19	秋田県	秋田県	3	<u>3</u>	4		3	<u>3</u>	3	<u>3</u>	3	<u>3</u>	3	<u>3</u>
661	ㇿ山本 1	秋田県	秋田県	4	<u>3</u>	3		4	<u>2</u>			5	<u>2</u>		
662	ㇿ山本 2	秋田県	秋田県	3	<u>6</u>	2	<u>3</u>	3	<u>4</u>			3	<u>4</u>		
663	ㇿ山本 3	秋田県	秋田県	3	<u>14</u>	3	<u>3</u>	4	<u>11</u>			3	<u>11</u>		
664	ㇿ山本 4	秋田県	秋田県	4	<u>2</u>			5	<u>2</u>	4	<u>2</u>	5	<u>3</u>	4	<u>2</u>
665	ㇿ平鹿 1	秋田県	秋田県	2	<u>7</u>	4		3	<u>5</u>	4	<u>7</u>	3	<u>5</u>	3	<u>7</u>
666	ㇿ平鹿 2	秋田県	秋田県	3	<u>6</u>	3		3	<u>5</u>	3	<u>6</u>	3	<u>5</u>	3	<u>6</u>
667	ㇿ平鹿 3	秋田県	秋田県	3	<u>5</u>	4		4	<u>3</u>	3	<u>5</u>	4	<u>3</u>	4	<u>5</u>

みで、その結果は本県でも既に活用されている。昨年、15年次調査による特性表が示され、今後はこれを活用してゆくこととなる。なお、次代検定林の調査結果・精英樹特性表は、以下のように活用される。

- 1 現在種子供給を行っている採種園の比較劣性クローンを伐採し、優良クローンを植栽する採種園改良事業の資料として活用される。
- 2 今後造成される採種園の構成クローン選定の資料として活用される。
- 3 人工交配を行い、精英樹相互の良い遺伝形質を発揮させる新品種をつくるうえでの資料として活用される。

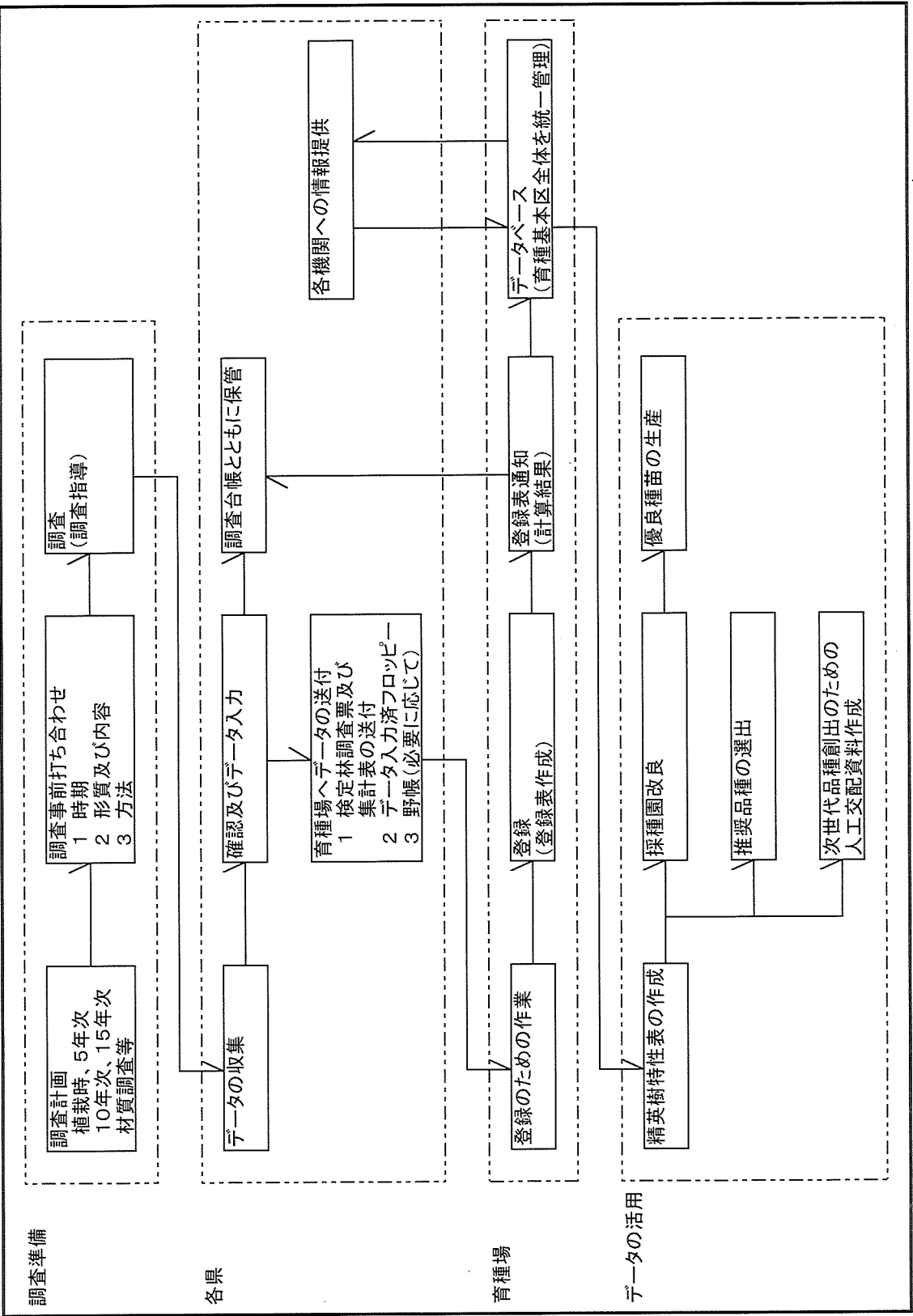
おわりに

林木育種事業において、採種園を構成する精英樹の特性を把握することと、その特性に基づいて、採種園改良や新規採種園の造成を連続的に継続して行うことは、優良な種子を供給する上で極めて重要である。精英樹特性把握のための次代検定林調査結果・15年次特性表がとりまとめられたので、この情報を活用して優良な種子供給に向けて、努力を続けたい。

最後に、次代検定林の設定及び調査において、多大な御指導をいただいた、林木育種センター東北育種場の皆様へ感謝しまして、この報告を終わります。

引用文献

- (1) 林野庁：林業種苗法
- (2) 林野庁：優良種苗確保事業実施要領
- (3) 林野庁：精英樹選抜育種事業実施要領
- (4) 東北林木育種場：次代検定林調査の手引き
- (5) 林木育種センター東北育種場他：東北育種基本区 スギ精英樹特性表
- (6) 林木育種センター東北育種場他：検定林の技術マニュアル（案）



調査データが活用されるまでの流れ図 (林木育種センター東北育種場他: 検定林の技術マニュアル(案)より)

有用林木遺伝資源植物の組織培養技術の開発

佐々木 揚・佐藤 博文・大井 牧夫*

Micropropagation of the useful mountain plants in Akita prefecture

Yoh Sasaki・Hirofumi Sato・Makio Ohi*

要 旨

組織培養は植物の芽の組織を培養し、親植物と同じクローンを増殖する技術である。本研究では秋田県の広葉樹として利用価値の高い樹種（イヌエンジュ、クリ、オオヤマザクラ、カスミザクラ、ケヤキ、コナラ、トチ、ミズナラ、交雑ヤマナラシ）について、1）組織培養によって増殖可能な樹種を解明し、2）組織培養によって苗生産を行う場合の生産コストからみた実用化課題の解明、3）増殖した培養苗が遺伝的に均一に増殖され、遺伝資源が保存されているかについて研究を行った。

1）の組織培養によって増殖可能な樹種はイヌエンジュ、交雑ヤマナラシ、オオヤマザクラ、カスミザクラの4樹種だった。用材生産を目的としたイヌエンジュについては、幼木から順化苗を育成することができた。また、パルプ用材を目的とした交雑ヤマナラシの優良品種である北上柏陽については、培養苗を育成することができた。樺細工に適したオオヤマザクラ、カスミザクラについて、培養を開始して通算5年目に次世代の優良系統を作出するクローン集植所を造成した。

2）組織培養によって苗生産を行う場合の生産コストをシミュレーション解析したところ、増殖しやすい系統のプラグ苗で304円、増殖しにくい系統による培養苗生産では増殖しやすい系統の1.5～2倍になるという結果が得られた。

3）増殖した培養苗が遺伝的に均一に増殖され、遺伝資源が保存されているか判定するための品質管理について主成分分析およびクラスター分析を行った結果、オオヤマザクラ3品種、カスミザクラ3品種について葉の形態からみた培養変異は生じていないと考えられた。

本研究報告は平成8～15年度まで実施した国庫補助課題「有用林木遺伝資源植物のバイテクによる保存と増殖技術の開発」の一環として行った以下の総説、論文や報告資料などをまとめたものである。

* 元秋田県森林技術センター

1. Sasaki, Y. (2003) Micropropagation of *Prunus* sp. (S.M.Jain & K.Ishii eds.) *In Micropropagation of woody trees and fruits*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands pp.507-518.
2. 佐々木 揚 (2001)「遺伝形質の期待発現率と植栽林地の期待生存率に基づいたクローンの期待生存数」植物工場学会誌, 13, 38-46
3. 佐々木 揚 (2000)「日射量積算値による播種適期判定を利用したチョウセンキバナアツモリソウの未熟種子培養」植物工場学会誌, 12, 268-274
4. 佐々木揚, 富木弘一, 佐々木佐年 (2000)「樺細工用オオヤマザクラ樹皮の形質と品質評価に関

する研究」植物工場学会誌, 12, 117-125

5. 佐々木 揚 (2002)「有用林木(サクラ)の組織培養を用いた増殖について」第46回林業技術テスト林野庁長官賞受賞講演要旨. 林業技術, 701, 24-26
6. 佐々木 揚 (2002) 樺細工用サクラのクローン林業に関する研究 平成13年度業務研究発表集 東北森林管理局 pp. 83-88
7. 佐々木 揚 (2003) 樺細工用サクラのクローン増殖に関する研究 「樺細工原料 樺に関する調査・研究報告書 佐々木 佐年 編著」 pp. 97-102

I. はじめに

秋田県には19万ha近い広大な広葉樹林がスギ以外の木質資源の供給源として存在している(1)。広葉樹の木材は建築, 家具, 工芸, キノコ原木などの県内産業の需要があるため, 素材供給面からのニーズがある。これら広葉樹の優良種苗を供給するための育種を行う場合, 従来の接木, 挿し木繁殖で技術的, 量的に増殖困難な樹種のクローン増殖可能な技術として, 組織培養というバイオテクノロジーが注目されるようになった。組織培養は温度や光が管理された試験管内で親植物の芽の組織を培養し, 親植物と同じクローンを増殖する技術である。そこで, 本研究では秋田県の広葉樹として利用価値の高いイヌエンジュ, クリ, オオヤマザクラ, カスミザクラ, ケヤキ, コナラ, トチ, ミズナラ, 交雑ヤマナラシについて, 1) 組織培養によって増殖できる樹種を解明し, 2) 組織培養によって苗生産を行う場合の生産コストからみた実用化課題の解明, 3) 増殖した培養苗が遺伝的に均一に増殖され, 遺伝資源が保存されているか判定するための品種管理について研究したので報告する。

II. 組織培養によって増殖できる樹種の解明

1 材料と方法

組織培養の長所はこれまでの挿し木や接ぎ木が困難な樹種からも増殖できることと, 少ない材料から短期間に大量増殖できる点である。これまでクローン増殖が困難だった樹種を本研究の対象とした。なお, () の中にその樹種の用途を記した。

- 1) イヌエンジュ (用材)
- 2) 交雑ヤマナラシ (パルプ用材)
- 3) オオヤマザクラ (樺細工用樹皮)
- 4) カスミザクラ (樺細工用樹皮)
- 5) ケヤキ (用材)
- 6) コナラ (しいたけ原木)
- 7) ミズナラ (用材)
- 8) トチ (漆器用材)
- 9) クリ (用材)

なお、オオヤマザクラについては、次の「Ⅲ 生産コストからみた培養苗生産実用化課題の解明」に必要なデータを得るため、詳細な検討を行うこととした。

1) 培地および培養条件

本研究で用いた基本培地となるMS培地とWP培地の無機塩類組成について表-1に示した(2, 3)。MS培地をサクラ類、WP培地をサクラ類以外の広葉樹用として、初代培養、シュート増殖培地は基本培地にジフェニルウレア 4.71 μ M, ショ糖3%, 寒天を1%添加してpH5.8に調整した。

発根培地は塩類の無機成分濃度を規定量の1/2にし、ショ糖を15 g/LとしたMS培地、WP培地に寒天を1%添加したものを基本とした。培養器は初代培養に25mm×100mmの培養管を、増殖や発根培養に100mLのコニカルビーカーを用いた。なお、培地類は寒天融解後、培養管には10mL、コニカルビーカーには30mLを分注して1.2気圧121℃のオートクレーブで10分間加圧滅菌した。培養条件は26℃, 16時間照明, 照度5,000 ルクス(白色蛍光灯)とし、順化は23℃, 16時間照明, 照度2,600 ルクス(白色蛍光灯)で行った。

表-1 培養に使用した基本培地の塩類組成

塩類	MS 培地	WP 培地
無機成分		
NH ₄ NO ₃	1650	400
KNO ₃	1900	—
KCl	—	990
K ₂ SO ₄	—	170
KH ₂ PO ₄		170
MgSO ₄ ・7H ₂ O		370
CaCl ₂ ・2H ₂ O	440	96
Ca(NO ₃) ₂ ・4H ₂ O	—	556
FeSO ₄ ・7H ₂ O	27.9	27.8
Na ₂ -EDTA		37.3
MnSO ₄ ・4H ₂ O		22.3
ZnSO ₄ ・7H ₂ O		8.6
H ₃ BO ₃		6.2
KI	0.83	—
Na ₂ MoO ₄ ・2H ₂ O		0.25
CuSO ₄ ・5H ₂ O	0.025	0.25
CoCl ₂ ・6H ₂ O	0.025	—
有機成分		
Myo-inositol		100
Pyridoxine-HCl		0.5
Thiamine-HCl	0.1	1
Nicotinic acid		0.5
L-glycine		2

2) 初代培養

初代培養に用いた材料（外植体）は新梢腋芽か頂芽のいずれかとした。外植体は家庭用中性洗剤（ライオン（株）製、商品名：ママレモン）を300mLの蒸留水に対して4～5滴を添加し、スターラーによって3分間攪拌洗浄後、蒸留水で2回すすぎ、70%エタノールで80～90秒滅菌した。雑菌汚染の著しい樹種については、さらに1%次亜塩素酸ナトリウムで10分間攪拌して殺菌した。その後、滅菌蒸留水で5分間攪拌洗浄を3回行ってから培地に挿しつけた。

サクラ類には植物ホルモンのBAP (6-benzylaminopurine) 3.16～5.62 μ MとNAA (α -naphthalene acetic acid) 0～0.316 μ MをMS培地に添加した。サクラ以外の広葉樹についてはBAP 0～10 μ MをWP培地に添加した。

3) シュートの増殖

オオヤマザクラは初代培養後、培養器をコニカルビーカーとし、培地にはBAPを1あるいは3.16 μ M添加し、選抜個体のPS1とPS2は30ヶ月、PS3は18ヶ月間、継代培養した（表－2）。シュートの増殖試験は、コニカルビーカー1本に長さ2cmのシュートを2本挿しつけ、培養2ヵ月後に1cm以上のシュートの増殖率を測定した。オオヤマザクラ以外の広葉樹については初代培養後、BAP1～10 μ Mを添加したWP培地で直ちにシュートの増殖培養を行った。なお、イヌエンジュについては培地に活性炭（5 g/L）を添加した。

表－2 培養結果のまとめ

樹種	品種名	採取場所	供試木	殺菌時期	殺菌	初代培養	シュートの増殖	シュートの発根	プラグ苗化 ポット苗化	継代培養	順化	苗畑育成	山地植栽
イヌエンジュ		センター	幼木	H9.6.12	○	○	×						
		〃	幼木	H9.7.29	○	○	×						
		〃	幼木	H9.7.29	○	○	△	○	×	○	○	○	
交雑ヤマナラシ	北上柏陽	センター	幼木	H9.6.9	×	○	×						
	〃	〃	幼木	H9.7.31	○	○	○	○	○	×	○	○	
オオヤマザクラ	PS1	十和田湖町	老齢木	H4.6.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	PS2	小坂町	成木	H4.6.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	PS3	田沢湖町	成木	H5.5.26	○	○	○	○	○	○	○	○	
カスミザクラ	PV1	八森町	成木	H8.6.14	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	PV2	田沢湖町	成木	H8.6.19	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	PV3	河辺町	成木	H8.6.4	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ケヤキ	綴子神社	鷹巣町	成木	H8.7.4	×								
	合川3	合川町	成木	H8.7.4	×								
	合川4	合川町	成木	H8.7.4	×								
		センター	幼木	H9.7.17	×								
コナラ		センター	幼木	H9.7.18	○	○	×						
ミズナラ		センター	幼木	H9.7.25	○	○	×						
		〃	幼木	H9.7.25	○	○	×						
トチ		センター	幼木	H9.6.9	○	×							
		〃	幼木	H9.7.30	×								
		〃	幼木	H9.7.30	×								
クリ		センター	幼木	H9.7.28	○	○	×						
		〃	幼木	H9.7.28	○	○	×						

4) シュートの発根

オオヤマザクラは長さ2cmの増殖シュートをそれぞれ、IBA (Indole-3-butyric acid) 0～10 μ M添加した発根培地で試験を行った。供試数は20本とし、培養器は培養管とした。結果は培養30日後にシュート長と発根率について測定した。イヌエンジュ、交雑ヤマナラシ、カスミザクラについては培養器をコニカルビーカーとし、IBAを1 μ M添加した培地とホルモンフリー (IBA 0 μ M) で発根培養を行なった。

5) プラグ苗化およびポット苗化

オオヤマザクラは長さ2cmの増殖シュートをコニカルビーカーのホルモンフリー培地に挿しつけ、シュートから5mm程度の発根が認められたところで、直径5cmのプラグ (Jiffy products international 社製、商品名: ジフィー9) に挿し芽し、透明プラスチック容器 (キリンビール (株) 製、商品名: アグリポット) 内で育成してプラグ苗化を行った。供試数は50本とし、本試験ではジフィー9を滅菌水で膨潤させ、2と同様にオートクレーブで1分間滅菌した。結果はジフィー9の底部から根が伸長するまでの期間と、発根培養開始2ヵ月のシュート長について調べた。得られたプラグ苗は、ピートモス主体の培養土 (サカタ種苗製、商品名: ピートミックスタイプA) を入れた直径12cmのビニールポットに移植した。

イヌエンジュ、交雑ヤマナラシについてはサクラ類と同様にプラグ苗化を行なった。得られたプラグ苗は、オオヤマザクラと同様の培養土を入れた直径10cmのビニールポットに移植した。

6) 苗畑植栽

サクラ類のプラグ苗とポット苗の順化は発泡スチロールケースに納め、上部に通気性のないビニールシートを被覆して1週間かけて徐々にはずした。1997年6月下旬に15cm間隔3列で苗畑に順化苗を植栽し、植栽後、寒冷紗で2週間被覆し、同年10月下旬に得苗率、苗高、根元径の生長量を測定した。イヌエンジュ、交雑ヤマナラシのポット苗の順化はサクラ類と同様に行った。1998年7月上旬に15cm間隔2列で苗畑に植栽し、植栽後、寒冷紗で2週間被覆し、同年11月上旬まで苗畑育成した。

7) 統計解析

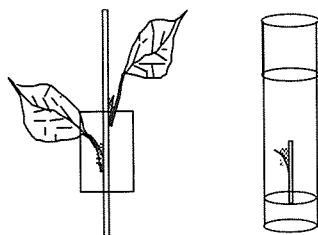
供試数は各表の脚注に記し、多重比較検定はターキー法を用いた。なお、発根率やプラグ苗化率などの比率は常法にしたがって角変換してから多重比較検定を行った。

2 結果と考察

組織培養によって、樹木の芽から植物体 (苗木) を再生させるステップは、図-1のとおりである。①新梢腋芽や頂芽の殺菌と芽からのシュート展開、②シュートの増殖、③発根培養、④プラグ苗化・ポット苗化、⑤順化、⑥苗畑育成となる。対象樹種の培養結果は表-2に示したとおり、増殖可能な樹種はイヌエンジュ、交雑ヤマナラシ、オオヤマザクラ、カスミザクラの4樹種だった。

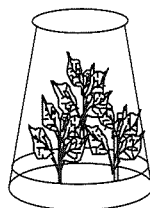
図1 樹木の新梢腋芽からの植物体再生（オオヤマザクラの例）

①初代培養



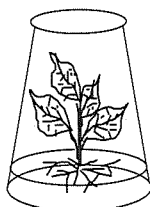
殺菌処理後、新梢腋芽を含む節間をY字形に切り出し、培地に挿しつける。材料は実生苗、若齢木、成木、老齢木の順に培養は難しくなる。

②シュートの増殖



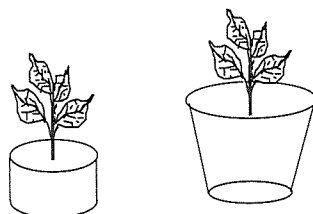
初代培養で展開した腋芽を増殖させる。増殖培地には、BAPを添加する。この増殖過程にあるシュートを培養シュートと呼ぶ。

③シュートの発根



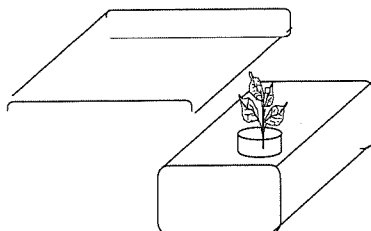
増殖した培養シュートを発根させる。培地にIBAを添加する場合としない場合（ホルモンフリー）がある。発根したシュートを発根シュートと呼ぶ。

④プラグ苗化・ポット苗化



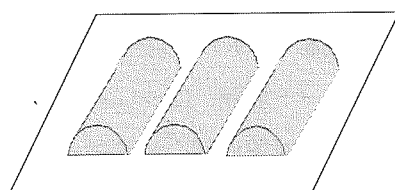
発根シュートを吸水させたソイルブロック（商品名；ジフィー9）に挿しつけたものをプラグ苗と呼び、このプラグ苗をポット仕立てにしたものをポット苗と呼ぶ。

⑤順化



プラグ苗、ポット苗どちらも発砲スチロール箱に納め、ビニールシートを覆い、7日から10日かけて徐々に取り除く。この外部環境に順化させた苗を順化苗と呼ぶ。

⑥苗畑育成



順化終了後、苗畑に植栽し、苗木として生長したものを培養苗と呼ぶ。

1) イヌエンジュ

初代培養の予備試験で、培地基材として寒天とゲランガムを比較した結果、培養シュートの増殖は寒天培地のほうが若干良好だったにもかかわらず、培養シュートが枯死する現象が観察された。マツ類などの組織培養で増殖が不良である場合、培地に活性炭を添加することで改善することが知られている(4)。そこで、イヌエンジュの培養についても培地に活性炭を添加したところ、培養シュートの枯死がなくなった。しかし、増殖した培養シュートのほとんどが1 cm以下と短く、その後の発根培養に適するものがほとんどなかった(図-2)。そこで、腋芽から展開し、最も大きく伸長したシュートを用いた結果、IBAの添加区、無添加区(ホルモンフリー)ともに発根が認められた。発根したシュートをプラグ苗化してポットに移植し(図-3)、17個体中7個体が順化に成功し、それらを苗畑に植栽したところ、2個体が活着した(図-4)。

なお、活着したポット苗は7月から11月までの苗畑育成で、シュートがほとんど生長しなかった。キリやサクラ類などの場合、ポットの中で根回りが早いため、苗畑への早期移植が必要である。イヌエンジュは今回の試験のようにポット苗をすぐに苗畑に移植するのではなく、ポット苗での育成期間を1年と長めにして根の発達を促してから、苗畑に移植するほうがよいと考えられた。

2) 交雑ヤマナラシ(北上柏陽)

これまで、培養によるクローン増殖に関する研究が行われなかったが、初代培養後の培養シュートの増殖が認められた(図-5)。しかしながら、培養シュートの葉が成長して培地に接すると、そこからカルス化することが観察された(図-6)。そこで、培養の植え替え期間を通常に行われる1ヶ月間隔を短くし、1~2週間間隔で継体培養(植え替え)し、カルス化を抑制した。したがって、明確なシュート増殖率を算出することは困難だった。増殖シュートの発根培養ではIBAの添加区、無添加区(ホルモンフリー)ともに発根が認められた。16本の発根シュートをプラグ苗化してポットに移植し、順化を行った後、苗畑に植栽した。この育苗過程で枯死する個体は認められなかった。7月に植栽した16本のポット苗はすべて活着し、当年の11月に苗高30~60 cmの苗木に生長した(図-7)。

3) オオヤマザクラ

県内の山林に自生するオオヤマザクラを探索し、伝統工芸家によって樺細工に適すると認められた優良品種3個体を増殖対象とした。

①シュートの増殖

予備試験としてシュートの増殖最適条件を選抜個体のPS1で基本培地にBAPを0~10 μ M添加して検討した。その結果、発根培養に適するシュートが多数増殖した3.16 μ Mが最適であり、移植する際のシュートに若干のカルスを残しておくとうまく増殖することがわかった。なお、PS2では、BAP3.16 μ Mの増殖培地でシュートがカルス化し、PS3では先端が枯死することが観察された。しかしながら、PS2とPS3はBAP1 μ Mの増殖培地で継代培養間隔を1ヶ月から1~2週間に短くすることによって増殖が可能となった。

シュートの増殖試験から、BAP1 μ Mの培地では3品種ともに統計上増殖率の有意差は認められなかった(表-3)。しかし、PS3の平均シュート長は、PS1、PS2のものと比較して短かった。カスミ

ザクラでは、ビーカーあたりにシュートを1～4本移植して増殖試験を行ったところ、2本移植が最も効率的であり(7)、Walkerも同様な報告を行っている(8)。そこで、オオヤマザクラでもビーカーあたりにシュートを2本移植して増殖培養を行った結果、シュートの最大増殖率は、2ヶ月間の培養でシュート1本あたりPS1が5.1倍、PS2とPS3が1.6倍であった(表-3)。

②発根発根培地に添加するIBA濃度の違いにより、発根および根の生長は異なり、3品種間差が認められた。発根率からみると3品種は、IBA濃度に影響されないタイプ(PS1)とされるタイプ(PS2, PS3)に区別できた(表-4)。なお、IBA添加によるシュート長の生長促進効果はPS2を除いて認められなかった。

表-3 オオヤマザクラ3系統の2ヶ月間のシュート増殖結果

		系統	BAP (μ M)	
			1	3.16
増殖率		PS1	2.2 ± 2.5	5.1 ± 3.4
(平均 $\pm$ S.D.)		PS2	1.6 ± 0.7	ND
		PS3	1.6 ± 0.6	ND
シュート長 (cm)		PS1	2.0 ± 0.6	1.7 ± 0.5
(平均 $\pm$ S.D.)		PS2	2.0 ± 0.6	ND
		PS3	1.6 ± 0.5	ND

NDは試験できなかったものを表す。

平均値やパーセンテージの右肩に記した同じアルファベットは、ターキー法5%水準で差がなかったことを示す。

供試本数は30とした。

表-4 発根培養30日後の生長結果

		品種	IBA (μ M)			
			0	1	3.16	10
シュート長 (cm)		PS1	2.3 ± 0.2	2.2 ± 0.2	2.3 ± 0.4	2.2 ± 0.3
(平均 $\pm$ S.D.)		PS2	1.8 ± 0.2	1.8 ± 0.2	2.0 ± 0.3	2.0 ± 0.3
		PS3	1.7 ± 0.3	1.6 ± 0.3	1.6 ± 0.2	1.6 ± 0.2
発根率 (%)		PS1	95	100	100	100
		PS2	75	90	100	100
		PS3	65	80	90	95

平均値やパーセンテージの右肩に記した同じアルファベットは、ターキー法5%水準で差がなかったことを示す。

供試本数は13-20とした。

③プラグ苗化およびポット苗化

高濃度のオーキシンは側根の原基形成を抑制することが知られている(9)。カスミザクラでも低濃度ほどプラグ苗の生長が良好だった(10)。そこで、オオヤマザクラ3品種についてホルモンフリーで発根させた後、プラグ苗化を図った。PS3はプラグ苗化率、期間とシュート長のすべてがPS1、PS2と比較して劣っていた。従って、プラグ苗化の困難さは順番にPS3、PS2、PS1と位置づけられた(表-5)。

表-5 発根から2ヵ月後の各系統プラグ苗の特徴

	品種		
	PS1	PS2	PS3
発根までの培養期間(日)(平均 ± S.D.)	<i>a</i> 17 ± 11	<i>b</i> 23 ± 15	<i>b</i> 24 ± 13
プラグ苗化(%)	<i>a</i> 94	<i>b</i> 70	<i>c</i> 66
培養期間(日)(平均 ± S.D.)	<i>a</i> 11 ± 7	<i>a</i> 11 ± 7	<i>b</i> 16 ± 8
シュート長(cm)(平均 ± S.D.)	<i>a</i> 3.2 ± 0.8	<i>a</i> 2.9 ± 1.2	<i>b</i> 1.8 ± 0.6

平均値やパーセンテージの右肩に記した同じアルファベットは、ターキー法5%水準で差がなかったことを示す。
供試本数は33-50とした。

④苗畑植栽

ポット苗のほうがプラグ苗と比較して生長は良好だったが、翌年に苗木育成を行うと1m以上の苗を得ることができるので両者に実質的な差は無いと考えられた(表-6)。なお、得苗率はポット苗と比較してプラグ苗のほうが高く、培養苗生産を行う場合にはプラグ苗が有利と考えられた。苗畑植栽の困難さは、得苗率と生長からみて順番にPS3、PS2、PS1と位置づけられた。なお、最終的に各品種59~137本の培養苗を得ることができ、基本的に3品種とも苗畑で活着し、苗木として育成できることがわかった(図-8)。

表-6 オオヤマザクラ3系統の苗畑での生長結果

	ポット苗			プラグ苗		
	PS1	PS2	PS3	PS1	PS2	PS3
シュート長(cm ± S.D.)	<i>a</i> 48 ± 29	<i>a</i> 49 ± 24	<i>b</i> 19 ± 15	<i>a</i> 29 ± 6	<i>b</i> 22 ± 15	<i>c</i> 15 ± 14
苗径(cm ± S.D.)	<i>a</i> 0.7 ± 0.2	<i>a</i> 0.7 ± 0.2	<i>b</i> 0.5 ± 0.1	<i>a</i> 0.5 ± 0.1	<i>c</i> 0.3 ± 0.2	<i>b</i> 0.3 ± 0.1
得苗率(%)	<i>a</i> 49	<i>a</i> 55	<i>b</i> 33	<i>a</i> 86	<i>b</i> 68	<i>c</i> 57

平均値やパーセンテージの右肩に記した同じアルファベットは、ターキー法5%水準で差がなかったことを示す。
供試本数はポット苗が64-108、プラグ苗が31-44とした。

4) カスミザクラ

カスミザクラもオオヤマザクラ同様、県内の山林に自生するオオヤマザクラを探索し、伝統工芸家によって樺細工に適すると認められた優良品種3個体を増殖対象とした。カスミザクラではオオヤマザクラでみられた培養特性の品種間差を認められなかった。選抜個体PV1, PV2, PV3の新梢から培養を開始し、最終的に各品種65~103本の培養苗を得ることができた。育成したオオヤマザクラとカスミザクラの培養苗は当センター構内と琴丘町県有林にクローン集植所として植栽した(図-9, 10)。

5) ケヤキ

ケヤキは成木、幼木ともに殺菌に成功しなかった。ケヤキの殺菌は湿度が70%以上になると雑菌による汚染が著しくなることが知られている(11)。したがって、県内でも湿度が70%以上になる時期で、かつ初代培養に適する程度に発達した新梢腋芽が得られれば、殺菌に成功すると考えられた。

6) コナラ

コナラの幼木を対象に試験を行ったが、殺菌や初代培養に成功しても培養シュートの増殖ができなかった(表-2)。コナラの実生苗からの増殖例は知られているが、現在、幼木や成木からの成功事例は報告されていない。この理由として、コナラの増殖に適する培地や植物ホルモンが未だ開発されていないためと考えられる。

7) ミズナラ、トチ、クリ

ミズナラ、トチ、クリの幼木を対象に試験を行ったが、培養シュートの増殖ができなかった(表-2)。この理由として、増殖に適する培地や植物ホルモンが未だ開発されていないためと考えられた。

Ⅲ. 生産コストからみた培養苗生産実用化課題の解明

一般的にサクラの種子生産には年次変動(種子の豊凶)が知られている(12)。組織培養は実験室でシュートの増殖・発根が可能のため、計画的な苗木生産が可能となり、種子生産の年次変動に左右されずに済む。そこで、培養苗生産の実用化を考慮し、オオヤマザクラの実際の培養データをもとに生産コストの解析を行うことにした。

1 方法

培養プラグ苗1本あたりの生産コストは、労務費、消耗品費、減価償却資産費、機械設備費、培養容器代、光熱費、下水道費を加算して算出した。なお、培養プラグ苗1本あたりの労務費と消耗品費は生産本数如何に関わらず、一定になるものとした。ここでは初代培養が完了し、シュートの移植本数を2本/100mL コニカルビーカーとして2ヵ月間の培養でシュートの増殖と伸長を同時に行うものとし、これを2セット(計4ヵ月間の培養)で最終出荷数10,000本に達すると仮定し、オオヤマザクラ優良3品種から増殖したクローン(PS1, PS2, PS3)の生産コストを試算した。なお、労務費は各作業に要する時間と時給(700円)との積とした。

1) 労務費は培養シュートの増殖、発根培養、培地作製、プラグ苗化、搬出、器具洗浄の各作業に

かかる労務費を加算した。消耗品費はシュートの増殖培地、シュートの発根培地、プラグ苗化、培養作業、器具洗浄に要する消耗品を加算した。

2) オオヤマザクラの場合、シュートの増殖・伸長培養を同時に行うことから、既報(13)のカスミザクラ伸長培養に必要な一時間あたりの移植作業効率;TR2は削除した。

3) 発根培養において、培養容器内のシュート本数(a)は、オオヤマザクラはカスミザクラと比較してシュートが大きく展開するため、5本とした。また、培地作製量は、オオヤマザクラの場合、カスミザクラと比較してシュートが大きいため、培地量を30mLとした。

4) 建造物減価償却資産費は生産本数によって必要なクリーンベンチの台数をもとに算出した。

5) 機械設備費は、培養プラグ苗出荷本数100,000本まで台数に影響のない構成備品のコスト(オートクレーブ、乾熱滅菌機など)、生産本数に依存する機械設備費(クリーンベンチ、エアコンディショナー培養棚や照明器具類)に分けて算出した。

6) 光熱費は空調費、照明費、オートクレーブの電気代、クリーンベンチ他の電気代を加算し、培養プラグ苗1本あたりの上水・下水道費については、培養プラグ苗10,000本出荷の場合、センターでの培養試験を考慮して3.01円とした。

2 結果と考察

オオヤマザクラ3品種はカスミザクラでのプラグ苗1本あたりのコスト313円に対し、PS1が若干安い304円、PS3、PS2がPS1のおよそ1.5~2倍となった(表-7)。PS1のプラグ苗1本あたりのコストが、カスミザクラでのものと比較して若干安価になった理由は、シュート増殖培養期間が短い、プラグ苗化の効率が高いなどによる(表-7)。PS2、PS3は、2週間前後に継代培養を必要とするため、PS1のように2ヶ月に一度の植えかえによってシュートを増殖できない。したがって、PS2、PS3は、PS1を1回移植する間に4回の移植作業を必要とする。そこで、シュート増殖用培地量と培養作業時間をPS1と同じくした場合をPS2、PS3プラグ苗1本あたりのコスト下限値とした。また、実態に即した形、すなわち、シュート増殖用培地量と培養作業時間を4倍に変更したときの試算結果がコスト上限値となるため、実際のコストはこの範囲内におさまると考えられる。同じ樹種でも、PS3、PS2がPS1のおよそ1.5~2倍となることから、コストの観点からみると、樺細工に適する優良サクラで、かつ、培養で増殖しやすい品種の探索が重要となることが明らかになった。

組織培養の難易度を単純にシュート増殖率と発根率あるいはプラグ苗化率との積によって数値化してみた。当センターでのカスミザクラ、キリ、サルナシ、マツブサなどの組織培養研究を総合すると、この積が0~1.5;困難, 1.5~3.5;可能, 3.5~5;比較的容易, 5~;容易に分類される。本研究で扱ったオオヤマザクラの3品種について本指標を用いると、PS1は4.8;比較的容易, PS2P, S3は1.1;困難に分類される。

表-7 培養プラグ苗生産コスト基礎

	オオヤマザクラ			カスミザクラ
	PS1	PS2	PS3	
コスト (円/プラグ苗)	304	485~646	509~680	313
生産目標本数		10,000		
培養容器の単価 (円/個)		360		
容器あたりの培地量 (mL)		30		20
培地調整時間 (hr/4L)		2		
プラグ苗化率 (%)	94	70	66	85
発根期間 (日数)	28	38	37	10
プラグ苗化期間 (日数)	18	18	24	30
容器あたりのシュート増殖率 (倍)	10.2/2ヶ月	3.2/2ヶ月	3.2/2ヶ月	12.75/3ヶ月
シュート増殖期間 (月)		4		6
発根培養容器に挿しつけるシュート数 (a)		5		11
シュート増殖培養にかかる作業効率/hr (TR1)		30		
シュート伸長培養にかかる作業効率/hr (TR2)		—		50
発根培養にかかる作業効率/hr (TR3)		50		
プラグ苗化にかかる作業効率/hr		50		
プラグ苗搬出作業効率/hr		250		
労務費 (円/hr)		700		
洗浄作業にかかる作業効率 /hr		50		

IV. サクラ培養苗生産の品質管理手法の開発

自然条件下で極めて低い確率で枝変わりが生じると同様、組織培養で変異が生じる可能性も想定される (14)。培養変異が生じた場合、葉の形態に変化が生じることは、ポプラ、モミジバフウやキリなど広く一般的に知られている。Iwataら (15) は楕円フーリエ法と主成分分析を組み合わせる手法で、カンキツ類の品種によって葉形が異なることを報告しており、その中で葉の形態が遺伝的支配を受けていることを示した。また、生方ら (16) はミズナラの葉形について、分散分析で系統間差を明らかにし、葉の形態が遺伝的支配を受けていることを示唆した。したがって、任意の品種の葉形がもとの品種の葉形と異なれば、培養変異が生じていると考えられる。

これまでにサクラの培養苗において、培養変異や葉形解析に関する研究事例はない。そこで、組織培養で増殖した苗について、1) 品種間差を示す葉の形態因子を抽出してその有効性を確認し、2) 各因子の季節変動からみた解析に適する時期を明らかにし、3) クラスタ分析による品種およびラメット間の変異解析を行なうことにより、サクラ培養苗の変異体の有無について解析することにした。

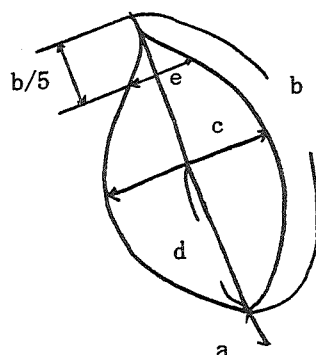
1. 材料と方法

樺細工に適したカスミザクラ、オオヤマザクラ、各3品種の培養苗 (5, 6年生)、それぞれ7~8ラメットを採取木とした (表-2, 図-9)。葉の遺伝率は低く、環境の影響を受けやすいとされ、表現形質の遺伝的変異を明らかにするためには環境を均一にする試験設計が有効とされる (16)。そこで、センター構内のクローン集植所に植栽した培養苗を解析に用いた。

1) 品種間差を示す葉の形態因子の抽出

まず、2002年5月8日に採取したカスミザクラ、オオヤマザクラ、各3品種の培養苗からそれぞれ任意の1個体の葉について葉柄、最大葉長、最大葉幅などについて図-11に示したa～eの長さを計測した。各サクラ種の2品種間において、これらの実測値およびそれらの組み合わせによる比率が品種間差を示す葉の形態因子として有効かどうか調べた。具体的には任意の2品種の各1個体の葉を用いてt検定5%水準で有意差が認められるか調べた。なお、13枚の葉をランダム抽出して品種間差を示す葉の最小必要枚数を求め、10回シミュレーションした結果の中の最大枚数を「2品種間差を示す葉の枚数」とした。

図-11 葉形解析の測定部分



2) 各因子の季節変動からみた葉形解析可能な時期について

サクラは春に開花した後、葉が徐々に展開して葉は生長するため、葉形も変化する。そこで、カスミザクラ各3品種の増殖苗からそれぞれ任意の1個体を標準木として、2003年5月2日からほぼ10日間隔、解析に適する葉が採取可能な6月23日までで採取した。なお、解析に用いる葉のサンプリングは岩田らの方法に従い、葉位の影響を取り除くため、枝先端部の第一葉と基部の数葉以外とした(17)。葉形解析に適する時期についてa～e値とそれらの組み合わせによる比率による主成分分析で解析した。

3) クラスタ分析による品種およびラメット(増殖クローン)間の変異解析

3品種の各ラメット採取木から葉を5～12枚採取し、それぞれの葉のa～e値とそれらの組み合わせによる比率を求めて平均化したものをクラスタ分析に用いる各ラメットの葉形データとした。クラスタ分析は原データをべき乗変換し(18)、ウォード法(19)で行った。また、このクラスタ分析による品種およびラメット間差の解析を行なう場合、再現性があるかどうか、2002年7月1日と2003年6月22・23日にカスミザクラ3品種(各8ラメット)で調べた。

2 結果と考察

カスミザクラ、オオヤマザクラの同種内2品種間において、葉柄、最大葉長、最大葉幅などのa～eおよびそれらの組み合わせの比率は、t検定5%水準で差が認められるものが多数認められた(表-8)。つまり、サクラの葉形もカンキツ類やミズナラ同様、品種間差が認められた。

サクラは春に開花した後、葉が徐々に展開して葉は生長するため、それと同時に形も変化する。そこで、葉形解析に適する時期を明らかにするため、カスミザクラについて、葉柄、最大葉長、最大葉幅などのa～e値とそれらの組み合わせの比率について季節変動を調べた。2003年5月2日から7月2日までほぼ10日間隔で採取し、a～e値とそれらの組み合わせの比率の変動係数を調べたのが表-9である。

表-8 t検定(5%水準)で2系統間差が明らかとなる葉の枚数

	オオヤマザクラ			カスミザクラ		
	PS1-PS2	PS1-PS3	PS2-PS3	PV1-PV2	PV1-PV3	PV2-PV3
a	8	ND	7	4	5	ND
b	5	7	ND	4	6	ND
c	ND	ND	ND	ND	7	ND
d	ND	ND	ND	5	11	10
e	10	ND	8	ND	ND	ND
ba	ND	ND	ND	8	7	ND
bd	ND	10	ND	ND	ND	12
be	ND	ND	8	ND	ND	ND
cd	ND	ND	ND	6	ND	8
ce	ND	ND	8	ND	ND	ND
de	11	ND	8	ND	ND	12
ca	ND	ND	ND	7	7	ND
da	ND	12	ND	ND	7	12
ae	ND	ND	ND	12	ND	ND
bc	ND	ND	ND	6	ND	8

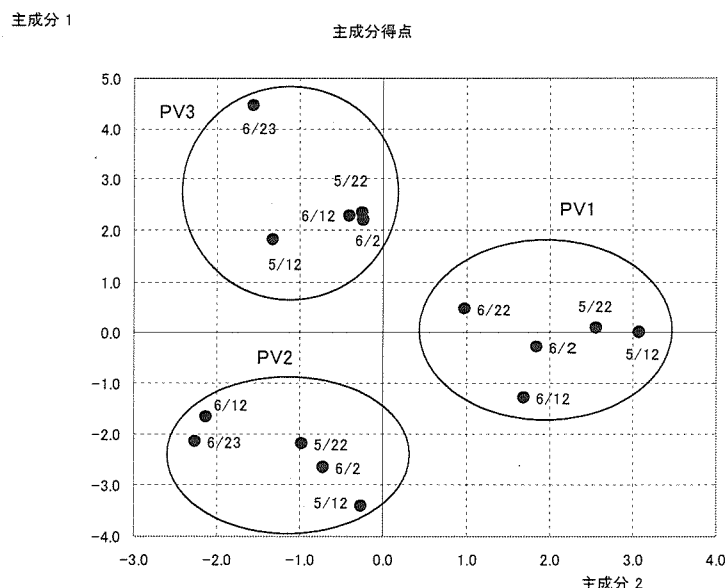
NDはt検定で差が明らかにならなかったものを表す。

表-9 カスミザクラ3品種におけるa～e値とそれらの組み合わせの比率の変動係数平均値

	PV1	PV2	PV3		PV1	PV2	PV3
a	0.13	0.11	0.13	b/a	0.16	0.10	0.17
b	0.21	0.19	0.25	b/d	0.06	0.05	0.08
c	0.20	0.16	0.25	b/e	0.04	0.10	0.09
d	0.25	0.23	0.30	c/d	0.06	0.08	0.09
e	0.20	0.24	0.29	c/e	0.04	0.12	0.08
				d/e	0.07	0.07	0.06
				c/a	0.17	0.08	0.16
				d/a	0.20	0.14	0.24
				a/e	0.19	0.19	0.28
				b/c	0.04	0.04	0.03
平均	0.20	0.19	0.24	平均	0.10	0.10	0.13

その結果、品種によってa～e値とそれらの組み合わせの比率の変動係数が異なっていた。また、a～e値の平均変動係数とa～e値の組み合わせの比率だけの平均変動係数を比較したところ、後者の方が平均変動係数の値が小さかった。また、a～e値とそれらの組み合わせの比率による主成分分析とa～e値の組み合わせの比率だけの主成分分析を比較したところ、後者でカスミザクラ3品種について十分な主成分得点の散布図を得ることができた（図-12）。そこで、以降の解析にはa～e値の組み合わせの比率だけのデータで解析することにした。なお、2003年5月2日に採取した葉のデータを加えると、カスミザクラ3品種の明確なグループ化ができなかったため、葉形解析可能な時期は少なくとも新葉がほぼ展開してから初夏までは可能と考えられた。なお、5月2日に採取した葉は展葉直後の時期であり、まだ十分に葉が展開していなかったため不適と考えられた。

図-12 葉形解析に適する時期



生物種の分類において、さまざまな形質や遺伝子の塩基配列から似たもの同士をグループ化する手法として、クラスター分析による分類研究が知られている（18）。したがって、任意の品種のラメットが同じ品種グループに分類されれば、培養変異が生じていないと考えることができる。そこで、a～eの比率の組み合わせをデータとし、クラスター分析を行なった。

