



Title	カエデ属における細胞壁リグニンの多様性
Author(s)	渡邊, 陽子; WATANABE, Yoko; 深沢, 和三 他
Citation	北海道大学農学部 演習林研究報告, 50(2), 349-389
Issue Date	1993-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21374
Type	departmental bulletin paper
File Information	50(2)_P349-389.pdf



カエデ属における細胞壁リグニンの多様性*

渡邊陽子** 深沢和三**

Lignin Heterogeneity of the Cell Walls on the Genus *Acer*

by

Yoko WATANABE** and Kazumi FUKAZAWA**

要 旨

広葉樹リグニンは、主にシリリングル型 (S) とグアイアシル型 (G) に分けられるが、これらのリグニンは、各構成要素細胞壁に不均一に分布していることが、近年明らかにされてきた。本研究では1属内での樹種間のリグニン分布の違いや、各構成要素細胞壁での違いを調べるため、樹種数が多く、外部形態、特に葉の形態が樹種間で異なり、さらにリグニンに関してS/V比が0.3~3.3と非常に広い範囲で報告されているカエデ属を選び、化学的方法、組織化学的方法でリグニンを分析した。

その結果、Klason Lignin量は19~30%となり、S/V比も0.3~3.5となった。また各構成要素細胞壁でも、リグニンの分布がGS比でかなり不均一であることが明らかになった。木繊維壁では一部の樹種を除き、ほとんどシリリングルリッチであったが、道管壁では樹種ごとにかなり変化に富んでいた。さらに樹種間で比較すると、リグニン分布の違いにより、5つのタイプに分けることができ、一属内でのリグニン分布の不均一性が明らかになった。

キーワード：リグニン、多様性、モイレ反応スペクトル法、紫外線顕微分光法、カエデ属

目 次

1. 緒言.....	350
2. 試料と実験方法.....	353
2.1. 樹種の選定.....	353
2.2. 試料.....	353
2.2.1. 日本産および欧米産カエデ属.....	353
2.2.2. 雲南省産カエデ属.....	355

* 1993年3月31日受理 Received March 31, 1993

** 北海道大学農学部森林科学科木材生物学講座

Laboratory of Wood Biology, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo 060

2.3. 実験方法	355
2.3.1. 化学的方法	356
2.3.2. 組織化学的方法	356
3. 結果	358
3.1. 化学的方法による結果	358
3.2. 組織化学的方法による結果	358
3.2.1. モイレ反応スペクトル法	358
3.2.2. 紫外線顕微分光法	359
3.2.3. FTIR 分光法, 顕微 FTIR 分光法	360
3.3. 雲南省産カエデ属の結果	361
4. 考察	362
4.1. 組織と G/S 比率の検討	362
4.1.1. モイレ反応スペクトル法による結果	362
4.1.2. UV 顕微分光法による結果	364
4.1.3. 要約	371
4.2. モイレ反応スペクトルの比による樹種の特徴	374
4.3. リグニンの性質によるカエデ属の系統分類	381
5. 結論	384
引用文献	387
Summary	389

1. 緒 言

リグニンは、シダ植物以上の維管束を有する高等植物に広く分布している、3次元網状構造をなす高分子である。細胞壁や細胞間層に存在し、セルロースマイクロフィブリルからなる細胞壁を固め、細胞間をつなげ、植物の幹や茎を支持する役割をはたしている。

リグニンは、その酸化分解生成物から、(1) グアイアシルプロパン構造 (2) シリングルプロパン構造 (3) *p*-ヒドロキシフェニルプロパン構造の3つに大別され、植物によりリグニンの構造が異なる。針葉樹の場合、主に (1) のみ、広葉樹の場合は (1) と (2)、草本植物の場合は (1), (2), (3) から成り立っている。

リグニンの分析方法としては、定性法として呈色反応 (フロログルシン-塩酸反応, モイレ反応) が、定量法として主にクラークソンリグニン法が用いられてきた。また、リグニンの構造解明のため、アルカリニトロベンゼン酸化, 水素化分解, アルコリス, アシドリシスなどの分解反応が用いられてきた。広葉樹リグニンの場合、グアイアシル核を有するグアイアシルリグニンと、シリングル核を有するシリングルリグニンから構成されているため、それぞれが検出可能な、呈色反応やアルカリニトロベンゼン酸化法, 紫外線顕微分光法が主に用いられてきた。しかし、これまでは木粉を用いてリグニンを分析していたため各構成要素別にリグニンがどのように分布しているのか、ほとんど知られていなかった。

しかし、GORING ら (1970) の紫外線顕微分光法による Birch 材のリグニン分析の結果が

ら、木繊維壁ではシリングルリッチ、道管壁ではグアイアシルリッチであることが示唆された。紫外線顕微分光法では、グアイアシルリグニンは 280 nm 付近に、シリングルリグニンは 273 nm 付近にそれぞれ強い吸収が認められるため、各構成要素別のリグニンの検出に有効である。

また、モイレ反応も、1%過マンガン酸カリウム、3%塩酸、アンモニアを順次処理していくと、グアイアシルリグニンは黄褐色に、シリングルリグニンは赤紫色に呈色するため、それぞれのリグニン検出に有効である。この呈色機構は、中野、飯塚ら(1978)により明らかにされた。つまり、過マンガン酸カリウム処理、塩酸処理により、シリングル核から生成したメトキシ-*o*-カテコールが、アンモニアでメトキシ-*o*-キノン構造となり、赤紫色を呈するのである。さらに彼らは、ブナの木粉やリグニンモデル化合物の可視吸収スペクトルを測定し、シリングル核由来のメトキシ-*o*-キノン構造が、520 nm 付近で最大吸収を示すことを明らかにした。

モイレ反応を用いての樹種間の比較は、GIBBSら(1958)が約600種の広葉樹を、SRIVASTAVA(1966)が約74種の広葉樹を用いて行なっている。これらの報告では、樹種間の比較は示されているが、各構成要素別のリグニンの分布および比較は不明である。

高部、深沢ら(1989)は、ブナを用いて、広葉樹リグニンの沈着過程の周期性を、紫外線顕微分光法、モイレ反応スペクトル法で分析した。その結果、これら2つの方法は、各構成要素別のリグニン分析に非常に有効であることを示した。また、吉永ら(1989)も、針葉樹、広葉樹、モウソウチクのモイレ反応を行ない、それらの可視吸収スペクトルを測定し、モイレ反応法の組織化学的方法としての有効性を示した。広葉樹リグニンは、GORINGら(1970)の結果や、SAKAら(1985)の、紫外線顕微分光法とブロム化したリグニンのEDXA法によるWhite Birchのリグニン分析の結果などから、一般的に、木繊維壁はG:S=12:88でシリングルリッチ、道管壁はG:S=88:12でグアイアシルリッチであるといわれてきた。しかし、FUJIIら(1987)の木材中のセルロースの酵素糖化率に関する研究から、広葉樹でも、木繊維壁がグアイアシルリッチである樹種が存在することが示唆された。また、呉ら(1990)は、熱帯産の広葉樹のリグニンをモイレ反応スペクトル法、紫外線顕微分光法で分析した結果、ほとんどの構成要素がグアイアシルリッチである樹種や、逆にほとんどシリングルリッチである樹種が存在することを報告し、広葉樹リグニンの分布は、樹種により、また構成要素により、かなり不均一であることが明らかになった。

呉ら(1990)は、おもに熱帯、亜熱帯産の多属多種のリグニン分析を行なったが、1属内での樹種間のリグニン分析の比較は、これまで報告されていない。さらに温帯産の樹種のリグニン分布の報告も少ない。

本研究では、1属内の広葉樹のリグニン分布の不均一性を調べるため、GIBBSら(1958)が、S/V比が0.3~3.3と報告しているカエデ属を選んだ。カエデ属は、ムクロジ目(*Sapindales*)カエデ科(*Aceraceae*)に属し、主に北半球の熱帯、亜熱帯地域から温帯、亜寒帯に分布する、約140種以上の樹種を有する大きな属である。しかし、樹種により、その分布地域がひどく限

られているものも少なくない。さらに、その葉の外部形態も、樹種によりかなり相違がみられる。

したがって、カエデ属は古くから、その分類が試みられてきた。カエデ属の分類体系は、PAX(1885)により築かれ、これを基礎にして多くの学者により様々な角度からの分類体系が提案されてきた。これらの分類体系は、主に外部形態、地理的分布などの観点から作られてきたものだが、MOMOTANI(1962)は、カエデ属の種子タンパク質の分析から、分類を行なった。最近では、OGATA(1967)が、従来の外部形態による比較に加えて、材部の比較も行ない、過去の分類体系を再検討し、新たにカエデ属を6グループ26節に分類した(Table 1)。

本研究では、このOGATA(1967)の分類体系を採用し、この分類体系に沿って樹種を選定した。実験方法は、高部ら(1989)や呉ら(1990)の報告を参考にした。さらに、GIBBSら(1958)の報告の追試を行なうため、アルカリニトロベンゼン酸化などの化学的方法も併用した。

リグニンは、植物が裸子植物から被子植物へと進化した過程とあわせて考えると、グアイアシルリグニンからシリングルリグニンへと変化してきたと考えられる。つまり、シリングルリグニンが多いほど、その樹種は、より進化していると推測できるだろう。

本研究で、カエデ属の各構成要素壁のリグニン分布の検出を行なった結果、リグニン分布の多様性が明らかとなった。まとめると以下の表になる。

	Fiber	Vessel	樹種数
①	$G > S$	$G > S$	2
②	$G \geq S$	早材： $S \geq G$ 晩材： $S \gg G$	1
③	$S > G$	$G > S$	2
④	$S > G$	早材： $G > S$ 晩材： $S \geq G$	6
⑤	$S > G$	$S > G$	16

この表において、 $G > S$ とは、モイレ反応吸収スペクトル曲線において、後述するように1.0未満の値をとるものであり、 $S > G$ とは1.0以上の値をとるものである。本文では、前者をグアイアシルリッチ、後者をシリングルリッチと表現した。この表から、木繊維壁、道管壁とともにシリングルリッチとなった樹種が最も多く、カエデ属は、広葉樹のなかでも比較的進化した属と考えられるだろう。しかしながら、グアイアシルリッチの樹種もみられ、系統分類での結果と比較を行なった結果、多くの樹種で種の位置付けが一致した。1属内でも、樹種によるリグニン分布の多様性が明らかになった。このことは、植物の進化あるいはリグニンの生成機構を考えるのに、貴重なデータを提供するものである。今後さらに詳しいリグニン分析をおこない、より正確なリグニン分布を明らかにしていく必要があるだろう。

最後に、多くの適切な助言を与えてくださいました大谷 諄助教授、船田 良助手、佐野

雄三助手に、心から感謝します。また、実験するにあたって、適切な指導とアドバイスを与えてくださいました北海道大学農学部森林科学科木質資源化学講座の佐野嘉拓助教授をはじめとする同講座の先輩諸氏、また森林化学講座の小島康夫助手をはじめとする同講座の先輩諸氏、同大学演習林の氏家教授、各演習林の職員の方々にお礼申し上げます。また、貴重な材鑑を提供していただいた森林総合研究所木材利用部組織研究室藤井智之室長及び呉晋氏に心から感謝いたします。

2. 試料と実験方法

2.1 樹種の選定

本研究を行なうにあたり、OGATA (1967) の分類系 (Table 1) に従い、なるべく多くのグループ、節が含まれるように樹種を選定した (Table 2)。

2.2 試料

2.2.1 日本産および欧米産カエデ属

(1) 生立木

北海道大学農学部から、イタヤカエデ、アメリカハナノキ

Table 1. The Classification of the genus *Acer* by OGATA

A Sect. <i>Macrantha</i> ◇Ser. <i>Macrantha</i> ◇Ser. <i>Rufinervia</i> ◇Ser. <i>Micrantha</i> Sect. <i>Distyla</i> Sect. <i>Parviflora</i> Sect. <i>Spicata</i> Sect. <i>Palmata</i> ◇Ser. <i>Sinensia</i> ◇Ser. <i>Palmata</i> ◇Ser. <i>Laevigata</i> Sect. <i>Glabra</i> Sect. <i>Arguta</i> Sect. <i>Negundo</i> Sect. <i>Cissifolia</i> Sect. <i>Trilobata</i> Sect. <i>Rubra</i> ◇Ser. <i>Rubra</i> ◇Ser. <i>Eriocarpa</i>	B Sect. <i>Platanoidea</i> Sect. <i>Campestris</i> Sect. <i>Pubescentia</i> C Sect. <i>Acer</i> ◇Ser. <i>Acer</i> ◇Ser. <i>Velutina</i> Sect. <i>Goniocarpa</i> ◇Ser. <i>Opulifolia</i> ◇Ser. <i>Monspessulana</i> Sect. <i>Saccharina</i> D Sect. <i>Integrifolia</i> Sect. <i>Syriaca</i> Sect. <i>Trifoliata</i> E Sect. <i>Lithocarpa</i> Sect. <i>Macrophylla</i> Sect. <i>Laurina</i> Sect. <i>Decandra</i> F Sect. <i>Indivisa</i>
--	--

* Six groups (A-F) were separated by the difference of the phylogenetic development.

Table 2. Samples and their habitats

A Sect. <i>Macrantha</i>			
◇Ser. <i>Macrantha</i>	<i>A. crataegifolium</i> Sieb. et Zucc.	ウリカエデ	Chichibu (W)
◇Ser. <i>Rufinervia</i>	<i>A. rufinerve</i> Sieb. et Zucc.	ウリハダカエデ	Wakayama (W)
◇Ser. <i>Micrantha</i>	<i>A. micranthum</i> Sieb. et Zucc.	コミネカエデ	Chichibu (W)
Sect. <i>Distyla</i>	<i>A. distylum</i> Sieb. et Zucc.	ヒトツバカエデ	Chichibu (W)
Sect. <i>Parviflora</i>	<i>A. nipponicum</i> Hara.	テツカエデ	Chichibu (W)
Sect. <i>Spicata</i>	<i>A. ukurunduense</i> Trautv. et Meyer	オガラバナ	Tomakomai (T)
Sect. <i>Palmata</i>			
◇Ser. <i>Sinensia</i>	<i>A. sinense</i> Pax	中華槭	Yunnan (W)
	<i>A. erianthum</i> Schw.	毛花槭	Yunnan (W)
	<i>A. flabellatum</i> Rehd.	扇葉槭	Yunnan (W)
	<i>A. wilsonii</i> Rehd.	三峡槭	Yunnan (W)
◇Ser. <i>Palmata</i>	<i>A. japonicum</i> Thunb.	ハウチワカエデ	Tomakomai (T)
	<i>A. palmatum</i> Thunb.	イロハモミジ	Tokyo (W)
◇Ser. <i>Laevigata</i>	<i>A. fabri</i> Hance	羅浮槭	Yunnan (W)
Sect. <i>Arguta</i>	<i>A. argutum</i> Maxim.	アサノハカエデ	Chichibu (W)
Sect. <i>Negundo</i>	<i>A. negundo</i> L.	ネグンドカエデ	Main (W)
Sect. <i>Cissifolia</i>	<i>A. cissifolium</i> (Sieb. et Zucc.) K. Koch.	ミツデカエデ	Asakawa (W)
Sect. <i>Trilobata</i>	<i>A. ginnala</i> Maxim.	カラコギカエデ	Asakawa (W)
Sect. <i>Rubra</i>			
◇Ser. <i>Rubra</i>	<i>A. rubrum</i> L.	アメリカハナノキ	Sapporo (T)
◇Ser. <i>Eriocarpa</i>	<i>A. saccharinum</i> L.	ギンヨウカエデ	America (W)
B Sect. <i>Platanoidea</i>			
Sect. <i>Campestris</i>	<i>A. mono</i> Maxim.	イタヤカエデ	Sapporo (T)
	<i>A. miyabei</i> Maxim.	クロビイタヤ	(W)
C Sect. <i>Acer</i>			
◇Ser. <i>Acer</i>	<i>A. pseudoplatanus</i> Linn.	セイヨウカジカエデ	Holland(W)
Sect. <i>Saccharina</i>	<i>A. saccharum</i> Marsh.	サトウカエデ	America (W)
D Sect. <i>Trifoliata</i>			
	<i>A. mandshuricum</i> Maxim.	マンシュウカエデ	China (W)
	<i>A. triflorum</i> Kom.	オニメグスリ	China (W)
E Sect. <i>Lithocarpa</i>			
	<i>A. diabolicum</i> Bl.	カジカエデ	Chichibu (W)
F Sect. <i>Indivisa</i>			
	<i>A. carpinifolium</i> Sieb. et Zucc.	チドリノキ	Wakayama (W)
W : Wood T : living tree			

苫小牧地方演習林から、ハウチワカエデ、オガラバナを採取した。

いずれも胸高部のあてを含んでいないところを選び、樹皮側から3-4年輪含まれるようにノミで採取した。採取後、ただちにF A A固定液(70%エタノール:ホルマリン:酢酸=90:6:4)で固定した。

