

機関番号：10101

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20580171

研究課題名 (和文)

広葉樹の通水組織において季節的に堆積・消失する壁孔閉塞物に関する研究

研究課題名 (英文)

A study on pit incrustation that seasonally occur in hardwood vessels

研究代表者

佐野 雄三 (SANO YUZOU)

北海道大学・大学院農学研究院・助教

研究者番号：90226043

研究成果の概要 (和文)：本研究の目的は、広葉樹の通水組織間の壁孔が休眠期に限って堆積物に閉塞される現象について詳しい知見を得ることである。この現象がどれだけ普遍的な現象なのかを明らかにするため国産広葉樹 22 種について調べた結果、モクセイ科トネリコ属にだけ認められた。堆積物の化学的性質を調べた結果、ペクチンやヘミセルロースなどの一般的な細胞壁多糖類ではないことが明らかになった。ヤチダモをモデルとして季節的な堆積・消失過程を調べた結果、年輪の内・外層間で大きな違いがあることが明らかになった。

研究成果の概要 (英文)：It is known that intervessel pits are occluded by incrusting materials in some hardwood species. This study was carried out to deepen our understanding to this phenomenon. As a result of the survey of 22 Japanese hardwood species representing 20 genera from 20 families, the seasonal incrustation was noted only in Yachidamo (*Fraxinus mandshurica* var. *japonica*: Oleaceae). Histochemical examinations showed that the incrusting materials are not a common polysaccharide such as pectin and hemicellulose. The processes of their deposition and disappearance differed between earlywood and latewood in the current-year xylem of Yachidamo.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
~~~~~年度			
~~~~~年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：木材科学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：広葉樹、道管、管状要素、壁孔、走査電子顕微鏡、水分通導

1. 研究開始当初の背景

ここ数年来、筆者は樹木の水分通導やキャピテーションによる通水障害について主に組織学的手法により研究を進めるとともに、材組織内での水の流動に深く関係する壁孔の分布や基本構造について解明を進めてきた。これら一連の研究により、凍結に起因するキャピテーションの過程、および通水障害の起こし易さを支配的に左右する通水要

素間の壁孔壁の空隙構造について、新知見を明らかにしてきた。それと同時に、それら研究の過程で、秋から春にかけての休眠期に限って、通水要素間の壁孔壁上に無定形物質が厚く堆積し、壁孔腔を埋め尽くしている状態が観察された。この季節的な壁孔への堆積物は、水の流動浸透性に著しい影響を及ぼし、おそらく樹木の通水系の長期的なメンテナンスに関与していると考えられ、非常に興味

深い。

従来、形成を完了した成熟木部の壁孔に生じる構造変化に関して、心材化に伴ってリグニン様の物質が壁孔壁上に永久的に堆積し、これにより心材部の流動浸透性が著しく低下することを明らかにした多くの研究報告がある。しかし、辺材部で生じる壁孔の季節的な変化については、報告が1編見られるのみである。この季節的な壁孔堆積物の化学的性質やこの堆積物が樹木の水分通導や木材の流動浸透に及ぼす影響について詳しく検討した研究報告は皆無である。

通水要素間の壁孔の構造や機能に関する研究は、近年に大きな進展が見られた研究領域である。とりわけ Holbrook 氏や Sperry 氏の研究グループによる壁孔の水分通導制御に関する研究成果、Jansen 氏による壁孔での特異な構造物の現れ方と系統関係との対応を検討した構造分類学的研究成果は特筆される。また、筆者は広葉樹の道管相互間の壁孔壁の微細構造について新発見を発表している。しかし、これらの研究ではいずれも基本構造を対象としており、形成後に起こる二次的な構造変化の実体、およびその変化が通水にどのような影響を与えるのかは、まったく検討されていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、広葉樹の辺材部において通水要素間壁孔を休眠期に限って一時的に閉塞する堆積物について詳しい知見を得ること、および通水への影響を解明することである。検討項目は大きく3点ある。第一に、分類学的観点および木材利用学的観点に立って様々な分類群より選んだ多くの樹種について、この季節的な堆積物の有無を調べ、この現象が被子植物の大きな一団においてどれだけ普遍的なのかを明らかにする。第二に、この季節的な堆積物の構造や化学的性質について電子顕微鏡を使った顕微化学的方法により解明するとともに、堆積および消失の過程を経時的に観察する。第三に、この季節的な壁孔への堆積物が広葉樹の通水システムにおける水の流動浸透にどれだけ影響を及ぼすのかを解析する。