その結果、カスミザクラ、オオヤマザクラの3品種各8ラメットについて、樹形図で各ラメットがそれぞれの母樹と同じ品種グループに分類されたことから葉の形態からみた培養変異は生じていないと考えられた（図-13, 14）。カスミザクラについて2002年、2003年ともに樹形図で各ラメットがそれぞれの母樹と同じ品種グループに分類されたため、本解析法による再現性があると考えられた。解析に要する葉の枚数は2002年のカスミザクラで12枚、2003年のカスミザクラでは5枚と大きな差はないと考えられるが、50枚以上の葉からランダム抽出した場合に計測する枚数によってどのように解析精度が変化するか調べたい。

図-13 カスミザクラ 3 品種のクラスター分析樹形図

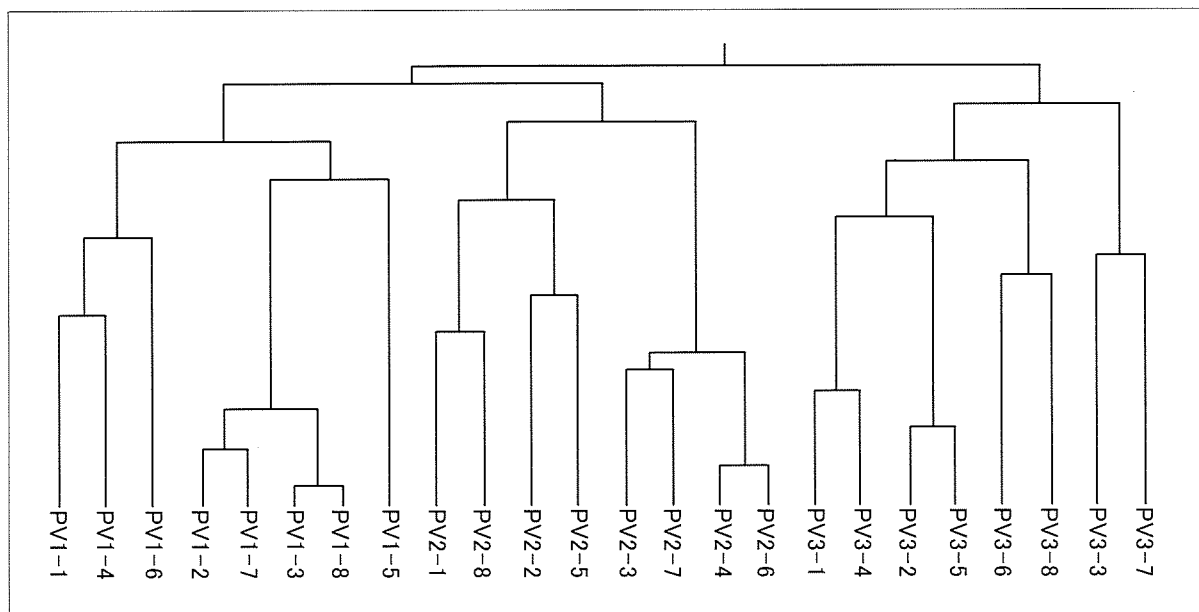
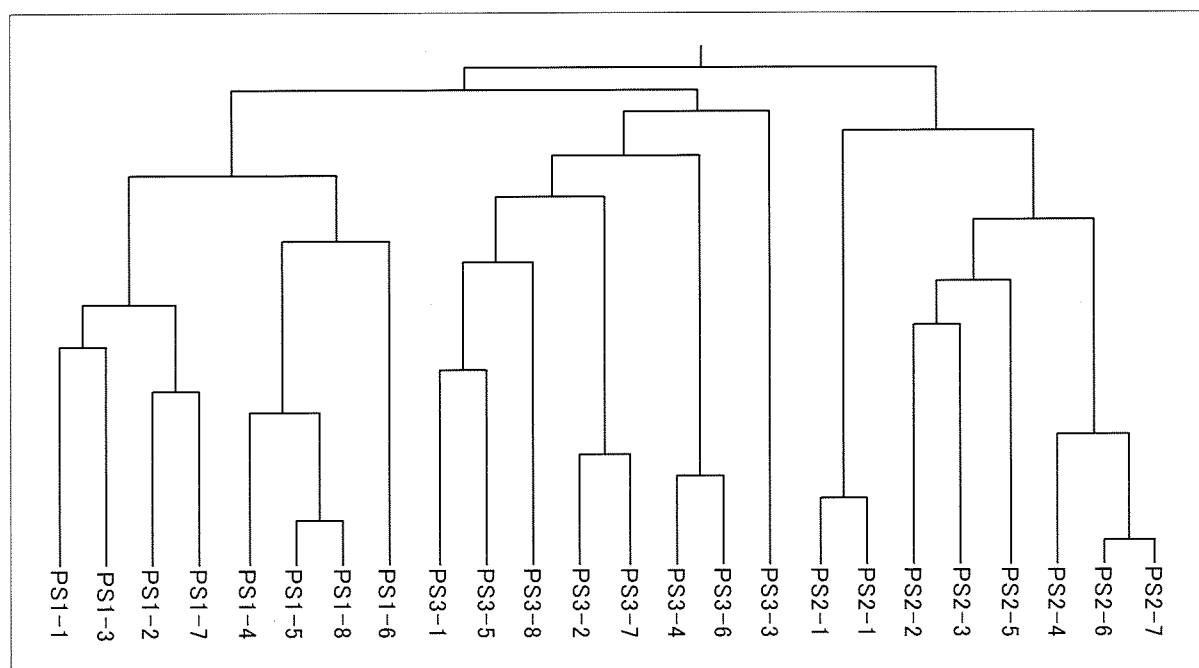


図-14 オオヤマザクラ 3 品種のクラスター分析樹形図



V. おわりに

イヌエンジュについては、本研究で培地に活性炭を添加する改良を行い、これまで実生苗の増殖と発根シュートの報告例しかなかったものが、未生苗より培養が難しいとされる幼木から順化苗の作出に成功した。また、パルプ用材を目的とした交雑ヤマナラシの優良品種である北上柏陽については、成木からわずかに成功した挿し木苗から試験管内で増殖を試み、苗木育成に成功したことも本研究の

成果である。サクラについては、当センター構内と琴丘町県有林に樺細工に適した優良品種の培養苗を植栽したので、クローン集植所として将来的に優良品種の交配による新品種の開発が期待できるようになった。樺細工に適したサクラは、これまでの樹皮調査結果から谷側よりも尾根側のほうが良質になることが示唆され、また、樹皮の品質は胸高直径6 cmで評価可能である(20)。そこで、オオヤマザクラ、カスミザクラの培養苗を琴丘町県有林の尾根側に植栽したので胸高直径6 cmに生長した時点で調査し、各系統の特性把握を行いたい。また、クローン増殖したオオヤマザクラ、カスミザクラについて、葉の形態からは変異が生じていないという結果が得られたが、遺伝的にも変異がないことが確認できればより評価精度が高まる。サクラについて有用な遺伝子マーカーが開発されたら、これらクローン内および母樹とラメットの培養変異について、早急に確認作業を行いたい。

オオヤマザクラ3品種の培養事例から、苗高2 cmのプラグ苗は300~600円という試算結果が得られたので、山行苗の価格は実生苗木の2~3倍になると推測される。サクラの一般的な実生苗木(1.2 m以上)は250~400円であるから、実生苗木と比較して培養苗は価格的に高いため、実用化しにくいともいわれる。しかし、広葉樹の優良材はm³あたり20,000円以上で売却されており(平成7年雄平原木市場)、樺細工用樹皮では40年生のサクラ1本から期待される樹皮の販売価格は10,000円以上となる(平成5年 佐々木 佐年氏調査)。オオヤマザクラ、カスミザクラ、イヌエンジュ、ミズナラ、コナラ、クリは萌芽更新が可能であり、バイオ苗は一度、植林すれば半永久的に利用できる。したがって、実生苗木と単純比較すれば初期投資にはコスト高となる培養苗だが、価格的には産物である材や樹皮などで吸収できると考えられる。

最後に、本研究では秋田県の絶滅危惧種とされるチョウセンキバナアツモリソウの同種を材料とし、未熟種子の組織培養による増殖研究も行った。詳細については論文を参照願いたい(21)。

謝 辞

県内外のサクラ探索調査、および樺細工用サクラ優良系統の選抜には伝統工芸家の小柳金太郎氏、角館町商工観光課の佐々木佐年氏に、また、本研究の推進には森林総合研究所機能開発部の石井克明室長から有益な助言を賜りました。ここに厚くお礼を申し上げます。

引用文献

- (1) 秋田県(1996) 平成7年度版 秋田県林業統計
- (2) Murashige, T. and Skoog, F. (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures, *Physiol. Plant*, 15 : 437-497
- (3) Lloyd, G. B. and Mccown, B. H. (1980) Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture. *Proc. Int. Plant Prop. Soc.*, 30, 421-427
- (4) 石井 克明(1993) ヒノキとクロマツの組織培養条件の検索 森林総合研究所研究報告, 365: 131-167

- (5) 戸田 忠雄 (1989) 林木の種苗増殖の実際 2. イヌエンジュ, 木本植物の増殖と育種 農業図書 pp. 100-105
- (6) 高山 芳之助 (19968) ヤマナラシ類の育種に関する研究, 日林誌 50: 267-273
- (7) 佐々木 揚 (1995) カスミザクラのシュート増殖とプラグ苗化, 日林論 106: 425-426
- (8) Walker, P.N. (1994) Systems and engineering. In: Aitken-Christie, J., Kozai, T. and Smith, M. A. L. H. (ed.): Automation and enviromental control in plant tissue culture, Kluwer Academic Publishers. pp.65-85
- (9) Wightman, F., Schneider, E.A. and Thimann, V.K.(1980) Hormonal factors controlling the initiation and development of lateral roots. II. Effects of exogenous growth factors on lateral root formation in pea roots. *Physiol. Plant*, 49:304
- (10) 佐々木 揚 (1995) カスミザクラの組織培養による増殖の研究 (II) ジフイー 9 とアグリボットを用いた効率的なダイレクトルーティング, 櫻の科学5: 13-20
- (11) 近藤 禎二 (1989) 林木の種苗増殖の実際 8. ケヤキ, 木本植物の増殖と育種 農業図書 pp. 132-134
- (12) 石井 幸夫 (1991) 「サクラのタネの取り扱い法」 林木の育種, 161, 7-12
- (13) 佐々木 揚 (1996) カスミザクラ組織培養プラグ苗の生産コスト試算式の検討, 植物工場学会誌, 8: 244-252
- (14) 石井 克明 (2001) 組織培養と変異「明日の組織培養—木本植物の機能開発に向けた研究のさらなる展開—」, 斎藤 明編著, 林木育種協会 pp. 107-122
- (15) Iwata H., Nesumi H., Ninomiya S., Takano Y. and Ukai Y.(2002) The Evaluation of Genotype x Environment Interactions of Citrus Leaf Morphology Using Image Analysis and Elliptic Fourier Descriptors, *Breeding Science* 52:243-251
- (16) 生方 正俊・板鼻 直栄・河野 耕蔵 (1999) ミズナラ天然林の遺伝的構造と近交弱勢による交配実態の推定 日林誌81: 280-285
- (17) 岩田 洋佳, 根角 博久, 鶴飼 保雄, 二宮 正士 (1994) 楢円フーリエ記述子を用いたカンキツ葉形質の評価, 育雑44 (別2) 211
- (18) 管 民郎 (2002) EXCEL多変量解析 ユーザーズマニュアル, エスミ, pp. 194-195
- (19) 奥野 忠一編 (1992) クラスター分析 応用統計ハンドブック, 養賢堂, pp. 404-416
- (20) 佐々木 揚, 富木 弘一, 佐々木 佐年 (2000) 樺細工用オオヤマザクラ樹皮の形質と品質評価に関する研究, 植物工場学会誌, 12, 117-125
- (21) 佐々木 揚 (2000) 日射量積算値による播種適期判定を利用したチョウセンキバナアツモリソウの未熟種子培養, 植物工場学会誌, 12, 268-274

図-2 イヌエンジュのシュート増殖



図-3 イヌエンジュの順化苗

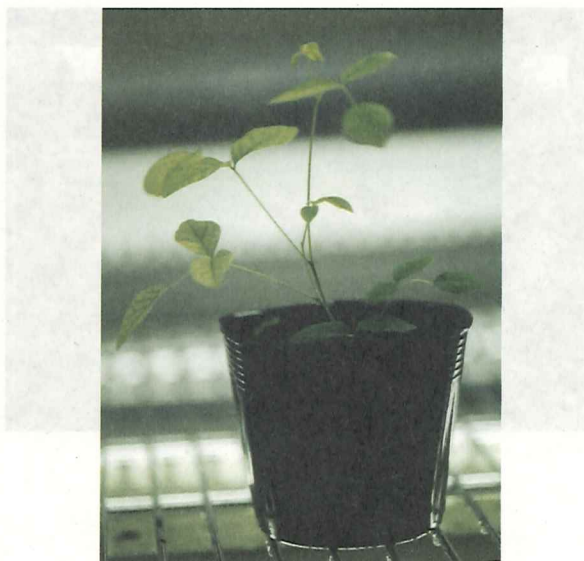


図-4 イヌエンジュの育苗結果

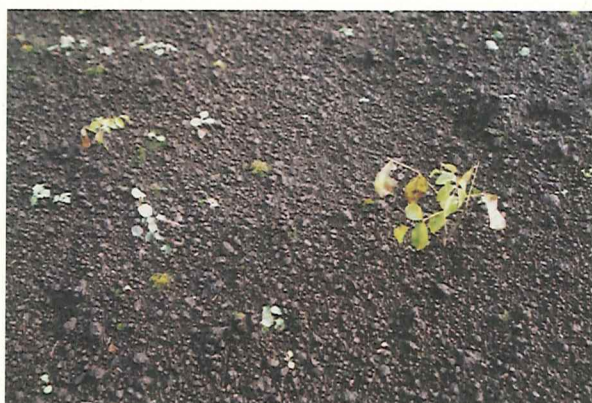


図-5 ヤマナラシのシュート増殖



図-6 ヤマナラシ培養シュートのカルス化



図-7 オオヤマザクラPS1の増殖



図-8 サクラ培養苗の苗畑育成



図-9 当センター構内のサクラ培養苗



図-10 琴丘町県有林のサクラ培養苗



ニュータイプきのこ資源の利用と生産技術の開発

トンビマイタケ (*Meripilus giganteus*) 乾燥粉末摂取ラットにおける N-methylnitrosourea誘発大腸発癌の抑制*¹

菅原 冬樹・成澤 富雄 (秋田大学医療技術短期大学)

Development of utilization of new types of mushroom resources and production technology.
Prevention of N-methylnitrosourea induced colon carcinogenesis by *Meripilus giganteus* in rats.

Fuyuki SUGAWARA, Tomio NARISAWA

* 1 : この大課題は、全国二十数都道府県が取り組んだ課題名であり、その中で本県はトンビマイタケ大腸発癌抑制の小課題を実施した。

要 旨

動物モデルのラットを用いて、トンビマイタケの大腸発癌抑制効果等について試験した。その結果、トンビマイタケ乾燥粉末の強制胃内投与及び食餌性投与から、メチルニトロソウレアによって誘発した大腸前癌病変の発生を有意に抑制し、大腸癌の発生を軽度阻止した。また、トンビマイタケ粉末の短期間投与による中性脂肪値は有意に低下したが、長期間投与では変動が認められなかった。

はじめに

きのこは健康によいとされ、漢方薬あるいは民間伝承薬として現代に受け継がれている。きのこの成分には、食物繊維を多く含み、発癌物質やコレステロールなどを吸着して体内への吸収を防ぐ作用がある³⁾。また、脂質として動脈硬化症の予防に有効であるとされるリノール酸が主に含まれている。さらに、カルシウム吸収に重要なビタミンDの前駆体であるエルゴステロールも多く含まれている。この他にもミネラルとして、リンやカリウムが含まれており、また、ある種のきのこではゲルマニウムなどを吸収しており、薬効性が期待されている^{1, 4)}。このように、きのこは医薬品や漢方薬として利用され、成人病の予防効果を兼ね備えた素晴らしい食品といえる。

きのこの薬効性として最も有名なのは抗癌作用である。カワラタケ *Coriolus versicolor* から得られたクレスチンやシイタケ *Lentinula edodes* から精製されたレンチナンおよびスエヒロタケ *Schizophyllum commune* から得られたシゾフィランなどの多糖類は抗癌性を示し、医薬品として実用化されてい

る¹⁾。その他、血中コレステロール低下作用、血圧低下作用などがある。疫学的調査の実例として、週に三、四回以上エノキタケを食べているエノキタケ栽培者は、癌による死亡率が低いといった報告もある。また、マイタケ、ナメコ、ヒラタケおよびブナシメジの抗癌性も知られている^{2,3)}。

一方、我が国では大腸癌の発生が急増している。世界各国を対象とした疫学研究から高脂肪食、低繊維食がその主因と推論され、ラットやマウスに化学発癌剤で誘発した大腸癌の発生モデルを使った実験から証明されてきた⁸⁾。ここでは、抗癌作用が知られているマイタケを対照として、本県で選抜したニュータイプきのこ品種、トンビマイタケについて、発癌予防効果を明らかにし、実際の食生活に取り入れる可能性を探るため試験を実施した。

材料と方法

1. 子実体の発生

マイタケは、「あきた白神の舞」（秋田県登録品種）を、トンビマイタケは「治助のトンビ」（秋田県）を供試品種として使用した⁹⁾。栽培方法は、オガ粉、フスマ、コーンブランを16：1：1（容積比）で混合し、含水率を65％に調整したものを、2.5 kgの栽培袋に充填した。121℃で1時間殺菌処理をおこなった。培地を冷却後、種菌を接種し、22℃、相対湿度65％、暗黒下で45～60日間培養した。マイタケは室内で一度収穫した後の培地を、トンビマイタケは未発生の培地をそれぞれ露地へ埋設し、子実体を収穫した。

2. 乾燥粉末の調整

収穫したトンビマイタケとマイタケ子実体は、45℃で前乾燥し、最終的に95℃で乾燥した。乾燥子実体はミルを用いて粉碎し、径32μmのステン篩を用いて粒度を調整した。粒度32μm以下の子実体粉末を以下の試験に供試した。

3. ラットを用いた大腸発癌抑制試験

実験1：短期飼育試験（六週間）

（1）動物の飼育と発癌処理

7週齢の雌SDラット（静岡実験動物センター）35匹を7群に分け（表1）、標準固形飼料CE-2（日本クレア）と飲水を自由に摂取させ、SPF室（照明12時間、室温21℃、相対湿度50％）で飼育した。全ラットに、実験第一週に3回、4 mg N-methylnitrosourea (MNU) (Nacalai tesque)/0.5 ml 水溶液を腹腔内投与し、大腸発癌処置を行った。

表1 抗発癌処置

実験群	動物数	発癌処置	抗発癌処置
Control	5	4 mg MNU / 0.5 ml	0.5 ml
M* ¹ (h)	5	4 mg MNU / 0.5 ml	50 mg (M) / 0.5 ml
M (m)	5	4 mg MNU / 0.5 ml	10 mg (M) / 0.5 ml
M (l)	5	4 mg MNU / 0.5 ml	2 mg (M) / 0.5 ml
T* ² (h)	5	4 mg MNU / 0.5 ml	50 mg (T) / 0.5 ml
T (m)	5	4 mg MNU / 0.5 ml	10 mg (T) / 0.5 ml
T (l)	5	4 mg MNU / 0.5 ml	2 mg (T) / 0.5 ml

* 1：マイタケ * 2：トンビマイタケ

(2) 子実体乾燥粉末の投与方法

大腸発癌処置を行った翌週から抗発癌処置として、供試きのこ乾燥粉末 2～50 mgを 0.5 mlの蒸留水にけん濁し、一日一回強制胃内投与した。菌体の基準投与量（トンビマイタケ 10 mg／日）の設定は、成人病予防に有効と言われている生マイタケ摂取 20～30 g／日／成人 に相当する量である。

(3) 大腸粘膜上の aberrant crypt foci (ACF) (写真1) と血液中の生化学成分調査

実験第六週に全ラットを脱血屠殺し、大腸を摘出して縦切開、伸展した状態で10%中性ホルマリソ液で固定した。大腸を 0.2 %メチレンブルー染色液で 5～10 分間染色し、実体顕微鏡下で粘膜上のACFを算定し、各ACFを構成するAC数を計測した。また、血清を凍結保存し、生化学成分である総タンパク、血糖値、中性脂肪および総コレステロール値を測定した。

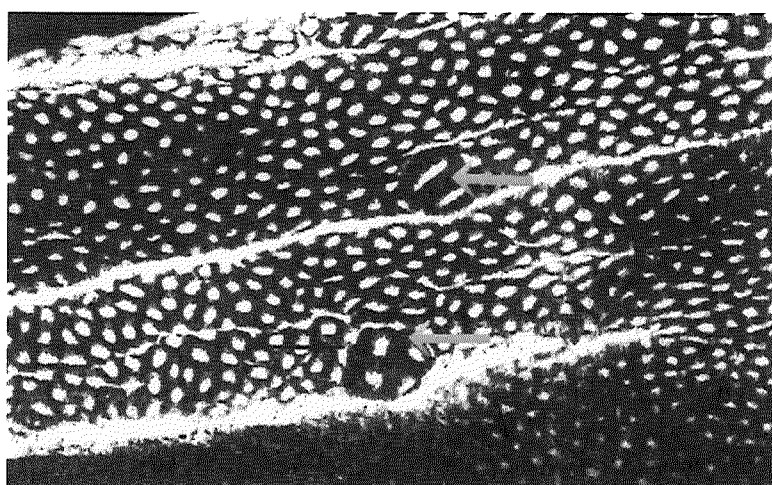


写真1 大腸粘膜上のAberrant crypt foci (ACF)

← : Aberrant crypt foci

実験2：長期飼育試験（三十週間）

(1) 動物の飼育と発癌処理

7週齢の雌F344ラット（静岡実験動物センター）130匹を5群に分け（表2）、標準固形飼料CE-2と飲水を自由に摂取させ、SPF室（照明12時間、室温21℃、相対湿度50%）で飼育した。実験第一～三週に週3回、N-methylnitrosourea (MNU) (Nacalai tesque) 0.4%水溶液 0.5 ml を経肛門的に注腸投与して大腸発癌処置をおこなった。ラットの体重および飼料摂取量は、週1回測定した。

表2 長期飼育試験

実験群	動物数	発癌処置	抗発癌処置
Control	30	2 mg MNU / 0.5 ml	CE-2 飼料
M (h)	25	2 mg MNU / 0.5 ml	M 0.1%添加 CE-2 飼料
M (m)	25	2 mg MNU / 0.5 ml	M 0.02%添加 CE-2 飼料
T (h)	25	2 mg MNU / 0.5 ml	T 0.1%添加 CE-2 飼料
T (m)	25	2 mg MNU / 0.5 ml	T 0.02%添加 CE-2 飼料

(2) 子実体乾燥粉末の投与方法

大腸発癌処置を行った翌週から抗発癌処置として、供試きのこ乾燥粉末を添加した5種類の固形飼料を自由に摂取させた。(1) 対照標準飼料CE-2 (日本クレア), (2) マイタケ乾燥粉末0.1%添加CE-2飼料, (3) 同0.02%添加CE-2飼料, (4) トンビマイタケ乾燥粉末0.1%添加CE-2飼料, (5) 同0.02%添加CE-2飼料 (いずれも日本クレア社で特注製造)。各飼料は、4℃以下で保存した。

(3) 組織診断と血液中の生化学成分調査

実験第三十週に全ラットを脱血屠殺、剖検して大腸腫瘍の発生、その他の異常の有無を観察した。腫瘍と異常組織はヘマトキシリン・エオジン染色標本を作成して組織診断を行った。また、血清を凍結保存し、生化学成分である総タンパク、アルブミン、中性脂肪および総コレステロール値を測定した。

(4) 大腸粘膜上のACF

大腸を摘出して縦切開、伸展した状態で、10%中性ホルマリン液で固定した。大腸を0.2%メチレンブルー染色液で5~10分間染色後、実体顕微鏡下で粘膜上のACFを観察した。また、各ACFを構成するAC数を計測した。

結果と考察

1. 短期飼育試験

(1) 大腸粘膜上のACF

MNU投与5週後における各群5匹の大腸(10 cm) ACFの発生は、対照群に比べてM (マイタケ) 群, T (トンビマイタケ) 群で少数の傾向を示した(表3)。各ACFを構成するAC数は両群ともに1~6個で差がなく、マイタケ粉末およびトンビマイタケ粉末が発癌経過の早期における前癌病変の発生を抑制した可能性を示唆している。対照群で46.9個であったものが、マイタケ粉末50 mg/0.5 ml投与で30.1個, 2 mg/0.5 ml投与で32.8個およびトンビマイタケ粉末2 mg/0.5 mlで27.4個と大腸前癌病変ACFの発生を有意に抑制した ($p < 0.05$, Student's *t*-test)。

表3 大腸粘膜 ACF

Groups ^a	Number of ACFs / colon with				
	1crypt	2crypts	3crypts	4crypts~	total
control	8.1 ± 3.9 ^b	16.8 ± 3.9	9.5 ± 4.2	12.5 ± 3.9	46.9 ± 12.1
M, 50mg	5.7 ± 1.2	11.8 ± 1.7	6.9 ± 2.0	5.7 ± 2.7 ^c	30.1 ± 4.1 ^c
M, 10mg	12.2 ± 6.0	16.9 ± 3.5	12.0 ± 3.7	9.2 ± 4.5	50.3 ± 15.5
M, 2 mg	6.4 ± 1.9	12.5 ± 3.4	7.0 ± 2.0	6.9 ± 3.0 ^c	32.8 ± 4.2 ^c
TM, 50mg	7.7 ± 3.5	13.4 ± 4.7	9.8 ± 4.9	8.8 ± 3.9	39.7 ± 13.1
TM, 10mg	8.4 ± 3.9	12.2 ± 5.1	10.5 ± 5.9	9.0 ± 6.0	40.1 ± 15.2
TM, 2 mg	5.5 ± 3.0	9.2 ± 2.6	6.3 ± 3.8	6.4 ± 4.2 ^c	27.4 ± 10.1 ^c

a. 5rats in each group, 7weeks of age, were given an intrarectal instillation of 4mg MNU dissolved in 0.5 ml water 3 times in week 1, and were treated with an intragastric feeding of high (50mg), medium (10mg) or low (2mg) dose of whole mushroom powder suspended in 0.5ml water 6 times weekly during weeks 2 and 5. The rats were sacrificed at week 6 for quantification of ACFs formation.

b. Mean ± Sd / 10cm long distal colon.

c. Significantly different from Control group : $p < 0.05$ or more.

M : マイタケ, TM : トンビマイタケ

(2) 血液中の生化学成分調査

血清中の生化学成分の調査結果を表4に示した。対照群と比較して、きのこ乾燥粉末を投与した群は、中性脂肪値が有意に低下した。対照群で 76.8 mg/dlであったのに対して、マイタケ粉末の投与量の増加に従って、62.8, 52.2, 49.4 mg/dlと低下し、また、トンビマイタケにおいても 57.7, 54.0, 48.0 mg/dlと低下した。一方、血糖値は、きのこ粉末の投与量の増加に従って増加した。この原因は、食餌後血糖値が高くなった時点で屠殺したものは上昇し、ある程度時間の経過した時点で屠殺したものは、数値が低くなっているものと考えられた。総タンパク、総コレステロール値では、対照群との有意な差は認められなかった。

表4 血液中の生化学成分

Treatment groups	Total protein:g/dl	Glucose:mg/dl	Triglyceride:mg/dl	Total cholesterol:mg/dl
control	6.0 ± 0.2 ^a	151.5 ± 16.8	76.8 ± 29.0	66.7 ± 13.2
M (h)	6.2 ± 0.4	156.8 ± 5.7	49.4 ± 12.5	71.0 ± 12.3
M (m)	6.0 ± 0.4	160.0 ± 8.1	52.5 ± 24.2	73.6 ± 11.9
m (l)	6.2 ± 1.6	170.0 ± 9.4	62.8 ± 12.3	74.5 ± 10.1
TM (h)	6.2 ± 0.2	173.0 ± 16.3	48.0 ± 12.7	76.8 ± 1.8
TM (m)	6.2 ± 2.1	174.0 ± 9.7	54.0 ± 12.0	70.2 ± 5.6
TM (l)	6.2 ± 0.4	181.0 ± 19.4	57.0 ± 28.3	68.6 ± 6.3

a. Mean ± SD, n=5

2. 長期飼育試験

一般的に、短期間投与は、血清成分等の変動が顕著に現れやすいが、長期間ではこの効果が認められなくなることが知られている。今回、短期飼育試験でトンビマイタケ粉末投与が前癌病変抑制に効果があり、また、血清中の中性脂肪値を有意に低下させたことから、長期飼育の場合の効果についても調べることにした。また、短期飼育試験の調査項目に加え、腫瘍化した組織の抑制効果についても試験した。

(1) ラット体重変化と飼料摂取量の変化

各飼料群ラットの体重は週の経過とともに増加し、各群間に有意の差はなかった(表5)。1匹1日あたりの飼料摂取量も対照群、M(h), M(m), T(h), T(m) 5群間で大きな差はなかった(表6)。疫学研究と動物モデルを用いた実験研究から、摂取熱量の多少が発癌を左右することが示されている⁸⁾。今回の試験では、トンビマイタケ乾燥粉末非添加対照飼料群を含む各飼料群ラットの摂取熱量はほぼ同じであり、また、体重増加にも大きな差は見られないことから、これらの食餌性成分(食物繊維、蛋白質、脂肪、糖質等)が発癌抑制の原因になったとは考えられない。

表5 飼育期間のF344ラットの体重変化

	購入時	1週	5週	10週	15週	20週	25週	30週
対照群	104	125	162	188	196	205	210	217
M(h)群	104	126	165	189	197	206	211	217
M(m)群	105	127	166	194	200	208	212	218
TM(h)群	105	127	166	192	198	207	210	216
TM(m)群	105	127	166	192	200	208	209	216

表6 飼育期間のF344ラットの飼料摂取量

	1週	5週	10週	15週	20週	25週	30週
対照群	9.3	10.8	11.0	9.9	10.5	10.1	10.8
M(h)群	9.6	11.5	10.6	10.2	10.6	10.1	10.6
M(m)群	10.1	11.4	11.1	9.9	10.6	10.2	10.4
TM(h)群	9.5	11.4	10.7	9.8	10.3	10.0	10.3
TM(m)群	10.1	11.8	11.4	10.3	11.0	10.5	10.9

(2) 大腸粘膜上のACF

MNU投与30週後における各群25匹の大腸(10 cm²) ACFの発生は、対照群に比べてM(マイタケ)群、T(トンビマイタケ)群で少数の傾向を示した(表7)。各ACFを構成するAC数は両群ともに1~20個以上で、特に、1~3個のAC数がマイタケおよびトンビマイタケ粉末添加群で有意に減少した。このことは、マイタケ粉末およびトンビマイタケ粉末が発癌経過の早期における前癌病変の発生を抑制した可能性を示唆している。ACFを構成する総AC数は、対照群で72.6個であったものが、マイタケ粉末0.1%添加CE-2飼料群で45.9個、0.02%添加CE-2飼料群で48.2個およびトンビマイタケ粉末0.1%添加CE-2飼料群で46.6個、0.02%添加CE-2飼料群で45.0個とACF数を有意に抑制した($p < 0.05$, Student's *t*-test)。

発癌剤投与後数週間以内に前癌病巣と考えられているACFが多数発生することが知られている⁸⁾が、これを大腸発癌過程における中間指標の一つとして利用することができる。今回の実験では、MNUを9回投与し、きのこ粉末を27週摂取させた後、実験第30週にACFの発生状況を検索しているが、その発生個数は対照群よりも明らかに少数であり、これはきのこ粉末が発癌過程の初期変化を阻止したことを示唆している。

表7 大腸粘膜上のACF

	1~3 ACs	4~6 ACs	7~9 ACs	10ACs~	20ACs~	total number
Control (n=5)	29.6 ± 11.2*	23.8 ± 8.6	7.4 ± 2.8	9.2 ± 4.7	2.6 ± 2.3	72.6 ± 16.9*
M(h) (n=7)	16.7 ± 4.1	15.0 ± 7.7	6.1 ± 2.0	6.0 ± 2.7	2.0 ± 1.9	45.9 ± 13.5
M(m) (n=6)	15.0 ± 7.9	17.5 ± 6.9	8.2 ± 1.7	5.8 ± 2.7	1.7 ± 0.7	48.2 ± 13.6
TM(h) (n=8)	16.5 ± 6.5	16.6 ± 4.1	6.9 ± 3.2	5.5 ± 2.4	1.1 ± 1.1	46.6 ± 14.0
TM(m) (n=8)	14.7 ± 3.4	17.4 ± 5.2	5.3 ± 2.8	5.5 ± 3.9	2.5 ± 1.1	45.0 ± 9.8

* Significantly different from all other groups: $p < 0.05$ or more (Students, *t*-test).

(3) 大腸腫瘍の形成阻害

実験終了時の第30週における大腸腫瘍の発生頻度をみると、きのこ粉末添加群は対照群に比べて低率であった。大腸腫瘍の発生個数は、トンビマイタケ添加群で少数発生したが、有意な差ではない。腫瘍発生ラットあたりの腫瘍数および発生した腫瘍の大きさは、対照群、きのこ粉末添加群で有意な差は認められなかった（表8、表9）。

表8 トンビマイタケによる大腸腫瘍の形成阻害

Groups	Tumor incidence	No. of tumors per rat	No. of tumors per tumor-bearing rat (range)
Control	21/29 (72%)	1.1 ± 0.9	1.5 ± 0.7 (1～3)
M(h)	13/25 (52%)	0.6 ± 0.6	1.2 ± 0.4 (1～2)
M(m)	15/25 (60%)	1.1 ± 1.1	1.8 ± 0.9 (1～4)
TM(h)	14/25 (56%)	0.8 ± 0.9	1.5 ± 0.7 (1～3)
TM(m)	13/25 (52%)	0.7 ± 0.9	1.4 ± 0.7 (1～3)

表9 腫瘍発生あたりの腫瘍数および発生した腫瘍の大きさ

Groups	1～3 mm	4～6 mm	7～9 mm	10mm～	total number
Control	21	4	5	1	31
M(h)	7	8	0	0	15
M(m)	19	4	4	0	27
TM(h)	14	3	3	1	21
TM(m)	9	7	2	0	18

(4) 血液中の生化学成分調査

血清中の生化学成分の調査結果を表10に示した。対照群と比較して、きのこ乾燥粉末を投与した群は、中性脂肪、総コレステロールで増加した。中性脂肪値は、対照群で 124 mg/dlであったのに対して、マイタケ粉末の投与量の増加に従って、119, 154 mg/dlと増加し、また、トンビマイタケにおいても 144, 160 mg/dlと増加した。一方、総タンパク、アルブミンでは、対照群との有意な差は認められなかった。短期飼育試験で認められたきのこ粉末投与による中性脂肪値の低下作用は、長期投与では認められなかった。

表10 血液中の生化学成分調査（長期飼育試験）

Groups	TP	Alb	TG	total cholesterol
Control	6.2 ± 0.3	3.4 ± 0.2	124 ± 39	86 ± 8
M(h)	6.5 ± 0.5	3.6 ± 0.2	154 ± 37	95 ± 6
M(m)	6.1 ± 0.6	3.3 ± 0.3	119 ± 19	90 ± 13
TM(h)	6.6 ± 0.3	3.6 ± 0.2	160 ± 27	97 ± 5
TM(m)	6.4 ± 0.3	3.4 ± 0.2	144 ± 29	101 ± 8

Each group consisted of 8 rats.
Mean ± SD.

今回の試験結果は、乾燥きのこ粉末の経口投与がラットにおける大腸発癌の前癌病変であるACFの発生を抑制することを示唆した。成澤らは、食用植物であるユウガオの乾燥粉末を投与することで、大腸発癌の抑制効果について報告している⁵⁾。この作用は、食物繊維成分ではなく微量に含有する化学物質と推定している。さらに、この粉末から酢酸エチルに可溶性な成分（YES）中の非栄養性微量成分が大腸発癌を抑制した⁶⁾。トンビマイタケ乾燥粉末投与による大腸発癌抑制効果は、表3よりきのこ粉末添加量の増加によりACF数の減少が認められない。また、飼料摂取量に差がないことからユウガオ同様、食物繊維以外の成分が効いていると考えられる。今後は、きのこ乾燥粉末中の有効化学成分の抽出・精製とその抗発癌作用の機序の解明が必要である。また、サルノコシカケ科のヒトクチタケから得られた Cryptoporic acid E が大腸発癌を抑制することから⁷⁾、同じ科に属するトンビマイタケにも、これらの成分が存在する可能性もあり、今後の検討課題でもある。

血清中の生化学成分についてみると、短期試験において、中性脂肪値を低下させる作用があることが判明した。血液中に中性脂肪が多くなると、血管壁に結合して、動脈硬化を促進することが知られている。成人病の一つである動脈硬化を予防する上で、効果的な健康食品としての可能性を秘めている。但し、長期試験での中性脂肪値の変動は認められなかったことから、短期的には効果を示すが、長期的にその効果が継続するものではない。

おわりに

トンビマイタケは、東北地方で古くから糖尿病や癌治療の民間療法薬として用いられてきた。その癌予防効果は今回の試験で確認された。トンビマイタケには癌のもとを断つ効果があり、癌予防の目的には力を発揮する可能性が示された。今後は、トンビマイタケに含まれる成分のうち、どの成分に効果があるのかを詳細に調べる必要がある。また、地方によっては、馴染みの薄いきのこであるため、今回得られた大腸発癌抑制作用などの薬効性や料理方法を一般消費者にPRしながら消費拡大を図る必要がある。

引用文献

- 1) 水野卓：きのこの基礎科学と最新技術，農村文化社，121～135，1991
- 2) 水野卓：きのこの化学・生化学，学会出版センター，289～295，237～249，1992
- 3) 河岸洋和：機能性食品の研究，学会出版センター，37～43，1995
- 4) 野副重男：きのこの基礎科学と最新技術，農村文化社，136～144，1991
- 5) 成澤富雄ほか：食用夕顔乾燥粉末摂取マウスにおける1, 2-Dimethylhydrazine 誘発大腸発癌の抑制，基礎と臨床26（14），5311～5316，1992
- 6) 成澤富雄ほか：食用夕顔果実の酢酸エチル抽出物の経口投与による1, 2-Dimethylhydrazine 誘発マウス大腸発癌の予防，基礎と臨床29（14），3643～3651，1995
- 7) Narisawa, T. et al. : Inhibitory effect of cryptoporic acid E, a product from fungus *Cryptoporus volvatus*, on colon carcinogenesis induced with n-methyl-n-nitrosourea in rats and with 1,

2-dimethylhydrazine in mice. Jpn. J. Res. 83. 830-834, 1992

8) 成澤富雄：大腸癌の化学予防，消化器病セミナー61，へるす出版，125～141，1995

9) 菅原冬樹：キノコ栽培全科，農山漁村文化協会，201～205，2001

ニュータイプきのこ資源の利用と生産技術の開発

アミスギタケ (*Favolus arcularius*) の子実体原基形成における アミノ酸の効果^{*1}

菅原 冬樹・田中 修 (甲南大学)

Development of utilization of new types of mushroom resources and production technology.

Effect of amino acids on primordial initiation of fruit-body in *Favolus arcularius*.

Fuyuki SUGAWARA・Osamu TANAKA

^{*1}：この大課題は、全国二十数都道府県が取り組んだ課題名であり、その中で本県はきのこ発生のメカニズムを解明し、栽培に寄与することを目的に小課題を実施した。

要 旨

きのこができるメカニズムを解明し、その知見を応用し実用化を図ることは、きのこ産業に多大な経済的効果が見込まれる。そこで、人工的に約10日間で育てることができるアミスギタケをモデルきのことして、子実体形成機構の解明を試みた。

アミスギタケの菌株 AFA-1は、半合成培地 (SS) で4日間、暗黒下で培養した後、光条件下に移動すると、3日目に子実体原基が形成され、7日目に完全な子実体に成長した。SS培地での子実体形成に及ぼす光条件を調べた結果、48時間以上の光を照射した場合、子実体原基が形成されるが、24時間以下の照射では、原基を形成しない。しかし、栄養源の入っていない蒸留水培地 (DW) では、1時間の光照射で子実体原基を形成した。また、DW培地では、完全暗黒下でも原基形成に要する時間は長くなるが、子実体原基を形成した。SS培地からペプトンを除くことで、完全暗黒下で子実体原基を形成したことからアミスギタケは、ペプトンなどの窒素源を培地から除くことで、完全暗黒下で子実体原基を誘導することが明らかとなった。そこで、窒素源としてアミノ酸組成の分かっているカザミノ酸を用いて試験を行った。カザミノ酸濃度の上昇に伴い、子実体原基形成率が低下した。次に、カザミノ酸を構成する個々のアミノ酸について、暗黒下においてそれらの単独効果を調べた結果、スレオニン、リジン、チロシンに強力な子実体原基形成阻害効果が認められた。また、阻害効果のある3種のアミノ酸 (スレオニン、チロシン) は、光誘導条件下での子実体原基形成をも完全に抑制した。

はじめに

きのこの子実体原基形成は、栄養生長から生殖生長への転換過程である。栄養生長を行っている菌

糸が、環境の変化などを感じると、生殖生長に移行し、子実体原基が形成される。子実体形成物質を調べた研究では、安息香酸やニコチン酸がアミスギタケの子実体原基形成を誘導することを報告している⁴⁾。これらの物質は、種子植物であるイボウキクサやアオウキクサの花芽を分化誘導することが知られている^{1, 2, 3, 20)}。種子植物においてもきのこ同様、花芽形成は栄養生長から生殖生長への転換過程である。これらの現象は、子実体形成と花芽分化の誘導過程には、共通のメカニズムが存在する可能性が示唆される。そこで、植物の花芽分化誘導の鍵である窒素源に着目し^{12, 16, 17)}、アミスギタケを用いて、ペプトンの子実体原基形成に与える影響について検討した。また、窒素源としてアミノ酸組成が明らかであるカザミノ酸に置き換えることにより、アミノ酸レベルで子実体原基形成に与える影響について検討した。

材料と方法

1. 供試菌株

本研究に用いたアミスギタケ AFA-1株は、1984年茨城県で採取されたものであり、秋田県森林技術センターで保存している菌株である。

2. 子実体原基形成試験

シャーレ (90 mm×15 mm) に分注した PDA (Potato-dextrose agar) 培地の中央にアミスギタケ (AFA-1) 菌糸体を接種し、5日間、暗黒条件下、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ で培養した後、コロニー周辺の細胞分裂の盛んな比較的若いステージの菌糸を直径3mmのコルクボーラーで培地とともに打ち抜き、直径16.5mmの遠沈管 (16.5 mm×105 mm) に5mlずつ分注した半合成培地 (SS, 表1)¹⁰⁾ に接種し、4日間、暗黒条件下、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ で培養を行った (前培養)。この培養菌糸体を20 mlの供試培地の入った50 ml容三角フラスコに移植し、子実体原基形成率および原基形成に要する日数について調査した。菌糸体の移植の際は、子実体形成に影響を与えない赤色光 (National FL 20S R-F) 下で移植した⁸⁾。供試培地は、 $1.2 \text{ kg}/\text{cm}^2$ で15分間、滅菌処理を行った。1試験区につき、10フラスコを供試し3回繰り返した。

表1 半合成培地 (SS) の組成

Maltose	20.0 g / l
Peptone	1.0 g / l
Thiamine hydrochloride	0.5mg / l
Mineral	
KH ₂ PO ₄	0.3 g / l
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	0.3 g / l
CaCl ₂ · 2 H ₂ O	0.1 g / l
ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	0.3mg / l
FeSO ₄ · 7 H ₂ O	0.15mg / l
CuSO ₄ · 5 H ₂ O	0.05mg / l
MnSO ₄ · 5 H ₂ O	0.05mg / l
Na ₂ MoO ₄ · 2 H ₂ O	0.004mg / l

(1) 子実体原基形成におよぼす光照射時間の影響

供試培地は、SS 培地と蒸留水培地 (DW, pH 5.8) とし、移植後、直ちに 1～48 時間の光照射を行った。照度は 500 lux とし、光源は daylight fluorescent lamp を使用した。照射終了後、完全暗黒下、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ で培養し、10 日後に子実体原基形成率および菌柄の長さを測定した。

(2) ペプトンによる子実体原基形成の抑制

SS 培地では、暗黒下で子実体原基形成を抑制することから、抑制物質の同定を試みた。SS 培地を構成する成分を 4 つに大別 (ペプトン、マルトース、チアミン、ミネラル) し、DW 培地にペプトンを加えた培地と加えない培地にそれぞれ添加し、子実体原基形成率および原基形成に要した日数について調査した。培養条件は、完全暗黒下、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ とした。

次に、ペプトン単独の効果を調べるため、DW 培地にペプトンを 0～1,000 mg/l 加え、子実体原基形成率と原基形成に要した日数について調査した。培養条件は、完全暗黒下、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ とした。

(3) カザミノ酸とカザミノ酸組成液の効果

ペプトンの主成分は、オリゴペプチド、アミノ酸であるが、その詳細な組成については不明である。ペプトンの持つ抑制効果がペプトンを構成する、どの成分によるのか定かではないが、アミノ酸はペプトンを構成する主成分でもあるので、アミノ酸に子実体原基形成阻害作用があるのではないかと考えた。そこで、アミノ酸組成が明らかなカザミノ酸 (表 2) をペプトンに代わる窒素源として与え、子実体原基形成阻害が再現されるか否かを調べた。カザミノ酸 (Bacto) を蒸留水に 0, 250, 500, 1,000, 2,000 mg/l で加えた培地 (pH 5.8) をそれぞれ 10 ml ずつ、直径 25 mm の培養試験管に分注し、これに前培養を終えた菌糸体を接種した。また、カザミノ酸組成液をカザミノ酸のアミノ酸組成表 (表 2) に従って調整した。各アミノ酸を別個に蒸留水に各分量ずつ加え、pH 5.8 に調整し、これをカザミノ酸組成液とした。カザミノ酸の濃度が、0, 250, 500, 1,000, 2,000 mg/l となるようカザ

表 2 カザミノ酸のアミノ酸組成 (1,000 mg)

amino acids	mg	%
Hydroxyproline	2	0.2
Cystine	3	0.3
Serine	5	0.5
Alanine	19	1.9
Tryptophan	22	2.2
Histidine	25	2.5
Methionine	34	3.4
Threonine	35	3.5
Arginine	38	3.8
Phenylalanine	39	3.9
Asparate	41	4.1
Leucine	49	4.9
Isoleucine	49	4.9
Lysine	60	6.0
Tyrosine	66	6.6
Valine	79	7.9
Proline	91	9.1
Glutamate	322	32.2

ミノ酸組成液を調整し、それぞれ10 mlずつ、直径25 mmの培養試験管に分注し、これに前培養を終えた菌糸体を接種した。培養条件は、完全暗黒下、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ とし、子実体原基形成率と原基形成に要した日数について調査した。

