

木材の比重と熱伝導率の関係について

満 久 崇 磨

(木材物理第2研究室)

Takamaro MAKU: Relation between the Specific Gravity and Thermal Conductivity of Wood.

1 緒 言

木材は cellulose, lignin, pentosan 等を主成分とする各種の細胞によつて有機的に結合されその内部に空気、水分その他複雑な化学成分を含有する一種の非等質異方性多孔物質であり従つて木材内の伝熱は原則的には輻射対流及び伝導が関連して行われる。然し乍ら木材を構成する各種細胞の大きさは樹種、樹令、樹木に於ける位置、立地条件その他によつて変動し例えば本邦産主要樹種中導管ではクリの直径 $200\sim 500\mu$, リヤウブの長さ $800\sim 1500\mu$, 木繊維ではキリ, トチの直径 $25\sim 30\mu$, シナ⁴⁾の長さ $1000\sim 2000\mu$, 仮伝導管ではイチョウの春材切線面の直径 $50\sim 65$, モミの長さ $3200\sim 6000\mu$ が夫々最大とされており、この程度の大きさでは乾燥した木材の場合対流又は輻射による影響が無⁴⁾いものと見て差支えない故、結局木材内の伝熱は細胞膜実質並びに細胞腔内物質の伝導作用がなすことになる。従つて比重と熱伝導率の間に一定の関係が存在することは当然予想せられ古くは DEBYE⁸⁾によつて保温材の熱伝導率が密度の平方根に比例するとされ又俣野⁸⁾によつて実質部と空隙部の割合に基き現論的考察がなされているが何れも木材に対する適用性に欠けている。木材の場合これを構成する各種の細胞因子を分析して物理学的に比重と熱伝導率の関係を実験的に見出すことに向けられているが本質的には細胞腔内物質と細胞膜実質との平均値的な値を示し両物質の熱伝導率を両極限として比重の増加に伴つて増大する傾向を有する事は明である。即ち KOLLMANN⁶⁾は初め繊維方向並びにこれに直角方向の熱伝導率 $\lambda_{||}$, $\lambda_{\perp}$ が夫々比重の1.5乗で増加する⁷⁾としたが後年之を訂正して何れも比重の増加と共に直線的に増加するとなし又若杉¹²⁾, ROWLEY¹⁰⁾, THNELL, NARAYANAMURTI⁹⁾等も $\lambda_{\perp}$ と比重との間に直線的関係がある事を見出している。本報告は従来の測定値を参考にして木材の比重と熱伝導率との関係を理論的に考察したものである。

2 熱伝導論的に見た木材組織の模型

今簡単の爲木材の構成要素を熱伝導的に異方性の細胞膜実質と等方性の細胞腔内物質の2種に限定するものと仮定した場合その組織学的な分類は樹種、個体、春秋材部等によつて複雑多岐にわたる事は勿論であるが比較的組織の一定している針葉樹材について考える時概観的には次の直、並列系が並列すると仮定する事が出来る(第1図参照)。

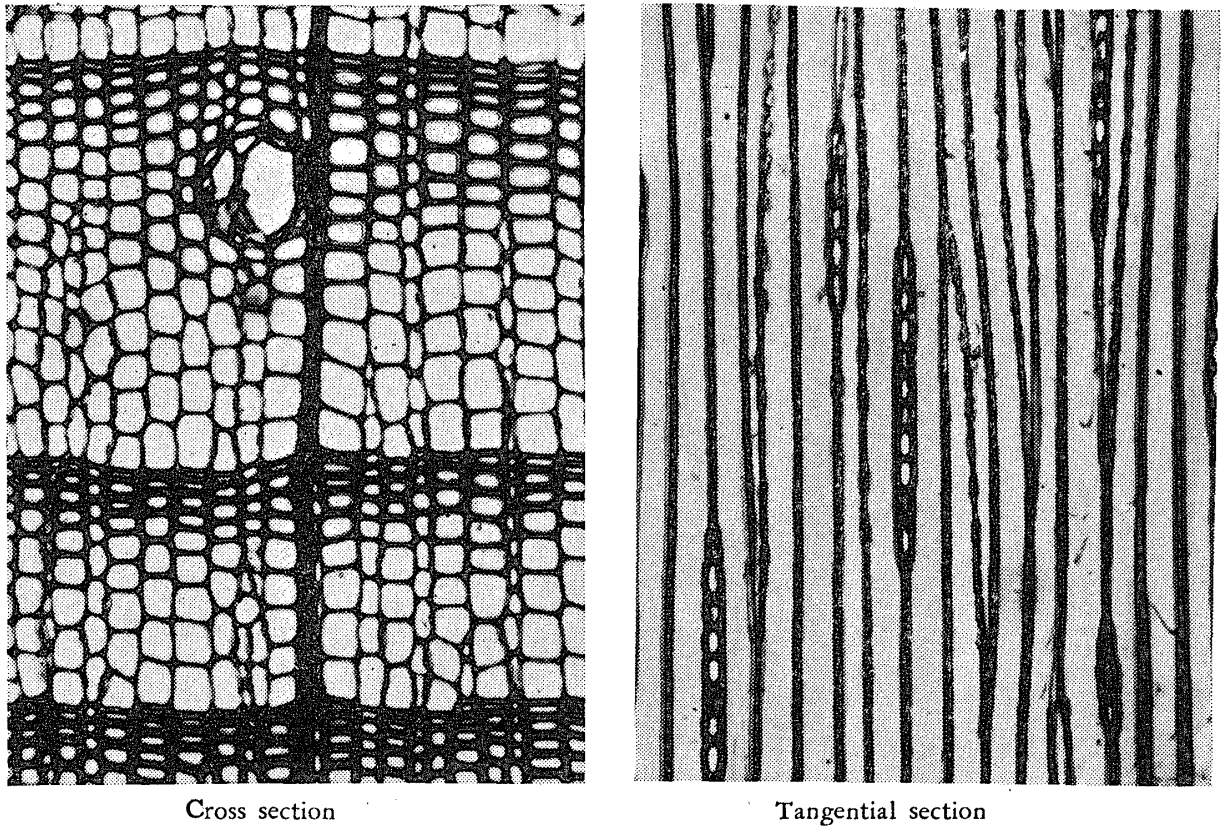
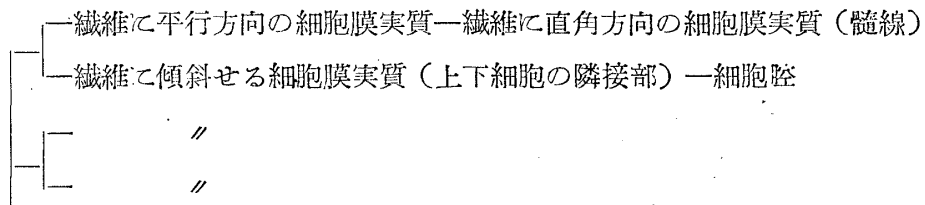


