

四国地方におけるテーダマツとスラッシュマツの生長経過について (1)

樹高生長の分析と材積表の調製

吉田 実⁽¹⁾・都築和夫⁽²⁾・佐竹和夫⁽³⁾

Minoru YOSHIDA, Kazuo TSUZUKI and Kazuo SATAKE : On the Growing
Process of Loblolly Pine and Slash Pine planted in the Shikoku Region
Part 1. Height growth and preparation of the volume
tables for standing trees

要 旨：本研究は、四国地方における外国マツの現地適応試験の一環として生長、立地条件に関する資料の収集と分析、材積表の作成、および諸被害に対する抵抗性を究明したものである。

研究資料は高知営林局管内の3か所に植栽されたスラッシュマツと、うち2か所に植栽されたテーダマツについて行った。

まず、スラッシュマツ、テーダマツの幼齢時の樹高生長は、風衝地に位置するものの、風害による影響の大きいことが判明するとともに、それにもまして植栽地の地位の良否が樹高生長に大きく影響していて、国内産のマツよりも、土地に対する要求度の強いことが判明した。

つぎに、テーダマツ、スラッシュマツの材積と、アカマツ材積表の適合度の検定をおこなった結果いずれも適合性の悪いことが分ったので、新たな材積表を樹種別に作成した。作成されたスラッシュマツの材積表はアカマツ材積表より若干小さく、テーダマツ材積表はアカマツ材積表より若干大きかった。

さらに、被害については両樹種とも、風害、雪害にかかりやすいが、虫害、病害としては罹害の現象は認められたが現在までのところ、被害はほとんど認められず、野そおよび野による食害や寒害による被害も認められなかった。

目 次

はじめに	2
I 試験地の概要	2
1. 円山試験地	6
2. 松の川道の川谷山試験地	7
3. 須川山試験地	11
II 樹高生長	14
1. 幼齢林の樹高生長	14
2. 樹幹析解による幼齢林の樹高曲線の推定	17
3. 3試験地の直径—樹高曲線の比較	18
4. 3試験地と他試験地の樹高の比較	20
III 立木材積表の作成	21
1. 適用材積表の検討	21
2. 材積表の調製	21
IV 被害	26
1. 風害	26

2. テーダマツとスラッシュマツの根系調査	26
3. 雪 害	29
4. 病, 虫, 獣および寒害	30
V 要 約	31
1. 樹高生長の分析	31
2. 立木材積表の作成	31
3. 被 害	32
引 用 文 献	33
Summary	34

は じ め に

四国地方の低山地帯には生産性の低い林分が多く、このような地帯での木材生産の増大を図るため、生長が早く短期間に量生産の期待できる樹種として、外国産マツのスラッシュマツ (*Slash pine, Pinus elliottii* ENGELM. var. *elliottii*) とテーダマツ (*Loblolly pine, Pinus taeda* L.) が研究対象樹種として選定された。

この研究は、林業試験場四国支場と高知営林局とが、テーマ「外国産マツ類の導入試験」で共同研究を行ってきた。そのため、同営林局管内の3か所に設定された試験地は、スラッシュマツとテーダマツを1,000本区～4,000本区の4種の植栽密度区別に設定した須川山、スラッシュマツは植栽密度区別に設定し、テーダマツは3,000本区のみを設定した松の川道の川谷山、スラッシュマツのみを植栽密度区別に設定した円山の各試験地からなっていて、これらの試験地について1961年から1975年の15年間にわたって共同試験を行った。

研究成果の報告にあたっては、これら試験地の樹種別材積表の調製、および生長解析を中心にまとめたが、報告資料がぼう大になったため、本報告では第1報として、スラッシュマツとテーダマツの試験地の概要と、樹高生長の分析、材積表の調製、被害関係について報告し、後日第2報として生長論について報告する予定である。さらに、林分の生長にともなって、施業法の解明を行いたいと思っている。

終わりに共同試験をすすめてきた高知営林局の歴代担当者、および試験地を設定し、調査管理にご協力を賜った方々に対し、また、当支場の場長はじめ各研究室のそれぞれの専門分野から貴重なご助言、ご指導を賜った方々に対し、お礼を申し上げます。

なお、保護に関する項目のうち、病害については現林業試験場東北支場保護部樹病研究室長 陳野好之氏が、虫害については現林業試験場四国支場保護研究室長 越智鬼志夫氏が調査を担当した。

I 試験地の概要

本研究で対象とした3試験地の概況と位置は、Table 1 と Fig. 1 に示すとおりである。

円山試験地は、四国瀬戸内海側の愛媛県西条営林署管内に、また、他の2試験地はいずれも太平洋側の高知県にあって、そのうち、須川山試験地は奈半利営林署管内に、松の川道の川谷山は須崎営林署管内に、それぞれ位置している。

また、植栽樹種としては、円山試験地にスラッシュマツだけが植栽され、須川山試験地と松の川道の川谷山試験地には、スラッシュマツとテーダマツが植栽されている。

Table 1. 試験地の位置, 面積, 樹種
Position, area and species of experimental forest

試験地名 Name of experimental forest	樹種 Species	面積 Area (ha)	植栽年月 Planted year	行政上の位置 Administrative position	国有林内の位置 Position of experi- mental forest in the national forest
須川山 Sugawa-yama	スラッシュマツ Slash pine	0.892	1954年2月	高知県安芸郡奈半利 町米が岡 Nahari, Aki, Kochi Pref.	高知営林局奈半利営 林署20林班と小班 No. 20th Forest Block, Nahari District Office, Kochi Regional
	テーダマツ Loblolly pine	2.539			
円山 En-zan	スラッシュマツ Slash pine	2.47	1961年3月	愛媛県西条市黒瀬 Kurose, Saijo, Ehime Pref.	高知営林局西条営林 署64林班か小班 No. 64th Forest Block, Saijo District Office, Kochi Regional
松の川道の川 谷山 Matsunokawa- yama	スラッシュマツ Slash pine	1.75	1961年3月	高知県高岡郡中土佐 町久礼 Tosa, Takaoka, Kochi Pref.	高知営林局須崎営林 署48林班と小班 No. 48th Forest Block, Susaki District Office, Kochi Regional
	テーダマツ Loblolly pine	0.93			



Fig. 1 外国産マツ試験地位置図

Location map of experimental forests for loblolly pine and slash pine in Shikoku Region.

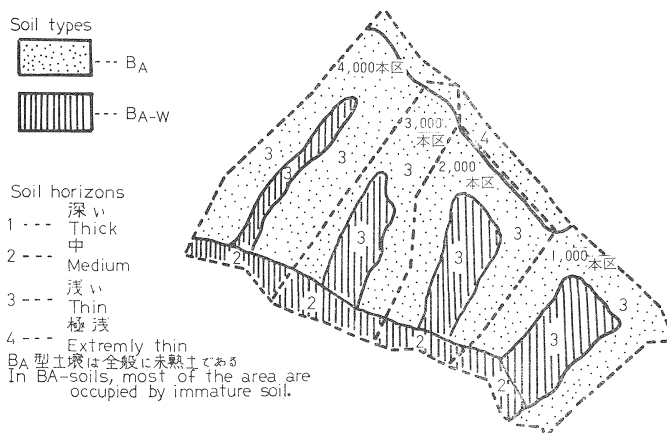


Fig. 2 西条営林署管内円山試験地土壌図

Soil map of En-zan Experimental Forest.

Table 2. 円山試験
Item of En-zan

樹種 Species	植栽年月 Planting date	植栽密度 本数/ha Planting density number/ha (本)	面積 Area (ha)	原植本数 Number of original planting trees (本)	標準地面積 Area of sample plots (ha)	標準地本数 Number of trees in sample plots (本)
スラッシュマツ Slash pine	1961年3月 Mar. 1961	1,000	0.617	673	0.0908	72
		—	—	—	0.0915	92
		2,000	0.621	1,251	0.1151	152
		—	—	—	0.0961	158
		3,000	0.500	1,650	0.1378	342
		—	—	—	0.1289	276
		4,000	0.731	2,982	0.1439	390
		—	—	—	0.1386	448
		計 Total	2,469	6,556	0.9427	1,930

Table 3. 活着状況調査の結果
Number of survived seedlings

樹種 Species	植栽密度 Planting density (本)	原植本数 Original number of trees (本)	枯損木 Dead trees			
			第1回調査 1st investigation		第2回調査 2nd investigation	
			本数 Number of trees (本)	率 Ratio (%)	本数 Number of trees (本)	率 Ratio (%)
スラッシュマツ Slash pine	1,000	673	135	20	15	3
	2,000	1,251	217	17	5	0.5
	3,000	1,650	351	21	0	0
	4,000	2,982	1,055	35	0	0
	計 Total	6,556	1,758	27	20	0.4

注) 補植苗は種子の産地、育苗地、育苗年数、育苗取扱ともすべて原植苗木と同じものである。

地 の 内 訳

Experimental Forest

標準地 ha 当り本数 Number of trees/ha in sample plots (本)	概 準 地 名 Name of sample plots	施 業 別 Operation	備 考 Remark
793 1,005	上 Upper 1,000 下 Lower 1,000	未 定 Undecided	標準地設定 1974年 3 月 Sample plots were established in Mar. 1974.
1,321 1,644	上 Upper 2,000 下 Lower 2,000		
2,482 2,141	上 Upper 3,000 下 Lower 3,000		
2,710 3,232	上 Upper 4,000 下 Lower 4,000		
—			

と 補 植 本 数 (円 山 試 験 地)
and replanted (En-zan)

計 Total		補 植 本 数 Number of replanted seedlings (本)	補 植 後 の 本 数 Number of trees after replanting		備 考 Remark
本 数 Number of trees (本)	率 Ratio (%)		本 数 Number of trees (本)	回 復 率 Percentage of recovery (%)	
150	22	150	673	100	第 1 回調査 1961年 9 月 1st investigation in Sep. 1961
222	18	222	1,251	100	
351	21	350	1,649	100	第 2 回調査 1962年 3 月 2nd investigation in March 1962
1,055	35	1,003	2,930	98	
1,778	27	1,723	6,503	99	補 植 1962年 3 月 Replanting in March 1962

Note) The same seedlings as the original plantings were used as replanted seedlings.

1. 円山試験地

1.1 試験地の立地

円山試験地は愛媛県西条市黒瀬にあって、西条営林署円山国有林64林班か小班の海拔高100~160mの範囲に位置し、方位は南東に面し、波状起伏の少ない急傾斜地で、傾斜30°~40°の範囲にある。

地質は中世層和泉層群に属し、母材は砂岩、頁岩である。

土壌は Fig. 2 のように残積土で、BaEr 型土壌が最も広く分布し、一部に BbEr 型土壌が分布している。

気象は年間降水量が1,664mmで、年平均気温は15.8°C、最低気温は-5.0°C、最高気温は34.0°Cである。霜は11月中旬~3月下旬に降り、常風は西風である。

1.2 試験地の概況

この試験地には1961年3月にスラッシュマツが植栽され、Table 2 および Fig. 2 に示すように1,000本区、2,000本区、3,000本区、4,000本区の4種の植栽密度区が設定された。

(1) 活着状態

植栽年の秋の1961年9月と植栽後満1年経過した1962年3月の2回にわたって活着調査が行われた。活着調査を2回にわたって行った理由は、スラッシュマツがわが国において造林された経験は少なく、枯損の原因が植付け作業によるのか、その後の林地の状態に由来するのかを明らかにしていくためである。調査結果は Table 3 のとおりである。

