

木材の用途と統計的にみたこれに 利用される木材の材質

佐 道 健・川 上 博 史

Statistical relationship between the end-uses and
the properties of wood.

Takeshi SADOH and Hiroshi KAWAKAMI

要 旨

未利用樹種の適正用途を見出すシステムに必要な基礎資料を得るため、現在すでに用途および材質が報告されている樹種について、文献資料に基づき、統計的手法を用いて用途とこれに経験的に利用されている樹種の材質との関係を解析した。

各用途に利用されている樹種の共通性にしたがって用途間の類似性を求め、これに従って用途の分類を行なった。ついで各用途に利用されている樹種群についての各特性値の頻度分布と全樹種についての頻度分布とを比較し、その用途に利用されている樹種群に特徴的な特性とその頻度の高い級を求めた。これらの結果をもとに、ある用途に利用される樹種に共通する材質の特徴を明らかにした。

1. 緒 論

木材は材質の多様性に富む材料であり、その用途も広い範囲にわたっている。したがって、ある樹種がどの用途に適するか判断し、また多くの樹種の中からある用途に適した樹種を選択することは重要である。いわゆる有用樹種の世界的な枯渇に伴って、今まで殆んど利用されていなかった樹種、用途が未知の樹種の利用が要求されるようになった。

本研究はこのような未利用樹種の適正用途を見出すシステムのための基礎資料を得るため、現在、文献に用途が記載されている樹種について、文献資料に基づき、統計的手法を用い、用途とこれに利用されている樹種の材質の間の関係を求め、ある用途に使われている樹種群に共通する材質の特徴を明らかにする手法について検討したもので、この方法の特長および問題点を抽出し、今後の発展の足掛りを得ようとするものである。

木材がある用途に使用されるとき、どのような材質が要求され、どのように樹種が選ばれるかは、通常つぎのような手順による。

まず、この用途について要求される材料としての性能と機能を明らかにし、この性能と機能をはたすために要求される材質を求める。ついで、その材質をもつ樹種を選びだす。ここで問題になるのは、要求される性能や機能には尺度が必要なことである。それが比重や強度のような量的

特性である場合にはかなり明確な尺度が考えられるが、質的特性では明確な尺度を定めることができない。

このような従来の方​​法に対して、本研究ではつぎのような方法でこれを進めることを考えた。まず、特性のそれぞれに適当な尺度を構成し、各樹種について特性毎にこの尺度上での位置付けを行なう。いま、ある用途を問題にするとき、この用途に経験的に利用されている樹種群を調査する。この樹種群は当該用途に適した性能や機能を備えており、これをはたすために要求される材質をもっていると考えられる。そこで、この樹種群に共通して備わった材質を明らかにし、その材質をもつ樹種、すなわちこの用途に適した樹種を選びだす。この方法は用途に要求される性能や機能に未知のものがあったとしても、これに要求される材質が帰納的に判断できるという特徴をもっている。

2. 基礎資料

2.1 文献資料

つぎに述べる文献から各樹種についての材質および用途を集録した。対象となったのは比較的データの揃っている 382 樹種である。

(1) 林業試験場で編集または発行された出版物：林業試験場報告¹⁾、木材工業ハンドブック²⁾、世界の有用樹種 300 種³⁾

(2) Holztechnologie に連載されているHolzeigenschaftstafel⁴⁾

(3) Wood Handbook⁵⁾

(4) Handbook of Hardwoods⁶⁾

(5) Timber of the World⁷⁾

2.2 材質の基礎となる特性^{*1}

集録された特性は31項目で、それぞれ3～9段階に級区分して評価したものを用いた。なお、ここでは紙面の都合で、ある用途に特徴ある材質として選ばれることの多かった28特性についての解析結果に限って示す。これらの特性の級区分の基準を表1に示す。