3. 研究の方法

(1) 壁孔閉塞物形成の構造分類学的調査

モクレン群からキク目までの広範な分類群の20科22属22種について、夏期と冬期の2回、あるいは冬期に1回の試料採取をおこなった。試料をトリミング後、乾燥し、観察面を割断して露出させ、導電性接着剤によりSEM試料台に接着した。真空蒸着により白金をコーティングの後、通水要素間の壁孔壁表面の形状を電界放射型走査電子顕微鏡(FE-SEM)により観察した。

(2) 壁孔閉塞物の性質と堆積・消失過程

ヤチダモ若齢木より、9月中旬～11月末の期間に定期的に試料を採取し、道管相互間の壁孔壁をFE-SEM観察することにより、堆積過程を調べた。さらに、4月の開葉前から5月末の開葉後までの期間、同様なFE-SEM観察をおこない、消失過程を調べた。FE-SEM観察の方法は、前項と同様である。また、上述の観察により壁孔閉塞物の堆積が確認された試料を用い、さまざまな試薬による抽出処理をおこない、この閉塞物の化学的性質を検討した。

(3) 壁孔閉塞物の透水性への影響

先端径が数～数十μmの極細ガラス管をマイクロペットブローにより自作した。このガラス管の先端部をマイクロマニピュレータにより試料木口面から単一の道管に挿入し、道管壁・ガラス管間の隙間をシアノアクリレート樹脂により目止めした。このガラス管を通して単一の道管内に水を注入し、分析天秤で水の透過量を計測した。

4. 研究成果

(1) 季節的な壁孔閉塞の発生

結果を表1に示す。季節的な壁孔閉塞物が認められたのは、ヤチダモ(モクセイ科トネリコ属)のみであった。季節的な道管閉塞は、限られた分類群にだけ見られる特異な現象であるといえる。

表1. 対照樹種と季節的な道管閉塞物の有無。

樹種	科	閉塞物
アオキ <i>Aucuba japonica</i>	アオキ科	無
アオハダ <i>Ilex macropoda</i>	モチノキ科	無
アワブキ <i>Meliosma myriantha</i>	アワブキ科	無
イタヤカエデ <i>Acer mono</i>	カエデ科	無
オニグルミ <i>Juglans mandshurica</i> var. <i>sachalinensis</i>	クルミ科	無
オノエヤナギ <i>Salix udensis</i>	ヤナギ科	無
カツラ <i>Cercidiphyllum japonicum</i>	カツラ科	無
クチナシ <i>Gardenia jasminoides</i>	アカネ科	無
コバノミツバツツジ <i>Rhododendron reticulatum</i>	ツツジ科	無
シキミ <i>Illicium anisatum</i>	シキミ科	無
シラカンバ <i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	カバノキ科	無
シロモジ <i>Lindera triloba</i>	クスノキ科	無
ハリエンジュ <i>Robinia pseudoacacia</i>	マメ科	無
ハリギリ <i>Kalopanax septemlobus</i>	ウコギ科	無
ハルニレ <i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	ニレ科	無
フサザクラ <i>Euptelea polyandra</i>	フサザクラ科	無
ブナ <i>Fagus crenata</i>	ブナ科	無
ホオノキ <i>Magnolia obovata</i>	モクレン科	無
マンサク <i>Hamamelis japonica</i>	マンサク科	無
ミズナラ <i>Quercus crispula</i>	ブナ科	無
ヤチダモ <i>Fraxinus mandshurica</i>	モクセイ科	有
ヤマナラシ <i>Populus tremula</i> var. <i>sieboldii</i>	ヤナギ科	無

