日本カラマツにおけるアラビノガラクタンおよび抽出物の樹幹内変動

橋爪丈夫・高橋成直
信州大学農学部森林化学研究室

はじめに

アラビノガラクタンは，多くの針葉樹および一部の広葉樹に見出される水溶性多糖類であるが，カラマツ属に異常に多く存在するという点でカラマツ属を特徴づける一つの成分である。従来，その糖構成が他のヘミセルロースと極めて近似した形態にあることから，ヘミセルロースとして分類されてきたが，ヘミセルロースの概念を，“陸生植物の細胞膜を構成する非セルロース系多糖類である[1]”とするならば，アラビノガラクタンは，ほとんど細胞膜と無関係に仮導管内腔に存在し，冷水によって簡単に抽出可能なことから，最近ではむしろ植物ゴム質あるいは木材抽出成分として分類されるべきものであるといわれている。

このようにアラビノガラクタンは，カラマツ属に比較的多量に存在し，簡単に水抽出が可能なことから早くから研究者の注目を集め，1916年に SHORGER と SMITH が北米西部カラマツ中に水溶性多糖類の存在を発見し[2]，これを ε— ガラクタンと命名して以来多数の研究者によってその化学的諸性質，樹幹内における変動，あるいはその工業的利用に関する研究などが行われてきている。

カラマツ材の合理的利用の面からみると，アラビノガラクタンは，ヘミセルロースの中では唯一の利用可能な物質として重要視され，古くからその面に関する研究が行われてきた。利用形態としては低粘度乳化剤，錠剤粘結剤，パーティクルボード粘結剤，アラビアゴム代用糊剤，石版印刷用剤および水素化分解による薬用ダルシット製造などがあげられる。このようにアラビノガラクタンの有効的な利用分野も多いが，反面，化学パルプ製造に際してはこの物質の存在が収率を低下させるばかりでなく，亜硫酸法においては蒸解困難の原因となったり，パルプの色にも影響する。また，乾式法の繊維板，ドリゾールや木毛セメント板のような木質繊維板を製造する場合に汚点が生じたり，セメントとの結合不良のような糖障害，いわゆるセメント毒の原因となって不利であるとされている[3]。カラマツ材利用上の大きな欠点の一つとして旋回生長に起因する捩れがあげられているが[4]，アラビノガラクタンの異常な存在はカラマツ材の化学的利用面においても影響するところが大きく，利用上の大きな欠点ともなる。

したがって，カラマツ材を利用する場合，アラビノガラクタンの含有量，樹幹内における変動などを明らかにすることが必要である。樹幹内における変動については W. A. CÔTÉ, T. E. TIMELL らがアラビノガラクタンの工業的利用を目的として，北米西部および東部カ

ラマツについて詳細に調べ，さらに，すでに行われた他の研究結果も総括して報告している[5),6)]。しかし，日本カラマツを対象としたこの種の研究はほとんどみられない。

本研究は，日本カラマツにおけるアラビノガラクタンの樹幹内変動を明らかにし，すでに報告されている外国産カラマツにおける分布様式と比較検討することを第1の目的としている。第2の目的は，同一樹幹における冷水，熱水およびアルコール・ベンゼン抽出物の変動を明らかにしてカラマツ材利用上の資料を得るとともに，アラビノガラクタンとこれらの抽出物との変動傾向の比較を行って，すでに指摘されている抽出物とアラビノガラクタンの樹幹内変動の類似性について，より詳細な知見を得ることである。

本報告の一部は昭和48年10月に行われた第22回日本林学会中部支部大会において報告した。

また，この実験を行うに当って御協力をいただいた信州大学農学部附属演習林ならびに木材利用学研究グループの皆様に対して深謝いたします。

I　試料および実験方法

§1　供　試　木

供試木は，信州大学農学部附属手良沢山演習林に生育している植栽カラマツ3本を選び，1972年7月に伐倒して用いた。胸高直径の大きい順から供試木A，供試木B，供試木Cとした。供試木の概要はつぎのようである。

供試木A：樹齢46年，胸高直径26cm，樹高20.0m

供試木B：樹齢46年，胸高直径24cm，樹高18.0m

供試木C：樹齢46年，胸高直径22cm，樹高16.5m

§2　試料の調製

各供試木とも，根元から上部に向かって2m間隔で厚さ約10cmの円板を採取した。つぎに，Fig. 1 に示した方法にしたがって，まず，髄周辺部（直径約1cm，髄を含む）の試料を採取し，以後地上高0m部位における円板の長径方向を基準として，各円板の外周に向かって3年輪ごとに試料を採取した。ただし，心辺材境界部附近においては同一試料中に心材，辺材の両方を含むことのないように留意して採取したので，心辺材境界部と円板最外周部の試料は必ずしも3年輪にはなっていない。また，節は木粉とする前に除去し，おのおのの試料は乾燥したのち木粉とした。

試料数は，供試木A‥106，供試木B‥90，供試木C‥80，合計276であった。

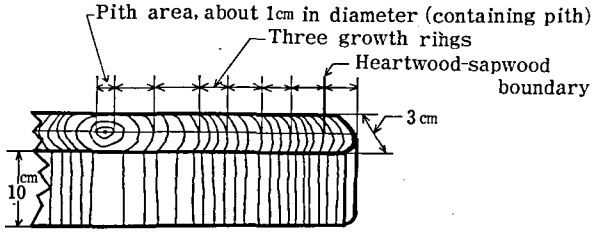


Fig. 1 Sampling

§3 実験方法

1　アラビノガラクタンの定量

アラビノガラクタンの抽出条件を決めるために予備実験を行い，その結果をもとにして定量を行った。すなわち，正確に秤量した木粉約10gをエタノール・ベンゼン（1：2）混合溶剤で6時間，ソックスレー脂肪抽出器を用いて脱脂したのち，150mlの水を加え，往復振盪器を用いて5時間振盪した。約12時間放置したのち3号ガラスフィルターで木粉をろ別し，ろ液を約55°Cで5～10ml程度まで減圧濃縮し，その約10倍量のエタノールを加えてアラビノガラクタンの沈殿を得た。2日間静置したのち，4号ガラスフィルターでろ別し，乾燥，秤量してアラビノガラクタンの量を求めた。

2　冷水，熱水可溶分の定量

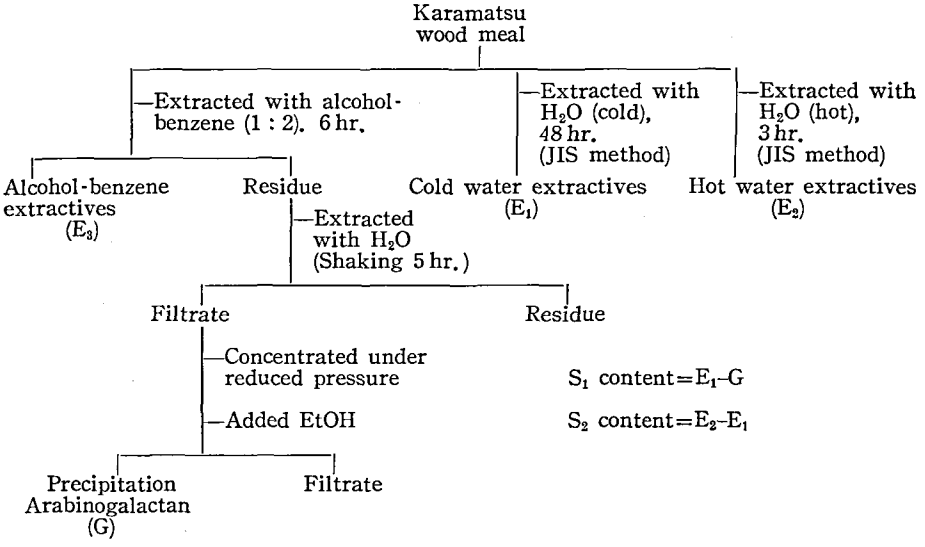
同一試料を用い，ＪＩＳ法によって定量した[10]。

3　アルコール・ベンゼン可溶分の定量

アラビノガラクタン抽出の前処理として，アルコール・ベンゼン（1：2）混合溶剤による脱脂を必要とするので，その際にアルコール・ベンゼン可溶分を求めた。定量法はＪＩＳ法に準じて行った[10]。

4　S_1およびS_2成分の含有率

Scheme 1に示したように，各試料の冷水可溶分(E_1)含有率からアラビノガラクタン(G)含有率を差引いた値をS_1の含有率，熱水可溶分（E_2）含有率から冷水可溶分（E_1）含有率を差引いた値をS_2の含有率とした。



Scheme 1　Arabinogalactan and various extractives in Karamatsu wood

Ⅱ　実験結果および考察

§4　心材部におけるアラビノガラクタンと抽出物の変動傾向のモデル化

心材部（髄周辺部は含まない）に含まれるアラビノガラクタンおよび抽出物の半径方向における変動傾向を簡潔に表現するために，つぎに示すような3種類の変動傾向のモデルを考えた。以後，心材部の半径方向における各成分の変動傾向は主としてこの分類によって説明することにする。

変動傾向Ⅰ型：含有率が髄周辺部から心辺材境界部に向かって増加する

変動傾向Ⅱ型：含有率が髄周辺部から心辺材境界部に向かってほとんど変化しない

変動傾向Ⅲ型：含有率が髄周辺部から心辺材境界部に向かって減少する

§5　アラビノガラクタンの回収率

冷水可溶分中のアラビノガラクタンが何パーセント沈殿として得られるかを知るために，つぎのような方法で回収率を求めた。すなわち，別に得られたアラビノガラクタンの0.05%，0.10%，0.20%，0.30%，0.40%および0.60%溶液各250mℓを用い，§3，1の方法に準じて定量を行った。その結果，回収率は98.0～99.8%であり，水溶液中のアラビノガラクタンは，ほとんど回収されることが確かめられた。

§6　アラビノガラクタン（G）の樹幹内変動

1　アラビノガラクタン（G）の半径方向の変動

各試料のアラビノガラクタン含有率と平均年輪幅の半径方向における変動を供試木ごとに地上高別に示したものがFig. 2である。また，心材部におけるアラビノガラクタンの半径方向の変動傾向を供試木ごとに地上高別に類別したものがTable 1である。

Table 1　Radial variation types of arabinogalactan (G) contents in the heartwood of the three Karamatsu trees used

Trees	Height above ground (m)								
	0	2	4	6	8	10	12	14	16
A	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
B	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅲ	—
C	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	—	—

髄周辺部のアラビノガラクタン含有率は，供試木A，Bにおいては一部の例外（供試木B，0m部位）をのぞいて，同一円板の心材部における含有率よりもはるかに高く，平均して供試木Aで1.8倍，供試木Bで1.7倍であって，その割合は地上高とともに増加する傾向がみられる。しかし，供試木Cにおいてはこのような極端なちがいはみられない。ただ，髄周辺部に隣接する心材部試料の含有率と比較すると，髄周辺部の含有率の方が高い。したがって，3本の供試木について共通的にいえることは，髄周辺部のアラビノガラクタン含有率の方が，それに隣接する心材部試料の含有率よりも高い傾向をもっているということである。

心材部は，Table 1 およびFig. 2 でみられるように，全体的にみるとアラビノガラクタンの半径方向における変動傾向は多様である。しかし，これを地上高別にみればかなり統一的であることがわかる。すなわち，0m部位における変動傾向は，すべての場合，心辺材境界部に向かって含有率が増加する変動傾向Ⅰ型に属している。また，2，4，6m部位においては，変動傾向Ⅰ型と心辺材境界部に向かって含有率がほとんど変化しない変動傾向Ⅱ型

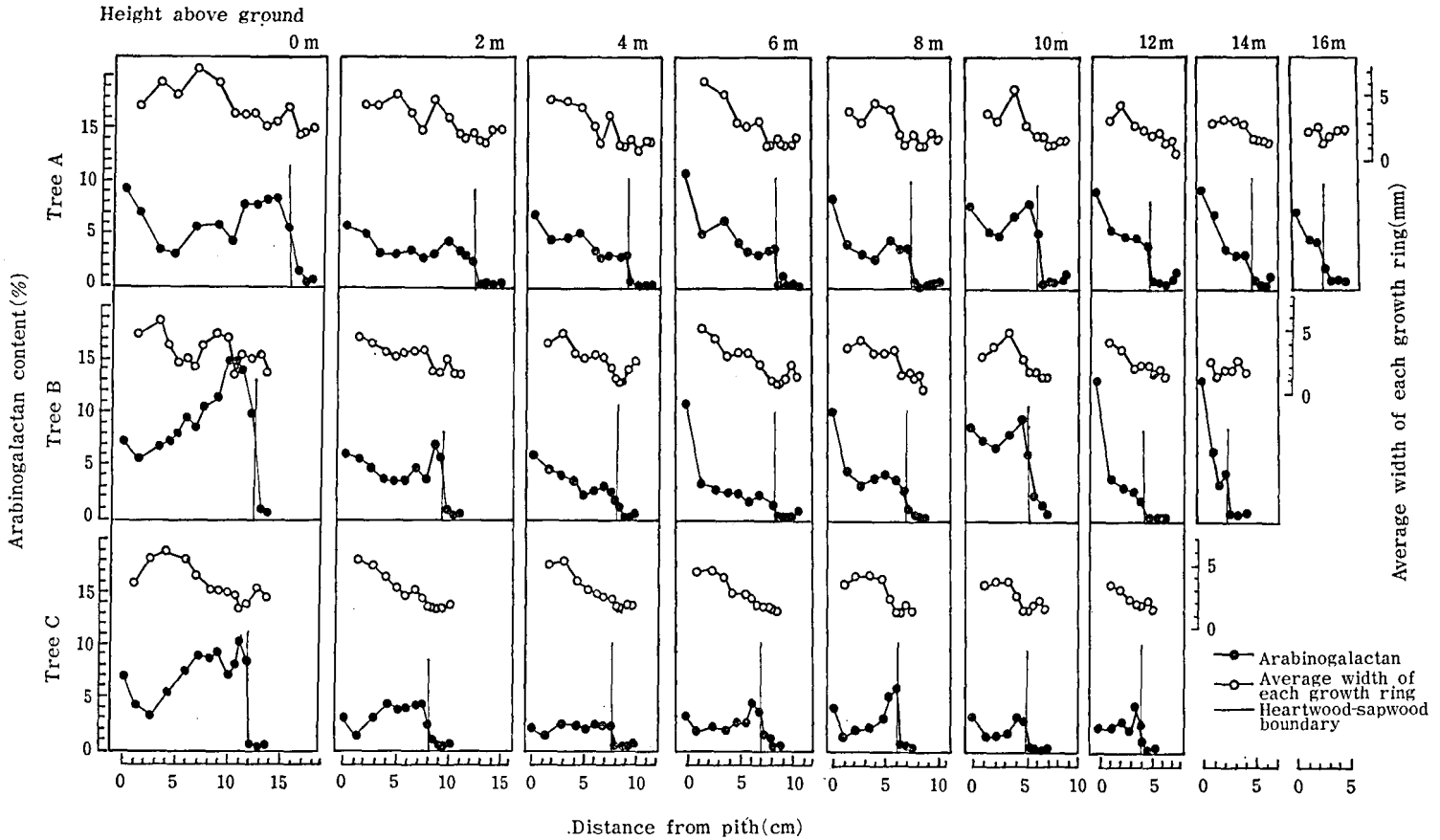


Fig. 2 Variation of arabinogalactan (G) content and average width of each growthring with distance from the pith of three karamatsu trees used

および含有率が減少していく変動傾向Ⅲ型がほぼ同じ程度の比率で存在している。8，10m部位においては再び変動傾向Ⅰ型が現われる。この部位は各供試木の樹高のほぼ中央部に当ることを考えると興味あることである。12，14，16m部位になると変動傾向Ⅲ型が主体となり含有率は心辺材境界部に向かって減少していく傾向が目立ってくる。

辺材部は，各供試木とも，アラビノガラクタン含有率は心材部に比較すると一様に低く，平均0.6～0.8%である。含有率の変動はあるが一般的な変動傾向は認められない。

カラマツ属アラビノガラクタンの半径方向における変動傾向については，NIKITIN, MUKOVNIKOVA, TSVETAEVA らがダフリカカラマツ（*Larix duhurica*）について，TSVETAEVA MERKUR'EVA らがシベリアカラマツ（*Larix Sibirica*）について[5]による，MITCHELL と RITTER が北米西部カラマツ（*Larix occidentalis*）について[7]，半径方向に変動があることをそれぞれ報告している。さらに W. A. CÔTÉ, T. E. TIMELL らは，その工業的利用の立場からヨーロッパカラマツ（*Larix decidua*），北米東部カラマツ（*Larix laricina*），同西部カラマツ（*Larix occidentalis*）を用いて，その樹幹内変動をかなり詳しく調べ，アラビノガラクタン含有率は樹心から心辺材境界部に向かって漸増することを報告している[5]。これらの結果に基づいて，現在，アラビノガラクタン含有率は髄周辺部では低く，それより外周に向かうにつれて増加し，心辺材境界部で最大となり，辺材部では急激に低下する傾向を示すものであるといわれている。そして，このような傾向を示す理由として，樹齢に伴なって，アセチル基から生ずる酢酸の作用によってアラビノガラクタンが加水分解される結果，樹心に近い程アラビノガラクタン濃度が低下することが原因の一つとして挙げられている[8]。

しかしながら，本実験に用いた日本カラマツでは，各供試木とも髄周辺部のアラビノガラクタン含有率が一様に高く，外周に向かって一旦低下し，以後はすでに述べたような3種類の変動傾向がみられて樹幹全体が一様な変動傾向を示さなかった。すなわち，現在認められているような半径方向の変動傾向と一致した部位は主として樹幹最下部と樹幹のほぼ中央部であって，一概に樹幹全体が画一的な変動傾向を示すとはいえない。W. A. CÔTÉ, T. E. TIMELL らが半径方向の変動を調べるために用いた円板は，樹幹の低位部から採取されたものである[5]。本実験においても樹幹最下部の円板（0m部位）は，心辺材境界部に向かって含有率が増加する変動傾向Ⅰ型に属しており，従来の指摘と一致するので，今後は主要なカラマツ属樹種について，樹幹全体が半径方向において同一の変動傾向を示すものかどうか，さらに検討を進めねばならないと考える。

W. A. CÔTÉ, T. E. TIMELL らは材中のアラビノガラクタンと酢酸濃度との間に関連があることを指摘している[8]。われわれの行った今回の実験においては，それらの関連性を検討するために必要とする諸種の実験は行っていないので，今後，日本カラマツにおけるアラビノガラクタンの半径方向の変動と酢酸濃度との関連性についても検討を加えねばならないものと考える。

2　アラビノガラクタン（G）の幹軸方向の変動

髄周辺部におけるアラビノガラクタンの含有率，心材部および辺材部におけるアラビノガラクタンの平均含有率をそれぞれ供試木ごとに地上高別に示したものが Fig. 3, Fig. 4 である。

Fig. 3 でみられるように，髄周辺部においては各供試木とも0m部位の含有率が比較的高

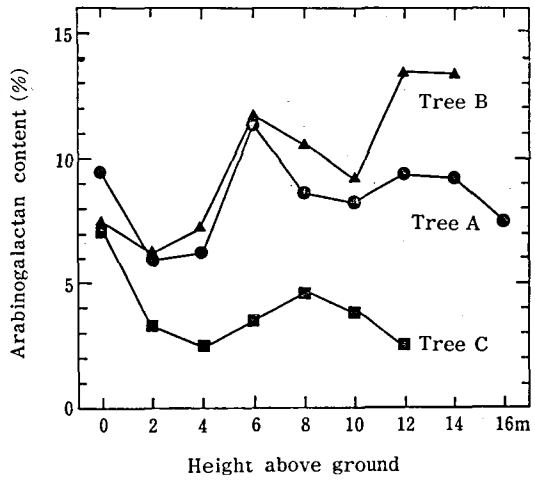


Fig. 3 Variation of arabinogalactan content (G) with height above the ground (pith area)

く，さらに供試木AおよびBにおいては6m部位に，供試木Cにおいては8m部位にそれぞれ含有率のピークがみられるが，従来いわれているような地上高に伴なう含有率の増加あるいは減少といった顕著な一般的傾向は認められなかった。

心材部においては，Fig. 4 でみられるように各供試木とも地上高0m部位におけるアラビノガラクタンの平均含有率が極めて高く，2m以上の部位におけるその平均含有率と比較すると，供試木Aでは1.4倍，供試木Bでは2.4倍，供試木Cでは2.5倍程度であった。従来報告されているような，地上高に伴なうアラビノガラクタンの漸増，あるいは一部で報告されているが例外的であるとされている漸減の顕著な傾向はどの供試木にも認められなかった。しかし，供試木AおよびBにおいては地上高10mの部位に，また，供試木Cにおいては8mの部位に，程度の差はあるがそれぞれ含有率のピークが認められる。これらの部位は各供試木の樹高のほぼ中央部分に相当し，半径方向におけるアラビノガラクタン含有率の変動傾向Ⅰ型が現れる部位と一致している。

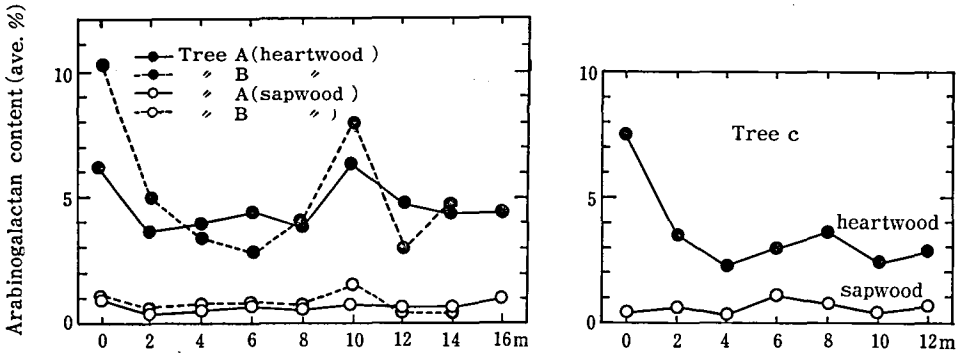


Fig. 4 Variation of arabinogalactan content (G) with height above the ground (heartwood and sapwood areas)