1回目の活着調査で、平均20%以上の枯損が生じ、補植の必要が認められたのでこの調査の終了と同時に補植を行った。

Table 4. 円山試験地の調査結果
Investigation of En-zan Experimental Forest

設定時ha当り 植栽密度 Original planting density per ha	標準地 Sample plots		平均直径 Average diameter (cm)	平均樹高 Average height (m)	優勢木 Average height of dominant trees (m)	本数 Number of trees		材積 Volume	
	区分 Section of sample plot	面積 Area (m ²)				標準地 Sample plots (本)	ha当り Per ha (本)	標準地 Sample plots (m ³)	ha当り Per ha (m ³)
1,000本	上区 Upper plot	908	8.9	6.8	8.9	72	793	2,085	22,966
	下区 Lower plot	915	8.5	5.6	8.1	92	1,005	2,164	23,658
2,000本	上区 Upper plot	1,151	8.6	6.0	8.7	152	1,321	3,878	33,696
	下区 Lower plot	961	8.6	6.0	8.4	158	1,644	3,884	40,417
3,000本	上区 Upper plot	1,378	6.5	5.1	7.7	342	2,482	4,729	34,318
	下区 Lower plot	1,289	6.3	4.8	7.5	276	2,141	3,440	26,694
4,000本	上区 Upper plot	1,439	5.2	4.6	7.5	390	2,710	3,474	24,142
	下区 Lower plot	1,386	5.7	4.8	7.2	448	3,232	4,546	32,806

それは、当時国有林では植栽後1年以内に苗木に20%以上の枯損が生じた場合、補植をおこなうことになっていたからである。

なお、円山試験地のスラッシュマツの4,000本区で35%の高い枯損率が生じたのは、苗木が2回に分けて送付されたもののうち、1回目のものは衰弱がひどく、これが多量に植えられたためと思われる。

さらに円山試験地では、秋から春にかけて枯損した苗木はほとんどみられなかったし、寒風害による被害もなかった。

(2) 調査方法

この試験地には1,000本区～4,000本区の4種の植栽区が存在しているが、1966年には2,000本区、3,000本区、4,000本区の各植栽密度区に、間伐区と無間伐区を設定した。1968年2月の表日本一帯を襲った大雪のため、全立木の82.7%が傾倒し、1.3%が折損する被害を受けたが、外国マツの資料を収集していくため、一応試験地として存続することを決定し、被害発生後ただちに傾倒木の起こし作業を行い、そのほとんどを正常な立木状態に回復させることができた。その後は枯損等の被害も起こらず、試験地として継続することが可能と判断されたので、1974年3月の林齢13年生の時、各植栽密度区に、山頂から山麓にかけて幅10mの带状標準地をそれぞれ2本、Table 4, Fig. 3のように設定した。

2. 松の川道の川谷山試験地

2.1 試験地の立地

松の川道の川谷山試験地は、高知県高岡郡土佐町久礼にあって、須崎営林署管内松の川道の川谷山国有林48林班と小班の海拔高200～380mの範囲に位置し、方位は北東に面し、全体的に傾斜は急だが、一部には傾斜の緩やかな所もある。

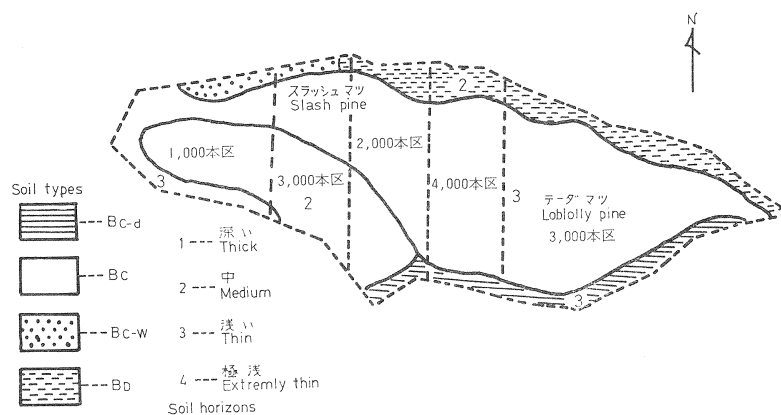


Fig. 4 須崎営林署管内松の川道の川谷山試験地土壌図
Soil map of Matsunokawa-yama Forest.

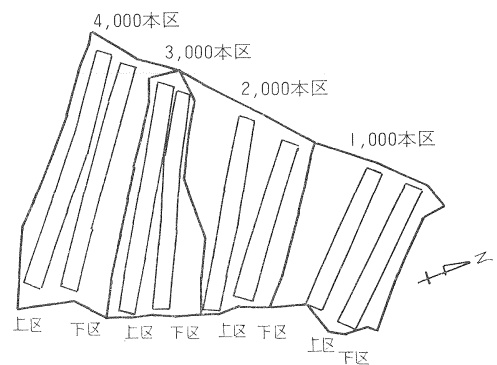


Fig. 3 円山試験地とベルト状標準地の配置図
Location of sample plots in En-zan
Experimental Forest.

Table 5. 松の川道の川谷山試験地の内訳
Item of Matsunokawa-yama Experimental Forest

樹 種 Species	植 栽 年 月 Planting date	植栽密度 本 数/ha Planting density Number/ ha (本)	面 積 Area (ha)	原植本数 Number of original planting trees (本)	標準地面積 Area of sample plots (ha)	標準地本数 Number of trees in sample plots (本)	標準地 ha 当り本数 Number of trees/ha in sample plots (本)	標準地名 Name of sample plots	施 業 別 Operation	備 考 Remark
テーダマツ Loblolly pine	1961年3月 Mar. 1961	3,000	0.934	2,810	—	—	—	—	未 定 Undecided	テーダマツには標準地は設定していない。 No sample plot for loblolly pine
スラッシュマツ Slash pine		1,000	0.400	390	0.0314	22	700	5		標準地設定 1972年3月 Sample plots were established in Mar. 1972
		—	—	—	0.0314	19	605	6		
		2,000	0.553	998	0.0314	40	1,273	1		
		—	—	—	0.0201	20	995	2		
		3,000	0.398	1,031	0.0314	49	1,560	3		
		—	—	—	0.0314	52	1,656	4		
4,000		0.400	1,334	0.0314	39	1,242	7			
—	—	—	0.0126	26	2,063	8				
		計 Total	1.751	3,753	0.2211	267				

地質は中世層須崎層に属し、母材は砂岩、頁岩である。

土壌型は Fig. 4 に示すように、峰筋には Ba 型の残積土、中腹は Bc 型の衝行土、山麓は Bd-(d)、または Bc 型の崩積土が分布している。

気象は年間降水量が 3,015 mm で、年平均気温は 16.8°C、最低気温は -4.0°C、最高気温は 33.8°C である。霜は 11 月中旬～3 月下旬に降り、常風は西風である。

2.2 試験地の概況

この試験地は 1961 年 1 月に設定され、樹種としてスラッシュマツとテーダマツが植栽され、Table 5 のようにスラッシュマツは 1,000 本区、2,000 本区、3,000 本区、4,000 本区の 4 種の植栽密度区が設定されているが、テーダマツは 3,000 本区だけである。

(1) 活着状態

さきにのべた円山試験地と同時期に活着調査を行った。調査結果は Table 6 のとおりである。

なお、この表には 1962 年 3 月に行った補植の内訳も記載してある。

横尾¹⁾の行った造林試験の例では、テーダマツの活着率は 50% 以下で、比較的活着が困難な樹種であるといわれている。

しかし、この試験地でのテーダマツの 1 回目の活着調査の枯損率は 9% で、補植は行われなかった。

また、スラッシュマツはこの試験地で、1 回目の活着調査で平均 20% 以上の枯損が生じ、補植の必要が認められたので、この調査の終了と同時に補植を行った。

このように、テーダマツは枯損率 9% という比較的高い活着率がみられたのに対し、スラッシュマツでは 20% 以上の枯損が生じた。

また、秋から春にかけてスラッシュマツの枯損した苗木は、円山試験地ではほとんどみられなかったが、松の川道の川谷山試験地では 5～16% に達した。

Table 6. 活着状況調査の結果と補植本数(松の川道の川谷山)
Number of survived seedling and replanted (Matsunokawa-yama)

樹 種 Species	植栽密度 Plant- ing density (本)	原植本数 Original number of trees (本)	枯 損 木 Dead trees						補植本数 Number of re- planted seedling (本)	補植後の本数 Number of trees after replanting	
			第 1 回調査 1st investigation		第 2 回調査 2nd investigation		計 Total			本 数 Number of trees (本)	回復率 Per- centage of re- covery (%)
			本 数 Number of trees (本)	率 Ratio (%)	本 数 Number of trees (本)	率 Ratio (%)	本 数 Number of trees (本)	率 Ratio (%)			
テーダマツ Loblolly pine	3,000	2,810	253	9	調査せず		253	9	0	2,557	91
スラッシュ マツ Slash pine	1,000	390	108	28	44	16	152	39	135	373	96
	2,000	998	222	22	45	6	267	27	242	973	97
	3,000	1,031	241	23	62	8	303	29	265	993	96
	4,000	1,334	322	24	45	5	367	28	350	1,317	99
	計 Total	3,753	893	24	196	7	1,089	29	992	3,656	97

Table 7. 松の川道の川谷山試験地における標準地の調査結果
Investigation of sample plot in Matsunokawa-yama Experimental Forest

No.	標準地 Sample plot			スラッシュマツ Slash pine						アカマツ Japanese red pine				合計 Total		標準地内スラッシュマツの被害木数 Number of damaged trees in sample plots of slash pine	
	設定時 ha 当り 植栽密度 Original planting density per ha	形状 Form	面積 Area (m ²)	平均直径 Aver- age diameter (cm)	平均樹高 Aver- age height (m)	本数 Number of trees		材積 Volume		平均直径 Aver- age diameter (cm)	平均樹高 Aver- age height (m)	本数 Number of trees		ha 当り Per ha		傾斜木 本数 Slanted trees (本)	傾斜木 割合 Ratio (%)
						標準地 Sample plots (本)	ha 当り Per ha (本)	標準地 Sample plots (m ³)	ha 当り Per ha (m ³)			標準地 Sample plots (本)	ha 当り Per ha (本)	本数 Number of trees (本)	材積 Volume (m ³)		
1	2,000	円形 Round (半径10m)	314	10.3	5.6	40	1,273	1.332	42.4	3.8	3.1	35	1,114	2,388	42.4	14	35
2	2,000	円形 Round (半径8m)	201	11.2	5.7	20	995	0.770	38.3	2.6	3.0	23	1,114	2,139	38.3	11	55
3	3,000	円形 Round (半径10m)	314	9.3	5.2	49	1,560	1.214	38.7	2.3	2.7	32	1,019	2,580	38.7	26	53
4	3,000	円形 Round (半径10m)	314	8.7	5.0	52	1,656	1.160	36.9	2.7	2.8	23	732	2,388	36.9	23	44
5	1,000	円形 Round (半径10m)	314	9.8	5.4	22	700	0.599	19.1	2.3	2.5	46	1,465	2,166	19.1	2	9
6	1,000	円形 Round (半径10m)	314	9.1	5.0	19	605	0.448	14.3	2.4	2.7	79	2,516	3,121	14.3	1	7
7	4,000	円形 Round (半径10m)	314	7.4	4.3	39	1,242	0.592	18.9	2.2	2.7	80	2,548	3,790	18.9	2	5
8	4,000	方形 Square	126	8.2	4.5	26	2,063	0.490	38.9	1.8	2.2	18	1,428	3,492	38.9	9	35
平均 Average			276	9.3	5.1	33	1,208	0.826	29.9	2.5	2.7	42	1,520	2,727	29.9	11	33

注) 1972年3月調査

Note) Investigated in March 1972.