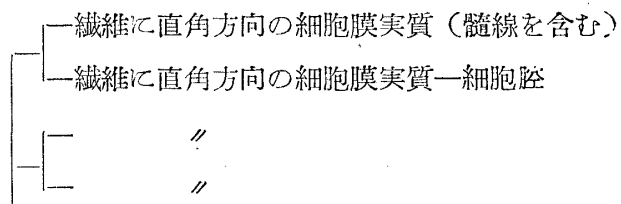
Fig. 1 *Picea jezoensis* corr エゾマツ×150

a. 繊維に平行な場合

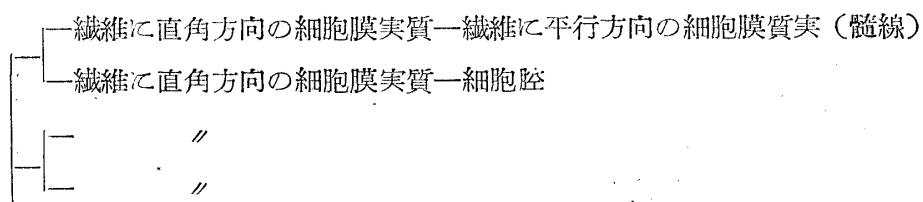


b. 繊維に直角な場合

(i) 切線方向



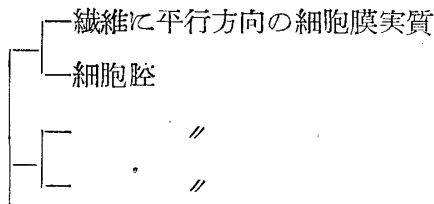
(ii) 半径方向



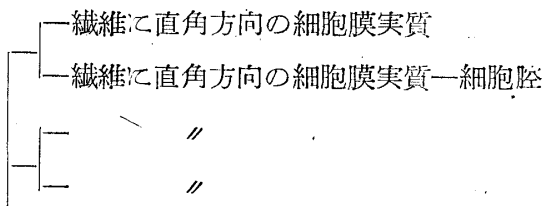
以上の系列中の髄線が木材中に於いて占める割合は樹種，個体，樹木の部分等によつて相違があ

り針葉樹では Eastern White Cedar の 3.9 % から Western Larch の 10 % (通常 5~8%), 広葉樹では Basswood の 6.1 % から Maulbeerbaum の 44.7 % (通常 10~20%)^{1), 2), 4), 14)} が報告されている。従つて髓線が熱伝導率に影響を与えるものであれば当然樹種により切線方向と半径方向とで相当明瞭な差異が生ずる筈であり, 例えば髓線割合の大なる材程半径方向の熱伝導率 λ_r が切線方向の熱伝導率 λ_t より大きくなる事又秋材率の大なる材程この関係が打消される傾向を有するであるという事が考えられる。之に対して実験的に求めた λ_r , λ_t の差異については従来諸説があり GRIFFITHS & KAYE³⁾ は λ_r が大であるとなし ROWLEY は春秋材の顕著な材では λ_t が大きいが然らざる材では殆んど差異がない事, WANGAARD¹³⁾ は広葉樹では λ_r が大であるが針葉樹では必ずしも大でない事等を報告しているが何れにしても両者の差は微弱で実用上省略しても差支えない程度である。この様な矛盾は概して髓線の容積割合が少ない事及び木材組織内に於いて比較的に孤立的存在をなしている事柄によつて一応説明づけられるが, その詳細に関しては今日尙明かではない。然し乍らそれはとにかくとして以上の理由から實際上髓線の影響がないものとして之を省略し更に系列 a. に於いて細胞腔に直列する細胞膜実質についてはその傾斜が急な場合には實質的に並列する繊維方向の細胞膜実質に含まれ緩な場合には繊維の長さに対する直径の比が数十分の一から百分の一にも達する事からこの部分の占める割合が極めて小さい故, 之を省略すれば結局前述の系列は

a. 繊維に平行な場合



b. 繊維に直角な場合



なる簡略した系列の並列するものと見る事が出来る。

3 繊維に平行な場合

この並列系を模型的に示すと第 2 図の如くなり細胞腔及び細胞膜実質の割合を夫々 p 及び $1-p$ とすれば系列の平均熱伝導率 $\lambda_{||}$ は

$$\lambda_{||} = \lambda_{||}' + (\lambda_a - \lambda_{||}') p \dots \dots \dots (1)$$

λ_a : 細胞腔の熱伝導率

$\lambda_{||}'$: 細胞膜実質の繊維方向の熱伝導率

p : 木材の空隙率

により与えられる。

扱て細胞膜実質の比重即ち木材の眞比重については cellulose が lignin より重い為一般に lignin 含有量の多い材では低く cellulose 含有量の多い材ではやゝ高く現われ又測定方法によつても若干相異なる為従来異説があり 1.46~1.62 なる値が報告されているが現在の所ではすべての樹種に対する平均値として 1.56 が採用される場合が多いのでこの値をとると絶乾材の比重 r_0 と空隙率の間には $p=1-r_0/1.56=1-0.641r_0$ なる関係がある故上式は

$$\lambda_{\parallel} = \lambda_a + (\lambda'_{\parallel} - \lambda_a) \cdot 0.641 r_0 \dots \dots \dots (2)$$