(4) カザミノ酸組成液に含まれるアミノ酸の単独効果

カザミノ酸組成液濃度1,000, 2,000 mg/lで、個々のアミノ酸を単独で加えた培地をそれぞれ10 mlずつ、直径25 mmの培養試験管に分注し、これに前培養を終えた菌糸体を接種した。培養条件は、完全暗黒下、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ とし、子実体原基形成率と原基形成に要した日数について調査した。

(5) 子実体原基形成抑制アミノ酸とその他のアミノ酸の複合効果

カザミノ酸組成液濃度1,000, 2,000 mg/lで、スレオニン (Thr)、リジン (Lys)、チロシン (Tyr) を単独で蒸留水に加えたもの、Thr, Lys, Tyr のそれぞれにメチオニン (Met)、アスパラギン酸 (Asp)、バリン (Val)、プロリン (Pro) を加えた培地 (pH 5.8) を調整した。培地をそれぞれ10 mlずつ、直径25 mmの培養試験管に分注し、これに前培養を終えた菌糸体を接種した。培養条件は、完全暗黒下、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ とし、子実体原基形成率と原基形成に要した日数について調査した。

(6) 子実体原基形成抑制アミノ酸を抜いたカザミノ酸組成液の効果

カザミノ酸組成液 (pH 5.8)、Thr, Lys, Tyr を抜いたカザミノ酸組成液 (pH 5.8)、Thr, Lys, Tyr の3つを蒸留水に加えた培地 (pH 5.8) をそれぞれカザミノ酸組成液 0, 1,000, 2,000 mg/l の濃度に調整した。培地をそれぞれ10 mlずつ、直径25 mmの培養試験管に分注し、これに前培養を終えた菌糸体を接種した。培養条件は、完全暗黒下、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ とし、子実体原基形成率と原基形成に要した日数について調査した。

(7) 子実体原基形成抑制アミノ酸の光条件下での効果

ペプトンを除いたSS培地にThr, あるいはTyrをペプトンの代わりとして、種々の濃度で加えた培地 (pH 5.8) をそれぞれ10 mlずつ、直径25 mmの培養試験管に分注し、これに前培養を終えた菌糸体を接種した。培養条件は、完全暗黒下と光照射下 (500 lux)、 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ とし、子実体原基形成率を調査した。

結果と考察

(1) 子実体原基形成におよぼす光照射時間の影響

アミスギタケは、子実体形成に光を要求することがすでに知られている^{6, 8, 9, 10)}。そこで、今回供試した菌株 AFA-1の光に対する反応を調べるため、以下の実験を行った。

直径3 mmのコルクボーラーで打ち抜いた菌糸体ディスクをSS培地に接種し、4日間完全暗黒下で培養した。この菌糸体をSS培地およびDW培地に移植し、連続光条件下で培養を行い、菌糸体の状態を観察した。その結果、両培地で、連続照明下移動3日目に子実体原基が形成された。さらに、4日目には菌柄の伸長が始まり、6日目には菌傘原基が形成され、7日目には完全な子実体が形成された (図1)。

次に、子実体原基形成におよぼす光照射時間の影響を調べた。SS培地では、48時間の光照射で、

子実体原基が形成されたが、24時間以下では子実体原基の形成は認められなかった。一方、DW 培地では、1時間の光照射で子実体原基が形成された。また、完全暗黒下でさえ、子実体原基が形成された。ただし、子実体原基が形成されるまでの時間は、より多くの日数を要した。また、菌柄は、連続照明下の場合と同様に伸長した（表3）。アミスギタケの子実体原基形成には光が必要であるが、DW 培地においては、暗黒条件下でも子実体原基を形成した。北本らは、アミスギタケ（ATCC 244 61/69B）を用いて光照射期間と子実体原基形成との関係を明らかにした。1分以下の光照射では、子実体原基は形成されなかったが、60分以上の光照射で子実体原基の形成が認められた⁹⁾。今回の実験では、24時間以下の光照射では子実体原基が形成されなかった。この光照射時間と子実体原基形成反応の違いは、実験条件と供試した菌株の違いによるものと考えられる。

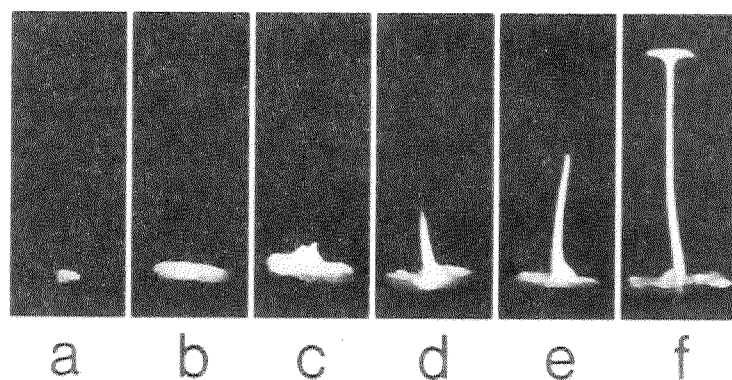


図1 SS 培地でのアミスギタケ AFA-1の子実体形成

- a : 直径3 mmの接種源
 b : 4日間暗黒条件下で培養（光条件下に移動直後）
 c : 子実体原基（光条件下に移動3日後）
 d : 菌柄の伸長（光条件下に移動4日後）
 e : 菌傘原基の形成（光条件下に移動5－6日後）
 f : 成熟子実体（光条件下に移動6－7日後）

表3 子実体原基形成におよぼす光照射時間の影響

Hours of light treatment	% of cultures with primordia		Days required for primordia formation		Average length of main stipe in mm	
	SS	DW	SS	DW	SS	DW
0	0	100	—	6.3 ± 0.3	—	20.0 ± 3.5
1	0	100	—	5.0 ± 0.7	—	28.9 ± 4.3
3	0	100	—	5.2 ± 0.8	—	25.5 ± 4.4
8	0	100	—	5.1 ± 1.5	—	22.3 ± 3.2
24	0	100	—	4.0 ± 0.5	—	20.8 ± 3.4
48	100	100	2.3 ± 0.2	2.1 ± 0.1	25.6 ± 4.2	20.5 ± 2.4

(2) ペプトンによる子実体原基形成の抑制

SS 培地での完全暗黒下における子実体原基形成抑制の要因を調べるため、SS 培地の成分をペプトン、マルトース、チアミン、ミネラルの4つに大別し、各々の成分をDW 培地に加えて子実体原基形成率および原基形成に要した日数について調査した(表4)。その結果、窒素源としてペプトンを加えた培地では、子実体原基形成は完全に抑制された。一方、ペプトンを除いた培地では、子実体原基が形成された。次に、DW 培地に様々な濃度でペプトンを添加し、完全暗黒下での子実体原基形成率およびそれに要した日数を調査した(表5)。その結果、1,000 mg/l のペプトンで子実体原基形成を完全に抑制した。また、添加するペプトンの濃度が増すに従い、子実体原基形成率が低下し、形成に要する日数も増した。DW 培地に窒素源であるペプトンを添加すると、子実体原基形成が抑制されたことから、窒素の枯渇が菌糸の栄養飢餓状態をつくりだすことが示唆された。

表4 SS 培地の構成成分が子実体原基形成に与える影響

Component added to DW medium	% of cultures with primordia (Days required for primordia formation)	
	+Peptone	-Peptone
None	0 (—)	100 (6.3 ± 0.5)
Maltose (Mal)	0 (—)	25.0 (5.6 ± 0.7)
Thiamine (Thi)	0 (—)	88.2 (6.9 ± 0.4)
Mineral (Min)	0 (—)	60.5 (7.0 ± 0.4)
Mal+Thi	0 (—)	20.0 (6.5 ± 1.3)
Mal+Min	0 (—)	30.3 (6.1 ± 0.5)
Thi+Min	0 (—)	73.3 (6.6 ± 0.4)
Mal+Thi+Min	0 (—)	22.9 (6.4 ± 1.0)

表5 ペプトンによる子実体原基形成の抑制

Conc. of peptone in DW medium (mg/l)	% of cultures with primordia	Days required for primordia formation
0	100.0	5.8 ± 0.5
100	91.7	5.9 ± 0.5
250	61.5	7.0 ± 0.8
500	23.1	8.0 ± 1.5
1,000	0.0	—

(3) カザミノ酸とカザミノ酸組成液の効果

DW 培地にカザミノ酸を加えたところ、濃度が高くなるにつれ子実体原基形成率は低下し、原基形成までの期間も長くなった。カザミノ酸組成液の場合も、濃度が高くなるにつれ、子実体原基形成率は低下し、原基形成までの期間も長くなった。しかし、両者とも2,000 mg/l でも子実体原基形成率は0%にならなかった(表6)。ペプトンは1,000 mg/l で原基形成を完全に抑えたのに対し、カザミノ酸組成液は2,000 mg/l でも原基を観察することができた。しかしながら、カザミノ酸、カザミノ酸組成液の濃度をさらに上げることによって、子実体原基形成を完全に抑えることが出来るものと考えられる。ペプトンほど強くはないが、カザミノ酸およびカザミノ酸組成液にも子実体原基形成阻害効果があることが明らかになった。

表6 カザミノ酸とカザミノ酸組成液の効果

Concentration (mg/l)	% of cultures with primordia (Days required for primordia formation)	
	Casamino acids (CA)	CA-constituting amino acids
0	100 (8.7 $\pm$ 0.5)	100 (8.7 $\pm$ 0.5)
250	100 (9.2 $\pm$ 0.5)	100 (9.2 $\pm$ 0.4)
500	100 (9.2 $\pm$ 0.5)	80 (9.5 $\pm$ 0.8)
1,000	60 (9.3 $\pm$ 0.5)	50 (9.6 $\pm$ 0.2)
2,000	20 (10.0 $\pm$ 0)	20 (10.0 $\pm$ 0)

(4) カザミノ酸組成液に含まれるアミノ酸の単独効果

子実体原基形成阻害効果は、カザミノ酸を構成する個々のアミノ酸の全体としての効果なのか、特定のアミノ酸、あるいはアミノ酸グループの効果なのかは不明である。そこで、カザミノ酸組成液に含まれる個々のアミノ酸の単独での効果を調べた(表7)。

カザミノ酸組成液濃度1,000, 2,000 mg/l における、個々のアミノ酸を単独でDW 培地に与えたところ、スレオニン、リジン、チロシンは、カザミノ酸組成液濃度1,000, 2,000 mg/l で子実体原基形成率が完全に0%であった。上記の3つのアミノ酸に次ぐ中程度の子実体原基形成阻害効果が、トリプトファン、ヒスチジン、アルギニン、フェニルアラニン、ロイシン、グルタミン酸に認められた。一方、ヒドロキシプロリン、セリン、アスパラギン酸、バリン、プロリンといったアミノ酸はあまり子実体原基形成には単独で関与していないように考えられた。カザミノ酸組成液は2,000 mg/l の濃度で子実体原基形成率0%にできなかったのに対し、スレオニン、リジン、チロシンはカザミノ酸組成液濃度1,000, 2,000 mg/l のいずれでも子実体原基形成率0%であった。カザミノ酸組成液2,000 mg/l においてさえ、単独で与えた場合のこれらのアミノ酸濃度は非常に低濃度である。それにも関わらず、スレオニン、リジン、チロシンは非常に強力な子実体原基形成阻害効果を示している。各アミノ酸それぞれの濃度で、強力な阻害効果をもつものから、あまり子実体形成に関与していないと考えられるものまで、個々のアミノ酸独自の阻害効果をもっていることから、カザミノ酸組成液の子

実体原基形成阻害効果は、特定のアミノ酸、あるいはアミノ酸グループによるのではないかということが示唆された。強力な阻害効果をもつグループのアミノ酸は、カザミノ酸組成液濃度2,000 mg/l で子実体原基形成を完全に阻害できた。しかし、カザミノ酸組成液2,000 mg/l で子実体原基形成を抑えることはできなかった。当然、カザミノ酸組成液は、強力な阻害効果を持つグループのアミノ酸、さらに中程度の阻害効果を持つアミノ酸まで含んでいる。では、なぜ2,000 mg/l の濃度でカザミノ酸組成液は、原基形成を完全に抑えることができなかったのか。カザミノ酸組成液中には、原基形成阻害アミノ酸の効果が、他のアミノ酸によって、抑制あるいは緩和されている可能性が示唆される。つまり、スレオニン、リジン、チロシンの単独効果は、カザミノ酸組成液中においては、他のアミノ酸によって緩和されているのではないかということが示唆された。

表7 カザミノ酸組成液に含まれるアミノ酸の単独効果

CA-constituting amino acids	%	% of cultures with primordia (Days required for primordia formation)	
		At the concentration of 1,000 mg/l	At the concentration of 2,000 mg/l
		CA-constituting amino acids	CA-constituting amino acids
—	—	100.0 (6.3 ± 0.6)	100.0 (6.3 ± 0.6)
Hydroxyproline	0.2	100.0 (6.8 ± 0.4)	100.0 (6.5 ± 0.4)
Cystine	0.3	87.5 (6.6 ± 0.4)	87.5 (7.0 ± 0.4)
Serine	0.5	100.0 (7.3 ± 0.6)	90.0 (7.4 ± 0.8)
Alanine	1.9	90.0 (9.2 ± 0.3)	56.0 (6.8 ± 0.9)
Tryptophan	2.2	55.0 (7.9 ± 0.5)	31.0 (8.9 ± 0.3)
Histidine	2.5	65.0 (8.8 ± 0.3)	35.0 (8.9 ± 0.6)
Methionine	3.4	85.0 (6.3 ± 0.4)	75.0 (5.6 ± 0.3)
Threonine	3.5	0.0 (—)	0.0 (—)
Arginine	3.8	50.0 (9.4 ± 0.2)	20.0 (9.0 ± 1.0)
Phenylalanine	3.9	40.0 (6.3 ± 0.5)	30.0 (7.3 ± 0.9)
Asparagine	4.1	90.0 (7.0 ± 0.6)	90.0 (6.7 ± 0.5)
Leucine	4.9	40.0 (6.5 ± 0.5)	30.0 (8.3 ± 0.9)
Isoleucine	4.9	88.0 (8.1 ± 0.4)	67.0 (8.5 ± 0.5)
Lysine	6.0	0.0 (—)	0.0 (—)
Tyrosine	6.6	0.0 (—)	0.0 (—)
Valine	7.9	60.0 (8.2 ± 1.0)	60.0 (8.0 ± 0.6)
Proline	9.1	90.0 (8.3 ± 0.4)	70.0 (7.1 ± 0.7)
Glutamate	32.2	30.0 (6.3 ± 0.3)	10.0 (10.0 ± 0.0)

(5) 子実体原基形成抑制アミノ酸とその他のアミノ酸の複合効果

そこで、これら強力阻害アミノ酸に阻害効果があまり認められなかったメチオニン、アスパラギン酸、バリン、プロリンを合わせて与えると、単独ではカザミノ酸組成液濃度1,000, 2,000 mg/l で原基形成率を0%に抑えるのに対し、カザミノ酸組成液濃度1,000 mg/l では全ての子実体原基形成を示し、カザミノ酸組成液濃度2,000 mg/l でも、スレオニン、リジンは原基を形成した(表8)。このことは、カザミノ酸組成液中においては、これら強力阻害アミノ酸の単独効果は、他のアミノ酸、少

表8 子実体原基形成抑制アミノ酸とその他のアミノ酸の複合効果

Amino acid	% of cultures with primordia (Days required for primordia formation)			
	At the concentration of 1,000 mg/ l		At the concentration of 2,000 mg/ l	
	CA-constituting amino acids		CA-constituting amino acids	
	None	+Met, Asp, Val, Pro	None	+Met, Asp, Val, Pro
—	100 (6.5 ± 0.3)	100 (6.8 ± 0.4)	100 (6.5 ± 0.3)	100 (7.0 ± 0.5)
Thr	0 (—)	30 (7.6 ± 1.2)	0 (—)	10 (6.0 ± 0)
Lys	0 (—)	40 (6.5 ± 0.3)	0 (—)	30 (6.7 ± 0.3)
Tyr	0 (—)	30 (10.0 ± 0)	0 (—)	0 (—)

なくともメチオニン、アスパラギン酸、バリン、プロリンによって緩和されるということを示している。

(6) 子実体原基形成抑制アミノ酸を抜いたカザミノ酸組成液の効果

カザミノ酸組成液から、これら強力阻害アミノ酸を抜いた場合、カザミノ酸組成液濃度1,000, 2,000 mg/ l で共に90%の高い原基形成率を示した(表9)。この数値は、スレオニン、リジン、チロシンが、カザミノ酸組成液のもつ子実体原基形成阻害効果の中心的存在であることを意味している。また、スレオニン、リジン、チロシンの3つをまとめて与えた場合でも、カザミノ酸組成液濃度1,000, 2,000 mg/ l とともに原基形成が認められた。つまり、同じ阻害効果をもつアミノ酸でも、互いの効果を打ち消しあっていることを表している。

表9 子実体原基形成抑制アミノ酸を除いたカザミノ酸組成液の効果

Concentration (mg/ l)	% of cultures with primordia (Days required for primordia formation)		
	CA-constituting amino acids	CA-constituting amino acids — (Thy, Lys, Tyr)	Thr + Lys + Tyr
0	100 (6.5 ± 0.3)	100 (6.5 ± 0.3)	100 (6.5 ± 0.3)
1,000	60 (6.7 ± 0.2)	90 (6.7 ± 0.5)	30 (8.0 ± 0.6)
2,000	30 (7.0 ± 0.6)	90 (6.7 ± 0.4)	10 (9.0 ± 0)

(7) 子実体原基形成抑制アミノ酸の光条件下での効果

強力阻害アミノ酸であるスレオニン、チロシンの光条件下での効果と暗黒条件下での効果を比較した。暗黒下では、スレオニンは35 mg/ l、チロシンは66 mg/ l という濃度で原基形成を0%に抑えたが、光条件下では両者とも200 mg/ l でも原基形成を抑えることができず、500 mg/ l で原基形成を抑えることができた(図2, 3)。従って、光刺激にはスレオニン、チロシンのもつ原基形成阻害効果を抑制する働きがあると考えることができる。光刺激には阻害アミノ酸の効果を和らげる効果があることを示している。スレオニン、チロシンによって、その阻害効果に強弱はあるが、暗黒下でも光条件下でも原基形成を完全に抑えることができたことから、暗黒下での窒素源枯渇による子実体原基の誘導と光刺激による子実体原基の誘導には共通の機構の存在が示唆された。

遊離アミノ酸の中でも特に遊離スレオニン、遊離リジン、遊離チロシンの減少が子実体原基の誘導

の重要なシグナルになっているのではないかと考えてみると、暗黒条件と光条件の差は菌糸体内の窒素代謝系回転速度の差であることが示唆される。窒素代謝系が働くことにより、菌糸体内の遊離の阻害アミノ酸がタンパク分子の生成に用いられることにより減少し、その結果、子実体原基が誘導されるものと考えらるなら、暗黒下では窒素代謝系の回転速度が遅いため、培地に与えられた遊離の阻害アミノ酸を低濃度で処理しきれなくなり、逆に窒素代謝系の回転速度が速い光条件下では、比較的高濃度の遊離阻害アミノ酸を処理することができるため、暗黒条件下と光条件下でこのような差が生じたものと考えられる。以上の結果から、光刺激は、菌糸体内の窒素代謝系を促進するシグナルとなっていると考えられた。

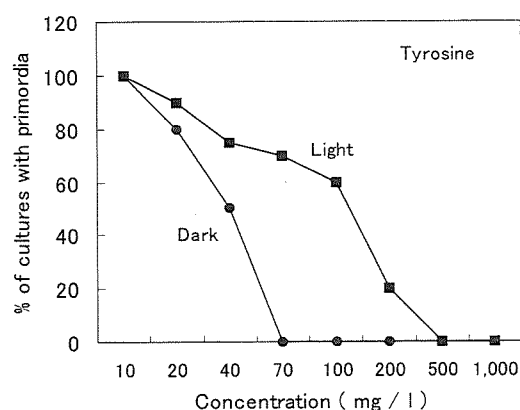
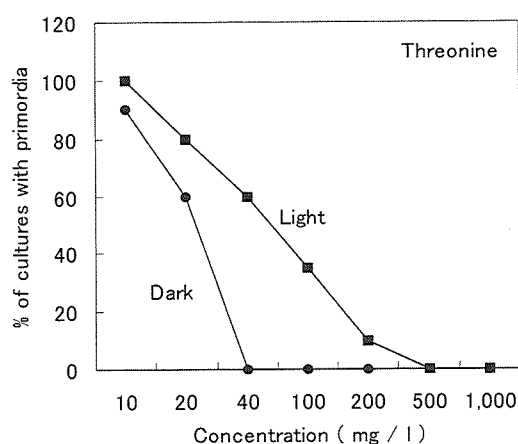


図2 光条件下でのスレオニンの子実体原基形成抑制効果 図3 光条件下でのチロシンの子実体原基形成抑制効果

一方、村尾らは、アントラニル酸が完全暗黒下でアミスギタケ子実体原基形成と菌柄の形成を促すこと及びサイクロオクタサルファが完全暗黒下でアミスギタケ子実体原基形成と菌柄の形成を促すことを発見した¹¹⁾。しかし、これらの物質は菌傘の形成を誘導することはできなかった。また、安息香酸、ニコチン酸も子実体原基形成と菌柄は形成したが、菌傘の形成は誘導しなかった⁵⁾。ここでも、完全暗黒下、DW培地上でアミスギタケの子実体原基と菌柄を形成した。しかし、菌傘は形成しなかった。子実体原基から成熟子実体までの生育には光が必要であった。それ故、きのこの子実体形成は、大きく2つの段階に分けられると考えられる。菌糸体から子実体原基形成過程と子実体原基から成熟子実体までの生育過程である。また、ある種のアミノ酸が子実体形成に効果があることが報告されている^{7, 18, 19)}。アラニン、アスパラギン酸、グリシン等のアミノ酸が子実体形成に適していた。我々の実験結果と異なる原因として、成熟子実体が形成されうる光照射下において各種アミノ酸を添加しており、その結果としてアラニン、アスパラギン酸、グリシンに効果が認められている。既に、光条件によって子実体原基形成の条件を満たしており、その後の生育に効果を示したものと考えられる。

以上の結果をまとめると、アミスギタケの菌糸体は、常に遊離スレオニン、遊離リジン、遊離チロシンなどのアミノ酸によって子実体形成が抑制された状態にあり、無窒素培養によって、菌糸体内の遊離阻害アミノ酸がタンパク合成に用いられて減少し原基形成に移行する、あるいはタンパク質分解

酵素が作用し、菌糸体内の遊離アミノ酸が生成され、阻害効果を緩和していると考えられる。さらに、光条件は窒素代謝を進め子実体原基形成を促進し、原基から子実体までの生育を促していると考えられた(図4)。

きのこの子実体形成機構は、植物の花芽形成機構と共通する部分が多い。その一つとして、アオウキクサの窒素欠乏による花芽分化があげられる^{12, 16, 17)}。アオウキクサの花芽分化機構とアミスギタケの子実体原基形成機構には、いくつかの共通メカニズムの存在が示唆される。最近、アオウキクサの花芽分化機構には、窒素欠乏によってタンパク質が分解され、植物体内の内生遊離リジン量が増加することにより、花芽が形成されることが報告されている^{13, 14, 15)}。アミスギタケの子実体形成にもリジンが関与していた。リジンはアオウキクサで促進的に作用していたが、アミスギタケでは抑制的な役割を果たしていた。異なる生物間で、アミノ酸の1つであるリジンが生殖生長への転換に関与していることは、大変興味深い。それ故、今後はアミスギタケの窒素欠乏による子実体原基形成過程における、菌糸体の内生遊離アミノ酸の変動について詳細に調べる必要がある。

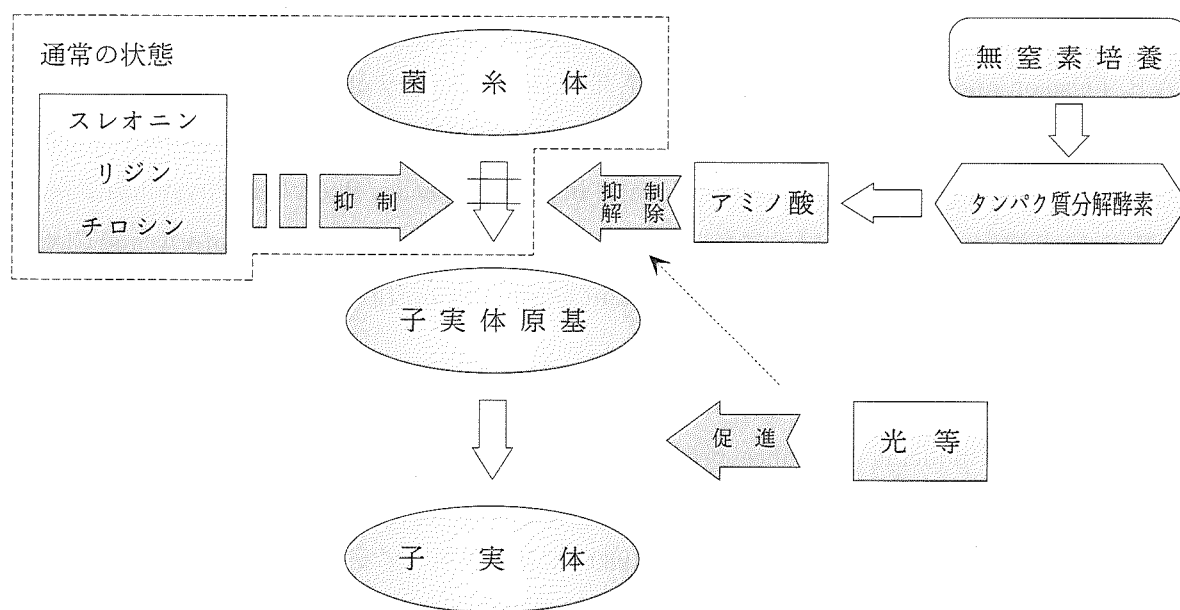


図4 窒素欠乏による子実体原基形成スキーム

おわりに

植物の花芽分化にC/N率が関与しているのと同様、きのこの子実体形成にも関与していると考えられている。これは、窒素(N)含量が多いと栄養生長が盛んで生殖生長が起こりにくく、また、生殖生長をしている体内には炭素(C)含量が多い傾向が見られるというものである。担子菌や子嚢菌のきのこは、子実体形成がきわめて困難なものも多く、実験室内で子実体形成が可能なものは、木材腐朽菌や腐性菌、菌根菌の一部に限られている。これらのきのこの多くは、木質系培地、堆肥や穀物のような天然の培養基上では比較的容易に子実体を形成するが、一般的な組成の人工培地上で容易に子実体を形成するものはわずかである。過去に子実体形成の実験材料としては、ヒトヨタケ属、スエ

ヒロタケ、アミスギタケ、エノキタケなどが用いられてきた。きのこが形成されるのは、担子菌や子嚢菌に共通した反応であり、種々のきのこが他種とは全く異なる独自の子実体形成機構を持っているとは考えにくい。アミスギタケで子実体原基が誘導される機構は、図4に示されるように考えられる。現在、栽培されている食用きのこが窒素欠乏で子実体原基を分化する機構についても、図4に示された機構とどれほど共通性があるかが今後に残された問題である。また、アミスギタケは、光照射によって子実体原基が誘導される。その過程で起こっている生理的反応は、現在、全く不明である。しかし、光照射による子実体原基形成過程も阻害アミノ酸の添加により抑制されるという結果から、光照射条件下で子実体原基を分化させる過程は、どこかで窒素欠乏による過程と結びつくものと考えられる。それ故、図4に示されたメカニズムは、今後、光照射による子実体形成機構を探るてがかりになるであろう。

引用文献

- 1) Cleland, C.F. 1974. The influence of salicylic acids on flowering and growth in the long-day plant *Lemna gibba* G3. In Mechanism of Regulation of Plant Growth. Edited by R.L. Bielecki, A.R. Ferguson and M.M. Gresswell. p.553-557. The Royal Society of New Zealand.
- 2) Fujioka, S., Yamaguchi, I., Murofushi, N., Takahashi, N., Kaihara, S. and Takimoto, A. 1983. Flowering and endogenous level of benzoic acid in *Lemna* species. Plant Cell Physiol. 24:235-239.
- 3) Fujioka, S., Yamaguchi, I., Murofushi, N., Takahashi, N., Kaihara, S., Takimoto, A. and Cleland, C.F. 1986. The influence of nicotinic acid plant hormones on flowering in *Lemna*. Plant Cell Physiol. 27:106-116.
- 4) Hayashi, H., Tarui, N. and Murao, S. 1985. Isolation and identification of cyclooctasulfur, a fruiting-body inducing substance, produced by *Streomyces albulus* TO 447. Agric. Biol. Chem. 49:101-105.
- 5) 林英雄・樽井直樹・寺下隆夫・村尾澤夫 1989. 安息香酸類のアミスギタケおよびエノキタケに及ぼす発芽効果 発酵工業会誌 67:427-431.
- 6) Horikoshi, T., Kitamoto, Y. and Kasai, Z. 1974. Effect of light on the initiation of pileus formation in a basidiomycete, *Favolus arcularius*. Plant Cell physiol. 15:903-911.
- 7) 北本豊・葛西善三郎 1968. アミスギタケの子実体形成に対する栄養環境の影響。農化 42(5): 260-266.
- 8) Kitamoto, Y., Suzuki, A. and Furukawa, S. 1972. An action spectrum for light-induced primordium formation in a basidiomycete, *Favolus arcularius* (Fr.) Ames. Plant Physiol. 49:338-340.
- 9) Kitamoto, Y., Suzuki, A., Matsumoto, T. and Ichikawa, Y. 1986. The role of light on fruit-body initiation in *Favolus arcularius*. Trans. mycol. Soc. Japan. 27:451-461.
- 10) Kitamoto, Y., Takahashi, M. and Kasai, Z. 1968. Light-induced formation of fruit-bodies in a basidiomycete, *Favolus arcularius* (Fr.) Ames. Plant Cell Physiol. 9:797-805.

- 11) Murao,S.,hayashi,H. and Tarui,N. 1984. Anthranilic acid, as a fruiting body inducing substance in *Favolus arcularius*, from a strain TA7 of actinomycetes. Agric. Biol. Chem.,48:1669-1671.
- 12) Tanaka,O. 1986. Flowering induction by nitrogen deficiency in *Lemna paucicostata* 6746. Plant Cell Physiol.27:875-880.
- 13) Tanaka,O.,Fukuoka,Y.,Okamoto,F.,Nisimura,H.,Nisimura,N. and Takeba,G. 1993. Lysine reverses the inhibition of flowering by elastatinal, protease inhibitor, in *Lemna paucicostata* 151.Plant Cell Physiol.34:473-479.
- 14) Tanaka,O.,Nakayama,Y.,Emori,K.,Takeba,G.,Beppu,T. and Sugino,M. 1992. Flowering-inducing activity of exogenous lysine in *Lemna paucicostata* 151 cultured on nitrogen-rich medium.Plant Cell Physiol.35:73-78.
- 15) Tanaka,O.,Nakayama,Y.,Fukuoka,Y.,Arimura,T.,Nisimura,H.,Nisimura,N.,Takeba,G., and Sugino,M. 1992. Flowering-inducing activity of lysine in *Lemna paucicostata* 151 cultured on nitrogen-deficient medium.Plant Cell Physiol.33:977-983.
- 16) Tanaka,O.,Nagase,H.,Kitazume,Y.,Mizoguti,F. and Izawa,Y. 1983. Induction of flowering by nitrogen deficiency in *Lemna paucicostata* 441.Plant Cell Physiol.29:1379-1384.
- 17) Tanaka,O.,Yamamoto,T.,Nakayama,Y.,Okazaki,T. and Takeba,G. 1991. Flowering induced by nitrogen deficiency in *Lemna paucicostata* 151.Plant Cell Physiol.32:1173-1177.
- 18) 寺下隆夫・河野又四・上田茂登子 (1979) アミスギタケの子実体形成における窒素源添加の影響 近畿大学農学部紀要12:17-23.
- 19) 寺下隆夫・上田茂登子・河野又四 (1980) アミスギタケの子実体形成に対するペプトン添加効果 近畿大学農学部紀要13:73-75.
- 20) Watanabe,K. and Takimoto,A. 1979. Flower-inducing effect of benzoic acid and some related compounds in *Lemna paucicostata* 151.Plant Cell Physiol.20:847-850.

ニュータイプきのこ資源の利用と生産技術の開発

遺伝子導入きのこの作出と遺伝子導入菌糸の細胞融合^{*1}

菅原 冬樹・田中 修（甲南大学）

Development of utilization of new types of mushroom resources and production technology.

Establishment of a transgenic mushroom and cell fusion of transgenic hyphae.

Fuyuki SUGAWARA・Osamu TANAKA

^{*1}：この大課題は、全国二十数都道府県が取り組んだ課題名であり、その中で本県は遺伝子導入による新たな形質を兼ね備えたきのこを作出することを目的に小課題を実施した。

要 旨

遺伝子導入により、有用物質をきのこに作らせたり、ダイオキシンなどの環境汚染物質を分解する能力を高めるなど、その実用化に向け、新たな形質を兼ね備えたきのこを作出することを目的に、8種17系統のきのこに対し、植物のカルスに遺伝子を導入する同じ条件でパーティクルガンによる遺伝子導入を試みた。その結果、アミスギタケ AFA-1のハイグロマイシン耐性菌、ヤナギマツタケ、マイタケ AF112、シイタケ M465、エノキタケ AFV-1のビアラフォス耐性菌を得ることができた。それ故、パーティクルガンによって、きのこ菌糸にも遺伝子の導入が可能であることが示された。

はじめに

植物に外来の遺伝子を導入する技術が発達し、種々の遺伝子導入植物が作り出されている。その代表的なものは、「フレーバーセーバー」という名の腐りにくいトマトで、すでに1994年からアメリカで市販されている。日本でも、最近、ナタネやトウモロコシなどの遺伝子組み換え作物の輸入が、問題になっている。現在、虫害抵抗性ジャガイモや除草剤耐性ダイズなど、5種15品目の遺伝子組み換え植物が実用化されつつある。また、遺伝子組み換え技術は、このような農業的な利用だけでなく、生命のしくみや機能を解明するための分子生物学的手法として、多岐にわたる植物科学の学問分野で用いられている。特に、シロイヌナズナなどのモデル植物では、多くの遺伝子が導入され、植物の生理機能が遺伝子レベルで解明されようとしている¹⁾。

一方、外来の遺伝子を導入したきのこは、ほとんど作出されていない。その主な理由は、きのこへの遺伝子導入法が確立されていないことである。きのこの老化のメカニズムは、トマトの場合のように遺伝子レベルで明らかになっていない。遺伝子導入により、きのこの老化を抑制する方法が不明で

ある。また、きのこ栽培では、除草剤は使わないし、虫害抵抗性の形質も必要ない。それ故、これらの遺伝子をきのこに導入しても、きのこ栽培やきのこの利用に明確な利点が見いだされない。これらが、遺伝子導入きのこの作出が遅れている背景と考えられる。しかし、遺伝子導入技術は、植物科学分野における今世紀最大の技術革新である。その成果は、きのこの生命機能や子実体形成機構などの基礎研究や、きのこの生産性向上にも生かされるべきである。

そこで、私たちは、まずきのこへの外来遺伝子導入法を確立すること、そして、その利用法の一つのモデルケースとして、作出した遺伝子導入きのこを細胞融合に用いることを目的に研究を進めることとした。

材料と方法

子実体形成が可能な菌株を選び、材料として用いた。

アミスギタケ (*Favolus arcularius*) AFA1, ヤナギマツタケ (*Agurocybe semiorbicularius*), エノキタケ (*Flammulina velutipes*) AFV1, AFV101, スエヒロタケ (*Scizophyllum commune*) ASC1, ASC2, シイタケ (*Lentinula edodes*) M465, MM1, H600, マイタケ (*Grifola frondosa*) AGF104, AGF112, ナメコ (*Pholiota nameko*) 日本農林種菌, ヒラタケ (*Pleurotus ostreatus*) 明治ヒラタケ早生, M39, H7, H67, 日本農林種菌の8種17菌株。

1. きのこの薬剤耐性 (導入遺伝子への耐性)

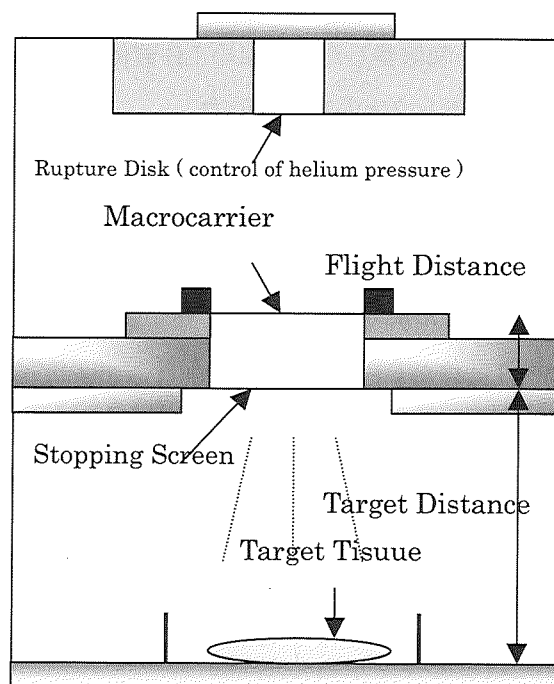
きのこに薬剤耐性遺伝子を導入する前に、用いるきのこ菌株が薬剤にどの程度の耐性を備えているかを調べた。カナマイシン, ハイグロマイシン, ピアラフォス (ハービー: 明治製菓株式会社) を種々の濃度で含む PD 寒天培地 (ポテトデキストロース寒天培地「ニッスイ」: 日水株式会社) に、きのこ菌糸を直径 3 mm のコルクボーラーで打ち抜いた菌糸ディスクを接種し、5 日間の菌糸の増殖を調べた。

2. 遺伝子導入

きのこへの導入条件は、植物の遺伝子導入に使われている条件に固定 (図 1) し、供試菌株にパーティクルガン (BiolisticR PDS-1000/He Particle Delivery System, Bio-Rad) による遺伝子の導入を試みた。直径 $1.6\mu\text{m}$ の金粒子に導入遺伝子であるピアラフォス耐性遺伝子 (図 2), ハイグロマイシン B 耐性遺伝子をコーティングし、パーティクルガン装置により、打ち込んだ。ピアラフォス耐性遺伝子を含むプラスミドおよび遺伝子調整の手順は以下のとおりである。

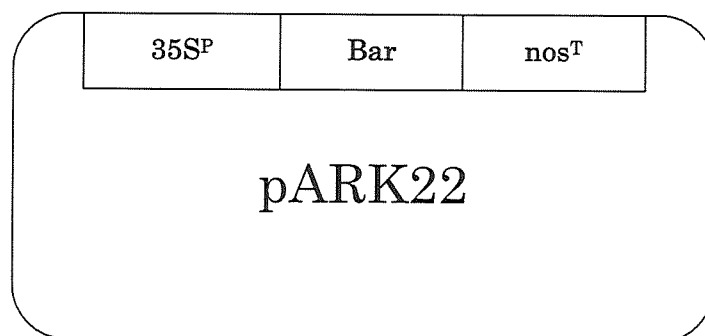
・大腸菌へのプラスミド DNA の導入^{1, 2, 4)}

蒸留水で DNA 濃度 $20\text{ ng}/\mu\text{l}$ に調整した。 $50\mu\text{l}$ のコンピテントセルにこの DNA 溶液 $7.5\mu\text{l}$ 加え、軽く攪拌後、氷上で 30 分間放置した。その後、 42°C で 45 秒間インキュベートし、氷上で 2 分間放置した。 $450\mu\text{l}$ の SOC (Bacto tryptone $20\text{ g}/\text{l}$, Bacto yeast extract $5\text{ g}/\text{l}$, NaCl $10.5\text{ g}/\text{l}$, 5 N NaOH $0.2\text{ ml}/\text{l}$, 1 M Glucose $20\text{ ml}/\text{l}$, 1 M MgCl_2 $10\text{ ml}/\text{l}$, 1 M MgSO_4 $10\text{ ml}/\text{l}$) を加えて、 37°C でゆっくりと 1 時間振とう培養した。 $5,000\text{ rpm}$ で遠心し、上清を捨て、菌液をスプレッダーで LB (Bacto tryptone $10\text{ g}/\text{l}$, Bacto yeast extract $5\text{ g}/\text{l}$, NaCl $10\text{ g}/\text{l}$, 5 N NaOH $0.2\text{ ml}/\text{l}$)



Target distance 4.5cm
 Flight distance 1.5cm
 Helium pressure 1,100psi
 1 サンプルにつき, 1.2 μ g DNA を 2 回照射

図1 パーティクルガンの構造と遺伝子導入条件



35S^P : カリフラワーモザイクウイルス (CaMV) 35S promoter
 Bar : ビアラフォス耐性遺伝子
 nos^T : Ti プラスミド由来のノパリン合成酵素の terminator

図2 ビアラフォス耐性遺伝子を組み込んだ導入プラスミド

プレート（導入する DNA にあわせて、加える抗生物質を選択した）全体に塗り広げた。プレートを 37℃のインキュベーターに入れ、一晚培養した。2 mlの LB 液体培地でシングルコロニーを37℃で一晚培養し、菌液をグリセロールストックとして保存した。

・プラスミド DNA の単離・精製

プラスミド DNA の導入された大腸菌を 3 mlの LB 液体培地で前培養した。培養液が白濁してきたら、125 mlの LB 液体培地に菌液を加え、14時間培養した。3,200 rpmで10分間遠心して集菌した。上清を捨て、溶液 I を5.4 ml加え、ボルテックスで攪拌した。25 mM Tris HCl buffer (pH 8.0) に塩化リゾチームを10 mg/mlの濃度で溶かし、それを0.6 ml加え、ボルテックスで攪拌して5分間室温で放置した。0.2 M NaOHを12 ml加えて軽く混ぜ、氷上で10分間放置した。溶液 II を12 ml加えて軽く混ぜ、氷上で10分間放置した。溶液 III を9 ml加えて軽く混ぜ、氷上で5分間放置した。14,000 rpm 4℃で15分間遠心した。上清を取り、3 M 酢酸ナトリウムを上清の 1/10 量加えて混ぜた。イソプロパノールを上清の 3/5 量加えた。14,000 rpm, 4℃で15分間遠心した。上清を捨て、氷冷した70%エタノールを加えて沈殿を洗浄した。エタノールを捨て、5分間放置して、エタノールを揮発させた。沈殿を2.6 mlの TE 緩衝液（10 mM トリスー塩酸緩衝液, pH 8.0, 1 mM EDTA）に溶かした。3.2 gの塩化セシウムを加えて溶かした。10%の Triton X-100を100 μ l加え、10 mg/mlのエチジウムブロマイドを200 μ l加えた。パスツールピペットで超遠心用チューブに入れ、シールをして、100,000 rpm, 20℃で5時間遠心した。チューブの上に注射針で空気穴を開け、注射器で目的のバンドを抜き取った。塩化セシウムを加え、10% Triton X-100 μ lを加えた。10 mg/mlのエチジウムブロマイドを100 μ l加えた。超遠心用のチューブに入れ、シールをして、100,000 rpm, 20℃で5時間遠心した。目的の層（色の濃い層）を注射器でエッペンに抜き取った。塩化セシウムと TE の飽和したイソプロパノールを1.5 mlになるように加え、ボルテックスで攪拌し上清を捨て、赤色が完全になくなるまで繰り返しこの操作をおこなった。下層をテストチューブにとり、蒸留水を加えて3 mlにした。3 M 酢酸ナトリウムを300 μ l加えて混ぜ、-20℃で3時間放置し、3,200 rpmで15分間遠心した。上清を捨て、70%エタノールで沈殿を洗い、700 μ lの水に沈殿を溶かし、-20℃で保存した。

・1~1.6 μ m金粒子の調整

エッペンに60 mgの金粒子を計り、100%エタノールを1 ml加えボルテックスで攪拌した。30~60秒超音波にかけて、金粒子の塊が入らないように別のエッペンに移した。9,000 rpmで5秒間遠心し、上清（エタノール）を捨て、1 ml蒸留水を加える操作を2, 3回繰り返し、金粒子を蒸留水で洗浄した。

・金粒子への導入遺伝子のコーティング

100 μ lの金粒子に20 μ gの DNA を加え、ボルテックスで攪拌した。2.5Mの塩化カルシウムを100 μ l加え、ボルテックスで攪拌し、さらに0.1 Mの spermidine を40 μ l加え、ボルテックスで攪拌した。室温で30分以上放置した後、12,000 rpmで遠心し、70%エタノールを100~150 μ l加え、12,000 rpmで遠心した。上清を捨て、110 μ lの100%エタノールに懸濁し、超音波で攪拌した。10 μ lずつ Micro-carrier の中心に落として広げ、室温に放置し、白っぽくなるまで乾燥した。

表1 供試菌株のカナマイシンに対する耐性

菌 株	種々のカナマイシン濃度 (ppm) での菌糸コロニーの直径 (cm)				
	0	10	30	100	300
AFA-1	5.9 ± 0.1	5.8 ± 0.1	5.8 ± 1.0	5.5 ± 0.1	4.9 ± 0.1
ヤナギマツタケ	3.0 ± 0.2	3.3 ± 0.2	3.4 ± 0.1	2.7 ± 0.3	3.3 ± 0.1
AFV-1	5.2 ± 0.1	5.0 ± 0.1	5.0 ± 0.1	4.3 ± 0.4	2.3 ± 0.1
AFV-101	5.2 ± 0.1	5.4 ± 0.1	5.3 ± 0.1	4.7 ± 0.1	3.3 ± 0.1
MM1	2.9 ± 0.1	2.9 ± 0.3	3.3 ± 0.2	2.7 ± 0.1	2.3 ± 0.1
M465	4.0 ± 0.2	4.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	3.9 ± 0.1	2.6 ± 0.1
H600	3.5 ± 0.1	3.6 ± 0.1	3.7 ± 0.2	3.3 ± 0.1	3.0 ± 0.1
ASC-1	5.1 ± 0.1	4.6 ± 0.1	5.4 ± 0.3	4.7 ± 0.3	3.5 ± 0.1
ASC-2	5.5 ± 0.1	5.7 ± 0.1	5.6 ± 0.1	5.5 ± 0.1	4.1 ± 0.1
AGF104	2.4 ± 0.1	2.0 ± 0.1	2.4 ± 0.1	2.3 ± 0.2	1.9 ± 0.2
AGF112	2.3 ± 0.1	2.6 ± 0.1	2.5 ± 0.1	2.6 ± 0.1	2.1 ± 0.1
明治ヒラタケ早生	4.9 ± 0.1	4.5 ± 0.1	4.9 ± 0.1	4.6 ± 0.1	3.9 ± 0.1
M39	4.8 ± 0.1	4.9 ± 0.1	4.6 ± 0.2	4.2 ± 0.2	4.0 ± 0.7
H7	4.0 ± 0.1	3.5 ± 0.1	4.0 ± 0.1	3.4 ± 0.2	3.1 ± 0.1
H67	3.7 ± 0.6	3.8 ± 0.2	2.8 ± 0.1	2.8 ± 0.4	2.8 ± 0.5
日農ヒラタケ	4.7 ± 0.2	4.8 ± 0.1	4.7 ± 0.1	4.8 ± 0.2	4.0 ± 0.1
日農ナメコ	2.0 ± 0.1	1.8 ± 0.1	1.6 ± 0.1	2.0 ± 0.2	1.7 ± 0.1