テーダマツとスラッシュマツの枯損率でこのような差が生じたのは、植栽時の苗高はともに 25 cm 前後で差はなかったが、スラッシュマツの苗木の方はかなり衰弱していたことに主な原因があるようである。

また、円山試験地と松の川道の川谷山の両試験地間における 2 回目調査の枯損率の差は、この樹種の耐陰性の弱さに起因しているものと考えられる。

すなわち、BAKER²⁾によればテーダマツはタンショウマツ、バージニアマツと同じ程度の陽性樹種として区分され、ある程度被陰に耐えうるが、スラッシュマツはダイオウマツとともに、さらに耐陰性が弱く、日光に対する要求度が高いといわれている。

また、松下³⁾らも円山試験地の調査で、スラッシュマツの苗木は日当りの良し悪しにより生長差のあることを報告し、林野庁⁴⁾もスラッシュマツの活着後の枯損は、周囲の樹木や草本の被圧、および広葉樹の伐根の圧迫による枯損が意外に多いと報告している。

さらに円山試験地が松の川道の川谷山に比べ、土地条件の悪いのに枯損率の低かったのは植生繁茂の少なかったためと考えられる。

なお、スラッシュマツの補植木について、COOPER⁵⁾は最初に植えた苗木よりも 1 年後に補植した苗木は、補植後 8 年経過しても植付時の苗木に比べて樹高で 70%、直径で 54% にしかなかったと報告していることから、補植を行わず調査を継続した方がよいという意見も出されたが、当時の国有林の基準にもとづき補植が行われた。

(2) 調査方法

この試験地では、その後台風による被害が毎年のように発生し、同時にそのころから林業労働者の不足や賃金の高騰により、風害による倒木の起こし作業の実施が不可能となり、しばらくの間、この試験地は放置された。

しかし、当支場が関与しているスラッシュマツとテーダマツの試験地はここを含め四国に 3 か所しかなく、外国マツの資料を可能な限り収集してゆくため、本試験地では Table 7 のように、試験地内の被害の比較的少ない尾根筋に成立するスラッシュマツの林分に、原則として直径 20 m の円形標準地を密度区ごとに 2 か所ずつ設定した。

なお、テーダマツは林分の破壊が激しく、標準地の設定はできなかった。

標準地内の林分状況は、これまでのたびかさなる風害のため、多数の風倒木、枯損木が発生し、設定時の植栽密度から予測された林分構造とはほど遠く、風害をまぬがれた立木が点々と残存しているような状態となり、天然下種によるアカマツ稚樹の侵入がみられ、樹高 1 m 以上のものが標準地あたり平均 42 本も成立している。

樹高 1 m 以下のものは調査していないが、かなりの数が確認され、将来アカマツとスラッシュマツの混交林になるものと思われる。

しかし、その後 1974 年 9 月の台風によって後述するような被害を受け、試験地としての維持が困難になった。

3. 須川山試験地

3.1 試験地の立地

須川山試験地は高知県安芸郡奈半利町米が岡にあって、奈半利営林署管内須川山国有林 20 林班と小班

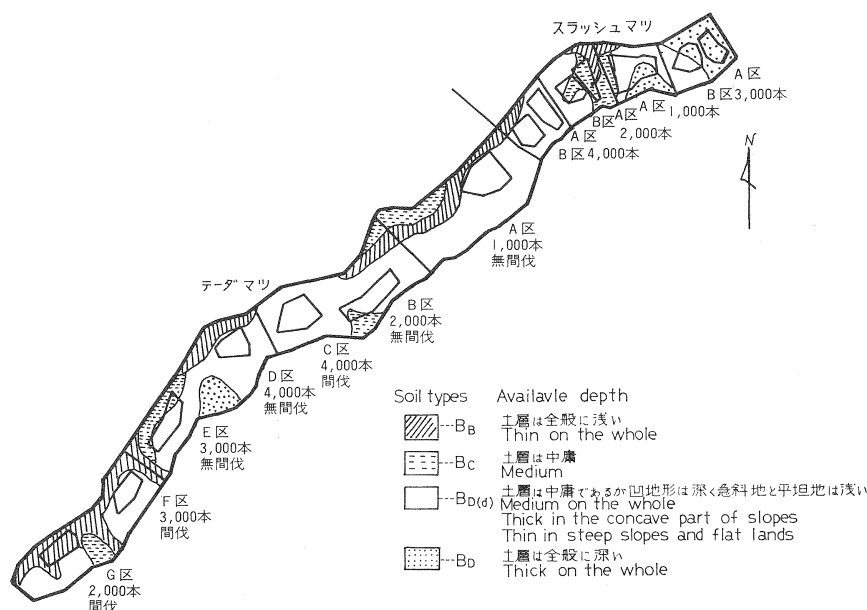


Fig. 5 奈半利営林署管内須川山試験地土壤図と標準地の位置
Soil map of Sugawa-yama Experimental Forest and
position of sample plots.

の海拔約 450 m の峰筋に位置し、方位は南東に面し、傾斜は $18^{\circ} \sim 25^{\circ}$ である。

地質は古第 3 紀層、奈半利川層に属し、母材は砂岩、頁岩である。

土壤は Fig. 5 のように、この試験地が苗畑跡地に設定されたため、明確な分類は困難であるが、Bd-(d) 型土壤が広く分布している。

気象は年間降水量が 2,291 mm、年平均気温は 16.7°C 、最低気温は -4°C 、最高気温は 33.3°C で、霜は 11 月中旬～3 月下旬に降り、常風は西風である。

3.2 試験地の概況

この試験地は既に述べたように、奈半利営林署がこれまで苗畑として使用していた場所で、苗畑廃止後高知営林局が事業として外国マツの現地適応試験を行うため、1954 年 2 月にこの地域にスラッシュマツ 7,500 本 (ha 当り 4,300 本) とテーダマツ 1,100 本 (ha 当り 4,000 本) を植栽した。

さらに、1961 年、'62 年、'63 年の 3 か年間に調整間伐を実施し、スラッシュマツ、テーダマツの各植栽区に、Table 8 および Fig. 5 に示すように、1,000 本区、2,000 本区、3,000 本区、4,000 本区の 4 種の植栽密度区を設定し、ついで 1968 年 2 月にはスラッシュマツの、1969 年 2 月にはテーダマツの 2,000 本区、3,000 本区、4,000 本区の各植栽密度区に、間伐区と無間伐区を設け、1,000 本区は無間伐区だけとした。

(1) 活着状態

この試験地の活着状態については、前述のように植付けが営林署により実行されたため、活着状態に関する詳細な記録はないが、概ね良好な状態であったと思われる。

(2) 調査方法

Table 8. 須川山試験地の内訳
Item of Sugawa-yama Experimental Forest

樹種 Species	植栽年月 Planting date	植栽密度 Number/ha (本)	面積 Area (ha)	原植本数 Number of original planting trees (本)	標準地面積 Area of sample plots (ha)	標準地本数 Number of trees in sample plots (本)	標準地ha 当たり本数 Number of trees/ha in sample plots (本)	標準地名 Name of sample plots	施業別 Operation	備考 Remark
テーダマツ Loblolly pine	1954年2月 Feb. 1954	1,000	0.655	2,620	0.0984	100	1,016	A 1,000	無間伐 Unthinned	林業試験場四国支場の試験地に 編入 1961年4月 Entered as experimental forest in Apr. 1961 標準地設定 1969年2月 Sample plots were established in Feb. 1969
		2,000	0.571	2,284	0.0370	100	2,702	G 2,000	間伐 Thinning	
		—	—	—	0.0442	100	2,262	F 3,000	無間伐 Unthinned	
		3,000	0.638	2,552	0.0702	200	2,849	B 2,000	間伐 Thinning	
		—	—	—	0.0480	150	3,125	E 3,000	無間伐 Unthinned	
		4,000	0.675	2,700	0.0544	192	3,529	C 4,000	間伐 Thinning	
スラッシュマツ Slash pine	1954年2月 Feb. 1954	—	—	—	0.0309	150	4,854	D 4,000	無間伐 Unthinned	標準地設定 1968年2月 Sample plots were established in Feb. 1968
		計 Total	2.539	10,156	0.3831	992	—	—	—	
		1,000	0.194	834	0.1000	99	990	A 1,000	無間伐 Unthinned	
		2,000	0.236	1,015	0.0448	95	2,121	A 2,000	間伐 Thinning	
		—	—	—	0.0429	100	2,331	B 2,000	無間伐 Unthinned	
		3,000	0.255	1,097	0.0529	148	2,450	A 3,000	無間伐 Unthinned	
		—	—	—	0.0604	145	2,741	B 3,000	間伐 Thinning	
		4,000	0.207	890	0.0554	164	2,960	A 4,000	間伐 Thinning	
		—	—	—	0.0463	173	3,737	B 4,000	無間伐 Unthinned	
		計 Total	0.892	3,836	0.4027	924	—	—	—	

1967 年にはスラッシュマツに、また 1968 年にはテーダマツに、それぞれ固定試験地として調査区を設定した。

調査区は 1,000 本区に無間伐区だけを、また 2,000 本区、3,000 本区、4,000 本区にはそれぞれ間伐区と無間伐区の 2 調査区を設定した。

そして、原則として 5 年ごとに定期調査を繰り返しながら、両樹種の林分構造の変化を時系列的に追跡し、外国マツの合理的施業法を究明することにした。

ここでは、固定試験地設定時の調査資料と、設定 5 年後の調査資料をもとに、それぞれの樹種について生長経過の解析を行った。

II 樹 高 生 長

1. 幼齡林の樹高生長

1.1 調 査 法

円山試験地と松の川道の川谷山の両試験地では、試験地設定と同時に植栽密度区ごとに試験地の山頂より山麓に向けて 2 本のラインを設け、ライン上の同一立木を対象にして、植栽後 1 年から 5 年までの 5 か年間にわたって樹高を測定した。測定結果は Table 9 に示すとおりである。

なお、須川山試験地については、植栽時営林署により管理されていたため、調査は行われていない。したがって後述の樹幹析解により幼齡林の樹高を推定した。

1.2 スラッシュマツの樹高生長の推移

BENNETT⁹⁾によると、スラッシュマツは林齢 14 年に達しても、植栽密度と樹高生長の間には一定の関係が存在しないと報告している。

また、一般にはいかなる樹種も共通的な性質として、立木密度は樹高生長にあまり影響しないといわれている。

したがって、円山、松の川道の川谷山の両試験地とも 5 年生までの幼齡期の調査なので、植栽密度は考慮に入れず林齢別の平均樹高を求めた。

Table 9 に示すように、両試験地におけるスラッシュマツの樹高生長は、植栽後 1～2 年間はほとんど差は認められなかったが、3 年目ごろからは土壌条件の劣っている円山試験地の方が、松の川道の川谷山よりも優位になるという当初の予想とは逆の結果となった。

これは、スラッシュマツの風害の項でものべるが、松の川道の川谷山試験地では、植栽後 2～3 年ごろから台風通過のたびに、倒木、傾斜木等が発生し、これらの風害に影響されたものと思われる。

1.3 テーダマツの樹高生長の推移

松の川道の川谷山試験地内でのテーダマツとスラッシュマツの生長経過は、植栽後 1～2 年間はテーダマツの生長がスラッシュマツより良好であったが、3 年ごろからは逆にスラッシュマツの方が生長は優位となり、その優位な傾向は年々強まり、生長差は大きくなるように思われた。

このような傾向が認められた理由は、テーダマツがスラッシュマツより地形的に風害の発生しやすい位置にあり、より激しい風衝害を受けたためと考えられる。

1.4 2 試験地と他試験地のスラッシュマツとテーダマツの平均樹高の比較

円山のスラッシュマツおよび松の川道の川谷山のスラッシュマツとテーダマツの 1 年生から 5 年生まで

Table 9. 幼 齡 林 の 樹 高 生 長
Height growth in juvenile stage

試験地名 Name of experimental forest	樹 種 Species	植栽密度 Planting density	項 目 Items	調 査 年 度	1961.9 第 1 回 Sep. 1961 1st	1962.3 第 2 回 March 1962 2nd	1963.3 第 3 回 March 1963 3rd	1964.2 第 4 回 Feb. 1964 4th	1965.3 第 5 回 March 1965 5th	1963.3 第 3 回 March 1963 3rd	1964.2 第 4 回 Feb. 1964 4th	1965.3 第 5 回 March 1965 5th
				Investigated year	平 均 樹 高 (cm) Average height					根 元 直 径 Diameter at ground line (cm)		地上 50cm の 直径 Diameter at 50cm above ground line (cm)
円 山 En-zan	スラッシュマツ Slash pine	1,000	平 均 範 囲	Average Range	35	38 10~70	— —	112 —	170 —	— —	2.1 —	3.0 —
		2,000	平 均 範 囲	Average Range	35	41 10~90	75 20~150	123 —	190 —	1.0 0.4~2.3	2.0 —	3.2 —
		3,000	平 均 範 囲	Average Range	32	35 10~90	— —	101 —	150 —	— —	2.1 —	2.6 —
		4,000	平 均 範 囲	Average Range	30	33 10~90	63 20~150	98 —	150 —	0.9 0.3~2.1	2.0 —	2.6 —
松の川道の川谷山 Matsunokawa- yama	スラッシュマツ Slash pine	1,000	平 均 範 囲	Average Range	31 —	36 —	69 20~150	106 50~180	145 90~260	1.0 0.4~2.4	1.6 —	2.1 1.0~3.8
		2,000	平 均 範 囲	Average Range	29 —	35 —	64 10~140	99 40~210	132 60~240	1.0 0.3~2.1	1.4 —	2.0 0.7~3.7
		3,000	平 均 範 囲	Average Range	29 —	36 —	71 10~140	93 30~210	146 80~270	1.0 0.3~2.0	1.3 —	2.1 0.9~4.3
		4,000	平 均 範 囲	Average Range	29 —	34 —	65 20~140	92 30~150	130 60~220	1.0 0.2~2.1	1.3 —	2.0 0.8~3.7
	テーダマツ Loblolly pine	3,000	平 均 範 囲	Average Range	31 —	38 —	72 20~150	101 40~190	125 70~250	0.9 0.4~2.1	1.4 —	1.8 1.0~3.2