(2) 材鑑

北大及び森林総合研究所からいただいた材鑑18種を使用した。

北大農学部森林科学科木材生物学講座所有

ネグンドカエデ (アメリカ産)

チドリノキ, ウリハダカエデ (和歌山演習林)

マンシュウカエデ, オニメグスリ (満州産)

クロビイタヤ

森林総合研究所

ウリカエデ	東大秩父演習林	豆焼沢	< 1 2 4 9 >	(1956.8.20 須藤)
コミネカエデ	同上	突出	< 4 3 5 8 >	
			(1981.9.29-10.2 緒方, 藤井)	
ヒトツバカエデ	同上	矢竹一入山	< 4 3 9 6 >	(1981)
テツカエデ	同上	井戸沢	< TwTw 1 2 2 8 >	(1956.8.16 須藤)
イロハモミジ	東京都中野区	園芸木	< 2 7 4 6 >	(1988.7 伐採)
アサノハカエデ	東大秩父演習林	豆焼沢	< 1 2 5 1 >	(1956.8.20 須藤)
ミツデカエデ	森林総合研究所浅川実験林		< 6 3 8 2 >	
			(1982.8.13 須藤, 藤井) 風倒木	
カラコギカエデ	同上		< 6 3 7 7 >	
セイヨウカジカエデ	オランダ産		< TwTw 7 4 9 7 >	
			(Rijksherbarium No. 40 d=30 cm)	
ギンヨウカエデ	スミソニアン研究所	1399	< TwTw 4 6 0 7 >	
サトウカエデ	同上	1536	< TwTw 4 6 2 2 >	
カジカエデ	東大秩父演習林	矢竹沢	< TwTw 1 2 1 3 >	(1951.8.14 須藤)

いずれも辺材で, 着色していない材は辺材を切り離していない。

2.2.2 雲南省産カエデ属

中国雲南省は, かなり複雑な地形であるため, 気候区分を一概に分けることができないが, おおよそ熱帯, 亜熱帯, 温帯, 高山寒温帯の4つに区分できる。本研究で使用した樹種は西南林学院木材研究室からいただいたものを使用した。これらの樹種は, 亜熱帯から温帯に生育していたものである。

中華槭	龍陵	< 0 4 0 1 >	Sub-tropical
毛花槭	金平天困山	< 0 3 2 3 >	Sub-tropical
扇葉槭	彝良	< 0 4 3 0 >	Temperate
三峡槭	彝良	< 0 4 4 1 >	Temperate
羅浮槭	龍陵	< 0 4 1 0 >	Sub-tropical

2.3 実験方法

全リグニン量を調べるため, 化学的方法として, クラーソンリグニン法, アルカリニトロベンゼン酸化法を行なった。また, 各構成要素別のリグニンの不均一性を調べるため, 組織化

学的方法として、モイレ反応スペクトル法、紫外線(UV)顕微分光法、FTIR分光法を用いた。実験内容は、以下のとおりである。

2.3.1 化学的方法

(1) クラーソンリグニン

60-80メッシュの木粉を、アルコール・ベンゼン(1容:2容)混液で6-8時間脱脂したのち、72%硫酸で4時間浸漬した(脱脂木粉1gにつき15ml)。その後、蒸留水を加え3%硫酸にしたのち、4時間煮沸し、あらかじめ秤量しておいたガラスフィルターで吸引濾過したのち、 $105 \pm 3^\circ\text{C}$ で恒量になるまで乾燥させ、クラーソンリグニン量を測定した。

(2) アルカリニトロベンゼン酸化法

60-80メッシュの脱脂木粉約100mg、2N-NaOH 2ml、ニトロベンゼン0.15mlをマイクロオートクレーブに加え、オイルバスで 180°C 、3時間蒸解した。冷却後、クロロホルム-アセトン(1:1)混液20mlで3回抽出した。濃塩酸-水(1:1)を加えて強酸性に調節したのち、さらにクロロホルム-アセトン(1:1)混液20mlで3回抽出した。抽出液を乾固した後、ジオキサン2ccに溶かし、 β -ナフトールを含むジオキサン2mlを内部標準(I.S.)として加え、ガスクロマトグラフィー(GC)で分析、S/V比を測定した。

GC測定条件: Silicone OV-17 (2%) ,2m

Injection 250°C

column $130-250^\circ\text{C}$ ($5^\circ\text{C}/\text{min.}$)

N_2 40 ml/min

FID

なおI.S.に対するバニリン(V)とシリンガアルデヒド(S)のファクター(f)は、以下のようになった。

$$f : V. = 1.754$$

$$f : S. = 2.276$$

2.3.2 組織化学的方法

(1) モイレ反応スペクトル法

約1cm角の小片から、マイクロームで約 $10\mu\text{m}$ 厚の木口面切片を作成し、1%過マンガン酸カリウム溶液に5分間浸漬した。2-3回水洗したのち、3%塩酸に1分間浸漬、さらに2-3回水洗、無蛍光スライドガラスにのせた。アンモニアを添加後、カバーガラスをかけ、市販のマニキュアでアンモニアを封入した。直ちに紫外線顕微分光光度計(Carl-Zeiss, UMSP-80)で、400-700nmの可視光線を吸収させ、吸光度スペクトルを測定した。

測定位置は、木繊維(早材、晩材、ターミナル)

道管(早材、晩材)

木繊維間セルコーナー(早材、晩材、ターミナル)

放射組織

いずれも5~10ポイント測定した。

測定条件は、

バンド幅	:	5 nm
測定波長範囲	:	400-700 nm
波長走査ステップ幅	:	5 nm
測定繰り返し数	:	3回
測光スポットサイズ	:	1.5 μ m

とした。

モイレ反応は、時間がたつと退色するため、1切片の測定時間を30-45分と決めた。

また、モイレ反応後、直ちに光学顕微鏡で写真撮影を行なった。

(2) 紫外線 (UV) 顕微分光法

少なくとも1年輪が含まれるように、片刃かみそりで、約3 mm \times 3 mm \times 5 mmの薄片を作成した。エタノールシリーズで脱水したのち、プロピレンオキシド (PO) で3回置換を行なった。さらにPO:エポン812 (1:1) で24時間、(1:3) で12時間攪拌した後、エポン812のみで24時間攪拌した。包埋板にのせ、エポン812で包埋したのち、35°Cで12時間、45°Cで12時間、60°Cで48時間、最後に45°Cで1週間乾燥させた。包埋終了後、ウルトラミクロトームで約1 μ m厚の木口面切片を作成し、石英製のスライドグラスにのせ、グリセリンで封入、紫外線顕微分光光度計 (Carl-Zeiss, UMSP-80) で測定した。

測定位置は、

木繊維	(早材, 晩材, ターミナル)
道管	(早材, 晩材)

いずれも5~10ポイント測定した。

測定条件は、

バンド幅	:	5 nm
測定波長範囲	:	250-300 nm
波長走査ステップ幅	:	1 nm
測定繰り返し数	:	3回
測光スポットサイズ	:	木繊維壁 1 μ m
		道管壁 0.5 μ m

とした。

また、280 nmで、写真撮影を行なった。

(3) IR分光法

約1 cm角の薄片から、ミクロトームで約10 μ m厚の柾目面切片を作成し、アルコールシリーズで脱水、さらにジエチルエーテルで脱水し、フーリエ変換赤外分光光度計 (FTS-7R) を用い、透過法で測定した。

測定条件は、

分解能	:	4 cm^{-1}
スキャン回数	:	64回

スペクトル領域 : 4000-450 cm^{-1}

とした。

測定後, baseline method でスペクトルを補正し, 1500 cm^{-1} に対する各波長 (1460, 1325, 1230, 1130 cm^{-1}) の吸収の比を計算した。

(4) 顕微 FTIR 分光法

紫外線顕微分光法で作成した, エポン包埋された試料から, 約 1 μm 厚の木口面切片を作成した。それを, フッ化カリウム製のプレパラートにのせ, 測定を行なった。なお, 測定は, 堀場製作所の, 顕微専用フーリエ変換赤外分光光度計 (FT-530) を使用した。

3. 結 果

3.1 化学的方法による結果

クラースンリグニン法, アルカリニトロベンゼン酸化法による結果を, Table 3 の後段に示す。この表から, クラースンリグニン量は, 19.6-30.2% とかなり広い値をとった。また, S/V 比も 0.3~3.5 という値を示し, GIBBS ら (1958) の結果を支持するものとなった。さらに, クラースンリグニン量と S/V 比の関係を, Fig. 1 に示した。この図から, クラースンリグニン量と S/V 比は, 負の相関関係にあることがわかる。これは, BLAND ら (1950) の *Eucalyptus* におけるクラースンリグニン量と S/V 比の関係を支持している。

これらの結果から, 化学的方法によるリグニン分析から, 同じカエデ属の樹種でありながらシリングルリグニンとグアイアシルリグニンの量がかなり異なっていることが推測できる。

3.2 組織化学的方法による結果

3.2.1. モイレ反応スペクトル法

モイレ反応を行なうと, シリングルリグニンは赤紫色に, グアイアシルリグニンは黄褐色に呈色する。その吸収スペクトルは, シリングルリグニンが多い場合は, 520 nm 付近に最大吸収を示すが, グアイアシルリグニンが多い場合は, 最大吸収を示さず, なめらかな曲線を描く (Fig. 2)。しかし, 飯塚, 中野ら (1978) の報告から, グアイアシルリグニンは, 440 nm 付近で最大吸収を示すことが明らかにされている。27 樹種のカエデ属のスペクトルを測定した結果, この2つのタイプを基準とした, シリングルとグアイアシルの量比が異なるスペクトルが得られた。したがって, これらのスペクトルを比較するために, 2つのタイプのスペクトルを数値化した。つまり, 520 nm 付近で最大吸収を示すスペクトルでは, 最小の吸収に対する最大の吸収の比, つまり

Max. A/Min. A A : Absorbance

で表し,

最大吸収を示さないなめらかな曲線の場合は

520nm. A/440 nm. A

Table 3. Absorbance ratios by VIS-spectra staining with Mäule reaction, Klason lignin and S/V ratios in the genus *Acer*

Species	Fiber			Vessel		C.C.			Ray	K.L. (%)	S/V
	E	L	T	E	L	E	L	T			
A.											
<i>crataegifolium</i> Sieb.et Zucc.	1.52	1.67	1.63	1.04	1.29	1.32	1.36	1.14	1.44	23.16	1.83
<i>rufinerve</i> Sieb.et Zucc.	1.52	1.62	1.58	0.77	1.01	1.11	1.19	1.10	1.12	23.93	1.46
<i>micranthum</i> Sieb.et Zucc.	1.22	1.43	1.21	0.54	0.56	1.12	1.09	1.01	1.21	22.05	1.66
<i>distylum</i> Sieb.et Zucc.	1.31	1.96	1.50	0.74	1.02	1.22	1.29	1.12	1.17	24.59	1.75
<i>nipponicum</i> Hara.	1.46	1.57	1.69	0.76	1.04	1.33	1.07	1.04	1.26	19.80	2.49
<i>ukurunduense</i> Trautv.et Meyer	1.57	1.72	1.70	0.80	0.70	1.43	1.36	1.30	1.31	21.14	2.63
<i>sinense</i> Pax	1.38	1.44	1.19	1.09	1.08	1.50	1.16	1.22	1.11	20.11	
<i>erianthum</i> Schw.	1.86	1.65	1.48	1.28	1.37	1.19	1.17	1.07	1.16	24.30	
<i>flabellatum</i> Rehd.	1.33	1.60	1.69	1.15	1.32	1.26	1.37	1.29	1.64	26.40	
<i>wilsonii</i> Rehd.	1.45	1.58	1.34	1.02	1.08	1.19	1.19	1.26	1.51	23.70	
<i>japonicum</i> Thunb.	2.03	1.65	1.37	1.21	1.30	1.30	1.14	1.27	1.38	22.55	3.55
<i>palmatum</i> Thunb.	1.36	1.35	1.32	1.32	1.37	1.45	1.11	1.13	1.14	20.51	2.30
<i>fabri</i> Hance	2.11	1.98	1.96	1.31	1.21	1.36	1.35	1.33	1.37	24.90	
<i>argutum</i> Maxim.	1.34	1.29	1.45	0.81	1.05	1.36	1.09	1.04	1.17	23.11	1.34
<i>negundo</i> L.	0.69	0.59	1.03	0.56	0.63	0.82	0.63	1.01	0.79	29.21	0.32
<i>cissifolium</i> (Sieb.et Zucc.)K. Koch.	0.99	1.05	1.19	1.18	1.85	0.90	0.79	1.02	1.05	28.35	0.45
<i>ginnala</i> Maxim.	1.74	1.65	1.42	1.03	1.09	1.49	1.28	1.09	1.31	19.66	2.68
<i>rubrum</i> L.	1.72	1.74	1.40	1.39	1.18	1.43	1.16	1.03	1.29	21.43	2.12
<i>saccharinum</i> L.	1.46	1.17	1.28	0.77	1.02	0.82	1.03	1.01	1.29	25.44	1.19
B.											
<i>mono</i> Maxim.	1.79	2.07	1.49	1.54	1.38	1.13	1.36	1.02	1.13	22.01	1.6
<i>miyabei</i> Maxim.	1.38	1.45	1.24	1.03	1.12	1.15	1.39	1.13	1.03	24.75	2.16
C.											
<i>pseudoplatanus</i> Linn.	1.45	1.54	1.53	1.12	1.19	1.70	1.28	1.11	1.29	22.10	2.28
<i>saccharum</i> Marsh.	1.28	1.31	1.29	1.05	1.13	1.16	1.06	1.08	1.34	21.12	3.23
D.											
<i>triflorum</i> Kom.	1.49	1.61	1.19	0.81	1.04	1.23	1.18	0.84	1.12	25.03	2.02
<i>mandshuricum</i> Maxim.	1.27	1.59	1.42	1.15	1.07	1.18	1.31	1.19	1.23	23.90	1.96
E.											
<i>diabolicum</i> Bl.	1.24	1.73	1.29	1.09	1.23	1.08	1.14	1.05	1.11	24.70	0.93
F.											
<i>carpinifolium</i> Sieb.et Zucc.	1.00	0.66	0.64	0.57	0.55	0.77	1.00	0.70	0.74	30.20	0.39

C.C. : Cell Corner among Fibers
E : Earlywood L : LatewoodK.L. : Klason lignin (%)
T : Terminal

で表した。

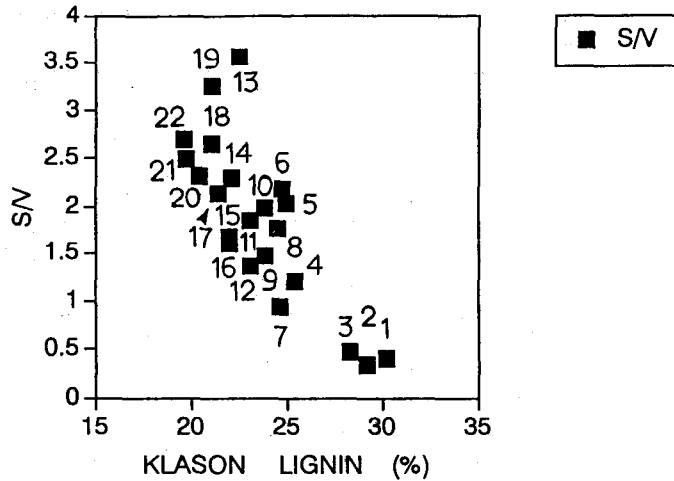
数値は、前者では 1.0 以上となり、後者では 1.0 未満となった。

すべての樹種のスペクトルから計算した数値を、Table 3 の前段に示す。

3.2.2 紫外線顕微分光法

各構成要素の細胞壁に紫外線を吸収させると、グアイアシルリグニンは 280 nm 付近に、シリングリグニンは 273 nm 付近に、それぞれ最大吸収を示す。また、グアイアシルリグニンは、シリングリグニンと比較すると、吸光度が高く、その比は 4 : 1 といわれている。

そこで、26 樹種のスペクトルを測定し、273 nm の値と 280 nm の値をとり、それを Table



- | | |
|--|-----------|
| 1. <i>A. carpinifolium</i> Seib. et Zucc. | チドリノキ |
| 2. <i>A. negundo</i> L. | ネグンドカエデ |
| 3. <i>A. cissifolium</i> (Seib. et Zucc.) K. Koch. | ミツデカエデ |
| 4. <i>A. saccharinum</i> L. | ギンヨウカエデ |
| 5. <i>A. mandshuricum</i> Maxim. | マンシュウカエデ |
| 6. <i>A. miyabei</i> Maxim. | クロヒイタヤ |
| 7. <i>A. diabolicum</i> Bl. | カジカエデ |
| 8. <i>A. distylum</i> Seib. et Zucc. | ヒトツバカエデ |
| 9. <i>A. rufinerve</i> Seib. et Zucc. | ウリハダカエデ |
| 10. <i>A. triflorum</i> Kom. | オニメグスリ |
| 11. <i>A. crataegifolium</i> Seib. et Zucc. | ウリカエデ |
| 12. <i>A. argutum</i> Maxim. | アサノハカエデ |
| 13. <i>A. japonicum</i> Thunb. | ハウチワカエデ |
| 14. <i>A. pseudoplatanus</i> Linn. | セイヨウカジカエデ |
| 15. <i>A. micranthum</i> Seib. et Zucc. | コミネカエデ |
| 16. <i>A. mono</i> Maxim. | イタヤカエデ |
| 17. <i>A. rubrum</i> L. | アメリカハナノキ |
| 18. <i>A. ukurunduense</i> Trautv. et Meyer | オガラバナ |
| 19. <i>A. saccharum</i> Marsh. | サトウカエデ |
| 20. <i>A. palmatum</i> Thunb. | イロハモミジ |
| 21. <i>A. nipponicum</i> Hara. | テツカエデ |
| 22. <i>A. ginnala</i> Maxim. | カラコギカエデ |

Fig. 1. Relationship between the S/V ratios and Klason lignin contents in 22 species of the genus *Acer*.