種々の濃度でカナマイシンを含む PDA 培地に菌を接種し、25℃、暗黒下で培養し、5日後（ASC-1, 2は4日後）の数値を採用した。また、これらの数値は3つのコロニーの平均±標準誤差を示したものである。

PD 寒天培地に直径 3 mm の菌糸ディスクを接種し、増殖菌糸の直径がほぼ 3 cm に達したものに、パーティクルガンによる遺伝子をコーティングした金粒子を打ち込み、遺伝子導入処理を行った。その後、径 3 mm のコルクボーラーでできるだけ多くの菌糸ディスクを打ち抜き、薬剤を含む PD 寒天培地で増殖させた。それぞれのきのこに対し、表 1 で求めた耐性限界濃度を用いて、耐性菌糸を選抜した。

3. プロトプラスト化によるクローン化⁶⁾

GMV (1% Glucose, 1% Extract Malt, 0.4% Yeast extract : pH 5.8), あるいは, MYG (2% Glucose, 2% Extract Malt, 0.2% Yeast extract : pH 5.3) 液体培地 10 ml の入った培養試験管 (25×120 mm) に菌糸を接種した。25℃の暗黒下で14日間、菌糸を振とう培養した。生長した菌塊をホモジナイズし、この菌糸断片を含む液体培地 5 ml を GMV 液体培地 50 ml の入った三角フラスコに移し、5日間培養した。3,000 rpm で5分間遠心して、上清をパスツールピペットで捨て、5 ml の溶液 A (マンニトール 5.29 g/50 ml, マレイン酸 290 mg, NaOH で pH 5.3 に調整) を加えて遠心した。この操作を3回繰り返し行い、菌糸を洗浄した。上清をパスツールピペットで捨て、membran filter を通して、3 ml (菌糸体量に対し、約 5～7 倍量) の酵素液 (セルラーゼ・オノズカ RS20 mg/ml, ザイモリアーゼ 20 T 5 mg/ml, β -グルクロニダーゼ 0.03 mg/ml, キチナーゼ 1.25 mg/ml, 2-メルカプトエタノール 2 μ l/ml) を加え、ボルテックスで懸濁した。29℃で3～4時間、振とう恒温水槽 (100回/min) で酵素反応を行った。酵素反応を終えたものをミラクロスあるいはガラスフィルター (G 2) で遠心管 (10 ml) に濾過した。濾液を 1,200 rpm で5分間遠心して、パスツールピペットで上清を捨て、5 ml の溶液 A を加えて懸濁した。この操作を3回繰り返し行い、プロトプラストを洗浄

した。遺伝子導入プロトプラストの選抜は、溶液Aで調整したPDA培地（ハイグロマイシン10 ppm, ビアラフォス90 ppm）を入れたシャーレに、溶液Aで適切な量に希釈したプロトプラスト懸濁液250 μ lをコーンラージ棒でスプレッドした。

4. 耐性クローンの薬剤を含む培地での成長

1で設定された薬剤濃度の選抜培地に耐性菌の菌糸を接種し、その菌糸コロニーの直径を観察・測定した。また、種々の濃度でビアラフォスを含むPD液体培地に耐性菌および非耐性菌を接種し、液体培地中での薬剤感受性について調べた。

5. 形質転換クローンの子実体形成

クローン化した菌糸を人工栽培条件下（オガ粉培地）で培養し、子実体発生を試みた。

6. 細胞融合による雑種きのこの作出

作出した遺伝子導入菌糸を用いて、細胞融合過程を容易化し、雑種きのこの菌糸の作出を試みた。ハイグロマイシン耐性アミスギタケ、ビアラフォス耐性ヤナギマツタケ、エノキタケ、シイタケ菌糸をプロトプラスト化し、細胞融合を行った。プロトプラストの単離は、「4. プロトプラスト化によるクローン化」と同様に行った。目的のプロトプラストを等量混合し、遠心して沈殿させた。この沈殿に溶液C（0.65 Mマンニトール、0.1 Mグリシン、50 mM CaCl_2 、NaOHでpH 8.5に調整、30%ポリエチレングリコール（PEG）MW 6,000）を加え懸濁し、30℃で30分間、静置した。溶液D（0.65 Mマンニトール、0.1 Mグリシン、50 mM CaCl_2 、NaOHでpH 8.5に調整）を倍量加えてPEGを希釈し、遠心でプロトプラストを沈殿させた。溶液E（0.65 Mマンニトール、0.05 Mマレイン酸、NaOHでpH 6.5に調整）で2回洗浄した後、同じ溶液に懸濁した。再生培地にプロトプラスト懸濁液を250 μ lとり、再生させた。

結果と考察

1. きのこの薬剤耐性

実験に用いた8種17系統（表1）は、カナマイシンに対しいかなりの耐性を備えていた。植物の場合、通常100 ppmで成育できなくなるが、200 ppmでも全ての供試系統が耐性を示した。

ハイグロマイシンに対しては、植物の場合、通常50 ppmで選抜するが、調べたきのこの場合、弱いもので10 ppm、高いものでも100–200 ppmの濃度が耐性限界であった（表2）。

ビアラフォスに対しては、植物の場合、5 ppmであるが、調べたきのこの場合、弱いもので2 ppm、高いものでも180 ppmの濃度が耐性限界であった（表2）。

以上の結果、調べた3種の薬剤について、それぞれの菌株の耐性限界が設定できた。しかし、ここで扱う菌株は、カナマイシンに対する感受性がかなり低く、カナマイシン耐性遺伝子は導入遺伝子として不適当と考えられるため、今回の遺伝子導入実験には、ハイグロマイシン、ビアラフォス耐性遺伝子を選んで以下の試験を実施した。

2. 遺伝子導入

パーティクルガンで遺伝子の導入を検討する場合、導入きのこを限定し、導入条件を徹底的に調べ

表2 遺伝子導入に用いたきのこ菌糸のピアラフォスとハイグロマイシンに対する耐性

菌 株	ピアラフォス (ppm)	ハイグロマイシン B (ppm)
AFA-1	35	50
ヤナギマツタケ	10	200
AFV-1	10	10
AFV-101	10	30
MM1	180	50
M465	180	100
H600	4.5	10
ASC-1	4.5	30
ASC-2	4.5	10
AGF104	10	50
AGF112	10	50
明治ヒラタケ早生	10	50
M39	4.5	100
H7	10	50
H67	2	100
日農ヒラタケ	10	50
日農ナメコ	2	10

上記の数値は、PDA 培地などの寒天培地の場合に、各菌株の生長を完全に抑えることのできるピアラフォス、ハイグロマイシン B の濃度である。

るか、あるいは導入条件を固定し、導入できるきのこを探すかである。前者の場合、入りやすく発現しやすいきのこを選択することが好ましいが、どのきのこを選択するかは難しい。植物のタバコのように、培養条件が確立された組織培養のモデル植物のようなもの、あるいはイネのような有用性が他の植物よりも優れているものがあれば、それを用いて徹底的に検討することはそれぞれ価値を持つ。しかし、現在、きのこにおいてそのような観点から絞り込むことは難しい段階である。きのこへのパーティクルガンによる遺伝子の導入は、今回が初めての試みであり、幅広いきのこを用いて検討することとした。そこで、導入条件を植物の遺伝子導入に使われている条件（パーティクルガンで遺伝子を打ち込む）に固定（図1）し、人工栽培により子実体形成可能なきのこを用いて、遺伝子導入を試みた。

その結果、アミスギタケ AFA-1 でハイグロマイシン耐性菌糸、エノキタケ AFV1、マイタケ AGF 112、シイタケ M465、ヤナギマツタケでピアラフォス耐性菌糸を得ることができたことから、きのこの菌糸にもパーティクルガンで遺伝子の導入が可能になったことが明らかになった（図3, 4, 5, 6）。

3. プロトプラストによるクローン化

ハイグロマイシンとピアラフォスに耐性の菌糸を5種のきのこから得られた。選抜過程から、得られた耐性菌糸は遺伝子導入単細胞に由来しているものではないため、キメラ状態で存在している可能性が考えられる。そこで、プロトプラスト化し、単細胞由来の耐性クローン菌糸を得ることにした。

プロトプラスト化を行う際の菌糸の前培養は、液体培地が適している。しかし、液体培地では、き

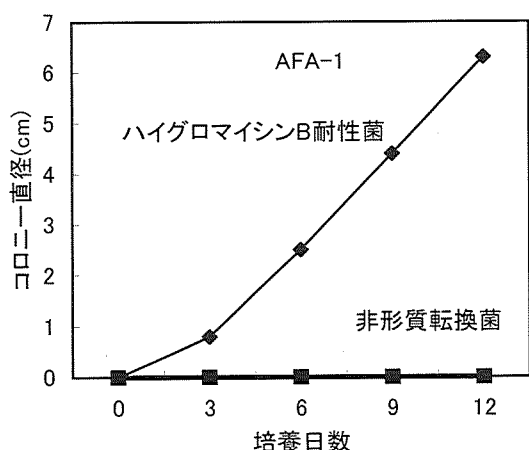


図3 アミスギタケ AFA-1株のハイグロマイシンB耐性菌と非耐性菌のPDA選抜培地(50 ppm)での生長

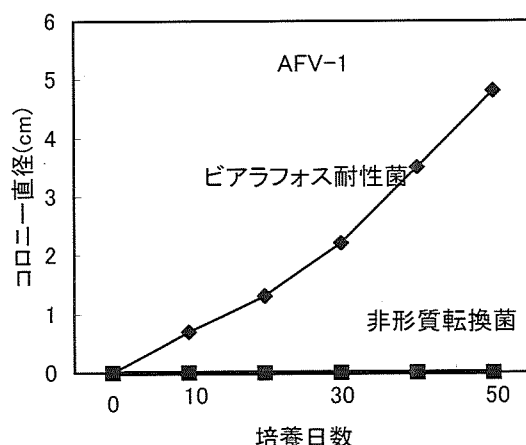


図4 エノキタケ AFV-1株のビアラフォス耐性菌と非耐性菌のPDA選抜培地(10 ppm)での生長

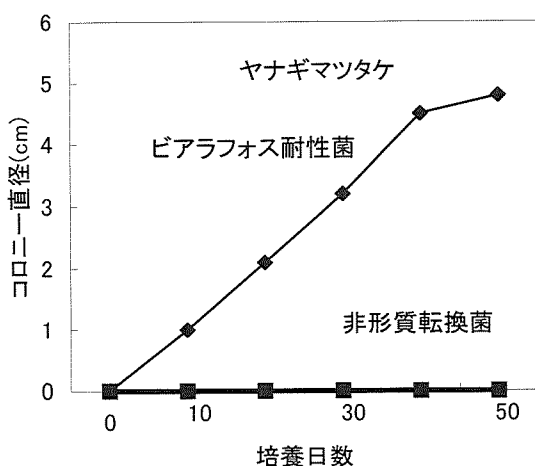


図5 ヤナギマツタケのビアラフォス耐性菌と非耐性菌のPDA選抜培地(10 ppm)での生長

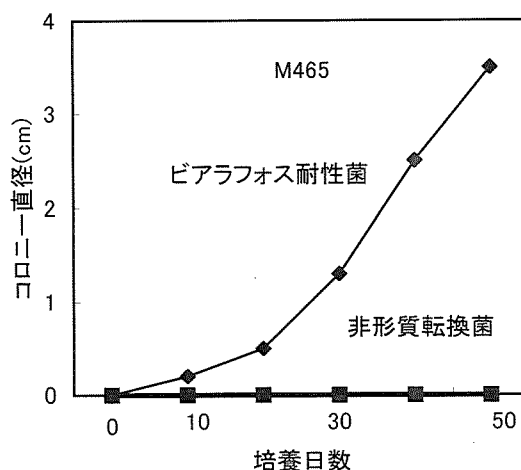


図6 シイタケ M465株のビアラフォス耐性菌と非耐性菌のPDA選抜培地(4.5 ppm)での生長

のこに対する感受性が高まる可能性が考えられる。それ故、ビアラフォスを含むPD寒天培地とPD液体培地にビアラフォス耐性菌とそれらの非耐性菌を接種し、それぞれの培地のビアラフォスへの感受性を比較した。その結果、ヤナギマツタケの耐性菌は2 ppm、マイタケの耐性菌は6 ppm、エノキタケ、シイタケの耐性菌は4 ppmで、それぞれ選抜できることがわかった(表3)。

各きのこで次のようなプロトプラスト由来のクローンを得ることができた。アミスギタケのハイグロマイシン耐性菌のプロトプラストから20 ppmハイグロマイシンを含む培地で24系統のクローンが得られた。非形質転換体のプロトプラストは、再生しなかった。さらに、30 ppmハイグロマイシンを含む培地で生育させ、最も良好な2系統(H-20-9, H-20-20)を選抜した。

ヤナギマツタケのビアラフォス耐性菌糸のプロトプラストから29個のクローンが得られた。その中

表3 ビアラフォス耐性菌の液体培地（PD 培地）中でのビアラフォスの感受性

菌 株		0	1	2	4	6	8	10
ヤナギマツタケ	非形質転換株	○	○	—	—	—	—	—
	耐性菌株	○	○	○	○	—	—	—
AGF112	非形質転換株	○	○	○	○	—	—	—
	耐性菌株	○	○	○	○	○	○	○
AFV-1	非形質転換株	○	○	○	—	—	—	—
	耐性菌株	○	○	○	○	—	—	—
M465	非形質転換株	○	○	○	—	—	—	—
	耐性菌株	○	○	○	○	○	—	—

○：生長可能

—：生長不可

で、K-5 が成長の良い、耐性の強いクローンであった。

エノキタケ（AFV1）のビアラフォス耐性菌糸のプロトプラストから25個のクローンが得られた。その中で、K-5, 6, F-5 が成長の良い、耐性の強いクローンであった。

シイタケ（M465）のビアラフォス耐性菌糸のプロトプラストから29個のクローンが得られた。その中で、K-5 が成長の良い、耐性の強いクローンであった。

マイタケ（AGF112）の耐性菌糸から十分量のプロトプラストが得られなかった。その理由は、画一的な方法がマイタケのプロトプラスト化に適していなかったと考えられる。今後、マイタケについては、効率的な条件でプロトプラスト化を試みなければならない。

4. 耐性クロンの薬剤を含む培地での成長

プロトプラスト化して選抜された耐性クローンは、アミスギタケの場合、50 ppmのハイグロマイシン、ヤナギマツタケ、シイタケ、エノキタケの場合、90 ppmのビアラフォスを含む培地で成長した（図5）。一方、非形質転換体は成長しなかった。

5. 形質転換クローンの子実体形成

遺伝子導入した耐性菌糸は、ヤナギマツタケを除いて子実体を形成しなかった。アミスギタケの場合、菌糸の状態が変化しており、基底菌糸が多く、子実体形成に必要と考えられる気中菌糸ができなかった。導入遺伝子が原因か、あるいは導入遺伝子の導入場所が子実体形成に係わる遺伝子を破壊した可能性が考えられる。しかし、導入遺伝子は薬剤耐性遺伝子であり、直接的に子実体形成を阻害するとは考えにくい。また、後者は偶発的現象であり、全てのクローンが子実体を形成しないことから可能性は薄い。一つの可能性として、プロトプラスト由来菌糸の1核化が考えられる。きのこ菌糸細胞は、通常2核化の状態にあり、2核化の状態から子実体形成は起こる。プロトプラスト化の過程で1核のものや2核のものがとれることが知られている。また、その後の菌糸再生の過程において1核化している可能性が考えられる。形質転換クローンでは、顕微鏡下で2核菌糸の一つの特徴であるクランプが見られないこともその推測を支持した。そこで、1核化したと考えられるプロトプラスト由

来の2種の菌糸を対峙培養するとともに、1核化したと考えられるプロトプラスト由来の菌糸と2核の非形質転換体との間でダイモン交配を行った。しかし、その結果、得られた菌糸からも子実体形成は起こらなかった。

そこで、現在次のような試みを続けている。非形質転換アミスギタケおよび形質転換アミスギタケ(H-20-9)をプロトプラスト化し、再生させる。その非形質転換アミスギタケの菌糸の中からクランプを形成しているものを捨て、1核の菌糸のみを選抜する。形質転換体の場合、プロトプラストの再生はハイグロマイシンを含んだ培地中で行い、ハイグロマイシン耐性菌を選抜し、クランプを形成している菌糸を捨て、ハイグロマイシン耐性1核菌糸を選抜する。以上で得られる2種の1核菌糸を交配させ、クランプのあるものを選び、その中からハイグロマイシン耐性菌糸を選抜する。このようにしたものについて、子実体形成を試みる。この場合、1核化したプロトプラスト由来の2種の菌糸を対峙培養する場合と異なり、1核は非形質転換体であり他の1核が転換体である。それ故、非形質転換体の核に支配されて子実体を形成する可能性が高くなる。一方、本研究中に穴戸らにより形質転換したヒラタケの菌糸が得られたとの報告がなされた^{3, 5)}。しかし、この場合も、子実体は形成されなかった。従って、遺伝子導入により、子実体形成が阻害される原因は不明であるが、現象はかなり普遍的である可能性が考えられる。

一方、耐性を示したヤナギマツタケは、オガ粉培地で培養した結果、子実体が形成された(図7)。現在、子実体から組織分離した菌糸について、薬剤耐性および導入遺伝子の有無を調べ、導入遺伝子が含まれたまま子実体形成がなされているかを確認している。もし、導入遺伝子が脱離せずに子実体形成がなされているなら、世界で最初の外来遺伝子導入きのこの誕生となるはずである。

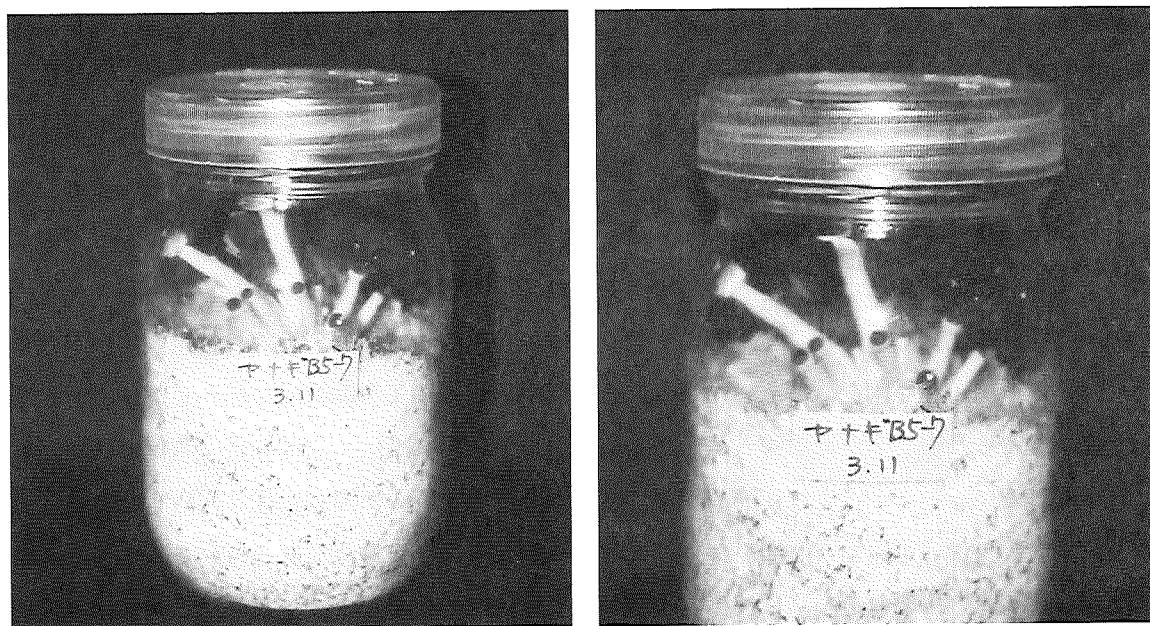


図7 外来遺伝子を導入したヤナギマツタケの子実体

6. 細胞融合による雑種きのこの作出

表1に示されたヤナギマツタケのハイグロマイシン耐性は200 ppmであるが、これは完全に生育が抑制される濃度であり、20 ppmでほとんど生育が抑制されている。ヤナギマツタケK-5をプロトプラスト化した場合には、10 ppm濃度の培地でも非形質転換体は再生しない。エノキタケ AFV1のK-5、シイタケ M465のK-5のプロトプラストも10 ppmハイグロマイシン濃度の培地で再生しない。それ故、細胞融合種の選抜には、10 ppmのハイグロマイシン濃度を用いた。2種のプロトプラスト懸濁液を10 ppmハイグロマイシンと18 ppmビアラフォスを同時に含む培養液で培養すると再生してくるものはなかった。細胞融合菌糸は2種の薬剤を含む培地で1段階選抜が難しいことが明らかになった。そこで、2段階選抜を用いることとした。アミスギタケのプロトプラストとヤナギマツタケのプロトプラストを混合した後、ハイグロマイシン10 ppmを含む培地で再生させた。形質転換アミスギタケのプロトプラストとハイグロマイシン耐性形質を細胞融合で得たヤナギマツタケのプロトプラストは、この培地で再生するが、細胞融合していないヤナギマツタケのプロトプラストは再生しない。そこで、再生してきた菌糸をハイグロマイシン10 ppmとビアラフォス72 ppmを含む培地上で成長させた。細胞融合していないアミスギタケは、ビアラフォス耐性を持たないので、この培地では再生せず、細胞融合したものだけが選抜される。ハイグロマイシンで選抜、再生後の菌糸はビアラフォスで耐えられることが明らかになった。この原因は、2種の薬剤による相乗効果、あるいは相乗効果がこれらの菌糸の耐性限界を越える可能性が考えられる。また、ビアラフォス耐性は、細胞壁が形成された場合に発現するのかもしれない。例えば、導入遺伝子により細胞壁構成組成が変化し、ビアラフォスの吸収を阻害するなどの原因が考えられる。

その結果、ハイグロマイシンとビアラフォスに耐性を持つ菌糸が、ヤナギマツタケK-5で9系統、シイタケK-5で2系統、エノキタケで13系統得られた。

今回の成果は、導入プラスミドのプロモーターの改良や外来遺伝子の導入により子実体を形成しなくなるなど問題は残るが、植物同様きのこにも外来遺伝子の導入が可能であることが確認され、有用物質を作らせたりダイオキシンなどの環境汚染物質を分解する能力を高めるなど、その実用化に向け一歩前進したものと考えられる。

おわりに

遺伝子の導入というと、ダイズやトウモロコシのような遺伝子組み換え作物が知られ、食品であるがために、食の安全性という観念から、嫌われる傾向にあり、あまり良い印象がもたれていないことが多い。しかし、遺伝子を導入する技術は、今までに持っていなかった形質を身に付けさせるという点で画期的なものである。最近、「ムーンダスト ライラックブルー」という商品名の青いカーネーションが市販されている。青い花を咲かせるペチュニアから青い色素をつくりだすための遺伝子を取り出し、カーネーションに入れて作出した⁷⁾。花の色を変えるように、有用物質をきのこに作らせたり、ダイオキシンなどの環境汚染物質を分解する能力を高めるなど、その恩恵は計り知れないものがある。また、遺伝子導入による食の安全性が確認されれば、マツタケの香りの成分を作り出す遺伝子

をシイタケに入れて、マツタケの香りがするシイタケができるかもしれない。本研究で得られたこれらの知見は、今後の遺伝子導入きのこの作出と細胞融合に十分有用なものと考えられる。

引用文献

- 1) 馬場崎勝彦：きのこの遺伝子組換え，きのこの増殖と育種，農業図書162～172，1992
- 2) J.Sanbrook, E.F.Fritsch and T.Maniatis：Molecular Cloning. A Laboratory Manual. 2nd Ed., Cold Spring Harbor Laboratory, New York, 1989.
- 3) Koji Yanai, Kumiko Yonekura, Hideki Usami, Masao Hirayama, Susumu Kajiyama, Takasi Yamazaki, Kazuo Shishido and Takashi Adachi：The integrative of *Pleurotus ostreatus* using bialaphos resistance as a dominant selectable marker. Biosci. Biotech. Biochem. 60(3), 472-475, 1996
- 4) 中山広樹，西方敬人：遺伝子解析の基礎，秀潤社
- 5) 穴戸和夫：きのこの遺伝子工学，きのこの基礎科学と最新技術，農村文化社57～69，1991
- 6) 菅原冬樹：菌床栽培用きのこ育種と栽培技術の改良（マイタケ），研究報告第7号，74～130，2000
- 7) 田中 修：つぼみたちの生涯，中央公論社1552，2000

長期育成循環施業に対応する森林管理技術の開発

澤 田 智 志

Research on the Establishment of the Forestry of Long-term
Cutting of Sugi (*Cryptomeria japonica*) Stands.

Satoshi SAWATA

要 旨

秋田スギ人工林の長伐期施業に対応した収穫予想システムを確立するために、既存の調査資料に80年生以上の人工林の林分調査を加えることによって、樹高曲線と密度曲線のパラメータの現実林分への適合性を高め、100年生まで予測が可能な成長曲線をミッチャーリッヒ式によって決定した。新しい成長曲線は従来の成長曲線に比べて若齢時の成長が緩やかで、高齢級になると成長量が大きくなる特徴を持っている。この曲線は収穫試験地の成長量と良く適合しており、既存の Basic プログラムを Windows 版に改良し、新たなパラメータを使用して長伐期施業管理ソフト「森林管理情報処理システム」を開発した。

実在する高齢木の成長を調べるために、樹幹解析の手法によってスギ高齢木69本の成長を解析した。樹幹解析木の樹高成長は、40年以降は新しい地位曲線に適合した成長傾向となっていた。樹高および直径の成長は樹齢と共に緩やかとなるものの、材積成長は40年生以降に最大となったのち、伐採されるまで最大の成長量を維持し続けている個体が多く、100年程度では老齢級には達していないことが明らかとなった。ただし、高齢級でha当り本数が500本を越えるような林分では解析木の成長は低下しており、高齢級で個体成長を維持するためには間伐による本数管理の重要性が確認された。高齢木の樹幹占有面積の調査により、樹高20m以上の個体の樹冠幅は樹高の20%で管理する方法を開発した。この樹高に対して20%の管理を行った場合の収量比数は0.6となり、高齢級では低密度での管理が必要であることが明らかとなった。

I. はじめに

20年以上も前から「来たるべき国産材時代のために」という言葉が用いられてきたが、依然として外材の攻勢は厳しく、国産材時代は未だ到来していない。考えれば日本の森林は、高付加価値の付く天然林を伐採した後に植林された40年前後の森林がほとんどであり、未だ伐期には来ておらず、蓄積を高めて価値の出る時期を待つべき時にあるのかもしれない。しかしながら我が国の人工林は、これまで材積収穫効率を重視（大住ら，2001）して伐期が決定されていて、60年以上の高齢な人工林を収穫する計画は立てられて来なかった。また、大住らも指摘している通り、過去の収穫表では現実的林分に適合しない事態も生じてきている。現在、人工林をより長いサイクルで維持するような状況に対

応して、長伐期を考えた森林の管理方針を立てようとする動きが各地で起きて来ている。本研究では長伐期施業に対応した林齢100年程度までの収穫予測プログラムを開発することを目的とすると共に、100年程度の高齢級の森林は従来から言われているように老齢で成長量の止まった状態にあるのかどうかを検証するために、樹幹解析による単木の成長解析と、固定試験地での成長解析の2つの方法で高齢スギの成長解析を行った。

Ⅱ. 調査方法

秋田県内に現存する高齢級スギ林を対象に、人工林31林分、天然林5林分の計36林分について林内に面積0.16～0.20haの調査地を設定し、樹高はレーザーテクノロジー社製 IMPULS2000、胸高直径は直径巻尺を用いて毎木調査を行った。また、一部の調査地では樹高、直径の他に枝下高、樹冠幅の測定を行った。これらの調査地のうち21林分では、胸高直径の優勢木、平均木、劣勢木を3～9本選抜し、計69本を伐採し、樹幹解析による成長解析を行った。樹幹解析の方法は、地上高0.2m、1.2m、以後採材間隔（2.0～4.0m）にあわせて梢端部まで採取した円盤の4方向の年輪数および年輪幅を読み取り、樹幹解析ソフト Stem Analyzer 等により解析を行った。

また、収穫表のパラメータを決定するために、既存の調査資料（秋田県林務部、1980）および共同研究者である森林総合研究所の収穫試験地のデータを解析し、収穫表作成のためのパラメータの検討を行った。高齢林の成長量の解明は主として樹幹解析の手法により解析を行った。高齢林の施業履歴の解明として、間伐等の施業を行っている高齢林で間伐尺度（間伐木平均直径÷間伐前平均直径）と丸太の実際の販売価格の解析を行った。長伐期施業に対応する経営的評価と収穫予想システムを確立するために、林分調査データから樹高曲線と密度曲線のパラメータの現実林分への適合性を高めると共に、既存の Basic プログラムを Windows 版に改良した。また、東京大学の白石助教授の開発したシステム収穫表（LYCS）を秋田地方民有林にも適用できるようにパラメータの検討を行った。

Ⅲ. 結果と考察

1. 高齢林の林分構造の解明

1) 秋田県民有林における高齢林の実態

当センターでは平成2～4年度に長伐期施業に関する基礎調査を行っており（石田、1994）、平成2年には秋田県民有林で80年生以上のスギ林が624ha存在すると記述されている。本研究を進めるに当たって、平成11年度に民有林の高齢林の実態を把握するために旧秋田県林務部森林計画の森林簿から80年生以上の林分を抽出したところ、2,776haのスギ人工林が抽出され、スギ人工林に占める割合は1.2%となっていた。この森林簿および基礎調査資料をもとに、調査可能と思われる89箇所の候補地について、現地確認により調査対象となりうるかどうか検討したところ、その多くは調査面積が確保できない状態であったり、すでに伐採されていたりしており、わずかに13箇所が調査可能と判断された。秋田県林業統計時系列版Ⅳ（秋田県林務部、2000）のスギ人工林の変化を見ると、昭和45年には75年生以上の人工林がわずか70haであったものが、平成3年には2,467haへと増加し、それ以降

も増加を続けているが、平成3年に本県を直撃した台風19号は、高齢な林分を主体に壊滅的な被害をもたらした。石田が設定した調査地もその多くは台風によって被害を受けており、このように、平成3年以降民有林における高齢級資源は非常に少ない状況にあるものと推定される。そのため、本研究では民有林だけでなく、国有林での調査も行いながら秋田県全体としての高齢林の実態を把握することを目的とした。

2) 調査地の概要

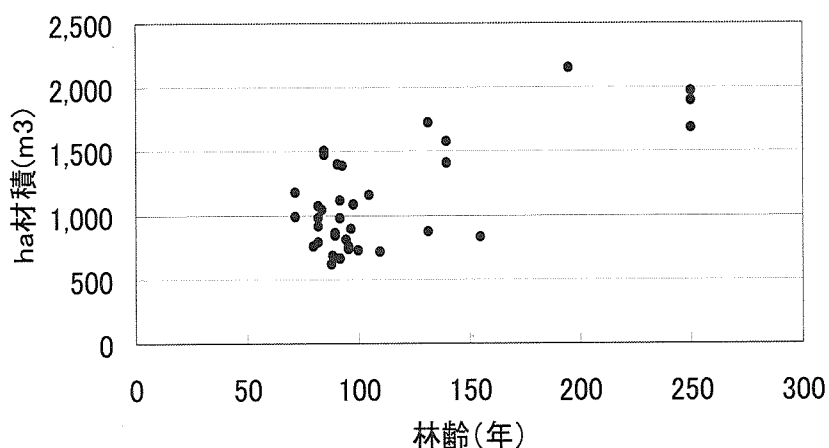
表-1には平成11年から5カ年間の研究期間にわたって調査した70年生以上のスギ林を示した。調査を行った37林分の内訳は、72～195年生の人工林が31林分、140年生以上の天然林が6林分となっている。所有形態別では国有林が21林分、民有林が16林分となっており、地域別では米代川流域が24林分、雄物川流域が13林分となっている。石田(1994)は長伐期の基礎調査で雄物川流域を主体に調査を行っていたため、今回は天然秋田スギの産地として有名な米代川流域に調査地を増やしたが、現地確認を行ったものの、80年生以上の調査可能な林分が見つからなかった子吉川流域には調査地を設定できなかった。

調査林分の上層木平均樹高は24.3～47.0m、平均胸高直径36.7～85.0cmと多岐にわたっているが、

表-1 秋田地方長期循環施業調査林分一覧表

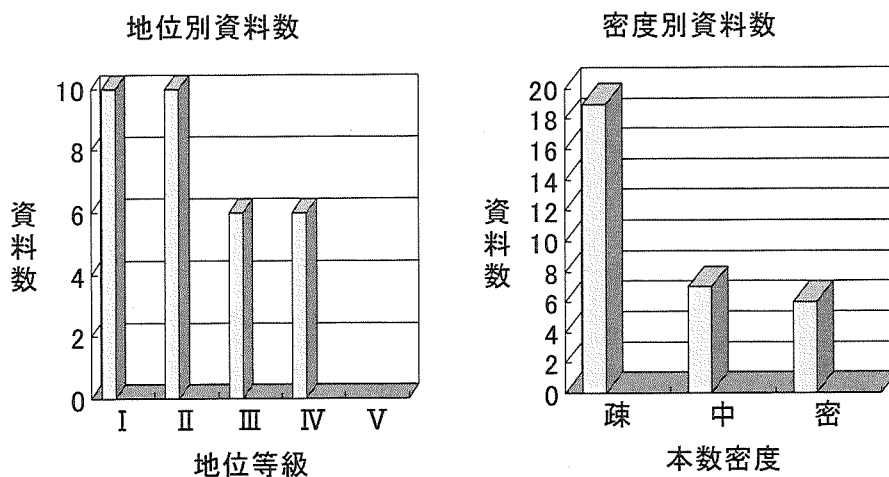
番号	調査地	所有形態	林 齢	平均直径	平均樹高	上層木樹高	ha本数	ha断面積	ha材積	地位等級	収量比数	調査年	樹幹解析	備 考
1	阿仁町三の又	民有林	72	44.4	30.0	30.1	546	86.4	1,175	II	0.75	12	○	
2	田代町高祖	国有林	72	44.7	32.5	32.5	410	66.5	989	I	0.69	15	○	
3	鷹巣町綴子沢	国有林	80	45.1	33.0	33.3	314	51.8	749	I	0.62	13	○	
4	田代町早口沢	国有林	82	48.8	32.5	32.5	319	60.4	787	II	0.61	11	○	
5	羽後町新町1	民有林	82	52.0	32.8	32.8	294	63.4	911	II	0.59	11	○	
6	羽後町新町2	民有林	82	55.8	31.8	32.3	307	77.9	1,068	II	0.59	11		
7	阿仁町向山2	民有林	82	42.7	33.3	33.3	412	61.1	975	II	0.70	13	○	
8	阿仁町東山	民有林	84	36.7	27.2	32.3	550	68.7	1,037	II	0.78	11	○	
9	能代市常盤1	民有林	85	47.5	36.6	36.6	485	87.6	1,471	I	0.80	12	○	
10	能代市常盤2	民有林	85	52.0	36.4	36.4	433	94.1	1,507	I	0.76	12		
11	秋田市仁別	国有林	88	45.5	26.4	26.4	440	69.9	610	IV	0.61	14	○	
12	阿仁町向山1	民有林	89	61.4	38.4	38.4	140	42.5	682	I	0.42	11		
13	皆瀬村小安奥山	国有林	90	38.0	24.0	25.9	593	72.7	860	IV	0.70	12	○	
14	藤里町柏毛	民有林	90	64.9	35.5	36.2	170	57.8	838	II	0.45	14		
15	田代町岩瀬沢	国有林	91	40.5	30.1	31.3	690	95.7	1,396	III	0.82	13	○	
16	羽後町水沢1	民有林	92	58.9	37.8	37.8	145	40.6	657	I	0.43	11		
17	羽後町水沢3	民有林	92	50.2	35.1	35.1	350	70.6	1,112	I	0.67	11		
18	鷹巣町岩ノ目沢	国有林	92	53.4	33.0	35.1	235	67.7	978	II	0.51	15	○	
19	雄勝町御返事沢	国有林	93	47.8	30.9	31.2	515	95.5	1,389	III	0.74	14		
20	田代町薄市沢	国有林	95	58.4	34.0	34.4	200	55.8	800	II	0.48	14	○	
21	琴丘町上岩川	国有林	96	36.2	24.9	25.5	500	58.1	731	IV	0.64	12	○	
22	琴丘町黒森1	国有林	96	45.3	29.5	29.5	335	46.0	748	III	0.58	14		
23	能代市母体山	国有林	97	37.1	21.8	24.3	647	81.3	895	IV	0.70	13	○	
24	琴丘町黒森2	国有林	98	58.5	37.3	38.1	250	68.6	1,080	I	0.58	15	○	
25	協和町小黑川	国有林	100	43.1	29.2	29.9	332	52.0	723	III	0.58	12	○	
26	男鹿市五里合	民有林	105	58.5	27.0	28.1	330	94.4	1,152	IV	0.55	14		
27	藤里町寺沢	国有林	110	56.9	34.0	35.9	183	49.2	712	IV	0.35	14	○	
28	田沢湖町刺巻	民有林	132	55.6	39.8	39.8	395	101.0	1,731	I	0.77	13		
29	羽後町中ノ沢	民有林	132	73.5	39.7	39.7	120	51.7	864	I	0.40	14		
30	田代町平滝1	国有林	140	53.2	32.2	35.8	335	94.2	1,582	天然林、II	0.67	11	○	
31	田代町平滝2	国有林	140	62.4	30.6	34.4	233	91.2	1,409	天然林、II	0.54	12		
32	羽後町田代	民有林	155	66.4	33.9	33.9	171	61.6	831	III	0.43	13	○	
33	田沢湖町田沢	民有林	195	71.3	43.6	43.6	290	121.6	2,149	天然林	0.72	13		
34	二ツ井町仁鮎1	国有林	200-320	85.0	47.0	47.0	170	103.5	1,969	天然林		13		
35	二ツ井町仁鮎2	国有林	200-320	72.0	34.0	34.0	220		1,681	天然林		13		
36	上小阿仁村上大内沢	国有林	212-282	85.0	42.8	46.1	184	112.9	1,891	天然林		13		
37	二ツ井町田代	国有林	220-250	83.7						天然林		13	○	本数不足

地位の良い林分では90年生ぐらいから上層木平均樹高が35mを超えるようになってきており、200年を超える天然林では平均樹高が47.0mと50m近くまで到達する林分も存在した。ha当りの胸高断面積合計は40.6～121.6㎡であり、秋田地方における若齢の林分の調査結果（寺崎ら、1964）よりも高い値になっており、大住ら（2000）の高齢級のデータと同様に中には100㎡を超える林分も存在した。ha当りの本数は140～690本、ha当りの材積は610～2,149㎡で、図－1に示したように高齢級で林冠が閉鎖した林分であれば72年生から材積が1,000㎡を超えている調査地が存在し、林齢の増加と共に1,500㎡、さらに天然林では2,000㎡前後までその蓄積を増大させていた。



図－1 高齢林調査地の林齢と材積の関係

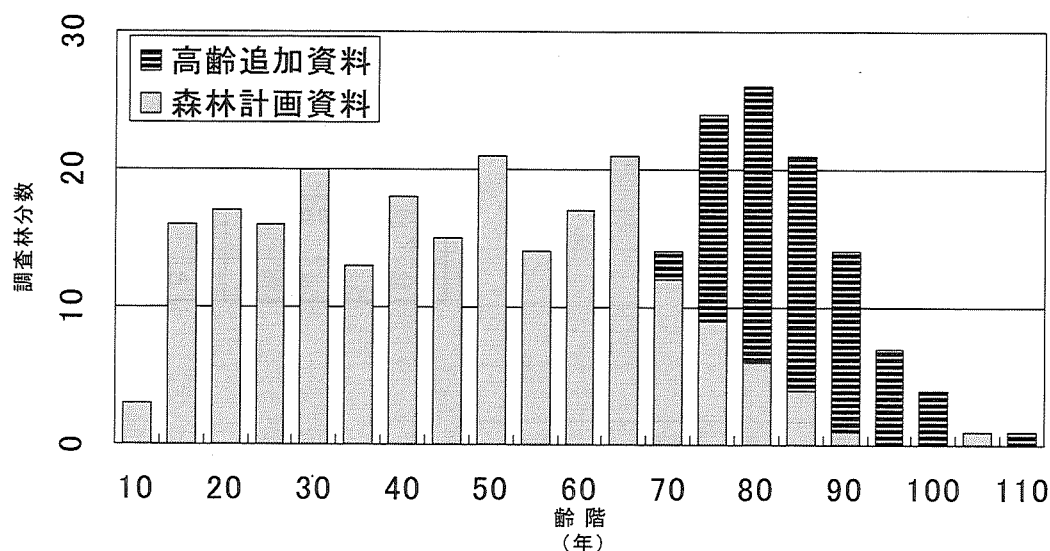
林齢200年未満の調査地32林分において、地位等級と収量比数を調べた結果を図－2に示した。秋田県民有林収穫表の5等級の地位区分のうち、地位ⅠとⅡがそれぞれ10林分ずつ、地位ⅢとⅣが6林分ずつ、地位Ⅴはなしという状態で、比較的地位の高い林分が多かった。調査林分の密度を収量比数で比較すると0.64以下の疎な状態が19林分、0.65～0.74の中な状態が7林分、0.75以上の密な状態が6林分と、比較的に疎な林分が多かった。



図－2 高齢林の地位と本数密度

3) 高齢林を含む地位曲線の決定

従来の林分調査資料（秋田県林務部，1980）の224林分に林齢100年以下の追加調査データ，国有林の高齢林試験地資料等を加えた，303林分を長伐期用地位曲線の決定に用いた。この303林分の地位と収量比数の分布を表－2に示した。地位別の分布を見ると，地位Ⅱ～Ⅲが27%前後で最も多く，次いで地位Ⅳ21%，地位Ⅰ17%と続き，地位Ⅴが7%と少なく，地位Ⅰ～Ⅳが主体となっていた。収量比数別では0.64以下の疎な林分が47.9%と全体の半分弱を占め，続いて0.65～0.74の中庸な林分が37.6%となっており，比較的疎な林分が多い傾向にあった。図－4には齢階別の解析に用いるためのサンプル数を示している。新たな高齢林の追加によって，75年生以降の林分数が補足されたものの，100年生以降のデータはまだ少ない状況にある。したがって，今回の地位曲線は100年生までの曲線の当てはめを使用することとした。



図－3 齢階別調査林分数

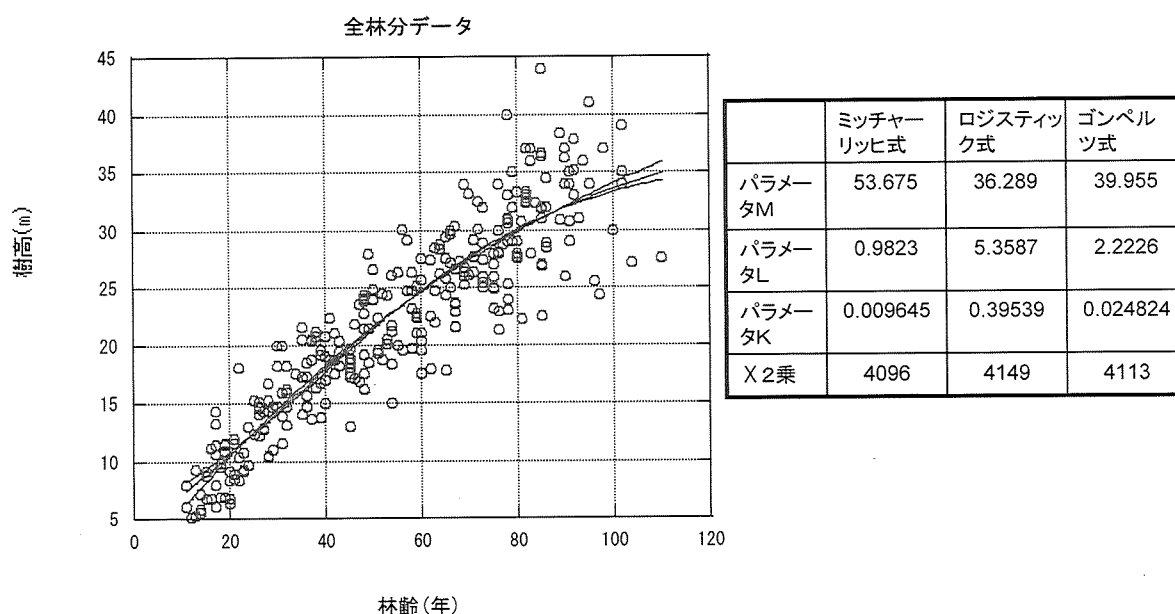
樹高成長は一般的に林分密度の影響を受けにくいと言われており，そのため林分樹高が地位の査定に用いられている（白石，1986）。樹高の成長過程は最近では成長関数で近似されるのが一般的であり，本報告でも Mitscherlich 式，Logistic 式，Gompertz 式から推定誤差の小さい曲線を求めた。その結果図－4に示したように，秋田地方スギ人工林では Mitscherlich 式が最適であり，平均地位曲線を(1)式のように決定した。

$$H = 53.675 (1 - 0.9823 \exp(-0.009645t)) \quad \dots (1)$$

H：樹高 (m)，t：林齢 (年)

新たに求められた地位中心曲線の各齢階別推定樹高を秋田県民有林収穫表（秋田県林務部，1980），秋田地方収穫表（秋田営林局，1944）とそれぞれ比較すると，表－3に示したように新樹高曲線は林齢60年前後から，他の成長量よりも大きい値を示し，現実の長伐期施業林の成長量は，従来の予測表の推定値よりも高い成長量を持っていることが確認された。新たに得られた地位中心曲線（地位3等地）と，303調査林全体の生育分布状況から地位等級を5階級の区分とし，全調査林の95%が入るよ

うな地位幅を分析し、その結果を表－4にまとめた。図－5は秋田県内に存在する収穫試験地の樹高成長経過（大住ら，2000）と新たに作成した地位区分曲線を示した。今回参考にした添畑沢と羽根山の2つの試験地は国有林ではあるものの、比較的民有林に近く成長の良い林分となっている。添畑沢は無間伐から強度間伐まで4種の施業が行われた試験地で、測定は45年生以降となっているが、各種間伐区の成長は新地位曲線の地位Ⅰと良く適合していた。また、羽山試験地は最初の25年生の時点で地位Ⅲであったが、40年生頃までに地位を上げ、その後は地位曲線に沿って成長を続けていた。このように新地位曲線は20年生程度の若齢の林分の成長予測には不安が残るものの、40年生以上の林分の成長予測を行う上では現実の林分に良く適合している。