2.3 用途^{*2}

用途については56項目に整理して集録した。用途の中には、建築や器具のように広い範囲の内容を含むものと、重構造用、ドア、農器具のように比較的狭い内容をもつものがあり、ここでは両者を区別し、前者を総括的用途と呼ぶ。予備的な検討の結果、総括的用途はいずれも性能や材質要求が異質であると考えられる複数の樹種群を含む。その結果、材質に共通した特徴がみられず、また利用される樹種数が多くなるので、母集団(全樹種)からの抽出率が大きくなり、 χ^2 検定に適さないと判断されたため、ここでは解析の対象から除いた。また使用される樹種数の少ない用途も統計的に意味のある値が得られない場合が多いので、本研究では20樹種以上が利用されている用途に限って解析の対象とした。総括的用途および解析の対象とした用途と利用樹種数を表2に示す。

3. 解 析

3.1 クラスタ分析による用途の分類

本研究を進めるに当っては、木材の用途を要求される材質にしたがって分類し、グループ毎に

^{*1,*2} これらのデータについては別の機会に報告したい。なお、量的特性の級区分については文献 8) の区分法 2 によった、

Table 1. Classification of wood properties

Class	Specific gravity	Movement, volume (%/90 -60%me)	Movement, anisotropy (tang./rad.)	Color	Grain	Vessel density (/mm ²)	Modulus of elasticity (GPa)	Bending strength (MPa)
	SG	MV.V	MV.A	COL	GRA	VDS	BE	BS
1	~0.37	~2.00	~1.29	white	straight	~1.18	~6.46	~53.5
2	0.38~	2.01~	1.30~	light	—	1.19~	6.47~	53.6~
3	0.44~	2.29~	1.44~	moderate	moderate	2.11~	7.33~	62.0~
4	0.49~	2.61~	1.59~	dark	—	3.76~	8.30~	71.7~
5	0.56~	2.96~	1.77~	black	interlocked	6.68~	9.40~	82.9~
6	0.63~	3.37~	1.96~			11.9~	10.6~	95.8~
7	0.71~	3.84~	2.18~			21.1~	12.1~	111.~
8	0.81~	4.37~	2.41~			37.6~	13.6~	128.~
9	0.91~	4.97~	2.68~			66.8~	15.5~	148.~

Table 1. (Continued)

Class	Compressive strength (MPa)	Shearing strength (MPa)	P.L. stress in transverse compression (MPa)	Tensile strength in trans. direct. (MPa)	Impact bending, work to failure (KJ/m ²)	Work to max. load in bending (KJ/m ²)	End hardness (N/mm ²)	Side hardness (N/mm ²)
	CS	SS	CP.T	TS.T	IB	BW	HC	HS
1	~31.1	~5.96	~2.44	~1.54	~33.3	~36.5	~26.8	~11.5
2	31.2~	5.97~	2.45~	1.55~	33.4~	36.6~	26.9~	11.6~
3	35.7~	6.92~	3.00~	1.93~	40.0~	44.2~	32.2~	14.0~
4	40.9~	8.02~	3.69~	2.39~	48.0~	53.3~	38.4~	16.9~
5	46.8~	9.29~	4.52~	2.97~	57.6~	64.4~	45.9~	20.4~
6	53.6~	10.8~	5.55~	3.69~	69.1~	77.8~	54.8~	24.6~
7	61.4~	12.5~	6.82~	4.58~	82.9~	94.0~	65.4~	29.7~
8	70.4~	14.5~	8.37~	5.69~	99.4~	114.~	78.1~	35.9~
9	80.6~	16.7~	10.3~	7.06~	119.~	137.~	93.2~	43.4~

Table 1. (Continued)

Class	Natural durability	Resistance to impregnation	Drying rate	Shrinkage from green, tang. (%)	Resistance in cutting	Blunting effect	Abrasion
	DUR	IMP	DRY	SHK.T	CUT	BLNT	ABR
1	perishable		slow	~2.51	resistant		resistant
2	non dur.	permeable	moderate	2.52~	moderate	slight	—
3	moderate	moderate	rapid	2.95~	easy	moderate	moderate
4	durable	resistant		3.45~		farly	—
5	very dur.	very res.		4.04~		severe	easy
6				4.72~			
7				5.52~			
8				6.46~			
9				7.55~			