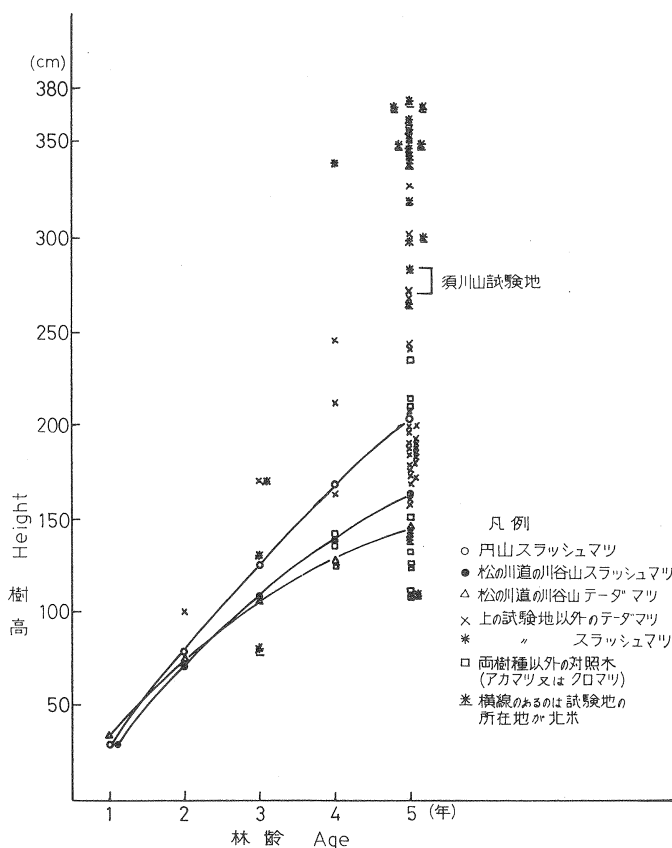


Fig. 6 円山および松の川道の川谷山試験地に植栽されたテーダマツとスラッシュマツの幼齢期における平均樹高の推移と他の試験地における平均樹高

Change of average height of loblolly pine and slash pine in their juvenile in Matsunokawa-yama Experimental Forest and Enzan, and average height of the same species and domestic pines in other experimental forests.

の林齢別平均樹高を、主として関東以西の試験地に植栽されているテーダマツとスラッシュマツ、および日本産マツ類、さらにに北米ジョウジア州ワットル試験地に植栽されたスラッシュマツ等の各試験地における値と対比させたものを Fig. 6 に示す。

これらの試験地は、それぞれ環境、立地等あらゆる条件が異なっており、とくに、外国のスラッシュマツは主として郷土である北米に所在する試験地である。

この図から、松の川道の川谷山試験地のスラッシュマツとテーダマツは、いずれも国内の試験地のうち最下位に位置し、また、円山試験地のスラッシュマツは、中位よりやや低い位置にあることがうかがえた。

円山のスラッシュマツおよび松の川道の川谷山のスラッシュマツとテーダマツの平均樹高より低い値は、北米の伐採跡地に造林されたスラッシュマツの例のみであった。

この北米の伐採跡地に造林されたスラッシュマツの異常とも思われる低い平均樹高について、BENNETT⁷⁾

はスラッシュマツを伐採跡地と農耕跡地に植栽した場合、スラッシュマツの樹高生長には大きな差が認められ、理由は明らかではないが、3年生の平均樹高で前者の79 cm に対し、後者は171 cm であったと報告している。

2. 樹幹析解による幼齢林の樹高曲線の推定

須川山試験地のスラッシュマツとテーダマツについて、固定試験地設定までの生長傾向を解明するため、14年生のスラッシュマツ81本と、15年生のテーダマツ63本を伐倒し、樹幹析解を行った。

両樹種の林齢5年、10年、15年（スラッシュマツは14年の平均直径、平均樹高に連年生長量の1年分を追加し、15年生の平均直径、平均樹高として表示）における平均直径、平均樹高はTable 10に示す

Table 10. テーダマツおよびスラッシュマツの林齢別平均直径、平均樹高と標準偏差
(須川山試験地)

Average diameter, height and their standard deviation of slash pine
and loblolly pine in every 5 years (Sugawa-yama)

林 齢 Age	項 目 Items	樹 種 Species	テ ー ダ マ ツ Loblolly pine		ス ラ ッ シ ュ マ ツ Slash pine	
5 年	平 均 直 径 Average diameter 標 準 偏 差 Standard deviation		3.01cm		3.65cm	
			1.29cm		1.61cm	
	平 均 樹 高 Average height 標 準 偏 差 Standard deviation		2.70m		2.82m	
			0.69m		0.70m	
10 年	平 均 直 径 Average diameter 標 準 偏 差 Standard deviation		(199.8%)	9.99cm	(189.2%)	9.46cm
				2.68cm		2.23cm
	平 均 樹 高 Average height 標 準 偏 差 Standard deviation		(129.6%)	6.35m	(130.2%)	6.38m
				1.01m		1.09m
15 年	平 均 直 径 Average diameter 標 準 偏 差 Standard deviation		(143.6%)	3.07cm	(130.8%)	11.90cm
				4.62cm		3.12cm
	平 均 樹 高 Average height 標 準 偏 差 Standard deviation		(102.2%)	8.89m	(103.5%)	9.00m
				1.51m		1.41m
20 年	平 均 直 径 Average diameter 標 準 偏 差 Standard deviation		(119.9%)	16.67cm	(124.2%)	17.27cm
				3.81cm		2.03cm
	平 均 樹 高 Average height 標 準 偏 差 Standard deviation		(86.3%)	10.36m	(98.4%)	11.81m
				1.63m		0.69m

注) () 内の数値は土佐西部地方アカマツ林分収穫表（地位1等）との対比。

Note) The figures in parenthesis show the growing percentage of two foreign pines which are based on Japanese red pine's yield table in the western part of Kochi Prefecture (Site class 1st).

とおりである。

この試験地で、両樹種間に生長差がほとんど認められないことは、林齢5年、10年、15年における胸高直径に対する樹高曲線を示した Fig. 7 から理解できよう。

3. 3試験地の直径—樹高曲線の比較

3.1 円山試験地

円山試験地では植栽後5年間樹高測定を継続したが、それ以後調査は行われなかった。

1968年2月に雪害を受けたが、被害が回復した1974年の林齢13年生時に、各植栽密度区に10m幅の

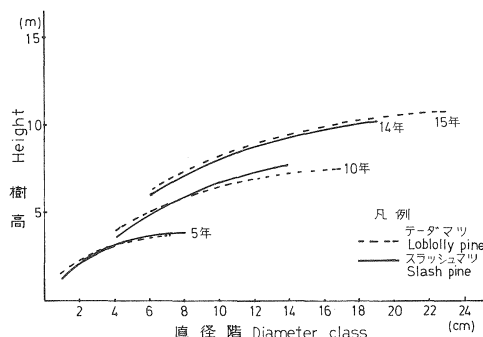


Fig. 7 須川山試験地におけるスラッシュマツとテーダマツの直径階別樹高曲線
Height curve for loblolly pine and slash pine by stand ages in Sugawa-yama Experimental Forest.

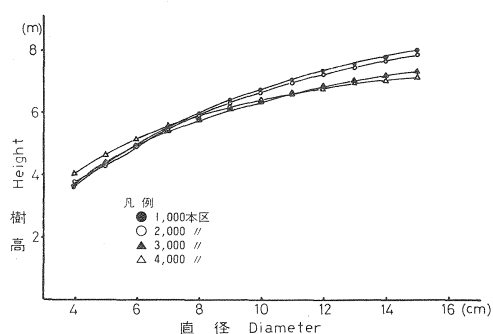


Fig. 8 円山試験地におけるスラッシュマツ
林齢13年の植栽密度別樹高曲線
Height curve for slash pine by planting density at the age of 13 in En-zan Experimental Forest.

Table 11. 立木の状態別胸高直径と樹高の平均値（松の川道の川谷山試験地）

Average diameter and height that is based on conditions of standing trees (Matsunokawa-yama)

樹種 Species	植栽密度 Planting density (本区)	正常木 Normal trees		傾斜木 Slanted trees		倒木 Fallen trees	
		D (cm)	H (m)	D (cm)	H (m)	D (cm)	H (m)
スラッシュマツ Slash pine	1,000	11.2 (3.0)	6.5 (1.4)	10.5 (5.1)	6.0 (1.6)	10.2 (3.0)	5.8 (1.1)
	2,000	10.6 (3.2)	6.2 (1.4)	10.2 (3.9)	6.0 (1.8)	8.3 (3.0)	5.0 (1.2)
	3,000	7.9 (2.6)	5.3 (1.2)	10.4 (4.0)	6.1 (1.8)	11.0 (2.9)	5.8 (1.2)
	4,000	7.4 (2.6)	4.5 (1.1)	8.1 (2.6)	4.9 (1.5)	6.9 (2.3)	4.3 (1.2)
	計 Total	9.0 (3.3)	5.4 (1.5)	10.1 (4.1)	5.9 (1.8)	8.9 (3.2)	5.1 (1.4)
テーダマツ Loblolly pine	3,000	6.3 (2.4)	3.9 (0.7)	7.1 (1.0)	4.5 (0.6)	6.0 (2.7)	3.9 (1.0)

注) () 内の数値は平均値の標準偏差 1974年12月調査

Note) Figures in parenthesis represent standard deviation of mean value. Investigated in Dec. 1974.

带状標準地を2本設定した。

植栽密度区別の带状標準地を合わせて直径階別の樹高曲線を求めると Fig. 8 のようになる。

この試験地は前述の Fig. 2 に示すように生産力が極端に低い土壌のため、Table 4 に示すように林木の樹高生長は極めて悪い。

また高密度区は低密度区よりも土壌条件が劣るため、樹高生長が低く、Fig. 8 の直径—樹高曲線をみてもわかるように、直径 9 cm 以上では樹高が低くなっている。

3.2 松の川道の川谷山試験地

1974 年 9 月の台風の被害により、1972 年にこれまで被害の比較的少ない場所に設定した 8 か所の標準地にも多数の風倒木が発生した。

そこで標準地とは別に被害調査を兼ねて、テーダマツとスラッシュマツの各区に、ラインを山頂より山麓にかけて2本設定し、ラインを中心にして、その左右の植列2本を調査した。調査結果は Table 11 のとおりである。

また、スラッシュマツとテーダマツの正常木の樹高曲線は Fig. 9 のようになり、スラッシュマツに比べてテーダマツの樹高は、直径 5 cm まではスラッシュマツより上位にあるが、5 cm 以降は逆になっている。

また、スラッシュマツは、直径 5 cm 以上ではテーダマツより良好な生長を示している。

つぎに、スラッシュマツの直径—樹高曲線を密度別にみると、1,000 本区、2,000 本区、3,000 本区はほぼ近似しているが、4,000 本区のみは、これらに比べて低くなっている。

スラッシュマツの 4,000 本区とテーダマツの樹高が低くなった原因は、これらの試験区が他の区に比べ

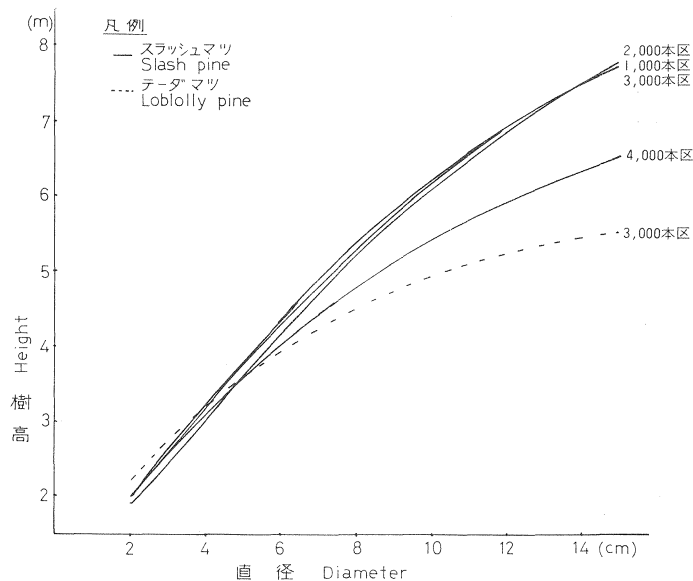


Fig. 9 松の川道の川谷山試験地の植栽密度別樹種別樹高曲線
Height curve of loblolly pine and slash pine those are based on planting density in Matsunokawa-yama Experimental Forest.