4, Table 5 に示した。

3.2.3 FTIR 分光法, 顕微 FTIR 分光法

FTIR 分光法では, 1270 cm^{-1} 付近にグアイアシル核の吸収がみられ, 1325 cm^{-1} 付近にシリリングル核の吸収がみられる。モイレ反応スペクトル法による結果から, リグニン分布が異なる 5 つの樹種を選び, FTIR 分光法でもその違いがあらわれるかどうかを調べた。それらの吸収スペクトルを, Fig. 3 に示す。

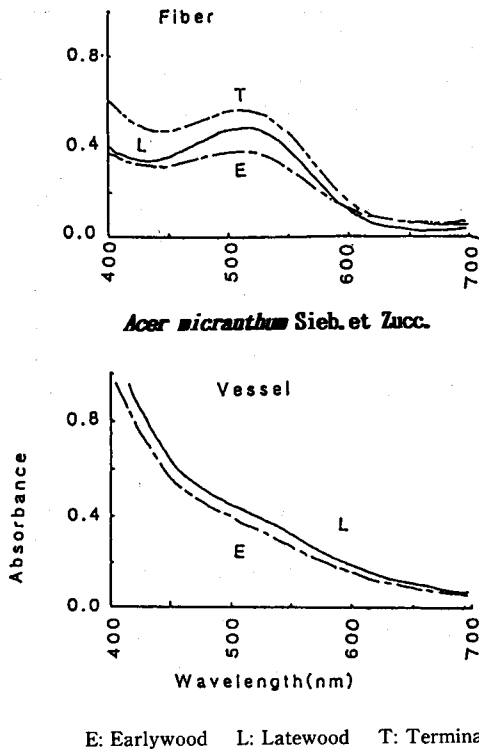


Fig. 2. Vis-spectra of Fibers and Vessels after staining by Mäule reaction.

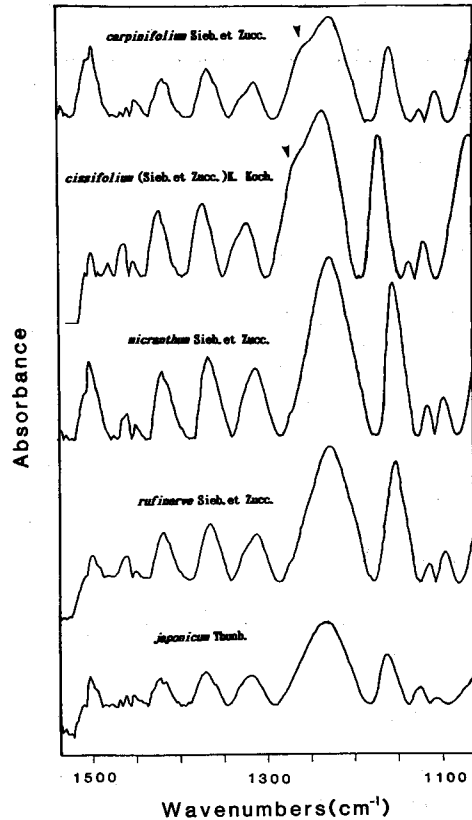


Fig. 3. IR spectra of 5 species of the genus *Acer*.

また、芳香核の 1500 cm^{-1} は、比較的安定した強度を示すので、これを基準にして他の吸収帯の強度を比較することができる。それらの結果を Table 6 に示した。

顕微 FTIR 分光法については、切片が薄すぎたこと、切片を脱包埋しなかったため、エポキシ樹脂の吸収の影響が強くあらわれたこと、木口面では各構成要素の細胞壁が薄く、測光スポットが納まらなかったことなどから、実験結果がきちんとあらわれなかった。しかし、今後、切片を少し厚めにする、脱包埋をきちんとする、柎目面を使うなど、多くの課題を検討していくことが必要である。これから、リグニン分析の方法として有効であると思われる。

3.3 雲南省産カエデ属の結果

雲南省産のカエデ属 5 樹種については、クラークソンリグニン法、モイレ反応スペクトル法、紫外線顕微分光法をもちいて、リグニンを分析した。クラークソンリグニン法とモイレ反応スペクトル法の結果を、Table 3 に、紫外線顕微分光法の結果を Table 4, 5 に示す。

Table 4. UV absorbance at 273 and 280 nm of 26 species in the genus *Acer*
 - Fiber -

Species	Earlywood		Latewood		Terminal	
	273nm	280nm	273nm	280nm	273nm	280nm
A.						
<i>crataegifolium</i> Sieb. et Zucc.	0.136	0.156	0.122	0.147	0.207	0.239
<i>rufinerve</i> Sieb. et Zucc.	0.094	0.106	0.178	0.195	0.138	0.159
<i>micranthum</i> Sieb. et Zucc.	0.074	0.054	0.121	0.103	0.193	0.201
<i>distylum</i> Sieb. et Zucc.	0.106	0.122	0.110	0.131	0.241	0.267
<i>nipponicum</i> Hara.	0.124	0.131	0.194	0.201	0.249	0.261
<i>ukurunduense</i> Trautv. et Meyer	0.113	0.108	0.189	0.200	0.280	0.286
<i>sinense</i> Pax	0.130	0.130	0.187	0.198	0.235	0.252
<i>erianthum</i> Schw.	0.121	0.131	0.132	0.135	0.233	0.244
<i>flabellatum</i> Rehd.	0.207	0.228	0.160	0.149	0.236	0.234
<i>wilsonii</i> Rehd.	0.153	0.158	0.114	0.114	0.201	0.206
<i>japonicum</i> Thunb.	0.139	0.109	0.183	0.189	0.251	0.251
<i>palmatum</i> Thunb.						
<i>fabri</i> Hance	0.122	0.119	0.201	0.209	0.224	0.238
<i>argutum</i> Maxim.	0.198	0.213	0.299	0.253	0.264	0.281
<i>negundo</i> L.	0.298	0.332	0.374	0.408	0.302	0.344
<i>cissifolium</i> (Sieb. et Zucc.) K. Koch.	0.242	0.303	0.227	0.265	0.270	0.331
<i>ginnala</i> Maxim.	0.081	0.084	0.107	0.118	0.218	0.236
<i>rubrum</i> L.	0.114	0.118	0.153	0.165	0.215	0.231
<i>saccharinum</i> L.	0.191	0.196	0.271	0.279	0.381	0.400
B.						
<i>mono</i> Maxim.	0.157	0.176	0.129	0.146	0.285	0.315
<i>miyabei</i> Maxim.	0.152	0.160	0.112	0.118	0.273	0.292
C.						
<i>pseudoplatanus</i> Linn.	0.156	0.156	0.202	0.210	0.278	0.284
<i>saccharum</i> Marsh.	0.155	0.159	0.136	0.142	0.199	0.199
D.						
<i>triflorum</i> Kom.	0.170	0.173	0.190	0.201	0.266	0.278
<i>mandshuricum</i> Maxim.	0.120	0.120	0.102	0.104	0.219	0.232
E.						
<i>diabolicum</i> Bl.	0.250	0.270	0.249	0.263	0.355	0.387
F.						
<i>carpinifolium</i> Sieb. et Zucc.	0.280	0.300	0.313	0.361	0.360	0.402

A-F : Six groups classified by OGATA.

4. 考 察

4.1 組織の G/S 比率の検討

各組織の G/S 比を、モイレ反応スペクトル比及び UV 吸収値から推量を試みるために、その妥当性を化学的手法からのリグニンの性質との関連において検討してみた。

4.1.1 モイレ反応スペクトル法による結果

各組織ごとに、モイレ反応スペクトル法による比の値とクラ-ソンリグニン量の関係を、ま

Table 5. UV absorbance at 273 and 280 nm of 26 species in the genus *Acer*
 - Vessel -

Species	Earlywood		Latewood	
	273nm	280nm	273nm	280nm
A.				
<i>crataegifolium</i> Sieb. et Zucc.	0.353	0.405	0.281	0.318
<i>rufinerve</i> Sieb. et Zucc.	0.222	0.249	0.227	0.246
<i>micranthum</i> Sieb. et Zucc.	0.245	0.260	0.269	0.297
<i>distylum</i> Sieb. et Zucc.	0.384	0.412	0.332	0.363
<i>nipponicum</i> Hara.	0.411	0.429	0.362	0.380
<i>ukurunduense</i> Trautv. et Meyer	0.393	0.421	0.364	0.400
<i>sinense</i> Pax	0.359	0.384	0.305	0.328
<i>erianthum</i> Schw.	0.381	0.410	0.431	0.467
<i>flabellatum</i> Rehd.	0.375	0.417	0.463	0.489
<i>wilsonii</i> Rehd.	0.379	0.421	0.412	0.429
<i>japonicum</i> Thunb.	0.334	0.374	0.315	0.336
<i>palmatum</i> Thunb.				
<i>fabri</i> Hance	0.394	0.402	0.487	0.509
<i>argutum</i> Maxim.	0.468	0.503	0.362	0.388
<i>negundo</i> L.	0.352	0.394	0.319	0.352
<i>cissifolium</i> (Sieb. et Zucc.) K. Koch.	0.297	0.317	0.283	0.301
<i>ginnala</i> Maxim.	0.336	0.359	0.294	0.343
<i>rubrum</i> L.	0.485	0.506	0.340	0.358
<i>saccharinum</i> L.	0.318	0.336	0.347	0.357
B.				
<i>mono</i> Maxim.	0.408	0.440	0.331	0.368
<i>miyabei</i> Maxim.	0.371	0.379	0.300	0.307
C.				
<i>pseudoplatanus</i> Linn.	0.368	0.390	0.355	0.373
<i>saccharum</i> Marsh.	0.456	0.482	0.272	0.282
D.				
<i>triflorum</i> Kom.	0.308	0.333	0.276	0.283
<i>mandshuricum</i> Maxim.	0.351	0.351	0.261	0.262
E.				
<i>diabolicum</i> Bl.	0.376	0.396	0.314	0.311
F.				
<i>carpinifolium</i> Sieb. et Zucc.	0.353	0.413	0.382	0.457

A-F : Six groups classified by OGATA.

Table 6. Relative intensity of IR absorption-bands

Species	1460/1500	1325/1500	1230/1500	1130/1500
<i>A. carpinifolium</i> Sieb. et Zucc.	14.6	52.9	146.9	14.5
<i>A. cissifolium</i> (Sieb. et Zucc.) K. Koch.	138.7	231.3	715.8	69.4
<i>A. micranthum</i> Sieb. et Zucc.	32.1	87.2	228.5	38.1
<i>A. rufinerve</i> Sieb. et Zucc.	101.5	227.1	651.9	90.6
<i>A. japonicum</i> Thunb.	36.3	96.0	269.9	47.0

たS/V比との関係について調べたが、木繊維壁と道管壁はFig. 4, 5に示した。さらに、木繊維間セルコーナーと放射組織についてはFig. 6, 7に示した。Fig. 中の数字は、各樹種を示したものであり、そのリストはFig. 1に示している。

木繊維壁は、クラソンリグニン量が高い3樹種でモイレの比の値も小さいが、残りの樹種はクラソンリグニン量に関係なく、シリギルリッチである(Fig. 4)。S/V比との関係では、クラソンリグニン量に比べると少し値にバラツキが見られる(Fig. 5)。木繊維壁を、さらに早材部、晩材部、ターミナル部において比較すると、クラソンリグニン量との関係では、各部位ともに相関係数が0.6以上であり、相関が見られるが、S/V比との関係では、早材以外は相関があまり見られなかった。したがって、木繊維の早材部が、クラソンリグニン量やS/V比に強く影響していると考えられる。

道管壁については、木繊維壁と比較するとやや値のバラツキがみられる(Fig. 4, 5)。さらに早材部と晩材部で比較すると、早材部では、クラソンリグニン量やS/V比に関係なく、樹種によりリグニン分布が異なっていた。しかし、グアイアシルリッチのものとシリギルリッチのものがはっきりと分けられる。晩材部では、早材部よりもまとまっており、シリギルリッチの樹種が多い。

木繊維間セルコーナーは、木繊維壁と同様の傾向を示した(Fig. 6, 7)。しかし、早材部、晩材部、ターミナル部で比較すると、早材部では木繊維と同様に、クラソンリグニン量やS/V比と最も高い相関を示したが、晩材部では、相関があまり見られなくなり、ターミナルと同様の傾向を示した。晩材木繊維に比べて、クラソンリグニン量やS/V比に影響しないのだろう。さらにターミナル部では、クラソンリグニン量に関係なくほとんどシリギルリッチであった。

放射組織は、クラソンリグニン量やS/V比との相関係数が、いずれも0.7以上であり、高い相関がみられた(Fig. 6, 7)。

モイレ反応スペクトル法による結果から、木繊維壁、木繊維間セルコーナー、放射組織では、クラソンリグニン量が高い3樹種をのぞいて樹種間の違いはほとんど見られず、シリギルリッチであることが示された。しかし、早材木繊維、早材木繊維間セルコーナー、放射組織では、クラソンリグニン量やS/V比と比較的良好な相関を示し、これらの部位がクラソンリグニン量やS/V比に影響を与えていると考えられる。道管壁については、特に早材部で、クラソンリグニン量やS/V比に関係なく、樹種による違いがあらわれた。

4.1.2 UV顕微分光法による結果

木繊維壁についてのUV吸収スペクトルから得られた吸光度とクラソンリグニン量、S/V比との関係をそれぞれFig. 8, 9に、同様に道管壁についてはFig. 10, 11に示す。

木繊維壁については、早材部、晩材部で、クラソンリグニン量やS/V比との高い相関がみられるが、ターミナル部では、全体的に吸光度が高くなり、樹種による違いもあまりみられ

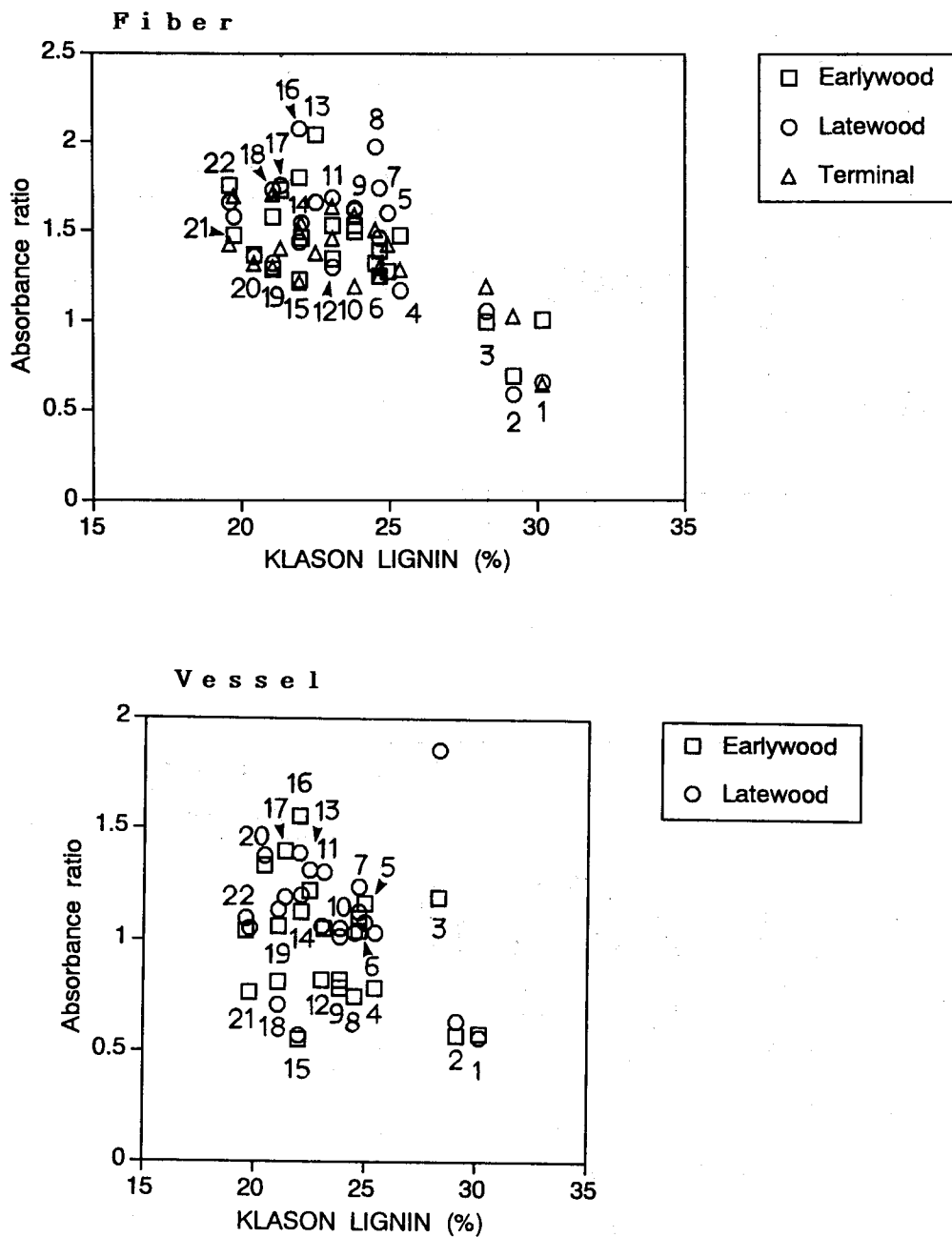


Fig. 4. Relationship between Klason lignin contents and Absorbance ratios by Mäule reaction*. - Fiber and Vessel - * 520nm A./ 440nm A. Species numbers refer to notes on Fig. 1.

