

論文

馬角マツに関する研究 (II)

—老齢大径木の材質変動について—

石原 肇\*  
古川 郁夫\*\*  
橋 詰 隼人\*\*\*  
作野 友康\*\*\*  
岸本 潤\*\*

Studies on the Bakaku Pine (a Local Variety  
of *Pinus densiflora*) (II)

—Variation of Some Indices of Wood Quality in Old Trees—

Hajime ISHIHARA\*  
Ikuo FURUKAWA\*\*  
Hayato HASHIZUME\*\*\*  
Tomoyasu SAKUNO\*\*\*  
Jun KISHIMOTO\*\*

Summary

An old, large-diameter tree of Bakaku pine, which is a local variety of *Pinus densiflora* and about 200 years in tree age, was studied as to variation of wood quality. Bakaku pine of about 75 years in tree age were also investigated and compared with the 200 year old Bakaku pine. Using the indices of valuation of wood quality, ring width, tracheid length, air-dried density and compressive strength parallel to grain, a multiple regression analysis was done on the relationship of these indices. It was concluded that wood quality of the part which was inferred to be

\* 鳥取大学大学院 農学研究科 木材工学及び林産化学研究室  
Laboratory of Wood Technology and Forest Products Chemistry, Graduate Program in Forestry, Tottori University

\*\* 鳥取大学農学部 農林総合科学科 生存環境科学講座  
Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

\*\*\* 鳥取大学農学部 農林総合科学科 森林生産学講座  
Department of Forestry Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

juvenile wood of about 200 years agreed with the properties of wood of 75 years, and it was estimated that the time to reach adult tree-age was about 75 years in tree age. In terms of wood quality, it was revealed that this old, large-diameter tree could be separated into three parts: a juvenile wood portion which corresponds to the first 75 year-old portion within the stem, the adult wood portion which exists between the 75 year and 120 year-old portion, and the over-matured portion which covers the remaining portion up to the outer-most ring.

## I 緒 言

現在、島根県日原営林署馬角山国有林に生育する天然生のアカマツは、通称「馬角マツ」と称され、中でも樹齢200年生前後の老齢大径木は銘柄品として取り引きされている。アカマツの材質に関する研究は、現在までそのほとんどが樹齢40～50年の比較的若い木を用いて行われており、樹齢120～200年の銘木級の大径木に関する報告例はほとんど無い。

前報<sup>1)</sup>では、この馬角マツについて樹種、品種及び形質・生長状況・入札価格について報告した。本報ではこの老齢大径木の材質について、年輪幅、仮道管長、気乾比重及び縦圧縮強度を指標に用いて、これらの水平変動パターンから材質評価を試みた結果について報告する。

## II 材料及び方法

### 1. 供試材料

供試木は日原営林署馬角山国有林82林班より採取した天然生アカマツ (*Pinus densiflora* SIEB. et Zucc) で通称馬角マツという銘柄で呼称されている樹齢200年生前後のもの7本 (No.1～7)、75年生前後のもの3本 (No.1, 2, 3) を用いた。表1にその概要を示す。試料は、元玉の地際部付近 ( $h=0.2\text{m}$ ) より円板を採取し、特に200年生前後の供試木のうち4本については地際部付近だけでなく4.4m及び9.4mの高さからも円板を採取した。なお、これらの供試木は、林況のよく似た狭い地域内から伐採したものであるため、その生育環境はほぼ同様であったと考えて差し支えない。

### 2. 実験方法

年輪幅の測定は、円板の最大及び最小半径の2方向について行い、髓から樹皮側にむかって5年輪毎にその平均値を求め、5年輪毎の年輪幅とした。測定には双眼実体顕微鏡下でディバイダーを用いて、0.5mmの測定精度で行った。

仮道管長の測定は、次のようにした。髓から最外年輪に向かって20年輪までは4年毎に、20～50年輪までは5年毎に、50年輪から外側は10年毎に所定の年輪部から解繊用小片を切り出した。これらを Jeffrey 氏液に室温下で一昼夜浸漬した後、よく水洗してから解繊した。解繊された仮道管の長さは万能投影機で50倍に拡大して測定した。1年輪当り50本の仮道管長を測定し、その算術平均値を求めた。測定は、75年生前後のもの3本 (No.1, 2, 3)、200年生前後のもの3本 (No.1, 5, 7) の計6本の供試木の地際部 ( $h=0.2\text{m}$ ) 及び、200年生供試木No.1の地上高4.4mと9.4mの部