となり $r=0, 1.56$ に於て $\lambda_{\parallel} = \lambda_a, \lambda'_{\parallel}$ となる。

細胞腔内物質としては生活物質や resin, 特別な場合として tylose 其の他の物質も存在するが乾燥せる木材では一般に空気と見做して差支ない故上式から $\lambda_{\parallel}$ は空気と細胞膜実質の繊維方向の熱伝導率を夫々両限界点として比重の増加と共に直線的に増加することが判る。式中の $\lambda'_{\parallel}$ の測定値についての報告は皆無であるが今 20°C に於ける静止空気の熱伝導率 $\lambda_a=0.022$ を用い $\lambda_{\parallel}$ の値

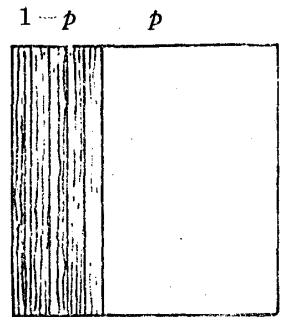


Fig. 2

Table.1 Thermal conductivity in fiber direction

Reporter	Species	Moisture Content u %	Thermal Conductivity λ_u kcal/mh°	Spec. Gravity r_u	Spec. Gravity r_0	Therm. Conductivity λ_0
Griffiths and kaye	Esche	15	0,263	0.74	0.70	0,216
	Fichte	16	0,191	0.41	0.37	0,154
	Mahagani	15	0,266	0.70	0.66	0,218
	Walnuß	12	0,284	0.65	0.62	0,243
Kollmann (Technologie des Holzes)	Kiefer	15	0,300		0.49	0,246
	Tanne	12	0,220		0.41	0,188
	Ahorn	15 (10~15)	0,370		0.59	0,303
	Buchsbaum	12 (10~15)	0,335 (0.21~0.30)		0.92	0,287
	Stieleiche	12	0,255		0.65	0,218
	Walnuß Nuß	10 (10~15)	0,238		0.64	0,195
	Teak	12	0,330		0.63	0,283

λ_u, λ_0 : Therm. conductivity at moisture content u, o,

として GRIFFITHS, KOLLMANN の報告値を 20°C, 0 %に換算し (第1表) 之等を用いて(2)式を決定すると

$$\lambda_{\parallel} = 0.022 + 0.346 r_0 \dots \dots \dots (3)$$

となりこれから $\lambda_{||}'$ を求めると 0.562 を得る。

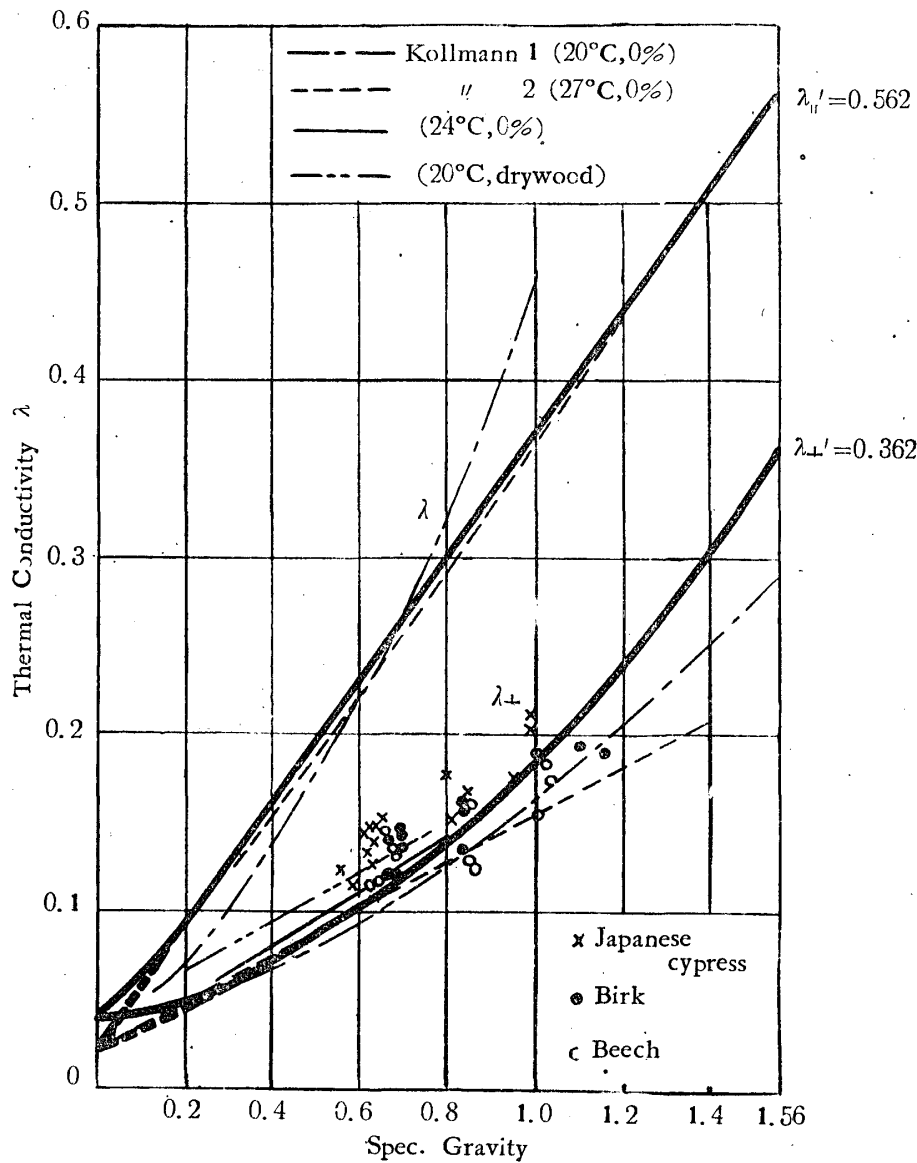


Fig. 3

Cedar, Balsam poplar の 0.35 等が報告されている故結局 $\lambda_{||}$ は第3図中に示す如く $r=0$ に於て 0.04 から出発して比重 0.3 附近で (3) 式に合致する事になるが実際の範囲では (3) 式によつて与えられる事になる。