辺材部におけるアラビノガラクタン平均含有率は，ほぼ一定であって，地上高に伴なった変動は認められない。

幹軸方向におけるアラビノガラクタン含有率の変動について，ダフリカカラマツ，北米東部カラマツの場合は地上高に伴なって含有率が高くなり[5]による，北米西部カラマツの場合は逆に低下する[7]，という報告がみられる。しかし，一般的にはアラビノガラクタン含有率は

地上高に伴なって高くなる傾向が認められていて，低下する傾向はむしろ例外的であると解釈されている。

本実験の場合，心材部においては地上高0m部位が最高含有率を示した。これは W. A. CÔTÉ, T. E. TIMELL らの指摘[5),6)]と対立するものであり，むしろ MITCHELL と RITTER が北米西部カラマツを用いて行った場合の，根元は樹幹の2倍量のアラビノガラクタンを含有する[7)]という実験結果を肯定するものである。また，各供試木とも樹高のほぼ中央部にアラビノガラクタン含有率のピークがみられるのが特徴である。この部位は0m部位と同様，アラビノガラクタンの半径方向における変動傾向がI型に属する部位である。このことは，ダフリカカラマツを用いた実験において，アラビノガラクタン含有率が最高を示す部位は樹幹の分枝部周辺であるという報告[5)]による および北米東部カラマツを用いて行なわれた実験で枝は樹幹よりもアラビノガラクタン含有率が高いという実験結果[6)]などを参考にして考えると，力枝分枝部位との関連が予想される。しかし，樹幹上部には多数の枝が密生しているにもかかわらず含有率は高くない。さらに，この部位の半径方向における変動傾向がIII型に属することを考えると，むしろ半径方向における変動傾向との関連が考えられ，簡単に結論をくだすことはできない。

北米東部カラマツを用いて W. A. CÔTÉ, T. E. TIMELL らが行なった実験では，幹軸方向の変動を調べるに当って，同一年に形成された年輪部分を試料として用い，その変動を表わしている[6)]。しかし，本実験の場合は心材部のアラビノガラクタン平均含有率で表わしたので直接それと比較することは困難である。また，本実験の結果のように半径方向におけるアラビノガラクタンの変動傾向が地上高によって異なる可能性があること，アラビノガラクタン含量を著るしく増加させる心材化現象は必ずしも同一年輪に沿って生ずるとは限らないことなどを考慮すると，幹軸方向の変動について今後さらに検討を必要とするものと考える。

3　アラビノガラクタン (G) 含有率と年輪幅および晩材率との関係

心材部試料のアラビノガラクタン含有率と平均年輪幅および晩材率との関係を供試木ごとに示したものが Fig. 5, Fig. 6 である。

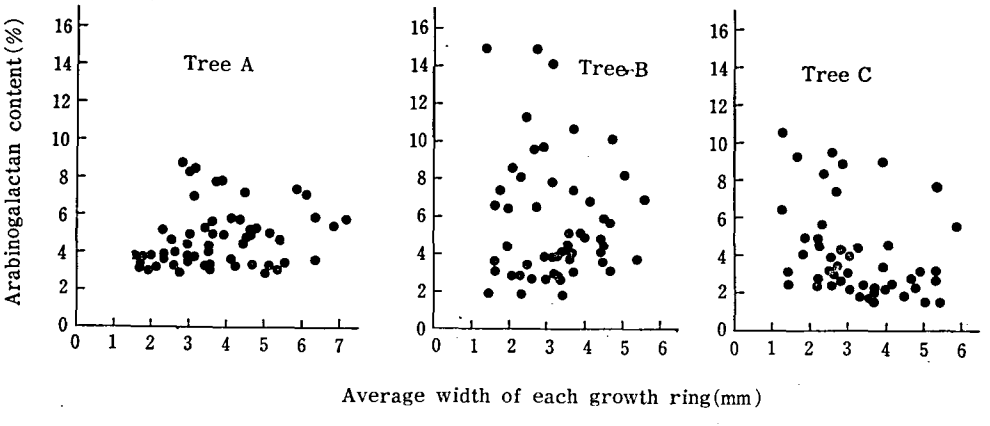


Fig. 5 Relationship between the average width of each growth ring and arabinogalactan content (G) in the heartwood area

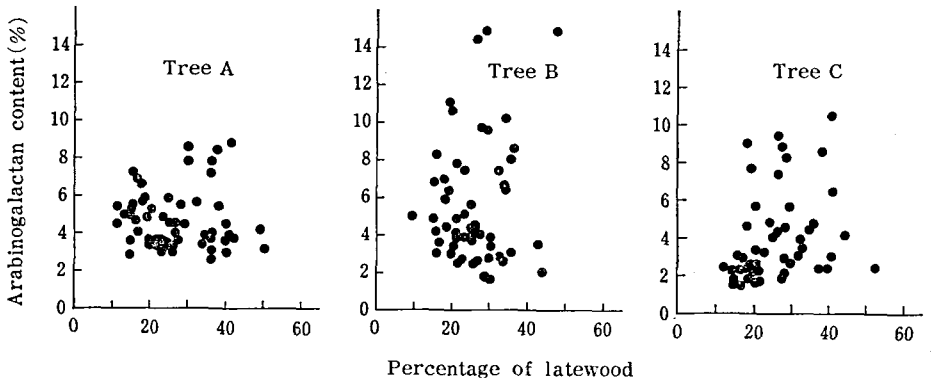


Fig. 6 Relationship between the percentage of latewood and arabinogalactan (G) content in the heartwood area

Fig. 2 から明らかなように，各供試木とも試料の平均年輪幅は生育の初期の段階では広く，以後は外周に向かうにしたがって狭くなる傾向が認められる。これに対して心材部のアラビノガラクタン含有率は半径方向の変動（§ 6，1）の項ですでに述べたとおり，同一樹幹内にそれぞれ異なった傾向，すなわち，変動傾向Ⅰ型，Ⅱ型およびⅢ型が存在し傾向が一定ではない。このことと，Fig. 5 に示された結果とから判断して，本実験に用いた日本カラマツの場合アラビノガラクタン含有率と年輪幅との間には特別な関係はないものと考える。また，アラビノガラクタンと晩材率との関係も Fig. 6 でみられるように特別な関係は認められない。

従来，年輪幅の狭いところほどアラビノガラクタン含有率が高いということがいわれている[5]。しかし，その合理的な説明は未だになされていない[6]。一般的に樹木は樹齢にしたがって年輪幅は狭くなる傾向をもっている。これに対して従来の実験結果では，心材部におけるアラビノガラクタン含有率が髄から外周に向かって高くなるという変動傾向を示したので，両者の関連性が指摘されてきたのではなかろうか。形成層が分裂していく過程で決定された年輪幅と，それよりおくれて心材化に伴なって沈積するアラビノガラクタンの含有率とは別の要因であって強いて関連づけることは無理であろうと考える。

しかし，W. A. CôTÉ, T. E. TIMELL によって行われた著るしく偏心した材においては，同一年輪内でのアラビノガラクタン含有量は，その年輪幅と明らかに逆になっている[6]。日本カラマツについても同一年輪内でのアラビノガラクタン含有率の差について今後検討しなければならないものと考える。

4　アラビノガラクタン（G）平均含有率とそれが冷水，熱水可溶分中に占める割合

Table 2 より，髄周辺部におけるアラビノガラクタンの平均含有率は供試木Aでは8.6%，Bでは9.8%，Cでは3.9%であり，心材部では供試木Aが4.8%，Bが5.7%，Cが4.1%であった。これらの値は，日本カラマツについてすでに報告されている値の範囲[9]，すなわち，3.0～8.0%と比較すると大差がなかった。また，辺材部では供試木A，Bが0.8%，Cが0.6%であり，北米東部カラマツ辺材部のアラビノガラクタン含有率が0.21～0.55%であるのと比較するとやや大きな値を示した[6]。半径方向における部位別に平均してみると，アラビノ

ガラクタン含有率は髄周辺部が最も高く，ついで心材部，辺材部の順であった。

冷水可溶分中に占めるアラビノガラクタンの割合は，髄周辺部で56.2～77.3%，心材部で51.9～67.9%，辺材部で23.0～31.1%であり，熱水可溶分中に占めるその割合は，髄周辺部が44.1～67.4%，心材部が38.9～53.9%，辺材部が12.5～17.6%であった。いずれの場合もその割合は髄周辺部が最も高く，ついで心材部，辺材部の順であり，特に髄周辺部と心材部においては，冷水，熱水可溶分のほぼ半分，あるいはそれ以上をアラビノガラクタンが占めている。

従来，同樹齢木においては，直径の小さいもの程アラビノガラクタン含有率が高いといわれているが[3]，本実験の結果はそれと一致しなかった。すなわち，胸高直径の小さいものから大きなものに並べると供試木C，B，Aの順になるが，アラビノガラクタン含有率は髄周辺部，心材部ともに供試木Bが最も高く，ついで供試木A，Cの順になる。

Table 2 Average percentage of arabinogalactan and various extractives contents and arabinogalactan's ratio to E_1 and E_2 (%)

Trees	Areas	Arabino-galactan (G)	Cold water extractives (E_1)	Hot water extractives (E_2)	Alcohol-benzene extractives (E_3)	S_1	S_2	G/E_1	G/E_2
A	Pith area	8.6	12.1	15.0	6.8	3.6	2.9	70.9	57.8
B		9.8	12.6	15.2	2.6	2.8	2.1	77.3	67.4
C		3.9	6.8	9.5	3.1	3.0	2.2	56.2	44.1
A	Heartwood area	4.8	7.8	9.7	3.6	3.0	2.0	60.2	47.7
B		5.7	8.2	10.1	3.1	2.5	1.9	67.9	53.9
C		4.1	7.6	9.9	3.9	3.5	2.3	51.9	38.9
A	Sapwood area	0.8	2.6	4.2	1.2	1.9	1.6	28.2	16.9
B		0.8	2.4	4.1	1.2	1.5	1.8	31.1	17.6
C		0.6	3.1	5.0	1.3	2.4	1.9	23.0	12.5

§7　冷水可溶分（E_1）の樹幹内変動

すでに述べたように，アラビノガラクタンは冷水に極めてよく溶ける。また，特にカラマツ材の髄周辺部，心材部においては冷水可溶分中に占めるそれの割合が非常に高く，かつ樹幹内変動も変化に富んでいる。したがって，冷水可溶分の変動はアラビノガラクタンの変動の影響を大きく受けることは当然である。

ここでは，冷水可溶分の樹幹内変動についてもその結果について考察するが，すでに§5で述べたように，冷水可溶分中のアラビノガラクタンはそのほとんどが沈殿として得られるので，冷水可溶分からアラビノガラクタンの量を差引いたもの（S_1）について主に考察したい。

1　冷水可溶分（E_1）およびS_1の半径方向の変動

各試料の冷水可溶分およびS_1含有率の半径方向における変動を供試木ごとに地上高別に示したものがFig.7である。

まず，冷水可溶分全体についてみると，Fig.2と対比してみて明らかなように，アラビノガラクタンの半径方向における変動とよく一致している。これは，冷水可溶分中に占める

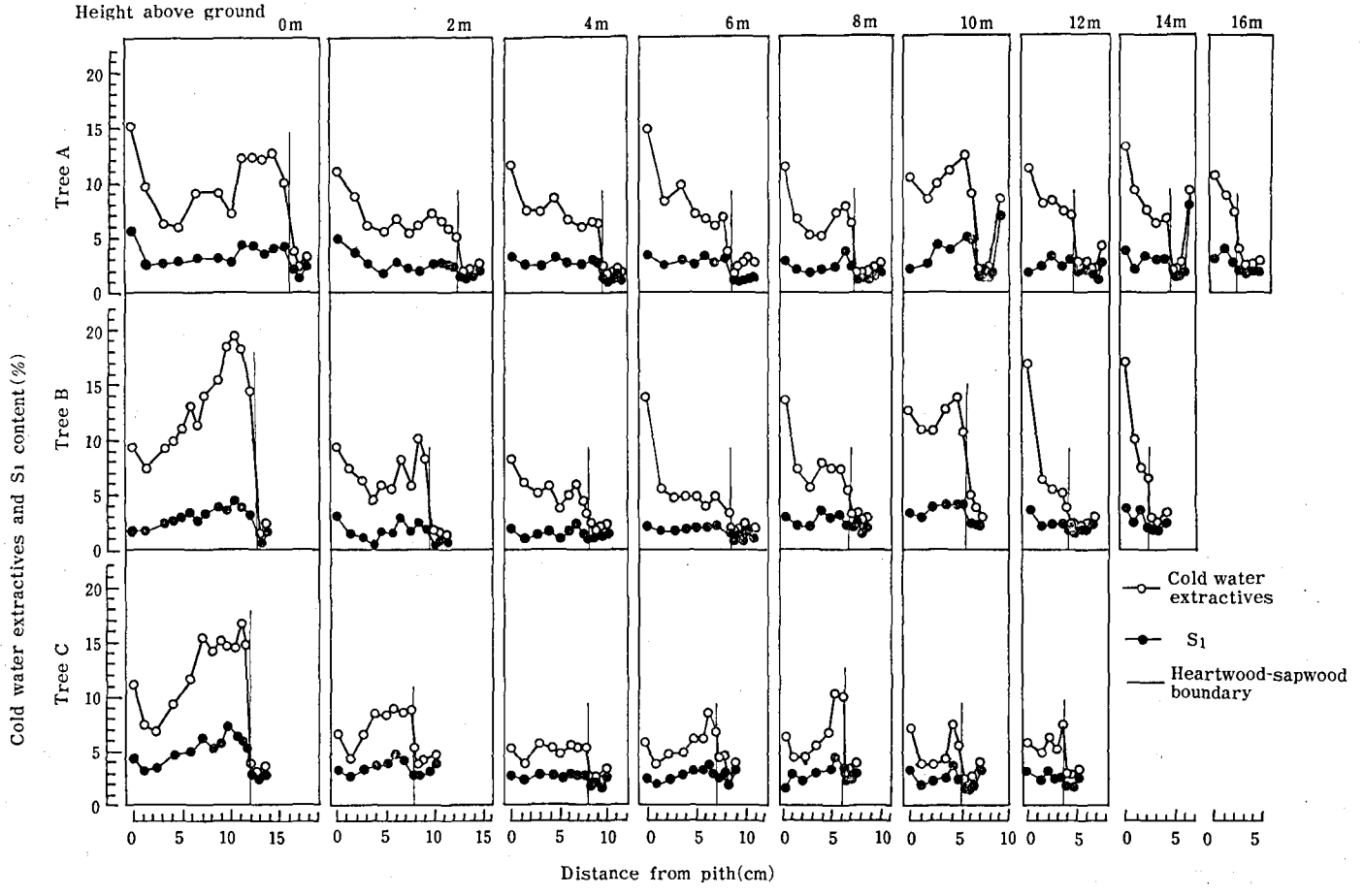


Fig. 7 Variation of cold water extractives (E_1) and S_1 contents with distance from the pith of three karamatsu trees used

アラビノガラクタンの割合が非常に高いことを考えれば当然の結果であろう。

つぎに，S_1についてその変動をみてみたい。

髄周辺部では，同一円板の心材部とくらべて，それより含有率の高い場合，同程度の場合，低い場合とがあるが，全体的にみると同程度の場合が多い。つぎに髄周辺部に隣接する心材部試料の含有率と比較すると，アラビノガラクタンの場合ほどではないがやや高いものが多いので，髄周辺部とそれに隣接する心材部の冷水可溶分含有率の差をより大きくする原因となっている。

心材部におけるS_1の変動は顕著ではないが，前述した変動傾向のモデルにしたがってこれを類別するとTable 3のようになる。すなわち，0m部位と8，10m部位は変動傾向Ⅰ

Table 3 Radial variation types of S_1 contents in the heartwood of the three Karamatsu trees used

Trees	Height above ground (m)								
	0	2	4	6	8	10	12	14	16
A	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ
B	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	—
C	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	—	—

型に属し，2，4，6m部位と12，14，16m部位は変動傾向Ⅱ型が主体となっていてアラビノガラクタンの半径方向における変動傾向とかなりよく一致している。したがってこの結果は，S_1の変動が冷水可溶分の変動をより大きくする要因であることを示している。

辺材部は心材部と比較するとその含有率は明らかに心辺材境界部を境にして低下する。しかし，心材部と辺材部の含有率の差は著るしいものではない。また，一部の例外をのぞけば，心辺材境界部から樹皮方向に向かって含有率が高くなる傾向がみられる。これは樹木の生理的機能が形成層に向かって増すことを意味するものと考える。辺材部におけるアラビノガラクタン含有率は半径方向でほとんど変動を示さなかった。したがって，この部位における冷水可溶分の変動傾向はS_1によってその傾向が左右されるものである。

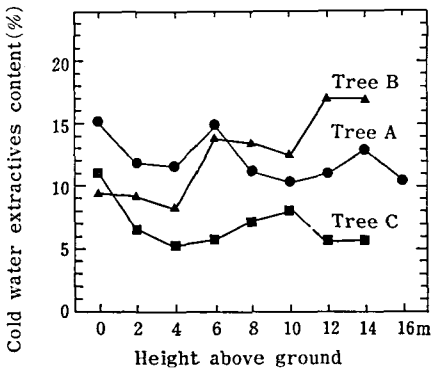


Fig. 8 Variation of cold water extractives (E_1) content with height above the ground (pith area)

2　冷水可溶分（E_1）およびS_1の幹軸方向の変動

冷水可溶分の幹軸方向の変動はFig. 8, Fig. 9でみられるように，アラビノガラクタンのそれ（Fig. 3, Fig. 4）と全く同様な傾向であった。したがって，ここではS_1の変動について検討する。

髄周辺部におけるS_1の幹軸方向の変動は，Fig. 10でみられるように供試木によってかなりちがいがあり一般的な傾向を認めることができなかった。

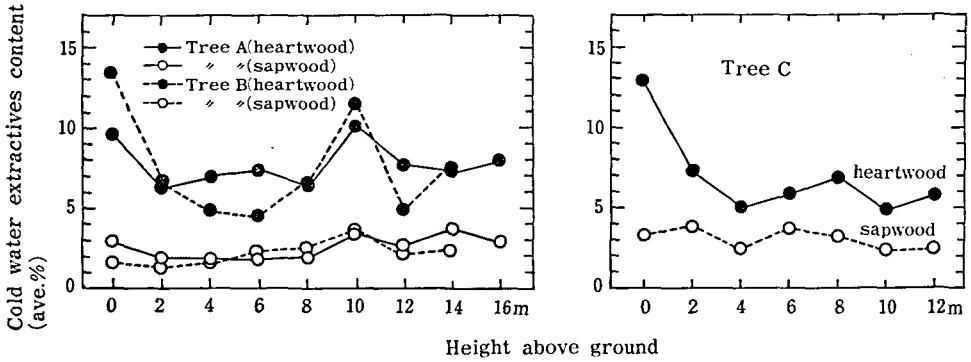


Fig. 9 Variation of cold water extractives (E_1) content with height above the ground (heartwood and sapwood areas)

心材部におけるその変動は，Fig. 11 に示したように全体的にみるとアラビノガラクタンのそれに比較して顕著ではない。しかし，各供試木とも0m部位での含有率が比較的高く，また，供試木A，Bでは10m部位に，供試木Cでは8m部位に程度の差はあるがそれぞれピークが認められる。これらの特徴は，アラビノガラクタン含有率の幹軸方向における変動とかなりよく一致している。したがってこの結果は，半径方向における変動の場合と同様に，S_1 の変動が冷水可溶分の変動をより大きくする要因であることを示している。

辺材部におけるその変動は，供試木によって多少ちがいがみられるが特別な傾向は認められない。供試木Aの10m部位と14m部位でその含有率が高いのは，それらの部位の円板の最外周部位試料に異常値があったためである。（Fig. 7参照）

3　冷水可溶分（E_1）および S_1 の平均含有率

Table 2でみられるように，髄周辺部における冷水可溶分の平均含有率は 6.8～12.6%，心材部では7.6～8.2%，辺材部では2.4

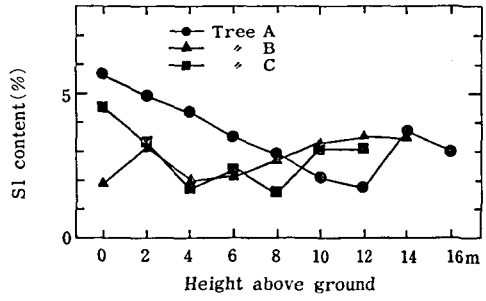


Fig. 10 Variation of S_1 content with height above the ground (pith area)

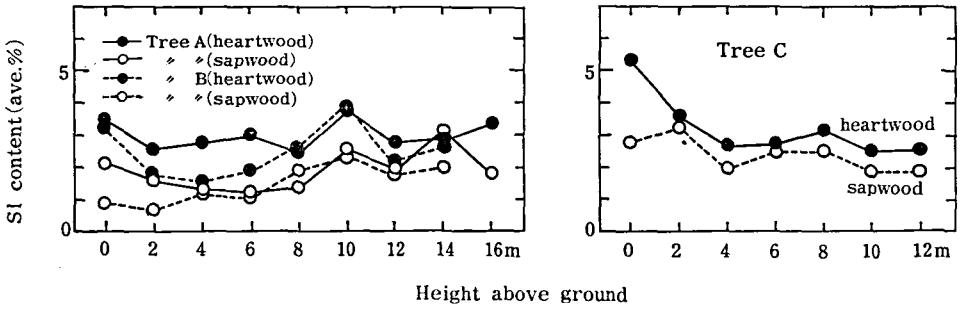


Fig. 11 Variation of S_1 content with height above the ground (heartwood and sapwood areas)

～3.1%であった。供試木Cの髄周辺部の含有率が低いのはアラビノガラクタン含有率が低いためである。

同様に Table 2 から S_1 の平均含有率をみると，髄周辺部では 2.8～3.6%，心材部では 2.5～3.5%，辺材部では1.5～2.4%となっており，髄周辺部と心材部との差がほとんどみられない。心材部と辺材部の差は明らかであるが，その差はアラビノガラクタンでみられた程著るしいものではない。