位で採取した円板の計 8 円板について行った。測定総本数は8050本であった。

気乾比重及び縦圧縮強度の測定は、75年生供試木No.1の地際部(h=0.2m)と200年生供試木No.1の地上高9.4mの部位の計2円板について測定した。試験片は、仮道管長の測定に用いた解織用小片を採取した部位の隣接部より10(R)×10(T)×20(L)mmの大きさの小片を切り出し、気乾比重測定後、島津オートグラフAG5000Aを用いてテストスピード0.5mm/minで縦圧縮強度を求めた。

表1 供試木の概要

供試木番号	樹 齢	採取部位	総年輪数	平均直径 (cm)	心 材 年 輪 数	心 材 面積率(%)	元玉の材価 (万円/m <sup>3</sup> )	
75前 年 生後	No. 1	75	0.2m	75	49.3	30	27.0	
	No. 2	76	0.2m	76	51.3	25	31.8	
	No. 3	75	0.2m	75	51.2	30	21.1	
200 年 生 前 後	No. 1	195	0.2m	195	130.9	135	44.8	35.78
			4.4m	177	76.4	110	28.7	
			9.4m	175	57.7	110	52.8	
	No. 2	201	0.2m	201	75.1	120	63.0	17.36
			6.0m	170	53.2	100	56.5	
	No. 3	198	0.2m	198	70.9	150	78.0	22.50
			4.0m	186	59.4	130	85.0	
	No. 4	203	0.2m	203	97.3	130	69.7	36.00
			5.0m	190	79.9	135	73.6	
	No. 5	201	0.2m	201	87.1	140	58.8	28.70
No. 6	179	0.2m	179	71.5	95	46.4		
No. 7	198	0.2m	198	116.5	120	53.7	45.30	

### III 結果及び考察

#### 1. 平均年輪幅の水平変動

200年生木及び75年生木の地際部における平均年輪幅については、200年生木7本、75年生木3本の供試木について髓から5年輪毎に平均化したものを図1に示した。縦軸は平均年輪幅を常用対数にとり、年輪幅の変動を標準化して表したものである。この処理によって、大きな年輪幅と微細な年輪幅との差を小さく表し、変動の特徴を拡大してより明確に表示することができた。図1からも明らかなように、地際部における年輪幅は、髓から20年位まで急速に増加し、髓から20~30年頃をピークとしてそれ以降漸減する傾向を示した。ただし、この減少傾向は髓から60~70年で緩やかになり、100~150年輪ではほぼ一定となり、それを経過して再びごく緩やかに減少する傾向が見られた。

200年生前後の供試木のうちNo.1の供試木については、樹高各部における年輪幅の水平変動を調べた(図2)。各樹高における年輪幅の変動パターンの凹凸は、年輪形成年度をそろえて比較すると、地際部において観察された変動パターンの凹凸とほぼ同様の傾向を示した。ただし、地際部では髓から20~30年の間に年輪幅の急激な増加が見られたが、樹高4.4m、9.4mでは見られなかった。したがって、地際部において観察された初期生長の急激な増加は、上村ら<sup>4)</sup>がヒノキ老齢木の地際付近の初期生長において観察したものと同様に根張り形成の影響のためと考えられる。すなわち、樹