4 繊維に直角な場合

この混合系に於て直列中の細胞膜実質の割合を q とすれば第4図の模型から明かな如く系列の平均熱伝導率 $\lambda_{\perp}$ は

$$\lambda_{\perp} = \lambda_{\perp}' + \left(\frac{p+q}{\frac{p}{\lambda_a} + \frac{q}{\lambda_{\perp}}} - \lambda_{\perp}' \right) (p+q) \dots\dots\dots (4)$$

本式中 $r=0$ は実在しないが比重が之に接近するに従つて空隙が大となり空気の対流等の影響が現われる為、静止空気の $\lambda_a=0.022$ より大きくなる事が予想される。この様な現象は WATZINGER によつてコルクにつき実験的に確められており又若杉が比重 0.06, 0.08 の Balsa について測定した結果では夫々 $\lambda_{\perp}=0.044, 0.046$ が与えられている事。KOLMANNが先に 0.04 を採用した事等から大体 $\lambda_a=0.04$ と見做するのが妥当であると考えられる。普通に存在する樹木の最小の平均比重はキリの 0.3, Northern White

λ' : 細胞膜実質の繊維に直角方向の熱伝導率

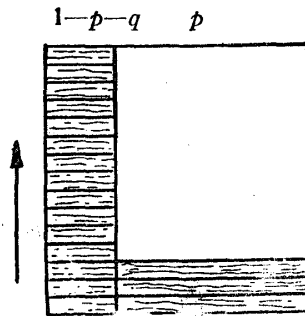


Fig. 4

細胞膜実質中 q に含まれる部分の割合は複雑な木材組織に於て到底正確な値を求める事は出来ないが例えばその90%以上が仮導管によつて占められ且つ比較的細胞配列の一定している針葉樹の横断組織(第1 q 図参照)について考えて見ると周知の如く細胞断面は円形, 楕円形及び矩形に到る各種の形状を呈するが主として矩形をなすものが最も多く且つ一般に春材部に比して秋材部の膜厚が厚く又春材部では半径面, 秋材部では接線面がより長い傾向が認められ一年輪内に於ても q の割合がかなり変動するが之を平均値的に取扱えば細胞断面を正方形と仮定し少くとも一樹種について q の値が一定であると見做して差支ない. この様に考えれば細胞膜実質に対する q の割合は結局細

Table. 2 $\frac{q}{1-p}$ of conifers (Tracheid)

Species		Sepec. Gravity of dry wood	Diameter of Tracheid				Thickness of cell wall	Thickness Diameter	$\frac{q}{1-p}$
			Spring wood		Summer wood				
			Radial section	Tangential section	Radial section	Tangential section			
Ginkgo	イ チ ヨ ウ	0.60	25-70	50-65			3-5	0.08	0,456
Taxus	イ チ イ	0.57	30-40	30-38	15-20	30-25	3-5	0.13	0,425
Torreya	カ ヤ	0.52	30-50	30-48	16-20	30-40	3-5	0.12	0,431
Picea	ト ウ ヒ	0.44	40-56	38-52	12-40	20-45	2-5	0.09	0,450
"	エ ゾ マ ツ	0.45	40-55	40-50	10-40	20-40	2-5	0.09	0,450
Tsuga	ツ ガ	0.66	40-55	40-50	15-45	25-42	2-6	0.10	0,445
Abies	モ ミ	0.44	48-55	45-55	16-40	20-45	2-6	0.10	0,445
"	シ ラ ベ	0.33	25-55	25-45	10-25	25-40	2-5	0.11	0,438
Pseudotsuga	ト ガ サ ワ ラ	0.46	40-60	50-65	18-40	48-60	2-7	0.09	0,450
Larix	カ ラ マ ツ	0.57	40-65	40-60	20-40	40-50	2-8	0.11	0,438
Pinus	ヒ メ コ マ ツ	0.54	40-50	40-50	10-32	28-40	2-5	0.10	0,445
"	テウセンマツ	0.46	40-55	30-50	15-25	20-40	1.5-5	0.09	0,450
"	ア カ マ ツ	0.48	50-60	48-56	15-43	40-50	2.5-8	0.11	0,438
"	ク ワ マ ツ	0.62	40-60	40-55	15-40	25-50	2-8	0.12	0,431
Cryptomeria	ス ギ	0.40	30-50	30-48	15-20	25-40	2-7	0.13	0,425
Sciadopitys	カ ウ ヤ マ キ	0.41	30-50	30-50	15-25	30-40	2-6	0.13	0,425
Chamaecyparis	ヒ ノ キ	0.50	35-50	20-50	10-25	30-35	2-4	0.09	0,450
"	サ ワ ラ	0.35	30-45	30-40	10-25	30-35	1-4	0.08	0,456
Thuja	ネ ズ コ	0.51	28-40	30-35	15-30	25-32	1-5	0.10	0,445
Thujopsis	ヒ バ	0.50	25-40	30-40	12-15	30-40	2-4	0.10	0,445

Table. 3 $\frac{q}{1-p}$ of broad-leaved trees (wood fiber)

Species		Spec. Gravity of dry wood	Diameter of wood fiber	Thickness of cell wall	Thickness Diameter	$\frac{q}{1-p}$
Populus	ドロヤナギ	0.33	22-28	2-3	0.10	0,445
Juglans	オニグルミ	0.48	22-30	3-4	0.13	0,425
Pterocarya	サワグルミ	0.36	20-30	1.5-2.5	0.08	0,456
Betula	シラカンバ	0.57	20-25	3-4	0.16	0,405
"	ミヅメ	0.74	24-28	3-4	0.13	0,425
Carpinus	イヌシデ	0.71	20-25	2-3	0.11	0,438
Caspanea	ク　　リ	0.57	16-18	2-3	0.15	0,411
Fagus	ブ　　ナ	0.68	12-16	3-4	0.25	0,333
Quercus	ミヅナラ	0.76	14-16	4-5	0.30	0,286
"	アカガシ	0.88	14-16	3-4	0.23	0,350
Zelkova	ケヤキ	0.73	12-16	3-5	0.29	0,296
Cercidiphyllum	カ　　ツ　　ラ	0.47	18-22	3-4	0.18	0,3,0
Magnolia	ホオノキ	0.46	24-28	2-4	0.12	0,431
Cimamomum	クスノキ	0.38	20-25	3-4	0.16	0,405
Purnus	ヤマザクラ	0.63	20-24	3	0.14	0,419
Buxus	ツ　　ゲ	0.89	12-16	4-5	0.32	0,265
Acer	カ　　エ　　デ	0.64	18-23	2-3	0.10	0,445
Aesculus	ト　　チ	0.52	25-30	2	0.07	0,462
Fraxinus	シ　　オ　　ザ	0.65	14-20	2-4	0.18	0,390
Paulownia	キ　　リ	0.27	25-30	2	0.07	0,462
Eriobotrya	ビ　　ワ	0.97	12-15	3.5-4	0.28	0,310
Betula	オノオレカンバ	0.96	14-16	4.5	0.30	0,290
"	ウラジロノキ	0.96	18-20	2-3	0.13	0,425
Myrica	ヤマモモ	0.92	15-20	3-5	0.23	0,350
Osmanthus	ヒイラギ	0.89	12-14	2-3	0.19	0,380

胞膜厚の細胞直径に対する比によつて決定される事になる（第5図）。

この関係を針葉樹より複雑な構造をなす広葉樹に対して適用する事には若干の疑義はあるが広葉樹の本繊維がその容積割合に於て一般に50%を超

える故^{1), 4), 14)} 細胞膜実質の割合に於てはその大半を占める事並に実際に同一比重の針、広葉樹の熱伝

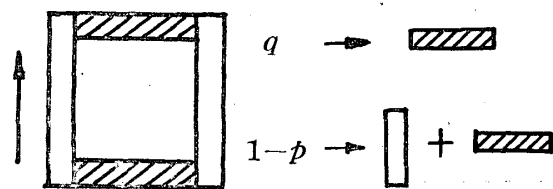


Fig. 5

導率に大差が無い事から 考へて之を広葉樹に適用しても妥当性を欠くものではないと考えられる。

以上の様な考へ方に基き本邦産主要樹種について金平氏の測定結果を用いて木繊維及び仮導管の平均膜厚/平均直径を計算し $q/1-p$ を求め之と絶乾比重との関係を示すと第6図(第2, 3表)の如くなる。* 即ち明かに $q/1-p$ は比重と密接な関係を有しその増加に伴つて次第に減少することが認められる。然してこの関係は $r=0, 1.56$ に於て夫々 $q/1-p=0.5, 0$ とならねばならない事から

$$\frac{q}{1-p} = 0.5 - 0.0321r_0 - 0.185r_0^2 \dots \dots \dots (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{従つて} \quad q &= 0.32r_0 - 0.0206r_0^2 - 0.118r_0^3 \\ p+q &= 1 - 0.321r_0 - 0.0206r_0^2 - 0.118r_0^3 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

之等の式を(4)に入れて λ_L と r_0 との関係を求める事が出来る。扱式中の λ_L' については3に於

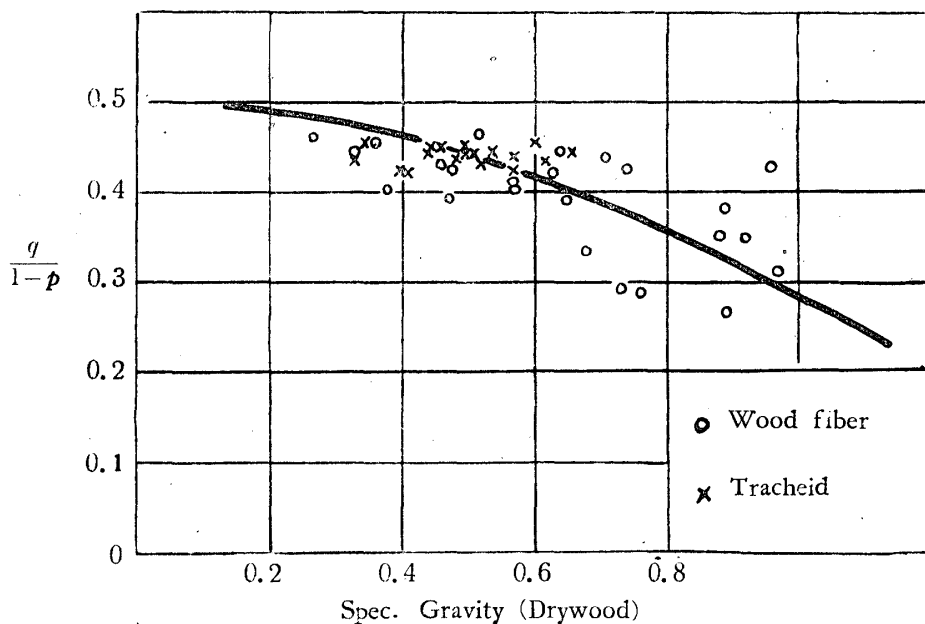


Fig. 6

けると同様実測値がない為之を決定する為に繊維に直角の方向について直接 λ_L を測定した。実験方法は定常流に於ける比較法によつたもので第7図の如く直径5cm, 高さ15cm, 熱伝導率既知(30~60°C に於て 32.04 kcal/mh°) なる2個の円筒形炭素鋼の