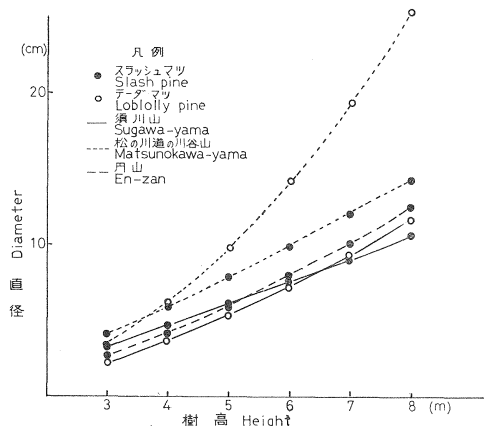


Fig. 10 3試験地における林齢13年のスラッシュマツ、テーダマツ樹高-直径曲線

Height-diameter curve of loblolly pine and slash pine at the age of 13 in the three experimental forests.

したがって、樹高一直径曲線を比較すると、スラッシュマツについては、松の川道の川谷山が最も上位に位置し、ついで円山と須川山は途中で交差しているが円山の方が総体的に須川山より高く表われていて、地位は逆に須川山が比較的良好で、ついで円山、松の川道の川谷山の順となっている。

また、テーダマツは円山試験地にはなく、須川山試験地と松の川道の川谷山試験地との樹高一直径曲線の比較では、須川山試験地が低くあらわれ、生長は須川山の方が良好であることを示している。

さらに、須川山と松の川道の川谷山の試験地ごとの樹種間の地位差をみると、松の川道の川谷山試験地はかなり大きい、須川山試験地は小さい。

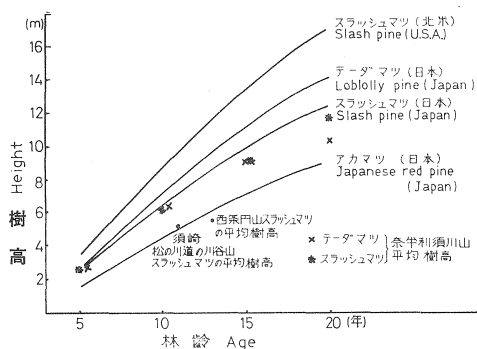


Fig. 11 テーダマツ (植栽地日本)、スラッシュマツ (植栽地日本および北米) とアカマツ (植栽地日本) の林齢に対する平均樹高生長

Average height growth based on stand age of loblolly pine and Japanese red pine planted in the domestic experimental forests and U. S. A.

より風衝地に位置していること、土壌条件が劣っているためと思われる。

3.3 須川山試験地

須川山試験地の14年生のスラッシュマツから81本、15年生のテーダマツから63本を抽出し、樹幹析解を行い、両樹種の林齢5年、10年、15年の林齢別樹高曲線を推定した。結果は、さきのTable 10に示すとおりである。

3.4 樹高一直径曲線の比較

3試験地の樹高一直径曲線を比較するため、まとめたものをFig. 10に示す。

樹高一直径曲線は地位の悪い程上位に位置していることが、これまでの収穫表等の調製過程から判明しているので、ここでは、各試験地の地位の良否を樹高一直径曲線で比較することとした。

4. 3試験地と他試験地の樹高の比較

林野庁⁸⁾⁹⁾が行った国内に植栽されたスラッシュマツ、テーダマツ、およびアカマツの調査結果を用いてフリーハンドで推定した。全国平均の樹高生長曲線および同様に求めた北米ジョージア州ワットル試験地の樹高生長曲線¹⁰⁾と、この3試験地の樹高生長傾向とを示すFig. 11を用いて比較した。

まず、円山試験地の13年生のスラッシュマツの平均樹高は、日本国産のアカマツよりもやや低く、日本国内に植栽されたスラッシュマツよりも約3m、北米のスラッシュマツよりも約6mも低くなっているが、これは生産力の低い林地に植栽されているためであり、したがって生長もあまりよくない。

つぎに、松の川道の川谷山試験地の11年生のスラッシュマツの平均樹高は、北米のものより約4.6m低く、また、国内に植栽されたスラッシュマツと比較しても約2m低い、国産のアカマツとはほぼ同じであった。

これら2試験地が、土壌型Bc、深度中で、比較的生産力の高い場所にありながら樹高生長が劣るのは、試験地が風衝地にあるためと思われる。

また、樹幹析解で推定した須川山試験地のスラッシュマツ、テーダマツの平均樹高も北米のスラッシュマツに比して、いずれの林齢においても低くなっている。しかし、全国平均と比較してみるとテーダマツは5年生ではほとんど差がなかったが、林齢が高くなるに従って樹高はかなり低くなり、20年生では、その差は約4mとなっている。

また、スラッシュマツは、テーダマツと同様に5年生では全国平均に等しいが、その後次第に隔りは大きくなる傾向がみられ、その差は20年生で約0.3mもあり、ほぼ全国平均に近い生長傾向を示すものと思われる。

Ⅲ 立木材積表の作成

1. 適用材積表の検討

スラッシュマツ、テーダマツの材積算定は、高知管林局アカマツ材積表を用いて行ってきたが、幹型も幾分異なるので、試験地内での間伐木および周囲林分から若干の優勢木を、スラッシュマツについては81本、テーダマツについては69本を伐倒し、区分求積で求めた材積を用いて、アカマツ材積表の適合度の検定を行った。

区分求積で求めた材積を独立変数 X 、アカマツ材積表から求めた材積を従属変数 Y として次式をあてはめた。

$$Y=a+bx$$

両材積が一致すれば、 $Y=x$ すなわち、 $a=0$ 、 $b=1$ となり、両樹種の材積がアカマツ材積表を用いて偏りなく算定できるので、帰無仮説 $a=0$ 、 $b=1$ を F 検定で検討した。

$$F = \frac{(n-2)[na+2\sum x(a)(b-1)+\sum x^2(b-1)^2]}{2\sum(Y-a-bx)^2} \dots\dots\dots (1)$$

x : 両樹種の区分求積による材積

Y : アカマツ材積表による材積

この結果、

$$\text{スラッシュマツ} \quad F=3.93 > F_{90}^2(0.05)=3.11$$

$$\text{テーダマツ} \quad F=36.6 > F_{95}^2(0.05)=3.14$$

となり、いずれも危険率5%で F の値は有意となり、帰無仮説は成立しないので、資料の範囲内ではアカマツ材積表は両樹種とも偏った値を与えることから新たに材積表を作成することとした。

2. 材積表の調製

2.1 資 料

前述した資料だけでは材積表作成資料としては不十分なので、さらにこれを樹幹析解し、5年前、10年前の皮内直径、樹高、皮内材積を求め、これを皮付の値に換算し、材積表作成の標本木とした。

2.2 皮内直径，材積の皮付の値への換算

標本木の現在における皮内直径，材積を皮付の値に換算するため，スラッシュマツについて次の 4 式の適合性を比較した。

$$Y = a + bx \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$Y = ax^b \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$Y = ae^{bx} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$Y = ax^{b_1} e^{-\frac{b_2}{x}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

x : 皮内の直径または材積

Y : 皮付の直径または材積

この結果，Table 12 に示すように直径，材積とも (2) 式の残差分散が最も小さいので，この式を採用することとした。

テーダマツは，資料の分布状態がスラッシュマツに似ていることから，各式の適合性の比較を省略して (2) 式を採用し皮付の値を求めた。つぎに各標本木ごとに，(2) 式からの偏差が (6) 式で求めた棄却帯を越えるものを異常資料として棄却した。

Table 12. 皮付直径と皮付材積の推定 (スラッシュマツ)
Estimation of diameter with bark and volume with bark
(Slash pine)

皮 付 直 径 の 推 定 Estimation of diameter with bark		
実 験 式 Experimental equation	推 定 式 Estimated equation	残 差 分 散 Residual variance
$Y = a + bx$	$D_B = 0.3162 + 1.1346 D_i$	0.0940
$Y = ax^b$	$\log D_B = 0.0955 + 0.9710 \log D_i$	0.1006
$Y = ae^{bx}$	$\log D_B = 0.6124 + 0.1013 D_i$	0.3972
$Y = ax^{b_1} e^{-\frac{b_2}{x}}$	$\log D_B = 0.0442 + 1.0082 \log D_i - 0.1411 \frac{1}{D}$	0.1769
皮 付 材 積 の 推 定 Estimation of volume with bark		
実 験 式 Experimental equation	推 定 式 Estimated equation	残 差 分 散 Residual variance
$Y = a + bx$	$V_B = 0.0010 + 1.3069 V_i$	$6.3212 \cdot 10^{-5}$
$Y = ax^b$	$\log (V_B \cdot 10^3) = 0.8122 + 0.9762 \log (V_i \cdot 10^4)$	$6.3821 \cdot 10^{-5}$
$Y = ae^{bx}$	$\log (V_B \cdot 10^3) = 1.1948 + 0.0026 (V_i \cdot 10^4)$	$3.6623 \cdot 10^{-3}$
$Y = ax^{b_1} e^{-\frac{b_2}{x}}$	$\log (V_B \cdot 10^3) = 0.1074 + 1.0040 \log (V_i \cdot 10^4) + 2.7575 \frac{1}{(V_i \cdot 10^4)}$	$6.6002 \cdot 10^{-5}$

注) D_B =皮付直径， D_i =皮内直径， V_B =皮付材積， V_i =皮内材積。

Note) D_B =Diameter with bark, D_i =Diameter without bark, V_B =Volume with bark, V_i =Volume without bark.

$$\hat{Y} \pm t_0 \text{syx} \sqrt{1 - \frac{1}{n} - \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

t_0 : 自由度 $(n-2)$ 危険率 γ の t の値

syx : 残差の標準誤差

$\hat{Y}$: 推定値, x : 観測値

スラッシュマツでは 6 本を異常資料として棄却したが, テーダマツでは 1 本を棄却した。

したがって 前者については 75 本の標本を用いて, 皮付直径 および 材積の推定式を再計算したものを Table 13 に示す。

この推定式を用いて 5 年前, 10 年前の皮内直径, 材積を皮付直径, 材積に換算したものをそれぞれ 1 本の標本木として, スラッシュマツでは 228 本, テーダマツでは 195 本で材積表を作成することとした。

2.3 材積式の検討

前述したように, スラッシュマツでは 228 本, テーダマツでは 195 本の標本に, 次に示す 4 種の材積式をあてはめ, 推定精度の比較を行った。

$$V = a + b(D^2 H) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$V = a + b_1 H + b_2 D^2 + b_3 D^2 H \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$V = 10^a D^{b_1} H^{b_2} \quad \dots\dots\dots (9)$$

V : 材積, D : 直径, H : 樹高

Table 14 に示すように, スラッシュマツでは (9) 式, テーダマツでは (7) 式の推定精度が良いので, これらの式を材積式として採用した。

つぎに直径級を 5.5~10.4 cm と 10.5 cm 以上の 2 クラスに分け, 直径級ごとに求めた材積式を比較したところ, Table 15 のようにいずれの樹種も分散に有意な差が認められるので, 直径級別に材積式を Table 16 のように求め材積表を作成することとした。

さらに, 直径級の境 (10 cm と 11 cm) で不連続となる部分は 3 点平均法で平滑化した。

なお, スラッシュマツの材積式は対数式であるので, 材積式による算出値に次式で求めた修正係数を乗じた値を材積表値とした。

Table 13. 棄却後の皮付直径, 皮付材積の推定式
Estimated equation of diameter with bark and volume with bark after rejection

樹種 Species	項目 Items	推定式 Estimated equation	残差分散 Residual variance
スラッシュマツ Slash pine	直径 Diameter	$D_B = 0.283367 + 1.135189 D_i$	0.0687767
	材積 Volume	$V_B = 0.001451 + 1.294888 V_i$	0.00002562
テーダマツ Loblolly pine	直径 Diameter	$D_B = 0.076640 + 1.111018 D_i$	0.101558
	材積 Volume	$V_B = 0.000969 + 1.197626 V_i$	0.00000630

注) D_B =皮付直径, D_i =皮内直径, V_B =皮付材積, V_i =皮内材積。

Note) D_B =Diameter with bark, D_i =Diameter without bark, V_B =Volume with bark, V_i =Volume without bark.