図－4 高齢級を含む平均地位曲線の決定

表－3 各種平均地位曲線の林齢別比較

林 齢	長伐期施業林 中 心 曲 線	林 分 材 積 表 地 位 3 等 地	秋 田 地 方 地 位 中
20	10.2	10.1	8.7
30	14.2	14.7	13.4
40	17.8	18.4	17.4
50	21.1	21.4	20.7
60	24.1	23.9	23.6
70	26.8	25.9	26.1
80	29.3	27.5	28.2
90	31.5	28.9	30.0
100	33.6	30.0	31.6

表－4 新たな地位別樹高成長

林 齢	1 等 地	2 等 地	3 等 地	4 等 地	5 等 地
20	12.6	11.4	10.2	9.0	7.8
30	17.6	15.9	14.2	12.5	10.8
40	22.1	20.0	17.8	15.7	13.5
50	26.2	23.7	21.1	18.6	16.1
60	29.9	27.0	24.1	21.2	18.3
70	33.3	30.1	26.8	23.6	20.4
80	36.3	32.8	29.3	25.8	22.3
90	39.1	35.3	31.5	27.8	24.0
100	41.6	37.6	33.6	29.5	25.5

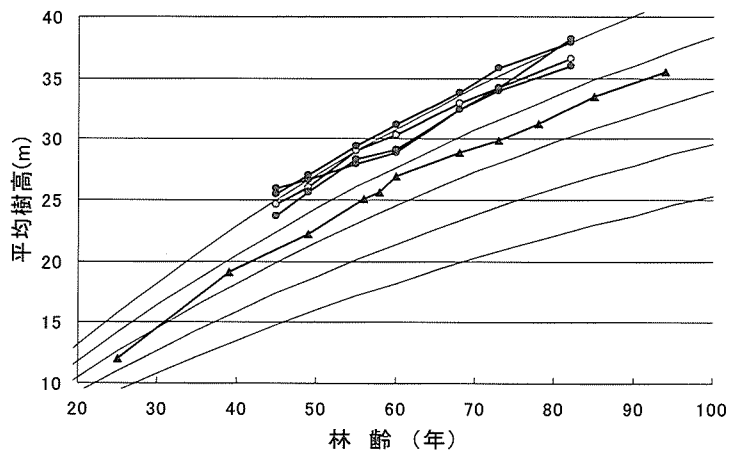


図-5 新地位曲線の適合度

(注)●：添畑沢各種間伐区，▲：羽根山C種

(引用：大住ほか(2000)，日林誌，82)

4) 立木本数の減少過程

間伐における本数管理を考えると、若齢から高齢までに時間の経過とともに、成立本数はどのように減少していくのかを考察することが重要である。林分の成長と立木本数の減少との関係については、白石(1986)はスギ、ヒノキ等の一斉人工林に対して標準的な施業をした場合、本数減少はGompertz関数によく適合すると述べている。図-6は上層平均樹高とha当たり本数との関係をプロットしたものである。樹高成長につれ本数は減少してきており、このときの中心線は県内スギ人工林の平均的な本数管理の実態を表していると考えられる。両者の関係から得られたものを平均密度曲線と称し、ここではGompertz式を変形した式でパラメータを求め、以下のように決定した。

$$\text{平均密度曲線 } N = \exp(3.3953(1 + 1.484\exp(-0.018988h))) \quad \dots (2)$$

この新たに決定した平均密度曲線から計算される上層木の平均樹高別ha当たり本数と、密度管理図から求めたその時の収量比数を表-5に示し、参考までに収量比数0.7の時のha当たりの本数も示した。幼齢期は秋田地方の植栽本数の関係もあり、低密度から徐々に密度を高める傾向にあるものの、平均樹高16mから44mまでの収量比数は0.70～0.73のほぼ一定値を示し、中庸密度になっている。

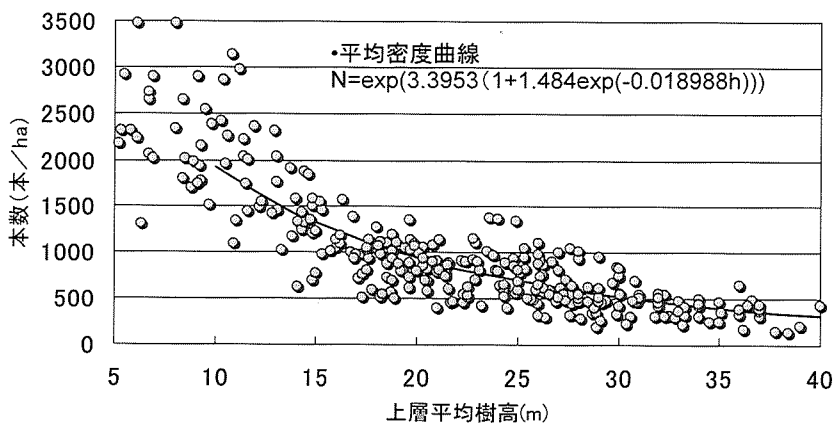


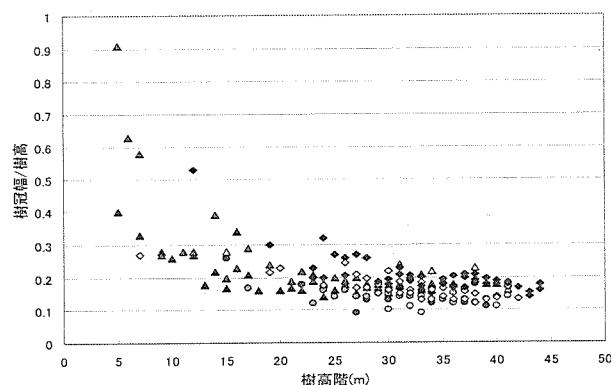
図-6 上層平均樹高と平均密度曲線

表－5 平均密度曲線適用後の本数変化と収量比数

上層木 平均樹高(m)	Gompertz 式 ha当り本数	収量比数	収量比数 0.7の本数
6	2,674	0.50	5,000
8	2,262	0.58	3,310
10	1,925	0.63	2,383
12	1,648	0.66	1,822
14	1,419	0.69	1,452
16	1,229	0.71	1,193
18	1,070	0.72	1,003
20	936	0.72	859
22	823	0.73	746
24	728	0.73	656
26	646	0.72	584
28	576	0.73	523
30	516	0.73	473
32	464	0.72	430
34	419	0.72	393
36	380	0.72	365
38	345	0.71	330
40	315	0.70	310
42	289	0.70	290
44	265	0.70	270

5) 高齢林の林分構造

個々の林木は個体の大きさに応じて、それぞれ生育に必要な空間域がある。高齢木の密度管理を検討するために、12林分で樹高階別の樹幹幅の平均値を収量比数別に比較した結果を図－7に示した。この図は林木の成長に伴って必要な生育空間を解明するために、横軸に樹高階、縦軸に樹冠幅÷樹高の平均値を示している。樹高20m以上で樹冠幅は、0.1～0.2の範囲にあり、収量比数が高いほど0.1に近く、収量比数が低いほど0.2に近くなっていた。高齢級の各個体の成長を十分確保するという目的では樹冠幅÷樹高の値が0.2、つまり樹高量の約20%で管理することが目安となる。そこで、単木当りの適正な生育を樹高の20%とした時の樹冠面積とそれから計算されるha当りの成立本数およびその時の収量比数を計算した結果を表－6に示した。樹高24mですでに収量比数は0.64となっているが、さらに樹高階が高くなるに従って収量比数は0.60前後に低下してきており、単木の成長量を十分に確保するためには前述の平均密度曲線より低密度での管理が必要であることが明らかとなった。また、この表は現実林分の樹高が分かれば目標とする本数密度が分かるという点で、樹高を基準とした高齢級での密度管理の簡易方法として活用できる。



図－7 高齢級林分の樹高と樹冠直径の関係
 (注) ● : $R_y > 0.7$, ▲ : $R_y 0.6 \sim 0.7$, ◆ $R_y < 0.6$

表－6 適正生育空間における本数・収量比数

上層樹高 (m)	生育空間（樹高の20%）		成立本数 (本/ha)	収量比数
	樹冠直径	樹冠面積		
24	4.8	18.10	552	0.64
28	5.6	24.63	406	0.62
32	6.4	32.17	311	0.59
36	7.2	40.72	246	0.57
40	8.0	50.27	199	0.56

2. 高齢林の成長量の解明

1) 樹幹解析による個体の成長量

(1) 樹高成長

樹幹解析は表－1に示した37林分のうち、人工林19林分、天然林3林分で行い、1林内で優勢木、平均木、被圧木の3本（一部2～9本）について解析を行った。成長解析は各林分のバランスを考慮して、3本以上解析木を採取した調査地でも3本のみを解析に使用することとし、スギ人工林の樹幹解析木52本について樹齢5～90年にわたる生育期の5年ごとの樹高成長傾向を表－8に示した。

表－7 解析に使用した樹幹解析木一覧

調 査 地	解析数	調 査 地	解析数
田代町高岨	3	藤里町寺沢	4
田代町早口沢	3	能代市常盤	3
田代町岩瀬沢	3	能代市母体山	6
田代町薄市沢	3	琴丘町上岩川	3
鷹巣町綴子沢	9	琴丘町黒森	3
鷹巣町岩ノ目沢	3	協和町小黒川	3
阿仁町向山	2	皆瀬村小安奥山	3
阿仁町東山	3	羽後町新町	3
阿仁町三の又	9	羽後町田代	3
		計	69

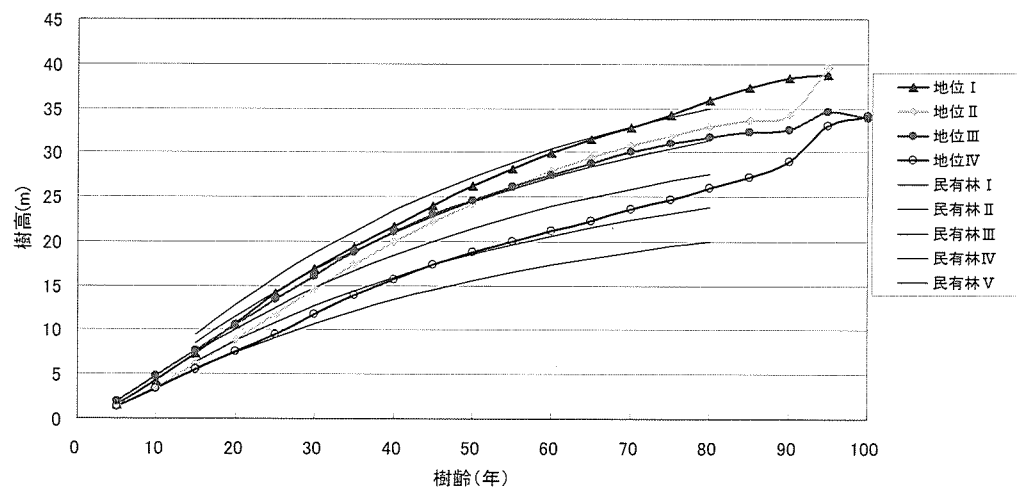
樹高総成長は、70年以降解析木の本数が減少するものの、高齢期まで順調な生育が続いている。樹齢60年以上の高齢期における樹高の最大最小差は約20mとなっているが、95%の信頼区間の範囲内の樹高は70年生以降の高齢級でも2.5～4.5mの範囲に収まっていた。図－8～10では樹幹解析木の樹高成長量が収穫表の地位曲線とどのような関係にあるかを比較した。図－8の昭和55年作成の地位曲線に対しては初期の若齢時の成長が悪く、高齢になると成長がよくなるという傾向にあり、若齢時と高齢時の適合性が悪かった。それに対して、図－9の新しい地位曲線は若齢時の適合度は悪いものの、

表－8 樹幹解析木の樹高統計値

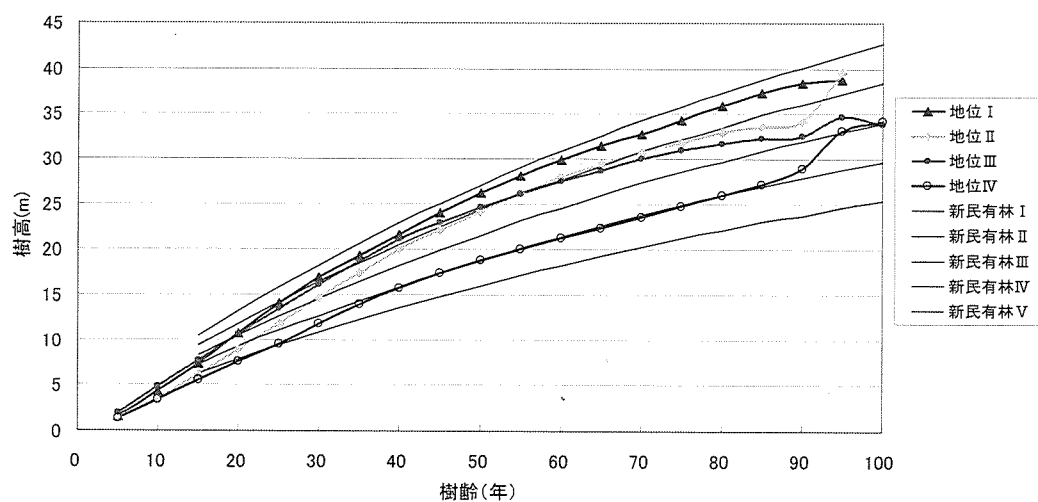
樹 齢	資料数	平均樹高	最小樹高	最大樹高	範 囲	標準偏差	95%信頼区 間樹高範囲
5	69	1.65	0.55	3.98	3.43	0.753	1.47～ 1.84
10	69	4.06	1.73	7.61	5.88	1.419	3.72～ 4.41
15	69	6.66	2.62	10.65	8.03	1.994	6.19～ 7.14
20	69	9.47	3.95	14.85	10.9	2.605	8.84～10.10
25	69	12.29	5.71	18.18	12.47	3.052	11.55～13.02
30	69	14.94	6.9	21.18	14.28	3.316	14.14～15.73
35	69	17.41	8.22	24.4	16.18	3.642	16.54～18.29
40	69	19.7	9.54	26.64	17.1	3.849	18.77～20.62
45	69	21.7	10.88	28.43	17.55	3.975	20.74～22.65
50	69	23.52	12.31	30.7	18.39	4.137	22.52～24.51
55	69	25.19	13.53	32.8	19.27	4.315	24.16～26.23
60	69	26.7	14.88	34.8	19.92	4.482	25.62～27.78
65	69	28.03	15.86	36.53	20.67	4.642	26.92～29.15
70	64	29.31	16.83	37.7	20.87	4.867	28.09～30.52
75	56	30.16	17.81	38.53	20.72	5.117	28.79～31.53
80	45	30.45	18.87	39.4	20.53	5.326	28.85～32.05
85	35	30.35	19.56	38.42	18.86	5.245	28.55～32.16
90	24	31.95	20.16	39.3	19.14	5.305	29.71～34.19

壮齢から高齢級にかけての適合性は良好で、地位ⅠとⅣで40年生以上からの樹幹解析木の適合度が良くなっていた。図－10の秋田地方収穫表も樹高成長の適合度が良好で、特に地位上の成長量傾向と地位の良い林分の樹幹解析木の成長量は非常に良好な対応関係にあった。しかしながら、地位中以下の幅が広すぎるという点で、問題が残った。また、いずれの収穫表に対しても、地位Ⅰ～Ⅲまでの樹幹解析木の樹高幅が収穫表の地位曲線よりも狭い幅となっていた。この原因としては、樹幹解析木の選定方法が直径の分布を第一に優先させたため、樹高については集団の中でも上層木が選ばれたことが原因と考えられる。95年以降のデータがばらついているのは、サンプル数が少ないためである。

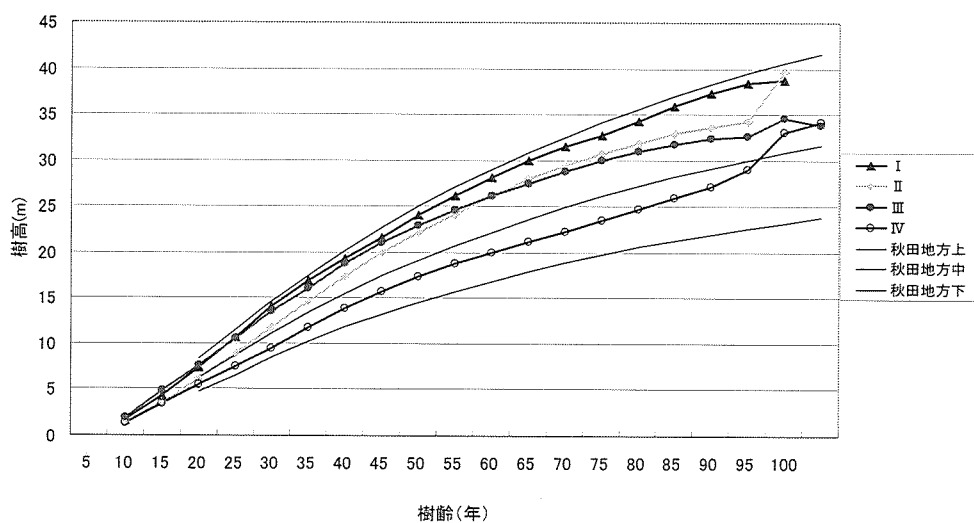
この樹幹解析木52本について、解析木別に樹高成長傾向を理論成長曲線に当てはめ最適な回帰式を検討した。（表－9）その結果、Gompertz式への適合する解析木が32本と最も多く、次いでMitscherlich式への適合が20本、Logistic式への適合は前者の2式に比べて悪い結果となった。スギ単木の成長に関しては、吉田（1979）や上野ら（1988）がGompertz式によく適合することを明らかにしており、その理由としてはGompertz式が変曲点を持つことを上げている。Logistic式は変曲点が中央にあるため当てはまりが悪かったものと判断される。Mitscherlich式は変曲点を持たないために、若齢の部分での当てはまりが悪かったものの、30年以降のデータを対象とした場合は話が違ってくる。図－11は薄市沢19号木の例であるが、若齢時のデータを含む場合はGompertz式が当てはまりが良かったが、30年以降のデータではMitscherlich式の当てはまりの方が良くなっていた。白石（1986）も収穫表の使用に関しては若齢時の適合性は問題とならないことを指摘しており、高齢木の単木成長の実態からも成長曲線としてMitscherlich式を用いることが妥当である。



図－8 樹幹解析木の樹高成長と S 55民有林地位曲線



図－9 樹幹解析木の樹高成長と新地位曲線



図－10 樹幹解析木の樹高成長と秋田地方収穫表地位曲線

表-9 樹幹解析木樹高成長の理論成長曲線式との適合度

番号	市町村	調査地	No.	樹齡	胸高 直径	樹高	ミッチャーリッヒ式				ロジスティック式				ゴンペルツ式			
							M	L	K	χ^2	M	L	K	χ^2	M	L	K	χ^2
1			1	79	37.9	32.7	59.301	1.0533	0.010793	2.0797	32.591	12.8160	0.071125	17.7980	35.777	3.4856	0.042480	5.6487
2		早口沢	2	79	46.4	32.6	36.557	1.1501	0.023022	33.3070	33.921	10.0950	0.061652	15.4340	38.109	3.0310	0.035907	5.7196
3			3	80	56.1	36.1	54.293	1.0461	0.014353	2.2614	35.875	9.9019	0.070169	15.3280	38.784	3.0619	0.043316	3.9780
4			4	70	43.16	33.8	38.707	1.2098	0.027661	23.7270	34.191	14.3430	0.084632	12.4090	37.275	3.7062	0.050776	2.9909
5		高 畠	19	71	33.05	28.4	30.238	1.1881	0.030750	23.0810	29.159	9.5249	0.072548	13.7890	31.633	3.0097	0.044845	5.5074
6			41	85	54.56	36.5	79.671	1.0811	0.008077	42.2230	36.987	28.4680	0.076591	8.8606	41.538	5.1112	0.042858	1.1988
7	田代町		76	94	54.2	31.7	34.602	1.2145	0.023774	44.6010	31.610	14.5260	0.069547	12.5990	33.810	3.7836	0.042878	2.0375
8		薄 市	6	91	41.3	29.1	47.483	1.0954	0.012229	21.2380	29.205	20.1320	0.076428	7.9885	31.180	4.5188	0.046646	1.6062
9			19	95	68.4	39.6	72.096	1.0721	0.009036	24.4760	41.660	14.7020	0.057149	22.8260	47.236	3.6350	0.032262	7.2933
10			650	87	53.3	34.1	47.234	1.0601	0.016257	6.0532	34.589	9.9385	0.067988	6.0190	36.811	3.0818	0.042945	2.5504
11		岩瀬沢	643	89	40.9	32.4	40.385	1.1718	0.019539	40.1690	32.967	16.7740	0.072439	6.0176	35.666	3.9990	0.043365	1.7422
12			663	88	36.7	33.2	45.484	1.0611	0.016690	9.5578	33.633	10.0400	0.069129	9.1653	35.676	3.1133	0.043941	2.3855
13			720	92	48.1	36.3	48.445	1.0953	0.016718	5.4278	36.086	11.7020	0.069197	26.4210	38.096	3.4422	0.044332	7.3450
14		岩ノ目	725	93	59.97	39.7	42.728	1.2120	0.024189	69.6190	39.475	13.8460	0.068829	17.9980	42.250	3.6790	0.042437	2.4065
15			730	93	33.38	30.8	44.302	1.0853	0.014254	6.2957	30.613	13.0240	0.068308	13.9420	32.614	3.5958	0.042731	2.7888
16	鷹巣町		2	77	52.7	38.7	50.710	1.0685	0.019900	2.2002	38.528	9.1981	0.076035	23.5640	40.782	3.0115	0.049118	7.4914
17		綴小沢	4	77	45.8	36.0	38.677	1.1850	0.028912	44.4370	36.713	10.3540	0.072419	17.0290	39.575	3.1499	0.044903	5.2225
18			7	77	38.6	31.6	50.634	1.0756	0.014048	5.9810	31.765	13.6250	0.077989	14.8420	34.203	3.6618	0.047935	4.2962
19		向 山	405	82	52.1	36.2	41.764	1.1594	0.023740	39.1310	37.448	11.0890	0.067939	11.3130	40.677	3.2165	0.041228	3.0991
20			435	82	40.8	35.5	44.324	1.1607	0.019899	45.160	36.722	14.6390	0.070008	8.4441	40.529	3.6744	0.040926	1.2630
21		東 山	1	81	55.2	39.6	57.444	1.1095	0.016544	22.5050	39.372	16.9010	0.084499	15.9820	41.725	4.1748	0.052763	1.8557
22			2	79	43.1	35.6	52.050	1.0837	0.016125	8.3631	35.251	12.9110	0.079229	18.7630	37.642	3.5944	0.049549	5.1102
23			3	71	30.3	32.5	42.673	1.1404	0.021217	32.3880	34.663	13.3270	0.075790	6.8801	38.695	3.4515	0.043562	4.4208
24		三の又	1	70	44.7	34.0	59.574	1.0344	0.012520	1.0739	34.298	10.1890	0.074866	11.2970	37.794	3.0710	0.044774	3.2476
25			2	70	41.0	31.2	45.073	1.0354	0.017274	3.147	31.298	8.3219	0.075197	11.5240	33.917	3.3377	0.045769	2.2096
26		藤里町	8	72	36.1	29.6	33.909	1.1722	0.025894	23.7170	30.047	11.8750	0.076428	8.7384	32.917	3.8339	0.054567	12.9910
27			E34	107	36.4	28.9	30.832	1.1689	0.024492	19.3080	26.545	14.3580	0.083239	26.3130	27.387	3.8339	0.054567	12.9910
28		寺 沢	E36	102	50.9	36.7	63.866	1.0819	0.008707	20.0910	37.248	15.6020	0.054587	31.4620	41.668	3.8068	0.031473	10.3290
29			G21	104	59.8	39.4	61.598	1.1027	0.010223	61.4400	38.772	20.2420	0.063086	43.7550	42.173	4.5176	0.037725	16.2870
30		常 盤	1	83	36.5	34.8	44.139	1.0814	0.019619	2.4131	34.039	9.6661	0.073523	22.7290	35.888	3.1117	0.047799	7.7620
31			2	84	46.3	35.0	42.205	1.1427	0.024008	10.3250	34.121	13.2650	0.088106	19.0810	35.544	3.7686	0.057661	4.3082
32		能代市	3	84	57.7	39.7	50.044	1.0439	0.018634	0.7698	38.714	7.7049	0.066853	26.8520	41.004	2.7211	0.043502	10.3380
33			5	89	50.8	29.2	33.430	1.0240	0.022201	13.4510	23.320	7.3712	0.078529	11.1990	24.167	2.6888	0.053078	5.6752
34		母体山	6	92	63.8	35.1	26.828	1.1006	0.025185	16.1490	32.845	8.4615	0.064528	36.3720	29.345	2.4045	0.044325	22.9590
35			35	97	63.8	38.0	46.290	1.0783	0.019505	2.8991	37.940	8.5560	0.064058	32.0440	39.637	2.9273	0.042662	17.4040
36		黒 森	21	95	61.7	39.6	46.910	1.0410	0.020136	1.9119	39.014	6.6858	0.069140	28.0510	30.128	2.5498	0.048436	13.3460
37			1	93	47.4	30.3	33.078	1.0629	0.026066	3.1733	29.199	6.4292	0.061204	38.9360	40.790	2.5492	0.041345	17.4040
38	琴丘町	上岩川	2	90	33.8	25.5	26.617	1.1664	0.025453	17.6400	25.224	9.4117	0.082725	10.1160	27.127	2.9834	0.039133	3.4369
39			3	92	17.7	20.4	25.203	1.0725	0.016526	15.3150	22.454	8.2875	0.047245	4.0386	26.055	2.6773	0.026248	2.7743
40			1	95	56.1	39.4	61.556	0.9903	0.011112	5.2613	41.205	6.7090	0.050453	15.7910	44.883	2.4509	0.031208	7.3271
41		小黒川	2	96	44.2	33.4	44.983	1.0462	0.014890	4.1443	33.506	8.4796	0.088440	24.2670	35.595	2.8604	0.037597	9.5626
42			3	93	26.5	25.1	49.588	1.0205	0.007835	1.4624	31.239	9.5427	0.052516	13.2820	28.939	2.9628	0.031213	5.6531
43		小 安	1	85	53.3	29.0	38.239	1.1086	0.016363	24.6740	31.239	11.6820	0.054639	10.0480	36.923	3.1926	0.029522	3.5061
44		皆瀬村	2	85	38.6	25.7	64.549	1.0094	0.005475	19.9480	35.613	10.4460	0.038576	5.9041	56.933	3.0717	0.015914	4.6328
45			3	85	25.9	21.4	34.621	1.0484	0.021067	3.3240	33.056	15.3830	0.045911	10.6950	33.008	3.0111	0.022053	3.1560
46			1	82	54.1	32.9	38.287	1.1973	0.023158	36.3660	27.618	13.1590	0.092145	11.9000	28.633	3.7917	0.061010	2.1645
47		新 町	2	82	41.9	28.3	33.305	1.1529	0.026321	7.3839	27.618	13.1590	0.092145	11.9000	28.633	3.7917	0.061010	2.1645
48			3	82	36.5	25.5	31.284	1.1460	0.018976	19.3970	26.749	12.1510	0.061125	9.0345	30.334	3.3081	0.034799	2.8143
49		羽後町	1	150	81.4	38.0	37.807	1.1513	0.029890	4.8175	36.053	7.1892	0.066895	83.9670	36.536	2.7998	0.048611	41.0100
50			2	150	59.5	35.0	34.389	1.0975	0.030594	26.1880	32.814	7.0405	0.071349	40.4220	33.289	2.6429	0.050241	26.7440
51		田 代	3	150	56.5	38.2	37.134	1.1708	0.031125	23.6040	35.213	8.5752	0.075665	100.5000	35.750	3.0505	0.053168	56.0040
52																		

残差平方和最小データ数

20

0

32

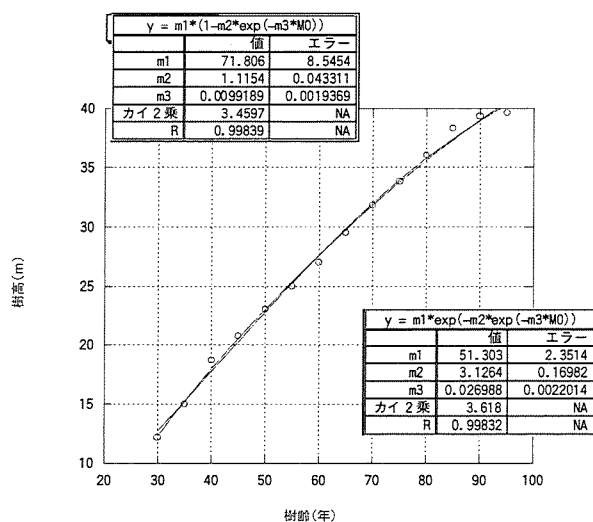


図-11 田代町薄市沢19号木における30年以降の近似曲線の当てはめ

(2)直径成長

図-12には樹幹解析木52本全体の総成長と連年成長の平均値を示した。単木の高齢級までの直径成長は20年生前後の若齢時に最大となり、その後緩やかに低下している。年輪幅で3mmに相当する連年成長量が0.6cm以下になるのは40年生以降であり、その後60年生で0.3～0.4cmに低下し、60年生以降も一定の成長を続けていた。被圧の程度により直径成長がどのように変化してきたかを見るために、図-13には被圧形態別に連年成長量の平均値を示した。優勢木、平均木、被圧木共に直径成長が最大となるのは20年生前後であり、その後緩やかに低下している。優勢木では50年以降直径成長が0.4～0.6cmの良質材の基準となる年輪幅で安定していた。平均木では40年生以降から0.6cm以下の年輪幅となって、その後高齢級では0.3cmまで低下していた。被圧木では年輪幅が0.6cmを切るのは30年生頃とさらに早まってきており、その後高齢級では0.2cmまで低下していた。このように解析木の被圧形態別成長量を見ると、若齢時には平均木程度の成長量になるように管理し、40年以降に強めの間伐を行って優勢木になるように個体の成長量を確保してやることにより、より理想に近い年輪幅の割合が大きな材の生産が可能になる。

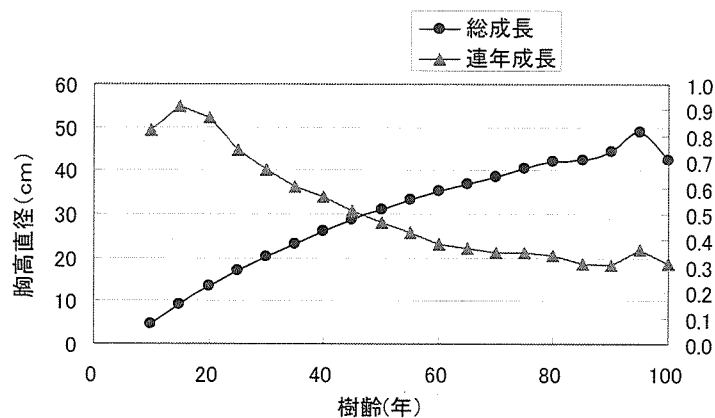


図-12 樹幹解析木の胸高直径成長量

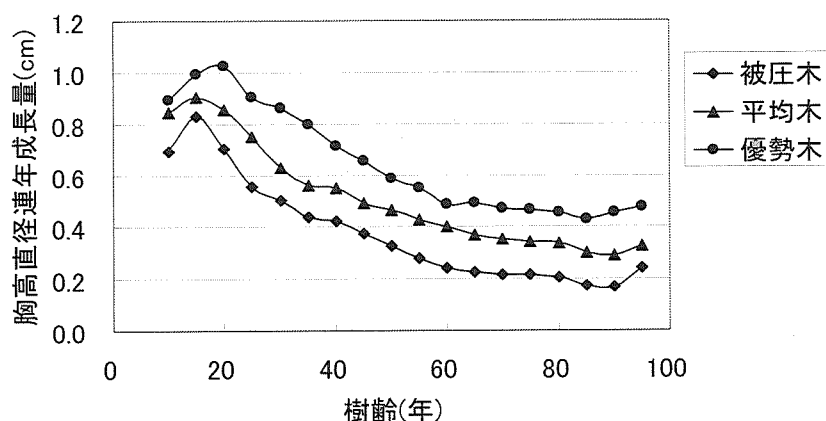


図-13 被圧形態別の胸高直径成長量

(3)材積成長

樹幹解析木52本全体の総材積成長量を図-14に示した。単木の平均材積は20年以降増加が加速し、30年で0.3m³、50年で1.0m³、75年で2.0m³と増加していた。図-15には50年時の材積に対する各樹齢の比を示したが、75年で2倍を超え、100年では3倍程度に増加しており、高齢級では単木材積が加速度的に増加していることが解る。地位別の樹幹解析木の平均樹齢と本数はⅠが平均樹齢81.8年で11本、Ⅱが平均樹齢82.3年で20本、Ⅲが平均樹齢110.9年で9本、Ⅳが平均樹齢92.9年で12本となり、80年以降のデータは地位Ⅲ～Ⅳのものが主体であった。地位別の樹幹解析木の平均材積成長量を図-16に示したが、地位ⅠとⅡの材積は50年で1.0m³を超え、80年では3.0m³前後へと増加していたのに対し、地位ⅢとⅣの材積は50年で0.6～0.8m³、80年で1.5～1.9m³と、地位Ⅰ・Ⅱの増加量を下回っていた。85年以降のデータが成長量の悪い地位ⅢとⅣが主体となったことが、図-14の80年以降のデータのばらつきとなって現れたものと判断される。しかしながら、図-16のように地位別に比較すると、いずれの地位においても材積成長は良好であった。また、被圧の形態別に材積成長量を比較すると、図-17に示したように優勢木ほど材積成長量の伸びは著しく、平均木も順調な増加傾向にあったものの、被圧木は高齢級での材積増加の伸びは緩やかとなっていた。このように従来、材積平均成長量が最大値になる林齢を伐期としてきたが、これを樹幹解析木でみると樹齢70年～100年の生育期では大部分の解析木は、平均材積成長はいまだ上昇中で最大値に達するものは少なかった。

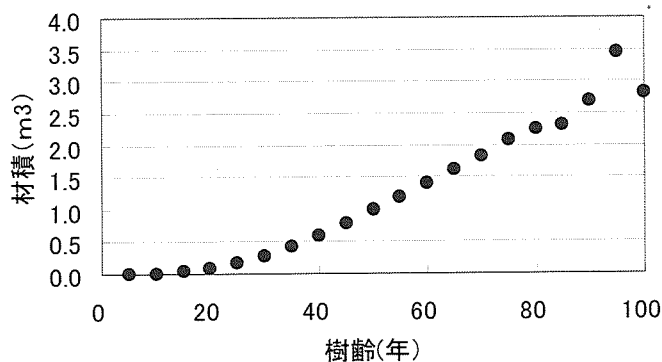


図-14 樹幹解析木の材積成長量

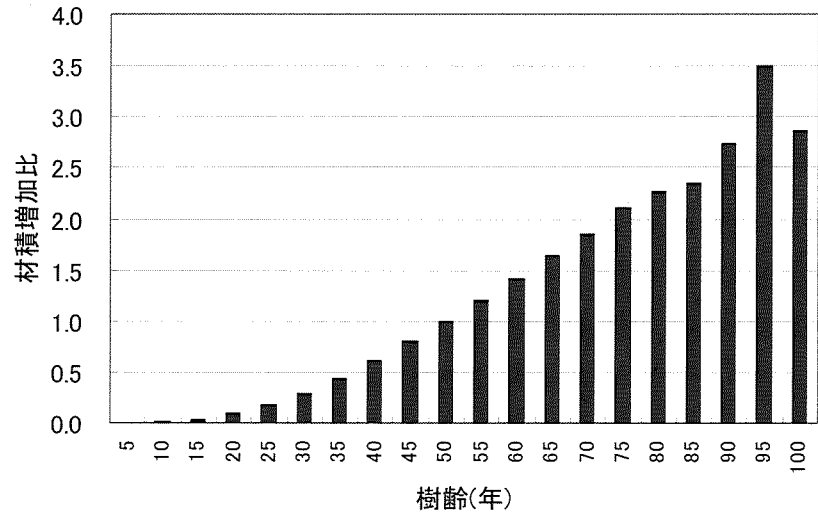


図-15 50年時材積を基準とした材積増加量

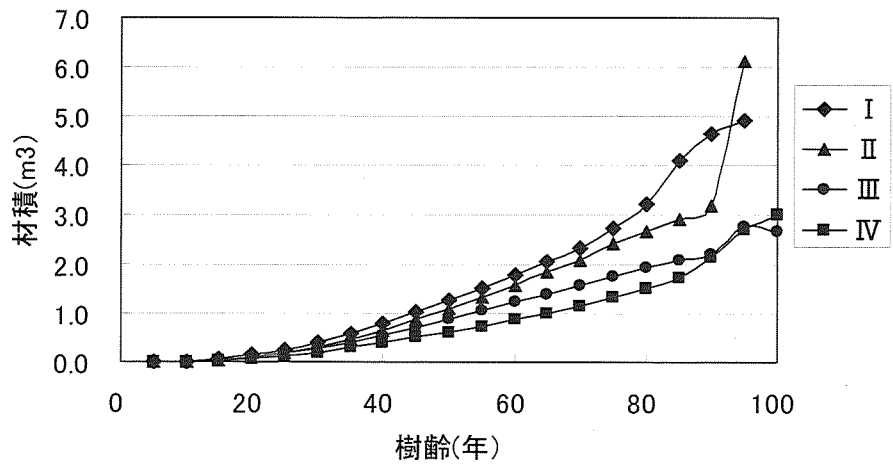


図-16 地位別樹幹解析木の材積成長

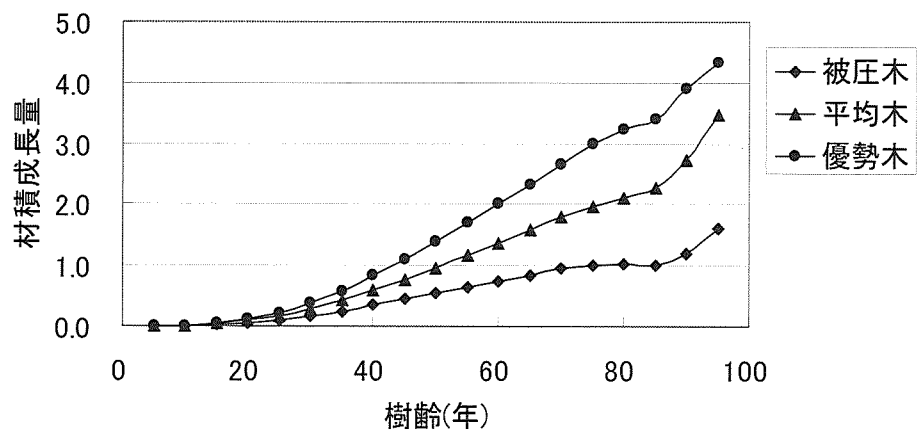


図-17 被圧形態別の材積成長量

図-18は樹幹解析木を地位別、密度別に比較したものであるが、地位の良い田代町早口沢と能代市常盤は、地位の悪い協和町小黑川と田代町岩瀬沢に比べて若齢時からの連年成長量が大きいものの、50年以降は連年成長量が優勢木で0.4m³程度で地位の差がなくなっていた。密度で比較すると、収量比数（ R_y ）の低い田代町早口沢と協和町小黑川では優勢木から被圧木まで高齢級での連年成長量は最大のまま推移していたが、 $R_y0.82$ でha当り690本と密度の高い田代町岩瀬沢では優勢木ですら連年成長量は60年以降の高齢級で明らかに低下してきており、 $R_y0.80$ でha当りの本数が485本の能代市常盤でも同じ地位で収量比数の低い田代町早口沢に比べて高齢級での優勢木の連年成長量の伸びは止まった状態になっている。このように、高齢級では優勢木といえども密度の影響を受けて成長量が低下する場合もあり、高齢級での適切な密度管理の重要性を示唆している。

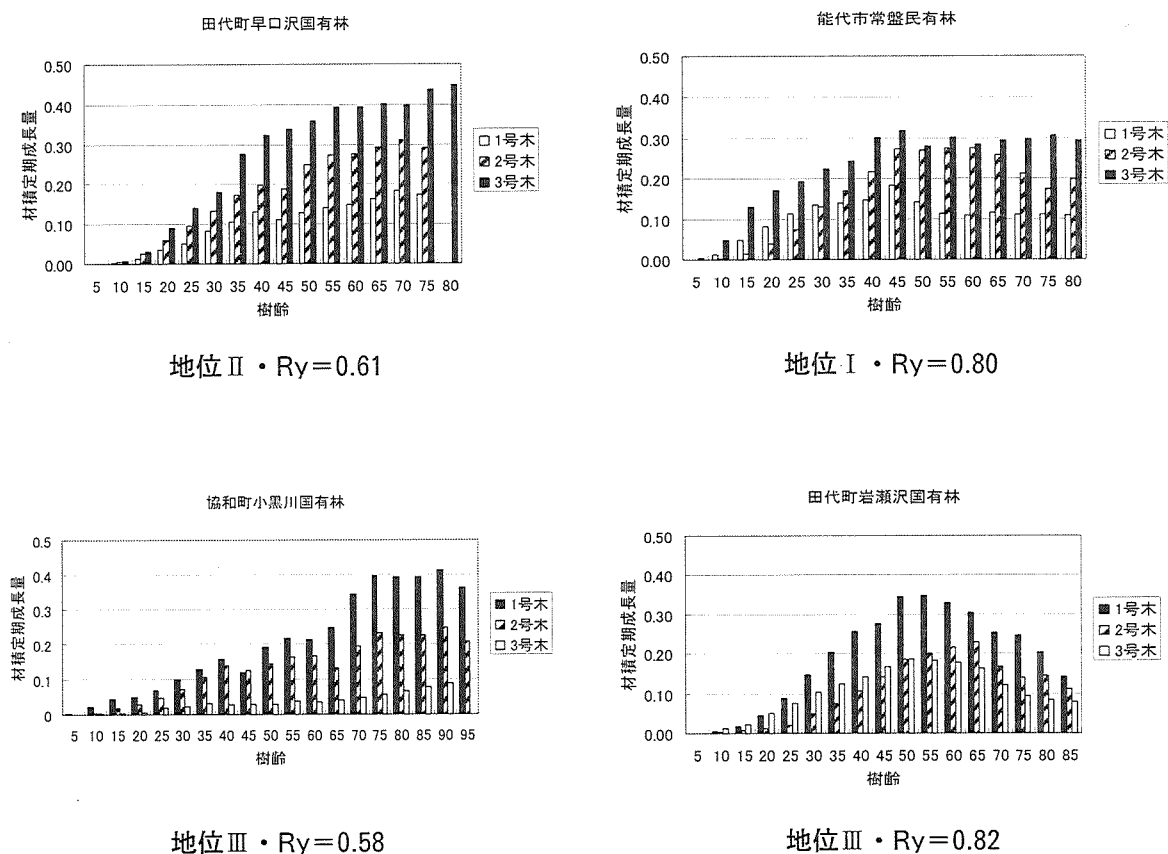


図-18 地位・密度別材積成長量の比較

2) 固定試験地における成長量

当センターにおける長伐期の研究は過去にも行われてきたが、固定試験地等の継続的に調査を行って成長を調査できる林分は残念ながら存在しない。しかしながら、秋田県内の国有林には50年以上も前から定期的に森林総合研究所によって調査されている試験地が数多く存在している。ここでは森林総合研究所の協力を得ながら進めてきた、固定試験地での間伐効果に関する調査資料（大住ら、2000）を解析した。ここで紹介する山本町上岩川添畑沢試験地は49年生の時点で間伐の強度を変えた本数調整を行っており、強度間伐区のみ上層間伐的な間伐を行い、中庸および弱度間伐区は下層間伐的な間伐を行っている。その後61年生と73年生時にいずれの間伐区でも下層間伐を行って現在に至っている。無間伐区は45年の調査時以降間伐は行われていない。図-19に示したように、45年生の調査時点ですでに無間伐区ほど収量比数の高い状態となっていたものの、平均樹高23.7～25.9m、平均胸高直径32.9～35.9cmと比較的サイズのそろった状態になっていた。その後の間伐による本数調整により、収量比数が強度間伐区0.54、中庸間伐区0.62、弱度間伐区0.77、無間伐区0.88となり、無間伐区でも自然枯死や気象害により本数は減少していた。82年生時点の平均樹高は36.0～38.2mとあまり差がないものの、強度間伐区ほど平均樹高は高くなっていた。このように樹高は密度の影響を受けにくいとされているにもかかわらず、49年生時に上層間伐を行った強度間伐区の樹高が最大であるということは、樹高成長にも間伐の効果が現れていることを示している。平均胸高直径は46.0～58.4cmと明らかに強度間伐区ほど肥大成長は増加していたが、中庸と強度間伐区の差はほとんどなかった。82年生時点のha当りの材積は941～1,832m³と無間伐区ほど82年生時の材積は多かったものの、間伐木の材積を加えた総材積で比較すると、無間伐～中庸間伐区まで1,800m³程度で差はなかった。強度間伐区のみが1,577m³と総材積量は低下しており、50年生時点での上層間伐は約30年後の82年生の時点では総収量の低下をもたらしていた。今後100年生以降でも同様の傾向が続くのかどうかは興味のある点であり、継続的な観察が不可欠である。

間伐種	本 数	45 年 生		本 数	82 年 生		
		樹高 (m) 直径 (cm) 材積 (m ³)	収量 比数 (Ry)		樹高 (m) 直径 (cm) 材積 (m ³)	収量比数 (Ry)	総材積 (m ³)
無間伐	855	H=25.9 DBH=32.9 V=949	0.82	650	H=36.0 DBH=46.0 V=1,832	0.88	1,835
弱 度	821	H=24.6 DBH=33.8 V=897	0.78	438	H=36.6 DBH=50.3 V=1,467	0.77	1,891
中 庸	684	H=25.5 DBH=35.9 V=874	0.74	263	H=37.9 DBH=58.0 V=1,191	0.62	1,815
強 度	738	H=23.7 DBH=33.8 V=766	0.73	208	H=38.2 DBH=58.4 V=941	0.54	1,577

