HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道産ナラ材の材質に関する研究：Ⅱ．十勝産ナラ材の年輪密度，比重及び収縮率
Author(s)	大澤，正之；石田，茂雄；宮脇，義隆
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告，20(1)，53-76
Issue Date	1959-07
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20767
Type	departmental bulletin paper
File Information	20(1)_P53-76.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道産ナラ材の材質に関する研究

II. 十勝産ナラ材の年輪密度，比重及び収縮率

大澤正之
石田茂雄
宮脇義隆

Studies on the Properties of Nara-wood, *Quercus* spp., Grown in Hokkaido

II. Some Physical Properties, Especially Transverse Shrinkage of Mizu-nara-wood, *Q. crispula* Bl., from the Headwaters Area of the River Tokachi in Hokkaido

By

Masayuki Ohsawa, Shigeo Ishida
and Yoshitaka Miyawaki

目　次

頁
序 …… 53
試験方法 …… 54
試験成績及び考察 …… 56
要　結 …… 63
参考文献 …… 65
Summary …… 66
付　表 …… 68

序

この報告は，北大農学部森林利用学教室における北海道産ナラ材の材質に関する研究[1]の一環としておこなわれた研究の成果の一部であつて，さきに発表された第I報“産地別ナラ材の材質の比較”に続くものである。この報告で対象とした調査地は十勝地方でのナラ材の主要生産地の一つである十勝川源流地域いわゆるトムラウシ地域で，前報同様，ナ

大澤正之　北海道大学名誉教授　林学博士
石田茂雄　北海道大学農学部林産学科　助教授　林学博士
宮脇義隆　王子製紙工業株式会社春日井工場山林部

ラ材材質比較の指標として年輪密度をとり上げ，また同時に，木材利用上それ自体重要な意味を持つものとして，ナラ材の乾燥に伴なう収縮をとり上げて試験をおこなつた。ここには，標題の如く，トムラウシ産ナラ材の年輪密度，比重および収縮率について報告するが，この年輪密度は収縮率測定に関連して得られたものであつて，もつと広い立場から行つたこれに関する調査結果については別の機会に報告する予定である。本研究に対する筆者等の基本的態度は，北海道産ナラ材材質の地域的相違を，大まかに，その見掛上の一性質たる年輪密度に関連させて解明しようとするものであり，また，年輪密度そのものは，利用上有意な材質との媒介的意味を持つにすぎないと云えるので，これと同時に，前報では加工上直接的意味を持つ“硬さ”を取上げ，本報では収縮率を取上げたわけである。ここに収縮率を取上げたのは，従来，十勝地方以東から相当量生産されているカシワ，あるいはカシワナラ材が，その狂いの大なるが故にしばしば問題を起している事実があるからである。

木材の乾燥に伴なう収縮は，その線収縮すなわち寸度の減少ならびに不整収縮にもとづく形状変化すなわち狂いの観点から，木材利用上早くから問題にされており，また，木材材質の異方性の一典型としての観点から詳細な分析的研究の課題として取上げられている*。ナラ材の収縮については他樹種のそれとともに多くの測定，報告がなされており，また近時，その収縮持性については Mc INTOSH[7] の詳しい分析的研究があり，北村[8]，中戸[12]氏もこの問題を扱つている。筆者等の本報告では，ナラ材の収縮現象をその機構にまでさかのぼつて考究しようとはせず，特定の試験片によつて統一的におこなつた多数のナラ材の収縮率の出現状況を明らかにし，これと年輪密度，比重などとの相関について検討する。

この研究の材料採取，現地調査に際し格別の配慮をいただいた，元の帯広営林局長伊藤健夫氏はじめ現地の各位並びに当研究室の宮島　寛氏に対し厚く謝意を表する。

試　験　方　法

1955年夏，帯広営林局管内十勝川流域の森林内でミズナラ（*Quercus crispula* BL.）立木を伐採して試験円板を採取，これを北大農学部森林利用学教室に搬入した。これらの円板から収縮率測定試験片を作り，生材状態から全乾に至る収縮量を測定して収縮率を計算，さらに年輪密度，全乾比重，容積密度数などを測定計算した。

試験材料　試験材料採取地は帯広営林局旧十勝川経営区120林班内にあり，十勝川源流地域に位置し，林相はほぼ原生状態を保持しているものと看做された。材料を採取し

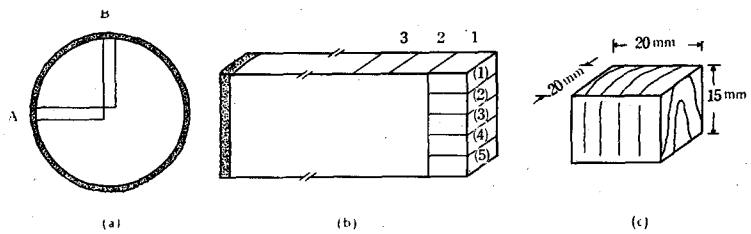
---

* 関係文献は非常に多いが，たとえば，H. NÖRDLINGER (1860), GAYER-FABRICIUS (1935), KOLLMANN (1951), TRENDELENBURG-M.WEGELIN (1955), BROWN-PANSHIN-FORSAITH (1948), KITAO (1898), 井阪 (1957), KEYLWERTH (1943), FREY-WYSSLING (1940), Mc INTOSH (1954, 57), 中戸[12] (1958 その他) など.

た地区内でとつた標準地の調査によれば，立木 (胸高直径 10 cm 以上) 本数の約 8 割がトドマツを主とする針葉樹，残りはカバ類，センノキ，ミズナラ，イタヤその他の広葉樹であつた。

この林班内の，1955 年度伐採予定ナラの立木 120 本中から 16 本の試験木を選び，伐採した。これら試験木の径級別本数は，上述の伐採予定調査木全体の径級別本数比率に基づいて配分決定された。選ばれた試験木は直ちに伐倒され，営林局の仕様にしたがつて造材されたが，その際 12 尺の丸太 1 丁を採材した直ぐ上の幹材部から厚さ約 15 cm の円板を 1 枚切断し，これをもつて本試験用の円板とした。円板採取の地上高は追上げ，1 丁目末口付近幹材部の欠点などのため幾分高くなつたものもあつたが，大部分は 4～5 m であつた。試験円板の両横断面には直ちにワセリンを塗布し，実験室へ輸送した。

16 枚の円板の中，欠点その他の事情により 13 枚だけが，実際に収縮率測定試験に供された。成長状態その他の計測を了えた円板上の直交する 2 半径 (髄心を通る最小半径および，原則としてそれに直交する大なる半径) の内方から外方に向つて，幹軸方向 (繊維方向) に相接続する，それぞれ 5 個づつの試験片を順次切取つた。木取法を第 1 図に示す。



第 1 図 供試円板からの収縮試験片の木取り

Fig. 1. Sketch showing cutting method, shape and size of test specimen.

試験片個体は，その縦断面が正しい二方マサとなり，横断面が正しく繊維に直交するよう十分注意した。供試円板の中には，偏心成長をしてその髄線方向が著しく曲つたもの，部分的な波状あるいは褶曲状年輪を有するものなどがあつたので，これらの円板では，規定どおりの試験片を同一半径上に連続して木取ることができず，試験片採取位置が所定の半径からはずれ，あるいは 1 半径上の試験片相互の距離がかなり離れた場合がすくなくなかつた。

試験片数は 1 円板につき 70～150 個，総数約 1,150 個であつた。

測定方法 半径方向，接線方向の全収縮率[2]，全乾比重を実験的に求めることを目標に，試験片の半径方向の長さ，すなわち試験片の横断面の 1 辺の長さ，同じく接線方向の長さ，すなわち他の 1 辺の長さを，生材および全乾材について測定し，また繊維方向の長さを全乾状態において測定した。生材状態すなわち長さの最大の状態を確実にするため

試験片製作後2～3日間それを水に浸し，然る後測定実施まで水蒸気飽和のデシケーターの中に保持した。長さの測定はマイクロメーター（Screw micrometer，精度1/100 mm，試験片への接触面は直径6 mmの円形平面）により，重さの測定は10 mg感度の天秤によつておこなつた。生材状態での測定の終つた試験片は室内に約1週間放置し，さらに，60℃の乾燥器で約1日予備乾燥をおこなつた後，100～105℃で，恒量になるまで乾燥し，全乾重量を求めた。また，この状態において半径方向及び接線方向の長さを，生材時と同じ位置について測定し，さらに繊維方向の長さをも測定した。年輪密度は，試験片横断面上半径方向の完全なる全年輪の数をその半径方向の長さで割つて求めた[2]。収縮率の計算式は次のとおりである。

$$\text{半径収縮率}\quad a_r = \frac{\text{生材時の半径長} - \text{全乾時の半径長}}{\text{生材時の半径長}} \times 100\,(\%)$$

$$\text{接線収縮率}\quad a_t = \frac{\text{生材時の接線長} - \text{全乾時の接線長}}{\text{生材時の接線長}} \times 100\,(\%)$$