間に試片を挿入し之をプレスによつて圧縮密着せしめ上端を加熱, 下端を冷却して定常態に於ける鋼内の温度傾斜を夫々5個の温度計により測定した。今接触面に於ける熱損失がないものとするれば接触面に於て

$$\lambda_1 \frac{dt_1}{dx} = \lambda_2 \frac{dt_2}{dx}$$

λ_1, λ_2 : 炭素鋼及び試片の熱伝導率

$\frac{d\theta_1}{dx}, \frac{d\theta_2}{dx}$: 同上内の温度傾斜

が成立する故上式から λ_2 を求める事が出来る。この方法によりヒノキ, カバ, ブナの追乾絶乾材について接触圧力を 35~1000kg/cm² の範囲で数段階をとり夫々同一樹種の比重を変化せしめ比重

* 顕微鏡用切片をキシロールで完全に脱水してもバルサムで封じた場合細胞膜は若干膨潤する様である。筆者は先にこれを気乾状態と見做したが(第61回日本材学会講演)その後の調査によると矢張り絶乾に近い様に思われるが尙明かではない。この処では一応絶乾状態と見做しておく。

Table. 4 Relation between spec. gravity and therm. conductivity

Species	Applying pressure kg/cm ²	Spec. Gravity of dry wood	Therm. Conductivity kcal/mh°
Chamaecyparis ヒノキ	35	0,628	0,103
	35	0,586	0,092
	35	0,555	0,099
	50	0,628	0,124
	50	0,622	0,112
	50	0,632	0,124
	100	0,614	0,122
	100	0,649	0,127
	100	0,627	0,114
	500	0,806	0,179
	500	0,850	0,169
	500	0,812	0,153
	1000	0,998	0,213
	1000	0,994	0,206
	1000	0,958	0,176
Betula カバ	50	0,695	0,112
	50	0,674	0,099
	50	0,683	0,098
	100	0,678	0,121
	100	0,673	0,122
	100	0,660	0,118
	500	0,837	0,162
	500	0,843	0,168
	500	0,827	0,138
	1000	1,001	0,182
	1000	1,100	0,195
	1000	1,162	0,191
Fagus ブナ	50	0,645	0,094
	50	0,625	0,091
	50	0,669	0,115
	100	0,678	0,109
	100	0,658	0,121
	100	0,676	0,115
	500	0,836	0,131
	500	0,866	0,161
	500	0,864	0,125
	1000	1,037	0,172
	1000	1,015	0,155
	1000	1,008	0,181

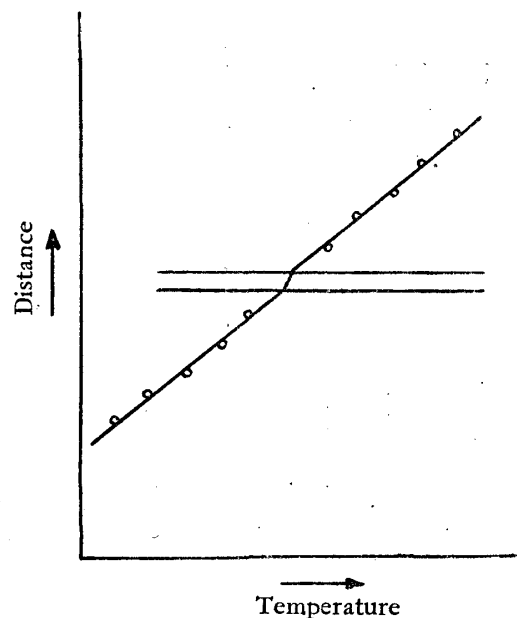
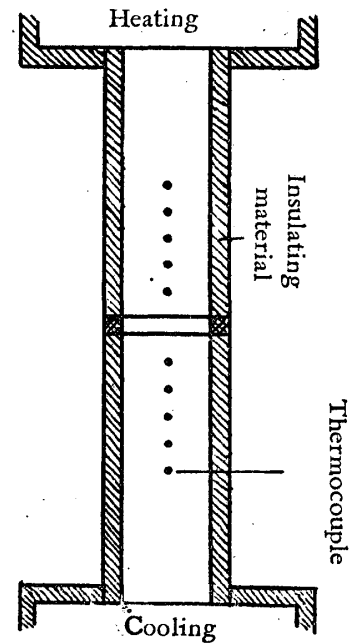


Fig. 7

と熱伝導率の関係を求めた結果を示すと第4表となる。この各圧縮段階の r_0 及び $\lambda_{\perp}$ の平均値と $\lambda_a=0.022$ を用いて(4), (6)式から夫々 $\lambda_{\perp}'$ を算出しその平均値を求めると $\lambda_{\perp}'=0.362\text{kcal/mh}^\circ$ を得る故この値を用いて再び(4), (6)式から r_0 と

$\lambda_{\perp}$ の関係を求めると第3図中の太線の如くなり近似的には

$$\lambda_{\perp}=0.022+0.0721 r_0+0.0931 r^2 \dots \dots \dots (7)$$

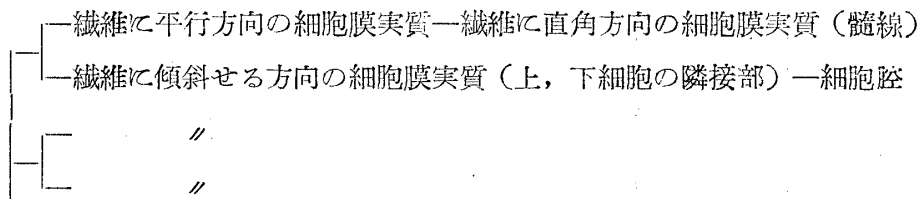
によつて表わされる。 r_0 の極めて小さい範囲内では空隙内の熱伝導率に対流や輻射の影響が現われ