(出)山本町下岩川国有林、大住ら、2000に加筆

図-19 間伐の強度別成長量の推移

3. 高齢林の施業履歴の解明

長伐期施業では間伐はかせないし、そのウェートはきわめて大きい。長伐期研究にあたって現実にはどのような間伐がされているのか、緊急に実態把握を進めることが大事である。本研究では4事例を調査し、その結果を表-10に示した。施業林分は林齢が72～90年生で、間伐前の密度は疎林から中庸林にあたる収量比数0.59～0.75となっていた。林齢が主伐期に相当することもあり、本数間伐率で22.4～53.1%、材積間伐率で29.1～55.0%と間伐尺度で1.00以上の間伐が行われ、これは上層間伐もしくは択伐的間伐に相当する。間伐木の平均直径が間伐前と同等もしくはそれ以上となっており、従来間伐対象木にしなかった大径木も収穫する間伐を実施している。このように高齢級での間伐は木材の利用や経済性を考慮した間伐が行われている。今回の調査地のうち、収量比数を0.59からさらに下げた羽後町の2林分は台風の被害の少ない所であるが、このような強度間伐を実施する場合、強風が当たるとような環境にあるかどうかの検討も必要になってくるものと思われる。

秋田地方では一般的には高齢級の大径木になれば価格が付く傾向にあり、100年生の一番玉の良質なものでも1㎡当り10万円程度まで値段が付く場合がある。では、100～150年程度の樹齢になるとどうなるのかについては調査事例が少なかった。そこで100年を超える大径木の価格分析を行った事例を紹介する。田代町平滝の天然林の風害被害木を公売した結果を分析したが、天然林といっても成長解析の結果、林齢は140年生と高齢級のスギの延長上にあると言える。図-20に示したように、節の無いもので径級が太いほど価格が高くなるものが出る傾向にあり、天然スギ並みの立方価格が20万円を超える丸太も多くなっていた。この価格を調査した丸太の元口の年輪数別に価格を比較したのが図-21である。図に示したように、年輪数が120年以上のものに200年を超える天然スギに匹敵するような高価格のものが出現した。このように樹齢140年生程度で天然スギに匹敵する価格の丸太が得られたことは、80～100年生よりもさらに長い伐期を設定することの有利性を示している。林分の維持管理上も、短伐期で回転するより再生林のコストが削減される効果も期待される。

表-10 秋田県内におけるスギ高齢林の間伐実態

調 査 地	林 齢	地 位	平均樹高 (m)	平均直径 (cm)	本数密度	幹材積 (m ³)	収量比数	本数間 伐 率	材積間 伐 率	間伐尺度
阿仁町三の又	72	II	30.1	間伐前	44.4	546	1,175	0.75		
				間伐木	44.2	208	442		38.1	37.6
				間伐後	44.5	338	733	0.59		1.00
皆瀬村畑等	90	IV	25.9	間伐前	38.0	593	876	0.70		
				間伐木	43.2	133	257		22.4	29.1
				間伐後	36.4	460	619	0.62		1.14
羽後町新町1	82	II	32.8	間伐前	52.0	294	911	0.59		
				間伐木	53.0	156	501		53.1	55.0
				間伐後	50.9	138	410	0.36		1.02
羽後町新町2	82	II	32.3	間伐前	55.8	307	1,054	0.59		
				間伐木	57.4	107	391		34.9	36.6
				間伐後	54.9	200	663	0.46		1.03

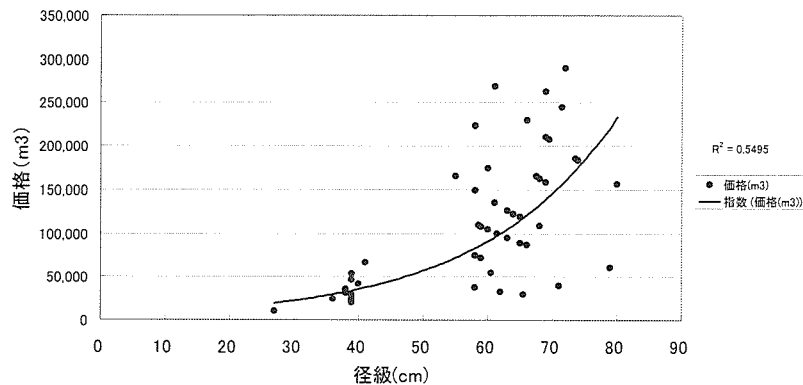


図-20 平滝140年生丸太の径級と価格の関係（多節木除く）

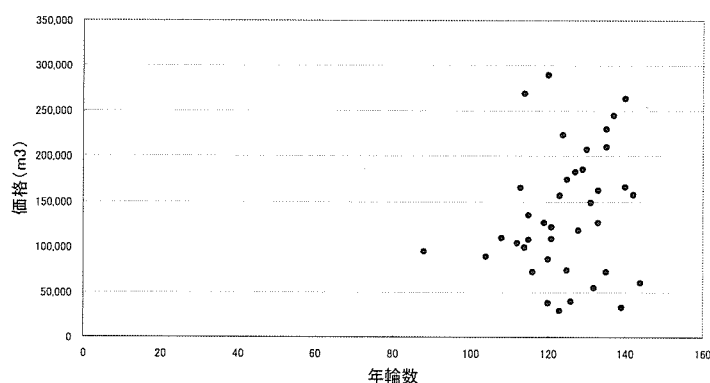


図-21 平滝140年生丸太の元口年輪数と価格の関係

4. 高齢林分に対応する収穫予測システムの確立

従来の収穫表は60年以下の短伐期施業を基準に作成されており、収穫表作成時の高齢林のデータ不足と相俟って収穫予測が現実の林分とずれるような問題が発生していた。本研究では林齢100年程度までの予測が可能な収穫表のパラメータを検討し、地位級判定表を表-11のように取りまとめた。また、現実林分の将来像をシュミレーション出来るプログラムの開発を行うことを目標にした。従来の秋田県民有林版間伐計画プログラムを、Windows 対応の「十進 BASIC」プログラム言語を用いて、長伐期施業管理ソフトの開発を行った。本ソフトは成長・収穫予測として地位別樹高推定、地位等級判定、地位指数予測の3種類、収穫表・間伐計画として収量比数林分構造、林分材積表、目標林誘導間伐、収量比数間伐、収穫表作成の5種類、材積計算として間伐の有無別の毎木調査データ集計表、グラフ作成として林齢と樹高・地位曲線、樹高と本数分布・密度曲線の2種類の計12種類のプログラムで構成されている。これら12種類のプログラムの中でも、間伐プログラムは表計算ソフトマイクロソフトエクセルのプログラムとして独立しており、その概要を図-22に示した。

一方で、東京大学の白石助教授の開発したシステム収穫表（LYCS）（白石，1995）をベースに森林総合研究所林業システム研究室の松本光郎室長ら（Matsumoto,1997）が LycsMacroV2.09（平成15年3月現在）を開発しており、本プログラムを秋田地方にも改良するためのパラメータを決定した。

表-11 新たな地位等級判定表

林齡	地位 1 等	地位 2 等	地位 3 等	地位 4 等	地位 5 等
15	11.0— 9.9	9.9— 8.8	8.8— 7.8	7.8— 6.7	6.7— 5.7
20	13.8—12.5	12.5—11.2	11.2— 9.8	9.8— 8.5	8.5— 7.1
25	16.6—15.0	15.0—13.4	13.4—11.8	11.8—10.1	10.1— 8.5
30	19.2—17.3	17.3—15.5	15.5—13.6	13.6—11.7	11.7— 9.9
35	21.2—19.6	19.6—17.5	17.5—15.4	15.4—13.3	13.3—11.2
40	24.0—21.7	21.7—19.4	19.4—17.0	17.0—14.7	14.7—12.4
45	26.3—23.7	23.7—21.2	21.2—18.6	18.6—16.1	16.1—13.5
50	28.4—25.7	25.7—22.9	22.6—20.1	20.1—17.4	17.4—14.6
55	30.4—27.5	27.5—24.5	24.5—21.6	21.6—18.6	18.6—15.7
60	32.4—29.2	29.2—26.1	26.1—23.0	23.0—19.8	19.8—16.7
65	34.2—30.9	30.9—27.6	27.6—24.3	24.3—21.0	21.0—17.6
70	36.0—32.5	32.5—29.0	29.0—25.5	25.5—22.0	22.0—18.5
75	37.7—34.0	34.0—30.4	30.4—26.7	26.7—23.0	23.0—19.4
80	39.2—35.4	35.4—31.6	31.6—27.8	27.8—24.0	24.0—20.2
85	40.8—36.8	36.8—32.9	32.9—28.9	28.9—25.0	25.0—21.0
90	42.2—38.1	38.1—34.0	34.0—29.9	29.9—25.8	25.8—21.7
95	43.6—39.4	39.4—35.1	35.1—30.9	30.9—26.7	26.7—22.4
100	44.9—40.5	40.5—36.2	36.2—31.8	31.8—27.5	27.5—23.1

Microsoft Excel

ファイル(F) 編集(E) 表示(O) 挿入(I) 書式(M) ツール(T) データ(D) 統計(S) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

MS Pゴシック 14

秋田地方スギ人工林長伐期施業林の間伐計画 (現況林を目標林に誘導する間伐手法)

表計算ソフト「エムセル」を用いた、対話形式による間伐計画

◎間伐施業林の現況(現況林) 間伐施業林の林分状況と、希望する伐期節を入力します。

この色の欄に間伐施業林の生育状況を入力します。

林 節	間伐林の林節を入力してください。	半角数字を入力します。
上層平均樹高	上層平均樹高を入力してください。	これ以外の欄には入力できません。
ha当たり本数	ha当たり本数を入力してください。	
予定主伐林節	主伐予定林節を入力してください。	
間伐等級		

◎主伐予定林節の推定林分成績(目標林) 希望伐期節の仕立て密度別生産内容が表示されます。

表中の推定値を参考に、主伐目標林を選択します。

主伐林節		主伐時上層平均樹高			
仕立密度	期望比数	本数/ha	幹材積	断面積計	平均直径
密仕立	0.85				
	0.80				
	0.75				
中庸仕立	0.70				
	0.65				
疎仕立	0.60				

◎現況林を目標林に誘導する間伐計画

目標林の期待本数 主伐林で期待するha当たり本数を入力してください。

目標林誘導伐/間伐等級/間伐年表/密度別本数/樹高予測/

図-22 長伐期施業用目標林誘導間伐プログラム

5. 地域に適合した長伐期施業体系の確立

長伐期施業を進めるためにはどのような山作りが基準になるのか、普及にあたっての長伐期施業技術の教科書をどう定めるのかなどを検討するのが本研究の最終目標である。今後、本県のスギ林の長伐期施業を具体的に展開して行くために一つの案を提示する。長伐期施業については、どれくらいが望ましいかについて客観的な定めはないものの、従来の標準伐期齢を大きく上回ることは確かであると思われる。現在、東北森林管理局は従来の100年伐期を150年に延長するための計画を立てようとしており、将来に向けたこのような取り組みは貴重である。ここでは分析データの関係から、100年を一応の伐期齢として計画した。施業林の生育条件は、良好な生育が望める林地の視点から、地位5等級区分中、1～3等地の中～上の地位を施業適地とした。間伐は齢階の若・壮・老齢ごとに異なる成長特性に応じて、収量比数を基準とした本数管理を考えた。以上をまとめると次の通りであり、これにより収穫表の作成を検討する。

- ① 主伐齢100年の間伐計画とする。
- ② 上位地位（1～3等）を施業対象にする。
- ③ 齢級（成長特性）に応じた収量比数基準（間伐前・後）の本数管理をおこなう。
- ④ 高齢期の本数管理は中庸仕立（収量比数0.70）から疎仕立（収量比数0.60）に誘導する。
- ⑤ 主伐10年前は間伐を指定しない。

個々の林分管理は、森林所有者の希望や林の生育特性に応じて間伐計画を考えることになる。長伐期施業の密度管理に関しても、密度を管理する基準があればそれをもとに間伐モデルを提示できる。ここでは案として地位別に齢級の成長特性に応じ、収量比数で間伐前後の密度を管理するモデルを提示し表-12に示したが、地位Ⅰのみ60年以降低めの本数密度で管理するようにしており、全体的には70年生以降の間伐後の収量比数は0.6まで落とすようなモデルとなっている。長伐期施業林の間伐計画案に基づいて、地位1～3等地について生産目標別の収穫表を図-23～25に作成した。これらは地位別に林齢の経過につれ、ha当たり本数、材積の変化状況、間伐の実施時と、間伐量を図示したものであり、初回間伐は1等地で21年、2等地で24年、3等地で27年から開始する。間伐回数は1、2等地で6回、3等地で5回行い、最終生産量は地位1等地がha当り本数210本、平均直径62cm、幹材積1,260m³、2等地がha当り本数290本、平均直径54cm、幹材積1,180m³、3等地がha当り本数390本、平均直径47cm、幹材積1,060m³、となっており、新しい収穫予想表ではいずれも1,000m³を超える主伐時の生産量が期待できる結果となった。

本研究は国庫補助課題「長期育成循環施業に対応する森林管理技術の開発」で行われたものであり、研究を進めるにあたって山形大学農学部教授小野寺弘道博士、^(株)森林総合研究所植物研究領域長石塚森吉博士、立正大学教授渡邊定元博士、森林総合研究所鈴木和次郎氏には有益な助言を頂いた。東北森林管理局、^(株)古河林業阿仁林業所、中田林業、柴田林業、男鹿市五里合財産区、武田英文氏、佐藤善雄氏、千葉茂樹氏には貴重な試験地を提供していただいた。収穫試験地のデータについては森林総合研究所栗屋善雄博士、大住克博博士、正木隆博士（現農林水産技術会議）にご協力を頂いた。東北森林管理局技術センター野藤昌弘所長を始めとする技術センターの皆さん、山形大学農学部教授野堀

表-12 長伐期施業林の間伐計画(案)
秋田地方スギ人工林間伐モデル

	間伐指定林齢	間伐前後の収量比数管理	
地位 1等	林齢39年まで	間伐前0.85	間伐後0.75
	林齢60～69年	間伐前0.75	間伐後0.625
	林齢40～59年	間伐前0.80	間伐後0.70
	林齢70年以上	間伐前0.675	間伐後0.55
地位 2等	林齢39年まで	間伐前0.85	間伐後0.75
	林齢60～69年	間伐前0.75	間伐後0.65
	林齢40～59年	間伐前0.80	間伐後0.70
	林齢70年以上	間伐前0.70	間伐後0.60
地位 3等	林齢39年まで	間伐前0.85	間伐後0.75
	林齢50～69年	間伐前0.75	間伐後0.65
	林齢40～49年	間伐前0.80	間伐後0.70
	林齢70年以上	間伐前0.70	間伐後0.60

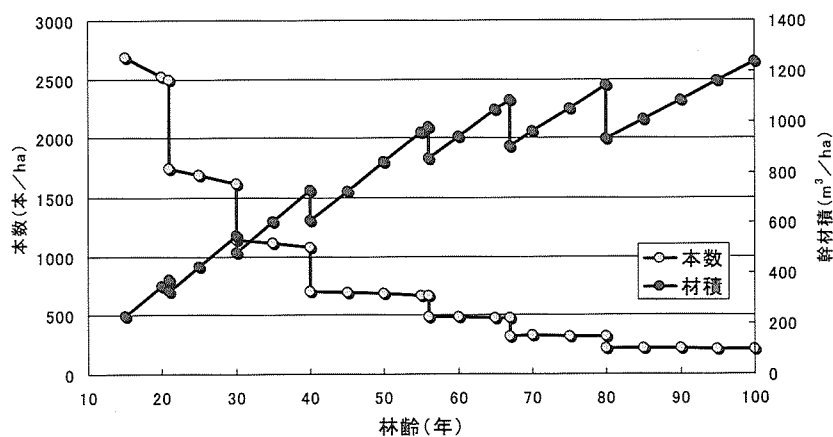


図-23 間伐計画と収穫予想表
秋田地方スギ人工林～地位1等地

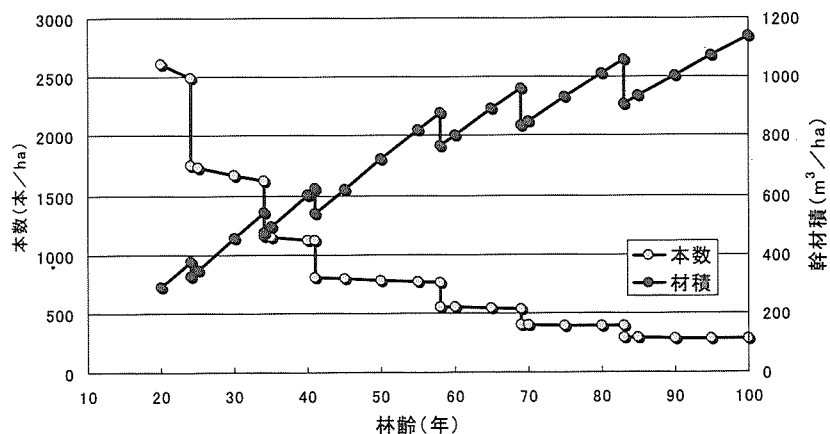


図-24 間伐計画と収穫予想表
秋田地方スギ人工林～地位2等地

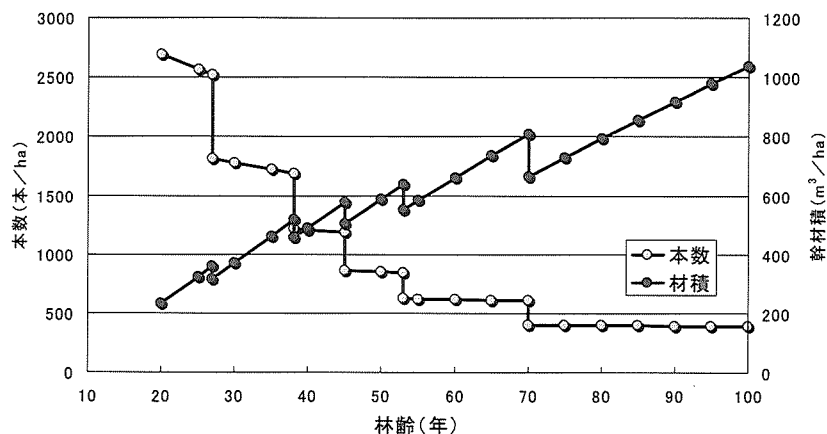


図-25 間伐計画と収穫予想表
秋田地方スギ人工林～地位3等地

義裕博士を始めとする資源解析研究室研究員の皆さん、秋田県立大学教授小林一三博士を始めとする森林科学研究室の皆さん、東北森林管理局企画調整室長小島健太郎氏、森林総合研究所東北支所西園朋広氏、森林総合研究所太田敬之氏、(株)古河林業阿仁林業所副所長福森卓氏および阿仁林業所の皆さん、元森林総合研究所小坂淳一氏には調査およびデータの解析にご協力を頂いた。樹幹解析ソフトの利用に当たっては宮崎大学流動研究員光田靖氏にご協力を頂いた。システム収穫表の開発に当たっては森林総合研究所林業システム研究室長松本光郎博士、同関西支所田中邦宏氏にご協力を頂いた。最後に秋田県森林技術センター所長高橋正治氏、前所長大里陽造氏、次長小畑洋氏、森林環境部長三浦義之氏、前森林環境部長大森徹氏、同石田秀雄氏、同主任研究員金子智紀氏には貴重な助言および調査にご協力を頂いた。調査データの解析は丸山亜希子さんにご協力いただいた。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)秋田営林局（1944）秋田地方すぎ林分収穫表。
- (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。pp163，秋田県林務部。
- (3)秋田県林務部（2000）秋田県林業統計（時系列版Ⅳ）。pp169，秋田県林務部。
- (4)石田秀雄（1994）長伐期施業の経営技術に関する基礎調査。秋田県林業技術センター研究報告 3：1-18。
- (5)上野洋二郎・石川正吾（1988）単木生長モデルから誘導された Gompertz 関数。日林誌 70(3)：104-110。
- (6)大住克博・森麻須夫・桜井尚武・斎藤勝郎・佐藤昭敏・関剛（2000）秋田地方で記録された高齢なスギ人工林の成長経過。日本林学会誌 82(2)：179-187。
- (7)桜井尚武編（2002）長伐期林の実態－その効果と取り扱い技術－。pp173，林業科学技術振興所。
- (8)澤田智志・小坂淳一（2000）秋田地方スギ人工林長伐期施業による林分密度管理（Ⅰ）－秋田県羽

- 後町におけるスギ高齢林の成長と間伐－. 東北森林科学会第5回大会講演要旨集.
- (9)澤田智志・小島健太郎・小坂淳一(2001)超長伐期施業を目指したスギ高齢林の成長解析－秋田地方米代川東部地域国有林における成長事例－. 第112回日本林学会大会学術講演集
- (10)澤田智志・小坂淳一(2002)秋田地方における高齢級スギ人工林の成長解析. 日林講 113.
- (11)澤田智志・野藤昌弘・小坂淳一(2003)長伐期施業に対応したシステム収穫表パラメータの検討. 東北森林科学会第8回大会講演要旨集
- (12)白石則彦(1986)同齢単純林の生長予測に関する研究. 東大演習林報告 75:199-256.
- (13)白石則彦(1995)人工林間伐指針システム収穫表(LYCS). システム収穫表プログラム. 木平勇吉編:100-115.
- (14)庄司友治・高橋謙二・澤田智志(2002)秋田地方スギ人工林長伐期施業による林分密度管理. 東北森林科学会第7回大会講演要旨集
- (15)田中邦宏(2002)秋田地方スギを対象としたシステム収穫表のパラメータ推定. 日林講 113:p436.
- (16) Mitsuo Matsumoto (1997) Construction of Yield Tables for Sugi (*Cryptomeria japonica*) in Kumamoto District using LYCS. J. For. Plann. 3:55-62
- (17)長伐期研究会(2001)森林総合研究所研究会報告No.17長伐期施業の効果, 今後の展望. pp161, 森林総合研究所.
- (18)寺崎康正・小坂淳一・金豊太郎(1964)林分の構造と成長, 収穫に関する研究 第1報 秋田地方スギ人口林の成長と収穫. 林試研報 168:1-305.
- (19)南雲秀次郎・箕輪光博(1990)現代林学講義10測樹学. pp243. 地球社.
- (20)福森卓・澤田智志・小坂淳一(2000)秋田地方スギ人工林長伐期施業による林分密度管理(Ⅱ)－秋田 県阿仁町古河林業における長伐期施業－. 東北森林科学会第5回大会講演要旨集.
- (21)星崎和彦・蒔田明史・澤田智志・佐藤賢一・小林一三(2002)樹齢250年でもまだ太る!－天然秋田スギ林20年間の動態－. 日林講 113
- (22)正木隆・森茂太・梶本卓也・櫃間岳・澤田智志(2003)秋田高齢スギ人工林の成長. 日林講 114.
- (23)吉田成章(1979)生長曲線の検討. 日林誌 61(9):321-329.

ブナ二次林の間伐試験

和田 覚・澤田 智志・石田 秀雄*・小坂 淳一**

Thinning experiment in a *Fagus crenata* secondary forest.

Satoru WADA・Satoshi SAWATA・Hideo ISHIDA・Jun-ichi KOSAKA**

要 旨

秋田県田沢湖町のブナ二次林内に、用材林への誘導を目的として3つの間伐試験区と無施業の対照区を設定した。間伐区においては、試験的に成立本数を変える形で、それぞれ1980年に下層間伐、1985年に上層間伐を実施し、その後2002年までの17年間の成長を調査した。間伐区は無施業区に比較して1.27～1.42倍の材積純成長量を示し、枯死木発生の抑制効果や成立個体サイズの均一化効果も認められた。間伐の強度としては中庸度程度の間伐、東北地方ブナ林分密度管理図による収量比数0.7程度への調整が、木材生産機能の向上を図るうえで効果的であった。こうした結果を基に、ブナ二次林に対する間伐指針を提案した。

I. はじめに

本県の広葉樹資源は、高度経済成長期に進められたスギの拡大造林により、優良大径な広葉樹が伐採され、急激な減少と質的な劣化を招いた。近年に至っては、自然保護意識の高まりから、保護地域の指定など広葉樹林に対する制約も大きくなってきており、特に、本県の自然植生として分布が多いブナ林で顕著である。ブナ林は言うまでもなく、自然保護の象徴として、さらには白神山地に代表されるように文化的価値も認識されるなど、今後は、保護や保全も含め、公益的機能の発揮に向けた森林の管理が望まれている。その一方で、ブナ材は、建築材や家具材、合板用材等への需要に応え、また曲木家具や漆器など地場産業の振興を図るうえでもなくてはならない重要な価値を有している。こうしたブナ資源を、将来的に、持続的に維持していくための手立てを探るため、一般には低質なものとされてきたブナ二次林に注目した。ブナ二次林は旧薪炭林に由来するものがほとんどである。これをいかに有用な用材林へと誘導できるかを検証するため、間伐試験を行いその後の生育状況を調査した。この研究は、平成7年～11年度に行われた林野庁の国庫補助研究課題「冷温帯地域における広葉樹林施業技術の確立」、引き続き平成12年～15年度に行われた「多様な広葉樹林の育成・管理技術の開発」の一環として行ったものである。

*元秋田県林業技術センター

**元森林総合研究所東北支所

Ⅱ. 試験地の概要

試験地は秋田県田沢湖町の秋田駒ヶ岳の北麓約4.5km、標高690～700mに位置する。日本海側の典型的な林床チシマザサ型のブナ二次林で、ブナの優占度が極めて高く、試験地設定当時でベニイタヤ、ウワミズザクラ等が本数率2～5%混交する程度であった。地形はほぼ平坦だが、後述の強度間伐区は約20°の傾斜がある。土壌型は火山灰由来のB_D型である。最寄りの秋田地方気象台田沢湖観測所（標高230m）における1980～1999年の年平均気温は9.3℃、年平均降水量は2,014mmである。標高による気温通減率を0.58℃/100mとすると、試験地の年平均気温は6.6℃、温量指数（WI）は65となる。近くの県営田沢湖スキー場（標高725m地点）における1983～1994年度の最深積雪深の平均は191cmであることから、試験地のそれも同程度と推測される。

試験地周辺のかつての林相は、ブナを主体とする原生林であり、大正末期から昭和初期にかけ、順次薪炭生産のため伐採され、その跡地に現在の林が成立したとされている（加藤ら、1968）。試験地設定当時（1980年）の林齢は、間伐木の年輪数から50～55年生と推定された。

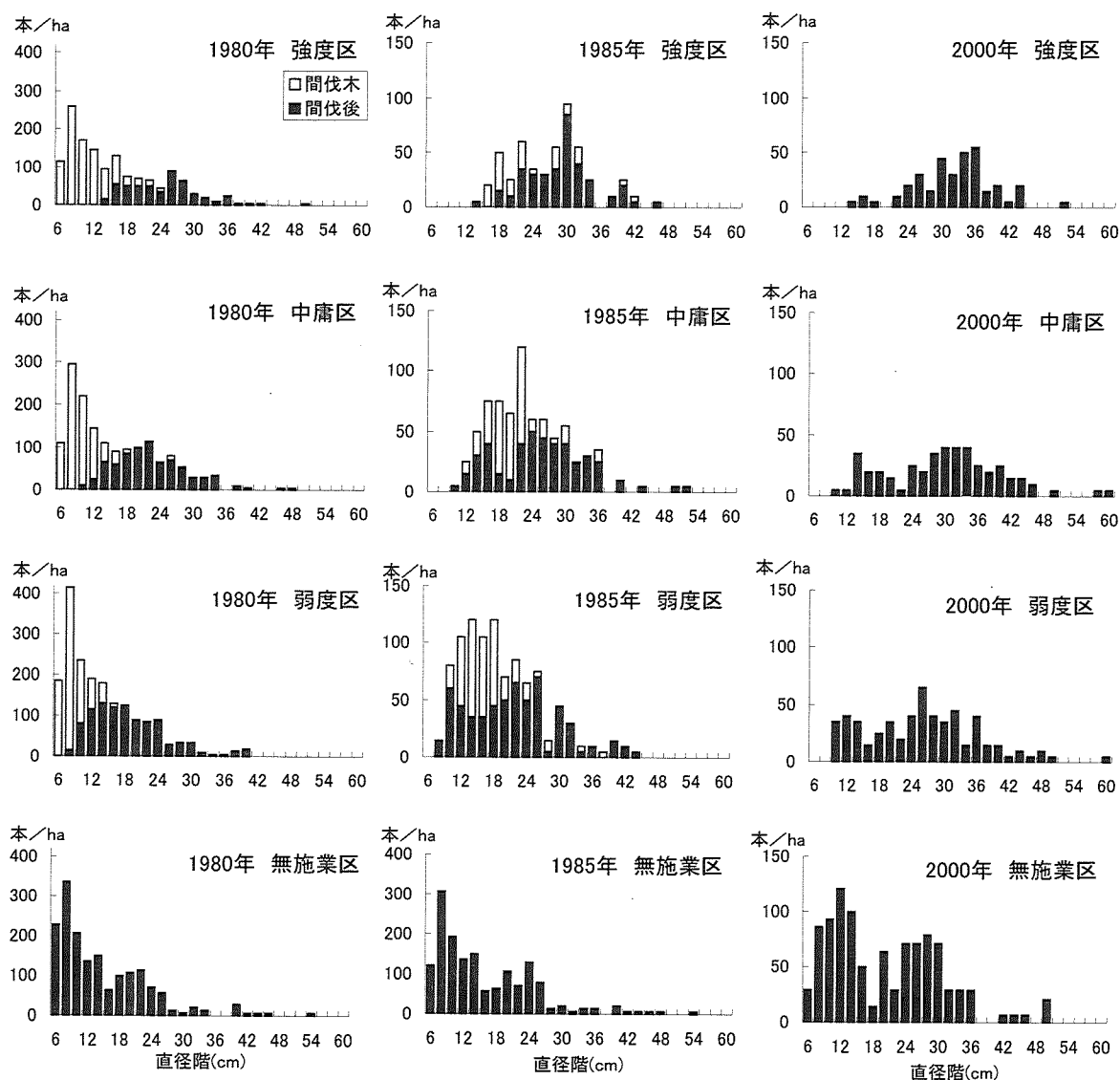
Ⅲ. 試験および調査内容

1980年にそれぞれ面積0.20ha（40m×50m）の強度間伐区（以下、強度区）、中庸度間伐区（以下、中庸区）、弱度間伐区（以下、弱度区）、無施業区の4つの試験区を設定したが、その後、無施業区の一部が誤って伐採されたため、無施業区を0.14ha（40m×35m）に縮小した。間伐は、間伐後に残すhaあたりの本数を強度区500本、中庸区750本、弱度区1,000本を目安とし、立木の配置、成育状況等を観察して行われた。成育の悪い下層木が間伐対象となったため、結果として下層間伐に近い選木となった（図-1）。

第1回目の間伐から5年後の1985年には、林冠が閉鎖したため、第2回目の間伐を行った。ここでは、残す本数を強度区350本、中庸区430本、弱度区600本を目安とし、立木配置の調整、並びに素性の良い育成候補木の成育を阻害する木も間伐対象とした。大径木も含まれていたため、結果として上層間伐に近い選木となった（図-1）。

こうした2回の間伐を、間伐前の林分平均胸高直径に対する間伐木の平均胸高直径の比率、すなわち間伐尺度（小坂ら、1988）を用いて客観的に間伐の種類分けを行った。この結果、3つの間伐区とも、第1回間伐は下層間伐、第2回間伐は上層間伐に相当した。

胸高直径、樹高測定等の毎木調査を1980年、1985年の間伐実施前後に、その後の1990年、1994年、1996年、1998年、2000年、2002年に行った。



図－1 各試験区の1980年、1985年、2000年の胸高直径階別本数分布

IV. 結果と考察

試験地設定から22年間にわたる試験成績を表－1に示した。なお、試験成績に関わる主な分析については、区切りの良い試験実施後20年、最終間伐後15年にあたる2000年のデータにより行った。

1. 枯死木の発生状況

1985年の最終間伐後から、1990年、1994年、2000年、2002年までの本数枯死率を図－2に示した。1985年の成立本数に対する枯死木の発生比率は年々増加し、17年間の本数枯死率は、強度区4.3%、中庸区3.4%、弱度区10.8%、無施業区37.5%であった。無施業区に比較して、間伐区では枯死木の発生が著しく少なかった。図－3では2000年の無施業区における枯死木の発生状況について、生存時の胸高直径階別で示した。枯死木は下層木に集中しており、利用を前提とした下層間伐は、枯死による生産量のロスを抑える意味で、効果的と考えられる。

表-1 各試験区の成績

強度間伐区								
調査年	項目	本数 (本/ha)	平均直径±SD * 1 (cm)	平均樹高±SD (m)	材積 (m³/ha)	材積純生長量 * 2 (m³/ha)	(対無施業区) (%) * 3	収量比数 Ry
1980年	間伐前	1,430	15.8±8.4	11.5±4.3	237.2			0.86
	間伐木	930	11.3±5.3	9.1±3.1	59.2			
	間伐後	500	24.2±6.2	16.0±2.0	178.0			0.63
1985年	間伐前	505	25.7±6.6	18.1±2.1	229.0			0.71
	間伐木	155	23.5±7.2	17.8±1.6	59.3			
	間伐後	350	26.7±6.0	18.2±2.3	169.7			0.61
1990年	現存量	345	28.5±6.4	20.2±2.6	208.9	90.2	(119)	0.67
1994年	現存量	345	29.9±6.7	21.8±3.0	246.7	128.0	(136)	0.71
1996年	現存量	340	30.4±6.8	22.6±3.2	261.7	143.0	(135)	0.73
1998年	現存量	340	31.1±7.0	23.5±3.4	283.8	165.1	(158)	0.75
2000年	現存量	340	32.0±7.2	24.1±3.1	309.4	190.7	(136)	0.76
2002年	現存量	335	32.4±7.3	23.2±3.7	302.1	183.4	(128)	0.74

中庸度間伐区								
調査年	項目	本数 (本/ha)	平均直径±SD (cm)	平均樹高±SD (m)	材積 (m³/ha)	材積純生長量 (m³/ha)	(対無施業区) (%)	収量比数 Ry
1980年	間伐前	1,600	15.8± 8.3	13.2±4.8	300.3			0.91
	間伐木	875	9.9± 3.6	9.7±2.8	39.4			
	間伐後	755	22.4± 6.9	17.3±2.9	260.9			0.77
1985年	間伐前	750	23.5± 7.5	18.5±3.2	307.1			0.81
	間伐木	315	20.6± 4.9	18.1±3.0	91.3			
	間伐後	435	25.7± 8.3	18.7±3.3	215.8			0.69
1990年	現存量	435	27.1± 9.0	20.0±3.6	258.9	89.3	(118)	0.72
1994年	現存量	435	28.3± 9.4	21.1±4.0	297.9	128.3	(137)	0.75
1996年	現存量	435	28.8± 9.8	21.6±4.1	320.1	150.5	(142)	0.76
1998年	現存量	430	29.4±10.2	22.5±5.6	340.6	171.0	(163)	0.78
2000年	現存量	430	29.9±10.5	23.1±4.5	365.2	195.6	(139)	0.79
2002年	現存量	420	30.7±10.6	23.4±4.6	374.1	204.5	(142)	0.79

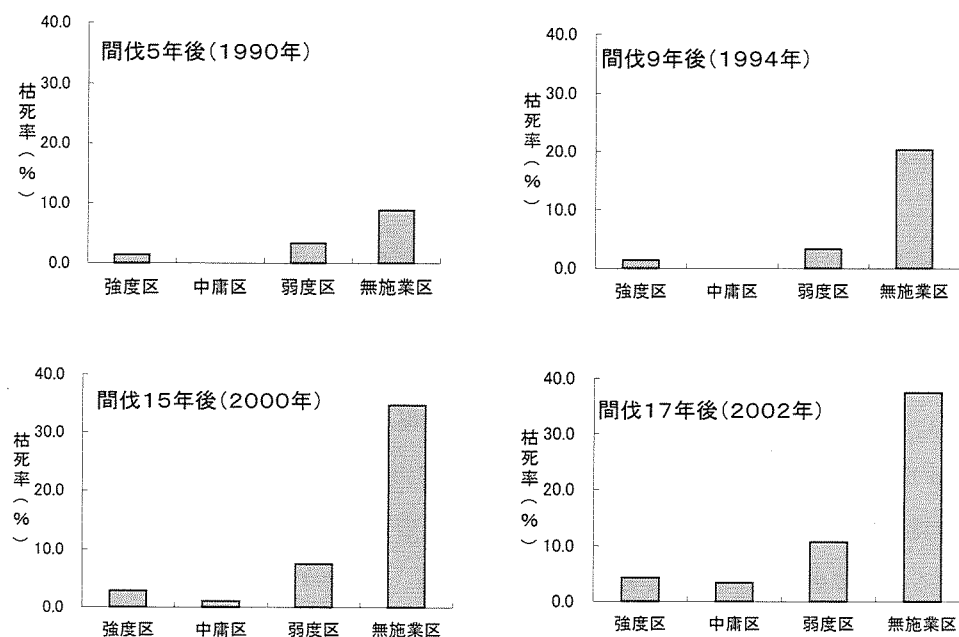
弱度間伐区								
調査年	項目	本数 (本/ha)	平均直径±SD (cm)	平均樹高±SD (m)	材積 (m³/ha)	材積純生長量 (m³/ha)	(対無施業区) (%)	収量比数 Ry
1980年	間伐前	1,885	14.2± 7.7	13.0±4.1	281.1			0.91
	間伐木	880	8.7± 2.3	9.6±2.5	28.7			
	間伐後	1,005	19.0± 7.5	16.0±2.7	252.4			0.80
1985年	間伐前	990	19.8± 8.1	17.0±3.1	291.7			0.83
	間伐木	390	16.8± 5.1	16.6±2.1	73.2			
	間伐後	600	21.8± 9.0	17.3±3.5	218.5			0.72
1990年	現存量	580	23.3± 9.4	18.8±3.6	259.8	80.6	(106)	0.76
1994年	現存量	580	24.2± 9.8	19.6±4.1	295.5	116.3	(124)	0.78
1996年	現存量	580	24.6±10.1	20.0±4.3	313.9	134.7	(127)	0.79
1998年	現存量	575	25.2±10.3	20.5±4.6	336.4	157.2	(150)	0.80
2000年	現存量	555	26.0±10.5	22.0±4.8	367.9	188.7	(134)	0.82
2002年	現存量	535	26.8±10.6	22.0±5.1	369.1	189.9	(132)	0.82

無施業区								
調査年	項目	本数 (本/ha)	平均直径±SD (cm)	平均樹高±SD (m)	材積 (m³/ha)	材積純生長量 (m³/ha)	(対無施業区) (%)	収量比数 Ry
1980年	現存量	1,686	14.6± 8.6	11.5±4.0	251.6			0.87
1985年	現存量	1,543	15.9± 9.1	12.7±4.4	292.3			0.89
1990年	現存量	1,407	17.0± 9.6	13.9±4.7	327.3	75.7	(100)	0.90
1994年	現存量	1,229	18.2± 9.9	15.1±5.0	345.5	93.9	(100)	0.91
1996年	現存量	1,200	18.4±10.0	15.5±5.3	357.5	105.9	(100)	0.92
1998年	現存量	1,114	18.9± 9.8	16.1±5.4	356.3	104.7	(100)	0.92
2000年	現存量	1,007	20.2±10.1	17.8±5.5	392.1	140.5	(100)	0.94
2002年	現存量	964	20.9±10.4	18.1±6.1	395.4	143.8	(100)	0.94

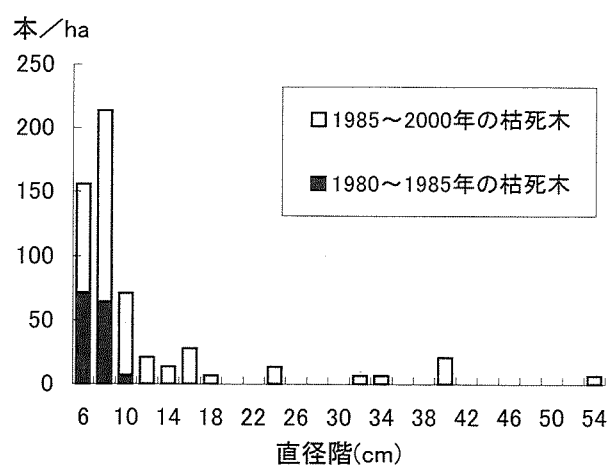
* 1 : 標準偏差。

* 2 : 材積純成長量=当該年の材積-1980年間伐前の材積+間伐材積。

* 3 : 当該年の材積純生長量について無施業区との比率で示した値。



図－2 最終間伐後（1985年）の成立本数に対する本数枯死率の推移



図－3 無施業区枯死木の生存時胸高直径階別本数分布

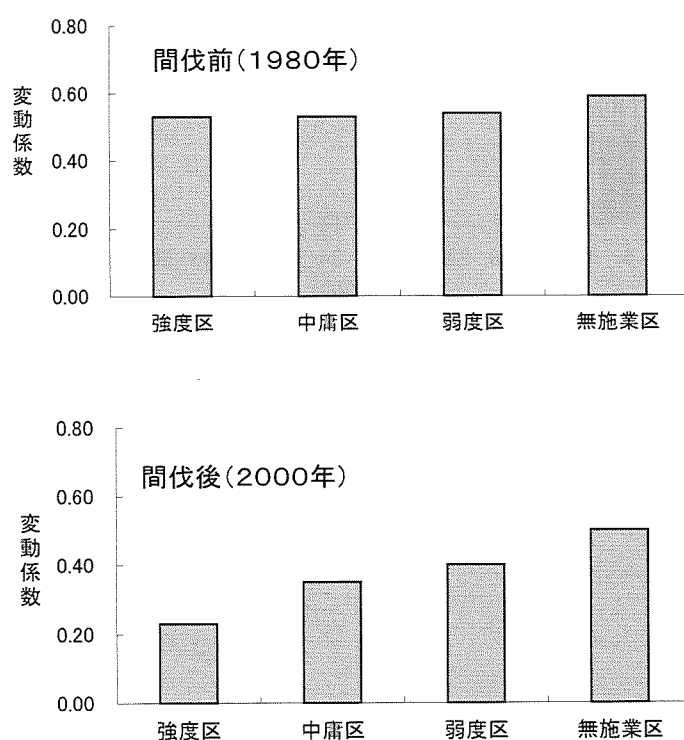
2. 個体サイズ及び林分材積の推移

22年間の平均胸高直径、平均樹高および林分材積の推移を表－1に示す。2000年現在の平均胸高直径と平均樹高は、強度区、中庸区、弱度区、無施業区の順で大きかった。これは間伐効果というよりは、サイズの小さい個体が間伐されたこと、すなわち間伐実施後の値に支配されているところが多い。

間伐実施後の1985年から2000年までの15年間の材積成長量は、中庸区と弱度区が共に149.4m³、強度区が139.7m³で、無施業区の99.8m³に対し間伐区は1.40～1.50倍の成長が見られた。ここで、試験区設定当初の区間材積の違いを考慮して比較するため、2000年の材積と1980年間伐前の材積との差に間伐材積を加え、20年間の材積純成長量として求めた。結果、強度区が190.7m³、中庸区が195.6m³、弱度区が188.7m³で、無施業区の140.5m³に対し、間伐区は1.34～1.39倍の成長量が認められた。間伐後の経過年数で見ると、最終間伐から13年後、1998年の値で1.50～1.63倍と最大となった。次回の間伐時期を検討するうえでの目安になると考えられる。

3. 個体サイズの均一性

木材生産を目的とする場合、成立する林木のサイズは大径であると同時に均一であることが望ましい。この均一性を評価するため、胸高直径の平均値と標準偏差の値から変動係数を求め、試験区毎に比較した。図－4に示すとおり、1980年間伐前の値では、強度区と中庸区が0.53、弱度区0.54、無施業区0.59と、試験区毎の差は比較的少なかった。しかし2000年の値では、強度区0.23、中庸区0.35、弱度区0.40、無施業区0.50と、間伐強度が強い程、変動係数の値は小さくなり、個体サイズの揃った林分状況を呈した。個体サイズの均一化を図るうえでも間伐は有効であった。



図－4 1980年間伐実施前と2000年の試験区別胸高直径の変動係数

4. 主伐候補木に対する間伐効果

間伐効果を客観的に評価するため、主伐時の成立本数を200本/haと仮定し、胸高直径上位200本/haについて、間伐実施前の1980年と2000年の値で試験区毎に比較した(表-2)。2000年と1980年の材積の差から、中庸区の材積成長量が最も大きく、間伐効果が高かったものと考えられた。この中庸度間伐は、2回の間伐で、東北地方ブナ林分密度管理図(小坂ら, 1984)によるところの収量比数0.7程度への調整であった。

なお、強度区が他の間伐区よりも、胸高直径上位200本/haの材積成長量が低かった理由については、石田(1994)が指摘するとおり、主伐候補である大径木よりも、むしろ小中径木に間伐効果が現れたためと考えられる。

表-2 1980年と2000年の胸高直径上位200本/haのブナの比較

試験区	調査年	平均樹高±SD (m)	平均胸高直径±SD (cm)	材積 (m ³ /ha)
強度区	1980年	16.9±1.8	31.0±5.1	114.8
	2000年	25.9±1.5	36.7±4.3	238.2
	差	9.0	5.7	123.4
中庸区	1980年	19.0±1.8	31.4±5.1	130.4
	2000年	26.4±1.6	38.6±6.7	271.5
	差	7.4	7.2	141.1
弱度区	1980年	18.5±1.3	30.5±6.8	122.6
	2000年	26.6±1.9	36.9±7.2	253.2
	差	8.1	6.4	130.6
無施業区	1980年	16.2±1.5	32.0±8.1	120.2
	2000年	24.9±2.0	35.1±6.8	219.4
	差	8.7	3.1	99.2

V. 間伐の施業指針

ブナ二次林に対する間伐試験の結果を基に、間伐のための施業指針について提案する。この試験地の間伐では、平均樹高およそ11mから13mのときに初回間伐が実施された。これぐらいの樹高の林になると、個々の林木の生育に優劣の差が生じ、将来的に仕立てていく主林木が見極めやすくなる。間伐対象は、主林木の生育を阻害する個体を中心に、立木配置を考慮しながら、不良形質木、劣勢木が主になる。広葉樹林における間伐施業では、間伐後の保残個体に後生枝が発生し(藤森, 1994)、しばしば問題となり、それを抑制するためには中下層木の保残が重要なポイントになる(桜井, 1994)。しかし、ブナ林ではミズナラ林などと比べても後生枝の発生はあまり見られないことから、この点についてはあまり気にする必要はないと見られる。特に中下層を形成するブナのうち、樹冠が小さく葉量の少ない個体、樹勢の乏しい個体については、いずれ枯死する確率が高いことが観察されており、間伐対象に加えたほうが無難で、きのこ原木などへの有効利用が望まれる。間伐後の立木密度については、東北地方ブナ林分密度管理図の収量比数0.7程度での管理が、木材生産上効果的で、上層木平均樹高に応じた本数の目安を表-3に示した(参考のため、収量比数0.6と0.8の値も記載)。なお、試験地でも2回の間伐を行っているように、1回での極端な本数調整は、台風のリスク(秋田県林業技術センター, 1998)が大きいなど問題がある。林の状況に応じた段階的な調整が望ましい。

表-3 ブナ二次林本数管理指針

上層木平均樹高	R y 0.6	R y 0.7	単位：本/ha R y 0.8
10	1,293	1,910	2,976
11	1,041	1,538	2,396
12	854	1,262	1,966
13	712	1,052	1,639
14	602	889	1,385
15	514	760	1,184
16	444	656	1,022
17	387	572	891
18	340	502	782
19	301	444	692
20	268	395	616

※東北地方ブナ林分密度管理図より作成。

謝 辞

試験地の設定や管理に際し、田沢湖町生保内財産区ならびに田沢湖町役場関係各位にご協力いただいた。調査、分析に際しては秋田県森林技術センター関係各位のご協力、アドバイスをいただいた。ここに記してお礼申しあげる。

引用文献

- (1)秋田県林業技術センター（1998）. 風害危険森林と耐風力のある森づくり. 59-96.
- (2)藤森隆郎（1994）広葉樹林の林業的・社会的意義（広葉樹林施業. 藤森隆郎・河原輝彦編著，社団法人全国林業改良普及協会，東京），pp.15-17
- (3)石田秀雄（1994）ブナ二次林改良間伐実施後15年の経過. 日本林学会東北支部会誌46：89-92.
- (4)加藤亮助・瀬川幸三・大場貞男（1968）田沢湖地方におけるブナ二次林の生長. 第79回日本林学会大会講演集：83-85.
- (5)小坂淳一・金豊太郎・小西明（1984）ブナ林の間伐効果分析(4)林分密度管理図作成および現実林への適用検討. 日本林学会東北支部会誌 36：32-34.
- (6)小坂淳一・高橋和規・金豊太郎・小西明（1988）ブナ林の間伐効果分析(6)間伐種別の生長解析. 日本林学会東北支部会誌 40：60-62.
- (7)桜井尚武（1994）ミズナラ林の施業（広葉樹林施業. 藤森隆郎・河原輝彦編著，社団法人全国林業改良普及協会，東京），pp.68-72
- (8)和田覚・澤田智志・石田秀雄・小坂淳一（2003）ブナ二次林の間伐効果－秋田県田沢湖試験地の事例－. 東北森林科学会誌 8：10-13.