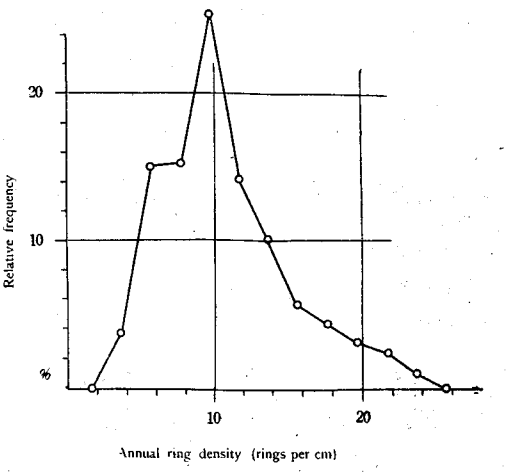
$$\text{容積収縮率}\quad a_v \fallingdotseq a_r + a_t$$

試験成績及び考察

測定結果並びに之にもとづく計算結果を末尾付表に示す（68～76頁）。この付表には，収縮率並びに之に関連して測定，計算された諸材質数値を示すが，これらの数値は，それぞれ，試験円板の1半径上同一位置にある幹軸方向の5試験片の平均値である（第1図参照）。この，それぞれ5個の試験片についての諸材質数値の偏異は極めて小さく，付表ではその平均値をもつて1半径上夫々の位置の材質を代表させたわけである。

年輪密度　すでに述べたように，トムラウシ産ナラ材の年輪密度一般については別に報告することとし，ここには本収縮試験に供した13円板から取つた収縮試験片について測定した年輪密度に関して簡単に述べる。

収縮率試験片を木取つた13枚の円板の，年輪密度分布の大まかな，且つ共通的傾向としては，樹齢が高くなるにつれ，すなわち半径が大となるにつれて年輪密度が大となることが挙げられる。尤も，これには幾つかの例外は存する（たとえば，円板No. 1など）。年輪の配列が比較的同心円的



第2図　年輪密度の出現頻度

Fig. 2.　**Frequency distribution of annual ring density (rings per cm).**

で，内方から外方に向つて平滑緩徐にその密度を増す傾向を示したのがNo. 9, No. 10などであつた。之に対し，半径方向における密度の部分的変化の著しい，いわゆる不整調な円板もみられ，No. 3, No. 11などがこの部類に属した。また，年輪が著しい波状形を呈する材部や，極端な場合には，褶曲した年輪を有する材部の現われた円板が3～4枚あり，No. 2, No. 4などがそれである。

収縮率試験片について測定した年輪密度の，試験片全体(13円板の合計約1,150個)における現われ方をみると第2図および第1表のとおりである。

第1表 年輪密度及び全乾比重に関する統計数値

Table 1. Statistical figures of annual ring density (rings per cm) and specific gravity in oven-dry.

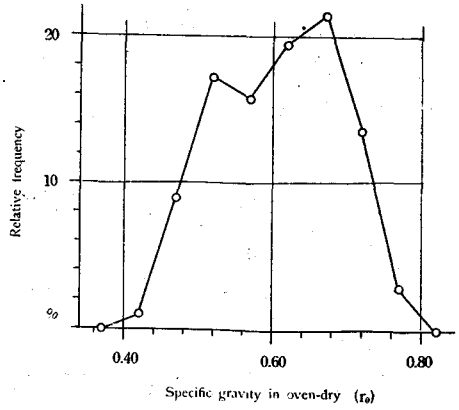
	Average	Mode	Standard deviation	Coefficient of variation (%)	Skewness	Max.	Min.
Annual ring density (rings per cm)	10.6	9.6	4.4	42	0.24	24.9	2.8
Specific gravity in oven-dry (r_0)	0.62	0.68	0.08	13	−0.75	0.83	0.43

試験片全体についての算術平均値10.6は前報の札幌営林局管内芦別産ナラ材のそれ[1] 10.2に最も近く，また，年輪密度によつて区分された材種，すなわち，A, B, C種材*の比率は，それぞれ33, 40, 27%となり，これまた，芦別産ナラ材のそれ**に最も近い。

全乾比重 年輪密度と同様に，収縮試験に供された全試験片の全乾比重r_0の出現状況を第3図に示し，また，その統計数値を第1表に示す。

全乾比重の算術平均値0.62は前報ナラ材のそれの芦別産に等しく，また，分散，歪度はともに芦別産材より稍々小である。

比重0.50～0.70の範囲に全数の約3/4が含まれており，この分布特性は芦別産材と日高産材の中間位置にある。



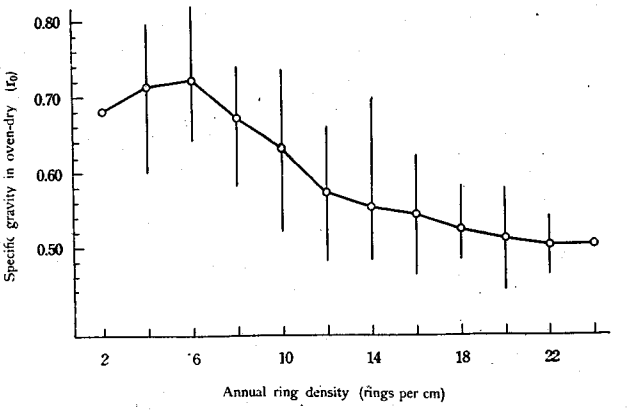
第3図 全乾比重の出現頻度

Fig. 3. Frequency distribution of specific gravity.

年輪密度と全乾比重の関係 巻末付表に掲げた年輪密度と全乾比重の値から，その関係を図示すれば第4図のとおり。

* 年輪密度について，A＜8, 8≦B≦13, 13＜C. (A：年輪密度).

** 上掲論文(1)の800頁の表3の値.



第4図　年輪密度と全乾比重の関係

Fig. 4.　Relation between annual ring density and specific gravity.

図の○印は，当該年輪密度区分内の比重の平均値，○印の上下の直線はその年輪区分内の比重の最大および最小を，それが所属する比重区分の中央値で示す。両者の関係を年輪密度区分中央値と区分内比重の平均値についてみると○印を結ぶ実線のとおりで，その形は第I報における芦別産材あるいは千歳産材のそれに最も近い。その関係は，年輪密度の全域にわたつては二つの指数式ないしはガウスの誤差曲線の変形をもつて表わしうることは第I報同様であるが，年輪密度出現頻度の90% 以上を含む，密度6以上では近似的に一つの指数式で表わすことができ，結局

$$r_0 = 70.8\, e^{-0.189A} + 50.0$$

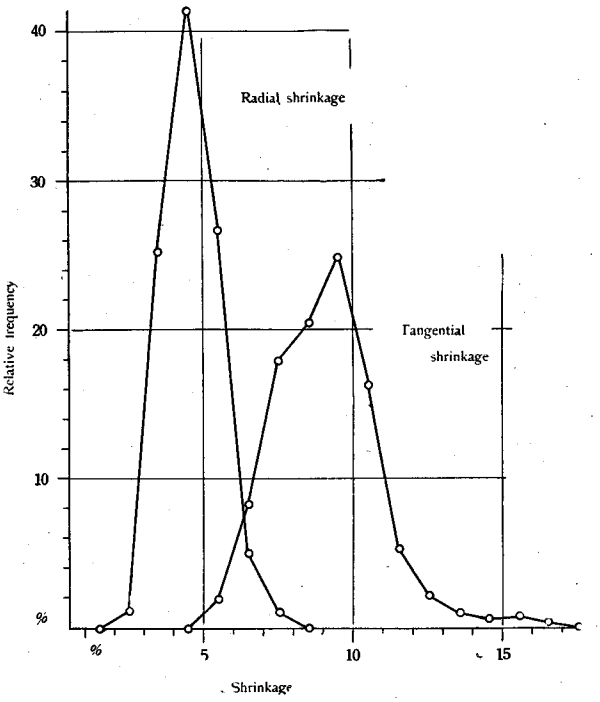
なる実験式が得られた。密度5以下では，その減少に伴ない r_0 も減少する傾向がみられ，また，20以上では，減少傾向が認められるとは云え，その程度は著しく小さくなるものと看做される。同一年輪密度区分内における r_0 の偏異はかなり大で，出現頻度の比較的大なる6～14の範囲では，その偏異の大きさがそれぞれ約0.2であつた。これらの偏異の由来するところは複雑であろうが，材の構造的には，年輪内構造の違いが当然問題になるわけであり，実質的には細胞膜比重，沈積物の多少などが問題にされるべきであろう。本試験においては，年輪密度同一な場合，髄心からの距離が増すにつれ比重 r_0 が幾分減少するものの如くであつた。