Table 2. List of end-uses of timbers

End-use	N	End-use	N
建築, 構造 Construction*	251	楽器 Musical instruments	51
重構造材 Heavy construction	63	容器 Vessels*	159
軽構造材 Light construction	116	箱, 包装 Boxes & crates	126
フローリング Flooring	159	おけ, たる Cooperages	51
階段 Stairs	23	運動具 Sporting goods	52
建具, 造作 Joinery*	228	器具 Instruments*	172
ドア Doors	91	農用具 Agricultural implements	57
高級建具 Joinery (high class)	122	部品 Machine parts	26
一般建具 Joinery (utility)	73	柄(打用) Tool-handles (striking)	21
店舗内装 Shop fitting	22	柄(一般) Tool-handles (nonstriking)	24
内装 Interior	50	玩具 Fancy goods & toys	37
家具 Furniture & cabinets	219	彫刻 Curving*	110
土木, 建設 Engeneering*	156	旋削 Turnery	89
電柱 Poles	23	細工物 Handiworks	22
枕木 Sleepers	92	製紙, パルプ Pulp & paper making	65
港湾, 橋梁 Marine piling & bridge	88	合板, 単板 Veneer & plywood*	185
造船 Ship making*	113	心材 Corestock	39
甲板 Ship decking	45	化粧単板 Decorative veneer	70
船枠組 Ship flaming	36	普通単板 Utility veneer	70
船体外板 Ship planking	48	燃料 Fuel	34
車体 Vehicle bodies	90		

N: Number of species utilized

* End-use in general term

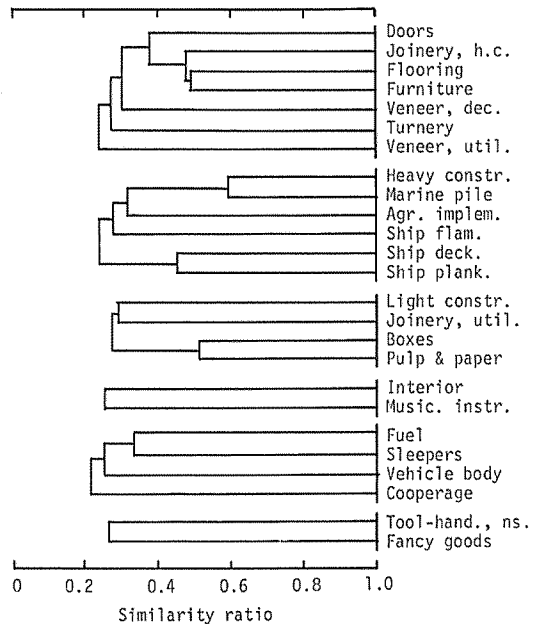


Fig. 1 End-use classification of wood by cluster analysis.

特徴を明らかにする方がよい。そこで、木材の用途を経験的に利用されている樹種の共通性にしたがって分類した。多くの樹種が共通して使われる用途は用途間の類似性が高く、材質要求にも共通性があると考えたからである。

異なる2つの用途 U_i, U_j において、それぞれに利用される樹種のうち共通して利用されている樹種数に注目し、その割合が多いほど類似性が高いと考える。いま U_i, U_j に利用されている樹種数をそれぞれ n_i, n_j 、また両用途に共通して利用される樹種数を n_{ij} とするとき、

$$S_{ij} = n_{ij} / (n_i + n_j - n_{ij})$$

を類似比⁹⁾と定義する。この類似比をもとに総括的用途を除いた用途についてクラスター分析⁹⁾を行ない、用途を分類した結果を図1に示す。ここでクラスター分析とは類似比の大きいものから順にグループ化する手法である。図には類似比0.2以上のものだけを示しており、それ以下で初めてグループ化される用途は示していない。