(2) 壁孔閉塞物の性質と堆積・消失過程

壁孔閉塞物の堆積が完了した部位の小材片を用いて組織化学的手法により性質を調べた。熱水などによるペクチン抽出処理および有機溶媒処理では変化が認められなかったのに対して、アルカリ処理により完全に除去された。この結果に基づき酵素を使ったヘミセルロースの選択的な抽出処理を試みたが、除去されなかった。これらの結果から、広葉樹材の細胞壁に多く見られる一般的な多糖類ではないことが明らかとなった。

季節的な堆積過程に関しては、早材（孔圏）と晩材（孔圏外）ではタイミングに違いがあることが明らかになった。北海道大学構内の研究林実験苗畑のヤチダモにおいて、当年に形成された木部の晩材の道管相互間壁孔では9月末～10月初めに閉塞物の堆積が始まり、10月下旬にはその堆積が完了した。これに対して、当年に形成された木部の早材の道管相互間壁孔では、閉塞物の堆積は晩材部よりもかなり遅れて10月下旬が始まり、11月の半ばまで継続した（図1～3）。

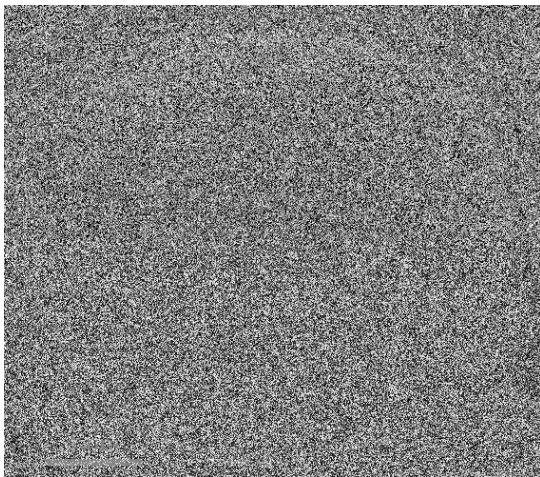


図1. 閉塞物が堆積しはじめた時期のヤチダモ孔圏道管相互間の壁孔壁（2010年10月21日）。

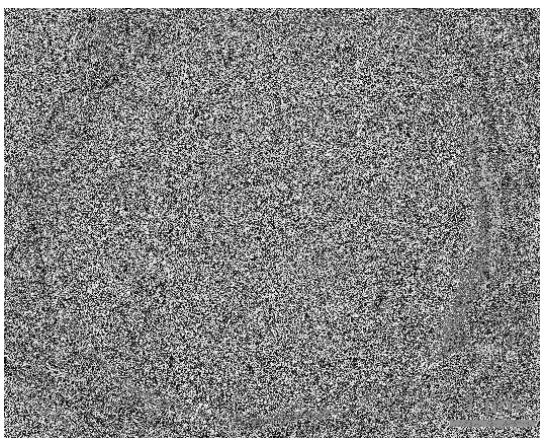


図2. 閉塞物が堆積途上のヤチダモ孔圏道管相互間の壁孔壁（2010年11月4日）。

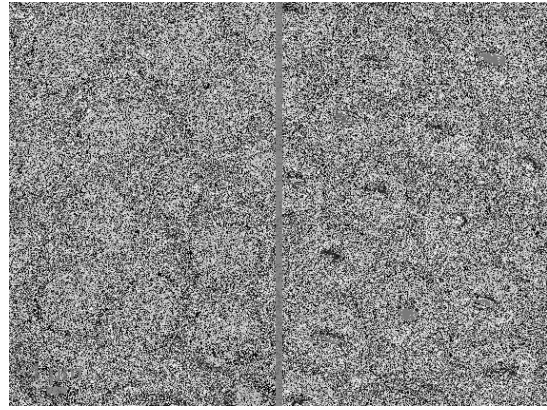


図3. 閉塞物が堆積を終えたヤチダモ孔圏道管相互間の壁孔壁（2010年11月11日）。壁孔壁（左）とそれを覆っていた壁孔縁（右）を本を開いたのと同じような状態で並べている。

