ユーカリの材質育種における選抜指標抽出に関する研究 (第1報)

—*E. camaldulensis*, および *E. globulus* における多糖類含有率の
樹幹内変異と標準値を示す位置について—

新王子製紙(株)林木育種研究所亀山研究室 小名 俊博, 園田 哲也,
伊藤 一弥, 柴田 勝

Studies on Decision of Selection Indexes for Quality Breeding of Eucalypt Pulpwood (I)

—Within-tree variations and the positions representing the
whole-tree values of polysaccharides contents on
E. camaldulensis and *E. globulus*—

Toshihiro Ona, Tetsuya Sonoda, Kazuya Ito and
Masaru Shibata

New Oji Paper Co., Ltd. Institute for Forest Tree
Improvement, Kameyama Breeding Station

小名俊博

園田哲也

伊藤一弥

柴田 勝

Within-tree variations, whole-tree values and the representative heights for the whole-tree values of polysaccharides contents were analysed for two trees *Eucalyptus camaldulensis* and *E. globulus*, grown at the seed orchard in Western Australia for the quality breeding using an increment core without cutting the tree.

Within-tree variations of both holocellulose and cellulose in *E. camaldulensis* were observed as higher in bark side and upper part, on the other hand, those in *E. globulus* were as higher in bark side only. In contrast, the variation of hemicellulose had almost no tendency for both species. The contents of both holocellulose and cellulose were higher in bark side in a tree for both species and higher pulp yield was expected from such parts.

The whole-tree contents of polysaccharides showed the differences between species and between sample trees of *E. camaldulensis*.

Representative heights for the whole-tree contents $\pm 5\%$, of polysaccharides were 3.3 m for *E. camaldulensis*, and 2.8 and 3.3 m for *E. globulus*. The whole-tree height and the

difference in within-tree variation of polysaccharides when they were chosen below 3.3 m height to consider of sampling an increment core.

It is expected that whole-tree pulp properties are predicted by the increment core taken from these representative heights.

1. 緒 言

ユーカリは、その成長の速さから造林樹種として注目を浴びており、日本の製紙各社もブラジル (*E. grandis*)、チリ (*E. globulus*) 他でパルプ材としてのユーカリ造林を進めている^{1,2)}。

植林する際、高収量、高品質のものを材質育種して行くことは重要であり、ブラジルのアラクルス社では *E. grandis* を用い、材積当たりのパルプ収量で23%の向上という成果をあげている³⁾。ユーカリは種子生産性が非常に高く、数個体で一度に200~300 エーカーの植林に十分な量が確保出来ることから⁴⁾、通常種子収穫後樹木を伐倒し、パルプ試験を経て選抜が行われる。しかしながら、多くのユーカリは3~4年生にならないと結実せず⁵⁾、また伐倒した場合種子は収穫した分しかない等、効率的増殖を考えると立木を伐倒しないで選抜を行う必要がある。一般にこの目的に対しては、胸高部位から成長錐でサンプリングしたコア試料を用いる方法が取られる⁶⁾。コア試料を絶乾で50 g サンプリングし、マイクロパルプ化法によりパルプ特性を調べた例があるが⁷⁾、この方法の長所は直接選抜であり、間接選抜法に見られる様な相関関係による誤差がない点にある。しかしながら短所として、多サンプルを測定するのに要する労力が大きいこと、サンプリング量が多いこと、胸高部位がその個体の標準値ではない可能性による誤測定が挙げられる。また、50 g では一回しか蒸解出来ないため目標 $K\alpha$ 値を達成し難く、パルプ収率、品質を評価する際補正が必要になる。更には、樹幹は同心円状で成長するため樹皮側の材質が樹幹全体を支配する率が高くなる。そのため成長錐コアを混合して用いた場合樹幹全体の評価は出来ない等が挙げられる。