§8　熱水可溶分（E_2）の樹幹内変動

一般に熱水処理によって溶出する成分は，冷水処理による場合と同様であるとされている[10]。過激な処理によって溶出される部分，すなわち，熱水可溶分から冷水可溶部分を差引いたものの中には細胞膜の抽出物も含むことが考えられる[11]。したがって，ここでは熱水可溶分の樹幹内変動についてもその結果について考察するが，熱水可溶分から冷水可溶部分を差引いたもの（S_2）について主として考察したい。

1　熱水可溶分（E_2）および S_2 の半径方向の変動

各試料の熱水可溶分および S_2 含有率の半径方向における変動を供試木ごとに地上高別に示したものが Fig. 12 である。

まず，熱水可溶分全体についてみると，Fig. 7 および Fig. 2 と対比してみて明らかなように，冷水可溶分およびアラビノガラクタンの半径方向における変動と傾向が全く一致している。

つぎに S_2 についてその変動をみてみたい。

髄周辺部では，隣接する心材部試料よりも含有率が高い傾向が供試木Aにおいてみられるが，全体的には心材部の含有率と比較して大きな差はみられない。

心材部における変動はほとんどなく，変動傾向はⅡ型に属している。

辺材部でも同様にほとんど変動がみられず，かつ心辺材境界部における含有率の差も明らかではない。

以上の結果から，過激な処理条件によって溶出してくる S_2 は，髄周辺部，心材部，辺材部といった部位別にはほとんど差が認められず半径方向に安定している。

2　熱水可溶分（E_2）および S_2 の幹軸方向の変動

Fig. 13, Fig. 14でみられるように，熱水可溶分の幹軸方向の変動は，冷水可溶分およびアラビノガラクタンのそれと同様な傾向であった。したがって，ここでは S_2 の変動について検討する。

髄周辺部における S_2 含有率と心材部および辺材部におけるその平均含有率をそれぞれ供試木ごとに地上高別に示したものが Fig. 15である。

供試木Aの髄周辺部で幹軸方向に含有率が低下する傾向がみられるが，全体的には髄周辺部，心材部，および辺材部とも幹軸方向の変動はみられない。

3　熱水可溶分（E_2）および S_2 の平均含有率

Table 2 でみられるように，髄周辺部における熱水可溶分の平均含有率は 9.5～15.2%，心材部では 9.7～10.1%，辺材部では 4.1～5.0%であり，カラマツ材の温水抽出物量14%[12]に比較するとやや低い値を示した。

同様に Table 2 から S_2 の平均含有率をみると，髄周辺部で 2.1～2.9%，心材部で 1.9～

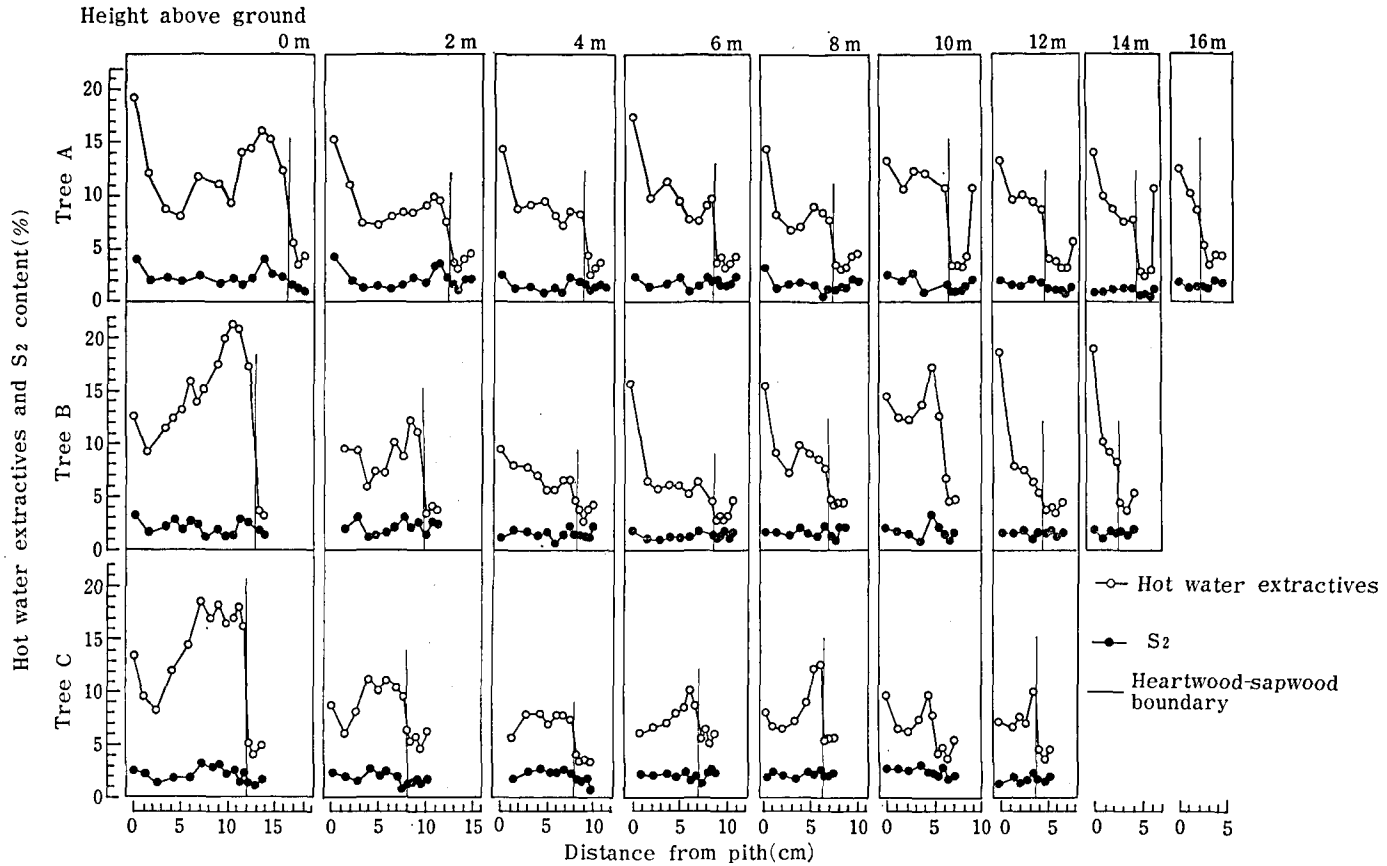


Fig. 12 Variation of hot water extractives (E_2) and S_2 contents with distance from the pith of three Karamatsu trees used

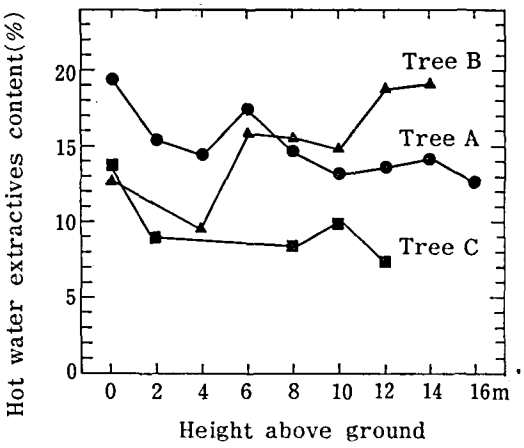


Fig. 13 Variation of hot water extractives (E_2) content with height above the ground (pith area)

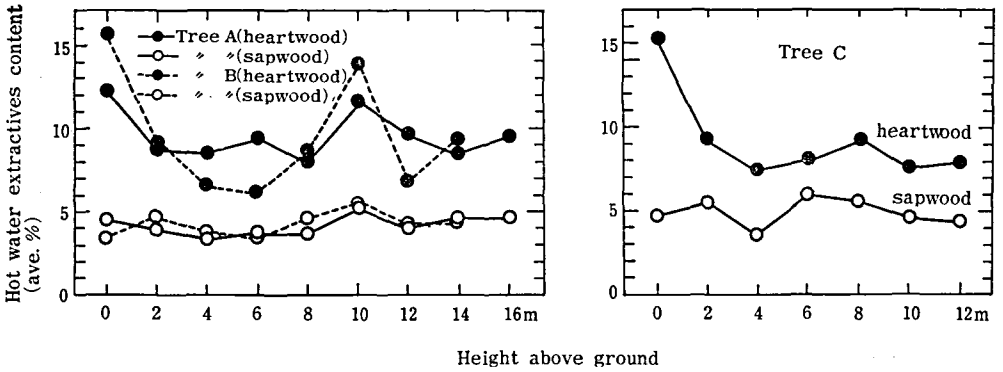


Fig. 14 Variation of hot water extractives (E_2) content with height above the ground (heartwood and sapwood areas)