Table 14. 適用実験式の決定
Determination of applied experimental equation

樹種 Species	実験式 Experimental equation	推定式 Estimated equation	残差分散 Residual variance
スラッシュマツ Slash pine	$V=a+b(D^2H)$	$V \times 10^6 = 3762,522 + 38,32669 (D^2H)$	$0.815015 \cdot 10^{-5}$
	$V=a+b_1H+b_2D^2+b_3D^2H$	$V \times 10^6 = -5487,925 + 906,324 H$ $+166,5246 D^2$ $+20,00423 D^2H$	$0.14658 \cdot 10^{-4}$
	$V=10^a D^{b_1} H^{b_2}$	$\log(V \cdot 10^6) = 2,045274 + 1,9018134$ $\log D + 0,6340184 \log H$	$0.559065 \cdot 10^{-5}$
テードマツ Loblolly pine	$V=a+b(D^2H)$	$V \times 10^6 = 4047,378 + 36,64814 (D^2H)$	$0.252950 + 08$
	$V=a+b_1H+b_2D^2+b_3D^2H$	$V \times 10^6 = -13199,04 + 1995,873 H$ $+156,6253 D^2 + 198406 D^2H$	$0.746927 + 08$
	$V=10^a D^{b_1} H^{b_2}$	$\log(V \times 10^6) = 1,913830 + 1,906980$ $\log D + 0,7764815$ $\log H$	$0.687288 + 08$

Table 15. 分散の一様性の検定
Examination of uniformity of variance

樹種 Species	直径級 Diameter class (m)	自由度 Degree of freedom	平方和 Sum of square	平均平方 Mean square
スラッシュマツ Slash pine	5.5~10.4	124	0.083469	0.000673
	10.5以上 more than	98	0.037755	0.000385
	$F = 1.75 > F_{90}^{100}(0.025) = 1.50$			
テードマツ Loblolly pine	5.5~10.4	76	199272876	2622012
	10.5以上 more than	115	3712994735	32286911
	$F = 12.31 > F_{70}^{100}(0.025) = 1.56$			

Table 16. 直径級別推定式の決定
Determination of estimated equation by diameter class

樹種 Species	直径級 Diameter class (cm)	推定式 Estimated equation	残差分散 Residual variance
スラッシュマツ Slash pine	5.5~10.4	$\log(V \times 10^6) = 2,195615 + 1,679991$ $\log D + 0,7119509 \log H$	$0.224173 \cdot 10^{-5}$
	10.5以上 more than	$\log(V \times 10^6) = 1,961344 + 1,902381$ $\log D + 0,7498391 \log H$	$0.787636 \cdot 10^{-5}$
テードマツ Loblolly pine	5.5~10.4	$V \times 10^6 = 2656,624 + 38,53182 (D^2H)$	$0.26224 + 07$
	10.5以上 more than	$V \times 10^6 = 4906,069 + 36,39991 (D^2H)$	$0.322918 + 08$

Table 17. スラッシュマツの材積表
Volume table for slash pine

(m³)

樹高*1 直径*2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4	0.004	0.004	0.005	0.006	0.006							
5	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010						
6	0.007	0.009	0.010	0.011	0.013	0.014	0.015					
7	0.009	0.011	0.013	0.015	0.017	0.018	0.020	0.021				
8	0.011	0.014	0.016	0.019	0.021	0.023	0.025	0.027				
9	0.014	0.020	0.020	0.023	0.025	0.028	0.030	0.032	0.035			
10	0.017	0.024	0.024	0.028	0.031	0.034	0.037	0.040	0.043			
11	0.020	0.029	0.029	0.034	0.038	0.042	0.045	0.049	0.053	0.057		
12	0.024	0.035	0.035	0.040	0.045	0.049	0.054	0.058	0.063	0.067		
13	0.027	0.040	0.040	0.046	0.052	0.057	0.063	0.068	0.073	0.078	0.083	
14	0.032	0.046	0.046	0.053	0.060	0.066	0.072	0.078	0.084	0.089	0.095	
15	0.036	0.053	0.053	0.061	0.068	0.075	0.082	0.089	0.096	0.102	0.108	0.115
16	0.041	0.060	0.060	0.069	0.077	0.085	0.093	0.101	0.108	0.115	0.122	0.129
17	0.046	0.067	0.067	0.077	0.086	0.096	0.104	0.113	0.121	0.129	0.137	0.145
18	0.051	0.075	0.075	0.086	0.096	0.106	0.116	0.126	0.135	0.144	0.153	0.162
19	0.057	0.083	0.083	0.095	0.107	0.118	0.129	0.140	0.150	0.160	0.170	0.180
20	0.062	0.091	0.091	0.105	0.118	0.130	0.142	0.154	0.165	0.176	0.187	0.198

注) Note) *1 樹高 Height (m), *2 直径 Diameter (cm)

Table 18. テーダマツの材積表
Volume table for loblolly pine

(m³)

樹高*1 直径*2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4	0.005	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.008	0.009	0.009	0.010	0.011	0.011
5	0.006	0.007	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016
6	0.007	0.008	0.010	0.011	0.012	0.014	0.015	0.017	0.018	0.019	0.021	0.022
7	0.008	0.010	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.023	0.025	0.027	0.029
8	0.010	0.013	0.015	0.017	0.020	0.022	0.025	0.027	0.030	0.032	0.035	0.037
9	0.012	0.015	0.018	0.022	0.025	0.028	0.031	0.034	0.037	0.040	0.044	0.047
10	0.015	0.019	0.022	0.026	0.030	0.034	0.038	0.042	0.045	0.049	0.053	0.057
11	0.018	0.022	0.027	0.031	0.036	0.040	0.045	0.049	0.054	0.058	0.063	0.067
12	0.021	0.026	0.031	0.036	0.042	0.047	0.052	0.057	0.063	0.068	0.073	0.078
13	0.023	0.030	0.036	0.042	0.048	0.054	0.060	0.066	0.073	0.079	0.085	0.091
14	0.026	0.033	0.041	0.048	0.055	0.062	0.069	0.076	0.083	0.091	0.098	0.105
15	0.029	0.038	0.046	0.054	0.062	0.070	0.079	0.087	0.095	0.103	0.111	0.120
16	0.033	0.042	0.051	0.061	0.070	0.079	0.089	0.098	0.107	0.117	0.126	0.135
17	0.036	0.047	0.058	0.068	0.079	0.089	0.100	0.110	0.121	0.131	0.142	0.152
18	0.040	0.052	0.064	0.076	0.087	0.099	0.111	0.123	0.135	0.146	0.158	0.170
19	0.044	0.057	0.071	0.084	0.097	0.110	0.123	0.136	0.149	0.163	0.176	0.189
20	0.049	0.063	0.078	0.092	0.107	0.121	0.136	0.151	0.165	0.180	0.194	0.209
21	0.053	0.069	0.085	0.101	0.117	0.133	0.149	0.165	0.181	0.198	0.214	0.230
22	0.058	0.075	0.093	0.111	0.128	0.146	0.163	0.181	0.199	0.216	0.234	0.252
23	0.063	0.082	0.101	0.120	0.140	0.159	0.178	0.197	0.217	0.236	0.255	0.274
24	0.068	0.089	0.110	0.131	0.152	0.173	0.194	0.215	0.236	0.256	0.277	0.298
25	0.073	0.096	0.119	0.141	0.164	0.187	0.210	0.232	0.255	0.278	0.301	0.323
26	0.079	0.103	0.128	0.153	0.177	0.202	0.226	0.251	0.276	0.300	0.325	0.349

注) Note) *1 樹高 Height (m), *2 直径 Diameter (cm)

$$\text{修正係数 } f = 10^{\frac{1}{2} \ln 10 \sigma^2} \dots\dots\dots (10)$$

σ : 対数による残差の標準誤差

このようにして作成した材積表を Table 17, Table 18 に示す。

IV 被 害

1. 風 害

テーダマツとスラッシュマツは、幼齡期においては地上部の生長の旺盛さに比べて、地下部のそれは貧弱であり、そのため風による倒木の被害が生じやすい。

したがって、台風の影響を強く受けるわが国の南西部地方では、これらの樹種の幼齡林において風害による倒木が多く発生し、これらの樹種を造林する場合、最大の問題点となっている。

坂口¹¹⁾と吉田¹²⁾は風衝地以外でも、風の吹き抜けるような林地に植栽された立木は、樹高が 1.5 m 程度に達すると風倒木の発生が多くなる。とくに樹高生長のすぐれた、かつ葉量の多い、いわゆる優良木が風倒することが多い、と指摘している。

このような風による被害報告をふまえて、四国の 3 試験地の風害の実態を見ると、瀬戸内海地方の円山試験地は、位置的にみても強風の比較的少ない地域で、林齡 4 年生時の 1965 年に襲来した台風 23 号、24 号による風害を最後に、風による被害は現在までほとんど発生していない。

しかし、太平洋側にある 2 つの試験地は土佐湾から直接風の吹きつける位置にあり、なかでも松の川道の川谷山試験地では、これまでたびかさなる台風の襲来により大きな被害を受け、とくに 1974 年の台風 16 号により潰滅的打撃を受け、目下試験地としての今後の取扱いを検討中である。

一方、須川山試験地では植栽後樹高 1.5 m 程度になったころから風害による倒木が頻発し、その都度倒木起こしを行ってきた。試験地設定以前の詳細な記録はなく、林業試験場が調査を担当するようになった 1960 年の林齡 6 年生の時点で、倒木の発生と同時に樹幹の折損がみられたが、その後の風による被害は軽微である。

試験地設定後台風の通過のたびに発生した 3 試験地の被害の状況は、試験地別に後掲の Table 19, 20, 21 に示すとおりである。

林齡 11 年ごろになると、これまでの被害が立木の根元から倒れる風倒であったものから樹幹の途中から折れる樹幹折と変化してくるようである。

被害状況は Photo. 1 のとおりで、このころの被害は正常に生長した樹幹が折損することは少なく、過去に何らかの理由で二また木、三つまた木のような複数の樹幹となった分岐点からの樹幹折が多くなる。

2. テーダマツとスラッシュマツの根系調査

風害の有無による根系の相違を、須川山と松の川道の川谷山の両試験地で、代表的立木を選び根系を観察した。

須川山の林齡 7 年生 (1963 年 3 月現在) のスラッシュマツ、テーダマツの間には、根系の形態に特徴的な違いは認められず、テーダマツについてだけ健全木と、風倒後支柱を立てて回復させた立木の根系を Photo. 2 に示した。

風害を受けなかった立木は直根が発達しており、風害により倒伏したものは、直根が曲がったまま側方に伸び樹幹を支えている。

Table 19. 須川山試験地における台風による被害状況
Appearances of damage by typhoon in Sugawa-yama Experimental Forest

植栽 1954 年 2 月 Planted in Feb. 1954

樹 種 Species	林 齢 Age (年)	調査本数 Number of investi- gated trees (本)	健 全 木 Sound trees		被 害 木 内 訳 Item of damaged trees						備 考 Remark
					倒 木*) Fallen trees		樹 幹 折 Snapped trees		合 計 Total		
			本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)	本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)	本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)	本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)	
テーダマツ Loblolly pine	7	7,464	7,312	98.0	102	1.4	50	0.7	152	2.0	1961年9月第2室戸台風 Sep. 1961. Typhoon No. 2 Muroto
	9	6,478	6,367	98.3	32	0.5	79	1.2	111	1.7	1963年8月台風9号 Aug. 1963. Typhoon No. 9
	10	6,086	5,972	98.1	24	0.4	90	1.5	114	1.9	1964年9月台風20号 Sep. 1964. Typhoon No. 20
	11	627	588	93.8	7	1.1	32	5.1	39	6.2	1965年9月台風23・24号 Sep. 1965. Typhoon No. 23 & 24
スラッシュマツ Slash pine	7	2,740	2,710	98.9	21	0.8	9	0.3	30	1.1	1961年9月第2室戸台風 Sep. 1961. Typhoon No. 2 Muroto
	9	2,322	2,307	99.4	6	0.3	9	0.4	15	0.6	1963年8月台風9号 Aug. 1963. Typhoon No. 9
	10	2,128	2,074	97.5	11	0.5	43	2.0	54	2.5	1964年9月台風20号 Sep. 1964. Typhoon No. 20
	11	494	463	93.7	1	0.2	30	6.1	31	6.3	1965年9月台風23・24号 Sep. 1965. Typhoon No. 23 & 24

注) *) 傾斜木と枯損木は倒木として処理した。

Note) *) In this table, slanted trees and dead are treated as fallen trees.