K. GÖHRE[4] の，ドイツ産 Roteiche (*Quercus borealis* M.) 材の年輪幅と全乾比重に関する資料によれば，年輪密度 (A)* はほぼ1.5～10の間に分布し，2～6の間に大部分が含まれている。A：2～5の範囲では，その増減に関係なく比重 r_0 はほぼ一定，A：5付近からその増加に伴ない r_0 が減少している。GÖHRE の値と，筆者らの値を比較することは，年

* 原文は年輪幅を以て表わす。この数値は筆者の換算値。

輪密度の分布範囲が異なるので(この資料の Roteiche の $A:10$ はその分布のほぼ上限であるが，これは筆者らの報告における平均値に等しい) 部分的にしか可能でないが，A と r_0 の関係の大体の傾向は，$A:2\sim10$ について両者に著しい違いはなく，また，Roteiche の $A:4$ に対する平均比重 $r_0:0.70$，$A:10$ に対する $r_0:0.63$ はともに筆者らの報告のナラ材のそれぞれの値にほぼ等しい。

収縮率　全試験片についての，半径方向及び接線方向収縮率の出現状況並びにこれにもとづく諸数値を第5図，第2表に掲げる。



第5図　収縮率の出現頻度

Fig. 5. Frequency distribution of shrinkage in transverse directions.

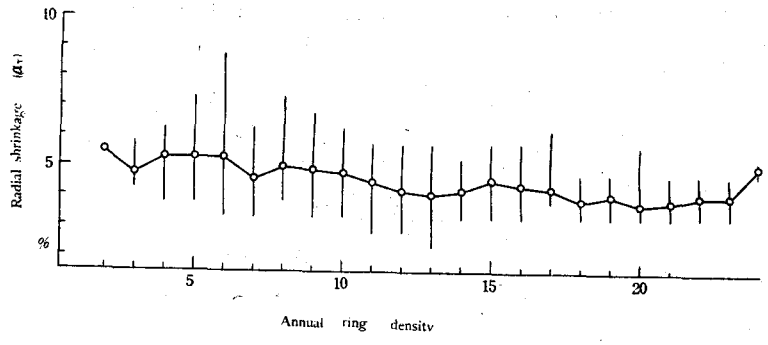
第2表　収縮率に関する統計数値

Table 2. Statistical figures on shrinkage in both radial and tangential directions.

	Average	Mode	Standard deviation	Coefficient of variation (%)	Skewness	Max.	Min.
Radial shrinkage α_r (%)	4.7	4.3	0.9	19.1	0.44	7.6	2.3
Tangential shrinkage α_t (%)	9.1	9.6	1.8	19.8	−0.25	16.6	5.4

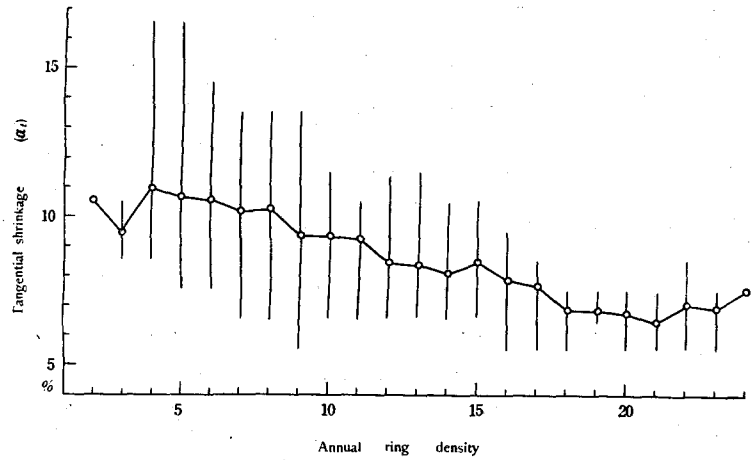
第2表からわかるように，a_r，a_t の算術平均値は夫々 4.7，9.1% で，この比すなわち $a_{t\text{mean}}/a_{r\text{mean}}$ は約 1.9 となる。a_r は比較的せまい範囲すなわち 2.3～7.6% の間に分布するが，全測定試片の約 3/4 が a_r：3.6～5.5 %の間に含まれる。之に対し a_t は 5.4～16.6% の間に分布するが，全数の 3/4 強が a_t：7.1～11.0 %の間に含まれる。a_t の標準偏差は a_r の 2 倍であるが，上述の如く $a_{t\text{mean}}/a_{r\text{mean}} \fallingdotseq 2$ であるから偏差係数はほぼ等しい。本試験の成績を既往のほぼ同類の試験成績に比べると，たとえば田中氏[5]の檜山産ミズナラ材半径収縮率平均値 4.8% と本試験の 4.7% はほとんど同等であるが，接線収縮率は，前者が約 13% で本試験の値に比べて遙かに大である。但し，田中氏の試験材料の年輪密度は 17～23 である。前掲ドイツの Roteiche について記載された値の一例によれば[4]，a_r，a_t の算術平均は夫々 4.5，11.1% であり，a_r は本試験に合致，a_t はかなり大である。ただし，この値は，全乾比重 0.67 に対応するものの如くである。北アメリカ産の本種すなわち *Q. borealis* M. (Northern red oak) の収縮率は，wood handbook[6] によれば，a_r：4.0%，a_t：8.2% である。Mc INTOSH[7] は米国産 Red oak について，その収縮と材構成要素に関し詳細な研究を行つており，北村氏[8] は木材の収縮過程についての細かい観察にもとづき，収縮現象におけるナラ材の特異性を指摘している。本試験は，当初に述べたように，試験片の個体別に収縮過程の詳細を調べることを目的としたものではなく，単純な項目について幅広い観察を行うことを主旨としたものではあつたが，試験の過程において，一部試験片の乾燥後の狂い，極く少数試片（全試片数の 1% 位）における広髄線に沿つた細微な割目の発生を観測した。このような事例は主として，年輪が褶曲状もしくは波状を呈し，あるいは，広狭の著しく不揃いな年輪から出来ている試験片にみられた。本報告の収縮率の集計はこのような値をも加えて行われたが，今後は測定方法についての検討をおこなうと共に，他の材質的諸要素，とくに年輪内構造と収縮特性の関係について検討する必要がある。

a_r，a_t と年輪密度（A）との関係　a_r と A の関係を第6図に，a_t と A の関係を第7図に示す。



第6図　年輪密度と半径収縮率の関係

Fig. 6.　Relation between annual ring density and radial shrinkage.



第7図 年輪密度と接線収縮率の関係

Fig. 7. Relation between annual ring density and tangential shrinkage.

α_r, α_t ともに A の増加に伴なつて減少する傾向がみられる。α_r—A においては，年輪密度の全域にわたつて稍々複雑な波状を呈するが，年輪密度 4～20 (全度数の約 90% を含む) の範囲では近似的に 1 つの直線で表わすことができる。α_t—A でも前者同様 4～20 の範囲では 1 つの直線をもつて表わすことができる。すなわち，平均法によつて係数を求め，次の式がえられた。

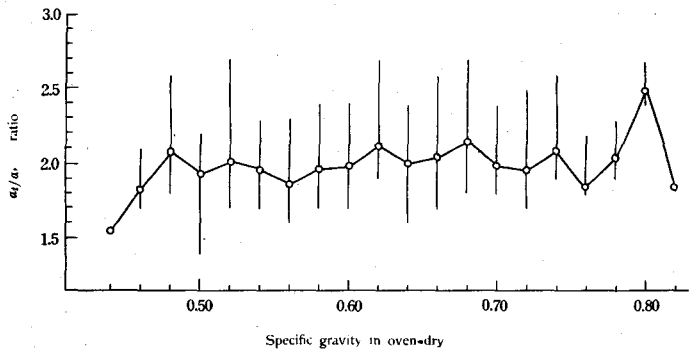
$$\alpha_r = 5.4 - 0.072\,A \qquad \alpha_t = 12.5 - 0.27\,A$$

年輪密度による材種区分の 2 つの限界値 (A : 8, 13) に対する α_r, α_t を本式から求め，A, B, C の 3 材種に対する両収縮率の値を示すと次のとおり。

	A 種 材	B 種 材	C 種 材
α_r	>4.8	4.8～4.2	4.2>
α_t	>10.3	10.3～8.9	8.9>

α_t/α_r この値は，木材の異方的収縮の程度を示す量として広く用いられるものであるが，本試験の α_r, α_t の測定値から計算した値を巻末付表に掲げる。その算術平均は 2.03 で，1.3～2.6 の間に変化するが，全数の約 80% は 1.7～2.2 の間に含まれる。分布形は僅かに右偏する。

α_t/α_r と全乾比重 (r_0) の関係を図示すれば第 8 図のとおり。図からわかるように，α_t/α_r と r_0 との相関ははなはだ低く，とくに，比重頻度の 90%以上を含む r_0 : 0.48～0.78 においては，比重の変化にかかわらず α_t/α_r はほとんど不変と看做される。このことは，木材について認められている (たとえば文献 (9)) ところの，比重の増大に伴つて α_t/α_r は 1 に近づく，すなわち等方性を増すと云う傾向に合致しない。一方，この量の分散は，各比重区分内に

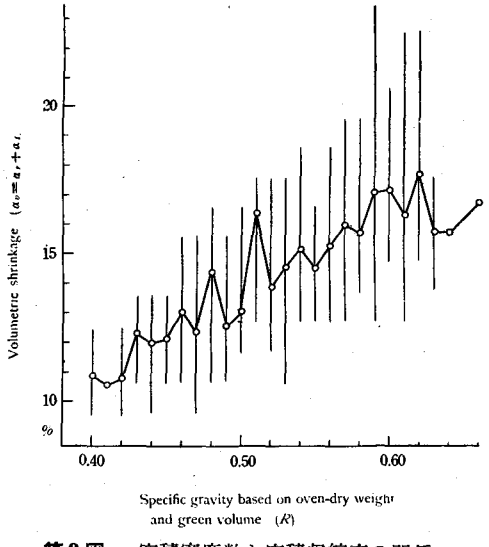


第8図　全乾比重と a_t/a_r の関係

Fig. 8.　Relation between specific gravity (r_0) and a_t/a_r ratio.

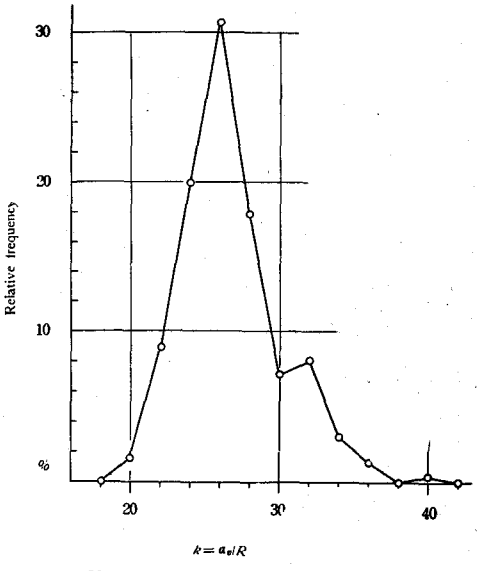
おいてもかなり大であり，したがつて，その原因は単なる木材実質量以外の要因，たとえば，その材構成細胞要素の配列，木材細胞膜の構造などと関連させて考えるべきものであろう。

容積収縮率 a_v と容積密度数 R との関係，$k=a_v/R$ の分布　前述の如く，容積収縮率 a_v は近似的に a_r+a_t をもつてした。a_v, R（全乾比重と同法をもつて示す）及び両者の比 k の値は付表に掲げられている。容積収縮率 a_v と容積密度数 R の関係については，NEWLIN-WILSON[10] 以来多くの研究がおこなわれ，両者の間に比例関係のあることが知られており，また，その物理的意義についても考究されている[11]その他。筆者らの試験で求めら



第9図　容積密度数と容積収縮率の関係

Fig. 9.　Relation between specific gravity (R) and volumetric shrinkage.



第10図　$k=a_v/R$ の出現頻度

Fig. 10.　Frequency distribution of a_v/R ratio (k).

第3表 $k=a_v/R$ に関する統計数値

Table 3. Statistical figures on a_v/R ratio (k).

	Average	Mode	Standard deviation	Coefficient of variation (%)	Skewness	Max.	Min.
k	26.6	26.1	3.34	13	0.18	39	19

れた a_v と R の関係を第9図に，$k=a_v/R$ の出現状況を第10図に，また，k に関する統計数値を第3表に示す。

第9図によれば，両者の関係はおおむね直線と看做して差支えない。そこで，R の各区分の中央値と，之に対応する a_v の平均値から近似的に直線式を求めると

$$a_v(\%) = 0.57 + 24.9\,R$$

となり，方向係数約25，ほぼ原点を通る直線となる。なお，本測定では第3表に示した k の算術平均値26.6を勾配とし，原点を通る直線は，ここに求められた直線にかなり近いものである。

a_v と R の関係式は試験円板全体については上述の如く与えられるが，之を円板別にみれば，その個体的特徴が著しい。たとえば，No. 9，11および13などの円板ではその関係直線の傾斜がかなり急で，この三者合併の関係式では方向係数約50，截片は -9.4 に達した。このような著しい特徴は何に基づくものなのかは判然しないが，上述の3円板の中No. 9は，年輪密度の変化に対する比重の変化の割合が，他の円板に比べて格別に大きく，又No. 13もほぼ同様の傾向を示した。然るに，No. 11はむしろ逆に，上述の割合の小さい円板であつた。結局，このような個体的特異性は，材構造そのものにさかのぼつて考究さるべき性質のものであろう。これらの点については別に検討する予定である。

要　　結

北大農学部森林利用学教室における“北海道産ナラ材の材質に関する研究”[1]の一環として，帯広営林局管内トムラウシ産ミズナラ材の収縮試験を行い，半径収縮率 (a_r)，接線収縮率 (a_t)，容積収縮率 (a_v)，a_t/a_r などについて検討し，さらに，年輪密度，比重，容積密度数並びに之等の相互関係について検討をおこない，その結果を報告した。なお，トムラウシ産ナラ材の年輪密度の一般については別に報告する。

1. 試験材を採取した場所は帯広営林局旧十勝川経営区120林班で十勝川源流地域に属し，トドマツを主とする針葉樹が全立木の約8割を占めており，ほぼ原生状態を保持しているものと看做された。試験材は，このような老齢林分中のミズナラ立木から採取されたものである。16本の試験木が選ばれたが，これらの樹幹の地上高4～5 m付近からそれ

ぞれ1枚づつの円板を採取し，その13枚を試験材とした。

2. 実験室に運ばれた円板について成長状態の調査をおこなつてから第1図のような方法で収縮率測定試験片を作つた。試験片は2 cm（半径方向）×2 cm（接線方向）×1.5 cm（繊維方向）の直方体であつた。試験片の数は1枚の円板の2半径方向を合わせて，多い円板で150個，すくないもので約70個であつた。試験片は木取仕上後2～3日水につけ，然る後密閉デシケーター中に保持した。

3. 測定事項は年輪密度（A），全乾比重（r_0），収縮率（a_r，a_t）であり，まず，生材状態において試験片の半径方向及び接線方向の長さを精度1/100 mmのスクリューマイクロメーターで測り，然る後徐々に乾燥し全乾状態ならしめ[2]，この状態における両方向及び繊維方向の長さを測定，さらに，全乾重量をも測定した。収縮率は生材から全乾に至る，いわゆる全収縮率である。測定ならびにこれにもとづく計算結果を簡約して巻末付表に掲げる。

4. 収縮率測定片について調べた年輪密度によれば（第2図，第1表），その平均値，標準偏差，歪率はそれぞれ10.6，4.4，0.24で前報の芦別産材に最も近く，全乾比重のそれは（第3図，第1表）0.62，0.08，−0.75で，これも芦別産に近い。年輪密度によつて区分された材種Aには33%，Bには40%，Cには27%が含まれ，これ又芦別産に最も近かつた。Aとr_0の関係（第4図）は，ほぼ前報同様の関係がみられたが，Aの出現率90%以上であつたA：6～20の範囲では　$r_0=70.8\,e^{-0.189A}+50.0$　で表わすことができた。

5. 半径収縮率a_r，接線収縮率a_t（第5図，第2表）の平均値，標準偏差は，それぞれ4.3，0.9および9.1，1.8で，a_tがa_rのほぼ2倍の大きさを示す。a_r，a_tの値を円板個体別，さらに試験片個体別にみれば，いろいろな細かい問題のあることがわかるが，これらの問題はすでに行われているMc Intosh[7]，北村[8]，中戸[12]などの成果を一つの足がかりとして今後検討すべきであろう。a_t/a_rはその平均値が約2であつたが，1.3から2.6の広い範囲において変化し，また本試験においては試験片の比重との相関を認めることができなかつた（第8図）。a_rとA，a_tとAの間には，Aの一定範囲において近似的に直線と看做しうる関係がみ出され（第6図，第7図），次の式を得た。すなわち

$$a_{r(\%)}=5.4-0.072\,A \quad (A:4\sim20), \qquad a_{t(\%)}=12.5-0.27\,A \quad (A:4\sim20).$$