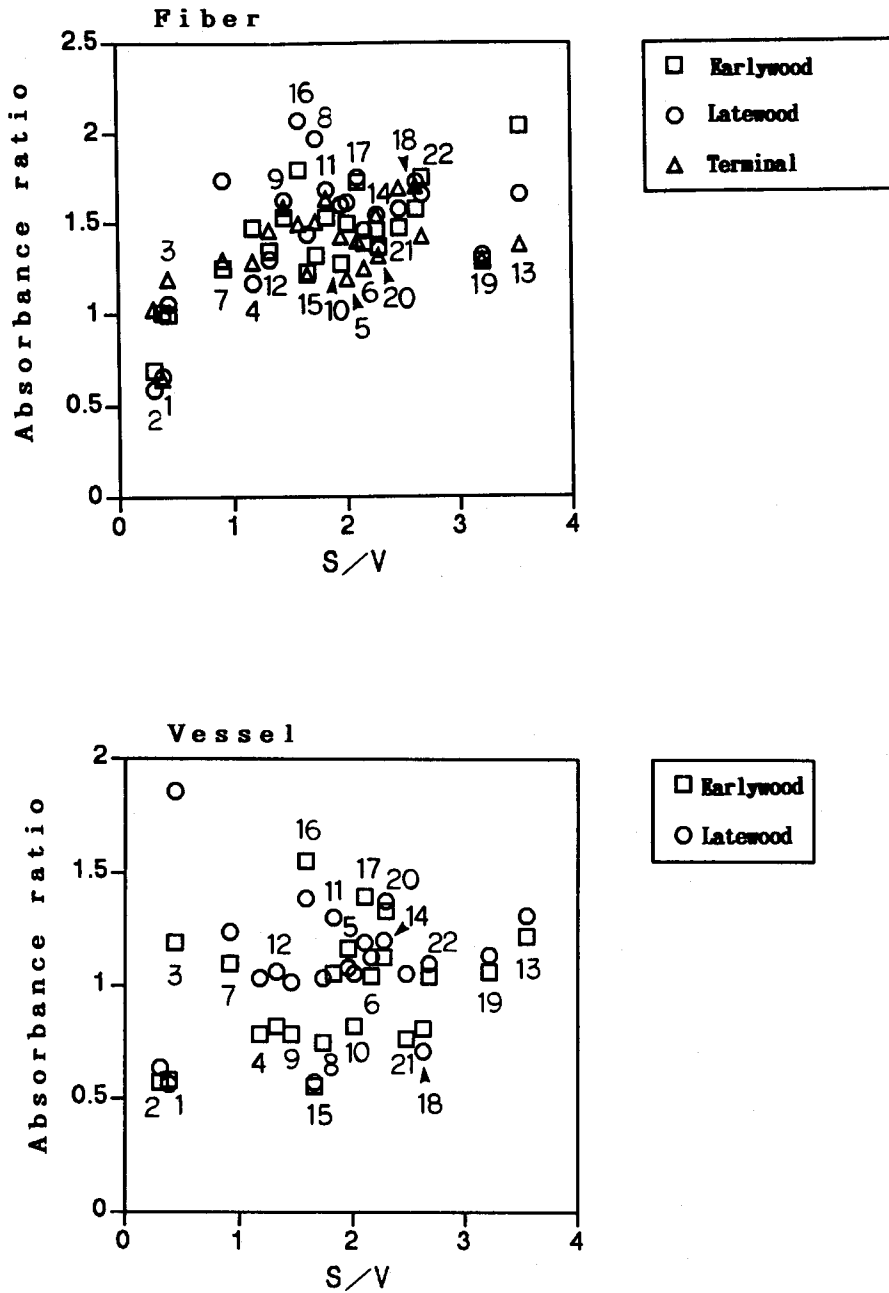


Fig. 5. Relationship between the S/V ratios and Absorbance ratios by Mäule reaction*. —Fiber and Vessel—

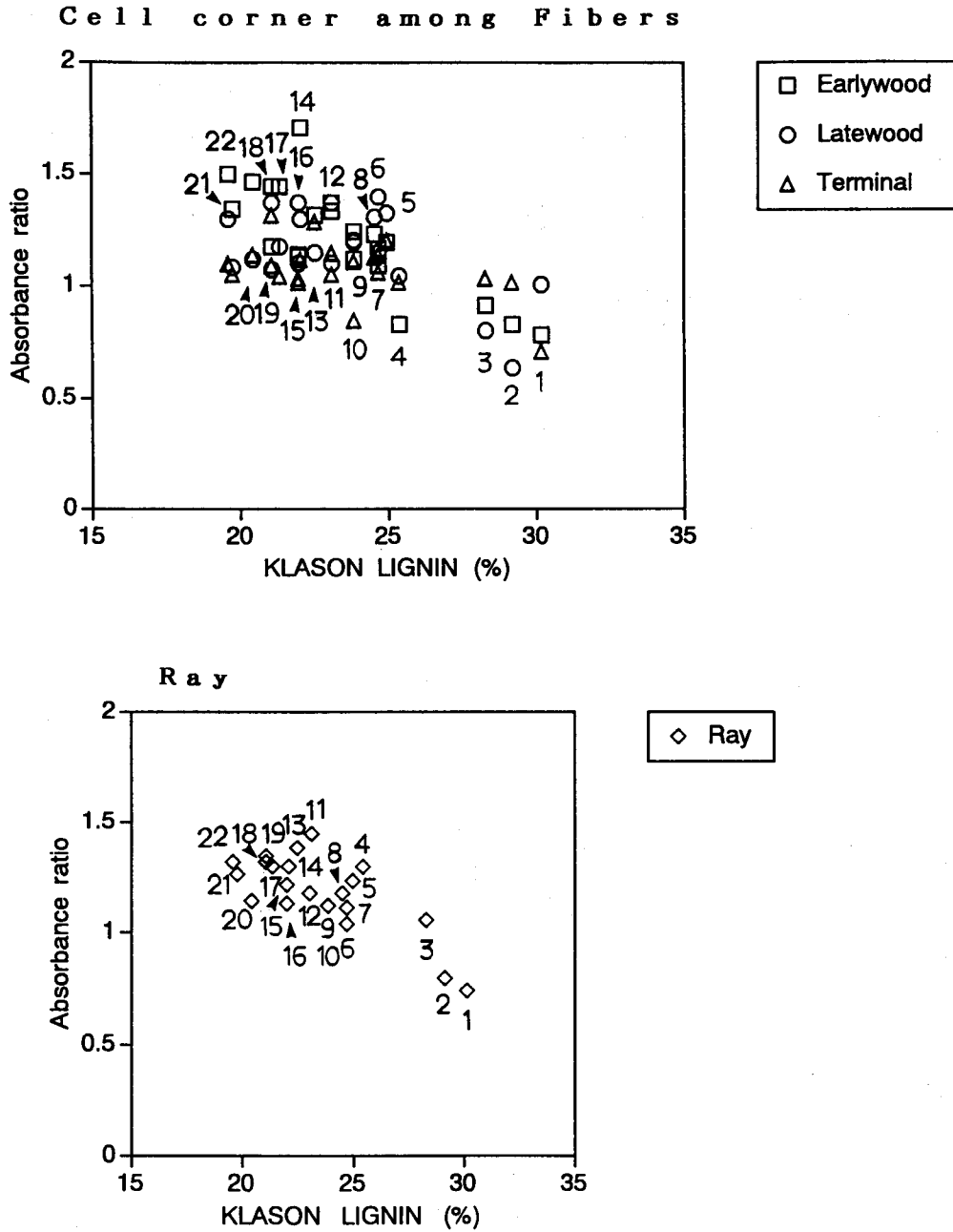


Fig. 6. Relationship between Klason lignin contents and Absorbance ratios by Mäule reaction. —Cell corner among Fibers and Ray—

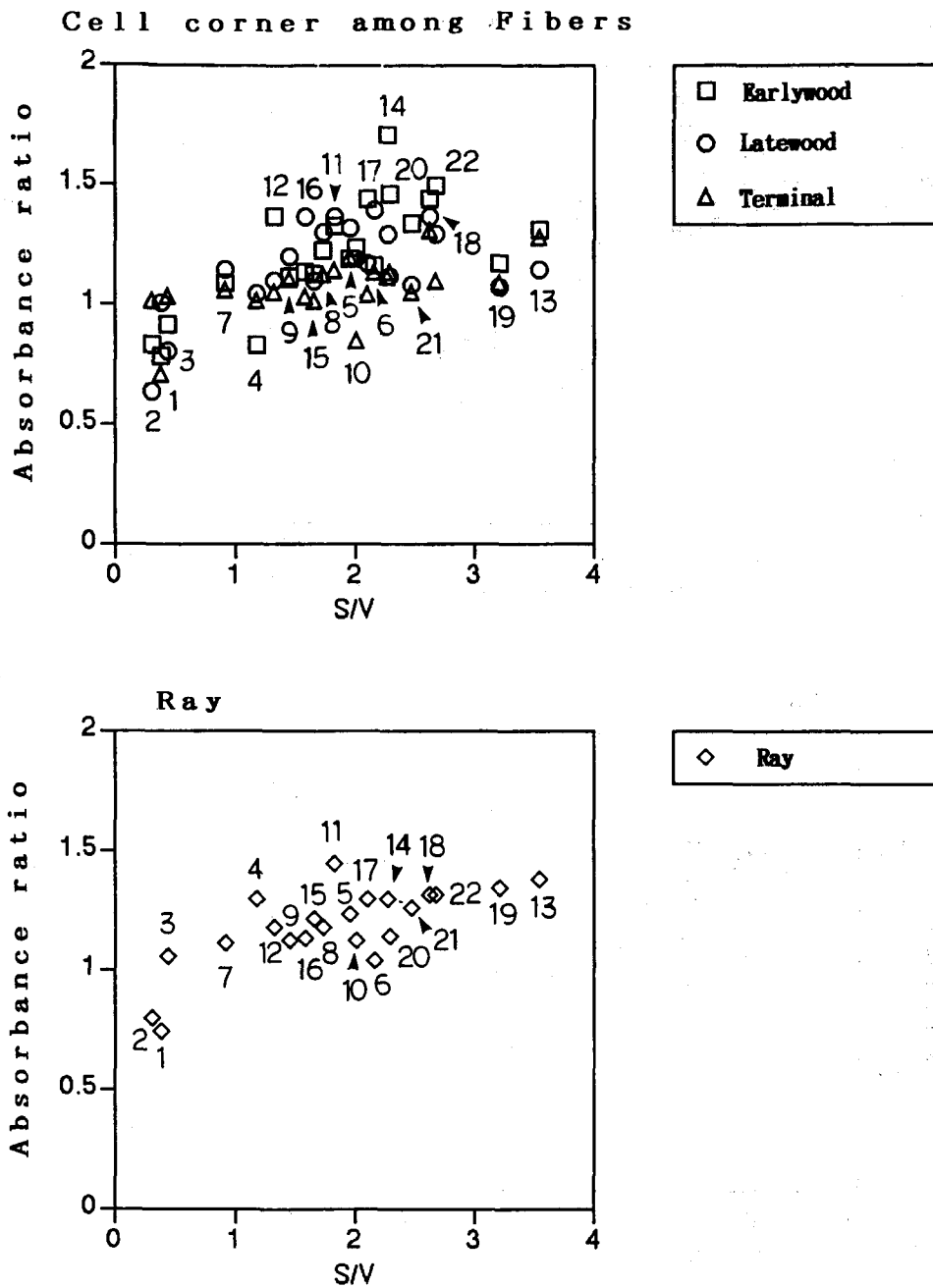


Fig. 7. Relationship between the S/V ratios and Absorbance ratios by Mäule reaction. -Fiber-