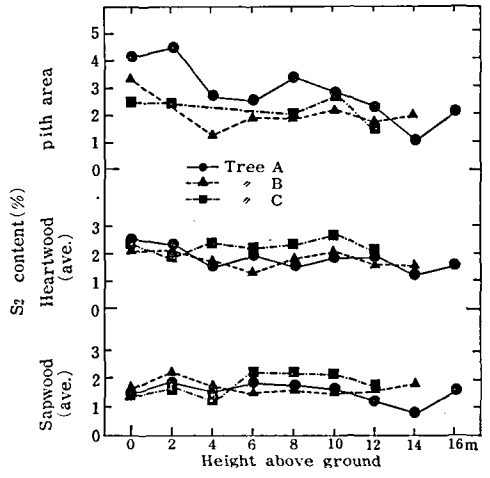


Fig. 15 Variation of S_2 content with height above the ground

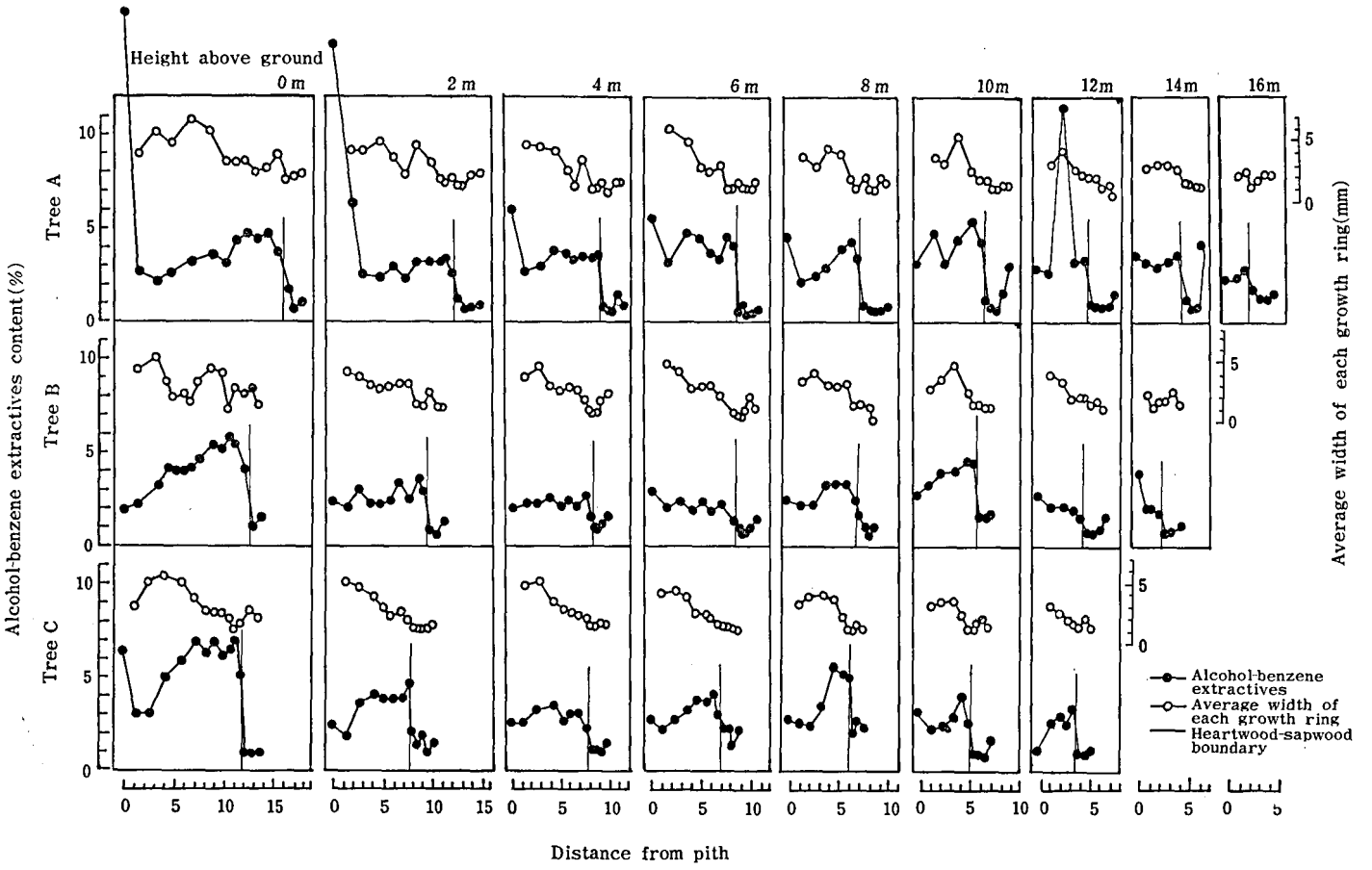


Fig. 16 Variation of alcohol-benzene extractives (E_3) content and average width of each growth ring with distance from the pith of three Karamatsu trees used

2.3%，辺材部で1.6～1.9%であり，供試木Aの髄周辺部の含有率がやや高いのをのぞいて部位による差はほとんど認められなかった。

§9 アルコール・ベンゼン可溶分（E_3）の樹幹内変動

1 アルコール・ベンゼン可溶分（E_3）の半径方向の変動

各試料のアルコール・ベンゼン可溶分含有率と平均年輪幅の半径方向における変動を供試木ごとに地上高別に示したものが Fig. 16 である。また，心材部におけるアルコール・ベンゼン可溶分の半径方向の変動傾向を供試木ごとに地上高別に類別したものが Table 4 である。

Table 4 Radial variation types of alcohol-benzene extractives (E_3) contents in the heartwood of the three Karamatsu trees used

Trees	Height above ground (m)								
	0	2	4	6	8	10	12	14	16
A	I	II	II	II	I	I	II	II	II
B	I	II	II	II	I	I	III	III	—
C	I	I	II	I	I	I	I	—	—

髄周辺部におけるアルコール・ベンゼン可溶分の含有率は，心材部よりも高い場合，同程度の場合，低い場合が存在し，一般的な傾向は認められない。

心材部におけるその変動は，Fig. 16, Table 4 でみられるとおり，地上高0m部位および8，10mの部位は変動傾向I型に属し，2，4，6m部位および12，14，16mの部位は変動傾向II型を主体としている。以上の結果は，アラビノガラクタンおよび S_1 の半径方向における変動傾向とかなりよく一致するものである。なお，Fig. 16 において，供試木Aの12m部位で異常に高い含有率を示す試料が認められるが，これはヤニツボの存在によるものと判断し，変動傾向の考察および統計的処理を行う場合の数値からは除外した。

辺材部におけるその変動は，心辺材境界部を境として著るしくその含有率が低下し，以後は樹皮方向に向かって漸増する傾向が多い。この傾向は，S_1 の辺材部における場合と同様な結果であり，樹木の生理作用との関連が考えられる。供試木Aの10，14m部位において含有率が著るしく高い個所がみられるが，これは樹皮の損傷による傷害樹脂道が原因となっているものと考える。

W. A. CôTÉら[5]は，アラビノガラクタンとアルコール・ベンゼン可溶分の半径方向における変動は相互に密接な関係があることを指摘している。本実験においても，アラビノガラクタンのみならず冷水可溶分，熱水可溶分および S_1 とアルコール・ベンゼン可溶分との間にも類似した変動傾向があることを確かめることができた。

2 アルコール・ベンゼン可溶分（E_3）の幹軸方向の変動

髄周辺部におけるアルコール・ベンゼン可溶分の含有率と心材部におけるその平均含有率をそれぞれ供試木ごとに地上高別に示したものが Fig. 17と Fig. 18である。

髄周辺部におけるアルコール・ベンゼン可溶分の幹軸方向の変動は，供試木によるちがいがみられ特別な傾向は認められない。しかし，S_1 の幹軸方向の変動と対比すれば，供試木ご

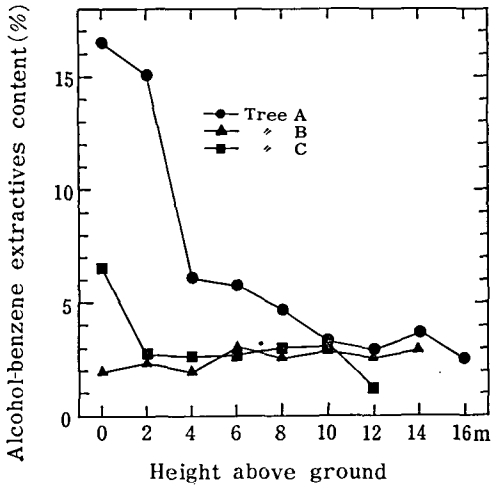


Fig. 17 Variation of alcohol-benzene extractives (E_3) content with height above the ground (pith area)

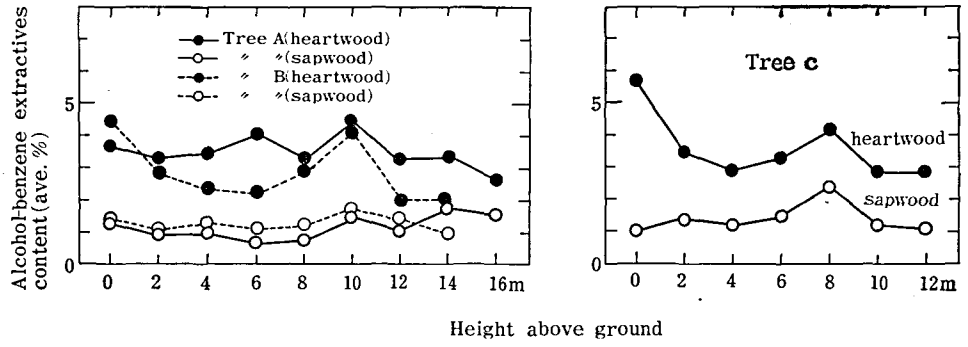


Fig. 18 Variation of alcohol-benzene extractives (E_3) content with height above the ground (heartwood and sapwood areas)

とにみるとかなり類似した傾向をもっている。

心材部におけるその変動は，アラビノガラクタン，冷水可溶分，熱水可溶分およびS_1の幹軸方向の変動傾向とかなり類似している。すなわち，供試木Aでは認められないが，供試木BおよびCにおいては0m部位の含有率が高く，また，程度の差はあるが供試木AおよびBの10m部位と供試木Cの8m部位にそれぞれピークが認められ，この部位は半径方向における変動傾向Ⅰ型に属することなどである。

辺材部においては顕著な変動はみられないが供試木Cの8m部位にピークが認められる。

3　アルコール・ベンゼン可溶分（E_3）と年輪幅および晩材率との関係

Fig. 16 に示した平均年輪幅は，髄から外周に向かって狭くなる傾向をもっている。これに対してアルコール・ベンゼン可溶分の半径方向における変動は，アラビノガラクタンの場合と同様に一定した傾向をもっていない。このことと Fig. 19 とから両者の間には特別な関係はないものと考える。また，アルコール・ベンゼン可溶分と晩材率との間にも Fig. 20 で

みられるように特別な関係は認められない。

カラマツ材の垂直樹脂道は晩材のみにみられ，晩材と早材ではアルコール・ベンゼン可溶分の量，質ともに相異することは充分に考えられることである。ダグラスファーを用いた実験[13]では，晩材は早材よりも多くのアルコール・ベンゼン可溶分を含んでいた。しかし，カラマツの場合，晩材，早材の差の影響以上に樹幹内変動が大きいため，晩材率の影響がでてこなかったものと考える。

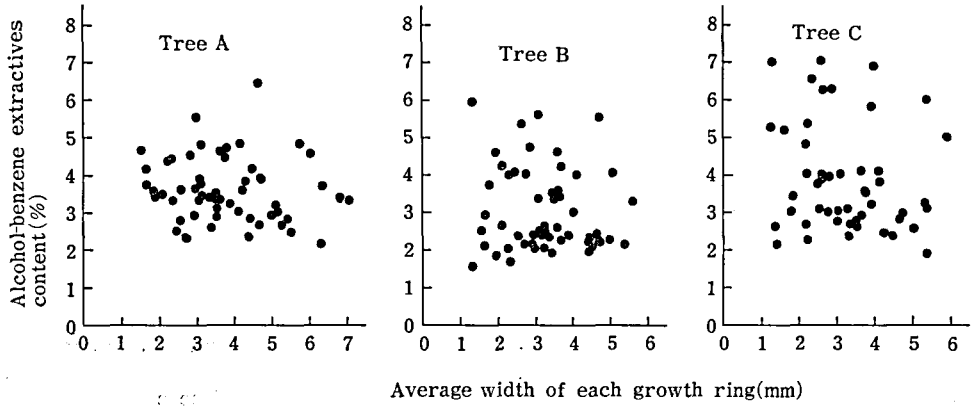


Fig. 19 Relationship between the average width of each growth ring and alcohol-benzene extractives (E_3) content in the heartwood area