本式より次の諸数値が得られる。

	A 種 材	B 種 材	C 種 材
a_r	>4.8	4.8～4.2	4.2>
a_t	>10.3	10.3～8.9	8.9>

6. 容積収縮率a_vと容積密度数Rの間には，巻末付表に掲げた試験成績全体についてはほぼ原点を通る直線関係が認められ（第9図），$a_{v(\%)}=0.57+24.9\,R$が得られた。本式の方向係数は，$k=a_v/R$の出現頻度（第10図）から求められたその平均値26.6に近いもの

であつた。しかし k は相当大きな分散を持ち，また，上掲 a_0—R の関係式も，之を円板の個体別にみるとかなり違つたものとなり，このような収縮特性の複雑さを物語つている。

以上，十勝地方の主要なナラ材生産地の一つであるトムラウシ産ナラ材の収縮率ならびに年輪密度，比重についての測定結果を報告した。年輪密度及び比重については，既報の調査地の中では，地理的近縁関係が最も大きいと考えられる芦別産材に一番近く，加工工作材として高く評価されている，B，C 種材の比率の，比較的に高いグループに属するものと看做しうる。なお，このグループには日高産材が属する。収縮率は前報には測定しておらず，また，方法の近似した既往の測定例はすくないが，極く大まかに，記載された平均値だけについてみれば，田中氏[5] の報告のミズナラより接線収縮が稍々すくなく，また，ドイツ産 Roteiche[4]，北アメリカ産 red oak[6] より，接線収縮が幾分すくない傾向にある。半径収縮は，何れともほぼ同等である。この報告の当初に述べたように，ナラ材の年輪密度は，利用上直接に重要な材質との相関を有することによつて，材質指標としての意味を持ちうるが，半径収縮，接線収縮ともに，全体的な傾向としては明らかに年輪密度の増加に伴なつてその値を減ずる。しかし，一方，その偏異は，同一年輪区分内においてもかなり大であつて，ために，収縮率に対する指標的意義を減じている。このことはまた比重と収縮率の関係についても指摘することができる。之等の偏異の由つてきたるところは甚だ複雑であつて，或る場合には明らかに立木個体的な要因すなわち品種的特性若しくは立地的特異性が先ず考えられなければならないが，或る場合にはむしろ年輪内構造，細胞膜構造などについて考慮されなければならないようである。収縮率の場合，なお，とくに注意しなければならないのは試験方法で，試験片の形，大きさ，乾燥方法などが収縮特性値に影響する。本試験における収縮率の偏異の原因の一部が，試験方法，とくに試験片の形にあるかも知れない。この点については今後なお検討したい。

参考文献 Literature cited

1) 大澤正之・宮島寛・東山一男：北海道産ナラ材の材質に関する研究. I. 産地別ナラ材の材質の比較. 北海道大学演習林研究報告, 17 巻 2 号, 793–369 頁, 昭 30.
M. OHSAWA, H. MIYAJIMA and K. HIGASHIYAMA: Studies on the properties of Nara-wood grown in Hokkaido. I. Comparison of some properties of Nara-wood grown in various localities. Res. Bull. Coll. Exp. For., Coll. Agr. Hokkaido Univ., Vol. XIII, No. 2, 793–869, 1955.
2) 木材試験法. JIS A 1002 および 1003, 昭 29.
3) TRENDELENBURG, R. u. MAYER-WEGELIN: Das Holz als Rohstoff. 2. Aufl., 1955.
4) GÖHRE u. WAGENKNECHT: Die Roteiche und ihr Holz. 1955.
5) 田中勝吉：本邦産主要樹種収縮率. 北海道林業会報, 25 巻 12 号, 585 頁, 大正 15.
6) Wood Handbook: Agriculture Handbook, No. 72, U.S. Dept. Agr., 1955.

7) MC INTOSH: Transverse shrinkage of red oak and beech. For. Prod. Jour., Vol. VII, No. 3, 1957, 外.
8) 北村博嗣: 有用樹種別収縮現象の特異性に関する研究 (予報). 日本林学会誌, 37巻9号, 昭30.
9) 平井信二・北原覚一: 木材理学. 33頁, 昭28.
10) J. A. NEWLIN and T. R. C. WILSON: The relation of the shrinkage and strength properties of wood to its specific gravity. U.S. Dept. Agr., Bull. 676, 1919 (文献4その他の引用による).
11) KOLLMANN, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, 1. Bd., 1951.
12) 中戸莞二: 木材の収縮膨脹の異方性の原因について (第12報), 顕微鏡的構造と異方的収縮 (5). 木材学会誌, 4巻6号, 昭33.

Summary

This article, the second in a series of the writer's studies on Nara-wood, *Quercus* spp., grown in Hokkaido, discusses the results of tests conducted at the Institute of Forest Products of Hokkaido University. The tests were made to determine the annual ring density (number of annual rings per centimeter), the specific gravity and the transverse shrinkage characteristics of Mizu-nara wood, *Q. crispula* BL., from the upper basen of the Tokachi-river in Hokkado where a large quantity of the logs are produced every year.

Thirteen 200–400 year old Mizu-nara trees selected in a mixed forest composed of 80 per cent softwood trees and 20 per cent hardwoods were felled and a 15 centimeter thick disk was removed respectively from their trunks at a 4 meter height above ground level. These disks were painted carefully to retard end drying and end checking and were shipped to the laboratory of the institute.

After some data related to the rate of growth had been recorded, two blocks were respectively sawn from two radii of each disk, one minimum and other perpendicular to it, as indicated in figure 1-a. From these blocks shrinkage test specimens were cut as shown in figure 1-b.

The radial and tangential shrinkage determinations were made on a 2.00 by 2.00 by 1.50-cm specimen as shown in figure 1-c; annual ring density and specific gravity were also obtained on this same specimen.

The green specimens after having been soaked in water for about 2 days were measured to an accuracy of 1/100 millimeter by use of a screw micrometer, across the radial and tangential dimensions for determination of shrinkage. The test specimens measured in green were open-piled under room conditions for a week, then were dried in an oven at 60°C for a day and were finally dried at 100–105°C until approximately constant weight was attained. After oven-drying, the test specimens were weighed and measured in both radial and tangential directions and also longitudinal.

Observations were made of annual ring density, specific gravity, transverse shrinkage of Mizu-nara-wood, and their mutual relations were discussed. The conclusions reached are summarized as follows:

1. Data on the shrinkage characteristics of the wood and some related factors are given in appendix. They are: annual ring density (number of annual rings per centimeter, A), specific gravity in oven-dry condition (r_0), the same in oven-dry weight and green volume (R), radial shrinkage (α_r) and tangential shrinkage (α_t) based on the dimensions when green, volumetric shrinkage calculated as $\alpha_v \fallingdotseq \alpha_r + \alpha_t$, difference of the two shrinkage values ($\alpha_t - \alpha_r$), tangential-radial shrinkage ratio (α_t/α_r or t/r ratio) and volumetric shrinkage-specific gravity ratio ($k = \alpha_v/R$).

2. Frequency distributions and some statistical figures of annual ring density (A) and specific gravity (r_0) are shown in figures 2 and 3, and in table 1. As shown in table 1, average value of annual ring density is 10.6 which corresponds closely to that of the wood from Ashibetsu area[1] ; the value of specific gravity is 0.62 which also closely corresponds to that of the same area. Nara-woods can be classified into three groups according to the annual ring density of them[1], viz., group A: less than 8 of annual ring density, group B: 8–13 and group C: more than 13. The wood of group A is much stronger and suitable for structural lumber while the wood of group C is not stronger but softer and suitable for being worked up with handtools and machines. Group B has good quality in both strength and workability or machinability. In this report the present writers arranged the Mizu-nara wood tested as 33 per cent belonging to group A, 40 per cent to group B and 27 per cent to group C, on the basis of the frequency distribution of the annual ring density. The relation between annual ring density (A) and specific gravity (r_0) illustrated in figure 4 was approximately expressed by an empirical formula $r_0 = 70.8\, e^{-0.189A} + 50.0$ in an extent from 6 to 20 of A, within which appeared above 90 per cent of the total frequency of annual ring density.

3. Figure 5 and table 3 show the frequency distribution and some statistical figures of radial and tangential shrinkage. Average value and standard deviation of radial shrinkage of the wood were 4.3 and 0.9 per cent respectively, while those of tangential shrinkage were 9.1 and 1.8 per cent. α_t/α_r ratio which has been often prepared by the several authers in order to study the anisotropic shrinkage of wood was averaged approximately 2 and ranged from 1.3 to 2.6. No correlation was found between α_t/α_r ratio and specific gravity (r_0) in these tests. Both transverse shrinkages were shown to decrease as annual ring density increases and the relation was given approximately by the empirical formulae $\alpha_{r,\%} = 5.4 - 0.07\,A$ and $\alpha_t = 12.5 - 0.27\,A$ for the range from 6 to 20 of A, within which about 90 per cent of total frequency of annual ring density appeared. Shrinkage values (α_r, α_t) corresponding to 8 and 13 of annual ring density which are the lower and upper critical number in the classifying as mentioned above are given respectively as 4.8 and 4.2 per cent for α_r and 10.3 and 8.9 per cent for α_t by substituting in the formulae.

4. Relation between volumetric shrinkage and specific gravity (R) was represented by an empirical formula $\alpha_v = 0.57 + 24.9\,R$ on the basis of all the data for 13 disks described in appendix. The intercept and angular coefficient of the formula, however, varied widely from the figures given here in some particular disks. Values

of $k=\alpha_v/R$ averaged 26.6 with a range from 19 to 39.

Observation of the results on the shrinkage tests indicates that the dispersion of the shrinkage values in both directions is very high not only in varying annual ring density and specific gravity but also even within a limited extent of them. To solve the reasons for the appearance of such a large dispersion, an analytical discussion of the mechanism of shrinkage of Nara-wood must be made. In this report it was not proposed, however, to study this fundamental aspect of the subject.

付 表 年輪密度，比重及び収縮率に関する試験成績総括表

APPENDIX Data on the shrinkage characteristics and some related factors on Mizu-nara-wood (*Quercus crispula* BL.)

No.: 円板番号，半径記号及び一半径上における円板の内方からの順位，第1図参照.
A: 年輪密度（1 cm 当り年輪数).
r_0: 全乾比重.
R: 容積密度数.
α_r: 半径収縮率 (%).
α_t: 接線収縮率 (%).
α_v: 容積収縮率 (%).

No.: Disk number in Gothic, radius in A or B, and position on a radius from pith to sap (see fig. 1).
A: Annual ring density (rings per cm).
r_0: Specific gravity in oven-dry (gr/cm^3).
R: Specific gravity based on oven-dry weight and green volume (gr/cm^3).
α_r: Radial shrinkage (%).
α_t: Tangential shrinkage (%).
α_v: Volumetric shrinkage ($\fallingdotseq\alpha_r+\alpha_t$).

No	A	$r_0\times100$	α_r (%)	α_t (%)	$\alpha_v\fallingdotseq\alpha_r+\alpha_t$ (%)	$\alpha_t-\alpha_r$ (%)	α_t/α_r	$R\times100$	$k=\alpha_v/R$
1 A 1	14.8	69	5.4	10.0	15.4	4.6	1.85	58	26.4
2	12.1	66	4.2	9.7	13.9	5.5	2.31	57	24.5
3	16.6	62	4.6	8.7	13.3	4.1	1.89	54	24.8
4	11.6	65	4.5	9.4	13.9	4.9	2.09	56	24.8
5	8.9	68	4.3	10.2	14.5	5.9	2.37	58	24.9
6	9.7	59	3.5	6.9	10.4	3.4	1.97	53	19.7
av.	12.3	65	4.4	9.2	13.5	4.7	2.08	56	24.3
1 B 1	10.7	74	5.1	10.6	15.7	5.5	2.08	62	25.1
2	8.1	74	5.5	11.0	16.5	5.5	2.00	62	26.7
3	9.5	72	5.4	10.8	16.2	5.4	2.00	60	26.8
4	10.4	68	4.9	10.0	14.9	5.1	2.04	58	25.8
5	6.9	72	4.8	10.6	15.4	5.8	2.21	61	25.2
6	6.0	73	4.8	10.1	14.9	5.3	2.10	62	24.0
7	6.0	72	4.7	10.0	14.7	5.3	2.13	61	23.9
8	6.1	72	4.6	10.9	15.5	6.3	2.37	61	25.5
9	6.7	65	3.9	8.2	12.1	4.3	2.10	57	21.2
av.	7.8	71	4.9	10.2	15.1	5.4	2.11	61	24.9
2 A 1	9.4	69	5.6	10.0	15.6	4.4	1.79	58	26.8
2	10.7	69	5.5	10.3	15.8	4.8	1.87	58	27.2
3	14.6	65	5.2	9.3	14.5	4.1	1.79	56	26.1
4	11.8	65	5.3	9.1	14.4	3.8	1.72	56	25.9
5	15.5	59	4.7	8.4	13.1	3.7	1.79	51	25.5
6	17.4	55	4.1	6.0	10.1	1.9	1.46	49	20.4
av.	13.2	64	5.1	8.9	13.9	3.8	1.75	55	25.4
2 B 1	4.4	70	5.6	10.0	15.6	4.4	1.79	59	26.4
2	6.3	72	6.0	9.7	15.7	3.7	1.62	61	25.9
3	6.7	72	5.9	10.4	16.3	4.5	1.76	60	27.1
4	7.0	73	6.0	10.6	16.6	4.6	1.77	61	27.3
5	9.9	66	5.6	9.7	15.3	4.1	1.73	55	28.5
6	8.9	67	5.2	10.2	15.4	5.0	1.96	57	27.2
7	14.3	60	4.6	8.4	13.0	3.8	1.83	52	24.9
8	13.2	57	4.5	7.5	12.0	3.0	1.67	50	23.9
av.	8.8	67	5.4	9.6	15.0	4.1	1.75	57	26.5
3 A 1	10.4	63	5.8	8.8	14.6	3.0	1.52	54	27.1
2	10.0	64	5.2	9.3	14.5	4.1	1.79	55	26.5

No.	A	$r_0\times100$	α_r (%)	α_t (%)	$\alpha_v\fallingdotseq\alpha_r+\alpha_t$ (%)	$\alpha_t-\alpha_r$ (%)	α_t/α_r	$R\times100$	$k=\alpha_v/R$
3 A 3	9.4	63	5.1	8.8	13.9	3.7	1.73	54	25.6
4	15.9	56	4.7	7.1	11.8	2.4	1.51	49	23.9
5	10.2	57	4.2	8.2	12.4	4.0	1.95	50	24.8
6	12.5	52	3.8	6.9	10.7	3.1	1.82	47	23.0
av.	11.4	59	4.8	8.1	13.0	3.4	1.72	51	25.2
3 B 1	6.1	65	5.4	8.4	13.8	3.0	1.56	56	24.6
2	5.3	67	5.3	9.1	14.4	3.8	1.72	57	25.0
3	5.9	69	5.5	9.3	14.8	3.8	1.69	59	25.2
4	9.4	62	5.0	8.8	13.8	3.8	1.76	53	25.8
5	10.4	60	5.0	7.8	12.8	2.8	1.56	52	24.5
6	10.2	58	4.7	7.8	12.5	3.1	1.66	51	24.6
7	9.8	56	4.4	7.7	12.1	3.3	1.75	49	24.6
8	9.5	56	4.0	7.5	11.5	3.5	1.87	50	23.2
9	9.4	52	3.7	6.1	9.8	2.4	1.65	47	20.8
av.	8.4	61	4.8	8.1	12.8	3.3	1.69	53	24.3
4 A 1	11.9	64	4.9	8.9	13.8	4.0	1.82	55	25.0
2	8.6	66	4.7	10.1	14.8	5.4	2.15	56	26.4
3	13.0	59	4.6	9.3	13.9	4.7	2.02	51	27.3
4	9.4	63	4.4	9.3	13.7	4.9	2.11	54	25.2
5	9.7	63	4.4	9.2	13.6	4.8	2.09	54	25.0
6	8.0	65	4.2	9.3	13.5	5.1	2.21	56	24.0
7	5.8	66	4.2	9.3	13.5	5.1	2.21	57	23.7
8	6.9	64	3.8	8.3	12.1	4.5	2.18	56	21.8
av.	9.2	64	4.4	9.2	13.6	4.8	2.10	55	24.8
4 B 1	10.6	65	5.1	9.5	14.6	4.4	1.86	56	26.3
2	4.8	71	5.3	10.4	15.7	5.1	1.96	60	26.2
3	6.5	71	5.5	10.4	15.9	4.9	1.89	60	26.6
4	10.4	66	5.4	9.3	14.7	3.9	1.72	56	26.1
5	9.0	68	5.3	9.3	14.6	4.0	1.76	57	25.4
6	9.6	64	4.7	8.7	13.4	4.0	1.85	55	24.2
7	9.5	61	4.5	8.2	12.7	3.7	1.82	53	24.3
8	7.2	59	4.0	7.4	11.4	3.4	1.85	52	21.8
9	9.4	63	4.9	8.6	13.5	3.7	1.76	55	24.8
av.	8.6	65	5.0	9.1	14.1	4.1	1.83	56	25.1
5 A 1	4.3	67	4.9	9.3	14.2	4.4	1.90	58	24.7