逆に、労力をかけずに少ないサンプル量で樹幹全体のパルプ特性を知るには、間接法により目標樹種におけるパルプ特性と相関のある材形質を用いる方が良い。

この方法として、樹幹全体を代表する様な標準値を示す位置からの少量の成長錐コアを放射方向に分割し、材積を加味し解析する必要がある。

一般にパルプ特性に影響を与える材形質として、容積重⁸⁾、細胞壁構成成分である抽出物、リグニン、セルロースおよびヘミセルロースの構成比率⁹⁾、早晚材

の比率⁸⁾、繊維長¹⁰⁾、繊維形態、フィブリル傾角、組織比率⁹⁾等が挙げられ、ユーカリにおいてもこれらの因子について検討されている¹¹⁾。そこで、これらを選抜指標として用いることが考えられる。しかし、繊維形態、組織比率等の顕微鏡による組織観察は一度に測定する量が少ない、つまり一切片では全体の極微小部分しか見ていないという大きな欠点があり、これを克服するには数多くの切片を作成、解析する必要があり、多個体の処理に問題がある。これに対し化学的分析方法では、試料さえ良く混合し、その一部を分析すれば一度の測定で、その試料全体の平均が求められる利点があり、エリート選抜の様に多くの試料を処理しなければならない場合、労力的にこちらの手法が優れているといえる。

以上のことから、構成成分定量等の化学的分析手法を用い、パルプ適木の材質育種を行うことを研究の目的とした。このため当社の西オーストラリアプロジェクトにおける植林候補樹種である *E. camaldulensis*、および *E. globulus* を現地から入手した。樹幹全体を代表する様な標準値を示す位置を求めるため、材形質、樹幹内変異の解析、および樹幹内変異を利用したパルプ特性と材形質の関係について検討を行った。これらをまとめ、本論文シリーズではユーカリの材質育種における選抜指標抽出に関する研究として報告する。

第1報として多糖類を取り上げた。ユーカリの構成成分比は一般にセルロース40~60%、ヘミセルロース12~22%、リグニン15~22%であり、他の広葉樹と同様である¹²⁾。成分比は樹種によって異なることが知られているが¹³⁾、個体間差も大きく、*E. regnans* ではヘミセルロースが14~20%、ホロセルロースが75~82%、リグニンが20~27%であったことが報告されている¹⁴⁾。この様に個体間差があり、また、樹幹内変異があることから¹⁵⁾、成長錐コアを採取すべき標準値を示す位置が問題となる。

一般に構成成分の樹幹内変異は、未成熟材と成熟材や、辺材と心材の形成等により生ずる¹⁵⁾。一般にセルロース含有率の放射方向樹幹内変異は、未成熟材中では髄から樹皮側へ向かって増加し、成熟材に入ると一定になる¹⁵⁾。ヘミセルロースの変異は、ラジアータマツではペントザン含有率が¹⁶⁾、テーダマツではヘミセルロース含有率が¹⁷⁾、髄から樹皮側へ向かって減少す

ると報告されている。また、ラジアータマツではキシランとマンナン含有率は樹幹の髄側、下部で高く、セルロースは逆に低いことが報告されている¹⁸⁾。

ユーカリでは一般に、放射方向ではセルロース、ペントザン含有率共に髄から樹皮に向かって増加し、軸方向ではペントザン含有率が上部に向かい増加することが知られている¹³⁾。*E. globulus* の例では軸方向の変異が測定され、ペントザン含有率は、地上高が増すにつれ増加することが確認されたが、セルロース含有率は逆に減少する傾向が見られている¹⁹⁾。更に心材と辺材におけるホロセルロース、およびペントザン含有率の差が、*E. regnans*, *E. diversicolor*, *E. marginata*, *E. tetradonta* において調べられた。ホロセルロース含有率は全ての樹種で心材が辺材より低く、ペントザン含有率は、*E. regnans* で同じだった以外は心材が辺材より若干低い結果となっている²⁰⁾。また、ホロセルロース含有率は、クラフトパルプ収率と正の高い相関が *Populus sieboldii* 他の日本産広葉樹²¹⁾, *Acer mono* 他の日本産広葉樹²²⁾, *Shorea* sp. 他の南洋広葉樹²³⁾ で得られている。更に、ホロセルロース含有率はローエ価²³⁾, 未晒白度²¹⁾, 裂断長²¹⁾, 比破裂強度²¹⁾, および比引裂強度²¹⁾ と高い相関が認められている。セルロース、およびペントザン含有率でも同様に、ユーカリを含めた多くの樹種で各種のパルプ特性と高い相関が得られていることから²¹⁻²⁶⁾, 選抜指標として重要と考えられる。

そこで、ユーカリの材質育種における選抜指標抽出に関する研究の第1報として、多糖類含有率の樹幹内変異、および標準値を示す位置について検討したので報告する。

2. 材料と方法

2.1 材 料

西オーストラリア CALM (Department of Conservation and Land Management) 採種園から、樹令 14 年生の *E. camaldulensis*, および *E. globulus* 各 2 個体 (それぞれ No.1, No.2 と区別) から、地上高 0.3 m から高さ 1 m ごとに切り出された厚さ約 6 cm の剥皮円板を入手した。各樹高, 商業化可能樹高, および胸高直径は図 1~4 に示した。これらの円板は切り出された後、直ちに密封され送付された。直径 8 cm 以下の部分はチップ化していないため、これ以上の円板を用いた。円板を中心に軸方向に鋸引き後、その面から帯状に 2 cm 幅で鋸引きし、二本の棒状試料を作成した。更にこれらを髄から 2 cm ごとに斧で割り、約 2 cm × 2 cm × 6 cm の木片を作成した。両樹種

Fig.1 Within-tree variation of holocellulose content in *E. camaldulensis* No.1

Note: Radial average was determined for the whole-disk value. Boxed numbers are based on really measured values. 1 C, 2 C, 1 G and 2 G mean *E. camaldulensis* No.1, No.2, *E. globulus* No.1 and No.2 respectively. The figures following 1 C, 2 C, 1 G and 2 G are numbered from the ground for sampled disks. Tree height is estimated by the figure of the tree drawn as a dotted line. Merchantable bole wood height is the maximum height possessing at least 8 cm-diameter after debarking. Diameter at breast height is after debarking. The contents of polysaccharides are expressed as original wood base.

Fig.2 Within-tree variation of holocellulose content in *E. camaldulensis* No.2 See note in Fig.1.

とも年輪ははっきりと見られず、偽年輪が不定間隔で見られたため、最低2年以上の成長量を含むと思われる2 cm幅の木片を調製した。番号を地上高の低い方から、また髄から1として、1-1のように付けた。このため同番号の試料は4木片でき、この中の2木片を分析に用いた。

2.2 構成成分の定量

ホロセルロース、セルロース、およびヘミセルロース含有率を、スモール・スケール法で以下のように定量し²⁷⁾、木材ベースで表した。

1) ホロセルロース

- (1) 約90 mgの脱脂試料(2.2.4)参照)を脱脂に用いた後のガラスフィルターに残し、他を取り除いた。
- (2) アセトンで洗浄し、真空乾燥後精秤した。
- (3) ガラスフィルターの足をセプタで栓をし、結合部分をスコットブランドのラボシールテープ

Fig.3 Within-tree variation of holocellulose content in *E. globulus* No.1 See note in Fig.1.

(3 M, St.Paul MN, USA) で巻いた。

- (4) ガラスフィルターを70℃の水浴に浸し、1.4 mlの0.2 M水酸化ナトリウム酢酸緩衝液(pH 3.2)を加えた。
- (5) 0.2または0.1 mlの20%亜塩素酸ナトリウム水溶液を加え、小ガラス棒で攪拌した。
- (6) 30分後、(1)を繰り返した。
- (7) 45分後、水浴中でセプタをはずし、5分間保持した。
- (8) 吸引濾過し、氷冷した1%酢酸水溶液で3回洗浄し、冷アセトンで2回洗浄した。
- (9) 真空乾燥し、残渣を秤った。
- (10) ホロセルロース中のリグニン含有率を測定した後、ホロセルロース含有率を決定した(2.2.3参照)。

2) α-セルロース

Fig. 4 Within-tree variation of holocellulose content in *E. globulus* No.2 See note in Fig.1.

- (1) ホロセルロースの調製に用いたものと同じガラスフィルターから試料を取り、19~21 mg 残るようにした。
- (2) アセトンで洗浄し、真空乾燥後精秤した。
- (3) ガラスフィルターの足をセプタで栓をし、結合部分をラボシールテープで巻いた。
- (4) ガラスフィルターを 20℃ の水浴に浸し、0.2 ml の 17.5% 水酸化ナトリウム水溶液を加え、攪拌した。
- (5) 5 分後、0.4 ml の 17.5% 水酸化ナトリウム水溶液を加えた。
- (6) 40 分後、0.4 ml の蒸留水を加え、栓を取った。
- (7) 吸引濾過し、蒸留水で 3 回洗浄した。
- (8) 0.3 ml の 12% 酢酸水溶液を加え、5 分間保持した。

- (9) 蒸留水で 3 回洗浄後、真空乾燥した。
- (10) 残渣を秤り、 α -セルロース含有率を計算した。
- 3) ヘミセルロース

ホロセルロース- α -セルロースとして計算から求めた。

4) 脱 脂

- (1) 200 mg の真空乾燥試料を秤り、恒量した 2 ml の G 3 ガラスフィルターに取った。
- (2) エタノール/トルエン (1/2 Vol.) で 6 時間、エタノールで 4 時間、蒸留水で 2 時間、上記の 2 ml ガラスフィルター用に設計されたソックスレー抽出器を用いて抽出した。
- (3) 吸引濾過し、アセトンで洗浄した。
- (4) 真空計が無負荷状態になるまでデシケーター中、真空乾燥した。
- 5) ホロセルロース中リグニン
- (1) 10 mg のホロセルロース試料を秤り、25 ml のフラスコに取った。
- (2) フラスコを 20℃ の水浴に浸し、0.2 ml の 72% 硫酸水溶液を加えた。
- (3) 2 時間時々プラスチックピペットの頭で攪拌しながら反応した後、10 ml の蒸留水を加え、2 時間還流した。
- (4) 放冷した後、恒量した 0.8 ml の G 4 ガラスフィルターで吸引濾過し、3 回蒸留水で洗浄した。
- (5) 真空乾燥し、残渣からリグニン含有率を計算した。

2.3 一個体の材積加重平均値

全体の一部しか測定していないことと、偏心成長があることから、一個体の材積加重平均値を各木片の測定値から計算で求めるため、樹幹内変異パターンを考慮し、次のような仮定を用いた。

- (1) 軸方向に、測定部分で狭まれた部位は、その測定部分の平均値を用いる。
- (2) 軸方向に、測定部分で狭まらない部位は、放射方向に隣接している測定値、または、(1) の計算値を用いる。

また、各部位の値に材積を乗じた後全材積で割り、一個体の材積加重平均値を求めた。

3. 結果と考察

3.1 樹幹内変異

1) ホロセルロース

E. camaldulensis の結果を図 1, 2 に、*E. globulus* の結果を図 3, 4 に示した。

E. camaldulensis No.1 (図 1) における放射方向の

樹幹内変異は、各地上高において髓から樹皮側へ向かって含有率で最大13%、平均4%程度の増加が見られ、ホロセルロース含有率が高くなる傾向であった。No.2 (図2) では、地上高0.3~2.3 mでは髓から樹皮側へ向かって最大12%、平均9%程度一度減少した後、平均12%増加するパターンを示した。これ以上の地上高ではNo.1と同様に最大12%増加する傾向で、2個体の結果からホロセルロースは放射方向では、髓から樹皮側へ向かって一般に増加すると言える。軸方向の変異はNo.1では髓からの距離に関わらず、地上高が増すにつれ増加する傾向が最大で16%、平均で13%程度見られた。No.2では髓からの距離1 cmで、地上高が増すにつれ8%程度一度減少し、その後12%ほど増加する傾向が見られた以外はNo.1と同様であった。2個体の結果から、ホロセルロースは軸方向では上部に向かい一般に増加すると言える。また、*E. camaldulensis* では樹幹内の樹皮側、上側へ向かいホロセルロース含有率が高くなることが判明した。ホロセルロースは(セルロース+ヘミセルロース)であることから、放射方向の変異は、ユーカリ一般の結果と良い一致を見た^{13,20)}。しかしながら、軸方向ではユーカリの報告がなく比較出来ないが、ラジアータマツと同様の結果であった¹⁸⁾。

ユーカリにおける未成熟材を組織学的な変化が大きい部分と考えると³³⁾、個体No.1を用いた繊維長、道管径、および道管数の組織観察の結果から、試料はほぼ全て未成熟材と判断された⁴³⁾。また、*E. camaldulensis* の繊維長が最大に達するのに約20年掛かるという報告もある¹⁴⁾。このため、未成熟材、成熟材に見られるような差は認められないと考えられる¹⁵⁾。

一方、多くのユーカリで繊維壁の肥厚、繊維長、繊維径の増加³⁴⁻³⁸⁾、道管長、道管径の増加、および道管数の減少^{35,39-41)}が樹木の加齢とともに、または樹幹の髓から樹皮側へ向かって認められている。我々も繊維長、道管径、および道管数を調べた所同様の結果を得ており⁴³⁾、調査していない繊維壁厚、繊維径、および道管長の増加も十分考えられる。細胞壁が厚い場合、これに比して細胞間層が薄いことから、ホロセルロース含有率が高くなるため²⁸⁾、このようなことが樹皮側、上側へ向かい生じていることが考えられる。しかしながら、用いた*E. camaldulensis* の容積重樹幹内変異は非常に小さいこと²⁹⁾、また、着色心材の形成があることから、容積重は壁厚と抽出物含量や、空隙等によりバランスが取られている可能性が高い。

これに対して*E. globulus* ではNo.1 (図3)、No.2 (図4) の放射方向の樹幹内変異は、程度に差は認

められるものの2個体とも同様で、各地上高において髓から樹皮側へ向かって増加する傾向が最大で17%、平均で5%程度見られた。*E. camaldulensis* に比べれば割合が低いものの、樹皮側でホロセルロース含有率が高くなる傾向であった。軸方向の変異も2個体とも同様で、各髓からの距離において地上から2.3 mの高さ付近まで増加し、それ以上では多少の増減はあるもののほぼ一定となる傾向が見られた。このような結果から、*E. globulus* では*E. camaldulensis* に比べ樹幹内の変異は小さいが、髓から樹皮側へ向かいホロセルロース含有率が高くなることが判明した。この放射方向の樹幹内変異の結果は、*E. camaldulensis* と同様にユーカリ一般と良い一致を見た^{13,20)}。しかしながら、軸方向では*E. camaldulensis* と似た結果ではあったが、地上高2.3 m付近までしか増加せず変異が小さい結果となった。*E. globulus* でも個体No.1について、*E. camaldulensis* と同様の組織観察を行った結果、同樹種と全く同じ傾向を示し、試料は全て未成熟材と判断された⁴³⁾。更に、着色心材の形成は認められず²⁹⁾、未成熟材・成熟材、および心材・辺材による差は、ホロセルロース含有率の樹幹内変異とは関係していないと考えられる¹⁵⁾。また、放射方向では容積重の変異と良い相関を示し²⁹⁾、細胞壁厚と関係しているように思われるが³⁰⁾、軸方向では容積重は大きく変化しているにも関わらずホロセルロース含有率の変異は小さく、放射方向樹幹内変異とは異なる要因が関与していると思われる。

2) セルロース

E. camaldulensis の結果を図5、6に、*E. globulus* の結果を図7、8に示した。*E. camaldulensis* の結果はホロセルロースと全く同じ傾向を示し、樹皮側、上側へ向かいセルロース含有率が各個体で約6%、12%高くなる結果となった。ここで、ホロセルロースは(セルロース+ヘミセルロース)であることから、ホロセルロースの樹幹内変異はセルロースによるものと考えられる。

E. globulus も*E. camaldulensis* と同様にホロセルロースと全く同じ傾向を示し、樹皮側へ向かいセルロース含有率が高くなる結果となった。これらのことから、両樹種においてホロセルロースの樹幹内変異はセルロースによるものと結論された。軸方向の変異はPereira らの報告¹⁹⁾とは異なったが、彼らの方法は硝酸-酢酸法による粗セルロース定量のため、今回の α -セルロース定量法とは異なる結果になったとも考えられる。

3) ヘミセルロース

Fig.5 Within-tree variation of cellulose content in *E. camaldulensis* No.1 See note in Fig.1.

E. camaldulensis の結果を図9, 10, *E. globulus* の結果を図11, 12に示した。

E. camaldulensis は、2個体とも放射方向の樹幹内変異は3%未満とヘミセルロース含有率はほぼ一定であった。軸方向の変異は、No.1で髄からの距離に関わらず3%程増加する傾向が見られ、No.2では、髄からの距離1~3 cmでは地上から7 m付近へ向かい4%程度減少した後、上部へ向かって約6%増加する傾向が見られた。さらに樹皮側では3%未満とわずかながら、高さに伴い増加する傾向が認められた。このような結果から *E. camaldulensis* におけるヘミセルロース含有率は、全体を通じてほぼ一定であるが、軸方向で若干増加が見られると言える。ホロセルロースおよびセルロースの解析結果から、ホロセルロースの樹幹内変異へのヘミセルロースの関与は非常に低いことが判明した。ユーカリのヘミセルロースの大部分はキシランが占めることから³¹⁾、ペントザンの樹幹内変

Fig.6 Within-tree variation of cellulose content in *E. camaldulensis* No.2 See note in Fig.1.