Table 20. 松の川道の川谷山試験地における台風による被害状況
Appearances of damage by typhoon in Matsunokawa-yama Experimental Forest

植栽 1961 年 3 月 Planted in March 1961

樹 種 Species	林 齢 Age (年)	調査本数 Number of investi- gated trees (本)	健 全 木 Sound trees		被 害 木 内 訳 Item of damaged trees								備 考 Remark
		本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)	傾 斜 木 Slanted trees		倒 木 Fallen trees		枯 損 木 Dead trees		合 計 Total			
				本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)	本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)	本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)	本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)		
テーダマツ Loblolly pine	0.5	432	408	94.4	13	3.0	10	2.3	1	0.3	24	5.6	1961年9月第2室戸台風 Sep. 1961. Typhoon No. 2 Muroto
	2	408	48	11.7	69	16.9	185	45.4	106	26.0	360	88.3	1963年8月台風9号 Aug. 1963. Typhoon No. 9
	4	1,690	228	13.5	627	37.1	780	46.2	55	3.2	1,462	86.5	1965年9月台風23・24号 Sep. 1965. Typhoon No. 23 & 24
	13	120	16	13.3	4	3.3	24	20.0	76	63.4	104	86.7	1974年9月の林分状況 Stand appearances as of Sep. 1974
スラッシュマツ Slash pine	0.5	1,036	967	93.3	34	3.3	26	2.5	9	0.9	69	6.7	1961年9月第2室戸台風 Sep. 1961. Typhoon No. 2 Muroto
	2	768	246	32.0	237	30.9	270	35.1	15	2.0	522	68.0	1963年8月台風9号 Aug. 1963. Typhoon No. 9
	4	2,684	839	31.3	491	18.3	1,133	42.2	221	8.2	1,845	68.7	1965年9月台風23・24号 Sep. 1965. Typhoon No. 23 & 24
	13	555	85	15.3	35	6.3	133	24.0	302	54.4	470	84.7	1974年9月の林分状況 Stand appearances as of Sep. 1974

注) 両樹種とも1974年9月の林分状況(林齢13年)は、1965年9月台風23・24号の被害調査以降に襲来した台風による被害の集積結果とも考えられる。

Note) It may be considered that stand appearances, for both species, as of Sep. 1974 represents sum of damage by typhoons since Sep. 1974.

Table 21. 円山試験地における台風による被害状況
Appearances of damage by typhoon in En-zan Experimental Forest
植栽 1961 年 3 月 Planted in March 1961

樹 種 Species	林 齢 Age (年)	調査本数 Number of investi- gated trees (本)	健 全 木 Sound trees		被 害 木 内 訳 Item of damaged trees			
			本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)	傾 斜 木 Slanted trees		倒 木 Fallen trees	
					本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)	本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)
スラッシュマツ Slash pine	2	255	115	45.0	40	15.8	100	39.2
	4	4,770	4,468	93.7	52	1.1	250	5.2
樹 種 Species	被 害 木 内 訳 Item of damaged trees				備 考 Remark			
	枯 損 木 Dead trees		合 計 Total					
	本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)	本 数 Number (本)	割 合 Ratio (%)				
スラッシュマツ Slash pine	—	—	140	55.0	1963年 8 月台風 9 号 Aug. 1963. Typhoon No. 9			
	—	—	302	6.3	1965年 9 月台風23・24号 Sep. 1965. Typhoon No. 23 & 24			

しかし、直根の発達しているものでもアカマツ等と異なり、側根が強大になる傾向が見られる一方、過去に倒伏したものは生長がかなり劣っていた。

また、松の川道の川谷山試験地における根系調査は、林齢2年生の1963年8月の台風9号による被害調査と並行して行った。

Photo. 3 はスラッシュマツの根元に、ロート状のえぐられた穴ができて傾斜した例を、Photo. 4 にはテーダマツの倒木の例を示した。

両者とも樹高は1.1 mである。

3. 雪 害

降雪の少ない四国地方だが3試験地のうちこれまで雪害を受けたのは円山試験地だけである。

雪害は1968年2月に発生し、海拔高100~200 mにある円山試験地にも40~50 cmの積雪があって、試験地付近のアカマツの古木の枝や若齢のスギ、ヒノキの樹幹が冠雪害により傾倒したり折損した。

また、冠雪害は竹林にもかなり発生していた。雪害の内訳はTable 22のとおりで、被害状況は、Photo. 5, 6, 7に示すとおりである。

雪害発生当時この林分は7年生で、土壌条件も悪く、立木の生長も期待されるほどのものでなかったが、他の試験地の例から判断して、風に対する抵抗性も比較的高まり安定した林分になったと思われる時期であった。

雪害による試験地全体の傾倒木は82%に達したが、折損木は1.3%と少なかった。

Table 22. 西条営林署円山試験地におけるスラッシュマツの雪害状況
Appearances of damage for slash pine by snow fall in En-zan
Experimental Forest

植 栽 区 分 Planting density	立木本数 Number of trees	被 害 木 内 訳 Item of damaged trees					
		傾 倒 木 Number of slanted or fallen trees (本)	割 合 Ratio (%)	折 損 木 Number of snapped trees (本)	割 合 Ratio (%)	計 Total (本)	割 合 Ratio (%)
1,000 本区	600	400	66.7	10	1.7	410	68.3
2,000 本区	1,000	800	80.0	15	1.5	815	81.5
3,000 本区	1,300	1,000	76.9	20	1.5	1,020	78.5
4,000 本区	2,300	2,100	91.3	25	1.1	2,125	92.4
計 Total	5,200	4,300	82.7	70	1.3	4,370	84.0

注) 1) 被害木のうち傾倒木のほとんどが引き起こされている。 2) 本数の全てが概数。 3) 1968年2月調査。
4) 林齢7年。

Note) 1) Most of slanted and fallen trees have been restored to the original state. 2) Number of trees show in approximate numbers including damaged trees. 3) Investigated in Feb. 1968.
4) Stand age 7 years.

4. 病, 虫, 獣および寒害

3試験地のテーダマツおよびスラッシュマツとも随時調査を行ったが防除を必要とする諸害は現在まで発生しなかった。

被害の内容を示すと次のとおりである。

4.1 虫 害

3試験地ともマツノシンマダラメイガによる新枝条と主幹部および、マツヅアカシンムシによる枝条部への軽微な被害が認められた。

その他、いずれも微害であるが、松の川道の川谷山試験地と円山試験地のスラッシュマツにあぶらむし類、マツカレハおよび小が類の寄生が観察された。

4.2 病 害

松の川道の川谷山試験地のテーダマツに断定できないが、すす葉枯病(病原菌:*Rhizosphaema kolkoffii*)によると思われる葉枯症状がわずかながら認められた。

円山試験地のスラッシュマツにも、すす葉枯病とディプディア病(病原菌:*Diplodia pinea*)によると思われる、葉の一部を枯死させる症状がごく軽く認められた。

しかし、いずれもが発生の翌年には自然に消滅した。

4.3 獣 害

野そ、野との害は、3試験地をつうじて皆無であった。

4.4 寒 害

松の川道の川谷山試験地と円山試験地のスラッシュマツは、植栽1年目の冬に葉端を枯らす軽微な寒害を受けたが、これに起因した枯損木はみられなかった。

V 要 約

1. 樹高生長の分析

スラッシュマツの幼齡期の樹高生長を、円山と松の川道の川谷山についてみると、両試験地とも植栽後1～2年はそれほど差は認められなかったが、3年目ごろからは土壤条件の劣っている円山試験地の方が優位となった。これは松の川道の川谷山が風衝地にあるためである。

テーダマツの幼齡期の樹高生長について、松の川道の川谷山のテーダマツとスラッシュマツについて比較すると、植栽後1～2年まではテーダマツの生長の方がスラッシュマツより良好で、3年ごろからスラッシュマツの方が優位となった。

これはテーダマツの方が、スラッシュマツより風衝地に位置しているためと思われる。

また、円山試験地のスラッシュマツ、松の川道の川谷山のスラッシュマツ、テーダマツの1年生～5年生までの林齢別平均樹高を、関東以西の試験地に植栽されたスラッシュマツ、テーダマツ、および日本産マツ類、北米スラッシュマツ等の比較では、松の川道の川谷山のスラッシュマツとテーダマツは最下位に、円山のスラッシュマツは中位よりやや低い位置にあった。

一方、須川山のスラッシュマツとテーダマツの幼齡林の樹高曲線を樹幹析解木により推定すると、スラッシュマツとテーダマツの間に生長差はほとんどみられなかった。

つぎに、樹高一直径曲線は地位の悪いほど上位に位置していることから、3試験地の各樹種の樹高一直径曲線で地位の良否を調べてみると、スラッシュマツでは松の川道の川谷山が最上位に位置し、ついで円山、須川山の順になっている。

また、須川山、松の川道の川谷山のテーダマツでは、須川山の方が低く表われている。

さらに、須川山と松の川道の川谷山の試験地ごとの樹種間の地位差は須川山は少ないが、松の川道の川谷山の地位差はかなり大きい。

つぎに、国内に植栽されたスラッシュマツ、テーダマツ、アカマツの調査結果を用いてフリーハンドで推定した全国平均の樹高生長曲線、および同様に求めた北米ジョウジア州ワットル試験地の樹高生長曲線と、この3試験地の樹高生長傾向とを比較した。

これによると、13年生の円山のスラッシュマツの平均樹高は、日本国産のアカマツよりやや低く、日本国内に植栽されたスラッシュマツよりも約3m、北米のスラッシュマツよりも6mも低い。これは生産力の低い林地に植栽されているためである。

また、11年生の松の川道の川谷山の平均樹高は北米のものより約4.6m、国内に植栽されたスラッシュマツより2mも低く、国産のアカマツとはほぼ同じである。このように生産力の高い場所にありながら、樹高生長の劣るのは風衝地にあるためである。

さらに、須川山の樹幹析解木で推定したスラッシュマツ、テーダマツの平均樹高も北米のスラッシュマツに比べていずれの林齢においても低いが、全国平均と比べると、スラッシュマツもテーダマツも5年生では余り差がない。しかし、20年生ではスラッシュマツは0.3mしか低くなく、ほぼ全国平均に近いが、テーダマツでは4mも低くなっている。

2. 立木材積表の作成

テーダマツ、スラッシュマツの材積とアカマツ材積表の適合度の検定を次式でおこなった。

$$F = \frac{(n-2) \{ na + 2 \sum x^2(a)(b-1) + \sum x^2(b-1)^2 \}}{2 \sum (Y-a-bx)^2} \dots\dots\dots (1)$$