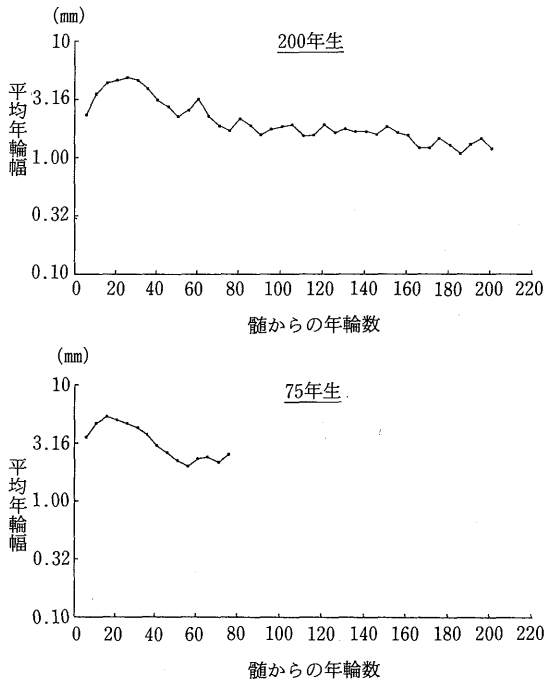


図1 地際部(h=0.2m)における平均年輪幅の水平変動

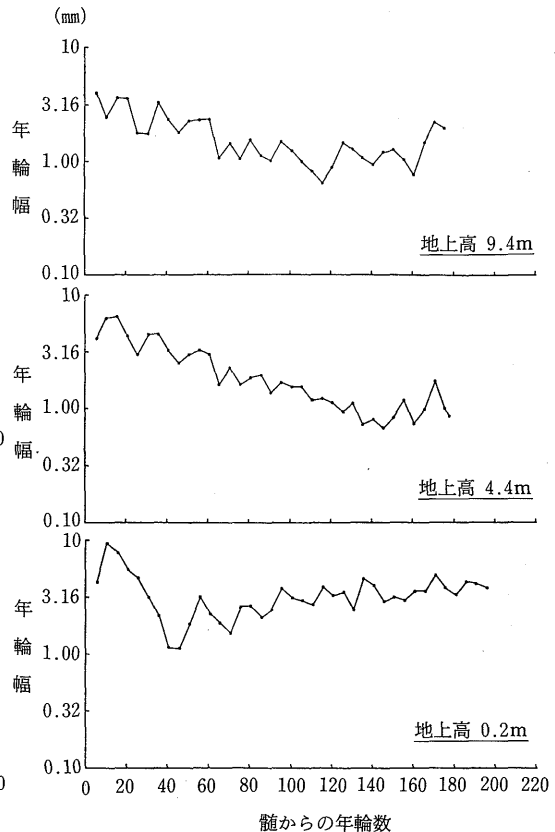


図2 200年生供試木 No. 1 の各樹高における年輪幅の水平変動

木生理的な意味で大きくなっていく樹体を支えるための根張り部分の強化に必要な、地際部の直径増大をまかなうためのものであろうと推察される。

## 2. 仮道管長の水平変動

200年生木及び75年生木の地際部における平均仮道管長の水平変動についても、平均年輪幅と同様に、各々3本の供試木の当該年輪部位の仮道管長を平均化したものを図3に示した。樹齢の増加に伴う仮道管長の水平変動については Sanio の法則が良く知られており、樹木が成熟樹齢に達した後は、仮道管長はほぼ一定の長さを維持することは多くの研究者によって確かめられている。図3においても、200年生前後の供試木においては、髄から60～80年以降はその長さが安定していることが分かる。しかし、従来からの研究では、仮道管長は30～40年ほどで安定した長さに達すると報告されている例が多く<sup>3)</sup>、本実験のように髄から60～80年輪以降にやっと安定状態に達するという点は、注目に価する。

これらのことから、仮道管長が安定状態に達する樹齢、すなわち成熟樹齢がどのあたりにあるのかを推定するために、75年生及び200年生前後の供試木の全平均仮道管長を重ね合わせたものが図4である。これによって、その長さが安定状態に達する時期、すなわち成熟樹齢は髄から70年付近、

すなわち樹齢70年付近にあることが判明した。

200年生前後の供試木 No.1 について樹高各部における仮道管長の水平変動は、図5に示したとおりである。一般に、各樹高部における仮道管長の水平変動は、髓からほぼ同じ年輪数のところで安定状態に達することが知られている<sup>2)</sup>。しかし、本報においては仮道管長の増加期間はかなり長く、樹高4.4m及び9.4mでは、120年あるいはそれ以上に達するまで増加を続けていた。このような結果

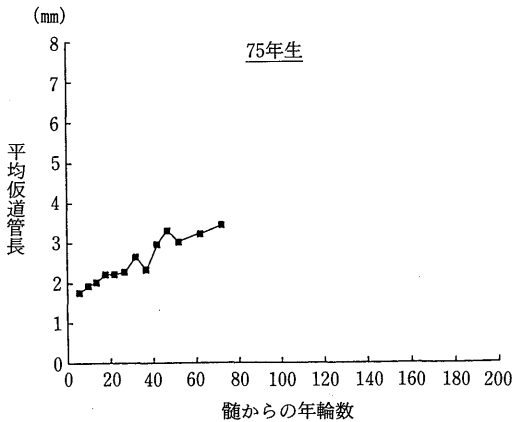
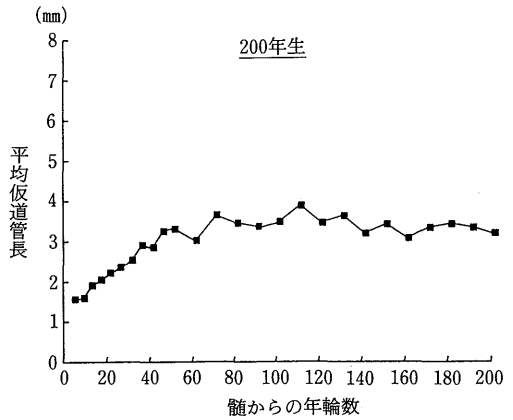