異の報告と比較すると¹³⁾本結果は放射方向の増加がなく、軸方向でもわずかしき増加しないことから異なる結果となった。また、ラジアータマツ¹⁶⁾、テーダマツ¹⁷⁾とも異なっていた。

3.2 一個体の材積加重平均値、および標準値を示す位置

1) ホロセルロース

E. camaldulensis における一個体の材積加重平均ホロセルロース含有率は、76.9, 72.3%, *E. globulus* は83.0, 85.8%となった。*E. globulus*の方が *E. camaldulensis* よりもホロセルロース含有率は高く、他の報告と同様の樹種特性が示唆された³²⁾。

成長錐コアを用いたエリート選抜を実施する場合を考え、各個体において各地上高における円板としての材積加重平均値を求め、図1~4にまとめた。

E. camaldulensis では2個体とも地上から約15%の樹高まで増加し、その後一定となり上部でまた増加

Fig.7 Within-tree variation of cellulose content in *E. globulus* No.1 See note in Fig.1.

した。標準値を示す位置を一個体の平均値 $\pm 5\%$ 偏差と、また、試料採取が脚立を用いて行える地上高を3.3 m以下と考えると、No.1で1.3~3.3 m、No.2で0.8~3.3 mが標準値を示す位置となった。

これに対し *E. globulus* では、2個体とも地上から0.8 mの高さまで樹幹全体から見ると低い値を示すが、それ以上では一定であった。標準値を示す位置は *E. camaldulensis* と同様に考えると、No.1で0.3~3.3 m、No.2では0.8~3.3 mであった。

以上から、両樹種において樹高、および樹幹内変異の個体間差に依らず、*E. camaldulensis* では1.3~3.3 mが、*E. globulus* では0.8~3.3 mが標準値を示す位置であり、成長錐コア採取に適していると言える。

3) セルロース

E. camaldulensis における一個体の材積加重平均

Fig.8 Within-tree variation of cellulose content in *E. globulus* No.2 See note in Fig.1.

セルロース含有率は、42.2、39.0%で、*E. globulus* は48.4、50.4%であった。*E. globulus*の方が *E. camaldulensis* よりもセルロース含有率は高く、他の報告と同様の樹種特性が示唆された³²⁾。ホロセルロースよりは小さいものの、個体間変異が各樹種において認められた。更に、*E. globulus*の方が *E. camaldulensis* よりも含有率で約9%セルロースが多く、*E. globulus*の方がパルプ収率が高いと考えられる。

各地地上高における円板としての平均値を図5~8にまとめた。*E. camaldulensis* No.1では地上から2.3 mの高さまで増加し、その後8.3 mまで一定の後9.3 mまで再び増加し、No.2では地上から2.8 mの高さまで増加し、その後6.3 mまで一定の後8.3 mまで再び増加し、11.3 mまで逆に減少するパターンであった。2個体を通じて全体的に下部から上部へ増加

Fig.9 Within-tree variation of hemicellulose content in *E. camaldulensis* No.1 See note in Fig.1.

する傾向が見られたが、個体間で若干異なった。

標準値を示す位置は、ホロセルロースと同様に考えると *E. camaldulensis* No.1 で 1.8~3.3 m, No.2 で 1.3, 2.8~3.3 m となった。また, *E. globulus* No.1 で 0.8~3.3 m, No.2 で 0.3~3.3 m となった。

以上から、両樹種において樹高、および樹幹内変異の個体間差に依らず、*E. camaldulensis* では 2.8~3.3 m が、*E. globulus* では 0.8~3.3 m が成長錐コア採取に適していると言える。

3) ヘミセルロース

E. camaldulensis における一個体の材積加重平均ヘミセルロース含有率は、34.5%, 33.5% で、*E. globulus* は 34.6%, 35.6% であった。両樹種でヘミセルロース含有率はほぼ同じで樹種特性は認められなかった。各地上高における円板としての平均値を図9~12にまとめた。

Fig.10 Within-tree variation of hemicellulose content in *E. camaldulensis* No.2 See note in Fig.1.