3.2 χ^2 検定による用途別の材質の解析

ある用途にある材質の樹種が選択的に使われているかどうかを検討するため、各用途について特性毎にそれぞれ利用されている樹種群での級別頻度分布を求め、これと全樹種についての級別頻度分布との間で χ^2 検定を行なった。

ある用途について考えるとき、その用途がある材質をとくに要求するならば、その材質と関連する特性でその用途に使われる樹種群についての頻度分布は、全樹種についての頻度分布と異なり、その用途が要求する級で有意に高い頻度を示すはずである。逆に、ある材質の樹種が利用に適さないならば、その用途に使われる樹種群についての頻度分布はその級で有意に低い頻度を示すはずである。一方、その用途がある材質特性をとくに要求しないならば、その用途に使われる樹種群の頻度分布は全樹種についての頻度分布と統計的に有意の差はないはずである。

一例として、重構造用材と軽構造用材について曲げ強度の級別頻度分布を図2に示す。これらの図には全樹種についての級別頻度分布から得られた各級の出現確率をその用途に利用されている樹種数に乗じた頻度(期待度数)をも示してある。図からわかるように、重構造用材では6~9級の樹種が多く使われているのに対して、軽構造用材では2~4級期待度数よりも高くなっている。

この期待度数と観測度数(利用樹種数)の差から各級の χ^2 の寄与量を求め、その総和である χ^2 を計算した。得られた χ^2 の値のうち、 χ^2 表によってこの χ^2 の値に対応する確率が0.1以下のとき、すなわち90%有意水準で「その用途ではある材質の樹種がとくによく利用されている」と

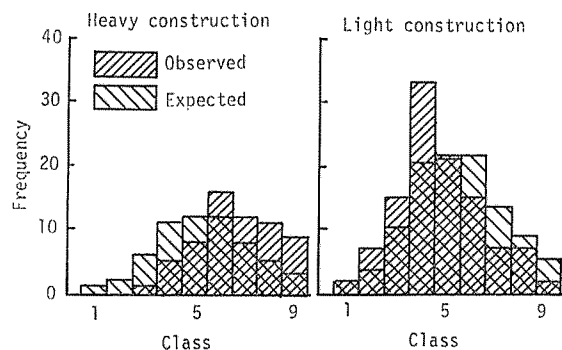


Fig. 2 Examples of grade distribution on bending strength of wood species utilized for different end-uses.

Obs.: on species utilized

Exp.: on whole species

Table. 3 Wood qualities characterizing species group utilized for specific end-use.

	Doors	Joinery (high class)	Flooring	Furniture & cabinets	Veneer (decorative)	Turnery	Veneer (utility)
SG MV.V MV.A COL GRA VDS	1 45 89 1 34	123 56 9 1234	1234 678 13 5 789 123 123 5	12 56 9	12345 789 12 45 7 4567 9	123 678 1 5 234 67	1234
BE BS CS SS CP.T TS.T	12 456 89 12 567 9	12 4567 9 12 6 9 12 56 9 123 5 78 1234567 9	1234 6789 1234 6789 12345678 12345 78 1 34 67 12 456 8	12 56789 12 5 9 1 45 78	2345678 234 67 9 23456 9 123 678 34 7	123 5678 12 4 7 34 7 9	23 56 9
IB BW HC HS DUR	2345 7 1 3 5 7 34 6 89	45 7 9 12345 7	34 78 1 345 7 9 1 45 789 23 5 89 123 5		23 56 9	234 78 234 678	1 3 5 1 345
IMP DRY SHK.T CUT BLNT ABR		123 123 12 45	23 5 123 34 678 1 3 234 12345	123	23 23 12 45	23 123 12 45	123 123
	Heavy construction	Marine piling & bridge	Agricultural implements	Ship framing	Ship decking	Ship planking	
SG MV.V MV.A COL GRA VDS	234 789 2 45 8	123 789 1 4 7 9 1234 12 5	34 67 5 7 123 ----	34 6789 23 567 123	123 56 9 2 78 123 1 3 5	123 6 8 124 123 5	
BE BS CS SS CP.T TS.T	34 9 234 789 234 789 34 78 234567	123 7 9 1234 6 89 1234 6789 345 78 23 56 9	1234 78 1 345678 123 5 78 34 78 234 7	1 34 6 89 34567 9 123456 9 234 78 34 7 45 78	1234 6 89 234 67 9 123456 123 56 8 45 7 45 7	123 56 8 4 78	
IB BW HC HS DUR	1234 67 2345 7 9 567	1 5 7	2 4 67 345 789 ----	----	2345 9	1 5 78 5	
IMP DRY SHK.T CUT BLNT ABR	123 1 3 9 1 3 2 45 1 34	2345 123 123 7 9 1 3 2 45 12 45	1 3 34 6 9 1 3 23	2345 1 3 1 3 1 34	23 5 123 12 4	2345 23	