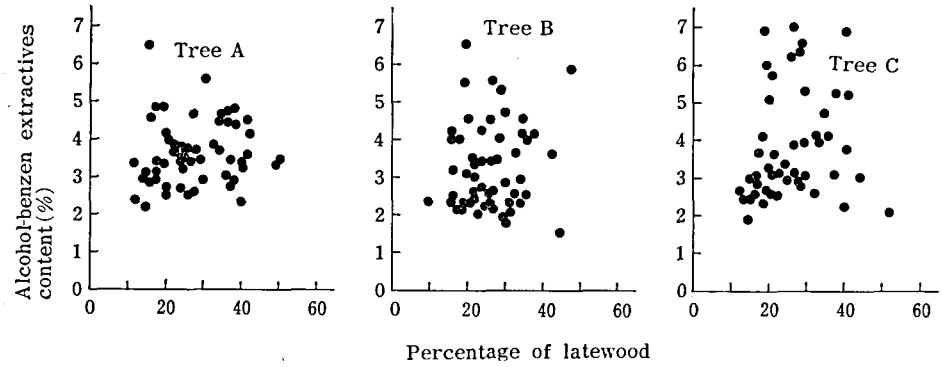


Fig. 20 Relationship between the percentage of latewood and alcohol-benzene extractives (E_3) content in the heartwood area

4 アルコール・ベンゼン可溶分 (E_3) の平均含有率

Table 2 から明らかなように，髄周辺部におけるアルコール・ベンゼン可溶分の平均含有率は2.6～6.8%，心材部のそれは3.1～3.9%，辺材部のそれは1.2～1.3%である。供試木Aの髄周辺部にみられる含有率の異常値をのぞけば，部位別にみて含有率はかなりまとまっている。心材部と辺材部の含有率の差は明らかであり，心材部は辺材部のほぼ2.5～3.0倍の含有量である。

§10 各成分間の相関

本研究の目的の一つは，すでに指摘されているアラビノガラクタンと抽出物との樹幹内変動の類似性について，日本カラマツについても，より詳細な知見を得ることであった。

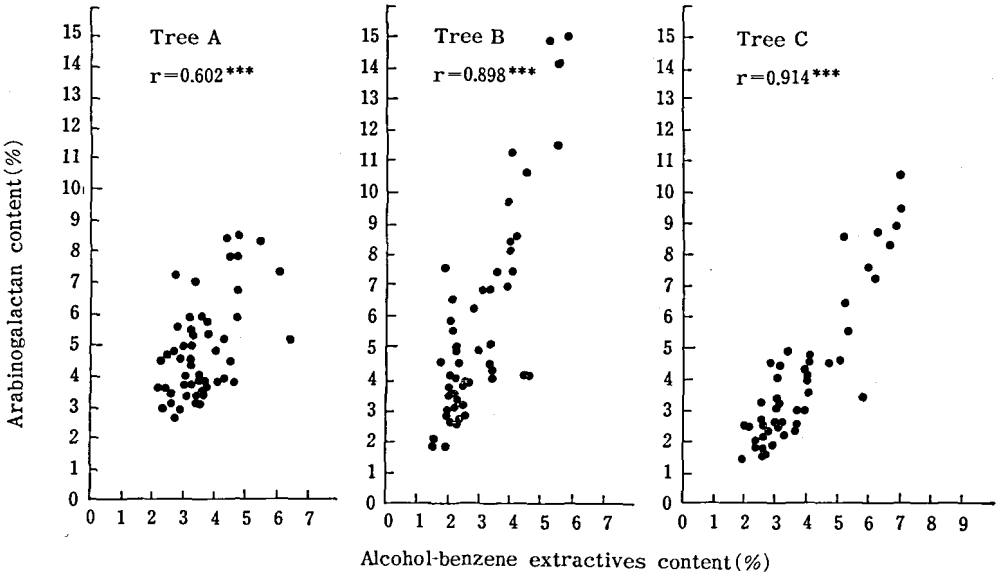


Fig. 21 Relationship between the alcohol-benzen extractives (E_3) and arabinogalactan (G) contents in the heartwood area　***: Significant at the 0.1% level

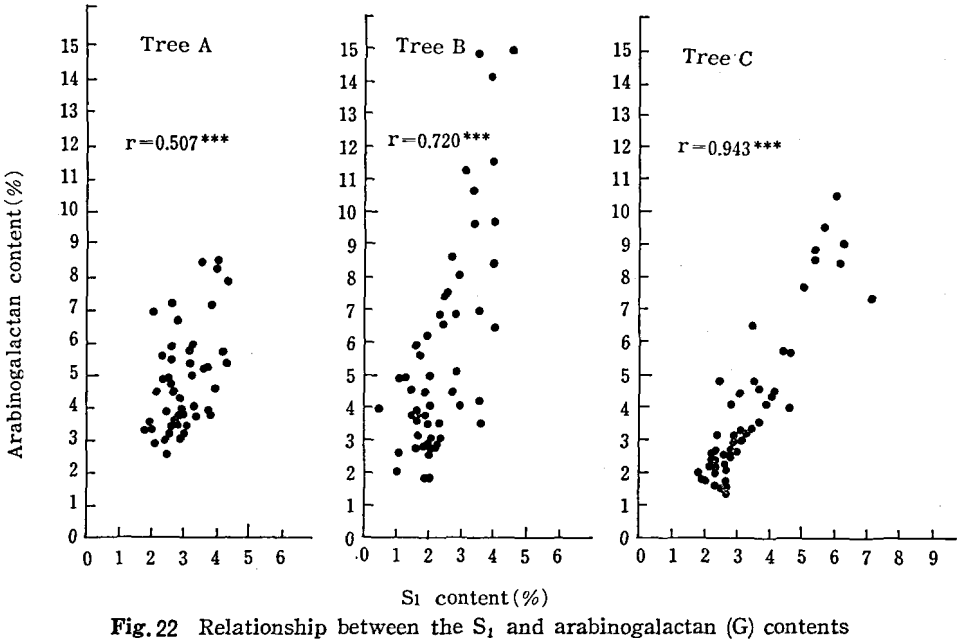


Fig. 22 Relationship between the S_1 and arabinogalactan (G) contents in the heartwood area

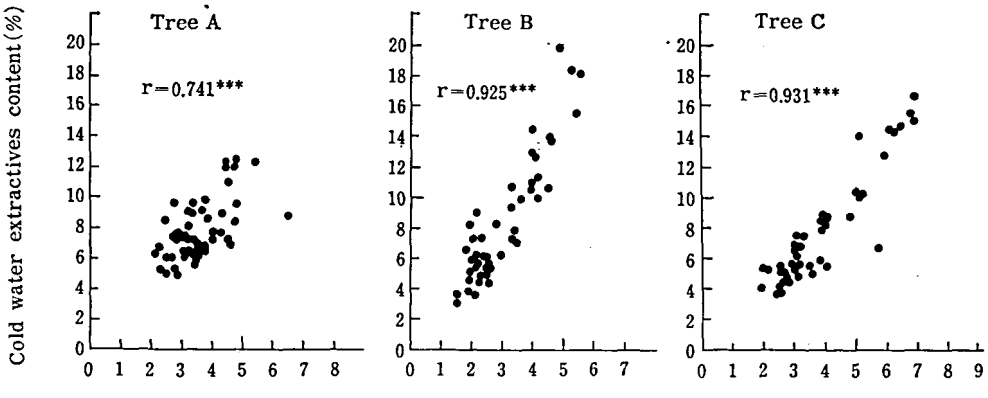


Fig. 23 Relationship between the alcohol-benzene extractives (E_3) and cold water extractives (E_1) contents in the heartwood area

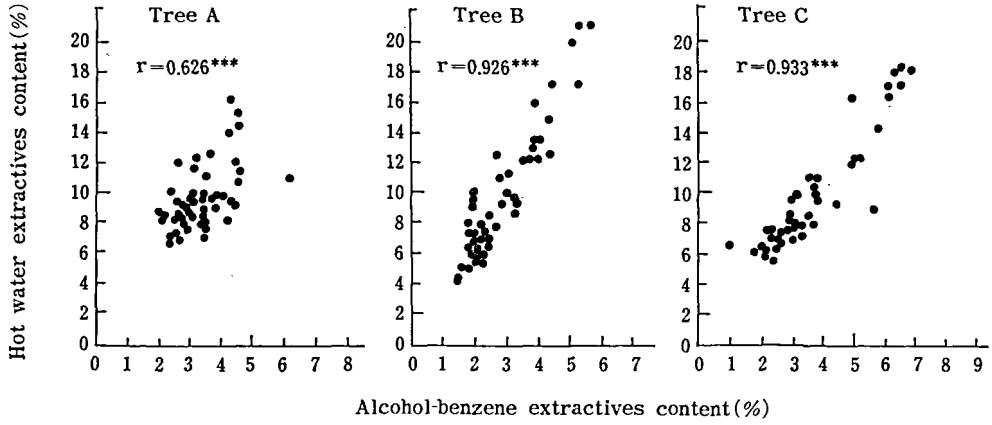


Fig. 24 Relationship between the alcohol-benzene extractives (E_3) and hot water extractives (E_2) contents in the heartwood area

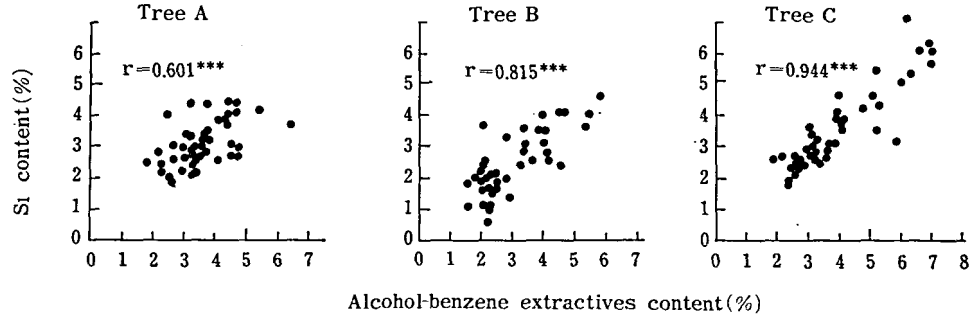


Fig. 25 Relationship between the alcohol-benzene extractives (E_3) and S_1 contents in the heartwood area

実験の結果から得られた各成分の心材部におけるデータに基づいて，各成分間の相関係数

を求めた。それらの結果は Fig. 21～25 に示してある。また，図を記載しないものについてはその相関係数を Table 5 に示した。

Table 5 Correlation coefficients between S_2 and three constituents (G, E_3 and S_1) contents

Constituents	Trees		
	A	B	C
Between S_2 and G	0.165	0.158	0.230
Between S_2 and E_3	0.176	0.357	0.209
Between S_2 and S_1	0.110	0.203	0.094

これらの結果から，(1) アラビノガラクタンとアルコール・ベンゼン可溶分 (2) アラビノガラクタンとS_1 (3) アルコール・ベンゼン可溶分と冷水可溶分 (4) アルコール・ベンゼン可溶分と熱水可溶分 (5) アルコール・ベンゼン可溶分とS_1，のそれぞれの含有率の間には高い相関が認められた。また，アラビノガラクタンと冷水，熱水可溶分含有率との間にも当然高い相関が認められたがここでは記載を省いた。

一方，S_2 と他の成分，すなわち，アラビノガラクタン，アルコール・ベンゼン可溶分および S_1 の含有率との間には相関は認められなかった。(Table 5)

アラビノガラクタン，冷水可溶分，熱水可溶分，アルコール・ベンゼン可溶分およびS_1の変動傾向が極めて類似していることはすでに述べてきたとおりであるが，このことは以上の結果によって，より確かなものとなった。