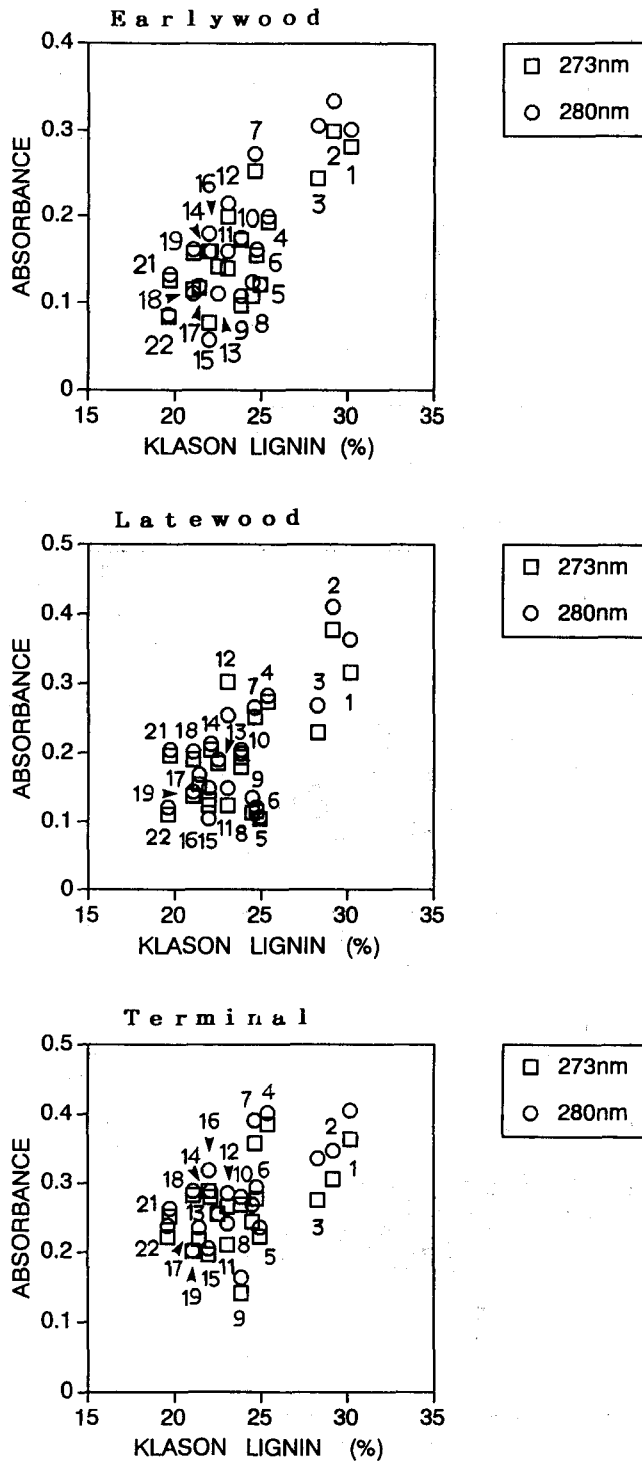


Fig. 8. Relationship between Klason lignin contents and UV Absorbance. -Fiber-

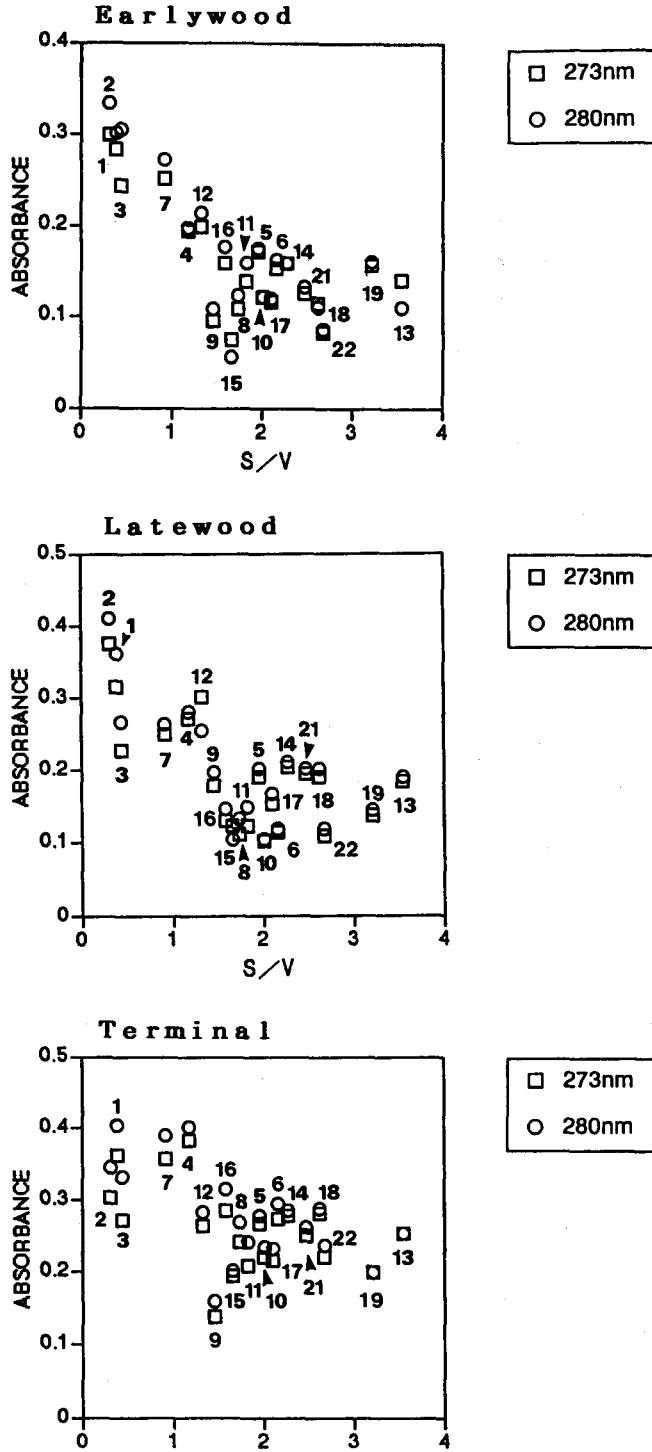


Fig. 9. Relationship between the S/V ratios and UV Absorbance. —Fiber—

なくなる (Fig. 8, 9)。しかし、273 nm に比べると 280 nm で比較的高い相関がみられた。つまり早材部や晩材部では、クラースンリグニン量が低くなる、すなわちシリングルリッチであると考えられる樹種ほど、吸光度が下がり、グアイアシルリグニンは少なくなっていると考えられる。しかし、ターミナル部では、280 nm でクラースンリグニン量や S/V 比に影響が見られるものの、全体的に吸光度がやや高くなっていることから、この部位では、樹種に関係なく、他よりグアイアシルリグニンが増加しているのではないかと考えられる。

道管壁では、クラースンリグニン量や S/V 比に関係なく、一定の範囲の吸光度を示している (Fig. 10, 11)。早材部と晩材部での差は、ほとんどみられなかったが、早材 > 晩材である樹種の方が多かった。また、木繊維と比較すると、木繊維よりも吸光度が高くなっている。つまり道管壁は、樹種に関係なく、ある一定量のグアイアシルリグニンを含んでいると考えられる。

さらに、273 nm と 280 nm の吸光度を、それぞれクラースンリグニン量と S/V 比とのグラフで表したが、木繊維壁は、273 nm, 280 nm でともに各部位でクラースンリグニン量や S/V 比と相関があり、道管壁では、両波長とも、各部位で相関がほとんどみられなかった。

280 nm/273 nm の比と、クラースンリグニン量や S/V 比との関係を、Fig. 12, 13 に示した。これらの図から、木繊維壁、道管壁は、クラースンリグニン量や S/V 比に関係なく一定の値をとることが示唆された。

したがって、UV 顕微分光法の結果から、木繊維壁ではクラースンリグニン量が低くなり、S/V 比が大きくなるにしたがって吸光度が下がることから、シリングルリッチであると考えられる樹種ほど、木繊維壁 (特に早材、晩材) はシリングルリッチであることが推測される。しかし木繊維壁のターミナル部は、他の 2 つの部位よりもややグアイアシルリッチであることが考えられる。道管壁は、木繊維壁よりも吸光度が高く木繊維よりもグアイアシルリッチであることが考えられる。

4.1.3 要約

これらの結果をまとめて、各組織の細胞壁のリグニン分布を推測すると以下ようになる。

①木繊維壁

モイレ反応の結果を基準にすると、シリングルリッチのタイプとグアイアシルリッチのタイプに分けられる。

シリングルリッチの樹種の場合、早材部、晩材部ではグアイアシルリグニンは少なく、ほとんどシリングルリグニンで構成されている。しかしターミナル部は、シリングルリグニンも多いが、グアイアシルリグニンも他の部位よりも増加していると推測できる。

グアイアシルリッチの樹種の場合、早材部、晩材部、ターミナルでの差はほとんどみられず、すべてグアイアシルリッチである。わずかながらシリングルリグニンも含まれているが、どの部位に多く含まれているかは樹種間での違いがあり、推測できない。

②道管壁

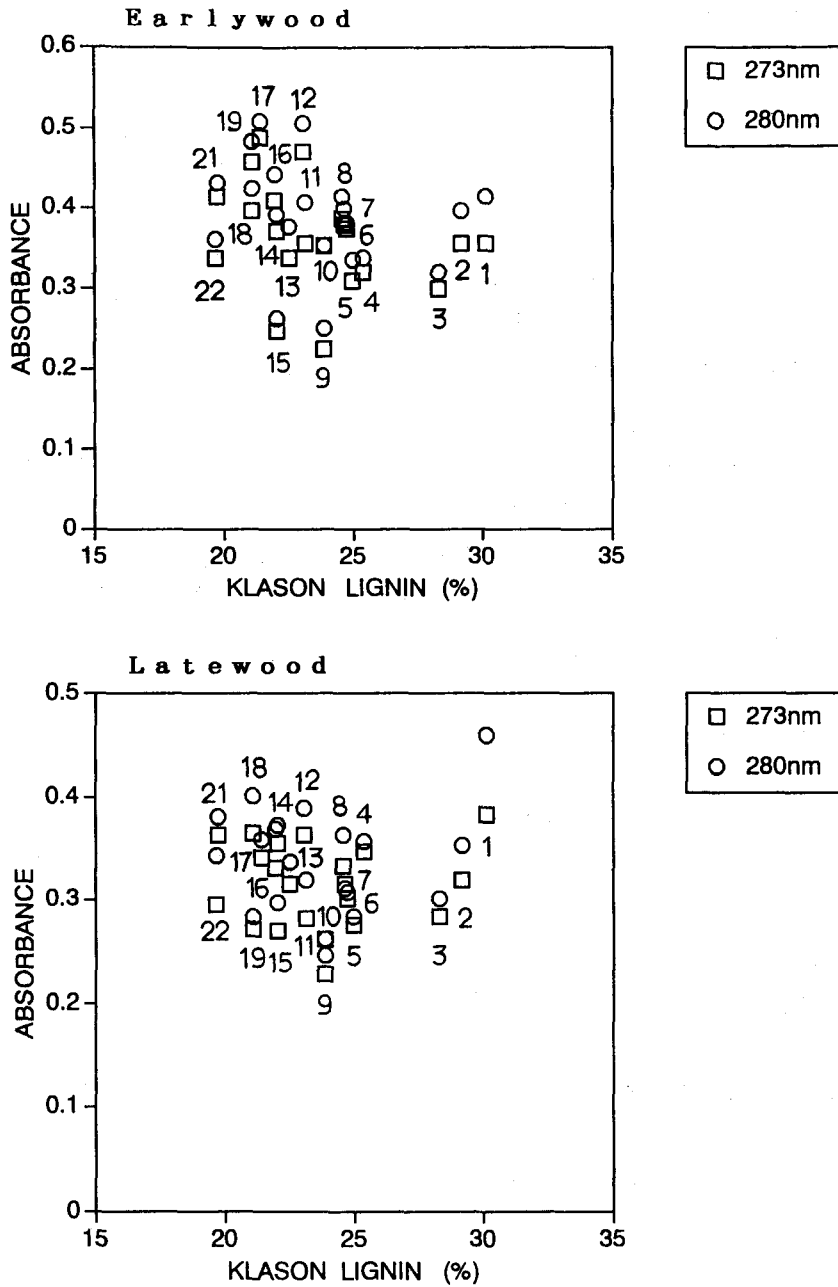


Fig.10. Relationship between Klason lignin contents and UV Absorbance.
- Vessel -

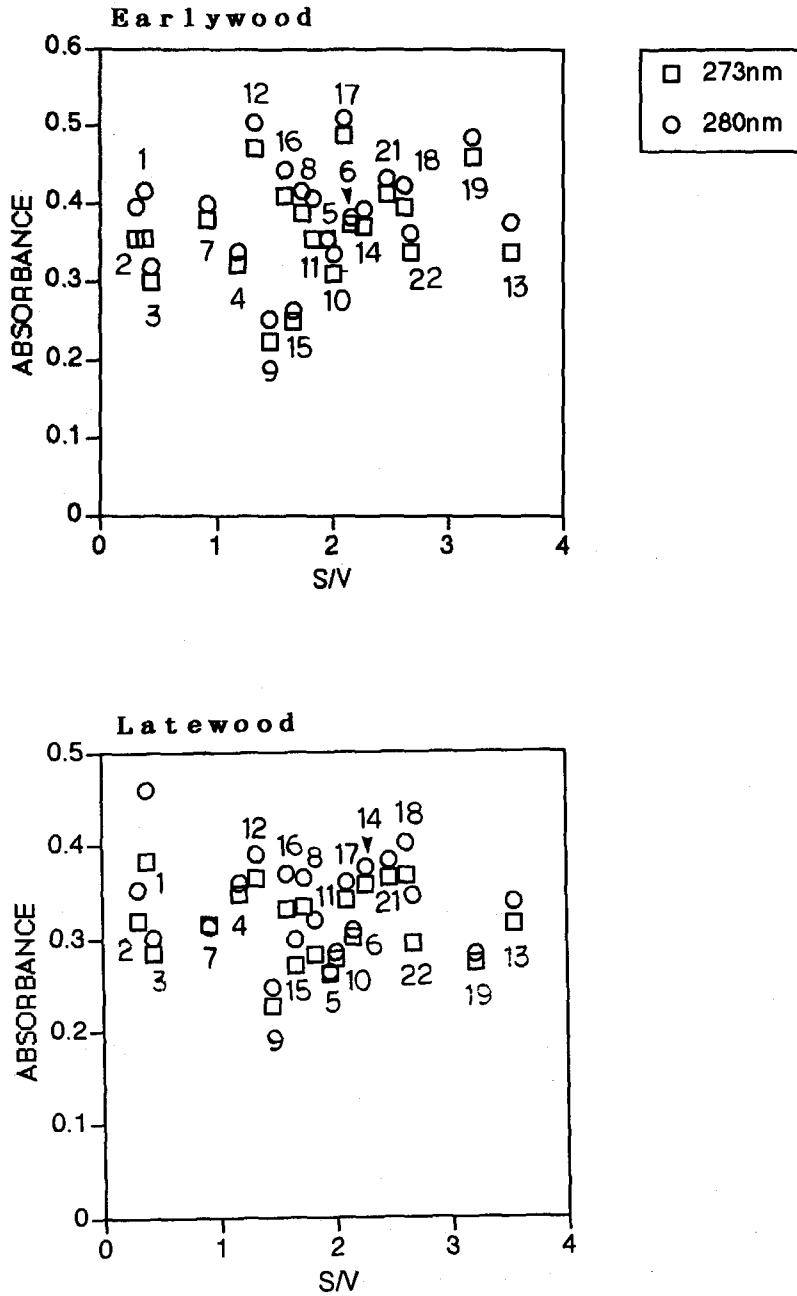


Fig.11. Relationship between the S/V ratios and UV Absorbance. - Vessel -

道管壁の場合、早材部も晩材部も、ある程度のグアイアシルリグニンが含まれているようである。そのうえで、樹種によりシリングリグニンの量に変化しているため、道管壁のリグニン分布は、かなり変化にとんだものになると考えられる。

③木繊維間セルコーナー

ほとんどの樹種でシリングリッチであり、グアイアシルリッチでもある。したがって、それらの量比は推測することはできないが、両リグニンは、他の組織の細胞壁と比較すると、かなり多く含まれているのだろう。

④放射組織

モイレ反応の結果から、木繊維壁がグアイアシルリッチである樹種は、放射組織もグアイアシルリッチであり、シリングリッチである樹種は、放射組織もシリングリッチとなるようである。しかし、今回はモイレ反応の測定のみであり、リグニン分布は推測できなかった。

これらの各構成要素でのリグニン分布の相違がなぜ生じるのか、詳しいことは未だ明らかにされていない。しかし、その理由の1つに、各構成要素の細胞壁の形成過程の違いが考えられる。寺島(1987)は、各構成要素細胞壁の形成過程の概念図を示したが、それによると、道管壁は α -ヒドロキシフェニルリグニンおよびグアイアシルリグニンが堆積したのちにシリングリグニンがわずかに堆積するが、木繊維壁は道管壁よりも壁形成の時期が遅いため、グアイアシルリグニンとシリングリグニンが堆積してくる。そのため、リグニンの不均一性が生じるのであろう。しかし、木繊維のターミナル部で、比較的グアイアシルリッチとなる原因は、説明することができない。

また、ホルモンの影響も考えられる。ALONIら(1990)は、*Coleus*属にオーキシシンとジベレリン酸を割合を変えて与えた結果、オーキシシンが多いほど厚壁でシリングリッチである、短い師部細胞ができ、逆にジベレリン酸が多いと薄壁で、前者よりはシリングリグニンが減少し長い師部細胞ができることを示した。木部についての影響は明らかにはされなかったが、なんらかの影響を受けていると考えられるだろう。

各構成要素細胞壁で、木繊維の早材部が、クラーソンリグニン量やS/V比と最も良い相関を示した。また、木繊維早材部でのモイレ反応スペクトルの比の値とUV吸収スペクトルとの相関を調べると(Fig. 14)、非常に高い相関を示した。したがって、これらの結果は、木繊維の早材部をモイレ反応スペクトル法やUV顕微分光法で測定することで、クラーソンリグニン量やS/V比を推測できる可能性を示唆していると考えられる。

4.2 モイレ反応スペクトルの比による樹種の特徴

モイレ反応スペクトル法の結果から、次の5つのタイプに分けることができた(Table 7~9)。さらに、UV顕微分光法による結果とも照らしあわせ、以下のようにタイプ分けを行なった。