Table. 3 (Continued)

	Light construction	Joinery (utility)	Boxes & crates	Pulp & paper making	Interior	Musical instruments	Fuel
SG MV.V MV.A COL GRA VDS	23 789 1234	23 789 1234 23 5 2 67	234 78 1 3 89 1234 123 5 2 567	123 789 1234 123 5 -----	123	2 4 89	23 6789 1 3 5 7 1234 12 5
BE BS CS SS CP.T TS.T	234 67 9 23456 89 123 78 345 78	1 34 7 9 234 6 89 23 6 89 12345 78 2345 7 9	34 6789 23 6789 2345678	1 4 89 34 89 23 6789 3 8 345678	----- -----	2 456 8 23 6	12 456 89 23 5 78 3 7
IB BW HC HS DUR	1 34 67 9 123 789 23 6 8	1234 8 23 5 89 23 6 9 12345	1234 6 8 1 34 78 234 6789 2345	12 4 8 34 6 8 ----- 23 6789 2345	2 7		12 4 78 123 5
IMP DRY SHK.T CUT BLNT ABR	123 1 4 6 89 123 23 5 12 4	23 5 1 3 1 3 23 5 1 34	2345 1 3 12 45 89 1 3 234	----- 123 2 4 789 123 ----- 12 4	2 45		----- 3 6 89 -----
	Sleepers	Vehicle bodies	Cooperage	Tool-handles (non-striking)	Fancy goods & toys	Stairs	Shop fitting
SG MV.V MV.A COL GRA VDS	123 67 9 123 4 67 9	123 678 123 2 45 7 9	-----	123 5 -----	1 34 1 345	23 567 3456 -----	23 56 89 1 4 78 2 78 123 5
BE BS CS SS CP.T TS.T	23 567	12 5678 12 4 6 9 1 345 7 9 234 89	4 789 12 789 3456 9	34 8 2345 7 -----	-----	-----	23 5678 ----- -----
IB BW HC HS DUR	1 4 67 1234 67 1 3 5	3 567 2 45 7 9 2 4 6789	----- 4 6789 1 3 5	3456 ----- 234 67	-----	-----	2 5 8 5
IMP DRY SHK.T CUT BLNT ABR	12 2 5	234 12 45	23 1 3 1 4	45 23 123 ----- 1 4	345	1 3	23 23 2 4

Table. 3 (Continued)