図3 地際部における平均仮道管長の水平変動

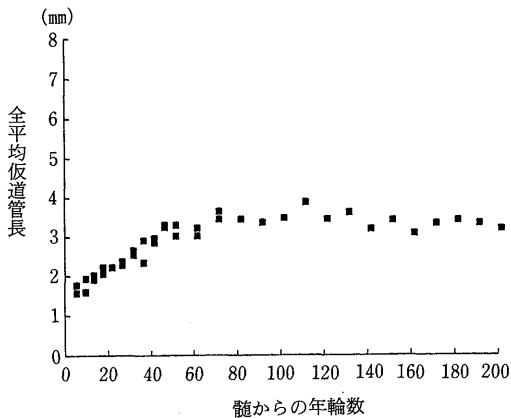


図4 全平均仮道管長の水平変動

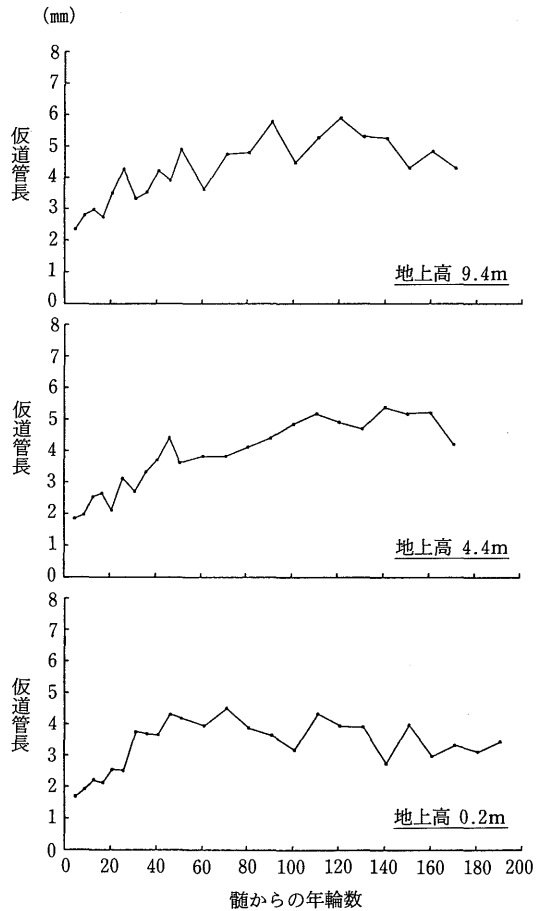


図5 200年生供試木 No.1 の各樹高における仮道管長の水平変動

について上村ら<sup>9)</sup>も、260年生のヒノキにおいて髓から100年以降まで増加を続けている例を報告しており、おそらく針葉樹過熟木の特性ではないかと考えられる。これらのことから、この馬角マツについては樹高の違いによって成熟樹齡，すなわち仮道管長が安定状態に達するまでの髓からの年輪数がおおよそ50年くらい違っている。このことは、成熟樹齡は梢端部を除いて樹高の影響を受けないという針葉樹の一般的な傾向から外れている。

このように、200年生前後の馬角マツの仮道管長の水平変動パターンは樹高によって若干異なっており、地上高4.4~9.4mのところでの成熟樹齡は、髓から100~120年位と見ることができた。このような傾向が針葉樹老齡大径木の一般的な傾向かどうかについては、今後更に検討が必要であろう。いづれにしても、馬角マツの仮道管長の変動は、髓からおおよそ70年輪付近まで増加し、その後おおよそ50年間くらいの安定状態を維持した後、おおよそ120年輪付近より漸減すると考えるのが最も妥当であるように思われる。このように、一度安定状態に達した仮道管長はある樹齡以上に達すると減少傾向をたどるものと考えられる。これは、幼齡木あるいは壯齡木においては現れない現象であり、先に述べた260年生のヒノキにおいても同様の傾向が確認されている。したがって、仮道管長の変動から判断して、馬角マツという天然生のアカマツには、未成熟材部はおおよそ70年くらいまでで、その後成熟材部が50年くらい続き、さらに過熟材部に相当する部分がそれ以降に存在するということになる。