結果は、

$$\text{スラッシュマツ} \quad F = 3.93 > F_{80}^2(0.05) = 3.11$$

$$\text{テ ー ダ マ ツ} \quad F = 36.6 > F_{65}^2(0.05) = 3.14$$

といずれも有意となったので、新たな材積表を作成した。

材積表の作成にあたっては、スラッシュマツ 81 本、テ ー ダ マ ツ 69 本の材積表作成資料にさらに材積表作成の標本として追加するため、これらを樹幹析解し、皮内直径と皮内材積から皮付直径、皮付材積を推定する適用実験式を決定するため

$$Y = a + bx \dots\dots\dots (2)$$

$$Y = ax^b \dots\dots\dots (3)$$

$$Y = ae^{bx} \dots\dots\dots (4)$$

$$Y = ax^{b_1} e^{-\frac{b_2}{x}} \dots\dots\dots (5)$$

について、推定精度の比較をおこない、スラッシュマツについては(4)式を、テ ー ダ マ ツ については適合性の比較を省略して(2)式を適用式に決定し、棄却帯を次式で計算し、

$$\hat{Y}_0 \pm t_0 s_{xy} \sqrt{1 - \frac{1}{n} - \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \dots\dots\dots (6)$$

異常資料を棄却し、棄却後の資料を用いて再度式(4)と(2)式を適用して、皮付直径、皮付材積に換算し、材積表作成の標本木とした。

ついで、材積式

$$V = a + b(D^2 H) \dots\dots\dots (7)$$

$$V = a + b_1 H + b_2 D^2 + b_3 D^2 H \dots\dots\dots (8)$$

$$V = 10^a D^{b_1} H^{b_2} \dots\dots\dots (9)$$

について推定精度の比較をおこない、スラッシュマツでは(9)式、テ ー ダ マ ツ では(7)式の推定精度がよく適用材積式に決定し、材積表を作成した。

また、スラッシュマツの材積式は対数式なので、材積式による算出値に次式で求めた修正係数を乗じた値を材積表値とした。

$$\text{修正係数} \quad f = 10^{\frac{1}{2} \ln 10 \sigma^2} \dots\dots\dots (10)$$

3. 被 害

両樹種とも、幼齢期は地上部の生長の旺盛さに比べて、地下部のそれは貧弱なため、風による倒木の被害が生じやすい。

しかし、風害を受けにくい立木は直根が発達し、風害による倒伏木は直根の曲がったものが多く、また台風の被害調査では、風により幹の根元にロート状にえぐられた穴がみられた。

一方、雪害は円山試験地で 1968 年 2 月に全立木の 82% の傾倒木、1% の折損木が生じた。

虫害として、マツノシンマダラメイガによる新枝条と主幹部への被害、マツツアカシムシによる枝条への軽微な被害が認められた。

病害としてテ ー ダ マ ツ にスス葉枯病と思われるものや、スラッシュマツに葉枯病とディブディブ病が認

められたが発生翌年に自然消滅した。

その他、葉端を枯らす軽微な寒害を見受けたが、これに起因する枯損木はなかった。

引用文献

- 1) 横尾一行：テーダマツとリキダマツの造林試験，岡山県林業試験場 2 号，72～73，(1962)
- 2) BAKER, F. : A Revised Tolerance Table. J. For., 47, 179～181, (1949)
- 3) 松下ほか：外国マツの造林試験，林試四国年報，19～20，(1962)
- 4) 林 野 庁：外国樹種の導入成果に関する実態調査，その 4（テーダマツ），林野庁，97，(1967)
- 5) COOPER, R. W. : Silvical Characteristics of Slash Pine. U. S. D. of Agr. Forest Service, Southeastern For. Expt. Sta., Station paper, 81, 7, (1957)
- 6) BENNETT, F. A. : Growth of Slash Pine Plantations on the George Walton Experimental Forest. U. S. D. of Agr. Forest Service, Southeastern For. Expt. Sta., Station paper, 11, (1956)
- 7) BENNETT, F. A. : 引用文献 No. 6 と同じ，66
- 8) 林 野 庁：引用文献 No. 4 と同じ，92～93
- 9) 林 野 庁：外国樹種導入の成果に関する実態調査，その 5（スラッシュマツ外）24，(1967)
- 10) BENNETT, F. A. : スラッシュマツ植栽木の生長と生産（訳，アメリカ合衆国におけるスラッシュマツの研究），徳島県林業指導所，51～52，(1964)
- 11) 坂口勝美外：大昭和製紙株式会社のテーダマツ幼齡林被害調査について，その 1，同社，43，(1959)
- 12) 吉田 実：スラッシュマツとテーダマツの風害木について，日林関西講，15，107～109，(1965)

**On the Growing Process of Loblolly Pine and Slash Pine
planted in the Shikoku Region
Part 1 Height growth and preparation of the volume tables
for standing trees**

Minoru YOSHIDA⁽¹⁾, Kazuo TSUZUKI⁽²⁾ and Kazuo SATAKE⁽³⁾

Summary

Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) and slash pine (*Pinus elliottii* ENGELM. var. *elliottii*) are the most important and valuable commercial pine species in the southeastern United States, because of their characteristics of being fast growing, easy to culture and versatile in use.

The purpose of this study was to gather knowledge on the growing process of loblolly pine and slash pine, as the desirable species for short rotation forest management in the Shikoku Region.

This survey was carried out from 1961 to 1975 for 15 years.

All of the experimental forests belonged to the national forest lands, Matsunokawa-yama of the Susaki District Forest Office, Sugawa-yama of the Nahari D. F. O. and En-zan of the Saijo D. F. O..

The replication of treatment could not be made in each experimental forest. Therefore, what is presented here is a case study.

The results that were obtained in each experimental forest are as follows :

1) Rate of survival of seedlings planted in the experimental forests are shown in Table 3 (En-zan) and Table 6 (Matsunokawa-yama).

The percentage for slash pine was 73% in En-zan and 71% in Matsunokawa-yama. On the other hand, the survival rate for loblolly pine in Matsunokawa-yama was 91%, and it was rather higher than that of slash pine.

However, it is difficult to consider that loblolly pine has a greater ability to survive than slash pine, but this depended mainly upon the difference in vitality of the seedlings between the two species.

The survival rate for both slash pine and loblolly pine would be expected to be more than 90%, if the planting operation is done very carefully.

2) It is desirable that the brush cutting operation should be done twice during a growing season after the seedlings have been planted in forest lands for a couple years—because both of them are intolerant, especially in their juvenile stage.

3) In forest soils of less available depth, both species could not be grown as expected. As shown Fig. 2 and Fig. 11, the height growth of slash pine in the En-zan Experimental Forest, widely occupied by immature soil, was fairly inferior to that of the other experimental forests except the Matsunokawa-yama Experimental Forest, which severely suffered from wind damage.

4) The standing trees volume tables presented here for slash pine and loblolly pine are

Received January 29, 1980

(1) (2) (3) Shikoku Branch Station

based on d. b. h. (D) and tree height (H). The basic data used to develop these volume tables consisted of measurements from 81 slash pine trees and 69 loblolly pine trees in the Sugawa-yama Experimental Forest. Trees with diameters up to 18.7 cm for slash pine and 22.9 cm for loblolly pine were used. Tree heights ranged from 4.9 to 10.5 meters for slash pine and from 4.2 to 13.1 meters for loblolly pine.

The standing trees volume tables given in Table 17 for slash pine and Table 18 for loblolly pine are prepared from the equations in Table 16.

5) Both species are less resistant to strong wind blow, especially in their juvenile stage, they were damaged by typhoons in each experimental forest during investigating period. In general, number of fallen trees due to wind blow increased when tree height had attained more than 1.0 meter tall. And it seems that this tendency had continued until the age of 7 or 8 years.

In order to avoid wind damage, planting areas have to be limited only in the forest lands in unexposed position. Also, roots of seedling should not be planted in a single mass or in a single plain in the planting holes.

6) Judging from a damaged case by snow fall in En-zan Experimental Forest (Table 22), it seems that slash pine has poor resistance to be put on wet snow on the crowns of its being abundant in foliage.

7) However, it seems that there are no much anxieties for diseases, insect damages, and cold injury because they did not much suffer from these causes in the Shikoku Region.



Photo. 1 スラッシュマツの二また木の一方が風により折れたもの
(須川山試験地)

Snapped fork of pole-size slash pine. Forks are caused by damage such as insects or physical factors to the terminal bud (Sugawa-yama).

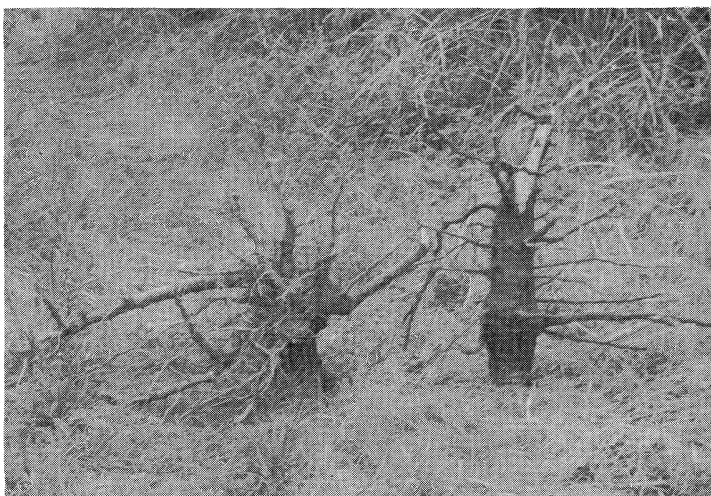


Photo. 2 テーダマツの根系の形態
Root form of loblolly pine.

健全木(右)と過去に風倒木となり引起し支柱で回復させた木(左)
いずれも、林齢7年、直径8cm、樹高6m(須川山試験地)
Tree age: 7 yrs, D.B.H.: 8 cm, Height: 6 m, respectively.
Root of sound tree (right) and recovered one (left), which
was supported by poles after fallen down (Sugawa-yama)



Photo. 3 強風に揺られて根元にロート状の穴が
でき、傾木となったスラッシュマツ

Slanted slash pine and a funnel-shaped
hole at the foot of a tree due to blowing
a strong wind.

林齢 2 年, 樹高 1.1 m (松の川道の川谷山試験地)
Tree age : 2 yrs, Height : 1.1 m
(Matsunokawa-yama).

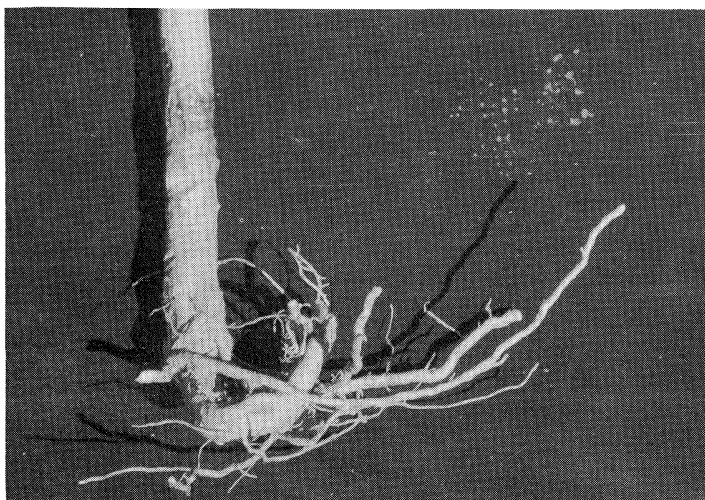


Photo. 4 テーダマツ風倒木の代表的な根形
Typical root form of a windfallen loblolly pine.

林齢 2 年, 樹高 1.0 m (松の川道の川谷山試験地)
Tree age : 2 yrs, Height : 1 m (Matsunokawa-yama)



Photo. 5 1968年2月15日
の雪害

円山試験地全景

General aspect of
En-zan Experimental
Forest, and that was
covered by snow.
(Photo. taken on Feb.
15th., 1968).



Photo. 6 降雪による樹幹
曲り

Bend stems of slash
pine by snow.



Photo. 7 降雪による樹幹
折れ

Snapped stems of slash
pine by snow.

直 径 : 9 cm
樹 高 : 5 m