	Pole	Sporting goods	Machine parts	Tool-handles (striking)	Handiworks	Corestock of plywood
SG		1 346 9		234 678		23 67 9
MV.V	345 78		1 34 6			
MV.A		123 5 7	1234 6		1 5	
COL		234			2 4	1234
GRA			12345		12 5	
VDS	----		34 9	----		23 67 9
BE		3 5678	2 45 789	3456789	2 678	1 23
BS	3 678	4567 9		345 6789		345 8
CS						123 5 7 9
SS	12 78	345 7		34 7		23 5 8
CP.T	4567	4 6	----	45 7	----	1 567
TS.T		----	----	----	----	
IB	1 3 56 8	1234567	1 3 56 8	4 78	1 5 78	1 3 678
BW	3 67		----	34 7	----	3 7
HC	----		34567	----		7
HS	234 6		234 678	345 7		123 6 89
DUR	12 5					13
IMP	----		----			2 5
DRY	123	123				12
SHK.T	45 8			3456 8		
CUT	123	1 3		1 3		1 3
BLNT	----		----	----		
ABR	123	12345	12 4	234		12 4

Note, Gothic type figure: class utilized for the use
 Italic type figure: class excluded for the use
: not analyzed for shortage of data

判断した。通常 χ^2 検定は無有限大の母集団から抽出することを仮定しているが、本解析では有限の母集団から抽出しているため抽出率による補正¹⁰⁾を行なった。

得られた結果は表3に示してある。用途の配列順はクラスター分析の結果(図1)に従った。この表で数字を示した欄はその分布が全樹種についての分布と90%水準で有意に異なっているもので、太字の数字は期待度数よりも観測度数の方が大きい級、斜体の数字は観測度数の方が小さい級で、いずれも χ^2 への寄与率が5%以上の級を示してある。ただし5%以上の寄与率があっても、その級での期待度数が1未満の級は検定感度が悪いために数字を表示していない。また横線を記した欄は、データ数が少なく、 χ^2 検定を行なうに必要な条件を満さなかったことを示している。

4. 考 察

本法の特長は、用途に要求される性能から推測できる材質の他に、用途に要求される未知の材質因子が抽出できることにある。しかし、これを実証することは困難である。したがって、ここでは解析の結果に基づいて、用途に要求されると推定できる材質を中心に本法の特徴と問題点について考察する。

用途間で最高の類似比を示したのは重構造用材と港湾・橋梁用材の0.59で、他に類似比が0.4以上の組合せは箱・包装用材と製紙用材の0.48、フローリング、家具、高級建具用材相互間の0.48~0.47、船舶用甲板と外板用材間の0.45であった。また、類似比によるクラスター分析の結

果、類似比 0.2 以上で 6 組の用途グループと独立した 8 用途に分類された。これらの組合せ、またはグループ内での利用樹種の材質の共通性をみると、本研究で用いられた手法の特徴がみられる。

重構造用材など 6 用途のグループでは明らかに耐久性のある重硬材が選ばれている。この選択は用途に要求される性能から当然であろう。この中でとくに類似性の高い重構造用材と港湾・橋梁用材を比較するとき、重構造用材で IB と BW に特徴がみられるように靱性の大きい樹種が選ばれており、港湾・橋梁用材では IMP の大きい級が選ばれていることから、それぞれの用途に利用される樹種の特徴が示されている。また、軽構造用材など 4 用途のグループでは淡色の軽軟材が選ばれているのも理解できる。

個々の用途についてみても、衝撃荷重が加わる柄（打用）に使われる樹種は普通の柄用材と比較して SG, IB, BW の高い級が使用されるという特徴がみられるなど、性能から判断される特性が選ばれている。

これに対して、ドアなど 7 用途のグループでは特徴的な材質の共通性はみられない。この中で類似比の高いフローリング、家具、高級建具用材の間でも、個々の用途に関する材質の特徴はみられても、DRY が中程度であるということの他に共通した特徴はみられない。理由の 1 つとしてこれら 3 用途に利用される樹種数が調査した樹種数の 1/3 を越える多数であったため、共通して利用される樹種数も多く挙げられたことが考えられる。しかし、このグループの 7 用途はいずれも仕環境用途であり、ここで取上げなかった官能特性などに共通性があるのかも知れない。