### 3. 気乾比重の水平変動

200年生木及び75年生木の気乾比重の測定結果を図6に示した。各測定値は、試験片に含まれる髓からの年輪数の平均値をその試験片の髓からの年輪数としてプロットした。気乾比重は水平変動では、200年生木については髓から30~40年輪付近まで増加し、最大値を示した後、漸減していく傾向が見られた。また、75年生木では、気乾比重は髓からの年輪数の増加と共に急激な増加を示した。

また、気乾比重の水平変動において、その最大値は、先の仮道管長の変動から推定した成熟樹齡（おおよそ70年付近）より低い樹齡で出現していた。一般に針葉樹材では年輪幅の広いものは比重が低く、狭いものは比重が高いと云われているが、200年生木、75年生木共に試験片の年輪幅の広狭とは関連していないようであった。

### 4. 縦圧縮強度の水平変動

200年生木と75年生木の縦圧縮強度の測定結果を図7に示した。試験片は気乾比重の測定に使用したものと同一のものを用いた。200年生木の縦圧縮強度の水平変動は、気乾比重の傾向と同様に髓から30~40年輪付近まで増加し、最大値を示した後、漸減する傾向を示した。また、75年生の縦圧縮強度については、おおよそ380kg/cm<sup>2</sup>を中心にばらつき、これと云った明確な傾向は認められなかった。この200年生木の傾向について、気乾比重の結果と考え合せると、両者共に髓から30~40年付近を最大値とする増減傾向が認められ、従来から云われているように、木材の強度と比重との間には相関関係があることが分かる。

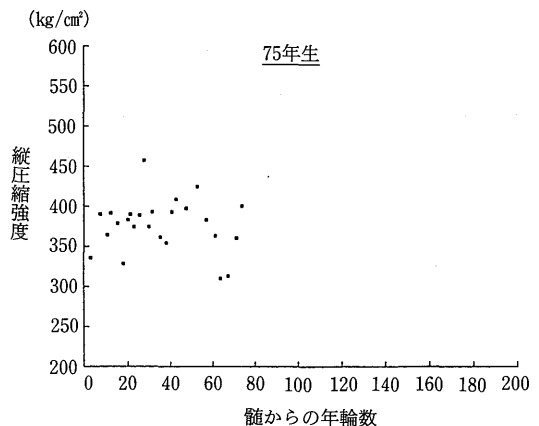
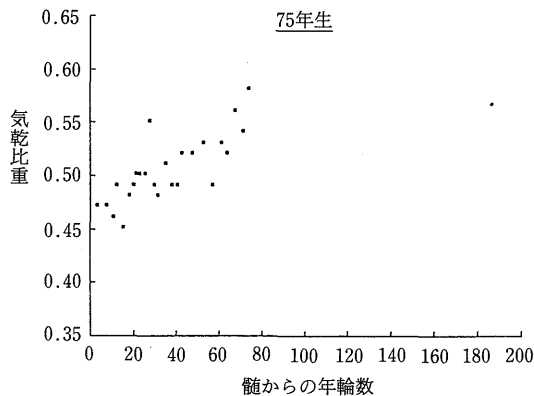
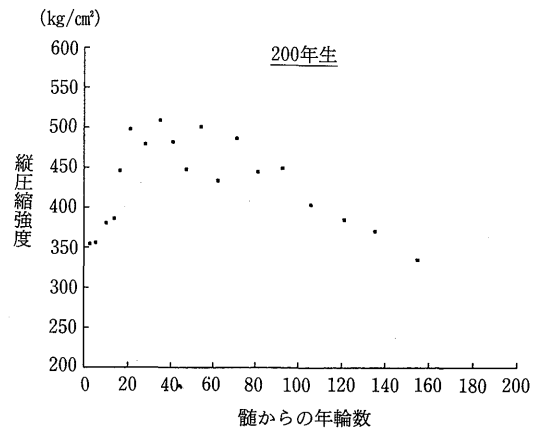
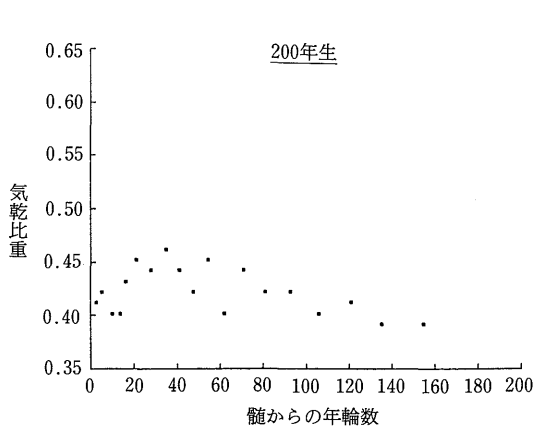