E. camaldulensis No.1 は地上高に関わらずほぼ一定であった。しかし、No.2 では 8.8 m 以上で増加し個体間差が認められた。No.1 では地上高 0.8, 1.8, 3.3 m, No.2 では 0.3~3.3 m が標準値を示す位置となった。

これに対し *E. globulus* では No.1, No.2 とともに多少の増減はあるものの、地上高に関わらず円板としての平均値はほぼ一定であった。標準値を示す位置は、No.1 で 0.8, 2.8, 3.3 m, No.2 で 1.3~3.3 m であった。

以上のことから、ヘミセルロース含有率において標準値を示す位置は、両樹種において樹高、および樹幹内変異の個体間差に依らず、*E. camaldulensis* で 0.8, 1.8, 3.3 m, *E. globulus* で 2.8, 3.3 m であり、成長錐コア採取に相当であると結論された。

Fig.11 Within-tree variation of hemicellulose content in *E. globulus* No.1 See note in Fig.1.

4. 結 論

E. camaldulensis の樹幹内変異では、ホロセルロース、セルロース共に樹皮側、上側へ向かい含有率が高くなる傾向が見られたが、ヘミセルロースはほとんど傾向が認められなかった。これに対し *E. globulus* ではホロセルロース、セルロースが樹皮側へ向かい含有率が高くなる傾向であったが、ヘミセルロースは *E. camaldulensis* 同様、変異がほとんど認められなかった。両樹種においてホロセルロース、セルロースは樹皮側へ向かい高くなり、これらの部位では他よりも高いパルプ収率が予想された。また、ホロセルロースの樹幹内変異は、両樹種でセルロースに依存していることが判明した。

E. camaldulensis における一個体の材積加重平均ホロセルロース、セルロース、およびヘミセルロース

Fig.12 Within-tree variation of hemicellulose content in *E. globulus* No.2 See note in Fig.1.

含有率は76.9, 72.3, 42.2, 39.0, および34.5, 33.5%, *E. globulus* はそれぞれ, 83.0, 85.8, 48.4, 50.4, および34.6, 35.6%であり、樹種間差、および *E. camaldulensis* では個体間差が認められた。

標準値を示す位置を一個体の材積加重平均値±5%偏差と考え、立木からの成長錐コアの採取を考慮し地上高3.3 m以下で求めた。この結果 *E. camaldulensis* では個体の樹高、および材形質の樹幹内変異における個体間差によらず、ホロセルロース:1.3~3.3 m, セルロース:2.8~3.3 m, およびヘミセルロース:0.8, 1.8, 3.3 mが標準値を示す位置となった。多糖類としては3.3 mが共通した地上高であり、成長錐コアを採取すべき位置と結論された。

E. globulus でも同様に、個体の樹高、および樹幹内変異の個体間差によらず、ホロセルロース:0.8~

3.3 m, セルロース: 0.8~3.3 m, ヘミセルロース: 2.8, 3.3 m が標準値を示す位置となった。多糖類としては2.8 m, および3.3 m が成長錐コア採取に相当であると結論された。これらの位置から採取した成長錐コアを用い, 樹幹全体のパルプ特性の予測を伐倒せず行うことが期待される。