本研究では既存の資料によったため、記載の豊富な特性を選んで解析を行なったが、これらが全て本法にとって適した特性であったかどうか、さらに検討を要する点である。ここで解析に供した特性の中には、例えば SG と各種の力学的性質のように、いくつかの特性間で相互に相関が高い組合せがある。適性用途の予測のためにはできるだけ少ない特性を用いて判断することが望ましい。そこで相互に相関の高い特性群の中で適性用途の予測に適した特性を選択する作業が今後必要になる。

さらに結果の解釈にあたって、つぎの点に注意する必要がある。ここである用途に利用されている樹種群の材質にみられる特徴は必ずしも用途に要求される材質とは限らない。用途に要求される材質と相関の高い材質や特性は、それが性能として要求されないばかりでなく、場合によっては望ましくない場合（例えば SG が高い樹種は CUT, DRY など低い級に属する）さえもありうる。したがって、選ばれた材質の特徴が真に用途に要求されるものであるかの判断が必要になる。

5. 結 論

本研究は未だ緒についたばかりで、今後、さらに検討すべき点は多いが、上述の結果から本法についてのいくつかの特長や問題点が明らかになった。

本法ではその用途に選択的に用いられる材質および選択的に除かれる材質が検出される。さらに用途に要求される性能から演繹的には明らかにされない未知の材質因子が帰納的に抽出できるという特徴がある。

一方で、その用途に要求される材質ではないが、これと相関の高い特性も、その用途に利用される樹種群の特徴として示される。したがって、この特徴が真に要求される特徴であるかどうか判断する必要がある。

ここでは 33 項目の特性を用いたが、この特性間には相関の高いものがいくつかあるので、これ

らの特性のうち適正用途の予測に最も適した特性を選び出す作業とともに、ここで用いなかった特性のうち予測に有用な特性の導入について考えることが必要になってくる。このようにして適正用途判断のための木材々質評価システムを完成したいと考えている。

本研究を行なうに当り多くの助言を賜った京都大学農学部中戸莞二教授に感謝いたします。なお、本研究の解析には京都大学大型計算機センターを利用したことを付記する。

文 献

- 1) 林業試験場木材部：南洋材の性質 I., 林試報, No.190, 1 (1966) 他
- 2) 林業試験場編：「新版木材工業ハンドブック」, 丸善 (1973)
- 3) 林業試験場木材部編：「世界の有用樹種 300 種」, 日本木材加工技術協会 (1975)
- 4) Anon. : Holzeigenschaftstafel, Afrikanisches Mahagoni, Holztechnol., 8, 203 (1967) 他
- 5) FPL, USDA: "Wood Handbook", USDA (1974)
- 6) Farmer, R. H. : "Handbook of Hardwoods", HMSO (1972)
- 7) TRADA: "Timbers of World", Vol.I & II, The Construction Press (1979, 1980)
- 8) 佐道 健：木材の量的特性の級区分に関する一考察, 京大演林報 No.52, 221 (1980)
- 9) 奥野忠一他：「多変量解析法」, 日科技連 (1976)
- 10) スネデカー, コ克蘭：「統計的方法」(畑村又好他訳), 岩波 (1979)

Résumé

In this paper a process to find the requirements of specific end-uses for the end-use assessing system of less-known species is discussed. The philosophy of the method is that the requirements must be characterized by the wood properties possessed in common to the species group which are reported to be empirically utilized for the use. If the properties are detected, the new species possessing them will be suitable for the use.

Information on end-uses and properties of 332 species were collected from several publications. First, 33 uses listed were classified according to the similarity defined as the ratio of species used commonly between two uses. Then the correlation between the empirical uses and the properties of wood were analysed. On each use the grade distributions of 23 anatomical, physical, mechanical and processing properties of species being utilized for the use were compared with those of whole species and the difference was analyzed with χ -square test. The wood qualities characterizing the species group utilized for the use were detected as the quality grade where the frequency was higher than on the whole species.