図6 気乾比の水平変動

図7 縦圧縮強度の水平変動

### 5. 材質指標間の関連性

髄からの年輪数・平均年輪幅・仮道管長・気乾比重・縦圧縮強度の5つの材質指標間において、その相互関係を検討するために重回帰分析を行った。

#### (1) 3因子間における重回帰分析

仮道管長、平均年輪幅及び髄からの年輪数の3因子において重回帰分析を行った結果を表2に示した。この分析では、目的変数(Y)に仮道管長をあて、説明変数 $X_1$ には平均年輪幅、 $X_2$ には髄からの年輪数をあてた。これは、各供試木のうち仮道管長のデータが揃っている75年生木3本(No.1, 2, 3)と200年生木3本(No.1, 5, 7)の地際部円板について行ったものである。なお、この分析では成熟部と未成熟部の間で、各因子の効き方にどのような違いがあるのかを検討するために、先に述べたように本供試木の成熟樹齢は髄からおよそ70年輪付近であるということを目安にして、髄から75年輪を境にして成熟材部と未成熟材部を区別して分析を行った。つまり、75年生のアカマツは3本とも未成熟木であると考えた。表2からも明らかなように、仮道管長に与える各因子の影響の強さは、75年生のものを含めた全ての未成熟材部においては、髄からの年輪数( $X_2$ 因子)の方が年輪幅( $X_1$ 因子)より強く、また、成熟材部では年輪幅( $X_1$ 因子)の方が髄からの年輪数( $X_2$ 因

子)より強いことが認められた。さらに、仮道管長に対して年輪幅因子はマイナス(逆比例的)に効いていた。このことは、年輪幅が狭くなると仮道管長が長くなり、年輪幅が広がると仮道管長が短くなるということを示唆しており、従来から云われているように年輪幅(生長直径)と仮道管長との間には負の相関関係のあることが確かめられた。

表2 仮道管長、平均年輪幅及び髓からの年輪数の3因子間における重回帰分析

樹令	供試木番号	採取部位	区分	a	b	c	重相関係数	寄与率(%)	標準偏回帰係数	
									X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
200年生	No.1	0.2m	未成熟	121.69	-5.75	1.72	0.949	90.00	-0.293	0.701
			成熟	234.87	-18.70	—	0.560	31.39	-0.560	—
		4.4m	未成熟	138.45	-7.73	1.29	0.863	74.48	-0.242	0.662
			成熟	314.38	-54.38	-0.09	0.894	79.95	-0.945	-0.117
		9.4m	未成熟	178.38	-14.39	1.13	0.836	69.83	-0.309	0.593
			成熟	321.51	-34.88	-0.27	0.656	42.98	-0.527	-0.282
	No.5	0.2m	未成熟	78.17	-2.73	1.25	0.899	80.87	-0.149	0.828
			成熟	228.76	-21.43	-0.21	0.802	64.26	-0.549	-0.436
	No.7	0.2m	未成熟	54.55	4.48	1.04	0.850	72.25	0.300	0.754
			成熟	159.80	-6.48	0.10	0.657	43.12	-0.495	0.205
75年生	No.1	0.2m	未成熟	98.78	-2.33	1.23	0.970	94.94	-0.091	0.901
	No.2	0.2m	未成熟	124.76	-6.23	0.87	0.878	77.06	-0.369	0.531
	No.3	0.2m	未成熟	81.21	-1.78	1.21	0.921	84.76	0.054	0.900

(注)重回帰式  $Y = a + b X_1 + c X_2$  Y: 仮道管長, X<sub>1</sub>: 平均年輪幅, X<sub>2</sub>: 髓からの年輪数