①木繊維、道管壁がともにグアイアシルリッチ

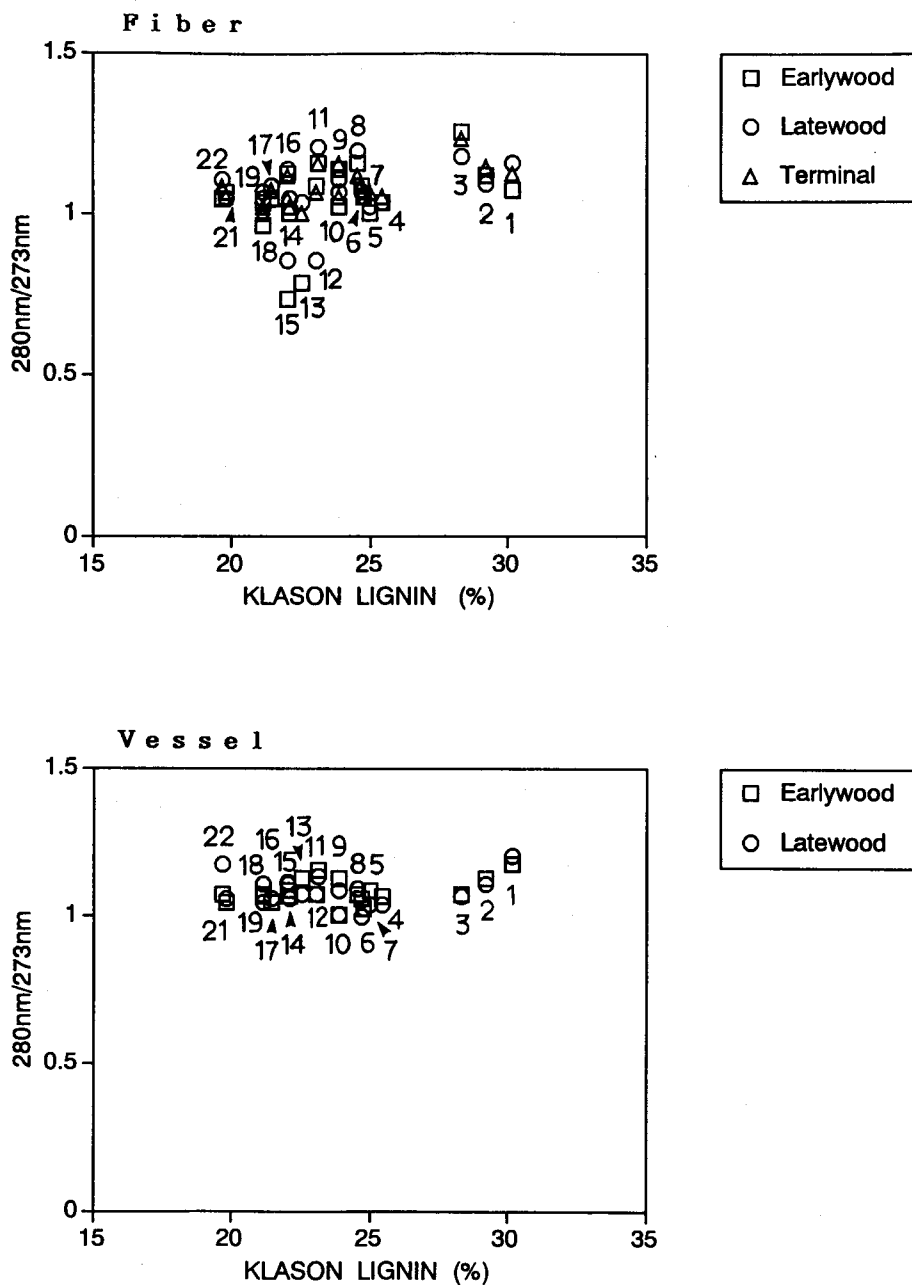


Fig.12. Relationship between Klason lignin contents and 280/273 ratio.

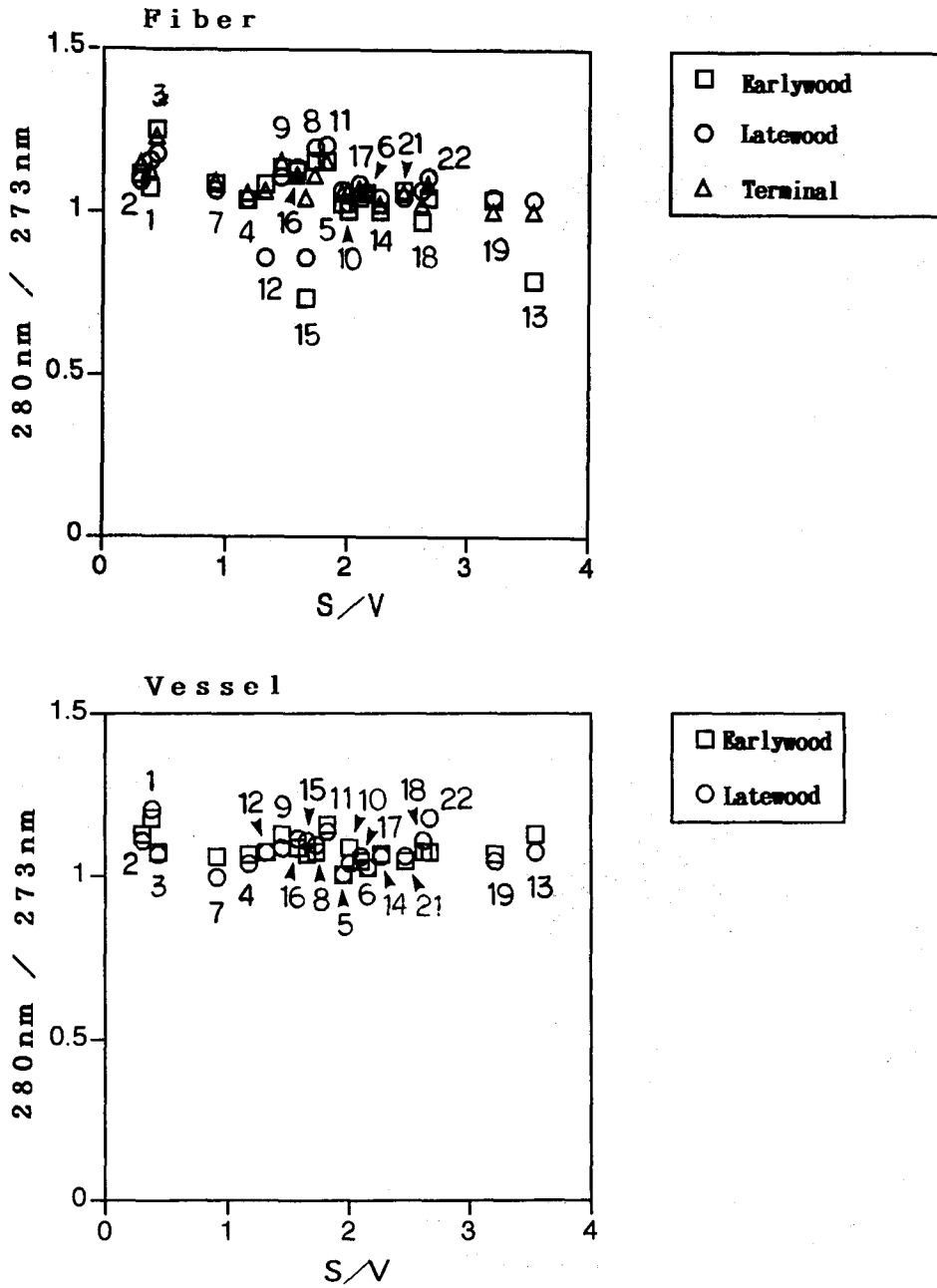


Fig.13. Relationship between the S/V ratios and 280/273 ratio.

- ②木繊維壁はややグアイアシルリッチであるが、道管壁は早材部でややシリングルリッチ
晩材部で特異的にシリングルリッチ
- ③木繊維壁はシリングルリッチ、道管壁はグアイアシルリッチ
- ④木繊維壁はシリングルリッチ、道管壁は早材部でグアイアシルリッチ
晩材部でシリングルリッチ
- ⑤木繊維壁、道管壁がともにシリングルリッチ

これらのタイプとそれぞれの樹種数を以下に示す。

	Fiber	Vessel	樹種数
①	$G > S$	$G > S$	2
②	$G \geq S$	早材: $S \geq G$ 晩材: $S \gg G$	1
③	$S > G$	$G > S$	2
④	$S > G$	早材: $G > S$ 晩材: $S \geq G$	6
⑤	$S > G$	$S > G$	16

それぞれのタイプについての考察を行なう。

①木繊維: $G > S$ 道管: $G > S$

このタイプには、チドリノキとネグンドカエデがある。いずれの樹種もクラースンリグニン量が30%近く、S/V比も0.3と低い。

チドリノキの場合、木繊維壁の早材部と木繊維間セルコーナーの晩材部で、ややシリングルリグニンが多いようだが、その他の構成要素壁は、グアイアシルリグニンであった。

ネグンドカエデは、ターミナルの木繊維壁と木繊維間セルコーナーでややシリングルリッチであるが、その他の部位では、グアイアシルリッチであった。特に晩材部がグアイアシルリッチのようである。

②木繊維: $G \geq S$ 道管: 早材: $S \geq G$ 晩材: $S \gg G$

このタイプの樹種は、ミツデカエデのみである。クラースンリグニン量が28%と高く、S/V比も0.4と低い。したがって、この樹種もかなりグアイアシルリグニンが多いと考えられる。

各構成要素別にみると、木繊維壁は早材部でグアイアシルリッチであるが、晩材部になると少しシリングルリッチとなり、ターミナル部ではグアイアシルリグニンもシリングルリグニンも増加するようである。道管壁は、早材部でややシリングルリッチであるのに対して、晩材部では特異的にシリングルリッチを示す。晩材部の道管壁は、早材部に比べて非常にシリングルリッチとなるのだろう。カエデ属のなかでは、非常にめずらしいタイプである。

③木繊維: $S > G$ 道管壁: $G > S$

このタイプは、広葉樹リグニンの典型的なリグニン分布であるといわれているが、カエデ

Table 7. Classification of the genus *Acer* by Absorbance ratios in Mäule reaction

Species	Fiber			Vessel		C.C.			Ray
	E	L	T	E	L	E	L	T	
①F <i>carpinifolium</i> Sieb. et Zucc.	1.00	0.66	0.64	0.57	0.55	0.77	1.00	0.70	1.44
A <i>negundo</i> L.	0.69	0.59	1.03	0.56	0.63	0.82	0.63	1.01	0.79
②A <i>cissifolium</i> (Sieb. et Zucc.) K. Koch.	0.99	1.05	1.19	1.18	1.85	0.90	0.79	1.02	1.05
③A <i>micranthum</i> Sieb. et Zucc.	1.22	1.43	1.21	0.54	0.56	1.12	1.09	1.01	1.21
A <i>ukurunduense</i> Trautv. et Meyer	1.57	1.72	1.70	0.80	0.70	1.43	1.36	1.30	1.31
④A <i>saccharinum</i> L. 1.46	1.17	1.28	0.77	1.02	0.82	1.03	1.01	1.29	
A <i>distylum</i> Sieb. et Zucc.	1.31	1.96	1.50	0.74	1.02	1.22	1.29	1.12	1.17
A <i>rufinerve</i> Sieb. et Zucc.	1.52	1.62	1.58	0.77	1.01	1.11	1.19	1.10	1.12
A <i>nippoicum</i> Hara.	1.46	1.57	1.69	0.76	1.04	1.33	1.07	1.04	1.26
D <i>triflorum</i> Kom.	1.49	1.61	1.19	0.81	1.04	1.23	1.18	0.84	1.12
A <i>argutum</i> Maxim.	1.34	1.29	1.45	0.81	1.05	1.36	1.09	1.04	1.17
⑤A <i>ginnala</i> Maxim.	1.74	1.65	1.42	1.03	1.09	1.49	1.28	1.09	1.31
A <i>sinense</i> Pax.	1.38	1.44	1.19	1.09	1.08	1.50	1.16	1.22	1.11
B <i>miyabei</i> Maxim.	1.38	1.45	1.24	1.03	1.12	1.15	1.39	1.13	1.03
C <i>saccharum</i> Marsh.	1.28	1.31	1.29	1.05	1.13	1.16	1.06	1.08	1.34
A <i>wilsonii</i> Rehd.	1.45	1.58	1.34	1.02	1.18	1.19	1.19	1.26	1.51
A <i>crataegifolium</i> Sieb. et Zucc.	1.52	1.67	1.63	1.04	1.29	1.32	1.36	1.14	1.44
E <i>diabolicum</i> Bl.	1.24	1.73	1.29	1.09	1.23	1.08	1.14	1.05	1.11
D <i>mandshuricum</i> Maxim.	1.27	1.59	1.42	1.15	1.07	1.18	1.31	1.19	1.23
C <i>pseudoplatanus</i> Linn.	1.45	1.54	1.53	1.12	1.19	1.70	1.28	1.11	1.29
A <i>flabellatum</i> Rehd.	1.33	1.60	1.69	1.15	1.32	1.26	1.37	1.29	1.64
A <i>japonicum</i> Thunb.	2.03	1.65	1.37	1.21	1.30	1.30	1.14	1.27	1.38
A <i>fabri</i> Hance	2.11	1.98	1.96	1.31	1.21	1.36	1.35	1.33	1.37
A <i>rubrum</i> L.	1.72	1.74	1.40	1.39	1.18	1.43	1.16	1.03	1.29
A <i>erianthum</i> Schw.	1.86	1.65	1.48	1.28	1.37	1.19	1.17	1.07	1.16
A <i>palmatum</i> Thunb.	1.36	1.35	1.32	1.32	1.37	1.45	1.11	1.13	1.14
B <i>mono</i> Maxim.	1.79	2.07	1.49	1.54	1.38	1.13	1.36	1.02	1.13

C. C. : Cell Corner among Fibers

E : Earlywood L : Latewood T : Terminal

A~F : Six groups classified by OGATA.

属ではコミネカエデ、オガラバナの2樹種だけであった。いずれの樹種も、道管壁がグアエアシルリッチである以外は、全ての細胞壁でシリングリッチであった。しかし、コミネカエデよりはオガラバナの方が全体的にシリングリッチのようである。

④木繊維：S>G 道管壁：早材：G>S 晩材：S≥G

このタイプの樹種には、ギンヨウカエデ、ヒトツバカエデ、ウリハダカエデ、オニメグスリ、アサノハカエデ、テツカエデの6樹種がある。いずれの樹種も、道管壁の早材部はグアエアシルリッチであるが、その他の構成要素壁はすべてシリングリッチである。しかし、クラー

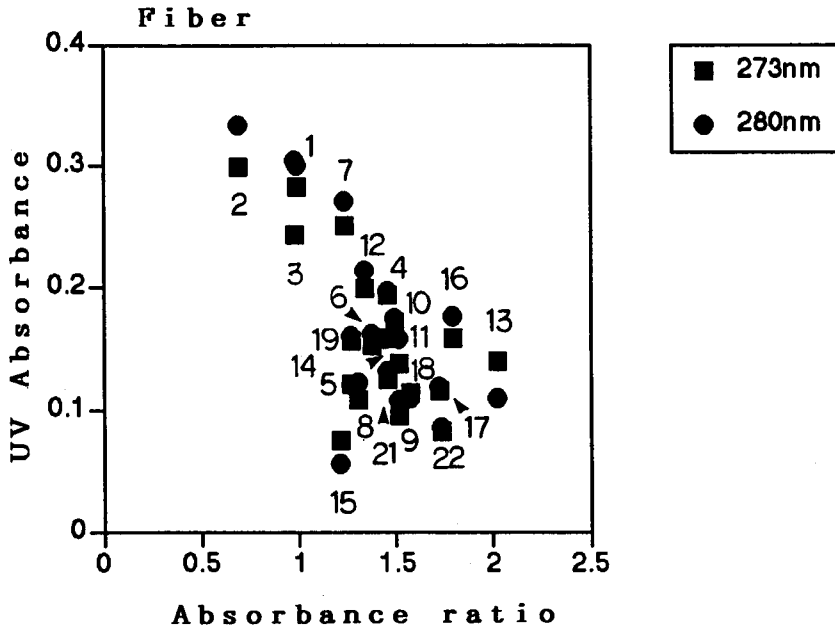


Fig.14. Relationship between UV Absorbance and Absorbance ratios by Mäule reaction. - Earlywood -

アシルリッチであるが、その他の構成要素壁はすべてシリングリッチである。しかし、クラークソンリグニン量とS/V比が、ギンヨウカエデの25%、1.2からテツカエデの19%、2.5とかなり広い範囲を示している。この差は、木繊維壁や木繊維間セルコーナーのシリングリグニンの違いによるものと考えられる。

晩材道管でシリングリグニンが増加していくことに関しては、吉永ら(1989, 1992)のミズナラの各構成要素細胞壁のリグニン分布を詳細に調べた研究があるが、細胞が通水機能から強度支持機能へと変化するにつれてシリングリグニンが増加するのではないかと示唆している。しかし、ミズナラは環孔材であるため、散孔材であるカエデ属にあてはまるかどうかはわからない。また呉ら(1992)は、雲南の広葉樹についてリグニン分布を調べているが、散孔材のこのタイプは、散孔材77樹種のうちわずか2樹種しかなかった。この2樹種は、晩材道管の径が早材のそれより非常に小さく、環孔材に似ていることが明らかになった。本研究では、道管径を測定していないため、比較はできない。しかし道管壁は、晩材部からシリングリグニンが増加していくのではないかということが推測できる。

⑤木繊維：S>G 道管：S>G

カエデ属のなかでこのタイプが最も多く、27樹種中16樹種あった。しかし、より詳細にみると、④のタイプから、早材部の道管壁が少しシリングリッチとなり、さらに道管の晩材部でシリングリグニンが増加し、最後に両道管壁でシリングリッチになるという3段階に変