る事を考慮した場合この曲線が $r_0=0.3$ 附近で計算値からそれて $r=0$ に於て $\lambda_{\parallel}=0.04$ をとるが実際の立場からは之を考慮する必要のない事は3.の場合と同様である。図中の点は実験値を又細線は従来の実験式を参考の為に示したもので之から明かな如く(3)及び(4), (6)式によつて与えられる λ の値は従来の測定結果とよく一致している事が認められる。

摘 要

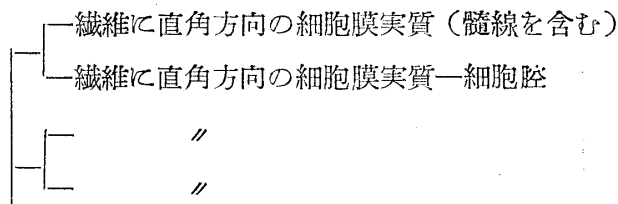
木材の組織を熱伝導的に異方性の細胞膜実質と等方性の細胞腔内空隙部より成立つものと仮定すれば次の直, 並列混合系の並列せる系を考える事が出来る。

a. 繊維に平行な場合

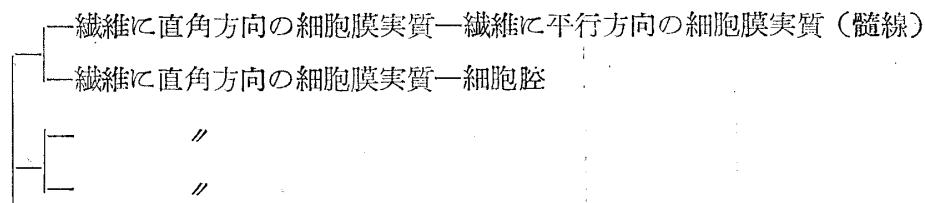


b. 繊維に直角な場合

(i) 切線方向

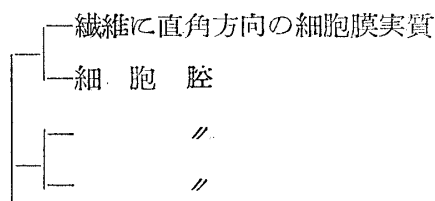


(ii) 半径方向



上の系列に於て髓線並に a. に於ける上下細胞の隣接部の影響は実用上甚だ微弱で之を省略し得る故次の如く之を簡略化することが出来る。

a. 繊維に直角な場合



この系列の平均熱伝導率 $\lambda_{\parallel}$ は

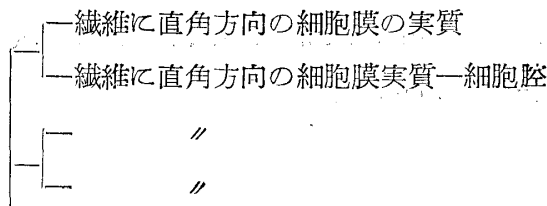
$$\lambda_{\parallel} = \lambda_{\parallel}' + (\lambda_a - \lambda_{\parallel}') p \dots \dots \dots (1)$$

但し λ_a , $\lambda_{||}'$ は夫々細胞腔及び細胞膜実質の繊維方向の熱伝導率, p は木材の空隙率である. 今乾燥木材の眞比重を 1.56 とし $\lambda_a=0.022$ (20°C) と実測値を用いて上式を決定すると 20°C , 0%に於て

$$\lambda_{||}=0.022+0.346 r_o \dots\dots\dots(3)$$

を得る (r_o : 木材の絶乾比重).

b. 繊維に直角な場合



この系列の平均熱伝導率 $\lambda_{\perp}$ は

$$\lambda_{\perp}=\lambda_{\perp}'+\left(\frac{p+q}{\frac{p}{\lambda_a}+\frac{q}{\lambda_{\perp}''}}-\lambda_{\perp}'\right)(p+q) \dots\dots\dots(4)$$

但し $\lambda_{\perp}'$ は細胞膜実質の繊維に直角方向の熱伝導率, q は上の直列部に於ける細胞膜実質の占める割合である. 今細胞断面を正方形と仮定すれば細胞の直径と膜厚の比から q の値は

$$\left. \begin{aligned} q &= r_o (0.32 - 0.0206 r_o - 0.118 r_o^2). \\ p+q &= 1 - 0.321 r_o - 0.0206 r_o^2 - 0.118 r_o^3 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

なる故実測値を用いて(4), (6)式から $\lambda_{\perp}'$ を決定すれば之等の式から $\lambda_{\perp}$ と r_o との関係を求めることが出来近似的には 20°C , 0%に於て

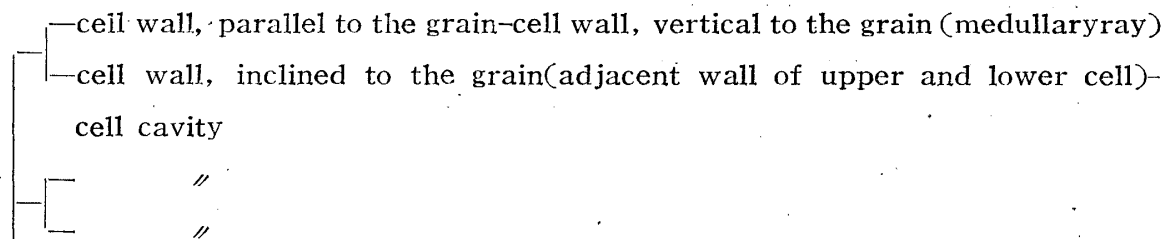
$$\lambda_{\perp}=0.022+0.0724 r_o+0.0931 r_o^2 \dots\dots\dots(7)$$

によつて表わし得る. 第3図中とは之等の比算結果と従来の実験式とを比較して示した.