## (2) 5因子間における重回帰分析

仮道管長、平均年輪幅、髓からの年輪数、気乾比重及び縦圧縮強度の5因子間において重回帰分析を行った。その結果を表3に示すが、この分析では目的変数を2通りに変えて行った。表中の(1)の場合では、目的変数(Y)に仮道管長をあて、説明変数のX<sub>1</sub>~X<sub>4</sub>には各々に平均年輪幅(X<sub>1</sub>)、髓からの年輪数(X<sub>2</sub>)、気乾比重(X<sub>3</sub>)、縦圧縮強度(X<sub>4</sub>)をあてた。また、(2)の場合では、目的変数(Y)に縦圧縮強度をあて、説明変数のX<sub>1</sub>~X<sub>4</sub>には各々に平均年輪幅(X<sub>1</sub>)、髓からの年輪数(X<sub>2</sub>)、気乾比重(X<sub>3</sub>)、仮道管長(X<sub>4</sub>)をあてた。これらの分析は、6本の供試木のうち、気乾比重と縦圧縮強度のデータの揃っている75年生木No.1の地際部と200年生木No.1の地上高9.4mの円板について行った。成熟材部及び未成熟材部の材質区分は、(1)と同様に、髓から75年輪を境にして区分した。

表3の(1)の結果より、未成熟材部と成熟材部の間において仮道管長に与える影響の強さは、(1)の分析と同様に、未成熟部においては髓からの年輪数の方が年輪幅より強く、また、成熟部においてはその逆で、年輪幅の髓からの年輪数より強いことが認められた。しかも、年輪幅は(1)同様にマイナスに作用していた。また、仮道管長に対して、縦圧縮強度及び気乾比重の影響はごくわずかであった。

また、目的変数(Y)に縦圧縮強度をあてて、同様に分析した(2)の結果より、未成熟材部では縦圧縮強度に与える影響の強さは、気乾比重が最も強く、成熟材部では髓からの年輪数が最も強



表3 仮道管長, 平均年輪幅, 髄からの年輪数, 気乾比重及び縦圧縮強度の5因子間における重回帰分析

(1) 仮道管長を目的変数とした場合

樹令	供試木番号	採取部位	区分	a	b	c	d	e	重相関係数	寄与率(%)	標準偏回帰係数			
											X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
200年生	No.1	9.4m	未成熟	2.25	-14.51	0.88	274.33	0.15	0.882	77.86	-0.311	0.462	0.139	0.186
			成熟	-477.40	-46.98	1.18	732.65	0.89	0.745	55.53	-0.434	—	0.345	—
75年生	No.1	0.2m	未成熟	69.00	-2.72	1.19	—	0.09	0.973	94.58	-0.106	0.872	—	0.074

(注) 重回帰式  $Y = a + b X_1 + c X_2 + d X_3 + e X_4$

Y: 仮道管長, X<sub>1</sub>: 平均年輪幅, X<sub>2</sub>: 髄からの年輪数, X<sub>3</sub>: 気乾比重, X<sub>4</sub>: 縦圧縮強度

(2) 圧縮強度を目的変数とした場合

樹令	供試木番号	採取部位	区分	a	b	c	d	e	重相関係数	寄与率(%)	標準偏回帰係数			
											X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
200年生	No.1	9.4m	未成熟	-362.68	-5.28	0.61	1820.02	0.11	0.933	87.08	-0.091	0.257	0.737	0.108
			成熟	38.46	-8.98	-1.34	298.33	0.15	0.984	96.79	-0.054	-0.892	0.092	0.098
75年生	No.1	0.2m	未成熟	-12.02	7.77	-1.31	557.25	0.96	0.483	23.29	0.354	—	0.609	—

(注) 重回帰式  $Y = a + b X_1 + c X_2 + d X_3 + e X_4$

Y: 縦圧縮強度, X<sub>1</sub>: 平均年輪幅, X<sub>2</sub>: 髄からの年輪数, X<sub>3</sub>: 気乾比重, X<sub>4</sub>: 仮道管長

いことが認められたが, 仮道管長や年輪幅などの縦圧縮強度に対する影響はほとんどなかった。

これらの結果より, 各材質指標間では, 仮道管長と平均年輪幅及び髄からの年輪数の間には非常に深い関連性があり, また, 縦圧縮強度と気乾比重の間にも深い関連性があったが, 仮道管長と縦圧縮強度の間には, 関連性はほとんどなかった。