秋田県主要広葉樹二次林の種組成構造とフェノロジー

和田 覚

Species composition and phenology of broad-leaved secondary forests in Akita Prefecture

Satoru WADA

要 旨

広葉樹林に対する多様なニーズや、森林の保全管理に役立てるため、秋田県の広葉樹林の主体をなすコナラ林、ミズナラ林、ブナ林について植生調査し、種組成構造の実態について比較、考察した。里山に広く分布するコナラ林は、奥山に多いブナ林よりも種組成的に豊かで、特に最下層にあたる草本層が豊かであった。しかし、ササ類の繁茂によって種組成を単調化させる傾向にあった。ブナ林は上層から下層まで全般に組成に乏しく、常緑低木が多い特徴が見られた。ミズナラ林はコナラ林とブナ林の中間的な様相を呈し、共通種も多かった。こうした広葉樹林の種組成構造の決定には、気温や積雪環境、人為の攪乱など多様な要因の影響が考えられるが、ここでは広葉樹林のフェノロジー（生物季節）の違いに着目し、上層優占木の開葉や落葉、積雪の有無、それらの時期や長短について観察し、林内光環境の面から比較検討した。結果、ブナ林は雪消えが遅い反面、開葉は早く、逆にコナラ林は雪消えが早く開葉は遅い状況にあり、ミズナラ林はこの中間であった。このことは下層植生の光環境の獲得条件として、コナラ林ほど有利に、ブナ林ほど不利に作用し、種組成構造の違いとして現れたと考えられた。また、群落を形成する上層優占種のフェノロジーは、垂直分布を増すにしたがい、開葉が遅く着葉期間が短くなる傾向にあり、コナラ林はミズナラ林へ、ミズナラ林はブナ林へと置き変わり、現在の分布域を形成しているものと思われた。

I. はじめに

「持続可能な森林経営」の理念が国際的な潮流となり、国内においても「生物多様性の保全」や「森林生態系の生産力の維持」等への対応が求められてきている（例えば藤森ら、1996）。秋田県においても、「持続可能な森林経営」の規範とも言うべき「秋田県ふるさとの森と川と海の保全及び創造に関する条例（通称：水と緑の条例）」を制定し、「・・・森林では地域の特性に応じた多様な植生を確保し、健全な生態系及び良好な景観を維持し、及び回復し、県民と自然とが共生できる環境をつくりだす・・・」（同条例抜粋）ことを目的に、よりよい環境を次世代に引き継ぐための行動に移そうとしている。

本県は日本一を誇るスギ人工林とともに、森林面積の49%、民有林面積で42%の天然林を有している（秋田県農林水産部、2003）。その大部分を占める広葉樹林については、近年の「里山」ブームに見られるようにその価値が見直され、これまで以上に多様な機能に期待が寄せられるなど、その役

割は今後益々重要になると予想される。日本海型気候区（鈴木，1962）に象徴される多様な自然環境のもと、ほとんどが伐採や火入れ等といった大規模かつ多様な人為作用を受けて成立し（越前谷，1982），半自然植生（石塚，1977）として二次林の形で現存している。こうした広葉樹二次林について、これまで資源としての側面から、資源量（秋田県林務部，1986），林分構造と分布（越前谷，1982），森林施業（和田ら，2003他）の面で調査，研究がなされてきた。ここでは，こうした研究成果を踏まえ，また前段で触れたような昨今の森林を取り巻くニーズに応えるため，広葉樹林の種組成や季節変化といった質的な側面に主眼を置き，多様な森林の育成や管理に向けた情報の蓄積を目指した。具体的には，広葉樹林について，まず空間的な側面から，どのような種組成構造を有しているのかを調べた。次に，優占種の着葉期の違いに着目し，時間的な側面から，落葉広葉樹林がどのように季節変化していくのか（フェノロジー）について調べた。さらには分布と併せ，時空間的にそれらが相互にどう関連しているのかについて考察した。この研究は平成12年～15年度まで実施した林野庁の国庫補助課題「多様な広葉樹林の育成・管理技術の開発」の一環として行ったものである。

II. 主要広葉樹二次林の種組成構造

昭和56年から60年度に実施された広葉樹賦存状況調査に基づく広葉樹資源状況報告書（秋田県林務部，1986）によると，民有林の広葉樹林の林分構成はコナラ林を始めとしてミズナラ林，ブナ林で全林分の70%を越えるとされる。現在もこれらが二次林として主体をなし，広葉樹林の中でも重要な位置にあると見なされる。日本におけるコナラ林やミズナラ林，ブナ林の種組成的な全容については，植物社会学的立場から整理，体系化されており（宮脇1987；福嶋ら1995；星野1998；鈴木2001等），ここでは近年その価値が見直されつつある広葉樹林の利用や整備，管理のためのより身近な情報として，林分を構成する種群の実態把握に努めた。

1. 調査地と調査方法

調査地は，調査効率や標高に応じた広葉樹林の比較の観点から，緯度的に秋田県の中央を横断し，水平的にも，垂直的にも秋田県を代表するエリアとし，具体的には秋田市と田沢湖を結ぶ北緯39° 40'の線付近に位置する市町村を対象とした。このエリア内のコナラ林，ミズナラ林，ブナ林を対象として植生調査を行った（表－1）。ただしブナ林については，これまで県内外でかなりの調査が行われ，調査資料（Aufname）が蓄積されていることから，ここでは環境庁編（1988）の県内データを中心に用い，筆者のデータを加えた。植生調査はBraun-Blanquet法（1964）の総合優占度，群度の測定によった。コナラ林については，ササ類の繁茂状況を把握するため，調査区域内の植被率と植生高も記録した。データは広葉樹林毎に，出現した種を階層別に常在度クラス（ある種の出現が全調査資料数の何%であるかを低いほうから20%毎にⅠ～Ⅴ段階で表したもの。）の高い順で表－2～4に示した。階層はある種が最も多く出現した階層に記載し，例えば，高木性の樹種であっても低木層で高い頻度または被度で出現した場合は低木層として扱った。複数の階層にまたがって出現し，階層の判定が難しい場合は中間の階層とし，2階層の場合は生活形を基に振り分けた。生活形は主に林

(1996)等を参考に、ここでは高木、小高木、低木、小低木、ササ、ツル(木本性)、草本、シダに分類した。なお、偶発的に出現した種や低頻度の出現種による混乱を避けるため、特にことわりがない限り、ここでは出現率が20%以下(常在度クラスⅠ以下)の種を除いて考察した。

表-1 植生調査地

コナラ林			ミズナラ林		
番号	位置又は略称	標高(m)	番号	位置又は略称	標高(m)
1	河辺町砂子渕	90	1	田沢湖町駒ヶ岳	630
2	河辺町丸舞	70	2	田沢湖町岩井沢1	620
3	河辺町仙翁台	100	3	田沢湖町岩井沢2	620
4	河辺町小出沢	70	4	田沢湖町水沢1	540
5	河辺町鶴養	130	5	田沢湖町水沢2	540
6	河辺町東上	70	6	田沢湖町水沢3	480
7	河辺町東1	80	7	西木村内沢	600
8	河辺町東2	80	平均		576
9	河辺町上野	70	±標準偏差		57
10	河辺町夏田	40			
11	河辺町五郎谷地	70			
12	河辺町大張野1	70			
13	河辺町大張野2	70			
14	河辺町堂の坂	90			
15	河辺町神内	40			
16	河辺町南台	50			
17	河辺町七曲	50			
18	河辺町上野台	70			
19	河辺町戸島	20			
20	河辺町北野田高屋1	30			
21	河辺町北野田高屋2	30			
22	河辺町小高1	30			
23	河辺町小高2	30			
24	河辺町和田	40			
25	雄和町山崎山1	50			
26	雄和町山崎山2	30			
27	秋田市御所野1	20			
28	秋田市御所野2	20			
29	秋田市横山1	20			
30	秋田市横山2	20			
平均		55			
±標準偏差		28			

ブナ林			
番号	位置又は略称	標高(m)	調査者
1	田沢湖町駒ヶ岳	690	
2	田沢湖町シトナイ沢※	400	藤原陸夫・泉祐一
3	西木村葡萄森※	600	藤原陸夫
4	西木村大仏岳※	950	藤原陸夫・越前谷康
5	西木村大石岳※	850	藤原陸夫・泉祐一
6	河辺町白子森※	660	藤原陸夫・越前谷康
7	田沢湖町笹森山※	940	松山忠
8	田沢湖町国見峠※	820	松山忠
9	田沢湖町男神山※	530	藤原陸夫・泉祐一
10	田沢湖町荷葉岳※	1,070	藤原陸夫・松田義徳
平均		751	
±標準偏差		210	

※は環境庁編(1988)からの引用。

表—4　ブナ林の種組成

種名	最多出現階層	生活形	常緑性	需光特性
ブナ	高木層	高木		需光性強
ミズナラ	高木層	高木		
オオノキ	亜高木層	高木		
オホカメノキ	低木層	低木		
オオバコ	低木層	低木		
コシアブラ	低木層	高木		
チシマザサ	低木層	ササ	○	
ハウチワカエデ	低木層	高木		
タムシバ	低木層	小高木		
ムラサキヤシ	低木層	低木		
ウミササグ	低木層	高木		
ノリウツギ	低木層	高木		
マルバマンサク	低木層	低木		
ミナカマデ	低木層	低木		
アオダモ	低木層	高木		
コヨウバ	低木層	高木		
リュウブ	低木層	高木		
ベニイタヤ	草木層	ツル		
ゴトウツル	草木層	低木	○	
ヒメモチ	草木層	低木		
ヤマモミ	草木層	ツル	○	
シシガシラ	草木層	ツル		
ツツウツリ	草木層	小高木		
ヤマウルシ	草木層	ツル		
イワガラミ	草木層	低木		
アケシバ	草木層	草木		
オクノカンスグ	草木層	シダ		
シロブカガマ	草木層	草木		
ヒメアオキ	草木層	低木		
ツルハネソウ	草木層	草木		
ツツバネソウ	草木層	草木		
ツルシシバ	草木層	低木		
ハヤイヌツグ	草木層	低木		
ハヤイヌツグ	草木層	低木		
ミヤマカンズグ	草木層	シダ		
イワウチワ	草木層	草木	○	
エゾアジサイ	草木層	低木		
ソノエサリハ	草木層	低木		
オオバサノキ	草木層	低木		
オクエゾノサイ	草木層	草木		
コマユシ	草木層	草木		
ツバメオモト	草木層	草木		
ツバメササ	草木層	草木		

常在度Ⅱ以上を記載。最も多く出現した階層を最多出現階層とした。ただし、その判断が難しい場合は、3つの階層にまたがる場合はまんなの階層を、2つの階層の場合は生活形を参考に振り分けた。

表—3 ミズナラ林の種組成

種名	最多出現階層	生育形	常緑性	重なり方
ミズナラ	高木層	高木		V
ベニエナ	高木層	高木		V
ブナ	高木層	高木		Ⅲ
オオヤマザクラ	亜高木層	高木		V
アズキナシ	亜高木層	高木		Ⅲ
アウチワカエデ	亜高木層	高木		V
ハオノキ	亜高木層	高木		Ⅲ
ホウオウチワカエデ	亜高木層	高木		Ⅲ
コハナリ	低木層	高木		Ⅲ
アオダモ	低木層	高木		Ⅲ
コシアブラ	低木層	高木		V
エゾツツリバナ	低木層	低木		V
ミヤマザマ	低木層	低木		V
オオミズサク	低木層	高木		V
オオバク	低木層	低木		V
クロモジ	低木層	低木		V
ツノハシバミ	低木層	低木		Ⅳ
ヤマユミ	低木層	低木		Ⅳ
コマユミ	低木層	低木		Ⅳ
サワフツギ	低木層	高木		Ⅲ
ヤマモミ	低木層	高木		Ⅲ
ウリハダカエデ	低木層	高木		Ⅲ
タマシバ	低木層	高木		Ⅲ
オオカメノキ	低木層	高木		Ⅲ
ハクウンボク	低木層	高木		Ⅲ
ミスギ	低木層	高木		Ⅲ
リョウブ	低木層	高木		Ⅲ
ニヨウツギ	低木層	高木		Ⅲ
ツツバカエデ	低木層	高木		Ⅲ
ヒトツツバカエデ	低木層	高木		Ⅲ
ゴツバ	草本層	小高木		Ⅲ
ゴツバズル	草本層	小高木		V
シシガシラ	草本層	草本	○	V
チゴユリ	草本層	草本	○	V
ハナイヌツグ	草本層	低木	○	V
ヒメアオキ	草本層	低木	○	V
ノリウツギ	草本層	低木		Ⅳ
アケツバ	草本層	低木		Ⅳ
ツタウルシ	草本層	ツル		Ⅳ
ツラビ	草本層	ツル		Ⅳ
ツルウメモドキ	草本層	ツル		Ⅲ
チシマササ	草本層	ツル		Ⅲ
ミヤマザマ	草本層	低木		Ⅲ
ミヤマガマズミ	草本層	低木		Ⅲ
イチヤクソウ	草本層	草本	○	Ⅲ
イワガサ	草本層	草本		Ⅲ
ヤマツツシ	草本層	草本		Ⅲ
ヤマブキ	草本層	草本		Ⅲ
ヤマユズリハ	草本層	低木		Ⅲ
ヤマエズリ	草本層	低木		Ⅲ
エキタブキ	草本層	草本	○	Ⅲ
オオバズノキ	草本層	草本		Ⅲ
シオデ	草本層	草本		Ⅲ
シガハチソウ	草本層	草本		Ⅲ
ジュウモンシ	草本層	草本		Ⅲ
ゼンマイ	草本層	草本		Ⅲ
ホツツジ	草本層	草本		Ⅲ
マイヅルソウ	草本層	草本		Ⅲ
ミソシダ	草本層	草本		Ⅲ
ヤマイボク	草本層	低木		Ⅲ
ヤマカンナ	草本層	低木		Ⅲ

※常在度Ⅱ以上を記載。
※最も多く出現した階層を最多出現階層とした。ただし、その判断が難しい場合は生活形態を、3つの階層にまたがる場合はまん中の階層を、2つの階層の場合は生活形態を参考に振り分けた。

表-2 コナラ林の種組成

[illegible]

※常任職員以上を記載。
本年度最も多く出現した階層を最多出現階層とした。ただし、その判断が難しい場合
は、3つの階層にまたがる場合はまん中の階層を、2つの階層の場合は生活形
を参考に振り分けた。
※同定困難な場合もあり、ここでは、ササ類は2種、スゲ類は4種として扱っ
ている。

2. 結果と考察

1) コナラ林の概観

調査地は標高20mから130mの範囲の里域で、林齢は森林簿等から推定して40年生前後、径級から見ても採草地や旧薪炭林に由来する人為の影響が強い二次林と判断される。樹高は7mから15m前後で、おおむね4層構造、高木層ではコナラその他、カスミザクラ、クリなどの陽性の樹種が高頻度で見られた。亜高木層ではエゴノキが、低木層以下ではウワミズザクラ、ミヤマガマズミ、ガマズミ、オオバクロモジ、カマツカ、コシアブラなどの樹種が見られた。草本層ではハイイヌツゲ、ヤマウルシ、ヒメアオキなどの他、サルトリイバラ、モミジイチゴ、ケチヂミザサ等の林縁性の種、チゴユリ、ワラビ、アキノキリンソウ、シラヤマギク、ヒカゲスゲなどススキ草原要素の種が混成するなど多様であった。

秋田市大滝山での調査結果(越前谷, 1975)と組成的に類似しており、この地域では普遍的な種組成構造と見られる。一方、チマキザサやクマイザサが密生する林も見られ、こうしたササの量(調査面積 $400\text{m}^2 \times$ 植被率 $\% \times$ 植生高mにより算出された層積)と調査林分の植物種数との関係について図-1に示した。結果、負の相関関係が見られ、ササの繁茂は、物理的に、また林床の光環境を悪化させるなどして、他の植物の侵入や定着を阻害しているものと見られた。

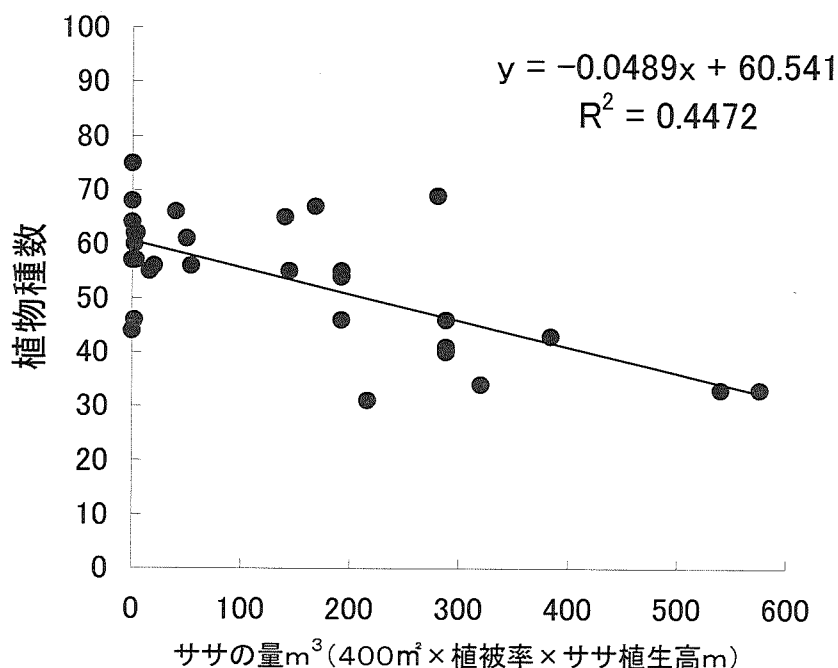


図-1 ササの量と植物種数の関係

2) ミズナラ林の概観

越前谷(1982)は、温度要因から、秋田県の広葉樹二次林の分布つまり垂直分布は、ブナ林とコナラ林の二大勢力によって支配され、ミズナラ林はこれらにはさまれた狭い範囲に分布しているとしている。調査地の標高は480~630mの範囲で、まさしく下部ではコナラ林と上部ではブナ林と接している。樹高は14~22m、階層は3層から4層構造である。高木、亜高木層はミズナラ、ベニイタヤ、ブ

ナ、アズキナシ、ハウチワカエデ等が高頻度で出現した。低木層以下ではアオダモ、コシアブラ、エゾツリバナ、オオミヤマガマズミ、ウワミズザクラ、オオバクロモジ、ツノハシバミなどの他、ハイイヌツゲやヒメアオキ等の常緑樹、林床にはゴトウヅル、シンガシラ、チゴユリが見られた。

3) ブナ林の概観

ブナ林は標高300mぐらいから多く出現し、600m以上では大部分がブナ林になるなど高い標高で出現割合が高くなるとされる(秋田県林務部, 1986)。引用資料および現地調査の標高は400~1,070mの範囲で平均751mと、この見解に合致したエリアである。樹高は15m~33mで、コナラ林やミズナラ林に比べると人為の影響は少なく、自然度は比較的高いと見られる。高木、亜高木層を形成する種は乏しく、高い頻度で出現した種はブナ、ホオノキだけであった。低木層では、オオカメノキ、オオバクロモジ、コシアブラ等が高い頻度で出現し、しばしばチシマザサが密生した。草本層ではヒメモチ、ゴトウヅル、ヤマソテツなどが見られるが、上層から下層まで全般に組成は単調であった。

4) 広葉樹林別の種組成の比較

秋田県における広葉樹二次林のマクロな分布は、標高の増加に応じて、コナラ林、ミズナラ林、ブナ林と変化する。これら主要な二次林の種組成的な特性を把握するため、それぞれが抱える種について相違種、共通種として比較した。表-5は、いずれかの二次林で、常在度クラスⅡ以上で出現した木本種を対象に二次林別の出現傾向を示し、類型化を行った。結果、コナラ林に偏って出現した種はクリ、エゴノキ、ガマズミ、カマツカ等22種と多く、ミズナラ林に偏って出現した種はオオミヤマガマズミ、オオヤマザクラ、コハウチワカエデなど18種、ブナ林に偏って出現した種はヒメモチ、ムラサキヤシオ、ミネカエデ等8種であった。その他、コナラ林とミズナラ林の両方に偏って出現した種がミズキ、ミズナラ林とブナ林の両方に偏って出現した種がブナ、タムシバ、ハウチワカエデ等6種で、二次林の種類に関わらず全体に出現した種はウワミズザクラ、ハイイヌツゲ、ヒメアオキ、ヤマウルシ、オオバクロモジ、コシアブラ等19種であった。ミズナラ林は分布的にもコナラ林とブナ林にまたがっており、両林分の構成種とよく混生していた。

5) 広葉樹林別の植物種数の比較

それぞれの広葉樹林が林分として抱える植物種数を比較し、表-6に示した。なお表には、より客観的な比較のため、既存の文献から、調査データと同質と考えられる森林すなわち群集を抽出し記載している。結果、平均植物種数は、現地調査データでも文献データでも同じような数値を示し、コナラ林で48種から53種、ミズナラ林で42種から43種、ブナ林で31種から36種であった。コナラ林はブナ林よりも種組成的に豊かで、およそ1.5倍の植物種数が認められ、ミズナラ林は両者の中間的な種数を示した。

表-5 広葉樹林の種組成比較

	コナラ林	ミズナラ林	ブナ林	タイプ
クリ	V			A
エゴノキ	V			A
ガマズミ	IV			A
カマツカ	IV			A
クマイザサ	IV			A
サルトリイバラ	IV			A
アオハダ	II			A
オクチョウジザクラ	II			A
サンショウ	II			A
ミツバアケビ	II			A
モミジイチゴ	II			A
レンゲツツジ	II			A
コナラ	V	+		A
カスミザクラ	V	+		A
チマキザサ	IV	+		A
フジ	IV	+		A
ムラサキシキブ	III	+		A
キタコブシ	II	+		A
タニウツギ	III	II		A
ハリギリ	IV	II	+	A
ミヤマガマズミ	V	III	+	A
ウゴツクバネウツギ	III		+	A
ミズキ	III	III	+	B
ヤマツツジ	II	III		C
エゾツリバナ	III	V	+	C
ツノハシバミ	III	V		C
ツルウメモドキ	+	III		C
キブシ	+	III		C
ヤマモミジ	II	III	+	C
アズキナシ	II	V	+	C
オオミヤマガマズミ		V		C
オオヤマザクラ		III		C
コハウチワカエデ		III		C
ミヤマイボタ		II		C
サウフタギ	+	IV	+	C
ウリハダカエデ	+	III	+	C
ハクウンボク	+	III	+	C
ベニイタヤ	+	V	II	C
アクシバ	+	IV	III	C
ヤマブドウ		III	+	C
ヒトツバカエデ		II	+	C
オオバスノキ		II	II	D
タムシバ		III	III	D
イワガラミ		III	III	D
ブナ		V	V	D
ゴトウツル	+	V	V	D
ハウチワカエデ	+	V	V	D
チシマザサ		III	V	E
マルバマンサク	+	II	III	E
ムラサキヤシオ		+	III	E
ナナカマド		+	III	E
ヒメモチ		+	V	E
コヨウラクツツジ			II	E
ツルシキミ			II	E
ミネカエデ			III	E
ウワミズザクラ	V	V	III	F 1
ハイイヌツゲ	V	V	II	F 1
ヒメアオキ	IV	V	III	F 1
ヤマウルシ	IV	IV	IV	F 1
オオバクロモジ	IV	V	V	F 1
コシアブラ	IV	V	V	F 1
オオカメノキ	III	III	V	F 1
コマユミ	III	IV	II	F 1
ホオノキ	III	III	IV	F 1
ミズナラ	II	V	II	F 1
アオダモ	II	V	II	F 1
ツタウルシ	II	IV	IV	F 1
ノリウツギ	II	IV	III	F 1
リョウブ	II	III	II	F 1
エゾユズリハ	+	II	II	F 2
ホツツジ	+	II	+	F 2
エゾアジサイ	+	+	II	F 2
ヤブコウジ	II		+	F 3
ハイイヌガヤ	+		II	F 3

類型区分

- A : コナラ林に偏って出現。
 B : コナラ林とミズナラ林に偏って出現。
 C : ミズナラ林に偏って出現。
 D : ミズナラ林とブナ林に偏って出現。
 E : ブナ林に偏って出現。
 F : 偏りが見られない種。
 [F 1 : いずれも II 以上出現。
 F 2 : いずれも II 以下出現。
 F 3 : コナラ林とブナ林で II 以下出現。]

※いずれかの森林で常在度クラス II 以上で出現した木本種（ササ類含む。）を対象。

※+は常在度クラス I 以下での分布を示す。

表－6 主要広葉樹林の植物種数比較

森林名または群集名	平均植物 種数	範囲 (最少～最多)	データ数	調査地標高 (平均±標準偏差)	調査面積	調査地域	引用文献
コナラ林							
コナラ二次林	53種	31～75種	30	55m±28	400m ²	河辺町・雄物町・秋田市	鈴木 (2001)
オクチョウジザクラ・コナラ群集	48種 * 1	29～73種 * 2	72			東北・北陸	
ミズナラ林							
ミズナラ二次林	43種	35～53種	7	576m±57	400m ²	田沢湖町・西木村	宮脇 (1987)
オオバクロモジ・ミズナラ群集	42種	14～63種				東北	
ブナ林							
ブナ林	36種	22～49種	10	751±210m	400～900m ²	田沢湖町・西木村・河辺町	環境庁編 (1988) * 4 含む。
ブナ林	35種	22～49種	23	725±219m	375～900m ²	秋田県	環境庁編 (1988) * 3
ブナ・チシマザサ群集	31種	5～78種	1,023			北陸・東北・北海道	福島ら (1995)

* 1 : 引用文献の総合常在度表 (Synthetic table) から算出。

* 2 : 引用文献の総合常在度表 (Synthetic table) の平均種数の範囲である。

* 3 : 秋田県の調査地のうち、ブナ林に該当する資料。ただし、針葉樹との混交林、社寺林は除いた。

* 4 : * 3 の資料のうち、調査地域に該当する資料 (表－1) を使用。これに筆者データを追加した。

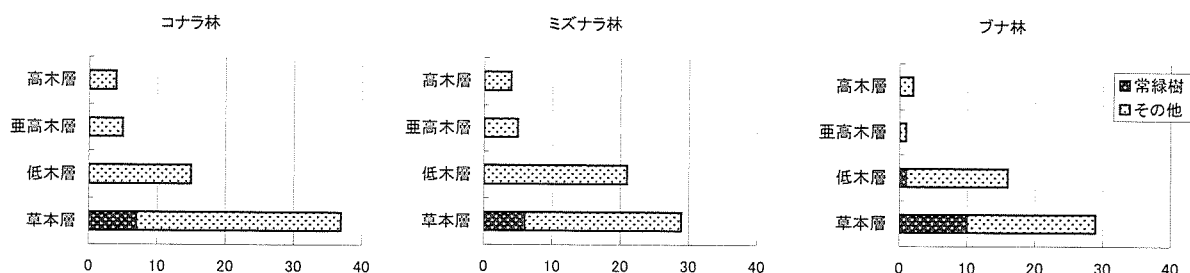
6) 階層別の種組成の比較

広葉樹林別の植物種数の違いを、階層の面から見るため、階層別の種数を図－2 に示し比較した。コナラ林では特に最下層にあたる草本層が豊かで、この階層の種数の多さが全体の種数に反映されている。ブナ林は上層から下層まで、全般に植物種数に乏しかった。ミズナラ林はこれらの中間的な様相を呈するが、低木層は比較的豊富であった。いずれの広葉樹林も常緑性の草本、シダ類、低木、ササ類が見られるが、ブナ林では常緑低木である、ヒメモチ、ヒメアオキ、ツルシキミ、ハイイヌツゲ、ハイイヌガヤ、エゾユズリハ等の構成割合が高かった。次に階層形成に大きく影響する種の生理・生態的な特性を生活形により分類して図－3 に示し比較した。コナラ林は草本層の主体をなす草本種が多く、ミズナラ林は低木層の主体をなす低木種が多かった。ブナ林はそれらがいずれも乏しく、おおむね図－2 の結果に準じる傾向にあった。ただ、いずれの林分も高木になる性質を有する種 (高木種) は比較的多く分布しているにも関わらず、実態として高木層を形成する樹種は限られていることから、成長速度や繁殖特性の違い、群落内での種間競争、その他の要因が働き、高木に至らないものと考えられた。

7) 種組成構造に影響すると考えられる要因

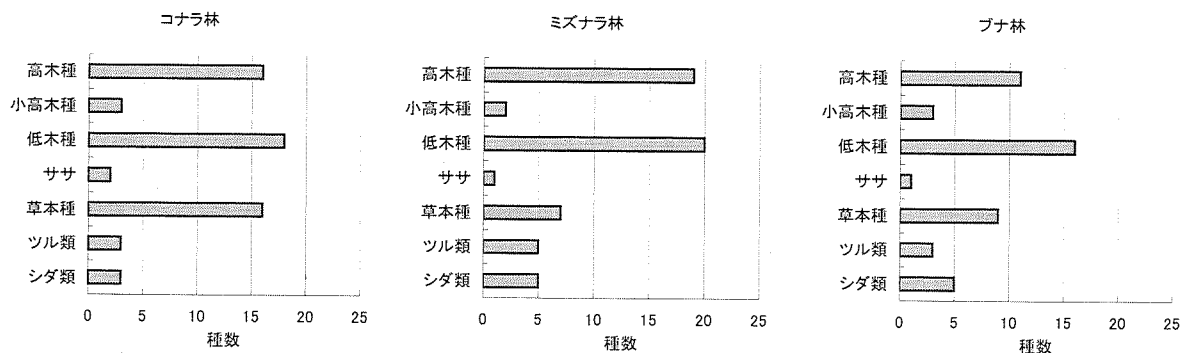
コナラ林、ミズナラ林、ブナ林で、種組成や植物種数に違いが生じる要因については①人為攪乱の程度の違い、②ササ類の繁茂、③垂直分布の違い、④雪圧等が考えられる (和田, 2003)。①は、二次林では開発や薪炭伐採などのよる人為的影響のために、狭い面積で種が良く混じり合い (中静・飯田, 1996)、人為の圧迫の程度はコナラ林が大きくブナ林は少ない (越前谷, 1982) ことにより、相対的にコナラ林ほど種組成が豊かになるとの見方である。事実、コナラ林の植物種数は豊かで、人為の攪乱によるものと見られる林縁性の種、草原要素の種も多く見られた。②は、ササの繁茂が他の植物の侵入や実生の定着を妨げ、組成を単調にするという見方で、前述のコナラ林ではその関係が確認された。ブナ林では更新施業でたびたび問題になるように、丈の高いチシマザサが密生することから、コナラ林に比べその程度が強く、植生をより単調化させると考えられる。③は、標高が高くなると平均気温は低下し、生育できる植物が限られてくるという見方である。確かに高い標高に分布するブナ

林は組成に乏しく、コナラ林は豊富であったが、標高の影響がどの程度効いているかは明らかでない。
④の雪圧について本間（2002）は、冷温帯性の高木種、亜高木種の中でも、ブナは非常に特殊で、ずば抜けて多雪環境に強く、雪圧が高くなっても幹に変形がほとんどみられず、幹割れ・幹折れも明らかに少ないとし、これがブナが優占する一要因であるとしている。確かにブナ林はより多雪な環境に分布し、コナラ林やミズナラ林と比較しても、高木層、亜高木層の種類が少なく純林状の林分も多い。高い階層での種組成を単調化させる要因として、雪の影響はかなり大きいと考えられた。また下層においても、埋雪環境への適応、例えば積雪の保護効果（杉田，2002）に適応したヒメアオキ、ヒメモチ、エゾユズリハ、ハイイヌツゲ、ハイイヌガヤなどの常緑低木等、生育できる種は限られると見られ、種組成構造に及ぼす雪の影響は大きいと見られた。



図－2 階層別の植物種数とその比較

※常在度クラスⅡ以上の出現種のみ。



図－3 生活形別の植物種数とその比較

※常在度クラスⅡ以上の出現種のみ。

Ⅲ. 落葉広葉樹二次林のフェノロジー

落葉広葉樹林は、春期の雪消え、芽吹き、新緑から、秋期の紅葉、落葉、積雪と季節変化に富み、構造的には森林植生として下層に低木層や草本層を発達させている。こうした広葉樹林の季節変化を捉え、フェノロジーの視点から種組成構造との関連、分布について考察した。

1. 調査地と調査方法

2001年に、秋田県森林技術センターに隣接する樹木園（秋田県雄和町標高64m）にて、コナラ、ミ

ズナラ、コナラの成木を対象としたリーフフェノロジーの観察を行い、ベースとなる個々の樹種の生理的な特性について調査を行った。個々の葉が全開し、それが樹冠全体に及んだ状態を開葉日として扱い記録した。さらに、実際の林分としてコナラ林（河辺町白熊：標高50m）、ミズナラ林（田沢湖町駒ヶ岳：標高630m）、ブナ林（田沢湖町駒ヶ岳：標高690m）でも現地調査を行った。開葉や落葉といった季節変化は、林内の光環境の変化として客観的に見られることから、現地調査においては現象そのものの観察に加え相対照度の測定も行った。相対照度の測定はミノルタ製デジタル照度計T-1Hを用い、林内と林外とで3分間の同時積算測定を行い、相対値として求めた。林内の測定は地上高およそ1.2mの位置で林内を均等に歩いて測定した。できるだけ下層植生の影響を受けないようにしたが、やむを得ない場合もあった。河辺町白熊のコナラ林では、比較のため、ササが密生する林床および隣接するスギ人工林内でも照度の測定を行った。さらに2002年には、標高に応じたフェノロジーの変化を見るため、2001年の調査箇所3カ所に、コナラ林2カ所（協和町春木場：標高110mおよび田沢湖町高野：350m）、ミズナラ林1カ所（田沢湖町水沢：540m）、ブナ林1カ所（田沢湖町駒ヶ岳：630m）を加えた計7カ所について調査した。調査は'01年'02年とも、4月下旬から11月まで、開葉期と落葉期は調査間隔をなるべく短くして、最低月1回以上測定した。積雪等により調査ができない場所を除き、基本的には全箇所同一日に測定した。一部の調査地では立木密度が異なる複数の隣接林分で照度の測定を行ったが、特に目立った違いは認められなかったことから、立木密度の影響は無視し、ここでは代表林分のデータで扱った。照度の測定と併せ融雪状況や積雪状況も観察した。こうしたフェノロジーに関する調査地のエリアは、Ⅱの植生調査と概ね同じエリアで実施した。

2. 結果と考察

1) 広葉樹林内の光環境

コナラ林を例に、林内およびササの林床における光環境の季節変動を、相対照度によりスギ林との比較で図-4に示した。コナラ林では開葉に伴って5月中旬頃に照度が急激に低下し、6月上旬には底を打った。照度の回復は9月頃から徐々に始まるが、本格的には落葉期である10月中旬以降であっ

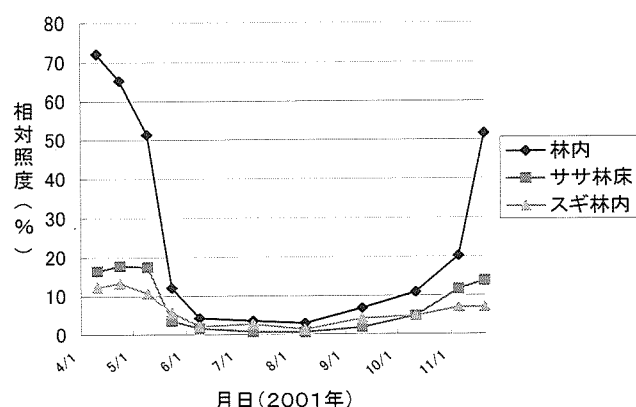


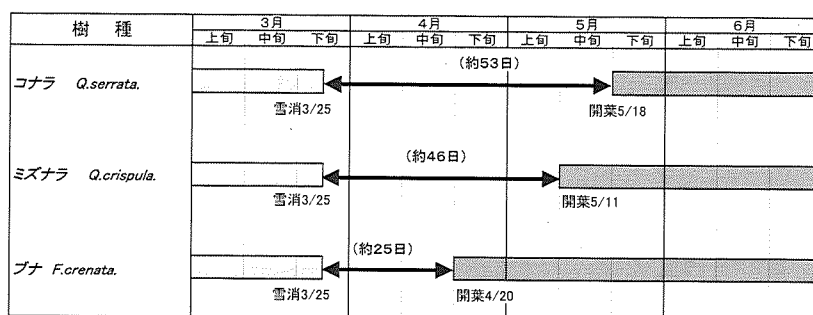
図-4 コナラ林の相対照度の季節変動

※ササ林床はコナラ林内、スギ林は隣接地。

た。スギ林は年間を通じて相対照度が15%以下と低く、季節変化の幅も小さかった。コナラ林の照度が底を打つ夏期6月上旬から8月下旬にかけての値は5%以下と低く、スギ林とほとんど差がなく、決定的な違いは葉の展開が進んでいない夏期以外の照度較差であった。ただ、クマイザサに被われたコナラ林の林床では、スギ林と同じような照度、季節変化を示し、光環境の面では落葉広葉樹林の特徴を発揮できない環境にあると見られた。このことは、図-1に示すように、ササの繁茂が種組成を貧弱にした要因のひとつとして捉えられる。

2) コナラ、ミズナラ、ブナの開葉特性

ブナ林の開葉が著しく早いことは知られており（例えば丸山，1979等），このことは林内を早くから暗くして、下層植生に影響を与えると考えられる。2001年春の樹木園（標高64m）での3樹種の開葉状況を図-5に示した。ブナの開葉は4月20日頃で、ミズナラよりおよそ21日、コナラよりも28日早く開葉した。ブナは樹木園にあるその他の高木性広葉樹と比較しても特異的に早かった。また同時に行った実際の森林での観察結果を図-6に示した。開葉はコナラ林で5月15日頃（河辺町：標高50m）、ミズナラ林で5月20日頃（田沢駒町駒ヶ岳：630m）、ブナ林で5月14日頃（田沢湖町駒ヶ岳：690m）といずれも5月中旬頃で、樹木園で観察されたような違いはあまり見られなかった。これは、同一条件の場所ではブナの開葉が早く、次いでミズナラ、コナラの順になるが、それぞれの分布域で標高とそれに伴う気温の変化に反応する形で、開葉時期が相殺され、差が少なくなったためと考えられた。



※個々の葉がほぼ全開し、それが樹冠全体に及んだ日を開葉日とした。

図-5 樹木園のコナラ、ミズナラ、ブナの開葉フェノロジー（秋田県雄和町：標高64m）

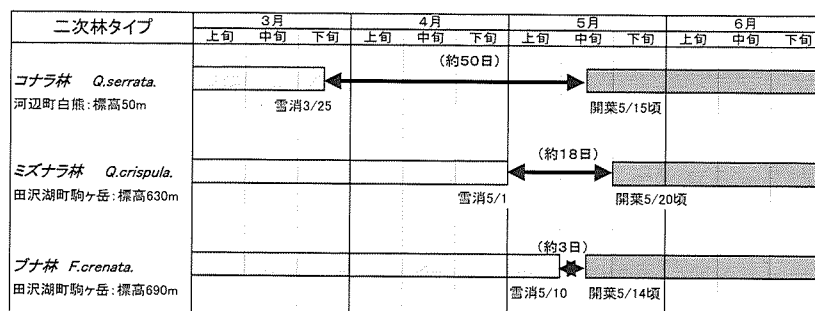


図-6 主要広葉樹二次林の開葉フェノロジー（2001年）

3) フェノロジーと積雪に応じた光環境の変化

2) のとおり標高に応じた実際の広葉樹林の比較では開葉期にはあまり差がなく、よって林内光環境の変化もあまり違わないと考えられるが、標高の変化は気温だけでなく積雪環境も大きく変える。雪の存在は植物に対し、雪圧、保温、水分供給など多様な面で作用するが、光の獲得という面からみれば埋雪は制限要因となる。雪が多く根雪期間が長いほど、林床に近い丈の低い植物ほどその影響は大きいと考えられる。春期、特に実生も含めた林床植物にとっては、雪消えから上層木が開葉するまでの期間が光の獲得に重要な期間と考えられることから、図-5および図-6には雪消え日も記し、開葉までの期間を示した。結果、コナラ林でおよそ50日、ミズナラ林で18日、ブナ林ではわずか3日であった。調査地に限らず、ブナ林では積雪状態のままで新緑を迎える光景がしばしば見られる。図-7では、落葉期も含め、またより客観的に相対照度による季節変化を示した。ここでは下層植物が必要とする相対照度を仮に20%として定め、調査日と調査日の相対照度の値を比例按分して着葉期と落葉期に区分した。さらには現地の観察から積雪期と無積雪期も区分して示した。相対照度が20%以上でかつ積雪のない期間を、下層植物の生育に有効な期間と仮定し、広葉樹林間で比較した。結果、コナラ林で80日（春期59日，秋期21日），ミズナラ林で44日（春期21日，秋期23日），ブナ林で28日（春期5日，秋期23日）と、コナラほど期間が長く、特に春期（開葉期）においてその違いが顕著であった。

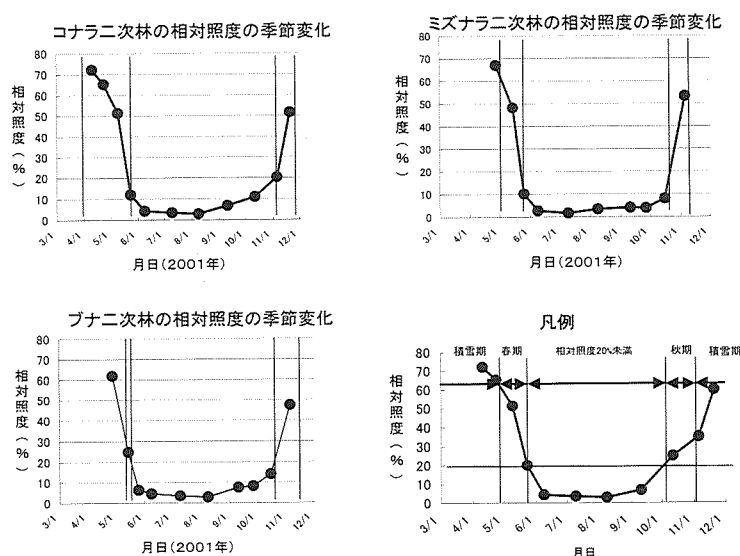


図-7 秋田県主要広葉樹林相対照度の季節変動

* 図中の縦野線は凡例に示すとおり、左から雪消え日、相対照度20%未満の日、相対照度20%以上の日、積雪日を表している。

4) 種組成構造とフェノロジー

広葉樹林は立体的な階層構造をもち、下層に低木層や草本層を発達させている。下層植生は光環境の面で上層木に規制される他、落葉広葉樹林では季節的な変化にも適応していく必要がある。前述のとおり、生理的には、ブナ林の開葉は著しく早く、次いでミズナラ林、コナラ林は遅い関係にあり、生態的には、ブナ林ほど雪が多い環境に、次いでミズナラ林、コナラ林ほど少ない環境に分布する。よって下層植生にとっての光の獲得は、総じてコナラ林ほど有利な、ブナ林ほど不利な条件にあると

見られる。現に、図-2に示すとおり、コナラ林は下層植物種数が豊富で、次いでミズナラ林、ブナ林は少なく、広葉樹林の種組成構造に及ぼすフェノロジーの影響は大きいと推察された。なお、ブナ林に多い常緑低木は、常緑がゆえに開葉までに至る期間のロスがないなど、雪だけでなく、光環境の面でも、ブナ林にうまく適応したのではないかと推察された。

5) 広葉樹林の分布とフェノロジー

これまでは主に下層植生に焦点をあててきたが、ここでは上層木のフェノロジーについて優占樹種別に、さらには標高別に考察した。2002年に、開葉や落葉の季節変化をそれぞれ標高が異なるコナラ林3林分、ミズナラ林2林分、ブナ林2林分で相対照度により調査した。相対照度が低いほど上層木が着葉状態に、高いほど落葉状態を意味する。図-8～10では、それぞれ優占樹種毎に標高別の比較をした。全般に標高が高くなる程、開葉は遅く落葉は早くなり、トータルとして着葉期間が短くなる傾向にあった。図-11では樹種別の比較を行った。図が煩雑になるため、現状の垂直分布に合わせ、それぞれの樹種から代表的な一林分をピックアップして比較した。コナラ林の落葉期は遅いものの、開葉期においては樹種間による違いはあまり見られず、フェノロジーの面からすれば、3樹種が標高に応じてうまく棲み分けされている様子が観測された。図-12では、コナラ林分布上限付近とミズナラ林分布下限付近、図-13ではミズナラ林分布上限付近とブナ林分布下限付近での比較を行ったものである。いずれも、分布上限に位置する樹種の開葉が遅い状況にあり、着葉期間は分布下限の樹種が優っていた。このことから推察すると、分布高度の上昇に伴い優占種の着葉期間は短くなり、このことは光合成期間を短くして群落の維持が困難になるのではないかと考えられた。結果としてコナラ林はミズナラ林へ、ミズナラ林はブナ林へと置き換わり、現在の分布域を形成しているものと思われる。

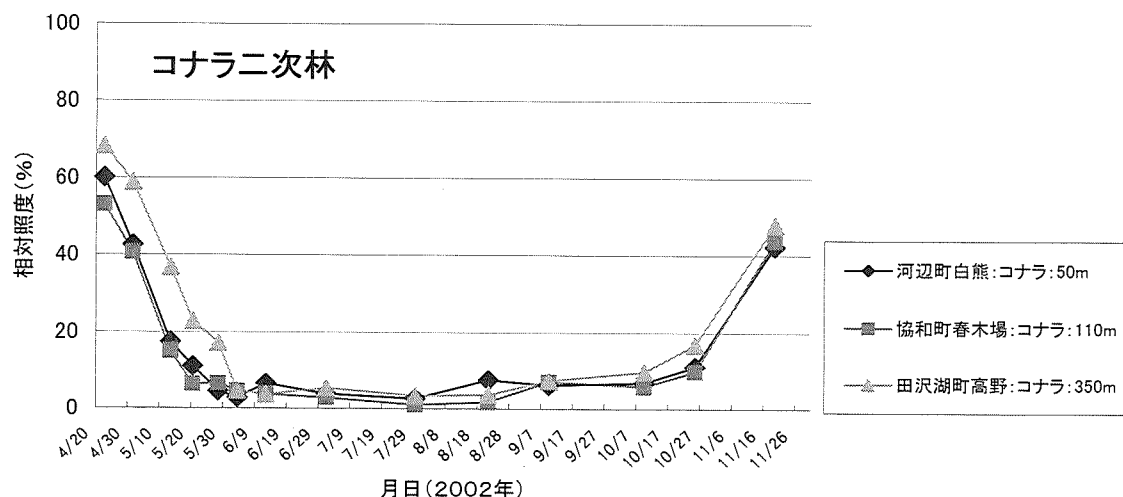


図-8 コナラ林の標高別フェノロジー

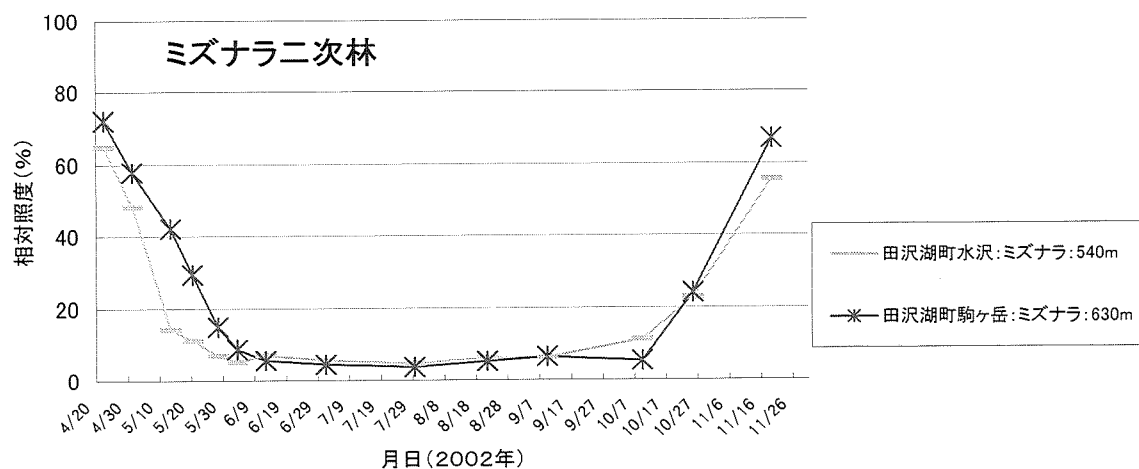


図-9 ミズナラ林の標高別フェノロジー

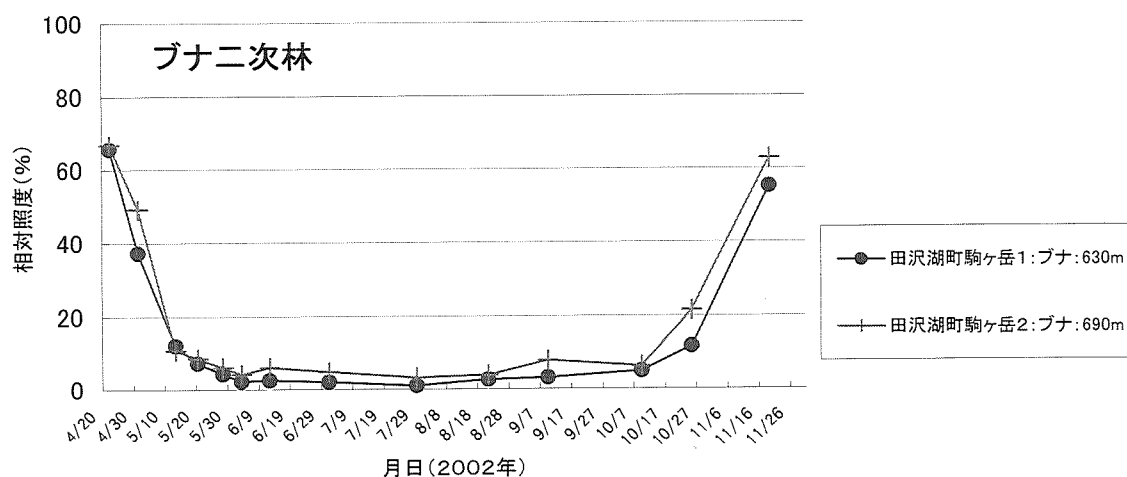


図-10 ブナ林の標高別フェノロジー

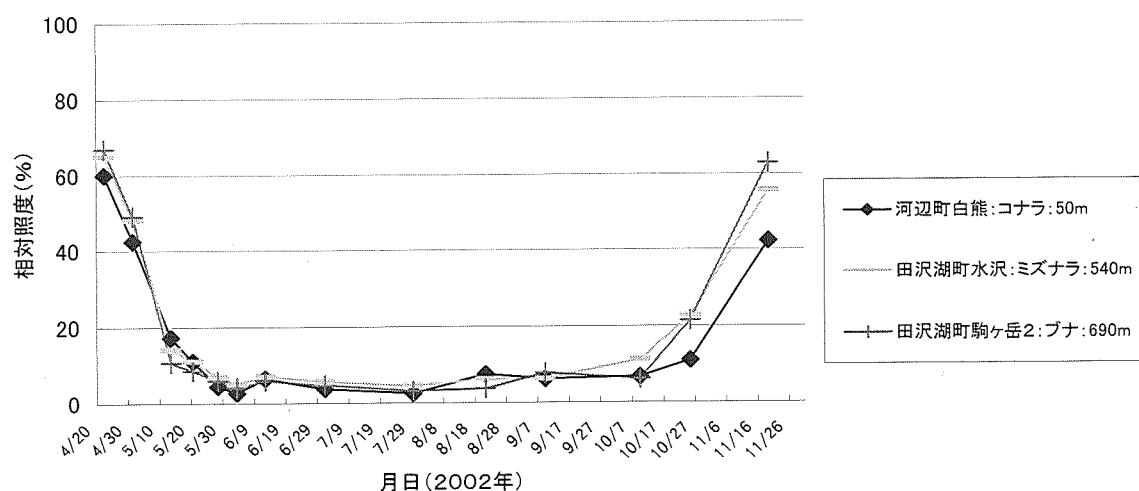


図-11 広葉樹林のフェノロジーの比較

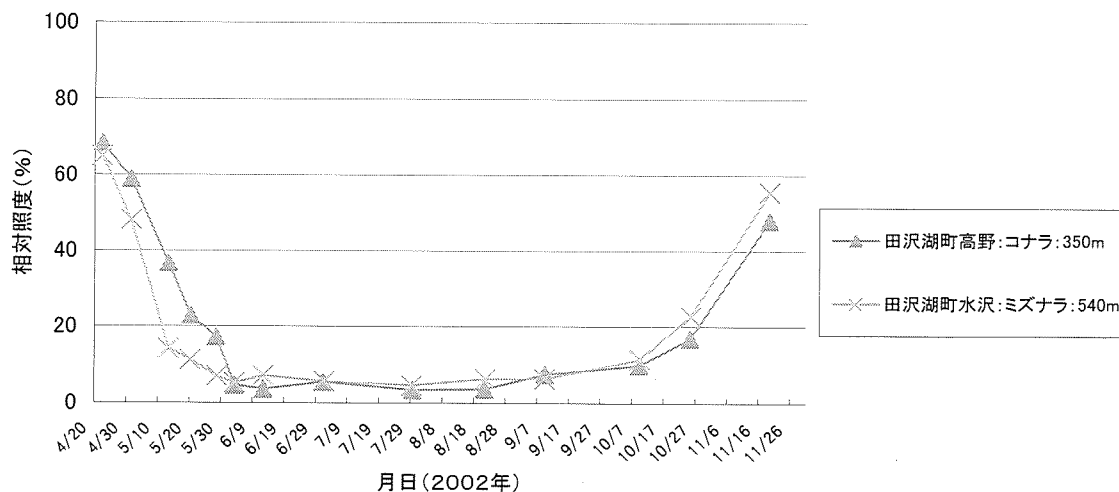


図-12 コナラ林分布上限付近とミズナラ林分布下限付近のフェノロジー比較

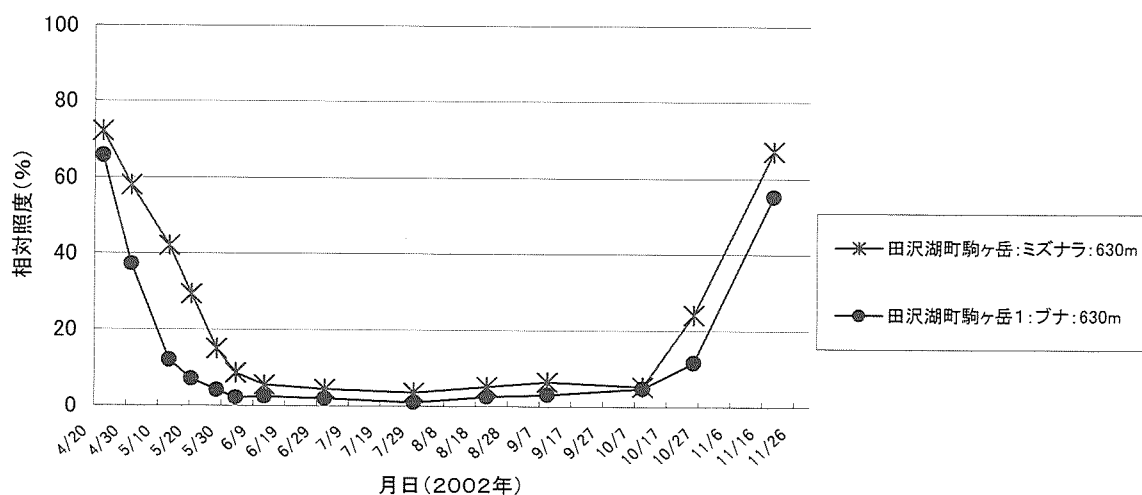


図-13 ミズナラ林分布上限付近とブナ林分布下限付近のフェノロジー比較

謝 辞

植生調査にあたっては、(有)梓環境調査研究所 白沢芳一氏、本間廣喜氏に、広葉樹林の照度測定にあたっては、元職員 金麗子さん、杉渕恭介さん、高橋学さんに協力いただいた。ここに厚くお礼申し上げる。

引用文献

- (1)秋田県農林水産部 (2003) 平成14年度版秋田県林業統計. 36.
- (2)秋田県林務部林政課 (1985) 広葉樹資源状況報告書. 1-39.
- (3)越前谷康 (1982) 秋田県民有林における主要広葉樹二次林の構造と分布 (予察). 秋田県林業センター業務報告: 73-122.
- (4)越前谷康 (1975) 計画基礎としての植生 (大滝山生活環境保全林整備計画報告書, 秋田県林務部) 6-16.

- (5)福嶋司・高砂裕之・松井哲哉・西尾孝佳・喜屋武豊・常富豊(1995)日本のブナ林群落の植物社会学的新体系. 日本生態学会誌 45:79-98.
- (6)藤森隆郎・三浦愼悟・中島清・埤田宏・金澤洋一・大河内勇・堀田庸・藤枝基久加藤隆(1996)「持続可能な森林経営」にむけて. 森林科学16:57-66. 17:51-58.
- (7)林弥栄編(1996)日本の樹木. 751pp, 山と溪谷社, 東京.
- (8)本間航介(2002)雪が育んだブナ林の森(雪山の生態学. 梶本卓也・大丸裕武・杉田久志編著, 東海大学出版会, 東京), pp.57-73.
- (9)星野義延(1998)日本のミズナラ林の植物社会学的研究. 東京農工大学農学部学術報告, 32:1-99.
- (10)石塚和雄(1977)人為作用と代償植生(群落の分布と環境. 石塚和雄編, 朝倉書店, 東京), pp.327-329.
- (11)環境庁編(1988)日本の重要な植物群落Ⅱ東北版3. 327pp
- (12)丸山幸平(1979)高木層の主要樹種間および階層間のフェノロジーの比較. 新潟大学演習林報告, 12:19-41.
- (13)宮脇昭編著(1987)日本植生誌東北. 605pp, 至文堂, 東京.
- (14)中静透・飯田滋生(1996)雑木林の種多様性(雑木林の植生管理. 亀山章編集, ソフトサイエンス社, 東京), pp.17-24
- (15)鈴木秀夫(1962)日本の気候区分. 地理学評論35:205-211.
- (16)鈴木伸一(2001)日本におけるコナラ林の群落体系. 植生学会誌18:61-74.
- (17)杉田久志(2002)バラエティ豊かな植生景観(雪山の生態学. 梶本卓也・大丸裕武・杉田久志編著, 東海大学出版会, 東京), pp.35-37.
- (18)和田覚(2003)ブナ林分はなぜ植物種数に乏しいのか. 雪と造林13. 豪雪地帯林業技術開発協議会, 9-12.
- (19)和田覚・澤田智志・石田秀雄・小坂淳一(2003)ブナ二次林の間伐効果ー秋田県田沢湖試験地の事例ー. 東北森林科学会誌 8:10-13.

キノコ菌床栽培技術の改良試験

－ 菌床シイタケ栽培技術の改良 －

山 田 尚

Improvement of technics in the sawdust cultivation for Mushroom.

－ Improvement of the cultivation methods of Shiitake (*Lentinula edodes*) －

Takashi YAMADA

要 旨

比較的経費のかからない簡易施設（パイプハウス）を利用して、菌床シイタケの増収を図るために培地材料の検討を行った。また、当センターで保有している系統の夏期発生にむけた栽培方法を開発した。

培地に粗い広葉樹チップ（以下チップとする）を容積比で5～7割添加することによって、子実体収量が増加し品質も向上した。また、ピートモスを培地調整時に添加割合を変えて混合したところ、菌床内の水分が保持され、1菌床当たりの収量も10%増加した。

保有系統の夏期発生にむけた栽培試験では、23.68℃の有効積算温度を確保できれば、7月の発生が可能であることがわかった。しかし子実体の傘の開きが早く、子実体重量が小さいため、今後品質面の改善が必要である。

なお、この研究は、平成13～15年度まで実施した県単課題「キノコ菌床栽培技術の改良試験」の一環として行ったものである。

I. はじめに

本県の菌床シイタケ栽培は年々増加傾向にあり、現在生シイタケの7割を菌床シイタケが占めている¹⁾。菌床栽培の特徴は、原木に比べ菌床が軽量であり労働力を軽減できること、施設内で計画的な生産が可能であることが挙げられる。しかし施設などの初期投資が大きく、生産者、特に個人経営の農家にとっては、設備投資をしても、それに見合う収益を上げえるかどうか問題となっている。そこで、設備にかかる経費を極力抑え初期投資の低い簡易施設（パイプハウス）を利用して、生産量を向上させるための栽培試験と、保有している系統の栽培試験を実施してきた。今回は、次の項目について検討を行った。

- A. 簡易施設栽培における培地基材の粒度に関する検討
- B. 簡易施設栽培におけるピートモス添加効果に関する検討
- C. 保有系統の夏期発生にむけた栽培方法の検討

A. 簡易施設栽培における培地基材の粒度に関する検討

1. 目的

シイタケの菌床栽培では、菌床の通気性改善とオガコの分解による変形防止を目的に、広葉樹オガコにチップを添加することが一般的となっている。シイタケ菌が分解しやすい細かい粒度のオガコを使って仕込みを行うと、菌床の仕上がりが早く短期間に集中して子実体が発生しやすい。逆に分解に時間のかかる樹種や粒度の粗いオガコを使用した場合、寿命の長い発生回数の多い菌床となる²⁾。しかし、チップの添加量が多すぎると培養日数が多くかかったり、培地の仕上がりが遅れた場合、菌床が熟度不足となり発生量が少なくなることが考えられる。そこで、簡易施設栽培における最適な培地の粒度条件を求めるため、培地基材である広葉樹オガコとチップの混合割合を検討した。

2. 材料及び方法

1) 供試菌および供試培地

供試菌は、市販品種の北研600号（株式会社北研）と当センターで保有している高温性品種（以下保存系統とする）の2系統を供試した。

供試培地は、広葉樹オガコ（K）と粒径の大きいチップ（C）を培地基材として、表-1に示す割合で混合した。その培地基材の粒度組成は、表-2に示す通りである。栄養添加剤としてフスマとコメヌカを加え、含水率を約65%に調整した後、1.2kg用の耐熱性ポリプロピレン製の袋に1.1kgずつ詰め込んだ。1培地当たりの含有量が100gとなるように栄養添加剤の調整を行った。高圧殺菌釜を用いて118℃で90分間殺菌を行い、放冷後種菌を接種した。

表-1 粒度別培地組成

試験区	(容積比)	
	チップ (C)	広葉樹オガコ (K)
K100	—	10
CK37	3	7
CK55	5	5
CK73	7	3
C100	10	—

表-2 粒径組成表

	(風乾重量比：%)			
	4.0mm 以上	4.0 μ	2.0 μ	0.7mm 未満
広葉樹オガコ (K)	15	21	26	38
チップ (C)	62	32	5	1

2) 培地の培養

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。培養期間は、2002年4月20日から9月15日までの148日間である。

3) 発生操作管理

子実体の発生操作は、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。培養の終了した菌床を栽培袋から取り出し、発生棚に展開した。1回目の収穫が完了した後、菌床を30日

間休養させ、次回発生のため浸水処理に移った。1回目の浸水処理時間は6時間、2回目は12時間である。浸水処理は2回、収穫は3回行った。収穫は菌傘の膜が切れかけた時点を目安に行い、表-3に示す規格に基づき、発生重量と発生個数を測定した。菌傘が3cm未満の子実体を規格外（SS）とした。

表-3 子実体の規格

規格	
L	傘の直径6～8cm
M	傘の直径4～6cm未満
S	傘の直径3～4cm未満

3. 結果と考察

① 北研600号

1 菌床あたりの発生量を表-4に示した。発生重量は、CK73（チップ7：広葉樹オガコ3）が最も高い発生量となり、ついでCK55、C100、CK37、K100の順となった。K100、CK37では、2回目以降、他の試験区より発生量が少なく、その結果、総重量が少なくなったと考えられる。秋発生型の自然栽培の場合は、細かいオガコに粒径の粗いチップを混合するとよいとされている³⁾。培地がゆっくり分解され、発生重量に効果がみられた培地組成は、CK55、CK73であり、チップの混合割合は5割から7割である。

1 菌床あたりの規格別発生重量割合を図-1に示した。CK73の規格内重量（S+M+L）は、197.9gと最も多く、次いでCK55の185.6gであった。CK55の発生重量は、CK73に劣るものの、規格内重量（S+M+L）が同等でありCK55も、品質的に有利な栽培に結びつく組成である。これに比較して、K100、CK37の規格内重量が少なく、特にC100においては、集中発生によるS規格の子実体が5割を占めた。この試験区は細かいオガコの割合が高いため菌床が過熟となり、小型の子実体の発生量が多くなったと考えられる。

② 保存系統

1 菌床あたりの発生量を表-5に示した。発生重量は、CK55が最も多く、ついでCK73、C100、CK37、K100の順となった。細かいオガコの割合の高いK100、CK37においては、北研600号と同様に2回目以降の発生量が少なく、その結果、総重量が低くなったと考えられる。最も発生重量の増加に効果がみられた培地組成は、CK55であった。

1 菌床あたりの規格別発生重量割合を図-2に示した。CK55の規格内重量（S+M+L）は、285.5gと最も多く、次いでCK73の209.0gであった。CK73では、上位等級であるML規格の発生量がCK55と同等であり、品質面で有利な粒度組成といえる。

両品種に共通してチップを5割以上添加することにより発生量が増加している。チップの調整は5割から7割の範囲で使うことが収量と品質の面から有効であり、菌床の過熟を防止し、発生重量の向上につながると考えられる。

表－4 粒度別栽培試験結果

－北研600号－

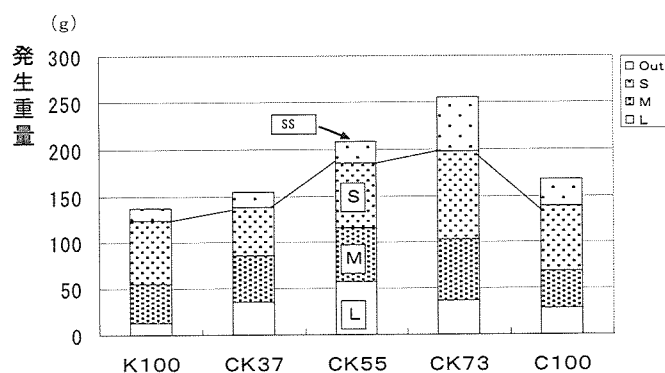
	子実体発生量			合 計
	1回目発生	2回目発生	3回目発生	
K100	95.2	35.7	20.4	151.3±43.1
CK37	82.6	38.8	33.6	155.0±43.5
CK55	170.0	88.4	27.1	285.5±52.9
CK73	107.1	68.0	34.0	209.1±60.5
C100	130.0	57.0	30.2	217.3±39.4

－保存系統－

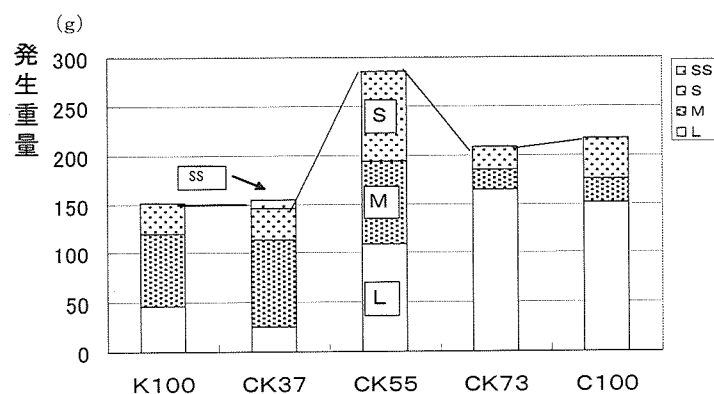
	子実体発生量			合 計
	1回目発生	2回目発生	3回目発生	
K100	95.0	32.0	10.0	137.0±23.1
CK37	86.6	49.6	18.0	154.2±23.7
CK55	114.0	63.0	31.0	208.0±37.9
CK73	144.5	75.1	35.0	254.6± 7.2
C100	105.0	60.0	3.0	168.0±59.0

図－1 規格別発生重量の比較

－北研600号－



－保存系統－



B. 簡易施設栽培におけるピートモス添加効果に関する検討

1. 目的

菌床シイタケの栽培は長期間にわたり、特にきのこの発生期間は外気と触れている時間も長く、菌床内の水分保持は安定した発生量を得るための重要な因子と考えられる。これまで、培地の乾燥防止対策として高分子吸収体ゲルが効果的であり⁴⁾、子実体発生 of 安定化につながると報告されている。

ピートモスは、「通気性」と「保水性」に優れている有機質資材で、園芸では培養土と混合して草花の用土として利用されている。そこで菌床内の水分保持を図るため、保水性が期待できるピートモスを培地調整時に添加し、その効果を検討する。

2. 材料及び方法

1) 供試菌および供試培地

供試菌は、市販品種の北研600号（株式会社北研）と河村S490号（株式会社河村食用菌研究所）の2系統を供試した。

供試培地は、表-5に示したとおりで、ピートモスを容積比で10%、20%、30%混合した3試験区と無添加区の4区を設定した。栽培袋は、1.2kg用の耐熱性ポリプロピレン製の袋を用い、培地重量は1.2kgとした。

表-5 ピートモス試験培地組成

試験区	広葉樹オガコ	ピートモス	コヌカ	(容積比)
				フスマ
無添加	50	—	3.5	1.5
10%区	45	5	3.5	1.5
20%区	40	10	3.5	1.5
30%区	35	15	3.5	1.5

2) 培養および発生条件

培養・発生条件は、試験項目Aと同様であるが、簡易施設内での培養期間は、北研600号で2002年5月6日から9月15日までの132日、河村S490号で2002年5月6日から10月15日までの162日とした。培養の終了した菌床を栽培袋から取り出し発生棚に展開した。浸水処理は2回、収穫は3回行い、浸水処理時間を8時間とした。収穫は、表-3に示す規格に基づき行った。

3) 調査項目

① 発生重量

発生重量については、ピートモス10%、20%、30%の各添加区及び広葉樹だけの菌床を対照として、収穫回数毎の発生重量と総発生重量の比較をした。

② 菌床含水率の測定

発生操作開始時（袋除後）、1回収穫後、1回浸水後、2回収穫後、2回浸水後、3回収穫後の計6回菌床の含水率を測定し、その推移を調査した。

3. 結果と考察

① 発生重量

ピートモス添加割合区毎の1菌床当たりの総発生重量を表－6に、各収穫回期毎の発生重量を図－2に示す。北研600号では、10%添加区が対照より有意に多い発生量となり、30%添加区が有意に少ない発生量となった。河村S490号では、10%添加区が対照より有意に多い発生量となり、その他の区との有意性は認められなかった。両品種とも、10%添加区において対照を上回る結果が得られ、発生重量は、多いほうから、10%添加区>対照>20%添加区>30%添加区となった。

② 菌床含水率の測定

菌床含水率の推移を図－3に示す。10%添加区は、1回収穫後から3回収穫後まで、対照よりも高い含水率で推移した。菌床シイタケの発生条件では、発生操作開始時の含水率と等しくなった場合に発生量が大きくなるという報告^{5, 6)}がある。北研600号、河村S490号とも、10%添加区では、3回収穫後まで発生操作開始時の含水率に近い範囲内で推移しており、これが良好な発生につながったと考えられる。一方、ピートモス20%添加区、30%添加区では、対照よりも発生重量が低下した。この原因としては、子実体の発生を促すための浸水処理時に吸水が進みすぎたため、菌床内の通気性が悪化し、発生重量の低下を招いたと考えられる。

以上の結果から、ピートモスの添加量が発生重量に影響することが認められた。10%添加では、良好な発生状態の維持になるが、20%以上になると発生重量低下の原因となった。したがって、菌床の発生環境を良好に維持するには、10%以内で調整する必要がある。

表－6 混合割合別栽培試験結果

－北研600号－			
	一次蔓延所要日数 (日)	子実体発生量 (g)	
無 添 加	26.5±1.2	307.7±10.8	
10%添加	26.9±1.1	332.7±25.4	※5%レベルで有意
20%添加	26.2±0.4	270.2±63.5	有意差なし
30%添加	28.3±1.5	227.3±34.2	※5%レベルで有意
－河村S490号－			
添加割合	一次蔓延所要日数 (日)	子実体発生量 (g)	
無 添 加	26.8±0.8	198.3±31.8	
10%添加	26.5±1.0	228.8±31.6	※5%レベルで有意
20%添加	27.3±1.3	168.8±34.5	有意差なし
30%添加	28.0±1.8	161.2±23.3	有意差なし

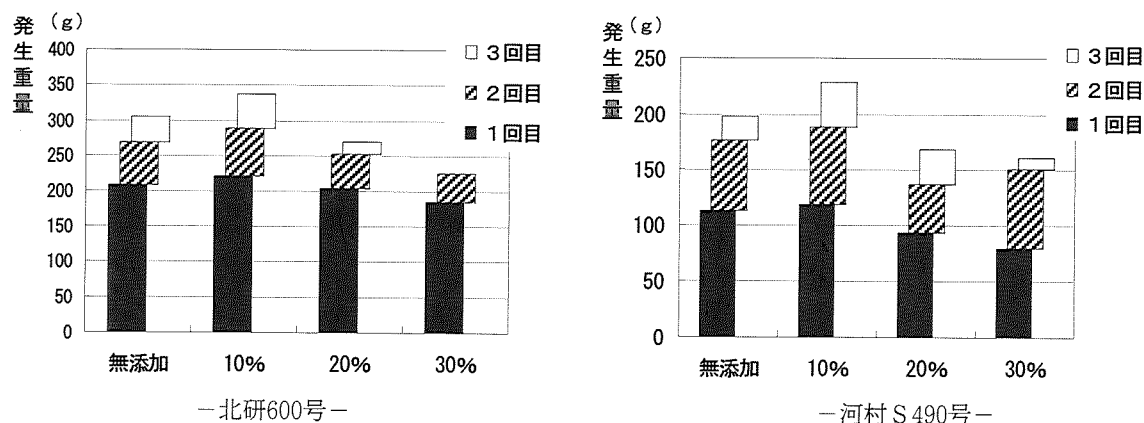


図-2 収穫回数毎の発生重量結果

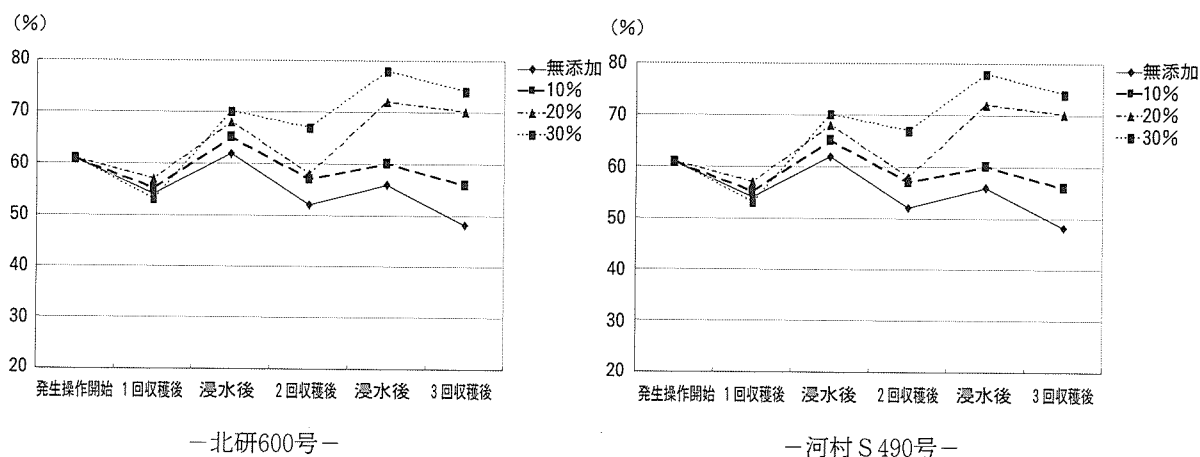


図-3 菌床含水率の推移

C. 保有系統の夏期発生にむけた栽培方法の検討

1. 目的

本県のシイタケ生産は菌床栽培で盛んに行われる¹⁾ようになり、品種も年々増加し、今では16を数える²⁾にいたった。これらの品種の持つ発生温度の違いにより、秋期(10月～翌年3月)と春期(4月～6月)のきのこの発生が安定し、生産量の着実な伸びにつながっている。このような状況にあっても、夏場にシイタケが品薄となるため、市場では高品質で安定した量を確保したいという要望が依然高い。そこで、当センターで保有している高温性品種(以下保存系統とする)による、夏場の発生に向けた最適な培養期間について検討した。

2. 材料及び方法

1) 供試菌および供試培地

供試菌は、保存系統、対照品種として市販品種の北研603号、北研608号(株式会社北研)、JMS 5 K-16(森産業株式会社)の4系統を供試した。

供試培地は、広葉樹オガコを培地基材として、栄養添加剤としてフスマとコメヌカを加え、含水率

を約65%に調整した。2.5kg用の耐熱性ポリプロピレン製の袋を使用し、培地を2.5kg詰め込んだ。栄養添加剤の含有量を、1袋当たり220gとした。高圧殺菌釜を用いて118℃で90分間殺菌を行い、放冷後種菌を接種した。

2) 培養期間の設定

培地に種菌を接種後、培養ハウス内で2002年10月3日から培養を開始し、発生操作は2003年6月1日(培養日数241日)、7月1日(培養日数271日)、8月1日(培養日数302日)に行い、3段階の培養期間を設定した。2002年12月から2003年2月までハウス内温度を5℃とした。

6月は対照品種に北研603号とJMS5K-16の2系統を、7月は対照品種にJMS5K-16を、8月は対照品種に北研608号を用い保存系統と比較した。

3) 発生条件

培養の終えた菌床を栽培袋から取り出し発生棚に展開した。浸水処理は4回、収穫は5回行い浸水処理時間を8時間とした。収穫を終えてから浸水処理までの期間は30日である。収穫は、菌傘の膜が切れかけた時点を目安に行った。

4) 調査項目

① 発生量調査

各培養期間の子実体総重量、1個当たり重量、発生個数を調査した。なお、発生個数は表-3に示した規格に基づいて行った。

② 子実体の形状測定

保存系統、北研603号、JMS5K-16の3系統について図-4に示すように、茎長、茎径、肉厚、ひだ厚と子実体重量を測定した。L、M、S規格毎に、L規格は傘の直径が、5.0~5.5cm、M規格は4.0~4.5cm、S規格は3.0~3.5cmとし、各規格の子実体を10個体抽出し、測定比較した。

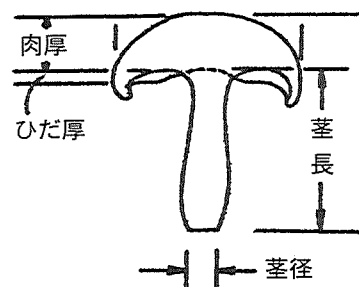


図-4 子実体測定部位

③ 有効積算温度の測定

2002年10月3日から前述の2)で設定した時点(発生操作)までの培養ハウス内の最高温度と最低温度を測定し、有効積算温度を求めた。

3. 結果と考察

① 発生量調査

i) 6月発生

栽培試験の結果(表-7, 図-5), 保存系統と対照品種2系統(JMS5K-16, 北研603号)を比較すると、発生量の多い順から、JMS5K-16, 保存系統, 北研603号で、1菌床当たりの発生個数は、保存系統, 北研603号, JMS5K-16の順であった。保存系統の規格内個数(L+M+S)は、JMS5K-16よりも多かったが、きのこ1個当たりの重量は下回った。

ii) 7 月発生

栽培試験の結果(表-8, 図-6), 保存系統は, 重量, 1 菌床当たり個数, 規格個数とも対照品種(JMS 5 K-16)を上回った。きのこ 1 個当たりの重量で下回っているものの, 規格別個数では, L が1.4倍, M が2.1倍, S が2.4倍, 全体で約 2 倍の規格内個数が得られた。

iii) 8 月発生

栽培試験結果(表-9, 図-7)では, 北研608号が重量, 1 菌床当たり重量, 規格個数とも保存系統を上回った。保存系統は, 1 菌床当たりの個数で上回ったものの, 規格外の子実体が多かった。

表-7, 図-5 6 月発生操作開始時試験結果

品 種	総重量 (g)	1 菌床当たり 個数 (個)	きのこ 1 個当たり 重量 (g)	規 格 (個)				規格外
				L	M	S	SS	
6 月	保存系統	556.6	35.0	15.9	5.0	5.8	7.6	16.6
	5 K16	594.2	29.4	20.2	6.0	3.0	6.6	13.8
	H603	495.4	32.8	15.1	3.0	3.0	6.8	20.0

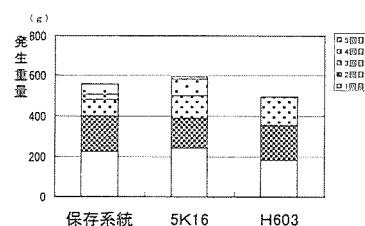


表-8, 図-6 7 月発生操作開始時試験結果

品 種	総重量 (g)	1 菌床当たり 個数 (個)	きのこ 1 個当たり 重量 (g)	規 格 (個)				規格外
				L	M	S	SS	
7 月	保存系統	711.0	51.6	13.8	9.4	9.2	13.0	20.0
	5 K16	564.0	27.4	20.5	6.8	4.3	5.5	10.8

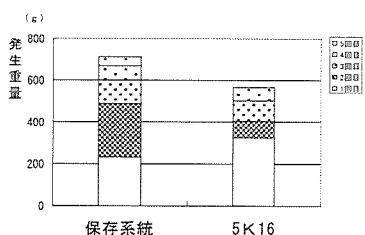
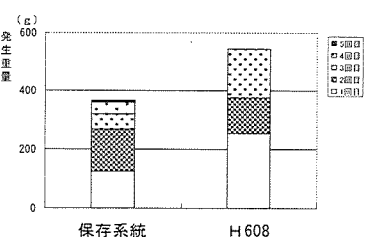


表-9, 図-7 8 月発生操作開始時試験結果

品 種	総重量 (g)	1 菌床当たり 個数 (個)	きのこ 1 個当たり 重量 (g)	規 格 (個)				規格外
				L	M	S	SS	
8 月	保存系統	367.2	35.8	10.3	2.1	2.7	5.3	25.7
	H608	543.3	32.1	16.9	5.3	5.3	7.5	14.0



② 子実体の形状測定

子実体の形状の測定値結果を表-10に示す。L規格の肉厚, S規格のひだ厚は, 対照品種と同等の測定値を示しており, 特に, M規格のひだ厚では対照品種を上回っている。1 個当たりの子実体重量は, 全規格とも対照品種より軽く, 最少で2.6 g, 最大で3.7 gの差が認められる。子実体の発生重量が増加するにつれて, 茎長も増加して変化する⁸⁾ことが明らかにされており, 今回の結果では茎長が低い値を示しており, これが子実体重量を小さくしている要因の一つと考えられる。

表-10 子実体形状測定値

規格	品 種	茎長 (cm)	茎径 (cm)	肉厚 (cm)	ひだ厚 (cm)	重量 (g)
L	北研603号	4.6±0.2	1.4±0.1	1.4±0.2	0.4±0.1	25.0±4.2
	JMS 5 K-16	5.4±0.5	1.5±0.3	1.4±0.1	0.2±0	24.3±4.9
	保存系統	4.4±1.2	1.3±0.3	1.4±0.1	0.3±0.2	21.3±0.6
M	北研603号	3.7±0.3	1.3±0.2	1.2±0.2	0.2±0	15.0±3.0
	JMS 5 K-16	4.8±0.3	1.5±0.1	1.1±0.1	0.1±0.1	15.8±2.9
	保存系統	3.7±0.8	1.1±0.1	1.1±0.1	0.3±0.2	13.2±2.2
S	北研603号	3.1±0.2	1.1±0.2	1.0±0.1	0.2±0.1	11.4±0.9
	JMS 5 K-16	3.7±0.3	1.4±0.2	0.8±0.1	0.2±0.1	10.0±1.4
	保存系統	2.8±0.4	1.1±0.2	0.9±0.2	0.2±0.1	8.1±1.8

③ 有効積算温度の測定

図-8 に示すように、2002年10月3日から培養を開始した有効積算温度は、6月1日で1,724℃、7月1日で2,368℃、8月1日で3,075℃となった。

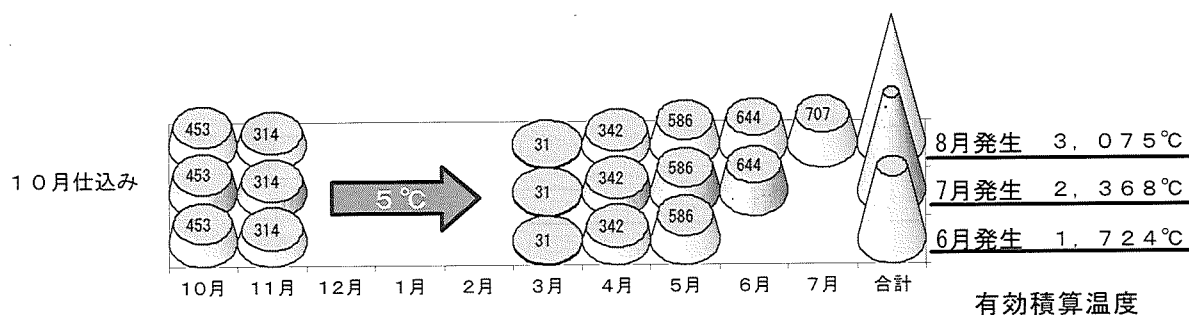


図-8 培養期間別の有効積算温度

前年の10月に培地を仕込み一次蔓延を完了させた場合、翌年の7月に発生操作を行うことにより、発生重量、規格内個数ともに多い結果が得られた。培地の有効積算温度の観点からは、2,368℃を目安に培養日数を設定する必要がある。3,075℃までの積算温度では、子実体が小型化し規格外の比率が高くなるため、2,368℃を超える過剰の培養を控える必要がある。

品質面では、全規格に共通して子実体1個当たりの重量が小さくなった。また、表-11に示すように収穫までの日数が対照品種より短く、傘が開きやすい系統といえる。現在、傘の開きが遅く、1個当たりの重量の大きいのが求められている。今後、添加剤の種類、発生の管理方法などを検討し、傘の開きを極力抑え、重量を増加させ品質改善を図る必要がある。

表-11 6月発生時の収穫所要日数

品 種	所要日数 (日)
保有系統	10.1 ± 0.2
JMS 5 K-16	12.9 ± 1.8
北研603号	13.0 ± 1.0

IV. おわりに

生産量の向上を目的に、培地基材の粒度の改善と安定した発生を維持するためのピートモス添加効果について栽培試験を実施してきた。一方各地では、培地に添加する従来の栄養添加剤のコメヌカ、フスマ等の代替えとして、コーンスターチ製造時の副産物であるコーンステープリカー⁹⁾、カニ殻粉末¹⁰⁾、使用済みエリスリトール生産酵母¹¹⁾、ワカメ乾燥粉末¹²⁾を、培地基材の面では、従来の広葉樹オガコの代替えとしてケナフ¹³⁾、カキやナシのせん定枝¹⁴⁾を用いた栽培試験が行われている。今後もしばらく、生産量の向上と培地コストの低減化を目標に、未利用広葉樹の有効活用と副産物として排出される食品残渣等を利用したきのこ栽培に取り組んでいきたい。

引用文献

- (1) 秋田県農林水産部 (2003) 秋田の特用林産物平成15年秋田県版 (2004) : 3-4.
- (2) 井上貞行 (1993) 菌床の仕込み. 菌床シイタケの作り方. 大森清寿 (編). (社) 農村漁村文化協会 : 80.
- (3) 井上貞行 (1993) 菌床の仕込み. 菌床シイタケの作り方. 大森清寿 (編). (社) 農村漁村文化協会 : 78.
- (4) 竹原太賀司・笠原 航 (2001) シイタケ, ナメコ等の栽培に関する研究. 福島県林業研究センター業務報告 : 70-71.
- (5) 阿部正範 (1995) シイタケ菌床栽培における浸水時間が子実体の発生に及ぼす影響 (第1報). 徳林総研報第33号 : 21-25.
- (6) 阿部正範 (1996) シイタケ菌床栽培における浸水時間が子実体の発生に及ぼす影響 (第2報). 徳林総研報第34号 : 13-18.
- (7) 全国食用種菌協会 (2004) きのこと種菌一覧/2004年版 : 2-28.
- (8) 福田知明 (2002) シイタケ子実体の特性. 埼玉農研研報 (2) : 143-146
- (9) 阿部正範 (2000) シイタケ菌床栽培における有機性廃棄物コーンステープリカー (CSL) の添加効果. 徳林総研報第38号 : 21-24.
- (10) 高畠幸司・佐野友康 (2004) カニ殻粉末を利用したシイタケ菌床栽培. 富林技研報17 : 10-13.
- (11) 関谷敦・馬替由美・植竹法子・西田清隆 (1998) エリスリトール生産酵母のヒラタケ栽培への応用. 日本応用きのこ学会. vol. 6 : 101-106.
- (12) 阿部正範 (2003) シイタケ菌床栽培におけるワカメ乾燥粉末の添加効果. 徳林総研報第2号 : 13-16.
- (13) 坂田努 (2002) ケナフを利用したシイタケの菌床栽培. 広島県林技研報34 : 25-32.
- (14) 高尾宏毅 (2003) せん定枝によるシイタケ栽培試験. 愛知県森林・林業技術センター報告 No. 40 : 58-59.

研 究 報 告（第13号）

平成16年6月発行

編 集 編集委員長 高橋 正治
編 集 委 員 近藤吉久，三浦義之，伊藤精二
発 行 秋田県河辺郡河辺町戸島字井戸尻台47-2
秋 田 県 森 林 技 術 セ ン タ ー
郵便番号 019-2611
T E L 018-882-4511
F A X 018-882-4443
U R L <http://www.pref.akita.jp/morigi/index.htm>
e-mail : forest-c@pref.akita.lg.jp
印 刷 株式会社 三 戸 印 刷 所

BULLETIN
of
THE AKITA PREFECTURE FOREST TECHNOLOGY CENTER

No.13 2004. 6

contents

- Progeny test plantation project..... Takashi YATABE 1 ~ 8
- Micropropagation of the useful mountain plants in Akita prefecture
Yoh SASAKI, Hirofumi SATO, Makio OHI 9 ~ 28
- Development of utilization of new types of mushroom resources and production technology.
Prevention of N-methylnitrosourea induced colon carcinogenesis by *Meripilus giganteus* in rats.
Fuyuki SUGAWARA • Tomio NARISAWA 29 ~ 37
- Development of utilization of new types of mushroom resources and production technology.
Effect of amino acids on primordial initiation of fruit-body in *Favolus arcularius*.
Fuyuki SUGAWARA • Osamu TANAKA 39 ~ 51
- Development of utilization of new types of mushroom resources and production technology.
Establishment of a transgenic mushroom and cell fusion of transgenic hyphae.
Fuyuki SUGAWARA • Osamu TANAKA 53 ~ 64
- Research on the Establishment of the Forestry of Long-term Cutting
of Sugi (*Cryptomeria japonica*) Stands. Satoshi SAWATA 65 ~ 88
- Thinning experiment in a *Fagus crenata* secondary forest.
Satoru WADA • Satoshi SAWATA • Hideo ISHIDA • Jun-ichi KOSAKA 89 ~ 96
- Species composition and phenology of broad-leaved secondary forests in Akita Prefecture
Satoru WADA 97 ~ 112
- Improvement of technics in the sawdust cultivation for Mushroom.
—Improvement of the cultivation methods of Shiitake (*Lentinula edodes*) —
Takashi YAMADA 113 ~ 123