No.	A	$r_0\times100$	α_r (%)	α_t (%)	$\alpha_v \fallingdotseq \alpha_r+\alpha_t$ (%)	$\alpha_t-\alpha_r$ (%)	α_t/α_r	$R\times100$	$k=\alpha_v/R$
5 A 2	6.0	68	5.1	10.5	15.6	5.4	2.06	57	27.2
3	11.4	63	4.6	10.0	14.6	5.4	2.17	54	26.8
4	12.4	55	4.0	8.5	12.5	4.5	2.12	48	26.0
5	11.3	55	3.6	7.9	11.5	4.3	2.20	49	23.6
6	15.8	52	3.5	7.3	10.8	3.8	2.08	46	23.3
7	12.5	48	2.6	6.4	9.0	3.8	2.48	44	20.6
av.	10.7	58	4.0	8.6	12.6	4.5	2.14	51	24.6
5 B 1	2.8	68	5.1	10.6	15.7	5.5	2.08	57	27.2
2	4.5	66	5.0	10.4	15.4	5.4	2.08	56	27.6
3	4.2	68	4.2	10.8	15.0	6.6	2.57	58	25.9
4	3.4	67	4.5	8.6	13.1	4.1	1.91	58	22.5
5	10.5	60	4.4	9.6	14.0	5.2	2.18	52	27.1
6	8.9	57	3.9	8.5	12.4	4.6	2.18	50	24.9
7	8.6	62	3.9	10.2	14.1	6.3	2.61	53	26.5
8	13.3	59	4.1	9.2	13.3	5.1	2.22	51	26.0
9	20.7	51	3.1	6.6	9.7	3.5	2.13	46	21.5
av.	8.5	62	4.2	9.4	13.7	5.1	2.21	53	25.5
6 A 1	9.1	67	5.1	9.7	14.8	4.6	1.90	57	25.9
2	4.8	73	4.7	10.3	15.0	5.6	2.19	62	24.2
3	6.0	69	4.7	8.8	13.5	4.1	1.87	60	22.6
4	9.8	61	4.1	8.3	12.4	4.2	2.02	54	23.2
5	6.0	67	4.2	9.0	13.2	4.8	2.14	57	24.7
6	5.7	63	3.7	7.8	11.5	4.1	2.11	56	20.6
av.	6.9	68	4.4	9.0	13.5	4.6	2.04	58	23.6
6 B 1	4.8	75	4.9	10.1	15.0	5.2	2.06	64	23.6
2	4.8	75	5.6	9.5	15.1	3.9	1.70	64	23.7
3	5.1	75	5.5	9.5	15.0	4.0	1.73	64	23.5
4	6.6	72	4.5	9.1	13.6	4.6	2.02	62	21.9
5	6.5	70	4.4	8.5	12.9	4.1	1.93	61	21.1
6	4.5	73	4.1	9.1	13.2	5.0	2.22	63	20.8
7	6.0	69	4.0	7.8	11.8	3.8	1.95	61	19.4
av.	5.5	63	4.7	9.1	13.8	4.4	1.94	63	22.0
7 A 1	9.7	66	5.3	9.6	14.9	4.3	1.81	56	26.5
2	10.2	68	5.0	9.8	14.8	4.8	1.96	58	25.6
3	10.4	66	4.8	9.7	14.5	4.9	2.02	56	25.7

No.	A	$r_0\times100$	α_r (%)	α_t (%)	$\alpha_v \fallingdotseq \alpha_r+\alpha_t$ (%)	$\alpha_t-\alpha_r$ (%)	α_t/α_r	$R\times100$	$k=\alpha_v/R$
7 A 4	10.7	63	4.3	8.7	13.0	4.4	2.02	55	23.7
5	7.7	63	4.3	8.8	13.1	4.5	2.03	55	24.0
6	10.3	58	4.0	8.1	12.1	4.1	2.02	51	23.7
7	11.1	57	4.0	7.8	11.8	3.8	1.95	51	22.7
8	13.4	53	3.6	6.8	10.4	3.2	1.89	48	21.9
9	14.7	52	3.4	6.0	9.4	2.6	1.77	47	19.9
av.	10.9	61	4.3	8.4	12.7	4.0	1.94	53	23.7
7 B 1	10.6	63	4.6	8.7	13.3	4.1	1.89	55	24.4
2	10.5	68	4.5	9.6	14.1	5.1	2.13	58	24.2
3	8.5	68	4.5	9.2	13.7	4.7	2.04	59	23.4
4	9.1	64	4.2	9.3	13.5	5.1	2.21	55	24.4
5	10.2	59	3.9	7.6	11.5	3.7	1.95	52	22.1
6	11.1	55	3.8	7.1	10.9	3.3	1.87	50	22.0
7	13.5	55	3.7	6.9	10.6	3.2	1.87	49	21.6
8	11.4	54	3.4	6.6	10.0	3.2	1.94	49	20.6
9	9.4	56	3.9	6.7	10.6	2.8	1.72	50	21.2
av.	10.5	60	4.1	7.9	12.0	3.8	1.96	52	22.7
8 A 1	7.0	70	4.9	10.0	14.9	5.1	2.04	60	24.5
2	10.5	64	4.7	9.4	14.1	4.7	2.00	55	25.6
3	8.5	64	4.1	9.6	13.7	5.5	2.34	55	24.8
4	8.5	62	4.2	9.1	13.3	4.9	2.17	54	24.7
5	9.5	60	3.9	9.0	12.9	5.1	2.31	52	24.6
6	11.9	57	3.3	7.9	11.2	4.6	2.39	50	22.3
7	14.8	47	3.2	7.0	10.2	3.8	2.19	42	24.2
av.	10.1	60	4.0	8.8	12.9	4.8	2.20	53	24.3
8 B 1	5.8	73	5.8	10.6	16.4	4.8	1.83	61	26.9
2	6.0	72	5.8	10.9	16.7	5.1	1.88	60	27.8
3	8.0	69	5.4	10.7	16.1	5.3	1.98	58	27.8
4	7.5	68	5.3	10.7	16.0	5.4	2.02	57	28.0
5	8.5	66	4.8	10.3	15.1	5.5	2.15	56	26.9
6	10.0	60	4.3	9.8	14.1	5.5	2.28	52	27.4
7	8.8	62	4.5	9.2	13.7	4.7	2.04	54	25.7
8	12.3	54	3.8	7.9	11.7	4.1	2.08	48	24.5
9	14.0	48	3.5	6.9	10.4	3.4	1.97	43	24.2
av.	9.0	64	4.8	9.7	14.5	4.9	2.03	54	26.6

No.	A	$r_0\times100$	α_r (%)	α_t (%)	$\alpha_v\fallingdotseq\alpha_r+\alpha_t$ (%)	$\alpha_t-\alpha_r$ (%)	α_t/α_r	$R\times100$	$k=\alpha_v/R$
9 A 1	6.5	71	6.9	11.7	18.6	4.8	1.69	58	32.2
2	9.4	66	6.6	11.1	17.7	4.5	1.68	54	32.6
3	15.1	60	5.8	9.9	15.7	4.1	1.71	51	31.0
4	24.5	49	5.0	7.5	12.5	2.5	1.50	43	29.1
5	15.3	56	4.9	8.4	13.3	3.5	1.71	49	27.4
6	17.8	52	4.2	7.7	11.9	3.5	1.83	46	26.0
7	18.6	49	3.8	6.9	10.7	3.1	1.82	44	24.4
8	21.8	45	3.4	6.1	9.5	2.7	1.79	41	23.3
av.	16.1	56	5.1	8.7	13.7	3.6	1.72	48	28.3
9 B 1	6.1	82	7.0	12.1	19.1	5.1	1.73	65	29.2
2	8.5	73	6.6	11.9	18.5	5.3	1.80	60	31.1
3	10.0	64	6.2	10.9	17.1	4.7	1.76	53	32.3
4	12.0	59	5.6	10.0	15.6	4.4	1.79	50	31.5
5	22.5	49	4.8	7.9	12.7	3.1	1.65	43	29.7
6	17.5	53	4.3	8.2	12.5	3.9	1.91	46	26.9
7	14.5	56	4.5	7.9	12.4	3.4	1.76	49	25.2
8	12.5	54	4.5	7.4	11.9	2.9	1.65	48	25.0
9	14.4	54	3.9	7.1	11.0	3.2	1.82	48	22.9
10	18.0	50	3.9	6.3	10.2	2.4	1.62	45	22.7
av.	13.6	59	5.1	9.0	14.1	3.9	1.75	51	27.7
10 A 1	18.2	57	3.8	7.9	11.7	4.1	2.08	50	23.2
2	7.5	69	4.4	9.7	14.1	5.3	2.20	59	23.8
3	8.7	63	4.5	9.7	14.2	5.2	2.16	54	26.2
4	9.3	67	4.5	9.8	14.3	5.3	2.18	57	24.9
5	6.8	67	4.1	9.1	13.2	5.0	2.22	58	22.7
6	9.7	62	3.8	8.3	12.1	4.5	2.18	55	22.2
7	7.3	59	3.5	6.9	10.4	3.4	1.97	53	19.7
av.	9.6	63	4.1	8.8	12.9	4.7	2.14	55	23.2
10 B 1	5.9	71	4.4	9.8	14.2	5.4	2.23	61	23.3
2	6.8	78	5.2	10.6	15.8	5.4	2.04	66	24.1
3	7.7	71	4.7	9.4	14.1	4.7	2.00	61	23.1
4	7.8	71	4.7	9.6	14.3	4.9	2.04	61	23.5
5	8.8	65	4.3	9.5	13.8	5.2	2.21	56	24.6
6	8.1	68	4.0	9.5	13.5	5.5	2.38	59	23.1
7	9.3	67	4.0	9.3	13.3	5.3	2.32	58	22.6
8	7.1	66	3.7	9.1	12.8	5.4	2.46	58	22.2