維管束では、モイレ反応スペクトル法の結果とUV顕微分光法の結果から、グアイアシルリグニンは少なく、シリングルリッチであることが示されたが、道管壁に関しては、モイレ反応の結果ではシリングルリッチとなったにもかかわらず、UV吸収値が①のタイプと同じくらいかそれ以上であり、グアイアシルリグニンも多く含まれていることを示唆した。

また、雲南省産カエデ属5樹種は、すべてこのタイプであった。これらの樹種は、中国雲南省の亜熱帯や温帯地域に生育していたが、他の地域で生育していたものとの差はみられなかった。

リグニン分布がグアイアシルリグニンからシリングルリグニンに変化し、シリングルリッ

Table 8. UV absorbance in 5 types* of lignin distribution
- Fiber -

Species	Earlywood		Latewood		Terminal	
	273nm	280nm	273nm	280nm	273nm	280nm
①F <i>carpinifolium</i> Sieb. et Zucc.	0.280	0.300	0.313	0.361	0.360	0.402
A <i>negundo</i> L.	0.298	0.332	0.374	0.408	0.302	0.344
②A <i>cissifolium</i> (Sieb. et Zucc.) K. Koch.	0.242	0.303	0.227	0.265	0.270	0.331
③A <i>micranthum</i> Sieb. et Zucc.	0.074	0.054	0.121	0.103	0.193	0.201
A <i>ukurunduense</i> Trautv. et Meyer	0.113	0.108	0.189	0.200	0.280	0.286
④A <i>saccharinum</i> L.	0.191	0.196	0.271	0.279	0.381	0.400
A <i>distylum</i> Sieb. et Zucc.	0.106	0.122	0.110	0.131	0.241	0.267
A <i>rufinerve</i> Sieb. et Zucc.	0.094	0.106	0.178	0.195	0.138	0.159
A <i>nippoanicum</i> Hara.	0.124	0.131	0.194	0.201	0.249	0.261
D <i>triflorum</i> Kom.	0.170	0.173	0.190	0.201	0.266	0.278
A <i>argutum</i> Maxim.	0.198	0.213	0.299	0.253	0.264	0.281
⑤A <i>ginnala</i> Maxim.	0.081	0.084	0.107	0.118	0.218	0.236
A <i>sinense</i> Pax.	0.130	0.130	0.187	0.198	0.235	0.252
B <i>miyabei</i> Maxim.	0.152	0.160	0.112	0.118	0.273	0.292
C <i>saccharum</i> Marsh.	0.155	0.159	0.136	0.142	0.199	0.199
A <i>wilsonii</i> Rehd.	0.153	0.158	0.114	0.114	0.201	0.206
A <i>crataegifolium</i> Sieb. et Zucc.	0.136	0.156	0.122	0.147	0.207	0.239
E <i>diabolicum</i> Bl.	0.250	0.270	0.249	0.263	0.355	0.387
D <i>mandshuricum</i> Maxim.	0.120	0.120	0.102	0.104	0.219	0.232
C <i>pseudoplatanus</i> Linn.	0.156	0.156	0.202	0.210	0.278	0.284
A <i>flabellatum</i> Rehd.	0.207	0.228	0.160	0.149	0.236	0.234
A <i>japonicum</i> Thunb.	0.139	0.109	0.183	0.189	0.251	0.251
A <i>fabri</i> Hance	0.122	0.119	0.201	0.209	0.224	0.238
A <i>rubrum</i> L.	0.114	0.118	0.153	0.165	0.215	0.231
A <i>erianthum</i> Schw.	0.121	0.131	0.132	0.135	0.233	0.244
A <i>palmatum</i> Thunb.						
B <i>mono</i> Maxim.	0.157	0.176	0.129	0.146	0.285	0.315

* refer to Table 7.

チになっていくことを進化とみなすならば、このタイプの樹種は、カエデ属のなかでも最も進化したものと考えられる。しかも、カエデ属のうちで最もこのタイプが多いことから、カエデ属は、広葉樹のなかでも比較的進化していると考えられるだろう。

4.3 リグニンの性質によるカエデ属の系統分類

(1) OGATA の分類との比較

OGATA の分類系との比較を行なった。OGATA の分類系とリグニン分布の関係を Table 10 に示す。

A群：この群は、非常に多様化している。リグニン分布においても、Table 10 に示されるように、非常に多様であった。

Table 9. UV absorbance in 5 types* of lignin distribution
- Vessel -

Species	Earlywood		Latewood	
	273nm	280nm	273nm	280nm
①F <i>carpinifolium</i> Sieb. et Zucc.	0.353	0.413	0.382	0.457
A <i>negundo</i> L.	0.352	0.394	0.319	0.352
②A <i>cissifolium</i> (Sieb. et Zucc.)K. Koch.	0.297	0.317	0.283	0.301
③A <i>micranthum</i> Sieb. et Zucc.	0.245	0.260	0.269	0.297
A <i>ukurunduense</i> Trautv. et Meyer	0.393	0.421	0.364	0.400
④A <i>saccharinum</i> L.	0.318	0.336	0.347	0.357
A <i>distylum</i> Sieb. et Zucc.	0.384	0.412	0.332	0.363
A <i>rufinerve</i> Sieb. et Zucc.	0.222	0.249	0.227	0.297
A <i>nippoindicum</i> Hara.	0.411	0.429	0.362	0.380
D <i>triflorum</i> Kom.	0.351	0.351	0.261	0.262
A <i>argutum</i> Maxim.	0.468	0.503	0.362	0.388
⑤A <i>ginnala</i> Maxim.	0.336	0.359	0.294	0.343
A <i>sinense</i> Pax.	0.359	0.384	0.305	0.328
B <i>miyabei</i> Maxim.	0.371	0.379	0.300	0.307
C <i>saccharum</i> Marsh.	0.456	0.482	0.272	0.282
A <i>wilsonii</i> Rehd.	0.379	0.421	0.412	0.429
A <i>crataegifolium</i> Sieb. et Zucc.	0.353	0.405	0.281	0.318
E <i>diabolicum</i> Bl.	0.376	0.396	0.314	0.311
D <i>mandshuricum</i> Maxim.	0.308	0.333	0.276	0.283
C <i>pseudoplatanus</i> Linn.	0.368	0.390	0.355	0.373
A <i>flabellatum</i> Rehd.	0.375	0.417	0.463	0.489
A <i>japonicum</i> Thunb.	0.334	0.374	0.315	0.336
A <i>fabri</i> Hance	0.394	0.402	0.487	0.509
A <i>rubrum</i> L.	0.485	0.506	0.340	0.358
A <i>erianthum</i> Schw.	0.381	0.410	0.431	0.467
A <i>palmatum</i> Thunb.				
B <i>mono</i> Maxim.	0.408	0.440	0.331	0.368

* refer to Table 7.

Sect. *Macrantha* は、変化に富んだ種を多く含んでいるが、本研究で使用したこの節に属する3樹種(ウリカエデ, ウリハダカエデ, コミネカエデ)のリグニン分布も、それぞれ異なっていた。さらに, Sect. *Distyla* (ヒトツバカエデ), Sect. *Parviflora* (テツカエデ), Sect. *Spicata* (オガラバナ) は, Sect. *Macrantha* から派生したと考えられているが, リグニン分布も, それぞれウリハダカエデやコミネカエデと同じタイプに属し, 形態分類と類似しているようである。しかし, これらの3節が, Sect. *Macrantha* から派生したのかどうかは不明瞭である。

Sect. *Palmata* は, かなり分化が進んでいる節で, このA群の他の節と異なる祖先系を持つと考えられているが, リグニン分布では, この節に属する樹種は全て, 木繊維壁, 道管壁がともにシリリングリッチであり, カエデ属のなかでは進化した節と考えられる。しかし, 同じリ

Table 10. Relationship between lignin distribution and the classification by OGATA (1967) on the genus *Acer*

A Sect. <i>Macrantha</i>			
◇Ser. <i>Macrantha</i>	<i>A. crataegifolium</i> Sieb. et Zucc.	ウリカエデ	⑤
◇Ser. <i>Rufinervia</i>	<i>A. rufinerve</i> Sieb. et Zucc.	ウリハダカエデ	④
◇Ser. <i>Micrantha</i>	<i>A. micranthum</i> Sieb. et Zucc.	コミネカエデ	③
Sect. <i>Distyla</i>	<i>A. distylum</i> Sieb. et Zucc.	ヒトツバカエデ	④
Sect. <i>Parviflora</i>	<i>A. nipponicum</i> Hara.	テツカエデ	④
Sect. <i>Spicata</i>	<i>A. ukurunduense</i> Trautv. et Meyer	オガラバナ	③
Sect. <i>Palmata</i>			
◇Ser. <i>Sinensia</i>	<i>A. sinense</i> Pax	中華槭	⑤
	<i>A. erianthum</i> Schw.	毛花槭	⑤
	<i>A. flabellatum</i> Rehd.	扇葉槭	⑤
	<i>A. wilsonii</i> Rehd.	三峡槭	⑤
◇Ser. <i>Palmata</i>	<i>A. japonicum</i> Thunb.	ハウチワカエデ	⑤
	<i>A. palmatum</i> Thunb.	イロハモミジ	⑤
◇Ser. <i>Laevigata</i>	<i>A. fabri</i> Hance	羅浮槭	⑤
Sect. <i>Arguta</i>	<i>A. argutum</i> Maxim.	アサノハカエデ	④
Sect. <i>Negundo</i>	<i>A. negundo</i> L.	ネグンドカエデ	①
Sect. <i>Cissifolia</i>	<i>A. cissifolium</i> (Sieb. et Zucc.) K. Koch.	ミツアカエデ	②
Sect. <i>Trilobata</i>	<i>A. ginnala</i> Maxim.	カラコギカエデ	⑤
Sect. <i>Rubra</i>			
◇Ser. <i>Rubra</i>	<i>A. rubrum</i> L.	アメリカハナノキ	⑤
◇Ser. <i>Eriocarpa</i>	<i>A. saccharinum</i> L.	ギンヨウカエデ	④
B Sect. <i>Platanoidea</i>	<i>A. mono</i> Maxim.	イタヤカエデ	⑤
Sect. <i>Campestris</i>	<i>A. miyabei</i> Maxim.	クロビイタヤ	⑤
C Sect. <i>Acer</i>			
◇Ser. <i>Acer</i>	<i>A. pseudoplatanus</i> Linn.	セイヨウカジカエデ	⑤
Sect. <i>Saccharina</i>	<i>A. saccharum</i> Marsh.	サトウカエデ	⑤
D Sect. <i>Trifoliata</i>	<i>A. mandshuricum</i> Maxim.	マンシュウカエデ	⑤
	<i>A. triflorum</i> Kom.	オニメグスリ	④
E Sect. <i>Lithocarpa</i>	<i>A. diabolicum</i> Bl.	カジカエデ	⑤
F Sect. <i>Indivisa</i>	<i>A. carpinifolium</i> Sieb. et Zucc.	チドリノキ	①

グニン分布のタイプには, Sect. *Macrantha* の樹種等も含まれているため, 祖先系が異なっているかどうかは, リグニン分布のうえからは考えられない。また, Ser. *Sinensia* (中華槭, 毛花槭, 扇葉槭, 三峡槭) は, Sect. *Spicata* (オガラバナ) と, その祖先系でわずかに類縁関係があると考えられているが, リグニン分布は異なっていた。

Sect. *Glabra* と Sect. *Arguta*, Sect. *Negundo* (ネグンドカエデ) と Sect. *Cissifolia* (ミツデカエデ) は, それぞれ近縁である。前者については, Sect. *Arguta* (アサノハカエデ) のみしか調べていないため, リグニン分布における関係は不明瞭であるが, 後者の2つは, リグニン分布のタイプは異なるものの, ともにクラーソンリグニン量が高く, S/V 比が低く, グアイアシルリッチであることから, なんらかのつながりがあることが示されている。

Sect. *Trilobata* (カラコギカエデ) と Sect. *Rubra* (アメリカハナノキ, ギンヨウカエデ) は, それぞれ特殊化している。リグニン分布においては, かなり多様化していたが, 特に他の樹種と変わるところはなかった。

B群: Sect. *Platanoidea* (イタヤカエデ) と Sect. *Campestris* (クロビイタヤ) は, きわめて近い関係にあると考えられている。リグニン分布においても, これらの節に属する2樹種はリグニン分布が同じであった。しかし, 1樹種ずつしか調べていないため, さらに多くの樹種を調査する必要があるだろう。

C群: 形態分類では, この群は, 非常によくまとまっている。リグニン分布においても, Sect. *Acer* (セイヨウカジカエデ) と Sect. *Saccharina* (サトウカエデ) の2樹種しか調べていないが, 同じリグニン分布を示した。

D群: この群に属する3節は, やや関係がとおく, Sect. *Trifoliata* は特殊化している。本研究では, Sect. *Trifoliata* (マンシュウカエデ, オニメグスリ) の2樹種しか扱っていないため, 他の2節との関係は不明瞭であるが, Sect. *Trifoliata* に関しては, リグニン分布は他の樹種と変わらなかった。

E群: この群は, Sect. *Macrophylla* を除いて比較的まとまっている。しかし, 本研究では, Sect. *Lithocarpa* (カジカエデ) しかリグニン分布を調べなかったため, リグニン分布によるこの群の関係は不明瞭である。

F群: この群は, Sect. *Indivisa* (チドリノキ) 1種のみからなり, 非常に特殊な形態をもっている。リグニン分布においても, 木繊維壁, 道管壁がともにグアイアシルリッチであり, 特殊であった。

OGATA の分類と比較した結果, きわめて共通点が多かった。しかし, 群により, 試料が非常に少なかったため, 比較できないものも少なくなかった。さらに樹種を増やして, 追試を行なっていく必要があるだろう。また, リグニン分布だけでは, 祖先系に関して考察することは不可能であった。

(2) MOMOTANI の分類系との比較

外部形態による分類との比較だけではなく、化学分類学の観点からカエデ属の分類を行っている Momotani の分類系と比較した。MOMOTANI はカエデ属の種子タンパク質の分析を行ない、その結果から各樹種の近縁関係を図示している。MOMOTANI の分類系とリグニン分布の関係を Table 11 に示す。

MOMOTANI の分類系は、カエデ属を3つの亜属にわけている。*Negundo* 亜属と *Carpinifolia* 亜属は、リグニン分布でも他の樹種とかなり異なり、一致しているようである。*Acer* 亜属の場合、Sect. *Glabra*, Sect. *Macrantha*, Sect. *Spicata* は、近縁関係であるが、リグニン分布でも③と④が多く、比較的まとまっているようである。Sect. *Palmata* は、非常によくまとまっているが、リグニン分布においても全て同じであり、⑤のタイプでまとまっていた。また、Sect. *Macrantha* の *Acer. rufinerve* Sieb. et. Zucc. (ウリハダカエデ) と Sect. *Spicata* の *A. nipponicum* Hara. は、非常に近い関係にあると考えられるが、リグニン分布でも同じタイプであった。

(3) GIBBS の分類系との比較

GIBBS らは、カエデ属のモイレ反応を行ない、その結果と POJARKOVA の分類系をもとに、分類系を作成した。つまり、Sect. *Cissifolia* と Sect. *Negundo* を、カエデ属から切り離し、新たに *Negundo* 属を設定したのである。この分類系とリグニン分布を比較すると、Sect. *Cissifolia* と Sect. *Negundo* は、リグニン分布においても特殊であり、一致することを示している (Table 12)。

(1)(2)(3)から、リグニン分布は、おおよそ外部形態による分類や種子タンパク質による分類に一致しているようであった。しかし、本研究での樹種数が、これらの分類と比較するには少なすぎるため、さらに樹種数を増やしていく必要があるだろう。

また、本研究は、リグニンの定性が主体であるため、各構成要素のリグニン分布は明らかになるが、各リグニンの量比は不明瞭である。したがって、リグニン分布のタイプわけが少し大まかとなった。各構成要素のリグニンの構成が、量的にも明らかになり、さらにカエデ属の細胞壁の形成過程でのリグニンの沈着過程も調査することで、より詳しい分類が行なえるのではないだろうか。

5. 結 論

本研究の結論は、以下の通りである。

1) モイレ反応スペクトル法は、シリングリグニンの検出に有効である。UV顕微分光法はグアイアシルリグニンの検出に有効である。しかし、リグニン分布を調べるためには、組織化学的方法だけでなく、化学的方法も併用するべきであろう。また、FTIR 分光法、顕微 FTIR 分光法の利用については、今後の研究課題である。それらはリグニン検出の有効手段となるだろう。

Table 11. Relationship between lignin distribution of the genus *Acer* and the classification by MOMOTANI (1962)