§11 供試木による各成分含有率の差

供試木による各成分含有率の差を調べるために，部位別に平均値の差の検定を行ないその結果を Table 6 に示した。

Table 6 Test of significance of differences between the three Karamatsu trees by constituents (t-test)

Areas	Between trees	Arabino-galactan	Cold water extractives	Hot water extractives	Alcohol-benzene extractives	S_1	S_2
Pith	A and B	1.08 (15)	0.36 (15)	0.11 (14)	2.22* (15)	1.55 (15)	1.73 (14)
	B 〃 C	4.72***(13)	3.99** (13)	3.16* (10)	0.87 (13)	0.36 (13)	0.40 (10)
	C 〃 A	7.35***(14)	5.54***(14)	4.33***(12)	1.76 (14)	1.11 (14)	1.28 (12)
Heart-wood	A and B	2.04* (108)	0.64 (107)	0.60 (106)	3.02** (107)	3.69***(107)	0.56 (106)
	B 〃 C	2.80** (99)	0.77 (99)	0.27 (99)	2.70** (99)	4.76***(99)	3.19** (99)
	C 〃 A	4.10***(103)	0.33 (102)	0.29 (101)	1.14 (102)	2.44* (102)	2.51* (101)
Sap-wood	A and B	0.64 (67)	0.92 (67)	0.37 (67)	0.53 (67)	1.35 (67)	1.53 (67)
	B 〃 C	0.88 (52)	3.31** (52)	3.47** (52)	0.72 (52)	5.36***(52)	0.73 (52)
	C 〃 A	1.76 (63)	1.33 (63)	1.92 (63)	1.06 (63)	1.87 (63)	0.64 (63)

*: Significant at the 5% level　　**: Significant at the 1% level

***: Significant at the 0.1% level　　( ): d. f.

Table 6 より，髄周辺部ではアラビノガラクタン，冷水可溶分，熱水可溶分およびアルコール・ベンゼン可溶分に有意差がみられた。

心材部では，アラビノガラクタン，アルコール・ベンゼン可溶分，S_1 および S_2 に有意差がみられた。

辺材部では，冷水可溶分，熱水可溶分および S_1 に有意差がみられた。

要　　約

日本カラマツにおけるアラビノガラクタン，冷水可溶分，熱水可溶分およびアルコール・ベンゼン可溶分の樹幹内変動と，それら各成分含有量の間の相関を明らかにするために実験を行なった。

供試木は，信州大学農学部附属手良・沢山演習林に生育している46年生植栽カラマツの中から3本を選び，1972年7月に伐倒して実験に供した。各供試木の根元から2m間隔で約10cm厚の円板を採取し，Fig. 1 に示した方法によって試料を採取したのち，Scheme 1 のようにおのおのの成分を分析した。

実験の結果を要約すると次のようである。

1) 半径方向の変動

a．心材部（髄周辺部は含まない）における各成分含有率の半径方向の変動を次のような三つの型に便宜的に分類した。

変動傾向Ⅰ型：髄周辺部から心辺材境界部に向かって含有率が増加する。

変動傾向Ⅱ型：髄周辺部から心辺材境界部に向かって含有率がほとんど変化しない。

変動傾向Ⅲ型：髄周辺部から心辺材境界部に向かって含有率が減少する。

心材部におけるアラビノガラクタン含有率の変動は，円板採取部位によって異なった変動傾向をもつことが認められた。変動傾向Ⅰ型が主として根元と樹幹のほぼ中央部位に認められることは興味深いことである。(Table 1, Fig. 2)

心材部における冷水可溶分，熱水可溶分，アルコール・ベンゼン可溶分および S_1 の変動もほぼアラビノガラクタンのそれと同様な傾向を示した。(Table 1, 3, 4. Fig. 2, 7, 12, 16)

b．髄周辺部におけるアラビノガラクタン含有率は，一部の例外をのぞいて，髄周辺部に隣接する心材部試料のそれよりも高かった。(Fig. 2)

c．辺材部におけるアラビノガラクタン含有率の変動には特別な傾向は認められなかった。(Fig. 2)

2) 幹軸方向の変動

a．各円板の心材部におけるアラビノガラクタンの平均含有率は，根元と樹幹のほぼ中央部に属する円板が高値を示し，いままでに指摘されているような地上高に伴なう含有量の増加あるいは減少傾向のいずれも本実験の場合は認められなかった。

これらの部位の含有率が高値を示す理由として，半径方向における変動傾向がⅠ型であることが一つの原因であると考えられる。(Fig. 2; 4)

b．心材部における冷水可溶分，熱水可溶分，アルコール・ベンゼン可溶分および S_1 の幹軸方向の変動も，ほぼアラビノガラクタンのそれと同様な傾向を示した。(Fig. 4, 9, 11,

14, 18)

(3) 年輪幅とアラビノガラクタンおよびアルコール・ベンゼン可溶分の含有率との間には特別な関係は認められなかった。また，晩材率とアラビノガラクタンおよびアルコール・ベンゼン可溶分含有率の間にも同様に特別な関係は認められなかった。(Fig. 5, 6, 19, 20)

(4) 冷水および熱水可溶分中に占めるアラビノガラクタンの割合は高く，特に髄周辺部および心材部で高率であった。(Table 2)

(5) 各成分の平均含有率は一部の例外をのぞいて，髄周辺部が最も高く，ついで心材部，辺材部の順であった。(Table 2)

(6) 心材部において，アラビノガラクタンとアルコール・ベンゼン可溶分，アラビノガラクタンとS_1，アルコール・ベンゼン可溶分と冷水可溶分，アルコール・ベンゼン可溶分と熱水可溶分，アルコール・ベンゼン可溶分と S_1，のそれぞれの含有率の間に高い相関が認められた。(Fig. 21, 22, 23, 24, 25)

一方，S_2 と他の成分の含有率との間には相関が認められなかった。(Table 5)

引 用 文 献

1) 右田伸彦・米沢保正・近藤民雄："木材化学　上" 共立出版　P. 240　1968
2) SCHORGER, A. W. & SMITH, D. F. : The Galactan of Larix occidentalis, Ind. Eng. Chem., 8, 6, 1916
3) 半沢道郎・沢田稔："カラマツ材の性質と利用" 北方林業会　1969
4) 中川伸策：カラマツ樹幹内における旋回木理の分布とその出現型，林試研報，28, P. 97, 1972
5) W. A. CÔTÉ, Jr., A. C. DAY, B. W. SIMSON & T. E. TIMELL : Studies on Larch Arabinogalactan I, Holzforschung, 20, P. 178, 1966
6) W. A. COTE, T. E. TIMELL : Studies on Larch Arabinogalactan III, Tappi, 50, P. 287, 1967
7) R. L. MITCHELL, CEO. J. RITTER : Galactan in Western Larch Wood, J. Forestry, 49, P. 112, 1951
8) W. A. CÔTÉ, Jr., A. C. DAY, B. W. SIMSON & T. E. TIMELL : Studies on Larch Arabinogalactan II, Holzforschung, 21, P. 121, 1967
9) T. E. TIMELL : Advan. Carbohydrate Chem., 20, 409, 1965
10) 右田伸彦・米沢保正・近藤民雄："木材化学　下" 共立出版，P. 4, 1968
11) 久保隆文・蕪木自輔・伏谷賢美：カラマツ材の材質に関する基礎的研究(I)，日木大会講，P. 53, 1971
12) 林業試験場編："木材工業ハンドブック" 丸善，P. 166, 1958
13) J. R. CAMPBELL, E. P. SWAN & J. W. WILSON : Comparison of Wood and Growth Zone Resinous Extracts in Douglas Fir, Pulp and Paper Magazine of Canada, T-248, 1965

(1974. 6. 30受理)

Variation of Arabinogalactan and Some Extractives in Wood, Karamatsu (*Larix leptolepis* GORDON).

By Takeo HASHIZUME and Shigenao TAKAHASHI
Laboratory of Forest Chemistry, Fac. Agric. Shinshu Univ.

Summary

The present experiments were carried out to elucidate the variations of arabinogalactan and various extractives contents and the correlations among these constituents in the stem of Karamatsu (*Larix leptolepis* GORDON).

The three trees used were collected from the artificial larch stand in Tera-Sawayama experimental forest of Shinshu University. Tree A, B and C were 46 years old, and were cut in July 1972, respectively. Disks 10 cm thick were cut at every 2 m from the butt to the top of each tree, and prepared as shown in Fig. 1.

The amounts of arabinogalactan and various extractives shown in Scheme 1 were determined gravimetrically.

The experimental results are summarized as follows.

1) Radial variation

a. Radial variations of G, E_1, E_2, E_3, S_1 and S_2 contents in the heartwood, except the pith area, were divided, for convenience, into following three types:

Variation type I··concentration of the constituents increasing from the pith area to the heartwood-sapwood boundary,

Variation type II··concentration of the constituents showing no distinct change from the pith area to the heartwood-sapwood boundary,

Variation type III··concentration of the constituents decreasing from the pith area to the heartwood-sapwood boundary.

It is noteworthy that variation type I was mainly found in the butt and middle portions of the trees used. (Table 1, Fig. 2)

The radial variations of four extractives (E_1, E_2, E_3 and S_1) contents in the heartwood area were also found to be similar to that of arabinogalactan (G) content in the heartwood area. (Table 1, 3, 4. Fig. 2, 7, 12, 16)

b. The arabinogalactan (G) contents were higher in the pith area than in the heartwood area adjacent to that with a few exceptions. (Fig. 2)

c. The variation of arabinogalactan (G) content in the sapwood area did not show any definite type. (Fig. 2)

2) Longitudinal variation

a. As pointed out by several workers previously, the arabinogalactan content of western larch wood decreased with increasing distance from the ground level, while the opposite was found in Duhurian larch and eastern larch ones. In this experiments,

neither of these variations was found, however, the contents of the butt and middle portions of the sample trees were found higher than those of other portions by considering the average arabinogalactan content in the heartwood area of each disk.

The high arabinogalactan contents in the butt and middle portions seem to be related with the radial variation type I. (Fig. 2, 4)

b. The longitudinal variations of four extractives (E_1, E_2, E_3 and S_1) contents in the heartwood area were found to be similar to that of arabinogalactan (G) in the heartwood area. (Fig. 4, 9, 11, 14, 18)

3) An inverse relationship between the growth ring width and amounts of arabinogalactan and alcohol-benzene extractives presented by previous workers was not found in our experiments.

No relationship was found between the percentage of latewood and amounts of both G and E_3 in our studies. (Fig. 5, 6, 19, 20)

4) The major part of cold water extractives (E_1) and hot water extractives (E_2) from the sample trees was found to be arabinogalactan (G), and especially, the average percentage of arabinogalactan contents was found to be higher in the heartwood area and pith area than in the sapwood area. (Table 2)

5) The high yields of arabinogalactan and various extractives were found in the pith area and the heartwood area followed this, and the minimum yields lay in the sapwood area. (Table 2)

6) Each high correlation was respectively found between G and E_3, between G and S_1, between E_3 and E_1, between E_3 and E_2 and between E_3 and S_1 in content. (Fig. 21, 22, 23, 24, 25)

While no correlations were found among the S_2 and other constiuents contents. (Table 5)