以上の結果を, 各材質指標の水平変動として模式的に示すと図8のようになる。つまり, ①年輪幅の水平変動は, 200年生木と75年生木共に, 髄からおおよそ20~30年輪で最大となり, それより樹皮側(外側)に向かって減少傾向を示した。②仮道管長の水平変動は, 75年生木では終始増加傾向を示したが, 200年生木では髄からおおよそ75年輪付近まで増加し, ほぼ一定となって安定した後, 120年付近より漸減する傾向を示した。③気乾比重・縦圧縮強度の水平変動は, 200年生木では比重も強度も30~40年輪付近で最大を示し, それより樹皮側に向かって減少傾向を示した。また, 75年生木

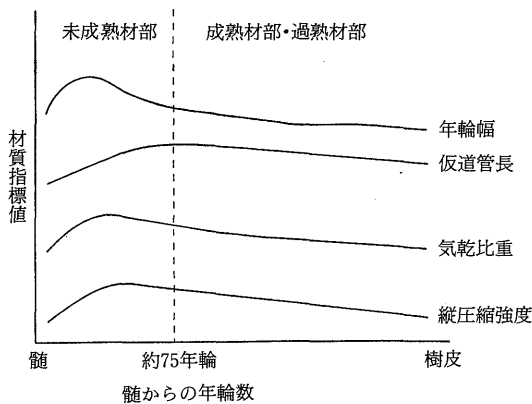


図8 測定結果の模式図

では比重は増加傾向を示したが, 強度についてはあまり明確な傾向は見られなかった。④各材質指標間の関連性について多変量解析した結果, 髄から75年輪付近までの未成熟材部では, 髄からの年輪数が仮道管長や強度に強く影響していたのに対し, 75年より外側の成熟材部では, 年輪幅が仮道管長に大きく関与していた。以上より, 本研究に用いた天然生アカマツ「馬角マツ」の材質的特徴は, 髄から約75年までが未成熟材部で, それより外側に成熟材部及び過熟材部の存在が認められる。

特に、未成熟材部の材質は、髄からの年輪数、即ち、形成層の年齢が材質に密接に関与しているのに対して、成熟材部では年輪幅、即ち、樹木の生育環境が材質に影響しているように思われた。

#### IV 結 論

本研究において調査した年輪幅、仮道管長、気乾比重、縦圧縮強度らの各材質指標は、全てある樹齢で最大値を持ち、徐々に漸減していく傾向を示した。とくに材質区分の基準としている仮道管の長さで、未成熟材部・成熟材部・過熟材部に区分すると、その最大値は全て未成熟材部内にあると言える。また、材質区分の際、基準となる成熟樹齢の設定は、これまでに行われたアカマツの材質に関する研究のほとんどが樹齢30～40年と推定しているが、これは樹齢50年前後という比較的若い樹木を対象としたことによるためと考えられ、本研究のように樹齢の大きい老齢大径木を対象として判断すると、成熟樹齢は、むしろ樹齢75年付近にあると考えるのが妥当であろう。

このようなアカマツの材質変動の特性からアカマツの施業を考えると、先に述べた各材質指標の最大値に達するまでは、伐採しない方が妥当であると思われるが、この最大値を越えた後においては、各材質指標とも樹齢の増加と共に減少傾向をたどるのに対し、樹齢が大きく、大径木化するほど材価が高くなると云う事実と矛盾する。従って、これらの材質指標だけをもって伐期を決定するのは困難である。材の価格には、これらの材質指標とは他の因子、例えば心材の色調や分布、木理の有り方、年輪の密度と形等にも依存すると考えられるので、このような点を考慮した材質評価については、今後の研究課題であろう。

#### 文 献

- 1) 橋詰隼人・古川郁夫：馬角マツに関する研究（I），鳥大農演習林研究報告 17号 pp. 19～36 (1988)
- 2) Philipson, W. R., Ward, J. M., Butterfield, B. G. : The Vascular Cambium its Development and Activity, Chapman & Hall Ltd. Chap. 4, pp. 60～75
- 3) 須藤彰司：アカマツ仮道管の変異について(第1～8報), 木材学会誌 14～16, (1968～1970)
- 4) 上村 武・斉藤寿義：材内部位によるヒノキ材の生長変移（樹高・半径生長と年輪幅および繊維長の関係），林業試験場報告 263号 pp. 43～63 (1974)