謝 辞

材料を供与して頂いた西オーストラリア CALM に謝意を表する。

引用文献

- 1) 柴田勝: 繊維学会誌, 50, 141 (1994)
- 2) 森本泰次: 熱帯林業, 25, 24 (1992)
- 3) Wallenberg Foundation (ed.): "The new Eucalypt forest" in Proc. 1st, Symp. Wallenberg Foundn., Falun, Sweden, 64 (1984)
- 4) Wright, J.W.: "Introduction to Forest Genetics", 235, Academic Press, Inc. (1976)
- 5) Hillis, W.E. and Brown, A.G.: "Eucalypts for Wood Production", 86, CSIRO (1978)
- 6) 加納孟: 「森林の取扱い方による材質」, わかりやすい材学研究解説シリーズ No.11 41~45, 日本林業技術協会 (1965)
- 7) Wright, J.A.: S.Afr. For. J., 157, 96 (1991)
- 8) 島地謙, 須藤彰司, 原田浩: 「木材の組織」, 213~214, 森北出版 (1976)
- 9) 中外産業調査会訳: 「紙およびパルプ製造法」, 2, 459, 中外産業調査会 (1970)
- 10) Haygreen, J.G. and Bowyer, J.L.: "Forest Products and Wood Science, 2nd Ed.", 204, 215, IOWA State University Press (1989)
- 11) Hillis, W.E. and Brown, A.G.: "Eucalypts for Wood Production", 290~296, CSIRO (1978)
- 12) 林良次, 紙パルプ 1, 27 (1990)
- 13) CSIRO: Division of Forest Products Technological Paper No.17, Chemical Utilization of The Eucalyptus I - II, CSIRO (1962)
- 14) Hillis, W.E. and Brown, A.G.: "Eucalypts for Wood Production", 260~263, CSIRO (1978)
- 15) 渡辺治人: 「木材理化学総編」, 70~85, 農林出版 (1978)
- 16) Uprichard, J.M.: Holzforschung, 25, 97 (1971)
- 17) Kellison, R.C.: Proc. 2nd IUFRO World Congress, Div.5, 77 (1981)
- 18) Harwood, V.D.: Holzforschung, 25, 73 (1971)
- 19) Pereira, H. and Sardinha, R.: Appita, 37, 661 (1984)
- 20) Garland, C.P., James, F.C., Nelson, P.J. and Wallis, A.F.A.: Appita, 39, 361 (1986)
- 21) 米沢保正, 香山彊, 菊地文彦, 宇佐見国典, 高野勲, 萩野健彦, 本田収: 林業試験場研究報告, 253, 55 (1973)
- 22) 三宅基夫: 紙パ技協誌, 22, 10 (1968)
- 23) 香山彊: 紙パ技協誌, 22, 581 (1968)
- 24) 材質育種研究班: 林業試験場研究報告, 244, 17 (1972)
- 25) Van Buijtenen, J.P., Zobel, B.J. and Joranson, P.N.: Tappi, 44, 141 (1961)
- 26) Hall, M.J., Hansen, N.W. and Rudra, A.B.: Appita, 26, 348 (1973)
- 27) Ona, T., Sonoda, T., Shibata, M. and Fukazawa, K.: Tappi, 78 (3) (1995), in press
- 28) 篠田善彦: 「木材科学講座 4 化学 (城代 進・鮫島一彦 編)」, 30, 31, 海青社 (1993)
- 29) 小名俊博, 園田哲也, 伊藤一弥, 柴田勝: 第44回日本木材学会大会研究発表要旨集, 500 (1994)
- 30) Bamber, R.K.: Appita, 38, 210 (1985)
- 31) Sjostrom, E.: Wood Chemistry: Fundamentals and Applications, 208, Academic Press (1981)
- 32) Kingston, R.S.T. and Risdon, J.E.: Division of Forest Products Technological Paper 13, CSIRO (1961)
- 33) Wilkes, J.: IAWA Bulletin n.s., 9, 13 (1988)
- 34) Taylor, F.W.: Appita, 27, 171 (1972)
- 35) Bamber, R.K. and Curtin, R.A.: Aust. For., 36, 226 (1974)
- 36) Bisset, I.J.W. and Dadswell, H.E.: Aust. For., 13, 86 (1949)
- 37) Amos, G.L., Bisset, I.J.W. and Dadswell, H.E.: Aust. J. Sci. Res. (B), 3, 393 (1950)
- 38) Foelkel, C.E.B., Busnardo, C.A., Dias, C., Schmidt, C., da Silva, R.M.R. and Vesz, J.B.V.: Silvicultura, 28, 782 (1983)
- 39) Dadswell, H.E.: J. Inst. Wood Sci., 1, 2 (1958)
- 40) Bamber, R.K. and Humphreys, F.R.: J. Inst. Wood Sci., 11, 63 (1963)
- 41) Nicholls, J.W.P. and Griffin, A.R.: Aust. For. Res., 8, 93 (1978)
- 42) 小名俊博, 園田哲也, 伊藤一弥, 柴田勝: 紙パ技協誌, 投稿中
- 43) 未発表データ

(受理: '94.11.21)