Subgen. I. <i>Acer</i>			
Sect. 1. <i>Glabra</i>			
Ser. 1. <i>Glabra</i>			
Ser. 2. <i>Arguta</i>			
	<i>A. argutum</i> Maxim.	アサノハカエデ	④
Sect. 2. <i>Macrantha</i>			
Ser. 1. <i>Rufinervia</i>			
	<i>A. rufinerve</i> Sieb. et Zucc.	ウリハダカエデ	④
Ser. 2. <i>Macrantha</i>			
	<i>A. crataegifolium</i> Sieb. et Zucc.	ウリカエデ	⑤
Ser. 3. <i>Micrantha</i>			
	<i>A. micranthum</i> Sieb. et Zucc.	コミネカエデ	③
Sect. 3. <i>Spicata</i>			
Ser. 1. <i>Parviflora</i>			
	<i>A. nipponicum</i> Hara.	テツカエデ	④
	<i>A. distylum</i> Sieb. et Zucc.	ヒトツバカエデ	④
Ser. 2. <i>Spicata</i>			
	<i>A. ukurunduense</i> Trautv. et Meyer	オガラバナ	③
Sect. 4. <i>Rubra</i>			
	<i>A. rubrum</i> L.	アメリカハナノキ	⑤
	<i>A. saccharinum</i> L.	ギンヨウカエデ	④
Sect. 5. <i>Trilobata</i>			
	<i>A. ginnala</i> Maxim.	カラコギカエデ	⑤
Sect. 6. <i>Palmata</i>			
Ser. 1. <i>Palmata</i>			
	<i>A. palmatum</i> Thunb.	イロハモミジ	⑤
	<i>A. japonicum</i> Thunb.	ハウチワカエデ	⑤
	<i>A. flabellatum</i> Rehd.	扇葉槭	⑤
Ser. 2. <i>Sinensia</i>			
	<i>A. sinense</i> Pax.	中華槭	⑤
	<i>A. erianthum</i> Schw.	毛花槭	⑤
	<i>A. wilsonii</i> Rehd.	三峡槭	⑤
Sect. 7. <i>Acer</i>			
Ser. 1. <i>Velutina</i>			
Ser. 2. <i>Acer</i>			
	<i>A. pseudoplatanus</i> Linn.	セイヨウカジカエデ	⑤
Sect. 8. <i>Macrophylla</i>			
Sect. 9. <i>Platanoidea</i>			
Ser. 1. <i>Platanoidea</i>			
	<i>A. mono</i> Maxim.	イタヤカエデ	⑤
Ser. 2. <i>Campestris</i>			
	<i>A. miyabei</i> Maxim.	クロビイタヤ	⑤
Ser. 3. <i>Pubescentia</i>			
Ser. 4. <i>Monspessulana</i>			
Sect. 10. <i>Integrifolia</i>			
Ser. 1. <i>Integrifolia</i>			
	<i>A. fabri</i> Hance	羅浮槭	⑤
Ser. 2. <i>Trifida</i>			
Sect. 11. <i>Trifoliata</i>			
	<i>A. triflorum</i> Kom.	オニメグスリ	④
	<i>A. mandshuricum</i> Maxim.	マンシュウカエデ	⑤
Sect. 12. <i>Lithocarpa</i>			
Ser. 1. <i>Lithocarpa</i>			
Ser. 2. <i>Diabolica</i>			
	<i>A. diabolicum</i> Bl.	カジカエデ	⑤
Sect. 13. <i>Saccharina</i>			
	<i>A. saccharum</i> Marsh.	サトウカエデ	⑤
Subgen. II. <i>Negundo</i>			
Ser. 1. <i>Negundo</i>			
	<i>A. negundo</i> L.	ネグンドカエデ	①
Ser. 2. <i>Cissifolia</i>			
	<i>A. cissifolium</i> (Sieb. et Zucc) K. Koch.	ミツデカエデ	②
Subgen. III. <i>Carpinifolia</i>			
	<i>A. carpinifolium</i> Sieb. et Zucc.	チドリノキ	①

Table 12. Relationship between lignin distribution of the genus *Acer* and the classification by GIBBS (1958)

Sect. I.	PLATANOIDEA	<i>A. mono</i> Maxim.	イタヤカエデ	⑤
		<i>A. miyabei</i> Maxim.	クロビイタヤ	⑤
Sect. II.	LITHOCARPA	<i>A. diabolicum</i> Bl.	カジカエデ	⑤
Sect. III.	GEMMATA	<i>A. pseudoplatanus</i> L.	セイヨウカシカエデ	⑤
Sect. IV.	MICROCARPA	<i>A. ukurunduense</i> Trautv. et Meyer	オガラバナ	③
		<i>A. erianthum</i> Schw.	毛花楸	⑤
Sect. V.	TRILOBATA	<i>A. ginnala</i> Maxim.	カラコギカエデ	⑤
Sect. VI.	INTEGRIFOLIA			
Sect. VII.	PALMATA	<i>A. palmatum</i> Thunb.	イロハモミジ	⑤
		<i>A. japonicum</i> Thunb.	ハウチワカエデ	⑤
Sect. VIII.	MACRANTHA	<i>A. micranthum</i> Sieb. et Zucc.	コミネカエデ	③
		<i>A. crataegifolium</i> Sieb. et Zucc.	ウリカエデ	⑤
Sect. IX.	CARPINIFOLIA	<i>A. carpinifolium</i> Sieb. et Zucc.	チドリノキ	①
Sect. X.	GONIOCARPA			
Sect. X I.	SACCHARINA	<i>A. saccharum</i> Marsh.	サトウカエデ	⑤
Sect. X II.	TRIFOLIATA	<i>A. triflorum</i> Kom.	オニメグスリ	④
		<i>A. mandshuricum</i> Maxim.	マンシュウカエデ	⑤
Sect. X III.	ARGUTA	<i>A. argutum</i> Maxim.	アサノハカエデ	④
Sect. XIV.	GLABRA			
Sect. XV. ?				
Sect. XVI.	RUBRA	<i>A. rubrum</i> L.	アメリカハナノキ	⑤
		<i>A. saccharinum</i> L.	ギンヨウカエデ	④
Sect. XVII.	CISSIFOLIA	<i>A. cissifolium</i> (Sieb. et Zucc.) K. Koch.	ミツデカエデ	②
Sect. XVIII.	NEGUNDO	<i>A. negundo</i> L.	ネグンドカエデ	①

2) クラーソンリグニン量と S/V 比は、非常に相関があることが明らかになった。また、これらの値と組織化学的方法の結果についても、相関が認められた。特に、早材木繊維のモイレ反応スペクトル法による結果とクラーソンリグニン量、S/V 比は、とても良い相関を示した。

3) 組織間の違いについては、道管壁のリグニン分布が最も多様であった。道管壁は、ある一定量のグアイアシルリグニンが存在し、樹種ごとにシリングリグニンの量が変化することにより、多様化していると考えられる。また、晩材道管からシリングリグニンが増加していく傾向がみられた。

木繊維壁については、ほとんどがシリングリッチであり、道管壁に比べると、グアイアシルリグニンは少なかった。しかし、全ての樹種のターミナル部で、グアイアシルリグニンが最も増加していた。木繊維間セルコーナーや放射組織では、木繊維壁と同様のリグニン分布を示した。また、早材木繊維は、モイレ反応スペクトル法による比の値と UV 吸光度と高い相関を示した。

4) 樹種間の違いについては、おおまかに分けると 5 つのタイプに分類された。

	Fiber	Vessel	樹種数
①	$G > S$	$G > S$	2
②	$G \geq S$	早材: $S \geq G$ 晩材: $S \gg G$	1
③	$S > G$	$G > S$	2
④	$S > G$	早材: $G > S$ 晩材: $S \geq G$	6
⑤	$S > G$	$S > G$	16

この結果から、カエデ属には、①や②のような非常に特殊な樹種も存在するが、多くは⑤のタイプであり、広葉樹のなかでも比較的進化したグループであることが示唆された。

5) 生育地によるリグニン分布の違いは、みられなかった。しかし、同一樹種で、生育地が異なるものを比較していないため、一概にはいえないだろう。

6) 形態学的分類との比較をおこなった結果、おおまかにリグニン分布も一致した。特に、MOMOTANI の分類と一致した。しかし、比較を行なうには樹種数が少なすぎることに、さらに詳しいリグニン分析が必要なことなどから、あまり詳しく論じることはできなかった。

1属内でも、樹種によりかなりリグニン分布が多様化していることが明らかになった。さらに、多くの属のリグニンを分析し、形態学的観点から作られた被子植物の進化の過程と比較することにより、リグニンの変化も明らかになるだろう。またリグニン検出方法についても、各構成要素壁の定量分析をどのように行なっていくかが今後の課題となるだろう。

引用文献

- ALONI, R. (1987) : Role of Auxin and Gibberellin in Differentiation of Primary Phloem Fibers. *Plant physiology* 63 p. 609-614
- ALONI, R., TOLLIER, M.T. and MONTIES, B. (1990) : The Role of Auxin and Gibberellin in Controlling Lignin Formation in Primary Phloem Fibers and in Xylem of *Coleus blumei* Stems. *Plant physiology* 94. p. 1743-1747
- FAIX, O. (1986) : Investigation of Lignin Polymer Models (DHP's) by FTIR Spectroscopy. *Holzforchung* 40 p. 273-280
- FAIX, O. (1991) : Classification of Lignins from Different Botanical Origins by FTIR Spectroscopy. *Holzforchung* 45 Supplement p. 21-27
- FERGUS, B.J. and GORING, D.A.I. (1970) : The Location of Guaiacyl and Syringyl Lignins in Birch Xylem Tissue. *Holzforchung* 24 p. 113-117
- FENGEL, D. and WEGENER, G. (1984) : *Wood-Chemistry, Ultrastructure, Reactions*-Walter de Gruyter Berlin · New York
- FUJII, T., SIMIZU, K. and YAMAGUCHI, A. (1987) : Enzymatic Saccharification on Ultrathin Sections and Ultraviolet Spectra of Japanese Hardwoods and Softwoods. *Mokuzai Gakkaishi* Vol. 33 No. 5 p. 400-407

- GIBBS, R.D. (1958) : The Mäule Reaction, Lignins, and the Relationships Between Woody Plants. The Physiology of Forest Trees p. 269-312
- HARRINGTON, K.J., HIGGINS, H.G. and MICHELL, A.J. (1964) : Infrared Spectra of *Eucalyptus regnans* F. Muell. and *Pinus radiata* D. Don. Holzforschung 18 p. 108-113
- 林 弥栄 (1969) : 有用樹木図説 林木編 初版 誠文堂新光社 p. 335-352
- 平井陽子 (1991) : カエデ属細胞壁リグニンの多様性. 北大卒業論文
- 堀田 満 (1974) : 植物の進化生物学III 植物の分布と分化 初版 三省堂出版 p. 158-163
- 川村一次, 樋口隆昌 (1963) : 種々な植物より得られるリグニンの性質に関する研究 (第1報) 紫外線吸収曲線について. 木材学会誌 Vol. 9 p. 182-188
- 川村一次, 樋口隆昌 (1964) : 種々な植物より得られるリグニンの性質に関する研究 (第2報) 赤外線吸収曲線について. 木材学会誌 Vol. 10 p. 200-206
- KAWAMURA, I. and BLAND, D.E. (1967) : The Lignins of *Eucalyptus* Wood from Tropical and Temperate Zones. Holzforschung 21 p. 65-74
- 川村一次, 篠田善彦, 野々村誠一 (1974) : 熱帯及び温帯産材MWLのIR吸収比強度の比較. 木材学会誌 Vol. 20 p. 15-20
- 川村一次, 篠田善彦, トランバンアイ, 棚田敏秀 (1977) : デイゴ属 *Erythrina* 材リグニンの化学的性質について. 木材学会誌 Vol. 23 p. 400-404
- 飯塚堯介, 中野準三 (1977) : リグニンの呈色反応機構に関する研究 (第11報) Mäule反応の呈色機構 (第7報) 木材学会誌 Vol. 23 p. 232-236
- 飯塚堯介, 中野準三 (1978) : リグニンの呈色反応機構に関する研究 (第12報) Mäule反応の呈色機構 (第8報) 木材学会誌 Vol. 24 p. 563-568
- MICHELL, A.D., INGLE, H.D. and STEWART, C.M. (1969) : Infrared Spectra of Some Woods of Taxonomic Interest. Wood Science and Technology Vol.3 p. 93-99
- MOMOTANI, Y. : Taxonomic Study of the Genus *Acer*, with Special Reference to the Seed Proteins
 I. Taxonomic characters ; (1961) Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto Ser. B, Vol. 28 p. 455-470
 II. Analysis of protein ; (1962) *ibid.*, 29 p. 81-102
 III. System of Aceraceae ; (1962) *ibid.*, 29 p. 177-189
- 桃谷好美 (1962) : 蛋白質の面から見た植物の系統. Acta Phytotax. Geobot. Vol. 20 p. 122-131
- MUSHA, Y. and GORING, D.A.I. (1975) : Distribution of Syringyl and Guaiacyl Moieties in Hardwoods as Indicated by Ultraviolet Microscopy. Wood Sci. Technol. Vol. 9 p. 45-58
- 中野準三 編 (1979) : リグニンの化学 ユニ広報 (株)
- 中野準三, 樋口隆昌, 住本昌之, 石津 敦 (1983) 木材化学 ユニ出版 (株)
- OGATA, K. (1967) : A Systematic Study of the Genus *Acer*. 東京大学農学部演習林報告 No. 63 p. 89-206
- SAKA, S. and GORING, D.A.I. (1985) : Localization of Lignins in Wood Cell Wall. Biosynthesis and Biodegradation of Wood Components p. 51-62
- SARKANEN, K.V., HOU-MIN CHANG and ERICSSON, B. (1967) : Species Variation in Lignins. Tappi. Vol. 50 p. 572-575, 582-590
- SARKANEN, K.V. and HERGERT, H.L. (1971) : CLASSIFICATION AND DISTRIBUTION. in "LIGNINS" (ed. K.V. SARKANEN and C.H. LUDWIG) p. 42-93
- 西南林学院, 雲南省林業庁編著 (1988) : 雲南樹木図誌 (上) 初版 p. 800-852
- SRIVASTAVA, L.M (1966) : Histochemical Studies on Lignin. Tappi. Vol. 49, No. 4 p. 173-183
- 高部圭司, 深沢和三 (1990) : プナ木部構成要素の年輪内リグニン分布 顕微分光法による木材成分の生成及び分解過程の組織化学的研究 深沢和三編 p. 93-101
- 田村道夫 (1974) : 植物の進化生物学 I 被子植物の系統 初版 三省堂出版 p. 164-167
- 寺島典二 (1987) : 樹木木部細胞壁の形成 (総説). 木材学会誌 Vol. 33 p. 615-622

WAREING, P.F. and PHILLIPS I.D.J. (1983) : Growth and Differentiation in Plants.

呉 晋, 深沢和三, 大谷 諄 (1989) : UV顕微分光による数種雲南材のリグニン分析. 日本木材学会北海道支部講演集 第21号 別冊

呉 晋 (1992) : 広葉樹細胞壁におけるリグニン分布の不均一性. 北海道大学学位論文

吉永 新, 藤田 稔, 佐伯 浩 (1989) : モイレ反応と顕微分光測光法によるリグニンの多様性の検討. 京都大学農学部演習林報告 Vol. 61 p. 276-284

YOSHINAGA, A., FUJITA, M. and SAIKI, H. (1992) : Relationships between Cell Evolution and Lignin Structural Varieties in Oak Xylem Evaluated by Microscopic Spectro photometry with Separated Cell Walls. Mokuzaigakkaishi Vol. 38 p. 629-637

Summary

Hardwood lignin is composed mainly of syringyl and guaiacyl units. Recently, it has been shown by many researchers that the distribution of syringyl (S) and guaiacyl (G) in wood tissue is heterogeneous. In this study, we have investigated lignin heterogeneity of the cell walls on 27 species of *Acer*, which is a very large genus having various exomorphology among species and reportedly has syringaldehyde /vanillin (S/V) ratios which vary from 0.4 to 3.3 in respect to the distribution of lignin.

The lignins were analyzed by both chemical methods, such as Klason lignin determination and S/V ratios, and histochemical methods, such as UV, IR and VIS microspectrophotometry. The results showed that Klason lignin contents varied from 19 to 30% and the S/V ratios varied from 0.3 to 3.5. It was also shown that the distribution of SV lignin was very heterogeneous in each cell wall. The cell walls of both fibers and vessels had various distributions of lignins, depending on the richness of syringyl or guaiacyl among the species.

According to the pattern of such lignin distribution, species were classified into five groups, as follows ;

	Fiber	Vessel	Number of species
(1)	G > S	G > S	2
(2)	G ≥ S	S ≥ G	
		S ≫ G	1
(3)	S > G	G > S	2
(4)	S > G	G > S	
		S ≥ G	6
(5)	S > G	S > G	16

It is suggested that *Acer* is a well evolved genus, except for some special groups, and this classification agrees well with taxonomic studies based on seed protein.