No.	A	$r_0\times100$	α_r (%)	α_t (%)	$\alpha_v \fallingdotseq \alpha_r+\alpha_t$ (%)	$\alpha_t-\alpha_r$ (%)	α_t/α_r	$R\times100$	$k=\alpha_v/R$
10 B 9	6.6	67	3.5	8.5	12.0	5.0	2.43	59	20.3
av.	7.6	69	4.3	9.5	13.8	5.2	2.23	60	23.0
11 A 1	8.8	73	7.0	12.8	19.8	5.8	1.83	60	33.1
2	6.5	78	7.3	12.9	20.2	5.6	1.77	62	32.5
3	9.1	68	5.8	12.0	17.8	6.2	2.07	56	31.9
4	9.7	68	5.8	11.2	17.0	5.4	1.93	56	30.1
5	12.0	62	5.6	9.9	15.5	4.3	1.77	52	29.6
6	16.6	55	5.3	7.9	13.2	2.6	1.49	48	27.6
7	17.9	49	4.8	6.3	11.1	1.5	1.31	44	25.5
8	19.0	48	4.3	7.2	11.5	2.9	1.68	43	27.1
9	18.2	47	4.6	6.8	11.4	2.2	1.48	42	27.5
10	21.2	45	4.0	6.2	10.2	2.2	1.55	40	25.5
11	20.8	44	3.7	5.5	9.2	1.8	1.49	40	23.2
av.	14.5	58	5.3	9.0	14.3	3.7	1.67	49	28.5
11 B 1	5.4	77	7.1	15.9	23.0	8.8	2.24	59	38.7
2	5.5	79	6.7	15.6	22.3	8.9	2.33	61	36.4
3	4.4	80	6.2	15.9	22.1	9.7	2.56	62	35.6
4	6.7	74	5.8	14.4	20.2	8.6	2.48	59	34.3
5	6.1	73	5.6	14.0	19.6	8.4	2.50	59	33.4
6	7.5	70	5.6	12.9	18.5	7.3	2.30	57	32.4
7	13.7	60	5.5	10.2	15.7	4.7	1.84	51	31.0
8	14.4	58	4.7	8.6	13.3	3.9	1.83	50	26.4
9	15.1	51	4.2	7.7	11.9	3.5	1.83	45	26.5
10	16.1	50	4.1	7.4	11.5	3.3	1.81	44	25.9
11	17.1	48	3.8	7.2	11.0	3.4	1.90	43	25.8
12	19.8	48	3.6	7.0	10.6	3.4	1.94	43	24.7
13	19.1	49	3.4	7.1	10.5	3.7	2.09	44	23.9
14	21.9	46	3.3	5.6	8.9	2.3	1.70	42	21.2
av.	12.3	62	5.0	10.7	15.7	5.7	2.10	51	29.7
12 A 1	5.0	75	6.1	10.6	16.7	4.5	1.74	63	26.7
2	4.6	74	6.0	10.9	16.9	4.9	1.82	62	27.5
3	10.1	72	5.7	9.8	15.5	4.1	1.72	61	25.5
4	20.5	57	5.0	7.8	12.8	2.8	1.56	50	25.8
5	22.8	54	4.7	7.7	12.4	3.0	1.64	47	26.2
6	19.1	53	4.4	6.8	11.2	2.4	1.55	47	24.0
7	21.1	51	4.2	6.6	10.8	2.4	1.57	46	23.7

No.	A	$r_0\times100$	α_r (%)	α_t (%)	$\alpha_v\fallingdotseq\alpha_r+\alpha_t$ (%)	$\alpha_t-\alpha_r$ (%)	α_t/α_r	$R\times100$	$k=\alpha_v/R$
12 A 8	20.5	53	3.9	6.7	10.6	2.8	1.72	47	22.4
9	21.7	53	3.9	6.9	10.8	3.0	1.77	48	22.7
av.	16.2	60	4.9	8.2	13.1	3.3	1.68	52	24.9
12 B 1	5.1	74	5.6	11.4	17.0	5.8	2.04	61	27.7
2	5.5	70	5.8	11.5	17.3	5.7	2.00	61	28.5
3	9.0	63	5.5	10.0	15.5	4.5	1.84	53	29.1
4	9.2	62	5.1	10.1	15.2	5.0	1.98	53	28.9
5	9.5	62	5.0	10.1	15.1	5.1	2.02	53	28.7
6	10.0	59	4.7	9.0	13.7	4.3	1.91	51	26.9
7	11.1	58	4.8	9.2	14.0	4.4	1.92	50	28.1
8	13.1	56	4.6	9.0	13.6	4.4	1.96	48	28.1
9	14.0	54	4.3	8.4	12.7	4.1	1.95	47	27.0
10	12.6	53	4.1	8.4	12.5	4.3	2.05	46	26.9
11	13.4	54	4.1	8.3	12.4	4.2	2.02	47	26.2
12	13.5	53	4.0	8.0	12.0	4.0	2.00	47	25.7
13	13.3	52	3.8	7.9	11.7	4.1	2.08	46	25.5
14	15.9	50	3.6	7.6	11.2	4.0	2.11	44	25.2
av.	11.8	59	4.6	9.2	13.8	4.6	1.99	51	27.2
13 A 1	5.6	70	6.1	11.7	17.8	5.6	1.92	58	30.9
2	6.5	69	6.0	11.0	17.0	5.0	1.84	57	29.7
3	8.0	63	6.1	10.5	16.6	4.4	1.72	53	31.6
4	10.8	57	5.4	9.9	15.3	4.5	1.83	48	31.7
5	9.8	57	5.3	10.2	15.5	4.9	1.93	48	32.2
6	9.9	57	5.1	9.4	14.5	4.3	1.84	49	29.8
7	11.3	54	4.8	9.7	14.5	4.9	2.02	46	31.4
8	12.6	51	4.4	8.6	13.0	4.2	1.95	44	29.3
9	16.2	46	4.1	8.0	12.1	3.9	1.95	40	30.0
10	14.0	51	4.2	8.2	12.4	4.0	1.95	45	27.8
11	13.0	51	4.1	8.6	12.7	4.5	2.10	45	28.5
12	13.1	50	4.0	8.0	12.0	4.0	2.00	44	27.3
13	13.8	50	3.7	7.6	11.3	3.9	2.05	44	25.5
14	11.4	51	3.6	7.6	11.2	4.0	2.11	45	24.9
av.	11.1	55	4.8	9.2	14.0	4.4	1.94	48	29.3
13 B 1	7.0	69	5.9	12.1	18.0	6.2	2.05	57	31.8
2	7.0	66	5.5	12.8	18.3	7.3	2.33	54	33.9
3	8.5	61	5.2	11.6	16.8	6.4	2.23	51	32.7

No.	A	$r_0\times100$	α_r (%)	α_t (%)	$\alpha_v \fallingdotseq \alpha_r+\alpha_t$ (%)	$\alpha_t-\alpha_r$ (%)	α_t/α_r	$R\times100$	$k=\alpha_v/R$
13 B 4	8.0	62	5.4	11.5	16.9	6.1	2.13	52	32.8
5	8.0	61	5.1	11.7	16.8	6.6	2.29	51	33.1
6	9.0	61	5.0	11.0	16.0	6.0	2.20	51	31.3
7	8.6	61	5.2	10.6	15.8	5.4	2.04	51	30.8
8	11.5	55	4.9	9.6	14.5	4.7	1.96	47	30.9
9	15.0	50	4.4	8.6	13.0	4.2	1.95	44	29.9
10	10.0	54	4.5	9.7	14.2	5.2	2.16	46	30.6
11	12.2	53	4.2	9.1	13.3	4.9	2.12	46	28.9
12	13.8	49	3.9	7.9	11.8	4.0	2.03	43	27.3
13	13.2	48	3.7	7.9	11.6	4.2	2.13	42	27.4
14	11.2	51	3.6	9.4	13.0	5.8	2.61	47	27.4
15	12.2	50	3.1	7.9	11.0	4.8	2.55	45	24.7
av.	10.4	57	4.6	10.1	14.7	5.5	2.19	48	30.2