Résumé

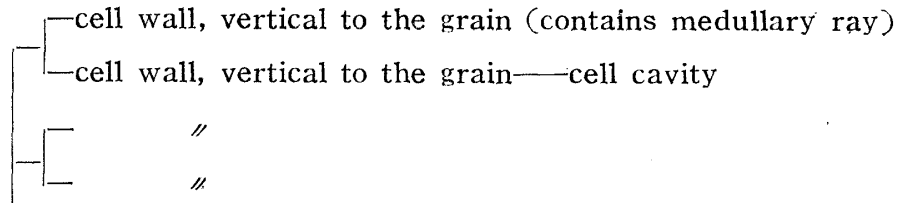
The author assumed, at a standpoint of heat conduction, the structure of wood consists of anisotropic cell wall and isotropic cell cavity substance and the parallel systems of the following models. (ref. fig. 1)

a. In the fiber direction in wood

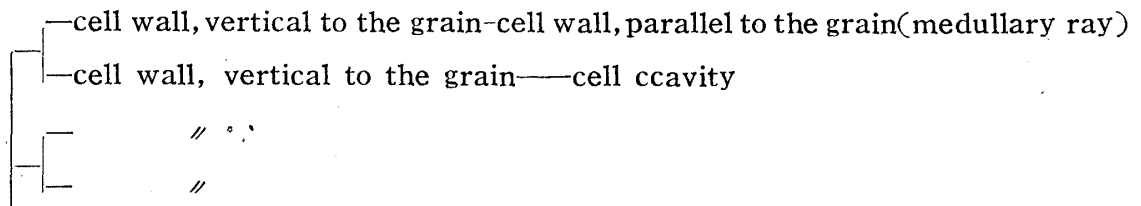


b. In the transverse direction in wood

(i) in tangential direction

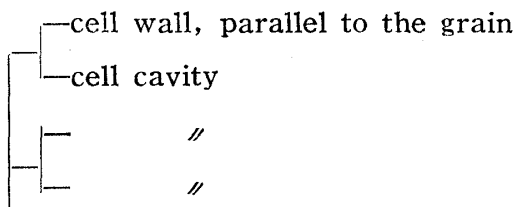


(ii) in radial direction



In above systems, the influences of medullary ray and the inclined cell wall in system a. on the thermal conductivity are practically negligible, then the systems are simplified as follows.

a. In the fiber direction in wood



The average thermal conductivity of this system $\lambda_{||}$ is given as (ref. fig.2)

$$\lambda_{||} = \lambda_{||}' + (\lambda_a - \lambda_{||}') p \quad (1)$$

$\lambda_{||}'$: therm. conductivity of cell wall, parallel to the grain

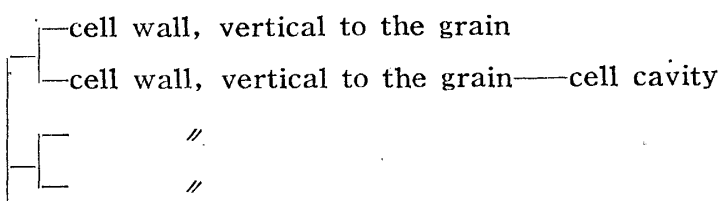
λ_a : " " of cell cavity

p : rate of void volume in wood.

When we take the density of dry wood substance as 1,56, λ_a as 0.022 (thermal conductivity of closed air at 20°C.), using $p = 1 - 0.641 \gamma_o$ (γ_o : spec. gravity of dry wood) and the experimental values of $\lambda_{||}$, eq. (1) may be written as

$$\lambda_{||} = 0.022 + 0.346 \gamma_o \quad (3)$$

b. In the transverse direction in wood



The average thermal conductivity of this system $\lambda_{\perp}$ is given as (ref. fig. 4)

$$\lambda_{\perp} = \lambda_{\perp'} + \left(\frac{p+q}{\frac{p}{\lambda_a} + \frac{q}{\lambda_{\perp'}}} - \lambda_{\perp'} \right) (p+q) \dots \dots \dots (4)$$

$\lambda_{\perp}'$: therm. conductivity of cell wall, vertical to the grain

q : volumetric rate of cell wall of series part of above system.

If we suppose the cross-section of cell as a square, the value of q can be calculated from the ratio of diameter of cell and the thickness of cell wall. That is, in tracheid (conifers) and wood fiber (broadleaved tress) (ref. table 2, 3) we have

$$q = r_o (0.32 - 0.0206 r_o - 0.118 r_o^2) \dots \dots \dots (6)$$

Using the experimental values of $\lambda_{\perp}$, $\lambda_{\perp}'$ is calculated from eqs. (4) and (6) and the relation between $\lambda_{\perp}$ and r_o can be determined. This relation is also given as following approximate formula at 20°C, 0%

$$\lambda_{\perp} = 0.022 + 0.074 r_o + 0.0931 r_o^2 \dots \dots \dots (7)$$

The results are shown in fig. 3 comparing with other formula.

文 献

- 1) Forsaith, C. C. ; Technology of New York State timber (1926)
- 2) Fuber, B & Prütz. G. ; Holz als Roh-und Werkstoff Jg. 1 H. 10 (1938)
- 3) Griffiths, E & Kaye, G. ; W. C. Proc. Roy. Soc. London, Ser. A Bd. 104 (1923)
- 4) 金 平 亮 三 ; 台湾中央研究所報告 4 (1926)
- 5) Johonton, H. W. & Maa B, O ; For. Prod. Lab. Canada Res. Notes 11 (1929)
- 6) Kollmann, F. ; Technologie des Holzes (1936)
- 7) " ; Technologie des Holzes und Werkstoff (1951)
- 8) 俣 野 仲 次 郎 ; 応用物理 11 (1942)
- 9) Narayanamuruti, D & Ranganathan, V ; Proc. Ind. Acad. Sci. Bd. 13 No. 4 Ser. A (1941)
- 10) Rowley, F. B. ; Heating pipe. (1933)
- 11) 関 谷 文 彦 ; 木材工業学
- 12) 若 杉 松 三 郎 ; 保 温 材 (1951)
- 13) Wangaard, F. F. ; Heatin Pip. Air Condit. Bd. 5 (1933)
- 14) 山 林 暹 ; 朝鮮総監府林業試験場報告 7 (1928)