壁孔閉塞物の消失過程に関しても、早晩材間で挙動に違いが認められた。晩材部の小道管では、5月初旬の開芽・開葉の頃、10日間程度の短期のうちに完全に消失した。これに対して、早材部の大道管では消失が起こらず、堆積物が永久的に残存することが明らかになった。

また、図3に例示したように、壁孔壁を正面から丹念に観察するだけでなく、これを覆っていた壁孔縁側の状態を対応させつつ観察することにより、早材部と晩材部では閉塞の状態が異なることも明らかになった。壁孔サイズが小さい晩材部の道管相互壁孔では閉塞物が壁孔室を完全に埋めているのに対して、壁孔サイズが大きい早材部の道管相互壁孔では壁孔室を埋めるまでには到らない。おそらく、供給される閉塞物の量は等しいが、壁孔室の空間サイズの違いによりこのような状態の違いが生じると考えられる。

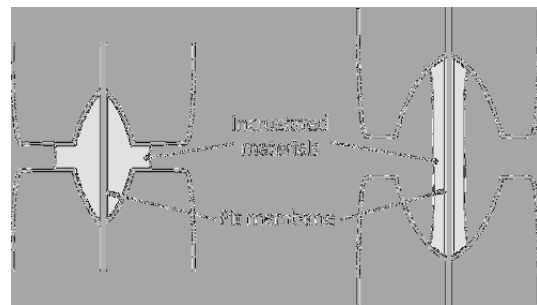


図4. 孔圏道管（右）と孔圏外道管（左）における閉塞物の堆積状態の違いを示す模式図。

以上のほかにも、秋期の堆積途上に限って無機結晶が頻出すること、堆積の初期段階では壁孔壁のマイクロフィブリルに明瞭な緩みが見られる（図1）ことなど、閉塞物が壁孔壁内へ挿入的に沈着する独特のメカニズムがあることが示唆する新知見が得られた。こ

これらの知見は木材組織構造学的あるいは樹木生理学的に意義あるばかりではない。今後そのメカニズムについてさらに詳細に解明することにより、低コストで効率的な木材の細胞壁修飾法、あるいは木材の液体浸透の制御法を開発するヒントが得られる可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Sano Y., Morris H., Shimada H., Ronse De Craene, P.P., Jansen S.: Anatomical features associated with water transport in imperforate tracheary elements of vessel-bearing angiosperms, *Annals of Botany* 107: 953-964, 2011. (査読有り)
- ② 佐野雄三: 広葉樹材における管状要素間壁孔の構造と機能. *木材学会誌* 55: 119-128, 2009. (査読有り)

[学会発表] (計5件)

- ① 佐野雄三, 島田拓, Morris H., Jansen S., Which structural features determine water transport in imperforate tracheary elements in angiosperms? 第61回日本木材学会大会, 2011年3月18日, 京都大学, 京都市
- ② Sano Y., Perforated pit membranes between imperforate tracheary elements in angiosperms, IAWA-IAWS-IUFRO Conference, 2010年6月25日, University of Wisconsin-Madison Memorial Union, Madison, USA
- ③ 佐野雄三, 広葉樹の管状要素間に見られるperforated pit membraneの系統発生的研究, 第60回日本木材学会大会, 2010年3月18日, 宮崎観光ホテル, 宮崎市
- ④ Sano Y., The structural variation of intertracheary pit membranes in angiosperm woods, 7th Pacific Regional Wood Anatomy Conference (PRWAC) 2009, 2009年8月5日, Kuala Lumpur, Malaysia

[図書] (計2件)

- ① 佐野雄三, 文永堂、木質の構造、2011、98-102

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐野 雄三 (SANO YUZOU)
北海道大学・大学院農学研究院・助教
研究者番号：90226043

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし